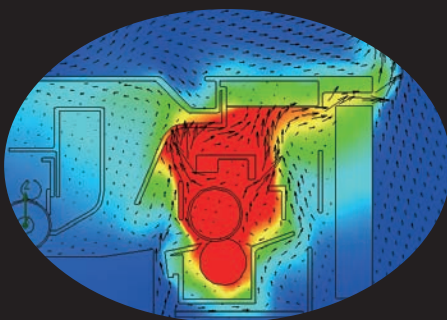


Ricoh Technical Report

Digital Publishing



RICOH TECHNICAL REPORT

No. 38, 2012

目次

巻頭言

低炭素社会の技術体系 西岡秀三 3

技術論文

超至近投影光学系の開発 高橋達也・藤田和弘・安部一成 15

新規フルカラー電子ペーパー表示技術の開発

..... 平野成伸・内城禎久・岡田吉智・辻和明・金碩燦・匂坂俊也・高橋裕幸・藤村浩・八代徹 22

カラーPOD プリンタ向け高耐久感光体の開発 廣瀬光章・田元望・中森英雄・藤原由貴男・紙英利・永井一清 30

PCU 高耐久・高信頼化技術 中井洋志・長谷川邦雄・田中真也・二宮弘道・鷹島秋彦 37

カラーQSU 技術 (DH 定着方式) 石井賢治・長藤秀夫・吉川政昭・山科亮太 44

SIMD 型命令を利用した文書画像処理の高速化 土屋美由紀・山合敏文 50

低価格プリンタ/MFP 向け描画アクセラレータの開発

白石尚人・後藤寛介・鈴木正宏・田中諭・柳田泰司・市川美貴也 57

電炉鋼板の事務機への適用性検討 榊谷正利・伊藤健一郎・高橋俊平・前田大樹・広田弘 63

小型レーザープリンタファンレス化技術の開発 清水義威・内田量之・岩崎一也・林瑞琦・近藤和芳 69

IPSiO SG シリーズ インク供給駆動切替システム 三輪淳司・鈴木道治・瀬戸潤之 76

IPSiO SG シリーズ用 GELJET インクの開発

藤井一郎・加藤啓太・中川智裕・工藤真樹・松山彰彦・後藤明彦・永井希世文 83

薄膜ピエゾの IJP 塗布工法技術 町田治・下福光・竹内惇 88

定着過程のカールメカニズムとその予測方法 大原俊一・羽山祐子・谷川洋文・鶴田隆治 94

環境に配慮した剥離紙を用いない感熱ラベル 久郷智之・増田剛・池田俊明 105

低電力デジタル温度センサーの開発 長久武・窪田進一・渡辺博文 112

ボンディングパッド下におけるクラックと応力の同時評価技術 三木芳彦・渡辺博文 118

GA・GP+MT 法による外観検査性能の向上 関根良浩・井上靖之・松尾啓史 123

品質工学を用いた加工工程の最適化 今井力也・小澤仁 131

筆者紹介 139

RICOH TECHNICAL REPORT

No. 38, 2012

CONTENTS

PREFACE

Designing Socio-Technology System from Low Carbon Future.....Shuzo NISHIOKA 3

TECHNICAL PAPERS

A Development of Optical System for Ultra-Close-Range Projection

Tatsuya TAKAHASHI Kazuhiro FUJITA Issei ABE 15

Novel-Design Full-Color Electric Display Technology

Shigenobu HIRANO Yoshihisa NAIJOH Yoshinori OKADA Kazuaki TSUJI SukChan KIM

Toshiya SAGISAKA Hiroyuki TAKAHASHI Koh FUJIMURA Tohru YASHIRO 22

Development of High Durability Organic Photoreceptor for Color POD Printer

Mitsuaki HIROSE Nozomu TAMOTO Hideo NAKAMORI

Yukio FUJIWARA Hidetoshi KAMI Kazukiyo NAGAI 30

Techonologies for High Durability and Reliability of the Photoconductor Unit

Hiroshi NAKAI Kunio HASEGAWA Shinya TANAKA Hiromichi NINOMIYA Akihiko TAKASHIMA 37

Color QSU Technology (DH Fixing System)

Kenji ISHII Hideo NAGAFUJI Masaaki YOSHIKAWA Ryohta YAMASHINA 44

High Speed Document Image Processing Using SIMD Instructions Miyuki TSUCHIYA Toshifumi YAMAAI 50

A Development of Drawing Accelerator for Low Cost Printer/MFP

Naoto SHIRAISHI Hirokazu GOTOH Masahiro SUZUKI

Satoshi TANAKA Yasushi YANAGIDA Mikiya ICHIKAWA 57

Applicability Evaluation of Electric Furnace Steel Sheets for Office Machine

Masatoshi SAKAKITANI Kenichiro ITO Syunpei TAKAHASHI Taiki MAEDA Hiroshi HIROTA 63

Development of Fanless System of Small Laser Beam Printers

Yoshitake SHIMIZU Kazuyuki UCHIDA Kazuya IWASAKI Ruiqi LIN Kazuyoshi KONDOH 69

Switching System Driving the Ink Supply in the IPSiO SG Series

Atsushi MIWA Michiharu SUZUKI Junji SETO 76

Development of GELJET Ink for IPSiO SG Series

Ichiroh FUJII Keita KATOH Tomohiro NAKAGAWA Masaki KUDOH

Akihiko MATSUYAMA Akihiko GOTOH Kiyofumi NAGAI 83

The Fabrication of PZT Thin Film by Inkjet Printing

Osamu MACHIDA Akira SHIMOFUKU Atsushi TAKEUCHI 88

A Paper Curl Mechanism and the Curl Prediction Method in the Fusing Process

Shunichi OOHARA Yuko HAYAMA Hirofumi TANIGAWA Takaharu TSURUTA 94

Development for Ecological Silicone-Top Linerless Label ... Tomoyuki KUGO Tsuyoshi MASUDA Toshiaki IKEDA 105

The Development for the Low Power Digital Temperature Sensor

Takeshi NAGAHISA Shinichi KUBOTA Hirobumi WATANABE 112

Simultaneous Evaluation of Stress and Cracking under the Bonding Pad ... Yoshihiko MIKI Hirobumi WATANABE 118

An Improvement in Visual Inspection Performance by GA・GP+MT Method

Yoshihiro SEKINE Yasuyuki INOUE Hirofumi MATSUO 123

Optimization of Machining Process Using a Quality Engineering Method Rikiya IMAI Hitoshi OZAWA 131

AUTHORS 139

巻頭言

低炭素社会の技術体系

株式会社リコー 経済社会研究所 特別研究顧問
公益法人 地球環境戦略研究機関 研究顧問
西岡秀三



温暖化の予測が、人間の生存や生活が自然環境資源制約の中でしか営めないという至極当たり前のことを思い出させてくれた。温暖化への対応がこれまでの技術体系を変える。いま、世界はさまざまな意味で転換移行（Transition）の時と言われている。その一つが低炭素社会・グリーン経済への移行であり、技術面ではエネルギー高依存技術体系から低炭素技術体系への転換である。転換の方向は、人間の生存・生活に何が真に求められているのかをしっかりと見つめなおすことから得られる。巨大化し暴走し始めたエネルギー高依存技術社会・マネー経済全体への見直しは、グリーン経済の名のもとになされつつある。

1. 温暖化対応が必要とする大転換

気候変動に関する政府間パネル（IPCC）の科学的認識によれば、地球温暖化で世界全体に広く不可逆的に甚大な影響がゆっくり進むと予測されている。次ページの図は、これから日本が向かう挑戦が如何に大変なものであるかを示している。日本経済は、エネルギーの伸び、同時に二酸化炭素で代表される温室効果ガス排出増と平行して成長してきた。だからエネルギーを使わなければ経済成長がない、との思いこみが多くの人の頭の中にある。ところが、気候安定化のためには日本は温室効果ガス排出量を2050年に80%も今から減らしてゆかねばならないと計算される。図で見ると、今後は経済的な繁栄を保ちながらも二酸化炭素排出を減らしてゆかねばならず、化石エネルギーに頼り切った技術システムで成り立つ現代社会は大きな転換を迫られることになる。温暖化に関する科学的疑問や排出量分担にさまざまな意見があるとしても、この削減目標は、倫理的で単純ゆえにタフな考え方——気候変動が将来世代に甚大な被害を与えることを防ぐこと、そのための排出量は世界で一人当たり同じ程度にすること——を前提にしたものである。国連気候変動枠組条約カンクン合意等で世界各国が確認したように、一応2度上昇を危険なレベルと想定して国際社会は動き始めているが、図に2050年の星印にしめすように、それを3度や4度と想定しても、いま日本は大転換が必要であるという構図には何ら変わりはない。長期的に「低炭素社会」へ向かうということはもう必然である。

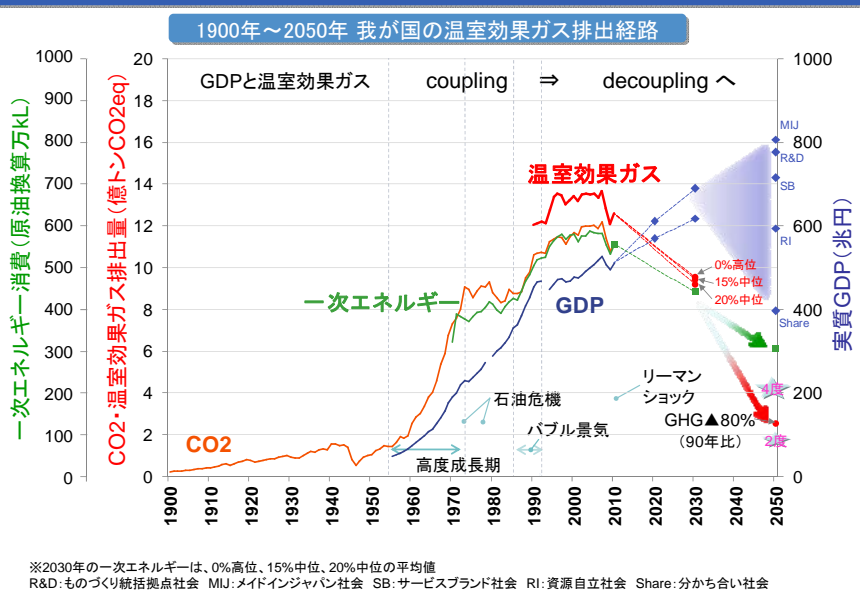
低炭素化することの中身はもちろん、温室効果ガス——化石燃料利用時に排出する二酸化炭素、あるいは農業生産から生じるメタンや一酸化二窒素、工業プロセスや製品からのフルオロカーボン類——の排出を抑制することにある。抑制方法としては、エネルギー使用を少なくすることと

二酸化炭素を排出しないエネルギーを使うことにほぼ尽きる。

図で1970年代を見ると、GDPは上昇しながらもエネルギー量は横ばいで済んでいた。石油の値段が数倍、数十倍になるという大きな危機を、日本は省エネ技術で乗り越え、その省エネ技術が世界を席卷したのである。そのあとバブルとその後始末に追われて、またエネルギーがなければ成長がないという思い込みの時代に戻った。OECDはすでに経済成長を環境圧力と分離（Decoupling）する方向を2001年に明確にしている。またドイツはここ10年来エネルギー量を一定に保ちながら経済成長を遂げ、二酸化炭素排出とのDecouplingに成功している。ASEANの国々を始めとしアジアの主要国は、欧米先進国の援助を得て「低炭素・グリーン成長」路線をとりつつある。転換の時期を好機とし、低炭素社会に一足飛びしようとしている。韓国のグリーン成長路線は最優先政策であるし、中国の太陽電池や風力は世界一の規模に成長し、世界市場を席卷している。日本も、エネルギーがなければ成長できないという思い込みを捨て去り、経済・産業・生活構造を大きく変える決意をしなければ、低炭素世界に取り残されてしまう危惧がある。

筆者が事務局長を務める「低炭素社会研究国際ネットワーク」は、おもに欧州諸国+日本の各国温暖化防止政策に実際に入り込んでいる研究リーダーの集まりであるが、そこでは二年にわたり「Transition」を主要テーマの一つとして、閉塞を破るのはしばしば危機のインパクトであると喝破している。石油危機をチャンスに変えた日本の対応はその手本の一つになっている。さて今の日本が温暖化・大震災の危機をチャンスに変え大転換をなし遂げられるであろうか？

CO2とGDPのデカップリング⇒グリーン成長へ



2. 何が大切なのだろうか — 時間軸で優先度を設定する

次図に、人間生存の観点からの優先度設定のフレームを示す。トップに来るのは生存レベルである。人間と自然が地球で共存して生きてゆく持続可能な世界の実現が長期に見た最優先事項である。その共存を揺るがせかねない自然制約の最初として出現した温暖化問題への処方箋が「低炭素社会化」である。人は目先の便利さや快適性をもとめて日常の経済運営を進めてきた。その結果、

産業革命以降今のエネルギー高依存技術社会が出来上がった。そのことが温暖化の原因である。エネルギー高依存型の世界を変えるには数10年の単位の時間が必要であろう。われわれの営みは短期の経済システムの中で行われる。その経済システムを変えてゆかねば、社会は変わらない。技術だけでなく社会自体に手を入れ、日常経済の仕組みを変えなければならない。

政策のプライオリティを、長期には持続可能な社会形成におき、その具体的ビジョンとして低炭素社会構築を進める。中期にはエネルギーシステムの低炭素化実現を目標に置く。短期には、常に上位の優先政策実現を目指した経済運営に変えてゆく。グリーン経済化といわれているものの本質はそこにある。



しばしば、経済 (Economy) ・エネルギー (Energy) ・環境 (Ecology) の3Eがトリレンマにあるとされる。この3者で3すくみにあるということを示している。東京電力福島第一原子力発電所事故以降はこれに安全 (Safety) が付け加わり、3E+Sなどといわれる。エネルギー・環境の選択枝作成に加わった中央環境審議会の議論でも産業界の人たちを中心に、何度もそのバランスをくずしてはならないとの論が多く出ていた。すなわち、温暖化防止策は行き過ぎるとエネルギー安全保障が保たれない、さらには削減キャップや炭素税がかかると日本産業の国際競争力が落ちて、日本の経済成長が滞るといっているのである。確かに短期的にはそういう影響が温暖化対策を進めると生じることは否めない。しかしこの議論は、今の時間的断面での議論である。目先の景気浮揚や選挙対策のために税金が費用効果の悪い公共投資に何回も使われてきたことが今の財政悪化につながっている。廃棄物処理の見通しのないまま始めた原子力傾斜投資が再生可能エネルギーへの投資を滞らせてきた。夢をあおった借金前提のサブプライムローン問題が、世界の経済安定を揺るがした。大切なのは、長期に確かな方向に向かうことであり、求めるものは安定した経済なのに、目先の利益だけでの判断とそれをあおる政治経済が肝心のものを忘れさせた。トリレンマ説は、長期的展望なく今だけで3つの懸念を並列に論じて、結果として短期の判断を優先させようとしている。ここには時間的に見たプライオリティの付け方に間違いがある。

3. 持続可能な社会技術の原則

さて今の「エネルギー高依存技術社会」を「低炭素社会」に変えてゆくときの基本的考えは何であろうか。

まず、低炭素社会化は、持続可能な世界構築への一過程であり、且つそれにすぎないことを十分に踏まえなければならない。特に、今の発展途上にある国々が必要とする生存の条件をないがしろにするものであってはならない。

持続可能な社会における技術の踏まえるべき原則として、例えば、Herman Daly¹⁾の3原則が示唆を与える。すなわち：

持続可能な社会経済は次のような条件を満たす。

- ① すべての資源利用速度を、最終的に廃棄物を生態系が吸収しうる速さまでに制限する。
 - ② 再生可能資源を、資源を再生する生態系の能力を超えない水準で利用する。
 - ③ 再生不可能な資源を、可能な限り、再生可能な代替資源の開発速度を超えない水準で使用する。
- このように究極の持続可能な社会は常に「入り」と「出」が等しい定常化社会である。

①に関しては、化石燃料使用が二酸化炭素と言う廃棄物を地球の生態系が吸収できないところまで排出し気候システムを乱すことの問題、ウラン鉱石が使用済み燃料処理の見通しがないまま利用されることの問題、②に関しては例えば森林や作物バイオマスの利用が再植林や自然成長量以上に使用されて、生態系自体を破壊する問題、③に関しては化石燃料を保存するといった将来世代への配慮がある。

温暖化問題は、資源としての気候を安定化させる（=温室効果ガスの出と入りを等しくする）、という条件に当てはまっており、低炭素社会は定常化社会のさきがけなのである。

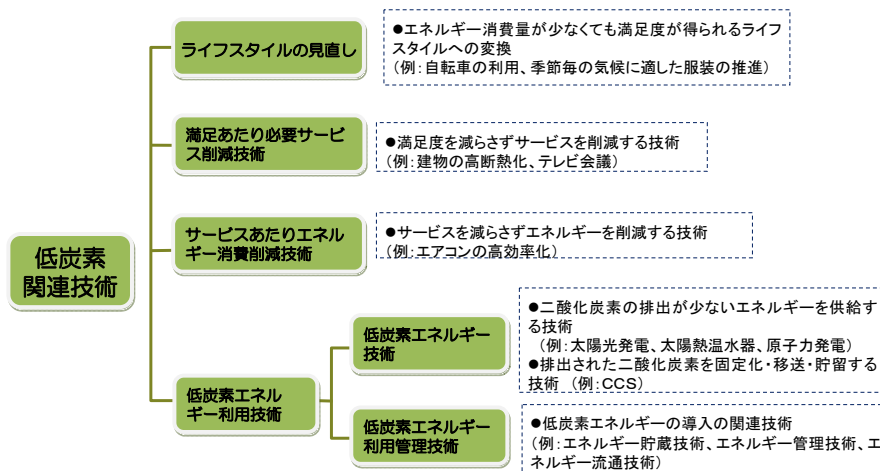
4. 低炭素社会技術の体系

低炭素社会を構成する中核はやはりエネルギーシステムにある。これまでエネルギーシステムというと、ほとんどが供給側のエネルギーミックスをどうするといった問題で終わっていた。しかし低炭素「社会」技術の体系は、狭いエネルギー供給システムだけを論じていては定まらない。低炭素「社会」技術は、エネルギーの需要側、エネルギーを利用している「社会」の構造にまでふみこむことを意味している。エネルギー利用サービス（効用）、エネルギー利用から生まれる付加価値は、エネルギーの需要側の活動で生まれる。供給側でエネルギーの低炭素化を図る一方、少ないエネルギーで多くの付加価値をあげるためには、都市・交通インフラや生活・ビジネスの場などあらゆる範囲に広がったエネルギー需要側をも含めたエネルギーシステム全体に目を向けねばならない。そうしないと、付加価値とエネルギーを分離した社会での技術体系は描けない。

低炭素のエネルギー源を使い、エネルギー需要を減らすことを実現する「低炭素社会技術体系」の個別技術分類は、茅恒等式といわれる式を応用すると次図²⁾のようになる。

低炭素社会実現の技術分類

低炭素関連技術の分類



下の二つは、エネルギー供給側の技術である。火力発電などのエネルギー発生効率化だけでなく、再生可能エネルギーや原子力、二酸化炭素抽出・貯蔵（CCS）などがある。日本国土の再生可能エネルギー供給ポテンシャルは今の電力全体を補えるほどであるが、コスト競争力で見たととき普及は限られてくる。しかし更なる効率向上も見込め、これまでかえり見られなかった分、ある程度までは十分普及するものと思われる。原子力は今時点で国民の選択を待つが、これまでは頼れまい。新しいエネルギーを有効に利用するために、蓄電池などの貯蔵、スマートグリッド等の流通技術に関連した技術が伸びる。

一段上に書かれたサービスあたりエネルギー消費削減技術、すなわち需要側の省エネ技術としては、日本企業の得意とする省エネ機器がある。さらにその上段に書かれたようなサービス自体の削減に切り込めないかという、たとえば心地よい居住空間という満足度を得るための冷暖房時間というサービス量を削減するには、一時間の冷房で一日中同じ温度で保つ高断熱技術を住宅・ビルに取り込めばよい。同じ情報量という満足度をうるために、出張ではなくTV会議で済ませれば、移動サービス自身が不要になる。さらに一番上に掲げたように、満足度自身を技術で増やす例としては、満員電車をやめて快適自転車での通勤を楽しむようにすれば、エネルギーも減って満足度は増える。車を所有することのステイタスと便利さを捨てて、カーシェアリングをすれば、コンビニへは歩いて買い物に行くことになり、車庫に眠る自動車が消えた分の鉄鋼生産用エネルギーは減る。車メーカーは、鉄の塊を売るのはではなく、快適な移動と言うサービスを売るのが自分の仕事だったのだと頭を切り替える。

このように、「低炭素社会技術」としてみると、在宅勤務システム、シェアハウス、大家族化といったライフスタイルまでもが「技術」の視野に入ってきて、個別技術改良に目を向けるだけでなく、従来とはまったく異なる発想が生まれる。

2050年 低炭素社会を構築する主たる技術

削減要素	ものづくり	すまい オフィス・店舗など	交通・物流	エネルギー 供給
①ライフスタイルの見直し			カーシェアリング エコドライブ	
②満足あたり必要サービス削減技術 (=無駄なエネルギー消費の根拠を削減)	高付加価値製品開発	建物の断熱化 ・全ての住宅・建築物が高断熱 HEMS・BEMS ・全ての住まい・オフィスに設置	SCM 公共交通機関 モーダルシフト	
③サービスあたりエネルギー消費削減技術 (=省エネ機器の更なる省エネ改善)	革新的技術 ・水素還元製鉄 ・内部熱交換型蒸留塔(石化) ・低温焼成(セメント)など	高効率電気機器 ・高効率家電・動力機器・情報機器 高効率照明 ・照明効率 現状蛍光灯比2倍超 ヒートポンプ給湯 ・現状比1.5倍超	次世代自動車 ・100%次世代自動車(乗用車) 高効率貨物車 ・高効率ディーゼル貨物自動車 電池電車・路面電車 ハイブリッド電車	高機能火力 ・高効率石炭火力(A-IGCC, A-IGFC) ・高効率ガス火力 ・高効率石油火力
④低炭素エネルギー技術 (=低炭素エネルギーの徹底利用)	ガス化・電化 ・高温熱需要:石炭・石油・ガス ・低温熱需要:ヒートポンプ CCS ・鉄鋼、セメント、石油化学	太陽光・熱 ・太陽光発電 約2億5000万kW(メガソーラー含む) ヒートポンプ利用 ・空調・給湯器・乾燥機	電化促進 バイオ燃料 ・自動車用燃料20%混合	再生可能エネ ・太陽光、風力、地熱、中小水力、バイオマス、海洋エネなど 新燃料技術 CCS ・全ての火力発電所に設置
⑤低炭素エネルギー利用管理技術	分散EMS技術	分散EMS技術 分散EV技術管理技術	交通管理技術 充電管理技術	PV・風力発電予測技術 PV・風力運用管理技術
その他	フロンガスのゼロエミッション化 ・揚水発電、バッテリー、スマートメータ、ヒートポンプ給湯器、再エネ出力予測技術、再エネ出力制御機能など			
2050年の姿	世界トップランナー効率によるものづくり	ゼロエミッション住宅 ゼロエミッション建築物	低炭素交通網・物流網 次世代自動車100%	ゼロエミッション電源

5. 交通・都市・エネルギー・通信インフラの転換

技術はインフラにはまり込まなければ生かされない。LEDの効率が如何に良くても、ソケットが合わなければ買う人はいないだろうし、電気自動車は自宅で気軽に充電できたり、運転途中でちょっと寄って人の家での充電が出来るようなシステムとそれを許す制度が成立しなければ普及しない。公共交通が普及していない地域で家用ガソリン自動車を禁止するわけにはいかない。ロスアンジェルスのように広がるだけ広がってしまった都市では、自宅から散歩がてらに買い物を楽しめる高齢者向けの街づくりはできない。

低炭素社会にあったインフラを作り変えてゆくのは時間がかかる仕事である。しかし今それをやらないと、後少なくとも50年は従来型の自動車を前提にしたエネルギー効率の悪い都市に縛り付け(lock-in)られてしまうから、今から遠い先をしっかりと見据えた計画での投資をせねばならない。特に発展投資が急激に進む途上国都市化には、コンパクトで効率のよい都市づくりを支援しなければならない。日本では、街中・駅中に市場があり高齢化した都市の住民が、自分で歩いて行って買い物を楽しめる、コンパクト都市の構想がある。一般電気事業者が独占していることで融通が利かないといわれる電力送電インフラもこの際、全国統合を目指してハード・ソフトともかえる。スマートグリッドも入れる。そのことによって、供給者と需要者の情報交換が進み、より安定なロスが少ない電力需給システムが可能となる。

6. エネルギーシステム技術の転換

もともと、エネルギー供給システムはそれそのものだけで効用があるわけではない。需要側の付加価値創造に使われて初めて意味がある。それはあくまでも社会の活動を支える「用益(Utility)」に過ぎない。逆に言えばもともと需要側が主体性を持って要求すべきものである。エネルギー事業者のような用益担当者は、一方的に供給者側の立場で運営するのではなく、需要者

との密接な連携でシステム構築・運営にあたる必要がある。

需要者と供給者の連携は、合理的なシステム構築のカギである。昨今求められている電力消費ピークには料金システムも含めた調整、需要家がエネルギーの種類を出来る限り選べるようにすること、両者が話し合っって省エネ・節エネ・節電をより進めること、などである。今後はスマートメーターの普及で、両者間の情報のやり取りが進み、「賢い」節エネがはかれよう。

利益は少なくてもすめばそれに越したことはない。日本のような国内に化石燃料がない国では、少ないエネルギーで済めば、外国への17兆円ものエネルギー代支払いが少なくすむ。それに国産エネルギーである再生可能エネルギーを最大利用すれば、またとない自給率向上・エネルギー安全保障になる²⁾。

7. カベを超える業種の連携

転換とは、これまでの構造ではうまくいかないところを変えること、これまでの体制の壁が崩れて、相互乗り入れが始まる時である。電力供給と需要のカベが壊れて、スマートグリッドによって情報・住宅・計測器・自動車・電機・銀行のコンソーシアムができる。電気自動車が蓄電池の置き場となってゼロエミッション住宅のカナメとなる。ガソリン自動車から電気自動車への転換でエンジンのノウハウのカベが不要になって、低くなった参入障壁を乗り越えて、ベンチャー自動車メーカーが乱入する。ストックホルムでのエネルギー効率化のノウハウを引っさげ、スウェーデンの諸企業が同じロゴマークの下に参集し、政府がトップセールスで中国に売り込む。こうした異業種間連携が低炭素社会に向けた新しいシナジーをもたらしている。企業にとっては、自らの得意とするところに磨きをかけるだけでなく、この転換で可能となった境界に入るため、近隣の異業種とのコラボを行える絶好のチャンスである。

低炭素社会の構築に向けた技術の方向性

GHG削減のタイプ	民生部門	産業部門	運輸部門	エネルギー供給部門
①ライフスタイルの見直し	<ul style="list-style-type: none"> シェアハウスの開発と普及 室温や冷暖房温度・湿度の見直し 業務の再生可能エネルギーの豊富な地域への移動 	<ul style="list-style-type: none"> 再生可能エネルギーの豊富な場所への移動 サービスの見直しによる素材利用量削減 	<ul style="list-style-type: none"> 不必要な移動・輸送を省略化する技術・システム 移動目的の見直しによる移動量削減 	<ul style="list-style-type: none"> 省エネ・節電に継続的に取り組むための社会システムの改革
②満足あたり必要サービスの削減技術	<ul style="list-style-type: none"> レンタル・リース機器の普及・拡大 自然の光を取りこむ技術 建物内の暖気・冷気を逃がさない建築技術の適用範囲の拡大 浴槽・浴室内の熱を逃がさない技術 無駄な機器稼働を徹底的に排除する技術・システムの低コスト化・適用範囲の拡大 	<ul style="list-style-type: none"> 素材利用量を削減する技術およびシステム 電炉鋼から高付加価値製品が生産できるような技術およびシステム 需要に応じ無駄な生産・調達・在庫を減らすSCM 	<ul style="list-style-type: none"> レンタル・リースの普及・拡大 効率的な輸送手段の組み合わせを行う移動・輸送調整システム 	<ul style="list-style-type: none"> 需要側の満足度を維持しつつ供給条件を緩和する技術の開発
③サービスあたりエネルギー消費削減技術	<ul style="list-style-type: none"> LED・有機EL等の次世代照明の超高効率化・適用範囲の拡大 ヒートポンプ技術の高効率化・適用範囲の拡大 家電やオフィス機器の超省エネ化 	<ul style="list-style-type: none"> 世界トップランナーのエネルギー効率を達成する革新的技術の開発 汎用的な加熱機器や動力機器の世界トップランナー効率の実現 	<ul style="list-style-type: none"> モータ駆動式自動車の低コスト化・脱レア金属依存・長距離輸送の実現 車体全体の工夫による実走行燃費の向上 	<ul style="list-style-type: none"> 世界トップランナーの発電効率を実現する革新的火力発電技術の開発
④低炭素エネルギー技術	<ul style="list-style-type: none"> 化石燃料を燃焼する機器から低炭素エネルギー利用機器への転換 太陽光発電の高出力化・低コスト化・安全管理 	<ul style="list-style-type: none"> 産業部門のCO2大規模発生源に設置できるCCS技術の開発 高圧熱はガス利用、低圧熱はヒートポンプとなる新技術の利用 	<ul style="list-style-type: none"> 次世代自動車・鉄道用エネルギーの供給インフラの構築 食糧生産や森林を脅かすことのないバイオ燃料の生産方法の確立 	<ul style="list-style-type: none"> 自然エネルギーを最大限に活用できるような多様な再生可能エネルギー発電技術の開発 エネルギー供給部門のCO2大規模発生源に設置できるCCS技術の開発 限りなくゼロエミッションの脱供給
⑤低炭素エネルギー利用管理技術	<ul style="list-style-type: none"> スマートメータを通じて需要調整や消費者による低炭素電源選択を可能にするシステムの開発 		<ul style="list-style-type: none"> 電気自動車用バッテリーに再生可能エネルギーの負荷調整機能を担わせるシステムの開発 レア金属使用量の極めて小さい省エネ機器の開発、レア金属を容易にリサイクル・リユースできるシステムづくり 	<ul style="list-style-type: none"> 再生可能エネルギーを最大限に活用し、限りなくゼロエミッションな電源に近づくことを目指す電力供給調整システムの開発 レア金属使用量の極めて小さい機器の開発、レア金属を容易にリサイクル・リユースできるシステムづくり

8. 低炭素社会技術の特色

目標を明確にした技術開発という点、宇宙技術、原子力技術、軍事技術といった最先端技術を結集した技術システムを思い浮かべるが、低炭素社会の実現を目標とする技術はそれらとは様相を異にする。それは広く社会に開かれた技術であり、画期的な技術革新だけでなく改良技術も重要である。社会に伝播しなければ意味がなく、そのためには多くの人の参加で開発され、経済的にも成り立つ技術でなくてはならない（下表）。技術開発やその販売戦略には、社会への入りやすさが一番のポイントとなる。

目標達成型プロジェクトの新旧

旧：軍事、原子力、宇宙技術	新：低炭素社会技術
使命は、経済的可能性はほとんど問われず、どれだけの技術的達成があるかで決定される。	使命は、特定の環境問題に対する経済的にも可能な技術的解決で定義される。
目標と技術開発の方向は、少数の専門家によって前もって決められる。	技術転換の方向は、政府・私企業・消費者グループなどの広範囲の主体によって影響される。
政府機関内の中央集中統制	参加しているきわめて多くの主体による非中央集中型統制
中核参加グループ外への成果の伝播は重要性小、あるいはむしろ抑制される。	成果の伝播こそ中核の目標であり積極的に奨励される。
少数の革新技術が重要とされるため、参加できる企業は少数に限られる。	多数の企業の参加が出来るように、画期的だけでなく今の技術をさらに一歩を進める技術革新の両方が重要とされる。
他の政策との補完や整合的であることに配慮する必要がなく、それだけで閉じている。	成功には、補完政策と他の目標との緊密な整合性を必要とする。

出典：Soete and Arundel (1993, p. 51)

9. 技術転換を支えるグリーン経済

このような「低炭素社会技術」は、日常の社会経済が旧態依然としていたのでは、早期の普及は困難である。そこで2節の図に示した三角形の中位にあるエネルギー依存技術社会を、底辺にある経済の仕組みを変えることによって変えて行く、というのが「グリーン経済」である。ここでいうグリーン経済の本質は、地球環境資源をベースにした実体経済システムをさす。

ここではあえてグリーン「成長」とはいわない。成長というと直ちにGDPという指標の話になる。しかし、泥棒が多い村ほどおまわりさんへ給料を払わなければならないのでGDPは大きい、カギをかけないで済む村のほうがGDPは少なくとも、生活の質はずっといい。だからGDPで計測される「成長」で論じている限り、地球資源を多く使い、二酸化炭素を多く出し温暖化影響が出たら損害賠償でまかなうという「成長」の姿になりかねない。こうした議論から真の「生活の質」を表す指標の提案がOECDなどでなされるようになってきた。もともとGDPは短期の経済状況をしめす一つのフロー指標に過ぎなく、GDPを生活質指標の代表にみなす世間の解釈が間違っているというのが正しい。

グリーン経済の提唱は、持続可能な社会をめざし、地球環境資源（「気候」資源も含む）とそのサービス提供力を長期に保全するように経済の仕組みを再構築することにある。基本は、短期で

なされやすい投資効果評価を、より長期の投資効果評価に変える経済システム構築にある。目先の損得ではなく、長期の視点で投資がされるような仕組みを持った経済である。

実際、低炭素社会構築のための諸技術を短期コスト競争力基準で社会実装しようとする、とても入って行けない。太陽光発電投資を、それで減らしたエネルギー支払いでもとをとろうとすると15-20年かかる。一般に企業では資本回収期間が2-3年と言われる。とても太陽光発電のようなのんびり回収する技術を入れるという判断は成り立たない。

だから太陽光発電を普及するためには、投資回収期間を短くする政策を取る必要がある。投資時に補助金を出し固定費を下げる（エコ補助）、発電された電力を電力会社が高い値段で買い上げ投資家の回収期間を短くする、そしてこのとき生じる電力会社の負担増を他の電力需要家が負担する（FIT）。安い利子での銀行融資を行う。パネルが損傷にあった時の保険制度をつくったり、長期メンテナンスに必要な人材を育てる。さらに効率のよい発電セルの研究開発に補助金を出す。選択と集中で太陽光発電で世界のシェアをとり大量生産で値段を下げる、などなどの政策が取りえる。

そのほかにも「緑の贈与」のアイデアがある。太陽光発電投資は長期にわたり設置した家主が利益を得る。太陽光発電投資に関して相続税を免除とすると、家を受け継いだ子や孫はその分の利益を享受することが出来るし、投資した本人も本望であろう。高断熱住宅にもこれは応用できる。国民の眼からは、どこへ使われるかわからない相続税よりも確実に孫子への援助がなされるのだったら納得が行く人も多かろう。このように将来世代に良い投資を今だけだけするか、それを高める長期の視点での経済システムをつくるのがグリーン経済の中核である。

もちろん、低炭素社会の構築に必要な都市や交通インフラへの投資は、経済効果が大きい。たとえ選挙目当てでもいいが、その投資が本当に低炭素の将来に役立つかしっかり評価してなされねばならない。洋上風力や、スマート都市構想の研究開発促進も必要である。新しい産業としての世界で始まったエコツーリズムは、いわば現地にあるよい環境資源という実体をどう息長く価値を保ちながら経済に組み入れてゆくか、という試みである。

2012年6月に開かれた「国連リオ+20」でも、今後の世界運営の共通キーワードとして「グリーン成長」がかかげられた。しかし、成長の質を問い経済の仕組み自身に切り込みたい先進国と、量的な成長のための一つの看板として使いたい途上国の間で、同じ言葉でも互いに意味するところが違っていたこともあって、さあこれで行こうということにはならなかった。

世界はすでにグリーン経済の下での競争に入っている。G20に対応する世界産業界の集りであるB20は、グリーン成長を一つの活動分野に取り上げている。2012年6月には、世界で途上国環境投資が年間1兆ドル不足していることを踏まえて、クリーンエネルギー、運輸交通、農業インフラ投資を推進する「Green Growth Action Alliance: G2A2」を立ち上げ、途上国各国と連携して投資を進めようとしている。ここにはBank of America、サムソン電子をはじめ多くの世界企業が参加し、世界銀行やOECDも協力している。方針として、G20国政府との協力で、グリーン商品・サービスの自由貿易の促進、強固な炭素の価格付け、化石燃料への非効率な補助金やその他の支援の廃止、低炭素イノベーションの促進、公的資金をてことした民間投資の呼び込みへの努力、をあげている。残念ながら日本からの企業は参加しておらず、目下経団連で検討中とのことである。アジアでのグリーン成長支援を標榜する日本が、こうした流れに乗らず、得意とする技術の普及が遅れ気味なのが懸念される。

10. まとめ

低炭素社会への移行はもう必然である。迷うことなく進んだほうが技術競争に勝ち抜ける。このTransitionは生易しいものではない。個別技術の改良だけでは対応できない。インフラや社会の仕組み、人々の生活様式の変革にまで入り込む技術革新でなくては、この転機を乗り越えられない。低炭素社会の技術体系を構築するには、まず本当に生活質をよくするサービスとは何かを見つめなおすことから始めなければならない。それが低炭素化の制約の中でどういう技術で構築できるかを分析し、どのような社会でそれを受け止めるかの絵を描く。それがあたらしい技術体系を作る。地球環境資源という実体に裏付けられた価値で構成される経済システムがこれを支える。社会仕組み全体を変えるにはやはりシステム全体の改革が必要であり、目的指向のシステム技術がある。そうしたシステムを組むには旧来の業界の壁を越える融合的な取り組みがある。需要側と供給側が一体となって取り組む新分野が出来てくることに注目すべきである。

再生可能エネルギーなどの低炭素技術分野で日本は遅れをとった。しかし本来の力はまだまだ出し切っていないはずである。遅ればせながら石油危機時に発揮した智恵をまた絞ろう。国内だけでなく世界に目を向けよう。アジア途上国が先進国型発展をなぞってゆくことはもう出来ない。先進国がたどってきた道を飛び越えて、まったく違う低炭素型の低炭素社会へのleapfrog型発展をするしかない。ここにも日本の技術の貢献が期待されている。

引用文献

- 1) ハーマン・E・デイリー著 [新田 功, 蔵本 忍, 大森 正之 共訳] : 持続可能な発展の経済学, p.335, みすず書房 (2005).
- 2) 中央環境審議会地球環境部会 : 2013年以降の対策・施策に関する報告書 (地球温暖化対策の選択肢の原案について) 別冊3 技術WG報告 (2012).

西岡 秀三 (にしおか しゅうぞう)

株式会社リコー 経済社会研究所 特別研究顧問

公益法人 地球環境戦略研究機関 研究顧問

中央環境審議会専門委員, 東京都環境審議会会長

1939年東京都生まれ

東京大学工学部機械工学科卒, 同大学院工学系研究科博士課程修了 工学博士

旭化成工業・国立環境研究所勤務, 東工大及び慶応大学大学院教授, 国立環境研究所理事を歴任

1980年代よりIPCC活動などを通じて温暖化影響評価, 抑制策研究に取り組み, 現在は先進国及びアジア諸国との低炭素社会研究国際ネットワーク事務局長として, 研究面から温暖化防止に努力. 2012年の革新的エネルギー・環境戦略策定において中央環境審議会での日本低炭素シナリオ作成小委員会委員長.

近著 : 「低炭素社会のデザイン」 岩波新書 2011

技術論文

TECHNICAL PAPERS

超至近投影光学系の開発

A Development of Optical System for Ultra-Close-Range Projection

高橋 達也* 藤田 和弘* 安部 一成*
Tatsuya TAKAHASHI Kazuhiro FUJITA Issei ABE

要 旨

近年、設置性・利便性の観点から超至近投写プロジェクターの開発が求められている。しかしながら、このようなプロジェクターは拡大倍率及びスクリーンへの光線入射角が大きいため、解像度の向上、ディストーションの低減が困難である。そこで、小型、高画質、超至近投写を達成するために、自由曲面ミラーを採用した投影光学系を開発した。本光学系における、投射距離の光学系サイズ、画質との関係を明らかにする。更に、折り返しミラーを配した光学系小型化を説明する。この光学系を2011年11月発売の超至近投写プロジェクター「IPSiO PJ WX4130」に適用し、世界最小・最軽量を実現した。

ABSTRACT

Recently, an ultra-short-throw projector is required in terms of setting up and using easily. However it is difficult for this projector to improve resolution and to decrease distortion because the incidence angle of the light onto the projection surface is large and the magnification ratio is high.

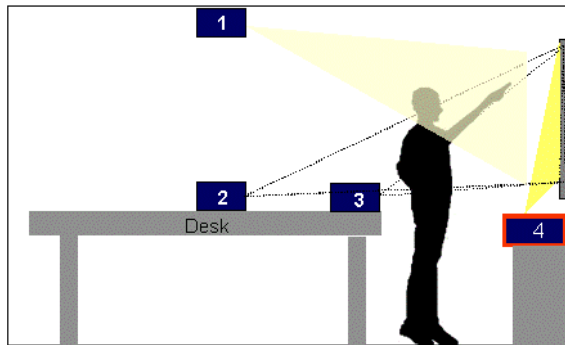
Therefore, we have developed the projection optical system with free-form mirror to achieve small size, high picture quality and ultra-close-range projection.

This paper shows the relation between the projection distance and the optical system size, picture quality. Furthermore, we show that the configuration in which a folding mirror is disposed between a first optical system and a second optical system decreases the optical system size.

This optical system was applied to IPSiO PJ WX4130 released in November, 2011, which is the smallest and lightest in the world.

* グループ技術開発本部 デバイスモジュール技術開発センター
Device and Module Technology Development Center, Corporate Technology Development Group

1. 背景と目的



問題点	設置パターン			
	1	2	3	4
a. 熱い	○	×	×	○
b. うるさい	○	×	×	○
c. まぶしい (話者)	×	×	×	○
d. まぶしい (参加者)	○	×	○	○
e. 影が入らない	×	×	×	○
f. 設置費	×	○	○	○
g. 共用 (可搬性)	×	○	○	×

Fig. 1 Problems of installation pattern.

近年オフィスではプロジェクターを使つての会議は日常的に行われるようになった。利用される状況を整理してみるとプロジェクターの設置パターンとしてはいくつかに分類されることが分かる。Fig. 1にプロジェクターの設置パターンに対する問題点を示す。1~3は従来のプロジェクター設置方法である。1は天吊り設置、2, 3はデスク上に設置している様子を示している。3は2よりも投写距離の短いプロジェクターを意味する。Fig. 1に示すとおり、これらの設置方法は話者が眩しいなどの問題点を抱えている。

そこでこれらの問題点を解消すべく、最近3よりも更に投写距離の短い超至近投写プロジェクター4が開発されている。これは話者よりもスクリーンに近い位置に設置して使用するため、話者が眩しくなく、影が入るといった問題も低減される。加えて、デスク上に置く必要がないため、使用者にとってプロジェクターが熱い・うるさいといった問題も解消される。しかしなが

ら、4に示す通りこれまでの超至近投写プロジェクターはサイズが大きく、重いため、共用（可搬性）が低く使い勝手が悪いという課題が残っていた。

リコーでも超至近投写プロジェクターの開発に取り組んでおり、投影光学系としてレンズ群+凹面ミラー方式を採用している。この光学系は、レンズ群により中間像を一旦形成し、凹面ミラーによって拡大投写していることが特徴的である。本稿では、前述の共用（可搬性）の低い課題を解決すべく、中間像とスローレシオの関係に着目し、投影光学系の小型化・短焦点化・高画質化を両立する条件を見出すことを目的とした。

2. 光学系

2-1 基本構成

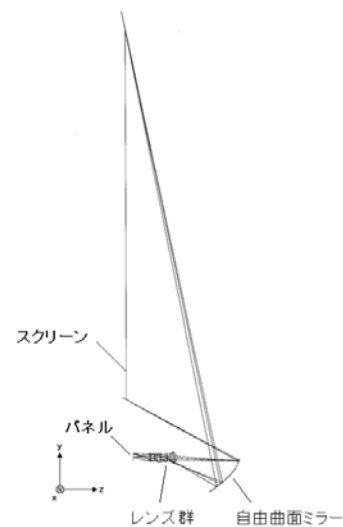


Fig. 2 Optical path.

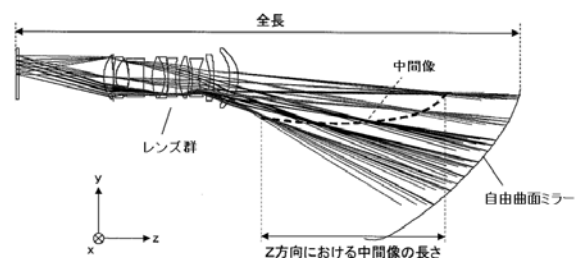


Fig. 3 Enlarged view of an optical system.

Fig. 2に投影光学系の光路図を示す。Fig.3はFig2の投影光学系を拡大したものである。本光学系は、パネルでの像とスクリーンが共役になるように設計されている。リコーでは凹面ミラーの面形状を自由曲面化することで、回転対称形状よりも更に収差補正、広角化性能を高めている。レンズ群と自由曲面ミラーの間には、パネルにおいて形成された画像からの複数の光束により中間像が形成される。パネルにおいて形成された画像は、レンズ群と自由曲面ミラーとの間に中間像として結像されると共に、スクリーンに中間像を拡大することによって得られる画像が投写される。この構成によって、投影光学系の投写距離を低減することができる。なお、『自由曲面』とは、一般的に採用されている回転対称な曲面と異なり、左右方向(X方向)と上下方向(Y方向)の形状がそれぞれ独立な多項式で定義される面である。ただし、投影光学系はY軸に対して対称であるため、自由曲面ミラーのX方向形状はY軸に対して対称である。反射屈折力の高い反射ミラーに自由曲面形状を採用することにより、それぞれの像高に対する反射領域ごとに反射面の曲面形状を調整することができるため、収差補正機能を向上できる。

2-2 小型・超至近投写の両立条件

2-2-1 スローレシオの定義

超至近投写プロジェクターの性能を評価する際、投写距離だけでなく、スクリーンでの画面サイズも重要である。そこで、プロジェクターにおける投影光学系の投写距離及び投影光学系の拡大倍率を表す指標としてスローレシオ(Tr とする)を定義する。 Tr は、スクリーンに投写された画像の水平方向サイズに対する投影光学系の投写距離の比とする。ここで投写距離は投影光学系に含まれるレンズ群の光軸に最も近い光束の主光線についての、自由曲面ミラーの最終端からスクリーンまでの投写方向の距離である。1で述べた通り、話者によって投写光が遮られる等の問題を低減し、かつ大画面な画像を得るために、投影光学系の Tr を低減する必要がある。

2-2-2 スローレシオの目標設定

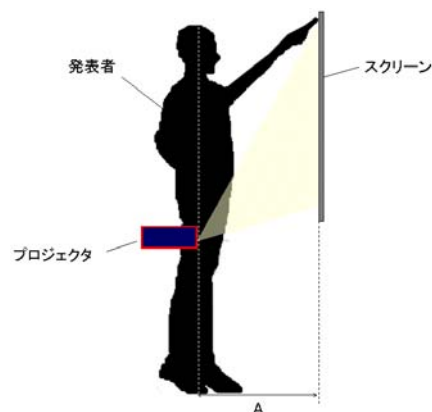


Fig.4 Throw ratio.

Fig. 4に示されるように、プロジェクターに含まれる投影光学系の投写距離が話者の体の中心から話者の指先までの距離Aよりも短いものである場合には、話者による投写される光の遮断の問題を低減することが可能になる。一般的な成人を想定して距離Aを900mmとし、16：10のアスペクト比を備えた60インチの画像が投影光学系によって投写される場合には、投影光学系についてのスローレシオ Tr は、

$$900 / \left(60 \times 25.4 \times 16 / \sqrt{16^2 + 10^2} \right) \cong 0.7$$

である。よって、話者による投写される光の遮断の問題を低減するためには、プロジェクターに含まれる投影光学系についての Tr は、0.7以下であることが望ましい。

2-2-3 スローレシオと Im の関係

Fig. 2及びFig. 3に例示された投影光学系において、レンズ群の焦点距離で割られたZ方向における中間像の長さの値として Im を定義する。Z方向における中間像の長さは、パネルで形成された画像からの各々の光束のメリジオナル光線及びサジタル光線の中間像の像点のうち、Z方向におけるレンズ群に最も近い像点の位置とZ方向における自由曲面ミラーに最も近い像点の位置の間の距離である。

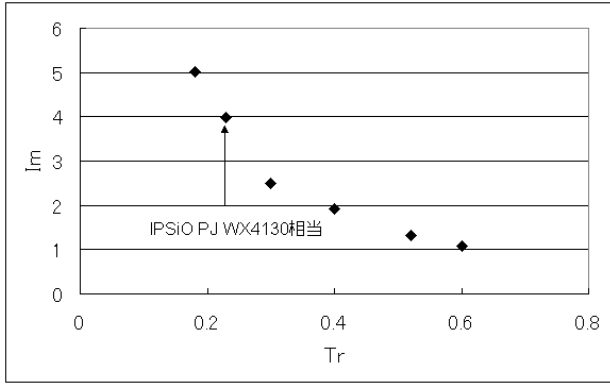


Fig. 5 Im dependence on throw ratio.

今回、拡大倍率94、スローレシオTrが0.18~0.6となる6パターン設計をおこない、それぞれのImを求めた。Fig. 5にスローレシオTrに対するImを示す。具体的な設計例は後述するが、それぞれの設計において良好な光学性能が得られている。図より、Trを低減するとImは増加する傾向のあることがわかる。これは中間像での像面湾曲の増大を意味する。この原因を詳しく説明する。

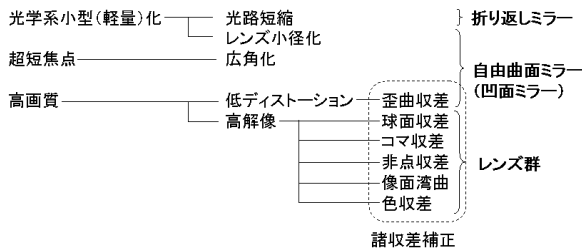


Fig. 6 Influence of optical parts to optical quality.

Fig. 6は、各光学部品の光学特性に及ぼす影響を大まかに分類したものである。図に示すとおり、高画質な画像を得るためには、諸収差を補正する必要がある。ここで、自由曲面ミラーは主に歪曲収差補正の役割を担っている。また、レンズ群は歪曲収差以外の諸収差補正の役割を担っている。

Trを低減するほど、光線のスクリーンへの光線入射角は増大するため、歪曲収差は増大する。前述の通り歪曲収差は主に自由曲面ミラーで補正している。歪曲収差を補正した結果として、自由曲面ミラーでの歪曲収差以外の収差、特に像面湾曲が増大する。この増大

した像面湾曲を補正するために、レンズ群において自由曲面ミラーで発生するものと「逆方向」の像面湾曲を発生させる。結果として互いの像面湾曲を打ち消し合い、スクリーンでは良好な画像を得ることができる。このレンズ群で発生させるべき「逆方向」の像面湾曲量はTrを低減するほど増大する。結果としてTrを低減するほどImは増大する。

2-2-4 スローレシオと光学系サイズの関係

Trは、製品搭載に鑑みて投影光学系の小型化・短焦点化・高画質化を両立する値にする必要がある。そこで、小型化に関係する全長、自由曲面ミラーサイズ(面積)とTrの関係を示し、最適なTrを決定する。

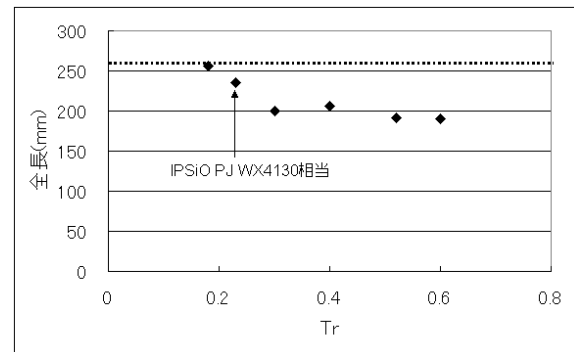


Fig. 7 Total length dependence on throw ratio.

はじめに、Trの全長に与える影響を説明する。Fig. 7にTrに対する投影光学系の全長を示す。Fig. 3に示されるように、投影光学系の全長は、投影光学系に含まれるレンズ群の光軸に最も近い光束の主光線についての、レンズ群の光軸の方向における物点から自由曲面ミラーの最終端までの距離である。Fig. 5, Fig. 7より、Trが小さくなるほど中間像の長さは大きくなり、結果として光学系全長の大きくなるのがわかる。製品搭載に鑑みると、小型化の観点では全長260mm以下が望ましく、今回設計した6パターンはこの条件を満たすものである。

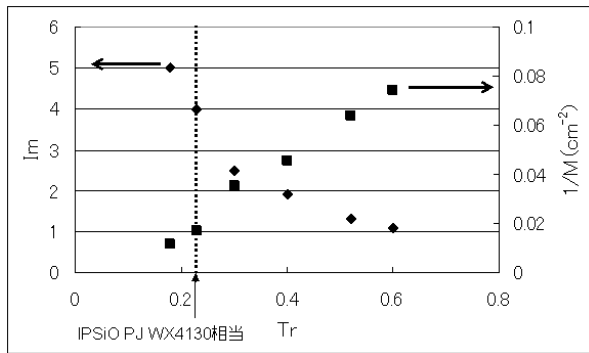


Fig. 8 Mirror sizes dependence on Tr.

次に、Trのミラーサイズに与える影響を説明する。
 Fig. 8にTrに対するミラーサイズを示す。四角のシンボルはTrに対するミラーサイズの逆数(1/M)を示している。ひし形のシンボルはTrに対するImを示しており、Fig. 5を再掲している。図より、Trを低減するとImは増大し、ミラーサイズの大きくなる事が分かる。つまり、光学系全長と同様、ミラーサイズの観点からも投写距離を低減するほど投影光学系サイズは大きくなる。小型化のためには、1/Mは0.02cm²以上であることが望ましい。

Fig. 5, Fig. 7, Fig. 8より、良好な光学性能を得ながら全長260mm以下、1/M 0.02cm²以上を満たすImは4以下である。この条件を満たし、かつ最小の投写距離となるのはTr = 0.23であり、これはIPSiO PJ WX4130に採用した投影光学系に相当する。

2-3 設計代表例

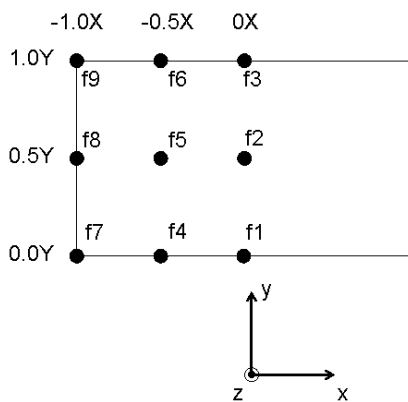


Fig. 9 Object point position.

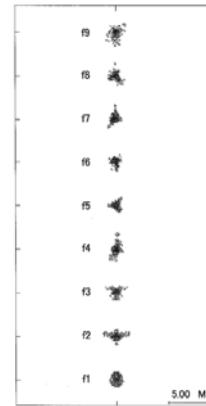


Fig. 10 Spot diagram (Tr = 0.23).

代表例として、Tr = 0.23の投影光学系の設計結果を示す。Fig. 9にパネルにおける物点の位置の例を示す。投写画像の特性は、Y軸を基準として±X方向に対称である。よって、本稿では-X方向における性能のみを示す。図には、XY平面にある像面のうちX≤0のエリアをX方向に3等分割すると共にY方向に3等分割することによって得られた9個の格子点(物点)f1からf9までを示している。

Fig. 10はf1~f9に対応したスクリーンでのスポットダイアグラムである。図より、スクリーン上でのスポットは良好に集束しており、WXGAクラスの解像度が得られる。WXGAの解像度の周波数についての白色の変調伝達関数(Modulation Transfer Function (MTF))の値は、スクリーンに投写される画像の全域にわたって50%以上である。

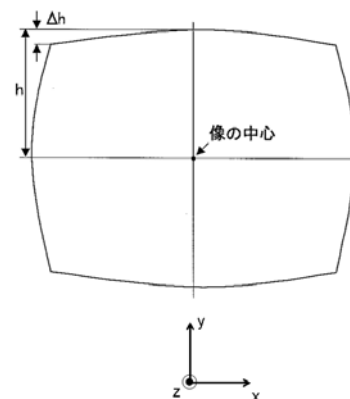


Fig. 11 TV distortion.

Fig. 11は、TVディストーションを説明する図である。TVディストーションは、スクリーンに投写された像についてのY方向の歪みを表す数値であり、 $Dh = (\Delta h/2h) \times 100$ によって定義される。ここで、 Dh はTVディストーションである。 h は、像の中心から像のY方向における像の端までの長さである。 Δh は、像の頂点を通って像のX方向に延びる直線及び像のY方向における像の端を通って像のX方向に延びる直線の間における間隔である。

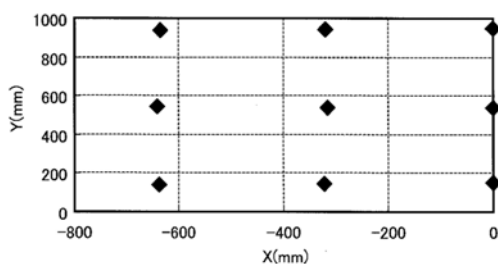


Fig. 12 Distortion ($Tr = 0.23$).

Fig. 12は、 $Tr = 0.23$ の投影光学系における、 $f1 \sim f9$ に対応したスクリーンでの結像位置である。TVディストーションは2%以下であり、歪曲収差は良好に補正されている。なお、本論文では1例として投影光学系の小型化・短焦点化・高画質化を両立する $Tr = 0.23$ において良好な光学性能の得られていることを示した。Fig. 5, Fig. 7, Fig. 8に示したその他の光学データについても同様に良好な光学性能の得られることを確認している。

3. 製品搭載事例

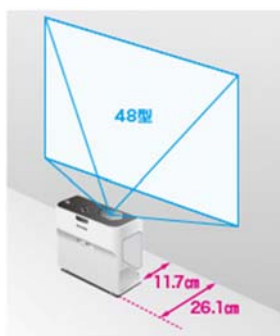


Fig. 13 IPSiO PJ WX4130.

Fig. 13はIPSiO PJ WX4130の製品説明図である。IPSiO PJ WX4130では2-1節で説明した基本構成に加えて、レンズ群と凹面ミラーの間に折り返しミラーを配することで投影光学系サイズの低減を図った。

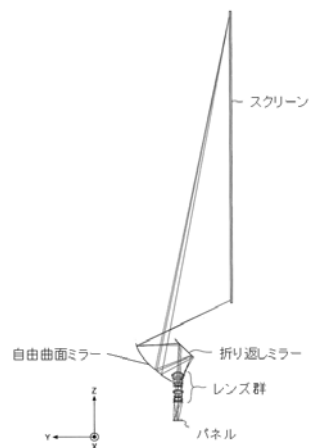


Fig. 14 Optical path.

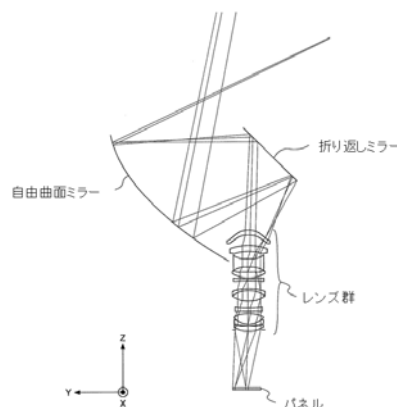


Fig. 15 Enlarged view of an optical system.

Fig. 14は折り返しミラーを配したときの光路図である。Fig. 15はFig. 14の投影光学系を拡大したものである。図に示すとおり、レンズ群と自由曲面ミラーの間に平面ミラーを配している。これにより、レンズ群から自由曲面ミラーまでのZ方向の距離をY方向とZ方向に分割できるため、結果として光学系をコンパクトにすることができる。この折り返しミラーにより、従来にない投写スタイルを実現し、セットの奥行きを格段に低減できた。結果として、サイズ257×144×221mm、質量約3.0kgを達成した。

4. まとめ

リコーの超至近投写プロジェクターに搭載されている、投影光学系の特徴を詳しく説明した。スローレシオの光学系に及ぼす影響を示し、投影光学系の小型化・短焦点化・高画質化を両立する条件を明らかにした。

本光学系はIPSiO PJ WX4130に採用されており、最適なTrを選択すると共に折り返しミラーを配することで、超至近投写と小型・軽量化を実現している。

IPSiO PJ WX4130は2011年11月発売後、コンパクトで持ち運びやすい超至近投写プロジェクターとして国内外で注目されており、国内では2012年度グッドデザイン賞を受賞、更にグッドデザイン・ベスト100に選出され、海外ではPROJECTOR CENTRAL(米国のプロジェクター評価サイト)で5つ星を獲得するなど、高く評価されている。

新規フルカラー電子ペーパー表示技術の開発

Novel-Design Full-Color Electric Display Technology

平野 成伸*	内城 禎久*	岡田 吉智*	辻 和明*	金 碩燦*
Shigenobu HIRANO	Yoshihisa NAIJOH	Yoshinori OKADA	Kazuaki TSUJI	SukChan KIM
匂坂 俊也*	高橋 裕幸*	藤村 浩*	八代 徹*	
Toshiya SAGISAKA	Hiroyuki TAKAHASHI	Koh FUJIMURA	Tohru YASHIRO	

要 旨

電子書籍端末を筆頭として反射型ディスプレイを搭載した電子ペーパーが商品化されている。しかしながら現在の電子ペーパーは、そのほとんどが白黒表示であり、明るく鮮やかな色表示を実現する実用レベルのカラー化技術は確立されていない。我々は、透明状態からイエロー、マゼンタ、シアンを各々可逆的に発色する3種類の有機エレクトロクロミック化合物を順次積層した反射型フルカラーディスプレイ(mECD)を開発した。mECDの特徴は、カラー印刷と同様に減法混色方式で色表示することである。試作したmECDの白反射率(555nm)は70%であり、これは従来の反射型カラーディスプレイの中で最も明るい。また、mECDの標準色チャートに対する色再現範囲は27%であり、従来の反射型カラーディスプレイよりも大幅に向上した。さらに、薄膜トランジスタ(TFT)バックプレーンと組み合わせることで、明るく鮮やかで高精細なフルカラー表示を実現した。

ABSTRACT

Electronic papers are increasing on a commercial basis mainly using black and white reflective display. But bright full-color reflective displays are now still under development. We have developed a technology for a new full-color reflective display "multi-layered electrochromic display (mECD)" based on the subtractive color mixing model. The reflectivity of white state of the mECD was 70% at 555nm. This is the highest value among reflective color displays all over the world. The mECD showed 27% color reproducibility compared with the standard color chart. It's quite broader than that of existing color reflective display devices. An active matrix driving of the mECD has been demonstrated successfully.

* 研究開発本部 先端技術研究センター
Advanced Technology R&D Center, Research and Development Group

1. 背景と目的

モノクロ電気泳動方式の電子ペーパーを搭載したAmazon社の電子書籍端末「Kindle」の登場以来、電子ペーパーに対する注目が集まっている。電子ペーパーとはCRT、液晶ディスプレイ(LCD)、有機ELといった従来の発光型ディスプレイではなく、紙と同じように蛍光灯や太陽光を反射して表示する反射型ディスプレイを搭載したデバイスの総称である。電子ペーパーの特長としては(1)発光型ディスプレイと比較して圧倒的な低消費電力で表示できる＝電池容量を減らせるため薄型・軽量になる(2)紙のように文字が読みやすく、特に日差しの強い屋外での視認性が優れている等が挙げられる。これらの特長を生かした軽量のモノクロ電子書籍端末が多くのメーカーから商品化されており、市場の拡大が期待されている。

しかしながら、現状の電子ペーパーのほとんどが白粒子と黒粒子を反転して画像表示させる電気泳動方式を用いた白黒表示であり、カラー電子ペーパーはほとんど市場に出ていない。これは、反射型ディスプレイのカラー化技術が確立されていないことによる。

内部に光源を持たない反射型ディスプレイにおいて、LCDのように白黒電子ペーパーの上にカラーフィルターを重ねると光を大幅にロスしてしまい画面全体が暗くなってしまう。また、カラーフィルターはレッド(R)ブルー(B)グリーン(G)の3つのサブピクセルを並置して1つのピクセルとするため、コントラストが低くなり鮮やかな色彩を表現することができなくなる。すなわち、反射型ディスプレイにおいて、LCDで培われてきたカラーフィルター技術、また、CRT(ブラウン管)の時代から用いられてきたRGBサブピクセル方式から脱却しなければ明るく鮮やかなフルカラー表示をおこなうことは難しい。

これまでカラー電子ペーパーとして商品化された主な方式は以下の3つである。

- [1] 白黒電気泳動方式にカラーフィルターを重ねる方式¹⁾(Fig. 1)

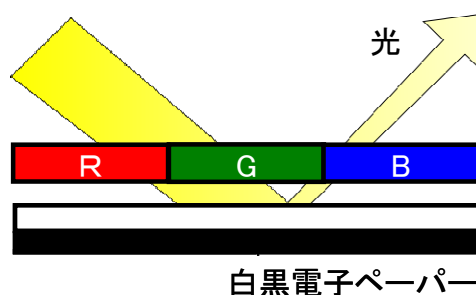


Fig. 1 Problem of color filter method.

- [2] R, G, Bそれぞれの光を選択的に反射するコレステリック液晶を積層した方式²⁾(Fig. 2)

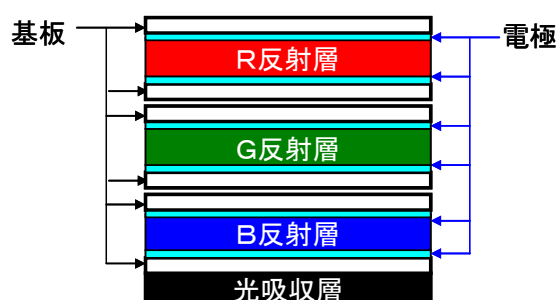


Fig. 2 Schematic image of the cholesteric liquid crystal display.

- [3] 光の干渉を利用して反射光のON, OFFをスイッチングするMEMSシャッターをRGB3つのサブピクセルとして並置する方式³⁾(Fig. 3)

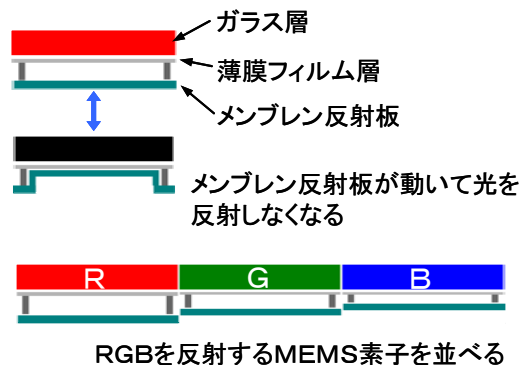


Fig. 3 Schematic image of the MEMS display.

[1]の方式は前述の通り原理的に明るさ、鮮やかさとともに著しく低下する。カラーフィルターにホワイトを加え、RGBWの4サブピクセルとして明るさを確保する開発がおこなわれているが鮮やかさとの両立が難しい。[2]の方式はカラーフィルターを用いず、RGBサブピクセルを用いないため鮮やかな色彩を得ることができるが、コレステリック液晶は光の半分しか反射できないため明るさを得ることは難しい。加えて3つのディスプレイを重ね合わせた構造をとっているため、低コスト化が困難であるとともに光利用効率も低下しやすい。[3]の方式はカラーフィルターを用いず、高速応答が可能という特徴があるが、RGBサブピクセルを並置するため鮮やかさに乏しい。また、視野角依存性が大きく、見る角度によっては色が変わって見える。

本報では、従来のカラー電子ペーパーでは実現できなかった明るく鮮やかなフルカラー表示を低コストで実現できる反射型ディスプレイを開発することを目的とし、新規なカラー表示方式を提唱し、その方式に必要な材料、デバイス化技術の開発結果を報告する。

2. 技術(多層積層構造エレクトロクロミックディスプレイ)

2-1 表示原理

明るさと鮮やかさを両立できる反射型フルカラー表示は“白色の上にイエロー(Y)、マゼンタ(M)、シアン(C)の3原色を積み重ねる”減法混色方式である。この方式はカラーコピー機やインクジェットプリンターなど紙への印刷で一般的に用いられているカラー化方式である。減法混色をディスプレイで実現するには、電氣的に透明⇄イエロー、透明⇄マゼンタ、透明⇄シアンを切り替える3つの表示層を白色層の上に積層する必要がある。

透明状態と着色状態を切り替えることができる材料としてはエレクトロクロミック(EC)化合物が挙げられる。EC化合物は、電荷の授受による酸化還元反応で可逆的な色変化をする材料であり、分子構造によって様々な色を発色する。また、色変化をさせた後に電圧

印加をやめても一定時間発色状態を保つ特性を有しており、低消費電力を特長とする電子ペーパーに適した材料である。小林らはY, M, Cを発色する3つのEC化合物を各々セル化して重ね合わせた、明るく鮮やかな反射型フルカラー表示を実現している⁴⁾。

2-2 パネル構成

3つのECセルを重ね合わせるディスプレイ構造は明るく鮮やかなフルカラー表示ができるが、一方でコストが大幅に高くなる、また、TFT素子を用いた高精細表示ができないといった課題もある。そこで我々は、明るく鮮やかなフルカラー表示を低コストで実現する多層積層構造エレクトロクロミックディスプレイ(mECD)を開発した^{5,6)}。mECDの断面イメージをFig. 4に示す。

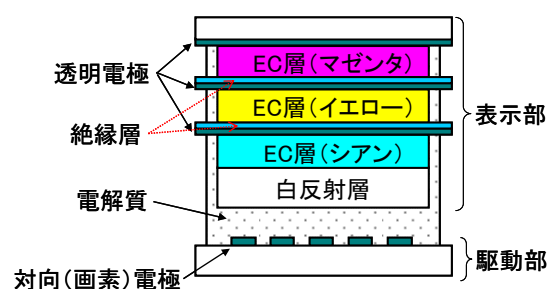


Fig. 4 Schematic structure of the multi-layered electrochromic display (mECD).

mECDはLCDなどの一般的なディスプレイと同様に、1つの表示部と1つの駆動部からなる。

mECDの表示部は3つのEC層と対応する透明電極が絶縁層を挟んで積層されており、背面に白色反射層を形成した構成である。全ての層が微細パターン加工を必要とせず、高速で低コストでの生産が可能である。EC層はEC化合物を担持した酸化チタンナノ粒子膜で構成されており、酸化チタンナノ粒子を増感電極として電荷を注入/注出することにより、EC化合物の酸化還元反応を高速におこなう⁷⁾。

この表示部を、電解質を介して対向(画素)電極を有する駆動部と貼り合わせることでmECDパネルが形成

される。電解質は各透明電極と対向電極の間をイオン電導させ、EC化合物を酸化還元反応させるために必須である。そのために表示部のすべての層（各EC層と透明電極、絶縁層、白色反射層）に電解質を浸透させる必要がある。対向電極にはTFT素子を適用することができ、アクティブマトリクス駆動が可能である。

mECDを駆動するには、発色させるEC層に対応する透明電極を選択し、対向電極と接続して電圧印加する。電圧印加により電解質イオンが移動し、接続した透明電極に電荷が注入されることで選択したEC層のみが発色する。さらにEC層が発色した後、接続を切ることで発色状態が保持される。

3. 成果

3-1 エレクトロクロミック化合物

EC化合物は、酸化還元反応により可逆的に色変化する材料である。主なEC化合物としては、酸化タングステン、酸化イリジウムなどの無機酸化物、プルシアンブルーを代表とした金属錯体化合物、導電性高分子化合物、ビオロゲン化合物、ロイコ染料系化合物、テレフタル酸化合物などの有機化合物が挙げられ、電子ペーパー、調光ガラス、防眩ミラーなどへの応用に向けて開発されている。特にビオロゲン化合物は鮮やかな色彩、メモリー特性、繰り返し耐久性などの特性が優れておりフルカラー電子ペーパー用の材料として期待できる。

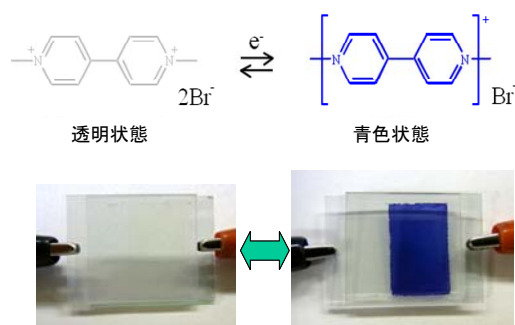


Fig. 5 Electrochromism of viologen compound.

ビオロゲン化合物とは、Fig. 5に示すように4,4'-ビピリジンを4級アンモニウム塩にしたジカチオン構造であり、2V程度の電圧を印加すると1電子還元反応が起こり、透明から青色に変化する。また、逆電圧を印加すると酸化反応して透明状態に戻る。

我々は、ビオロゲン化合物の2つのピリジン環部位の間に様々な構造を導入することで吸収帯を変化させ、発色ピーク波長を制御した新規EC化合物を開発した。Fig. 6にY, M, Cを発色する分子構造と、その発色状態の吸収スペクトルを示す。なお、前述の通りmECDではEC化合物を酸化チタンナノ粒子膜に担持させることを特徴としている。従って、それぞれのEC化合物にはホスホン酸部位が付いており、この部位が酸化チタンナノ粒子膜に吸着する役目を果たしている。

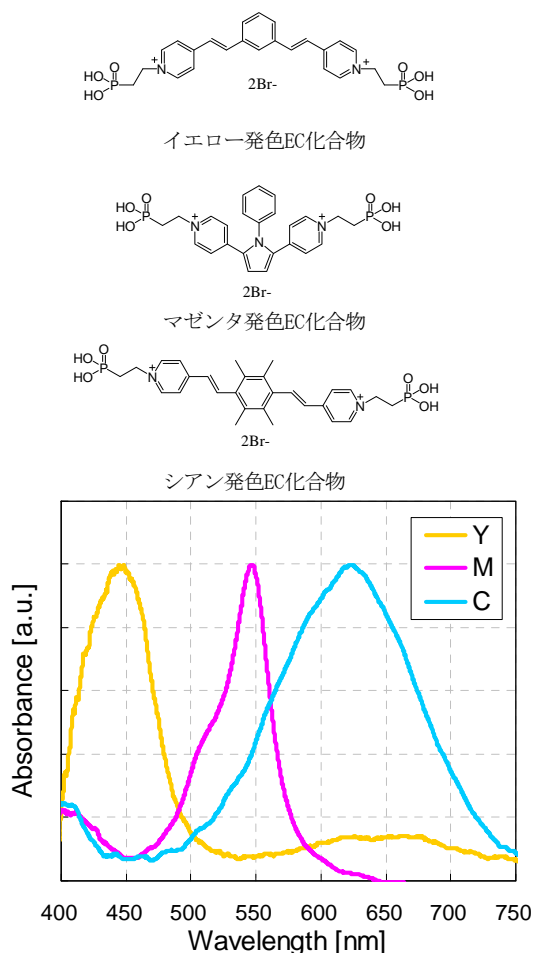


Fig. 6 Absorption spectra of the new organic electrochromic compounds (yellow, magenta, cyan).

3-2 mECDの製造方法

mECDの製造方法開発では、低コスト要件として生産タクトを高速化し、生産効率を向上させることをターゲットとした。例えばDVD+Rのような光ディスクではスパッタリング、スピコートを組み合わせた3秒/枚程度の高速インライン生産プロセスが確立されているため超低コストで生産が可能である。mECDにおいてもスパッタリング、スピコートのみの製膜方法で各層を積層できるように材料、処方、プロセス条件を開発した。この製造方法により従来のLCD生産のような大型設備を導入することなしに大量生産が可能である。

また、プロセス温度の上限値は120℃以下とすることで、基板としてPETのようなフレキシブルプラスチックを採用できるようにした。Table 1にmECDの製造条件の1例を示す。

Table 1 Fabrication condition of the mECD.

	材料	厚さ	作製プロセス
基板	ガラス	0.7mm	
透明電極	ITO	~80nm	Sputtering
EC層	有機EC化合物 TiO ₂ etc.	~1μm	Spin coating Annealing
絶縁層	SiO ₂ etc.	~1μm	Spin coating Annealing
白色反射層	TiO ₂ etc.	~5μm	Spin coating Annealing

3-3 フルカラー駆動

mECDでフルカラー表示をおこなうための駆動方法をFig. 7に示す。フルカラー表示は4つのステップでおこなう。

1st step：白色表示（初期化）では、すべてのEC層が消色状態である。

2nd step：1層目のEC層(Fig. 7ではマゼンタ)の書き込みをおこなう。マゼンタ画像に対応する画素電極を選択し、マゼンタEC層に対応した透明電極と接続し電圧印加することで、マゼンタEC層の表示画像領域のみを発色させる。このとき他の透明電極は非接続となる。

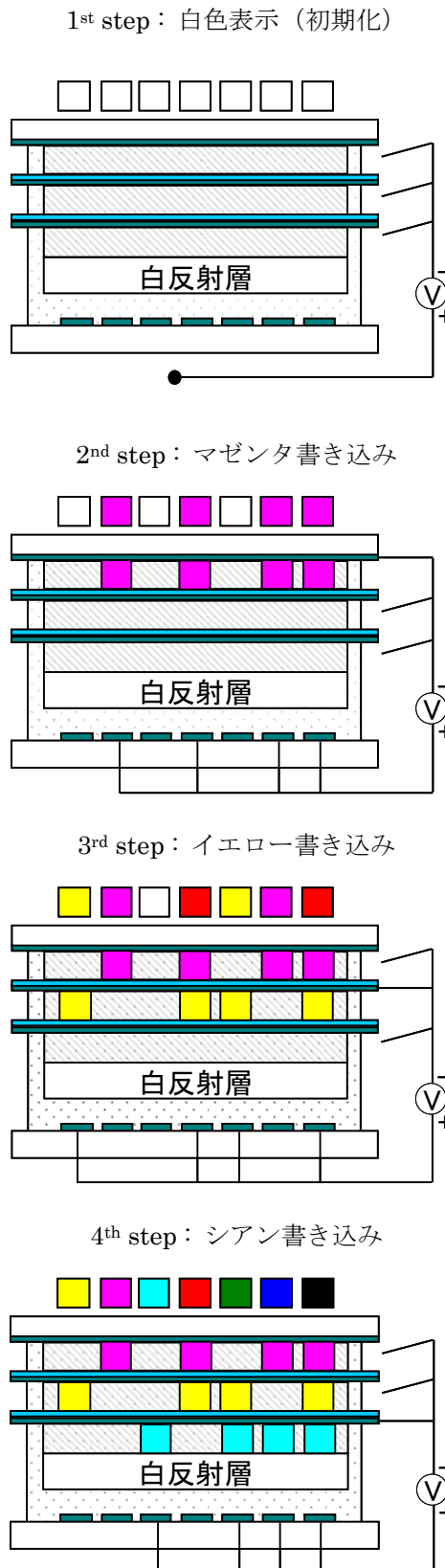


Fig. 7 Driving scheme of the mECD.

3rd step: 2層目のEC層(Fig. 7ではイエロー)の書き込みをおこなう。イエローEC層の透明電極を選択して1層目と同様に画像形成する。

4th step: 3層目のEC層(Fig. 7ではシアン)の書き込みをおこなう。シアンEC層の透明電極を選択して1層目、2層目と同様に画像形成する。

各EC層はメモリー性を有するため画像が保持され、YMC減法混色によるフルカラー画像表示が実現できる。

3-4 mECDの表示特性

3-4-1 カラー表示特性

mECDの各色の反射スペクトルをFig. 8に示す。反射スペクトルは、BaSO₄標準白色板の反射スペクトルを100%として分光測色計 (KONICA-MINOLTA, CM 3730d)を用いて測定した。

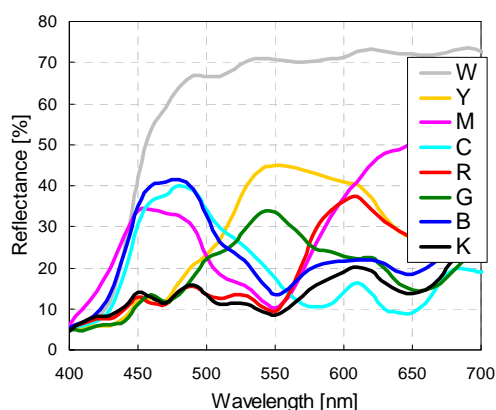


Fig. 8 Reflection spectra of each color. (W: white, M: magenta, Y: yellow, C: cyan, R: red, B: blue, G: green, K: black)

mECDの白色状態の555nmにおける反射率は70%であった。この値は他のカラー電子ペーパーよりも大幅に高い結果であった。(Table 2) また“紙”と比較しても新聞紙よりも高く、コピー用紙に迫る白さである。ただし、現状のmECDは400~450nmの波長領域で反射率が低く黄色味を帯びている。これはマゼンタEC化合物の消色状態が十分に透明ではないことに由来する。現在、EC化合物構造の改良中である。

Table 2 Reflectivity (* at wavelength of 555nm) standardized with the normal white board.

	白反射率
コピー用紙	80%
mECD	70%
新聞紙	58%
白黒電子ペーパー	45%
カラー電子ペーパー (コレステリック液晶)	25%
カラー電子ペーパー (カラーフィルター)	21%
カラー電子ペーパー (MEMS)	18%

YMCRGBの各反射スペクトルから算出したCIELab色空間におけるa*, b*プロットをFig. 9に示す。印刷の標準チャートであるJapanColor色チャート ((社) 日本印刷産業機械工業会) の測色値も同様にプロットし、これらのプロットを結んだ面積比を色再現範囲として評価した。JapanColor色チャートに対するmECDの色再現範囲は27%であった。

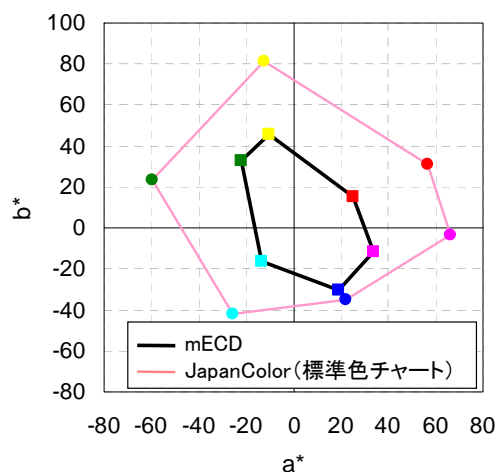


Fig. 9 Chromaticity points on a*b* diagram.

同様に他のカラー電子ペーパーの色再現範囲はTable 3に示すようにカラーフィルター方式では1%未満、カラーフィルターのない方式でも7~8%であり、mECDが際立って鮮やかな色彩を示す結果を得た。なお、mECDの色は視野角に依存せず全方向で同じ色に見える。

Table 3 Color reproducibility compared with the standard color chart.

	色再現範囲
mECD	27%
MEMS	8%
コレステリック液晶	7%
カラーフィルター	0.9%

3-4-2 高精細表示特性/アクティブマトリクス駆動

対向電極にTFT基板を用い、高精細画像表示をおこなった。TFT基板は市販されている有機ELディスプレイに用いられているものをそのまま用いた。

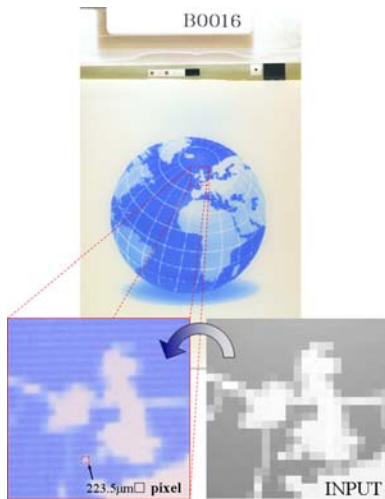


Fig. 10 Demonstrated image of Active Matrix LTPS-TFT mono-color electrochromic display panel. (3.5 inch QVGA [113 ppi], 64 gray scale)

はじめに、解像性を評価するため青色発色EC材料を用いた単層モノカラーECDパネルを作製した。Fig. 10はTFTパネルにおける入出力パターンを比較している。この結果より、223ミクロン角の画素(113ppi)を解像することが確認できた。Fig. 11は、TFT基板と貼り合せたmECDパネルで表示したフルカラー画像である。高精細で鮮やかなフルカラー画像が表示できた。なお、評価に用いたTFT基板は、画素開口率が約48%である。mECDの駆動では画素開口率が大きいほど色濃度を高くできる。今後、TFT基板の画素開口率を大きくすることで色彩、コントラストの改善が見込める。



Fig. 11 Demonstrated image of mECD-TFT panel.

3-5 プラスチック基板への展開

冒頭で述べたように電子ペーパーの特長は薄型・軽量である。従って、この特長を生かすには基板をプラスチックにすることが必須である。また、プラスチックにすることにより薄型・軽量のみならずフレキシブル性、低コスト化、耐衝撃性も得られる。mECDにおいて、基板をプラスチック(PET)にする試みも進めている。PET基板上に3つのEC層を積層し、発色することを確認した⁸⁾。

4. 今後の展開

EC化合物をはじめとした材料の改良、デバイス構成の最適化をおこなうことで、色彩、応答性、耐久性等の諸特性を向上させていく。また、大画面化、高精細化、プラスチック基板化を進めていく。

謝辞

EC化合物は山田化学工業株式会社との共同開発です。本技術開発の一部は、新エネルギー・産業技術総合開発機構(NEDO)「次世代プリンテッドエレクトロニクス材料・プロセス基盤技術開発」プロジェクトにおける助成事業として行われています。

参考文献

- 1) E ink Corporation : E INK Triton Imaging Film, http://www.eink.com/display_products_triton.html (2010)
- 2) 蔭山芳明 : カラー電子ペーパーの現状と将来『コレステリック液晶方式電子ペーパー』, *日本印刷学会誌*, Vol. 44, No.5, pp.275-278 (2007).
- 3) B. Gally et al.: A 5.7" Color Mirasol® XGA Display For High Performance Applications, *SID 11 DIGEST*, pp.36-39, 1, (2011).
- 4) H. Urano, S. Sunohara, H. Ohtomo, N. Kobayashi: Electrochemical and Spectroscopic Characteristics of Dimethylterephthalate, *J. Mater. Chem.*, 14, pp.2366-2368 (2004).
- 5) 平野成伸ほか : 「反射型リアルフルカラー表示技術」新規積層エレクトロクロミック方式, 日本化学会 第 89 春季年会 2B1-15 (2009).
- 6) T. Yashiro et al.: Novel Design for Color Electrochromic Display, *SID 11 DIGEST*, pp.42-45, 1, (2011).
- 7) D. Cummins et al.: Ultrafast Electrochromic Windows Based on Redox-Chromophore Modified Nanostructured Semiconducting and Conducting Films, *J. Phys. Chem. B*, 104, pp. 11449-11459 (2000).
- 8) Y. Najjoh et al.: Multi-Layered Electrochromic Display, *IDW 11 DIGEST*, pp.375-378 (2011).

注1) AmazonおよびKindleはAmazon. com, Inc. の商標です。

カラーPODプリンタ向け高耐久感光体の開発

Development of High Durability Organic Photoreceptor for Color POD Printer

廣瀬 光章*

Mitsuaki HIROSE

田元 望**

Nozomu TAMOTO

中森 英雄**

Hideo NAKAMORI

藤原 由貴男***

Yukio FUJIWARA

紙 英利**

Hidetoshi KAMI

永井 一清**

Kazukiyo NAGAI

要 旨

近年、プロダクションプリンティング市場では、電子写真方式のカラーPOD(Print on Demand)プリンタの進出が拡大している。その中で、電子写真方式に使用される感光体においては、高耐久性や高信頼性が求められている。このような要求に対し、我々はカラーPODプリンタ向けに新規に高耐久感光体を開発した。本稿では、この新規開発した高耐久感光体に採用した以下の技術、フィラー含有型架橋表面保護層による耐摩耗性の向上技術、新規電荷輸送モノマーによる化学的耐久性の向上技術、高移動度ドナーによるレスポンス性の向上技術、について紹介する。

ABSTRACT

In recent years, color POD (Print on Demand) printer by electrophotography has been making progress in Production Printing market. Organic Photoreceptor, which is used in it, needs high durability and reliability. Therefore, we have developed a new high durability Organic Photoreceptor for color POD printers. We report the following technologies of this Organic Photoreceptor: abrasion resistance technology by cross-linked over-coat layer containing filler, chemical durability technology by new charge transport monomer and high response technology by new high mobility donor.

* 生産事業本部 RS事業部

RS Products Division, Production Business 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

*** グループ技術開発本部 環境・エネルギー技術開発センター

Environment and Energy Technology Development Center, Corporate Technology Development Group

1. はじめに

近年、プロダクションプリンティング(PP)市場では、電子写真方式のカラーPOD(Print on Demand)プリンタの進出が拡大している。PP市場では電子写真方式においても印刷機と同等レベルの高画質、高耐久性/高信頼性、高生産性が要求され、その中で電子写真方式に使用される感光体においても、高耐久性や高信頼性が求められている。

感光体を高耐久化し、長寿命化するには、静電的耐久性、化学的耐久性、耐摩耗性を同時に実現する必要がある。リコーでは感光体の静電的耐久性を向上させるためにブロッキング層(BL)を導入し、支持体からのリークを抑制することで、繰り返し使用における地汚れ特性を改善した¹⁾。化学的耐久性においては、電子写真における帯電器から発生するオゾンやNO_xなどの酸化性ガスによる解像度低下を抑制するために、酸掃去(Acid Scavenge)機能を持った電荷輸送材料ASドナーを開発し、長期使用時の解像度低下を抑制し、感光体の信頼性を向上した²⁾。また、感光体の耐摩耗性については、耐摩耗機能を付与するためにフィラーで補強した表面保護層を電荷輸送層と機能分離して設けたFR-OPC(Filler-Reinforced OPC)を開発した³⁾。さらに電荷輸送機能を有するモノマー(CT-モノマー：Charge Transport monomer)と多官能モノマーをUV照射により3次元架橋させた架橋表面保護層を開発し、その高耐久感光体を当社カラーPODプリンタRICOH Pro C900に搭載した⁴⁾。

このようにリコーでは高耐久感光体の開発を進めてきているが、カラーPODプリンタでは、従来以上の高耐久性や高信頼性が要求される。一般にカラープリンタではタンデム方式での色重ねにより画像形成が行われるため、感光体の摩耗や酸化性ガスによる静電特性の劣化が色調に影響を与える。特にPP市場で使われるカラーPODプリンタでは高いレベルの画質安定性が求められ、僅かな静電特性の劣化が問題となるため、感光体においては従来以上の耐摩耗性や化学的耐久性が必要となる。さらにPP市場では高速かつ大量印刷といった高生産性が要求されることから、感光体のレスポンス性の向上が望まれる。

このような課題に対し、我々はカラーPODプリンタ用に新規に高耐久感光体を開発した。本稿ではこの高耐久感光体に採用した耐摩耗性の向上技術、化学的耐久性の向上技術、レスポンス性の向上技術について紹介する。

2. 技術

2-1 感光体の概要

Fig. 1(a)に今回開発した新規感光体、(b)にRICOH Pro C900に搭載している従来の感光体の層構成を示す。新規感光体は従来の感光体と同様、支持体上にブロッキング層(BL)、下引き層(UL)、電荷発生層(CGL)、電荷輸送層(CTL)、表面保護層(OL)を設けた5層構成となっている。

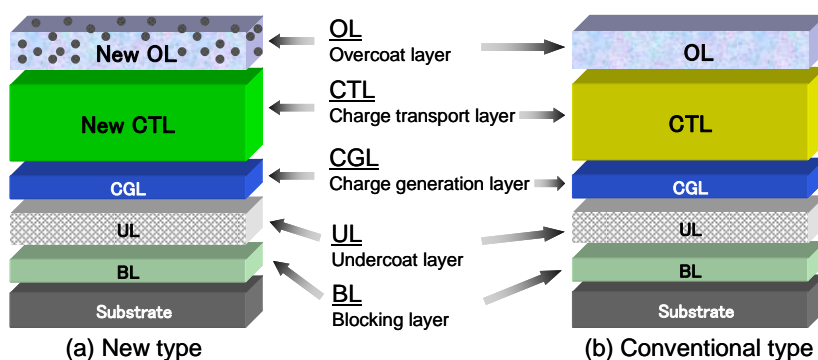


Fig. 1 Structure of Organic Photoreceptor.

新規感光体は、フィラー含有型の架橋表面保護層を採用し、従来以上の耐摩耗性を実現した。さらに表面保護層には化学的耐久性を高めたCTモノマーを採用した。CTLには新たに開発した高移動度の電荷輸送材料（ドナー）を採用し、高レスポンス性を実現した。また静電的耐久性を高めるため、従来の感光体で採用しているBLを用いた。

2-2 耐摩耗性の向上

感光体の機械的な摩耗は、感光体厚みの減少に伴い静電特性が劣化し異常画像発生要因となる。つまり、摩耗は感光体の寿命に直結する現象と捉えることができ、耐摩耗性を向上させることは感光体の開発において重要な課題である。

今回開発した新規感光体は、CTモノマーと多官能モノマーをUV照射により共重合させた3次元架橋構造中に高硬度の無機フィラーを含有させたフィラー含有型架橋表面保護層を採用することで、耐摩耗性を向上させたものである。この、フィラー含有型架橋表面保護層は、Fig. 2に示すように、リコーがこれまで開発してきたFR表面保護層³⁾と架橋表面保護層⁴⁾の各々の耐摩耗コンセプトを併せ持つ構成となっている。

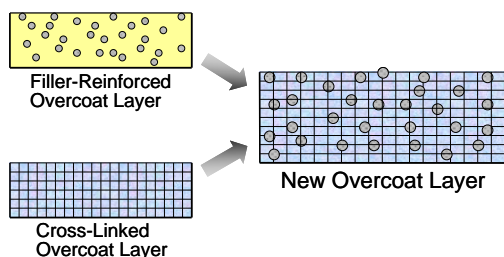


Fig. 2 Schematic illustration of overcoat layer.

Fig. 3に摩耗要因によって表面保護層が摩耗されるイメージ図を示す。この時の摩耗要因として、トナーやクリーニングブレードなどの接触部材との摺擦を想定している。今回の新規表面保護層では、フィラーがこれら摩耗要因を受け止める補強作用を示すとともに、3次元架橋構造に由来して発現する膜の高硬度化によって分子鎖の切断を抑制することで、非常に高い耐摩耗

性が発現する。さらに、このような3次元架橋構造を利用することで膜中へのフィラー把持が強固となり、摩耗要因によるフィラーの脱離を抑制するため、耐摩耗性を長期的に維持することができる。

Fig. 4にこの新規表面保護層の形成方法を示す。まず、フィラー、多官能モノマー、CTモノマー、重合開始剤を調合した塗工液をスプレーによりCTL上に塗布する。そして、UV照射により重合反応を進行させ、モノマーが3次的に架橋した表面保護層を得ることができる。

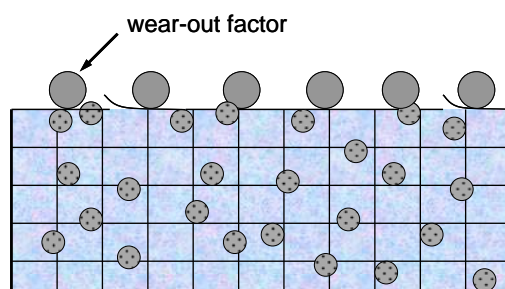


Fig. 3 High abrasion resistance mechanism.

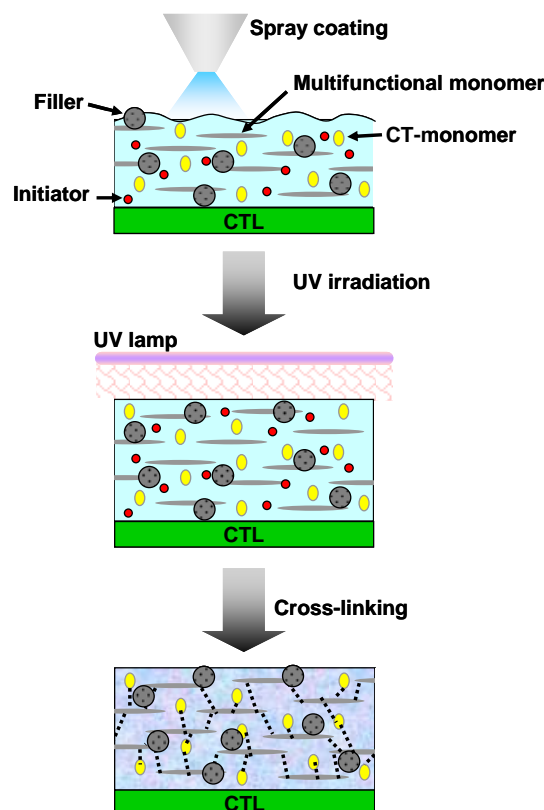


Fig. 4 Formation of overcoat layer.

次に、今回開発した新規感光体と従来の感光体それぞれの耐摩耗性評価のために、実機を用いたプリント試験を実施した。Fig. 5に、これらの感光体のプリント枚数に対する表面保護層の摩耗量の推移を示す。この図から、単位プリント枚数あたりの摩耗量を意味するプロットの傾きが、開発した感光体において小さくなっていることがわかる。また、1000k枚プリント時の摩耗量で比較すると、従来の感光体では約 $3.8\mu\text{m}$ であるのに対し、今回開発した感光体では $0.1\sim 0.2\mu\text{m}$ であり、従来の感光体に比べ耐摩耗性を約25倍向上させることができたといえる。

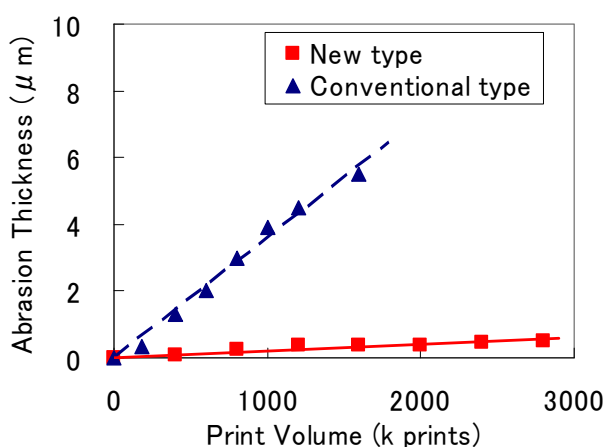


Fig. 5 Abrasion thickness.

2-3 化学的耐久性の向上

従来、電荷輸送機能と架橋官能基とを併せ持つCTモノマーを採用することで、感光体の架橋表面保護層の電荷輸送性と耐摩耗性の両立を図ってきた。しかしながら、この架橋表面保護層形成時のUV照射工程において、CTモノマーが劣化することが課題であった。このCTモノマーの劣化の概念図をFig. 6に示す。このようにして劣化したCTモノマーは、酸化性ガスの影響を受けやすくなり、静電特性の劣化を示し、結果として印刷画像の濃度変動などの異常を引き起こすこととなる。

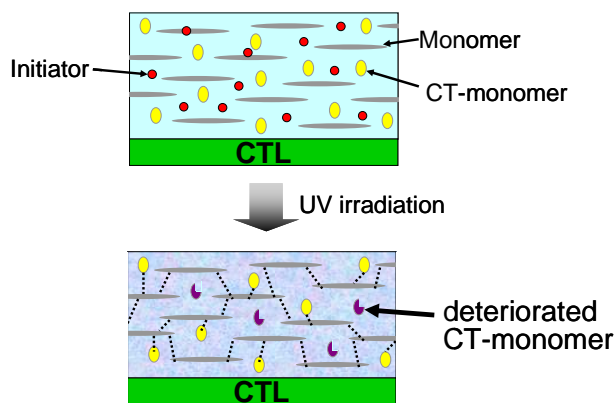


Fig. 6 Schematic illustration of UV irradiation process (Conventional type).

そこで我々は、CTモノマーのUV照射による劣化を抑制するために分子構造の改良を行った。Fig. 7に(a)従来のCTモノマーと(b)改良したCTモノマーの構造模式図を示す。従来のものは、電荷輸送ユニットと架橋官能基ユニットが近接して結合した構造であり、UV照射で活性になった架橋官能基が電荷輸送ユニットに影響を及ぼすために劣化していると推測できる。そこで、これらユニット間にスペーサーを導入することで共役を分離すれば、CTモノマーの変質を抑制することが可能になると考えた。

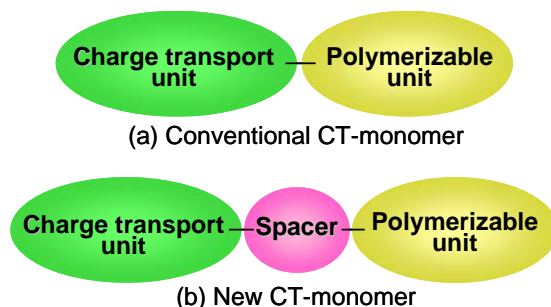
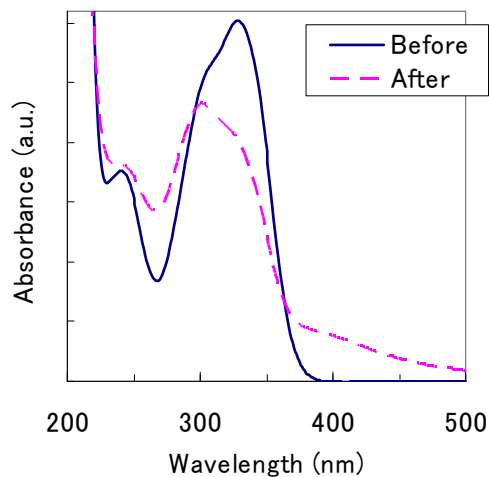


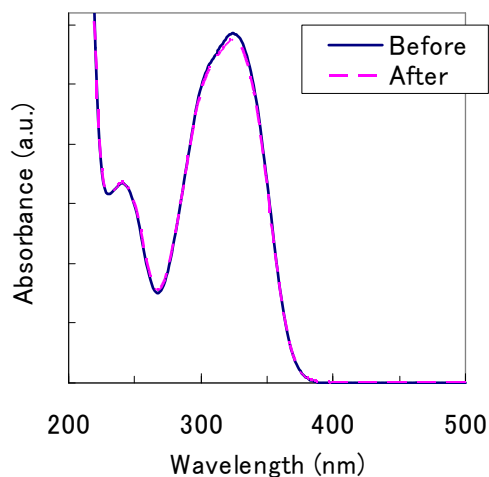
Fig. 7 CT-monomer model.

Fig. 8に各CTモノマー材料単体のUV照射前後の紫外・可視吸収スペクトルを示す。(a)の従来のCTモノマーでは、UV照射により吸収帯の減衰およびピーク位置の短波長シフトと共に400 nm付近にブロードな吸収帯が発現し、CTモノマーが変質していると推定できる。一方、(b)のスペーサーを導入した今回のCTモノマーでは、吸収帯の概形はほとんど変化せず、UV照射による

材料の変質は認められない。この結果は、CTモノマーへのスペーサーの導入によりUV照射時の電荷輸送ユニットの劣化が抑制できたことを明確に示している。



(a) Conventional CT-monomer



(b) New CT-monomer

Fig. 8 UV·Vis spectrum of CT-monomers before and after UV irradiation.

そこで次に、このCTモノマーの改良による架橋保護層の化学的安定性への効果を検証する目的で、感光体特性のNO_xガスに対する耐久性を評価した。Fig. 9に、各CTモノマーを利用して作製した架橋保護層を有する感光体における帯電電位のNO_xガス暴露にともなう変化を示す。従来の感光体はNO_xガス暴露前後の

帯電電位の変化量が54 Vであった。一方で、新たに改良したCTモノマーを採用した今回の感光体は、帯電電位の変化量は15 Vであり、NO_xガス暴露による帯電低下を抑制することができた。このことは帯電器から発生するオゾンやNO_xガスによる静電特性の劣化や印刷画像の濃度変動を抑制でき、感光体の信頼性が向上されたことを意味する。

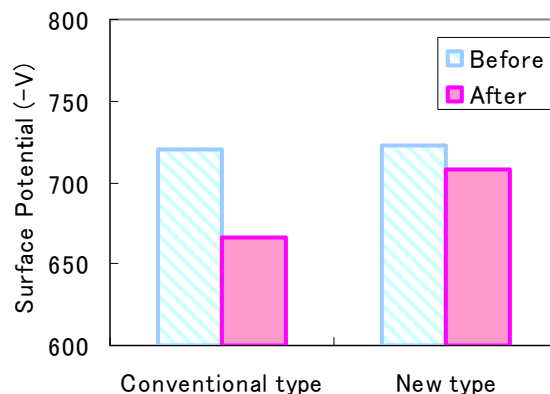


Fig. 9 Charge voltage before and after NO_x gas exposure.

2-4 レスポンス性の向上

電子写真プロセスでは、感光体が帯電、露光されると、CGLでキャリアが発生し、キャリアのCTLへの注入後、電界によってCTL、OL中を移動して表面に達し、静電潜像を形成する。このような過程において、感光体のレスポンス性を向上させるためには、キャリアの移動性、すなわち電荷輸送能を高めることが必要である。そのためには電荷輸送材料（ドナー）において、多感応性を持たせること、分子内移動性を高めること、構造的トラップを形成させないことが重要である⁵⁾。そこで我々はCTL中のドナーの分子設計を行い、高移動度ドナーの開発を行った。Fig. 10に(a)従来のドナーと(b)高移動度ドナーの構造の模式図を示す。今回開発した高移動度ドナーは、分子内の感応性ユニットを増やすことで多感応性を持たせ、かつπ共役鎖長を長くし分子内移動性を高めた分子構造となっている。

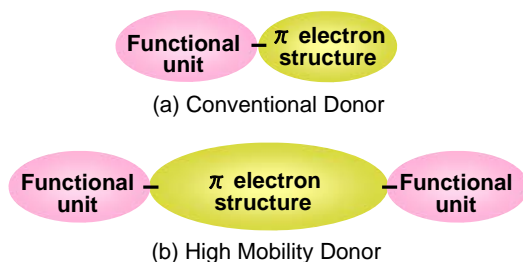


Fig. 10 Donor structure model.

Fig. 11に(a)従来のドナーと(b)高移動度ドナーにおける電荷輸送のイメージ図を示す。CGLからCTLに注入されたキャリアは、CTL中でドナーの分子内移動と分子間のホッピング移動により輸送される。高移動度ドナーの場合、多感応性を有することで多くのキャリアが輸送される。またπ共役鎖長が長いことで、分子内移動性が高く、さらに分子間のホッピング移動が短かつ少なくなる。高移動度ドナーでは、これらの効果により電荷輸送性が向上する。

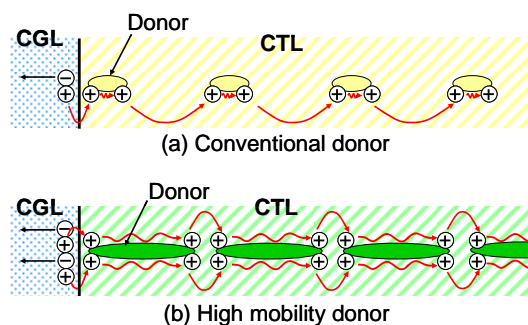


Fig. 11 Schematic illustration of charge transporting process.

そこでまず、今回開発した高移動度ドナーと従来のドナーとのホール移動度の比較を行った。Fig. 12にTime-of-Flight法により測定したホール移動度の電界強度依存性を示す。両ドナーの移動度を電子写真プロセスで一般的に使われる電界強度が $2.5 \times 10^5 \text{ Vcm}^{-1}$ ($E^{1/2} = 500 \text{ V}^{1/2}\text{cm}^{-1/2}$) の位置で比較すると、従来のドナーは $4.2 \times 10^{-5} \text{ cm}^2/(\text{V}\cdot\text{s})$ であるのに対し、今回開発した高移動度ドナーは $1.3 \times 10^{-4} \text{ cm}^2/(\text{V}\cdot\text{s})$ であり、高移動度ドナーは従来のドナーに比べ約3倍に移動度が向上している。

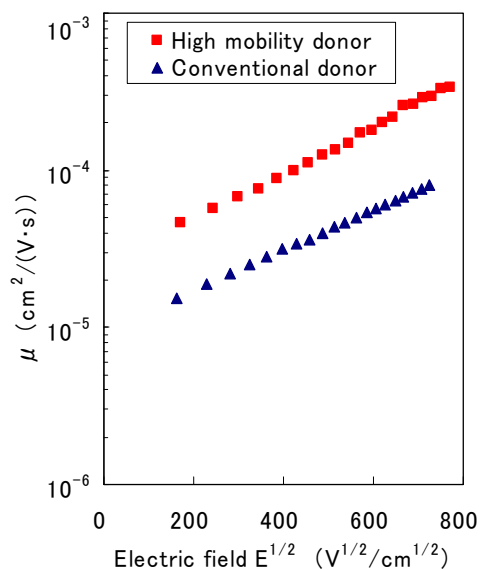


Fig. 12 Hole drift mobility.

次に、高移動度ドナーを利用することによる感光体特性への効果を評価した。Fig. 13に感光体の露光後電位の光応答時間依存性を示す。この光応答時間依存性は、感光体を帯電した後の露光から電位測定までの時間を変えた条件で露光後電位を測定し、露光と電位測定までの時間に対してプロットしたものである。高移動度ドナーを採用した今回の新規感光体では、従来の感光体に比べ、光応答時間の依存性が小さく、また露光後電位そのものも低い。これは高移動度ドナーの採用によりレスポンス性が向上されたことを意味する。これにより露光～現像までの時間が短い高速印刷時においても良好な静電特性を維持することができ、高信頼性と高生産性の両立が可能となった。

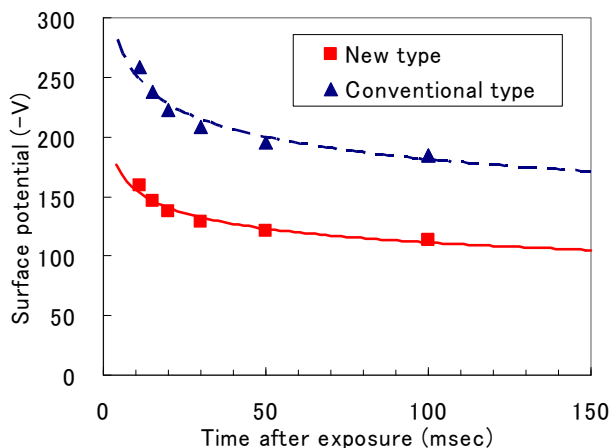


Fig. 13 Photo response time dependence of surface potential after exposure.

3. まとめ

本報告ではカラーPODプリンタ用に開発した新規高耐久感光体の搭載技術について述べた。搭載技術は以下の通りである。

- (1) フィラーを含有した架橋表面保護層を開発し、耐摩耗性を従来に比べ約25倍向上させることができた。
- (2) 電荷輸送機能を有するモノマー(CT-モノマー)の改良により化学的耐久性を向上させ、酸化性ガスによる静電特性の劣化や濃度変動を抑制することができた。
- (3) 高移動度ドナーの開発により感光体のレスポンス性が大幅に向上され、高信頼性と高生産性の両立が可能となった。

今後、この高耐久感光体をカラーPODプリンタに展開していくことで、プロダクションプリンティング分野の要求に応えることができるものと考えている。

参考文献

- 1) N. Toda, R. Kitajima, T. Niimi, N. Tamoto, T. Orito, Y. Yamashita, M. Koeda and I. Shimaki : Development of OPC for high speed digital monochromatic MFP, *Proceeding of NIP23 : International Conference on Digital Printing Technologies* , Anchorage, Alaska, pp.639-642 (2007).
- 2) T. Shimada and T. Ikegami : Hole Transport Materials with Resolution Maintenance Function for Organic Photoreceptor, *RICOH TECHNICAL REPORT*, 33, pp. 21-26 (2007).
- 3) S. Nohsho, R. Kitajima, T. Ikegami, T. Suzuki, T. Niimi and N. Kojima : Development of High Endurance OPC Accumulating Protective Layer, *RICOH TECHNICAL REPORT*, 31, pp.32-38 (2005).
- 4) Y. Kawasaki, R. Kitajima, T. Suzuki, K. Nagai, Y. Yanagawa, M. Hirose, A. Sugino, T. Asano, Y. Fujiwara and H. Ikuno : Development of High Abrasion Resistance Organic Photoreceptors utilizing Cross-Linked Over-coat Layer, *RICOH TECHNICAL REPORT*, 36, pp.46-52 (2010).
- 5) 高橋隆一, 艸林成和, 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 (3), p.16 (1986).

PCU高耐久・高信頼化技術

Techonologies for High Durability and Reliability of the Photoconductor Unit

中井 洋志*
Hiroshi NAKAI

長谷川 邦雄*
Kunio HASEGAWA

田中 真也*
Shinya TANAKA

二宮 弘道*
Hiromichi NINOMIYA

鷹島 秋彦**
Akihiko TAKASHIMA

要 旨

リコーの中高速カラー機においては、感光体ユニット(PCU : PhotoConductor Unit)の高耐久化を目的として、作像部にステアリン酸亜鉛を主成分とする潤滑剤を採用してきた。今回、この潤滑剤に新規成分を加え機能分離型とすることで、PCUの耐久性及び信頼性を大幅に向上させた。また、本技術を2010年11月発売のimagio MP C5001以降の機種に順次搭載し、市場で従来の課題となっていた異常画像に対して、非常に大きな効果が得られていることを確認した。本論文では、上記の新規潤滑剤を主としたPCU高耐久・高信頼化技術について報告する。

ABSTRACT

For obtaining high durability of the photoconductor unit (PCU), we have used a lubricant composed mainly of zinc stearate in classes of midrange to high-end full-color MFPs of Ricoh.

This time we developed a new functional separation type lubricant consisted of several materials.

By using this lubricant, we could improve the durability and reliability of the PCU significantly.

And also we confirmed that it had a great effect against an undesirable image, which was a conventional problem in the field.

* 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

** 生産事業本部 生産技術センター

Production Engineering Center, Production Business Group

1. 背景と目的

1-1 はじめに

複写機・プリンタの心臓部を担う感光体ユニット (PhotoConductor Unit : PCU)は、繰り返し使用時にも常に良好な画像を提供できるよう、高度な耐久性及び信頼性 (異常の発生しにくさ) が求められる。例えば PCUの各部品である感光体やクリーニングブレードの摩耗、帯電ローラの汚れ等はいずれも異常画像の原因となるため、PCUを長寿命化するためにはこれら部品の全てに対して耐久性・信頼性の向上が必要となる。

Fig. 1にimaggio MP C4500のPCU断面図を示す。

リコーでは上記目的に対する達成手段の一つとして、主にカラー中高速機において感光体への潤滑剤塗布技術を採用しており、imaggio MP C4500シリーズをはじめとした多くの機種に、ステアリン酸亜鉛をバー状に成形した潤滑剤を搭載している¹⁾。

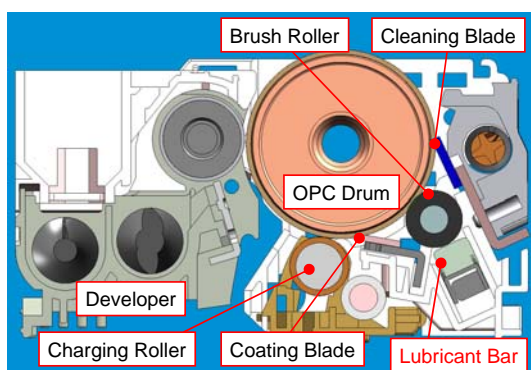


Fig. 1 Overview of the photoconductor unit (imaggio MP C4500)

1-2 潤滑剤の役割と課題

上記潤滑剤は、塗布部材であるブラシに掻き取られ感光体上に塗布される。主な役割は感光体とクリーニングブレードとの間に潤滑性を付与することにより、感光体及びクリーニングブレードの摩耗を抑制したり、トナー清掃性を向上させたりすることであるが、他に

も感光体とトナーとの付着力を低減して転写率を向上させる、或いは感光体表面に成膜した潤滑剤層が保護層の役割を果たし、摩耗やフィルミングといった感光体表面の変化を抑制する、等の効果もある。

ステアリン酸亜鉛は材料自身が優れた成膜性を有し、特に感光体表面保護に対して顕著な効果を示すことから、これまでに自社のみならず他社でも多くの使用例がある。従来、多くの場合で感光体摩耗及びフィルミングがPCU寿命の決定要因となっていたが、ステアリン酸亜鉛塗布の効果によりこれらに対する余裕度が大きく向上し、昨今のPCU長寿命化につながっている。

一方で、ステアリン酸亜鉛を潤滑剤として用いた場合、冬季の黒スジ画像が新たな課題として認識されるようになった。解析の結果、この現象は本来クリーニング部で清掃されるべきトナーがブレードを微量にすり抜け、帯電部に侵入することによる、帯電ローラ汚れが主原因であると判った。

帯電部に侵入したトナーが帯電ローラ表面に付着・蓄積され、その部分の抵抗を局部的に低下させることで帯電不良が生じ、画像上に黒スジとなって現れる。また、帯電ローラ自体の抵抗が上昇する低温時には、正常部とトナー付着部の抵抗差が特に顕著となるため、冬季に問題となりやすい。以上が黒スジ画像発生 の推定メカニズムである。

上記現象を引き起こす帯電ローラ汚れは、潤滑剤塗布技術を採用した場合の新たなPCU寿命決定要因となり、より一層のPCU長寿命化を目指すうえでの妨げとなっている。また、市場での調査結果からも、上記現象がPCU異常発生要因の多くを占めていることが判明している。しかしながら、帯電ローラ汚れが何故ステアリン酸亜鉛を塗布した場合に発生しやすいのかは明確となっておらず、課題の本質に踏み込んだ改善策は得られていないのが実状であった。従って、PCUの更なる耐久性・信頼性向上に対しては、帯電ローラ汚れの発生メカニズムに基づいた、根本的な解決手段の創出が強く望まれていた。

1-3 目的

我々は、ステアリン酸亜鉛が帯電ローラ汚れを発生させるメカニズムを明確にしたうえで、これに起因する黒スジ画像を低減し、かつ感光体摩擦やフィルミング、ブレード摩耗等に副作用を及ぼすことなく、PCUの耐久性及び信頼性を大幅に向上させることを目的として本技術の開発を行った。

2. 技術

2-1 帯電ローラ汚れ発生メカニズムの把握

まず我々は、ステアリン酸亜鉛塗布による帯電ローラ汚れの発生メカニズムを明確にするため、現象を整理することから検討を開始した。

帯電部にトナーが侵入するという事は、クリーニング部でのトナー清掃性が不足しているということである。原因としてはステアリン酸亜鉛の潤滑効果が十分に得られていない、或いは逆に潤滑性が高すぎることで、トナー清掃性が悪化する（クリーニングブレードを粉体がすり抜けやすい）方向に動いている可能性が考えられる。

そこで、まず我々は潤滑剤塗布時のクリーニングブレードの挙動に着目し、潤滑剤であるステアリン酸亜鉛を塗布した場合としなかった場合、及び実際の作像プロセスを想定し、それぞれに対して帯電バイアスを印加した場合としなかった場合とで、クリーニングブレードの挙動を観察、比較した。特にブレードエッジの変形（めくれ）具合を観察することで、感光体表面の潤滑性についての情報を得ることができ、ブレードエッジの変形が大きいほど感光体表面の潤滑性が低いと考えられる。

本観察はFig. 2に示すような装置を使用し、ガラス板上に樹脂層を塗布した疑似感光体上に、微量のトナーを介在させた状態でブレードを当接して移動させ、その際の挙動を疑似感光体の裏側から撮影した。

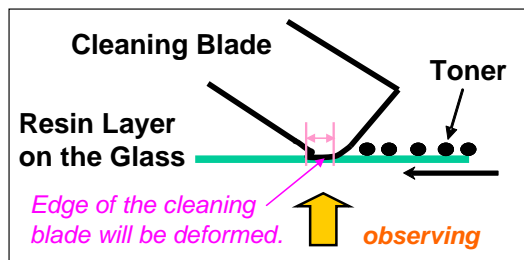


Fig. 2 Observing method of the cleaning blade edge.

Fig. 3はそれぞれの場合の観察結果である。この結果から、ステアリン酸亜鉛を塗布し、かつ帯電バイアスを印加したDの場合には、ブレードエッジの変形が非常に大きくなっていることが判る。

Dは実際の作像プロセスに最も近い状態であるため、実機においてトナー清掃性が不足している原因としては、潤滑性が高すぎるためではなく、潤滑効果が十分に得られていないためであると推測できる。

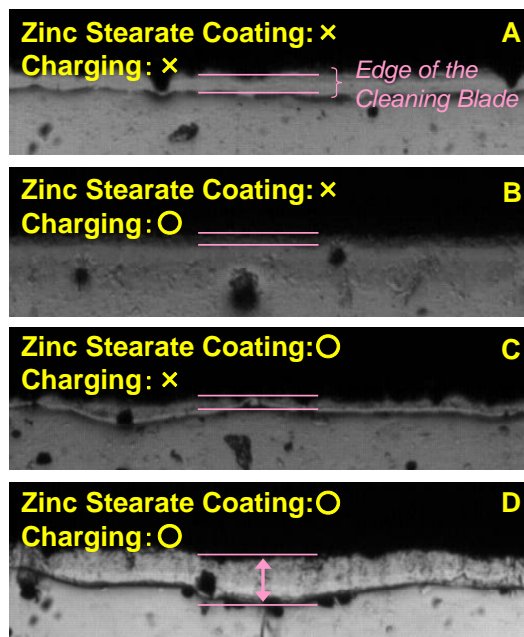


Fig. 3 Result of observing.

次に、我々はこの現象を定量化しようと考え、クリーニングブレードを当接した状態で感光体ドラムを駆動する際の動トルク測定を試みた。ブレードエッジの変形が大きい場合、感光体とブレードとの間の摩擦

係数が増加していると考えられるため、動トルクも高く検出されるはずである。

先の実験と同様に、感光体表面にステアリン酸亜鉛を塗布した場合と塗布しなかった場合、及びそれぞれに対して帯電バイアスを印加した場合としない場合とで、動トルクを比較した結果をFig. 4に示す。なお、この測定時にも、感光体とブレードとの間に微量のトナーを介在させている。

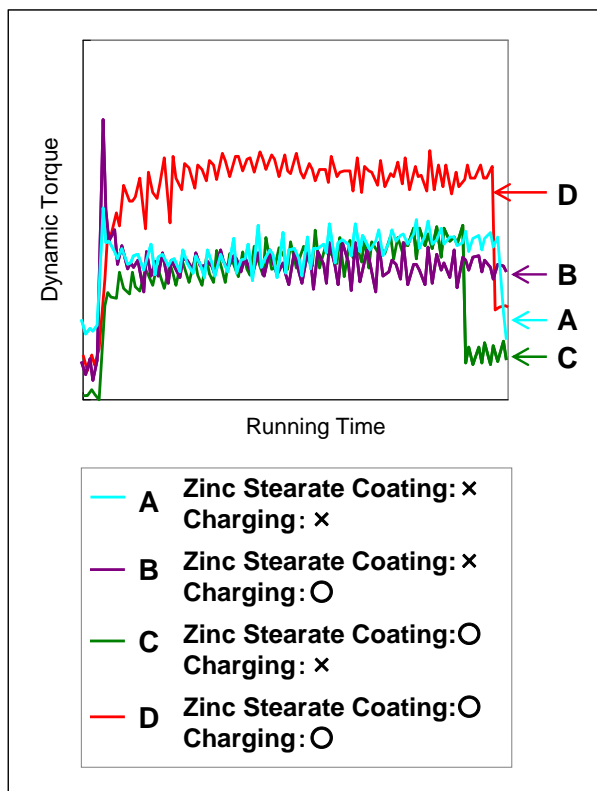


Fig. 4 Dynamic torque of each case.

この結果から、予想通りDの場合のみ感光体とブレード間の動トルクが高くなっていることが確認できた。

これらより、ステアリン酸亜鉛は潤滑剤として使用されているものの、実機内で帯電バイアスが印加された場合には潤滑性が低下し、感光体とブレード間の摩擦係数が増加することで、トナー清掃性に対して不利な方向となっていることが明らかとなった。

以上の結果をまとめると、ステアリン酸亜鉛塗布時の帯電ローラ汚れは、次のようなステップを経て進行すると考えられる。

- (1) ステアリン酸亜鉛塗布に帯電バイアスが印加されると、ステアリン酸亜鉛の潤滑性が低下し、感光体とクリーニングブレードとの間の摩擦係数が増加する
- (2) ブレードエッジの変形（めくれ）が増加し、ブレード挙動が不安定となる
- (3) トナーがすり抜けやすい状態となり、帯電部に侵入するトナー量が増加する
- (4) トナーが帯電ローラ表面に付着し、黒スジ画像の原因となる

我々は上記(1)～(4)のステップを帯電ローラ汚れの発生メカニズムとして把握し、これに基づいて現象の改善に当たることとした。

2-2 新規潤滑剤成分の探索

帯電ローラ汚れを低減するには、上記ステップのいずれかを断ち切ることが必要である。この中で我々は(1)のステップに着目し、帯電バイアス印加時の感光体ーブレード間の動トルクを指標として、新しい潤滑剤を探索することとした。

しかしながら、感光体表面保護の観点ではステアリン酸亜鉛は非常に優れた材料であることから、潤滑剤成分の全てを新規とするのではなく、ステアリン酸亜鉛の長所を生かしながら、上記のような短所を補う物質を添加する、所謂機能分離型の潤滑剤を目指して検討を進めた。

我々は上市されている種々の潤滑剤について、帯電バイアス印加時の動トルク測定を行った。その結果、材料種によってそれぞれ一定の傾向があることを把握した。この中で、窒化ホウ素、二硫化モリブデン、グラファイト等、所謂固体潤滑剤と呼ばれる類の材料は、帯電バイアスを印加した場合にも動トルクが上昇せず、良好な潤滑性を有することが判った。

Fig. 5はこれらの固体潤滑剤の動トルクを、従来のステアリン酸亜鉛と比較したものである。この評価は感光体上に各潤滑剤を十分に塗布した後、まず帯電バイアスを印加しない状態で感光体とブレード間の動トルクを測定し、次に帯電バイアスを印加してそのまま測定を継続している。

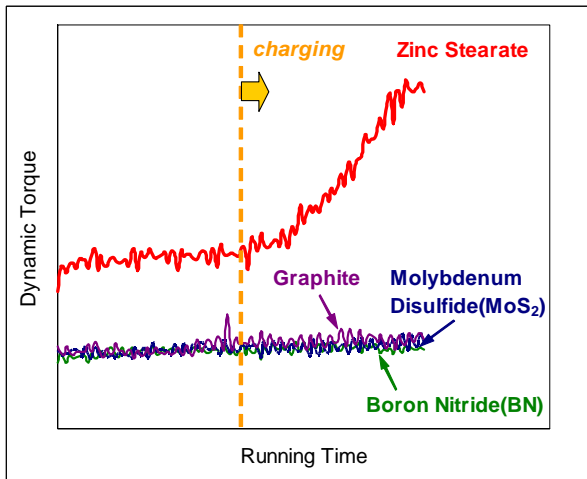


Fig. 5 Dynamic torque of some lubricants.

ステアリン酸亜鉛では、帯電バイアス印加と共に潤滑性が低下し、トルクが上昇するのに対して、固体潤滑剤はトルク変化がほとんどないことが判る。

中でも窒化ホウ素は白色かつ絶縁性であり、また成膜性にも優れる等、感光体上に塗布する潤滑剤として好ましい特性を兼ね備えていることから、我々は窒化ホウ素をステアリン酸亜鉛に添加する潤滑剤成分として選定した。

また、窒化ホウ素はステアリン酸亜鉛と比較すると感光体上に過剰に堆積しやすい材料であり、使用条件によっては感光体上にフィルミングが発生する場合があったため、研磨成分としてアルミナを併用することで使いこなしを実現した。

最終的に決定した新規潤滑剤材料、及び各材料の機能をTable 1に示す。

Table 1 Component of the new lubricant.

材料名	機能
ステアリン酸亜鉛	感光体表面保護
窒化ホウ素	潤滑性維持
アルミナ	感光体表面研磨

2-3 新規PCU構成

このような過程を経て開発した新規潤滑剤に加えて、我々は以下の2つの技術を新規PCUに搭載した。

- (a) 塗布ブレードエッジの鈍角化技術
- (b) 帯電ローラ高耐久化技術

新規PCUの構成図をFig. 6に示す。上記技術を反映し、塗布ブレード及び帯電ローラも新規部材となっている。

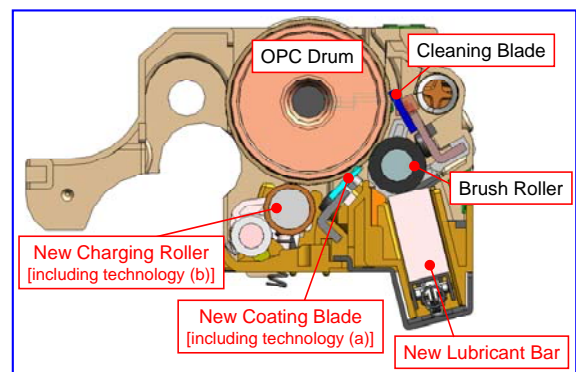


Fig. 6 Overview of the new PCU.

(a)はFig. 7に示すように、塗布ブレードの感光体当接部を鈍角形状とすることによりエッジ挙動を安定させ、経時でのブレード摩耗を抑制する効果を狙ったものである。この新規鈍角塗布ブレードと、上述の新規潤滑剤とを組み合わせることにより、経時での塗布ブレードエッジ摩耗をほぼ0とすることができた。

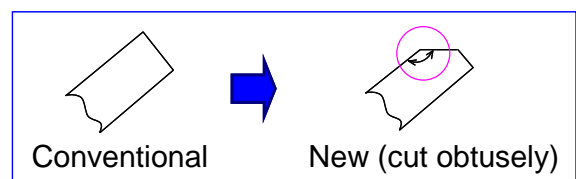


Fig. 7 Edge shape of the new coating blade.

また、(b)は帯電ローラ基材、及び表層処方を改良し、耐クラック性を向上させたものである。リコーで採用している硬質樹脂ローラは、長期通電時のクラック発生が耐久性に影響するが、新規帯電ローラでは従来品と比べて、耐クラック性が約3倍に向上している。

3. 成果

3-1 課題に対する効果

我々はこの新規PCUを用い、従来の課題であった黒スジ画像に対する効果を検証した。具体的には、Fig. 6で示した構成のPCUをimaggio MP C5000に組み込み、冬場のオフィス環境を想定した加速試験を実施して、帯電ローラ汚れに起因する黒スジ画像評価を行った。評価はハーフトーン画像を目視にて観察し、発生した黒スジを5段階(5が最良)でランク評価した。また、従来PCUに対しても同様の評価を行い、比較した。結果をFig. 8に示す。

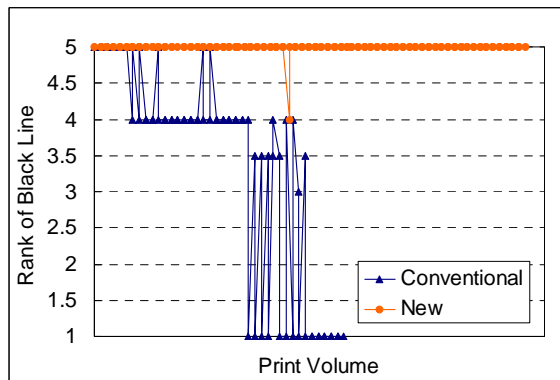


Fig. 8 Effect of the new PCU for black lines.

新規PCUでは従来PCUと比較して、黒スジの発生が大幅に抑制されていることが判る。

この結果を受け、本技術はimaggio MP C5001シリーズのBkステーションPCUに搭載され、2010年11月に上市された。

3-2 市場での実績

本技術の成果は、市場での実績にも現れている。

新規PCUを搭載したimaggio MP C5001が上市されてから15ヶ月間の市場でのPCU異常発生率(Bkのみ)を、従来機であるimaggio MP C5000の場合を1として正規化し、比較した結果をFig.9に示す。

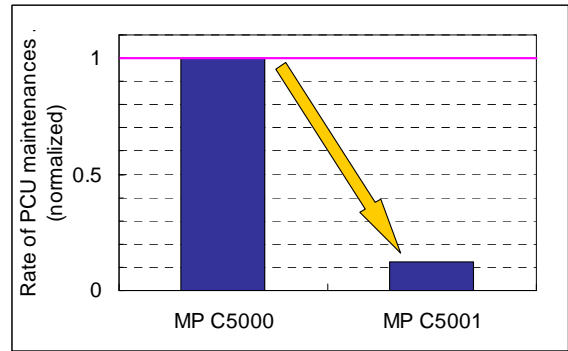


Fig. 9 Comparison of the rate of Bk-PCU maintenances in the 15 months after its release.

imaggio MP C5001の発売後早期における市場でのPCU異常発生率は、従来機と比べて約1/10に減少していることが判る。

また、発売以降2年目の冬季(12~1月)におけるPCU異常発生件数、及びそれに含まれる黒スジ発生件数を同様に比較した。結果をFig. 10に示す。

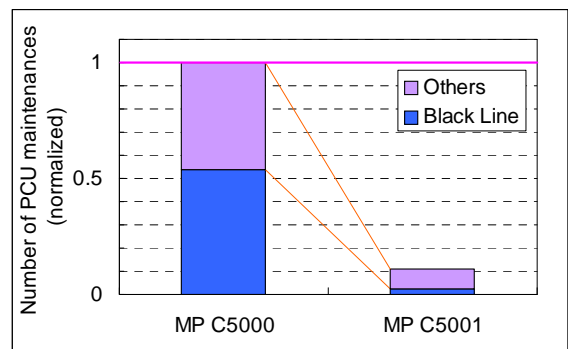


Fig. 10 Comparison of the number of Bk-PCU maintenances in 2nd winter after its release. (Total and due to Black Line)

冬季のPCU異常発生数も約1/10に減少しており、中でも従来の課題であった冬季の黒スジ画像発生数は、約1/20に激減していることが確認できた。

以上のように、本技術によって市場でのPCU耐久性及び信頼性が大きく向上し、特に従来の課題であった冬季の黒スジ画像を大幅に低減できた。

4. 今後の展開

本技術はimagio MP C5001/C4001シリーズへの搭載を皮切りとして、imagio MP C5002/C4002シリーズ、及びRICOH Pro C751EX/C651EXシリーズに順次搭載された。今後もリコーの中速機～超高速機におけるPCU技術のスタンダードとして、広く搭載を行っていく予定である。

参考文献

- 1) 石垣好司ほか：中高速カラー複合機 imagio MP C4500/C3000 シリーズ, *Ricoh Technical Report*, No.32, pp.127-132 (2006).

カラーQSU技術(DH定着方式)

Color QSU Technology (DH Fixing System)

石井賢治*
Kenji ISHII

長藤秀夫*
Hideo NAGAFUJI

吉川政昭*
Masaaki YOSHIKAWA

山科亮太*
Ryohta YAMASHINA

要 旨

フルカラー複合機 imagio MP C5002/C4002/C3302/C2802シリーズの定着方式はリコー独自の省エネ定着技術であるカラーQSU技術を更に進化させ、超低熱容量の部材を低コストなハロゲンヒータによって直接加熱するDirect Heating定着方式を採用し、省エネ基準であるTEC値(Typical Electricity Consumption)の低減とスリープ復帰時間の短縮に成功し、省エネルギー性能とユーザーの使い易さを両立させた。

また、ニップ形状の最適化により封筒や薄紙に対する用紙対応力向上も実現した。

主な特徴は以下の通りである。

- 1) TEC値：2.34kWh(従来機比45%ダウン)
- 2) スリープ復帰時間：9.1sec以下(従来機比59%ダウン)
- 3) 用紙対応 (坪量範囲)：52～300g/m²

ABSTRACT

The Ricoh original enhanced color QSU technology (Direct Heating Fixing System) in the color MFP (Multi Function Printer) “imagio MP C5002/C4002/C3302/C2802” series has succeeded in reduction of TEC value (Typical Electricity Consumption, i. e., an energy-saving standard) and shortening of recovery time from Energy Saver Mode by using low-cost halogen heaters and structure for super low thermal capacity. In other words, energy-saving performance and usability have been achieved at the same time.

In addition to the above mentioned improvement, optimization of nip form has made for improving paper handling capability for envelopes and thin papers.

The main features are as follows.

- 1) TEC value: 2.34kWh (45% reduction compared with our conventional machine)
- 2) Recovery time: 9.1 sec or less (59% reduction compared with our conventional machine)
- 3) Paper handling capability (Range of paper weight in gsm) : 52-300g /m²

* 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. はじめに

2012年2月に発売を開始したデジタルフルカラー複合機 imagio MP C5002/C4002/C3302/C2802シリーズは高画質、省エネルギーをコンセプトに開発されたオフィス層向けのリコー主力機種である。前身機 imagio MP C5001シリーズの省エネルギー性能を更に進化させ新規開発の定着装置によりスリープ復帰時間、消費電力を低減し、お客様の業務効率向上とコスト低減に大きく貢献すると共に、薄紙、封筒等の様々な用紙への対応力を高め、使いやすさとコストパフォーマンスを両立させたデジタルカラー複合機である。

本編ではimagio MP C5002/C4002/C3302/C2802シリーズに搭載されたリコー独自の省エネ定着技術について紹介する。



Fig. 1 imagio MP C5002's.

2. 製品仕様

Fig. 1にimagio MP C5002シリーズの製品外観を、Table 1, Fig 2, 3に主な仕様を示す。

複写速度フルカラー／モノクロ毎分28枚～50枚(A4横送り)の4機種をラインナップし、スリープ復帰時間は9.1秒を達成。エネルギー消費量(TEC値)においても従来機から約45%減の2.34kWh(50cpm機)を達成し、業界トップクラスの高い省エネルギー性能を実現した。

Table 1 Specifications of imagio MP C5002/C4002/C3302/C2802.

商品名		imagio MP			
		C5002	C4002	C3302	C2802
形式		デスクトップ式			
ウォームアップタイム		18秒		20秒	
ファーストコピータイム	モノクロ	3.4秒	3.7秒	4.8秒	
	フルカラー	5.1秒	5.7秒	7.3秒	
連続複写速度(A4ヨコ)	モノクロ	50枚	40枚	33枚	28枚
	フルカラー	50枚	40枚	33枚	28枚
定着方式		カラーQSU-DH (ダイレクトヒート)			

(1) エネルギー消費量

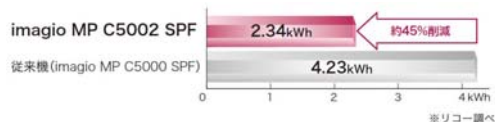


Fig. 2 Comparison of energy consumption.

(2) スリープ復帰時間

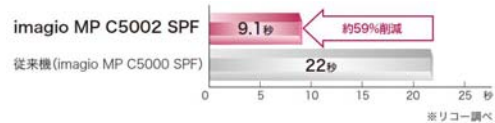


Fig. 3 Comparison of sleep recovery time.

3. QSU技術の変遷

QSUとは「Quick Start Up」の略で、省エネモードからの素早い立ち上がりを実現するリコー独自の省エネ定着技術の総称である。2001年に初めて製品に搭載した初代QSU以来、高速機向けの第二世代、IH定着方式を採用した第三世代カラーQSUと、リコーは独自のQSU技術で定着ユニットを進化させてきた。

(1) 第一世代

定着ローラの熱容量を小さくするため、薄肉化を図った。また、ヒータを複数にして制御し、温度分布を均一化する技術を開発。さらに、熱の伝達効率を向上させるため、スポンジ加圧ローラを採

用し、定着ローラと紙の接触幅を大きくした。従来機で30秒だった立ち上げ時間を一気に短縮し、モノクロ機で世界初の立ち上げ時間10秒を達成¹⁾。

(2) 第二世代

第一世代の薄肉定着ローラは「温まりやすい反面、冷めやすい」ため、1分間に75枚もの高速で印刷すると定着ローラの熱が紙に奪われ、コピー品質と処理速度が維持できなくなる。そこで、急速に充電・放電が可能な蓄電デバイスキャパシタ技術を活用。待機時にキャパシタに電力を蓄えて補助電源とし、紙に奪われた熱を補助ヒータによってローラに追加供給。高速機においても10秒以下を達成²⁾。

(3) 第三世代

カラー機は、複数色のトナーを紙に定着させるため、モノクロ機と比較してはるかに大きな熱量が必要。そこで、IH(電磁誘導加熱)技術によって定着ローラ自体が発熱する方式を採用し、熱伝達効率を向上させることに成功。カラー機で初めて10秒を切る9.9秒の素早い立ち上がりを実現した^{3) 4)}。

4. カラーQSU-DH 省エネ技術

QSU技術の第四世代となるカラーQSU-DHとはDirect Heating(直接加熱)の略で定着ベルトをハロゲンヒータで直接加熱する方式である。第三世代のIH定着方式は低熱容量の定着ベルト自体が発熱するため熱効率は優れているが電磁コイル等の部品が必要で構成が大掛かりになってしまうという課題があった。

そこでIH方式と同様に低熱容量化した定着ベルトをハロゲンヒータで直接加熱することで、効率よく熱を伝えられる定着ユニットを開発した。なお、自社のライフサイクルアセスメントでは、部品数低減により約30%の環境負荷削減効果が算出されている。Fig. 4にimaggio MP C5002/C4002/C3302/C2802シリーズに搭載されたカラーQSU-DHの断面図を示す。

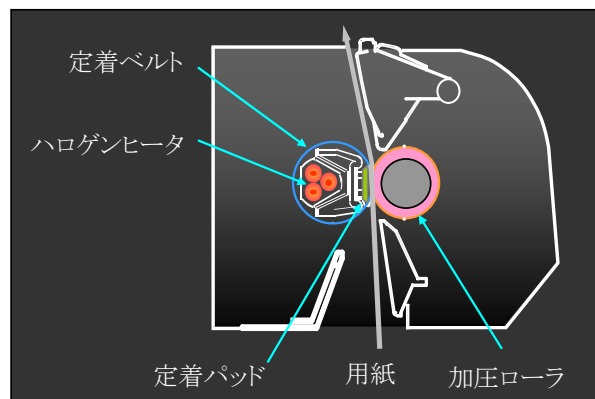


Fig. 4 Color QSU-DH Fixing Unit.

4-1 低熱容量(小型)化

カラーQSU-DHの定着ベルトは低熱容量化の為に基材厚を極限まで薄くした金属薄膜層の上に弾性層となるシリコンゴム層、さらにその上層にトナー離型層となるテフロン層の3層で構成されている。定着ベルト内部に配置された3本のハロゲンヒータの小型化、ニップ部荷重を支持する構造体形状の工夫、定着パッドによる用紙(トナー)との接触幅確保により定着ベルトの大幅な小径化が可能となり、低熱容量化により急速な加熱が可能となった。

さらに定着ベルト内部のハロゲンヒータ近傍には反射板(リフレクタ)を配置し、反射板形状、材質の最適化により低熱容量の定着ベルトへ効率良く熱を伝達させた。

4-2 断熱化技術

Fig. 5は本定着装置に搭載された断熱シャッターの開閉状態による放熱シミュレーション結果である⁵⁾。断熱シャッターとは定着ユニットの熱源上方の用紙排出口に設けた可動する断熱カバーで、非通紙時(待機時)には閉鎖して定着内部からの放熱を極力低減するための工夫である。シャッター開放時(Fig. 5a)には用紙排出口からの放熱が多く、シャッター閉鎖(Fig. 5b)により放熱が低減したことが分かる。

この結果、定着ユニット内部温度は1~3deg上昇し、蓄熱性能を上げることによりTEC値を低減させた。

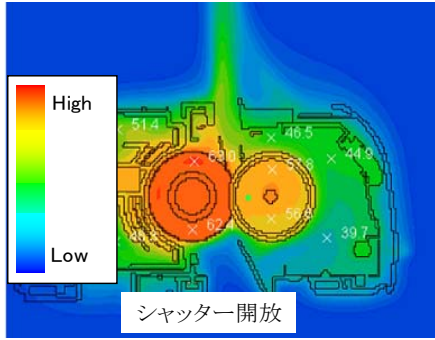


Fig. 5a Temperature profile in the simulation (shutter opened).

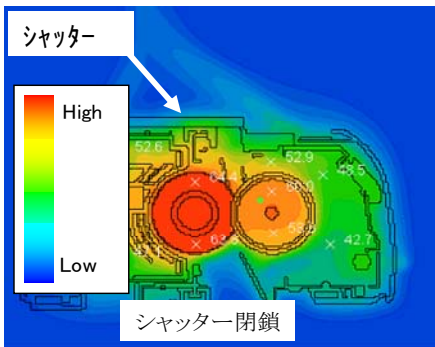


Fig. 5b Temperature profile in the simulation (shutter closed).

4-3 温度制御洗練化技術

定着ベルトの低熱容量化は急速加熱が可能となる反面、外乱により急激に温度が変化し易いという欠点も兼ね備えている。

Fig. 6は同一制御方法で熱容量の異なる定着方式を制御した場合の温度推移を示したものである。

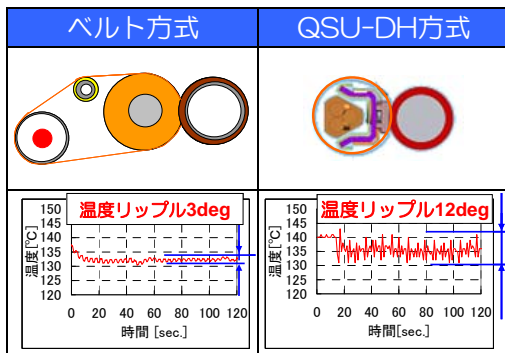


Fig. 6 Temperature comparison by a difference of fixing system.

図左側の定着ローラ、加熱ローラ、テンションローラから構成される比較的熱容量の大きいベルト方式では温度の振れ幅である温度リップルは3deg程度であったが右図のカラーQSU-DH方式では定着スリーブの低熱容量化に伴い温度リップルが大幅に悪化してしまった。

温度リップルが大きいと、温度リップルの下限温度でも定着性を損なわないように、定着制御温度（中心値）を底上げしておく必要があり、逆に言えば、温度リップルを小さく抑えることができれば、定着制御温度（中心値）が下げられ消費電力も下げることが可能となる。

また、定着ベルトの低熱容量化により、用紙へ奪われる熱によっても定着ベルト表面温度は変動しやすい。Fig. 7は低熱容量化した定着ベルトを用いた定着装置へ従来の温度制御方法で通紙した時の定着ベルト表面温度を表したものである。用紙進入により熱を奪われた定着ベルトは表面温度で約20deg低下し、熱量不足による定着不良が発生してしまう。

これらの温度変動に起因する課題に対して、定着ユニットの蓄熱状態等の様々な情報を元に緻密な制御を行うことにより、温度変動を低減することが可能となり定着制御温度を下げ消費電力の低減を図った。

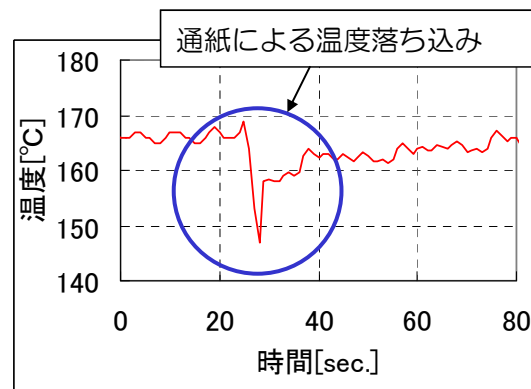


Fig. 7 Temperature drop in the beginning of printing.

4-4 低温定着化

スリープ状態から素早く使用可能にするQSU(Quick Start-Up)を実現する重要な鍵は、熱を効率的に伝える定着技術とトナーの低融点化にある。

imagio MP C5002/C4002/C3302/C2802はカラー機用低融点トナー(PxPトナー)の開発当初に比べ、定着温度マイナス30℃を実現した「カラーPxP-EQトナー」を搭載している。このトナーによる制御温度低温化と、トナーと定着ベルトの密着性を高める工夫により省エネルギー化を達成した。

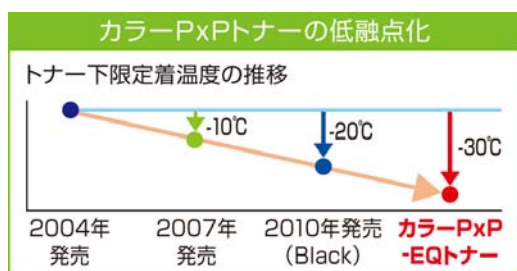


Fig. 8 Low fixing temperature of color PxP toner.

5. 用紙対応力

近年、お客様より小サイズ紙（はがき）の生産性向上、薄紙、封筒対応等、用紙に対する要望が年々高まっている。ここでは、カラーQSU-DHの用紙対応力向上に対する施策について解説する。

5-1 小サイズ紙への対応

省エネルギー性能を高める上で重要な要因となるのは定着部材の低熱容量化である。特に定着ベルトの薄肉化は必要とする部分を短時間で急速に加熱することを可能とする一方で、定着ベルトの平面方向に流れる熱量は定着ベルトの断面積が薄くなると低下してしまう。特に印刷速度の速く生産性の高い複写機で用紙幅の狭い小サイズ紙を連続通紙すると、用紙が通過しない非通紙部において過度に温度が上昇してしまうという課題がある。（これを端部温度上昇と呼ぶ）

これは、定着ベルトは加熱源からの吸熱と用紙への放熱を繰り返し、通紙部では温度コントロールによって吸熱と放熱のバランスが保たれるが、非通紙部では用紙への放熱が行われず、低熱容量化した部材と相まって急速に蓄熱し続けてしまうため、従来のハロゲンヒータ定着方式では中央用ヒータ、端部用ヒータの2本のヒータを搭載し、それらを適宜コントロールすることによって端部温度上昇を回避していた。

しかしながら従来の定着装置は肉厚0.30～0.50mm程度の比較的大きい熱容量を持ったアルミニウム製のローラを使用することで、2種類の発熱長の異なるヒータ制御と、アルミニウム製ローラの熱伝導により各サイズ用の紙に対応することが可能であった。

新カラーQSU-DHではこの課題に対応すべく、小サイズ、はがき専用の3本目のハロゲンヒータを搭載し、通紙する用紙サイズによってヒータを使い分けて使用した。定着ベルトに近接する部分に中央用、端部用のハロゲンヒータを配置し、その2本のハロゲンヒータの背面側に小サイズ専用のヒータを配置し、リフレクタ（反射板）の最適化により小サイズ通紙時には3本目ヒータによって温度制御を行い、不必要な部分のハロゲンヒータ発熱を抑えて、端部温度上昇を防止した。

5-2 薄紙、封筒への対応

小サイズ紙の通紙に並んでお客様要望の高い薄紙、封筒への印刷であるが、これらの用紙は「用紙シワ」等の搬送品質問題が発生しやすい。

省資源化の意識の高まりから薄紙の需要は年々増加しているが、薄紙は用紙自体の剛性が低く用紙シワが発生しやすいことが知られている。

カラーQSU-DHではニップ部の形状を最適化し、用紙にストレスをかけずに搬送することで用紙シワの発生を防止した。

Table 2は imagio MP C5002/C4002/C3302/C2802シリーズの前身機であるローラIH定着方式を採用した imagio MP C5001/C4001/C3301/C2801シリーズとの封筒シワ発生状況を銘柄別にまとめた結果である。前

身機で対応できなかった多くの封筒も対応できるようになった。

Table 2 Occurrence of wrinkle in the envelope.

銘柄	サイズ	カラー QSU-DH	IH定着
ピュアホワイト	長3	○	×
ピュアホワイト	角2	○	×
ピュアホワイト	洋長3	○	○
ハーフトーン封筒	角2	○	×
透けない封筒	角2	○	×
透けない封筒	長3	○	×
ホワイト封筒	洋2	○	○

6. まとめ

リコー独自のカラーQSU技術を進化させた第4世代となるDirect Heating定着方式を開発した。

これにより省エネ基準であるTEC値の低減とスリープ復帰時間の短縮に成功し、省エネルギー性能とユーザーの使い易さを両立させた。

参考文献

- 1) 安田 恵三：QSU 定着技術，日本画像学会誌，42，pp.406 -410 (2009)。
- 2) 岸和人，佐藤直基，加藤泰久：電気二重層キャパシタ補助電源による省エネ定着技術，*Japan Hardcopy 2004 Fall Meeting* 論文集，pp.33-36 (2004)。
- 3) S. Ueno：Heating Width Control Technology for IH Type Fusing System，*ICJ2007*，pp.299-302 (2007) [in Japanese]。
- 4) H. Seo：New Induction Heating Technology and System Optimization for Energy-Saving Fuser，*NIP26*，pp.638-641 (2010)。
- 5) 大杉友哉，首藤美和：MFP 機内全体の熱流体解析，*Imaging Conference JAPAN 2012* 論文集，pp.51-54 (2012)。

SIMD型命令を利用した文書画像処理の高速化

High Speed Document Image Processing Using SIMD Instructions

土屋 美由紀* 山合 敏文*
Miyuki TSUCHIYA Toshifumi YAMAAI

要 旨

文書をスキャンして保存する際に、文字認識(OCR)処理を行って透明テキストを貼り付けることでテキスト検索が可能となるテキスト付きPDFが普及している。このテキスト付きPDFの生成をMFP上で実装するために画像処理の高速化が望まれていた。そこで処理速度のボトルネックとなっていた処理を中心に、ソースコードの最適化と、Intelプロセッサ用のSIMD型命令であるSSEを利用した並列化処理によって高速化を行った。その結果、二値画像での処理時間を従来の51.1%まで縮めることができた。

ABSTRACT

The searchable PDF which enables text retrieval by embedding text information through scanning and succeeding OCR (Optical Character Recognition) becomes widespread recently. High speed image processing is required for searchable PDF generation on an MFP (Multi Functional Peripheral). Speed limiting steps in the processes are identified and speed enhanced through implementation optimization and introducing parallel processing using SSE (Streaming SIMD Extensions) available on Intel CPUs. Experiment results show process time reduction up to 51.1% compared to the conventional process on a binary image.

* 研究開発本部 基盤技術研究センター
Core Technology R&D Center, Research and Development Group

1. 背景と目的

リコーでは長年にわたって文書画像処理技術を研究してきた。その中でもOCR(光学式文字認識)技術はスキャンした文書画像の文字を認識するために広く使われている。このOCR技術を応用したものにテキスト付きPDFがある。テキスト付きPDFとは、認識した文字を透明テキストとして、スキャンした文書画像に付加したPDFのことである。こうすることで、利用者はPDF内のテキストを検索することができる。

紙の文書を電子化するにあたり、検索可能な形で保管したいというニーズは非常に高い。さらに、連携PCやサーバを用いる方法に比べて利用者の使い勝手が良いという理由で、MFP単体上での実装が望まれていた。しかし、MFP本体のCPUのみを利用して追加のハードウェア無しでこのテキスト付きPDF作成機能を実現する場合、処理スピードがネックになっていた。

高速なテキスト付きPDF作成機能をMFP単体上で実現できれば、利用者の作業効率が向上するとともに、他のサーバ製品との連携などのドキュメントソリューションに展開することも容易になる。そこで、テキスト付きPDF作成処理の高速化のために、ボトルネックとなっていたOCR処理を中心に改良を行うことを目的とする。高速化の目標値は、平均処理時間の30%の削減と設定する。

2. OCR処理と処理時間の課題

2-1 OCRの処理フロー

一般的なOCR処理のフローについてFig. 1を用いて説明する。¹⁾²⁾

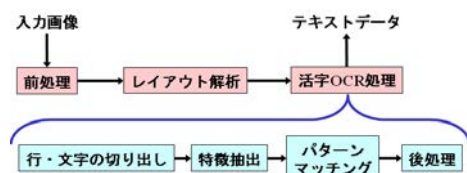


Fig. 1 Processing flow of OCR.

まず、スキャンした文書画像を入力画像として受け取り、画像の回転の補正やノイズ除去などの前処理を行う。次にレイアウト解析を行う。レイアウト解析とは、文書画像中からテキストの段組や表や図のまとまりを分類して抽出する処理であり、この処理によってテキスト領域が抽出される。また、テキスト領域には人が読む際の読み順が自動的に付与される。その後、テキスト領域について、活字OCR処理を行う。活字OCR処理では、まずテキスト領域から1文字分の領域を切り出す。そして1文字分の領域の画像から認識に使用する特徴量データを抽出し、あらかじめパターン辞書として登録されている文字の特徴量データと比較し(パターンマッチング)、認識候補となる文字を出力する。その後、後処理で認識結果を言語的な知識を用いて修正を行い、文字列として確定させてテキストデータとして出力する。

2-2 従来版の処理性能解析

処理のボトルネックとなっている箇所を見つけるために、従来版の処理時間のプロファイル測定を行った。二値画像の評価原稿を入力したときのOCR処理のプロファイルを図2に示す。認識対象文字は平仮名・カタカナ・英数字・記号・漢字第一水準・第二水準とし、その他の実行時の各種パラメータは、リコーからドキュメント管理ソフトとして発売しているRidoc Global Scanと同等であるように設定した。

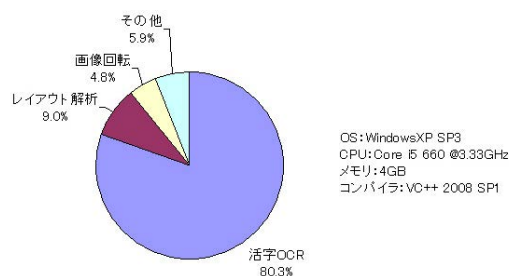


Fig. 2 Profile of the conventional version.

この結果から、最も処理時間のかかっている機能の上位3つは、活字OCR、レイアウト解析、画像回転であることがわかる。

活字OCRは切り出した文字の認識を行う機能であり、画像中の文字数が多ければ呼び出される回数も増加する。レイアウト解析は画像を領域ごとに分割・分類する機能である。画像回転は原稿画像が90度単位や微小角だけ回転してスキャンされた場合に、正しい向きに修正する機能である。その他にはノイズ除去や表処理などの機能が含まれるが、どれも処理時間への寄与率は低かった。

二値画像の処理においては、活字OCRの処理が80%以上を占めていた。個別の画像では、表が含まれている画像では表処理用の機能の寄与率が大きいという傾向が見られたが、どの画像でも上位3つはほぼ上記の3機能であった。

3. 高速化開発

3-1 高速化開発の方針

プログラムを高速化するには、その対象となるプログラム言語とハードウェアを理解したうえで方針を決める必要がある。今回対象とする文書画像処理では言語にC/C++を使用している。C/C++をベースにした一般的な高速化手法を大別すると、次のようにMFPの本体CPU以外のハードウェアを利用する手法と、本体CPUだけで処理を行う手法に分かれる。以下それぞれの特徴について述べる。^{3) 4) 5)}

(1) 本体CPUと異なるハードウェアを利用する手法

(1A)プログラムのASIC化

(1B)追加ハードウェア(GPGPUなど)の利用

(2) 本体CPUのみで対応する手法

(2A)CPUの拡張命令となるSIMD型命令の利用

(2B)スレッド並列処理の利用

(2C)ソースコードの最適化

(1A)は専用のASICを作るため、最も高速化が期待できる。しかし、開発期間が他に比べて長いこと、改良などのアップデートがしにくいことがデメリットである。

(1B)の例であるGPGPUは近年普及してきており、OpenCL™などの利用によってある程度汎用性の高いソースコードで実現できる。しかし処理によっては

CPUとGPGPUの間のメモリ転送がボトルネックとなることや、ハードウェア自体のコストがかかることがデメリットである。また、本体CPUよりも高速のCPUを用いて処理する手法はコスト面がデメリットになる。

(2A)SIMDとはsingle instruction multiple dataの略で、1回の命令で複数データに対する処理を行うものであり、大量のデータに似たような処理を行う使い方での性能を発揮する。

x86系CPUではSSE、ARM®ではNEON™というSIMD型拡張命令セットがあり、メインCPUのみでSIMD型の並列命令を実現できる。しかしそれぞれのCPU専用のソースコードは他のCPUには適用できず、ポータビリティが損なわれるというデメリットがある。

(2B)近年のCPUはマルチコア化が進み、スレッド並列処理が盛んになってきている。複数のCPU(コア)が使用できる環境で容易に高速化できるのがメリットである。逆に1CPU(コア)しか使えない環境では高速化の効果がないことと、スレッドプログラミングを必要とすることがデメリットである。

(2C)入出力仕様を変更せず内部を最適化していくリファクタリングなどもこれに含まれる。ポータビリティを損なわずに高速化を実現できるのがメリットである。しかし高速化プログラミングのノウハウが必要であり、また対象の完成度によってはさらなる高速化は望めないこともある。

今回の開発方針は、追加ハードウェアを用いないこと、シングルCPUでの高速化が求められること、メインのプラットフォームはx86系CPUであること、文字認識結果への影響を最小限にすること、の4点を重視して検討を行った結果、(2A)x86系SSE命令の利用、(2C)ソースコードの最適化の2つの手法を用いて高速化を実現することとした。

対象に関しては、2-2節で記した処理時間解析により、処理の多くを占めていた活字OCR、レイアウト解析、画像回転の3つの機能に対して重点的に高速化を行うという方針で開発を進めることにした。

以下の節で2つの高速化手法それぞれについて主要な改良点を述べる。

3-2 ソースコードの最適化による高速化開発

ソースコードの最適化は一般的にリファクタリングと呼ばれる、プログラムの入出力仕様を変えずに内部の冗長な処理を省くなどの整理方法を実施した。以下に今回採用した具体的な高速化手法を列挙する。

- ・ 浮動小数点演算の固定小数点化
- ・ 整数除算のシフト演算化
- ・ 大容量メモリ配列について、確保・解放タイミングの再考と総回数の削減
- ・ 画像データの不要な参照・複製の廃止
- ・ 画像中の同じ画素を複数回参照する場合に、CPUのキャッシュサイズを考慮したブロック単位の処理にすることによるキャッシュの有効活用
- ・ 文書画像には一般的に白背景が多いことを利用した、画素のAND処理などでのスキップ処理
- ・ 汎用パラメータ入力の関数の固定パラメータ入力の専用関数への変更

いずれも一般的に知られている高速化手法であり特殊なものではないが、高速化開発においては後述のように一定の成果が得られた。

3-3 SSE命令の利用による高速化開発

3-3-1 SSE命令を用いた高速化手法

SSEとはStreaming SIMD Extensionsの略で、インテルのCPUの拡張命令セットであり、複数の浮動小数点演算を並列に実行できる機能などがある。SSE命令を用いた高速化は、並列処理が可能な部分に適用すると特に効果が高いと言われており、並列処理が可能なことが多い画像処理分野に適するものだと考えられる。SSEは他に特殊なデバイスを必要とせず、またSSEによる並列化処理のノウハウを蓄積すれば他のプラットフォームにも応用しやすいという利点もある。今回の開発では、MFPだけでなく汎用ソフトへの展開を見据え、2000年以降に発売された多くのx86系CPUで使用できるSSE2までの命令を利用することとした。また、SSE命令を利用した実装は、Intrinsicと呼ばれる組み込

み関数を利用する方法と、アセンブラで記述する方法がある。我々の文書画像処理技術はマルチプラットフォームでの動作が求められるため、今回の開発では、プラットフォーム間でソースの互換性がある程度確保できるIntrinsicを採用した。

x86系CPUにおいてSSE命令を使用することで、128bitレジスタを8本使用することができる。例えば8bit変数なら1本のレジスタに16個、32bit変数なら1本のレジスタに4個の変数を格納することができ、これらのデータに対し同一の命令で同時に処理することができる。Fig. 3は32bit変数同士の足し算をSISDとSIMDで行ったときの比較である。4組の32bit変数の足し算を行う場合、SISDでは4命令必要だが、SIMDでは1命令で処理をすることができる。このようなレジスタとSSE命令を利用して、演算結果に依存関係のない部分の並列化を行い、処理速度の向上を図った。

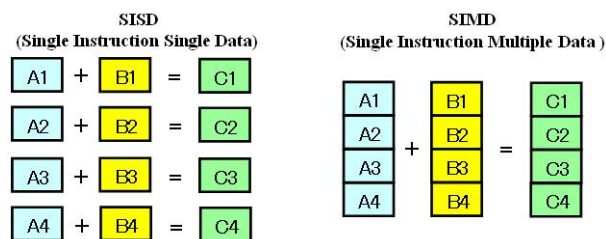


Fig. 3 Example of SIMD.

3-3-2 活字OCRの高速化

活字OCR処理に対してさらに細かく処理時間のプロファイルを測定したところ、処理速度のボトルネックになっている部分はパターンマッチング処理であるということがわかった。活字OCR処理のうち、パターンマッチング処理が占める割合は27.0%であった。

パターンマッチング処理では、1文字に切り出された画像から特徴抽出を行い、その特徴量データと、あらかじめパターン辞書として登録されている文字の特徴量データとの距離計算を行って、最も特徴量間の距離が近い文字を探索する。パターンマッチングの処理フローと辞書データについてFig. 4に示す。

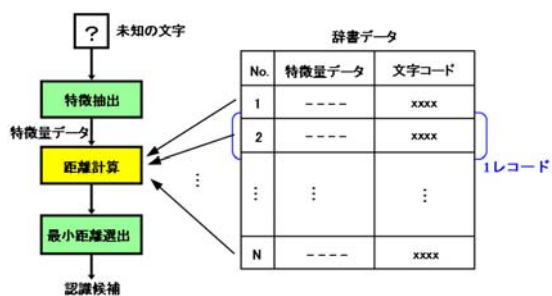


Fig. 4 Pattern dictionary and pattern matching.

パターン辞書には認識候補となるすべての文字（例えば、平仮名・カタカナ・英数字・記号・漢字第一水準すべて）が、特徴量と文字コードのセットという形で登録されている。1文字に対応する特徴量と文字コードのセットが1つのレコードとなっており、認識候補文字数分のレコードが登録されている。通常、日本語の文書に対してOCR処理を行う場合、レコード数は数千に及ぶ。認識処理では未知の入力文字の特徴量に対して、辞書に登録されているすべての文字の特徴量との距離を計算するため、多くの処理時間がかかっていた。

未知の文字と辞書に登録されている文字の距離計算の方法をFig. 5に示す。1文字の特徴量は64次元のベクトルとなっており、ベクトルの各要素は8bitで構成される。距離計算では、この2つの64次元ベクトルのユークリッド距離を求める。各要素の差を2乗したものを64個分加算したものが距離となる。

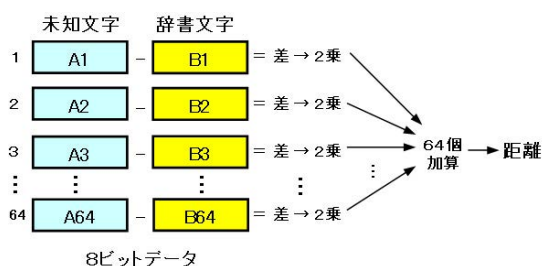


Fig. 5 Distance calculation of features.

ここで、「差を取って2乗する」という演算が64個分繰り返されるが、個々の演算に依存関係はないため、並列処理が可能だと考えられる。そこでこの距離計算にSSE命令を用いることで、高速化を実現した。具体的にはFig. 6のように、128bitレジスタに16bit×8個の

データを格納し、差を取って2乗するという演算を8並列で行った。これを8回繰り返すことによって64次元ベクトルデータの演算が可能となる。



Fig. 6 Distance calculation using SSE.

その他にもパターンマッチング処理を除いた上位2関数も含めた全3関数に対してSSE命令を利用した高速化を実施した。その結果、活字OCR関数単体での処理時間が従来の55.0%に短縮できた。

3-3-3 画像回転・その他の機能の高速化

90度単位の画像回転について、SSE命令の利用による高速化を行った。128bitずつ並列処理が行えるため、1bit画像の回転処理では128画素を一度に演算することができる。この結果、90度回転では従来の44.5%、270度回転では従来の45.8%まで処理時間を短縮することができた。180度回転については元々の処理がある程度高速だったこともあり、従来の95.1%の処理時間に留まった。

その他、OCR処理への寄与率はそれほど高くはないものの、並列処理の効果が高いと考えられる関数に対してSSE命令を用いた高速化実装を行った。具体的にはフィルタ処理、圧縮処理、白黒反転処理などである。

4. 結果

今までに述べてきた手法で高速化実装を行った後の処理時間測定結果をTable 1に、プロファイルをFig. 7に示す。

Table 1 Processing time of OCR.

	平均処理時間	処理時間比率
従来版	2.68 sec	-
高速版	1.37 sec	51.12 %
高速版 (SSEなし)	2.51 sec	93.66 %

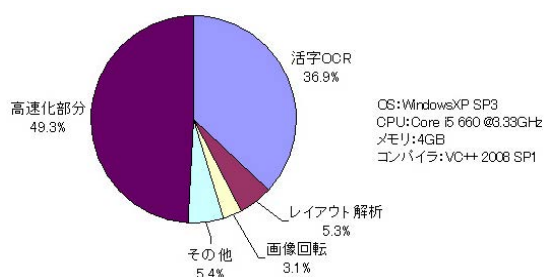


Fig. 7 Profile of the high speed version.

評価に用いた32枚のスキャン画像に対してOCR処理を行い、従来版で85.8秒(1枚平均2.7秒)であった処理時間を43.8秒(1枚平均1.4秒)まで短縮することができた。

Table 1を見ると、今回行った高速化開発により、二値画像で従来の51.12%まで処理時間が削減されたことがわかり、OCR処理の処理時間が大きく改善されたことが確認できた。また、SSEなしでも従来の93.66%の処理時間となっており、ソースコードの最適化による高速化の効果も確認できた。

Fig. 7はFig. 2の処理時間を100%としたときに各メソッドの処理時間がどのくらいになったのかを表している。つまり、Fig. 2の測定時より、全体で49.3%にあたる時間を高速化によって削減できており、例えば活字OCRはFig. 2では80.3%だったのがFig. 7では36.9%となっていることから、これらの画像での活字OCRの処理にかかる時間は従来の36.9/80.3=46.0%になったことがわかる。

また、Fig. 7のプロファイル結果によると、高速化後も処理時間比率が高かった順に活字OCR、レイアウト解析、画像回転となっており、これは従来と変わっていない。しかしFig. 2とFig. 7から各関数を見ると、活字OCR(80.3→36.9)、レイアウト解析(9.0→5.3)、画像回転(4.8→3.1)など、各関数の処理時間が大きく削減できたこともわかる。特に活字OCRは大幅に高速化が実現できている。

5. おわりに

以上のように、SSE命令の利用とソースコードの最適化の2つの手法を用いて高速化開発を行い、処理時間の大幅な短縮を実現した。

今回高速化開発を行ったこれらの機能は、imaggio MP C5002/C4002/C3302/C2802シリーズの機能として製品搭載され、追加ハードウェア無しでのテキスト付きPDF作成処理においてトップレベルの処理時間を実現することができた。また今後のMFP製品への展開や、ドキュメント管理システムソフトウェアにおけるOCR処理高速化も順次計画されている。さらに、ここで培ったSSEなどによる高速化のノウハウは他の画像処理モジュールへの展開も可能であり、ドキュメントソリューション製品の競争力強化につなげたい。

参考文献

- 1) 齋藤高志, 山合敏文, 立川道義: Document Image Segmentation and Layout Analysis (Special Issue on Document Analysis and Recognition), *IEICE transactions on information and systems*, Vol.E77-D, No.7, pp.778-784 (1994).
- 2) 伊藤仁志, 大羽成征, 石井信, 山形秀明: 多段階手続きによる日本語活字文字認識, 電子情報通信学会技術研究報告 パターン認識・メディア理解, Vol.102, No.707, pp.79-84 (2003).
- 3) Steve Oualline, 望月康司, 谷口功: C 実践プログラミング, 第3版, オライリー・ジャパン (1998).

- 4) Intel Corporation: Intel® C++ Compiler XE 12.1
User and Reference Guides,
<http://software.intel.com/sites/products/documentation/hpc/composerxe/en-us/2011Update/cpp/win/index.htm>
(参照 2012-08-07).
- 5) 中田潤也, 北山洋 : IA-32 SIMD リファレンスブック 上・下, カットシステム (2007).

注1) Windows はMicrosoft Corporationの登録商標です.

注2) Intel, SSEはIntel Corporationの商標です.

注3) ARM, NEONはARM Limitedの商標です.

注4) OpenCLはApple Inc.の商標です.

低価格プリンタ/MFP向け描画アクセラレータの開発

A Development of Drawing Accelerator for Low Cost Printer/MFP

白石 尚人*	後藤 寛介*	鈴木 正宏*	田中 諭*
Naoto SHIRAIISHI	Hirokazu GOTOH	Masahiro SUZUKI	Satoshi TANAKA
柳田 泰司**	市川 美貴也**		
Yasushi YANAGIDA	Mikiya ICHIKAWA		

要 旨

低価格カラープリンタ/MFPにおいては、より高速な印字を低コストで実現することが課題である。最終印字画像作成のためには多くの画像処理を行う必要があるため、高速化実現に対して従来は高速なCPUを使用する必要があり、低コスト化に対するハードルとなっている。特に昨今の機器においては高画質化のため1200dpiでの描画が必要とされ、処理データ量の増大に拍車をかけており、低価格機での高速処理にはブレークスルーが必要である。

本検討では、最終印字画像の描画処理の一部をハードウェア化すること、またハードウェア化に当たってソフトウェア処理部を含む描画処理全体の並列化を考慮することで、低コストで高速な描画処理を実現した。

ABSTRACT

When developing low-end printers/MFPs, implementing high speed printing capability at a low cost is strongly sought after. To generate a printing image, it is necessary to perform various imaging processes. For that reason, when increasing printing capability speeds, it has been difficult to lower cost, because thus far high priced CPUs with a high performance have been used. Particularly, high resolution printing images greater than 1200dpi are sought after for recent printers/MFPs, and the amount of image data being processed continues to increase.

In this study, we implemented low cost high speed image processing, by replacing a part of the processing that has thus far traditionally been done entirely by software with dedicated hardware processing, and furthermore by carrying out parallelization of the entire image processing flow.

* コントローラ開発本部 CH開発センター

CH Development Center, Controller Development Division

** MFP事業本部 GW開発センター

GW Development Center, MFP Business Group

1. 背景と目的

リコーのカラーレーザープリンタ/MFPでは、HP社のPCL(Printer Control Language)、自社のRPCS(Refined Printing Command Stream)などのページ記述言語(Page Description Language 以下PDL)により表現されたページデータから最終印字画像を生成している。

上記の印字画像生成処理においては、PDLの解析から最終印字画像の描画までに大量の処理を必要とする為、低価格帯のレーザープリンタ/MFPで使用されるCPUでは、処理能力不足から多くの処理時間を必要とし、印字スピード向上を難しくしている。印字スピード向上を行う為には、一般的には高速動作するCPUの採用が考えられるが、高速動作するCPUは高コストであり、また高速動作に伴い消費電力が増加してしまうという課題がある。

本検討では、ソフトウェアを含む描画処理全体の並列処理化と最終印字画像の描画処理の一部を構成する専用ハードウェア開発によって、高コストなCPUを採用せずに高速描画可能なプリンタ/MFPを実現する事を目的とした。また同時に、高速動作するCPUに比較して、消費電力の低いシステムを実現することを目的とした。

2. 性能向上へのアプローチ方法

従来の低価格プリンタ/MFPの多くは600dpi(dot per inch)の解像度で印字されていたが、近年ではより高解像度である1200dpiの印字を求められている。

印字データが高解像度化しても、PDLを解析する為の処理量は大きく変わらないため、PDL解析処理よりも、解析により生成された描画コマンドを読み込み描画する描画処理部分に大きな高速化が要求される。

描画処理は繰り返し処理が多い為ハード化の効果が高く、描画処理のハード化による高速化で、大きな性能向上を狙える。

また、PDL解析処理と描画処理はパイプライン化が可能である為、描画処理の高速化によって描画処理時間をPDL解析処理時間以下に短縮すれば、描画処理時間をPDL解析時間によって見えなくすることが可能であると考えた。

以上のことより、描画処理のハード化、およびPDL解析処理と描画処理のパイプライン化によって、プリンタ性能の向上を目指すこととした。

3. システム構成

3-1 描画アクセラレータ搭載ASIC

Fig. 1に描画アクセラレータ搭載ASICの写真を、Table 1に主な仕様を示す。

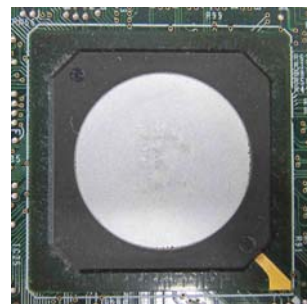


Fig. 1 A photo of ASIC with drawing accelerator.

Table 1 ASIC specification.

項目	描画アクセラレータ搭載ASIC
DRAMコントローラ	DDR3 64bit 1066MHz
HDDコントローラ	SATA2
DMAC	5ch
SDカードコントローラ	SDHC x2ch
I2C	1ch
SPI	1ch
PCI Express	Gen1 x2ch
描画アクセラレータ	○
コピー用画像圧縮	○
動作周波数	内部 133MHz
製造プロセス	65nm
電源電圧	コア電源 1.2V IO電源 3.3V

3-2 プリンタシステム全体の構成

Fig. 2に今回開発したプリンタシステムの構成図を示す。MFPにおいても同じシステム構成を取る。

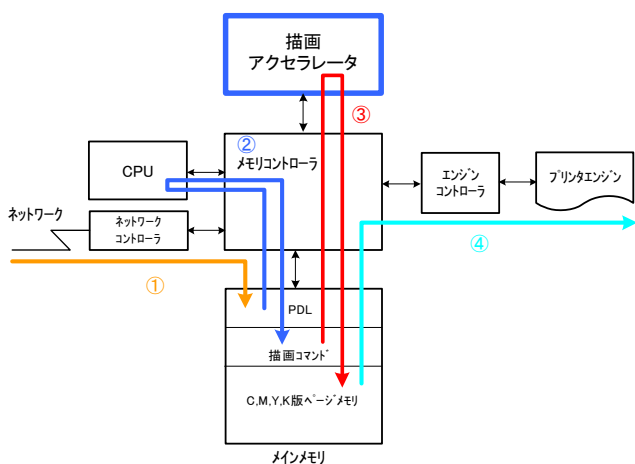


Fig.2 Printing system diagram.

プリンタコントローラは、ネットワークとの接続を制御するネットワークコントローラ、受け取ったPDLを解析するCPU、印字画像を描画する今回開発の描画アクセラレータ、各画像データやPDLなどを格納するメインメモリ、およびプリンタエンジンを制御するエンジンコントローラにより構成される。

以下にプリント時の処理手順を解説する。

- (1) ネットワークコントローラは、PCL, RPCSなどのPDLデータをネットワークから受け取り、メモリへ格納する。
- (2) CPUは、PDLを解析し描画コマンドを生成する。
- (3) 描画アクセラレータは、描画コマンドを読み込み、C, M, Y, K版ページメモリ領域に描画する。
- (4) エンジンコントローラはプリンタエンジンの要求に基づき、C, M, Y, K版を印字する。

3-3 描画アクセラレータのハード構成

Fig. 3は描画アクセラレータのブロック図である。

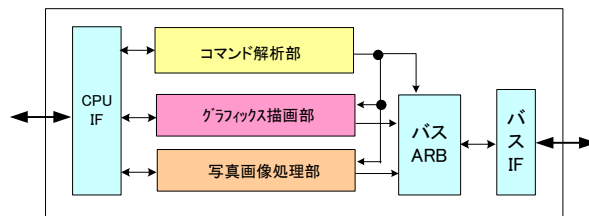


Fig. 3 Block diagram of drawing accelerator.

コマンド解析部は、描画コマンドを解析し、各描画部を制御する。

グラフィックス描画部は、グラフィックス（四角形や線など）の描画を行う。

写真画像処理部は、PDL中の写真画像データを読み込み、印字用の画像処理を施した後描画を行う。

バスARB(アービタ)部は、各描画処理部を選択し、バスIF(インタフェース)を介してメモリコントローラへ接続する。

Table 2に描画アクセラレータの描画性能とゲート規模と周波数を示す。

Table 2 Drawing accelerator specification.

項目	描画アクセラレータ
描画性能	1Gバイト/秒
ゲート規模	100万ゲート
動作周波数	133MHz

3-4 ソフトウェア構成

Fig. 4に本システムを構成するソフトウェア群を示す。

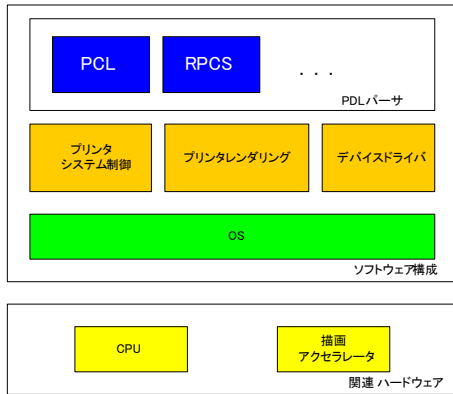


Fig. 4 Software schematics.

PDLデータはPCL, RPCSなどそれぞれの言語に応じたPDLパーサと呼ばれる処理モジュールによって解析処理され、プリンタレンダリング部で描画アクセラレータ向けの描画コマンドに変換される。PDL解析処理と描画処理の並列処理はプリンタレンダリング部によって制御される。

4. 描画処理の高速化

4-1 システムの並列処理

Fig. 5に描画処理フローを示す。本システムでは、プリンタ描画処理を前処理と後処理に分割し、前処理をソフトウェアで処理し、後処理を描画アクセラレータで処理する。

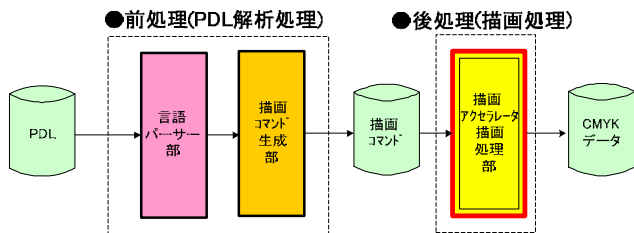


Fig. 5 Data flow of printer processing.

この前処理と後処理はFig. 6のようなパイプライン処理を構成し、並列動作とすることが可能である。

また、描画処理のハード化により、ソフト描画処理の2倍以上速くすることが可能となり、全体で約3倍の高速化を実現した。

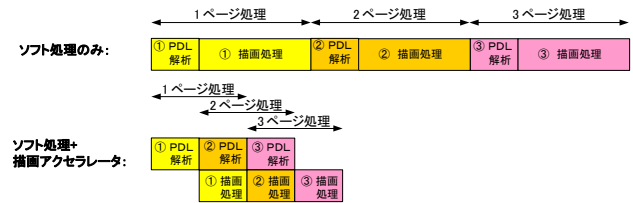


Fig. 6 Timing of printer processing.

4-2 ハードウェアの並列処理

Fig. 3に示した描画アクセラレータの並列処理について説明する。

Fig. 7に描画アクセラレータにおける写真画像描画処理のパイプライン処理を示す。写真画像データを読み込み、RGB→CMYKの色変換処理と階調処理などの画像処理を順次行い、メモリへ描画する。このソース画像読み込み、色変換処理、画像処理、画像書き込みの4つの処理をパイプライン化し、並列処理を行っている。

■写真画像描画パイプライン

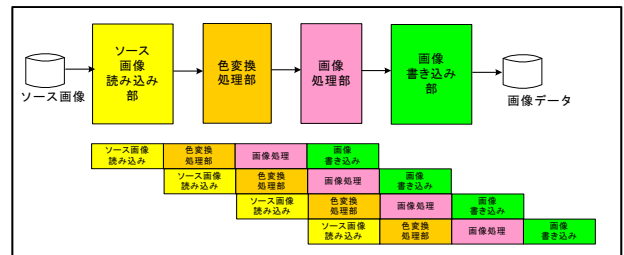


Fig. 7 Pipeline processing of photo image drawing.

Fig. 8にグラフィックス描画処理のパイプライン処理を示す。形状情報を読み込み、形状描画処理、画像処理を順次行い、メモリへ描画する。この形状情報の読み込み、形状描画処理、画像処理、画像書き込みの4つの処理をパイプライン処理化し、並列処理を行っている。

■ 写真画像描画パイプライン

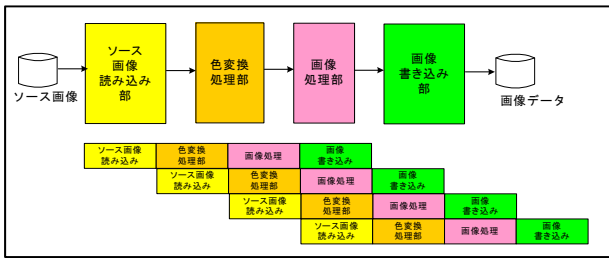


Fig. 8 Pipeline processing of graphics drawing.

以上により、ソフト描画処理に比べ2倍以上の高速処理を実現した。

5. パフォーマンス比較

Fig. 9に同クラスの自他社カラーMFPのパフォーマンス比較を示す。描画アクセラレータ搭載ボードは、グラフィックス画像が多い電子情報技術産業協会(JEITA)のプリンタ用標準テスト画像J11において、自社の35PPM機ボードと同等のコストで約3倍の性能を実現できた。

写真画像が多いQualityLogic社のプリンタ評価画像であるPageSence3のAC5PP1CC画像においても、描画アクセラレータ搭載ボードは、自社の35PPM機ボードと同等のコストで約2.2倍の性能を実現できた。

これにより、上位クラス機の性能達成が可能になった。

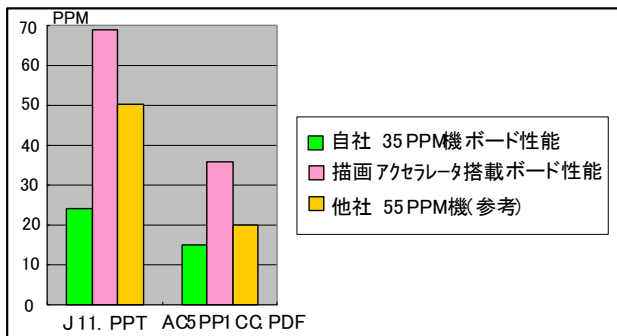


Fig. 9 Performance comparison with other MFPs.

Fig. 10に電子情報技術産業協会(JEITA)のプリンタ用標準テストパターンJ11とQualityLogic社のプリンタ評価画像であるPageSence3のAC5PP1CC画像を示す。

● J11



● AC5PP1CC

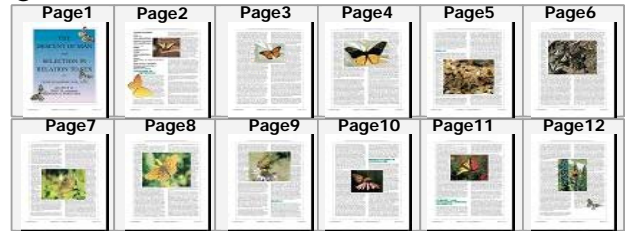


Fig. 10 Evaluation image.

Fig. 11に消費電力とコストについて、描画アクセラレータ搭載ボードと、同等なプリンタ性能を有する自社機との比較を示す。画像処理のハードウェア化により、高速動作CPUを搭載した場合と同等の性能を、約1/2のコストと消費電力で実現可能とした。

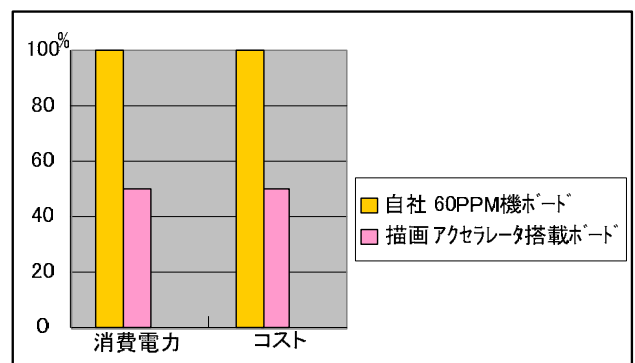


Fig. 11 Power & cost comparison.

Fig. 12にコントローラにおける通常動作時の機能モジュール毎の消費電力比率を示す。

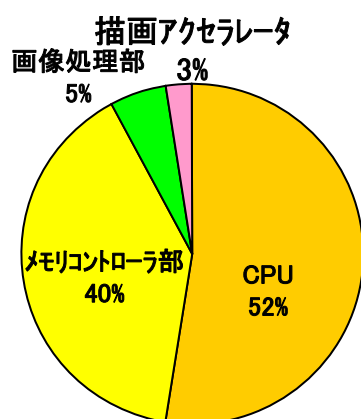


Fig. 12 Rate of electrical power consumption

コントローラ内部の消費電力はCPUが約50%を占め、メモリコントローラは高速にDDRメモリをアクセスする為約40%を占めている。一方、描画アクセラレータは全体の3%ほどの電力しか消費していない。

今回開発した描画アクセラレータは、上記の様に消費電力比率が低いにも関わらず、プリンタ性能はJ11の標準画像で約3倍の向上を実現できた。

6. 今後の展開

以上のように、高コストなCPUを採用せずに高速描画可能なプリンタ/MFPを実現できる、プリンタ/MFP用描画アクセラレータを開発することができた。

今後は低コストプリンタ/MFP製品への搭載を目指していく。

注1) PCLは、Hewlett-Packard companyの登録商標です。

注2) その他、文中の社名および製品名は、各社の商標、または登録商標です。

電炉鋼板の事務機への適用性検討

Applicability Evaluation of Electric Furnace Steel Sheets for Office Machine

榊谷 正利* 伊藤 健一郎** 高橋 俊平** 前田 大樹** 広田 弘**
Masatoshi SAKAKITANI Kenichiro ITO Syunpei TAKAHASHI Taiki MAEDA Hiroshi HIROTA

要 旨

当社は、2020年までに2007年度比で25%の新規投入資源量削減を掲げている。このとき事務機の構成の大なる部分は鋼板であることから、市中に流通する鉄スクラップを原料とする100%リサイクル材であり、かつ製造時のCO₂発生量が最も少ない電炉鋼板に着目し、事務機への適用性を検討した。その結果、事務機用に実用可能な電炉鋼板を材料メーカーと協力して開発することができた。

ABSTRACT

We have set a target for reducing the amount of resources by 25% from the level of 2007 by the year 2020. Among resources, steel sheets are the main material for office machine. To reduce its usage, we have analyzed and developed new electric furnace steel sheets in cooperation with a material manufacturer. They are made of 100% steel scrap on the market and emit less CO₂ in a manufacturing process.

* MFP事業本部 3R戦略センター
3R Strategy Center, MFP Business Group

** 生産事業本部 生産技術センター
Production Engineering Center, Production Business Group

1. 背景と目的

新興国の経済成長、世界的な人口の増加により資源需要量は増加するが、現在と同じペースで消費を続けると、2050年には現有の資源埋蔵量を超過すると予測されている¹⁾。これを鑑み当社は、環境経営の取り組みの一つとして製品製造時の新規投入資源量を、2007年度比で2050年までに87.5%、2020年までに25%削減する目標を設定している。そのため、製品の小型軽量化、製品/部品の再利用や樹脂リサイクルに加え、事務機の材料構成の50-60wt%を占める鉄の新規投入資源を削減する必要がある、鉄スクラップを原料とする電炉鋼板を事務機に適用できるか検討を行った。

2. 技術

2-1 事務機用高炉鋼板と電炉鋼板の違い

事務機用高炉鋼板は、冷間圧延鋼板²⁾に電気亜鉛めっき処理³⁾した鋼板である。一方、現状の電炉鋼板は溶融亜鉛めっき処理⁴⁾した鋼板である。後者は、主に建材用として使用されており、めっき・表面被膜は厚い。また、めっき被膜が厚いため導電性に乏しく、放射電磁界への対策が必要な事務機に採用するには適さなかった。加工性に関しても、事務機で使用される薄板が電炉鋼板にはなく、複雑形状を実現する精密加工には適さなかった。

2-2 評価方法と評価項目

当社と材料メーカーとで電炉鋼板の共同開発に取り組み、鉄スクラップを100%原料としつつ、母材、めっき処理法、表面被膜を開発・改良して事務機に必要な剛性、耐食性、導電性などの諸特性を満たすことを目指した。

事務機用鋼板に欠かせないクロムフリー被膜は従来の電炉鋼板にはなかったため、薬液から新規に開発し

た。めっき処理は溶融亜鉛めっき処理を用いた。開発当初からめっきの厚さによる不具合が予想され、めっき厚を薄くする方向での検討がなされた。結果としてJIS⁴⁾下限のZ08よりさらに薄いZ04相当(付着量40g/m²相当)の薄目付けを実施している。

Table 1に主要な特性である導電性、耐食性、プレス加工性、スポット溶接性について評価方法、評価項目を記す。

Table 1 Properties of steel sheets for office machine.

特性	評価方法	評価項目
導電性	表面抵抗測定	表面抵抗値
耐食性	塩水噴霧試験	錆発生量
プレス加工性	サンプル型によるプレス加工	出来上がり寸法の図面寸法からのズレ 出来上がり寸法のバラつき
スポット溶接性	連続溶接試験	一定以上の強度のある溶接の連続回数

以下、高炉鋼板に電気亜鉛めっき処理した鋼板を従来材、電炉鋼板に溶融亜鉛めっき処理した鋼板を評価材と記す。

3. 結果

3-1 導電性

導電性は、表面抵抗値で評価した。初期の評価材では導電性が悪く、クロムフリー被膜を薄くすることで対策とした。しかし薄くすると後述の耐食性に不具合が生じたため、新たな対策が必要となった。そこで被膜薬液の改良とめっき表面にダル仕上げ²⁾を施すことで導電性と耐食性への課題に対応した。ダル仕上げとは鋼板の表面を梨地状の光沢の無い状態に仕上げることである。ダル仕上げ採用以前は、ブライツ仕上げ²⁾で鋼板の表面を平滑で光沢のある状態に仕上げていた。

Fig. 1に従来材3種類①②③とブライツ仕上げの評価材2種類④⑤(付着量0.43g、0.49g/m²)、今回採用したダ

ル仕上げの評価材⑥(付着量0.60g/m²)の表面抵抗値を示す。

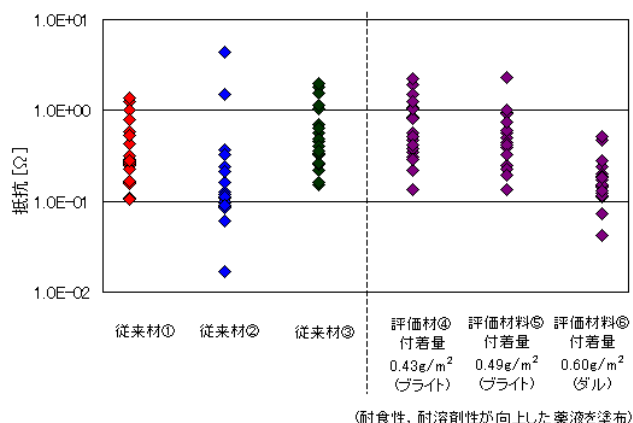


Fig. 1 Surface electrical resistance of some steel sheets.

評価材⑥が評価材④⑤よりクロムフリー薬液付着量が多いにも関わらず表面抵抗値が低く、従来材同等であることがわかる。評価材の表面粗さを表面粗さ・輪郭形状統合測定機を用いて測定した(Fig. 2, Fig. 3, Fig. 4).

従来のブライト仕上げした評価材④⑤ではRa0.15~0.17となっている。ダル仕上げした評価材⑥はRa0.36となっている。ダル仕上げをする事で鋼板表面の算術平均粗さRaが大きくなっている。その結果、導通点が多くなり表面抵抗値が低下したと考えられる。

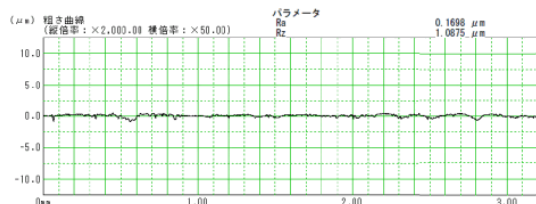


Fig. 2 Surface coarseness of sample steel sheet (4)(Bright finish).

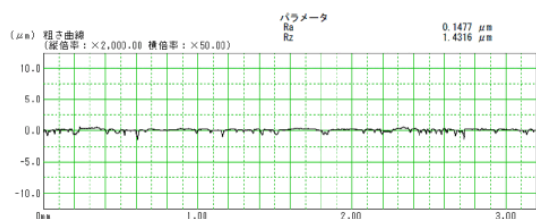


Fig. 3 Surface coarseness of sample steel sheet (5)(Bright finish).

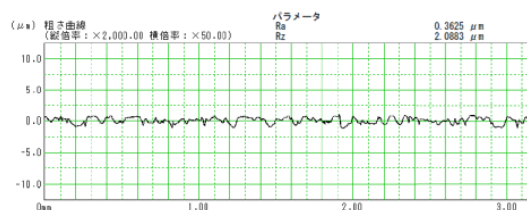


Fig. 4 Surface coarseness of sample steel sheet (6) (Dull finish).

3-2 耐食性

塩水噴霧試験⁵⁾で耐食性を評価した。塩水噴霧試験とは、一定の温度(35℃)に保たれた試験機槽内に試験品を設置し、5%の塩化ナトリウム溶液を均等に噴霧して耐食性を評価する試験方法である。

試験は前述の導電性を確保できた評価材⑥薬液付着量0.60g/m²ダル仕上げの試験片について実施した。

実験の条件、手順は試験片の大きさ、曲げ加工を除きJIS-Z-2371に準ずる。また、JISとの違いや補足を以下に記す。

JISで規定されている判定方法のレイティングナンバ法、質量法では優劣の判断が行えないので、今回は目視(写真)で判定を行った。

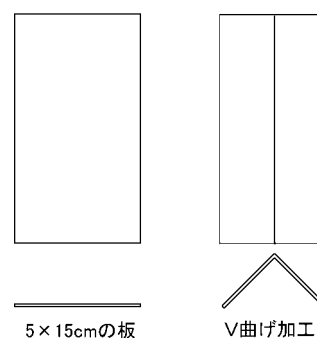


Fig. 5 Flat sample and V-bending sample.

当社の製品で実際に使用される条件を想定して、曲げ加工、アルカリ脱脂した試験片を用いる。曲げ加工の形状はFig. 5に示す。曲げ加工を行う事で表面被膜が伸び

た状態での相対比較ができる。この試験片での優劣を見る事で表面被膜が伸ばされる条件、絞り、L曲げなどの加工後の部品でも耐食性の優劣を判断できると考えている。V曲げ加工はベンディングマシンを使用した。

本実験では、脱脂条件の中で最も過酷な条件を採用した。これは、試験片毎の差を作り、白錆、赤錆の検出差異の判断を容易にすることを目的としている。

実験装置の噴霧採取液の量は各80cm²の面積に対して1時間当たり1~2mlとした。設置場所による差があることから、試験片は1条件3個とし、最も白錆、赤錆が発生したものを実験結果として採用した。

各々の条件で120h経過した試験片に対して柵目をつけ、目視で柵目内に錆が発生しているか観察し、白錆が発生した柵を白錆発生柵、赤錆が発生した柵を赤錆発生柵とした。全柵目の数から白錆発生柵、赤錆発生柵の割合を計算し錆び発生面積とした。

板材は5×17=85柵、V曲げ加工したものは4×17=68柵に設定した。

塩水噴霧試験120h後の試験片の写真をFig. 6に示す。

このとき試験片に発生した白錆、赤錆の割合をFig. 7に示す。

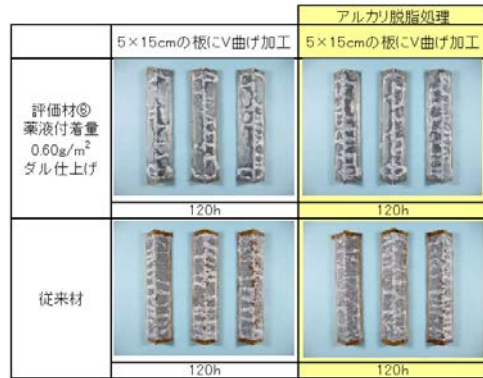
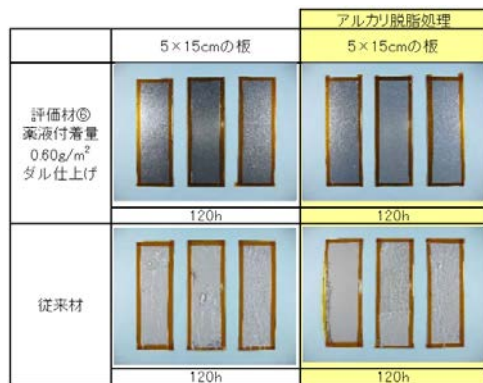


Fig. 6 Results of neutral salt spray test.

材料名	形状	アルカリ脱脂	試験結果		
			白錆の割合	赤錆の割合	錆発生面積 120h試験片 50% 全面
評価材⑥ 薬液付着量 0.60g/m ² ダル仕上げ	板	無	0	0	■
	板	有	0	0	■
	V曲げ	無	84	0	■
	V曲げ	有	95	0	■
従来材	板	無	8	0	■
	板	有	5	0	■
	V曲げ	無	69	26	■
	V曲げ	有	78	14	■

■: 腐食なし
■: 白錆
■: 赤錆

材料名	形状	アルカリ脱脂	試験結果			
			48h後	72h後	96h後	120h後
評価材⑥ 薬液付着量 0.60g/m ² ダル仕上げ	板	無	▲	▲	▲	▲
	板	有	▲	▲	▲	▲
	V曲げ	無	▲	▲	▲	▲
	V曲げ	有	▲	▲	▲	▲
従来材	板	無	▲	▲	▲	▲
	板	有	▲	▲	▲	▲
	V曲げ	無	▲	▲	▲	▲
	V曲げ	有	▲	▲	▲	▲

▲: 腐食なし
▲: 白錆発生
▲: 赤錆発生

Fig. 7 Results of corrosion ratio of neutral salt spray test.

この試験結果により、評価材⑥薬液付着量0.60g/m²の試験片が従来材同等であることが確かめられた(V曲げ時の赤錆については従来材に優る)。

3-3 プレス加工性

Fig. 8の部品の金型を用いて評価材と従来材で加工を行い、その出来上がり寸法で評価する。

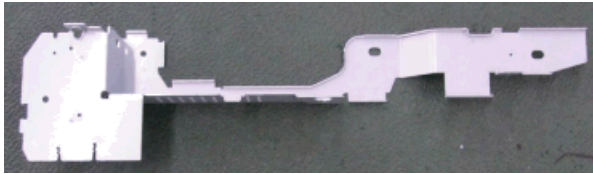


Fig. 8 Trial sample.

Table 2に示す改良評価材は、前述までの評価材（以下、初期評価材と記す）に対して穴広げ率などに改良が実施されている。

Table 2に材料の物性値を示す。

Table 2 Physical properties of samples.

試料名	板厚 [mm]	YS [MPa]	TS [MPa]	EL [%]	穴広げ率 [%]	エリクセン値 [mm]	r値
初期評価材	1.2	235	363	39.3	80	10.3	1
改良評価材	1.2	249	370	39.3	129	11.2	1.3
従来材	1.2	-	316	45	-	-	-

プレス加工性試験結果をFig. 9, Fig. 10に示す。

Fig. 9が初期評価材, Fig. 10が改良評価材である。

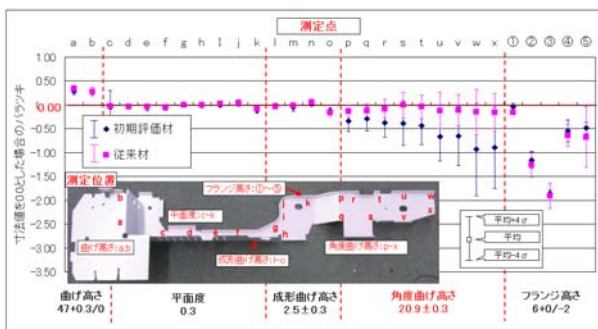


Fig. 9 Variation in a size of error for press processing examination (1st try sample).

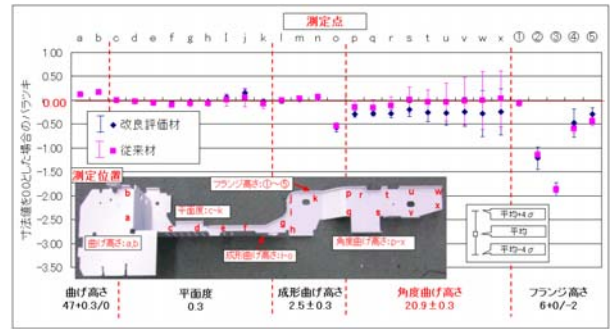


Fig. 10 Variation in a size of error for press processing examination (Improved try sample).

初期評価材と改良評価材の比較では、改良評価材は角度曲げ高さ変化（スプリングバック）のバラツキは小さくなった。ただし、初期評価材で発生していたクラックが改良評価材でも同様に発生した。

従来材と改良評価材の比較では、角度曲げ高さ測定結果より、改良評価材の方がスプリングバックは大きい、バラツキは小さくなった。しかし、曲げフランジ箇所にて改良評価材でもクラックが発生した。(Fig. 11)

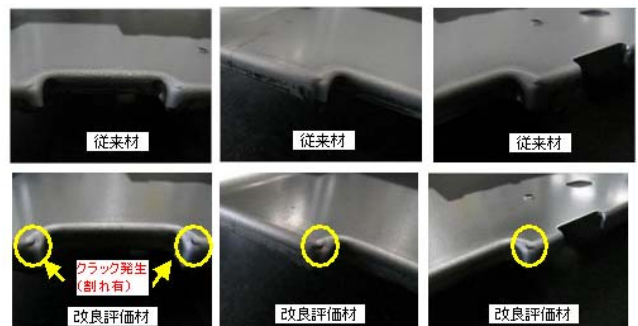


Fig. 11 Cracks of improved sample.

本試験結果より、曲げ角度が大きくコーナーRが小さい絞りではクラックが発生する可能性がある。ただし、スプリングバック量はバラツキも小さいため金型で調整できる範囲内であると判断する。

以上より、プレス加工性については、絞りRが小さい部品以外は改良評価材を適用可能と判断する。

さらに、改良評価材は初期評価材に、電炉鋼板製鉄工程上工夫を施して製造している。この効果として、機械的性質、穴広げ率、エリクセン値の改善、及び機

械的性質経時変化の改善，マイクロ組織の細分化に繋が
り，その結果，角度曲げ高さのスプリングバックも小
さくなり，バラツキも小さくなったと考えられる。

3-4 スポット溶接性

当社の標準溶接条件での連続溶接試験を行った。この
試験は試験片に一定条件でスポット溶接をおこない，そ
の破断トルクの変化で連続溶接性を評価する試験である。
試験した結果，改良評価材においても，従来材より劣り，
当社の連続スポット溶接回数基準を満たさない。

試験時の電極を観察したところ，評価材は打点数が
増えるにつれ電極の接触面積は大きくなり，接触面の
形状がいびつとなっていた。

一方，従来材は打点数が増えても破断トルクは安定
していた。接触面積は大きくなるが打点数が増えるに
つれ中心に空洞部ができていた。

また，評価材の電極に付着している物質の抵抗値
($1.0 \times 10^7 \Omega \sim 1.0 \times 10^1 \Omega$)は従来材の電極に付着して
いる物質の抵抗値($1.0 \times 10^3 \Omega \sim 1.0 \times 10^1 \Omega$)と比較し
て高くなっている事がわかった。この事から電極と，
評価材の表面との間の抵抗値が大きくなり溶接に必要な
電位差が不足し，その結果破断トルクが低下したと
考えられる。

3-5 その他の特性

今までに述べた特性以外に動摩擦係数，耐溶剤性，
耐指紋性，耐油脂性，テープ粘着性，ねじ締結性等の
必要特性がある。これらの特性は当社基準を満たして
いることを確認しているが，詳細については割愛する。

4. まとめ

4-1 電炉鋼板の事務機への適用性検討結果

従来は事務機用途で実用化されていない電炉鋼板を，
事務機へ使用可能となる開発を行い，2012年7月発売の

複合機「imago MP 9002/7502/6002/6002GPシリーズ」
に搭載した。今後発売する当社製品に事務機用電炉鋼
板を搭載していく。

4-2 今後の展開

電炉鋼板には高炉鋼板に比べてまだ劣る特性がある。
今後はこのような課題のある特性を改善する開発を継
続し，将来の省資源化へ貢献する。

謝辞

本開発を進めるにあたり，東京製鐵株式会社様をは
じめとして，多くの方にご協力をいただきました。こ
こに，深く感謝の意を表します。

参考文献

- 1) リコーグループ環境経営報告書, p.17 (2011).
- 2) JIS G 3141:2009 冷間圧延鋼板及び鋼帯, 日本規
格協会(2009).
- 3) JIS G 3313:2010 電気亜鉛めっき鋼板及び鋼帯,
日本規格協会(2010).
- 4) JIS G 3302:2010 熔融亜鉛めっき鋼板及び鋼帯,
日本規格協会(2010).
- 5) JIS Z 2371:2000 塩水噴霧試験方法, 日本規格協
会(2000).

小型レーザープリンタファンレス化技術の開発

Development of Fanless System of Small Laser Beam Printers

清水 義威*
Yoshitake SHIMIZU

内田 量之*
Kazuyuki UCHIDA

岩崎 一也**
Kazuya IWASAKI

林 瑞琦***
Ruiqi LIN

近藤 和芳****
Kazuyoshi KONDOH

要 旨

リコーはレーザープリンタにおいて、小型化・静音設計・消費電力低減を掲げている。その達成手段としてファンレス化があるが、ファンを無くすことによる機内温度上昇を、自然対流による排気の最適化で抑制することが必要となる。その課題の解決策として、稼動時、待機時の機内熱解析シミュレーションを使い、及び気流・水蒸気の流れを制御した。その結果、リコーレーザープリンタ初のファンレス化を実現できた。

ABSTRACT

Ricoh challenges to make laser beam printers more compact, silent and energy-saving. One of the promising approach is to adopt the fanless system for cooling of the printers, but it requires the optimization of flow of the hot exhaust air by means of natural convection. We applied the thermo-fluid simulation to the control of the air and vapor flow, and found that the analysis is powerful enough for the flow optimization. Based on the analysis, the first fanless laser printers in Ricoh was put on the market.

* プリンタ事業本部 大阪開発センター
Osaka Development Center, Printer Business Group

** MFP 事業本部
MFP Business Group

*** リコーイメージングテクノロジー（上海）有限公司 プロダクト開発センター
Product Development Center, Ricoh Imaging Technology (Shanghai) Co., Ltd.

**** プリンタ事業本部 GT 開発センター
Geljet & controller Technology Development Center, Printer Business Group

1. 背景

1-1 開発の狙い

小型化・静音設計・消費電力低減はレーザープリンタの設計において重要な目的であり、このため、他社においても、ファンレス化開発を実施している。リコーとしては上記の目的に加え、機械高さを低くしたためにストレート（一直線）用紙搬送経路構成(Fig. 1参照)を選択している。それ故に①作像部に熱が伝わりやすい、②書込み（レーザーユニット）部に水蒸気が流れ込みやすい、といった新たな課題を有している。これらの課題を解決するために、①熱シミュレーション解析による気流の最適化、②小型湿度計を用いた水蒸气流れの最適化を実施することにより、短期間でこれらの課題解決に取り組んだ。

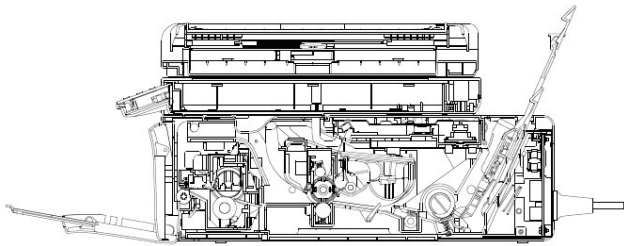


Fig. 1 The sectional view of a laser beam printer with low height (Ricoh Aficio SP 100SF).

1-2 従来技術

他社の代表的なファンレス機としては、モノクロ機では富士ゼロックス社のDocuPrint P200 b, キヤノン社のSatera MF4420n/MF4410, カラー機では、A4機で、キヤノン社のLBP5050, A3機では富士ゼロックス社のDocuPrint C3050が上市されている。いずれも熱の通り道のコントロールをしているが、定着部が書込み部、作像部とほぼ平行に配置されているマシンは無く、定着部がマシン上部に配置されている。

2. 熱シミュレーション解析

2-1 温度上昇抑制の考え方

定着器からの排気熱を利用した自然対流による熱排気流路を構成し、待機時に定着待機熱による機内温度上昇を抑制する。

特に、連続印刷後待機時の最悪条件（飽和温度）を想定し、各部の開口・隙間を最適化することで目標温度を達成した。

2-2 解析方法

2-2-1 手順

(1) 初回レイアウトでの検証

構想レイアウトから解析用モデルを作成して、待機時を想定した熱解析シミュレーションを実施した。特に定着器周辺の気流及び周辺部品の温度を確認した。

(2) 対策反映レイアウトでの検証

(1)の結果で得られた問題点の対策を解析用モデルに反映し、その効果を定着器周辺の気流及び周辺部品の温度の比較により確認した。

(3) ユーザー使用時レイアウトでの検証

ユーザー使用時は前カバーがオープン状態であり、その状態を想定し解析を実施した。(1)、(2)と同様の検証を実施し、定着器周辺の気流及び周辺部品の温度を確認した。

2-2-2 解析ツール

解析ソフト: FloEFD 9.1.0 (3D熱流体解析ソフト)

PC: HP/dc7800SF

CPU: Core 2 Duo, 3GHz

OS: Windows XP 64bit

2-2-3 初回モデル作成

Fig. 2のように、構想レイアウトから解析用モデルを作成する。このレイアウトの特徴を以下に示す。

- (1) 本体フレーム底面に吸気口を形成
- (2) 本体フレーム、定着入口ガイド間に空隙を構成
- (3) 定着とオールインワンカートリッジ(AIO)の間に遮熱板を配置
- (4) 本体前面外装カバーに排気口を形成
- (5) 排紙カバーを閉めた状態においても排熱可能とするため、外装カバー、排紙カバー間に空隙を構成

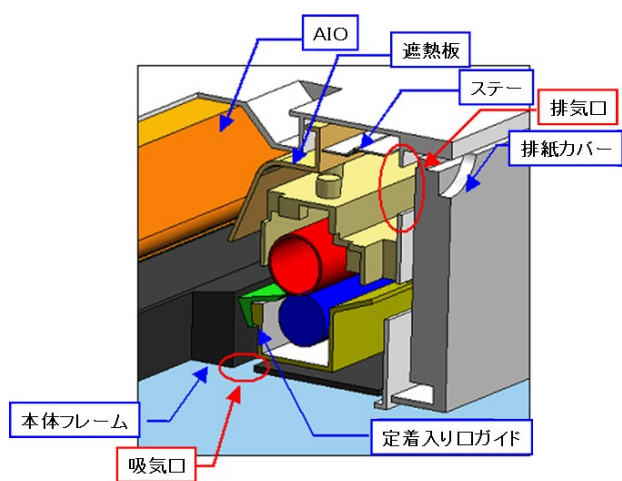


Fig. 2 The layout around the fixing assembly.

初期温度：32℃

発熱条件：待機状態を想定し、定着ローラを待機時定着温度である160℃、加圧ローラを100℃一定に設定

材料設定：部品を金属、樹脂の2種類に分類しTable 1の値に設定

Table 1 Thermal conductivity of parts.

部品	熱伝導率 (W/m·K)
金属部品	71.2
樹脂部品	0.13

2-3 結果

2-3-1 初期レイアウトでの検証結果

初期レイアウトによる解析によって得られた温度分布および速度ベクトルFig. 3を示す。この図より以下の点が明らかとなった。

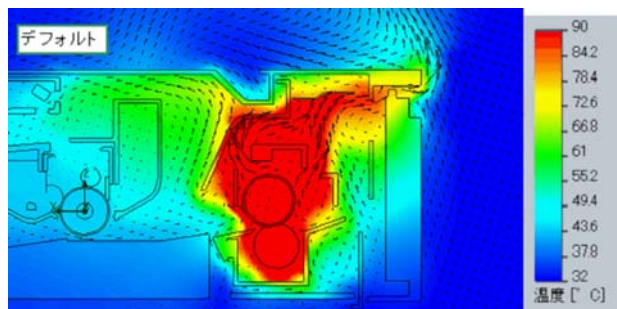


Fig. 3 Temperature color map and velocity vectors of an air flow in the initial layout.

- (1) 定着器からの排熱がオールインワンカートリッジ(AIO)周辺に回り込み温度が上昇している。
- (2) 排気口周辺で熱の滞留が発生している

この結果より排熱の回り込み、排気口付近の滞留の要因は、いずれも流路が狭く狙いのエアフローを得るための流量が得られていない、また、排気口付近については定着上方のステア部材と外装との隙間についても改善が必要と判断できた。

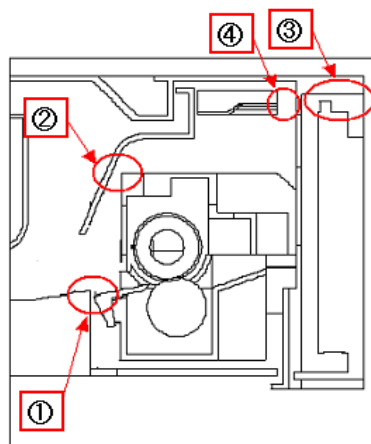


Fig. 4 Air channel improvement part.

2-3-2 対策レイアウトとその検証結果

前節の結果をもとにFig. 4に示す①～④の各箇所に對して、以下のような対策をとったレイアウトを用いて再度シミュレーションを行った。

- ①定着入口ガイド～本体フレーム間の空隙拡大
定着入口ガイド板の上流部をカットし、本体フレーム間の空隙を拡大した。
- ②定着カバー～遮熱板間の空隙拡大
遮熱板をAIO側に移動、定着カバーにR追加
- ③外装カバー、排紙カバー間の空隙
排紙カバー形状変更
- ④ステー、外装間の隙間
ステーを延長し、外装との隙間を閉止

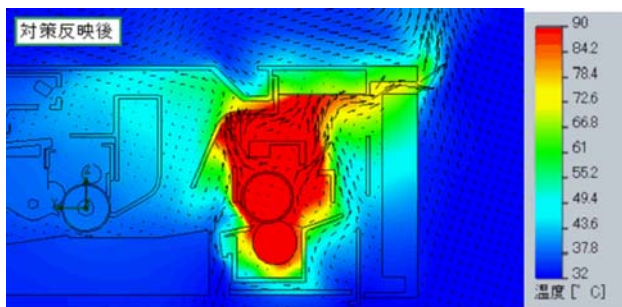


Fig.5 Temperature color map and velocity vectors of an air flow in an improved layout.

Fig. 5の結果から対策反映によりFig. 3の初期レイアウトと比較して、排熱の回り込み、排気口付近の滞留が改善され、機内温度が低減されていることが確認できた。

2-3-3 ユーザー使用時レイアウトでの検証結果

ユーザーが使用している際は、排紙カバーが開いた状態での待機がほとんどであると想定される。よって、排気口周辺の形状改善によりさらなる機内温度上昇抑制が期待できると考えられるが、これについても確認した。

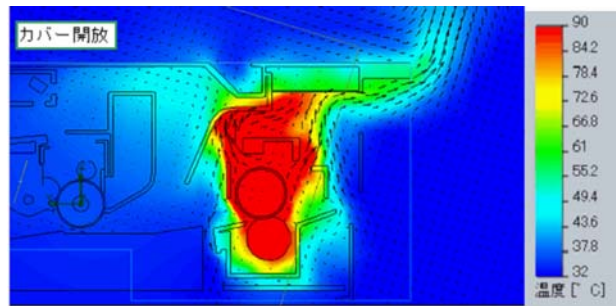


Fig. 6 Temperature color map and velocity vectors of an air flow during the actual utilization.

Fig. 6に示した結果より、排紙カバーが開いた状態、すなわち遮蔽物がなくなった状態では、排気口での滞留がなくなったほか、定着入口部での滞留もなくなり排熱の回り込みが解消されていることが判る。

2-3-4 シミュレーション値と測定値の比較検証

上述2-3-3のシミュレーション値とRicoh Aficio SP 100SFのマシンを使用して、機内にサーミスタ設置した場合の実機測定温度との比較検証を実施した。

実測値の測定条件は、室温にて連続印刷後の飽和温度を測定し、32°C換算した値をTable 2に示す。

Table 2 Comparison of objective, simulated and measured temperatures.

温度	目標値	シミュレーション値	測定値 (32°C換算)
前カバー (気流出口)	85°C	77°C	75°C
オールインワンカートリッジ 廃トナーケース側	60°C	51°C	59°C
書込み反射ミラー	50°C	40°C	50°C

シミュレーション結果によれば、排紙カバー開放状態での待機時機内温度は、目標値に対してマージンをもっている。同時に実機検証結果の各部の温度も目標値を達成できていることが判った。書込み反射ミラー、オールインワンカートリッジ(AIO)の測定温度がシミュレーション値に対して高いのは、それぞれの駆動による自己発熱分が加わったからと推定される。

3. 水蒸気流れ解析

3-1 水蒸気による問題発生の説明

定着器に紙が通過する際、少なからず紙は水分を吸収しているため定着器の熱によって水蒸気が発生する。書込み反射ミラーの表面温度が露点温度より低い場合、余分な水分は冷たい反射ミラー表面に結露し曇りが発生する。水蒸気が反射ミラーに吸着すると感光体上に潜像を書くことができなくなり、Fig. 7に示すように画像欠損が発生する。書込みユニット位置が定着に近く、ファンが無いことで、自然対流等で水蒸気が書込みユニット側に進入する可能性があるため、その流路を特定し、書込み側に進入させずにマシン外部に水蒸気を逃がす必要がある。



Fig. 7 Addect of printed image due to dew condensation.

3-2 解析方法

このような画像欠損問題を回避するために、小型温湿度センサーを機内に多数配置し、その湿度変化から水蒸気流露を特定した。このセンサーとして、Fig. 8に示すTDK株式会社製の小型温湿度計(CHS-CSC-18)をマシン本体に装着し、各部の温湿度を測定した。また、書込み反射ミラー表面温度は、林電工株式会社製の熱電対タイプJ(TC-J-CO)を用いて測定した。



Fig. 8 Temperature-and-relative-humidity sensor.

3-3 結果

3-3-1 水蒸気流入箇所の特定

Fig. 9に示すように9箇所を温湿度を測定した。

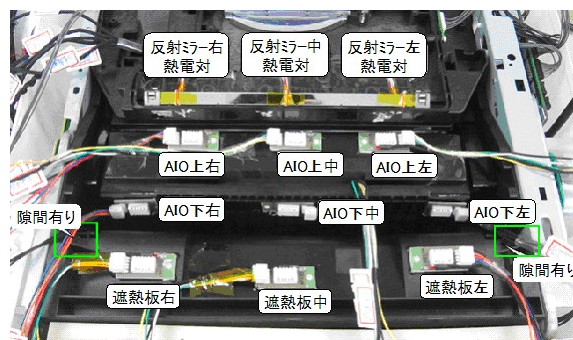


Fig. 9 Arrangement of 9 sensors and 3 thermocouples in a printer.

湿度変化に関しては、Fig. 10に示すとおり1箇所変化が大きい箇所があり、これはFig. 11に示す遮熱板左、赤丸位置の隙間からの水蒸気の流入を示している。

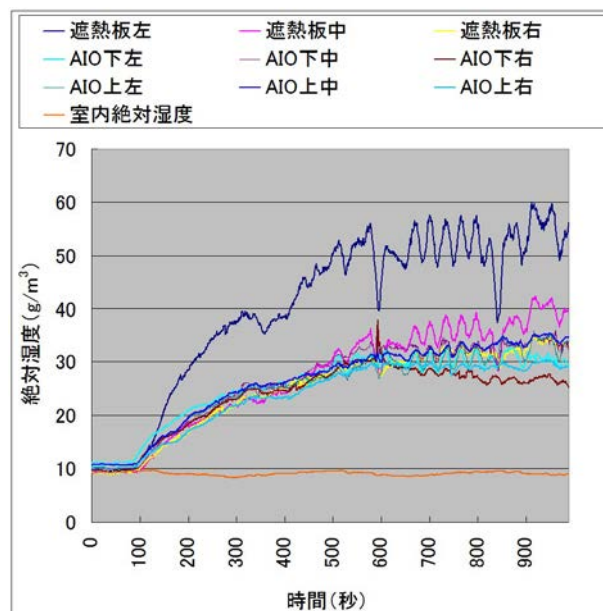


Fig. 10 Time variation of humidity of 9 sensing points. The dashed line shows the starting time of the image defect.

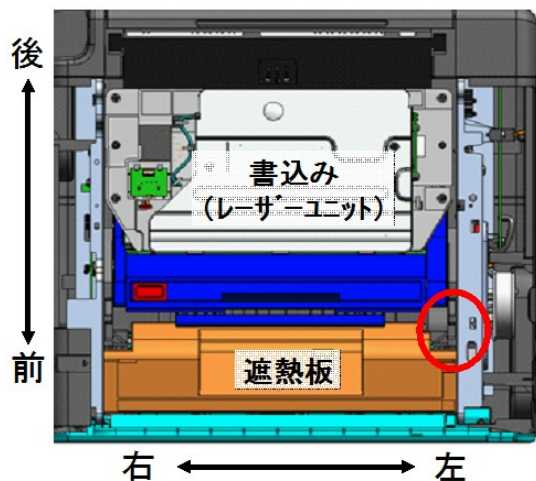


Fig. 11 The inflow position of vapor.

3-3-2 水蒸気流入箇所を塞いだ結果

Fig. 11の赤丸位置の遮熱板形状を変更し、水蒸気が流入しないように対策を実施した。対策後の相対湿度測定結果をFig. 12に示す。

Fig. 10に示された遮熱板左の湿度変化の大きい箇所は、対策後は他箇所と同様の湿度値となっており、これから遮熱板形状を変更する対策が有効であることが判った。

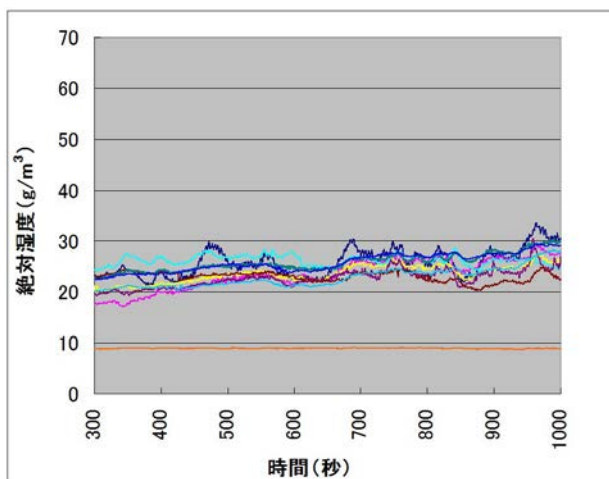


Fig. 12 Time variation of humidity of 9 sensing points after the improvement.

3-3-3 書込み部での露点温度と反射ミラー表面温度との関係(対策前)

反射ミラー表面に熱電対を取り付け表面温度を測定するとともに、書込み反射ミラー周辺部の温湿度データから露点温度を算出し比較した。

露点温度算出に関しては、機内温度(t)と前節までに求めた相対湿度(RH)から水蒸気圧(e)を以下の式により計算する。

$$e = RH/100 \times e_s$$

$$\ln(e_s) = -6096.9385 \times T^{-1} + 21.2409642 - 2.711193/100 \times T + 1.673952/100000 \times T^2 + 2.433502 \times \ln(T)$$

ここで、飽和蒸気圧 e_s はJIS Z 8806¹⁾に記載されているSON-NTAGの式を用いた。また、

$$T: \text{絶対温度(K)} = t(\text{°C}) + 273.15$$

である。

次にこの水蒸気圧が露点となる温度(T_d)を以下の式により求める。

$$T_d = 13.715 \times y + 8.4262 \times 10^{-1} \times y^2 + 1.9048 \times 10^{-2} \times y^3 + 7.8158 \times y^4$$

ここで、

$$y = \ln(e/611.214)$$

である。

この露点温度の変化をFig. 13に示す。連続印刷とともに露点温度は上昇し、反射ミラー温度に接近する。最終的には交差したときに結露が発生していることが確認できる。

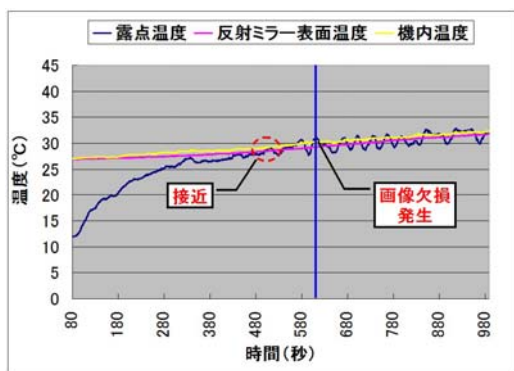


Fig. 13 Time variation of the field temperatures, the reflective mirror skin temperature and the dew temperature before the improvement.

3-3-4 書込み部での露点温度と反射ミラー表面温度との関係（対策後）

3-3-2にて水蒸気流入箇所を塞いだ対策後の前節と同様の温度変化をFig. 14に示す。

連続印刷により露点温度は上昇するものの反射ミラー表面温度と交差することはなく、また画像欠損も発生していない。

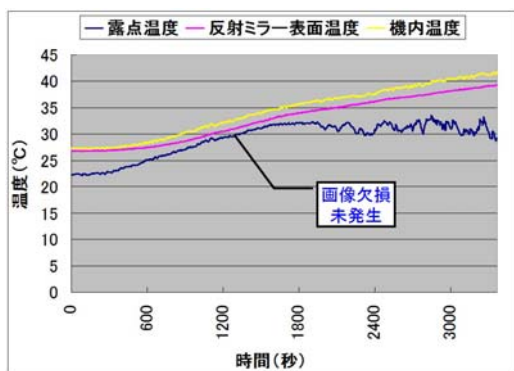


Fig. 14 Time variation of the field temperatures, the reflective mirror skin temperature and the dew temperature after the improvement.

3-3-5 書込み部での露点温度と反射ミラー表面温度との関係(2枚間欠モード)

連続印刷による最悪条件でも発生しないことを確認できたが、実際ユーザーが使用する際の状態を想定し

確認を実施した。2ページ/ジョブの間欠モードで印刷した結果をFig. 15に示す。

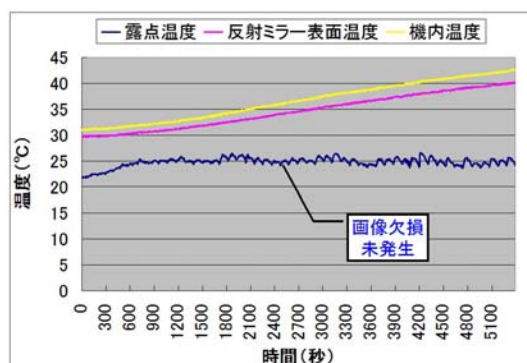


Fig. 15 Time variation of the field temperatures, the reflective mirror skin temperature and the dew temperature during 2-page job.

通常にユーザーが使用するモードでは反射ミラーの表面温度に対して、露点温度が接近することはなく、結露に対して余裕度が大きいことがわかる。

4. まとめ

熱シミュレーション解析と水蒸気流れ解析を実施した。

- (1) 熱シミュレーション解析結果は、機内温度が目標以下を達成しているかを判断することが可能であり、試作機を作らない構想段階での機内温度上昇状態を把握することが可能となった。
- (2) 小型の温湿度センサーを使用することにより、機内の水蒸気発生箇所の予測が可能となり、結露発生の条件・場所を明らかにできるようになった。

以上により、熱が伝わりやすく、かつ書込みユニットに水蒸気が到達しやすい構成の小型プリンタにおいてもファンレス化を実現した。

参考文献

- 1) JIS Z 8806:2001, 湿度-測定方法(2001).

IPSiO SGシリーズ インク供給駆動切替システム

Switching System Driving the Ink Supply in the IPSiO SG Series

三輪 淳司* 鈴木 道治** 瀬戸 潤之*
Atsushi MIWA Michiharu SUZUKI Junji SETO

要 旨

GELJETプリンタは、他社に類を見ない高粘度・高浸透ビスカスインクでの高速印字と正逆回転インク供給ポンプを用いたメンテナンスインクの低減に特徴がある。IPSiO SGシリーズの開発に当たり、極限までのマシンサイズ小型化、低コスト化実現を目指して、アクチュエータを大幅に削減した、インク供給駆動切替システムを開発した。

ABSTRACT

The unique features of GELJET printer are:

- Supporting extraordinary high-speed printing with viscous ink which combines the features of both high viscosity and high penetration.
- Reducing the maintenance ink to the limit by using the bi-directional tubing pump.

In developing the IPSiO SG Series, we were aiming at the miniaturization of the size of the machine to the limit. In addition, we also aimed at the realization of cost reduction. For these purpose, we have developed the switching system driving the ink supply which reduces the actuators significantly.

* プリンタ事業本部 GT開発センター

GT Development Center, Printer Business Group

** 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

GELJETプリンタは、ビジネス用インクジェットに求められている高速印刷、低ランニングコスト、高信頼性を実現するために以下の特徴を持つ。

- ・当社独自技術である高粘度高浸透性フルカラー顔料インク(GELJETビスカスインク)の採用
- ・1.27インチ384ノズルの長尺ヘッド(GELJETワイドヘッド)搭載
- ・用紙の安定搬送が可能な静電吸着ベルト搬送システム搭載
- ・ヘッド負圧形成及びインク供給が可能な正逆回転インク供給ポンプ搭載(前身機種IPSiO GX eシリーズから。(以下、GX eシリーズと表記))

新機種IPSiO SGシリーズ(以下、SGシリーズと表記)開発では、上記の特徴を継承しつつ、マシンサイズ小型化/コスト低減を目標に取り組んだ。この目標を達成するために、前身機ではスペース及び部品費の大きな部分を占めるモータ、ソレノイドを持つユニット(インク供給ポンプ+維持ユニット+大気開放機構)のアクチュエータの削減が不可欠であった。だが、今までは品質を確保するために各ユニットを単独で動作させることが必要であった。しかし、各ユニットでの課題を明確化し、技術の蓄積を行ってきたことにより、品質を確保しつつ、同一駆動源から複数のユニットへ駆動を切替え伝達する機構を搭載することが可能となった。本編ではアクチュエータを大幅に削減し、更なる進化を遂げたSGシリーズの新機構、インク供給駆動切替システムについて説明する。

2. 技術

2-1 前身機種 GX eシリーズ

SGシリーズでのインク供給駆動切替システムの説明の前に、まずは'09年5月に第三世代のGELJETプリ

ンタとして発売されたGX eシリーズのアクチュエータ(モータ、ソレノイド)構成や特徴について述べる。

2-1-1 アクチュエータ構成

前身機GX e3300(Fig. 1)は420(W)×485(D)×259(H)mmのマシンサイズの中に、Fig. 2に示すようにインクジェットのヘッドを搭載したキャリッジユニットを用紙の幅方向へ移動させながらヘッドからインクを吐出することによって印字を行う。キャリッジユニットにはインクを吐出するヘッド、ヘッドの上に安定吐出に必要な負圧を保持するヘッドタンク、ヘッドタンクへインクを送るインク供給ポンプ、メンテナンス動作を実施する維持ユニットを持つ。

そして、アクチュエータは維持モータ、インク供給モータ(4個/4色分)、大気開放ソレノイドの6個(Fig. 2内ハッチング部)を使用している。以下にアクチュエータの動作目的を記す。



Fig. 1 Appearance of the IPSiO GX e3300.

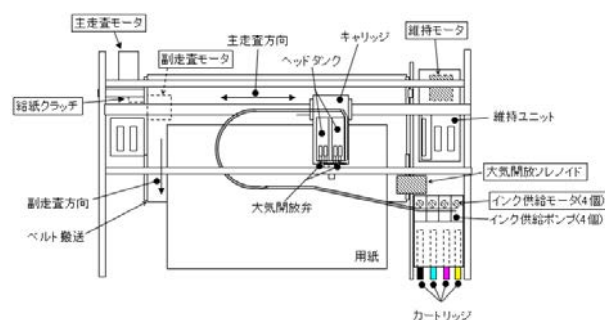


Fig. 2 Constitution of the IPSiO GX e3300.

動作目的)

・維持モータ :

正逆転動作により、キャッピング（ノズルから安定した吐出を行うために、未使用時はノズル孔内のインク乾燥防止にノズル面を覆う）、吸引動作（正常な印字ができない吐出不良が発生した際にノズルよりインクを吸引する）、ワイピング（ノズル面に付着したインクを拭き取る）を行う。

・インク供給モータ（4個/4色分） :

高粘度インクをヘッドタンクまで色毎に供給するインク供給ポンプの駆動を行う。

・大気開放ソレノイド :

ヘッドタンクに取り付けられた空気排出用の弁（大気開放弁）を開閉させる大気開放機構の駆動源となる。

2-1-2 特徴

GX eシリーズからインク供給ポンプにチュービングポンプを採用することにより、低ランニングコストを実現している。以下に解説する。

GELJETプリンタではノズル面（ノズル孔内）を一定の負圧に保つことで安定したインク吐出を可能としている。具体的には、バネ+フィルムで構成されるヘッドタンク内の容積をインク使用量に応じて変化させて負圧を保持している。しかし、一定以上の時間が経過すると、使用している材料の透気性などによってヘッドタンク内に空気が混入し、負圧低下が起こり、定期的に負圧を再形成する必要が生じる。

インク供給ポンプにヘッドタンク方向への送液のみ可能なピストンポンプを使用していたIPSiO Gシリーズ（以下、Gシリーズと表記）、IPSiO GXシリーズ（以下、GXシリーズと表記）では負圧を再形成する際、ノズル面から維持ユニットによりインクを吸引することで負圧を再形成していたため、メンテナンスインクを消費する。

しかし、GX eシリーズで搭載したチュービングポンプはFig. 3に示すような回転する偏心カムによってチューブを押し潰して送液する構成であり、偏心カム

を正逆転することによって、インクをカートリッジ側からヘッドタンクへ送液したり、ヘッドタンク側からカートリッジ側へ吸引することが可能となった。このため、負圧低下が発生した場合はヘッドタンク側からインクを吸引することによってヘッドタンク内の負圧を再形成することが出来るようになりメンテナンスインクを低減し、低ランニングコストを実現することができたり。

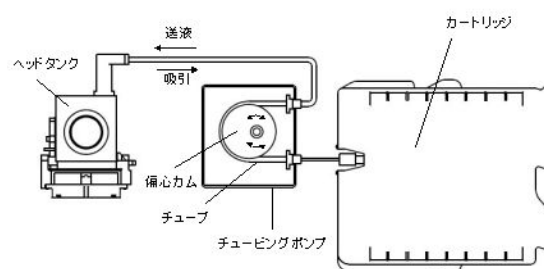


Fig. 3 The bi-directional ink supply system.

2-2 SGシリーズ

2-2-1 SGシリーズでの取り組み

新機種SGシリーズ開発に向けて、信頼性を維持し、GX eシリーズで培った技術を継承しつつ、以下の2点を大きな目標として取り組んだ。

・マシンサイズ小型化

GELJETプリンタ第1世代のリコーGJ最小機G505のマシンサイズ403(W)×440(D)×218(H) mmより小型化し、収納スペースが限られたお客様の置き換え要望に応えること。

・コスト低減

顧客の低価格要求に応えること。

2-2-2 インク供給駆動切替システム

SGシリーズでの取り組みの中で、まずは前項で挙げられたコスト低減を実現するためにアクチュエータの削減を検討した。その結果Table 1のようにGX eシリーズで搭載されていた④から⑨の6個のアクチュエータ機能の代わりに、SGシリーズでは④切替モータで順

次6箇所へ駆動伝達先を切替え、⑤駆動モータですべての伝達先で正逆転可能な駆動を実現することによって、装置全体として9個のアクチュエータを5個まで低減することができた。そして、この6箇所への切替・駆動伝達機構をインク供給駆動切替システムと呼んでいる。

Table 1 Reduction of the actuators in SG series.

GX eシリーズ)	SGシリーズ)
アクチュエータ数 合計9個	アクチュエータ数 合計5個
① 主走査モータ 1個	① 主走査モータ 1個
② 副走査モータ 1個	② 副走査モータ 1個
③ 給紙クラッチ 1個	③ 給紙クラッチ 1個
④ 維持モータ 1個	④ 切替モータ 1個
⑤ Bk供給モータ 1個	⑤ 駆動モータ 1個
⑥ Cy供給モータ 1個	
⑦ Ma供給モータ 1個	
⑧ Ye供給モータ 1個	
⑨ 大気開放 SOL 1個	

GX eシリーズの④～⑨の6箇所の駆動機能をSGシリーズでは④と⑤の組み合わせで実現

SGシリーズの概略図をFig. 4に、本体右側から見た配置及び駆動伝達イメージ図をFig. 5に示す。本体右側のカートリッジ、カートリッジホルダの後方に供給ポンプ、インク供給駆動切替システム、維持ユニット、大気開放機構（大気開放弁を開ける）の順に配置され、駆動はインク供給駆動切替システムから1箇所ずつ矢印の方向に伝えられる。

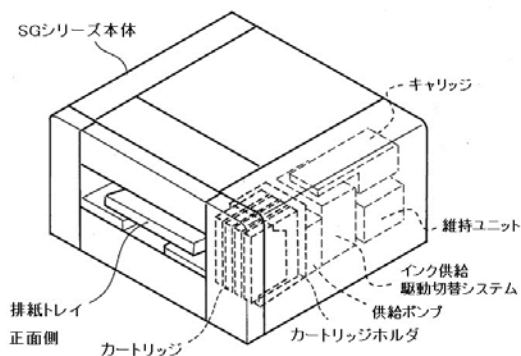


Fig. 4 Schematic illustration of the SG series.

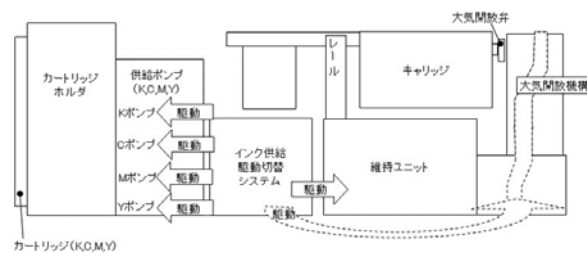


Fig. 5 Image of the driving transmission.

次にインク供給駆動切替システムの構成、動作、特徴について説明する。

インク供給駆動切替システム(Fig. 6)の基本構成は切替モータ（ステッピングモータ）、切替Home Positionセンサ（以下、切替HPセンサと表記）、切替カム(2個)、スライダユニット(4個)、駆動モータ(DCモータ)、エンコーダ等から成る。

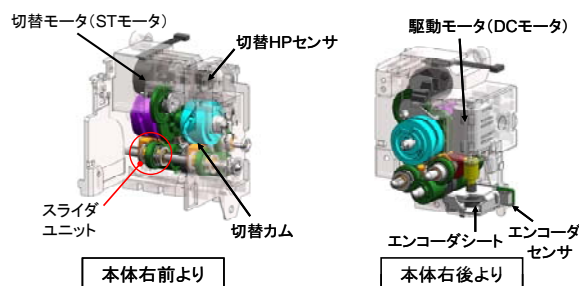


Fig. 6 Overall view of the switching system driving the ink supply.

更にインク供給駆動切替システムは駆動切替部と駆動伝達部からなり、詳細を以下に説明する。

駆動切替部(Fig. 7)

動作)

切替モータの回転により、切替カムが回転する。その結果、切替カムのカム溝に沿ってスライダユニットがスラスト方向に移動し、アイドラギアと駆動伝達先のギアが順番に噛み合う。

切替カムは切替HPセンサの基準の位置から回転角度60°ごとに、維持→Maポンプ→Bkポンプ→大気開放→Cyポンプ→Yeポンプ→（維持へ戻る）へと1箇所ずつ駆動伝達先を切り替える。

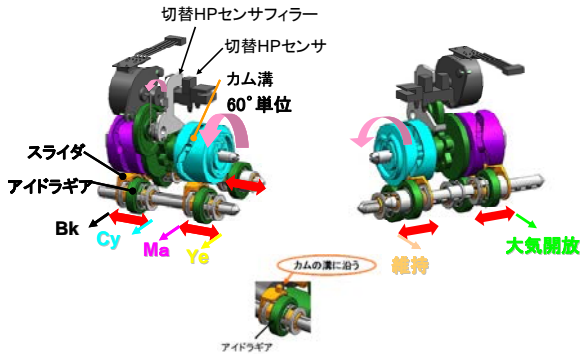


Fig. 7 Drive switching unit.

特徴1) 切替カムとスライダの構成

- 1つのスライダで2つの切替先を選択(BkとCy, MaとYeは同じスライダで切替) (Fig. 8左側)
 - 1つの切替カムに2つのスライダを持つ (スライダ配置角度は60° : カム回転角度と同じ) (Fig. 8右側)
- スライダや切替カムを共通で使用することで、部品数を最小限に抑え、ユニットサイズの小型化に貢献している。

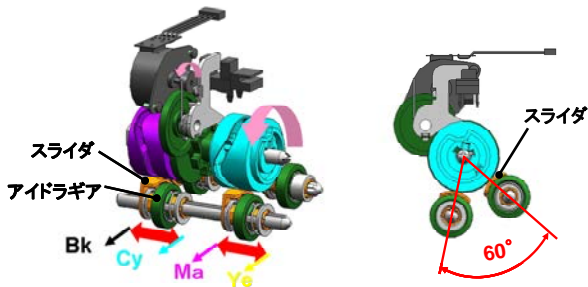


Fig. 8 Configuration of the switching cam and the slider.

特徴2) スライダユニットの構成(Fig. 9)

- スライドユニットのアイドルギアは両端をバネにより保持されている
- ギアの歯の側面同士が接触しても、一時的に逃げることができる(Fig. 9の状態2)

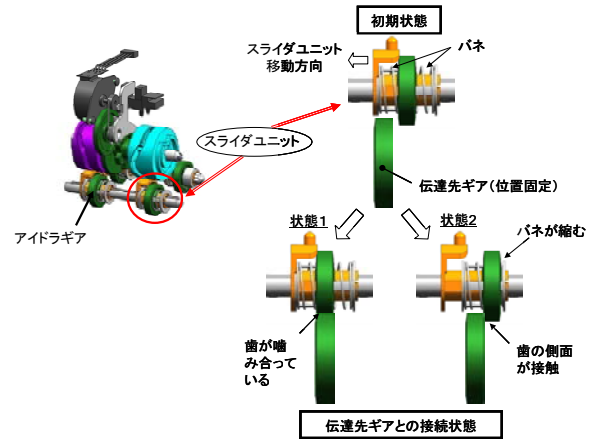


Fig. 9 Connection with the idler gear and the gear transmission destination.

特徴3) 切替カムHP位置検知と切替ポジション検知

センサカム形状(Fig. 10)を工夫することにより以下の検知が可能となる。(センサカム形状に沿ってセンサファイラーが図中矢印のように移動する: 図中はセンサOFFのときを示す)

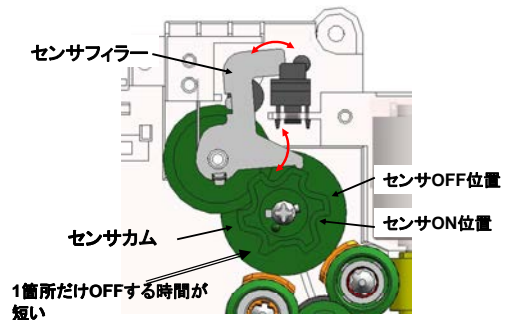


Fig. 10 Configuration of the sensor cam.

- 各伝達先(6箇所)で切替HPセンサがONする
- 切替を実施する際、センサがONする回数をカウントし、理論上の必要回数と比較することで確実に切替位置を認識する。
- 1箇所だけ切替HPセンサがOFFになる時間が短い箇所を設ける。(Fig. 10内記載)
- 短い時間の直後のセンサONの位置を切替カムのホームポジションとする。
- この2点により、切替の信頼性を確保することができる。

駆動伝達部(Fig.11)

動作)

PWM制御を行うことによって各伝達先の動作要求条件でDCモータの駆動を行う。(駆動伝達経路：駆動モータ→④→③→②→①→⑦→選択された駆動伝達先へ)

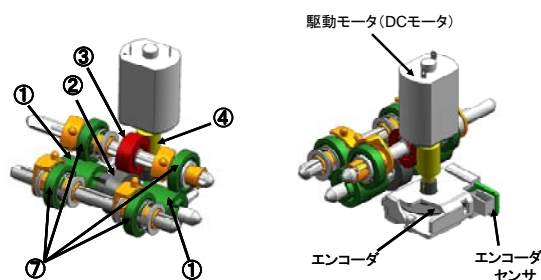


Fig. 11 Drive transmission unit.

駆動時、最初は低速にて駆動させ、その後、指定速度で駆動させる。

→Fig. 9の状態2でもバネの力を利用し、確実にギア同士を噛み合わせることができる。

3. 成果

同一駆動源から6箇所への切替駆動をし、すべての駆動において正逆転が可能な駆動伝達を実現した。これにより高粘度・高浸透ビカスインクの採用、極限までメンテナンスインクを低減したGX eシリーズのインク供給システム機能を継承しつつ、小型化、低コスト化を実現させることができた。具体的にはFig. 12に示すように、インク供給駆動切替システムに関わる部品費では、信頼性を維持したまま41.5%のコストダウンを実現した(Fig. 12参照)。さらに構成の工夫や効率的な駆動切替先の配置を行うことによりTable2から判るように前身機GX e3300に対して30%の小型化を達成し、歴代最小の本体サイズを実現した。この外観をFig. 13, Fig. 14に示す。

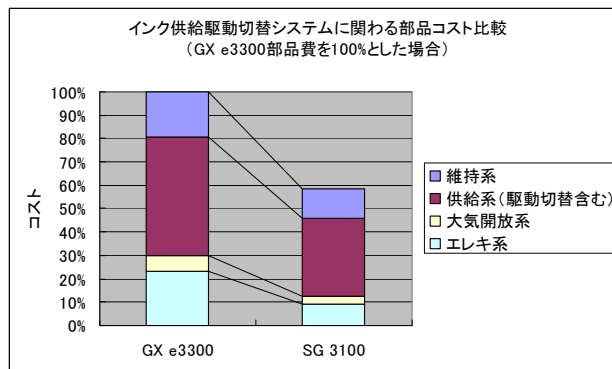


Fig. 12 Comparison of the total cost of the parts involved in the drive switching unit.

Table 2 Size comparison among the products.

製品名	G505	GX 3000	GX e3300	SG 3100
体積(cm ³)	38,656	53,719	52,758	37,139
W	403	416	420	399
D	440	491	485	437
H	218	263	259	213
両面ユニット	含まず	含む	含む	含む



Fig. 13 Appearance of the IPSiO SG 3100.

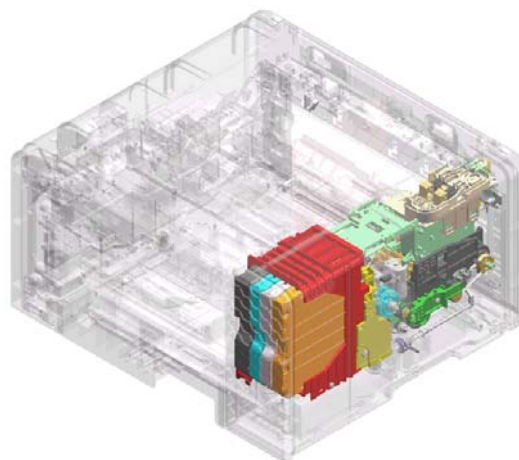


Fig. 14 3D image of the switching system driving the ink supply.

4. まとめ

SGシリーズではインク供給駆動切替システムを開発した。これは次の特徴を持つ。

- ・前身機GX eシリーズ採用のチュービングポンプを生かす全駆動伝達先への正逆転駆動力の伝達が可能
- ・駆動切替及び駆動伝達における高信頼性を確保

この結果、

- ・GX eシリーズの9個のアクチュエータを5個まで削減することができた。
- ・駆動切替に関わる部品費を41.5%低減できるとともに、歴代GJ機の最小の本体サイズを達成した。

参考文献

- 1) 福嶋徳太郎ほか：A4 フルカラープリンター IPSiO/Aficio GX e3300, *Ricoh Technical Report*, No.35, pp.139-144 (2009).

IPSiO SGシリーズ用GELJETインクの開発

Development of GELJET Ink for IPSiO SG Series

藤井 一郎*
Ichiroh FUJII

加藤 啓太*
Keita KATOH

中川 智裕*
Tomohiro NAKAGAWA

工藤 真樹**
Masaki KUDOH

松山 彰彦*
Akihiko MATSUYAMA

後藤 明彦*
Akihiko GOTOH

永井 希世文*
Kiyofumi NAGAI

要 旨

GELJETインクは、その特徴である高発色画像特性、高粘度、高浸透特性を継承しながら、IPSiO GX eシリーズではさまざまな環境下で対応できるよう信頼性を向上させてきた。SGシリーズでは、製造プロセスにおける環境負荷を低減するために、インクの構成成分、及び製造プロセスを見直した。その結果、ビーズミル分散方式の顔料インク処方を確立した。さらに、GX eシリーズ以上の吐出信頼性を確保し、メンテナンス時に消費するインク量を大幅に削減した。

ABSTRACT

GELJET ink improved reliability to be able to adapt under various environment in IPSiO GX e series while succeeding to high image quality, high viscosity and high penetration properties that were the characteristic. To reduce the environmental load in the manufacturing process in SG series, we reviewed components and the manufacturing process of ink. As a result, we could establish the pigment ink formulation of beads mill dispersion method. Furthermore, we got ink jet reliability with more than GX e series and largely reduced quantity of ink for maintenance.

* GJ開発本部 GI開発センター

GelJet Ink Development Center, GJ (Gel Jet) Design & Development Division

** 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

GELJETプリンタは2004年2月のIPSiO Gシリーズ発売以来、本格的ビジネスプリンタとして市場投入し、2006年5月にはIPSiO GXシリーズ、2009年5月にはIPSiO GX eシリーズ（以下、GX eシリーズと表記）を発売し、インクジェット方式でありながら高速性、両面印刷、普通紙高画質といった技術的特徴により、ビジネスインクジェットプリンタ市場を開拓してきた。

搭載されるインクは、前述の高速性、両面印刷、普通紙高画質を実現するために、高粘度、高浸透特性といった特徴を有する高顔料濃度インクを用いて、少ない付着量でも高画質印刷を実現している。印刷トータルコストは他社同等以下を実現しているが、インクコストだけを見ると、他社よりも高顔料濃度処方になっているため高コストになっている。

そこでIPSiO SGシリーズ（以下、SGシリーズと表記）では、インクの製造プロセスにおける環境対応として、使用する化学物質を削減することによる環境負荷低減、及び複雑な製造プロセスを簡略化することによる使用エネルギー低減等を行うことによって、インクコストにおいても他社に対する競争優位性を確立した。更にGX eシリーズ以上の吐出信頼性を確保でき、メンテナンス時に消費するインク量を大幅に削減することができたので、詳細を紹介する。

2. 技術

2-1 インク構成成分

水性インクジェットインクは、主成分として色材、ビヒクル（樹脂や水溶性有機溶剤）、添加剤、及び水から構成される。GELJETインクでは滲みや画像堅牢性を重視して、色材は顔料を採用している。インク中に溶解状態で存在する染料に対して、顔料は粒子として存在し、水性インク中に長期にわたっていかに均一に保つかが重要である。

顔料粒子を均一に保った状態のものを分散体と称し、一般にはこの分散体と樹脂、水溶性有機溶剤、添加剤、及び水等を混合してインクを製造する。

インク製造プロセスでは分散体製造プロセスが最も複雑なため、コスト面においては、分散体コストがインクコストのほとんどを占める。従ってインクの低コスト化においては、この分散体の材料構成、及び分散方式を見直す必要があった。

2-2 顔料分散技術¹⁾

顔料を均一に保つこと、すなわち「分散安定化」の機構として、顔料粒子どうしの静電斥力による機構と、樹脂吸着を利用した立体障害による斥力の機構があるが、実際の分散安定化には樹脂吸着による立体障害の利用が必要である。

顔料粒子表面への樹脂吸着層の形成に際しては、顔料粒子表面と樹脂、及び溶剤（水を含む）の親和性が重要となる。Fig. 1はそれぞれの成分の相互作用について示したものである。

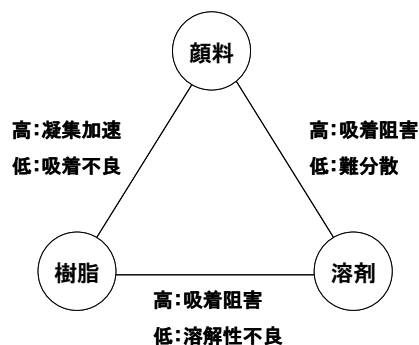


Fig. 1 Interaction of three components.

樹脂が顔料粒子表面に吸着するには、樹脂と顔料粒子表面の親和性が樹脂と溶剤の親和性よりも高くなければならない。しかしながら、樹脂と溶剤の親和性が低すぎると樹脂吸着層が溶剤中に配向せず、分散安定性の達成は困難となる。また逆に、樹脂と顔料粒子表面の親和性が高すぎると樹脂吸着層が接着剤のように振舞い、顔料粒子どうしを凝集させるためやはり分散安定性の達成は困難となる。顔料粒子表面と溶剤の

親和性を見た場合、親和性が高すぎると樹脂の吸着を阻害するし、逆に親和性が低すぎると分散機構のひとつの要素である濡れが不十分で、分散そのものの達成が困難となる。

さらに水系の場合、疎水性・親水性相互作用も考慮する必要がある。水系のインクジェットインクに使用される樹脂は、樹脂自体が水を主体とする溶媒に溶解、あるいは良好に分散する必要がある。このような樹脂は分子中に疎水性ユニットと親水性ユニットをもち、疎水性ユニットが顔料表面の疎水性部分に吸着し、親水性ユニットが水性媒体中に配向した構造をとる。

分散を安定化させるためには、以上のような相互作用をいかにうまくバランスすることが重要となる。

次に、顔料をインク中に長期にわたって安定させる分散方式について説明する。分散方式にはさまざまな方法があり、Fig. 2に各種分散方式の模式図を示す。各分散方式の特徴は以下のとおりである。

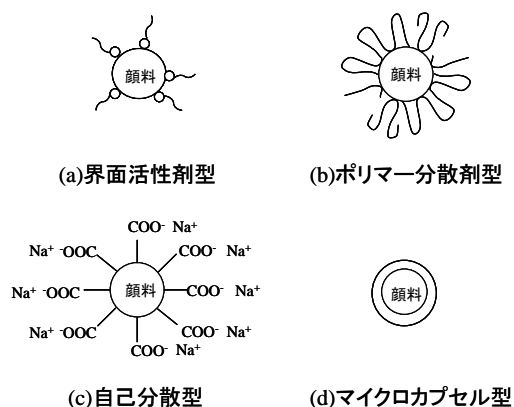


Fig. 2 Various pigment dispersion methods.

(a)界面活性剤型

界面活性剤を用いて顔料を分散する方法であり、一般的な顔料分散技術である。分散剤の吸着が可逆的であるので、長期にわたって安定に保つことが難しい。

(b)ポリマー分散剤型

高分子分散剤を用いて顔料を分散する方法であり、界面活性剤と比較すると、粒子間の立体的な反発効果が働くため、より安定に分散することができるが、インク粘度が高くなりやすく、分散剤の分子量が分散安定性やインク吐出安定性に影響を与えやすい。

(c)自己分散型

化学修飾により顔料表面に直接カルボン酸基やスルホン酸基を形成させ、顔料自体に自己分散性をもたせる方法であり、表面の官能基が固定されているため低粘度で安定な分散体を得られる。

(d)マイクロカプセル型

高分子分散剤を用いて顔料を被覆（カプセル化）する顔料分散技術であり、顔料に適した界面活性機能を有する樹脂で被覆された状態とすることにより、分散安定性を確保することが可能となる。

次にそれぞれの分散体製造に関する特徴を説明する。

(c)(d)の製造プロセスは長く複雑であり、強酸で反応させたり、プロセス中の主溶剤を有機溶剤とするため、水分散体を得るためには大量の水で精製したり、脱溶剤を行うプロセスが必要であり、環境負荷が非常に大きくコスト高になる。Fig. 3に、(a)界面活性剤型分散と(d)マイクロカプセル型分散の具体的な製造プロセスを示す。マイクロカプセル型分散体は有機溶剤中で分散するため危険物として扱う必要があり、大掛かりな防爆仕様の製造設備が必要となる。また最終的に水分散体とするため、脱溶剤を行って水系に転相するプロセスが必要になる。一方界面活性剤型分散体は、製造開始時から水系で処理できるため、非危険物として取り扱いが可能で、プロセスも設備も非常にシンプルになる。

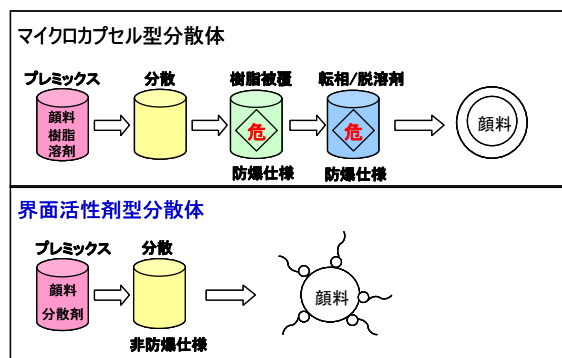


Fig. 3 Manufacturing process of pigment dispersion.

以上の分散方式の特徴と製造プロセスに左右されるコストの関係をTable 1にまとめる。

Table 1 Characteristics of pigment dispersion methods.

分散方式	分散安定性	コスト
(a)界面活性剤型	×	◎
(b)ポリマー分散剤型	△	○
(c)自己分散型	○	×
(d)マイクロカプセル型	◎	×

SGシリーズのインクはインク単体のコストにおいても他社に対する競合優位性を確立するため、(a)方式の界面活性剤分散体を使いこなす検討を行った。界面活性剤分散の課題である分散安定性のデメリットを克服するために、樹脂エマルジョンによる立体的反発で保護層を形成するという手法(Fig. 4)で分散安定化検討を行った。

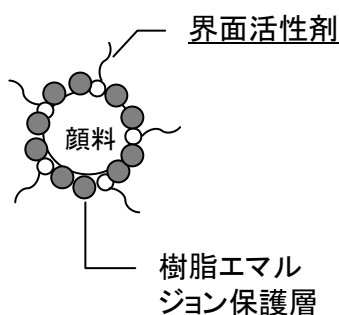


Fig. 4 Image of pigment dispersion for IPSiO SG series ink.

界面活性剤、及び樹脂エマルジョンの材料検討、及び分散条件検討を鋭意行った結果、特定の界面活性剤を用いたビーズミル分散方式の採用と、混合攪拌するだけで保護層を形成する特定の樹脂エマルジョンの添加をインク処方として見出し、マイクロカプセル型分散体を用いたインクと同等の分散安定性を確保した。

3. 結果

インクジェットプリンタの性能を維持するために、プリントヘッドの吐出状態を良好に保っておく必要がある。すなわち、印刷実行時に所望の大きさのインク滴が印刷メディアの所望の位置に吐出される状態にしておく必要がある。不吐出、インク滴量低下、及び吐出方向不良等が生じると、スジとなって画像欠陥となる。

インクが原因となる不具合としては、乾燥による増粘・凝集や固化、及び気泡等が考えられる。

これらの不具合を防止、回復させるために、プリンタにはメンテナンス機能を有しており、増粘・凝集したインクを印刷に使用せずに排出する空吐出、ヘッドノズル面に残ったインクを機械的に除去するクリーニング、ノズル内部の異物や気泡を強制的に排出するリフレッシュ機能がある。

メンテナンスはさまざまな動作が組み合わされて実施されるが、そのタイミングはユーザーが強制的に行う場合と周辺環境やプリント枚数、時間間隔等の情報をプリンタが把握して、自動で行う場合がある。これらメンテナンスの頻度や量が多くなると、印刷に寄与しないインクが多くなり、印刷に使用可能なインク量が減少する。

乾燥による増粘・凝集を極力抑制するインク処方設計については、従来から継続して取り組んでおり、空吐出量の割合は削減できてきたが、気泡を不具合とするメンテナンス消費量は削減できていないという課題を持っていた。一般にインクは界面活性機能があるため泡立ちやすい性質を有しているが、SGシリーズのインクでは、構成材料の組合せを検討した結果、非常に泡立ちにくい、インクジェットインクとしては画期的なインクを開発した。Fig. 5は、システムとして不具合を出さないためのインクの泡立ち特性とクリーニングによるインク吸引量との関係を示したものである。泡立ち特性は、100mlメスシリンダー中のインクに、19.6N/m²の圧力で空気を吹き込んだときの20秒後の泡高さを示す。泡高さが低いインクの方がクリーニングによるインク吸引量が少ない。

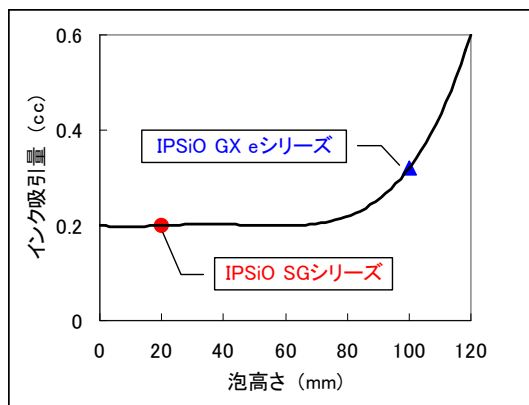


Fig. 5 Relations between bubble and quantity of ink suction for cleaning.

SGシリーズではGX eシリーズと比較して泡高さを大幅に改善し、その結果、クリーニングによるインク吸引量も大幅に削減でき、メンテナンス消費量の削減が可能となった。

4. まとめ

SGシリーズのインクは、ビーズミル分散方式の採用と、混合攪拌するだけで保護層を形成する特定の樹脂エマルジョンの添加によって、環境負荷を低減した顔料インク処方を確立した。顔料含有量が他社に対して2倍の高濃度でありながら、インクコストをGX eシリーズと比較して1/2以下とすることができ、他社に対する競争優位性を確立した。

また、泡立ち特性を改善して吐出信頼性を向上させ、メンテナンスに消費するインク量をGX eシリーズと比較してトータル約20%削減することができた。

参考文献

- 1) 日本画像学会編：デジタルプリンタ技術「インクジェット」、pp.121-126, 東京電機大学出版局 (2008).

薄膜PiezoのIJP塗布工法技術

The Fabrication of PZT Thin Film by Inkjet Printing

町田 治*

Osamu MACHIDA

下福 光*

Akira SHIMOFUKU

竹内 惇*

Atsushi TAKEUCHI

要 旨

PZT型インクジェットヘッドにおいて、低コスト化と小型化が可能な薄膜PZT型の開発を行っている。インクジェット(IJP)工法、ゾルゲル液を用いたCSD(Chemical Solution Deposition)及び積層下部電極を用いた表面エネルギー制御を組み合わせ、膜厚 $2\mu\text{m}$ の均一なPZT薄膜を形成することにより、材料の利用効率の向上と工程数を低減させ、製造コスト及び環境負荷を大幅に低減する工法を開発した。得られたPZT薄膜の電気特性は、比誘電率1700、誘電損失5%、残留分極 $10\mu\text{C}/\text{cm}^2$ 及び抗電界 $23\text{kV}/\text{cm}$ と従来法によるPZT薄膜と同等の電気特性を達成した。

ABSTRACT

We have a finely patterned PZT film is fabricated by a combination of inkjet printing (IJP) method, chemical solution deposition (CSD) method, and surface energy controlling technology. We used patterned multi-layer lower electrode, which easily enables high surface energy contrast on the lower electrode area and obtained high accuracy patterning in inkjet deposition process. The PZT film, which can be used as an actuator, has $2\mu\text{m}$ thickness after iterating set of surface treatment, inkjet deposition, and baking process. This film has dielectric constant (ϵ_r) of 1700, loss tangent ($\tan \delta$) of 0.05, remanent polarization (P_r) of $10\mu\text{C}/\text{cm}^2$ and coercive field (E_c) of $23\text{kV}/\text{cm}$. These results were the same as the PZT film of conventional method.

* GJ開発本部 GC開発センター

GC Development Center, GJ Design & Development Division

1. 背景

インクジェットヘッドの超低コスト化を実現するために従来のスパッタ法等によるPZT膜形成に対し、材料の利用効率の向上と工程数低減により、素子の製造コストを大幅に抑え、環境負荷を抑制できるインクジェット工法(IJP工法)によるPZT薄膜の製作を検討している。

IJP工法は低環境負荷、工数低減などの観点から産業用途への応用が盛んであり、液晶パネルの製造工程や3次元プリンター等の分野で実用化されている^{1) 2)}。今後は、フレキシブルディスプレイ、太陽電池等のプリンテッドエレクトロニクス分野、半導体を直接IJPによりパターンニングする電子素子分野においてその応用が期待されている。さらに塗布面の表面エネルギー制御を施すことで、様々な基板上により繊細なパターンを形成する検討が行われている^{3) 4)}。

一般的にPZT薄膜は、スパッタ法やAD(Aerosol Deposition)法、或いはCSD(Chemical Solution Deposition)法で薄膜を形成し、フォトリソグラフィとエッチングプロセスによってパターンを形成する。しかしPZT薄膜は難エッチング材料であることからダイレクトパターンニング技術が有効である。その一例としてスクリーン印刷やマイクロコンタクト法によるPZT薄膜の形成が研究されているが⁵⁾、更なるパターンの微細化と工程数削減のためにはIJP工法を用いたダイレクトパターンニングが有利である。IJP工法によるPZT薄膜の形成は、数百nmの膜厚の報告例はあるが⁶⁾、アクチュエータとして使用できる数 μm 厚のPZT薄膜の報告はない。

今回IJP工法、CSD(Chemical Solution Deposition)法、及び表面エネルギー制御技術を組み合わせ、PZT薄膜のダイレクトパターンを検討し、これらの処理を繰り返すことで所望の寸法精度を持った2 μm 厚のPZT薄膜を形成する技術を開発した。

2. 技術

PZT薄膜は基板に対し、自己組織膜(SAM: Self Assembled Monolayer)による表面エネルギー制御処理、インクジェットによる溶液の塗布、熱処理を繰り返す行い、CSD法で形成した。

ゾルゲル(PZT前駆体)溶液は酢酸鉛、チタンイソプロポキシド及びジルコニウムテトラノルマルプロポキシドを出発原料とし、安定剤として酢酸、更に溶媒として2-メトキシエタノールを加えて合成を行った⁷⁾。この状態のゾルゲル溶液は乾燥性が高く、インクジェットヘッドから安定吐出させるのは難しいため、粘度、表面張力及び沸点等の物性を考慮し複数の溶媒を加えてインクジェットヘッドで安定吐出可能となるようにインク物性の調製を行った。

Fig. 1は塗布に用いた基板であり、シリコン基板上に下部電極となるSrRuO₃(SRO)を成膜し、その上に白金のパターンが形成されている。

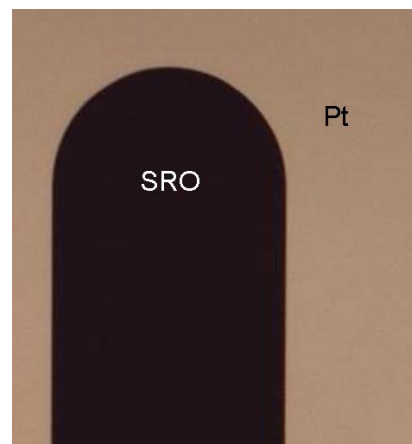


Fig. 1 Microscope image of the substrate which has the patterned lower electrode.

Fig. 2はSAMを用いた表面エネルギー制御について説明する図である。SRO上に部分的に白金パターンを形成した基板にチオール系のSAMをディップ処理で形成すると、親和性の違いから選択的に白金上にSAMを形成させることができる。SAMが形成された基板の表面は表面エネルギーが高く、撥液性が高くなる⁸⁾。

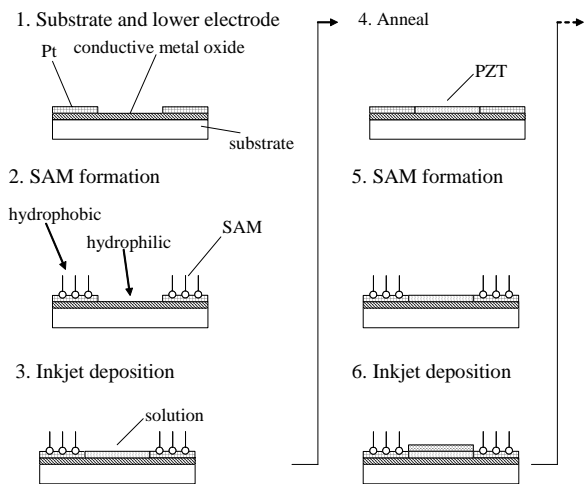


Fig. 2 The process flow of the surface treatment, inkjet deposition, and annealing process.

このようにSAMが形成された基板のSRO上にインクジェットヘッドでゾルゲル溶液を塗布した。インクジェットヘッドにはステンレス製で耐薬品性、耐久性の高いリコープリンティングシステムズ社製のGEN4ヘッドを用いた(Fig. 3)⁹⁾。

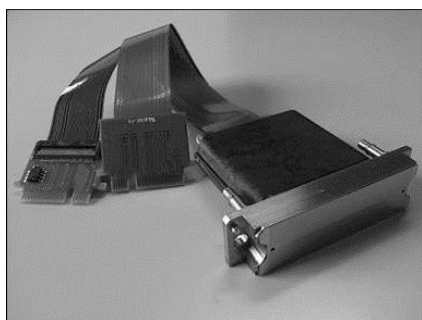


Fig. 3 Photograph of GEN4 inkjet head.

基板の表面エネルギーが予め制御されているため、塗布されたゾルゲル溶液は接触角の大きい白金上に広がることなく、高精度のパターンが形成できた。その後、乾燥処理を行い、熱分解処理後に結晶化処理を行った。この工程を複数回繰り返し、膜厚 $2\mu\text{m}$ のPZT薄膜を得た。なお、結晶化処理後の白金表面には不純物が付着しており、SAMが安定して形成されないため、SAM処理前に酸によるウェットエッチングを施して、白金表面の清浄化を行った。これにより繰り返しの結晶化後でもPt上で高い接触角を確保することができた。

Fig. 4にIJP工法によるPZT薄膜形成のプロセスシーケンスを示す。

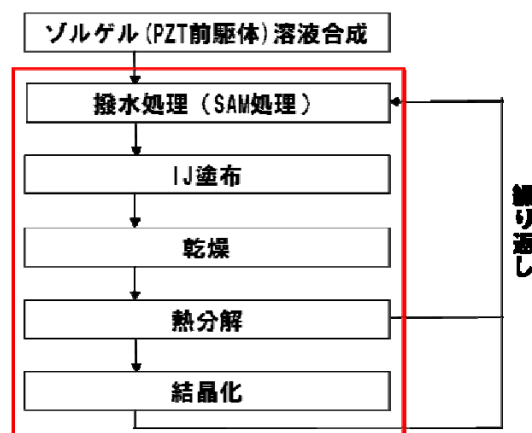


Fig. 4 The process flow of the inkjet printing.

その後、上部電極として白金をスパッタ法で形成し、フォトリソグラフィーによりPZTパターン上に形成した後、強誘電体薄膜評価装置(東洋テクニカ FCE)を用いて1kHzの三角波をPZT薄膜に印加して強誘電特性を評価した。また得られた薄膜の断面構造を、走査型電子顕微鏡(ZEISS ULTRA55)で観察した。更にこのPZT薄膜基板をドライエッチングにより除去し、薄いメンブレン状に加工しレーザードップラー変位形(小野測器LV-1710)を用いて変位測定を実施した。

3. 結果と考察

SAMを形成した基板の白金では、Fig. 5(a)に示すように純水に対し 110° 以上の接触角を示し、一方SRO上ではFig. 5(b)に示すように 20° 以下であり、高い接触角コントラストが得られた。また、2層目以降の結晶化したPZT上への塗布時においても、同等の接触角コントラストが得られた。

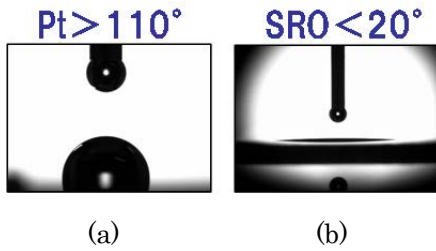


Fig. 5 Contact angle for the pure water.

Fig. 6に複数回の塗布と結晶化を繰り返した後のPZT薄膜パターンの写真を示す。1回の塗布で得られる膜厚は打ち込むドット数を最適化して調整した。パターンは300dpi(86 μm ピッチ)で形成されているが、隣接するパターン同士が結合することなく均一に形成されている。また形成されたPZT薄膜パターンの寸法精度は設計値に対し、 $\pm 1\ \mu\text{m}$ 以内の精度であった。

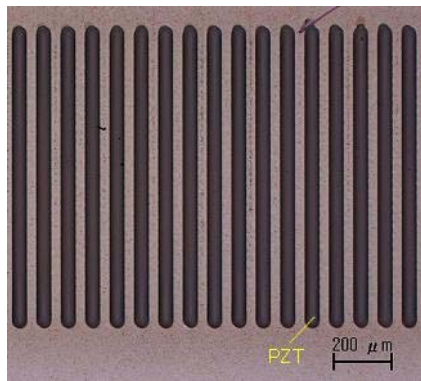


Fig. 6 Microscope image of patterned PZT film fabricated by inkjet printing.

スピンコートによるCSD法の場合は基板全体にゾルゲル溶液を塗布した後にエッチングによりパターンを形成するが、IJP工法でははじめから必要な部分にゾルゲル液を塗布し、パターンが形成された状態で乾燥させる。そのため乾燥後に固形分がパターンのエッジ付近に凝集し、エッジが盛り上がる現象（コーヒーステイン現象）が発生する。コーヒーステイン現象が発生する因子として一般的には溶液の沸点などの物性や乾燥時の溶液の蒸発速度が起因するといわれている¹⁰⁾。

我々はコーヒーステイン現象を防止するためにゾルゲル液の溶媒として、主溶媒の2-メトキシエタノール

に高沸点の複数の溶媒を添加した。また乾燥時の昇温レートの最適化を行った。Fig. 7に乾燥時の昇温レートが異なる場合の結晶化後のPZT薄膜パターンの端部の形状を3次元表面粗さ測定器で測定した結果を示す。昇温レートが早い場合には端部の膜厚が大きくなりコーヒーステイン現象が発生しているが、昇温レートが遅い場合には均一な膜厚が得られている。このように沸点の異なる複数の溶媒を添加し昇温レートを最適化することにより、インクジェットヘッドからの吐出安定性を保ちつつ、コーヒーステイン現象の発生を抑制することができた。

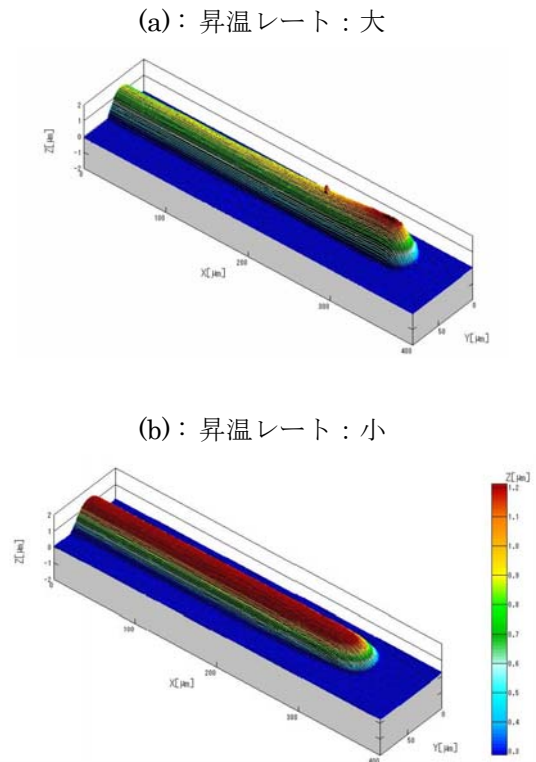


Fig. 7 Measured geometry of PZT film.

IJP工法で得られたPZT薄膜の断面形状をFig. 8に示す。Fig. 8(a)に示ようにPZT薄膜の断面形状は、中央部からエッジ部に向かうほど膜厚が薄くなるシリンダリカル形状になっていることが分かる。またFig. 8(b)に示すようにPZT薄膜はポイド等の欠陥がなく、膜厚 $2\ \mu\text{m}$ の均一な膜が形成されていることを確認した。

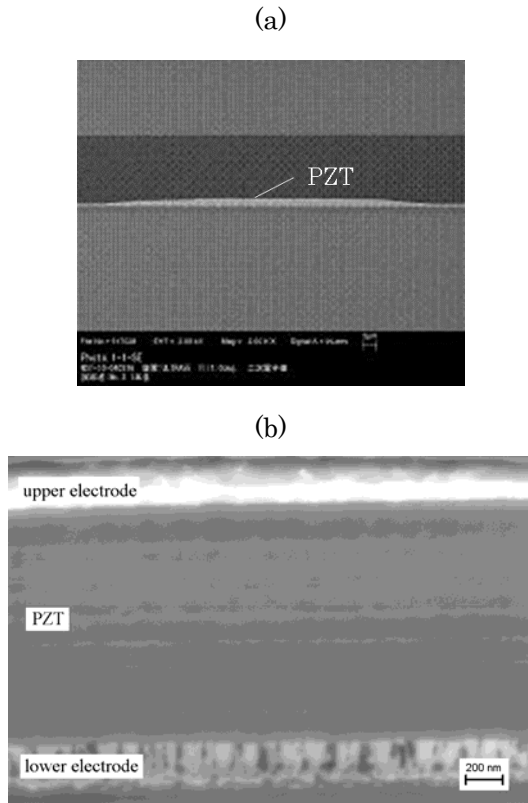


Fig. 8 SEM cross section image of PZT film.

Fig. 9は、IJP工法によって作製されたPZT薄膜のヒステリシス曲線を示したものであり、従来工法のスピートによるCSD法で製作したPZT薄膜とほぼ同等の曲線が得られた。

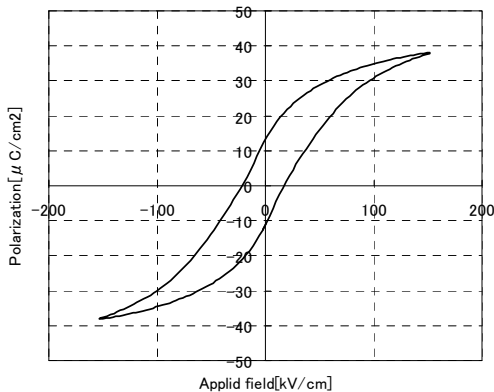


Fig. 9 Typical P-E hysteresis loop of the PZT film measured with 1kHz sweep.

このPZT薄膜基板を裏面よりドライエッチングにより除去し、Fig. 10に示すようにPZT領域とその周辺部の基板を薄いメンブレン構造とし、アクチュエータとしての変位特性を測定した。レーザードップラー変位計で上部電極に一定の電圧を印加したときの、電圧と変位の関係を測定した結果をFig. 11に示す。印加電圧を上げるとほぼ直線的に変位量が増加していることがわかる。

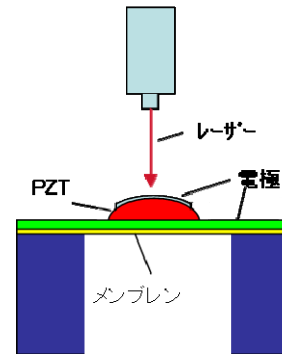


Fig. 10 Schematic view of the membrane structure.

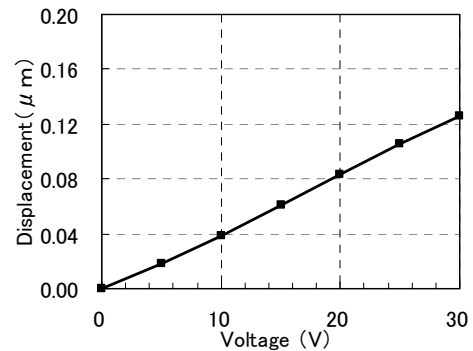


Fig. 11 Membrane displacement property of PZT film fabricated inkjet printing.

本検討結果より、従来工法と比較してIJP工法を用い、PZT薄膜をダイレクトにパターニングすることで少ない工程数で任意の形状のアクチュエータが形成できることを確認した。

また、IJP工法を用いることにより従来法とは異なり、必要な部分にのみPZTを形成するため、6インチウエハ1枚で鉛の使用量が約1/25に削減できることが確認できた。

4. まとめ

IJP工法によるPZT薄膜の形成について検討した結果、以下のことが分かった。下部電極上にパターンニングした白金にチオール系のSAMを形成することで、接触角コントラストの高い基板が得られた。この基板にインクジェットヘッドでゾルゲル溶液を塗布し乾燥、熱分解、及び結晶化の工程を繰り返すことでパターン精度の優れた2 μ mのPZT薄膜が得られた。得られたPZT薄膜は従来工法を用いたスピコートによるCSD法で形成されたPZT薄膜と同等のヒステリシス曲線及び変位特性を示した。

このように、本検討ではIJP工法を用いた簡単なプロセスにおいて高精度にパターンニングされたアクチュエータを実現した。

参考文献

- 1) H. Sirringhaus, et al.: High-Resolution Inkjet Printing of All-Polymer Transistor Circuits, *Science*, Vol.290, pp.2123-2126 (2000).
- 2) J. Z. Wang, et al.: Dewetting of conducting polymer inkjet droplets on patterned surfaces, *Nat. Mater.*, Vol.3, pp.171-176 (2004).
- 3) K. Suzuki, et al.: Fabrication of All-printed Organic TFT Array on Flexible Substrate, *J. Photopolym. Sci. Technol.*, Vol.24, pp.565-570 (2011).
- 4) H.Saito, M. Ueda, and Y. Matsuba: Pattern formation by ink-jet printing system using NanoPaste, *Proc. of Int. Symp. on Microelectronics*, pp.189-192 (2004).
- 5) Y. Akiyama, et al.: Development of Lead Zirconate Titanate Family Thick Films on Various Substrate, *Jpn. J. Appl. Phys.*, Vol.38, pp. 5524-5528 (1999).
- 6) S. P. Bathurst, H. W. Lee, and S. G. Kim: Ink Jet Printing of PZT Thin Films For MEMS Applications, *NIP24 and Digital Fabrication*, pp.897-901 (2008).
- 7) T. Iijima, et al.: Synthesis of 10-um-Thick Lead Zirconate Titanate Films on 2-in. Si Substrate for Piezoelectric Film Devices, *Int. J. Appl. Technol.*, Vol.3, pp.442-447 (2006).
- 8) A. Kumar and, G. M. Whitesides: Features of gold having micrometer to centimeter dimensions can be formed through a combination of dtamping with an elastomeric dtamp and an alkanethiol "ink" followed by chemical etching, *Appl. Phys. Lett.*, Vol.63, pp.2002-2012 (1993).
- 9) 町田 治ほか：インクジェット工法による PZT 薄膜の形成，第 29 回強誘電体応用会議予講集，pp.97-98 (2012).
- 10) B-J. de Gans and U. S. Schubert: Inkjet Printing of Well-Defined Polymer Dots and Arrays, *Langmuir*; Vol.20, pp.7789-7796 (2004).

定着過程のカールメカニズムとその予測方法

A Paper Curl Mechanism and the Curl Prediction Method in the Fusing Process

大原 俊一* 羽山 祐子* 谷川 洋文** 鶴田 隆治**
Shunichi OOHARA Yuko HAYAMA Hirofumi TANIGAWA Takaharu TSURUTA

要 旨

電子写真方式のプリンターや複写機では、紙上のトナー画像を熱と圧力で定着させる定着過程で紙がカールすることが知られている。カールは印刷品質の低下につながるため、製品の開発段階で予測し対策を行うことが望ましい。そのためには発生メカニズムを明らかにし、予測手法を得ることが必要である。本研究では、紙表裏の加熱温度差で発生するカールのメカニズムを明らかにするため、平坦なプレートで紙を加熱する実験装置を用いてカールを再現し、紙表面近傍の絶対湿度を計測した。その結果、紙の厚さ方向に水分が移動し低温側の含水率が高まり、加熱後の縮みが高温側より大きくなるため低温側に向かってカールすることが分かった。さらに、毛管内の水分移動と蒸発を考慮した水分移動解析により、加熱時の紙の厚さ方向の含水率分布を計算し、実験で求めた含水率と紙の縮みの関係からバイメタルモデルを用いてカール量の予測を行った。そして、実験と比較し傾向が良く一致することを確認した。

ABSTRACT

Electrophotographic printers and copiers utilize a fusing process to bind toner graphics to a sheet of paper. The fusing process is one of the reasons of the paper curl that lowers the print quality. It is necessary to develop a method to predict the paper curl amount for improving the efficiency of developing products. In this study, a sheet of paper is pressed between two flat-heated plates to investigate the paper curl mechanism and to measure the absolute humidity of the paper surfaces after heating. It is found that a temperature gradient leads to moisture transfer from the high-temperature side to the low-temperature side within the paper. Subsequent evaporation of this moisture gives rise to a higher degree of shrinkage at the low-temperature side, causing the paper to curl toward the low-temperature side. Furthermore, a numerical model that calculates the moisture distribution within the paper is proposed. This model considers the capillary flow of the paper in the thickness direction, as well as evaporation during heating. The curl amounts at various paper thicknesses are predicted by the bi-metal model using the relationship between the moisture distribution within the paper and the shrinkage. The results are found to be in good agreement with the experimental results.

* 研究開発本部 基盤技術研究センター

Core Technology R&D Center, Research and Development Group

** 九州工業大学 大学院工学研究院

Department of Mechanical Engineering, Kyushu Institute of Technology

1. 背景と目的

プリンターや複写機で発生する紙のカールは、印刷品質を低下させるため開発段階で予測し対策を行うことが望ましい。そのためには発生メカニズムを明らかにし、それを反映した予測手法を得ることが必要である。カールを発生させる要因は幾つかあり、その一つである搬送経路での屈曲によるカールについては予測手法が提案されている¹⁾。定着過程で発生するカールは、紙の表裏の加熱温度に差が有る場合に低温側に向かって凹状になることが知られている²⁾。しかし、そのメカニズムは十分解明されておらず、定量的な予測手法も得られていない。

本研究の目的は、紙表裏の加熱温度差で発生するカールのメカニズムを明らかにし^{3) 4)}、さらに、そのメカニズムを考慮した予測方法⁵⁾を開発することである。

2. カールメカニズムの解明

2-1 温度差によるカールの再現

カールのメカニズムを解明するには、要因とカール量の関係を定量的に評価する必要がある。しかし、定着器は紙を一对のローラ（またはベルト）で挟み込み、加熱しながら搬送するため、紙の表裏に接するローラの温度を任意に設定することは難しい。また、カールは紙を挟みこむ部分（ニップ部）の形状や、搬送途中の紙の曲げの影響も受ける。そこで、紙表裏の温度差を任意に設定可能で、また他の要因の影響がないよう、対向する平板で短冊状の紙の表裏を加熱する装置を製作し、温度差によるカールを再現した。

2-1-1 カール再現のための実験装置

Fig. 1は温度差によるカールを再現するための実験装置を側面から見た図である。平板のアルミプレートにゴムを貼り付けた加熱プレートを電動アクチュエータで移動させ、幅20mmの短冊状の試験用紙に押し当てる装置である。加熱面は幅30mm、長さ100mmであり、加熱温度は室温から200℃程度まで、荷重は最大400N、最小加熱時間は0.05秒である。加熱プレートは内部に配置されたシーズヒーターで加熱される。温度、加熱時間を任意に設定可能で、温度差のみによりカールを発生させることが出来る。

試験用紙は、JIS-B-7920に記載されている飽和塩法により一定湿度に保たれたデシケーター内で、室温で調湿を行った。特に断りのない限り75%での調湿である。試験用紙は0.24mm、0.09mm厚のPPC (Plain Paper Copier)用紙で、幅方向をMD(Machine Direction)方向、長さ方向をCD(Cross Direction)方向にしている。これは、温度差によるカールがMD方向を軸にCD方向に発生するためである。この原因は、含水率の変化による紙の繊維の伸縮が長さ方向より幅方向に大きく、CD方向が紙の繊維の幅方向にほぼ一致しているためである。

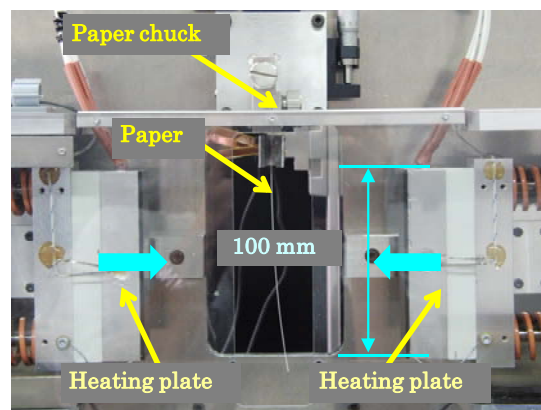


Fig. 1 Side view of experimental apparatus to analyze paper curl.

Fig. 2はカール量の測定装置を上方から見下ろした図である。実験によりカールした短冊状の試験用紙を置

き、レーザー変位計で表面を走査して形状を測定する。カール量はその形状の座標値から曲率に換算した。

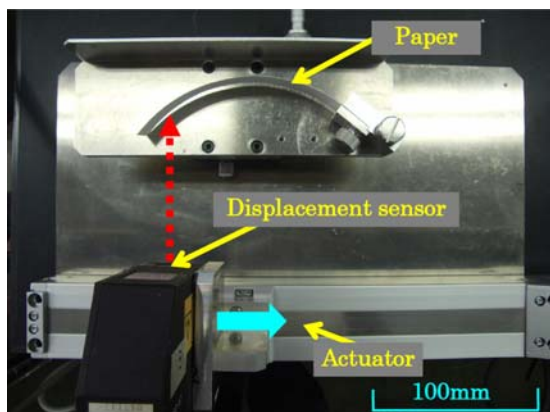


Fig. 2 Top view of experimental apparatus to measure curvature.

2-1-2 カール再現実験結果

初めに、紙の表裏が異なる温度で加熱された場合に発生するカールを実験装置で再現した。

Fig. 3は加熱プレートの温度差とカール量の関係を示す図である。一方の加熱プレートの温度を80℃に固定し、他方の温度を変化させた。加熱時間は0.25秒である。横軸のプラス側は変化させる加熱プレートの温度が高くなる方向であり、たとえば温度差が100度の場合、加熱プレートの温度は180℃になる。縦軸のカール量はプラス方向が低温側に向かう（低温側に向かって凹形状の）カールである。紙の厚さは0.09mmで、相対湿度28%と75%で調湿したものをを用いた。

まず、カールはすべて低温側に向かうカールである。調湿環境については、75%で調湿した紙のカールが大きくなっており、紙の含水率が高いほどカールが大きくなると言える。そして、温度差が増加するに従いカールが大きくなる。この装置ではニップ形状の影響を受けないため、カールが純粋に紙表裏の加熱温度差で発生していることが分かる。一方、温度差を増す際は高温側の加熱温度を高めるため、それが水分蒸発量を増して紙の縮みを増加させカールが増しているとも考えられる。しかし、カールは低温側に向かって凹形状であり、温度が一定である低温側の紙の縮みが増加していることになる。この点からも、単なる加熱温度の上

昇ではなく、紙表裏の加熱温度差がカールを増加させる原因となっている。

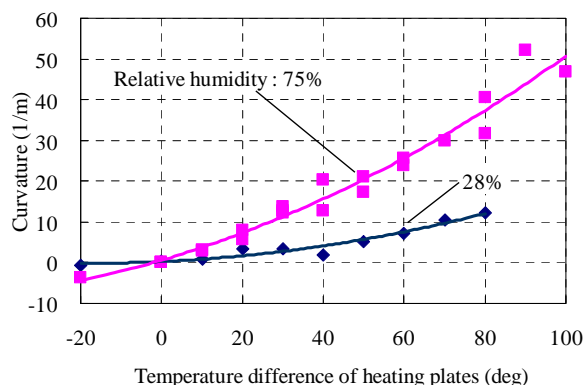


Fig. 3 Relationship between temperature difference of heating plates and curvature for two relative humidity.

Fig. 4は加熱時間とカール量の関係を示す図である。図中の曲線は5個のデータの移動平均である。加熱温度は高温側が160℃、低温側が80℃の温度差加熱である。この温度は電子写真の定着器において、加熱ローラの最高温度と加圧ローラの最低温度に相当する。紙の厚さは0.09mmと0.24mmの2種を使用した。

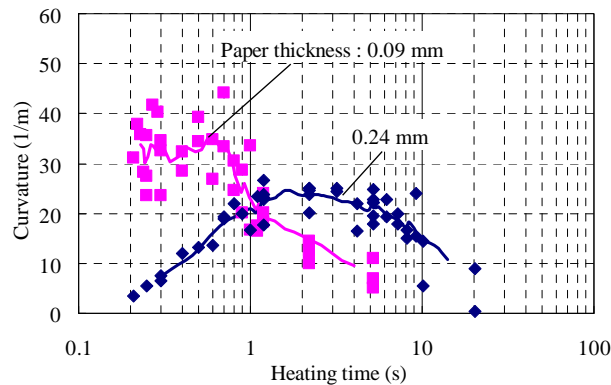


Fig. 4 Relationship between heating time and curvature for two paper thicknesses.

厚さ0.09mmで0.5~0.7秒、0.24mmで1~2秒の加熱時間にピークを持つことが分かる。薄い紙の場合はピークになる加熱時間が短く、ピークのカール量が大きくなる。厚い紙の場合はその逆にピークになる加熱時間が長く、

カール量も小さくなる。温度差によるカールは、紙厚、加熱時間によってもその量に変化する。

2-2 紙表面近傍の絶対湿度とカール

定着器におけるカールは、紙からの水分蒸発の影響があることが知られている。そこで、本研究では自社で開発した小型、高サンプリング周波数の湿度センサーを用い、加熱直後の紙表面近傍の絶対湿度を計測することで、温度差によるカールのメカニズム解明を行った。

2-2-1 絶対湿度測定のための実験装置

Fig. 5には加熱直後の紙表面近傍の絶対湿度を計測するための機構を示し、Fig. 6には湿度センサーと紙ガイドの拡大図を示す。湿度センサーは3mm角で、樹脂製の紙ガイドに取り付けられ、その検知面は紙に接しないようガイド表面から0.5mm程度奥に設置される。紙ガイドと湿度センサーは、移動可能なアームに紙を挟みこむように配置される。アームは電動アクチュエータに接続されて加熱解除直後に降下し、湿度センサーを加熱直後の紙表面に移動させる。降下位置は加熱プレート上端から30mm下方である。

Fig. 7は実験時の湿度センサーの移動後の状態を示す図である。加熱直後に湿度センサーを降下させた状態である。降下に要する時間は0.3秒である。

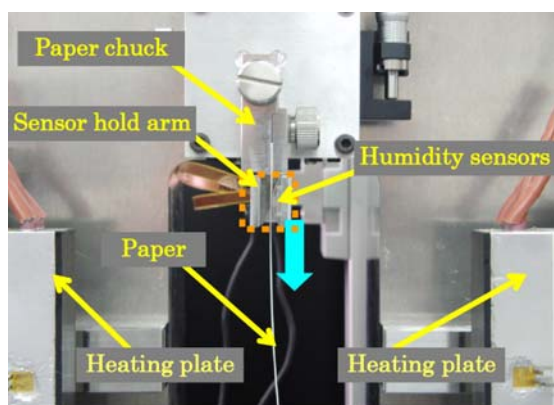


Fig. 5 Experimental apparatus to measure humidity of paper surfaces after heating.

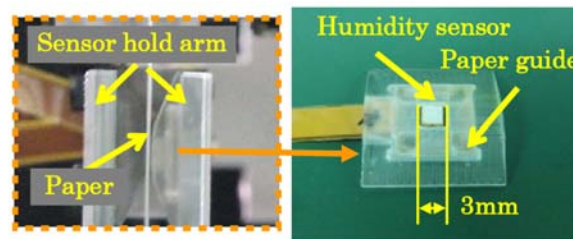


Fig. 6 Enlarged view of humidity sensor and paper guide.

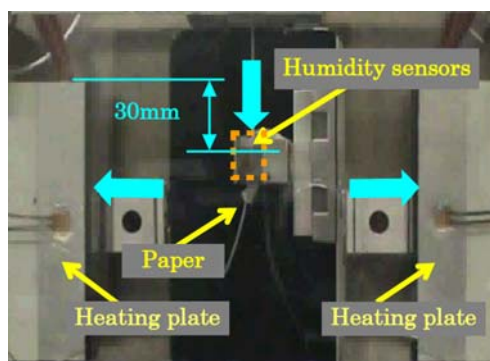


Fig. 7 Position of humidity sensors after heating.

2-2-2 絶対湿度測定結果

Fig. 8は紙表面近傍の湿度計測結果の一例である。横軸は加熱プレートの動作開始後の時間であり、縦軸は絶対湿度である。紙の厚さは0.24mmで加熱時間は2秒である。加熱が解除されるのは4.9秒時、アームの降下が5.0～5.2秒の間である。

図中4本の曲線は、実線が160℃と80℃の温度差加熱の場合の高温側と低温側の絶対湿度、点線が160℃の同温加熱時の紙表裏の絶対湿度である。紙表面近傍の絶対湿度は紙表面からの水分蒸発量と相関があり、そのため紙の含水率と相関がある。

湿度センサーが降下する間に、紙内の水分は蒸発により減少するため、計測時の絶対湿度のピークは加熱直後の値を反映していない。しかし、計測時のピークから時間とともに絶対湿度が低下していく曲線の傾きを見れば、絶対湿度が高いほど低下速度が速いことが分かる。よって、計測時のピークが高ければ加熱直後の絶対湿度も高いと言え、計測時の相対的な大小関係は加熱直後の大小関係を表している。

温度差加熱の場合、絶対湿度のピークは低温側が高温側より高くなっている。同温加熱の場合、紙表裏で絶対湿度の差はなく、その最大値は温度差加熱時の低温側より低く高温側よりも高い。温度差加熱の高温側の絶対湿度が同温加熱時より低くなっているのは、含水率が低くなっていることを示している。温度が低い場合、同じ含水率であっても蒸発量が少なくなるため絶対湿度は低くなる。それにも関わらず、温度差加熱時の低温側で同温加熱時より絶対湿度が高くなっているのは、温度が低いことによる蒸発量の減少を上回る水蒸気を発生させる水分があることを示している。加熱中、加熱後とも紙への水分の供給はないので、この水分の増加は高温側からの水分移動によると考えられる。

Fig. 9は加熱時間を変えて紙表面近傍の絶対湿度を測定した結果である。併せてFig. 4のカール量の曲線も示している。この図の絶対湿度は加熱前の環境値（図中5.0秒までの絶対湿度の値）から加熱後のピーク値まで増加した値を示している。曲線は5個のデータの移動平均である。

低温側の絶対湿度は加熱時間が長くなるにつれ増加し、1~2秒でピークを迎えた後、徐々に低下していく。これは、加熱時間に応じて高温側の紙の温度が上昇して水分が蒸発すると共に低温側に移動する水分が増加し、その後は低温側から水分が蒸発して含水率が低下しているためである。一方、高温側の絶対湿度は加熱時間が長くなってもさほど変化はしない。短時間の加熱でも高温側の水分が蒸発し、さらに低温側に移動しているためと考えられる。

低温側の絶対湿度とカールを比較すると、加熱時間に対する変化がよく似ていることが分かる。まず、カール量がピークになる加熱時間は1~2秒であり、低温側の絶対湿度のピークと一致している。低温側の絶対湿度とカール量の相関については、ピーク前後で傾向が異なる。これは、カール量がピークに至るまでは低温側への水分移動が影響し、ピーク後のカール量の減少は紙からの水分蒸発が影響しているためと考えられる。そこで、ピーク前後でデータを分けて相関係数を求めると、ピークになるまでの相関係数は0.82、ピーク以降で0.74であり強い相関がある。紙表面近傍の絶対湿度は含水率と相関が

あるため、絶対湿度が高まる低温側は含水率が高く、含水率が高いほどカール量は大きくなる。そして、加熱時間が長くなり水分が蒸発して含水率が低下するとカール量は小さくなる。また、Fig. 3で75%調湿の紙のカール量が大きいのは、もともとの含水率が高い分、低温側の含水率が高くなり、より多くの水分が蒸発して紙の縮み量が増しているためである。

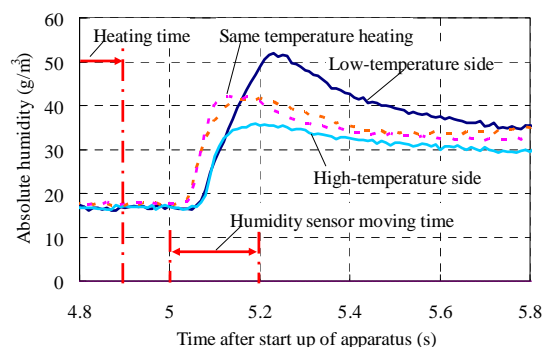


Fig. 8 Absolute humidity on paper surfaces after heating.

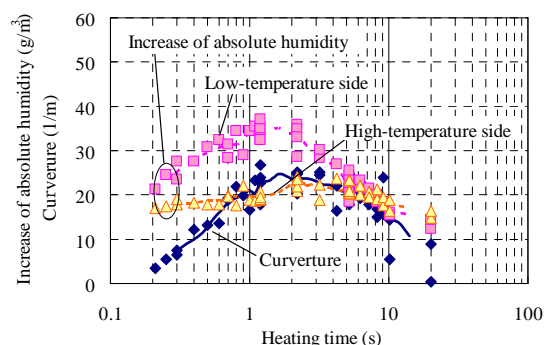


Fig. 9 Relationship between increase of absolute humidity and heating time with trajectory of curvature.

2-3 紙の含水率と縮み

カールは紙表裏の収縮差により発生する。温度差加熱によるカールの場合、低温側は紙表面近傍の絶対湿度が高く含水率が高くなっており、高温側は紙表面近傍の絶対湿度が低く含水率が低くなっている。そのため、低温側にカールする現象については、高含水率の紙で加熱後の縮みが大きくなることを示せば説明できる。そこで、含水率を変化させて加熱後の紙の縮み率を測定した。紙

異なる相対湿度のデシケーター内で調湿し、その含水率はKett社製の紙水分計を用いて測定した。縮み率 R_s は加熱後の紙の長さ L_a 、加熱前の紙の長さ L_i 、加熱部の長さ L_h から式(1)より求めた。紙の縮みは加熱部で発生するため加熱部の長さ L_h に対する比としている。

$$R_s = \frac{L_i - L_a}{L_h} \times 100 \quad (1)$$

2-3-1 紙の縮み測定のための実験装置

加熱後の紙の縮み測定はFig. 10の構成で行った。Fig. 1の実験装置に、試験用紙の下側を保持するスライドガイドと、そこに取り付けられたターゲットの位置を測定するレーザー変位センサーを設けている。紙の収縮に応じてターゲット位置が変化し、それを計測して紙の長さの変化を求める。ガイド部には紙を撓ませないために、およそ0.3Nの錘を付与している。加熱時間は2秒であり表裏同温で加熱した。

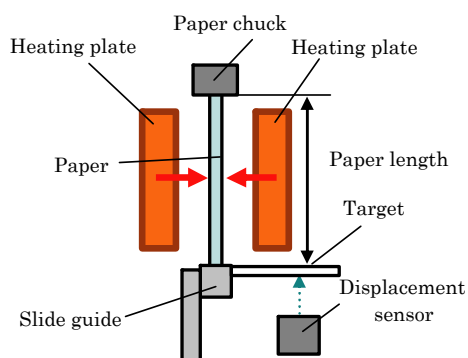


Fig. 10 Experimental apparatus to measure paper shrinkage.

2-3-2 紙の縮み測定結果

Fig. 11はその結果の一例で160℃加熱の場合である。横軸は加熱解除後の時間、縦軸は紙の縮み率である。紙は加熱解除後から縮み始め、初期は急速に縮み、徐々に縮み率の増加が緩やかになる。縮み率は含水率が高いほど大きくなっている。含水率が高く水分の蒸発量が多い側がより縮むため、温度差加熱の場合に低温側へ向かうカールが発生することが説明できる。

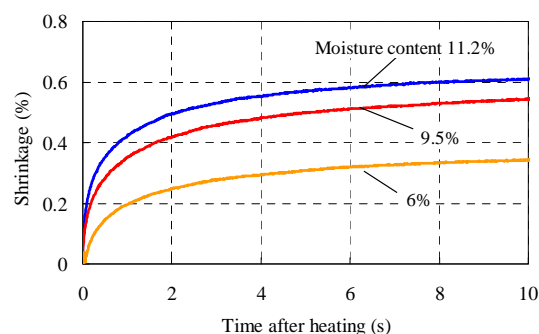


Fig. 11 Paper shrinkage with time after heating for three initial moisture contents

Fig. 12はそれぞれの加熱温度における、紙の初期含水率に対する紙の縮み率を示す図である。実験の観察からカールの成長は加熱解除後およそ2秒で止まると判断し、加熱解除後2秒時点の縮み率を用いた。加熱温度が高くなるほど、そして含水率が高くなるほど紙の縮みが大きくなる。カールが紙からの水分蒸発量に比例するとの知見があり²⁾、このような加熱温度と含水率による紙の縮みの変化は、紙からの水分の蒸発量でまとめることも出来ると考えられる。

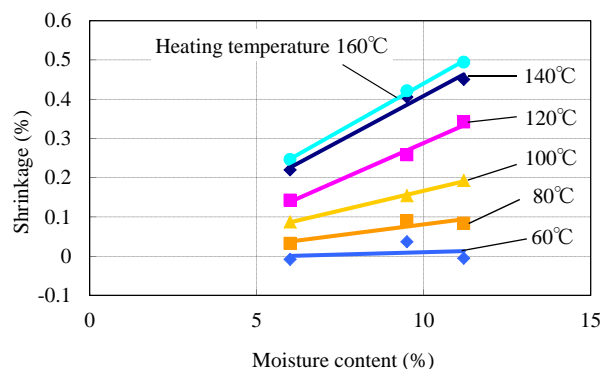


Fig. 12 Relationship between paper shrinkage and moisture content at different heating temperatures.

2-4 カールメカニズム

以上の検討から明らかになったカールの発生メカニズムについてFig. 13を用いて説明する。

まず、ステップ1で紙が加圧加熱されると、高温側の水分が低温側に移動する。その結果ステップ2で低温側の水分が増加する。ステップ3で加熱解除後、紙から水分が蒸発し、ステップ4では水分が多い、すなわち蒸発量が多い側がより縮むため低温側が高温側より縮む。その結果ステップ5で低温側にカールする。

2-5 加熱時の紙の応力緩和

紙表面近傍の絶対湿度の計測により、高温側から低温側に紙内で水分が移動することがカールの原因であることが明らかになった。しかし、この水分移動による紙の伸縮を考えると、加熱中は高温側では水分が減少するため縮み、また低温側は水分が増加するため伸びると考えられる。

この伸縮は高温側に向かうカールを発生させるため、低温側に向かうカールを発生させる加熱後の縮みと打ち消し合い、カールが発生しないのではないかとの疑問がある。この疑問に対しては、紙の応力緩和によって説明できる。紙は加熱により応力緩和することが知られている⁶⁾。ただし、時間スケールについては定量的に計測されてはおらず、定着過程のような短時間でどの程度応力緩和するか明らかになっていない。そこで、Fig. 1の実験装置に紙の応力緩和を測定できる機構を追加して計測を行った。

2-5-1 紙の応力緩和測定のための実験装置

Fig. 14は紙の応力緩和測定のための実験装置の構成である。紙の下端は装置に固定し、上端の紙固定部はロードセルに取り付けられている。ロードセルには電動アクチュエータが接続され、ロードセルを引き上げることで紙に引張り荷重を与える。

実験では、加熱プレートが紙に接触する直前にロードセルを引き上げて紙に引張り荷重を与え、その後加熱プレートの加熱による荷重の変化を測定した。

2-5-2 紙の応力緩和測定結果

Fig. 15が測定結果の一例である。横軸は加熱プレート動作開始後の時間、縦軸はロードセルの計測した引張り荷重である。点線は加熱プレートの紙を加圧する荷重であり、1/10の値にして表示してある。紙の厚さは0.24mm、加熱温度は160℃で与えたひずみは0.5%である。加熱時間は5.35秒から5.85秒の0.5秒間である。

加熱開始後、紙に与えているひずみは変化させていないが、荷重が低下し急激な応力緩和が起きていることがわかる。

応力緩和率は加熱開始時の荷重を W_0 、加熱終了時の荷重を W として式(2)より求めた。

$$S_r = \frac{W_0 - W}{W_0} \times 100 \quad (2)$$

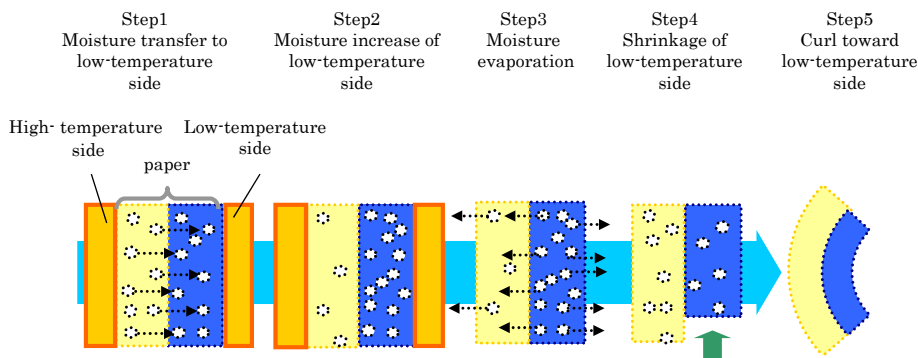


Fig. 13 Paper curl mechanism.

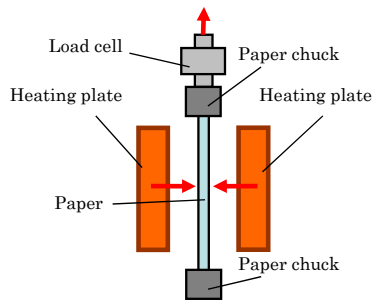


Fig. 14 Experimental apparatus to measure stress relaxation of heated paper.

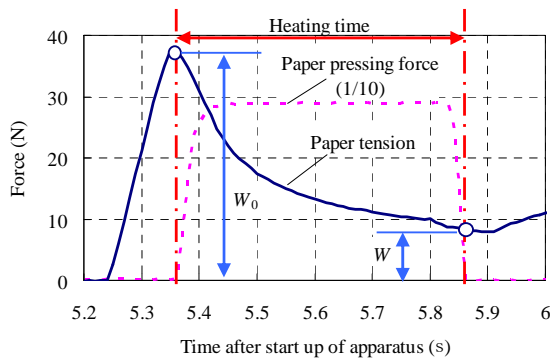


Fig. 15 Paper tension transition during heating.

Fig. 16は加熱温度と応力緩和率の関係を示す図である。紙厚は0.24mmである。

加熱温度の上昇と共に応力緩和率が高まり、また、加熱時間が長くなると応力緩和率が最大になる加熱温度が低くなる。これは、紙の内部まで十分加熱されると応力緩和率が最大になるためと考えられる。

加熱時間が長く、温度が高い場合には応力緩和率が低下するが、これは加熱中に水分蒸発による紙の収縮が始まり、それによる紙の引張り力が発生しているためである。

Fig. 17は紙厚と応力緩和率の最大値の関係を示す図である。紙厚0.48mmは0.24mmの紙を2枚重ね、0.72mmは3枚重ねたものである。

紙が厚くなるにつれて応力緩和率が上昇しているが、この原因は加熱プレートによる紙表面の拘束の影響と考えられる。紙の表面の変形は加熱プレートで拘束されているため、表面層では応力緩和による力の変化が伝わりにくく、見かけ上応力緩和率が少なくなっていると考えられる。そのため、紙厚が薄い場合は表面層

の影響が大きく応力緩和率が低く、厚いほど影響が少ないため応力緩和率が高くなる。実際の紙の応力緩和率は、紙の表面層の影響を除いたものであり、それは、紙の厚さを無限大にした値に相当する。つまり、加熱時の紙はこの図から見積もって90%程度の応力緩和率がある。

Fig. 16で応力緩和率が最大になる0.5秒120°C加熱の場合、紙内の厚さ方向の平均温度は一次元非定常伝熱計算で98°Cであり、100°C程度が応力緩和を最大にする温度の目安と考えられる。カール実験の160°Cと80°Cの温度差加熱の場合、紙厚0.24mmの2秒加熱では紙の温度が110°C、紙厚0.09mmの0.1秒加熱では紙の温度が102°Cになり、十分応力緩和しているとみなせる。

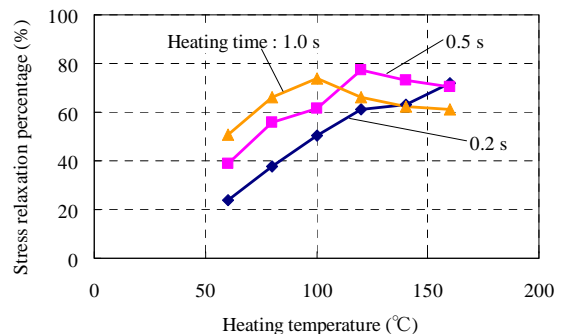


Fig. 16 Relationship between stress relaxation percentage and heating temperature for different heating time.

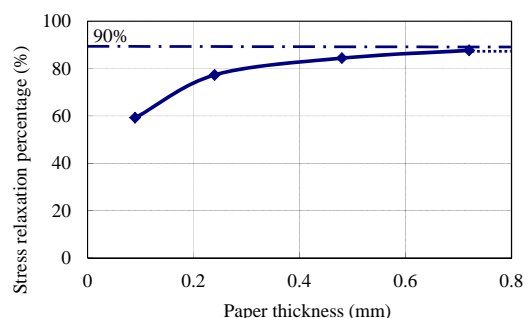


Fig. 17 Relationship between maximum stress relaxation percentage and paper thickness.

紙内の水分移動により、高温側では水分の減少により紙を収縮させようとする圧縮応力が、低温側では水

分の増加により伸びを発生させようとする引張り応力が発生する。しかし、紙内の温度上昇とともにこれらの応力はほとんど消失してしまい、結果として加熱後の紙の縮みのみがカールに寄与する。

3. カール予測

温度差によるカールは紙内の水分移動により発生する。そこで、紙内の水分移動を計算する解析方法を作成し、それを用いて紙内の含水率分布を計算した。そして、実験で求めた含水率と加熱後の紙の収縮率の関係から、カール量の予測を行った。

3-1 水分移動解析

紙内の水分移動解析は、製紙機械の紙の乾燥行程の解析で行われている⁷⁾。電子写真の定着プロセスでも、紙内の空隙中の水蒸気移動として扱った解析が成されているが、カールとの関連付けが可能になるほどの含水率の偏りは現せていない⁸⁾。

本研究では紙を様な多孔質構造体とし、そこを液体としての水が移動すると仮定したモデルを作成した。この水分移動解析は紙厚方向をxとした一次元のモデルであり、コントロールボリューム法を用いて計算を行う。式(3)の連続の式、式(4)のエネルギー式を基本としている。液体としての水の流動は式(5)で表現し、相対透過率を用いたDarcy則（第一項）に毛管力項（第二項）を加えている。式(3)の右辺第一項は熱伝導項、第二項は水分によるエンタルピー輸送である。第三項は水分の気化潜熱であり、100℃以上になったコントロールボリュームで水分が気化し潜熱を奪い、含水率が0になると仮定している。Fig. 9から明らかなように、加熱時間が長くなるとカールが低下するがこれは紙の水分が蒸発するためと考えられ、この現象を表すための仮定である。

$$\rho_l \varepsilon \frac{\partial S}{\partial t} = - \frac{\partial F_l}{\partial x} \quad (3)$$

$$\frac{\partial}{\partial t} (c_{pT} \rho_l T) = \frac{\partial}{\partial x} \left[\lambda_T \left(\frac{\partial T}{\partial x} \right) \right] - \frac{\partial (c_{pl} F_l T)}{\partial x} - L \cdot \rho_l \cdot \varepsilon \cdot \frac{\partial S}{\partial t} \quad (4)$$

$$F_l = -\rho_l \left[\frac{KK_{rl}}{\mu_l} \left(\frac{\partial p_l}{\partial x} \right) \right] - \rho_l \left[D \left(\frac{\partial S}{\partial x} \right) \right] \quad (5)$$

S : 含水率

p_l : 温度Tにおける飽和蒸気圧[Pa]

T : 温度[℃]

t : 時間[s]

ε : 空隙率

K : 透過率[m²]

K_{rl} : 相対透過率（水）

D : 水分拡散係数[m²/s]

μ_l : 水の粘性係数[Pa s]

c_{pl} : 水の定圧比熱[J/(kgK)]

ρ_l : 水の密度[kg/m³]

c_{pT} : 含水紙の定圧比熱[J/(kgK)]

ρ_T : 含水紙の密度[kg/m³]

λ_T : 含水紙の熱伝導率[W/(mK)]

L : 気化潜熱[J/kg]

Fig. 18に水分移動解析の計算例を示す。紙の厚さは0.24mm、初期含水率は10%、160℃と80℃の温度差加熱である。縦軸は含水率で、横軸は高温側の紙表面を0とした紙の厚さ方向の位置である。

加熱時間が長くなるにつれ含水率のピークが左から右、高温側から低温側に移動し、紙の厚さ方向に水分が移動していることが分かる。この駆動力は高温側の温度上昇によって発生する高温側と低温側の飽和水蒸気圧の勾配によって発生すると仮定している。紙の初期含水率は10%であるが、低温側では高温側からの水分移動により含水率が10%以上に高まる。実験で確認された含水率の高温側の低下と低温側の上昇が計算でも表せている。加熱時間が長くなると含水率が0になる範囲が高温側から低温側に広がっていくが、これは紙の温度が上昇して100℃に達し、仮定に応じて含水率を0にしているためである。

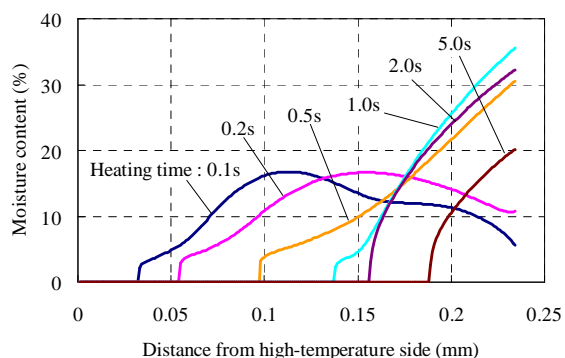


Fig. 18 Moisture content distribution within paper for different heating times.

3-2 バイメタルモデルによるカール量計算

カール予測では紙をバイメタルモデル⁹⁾に当てはめてカール量を計算する。

Fig. 19にバイメタルモデルを示す。紙を厚さ方向に2分割し、表裏の縮み差からカール量 R を求める。高温側の縮みを S_h 、低温側の縮みを S_l とし、加熱された部分の紙の長さを L_h とすると、紙を曲げるひずみ差 ε_p は次の式(6)で表せる。

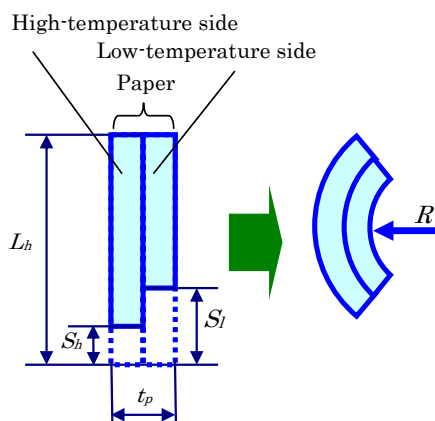


Fig. 19 Bi-metal model

$$\varepsilon_p = \frac{S_l - S_h}{L_h} \quad (6)$$

紙の厚さを t_p とし表裏のヤング率が等しいとすると、カール量 R は式(7)で表せる。

$$R = \frac{3\varepsilon_p}{2t_p} \quad (7)$$

それぞれの縮みを求めるため、まず水分移動解析で高温側と低温側の含水率を求める。

Fig. 20は横軸を加熱時間として、0.09mmから0.24mmまで4種類の厚さの紙で高温側と低温側の含水率を計算した結果である。高温側と低温側ともにそれぞれの層の厚さ方向の平均値である。高温側が点線、低温側が実線である。

加熱時間が長くなるにつれ、低温側の含水率が高まり、高温側の含水率が減少する。また紙が厚くなるにつれ、低温側の含水率がピークになる加熱時間が長くなる。

次に、水分移動の計算過程で求められるそれぞれの側の平均温度から、Fig. 14で得た紙の含水率と温度から縮みを求める近似式により、高温側の縮み S_h 、低温側の縮み S_l を求めカール量を計算した。

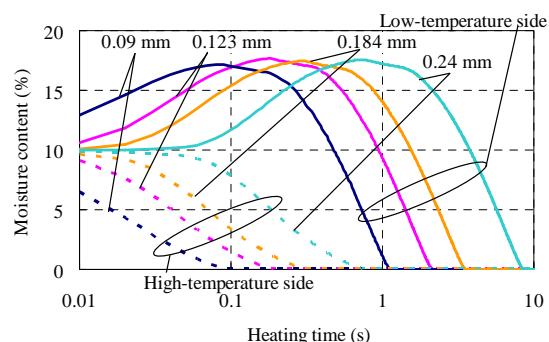


Fig. 20 Relationship between heating time and moisture content for different paper thicknesses.

Fig. 21は加熱時間とカール量の関係を示している。実線が計算、プロット点が実験値である。加熱条件は高温側160℃、低温側80℃である。実験に用いた紙の含水率は約10%である。

実験による加熱時間とカール量の関係は、0.09mmから0.123mm、0.184mm、0.24mmと紙厚が増すに従いカール量のピーク値は低下し、また、ピークになる加熱時間は長くなる。この傾向は、計算でもよく現れて

おり、各紙厚でのピーク時のカール量もほぼ一致している。ピークになる加熱時間は、0.184mm, 0.24mmの厚い紙でよく一致している。紙厚が薄くなるにつれ実験と差が出てくるが、本研究のカール解手法が妥当であることが検証できた。

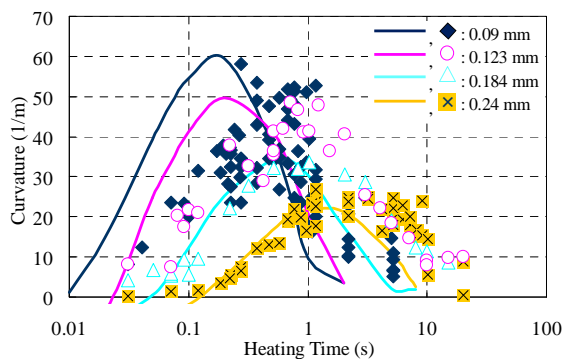


Fig. 21 Relationship between curvature and heating time for different paper thicknesses.

4. 成果と今後の展開

電子写真の定着プロセスで紙の表裏が異なる温度で加熱された場合のカールについてそのメカニズムを検討した。そして、低温側に向かって凹状となるカールは、加熱時の温度差により紙内の水分が高温側から低温側に移動して低温側の含水率が高まり、加熱後の縮み率が低温側で高くなり発生することを明らかにした。さらに、毛管内の水分移動と蒸発を考慮した水分移動解析により、紙の厚さ方向の含水率分布を計算し、それを用いてカール量の予測を行った。その結果、加熱時間とカール量の関係が実験とよく一致することを確認した。

今後は、薄い紙でのカール量の予測精度を向上させ、そして、よりカールを少なくするための装置構成最適化へ本研究の予測手法の適用を目指す。

参考文献

- 1) 伊藤朋之, 細井清, 荻野孝: 用紙搬送経路におけるカール量シミュレーション, *Imaging Conference JAPAN 2011 論文集*, pp.249-252, 日本画像学会 (2011).
- 2) 野々村文就, 阿部祐二, 竹内伸夫: 複写機内の紙のヒートカール挙動に関する研究(1), *紙パルプ技術協会誌*, Vol.52, No.4, pp.87-94 (1998).
- 3) 羽山祐子, 大原俊一: 電子写真の定着過程における紙のカール現象の研究, *日本機械学会 2011 年度年次大会講演論文集*(2011).
- 4) 大原俊一, 羽山祐子: 電子写真の定着過程におけるカール解析, *日本機械学会論文集 C 編*, Vol.78, No.790, pp.2121-2131 (2012).
- 5) 大原俊一, 羽山祐子, 谷川洋文, 鶴田隆治: 紙内の水分移動解析を用いた電子写真の定着過程におけるカール解析, *日本機械学会 2011 年度年次大会講演論文集*(2011).
- 6) C. Green: Residual strain, www.PaperCurl.com (accessed 2008-07-17).
- 7) 川水努ほか: 紙の蒸気加熱過程における凝縮熱伝達特性に関する解析的研究, *日本機械学会論文集 B 編*, Vol.73, No.727, pp.175-182 (2007).
- 8) A. Bandyopadhyay, B. V. Ramarao: Transient response of a paper sheet subjected to a traveling thermal pulse: Evolution of temperature, moisture and pressure fields, *J. Imaging Sci. Tech.*, Vol.45, No.6, pp.1-14 (2001).
- 9) 中原一郎: 材料力学, 上巻, p.152, 養賢堂(1965).

環境に配慮した剥離紙を用いない感熱ラベル

Development for Ecological Silicone-Top Linerless Label

久郷 智之* 増田 剛* 池田 俊明*
Tomoyuki KUGO Tsuyoshi MASUDA Toshiaki IKEDA

要 旨

一般に粘着ラベルは剥離紙を用いたものが常識となっている。しかし近年の環境経営の動きの中で、廃棄物の削減、炭酸ガス発生量の削減が望まれており、剥離紙を用いない感熱ラベルとして、シリコントップライナーレスラベル(= SLL)を開発するに至った。開発にあたりこれまでの感熱ラベルと同様な使い勝手にするというSLLの技術課題を達成するために、搬送性品質やプリンタ印字品質に関して新たな技術を獲得し、リコー独自のSLLを開発したので報告する。

ABSTRACT

Generally, adhesive label has been laminated by backing liner to cover adhesion. The backing liner is trashed by end-user when the label has been printed and attached on stuff eventually.

Meantime one of the highest request is the ecological matter such as minimize of waste or carbon dioxide from any industry.

We have developed an unique adhesion label that is not laminated backing liner, the label is named Silicone-top Linerless Label (= SLL).

During developing this particular product we set target at same usability of exist label and was able to grasp newly technology as far as conveyance-ability and printability.

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

1. 背景と目的

感熱記録方式は、オンデマンド印字記録が可能、印字装置のコンパクト化及び低コスト化が可能、メンテナンスフリー等のメリットを有しており、食品POS、物流配送等でのバーコードを利用したシステムへの適合性に優れた記録方式である。このシステムで利用されるメインメディアとしてサーマルラベルがあり、記録方式のメリットと相まって、その需要はFig. 1に示すように年間数万トンに達する。

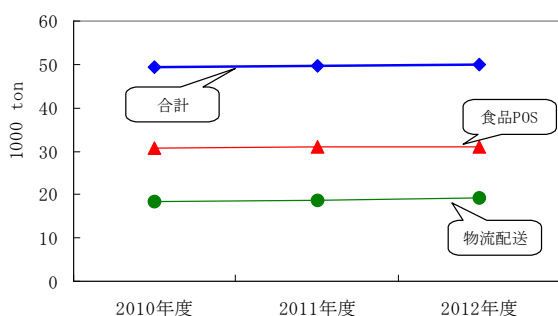


Fig. 1 Domestic market trend of thermal label (Ricoh research).

一方、これらのシステムでサーマルラベルを利用する際の課題として剥離紙のゴミ化の問題がクローズアップされてきている。つまり、サーマルラベルを商品に貼り付けた後にサーマルラベルと同量の剥離紙がゴミとして廃棄されている現状があり、剥離紙の原料となる木材の枯渇、焼却処理された場合の炭酸ガス発生による地球温暖化防止の視点から、剥離紙の削減は環境対策の一つとして位置付けられる。

このような社会環境を受ける形で、サーマルラベルに不可欠な剥離紙を無くす取り組み（ライナーレスラベル化）が各種メーカーで積極的に展開され始めてきており、今回、Fig. 2の断面図に示すように感熱記録層上に剥離機能を持った合成樹脂を塗布することで剥離紙の不要化を可能にしたシリコントップライナーレスラベル(= SLL)を開発するに至った。

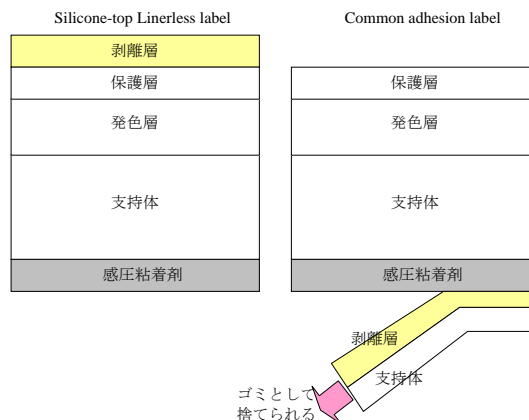


Fig. 2 Cross sections of Silicone-top Linerless Label and common adhesion label.

2. 技術課題

2-1 プリンタでのラベル印字品質問題

SLLの開発に当たっては、単に剥離紙を取り除くことだけではなく、一般粘着ラベルと同様な取り扱いを持たせることが必須要件であり、本論においてはこれら技術課題を克服、達成させるために獲得した技術内容を報告する。

サーマルヘッドでSLLを印字する際、Fig. 3に示すような印字長やラベル長が極端に短くなるSLL特有の問題が見られる。これにより、バーコード部分が欠けて読み取りができなくなる不具合や、印字情報が認識できなくなるなどの大きな問題に繋がるこの市場問題に対し、二つの技術課題(2-2, 2-3)に分離して改善を進めた。

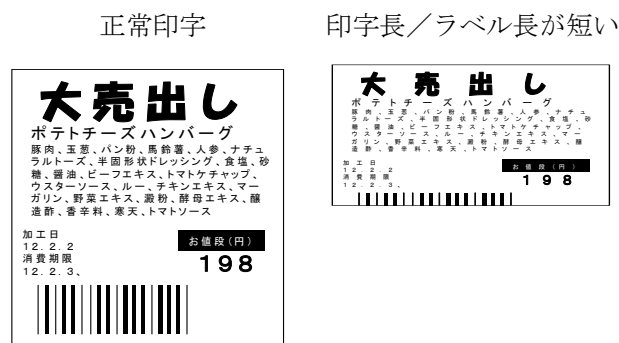


Fig. 3 Normal printed label and shorter label.

2-2 ラベル分離不良による印字品質問題

- 剥離力低減化技術の獲得① -

プリンタ内でSLLロールからラベルが分離する際の剥離性が著しく大きい場合、Fig. 4の剥離異常モデルのように、ラベルが短くなって発行されてしまう搬送トラブルが発生する。

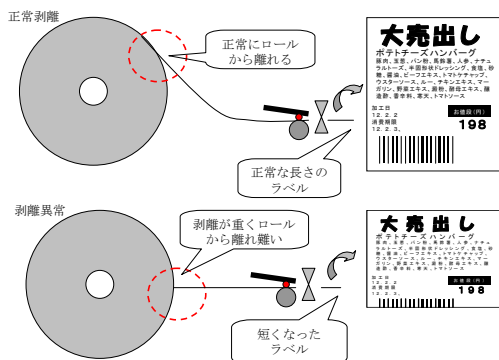


Fig. 4 Scheme of shorter printing mechanism by strong peel force.

Fig. 5の剥離性と印字長の関係から正常なラベル発行をさせるためには、剥離性を250mN/5cm以下に低減化することが必要であり、これが獲得すべき1つ目の技術課題となる。

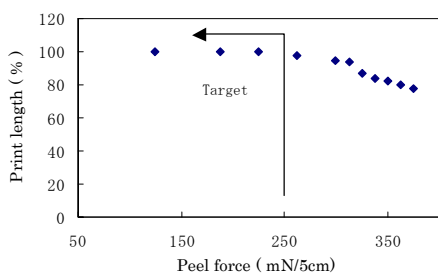


Fig. 5 Relationship between peel force and print length.

剥離性についてはSLLの剥離層面にアクリル粘着剤を塗膜20 μ で塗布乾燥し、普通紙に24時間張り合わせ後、SLLを180度方向に300mm/分の速度で剥し、その時の抵抗力を測定した。

また印字長は一般剥離紙ラベルの印字長をBM(=100%)としたときの比率を計測した。

2-3 ラベル搬送不良による印字品質問題

- 剥離層の摩擦低減化技術の獲得② -

プラテンによるラベルを右方向へ押し出す力(F1)とサーマルヘッドと剥離層間で左方向に働く抵抗力(F2)は、Fig. 6の印字機構モデルに示されるようにお互いが反対のベクトルに向いている。

このF1とF2の力関係として、 $F1 > F2$ であればラベルは印字されながら左方向へスムーズに押し出されていく。しかし押し出されていく途中で、 $F1 = F2$ が生じると、その部分でラベルが停止する為、印字が短くなったり、印字が潰れてしまったりする不具合が発生する。従ってサーマルヘッドに対する剥離層の摩擦低減化が獲得すべき2つ目の技術課題となる。

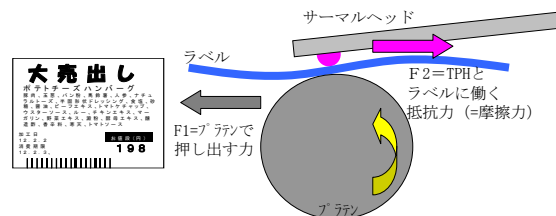


Fig. 6 Scheme of shorter printing mechanism by high friction surface of the releasing layer.

3. 開発内容

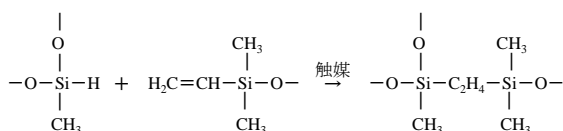
3-1 剥離力低減化技術①

3-1-1 剥離メカニズム

剥離層はシリコーン樹脂と架橋剤の硬化反応によって形成され、熱硬化タイプとUV硬化タイプの2種類の硬化方法タイプが一般的であるが、機構上未架橋部分が残る難い熱硬化タイプを用いることとした。

熱硬化タイプの剥離機能のメカニズムは、下記化学反応式で示すようにシリコーン樹脂を持つビニル基と架橋剤Si-H基とが反応してエチレン基となって配列されることで表面エネルギーが小さくなり剥離が安定する。これらに用いる材料はシリコーン樹脂、架橋剤、白金触媒

で構成され、熱を与えることでシリコン樹脂と架橋剤が触媒により反応し均一な剥離層が形成される。



3-1-2 剥離剤の検討

剥離層のメインポリマーであるシリコン樹脂の分類と特徴をTable 1に記載する。

Table 1 Classification by the preparation of silicone, and features of each category.

重合方法	付加反応		縮合反応
剥離液タイプ	無溶剤型	エマルジョン型	溶剤型
反応基	ビニル基 ヘキセニル基	ビニル基	シラノール基
留意点	剥離液のポットライフ管理	○	○
	感熱層の地肌発色との両立	○	×

SLLの場合、剥離層は感熱面上に塗布/乾燥する必要がある為、感熱面上に塗布しても品質に影響を及ぼさない材料選定や、より低温でも硬化しやすい材料選定などが重要なポイントとなる。よって塗布するだけで発色させてしまう溶剤型の剥離液や、著しく多くの熱量を必要とするエマルジョン型の剥離液ではなく、付加反応型の無溶剤タイプの剥離液を展開することとした。

また付加反応の無溶剤タイプとして、Fig. 7に挙げるような末端にビニル基を持つシリコン樹脂Aと側鎖部にヘキセニル基を持つシリコン樹脂Bでの硬化反応の進み易さを剥離層のゲル分率を指標として確認した。

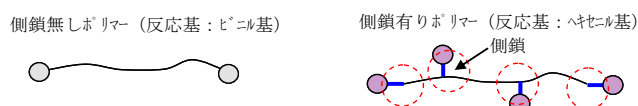


Fig. 7 Non-solvent silicone resins.

ゲル分率は熱硬化後の剥離層をMEKに24時間浸漬し、剥離層の溶解比率を下記式にて数値化させたものである。

$$\text{ゲル分率 (\%)} = \frac{\text{MEK 浸漬後の剥離層の質量}}{\text{MEK 浸漬前の剥離層の質量}} \times 100$$

SLLのロールから紙が問題なくスムーズに剥れる為の剥離性目標250mN/5cm以下を得るためには、Fig. 8のゲル分率と剥離性の結果から90%以上のゲル分率が必要である。

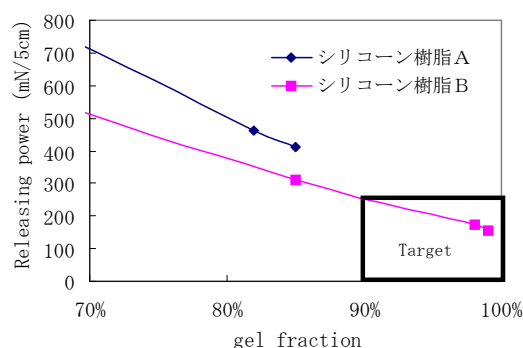


Fig. 8 Relationship between gel fraction and peel force.

更に90%以上のゲル分率を得るためには、Fig. 9の剥離層の硬化温度とゲル分率の結果からシリコン樹脂Bを用い、硬化温度90℃、30秒の熱量で得られることを確認した。

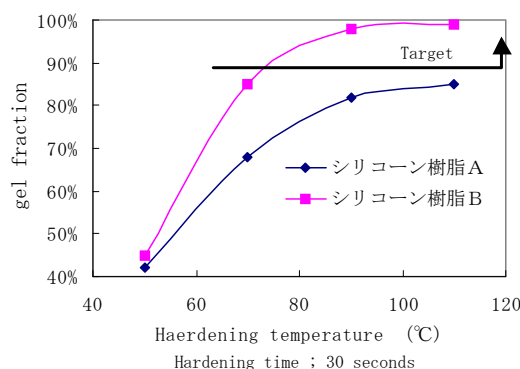


Fig. 9 Relationship between hardening temperature and gel fraction.

3-1-3 重剥離回避技術

熱硬化タイプを用いる場合、硬化反応に必要な熱量が足りない場合や、十分な熱量を加えても硬化するための付加反応が阻害されることで、シリコーン樹脂と架橋剤の付加反応が不十分となり、Fig. 10の右下モデルのような未反応の架橋剤Si-H基が残留し剥離性が大きくなる重剥離という問題がある。そこでリコー独自の感熱層設計(1)(2)により重剥離回避技術を獲得した。

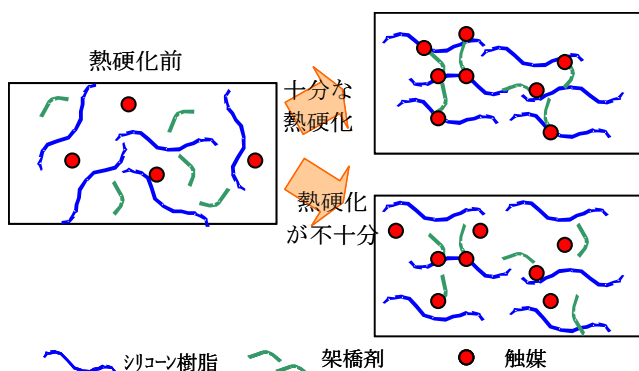


Fig. 10 Scheme of thermosetting reaction of silicone resin.

(1) 感熱発色層の検討

剥離層に与える熱量を大きくすることで、シリコーン樹脂と架橋剤の架橋点の量が増えて剥離力を安定化できるが、反面感熱層の発色が進み地肌が黒ずんでくるという副作用を持つ。感熱層はロイコ染料と顕色剤の熔融反応により発色するため、顕色剤の熔融温度を高くすることで、剥離層を硬化する為の熱量を与えても発色し難くすることができる。

融点100℃、130℃、170℃の各顕色剤を用いた感熱層およびポリビニルアルコール主成分の保護層をこの順に塗工乾燥し、ヘキセニル基の反応基を持つベースポリマーの剥離液を1.0μの塗膜厚みで塗布し、それぞれを90℃の温風を30秒間当てて熱硬化させた各SLLシートの種々特性をTable 2に示す。

Table 2 Influence of melting point of developer on the characteristics of SLL.

	顕色剤 融点 100℃	顕色剤 融点 130℃	顕色剤 融点 170℃
剥離性 (⇒狙い250mN/5cm以下)	175	170	175
地肌白色度 (⇒狙い75%以上)	58	73	80
最大発色濃度 (狙い⇒1.30以上)	1.65	1.63	1.62
発色感度 (狙い⇒6.60mJ/mm ² 以下)	6.37	6.58	6.71

Table 2の結果から、発色層の顕色剤の融点温度を高くするほど地肌白色度値は向上することが確認された。その中で融点170℃の顕色剤を用いることで、地肌白色度は目標レベルを満足していることを確認した。

尚、剥離性以外の試験方法を以下に示す。

(地肌白色度)

JIS-P-8149試験法に従い、SLLの剥離層表面の白色度を測定した。

(最大発色濃度)

サーマルヘッド(TEC社製TH-0976SP)8dot/mm、抵抗500Ω、印加エネルギー0.80～13.00mJ/mm²の範囲で印字を行い、マクベス濃度計を用いて発色画像の濃度を測定した。

(発色感度)

マクベス濃度計で1.00の濃度を得るために必要な印加エネルギーを測定計算した。

一方で高い融点の顕色剤を用いることで、サーマルヘッドからの加熱では十分に熔融することができず結果として発色感度が目標に達しない問題が発生した。これについてはFig. 11に示すように、風船状の微小中空粒子を用いたアンダー層(=中空アンダー)を支持体と感熱層の間に設けて断熱機能を付与させ、サーマルヘッドからの熱を有効利用する試みを実施した。

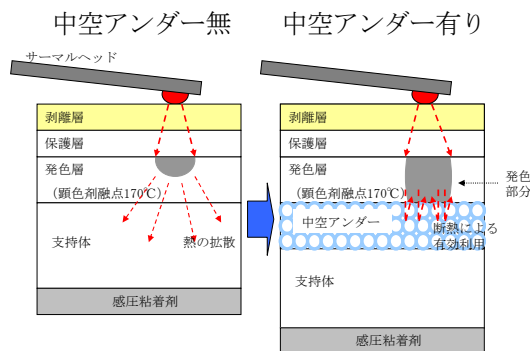


Fig. 11 Schematic model of improvement mechanism for sensitivity using balloon particle in underlayer.

その結果として融点170°Cの高融点顔色剤を用いても、Fig. 12に示すように発色感度が向上することを確認した。



Fig. 12 Photographs of print with and without balloon particle.

(2) 保護層の検討

SLLはFig. 11の断面図に表されるように保護層上に剥離層が塗布されるが、保護層の材料成分としてアルコール、アミン化合物、リン化合物、イオウ化合物、スズ化合物などが使用されると、剥離層を熱硬化する為の付加反応を阻害され、結果としてシリコーン樹脂と架橋剤の反応が進まず、剥離機能が十分に発揮されないという副作用を持つ。Table 3はアミン化合物を含む水溶性樹脂Aとアミン化合物を含まない水溶性樹脂Bを保護層に使用した場合の剥離層の熱硬化性及び剥離性を確認したものである。

Table 3 The characteristics of protective layer.

保護層に使用する水溶性材料	熱硬化90°C×30秒	
	ゲル分率 (⇒狙い90%以上)	剥離性 (⇒狙い250mN/5cm以下)
水溶性樹脂A	86	290
水溶性樹脂B	98	160

Table 3の結果から、アミン化合物を含んでいない水溶性樹脂Bを保護層材料に選定することで剥離機能をより安定化できることを確認した。

3-2 剥離層の摩擦低減化技術②

Fig. 6のF1のプラテンによる押し出す力は一定である為、サーマルヘッドに接触する剥離層との間に働く抵抗力F2が大きくなるとF1 = F2の力関係となる場合がある。F2の上昇の要因はラベル表面の平滑性が大きくなり、サーマルヘッドとの密着性が高まることによるものである。

従ってサーマルヘッドとの密着性を緩和させる為には剥離層の平滑性を上げ過ぎないようにコントロールすることが重要であり、発色に影響が起きないレベルで適度な凹凸機能を持たせることが必要である。

凹凸機能を持たせる試みとして、数μmの微粒子粉末をラベル表面に添加した。Table 4に表面物性及び印字品質の改善結果を示す。

Table 4 Influence of particle size on the characteristics of SLL.

保護層に添加する微粒子の粒径	平滑度 (狙い ⇒1500~ 4500秒)	摩擦係数 (狙い ⇒0.30以下)	印字長 (狙い ⇒100%)	剥離性 (⇒狙い 250mN/5cm 以下)
直径3.0μmの微粒子	1000	0.25	100	310
直径2.0μmの微粒子	2800	0.27	100	190
直径1.0μmの微粒子	7000	0.36	97	180
直径0.5μmの微粒子	12500	0.53	80	170
添加なし	25000	0.70	51	160
一般剥離紙ラベル	3000	0.27	BM	—

Table 4の結果から、保護層に2.0 μ 相当の微粒子を用い、剥離層表面に適度な凹凸(Fig. 13参照)を与えて表面粗さをコントロールし、摩擦係数を低減化させることで、印字長を一般剥離紙ラベルと同等レベルにすることができた。

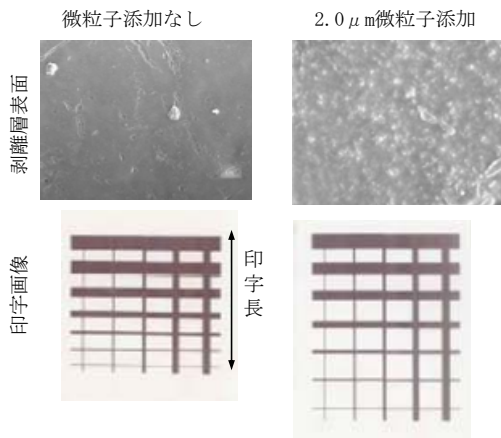


Fig. 13 Photographs of releasing layer surface and print with and without fine particle.

4. 開発成果

本開発SLLの品質評価結果をTable 5に挙げる。従来品と比較して、地肌白色度、ゲル分率、剥離性などの媒体自身の品質と、印字長などのプリンタマッチング特性が顕著に優れている。

Table 5 The characteristics of new and conventional SLL.

		単位	狙い	本開発SLL	従来のSLL
紙質特性	紙厚み	μ	90 \pm 11	90	90
	坪量	g/Cm ²	89 \pm 10	90	89
発色特性	地肌白色度	%	75以上	82.0	73.0
	最大発色濃度	-	1.30以上	1.62	1.63
	発色感度	mJ/ mm ²	6.60以下	6.57	6.55
粘着特性	粘着力 (SUS板)	N/インチ	12.7以上	23.0	23.1
	ボールタック	タックNo	5 以上	12	12
剥離特性	ゲル分率	%	90以上	98	65
	剥離性	mN/5cm	250以下	180	800
	摩擦係数	-	0.30以下	0.27	0.70
プリンタ マッチング 特性	印字長	%	100	100	51

5. 今後の展開

本開発のSLLは現在大手スーパーで商品実用化されている。具体的にはスーパーの食品売り場店舗のバックヤードで食品加工、パッケージングをしており、それらパッケージされた商品にSLLを貼って陳列される運用である。



Fig. 14 Main SLL application as food-label.

今後は大量に食品のラベリング加工を実施しているプロセスセンターアプリへのSLL展開を構想している。このようなアプリでは冷凍製品なども多く取り扱っており、これらにもラベリングできる粘着剤開発及びそれら粘着剤と剥離層とのマッチング技術を作りこんでいくことが重要となる。

また、これらの技術獲得を達成することにより、顧客でのSLLの需要比率を拡大することができ、Fig. 15のグラフに示すように、2018年度国内において2000トン強の廃棄物低減を見込むことができる。

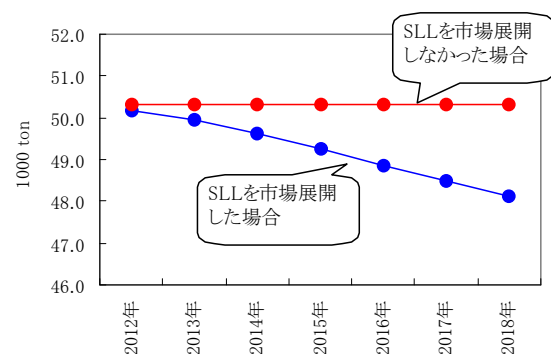


Fig. 15 Possibility for reduction of waste (Ricoh research).

低電力デジタル温度センサーの開発

The Development for the Low Power Digital Temperature Sensor

長久 武*

Takeshi NAGAHISA

窪田 進一*

Shinichi KUBOTA

渡辺 博文*

Hirobumi WATANABE

要 旨

二重積分型AD変換器を搭載した低電力半導体デジタル温度センサーを開発した。私たちは、従来半導体集積回路に外付けされていた二重積分型AD変換器の積分容量を集積化することにより小型化されたデジタル温度センサーを実現した。本稿では、最適設計により消費電力を類似製品に比べ1/5(115 μ W)に抑え、またCMOS容量のCV特性を利用しAD変換誤差を33%低減することにより、測定精度を $\pm 2^{\circ}\text{C}$ 以下に抑えた高精度デジタル温度センサーを実現したことを報告する。

ABSTRACT

A low power digital temperature sensor with an integrated dual slope AD converter has been recently proposed. In the present study, a smaller digital temperature sensor has been realized by integrating a dual-slope capacitor, which has been usually attached to an integrated circuit device. A properly designed circuit can supply a power consumption of 115 μ W, 1/5 of the conventional products. We can provide the highly precise digital temperature sensors which sensing accuracy is less than $\pm 2\%$ by reducing 33% of AD conversion error using the CV characteristics of the CMOS capacitor.

* グループ技術開発本部 Eデバイス開発室

Electronic Device Development Department, Corporate Technology Development Group

1. 背景と目的

電子機器内の各所の温度を把握し最適動作を実現することを目的として、各種温度センサーが電子機器内に組み込まれている。例えば、ラップトップ型パソコン内のCPUの周囲に温度センサーが配置され、その温度センサーは常時CPUの温度を計測している。ラップトップ型パソコンが温度センサーからCPUの温度がある一定以上を超えたという情報を受け取れば、CPUの動作を一部制限することによりCPUの温度を冷却し、パソコンの故障を防止している。

一般的に電子機器内に内蔵されているデバイス間の情報はデジタル形式で伝達されているため、計測された温度をデジタルデータで出力するデジタル温度センサーが一般的に用いられている。

近年はリチウム電池をバッテリーとするポータブル電化製品が多く発売されている。一度バッテリーを充電後、長時間使用できるポータブル電化製品が好まれるため、ポータブル電化製品に組み込まれる電子部品は自ら低消費電力であることが求められる。当然、ポータブル電化製品に搭載されるデジタル温度センサーに対しても低消費電力であることが要求される。

そこで我々は今回、消費電力を類似製品に比べ1/5(115 μ W)に抑えた半導体デジタル温度センサーを開発したので以下に報告する。

2. 技術

2-1 デジタル温度センサーの構成

デジタル温度センサーの構成図をFig. 1に示す。デジタル温度センサーはアナログ温度センサーとAD変換器と記憶素子とインターフェース回路より構成される。

アナログ温度センサーは周囲温度に線形依存するアナログ電圧を出力する役割を担う。AD変換器は入力されたアナログ電圧を一意的に対応する数値に変換する。記憶素子はAD変換器より出力された数値データを一時

的に記憶する機能を提供する。インターフェース部は記憶素子に保持された数値データを外部に転送する役割を担う。

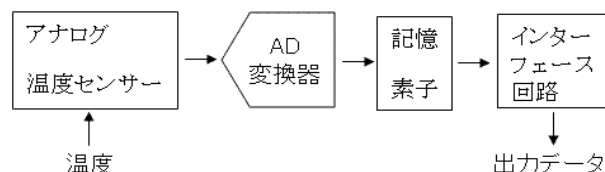


Fig. 1 The block diagram of the digital temperature sensor.

2-2 低消費電力のための試み

市場に広く流通しているデジタル温度センサーの多くは $\Sigma \Delta$ 型のAD変換器を搭載している。一般的にAD変換器で消費される電力はデジタル温度センサー全体で消費される電力の大半を占めている。ゆえにAD変換器の消費電力を抑えることは低消費電力であるデジタル温度センサーを実現することに大きく貢献する。

そこで我々はデジタル温度センサーに搭載するAD変換器に二重積分型のAD変換器を採用した。二重積分型AD変換器は $\Sigma \Delta$ 型に対して回路構成が簡単であるため消費電力を抑えることができることと、温度センサーに搭載するAD変換器であるためAD変換を高速に行なう必要がないということが二重積分型AD変換器を選択した理由である。

さて、以下に二重積分型AD変換器の動作概略を説明する。二重積分型AD変換器の回路構成をFig. 2に図示した。Fig. 2で図示された二重積分型AD変換器の動作は積分器の容量 C (下記積分容量と表現する)に電荷を充電する過程(以下STEP1という)と積分容量 C に充電された電荷を放電する過程(以下STEP2という)から構成される。STEP1ではスイッチSが導通状態となり、スイッチSBが非導通状態となる。二重積分型AD変換器に入力されたアナログ電圧 V_{in} に比例する電流 $I_{in}(=V_{in}/R, R$ は入力電圧を電流に変換する抵抗素子の抵抗値を示す。当該抵抗素子はFig. 2中に図示せず)により容量 C に電荷が一定時間 T_c 充電される。

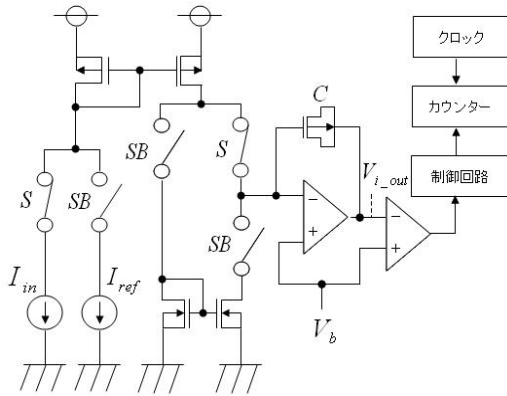


Fig.2 The dual slope AD converter.

STEP2ではスイッチSBが導通状態となり、スイッチSが非導通状態となる。 I_{in} に依存しない電流 I_{ref} ($=V_{ref}/R$, V_{ref} はあるバイアス電圧)によりSTEP1にて充電された電荷をすべて放電する。積分容量 C に充電された電荷をすべて放電するのに費やした時間を T_x とする。いま、 T_p をシステムクロックとし、 N_x と N_c を数値とした場合、二重積分型AD変換器に入力された電圧 V_{in} は下記の式(1)から計算された式(2)に従い数値に変換される。

$$\int_0^{T_c} \frac{V_{in}}{RC} dt = \int_0^{T_x} \frac{V_{ref}}{RC} dt \quad (1)$$

$$N_x = (N_c / V_{ref}) V_{in} \quad (2)$$

ここで、 $N_x = T_x / T_p$, $N_c = T_c / T_p$ である。積分器の出力電圧を V_{i_out} とするとときに一連の充放電動作における V_{i_out} の電圧過渡波形をFig. 3に図示した。

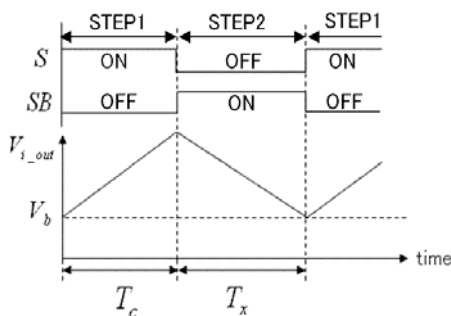


Fig.3 The waveform of S, SB and V_{i_out} .

ところで、従来は半導体基板上に二重積分型AD変換器を構成する場合、積分器の積分容量は半導体デバイスの外に取り付けられていた。近年、部品点数とコスト削減を達成するため、二重積分型AD変換器を最適設計することにより積分容量を半導体集積回路上に形成したものが数例報告されている¹⁾²⁾。そこで本開発テーマにおいても同様に積分容量を半導体集積回路上に形成した。

前述のとおり本デジタル温度センサーに二重積分型AD変換器を採用することによりAD変換器での消費電流を低減した。次に本AD変換器の動作電圧をできるだけ下げたい。

本AD変換器に与える電源電圧はSTEP1が終了した時点における V_{i_out} の値(以下 V_{top} という)以上であることが求められる。ゆえに V_{top} の値を小さくすることが、本AD変換器に与えるべき電源電圧の低減につながる。いま V_{top} は式(3)で表現される。

$$V_{top} = (I_{in} / C) N_c T_p \quad (3)$$

式(3)の右辺のうち、 V_{top} を小さくするためには I_{in} , N_c , T_p を小さくするか積分容量 C を大きくすることが求められる。しかしながら、 N_c はAD変換器のビット精度により固定され、システムクロック T_p は消費電力の制限より下限が存在する。積分容量は半導体基板上に形成されたことにより面積が制限されるゆえ C の値にも上限がある。よって I_{in} のみが比較的自由に設定できるパラメータであるため I_{in} をできるだけ小さくすることを試みた。検討の結果、容量 C の値は120pFとし、システムクロックの値 T_p を10usecとし、 I_{in} の最大値を10nAと設定することにより、本AD変換器の電源電圧を2.3Vに抑えることができた。なお、 I_{ref} の値は I_{in} の値と同程度に設定される必要があるため、 I_{ref} の値は I_{in} の最大値10nAに設定した。

ところで二重積分型AD変換器内の積分器出力電圧 V_{i_out} にはノイズが重畳する。重畳するノイズは積分器を構成するアンプから発生する $1/f$ ノイズが支配的である。Fig. 4にSTEP2が終了する間際の V_{i_out} の波形を図示した。 V_{i_out} にて生じるノイズの実効値を δ とし、グラフ上での V_{i_out} の軌跡と V_b の軌跡がなす角

度を θ とする. このとき V_{i_out} にて生じるノイズが起因で時間 T_x は $\pm(U\delta) / \tan \theta$ の誤差を含むゆえ, V_{i_out} に重畳するノイズにより引き起こされるAD変換誤差期待値 E は下記式(4)で表現できる. ただし U はある定数である.

$$E = \pm(U\delta) / (T_p \tan \theta) \quad (4)$$

本AD変換器の電源電圧を2.3Vに抑えるために I_{in} , I_{ref} を小さく設定したが, I_{ref} の値を小さくすればするほど, 前述 θ の値は小さくなる.

換言すると I_{in} , I_{ref} の値を小さくすることは式(4)で示されたAD変換誤差期待値 E を大きくしてしまうことにつながる. つまり, 二重積分型AD変換器の動作電圧を抑えるために充放電電流 I_{in} , I_{ref} を下げたが, 特に放電電流 I_{ref} を下げるによりAD変換誤差期待値 E の増大という副作用が新たに生じた.

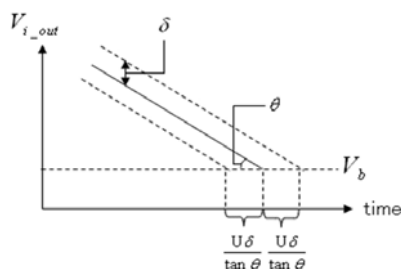


Fig.4 The V_{i_out} waveform of the conventional dual slope AD converter.

2-3 AD変換誤差低減のための工夫

二重積分型AD変換器の最低動作電圧を2.3Vに保ちつつ, 前述したAD変換誤差期待値 E を小さくするために, Fig. 5に示したようにSTEP2の終了直前のみ θ を向上させることを考えた. つまり, 積分器出力電圧 V_{i_out} が V_b に近づくほど積分容量の容量値を小さくすることによりSTEP2の終了直前のみ θ を増加させる. ここで我々はFig. 6に図示されたCMOSトランジスタ容量の2端子間の電位差により容量値が変動する性質³⁾ (下記CV特性という) を積分容量に利用した. 下記式(5)で示される弱反転領域の一部と式(6)で示される蓄積領域を動作領域として利用した.

$V_1 \leq V_{gs} \leq 0$ のとき

$$C[V_{gs}] = (WLC_{ox}) / \sqrt{1 + A(V_{gs} - V_1)} \quad (5)$$

$V_{gs} < V_1$ のとき

$$C[V_{gs}] = WLC_{ox} \quad (6)$$

ここで W はCMOSトランジスタ容量 C のチャンネル幅, L はCMOSトランジスタ容量 C のチャンネル長, C_{ox} は単位面積あたりのゲート容量であり, A はある正の定数値であり, V_{gs} はCMOSトランジスタのゲートソース間電位差を示し, V_{th} はCMOSトランジスタが導通状態になるために最低限必要なゲートソース間電位を示し, V_1 は容量値 C が V_{gs} に依存する領域 (弱反転領域) と V_{gs} に依存せず容量値が一定である領域 (蓄積領域) の境界となるときの V_{gs} 電圧を示す. このCV特性を利用し二重積分型AD変換器に入力された電圧を数値に変換する過程を下記に説明する.

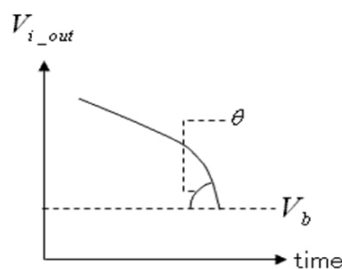


Fig.5 The V_{i_out} waveform of the proposed dual slope AD converter.

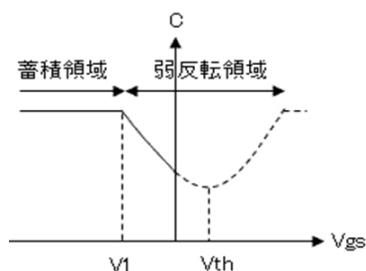


Fig.6 CMOS capacitance – V_{gs} dependency.

STEP1開始とともに積分容量 C の V_{gs} は0から小さくなる方向に動作するため, 積分容量 C に電荷がチャージされればされるほど積分容量 C は大きくなる. ゆえに V_{i_out} の単位時間あたりの増加量は時間の経過

とともに小さくなる．やがて，積分容量 C の動作領域が弱反転領域から蓄積領域に入ると積分容量 C の両端の電位差による容量依存性はなくなるので V_{i_out} の単位時間あたりの増加量は一定になる．同様にSTEP2開始時，積分容量 C は蓄積領域で動作しているため V_{i_out} の単位時間あたりの電圧減少量は一定である．やがて，積分容量 C の動作領域が蓄積領域から弱反転領域に入ると放電が進むにつれ積分容量 C の容量値が減少する．ゆえに V_{i_out} が V_b に近づけば近づくほど V_{i_out} の単位時間あたりの減少量は増えていく．

上述した V_{i_out} の過渡特性をFig. 7に図示した．なお，CV特性を利用した積分容量を備えた本二重積分型AD変換器に入力された電圧 V_{in} は式(7)の積分方程式を解くことにより得られた式(8)に従い数値に変換される．

$$\int_0^{T_c} \frac{V_{in}}{RC[V_b - V_{i_out}]} dt = \int_0^{T_x} \frac{V_{ref}}{RC[V_b - V_{i_out}]} dt \quad (7)$$

$$N_x = (N_c / V_{ref}) V_{in} \quad (8)$$

ただし式(7)の容量 C は[]内の関数であることを表現している．式(8)が式(2)と一致することよりCV特性を有した容量を二重積分型変換器の積分容量として使用しても2-2で説明したCV特性を有しない積分容量を用いたときと変換結果は同じであることを示している．以上の議論より積分容量にCMOS容量のCV特性を利用することにより二重積分型AD変換器の消費電力を増やすことなくAD変換誤差期待値 E を低減できる．

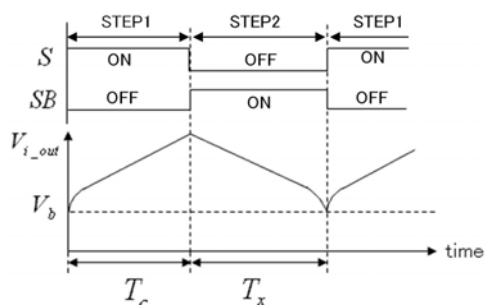


Fig.7 The waveform of S , SB , and V_{i_out} with the use of the C - V_{gs} dependency of the CMOS capacitor.

3. 成果

3-1 CV特性利用の効果確認

前節2-3で論述した理論を実証することを目的として二重積分型AD変換器を半導体基板上に実際に試作した．2-3で説明した容量値が2端子間のバイアス電圧に依存する領域にてCMOS積分容量を使用するサンプル群をグループAとし，容量値が2端子間のバイアス電圧に依存しない領域にてCMOS積分容量を使用するサンプル群をグループBとする．グループAとグループBよりそれぞれ5つのサンプルを用意し，式(4)で示したAD変換誤差を実測した．実測の結果をFig. 8に示した．グループAより取り出したサンプルA1～A5のAD変換誤差の平均は2.5であり，グループBより取り出したサンプルB1～B5のAD変換誤差の平均は3.7であった．この測定結果より2-3で言及したCV特性を積極的に利用することによりAD変換誤差を33%低減できたことを確認した．これはデジタル温度センサーの温度測定精度を 0.5°C 向上させたことにつながる．

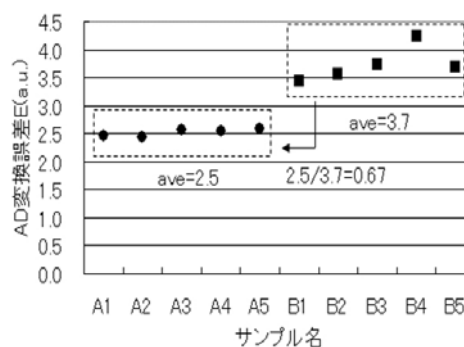


Fig.8 AD conversion errors of conventional and proposed AD converter.

3-2 デジタル温度センサー特性評価

2-3で説明したCV特性を積極的に利用したAD変換器を搭載したデジタル温度センサーを0.5umCMOS半導体製造テクノロジーを用いて実際に試作し、基本特性を測定した。半導体基板上に製造した本デジタル温度センサーデバイスの写真をFig. 9に示す。またTable 1に試作品の測定結果を示す。本試作品の評価結果より、2-2で論述した二重積分型AD変換器の最適設計によってデジタル温度センサーの消費電力を115uWに抑えられたことを確認した。また、本デジタル温度センサーの変換時間（出力データを更新する時間）が30msecであることも確認した。さらに二重積分型AD変換器の積分容量にCMOSトランジスタ容量のCV特性を積極的に利用することに加え、アナログ温度センサーの出力電圧の温度特性を調節することと、AD変換器より出力された数値に適切な数値を減算することにより、周囲温度が0°Cから105°Cの範囲において±2°Cの温度精度を得ることができた。

Table 1 The characteristics of the digital temperature sensors.

電源電圧	消費電流	変換時間	温度精度
2.3V	50uA	30ms	±2.0°C

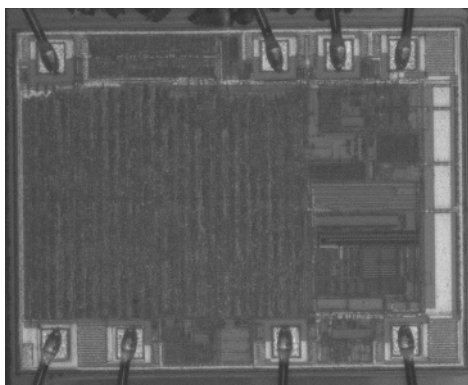


Fig. 9 Chip layout.

4. 今後の展開

我々は半導体デジタル温度センサーに搭載するAD変換器に二重積分型AD変換器を採用し、かつ最適設計を実施することによってデジタル温度センサーの消費電力を115uWに抑えた。また、二重積分型AD変換器の積分容量をCMOSトランジスタ容量にし、かつ2端子間の電位差により容量値が変動する特性を利用することで、二重積分型AD変換器の充放電電流を微小にしたことによって引き起こされた副作用（二重積分型AD変換器の出力値がノイズの影響を受けやすくなった現象）を打ち消すことができた。

今後は、二重積分型AD変換器とアナログ温度センサーの入出力特性における非直線性誤差を小さくすることによりデジタル温度センサーの温度測定精度をさらに向上させることに取り組む。

参考文献

- 1) Harish Balasubramaniam, Wjatscheslaw Galjan and Wolfgang H. Krautschneider: A Configurable Multi-Mode Dual Slope ADC in 130nm CMOS for Biomedical Signal Acquisition, In *Proc. "ProRISC 2008 Workshop"*, Veldhoven, Netherlands, (Nov. 2008).
- 2) Bruschi, P., Nizza, N., Piotta, M.: A Current-Mode, Dual Slope, Integrated Capacitance-to-Pulse Duration Converter, *Solid-State Circuits, IEEE Journal of*, pp.1884-1891, Volume 42 Issue 9, (Sep. 2007).
- 3) 岸野 正剛, 小柳 光正 : VLSI デバイスの物理 , pp. 70-72, 丸善株式会社(1986).

ボンディングパッド下におけるクラックと応力の同時評価技術

Simultaneous Evaluation of Stress and Cracking under the Bonding Pad

三木 芳彦*
Yoshihiko MIKI

渡辺 博文*
Hirobumi WATANABE

要 旨

半導体チップのテスト工程やボンディング工程において、アセンブリ応力により層間絶縁膜にクラックが生じ深刻な問題になることがある。本研究では、クラックの発生原因となる応力を解析するため、ボンディングパッド下に応力とクラックを同時評価するコンボセンサを作製し、ボンディング工程におけるクラック発生のタイミングとその応力変化を明らかにした。また、2次元応力分布と接合表面の観察より、応力集中はUS(Ultrasonic)接合の初期段階に形成される合金の塊によって生じることがわかった。

ABSTRACT

Crack defect in the interlayers of semiconductor chips due to assembly stress can be a serious problem. To analyze the crack-generating stress, we fabricated a combo sensor that enables simultaneous evaluation of stress and cracking under the bonding pad. We performed evaluation of the timing of crack generation in the bonding process and the stress that gives rise to these cracks, and the results clearly indicated that the cracks tend to occur in the interlayer during the period of US power increase. Measurements of the 2D stress distribution and microstructural observations found that the stress concentrations are generated by alloy aggregates that form during the initial stage of ultrasonic bonding.

* グループ技術開発本部 Eデバイス開発室

Electronic Device Development Department , Corporate Technology Development Group

1. 背景と目的

近年、半導体製品をより小型化するため、入出力用ボンディングパッド下に配線やアクティブ素子を配置するCUP(Circuit-Under-Pad)が利用されるようになった。しかし、テスト工程やボンディング工程においてアセンブリ応力が過度に加わった場合、メタル層間の絶縁膜にクラックが生じるといった問題を抱えている。これまでにアセンブリ応力の評価手法¹⁾やクラックを防止する構造²⁾などの報告があるが、クラックの発生原因を明らかにする有効な評価手法の報告例はなかった。本研究では、ボンディングパッド下クラックの発生と応力変化を *in situ* で同時評価する技術を新たに開発し、ボンディング工程におけるクラックの発生原因について解析を行ったので報告する。

2. 評価技術

2-1 コンボセンサの構造と検出原理

Fig. 1はクラックの発生と応力変化を同時評価するため開発したコンボセンサの構造模式図である。評価用ボンディングパッドの直下にクラックセンサと応力センサを持つ構造とした。本構造は2つのメタル配線層を持ち、1層目にクラック検出用の内部メタルを配置し、2層目は評価およびセンサ駆動検出用のボンディングパッドとして利用する。メタル層間の絶縁膜厚さは800nm(SiO_2)ある。クラックの発生をメタル層間の電氣的ショートの有無で検知する。

Fig. 2は応力センサの上面図である。応力センサとしてSi表面に形成した拡散抵抗を用い、応力変化をピエゾ抵抗変化として4端子法により検知する。図は応力センサを3つアレイ状に配置した例である。それぞれの応力センサは高濃度の拡散抵抗を用い評価用ボンディングパッドの外側でコンタクトを取るように配線した。このようにすることで、センサ形状に起因する応力集中の発生を防ぐことができる。

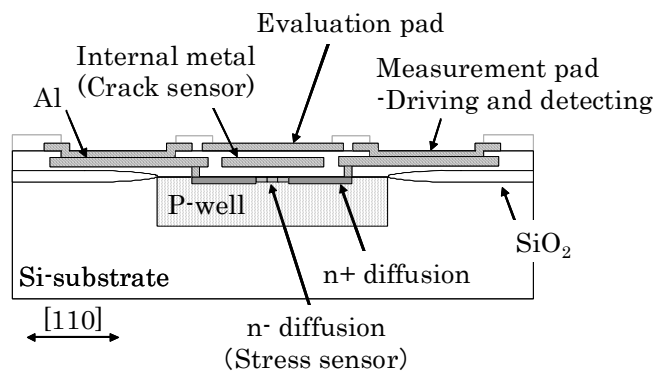


Fig.1 Schematic of the combo sensor.

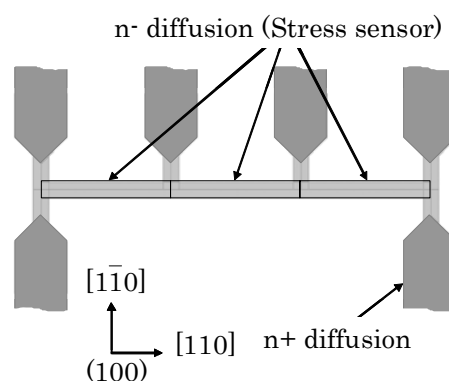


Fig. 2 Stress sensor part (Top view).

2-2 2次元応力分布の評価手法

応力の発生原因を解析するにあたり、応力集中箇所が特定できると良い。2次元アレイ状に応力センサを配置することも可能だが、配線層が増え構造が複雑になる。

Fig. 3に本研究で用いた2次元応力分布の取得方法を示す。ボンディング工程を評価する際、ボンディングボールの中心座標と応力センサの位置関係の異なる複数個のサンプルを用い測定を実施し、それぞれの測定データと座標情報、タイミング情報を重ね合わせることで2次元応力分布を容易に得ることができる。

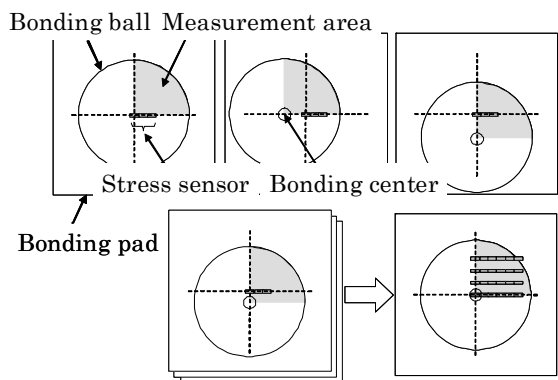


Fig. 3 Principle of 2D stress distribution measurement.

3. 評価結果

3-1 クラックと応力の同時評価

Fig. 4に評価を行ったボンディング工程を示す。ボンディング時に生じる応力はボンド加重[gf]とUSパワー [arbitrary units] により決定されると考えられる。

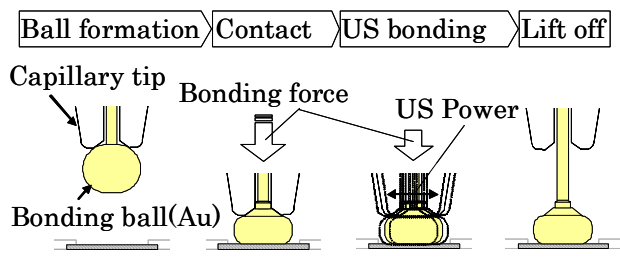


Fig. 4 Processing steps during ultrasonic bonding.

以下にコンボセンサを用いた評価結果を示す。応力の評価位置はボンディングボール下中央である。

Fig. 5にボンド加重45 gf , USパワー50a.u.のときの実験結果を示す。クラックセンサ出力, 応力センサ出力およびボンディング装置より得たUSパワー信号をそれぞれ示している。USパワー50a.u.においてクラックの発生は無い。応力センサ出力より、ボンディングボールがコンタクトした瞬間が確認でき、以降応力が増大

し、US印加開始のタイミングより応力の減少していく様子が確認できる。

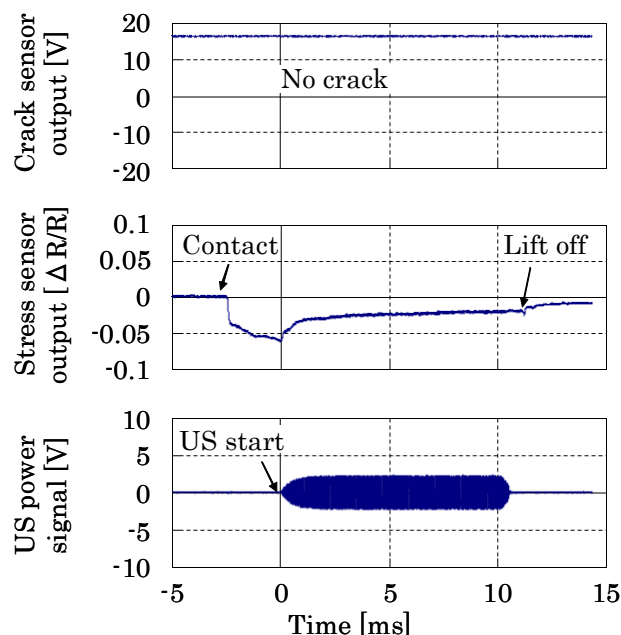


Fig. 5 Measurement results (US power 50 a.u.).

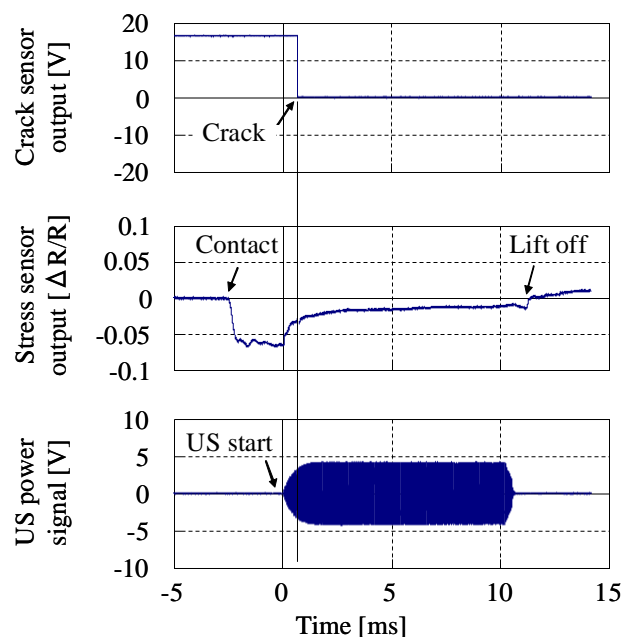


Fig. 6 Measurement results (US power 100 a.u.).

Fig. 6にボンド加重45 gf , USパワー100a.u.のときの実験結果を示す。クラックの発生をUS印加初期に確認

できる。そのときの応力はUSパワー50a.u.印加時に比べ減少していることが分かる。

別途、ボンド加重225gf, USパワー45a.u.でボンディングを行った結果、コンタクト時の応力によるクラックの発生が無いことを確認している。これらの評価結果より、クラックはUSパワーの増大により生じ、そのタイミングはUS印加初期であることが明らかになった。

3-2 2次元応力分布の評価

Fig. 7に2-2節で示した手法を用い、ボンディングボール下4分の1の範囲の2次元応力分布を取得した結果を示す。クラックの発生タイミングであるUS印加初期について詳しく評価するため、USパワーを0a.u.から設定値の35a.u.まで5msかけて上昇させた。

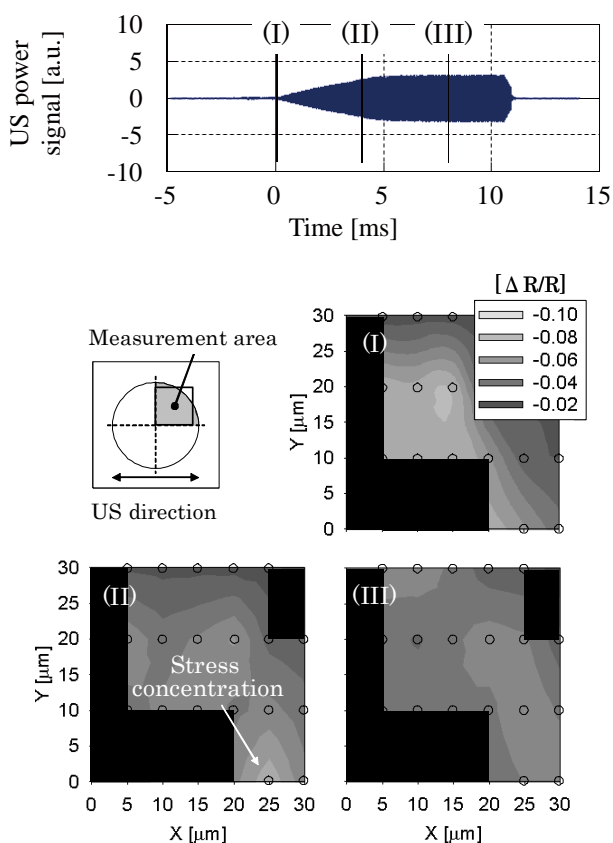


Fig. 7 Stress distribution in a quarter segment of the bonding ball.

(I)はUS印加前, (II)はUS印加4ms, USパワーが設定値に上昇する途中, (III)はUS印加8msである。ボンディングボール下における応力分布の変化が可視化できていることがわかる。(II)のタイミングにおいて、ボンディングボール外周付近(X: 22μm, Y: 0μm)に応力集中の発生が確認できる。

4. 考察

4-1 ボンディングボールの挙動と応力集中

Fig. 8に3-2節で示した応力集中箇所(X: 22μm, Y: 0μm)の応力センサ出力とボンディング装置より得たUSパワー信号, キャピラリ位置信号を示す。キャピラリ位置信号はボンディングボールがコンタクトした後、ボールつぶれ量を示す信号として用いることができる。これらの情報から応力集中の原因となる現象がわかった。

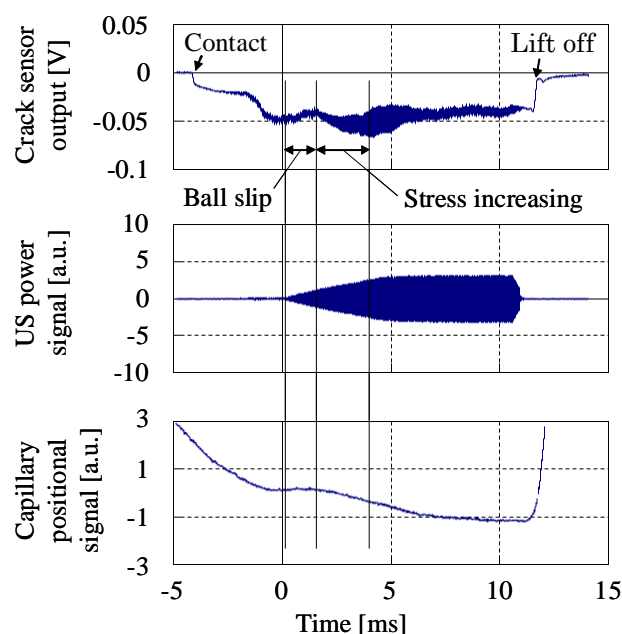


Fig. 8 Measurement results of stress concentration point.

US印加0~1.5msまでの期間において、応力変化は無く、ボールつぶれも生じていないことが確認できる。

これはボール表面に有効な接合が無く、スリップを起こしている状態と考えられる。そして1.5msより、ボールつぶれの再開が確認できる。これはボール表面に接合が形成されたことを示しており、固定されたボンディングボールはUS振動により変形を始める。また同時に応力の増大が確認でき、接合部に生じる応力の集中がUSパワーの上昇に伴い増大したと考えられる。4ms以降の応力緩和については、接合面積が広がったためであると考えられる。

4-2 ボンディングボール接合表面の観察と応力集中の原因

Fig. 9にボンディングボール接合表面のSEM像を示す。USパワー印加時間の異なる複数個のサンプルを作成し確認を行った。Fig. 9(a)(b)においてボンディングボール表面に合金の形成はなく、ボールつぶれのみが確認できる。Fig. 9(c)より合金の形成が確認でき、Fig. 9(d)においてUSパワー印加方向のボール外周付近に合金の塊が確認できる。Fig. 7(II)に示した応力集中箇所とほぼ同じ位置であることから、この合金の塊が応力集中を引き起こす局所的な接合を形成したと考えられる。

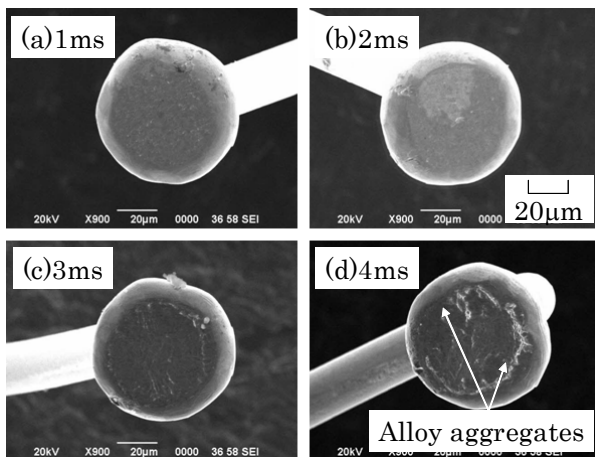


Fig. 9 SEM images of bonded areas.

5. まとめ

クラック発生と応力変化を動的に同時評価するコンボセンサを作製し、ボンディング工程を評価した結果、クラックはUSパワーの印加初期に生じることが明らかになった。そして、2次元応力分布とボンディングボール接合表面のSEM観察より、接合形成初期に生じる合金の塊にUSパワーに相当する応力が集中することがわかった。本評価技術はクラック発生の原因となる応力を有効に評価できる。今後、CUP利用の際、ボンディング工程を効率良く定量的に設計が可能となる。また、テスト工程時のプロービングや新たなアセンブリ技術の評価への応用が期待できる。

謝辞

本研究にあたりボンディング装置を用いた実験において多くの協力を頂いたアオイ電子株式会社に感謝致します。

参考文献

- 1) N. Watanabe, T. Asano: Behavior of Plated Micro bumps during Ultrasonic Flip-Chip Bonding Determined from Dynamic Strain Measurement, *Japanese Journal of Applied Physics*, Vol.42, No.4B, pp.2193-2197 (2003).
- 2) K. Takemura et al.: 65nm Node Transistor. Characteristic Evaluation Technology for Assembly Stress and Assembly Stress and Relaxation Design, *Abstracts of the 2006 International Conference on Solid State Devices and Materials*, pp.324-325 (2006).

GA・GP+MT法による外観検査性能の向上

An Improvement in Visual Inspection Performance by GA・GP+MT Method

関根 良浩* 井上 靖之* 松尾 啓史*
Yoshihiro SEKINE Yasuyuki INOUE Hirofumi MATSUO

要 旨

近年の外観検査では、識別が極めて困難で曖昧な不良種の増加や、人によるバラツキで品質を保証する事が難しくなっており、検査の自動化・効率化が余儀なくされてきている。外観検査の自動化では、極めて高いレベルの検査性能が必要であるが、試行錯誤によるワーク識別では時間が掛かり品質も悪く、また、ベテラン検査員の判断基準が感覚的な場合、数値化が困難となり検査性能を向上するにも限界があった。

そこで検出性能の向上する目的で、GA・GPによって欠陥候補となる領域抽出を行う機能と、MT法によって良否判別を行う機能を組み合わせた構成による検査ツールの開発を目指した。

ABSTRACT

In recent years, it is becoming difficult to guarantee quality in visual inspection, because the kinds of defective products which are very difficult and ambiguous to distinguish are increasing, and the variation in inspectors is also increasing. The automation and the streamlining of inspections are therefore expected. Although very high performance is required for the automated visual inspections, trial-and-error methods applied to difficult samples made the inspection slow and poor in quality. Moreover, since the judgment criteria of veteran inspectors are often sensuous and ambiguous, it was difficult to automate and speed up the inspection.

The purpose of this paper is the development of an inspection tool to improve the detection performance. The tool combines the GA-GP method to extract regions considered to be defective candidates and the MT method to judge quality.

* リコーエレメックス株式会社 機器事業本部
Precision Parts and Apparatus Business Group, Ricoh Elemex Corp.

1. 背景と目的

1-1 アルゴリズムの自動生成

1-1-1 検査アルゴリズム

外観検査の自動化では、極めて高いレベルの検査性能が必要であるが、ベテラン検査員の感覚的な判断基準に沿うアルゴリズムを作る事は難しく、検査性能を向上するには限界があった。また、目視検査で難しい検査対象はアルゴリズムの作成でも試行錯誤する事が多く、開発に時間が掛かっていた。

そこで、人が検証案件に掛かる時間を短縮することと、検査性能を向上することを目的にGP(遺伝的プログラミング)、GA(遺伝的アルゴリズム)を利用し、機械的にアルゴリズムを生成させる試みを行ってきた。

ところで、検査性能には二つの指標がある。一つは不良流出率(不良を正常として誤判定する率)で、通常はそのリスクの大きさから、流出は確実に0にするようにアルゴリズムの調整を行う。もう一つは、過検出率(正常を不良として誤判定する率)である。過検出率をどこまで抑えるかは、検証案件ごとに目標は異なるが、一般的には5%未満が望ましい。

GP・GAには、不良を確実に検出するようにアルゴリズムを生成(以下GA・GPの生成解)させるが、その一方で、不良を流出させないまま過検出率を低減することは難しく、およそ10~20%程度の過検出が発生していた。本論文は、MT法を利用することで、この過検出を5%以下に低減することを目的にしている。

2. 技術

2-1 システム構成と特徴

本システム構成について説明する。今回、MT法を取り入れて、以下Fig. 1のように組み込んだ。

MT法は、GP・GAの生成解が不良判定した対象(検出した領域)について、それが不良か、もしくは過検出した良品かを再度識別することで、過検出を低減する。

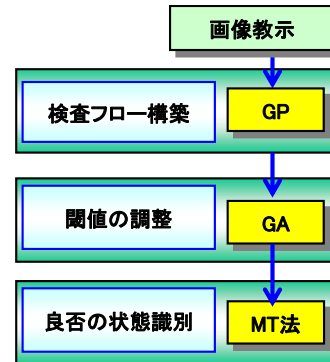


Fig. 1 System structure.

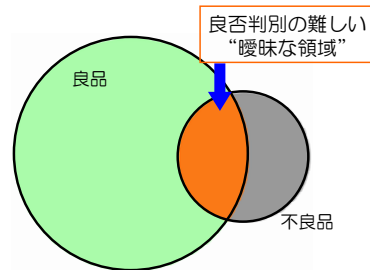


Fig. 2 Diagram of non-defective and defective products distribution in case of one feature value.

Fig. 2に、良品と不良品の画像をある特徴量で見た場合の概念図を示す。図の円の大きさは良品と不良品のサンプル数を示している。数の大小はあるが、良品と不良品の分布には、一部特徴が似通った領域が存在し、その領域は特に良否を識別するのが難しい。

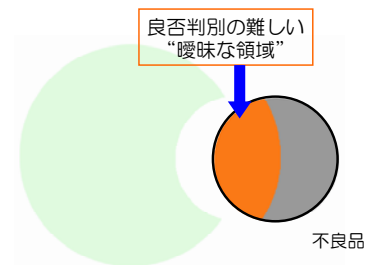


Fig. 3 Diagram of "ambiguous" non-defective and defective products distribution in case of GP-GA solution applied.

そこでGP・GAの生成解では、Fig. 3に示すように、良否判別の難しい領域は一時的に全て不良として検出し、次いでMT法で検出した不良と曖昧な良品だけの対象を絞って、それらを分離するのに特化した単位空間を生成することを特徴としている。

GP・GA・MTのそれぞれを区分けした構成としたのは、各手法をモジュールとして利用する点にメリットがあるとしたためである。

例えば、検査環境の変化（例えば工程の改善）などがあると、取得する画像が変わり、既に実装済のアルゴリズムのままでは過検出が発生する可能性がある。その時MTのみを加えて過検出を低減したり、また、アルゴリズムを新規で作成する場合などにも追従しやすくなる。

一方、GP・GA・MTを同時に学習させる方法も考えられるが、アルゴリズムを生成するまでの時間が長くなってしまふ。人がアルゴリズムを生成する場合は、およそ8時間程度で完成するが、GP・GA・MTを同時に動作させる場合、生成解を出力するまでに膨大な計算量が必要であり、計算環境構築に掛かるコスト（もしくは実学習時間）が実用的でなかった。

2-2 GP・GA

2-2-1 学習モデル

以下Fig. 4に、フローチャートを示す。

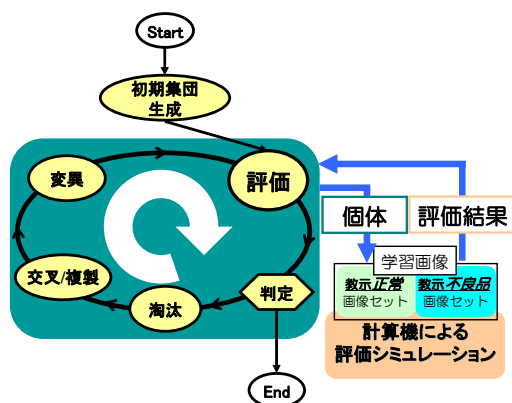


Fig. 4 The flow chart of GP, GA.

GPは、画像処理関数を1つのブロックとしたブロックの組み合わせ木構造を個体と定義し、その中での最適化を目指す。またGAは、GPの生成解を構成している画像処理関数それぞれのパラメータ調整において最適化を目指す。

本論では、進化フロー内部の処理（図の左側）については省略し、「何を評価して学習していくのか」（図の右側）について重点的に説明していく。

2-2-2 画像の教示について

GP・GAに学習させていくための画像は教示画像・目標画像・重み画像をセットとしており、輝度値の値域を0～255としている。画像サイズと枚数は撮像条件とサンプル数に依存するため制限していない。

学習時に読み出す画像を教示画像として定義し、そこから不良としたい領域（以下不良領域）と正常としたい領域（以下正常領域）の2値画像にて定義した目標画像を作成する。

タスクとしては設計者が教示画像をツール上に表示し、目視にて不良と認識した箇所を閉空間として描き示すことで完了となる。不良が存在しない正常画像の場合はその教示画像のサイズに従った輝度値一律の画像が目標画像となる。

目標画像作成と同時に、検査と関係のない背景領域、検査する領域内での正常領域と不良領域それぞれの画素に「検出する上での重要度を重み付けする」画像を、重み画像として生成する。後述する評価指標の一致度において、正常領域と不良領域と背景領域の大きさに依存せずに学習させていくための画像となる。

2-2-3 GPでの評価方法・画像処理関数

学習条件で工夫した点を一部ではあるが紹介する。

評価指標としてメインに考えているのが教示画像の出力結果（以下、出力画像）と目標画像の一致度であり以下に定義する。

$$\text{一致度} = 1.0 - \frac{1}{K} \sum_{x=0}^{\text{width}-1} \sum_{y=0}^{\text{height}-1} w(x, y) \cdot |o(x, y) - t(x, y)|$$

横軸座標 x , 横幅 $width$, 縦軸座標 y , 縦幅 $height$, 出力画像の輝度値 $o(x, y)$, 目標画像の輝度値 $t(x, y)$, 重み画像の輝度値 $w(x, y)$, 正規化定数 $K = 255 \times width \times height$ としている。

比による指標なので, 画像サイズによらず0.0から1.0までが値域となり, 1.0に近づくほど目標画像に出力画像が一致していることを意味する。

また一致度以外の評価指標として, 生成解の木構造(アルゴリズム)が冗長になりすぎると実用性が失われるため, 生成解における処理関数の合計数に制限を設け, 木構造が単純であるほど評価を高くしている。

学習上の処理関数は平滑化, エッジ抽出やコントラスト強調などのフィルタ処理, 動的閾値を用いた2値化, 四則演算などの関数によって構成されており, 基本的には設計者が良く使う代表的な処理をライブラリ化した。ライブラリ化において関数を追加する時, 「処理方法は異なるが効果は似ている関数」が多く存在すると, 処理関数全体の中で選択に偏りが発生するため, 取捨選択にて検証を重ねた結果, 122個の処理関数を採用した。

以下に, 学習条件を示す。

Table 1 Conditions of GP learning (Excerpt).

学習条件 (抜粋)	設計値
世代数	30000~100000程度
個体数	150
処理関数総数	122 (1入力:102) (2入力:20)
生成解処理関数の合計数	20程度
1世代当たりの新規個体生成数(淘汰数)	5~15程度
1入力処理関数の生成確率	0.8

2-2-4 GAでの評価方法

GAでの評価指標においても基本的にGPと同じ一致度を用いているが, MT法に受け渡す際には不良流出を0にしておく必要があるため, 出力画像の検出した領域が学習画像内の不良情報全てを含んでいる必要がある。

不良流出の発生状況と過検出の発生状況を明確に区別して評価するため, 目標画像と出力画像の閉空間領域について, 以下に続く判定評価を盛り込んでいる。

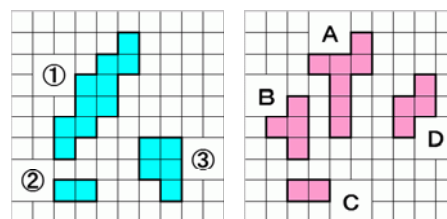


Fig. 5 Examples of closed regions. (left) target image. (right) output image.

生成解においてFig. 5のような画像を評価したい時, 目標画像の閉空間領域それぞれ(①~③)に対して, 「出力画像の閉空間領域が重ね合わさるのか」という判定によって不良流出の発生状況を調べ, その後逆に出力画像の閉空間領域それぞれ(A~D)に対し, 「目標画像の閉空間領域が重ね合わさるのか」という判定によって過検出の発生状況を調べている。

Fig. 5の例では, 目標画像の③が出力画像上で重ね合わさらず, 検出できていない(不良流出)という判定結果となり(Fig. 6参照), また出力画像のDが目標画像上で重ね合わさらないため不要(過検出)という判定結果になる(Fig. 7参照)。

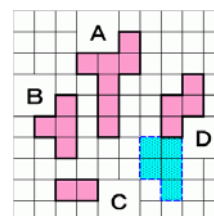


Fig. 6 Example: flow of defects.

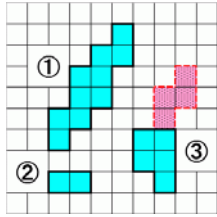


Fig. 7 Example: fault detections.

以上の判定評価を一致度よりも優先しており、不良流出を起こさず、かつ過検出が少ない状態まで導いた後、一致度が高い解の探索を行う。これらの処理はそのまま行うと重複する部分が少なからず発生するため、なるべく判定回数（計算量）を減らす工夫を行っている。

2-3 MT法

2-3-1 識別対象

GP・GAの生成解では識別が困難だった事例をもとに説明していく。ある金属の正常サンプル（シミ）と、不良サンプル（キズ）をFig. 8とFig. 9に示す。

シミは、この金属の洗浄工程の過程で、洗浄液が乾いて付着したものであるが、製品の機能には影響しないため良品として判定する必要がある。

しかし画像では明るさや、その形状がキズと似て撮像されるため、GP・GAの生成解では分離する事ができなかった。

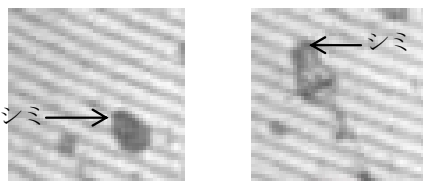


Fig. 8 Example: non-defective products (stains).

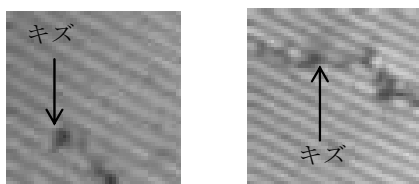


Fig. 9 Example: defective products (cuts).

2-3-2 データ分析

MT法では、まず多数の正常データ（本例の場合はシミ）から複数の特徴量（画像の場合面積や輝度値など、数十個）を抽出することで、シミを定義（単位空間を生成）する。検査の際は、検査対象が単位空間からの距離が大きい場合に不良（キズ）として判定する（空間からの距離をマハラノビス距離(MD)という）。

正確に良否を判定するには、キズの場合はその空間から大きく離れるようにする必要がある。単位空間は正常データの特徴量から作成するため、判定の性能は特徴量に依存する。

そこで本事例では有効な特徴量を模索するため、事前にシミとキズについてそれぞれの輝度値を分析した。Fig. 10に、分析結果の一部を示す。

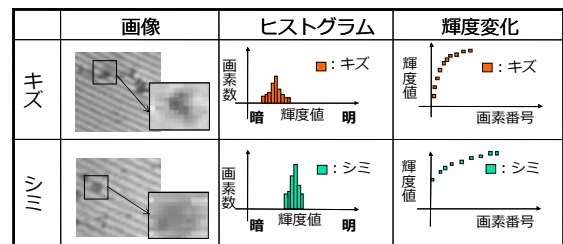


Fig. 10 Result of data analysis (Excerpt)
(top) stains. (bottom) cuts.

Fig. 10の左側は、キズとシミについて画像を1例取り挙げたもので、枠で囲った部分の輝度値を画像ソフトウェアで分析した。Fig. 10の中央は、キズとシミのヒストグラムを示している。二つを比較したところ、
(1) シミのヒストグラムの方がキズより全体的に右側にプロットされる事が解った。
(2) また、シミのほうが鋭利（尖がった山）になっている事が解った。

キズとシミの輝度値を昇順に並べたのがFig. 10の右（輝度変化）である。横軸の画素番号とは一番輝度値の小さい画素を番号1、次に小さい画素を番号2・・・というように、画素について輝度値の小さい順に番号を付加したもので、縦軸は輝度値である。プロットしたキズとシミのデータについて、近似直線もしくは近似曲線を作成すると、

(3) シミの方が、傾きが緩やかであった。

シミのほう輝度値の最小値から最大値までの範囲が狭いため、縦軸の変化そのものが小さい事や、(2)で示されるように、同じくらいの輝度値が集中しているため、横軸の変化に対する縦軸の変化が小さく近似した時に平坦になり易い為と推測した。

2-3-3 フィルタ設計

キズとシミの一例をFig. 11に示す。前述したように、キズ（赤色）とシミ（青色）とではシミのほうが全体的にやや明るいが、そのまま分離可能なレベルでは無く、キズもシミも輝度値55~80の範囲を取っており部分的に混ざっている。

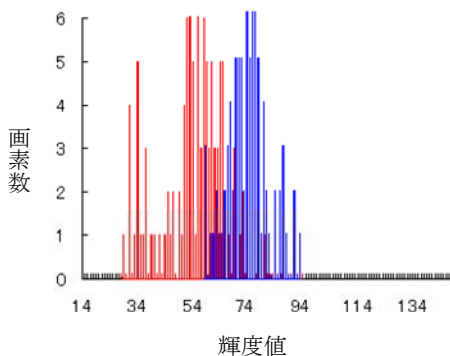


Fig. 11 Example: histograms of a cut (red) and stains (blue).

そこで、以下に説明するフィルタ設計を試みた。第1のフィルタではFig.12のように、あるレベルで閾値(Th)を設定し、その閾値よりも左側(斜線)の面積値を計算するようにした。

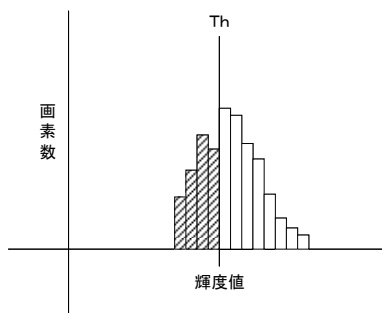


Fig. 12 Example: Filter 1.

このフィルタは、キズがシミよりもヒストグラムが左側に生成される事を利用したもので、キズの場合に比較的大きい面積値が返されるのを狙ったものである。閾値は正常サンプル全ての輝度値の平均値と、標準偏差を利用した。Table 2に実際の閾値と、正常サンプル1, 2と不良サンプル1, 2から得た面積値(特徴量)を示す。

Table 2 Threshold and its feature values of Filter 1.

閾値	ave - σ	ave - 1.2 σ	ave - 1.4 σ	ave - 1.6 σ
サンプル	70	66	62	58
良品1	8	2	1	0
良品2	21	19	16	11
不良1	120	119	112	105
不良2	82	75	72	62

良品と不良の特徴量を比較すると、不良の方が大きい値を返しており、良品との差が得られる事を確認した。第1フィルタはいわゆる画像の暗い領域の面積を数値化するフィルタであるが、これと同様に逆の明るい部分を抽出するフィルタ(第2フィルタ)でも、不良と良品では大きな差が得られた。ヒストグラム形状の違いを数値化する為には、特定の輝度値を閾値として、面積を計算する事が有効とわかった。この考えを応用したフィルタをFig. 13に示す。

二つの閾値を設定し、範囲内の面積を演算(第3フィルタ)、一つの閾値でヒストグラムを2分した時の左右の面積比を演算(第4フィルタ)などを設計した。

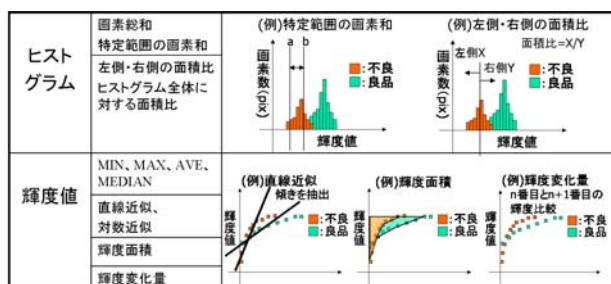


Fig. 13 Example: the other Filters (2~7).

また、輝度を昇順に並べたグラフからの特徴量抽出では、プロットから近似式を作った場合の傾きを演算（第5フィルタ）、輝度変化グラフのY軸、閾値、近似線からなる面積の演算（第6フィルタ）、昇順に並べた輝度値について N 番目と $N+1$ 番目の輝度値を比較し輝度値の上昇率の演算（第7フィルタ）などの特徴量が有効であることを確認した。

前述した第1～7のフィルタは、それぞれ単独でも、正常・不良を識別するのに有効であるが、フィルタに汎用性を持たせるため、以下の事を検討に加えた。

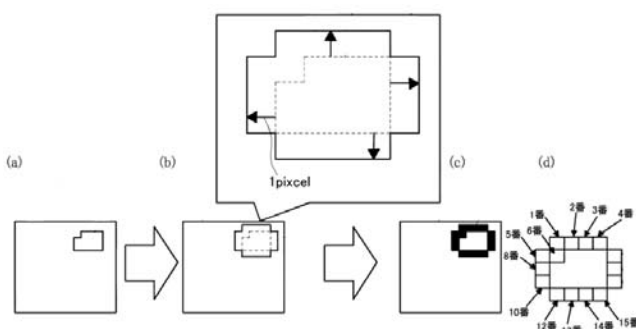


Fig. 14 Application of adjacent regions.

Fig. 14に示すように、検査対象である領域(a)を全方向に特定の大きさだけ拡張し(b)、拡張された部分の輝度値を使って相対的に閾値を決定する。例えば、第1～7フィルタの閾値は、正常サンプル全部の輝度値の平均値や、標準偏差を元に設定しており、検査対象によらずその閾値は一定である。しかし、通常カメラや照明は一定の条件にセットされているため、画像は同じくらいの明るさで写るはずであるが、検査対象の微小な撮像位置のズレや、外乱環境の変化によって、照明ムラなどが発生する為、画像の明るさが変化する場合がある。そこで、上記の周辺を参照する方法を適用する事で、明るさが変わった場合であっても、それに応じた閾値設定をする事が有効であると確認できた。

3. 成果

3-1 検査性能

本システムで生成したアルゴリズムの検査性能について一例説明する。以下図に示したシミ（良品）とキズ（不良）のサンプルは、これまでのGP・GAによるアルゴリズムでは両方とも不良として判断しており、シミを過検出していた。

本システムによる検査アルゴリズムでは、シミとキズを正常に分類する事ができ、過検出を減らすことができた。Table 3にデータを示す。不良流出に関しては、どちらも0個であるが、従来アルゴリズムでの過検出数は84個に対して、本システムを適用すれば、24個に低減されることを確認した。

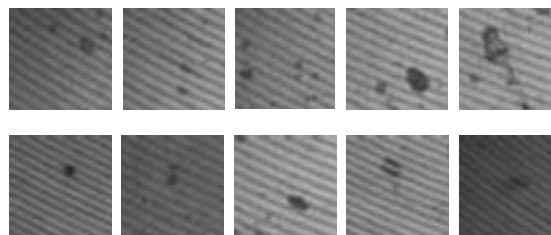


Fig. 15 Example: discriminable stains.

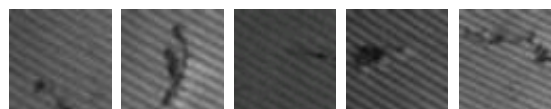


Fig. 16 Example: discriminable cuts.

Table 3 The improvement of distinction between cuts and stains. (top) this system. (bottom) previous system.

	過検出数 (過検出率)	不良流出数
本システム	24(3.0%)	0
従来アルゴリズム	84(10.5%)	0

4. 今後の展開

4-1 実用化に向けて

これまで、本システムについて説明をしてきたが、実用化に繋げるためには、サンプル不足の問題を解決する必要がある。GP・GA、MT法のいずれも、正常、不良を教示する必要があるが、特に不良に限っては、その発生頻度の少なさから、サンプルが不足する傾向がある。数少ないサンプルの情報から、発生する不良の母集団を推測する必要があり、そのために、不良種や、不良形状の把握、また、不良発生のメカニズムの追求など、情報入手を強化していくことが、実用化に向けての課題であろう。

5. 付録

5-1 GP・GA

遺伝的アルゴリズム(GA)・遺伝的プログラミング(GP)とは共に多点探索・最適化手法の1つとして提案された進化的計算法のアルゴリズムの一種である¹⁾。進化的計算法とは、

- (4) 探索点の集合を発生
- (5) 探索点個々の性能を評価
- (6) 実用解の性能を持つ個体があれば終了し、なければ(4)に続く
- (7) 設計者が設計したルールに基づいて、探索点の集団の中から選別(例：性能の優れた探索点を残して劣った探索点を除去する)や、現在の探索点からその特徴を引き継ぐように、探索点の生成を行う、一部の特徴をランダムに変更するなど、探索点の集団数を変えずに内容を変化させ(2)へ戻る

といったプロセスを基盤とした最適解へのアプローチ方法であり、GAとGPにおいても、探索点の種類と(4)で行う変化のさせ方こそそれぞれ異なるものの、基本的にこのプロセスを応用発展させて最適解を求めていく。

5-2 MT法

一般に正常な画像を写した場合、どれも似たような写り方をするが、不良が存在する場合、例えば不良種や不良の程度によって写り方は様々である。

MT法は、正常(良品)の写り方が一様である性質を利用するもので、定義しやすい正常データの集まりだけを定義し、その定義との違いをもとに、異常か正常かを判定する方法である。正常データとの違いを「近い」あるいは「遠い」と示す指標として、Fig. 17のマハラノビス距離(以下MD)が用いられる。

MT法では、まず多数の正常データから複数の特徴量(画像の場合面積や輝度値など、数十個)を抽出し、統合した情報として単位空間を生成する。

検査の際は、単位空間と検査対象のデータを基に演算し、検査対象の単位空間上での位置を算出する。

ここで検査対象のデータが、正常の各特徴量の平均値に近い値であるほど、空間の中心にプロットされ、平均値から離れるほど、空間の中心から遠い位置にプロットされる。正常と異常の判定は、プロットされた点と単位空間の中心との距離であるMDが大きければ異常、小さければ正常と判断する。

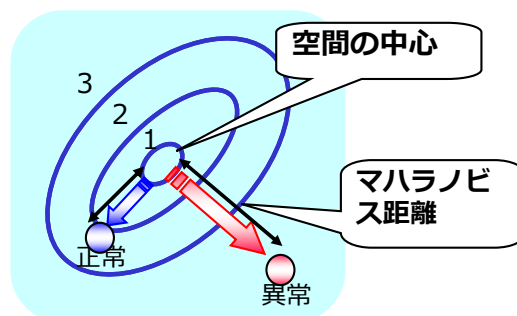


Fig. 17 Unit space.

参考文献

- 1) 長尾智晴：進化的画像処理, pp.20-32, 昭晃堂(2002).
- 2) QES (品質工学会) HP, <http://www.qes.gr.jp/>
- 3) 財団法人日本規格協会：これから始める方のための品質工学コース.

品質工学を用いた加工工程の最適化

Optimization of Machining Process Using a Quality Engineering Method

今井 力也*
Rikiya IMAI

小澤 仁*
Hitoshi OZAWA

要 旨

生産準備プロセスに品質工学の様々な手法を開発し展開することで、プロセス改善活動を実施してきた。開発、展開した手法は「機能性評価」「最適化」「4M変動評価」「4M変更評価」の4種に大別されるが、今回は「最適化」の事例について報告を行なう。

屈曲部にトナーを搬送するコイルバネは、基本性能にバラツキが大きく、稼動寿命が要求を満足せずに製品への搭載が困難な状況にあった。そこで加工条件の設定に品質工学のパラメータ設計の概念を展開した「最適化」の手法を用いて改善を図ることとした。出力にコイルバネが機能を失うまでの経過時間を取り、望大で解析した。ただしそのままでは実験に多大な期間を要する為、加速条件として屈曲の度合いを調整した。制御因子に加工条件を7因子設定し、3因子のノイズを設定し、直交表実験を行った。実験の結果、最適条件では4db以上の改善効果が期待でき、良好な再現性も認められたため、量産工程に反映した。結果としてバラツキは改善し、稼動寿命も1.4倍となり製品への搭載が可能となった。

ABSTRACT

In order to improve preparation process for production, we have been developed various methods of quality engineering. These methods are classified into four groups, "Functionality assessment", "Optimization", "Evaluation of 4M variation" and "Evaluation of 4M changes". In this paper a case example related to "Optimization" is reported.

Coil spring that carries the toner to bent portion could not be installed in office machines because its life duration is short and varies widely. Therefore, we tried to improve that problem by using optimization method, which is based on parameter design in quality engineering, for deciding process conditions. As a output we set the elapsed time until the coil spring loses its function, and analyzed the data using larger-the-better characteristic. However, because it requires a lot of experimental time, we run accelerated test by adjusting the amount of bending. In that test, we set 7 control factors from processing conditions and 3 noise factors and run the test using orthogonal array in experimental design method. The experimental results show that signal-to-noise ratio has a potential to be improved more than 4db and the repeatability is excellent. Consequently these process conditions were applied to mass production process. It was found that the duration of life was extended by 1.4 times, and its variation was also improved. The coil spring manufactured based on the proposed process become to be installed in the machines.

* 生産事業本部 生産技術センター
Production Technology Center, Production Business Group

1. 背景

1-1 はじめに

生産準備プロセスに品質工学の様々な手法を展開することで、プロセス改善活動を実施してきた。02年度より活動を開始し、対象毎に様々な技術を開発し、現在までに約200事例が積み上がって来ている。

発端は、00年当時多発したメカトロ部品の市場での不具合である。従来の規格値に対するOK/NG判定から、ロバスト性の優劣を基準とした評価手法に変更する必要が生じ、品質工学の導入を行なった。ロバスト性の高い部品を評価/選定し、やはりロバスト性を基準に工程を最適化することにより、市場品質の向上、工程能力の向上の効果を得ている。また、誤差因子を工夫することにより評価期間も短縮している。

以前にRTR29号¹⁾に掲載した「ステッピングモータの機能性評価手法」の事例で、品質工学を用いたメカトロ部品の評価技術についての紹介を行なった。今回は「コイルバネ加工条件の最適化」の事例を通して、品質工学を用いた加工工程設定について紹介する。

1-2 全体像

Fig. 1に製品生産の全プロセスの何処にどんな品質工学の手法を展開したのかを表現する全体像を添付する。

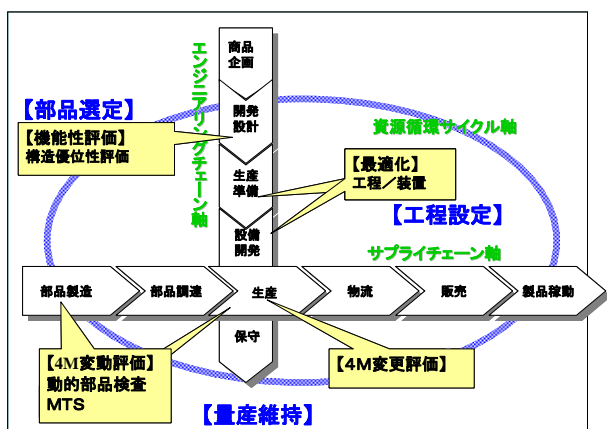


Fig. 1 Quality engineering methods in preparation process.

生産準備に必要な品質工学の手法は「機能性評価」「最適化」「4M変動評価」「4M変更評価」の4種類に大別される。もちろんこれだけで生産準備活動を全て賅える訳ではないが、品質工学の手法を展開して効果を刈り取れるプロセス上のポイントはここであると考えている。

これら4種類の手法は、基本的には制御因子の設定のバリエーションによって区別される。Table 1に「手法の目的」と「制御因子の設定」を手法毎に一覧で表現した表を添付する。

Table 1 Various of quality engineering method.

分類	詳細分類	手法の目的	制御因子の設定
機能性評価	構造優位性	最もロバスト性の高い購入部品を提案する。	機種搭載選定中の部品構造を設定する。
最適化	工程	各工程、作業の管理ウェイトを最適化する。	検査、調整等で管理している工程/作業を設定する。
	装置	加工装置の加工条件を最適化する。	設定、調整等で制御している装置条件を設定する。
4M変動評価	動的部品検査	管理し切れない4M変動を検出する。	納入部品に対してロット毎の抜き取りサンプルを設定する。
	MTS	多変量を一つの値で表して管理する。	複数の工程内計測値、感度的判断を設定する。
4M変更評価	-	量産後の4M変更の採用可否を判断する。	4M変更前後の部品を設定する。

1-3 今回の事例の位置づけ

今回紹介する事例「コイルバネ加工条件の最適化」は装置の最適化の手法であり、最も安定して加工出来る装置設定条件を品質工学の手法を用いて導き出す、言わば工程のパラメータ設計である。Fig. 1の製品生産プロセスのエンジニアチェーン軸の中の「生産準備」「設備開発」の工程設定のステージでこの手法を展開している。今回の事例の場合、問題の発生が発端となっているが、基本的には工程設定活動である。

特に外部の部品メーカーの加工工程の条件設定については、過去のノウハウにより設定される場合があり、詳細をリコーでも把握し切れていない。そのような場合、不具合が発生しても原因の完全特定が出来ず、問題解決が困難になる。そのような事例に対して、品質工学を用いて加工条件の最適化を行い、機能性向上と基本性能の底上げを図り、問題解決に繋げる事を行っている。

2. 事例:コイルバネ加工条件の最適化

2-1 事例の背景

弊社において製造している複写機・プリンターには、様々な部品が組み込まれている。これらの部品は、弊社社内工程で加工する場合もあるが、かなりの割合で外部の部品メーカーにより加工され納品される。今回対象としているバネ部品の場合は后者であり、加工工程は基本的には外部部品メーカーによる設定となるが、不具合等が発生した際には共同して問題解決活動を実施し対策している。

今回、コイルバネの加工条件に対する改善活動を実施したのは、新規コイルバネの基本性能にバラツキが生じて、開発中の新製品への搭載が困難になったためである。当初、この問題に対しては問題解決手法により原因の追究を実施してきたが、原因については完全に特定するまでには至らなかった。そこで品質工学の手法を用いて加工条件の最適化を行い、機能性の向上と基本性能の底上げを図ることで、問題の解決を図った。

2-2 コイルバネとは

電子写真方式の複写機・プリンターに搭載される購入部品で、Fig. 2の様に約90°に屈曲した経路にトナーを搬送する目的機能を持つ。

構造については、SUSの平板をコイル状に加工している。このコイル構造により、屈曲させた状態で連続して回転させることが出来る。

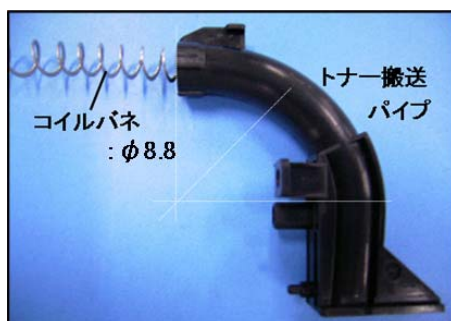


Fig. 2 Coil spring.

製造方法については、コイル成形機(Fig. 3)にSUSの平板を送り、成形ローラで一定の荷重をかける事でピッチと径の調整を行って、コイル形状にしている。

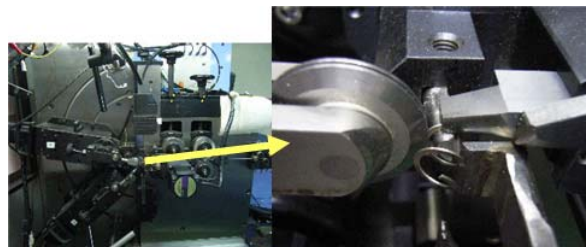


Fig. 3 Machine tool for the coil spring.

その後、熱処理炉に投入し、低温焼き鈍しを行なうことで、コイルバネの製品となる。

2-3 発生した問題

新製品の耐久試験にて、要求寿命より前にコイルバネの破断が高率で生じて、異常音が発生した。破断面をSEMで観察(Fig. 4)した所、特有の縞状の模様が確認されたことから、繰り返し応力による疲労破壊と特定された。外径寸法、金属組織、硬度等の特性値について計測を行い、寿命前に破断したコイルバネと破断しなかったコイルバネを対比させたが明確な差異は特定できず、また製造工程を調査しても、異常な4M変動を見つけ出せなかった。

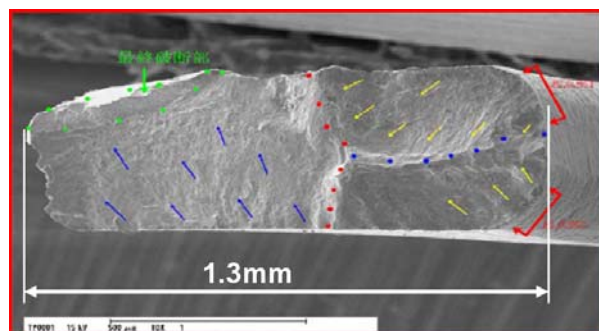


Fig. 4 SEM image of fracture surface.

2-4 評価技術

2-4-1 評価の考え方

加工装置条件を最適化する場合は、加工装置の消費電力や刃の振動変位等、直接計測できるデータを出力に設定する事例が多い。ただ今回の加工装置の様に、加工に要するエネルギーに対して装置自体の余裕が大きい場合、評価に必要な感度が得られない。そこで評価対象の装置で加工したサンプルを評価することで良いサンプルを加工できる最適な条件を導き出す、間接的な出力を取る手法がある。

今回はその考え方で、条件を振って加工したコイルバネサンプルを評価することで、加工装置を評価することにした。

2-4-2 基本機能と出力の設定

コイルバネの基本機能を「回転し続ける」と設定した。つまり「どのような誤差因子が印加されようとも、安定して回転し続ける。」のが良いコイルバネと考えた。すなわち、いかに長く駆動を伝達し続けられるかで、コイルバネの良し悪し、つまり加工条件の優劣を判断しようと考えた。

この「回転し続ける」の基本機能を評価する為に、回転し続ける時間（コイルバネが破断するまでの総回転数）を計測するのだが、それだと実験に多大な期間を要する。そこでFig. 5に表すように、通常の使い方における屈曲状態よりも更に過酷な屈曲を行い、加速条件とした。つまり加工条件による優劣を保ったまま、早く破断させてしまおうと考えた。

なお、解析手段としては出力である総回転数の望大の解析を行なう事とした。SN比の計算は、以下の数式を用いた。

$$\eta = -10 \cdot \text{Log} V_T$$

$$V_T = (1/y_1^2 + \dots + 1/y_k^2) / k$$

ここで、 η をSN比、 y はデータ、 k はデータ数である。

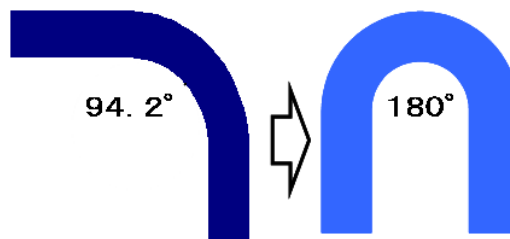


Fig. 5 Accelerated condition.

2-4-3 因子の設定

制御因子と誤差因子を設定した。

今回の目的は加工装置条件の最適化（パラメータ設計）であるので、制御因子にはコイルバネの加工工程、具体的にはコイル成型機と熱処理炉の条件を設定した。Table 2に示す因子と水準を設定し、実験時にはL18直交表に割り付けた。

誤差因子はコイルバネ加工工程における管理不能な項目を抽出した。Table 3に示す因子と水準を設定し、実験時にはL4直交表に割り付けた。

Table 2 Control factors.

	因子名	水準1	水準2	水準3
A	コイル成型機設定条件	方向1	方向2	
B	コイル成型機設定条件	設定1	設定2	設定3
C	コイル成型機調整条件	場所1	場所2	場所3
D	材料セット条件	短	中	長
E	コイル成型機調整条件	角度a	角度b	角度c
F	熱処理炉設定条件	設定1	設定2	設定3
G	熱処理炉設定条件	比率a	比率b	比率c
H	ダミー	—	—	—

Table 3 Noise factors.

	因子名	水準1	水準2
1	コイル成型機関連	1号機	2号機
2	人間作業関連	目盛1	目盛2
3	熱処理炉関連	位置a	位置b

2-4-4 機能システム図

以上の検討結果より、以下の機能システム図(Fig.6)を設定し、実験を組むこととした。

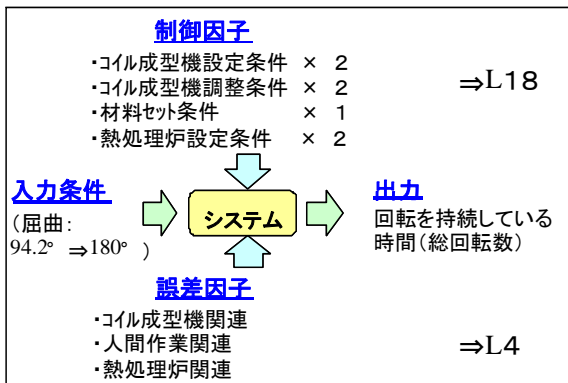


Fig. 6 Functional system diagram.

2-4-5 評価装置

機能性評価の場合は、誤差因子を繰り返し精度良く印加する性能を最優先に評価装置を製作した。しかし、加工条件の最適化（工程のパラメータ設計）の場合、誤差因子はサンプルを製作する過程で印加するため、この評価装置には誤差因子の印加機能は必要としない。今回の上記Fig. 6の機能システム図に基づく評価実験を行う為には、むしろ加速条件に特徴が在る為、既存のコイルバネ評価機に180° 屈曲の機能を追加したFig. 7のような装置を準備し、コイルバネ加工条件の最適化実験を行った。



Fig. 7 Evaluation equipment of the coil spring.

2-5 結果

2-5-1 生データグラフ

参考として実験の生データをグラフ化したものをFig. 8に示す。縦軸は破断に到るまでの総回転数、各線は制御因子の18の直交条件に対応している。このグラフを見ると制御因子と誤差因子の影響により、適切にデータをバラつかせることが出来たと考えている。

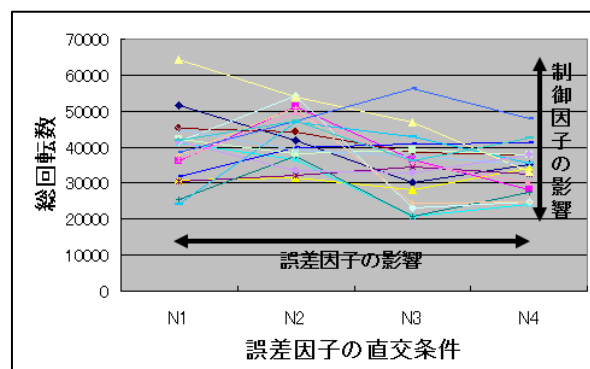


Fig. 8 Experimental results of duration.

2-5-2 解析結果

結果の要因効果図をFig. 9に表す。

コイルバネが加速条件下で破断するまでの総回転数が大きければ大きいほど良いという機能システムであるので、前に述べたように解析は望大で行なった。

なお、最適条件は要因効果図からSN比の高い水準を機械的に選択した訳ではない。部品メーカーの技術者と協議の上、作業性等を考慮した条件設定にしたため、Fig. 9に示したような最適条件となった。

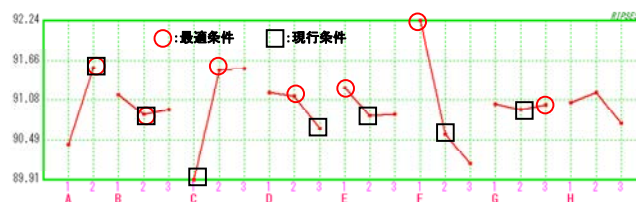


Fig. 9 Factorial effect diagram.

2-5-3 確認実験結果

最適条件と現行条件で確認実験を実施した。計算上の予想の利得差4.6dbに対して、確認実験での利得差が4.1dbとなり、再現率は89.1%が得られた(Table 4)。これは過去の事例と比べても、高い再現性が得られたものとする。

Table 4 Result of the confirmation experiment.

	予想の利得	確認実験の結果
現行条件	89.4db	87.9db
最適条件	94.0db	92.0db
利得差	4.6db	4.1db
再現率	89.10%	

2-5-4 工程への反映結果

確認実験の結果、高い再現性が確認できたので、得られた最適条件を実際のコイルバネ加工工程に反映した。最適化後の製造サンプル80個について、加速条件下の試験を行い、同数の最適化前条件での製造サンプルのデータとの対比確認(Fig. 10)を行なった。

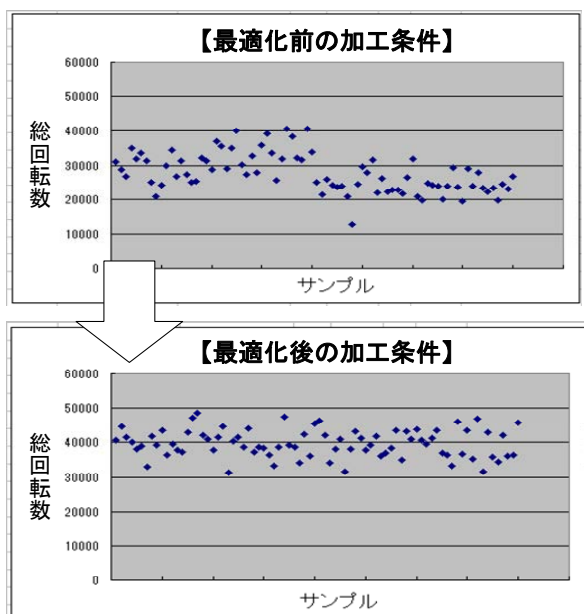


Fig. 10 Effect of the optimized condition in mass production.

結果は寿命性能が1.4倍(平均値が、27890→39700)に向上し、バラツキも75%(σ が、5540→3970)に低減することが出来た。これにより目標の寿命性能が達成でき、新製品への搭載が可能となった。結果、生産計画に遅れは生じずに、大きな機会損失の発生を回避することが出来た。以降、現在までコイルバネは問題なく量産を続けている。

2-6 更なる改善に向けての検討

要因効果図の因子Fのグラフの形(Fig. 11)から、更なる改善の可能性があると考えられた。そこで、他の因子を最適条件で固定して、因子Fの水準を広げる1因子実験を実施した。結果、水準を限界まで広げると、さらに1.3倍の寿命性能の改善効果が得られる事が判った。

因子Fは熱処理炉の熱量設定の因子であり、これは現状の調整幅が不足している事を表している。

ただし、そこまでの寿命性能は必要としない事と、そこまで極端な条件設定を設定することには不安を覚えた事により、因子Fのこの水準については量産工程には反映していない。

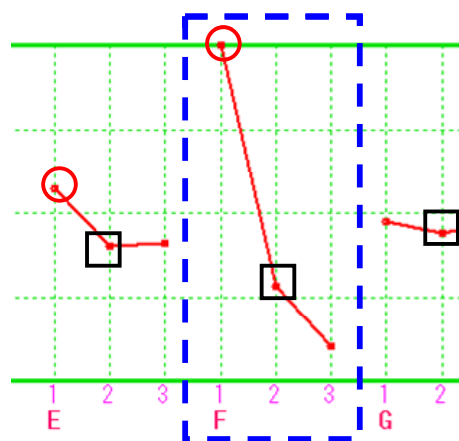


Fig. 11 Part of the factorial effect diagram.

2-7 考察

今回の活動の結果より、コイルバネ加工条件の最適化（工程のパラメータ設計）の品質工学手法について、確立できたと考える。これは高度な技能者が経験に基づいて設定していた従来のやり方に対して、より汎用的であり、より安定な加工条件を設定できる手法であると考えている。

この品質工学のパラメータ設計の考え方を生産工程の条件設定に展開する手法は、02年度より実施している。ただ対象が実際の量産加工工程になる為、サンプル製作時に加工条件を因子の組合せに応じて様々に変更することが難しく、また外部メーカーの工程が対象になる場合が多く、なかなか事例が積み上がらなかった。しかし生産準備活動において工程設定はきわめて重要なパートを占めるので、今後もこの手法による事例を積み上げて完成度を高めて行く。

参考文献

- 1) 今井力也ほか：ステッピングモータの機能性評価手法, *RICOH TECHNICAL REPORT*, 29, pp.74-78 (2003).
- 2) 田口玄一, 吉沢正考：開発・設計段階の品質工学, 日本規格協会(1988).

編集後記

本号からRicoh Technical Reportを弊社のお客様ならびにパートナー企業様への技術コミュニケーションの一環として位置づけ、編集方針を一部見直しました。Web上では、これまでの論文とともに分類し、読者の皆様のご関心に応じてご覧いただけるようにいたしました。

巻頭言は、弊社経済社会研究所の特別研究顧問をお願いしている西岡先生による、グリーン経済に向けた提言です。弊社は従来から環境経営を進めてまいりましたが、LED照明の製品化など、エネルギー問題解決に向けた取り組みを加速しています。

冒頭の技術論文では、超短焦点プロジェクターで使われている光学設計技術を取り上げました。今年東京で開催された国際通貨基金・世界銀行年次総会では、この新製品を3台連結して大画面の映像投影を実現いたしました。世界経済の難題解決にわずかでも貢献できたとすれば幸いです。

新規製品分野の技術もあれば、過去から連綿と引き継がれた技術もあります。1955年発売のリコピー101が日本機械学会の機械遺産に認定されたことも2012年のトピックでした。リコピー101は紙のしわやカールを防ぐ独創的な機構を持っていましたが、この問題は本号で取り上げたように今でも重要な研究対象です。

(金崎 克己)

RICOH TECHNICAL REPORT NO.38 2012

編集委員長	株式会社リコー 研究開発本部	金崎 克己
-------	----------------	-------

事務局	株式会社リコー 研究開発本部 グループ技術企画室	北口 貴史 岩井 貞之 進藤 由貴
-----	--------------------------	-------------------------

発行日	2012年12月25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	野中 照元
-------	-------

印刷	リコークリエイティブサービス株式会社 〒105-0014 東京都港区芝1-9-3 芝マツラビル
----	--

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

本誌は RICOH Pro C901s で出力いたしました

RICOH

