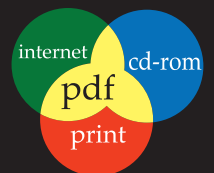


Ricoh Technical Report



A post and stopper of MEMS mirror array device



RICOH TECHNICAL REPORT

No.33, 2007

目次

巻頭言

印刷技術の栄枯盛衰考	高橋恭介	3
------------	------	---

招待論文

進化するワークスタイルとオフィス環境	齋藤敦子	9
--------------------	------	---

技術論文

解像度低下抑制機能を有するホール輸送材料（ASドナー）の開発	島田知幸・池上孝彰	21
外部応力型錫ウィスカーに関する考察	藤田滋・河合栄二・宮武直・花野井隆	27
ヒートモードリソグラフィーによるZnS-SiO ₂ 微細パターン形成技術 三浦博・豊島伸朗・竹内弘司・守哲司・花岡克成・岩田周行		36
LIGAプロセスを用いた微細電鍍スプリングに関する研究	加藤文明	44
二成分現像剤挙動シミュレータの開発	渡邊孝宏	51
レーザ光強度分布制御によるサーマルリライタブル記録媒体の繰返し耐久性向上	川原真哉・石見知三・堀田吉彦	57
二次元MEMSミラーアレイデバイスの開発	加藤静一・南條健・大高剛一	65
転写ベルトの厚み変動に対応した高精度駆動制御技術	松田裕道・安藤俊幸・小出博	72
OPCドラム外観検査方法	崎田隆二・中山攻・鎌田照己・小沼洋介	79
デジタル孔版印刷方式で世界初の自動両面印刷装置の開発	佐藤光雄・菅野比呂志・大川英治・菅原光弘	85
2400dpiマルチレーザサーマル画像形成技術	森川穰・鈴木伸一・石間和巳・山田征史	94
LDMOSTランジスタを用いた電圧レギュレータの開発	根来宝昭	100
ビジネス情報の検索：議論の探索と専門家の探索 ガンメイ ヨウ・ヤオジエ ル・ガン リ・ユエヤン イン ミックスド・メディア・リアリティ（MMR）：紙と電子世界をつなぐ新しい方法 ジョナサン ハル・バーナ エロル・ジェイミー グラハム・シーファ ク 岸秀信・ホーヘ マラレダ・ダニエル パン オルスト		107 119
画面共有技術の応用システムの開発	浅野大雅	126
インタラクティブステーション	新西誠人・桜井彰・山口邦久・森澤一郎・大村克之・北澤智文	134
3Dパーツカタログ ー3Dデータの製品サービス応用例と3Dアセンブリ表示技術の紹介ー 佐藤直之・原田正範・畠山佳久・巴正司・香川正明		141
IPv6の研究と製品開発への反映	大平浩貴	146
MFP/LP リモートファームウェア更新システムの開発	石原久士	152

製品技術解説

デザインテンプレートによるMPMeisterコンテンツ生成機能強化	クリストフ スーリエ	159
ローエンドビジネスフルカラー複合機 IPSiO GX3000S/SF	割柏吉晴・森孝司・佐久間英臣・木幡八州太郎・原栄治	164
デジタル再生機 imagio Neo 352RC/452RC	赤谷桂一・堺良博・桑山尚司・清水圭一・石井哲一・遠藤秀明	170
産業用途向けインクジェットヘッドGEN3E1の開発	町田治・外山栄一	176
デジタルカメラ Caplio GX100	岩崎徹也・谷本典哉・篠原純一・中平寿昭・水藤浩・小野信昭・大橋和泰	181
著者紹介		187

RICOH TECHNICAL REPORT

No.33, 2007

INDEX

PREFACE

Historical Overview of the Graphic Arts Technologies in Japan	Yasusuke TAKAHASHI	3
---	--------------------	---

INVITED PAPER

The Office Environment for New Workstyles	Atsuko SAITO	9
---	--------------	---

TECHNICAL PAPERS

Hole Transport Materials with Resolution Maintenance Function for Organic Photoreceptor	Tomoyuki SHIMADA Takaaki IKEGAMI	21
Study about Tin-Whisker under the Condition of Outer Stress	Shigeru FUJITA Eiji KAWAI Sunao MIYATAKE Takashi HANANOI	27
Nanometer-scale Patterning of ZnS-SiO ₂ by Heat-mode Lithography	Hiroshi MIURA Nobuaki TOYOSHIMA Kohji TAKEUCHI Tetsuji MORI Katsunari HANAOKA Noriyuki IWATA	36
Research on Electroformed Micro-Spring with LIGA Process	Fumiaki KATO	44
Numerical Simulation of Carrier Behavior in a Two-component Developer Unit in Electrophotography	Takahiro WATANABE	51
Improvement of Repetition Durability by Controlling Intensity Distribution of the Laser Beam for Laser Recording on Thermal Rewritable Media	Shinya KAWAHARA Tomomi ISHIMI Yoshihiko HOTTA	57
A Two-Dimensional MEMS Mirror Array Device based on New Structure.....	Seiichi KATOH Takeshi NANJYO Koichi OHTAKA	65
High Precision Drive Control Method Compensating the Influence of Transfer Belt Thickness Variation	Hiromichi MATSUDA Toshiyuki ANDOH Hiroshi KOIDE	72
Visual Inspection Method for OPC Drum	Ryuji SAKITA Osamu NAKAYAMA Teruki KAMADA Yosuke KONUMA	79
Development of World First Automatic Duplex Printing Machine in Digital Mimeograph Printing Process	Mitsuo SATOH Hiroshi KANNO Eiji OHKAWA Mitsuhiro SUGAWARA.	85
A 2400dpi Thermal Imaging Technology with Multi Lasers	Minoru MORIKAWA Shinichi SUZUKI Kazumi ISHIMA Masafumi YAMADA	94
Development of Voltage Regulator using LDMOS Transistor.....	Takaaki NEGORO	100
Research on Enterprise Search: Discussion Search and Expert Search	Ganmei YOU Yaojie LU Gang LI Yueyan YIN	107
Mixed Media Reality (MMR) : A New Method of eP-Fusion™	Jonathan J. HULL Berna EROL Jamey GRAHAM Qifa KE Hidenobu KISHI Jorge MORALED A Daniel G. Van OLST	119
Development of Systems Applied Screen Sharing Technique	Taiga ASANO	126
Interactive Station		
Makoto SHINNISHI Akira SAKURAI Kuniyasa YAMAGUCHI Ichiro MORISAWA Katsuyuki OMURA Tomofumi KITAZAWA		134
3D Parts Catalog - Example of Product Service Using 3D data. Introduction of 3D Assembly Display Technology -	Naoyuki SATOH Masanori HARADA Yoshihisa HATAKEYAMA Shoji TOMOE Masaaki KAGAWA	141
Research and Deployment of IPv6 Technology for Products.....	Kohki OHHIRA	146
Development of MFP/LP Remote Firmware Update System	Hisashi ISHIIHARA	152

EXPLANATION ON PRODUCTS

MPMeister Contents Generation and Business Using Design Templates	Christophe SOULIER	159
Low End Business Full Color MFP IPSiO GX3000S/SF	Yoshiharu WARIGASHI Takashi MORI Hideomi SAKUMA Yasutaroh KOWATA Eiji HARA	164
Reconditioned Digital Copier imagio Neo 352RC/452RC	Keiichi AKATANI Yoshihiro SAKAI Takashi KUWAYAMA Keiichi SHIMIZU Tetsuichi ISHII Hideaki ENDOH	170
Development of GEN3E1 Ink Jet Head for Industrial Application	Osamu Machida Eiichi Toyama	176
Caplio GX100, Digital Camera by Ricoh	Tetsuya IWASAKI Noriya TANIMOTO Junichi SHINOHARA Toshiaki NAKAHIRA Hiroshi SUTOH Nobuaki ONO Kazuyasu OHASHI	181
AUTHORS		187



巻頭言

印刷技術の栄枯盛衰考

東海大学名誉教授 高橋恭介

なぜ栄枯盛衰考か

情報の入れ物である紙に色材（インキ等）で文字・画像情報を入れる印刷技術では、パソコンで完成された完全原稿をCTP（Computer to Plate）出力して無処理でアルミ刷版を作りオフセット印刷する究極の方式といわれているものが使われるようになった。印刷時以外は完全ドライプロセスになる。紙へのインキング技術ないしはイメージング技術はドライ化の歴史でもあり、印刷もコンピュータ出力端末としての位置付けがなされるようになり、インキング技術ないしは印刷技術の将来像を描くのが難しくなっている。印刷産業は技術応用産業であり他分野で開発された新技術をたくみに取り入れて印刷物を生産してきている。日本における印刷の栄枯盛衰を中世、近世、現代に至るスパンで整理してみるとイメージング産業の将来を描くためのヒントが隠されているかもしれない。

時代としては奈良、平安、鎌倉、南北朝・室町、安土桃山、江戸時代までの1160年と明治、大正、昭和、平成の140年とに大きく分けられる。古来より紙への情報の入れ方 - 印刷とは原稿がありそれを再現した版があり、インキを版につけそれを紙へ転写して印刷物を多数得る。この原理は現在も変わらないがデジタル技術が印刷の概念に変化を与えている。日本における印刷技術は全て外来技術であり明治維新をはさみ大きく二つの時代区分でその変遷の理由を整理する。

奈良、平安、鎌倉、室町時代

古事記（712年）から万葉集（8世紀後半）まで数々の古典籍が写本（書本）として出されているが、奈良時代の印刷された版本（刊本）は唯一百万塔陀羅尼（770年）のみである。次に刊本が現れるのは約300年後の平安末期ごろ春日版といわれる優れた木版印刷物「成唯識論」（1088年）でありそれ以後続々と刊本が現れてきている。この300年間は王朝文化が華開いた平安時代であり続日本紀、日本霊異記、土佐日記、源氏物語、和漢朗詠集などなじみ深い古典が数多く作られているが印刷されたものはない。すべて人間印刷機が行った写本のみであり、これらの優れたベストセラー間違いない原稿が数多く出ているのになぜか印刷が行われていない。おそらく、本は王朝の貴族、公家、僧侶などの上層階級だけのものであり部数を必要としなかったのではないかと考えられる。

寺院版木版印刷の全盛期は鎌倉時代（1192～1333年の150年）から室町時代（1336～1573年の240年）の約390年間であり、中国の宋本、元本、明本の影響下に佛典、経典、儒教書、雑書などの印刷出版、復刻などが行われている。春日版、奈良版、高野版、五山版などの区別があるが、奈良の諸大寺がもっとも盛んに開版事業を行ったのは鎌倉時代といわれている。鎌倉五山版では禅籍を主とした内典（佛書）ものが多かったが、室町時代に入り開版の主体が京都五山の禅寺に移ると外典といわれる佛書以外の一般書である儒教書、史書、医書、詩文集などの文学書等も開

版して袋綴じ本を出版している。京都五山版は室町末期まで続き、その全盛期は戦乱下の南北朝の50余年とされている。この時代は中国ブームであり、中国のものは何でも取り入れ追いつけて禅宗に帰依する武将も多かった。武家の素養として漢文、漢詩も必要となりまた初めての漢字片かな混じりの本である「夢中問答」全3巻が出版されている。本が武家社会から一般大衆へ広がる機運が出始めたところと見られている。

古活字版と木版共存時代（桃山末期～江戸初期）

グーテンベルグの鉛活字版印刷が日本に伝来したのは発明後140年経った1590年イタリアの宣教師ヴァリナーノによってであり、いわゆる「キリシタン版」を欧文、和文活字で約50点印刷している。その中にはエッチング凹版画が文字印刷と共存しているものもある。ほぼ同じころ秀吉による文禄の役（1593年）で朝鮮より持ち帰った銅活字印刷一式がもたらされている。それに木活字が加わり文禄勅版、慶長勅版、伏見版、駿河版、美しい嵯峨本などが出版されている。西洋と東洋で独立に発明された鉛活字と銅活字の技術が極東の日本で出会い、それぞれが定着することなく数十年で消えて行ったのは惜しまれる。特にキリシタン版の印刷に使われたプレス活版印刷機こそ西洋の息吹であるのにこのことが語られていないことは不思議である。この古活字時代は書物の印刷・販売の経済活動が活発化してくるにつれ、印刷物に対する読者の要求、再販問題等が絡み衰退して行き、1644年（江戸時代正保の頃）以降は再び手摺り木版印刷が主流になってしまう。日本で1590年代最盛期にはキリシタン信者は30数万人でその理解者を含めると印刷物の需要は多かったはずである。活版印刷技術導入がキリシタン禁教でゼロとなり、木版出版の再来は、日本語文字の問題、出版統制のし易さなどの政治的問題も背景にあると見られる。プレス印刷と印刷効率向上の概念は残らなかった。

江戸出版文化の隆盛（寛永～明治初期）

この木版による製板の時代は1644年から1870年ごろの幕末、明治初期までの約230年間続いている。この木版の特徴は文字と図版・絵画が混在した印刷物（刊本）やルビが印刷できることにある。例えば、中国語漢文の右カタカナルビを読めば中国語会話ができ、左に日本語のルビで意味もつけられている。著者のイメージする脳の世界が自由奔放に版木上に実現できる。日本の書物が活字を捨て版木に移った理由の一つであり漢字とルビの活用は多くの情報量を持つことができた。この間商業化により多くの古典文学書、軍書、浄瑠璃本、往来物、仮名草紙、名所記、評判記、浮世草紙、洒落本、等が出版され多くの貸本屋、読み書きそろばんを教えた寺子屋などを通して広く庶民に浸透して知識と世界有数の識字率の向上に寄与し、出版文化の隆盛を見るようになり、また読売、案内、細見、落首、引札などの情報が町に流布され高密度な情報化社会を作っていた。このように日本では手刷り木版印刷が約1000年の長い期間主流を占め新しい印刷法は生まれなかった。この1000年間日本では、中国から伝来した木版印刷の持つ能力を最大限に生かし浮世絵をはじめとし大衆印刷メディア、ビジュアルメディアとしての出版文化の粋を作り上げ江戸文明と文化を築いたことになる。技術の熟成は行いが技術の改良、大量生産化、新技術の開発などの発想は見られないが、当時の地方分権を保障した幕藩体制下の産業構造では新しいものは必要なくコンテンツが重視されたのかも知れない。同じようなことが手漉き和紙の分野でも見られ、奈良時代以来製紙法の改良はなかったがここでも和紙の性能をとことん高め独特の和紙文化・生活文化を作り上げた。しかもこれらは、いずれも地球に優しい再生可能な生産体制を守ったことになる。時代の要請により高品位で量産可能な外国技術導入によりこれら木版印刷と和紙生産は明治以降衰退して行く。

明治（1868年）～平成の技術導入とその栄枯盛衰

このような円熟した文化的、経済的下地の上に欧米の各種印刷技術や製紙技術など欧米に追いつき日本の近代化を急ぐため技術導入が相次ぎ西欧化を急ぎ始めた。しかし、明治、大正、昭和から平成にいたるまで主要印刷技術は欧米発であり、特に1990年代のパソコンを用いるDTP (Desk Top Publishing) の普及につれデジタル技術により印刷画像形成技術の生き残り候補がしばられてきている。

ゴムブランケットを用いる平版オフセット印刷の原理が、1904年ルーベルによって見出されて100年目となる。版と粘性インキを用いる印刷方式には、平版オフセット以外に凸版、凹版、孔版などがありそれぞれが長い間使われてきたが、1990年ごろには、大まかにプリントメディアの65%がオフセット方式で15%がグラビア方式、25%がフレキソ方式その他で印刷されていた。現在も平版オフセット方式は印刷の主流であり続けている。

ある技術が実用として世の中に広く使われるためには、その技術にいくつかの勝れた他の技術が結合することによりシステムとして利便性、経済性、信頼性などが付与されることが大きな要因である。平版印刷システムを現在の形にしたメインの技術として、平版版面からのインキ転移効率を向上したゴムブランケット転写方式の発明（1904）、それから約50年後のPS版（Pre-sensitized Plate）の開発・導入（1955年頃から）の二つが挙げられる。

1900年頃には網目スクリーンが作られ、製版写真が実用になってから現在まで約100年が経過していることになる。1910年頃には亜鉛版を用いる卵白多色平版（HBプロセス）が完成されていたが、石版印刷と同様に版面に紙を載せて紙背面からローラで圧力をかけてインキを転移させる直刷り方式であった。版は剛体でありその表面の数 μ m厚のインキを表面凹凸のある紙へ圧力転写すると紙の凸部のみがインキと接触するので転移は不完全になる。このインキ転移問題を解決した技術がゴムブランケット転写法つまりオフセット印刷である。偶然起きた直刷り圧力ローラへのインキ転移画像を紙に印刷すると鮮明な画像が得られたことに端を発している。ゴムを巻いたブランケット胴、円筒形圧胴、版胴を持った輪転式枚葉印刷機が1908頃には作られており、1920年代には、日本でも輪転式オフセット印刷機が製造販売されている。金属平版上の画像は正像になり印刷像と同じなので画像の検査がし易い、平滑で弾力性あるブラン表面とインキと版のみの接触であり、紙と版表面が接する事がないので版の寿命が長くなる、紙の種類に対してフレキシブルに対応できるなどの利点が生じた。これらの利点が直刷り印刷法であるこれまでの平版印刷、凸版印刷に取って代わった理由となる。

1960年頃までは印刷現場で砂目研磨機、感光液塗布装置、水洗、乾燥装置などを備え版材が必要になるたびアルミの生板から手間隙かけてバッチ作業で作製していた。また、感光剤を塗付した版材は保存ができないので作り貯めも出来ない状況であった。金属凸版でも状況は同じであり各版式による印刷方式が並存していた。1955年頃から巻き取りアルミシートに連続砂目加工し、感光液を塗布し印刷サイズにカットされた長期保存可能な薄くて軽いPS版材が提供されるとそれまでの印刷現場からバッチ処理システムと化学薬品類を駆逐してしまった。PS版へのリソフィルム密着露光と現像処理だけが刷版製版として印刷現場に残された。省力化、使い易さ、経済性、迅速性、耐刷性、高画質、環境対応性などのすぐれた特性からPS版による平版オフセット印刷が、現在のように印刷の主流となった。

1445年ごろ発明されたグーテンベルグ活版は文選植字機能と文字修正機能により長年使われてきたが、これらの機能はDTPに取って代わられ1990年代になると540年間続いた鉛活字活版印刷は印刷現場からほぼなくなりDTP製版によるオフセット印刷へ移行した。リソ感材などの各種銀塩感材が製版システムを支えてきたが現在、パソコン内に作られたレイアウト面付けされた印

刷情報をレーザー対応PS版に直接出力するCTPシステムへと進化してリスフィルムもいらなくなっている。

2003年になると銀塩写真カメラはCCD、CMOSセンサーを用いるデジタルカメラに置き換わり、ダゲレオ以来180年でアナログ銀塩写真が撮影感材の主役の座から落ちてしまい、銀塩印画紙はインクジェット用紙や昇華転写用紙に置き換わっている。デジタル画像技術と対応出力技術が各種イメージング技術の栄枯盛衰を決める時代になった。印刷カラー原稿もカラーフィルムからデジカメのRGBデジタルデータでの入稿が主流になっている。

文字・カラー画像のトータルデジタル処理が可能になり、CTP出力で版を作る最先端のオフセット印刷システムは、あたかも江戸期の木版印刷の人間の技と結びついたアナログ的製版機能をデジタルで実現したことに相当しており、木版彫刻は、ページネーションの概念を持ったアナログDTPとも見ることができる。文字組版、石版印刷、コロタイプ印刷、原色版印刷、複写技術等アナログ的に手間ひまかけて実現してきた文字・画像を効率よくデジタル的に再現しているが、これらのアナログ画像品質を必ずしも超えているわけではない。

このように印刷技術の歴史は、ドライ化と中間媒体の削除の歴史とも言える。文字・画像等のコンピュータ情報の出力としての印刷技術としては、今後デジタルと相性の良い形になったオフセット印刷、グラビア印刷、フレキソ印刷などや電子写真とインクジェットのオンデマンド印刷等が共存して行くことになる。

技術の熟成の次は？

現在のDTPシステムは人間の思い通りに画面デザインが出来るわけではなく使い勝手は必ずしも良くない。千年かけて江戸時代に熟成された木版技術で作られる版は、印刷物に対する人間の願望を匠の技で彫り上げたものであり、デジタルDTPシステムの究極のターゲットになる。インキング技術で見るとデジタルデータをレーザー出力して版を作り、粘性インキを使うオフセット印刷等の大量印刷システム、感光体にレーザー出力して粉体インキであるトナーで画像形成する電子写真印刷システム、被印刷体にインキ滴を直接着弾させるインクジェット印刷システムの三つの方式が印刷分野を含めイメージング技術分野で共存し目的と分野に対応した使われ方をする。これら三方式は、江戸時代の木版技術と同じ状況にあり、しばらくの間は各技術の熟成と応用、利用分野の開拓が当面の課題になる。粉体インキのカールソン方式と粘性インキのオフセット方式はインキングプロセス時の不安定性と言う共通点があり、これへの対応と市場ニーズを満たすための相補的關係を明確にすることが必要であろう。今後、オフセット印刷が減りオンデマンド印刷が伸びると予測されているが、粉体トナーのコストを粘性インキ並みにすることやオフセットの印刷速度、画質に近づけることが市場から求められることになる。

微小液滴を信号に応じて打ち出し非接触で基材に付着させるインクジェット技術の持つポテンシャルは、液滴の正確なマイクロ秤量化と目的に応じたあらゆる種類の機能性液体を使うことが出来ることであり、ハードコピー分野はその応用の一例に過ぎない。紙を情報の入れ物とする紙メディアと電子メディアは、今後とも共存して行くがイメージング技術やその応用の熟成、高機能化だけでは利益の出ない状態に行き着く。その先はどうなるかは分からないが、ネット時代の電子ペーパー等との共存を考えた新しいビジネスモデルの構築が必要であり日本から提案されることを期待したい。

参考文献

- 1) 鈴木敏夫：プレグーテンベルグ時代，朝日新聞社（1976）
- 2) 酒井道夫：印刷文化論，武蔵野美術大学出版局（2002）
- 3) 博物誌編集委員会：印刷博物誌，凸版印刷（株）（2001）
- 4) 中野三敏監修：江戸の出版，ペリかん社（2005）



招待論文

進化するワークスタイルとオフィス環境

The Office Environment for New Workstyles

コクヨ株式会社 オフィス研究所 齋藤 敦子

Atsuko SAITO, Office Research Institute, KOKUYO CO., LTD.

企業を取巻くビジネス環境はこの二十余年で大きく変わった。そして、この環境変化の波がワークスタイルにも大きな進化を促している。1980年以降に世界中で始まった情報革命と金融革命により、多くの企業はビジネスプロセスを転換してきた。また、成熟社会の到来によりマーケットニーズがモノの価値からコトの価値へと変化したことで、ビジネス自体を破壊し創造していかなければならない脱工業化社会（ポスト産業資本主義社会）へと移行しつつある。働く個人とチームが互いに知識を創造し、新しい商品やサービスを生み出していくためには、効率性と創造性を両立させたワークスタイルとマネジメントが重要となる。

創造性を発揮するためのワークスタイルとはどのようなものか。また、そのような働き方を支援するための、空間・ツール・仕組みといったオフィス環境はどうあるべきか。先進事例を参考にしながら、未来のオフィス像を検証してみたい。

Changes in the business environment have prompted a major evolution of work styles. Many enterprises have seen their business processes totally transformed by the information and financial revolutions that began around 1980, and change has been driven further forward by a shift in marketing needs that has accompanied the maturing of the economy and society, to more focus on the value of "soft" endeavor rather than hard products.

Work styles and organizational management conducive to efficiency and creativity are essential for enabling working individuals to generate new knowledge and innovate new products and services. For those of us involved in office innovation, the issue is How can office environments best facilitate such work styles? In this paper, I intend to draw on several advanced case studies to explore what offices of tomorrow will be like.

* 〒108-8710 東京都港区港南1-8-35

1-8-35 Konan, Minato-ku, Tokyo, 108-8710, Japan

1. はじめに（進化の背景）

近年、企業経営者の間で'ワークスタイル'のあり方が注目されている。すでに20年程前から情報化社会を見据えた新しいワークスタイルとしてテレワークや在宅勤務の実験が行われてきたが、その当時はIT企業が来るべきコンピューティング社会に備え、ツール開発のために取り組むことが主な目的であったようだ。しかし、仕事の中にコンピューターが入り込み、インターネットによって世界の情報がリアルタイムに伝播する現代は、仕事内容そのものが大きく変わってしまった。商取引から商品開発のためのコラボレーションに至るまで、ビジネスプロセスの大部分がインターネット上に流れ込み、巨大なグローバルマーケットが築かれつつある。

その過渡期において、企業経営者が社員に求めるパフォーマンスも変化している。ITによって業務の効率性を高め、ノンコア業務を集約しアウトソーシングする一方で、社員にはコア業務における革新性と創造性が求められている。それらを発揮するためには、社員一人ひとりの働き方（ワークスタイル）が重要であり、すなわち経営者にとって'ワークスタイル'とは、目標を達成するための成果行動として捉えられるようになってきたのである。

この背景には、20世紀の終わりに始まったポスト産業資本主義経済への移行、いわゆる'知識社会'のおとずれがあげられる。20世紀は「モノを作れば売れる」高度成長時代であった。産業革命以降、欧米諸国は急速な近代化にともない、便利で快適な生活を「モノ」によって実現してきた。さらに、工場での生産技術を向上させ、大量に安く早く「モノ」を作ること、「モノ」は広く市場に流通し、多くの企業が右肩上がりの成長を遂げたのである。日本は、戦後わずか20年余りで先進諸国に追いつき、GDP規模で世界第二位の経済大国にまで発展したが、先進諸国と同様に今では成熟期をむかえている。国際的な経済成長の流れは、すでにBRICsへと移行しつつあるが、そのスピードはますます早まっているようだ。2020年代以降は、世界の経済バランスは、アメリカ・中国・インドへシフ

トしていくと予測されており、すでに成熟社会となった日本はその経済システムを転換せざるを得なくなったのである。

21世紀は「モノ」から「コト」の時代へ。成熟社会では、工場での大量生産による「モノ」が売れにくくなる。なぜならば、私たちの生活周辺を振り返ってみても分かるように、便利で快適な生活は、すでに多くの「モノ」によって満たされているからだ。かつて三種の神器と言われた白物家電も、その機能価値だけでは買換え需要を創出できない。高品質、省エネルギー、健康など、新たな付加価値に加え、楽しさ、美味しさなどの経験価値がヒット商品の特徴ともなっている。例えば、シャープのウォーターオーブン「ヘルシオ」は健康をテーマとした新しい調理方法を提案することで幅広い世帯の支持を集め、任天堂の「DS」は生活を楽しむ魅力的なコンテンツを独自のゲーム機で体感させることで、非ゲーム世代までも顧客として取り込むことに成功している。このような顧客の潜在ニーズをスピーディに察知しながら、新商品や新市場を開拓していくためには、今までのような研究開発部門に閉じた開発プロセスでは難しい。市場との密接なコミュニケーション、パートナーとの協業、また異分野技術の遷移なくしては、新しい価値を生み出すことはできないのである。

さらに今後は、驚き、幸せ、安心など、人間の奥深い感情や感性にふれる潜在価値が、ビジネスにおいても発掘されていくことだろう。それらの価値を発見できるのは個人の感性や想像力によるものであり、働く個人がどのようなワークプロセスで創造性を発揮するのかが、企業の成長に深く関わる時代になったといえよう。

2. ワークスタイル進化の潮流

このように創造性を標榜し、非定型で複雑なプロセスが連続する'ワークスタイル'をどのように捉えればよいのだろうか。'ワークスタイル'は、現代では企業価値を創造する重要な戦略の1つでもあるが、企業の実担当者にとっての'ワークスタイル'は、職種による単純な行

動パターンや、ツール主導の形態として考えられていることが多いのも事実だ。

例えば、「営業部門は外出が多く、管理部門は社内にいることが多い。」というように、一般的な行動パターンでワークスタイルを分析することがあるが、インターネットを通じてビジネスを展開している企業にとっては「営業部門は自席が多く」、管理業務のアウトソースをビジネスとしている企業にとっては「管理部門は外出が多い」という現象がすでにおきている。したがって、業種や職種で定型的なワークスタイルを規定することは難しく、また間違った捉え方をしてしまうとビジネス戦略を誤ることもなりかねない。

冒頭に述べたように、ビジネスプロセスは常に変化し、そのスピードも速い。このような環境下においては、ビジネス戦略に合致したワークスタイルをその都度デザインしていくことが求められる。まさに'ワークスタイル'とは目的や戦略を果たすための手段であり、状況に合わせて柔軟に変化させていくものなのである。

また、あらゆる仕事において革新性と創造性が求められるようになると、その原動力となる個人のモチベーションや内発的動機が重要になるとも言われている。働く個人が心地よく、かつ組織パフォーマンスが高まる働き方とはどのようなものか。その1つの施策として、フレキシブル・ワーキングが挙げられる。

既に多くの欧米諸国が実践しているフレキシブル・ワーキングは、時間や場所に束縛されない自由な働き方として、インターネットを基盤とする情報技術の進展により急速に世界中に広まってきた。フレキシブル・ワーキングを採用している企業の目的は、福利厚生の視点ではなく、個々のワークライフバランスを配慮することで、より高いパフォーマンスを上げてもらいたいとする経営戦略的視点によるものが多い。企業にとって人が重要な経営資源である今、その知恵を引き出すためには、個性への配慮なくして生産性を向上することは不可能だとする考え方が背景にあり、さらに企業がグローバル化するにともない、個性や民族性への配慮（ダイバーシティ）は欠かせない経営課題ともなっているようだ。

ワークライフバランスと一言にいても、地域連合かつ少子高齢化が進む欧州と、多民族国家で移民が多い米国では全く背景が違う。また、企業形態によっても状況は異なる。実際にフレキシブル・ワーキングを導入している企業を以下に挙げる。少子高齢化が進むオランダにある保険会社'インターポリス'は、そもそもワークとライフには境界が無いと考え、オフィス内に様々な日常的要素を取り込んだ。その結果、社員がオフィスを自由に使うことでコミュニケーションが活性化され、コミュニティ（組織）の求心力によって離職率が低下した。一方、グローバルに多拠点を構えるコンサルティングファーム'アクセンチュア'は、ワークスタイルの共通ガイドラインを策定している。各拠点のローカリティを考慮しながらも個人のパフォーマンスを最大化するためのガイドラインに従い、外部利用や運用策を講じて効率よくワーカー支援を行っている。

このように、同じフレキシブル・ワーキングを実践していても、それぞれの企業戦略は異なり、また地理的・社会的・文化的背景も違うため、ワークスタイルやオフィスは異なるものとなる。従って、同じワークスタイルを採用していても、企業や地域によって、その目的や戦略が異なる場合も多い。



Case1 Interpolis (Holland) / CATALYZER 03

3. ビジネス環境の変化

様々な背景と目的によってワークスタイルは進化しているが、やはりその最大の要因はビジネス環境の変化によるものであろう。前章にも少し述べたが、「モ

ノ」から「コト」へ、提供価値が移行しつつある先進諸国では、実際にどのようなビジネス環境の変化がおきているのだろうか。

現在、多くの企業が国籍も業種もボーダレスとなり、厳しい競合環境にさらされている。他社と差別化できる商品やサービスを生み出していくために、一人ひとりの創造性が最も重要な経営資源となった。ゆえに、ワークスタイルも複雑化・多様化・個別化の一途をたどりつつあるが、それだけでは企業の継続的な成長は望めない。企業がビジネスモデルを変革しながら成長を続けるためには、経営資源の柔軟かつ迅速な再配分が必要不可欠となる。ネットも含めたグローバル市場において、世界中の人たちにビジネスを仕掛けていくためには、その細かな好みや要求に答えていかなければならない。また、競争力を高めるために、研究・開発・生産・販売・保守というビジネスプロセスを、地球規模で最適化させるシナリオを描くことも重要だ。それぞれ価値観の異なる地域の市場開拓をどうしていくのか、どんな商品価値が求められるのか、どこで調達しどこで生産すればコストメリットがあるか等々、ビジネスに合わせてリソースを柔軟に組み合わせていく必要がある。

成長期は「モノ」を作れば売れる時代だったが、ポスト産業資本主義社会では、マーケットが商品の価値を決める。マーケットが望む商品やサービスを創造するためには、現場に近い社員一人ひとりの想像力、行動力、決断力がビジネスの勝敗を決めることが多い。即ち、今まで供給者視点であったビジネスモデルは顧客を中心に据えたインタラクティブ型にならざるを得ず、多様化し変化する顧客ニーズを素早く読み取りながら、想像力を働かせて商品やサービスを開発していかなければならない。

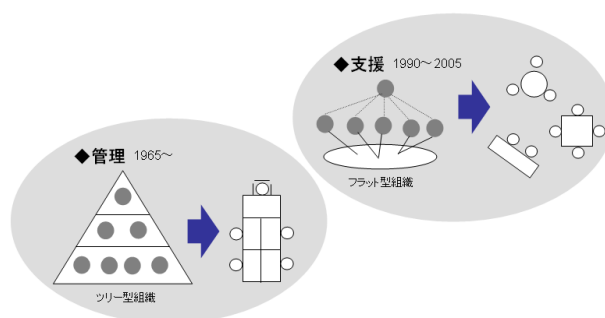
このようなビジネスプロセスの大きな変化により、事業部ありきではなく、組織横断的なプロジェクトによって、開発、製造、販売が進んでいくようになった。職種に拘わらず、スピード・クリエイティビティ・アジリティが求められ、それらを実現するための組織作りが今日の重要な経営課題となったのである。

4. 組織構造の変化とその支援環境

ビジネス環境の変化はビジネスプロセスの破壊と創造を促し、組織構造やワークスタイルにもダイナミックな変化をもたらしている。では、組織構造はどのように進化してきたのだろうか。

成長期における大量生産・大量消費という経済システムにおいては、企業は分業と効率化を追求することで高い収益を得ることができた。「モノ」を生産する機械や工場に多額の投資をし、それらを管理・統括するための働き手を組織化するには、ピラミッド型組織が最も有効で、効率的であった。オフィス環境もこれらのフローと同じく、役割を明確にし、指示伝達がすみやかに浸透するような対向島型のオフィスレイアウトが求められた。

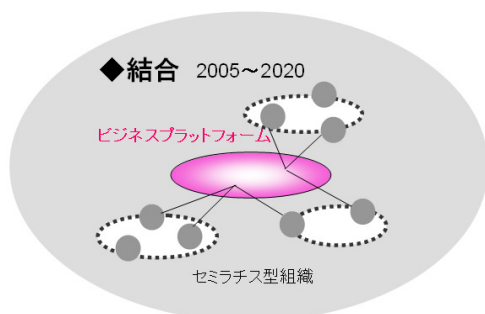
しかし、バブル崩壊後の低成長期に入ると、企業は年功序列式のピラミッド型組織を維持できなくなる。また戦略なき多角化や大規模化によって肥大化した組織も多く、コアコンピタンスに基づいたビジネスの選択と集中により、組織を再編せざるを得なくなった。また、マーケットが価値を決める成熟社会となったため、顧客起点でビジネスを創造しやすいように組織のフラット化が進んでいく。それらにともない仕事のやり方も大きく変わり、フラット型組織への移行は、管理するオフィスから支援するオフィスへと進化させた。



Model: Organization and Workspace / KOKUYO

このような背景の下、1996年頃から始まった情報技術の進化は、フリーアドレスオフィスを急速に普及させることになる。導入当初は、制度やマネジメントの改変が遅れたために失敗するケースも少なくはなかつ

たが、10年余が経過した2007年現在は、フリーアドレスオフィスを目的ではなく手段として捉えて総合的な施策を講じる傾向にあり、成功例も増えてきている（第7章の事例参照）。



Model: Organization and Workspace / KOKUYO

さらに近未来には、規制緩和やグローバル化によるビジネス環境の急変が迫っており、M&Aやグローバル規模での業界再編など、いっそう競争環境は厳しくなっていくことだろう。企業はコアコンピタンスに基づく強いビジネスを、継続的に創造し展開していかなければならない。そのためには、部門や企業の枠にとられないビジネス創出が可能な組織構造にしておく必要がある。

松下電器産業が近年取り組んでいるフラット&ウェブ型組織はその好例だ。事業部別の縦割り組織を打ち破り、プロジェクト型の仕事を連携させることで、'軽くて速い松下'に生まれ変わった。このような組織構造の変化は、企業内のみならず企業間でのビジネス連携をも促す動きとなっている。産学官のコンソーシアムやコミッティなど、今後ますます組織の流動化が進んでいくことだろう。

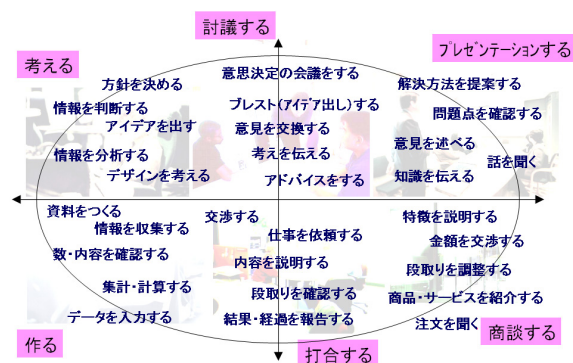
5. 行動分析からみるワークスタイル

前述したように、ワークスタイルはビジネス戦略によってその都度デザインしていくものであり、単純な行動パターンによって分類することは難しくなった。

かつてのワークスタイルは、営業部門は外出が多く、開発部門は自席での作図作業が多く、サポート部門はPC作業が多い等々…分業化されたビジネスプロセス

における特徴的な行動様式を示すことが多かった。しかし、知識集約型ワークスタイルへ転換すると、仕事そのものが定型から非定型へ、プロセスは線形から非線形へと進化し、仕事はプロジェクトベースで進められる。様々な作業が複雑に連携していくようになり、進捗度合いやメンバー構成によって仕事の内容は都度、変化するようになる。

このようにワークスタイルの多様化が進んでいるが、革新性と創造性に富んだ働き方を支援していくためには、これらを可視化し、分析していくことも重要だ。流動的ワークスタイルを支えるためには、個々のワーカが仕事の内容と相手によって作業場所を選べる環境が必要なのではないかという仮説を立て、1997年～2003年にかけてコクヨオフィスシステム霞ヶ関オフィスでワークスタイルの調査及び実験を行った。その結果、職種に依らず様々なワークスペースが必要とされていることがわかった。



Model: Work style chart / KOKUYO Office System

同実験でワーカが実際にどのような作業を行っているのかを調査したところ、多くの作業が、創造／協業型と、処理／分業型に分類することができた。そして、多くのワーカが非創造的な作業に時間をかけていたことが明らかになったのである。同時にワーカに対して、目標を達成するためにはどのような働き方をすべきかという質問をしたところ、コラボレーションやブレストなど、知恵を出し合う作業に時間をかけるべきだという回答を得た。その結果、資料作成や単なる報告や連絡に拠るミーティングを効率化し、

討議や思考や提案に時間をかけることが望ましいという結論に至った。

また、プロジェクトベースで仕事に合わせて分散して働くワークスタイルの場合、コミュニケーションとモチベーション醸成が難しくなるとの実験結果も得た。誰が何をしているのか分からない環境では、互いの信頼や関心を持ちにくい。どんなに優秀で自律したワーカーであっても、知識共有はもちろんのこと、日常的で些細なコミュニケーションと可視化の仕組みは欠かせないのである。

このように細かなワークスタイルを分析し、意識とすり合わせていくことは、「仕事のやり方を変える」という難しい経営課題を解決するためにも有効であり、結果それが組織パフォーマンスの向上へつながっていくのである。

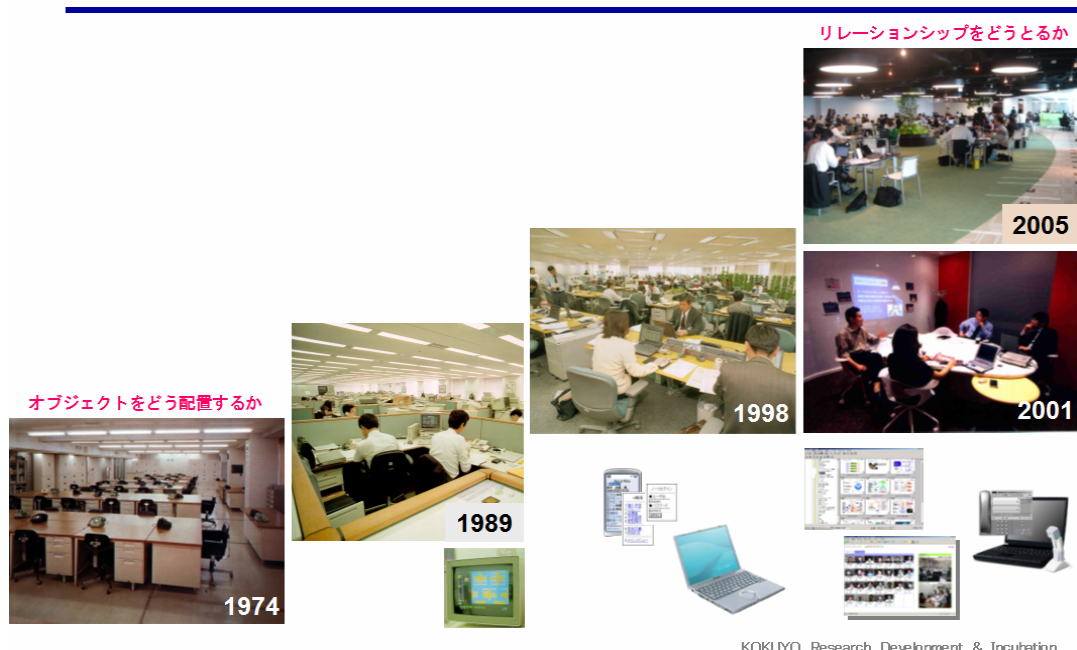
6. 日本におけるオフィス環境の変遷

このようにビジネス環境の変化と組織構造、そしてオフィス環境のあり方は時代とともに常に呼応してきた。近代日本におけるオフィス環境の大きな流れをつかむことで、未来のオフィスを考える上での参考にしたい。

近代日本におけるオフィス環境の進化は、高度成長

期が始まった60年代にさかのぼる。モノ作りを得意とする日本経済の基盤はこの時期に形成され、多くの企業が大規模工場を建設し、そのための生産管理や研究開発部門が働く場所として、オフィスも徐々に巨大化していった。当時は、主に安全性や経済性が追求され、オフィスで行われる仕事も、事務処理や調整作業に多くの時間が費やされていた。やがて、70年代のオイルショックを経て効率性が求められるようになるが、80年代のOA化という情報社会の進展によって、仕事のやり方そのものが効率化されていくことになる。そして次第に来るべきコンピューターの時代のために、情報機器とオフィス環境の融合が大きなテーマとなっていた。同時期に、当時の通産省が主導となり、ニューオフィス推進運動が始まった（1987年～）。ようやく、オフィス環境が人間の生活の場として位置づけられることになったのである。そして90年代の低成長期には組織のフラット化や事業再編の波に合わせ、オフィスでも再構築とスリム化が進んだが、やがてパーソナルコンピュータと携帯電話の実用化が進み、1997年には多くの企業で効率化やモバイルワークを目指してフリーアドレスオフィスの実験が行われた。2000年以降はオフィスの再構築と実験も一巡し、企業は成長戦略の一環としてワークスタイル変革に取り組み、そのためにオフィス環境へ投資するようになって

進化するテクノロジーとオフィス



いく。

この進化を情報技術の面から検証してみよう。左図は、1970年代～2000年代までの象徴的なオフィス環境の事例である。60～70年代は、工場の管理部門や販売部門のオフィスとして前述した対向島型のレイアウトが主流で、オフィスは主たるエレメントである机、椅子、電話、収納庫という「オブジェクトをどう配置するか」ということが重要視された。コンピューターの実現が見え始めた80年代には、システムとしてのグループウェアとワークステーションが開発され、グループアドレス型のオフィスが実験されはじめた。そして90年代は携帯電話やノートパソコンがオフィス環境の中でも重要な役割を占めはじめ、2000年以降は様々な先進的オフィスが現れる中で、「人と人、人と情報、人と物のリレーションシップをどうとるか」ということが課題となる。

このようにふりかえると、テクノロジーの進化とオフィス環境は非常に深く関わっていることがわかる。特に日本ではモバイルやセキュリティの技術が進んでおり、ワークスタイルの進化を予想しながら開発を進めてきたツールが、今ではワークスタイルの中に定着してきているようだ。

7. 先進事例からみるワークスタイル

これまで述べてきたようなワークスタイルの進化とオフィス環境のあり方を、先進事例を検証しながら整理していきたい。

【インターポリス】保険会社

ーフレキシブル・ワーキングー

冒頭にも挙げた同社は、アムステルダム郊外に本社を置き、少子高齢化が進むオランダにおいて積極的にフレキシブル・ワーキングを導入している。仕事と生活や遊びにはそもそも境界がないと考え、「オフィス内を遊びや生活の場としても利用して欲しい」という理念のもとに個性豊かなオフィスを展開している。ティボリと呼ばれるスペースには8つの個性的なクラブ・ハウスがあり、そこで社員たちは、働き、集い、

語らい、食事をする。自由と規律を重んじるオランダらしいオフィスへのアプローチであるが、全館無線LANおよび書類のデジタル化により、どこでも自由に仕事ができるオフィス環境を実現しているため、生産性も上がっているという。

【ソフトバンクテレコム】通信業その他

ーペーパーレスとオンデマンドオフィスー

通信業からソリューション事業へとビジネス転換するため、2005年の移転を機にワークスタイル変革とそのための支援環境としてのオフィス構築を行った。スピードと創造性の向上を求めて、プロフェッショナルワーカーのための全館ノンテリトリアルオフィスを実施。全館無線LANに加えて、個人収納はファイルボックス1つ未満かつプリンターはフロアに2台程度という徹底したペーパーレスにも取り組んでいる。また、創造のためにはコラボレーションが必須と考え、社内の随所にスクリーンやモニタを設置し、パソコンを持っていつでも誰とでも自在にコラボレーションが行える環境を整えている。オフィス内はマーケット、パーク、スクエアと呼ばれる趣の異なるエリアがあり、社員はその日の気分や仕事に合わせて場所を選ぶことができる。社外でも社内と同様に仕事ができる情報インフラや人事制度が整備されている一方で、能力開発やコーチングのための教育施設が同オフィス内にあり、分散するからこそ人材教育には特に注力している。



Case2 Softbank Telecom(Japan) / CATALYZER 01

【インテージ】マーケティングリサーチ

ーナレッジシェアとブロードバンドオフィスー

今まではビジネスプロセスの一端であったマーケティング機能を、顧客を中心とした統合的なソリューションとして提供するために、ワークスタイル変革とオフィス構築を行った。2005年秋葉原への統合移転を機に、顧客との距離を縮め新しい知を提供する場としてオフィスを位置づけ直した。また同時に、仕事のやり方を抜本的に変える'I-style プロジェクト'を立ち上げ、新しい同社のワークスタイルを社員一人ひとりに浸透させることに取り組んでいる。顧客や社員と知を共有しコラボレーションすることによって新たな知を生む仕組みを、オフィスを通して体现できるようにした。また、ネットワークを介しての情報共有が進むほど、フェイス・トゥ・フェイスのコミュニケーションが重要だと考え、オフィス内に様々なコラボレーションの場を設けている。全館ノンテリトリアルオフィスを採用し、交流と柔軟性を重視しているが、変形デスクを採用するなど、個人の集中を妨げないような配慮もしている。



Case3 Intage (Japan) / CATALYZER 04

【ユニクロ】衣料メーカー及び販売

ーチーム・ワーキングと見える化ー

創業より急成長を続けてきたが、組織が肥大化し、分業化が進んでいく中で、ユニクロらしさが失われているのではないかと危機感を感じ、2006年の移転を

機にワークスタイルとオフィスの改革に着手した。創業当時はプロジェクトベースで席に座る暇も無くチームで協働作業を進めていたことに立ち返り、新しいアイデアやビジネスを生むために、席を固定しないフリーアドレスオフィスを導入した。企画・開発・営業・デザイナーが職種に依らずチームを組んでダイナミックに仕事を進めることで、機動性や創造性を高めている。また、大組織では、誰がいつ何をしているのかが分かりにくいいため、食堂とビジネスミーティングエリアを隣り合わせる、擬似店舗をオフィスの中央に設けるなど、商品・人・仕事の'見える化'に取り組んでいる。



Case4 UNIQLO(Japan) / JOS 2007

8. 進化するワークスタイルを支援する未来オフィス

以上、4つの先進事例を取り上げたが、これらの事例をヒントとし、未来のオフィス像について考察する。

【リアルとバーチャル】

第6章で述べた「オフィス環境の変遷」にもあるように、マーケットはインターネット上に広がりつつあり、ビジネスプロセスや交流の機会も、リアルとバーチャルな場に混在している。業種や職種に拘らず、どのようなビジネスモデルに進化させていくかによって、リアルとバーチャルを使い分け、また連動させていく必要がある。今はまだ、あらゆる仕事の局面でリアルとバーチャルが分断されていることが多いが、刻々と変

わるワークプロセスを支援できるような柔軟かつ運用コストの安価なグループウェアが求められていく。

【個別性の重視】

企業がグローバル化するに伴い、社員のダイバーシティは欠かせない視点となる。実際にグーグルの社員は世界中に分散しているが、個別性やローカリティを重視することを大前提としている。個々人の創造性を十分に発揮してもらうためにも個別性は重要な視点であるが、コストや効率が優先されるオフィス環境において個別性への配慮は非常に難しい。フリーアドレスオフィスでは自席がないため、「自分好みの仕事環境」を作ることは出来ないが、お気に入りの場所を作ることとは可能だ。インターポリスでは8人のデザイナーにそれぞれクラブ・ハウスのデザインを依頼したが、デザインに多様性を持たせることも有効なのではないか。また、バーチャル上のデスクトップや制度面では個別性への要求は高まっていく。

【プラットフォーム化】

プロジェクトベースで仕事が進み、組織が流動化していくことで、組織マネジメントは中央集権型ではなく自律分散型へ向かう。組織は個人の自律性や自発性を求めるものの、組織全体を活性化させシナジーを発揮させるためには求心力も必要不可欠だ。ビジネスに合わせて組織やリソースは俊敏に組み替えられていくが、知恵や愛着や経験などを組織の中に担保していく仕組みが必要となる。未来はこの無形資産が企業のブランド価値となり、また、ビジネスを実現するために人が集まるプラットフォームとなる。

【コミュニティ形成】

流動化する組織ではコミュニケーションチャンネルが形骸化し、情報が流れにくくなるという弊害が起こる。特に、組織のフラット化により、人脈ネットワークを形成していた中間管理職が機能しなくなることで、新しいコミュニケーションチャンネルを作っていく必要がある。万人につながるネットワークから、趣味や興味レベルでつながるセミクローズなコミュニティへ。仕

事とは違う側面でのつながりや共感が結束力となり、情報や知恵の流れを活性化させる。

【ソーシャルスペース】

組織の枠組みが曖昧になり、さまざまなビジネスパートナーとプロジェクトベースで仕事を進めるようになる。企業内セキュリティを超えて情報や時間を共有する場が必要になる。プロジェクトルームというクローズな空間やストレージだけではなく、プロジェクトが発生する前後に、組織を超えたメンバーが交流できる場所が必要となる。最近では六本木のアカデミーライブラリを基地とするビジネスリーダーも増えているが、今後は都市の中にもそのような場が求められていく。

【人、物、コトの可視化】

ユニクロの例で顕著のように、現在すでに「可視化」が重要なキーワードとなっている。誰がいつ、誰とどんなプロジェクトに関わっているのかを見せることは、仕事をする上で重要な情報源となる。自分が仕事で困ったときに、誰に聞けばよいのかが分かるうえに、お互いがどんな仕事の仕方をしているのか理解することで、信頼関係も生まれる。また、顧客に見せることで、ファン作りやブランディング効果もある。より良い組織文化を作っていくためにさらに重要となるだろう。

【ドキュメントのフローとハンドリング】

フリーアドレスとIT化の流れにより、ペーパーレスが進んでいる。しかし、フリーアドレスを実施している企業でも実際には紙の使用量は激減していないとの報告がある。紙の可読性はさることながら、ワークスタイルという視点で検証してみると、そのハンドリングの良さが評価されている。今後ますますデジタルファイリングが主流になっていくと思われるが、相手に渡す、移動中に読む、一覧できる、など・・・情報がプロジェクト上でフローするプロセスでは紙の利便性は変わらない。紙とデジタルの行き来ができるファイリングシステムが必要になるだろう。

【プロジェクトプロセスの開示】

プロジェクトベースで仕事を進めるようになると、そのプロセスはメンバー内に閉じられてしまうことが多い。同じような失敗をする、新しいメンバー同士だとスタートに時間がかかる、マネジメントがしにくい、など様々な弊害がおきつつある。ネットワーク上でのプロセス開示も重要だが、社員が行き来するオフィス空間でさりげなく情報開示し組織全体の様子を俯瞰することも有効なのではないか。あふれる情報をすべてネット上で検知することも限界があり、人間の身体による認知能力を活用した情報共有の仕組みも注目されていくことだろう。

9. おわりに（次世代オフィスの展望）

最後になるが、コクヨオフィス研究所が2005年に発表した次世代ワークプレイスのコンセプトモデル『エラスティック・ワークスペース』を以下に示す。

このモデルは2010年を想定し、プロジェクトベースで創造的に仕事を進めるプロフェッショナルチームのワークスタイルを支援するためのオフィス環境である。プロジェクトメンバーはそれぞれ基地を持ちながらもプロセスによって活動拠点を移動させ、ワークスタイルは時には分散していく。そんな各個人のワークスタイルを'つなぐ'ための仕組みである。リアルとバーチャ

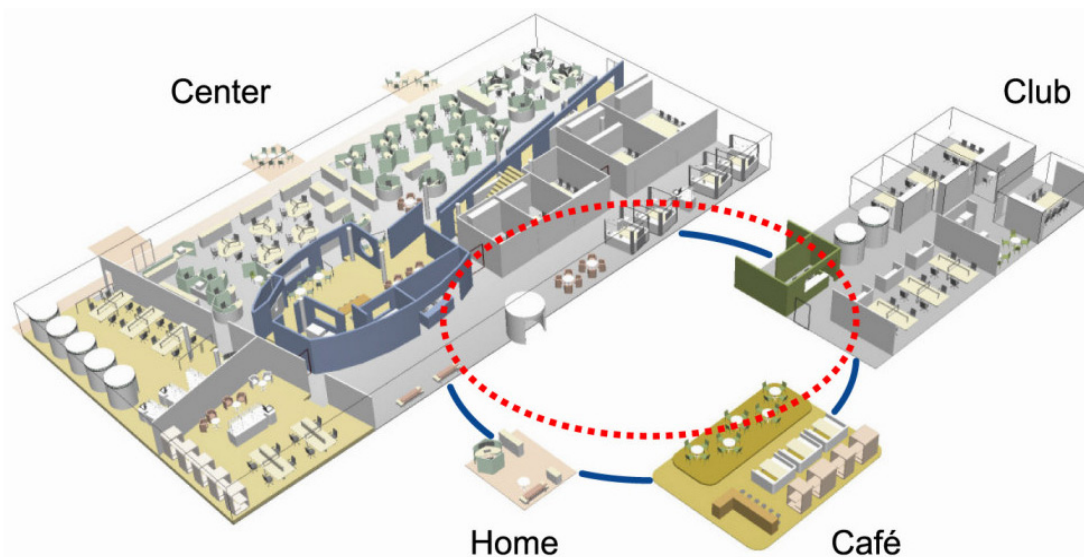
ルを上手く混在させることで、どこにいても社内にいるのと同じように仕事ができる環境が実現できれば、複雑な作業の連携であっても上手く進めていくことができるかもしれない。

また、実証実験ではさまざまな情報をITによって'つなぐ'ことを試みた。離れているメンバー同士にとっては、遠隔ミーティングや共同作業の潤滑化だけではなく、相手の背後にただよう文脈情報の共有も欠かすことはできないのではないか。どんなにバーチャル空間が進歩しても、人間が五感を使って敏感に察知する感覚的な情報の存在もまた重要である。

同実験では、メンバー同士の気配、しぐさや行動の癖、独り言、休憩モードかどうか等、いくつかのプロトタイプツールを使って文脈情報を共有してみた。組織が流動化し仕事が混在するオフィスにとって、メンバーを引き寄せ、交流させるしかけは、未来オフィスでは必須となるかもしれない。

参考文献

- 1) The Future of Work (Thomas W. Malone)
- 2) 日本企業を強くする組織学習装置 (高木晴夫)
慶應義塾経営管理学会リサーチペーパー No.92
- 3) CATALYZER 01.03.04
(Office Research Institute, KOKUYO CO., LTD.)
- 4) ECIFFO 35
(Office Research Institute, KOKUYO CO., LTD.)



技術論文

TECHNICAL PAPERS

解像度低下抑制機能を有するホール輸送材料（ASドナー）の開発

Hole Transport Materials with Resolution Maintenance Function for Organic Photoreceptor

島田 知幸* 池上 孝彰**

Tomoyuki SHIMADA Takaaki Ikegami

要 旨

電子写真方式における有機感光体の解像度低下の原因は、主に帯電器などから発生する酸性物質によるものである。したがって、この対策には酸化防止剤が感光層中に添加されている。しかしながら、一般的な酸化防止剤の添加では、感度低下や残留電位上昇といった電子写真特性への副作用を引き起こすので、画像品質と更なる長寿命化を両立させるためには不十分である。このことから、われわれは酸除去（Acid Scavenge）機能をもち、かつ電子写真特性に悪影響を与えないホール輸送材料であるASドナーを新たに開発した。ここでは、ASドナーの最適分子構造検討と、これを用いた有機感光体の特性について報告する。

ABSTRACT

The resolution degradation of an organic photoreceptor is caused by acid materials which mainly generate from the charger etc. in an electrophotographic system. The antioxidant is added in the photoconductive layer to solve the superscription problem. However, since the addition of general antioxidant causes the side effects for electrophotographic characteristics, such as decreasing sensitivity and increasing residual potential, it is difficult that high image quality could be compatible with longer shelf life. Therefore, we have developed new hole transport materials (AS donor) which have acid scavenge function and do not have a bad influence upon the electrophotographic characteristics. In this paper, we discuss about optimum molecular structures of AS donor and report the characteristics of organic photoreceptor including AS donor.

* 研究開発本部 先端技術研究所

Advanced Technology R&D Center, Research and Development Group

** 画像エンジン開発本部 機能材料開発センター

Functional Material Development Center, Imaging Engine Development Division

1. 背景と目的

近年、電子写真装置に用いられている有機感光体は、その耐久性の進歩が目覚ましく、カラー軽印刷市場向けの高速機にまで適用範囲を広げつつある。このような市場で用いられる有機感光体には高い信頼性確保のため耐摩耗性を著しく付与する必要があり、表面保護層を設置するなどの検討がなされている¹⁾。しかしながら、低摩耗にした有機感光体は、帯電部から発生する窒素酸化物（NO_x）などの酸性物質の表面残留蓄積が著しく、表面抵抗の低下による解像度低下の画像問題が起りやすくなる^{2, 3)}。われわれもアルミナ微粒子を保護層に分散させたFR-OPC（Filler-Reinforced OPC）感光体⁴⁾の採用により大幅な耐摩耗性の向上を実現したが、酸性ガス雰囲気下において解像度低下を誘発しやすいという課題があり、更なる高耐久化を検討する上での懸念事項となっていた。このような解像度低下への対策としては酸化防止剤の添加があり、特にヒンダードアミン系光安定化剤などのアミン系化合物の添加が効果的であることが知られている⁵⁾。この抑制要因は塩基性のアミン部位による酸性物質の中和効果であると考えられる。しかしながら、従来からのアミン系酸化防止剤の添加では光感度の低下、残留電位上昇等の副作用を引き起こすため多量に添加することはできず、今後要求されるハイボリュームプリントに対応できる安定性、信頼性を得ることは難しい。このことから、われわれはコンビナトリアルケミストリー手法を用いて様々な第三級アミン系酸化防止剤を合成、評価し、解像度低下抑制機能を持ち、かつ電子写真特性に悪影響を与えない最適アミン構造の探索を試みた⁶⁾。その結果、分子中のアミン置換基構造により解像度低下抑制効果は異なり、電子写真特性と解像度低下抑制効果の両方を満足するアミン構造は限定されることがわかった。

そこで、われわれはこの知見をもとに解像度低下の原因である酸性物質を除去（Acid Scavenge）する機能を持ち、かつ電子写真特性に悪影響を与えない第三級アミン系ホール輸送材料（ドナー）をASドナーと名付け、その最適分子構造の探索をおこなった。ここでは

ASドナーの最適分子構造検討とこれを用いた有機感光体の特性に関し報告する。

2. 実験

2-1 感光体作製

一般的な機能分離型の有機感光体ドラムの上に、ASドナー、主なホール輸送を担う材料（メインドナー）としてFig.1に示す α -フェニルスチルベン化合物、ビスフェノールZタイプ・ポリカーボネートが1：7：10（重量比）の組成にアルミナ微粒子を添加した厚さ約5 μ mの保護層を設け、評価用FR-OPC感光体を作製した。

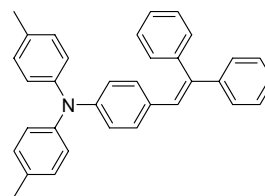


Fig.1 Structure of α -Phenylstilbene compound.

2-2 特性評価

光感度特性は自社開発のLBPシミュレータにて測定した。測定条件は、線速160mm/sec、露光～現像時間100msec、解像度400dpi、除電光40 μ Wである。

酸性物質による解像度低下評価はNO_xガス暴露試験装置にてNO/NO₂=40ppm/10ppm（Total 50ppm）の濃度で1日間感光体を暴露し、暴露終了直後、RICOH imagio MF2200にて画像を出力し、ライン解像力（line/mm）の平均を出した。

ドナーの酸化電位（E_{ox}）はポテンショスタットを用い、サイクリックボルタメトリーにより測定した。三電極式セルを使用し、電極は作用電極と対極に白金を、参照電極には飽和カロメル電極を、また、電解液は支持電解質として過塩素酸テトラ-n-ブチルアンモニウムを含む0.1Mアセトニトリル溶液を用いた。

各ASドナーのアミン部位の静電ポテンシャル計算は、半経験的分子軌道法計算（MOPAC2000）によりおこなひ、計算手法としてPM5法を使用した。

3. 結果と考察

3-1 ASドナー分子構造

数十種類におよぶ様々な分子構造のASドナーに関して評価、解析をおこなった。アミン構造の中でもトリアルキルアミン構造は高い解像度低下抑制効果を示した⁶⁾。しかしながら、この構造をもつASドナー（Fig.2）は空气中で容易に酸化され、変質しやすいものであった。また、これらを添加したFR-OPC感光体は静電疲労にともなう電子写真特性の悪化が非常に大きかったため、トリアルキルアミン構造は開発の初期段階で検討対象外とした。このことから、物質としての安定性と良好な電荷輸送能を持たせる意味からアリールアミン構造を⁷⁾、また、解像度低下抑制機能の意味からアルキルアミン構造をASドナーの必須構造単位と考え、最適分子構造の検討をおこなった。

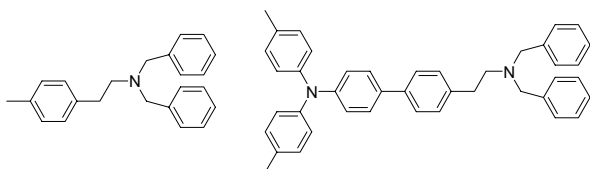


Fig.2 Example of trialkylamine derivatives.

当初は高い電荷輸送機能を持たせるため分子構造中にトリアリールアミン構造を導入し⁸⁾、かつ解像度低下抑制効果のあるジアルキルアミノ基を置換させて、電荷輸送機能と酸除去機能をそれぞれの構造に担わせた構造を検討した。すなわちFig.3(a)に示すような分子構造のASドナーである。これらはジアルキルアミノ基の導入により解像度低下抑制には大きな効果があったが、期待に反して光感度特性は悪い結果であった。電荷輸送能を担うアリールアミノ基と解像度低下抑制能を担うアルキルアミノ基を、一つのアミン部位が併せ持った分子構造のFig.3(b)に示すASドナーの評価から、

メインドナーとの混合系においては、高感度発現のためにはトリアリールアミン構造はASドナーの必須構造単位ではないとの見解が得られた。

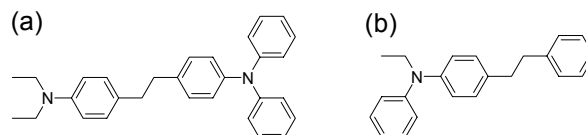


Fig.3 Example of AS donor molecular structures.

3-2 解像度低下抑制効果

Fig.4にはASドナー分子構造中のアミノ基の置換基種とNOx暴露後のライン解像力の関係を示した。ただし評価機のライン解像限界は5.6 line/mmである。

アミノ基の置換基により解像度低下抑制効果は異なり、その効果はジアルキルアミノ基>ベンジルアルキルアミノ基>ジベンジルアミノ基>アルキルアリールアミノ基>ジアリールアミノ基の順であった。

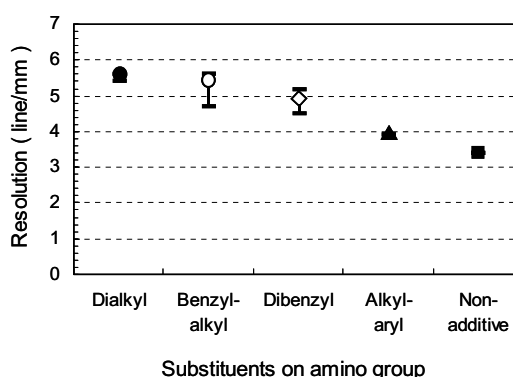


Fig.4 Relationship between resolution after NOx exposure and substituents on amino group.

この要因を解析するため半経験的分子軌道法計算により各アミン部位の静電ポテンシャル値を計算した。NOx暴露後ライン解像力との関係をFig.5に示す。

静電ポテンシャルとは簡単には「ある分子のまわりに+1価の電荷を位置させたときにその電荷を感じるポテンシャルエネルギー」のことである。この負の領域の大きさによりプロトン化エネルギー、すなわち塩基性の強弱を定性的に予測することができる。負の絶対

値が大きいほど塩基性が強い。したがってFig.5からはアミン部位の塩基性が強いものほど解像度低下抑制効果が高いことがわかる。また、先ほどの解像度低下抑制効果の順は、アミノ基の塩基性の強弱と関連づけられることがわかり、解像度低下抑制効果はアルキルアミノ基>ベンジルアミノ基>アリールアミノ基の順序で高いといえる。

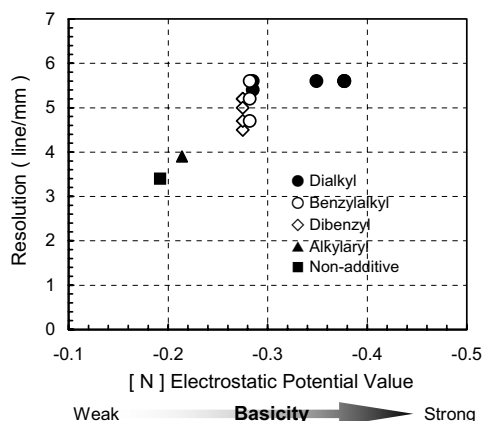


Fig.5 Plots of resolution after NO_x exposure versus calculated value of electrostatic potential at amine position.

3-3 光感度特性

Fig.6に代表的なASドナーを添加した感光体の光感度特性を示した。添加したASドナー種によりその光感度特性は大きく異なり、ほとんど光感度を示さないものも見受けられる。これはメインドナーとASドナーとの混合ホール輸送材料系で感光層を形成しているためである。ドナー混合による輸送特性の変化は多数報告されている^{9), 10)}。混合ドナーの電荷輸送性は、一方がエネルギー的なトラップサイトとして作用するとホール移動が妨げられ、副作用として感度劣化をきたす場合がある¹¹⁾。すなわち、光感度特性の悪化を防ぐためにはメインドナーとのエネルギーレベルのマッチング、言い換えればASドナーが移動ホールの深いトラップサイト形成をしないことが重要である。

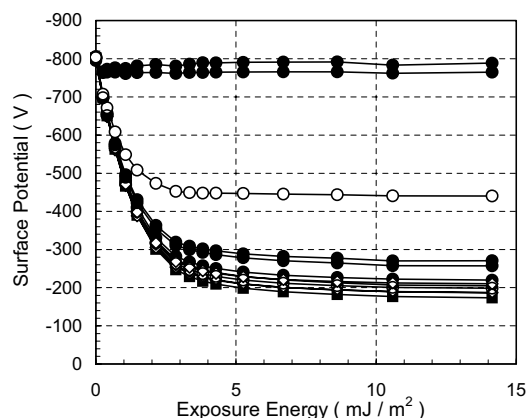


Fig.6 Photo-induced discharge curve of various organic photoreceptors including AS donor.

Fig.7には各ASドナーの酸化電位 (E_{ox}) とLBPシミュレータ特性でLD露光エネルギー4.5mJ/m²における露光後電位 (VL) との関係を示した。グラフ中の縦線はメインドナーのE_{ox}、横線はASドナー無添加感光体のVLレベルをあらわしている。

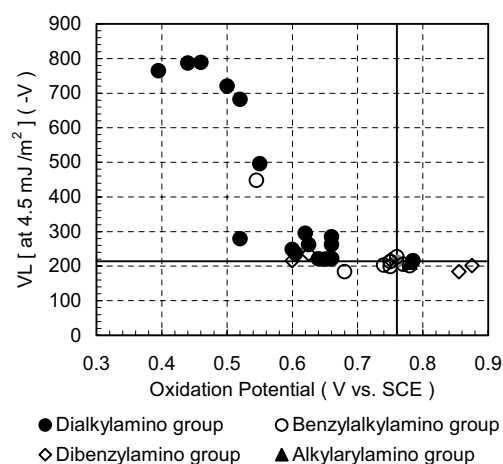


Fig.7 Relationship between AS donor oxidation potential and VL.

なお、E_{ox}はイオン化ポテンシャルと直線的な相関関係があることが確認されている¹²⁾。したがって各ASドナーのE_{ox}の関係は、HOMOエネルギーレベルと相関関係にあると考えることができる。メインドナーのE_{ox}よりも約0.2 (V) 以上小さな値のASドナー添加は光感度特性の悪化をまねくことがわかる。これは先ほ

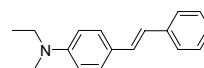
ど述べたようにASドナーがメインドナーのホールトラップとなり、ホール移動を阻害したためと考えられる。また、アミノ基の置換基の種類によりASドナーのEox値は左右される。ジアルキルアミノ基のように塩基性の強い、すなわち解像度低下抑制効果の高い基を分子構造中に有するASドナーのEox値はメインドナーの値よりも小さくなるものが多く、光感度特性を悪化させる傾向にある。このことから解像度低下抑制機能と光感度特性とはトレードオフの関係があると思われる。

しかしながら、分子構造中にジアルキルアミノ基を有するASドナーの中にもEox値は大きく、感度特性を悪化させないものも見受けられる。これはアミノ基の置換基種以外にEox値に影響をあたえる分子構造因子があることを意味する。置換アミノ基は強いメゾメリー効果(+M効果)を有する置換基であるので、これが二重結合基や芳香環等の π 電子共役系骨格の共鳴位に置換されると分子全体のEox値は非常に小さくなることが考えられる。以下のFig.8に示した分子構造例に従いASドナーを共鳴系、非共鳴系に分類し、Fig.7と同様にそれぞれをプロットしたのがFig.9である。

置換アミノ基が π 電子共役系骨格の共鳴位に置換されていない非共鳴系のASドナーはメインドナーのエネルギーレベル近辺に散らばっており光感度にほとんど影響を与えない。一方、共鳴系のASドナーはすべてメインドナーよりも小さなEox値であり、光感度が著しく悪いものが多いことがわかる。よって、置換アミノ基と π 電子共役系骨格とが広い共鳴構造を形成しないASドナーがメインドナーとのマッチング性に優れるといえる。

ただし、これらは前記Fig.1に示したメインドナーの α -フェニルスチルベン化合物に対するASドナーのマッチング性に関するものである。メインドナーの種類、分子構造が異なる、すなわちホール輸送のエネルギーレベルが変われば当然マッチングするASドナーも変わってくる。

(a) Resonance type



(b) Non-resonance type

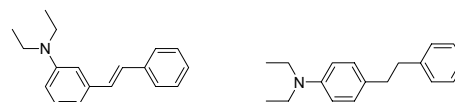


Fig.8 Example of AS donor molecular structures.

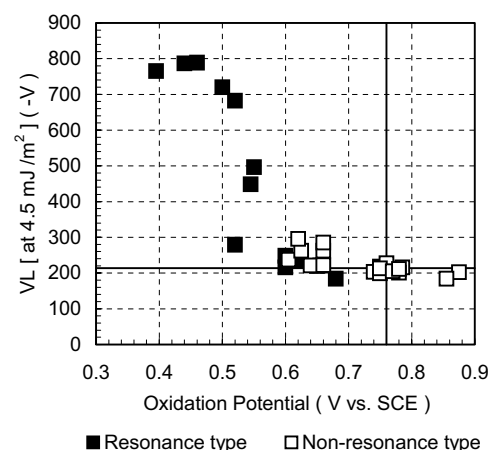


Fig.9 Comparison of resonance type and non-resonance type.

4. まとめ

検討結果から以下の知見が得られた。

ASドナーの解像度低下抑制効果はアミン部位の塩基性が強いものほど高く、アミン置換基種としてはアルキル基>ベンジル基>アリール基の順であった。一方、電子写真特性においては逆にアミン部位の塩基性が強いものほど光感度が低下する傾向であり、アルキル基<ベンジル基<アリール基の順であった。このように解像度低下抑制効果と光感度特性はトレードオフの関係といえる。

また、混合ドナー系での感度悪化を避けるためにはメインドナーとASドナーのエネルギーレベルのマッチングが必要であり、ここで用いたメインドナーに対しては置換アミノ基と π 電子系共役骨格が広く共鳴しない構造が良好な特性を示した。

以上のように、解像度低下抑制効果と光感度特性はトレードオフの関係であるため、アミン置換基の種類、組み合わせ、更には基本骨格の最適検討をおこない、以下のASドナー分子設計指針を得た。また、Fig.10には最適ASドナー分子構造のイメージ図を示す。

ASドナーの解像度低下抑制効果と光感度特性（メインドナーとのマッチング）の両立には

- i) アミン部位の三つの置換基としてアルキル（もしくはベンジル）基、ベンジル基、及びアリール基の組み合わせが良い。
- ii) アミン部位と π 電子共役系骨格とで広い共鳴構造を形成しない。

が重要なファクターであることがわかった。

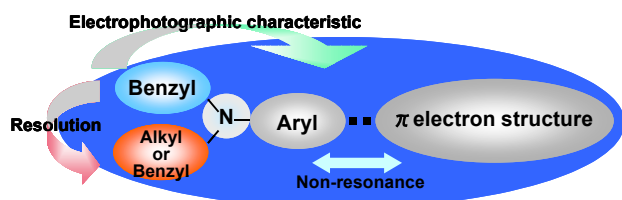


Fig.10 Image figure of optimum AS donor.

われわれはこれらの分子設計指針により、Fig.11に示すASドナーを開発し、実用化した。これにより電子写真特性を損なうことなく従来に比べて酸性物質による解像度低下を抑制することに成功し、FR-OPC感光体の大幅な信頼性向上を実現した。このFR-OPC感光体はデジタルフルカラー複合機RICOH imagio MP C2500, およびその後のシリーズ機に搭載されている。

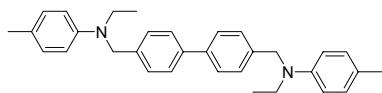


Fig.11 AS donor used practically.

参考文献

- 1) 伊丹明彦, その他: 超高耐久感光体 (メガ OPC) の開発, KONICA TECHNICAL REPORT, 14, (2001), pp.43-46.
- 2) D. S. Weiss : Surface Injection in Corona-Charge Molecularly Doped Polymer Films, J. Imag. Sci. Technol., 34, (1990), pp.132-135.
- 3) 小林稔幸, その他: 有機光導電体の解像度低下機構, Japan Hardcopy '94 論文集, (1994), pp.237-240.
- 4) S. Nohsho, et al. : A High-Endurance Organic Photoreceptor Having a Filler-Reinforced Layer, Proceeding of NIP22 : International Conference on Digital Printing Technologies (Denver, Colorado, USA), (2006), pp.4-7.
- 5) 伊丹明彦, 桑原美詠子: OPC の解像度に及ぼす窒素酸化物の影響, KONICA TECHNICAL REPORT, 13, (2000), pp.37-40.
- 6) 田中裕二, 島田知幸, 池上孝彰: コンビナトリアルケミストリー手法を用いた OPC 酸化防止剤の開発, Japan Hardcopy 2003 論文集, (2003), pp.173-176.
- 7) 高橋隆一, 舩林成和, 横山正明: 有機光導電体材料におけるキャリア輸送能向上のための分子設計, 電子写真学会誌, 25, (1986), pp.236-242.
- 8) 吉川雅夫, 橋本充: 含アミン化合物の移動度測定, 電子情報通信学会技術研究報告, 89, (1989), pp.55-59.
- 9) D. M. Pai, J. F. Yanus and M. Stolka : Trap-Controlled Hopping Transport, J. Phys. Chem., 88, (1984), pp.4714-4717.
- 10) 金光義彦: 光導電性ポリマーのキャリア輸送, 電子写真学会誌, 32, (1993), pp.60-71.
- 11) 藤野正家, 三川礼, 横山正明: 光導電性ポリマーにおけるキャリア輸送, 電子写真学会誌, 23, (1984), pp.86-100.
- 12) T. Shimada, et al. : Electron-Transfer Process in Layered Photoreceptors Containing Azo Compounds, Bull. Chem. Soc. Jpn., 73, (2000), pp.785-793.

外部応力型錫ウィスカーに関する考察

Study about Tin-Whisker under the Condition of Outer Stress

藤田 滋*

Shigeru FUJITA

河合 栄二*

Eiji KAWAI

宮武 直**

Sunao MIYATAKE

花野井 隆**

Takashi HANANOI

要 旨

2006年7月施行のEU-RoHs指令の鉛フリー化活動において世界的な課題である外部応力型錫ウィスカー対策に関する研究内容である。電子機器の神経回路を形成するFFC並びにコネクタ部品の接触部に発生する錫ウィスカーは、回路の短絡事故を惹き起こした事例が報告されてきた。錫ウィスカーは、その発生モードから(1)内部応力型と(2)外部応力型に大別される。前者の発生メカニズムはほぼ定説化されている。一方、後者はこれまでメカニズムは未明であった。背景としては対象物が多岐に亘ること、また再現性が乏しく、実験検証が極めて困難であることによるものである。著者らはウィスカー発生傾向、結晶解析、応力解析などで有機的に現象解析作業を実施し、モデルを構築した。本報告では、FFCとコネクタ嵌合部において金属間化合物Cu₆Sn₅の壁に純錫めっきが閉じ込められ、高い圧縮応力場が形成される。応力勾配に沿って錫原子が短時間で表面に押し出されウィスカーが成長する、応力緩和時に伴い成長が停止するモデルを紹介する。

ABSTRACT

The external stress type tin whisker is studied, which is a worldwide problem in the lead-free activity of the EU-RoHs instruction of enforcement in July 2006. The short-circuit accident induced by tin whisker has been reported about various kind of products, in the contact parts of FFC and the connector parts that form the nerve system of an electronic equipment. According to the generation mode, the tin whiskers are roughly classified to (1) the internal stress type and (2) the external stress type. The generation mechanism of the former is almost established. On the other hand, the latter mechanism is not clear, because the problem relates to many topics, the reproducibility is insufficient and the experimental verification is very difficult.

We analyze the phenomena considering the whisker generation tendency, the crystal analysis, and the stress analysis, etc. and proposed model. In this paper, the whisker growth model in connector engagement part are described.

* 研究開発本部 基盤技術研究所

Core Technology Research Center, Research and Development Group

** MFP事業本部 QAセンター

Quality Assurance Center, MFP Business Group

1. 背景と目的

鉛フリー化に伴いめっき表面から発生する針状の錫ウィスカーは成長して隣接する電極間に跨り短絡事故を惹き起こした事例が報告された。2003年頃から、電子部品メーカーで構成される業界団体JEITAではEU-RoHs指令の鉛フリー化に向けて錫ウィスカー対策作業を進めてきた。しかし2006年7月施行までに完了できないとの危機感から2005年2月に「JEITA鉛フリー化完遂緊急提言 報告書」の中で下記の声明を出した。

「錫系メッキを使用する限り、錫ウィスカーの発生はゼロとはならないためセットメーカーが構造、アプリケーションを考慮し個別に規格を設定する必要がある」その声明を受けて、セットメーカーは、各社独自に現象解明を急ぎ、納入メーカー選定・仕様決め作業に拍車をかけた。

錫ウィスカー（以下、ウィスカーと表現する）は、その発生モードから①内部応力型と②外部応力型に大別される。前者①の発生メカニズムはほぼ定説化されている。即ち、錫めっきと基板の界面に形成される金属間化合物層Cu₆Sn₅の成長に伴う圧縮応力を駆動力とする説である。エネルギー緩和現象として、拡散錫原子が結晶粒界を押し上げてウィスカーとして成長する。

（文献1, 2, 4）一方、後者②は対象物が多岐にわたり且つ再現性が乏しく、実験検証が極めて困難であるため学会、業界の鋭意研究を以ってしてもメカニズムは未解明であった。

この現状を鑑み、電子機器の神経回路ともいえるデータ通信用のFFCとコネクタ嵌合部（Fig.1）におけるウィスカー（Fig.2）を最重要視した。本報告ではウィスカー発生傾向、結晶解析、応力解析など総合的な現象解析の結果を紹介する。

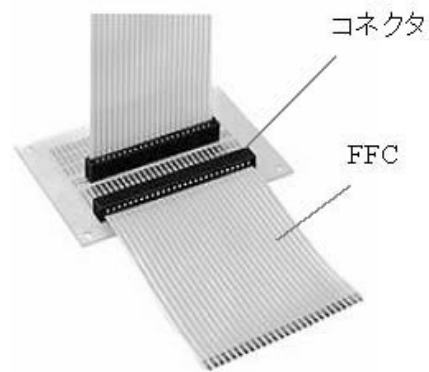


Fig.1 Outlook of FFC & Connector.

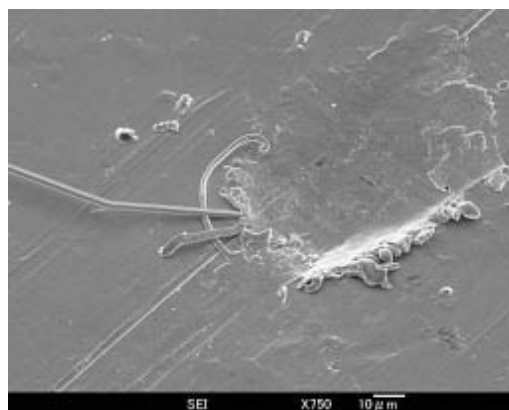


Fig.2 Example Tin Whisker on the FFC (FFC : Flexible Flat Cable).

2. 技術

2-1 解析概要

予備実験と文献調査で判明した疑問を掲げ、これらを総合的に説明できるモデル提唱を研究目標とした。外部応力型の錫ウィスカーの特徴を列挙する。

- 1) 自然型に対して、成長速度が10000倍以上速い。
- 2) 複雑多岐なウィスカー形状をしている。
- 3) コネクタ／FFCの組み合わせの違いで発生率が変化する。
- 4) 室温状態の方が発生しやすい。

2-2 解析方法

2-2-1 解析手順

解析手順をFig.3に示す．外部応力型ウィスカーを考察するには嵌合部での現象をミクロからマクロまで総合的にデータ化する必要がある．特に嵌合系の固有現象を整理，定量化することが極めて重要であると考えた．応力解析計算も必須である．

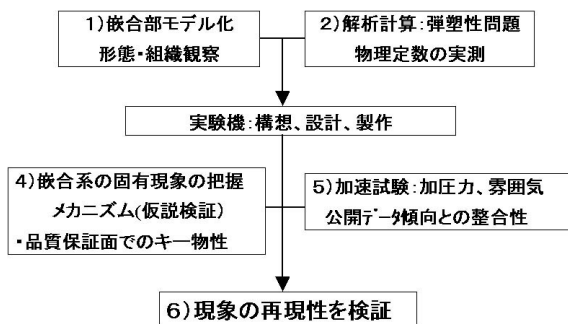


Fig.3 Procedure of study.

2-2-2 現象把握

現象把握の予備ステップとして，FFCとコネクタの嵌合部の形態観察を実施した．

- (1) 予備観察：レーザ顕微鏡とSEMで表面凹凸状態とFFC長手方向の変形を調べた．変形モードをFig.4aに模式化する．また観察結果をFig.4bに示す．嵌合部はコネクタ周辺が隆起しながら，全体としては基板も含め湾曲している．嵌合領域は0.3um深さである．隆起部の体積は嵌合痕体積の約10%であった．典型的な弾塑性変形モードであることが判った．更に，嵌合部の錫めっき表面は無数の線状痕とマイクロクラックが認められた．周辺の隆起部にはめっきの擦れ屑も付着している．

予備観察をもとに，以下(2)から(9)の各解析方法で本格的な解析を実施した．

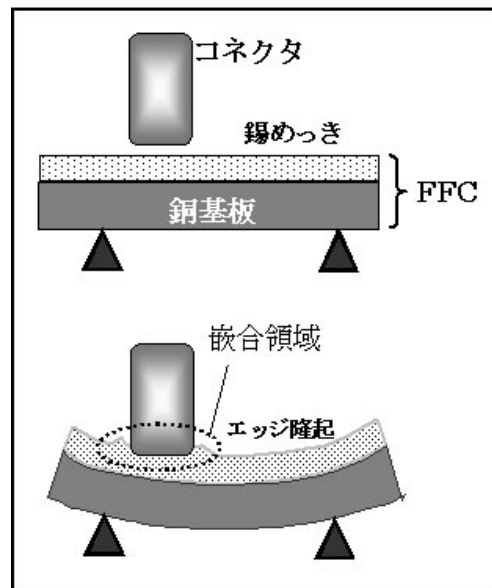


Fig.4a Model of Tin Whisker derived from outer force.

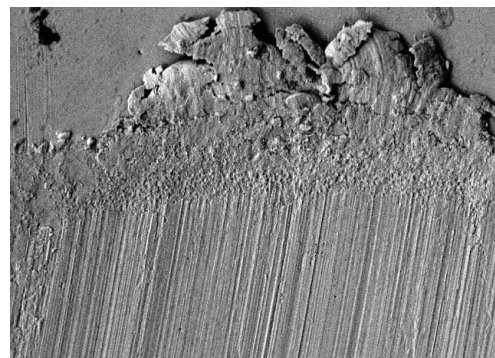


Fig.4b Concave of Tin Whisker derived from outer force.

Fig.3の1)と4)に対応するのは(2)～(6)，2)に対応するのが(7)と(8)である．

- (2) 断面組織観察：純錫の結晶粒界，面積率，厚み分布を観察する．Cu-Tin化合物層の形態，厚み，表面への近接様相を観察する．
- (3) 嵌合痕を含む断面変形観察：嵌合応力の解析のため，代用特性としてめっき厚みの変化を圧縮率で定量化する．
- (4) 表面結晶観察：結晶サイズと分布を観察する．2次元の断面情報と組み合わせることで3次元的な理解が得られる．広い面積で観察可能なのでマクロ解析にも有効である．

- (5) ウィスカー形態観察：嵌合ウィスカーの形態を分類し，現象のマクロ的な傾向を把握する．
 - (6) ウィスカー根元の組織観察：ウィスカー発生起点の組織観察により，ウィスカー形態との関連性を確認する．特に化合物層，純Snの粒界情報（傾斜，サイズ等）を知る．（弾塑性変形シミュレーションのモデルに反映）
 - (7) 結晶方位解析（EBSP）：ウィスカー成長挙動に関する情報を得る．
 - (8) 断面組織の機械的性質（ヤング率，硬度）：めっき断面でのナノインデント計測を実施する．変形拘束多軸応力を考察するための基礎データとする．またFEMによる応力計算の材料定数として用いる．
- 注）(2)～(6)はFig.3の1)と4)に対応，(7)と(8)はFig.3の2)に対応している．

2-2-3 有限要素法による応力・歪み解析

FFC，コネクタの実計測データを用い計算モデルを設計した．押し込み深さ（ μm ）を入力値として弾塑性変形場を計算した．モデルは2次元1/2対称モデルとし，MARC要素タイプは#11（平面ひずみ要素）を用いた．

形状，物性値，境界条件は全て実観察データを反映させることとした．

2-2-4 試料と解析装置

- (1) 解析サンプル：市販品500 μm ピッチのFFCとコネクタを使用した．FFCは純銅板にリフロー処理済みの純錫めっき，コネクタは純銅板にNiめっき後に純錫めっきが施されている．それらから純錫の厚み比率の異なるサンプルを選択した
- (2) 条件：嵌合試験（Fig.6）で試験荷重1N/Pin，500時間放置した．
- (3) サンプルの分類：全Pinを観察してウィスカー最大長さをFig.5にプロットした．横軸は純錫の厚み比率である．錫ウィスカーの発生しやすさの目安として0～30 μm ，100～500 μm の2グループに分け，比較解析を実施した．
- (4) 解析装置：用途別に(a)(b)(c)を使用した．

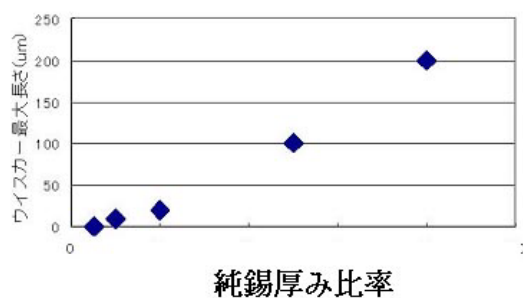


Fig.5 Relationship between a quantities of pure-Tin and tin Whisker max.Length.



Fig.6 An experimental device.

- (a) 断面作成：SII社 収束イオンビーム加工装置 SMI2050（50 μm 角，AccV30KV），マイクローム，FIB（FB2000A），フラットミリング装置（GATAN製Model691）
- (b) 形態観察：日本電子社製JSM-6500F（50 μm 角，AccV 7KV）
- (c) 結晶方位解析（EBSP）：TSL社製 OIM（50 μm 角，AccV 25KV）(5) ナノインデント装置（MTS社製）

2-3 結果

2-3-1 結晶学的な形態観察

ウィスカーが頻発するサンプルの結果を纏めた．

- (1) 嵌部直下ではめっき層は60%以上圧縮変形する．
- (2) めっきAsDepo状態の5倍以上の結晶サイズが多い．

- (3) 化合物層は純錫の30倍硬い. (Table 1)
 - (4) ウィスカ発生場所は偏在する. 0.1 μ mオーダの極細タイプが発生するケースがある. (Fig.2&9)
 - (5) 嵌合部エッジ部には弾塑性変形で盛り上がり形状が顕著である. (Fig.4b)
 - (6) 嵌合部直下では純Sn層が殆ど存在しない. (Fig.17)
 - (7) 嵌合圧が高いほどニードル型錫ウィスカが発生する傾向が認められた.
- 以下, 詳細に述べていく.

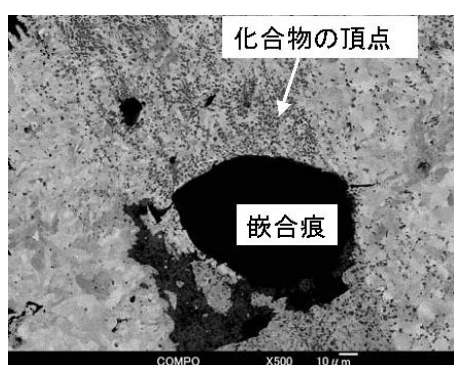


Fig.7 istribution of Cu-Tin Intermetallic Compound (*500).

Fig.7は嵌合部（黒い円形領域）を含むFFCの表面の極く浅い平面観察結果である. 図中の黒い斑点は露出した化合物の頂部である. 画像倍率は500倍である. 分布に疎密があり, 斑点は独立している.

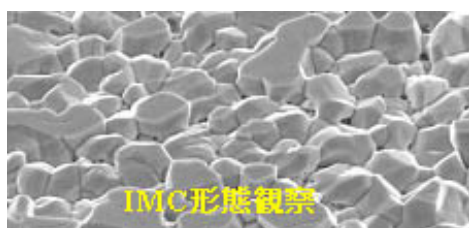


Fig.8 Surface of Cu-Tin Intermetallic Compound.

純錫層のみを溶解する薬品を用いて直接観察した. 剣山状である. EBSD解析から六方晶C軸方向成長が主であった. 純錫と大傾角 Σ 3粒界を形成していた.

Fig.9は直径2 μ mと0.2 μ mのニードル型ウィスカである. 応力開放に必要な原子量を一定とすれば, 径の2乗に反比例して長く成長することになる.

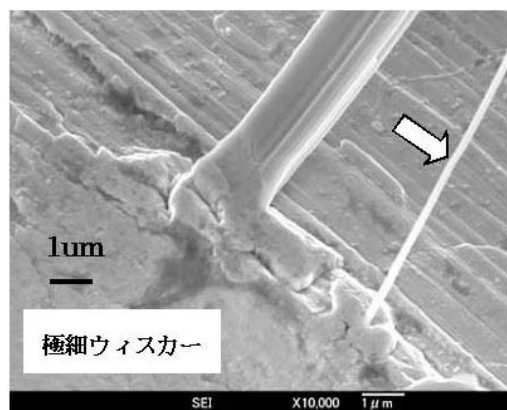


Fig.9 Needle type Tin Whisker.

実用面での効果を考慮すると, 太くて短いウィスカの形態が, 短絡事故回避には好ましいと考えた. 従ってコラム型とニードル型の違いを解析することも重要な観点であると考えた. Fig.10の左は極細のウィスカ根元断面, 右は太くて短いコラム型の断面である. 図中の赤線マーカは1 μ m長さである. コラム型では粒界3重点があり, 根元の結晶サイズと同じウィスカである. 極細のウィスカでは右上の嵌合痕と化合物層で形成された極めて狭い根元を有している.

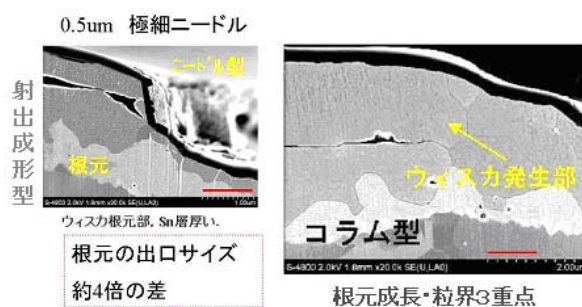


Fig.10 Observation of Tin Whisker's root.

Fig.11は純錫めっき組織の平面観察結果である. 結晶サイズを定量化すべく, 個々の結晶の面積を算出してグラフ化した. Fig.12は横軸に結晶No.を縦軸に結晶面積 (μ m²)をとったグラフである. 図で黄色で囲んだ部分 (通常サイズ) が結晶の直径が5 μ m以下の領域

である。グラフに示した如く、通常サイズの2倍～10倍の大きさを持つ結晶が多数観察された。特にNo.19では20 μm 近い結晶が観察された。

FFCの製造では所定の断面を得るために複数段のダイス線引き工程を経る。加工歪み除去の熱処理とリフロー処理が施される。そのためめっき初期よりも大型の再結晶組織となる。

めっき結晶サイズより遥かに小さな径を有するウィスカーの説明には、自然発生型ウィスカーで一般的な結晶粒サイズを維持する現象とは異なるモデルの導入が必要であることが判った。

以上の観察結果は次の2つの可能性を示唆するものである。

- 極細ニードル型は、細い出口から錫原子が塑性流動で絞りだされた可能性が高い。
- コラム型は原子の拡散速度が極めて速い条件下で根元結晶サイズで成長した可能性が高い。

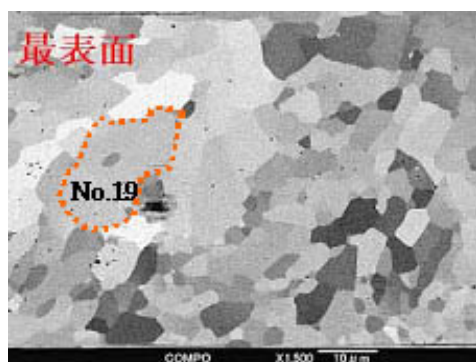


Fig.11 Observation of Tin grain size.

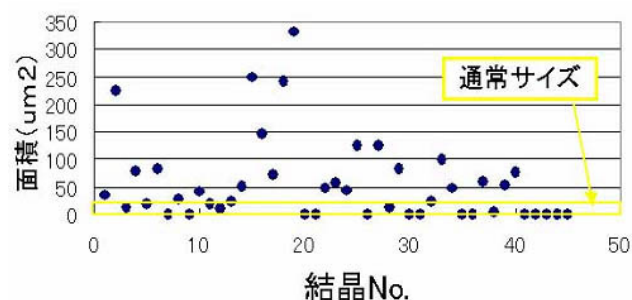


Fig.12 Distribution of Tin grain size on Whisker rich sample.

2-3-2 弾塑性変形モードによる計算結果

断面観察をもとに、有限要素法による応力・歪み解析を実施した。(Fig.13)

めっき全厚み2 μm 、コネクタの押し込み深さ0.4 μm 、コネクタ構成は銅基板、Ni層、めっき層とした。更にめっきの寄り現象も反映してコネクタエッジ部は硬いNi要素を配置した。FFC側は平坦な化合物層の厚み、コネクタエッジ形状、摩擦係数、加圧軸の傾斜角度などをパラメータとし、種々の計算を実施した。最終ステップでは金属間化合物層を凹凸形状として計算を実施した。化合物層の頂点とコネクタエッジの位置関係を変えたシミュレーションを実施した。

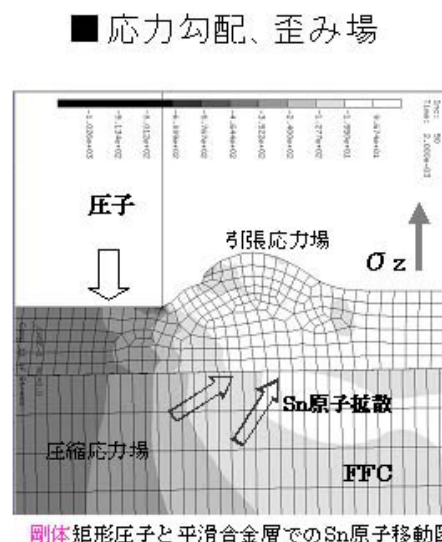


Fig.13 A model of inner stress calculation.

計算結果を纏めると

- 隆起部には2箇所引っ張り歪みの極大点 (Fig.15) がある。
- 純Sn厚みが薄い程、圧縮応力が高い。
- 加圧軸傾斜で隆起傾向大である。亀裂促進効果がある。
- 摩擦係数 μ 増大は隆起を抑制する効果がある。
- コネクタエッジのNi露出は、圧子引っ張り応力を軽減する。FFCでは応力集中増加の効果がある。

- (6) 化合物頂点と圧子エッジの接近で圧縮応力増大する。

凹凸形状の化合物を三角形に近似した計算例を示す。

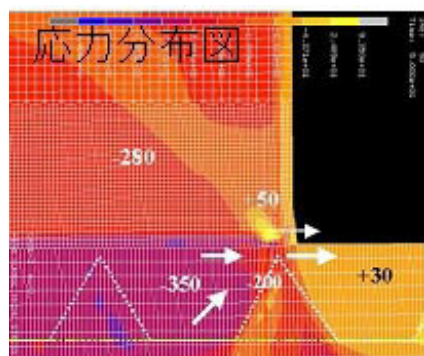


Fig.14 Stress chart.

Fig.14はコネクタ（上半分）とFFC（下半分）の外部応力負荷時の応力場の計算結果である。応力値は各主応力を用いて、静水圧 $\sigma = \sqrt{\sigma_1 \sigma_2 \sigma_3}$ とした。また、押し込み深さ0.4umの条件、即ち、1N/Pinとした。

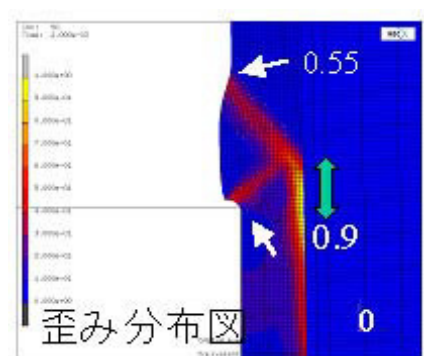


Fig.15 Strain chart.

変形場の拘束壁である化合物層（図中白線三角形）に沿って応力勾配が形成されている。最大で-350Mpaの圧縮応力が得られ、FFC表面には+30MPaの引っ張り応力値が得られた。この値は純錫の塑性流動が起こるに十分な値である。コネクタ側はエッジ部に硬いNiを露出させている。応力値は内部で-280Mpa、表層部で+50Mpaである。FFC・コネクタともに嵌合エッジに向かった勾配応力場を形成していることが判った。

Table 1 : Mechanical properties measured by Nano-indenter apparatus.

硬度(GPa)比較 (MTS製 ナノインデント)		0.5mm (A)	0.5mm (B)	1.0mm
Sn	-----	0.246	0.282	
Cu6Sn5	9.02	7.643	7.756	
Cu	1.09	1.12	1.11	
樹脂	0.185	0.041	0.382	

Table 1はナノインデント計測で実測した各層の機械的物性値である。計算にはこれらの数値を使用した。

3. 考察

メカニズム解析すなわちウィスカー発生モデルの妥当性は次の単純な疑問に答えられるかどうかで判断できる。①どんな力で？ ②どんな経路で？ ③どこから顔をだす？ ④いつ止まる？

品質保証面でのキーパラメータを抽出するために、発生しやすい条件とその効果を説明していく。

- ・ウィスカー長さ：出口のサイズが微小で、拘束状態の純錫体積が大きい程長くなりやすい。
- ・発生箇所：Z方向の内圧勾配が大で、Cu6Sn5の凹凸の急峻度が高く、表面への近接し、マイクロクラック分布密度が高いほど発生しやすい。
- ・発生時期：外力の大きいほど、環境温度が室温に近いほど短期間で発生しやすい。低温になる程、再結晶化が抑制されやすい。従って応力緩和が進行しにくく、内部応力が高く維持されると考えた。
- ・発生しやすいさ：表面の酸化物SnOxが薄いほど（根拠：還元除去処理でのウィスカー発生実験から）、純錫層の結晶欠陥が少ないほど（根拠：TEM観察結果による）発生しやすい。SnOx膜は脆い性質を有するのでマイクロクラックが発生しやすく出口形成の確率が増すためである。
- ・金属間化合物の形態：凹凸が急峻で段差が大きい程発生しやすい。AsDepo状態とFFC化後のIMC形態比較から、線引き工程と熱処理工程がIMC成長を促進したことを確認できた。個々の結晶成長速

度のばらつきが平面観察像で疎密像に見え、断面では凹凸差として認識される。

- ・ 錫原子の移動経路：基本的に結晶粒界であるが、極細型のウィスカーの場合は、錫の塑性流動の影響が濃厚である。成長速度が自然型では 0.4 \AA/s 、外力型では $1500\text{-}10000 \text{ \AA/s}$ と極端に異なる現象は新規な塑性流動説で説明できる。

錫の塑性流動は高い剛性を有する Cu_6Sn_5 化合物層の壁で形成される急峻な応力勾配の場に沿ってなされる。ウィスカーの源は化合物層とコネクタで圧接された領域から供給される。（根拠：Fig.17断面写真による）

FEMによる応力・歪み計算からコネクタにおいても同様のモデルが適用可能である。Fig.16に示したNi-Sn金属間化合物の凹凸形状と物性と負荷圧を考慮すると自然な結論である。各種公開データにおいてコネクタでのウィスカー発生は数多く報告されている。

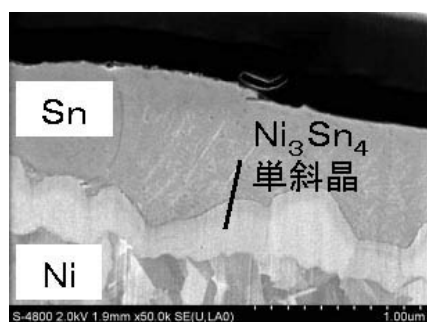


Fig.16 Observation of Connector section.



Fig.17 part of pure-Tin squeezed toward surface (white : IMC, grey : pure Tin).

Fig.18でFFC・コネクタでの外部応力型ウィスカーモデルを解説すると以下ようになる。

コネクタ押し込みは化合物の凸部頂点で停止する。それ以後は基板も含め全体が大きく弾塑性変形をする。

純錫めっきより遥かに高い剛性を有する Cu_6Sn_5 化合物層が壁となり、その内部に閉じ込められた純錫原子領域には 300Mpa の圧縮応力場が形成される。表面近傍では引っ張り応力場が形成され、且つ、集中的な歪み発生部が形成される。この部分でマイクロクラックが生じる。根元の結晶サイズより小さなウィスカーは、この出口から短期間で押し出される形で成長する。出口の形状と応力の大きさ、純錫の量がウィスカー断面形状や長さに影響を与える。内部応力が緩和されると成長も停止する。

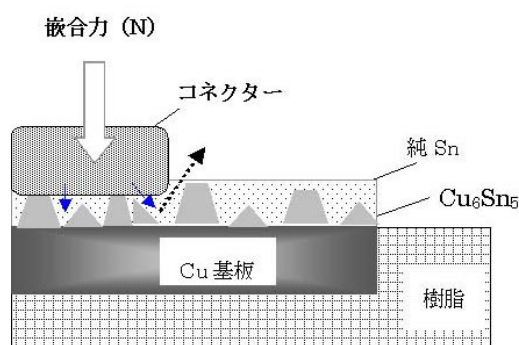


Fig.18 New model of Tin Whisker derived from outer force.

4. 結論

ウィスカー形態、根元部、組織観察、応力計算から新たなモデルの妥当性を検証することが出来た。

種々の因子の複合的な作用を明らかに出来た。

5. 成果

外部応力型ウィスカー解析は、業界、学会では数例の試験データがあるが現象が複雑かつ高度な解析が必要なため、現在も尚、データに裏付けられたモデルの発表例は無い。（文献3）

メーカーと共同の膨大な組み合わせ試験を回避するために着手した本研究は、一応の妥当な結論を得ることに成功した。このことはFFC・コネクタ等の汎用電極

部品を搭載するセットメーカーにとっては製品の品質保証面で非常に大きな成果である。更にグリーン購買管理用の社内技術ガイドも制定でき、今後の継続的な活動として定着することができた。

6. 今後の展開

金属間化合物層の凹凸成因を知るべく、銅基板との結晶整合性の解析を実施中である。特にEBSP等の手法で結晶解析・粒界解析を実施し法則性の有無確認を狙うものである。

7. 謝辞

本解析に当たり（株）コベルコ科研と（株）メカニカルデザインの多大な協力に感謝の意を表します。

参考文献

- 1) Whiskers: Truth and Mystery IPC/NEMI Symposium on Lead-Free Electronics I.Boguslavsky September 19, 2002
- 2) Understanding Whisker Phenomenon: Driving Force for Whisker Formation Chen Xu, Yun Zhng, C.Fan and J.Abys
- 3) フリーはんだ実用化検討の 2005, 2006 年成果報告書 （社）電子情報技術産業協会（JEITA）実装技術標準化委員会 山本克己 他
- 4) ACCELERATED GROWTH OF TIN WHISKERS R. M. FISHER, L. S. DARKEN AND K. C. CARROLL

ヒートモードリソグラフィーによるZnS-SiO₂微細パターン形成技術

Nanometer-scale Patterning of ZnS-SiO₂ by Heat-mode Lithography

三浦 博*

Hiroshi MIURA

豊島 伸朗*

Nobuaki TOYOSHIMA

竹内 弘司*

Kohji TAKEUCHI

守 哲司*

Tetsuji MORI

花岡 克成*

Katsunari HANAOKA

岩田 周行**

Noriyuki IWATA

要 旨

相変化型光ディスクの保護層として用いているZnS-SiO₂薄膜の特性を精査し、ナノメータスケールのパターン形成材料として用いる方法を見出した。本パターン形成方法では、簡便なレーザー加熱とウェットエッチング処理を用いるにもかかわらず、鮮明で滑らかなエッジのZnS-SiO₂パターンが形成できる。さらに、パターンサイズは、レーザービームスポットの1/4サイズまで縮小できる。本報では、ヒートモードリソグラフィーと呼んでいる、この低コストパターン形成方法を紹介する。

ABSTRACT

We investigated characteristics of ZnS-SiO₂ thin film used as a protective layer in phase-change optical disc and found that this thin film could be used for forming nanometer-scale patterns. In this method, ZnS-SiO₂ patterns with clear and smooth edge were formed even though using convenient laser annealing and wet etching treatment. In addition, the pattern size could be reduced to one-fourth the size of a laser beam spot. In this paper, we introduce this inexpensive patterning method that is calling heat-mode lithography.

* 研究開発本部 先端技術研究所

Advanced Technology R&D Center, Research and Development Group

** 研究開発本部 基盤技術研究所

Core Technology R&D Center, Research and Development Group

1. Introduction

Phase-change optical disc consists of a phase-change layer, such as AgInSbTe, ZnS-SiO₂ layers, and a metal layer. (1) The ZnS-SiO₂ layers are used as a protective layer, a reflectivity adjustment layer, and a thermal conductivity adjustment layer. Thus, ZnS-SiO₂ thin film is an important material in the phase-change optical disc. We investigated the wet etching characteristics and crystalline structure of ZnS-SiO₂ thin film and found that the ZnS-SiO₂ thin film could be patterned by laser annealing and wet etching treatment. (2) This patterning technique is based on a heat-mode recording technique for the optical disc, and we are calling it heat-mode lithography. In the field of optical disc, several authors have recently reported on the mastering methods for producing Blu-ray disc and next-generation optical discs by using heat-mode lithography, and this lithography technique is expected to become an inexpensive and high-throughput mastering method. (3-6)

In this paper, we introduce and describe the use of ZnS-SiO₂ thin film as a patterning material for heat-mode lithography. In other words, we present a new use for ZnS-SiO₂ thin film used as the protective layer in phase-change optical disc. In addition, we present a fabrication method of quartz master mold, which is skilful combination of heat-mode lithography and a dry etching process.

2. Wet etching characteristics

We describe the wet etching characteristics of the ZnS-SiO₂ thin film. Fig.1 shows a diagram of experimental procedure. The sample structure used in the experiment was Si substrate / ZnS (x%) - SiO₂ (100-x%) mixture thin film, and the ZnS mixture ratio (x%) was changed from 0% to 100%. The samples were annealed in a furnace and were dipped in a hydrofluoric acid (HF) solution after the annealing. Then, the etching

rate and etching selectivity were calculated from the thickness changes of the ZnS (x%) - SiO₂ (100-x%) thin films.

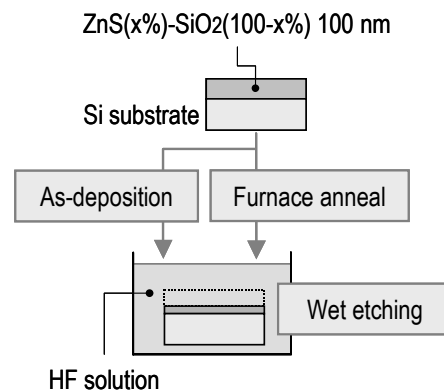


Fig.1 Experimental procedure for examination of wet etching characteristics.

Fig.2 shows the etching rate and selectivity in the as-deposited and annealed samples. The etching rate of the ZnS-SiO₂ thin film decreases with an increase in the ZnS mixture ratio (x%). In the case of x=80%, the selectivity was much larger than other mixture ratios. Thus, there was a large difference in the etching characteristics of ZnS-SiO₂ thin film between x=80% and other mixture ratios. In addition, the etching selectivity of ZnS-SiO₂ thin film at x=80% was more than 10, which was large enough to be used as a patterning material when using HF solution.

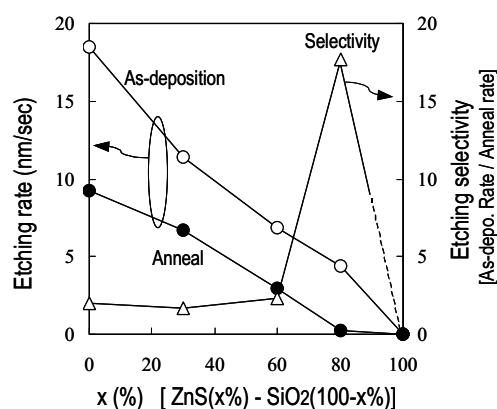


Fig.2 Etching rate and selectivity of ZnS (x%) - SiO₂ (100-x%) thin film.

3. Structural analysis

The ZnS-SiO₂ thin film at x=80% has a sufficiently large etching selectivity, which is an appropriate characteristic for the patterning material in heat-mode lithography. The structure of the ZnS-SiO₂ thin film and the structural change by annealing were investigated in order to determine the reason for the large etching selectivity.

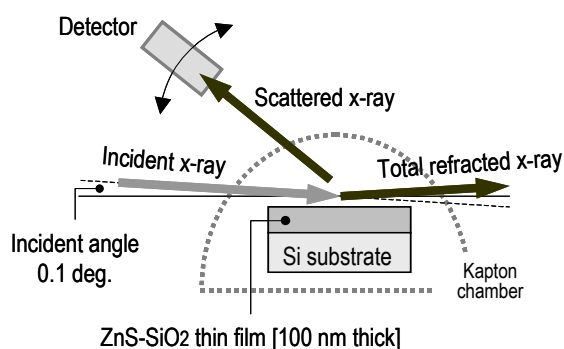


Fig.3 Grazing incidence x-ray scattering (GIXS) measurement method.

Synchrotron radiation measurement of the ZnS-SiO₂ thin film was performed at SPring-8. Grazing incidence x-ray scattering (GIXS) with a multi-axes diffractometer installed at BL46XU was used to examine the structures of the as-deposited and annealed thin film. Fig.3 shows a diagram of the GIXS measurement method. The sample was mounted in a chamber filled with He gas. The x-rays irradiated the sample surface at an incident angle of 0.1°. Only scattered x-rays from the thin film were selectively detected by irradiating the x-ray at such a low angle.

Fig.4(a) shows the x-ray scattering profile and (b) shows the radial distribution function (RDF) of the as-deposited thin film at x=80%. The RDF was derived from the x-ray scattering profile. (7) In the Fig.4(b), the horizontal axis represents the averaged atomic distances. The neighboring atomic distances in a tetrahedral network structure of the ZnS crystal are 2.3 Å and 3.8 Å, which correspond to the Zn-S and Zn-Zn distances,

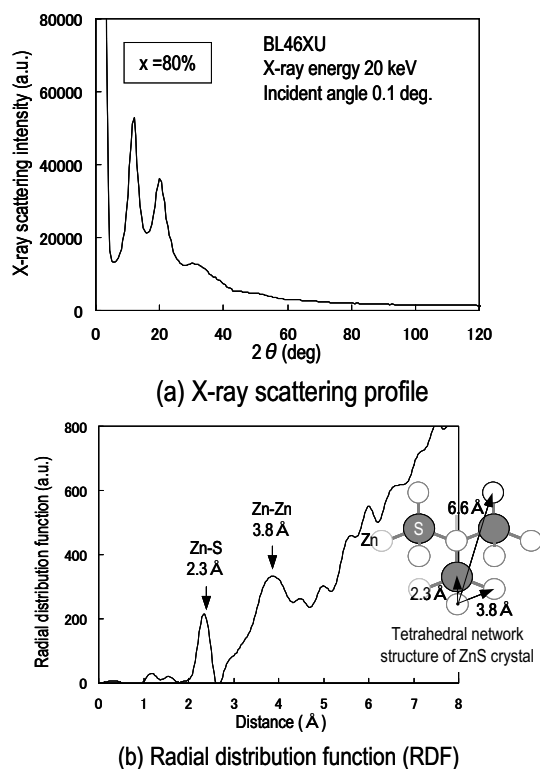


Fig.4 GIXS measurement of as-deposited ZnS (80%) - SiO₂ (20%) thin film.

respectively. The RDF shows that the tetrahedral network structure like ZnS crystal exists in the as-deposited ZnS-SiO₂ thin film.

The wet etching selectivity of the ZnS-SiO₂ thin film strongly depended on the ZnS mixture ratio (x%), and the selectivity of x=80% was much larger than that of x=30%, as shown in Fig.2. So, the RDF of each thin film was compared. Fig.5 shows a comparison of the RDF between the as-deposited and annealed ZnS-SiO₂ thin films. Even after annealing, the RDF of x=30% did not changed, as shown in Fig.5(a). On the other hand, the RDF of x=80% was notably changed by the annealing, as shown in Fig.5(b). The peaks at 3.8 Å and 6.6 Å correspond to the Zn-Zn distances in the tetrahedral network structure of the ZnS crystal. The change of the RDF profile suggests that the ZnS grains in the ZnS-SiO₂ thin film at x=80% were crystallized by annealing.

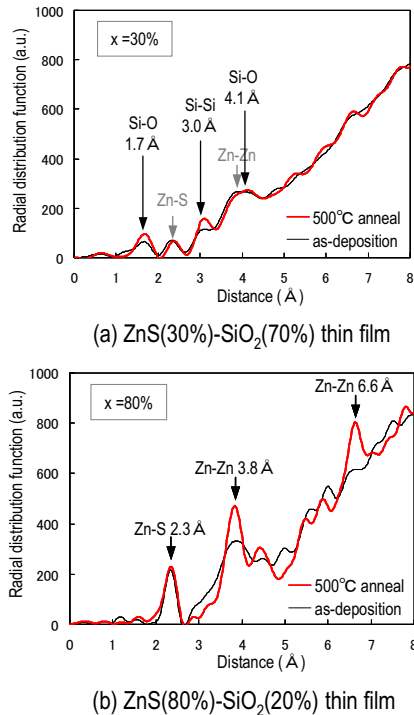


Fig.5 Comparison of RDF between as-deposited and annealed ZnS-SiO₂ thin film.

Fig.6 illustrates a model for the structural change of ZnS-SiO₂ thin film caused by the annealing, which was derived from the GIXS measurement. The ZnS-SiO₂ thin film is consisted from a ZnS grain and a SiO₂ grain. In the case of $x=30\%$, the ZnS grains are dispersed in a matrix that is composed of SiO₂ grains. We assume that the SiO₂ grains isolate the ZnS grains, because there is more SiO₂ grain content than ZnS grain content. On the other hand, the ZnS grains are in contact with each other in the ZnS-SiO₂ thin film at $x=80\%$. The closed ZnS grains are grown by the annealing, and the grown ZnS grains surround the SiO₂ grains. In the wet etching process, the HF solution dissolves the SiO₂ grains, and a lift off of ZnS grains occurs in the matrix. In the case of $x=80\%$, the ZnS grains grow enough to surround the SiO₂ grains during the annealing process, and the grown ZnS protects the SiO₂ grains from the HF solution. Therefore, the etching tolerance of ZnS-SiO₂ thin film at $x=80\%$ is increased by the annealing. Thus, the crystallization of the ZnS grains by the annealing is the reason of the large wet etching

selectivity in the as-deposited and annealed thin film.

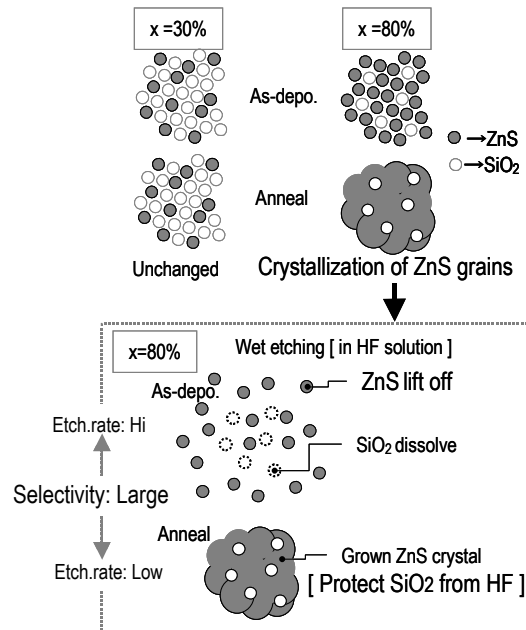


Fig.6 Model of structural change by annealing and etching characteristics of ZnS-SiO₂ thin film.

4. Patterning of ZnS-SiO₂

We estimated the ZnS-SiO₂ thin film at $x=80\%$ could be appropriately used as a patterning material for the heat-mode lithography by examining the wet etching characteristics and the structural analysis. So, we investigated the performance of this thin film as a patterning material. The ZnS-SiO₂ thin film at $x=80\%$ was compared with other mixture ratios in the viewpoint for clearness of pattern edge.

Fig.7 shows the patterning method for the ZnS-SiO₂ thin film, which is based on the laser annealing and wet etching treatment. The structure of this sample was a polycarbonate substrate / lower ZnS-SiO₂ layer (50nm) / AgInSbTe layer (20nm) / upper ZnS ($x\%$) - SiO₂ ($100-x\%$) layer (45nm). The ZnS mixture ration ($x\%$) was changed from 30 to 100%. In this structure, the AgInSbTe layer was used as an optical absorption layer, and the upper ZnS-SiO₂ layer as a patterning layer. Fig.7(b) shows the laser annealing process. An optical

disc tester was used, and the optical pickup consisted of a 405-nm laser diode (LD) and an objective lens with a 0.85 numerical aperture (NA). When a focused beam was irradiated onto the sample, the structure of the ZnS-SiO₂ thin film changed with a heat transmission from the AgInSbTe layer. Fig.7(c) shows the wet etching process. After laser annealing, the upper ZnS-SiO₂ layer was removed by the etching in the HF solution. Fig.7(d) shows the sample structure after the wet etching. The laser-irradiated part of the upper ZnS-SiO₂ layer remained, even after the etching. The convex patterns of the ZnS-SiO₂ were formed by this method.

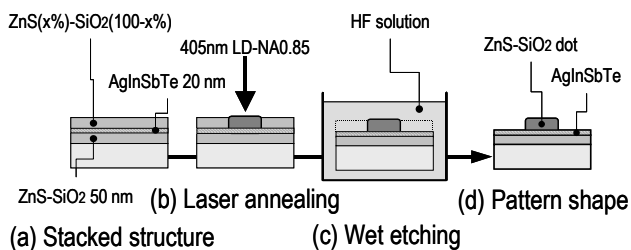


Fig.7 Patterning method of ZnS-SiO₂ thin film by heat-mode lithography.

Fig.8 shows SEM images of ZnS-SiO₂ dots. The ZnS-SiO₂ thin film at $x=30\%$ could not be patterned and the upper layer was completely removed, as shown in Fig.8(a). The ZnS-SiO₂ thin film at $x=60\%$ could be patterned, as shown in Fig.8(b). However, the edges of ZnS-SiO₂ dots were unclear. The ZnS-SiO₂ thin film at $x=80\%$ could be patterned and the edges of ZnS-SiO₂ dots were clear and smooth, as shown in Fig.8(c). And, the thin film at $x=100\%$ that was only ZnS was not a bit etched in the HF solution. Thus, the patterning of ZnS-SiO₂ thin film was markedly related to the ZnS mixture ratio ($x\%$), and we could form ZnS-SiO₂ dots with clear and smooth edges by optimizing the mixture ratio for $x=80\%$. There is an optimum ZnS mixture ratio for patterning ZnS-SiO₂ thin films, because the SiO₂ grains control the crystallization of ZnS grains, as shown in Fig.6.

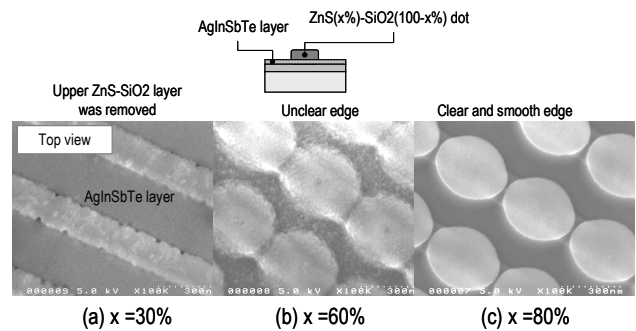


Fig.8 SEM image of ZnS-SiO₂ dot pattern.

Fig.9 shows an SEM image of the convex ZnS-SiO₂ pattern, which was formed by making adjustments to the taper profile of the convex pattern. The sample structure was a polycarbonate substrate / lower ZnS-SiO₂ layer (50nm) / AgInSbTe layer (20nm) / upper ZnS (80%) - SiO₂ (20%) layer (200nm). The taper profile of the convex ZnS-SiO₂ was almost perpendicular, as shown in Fig.9. The height of the convex ZnS-SiO₂ was approximately 200nm, which was nearly equal to the as-deposited thickness of the upper ZnS-SiO₂ layer. Thus, the taper profile of the convex ZnS-SiO₂ was very steep. This is a feature of the ZnS (80%) - SiO₂ (20%) thin film used as a patterning material.

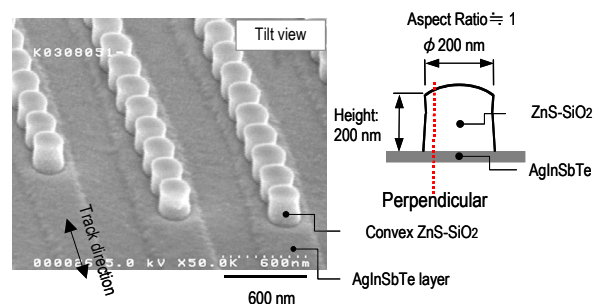
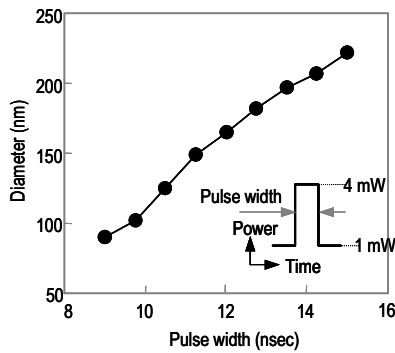


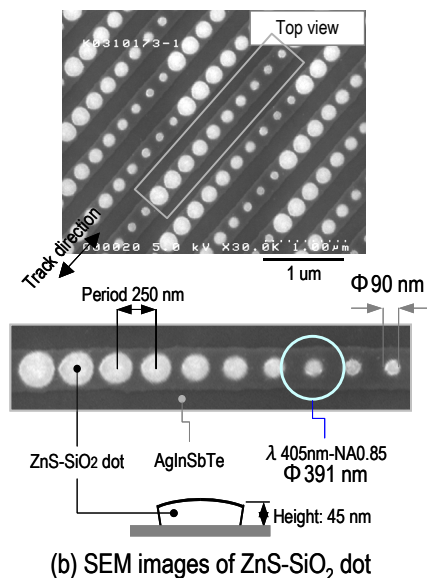
Fig.9 SEM image of convex ZnS-SiO₂ pattern. Convex ZnS-SiO₂ with perpendicular taper profile was formed.

We tried to find the minimum size of the ZnS-SiO₂ dots, as shown in Fig.10. The sample structure was a polycarbonate substrate / lower ZnS-SiO₂ layer (50nm) /

AgInSbTe layer (20nm) / upper ZnS (80%) - SiO₂ (20%) layer (45nm). The relationship between the laser pulse width and the diameter of ZnS-SiO₂ dots is shown in Fig.10(a). The diameter of the ZnS-SiO₂ dots was modulated by changing the laser pulse width, and the diameter changed in proportion to the laser pulse width. Fig.10(b) shows SEM images of the ZnS-SiO₂ dot pattern. The period of ZnS-SiO₂ dots was 250nm, with a maximum diameter of 220nm and minimum diameter of 90nm. The edges of the ZnS-SiO₂ dots were clear and smooth, as shown in the SEM images. The minimum diameter was about 90nm, which was approximately one-fourth the size of a laser beam spot from a 405-nm LD with a 0.85 NA objective lens.



(a) Relation of laser pulse width and diameter of ZnS-SiO₂ dot



(b) SEM images of ZnS-SiO₂ dot

Fig.10 Modulation for diameter of ZnS-SiO₂ dot by changing laser pulse width.

From the viewpoint of minimum size and the edge clearness of the formed patterns, we believe that ZnS-SiO₂ thin film could be used as a patterning material for forming nanometer-scale patterns.

5. Fabrication of quartz mold

Quartz is a useful material as a master mold for light assist imprinting processes, because of its high-transparency. Therefore, the ZnS-SiO₂ pattern was applied to a hard mask for the dry etching process, and quartz molds with dot and line patterns were fabricated. We describe the fabrication process for the quartz mold and the shape of quartz patterns.

Fig.11 shows the fabrication process of the quartz mold. The ZnS-SiO₂ thin film was patterned by heat-mode lithography, as shown in Fig.11(a). The convex pattern of the ZnS-SiO₂ was used as the hard mask for the dry etching process, as shown in Fig.11(b). Finally, the hard mask was completely removed by wet etching in an acid solution, as shown in Fig.11(c). The shape of the ZnS-SiO₂ pattern was transferred onto a quartz substrate using this method, as shown in Fig.11(d).

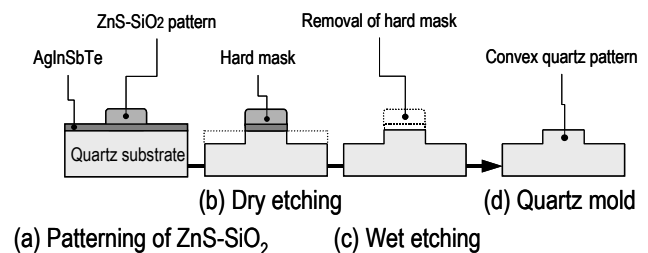


Fig.11 Quartz mold fabrication process.

Fig.12 shows an SEM image of a convex quartz pattern. The pattern height was 220nm and the period was 400nm. The top of the convex pattern was flat and the edge was very steep. This pattern shape proves that the ZnS-SiO₂ hard mask has a sufficient etching tolerance for the dry etching process. Fig.13 shows an SEM image of the quartz pattern in which the sizes were modulated by

changing the laser pulse width during the laser annealing process noted in Fig.7(b). The minimum size of the quartz dot was 90nm in diameter. This size was approximately one-fourth the size of a laser beam spot from a 410-nm laser with a 0.9 NA objective lens.

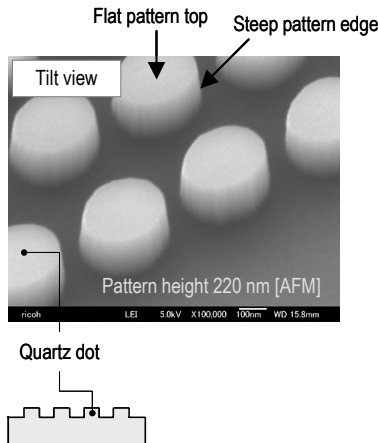


Fig.12 SEM image of convex quartz pattern.

Fig.14 shows SEM images of the line patterns. The shape of the quartz line and that of the replicated pattern were examined. A photo-polymerization (2P) method was used for the replication process, and the line pattern was replicated onto a 2P resin by using the quartz pattern as a master mold. The groove width of the quartz pattern was about 100nm, and the land width of the replicated pattern was about 100nm. It should be noted that the edge of the quartz line was smooth and that of the replicated line was also smooth.

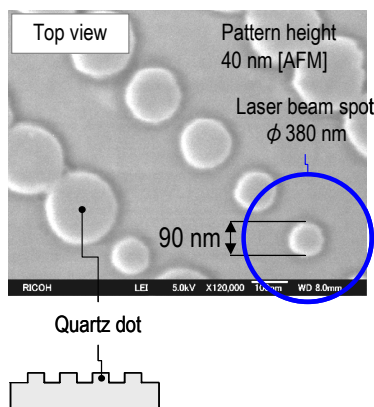


Fig.13 SEM image of quartz dot pattern.

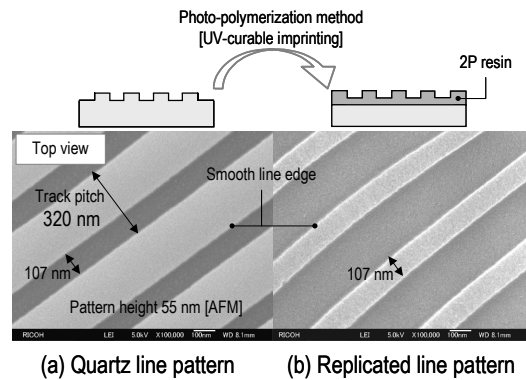


Fig.14 SEM image of quartz line and replicated line pattern.

Thus, the ZnS-SiO₂ pattern was used as the hard mask for the dry etching to fabricate the quartz molds. The minimum size of the quartz dot pattern was approximately one-fourth the size of the laser beam spot, which was the same as the minimum size of ZnS-SiO₂ pattern, and the line edge smoothness was maintained even in the replicated pattern.

6. Summary

The crystallization of the ZnS grains by annealing was the cause of the large wet etching selectivity in as-deposited and annealed ZnS-SiO₂ thin film. This characteristic was used to form ZnS-SiO₂ patterns. Optimizing the ZnS mixture ratio for 80% helped to form a convex ZnS-SiO₂ pattern with clear and smooth edges. The minimum pattern sizes were approximately one-fourth the size of a laser beam spot from a 405-nm laser diode. Furthermore, the ZnS-SiO₂ pattern was used as the hard mask for forming quartz molds using the dry etching process, and we fabricated quartz molds with clear and smooth pattern edges.

The edge quality of a pattern such as clearness and smoothness is very important for optical discs, because it markedly affects the quality of the readout signal. Therefore, the ZnS-SiO₂ thin film is useful as a patterning material for producing master molds of optical discs. In

addition, the quartz molds will be widely used as master molds for light assist imprinting processes to fabricate luminescence and optical devices composed of nanometer-scale patterns.

Acknowledgement

The synchrotron radiation measurement was performed at SPring-8 with the approval of the Japan Synchrotron Radiation Research Institute (JASRI) [Proposal No.2006A0206].

References

- (1) H. Iwasaki, Y. Ide, M. Harigaya, Y. Kageyama, and I. Fujimura : Jpn. J. Appl. Phys. 31 (1992) 461.
- (2) H. Miura, N. Toyoshima, Y. Hayashi, S. Sangu, N. Iwata, and J. Takahashi : Jpn. J. Appl. Phys. 45 (2006) 1410.
- (3) A. Kouchiyama, K. Aratani, Y. Takemoto, T. Nakao, S. Kai, K. Osato, and K. Nakagawa : Jpn. J. Appl. Phys. 42 (2003) 769.
- (4) T. Shintani, Y. Anzai, H. Minemura, H. Miyamoto, and J. Ushoyama : Tech. Dig. ISOM, 2004, Tu-B-01, p.4.
- (5) E. Ito, Y. Kawaguchi, M. Tomiyama, S. Abe and E. Ohno : Jpn. J. Appl. Phys. 44 (2005) 3574.
- (6) T. Sakai, I. Nakano, M. Shimo, N. Takamori, and A. Takahashi : Jpn. J. Appl. Phys. 45 (2006) 1407.
- (7) M. Sato, T. Matsunaga, T. Kouzaki, and N. Yamada : Mat. Res. Soc. Symp. Proc. 803 (2004) 245.

LIGAプロセスを用いた微細電鍍スプリングに関する研究

Research on Electroformed Micro-Spring with LIGA Process

加藤 文明*

Fumiaki KATO

要 旨

LIGAはX線リソグラフィと電鍍法を組み合わせる高アスペクト比加工を行うことができるMEMS (Micro Electro Mechanical System) 技術の一つである。今回LIGAプロセスを用いて線幅20～40 μm 、高さ200 μm (アスペクト比最大10) の金属製のマイクロスプリングを製作した。またこの研究においては一般的な電鍍材料であるニッケルに加え、きわめて高い強度が期待されるニッケル-鉄合金でもマイクロスプリングの製作を試みた。これらを評価したところ、Ni-Fe合金製のスプリングはNiのスプリングと比べて極めて高い強度を持つことが確認された。

Abstract

LIGA is one of MEMS (Micro Electro Mechanical System) techniques, which has the machining ability of high-aspect ratio with X-ray lithography and electroforming. We manufactured the metal micro-springs with 20-40 μm of line width and 200 μm height (maximum aspect ratio is 10) using LIGA process. Furthermore, in addition to Ni, a common electroforming materials, we tried to manufacture micro springs with Ni-Fe alloy which is expected to provide very high strength. It is found that the Ni-Fe alloy springs have much higher tensile strength than the Ni springs.

* リコーエレメックス株式会社 技術センター
R&D Center, Ricoh Elemex Corporation.

1. 背景と目的

1-1 背景

精密機械加工技術は中世の頃より時計を中心に古い歴史があり、多くの先人の手によりその技術は進歩してきた。現在においても新たな加工技術の開発などにより、微細化、高精度化技術はさらに進歩を続けているが、一部ではこれらの一般的な機械加工技術では達成できない寸法、形状に関するニーズも増えてきている。

一方でMEMS (Micro Electro Mechanical System) と呼ばれる半導体の加工技術から発展した微細加工技術があり、各種センサーやインクジェットプリンタヘッドなどで特に近年大きな発展を遂げている。MEMS技術は非常に微細で高精度な加工が可能であるが、半導体技術がベースであるがゆえ、そのプロセス技術の多くはシリコン素材に限られている。しかしながらMEMS技術のひとつにLIGAと呼ばれる高アスペクト比（高さとの比率）構造体を金属や樹脂など多様な材料で製作できる技術がある。

今回このLIGA技術に注目し、金属製の超小型部品（以下マイクロマシン部品）を製作する技術開発を行った。

1-2 目的

今回LIGA技術を用いて超小型のスプリング（以下マイクロスプリング）を始めとするマイクロマシン部品を製作することに成功した。本レポートでは、この製作技術に関する報告を行う。

またこのマイクロスプリングのばね特性の向上を狙い一般的な電鍍（厚膜電気めっき）材料であるニッケルの他、高い強度が期待されるニッケル-鉄合金¹⁾についても研究開発を行った。これらの材料の機械的特性についても合わせて報告する。

2. 技術

2-1 LIGAプロセス技術

2-1-1 LIGA

LIGAとはX線リソグラフィー、電鍍、成型の3つのプロセスを組み合わせたMEMS技術のひとつであり、1980年代にドイツのカールスルーエ研究所で開発された技術である。そのため各プロセスのドイツ語（Lithographie：リソグラフィー、Galvanoformung：めっき、Abformung：成型）の頭文字を取ってLIGA（リガ）と呼ばれる。

この技術の基本プロセスは、リソグラフィーでレジストの加工を行い、このレジストの凸凹を電気めっきで金属に転写する（場合によってはその後転写された金属を金型とした樹脂などの成型加工までを含める）単純なプロセスである。しかしこの技術の最大の特徴は、リソグラフィーにシンクロトロン放射光という極めて輝度が高く、平行度に優れた透過力の高いX線を用いることであり、一般的な紫外線フォトリソグラフィーと比べて、「高さのある」構造体を「垂直に近い形状で」製作することが可能である。

2-1-2 シンクロトロン放射光

シンクロトロンとは電子加速器の一種である。この電子加速器で光速近くまで加速された電子が磁力でその軌道を曲げられたとき、その接線方向に発生する強い光（電磁波）をシンクロトロン放射光（以下SR光と呼ぶ）と呼ぶ。（Fig.1参照）

SR光は著しい指向性を持つ赤外からX線領域までの連続波長を持つ白色光である。LIGAにおいてはフィルターを介して、1.5～7.3Åの軟X線領域の光のみを利用している。

本研究では立命館大学の「Aurora」を光源として使用した。

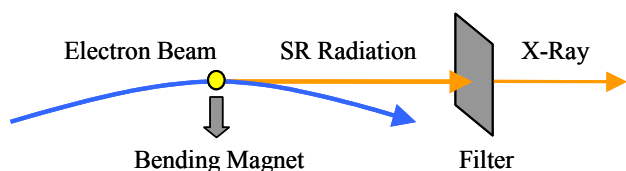


Fig.1 Schematic Image of SR Radiation.

2-1-3 レジスト

リソグラフィーに用いるレジストはPMMA（ポリメタクリル酸メチル）を主成分としている。PMMAはX線を吸収して崩壊反応を起こし、分子鎖が切断される特性があり、およそ分子量20000以下まで分解されるとPMMAは有機溶剤に溶けるようになる。このため、ポジレジストとして利用することができる。²⁾

2-2 マイクロスプリングの製作

2-2-1 マイクロスプリング

本研究で製作したマイクロスプリングの一例をFig.2に示す。マイクロスプリングのばね幅は5~40 μm である。

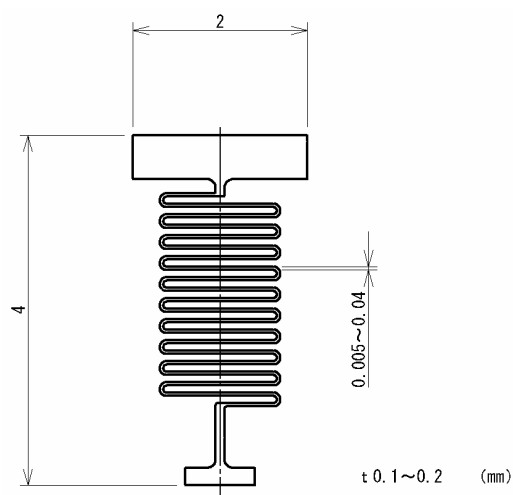


Fig.2 Micro-Spring.

2-2-2 製作プロセス

マイクロスプリングは、下記の手順で製作した。

- (1) シリコンウエハに、めっき電極となる金属薄膜を成膜して、その上にPMMAレジスト膜を接着する。
- (2) X線マスクを通じて、SR光を露光する。
- (3) PMMAレジストを現像液で現像する。
- (4) (1)の金属薄膜を電極として、電気めっきでレジストの凹部が埋まりきるまで金属を電析させる。
- (5) めっき表面を目的の厚さ寸法まで研磨し、最終製品のとなる厚さを調整する。
- (6) 最後にPMMAレジストとシリコンウエハを除去し、電鍍金属部分のみを分離して、マイクロスプリングを完成させる。（Fig.3参照）

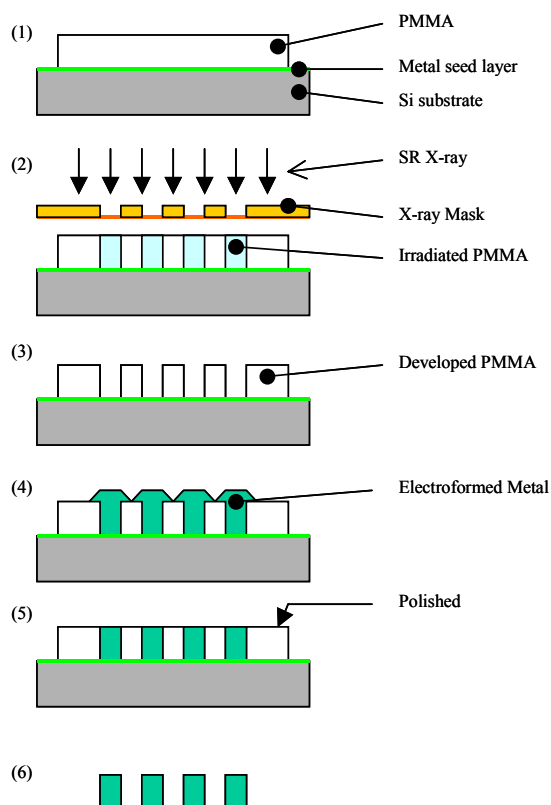


Fig.3 Schematic Image of LIGA Process.

2-2-3 電鍍（電気めっき）

本研究では2種類の材料を用いて実験を行った。

(1) スルファミン酸浴ニッケルめっき

他のニッケルめっき浴と比べて内部応力が小さい特徴があり、DVDディスクの成型金型など広く使用されている最も一般的なニッケル電鍍浴である。今回実験に用いたニッケルめっき条件をTable 1に示す。

(2) ニッケル-鉄合金めっき³⁾

高硬度の電鍍材料として研究が進められている新しいめっき材料である。ニッケル-鉄合金は鉄の含有量が10～25%で硬度が最も高くなる⁴⁾ことが知られており、本実験ではニッケルと鉄がおよそ80:20で共析するよう調整されたものを使用した。今回実験に用いたニッケル-鉄合金めっき条件をTable 2に示す。

Table 1 The Detail of Ni Plating Bath.

浴組成	スルファミン酸ニッケル	450g/L
	塩化ニッケル	5g/L
	ほう酸	30g/L
	pH	4.0
	電流密度	2.0A/dm ²
	温度	50℃

Table 2 The Detail of Ni-Fe Alloy Plating Bath.

浴組成	硫酸酸ニッケル	250g/L
	硫酸鉄	適量
	塩化ニッケル	5g/L
	ほう酸	30g/L
	マロン酸	5.2g/L
	サッカリン	2g/L
	pH	3.0
	電流密度	2.0A/dm ²
	温度	50℃

2-2-4 完成したマイクロスプリング

Fig.4に製作したマイクロスプリング（幅40 μ m、厚さ100 μ m）のSEM写真を示す。

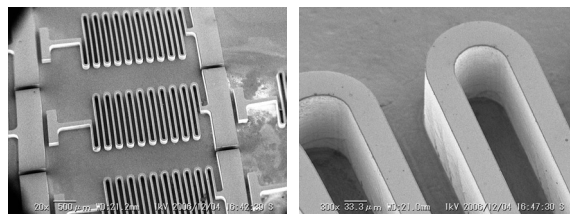


Fig.4 SEM Image of the Micro-Spring.

実験を試みたマイクロスプリングのばね幅は5～40 μ mであるが、幅15 μ m以下の試作品では部分的にパターンの不完全な個所が発生しており、完全な形状を製作できたものは幅20～40 μ m（厚さ100～200 μ m）であった。

2-3 加工形状に関する評価結果

2-3-1 形状

製作したマイクロスプリングについてその形状、寸法精度、側面角度に関して評価を行った。その結果をTable 3に記す。また本実験において製作することができた最小幅のマイクロスプリングの写真をFig.5に記す。

Table 3 The Evaluation of the Form.

	最高値	完全な形状
最大厚さ	200 μ m	200 μ m
最小幅	5 μ m	20 μ m
最大アスペクト比	40	10
精度	—	±0.5 μ m以下
側面角度	—	89.8°

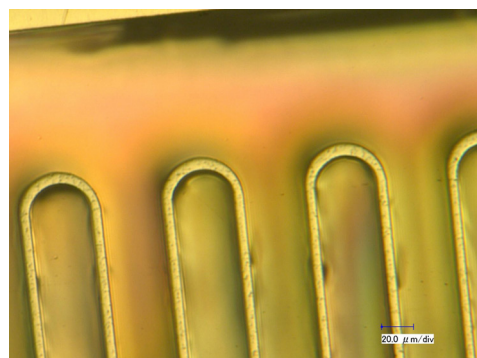


Fig.5 The Micro-Spring with Width 5 μ m.

2-3-2 表面粗さ

製作したマイクロスプリングの側面を微細形状測定装置（KLA-Tencor社アルファステップ）を用いて表面粗さを測定した。側面の顕微鏡写真をFig.6に示す。

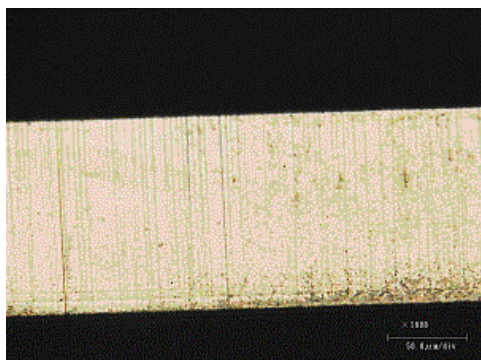


Fig.6 The Side of the Micro-Spring.

表面粗さは垂直方向（Fig.6の縦方向）でRa0.018、水平方向（同横方向）でRa0.120と水平方向の方が大幅に高くなっている。また縦方向に平行のスジが見られるが、これはマスクの凸凹がそのままレジストに転写されたもので、このスジのため水平方向の表面粗さが高くなったと考えられる。つまりLIGAプロセスは、数10nmというマスクの凸凹すら高精度で転写できる能力があることを示している。

2-4 材料特性試験

本研究に使用した2種類の電鍍材料の特性を評価するため、引張試験片を用いて、硬度、引張強度、伸びについて測定を行った。

また試験片は電気炉で熱処理（200～400℃で2時間保持）を行ったものについても同様の試験を行い、高温での機械的性質の変化についても評価した。

2-4-1 引張試験片

引張試験片の形状をFig.7に示す。この試験片はマイクロスプリングと同様のプロセスで製作している。

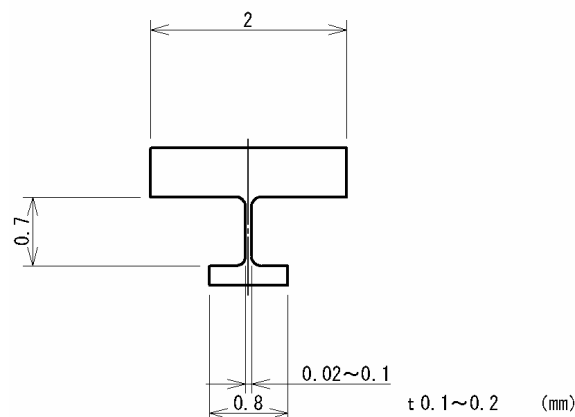


Fig.7 Tension Test Piece.

2-4-2 硬度

マイクロビッカース硬度計（明石製作所HM103）を用いて、材料試験片の硬度を測定した。この結果をFig.8にまとめる。

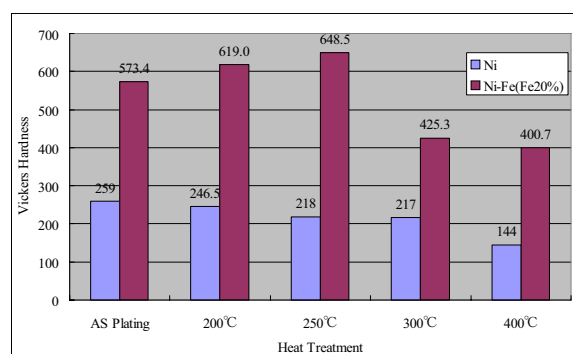


Fig.8 Vickers Hardness.

熱処理前のニッケル-鉄合金はHV573とニッケルのHV259と比べ大幅に硬いことが確認された。この硬度は析出硬化系ばね用ステンレス鋼（JIS G 4315 SUS631-CSP：HV530以上）に匹敵する。

またニッケルは加熱により徐々に軟化するのに対し、ニッケル-鉄合金は250℃までは逆に硬度が上昇することが認められた。ただしニッケル-鉄合金も250℃を超えるとニッケルと同様に軟化が始まる。

2-4-3 引張強度および伸び

引張強度および伸びはFig.9のような荷重試験機と治具を用いて引張試験を行い、その最大荷重と試験片破断までの伸び量を測定した。なお荷重試験機はインストロン社5848を使用した。

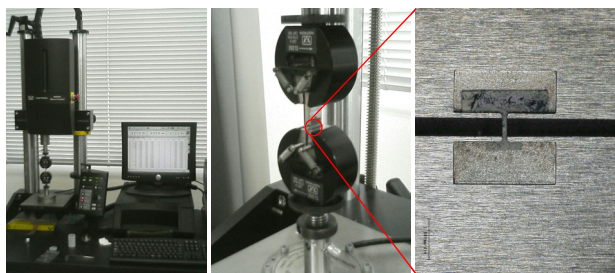


Fig.9 The Tension Tester and the Jig.

測定した引張強度と伸びをFig.10およびFig.11に示す。

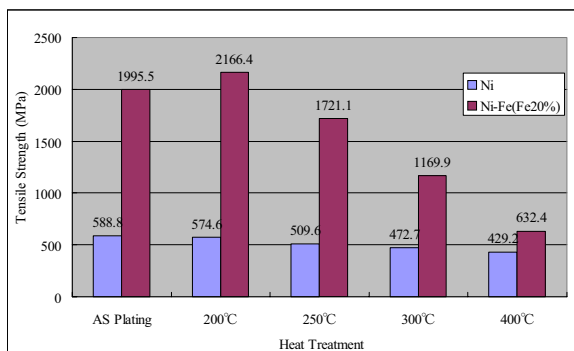


Fig.10 Tensile Strength.

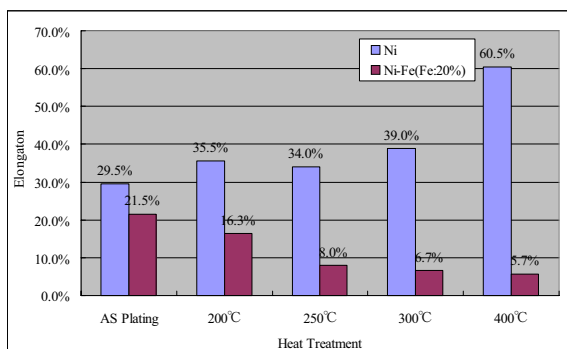


Fig.11 Elongation.

熱処理前のニッケル-鉄合金の引張強度は1996MPaとニッケル589MPaの3倍以上の強度を示した。また200°C

までは引張強度は上昇するが、それ以上の温度では強度は低下することも確認された。

また伸びについてはニッケルが温度の上昇とともに伸びが上昇する傾向があるが、ニッケル-鉄合金は低下し、まったく逆の傾向を示すことがわかった。

2-4-4 考察

ニッケル-鉄合金はニッケルと比較して、硬度と強度に優れている。耐熱性もニッケルよりやや高い傾向があるが、200°Cを超えると引張強度と伸びが低下して脆くなり、さらに250°C以上では硬度の低下も認められる。このため熱が加わる環境下での使用には注意が必要である。

2-5 ばね試験

製作した2種類の材料のマイクロスプリングに錘を付けその伸び量をFig.2に示す通りマイクロスコープで測定し、その測定結果をFig.13にプロットした。

なおこの試験には、ばね幅40 μm 、厚さ100 μm のマイクロスプリングを使用した。(Fig.2参照)

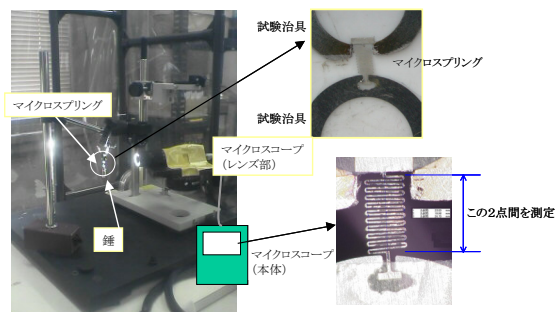


Fig.12 The Test Method of the Spring Test.

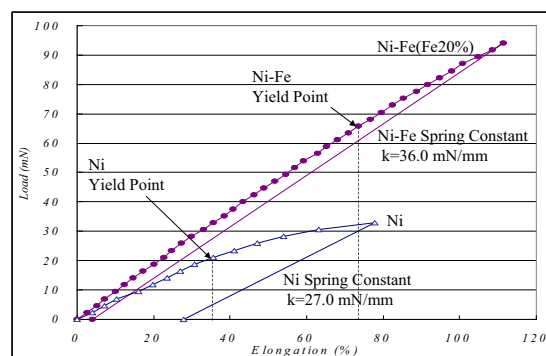


Fig.13 The Result of the Spring Test.

ニッケル-鉄合金のマイクロスプリングは同形状のニッケルの試料よりばね定数が30%ほど高く、また降伏荷重は3倍以上とばねとして優れた性質を示した。

特にばねの弾性伸びが70%と高く、大きな出力が必要とされるマイクロアクチュエーターなどに有効な材料になると考える。

3. 成果

LIGAを用いて幅20 μ mまでのマイクロマシン部品を製作する生産技術を確立するとともに、ニッケル-鉄合金電鍍を始めとする素材に関する要素技術の蓄積を行うことができた。

また研究で培った評価技術も含めて、これらの技術は今後の新技術、新商品の開発の礎となると考える。

4. 今後の展開

高強度で耐熱性のあるニッケル-鉄合金は従来ニッケルで製作されていた成型金型の寿命の向上や、複雑な形状での製品精度の向上が期待される。今後、金型に要求される品質を確保するため、LIGAプロセス技術の細部条件の最適化による精度の向上、成型金型へ展開するための周辺技術の開発を行う。

また一方で、ばね試験でも明らかなようにLIGA技術とニッケル-鉄合金電鍍技術の組み合わせは、MEMSアクチュエーター部品としても期待でき、金型以外の商品、部品への展開を検討する。

謝辞

本研究にあたりLIGA技術のご指導をいただいた立命館大学杉山進教授、電鍍開発で協力いただいた清水長金属工業（株）様、京都市産業技術研究所様に深く感謝いたします。

また、本研究は「平成18年度文部科学省のナノテクノロジー総合支援プロジェクト」を通して実施されました。

参考文献

- 1) 水谷泰, 永山富男 : MEMS のためのめっき・電鍍技術, 表面技術, Vol.55 No.4 (2004), pp.237-241
- 2) M. J. Madou : MEMS HANDBOOK, CRC PRESS, (2002), pp.17-21
- 3) 永山富男 他 : ニッケル-鉄合金めっき皮膜の熱膨張特性, 表面技術, Vol.57 No.10 (2006), pp.733-737
- 4) 榎本英彦, 小見栄 : 合金めっき, 日刊工業新聞社, (1987), p.128

二成分現像剤挙動シミュレータの開発

Numerical Simulation of Carrier Behavior in a Two-component Developer Unit in Electrophotography

渡邊 孝宏*

Takahiro WATANABE

要 旨

並列計算により計算性能を向上させた二成分現像剤挙動シミュレータを開発した。本シミュレータは、複数台のコンピュータをネットワーク接続したコンピュータクラスタ上で稼動し、MPIおよびOpenMPによる並列計算が可能である。本シミュレータを利用することで、計算時間は従来の6分の1以下となり、現像ユニット設計での活用が期待される。

ABSTRACT

A new particle simulator to analyze the behavior of carrier beads around a magnet roll in a two-component developer unit in electrophotography has been developed. The simulator, which is based on Discrete Element Method, including the magnetic interaction force among particles in a magnetic field, adopts parallel processing with MPI and/or OpenMP. Parallel processing of the particle simulator with 16 processors reduces calculation time about 6 times shorter than that of uni-processing simulator. The simulator will be an excellent tool for design of two-component developer unit in electrophotography.

* 研究開発本部 基盤技術研究所

Core Technology Research Center, Research and Development Group

1. 背景と目的

電子写真システムの主要な現像方式のひとつである二成分現像方式では、二種類の粉体、トナーとキャリアからなる現像剤が用いられる。トナーは感光体表面に形成された静電潜像に付着することで可視画像を形成するもので、一方磁性粒子であるキャリアは磁気力による挙動制御が可能であり、可視画像を形成するためのトナーを、静電潜像が記録された感光体表面近傍へと搬送する役割を担っている。したがって、二成分現像方式において良好な画像形成を実現するためには、静電潜像パターンに正確にトナーを付着させることはもちろん、そのためのトナー供給に関わる磁場中におけるキャリア挙動も適切に制御することが重要である。

二成分現像方式の技術開発において、現像剤挙動を知ることは重要である。その有効な手段のひとつとして、計算機シミュレーションが考えられる。計算機シミュレーションを利用することで、観察困難な現像ユニット内における現像剤挙動と各種設計パラメータとの相関を、試作機を作ることなく、容易に把握できるようになると考えられ、開発期間の短縮や開発コストの低減を実現する非常に強力な開発ツールであると期待されている。すでに二成分現像方式を対象とした計算機シミュレーションの研究例はいくつか報告されており、キャリア挙動とトナー挙動を同時に解析した報告¹⁾やトナー挙動にのみ着目した静電潜像へのトナー付着を詳細に解析した事例²⁾などがある。しかし、従来の粉体挙動解析は膨大な計算時間を要するため、設計開発のツールとして活用される例は少ない。したがって、現像剤挙動シミュレーションを現像ユニットの設計・開発で活用できる実用的なものとするためには、計算時間を短縮することが必要となる。

計算時間を短縮する方法として、計算モデルや計算アルゴリズムを見直すことで計算コストを低減し計算時間を短縮する方法と、並列計算等により計算機のパフォーマンス向上を図ることで計算時間を短縮する方法の2つが考えられる。計算モデルについては、磁場中の磁性粒子挙動に関する過去の研究において、粒子をひとつの離散要素とした計算モデル（＝離散要素法）

での解析結果は現実の系と定量的なレベルでも一致することが示されている³⁾。一方、計算機のパフォーマンスを向上する方法のひとつである並列計算は、共有メモリ型計算機システムで用いられる並列計算手法であるOpenMPを利用した並列化（OpenMP並列とする）や、複数の計算機をネットワーク接続した分散メモリ型計算機システムではMessage Passing Interface（MPI）を用いる並列化（MPI並列とする）、さらにそれら2つの並列化手法を組み合わせた並列計算（Hybrid並列とする）を可能とするプログラミング環境が整いつつある。

本研究では、磁場中でのキャリア挙動を計算対象とし、計算モデルはそのままに、並列計算を可能とする現像剤挙動シミュレータを開発し、計算速度の向上を図る。

2. 技術

2-1 計算方法

2-1-1 現像剤挙動計算

これまでに、磁場中における磁性粒子の挙動解析を目的とした数値シミュレーションの研究は多数実施されており、その有効性が示されている³⁾。そこで、粒子挙動の計算モデルおよび計算アルゴリズムは従来手法をそのまま用いる。

従来の計算手法の概要を説明する。各粒子に作用する力として、粒子同士および粒子と壁面との接触による作用力と、磁場および粒子間の磁気相互作用による磁気力とを考える。接触による作用力は、バネ、ダッシュポット、および摩擦スライダによる計算モデル⁴⁾に基づいて計算する（Fig.1）。

粒子に作用する磁気力は、各粒子の磁化を粒子中心の磁気双極子モーメントとして近似する計算モデル⁵⁾を採用する。また、磁気相互作用の作用距離に対して、カットオフ距離を設けることで、磁気相互作用を考慮する粒子数を制限し、計算コストを低減した（Fig.2）。

このカットオフ距離は、後述する並列計算、特に領域分割法を適用する際にも重要となる。

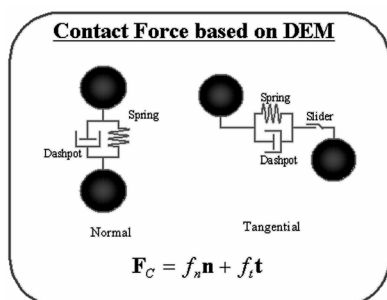


Fig.1 Contact force between two particles.

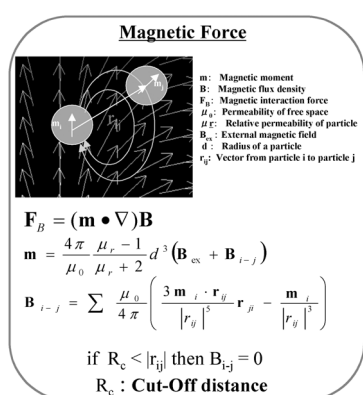


Fig.2 Magnetic interaction between particles.

2-1-2 並列計算

並列計算は、計算機システムに応じていくつかの手法が考えられる。ここでは、計算システムとして共有メモリ型計算機を複数台ネットワーク接続したコンピュータクラスタを用い、共有メモリ型計算機システムで用いるOpenMP並列、分散メモリ型計算機システムで用いるMPI並列、さらにそれらを組み合わせたHybrid並列での並列計算が可能な並列化プログラミングを実施した。

まず、MPI並列について説明する。MPIを用いた並列計算を実現する方法はいくつか考えられるが、ここでは計算領域を小領域に分割し、各小領域ごとに計算することで並列化する領域分割法を考える。以下、領域分割法によるMPI並列について述べる。いま、3台のコンピュータA、B、Cからなる分散メモリ型の計算機シ

ステムがあり、このシステムでのMPI並列を考える。このとき、計算領域全体を3つの小領域A、B、Cに分割し、それぞれに含まれる粒子計算を3台のコンピュータに分配することで、1台当たりの計算量は約3分の1なる (Fig.3)。一方、分割された各小領域の境界近傍にある粒子への作用力を計算する場合、隣接する小領域にある粒子との相互作用を考慮する必要がある。隣接する小領域にある粒子データは、着目している粒子の作用力を計算しているコンピュータとは異なるコンピュータに格納されているため、各コンピュータ間でMPIによる粒子データの送受信を行いつつ、それぞれの領域ごとの粒子挙動を計算しなければならない。例えば、磁気相互作用のカットオフ距離を設定している場合、Fig.3において、Domain Bに含まれる粒子でDomain Aとの境界からの距離が磁気相互作用のカットオフ距離未満の粒子については、Domain Aにある粒子との相互作用を考慮するため、Domain Bの粒子データはComputer BからComputer Aへと送信される。Computer Aでは、送信された粒子データを用いて、割り当てられた領域内の粒子挙動を計算する。このように領域分割によるMPI並列計算は、計算領域全体をいくつかの小領域に分割し、それぞれの小領域ごとで計算を実施することでコンピュータ1台当たりの計算量を低減し、領域分割により生じた不足データについては、それぞれのコンピュータ間の通信によって不足データを補いながら領域全体の計算を実施している。この方法では、通信時間が十分小さければ、分割数に応じた計算時間の短縮が期待できる。

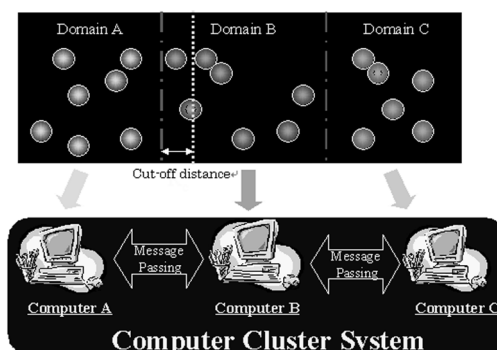


Fig.3 Parallel processing with domain decomposition on a computer cluster system.

次にOpenMP並列について述べる。OpenMPは共有メモリ型の並列計算機における並列計算実行のための業界標準規格のAPIで、既存のプログラムに対してOpenMP指示文を挿入することで並列化が可能である。前述のMPI並列とは異なり、領域分割など追加の処理を必要としない。

Hybrid並列は、MPI並列とOpenMP並列を組み合わせたもので、ここでは、領域分割による小領域の計算部分をOpenMP並列化することで、Hybrid並列計算を実現している。

2-2 計算結果

2-2-1 平板上での現像剤挙動計算

開発した現像剤挙動シミュレータの基本機能確認のため、平板上での現像剤挙動計算を実施した。直径50～60 μm の球形磁性粒子45,499個を平板上に配置し、その下に磁石を配置した構成を考える。このとき、磁場中において現像剤が形成する特徴的な形状である磁気ブラシ形状が本シミュレータでも同じように形成することを確認した (Fig.4)。

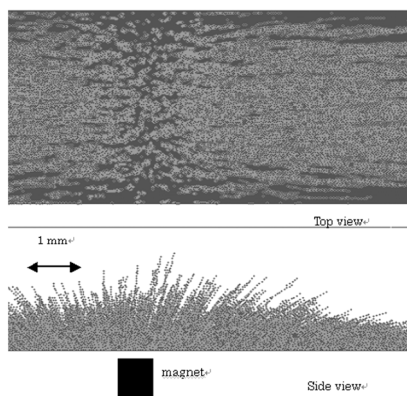


Fig.4 Shape of magnetic brush on a plate (Simulation result).

2-2-2 並列計算における計算速度

CPUを2個搭載したPC8台をギガビットイーサネットに接続した8ノード16CPUのPCクラスタを用いて、現像剤挙動シミュレータの計算速度を計測した。

現像剤に相当する直径55 μm の磁性粒子80,000個を直径25mmのローラの周りにランダムに配置した状態 (Fig.5) を初期状態とし、現像ローラに相当する磁場データを与える。この条件でローラを回転させたときの粒子挙動計算を実施したときの計算時間を計測した。この計算条件は、現像ユニット内の現像剤挙動に近い状態を再現するもので、実際に設計開発で利用する場合の計算速度に相当すると思われる。なお、計算速度は計算時間より1CPUでの計算時間を単位とした相対速度として算出している。

並列計算は、並列計算1：ノード間通信のみを利用したMPI並列計算、並列計算2：ノード間通信とノード内通信が混在したMPI並列計算、並列計算3：MPIとOpenMPによるHybrid並列計算、の3つに分類できる。それぞれの並列計算での計算時間*をFig.6に示した。

いずれの並列計算パターンにおいても、計算に用いたCPU数に比例して計算速度は増加している。しかし、計算速度向上の程度は並列計算パターンにより差が見られる。MPIとOpenMPを組み合わせた並列計算3の条件では、最大6倍以上の計算速度の向上が見られるが、MPIのみを用いた並列計算2の条件では、最大5倍弱の速度向上にとどまっている。このことから、MPIとOpenMPを組み合わせたHybrid並列は計算速度の面で優位性があることが分かる。

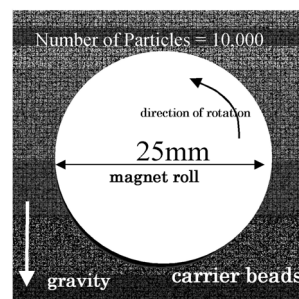


Fig.5 initial state of simulation model for performance test.

* 並列計算1の16CPUと並列計算3の2CPUでの計算速度データは存在しない。

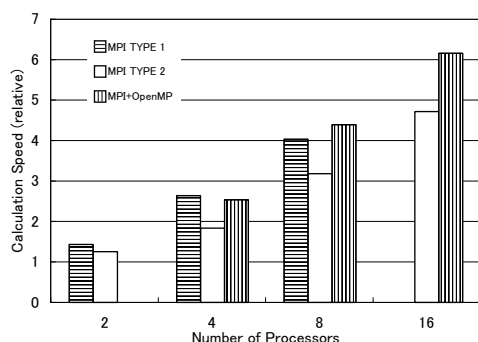


Fig.6 Relationship between number of processors and calculation speed of parallel processing.

Hybrid並列計算の優位性は、計算時間と通信時間との関係から説明できる。MPI並列ではノード数の増加とともに計算時間は短縮されるが通信時間は増加する傾向が見られる（Fig.7）。領域分割によるMPI並列では、ノード数は領域の分割数と一致しており、分割数の増加に伴う通信データの増加が通信時間の増加の原因と考えられる。ノード数8のとき、全体の計算時間に対する通信時間の割合が10%を越えており、計算速度の向上を図る上で、通信時間は無視できないことが分かる。したがって、より少ないノード数での計算が可能なHybrid並列の方がMPI並列よりも計算速度の面で優位であると考えられる。

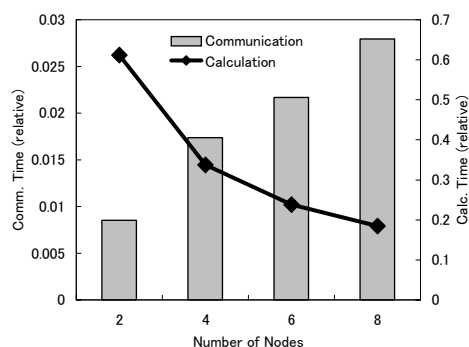


Fig.7 Relationship among calculation time, communication time and number of nodes.

2-3 考察

現像剤挙動シミュレータの並列化により、従来の6倍以上の高速化を達成した。これは、1週間の計算時間を

要した計算を1日程度で実行できることを示しており、実用上有効であると考えられる。

しかしながら並列計算に16CPUを用いていることから、その並列化効率率は40%弱であり、並列化効率の観点からはまだまだ改善の余地があると考えられる。特に2CPUでの並列計算での速度向上がわずかであることは、並列化による通信以外のオーバーヘッドが大きいことを示しており、この部分のプログラムの見直しが必要と思われる。

計算速度向上の面で、MPI並列よりもOpenMP並列と組み合わせたHybrid並列でより効果が高いことがわかった。CPUのマルチコア化が進んでいる現状を考えれば、今後もHybrid並列を進めていって間違いないと判断できる。

今後、現像剤挙動シミュレータの高速化が進めば、設計・開発の分野での利用が広がり、新たなニーズも生まれてくるであろう。それによって、現像剤挙動解析にも新たな展開のあることが期待される。

3. 成果

現像剤挙動シミュレータを並列化することにより従来の6倍以上の計算速度向上を達成した。これは、1週間の計算時間を1日に短縮できるに相当し、現像ユニットの設計開発で活用する上で大きく前進した。

現像剤挙動シミュレータの並列化において、MPI並列とOpenMP並列とを組み合わせたHybrid並列が計算速度向上の面で優位であることを確認し、今後の並列化プログラム開発の方向性を明確にした。

4. 今後の展開

並列化した現像剤挙動シミュレータには、まだまだ改良の余地が残っている。計算速度の向上だけでなく、複雑な現像ユニット形状への対応など、機能的な面でも追加すべきことは多い。設計開発での活用のため、並列計算の最適化によるさらなる大規模化・高速化を達成する一方で、実用に即した機能向上を目指した開発を進める。

参考文献

- 1) 久保田哲行, 井上博之, 飯野良雄, 日高重助 : 粒子法による 2 成分磁気ブラシ現像方式における現像剤挙動の数値解析, 第 84 回日本画像学会研究討論会予稿集, (1999), p177.
- 2) 岸由美子, 門永雅史, 渡辺好夫 : 二成分現像トナー流動シミュレーション, JapanHardcopy'99 論文集, (2000), p125.
- 3) N. Nakayama, H. Kawamoto, S. Yamada and A. Sasakawa : IS & T's NIP 18 Proceedings, 742-747 (2002)
- 4) P. A. Cundall and O. D. L. Strack : Geotechnique, 29(1), 47-65 (1979)
- 5) R. S. Pranjpe and H. G. Elrod : Stability of Chains of Permeable Spherical Beads, J. Appl. Phys., 60,418 (1986).

レーザ光強度分布制御によるサーマルリライタブル記録媒体の繰返し耐久性向上

Improvement of Repetition Durability by Controlling Intensity Distribution of the Laser Beam for Laser Recording on Thermal Rewritable Media

川原 真哉* 石見 知三* 堀田 吉彦*
Shinya KAWAHARA Tomomi ISHIMI Yoshihiko HOTTA

要 旨

サーマルリライタブル記録媒体をレーザ光により加熱して記録するレーザ記録では、非接触であるために離れたところから記録が可能であり移動体への記録も可能となることから、サーマルリライタブル記録媒体の用途が広がる可能性がある。一般にレーザ光の強度分布は中央部が強いガウス分布であるため、中央部に過剰のエネルギーが加わって高温になり、印字及び消去を繰り返すと記録媒体の層破壊や材料の分解等が起こり、濃度低下や消え残りが発生する。この濃度低下や消え残りを光強度分布を制御する事により改善できる事を見出した。さらに熱拡散シミュレーション計算の結果から、記録媒体が均一に加熱されている事が繰返し耐久性の向上に寄与している事がわかった。

ABSTRACT

We are studying laser recording on thermal rewritable media. As an image is recorded by an irradiation of laser beam out of contact between the energy source and the medium, the laser recording are expected to find new markets, because the image can be recorded even if the energy source and the medium is separated and the medium is moving. The decrease of the optical density of recorded image and the increase of the optical density of erased image are occurred by repetition of image recording and erasing by the irradiation of laser beam of Gaussian distribution, because the energy of the laser beam is too high. We found that the repetition durability improves by controlling intensity distribution of the laser beam. The calculated result by a thermal diffusion simulation shows that the repetition durability improves by uniform heating of the medium.

* サーマルメディアカンパニー 開発センター
Research and Development Center, Thermal Media Company

1. 背景と目的

リライタブル表示技術は、その利便性や環境負荷低減の点から注目度の高い技術分野として各種方式が提案されている。それらの中で、熱を利用したリライタブル熱記録媒体はいち早く実用化に至っている¹⁾。

従来、リライタブル熱記録媒体にはサーマルヘッドによる加熱記録が用いられてきたが、レーザ光により加熱して記録するレーザ記録についても検討されており²⁾、レーザ記録では従来のサーマルヘッド記録と異なり非接触であるために、記録媒体から離れた位置からレーザ光を照射して記録が可能であり、移動体への記録も容易となることから、リライタブル熱記録媒体の用途が広がる可能性がある。

一般にレーザ光の強度分布は中央部が強いガウス分布であるため、中央部に過剰のエネルギーが加わって高温になり、印字及び消去を繰り返すと記録媒体の層破壊等の劣化が起こり、画像濃度低下や消去温度に加熱しても消去できないような劣化による消去不良が発生する。本報告では、レーザ光の強度分布を制御する事により、レーザ記録での繰り返し耐久性が大きく向上する事を見出したので報告する³⁾。

2. 実験方法

2-1 記録媒体

今回用いた記録媒体の基本構成をFig.1に示す。

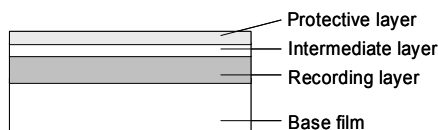


Fig.1 Basic structure of thermal rewritable medium.

ベースフィルムは白色PETフィルム ($125\mu\text{m}$) を用い、記録層 (約 $12\mu\text{m}$) はロイコ染料とフェノール系長鎖型顕色剤を主成分としたものを用いた。記録層上には紫外線遮蔽のための中間層 (約 $1.5\mu\text{m}$) 及び媒体表面を保護するための保護層 (約 $3.5\mu\text{m}$) を設けた。

Fig.2に基本的な発色・消色プロセスを示す⁴⁾。消色状態のロイコ染料と長鎖型顕色剤からなる組成物(A)を熔融混合するまで加熱すると発色する(B)。ここから徐冷すると消色して元に戻るが、急冷すると発色状態は固定化され発色画像が形成できる(C)。発色状態は、熔融温度より低い温度に加熱すると消色し(E)、これによって画像消去できる。

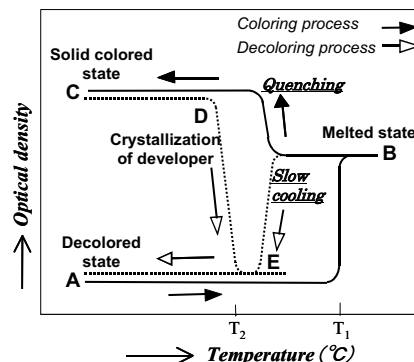


Fig.2 Coloring/decoloring process of leuco dye/long-chain developer systems.

2-2 実験装置

Fig.3に今回用いたレーザ実験装置の概略図を示す。光源にはCO₂レーザ (波長 $10.6\mu\text{m}$ 、最大出力 100W) を用いた。光分布制御のためのレーザ光遮断マスクを設置可能にするためにミラーを用いて光路長を長くしている。レーザ光の走査はX、Y軸ガルバノスキャナミラーを用いる事により行ない、 $f\theta$ レンズ (焦点距離: 184mm) により集光して印字及び消去を行なう。この時のレーザ光スポット径は最小で約 0.2mm であり、レーザ光スポット径を変えるための記録媒体までの照射距離の調整はスライドステージを移動させる事によって行なう。

CO₂レーザの場合は、記録媒体自体が波長 $10.6\mu\text{m}$ の光を吸収するために、レーザ光を吸収して発熱させるための添加剤が必要なく、サーマルヘッド記録で用いられる記録媒体がそのまま使用可能である。

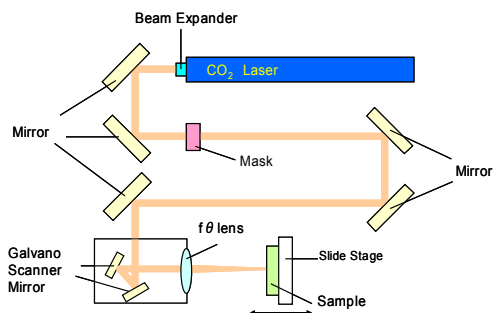


Fig.3 The schematic diagram of the experimental laser recording and erasing system.

3. 実験1

3-1 実験および評価方法

Fig.3のレーザ実験装置を用い、適度な線幅（約0.3mm）を得るために照射距離を焦点位置から6mm遠い位置にずらして（照射距離190mm），Fig.4に示す画像を印字して反射濃度を測定し，その後消去して消去部の反射濃度の測定を行なった．この時，レーザ光のスポット径（ $1/e^2$ ）は約0.5mmであり，レーザ光走査速度は市場で要求される標準的な処理速度を想定して1800mm/secとした．この条件でFig.4の画像を約50msecで印字可能であった．



Fig.4 Magnified view of recorded images.

反射濃度の測定は，印字部及び消去部をスキャナーで読み取り，反射濃度計と対応させた反射濃度に換算した．

レーザ光の光強度分布の測定は，ビームプロファイラーLPK-CO₂-16（Spiricon社製）を用いた．

3-2 結果と考察

3-2-1 レーザ光強度分布

Fig.5に実験1で用いたレーザ光の強度分布を示す．中央部の光強度が強いガウス分布に近い分布である事がわかる．

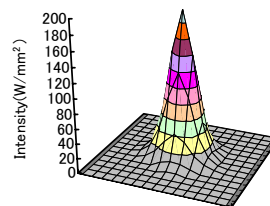


Fig.5 Intensity distribution of the laser beam of experiment 1 (Laser power on medium : 20.1W).

3-2-2 レーザ印字特性

Fig.6にレーザパワーを変えて印字した時の照射エネルギーと印字濃度の関係を示す．飽和濃度を得るのに必要な記録媒体面上での照射エネルギーは約20mJ/mm²である．照射エネルギーは以下の式を用いて算出した．なお，Eは照射エネルギー（mJ/mm²），Pはレーザパワー（W），tはレーザ照射時間（sec），Sは印字面積（mm²）を表す．

$$E = P \times t / S$$

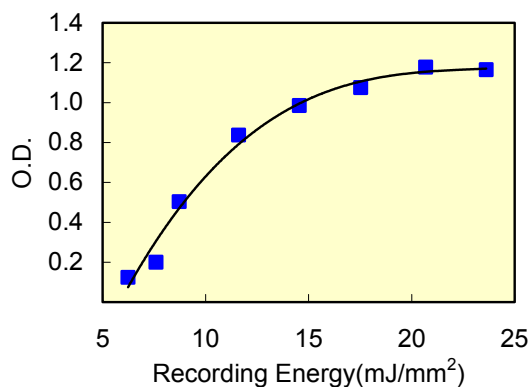


Fig.6 Relationship between recording energy and optical density of recording.

3-2-3 レーザ消去特性

Fig.7にレーザパワーを変えて消去した時の照射エネルギーと消去濃度の関係を示す。レーザでの消去は媒体全面を光走査して消去するために印字と比較して時間がかかる事から、レーザ光走査速度を速くしている(2000mm/sec)。光走査方法としては、照射距離を焦点位置から遠い位置に40mmずらして、媒体面上でのレーザ光のスポット径(1/e²)を約3mmと拡大し、かつ0.6mm間隔でずらしながらレーザ光が重複するように光走査し、記録媒体を均一に消去温度に加熱して消去を行なった。上記走査速度は、市販のCO₂レーザーマーカは出力30Wが一般的である事から、上記の光走査で、かつ30Wで消去可能となる最大の走査速度とした。

Fig.7に示すように、消去が可能となる照射エネルギーの範囲は約16~26mJ/mm²であり、この条件でFig.4の画像は約0.4secで消去可能であった。消去の照射エネルギーが印字の照射エネルギーと同程度になっているのは、レーザ光を重複させて光照射しているために消去に時間がかかり、熱拡散によるエネルギー損失が大きくなっているためと考えられる。

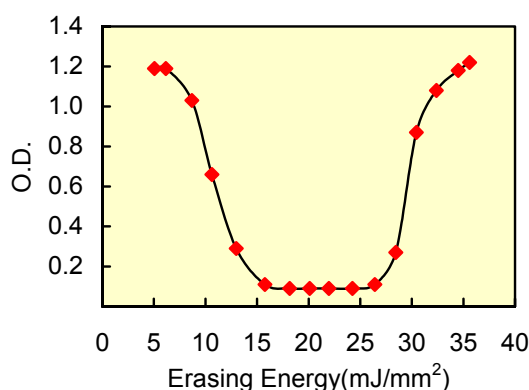


Fig.7 Relationship between erasing energy and optical density of erasing.

3-2-4 繰返し耐久性評価

Fig.5に示す強度分布を有するレーザ光を用いて繰返し印字を行なった時の印字部及び消去部をFig.8に示す。

印字はFig.6の20.7mJ/mm²、消去はFig.7の22.0mJ/mm²の条件で行なった。

印字において、1回目は画像濃度で約1.2の線画像が得られるが、3回、10回と繰返し印字を行なうと線中央部の画像濃度が低下していった。消去においては、1回目から劣化による消去不良がわずかにみられ、3回及び10回繰返し後には劣化による消去不良が目立つようになった。画像濃度が低下した部分の媒体断面をSEMで観察すると塗工層がなくなっている事がわかった。これは、レーザ光の強度分布がFig.5に示すように中央部が強い強度分布である事から、線中央部に発色に必要なエネルギーよりも極端に高いエネルギーが加わって高温になったためと考えられる。また、劣化による消去不良は、印字時に加わった過剰のエネルギーにより高温となり、記録層中の顕色剤が熱分解し、非可逆性の発色状態を形成するためと考えられる。なお、Fig.7の消去濃度は1回目の線周辺部の消去が良好な部分を測定した。

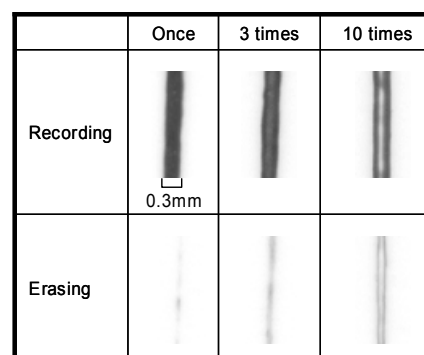


Fig.8 Recorded images and erased images by repetition.

この結果から、レーザ記録での繰返し耐久性を向上させるためには、記録媒体を均一に加熱し、かつ照射エネルギーを発色に必要なエネルギー以上の余分なエネルギーを加えないようにする事が重要であると考えられる。そのためには、レーザ光の強度分布をガウス分布と比較して中央部の強度が弱い強度分布に制御する事が必要であると考えられる。

この考え方を検証するために、レーザ光強度分布制御実験を行なった。

4. 実験2

4-1 実験方法

4-1-1 レーザ光強度分布調整方法

強度分布の調整は、レーザ光の外周部あるいは中央部を遮断するFig.9に示すようなステンレス製の光遮断マスクをFig.3に示す位置に設置して行なった。

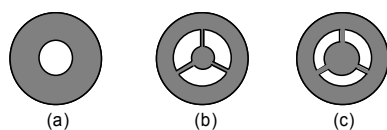


Fig.9 The figures of masks for cutting the laser beam.

Fig.9(b)およびFig.9(c)のマスクを用いて中央部の強度が周辺部より弱い強度分布を得ようとするマスクによるレーザ光の回折によりスポット径が大きくなり印字線幅が約0.5mmとなる事から、いずれの強度分布においても印字線幅を約0.5mmに揃えて評価を行なった（スポット径は約0.8～1.0mm）。

4-1-2 繰返し耐久性評価方法

光遮断マスクを設置した場合、印字時だけでなく消去時においても光強度分布が変わり、印字の強度分布制御の効果が判断しにくくなるため、印字のみを繰返した後、前述の消去条件でレーザ照射を行ない、消去部の反射濃度を測定し、さらにもう一度印字して印字画像の反射濃度を測定した。この時の印字条件は、Fig.9(c)のような中央部の遮断領域が大きいマスクの場合、エネルギーロスが大きいため、レーザ光走査速度を遅くした（1100mm/sec）。それぞれのレーザパワーについては、Fig.10に示す。

4-2 結果と考察

4-2-1 レーザ光強度分布

Fig.10に強度分布を制御した時のレーザ光強度分布を示す。

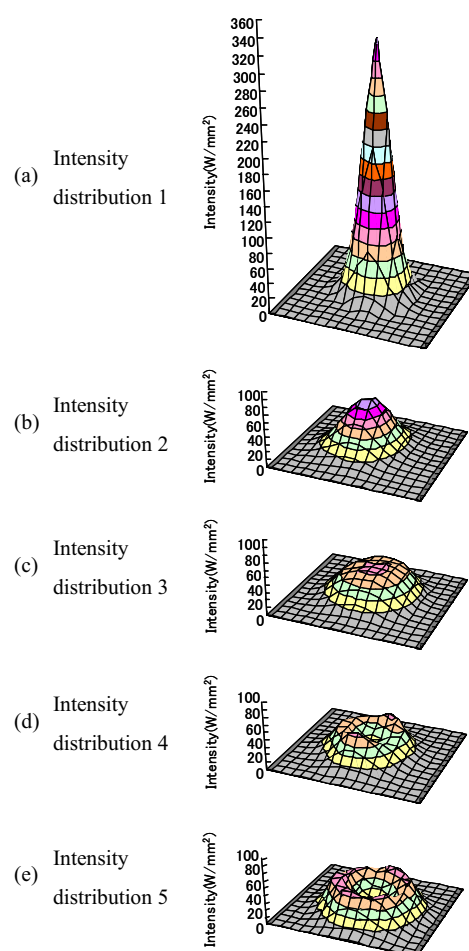


Fig.10 Intensity distributions of the laser beam (Laser power on each medium : (a)33.4W, (b)21.0W, (c)21.0W, (d)18.1W, (e)20.6W).

Fig.10(a)はFig.5のレーザパワーを約1.7倍にして印字線幅を約0.5mmとなるようにしたために中央部の光強度がかなり強い強度分布であった。Fig.10(b)は照射距離を焦点位置から17mm遠い位置（照射距離201mm）にずらした時の強度分布であり、Fig.10(a)と比較して中央部の強度が弱い強度分布であった。Fig.10(c)はFig.9(a)のマスクを用いた場合であり、中

中央部の強度が周辺部より若干強い強度分布であった。Fig.10(d)はFig.9(b)のマスクを用いた場合であり、中央部の強度が周辺部より若干弱い強度分布、Fig.10(e)はFig.9(c)のマスクを用いた場合であり、中央部の強度がさらに弱い強度分布であった。

4-2-2 レーザ光強度分布と繰返し耐久性の関係

Fig.10に示す強度分布を有するレーザ光を用いて繰返し印字を行なった時の印字部及び消去部をFig.11に示す。また、その時の画像濃度変化及び消去濃度変化をFig.12に示す。

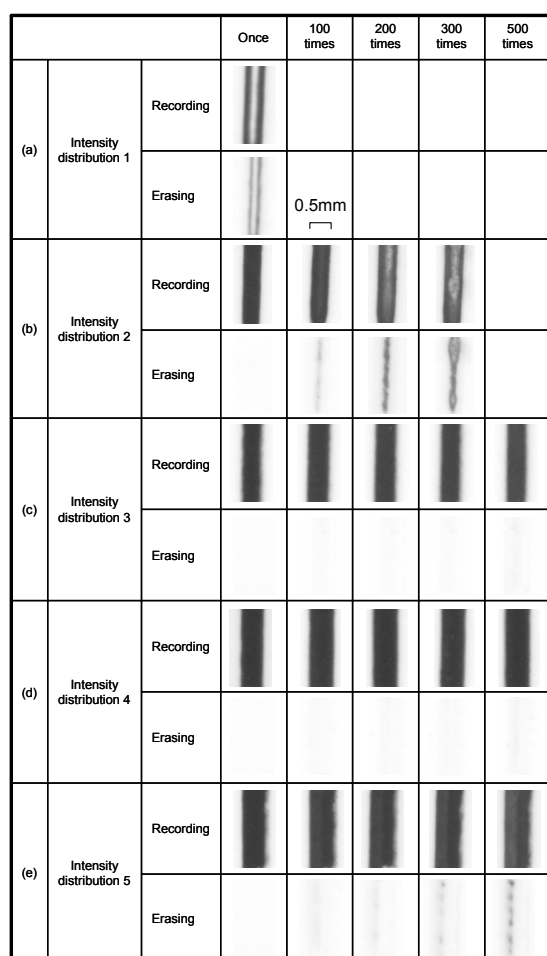


Fig.11 Recorded images and erased images by repetition.

Fig.11(a)では、1回目で線中央部の濃度低下および劣化による消去不良が発生した。これは中央部の強度が強過ぎるために線中央部に過剰のエネルギーが加

わったためと考えられる。また、Fig.11(b)では、繰返し100回で劣化による消去不良がみられ、繰返し200回で大きな画像濃度低下及び劣化による消去不良がみられた。これは光強度分布2でもまだ中央部の強度が強いために線中央部に過剰のエネルギーが加わったためと考えられる。

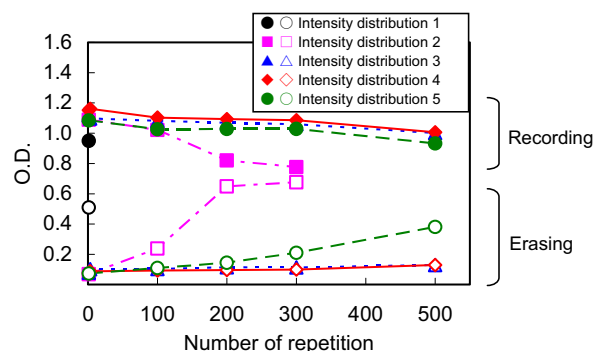


Fig.12 Repetition durability of controlling intensity distribution of the laser beam.

Fig.11(c)及び(d)では、繰返し300回では画像濃度低下及び劣化による消去不良がなく、500回でわずかに劣化による消去不良がみられた。これは中央部の強度と周辺部の強度の差が小さい強度分布とする事により、記録媒体上において中央部とその周辺部の温度差が小さくなり、均一に加熱されているためであると考えられる。

一方、Fig.11(e)では、線の中央部ではなく線のエッジ部に繰返し300回で劣化による消去不良がみられた。これは、中央部の強度に対して周辺部の強度が強くなり過ぎ、線のエッジ部に過剰のエネルギーが加わったためと考えられる。

4-2-3 熱拡散シミュレーション計算による考察

Fig.10に示す異なる光強度分布を有するレーザ光を走査させた時の記録媒体上での温度分布を求めるため、記録媒体上の温度分布をMSC社製Marc Mentatを用いて有限要素シミュレーションで計算した。この時、実験2のFig.10(b)～(e)に近い強度分布モデルを設定した(Fig.13(a)～(d))。

なお、今回のシミュレーション計算は以下の(1)，
(2)を前提として行なった。

- (1) PET基材上に記録層を設け、記録層は均一な材料で構成され、熱拡散が層内で均一に起こり、レーザ光は記録層のみに吸収され発熱する。また、記録層の上側は空気層と設定した。
- (2) レーザ光を走査速度1100mm/secで直線状に走査させ、0.1msec毎にエネルギーを加える。

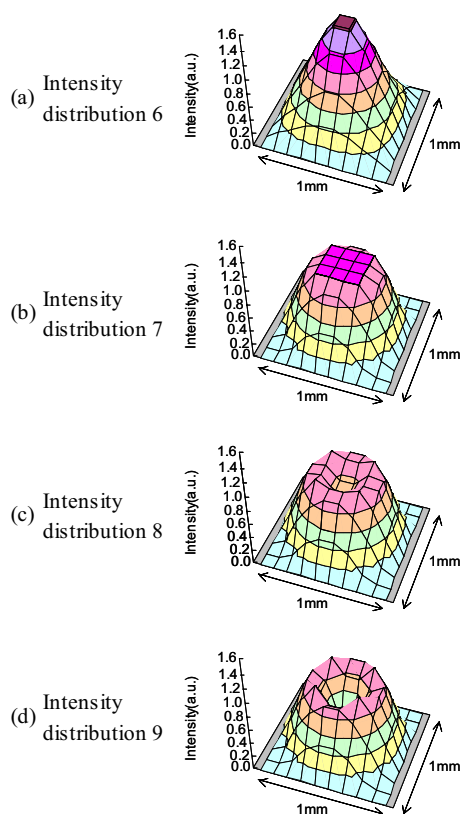


Fig.13 Intensity distributions of the laser beam for a thermal diffusion simulation.

Fig.14に、各光強度分布に対するシミュレーション計算によって得られた走査方向に対して直交面の媒体上の温度分布を示す。

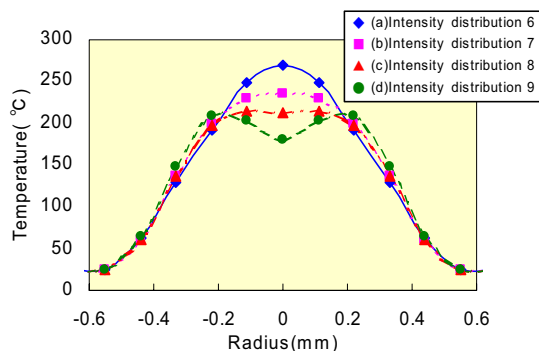


Fig.14 Simulation results for each intensity distributions of the laser beam.

Fig.13(c)の中央部の強度が周辺部より若干弱い強度分布で、Fig.14(c)のように記録媒体上の温度分布が均一となっているのは、レーザ光を走査している事から線中央部にも周辺部の強い強度のレーザ光が照射され、かつ熱拡散が起こるためと考えられる。

上記の結果から、Fig.11(b)での線中央部の画像濃度低下及び劣化による消去不良の発生については、Fig.14(a)のように中央部が高温となっているためと考えられる。Fig.11(c)及び(d)で繰返し耐久性が向上している事については、Fig.14(b)及び(c)のように中央部と周辺部の温度差が小さく、記録媒体が均一に加熱されているためと考えられる。

以上の事から、レーザ光強度分布をFig.10(c)及び(d)のような中央部と周辺部の強度の差が小さい強度分布にして記録媒体が均一に加熱する事が繰返し耐久性の向上に大きく寄与する事がわかり、レーザ光強度分布制御の考え方の検証ができた。

5. まとめと今後の展開

リライタブル熱記録媒体へのレーザ記録において、光分布制御技術が確立でき、繰返し耐久性向上にはレーザ光の強度分布を中央部の強度と周辺部の強度の差を小さくして記録媒体を均一に加熱する事が重要である事がわかった。また、光強度分布制御技術により、リライタブルレーザ記録の価値が高まり、リライタブル熱記録媒体の用途が広がる可能性が高まった。

今後は、光遮断マスクではエネルギーロスがある事から、エネルギーロスが少なく、中央部の強度と周辺部の強度の差が小さいレーザ光強度分布となるような非球面レンズ等の光学系の検討を進めていく。さらに、次の段階として、小型化が可能で使用用途の拡大が期待できる半導体レーザを用いたリライタブル記録プロセス／装置の開発および半導体レーザ光を吸収してリライタブル記録が可能となる媒体の開発を進めていく。

参考文献

- 1) Y. Hotta : Development of Rewritable Card and Paper, International Congress of Imaging Science 2002, Tokyo., 503 (2002).
- 2) 堀田, 鈴木, 北村, 山岡 : リライタブル熱記録媒体へのレーザ書込み, 電子写真学会誌 第 35 巻, 168 (1996).
- 3) 川原, 石見, 堀田 : リライタブル熱記録媒体へのレーザ記録(1)ーレーザ光強度分布制御による繰返し耐久性の向上ー, Imaging Conference JAPAN 2007 論文集, 51 (2007).
- 4) 古屋, 岡田, 山本, 折口, 筒井 : ロイコ染料を用いたリライタブルペーパーにおける長鎖型顕色剤の分子設計ー会合基の配置ー, Japan Hardcopy 2005 論文集, 293 (2005).

二次元MEMSミラーアレイデバイスの開発

A Two-Dimensional MEMS Mirror Array Device based on New Structure

加藤 静一*

Seiichi KATO

南條 健*

Takeshi NANJYO

大高 剛一*

Koichi OHTAKA

要 旨

MEMS二次元ミラーアレイデバイスにはねじり梁ヒンジを用いた構造のものが多く、小型化の障害になっていた。我々はヒンジのない新規構造二次元MEMSミラーアレイを開発した。基板上のピボットとミラーコーナーに近接するストッパによりミラーは自由に傾斜変位可能である。ミラー電位はピボットを囲む電極から静電誘導で誘起され、電極とミラー間の電位差による静電力でミラーは傾斜変位する。デバイス試作は二段階の犠牲層プロセスを含んだ表面マイクロマシニングにより行った。試作 $15\mu\text{m}$ ミラーデバイスの応答時間は2300Paの減圧雰囲気でのシミュレーションと良く合うことが分かった。

ABSTRACT

The development of a two-dimensional MEMS mirror array device based on a new structure is reported. The feature of the device is that the mirror is not supported by hinges on the substrate. The combination of the pivot formed beneath the mirror and the stoppers formed at the corners of the mirror enables the inclination of the mirror. A floating potential in the metal mirror is generated by the electric field of the electrodes arranged around the pivot. The mirror is inclined by the electrostatic force between the mirror and the electrodes. The device is fabricated by surface micromachining technology with a two-step sacrificial layer process. The response time of $15\mu\text{m}$ mirror in reduced pressure at 2300Pa agrees with the simulation results.

* 研究開発本部 東北研究所

Tohoku R&D Center, Research and Development Group

1. 背景と目的

近年のMEMS (Micro Electro Mechanical Systems) 技術の発達により、多数の微細なミラーをLSI基板上に製作し、個別に動作制御することが可能になっている。このような二次元MEMSミラーアレイは空間変調器として、プリンタ、ビデオプロジェクタ、マスクレス露光機などへの応用が検討されている¹⁻³⁾。これらの応用では、高解像度かつ高い階調性が求められ、さらにより高密度で高速のスイッチング速度が要求されてきている。多くのミラー型空間変調器では、ねじり梁ヒンジという板バネで吊られたミラーを静電力や電磁力で駆動する方式がよく用いられている。ビデオプロジェクタ用ミラーデバイスではフィルファクタを向上するため、ミラー下にヒンジを形成する複雑な構造がとられている例⁴⁾もある。ねじり梁ヒンジでミラーを支持する構造では高解像度を得るためミラーサイズを縮小すると、ねじり梁ヒンジの剛性が増加し駆動エネルギーの増大を招く。

我々はねじり梁ヒンジを用いない新規構造の静電型二次元ミラーアレイを開発したので報告する。このデバイスは構造がシンプルで、バネ剛性による反発力が生じないためミラーを小型化しても駆動力すなわち駆動電圧が極端に増加しない。さらにヒンジを持たず傾斜方向が一軸に制限されないため、傾斜の向きを自在に選択でき二軸の光偏向が可能である。

2. 技術

2-1 デバイス構造

Fig.1は開発した二次元ミラーアレイの概略図である。(a)はアレイ内の1ピクセルを、(b)は二次元アレイを示している。電極を示すため、(a)においてはミラーの一部を、(b)においてはアレイ中央の二枚のミラーをそれぞれ取りさった。ミラーの各コーナー付近にポストおよびストッパが形成され、ミラー下にはピボットが設けられている。ミラーを支持するねじり梁ヒンジは存在せず、ポストとストッパの作る空間でピボットを支

点とし自由に傾斜できる。ミラーに対向しピボットを囲むように4つの電極が配置されており、これらの電極からの静電誘導によりミラー電位が誘起される。これにより電極とミラー間に静電力が発生しミラーを傾斜変位させることができる。傾斜したミラーとストッパは非接触で、ミラーの偏向角はミラーサイズとピボット高さからなる傾斜角により設計することができる。

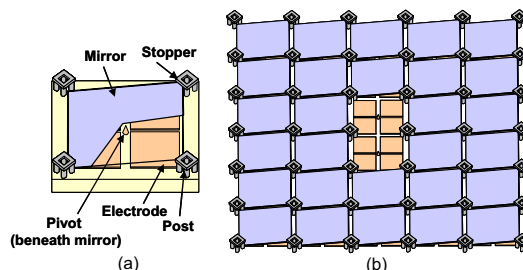


Fig.1 Schematic structure of the device.

2-2 動作原理

Fig.2(a)と(b)に本デバイスの電極の構成とミラー偏向のための印加電圧例を示す。ミラーは電極とミラー間の電位差による静電力で傾斜変位する。ミラー電位 V_m は電極からミラーに静電誘導で誘起され、次のように求めることができる。電極A、電極B、電極C、電極Dとミラー間の静電容量をそれぞれ C_a , C_b , C_c , C_d とすると本デバイスの等価回路はFig.2(c)のようになる。ミラーは電気的に浮いており各電極から誘導される電荷の総和は零で、かつ各電極に対する電荷量は

$$\text{電荷量} = \text{静電容量} \times (\text{電極電位} - \text{ミラー電位})$$

であるので、

$$C_a(V_a - V_m) + C_b(V_b - V_m) + C_c(V_c - V_m) + C_d(V_d - V_m) = 0$$

となる。上式より、ミラーのフローティング電位 V_m は次式で示される。

$$V_m = (C_a V_a + C_b V_b + C_c V_c + C_d V_d) / (C_a + C_b + C_c + C_d)$$
 各電極のミラーに対向する面積が同じであり、ミラーが電極A、電極B側と電極C、電極D側の間で傾斜変位する場合、傾斜変位中の角度に関わらず静電容量の関

係は

$$C_a = C_b, C_c = C_d$$

である。

Fig.2(a)では、電極A、電極B、電極C、電極Dの電位はそれぞれ、 V 、 $-V$ 、 0 、 0 に印加される。

$V_a = V$ 、 $V_b = -V$ 、 $V_c = 0$ 、 $V_d = 0$ であるので、ミラー電位 V_m は $0V$ となる。

このときミラーへの静電力は電極Aと電極Bに発生するが、電極Cと電極Dはミラーと同電位であり静電力が生じない。この静電力でミラーは電極A、B側に傾斜変位する。一方、Fig.2(b)では、電極A、電極B、電極C、電極Dの電位はそれぞれ、 0 、 0 、 V 、 $-V$ に印加され、ミラーの電位は $0V$ となる。電極A、電極B側はミラーと同電位で静電力は生じない。電極C、電極Dにはミラーと静電力が発生し、ミラーは電極C、D側に傾斜変位する。さらに、4電極の電位の組み合わせにより、前述のミラー変位と直交する方向への傾斜変位させることも可能である。

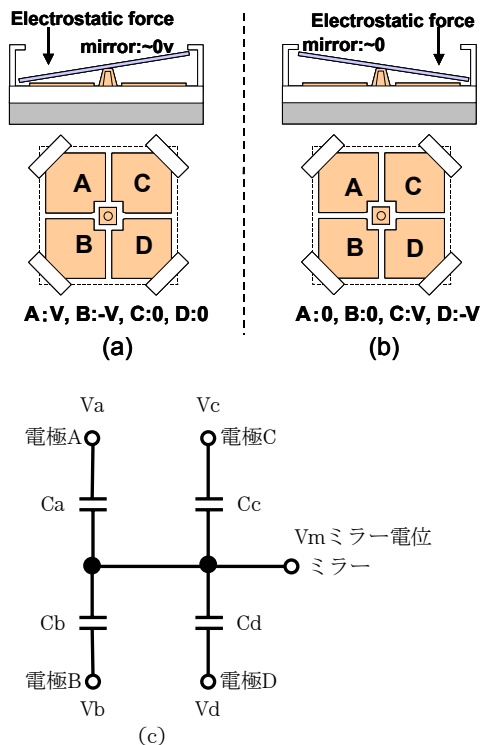


Fig.2 Operation principle.

2-3 動作シミュレーション

K. Jungらの報告⁵⁾を基に下記(1)，(2)，(3)の仮定によって、本デバイスの動作をFig.3のような簡単なモデルでシミュレーションを行うことができる。

- (1) ミラーの傾斜による移動距離 d は、平行平板ミラーの $(3/4)d$ から $(1/4)d$ までの並進運動距離に等価である。
- (2) 並進移動距離は m 個の微小距離 (Δd ， $d/2 = m\Delta d$) に分割できる。但し静電力は Δd の間一定である。
- (3) ミラーの質量 M による運動エネルギーが保存される。

2-2動作原理の項で述べたように電圧 V がミラーと電極間に印加される。

i 番目の微小距離における、静電力 (F_i)，加速度 (a_i)，速度 (v_i)，時間 (t_i) の関係は式(1)，(2)，(3)，(4)のように記述される。 ϵ_0 は真空中の誘電率， A は1つの電極の面積を示す。ミラーの応答時間すなわち傾斜開始から完了までの時間は微小時間 t_i の総和とすることができる。

$$F_i = \frac{1}{2} \epsilon_0 (2A) \frac{V^2}{\frac{3}{4}d - \frac{i-1}{m} \Delta d} \quad (1)$$

$$a_i = \frac{F_i}{M} \quad (2)$$

$$v_i = \sqrt{\frac{2 \left(\sum_{j=1}^i F_j \Delta d \right)}{M}} \quad (3)$$

$$t_i = \frac{v_i - v_{i-1}}{a_i} \quad (4)$$

この計算方法による時間に対するミラー変位の様子をFig.4で示した。サイズ $20 \mu m \times 20 \mu m \times 0.3 \mu m$ 厚、傾斜角 10° のミラーを $30V$ で駆動した場合のシミュレーション結果である（以下、ミラーサイズ $20 \mu m$ 角のものを $20 \mu m$ ミラーと称し、他サイズも同様である）。

ミラー移動距離 $d=20\mu\text{m}\times\sin 10^\circ=3.47\mu\text{m}$ を並進動作距離として100の微小距離に分割した。ミラーに用いるAl合金の密度 3200kg/m^3 から質量を $M=3.84\times 10^{-13}\text{kg}$ 、一つの電極面積 $A=90\mu\text{m}^2$ 、真空中の誘電率 $\epsilon_0=8.855\times 10^{-12}\text{F/m}$ とした。ねじり梁ヒンジによる復元力が存在しないので、傾斜変位の終わりに近づくに従い、曲線の傾きすなわち速度が増加していることが分かる。図に示すようにデバイスの応答時間（Response Time）は変位開始から終了までの時間とした。

Fig.5はミラーサイズと印加電圧を変えた場合のシミュレーションによる傾斜角 10° のミラーの応答時間を表している。ミラーサイズは $10\mu\text{m}$ 、 $15\mu\text{m}$ 、 $20\mu\text{m}$ で、ピボット高さはそれぞれ $0.87\mu\text{m}$ 、 $1.30\mu\text{m}$ 、 $1.74\mu\text{m}$ であり、対応する電極の面積はそれぞれ $18\mu\text{m}^2$ 、 $45\mu\text{m}^2$ 、 $90\mu\text{m}^2$ である。ヒンジによる反発力や復元力がないため、応答時間はミラーサイズと駆動電圧で決まり、ミラーサイズを小さくすると同じ応答時間を得る駆動電圧を減少させることができる。

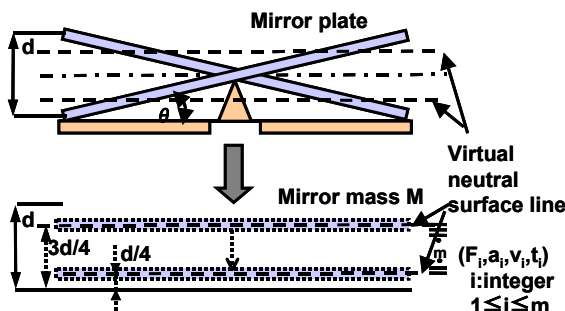


Fig.3 Model for mirror motion.

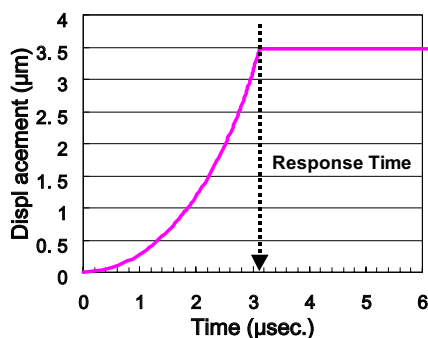


Fig.4 Numerically calculated displacement vs. time.

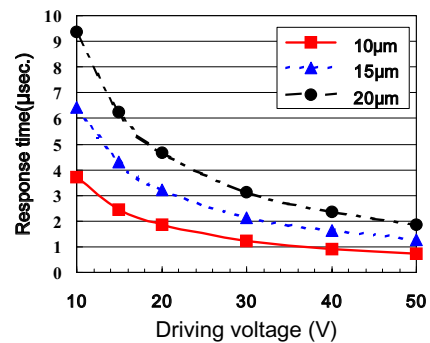


Fig.5 Estimation of response time of the device.

2-4 デバイス試作

MEMS二次元ミラーアレイでは駆動LSIを製作済みの基板上に表面マイクロマシン技術によりマイクロメカニカル構造を形成する方法がよく用いられる。従って、マイクロメカニカルな構造を形成するプロセスはSi半導体CMOSプロセスに整合性がよく、かつ製作済みのLSIに影響を与えないプロセス温度で形成されることが必要である。今回の報告では、デバイスの基本的な動作評価をする目的でLSI回路は形成せずに、二層メタル配線を形成した後に二段階の犠牲層プロセスによりMEMSミラーアレイ構造を形成した。Fig.6にプロセスフローを示す。

- 第一メタルのAlSiCu膜が形成されたシリコン基板上にピボットを作製する。
- 2-1 デバイス構造の項で示した電極としてTiN膜をスパッタ法で成膜する。
- ピボットを完全に覆うように第一犠牲層のフォトレジストを塗布し平坦化する。
- ミラーとなるAl合金をスパッタ法で第一犠牲層の上に成膜する。
- さらに、第二犠牲層であるフォトレジストを塗布し平坦化する。
- 第二犠牲層のミラーのコーナー付近にポストとなる孔を開け、酸化膜を成膜し、孔を埋める。
- 最後に犠牲層を酸素プラズマでアッシング除去する。

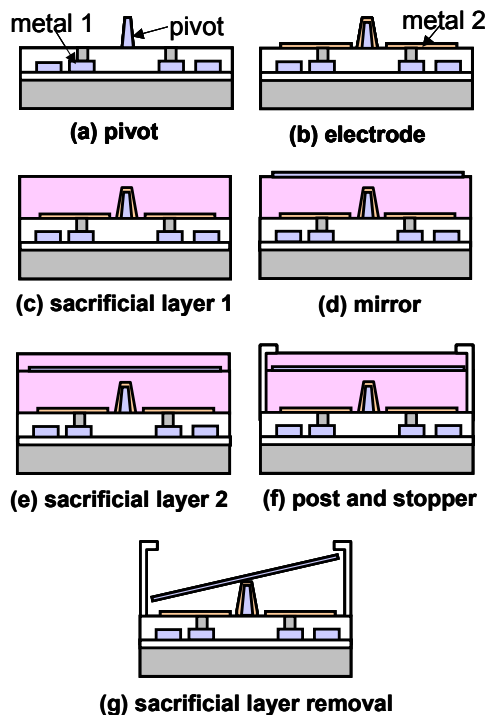
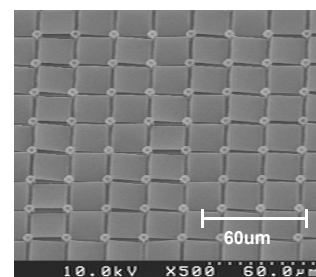
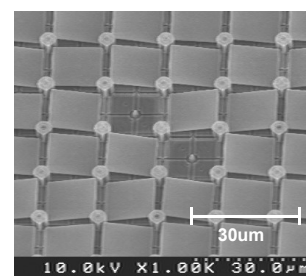


Fig.6 Process flow.

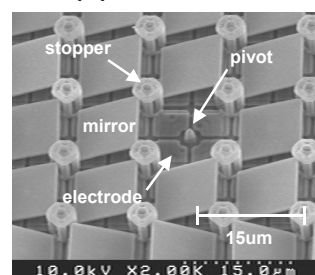
同一基板上に形成した3種類ミラーサイズのデバイス(a)20 μm ミラー, (b)15 μm ミラー, (c)10 μm ミラーのSEM像をFig.7に示す. ポストの直径を1.2 μm , ストップアの直径を4 μm にした. ピボット高さは0.8 μm であり, 10 μm , 15 μm , 20 μm ミラーの傾斜角はそれぞれ9.2°, 6.1°, 4.6°である. 各サイズともミラー表面が平坦に得られ, 試作プロセスがミラーデバイス形成に適していることが分かった. ポストとストップアの拡大写真を(d)に示す. ミラーが傾斜変位動作中にはポストだけでなくストップアにも接することがあり, ストップアにより4本のポストが繋がり機械的な強度を確保しつつ, ミラーとポストやストップアとの接触面積が小さくなる構造が得られている. ミラーがポストやストップアに接触するとき発生する機械的な抵抗力はミラーの応答特性を悪くするので接触面積を小さくする構造が重要であり, 本デバイス構造ではそれを実現することが出来ている.



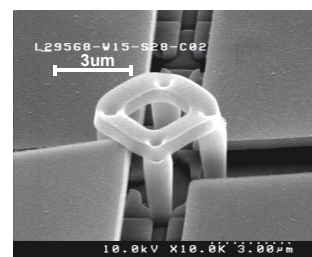
(a) 20 μm



(b) 15 μm



(c) 10 μm



(d) post and stopper

Fig.7 The fabricated two-dimensional mirror array device.

2-5 評価結果及び考察

ミラーの動作はレーザドップラー振動計（グラフテック社製 AT7212）で評価した. 測定は環境湿度変動の影響を除くため, 2300Paの減圧雰囲気と大気圧の乾燥窒素雰囲気で行った. Fig.8に15 μm ミラーと20 μm ミラーを25Vで駆動した場合の傾斜変位の応答特性をシミュレーション結果と共に示した. 減圧雰囲気ではシミュレーションと測定結果が, 残留振動成分を除き

良く合っていることが分かる。窒素雰囲気では傾斜変位が遅くなっており、窒素のような粘性気体を押しつぶす時に発生するスクイズフィルムダンピング (squeeze film damping)⁶⁾がミラーの傾斜動作に影響したためと考えられる。また、傾斜変位後に数 μ sec間の残留した振動が見られる。減圧雰囲気より窒素雰囲気で振動が小さいのは雰囲気の粘性抵抗による減衰が大きいためと考えられる。但し、この残留振動波形にはレーザドップラー振動計の測定周波数の制限に起因する電氣的に発生した振動波形も含まれており、今後詳細な解析が必要である。残留振動を含む波形では傾斜変位開始から傾斜を完了する変位値に達するまでの時間を応答時間 (Response time) とした。

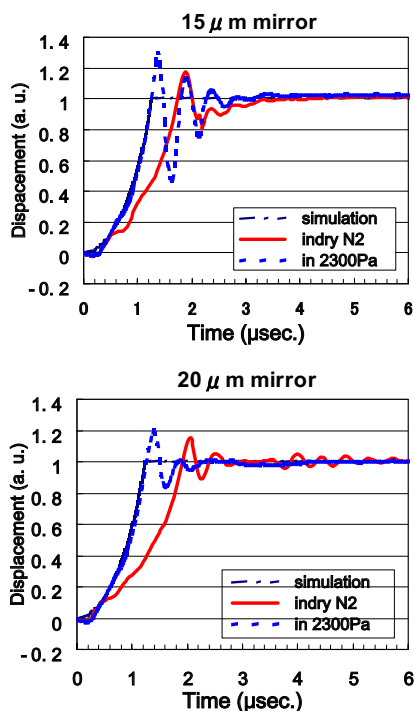


Fig.8 Time response of the device.

Fig.9に15 μ mと20 μ mミラーの駆動電圧に対する応答時間を示した。応答時間を2300Paの減圧雰囲気と大気圧の乾燥窒素雰囲気で測定し、シミュレーション結果との比較を行った。15 μ mミラーと20 μ mミラーともに減圧雰囲気の応答時間はシミュレーションと良く一致しているが、窒素雰囲気の応答時間は遅くなっていることが分かる。これは前述のような気体の抵抗が

ミラーの傾斜動作を妨げているためと考えられる。窒素雰囲気でも駆動電圧が大きくなると駆動トルクも増加するため、シミュレーションや減圧雰囲気での応答時間と差が少なくなっている。15V未満の駆動電圧ではミラーが動作せず、また、40Vを超えての駆動電圧では第一メタルと第二メタル間でショートが発生したため、測定の範囲を15Vから40Vとした。ミラーと接する部材との間にファンデアワールス力などに起因する固着力 (stiction force)^{7),8)}が存在しているために、15Vより低電圧での静電力ではミラーを動作させることができなかったと思われる。

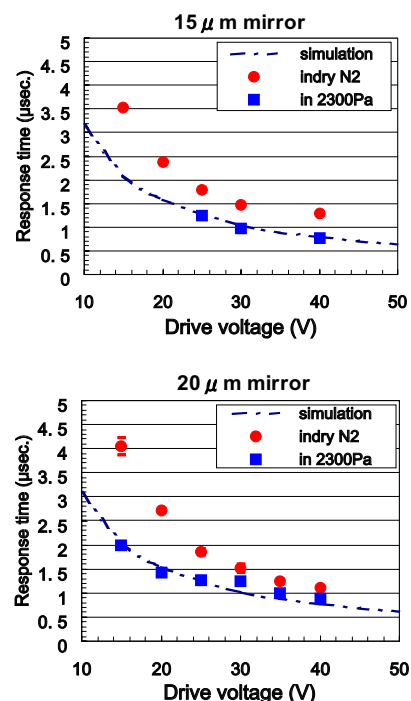


Fig.9 Response time against driving voltage.

3. 結論

ねじり梁ヒンジを用いない新構造静電駆動二次元ミラーアレイの開発を行った。簡単なシミュレーションにより、ミラーの応答時間を見積もることができた。二層メタルの表面マイクロマシニングプロセスを用いミラーデバイスを製作し、応答特性を評価することができた。15 μ mミラーと20 μ mミラーの応答時間は減圧雰囲気でシミュレーションと良く一致したが、窒素

雰囲気では窒素の粘性抵抗により遅くなった。駆動電圧が15V未満では動作せず、ミラー接触部に固着力が作用しているものと考えられる。

今後の展開

高密度化のためさらに微細なミラーのプロセス開発を行う。またLSI制御回路基板上に二次元マイクロミラーアレイを一貫して製作し、個別ミラーの駆動および制御方法を開発する。

参考文献

- 1) W. E. Nelson and R. L.Bhuva, : Digital Micromirror Device Imaging Bar Hardcopy, Color Hard Copy and Graphic Arts IV, J. Bares (ed.), Proc. SPIE Vol. 2413, (1995), pp.58-65.
- 2) H. Urey and D. L. Dickensheets : Display and Imaging systems, M. E. Motamedi (ed.), MOEMS, Bellingham, WA : SPIE Press, (2005).
- 3) G. P. Watson et al. : Spatial light modulator for maskless optical projection lithography, J. Vac. Sci. Technol., B24(6), Nov/Dec, (2006).
- 4) J. T. Tsai and M. C. Wu : Gimbal-Less MEMS Two-Axis Optical Scanner Array With High Fill-Factor, J. of Microelectromechanical Systems, vol. 14, No. 6, Dec., (2005), pp.1323-1328.
- 5) K. Jung et al. : Numerical analyses of micromirror for projection TV using FEM, Microsystem Technologies, vol7, (2001), pp.75-79.
- 6) F. Pan et al. : Squeeze Film Damping Effect on Dynamic Response of a MEMS Torsion Mirror, J. Micromech. Microeng. 8, (1998), pp. 200-208
- 7) S. A. Henck : Lubrication of digital micromirror devicesTM, Tribology Letters, vol.3, (1997) , pp.239-247.
- 8) B. Bhushan and H. Liu : Characterization of nanomechanical and nanotribological properties of digital micromirror devices Nanotechnology, vol.15, (2004), pp.1785-1791.

転写ベルトの厚み変動に対応した高精度駆動制御技術

High Precision Drive Control Method Compensating the Influence of Transfer Belt Thickness Variation

松田 裕道* 安藤 俊幸* 小出 博**

Hiromichi MATSUDA Toshiyuki ANDOH Hiroshi KOIDE

要 旨

近年、電子写真カラープリンターでは、転写ベルトの速度変動が色ずれの原因となるため、高い定速性が要求されている。転写ベルトの定速性を実現する駆動制御技術として、転写ベルトに接触する従動ローラの回転軸にロータリーエンコーダを設け、検出した回転速度をフィードバック制御する技術がある。しかし、転写ベルトの周方向にわたる膜厚偏差分布、いわゆるベルト厚み変動に起因して制御誤差が生じるため、高精度な定速制御が困難であった。そこで、ロータリーエンコーダと駆動モータの回転情報を基に、事前にベルト厚み変動による制御誤差を高精度に認識し、誤差を補正しながら制御することが可能な新規制御技術を開発した。これによって、極めて高いベルト定速性能を実現した。また、出力画像を解析したところ、ベルトの厚み変動に起因する色ずれが大幅に改善したことを確認した。

ABSTRACT

A new belt drive control method for reducing a belt velocity-fluctuation is proposed. The velocity-fluctuation of a transfer belt in electrophotographic-color-printer causes color-registration-error and it degrades image quality. In order to obtain high image quality, driving technology to keep the belt velocity constant is needed. A feedback control approach, which regulates an angular velocity of a driven roller, has control error caused by a belt thickness-variation. The belt thickness-variation is a distribution of belt thickness in the circumferential direction. The new belt control method adopts the feedback control and compensates the control error. The feasibility and effectiveness of the new belt control method is experimentally verified.

* 画像エンジン開発本部 モジュール開発センター
Module Development Center, Imaging Engine Development Division

** エタニ電機株式会社
Etani Electronics Co., Ltd.

1. 背景と目的

近年、電子写真カラープリンターの高速、高画質化に伴い、転写ベルト（以下、ベルト）駆動技術の重要性が高まっている。^{1), 2)} 高速性に優れた4連タンデム型プリンターの多くはベルトを利用した転写方式を採用しており、ベルトの移動速度は画像品質に大きな影響を与える。このため、ベルト駆動技術には高精度な定速性能が要求されている。

4連タンデム型では、ベルト移動速度が変動すると、カラー画像の位置精度が大きく低下する。Fig.1は、4連タンデム型直接転写方式の概要図である。転写ベルトユニットは、転写ベルト、駆動ローラ、テンションローラ、従動ローラから構成されている。用紙は、転写ベルト上に静電吸着されながら、各色の感光体ドラムへ搬送され、4色の画像が順次、用紙上に重ねて転写される。用紙搬送中に転写ベルトの速度が変動すると、カラー画像の重ね位置誤差が発生する（以下「色ずれ」という）。³⁾

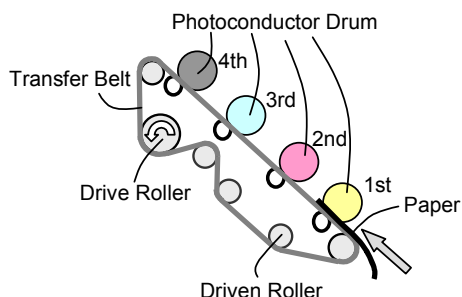


Fig.1 The schematic view of the belt transfer unit.

ベルト速度変動は、モータ回転誤差や駆動伝達部品の形状誤差や組付誤差のほか、ベルト厚み変動によって発生する。ベルト厚み変動とは、Fig.2に示すようなベルト一周にわたる不均一な厚み分布のことである。ベルトは繋ぎ目のないエンドレスベルトで、その成形方法により、ベルト厚みの均一性が得られにくい。

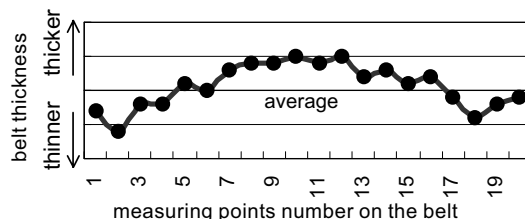


Fig.2 Measured belt thickness.

このようなベルトでは、駆動ローラが一定角速度で回転しても、ベルト厚みの変動によりベルト速度変動が発生する。Fig.3は、ベルトが駆動ローラに巻き付いている様子を示す。単層構造のベルトの場合、破線で示すように、ベルトの移動速度を決定するベルトピッチ線はベルト膜厚の中央部となる。駆動ローラが一定角速度で回転している場合、ローラ上にベルトの平均厚みより厚い部分（Fig.2の計測ポイント5から16まで）が巻き付いている時には、ローラの回転中心からベルトピッチ線までの距離が長くなるため、ベルトの移動速度が平均よりも速くなる。反対に、ベルトの薄い部分が巻き付いている場合には、回転中心からベルトピッチ線までの距離が短くなり、ベルトの移動速度が遅くなる。このように、ベルト厚み変動によりベルト速度変動が生じ、その変動周期はベルト周回と一致する。

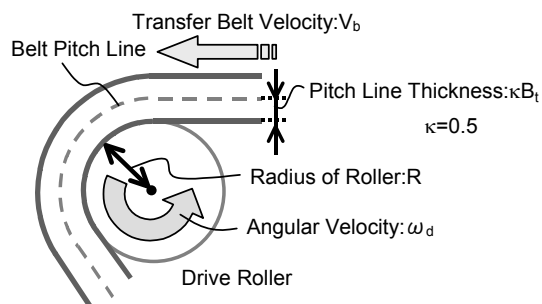


Fig.3 The belt driving model (a single layer belt).

この課題に対し、ベルト一周にわたる厚み変動を測定して、駆動モータの回転速度を調整する方法があるが、ベルト速度を高精度に一定とするには困難がある。ベルト厚み変動はベルト周方向だけでなく幅方向にもあり、ベルト幅方向において1点のみのベルト厚み計測値では、発生するベルト速度変動を予測して補正す

ることは難しい。

ベルト厚み変動によるベルト速度変動は、従動ローラの回転角速度をフィードバックして制御する場合にも発生する。Fig.4に示すフィードバック制御系は、従動ローラにロータリーエンコーダを設置し、検出した回転角速度を目標値と比較し、従動ローラが目標角速度で一定となるように制御する。これによって、モータ回転誤差や駆動伝達部品誤差によるベルト速度変動は抑制される。しかし、従動ローラの回転角速度を一定に制御しても、ベルト厚み変動によりFig.3に示した駆動ローラと同様の現象で、ベルト速度変動が生じてしまう。言い換えると、従動ローラでベルト速度を検出すると、ベルト厚み変動により、検出誤差が発生してしまう。

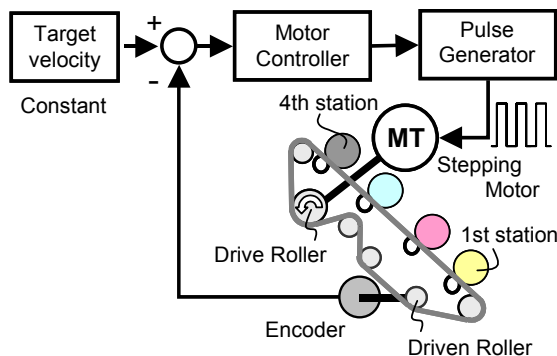


Fig.4 The feedback control system.

目的は、このようなフィードバック制御系において、ベルト厚み変動によるベルト速度検出誤差を補正し、より高精度なベルト定速性能を実現することである。

2. 技術

本報告では、開発した新規駆動技術について、以下の順で説明する。まず、ベルトに厚み変動があるときの駆動ローラと従動ローラの回転角速度の関係を定式化する。次に、従動ローラの角速度変動から、従動ローラでのベルト厚み変動によるベルト速度検出誤差を解析する。速度検出誤差の補正値を算出するアルゴリズムと、その補正値を反映したフィードバック制御系を提案し、最後に、本制御系を搭載した画像形成装

置において、高精度なベルト定速性能と高画質化を実現したことを報告する。

2-1 ベルト厚み変動と駆動ローラ及び従動ローラの回転角速度の関係

エンドレスベルトの厚み変動は、Fig.2のように1個の厚みピークを持つものが多く、ベルト厚みは1次の正弦関数に近似できる。

$$B_t = B_0 + B_v \sin(\theta_b + \alpha) \quad \cdots(1)$$

ただし、 B_0 はベルト平均厚み、 B_v は厚み変動振幅、 θ_b はベルト位相、 α は変動の初期位相である。ちなみに、複数の厚みピークを持つ変動の場合は、(1)式に高次の正弦関数項を追加する。(1)式のベルト厚み変動がある場合の駆動ローラの角速度 ω_d とベルト速度 V_b の関係は(2)式となる。

$$V_b = (R_d + \kappa B_0 + \kappa B_v \sin(\theta_b + \alpha)) \omega_d \quad \cdots(2)$$

ただし、Fig.3に示したように R_d は駆動ローラ半径、 κ はベルトピッチ線係数である。 κ は、ベルトピッチ線の膜厚方向の位置を示し、単層ベルトの場合、概ね0.5である。

(2)式で算出されるベルト速度変動を基に、ベルト厚み変動が大きな色ずれ要因であることを説明する。Fig.5は、Table 1に示す一般的なベルトユニット構成を想定し、駆動ローラ角速度が一定としたときにベルト厚み変動によって発生するベルト速度変動率を示している。

Fig.5より、ベルト厚み変動幅 $10 \mu\text{m}$ による速度変動率は0.03%程度と微少であるが、変動が長周期のために大きな色ずれが発生する。例えば、第1ステーションで図中aのタイミングに画像を形成し、その後、第4ステーションでbのタイミングに画像を重ねた場合、この間、常にベルト速度は速い状態であったため、約 $50 \mu\text{m}$ の色ずれが発生する。現在、電子写真プリンターの色ずれの許容値は $100 \mu\text{m}$ と言われており、1つの変動要因で $50 \mu\text{m}$ の色ずれが生じると十分な画像品質を達成できない。

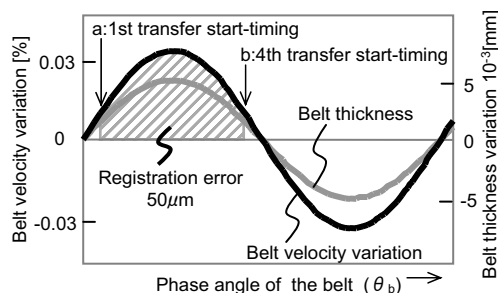


Fig.5 Relation of between belt thickness on the drive roller and the belt velocity variation.

Table 1 Specification of the belt unit.

駆動ローラ直径	30 mm
従動ローラ直径	16 mm
ベルト平均厚み	0.1 mm
ベルト厚み変動幅 (PtoP)	10 μm
ベルト周長	1000 mm
第1と第4ステーション間距離	400 mm

(2)式と同様に、従動ローラの角速度 ω_e とベルト搬送速度 V_b の関係は以下になる。

$$V_b = (R_e + \kappa B_0 + \kappa B_v \sin(\theta_b + \alpha + \tau))\omega_e \quad \dots(3)$$

ただし、 R_e は従動ローラ半径である。 τ は駆動ローラと従動ローラ間の距離に伴うベルト厚み変動周期の位相差である。ここで、ベルト速度が一定のときにベルト厚み変動によって発生する従動ローラの回転角速度変動をFig.6に示す。ベルト膜厚が大きくなるに従い、従動ローラの回転角速度は減少する。ベルトユニットの従動ローラ径は、駆動ローラ径に対して小さいため、従動ローラ角速度の変動率は大きくなり0.06%程度となる。

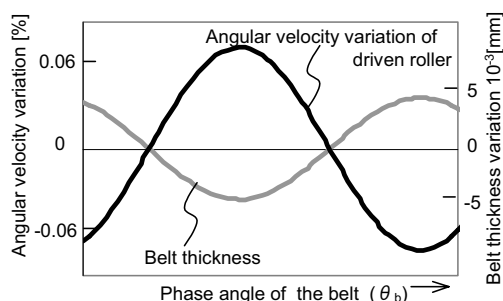


Fig.6 Relation between the belt thickness on the driven roller and velocity variation of the driven roller.

ベルト搬送方向の伸縮やベルトとローラ間のすべりは無いと仮定すると、駆動ローラ部と従動ローラ部のベルト速度は一致する。したがって、(2)式と(3)式は、(4)式のようにまとめることができる。

$$\begin{aligned} \omega_e &= \frac{R_d + \kappa B_0 + \kappa B_v \sin(\theta_b + \alpha)}{R_e + \kappa B_0 + \kappa B_v \sin(\theta_b + \alpha + \tau)} \omega_d \\ &= \frac{(R_d + \kappa B_0) \left(1 + \frac{\kappa B_v}{R_d + \kappa B_0} \sin(\theta_b + \alpha) \right)}{(R_e + \kappa B_0) \left(1 + \frac{\kappa B_v}{R_e + \kappa B_0} \sin(\theta_b + \alpha + \tau) \right)} \omega_d \quad \dots(4) \end{aligned}$$

ここで、ベルト厚み変動の振幅はローラ径に比べて小さいため、 $\varepsilon_e = \kappa B_v / (R_e + \kappa B_0) \ll 1$ である。したがって、 $1/(1 + \varepsilon_e) \cong 1 - \varepsilon_e$ 、 $\varepsilon_e^2 \cong 0$ とすると(4)式は(5)式となる。

$$\begin{aligned} \omega_e &= \frac{\varepsilon_e}{\varepsilon_d} (1 + \varepsilon_d \sin(\theta_b + \alpha) - \varepsilon_e \sin(\theta_b + \alpha + \tau)) \omega_d \quad \dots(5) \end{aligned}$$

(5)式のように、駆動ローラと従動ローラの回転角速度の関係を導くことができた。

2-2 従動ローラでのベルト速度検出誤差の解析

(5)式の2つの正弦関数項は、それぞれ、駆動ローラで発生するベルト速度変動(A)と、従動ローラでのベルト速度検出誤差(B)を示している。駆動ローラの角速度 ω_d が一定のとき、従動ローラの角速度 ω_e からは、(A)と(B)の2つの変動が重畳した結果の変動が検出される。(5)式の2つの正弦関数を合成して、従動ローラでの検出結果の変動(C)を表すと(6)式となる。

$$\omega_e = \frac{\varepsilon_e}{\varepsilon_d} (1 + K \sin(\theta_b + \alpha + \beta)) \omega_d \quad \dots(6)$$

ただし、

$$K = \sqrt{\varepsilon_d^2 + \varepsilon_e^2 - 2\varepsilon_d \varepsilon_e \cos(\tau)} \quad \dots(7)$$

$$\beta = \tan^{-1} \frac{-\varepsilon_e \sin(\tau)}{\varepsilon_d - \varepsilon_e \cos(\tau)}$$

(A), (B), (C)の3つの変動成分の関係をFig.7に示す。ただし、 $G = \omega_d \varepsilon_e / \varepsilon_d$ とした。本解析により、駆動ローラが一定角速度時の従動ローラの回転角速度変動(C)から、ベルト速度変動(A)やベルト速度検出誤差(B)を推定することが可能となった。

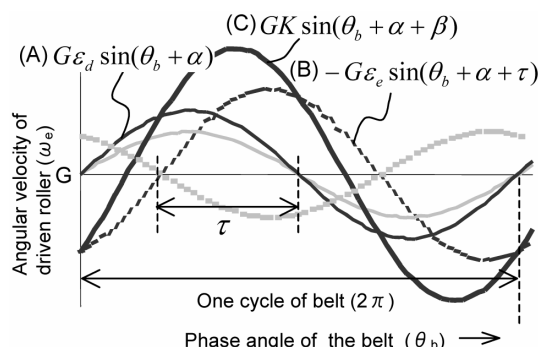


Fig.7 Relation of variation terms in Eq.(5) and (6).

2-3 補正值算出アルゴリズム

Fig.4に示したフィードバック制御系の場合、予め従動ローラでのベルト速度検出誤差(B)を算出して、目標速度数値に加えておけば、フィードバック制御時に減算器で、エンコーダ出力に含まれる速度検出誤差を打消すことができる。従動ローラでのベルト速度検出誤差(B)は、駆動ローラが一定角速度時の従動ローラの回転角速度変動(C)データを変換式に代入して求めることができる。ベルト速度検出誤差(B) $\Delta\omega_{e_CV}$ への変換式は、Fig.7に示した従動ローラの回転角速度変動(C)と従動ローラでのベルト速度検出誤差(B)の関係から(8)式となる。

$$\Delta\omega_{e_CV} = \frac{A_m(-\varepsilon_e)}{K} \sin(\theta_b + P - \beta + \tau) \quad \dots(8)$$

(8)式の A_m と P は、それぞれ従動ローラの回転角速度変動(C)データの振幅と位相を示し、その他の変数はベルトユニットの諸元から予め決定される。

まず、モータを一定角速度で駆動するか、または、Fig.8に示すように、従動ローラの回転角速度から駆動ローラの回転角速度を減算して、駆動ローラが一定角速度時に相当する従動ローラでの角速度変動データを取得する。次に、取得したデータからベルト周期成分

の振幅 A_m と位相 P を解析する。解析結果から、駆動ローラが一定角速度時の従動ローラの回転角速度変動(C)の $\Delta\omega_e$ は(9)式で表される。

$$\Delta\omega_e = A_m \sin(\theta_b + P) \quad \dots(9)$$

検出した振幅 A_m と位相 P を(8)式に代入して、従動ローラでのベルト速度検出誤差 $\Delta\omega_{e_CV}$ を算出する。フィードバック制御時には、 $\Delta\omega_{e_CV}$ が補正值となり、エンコーダ出力のベルト速度検出値を補正する。

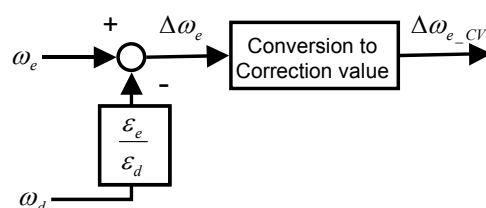


Fig.8 The calculation of the correction value.

2-4 新規フィードバック制御系

Fig.9に補正值を反映した新規フィードバック制御系を示す。エンコーダ出力と比較する目標速度数値は、目標平均速度数値に補正值算出アルゴリズムで得た値を加算したデータである。これにより、モータコントローラへの入力値は、従動ローラでのベルト速度検出誤差が除去された角速度偏差となる。モータコントローラは、低周波領域の外乱を抑制し、ベルトの速度安定性を保証している。各部品誤差による速度変動と、ベルト厚み変動による速度変動が抑制され、ベルト速度は高精度に一定となる。

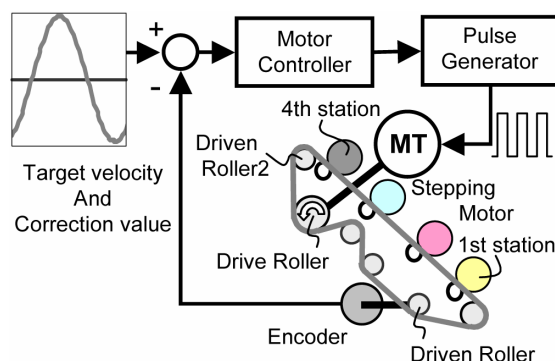


Fig.9 The new feedback control system.

2-5 ベルト定速性評価

新規フィードバック制御系を一般的な電子写真タンデムプリンターに搭載した時の補正值算出と、制御結果について説明する。

Fig.10に駆動ローラ一定角速度時のエンコーダ出力データ (Fig.8 $\Delta\omega_e$) とそのベルト周期変動の解析結果の曲線 (9式) と従動ローラでのベルト速度検出誤差への変換結果 (補正值) を示す。まず、取得したエンコーダ出力データから、ベルト周期の変動成分の振幅と位相を求める。つまり、(9式)で示したベルト周期変動成分の振幅 A_m と位相 P を算出する。算出方法は最小二乗法を用いた。算出した(9式)の近似曲線は、Fig.10の曲線(C)となる。振幅および位相数値から(8式)に従い、従動ローラのベルト速度検出誤差に変換してフィードバック制御時の補正值とする。補正值は、Fig.10の曲線(B)である。

次に、電子写真タンデムプリンターにおいて、従来のフィードバック制御と新規フィードバック制御を実行し、画像出力時にベルト位置変動を計測した結果を比較する。ベルト位置変動とは、ベルトの目標搬送距離に対するずれ量のことで、画像転写位置のずれ量と等しい。このベルト位置変動を計測するために、Fig.9に示す第2従動ローラに評価用のエンコーダを設置した。評価用エンコーダの出力データに対し、同様の補正值算出アルゴリズムでベルト位置変動の検出誤差を補正している。Fig.11にベルト位置変動の周波数解析結果を示す。新規フィードバック制御の採用で、ベルト回転周期 (0.15Hz) の変動成分が抑制されていることがわかる。本評価により、ベルトの高精度な定速性が確認された。

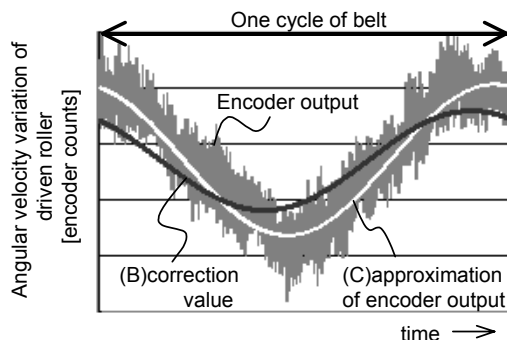


Fig.10 Angular velocity variation of the driven roller with constant speed of the drive roller.

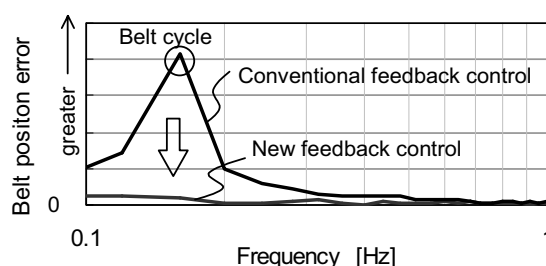


Fig.11 Experimental result of belt position error spectrum.

2-6 出力画像評価

画像の評価項目として、2色の副走査方向の出力画像長偏差を採用し、その評価結果を報告する。副走査方向の画像長は、ベルト厚み変動によるベルト速度変動と高い相関関係を持つ。Fig.12は、Table 1に示した一般的なベルトユニット構成におけるベルト速度変動 (図中実線) と第1ステーションと第4ステーションの出力画像長の関係を示している。図中、第1ステーションが1枚目と2枚目の用紙に画像を転写している時間を時間帯1-1、1-2、第4ステーションがそれぞれの用紙に画像を転写している時間を時間帯4-1、4-2としている。ベルト速度が速い時間帯1-1、4-2に転写された画像全体は副走査方向に引き伸ばされる。一方、ベルト速度が遅い時間帯1-2、4-1に転写された画像全体は副走査方向に縮小される。このように、ベルト厚み変動によるベルト速度変動は、第1ステーションと第4ステーションの画像長偏差を生じさせる。

Fig.13に従来のフィードバック制御と新規フィードバック制御を実行したときの第1ステーションと第4ステーションの画像長偏差を示す。新規フィードバック制御により、画像長偏差が大きく低減していることが確認された。2色間の画像長偏差の低減は、画像領域全体の色ずれ改善に大きく寄与している。

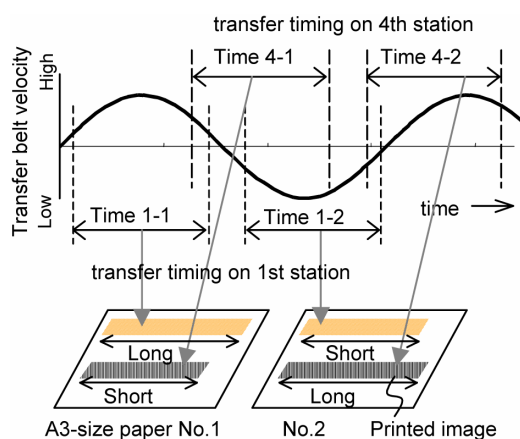


Fig.12 Relation between the belt velocity fluctuation and printed image on A3-size paper.

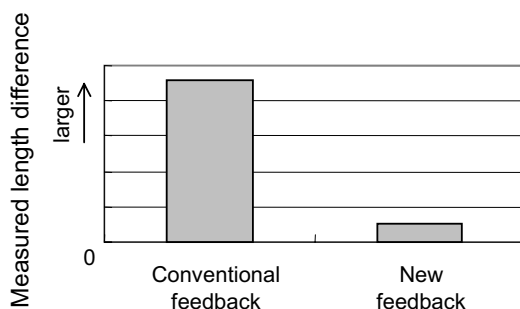


Fig.13 Measured length difference between 1st station's printed image and 4th station's one.

3. まとめ

従来のフィードバック制御技術では困難であった、ベルト厚み変動に起因するベルト速度変動を抑制する新規のベルト駆動制御技術を開発した。本制御技術は、従動ローラに設置したエンコーダ出力をフィードバックする制御において、事前に従動ローラの角速度データから、ベルト厚み変動による従動ローラでのベルト速度検出誤差を算出する。そして、この検出誤差を補

正しながらフィードバック制御を行なう。本制御系の効果は明確で、従来の制御効果に加えベルト周期変動も抑制され、より高精度なカラー画像が得られる。

4. 今後の展開

ベルト厚み変動と各ローラの回転角速度の関係や補正値算出アルゴリズムを定式化したことにより、本技術を、様々なベルトユニットに展開することが可能である。また、本技術は高画質化だけでなく、ベルト製造精度の緩和によるコストダウン効果も期待できるため、各機種への展開を実施する。

参考文献

- 1) S. Oohara et al. : Advanced Intermediate Transfer Belt Mechanism Driven by Photoconductor Belt, (2005) NIP21 : International Conference on Digital Printing Technologies Final Proceedings, 149-152.
- 2) K. Kudo et al. : Precision Measuring Technology of Surface Position for Belt and Drum Element, (1998) Ricoh Technical Report, No.24 : 109-112.
- 3) Y. Nakazato : Machine Optimizing Technologies for Color Registration of Electrophotography, Journal of the Imaging Society of Japan, (1999) Vol.38, No.3 : 27-32.

OPCドラム外観検査方法

Visual Inspection Method for OPC Drum

崎田 隆二*

Ryuji SAKITA

中山 攻*

Osamu NAKAYAMA

鎌田 照己*

Teruki KAMADA

小沼 洋介*

Yosuke KONUMA

要 旨

OPC (Organic Photoconductor) ドラムは画像品質に大きな影響を与える重要な機能部品である。その検査は通常、目視による外観検査で行われる。人による検査のため、判定結果がばらつく等、多くの問題を抱えており、自動化に対する要求が非常に高い。外観検査工程を自動化するためには、高感度な欠陥検出と良品過検出の低減、という相反する課題を両立させる必要がある。そのために、ドラム回転時の位置変動にカメラ位置を追従させる高感度かつロバストな欠陥画像入力技術（輝線追従制御技術）と、発生する多様な欠陥種に対応した画像処理方法を開発した。両手法により、不良品の検出率100%、良品の過検出率1.3%という実験結果が得られ、高感度な欠陥検出と良品過検出の低減、という相反する課題を両立させることができた。

ABSTRACT

OPC (Organic Photoconductor) drum is one of the important parts which have a significant influence on image quality of copying machines and laser printers. Generally, the quality of drum surface is inspected by human. Because human check has a lot of problem such as variation of results, automatic inspection system has been strongly expected. In order to realize the automatic inspection system, it is required to achieve competing two problems between high sensitive detection for defects and low false detection rate for good products. In this paper a robust and sensitive inspection method is reported, which consists of image acquisition and processing technique. The image acquisition technique is called reflection line tracking control, where a line sensor position is controlled to capture the surface image of the drum with high sensitivity against large movement of the target. The image processing technique is composed of multiple algorithms to detect various kinds of defects expected for the OPC drum. The experiments to evaluate proposed technique show detection rate for NG drum is 100% and false detection rate for good drums is 1.3%.

* 研究開発本部 基盤技術研究所

Core Technology Research Center, Research and Development Group

1. 背景と目的

1-1 背景

OPC (Organic Photoconductor) ドラムは複写機、プリンター等の画像品質に大きな影響を及ぼす重要な部品である。その検査は通常、目視による外観検査で行われる。しかし人による検査のため、検査基準のばらつき、検査員確保と育成、人件費等、様々な問題を抱えており、自動化に対する要望が強い。

1-2 OPCドラムの構造と欠陥の種類

OPCドラムの構造をFig.1に示す。円筒状のアルミ素缶上に下引層 (UL : Under Coat Layer) が塗工され、さらに電荷発生層 (CGL : Carrier Generation Layer)、電荷輸送層 (CTL : Charge Transport Layer) が塗工された3層構造が一般的である。近年では、さらにフィラーを含有した保護層 (OCL : Over Coat Layer) を加えた高耐久 FR-OPC (Filler Reinforced Organic Photo Conductor) ドラムも製品に搭載されている⁽¹⁾。

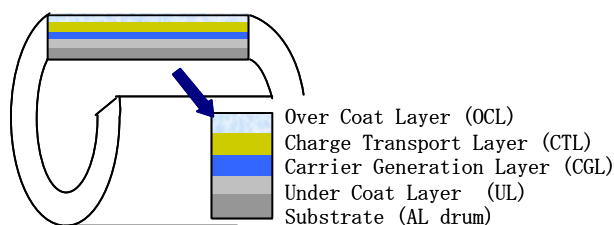


Fig.1 Structure of FR-OPC drum.

欠陥の種類はTable 1に示すように、最上層に凹凸が浮き出ている表面欠陥と、そうでない内部欠陥に大きく分類される。表面欠陥は、ドラム表面層での接触によるキズや汚れ、付着した異物、塗工液のハネ等起因する欠陥、あるいはCTL層の厚みが正常部と異なる場合に発生する欠陥等である。内部欠陥は、層構造の内部に発生した気泡、塗膜の途中で付着した異物に起因するものや、塗工の不均一による濃淡ムラ等である。Fig.2に代表的な欠陥種の画像を示す。最も小さな欠陥でφ0.2mm程度である。

Table 1 Classification of defects.

	表面欠陥	内部欠陥
点状	異物, 凹, 凸傷, 核有黒ボチ	白ボチ, 白斑点, 黒ボチ, 異物
ムラ状 or スジ状	CTL膜厚ムラ, 汚れ (切削スジ)	塗工ムラ, 切削スジ

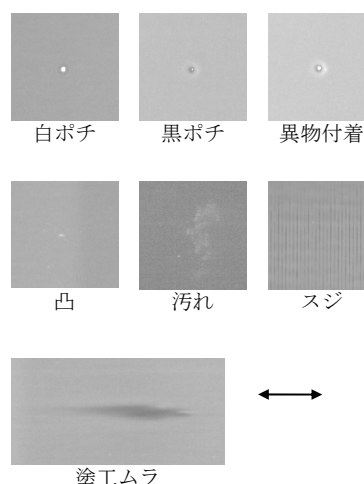


Fig.2 Images of defects.

1-3 従来技術の課題

従来検査方法⁽²⁾の概要及び問題点に関して説明する。Fig.3にその光学系を示す。

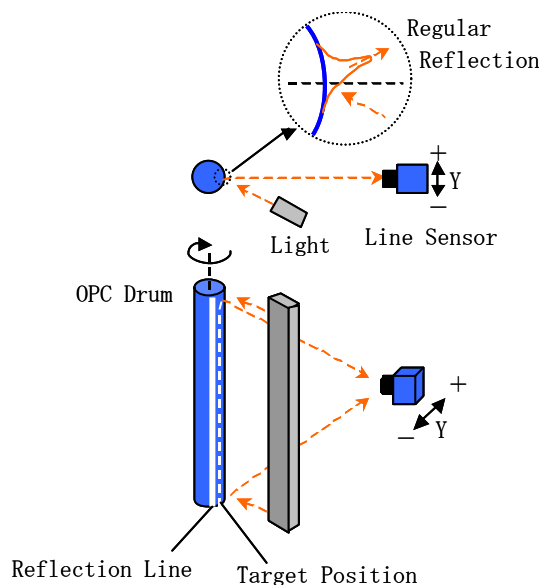


Fig.3 Conventional optical system.

ドラム表面をライン状の光源で照射し、ドラムを回転させながら、ラインセンサでその表面を撮像する。このような光学系では、正反射光による直線状の明るい線（輝線：Reflection line）にラインセンサ視野位置を近付けた方が、表面欠陥による散乱光を捕らえ易くなるため検出感度が高くなる。微小な点状欠陥を例にその違いを説明する（Fig.4, 5）。各画像の下に表記した数値は、ラインセンサ視野位置（Line Sensor Position）Yと検出感度（Detection sensitivity）を表す評価値 σ_s である。位置Yの値が小さい程、輝線の近くを狙っていることを表す。評価値 σ_s は欠陥画像のコントラストに相当する標準偏差を示している。Fig.4, 5よりラインセンサ位置を輝線に近付けた方が、欠陥部での陰影がはっきり写り、評価値 σ_s が大きくなっていることがわかる。これは、表面凹凸による散乱光を捕らえ易くなるためである。

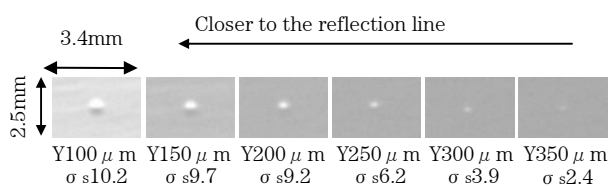


Fig.4 Detection sensitivity.

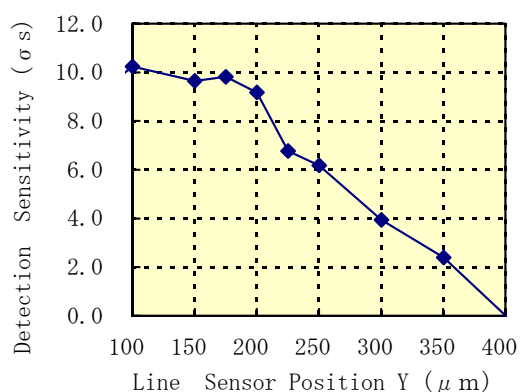


Fig.5 Detection sensitivity for concave defect.

しかし、欠陥に対する検出感度が高くなると同時に、ドラム回転振れによる輝線位置変動が画像ノイズとなって現れやすくなる。その様子を画像で示したのがFig.6である。画像としては全周で均一な明るさになることが

望ましいが、輝線に近い程、大きな明暗変化が観察される。この明暗変化を画像ノイズと考え、その大きさを示す標準偏差 σ_n をFig.6の下段に示す。ここでは標準偏差 σ_n は小さい方が望ましい。輝線に近い部分はFig.3でわかるように光量変化が急激なため、回転振れによる輝線位置変動が画像ノイズとなって現れ易くなる。Fig.7では以上の関係をグラフで示している。Fig.5の検出感度 σ_s を画像ノイズ評価値 σ_n で割った値を検出感度比（ σ_s/σ_n ）と定義し、Fig.7の右縦軸に示している。従来の検査方法では、この画像ノイズをムラ状欠陥として過検出しないために、画像ノイズが立ち上がる手前（Y=350 μm）の位置に設定せざるを得ず、十分な検出感度を有していなかった（検出感度比 $0.73=2.4/3.3$ ）。

以上のように従来方法では、微小な点状欠陥に対する検出感度を高くするために、ラインセンサ視野位置を輝線に近付けた場合、画像ノイズが増加し良品を過検出してしまうという課題があった。

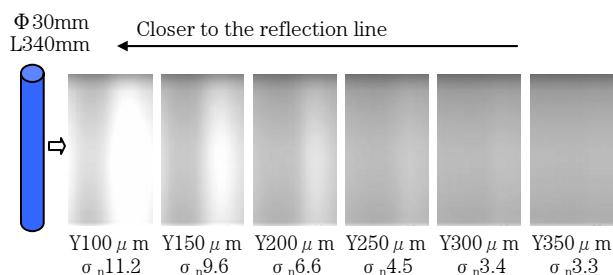


Fig.6 Image noise.

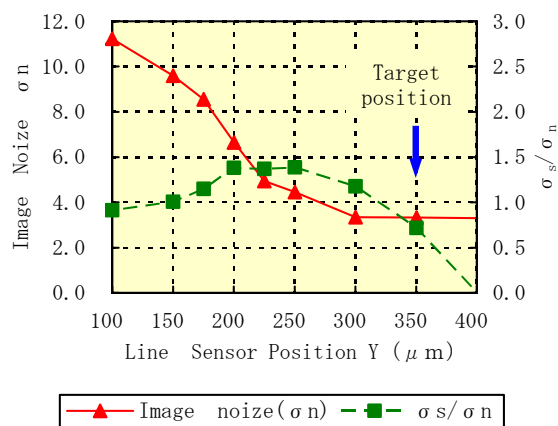


Fig.7 Image noise, σ_s/σ_n .

1-4 目的

高感度な欠陥検出と良品過検出の低減という相反する課題を両立させるために、高感度かつロバストな欠陥画像入力方法、及び多様な欠陥種に対応した画像処理方法を開発することを目的とする。不良品の検出率100%、良品の過検出率1.8%以下を目標とする。

2. 技術

2-1 輝線追従制御による画像入力方法^{(3), (4)}

2-1-1 方法概要

ドラム回転中の輝線位置を計測し、その動きに合わせてラインセンサ位置を制御することにより、ラインセンサ視野位置と輝線間の距離を常に一定に保つ。その結果、輝線位置変動による画像ノイズを低減させつつ、ラインセンサ視野位置を輝線に近付け高感度な欠陥画像入力が可能となる。

2-1-2 装置構成

装置構成をFig.8に示す。ドラム装着後、エリアセンサによる画像から輝線の位置及び角度の計測を行い、その結果に応じてラインセンサの視野位置をリニアステージで、傾きをゴニオステージで初期調整する。ドラム回転時は、ラインセンサ視野位置と輝線間の距離を常に一定に保つように、リニアステージでラインセンサの位置を制御する。また、ラインセンサに対してエリアセンサをドラム回転上流に配置することにより、輝線の動きを先に検出し、制御遅れを吸収している。

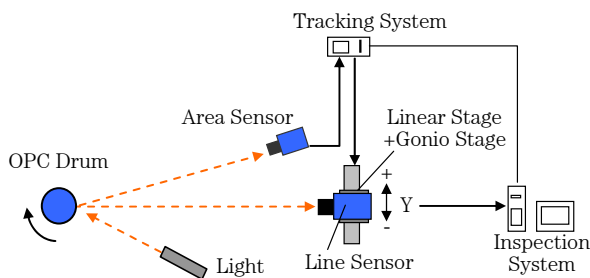


Fig.8 Reflection line tracking control system.

2-1-3 制御目標値

不良品の検出率100%、良品の過検出率1.8%以下を達成させるために、検出感度比の目標値を1.5以上とした。さらにその目標値から、輝線追従制御の制御偏差（目標位置からのずれ量）を $35\mu\text{m}$ 以下とした。なお、ドラムの回転速度及びドラム位置変動の最大値は、それぞれ1s/round、 $100\mu\text{m}$ の条件下で設計を行った。

2-1-4 制御方法

追従時の制御性能および停止時の定常偏差を低減させるために、PD制御とPI制御を行っている。エリアセンサの画像入力は60fpsで行うが、ローパスフィルタで帯域制限した輝線位置を目標値として与え、振動や画像処理誤差の影響を低減させている。

2-1-5 制御性能及び検出感度の向上

エリアセンサで検出した輝線位置と、その結果に応じて追従制御されているラインセンサ位置の様子をFig.9に示す。評価実験の結果、制御偏差は $28\mu\text{m}$ となり、目標値（ $35\mu\text{m}$ 以下）を満足させることができた。

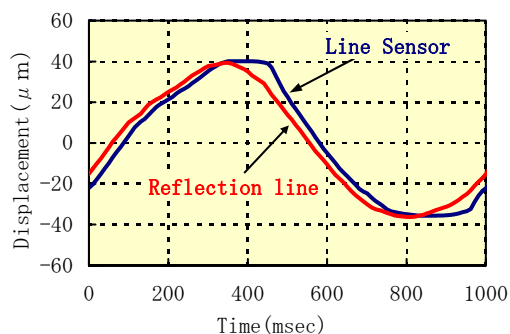


Fig.9 Effect of the tracking control.

次に、このように追従制御を行いながら撮像された画像の例をFig.10に示す。制御を行っていないFig.6の画像と比べると、ラインセンサ視野位置を輝線に近付けても画像ノイズが抑制されていることがわかる。画像ノイズを評価値 σ_n で定量化し、さらにFig.4, 5の欠陥に対して検出感度比（ σ_s/σ_n ）を算出した結果をFig.11に示す。ここで、ラインセンサ視野位置を $Y=225\mu\text{m}$ に設定して

追従制御を行うと検出感度比が2.0 (6.8/3.4) となり、制御導入前の検出感度比0.73に対して、2倍以上の検出感度を得ることができる。制御導入前後の欠陥画像の違いをFig.12に示す。

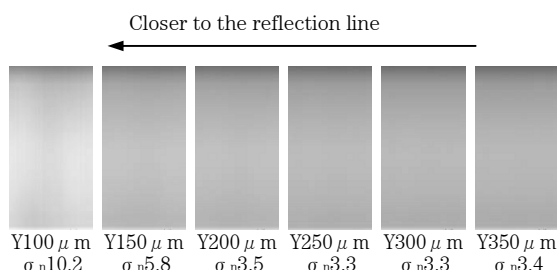


Fig.10 Images with control.

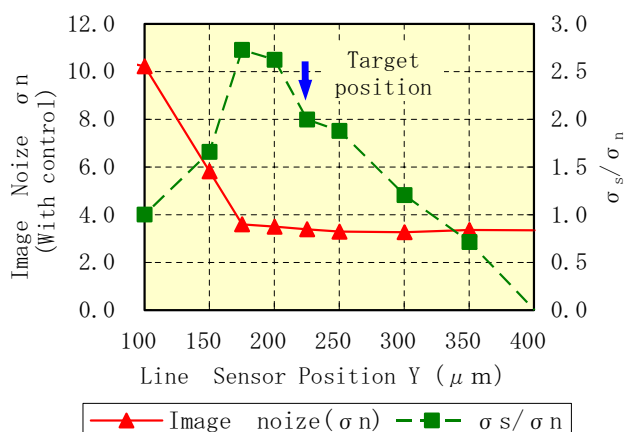


Fig.11 Image noise, σ_s/σ_n (With Control) .

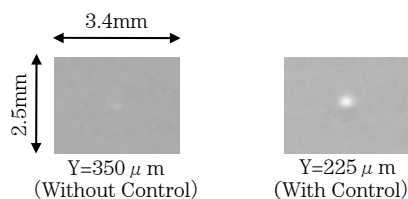


Fig.12 Defect image with or without control.

2-2 画像処理方法⁽²⁾

次に、得られた画像から欠陥部を検出する画像処理方法を、様々な欠陥種を含んだ模式的な原画像 (Fig.13) を例に説明する。画像上での大きさ (空間周波数) やコントラストに応じて複数の処理を搭載している。点状欠陥には高周波欠陥検出処理、ムラ状欠陥には

低周波欠陥検出処理、スジ状欠陥にはスジ欠陥検出処理を備えている。

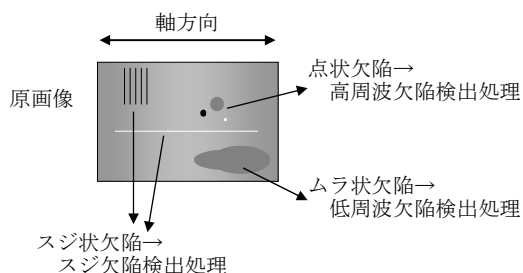


Fig.13 Original Image.

2-2-1 高周波欠陥検出処理

Fig.14に処理の概要を示す。この処理では、画像上で急峻な明るさ変化を伴う小さな欠陥、例えば異物や凸等の欠陥 (高周波欠陥) を対象としている。処理手順としては、縮小処理、エッジ強調フィルタ処理の後、2値化処理、ラベリング処理により欠陥候補領域を抽出する。それ以降の欠陥特徴量の算出には元の多値画像 (10bit) を用いる。抽出された各候補領域において、所定の閾値を超えた画素をカウントすることにより欠陥面積を算出し、その大きさに良否判定する。検出すべき欠陥の大きさやコントラストに応じて、縮小比、閾値等のパラメータを調整する。1系統の処理で全欠陥種を検出できない場合は、Fig.14のように複数の処理系統を設ける。

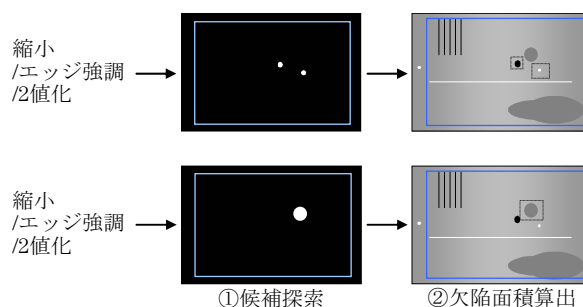


Fig.14 Image processing for High-frequency defects.

2-2-2 低周波欠陥検出処理

Fig.15に処理の概要を示す。この処理では塗工ムラや

汚れ等の比較的大きく且つ輝度変化が小さな欠陥（低周波欠陥）を対象としている。このような空間的に周波数が低い欠陥に対しては、欠陥形状そのものを求めずに、検査画像をいくつかの矩形領域に分割して、その矩形領域毎に特徴量を算出する。具体的には、原画像を縮小した後、所定の矩形領域に分割し、各領域で画像データの標準偏差 σ を算出し、その大きさに良否判定する。このような処理により、輝度変化の少ない低周波欠陥を定量化できる。

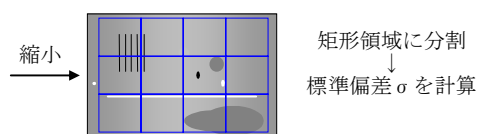


Fig.15 Image processing for Low-frequency defects.

2-2-3 スジ検出処理

アルミ素缶の切削不良に起因する切削スジ（Fig.13の縦スジ）やスジ状に現れる塗工ムラ（Fig.13の横スジ）を対象にしているスジ欠陥欠陥処理では、エッジ強調フィルタ処理により欠陥部を検出する。

3. 実験結果

実際の量産ドラムを用いて行ったテスト結果（ $n : 2,582$ 本）をTable 2に示す。良品をNGと判定してしまう過検出率は1.3%（33本／2,565本）となった。目標値である不良品の検出率100%、良品の過検出率1.8%以下を達成できた。

Table 2 Experimental result ($n : 2,582$)

		良品	不良品
本手法による判定	OK	2,532	0
	NG	33	17

4. 結論

輝線追従制御技術を用いた画像入力方法を開発し、欠陥に対する検出感度比を、従来の0.73から2.0（目標値1.5以上）に向上することができた。

この画像入力方法に、多様な欠陥種に対応した画像処理方法を組み合わせることで、不良品の検出率100%（目標値100%）、良品の過検出率1.3%（目標値1.8%以下）を達成し、高感度な欠陥検出と良品過検出の低減、という相反する課題を両立させることができた。

5. 今後の展開

OPCドラム以外の他のローラ状部品やベルト状部品等へ外観検査技術を水平展開していく。

参考文献

- 1) 納所伸二，その他：保護層積層型高耐久 OPC の開発，Ricoh Technical Report, No.31, (2005), pp.33-38.
- 2) 小林慎司，その他：OPC 外観検査方法の開発，第9回産業における画像センシング技術シンポジウム講演論文集，(1994)，pp.105-109.
- 3) 鎌田照己，崎田隆二，中山攻：日本機械学会，日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会講演論文集（CD-ROM），Vol.2003，(2003)，Page2 P1.2F.E7 (1) -2P1.2F.E7 (2)
- 4) R. Sakita, O. Nakayama, T. Kamada : Union of Eco Designers, Ecodesign 2003 Abstract, (2003), pp.125-126.

デジタル孔版印刷方式で世界初の自動両面印刷装置の開発

Development of World First Automatic Duplex Printing Machine in Digital Mimeograph Printing Process.

佐藤 光雄*

Mitsuo SATOH

菅野 比呂志*

Hiroshi KANNO

大川 英治*

Eiji OHKAWA

菅原 光弘*

Mitsuhiro SUGAWARA

要 旨

東北リコー株式会社はデジタル孔版プロセスによる製版・印刷一体機（プリポート、サテリオ）を開発し、1986年2月に世界初のデジタル孔版印刷機SS-880を発売した。孔版プロセスは用紙へのエマルジョンインキ浸透で擬似的乾燥を行うプロセスであり、特別な定着を行っていない。そのため印刷直後の用紙を触ると手にインキが付着し、またローラー機構により印刷後の用紙搬送を行うとインキが次の用紙に付着する。この未定着と言う制約のため自動で両面印刷を行うデジタル孔版印刷機の開発は非常に困難であった。このたび4つのオリジナル技術（サテリオマスター、ワンドラム両面製版方式、汚れ防止ビーズローラー、高速用紙反転搬送技術）から構成される両面印刷方式及び両面印刷装置を開発し、2007年3月にSatelio DUO 8として発売し、好評を博している。Satelio DUO 8は240ページ/分の高速自動両面印刷機であり、コンパクトな1ドラム両面印刷機構により母体である従来機と同じマシンサイズで自動両面印刷を実現している。

ABSTRACT

TOHOKU RICOH Company developed a plate-making and print machine in one body (Priport or Satelio) by a digital mimeograph process and released the world's first product SS-880 in February, 1986. The mimeograph process is known as a process to perform pseudo-drying by emulsion ink penetration to paper and has no fixing system. Therefore, ink adheres to one's hand when one touches the fresh printed paper, and ink also adheres to the next paper during various post-press transportations of roller. It has been very difficult to develop an automatic duplex printing process in mimeograph because of the pseudo-drying limitation. We have developed a new duplex printing method and machines which consists of four original technology (1 : Technology of Satelio master plate 2 : Technology of two sided images on one master plate 3: Technology of blur free beads roller 4: Technology of high speed duplex paper handling) and released it as Satelio DUO 8 in March, 2007 which got favorable review. The machine is a full automatic ultra high speed printer of 240 page per minute, and is just the same size as the preceding products due to very compact duplex paper handling mechanism.

* 東北リコー株式会社 印刷機事業本部

Digital Duplicator Product Development Div., Tohoku Ricoh Co., Ltd.

1. 背景

弊社はデジタル孔版プロセスによる製版・印刷一体機（プリポート、サテリオ）を開発し、1986年2月に世界初の製品SS-880を発売した。孔版印刷プロセスは用紙に転移したインキの浸透と水分蒸発で擬似的な乾燥を行うプロセスであり、特別な定着工程を有していない。そのために印刷直後の印刷物画像部を触ると手指にインキが付着してしまう。

また同じ用紙に二回印刷する事で両面印刷や多色印刷を行う場合にも給紙機構コロ部などでインキの再転写によるコロ跡汚れが発生する。やむを得ず、印刷後の用紙を一晩放置してから二回目の印刷を行っているのが現状である。このインキ浸透による擬似的乾燥といった画像形成プロセス上の制約のために、自動で両面印刷を行う両面印刷機の開発は非常に困難であった。弊社でも過去に何度か両面印刷機開発にチャレンジしたが果せなかった。この閉塞状況をブレイクすべく従来の発想を大きく転換し、4つのオリジナル技術から構成される両面印刷方式及び装置を開発し、2007年3月にSatelio DUO8/DUO8Fとして発売した。これは、デジタル孔版印刷機として世界初の自動両面印刷機である。また世界初の240ページ/分高速印刷、非常にコンパクトな1ドラム両面印刷機構、母体である従来印刷機と全く同じマシンサイズ実現などの特徴を有している。Fig.1に両面ユニットを引き出した状態の写真を示す



Fig.1 Satelio DUO8.

2. 技術

2-1 デジタル孔版印刷機と両面印刷

デジタル孔版印刷機の市場調査結果から、顧客における両面印刷の比率が高く、自動両面機を求める声が大ききことは以前から十分に把握できていた。なぜこれまで実現できなかったのかという問いに対しては、主にFig.2に示すような二つの理由があった。一つは画像面汚れの技術課題対策が困難であったこと、そしてもう一つは求められるコストと性能を実現する適切なシステムが提案できなかったことである。

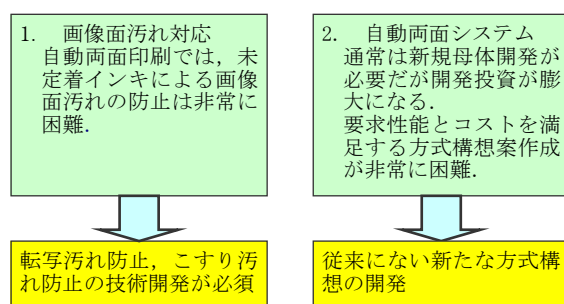


Fig.2 Concept of duplex printer.

しかしFig.3に示すような環境の変化が、自動両面印刷への要望をますます増加させていることを認識して、技術開発活動にチャレンジすることにした。

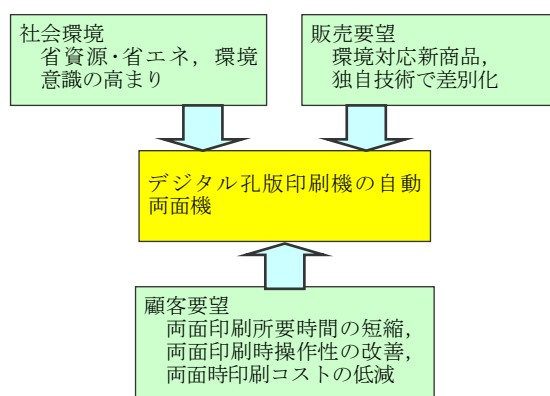


Fig.3 Environmental change about duplex.

2-2 自動両面印刷機の構想

まずは特許情報を収集しそれをベースにして、自動両面方式パターン分類一覧表を作成した。次に開発方針を明確にした。以下にその開発方針を示す。

- ・1パス自動両面方式で生産性を向上できること
- ・マシンの外観やサイズは従来片面機同等のこと
- ・片面印刷性能は従来機同等のこと
- ・他社が真似できない独自技術で競争力が大
- ・現有母体と現有サプライの活用で投資を抑制

上記開発方針に基づいて分類一覧表における各方式の評価を行い、さらに新しい改良アイデアを加えながら独自の自動両面印刷機構想案を固めていった。参考までに代表的な方式の特徴と評価をFig.4に示す。方式Dが最終的に選択された基本方式であり、これを基に構想案を作成した。

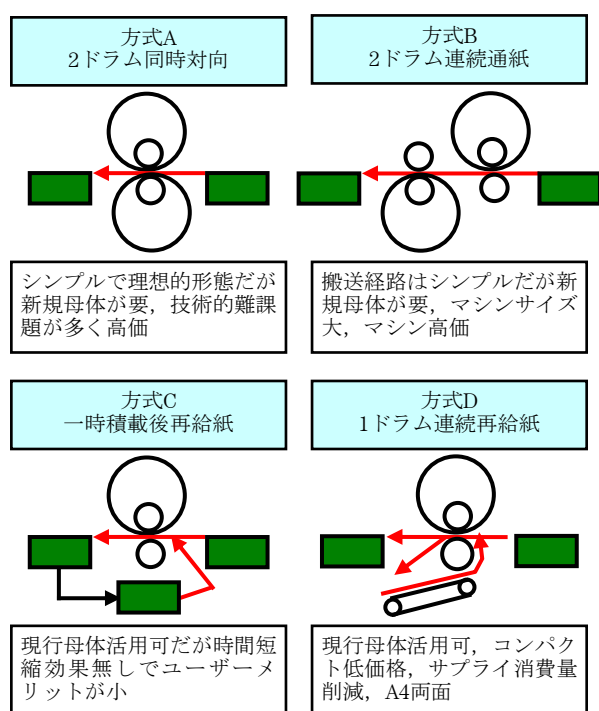


Fig.4 4 patterns of duplex system.

方式Dの構想案においては、給紙部から分離搬送された1枚目の印刷用紙の片面に、印刷ドラムの裏面画像領域によって裏面画像の印刷が実施され、それが斜め

下方の再給紙ユニット部に搬送された後ここで一時待機になり、次に2枚目の印刷用紙の片面に前と同様に裏面画像の印刷が行われるが、それに合わせて待機中の1枚目用紙を反転搬送させて送り込み、反対面に今度は印刷ドラムの表面画像領域によって表面画像の印刷を実施し、こうして両面に画像が印刷された用紙を水平方向に搬送して排紙トレイに排出する。

この構想案を実現する上で特に重要になったのは、Fig.5に示す4つのオリジナル技術である。ここでマスクとあるのは孔版原紙のことである。



Fig.5 Four original technologies.

- (1) サテリオマスク
当社独自開発3層構造マスクの採用で、紙上のインキを薄く均一に形成する技術
- (2) ワンドラム両面製版方式
1本の印刷ドラムに表裏両面の画像を製版したマスクを装着し、印刷ドラム1回転で表裏2面を連続印刷する技術
- (3) 汚れ防止ビーズローラー
最適微細凹凸を表面に形成した印圧ローラーを用いることで、転写汚れの発生を防止する技術
- (4) 高速用紙反転搬送技術（フリップユニット）
裏面画像印刷済み用紙を先端クランプで高速搬送後、反転搬送して再給紙する技術

サテリオマスタについては、参考文献1)に詳細が示してあるのでそれを参照していただくことにして、ここでは説明を省略する。

2-3 ワンドラム両面製版方式

Satelioシリーズは印刷機であるので、サテリオマスタに製版を行いその版を用いて印刷する。印刷の最大面積はA3サイズであるので版の大きさもA3サイズ対応になっている。この版をその外周に巻き付け、前後の余裕を取れる様に印刷ドラム外径も決められている。例えば120枚/分のスピードで印刷時のドラム外周速度は1130mm/sと非常に大きな値となっているが、その印刷速度は用紙サイズによって変る事なく120枚/分の印刷速度となっている。従ってA4用紙印刷では上記外周速度が持つ潜在能力の1/2も使っていない状態であった。

我々はそこに気づき、「もしA4裏面とA4表面の二面分の画像を一つのドラムに巻きつけられる一枚の版に製版し、給紙されたA4用紙にまずはA4裏面画像を印刷し、その未定着印刷用紙を反転搬送再給紙機構で同じ印刷ドラムに再度給紙し、残りのA4表面画像を印刷する事が出来れば、240ページ/分の非常に高速な両面印刷が可能になる。」と言う構想をまとめた。（再給紙機構の詳細は2-5章に記載）

Fig.6左図は印刷ドラムに巻きついている版を展開した図である。上端の部分がクランプで版の先端をクランプしている。その版にはA3サイズの「A3全面画像」が製版されており、この版はA3用紙の片面印刷に供される従来からの版となっている。

Fig.6右図は同じく印刷ドラムに巻きついている版を展開した図である。上端の部分がクランプで版の先端をクランプしている。その版にはA4サイズの「A4裏面」と「A4表面」の二面分の画像が前記一枚の版に製版されており、この版はA4用紙の両面印刷に供される新構想の版となっている。

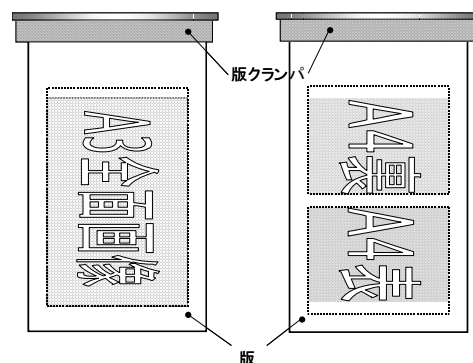


Fig.6 2 types of press plate.

Fig.7は本両面印刷機で用紙に印刷する工程を示したものである。1枚目の用紙が給紙されると、先ず版に形成されたA4裏面の画面を印刷される。その時にA4表面の画像領域で印圧がかかってしまうとA4表面の画像が印圧ローラーに直接印刷されてしまい不具合となる。従って一枚目の印刷の時はA4表面画像領域の印圧（図の点線部分）を解除する機能が必要となる。同様に最終印刷用紙ではA4裏面領域の印圧を解除する機能が必要となる。2枚目以降の定常両面印刷時は前の回転でA4裏面印刷した用紙を機内に1枚オーバーラップさせつつ途切れる事なくA4表面印刷を行う。印刷ドラム一回転につき表裏二ページの印刷が行われ、その結果として240ページ/分の高速両面印刷が実現している。

Fig.8は3枚カム切替機構である。A4裏面領域、A4表面領域、A3全面領域に印圧をかけるプロフィールを持つ3枚の印圧カムを高速に切り替える。機構自体はカムが固定された軸をスラスト方向にスライドする事でカムを切り替えるという一般的機構であるが、カム面とカムフォロア面が接触していない共通谷部タイミングでカム切替を実施する事でスライド負荷が小さく比較的小型のステッピングモータにて約60msという高速な切替えが実現出来た。

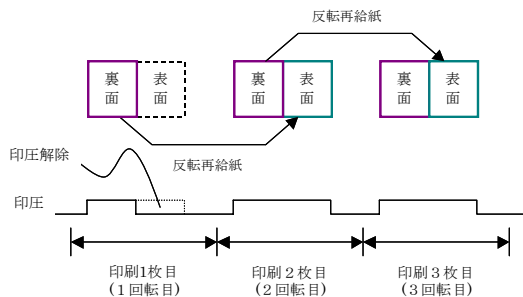


Fig.7 The paper rotation and press.

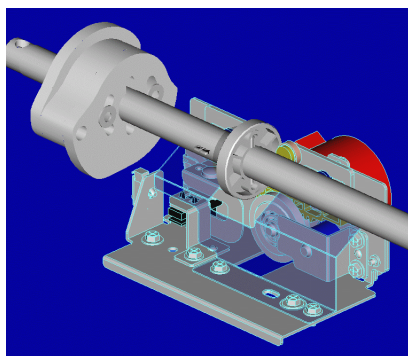


Fig.8 Shifting mechanics of 3 different profile press cams.

2-4 汚れ防止ビーズローラー

Fig.4の方式Dにおいて、裏面画像が印刷された用紙を反転してその反対面に表面画像を印刷する際には、裏面画像の未乾燥インキが印刷時押圧によって印圧ローラー表面に転移してしまい、次工程でこの転移インキが次の印刷用紙に再転位して、その画像面を汚すのが転写汚れである。

新たに技術開発した汚れ防止の印圧ローラー（ビーズローラーと呼ぶ）の概略図をFig.9に示す。これは印刷画像形成のための印圧用弾性ゴムローラーであると同時に、両面印刷時に反転用紙に摩擦搬送力を付与する搬送ローラーであり、更には表面画像インキが付着しても転写汚れを発生させない汚れ防止ローラーでもあるので、複数の機能をバランスよく併せ持つことが要求される重要キーパーツである。

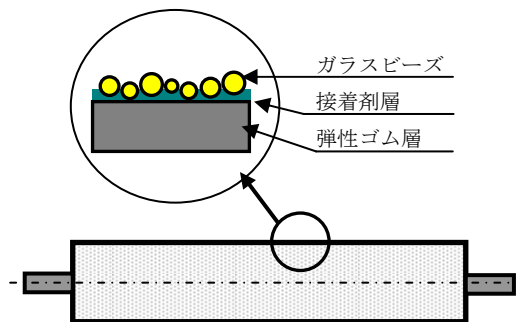


Fig.9 Glass beads coated roller.

ビーズローラーは、ゴムローラーの表面に多数の球状ガラスビーズを所定の凹凸状態で接着したものであり、こうすることで印刷画像面からのインキ転移量を極端に少なくして、そのインキが次の印刷用紙表面に再転位しても微細でまばらな点々状になるために、目視では汚れが目立たないようにしたものである。

ビーズ表面に付着したインキは、毎回印刷用紙に転移していくセルフクリーニング効果によって、インキの蓄積が防止される。重要な点は汚れが目立たないことはもちろんのこと、印圧時弾性変形でもガラスビーズの剥離や皮膜割れが起こらず、マスタフィルム面に直接当たっても孔をあけないということである。

Fig.10にはビーズローラー表面を顕微鏡で見た写真を示す。ガラスビーズの粒径はバラツキを有しているが、その平均粒径は約 $70\mu\text{m}$ である。ガラスビーズの球状精度が悪いとその先端突起がマスタフィルムに孔をあけてしまう。

またTable 1に、印圧ローラー表面に各種の汚れ低減シートを巻き付け接着して実験評価を実施した結果の一部を示す。

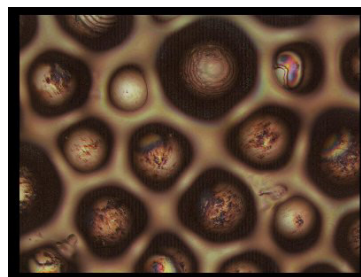


Fig.10 microphotograph of glass beads coated roller. ($\times 500$)

Table 1 Result of experiment.

シート種類	評価項目			
	転写汚	搬送性	マスタ破	耐久性
シート巻付無し	××	○	○	○
シートA	×	△	○	△
シートB	○	○	×	△
シートC	×	△	○	○
シートD	×	△	○	△
シートE	○	○	○	×
セラミックビーズ	○	○	△	○
ガラスビーズA	△	×	○	○
ガラスビーズB	○	○	△	○
ガラスビーズC	○	○	○	○

ガラスビーズAの場合はビーズ粒径と凹凸がそろい過ぎていて転写汚れが出るとともに用紙搬送力が低下してしまい、ガラスビーズBの場合はビーズの球状精度が劣るためにマスタフィルムに孔があいてしまう。

ガラスビーズCの条件をゴムローラー表面に直接形成するように開発したのが、最終的に商品化されたビーズローラーである。

Fig.11には、こうした印圧ローラーによる転写汚れの評価結果の一例写真を示す。左がTable 1のシートA巻き付けローラーの場合で、右が汚れ防止ビーズローラーの場合である。用紙前半部にベタ画像を孔版印刷し、直後にローラー対で押圧回転搬送して用紙後半部に転写汚れを発生させた印刷物である。左側は転写汚れが目立つが、右側ではほとんど汚れは見られない。

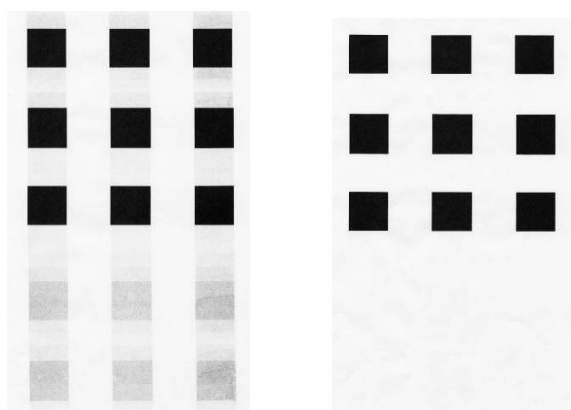


Fig.11 Comparison of ink transfer stain.

以上説明した転写汚れの他に、印刷画像面が搬送系部材に接触してこすられることで発生してしまう「こすり汚れ」がある。それは例えば切替板の上面や排出搬送装置としてのエア吸引ベルト表面及び腰付け用ジャンプ板上面などの部分で発生する。そこでこうしたこすり汚れの防止対策も、接触面の最小化という形でそれぞれに実施した。

2-5 高速用紙反転搬送技術

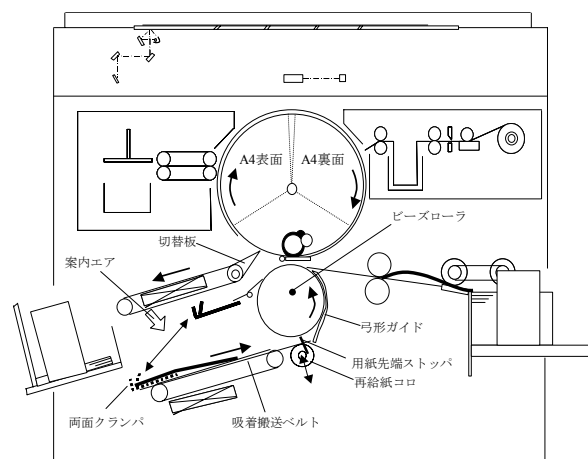


Fig.12 Outline of Satelio Duo 8.

この技術は印刷ドラムの片面画像（裏面）が印刷された印刷用紙を反転し残りの片面（表面）を印刷するために再度印刷ドラムに対して給紙する技術・機構である。印刷ドラムとプレスローラーで形成されたニップ部を通過し裏面が印刷された用紙はその先端からエアが吐出している上向き位置の切替板により斜め下方に案内される。その近傍に待機しているステッピングモータにより駆動される両面クランプにより印刷用紙の先端はクランプされ左下方方向の吸着搬送ベルト部に向かって搬送される。

両面クランプは印刷用紙先端が到着する直前に陸上リレー競技と同様に助走を開始する事で用紙先端到達時の速度差を低減し、折れシワなどのキズをつけなく同時に異常画像につながる印刷用紙の過剰なタワミを発生させない効果がある。次の再給紙タイミングに遅れない様に、両面クランプの最高速度は印刷ドラム周速（fig.14の横矢印が印刷ドラム周速を示している）

より大きくなっている。印刷ニップよりA4用紙後端が抜けないタイミングでクランプ速度がドラム周速より大きくなると発生する不具合（後述）はステッピングモータ台形制御パラメータをチューニングし回避している。

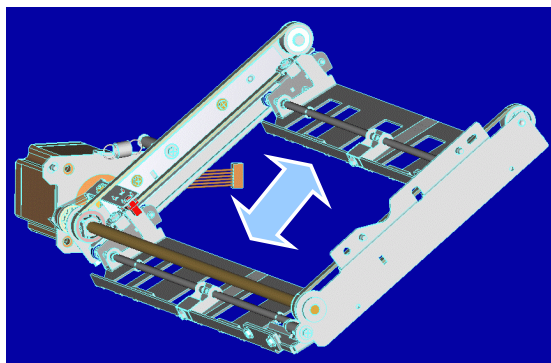


Fig.13 Mechanics of a duplex clammer.

Fig.14は最高速度である240ページ/分で両面印刷を行う時の用紙先端とクランプ位置及びクランプ速度のタイムチャートである。左端の0msでクランプがスタートし助走を開始するが、その時用紙先端はまだ約20mm手前にいる。A pointで用紙先端がクランプに追いつくが、速度差が小さいので用紙先端キズは発生しない。B pointで用紙のたわみは最大で数mmになりその後徐々に小さくなるが、A4用紙後端がドラムニップから抜けるC pointでも用紙のたわみは保持されている。そのため用紙に過大な張力が発生する事はなく、クランプからの用紙抜けやキズなどの不具合は発生しない。クランプ搬送動作は起動から停止まで、わずか数百msと非常に短時間に完了する高速な動作となっている。

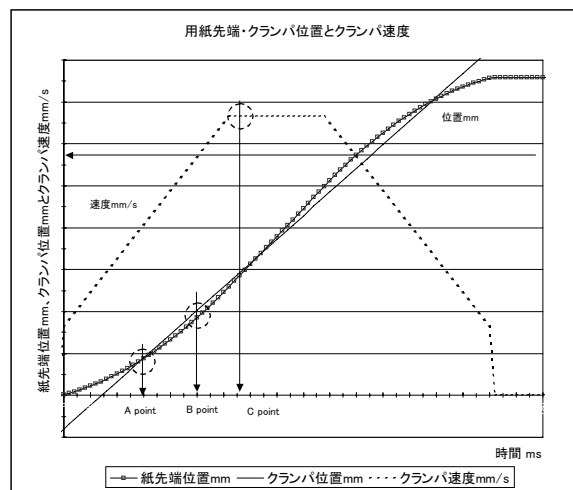


Fig.14 Control of duplex clammer.

吸着搬送ベルト部に用紙が到着しても直ちにはクランプを開放しない。上方から用紙の画像面に吹き付けられる案内エアにより印刷用紙が吸着搬送部に落下・到達し、クランプ到着の直前に回転開始している吸着搬送ベルトにより用紙に所定の張力がかかった状態になるよう、インターバル（数十ms）を取った後でクランプ開放位置に数mm移動してカム機構によりクランプが開き用紙を開放する。この遅延動作により用紙の全面が吸着された状態でバラツキの少ない搬送を行う効果と同時に、中央一箇所でクランプされた用紙を一对の吸着搬送ベルトで張力を掛ける事で用紙のスキューを矯正する効果が現れる。両面クランプは往復機構なので、用紙を開放したら直ちに用紙先端を待ち構えクランプする右上位置に復帰する。用紙をクランプしていないので復路の速度は往路より高速である。

吸着搬送ベルトにより用紙先端・後端が逆転し右方向に搬送された用紙は用紙先端ストッパに突き当たり先端位置決めが行われる。用紙先端にキズ、過剰なタワミやストッパ未達が発生しない様に、用紙先端ストッパの直前に用紙先端を検出するセンサが設けられ、検出信号によりベルト速度を減速し用紙先端ストッパに到達し適性たわみを形成するようにステッピングモータが適切に制御される。

印刷ドラム回転角度が所定のタイミングの時ソレノイド作動によって再給紙コロが上昇し、ストッパから用紙先端を解除すると同時に前記ビーズローラーに当

接し用紙を挟持する。ソレノイドには動作遅れがあり印刷速度により印刷ドラムに当接する角度すなわち画像位置がズレるが、印刷速度に応じてソレノイドの動作遅れ（個体差含む）を補正したタイミングでソレノイドのオン制御が行われている。回転しているビーズローラーと再給紙コロで挟持された用紙はビーズローラーと所定のスキマで保持された弓形ガイドに案内され、再び印刷ドラムに搬送され、残りの片面（表面）が印刷される。両面印刷が完了した印刷用紙はカム機構により下向きに方向を変えた切替板により水平方向に案内され、片面印刷と共通の排紙吸着搬送部で搬送され、排紙台に排出される。

これら一連の両面印刷工程が500msという短いサイクルで進行し、印刷用紙が高速に反転搬送されるイメージから本技術を「燕返し」と呼んでいる。

3. 成果

3-1 生産性向上

両面印刷時の印刷ドラム最高回転速度は120rpmになる。通常の片面印刷においては印刷ドラム1回転で1枚の印刷が行われる。本装置による自動両面印刷の場合、ドラム1回転で表面画像と裏面画像の両方を印刷できることから、その最高プリント速度は毎分240ページになる。これはこうした価格帯の出力装置では最高速度になるという特徴を有する。これは多多数印刷においては大きな生産性の向上効果を発揮できることになる。但し両面印刷時用紙サイズは、A4以下に限定される。

従来の2回通し方式の場合には、一旦表面への印刷を行った後それを半日とか一日放置させて十分にインキを紙に浸透させてから、今度はその反対面に裏面への印刷を行うという方法なので、操作が面倒であることはもちろんトータルの印刷所要時間が非常に大になってしまうという欠点を持っていた。しかし本装置を用いることで両面印刷所要時間の大幅な節約が可能になる。その比較をFig.15に模式的に示す。

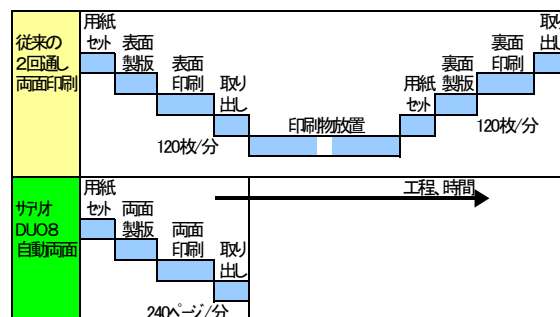


Fig.15 Time for duplex print.

上記以外にも従来の2回通し方式に較べて表裏の印刷画像方向ミスが発生する事を防止できる。また裏面印刷時ジャムを想定して表面印刷で余分に印刷をしておく必要がないなどのメリットもある。また万一搬送部で用紙ジャムが発生しても、両面印刷用反転搬送ユニットをフロント方向に引き出し可能にしたので、ジャム処理が簡単にできる特徴もある。

3-2 印刷コストの低減

両面印刷の場合は片面印刷に比較して用紙代が半分になることは当然であるが、それ以外に消耗品としてのマスタ代とインキ代が印刷物のコストに大きく影響を与えることがわかっている。

従来の2回通し印刷方式の場合、表面印刷で1枚のマスタを使用し次に裏面印刷で更にもう1枚のマスタを使用するので合計で2枚を使うことになるが、本装置を使用すれば1枚のマスタで表面画像と裏面画像の両方に印刷ができるので、マスタコストは半分に節約できるというメリットがある。

またデジタル孔版印刷では使用済みのマスタを剥離して廃棄するわけだが、その際にマスタに付着して捨てられるインキ量も印刷コストに影響する。使用するマスタが半分になるということは、当然排版で廃棄されるインキ量も半分になるので、更に印刷コストを低下させることが可能になる。

もちろん前記の生産性向上による両面印刷時所要時間の短縮も印刷コスト低減に効果を有する。

4. 今後の展開

技術開発活動の成果として、従来は実現が困難といわれていた自動両面のデジタル孔版印刷機をこうして世界で初めて商品化でき、7月に米国BLI社の“Pick of the year 2007”を受賞した。また8月に日本ものづくり大賞東北経済産業局長賞を受賞した。

生産性の向上や印刷コストの低減に大きな貢献ができたが、より快適に短時間で安心して低コストで両面印刷をしたいというお客様のニーズに完全に応えることができたわけではない。今後も更なる改善を続けて、信頼性の向上と低価格化・低騒音化を目標に開発を進めていく所存である。またインキ汚れの低減技術及び高速の用紙反転搬送技術は、他方式の画像形成装置への応用も含めて広く展開できる可能性を有すると判断している。

参考文献

- 1) リコーテクニカルレポート No.31
「新規孔版印刷用サテリオマスタの開発」
- 2) 印刷雑誌 2002 年 10 月号
「機能向上進むデジタル孔版印刷」
- 3) 登録特許 第 3545861 号
- 4) 公開特許 2003-200645 号

2400dpiマルチレーザサーマル画像形成技術

A 2400dpi Thermal Imaging Technology with Multi Lasers

森川 穰*

Minoru MORIKAWA

鈴木 伸一*

Shinichi SUZUKI

石間 和巳*

Kazumi ISHIMA

山田 征史*

Masafumi YAMADA

要 旨

リコーが保有する各種サーマルメディアのビジネス拡張と、グラフィックアーツ分野への光学システムビジネス立ち上げを目指し、広幅画像形成へも対応し得るマルチレーザによる高精細画像形成技術を開発した。本技術は、構造が極めてシンプルな光学ヘッドと独自の書込アルゴリズムとの融合に基づく。その結果、市場における既存の露光装置に比べて、画像品質に遜色がなく、かつ、大幅な低コスト化を実現することができた。

ABSTRACT

With the goal of extending business of the various thermal media held by Ricoh and launching business with optical systems for the graphic arts field, we have developed high-density imaging technology with multi-lasers. This technology can handle wide format images. The technology is consists of a very simple optical head technology and an original exposure algorithm. As a result, compared with existing exposure systems in the market, there is no degradation in picture quality and the technology is achieved at very low cost.

* 研究開発本部 先端技術研究所

Advanced Technology R&D Center, Research and Development Group

1. はじめに

1-1 背景・目的

グラフィックアーツの世界では、長年に亘り数多くの高品位画像形成技術が様々な商品に向けて開発されており、中でも、製版関連装置市場では、セッターの時代から現在のCTP^{*}に至るまで、常に高精細性を満たすことが必須とされてきた。特にCTP普及期においては、高いコストをかけてでも画像品質向上や生産性向上を優先する傾向にあった。

一般的に、ある市場が成長期にあるか成熟期であるかによって、商品に求められる性能と価格のバランスは異なり、成熟度合いによって、市場の求める商品コンセプトは変化する。高コストを要してでも性能第一優先とする場合や、逆に性能維持でもコスト低減が第一優先となる場合があり、概して、成長期は前者のコンセプトが多く、成熟期では後者のコンセプトが多い。

このような視点から見ると、現在のグラフィックアーツ市場は既に成熟期に入っており、次なるイノベーションが創造されるまでの間は、より一層、画像品質の確保と低コスト化を両立する技術が求められると考えた。

以上の背景に基づき、我々はこの課題を解決すべく、マルチレーザによる2400dpiの画像形成技術を開発したので、その概要を報告する。

1-2 アプローチ方法

画像品質の確保と低コスト化の両立を達成する為には、露光システムの主要部である光学ヘッド構造の新規構想が必要となる。

そこで我々は、光学ヘッドを可能な限りシンプルな構造とし、その上で、発生する不具合をシステムとして補完し性能を確保する。との考え方で臨む事とした。

もう少し具体的に説明すると、極めてシンプルで低コストの光学ヘッドに画像補正技術を組み合わせることにより、画像品質の確保と低コスト化を狙うという

^{*} Computer To Plateの略

もので、光学系にマルチビームの高精度化を全て負わせるのではなく、光学系と画像補正系とに機能を振り分け、双方を上手く組み合わせる事によってどちらか一方に大きな負荷がかからぬようにするとの構想とした。

このような考え方に従えば、光学系に過大な精度を求める必要がなくなる為、レンズや治具が安価となり、結果として光学ヘッド全体の大幅なコスト低減を狙えることになる。

2. 技術

2-1 システム構成

Fig.1は今回試作したマルチレーザ露光システムの構成図であり、以下にシステムの概略を説明する。

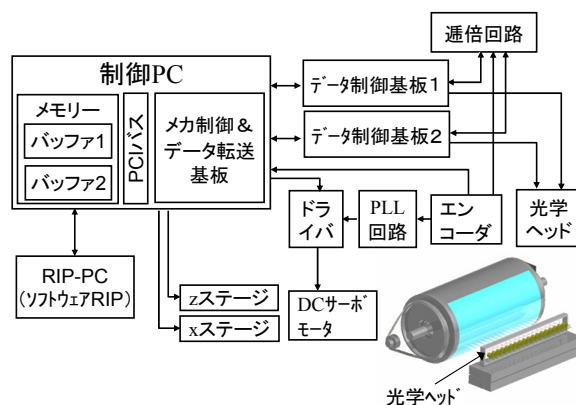


Fig.1 Scheme of a trial production system.

2-1-1 露光装置

露光装置本体は外面ドラム走査型とした。高精細画像形成に適しており、広幅画像にも対応し易いのがその理由である。ドラムへは記録媒体が固定され、モータ軸からベルトを介して動力が伝達される。ドラム径は約φ240mmであり、露光時には100rpm程度で回転する。

光学ヘッドはx-zステージ上にドラムと平行して設置され、露光工程ではドラムの回転に同期してxステージがドラム軸と平行方向に移動する。xステージの分解能

は $0.02\mu\text{m}$ で、アクチュエータはボイスコイルモータ。zステージは媒体の厚みに応じた焦点調整に用いられ、光軸方向に移動する。zステージの分解能は $0.25\mu\text{m}$ で、アクチュエータは超音波モータ。

2-1-2 画像データの流れ

RIP-PCにて2値に展開された画像データが、制御PCにて後述の画像処理を施され、補正画像データとなって格納される。補正画像データは、バッファを介し光学ヘッドの各光源に向けて順次画像データ制御基板へと送られる。画像データ制御基板からは、ドラム回転軸に配されたロータリーエンコーダーより生成される信号に同期して各レーザ光源ドライバへと転送され、補正画像データに応じてビームがON/OFFされる。

2-1-3 画像形成方法

Fig.2は、画像形成方法を説明する為の外周ドラム走査型装置例である。ドラム外周への走査方式であり、ドラム面に装着された印刷版などの記録媒体表面へマルチレーザビームが照射される。そして、ドラムが1回転する間にビームの副走査方向位置が1ドット分移動するように、xステージを連続的に動かす。若しくは、ドラムが1回転する度に、記録媒体の非画像領域で光学ヘッドを副走査方向に1ドット分移動させる。そのような動作を繰り返すことによって、各ビームが形成する帯状の画像は成長し、隣接ビームが形成する画像とつながった時点で画像全体が形成され、露光工程は終了する。尚、Fig.2では、走査経路が図示されているが、実際には記録媒体上の画像領域にビームが照射される。

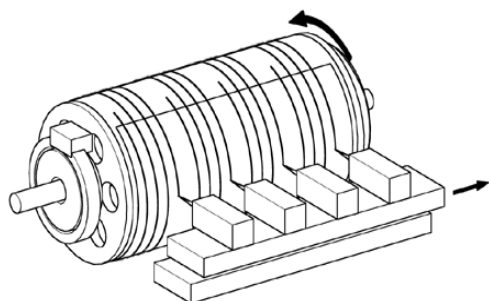


Fig.2 Composition of a image formation machine.

しかし、現実には光学ヘッドの各ビーム位置には理想位置に対する誤差がある為、隣接ビームによる画像とのつなぎ目には特別な画像形成技術が必要となる。この技術が画像品質確保のキーポイントであり、“2-3画像補正技術”にて説明する。

尚、本走査方式では、ドラム回転方向が主走査方向であり、ヘッド移動方向が副走査方向となる。

2-2 光学ヘッド

Fig.3は試作した光学ヘッドの写真であり、仕様をTable 1に示す。光学ヘッドは1ビーム単位の光学モジュールが副走査方向に複数配置された構成で、光学モジュールの主要光学部品は、Fig.4のごとくレーザダイオード1個と集光レンズ1個の極シンプルな構造とした。レンズが1つしかない為、光源出力の光利用効率が高く、定格出力の低い光源の使用が可能となる。

全ビームプロファイルは規定範囲内に調整されており、全てのビーム出力は略同一となるよう制御される。

本光学ヘッドは評価用である為、ビーム径可変である必要があり、Fig.3における光学ヘッド左半分のようにアパーチャの取付けが可能となっている。

光学モジュールは離散配置であるため、熱の蓄積による問題は発生せず、特別な冷却機構は必要ない。また、レーザダイオードが破損した場合には、光学モジュールを1個単位で交換できる。

Fig.3の試作ヘッドは24ビームの例だが、原理的に長尺の光学ヘッドも実現できる。実際に、Fig.5に示す1mを超える光学ヘッドも別途試作しており、初期問題の無いことが確認されている。

Table 1 Specifications of the imaging head.

解像度 (dpi)	ビーム数 (本)	光源定格出力 (mW)	波長 —	画像幅 (mm)
2400	24	150	近赤外	約270



Fig.3 The prototype of an optical head.

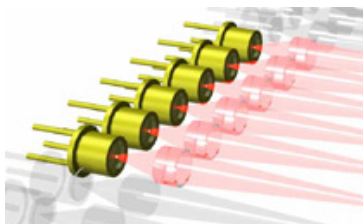


Fig.4 Figure of an optical head.



Fig.5 A part of long optical head.

2-3 画像補正技術

光学ヘッドより発せられる複数ビームの間隔は、全て等間隔となるように設計されるが、“2-1-3 画像形成方法”で述べたように、現実には製造ばらつきや組立公差により微妙な誤差が発生する。従って、高品質な画像を形成する為には、その誤差を目立たなくする工夫が必要となる。

2-3-1 画素単位の誤差補正

Fig.6は、光学ヘッドに画像データを転送して画像が形成されるフローの概略を表す。上のフローはビームが等間隔の理想的な場合の例、中のフローはビームが不等間隔で、かつ、上のフローと同じ画像データを用いた場合の例、下のフローはビームが不等間隔で、かつ、補正画像データを用いた場合の例である。

上のフローではビームが等間隔の為、各光源に転送する画像データは、元画像を光源の数で均等に分割したデータで良い。その結果得られる画像は、複数ビームによって形成される各画像のつながり目が見えない1つのつながった画像となる。

一方、中のフローのように、ビーム位置に誤差を生じる実際の光学ヘッドではビームが不等間隔である為、その光学ヘッドに元画像を光源の数で均等に分割したデータを転送すると、当然のことながら、隣接ビームが形成する画像各々は重なったり離れたりしてつなが

目が一致せず、元画像を分割した帯状の画像が無秩序に形成される事となる。

そこで、その問題を改善するのが下のフローとなる。即ち、ビームが不等間隔である光学ヘッドに対し、各ビームの位置誤差情報を反映した補正画像データを転送する事により、つながり目のずれを目立たなくする。

まず、補正画像を生成する為、各ビームの主副走査方向位置誤差量を画像サンプルから計測する。次にその位置誤差情報に基づき、Fig.7のように、設計上の位置に対する実際の位置から逆位相の位置に元画像データを並び替える。並び替え処理では、隣接ビームによる画像と重なった領域には、空白データを挿入して重なりを無くし、逆に隙間がある領域は隣接ビームに分担画像データを移して隙間を埋める。この並び替えた画像データが補正画像データであり、補正画像データを実際の光学ヘッドに転送する事で画素単位の位置補正が施された画像が形成される。

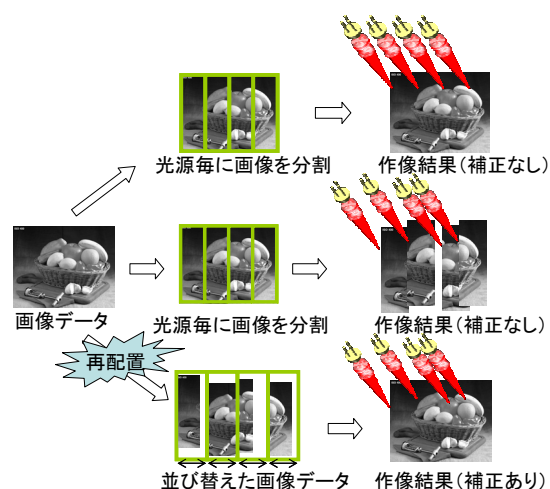


Fig.6 Figure of the error compensation by pixel resolution.

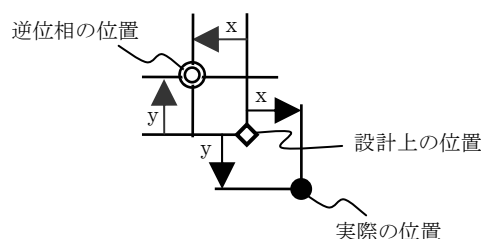


Fig.7 Figure of a position error.

2-3-2 画素間隔未満の誤差補正

画素単位の補正が施された画像を見ると、Fig.8のような画素間隔未満の隙間や重なりが観察される。このような状態で1ラインおきにON/OFFされた画像を露光すると、Fig.9のように、隣接ビームによる画像のつながりに黒筋や白筋が発生し、つながりが目視で認識されてしまう。

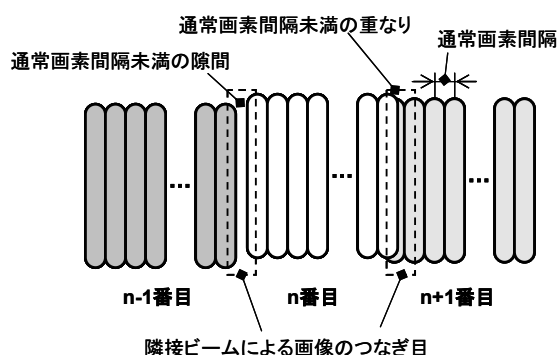


Fig.8 Figure showing the example of an error smaller than a 1-pixel interval.

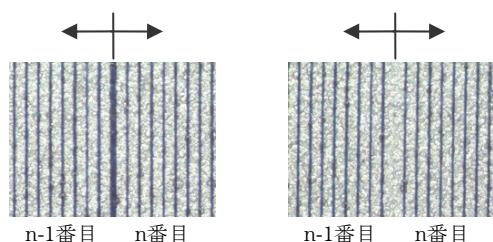


Fig.9 The enlargement of the printing plate sample which exposed 1Line on/1Line off image.

そこで、つながりを滑らかにつなげる為に、Fig.10のような画像形成を行う。即ち、Fig.8のようにn-1番目のビームとn番目のビームの画像のつながりに隙間がある場合、n-1番目のビームが形成する画像を1ライン分増やす。すると、n-1番目ビーム画像とn番目ビーム画像の重なりが大きくなる為、n番目ビームのスタートライン位置をn+1番目ビーム側に微妙にずらす。そして、スタートラインから複数ラインの間隔を通常画素間隔よりも狭めて形成する。

一方、Fig.8のn番目ビーム画像とn+1番目ビーム画像のつながり目のように重なりがある場合、n番目ビーム画像とn+1番目ビーム画像の重なりを小さくする為に、n+1番目ビームのスタートライン位置をn番目ビーム側と反対の方向に微妙にずらす。そして、スタートラインから複数ラインの間隔を通常画素間隔よりも狭めて形成する。

尚、主走査方向のずれは、露光タイミングを調整する等して合わせる。

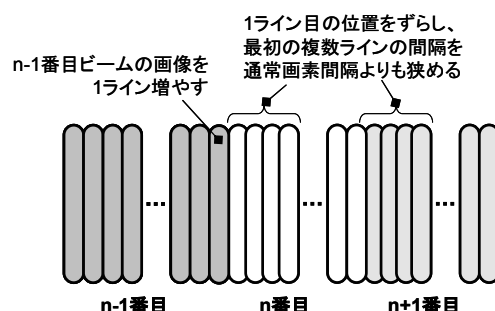


Fig.10 Figure of compensation of an error smaller than a pixel interval.

次に、Fig.11を用いて、スタートライン位置を微妙にずらす方法について説明する。

走査モードは2つ。1つはつながり目の複数ライン走査で、もう1つは、つながり目以外の通常走査。Fig.11は、つながり目複数ライン領域を4回走査する例である。走査開始位置を微小量ずらして、繰返し等速にて走査するのである。結果として、通常画素間隔の4倍の密度で走査する事になる。実際には、4倍の密度で全ての領域を露光するのではなく、光走査が必要な場所に達した時にだけ、画像データに応じて光源をON/OFFする。

よって、例えばFig.11の“記録対象ライン”の位置を露光するには、走査グループA、走査グループBと終えた後、走査グループCの2ライン目に達した時に、光源を駆動すれば良い。この記録対象ラインは、ビームによって異なり、隣接ビームとの間隔を画素間隔で割った値の小数部の値で決まる。

従って、露光工程の開始されるタイミングは、ビームによって異なる事となる。

以上の方法で、つなぎ目複数ライン領域に対し画像データに応じて、通常画素間隔よりも狭い間隔の複数ラインを形成する。

次に、つなぎ目以外の通常走査を行う。Fig.11では、走査グループDのつなぎ目複数ライン領域を越えた後の走査がそれにあたる。このモードは、各ビームによって分担する画像データ量が異なり、そのデータ量は隣接ビームとの間隔を画素間隔で割った値の整数部の値で決まる。従って、露光工程の終了するタイミングは、ビーム毎に異なる事となる。

尚、走査速度を等速とする事により、xステージに要する対応速度範囲と分解能の両立という困難な課題を解決でき、非常に現実的な技術にすることができた。

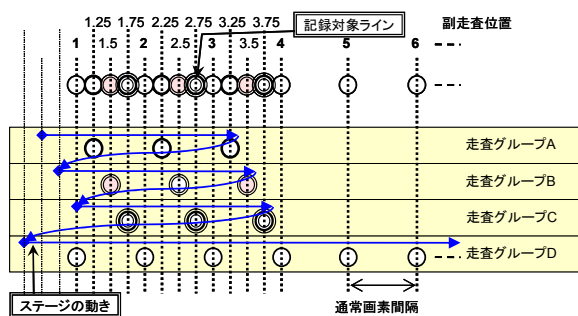


Fig.11 Figure of the scanning method by the uniform speed.

2-4 画像サンプル

Fig.12及びFig.13は、本試作露光装置にてCTP刷版を作製し、オフセット印刷にかけて得られたサンプルの拡大写真である。

Fig.12は階調パターン画像であり、Fig.13は人物画像である。両画像共に、ガンマ補正を施さずにAMスクリーン175線とFMスクリーンによってスクリーニングしており、何れの印刷サンプルもマルチレーザによる各画像のつなぎ目は判別不能であった。加えて、1%から99%までパターンが形成されており、商業印刷で要求される高品質な画像に対応できる事が確認された。

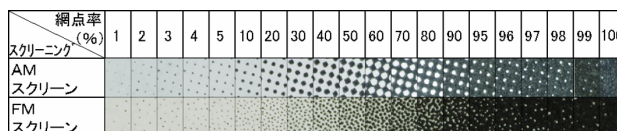


Fig.12 The enlargement of the offset-printing sample of the gradation pattern by a CTP printing plate.

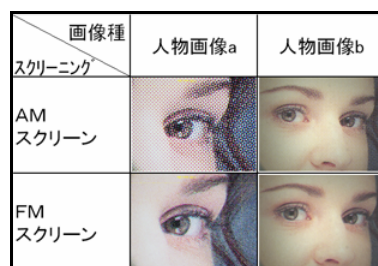


Fig.13 The enlargement of the offset-printing sample of the portrait image by a CTP printing plate.

3. 結論と今後の展開

大幅な低コスト化を可能とする極シンプルな構成の光学ヘッドを用いて、商業印刷並みの高品位な画像品質を満たすマルチレーザ画像形成技術を開発することができた。

今後は、リコーが保有する各種サーマルメディアのビジネス拡張と、グラフィックアーツの世界を視野に入れた光学システムビジネスの展開を図りたい。

LDMOSトランジスタを用いた電圧レギュレータの開発

Development of Voltage Regulator using LDMOS Transistor

根来 宝昭*

Takaaki NEGORO

要 旨

24V以上の高電圧動作の電圧レギュレータでは近年、低消費電流製品としてCMOS製品が注目を浴びている。しかし、従来の高耐圧MOSトランジスタはON抵抗を小さくすることが難しく、バイポーラ製品に対抗できる製品を実現することが困難であった。今回、低ON抵抗の特徴をもつ高耐圧LDMOS（横方向拡散型MOS）トランジスタを出力トランジスタとして採用して大電流LDO（低ドロップアウト）電圧レギュレータを実現したので報告する。

ABSTRACT

CMOS voltage regulators at high voltage operation of 24V or more in power supply IC are watched with interest recently because of the low current consumption. The difficulty to achieve low on resistance of high voltage MOS transistor inhibits the production of LDO (Low dropout) CMOS voltage regulators with large current comparable to Bipolar driver, does not produced. We developed a new large current voltage regulator using high voltage LDMOS (Lateral diffused MOS) transistor. Device feature and performance of voltage regulator are described in this paper.

* 電子デバイスカンパニー 製品開発部

Analog Design Development Section, Electronic Devices Company

1000

安定化電源回路のひとつに電圧レギュレータがある。この製品はバイポーラ型電圧レギュレータ^{1), 2)}とMOS型電圧レギュレータ¹⁾に大別される。MOS型電圧レギュレータは消費電流を抑えることが可能であることが特徴である。加えて、携帯機器分野では閾値電圧の制御により低電圧動作化、微細化技術によりチップ面積の小型化を図ることが可能なMOS型電圧レギュレータが注目されている。

近年、MOS型レギュレータで高耐圧電圧分野の製品も開発されており、特に車載製品に関してはバックアップ用電源などで消費電流の少ない製品が実現されている。しかし、高耐圧製品では低ドロップアウト、高速応答のMOS型製品は実現できておらず、バイポーラ型製品が主流である。しかし、電流入力駆動のバイポーラトランジスタを用いた製品では低消費電流化は困難である。そこで、新たに開発した高耐圧、低ON抵抗のPchLDMOS（横方向拡散MOS）トランジスタ^{4), 5)}を搭載した高耐圧電圧レギュレータを開発したので紹介する。

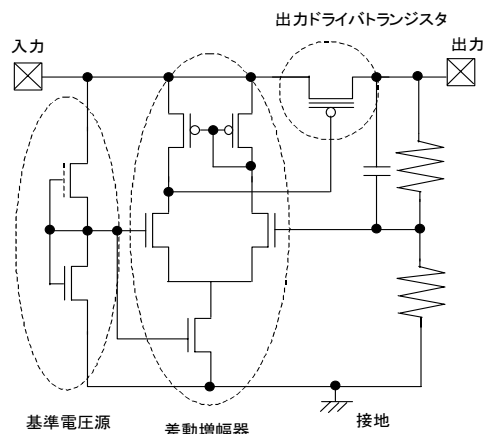


Fig.1 Voltage Regulator circuit.

それぞれのトランジスタの相互コンダクタンス gm は式(1), (3)のように表される.

$$\text{MOS} \quad : \quad gm = \sqrt{2Id \times \beta} \quad \cdots(1)$$

$$\beta = \frac{W}{L} \times C_{ox} \times \mu \quad \dots (2)$$

$$\text{バイポーラ: } gm = \frac{Ic}{Vt} \quad \dots (3)$$

$$Vt = \frac{KT}{q} \dots (4)$$

ここで、 I_d : ドレイン電流 W : チャンネル幅
 L : チャンネル長 C_{OX} : ゲート容量
 μ : 移動度
 I_c : コレクタ電流
 K : ボルツマン定数 T : 絶対温度
 q : 電子の電荷量
 である。

なお、出力ドライバトランジスタとして使用する場合には I_d と I_c は回路の出力電流に相当する。バイポーラトランジスタの g_m は物理定数で決定され、MOSトランジスタの g_m はトランジスタの設計値 (L : チャンネル長, W : チャンネル幅, C_{ox} : ゲート容量) によって決定されることがわかる³⁾。一般的な高耐圧MOSトランジスタではチャンネル長を長く、ゲート酸化膜厚を厚くして耐圧を高めるために g_m を大きくすることや低ON抵抗化が困難である。たとえば、バイポーラトランジスタに匹敵する性能を

2-1 MOS型電圧レギュレータ

2-1-1 低ドロップアウト，高速応答のための出力ドライバトランジスタの選定

MOS型電圧レギュレータの回路構成をFig.1に示す。基準電圧源、差動増幅器、出力ドライバトランジスタ、抵抗で構成され、出力電圧を監視して負帰還をかけることで出力電圧を安定化している。

低ドロップアウト，高速応答の製品を達成するには各増幅器の利得が高いことが必要で，出力ドライバトランジスタにも低ON抵抗の利得の高いトランジスタが求められる．次にトランジスタの候補としてのMOSトランジスタとバイポーラトランジスタの特性について考察する．

MOSトランジスタで実現するためにはチャンネル長を $1.0\mu\text{m}$ にする必要があるが、 $1.0\mu\text{m}$ では高耐压を実現することは不可能である。そこで、出力トランジスタとして実効チャンネル長が小さくて利得が大きく、かつソース・ドレイン耐压も大きく設計できるLDMOS（横方向拡散MOS）トランジスタを選定した。ここで、定格電圧35V時のON抵抗を従来の高耐压MOSトランジスタに対して1/5にすることを目指して開発した。

2-2 高耐压トランジスタ

MOS型高耐压トランジスタに従来より多く使われてきたLOCOSオフセットMOSトランジスタと本論文で検討した新規のLDMOSトランジスタの2種類がある。本節ではその製造フローと各デバイスについて述べる。

2-2-1 LDMOS混載の製造フロー

LOCOSオフセットMOSトランジスタとLDMOSトランジスタを混載できるように2つのトランジスタを同時に作成する製造フローをFig.2に示す。特に重要でかつ、従来フローと異なる点はPchLDMOSトランジスタをつくるためにポリシリコンゲート電極をつけた後にチャンネル拡散（ 1100°C 140分）を行う工程を追加したことで、この熱処理でチャンネルドーパ拡散の再分布が生じる。また、埋め込みチャンネル型MOSトランジスタでは閾値電圧を下げるのが難しいため、Nchトランジスタはリンデポ拡散によるN型ポリシリコンゲート電極、Pchトランジスタはボロン注入拡散のP型ポリシリコンゲート電極としてNch、Pchトランジスタ共に表面チャンネル型トランジスタとした。

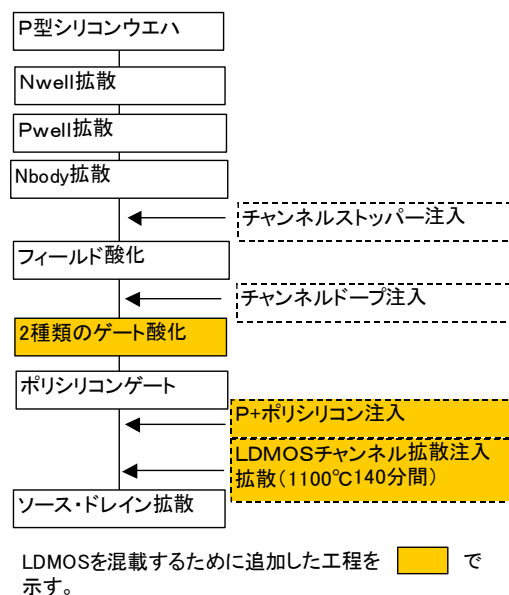


Fig.2 Process flow.

2-2-2 LOCOSオフセットMOSトランジスタ

作成したPch、NchLOCOSオフセットMOSトランジスタをFig.3に示す。

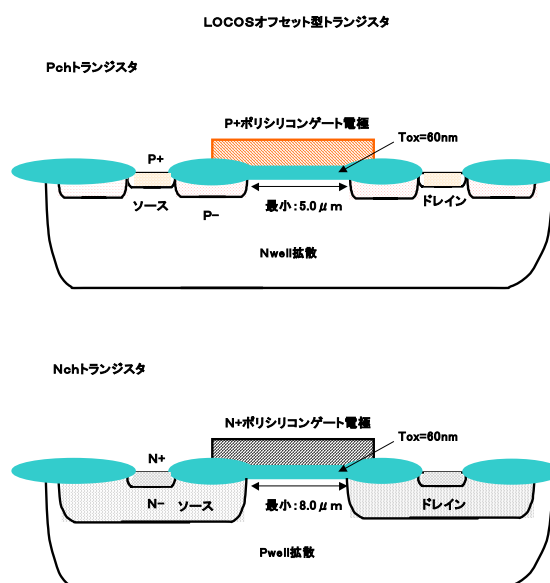


Fig.3 Cross-section of the LOCOS OFFSET MOS transistors.

ドレイン端のゲート電極電界を緩和するためにLOCOS酸化膜でゲート電極とドレイン電極の距離を遠ざけるオフセット構造とした。また、PchMOSトラン

ジスタについては、高温熱処理中にポリシリコンゲート電極からチャンネル部にボロン原子が拡散することを防止するために、ポリシリコンゲート電極へのボロン注入の工程を高温熱処理の後のソース・ドレイン拡散工程と同時に行った。NchMOSトランジスタは高電圧動作時にソース拡散 - ウェル拡散 - ドレイン拡散による寄生バイポーラ動作で破壊することを防止するためにソース・ドレイン拡散はPchMOSトランジスタに比べて深く、また抵抗も低くなるように作成した。

2-2-3 LDMOSトランジスタ (Pch)

今回のMOS型電圧レギュレータにおいてLDMOSトランジスタはPchトランジスタのみを搭載することとした。PchLDMOSトランジスタ構造をFig.4に示す。素子間の分離はPchLOCOSオフセットMOSトランジスタを分離するためのNwell拡散を使用した。このNwell拡散層内にPchLDMOSトランジスタを作りこむ拡散濃度条件を最適化して $0.8\mu\text{m}$ のチャンネル長としたトランジスタを実現できた。なお、ドレイン抵抗はドレイン電極をとるためのP+拡散とゲート電極との間の表面領域のP-拡散の濃度をコントロールして適当なドレイン抵抗になるようにした。また、低ON抵抗化の観点よりドレイン電流経路を阻害しないようにゲート酸化膜厚はLOCOS酸化膜を用いずに熱酸化膜だけで形成した。

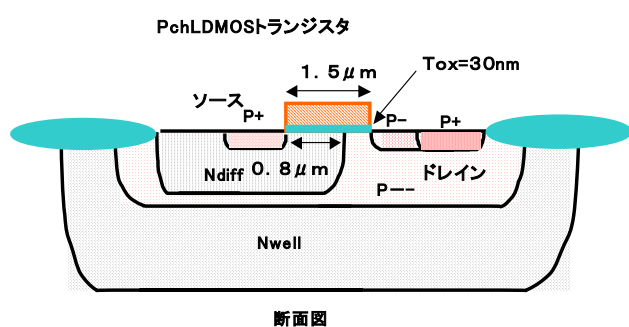


Fig.4 Cross-section of the Pch LDMOS transistor.

今回試作した35V定格のLDMOSトランジスタで得られた電流電圧波形をFig.5に示す。チャンネル長が $0.8\mu\text{m}$ と微細にもかかわらず、 V_{ds} に対する I_d （ドレイン電

流）の変化の少なく、出力抵抗が高い電流変換利得の高いトランジスタを実現できた。

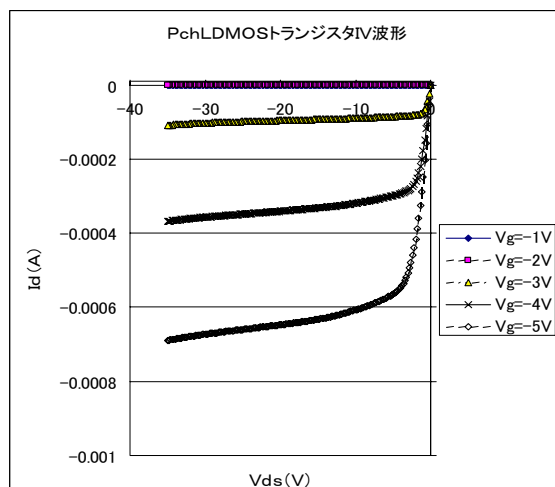


Fig.5 I-V characteristics of the Pch LDMOS transistor.

Fig.6にリーク電流の閾値電圧依存性を示す。実用的な -0.8V まで十分にリーク電流が制御されている。

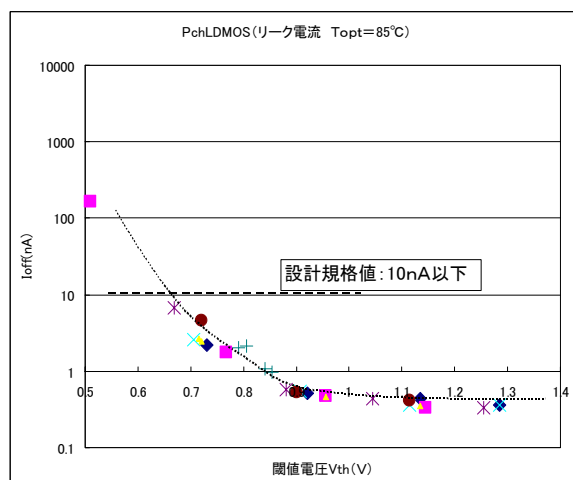


Fig.6 Leakage current of the Pch LDMOS transistor.

2-2-4 LOCOSオフセットMOSトランジスタとPchLDMOSトランジスタのON抵抗

トランジスタの設計値に起因してON抵抗は変化しますが、絶対最大定格電圧を満たして最適化した最小ルールのLDD (lightly doped drain) MOSトランジスタと

LOCOSオフセットMOSトランジスタとLDMOSトランジスタのON抵抗の比較をFig.7に示す。定格電圧35Vで、LOCOSオフセットMOSトランジスタのON抵抗に比べ、今回試作したLDMOSトランジスタのON抵抗は約1/6を実現することができた。

LDMOSトランジスタ構造はドレイン拡散濃度を上げて、チャンネル拡散とのPN接合耐圧を大きくすることで、チャンネル長を変化させずに高耐圧化が図れる特徴がある。

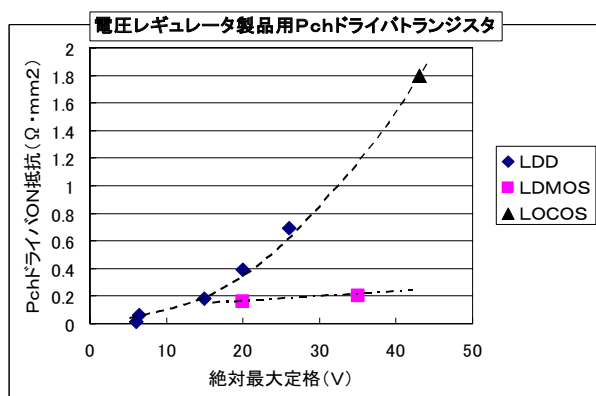


Fig.7 On resistance for high voltage MOS transistors.

2-3 MOS型電圧レギュレータ

PchLDMOSトランジスタを使った電圧レギュレータ回路をFig.8に示す。

アナログ回路設計ではオフセット電圧の低減が重要である。一般に差動増幅器では2つ以上のトランジスタを全く同じ特性となる様にサイズをそろえて用いる方法がとられるが、それらのトランジスタの特性（特に電流電圧特性）のオフセットが生じないようにMOSトランジスタの場合、チャンネル長を大きくする。

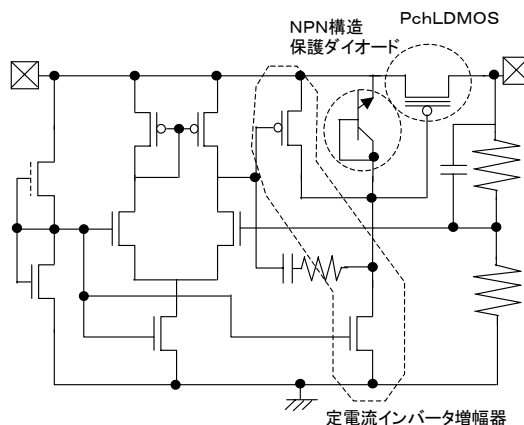


Fig.8 Voltage Regulator circuit using LDMOS transistor.

そのため、MOSトランジスタでは相互コンダクタンス gm が小さくなり差動増幅器の利得が下がるため、バイポーラ回路の利得に及ばなくなる。そこで、Fig.1で説明したMOS型電圧レギュレータ回路は差動増幅回路と出力ドライバで構成する2段増幅回路であるが、今回検討した回路では利得を大きくするために定電流インバータ増幅器を追加して3段増幅回路とした。試作したLDMOSトランジスタ搭載MOS型電圧レギュレータのリプル除去率（入力電圧に含まれる交流成分が、出力電圧で減衰する比率）の測定結果をFig.9に示す。リプル除去率は利得の特性を表す指標であり、定電流インバータ増幅回路を追加することで1kHzでも70dBと高利得をもつ特性が得られた。

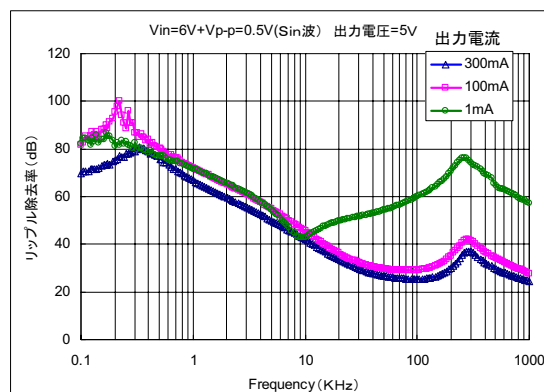


Fig.9 Input ripple rejection.

また、相互コンダクタンス gm の大きいPchLDMOSトランジスタのゲート酸化膜厚はLOCOSオフセット型トランジスタと比べて薄いために、出力電流を最大にする等の過渡的な動作が発生した時に、入力電圧と定電流インバータ増幅器の出力電圧差が最大となり、その電圧がPchLDMOSトランジスタのゲートソース電極間にかかるためゲート酸化膜破壊を引き起こす。そこで、ゲートソース電極間に約12Vの逆方向耐圧をもつ保護ダイオードを追加してゲート酸化膜破壊を防止した。

入力電圧過渡応答特性（急激な入力電圧の変化に対する出力電圧変化）と出力電流過渡応答特性（急激な出力電流の変化に対する出力電圧の変化）をFig.10, Fig.11に示す。

上記の保護ダイオードの追加でPchLDMOSトランジスタのゲート電圧に制限がかかり電圧レギュレータの過渡応答特性の劣化が懸念されたが、PchLDMOSトランジスタのゲート容量を十分に充放電できるように定電流インバータ増幅器の定電流値を最適化することで、出力電圧変動が±1.5%以内になり、充分な過渡応答特性が得られた。

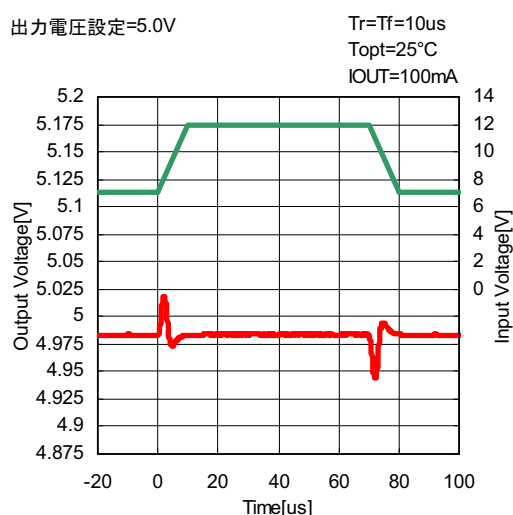


Fig.10 Line transient response.

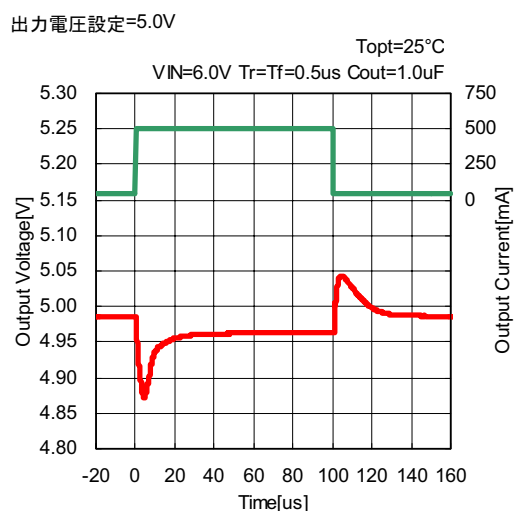


Fig.11 Load transient response.

3. 成果

新たに開発した高耐圧、低ON抵抗のPchLDMOS（横方向拡散MOS）トランジスタを搭載した高耐圧電圧レギュレータを開発した。

一般的なバイポーラ製品とMOS製品を比較して報告する。今回開発したLDMOS混載のMOS型電圧レギュレータと市販されているバイポーラ型電圧レギュレータとの比較をTable 1に示す。

Table 1 Electrical characteristics of Voltage regulators.

製品名	絶対最大 (V)	出力電流 (A)	消費電流 (無負荷時)	R.R (1KHz) (dB)	ON抵抗 (Ω)
A	35	1	8mA	55	0.5
B	20	1	10mA	60	0.7
C	16	1	0.8mA	63	0.3
R1500	36	0.5	70uA	60	0.7

A B Cは市販バイポーラ製品
R1500はLDMOS内蔵CMOS製品(本論文製品)

バイポーラ製品と比較して利得の高さを示すR. R. (リップル除去率) やON抵抗の特性を同等レベルの性能を維持しながら消費電流を1桁以上低減することができた。

4. 今後の展開

MOSトランジスタはバイポーラトランジスタと比較して二次降伏がなく高耐圧化を図りやすいので60V帯への高耐圧化が可能である。また、LDMOSトランジスタを用いたCMOS技術を展開して10 μ A未満のさらなる低消費電流化も同時に検討する。

参考文献

- 1) 宮崎誠一：トランジスタ技術増刊 アナログ IC 活用ハンドブック CQ 出版社
- 2) 鈴木正太郎：オンボード電源の設計と活用 CQ 出版社
- 3) 佐野芳昭：アナログ集積回路設計の基礎と実際 (株) リアライズ社
- 4) Taylor R. Efland, Chin-YuTsai, Sameer Pendharkar : “Lateral Thinking About Power Devices (LDMOS)” IEDM vol.98 (1998) pp679
- 5) M. S. Shekar, Richard K. Williams, Mike Cornell, Min-Yih Luo, Mohamed Darwish : “Hot Electron Degradation and Unclamped Inductive Switching in Submicron 60-V Lateral DMOS” IRPS vol.98 (1998) pp383

ビジネス情報の検索：議論の探索と専門家の探索

Research on Enterprise Search: Discussion Search and Expert Search

ガンメイ ヨウ*

Garnei YOU

ヤオジエ ル*

Yaojie LU

ガン リ*

Gang LI

ユエヤン イン*

Yueyan YIN

要 旨

本論文は、ビジネス情報における議論に関する探索と専門家の探索に関する新規な知見を述べている。議論に関する探索では、eメールでの著者、送出時間などの冗長な情報を利用しているが、更にロバスト性を向上させた議論のトピックスを掘り出すために、使用状況に応じた重み付け法を併用している。実験で見られたように、時間経過やメールスレッド（トピックス別の応答メール集合）のような内容と無関係な特徴量も探索精度の向上に重要であることがわかってきた。専門家の探索では2種類のBM25 and DFR_BM25重みモデル—つまり、V-BM25とV-DFR_BM25—が試された。また、文書長に基づく重み付けが採用されたが、この文書長とは、探索された専門家のプロフィールの長さではなく、クエリーに基づく文書長（質問文章長）に基づいて重み付けがなされ、これによってトピックスの変動を抑制した。更にトピックスの混同を減少させるため既存の句（phrase）重み法の変動させ（V-phrase）、探索結果を更に高精度にするため2段階探索を実施した。これらの改良手法を使った専門家探索の実験結果は効率的であることが実証された。

ABSTRACT

This article presents our contributions to expert search and discussion search of Enterprise search. In discussion search, we take advantage of the redundant patterns of emails, such as the subject, author, sent time, etc., which we incorporate in a field-based weighting method to mine discussion topics with higher robustness. Some non-content features, such as time-line and mail thread are found to be useful as experiments showed their improvement of the search precision. In expert search, two variants of the BM25 and DFR_BM25 weighting models – namely V-BM25 and V-DFR_BM25 – are put forward. In addition, to decrease the confusion of the topic, we propose a Variant of Phrase weighting model (V-Phrase) and a two-stage field-based search method to refine the results. Query-based document length, not profile length, is used as document length in these weighting models to eliminate multiple topic drift. The experimental results prove these approaches can effectively improve the precision of expert search.

* リコーソフトウェア研究所（北京）

Ricoh Software Research Center (Beijing) Co., Ltd.

1. Introduction

With the fast development of search engine technology, enterprise search becomes a very important research field in information retrieval. And people have further requirement for enterprise search, such as higher precision and more functionalities. TRMeister is a full-text search server with DBMS functions developed by SRDG, Ricoh. It's used as one of important components in document solution applications. And it will take significant role in Ricoh's future products. To find promising applications and improve the performance and functionalities of TRMeister, we participated in TREC 2006 Enterprise Track. The Enterprise Track considers a user who searches the data of an organization in order to complete some task. Enterprise search is interesting because it has not been sufficiently addressed in research, and it is of immense practical importance in real organizations. We participated in both tasks of Enterprise Track: Discussion Search and Expert Search.

2. Discussion search

The goal of discussion search is to retrieve a set of messages in the email lists that provided pro/con arguments for a particular choice such as "html vs. xhtml". The motivation for the task is to assist users in understanding why a particular decision has been made.

In this section, related work is presented firstly; secondly data cleaning and feature extraction is introduced; thirdly terminology and methods we used are discussed; at last the test result is analyzed.

2.1 Related work

In [1], Anh *et al.* (Melbourne University) made a baseline run on an index from which all quoted text had been stripped. In this baseline run, the document scores were then supplemented, first by scores from a parallel index of the quoted text, then by scores of other

messages in the same thread, and finally by the frequency with which the message's author is posted to the W3C mailing lists. A separate run was made using an impact-based system. The results showed the impact-ordered run is superior to the chosen baseline, and retaining quoted text is superior to removing it. Enhancing document scores with thread information is a promising technique.

Craswell *et al.* (Microsoft Cambridge) identified three text fields: subject, body and quotation [2] and treated each of these differently over a uniformly weighted baseline. Their results emphasize the importance of having appropriate training data (lacking for discussion search) to get satisfying results.

Vechtomova *et al.* (University of Waterloo) also adopted thread properties to identify the discussions [3]. All the test (pseudo-relevance feedback, and use of some structure information) runs of CSIRO and ANU performed poorer than the base run that simply ignored email structure and treated all elements equally. Maybe there are bigger gains to be made by considering email-specific features like thread structure [4].

2.2 Data cleaning and feature extraction

Fig.1 shows the typical structure of a discussion message. We can divide it into 19 parts (A-N), from each of which information can be extracted.

The distinction between these parts - and their role as content-related or non-content-related - is the cornerstone of our discussion retrieval scheme. According to the HTML tag information and some structure feature (e.g. quotations are identified by the quotation character '>') we can easily divide the document into parts labeled from A to N in fig.1.

Part A is the navigation field;

Part B is the subject of the message. It is a summary of the key points of the message and therefore an important piece of information;

Part C is the author of the message;

W3C home > Mailing lists > Public > ietf-http-wg-old@w3.org > September to December 1994 **A**

Re: More followups **B**

This message: [Message body] [Respond] [More options]
Related messages: [Next message] [Previous message] [In reply to]

From: Henrik Frystyk Nielsen <frystyk@netsun00.cern.ch> **C**
Date: Tue, 6 Dec 94 05:58:11 +0100 **D**
Message-Id: <9412060458.AA02073@netsun00.cern.ch> **E**
To: Chuck Shotton <cshotton@oac.hsc.uth.tmc.edu> **F**
Cc: http-wg%3Ccuckoo.hpl.hp.com@hpl.hp.com, kball@novell.com **G**

Hi,
 I ran across a problem in tidy's handling of <center> within a dl **H**
 Chuck Shotton writes:
 > At 6:06 PM 12/5/94, Keith Ball wrote:
 > >> From "Roy T. Fielding" <fielding@avron.ICS.UCI.EDU> **I**
 > >>
 > >> > 1. In a HEAD response, what should Content-Length be set to? The
 to do would be not to send the header field at all. This is one of the
 the reasons why the field can not be mandatory.

-- cheers --
 Henrik **J**

Find things fast with the new MSN Toolbar ?includes FREE pop-up blocking!
<http://clk.atdmt.com/AVE/go/omn00200414ave/direct/01/> **K**

• text/html attachment: [html.257](#) **L**

Received on Wednesday, 19 April 2000 17:26:30 EDT

This message: [Message body]
Next message: html-tidy@war-of-the-worlds.org: "Re: dt/center processing problem"
Previous message: Sebastian Lange: "possibly a bug regarding IMG ALT attributes?"
Next in thread: html-tidy@war-of-the-worlds.org: "Re: dt/center processing problem"
Reply: html-tidy@war-of-the-worlds.org: "Re: dt/center processing problem" **M**

Mail actions: [respond to this message] [mail a new topic]
Contemporary messages sorted: [by date] [by thread] [by subject] [by author] [by messages with attas]
Help: [How to use the archives] [Search in the archives]

This archive was generated by *hypermail pre-2.1.9* : Wednesday, 3 September 2003 12:48:35 EDT **N**

Fig.1 Discussion thread extracted from the W3C corpus.

Part D is the creation time of the message;

Part E is the unique ID of the message;

Parts F/G can define the category of the message and show the relationship of the author with other members;

Parts H/I/J/K refer to the main content of the message. Parts J and K are the greeting part of the message and the advertisement section respectively. These parts have no relationship with the content, so we neglected them. The quotations (part I) - which are passages of the original text - are identified by quotation characters that prefix each line. Such quotation characters can be '>' or ':' or probably other characters or regular expressions; combinations of them usually define the quotation depth. The new part (Part H) contains the new content typed by the author of the message;

Part L is the attachment part;

Part M is the thread information from which we can extract the reply chain;

Part N is also a useless part.

2.3 Terminology

• Timeline:

In this paper, we call *timeline* the time elapsed between the reception of an e-mail and its next reply in the discussion.

• Thread

Some e-mails often reply to a certain e-mail, and usually discuss a single topic. In such situations, all e-mails that discuss one certain topic belong to one *thread*. The first e-mail introducing the topic is the root of the thread, and the e-mails that answer this e-mail are the children of the thread root. Note that an e-mail with no reply corresponds to a thread containing a single element.

• Field

One e-mail has its author, email address, and other

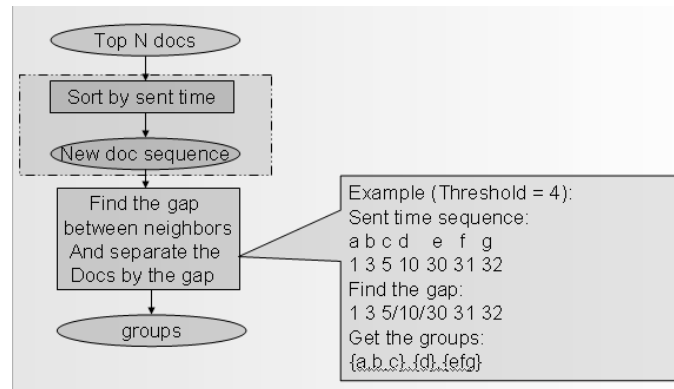


Fig.2 Workflow chart of timeline-based method.

attributes like: send time, receivers, etc. These features are called *fields* of the e-mail in our paper.

2.4 Methods

2.4.1 Timeline-based approach

It is highly probable that the e-mails that discuss a certain topic are sent within a reasonably short timeline. Conversely, "noise e-mails" (e-mails irrelevant to the topic) occur more randomly in time so that the timeline can filter them out in the search process. The timeline-based filtering method can be decomposed into the following steps:

- Get top N e-mails ($N = 5 \sim 30$) from the first search results.
- Sort them by the send time (optional).
- Group these e-mails by the send time
- For each group:
 - Get the <start, end> time slot
 - For each e-mail in the top 1000 results:
 - If its send time is in the slot, add the constant c to its score

One key point of this method is how to group e-mails; fig.2 shows how it works:

2.4.2 Thread-based approach

This method uses the thread information to cluster the top N e-mails and adjusts their scores according to the

groups they belong to in order to get rid of noisy messages. It does not care about how to search the results; it just focuses on re-ranking the found results by adjusting their scores.

Then how to adjust the scores? We define what we call the "distance" in thread, which is the space between two e-mails in the same thread. We represent a thread by the following tree:

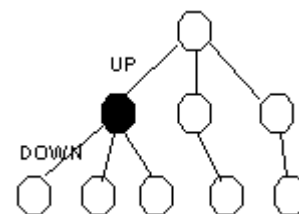


Fig.3 Tree-based representation of a thread

From the black e-mail node (see fig.3), the upper one is the e-mail that it replied to; the lower ones are the e-mails that replied to the black e-mail. Then, the distance between the black one and the upper one is equal to UP (it is a parameter whose value ranges from 0 to 2 in our system), the distance between the black one and the lower one is equal to DOWN (parameter whose value is 1).

The thread-based approach goes through every e-mail in the top N results. For each e-mail, we first obtain the thread it belongs to; secondly, we compute the distance from this e-mail to every other e-mail in the same thread

as follows:

- Initialization of parameters: DOWN = 1; UP : $0 \sim 2$
- From the seed node:
- use the stack to compute:
- Push the parent & children into the stack with distance:
 Parent: this node's distance + UP,
 Children: this node's distance + DOWN
- Pop the node in the stack, and push its parent & children upper. Stop until the stack is empty

Next, we use the computed distance to adjust every e-mail's score: if the average distance to the group is lower than a threshold, the score of this e-mail will be increased, otherwise, the score will be reduced. At the end, every e-mail has a new score that is used to re-rank. After re-ranking, some correct answers may have a higher relevance rank than without such processing, and some wrong answers may be pushed to lower positions.

2.4.3 Timeline & thread-based method

This method uses the timeline to compute the distance in one thread, and this is the main difference from the method above. In this case, the distance is the timeline. The other steps are similar to the ones of the method in 2.4.2.

2.4.4 Advanced field-based method

As we know, the different parts of the document have a different importance. The important part of a document contains the terms that are likely to match the search query. The proposed advanced field-based search method takes advantage of such observation to improve the retrieval results. However, note that a part considered as important in one document can be seen as less important in another. For instance, the *subject* part is very important as it contains the topic of the discussion, but when it is replied, the original subject will be prefixed with 'Re:', adding no information to the content. Besides, the author who replies may type text with a new content that the subject cannot incarnate. In our experiments, we do not fix the weight of each field, but consider many interdependent fields together. For example, if a term appears in both the subject and body, we will set a high weight to the subject, but when only the subject contains the term, the weight of subject will not get a very high value.

2.4.5 Query expansion

We used two kinds of query expansion in our experiments. One relates to the pseudo-feedback and the other is called 'expanding term form narrative part'.

- Pseudo-feedback: we regard the top N documents in

Table 1 Precision results of the five tests (Scores are computed where judging levels '2*' (contains a pro/con) and above are considered relevant.)

	test1	test2	test3	test4	test5
num_ret	4776				
num_rel_ret	3827	3901	3908	3924	3850
MAP	0.2648	0.2681	0.2749	0.2593	0.2852
P5	0.4043	0.3826	0.3783	0.3348	0.4478
P10	0.387	0.3565	0.3739	0.3283	0.437
P15	0.371	0.3536	0.3681	0.3174	0.4101
P20	0.3598	0.3598	0.3587	0.3174	0.3913
P30	0.3355	0.3297	0.3341	0.3058	0.3659
P100	0.2763	0.2837	0.2861	0.2733	0.2917
P200	0.2278	0.2328	0.2416	0.2312	0.2351
P500	0.1373	0.1417	0.1455	0.1419	0.1413
P1000	0.0832	0.0848	0.085	0.0853	0.0837

Table 2 Precision results of the five runs (Scores are computed where judging levels '1'* (relevant to the topic) and above are considered relevant.)

	test1	test2	test3	test4	test5
num_ret	4776				
num_rel_ret	3827	3901	3908	3924	3850
MAP	0.3999	0.397	0.4026	0.3855	0.4065
P5	0.628	0.6	0.6	0.596	0.652
P10	0.582	0.582	0.578	0.57	0.61
P15	0.5587	0.5587	0.548	0.5413	0.58
P20	0.544	0.543	0.525	0.531	0.561
P30	0.5147	0.512	0.498	0.5053	0.5307
P100	0.4408	0.4436	0.4478	0.438	0.4452
P200	0.3565	0.3617	0.3704	0.3641	0.3612
P500	0.2149	0.2194	0.2242	0.2203	0.2154
P1000	0.1274	0.1295	0.1298	0.1303	0.1262

*

0: not relevant.

1: relevant, does not contain a pro/con argument.

2: relevant, contains a negative (con) argument.

3: relevant, contains both pro and con arguments.

4: relevant, contains a positive (pro) argument.

the search results are relevant and we extract some terms from these documents to carry out the expansion.

- Extract related terms from the narrative part: because the narrative part of the query is very long and there are many noisy terms, we do not extract all terms directly but only the useful ones relevant to the query part to achieve the expansion.

2.5 Test results

There are 5 test we done in our discussion search.

- Test 1, timeline + field-based +query expansion
This method uses the first search results to extract query terms for the expansion and searches again. Then it uses the timeline and fields to optimize the search results.
- Test 2, timeline + field-based +query expansion and double write abbreviations
Before the search, duplicate abbreviations in the corpus like: "RDF" to → RDFS, where RDFS stands for "resource description framework". Then

we use the first search results to extract query terms for the expansion and search again. Then we use the timeline and fields to optimize the search results.

- Test 3, timeline + query expansion and double write abbreviations
Before the search, duplicate abbreviations in the corpus like: "RDF" to → RDFS, where RDFS stands for "resource description framework". Then we use the first search results to extract query terms for the expansion and search again, then use the timeline to optimize the search results.
- Test 4, field-based + query expansion and double write abbreviations
Before the search, duplicate abbreviations in the corpus like: "RDF" to → RDFS, where RDFS stands for "resource description framework". Then we use the first search results to extract query terms for the expansion and search again. Then use the field-based approach to optimize the search results.

- Test 5, timeline + advanced field-based method + query expansion with narrative part

This method extracts query terms from the narrative part for the query expansion and searches again. Then, we use the timeline and field-based approaches to optimize the search results.

Tables 1 and 2 show the precision results of the five different runs while considering different levels of relevance.

From the results, we notice that the traditional field-based method has little effect on the MAP (see table 1). It might be due to the numerous extracted fields from the corpus so that there are too many parameters in this method. As a result, there is not enough training data to tune these parameters, which explains why the method is not so effective.

Besides, we see that the timeline-based method affects efficiently the MAP. It proves that using the timeline to optimize the results is reasonable (see table 2).

3. Expert search

Expert search is to identify who are experts on the given topic. It is a useful and attractive research because there are very similar requirements in enterprises.

Expert search is not a simple task because we cannot apply classical Information Retrieval (IR) models directly to get the results. For instance, methods solely based on keywords cannot achieve good results, thus new solutions are wanted. Two common search methods are easy to find out. The first one is document search and voting. We first search documents relevant to a given topic using a classical IR model, then we sort the experts based on their occurrence frequency in the documents relevant to the topic. The other approach is profile search. That is, we first process the corpus and build a profile for each expert. Then, we can use classical IR models to find experts in the profiles for each topic. We

tested the two methods with TREC 2005 data. Experiments proved that the latter method can achieve about 20% higher Mean Average Precision (MAP) than the former one. Therefore, we have adopted the profile search method in our expert search scheme.

In this section, firstly related work is introduced; then our pre-processing of the data and search methods are presented; finally our test results are analyzed.

3.1 Related work

Fu *et al.* (Tsinghua University) used a "document reorganization" method that is effective for the expert finding task [5]. It reorganizes the descriptions from all sources of information for each candidate expert by allocating different weights to the documents' sources of context and ranking. Such approach yields better performance than treating all sources of information in the same way. Finally, a bi-gram retrieval method increases the precision of the expert search.

Cao *et al.* (Microsoft Research Asia) used a two-stage language model and window-based co-occurrence sub-model [6]. They use metadata in building co-occurrence models and a clustering-based re-ranking method.

Yao *et al.* (Peking University) jointly used three methods to achieve the search [7]: a traditional IR technique, an e-mail clustering method and an entry page finding scheme. The authors used two-result aggregation methods of linear synthesis and Markov chain to combine the three generated results. Experiments demonstrate that the traditional IR method is useful if the query is well generated. The e-mail clustering method is effective when the mailing list is relevant to a unique work group or committee, and the entry page finding method is valuable when the topic is the theme of a special group.

MacDonald *et al.* (Glasgow University) created candidates profiles and used the expC2 DFR weighting model to rank them [8].

Ru *et al.* (Beijing University of Posts and Telecommunications) used three methods: a two-stage ranking (BM25 weighting model and a language model based on KL-divergence to rank documents), a corpus refinement and a name disambiguation [9].

3.2 Pre-processing of the data

To create a profile for each expert, we must first process the corpus. The W3C corpus consists of web pages, emails, WIKI pages, CVS data and text files. Our goal is to find all related information for each expert and create his/her profile database. The processing steps are as follows:

3.2.1 Create a candidate identifier

In the expert list, a full name and at least one e-mail address is provided for each expert. However, experts will not always appear in the form of a full name or an email address. So we propose to add anchor texts to the candidate identifiers list. The anchor text is a hyper-link pointing to the email address of a candidate that we obtain by scanning each web page.

3.2.2 Find relations between candidates and documents

We visit each page to find experts by using the candidate identifier in each document and record the occurrence information. In this step, we use the Wu-Manber algorithm to do multi-pattern matching. The occurrence information is recorded in a XML file.

3.2.3 Extract candidate occurrence information

We extract the occurrence information based on the relations we have built. The occurrence information is obtained within a window - of at most 50 words in size - centered on each occurrence position of the expert.

3.2.4 Extract web page core

Important information is extracted from each Web page that has candidate information. We extract title, headers, abstract, text occurrence, keywords and descriptions from HTML metadata. Headers include any level HTML header, such as <h1>, <h2>. The abstract is the first paragraph below headers entitled "abstract". Occurrence text is fifty words before and after each candidate identifier. We call this important information the Web page core. Only the Web page core is used in expert profiling but not the whole page content.

3.2.5 Remove duplicated web pages

We found that there are some duplicated Web pages in W3C corpus that wrongly enhance the information of the repeated topics. These duplicated Web pages introduce a bias in the search results from this W3C data collection, thus decreasing the MAP. We use two methods to remove duplicated Web pages. One is by URL. We found some specific URL patterns are duplicated, such as in <http://esw.w3.org/topic/Algae?action=diff&date=1059952621>. URLs which have different date parameters but similar contents are considered as duplicate. The other removes a duplicated Web page when the repeated part of each field (such as title, header, occurrence information, etc.) exceeds a proportion of the total length of this field.

3.2.6 Generate profile database

We merge all non-duplicated Web page cores relevant to an expert into his/her profile. In our experiments we got 696 profiles. However, 396 other experts couldn't be retrieved in this pre-processing phase.

3.3 Search methods

3.3.1 Two-stage search method

We propose a two-stage search method for expert search. In this method, a new weighting model and a new phrase search method are combined together.

3.3.1.1 Variants of weighting models

In expert search, all queries that are titles are short. So the BM25 weighting model [10] is adopted. The BM25 we used calculates the relevance weighting model score of a profile d for a query Q by the following formula:

$$w_score(d, Q) = \sum_{t \in Q} \frac{tf}{K + tf} \frac{qtf}{qtf + k_3} \log(k_2 \frac{N}{N_t} + 1.0) \quad \dots(3.3.1)$$

Where tf is the frequency of term t in the document (profile) d ; qtf is the query term frequency; N is the number of documents (or profiles) in the whole collection; N_t is the document frequency of term t ; k_2 and k_3 are parameters. K is defined as:

$$K = k_1 ((1 - b) + b \frac{l}{avg_l}) \quad \dots(3.3.2)$$

Where l and avg_l are the document length and the average document length in the collection respectively; k_1 and b are parameters.

Note that in equation (3.3.1), we added a unit constant inside the $\log(.)$ function to ensure that the score is always positive. As a result, all profiles relevant to any term of the query can be found, which increases the recall ratio.

To increase the precision, we use the DFR_BM25 weighting model [11]. In this model, the relevant weighting model score of a document d for a query Q is given by:

$$w_score(d, Q) = \sum_{t \in Q} \frac{TF}{TF + k_1} \frac{(k_3 + 1)qtf}{k_3 + qtf} \log(\frac{N - N_t + 0.5}{k_2 N_t + 0.5}) \quad \dots(3.3.3)$$

Where qtf , N and N_t have the same meaning as those in equation (3.3.1); k_1 , k_2 and k_3 are parameters.

TF is

$$TF = tf \log(1.0 + c \frac{avg_l}{l}) \quad \dots(3.3.4)$$

Where tf , avg_l and l have the same meaning as those in formula (3.3.1) and (3.3.2); c is a parameter.

In equation (3.3.3), $\log(\frac{N - N_t + 0.5}{k_2 N_t + 0.5}) \leq 0$ if $N_t > N / (k_2 + 1)$. That is, if more than a pre-set percentage ($1 / (k_2 + 1)$) of profiles contains a term, the term is called a frequent term. In the model, frequent terms of a query are ignored since frequent terms have weaker document differentiation ability. For example, we can consider as frequent a term that is contained by more than half of profiles. Such frequent terms have no contribution to the document score.

In our experiments, we search profiles to find experts. In other words, profiles are seen as searched documents. These profiles are created by the above data processing. Because each profile is formed from multiple Web pages related to different topics, each profile may contain multiple topics. We experimentally verified this fact. When the profile length is used as document length in BM25 or DFR_BM25 weighting model, some experts rank very low because they are interested in several fields, which results in very long profile lengths. In other words, those profiles have multiple topic noise besides the given topic. To avoid such problem, the query-based document length instead of the profile length is used as document length in BM25 and DFR_BM25 weighting models. Query-based document length is got in this way: for a query, Web page cores are retrieved and then relevant Web page cores are found; for each profile, the

query-based document length is the sum of the document lengths of relevant Web page cores matching the profile's candidate. In other words, only the length of parts of the profile that are relevant to the query are used to compute the document length. As a result, the model exposed in equation (3.3.1) can be regarded as a variant of the BM25 weighting model (V-BM25) and formula (3.3.3) is a variant of the DFR_BM25 weighting model (V-DFR_BM25). Our experiments prove that the average precision of the variants of the weighting models is higher than that of classic weighting models. Document scores computed by the weighting model will be adjusted by the following phrase score.

3.3.1.2 Variant of phrase weighting model (V-phrase)

Phrase search consists in seeking k-adjacent terms of a given query in documents. In the method of section 3.3.1.1, the document (or profile) score is a linear combination of the query terms. That is, only individual terms are considered while terms relationships are ignored. Such approach may be sensitive to topic drift. For example, consider the expert candidate 0190 in semantic Web coordination who will have interactions with other experts in a distinct field such as P3P. If the query is "Semantic Web Coordination" and only classic weighting models are used, the candidate 0190 ranks high even though he is not an expert in Semantic Web Coordination. However, when we search for relevant profiles with adjacent terms, such as "Semantic Web", "Web Coordination" or "Semantic Web Coordination", the candidate does not rank No.1. It illustrates how topic drift decreases the efficiency of such phrase search approach.

The relevant document phrase score for a query Q is given by:

$$p_score(d, Q) = \sum_{p \in Q} \frac{PF}{PF + k_1} \frac{(k_3 + 1)qpf}{k_3 + qpf} \log\left(\frac{N - N_p + 0.5}{k_2 N_p + 0.5}\right) \quad \dots(3.3.5)$$

$$PF = k * pf \log\left(1.0 + c \frac{avg - l}{l}\right) \quad \dots(3.3.6)$$

Let $|l|$ indicate the term number. P is a k-adjacent phrase of query Q , or $|P| = k$; pf is the frequency of phrase P . qpf is the phrase frequency in query Q . N is the number of documents (or profiles) in the whole collection; N_p is the document frequency of phrase P ; k_1 , k_2 and k_3 are parameters. l is the query-based document length. The number of k-adjacent phrase terms is $|Q| - |P| + 1$.

3.3.1.3 Document (profile) score

The document (profile) score is the linear combination of the document weighting model score and the phrase score:

$$score(d, Q) = w_score(d, Q) + k_4 * p_score(d, Q) \quad \dots(3.3.7)$$

3.3.2 Two-stage field-based search method

As was described in section 3.2, core information (title, abstract, headings and window information) is extracted from each Web page. Then, for each candidate, titles of all related Web pages compose the title profile. In this way, candidate information consists of four fields: title profile, abstract profile, headings profile and window information profile. A two-stage search method is applied to each field. Each candidate profile score is a linear combination of field-based profile scores:

$$score(c, Q) = \sum_{f \in fields} \lambda_f score(f, Q) = \sum_{f \in fields} (\lambda_f (w_score(f, Q) + k_4 * p_score(f, Q)))$$

Where

$fields = \{title\ profile, abstract\ profile, heading\ profile, window\ profile\}$,

λ_f and k_4 are parameters.

$$\dots(3.3.8)$$

3.4 Test results

We have done 5 tests in Expert search. All five results are based on the same data processing method as

exposed above and with different weighting methods and parameters. The major differences between the five runs are described below:

1. SRCBEX1 -- Using the queries from the <title> fields. Using the V-BM25 weighting model, V-phrase weighting model. No parameters tuning.
2. SRCBEX2 -- Using the queries from the <title> fields. Using the V-DFR_BM25 weighting model, V-phrase weighting model. No parameters tuning.
3. SRCBEX3 -- Using the queries from the <title> fields. Using the V-DFR_BM25 weighting model, V-phrase weighting model. Parameters are tuned using parts of TREC2005 collections and topics.

4. SRCBEX4 -- Using the queries from the <title> fields. Using DFR_BM25 weighting model - whose document length is the profile length - and the V-phrase weighting model. Parameters are tuned by part of TREC 2005 collections and topics.
5. SRCBEX5 -- Using the queries from the <title> fields. Using field-based two-stage search method that uses the V-BM25 weighting model. Parameters are tuned using 8 topics of TREC2006.

The following tables show the evaluation results of the five tests.

Table 3 Results of five tests without support documents

Runs	Average Precision	Bpref	P10
SRCBEX1	0.5290	0.5303	0.6347
SRCBEX2	0.5120	0.5140	0.6204
SRCBEX3	0.5165	0.5172	0.6265
SRCBEX4	0.4793	0.4874	0.5980
SRCBEX5	0.5639	0.5642	0.6551

Table 4 Results of five tests with support documents

Runs	Average Precision	Bpref	P10
SRCBEX1	0.3433	0.4056	0.4694
SRCBEX2	0.3353	0.3989	0.4633
SRCBEX3	0.3384	0.4012	0.4673
SRCBEX4	0.3297	0.3988	0.4653
SRCBEX5	0.3602	0.4299	0.4735

From the above tables, we can see that the average precision of SRCBEX3 is much higher than that of SRCBEX4, which shows that the query-based document length method is more effective. The average precision of SRCBEX2 is almost the same as that of SRCBEX3, which proves that V_DFR-BM25 is stable.

4. Conclusion

In the discussion search, we made use of many non-content features, such as timeline and e-mail thread to optimize the search results. We also used an advanced field-based weighting method and query expansion method. Experiments showed that most of these

attributes improve the results. In the expert search, we developed a novel two-stage search method and improved it by a field-based approach. Experiments demonstrated these methods are effective.

5. Acknowledgements

The authors would like to thank Ricoh Software Research & Development Group, especially Tetsuya Ikeda, Hideo Itoh and Yinghui Xu. Great thanks to Timothee Bailloleul for checking the manuscript.

References

- [1] V.N. Anh, W. Webber, A. Moffat, Melbourne University 2005: Enterprise and Terabyte Tracks. In *Proc. of the Fourteenth Text REtrieval Conference (TREC 2005)*, Gaithersburg, MD, November 2005. URL: http://trec.nist.gov/pubs/trec14/t14_proceedings.html
- [2] N. Craswell, H. Zaragoza, S. Robertson. Microsoft Cambridge at TREC-14: Enterprise track. In *Proc. of the Fourteenth Text REtrieval Conference (TREC 2005)*, Gaithersburg, MD, November 2005. URL: http://trec.nist.gov/pubs/trec14/t14_proceedings.html
- [3] O.Vechtomova, M.Kolla, M. Karamuftuoglu. Experiments for HARD and Enterprise Tracks. In *Proc. of the Fourteenth Text REtrieval Conference (TREC 2005)*, Gaithersburg, MD, November 2005. URL: http://trec.nist.gov/pubs/trec14/t14_proceedings.html
- [4] M. Wu, P. Thomas, D. Hawking. TREC 14 Enterprise Track at CSIRO and ANU. In *Proc. of the Fourteenth Text REtrieval Conference (TREC 2005)*, Gaithersburg, MD, November 2005. URL: http://trec.nist.gov/pubs/trec14/t14_proceedings.html
- [5] Y. Fu, W. Yu, Y. Li, Y. Liu, M. Zhang, THUIR at TREC 2005: Enterprise Track. Tsinghua University (State Key Lab). In *Proc. of the Fourteenth Text REtrieval Conference (TREC 2005)*, Gaithersburg, MD, November 2005. URL: http://trec.nist.gov/pubs/trec14/t14_proceedings.html
- [6] Y. Cao, H. Li, Microsoft Research Asia, J. Liu, Nankai University, S. Bao, Shanghai Jiaotong University, Research on Expert Search at Enterprise Track of TREC 2005. In *Proc. of the Fourteenth Text REtrieval Conference (TREC 2005)*, Gaithersburg, MD, November 2005. URL: http://trec.nist.gov/pubs/trec14/t14_proceedings.html
- [7] C. Yao, B. Peng, J. He, Z. Yang, CNDS Expert Finding System for TREC 2005. Peking University, In *Proc. of the Fourteenth Text REtrieval Conference (TREC 2005)*, Gaithersburg, MD, November 2005. URL: http://trec.nist.gov/pubs/trec14/t14_proceedings.html
- [8] C. Macdonald, B. He, V. Plachouras, I. Ounis, University of Glasgow at TREC 2005: Experiments in Terabyte and Enterprise Tracks with Terrier. University of Glasgow, In *Proc. of the Fourteenth Text REtrieval Conference (TREC 2005)*, Gaithersburg, MD, November 2005. URL: http://trec.nist.gov/pubs/trec14/t14_proceedings.html
- [9] Z. Ru, Y. Chen, W. Xu, J. Guo, TREC 2005 Enterprise Track Experiments at BUPT. Beijing University of Posts and Telecommunications, In *Proc. of the Fourteenth Text REtrieval Conference (TREC 2005)*, Gaithersburg, MD, November 2005. URL: http://trec.nist.gov/pubs/trec14/t14_proceedings.html
- [10] S. E. Robertson, S. Walker, M. M. HancockBeaulieu, M. Gatford, and A. Payne. Okapi at TREC-4. In NIST Special Publication 500-236, The Fourth Text REtrieval Conference (TREC-4), pages 73--96, Gaithersburg, MD, 1995.
- [11] B. He and I. Ounis. A study of Dirichlet priors for term frequency normalisation. In *Proceedings of the 28th Annual International ACM SIGIR Conference on Research and Development in Information Retrieval*. Pages 465 - 471. Salvador, Brazil. August, 2005.

ミックスド・メディア・リアリティ (MMR)

：紙と電子世界をつなぐ新しい方法

Mixed Media Reality (MMR) : A New Method of eP-Fusion^{†TM}

ジョナサン ハル*	バーナ エロル*	ジェイミー グラハム*	シーファ ク*	岸 秀信*
Jonathan J. HULL	Berna EROL	Jamey GRAHAM	Qifa KE	Hidenobu KISHI
ホーヘ マラレダ*	ダニエル バン オルスト*			
Jorge MORALEDA	Daniel G. Van OLST			

要 旨

紙文書と電子情報とをつなぐ新しい方法について説明する。これは紙文書の見た目やフォーマットを一切変える必要がない画期的なものである。我々がミックスド・メディア・リアリティ (Mixed Media Reality : MMR) と呼んでいるこの技術は、商業印刷物及びPC等から印刷される紙文書のどちらにも適用可能であり、紙の使い方／価値を大きく向上させる可能性を有している。本論文では、これを可能にした認識技術やいくつかのアプリケーション例、そして紙文書を認識し電子情報のリンクにアクセスする機能をカメラ付き携帯電話に実装した例についても述べる。実際に毎秒4フレームレベルでの認識速度をスマートフォンTreo700W上で実現し、いくつかのアプリケーションを実装した。この中には クリックابلペーパー (“Clickable PaperTM”) と名づけたアプリケーションが含まれるが、これはウェブページを通常印刷と一切見た目の変化のない形で印刷するにも関わらず、カメラ付き携帯電話を通じてその各リンク先を印刷物上でクリックできるものである。

ABSTRACT

A new method for linking paper documents to electronic information is described that does not modify the format of the paper document in any way. Applicable to both commercially printed documents as well as documents that are output from PC's, the technique we call Mixed Media Reality (MMR) substantially improves the utility of paper. We describe the recognition technology that makes this possible as well as several applications. An implementation on a camera phone is discussed that lets users retrieve data and access links from paper documents to electronic data. Recognition performance of 4 frames per second is achieved on a Treo 700w and support is provided for several user applications, including “clickable paperTM” – printed web pages whose appearance is unchanged but that can be navigated with a camera phone.

[†] “eP-FusionTM”: A World where paper information and electric information are closely linked

* California Research Center, Ricoh Innovations, Inc.

1. Introduction

Linking the physical and digital worlds is a long standing goal of eP-FusionTM. Previous techniques alter the appearance of paper documents with bar codes or textured paper. Often, a special purpose device, such as a bar code reader or a pen with a camera in it, must be employed to recognize an embedded code. These characteristics restrict the use of eP-FusionTM.

Our prior work indicated that images of small patches of text contain enough information to make them as unique as a fingerprint [1]. We showed that it was possible to distinguish a small rectangular region (one inch square in our previous research) from among thousands of other text image patches. At that time, we leveraged this characteristic to identify the electronic original for a given paper document. However, the same results indicate that patches of text can be used as links to electronic data in an eP-FusionTM system.

This paper proposes a new method of interacting with documents termed Mixed Media Reality (MMR) that links patches of text to electronic data and uses a camera phone as the recognition device. This brings a new level of interactivity to paper documents and allows them to be updated without reprinting them. New links to electronic data can be easily created and the content of old links can be changed without modifying the original document.

2. Algorithm Outline

The operation of an MMR system is illustrated in Fig.1. MMR-enabled documents are created (a) by choosing a bounding box, applying the text patch feature extraction algorithm to the image data within it, and storing the relation between that data and some electronic information in a database. A simple example of electronic data is a URL that points to a web page. However, it

could just as easily be a video file, an audio clip or even an electronic version of the original document itself.

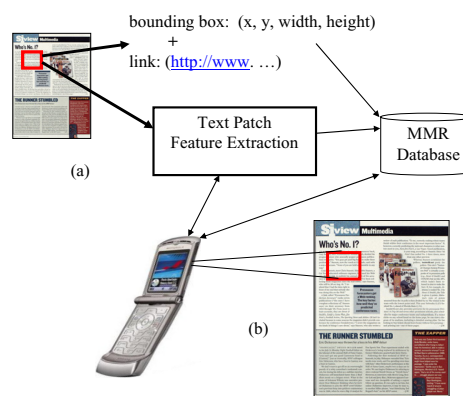


Fig.1 Creating mixed media reality documents (a) and using them (b).

At a subsequent time, Fig.1 (b), a user captures an image of a similar region with a camera phone; the system applies the same feature extraction to it and determines whether the database contains an association between those features and some electronic data. The data is returned to the phone and the appropriate rendering application is applied to it. If the data is a URL, a web browser could be invoked.

3. Text Patch Recognition

The objective of the text patch recognition algorithm is to correctly determine the identity of a page and the x-y position in the page of a small patch of text. The technical challenge is illustrated by the image in Fig.2 that shows the typical quality of images produced by commonly available camera phones. Characters are so blurry that "OCR" is basically impossible. However, it is still possible in almost every case to identify the bounding boxes around words since the spaces between words and lines can still be distinguished.

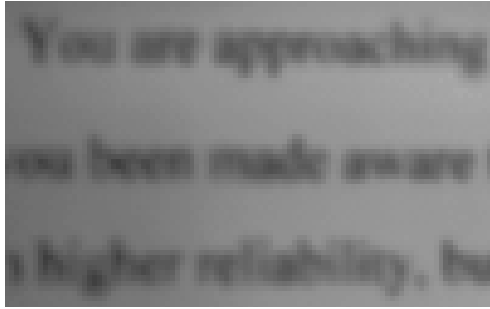


Fig.2 Typical camera phone image.

We developed a new text patch recognition algorithm based on arrangements of word bounding boxes. We detect bounding boxes by first applying a Laplacian edge detector to the image. Then a morphological dilation operation (with a structuring parameter that's wider horizontally than vertically) is used to smear the Laplacian image. The smeared image is then binarized with an adaptive global threshold. Using connected component analysis, word-like component boundaries are identified.

After word boundaries are identified, we assign a numerical value to each bounding box that is the normalized word length. The normalized word length, also called number of the nubs, is scale invariant. The number of nubs of each word is estimated by dividing the width of word in pixels by its height in pixels. We also look at the fraction of pixels remaining from this division to see if the word length could be one higher or one lower. For example, let's say that a word is 10 pixels high and 12 pixels wide. The word is $(12/10)+1=2$ long in nubs. The fraction is 2 pixels $(12 \bmod 10)$, which is 20% of the word height $((12 \bmod 10)/10)$. If the fraction is smaller than a lower bound percentage (in our experiments this is 30%), then the word is assigned an alternate value that is one less than its length. So in this case it is equal to 1. The word is then said to be length "2" in nubs with "1" in alternate length. Similarly, if the number of normalized fraction pixels is larger than a higher bound percentage (in our experiments this is

70%), then the word is assigned an alternate length of one higher than its length in nubs.

After the length in nubs is computed, descriptors are calculated based on word cluster constraints. In our implementation, the word clusters are composed as shown in Fig.3. For a given word box, a word cluster is composed of the vertically overlapping word boxes. In order for a word cluster to be valid, the given word should have both above horizontally overlapping and below horizontally overlapping words, and at least two above or below horizontally overlapping words. Fig.3 shows two such feature points (not all of them are shown here). Then a descriptor value is computed as the weighted sum of the feature value of the current word box, the feature values of the above word boxes and the feature values of the below word boxes. For example, if the descriptor value is xxyyyzzz, it is composed of :

xx=length of the current word, up to 99

yyy=lengths of the above words, up to 3 words and each word ≤ 9

zzz=lengths of the below words, up to 3 words and each word ≤ 9

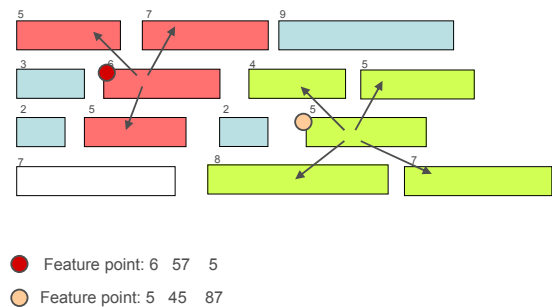


Fig.3 Computation of descriptors.

It is possible to have more than one descriptor associated with each word box. In such cases, new feature values are extracted containing all the alternates. For example, let's say the word box feature is its quantized length. Because of quantization, in some cases a word box can be assigned two lengths. Let's say the length of the current word box is 4, above lengths are 5

and 2(with alternate length 3) and the below word length is 8 (with alternate length 9). The extracted feature values would be : 4528, 4538, 4529, and 4539.

The computed descriptor values for the query image are looked-up in a hash table containing descriptor values of document patches in the MMR database. The document patches that contain the highest number of matching descriptor values are sorted and the first N patches are determined to be the matching candidates.

The similarity of relative locations of descriptors in the query image to those of patches in the MMR database are measured by computing a score that is based on the matching angles in two sets. This is shown in Fig.4. Angles from each descriptor to other descriptors (using the x,y coordinates) in the query image are computed. These are then compared to the angles between each descriptor and other descriptors in each database document patch candidate. If any angles for matching descriptors are similar (i.e. the L1 norm is smaller than a threshold) then the similarity score is increased by one.

Once the scores are computed between the query patch and each retrieved patch, the retrieved patch that provides the highest score is selected. The image, location of the image, link to the image, the source file, page, and location related to this image can be output. Alternatively, the first N retrieved images can be used to compute the output of the retrieval process. For example, if the first N retrieved images are linked to the same source file, page, and neighboring x,y locations, the retrieval process can output the source file, page number, and the average (or median) x,y locations of the first N patches retrieved from the database.

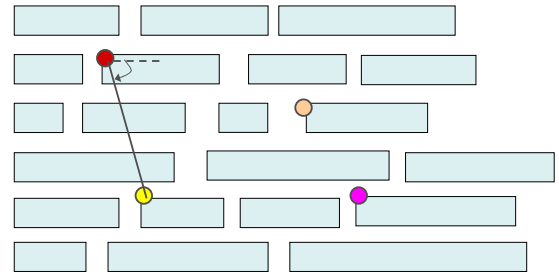


Fig.4 Computing a similarity score based on the relative locations of descriptors.

The current implementation runs on a Treo 700w with a 312 MHz PXA272 processor at about 4 frames per second. The processing times required by each module are presented in Table 1. These results are obtained by performing 2200 queries with video frames that are of size 176x144. The database contained 129 document pages or about 6500 patches. As can be seen from Table 1, the majority of time is spent on bounding box and text graph extraction. The space required for the database files was about 8 MB.

Table 1 Run time per image frame

Task	Time (ms)
Bounding box/graph extraction	172
BWC Retrieval	83
Descriptor computation	11
Other processes	13
Total Processing time	279

The accuracy largely depends on the number of word boxes present in the document patch and the accuracy of word bounding box detection. We performed experiments in order to test the change in accuracy with the increase in the number of word boxes in the query image. The database contains more than 4397 document pages or about 220,000 patches. In this case, the database files require 80 MB of storage. 8276 query patches of size 176x144 were generated with a system [2] that simulates the video output by a Treo 700w as it's moved over a document.

The first step in the experimental evaluation used "perfect" queries so that we could see how many

bounding boxes are needed to identify a patch. Perfect queries contain the exactly correct bounding boxes for each patch. As can be seen from Fig.5 (a), the percentage of correctly retrieved images is almost 100% if the query patch contains more than 40 word boxes.

Fig.5 (a) also shows the retrieval performance when low quality images, with blur and shadow masks, typical of what's output by the Treo, are submitted as queries. In this case, performance increases with the amount of text present in the document patch. When a document patch contains more than 100 text boxes, the percentage of correctly retrieved patches is approximately 60%. If a confidence threshold is imposed on the retrieved document, retrieved patches with low confidence are rejected. This reduces the error rate at approximately a 5% drop in retrieval performance. It's important to note that while a 60% retrieval rate may seem low, in practice it's more than adequate because the MMR system runs in real time on a video stream and the user actively moves the camera over the document, essentially cooperating with the recognizer to improve its performance.

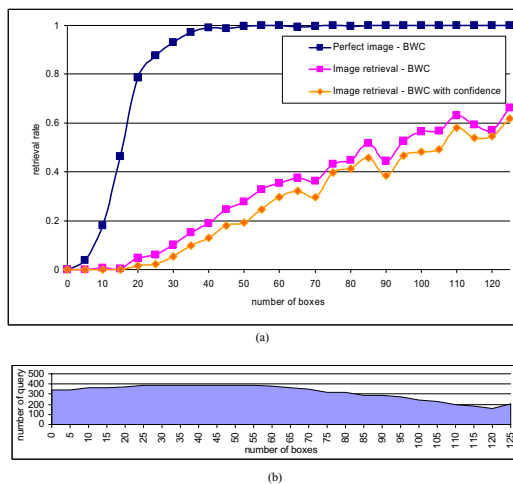


Fig.5 (a) Retrieval performance based on the number of bounding boxes in query images and (b) distribution of number of bounding boxes in the query image set.

4. Applications

There are many possible applications for MMR. Important considerations include whether the MMR database is on the phone or on a server and whether the database is created as a side effect of printing a document on a PC. This section presents two examples, among many we've created and have running, that illustrate the capabilities of the seamless paper-electronic interface we've created.

4.1 Travel Guidebook

Travel guidebooks are almost out-of-date the minute they are printed. The accuracy of the time-sensitive information they contain is always in question. A reader has no way of knowing whether the opening times of the attractions mentioned in such a publication are correct. The only reasonable solution is to call the facility in question. Instead, MMR allows someone to point a camera phone at the passage of text that describes the facility and retrieve the most currently available information about it.

Fig.6 shows an example of an MMR-capable travel guidebook. With the recognition system described previously, it is possible to overlay an indicator (in this example a red dot) that shows there is online information available related to the underlying passage of text. When a button on the phone is pressed, the client application retrieves the menu of choices (Fig.6 (b)) related to the text passage. Based on the user's selection, the appropriate information is displayed, in this case the opening times for the San Diego Zoo.

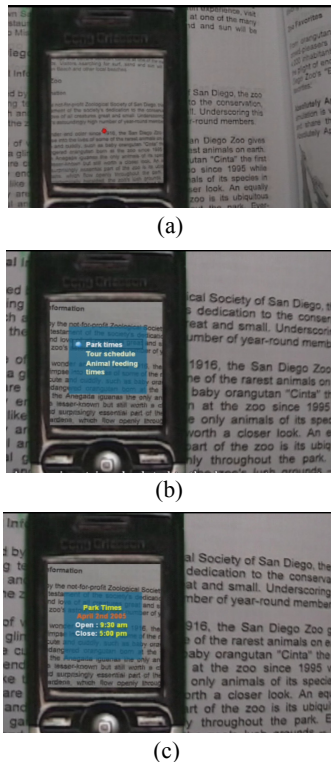


Fig.6 An augmented travel guidebook. An indication that information is present (a), a menu of choices (b), and the selected information (c).

4.2 Self-Printed Documents

Documents that are printed on a desktop PC are typically created by an individual for their personal use. MMR allows a user to customize the interactivity of those documents based on their own needs and permits the database to be under the user's personal control. It could be shared on a networked server, saved on the individual's PC, or pushed to the user's camera phone.

We created the architecture for printing and indexing web pages shown in Fig.7 that automatically captures an image of every document in the print driver, indexes them in the MMR database, and associates the URL's in the document with their physical location on the web page. This includes a plug-in in Internet Explorer that exports URL's to text patch feature extraction software. This system is fully implemented on Windows XP and Vista and can be installed on any PC.

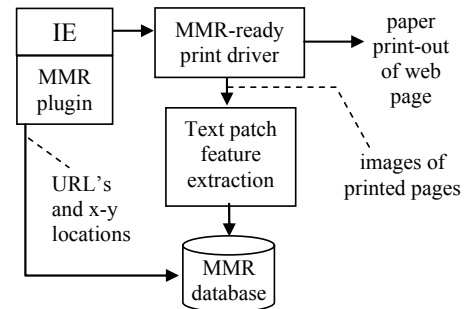


Fig.7 Architecture for automatic creation of augmented web page print-outs.

The version of MMR we call Clickable Paper™ is shown in Fig.8. The paper printout of a web page (a) is imaged and the region surrounding a URL is captured (b). That image as well as the web page corresponding to the URL (c) is shown in the user interface on the camera phone (d). A short history of the last three URL's accessed with this system is also displayed in the user interface.

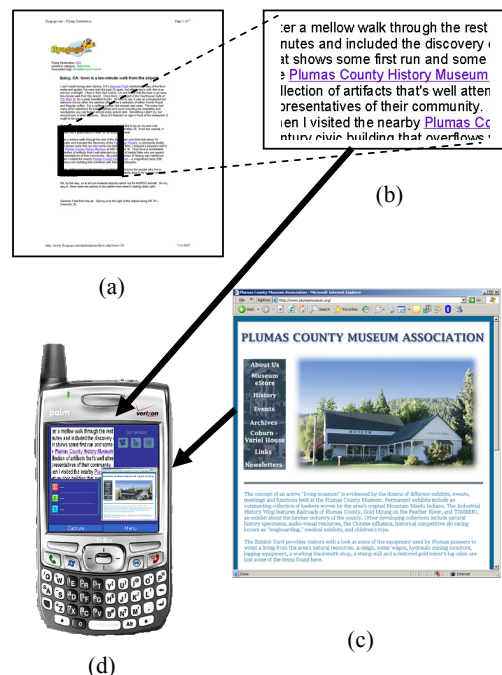


Fig.8 Clickable Paper™ system. A printed web page (a), image of patch containing a URL (b), web page (c), and UI on Treo (d).

5. Conclusions

A new paradigm for eP-Fusion™ was described in which electronic data is added to paper documents without changing the appearance of the paper document in any way. This approach leverages the essential discovery that a unique signature can be derived from an image of a small patch of text and that signature can be linked to electronic data. We described a new algorithm for text patch recognition and presented experimental results that demonstrated it can distinguish an image of a patch of text from a collection of thousands of examples. An implementation on a camera phone that runs at 4 frames per second was discussed. Two applications were presented : an MMR-enabled guidebook and Clickable Paper™. Both of them show the value of eP-Fusion™ and how it can be used in everyday life.

References

1. J. J. Hull and J. F. Cullen, "Document Image Similarity and Equivalence Detection," IEEE Int. Conf. on Document Analysis and Recognition, Ulm, Germany, 308-311, Aug. 18-20, 1997.
2. A. Lookingbill, E. R. Anutnez, B. Erol, J. J. Hull, Q. Ke, and J. Moraleda, "Ground-truthed Video Generation from Symbolic Information," IEEE Int. Conf. on Multimedia and Expo, Beijing, 1411-1414, July 3-5, 2007.

画面共有技術の応用システムの開発

Development of Systems Applied Screen Sharing Technique

浅野 大雅*

Taiga ASANO

要 旨

デスクトップ画面を複数のPC間でリアルタイムに共有する画面共有技術の応用研究を行ってきた。本報告では、柔軟な画面共有の制御が可能なFace to Faceコミュニケーション支援ソフトウェアの開発結果を述べる。また、MFPの操作パネルからPCを遠隔操作して印刷・スキャンを行うことが出来、MFPの操作パネルの画面をPCと共有することで顧客サポートを行うことが可能なMFPシステムのプロトタイプの開発結果についても報告する。

ABSTRACT

An application study of screen sharing technology, by which a desktop screen can be shared at real-time among more than one PC, was done. This report describes the development result of Face-to-Face communication support software that can control screen sharing flexibly. The development result of a prototype of MFP system that users can print/scan by controlling PC remotely on the operation panel of MFP and customers support is enabled by sharing the screen of operation panel of MFP with PC is also reported.

* 研究開発本部 オフィスシステム開発センター

Office System Development Center, Research and Development Group

1. 背景と目的

1-1 画面共有技術とは

画面共有技術とは、あるPCの画面を手元の別のPC画面上にリアルタイムに表示しながら、手元のPCのマウス・キーボードを使って遠隔操作することを可能にする技術である。

Fig.1を用いてその原理を簡単に説明する。見せる側のPC上では画面共有サーバーソフトが起動しており、画面共有サーバーはデスクトップ画面に表示される画面データの変化を検出し、画面の差分データを、見る側のPC上で動作している画面共有クライアントに送信する。画面共有クライアントは受信した画面データを見る側のPCのデスクトップ画面上に表示する。これによりPC画面のリアルタイム表示が可能となる。一方、見る側のPCから見せる側のPCにマウス・キーボードから入力情報を送信することにより、遠隔操作が行われる。

この技術を実装したソフトウェアとしては、例えばVirtual Network Computing (VNC) [1] が知られている。このソフトウェアはGPLライセンスでソースコードが公開されており、本研究でもこのソフトウェアを利用してプロトタイプ作成を行った。

画面共有技術はPCの遠隔操作以外にも、PCやソフトウェア商品の顧客からの相談に応じるサポートデスク業務で用いられている。

また、1対1以外の利用形態でも利用されており、1つの画面を多数のクライアントで閲覧するものとして(1対多)、教育、電子会議用のソフトウェアが市販さ

れている。また、多数の画面を切り換えて1つの画面に映す(多対1)用途としては、画面共有クライアント機能を有し、プロジェクタに映すPC画面を切り換える機能を持つ無線LAN対応プロジェクタがある。

このように画面共有技術は、様々な分野で応用可能である。そこで、この技術をコミュニケーションの効率化・活性化、及びオフィス機器の1つであるMFP (Multi Function Printer : 複合機) の使いやすさを向上させることを目的に応用研究を行った。

1-2 F2Fコミュニケーション支援アプリ

Fig.2を用いて、F2Fコミュニケーション支援アプリの原理を説明する。会議等のF2Fコミュニケーションでは、PC上の資料をプロジェクタで投影することが一般的になっている。この場合、投影する資料を切り換える時に、他の参加者は資料を探している間や、プロジェクタケーブルの繋ぎ換えが終わるまで待たされる。また、ホワイトボードに書き込んで議論する場合、座席とホワイトボードの間の移動、図の書き写し等に時間が掛かる。このように必要な情報をすぐに共有出来ないことが会議の効率を低下させている。

そこで、資料をすぐに提供出来る参加者のPC画面を素早く共有し、また共有画面に描き込みを行うソフトウェアを用いることで、F2Fコミュニケーションを効率化・活性化出来るという仮説を立て、検証を行った。

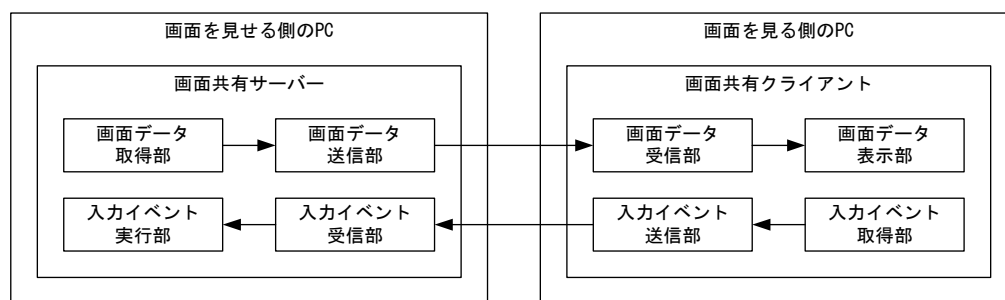


Fig.1 Principle of screen sharing.

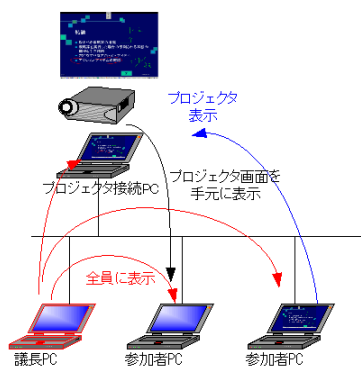


Fig.2 F2F communication Application.

1-3 MFPへの画面共有技術の応用

画面共有技術をMFPに応用することで、以下の2つのことが可能となる。

- (1) MFPの操作画面（オペパネ）からPCを遠隔操作出来る
- (2) PC上でMFPのオペパネを遠隔操作出来る

1-3-1 MFPからPCの遠隔操作

Fig.3を用いて、MFPからPCの遠隔操作を説明する。画面共有技術のメリットの一つは、どこからでも自分のPCにアクセスして遠隔操作を行い、必要な情報にすぐにアクセス出来ることにある。MFPからPCを遠隔操作出来ると、現在使っているMFPから自席PC上のドキュメントを印刷することが可能になる。また、ファイルサーバーやデータベースに事前にアップロードしていない情報にもアクセス出来ることが本技術の利点である。近年のMFPでは、MFP本体もしくは外部のサーバーに予め蓄積した文書を印刷することが出来るようになっているが、自席PC上の文書を印刷することはできない。「どこにいても急に必要になった文書をすぐに印刷したい」というニーズに応えることは重要である。また、初めて操作するMFPにはアドレス等の必要な情報が入っていないが、本技術を用いれば、自席のPCから必要な情報を参照出来ることもメリットである。これらを実現するためには、MFPから自席PCへの簡単かつセキュアにアクセス手段提供することも必要である。

MFPからPCの遠隔操作が可能になると、会議の場は次のように変化すると期待出来る：会議の参加者は、資料を紙出力することなく、ノートPCも持たずに会議室に向かう。会議室では資料が急に必要になった場合でも、会議室のMFPで自席PCを遠隔操作することにより、必要な人数分すぐに印刷出来る。また会議で配布された紙資料に書き込みを行い、会議室のMFPでスキャンして自席PCに送る。紙文書を会議室で破棄することで、移動時の紙文書からの情報流出を防ぐことが出来る。

また、本技術の利用法として、別のメリットも得られる：すなわち、印刷ミスをした場合に、わざわざ自席に戻ることなく、その場でMFPからPCを遠隔操作することによって、すぐに印刷をやり直すことが出来る。勿論、印刷だけでなく、ネットワークTWAINを利用したスキャンの利便性を向上させることも出来る。これにより、オフィスワーカーの生産性が向上する。

これらを実現すべくプロトタイプの開発を行った。

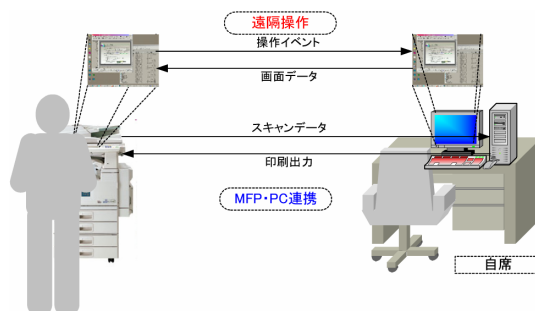


Fig.3 Remote control of PC from MFP.

1-3-2 PCからMFPの遠隔操作

Fig.4を用いて、PCからMFPの遠隔操作を説明する。PCからMFPの遠隔操作が可能になると、MFPの画面を共有しながらユーザーのサポートが出来るので、顧客サービスの質が向上する。顧客サポート業務において、電話では実際の状況がよく分からない事が多々ある。前述の通り、PCベンダーではこの方法を採用している例があり、MFPにおいても有用である。

また、F2Fコミュニケーションアプリと同様にMFPのオペパネの画面を共有し、マウスやMFP備え付けの

スタイラスペンで画面に描き込みを行い、場所を指し示しながら質問やサポートが出来れば、サポート業務の質を向上させることが出来る。

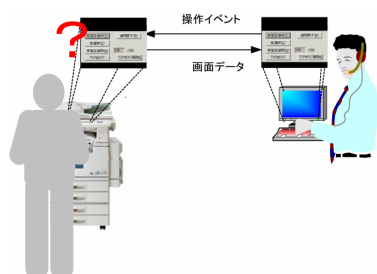


Fig.4 Remote control of MFP from PC.

2. F2Fコミュニケーション支援アプリのプロト開発と仮説検証

2-1 要件

前術の従来の会議・教育用途の画面共有ソフトウェアには以下の問題があった。

- (1) 画面を見せる・見る役割が決まっている
- (2) 議長役に負担が掛かる
- (3) 会議のスタイルが固定されていて、スタイルに合わせて進行方法を変更出来ない

そこで、(1)と(2)に関しては、権限があれば、誰でも、自分もしくは他人のPC画面を、参加者全員のPC画面、もしくはプロジェクタに接続したPCに共有表示出来る必要がある。また、プロジェクタに表示されているPC画面をいつでも手元のPCで共有表示出来れば、利便性が向上する。また、共有画面へのマウスを使っての描き込みは、複数人同時に行えることを要件とした。

(3)に関しては、会議のスタイルとして、主にプレゼンテーションを行う「発表」、質問者を指名して質疑応答を行う「質疑応答」、参加者が早い者勝ちで操作権を取得して自由に議論を行う「わいがや会議」、全く制限を設けない「フリー」の4つを提案した。

ここで、操作権とは、

- (1) 共有されているPCの遠隔操作と、以下2つの会議の制御方法である。

- (2) PC画面共有の共有元・共有先の変更、及び解除

- (3) ホワイトボードセッションの開始

これらの操作権は以下の方法で管理する。

- ・手動：手動で取得、譲渡、開放を行う
- ・早い者勝ち：マウスのダブルクリックで取得、5秒間有効操作がなければ自動開放
- ・フリー：全員操作可能

そして、先に定義した会議スタイルでの操作権の管理方法は次のように定義した。

- ・発表：(1)から(3)全て手動
- ・質疑応答：(1)と(2)を手動で管理、(3)はフリー
- ・わいがや会議：(1)と(2)は早い者勝ち、(3)はフリー
- ・フリー：操作権はフリー

以上の要件を元にソフトウェアの開発を行った。

2-2 構成

Fig.5を用いて、開発プロトのソフトウェア構成を説明する。PCにはVNCの一種であるUltraVNC[2]を利用し、VNCサーバー、クライアントの双方のソフトをインストールした。共有画面に対してマウスによる描き込みを行うホワイトボードソフトを作成した。アプリ本体は、VNCクライアントを制御し、VNCサーバーへの接続や切断を指示する。ホワイトボードセッション開始時には、画面を見せている側のPCでホワイトボードを起動し、一方、画面を見ている側のPCではホワイトボードクライアントを起動し、サーバーに接続するよう指示する。アプリ本体は、接続先の変更、ホワイトボードセッションの開始の指示、操作権の管理を行う。

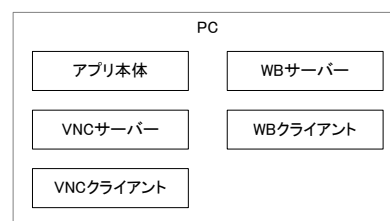


Fig.5 Structure of F2F Application.

次に、Fig.6を用いて複数人同時描き込み可能なホワイトボードアプリの原理を説明する。画面を見せる側

のPCではVNCサーバーが起動しており、この上にアプリケーションとしてデスクトップ画面を背景画面とするホワイトボードサーバーが起動している。画面を見る側のPC上では、VNCクライアントが起動しており、ホワイトボードサーバーの画面が共有されている。ここで、ホワイトボードクライアントの画面は、透過ウィンドウ属性を持ち、マウスで描き込んだ線が一時的に表示される以外は透明になっており、これがVNCクライアントの画面の上に重ねて表示される。WBクライアント上にマウスで描き込みを行うと、まずWBクライアント上でローカルに描画される。マウスのアップと同時に、その描き込み内容のベクトルデータがWBサーバーに送信される（ここまでFig.6上部）。WBサーバーは、WBクライアントからベクトルデータを受信すると、そのデータを元に、WBサーバーの画面上に描画を行う。この方法でWBサーバーの画面データがVNCサーバーによって見る側のPCのVNCクライアントに送信されるので、見る側の全てのPCは最新の描き込みが反映されたWBサーバーの画面を共有することが出来る。

つまり、マウスでの描き込みデータはWBサーバーで集中管理して表示し、その画面をVNCクライアントで共有することにより、全PCが同一のWB画面を共有するという方式になっている。

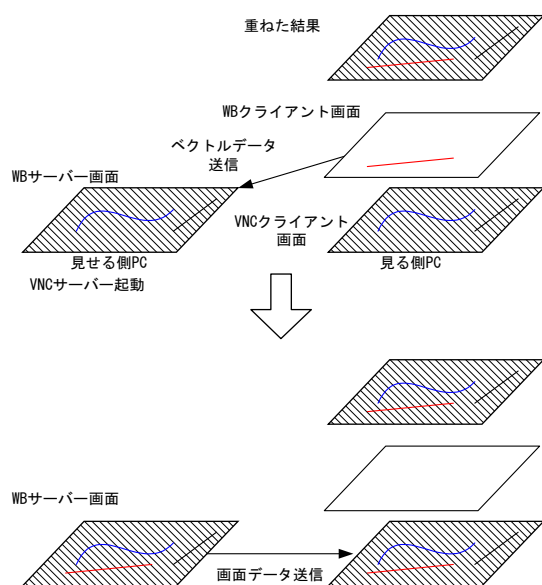


Fig.6 principle of whiteboard application.

2-3 実現機能

上記ソフトウェア構成で、以下の機能を実現した。

- ・会議のスタイルに合わせた会議の進行制御
- ・様々なパターンの柔軟な共有画面制御
- ・プロジェクト表示PC画面の手元PCでの自由な閲覧
- ・柔軟な操作権管理
- ・複数人同時描き込み可能なホワイトボード

2-4 仮説の検証結果

社内でのデモ及び部門内で試用した結果、共有画面に対する同時描き込みの利便性に高い評価が得られた。一方、ソフト全体に関しては、高機能であることが逆に使い難さを招いてしまった。これは、様々な画面共有の制御が出来るが、ユーザーが操作方法に慣れないと操作の結果が予想し難いという、ユーザーインターフェイス上の不備が原因であった。また、自分のPCを遠隔操作する場合とは異なり、手元のPCに他人のPC画面が共有表示されることは、ユーザーにとって違和感があり、あまり受け入れられないことが分かった。会議スタイル「フリー」の場合、デフォルトで共有元PCの遠隔操作が出来てしまうので、誤操作が多くなり、適切な操作権管理が必要であることも分かった。

教育用途のソフト等、参加者が画面を見ることを強制される使い方とは異なり、今回ターゲットとした自由な議論の場合は、手元で資料を見るならば、他人に操作されている共有画面を見るのではなく、自分のPC上でファイルを開き、自分のペースで見る方が好まれることが分かった。このように、今回のアプローチで画面共有によるF2Fコミュニケーション支援の課題が明らかになった。

2-5 技術の実用化

前述のアプローチ結果を受け、画面共有技術を業務シーンで活かすための実用化の探索を行った。最終的には関連会社である㈱リコーテクノシステムの研修で用いる教育用のソフトウェアとして実用化されることになった。

以前は印刷テキストを用いて研修を行っていたが、

教材の電子化を行った結果、各受講者が手元のノートPC上で教材のPDFファイルを開き、トレーナーが指示する箇所を表示させる操作が、研修の進行の妨げになるという問題が発生した。画面共有アプリの導入によって研修の遅延原因を解決し、研修の進行をスムーズにすることが出来た。また、この活動によって、教材の電子化の問題、紙と電子情報の分断の問題、画面共有以外の機能への要望などを汲み上げる場を築くことが出来た。

3. MFPへの画面共有応用システムの開発と有用性検証

3-1 MFPからPCの遠隔操作を行うシステム

3-1-1 機能

先に述べたMFPからPCの遠隔操作システムのプロトタイプ作成では、以下の機能を実現した。

- ・ リムーバブルメディア（SDカード、CFカード）から登録情報を読み、MFPから自席PCに接続
- ・ MFPから自席PCの遠隔操作
- ・ 手元のMFPで印刷出来るよう、プリンタドライバの自動設定
- ・ 手元のMFPでスキャン出来るよう、スキャナの設定を自動変更
- ・ MFPへのファイル送信によるプリンタドライバレス印刷

3-1-2 構成

機能を実現すべく、MFPの機種としてはリコー社製 *imagic Neo C325it* を利用し、以下のようなソフト構成で、プロトタイプを開発した。

Fig.7はシステムのプログラム構成図である。

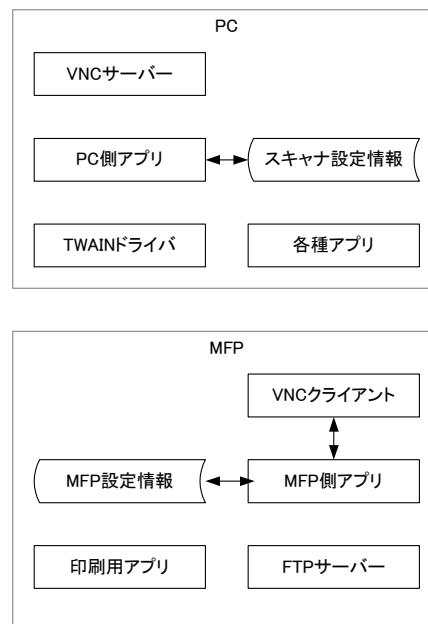


Fig.7 Structure of PC control system.

画面共有ソフトとしては、F2Fコミュニケーション支援アプリと同じく、UltraVNCを利用し、自席PCにはVNCサーバーを、MFPにはVNCクライアントをインストールした。更に、MFPには、自席PCに接続するためのネットワーク情報を書き込んだSDカード・CFカードを読み込み、MFP側アプリからVNCクライアントを起動して、簡単に自席PCを遠隔操作出来るようにした。

印刷に関しては、MFP上にプリンタサーバーを立て、PCがプリンタドライバを共有出来るようにした。MFPで印刷を行いたい場合、PC側アプリはワンタッチ操作で、プリンタを共有するボタンを設けた。スキャナに関しても同様に、PC側アプリにスキャナのTWAINドライバの設定を変更するボタンを設け、スキャナの接続先を自動的に指定するようにした。

また、プリンタ共有を行わなくても印刷出来るよう、PC側アプリにはFTPクライアント機能を設け、MFPに対してFTP送信を出来るようにした。MFP上ではFTPサーバーが起動しており、受信したファイルを印刷出来るようにした。

3-2 PCからMFPの遠隔操作を行うシステム

3-2-1 機能

PCからMFPの遠隔操作の利便性を検証するため、以下の機能のプロトタイプを作成した。

- ・PCからMFPの遠隔操作
- ・透明ホワイトボードによる双方からの同時書き込み

3-2-1 構成

プロト作成は、次に述べる構成で行った。Fig.8に示すように、MFPにはVNCサーバー、ホワイトボードサーバーをインストールし、PCにはVNCクライアントとホワイトボードクライアントをインストールした。ホワイトボードアプリは、F2Fコミュニケーションアプリで開発したモジュールを流用した。尚、MFPの機種はPCの遠隔操作と同じく、リコー社製のimaggio Neo C325itを利用した。

この構成により、PCからMFPのオペパネ画面を遠隔操作し、更にオペパネ画面にPC、MFPのタッチパネルの双方から同時にマウス及びスタイラスペンによって書き込みを行う機能を実現した。

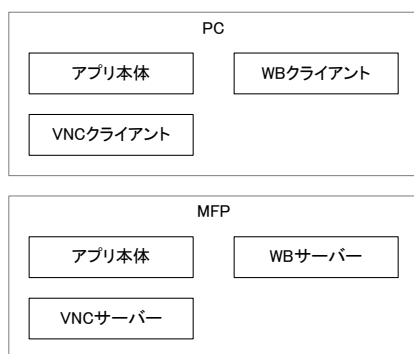


Fig.8 Structure of MFP control system.

3-3 有用性検証結果

社内の展示会等でデモンストレーションを行った。その結果、MFPから自席PCの資料をすぐに印刷出来る機能に関しては多くの賛同を得ることが出来た。MFP

からVPNで接続出来るようにして、コンビエンスストア等からも利用出来ると良いといった意見が得られた。

また、MFPの画面を共有しての顧客サポートに関しては、機能自体には同意を得たが、実際の運用にはセキュリティが問題になるという指摘を受けた。MFPからPCの遠隔操作と、PCからMFPの遠隔操作のどちらが重要と捉えるかは、来場者の職種等により意見の偏りがあった。

また、MFPの画面を遠隔操作するだけでなく、サポートデスクのPC画面をMFP上に共有表示する機能を設けることにより、顧客はMFPの画面上に共有表示されたマニュアルを閲覧出来、より細かいサポートが可能になるという有用性も確認することが出来た。

4. 成果

画面共有技術を活用するアプリの仮説・検証により、有用なアプリの開発と、アプリ開発に必要なユーザーニーズを把握することが出来た。

4-1 コミュニケーション支援アプリ

- ・会議スタイルに合わせた柔軟な共有制御を実現した
- ・画面共有を利用した複数人同時書き込み可能なホワイトボードアプリケーションを作成した
- ・会議の間では、自PCに他PCの画面が表示されることには抵抗があるということが分かった
- ・研修所において教育用途で実用化し、教育の電子化に伴う課題・ニーズを得る場を築いた

4-2 MFPとPCの画面共有

4-2-1 MFPからPCの遠隔操作

- ・MFPのオペパネから自席PCを遠隔操作して、すぐに印刷・スキャンを行えるプロトタイプを作成した
- ・社内展示の結果、利便性があるという意見を多く得た

4-2-2 PCからMFPの遠隔操作

- ・PCからMFPの画面を共有しながら遠隔操作するプロトタイプを作成した
- ・社内展示の結果，顧客サポートに役立つが，導入の可否はセキュリティにあるという意見を得た

5. 今後の展開

（株）リコーテクノシステムズでの研修で，画面共有を利用した教育アプリの試行を続け，この種のアプリケーションへのニーズ，及び教材の電子化に伴う問題の発見の場とし，今後のアプリ開発に活用する．

参考文献

- 1) <http://www.cl.cam.ac.uk/research/dtg/attarchive/vnc/>
- 2) <http://ultravnc.sourceforge.net/>

インタラクティブステーション

Interactive Station

新西 誠人*

Makoto SHINNISHI

桜井 彰*

Akira SAKURAI

山口 邦久*

Kunihisa YAMAGUCHI

森澤 一郎*

Ichiro MORISAWA

大村 克之**

Katsuyuki OMURA

北澤 智文*

Tomofumi KITAZAWA

要 旨

ホワイトボード（電子黒板）とプロジェクタの機能を融合し、簡単に電子情報へ手書き内容を加筆できるテーブル型コンピュータであるインタラクティブステーションを開発した。本装置はスクリーンの背面から投影および撮像することにより、スクリーン面へのマーカーペンによる書込をデジタル情報に変換し、元のファイルへの重畳表示と保存を可能としている。システムの各部の性能評価を実施し、実用性を確認した。また、昨秋の新聞およびTVへの発表により、引き合いのあった社外企業に貸し出しを行い、各企業にユーザーとして評価していただいた結果も述べる。

ABSTRACT

We developed a novel tabletop computer system called Interactive Station. The system has an ability of easily overlaying drawing of physical marker pens onto digital information which integrates the function of actual whiteboards and computer projector. Computer information is rear-projected onto the screen while the drawings on the screen are captured from the back of the screen which would further be overlaid onto the computer information. We evaluated the performance of each part of the system. We conducted test marketing with our first stage prototype system by setting it to the work place of potential customer for trial employment.

* 研究開発本部 オフィスシステム開発センター

Office System Development Center, Research and Development Group

** 研究開発本部 先端技術研究所

Advanced Technology R&D Center, Research and Development Group

1. 背景と目的

知識の共有や創造のために、複数人数で対面して会議を行うことは、オフィスにおいてよく見られる光景である。そのような知的共同作業を、コンピュータを利用して支援する仕組みは、CSCW（Computer Supported Cooperative Work）と呼ばれ、多くの研究がなされている。上記にあげたようなリアルタイムかつ対面型の会議を支援するシステムは主に電子会議支援システムとして知られ、共同作業の円滑化・効率化・活性化のために用いられる¹⁾。我々は、複数人数で対面した会議を支援するシステムとして、デジタル情報と、ホワイトボード用の水性マーカーペン（以下マーカーペン）を使って手書き加筆した内容とを重畳保存可能な、リアプロジェクション方式のテーブル型コンピュータ「IS（Interactive Station）」を試作した。また、コンセプトの仮説検証をするために、ユーザに貸し出しヒアリングを行ったので報告する。

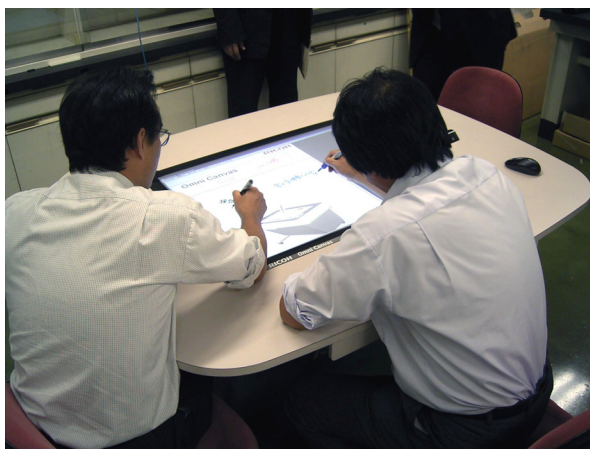


Fig.1 Using of IS.

2. コンセプト

IS がユーザに提供する機能として、(1)参加者全員で視線を共有してアドホックに資料を参照する機能、(2)参加者全員で資料に書き込み保存する機能、(3)コラボレーションの場を提供する機能、がある。以下に、従来の電子会議支援システム²⁾と比較しながらISのコンセプトを述べる。

情報参照の側面から(1)は、従来の電子会議支援システムでは、(1)aユーザごとに異なる画面を利用する場合にユーザがどこを指しているのか不明、(1)b必要な資料をオンデマンドに参照できない、などの問題点があった。これに対して、ISでは、(1)a大写しにされた電子文書を全員で参照することができ、また、(1)b情報ポータルとして機能するため、議論の文脈を分断しないオンデマンドな情報参照性を提供する。これにより、議論の先送りや、やり直しをすることなくスピーディなコラボレーションが期待できる。

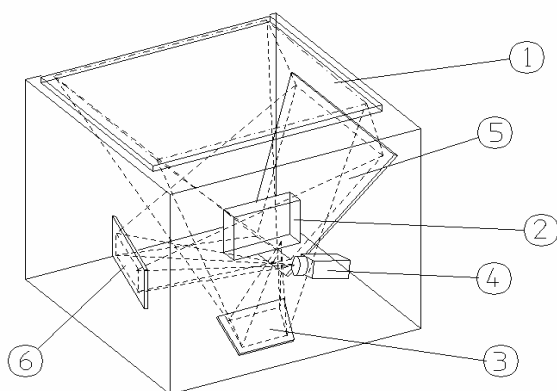
情報への加筆性の側面から(2)は、従来の電子会議支援システムでは、(2)aシステムの利用が難しい、(2)bペンを持つ人が権限を握る操作者権限の問題、(2)c使用した資料がそのまま議事録にならないという問題があった。(2)a (2)bに関して、従来の電子会議支援システムでは、入力に電子ペンを利用するため、筆記における時間遅延や複数人数への未対応が生じていた。手書きについて、美崎らは、発想を形にするためには、アイディアを書き留めることが重要であり、そのためにはコンピュータへの手書き入力への柔軟性への要望を指摘している³⁾。ISでは、筆記にマーカーペンを用いることで、時間遅延なく手軽に入力できるだけでなく、複数人数が同時に筆記することも可能としている。また、(2)c筆記結果を対象の電子情報に簡単に重畳し保存できるようにしてある。これにより文脈を分断することなくポイントを共有しながら議論を進めることができ、さらに、これを保存することで、議事録を別に起こす必要なく、結果を簡単に共有できる。

場の側面から(3)は、電子的に強化された情報操作・参照の場に加えて、ISではテーブル型を採用することで、テーブル型のメリットを活かした“ミーティングテーブル”としての物理的な場を提供する。我々は、縦型とテーブル型を開発していたが、同じ目線で行う会議こそ創造的であるとの観点と、テーブルの上に物を置くことができるという観点からテーブル型に注力した。また、テーブル型のメリットとして、集いやすい場の提供がある。テーブル型ディスプレイ、テーブル型コンピュータが数多く発表されているが⁴⁾、それは場の提供として、集いやすいことを現しているとい

えよう。このように、必要なときに近くでさっと集まることができる仕事の文脈を分断しないオンデマンドな場の提供と、着座対面姿勢による対話に適切な距離感⁵⁾を提供する。これにより、スピード感をもったコミュニケーション機会の増大と、対話の活発なコラボレーションの機会を期待できる。

3. システムの構成

3-1 ISのハードウェア構成



NO	名称
①	スクリーン
②	プロジェクタ
③	投影反射ミラー
④	カメラ, 撮影レンズ
⑤	撮影反射ミラー1
⑥	撮影反射ミラー2

Fig.2 Structure of IS Hardware.

ISのハードウェア構成をFig.2に示す。主な構成について、詳細を説明する。

3-1-1 スクリーン

スクリーン部は透明アクリル板がベースで、37インチの大きさに表示可能である。その表示側の面は高コントラストグレースクリーンフィルム、ハードコート保護フィルムを貼り合わせた構造である。スクリーン視野角を広く取っているため、真横に近い位置からも画像を見ることがきる。

3-1-2 プロジェクタ

投影明るさ 2200lm, 画素数 1024×768 (XGA, DLP) のプロジェクタを採用している。

3-1-3 カメラ・撮影レンズ

スクリーン画像を撮影するカメラは130万画素、1/2インチCMOSセンサーカメラを、撮影レンズはCマウントレンズ (f=12.5mm, F1.4) を使用している。

3-1-4 光学設計

光学設計は、上記にあげたプロジェクタによる投影系とカメラによる撮影系に分けられる。

まず投影系では、投影画面の大きさとテーブル面の高さの制約から、プロジェクタから映写した画像を、1回のミラー反射およびレンズシフトにより投影している。また、撮影系では、投影と同一方向から撮影をしてしまうと、それぞれのミラーを独立して配置するのが難しく、機器本体の厚みが増してしまうので、撮影方向をプロジェクタによる投影と直角にしている。以上のような構成のため、カメラの受光部の中心部と光軸をシフトし、また、チルト撮影を行って撮影している。

3-2 ISソフトウェア

ISのソフトウェアの構造とSDKについて述べる。ISソフトウェアの構造についてFig.3に示す。ISソフトウェアでは、アプリケーションからISの機能を使うためにDLL形式とし、APIを提供している。APIはDirect Showを通してIS内蔵のカメラを制御している。スクリーンに書き込んだものはこのカメラを利用して取得している。取得した画像は、色むら補正、歪み補正、書込画像の抽出などの画像処理を行った後、書込画像情報とともに書込画像を取得して貼付画像を生成して、ISに表示しているファイルへと貼り込んでいる。

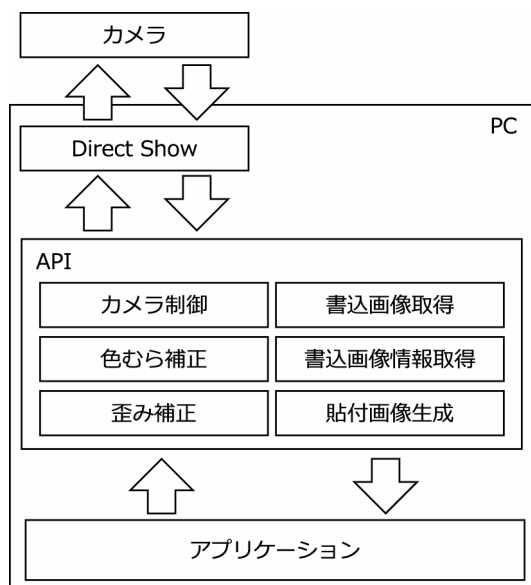


Fig.3 Structure of IS Software.

3-2-1 MS-Officeファイル (Word, Excel, PowerPoint) への貼付

MS-Officeファイルへの手書き情報の貼り付けは、WindowsのOLEオートメーション機能によりMS-Officeを制御して、手書き情報と貼り付ける画像が重なる位置にビットマップオブジェクトとして、貼り付けている (Fig.4にファイル構造の概念図を示す)。それにより貼り付けた画像とファイルが一体化するため、スクロールや拡大縮小にも対応可能であり、あとからファイルを見直す場合でも、対象ファイルだけで書き込み内容の書かれた文書も参照可能となる。また貼り付けた画像は、ビットマップオブジェクトとして貼り付けているため、オブジェクトを選択することで、自由に移動やコピーなども行える。

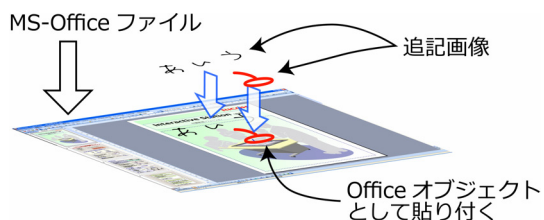


Fig.4 Structure of MS-Office file.

3-2-2 画像への貼付

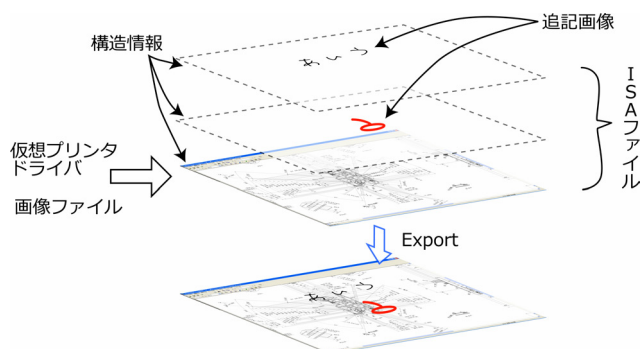


Fig.5 Structure of ISA File.

3-2-2 MS-Officeファイル以外への貼付

MS-Officeファイル以外のアプリケーションに対応するために画像を階層管理するアプリケーションを作成し、手書き情報を追記画像として階層的に貼り付けができるISAファイル形式を独自に作成した。Fig.5にISAファイルのファイル構造を示す。対象画像がTIFFやBMP形式の場合、手書き情報を貼り付けるレイヤーを作成し、元の画像と重ね合わせている。レイヤー構成とすることで、不必要なレイヤーを選択し削除するなどの動作を行うこともできる。上記にあげた以外のファイル形式、対応しないアプリケーションやデスクトップ画面に手書き情報の貼り付けを行う場合には、画面キャプチャーを行って元画像となるものを作成してから、その上に手書き情報を各レイヤー貼り込んでいる。

3-2-3 SDK

ISをユーザのワークフローへ導入する敷居をさげるために、SDKの開発を行った。SDKを利用することで、JavaScriptやVBScriptなどのスクリプト言語からISの機能を利用できる。Fig.6にIS-SDKを利用するブロック図を示す。スクリプト言語を通してアプリケーションからIS-SDKを利用することで、ISソフトウェアで提供しているAPIと同等のIS機能を利用できる。

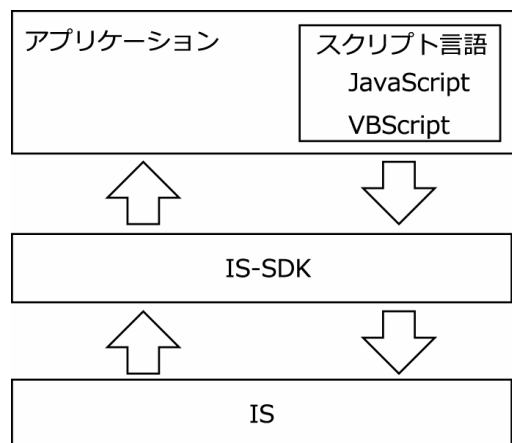


Fig.6 Structure with IS-SDK.

4. 性能評価

投影画質に関連する評価（スクリーン自体の性能評価も含む）と，撮り込んだ画像の色判別精度に関する評価を行った．

4-1 投影画質に関する評価

投影に関連する評価を，以下の項目で行った．

- ① 全画素を白で投影した時の画面中心の輝度
- ② 全画素を白にした場合と，黒にした場合の画面中央の輝度比（コントラスト）
- ③ 全画素白投影時の画面中央の白色色温度
- ④ 1画素幅の線（赤，緑，青の3色）を投影した時に，投影範囲内で最もぼける位置では，何画素分の太さに見えるか（フォーカス）
- ⑤ 画素欠陥（輝点，滅点）の有無
- ⑥ スクリーンの枠に対する投影画像の位置ズレ，画像の歪み
- ⑦ スクリーン表面のゴミ，傷
- ⑧ スクリーンの平面度

結果（複数台測定したものの平均）をTable 1に提示する．

測定結果から，実使用上は特に問題がないと考えているが，フォーカス特性の改善などにより，さらに投影画像の向上を図りたい．

Table 1 Measurement result of projection quality.

評価項目	測定値
①最大輝度	494 (cd/m ²)
①実用輝度	445 (cd/m ²)
②コントラスト	234 : 1
③白色色温度	(0.308, 0.374)
④フォーカス（赤線）	最大2画素
④フォーカス（緑線）	最大2画素
④フォーカス（青線）	最大2画素
⑤画素欠陥（輝点）	なし
⑤画素欠陥（滅点）	なし
⑥表示位置ズレ（上下）	1.75mm
⑥表示位置ズレ（左右）	2.5mm
⑥画面の歪み（上）	2.25mm
⑥画面の歪み（下）	1.75mm
⑥画面の歪み（右）	3mm
⑥画面の歪み（左）	2.75mm
⑦傷	新品状態では無
⑦ゴミ	新品状態では無
⑧スクリーン平面度	0.68mm

4-2 撮り込んだ画像の色判別精度に関する評価

撮像画像の色判別評価は，マーカーペンの書き込みに相当するチャートを作成し，使用する場所の明るさを変えて，取り込み画像の色判別の正答率を確認した．Table 2に測定結果を提示する．

Table 2 Measurement result of color identification.

明るさ (lx)	黒	赤	青
750	100%	99%	99%
580	98%	100%	97%
450	95%	100%	100%

撮り込んだ画像の色判別に関しては，使用上問題のない値が出ている．ただし，使用するときにはインクが垂れたり，かすれたりすることがあり，その部分は色判別を誤る可能性が高い．この点は，今後改善していく．

5. ユーザ体験

ISについてユーザの評価を得るために，2006年秋に本システムをマスコミに発表し^{6) 7)}，試用評価に興味が

あるユーザを募った。いくつかのユーザにISを貸し出し、聞き取り調査を実施した。結果の一例を示す。

5-1 コミュニケーションの場作りに寄与した事例

5-1-1 IS導入前の業務形態

サービス業 営業部門において、顧客への企画提案書について議論し素案をその場で作成する業務である。3～4人で行い1人は書記役を兼ねる。白板を用いた議論が行われ、これに書かれた内容と発言をもとに書記役が手元の紙に議論内容を記録する。議論後、メンバーのうち1人が、書記役が記録した紙を受け取り、提案書をビジネスソフトで作成する。

5-1-2 IS導入後の業務形態

白板の役割がISに置き換えられた。ユーザはIS上で白紙の文書を開き、そこに参加者全員で書き込みを行い、過程を可視化して共有しながら素案を作り上げ、議論終了後にISで取り込む。取り込み結果は提案書作成担当者にメールで送られる。担当者はこれを印刷して参照しながらビジネスソフトで提案書作成作業が行われる。

5-1-3 ユーザの声

- 1) 導入前は白板の前で特定の発言者が教師対生徒のような関係で話す機会が多かったが、導入後はメンバー全員の発言機会が増え、参加意識が高まり、ディスカスのモラルアップにつながった。(マネジャ)
- 2) 書記役を置かなくなった(マネジャ)
- 3) 書記役のため議論に参加したくても参加できなかったが、書記をしなくなったことと、前に出て白板に書く必要がなくなったことで、積極的に議論に参加できるようになり、参加意識が高まった(若年代担当者)

5-1-4 考察

この例では、ストレスの少ないスムーズな筆記性を維持しつつ、ISのテーブル形状がメンバー間の対等な

関係を醸成したことにより、良好なコミュニケーションの場が提供されたことが、ISがユーザに提供する第一の価値として見いだされた。

さらに、この状況を、ワークフローにスムーズに結びつける機能として、ISの主要機能である筆記の取り込みが寄与したものと考えられる。

5-2 コスト削減に直接的に寄与した事例

5-2-1 IS導入前の業務形態

製造業R&D部門での、開発メンバーによる回路パターンレイアウト図面のレビュー業務。3～4人で行う。はじめにCAD図面をプロッタでA0版の用紙に印刷する。この紙図面を参照して、パターン変更箇所をペンで書き込む。レビュー終了後、担当設計者が紙図面を持ち帰り、CAD上で設計変更する。このとき、A0番図面の印刷に3時間を要する。さらに、1つのプロジェクトで、印刷用ロール紙代とインク代、数万円を要する。

5-2-2 IS導入後の業務形態

図面を印刷せずに、IS上でレビューを行う。見いだされた変更箇所はペンで書き込まれ、ISに電子ファイルとして取り込まれる。レビュー終了後、取り込まれたファイルは関係者全員に配布されるとともに、設計者は自分が担当する部分の設計変更をCAD上で行う。

5-2-3 ユーザの声

- 1) 印刷が不要になり、時間コスト、経費コストともに大きな削減になった。(マネジャ)
- 2) 印刷が不要になり、課題解決クッションが迅速に行えるようになった。(マネジャ)
- 3) 電子化により、設計変更指示、設計変更結果の確認といった確認・管理業務がスムーズにできるようになった。(マネジャ)
- 4) 解像度は高い方がベターだが、現状でも利用可能である。(現場担当者)

5-2-4 考察

主要機能である書き込み・保存機能が、コスト削減に対する直接的な価値として見いだされた。一方で、本報告では述べないが、別の業種の図面レビュー業務では、解像度に対する要求が高く、試用に至らなかったケースがあった。書き込み・保存機能に対する直接的な価値は、同種の業務であっても扱うコンテンツに大きく依存することが事例ベースで見いだされた。

6. 今後の展開

現在の機能について基本性能は実利用上問題ないことがわかった。操作性に関しては本報告では未評価であることから、評価と改善をユーザ中心設計の手法等を取り入れながら進める。

また、事業化に向けて、SDKを整備し、サードパーティによるアプリ開発を可能にする環境を構築する方針である。

本報告は書き込み機能を中心に述べた。さらに用途を拡大するために、新しい研究課題としてISがテーブル型であることからモノが置けるという特性とカメラで撮影する構成であることから、置いたものの位置や形状を画像処理的手法で識別できる特性を持つので、いわゆるタンジブルインタフェース⁸⁾を構成することができる。この実現のために、タンジブルのためのインタフェース機能やアプリケーションを研究していきたいと考える。

注1) Windows, Microsoft OfficeはMicrosoft Corporationの登録商標です。

参考文献

- 1) 石井裕: CSCW とグループウェア—協創メディアとしてのコンピュータ, オーム社, (1994).
- 2) 垂水浩幸: グループウェアとその応用, 共立出版, (2000).
- 3) 美崎薫 他: SmartWrite:紙のシンプルさを追求した手書きメモツールの開発, WISS2005, (2005), pp. 37-42.
- 4) 松下光範 他: 技術展望 (小特集) テーブル型システムの現状, ヒューマンインタフェース学会誌 Vol.9 No.1, (2007), pp. 35-58.
- 5) Hall: Proxemics における”固体距離” (原著: Hall: The Hidden Dimension, Garden City, N.Y.: Doubleday, (1966)).
- 6) 日経産業新聞, 2006 年 11 月 8 日, 朝刊, 1 面.
- 7) テレビ東京, ワールドビジネスサテライト, 2006 年 11 月 21 日放送.
- 8) H. Ishii, et al. : Tangible Bits: Towards Seamless Interfaces between People, Bits and Atoms, CHI97, (1997), pp. 234-241.

3Dパーツカタログ

ー3Dデータの製品サービス応用例と3Dアセンブリ表示技術の紹介ー

3D Parts Catalog

- Example of Product Service Using 3D data. Introduction of 3D Assembly Display Technology -

佐藤 直之*	原田 正範*	畠山 佳久**	巴 正司***	香川 正明****
Naoyuki SATOH	Masanori HARADA	Yoshihisa HATAKEYAMA	Shoji TOMOE	Masaaki KAGAWA

要 旨

従来、製品機器の保守において、分解図によるパーツカタログが利用されてきた。しかしながら、製品が多数の部品で構成されている場合、パーツカタログの作成にコストがかかり、また、パーツの位置が実際の製品と異なるため、パーツの取り付け位置が解りづらいという問題があった。そこで、3D設計データを活用した自動処理で、半透明の3Dアセンブリの中でパーツをハイライト表示する手法により、製品と同じ位置でパーツを確認できる解りやすい画像を自動で作成するシステムを現在開発している。本システムによって、リコーグループ内の、パーツカタログ作成コストが約90%削減され、さらに、来年度からは全世界で約1万人以上いるCEによって、サービス業務の生産性が大幅に向上する。

ABSTRACT

Until now, a parts catalog including decomposed images has been used in maintaining a product. However, there are problems if the product consists of many parts. Producing the parts catalog is expensive. It is hard to see the positioning of parts because the position differs from the real product. We are developing a system that solves these problems. The system automatically produces a parts catalog at low cost using 3D data. With the parts catalog, it is easy to see the position of parts because the position is the same as a real product. This is possible by highlighting the parts in translucent 3D. This system reduces the cost of producing a parts catalog by about 90%. As a result of this system, after the next fiscal year, productivity will improve dramatically worldwide for more than 10,000 customer engineers.

* ソフトウェア研究開発本部 アプリケーション研究所

Applications Lab, Software R&D Group

** 販売事業本部 サービス統括センター

Service Planning & Administration Division, Marketing Group

*** MFP事業本部 マーケティングセンター

Marketing Center, MFP Business Group

**** ソフトウェア研究開発本部 ソリューション研究所

Solutions Lab, Software R&D Group

1. 背景と目的

リコーグループでは、CE（カスタマーエンジニア）が顧客先を訪問し、MFP等の製品保守サービスを行っている。CEは、製品修理でパーツ交換を行なう際、「パーツカタログ」と呼ばれるドキュメントを参照している。CEは、パーツカタログに描かれた製品画像から交換対象のパーツを探し、そのパーツに割り当てられた番号（以後、部品番号と呼ぶ）を取得する。そして、その部品番号を指定して、倉庫に発注をかけている。このため、パーツカタログはサービス現場において無くてはならない重要なドキュメントとなっている。

従来、パーツカタログの製品画像には「分解図」（Fig.1）を用いており、試作機をバラバラに分解しながら、イラストレータによって大量のパーツを手書きで作成していた。このため、次の点が課題であった。

閲覧上の課題：分解図ではパーツの位置が実際の製品とは異なるため、パーツの取り付け位置が解りづらい。

作成上の課題：MFPなどの製品はパーツ数が多いため、作成コストがかかる。

一方、リコーグループでは3次元CADを使って設計が行なわれており、製品と同様にパーツが組み上げられた3Dデータ（以後、3Dアセンブリと呼ぶ）は容易に入手可能である。そこで、閲覧上の課題を解決するため、3Dアセンブリの状態でのパーツの位置を確認することで、パーツの取り付け位置を解りやすくする技術（半透明／ハイライト混合表示）が考えられる。

しかし、パーツ数が多い3Dアセンブリの処理はPCへの計算負荷が高く、サービス現場で使用される比較的低スペックなノートPCでは扱うことが難しかった。また、セキュリティの面からも、外部に3Dデータを持ち出すことは難しい。そこで、あらかじめ3Dアセンブリからパーツカタログに必要な2Dイメージを処理しておき、パーツカタログでは、その結果だけを利用する技術を開発した（キャッシュ型レンダリング）。これにより、サービス現場のPCでも十分に扱えるようになり、かつ、セキュリティ面の問題も克服できる。さらに、作成上の課題を解決するため、イラストレータのような専門技術をもたない一般職作業員でも、3Dデー

タを利用することにより、パーツカタログのコンテンツをほぼ自動で作成できるシステムを開発中である。

本稿では、半透明／ハイライト混合表示とキャッシュ型レンダリングの2つの3Dアセンブリ表示技術、それらの技術を実装したシステム、システムの運用形態と効果について紹介する。

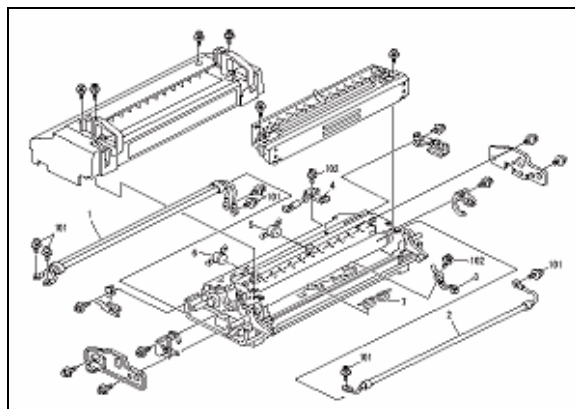


Fig.1 Decomposed image.

2. 3Dアセンブリ表示技術

2-1 半透明／ハイライト混合表示

分解図では、製品内部のパーツの形状を確認することはできるが、パーツの位置が実際の製品とは異なるため、取り付け位置が解りづらい。これに対し、3Dアセンブリは、実際の製品と同様にパーツが取り付けられているため、3Dアセンブリの状態での製品内部のパーツを特定できれば解りやすくなる。

3Dデータの表示では、すりガラスのように裏側が透けて見えるように形状を描画することができる（半透明表示）。この技法を利用して、3Dアセンブリを構成する各パーツを描画すると、内部に取り付けられたパーツが透けて見える。また、3Dアセンブリを半透明で描画した中で、特定のパーツだけを裏が透けないよう目立つ色で塗ると、そのパーツだけが際立って表示される（ハイライト表示）。これにより、内部に取り付けられたパーツであっても、3Dアセンブリ内の特定のパーツの取り付け位置を確認することができる。このように2つの表示技法を混合させたのが本技術である（Fig.2）。これを、製品の3Dアセンブリに適用すると、

分解図とは異なり，製品と同じ位置でパーツを際立たせて表示できるので，パーツの取り付け位置が解りやすくなる．

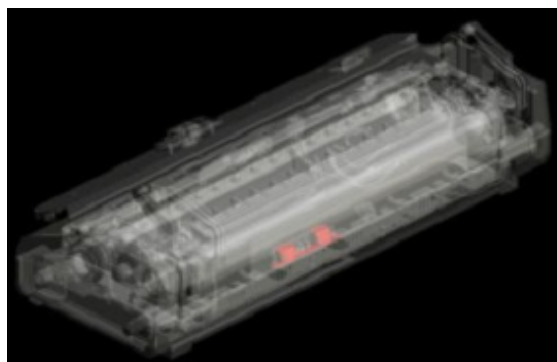


Fig.2 Highlight and translucence.

2-2 キャッシュ型レンダリング

3Dデータの閲覧では，従来，リアルタイムでパーツの描画処理（レンダリング）や画面内のパーツの位置計算を行っており，パーツを見る角度を変えた場合，その都度，描画処理や位置計算を行っていた．しかし，パーツ数の多い3Dアセンブリになると計算負荷が大きく，ハイスペックCPUやグラフィックボードが要求されていた．これに対して，あらかじめ見る角度を幾つかに決めておき，それらの角度であらかじめ描画処理や位置計算を行っておくことで，閲覧時の計算負荷を大幅に軽減するのが本技術である．あらかじめ処理した結果を2Dイメージと位置を示す数値情報の組み合わせで蓄えておき（キャッシュ），閲覧時は，それらの情報を差し替えるだけで，見る角度を変えたり，パーツの位置を参照できるようになり，比較的ロースペックなPCでもインタラクティブな閲覧操作が実現可能となる（Fig.3）．

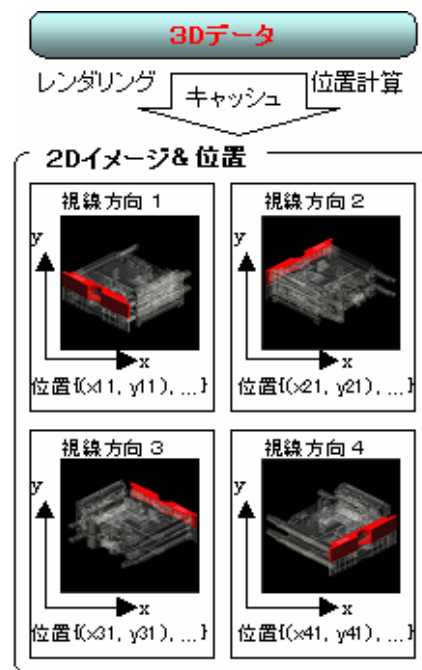


Fig.3 Cache rendering.

3. システムの構成

システムの構成をFig.4に示す．システムは「作成ツール」と「閲覧ツール」の2つのツールに分れる．まず，「インプットデータ」をもとに，作成ツールでパーツカタログのコンテンツとなる「カタログデータ」を自動生成する．その後，閲覧ツールでカタログデータを読み込み，インタラクティブにパーツを検索して部品番号を取得する仕組みとなっている．

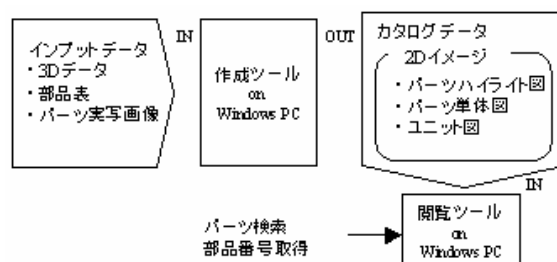


Fig.4 Structure of the system.

以降，インプットデータ，カタログデータ，閲覧ツールの操作について説明を行なう．

3-1 インプットデータ

「3Dデータ」，「部品表」，「パーツ実写画像」で構成されており，それぞれの内容は次の通りである．

3Dデータ：製品全体の3Dアセンブリを用いる．このデータは，機能ごとに分けられた「ユニット」と呼ばれる幾つかの3Dアセンブリから構成されている．

部品表：製品を構成するすべてのパーツの属性情報を文字でリストした一覧表である．属性情報としては，部品番号，部品名など，様々な情報が記載されている．

パーツ実写画像：3次元CADによる設計対象外であるパーツ，例えば，機器に貼り付けるシールなどについて，実物をデジタルカメラ等で撮影した画像データである．

3-2 カタログデータ

キャッシュ型レンダリングにより蓄えられた各種2Dイメージを含む独自形式のファイルである．2Dイメージには，パーツハイライト図，ユニット図，パーツ単体図があり，それぞれの内容は次の通りである．

パーツハイライト図：半透明／ハイライト混合表示の画像データである．ユニットの中のパーツの取り付け位置を示すため，パーツが属するユニットの3Dアセンブリを半透明で表示している．各パーツについて作成される．

ユニット図：ユニットの3Dアセンブリを描画した画像データである（Fig.5左）．製品を構成する各ユニットについて作成される．

パーツ単体図：パーツの3Dデータの形状を単体で描画した画像データである（Fig.5右）．各パーツについて作成される．

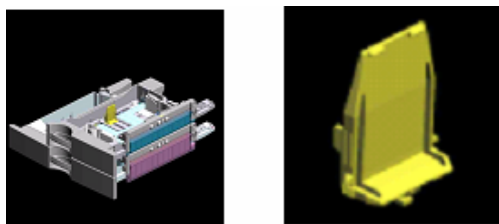


Fig.5 Unit image and parts image.

3-3 閲覧ツールの操作

カタログデータを読み込んだ後，次の手順でパーツを検索し，部品番号を取得する（Fig.6）．

STEP1：修理対象のユニットを，ユニット名のリストから選択する．ユニットが選択されると，閲覧ツール上にユニット図が表示される．

STEP2：ユニット図上で特定の領域を指定する．領域が指定されると，各パーツの位置情報が参照され，指定された領域に取り付けられたパーツのパーツ単体図がリストされる．

STEP3：パーツ単体図のリストから，探しているパーツの形状に近いものをマウスで指定する．パーツ単体図が指定されると，該当パーツのパーツハイライト図が表示され，取り付け位置を確認することができる．また，このとき，ツールの画面から部品番号を取得することができる．

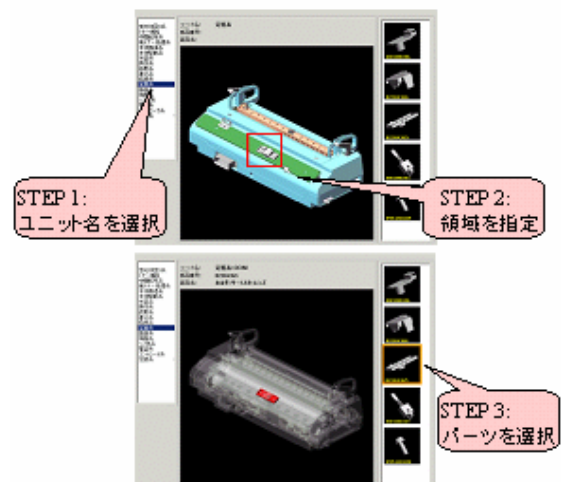


Fig.6 Viewer operation.

閲覧ツールでは，各ユニット図やパーツハイライト図を，幾つかの角度から見た画像に切り替えることができる．これにより，一定角度から見た画像よりも高い視認性が与えられている．また，画像の表示や検索処理は，キャッシュ型レンダリングにより蓄えられた，2Dイメージや位置情報を利用しているため，比較的ロースペックなPCであってもインタラクティブに動作する．

4. システムの運用形態

システムの利用形態をFig.7に示す。まず、サービス準備区の一般職作業員によってカタログデータが作成され、次に、CD-ROMによる配布、または、サーバーからのダウンロードにより、カタログデータがサービス実施区に供給される。そして、サービス実施区のCEのPC上で、カタログデータを閲覧ツールに読み込ませ、パーツの検索や部品番号の取得を行なう。

サービス準備区では、年間数十機種分のパーツカタログを作成ツールで作成し、サービス実施区では、全世界で1万人以上が閲覧ツールを利用する。

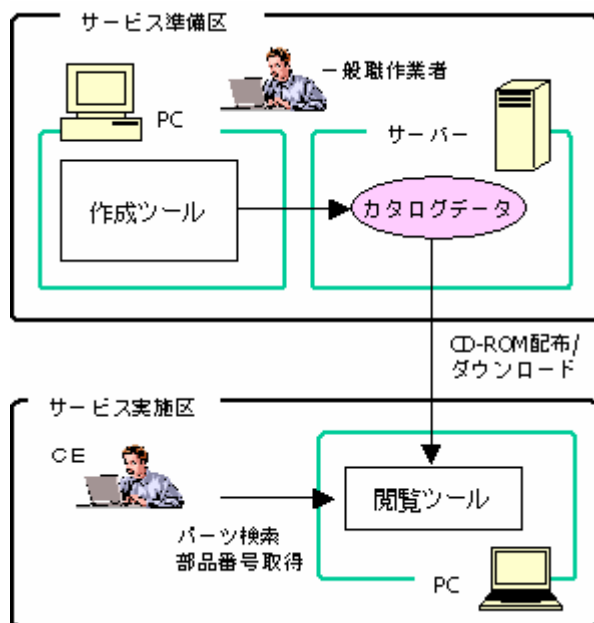


Fig.7 Practical use of the system.

5. システム導入効果

パーツカタログの作成は、一般職の作業員による作成ツールの操作だけとなり、作成ツールの自動処理によって、1機種あたりの作成コストは、約1/10に削減されることが、サービス準備区との共同評価により確認できた。これにより、年間数十機種の分パーツカタログの作成コストが大幅に削減されると見込まれる。

カタログデータの閲覧においては、半透明/ハイライト混合表示による直感的なパーツの表示、および、キャッシュ型レンダリングによるインタラクティブな

検索機能によって、パーツ検索時間が約55%削減されるという結果が、サービス実施区へのモニター調査によって得られた。これにより、全世界で1万人以上のユーザーの利用により、サービス業務の生産性が大幅に向上することが期待される。

従来方式と新方式のパーツカタログ比較

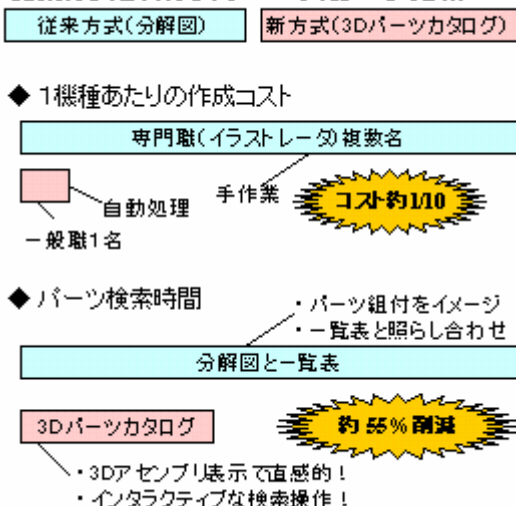


Fig.8 Effect of the system.

6. 今後の展開

本システムは、今年度中に、国内サービス区で運用が開始され、来年度からは、海外サービス区でも運用が開始される予定である。これにより、リコーグループ全体でサービス業務の大幅な生産性向上を見込んでいる。今後の機能拡張としては、発注システムとの連携による利便性のさらなる向上や、コンテンツ数増加に対応するための、カタログデータのサイズ圧縮などが予定されている。

IPv6の研究と製品開発への反映

Research and Deployment of IPv6 Technology for Products

大平 浩貴*

Kohki OHHIRA

要 旨

IPv4ではグローバルアドレスが不足してきた。この課題を解決するためにIPv6が提案された。IPv6を利用すれば、他にも従来インターネット接続できなかったデバイスが通信できるようになり、ネットワーク機器同士が透過的に通信できるようになることが見込まれている。IPv6は、今まで実現できなかった新たなソリューションを生む基盤になると考えられる。我々は、OSやアプリケーションプログラムのIPv6化、自動設定機能の付与を行い、デジタル複合機やレーザープリンタをIPv6化した。本報ではデジタル複合機やレーザープリンタのIPv6化について報告する。

ABSTRACT

Using IPv4, the pool of available Global address is exhausting. IPv6 has been proposed to overcome this problem. IPv6 also makes internet communication possible to devices that couldn't in the past. Additionally, we expect that it will allow transparent communication among network devices. Thereby, we consider IPv6 as a platform for brand new solutions unachievable so far.

We enabled IPv6 for OS and applications program, implemented automatic configuration features, and thereby successfully launched IPv6 capable digital photocopiers and laser printers.

This document describes the activity of enabling IPv6 for digital photocopiers and laser printers.

* ソフトウェア研究開発本部 システム研究所
Systems Lab, Software R&D Group

1. 背景と目的

1-1 IPv6の発生

IP (Internet Protocol) はThe Internet (以下インターネット) の基盤をなす通信技術であり、現在のIPはIPv4 (IP version 4) と呼ばれる。IPの通信ではIPアドレスという固定長の数値を基にしてデータの受け渡しを行う。このため、インターネットに接続する機器にはかならずユニークなIPアドレスが割り当てられなければならない。

しかし、昨今インターネットに接続する機器が増え、ネットワーク機器に配布するIPアドレスが不足してきた。

現在アドレスが枯渇してきたIPv4の代替技術として、IPv6 (IP version 6) が標準化され、実用を目指して実装や活用が日々進められている。近年は特にIPv4アドレスの枯渇が進んでおり、IPv6への移行が強く意識されるようになってきた [1]。

1-2 IPv6の効果

IPアドレスの総数が、インターネットに直接接続可能な機器数の上限を決める。たとえば32bitのIPv4アドレスは42億9496万7296個あるが、このうち管理機器や特殊用途に使われる分を除いた約42億がインターネットに接続する機器で利用される。つまりIPv4では約42億が接続可能な機器数の上限となる。

対して、128bitのIPv6アドレスが示す値は 3.4×10^{38} の38乗にもなる。IPv6アドレスを地球の表面積にひとつずつ並べた場合、地表面1平方ミリメートルあたり、6.6兆個の10万倍ものアドレスが配置されることになる。

このように、IPv6環境には潤沢なIPアドレスがあるため、従来ネットワーク化されることがなかった機器もIPv6に接続することも可能となる。

携帯電話や自動車のIPv6化は特に有力だが、ほかにも家電製品、電灯等のスイッチ、リモコンなどもありうる。これらがIP化されると、相互に連携可能となり、何らかの新しい使い方が発生すると考えられている。たとえば前述の家電製品に世界中のあらゆる場所から

の接続を可能にしたり、世界中の家電製品同士が通信することによりその規模を活かした何らかのサービスをユーザに提供することが考えられる。

加えて、IPアドレスが豊富であるため、現在はプライベートアドレスを使用している環境にもグローバルアドレスを割り振ることができるようになり、ネットワークの透過性が高まる。

特に構内網のすみずみまでグローバルアドレスを割り振り、選択的にグローバルルーティング可能にすることで、インターネット上のホストから直接通信できるようになる。これによる新たなソリューションも考えられる。たとえば前述の家電製品に世界中のあらゆる場所から接続できるようになったり、世界中の家電製品同士が通信することによりその規模を活かした何らかのサービスをユーザに提供することも考えられる。

1-3 IPv6対応活動

我々は新たな通信環境に対応するため、また新たなソリューションの開発や、これまでにないモデルのビジネスを実現するため、主力製品であるデジタル複合機やレーザープリンタをIPv6に対応させた。

本報では、リコーで行ったデジタル複合機やレーザープリンタのIPv6化について説明する。

2. 技術

2-1 IPv6対応ネットワーク機器の姿

現状のIPv6環境の情勢から、IPv6対応ネットワーク機器はIPv6だけでなくIPv4にも対応していることが要求されていることが多い。デバイスがIPv6だけに対応していればよいケースは稀である。

なぜなら、既にIPv4は十分に浸透しており、IPv4ホストを突然すべてIPv6対応機器にシステムに置換することはほとんど不可能だからである。IPv4はレガシープロトコルとして将来も長らく存在し続けると考えられる。

またIPv6対応プロトコルであってもしばらくはIPv4と併用することを考慮しているものもある。DNS [2]

はその最たる例であり、IPv6アドレスの名前引き（AAAAおよびPTRレコード）を扱うことのできる環境は既にかなり普及しているが、IPv6の通信を使って名前引きを行う環境の浸透はまだ十分とはいえず、IPv4通信を使ってIPv6アドレスの名前引きを行うことも考慮されている。

このように、現在のような過渡期においてはIPv4とIPv6の両方に対応しなければならない。つまり、一般にIPv6対応ネットワーク機器は、IPv6という単一プロトコルにのみ対応しているだけではない。現代のIPv6対応ネットワーク機器とは、IPv4とIPv6の両方に対応した、マルチプロトコル対応ネットワーク機器でなければならない。

なお、IPv4とIPv6の両方に対応する場合でも、データリンク層以下は同じ機器が利用できる。つまり既存のネットワークインターフェースやケーブルにIPv4とIPv6の両方のパケットを流すことができる。IPv6とIPv4は互換性がなく、両者が同じ物理層を通ることになるが、それによって両者が混乱することはない、それぞれのプロトコルは同時にかつ独立して動作する。

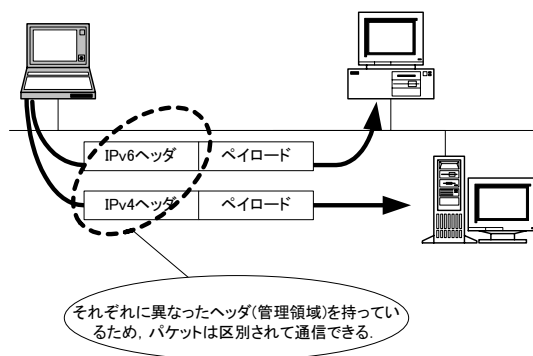


Fig.1 IPv4 and IPv6 can co-exist on one single physical network.

現在の運用では、IPv6とIPv4の両方に対応する機器はIPv4のネットワークインターフェースとIPv6のネットワークインターフェースを別々に持つことをしていない。ひとつのネットワークインターフェースで両方のプロトコルを扱う設計となっている。

2-2 マルチプロトコル対応Socketプログラミング

ネットワークプリンタはユーザからの印刷要求を待ち受けて、印刷要求が届いたらそれを受け取り、印刷を行う。つまりネットワークプリンタはサーバの一種である。

従来のサーバ機器・サーバソフトウェアはIPv4というひとつのプロトコルでサービスの要求を受け付けていけばよかった。しかし、これからのシステムは、IPv4とIPv6に両方対応しなければならない。このため、IPv6時代のサーバプログラムは、ひとつのサービスをマルチプロトコルで提供できるように設計しなければならない。

従来のIPv4通信のみを前提としたシングルプロトコルのサーバプログラムで、特にシーケンシャルに手続きが流れるモデルでは、1個のソケットをオープンし、ポートなどの詳細をそのソケットに設定して、あとは待ち受けるだけであった。クライアントからの要求が到着すれば、それをハンドリングして、終了後元に戻ってさらに待ち合わせるだけである。ハンドリングは平行ないしは並列処理するケースも多いが、基本的に接続を受け付けるsocketは1種類だけである。

対して、複数のプロトコルによる接続を前提としたサーバプログラミングでは、待ち受けなければならないプロトコルを調べ、その数だけソケットをオープンする。そして、オープンしたソケットそれぞれに待ち受けプロトコルやポートなどを設定して、待ち受けを開始する。接続があれば、ソケット群のなかから到着したものを選び出し、そのソケットに対して通信処理を行う形式となる [3]。このため、従来のように1個のソケットをブロッキング呼び出ししているだけではなく、複数のソケットを同時に待たなければならない。たとえばC言語の環境下ではselectなどを使うことになる。

このようにしてサーバプログラムをマルチプロトコル化する。これはデジタル複合機やレーザープリンタであっても、同様の手順となる。

2-3 デジタル複合機やプリンタのIPv6化

2-3-1 IPv6機能の付加

現在リコーで設計している多くのデジタル複合機やレーザープリンタは、NetBSDを制御部のOSとして採用している [4]。このBSD系OSはWIDEのKAMEプロジェクトによって古くからIPv6化されてきた。早い時期にIPv6に対応したNetBSDを採用していたため、リコーのデジタル複写機やレーザープリンタも早期にIPv6化できた。

また、IPv6機器は利便性を考慮して、またリナンバリングを考慮して、アドレス自動設定機能を通常持つが、これもNetBSD環境でサポートされている機能であり、デジタル複合機などへの実装も早期に実施できた。

印刷時の通信をIPv6に対応させるには、OSの対応に加えて、アプリケーションプロトコルを実現しているソフトウェアをマルチプロトコル化しなければならない。

リコー製デジタル複合機やプリンタの内部機構 [4]のうち、主な通信機能はNCS（Network Control System）と呼ばれる部分で実現しており、IPにかかわるアプリケーションプロトコルもここで実装している。

NCSの内部では、デジタル複写機やプリンタが扱うネットワークプロトコルに応じたdaemonを用意している。具体的には、LPRによる印刷を受け付けるlpd、telnetによる制御を受け付けるtelnetd、SNMPを扱うsnmpdなどがある。これらdaemonそれぞれのsocketハンドリングコードを、マルチプロトコル対応コードに改良した。

また、ユーザーインターフェース（以下UI）についても、IPv6とIPv4の違いは可能な限りNCSの内部で吸収するように実装している。このため、NCSより上位にある、ページ記述言語処理などのプログラム群にはIPv6化の影響が波及しない。

こうして、現在のリコー製プリンタは、印刷データの通信プロトコルとしてIPP、LPR、FTP、Standard TCP/IPのRAW印刷をIPv6に対応させることができている。

2-3-2 操作パネル表示のIPv6対応検討

IPv6に対応したオフィス向けデジタル複合機の例をFig.2に示す。この図のように潤沢な表示域を持つ操作パネルであれば、Fig.3に示すとおり、IPv6アドレスの表示を行うことができる。



Fig.2 Operation Panel of Digital Multifunction Printer.

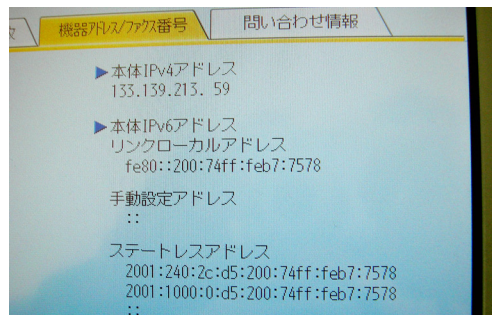


Fig.3 IPv6 Addresses Displayed.

しかし、このような表示機構を持たない機種もある。例えば、Fig.4は小型レーザープリンタの操作パネル例である。この機種の表示部は横方向に16文字、縦方向に2列の数字・アルファベットとカタカナを表示する機能しかない。IPv6アドレスを表現するには、最大で39文字必要になり、このような16×2のLCDではIPv6アドレスの表示すらままならない。

また、入力も数個のボタンしかなく、Fig.2のような、動的表示にあわせて操作できるタッチパネルなどはない。このため128bitにもおよぶ長大なIPv6アドレスをこのキーで入力することは事実上不可能である。



Fig.4 Example of Operation Panel for Small Printers.

特にIPv6アドレスの設定入力についてはアドレス自動設定があるため不要という考え方もある。安易に手作業による設定が行われるとリナンバリングに対して脆弱なシステムになりかねないという問題もある。しかし、現在はまだIPv6の標準的な運用則がないため、IPv6アドレスを手作業で設定する機能が必要であると我々は判断した。

このIPv6アドレス設定機能は従来からあるWeb機能を使って解決した。デジタル複写機やレーザープリンタはWebサーバの機能を持っており、WebページからIPv6アドレスの設定も含めた機器の制御や設定が可能となっている。このほか、現行機種ではtelnetによるキャラクタベースの対話型UIも用意しており、リッチなブラウズ環境を持たない状況でも操作可能にしている。

2-4 通信を行う相手側環境の調査・検証

IPv6はまだこなれた技術とはいえない。IPv6対応デジタル複合機やレーザープリンタを作成しても、それを利用するクライアントPCと十分な相互運用性がない可能性もあり、その場合不具合が発生することになる。これを回避するためにリコーは新しいIPv6端末OSの機能を常に調査し、相互運用できるかどうかを検討してきた。

2007年1月に発売されたWindows Vistaは、それまでのWindowsに比べて大幅に書き換えられた。この機能を評価し、デジタル複合機やレーザープリンタの実装に活かすため、我々はIPv6普及高度化推進協議会[5]に参加した。協議会内に設置されたIPv6端末OS

評価SWGにおいて、Windows Vistaを中心とする最新IPv6端末OSの評価を共同で行ったところ、IPv6フォールバックの挙動や、DNSの名前引きの挙動、Firewallの状況など、運用に関する実装情報を得ることができた。この結果については、共同で提出した評価結果文書[6]に結果がある。

こうして接続するOS側の実装を得て、OSと通信するデジタル複合機やレーザープリンタの実装に大きな問題がないことを確認した。

3. 結論

我々は将来起こりえるIPv4枯渇への対策を進め、また将来の新たなネットワークソリューションに対応するために、またそれを開発する基盤となるために、IPv6対応デジタル複合機やIPv6対応レーザープリンタを作成した。

4. 今後の展開

IPv6の運用技術はまだ固まっておらず、これからも進歩・変化していくと思われる。これらの調査を継続し、必要に応じて対応していく。

また、一般的なデバイスディスカバリ技術については、近年標準となりうる高機能な技術が出ているためそれらへの対応も必要であると考えている。

当初の目的である、IPv6特有のソリューションや新ビジネスへの対応も継続し、将来のインターネット環境への対応を進めていく。我々の製品が将来のインターネットを形作るひとつになることを目指していく。

参考文献

- 1) <http://www.jpnict.jp/ja/topics/2007/20070619-01.html>
- 2) P. V. Mockapetris, RFC1035 : DOMAIN NAMES - IMPLEMENTATION AND SPECIFICATION, (1987)
- 3) R. Gilligan, S. Thomson, J. Bound, J. McCann, W. Stevens, RFC3493 : Basic Socket Interface Extensions for IPv6, (2003).
- 4) 森田, 入野, 小倉, 田中, 松島, 坂田 : オープン

ソース Unix と PCI 技術を搭載した新世紀アーキテクチャ, リコーテクニカルレポート No.27 (2001), pp.117-121.

5) <http://www.v6pc.jp/>

6) http://www.v6pc.jp/pdf/v6TermOs_Guideline_1.pdf

注 1) Windows および Windows 95, Windows 2000, Windows XP, Windows Vista は米国 Microsoft Corporation の米国及びその他の国における登録商標です.

注 2) NetBSD は米国 NetBSD Foundation の登録商標です.

MFP/LP リモートファームウェア更新システムの開発

Development of MFP/LP Remote Firmware Update System

石原 久士*

Hisashi ISHIHARA

要 旨

顧客操作による“MFP/LPリモートファームウェア更新システム”を開発した。

本システムは

- ・ リコーWebサイトから最新ファームウェアをダウンロードすることが可能なシステム
- ・ MFPは複数のファームウェアにより構成されているが、更新時は複数のファームウェアの存在を意識させないシステム
- ・ 標準ファームウェアとカスタマイズファームウェア両方に対応可能なシステムであることが特徴である。

本報告では、このシステムの機能と技術の特徴を述べる。

ABSTRACT

We developed a new MFP/LP remote firmware update system by customer's operaton.

A feature of this system are as follows.

- ・ The system can download the latest firmware from RICOH Web site.
- ・ While MFP contains more than one firmware, it is unnecessary for customers to be aware of the multiple firmwares during system update.
- ・ The system can support custom-made firmware as well as standard one.

The report describes the main feature of functions and technology of the firmware update system.

* DS&S事業部 DS開発センター

DSS Development Center, Document Solutions & Services Division

1. 背景と目的

リコーでは、プリンタ／スキャナ／ファクシミリなどの複数の機能を備えたマルチファンクションモデルのデジタル複合機（以後、MFP）やプリンタ（以後、LP）の管理業務の効率化を図るために、遠隔からMFP/LPを管理するためのソフトウェア（以降、機器管理ソフトウェア）を提供している。'03からは海外にてWeb UIを持つサーバタイプの機器管理ソフトウェア（Web SmartDeviceMonitor）も提供している。この機器管理ソフトウェアは、ネットワーク上のMFP/LPを発見し、発見した複数のMFP/LPの状態監視をすると共に、複数のMFPに同じ値を一括で設定する一括設定機能を有する。

ところで、MFP/LPは複数の組み込みソフトウェア（以後、F/W）により構成されている。これらF/Wは、改良・機能拡張によりバージョンアップすることがある。バージョンアップしたF/WをMFP/LPに適用するためには、今までは1つ1つのF/Wを1台1台のMFP/LPに対してオペレーションパネルを操作する必要があった。このため、複数のMFP/LPのF/Wをバージョンアップするためには、作業者はその作業に多大な時間を拘束された。この課題を解決するために、機器管理ソフトウェアにて複数の機器に複数のF/Wを遠隔からバージョンアップすることが可能な“リモートファームウェアアップデート”（以後、RFU）機能を開発した。その結果、一度の操作のみで複数の機器に複数のF/Wをバージョンアップすることを実現し、バージョンアップ業務に拘束される時間を大幅に短縮することを可能とした。

本稿では、機器管理ソフトウェアの新機能であるRFU機能とその技術の特徴について説明する。

2. 製品の概要

2-1 機器管理ソフトウェア

リコーは、機器管理ソフトウェアとしてWindowsユーティリティであるデスクトップタイプの機器管理ソフトウェア（国内：Ridoc IO Admin，海外：SmartDeviceMonitor for Admin），Web UIを持つサーバタイプの機器管理ソフトウェア（国内：Ridoc IO OperationServer，海外：Web SmartDeviceMonitor）を提供している。

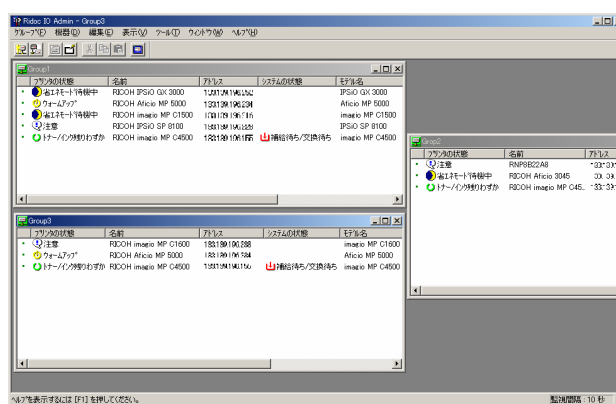


Fig.1 Desktop type device management.

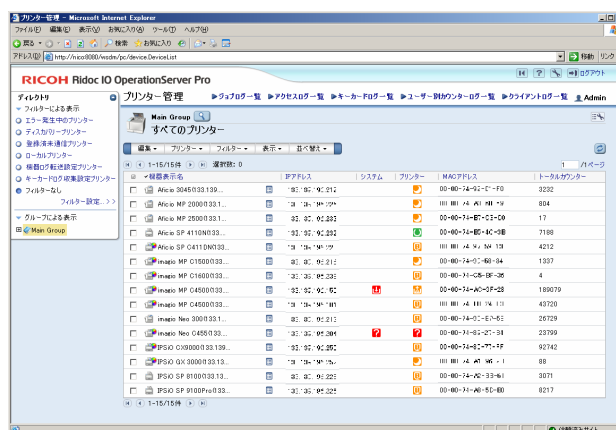


Fig.2 Server type device management.

サーバタイプの機器管理ソフトウェアは、IT部門などでMFP/LPを集中して管理する場合に有効である。サーバタイプの機器管理機能ソフトウェアは以下の特徴がある。

- ・MFP/LPの集中管理を可能とし、複数の管理者がWebブラウザを使用してMFP/LPの情報を共有する
- ・プリンタ／スキャナ／ファクシミリ／コピーの状態を監視する
- ・MFP/LPにエラーが発生した時通知する
- ・MFP/LPのグループ管理
- ・複数のMFP/LPに対して一括して設定を行なう
- ・印刷時に使用するプリンタドライバの配布
- ・複数のMFP/LPからログ／カウンタ情報の収集
- ・ユーザ別に出力枚数上限を設定し、上限を超えたらMFP/LPの利用を制限する上限制限

2-2 RFU機能

RFU機能はサーバタイプの機器管理ソフトウェアに搭載されており、以下の特徴を持つ。

2-2-1 最新F/Wの検索とダウンロード

RFU機能を使用することにより、対象とするMFP/LPの最新のF/WがリコーのWebサイトに上がっているかを確認することが出来る。もし最新のF/Wが上がっていれば、それをダウンロードし、MFP/LPのF/Wを最新版にバージョンアップすることが可能である。

2-2-2 簡単な操作

RFU機能は一度の操作で複数の同一機種に対してF/Wをバージョンアップすることが可能である。

2-2-3 スケジューリング

RFU機能を使用してMFP/LPのF/Wのバージョンアップを行っている間、MFP/LPの機能は使用できない。このため、RFU機能はMFP/LPの使用者が使用しない時間帯に行なうことが望ましい。ただし、そのような時間帯はMFP/LPの管理者も作業を行なわない時間であることが一般的である。このため、RFU機能はスケジューリングによる時間指定の実行が可能である。また、終了すると管理者へその旨メールで通知することができる。

2-2-4 未実施機器へのリトライ機能

RFU機能は複数のMFP/LPのF/Wを更新するため、更新時に例えばある1台のMFP/LPは電源が入っていないこともあり得る。

このようなMFP/LPはF/W更新が行なえないままになる。このような場合でも、再度RFUを容易に行なえるようにするために、バージョンアップに失敗したF/Wの一覧を表示する機能と、一覧に表示したF/Wに対して再度RFU実行の設定を容易に行なうことが出来るユーザインターフェースを備えている。

3. 技術の特徴

3-1 システム構成

RFU機能は、リコーWebサイト、機器管理ソフトウェア、MFP/LPから構成されるシステムによって実現している。

3-1-1 リコーWebサイト

リコーWebサイトには、最新のF/Wが自動的にアップされる。これにより、最新F/Wを短時間に、確実にアップすることが可能である。

3-1-2 機器管理ソフトウェア

機器管理ソフトウェアは、リコーWebサイトからのF/Wのダウンロード、MFP/LPのF/W更新の2つの処理よりRFU機能を実現している。

1) リコーWebサイトからのF/Wダウンロード

リコーWebサイトからのF/Wダウンロードは、F/W情報のダウンロードとF/Wパッケージのダウンロードとの2つの処理に分けられる。F/W情報とは、MFP/LP識別情報などの情報より構成される。機器管理ソフトウェアはまずF/W情報をダウンロードし、そのF/W情報とMFP/LPから事前に収集したF/W情報を比較することにより、対象とするMFP/LPのF/Wが存在するか、リコーWebサイトのF/WのVersionはMFP/LP内のF/WのVersionよりも新しいかを確認する。次に、

リコーWebサイトのF/Wが新しい場合はURL情報よりF/Wパッケージをダウンロードする。MFP/LPは複数のF/Wで構成するが、F/Wパッケージとは複数のF/Wを1つのファイルにまとめたものとなっている。機器管理ソフトウェアはF/Wパッケージを分解して1つ1つのF/WとそのF/W情報と共に保存する。

2) MFP/LPのF/W更新処理

MFP/LPは複数のF/Wで構成しているが、更新は1F/Wづつ行なう必要がある。このため、機器管理ソフトウェアはMFP/LPへのF/Wの送信、MFP/LPのF/W更新処理終了の検知を繰り返すことにより実現している。F/W更新処理は信頼性が重要であるが、このためのエラー処理については3-2で詳しく説明する。

3-1-3 MFP/LP

MFP/LPは複数のF/Wで構成されている。また、MFP/LPはPCのようにハードディスクを持たない場合がある。このため、1つのF/W毎に機器管理ソフトウェアからF/Wを受信、ROM上のF/Wの書き換え、リブートを繰り返すことによって複数のF/Wを更新する。F/Wの受信はFTPプロトコルを使用する。

3-2 エラー処理

F/W更新処理は信頼性が重要であるが、このためのエラー処理について特に重要な技術を以下に示す。

3-2-1 エラー検知処理

機器管理ソフトウェアは、MFP/LP内のF/W更新処理が終了しリブートが完了したことを検知すると、F/W更新処理の終了情報を取得することが可能である。この終了情報には正常終了、異常終了が分かるようになっている。また、異常終了の場合には、その原因の詳細も分かるようになっている。

3-2-1 更新中の電源OFF

MFP/LP内のF/W更新処理ではROM上のF/Wの書き換えを行なうが、この最中にMFP/LPの電源が切られた場合でも再度F/Wを書き換えることが可能である。

3-2-2 MFP/LP動作中のRFU

MFP/LPは、コピー中などの動作中にF/W更新処理が行なえないように設計している。このため機器管理ソフトウェアは、MFP/LPが動作中にF/W更新処理を試みるとF/W更新処理終了情報として異常終了でリトライ可能を受け取る。この場合機器管理ソフトウェアは、定期的に複数回リトライを行なうことによりF/W更新が正常終了するように試みる。複数回リトライを繰り返しても正常終了しない場合は、そのことが分かるようにエラーを表示する。

3-2-3 カスタマイズF/Wが存在する機器のRFU

カスタマイズF/WがMFP/LP内に存在する場合、リコーWebサイトにアップされた標準のF/Wで更新してはならない。このため、MFP/LPではF/W更新を不可にすることが可能である。このため機器管理ソフトウェアは、MFP/LPがF/W更新不可状態でF/W更新処理を試みるとF/W更新処理終了情報として異常終了でリトライ不可を受け取る。この場合機器管理ソフトウェアはF/W更新処理を終了し、MFP/LPがF/W更新が出来ない旨のエラーを表示する。

3-3 カスタマイズF/W更新システム

MFP/LPの機能をカスタマイズするためには、標準F/WからカスタマイズF/Wへの更新が必要である。このため、RFU機能が必要となる。ところが、カスタマイズF/Wは特定の顧客専用のF/WであるためリコーWebサイトで一般に公開することが出来ない。よって通常のRFU機能では対応できない。このため、リコーWebサイトと同じ働きをするWebサーバを用意し、そこにカスタマイズF/WをアップすることによりカスタマイズF/WのRFU機能を実現する。

3-3-1 機器管理ソフトウェア

機器管理ソフトウェアはWebサイトとしてアクセスするURLをカスタマイズF/W用Webサイトに変更することが可能である。これによりカスタマイズF/Wをダウンロードすることも、標準F/Wをダウンロードする

ことも可能となる。また、MFP/LPをカスタマイズF/Wに更新したあとは、誤って標準F/Wに更新しないよう、MFP/LPをF/W更新不可状態に設定することも可能である。

4. 今後の展開

RFU機能により、1回の操作で複数のMFP/LPのF/Wを容易に確実に更新することが可能となった。また、個別対応したF/Wも1回の操作で複数のMFP/LPへ導入することが可能となった。

今後は現在のRFU機能に磨きをかけ、更新の高速化、確実性の向上に向けて商品開発を行なっていく。加えて、新機能の追加を行い、お客様に対して、さらに容易で確実な機器管理が可能な機器管理ソフトウェアを提供していく。

謝辞

最後に、RFU機能の開発・商品化にあたり、関連する多くの方々に御指導、御支援を頂戴しましたことを心より感謝いたします。

製品技術解説

EXPLANATION ON PRODUCTS

デザインテンプレートによるMPMeisterコンテンツ生成機能強化

MPMeister Contents Generation and Business Using Design Templates

クリストフ スーリエ*

Christophe SOULIER

要 旨

MPMeisterは会議や講演などのプレゼンテーションを記録し、Webコンテンツを簡単に自動生成できるソフトウェアである。生成されたWebコンテンツでは、動画とPowerPointスライドとが同期して動作する。リコーはこれまでMPMeisterというソフトウェアだけの提供にとどまらず、撮影やコンテンツの作成、配信など、幅広いサービスを提供してきた。コンテンツの作成に関してはこれまで、コンテンツのデザインを自社用にカスタマイズしたいという要望が顧客から多く寄せられている。しかし、コンテンツの修正は時間と手間がかかる作業である。

MPMeisterの最新バージョンでは、コンテンツ生成機能に大きな変更が加えられ、よりリッチで魅力的かつカスタマイズ可能なコンテンツが生成できるようになった。具体的にはコンテンツ生成の際、テンプレートを使用することが可能になった。多くのアプリケーションはテンプレートをデザイン（形や色など）のカスタマイズのために使用するが、MPMeisterにおけるテンプレートはコンテンツ生成オプションの増減など、MPMeister自身の機能をカスタマイズ可能な点がポイントである。顧客の様々な要望や、制作コンテンツの対象となる視聴者に合わせて設計したテンプレートを利用することで、コンテンツのデザインと振る舞いが自由に制御できるようになる。

ABSTRACT

MPMeister is an easy to use tool that records presentations such as meetings or lectures and automatically generate web contents. Those contents present synchronized video and PowerPoint slides. Ricoh also provide a wide range of services to MPMeister customers, such as video recording or contents customization. From the experiences of these services, we realized that customers always wish to customize their contents in a way that is not supported by the software so that we often had to edit contents by hand, which is a timely and costly process.

In the new version of MPMeister a great effort has been made on the contents generation part of the software, which now allows to create more rich, attractive and customized contents. This has been possible by creating a generic content generator that uses design templates to create contents. While many applications use design templates to customize only the design (shapes and colors) of contents, the real key point of the templates used in MPMeister is that they also customize MPMeister itself, allowing different generation options for each template. That way, the whole behavior of the generated contents can be controlled to meet various customer and content viewer targets.

* ソフトウェア研究開発本部 アプリケーション研究所
Application Lab, Software R&D Group

1. Introduction and objectives

MPMeister is an easy to use tool that records presentations such as meetings or lectures and automatically generates web contents, which includes both video or voice and the presentation slides. Those contents are made available on the network so they can be accessed easily at anytime. They are a very convenient way to share information such as executives' vision, company internal rules changes or e-learning courses. In the latest version, a great work has been done to make those contents more attractive and customizable to be able to adapt MPMeister to various business scenes.

In order to do this, the contents generation module of MPMeister has been entirely revisited and now allows generation based on external template files rather than hard-coded functions. Since those templates are external, they are always read during contents generation so they can easily be updated, without having the need of releasing a new version of MPMeister. MPMeister also checks all templates at startup so we can provide new templates to our customers easily, quickly and at low cost.

While most software using templates (office applications for example) only change the design of the contents based on the selected template, MPMeister extends this by being able to totally change the behavior of the contents generation module, allowing different options for each template.

The next following parts will explain in more detail the possibilities of MPMeister templates and the benefits of using them from a technical and commercial viewpoint.

2. What are design templates and layouts?

2-1 Design templates

Design templates basically define the colors, overall size, the features and the language of the contents. By customizing the design template, all of these can be adapted to match customers' requirements and to succeed terminal adaptation.

2-1-1 Matching customers' requirements

After few years of experience in developing, selling and supporting MPMeister, we realized that when it comes to contents, every customer is different. A same application can fit several customer requirements but contents always need to be adapted on a case by case basis. For example, a museum for children wishes to create colorful contents while a hospital might require a special interface for disabled patients.

An even simpler example of contents customization is company logos. Our customers are from various companies and in the past they asked for contents customization (company logo insertion or modification of colors to match their existing website for example). Until now, realizing such requests was hard and required long time. With the use of designs, this can be done much more easily, quickly and relatively cheaply.

2-1-2 Succeed terminal adaptation

The same contents, whether it is view on a PC, a PDA or a cell phone must have different designs to match the screen size and the user interface. MPMeister succeed to do these adaptations by using templates with different sizes and controls to generate contents.

2-2 Layouts

2-2-1 Introduction to layouts

Layouts are used to define the spatial position inside the contents of each part composing them (it is also possible to hide any of those parts). For MPMeister, the parts composing contents are the slide, the video, the table of contents and the title. For example, some users like to see big video while others are more interested by the slides, so MPMeister now provides a way to select the size of those parts.

2-2-2 Using layouts

The layout selection can be made by the content provider (during contents generation) and also by the viewer (during content playback). Optionally, the content provider can forbid viewers to change the layout during playback.

2-3 Design templates and layouts combinations

2-3-1 Expanding possibilities

If, for the same contents, there are two different design templates, and two different layouts, the contents can be viewed in 4 different ways. Current MPMeister designs templates and layouts allow many combinations, resulting in numerous ways to view contents, as shown the following table.

Table 1 design templates and layout combinations in various MPMeister versions.

MPMeister version	Design templates	Layouts	Combinations
V1.X	28	0	28
V2.0	29	4	32
V2.1, V2.2	30	12	120

2-3-2 Examples

Few examples of design templates and layouts combinations will help to understand the concept.



Fig.1 Layouts and designs combinations.

As you can see on the examples, the materials (image, video, text) are the same. Only the design and layout of the contents change, resulting in 4 different combinations.

In conclusion, with the same materials, many different contents types can be created to fit better to their purpose or environment.

For example, with default option web contents will look like this :



Fig.2 MPMeister contents using default generation settings.

After changing the design and the layout, the contents can look different while presenting the same materials :



Fig.3 Same presentation using different designs and layouts.

3. Enhanced features of MPMeister design templates

3-1 Contents generation dynamic options

While most applications using designs templates only modify the contents appearance, MPMeister goes much further by customizing the contents generation module's behavior. Dynamic options are available (or not) depending on the design template. For example, some customers want to forbid users to print out contents for security reasons. In MPMeister, one of the design templates provides such a feature : if someone tries to print out some contents created with this design template, the printed page will be blank (actually, it will only contain a message explaining that printing is not allowed). There are numerous examples and possibilities of using these contents behavior options.

The last paragraph gave a simple example of a dynamic option that can be really useful for companies where information security is vital. But if another company wants to use the exact same template (same colors and size), but does not need the option to forbid

printing, that option should not be available in order to keep the settings simple to configure.

Because this option comes from the design template itself and not from MPMeister, it is very easy to not include it to the template provided to the second company. This way we can really match customer needs, no less but also no more, in order to keep MPMeister easy to use.

3-2 Localization

MPMeister design templates also support localization. The same contents can be generated using different languages. The language definitions (translations of the words) are stored inside the design template so here again; each design template can support different languages. If a customer asks for the same design in a new language it is also possible to modify the template to add the needed language.

4. A new way of doing contents research and development

4-1 Classic research and development

Using a classic research and development schema, a product is created step by step using the following phases : requirements definition, specifications definition, design, development, testing, quality assurance and finally release.

Those phases are always needed to provide good products, and in the case of a product such as MPMeister these tasks are both long and expensive to carry, which makes it difficult to be reactive to upcoming requirements or technologies.

4-2 Research and development using design templates and layouts

Basically the same typical phases are needed, but since design templates are used dynamically by

MPMeister, the contents research and development can be done separately from the MPMeister research and development. Practically, it means that we can research and develop new contents without changing MPMeister. This is a very important both technical and commercial point since it cut costs for Ricoh (and thus for customers), and it allows much quicker responsiveness to new requirements and technologies. As for MPMeister application, by saving contents research and development time and cost, we can concentrate on other aspects of the software, such as the ease of recording and editing, or the inclusion of other media than video and slides.

5. Business opportunities

Since designs templates can be added to MPMeister to create more customized contents, we can now offer new designs templates as needed by customers as new additional products. This service is not only technical but also includes consulting about contents quality (ease of access and view).

ローエンドビジネスフルカラー複合機 IPSiO GX3000S/SF

Low End Business Full Color MFP IPSiO GX3000S/SF

割柏 吉晴*	森 孝司*	佐久間 英臣*	木幡 八州太郎**	原 栄治***
Yoshiharu WARIGASHI	Takashi MORI	Hideomi SAKUMA	Yasutaroh KOWATA	Eiji HARA

要 旨

リコー ローエンドビジネスフルカラー複合機IPSiO GX3000S/SFは、インクジェットでありながら両面印刷を含めた高い生産性と普通紙高画質を実現したGELJETプリンタIPSiO GX3000のプリンタ機能をベースにコピー、スキャナ、ファックス、DS（Document Solution）機能を搭載し、省スペースニーズの大きいSOHO、SWG、店舗系ユーザー向けに提供する小型複合機である。本製品の主な特徴は以下のとおりである。

- 1) 高粘度高浸透性顔料インクにて高速・高画質印刷を得るGELJETプリンタ技術の継承
- 2) GELJETプリンタのオプションユニットを生かした高生産性複合機
- 3) GELJETプリンタにコピー・スキャナ・FAX・DS機能を搭載した複合機
- 4) 超薄型ARDFとスキャナユニットによる小型形状デザイン・操作性及びTCOの削減

ABSTRACT

Ricoh Low End Business Full Color MFP, IPSiO GX3000S/SF, has been developed based on GELJET Printer IPSiO GX3000 function which has high productivity including duplex printing and realizes high image quality on plain paper with inkjet technologies, and supports copy, scanner, fax, and DS (Document Solution). It is a compact size MFP targeting SOHO, SWG, and users in stores who demand small space for its installation. The main features of the products are as follows.

- 1) Inheritance of GELJET Printer technology which enables high speed and high image quality printing by viscous and penetration pigment ink.
- 2) High productivity MFP taking advantage of GELJET Printer option unit.
- 3) MFP based on GELJET Printer and supporting copy, scanner, FAX and DS.
- 4) Compact design and user-friendliness by super-slim ARDF and scanner unit, and reduction of TCO.

* プリンタ事業本部 GJ設計センター

GJ Designing Center, Printer Business Group

** プリンタ事業本部 プリンタマーケティングセンター

Printer Marketing Center, Printer Business Group

*** リコーエレメックス株式会社 情報機器事業本部

Development & Designing Center, Ricoh Elemex Corporation

1. 背景と目的

GELJETプリンタは'04年2月に発売以来、リコー独自技術である高粘度高浸透性顔料インク（GELJETビスカスインク）、1.27インチワイドヘッド（GELJETワイドヘッド）、静電吸着ベルト搬送方式（GELJET BTシステム）により、従来インクジェットプリンタが不得意としていた両面印刷であっても滲みのない普通紙高画質と高印刷生産性を背景に国内ビジネスプリンタ市場でのシェア拡大に貢献してきた。

'06年5月には2世代目のGELJET IPSiO GX3000/5000を発売し、国内市場での大型一括商談獲得、海外市場への本格的参入等ビジネスプリンタ市場におけるGELJETプリンタの位置を確固たるものにしてきた。

本編では、そのGELJET IPSiO GX3000を母体にし、ローエンドビジネスフルカラー複合機として開発を進めてきたIPSiO GX3000S/SFの特徴について説明する。



Fig.1-1 Appearance of IPSiO GX3000S.



Fig.1-2 Appearance of IPSiO GX3000SF.

2. 製品概要

IPSiO GX3000S/GX3000SFの外観図 (Fig.1), ARDFユニットの機構概略図 (Fig.2), スキャナユニットのCCDモジュール機構概略図 (Fig.3) に示す。また、主な製品仕様をTable 1に示す。

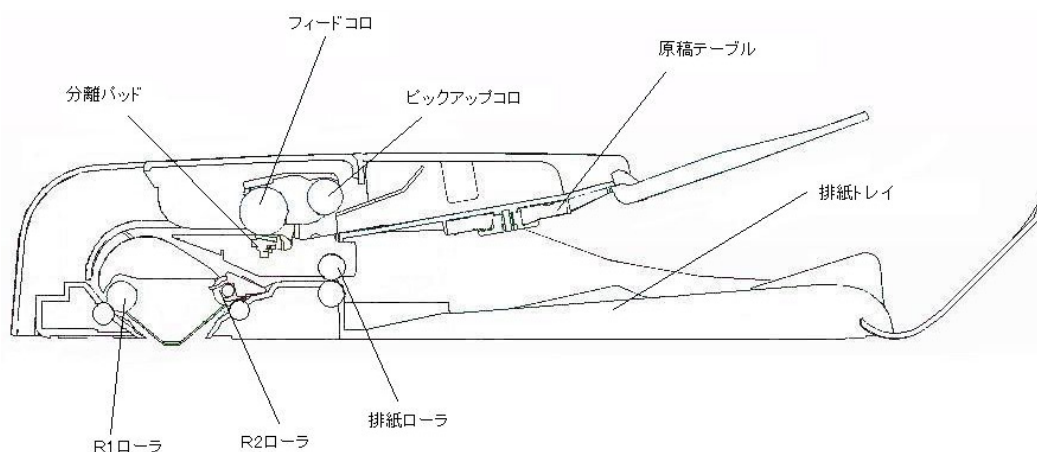


Fig.2 Layout of ARDF UNIT.

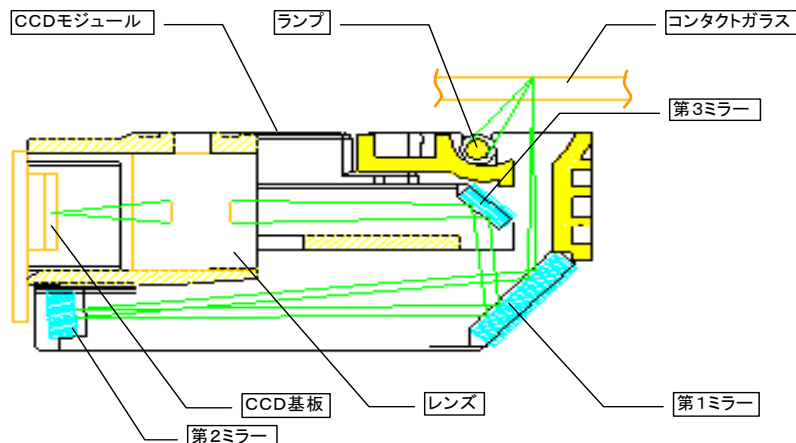


Fig.3 Layout of CCD Module.

Table 1 Specifications of IPSiO GX3000S/SF.

基本仕様		
製品名	IPSiO GX 3000S	
印刷方式	GELJETテクノロジー	
用紙搬送方式	GELJET BTシステム	
インク(C/M/Y/Bk)	高発色ピスカスインク(高粘度速乾性顔料インク)	
ノズル数	C/M/Y/Bk×各色192ノズル	
消費電力	動作時平均 50W以下 省エネモード時平均 11W以下	動作時平均 60W以下 省エネモード時平均 11W以下
ウォームアップタイム	35秒以下(電源投入時) 16秒以下(省エネモード復帰時)	
最大給紙量	850枚(標準トレイ:250枚 オプション手差しトレイ:100枚 オプション増設トレイ:500枚)	
読み取りセンサー	カラーCCD 光学的解像度:1200dpi×1200dpi (ARDF使用時は600dpi×600dpi)	
ARDF(両面自動原稿送り装置)積載枚数	- 標準搭載 30枚(69g/㎡紙)	
自動両面印刷	標準搭載	
給紙トレイ用紙厚	標準トレイ	普通紙 60～163g/㎡(52～135Kg)
	手差しトレイ(オプション)	普通紙 60～225g/㎡(52～135Kg)
	増設トレイ(オプション)	普通紙 60～105g/㎡(52～135Kg)
	ARDF	- 50～110g/㎡(45～90Kg紙)
インターフェース	標準	USB2.0 Hi-Speed
	オプション	内蔵ネットワークインターフェースカード(100BASE-TX/10BASE-T自動切換)
寸法	W436×D490.5×H366mm (オプション装着時 W436×D712.5×H443mm)	
重量	20.5kg(500枚増設トレイ・背面マルチ手差しユニット装着時 26.7kg)	
動作音	動作時:67dB 以下、待機時:34dB 以下	
耐久性(製品寿命)	プリンター部	5年または15万ページ(A4換算)
	スキャナー部	5年または15万ページ(A4換算)
	ARDF部	- 5年または10万ページ(A4換算)
関連規格	VCCIクラスB情報処理装置、国際エナジースタプログラム適合、 エコマーク商品類型No.122「プリンタ」適合	
コピー仕様		
解像度	読取:最高600dpi×600dpi 書込:最高600dpi×1,200dpi	
ファーストコピー速度	18秒以下(カラー:J6チャート) 17秒以下(モノクロ:J1チャート)	
連続複写枚数	最大99枚	
複写原稿	シート または ブック、A4、B5、郵便はがき	
拡大縮小コピー	50・71・82・86・93・115・122・141・200% 25～400%で1%刻み	
プリンター仕様		
解像度	最高3,600dpi×1,200dpi	
ファーストプリント速度	8秒以下(カラー:J6チャート) 5秒以下(モノクロ:J1チャート)	
連続プリント速度	8.5ppm(カラー:J6チャート) 10.5ppm(モノクロ:J1チャート)	
ページ記述言語	RPCSラスタ	
ドライバー対応OS	Windows98/Me/NT4.0(SP4以降)/2000/XP/2003Server/Vista MacOS 9(9.2～9.2.2)/Mac OS X(10.3～10.4.3)	
スキャナー仕様		
光学的解像度	600dpi×600dpi、TWAIN:100、150、200、300、400、600、1,200dpi (1,200dpiはグレースケールとフルカラーのフラットベッドのみ)、Scan to E-mail/FTP:150、300、600dpi(600dpiはモノクロのみ)	
階調	カラー	カラー:RGB各色8bit グレースケール:8bit モノクロ:1Bit
ファイル送信機能	Scan to E-mail Scan to FTP(内蔵ネットワークインターフェースカード)	
対応OS	TWAINドライバー Windows98/Me/NT4.0(SP4以降)/2000/XP/2003Server/Vista	
ファクス仕様		
通信モード	-	SuperG3
符号化方式	-	MH/MR/MMR/JBIG
適用回線	-	加入電話回線(PSTN)、自営構内回線(PBX)
TEL/FAX自動切替	-	対応
メモリ代行受信枚数	-	約240ページ
通信速度	-	G3:33.6k～2.4k bps(オートシフトダウン方式)
電送時間	-	G3:3秒台
ワンタッチダイヤル	-	最大30件
短縮ダイヤル	-	最大90件
順次同報送信	-	最大130件
インターネットファクス	-	対応(T.37シリアルモード)

3. 製品の特徴

3-1 IPSiO GX3000からの継承技術

IPSiO GX3000S/SFのプロッタ部は、IPSiO GX3000のプリンタ技術を継承している。IPSiO GX3000に搭載している高発色GELJETビスカスインクは、インクジェットとしては飛躍的に定着性を上げた高粘度高浸透性顔料インクである。特徴は増粘挙動を急峻にすることで紙への濡れ性に優れ、かつ水分蒸発により急激に増粘させることで、紙の表面には顔料が溜まり易く、画像濃度が高くなり、裏抜けも少ないインクとしている。このインク特性で従来のインクジェットでは困難であったインク受容層の無い商業用印刷コート紙（グロス紙）への印刷も実現している。

高発色ビスカスインクを吐出するGELJETワイドヘッドは、1.27インチに合計384ノズルを配置したピエゾ式アクチュエータを採用し液室容積を小型にして高い駆動周波数と小滴吐出を可能にしている。高い駆動周波数での吐出制御は、複数のインク滴を紙に着弾する前に空中で合体させるM-Dot（Modulated Dot Technology）により、最小2plから最大36plのインク滴を高精度の着弾位置を維持できるように打ち分けるとともに、600×300dpiで擬似ブラック印字（コンポジットブラック印字）を行うことで高速印刷と高画質印刷への対応を可能にしている。

高速印刷と高画質印刷対応技術のもう一つの主役であるGELJET BTシステムは、静電気吸着ベルトにより紙全面を吸着させて搬送するために従来インクジェットで採用されているローラー搬送方式に比べ、片面・両面どちらにおいても紙詰まりやこすれをおさえながら、印字位置精度と高速性の両立を達成したプリンタ技術である。

3-2 IPSiO GX3000S/SFの高生産技術

IPSiO GX3000S/SFでは「本格ビジネス仕様」によって、低価格A4カラー複合機としてビジネス市場で重要とされる高い生産性を、豊富なオプションを生かして実現している。

- ・高速1stコピー性能
カラー18秒以下※¹，モノクロ17秒以下※²
- ・高速カラー1stプリント性能
カラー6秒以下※¹
- ・高速連続コピー&プリント性能
カラー8.5枚※¹，モノクロ11枚※²
- ・自動両面プリント&コピー
両面印刷ユニットの全機種標準搭載と両面ドキュメントフィーダーのFAX機能搭載モデル標準搭載
- ・3Way給紙
本体トレイ，増設トレイ，マルチ手差しを用意し、大量印刷や機能毎に優先給紙トレイを設定した仕分け印刷ニーズへの対応
- ・グロス紙への印刷を可能にした印字品質

3-3 IPSiO GX3000S/SFに搭載した複合機能

IPSiO GX3000S/SFでは、省スペースニーズの高い店舗系、SOHO、SWGユーザーに対し、ビジネス仕様のプリンタ/コピー/スキャナ/FAX/DS機能を低価格で提供する。

3-3-1 コピー機能

通常コピーのほか、用紙指定変倍コピー、リピートコピー、ポスターコピー、ミラーコピーの4つの拡張コピーモードを搭載する。またその他にメモリスート機能、2in1コピー機能に対応する。

3-3-2 スキャナ機能

リコー製品では、このクラス初の“ScanToE-mail”と“ScanToFTP”を搭載し、お手軽ドキュメントソリューションを提供し、ファイル形式はPDF形式、TIFF形式、JPEG形式に対応する。またUSBとイーサネットの2つの通信IFに対応したTWAINスキャナ機能を提供する。

※¹ JEITA標準J6チャートを使用

※² JEITA標準J1チャートを使用

3-3-3 FAX機能

IPSiO GX3000S/SFでは、ITU-T T.30準拠のG3FAX機能のほかITU-T T.37 Simple Modeに準拠したインターネットFAX機能を搭載し、電話回線のほかインターネット、イントラネットを使ったFAX通信機能を提供する。

データ圧縮方式にはMR/MH圧縮のほか圧縮率の高いJBIG圧縮方式を採用する。

FAXの宛先は、ワンタッチダイヤル（30件）、短縮ダイヤル（90件）が登録できる。

3-3-4 DS機能

IPSiO GX3000S/SFでは、OCR機能とPDF作成機能を搭載した簡単操作の文書ファイリングソリューション製品を同梱するとともに、Ridoc製品にも対応する。

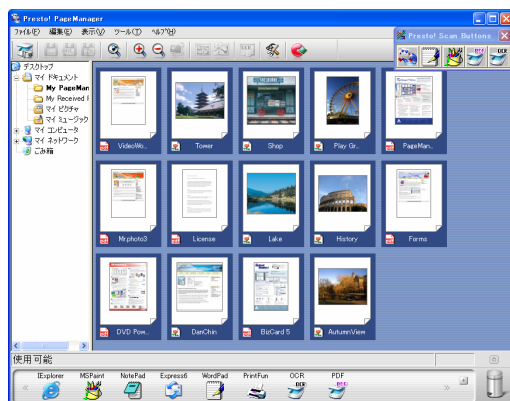


Fig.4 Document filing.

3-3-5 アドレス帳

ScanToE-mail, ScanToFTPとFAXの宛先には、宛先の直接入力のほかアドレス帳による検索機能を提供する。検索は本体メモリ検索とLDAP検索に対応し、お手軽な検索操作を実現する。

3-4 デザイン・操作性及びTCO削減

IPSiO GX3000S/SFは、ローエンドビジネスフルカラー複合機としてのデザイン・操作性を追及するとともにGELJETシリーズ共通のコンセプトのTCO（Total

cost of Ownership：本体価格・ランニング・管理コストも含めた生涯トータルコスト）の削減を提案している。

3-4-1 デザイン・操作性

本機は、ビジネス向け製品でありながら、コンシューマー製品の持つ品質感を取り入れ、SOHO、店舗（接客窓口、バックヤード）、一般オフィスなど、様々な設置環境にマッチする外観デザインになっており、ビジネス機に必要な操作性・生産性と両立させている。

- ① 超薄型のARDFとスキャナユニットによる高さ・幅、両面プリントユニット胴内実装による奥行きをそれぞれを凹凸なく小形化したデスクトップにすっきり収まる「スムースフェイス」デザイン
- ② 立ち・座りどちらでも使いやすい操作パネルの傾斜設定
- ③ 埃塵から給紙部を守る開閉可能なDF給紙カバー・給紙トレイカバー
- ④ フロントオペレーションによる簡易なインク交換
- ⑤ 大きな排紙スペースの確保による、大量排紙とアクセスのし易さ
- ⑥ 操作パネル上の豊富なワンタッチ設定キー
- ⑦ マルチ手差し（オプション）と増設トレイ（オプション）による3Way給紙



Fig.5-1 User-friendliness of GX3000SF with options.

- ⑧ カスタマイズ可能な「ワンクリック設定」による簡単印刷（プリンタドライバ）

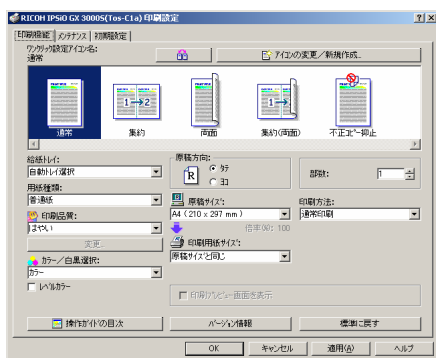


Fig.5-2 One click setting window.

- ⑨ 読み上げソフトに対応した電子マニュアル

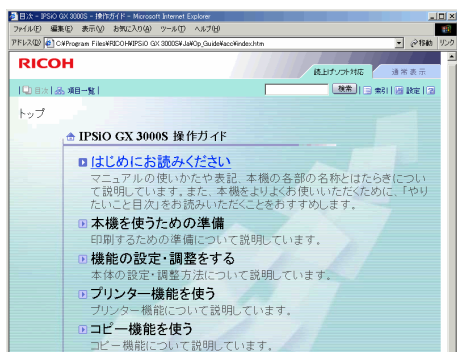


Fig.5-3 Electrical Manual example.

Server^{TM*1}などの管理ユーティリティによるマシン管理負荷の低減（*1 一部機能の対応）

4. 今後の展開

以上、IPSiO GX3000S/GX3000SFの特徴に関して解説した。

本機は、ビジネス用のローエンドカラープリンタとして発売したGX3000をベースに、コピー・スキャナ・FAX機能・DS機能を付加した小型複合機であり、さらに多くのユーザーへGELJET技術の価値を提供できる製品と考えている。

今後増々多様化高度化するニーズに対応すべく普通紙高画質・生産性・信頼性といった基本性能のレベルアップ、ビジネス用途を考慮した複合機能の向上を進め、ローエンドビジネスフルカラー複合機のスタンダードとなるような商品の開発を継続したい。

最後に、本機の開発・商品化にあたり、多くの方々にご指導、ご支援を賜りましたことに深く感謝いたします。

3-4-2 TCOの削減

先に発売したGX3000/5000シリーズにてお客様から高い評価を受けているTCOの削減を、本機においても、以下の5つのアプローチによって提案している。

- ・ レベルカラープリントによる印刷コストの削減
- ・ GELJET記録方式によるマシン維持費（メンテナンスフリー、低消費電力）の削減
- ・ ARDFの自動両面読取りと両面プリントユニットの自動両面印刷対応による用紙コストの削減
- ・ Scan to E-mail/FTP, インターネットFAX機能対応による通信コスト削減
- ・ Web Image MonitorTM, E-mailカウンタ・アラート通知, @Remote^{TM*1}, Ridoc I/O Operation

デジタル再生機 imagio Neo 352RC/452RC

Reconditioned Digital Copier imagio Neo 352RC/452RC

赤谷 桂一*
Keiichi AKATANI

堺 良博*
Yoshihiro SAKAI

桑山 尚司*
Takashi KUWAYAMA

清水 圭一*
Keiichi SHIMIZU

石井 哲一**
Tetsuichi ISHII

遠藤 秀明***
Hideaki ENDOH

要 旨

imagioNeo352RC/452RCはリコーのRC（Re-Conditioned）機シリーズとして商品化した中量層デジタル再生機である。循環型社会実現に貢献する環境調和型コピー機として環境保全への貢献（環境パフォーマンス）とトータルコスト低減（コストパフォーマンス）をコンセプトに開発した商品で、主な特徴は以下の通りである。

- 1) 再使用部品率80%以上（質量比）
- 2) エコマーク、国際エネルギースタープログラム、グリーン購入法、エコリーフ対応。
- 3) ライフサイクルアセスメント（LCA）における環境負荷（CO₂排出量）28%低減。

ABSTRACT

The imagioNeo352RC/452RC is a reconditioned digital copier of the middle-speed range which is commercialized as RC (Re-Conditioned) series copiers of Ricoh. It has been developed as an environmentally-friendly copier which contributes to realizing a cyclic society and is based on such concept as contributions to environmental conservation (environment performance) and a total cost reduction (cost performance). The main features are as follows :

- 1) Reconditioned part rate is over 80% (the mass ratio).
- 2) It deals with the following rules and regulations:
 - Ecomark
 - International Energy Star Program
 - Green purchase law
 - Ecoleaf
- 3) Environmental impact (CO₂ emission) in the Life Cycle Assessment (LCA) has been reduced by approximately 28%.

* MFP事業本部 リサイクル事業センター
Recycle Business Center, MFP Business Group

** リコーユニテック株式会社 第二生産事業部
Second Manufacture Technical Department, Ricoh Unitech Co., Ltd.

*** リコーエレメックス株式会社 情報機器事業本部
Information Equipment Division, Ricoh Elemex Corporation

1. 背景と目的

近年の経済発展は大量生産・大量消費・大量廃棄を生み、その結果、地球環境への負荷の増大が全世界的に深刻な問題となっている。日本国内では地球環境への負荷を削減する為、「循環型社会基本法」，「資源有効利用促進法」，「グリーン購入法」，「廃棄物処理法」等の循環型社会構築を目指した法律が整備されてきた。

リコーグループはコメットサークル（Fig.1参照）を基本コンセプトとし、3R（Reduce, Reuse, Recycle）活動を積極的に推進している。その活動は社会全体の環境負荷低減に貢献するだけでなく事業性も同時追及する環境経営を目指している。再生機はコメットサークルの内側のループに位置し、環境保全的にも経済的にも優れたリサイクルといえる。

本製品は2004年12月に発売した再生複写機 imagioNeo350RC/450RCに続き開発された。以下の環境基準に適合しており、タイプⅠ～タイプⅢ環境ラベルを全て取得した環境ラベル3冠製品となっている。

- ・リユース部品率80%以上（質量比）
- ・エコマーク取得（タイプⅠ環境ラベル）
- ・リコーリサイクルラベル取得（タイプⅡ環境ラベル）
- ・エコリーフ環境ラベル取得（タイプⅢ環境ラベル）
- ・国際エネルギースタープログラム基準適合
- ・グリーン購入法適合

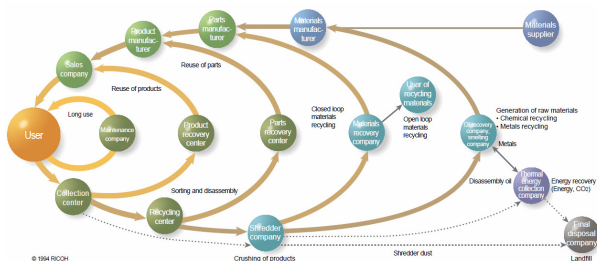


Fig.1 Comet Circle.

2. 製品の概要

imagio Neo352RC/452RCはリサイクル対応設計が施されているimagio Neo352/452の使用済機を回収して、再生処理している製品である。その為、基本機能についてはimagio Neo352/452と同様である。製品構成についてはimagio Neo352/452と異なりARDFと給紙カセットバンクを標準装備している。

ベーシックとモデル75（プリンター／スキャナモデル）および、ARDFの主な仕様をTable 1, Table 2, Table 3に示す。

Table 1 imagio Neo352RC/452RC specifications.

		Imagio Neo352RC	Imagio Neo452RC
型式		デスクトップ	
原稿台方式		固定	
感光体種類		OPC	
複写方式		乾式静電転写方式	
現像方式		乾式2成分磁気ブラシ現像方式	
定着方式		ヒートロール方式	
複写原稿		シート、ブック、立体物（最大A3）	
複写サイズ	トレイ／両面	最大A3（DLT），最小A5タテ（HLTタテ）	
	手差し	最大A3（DLT），最小A6タテ（ハガキ）	
解像度		600dpi	
ウォームアップタイム		15秒以下（20℃）	20秒以下（20℃）
ファーストコピータイム		4.3秒以下（第1トレイ）	3.6秒以下（第1トレイ）
連続複写速度（毎分）（紙サイズで異なる）		標準：35枚/A4ヨコ 19枚/A3	標準：45枚/A4ヨコ 22枚/A3
複写倍率	標準	1：1 1.15～4.00（拡大5） 0.93～0.25（縮小7）	
	ズーム	25～400%（1%単位の任意設定）	
給紙方式	本体トレイ	550枚×2段+手差し50枚	
	給紙テーブル	550枚×2段	
連続複写枚数		1～999枚	
用紙紙厚		52～163g/㎡（45～135kg）	
電源		100V，15A，50/60Hz	
最大消費電力		1.5kw以下	
大きさ（幅×奥×高）		670×650×1,130mm（ARDF除く）	
質量		116Kg（ARDF除く）	
エネルギー消費効率		約33Wh/h	約49Wh/h

Table 2 imagio Neo352RC/452RC Printer function specifications.

	352RCモデル75	452RCモデル75
解像度	600dpi×600dpi (2400dpi相当×600dpi)	
連続プリント速度	35枚/分 (A4ヨコ)	45枚/分 (A4ヨコ)
変倍	20～300% (RPCS時)	
インターフェイス	IEEE1284ECP準拠 (双方向パラレル) イーサネット (100BASE-TX/10BASE-T)	
プロトコル	NetBEUI, TCP/IP, IPX/SPX, IPP	
メモリー	標準192MB	

Table 3 ARDF specifications.

原稿サイズ	A3～B6
原稿紙圧	52～163g/m ² (45～135kg)
原稿積載枚数	80枚 (リコーPPC用紙タイプ6000の時)
複写速度 (毎分)	45枚 (A4ヨコ)
最大消費電力	約60W
大きさ (幅×奥×高さ)	570×518×150mm
質量	約12Kg

3. 製品技術

3-1 本体再生

3-1-1 はじめに

再生機は回収された製品を材料として製造されることから、新造機には無い再生機特有の製品回収という工程がある。以下に製品回収システムの概要について説明する。

3-1-2 回収システム

回収システムには、新品販売用の情報システムを發展させた、製品の納品と同時に回収・下取りした製品の情報を登録するシステムが導入されている。これによって販売会社および、再生・回収・リサイクルセンター間でリアルタイムに入庫・出庫・在庫情報の一元管理が可能となり、再生機の量産化を実現している。

また、効率良くリサイクルを行う為、回収情報ネットワークを利用した回収を行っている。このネットワークは機種コードを登録したバーコードによって、

使用済み製品の回収量・回収率等の情報を共用できる「リサイクル情報システム」を有している

使用済み製品を回収する際には、より良好な状態で回収できる様、保護部材を装着して回収を行っている。回収された製品は回収センターに集められ、回収センター内では品質評価・選別作業を行う為に回収基準・選別基準を設定し、その項目毎に品質評価・選別作業を行う。具体的には、回収製品の破損等の外観品質、製品内部のユニット欠品有無、付属品有無等を評価・選別する事で回収品質の良い製品確保が可能となり、回収から再生における工程の効率を高めている。

3-1-3 回収品質予測技術

回収機は先に記載した回収システムにより保護部材が装着された状態で回収され、さらに回収基準・選別基準により一定レベル以上の品質に保たれているにも関わらず、使用枚数、年数、使用条件等により摩耗・劣化状態および、外観等のバラツキが大きく、さらに回収における振動や衝撃による故障・破損が発生している場合がある。このような使用済み製品を効率良く再生する為の品質予測技術を開発している。

その中の一つとして、回収機にある一定の振動や衝撃を与え、発生する問題から実際に回収される機械の品質を予測する技術がある。この方法において、回収機に与える振動や衝撃は、実際に回収される製品に掛かる振動や衝撃のエネルギーを基に計算により求めたものを条件として使用している。また、高温高湿環境に一定期間放置し品質の劣化を確認する技術や、市場でのメンテナンス履歴が蓄積されたシステムを利用しデータを解析することにより回収品質を予測する技術がある。これらの回収品質予測技術を利用して予め発生する不良を予測し再生工程へ反映している。

3-1-4 再生工程の特徴

環境保全と経済性を両立しながら再生機事業を継続して展開する上において、再生コストの低減は最も重要な課題の一つである。その為、再生工程においては分解を最小限にした工程設計を追及している。

imagio Neo352RC/452RCにおいては、先に記載した「回収品質予測技術」により予測された不良項目を再生工程に反映し、再使用可能な部品の選定、分解レベルの決定を行っている。

3-1-5 再使用部品の清掃・洗浄

これまでの再生機においては、市場で使用されていた品質を維持する為、ある機械から取り外した部品は清掃・洗浄後、元の機械に組み付けられることを前提条件として工程設計されていた。しかしimagio Neo352RC/452RCにおいては特性値測定結果から、元の機械に組み付けるという前提条件を崩しても製品の品質を保証することができる部品が有る事が分かり、その様な部品については超音波洗浄を使用した「まとめ洗浄」を行う事により大きな工数低減を可能としている。

3-1-6 電磁クラッチ診断技術

電磁クラッチは一台の複写機に複数個使用されている部品であり、単価も比較的高い部品である。これまでの再生機においては、回収された製品に付いていた電磁クラッチ（以下回収電磁クラッチ）の品質を診断する技術が無かった事および、電磁クラッチに関する市場トラブルも多かった為、全数新品交換を行っていたが、環境負荷低減および、部品コスト低減を目的として回収電磁クラッチの診断技術を開発し再使用可否の判断を可能にした。

回収電磁クラッチの機能性評価により得られたSN比から再使用の可否を判断できる事が分かった。しかし再生工程においてSN比を測定し診断を行う事は作業工数および、設備の面から不可能であった。そこで簡易的にSN比を推定する方法について検討した結果、SN比と静摩擦トルクの間に相関があることが分かった（Fig.2参照）。再生工程ではこの相関関係を利用して静摩擦トルクからSN比を推定し再使用の可否を診断している。

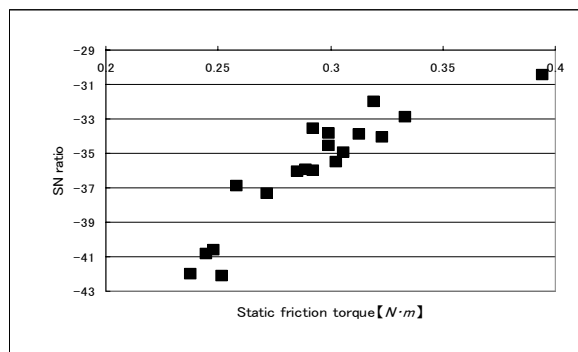


Fig.2 Static friction torque vs. SN ratio.

3-1-7 外装カバー再生

回収された製品の外装カバーの中には、市場で使用されている間に照射された紫外線（日光、蛍光灯）の影響によって変色したものが有る。変色が少ないものについては、色差計を使用し、変色状態を定量的に保証したカバーの外観規格を設定して再使用を行っている。変色が大きいものについては、そのカバーの材質と相溶性の塗料を使用して塗装を行うことにより、新品カバーに交換するよりも少ない環境負荷でカバーを再生することで、外装カバーの再使用部品率の向上を実現している。

3-2 ARDF再生

3-2-1 再生工程の特徴

imagio Neo352RC/452RCではこれまでの再生機で実績を得ているセル生産方式を改良して利用する事により、設備投資を最小限に抑えながらも品質の向上と安定化を実現している。

3-2-2 ユニット検査

これまでの再生機では分解・清掃が終わったユニットを製品に戻して機能検査を実施していたが、imagio Neo352RC/452RCではユニット単体で機能検査する工程を追加する事により、不具合の早期発見・早期対処が可能となった。この検査で保証された各ユニットを組付けて製品を完成させる事により、最終検査の効率化を実現し、さらに製品全体の完成度を上げる事が可

能となった。

3-2-3 異常音への対応

回収機における異常音の発生箇所と原因は、軸と軸受の接触面および、ギヤ同士のかみ合い箇所での摩擦抵抗が大きいことにより発生したり、モータ等の電装品の部品不良により発生したりと様々であるが、現在では異常音に関しての技術情報の蓄積が進み、清掃、注油、部品交換等の対応方法が明確化されている。imagio Neo352RC/452RCではこの技術情報を利用して効率よく再生を行っている。

また、過去に異常音が発生した箇所と類似の機構を持っている部品に関しては、生産準備段階で水平展開を行って未然防止を図っている。

3-2-4 プルアウトローラ診断技術

ARDFに使用されるプルアウトローラは、原稿のスキューを補正する機能を持つ部品である。これまでの再生機では、プルアウトローラのスキューを補正する機能そのものを評価せずに、特性値を測定することにより再使用の可否を判断しており、機能に問題の無いプルアウトローラであっても交換を行っていた。そこで、使用済みプルアウトローラについて機能性評価を行い再使用可否の検討を行った。

プルアウトローラの新品および、回収品において機能性評価を実施した結果、SN比について新品と回収品とで大きな差は見られなかった（Fig.3参照）。再生工程ではこの結果を利用し、通紙検査においてスキュー量が規格内であることを確認しプルアウトローラを再使用している。

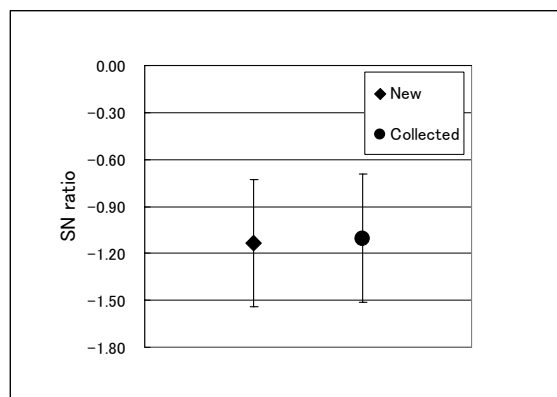


Fig.3 SN ratio of a collected pull-out roller and a new one.

4. 再生機の環境負荷低減効果

imagio Neo352RC/452RCを再生したことによる環境負荷低減効果を評価する為に、再生機および、新造機についてライフサイクルアセスメントを実施し、両者の環境負荷比較を行った。ライフサイクルアセスメント（Life Cycle Assessment : LCA）とは、原料採取から製造、使用、リサイクルという製品のライフサイクル全体における資源および、エネルギーの消費量、廃棄物の排出量等を考慮して、環境負荷を包括的に評価する手法である。

再生機のLCAを実施するに当たり、Fig.4に示すライフサイクルフローに基づいてLCAを実施した。再生機で投入する資源は過去に使用されていた製品である為、再生機のライフサイクルは新造機と再生機の2世代トータルとして算出した。また、新造機と再生機における使用期間が異なる点を考慮し、新造機は5年間使用、再生機は新造機で5年間使用の後、再生機で5年間使用、合計10年間使用されるものとし、それぞれ1年間あたりの環境負荷に換算した。再生機の部品リユース効果を調査する際には、比較対象として性能が全く同一であるimagio Neo352を選択した。その為、製品使用時における環境負荷については差異が無いので、集計に含めていない。

Fig.5は再生機imagio Neo352RCと、新造機であるimagio Neo352の製品ライフサイクル全体におけるCO₂排出量を示している。LCAの結果、再生機は新造機に

比べ28.2%のCO₂排出量削減をすることができた。

再生機が新造機よりCO₂排出量を大幅に削減できたのは、質量比80%以上という部品をリユースすることで、複写機の製品ライフサイクルで最も環境負荷の大きい素材製造から部品製造までの工程を省くことができたことによる。

このように再生機は大量の部品をリユースすることで省資源化に貢献するだけでなく、部品を新たに製造することによるCO₂の排出を抑えることで、地球温暖化防止に貢献している。

一部機能を現行の製品同等にする、機能のバージョンアップに関するニーズが市場において高まってきている。その様なニーズに応える為にも、一部機能のバージョンアップに対応した再生機の開発が必要であると考える。

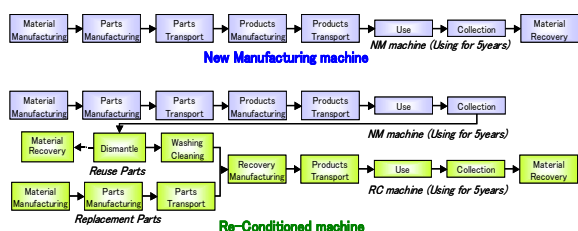


Fig.4 Life cycle flow of new manufacturing machine and re-conditioned one.

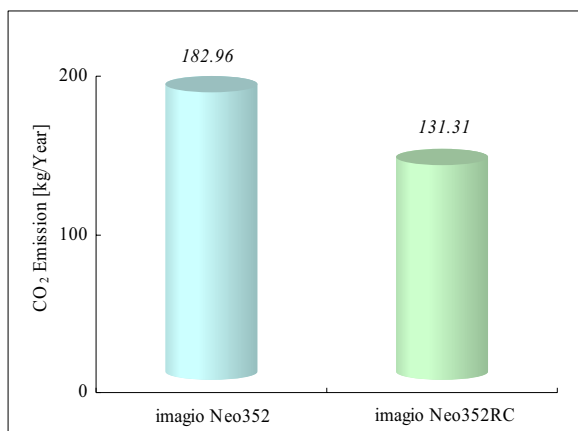


Fig.5 A CO₂ discharge by LCA.

5. 今後の展開

現在、市場ではモノクロ機からカラー機への変換が加速度的に進んでおり、今後回収される製品においてもカラー機の割合が増加する事が予想される。その為、カラー再生機の開発および、回収されたカラー機のユニット・部品の診断技術開発が重要になる。さらに、再生機は現行の製品に比べて5年程度前の製品になる為、

産業用途向けインクジェットヘッドGEN3E1の開発

Development of GEN3E1 Ink Jet Head for Industrial Application

町田 治*

Osamu Machida

外山 栄一*

Eiichi Toyama

要 旨

屋外広告用途の大型ポスター印刷や各種キャンペーン用の垂れ幕印刷等の超大型ワイドフォーマットプリンタに適したGEN3E1ヘッドを開発した。また、本ヘッドの広範囲のインクへの適用性と高信頼性を活かして、3次元造形用のインクジェットプリンタと、印刷業界で使用される色見本印刷用のプルーフプリンタにも適用された。GEN3E1ヘッドの特徴は、5～20mPa・sの高粘度領域のインクの吐出が可能であり、動作温度が室温から80℃であるため、さらに高粘度のインクにも対応可能である。また積層圧電素子の採用により500億ドット/ノズルと高耐久性・高寿命を実現した。

ABSTRACT

Gen3E1 ink jet print head was developed for the industrial application. The main application of this head is the wide format printer for the print of the large-scale poster and drop curtain print for various events. Further more, the applicability to wide range ink with various components and the high reliability find new area of 3D modeling in rapid prototyping and proofing of color sample used in printing business. The characteristic of Gen3E1 is ability to eject various ink higher than 5～20 mPa・s due to broad operating temperature from room temperature to 80℃. The adoption of stacked PZT, realizes high durability and long life around 50 billion dots per nozzle.

* リコープリンティングシステムズ株式会社 第一開発設計本部
Design & Development Division 1, Ricoh Printing Systems, Ltd.

1. 背景と目的

ソリッドインク方式刷版機への適用を狙った固体インク用インクジェットヘッドであるGen3ヘッドを1990年代に開発した。Gen3ヘッドはインクを加熱溶解するためのヒータを搭載しており、高温での使用に耐えられるようにインク流路をステンレスで形成し、また、独自に開発した耐薬品性に優れた接着剤で各部材を接着することにより、固体インク以外の様々な産業用のインクにも対応が可能という特長を持っている。

しかしながらGen3ヘッドは384個のノズルの配列がマトリックス構成であったため、産業用途に展開する場合、ヘッドの配置方法に制約があった。

一方で溶剤インクやUVインクなどの特殊インクを用いた印刷や造形等の産業用途分野でのニーズが高まり、最近ではカラーフィルタや配向膜などの液晶製造プロセスや導電性インクを用いた配線形成技術でも検討されている。

これらの要求に対応するためにGen3ヘッドの構造を踏襲し、かつ、ノズル配列をリニア構成にすることで様々なヘッド配列やユニット構成が可能なGen3E1ヘッドの開発を行った。

2. 製品の概要

2-1 Gen3E1ヘッドの仕様

Table 1にGen3E1ヘッドの仕様を示す。産業用途の場合、要求される1滴の液滴量は数pL～数十pLで適用先により異なる。全ての液滴量を1種類のヘッドで吐出させることは難しいため、Gen3E1ヘッドは比較的大きな液滴サイズである40～60pLをターゲットとしている。またこれ以下の液滴サイズのニーズに対しては、現在ではヘッドをシリーズ化し、必要な液滴量に対応してヘッドを選択できるようにしている。

Table 1 Specifications of Gen3E1 head.

項目	単位	仕様
方式		PZTプッシュ型
ノズル数	個	96
ノズルピッチ	inch	1/37.5
平均液滴量	pL	40-60
最大駆動周波数	kHz	20
平均液滴速度	m/s	6-10
対応インク粘度	mPa・s	8-20
対応温度	℃	MAX 80
外形寸法	mm	120W×8D×20H

2-2 Gen3E1ヘッドの構造・構成

Fig.1にヘッド構造の概略を示す。ハウジング内の共通インク通路に溜められたインクは各ノズルに対応して分離して形成された個別インク流路に導入される。個別インク流路を挟んでノズルと対向した壁は薄い振動板で形成されており個別インク流路の反対側には圧電素子が接着されている。圧電素子に電圧が印加されることにより伸長し、振動板を介して個別流路内に圧力変動を発生させ、圧力が上昇したときにノズルからインクが吐出される。

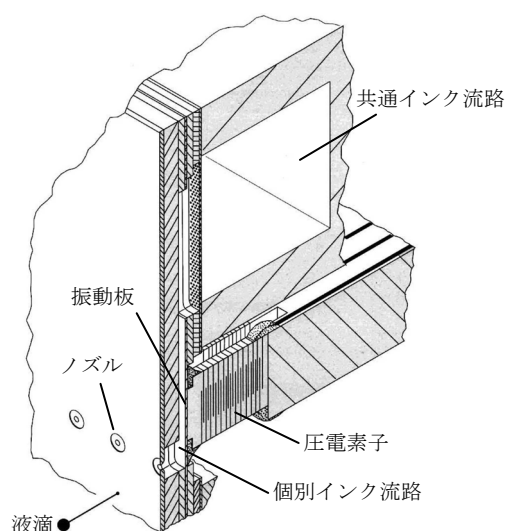


Fig.1 Structure of Gen3E1 head.

本ヘッドの方式・構造の特徴の一つは、圧力発生素子である圧電素子がインクに直接触れていない点である。このため、溶剤系インクや極性インクさらにUV硬

化タイプのインク等、様々なインクへの対応が可能である。さらにオプションでヘッドへのヒータの取り付けが可能であり室温では40mPa・s程度の高粘度の溶液でもTable 1の対応インク粘度範囲になるようにヘッドを加熱し、インクの温度調節をすることで吐出が可能である。またインク流路は0.1mm程度のステンレス板を積層して複雑なインク流路を形成しており各ステンレス板を接着している接着剤も、Gen3と同様、耐高温かつ耐薬品性を保つために特殊なエポキシ性接着剤を採用している。本ヘッドの特徴を下記する。またFig.2にヘッドの外観写真を示す。

1. オールステンレス製の流路構成で耐食性に優れる。
2. 積層圧電素子の採用により高周波領域まで安定した吐出が可能である。
3. 圧電素子とインクが隔離された構造であるため、多種多様なインクに対応が可能である。

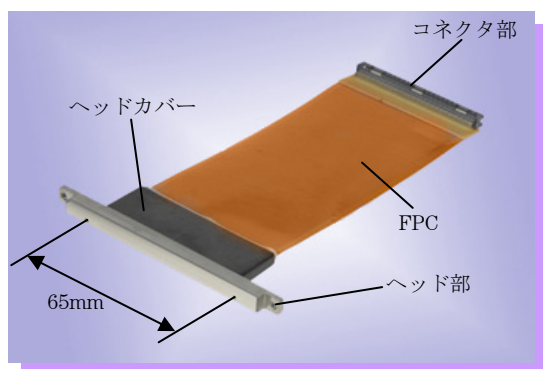


Fig.2 Picture of Gen3E1 Head.

3. 技術の特徴

3-1 ノズルの撥インク処理技術

産業用途では通常のプリンタで使用される水性インクのみならず油性インクやUVインク、さらに各種の機能性インクの吐出が考えられる。一般的なインクジェットヘッドのノズル面はインクによる濡れを防止するために撥インク処理が施してある。これは、ノズル近傍に濡れが発生すると、吐出したインクが濡れた

部分に引き寄せられて吐出方向が曲がる現象を防止するためである。さらにこの撥インク処理膜はノズル面のインクを拭き取るワイピングに耐え得る耐擦性が必要である。水性インクに対しては耐擦性や製法が安易であることから、フッ素含有の共析メッキが使用されることが多い。しかし共析メッキ面は油性インクやUVインクに対しては逆に親水性を示すため使用できない。

そこで顧客の使用インクごとにヘッドを部分的にカスタマイズしているが、撥インク処理もその一つである。厚さ数十nm程度のフッ素系単分子膜と厚さ1μm程度のフッ素系樹脂膜をそれぞれ単独あるいは複合膜として用いている。またインクに対する耐擦性に関しては上記撥インク処理時のノズル面の前処理によって大きく異なることから各インクに対して前処理条件の最適化を実施している。Fig.3にノズル面の前処理法と撥インク処理剤の選択できる組み合わせを示す。

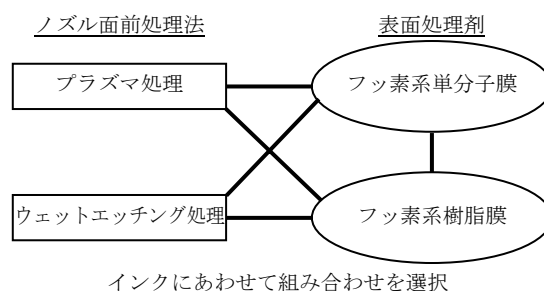


Fig.3 Combination of the surface treatment.

前処理の効果を示す例として、Fig.4にUVインクに対するノズル面の摺動試験による接触角の変化を示す。

前処理としてプラズマ処理を最適条件で施し、その後フッ素系樹脂膜とフッ素系単分子膜の複合膜を形成した。ヘッド表面をUVインクを湿らせたクリーニングペーパーに荷重100g/cm²を加えながら一定回数摺動させた後の接触角を測定した。前処理を施さない場合には摺動回数1000回以下でインクに対する接触角がノズル面の濡れの影響が出る目安の50°以下に低下するが、最適条件でプラズマ処理を施すことにより摺動回数5000回後においても接触角が50°以上を維持していることが分かる。

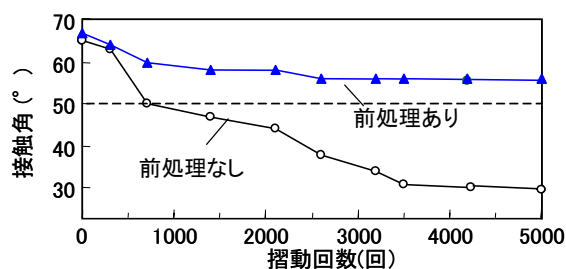


Fig.4 Contact angle of the nozzle surface.

このように顧客インクに合わせた表面処理を最適化することにより幅広いインクへの対応が可能となり、加えて各インクに対する信頼性が向上している。

今までにUVインクのほかに水性、油性及び溶剤系のインク、さらには導電インクやレジスト等の機能性インクの一部に対して、本機インク処理の効果を確認している。

3-2 産業用途へ適用例

3-2-1 三次元造型機への適用

インクジェットヘッドを用いた三次元造型機は、従来のレーザを用いた三次元造型機と比較して、安価で高速に製作可能な装置である。2種類のUVインクを用い、硬化材とサポート材を同時に積み上げて、最後にサポート材を除去することにより今まで不可能だった中空部のある造形品の一括製作が可能である。Fig.5にインクジェット方式による三次元造形法の原理を示す。

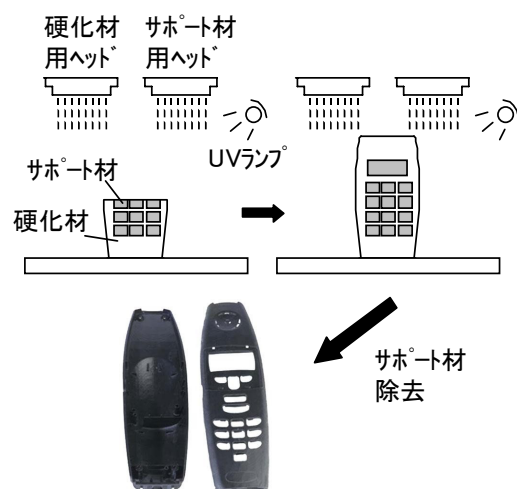


Fig.5 Method of 3-D modeling.

Fig.6に示すObjet Geometries社製Eden330にはGen3E1ヘッドが硬化材用とサポート材用に各4ヘッド搭載している。ヘッドにはヒータが取り付けられており、80℃に加熱することにより室温では高粘度のUV硬化型ポリマーを吐出可能としている。



Fig.6 Eden330 Rapid prototyping systems. (Objet Geometries Ltd.)

3-2-2 ワイドフォーマットプリンタへの適用

ワイドフォーマット (WF) プリンタはIJヘッドが最も適用されている分野であり数社にGen3E1ヘッドを供給している。印刷幅は最大で2.5m程度、搭載ヘッド数も最大で150ヘッドの装置がある。

WFプリンタの対象とする印刷物はビルボードや看板といった屋外で使用される場合が多いため印刷メディアは紙のみではなくビニールに印刷して化学反応で定着させるケースもある。そのためインクは溶剤系が多く、一般のIJヘッドでは樹脂部分や接着剤の溶出が問題となるため、耐薬品性に優れたGen3E1ヘッドが採用されている。

Fig.7にGen3E1ヘッドを16個搭載し、最大幅で184cmの印刷が可能なColor Span社製のWFプリンタを示す。



Fig.7 DisplayMaker 72s WF printer. (MacDermid ColorSpan Inc.)

これらのニーズに対応するために、現行のPZTプッシュ式ステンレス構造を継承した次期産業用IJヘッドの開発を進めていく。

4. 今後の展開

現在、Gen3E1ヘッドはWFプリンタや三次元造型機向けを中心に供給している。今後の産業用途でのIJ応用は、紙等のメディアへの印刷以外の機能性インクを用いた各種の工業用製造装置としてのニーズが高まると予想される。Table 3に今後予想される産業用途のIJ応用分野を示す。

Table 3 Industrial application of IJ method.

分野	項目	内容	インク
ディスプレイ	LCD (液晶)	配向膜	配向膜材料
		カラーフィルタ	着色レジスト
		ビーズスペーサ	微粒子分散インク
	OLED (有機EL)	発光材	有機EL材
		ホール注入層	PEDOT (導電性インク)
	共通	TFT	有機半導体材料
		絶縁膜	樹脂インク
電極		導電性インク	
回路基板	配線パターン	配線	導電性インク
		レジスト	レジスト樹脂
	絶縁膜	層間絶縁	樹脂インク
	有機半導体	半導体	有機半導体材料
	部品	抵抗体	セラミック 分散インク
3D造形	3D造型機	3Dモデル	UV樹脂

これらの分野に関しては、紙等への印刷と比較して印刷（塗布）物が各々の機能仕様を満たす必要があるため、塗布量や塗布位置に高い精度が要求される。従ってIJヘッドの液滴重量や直進性等の更なる高性能化が要求される。



デジタルカメラ Caplio GX100

Caplio GX100, Digital Camera by Ricoh

岩崎 徹也*

Tetsuya IWASAKI

谷本 典哉*

Noriya TANIMOTO

篠原 純一*

Junichi SHINOHARA

中平 寿昭*

Toshiaki NAKAHIRA

水藤 浩*

Hiroshi SUTOH

小野 信昭**

Nobuaki ONO

大橋 和泰**

Kazuyasu OHASHI

要 旨

Caplio GX100は、ハイエンドコンパクトデジタルカメラとしての地位を確立したGR DIGITALとともに、リコーハイエンドコンパクトにおける2大ブランドとして広角ニーズに対応しながら実用性を重視し、開発されたデジタルカメラである。『自在な表現力』，『安心感のある高画質』，『安心感のある操作性』，『実用性を追求した機能的なデザイン』をKeywordに高画質でありながら持ちやすさ，操作性，実用性，拡張性を追求したモデルである。

主な特徴は以下の通りである。

- 1) 24mm-72mm相当[※]の光学3倍ズームレンズ搭載
- 2) CCDシフト方式手ブレ補正搭載小型鏡胴
- 3) 有効1001万画素CCD搭載，新画像エンジン採用による高画質
- 4) 着脱式チルト対応液晶ビューファインダー
- 5) 超広角19mm相当[※]のワイドコンバージョンレンズ対応

※ 35mm判カメラ換算焦点距離

ABSTRACT

Caplio GX100 is a digital camera which has been developed aiming to achieve practical utility while meeting with demands for wide angle capability as one of two principal models among Ricoh high-end compact cameras together with the GR DIGITAL which has positioned as the high-end compact digital camera. Keywords of the Caplio GX100 are “Flexible expressive power”, “Reliable high quality”, “Reliable operability” and “Functional design for practical utility”, and it pursues easiness for hold, operability, practical utility and versatility.

Main features of the Caplio GX100 as follows;

- 1) Optical 3x zoom lens from 24mm to 72mm[†].
- 2) Compact lens barrel with a vibration correction system in CCD shift method.
- 3) High picture quality achieved by using a 10.01 megapixel CCD and a new imaging engine.
- 4) Removable electronic viewfinder with a tilt mechanism.
- 5) 19mm[†] ultra wide angle conversion lens (optional).

[†] 35mm camera equivalent

* パーソナルマルチメディアカンパニー ICS事業部

Image Capturing Solution Division, Personal MultiMedia Products Company

** 画像エンジン開発本部 モジュール開発センター

Module Development Center, Imaging Engine Development Division

1. 背景と目的

近年のデジタルカメラ市場では、コンパクト機の多画素化やデジタル一眼レフの普及にみられるように、高画質への要求が高まっている。中でもデジタル一眼レフは近年の低価格化の影響もあって急速に普及しているが、一方で携帯性には制約がある。このような状況の中で、リコーでは高画質&コンパクトのフラッグシップ機であるGR DIGITALと並び、高画質かつ操作性、実用性、拡張性を追求したコンパクトデジタルカメラCaplio GX100を開発した。

本稿ではCaplio GX100の主な特徴を中心に記述する。

2. 製品の概要

本機の主な特徴をTable 1に示す。

Table 1 Caplio GX100 Major Specifications.

記録フォーマット	<静止画>圧縮：JPEG (Exif ver.2.21), RAW (DNG) DCF V2.0対応, DPOF V1.1対応 <動画>AVI (Open DML Motion JPEG フォーマット準拠) <音声>WAV (Exif ver.2.21 μ law)
記録媒体	SDメモリーカード/SDHCメモリーカード/ マルチメディアカード, 内蔵メモリー (26MB)
撮像素子	1/1.75型原色CCD 有効画素1001万画素
画素数 (ピクセル)	<静止画>3648×2736, 3648×2432, 2736×2736, 3264×2448, 2592×1944, 2048×1536, 1280×960, 640×480 <文字モード>3648×2736, 2048×1536 <動画>640×480, 320×240 <斜め補正モード>1280×960, 640×480
記録モード	静止画 (連写, S連写, M連写), 絞り優先, マニュアル露光, プログラムシフト, 動画, マイセッティング, シーン (ポートレート, スポーツ, 夜景, 遠景, 文字, 高感度, 斜め補正, ズームマクロ)
記録枚数 (26MB)	<静止画> 3648×2736 RAW : 1枚 F : 6枚 N : 11枚 3648×2432 RAW : 1枚 F : 7枚 N : 13枚 2736×2736 N : 8枚 3264×2448 N : 14枚 2592×1944 N : 22枚 2048×1536 N : 35枚 1280×960 N : 62枚 640×480 N : 276枚
記録時間 (26MB)	<動画>640×480 30fps 12秒, 320×240 30fps 39秒
レンズ	焦点距離 f=5.1~15.3mm (35mm換算24~72mm相当) 明るさ (F値) F2.5~F4.4 レンズ構成 7群11枚 (非球面4面4枚)

手ぶれ補正機能	CCDシフト方式
絞り	7枚羽根,12段階構成
シャッター	<静止画>180, 120, 60, 30, 15, 8, 4, 2, 1~1/2000秒 (電子シャッター,メカニカルシャッター併用) <動画>1/30~1/2000秒 (電子シャッター)
撮影距離	通常撮影距離:約0.3m~ ∞ マクロ撮影距離:約0.01m~ ∞ (広角端) 約0.04m~ ∞ (望遠端)
デジタルズーム	4倍
ISO感度	AUTO, AUTO-HI, 80, 100, 200, 400, 800, 1600
液晶モニター	2.5型 透過型アモルファスシリコンTFT液晶 約23万画素, 視野率100%, 視野角170度 (上下・左右)
フラッシュ (内蔵)	手動ポップアップ方式 オート (逆光時自動発光)/強制発光/スローシンクロ/発光禁止/赤目軽減/ソフト到達距離:約0.2~5m (広角端),約0.15~3m (望遠端)
電源	専用リチウムイオン充電電池 (DB-60 同梱) ACアダプター (AC-4 c 別売) 単四型電池×2 (アルカリ/ニッケル水素充電電池 別売)
A F 補助光	あり
外形寸法	111.6mm (W) ×58mm (H) ×25.0mm (D) (突起部含まず)
質量	約220g (バッテリー/SDメモリーカード/ストラップは含まず)

液晶ビューファインダーの主な特徴をTable 2に示す。

Table 2 LCD Viewfinder Major Specifications.

画像表示部	反射型強誘電性液晶 約20.1万画素相当
レンズ構成	3群4枚
視野率	100%
視度補正	-5~+3Dpt
外形寸法	19.6mm (W) × 37mm (H) × 39.4 (D) (突起部含まず)
質量	約22g

3. 製品の特徴

3-1 撮影レンズ

Caplio GX100 (以下GX100) に搭載した撮影レンズは、広角端24mm相当^{*}からスタートする3倍ズームであり、前身機であるCaplio GX8 (以下GX8) が28mm相当^{*}からスタートするのに対し、より広角化を推し進めたものである。

Fig.1に本撮影レンズの構成と、ズーム時の移動軌跡を示す。

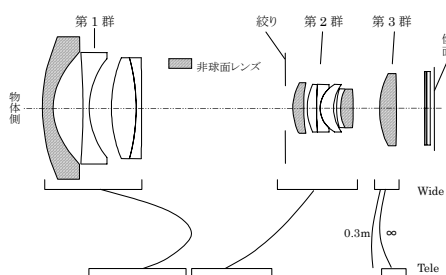


Fig.1 Construction of Taking Lens.

基本的な構成は、物体側から順に、負の屈折力を有する第1群、正の屈折力を有する第2群、正の屈折力を有する第3群を配置してなる、いわゆる負正正3群ズームタイプで、GX8を踏襲したものである。しかし、さらなる広角化・高画質化を実現するためには、GX8よりも高度な収差補正が不可欠であり、本撮影レンズの設計には以下のような特徴を持たせた。

第1群は3群4枚構成（負・負・正負）とし、最も物体側にはφ20mmを超える大口径のガラスモールド非球面レンズを採用した。これにより、24mm相当^{*}の広角域においても、歪曲収差を十分に補正することが可能となっている。

第2群は3群6枚構成（正・正負正・負正）とし、最も物体側と最も像側にそれぞれ非球面レンズを配置した。GX8の第2群が3群4枚構成（正・負正・正）であったのに対し、GX100ではより複雑な群内構成を採っているが、これは主に色収差を補正するための工夫である。特に広角化に伴って増大しがちな倍率色収差や、コマ収差の色（波長）によるばらつきを、より小さく抑えることに成功し、画面周辺部に現れがちな放射方向の色滲みを十分に低減している。

第3群はGX8と同様、正の非球面レンズ1枚で構成するフォーカシング群である。望遠端におけるマクロ撮影時の最短撮影距離の短縮を考慮し、その屈折力を最適化している。

さらに、計7群11枚構成の本撮影レンズは、2枚の特殊低分散レンズを含んでいる。特殊低分散ガラスの中でもより蛍石に近い特性を有するものを採用し、効率

的に色収差を補正することで、レンズ全系の小型化を達成した。

Fig.2に広角端、絞り開放におけるMTF曲線を示す。画面周辺部まで破綻なく、高い結像性能を有していることが分かる。

また、この周辺部まで均一な像性能を安定して得るため、後述する複数箇所の偏心調整を、生産時の標準工程に盛り込んでいる。最適な調整方法を独自のシミュレーションにより決定し、専用に開発した調整システムによりミクロン単位の制御を実施することで、高いレベルの品質確保が可能となった。

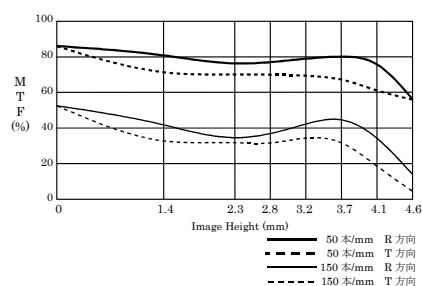


Fig.2 MTF of Taking Lens.

3-3 鏡胴ユニット

Fig.3にGX100の鏡胴ユニット構成斜視図、Fig.4に鏡胴ユニットの一部を断面にした斜視図を示す。鏡胴ユニットは主に変倍を行う第1群、第2群、主にフォーカシングを行う第3群に分かれており、第1群、第2群はDCモータを用いたカム駆動方式、第3群はパルスモータを用いたリードスクリーン駆動方式を採用している。

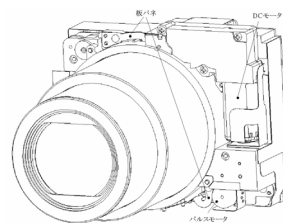


Fig.3 Outline View of Optical Unit.

第1群、第2群は、内径に光軸方向の位置関係を決めるカム溝が形成されている回転筒と各レンズ群を直進

ガイドしている直進ガイド筒に保持されており、直進ガイド筒を板バネで像面側に付勢することで、第1群、第2群の倒れを安定させ光軸のずれを少なくしている。

第3群は、リコー独自のリトラクティングレンズシステムを採用することで、撮影時にはリードスクリューの回転により光軸上での繰出しを行い、収納時にはカム機構により回転筒の外側へ退避することができる。これにより薄型化とフォーカシングの機能を両立している。

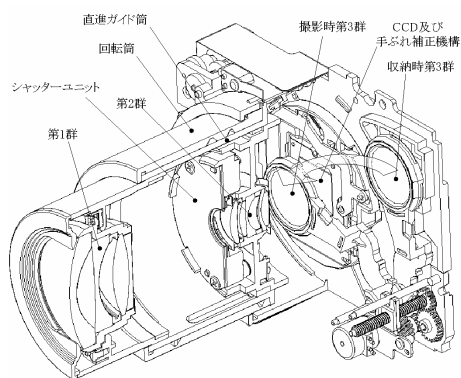


Fig.4 Sectional View of Optical Unit.

撮影レンズの性能を最大限に引き出すために、第1群をサブユニット化して他のレンズ群の光軸に傾きを合わせる調整を行い、第2群においては群内のレンズ同士の光軸位置調整を行っている。さらに、CCDの傾きを調整することによって撮影レンズの最良像面を確実に捉え、いずれの焦点距離においても周辺部まで像劣化の少ないズーム鏡胴ユニットを達成している。

また、GX100の鏡胴ユニットには、リコー独自のCCDシフト方式手ブレ補正機能が搭載されており、望遠端やシャッタースピードが遅くなる撮影条件時などで、手ブレによる画質劣化の影響を効果的に抑制している。

これらの技術により、コンパクトでありながら高画質かつ様々な撮影条件での撮影を可能とした。

3-3 撮像素子と画像処理

GX100に搭載している撮像素子は、単位画素サイズが $2.0\mu\text{m}$ 、総有効画素数が約1011万（水平3672画素、

垂直2752画素）、光学サイズが1/1.75型（対角9.155mm）のインタライタイプCCDである。1000万画素クラスの採用は、GX8で採用した800万画素クラスの撮影範囲に対する解像力を、焦点距離が短くなり、相対的に被写体の空間周波数が高くなっても、維持することを意図としている。

その駆動方式は、カメラの撮影状態や撮影モードによって異なり、大別すると静止画撮影モードでのモニタリング駆動、静止画駆動、動画駆動の3つに分けられる。

静止画のモニタリング駆動においては、被写体の追従性や、AF（Auto Focus）・AE（Auto Exposure）・AWB（Auto White Balance）のレスポンスを維持しつつ、消費電力の面でも有利な駆動方式を採用している。

また、静止画駆動においては、6フィールド転送方式（フレーム転送を、第1～第6フィールドに分割し、順次転送する方式）が採用されている。1画面を多フィールドに分割し転送する技術は、単位画素サイズが小型になっても、従来品と同等の取り扱い電荷量を維持するために開発された技術であり、既に多くの撮像素子で採用されているが、今回採用された撮像素子の6フィールド分割方式は、分割数としてリコーの歴代デジタルカメラにおいて最大のものとなっている。

一方、動画駆動においては、VGA（ 640×480 ）の解像度で、30fpsのフレームレートを実現するため、垂直方向の画素間引きに加え、水平同色2画素の画素混合を行っている。この駆動方式を採用することにより、機器全体の消費電力への影響が大きい水平転送クロック周波数を、静止画モニタリング駆動と同等の周波数に抑えつつ、高解像度高フレームレートの動画記録を実現している。

このようにして出力される撮像素子の映像信号は、次段のICでCDS（Correlated Double Sampling）後、A/D変換され更に次段の画像信号処理LSI、Smooth Imaging Engine II（以降SIE II）へと送られる。SIE IIでは、豊富なフィルタリング処理に加え、色補正機能の充実により、低ノイズで且つ色再現性の良い画質が得られるようになっている。

またSIE IIでは、従来の画像信号処理LSIに比べ、処

理の高速化においても改善が図られている。画像信号はCCD-RAW取り込み、YCC変換、圧縮と、各種信号処理を経てファイル化される。これらの信号処理シーケンスと、ワークメモリを最適化設計することにより撮影間隔約1.5秒でメモリカードがいっぱいになるまで撮影することが可能となっている。また画像サイズが大きくなるRAW撮影においても従来製品の半分以下の処理時間で記録できるようになっている。

3-4 全体構成

Fig.5にGX100の全体構成を示す。外装構成、基板配置等はGR DIGITALを踏襲しているが、新規課題に対応するために全面的に新規設計となっている。

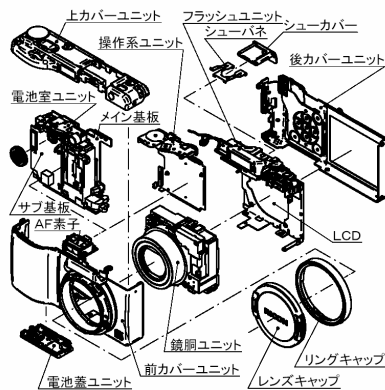


Fig.5 Total Construction of GX100.

フラッシュ部は、24mm相当※という広角配光を有するフラッシュ光が鏡胴によってケラレないように前方に突出させ、その分ポップアップ量を抑制して機構的安定性を高めている。前方に突出したフラッシュ部は鏡胴上部に配置することで、デザイン的なまとまりを維持している。

グリップ部はホールド性を最優先とし、モックアップによる評価を実施した上で、手のひらにフィットする最適形状を採用している。

LCDは、様々な観察条件下でも表示品質が維持できることという点に配慮し、2.5型、約23万画素の広視野角・微反射タイプを採用している。

外装カバーはGR DIGITAL同様3点構成だが、上カバーはフラッシュ関連機構対応等での機能的構造を優

先させて樹脂素材とした。前後カバーはアルミ素材を採用し、ハイエンドカメラとしての品位を確保している。

3-5 多彩な設定機能

GX100では、様々な撮影シーンに応えるため、GR DIGITALに引き続き多彩な設定機能を用意している。設定機能については、電源投入時の設定を登録するマイセッティング登録機能を強化している。GR DIGITALにおいては、電源投入時のみこの機能が有効であったが、モードダイヤルにマイセッティング機能を独立させ、ユーザがいつでも機能呼び出せるようにしている。登録できる内容も画質設定だけでなく起動時のズームや、フォーカスポジションに至るまで登録可能とし、シャッターチャンスを逃さず撮影できるよう配慮されている。

またGX100からの新機能として新たにファンクションボタンを備えている。ファンクションボタンにはAEロックなどの撮影設定を割り当てることができ、1回のボタン操作で設定された機能呼び出すことができる。

記録サイズに関しては新たに1:1のアスペクト比で撮影できるスクエアフォーマットを用意している。画像処理としては4:3の画像データに対し、左右をトリミングして1:1のアスペクト比に変換しているのだが1000万画素の多画素CCDを採用しているため、十分な解像を得ることができる。

またデジタルカメラならではの撮影機能として、掲示板などの四角い被写体を斜め方向から撮影する場合、撮影した画像を正面から撮影したように補正する斜め補正機能も有している。

3-6 液晶ビューファインダー

GX100の特徴の一つにFig.6に示すような幅広い拡張性が挙げられる。

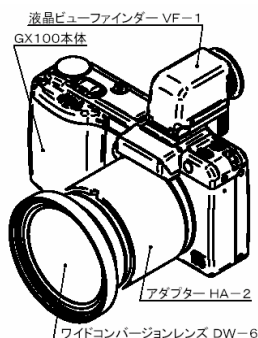


Fig.6 Expansibility of GX100.

Fig.7に詳細を示した液晶ビューファインダーVF-1は、高精細・高倍率の表示を実現するとともに、ワンタッチ装着機構や、広い視度補正範囲（-5～+3Dpt）、チルト機構等を実現したユニークな構成となっている。

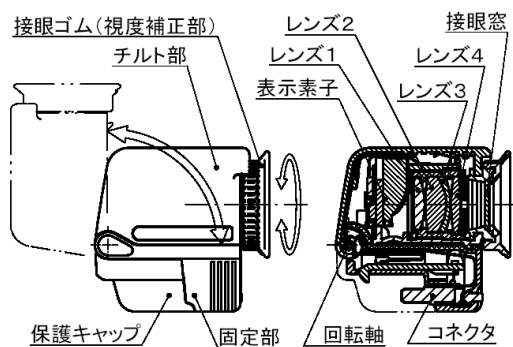


Fig.7 Construction of LCD Viewfinder.

表示素子には、0.2型、約6.7万画素の反射型強誘電性液晶を採用している。強誘電性液晶の高速応答性を利用し、三原色の画像を時分割で表示するフィールドシーケンシャル方式を採用することで、サブピクセル方式での20.1万画素相当の解像度を実現している。

ファインダーレンズは小型で高倍率を達成するために3群4枚構成を採用し、フラッシュのポップアップ部に収まる外形サイズにもかかわらず広角端24mm相当[※]時において像倍率0.23倍を実現している。高倍率化による倍率色収差の発生を抑えるためガラスの接合レンズで色消しを行い、非球面を1面含む樹脂製のレンズ2枚で歪曲収差や他の収差補正を行う構成となっている。また視度補正範囲を広く取るため視度の変化による像性

能の変化を極力抑え、-5Dptから+3Dptという広い範囲で良好なファインダ像を得られる光学系となっている。

3-7 ワイドコンバージョンレンズ

GX100のワイドコンバージョンレンズDW-6はガラスレンズ3枚で構成され、0.79倍の倍率を有し、焦点距離19mm相当[※]、画角103°の超広角を実現している。

DW-6は、本体にバヨネット方式での着脱されるアダプターHA-2の先端にφ43mmのフィルタネジで着脱する構成となっており、HA-2先端には専用フードや汎用フィルタの装着も可能である。

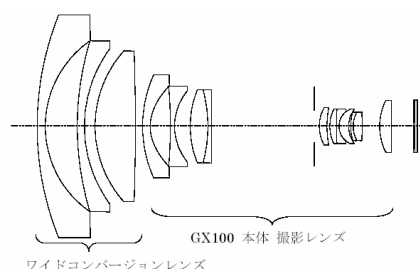


Fig.8 Construction of Wide Conversion Lens.

※ 35mm判カメラ換算焦点距離

4. 今後の展開

リコーにおける広角高画質コンパクトデジタルカメラというカテゴリーは、Caplio GXから始まりGX8を経てGR DIGITALとCaplio GX100に至り、2つの方向性があることを示すことができた。これらはリコーが掲げる『撮影領域の拡大』を念頭に置き、お客様の要望に合致するべく改善、開発を行ってきたものである。今後お客様の様々な要望に合致した高いレベルのデジタルカメラを開発し、タイムリーに市場に導入できるよう開発を進めていくことが重要である。

謝辞

最後にCaplio GX100の開発にあたり、多くの方々にご指導、ご支援を賜りましたことを深く感謝いたします。

編集後記

この4月からリコーテクニカルレポート(RTR)の編集長を務めることとなりました。私は、これまで論文の執筆をすることはありましたが、編集に関わったことはなく、全体の構成や、巻頭言のご依頼、さらには、装丁からページのレイアウトまで、編集事務局のメンバーに教えられながら、なんとか出版にこぎつけることができました。ぜひ、多くの皆様に読んで頂くとともに、忌憚のないご意見を頂ければ幸いです。

このRTR 33号では、巻頭言として、日本印刷学会会長、日本画像学会会長を歴任されてこられた東海大名誉教授 高橋恭介先生に、「日本における印刷の歴史」を振り返り、今後の印刷技術を展望して頂きました。電子写真を中心とするリコーの技術も事業も従来のオフィスの枠から大きくその領域を広げようとしている現在、先生のお話はたいへん示唆に富むものと思います。また、新しい試みに招待論文として社外の方の声を頂くことを計画し、本号では、コクヨ株式会社オフィス研究所の齋藤敦子さまに「これからのオフィス環境」について執筆して頂きました。オフィスにおけるワークスタイルという観点からの考察は、MFPを中心とした発想を離れて、一段広い視野で考える契機を頂くことができたと思います。

編集に関しては、本号よりからこれまで添付してきたCD-ROMは廃止させて頂きました。リコーのWebサイトでRTRを自由に見て頂けることを考えると、CD-ROMもその役割を終えたと感じております。このようなメディアの変遷のなかで生き残る「紙」という媒体のすばらしさを改めて認識させられます。

このRTRを通じて、多くの方にリコーの技術を知って頂き、社内外の研究・技術との出会いの場となれば幸いです。
(渡邊好夫)

RICOH TECHNICAL REPORT NO.33 2007

編集委員長	株式会社リコー研究開発本部	渡邊 好夫
事務局	株式会社リコー研究開発本部知的基盤企画室	齊藤 泰弘 進藤 由貴 永井 清登(Web担当)
発行日	2007年12月1日	
発行	株式会社リコー研究開発本部 〒224-0035 神奈川県横浜市都筑区新栄町16-1 TEL 045-593-3411 Fax 045-593-3482 URL http://www.ricoh.co.jp/	
発行責任者	永松 荘一	
印刷	日経印刷株式会社 〒102-0072 東京都千代田区飯田橋2-16-2	

非売品 禁無断転載 本誌に関するご照会は事務局までご連絡ください

RICOH



地球環境保護のために、100%の再生紙と大豆インクを使用しています。

