

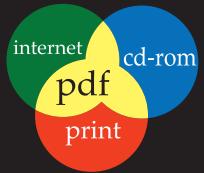
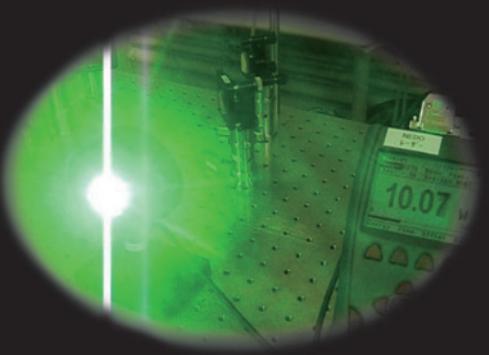
NO.34

ISSN 0387-7795

RICOH

Ricoh Technical Report

Digital Publishing



RICOH TECHNICAL REPORT

No.34, 2008

目次

巻頭言

環境技術に期待すること	酒井清	3
-------------	-----	---

展望

「環境経営」の概念と実現のための環境技術の概要	谷達雄	5
-------------------------	-----	---

技術論文

カラーリライタブルプリンティング用緑色レーザー光源の開発	鈴土剛・東康弘・廣居正樹・佐藤康弘・三船弘庸	17
------------------------------	------------------------	----

リライタブルハイブリッドメディア用プリンティング技術	櫻井秀夫・新井智・立脇忠文	24
----------------------------	---------------	----

オンデマンドトナー充填機の開発と展開事例	牧野邦夫	30
----------------------	------	----

オプション製品への容積可変型封筒と紙製保護材の導入による環境負荷低減について	荒井智昭・野木政延	36
--	-----------	----

ダイレクトエタノール燃料電池の開発	田中正治・木村興利・臼井祐馬・阿部俊一・伊藤雄二	42
-------------------	--------------------------	----

パッケージ応力による小型アナログICの回路特性変動評価	上田尚宏・渡辺博文	54
-----------------------------	-----------	----

FIBによるULSI回路修正時の帶電防止技術の開発	薦田弘敬・森谷千恵	61
---------------------------	-----------	----

超音波液面計における板厚チューニング技術	松原喜重郎・関根良浩・矢嶋毅・古澤誠一	71
----------------------	---------------------	----

高画質SD現像システム	加藤弘一・寺井純一・津田清典・北恵美・高橋裕・吉田悟・押川雄樹・宇都宮皓一	79
-------------	---------------------------------------	----

正準相関部分空間における再帰的ランダム・ウォークを用いた画像の自動タグ付け	ティモシー・バヨール・チャイジィ・シュ・インフィ・ジョ	86
---------------------------------------	-----------------------------	----

ソフトウェア大規模再利用の為の共通フレームワーク構築	森勇仁・榎並崇史	98
----------------------------	----------	----

ジオファイ：WiFiアクセスポイントのラベリングを用いた位置特定システム	カート・ピアソル・ステフィン・サヴィツキー・ジョン・バラス	105
--------------------------------------	-------------------------------	-----

知の伝達を促進するマルチメディア電子図書館システム	小島裕一・竹川弘志・脇田由喜・金崎克己	111
---------------------------	---------------------	-----

状態遷移量に基づく屋内小型自律飛行船の動作設計に関する検討	高谷敏彦・川村秀憲・山本雅人・大内東	119
-------------------------------	--------------------	-----

製品技術解説

再生デジタル複写機 imago Neo 603RC/753RC	鈴木健太郎・森井良浩・桑山尚司・清水圭一・大槻善則・佐藤仙男	133
---------------------------------	--------------------------------	-----

高速デジタルフルカラープリンター RICOH Pro C900		
---------------------------------	--	--

佐藤直基・宗安隆行・神谷拓郎・藤沼善隆・北嶋良一・岡本政己・杉山敏弘・柏原裕・大朏和俊・真間孝		140
---	--	-----

高速フルカラー複合機 imago MP C7500/C6000シリーズ		
-------------------------------------	--	--

吉田健・霜田直人・朝田賢一郎・金子良雄・井上暢夫・芦川良久・井上祐樹		145
------------------------------------	--	-----

青色レーザー光ディスク用システム電源IC RP902K	福島正展・石坂保弘・萩野浩一・山田真一郎・古瀬勝久・室田俊也	151
-----------------------------	--------------------------------	-----

裏面にインクジェット記録機能を有した2色感熱記録材料	門田康寛・稻葉憲彦・久保山浩紀・沓間隆秀	157
----------------------------	----------------------	-----

筆者紹介		161
------	--	-----

RICOH TECHNICAL REPORT

No.34, 2008

INDEX

PREFACE

Expectation for Environmental Technologies	Kiyoshi SAKAI	3
--	---------------	---

HIGHLIGHT REVIEW

Outline of Environmental Technology to Materialize a Concept of "Environmental Management"	Tatsuo TANI	5
--	-------------	---

TECHNICAL PAPERS

Development of a Green Laser for New Type of Printing System using Full-Color Rewritable Paper Tsuyoshi SUZUDO Yasuhiro HIGASHI Masaki HIROI Yasuhiro SATOH Hironobu MIFUNE	17
New Thermal Rewritable Printing Technology for Rewritable Hybrid Media Hideo SAKURAI Satoshi ARAI Tadafumi TATEWAKI	24
Development and Introducing "On-Demand Toner Filling Machine" Kunio MAKINO	30
Environmental Load Reduction by the Introduction of Capacity Variable Envelopes and Paper Protection Materials for Optional Products Tomoaki ARAI Masanobu NOGI	36
Elemental Technology Development of Direct Ethanol Fuel Cell Shohji TANAKA Okitoshi KIMURA Yuuma USUI Shunichi ABE Yuuji ITOH	42
Prediction of Stress-Induced Characteristic Changes for Small-scale Analog IC Naohiro UEDA Hirobumi WATANABE	54
Antistatic Techniques for Suppressing Charging in FIB-SEM Combined System Hirotaka KOMODA Chie MORITANI	61
Automatic Tuning Technology in Ultrasonic Level Meter Kijuro MATSUBARA Yoshihiro SEKINE Takashi YAJIMA Seiichi FURUSAWA	71
Ricoh SD-Development Technology for Image Quality Koichi KATO Junichi TERAI Kiyonori TSUDA Emi KITA Yutaka TAKAHASHI Satoru YOSHIDA Yuki OSHIKAWA Kohichi UTSUNOMIYA	79
Automatic Image Annotation as a Random Walk with Priors on the Canonical Correlation Subspace Timothée Bailloeul Cai-Zhi Zhu Yinghui Xu	86
Common Framework Construction for The Software Large Scale Reusing Yujin MORI Takashi ENAMI	98
GeoFi™- A System for Indoor Location Using WiFi Access Point Labeling Kurt Piersol Stephen Savitzky John Barrus	105
A Multimedia Digital Library System to Promote Transmission of Knowledge and Wisdom Yuichi KOJIMA Hiroshi TAKEGAWA Yuki WAKITA Katsumi KANASAKI	111
Autonomous Indoor Blimp Robot Motion Design Based on State Value Toshihiko TAKAYA Hidenori KAWAMURA Masahito YAMAMOTO Azuma OHUCHI	119

EXPLANATION ON PRODUCTS

Reconditioned Digital Copier imago Neo 603RC/753RC Kentaro SUZUKI Yoshihiro MORII Takashi KUWAYAMA Keiichi SHIMIZU Yoshinori OHTSUKI Norio SATOH	133
High Speed Digital Full Color Printer RICOH Pro C900 Naoki SATO Takayuki MUNEHASU Takuro KAMIYA Yoshitaka FUJINUMA Ryouichi KITAJIMA Masami OKAMOTO Toshihiro SUGIYAMA Yutaka KASHIWABARA Kazutoshi OHTSUKI Takashi MAMA	140
High Speed Full-color MFP, imago MP C7500/C6000 series Ken YOSHIDA Naohito SHIMOTA Kenichiro ASADA Yoshio KANEKO Nobuo INOUE Yoshihisa ASHIKAWA Yuuki INOUE	145
System Power Supply Management IC for Blue Laser Optical Disc Drive, RP902K Masanobu FUKUSHIMA Yasuhiro ISHIZAKA Koichi HAGINO Shinichiro YAMADA Katsuhisa FURUSE Toshiya MUROTA	151
Multi Color Heat-sensitive Recording Paper with Inkjet Recording Property Yasuhiro KADOTA Norihiko INABA Hiroki KUBOYAMA Takahide KUTSUMA	157
AUTHORS	161



巻頭言

環境技術に期待すること

株式会社リコー 取締役専務執行役員 酒井清

本年（2008年）7月に洞爺湖サミットが開催された。昨年のハイリゲンダム（Heilgendar）サミットに引き続き、地球温暖化問題が主たる議題の1つになった。この政治的流れができるにあたり、重要な役割を果たしたのがIPCC（Intergovernmental Panel on Climate Change）であろう。世界の広範な分野の科学者が研究成果を持ち寄り、討議した結果を評価報告書として発表している。2007年に発行された第4次報告書は、京都議定書に影響を与えた第3次報告書よりも一步踏み込み、地球温暖化が人為起源によるものと断定している。このIPCCのレポートは以下の点で困難があり、賞賛に値する科学者のレポートである。

1つの困難さは、このテーマが実験で証明できないことか、或いは実際に証明された時には、レポートした意味が無くなることである。科学は理論と実験が一体となって発展してきた。ところが環境問題は、実験すること自体困難なことが多く、出来たとしても多大な時間をする。温暖化問題はその最たるものであろう。よって傍証データとシミュレーションに頼らざるを得ないのだが、反対論者に対策先送りの口実を与えることになる。もう1つの困難さは、一般的の論文とは異なり、専門の科学者のみではなく多くの一般の人々、比較的科学的知見に乏しい人々にも理解して貰わねばならないことである。極端に言えば、全人類が理解賛同し、協力しないと目的が達成しないのである。

科学は人間の知的好奇心に発し、自然の原理を解明してきた。これらの原理に基づき多くの便利な技術が開発され、人類の文明が発達した。然るに科学者は、地球温暖化問題の解決のため、近代文明発展の礎になっている技術、特に化石資源を基盤とする技術を見直せと警鐘を鳴らしている。自分の専門領域に止まることなく、社会へ発信する今回の科学者達の提言は、大変勇気ある行動として賞賛されるべきである。ノーベル平和賞を受賞した所以であろう。

さて科学者の提言を受けて、為政者、技術者、文明の享受者（つまり消費者）が考える番である。特に温暖化を防止する技術を開発することは、社会システムの改革と同様に重要である。人々への多くの犠牲と苦痛を伴わずに、低炭素社会に移行する技術が期待されている。

これらの技術解は2つに分けられる。温暖化ガスの発生量を減少するかゼロにする技術と温暖化ガスを吸収する技術である。近代工業社会では経済活動による温暖化ガス発生量の増加と吸収源の減少が同時に起こっているが、製造業で主として議論されているのは発生量を減少させる技術である。これは改良型技術と革新型技術に分けられる。改良型技術とは従来技術の延長線上にあるが、より効率的なものに変えていくというものである。一方、従来技術と原理が全く異なり、温暖化ガスの発生量を劇的に減少させると期待されているのが革新技術である。

リコーの場合、従来は、改良技術的なものが多い傾向にあった。のこと自体は大いに結構なことである。より多くの人々が参加し、多くのアイディアを生み出し、数多くの改良が加えられ

ることにより、環境負荷削減の量が積み上げられる。継続的な活動に繋がり易いという点で優れた技術開発活動と言え、又、多くの人が地球環境を守る意識を持つようになることにも意義がある。リコーは2050年に先進国での環境負荷を現在の8分の1にするという目標を立てている。しかし、この8分の1という数字は容易ではない。社会、産業全般にわたり、革新的システムとそれを支える技術の開発が求められよう。一方で、リコーでは、いくつかの革新技術も、生産技術と製品技術の両方で見受けられるが、未だ少ないというのが実情であるまいか。特に、リコーの事業活動における環境負荷のほとんどを占める製品技術に革新的技術が必要になる。

社会全般から見ると、エネルギー、材料（特に鉄）、運輸などが特に環境負荷の大きい分野である。リコーの事業構造からすればエネルギーの変換、材料のリサイクルと削減が重要な課題になる。エネルギーは今後ますます多様化することを予測しておかねばならない。電力についても、単純に火力発電所が風力発電所になるということではあるまい。多様な発電方法を認めながら、環境負荷の大きい既存設備は、排出権を買うというような政策によって現実的な対策が進められよう。したがって、機器を開発製造する側としては、省エネルギーだけでなく、より品位の低い電力でも稼動する製品の開発のような視点が求められるだろう。材料の革新はより複雑な要素を考えなくてはならない。既に枯渇し始めているか、枯渇が確実な材料は判っている。代替材料の開発、代替材料による製品開発、リサイクル技術の開発など、数限りない技術が必要とされ、我々に多くの技術開発のチャンスを与えてくれている。特にリサイクル技術には大きな期待がかけられている。分解再利用から資源の回収まで、既存の技術だけでなく新たな科学技術の力が望まれる分野である。エレガントな化学反応、生体反応など、利用企業においても大胆な発想で取り組むべき技術分野となろう。

最後に温暖化ガス、特に炭酸ガスの吸収技術について触れたい。伝統的産業界では温暖化ガスの削減、排出量のピークアウトを何年にするか議論されているが、積極的な吸収すら産業界は考えねばならないだろう。環境サービスが無料ではないことが認識され始めている。これには新たな経済システムを導入しなければならないのだが、その先には吸収する技術の価値を認め、促進する社会が広まるに違いない。既に検討されているCCS (Carbon Dioxide Capture and Storage) だけでなく、地球上から削減するには、光合成の活用が急務になろう。これが成功すれば、人類が築き上げてきた農業から情報産業までのすべての産業が、炭酸ガスを介して1つのシステムとなる。結果、持続的発展をコントロールすることが可能になるのだが、早い実現を望むものである。

「環境経営」の概念と実現のための環境技術の概要

Outline of Environmental Technology to Materialize a Concept of "Environmental Management"

谷 達雄*

Tatsuo TANI

要　　旨

将来世代に渡って安定な社会を維持するためには社会の活動に伴って発生する環境負荷を地球環境の再生能力範囲内に抑える必要があり、これは、社会の構成員すべてが総力をあげて取り組まなければ達成できない、高い困難さを伴う待ったなしの課題となっている。社会の主要な構成員のひとつである企業は、製品や事業プロセスにおける環境負荷を削減すると同時に企業体質の強化やコスト削減を実現する「環境経営」を実践することによって、これに貢献するとともに競争力を有し継続的に発展することができる。リコーグループでは「環境経営」実現のキーファクターである環境技術開発に早くから取り組んでいる。製品の省エネルギー、省資源、含有環境影響化学物質の削減、事業パートナーを含む全事業プロセス（ライフサイクル）の環境負荷削減をターゲットとしており、これらを実現するために多くの環境技術が開発されてきた。

ABSTRACT

In order for us to maintain a stable society over the future generation, it is necessary to control environmental impact generated in the social activities to a level which the earth can tolerate within its restoring capability. This is a task with a great difficulty which we cannot postpone any more, and all of us as a constituent member of the society must challenge it with all our full-scale effort.

As a constituent member of the society, a company can keep growing while carrying out "Environmental Management" by materializing improvements of company quality and cost reduction at the same time as well as the reduction of environmental impact in their products and the business processes, thus resulting in maintaining competitiveness and contribution to the society. Ricoh group has been in the development of environmental technology in the early years, which is a key factor of the "Environmental Management". Ricoh group has developed various environmental technologies to materialize our reduction targets of environmental impact of energy, natural resource, environmentally sensitive chemical substances used not only in our products but also in all the business processes (life cycle) including our business partners.

* 社会環境本部

Corporate Environment Division

1. はじめに

これまで、地球環境保全は将来の世代に豊かな地球を受け渡すための（将来に問題を発生させないための）重要な課題である、と認識してきた。しかし、極地域の氷の溶解や海面上昇、暴風雨、旱魃・熱波などを含めて世界各地で気候変動による被害が多発するに至り、われわれ人類には環境への負担を減らし社会を持続可能にするための時間がそれほど多く残されていないことが明らかになってきた。

ICPP（気候変動に関する政府間パネル）は2007年に第4次報告書を発表し、気候変動を抑え社会を安定に維持するためには世界の温室効果ガスの排出量を2050年までに1990年比で50%削減し、そのためにも2015年ごろには全体として減少に転ずる（ピークアウトする）必要があるとしている。これを受け、EUを中心とした先進諸国や自治体は60～80%削減することを国家目標として打ち出している。

企業が継続的に発展するには、これらあるべき姿に向けた社会の変化に先駆けて技術開発等の準備を行って競争力を得、事業によって社会の望ましい変化に貢献する企業であることが重要である。リコーグループでは2004年に、「社会全体の環境負荷を地球の回復力とバランスさせるためには先進国は2050年の環境負荷を2000年比1/8にする必要があり、その認識のもとリコーグループが為すべき中長期目標を設定して環境保全を進める」という超長期環境ビジョンを策定した。そして、将来のあるべき姿を描いてそこから今やるべき

きことを目標として設定する、バックキャスティング手法によって中期経営計画の環境行動計画につなげ、事業全体の環境負荷削減を進めている。事業パートナーを含む、全事業プロセス（ライフサイクル）の環境負荷削減をターゲットとしており、これらを実現するためには開発してきた種々の環境技術について概説する。

2. 環境経営の概念

環境保全を行うことは経済の負担となるという考えがあるが、それ以前に、まず、社会・経済の営みを地球が許容できる環境負荷の範囲内におさめることができ大前提であり、つぎに、環境と経済が両立できるように、社会システム、ライフスタイルおよび企業活動を構築することが大切である。

企業が実効のある環境保全活動を継続するためには、環境保全活動そのものが利益創出や企業体质強化に寄与する構造にする必要がある。リコーグループでは、1997年に企業では初めて、環境経営を「環境保全と経済価値創出を同時実現できている経営」と定義した（Fig.1）。事業のプロセスにおいて、環境保全活動と利益創出のための活動は方向性が同じであるので、「知恵を絞る」ことにより上記同時実現は可能である。高い環境目標を掲げ、達成するための生産プロセスの革新や製品に対する環境技術開発の取り組みを加速し、環境負荷を削減すると共に、省資源・省エネルギーによるコスト削減と製品の競争力向上につなげている。

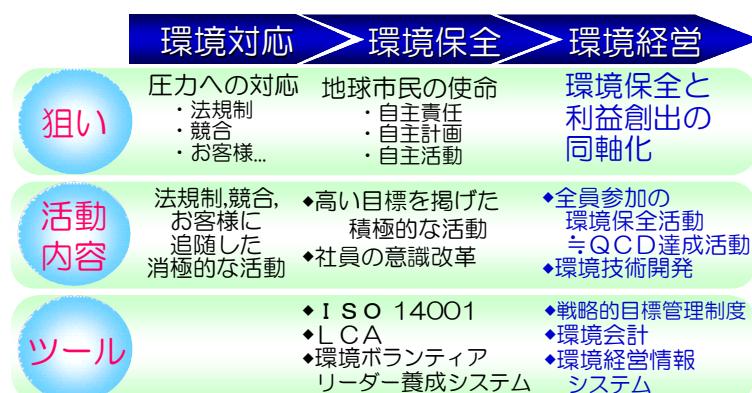


Fig.1 Three steps for environmental conservation activities toward environmental management.

超長期環境ビジョンで1/8以下にすべきとしている事業の環境負荷削減の対象範囲は、当社が1994年に作成した「コメットサークル™」に示されている全領域である(Fig.2)。製品メーカー・販売者としての領域だけではなく、その上流・下流を含めた事業に関連する全ての領域の環境負荷を数値として把握し、各種環境負荷に重み付けをして合計した「統合環境影響」をFig.3に示す。環境負荷の統合は、LCA (Life Cycle Assessment) の統合化手法のひとつである、スウェーデンで開発されたEPS (Environment Priority Strategy)¹⁾を用いている。

自グループ内の国内外生産事業所の環境負荷もさることながらサプライチェーン上流の材料・部品製造段階および顧客先での環境負荷が大きい。事業プロセスそれぞれにおいて、省エネルギー、省資源、含有環境影響化学物質の削減の活動を行って、トータルとして長期的に1/8以下を目指し、その実現に向けて2013年までに25%削減することを目標としている。上流の環境負荷削減には小型化や製品や部品・材料のリユース・リサイクルが有効であり、顧客先での環境負荷は製品

環境性能の向上によって削減できる。生産プロセスの革新などを含め、コスト競争力を高めながら環境負荷を削減するにはいずれも技術開発が重要な役割を果たす。

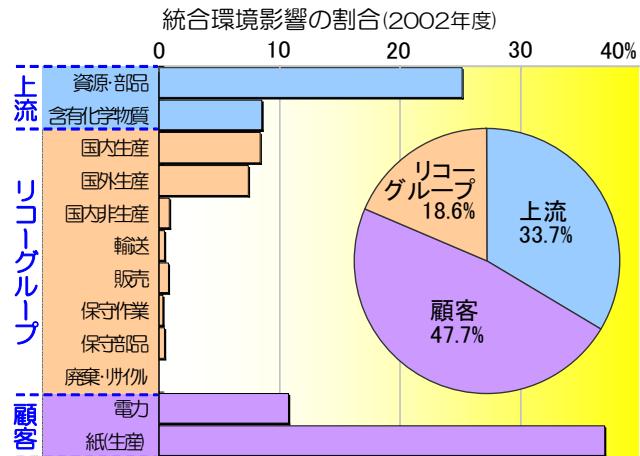


Fig.3 Result of analysis for integrated environmental impact on Ricoh group business.

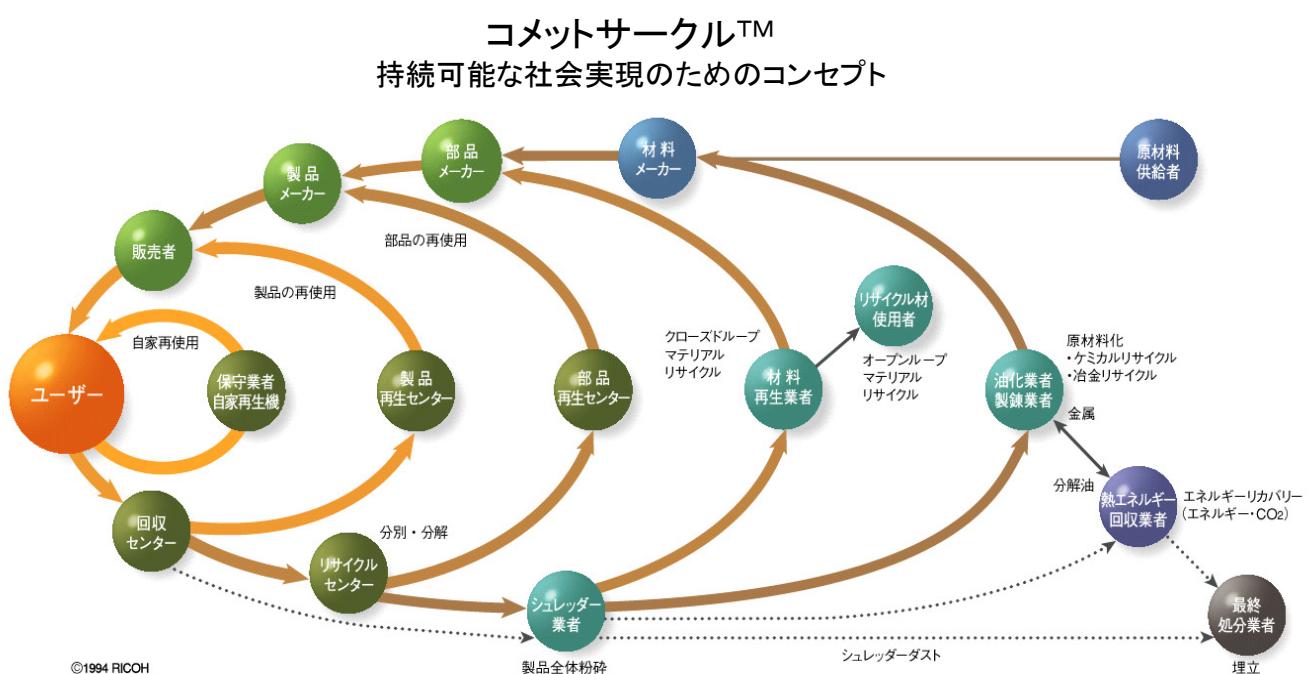


Fig.2 Comet Circle™.

3. 製品環境性能革新技術

3-1 製品省エネ技術

Fig.3に示すように、事業プロセス全体において、顧客先での製品稼動時の統合環境影響が大きく、電力消費による発電時のCO₂排出がその主要素のひとつである。

当社では1999年にIEA（国際エネルギー機関）による、需要側が主導する技術開発プログラムDSM（Demand Side Management）プログラムに応募し、10秒以下の立ち上がりにより複写機の待機中の予熱が不要な画期的省エネルギー技術QSU（Quick Start Up）を完成させた。商用電源からの限られた電力で定着ローラをすばやく昇温させるには肉厚を薄くして熱容量を小さくする必要があるが、その場合軟化したトナーを紙にプレスするのに必要なローラ強度を保つことが困難であった。それをFig.4に示す定着ローラ構造と新規加工方法の開発によって必要な強度を確保し、またヒータ制御方法その他の新規開発技術を組み合わせることにより、待機時の電力消費を7W以下にすることができた。コピー1枚あたりの電力消費量を約1/4として省エネと使いやすさを両立させたQSU技術は、1999年11月にIEAより「第1回未来複写機部門 省エネ技術賞」を受賞した。

特徴

- 直径：40mm
- 肉厚：0.4mm
- 材質：アルミニウム

＜課題＞ 強度不足、耐久性

- たわみ量
 - 内周に補強リブ追加
 - リブ位置の最適化
- 耐久性（繰り返し疲労破壊）
 - アルミ材質変更
 - 偏肉限界値算出

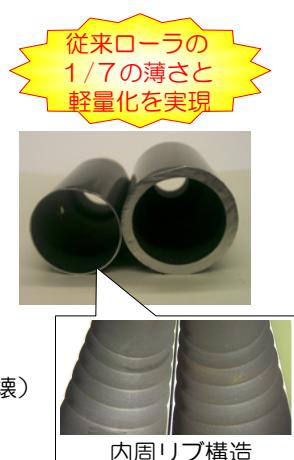
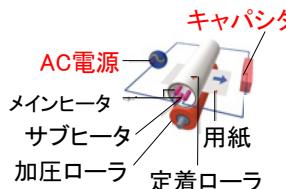


Fig.4 Ultra-thin shell type fusing roller.

この技術は2000年度発売製品から順次搭載を始め、2004年に次世代型蓄電器「キャパシタ」を搭載した高速機用のハイブリッドQSU技術を開発することによって、低速から高速まで全てのクラスで10秒以下で復帰可能な省エネ機ラインアップが完成した。高速機の領域においても従来機と比べて電力使用量・CO₂発生量は43%削減されるとともに、高い販売競争力を有している。このハイブリッドQSU技術は2005年に国際的NGO「The Climate Group」より、ハイブリッド自動車、高効率風力発電機、高効率電源用IC、高効率タービン発電機などの技術とともに「Low Carbon Leaders Awards」に選定され、世界の環境技術の中で第4位にランクされた。

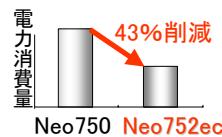
今後、カラー複写機・プリンタ・複合機などの省エネをさらに促進するカラーQSU技術の発展および、トナー特性を含めた低温定着・非加熱定着技術や定着レス作象技術、駆動負荷の低減、エネルギー制御技術など、さらにエネルギー消費の少ない製品の実現に寄与する技術開発が進展することが期待される。

HYBRID QSU（定着電源のハイブリッド化）



印刷待機時に使用していた電力の一部を次世代大容量蓄電デバイスのキャパシタに蓄え有効に活用する

60、75(枚/分)の高速機でクラス世界最速の10秒復帰



- スリープモードからの復帰時間：10秒（従来機から97%短縮）
- 電力消費量：約43%削減

Fig.5 Development of HYBRID QSU.

3-2 紙使用量削減技術

Fig.3に示すように、顧客先での統合環境影響は紙の消費によるものが大きい。紙はコピー・プリントされた画像の見易さ、扱いやすさから極めて優れた画像メディアであるということができる。一方その生産プロ

セスにおいて多大なエネルギーを消費し環境負荷が大きいので、紙の使用者は紙の特徴を生かした用途を中心尽可能限り無駄なく大切に使う必要がある。また、長期的に見ると、生態系・生物多様性の維持・向上に配慮しながら、限られた土地・水域で生産される植物等の紙パルプへの利用を、食物・飼料や木材・エネルギー源・樹脂材料としての利用と共存させる必要があり、紙に利用できる森林資源量の伸び低下が確実視されている。さらに、中国を始めとする新興国や途上国の需要の増加が見込まれていて紙需給が逼迫すると予測されており、環境負荷の側面のみではなく経済的側面からも紙の有効利用、消費量の削減は重要な課題となっている。

紙消費に起因する環境負荷を削減する技術的方向性は三つある。一つ目は紙生産時の環境負荷を削減する技術であり、紙生産プロセスの改善や再生可能エネルギーの利用技術など主に製紙メーカーによって開発されている。

二つ目は紙の有効利用技術である。スピードや信頼性、操作性を向上させて両面プリントを使いやくする技術、1枚の紙面に複数のページを印刷する集約プリント技術や、両面・集約などの機能の使用状況（対象組織や操作者個人ごとの紙消費削減状況）を可視化し削減管理しやすくする技術などの開発が進んだ。現在、顧客先での上記機能の利用率を高め実際に紙の有効利用、消費量の削減につなげることが課題となっている。

紙の有効利用の方法として紙を繰り返し使用することが考えられ、コピー・プリント済みの紙の表面からトナー・インクを除去・消去する技術が開発されている。この技術は一部実用化されているが、除去・消去の確実性向上、紙再使用回数の増大などを課題として継続して開発が進められている。

そして、三つ目は紙代替技術である。現在紙が果たしている役割のうち、ディスプレイとしての役割を代替する技術であるペーパーライクディスプレイ技術や、スキャナを含む、情報の保存や伝達機能を代替するためのIT技術群が典型的であるが、ここでは、プリント用紙の代替を可能とするサーマルリライタブル技術についてそのアプリケーション例も含めて紹介する。

3-2-1 サーマルリライタブル技術

サーマルリライタブル技術は、ある温度で発色させたり消色させたりする技術である。独自に開発した技術により、プリント済みのシートの画像を消去しながら同時に新しい情報を鮮明にプリントできる。約1000回書き換え可能なため大幅な紙消費の削減に役立ち、紙を使った場合と比較して約85%のCO₂削減が見込まれている²⁾。

さらに、このシートにICタグを搭載したICタグシートを開発した。このシートには、ICタグに記録されているデジタル情報を印字することが出来、専用システムによってICタグの情報を書き換えるとともに、その内容をシート上に書き換え表示することができる。生産工場での工程管理、物流管理での利用を想定し、作業者の視認性の高さを考えてA4サイズの大きな白地シートにコントラストの高い黒字で印字できる。ICタグによりデータをデジタルのまま活用することが容易となり、かつ、リライタブルシートにより作業者はICタグ内の指示内容を目視で確認できる。この電子管理と目視確認が、人が介在する生産工程では、人為的なミス防止に役立ち、工程・物流管理の効率を向上させる。



Fig.6 Rewritable sheet.

3-3 製品省資源技術

Fig.3に示すように、製品のライフサイクルにおける環境負荷は上流工程、すなわちサプライヤーからの部品、材料調達までに発生するものが大きい。将来到来する資源枯渇に備え、省資源で循環型の持続可能な社会の実現に貢献するために、資源消費削減技術は重要である。削減の方向性は、資源投入量の削減としての製品の小型化・軽量化・長寿命化や使用済み製品・部品・材料のリユース・リサイクルの促進と、材料自体の環境負荷削減としての環境負荷の少ない材料の開発と採用とがある。

リコーグループでは、1989年に環境関連の全社委員会の一つとして「製品設計委員会」を発足させ、使用完了後の製品をリユース・リサイクルするのに適した製品設計の方法を探った。1993年に細かい設計基準を含む「リサイクル対応設計方針」を策定して製品設計手法を根本から修正し、それに基づいた「製品アセスメントシステム」を運用して厳密に全製品に適用した。そして、1996年から2000年にかけてリサイクルシステムを整備し、現在約90%の製品を回収し、その全てを質量で約99%の割合でリユース・リサイクルしている。そして「内側ループのリサイクル優先」というコメントサークルTMのコンセプトに基づき、リユース製品の販売を増加させることによって、2006年にリサイクル事業全体を黒字化させることに成功した。本誌の「再生デジタル複写機 imagio Neo 603RC/753RC」と題した製品技術解説の中で、技術的側面を含めた詳細が記載されているので参照されたい。

ここでは、使用済み製品のリユース・リサイクルに重要な役割を果たす使用済み製品回収量予測技術、および乾式の部品洗浄技術と、将来の脱化石資源社会の実現に重要な植物由来樹脂技術について紹介する。

3-3-1 製品回収量予測技術

リユース製品販売事業においては、積極的な販売活動を行うためには販売計画のベースとなるリユース製品の供給量の正確な予測が不可欠である。リユース製品供給可能量は、基本的に市場からの製品回収量に

よって決まる。しかしながら、顧客が使用中の製品であるので回収される時期は経験による大雑把な予測によるしかなく、結果として製品量不足や在庫過多を引き起こしていた。そこで、当社の複写機製品は大部分が顧客先情報やプリント枚数などの使用状況が把握され、データベースに登録されていることから、2004年に使用済み製品の回収量をあらかじめ正確に予測する技術を開発し、予測結果を利用することにより、リユース製品の販売促進につなげた。



Fig.7 Result of projected collection units on end of life products.

本技術を用い顧客データベースから従業員規模やコピー使用枚数など予測に有用な項目を抽出し、項目ごとの回収分布を分析・累積した結果、実績とほとんど誤差のない回収予測ができるようになった。さらに、回収実績を逐次予測に反映し誤差を補正することにより、時間経過ごとに予測数値の精度を上げることができる。この製品回収量予測技術により、機種毎の地域別、期間別(月・半期・年)、コピー使用枚数別など詳細な回収予測ができるため、予測値に基づいて適切な再生機の生産・販売計画の立案が可能となった。また、この予測システムを活用することにより、効率的な回収・再生による物流ロスの削減など、さまざまな効果を生み出している。

3-3-2 ドライ洗浄技術

製品や部品のリユースは環境負荷の削減量が大きく、経済的効率も高い。従来、製品・部品再生のための洗浄工程では温水吹き付け洗浄、超音波洗浄、ドライアイス吹き付け洗浄等が行われていた。これらは洗浄工

エネルギーとともに乾燥工程や排水処理工程、または消耗品としてのドライアイス製造工程などを伴っていて、エネルギーを消費し、環境負荷として大きなものがあった。

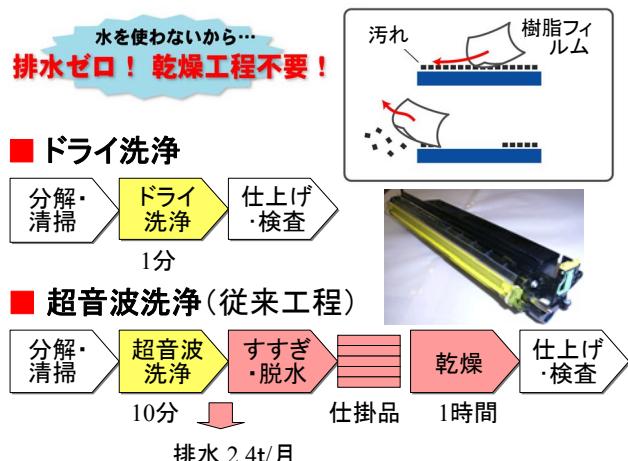


Fig.8 Dry process cleansing.

当社で独自開発したドライ洗浄技術は水やドライアイスの代わりに小さなフィルムを高速で吹き付け、付着したトナー等をそぎ落とすことで、従来方法を上回る高速・高品質洗浄を実現した。密閉した容器内で洗浄し、吹き付けるフィルムは再生工程なしでそのまま使いつづけることができる。また、除去した汚れは付属の集塵装置のフィルターで回収するのみであるので、どこにでも設置できる操作の容易なシンプルな小型設備ですみ、乾燥工程や廃水処理工程が不要なこともあって、必要なエネルギーおよびコストの大幅な削減が可能となった。

本技術による「ドライ洗浄機」の国内外の自社工場への設置を進めており、今後、洗浄能力の高さを生かして適用対象を拡大していく。



Fig.9 Dry cleansing equipment.

3-3-3 植物由来樹脂部品およびトナー

超長期環境ビジョンで描く、将来の脱化石資源社会を実現するために、石油系樹脂から植物系を始めとする非石油系樹脂に代替していくことが必須であることは論を待たない。物性としての樹脂品質を確保とともに、さらに、植物等の利用を、食物・飼料や木材・紙パルプ材・エネルギー源等としての利用と共に存させる必要があり、高いハーダルをクリアしなければならない。「非可食材」からの製造を含め、早急な材料開発・製品搭載および新たな課題の明確化とその解決への挑戦の繰り返しという、地道で長期にわたる技術開発努力が求められる。

さて、植物由来樹脂はEnd-of-Lifeにおいて焼却したとしても、発生するCO₂は原料となる植物が生長する間に光合成により吸収したものであるため、理論上は原料は大気中のCO₂を増加させない。樹脂製造時までの使用電力等によるCO₂排出量も、今回開発した樹脂のベースであるポリ乳酸のLCAによると1250KgCO₂/tonである³⁾。これは一般的な樹脂の半分以下である。

植物由来樹脂の利用は多くの企業で検討されているが、複写機への搭載を考える場合、耐衝撃性、難燃性を初めとする物性の大幅な向上が必要であった。樹脂メーカーと協力し素材改良を重ねる一方、新素材の成型ノウハウを蓄積した結果、植物由来比率50%以上の高い配合率の新しいプラスチック素材による部品製造に成功した。そして、このプラスチック素材による部品を2005年に日本で発売開始した複写機 imagio 602ec/752ecの本体の一部に採用した。今回の植物由来

樹脂を配合したプラスチック部品の製造時までのCO₂排出量は、置き換えた従来樹脂と比較して、約30%の削減が見込まれている。

ところで、上記ポリ乳酸の原料は、デントコーンという主に家畜用飼料に使われるトウモロコシの品種である。将来的には、食物や飼料として利用しない原料を使用して製造される必要があり、樹脂物性の更なる改善・コスト低減とともにそのための取り組みを進めている。

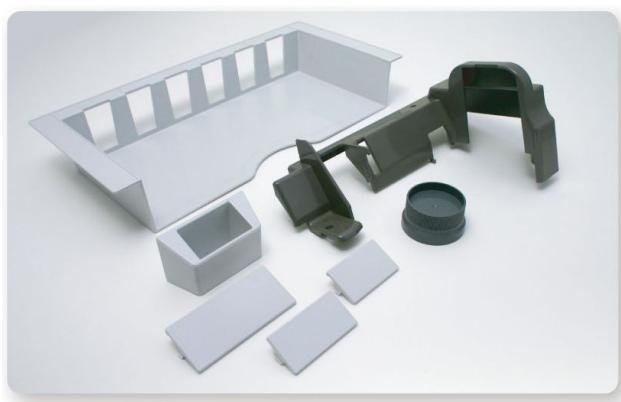


Fig.10 Plant-based plastic parts.

さて、トナーの構成成分の80%は樹脂であり、この点に着目して植物由来トナーの開発も進めてきた。紙に印字されたトナーは回収し再利用することが困難である。一度印字されたトナーは紙とともに焼却、或いは再生紙製造工程で分離後焼却される。再利用されることのないトナー樹脂の原料を石油資源から植物由来に変換することは、CO₂削減のメリットだけではなく枯渇資源を有効に利用することに繋がる。

トナー用樹脂は熱による軟化温度、溶解温度の仕様の実現など紙への画像定着機能に適応するために本体部品とは別の技術課題がある。新開発のポリエステル樹脂を使用して2006年に開発に成功し、2006年および2007年のエコプロダクト展に実機に搭載する等の展示を行った。現在、実用化を目指している。

4. 事業プロセス革新技術

Fig.2の「コメットサークル」に示される事業プロセスにおいて「製品メーカー」として示され、Fig.3の「統合環境影響の割合」の図で「国内・海外生産」として示されているのがリコーグループの工場等であり、CO₂を始めとする環境負荷を発生する。Fig.11に示すように、CO₂はエネルギー源としての電力の投入と製品や部品を組み立て・加工する生産プロセスおよびそれに付帯するエネルギー供給設備等から発生する。

燃料転換やエネルギー供給設備の改善などによるCO₂の削減は有効であり優先して取り組んできたが、その進展に伴って効果の大きな改善対象が限られてくる傾向がある。一方、生産プロセスの領域では、例えば大幅な工程数の短縮や小型化は、経営体質強化のために限界なく継続的に行うものである。生産プロセス革新による消費エネルギーの削減はCO₂排出削減とともに大幅なコスト削減に繋がるので、「環境負荷の削減と経営体質の強化を同時実現する」環境経営に直結し、これを実現できる企業が競争力を持って発展し続けることができる。

ここでは、生産プロセスの革新事例について紹介する。

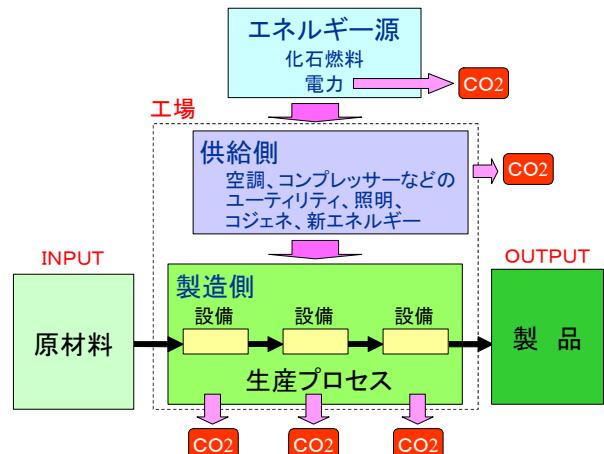


Fig.11 CO₂ emission in production process.

4-1 台車引き／台車押し生産ライン技術

生産プロセス革新事例のひとつが「台車引き／台車押し生産ライン」の技術である。従来、複写機を組み立てる生産プロセスは大掛かりなベルトコンベアを中心として構成されていた。この方式はコンベア自体を駆動するのに必要なエネルギーの消費が大きく、生産量の変化へ対応する柔軟性に乏しく、そしてスペース効率も悪いため、生産コスト削減の重大な阻害要因となっていた。

このような中で、組み立てプロセス最適化技術の一環として開発されたのが台車引き生産ライン技術、台車押し生産ライン技術である。ベルトコンベアを除去し、床のレールに組み立て用台車を並べて先頭台車を小さなモーターでゆっくり引く（台車引き）、または最後尾台車をエアシリンダーを用いて1ストローク押す（台車押し）方式を自社開発し、製作・設置も行った。生産量に合わせて台車数を変化させ、柔軟で効率の良い運用ができる。



Fig.12 Push cart type production line.

本技術により、製品1台あたりの移動に要するエネルギーとCO₂排出量を99%，組み立てに必要な面積67%，設備投資費用を99%，メンテナンス委託費用を100%削減した。台車押し生産ラインにはいくつものバリエーションがあり、現在、いわゆる「セル生産」を含めて、製品の大きさや生産量に合わせて最適になるように各方式を柔軟に組み合わせて生産に適用している。

4-2 オンデマンドトナー充填技術

次に、大型のトナー充填機に対し、極めて小型の充填機を開発して代替した「オンデマンドトナー充填機」の技術例をFig.13に示す。この例では、生産品種の切り替え回数1/40、設置スペース1/40、消費電力1/4を達成した。小型で設置場所が自由であるので、市場に近いところで必要に応じて（オンデマンドで）トナー充填ができ、トナー輸送コストの削減に寄与している。また、市場から回収されたトナーボトルへの再充填も低成本で実施できるようになった。「オンデマンド充填機の開発と展開事例」と題して本誌に掲載されているので、参照されたい。

これらの事例で明らかなように、生産プロセスを革新することは生産性の向上とコストダウン、そして環境負荷の削減に繋がり、「環境保全と経済価値創出は同軸」とする環境経営の概念が典型的に具現化される領域である。近い将来、企業ごとにCO₂排出量の上限（排出枠）が設定され、それを越える場合には排出権を購入する、いわゆる「キャップアンドトレード」の制度が導入されることが予測されている。生産プロセス革新によって排出枠をクリアした場合、何もせずCO₂の排出が上限を越えて排出権の購入を余儀なくされる場合と比べて、上記コスト効果に加えて排出権購入費用が不要であり、事業において更に高いコスト競争力を有することとなる。

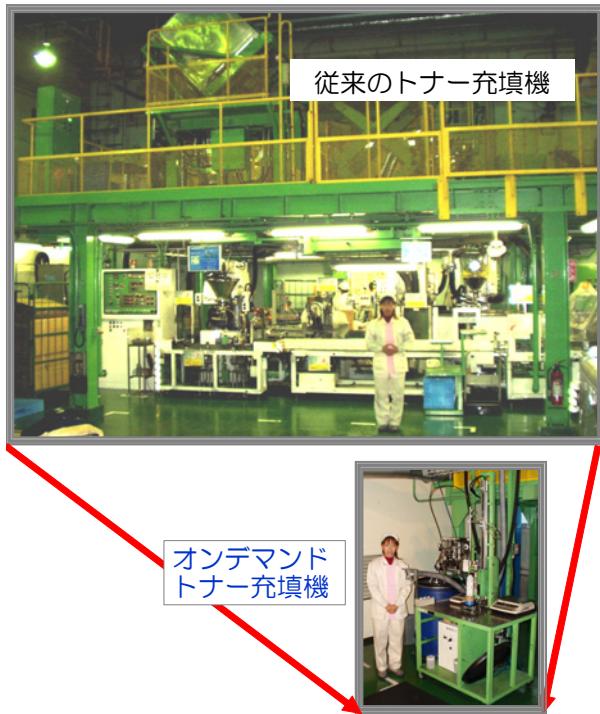


Fig.13 On demand toner filling system.

5. まとめと今後の方向性

本論では、人間社会を安定的に維持するためには社会全体がその環境負荷が地球の回復能力とバランスするレベルになるように変化していく必要があるとともに、企業は環境負荷の小さい事業によって社会の望ましい変化に寄与することが継続的に発展していく要件であることを述べた。また、企業が実効のある環境負荷低減の取り組みを継続するには経済価値創出の同時実現が必須であり、環境技術開発の果たす役割が大きいことを述べた。そして、上記技術の事例として、複写機・複合機・プリンタ等の事業領域において開発してきた製品環境性能革新技術と生産プロセス革新技術について幾例か概要を紹介した。他の事業領域を含め、紹介した事例の他にも種々の環境技術が開発されている。本誌にはそのうちのいくつかの技術が論文や製品技術解説として掲載されているので、参照されたい。

今後、気候変動の深刻化、資源枯渇の顕在化などが加速することが予想され、ポスト京都議定書など国際社会一丸となった高い環境負荷削減目標の設定とそれを達成するための取り組みの必要性が認識され、企業

に対する期待も今まで以上に高くなってくる。社会の安定的継続と企業の競争優位性に基づく発展のために、環境技術開発の重要性はいよいよ高まってくる。公的機関や専門的技術を有する他社などとのコラボレーションを含め、環境技術開発をより一層加速することが必要であろう。

参考文献

- 1) Steen, B. : A systematic approach to environmental priority strategies in product development (EPS). Version 2000 - Models and data of the default method, CPM report, (1999).
- 2) (株)リコー社会環境本部：リコーグループ環境経営報告書, (2008), P.28.
- 3) E. T. H. Vink, K. R. Rabago, D. A. Glassner, P. R. Gruber : Applications of life cycle assessment to NatureWorksTM polylactide (PLA) production, Polymer Degradation and Stability, 80, (2003), pp.403-419.
- 4) (株)リコー社会環境本部：リコーグループ環境経営報告書, (2003～2008) .
- 5) 吉澤 正：リコーにおける環境マネジメントの実際, 日科技連出版社, (2001) .
- 6) 峰 如之介：七万人が動きたくなったこのひと言, ワック(株), (2003) .

技術論文

TECHNICAL PAPERS

カラーリライタブルプリンティング用緑色レーザー光源の開発

Development of a Green Laser for New Type of Printing System using Full-Color Rewritable Paper

鈴土 剛*

Tsuyoshi SUZUDO

東 康弘*

Yasuhiro HIGASHI

廣居 正樹*

Masaki HIROI

佐藤 康弘**

Yasuhiro SATOH

三船 弘庸*

Hironobu MIFUNE

要　　旨

カラーリライタブルメディアを活用した、カラーリライタブルプリンティングシステムの実現を目指し、小型・高出力可視レーザー光源の研究開発を行っている。

高出力レーザー構成は、固体レーザー方式であるLD励起マイクロチップレーザーを採用し、その高出力化検討を実施した。レーザー結晶としてNd : YVO₄結晶を用いた場合に最大出力26.9Wの基本波レーザー出力を得る事が出来た。Nd : YVO₄結晶とNd : GdVO₄結晶の比較においては、輻射量子効率が結晶発熱に大きく関与している事がわかった。また、LBO (LiB₃O₅) 結晶を用いた共振器内部波長変換構成による緑色レーザー光発生を実施し、最大出力10.6Wの緑色レーザー光を得る事が出来た。

Abstract

High-power and small package visible laser source for the novel printing system using a full-color rewritable paper has been developed.

High power laser structure is a diode pumped microchip laser, and it is developed. Fundamental laser output is 26.9W using a Nd : YVO₄ single crystal. Comparing of Nd : YVO₄ and Nd : GdVO₄ microchip laser, heat generation of laser crystal depend on its radiative quantum efficiency. A 10.6W cw green output generation was achieved by intra cavity frequency conversion using LBO (LiB₃O₅) crystal.

* 研究開発本部 東北研究所

Tohoku R&D Center, Research and Development Group

** グループ技術開発本部 イメージング技術開発センター

Imaging Technology Development Center, Corporate Technology Development Group

1. 目的・背景

1-1 はじめに

オフィス内で半数を占めるといわれる「一瞥用途」（一度見たら破棄する使い方）の“紙”を削減する為に、書き換え可能な「カラーリライタブルペーパー」¹⁾を利用する「カラーリライタブルプリンティングシステム」実現を目指し、書き込み・書き換え用、10W級高出力可視（赤、緑、青）レーザー光源の検討を行っている²⁾。高出力可視光源としては、固体レーザー方式が有効であると考えられるが、高出力固体レーザー光源を一般的なオフィス用プリンタに搭載するためには、装置の小型化は不可欠であり、我々はレーザーヘッド容積において、100cc レベル、三原色の一体化（“Tri color Laser”：Fig.1）を最終目標としている。

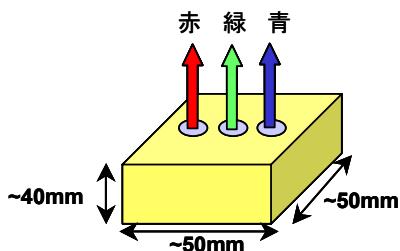


Fig.1 Target concept of “Tri Color Laser”.

1-2 カラーリライタブルペーパーと光源仕様

我々が目指す、カラーリライタブルプリンティングシステムは、Fig.2に示す構造をもつカラーリライタブルペーパーを“紙”として使用する¹⁾。この“紙”中に配置した、フォトクロミック化合物（紫外線の照射により発色し、吸収する可視光の照射により消色する化合物）に光を照射して画像を形成するので、従来の電子写真プロセスなどの印刷原理とは異なるプリンティングシステムとなっている。ここで使用されるフォトクロミック化合物は、Fig.3に示される光吸収感度特性を持ち、3種類のフォトクロミック化合物を混合する事により、赤・青・緑色に感度を持った材料が実現でき、これによりフルカラーの表示が可能となる。

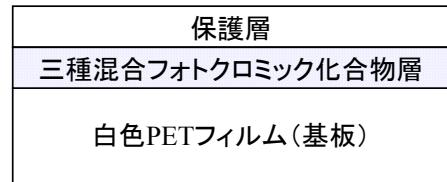


Fig.2 Structure of color rewritable paper.

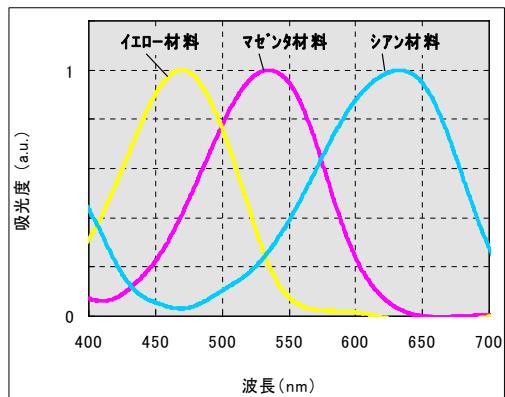


Fig.3 Sensitivity for light absorption of rewritable paper.

画像形成原理についてFig.4に示す。Fig.2の構造をもつ“紙”が消色した状態(a)では、下地材料の白色が表示される。次に紙材料に紫外光を照射(b)し、全色が発色し黒色の表示(c)となる。これに、赤、青、緑色の単色光を照射(d)する事によりフルカラー表示(e)が可能となる。

表示の書き換えに関しては、白色に戻す場合は白色光を照射(f)する事で、黒色に戻す場合は紫外光を照射(b)し、再度画像を形成するプロセスに入る。このようなサイクルで画像を形成するため、何度も書き換えが可能な“紙”が実現でき、カラーリライタブルプリンティングシステムを構築できる。

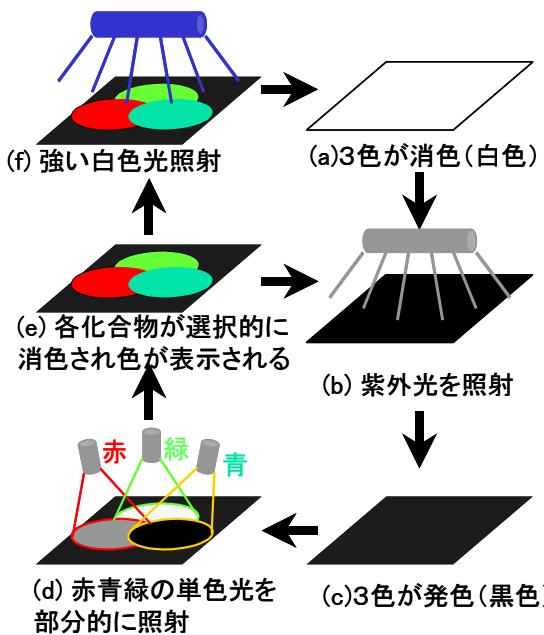


Fig.4 The principle of the rewritable printing system.

ここで、我々が目指すカラーリライタブルプリントイングシステムに必要な光源仕様を以下に示す。

①レーザー波長

各フォトクロミック化合物の感度に適した波長が必要であり、具体的には以下の波長となる。

赤色：650nm以上、緑色：532nm、青色：457nm

②10W級の高出力

書き込まれた画像が自然光により消去されない程度の低い光感度とするため、書き込みエネルギーは高く、その上、使用者が不満を感じない程度のプリント速度（1分間にA4サイズ6～10枚程度）を確保するため、10W級出力が必要である^{1,2)}。

③小型・高品質レーザー光源

精細度400dpi (dot per inch) の画像形成には、ビームを $70 \mu\text{m}$ 程度に絞ることが必要である。また、オフィス機器に内蔵するため、レーザー装置の小型化（目標100cc）が必要である。

1-3 小型高出力固体レーザー構成の提案

我々が提案する、高出力小型固体レーザー構成案をFig.5に示す。高出力化と小型化の両立を目的に、「エッジ励起型マイクロチップレーザー構成」による励起容積の小型化、「コンポジット型レーザー結晶」

による放熱性の向上、「バルク型擬似位相整合素子による波長変換」による高効率波長変換を行う構成としている²⁾。

また、我々が目標とする“Tri Color Laser”構成をFig.6に示す。Fig.5に示すレーザーを三種類集積することで、三原色出力を可能にする構成を目指している。

本報告では、はじめのステップとして、LD励起マイクロチップレーザーの材料に着目した高出力化の検討、及びこれを用いた高出力緑色レーザーの発生実験を実施し³⁾、10Wを超える緑色レーザー出力を得たので報告する。

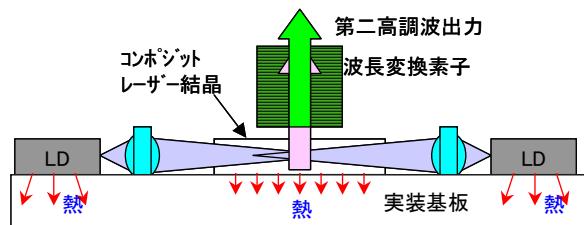


Fig.5 Basic construction of a high power and small package laser.

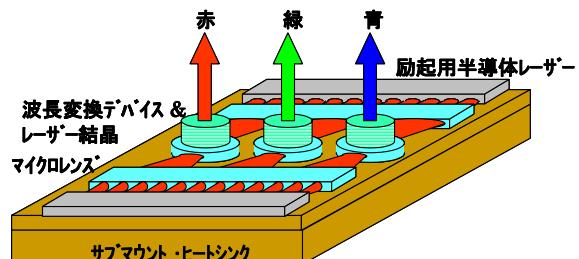


Fig.6 The goal construction of “Tri Color Laser”.

2. マイクロチップレーザーの高出力化

1-1 レーザー構成

LD励起固体レーザーの小型化にはマイクロチップ構成^{4, 5, 6)}は必須であり、その高出力可能性を検討した。実験構成をFig.7に示す。レーザー結晶はFZ (Floating Zone) 法⁷⁾で作製した、a軸カット0.5at.% Nd : YVO₄もしくはa軸カット0.5at.% Nd : GdVO₄結晶（いずれも0.25mm厚み）を用い、同一実験構成による特性比較を実施した。また、レーザー結晶は水冷ヒートシンク上

にはんだを用いて接合している。励起LDは、波長808nm、最大出力110Wのファイバー結合LD（コア径400 μ m : LIMO110-F400-DL808）を用い、折り返しミラーを用いて結晶表面から入射（ビーム半径0.65mm）し、合計4回結晶中を励起光が通過するマルチパス構成としている。共振器長は約400mmとし、出力ミラーは曲率半径20mを採用した。

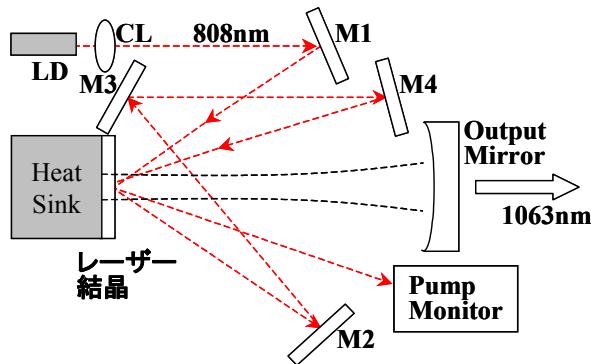


Fig.7 Experimental set up of microchip laser system.

1-2 実験結果

Fig.7の構成における入出力特性をFig.8に示す。また、主な特性の比較表をTable 1に示す。ここで、スロープ効率に関しては、高出力時にスロープ効率の低下が見られるため、低出力時のスロープ効率（直線性の高い部分）と、総合的なスロープ効率（発振開始時から最大出力時の効率）とに分けて記載をしている。

Nd : YVO₄結晶においては低出力時のスロープ効率が61.1%と小さいながら最大出力26.9Wと高い出力が得られた。一方Nd : GdVO₄結晶に関しては、低出力時のスロープ効率は71.7%と高いが、最大出力は24.2Wに留まっており、Nd : YVO₄結晶と同等の出力は得られなかった。また、両結晶共に、最大出力時にはスロープ効率が低下しているが、これは結晶発熱の影響によるものと考えられる。また、総合的なスロープ効率は両結晶共に同等であり、横モード品質はM²=3.2と同様の値を得ている。

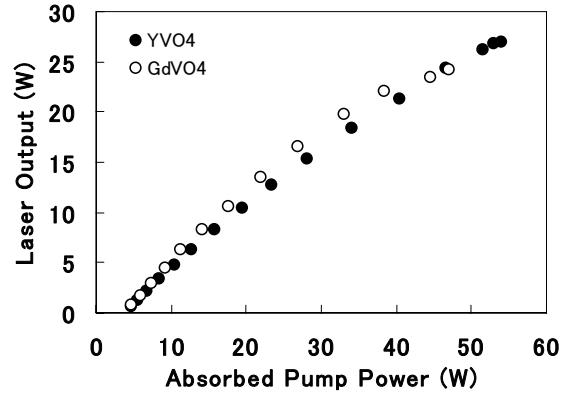


Fig.8 Performance of infrared laser output.

Table 1 The characteristics of infrared laser output.

	Nd : YVO ₄	Nd : GdVO ₄
最大出力	26.9W	24.2W
発振閾値	2.6W	1.4W
低出力時スロープ効率	61.1%	71.7%
総合スロープ効率	53.3%	55.6%
M ² (最大出力時)	3.2	3.2

1-3 レーザー結晶発熱量の検討

Fig.8から結晶の発熱により、スロープ効率が徐々に低下し高出力化が制限されている事が考えられる。そこで、マイクロチップレーザー結晶を熱的観点で考察する。Table 2に今回用いたレーザー結晶の主な特性（Nd濃度1.0at.%）を示す^{8, 9)}。レーザー発振に寄与する特性はNd : GdVO₄結晶とNd : YVO₄結晶では大きな差が無い事がわかっているが、輻射量子効率において大きな差がある事がわかる。この差に関して熱的観点で考察を実施する。

Table 2 The characteristics of laser crystal.

	Nd : YVO ₄	Nd : GdVO ₄
808nm吸収係数 (cm ⁻¹)	48.4	31.3
誘導放出断面積 (10 ⁻¹⁹ cm ²)	14.1	10.3
熱伝導率 (m/WK)	12.1	10.5
輻射量子効率 (%)	93	50~70

一般的にレーザー出力 (P_{out}) は、吸収パワー (P_{abs})、発振閾値 (P_{th})、結合効率 (η_c)、励起効率 (η_p)、原子量子効率 (η_{qd})、モードマッチング効率 (η_m) を用いて式(1)のように示される。その場合、レーザー結晶における発熱量 (P_{heat}) は発熱効率 (η_h) を用いて式(2)のように示される^{10, 11)}。この式から判るように、同一レーザー構成で実験を行った場合には、レーザー結晶材料の輻射量子効率 (η_r) によってその発熱量が左右されることとなる。ここで、 λ_p は励起中心波長、 λ_f は蛍光中心波長、 λ_l は発振波長としている。

$$P_{out} = \eta_c \eta_p \eta_{qd} \eta_m (P_{abs} - P_{th}) \quad (1)$$

$$P_{heat} = \eta_h P_{abs} \quad (2)$$

$$\eta_h = 1 - \eta_p [(1 - \eta_l) \eta_r (\lambda_p / \lambda_f) + \eta_l (\lambda_p / \lambda_l)] \quad (3)$$

$$\eta_l = \frac{P_{out}}{P_{abs} \eta_c \eta_q \eta_p} \quad (4)$$

Fig.9には、Fig.8に示した入出力特性を元に結晶発熱を計算した値をグラフ化した。ここで、輻射量子効率は、Nd : YVO₄結晶を0.93、Nd : GdVO₄結晶を0.7として計算している。

Nd : GdVO₄結晶を用いた場合には、低出力時から結晶発熱が大きく、高出力になるにしたがってさらに発熱量が増加している事がわかる。これは輻射量子効率が小さいことに加えて、高出力時にスロープ効率が低下しているため、さらに発熱が加速していると考えられる。最大発熱量は約14.2Wに達しており、励起パワー（約47W）のおよそ30%以上が熱に変換されている事がわかる。

一方Nd : YVO₄結晶を用いた場合には、結晶発熱は励起パワーに対してほぼ一定であり、結晶発熱によるスロープ効率の低下によっても、結晶発熱が加速される事が無い事がわかる。このため、励起パワーをより増加する事が出来るため、最大出力を大きくすることが可能と考えられる。

今回の実験構成においては、高出力時の結晶発熱により、モードマッチング効率が低下するため、輻射量子効率の結晶発熱の寄与が大きくなり、Nd : GdVO₄結晶とNd : YVO₄結晶の特性差が最大出力の差として現れていると考えられる。

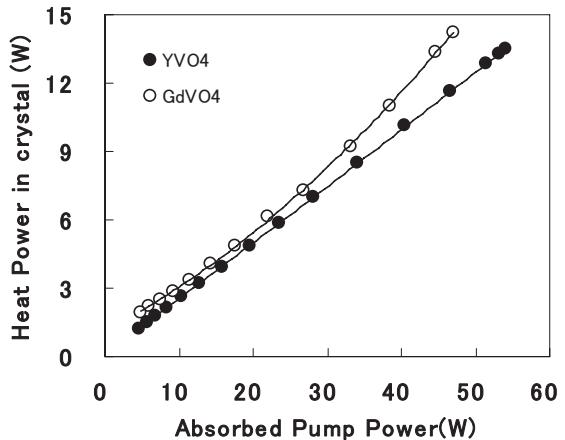


Fig.9 Relationship of heating power of laser crystal and absorbed pump power.

1-4 緑色レーザー

上記の結果より、レーザー結晶としてより高出力化が期待できるNd : YVO₄結晶を用い、共振器内部波長変換構成による緑色発生実験を行った。基本波発生構成からの変更点は、共振器長を約250mm、出力ミラー（基本波反射率99.9%，第二高調波反射率0.1%）曲率を400mmとし、共振器内部には□4mm × L10mm（長さ）のLBO（LiB₃O₅：カット角度θ=90°，φ=11.5°）結晶を配置した構成としており、出力ミラーより第二高調波（緑色レーザー光）を出力できる構成を用いた。

緑色レーザー発振特性をFig.10に、レーザー発光の様子をFig.11に示す。最大出力として10.6Wの緑色レーザー光が得られている。この場合の励起パワーは35.4Wとなっており励起パワーからの変換効率は約30%と良好な効率を示している。

また、励起パワーに関しては基本波発振実験時と比較して、低い励起パワーで出力が飽和している。この原因としては、共振器内部の基本波レーザー光の輻射

によりLBO結晶ホルダーが加熱され、位相整合温度（25°C設定）が約数°C程度ずれている事がわかつている。また、LBO結晶配置の最適化や出力ミラーの最適化も未実施であり、今後構成を最適化する事で、緑色レーザー出力を増加させることができると考えている。

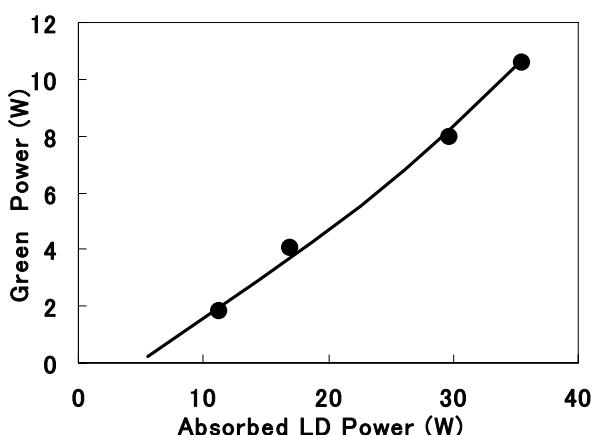


Fig.10 Performance of the green laser.

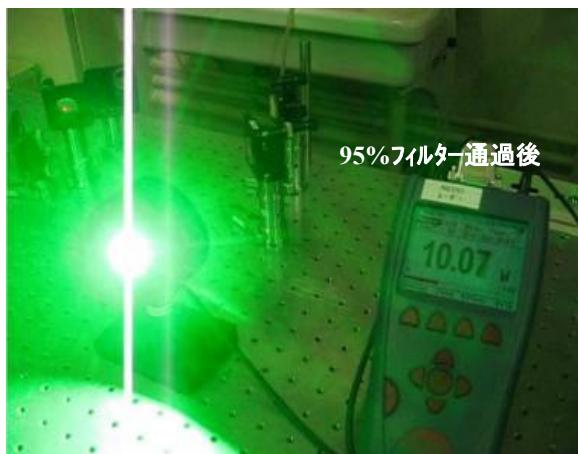


Fig.11 Photograph of green laser output.

3. まとめ

LD励起マイクロチップレーザーの高出力化を検討し、輻射量子効率の大きいNd:YVO₄結晶を用いた場合に、より高出力化が可能である事を確認した。基本波レーザーの最大出力としては26.9Wが得られ、横モードはM2=3.2程度であった。現在検討を実施している、小型・高出力レーザー構成では、レーザー結晶の発熱が

大きく出力に関与しており、レーザー結晶の輻射量子効率が出力特性に大きく影響する事がわかつた。

また、LBO結晶を用いた共振器内部波長変換構成による、緑色レーザー発生実験を実施し、最大出力として10.6Wの高出力緑色レーザー光を確認し、10Wクラスの出力が可能である事を検証した。

今後はレーザー構成の最適化を実施し、さらに緑色レーザー出力の増加を狙う。また、当初の狙いである“Tri color Laser”実現へ向けて、「コンポジット型レーザー結晶」を採用した小型レーザーの開発も進めしており¹²⁾、「バルク型擬似位相整合素子」の搭載も含め、10Wクラスの150cc緑色レーザーの検討を行っていく。

4. 謝辞

本研究の実施において、共同研究先である自然科学研究機構 分子科学研究所 平等研究室、および、(株)オキサイドに協力をいただきました。

本研究は、新エネルギー・産業技術総合開発機構(NEDO)の委託研究「カラーリライタブルプリンタ用高効率小型可視光光源“Tri Color Laser”」の研究開発により行われた。

参考文献

- 1) 高橋裕幸、篠田雅人、松島良華：日本画像学会2005年度第4回技術研究会講演要旨集, (2005), pp.25-30.
- 2) T.Suzudo et al. : Technical report of IEICE, EID2006-22, October, (2006), pp. 35-38.
- 3) 東康弘 他：第68回応用物理学会学術講演会予稿集, 7P-F-14, (2007)
- 4) Y. Sato, N. Pavel and T. Taira : Advanced Solid State Photonics, WB5, (2004, Santa Fe, U.S.A)
- 5) V. Lupei et al. : Opt. Lett., 28, (2003), p.2366.
- 6) N. Pavel and T. Taira : Opt. Commun., 260, (2006), p.271.
- 7) T. Shonai et al. : “Float zone growth and laser performance of Nd:GdVO₄ single crystals”, J.

- Cryst. Growth, 241, (2002), p159.
- 8) Y.Sato and T. Taira : Opt. Express, 14, 22 (2006),
p.10528.
 - 9) T.Taira : IEEE J Sel. Top Quant. Electron., 13, 3,
(2007), p.798.
 - 10) I.Shoji, T. Taira and A.Ikesue : Optical Materials, 29,
(2007), p. 1271.
 - 11) T.Y.Fan : IEEE J. Quantum Electron., 29, (1993), p.
1457.
 - 12) T.Suzudo et al. : Advanced Solid State Photonics,
WD4, (2008 Nara, Japan).

リライタブルハイブリッドメディア用プリントイング技術

New Thermal Rewritable Printing Technology for Rewritable Hibrid Media

櫻井 秀夫^{*}
Hideo SAKURAI

新井 智^{*}
Satoshi ARAI

立脇 忠文^{*}
Tadafumi TATEWAKI

要 旨

近年、日本を代表するものづくり企業で、物流におけるものの流れをリアルタイム管理する手段として、R F I D (Radio Frequency Identification) システムが採用され始めている。これらの企業では、R F I Dの電子情報を目視化できる“リライタブルハイブリッドメディア”的活用が進んでいる。普及における重要課題として、発行プリンタの「小型化」「低価格化」が必須であった。これらの課題を解決できるプリンタ技術を新たに開発し、製品化を可能とした。

ABSTRACT

In recent years RFID (Radio Frequency Identification) system is began to adopt as a means to real time management of phisical distribution at the manufacturing company which represents Japan.

In these companies a Rewritable Hibrid Media that can look a digital data of RFID is bing applied. As a important subject to spread,the printer should become “downsizing” and “cost reduction”.

We developed a new printing technology that can solne these subjects and have made possible productive.

* サーマルメディアカンパニー リライタブル事業推進室
Thermal Rewritable Solution Business, Thermal Media Company

1. 目的・背景

1-1 はじめに

現在、産業分野において、非接触且つ繰り返して情報書き換え可能なRFIDをタグ（荷札）として使ったユビキタスな物流管理が広がっている。

RFIDをタグとして活用する場合（以降RFタグと呼ぶ），RFタグ自体には表示機能がないため、紙の表示媒体を併用しているのが実情である。この場合、RFIDのリーダーライターとプリンタの動作を同期させ、且つRFIDとプリント用紙の2つのメディアを一組として物理的にもセットして管理する必要がある。

かかる管理は、製造や物流の現場管理として困難であり、回避手段として、RFIDと感熱紙という2つのメディアを組み合わせてラベル化し、内部にRFIDのリーダーライターを搭載したサーマルプリンタにより、同期化されたRFタグを発行する方法が商品化され、産業界へ提案されている。

この方法により、同期の課題は解決されるが、複数回繰り返して使用できるRFIDと、一回しか使用できない感熱紙を組み合わせたラベルは、結果として、一回しか使用できない、実に「もったいない」メディアになってしまい、コストアップ、環境負荷の増加という新たな困りごとが発生している。

そこで、それらの困りごとを解決する新たな提案として、RFタグと書き換え可能な表示媒体（リライタブルシート）を融合したリライタブル・ハイブリッドメディア（以下RHM）RECO-View RFタグシリーズをリコーは開発・商品化し、製造業を中心とした種々の産業分野でRECO-Viewプリンティングソリューションとして運用され始めている。



Fig.1 Value of Reco-View.

1-2 RECO-Viewプリンティングシステムの技術課題

RECO-View RFタグシリーズは、カードサイズ以下の小さなものから最大A4サイズまで対応しているが、今最も注目されているのは、所謂「かんばん」サイズ（85mm×200mmサイズ、等）を中心としたRHMを「現品票」として用いる運用である。効果的な調達物流の管理を行うためには、自社工場内のみならず、部品のサプライヤーを含めたSCM管理が重要であるが、サプライヤーに導入できる小型・低価格なRHM発行機の実現・商品化が待たれている。

Fig.2に示す様に従来のRHMプリンタは、順次
①RFIDへの書き込み ②リライタブルメディアの消去 ③リライタブルメディアへの印字処理 を行う構造である。

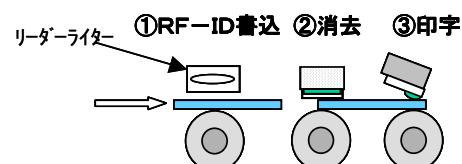


Fig.2 Structure of conventional Rewritable printer.

小型・低価格を実現するためには普及品の4inchサーマルヘッドを採用し、縦通紙とする必要がある。縦通紙の場合、1枚あたりの発行時間が顧客要望の発行速度6秒/枚を大幅に越え、顧客価値の高い発行システムを提供できない。

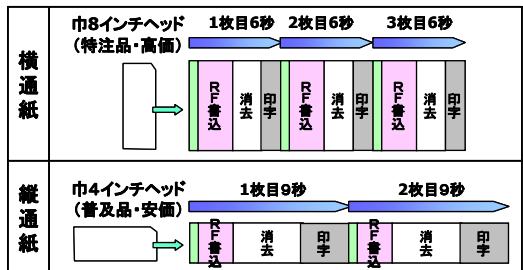


Fig.3 Printing speed vs Paper direction.

縦通紙でありながら、発行時間を短縮するプリント技術獲得のため、2つの技術課題を設定した。

- ①消去プロセス速度の向上。目標値150mm/秒（プロセス時間として1.3sec、従来技術比3倍）
- ②順次処理ではなく、並列処理を可能とするプリント技術の開発。

2. 高速消去デバイス、並列処理機構の開発

2-1 従来の消去デバイスの高速化課題

技術開発に関しては、感熱プリント技術である、昇華型転写記録において、業界トップレベルの熱制御技術を有する、株式会社ウェッジとの共同開発を行った。

高速消去技術の開発のため、従来の消去デバイスの実力評価・課題を整理し、開発構想を立案した。

Table 1 Erasing Device of Conventional type.

基本仕様	現状（実力）	目標値
消去可能速度	50mm/s	200mm/s
伝達長（有効ニップ）	4mm	4mm
熱伝達時間	0.08sec	0.02sec
温度ムラ	±6°C	±2°C
有効長	端部より3mmは無効域 ※デバイス巾<用紙巾と用紙自由のこ 制限あり	全面使用できる
コスト	フォトリソ／エッチング／シルク印刷／研磨など複数の加工工程	低コスト化可能

消去可能速度を向上できない理由としては、“リライタブルメディアの反応速度の限界”による、または

“消去に必要な熱を十分メディアに与えられない”が考えられるが、サーマルヘッドによる消去実験により0.03secでの消去が可能なことから、熱伝導の理由が支配的であると言える。消去デバイスの温度を上げても消去性能は向上しないことから、伝熱効率が消去性能に影響していると推測できる。

Fig.4に従来の消去デバイスの断面略図を示す。セラミック基盤の上に順次ガラス層、発熱体、ガラス保護層を形成してなる。発熱体からリライタブルメディアへは、ガラス保護層を通じて熱伝達が行われる。

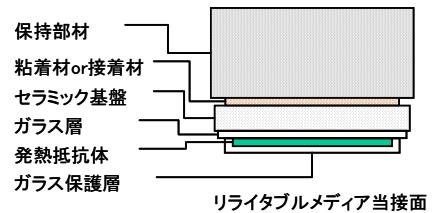


Fig.4 Cross section of Conventional Erasing Device.

リライタブルメディアと当接した状態で、実温度を計測することは困難なため、熱解析シミュレータを用いて消去特性に対する熱伝導率の依存性を調査した。Fig.5に熱解析モデルを示す。熱解析モデルでは、発熱体（ヒーター）を上部部材、下部部材で挟み、通紙状態を再現した。本シミュレータは実験モデルの実測値と良く一致することを確認している。Fig.6は消去性に対する熱伝導率依存性を解析した結果である。下部部材の初期状態を168°C (=441K) とし、150mm/secで搬送されるリライタブルメディアに下部部材を当接した2sec後の温度をプロットしている。発熱体からの熱の供給は、各条件とも同じだが、熱伝導率が30を下回るあたりから、急激に温度が低下し、リライタブルメディアの消去下限温度（約130°C = 403K）を下回る。従来の消去デバイスがリライタブルメディアと当接する面はガラスであり、熱伝導率は1 (W/m · K) であることが、消去速度を上げられない主な理由であると推測できる。

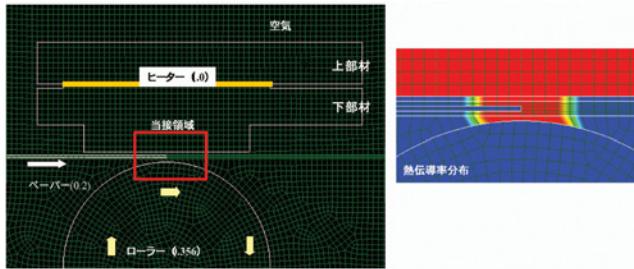


Fig.5 Thermal Analysis model.

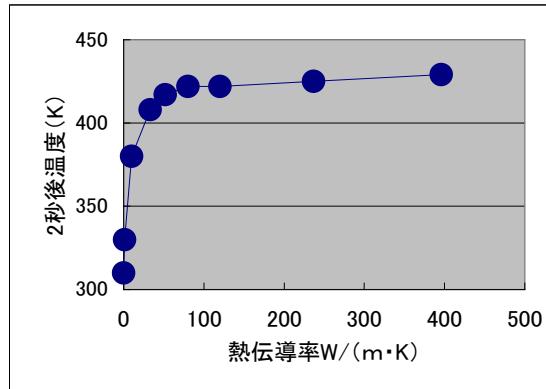


Fig.6 Thermal conductivity vs device temperature.

2-2 消去デバイスの設計

高速消去デバイスの設計にあたっては、高速消去性能と低コストの両立を図り、Fig.7に示す面状ヒーターを採用することとした。面状ヒーターは金属箔を打ち抜き、ポリイミドフィルムでサンドイッチすることで、絶縁処理を施されている。両端に電極を形成し、蛇行して形成されることにより、所定量の熱エネルギーを放出する面積（有効面積）が確保され、各部での幅が一定に形成されることで単位長さあたりの抵抗率が抵抗全体で均一となるように調整されている。この面状ヒーターの上下をそれぞれ蓄熱部材及び加熱部材で挟み込み、消去デバイスとした。消去デバイスの構成をFig.8に示す。

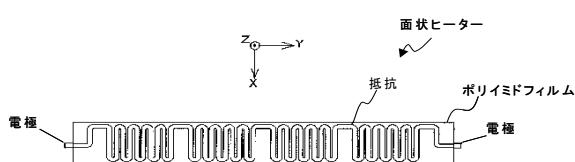


Fig.7 The Flat heater.

加熱部材の材質は、高速消去性能を実現するため、熱伝導率 $\lambda > 30$ でなければならないが、加工のし易さ、コストの観点からアルミニウム ($\lambda = 237$) を採用した。

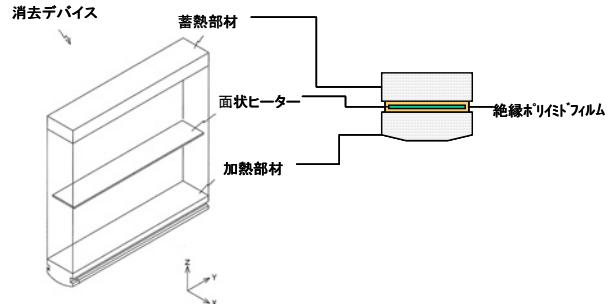


Fig.8 The eraser device.

加熱部材及び蓄熱部材の厚みが温度供給に及ぼす影響を、前述のシミュレータにより解析を行った結果をFig.9, Fig.10に示す。加熱部材は5.5mm, 10mmと厚みを倍にしても加熱面の温度は変化無いが、5.5mm以下では、厚みの減少に応じて対数的に温度が低下する。このことから、加熱部材の厚みは5.5mmと設計した。

蓄熱部材においては、熱伝導率 λ 及び、厚みの依存性が無いことがわかった。厚み0mmすなわち、空気層（空気は熱伝導率0.0261）の場合でも、加熱面の温度低下は見られなかった。

ヒーターの昇温時の急激な加熱、物理的な損傷からの保護目的、また、加熱した時に反りが起こらないよう、加熱部材と同材質の蓄熱部材を設けることとしたが、今後更に立ち上がり特性の向上など検討余地がある。

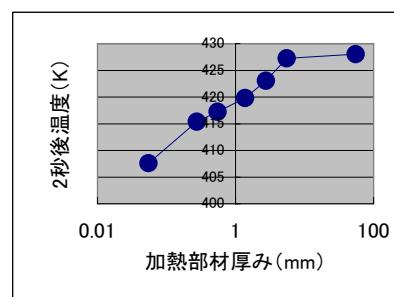


Fig.9 Tempererature of Device vs Thicness of Heating Parts.

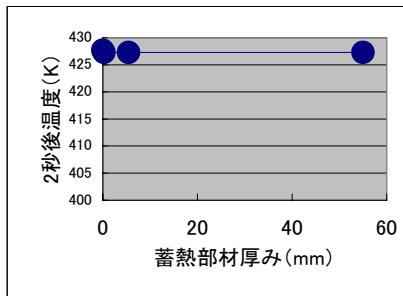


Fig.10 Temp. of Device vs thickness of storage parts.

上記設計の消去デバイスを用いて、設計仕様である 150mm/sec.において、85mm×200mm サイズのRHM の消去を行ったが、狙い以上200mm/sec の速度でも、 良好な消去特性を得ることが出来た。その結果を Fig.11に示す。

ヒーター面の発熱ムラにおいても、熱伝導率に優れた加熱部材を採用することで、従来のものと比較して 温度巾3°C以下という良好な結果を得ることができた。 温度分布の実測データをFig.13に示す。従来の消去デバイスにおいて、デバイス外周部の温度が低いのは、 端面より放熱する熱量に対して、熱の補給が熱伝導率の低さから追いつかないからであると、熱解析の結果から想定できる。

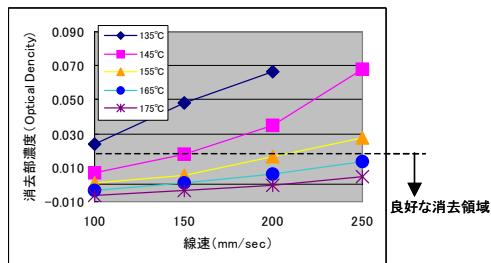


Fig.11 Erasing Dencitiy vs Erasing speed.

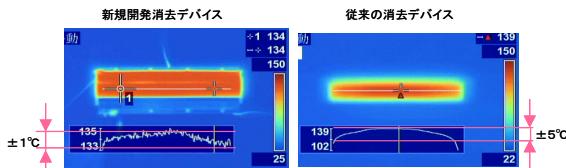


Fig.12 The distribution of temperature at Heater.

2-3 並列処理機構の開発

Fig.13に従来タイプのリライタブルプリンタの処理フローを示す。従来型の構成では、消去速度が向上しても、印字速度も同等に向上しない限り、同速で処理を行うこととなる。また、消去と印字を非同期で行うためには、消去の後工程に用紙1枚分のバッファを持つ必要があり、長大なプリンタサイズとなってしまうことから、連続プリントをしても処理速度が上がらない。

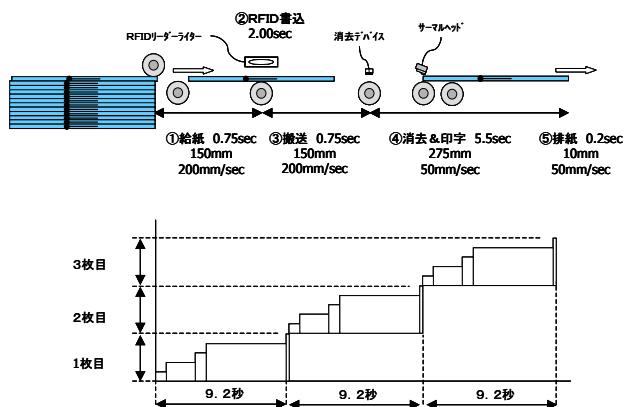


Fig.13 Conventional type printing sequence.

新規技術として、高速消去デバイスの性能を引き出し、且つ、RFIDの書き込み時の静止ロスを減少し、一部並列処理を可能とする、2階建て構造を考案した。 Fig.14 に処理フロー及び複数枚出力する際のタイミングチャートを示す。

1枚目の印字を開始すると、リフターが下降し、2枚目の給紙処理を始める。以下並列して発行処理を行える。

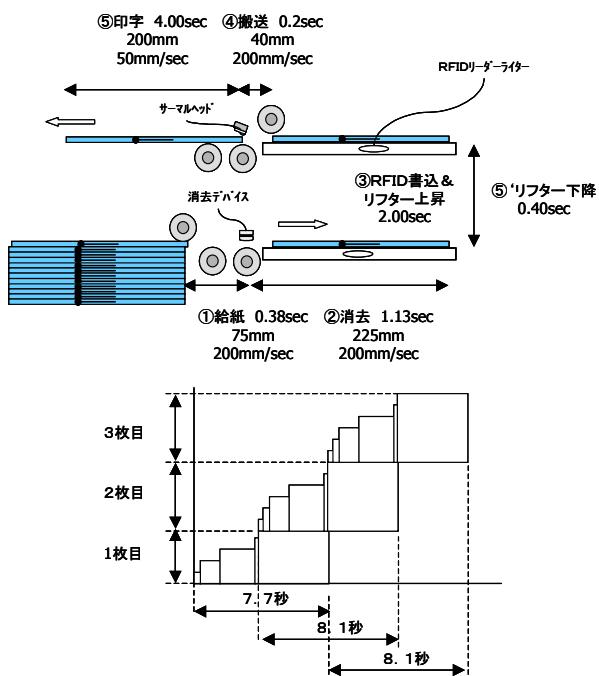


Fig.14 New type printing sequence.

3. まとめ

従来のリライタブルプリント技術と比較して4倍速の消去技術を開発した。また、高速消去性を活かして、低価格なサーマルヘッドを用いても、小型・高速発行を可能とする独自の2階建て構造を開発した。

本技術を採用したリライタブルR F I Dプリンタを神鋼電機株式会社と共同で商品開発し、07年12月に上市した。

プリンタ容積比で従来タイプの1/3以下、価格は政策的なものも含まれるが1/3以下を実現した。

狙い通り小型・低価格のコンセプトが支持され、日本を代表する多くのメーカーでの採用が始まっている。

リライタブルプリンティング技術の今後の展開としては、更なる高速化、モバイルプリンティング技術（省エネ、コンパクト技術）等が重要であり、今後も顧客ニーズを先取りした、商品につながる技術開発を継続していく。



Fig.15 New Rewritable Printer RPK by New Printing technology.

4. 謝辞

本研究の実施において、共同研究先である株式会社ウェッジに多大なご協力をいただきました。また、熱解析シミュレーションにおいては、関係者の方々に尽力いただきました。ここに深くお礼申し上げます。

注) RECO-View（レコビュ）とは、Rewritable, Recyclable, Reusable, ECology, EConomyを表し、それらを Viewable（可視化）させることを意味した、リコーサーマルリライタブル商品群の統一ブランドである。（日本国内商標登録済）

オンデマンドトナー充填機の開発と展開事例

Development and Introducing "On-Demand Toner Filling Machine"

牧野 邦夫*

Kunio MAKINO

要　　旨

トナー製品の充填工程は、カラー化やブランドの増加により製品バラエティーが増大し、従来のトナー充填装置（市販品）では、品種切替えによる生産性低下が著しく、低コストでのづくりが出来ないという課題があった。この課題を打破すべく“いつでも どこでも 安く 早く充填できる、コンパクトなオンデマンド充填機”の開発に着手し、流動化充填技術（トナーに空気を含ませ液体状にする独自技術）を展開した充填装置を完成させ2000年より量産展開を開始した。その後、さらに生産性向上を目的に市販大量型充填機同等以上の充填能力を有する装置の開発を行い、少量～大量のどの物量でも活用可能な充填装置を完成させた。

主力機種の大量生産ラインから、サテライト充填ラインである少量生産ラインまで、海外生産拠点も含めて、オンデマンド充填機としては全世界で67台が稼動している。

ABSTRACT

The toner production process has been remarkably changed due to a great increase in the kinds and numbers of the toner products, such as switching over from monochrome to color products and increase of the brands. However, there is an obstacle for low cost production by using the conventional marketing filling machines, which is low productivity due to significant change-over time. To solve the problem, a machine called "On demand filling machine" has been developed. It can fill up the toner products at narrower space swiftly, inexpensively, anywhere, and anytime. On demand filling machine utilizes the fluidizing filling technology (the unique technology, i.e., the powder is mixed with an air, and make the powder behave like a liquid). On demand filling machine design has been completed and started the mass production from year 2000. Later, On demand filling machine has been further modified to improve the productivity, and the new machine has obtained the capacity equivalent or even higher than that of the large conventional marketing models. On demand filling machine is quite flexible for handling the products from small quantity to large quantity.

On-demand filling machines are suitable for various applications, e.g., the mass production lines for the main models, the small production lines such as the satellite filling lines, and overseas factories. Today, a total of 67 On demand filling machines are in operation worldwide.

* 生産事業本部 RS事業部

RS Products Division, Production Business Group

1. 背景と目的

1-1 背景

1-1-1 製品バラエティの増加

複写機及びプリンター等で使用するサプライは、デジタル化、カラー化、用途拡大に伴い、物量の増加とともに、製品バラエティが増加の傾向にある。

特にトナーは、カラー化で4色あり、複写機及びプリンターなどに合わせて、容器やカートリッジの種類も増加している。

Fig.1は約10年前と現在の品種数と物量を比較しているが、品種数は約3倍、少量品種の物量の割合も20%から60%と少量多品種化が大きく進んできた。

今後も、カラー化と用途拡大により、約3年後には品種数、物量とも2倍となる計画にある。

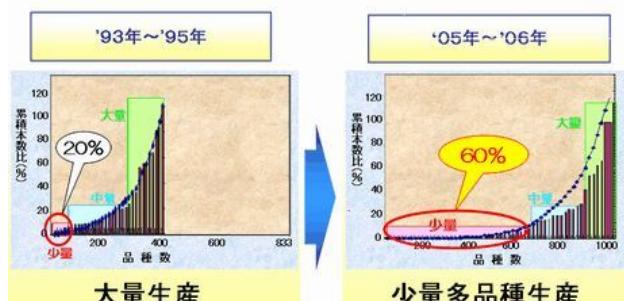


Fig.1 An increase in product variety.

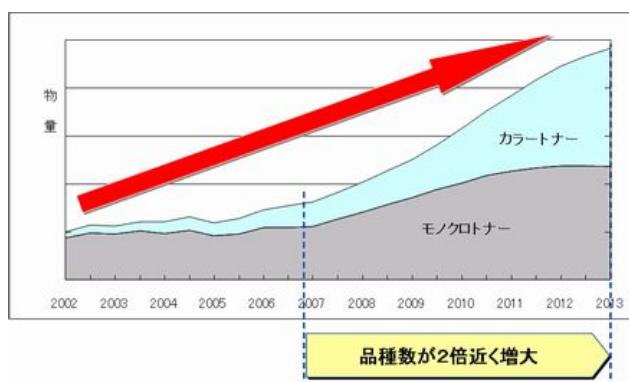


Fig.2 An increase in production volume.

1-1-2 サプライチェーンマネジメントからの要求

お客様のオフィスでトナーがなくなると、コピーや印刷といった業務が止まってしまうため、トナーはご注文頂いてからできるだけ早く配達する必要があるが、多品種化が進む環境では、リードタイム短縮を在庫を持って対応するには限界があり、フレキシブルに対応できる生産プロセスの構築が急務となっていた。

1-2 従来技術の課題

1-2-1 オーガー式充填機の課題

従来のトナー充填機は、市販の充填方式でスクリューによる押し出し式のオーガー式充填機というもので、重厚長大、コストが高い、切り替えに時間がかかる、等々の問題を抱えていた。



Fig.3 Conventional, large-scale filling machine.

Fig.4に示すように、少量多品種の製品は、お客様の要求量をタイムリーに作るには、1つのラインで、品種切り替え作業により、製品を作ることとなり、切り替えのための停止時間や労務費がかかり、ある製品を例に取ると、製品コストが2.7倍に高くなってしまっていた。また、品種切り替えを最小にして生産を実施すると、在庫量が増えてしまう。

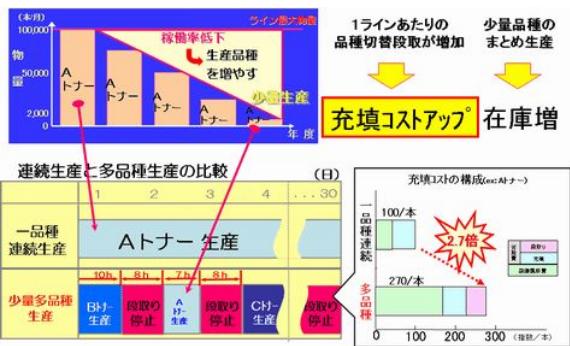


Fig.4 A subject of small quantity many kinds production.

1-3 目的

1-3-1 いつでも、どこでも、安く、早く充填できる少量多品種用小型充填機の開発

少量多品種の製品をつくる充填装置を 小型、軽量、低コストで開発し、「いつでも、どこでも、安く、早く」充填できる、低コスト小型充填機により、品種切り替えの低減、在庫の低減、ロスの低減で、低コストものづくりに貢献することを目的とする。

2. 技術

2-1 オンデマンド充填機の構成の概要説明

トナーとは主成分が樹脂であり、かつ微細な $5\text{ }\mu\text{m}$ から $10\text{ }\mu\text{m}$ 程度の粉体である。

そこでトナーに空気を含ませ流動化状態にしたまま容器に詰める充填方式を開発した。

技術のポイントとして、トナーが空気を含むため、嵩が増えそのままでは容器に入りきれないという課題があったが、容器に充填しながら容器内のトナーから間欠的に空気を抜くという他社に無い独自の技術により低コストでコンパクトな、エアーを制御するだけの流動化充填方式による充填機を完成させた。

主なプロセスは以下の通りである。

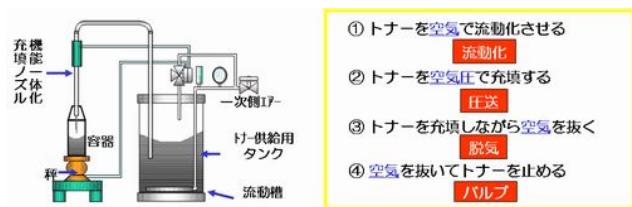


Fig.5 Fluidizing filling method.

- ①トナーに均一に空気を含ませ、一様に流動化した状態を形成する。（トナーの粒径と同じ位の孔から適量の空気を吐出して流動化させる。）
 - ②流動化したトナーを容器に詰めながら脱気ノズルにより容器内のトナーから空気を抜く。（流動中のトナーに、3000メッシュ程度の金属スクリーン付脱気ノズルを挿入して、流動中のトナーから空気のみを抜くことでトナーの嵩を減らす。）
 - ③ノズル中のトナーから空気を抜いてトナーの塊を作り、それを栓としてトナーを止める。
- この充填機の開発により低コストで小型の充填機ができた。更に、品質面では、トナーに機械的ストレスをかけず品質影響の無い充填方式を実現できた。

2-2 流動化技術

トナーなどの粉体は古くから固体の中でも特殊な性質（流動性）を持つ為に、特別な呼称『粉体、粒体』を付けられて、他の固体と区別されてきた。

粉体の特殊な性質としてはフラッシング（小さな粉の集まりに空気が含まれると液体のように流れ出す現象）とブリッジで代表される閉塞現象（小さな粉の集まりが互いに動きを止めあい、1つの塊のようになる現象）が挙げられる。

フラッシングは流体（液体、気体）の特性が顕著に現れる現象で、この状態になると通常の粉体設備からトナーが漏れ出して制御不能となり、装置周りに飛散してしまう。この現象が生産現場で起こると大変な問題となる。また、閉塞現象は、小さな粒が大きな塊の様になり、つかえてラインがストップしてしまう。粉体設備のあちこちに、バイブルレーターやノッカー（ブリッジブレーカー）が設置されるのは、このためである。

どちらの現象も、粉体を取り扱う上で、問題となる現象であり、生産設備設計や、取り扱いの際はこれらが起らないように留意してきた。

そもそも、充填とは物体のある指定された容器に指定量移すという移載技術である。

移載するのに固体と流体では装置がまったく違ってくる。

本充填技術は従来問題とされていたこのフラッシングを、逆に利用し液体の状態で、“すばやく”、“所定量を”トナー収納容器に詰めながら、収納容器内から不要な空気を抜くという方式であり、今までの粉体充填技術の域を超えたものと言える。

Fig.6に流動層（液状化された部位）の考え方を示す。トナーの下からエアを徐々に入れてゆき、流動化させるメカニズムである。

エアの入れ方についても、トナー接触面の全面から均一にエアを送ることが好ましい。

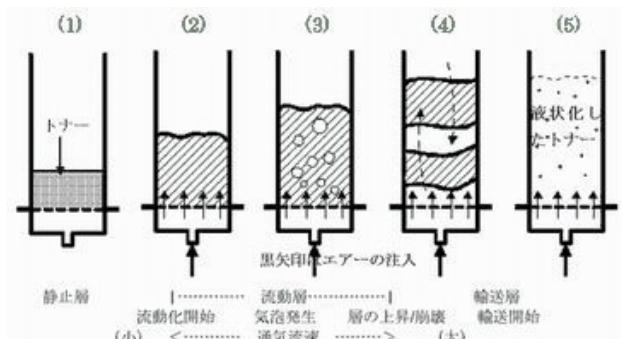


Fig.6 Fluidized layer.

2-3 粉体圧送技術

液体と固体の搬送装置を比べると、液体は配管（ダクト、チューブ、溝）とポンプがあると、簡単に指定場所に指定量移送できる。

一方、固体はその形状に合わせた（大きさ、強度の）容器を必要とし、容器を運搬する装置が必要で、それはその総重量に見合った規模の装置をもっていかなければいけない。

概して流体である液体が、その名の通り流しやすく移動に適していると考えられる。

本件は、製造現場で問題視されていたフラッシングを制御することで、流動層として利用する技術開発に注力し、粉体を流体のように扱うことで、制御プロセス技術を用い簡便な装置が実現できた。

Fig.7のような制御にすることで、トナーを充填する速度を変化させ所定充填量付近で速度を遅くし精度向上を行っている。

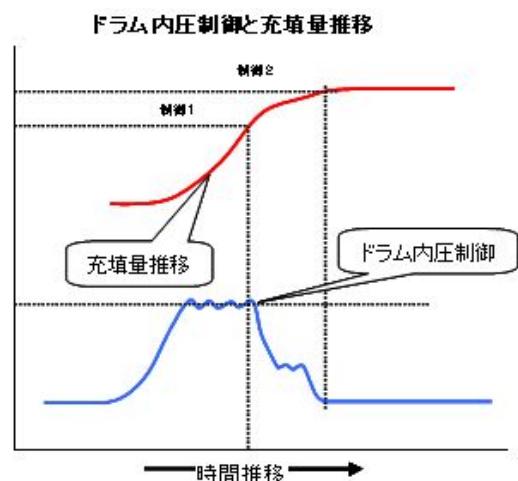


Fig.7 Filling amount control.

2-4 脱気技術

流動化させたトナーを容器に搬送し充填する場合、そのままでは、容器からあふれてしまう。空気を含んだトナーは、嵩が大きくなっているため、所定の重量を入れるために、一旦含ませたトナー中の空気を抜いてやることが必要である。

そのために、充填と同時に脱気をする機構が必要となる。Fig.8のように、トナーと空気をそのまま容器に入れようすると、溢れてしまうため、充填と同時に脱気ノズルにて、空気を抜いてゆき、所定の重量を容器内に納める。

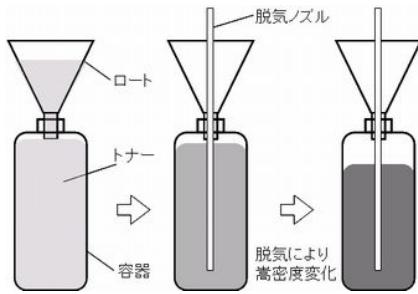


Fig.8 Deaerating system.

Fig.9のように、脱気の有無では充填時間に大きな差が生じる。

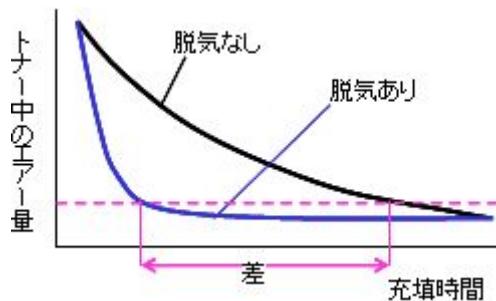


Fig.9 Relation of deaerating and filling time.

3. 実験結果

3-1 充填量プロフィールと充填精度

Fig.10は、充填時間と充填量のグラフであるが、短時間で、精度良く所定の重量を充填するために、ドラム内圧を制御することで、目標を達成できた。

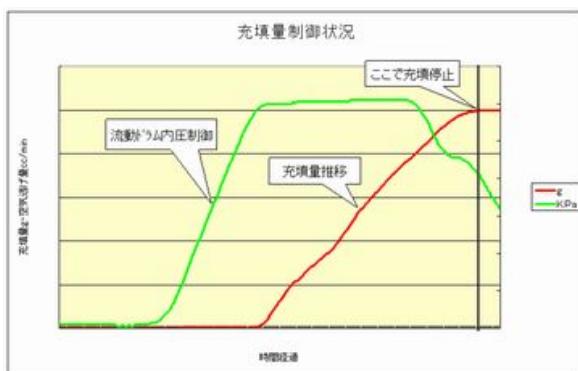


Fig.10 Filling amount profile.

これにより、充填量バラツキが1/3になり、充填タクトを変えずに、充填精度が向上した。

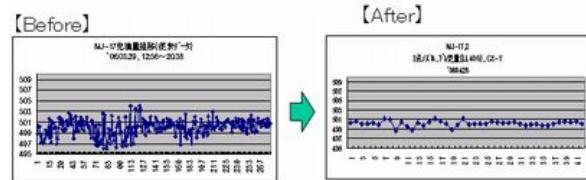


Fig.11 Comparison of filling accuracy

3-2 トナー品質

市販のオーガー式充填機では、トナーをオーガー(スクリュー)で送り、ある程度の圧力がかかっていたため、トナーそのものに圧力及び摩擦力がかかることにより、トナー表面に付いている添加剤がトナー母体の中に埋没したり、分離したりして、トナー品質を低下させていた。このオンデマンド充填機では、空気を混ぜて流動化させているため、トナー同士のぶつかりや擦れが発生しないことにより、トナー品質を保つことができる。

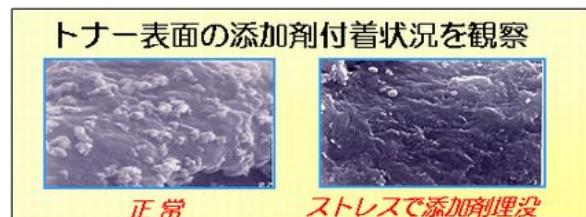


Fig.12 Burying of additive.

4. 結論及び展開

4-1 小型充填機の効果

オンデマンド充填機の開発で、充填機単体のコストを1/42にすることにより設備償却費が低減し、段取り時間を1/40にすることにより労務費が低減し、製品トータルのコスト低減ができた。

また、小型にできることにより、設置スペースを1/40に、電気使用量を1/14に、CO₂排出量を約1/2削減

できた等、環境改善に貢献できた。

また、充填スピードは市販品と同等であるが、生産性としては1日に1回切り替え生産を行ったと想定すると1.5倍の結果となった。

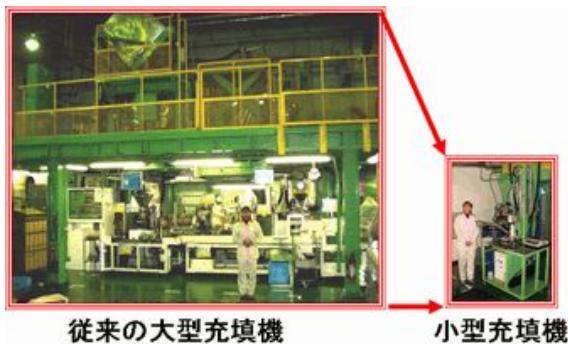


Fig.13 On Demand filling machine.

4-2 容器成形一貫ラインの展開

このオンデマンド充填機の開発により、容器の成形から充填、梱包までの一貫ラインが可能となった。さらに、4色分の充填機を同一ラインに設置することにより、注文に応じた生産が可能となり、生産リードタイムが1/17に短縮が可能となった。

4-3 サテライト充填工程

サテライト充填工程とは、使用済みの容器を回収し、洗浄、再充填する再製品化工程のことである。

小さく、安く、運べるオンデマンド充填機の開発により、従来の工場でものづくりをするという考え方を脱却して、お客様の近くで、充填して製品化しお届けすることができる。

Fig.14のコメットサークルは、リコーが目指す持続可能な社会を表現したもので、サテライト充填工程はより負荷の少ないサイクルで循環している。

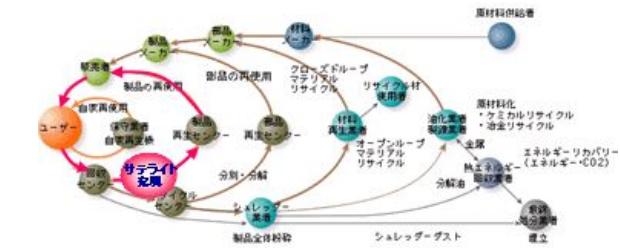


Fig.14 Comet circle.

低コスト小型充填機をお客様に最も近い、工場ではない配送拠点に置くことによって、物流線の最短化ができたため、リードタイムと在庫量の削減ができた。

お客様の都合で決まるトナーボトル回収量の変動や、空ボトルの搬送というロスを最小限に抑えた物流が実現できた為、樹脂製トナーボトルの再利用という環境経営活動も可能となった。

現在国内4拠点にサテライト充填工程を展開中である。

5. 今後の展開

今まで、Fig.15に示すように、第一世代で小型化、第二世代で超小型化、第三世代で高速化と高精度化を開発してきた。今後は、粉体の流動化技術をさらに進化させ、第四世代で超高速化を目指した技術開発を進めしていく。



Fig.15 Toner filling machine development history.

オプション製品への容積可変型封筒と紙製保護材の導入による環境負荷低減について

Environmental Load Reduction by the Introduction of Capacity Variable Envelopes and Paper Protection Materials for Optional Products

荒井 智昭* 野木 政延**
Tomoaki ARAI Masanobu NOGI

要　旨

複合機及びプリンタの機能拡張用カード（SDメモリーカード）の包装材に対して、容積縮小化によるコストダウンと環境負荷低減を目的として新たな形式の包装材を開発した。

従来、機能拡張用カードの包装材は「機能によって付属する部品点数が異なる」「キートップボタンなどの破損しやすい部品の保護が必要」といった製品の特徴に加えて、包装材の共通化を考慮して、内容量の変動に対して大きな段ボール箱を使用していたため、箱の空間容積を必要以上に大きくし輸送効率の低下を招いていた。この問題を解決するため、包装材の形式を工夫した製品の容積に応じて使い分けのできる容積可変封筒の考案（出願済）を行うと同時に、機能拡張用カード用の保護部材を枯渇性資源であるエアキャップ袋に変えて、紙製材料のケース式保護材を導入することで、従来比で最大約80%の包装容積縮小による部品費、及び輸送費のコストダウンと年間約3トンのCO₂削減を達成することができた。

ABSTRACT

A new form of wrapping material was developed for the purpose of reducing costs and the environmental burden by means of a reduction in the volume of wrapping materials for function enhancement cards (SD memory cards) used in hybrid devices and printers.

Up to now, wrapping materials for function enhancement cards had to consider product features, such as differing part counts according to function and the need to protect easily breakable parts such as the key-top buttons, not to mention standardization of wrapping materials. This was solved by use of large cardboard boxes to deal with fluctuations in internal capacity. As a result, this often required making the free space in the boxes larger than necessary, which in turn led to a reduction in shipping efficiency. In order to solve this problem, the authors devised a packing method (patent applied for) that allows changes in volume in order to distinguish the packaging size according to the product volume by developing a new packing materials configuration, while also switching away from bubble wrap (air cap) bags, an exhaustible resource, to case-type packing materials made of paper as the protective materials for the function enhancement cards. This made it possible to reduce part costs and shipping costs thanks to a reduction in volume which was as much as 80% compared to former packaging, not to mention a reduction in CO₂ emissions amounting to about 3 tons yearly.

* MFP事業本部 第二設計センター
2nd Design Center, MFP Business Group.
** リコーエンジニアリングシステムズ株式会社 生産物流事業部
Production/Distribution Business Group, Ricoh Logistics System Co., Ltd.

1. はじめに

リコーではグループ一丸となって環境経営活動に取り組んでいる。

包装分野では国内で生産するコピー、プリンター、FAXの複合機（以下複合機）に対して循環型包装を2000年から投入し、現在は複数の製品に適用可能な汎用性のある循環型包装(Fig.1)を導入展開している。



Fig.1 Circulation Type Package. (Multiusability Type)

今回は、複合機およびレーザープリンタ用のオプションである機能拡張カードの包装の環境負荷低減に関わる開発事例について紹介する。

機能拡張カードは、お客様のニーズ・業務形態に合わせて文書暗号化やエミュレーションなどのプログラムを書き込んだSDカードを媒体として機能増設を図る商品である。この機能拡張カードは、商品によって構成部品の量が異なり、内容品が破損しやすい場合は包装材に十分な保護機能が必要である。それに加えて商品を生産するにあたって包装材の共通化による部品集約化と、組立作業性の向上を図ることも求められるため、それらの要求を満たす手法として、商品を構成する部品が全て収容できるサイズの段ボール箱(Fig.2)を用いていたが、構成部品の少ない場合は箱内部の空間容積が必要以上に大きくなり輸送効率の低下を招くことがあった。



Fig.2 System before introduction. (corrugated cardboard box)

この問題を解決するため、包装材の形状を工夫して同一の部材を内容量に応じて使い分ける容積可変型の包装材を考案すると同時に、機能拡張カードの保護部材を枯渇性資源である気泡状ポリエチレン袋(Fig.3)に変えて、紙製材料のケース式保護材を導入することで、CO₂の削減及び包装容積縮小化による部品費ならびに輸送費のコストダウンが可能となった。

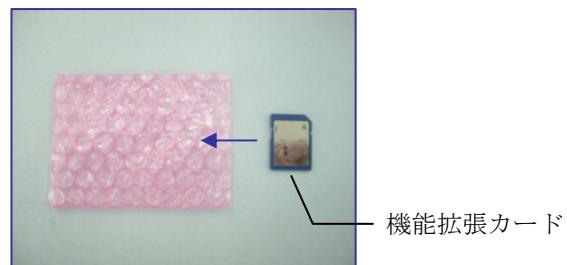


Fig.3 System before introduction. (Polyethylene Air Bag)

2. 容積可変封筒の開発

2-1 開発の経緯

従来方式は内容量の多い商品に合わせた段ボール箱を使用していたため、商品によっては段ボール箱内部が空間容積ばかりとなって、輸送効率の低下を招いていたものがあった。(Table 1)

Table 1 Measurement & Capacity.

外形寸法(W×D×H・mm)	容積 (m ³)
224×156×52	0.0018

そこで、まず包装設計の原点である「軽薄短少化」の視点に立ち返り、内容量の大きさや商品の特性を整理してから、共通化の可能な包装仕様の検討を開始した。

2-2 仕様検討のコンセプト

包装仕様検討のコンセプトとして、前項の製品特徴である

- ・商品によって構成される部品の点数が異なる

- ・プラスチック素材の破損しやすい部品(Fig.4)の保護が必要

といった点に対して、

- ・枯渇性資源の削減
- ・共通使用による集約化（容積変動への対応）
- ・組み立て作業性の配慮

上記の考慮を盛り込むことにより

- ・輸送効率の向上
- ・包装材使用量の削減

を狙うことを設計コンセプトとして検討を進めることにした。

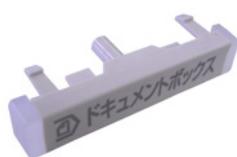


Fig.4 Plastic Parts which is easy to be damaged (Key top made by ABS Resin).

2-3 仕様検討の内容

検討にあたり、まず包装対象となる商品の部品構成について分析を行った。(Table 2)

Table 2 Product other Parts Constitution.

商品分類A	商品分類B
機能拡張カード	機能拡張カード
保証書、ラベル	キートップ※
CD-ROM	保証書、ラベル
	CD-ROM

※破損しやすいプラスチック部品

機能拡張カードは従来プリント基板方式であったが、定型寸法で且つ比較的外力に強いSDメモリーカード形式に移行していることもあり、破損しやすいプラスチック部品が付属しない機能拡張カード(商品分類A)では、帳票類以外の同梱部品もなく、単純に封筒でも十分に包装が可能であり、もう一方のプラスチック部品が同梱される機能拡張カード(商品分類B)には、容積の

確保と同時に外力から保護するための機能を設ける必要があることがわかった。

分析の結果から、封筒の容積を可変させた時に外力からの保護機能を設ける事で設計コンセプトを達成するものとして、“容積可変封筒”の開発に着手した。

2-4 容積可変封筒の仕様

封筒を内容量や付属部品によって形状を変形させるにあたって、ポイントとなるのは、立体形状にした時の強度をどのように確保するかであった。

幾つかの試作品を検討した結果、立体形状にする際に封筒の折り返し部分の一部を外力からの保護機能として用いる、Fig.5に示す平面形状と立体形状を同一部材から形成可能な包装材を考案した(特許第4085397号)。

なお、段ボールの材質は従来仕様が両面段ボール-Bフルート($t=$ 約3mm)を使用していたが、容積可変封筒では両面段ボール-Gフルート($t=$ 約1mm)を採用することで、封筒の折り返し部の作業性を良くすると同時に、段ボール使用量の削減を図っている。

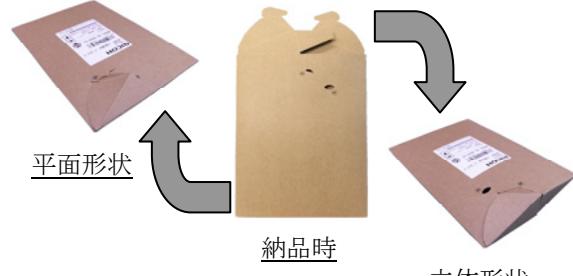


Fig.5 Shape of Capacity Variable Envelope.

2-5 立体形状時の特徴（構造）

容積可変封筒の立体形状における内部の構造をFig.6に示す。

封筒の折り返し部の一部を内側に折り込むことで、平面に加わる外加重から付属部品を保護し、左右の空間スペースに破損しやすい部品(プラスチック)を同梱することが可能となった。

なお、折り込み部は折線部の折り曲げ部位がそれぞれ戻り合うので、特に位置を固定していない。

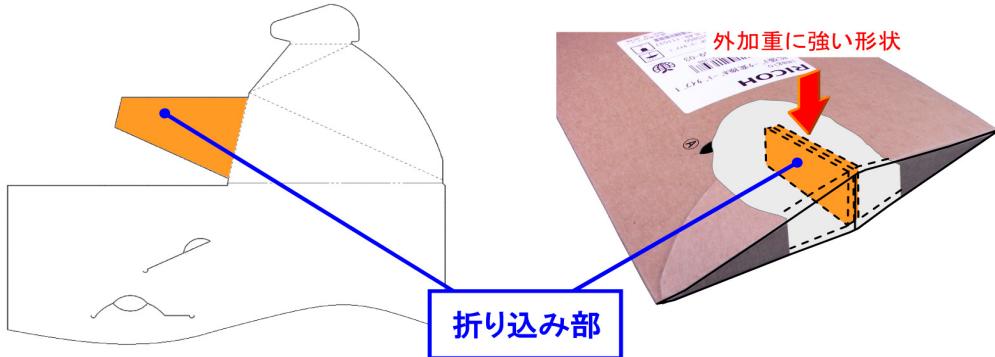


Fig. 6 Internal structure of Capacity Variable Envelope.

2-6 容積可変封筒の検討結果

最終的な容積可変封筒の外形寸法は以下のとおりとなり、従来仕様に比べて大幅な容積低減を図ることができた。

Table 3 Measurement & Capacity Variable Envelope.

	外形寸法 (W×D×H・mm)	容積 (m ³)
従来品	224×156×52	0.00180
変更品(平面)	254×181×8	0.00040
変更品(立体)	254×181×40*	0.00060

*立体形状時の高さは最大部分での高さを示す

平面形状はTable 2の商品分類Aの構成で採用し、立体形状はTable 2の商品分類Bで採用するという使い分けが可能となった。

3. 保護部材（紙製ケース）の検討

3-1 材質見直しの経緯

従来、機能拡張カードの保護部材としては帯電防止機能を施した気泡状ポリエチレン袋(一般呼称ではエアキャップ、プチプチ)を使用していた(Fig.3)。

前項2-3で述べたように、機能拡張カードはSDメモリーカードに移行する前はプリント基板が主流であり、静電気に弱く、基板自体が脆弱であることから非帯電

性の気泡状ポリエチレン袋を使用しており、媒体がSDメモリーカードに移行した後も、継続して使用されていた。しかしながら媒体がSDメモリーカードになり、気泡状ポリエチレンである必要がなくなったため、枯渇資源である樹脂材料からリサイクル性の高い紙系の保護部材への変更を進めることとした。

市場調査結果から、成形可能な紙素材で食品容器としても採用されている王子製紙(株)製のファインプレスを機能拡張カードの保護部材として導入検討を図った。

3-2 ファインプレスの特徴及び形状検討

ファインプレスは専用板紙を使用して、プレス成形できる商品である。

- ・深絞り成形が可能
- ・延伸に強く、破断しにくい
- ・テーパーや角Rが滑らかに成形できる

といった特徴がある。また、紙粉が出にくいため、電子部品用途にも適している。

ファインプレスの特徴を踏まえ、機能拡張カードと一緒に収納される部分および作業性のしやすさなどの点を考慮した結果、Fig.7に示す形状となった。

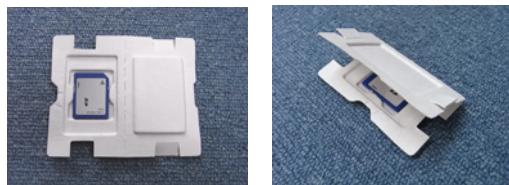


Fig.7 Shape of a conservation member. (Fine Press)

採用した形状が機能拡張カードよりひとまわり大きくした理由は、機能拡張カードには製品本体に装着されていることを識別するためのラベルが同梱されることから、ラベルを収納するスペース(機能)を併せて盛り込んでいる(Fig.8).

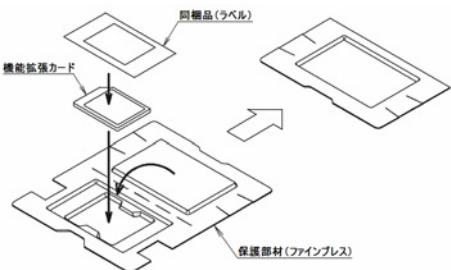


Fig.8 Constitution of a conservation member.

4. 改善効果

4-1 CO₂の排出量削減

容積可変封筒導入による容積削減および機能拡張カードの紙製保護部材への変更により、CO₂排出量は従来品と比較して、導入前の年間生産実績比較により約3トン/年のCO₂を削減することができた(Fig.9).

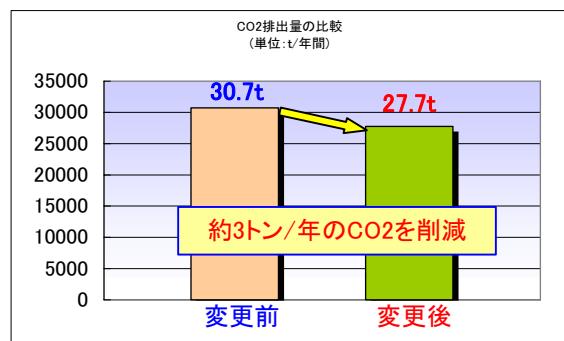


Fig.9 Comparison of CO₂ discharge.

4-2 包装容積の削減率

段ボール箱から容積可変封筒への変更によって、包装容積は従来比で約77~66%まで縮小することができた(Fig.10).

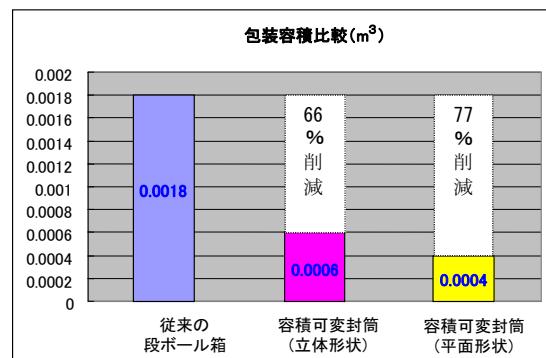


Fig.10 Packing capacity comparison.

4-3 社内外表彰

今回紹介した容積可変封筒は、社外評価として日本包装技術協会が主催する「2007日本パッケージングコンテスト」において「電気・機器包装部門賞」の受賞をいただくことができた。

また社内においては、「第6回リコーグループ環境経営活動賞」にて「プロセス革新技術部門・奨励賞」を受賞することができた。

5. 今後の展開

容積可変封筒の導入にあたっては、自社流通経路の輸送評価だけでなく、一般の宅配便を用いての評価も行っているが、封筒の外観に変形が見られ負荷が加わっていることが確認できる状態でも内容品の破損は見られなかった。

よって、個別配達用のツールとして自社商品以外にも活用が期待できる。例えば、ポストへ投函して郵便物扱いとしての利用などである。

なお、容積可変封筒は、平面形状、及び立体形状とともに大型郵便物(定形外郵便物)としての扱いとなる。

複合機本体の環境負荷低減への取り組みだけでなく、
このようなオプション商品など環境負荷低減の展開が
遅れている分野はまだあるので、今後も環境トップラ
ンナー企業として貢献するべく、新たな包装仕様開発、
及び改善検討に取り組みを続けて行く所存である。

参考資料 王子製紙(株) ファインプレス紹介サイト

ダイレクトエタノール燃料電池の開発

Elemental Technology Development of Direct Ethanol Fuel Cell

田中 正治^{*}
Shohji TANAKA

木村 興利^{**}
Okitoshi KIMURA

臼井 祐馬^{***}
Yuuma USUI

阿部 俊一^{***}
Shunichi ABE

伊藤 雄二^{****}
Yuuji ITOH

要　　旨

地球規模の深刻な気候変動、資源・エネルギー問題を背景に水素エネルギー、再生可能エネルギーへの期待が急速に高まってきている。小型高性能二次電池の代替が可能でアルコールをそのまま燃料として用いる燃料電池（DAFC）に対する期待は大きい。DAFCにおいてエタノールが燃料として利用できると利点は多いものの、その実現には本質的なブレークスルーが必要である。

本報告では上記燃料電池デバイス実現の観点からプロトタイピング研究、応用開発（燃料電池で駆動するプリンター）を端緒に、並行して材料・デバイス開発へと進んだ開発方法とその結果をレビューする。エタノールの直接酸化に必須となる高活性電極触媒を中心にダイレクトエタノール燃料電池（DEFC）の実現に向けた基幹材料の開発と課題について報告する。

ABSTRACT

In an environment marked by global serious climate change and energy problem, expectation to the hydrogen energy or the renewable energy rises rapidly. At a point having the potential that it can replace a small high-performance secondary battery, a direct alcohol fuel cell (DAFC) attracts interesting attention and expectation as a portable power supply. From the perspective of the energy density and availability of bio-fuel, ethanol is more preferable to the other alcohol as fuel. Despite all the advantages, an essential breakthrough is necessary for the realization when we can use ethanol as fuel.

In this report, the development approach and its result that went ahead through a study on prototyping of the fuel cell and its application (prototype printer operated by fuel cell power system) in parallel with materials and the device development are reviewed. Focusing on the high active electrocatalyst which becomes indispensable to the direct oxidation of ethanol, the development result, remaining problems, and the future prospects of basic materials for the realization of a direct ethanol fuel cell (DEFC) are reported.

* グループ技術開発本部 グループ技術企画室

Corporate Technology Planning Center, Corporate Technology Development Group

** 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

*** グループ技術開発本部 プリンティング技術開発センター

Printing Technology Development Center, Corporate Technology Development Group

**** 生産事業本部 生産技術センター

Production Engineering Center, Production Business Group

1. はじめに

1-1 背景・目的

深刻な地球規模の気候変動、温暖化問題や資源・エネルギー問題を背景に水素エネルギーや再生可能エネルギーへの期待が急速に高まっている。燃料電池はこれらの問題に対処できる有力な手段の一つとされ研究、実用化開発が進展している。ダイレクトアルコール形燃料電池（DAFC）はエネルギー密度が大きいアルコールを直接に燃料として利用できるデバイスであり、特に小型、携帯型燃料電池として期待が大きい。最近は原油価格の高騰、二酸化炭素排出削減、エネルギー戦略の面からバイオエタノールが注目されている。食料資源との競合など現時点ではバイオエタノール普及の課題はあるものの、エタノールは燃料としてのエネルギー密度がメタノールよりさらに大きく、水素、メタノールやその他の有機液体燃料と比較して低毒性、安全性、ポータビリティの利点から注目されている。

ダイレクトエタノール形燃料電池（DEFC）の実現を目指し10数年前からエタノール電極酸化の基礎研究が活発化し、近年多くの研究例が報告されている。DEFCのうち、カチオン交換膜を電解質膜とするタイプの燃料電池（PEMFC）は、燃料を供給する燃料極においてエタノールの酸化反応が進みにくく実用的なセル発電特性を得ることが困難であった。この問題に対処するためにPt（白金）をベースとした合金触媒についてLamy¹⁾、Zhou²⁾らの研究報告があり、最近ではAntoliniらによるレビューがある³⁾。国内でも数例の基礎研究が見られる。本開発では世界に先駆けてDEFCの実現を図るために、エタノール電極酸化に有効な高性能電極触媒並びに電解質膜を主課題として実施した。

1-2 アプローチ方法

未だ実現されていないDEFCタイプの燃料電池デバイスの開発を目指して燃料電池のプロトタイピング研究、応用研究を端緒に、これと材料研究を同時並行で開発を進めた。

1) プロトタイピング研究と応用開発

ダイレクトメタノール形燃料電池（DMFC）はDAFCの一つの実施形態であり、メタノールを直接に燃料として用い実用的な出力が得られつつある。したがってDAFCのアプリケーションを具現化するプロトタイピング研究に適しており、特に発電モジュールの制御、出力制御に力点を置き、DMFCの応用開発例としてリコー製プリンター（GELJET IPSiO G505）を完全なワイヤレスで駆動するための要素技術を開発した。最終の開発目標とするDEFCはDMFCと要素技術が共通であり、エタノール燃料への早期代替を目指す手段として開発を位置付けた。

2) 高活性電極触媒の開発

メタノールと異なり、C-C結合をもつエタノールは電極を用いた直接酸化（エタノール電極酸化）により効率よく出力を得ることが困難である。その理由の一つは、燃料極における酸化反応の活性化過電圧（=一定の酸化電流を得るため反応を活性化するのに必要なエネルギーに関係する電極電位の分極）が大きいことである。この活性化過電圧を低減するためにスパッタ法という当該分野では比較的新しい手法を用いてPtをベースとする多元合金系、Ptと金属酸化物の複合化など新規なアノード（燃料極）酸化用触媒材料を開発した。加えてエタノール電極酸化では反応の進行に伴い生成し、エタノールの完全な酸化への障害となる酢酸の酸化に注目し、半電池（ハーフセル）および燃料電池単セル（シングルセル）を用いて触媒活性の評価と反応生成物の分析を実施した。

3) 高機能電解質膜の開発

DAFCの単セルを構成する膜・電極接合体（MEA）の中心に位置する電解質膜は燃料を供給する燃料極と酸素還元を行う酸素極（空気極ともいう）に挟持されており、アルコール燃料が電解質膜を透過して酸素極に浸透するアルコールクロスオーバー（ACO）が燃料電池の出力低下の大きな要因となっていた。電解質膜のイオン伝導性とACO特性の両者を改善するため含フッ素ポリマーを基材とし、ホスフォン酸基含有モノマー、スルfonyl酸基含有モノマーをブレンドして塗布形成するポリマーブレンド法を用いて新規電解質膜

およびその高機能化技術を開発した。

2. 技術

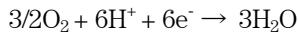
2-1 DAFCの動作原理と構成

2-1-1 原理

Fig.1に示されるように燃料電池の電極反応は燃料極（負極となる）における酸化反応と酸素極（正極となる）における還元反応からなる。燃料極（アノード）に供給されたアルコール燃料はアノード触媒（Anode catalyst）によって直接酸化される。電極を用いた直接酸化によって生じたプロトンは電解質膜（Polymer electrolyte membrane）を伝導し、カソード触媒（Cathode catalyst）を有する酸素極（カソード）において酸素と、燃料極で生じて外部回路を伝導した電子とで還元反応を行う。

燃料としてメタノールを供給した場合、燃料極では、
 $\text{CH}_3\text{OH} + \text{H}_2\text{O} \rightarrow 6\text{H}^+ + 6\text{e}^- + \text{CO}_2$

酸素極では、



の電極反応が起こる。

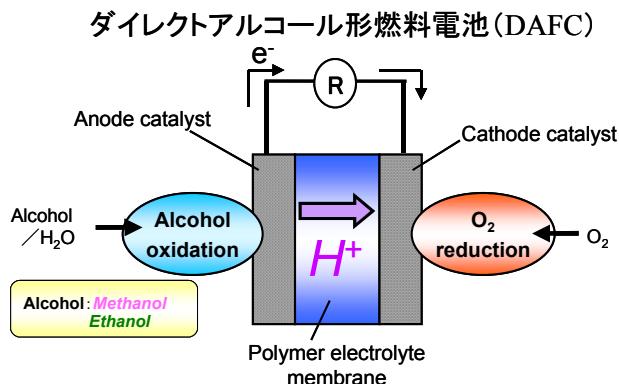
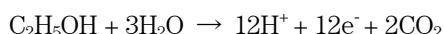
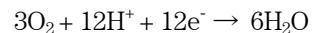


Fig.1 Principle of DAFC operation.

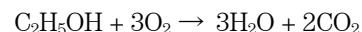
一方、燃料としてエタノールを供給した場合、燃料極では、



酸素極では、



したがってエタノールでは全反応は次のようになる。



上記の電極反応によって得られる理論上の起電力はエタノール燃料の場合、約1.145Vである。燃料極の反応をみると、メタノールの場合6電子反応であるがエタノールの場合は12電子反応であり、燃料が持つエネルギー密度は理論上エタノールが有利であることが分かる。

2-1-2 構成

Fig.2にDAFCの構成要素となるMEA（膜・電極接合体）の外観を示す。一般的なカチオン交換膜を電解質膜とするタイプの燃料電池と同様に、このMEAが単位となり燃料となるアルコール水溶液、酸化剤となる空気（酸素）の供給チャネルをもつセパレーターを介してこのMEAとセパレーターを交互に積層してスタックを構成する。これにより所定の出力が得られるような燃料電池スタックとなる。燃料電池スタックは発電制御を行うためのBOP（Balance of Plant）と呼ばれる補機アセンブリを加えて発電モジュールに、さらに外部の負荷装置を稼動させるための出力制御器などを備えて電源システムとなる。補機としては燃料、空気（酸化剤）を供給するためのポンプ、プロア、気化した液体から水を回収する凝縮器、送風ファン、各種センサーなどがある。

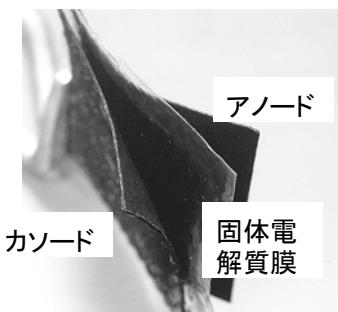


Fig.2 External appearance of MEA.

燃料電池の出力は直流電圧で得られるため外部の電子負荷を接続して利用するには、DC-DCコンバータなどの電圧調整器を用いて出力調整を行っている。

2-2 応用開発

2-2-1 燃料電池駆動プリンタの開発課題

現状では応用開発に適したDAFCはメタノール燃料を用いたDMFCが最適である。自社のプリンターを完全なワイヤレスで稼動するためのシステム技術を獲得し、要素技術としてDMFC発電モジュールの発電性能、ポータビリティを確保するために以下の主課題を抽出し開発した。

- 1) DMFC出力の安定制御
- 2) 高効率燃料消費制御
- 3) 生成水処理
- 4) システムの小型化

システムの系全体の制御、バックアップ機能として二次電池を併用したDMFCハイブリッド電源システムとした。

2-2-2 プロトタイプ開発結果

プロトタイプ開発は二期にわたり第一期では上の課題のうち、1) DMFC出力の安定制御、2) 高効率燃料消費制御に注力した。第一期ではDMFCを用いたハイブリッド電源システムの目標仕様を設定し試作1号機（プロトタイプ1）としてプリンターを完全ワイヤレスで駆動するコンセプトモデルを完成し対外的な公表を行った。

Table 1にDMFC発電モジュールを用いた応用シス

テムであるハイブリッド電源システムの開発目標と結果を示す。目標仕様として設定したプロトタイプ1は要素技術の設計を通じて課題解決をはかった結果、発電モジュールとしては概ね目標仕様を達成した。この発電モジュールを用いプロトタイプ1で開発したハイブリッド電源システムは、燃料供給方式のカートリッジ化を除き目標とする仕様を達成した。上述の1) DMFC出力の安定制御に対しては、DMFCの発電動作時のモジュール表面温度変動幅を5°C以内に制御するため多値燃料給液制御方式を採用し、表面温度に応じた多値燃料給液制御によって出力変動幅を従来の2値制御方式に比べ温度変動幅を1/2に抑えることができ安定した出力が得られた。この結果燃料電池の出力は化学反応に由来し、温度に応じた制御が有効であることが検証できた。DMFCの発電方法は高濃度メタノール水溶液燃料に対し生成水を含む水を液送ポンプ用いて供給し、希釈循環させる方式である。上述の2) 高効率燃料消費制御に対しては、燃料消費を可能な限り抑えるためにプリンターの待機と連続プリントモードの二つモードに着目した。制御方法は負荷のこの二つのモード対し発電制御パターンを設けモードに応じた発電制御を行う方式とした。プリンター待機時には制御系に必要な電力分だけ発電し、連続プリントモード時には駆動系と制御系に必要な電力を発電、供給することで負荷モードに応じた発電制御と多値燃料給液制御を併用し、この方式を取らない場合と比較して燃料消費を半減することができた。Fig.3にプロトタイプ1のコンセプトモ

Table 1 Specifications of DMFC module and its application system.

	発電モジュール		ハイブリッド電源システム	
	目標仕様 (プロトタイプ1)	改良仕様 (プロトタイプ2)	目標仕様 (プロトタイプ1)	改良仕様 (プロトタイプ2)
出力電圧	定格20V	定格14V	2系統:5.1V,37V	2系統:5.1V,37V
定格出力	定格20W	定格20W	定格36W (最大42W)	定格36W (最大42W)
使用燃料	54wt%以上のメタノール 水溶液	54wt%メタノール 水溶液	54wt%以上のメタノール 水溶液	54wt%メタノール 水溶液
燃料供給方式	—	—	カートリッジ 燃料希釈強制循環方式	簡易カートリッジ 燃料希釈強制循環方式
容積	W200×D240×H55 (mm)	W67×D64×H115 (mm)	6.0L 以下	3.55L
重量	4.5kg	2.2kg	12.0 kg 以下	3.6kg
起動時間	定格出力まで20分以内	10分	瞬時起動 (二次電池併用)	瞬時起動 (二次電池併用)
表面温度	70°C (起動時80°C) 以下	67°C (起動時74°C)	ケース上下面55°C 以下	53.6°C

デルを示す。プリンター製品のベースユニットとしてDMFCハイブリッド電源システムを設置し、商用電源を用いずにプリントデータを無線で受け取り印刷を可能とした完全なワイヤレス動作が実現できた。

プロトタイプ開発の第二期は、電源システムとしての利便性を意図した仕様として主にプロトタイプ1の小型軽量化に注力した。改良仕様として達成したプロトタイプ2の仕様を同じくTable 1に示す。プロトタイプ2の開発ではDMFC発電モジュールの出力電圧、定格出力をプロトタイプ1と同一としたまま、モジュールサイズを可能な限り小さくすることに努めた。



Fig.3 External appearance of applied system of DMFC (Prototype 1).

Fig.3に示されるプロトタイプ1で開発したDMFCハイブリッド電源システムは、DMFC発電モジュールのスタック容積が800ccであったが、プロトタイプ2では出力を維持したまま約300ccと半分以下に抑えることができた。これはセパレーターなど構成部品の形状の見直しによる効果が大きい。小型化の手段としてはその他に、

- ・ ワンチップマイコン、FPGAを利用した制御回路の集積や小型DC-DCコンバーター使用による制御基板の集約
 - ・ 送液ポンプ、空気プロア仕様見直しによる小型化、静音化
 - ・ 凝縮器（ラジエーター）効率向上による小型化
 - ・ 各構成部品の形状見直し、ユニットの再配置などデッドスペース低減による小型化
- などを推し進めた。

プロトタイプ1では発電制御の都合上余分な生成水が生じることで、排水用タンクを設けて余分となった生成水を排水しており、電源システムとしての利便性とシステム全体の小型化の障害となっていた。この課題に対処する方法として余分な生成水を作らない制御方法を検討した。具体的には発電モジュールの反応によって生成した水を回収する水タンクと希釀循環用タンクには新たに開発した水位センサーを配置し、水位に応じて凝縮器に送風する冷却送風ファンの回転数を制御し生成水の生成量と蒸散量のコントロールを行った。

この凝縮器に送風する冷却送風ファンの制御により、プロトタイプ1において必要としていた約200ccの排水タンクがプロトタイプ2では不要となっている。前述の生成水の処理に関するDMFC発電モジュールの制御方法の概念図をFig.4に示す。

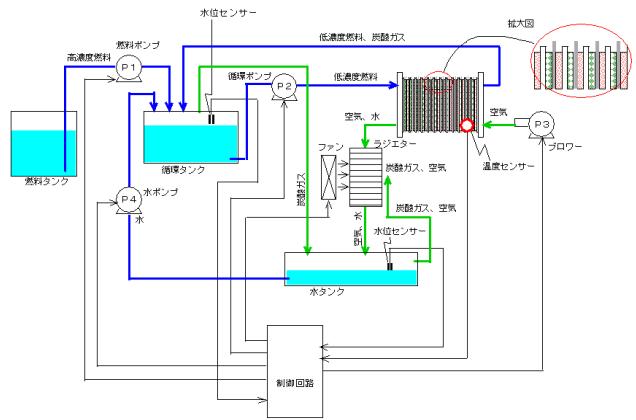


Fig.4 Block diagram of the BOP control system for DMFC module (Prototype 2).

上述のように、DMFC発電モジュール出力の安定制御、効率の良い燃料消費と生成水の処理方式に工夫を加えたことによる排水タンクの不使用、補機類の小型化により、ハイブリッド電源システムはTable 1に見られるように改良型のプロトタイプ2はプロトタイプ1と比べて容積、重量共に大幅に削減することができた。実用化に備えた更なる課題としては、長時間の発電持続性のためさらに高濃度のメタノール水溶液燃料を用いた希釀循環制御方法の検討、ポータブル化への対応

として傾斜した状態でも給液や循環が可能となる機構を設けた電源システムの開発、交換容易な燃料カートリッジの開発などが今後の課題として残されている。

2-3 高活性電極触媒の開発

2-3-1 電極触媒の開発課題

一般にDAFCの起電力はカソード分極電位とアノード分極電位の差となる。電流を得ない状態での理論的な起電力(EMF)は前述のようにエタノールの場合は1.145Vとなるが、燃料極における酸化反応を進めて大きな電流を得ようすると従来の触媒Pt, Pt-Ru (Ruはルテニウム)ではアノード過電圧(Anode Overvoltage)が急激に大きくなり、Fig.5に示されるようにPtやPt-Ruより過電圧の小さい触媒Pt-Ru-X(Xは第三元素)など高活性な新規触媒が求められる。

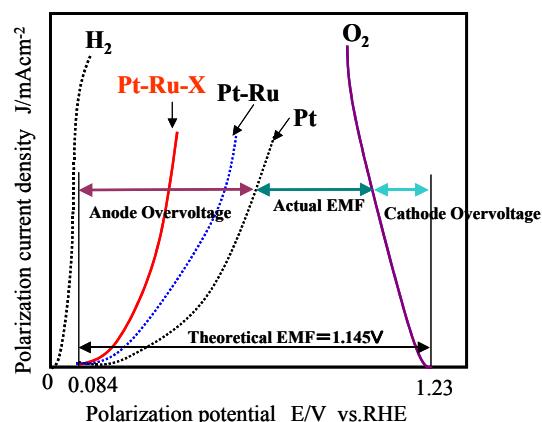


Fig.5 Conceptual polarization diagram of DEFC.

2-3-2 開発方法

(1) スパッタ法による触媒材料の作製

Au(金)やSi(シリコン)など電気化学的に安定な材料を基板として多元同時スパッタ法を用いてPtおよび第二、第三元金属元素を含む合金薄膜を形成した。二元～四元系および反応性スパッタによる触媒薄膜形成にはロードロック式スパッタ装置(ULVAC, CS-200S)を用いた。

(2) アルコール電極酸化の測定

上記(1)で得た電極を作用極として、三電極式セルを用いて主にCV(Cyclic Voltammetry)法によるアルコールの電極酸化特性を測定した。参照極にはAg/AgCl(sat.KCl)を、対極には白金線を用いCV測定を1.0 mol dm⁻³のアルコール水溶液と0.5 mol dm⁻³硫酸水溶液を混合した電解液中で主に常温で行った。また、質量分析装置(HIDEN ANALYTICAL, HPR-40)を用い定電解法(Stationary potential electrolysis)による電極酸化の反応生成物分析を実施した。

(3) 単セル発電特性の評価

上記(2)で得られた電極酸化特性をもとに、いくつかの触媒材料を用いてMEAを作製した。一部はスパッタ法を用いてMEAの触媒層を形成した。これらのMEAを用いてメタノールまたはエタノール水溶液を燃料として燃料極に供給し、カソードには加湿空気を供給して単セルの発電試験を実施した。

(4) 高温下におけるアルコール、酢酸の電極酸化との反応生成物の分析

上記(2)で得られた電極酸化反応生成物の分析、(3)で得られた単セル発電I-V特性などの結果から、反応過程に大きく影響していると注目したエタノール電極酸化の反応生成物である酢酸に対して温度範囲を250°Cまで拡大して電極酸化特性をCV法により測定した。作用極として、(1)のスパッタ法を用いて合金薄膜や、Ptと金属酸化物の複合系薄膜を形成した電極を用いた。電極酸化の測定方法は(2)と同様であるが、高温下でCV測定を行うためオートクレーブ並びに基準電極として圧力平衡型外部参照電極を備えた三電極式測定セルを用いた。加えて高温下の電極酸化反応による反応生成物の分析を実施した。

2-3-3 開発結果

1) 二元、三元合金系触媒の電極酸化特性

Au, Si, およびGC(ガラス状炭素)基板上にスパッタした二元系触媒、三元系触媒ではAuを基板としたものが最も良いメタノール、エタノール電極酸化特性を示した。Sn(スズ)を含有する合金系はSnの組成比率やスパッタ時の基板加熱温度に影響を大きく受け、Pt

とSnとの合金化や固溶体形成など特性に影響する状態が変わることが分かった。エタノールの電極酸化はPt-RuよりもSn, W(タンゲステン)元素を含有する合金系の特性が良好でFig.6に示されるように、Pt-Ru-Wの三元系触媒はエタノール酸化の立ち上がりを示すオンセット電位が低く、大きい酸化電流値が得られた。定電解法によって0.5V(vs. Ag/AgCl)に保持した酸化特性も良好な特性を示した^{4),5)}。

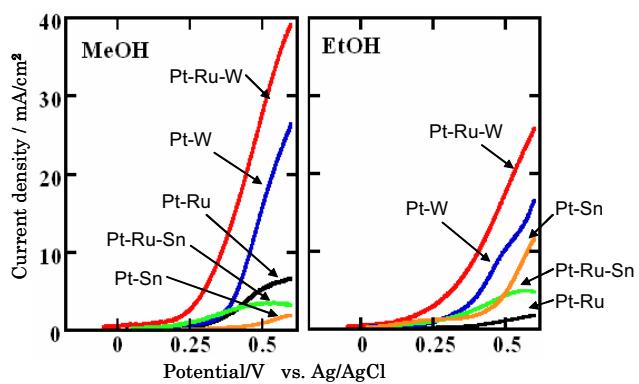


Fig.6 Voltammograms of Pt-Metal alloy electrodes in 0.5M H₂SO₄ + 1M methanol or ethanol solution compared to Pt-Ru. Substrate; Au, Heating temperature; 300 °C, Scan rate ; 10mV/s.

2) エタノール燃料を用いた単セル発電試験と電極酸化反応生成物

Pt-Ru/C(カーボン微粒子Cに担持されたPt-Ru触媒材料)を用いて作製したMEAを比較対象として、種々の触媒材料を用いてMEAを作製し有効面積5cm²の単セル発電試験をメタノールおよびエタノールを用いて実施した。Ptの使用量はすべて1mg/cm²となるように調製した。MEAの電極層はスプレー法で作製するか、またはこの電極層にさらにスパッタ法を用いて付加的に触媒を付加したものを評価した。その結果、Fig.7に示されるようにアノード触媒としてPt-Sn(Pt:Sn=2:1)/C触媒層にPt, Ruを二元同時スパッタ法により形成したMEAを用いた単セルが最も良好な発電特性を示した。エタノール発電では100mA/cm²の電流負荷に対して43mW/cm²、最大電力密度46mW/cm²が得られたが電流負荷をさらに増大すると急速にI-V特性が変化した。こ

れは反応生成物の増大によって濃度分極の影響が大きくなったものと推測した。Stimmingらの研究報告⁶⁾を参考にエタノール電極酸化反応における生成物を確認した。Fig.8はその結果であり縦軸は反応系内の各物質の濃度変化、横軸は電極反応に要した電気量であり反応の進行度を示す。触媒材料Pt-Ru/Cを用いたFig.8のエタノール電極酸化は反応を進めるにつれてアセトアルデヒドから酢酸への逐次的反応によって生成物ができ、大半は酢酸の酸化が進まないまま試験セルのような閉鎖系ではその濃度が次第に増加することが分かった。Pt-Sn/Cを用いても同様の結果となった。単セル内の電極反応でも同様な反応生成物の影響が考えられる。

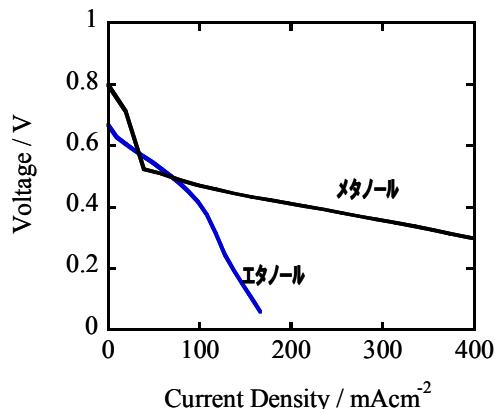


Fig.7 Single cell I-V characteristics of the direct alcohol fuel cell at cell temperature of 80°C.

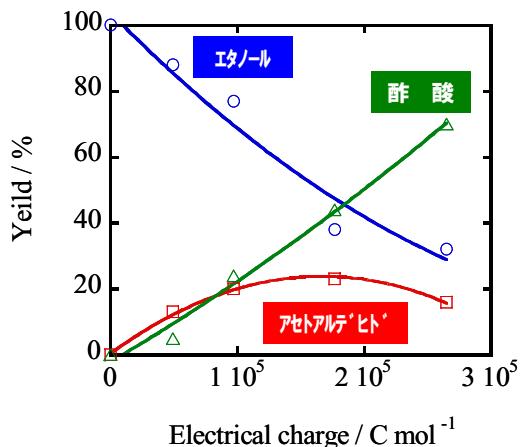


Fig.8 Analytical study on electro-oxidation reaction of ethanol. Stationary electrolysis of ethanol electro-oxidation at 0.5V vs. Ag/AgCl and 23°C.

3) 高温下における電極酸化

電極酸化による酢酸の反応挙動を調べるために、加えてアルコールの電極酸化による温度依存性を見るためにオートクレーブを用意し数種類の触媒材料の電極酸化特性を調べた。オートクレーブは250°Cまで温度が制御できるものを使用し、ここでは圧力平衡型外部参照電極と電解セル間の熱拡散電位等の補正を行い基準電位とした⁷⁾。触媒材料はいずれも金(Au)基板にスパッタ法により形成した薄膜を使用した。Pt-Ru, Pt-Wは二元同時スパッタ、Pt-W+O₂はPtとWの同時スパッタにおいて酸素ガスを添加して作製した。

Fig.9に250°Cまでの高温下においてCV法により測定した結果を示す。この結果より酢酸の電極酸化を行うと、Pt-W+O₂の触媒材料がより低温で大きい酸化電流が得られることが分かる。メタノール、エタノールの電極酸化についても250°Cまでの温度で実施した結果、Pt-W+O₂や、PtとSnO₂(Sbドープ酸化スズ)を同時スパッタしたもの、すなわちPtと金属酸化物の複合体がより高活性を示す結果となった。

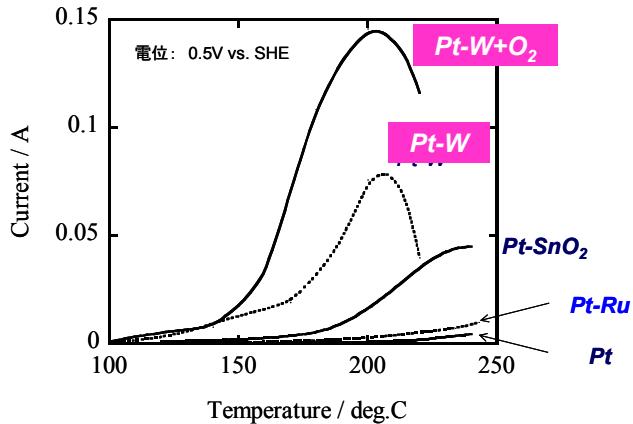


Fig.9 The result of temperature dependence of the electro-oxidation of acetic acid at 0.5V vs. SHE for various catalytic thin films.

酢酸の電極酸化反応による生成物を調べるため200°Cに保持したまま定電解法によって電極酸化し、オートクレーブからのガス成分に対し窒素ガスをキャリアガスとして質量分析装置に導入して分析した。その結果、対極で発生した水素、並びに酢酸の酸化反応によるメタン、二酸化炭素が検出された。Fig.10に分析の結果を示す。Fig.10で上図は酢酸を含まない電解液(バックグラウンド測定)と酢酸を含む電解液によるそれぞれの電極酸化で発生したガス分析の質量スペクトルを重畠したもの、下図は上図の質量スペクトル強度(分圧を示すスペクトル値を分圧値:Torrで表示)からバックグラウンド測定分を差し引いたものである。

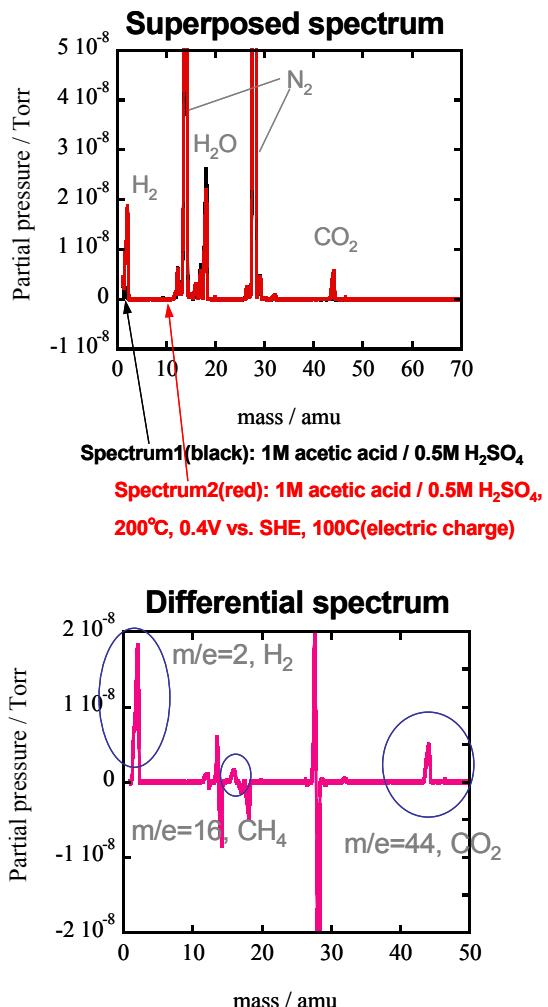


Fig.10 The analytical measurement of the gaseous products derived from electro-oxidation reaction of acetic acid at high temperature.

2-4 高機能電解質膜の開発

2-4-1 電解質膜の開発課題

一般的な固体高分子形燃料電池用電解質膜としてDuPont社のNafion膜に代表されるパーカルオロスルホン酸(PFSA)系の膜が用いられている。この材料は複雑な合成工程を経て作製されており低コスト化が難しいとされている。成膜性が良好なグラフト型フッ素樹脂とプロトン伝導性を有するモノマーを混合して作製できるポリマーブレンド膜製法は材料の選択性が広く、かつ作製工程を簡便にすることができる低コスト化に有効と考えられる。我々はこのポリマーブレンド法による電解質膜の作製を検討し^{8,9)}、グラフト型フッ素樹脂中でプロトン酸基を含有するモノマーを架橋させ高いプロトン伝導度をもちメタノール透過性が小さい電解質膜を作製することを目的とした。作製した電解質膜は初めにDMFCへの適用を検討し評価を行った上、将来的にはDEFCへの適用を目指した展開を意図して開発した。

2-4-2 開発方法

グラフト型フッ素樹脂の溶液に対してホスフォン酸基含有モノマー(アシッドホスホキシエチルメタクリレート)、スルfonyl酸基含有モノマー(p-スチレンスルfonyl酸ナトリウム)、架橋剤および開始剤を溶媒であるN,N-ジメチルホルムアミドに混合した。これを重合することによりポリマーブレンド電解質液を得た。電解質膜は調製したポリマーブレンド電解質液をキャスト成膜して100°Cで1時間、大気圧下で乾燥することにより得た。この膜をメタノール中で加温洗浄し、0.5M H₂SO₄水溶液中で1時間イオン交換した後に熱水中で洗浄した。

得られた電解質膜のプロトン伝導度は交流インピーダンス測定(印加電圧2mV、周波数範囲1M~100Hz)にて評価した。後述のようにアルコール透過性やプロトン伝導特性に關係する膜の膨潤度合いを膨潤度と定義し、25°C水中での円形膜の直径を膜乾燥時の直径で割ることにより算出した。メタノール透過性は5Mのメ

タノール水溶液とイオン交換水を電解質膜で隔離しイオン交換水側に染み出てくるメタノール量をガスクロマトグラフで定量することにより評価した。燃料電池特性はポリマーブレンド電解質とガラスファイバーを複合したコンポジット電解質膜と、燃料極にはPt-Ru触媒、酸素極にはPt系触媒を塗布した膜・電極接合体(MEA)を作製し燃料極に3wt%メタノール水溶液、酸素極には空気を供給し、温度80°Cで単セルの電流電圧特性を評価した。

2-4-3 開発結果

Fig.11に作製したポリマーブレンド電解質液および塗布膜の外観を示す。電解質液は乳白色の均一な状態であり沈降物は見られない。塗布により得られる膜は成膜性が良好なものであった。Fig.12に、ホスフォン酸基含有モノマー、スルfonyl酸基含有モノマーおよび架橋剤の組成を変化させたときのそれぞれのプロトン伝導度(ドット下の数値、単位:10⁻²S/cm)を示す。ホスフォン酸とスルfonyl酸の酸解離定数はスルfonyl酸の方が大きいため、スルfonyl酸基含有モノマーの増加によりプロトン伝導性も向上すると予測されたが、一方のみの添加量増加によりプロトン伝導度が向上することはなく混合比によってプロトン伝導度が決定付けられた。また、架橋剤が少ない方がプロトン伝導性は良い傾向にある。対してメタノール透過性は、ホスフォン酸基含有モノマーや架橋剤が増加すると低下する傾向にあった。これらの特性は作製した膜の水(またはアルコール水溶液)中の膨潤度と密接な関係にある。一般的にブレンステッド酸基を多く有する材料は水やアルコールと親和性がよいため、吸水して膨潤する。酸成分を多く含むものはプロトン伝導度も高い傾向にあるがアルコール水溶液も多く含む傾向にがあるので耐メタノール透過性に劣るものとなる。また、成膜時(乾燥時)の体積あたりの水素数が同数であっても、膨潤度が大きいものは水素イオンが動き易くなるためプロトン伝導性が高くなる傾向にある。

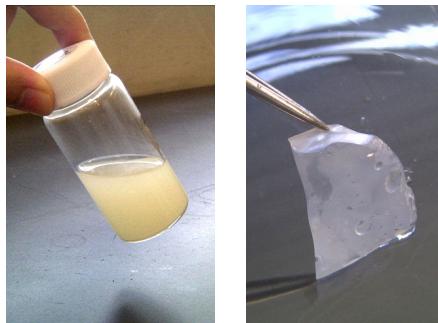


Fig.11 Polymer blended electrolyte solution and the membrane.

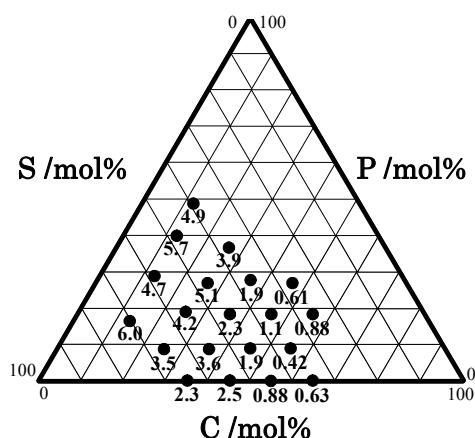


Fig.12 Proton conductivity (indicated value with dots; unit $\times 10^{-2}$ S/cm) vs. content ratio (mol%) of phosphonic acid group containing monomer (P), sulfo group containing monomer (S) and crosslinking agent (C).

ダイレクトアルコール形燃料電池における固体高分子電解質膜の開発ではプロトン伝導性を大きく、一方では膨潤度を小さく（アルコール透過性を小さく）することが要求される。得られたポリマーブレンド膜で最もプロトン伝導性の良い値は0.06 S/cmであったが、水中での膨潤度は190 %となった。Du Pont社のNafion117ではプロトン伝導度0.08 S/cm、膨潤度113%であり、この点では更なる改善が必要である。

我々は高機能化、改善の手法としてポリマーブレンド電解質液の容易な塗布性、塗布後の容易な成形性を利用してガラスファイバーシートと電解質材料を複合化することを試みた。ガラスファイバーシートにポリマーブレンド電解質液を塗布し大気圧下120°Cで乾燥、

イオン交換、洗浄、さらに加熱加圧成形（ホットプレス）することによりFig.13に示されるように、複合化されたコンポジット電解質膜を得た。塗布領域では不透明だった膜がホットプレスした部分（複合部分）では透明に変化している。これはポリマーブレンド電解質がガラスファイバーシート中に十分充填されていることを示している。

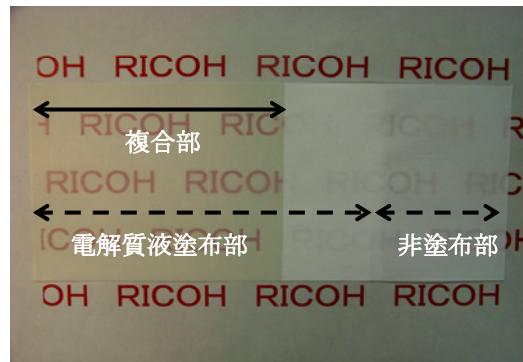


Fig.13 Polymer electrolyte membrane composite.

Table 2 に、作製したコンポジット電解質膜のメタノール透過係数およびメタノール透過速度を示す。透過係数は膜厚に依存しない特性であり、透過速度は透過係数を膜厚で割った値である。複合化にともないプロトン伝導度は若干低下したが膨潤は大幅に抑えることが可能になった。また、ポリマーブレンド電解質のメタノール透過係数は 2.95×10^{-3} mmol·m⁻¹·s⁻¹であったのに対し、コンポジット膜は 0.285×10^{-3} mmol·m⁻¹·s⁻¹および 0.231×10^{-3} mmol·m⁻¹·s⁻¹となった。値は十分の一以下となりガラスファイバーシートを複合することによりメタノール透過が大幅に抑制できたことがわかる。メタノール透過速度については作製したコンポジット電解質膜が薄いためNafion117より若干悪い値となつた。

Table 2 Material characteristics of newly-developed membrane.

	プロトン伝導度 Scm ⁻¹	膨潤度 %	膜厚 μm	メタノール透过係数 mmol·m ⁻¹ ·s ⁻¹	メタノール透过速度 mmol·m ⁻² ·s ⁻¹
ポリマーブレンド電解質膜	0.060	191	559	2.95×10^{-3}	5.28
コンポジット電解質膜	0.051	105	40	0.285×10^{-3}	7.13
コンポジット電解質膜	0.051	105	26	0.231×10^{-3}	9.08
Nafion117	0.080	113	230	1.20×10^{-3}	5.22

Fig.14には作製したコンポジット電解質膜および比較のためのNafion117を使用した単セルの電流電圧特性を示す。Nafion117の最大出力密度は110mW/cm²、対してコンポジット電解質膜は122mW/cm²となり最大出力でNafion117を上回る特性を出すことができた。

開発したコンポジット電解質膜は出力特性では満足できるものの、メタノール遮断性が十分であるとはいえない。ポリマーブレンド製法は材料の選択性が広くかつ作製工程も簡便であるため、この利点を生かしイオノマー材料や複合材を今後検討することにより更なる高性能化を図っていく。

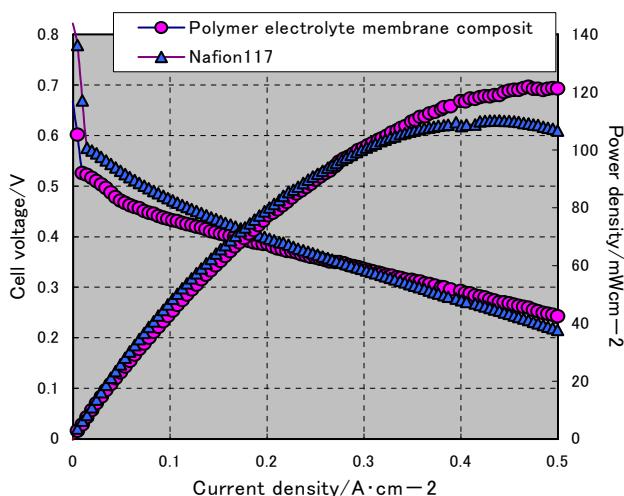


Fig.14 I-V characteristics of DMFC operation by use of self-made MEA composed of the polymer electrolyte membrane composite compared to Nafion117. Anode;3wt% methanol solution, Cathode; air, Cell temperature;80°C.

3. 成果

環境・エネルギー技術の一つとして将来有望な燃料電池の材料・デバイス技術並びにその応用技術を短期間で開発した。

- 直接アルコール形燃料電池としてメタノール燃料を用いた発電モジュールを効率よく制御し適正な出力に維持するための制御技術を獲得した。
- 上記の燃料電池を用いた電源システムを試作し独自の制御技術を適用することで小型プリンターを事例として、商用電源に依存することなく適正な稼動を実証することができた。
- エタノールの直接酸化に有効な高活性電極触媒材料を開発した。しかしエタノール酸化では反応が複雑であり実用的な出力を得るために、エタノール酸化の反応生成物である酢酸の酸化をより低温下で実現できるように触媒の改良が必要である。
- 上記の方法論としてPtをベースとし金属酸化物を複合化した触媒材料を開発し、200°C程度の反応温度で下式に示される酢酸の電極酸化反応による分解（二酸化炭素の生成）を確認した。

$$\text{CH}_3\text{COOH} + 2\text{H}_2\text{O} \rightarrow 2\text{CO}_2 + 8\text{H}^+ + 8\text{e}^-$$
- ポリマーブレンド法を用いて直接アルコール形燃料電池に向けた生産性の高い高機能電解質膜を開発した。
- アルコールを直接燃料とする場合のプロトン伝導性、低燃料クロスオーバーという相反する特性を解決する手段として、基材と電解質成分を複合化したコンポジット膜構成が有効であることが示された。

4. 今後の展開

バイオエタノールは炭素の由来が主に植物でありダイレクトエタノール形燃料電池が実用的水準になった場合の社会インフラやビジネスに与えるインパクトが大きい。将来的には最先端のリチウムイオン電池を代替できるポテンシャルがあり、電子機器や移動体の電源として早期の実現が望まれる。そのために、エタノールの完全な酸化をより低温で進行できる新触媒、低コスト可能な高機能電解質膜の探索がさらに必要である。

5. 謝辞

本研究開発の一部は、文部科学省 産学官連携イノベーション創出事業費補助金（独創的革新技術開発研究）の助成を受け、国立大学法人 東北大学、長岡技術科学大学との共同研究により実施しました。関係各位に感謝いたします。

参考文献

- 1) C.Lammy et al. : Journal of Power Sources, 105, (2002), pp.283-296.
- 2) W.J. Zhou et al. : Journal of Power Sources, 131, (2004), pp.217-223.
- 3) E. Antolini : Journal of Power Sources, 170, 1 (2007), pp.1-12.
- 4) S.Tanaka et al. : Journal of Power Sources, 152, (2005), pp.34-39.
- 5) 特開 2004-152748.
- 6) N.Fujiwara et al. : Journal of Electroanalytical Chemistry, 472, (1999), pp.120-125.
- 7) D.D. Macdonald : J. Electrochem. Soc., 126, (1979), pp.908.
- 8) 野口 他 : 第 45 回電池討論会要旨 3E04, (2004), p.664.
- 9) 木村 他 : 電気化学会第 72 回大会要旨 2G03, (2005), p.216.

注) ULVAC, CS-200S は株式会社アルバックの商標製品です。

HIDEN, HPR-40 は Hiden Analytical Ltd. の商標製品です。

Nafion, Nafion117 はデュポン株式会社および米国デュポン社 (E. I. du Pont de Nemours & Company Inc.) の商標、製品です。

パッケージ応力による小型アナログICの回路特性変動評価

Prediction of Stress-Induced Characteristic Changes for Small-scale Analog IC

上田 尚宏* 渡辺 博文**
Naohiro UEDA Hirobumi WATANABE

要　　旨

アナログ特性の精度向上に伴って樹脂封入（パッケージング）による僅かな特性変動が無視できなくなってきた。今回、1辺1mm未満の小型アナログ集積回路（IC）において、樹脂封入した後の残留応力が引き起こす回路特性の変動を、新たに開発した評価方法を用いて予測する手法を開発した。テストチップは小型ICと同じ外形寸法で、シリコン単結晶中に不純物拡散法で形成した1つの微小なピエゾ抵抗体を備えている。このテストチップの抵抗値変化量を測定することでパッケージ起因の応力変化を検出する。小型ICは外部との接続電極数が少ないので同じ構造のテストチップでは1チップで1箇所の抵抗値しか採取できない。そこで我々はピエゾ抵抗体のチップ内位置を変えた複数のテストチップを作製し、その全ての結果を積算することで1つのチップ面内依存性を再生できることを明らかにした。この新しい手法を用いた小型アナログICのチップ表面応力分布について報告する。さらに、この応力分布を反映したチップ全体の回路特性シミュレーション法を紹介する。

ABSTRACT

Stress-induced parametric changes during the resin-molded packaging of a small-scale integrated circuit (IC), which is smaller than 1.0 mm², have been evaluated by a new methodology with specially designed test chips. Multiple test chips with different resistor locations have been fabricated, measured by die-to-die correspondence and one contour plot was reproduced from all of the measurement results. This paper shows distributions of parametric change for the small scale ICs. In addition, a new method for evaluating the circuit performance change due to stress-induced parametric changes is presented.

* 電子デバイスカンパニー 技術開発部

Process Development Department, Electronic Devices Company

** 電子デバイスカンパニー 製品開発部

Product & Technology Development Department, Electronic Devices Company

1. 背景と目的

近年の携帯用電子機器の目覚しい普及拡大に伴い、それに用いられる電子機器は小型化が要求され半導体集積回路（Integrated Circuit：以下IC）もその例外ではない。小型化と同時に高精度化への要求も高く、例えば、アナログICの初期精度を高めることや特性バラツキを抑えることがここ数年のデバイス開発の大きな技術課題となっている。

ICの電気特性の高精度化を阻害する1つの要因としてモールドパッケージング工程に伴う特性変動が挙げられる。これは線膨張係数の大きい樹脂がその形成過程で硬化収縮を起こし、その結果、IC表面に圧縮応力が発生することが原因である。この応力によるピエゾ効果で各種デバイスの電気特性は変化し、結果として回路特性もパッケージング工程前後で変化する^{1), 2), 3)}。

通常の回路設計はウェハ状態で抽出したSPICEパラメータ⁴⁾を用いているのでこの特性変動は考慮されていない。

我々は過去に報告例のない1辺1mm未満の小型ICの面内応力評価方法を開発した。また、この技術を用いてモールドパッケージング工程で生じる残留応力起因の回路特性変動を調査したので報告する。

2. 技術

2-1 テストチップ

今回の評価で用いたテストチップの外観をFig.1に示す。テストチップは小型ICと同一の形状、同一の接続端子部（Bonding Pad）を備えている。これは実際の小型ICで生じる残留応力起因の特性変動をできるだけ正確に計測するためである。

小型ICは端子数が少なく例えば1辺1mm未満の小型ICでは端子部が4つしかない。よってこれと同じ端子数で作製したテストチップには、応力検出用の素子（ピエゾ抵抗体⁵⁾）が1つしか搭載できない。つまり、このチップだけでは小型ICのチップ表面の異なる場所の応力データを採取することはできない。

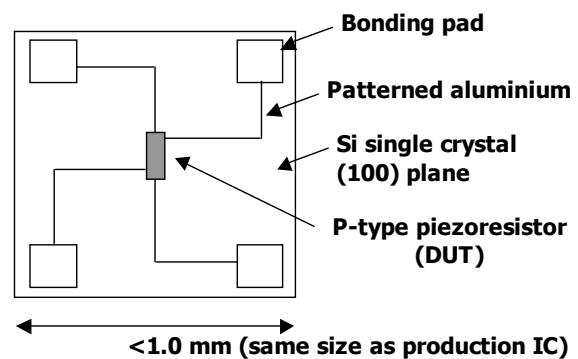


Fig.1 Test Chip.

チップ表面の複数の応力データを抽出するために我々は以下3つの工夫をテストチップに盛り込んだ。

第1に、ピエゾ抵抗体の位置をあらかじめ変えた複数のテストチップを同時に形成し、全ての測定結果を1つのチップ平面内に同時に表示する、という手法を採用了。この方法を用いることで端子数が限定された小型ICについても、チップ面内の特性変動傾斜を採取することができた（Fig.2）。

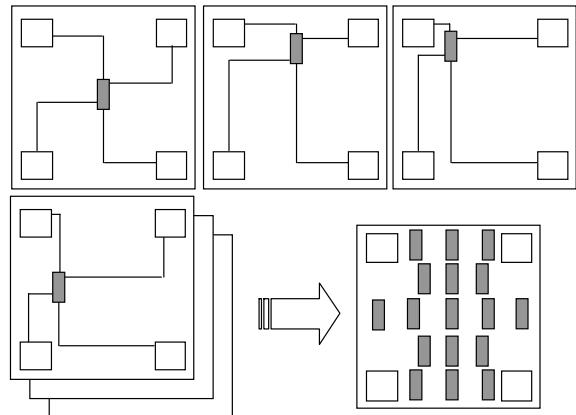


Fig.2 principle of the multi point measurements utilizing the test chips.

第2として、異なる複数のテストチップの結果から1つのチップの応力面内分布を再現するためには、個々の測定結果に高い測定精度が必要である。このためにテストチップに形成したピエゾ抵抗体の抵抗値測定は、引き回しのメタル配線抵抗の違いやコンタクト抵抗のバラツキなどの外乱要因を排除することができる4端子

法 (4 point Kelvin resistance measurement method⁶⁾) を用いた (Fig.3) .

第3としては、前述のように評価の対象となる小型ICのチップサイズが1辺1mm未満と極めて小さいのでテストチップに内蔵させるピエゾ抵抗体はチップサイズに対して十分小さい必要がある。そこで今回作製したピエゾ抵抗体は、幅：2um、長さ：30umと極めて小さいものとした。

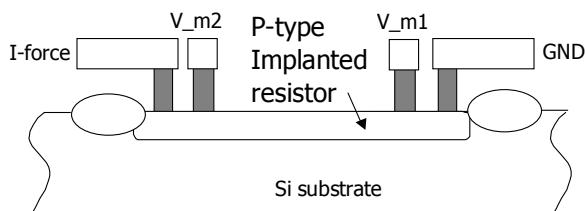


Fig.3 outline of a piezo sensor cell.

以上の特徴を備えたテストチップを実際の小型ICと同じ生産設備・同じ材料・同じ工程条件でSiウェハ上に作製し、続いてパッケージング処理を行った。抵抗値の測定は温度依存性で生じる測定値バラツキを避けるために、 $23 \pm 0.5^{\circ}\text{C}$ の恒温環境下で行った。

2-2 キャリブレーション

以上の手法で作られたピエゾ抵抗体の抵抗値変動から、回路全体での特性変化を予測するため、回路で用いられているそれぞれの素子の特性変動と、応力に対応して変化するピエゾ抵抗値との相関関係を調査した。

評価システムは短冊形状に切り出したSiチップ ($10 \times 40\text{mm}$) の片側を固定し、自由端側に既知の荷重を印加しながら電気特性を測定する、いわゆるカンチレバー法^{7), 8)} を用いた (Fig.4) . 内部応力は印加した荷重とサンプル形状から算出する。

測定は応力の方向と素子に流れる電流の方向が平行な状態で行った。印加した荷重はチップ内応力換算では $0 \sim \pm 150\text{Mpa}$ である。

評価結果をFig.5に示す。ピエゾ抵抗体はP型抵抗体で形成した。横軸が抵抗値の応力起因特性変動を、縦軸が同じ応力印加状態での各素子の特性変動を表している。

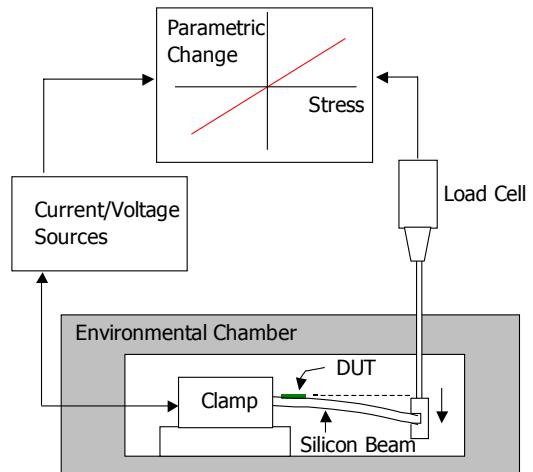


Fig.4 calibration equipment by cantilever technique.

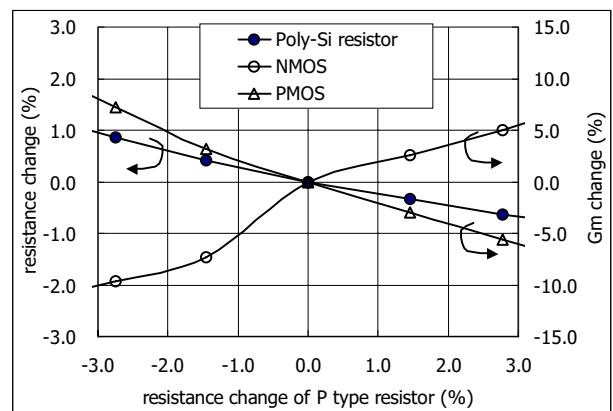


Fig.5 calibration result.

3. 成果

3-1 測定データの精度と再現性

複数のテストチップの測定結果から1つのチップ面内依存性を再現するためには、個々の測定結果に高い精度と再現性が要求される。Fig.6はチップサイズ $0.8 \times 0.7\text{mm}$ のテストチップにおける合計17個のピエゾ抵抗体(P1~17)の配置図である。

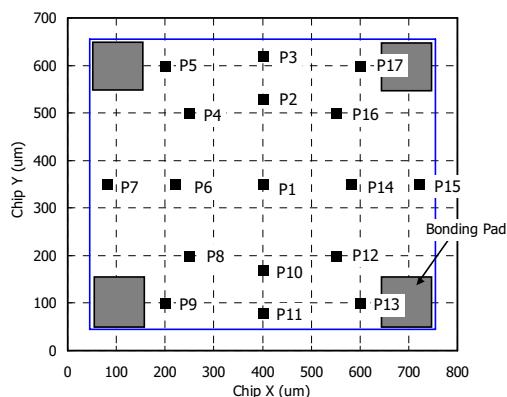


Fig.6 configuration of piezo sensor cells for $0.8 \times 0.7\text{mm}$ test chip.

1枚のウエハ内の異なる6つの場所(Site1~Site6)からそれぞれ17個のテストチップを採取し、合計102個のパッケージングに伴う抵抗値変化率 ΔR を測定した結果をFig.7に示す。

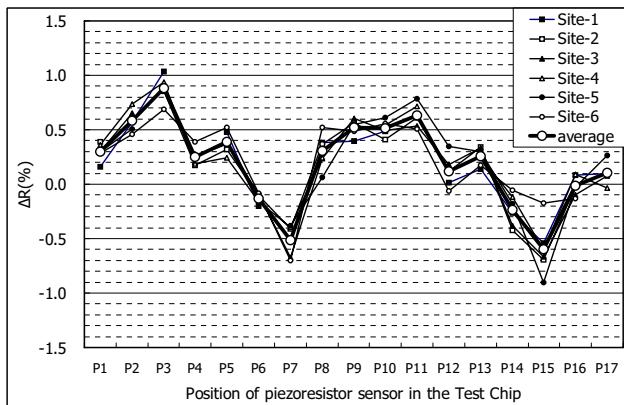


Fig.7 stress-induced resistance change results of 102 packages of the test chip.

ピエゾ抵抗体のチップ内位置(P1~17)に対してSite1~6の測定結果が小さなバラツキ範囲内で同じ挙動を示しており、抵抗値変動のチップ面内依存性が再現性良く高分解能で測定できていることがわかる。

他のチップサイズに対しても同様の結果が得られていることから、我々の評価手法が小型チップの調査に対して十分な精度と再現性をもっていることが確認できた。

3-2 応力起因の特性変動分布

今回、我々が評価したテストチップのチップサイズとセンサー個数、及び、パッケージ種類をTable 1に示す。チップサイズは $0.5 \times 0.5\text{mm}^2$, $0.7 \times 0.8\text{mm}^2$ の2種類、パッケージはA, Bの2種類に対して評価を行った。

Table 1

Chip size	$0.5 \times 0.5\text{mm}^2$	$0.8 \times 0.7\text{mm}^2$
N of sensor	20	17
Package A	Figure 8	Figure 9
Package B	—	Figure 10

Fig.8~10は実測データを基に計算したピエゾ抵抗体の抵抗値変化率のチップ面内分布であり、図中の数値は抵抗値変化率：(a.u.)を表している。

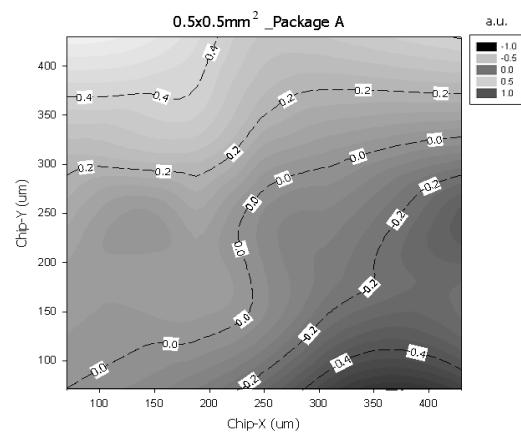


Fig.8 contour plot of parametric change for $0.5 \times 0.5\text{mm}$ Si chip resin-molded with package A.

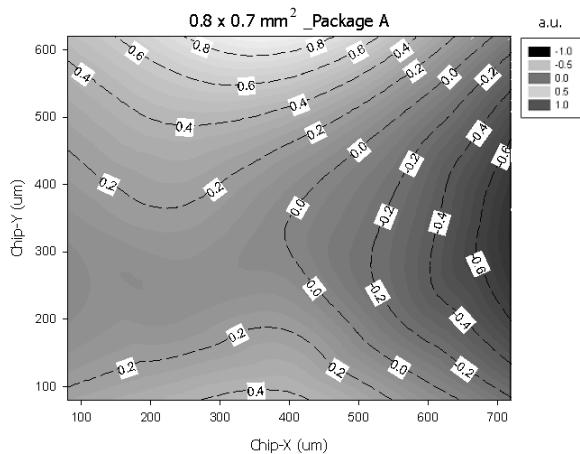


Fig.9 contour plot of parametric change for 0.8×0.7 mm Si chip resin-molded with package A.

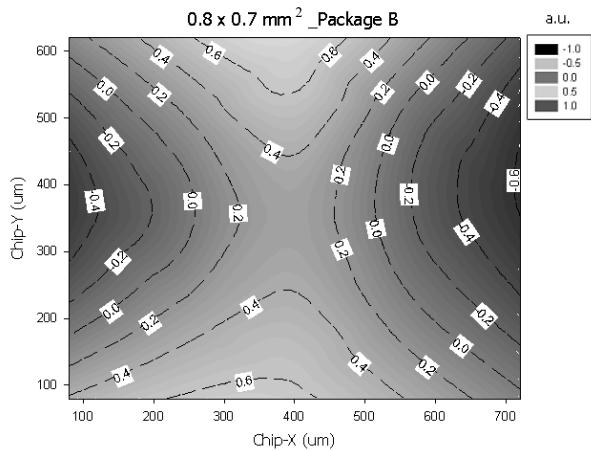


Fig.10 contour plot of parametric change for 0.8×0.7 mm Si chip resin-molded with package B.

パッケージ Aに関してチップサイズの異なる2つの分布を比較すると、チップの右領域でマイナス方向の抵抗値シフトが、チップの上領域でプラス方向の抵抗値シフトが共通して観測されている。しかしチップの左下は異なる分布を示している。

パッケージ Aの分布に対してパッケージ Bではチップ中心を原点とした対称的な特性変動傾斜を呈している。

以上のことからパッケージの違いによる特性変動の違いは、パッケージの構造的な違い、特にICチップが接着されているチップタブとそれとつながるリードフレームの形状が原因と考えている。

さらにパッケージ Aで見られた分布の非対称性はキャビティへの樹脂注入が一要因として考えられ、今後の更なる解析が待たれている。

3-3 回路特性の変動予測

以上の結果を用いてパッケージング工程に伴う特性変動を回路レベルで検証することを試みた^{9), 10)}。評価の対象としたテスト回路はチップサイズ：0.5×0.5mmのオペアンプ回路であり、パッケージAで組み立てる想定した。評価手順は以下の通りである。

まず回路全体のレイアウト図を0.1mm単位で正方形分割し、それぞれのブロックに含まれる素子を特定する

(Fig.11)。一方で同じチップサイズの特性変動図も同様に0.1mm単位にブロック分割し、各ブロックにおける特性変動量を読み取っていく(Fig.8)。この時、ブロック内で特性変動量が傾斜を持つ場合は平均値を代表値とした。

特性変動を考慮した素子はNMOS, PMOS, Poly-Si抵抗体の3つであり、トランジスタは伝達関数：Transconductance (Gm)を、抵抗体は抵抗値の特性変動をFig.5のデータを用いて反映させた。

次にそれぞれの変動量を考慮したSPICE回路シミュレーション用のモデルパラメータを作成した。モデルパラメータファイルは変動量の大きさごとに複数作成し、ブロックによる変動量の違いに対応できるようにした。

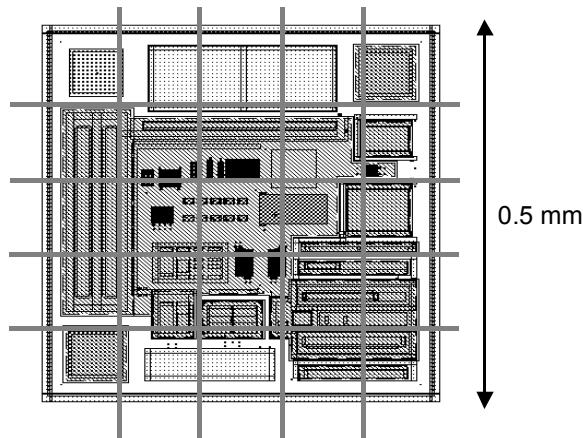


Fig.11 Experimental circuit

以上の準備をした後、回路シミュレーションを行った。応力の影響で生じる回路のDCアウトプットの変動量をFig.12に示す。

回路シミュレーションは、応力分布を考慮した最適な回路レイアウトの場合をベストケースとし、トランジスタと抵抗体の両方の素子が応力の影響を最大に受ける場合をワーストケースとして、それぞれ実行した。

ワーストケースの場合、DCアウトプットが約0.7%変動する結果が得られた。

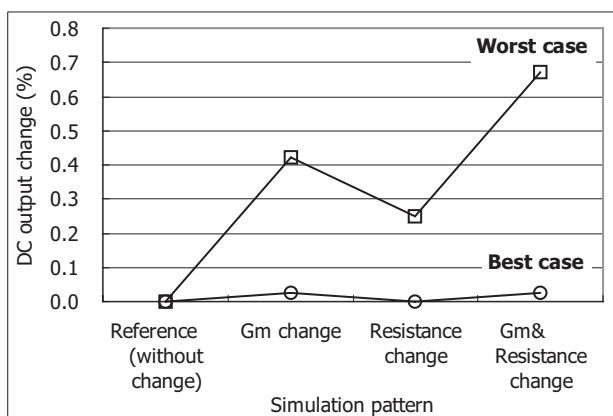


Fig.12 Simulation results.

この結果について個々の要因を分離して調査したところ、トランジスタだけが応力の影響を受けて特性変動するとした場合（抵抗値は一定）で約0.4%，一方で、抵抗体のみが変動する場合（トランジスタは一定）は約0.3%出力が変動することが確認できた。

すなわち、この回路においては抵抗体よりもトランジスタのほうが、DCアウトプットの変動に与える影響が大きいことが分かった。

4. 結論

チップサイズが1辺1mm未満の小型ICに対してモールドパッケージング工程に伴う応力起因特性変動を評価した。評価に当たってはピエゾ抵抗体のチップ面内位置を変えた複数のテストチップを作製し、その全ての結果から1つのチップ面内分布を再現する、という独自の手法を開発した。

本手法を用いることで、チップサイズが異なると応力の面内分布が異なること、パッケージ種類に関してもチップ面内分布を左右することが明らかになった。

これらの結果を用いてチップ全体の回路特性変動をシミュレーションしたところ、素子によって影響度合いが異なることが確認できた。

以上のことから、我々が開発した手法は端子数が限定された小型ICのパッケージング起因の特性変動評価に対して極めて有効であることが示された。

5. 今後の展開

本技術を実際のIC回路設計に適用することで従来品の性能を上回る超高精度なICが実現できる。

さらにこの技術は小型ICに対して応力分布の可視化を可能としたことで様々な産業分野への応用が可能であり、例えば、低応力パッケージングに関する実装技術開発、さらにはそれに用いる新規樹脂開発などへの応用が期待できる。

参考文献

- 1) H. Ali : "Stress-Induces Parametric Shift in Plastic Packaged Devices" IEEE Transactions on Components, Packaging, and Manufacturing Technology, Part B, vol.20, No.4, Nov., (1997).
- 2) Y. Kanda, "A Graphical Representation of Piezoresistance Coefficients in Silicon," IEEE Transactions on Electron Devices, vol.ED-29, No.1 (1982), pp.64-70.
- 3) A. Hamada et al. : "A new aspect of mechanical stress effects in scaled MOS devices," IEEE Transactions on Electron Devices, vol.38, No.4 (1991), pp.895-900.
- 4) <http://bwrc.eecs.berkeley.edu/Classes/IcBook/SPICE>
- 5) Jeffrey C. Suhling and Richard C. Jaeger : "Silicon Piezoresistive Stress Sensors and Their Application in Electronic Packaging," IEEE Sensors Journal, vol.1, (2001), pp.14-30.
- 6) http://www.allaboutcircuits.com/vol_1/chpt_8/9.html
- 7) F. Fruett, G. C. M. Meijer and A. Bakker : "Low-drift Bandgap Voltage References," European Solid-State Circuit Conference, (2002).
- 8) F. Fruett and G. C. M. Meijer : "The Piezojunction effect in silicon integrated circuits and sensors, " ISBN 1-4020-7053-5, Kluwer Academic Publishers.
- 9) S. Komatsu et al. : "Stress-insensitive diffused resistor network for a high accuracy monolithic D/A converter," in IEDM Tech. Dig., Int. Electron Devices Meet., (1980), pp.144-148.
- 10) H. Miura : "Device Characteristic Changes Caused by Packaging Stress," Mechanics and Materials for Electronic Packaging, AMD-Vol.195, (1994), pp.101-109.

FIBによるULSI回路修正時の帯電防止技術の開発

Antistatic Techniques for Suppressing Charging in FIB-SEM Combined System

薦田 弘敬* 森谷 千恵*
Hirotaka KOMODA Chie MORITANI

要　　旨

FIB (Focused Ion Beam) によるULSIの回路修正（内部配線のつなぎ替え）は、ULSIデバイス開発時のデバッグに用いられ、マスク改訂回数の低減に多大な寄与をしている。しかし、アナログデバイスに代表される製品では、イオンビーム照射による帶電が原因で生じるESD (Electrostatic Discharge) 破壊、デバイス特性シフトが重要な問題となっている。そこで、われわれはFIB-SEM複合装置を用いた3つの帶電防止技術を開発した。本報告では、今回開発した3手法の帶電防止効果および帶電防止機構を各種実験結果から明らかにし、それぞれの特徴を示す。さらに、帶電によるデバイス特性シフトを防止した状態で、同一装置内の各種アナログ／ロジックデバイスの効率的な回路修正を実現するため、デバイス・加工条件の種類に最適な3手法の使い分けを提示する。

ABSTRACT

Focused ion beam (FIB) technologies are now routinely used for circuit modifications during the debugging phase of ULSI development. However, FIB-induced charging causes electrostatic discharge (ESD) damage and changes transistor parameters. Thus, for ULSI makers, achieving successful circuit edit without the FIB-induced charging is one of the most critical issues to reduce the development costs and time-to-market of new devices. We have developed three antistatic techniques for suppressing the FIB-induced charging in a FIB-SEM combined system. In this paper, the effectiveness and mechanism of our antistatic techniques were investigated and discussed. We also proposed an application criterion of the three methods to realize successful and efficient circuit edits of various devices without FIB-induced charging in the same FIB-SEM combined system.

* 電子デバイスカンパニー 品質保証部

Quality Assurance Department, Electronic Devices Company

1. 背景と目的

FIB (Focused Ion Beam) によるULSIの回路修正は、FIBの3機能（見る、切る、貼る）を活用しULSI内部配線のつなぎ替えを行うもので、ULSIデバイス開発時のデバッグに用いられ製品開発に多大な寄与をしている¹⁾。しかし、イオンビーム照射による帶電が原因で生じるESD (Electrostatic Discharge) 破壊、デバイス特性シフトが回路修正時の大きな課題となつており^{2), 3)}、帶電防止技術の開発が切望されている。それにもかかわらず、FIB装置に搭載された帶電防止技術としてこれまでに公表されているものは電子シャワー^{2), 4)}のみである。さらに、電子シャワーを用いる際の最適条件については経験的なものしかなく、周辺デバイスへの悪影響についても十分評価されていない。このようにFIBの帶電防止技術に関する研究は非常に少ないのが現状である。

以上の背景に鑑み、電子シャワーに替わる新たな帶電防止技術の開発を行つた。本開発においては、アナログデバイスとロジックデバイスの回路修正時に用いられるFIB加工条件の違いを考慮し、両デバイスの回路修正に適用可能な帶電防止技術を同一装置内で実現することを目標とした。次章以降ではまず、本研究に用いたFIB-SEM複合装置の概要を述べる。次に、今回開発した3つの帶電防止技術の詳細を述べ、デバイス・加工の種類に最適な手法の使い分けを提示する。

2. FIB-SEM複合装置

エスアイアイ・ナノテクノロジー製FIB-SEM複合装置SMI2050MS2およびSMI3050SEを用いた。装置の模式図をFig.1に示す。FIBの加速電圧は30kVで、0.1μm以下に絞ったGa⁺イオンビームを加工領域内でスキャンする。SEM鏡筒はFIB鏡筒と55°の角度で搭載されている。また、マルチガスシステムにより、FIBデポ機能およびGAE (Gas Assisted Etching) 機能を有する。試料傾斜範囲は-3～60°である。今回の実験では、SMI3050SEにマイクロプローピングシステムを搭載した。GNDに接続されたタンゲステン製マイクロプローブ（先端径：約1μm）をSEM像でモニターしながらnm

レベルの精度で位置制御可能である。

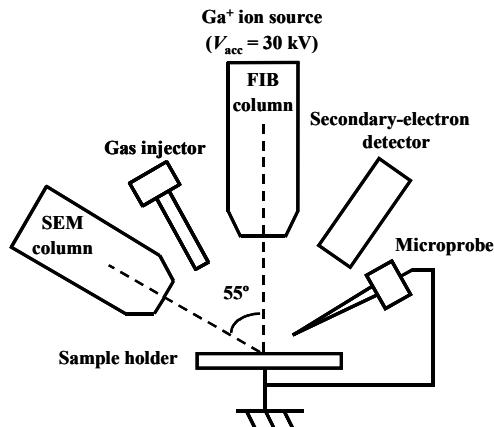


Fig.1 Schematic diagram of FIB-SEM combined system.

3. 500eV収束電子ビームを用いた帶電中和技術

従来技術の電子シャワーでは多量の電子をcmオーダーの広範囲に照射するため、FIB加工領域以外の周辺デバイス特性を変化させてしまう問題がある。電子を用いた帶電中和技術では、中和に最適な量の低エネルギー電子をFIB加工領域のみに供給することが重要である。そこで、FIB-SEM複合装置のSEMをチャージニュートラライザーとして用いることで、この課題を解決することを試みた⁵⁾。本手法では、加速電圧500Vでビーム径約50μmに絞った電子ビーム (FEB : Focused Electron Beam) をFIB加工領域に同時照射する。

3-1 サンプルおよび実験手順

±12Vを超える電圧がコントロールゲート (CG) に印加されれば閾値電圧 (V_{th}) シフトとして検出可能である EEPROM (Electrically Erasable-Programmable Read-Only Memory) デバイスを用いて、FIB, FEB照射により生じる帶電電位を評価した。実験に用いたサンプルは、ゲート長0.6μm, 2層メタルプロセスで製造されたウェーハ状態のEEPROM単体セルである。約250μm間隔で配置された3個のEEPROM単体セルのうちフローティング状態にあるCGパッド電極の1つにFIB,

FEBを照射し、その際生じる試料表面の帶電電位を評価した。FIBはCGパッド電極上の $20 \times 20 \mu\text{m}^2$ 領域を走査した。FIB, FEBの照射時間は全て300秒である。

3-2 FEB照射による帶電電位

まず、今回チャージニュートラライザーとして用いたFEBのみを照射した際に生じる帶電電位を評価した。照射デバイスおよび周辺デバイスの V_{th} シフト量のFEBプローブ電流 (I_e) 依存性をFig.2に示す。FEBにより照射されたEEPROMデバイスの V_{th} はプローブ電流量に関わらずプラスにシフトしているのに対し、その周辺（距離： $250\mu\text{m}$, $500\mu\text{m}$ ）デバイスでは V_{th} シフトは無視できるレベルか、もしくはマイナスである。この V_{th} シフト量からFEBにより照射されたEEPROMデバイスのCGパッド電極は $I_e = 0.5\text{nA}$ の時は約15V, $I_e = 1\text{nA}$ および 4nA の時は約13Vプラスに帶電していると判断できる。一方、その周辺デバイスのCGパッド電極の帶電電位は $I_e = 0.5\text{nA}$ および 1nA の時は $\pm 12\text{V}$ 以下であるが、 $I_e = 4\text{nA}$ の時は約16Vマイナスに帶電していると判断できる。

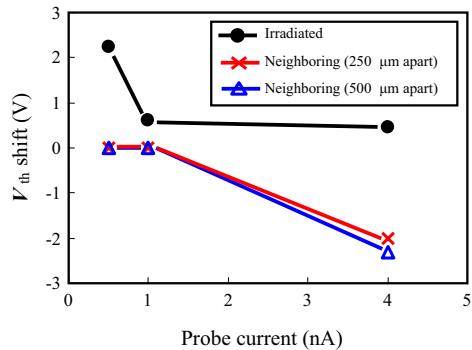


Fig.2 V_{th} shifts of irradiated and the neighboring ($250\mu\text{m}$ and $500\mu\text{m}$ apart from the irradiated device) EEPROM devices as a function of FEB (500 eV) probe current.

上記の結果を説明するために、電子ビーム照射時の試料帶電を二次電子放出およびその再配分を用いて考察する (Fig.3(a)参照)。放出された二次電子が再び試料表面に引き戻される場合、それを二次電子の再配分と呼ぶ。二次電子放出率 (δ) は電子ビームの照射条件（電子エネルギー (E_e)、照射角度）により大きく変化し、 E_e と δ との関係はFig.3(b)のようになる⁶⁾。 $0 < E_e <$

E_{cr1} 、または $E_{cr2} < E_e$ の場合、 $\delta < 1$ であることから試料はマイナスに帶電し、帶電電位 (V_p) はそれぞれ $V_p = -E_e / q$, $V_p = -(E_e - E_{cr2}) / q$ で飽和する。ここで q は素電荷である。一方、 $E_{cr1} < E_e < E_{cr2}$ の場合は、 $\delta > 1$ であることから試料はプラスに帶電し、その試料表面近傍には二次電子放出に対して減速電界が発生し二次電子の再配分を引き起こすため、試料の帶電電位は10数V以下に抑えられ安定する。

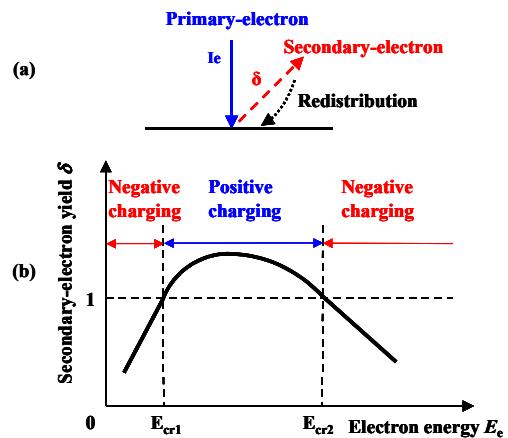


Fig.3 (a) Emission and redistribution of secondary-electron and (b) dependence of secondary-electron yield on electron energy for electron beam irradiation.

電子ビームをチャージニュートラライザーとして用いる場合、電子ビーム照射による帶電電位を最小限に抑えるためには10eV以下、あるいは E_{cr1} , E_{cr2} 近傍のエネルギーを用いるのが理想である。しかし、一次電子として10eV以下の低エネルギー電子をFIB加工領域に供給する場合、空間電荷制限により中和に必要な量の電子を供給できない可能性がある。また、 E_{cr1} , E_{cr2} の値は試料の組成や表面状態、試料傾斜角などにより異なる。したがって、電子ビーム照射による帶電電位を最小限に抑える現実的な解決策の1つとして、本装置のチャージニュートラライザーではプラス帶電条件 ($\delta > 1$) の電子ビームを用いている。 $\delta > 1$ の電子ビーム照射の場合、照射領域およびその周辺部の帶電電位分布は二次電子再配分により決まり、Fig.4に示すような分布になる⁷⁾。本実験の場合は、FEBの一次電子により照射されたEEPROMデバイスのCGパッド電極はプラスに

帶電し、その周辺デバイスのCGパッド電極は二次電子の再配分によりマイナスに帶電していると考えられる。その結果、FEBにより照射されたEEPROMデバイスの V_{th} はプラスにシフトし、その周辺デバイスの V_{th} はマイナスにシフトする (Fig.2)。

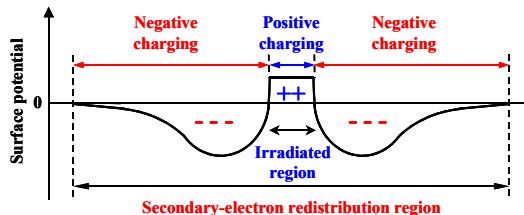


Fig.4 Illustration of surface potential distribution on insulator for electron beam (secondary-electron yield $\delta > 1$) irradiation.

3-3 FEB照射による帶電中和効果

次に、今回チャージニュートライザーとして用いたFEBをFIBと同時にフローティング状態にあるCGパッド電極に照射した際の帶電中和効果を評価した。その結果をFig.5に示す。FEB電流とFIB電流 (I_i) の比 (I_e / I_i) をパラメータとし、 $I_i = 50\text{pA}$ 一定で I_e を0から4nAまで変化させた。FIBのみ照射した場合 ($I_e / I_i = 0$) は、照射デバイスの V_{th} シフトは7.4Vであるのに対し、その周辺デバイスでは無視できるレベルである。この結果より、FIBにより照射されたデバイスのCGパッド電極は約20Vプラスに帶電しているが、その周辺デバイスの帶電電位は±12V以下であると判断できる。これに対し、FEBをFIBと一緒に照射した場合は、照射デバイスと周辺デバイスの V_{th} シフト量は I_e / I_i に依存する。照射デバイスの V_{th} シフトは $I_e / I_i = 10$ の時はプラスであるのに対し、 $I_e / I_i = 20$ および80の時は無視できるレベルである。一方、周辺デバイスの V_{th} シフトは $I_e / I_i = 10$ および20の時は無視できるレベルであるのに対し、 $I_e / I_i = 80$ の時はマイナスである。

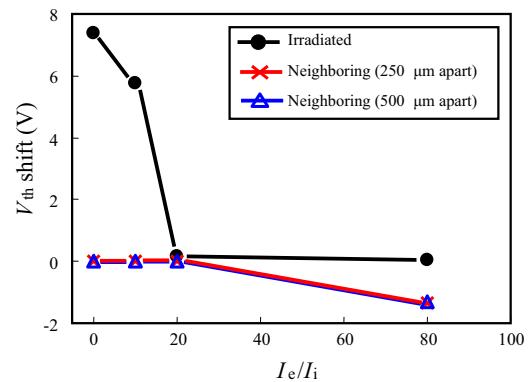


Fig.5 V_{th} shifts of irradiated and the neighboring (250μm and 500μm apart from the irradiated device) EEPROM devices as a function of probe current ratio (I_e / I_i) of electron (500eV) to ion (30keV) beam. The probe current I_i of ion beam was kept at 50pA.

これらの結果は以下のように説明することができる。FIBのみ照射した場合 ($I_e / I_i = 0$)、二次電子、二次イオン、中性粒子が放出されるが、加速電圧が30kVの場合Ga⁺イオン1個に対して二次電子は数個放出されるのに対し、二次イオンはその1/10程度しか放出されない。その結果、プラスのイオンが打ち込まれマイナスの電子が放出されることになるためFIB照射時には試料表面は必ずプラス帶電する。一方、FEBをFIBと一緒に照射した場合は、これらの照射により生じた二次電子の低エネルギー成分がビーム照射によるプラス帶電を中和するのに重要な役割を果たしていると考えられる。 $I_e / I_i = 10$ の時は、このプラス帶電を中和するのに十分な低エネルギー二次電子を供給しきれないため照射デバイスの V_{th} はプラス側にシフトしている。一方、 $I_e / I_i = 80$ の時は多量の低エネルギー二次電子がビーム照射領域に供給されているためビーム照射によるプラス帶電を中和できるが、二次電子の高エネルギー成分は周辺部に再配分され、その領域をマイナス帶電させてしまう。その結果、照射デバイスの V_{th} シフトは無視できるレベルであるが周辺デバイスの V_{th} はマイナス側にシフトしてしまう。Fig.5よりビーム照射による帶電を中和し、かつ周辺デバイスにも影響を与えない最適条件は $I_e / I_i = 20$ の時にほぼ得られていることがわかる。この条件の時には、ビーム照射による帶電を中和するのに必要な

最適量の低エネルギー二次電子が供給されていると考えられる。

4. マイクロプロービングおよびFIBデポ機能を用いた帯電防止技術

前章で述べた500eV FEBチャージニュートラライザーを最適条件で用いることにより、付加時間ゼロで帶電に敏感なアナログデバイスの回路修正をデバイス特性の変動なしに実施することが可能になった。しかし、今回用いたFIB-SEM複合装置のFEBの最大プローブ電流が10nAであることから、最適条件を満足するFIBの最大プローブ電流は500pAに制限されている。さらに、大電流の電子ビーム照射の際には多量の二次電子による周辺デバイスへの悪影響も懸念されるため、nAレベルの大電流FIB加工に対しては電子ビーム以外の帶電防止技術の開発が必要である。そこで、大電流FIB加工を対象としFIB-SEM複合装置に搭載したマイクロプロービングシステムおよびFIBデポ機能を組み合わせることで、FIB照射による帶電電荷をGNDへ逃がす電流経路を容易に形成する技術（以下、本技術をマイクロプローブ+FIBデポ法と呼ぶ）を開発した^{5),8)}。

4-1 マイクロプローブ+FIBデポ法

評価用デバイスには、24pin-DIP（Dual Inline Package）にパッケージングしたNMOS（N-channel MOS）トランジスタ（ゲート長0.35μm, 3層配線プロセス）を用いた。ソース、ドレイン、基板、ゲートパッドはそれぞれのパッケージpinにAlワイヤで接続されている。ゲートのみをフローティングにし、他の電極はGNDに接続した状態で、ゲートパッドとマイクロプローブ（GND電位）とをFIBカーボンデポ膜にて接続した場合としない場合について、ゲートパッドにFIB照射した際のソース・ドレイン間電流（I_d）-ゲート電圧（V_g）特性シフト量を比較した。実験手順を以下に示す（Fig.6参照）。

- (1) マイクロプローブのタッチダウン：試料法線から55°の方向から低加速・少電流の高分解能SEM像にてモニタリングしながら、FIB加工箇所近傍に

マイクロプローブをタッチダウンさせる。そのため、プローブが試料表面に接触したかどうかの確認が容易であり、かつビーム照射による帶電を最小限に抑えることができる。

- (2) FIBカーボンデポ：まず、マイクロプローブとFIBデポ膜との電気的接觸を確実にとるため、マイクロプローブ先端を含む $5 \times 5\mu\text{m}^2$ 領域にI_i = 300pAで133秒間（厚さ約0.5μm）カーボンをデポした。その後、さらなるカーボンデポによりカーボン膜とフローティング状態にあるゲートパッドとを接続し、ゲートパッドからGND電位のマイクロプローブへの電流経路（幅：1.5μm, 長さ：40μm, 抵抗値：20MΩ狙い）を形成した。デポ時間はI_i = 300pAで200秒であった。FIBカーボンデポ後のSEM写真をFig.6(a)に示す。
- (3) FIB照射：ゲートパッドのワイヤーボンド部 $10 \times 10\mu\text{m}^2$ 領域を、I_i = 6.9nAで120秒間走査した。
- (4) マイクロプローブのリフトオフ：マイクロプローブと接続されたFIBカーボンデポ膜をFIB加工によりカットする必要がなく、SEMでモニタリングしながらマイクロプローブを引き上げればよいため、ビーム照射による帶電を最小限に抑えることができ所要時間は数秒である。リフトオフ後のSEM写真をFig.6(b)に示す。

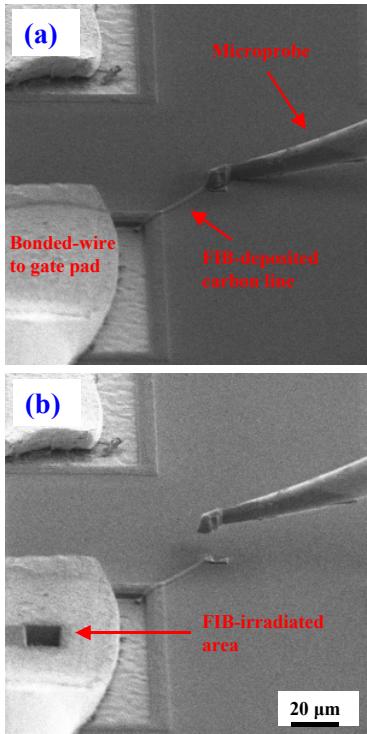


Fig.6 Scanning electron micrographs showing procedure of microprobing and FIB-assisted deposition method: (a) after touchdown of microprobe on sample surface and FIB deposition to form carbon line which makes current path from gate pad to microprobe (GND) and (b) after FIB irradiation to bonded-wire to gate pad of NMOS transistor and lift-off of microprobe.

4-2 マイクロプローブ+FIBデポ法の帯電防止効果

Fig.7にFIB照射前後のNMOSトランジスタの $I_d - V_g$ 特性を示す。本手法適用なしの場合 (Fig.7(a)) は、FIB照射によりサブスレショルド係数 (S) および V_{th} がそれぞれ29mV/decade, 220mV高い側へシフトした。それに対し、本手法を適用した場合 (Fig.7(b)) は、 S および V_{th} シフトをそれぞれ、FIB照射していないリフアレンスデバイスと同等の1.5mV/decade, 10mV以内に抑えることができた。本実験においては、フローティング状態にあるゲートパッドにFIBを照射しているため、ゲート電位が上昇しゲート酸化膜へのホットキャリア注入が生じる。これらのホットキャリアはゲート酸化膜中や界面に電気的な欠陥準位を形成し負のトラップ電荷を生じるため、 S および V_{th} がプラス側へシフトす

る。本手法適用時は、フローティング状態にあるゲートパッドがプローブおよびFIBカーボンデポ膜によりGNDに接続（数10MΩ）されているため、FIB照射による電圧上昇を抑えることができトランジスタ特性シフトが防げたと考えられる。

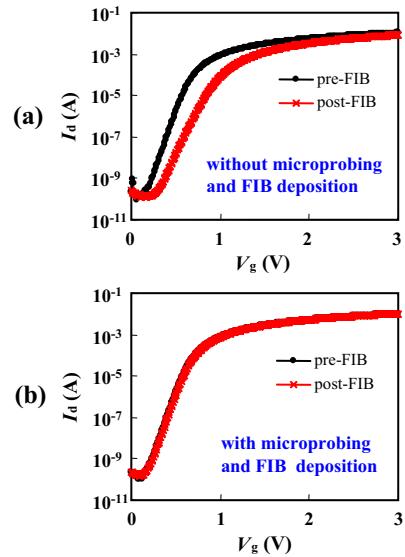


Fig.7 Pre- and post-FIB I_d vs V_g curves of NMOS transistors for FIB probe current of 6.9 nA: (a) without or (b) with micropointing and FIB-assisted deposition method.

5. 試料傾斜加工によるESD破壊防止技術

ロジックデバイスの回路修正においては、FIB加工穴のアスペクト比を下げるため上層膜を数10μm角で除去する必要があり、nAオーダーの大電流GAEが用いられることがしばしば生じる。このような大電流加工時に生じるESD破壊を防止することが回路修正を成功させるキーになっている。われわれは、試料を傾斜させた状態でFIB加工を行うことでESD破壊が防止できることを見出した⁹⁾。本章では、試料傾斜加工のESD破壊防止効果を実験により示し、本手法のESD破壊防止メカニズムを考察する。

5-1 試料傾斜加工のESD破壊防止効果

評価用デバイスには、ゲート長0.13μm, 8層Cu配線プロセスのロジックLSIを用いた。本デバイスは、CuデュアルダマシンおよびCMPプロセスを採用しているため、パッシバーション膜厚はチップ内で均一である。実験ではサンプルの任意箇所のパッシバーション膜50×50μm²領域を最上層Cu配線が露出するまでFIB加工し、その過程でESD破壊が発生するかどうかにより各実験条件の効果を評価した。

Fig.8にXeF₂ GAEを実施した際の試料傾斜角(θ)とESD破壊発生頻度との関係を示す。各実験条件に対して5回加工を行った。試料傾斜角が0°の場合は、プローブ電流が1.4nAにおいても100%ESD破壊が生じるのに対し、60°にすることでプローブ電流12.5nAに対してもESD破壊を防止できることがわかる。Fig.9に、0°および60°傾斜加工後のSIM像を示す。0°加工の場合(Fig.9(a))は数箇所でESD破壊が発生し、パッシバーション膜がクレーター状にえぐられていることがわかる。一方、60°傾斜加工の場合(Fig.9(b))は、ESD破壊は発生しておらず加工領域下面はほぼフラットであるため、60°傾斜加工後に下層配線を問題なく回路修正することが可能である。

試料傾斜により試料表面でのビーム径は傾斜方向に $1 / \cos\theta$ 広がることから、ビーム電流密度は試料傾斜角60°の場合、0°に比較して1/2に低下している。しかし、垂直照射の場合、電流密度を約2桁低下させたデフォーカスビームを用いた実験でもESD破壊が生じることから、試料傾斜に伴うビーム電流密度の低下がESD破壊防止の要因ではないことを確認している。また、XeF₂およびW(CO)₆ガスを用いた実験結果から、ガスの種類に関わらずFIB加工部周辺におけるガス分子の存在が試料傾斜加工によるESD破壊防止メカニズムに深く関与していることも確認している。帯電は試料への電荷の出入バランスの崩れにより生じるため、以下ではイオン注入深さ、後方散乱イールド、二次電子放出率、エッチレートの試料傾斜角依存性を評価することにより、試料傾斜によりESD破壊が防止できるメカニズムを考察する。

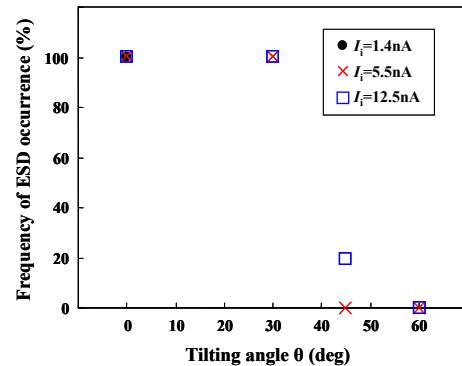


Fig.8

Dependence of frequency of ESD occurrence on tilting-angle during FIB gas assisted etching with XeF₂. For each experimental condition, FIB processing was performed five times.

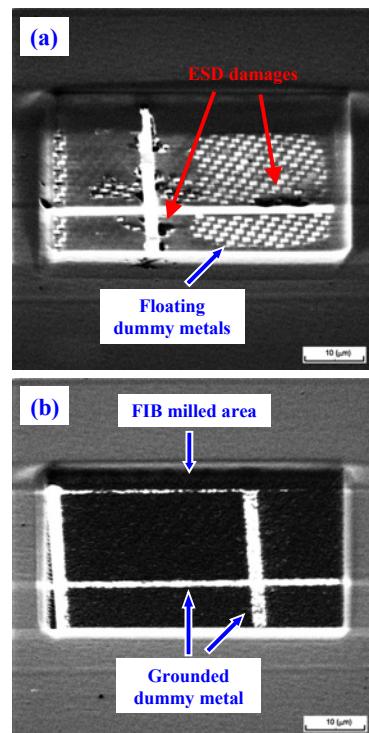


Fig.9

Scanning ion micrographs taken after FIB gas assisted etching with XeF₂ for (a) $\theta = 0^\circ$ and (b) $\theta = 60^\circ$.

5-2 試料傾斜加工によるESD破壊防止メカニズム

まず、モンテ・カルロシミュレーションにより30keV Gaイオンを Si_3N_4 単層に照射した際のイオン注入深さ、および後方散乱イールドの試料傾斜角依存性を評価した。その結果、60°までの試料傾斜に対してイオン注入率はほぼ一定であり、イオン注入による帯電への影響も一定と考えてよいことがわかった。

次に、二次電子放出率(γ)の試料傾斜角依存性を、接地されたAl製ステージにFIBを照射することで評価した。その結果、 γ は試料傾斜角とともに増加し60°では0°の場合のほぼ2倍に達することがわかった。FIBによる XeF_2 GAEの場合、二次電子放出が試料帯電に及ぼす影響は、(1)二次電子放出それ自体、(2)二次電子とガス分子・原子との衝突(Fig.10 (reaction A) 参照)、の2つが考えられる。図中には、ガス分子・原子とスパッタ粒子との衝突(B)、およびガス分子・原子と Ga^+ イオンとの衝突(C)も示している。二次電子放出自体は試料表面をプラス帯電させる方向に働くが、放出二次電子の再配分やパッシベーション膜のESD破壊電圧が約1kVであることなどを考慮すると、(1)の二次電子放出自体はESD破壊には影響を与えていないと考えられる。

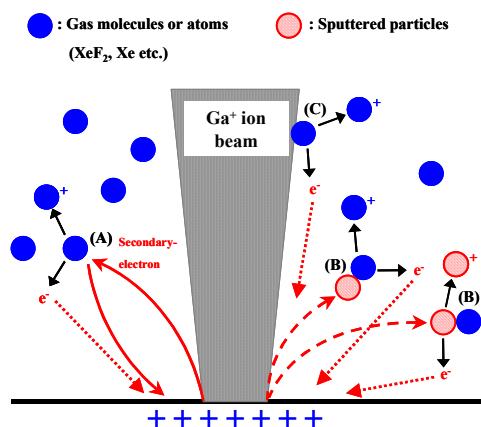


Fig.10 Illustration of collisions of gas molecules or atoms with secondary-electrons (A), sputtered particles (B) and Ga^+ ions (C) during FIB gas assisted etching with XeF_2 . These collisions induce ionization of the gas molecules, atoms and sputtered particles. Redistribution of secondary-electrons is also shown.

一方、 γ は試料傾斜とともに増加することから、(2)の二次電子とガス分子・原子との衝突は試料傾斜角が大きいほど増加する。さらに、試料傾斜角が大きい時には、より多くの二次電子が試料表面近傍で発生するため、放出二次電子の平均エネルギーも試料傾斜角が大きいほど増加する。本実験の XeF_2 GAEの場合、FIB加工部周辺には XeF_2 、 Xe が主要なガスとして存在しており、それらの一部は放出二次電子により電子衝撃イオン化していると考えられる。したがって、二次電子との衝突による XeF_2 、 Xe のイオン化確率は試料傾斜とともに増加し、その結果FIB加工部周辺で生じた低エネルギー電子がプラス帯電領域に再配分されることで帯電を防止するように働いていると考えられる (Fig.10 (A)参照)。ガスの電子衝撃イオン化により発生する低エネルギー電子の数を概算した結果、入射イオン1個当たり0.35 ($\theta = 0^\circ$)、0.69 ($\theta = 60^\circ$) となった。ESD破壊を防止するためにはイオン注入によるプラス電荷のみを中和すればよいが、ガスのイオン化により発生する低エネルギー電子の数は $\theta = 60^\circ$ においても0.69 (<1) であり十分ではない。したがって、試料傾斜加工によるESD破壊防止メカニズムを説明するためには、二次電子とガス分子・原子との衝突に加え、他の要因を考慮に入れる必要がある。

二次電子放出率と同様、エッチレートも試料傾斜とともに増加することが期待される。試料傾斜加工の効率性およびスパッタ粒子の試料帯電への影響を調べるため、エッチレートの試料傾斜角依存性を評価した。その結果、 XeF_2 GAEの場合、試料傾斜を60°にすることで0°と比較しパッシベーション膜のエッチレートを約1.5倍增速でき、効率的なFIB加工が可能であることがわかった。スパッタ粒子が試料帯電に及ぼす影響としては、(1)スパッタ粒子の放出それ自体、(2)スパッタ粒子とガス分子・原子との衝突 (Fig.10 (reaction B) 参照)、の2つが考えられる。しかし、スパッタ粒子のうち90%以上は中性であるため、スパッタ粒子の放出自体による試料帯電への影響は無視できる。一方、エッチレートおよびスパッタ粒子の平均エネルギーは試料傾斜とともに増加することから、スパッタ粒子 (今回の場合、主に SiF_4 、 N_2) とガス分子との衝突に

よるこれらのイオン化確率は試料傾斜とともに増加し、その結果FIB加工部周辺で生じた低エネルギー電子がプラス帶電領域に再配分されることで帶電を防止するようになっていていると考えられる（Fig.10（B）参照）。ガスおよびスパッタ粒子のイオン化により発生する低エネルギー電子の数を概算した結果、入射イオン1個当たり0.48（ $\theta = 0^\circ$ ）および1.37（ $\theta = 60^\circ$ ）となった。したがって、 60° の傾斜加工時にはESD破壊を防止するのに十分な数の低エネルギー電子が発生している可能性が高いと考えられる。

以上の考察から、 XeF_2 GAE時の試料傾斜加工によるESD破壊防止メカニズムは次のようにまとめることができる。FIBを試料に対して斜め照射した場合、垂直照射した時と比較して、より多くの二次電子およびスパッタ粒子が、より高エネルギーで放出される。これにより、中性ガスおよびスパッタ粒子のイオン化確率が増加し、より多くの低エネルギー電子がFIB加工部周辺で発生する。この低エネルギー電子が再配分されることで、FIB照射によるプラス帶電を中和していると考えられる。

6. デバイス・加工の種類に最適な帯電防止技術の提案

今回開発した3手法の特徴をTable 1に示す。手法(1)は、付加時間ほぼゼロでデバイス特性シフトを防止できる帶電防止効果を有するが、適用可能なFIBプローブ電流の上限は500pAである。一方、手法(2)はnAオーダーの大電流FIB加工にも適用でき、デバイス特性シフトを防止できる帶電防止効果を有するが、10分程度の所要時間を要する。これらに対し、手法(3)は付加時間ほぼゼロでnAオーダーの大電流FIB加工に対してもESD破壊防止は可能だが、デバイス特性シフトを防止できるほどの帶電防止効果は有していないと考えられる。これらの特徴を考慮し、デバイス・加工の種類に最適な3手法の使い分けをTable 2に提示する¹⁰⁾。

Table 1 Features of three antistatic techniques for suppressing FIB-induced charging.

帯電防止技術	付加時間	適用可能なFIB電流	帯電防止効果
(1)500 eV FEB法	≈ 0	< 500 pA	デバイス特性シフト防止
(2)マイクロプローブ+FIBデボ法	<10 min	< 20 nA	デバイス特性シフト防止
(3)試料傾斜加工法	≈ 0	< 20 nA	ESD破壊防止

Table 2 Application criterion of three antistatic methods to realize successful and efficient circuit edits of various devices without FIB-induced charging in same FIB-SEM combined system.

デバイス	FIB加工	帯電防止技術
アナログ	大面積加工（ $> 20 \mu m^2$ ）	マイクロプローブ+FIBデボ法
	上記以外	500 eV FEB法
ロジック	上層大面積加工（ $> 20 \mu m^2$ ）	試料傾斜加工法
	下層大面積加工（ $> 20 \mu m^2$ ）	マイクロプローブ+FIBデボ法
	上記以外	500 eV FEB法

7. 結論

FIBによる回路修正時に生じるESD破壊、デバイス特性シフトを防止する帶電防止技術として、以下の3手法を開発した。

- (1) 500eV収束電子ビームを用いた帶電中和技術
- (2) マイクロプロービングおよびFIBデボ機能を用いた帶電防止技術
- (3) 試料傾斜加工によるESD破壊防止技術

これら3手法の帶電防止効果およびメカニズムを明らかにし、デバイス・加工の種類に最適な3手法の使い分けを提示した。これにより、各種アナログ/ロジックデバイスの回路修正を、同一装置内で帶電によるデバイス特性シフトを防止し、かつ効率的に実施することが可能になった。

謝辞

本研究の遂行に際し、多大なるご指導／御協力と有益なる御討論を頂きました大阪大学大学院工学研究科精密科学・応用物理学専攻、エスアイアイ・ナノテクノロジー株式会社、セイコーライ・テクノリサーチ株式会社の関係各位に深く感謝致します。

参考文献

- 1) K. N. Hooghan et al. : Integrated circuit device repair using FIB system -tips, tricks, and strategies-, Proc. Int. Symp. Testing and Failure Analysis, (1999), pp.247-254.
 - 2) A. N. Campbell et al. : Effects of focused ion beam irradiation on MOS transistors, Proc. Int. Rel. Phys. Symp., (1997), pp.72-81.
 - 3) J. Benbrik et al. : Focused ion beam irradiation induced damages on CMOS and bipolar technologies, Proc. Int. Symp. Testing and Failure Analysis, (1998), pp.49-55.
 - 4) A. N. Campbell et al. : Focused ion beam induced effects on MOS transistor parameters, Proc. Int. Symp. Testing and Failure Analysis, (1999), pp.273-281.
 - 5) H. Komoda et al. : Novel charge neutralization techniques applicable to wide current range of FIB processing in FIB-SEM combined system, Microelectronics Reliability Vol.46, (2006), pp.2085-2095.
 - 6) H. Seiler : Secondary electron emission in the scanning electron microscope, J. Appl. Phys., Vol.54, No.11 (1983), pp.R1-R18.
 - 7) H. Fujioka, K. Nakamae and K. Ura : Core model for potential distribution on insulator surfaces in the scanning electron microscope, Proc. Int. Cong. Electron Microscopy, (1986), pp.643-644.
 - 8) H. Komoda et al. : Antistatic technique for suppressing charging in focused ion beam systems using microprobing and ion-beam-assisted deposition, Jpn. J. Appl. Phys., Vol.44, Part1, No.11 (2005), pp.7907-7909.
 - 9) H. Komoda et al. : Sample tilting technique for preventing electrostatic discharge during high-current FIB gas-assisted etching with XeF₂, Microelectronics Reliability Vol.47, (2007), pp.74-81.
 - 10) H. Komoda, Doctoral thesis, Osaka university, (2006).
- 注 1) FIB-SEM 複合装置 SMI2050MS2, SMI3050SE はエスアイアイ・ナノテクノロジー社の商標です。

超音波液面計における板厚チューニング技術

Automatic Tuning Technology in Ultrasonic Level Meter

松原 喜重郎* 関根 良浩** 矢嶋 敏** 古澤 誠一**
Kijuro MATSUBARA Yoshihiro SEKINE Takashi YAJIMA Seiichi FURUSAWA

要 旨

LPガス消費量の多い業務・集合住宅向けを主体に導入が進んでいるバルク供給方式に必要なバルク貯槽・容器は形状・サイズ・供給メーカーが複数あり超音波液面計の設計要件で通常規定される貯槽鋼板板厚が規定出来ない情況であった。市場にあるバルク貯槽の鋼板板厚範囲内であれば最適計測条件に自動チューニングする技術を開発した。

ABSTRACT

Introduction of a bulk supply system is progressing by business use with many amounts of LP gas consumption.

The type, the size, and the supply maker of a bulk Storage tank have more than one. It was the situation that the bluk Storage tank steel plate thickness usually specified on the requirements for a design of a ultrasonic level gauge could not be specified.

The technology automatically tuned up to the steel board thickness of a bulk Storage tank was developed.

* リコーエレメックス株式会社 計量・計測事業本部
Measurement Equipment Division, Ricoh Elemex Corporation
** リコーエレメックス株式会社 技術統括室
Technology Management Office, Ricoh Elemex Corporation

1. 背景と目的

1-1 LPガスの供給形態

1-1-1 バルク供給方式

LPガスの需要家への供給形態が従来の容器交換方式から需要家先に設置された貯槽にローリー車からLPガスを直接充てんするバルク供給方式へとLPガス消費量の多い業務・集合住宅向けを主体に導入が進んでいる。バルク貯槽・容器は液化石油ガス法（液化石油ガスの保安の確保及び取引の適正化に関する法律）によりLP液残量の計測が義務づけられており液面計が設けられている。

1-1-2 バルク貯槽

バルク貯槽は、Fig.1のような鋼鉄製圧力容器内に液化プロパンガスが入っており、液部の最大容量は貯槽内容積の85%以下に保つことが液化石油ガス法で規定されている。バルク貯槽は形状・サイズ・供給メーカの組合せで50種を超えるタイプが市場にある。

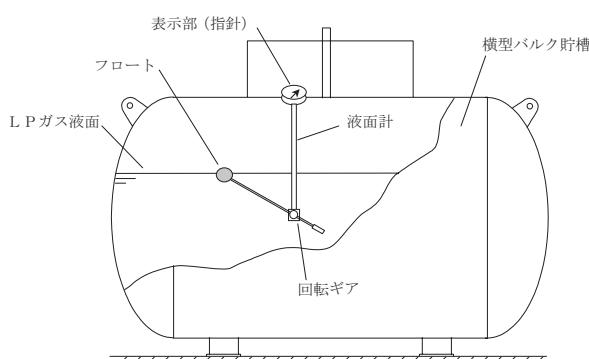


Fig.1 LPG Bulk Storage Tank.

1-1-3 液面計

液残量を計測する手段としては液面計が設けられており従来はFig.1に示すような機械式のフロート式液面計のみであった。高圧のバルク貯槽内部に設置された回転ギアによりフロートの上下動を表示部指針の回転角に変換する機構でバルク貯槽タイプ・サイズに応じ

た種類がある。また、電気式液面計としてFig.2に示すような超音波式液面計がある。バルク貯槽底面外壁にマグネットによるクランプオン方式を用いて音波センサを取り付けLP液への非接触測定とメンテナンス性の確保を両立させている。

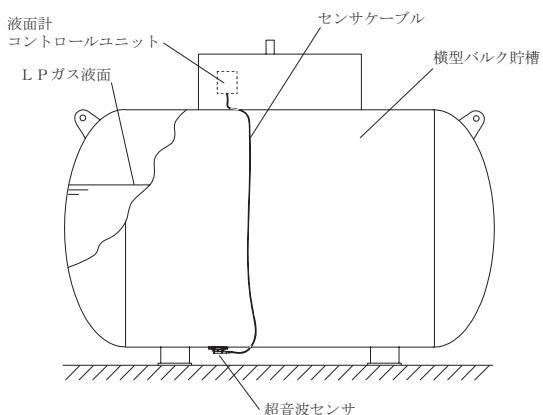


Fig.2 LPG Bulk Storage Tank.

フロート式液面計と超音波式液面計の特徴比較をTable 1に示す。

Table 1 Comparison of level Gage.

	フロート式液面計	超音波式液面計
精度	±5%FS	←
価格	◎	○
メンタナンス性	△	◎
双方向通信	×	◎
鋼板厚の影響	なし	あり
特徴	故障時はLPガスを空にする必要有り	電池で10年稼動 貯槽温度を表示可

バルク供給方式ではバルクローリーの計画配送から液面計の残量警報接点出力によるオンコール配送、さらには監視センターからの双方向通信による正確な残液量検針データと需要家毎のガス消費パターンデータをもとにした予測配送へと管理手法が高度化している。標準で双方向通信機能を備えている超音波式液面計を導入することにより配送経費の削減と保安上のリスク削減（ガス切れ防止）を同時に計れるメリットがある。

1-1-4 バルク貯槽用液面計の貯槽鋼板厚

超音波式液面計ではバルク貯槽鋼板に超音波を通過させるのでTable 1にも示したように鋼板板厚の影響を受ける。バルク貯槽は1.8MPaの内部圧力に耐えられるよう設計されており使用鋼板材料の材料特性値に安全係数を加味して使用鋼板厚を貯槽メーカ各社で設定している。Table 2に代表的な貯槽メーカ3社の貯槽サイズ／貯槽タイプ別のバルク貯槽鋼板板厚（図面値）を示す。貯槽サイズが同じならば各社とも同等の鋼板板厚と見られるが、この図面値は設計中心値であり実際にはJIS G 3193で規定されている許容差となり980kg貯槽サイズで標準的な10.5mm厚の鋼板の場合では±0.6mmのバラツキが想定される。また、豎型バルク貯槽はfig.2の横型バルク貯槽を90度回転した形状であり超音波センサの取り付け箇所の鋼板はお椀型にプレス加工され図面値よりさらに0.3～0.5mm程度薄く最大9.4～11.1mmのバラツキ範囲が想定される。

Table 2 Tank steel plate thickness.

貯槽サイズ	A社		B社		C社	
	豎型	横型	豎型	横型	豎型	横型
295kg	6.5t	6.5t	7.0t	7.0t	6.6 t	6.6 t
490kg	8.0t	8.0t	8.0t	8.0t	8.0t	8.0t
980kg	10.3t	10.3t	10.2t	11.0t	10.5t	11.0t
2900kg	---	13.6t	---	13.4t	---	13.5t

1-1-5 バルク貯槽用液面計の貯槽鋼板厚対応

バルク貯槽の底部に超音波センサを設置し鋼板との音響整合をとつて超音波を通過させる超音波液面計にとって鋼板板厚バラツキに対する許容範囲の設定は設計要件の一つでありJIS規格公差に対応して周波数帯域別にバリエーションを揃えた「リベル」を開発・発売した。リベルの市場実績から貯槽鋼板板厚のバラツキが想定以上に大きいこと、バルク貯槽メーカの追加機種投入などの市場動向も考慮し鋼板板厚バラツキに対する許容範囲を今後は設計要件として規定できないと判断した。「リベル」の継続商品として「リベルII」の開発にあたり市場で導入実績の高い300kg～2900kg

のバルク貯槽を網羅する5～15mmの鋼板板厚に対応できる自動チューニング技術の開発が必要不可欠な技術として明確になった。

2. 技術

2-1 測定方式

2-1-1 理論検証

超音波液面計では送受信型超音波センサを用いコントロールユニットからの電圧印加により発生した超音波が鋼板→LP液→LP液界面→LP液→鋼板→超音波センサと伝播する。この時の伝播遅延時間とLP液の伝播音速を用い距離を算出する。鋼板を通過し易い超音波周波数は理論的に求められ鋼板板厚－最適通過周波数はFig.3に示すような特性となる。

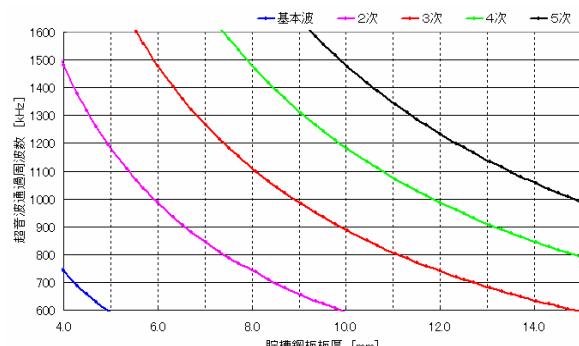


Fig.3 Thickness-Pass Frequency.

Fig.3に示した鋼板板厚と通過周波数の関係が成立しているかの検証として、φ300mm試験水槽、水深1mにて5mm～15mmまでの範囲を0.2mmステップでテスト鋼板を用い実験した。その結果、関係が成立している事が確認できた。

鋼板厚8.5mmでの超音波エコーのオシロスコープ波形例をFig.4に示す。12Vの矩形波を50μs印加し40dBの増幅器を介しエンベロープ検波した波形で、通過周波数の最適値より50kHz高いf=1100kHz、最適値のf=1050kHz、最適値より50kHz低いf=1000kHzのエコー波形を上から順に並べている。

周波数f=1050kHzでのエコー波形が波高値、反射エコー時間とも大きく最適であるといえる。

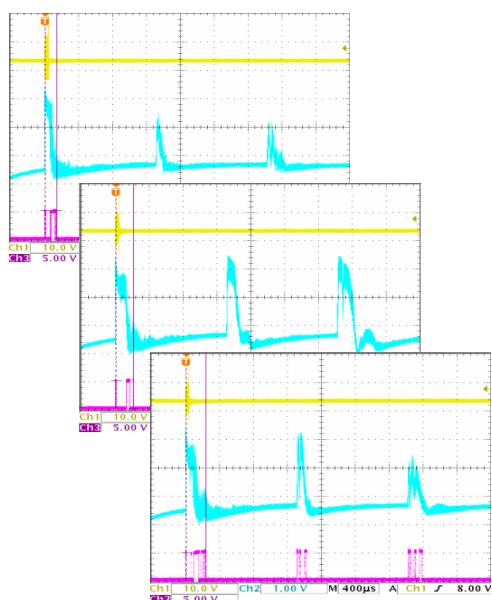


Fig.4 Echo oscilloscope wave form.

2-2 要素技術

2-2-1 超音波センサ

Fig.3に示すように、鋼板板厚5~15mmを効率良く通過する超音波周波数帯はおよそ800~1200kHzでありこれに対応した送受信タイプの超音波センサが必要である。バルク貯槽は寒冷地の冬季に-25°C以下まで液温が下がる場合もあり超音波センサに求められる使用温度範囲は-30~+60°C、屋外で冠水の可能性も考えられるので保護等級IP67を満たす構造が必要である。超音波センサ断面図をFig.5に示す。

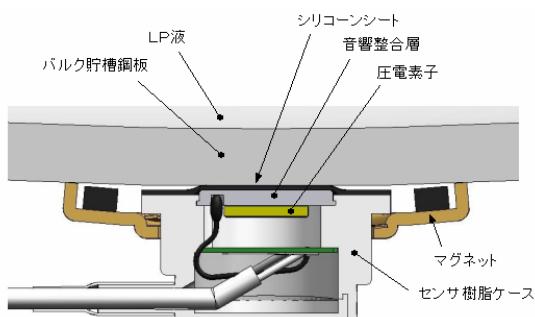


Fig.5 Ultrasonic Sensor.

2-2-2 音響設計

超音波センサと被測定物の音響結合を取る手法としてはシリコーニングリス等を用いるのが一般的である。最適通過周波数の確認実験を当初はシリコーニングリス結合で行ったが最適通過周波数から外れた超音波周波数でエコー感度が最大となることが散見された。

超音波センサの静特性の解析手法として周波数-インピーダンス特性があるがFig.6のようにセンサ単体では単峰の共振・反共振特性を示していたものが鋼板に取り付けると幾つものスプリリヤスが現れ、エコー感度の得られる周波数も複数になった。

この現象を理解するために圧電素子から見た負荷の影響として厚み縦振動を行う圧電素子の圧電方程式と縦波波動による波動方程式とを連性したモデル式を考案し圧電子の周波数-インピーダンス特性の変化を数値シミュレーションにて検証した。

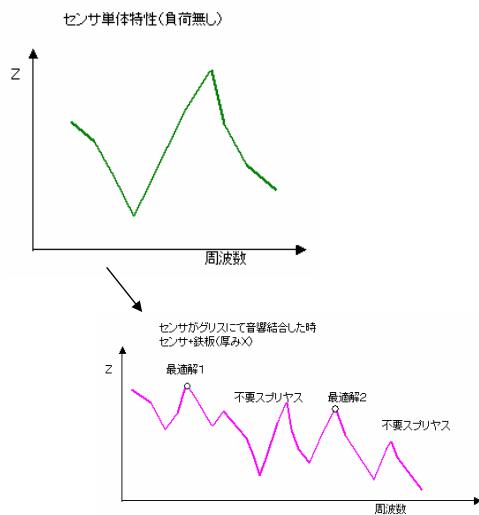


Fig.6 Frequency - Impedance.

Fig.7に超音波センサが鋼板に音響結合した状態のモデルを図示する。結合材Z2がシリコーニングリスに相当する。実際のバルク貯槽では防錆の目的で0.1~0.3mmの塗装があるのでFig.7のモデルではZ2' として組み込んでいる。

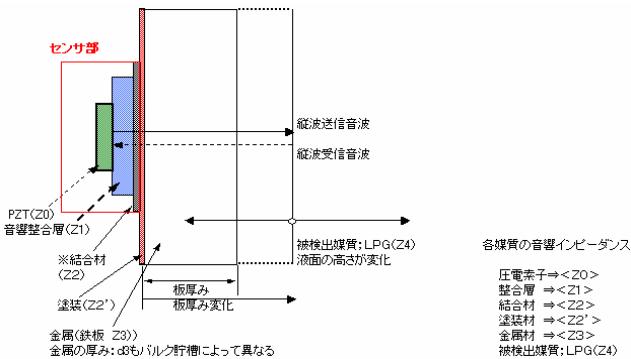


Fig.7 Match layer model.

検証結果をFig.8, Fig.9に示す。横軸が周波数、縦軸がインピーダンス比である。

Fig.8はセンサ単体にて音響整合層：Z1を適切な値にした場合のシミュレーション結果で圧電素子の反共振点周波数：faに一致した解がある。

Fig.9は音響整合層：Z1をFig.8の1/3にした場合のシミュレーション結果で超音波センサとしての反共振周波数が圧電振動子の反共振周波数からシフトしている事がわかる。

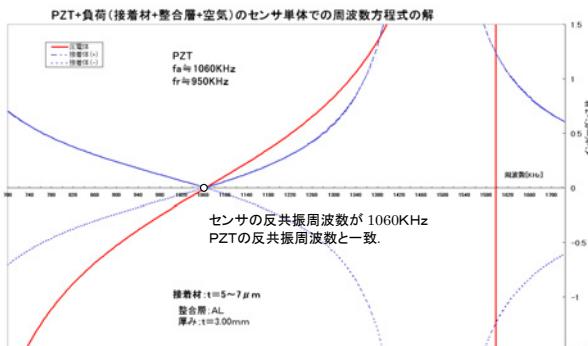


Fig.8 Freq. - Z ratio.

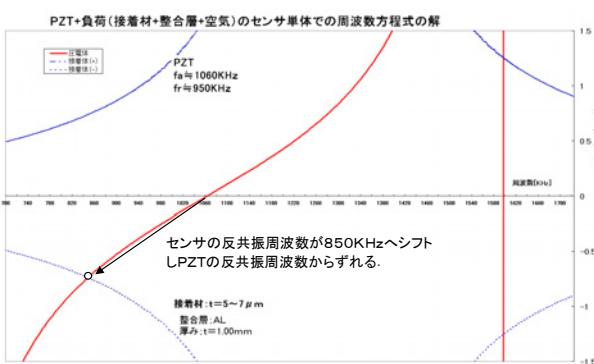


Fig.9 Freq. - Z ratio.

Fig.10にシリコーングリスによる音響結合にて鋼板厚：Z3=5.3mmの時の塗装：Z2'の影響を検討した結果を示す。塗装厚みが0.35mmと0.5mmの解析値を示すが0.35mmの条件ではクロス解が発生しないため感度低下が生じる事がわかる。

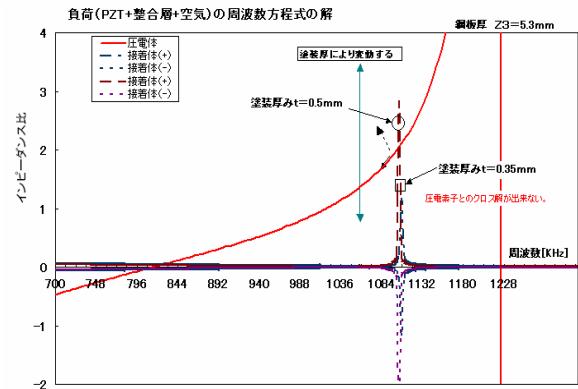


Fig.10 Freq. - Z ratio.

Fig.5の超音波センサは周波数帯域および音響整合条件が成立するように音響整合層の材質・寸法を設定し鋼板と超音波センサとの間にシリコンシートを介在させた音響結合方式を取っている。これによりFig.11に示すように貯槽鋼板に取り付けてもセンサ単体のインピーダンス特性と同等となり鋼板厚み・塗装厚みの影響もほとんど受けず鋼板の理論通過周波数で超音波の伝播効率が最良となる。

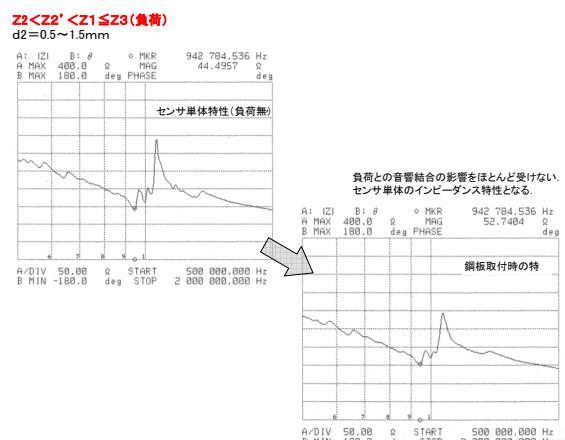


Fig.11 Frequency - Impedance.

超音波センサを使用周波数帯域内に共振点を持たせない方式も超音波探傷器等で使用されており超音波液面計としても原理的には可能であるが、電気一機械変換効率が低くリチウム一次電池で10年間稼動の市場要求を満たすには共振点の使用は避けられない。前述した音響整合条件を満たす超音波センサにすることにより実現できた。

2-2-3 液面計回路

Fig.3の理論通過周波数の確認実験から超音波センサの駆動周波数発生回路は600～1300kHzの周波数範囲で分解能1kHz、周波数精度は設定周波数の±5kHzが必要であることが判った。超音波液面計の商品コンセプトはリチウム一次電池で10年稼動であるので消費電力を抑えつつ機能を確保することが課題であった。

Fig.12に回路ブロック図を示す。

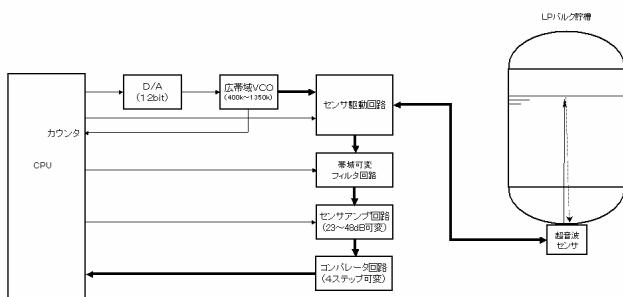


Fig.12 Circuit block.

広帯域VCO回路と12ビットD/Aコンバータで構成され発信回路系の消費電流は2mAとローパワーを実現している。広帯域VCOはCR発信回路タイプでCPUの内蔵カウンタで周波数校正し±1kHzの周波数精度を得ている。

電池消費電流の制約が無ければ10MS程度のA/Dコンバータを用いエコー波形をメモリに取り込み解析処理する手法が有用であるが、電池消費電流を抑えこむため低消費電力の可変センサアンプ・コンパレータ回路を用いて遅延時間計測とエコー波形解析を行っている。

3. 成果

3-1 板厚自動チューニング

3-1-1 エコー感度と残響時間の両立

超音波液面計では計測範囲が製品仕様として規定されている。計測下限値は超音波センサの自己残響時間で制約を受け、最大検出距離はエコー感度により決まる。

Fig.13に駆動周波数—第1エコー波高値の特性を示す。鋼板板厚：6.3mm、水深1mで駆動周波数を5kHzステップで変化させ各周波数でのエコー波高値をオシロスコープにて計測しグラフ化したものである。駆動周波数=945kHzがエコー波高値のピークでFig.3の最適通過周波数に合致している。また、Fig.14に駆動周波数—残響時間の特性を示す。超音波液面計としてはエコー波高値が50mV以上、残響値が250μs以下ならば計測範囲を満たせる。

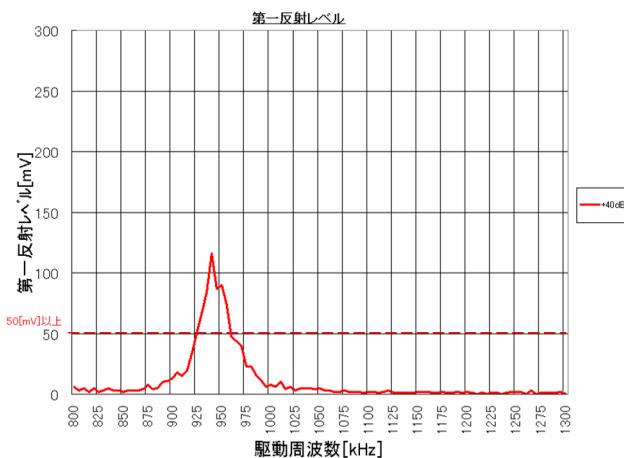


Fig.13 Frequency—Sensitivity.

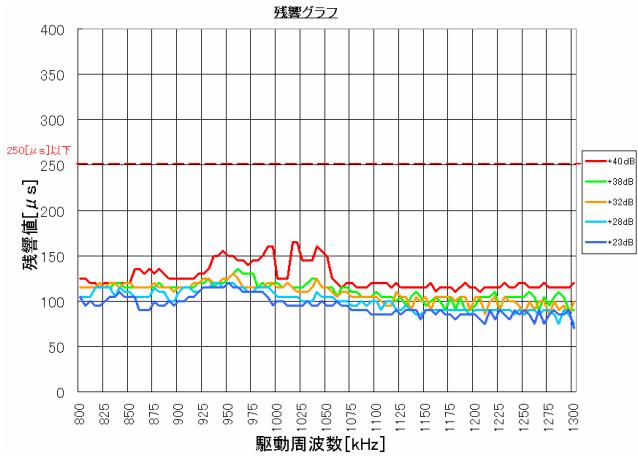


Fig.14 Frequency-Reverberation.

超音波を液面に向けて発射するとLP液中の伝播時間だけ遅れて再び超音波センサに戻ってくる（Fig.4参照）この時、周波数を変化させても出現確立の高い遅延時間位置にある最初のエコーを第1エコーと仮定する。LP液中で超音波はすぐに減衰しないでLP液内で反射を繰り替えし仮定した第1エコーの2倍の遅延時間のところに第2エコーが、3倍の遅延時間のところに第3エコーが現れるはずで、このように高次のエコーの有無を確認して第1エコーを確定する。

リベルⅡでは可変ゲインアンプ・コンパレータの組合せを5ステップ用意している。最初に最大感度のステップ1で周波数スキャンを実施し第1エコー時間領域にエコーを確認できた周波数に1カウントの重み付けを与える次に感度を1ステップ下げ同様に周波数スキャンしエコーを確認できた周波数に2カウントの重み付けを与える。最低感度のステップまで順次周波数スキャンしそれぞれの感度ステップで3カウント、4カウント、5カウントとゲイン設定と逆比例のカウント値を与える。ここで各周波数毎にカウント値を積み重ねるとFig.15のような周波数カウント値のデータが作成でき（=スコアグラフ）Fig.13のエコー波高値と相似のデータとなる。最低感度のカウント値（Fig.15では青色のカウント値）の中点が鋼板の最適通過周波数である。

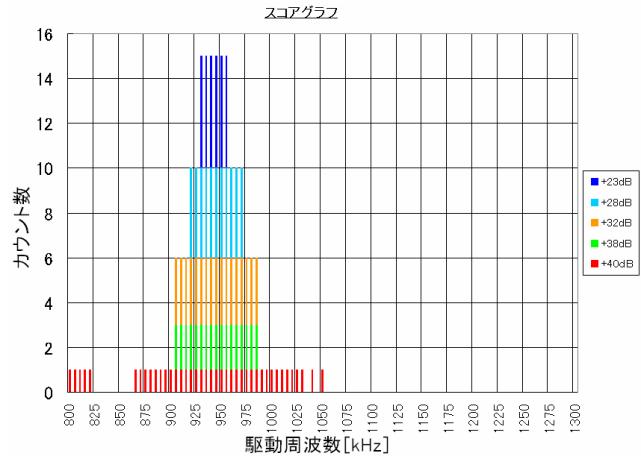


Fig.15 Frequency-Score value.

3-1-2 貯槽鋼板板厚範囲での確認

周波数カウント値による鋼板最適通過周波数の調整アルゴリズムで鋼板厚5~15mmの範囲で破綻がないか確認した。その結果、次の判断条件の導入により最適通過周波数に正しく調整することが確認できた。

- ① 最大カウント値の中心周波数でおかつ残響時間が規格以下の周波数。（事例 Fig.15）
- ② 最大カウント値のピークが同レベルで2個以上あつた場合はカウント値の周波数幅が広い周波数帯域の中心周波数でおかつ残響時間が規格以下の周波数。（事例 Fig.16, Fig.17）

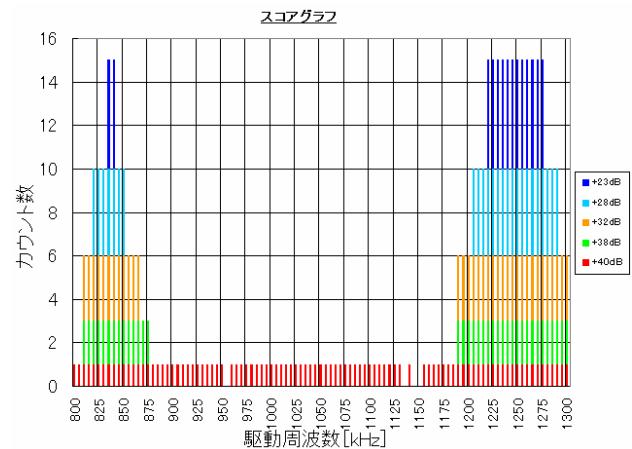


Fig.16 Ultra Frequency-Score value.

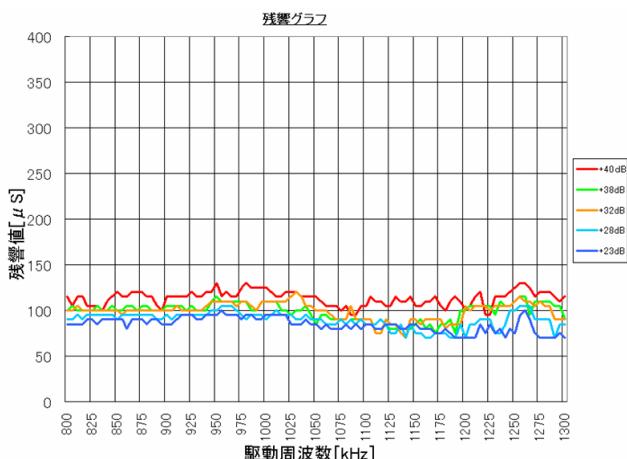


Fig.17 Frequency-Reverberation.

3-2 超音波液面計

今回開発した板厚自動チューニング技術を活用したバルク貯槽用超音波液面計「リベル II」を商品化した。

従来機種の「リベル」では消費電力の制約から超音波測定系の効率を優先する必要があり5~15mmの鋼板厚範囲を6種類の超音波センサタイプ、2種類のセンサ保持金具、約50種類のコントロールユニットタイプの組合せで実現していたので、生産効率・メンテナンス性に改良の必要があった。

今回開発した板厚自動チューニング技術と任意貯槽設定機能の採用でリベル II では1種類の超音波センサ・コントロールユニットと2種類のセンサ保持金具で実現し電池寿命も10年と倍増している。また、従来機のリベルで散見されたバルク貯槽板厚バラツキに起因する動作不具合も板厚自動チューニング技術により解決でき課題の一つであったメンテナンスコストの抑制も達成できた。

4. 今後の展開

バルク貯槽用超音波液面計の貯槽鋼板板厚に対する自動チューニング技術について紹介したがバルク配達システムは現在の消費量の多い業務・集合住宅向けから一般消費世帯向けの小型バルク貯槽へと緩やかではあるが拡大している。バルク貯槽サイズで300kg以下

の小型バルク貯槽は鋼板板厚も5mm以下と薄くリベル II では対応出来ない。

小型バルク貯槽は貯槽コストも安いため超音波液面計も安価に提供することを求められており小型バルク貯槽に適したシリーズ拡充が今後の課題である。

5. 謝辞

最後に、本開発にご協力いただきました素材メーカ様や試験装置メーカ様をはじめとした関連する多くの方々にご指導、ご支援をいただきましたことを心より感謝いたします。

高画質SD現像システム

Ricoh SD-Development Technology for Image Quality

加藤 弘一^{*}
Koichi KATO

寺井 純一^{*}
Junichi TERAI

津田 清典^{*}
Kiyonori TSUDA

北 恵美^{*}
Emi KITA

高橋 裕^{**}
Yutaka TAKAHASHI

吉田 悟^{*}
Satoru YOSHIDA

押川 雄樹^{*}
Yuki OSHIKAWA

宇都宮 皓一^{*}
Kohichi UTSUNOMIYA

要　　旨

画像濃度の高安定性を達成する、新しいフルカラー二成分現像システムを開発した。このシステムは、現像剤の流れを制御するためにスクリュの機能分離を行い、現像ローラ長手方向でのトナー濃度偏差を抑制して、画像全体の濃度を均一にする技術（SD現像システム：Stable Density）である。また、現像剤の寿命を持続させるために、現像剤長寿命化システム（低ストレス現像方式、プレミックス現像方式）も併せて開発した。これにより画像濃度の安定とともに、現像剤の長寿命化を達成した。

ABSTRACT

High stability of image density was achieved in newly developed full color development technologies. SD development system shows no fluctuation of the toner concentration all the way to the developing area on the OPC. Besides we also adopted another system to make developer-lifetime longer. Using these two systems, we raised the stability of image density to higher level.

* 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

** 画像エンジン開発本部 機能材料開発センター

Functional Material Development Center, Imaging Engine Development Division

1. 背景と目的

電子写真方式のフルカラー複合機やプリンタは、一般オフィス文書、企業内のプレゼンテーション文書、オンデマンドプリントやデザイン用出力など高画質が要求される用途等、幅広い分野で使用されている。また、既存のモノクロ複写機やプリンタの置き換えとして、フルカラー複合機としての高生産性、高信頼性、高画質が望まれ、各社とも印字速度やカラー画質の高画質化に向けた技術開発^{1), 2), 3)}が進められている。

電子写真方式による画像形成では、画像濃度の安定性が大きな課題の1つとなっている。画像濃度安定性の低いマシンでは紙上の場所やプリントした時間などによって、同じであるはずの色が異なった濃さで表現されてしまう。画像濃度の変化をそのタイムスケールによって分けると3つのモード(Fig.1)が考えられる。

①頁内画像濃度変動：画像を1枚出力した際にその1枚の画像の中で画像濃度が変動している場合が頁内画像濃度変動である。現像装置が主要因となるケースとしては、現像ローラ上のトナー濃度(TC)が長手方向で偏差を持つ場合や、非常に短時間で現像剤のTCが変動している場合などが挙げられる。

②リピート画像濃度変動：数十枚の画像を出力した際に前述した頁内画像濃度変動が増大する傾向が見られることがある。これがリピート画像濃度変動である。この現像装置要因としては、高画像面積率の画像を連續通紙によって多く補給されたトナーが充分に分散・攪拌されず帶電量やTCにムラが生じてしまう場合が挙げられる。

③経時での画像濃度変動：機械の放置や長期間使用による経時の画像濃度変動が挙げられ、この要因としては現像剤特性の変化などがある。

以上のようなタイムスケールの異なる画像濃度変動を安定化させるため、下記に示した3つの新しい技術を開発した。

- 1) 現像ローラの長手方向でのTC偏差を低減する技術
- 2) 多量の補給トナーを高分散化させる技術

3) 現像剤を長寿命化させる技術

これらは、SD現像システム(SD: Stable Density)と、プレミックス現像システムから構成される。

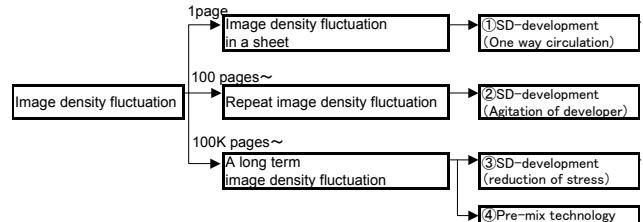


Fig.1 Image density stability and the technologies.

2. 技術

2-1 SD現像システム

SD現像システムはFig.2に示したように、現像ローラ、攪拌スクリュ、供給スクリュ、回収スクリュから構成される。はじめに、現像剤およびトナーの流れを説明する。

現像剤は、攪拌スクリュ(①→②)、供給スクリュ(③→④)、回収スクリュ(⑤)を循環して、現像ローラには供給スクリュから現像剤を供給する(④→現像ローラ)。現像ローラ上の現像剤は、回収スクリュに移流され攪拌スクリュ(現像ローラ→⑤→①)に戻される。供給スクリュで使用されなかった現像剤は攪拌スクリュに戻る(④→⑥)。

トナーは、攪拌スクリュ上流(①)に補給され、供給スクリュ到達前に現像剤中に均一に分散される機構を有している。また、経時に変化した現像剤は、排出スクリュ(Fig.3b)から現像装置外部へ排出される。現像装置内の現像剤は、経時に変化した現像剤が現像装置外へ排出されることで減少する。そこで、トナーと一緒にフレッシュキャリアを少量供給することで、現像装置内の現像剤量を一定に保持している。

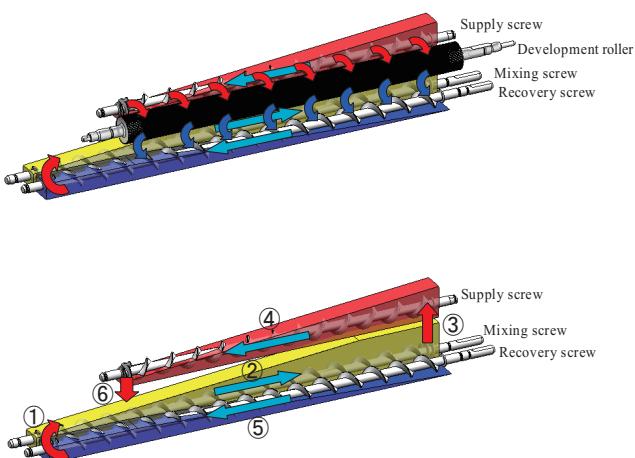


Fig.2 Schematic diagram of SD development system.

2-2 スクリュの機能分離

従来の一般的な2軸スクリュからなる現像装置 (Fig.3a, Fig.4) では、現像ローラに近い側のスクリュは現像剤の供給と回収の2つの機能を有している。そのため、一度回収された現像剤が再度現像ローラに供給される場合 (矢印E, F) があり、現像ローラ上の現像剤中トナー濃度が不均一 (Fig.4) となっていた。Fig.4, 5は、現像装置内の現像剤の流れを矢印で示している。矢印の濃淡はTCを表し、矢印の大きさはスクリュ上の現像剤の容量である。従来の現像装置では、現像ローラで一度使用された現像剤が再度現像ローラに汲み上げられるため、現像ローラ上TCが右から左に行くにしたがって低下している (Fig.4)。その結果、得られる画像濃度は現像ローラ上のTC偏差に依存し左右偏差があった。

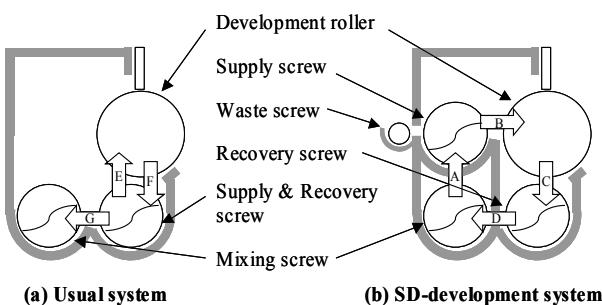


Fig.3 Cross-section of development units.

SD現像システム (Fig.3b, Fig.5) は、前述したように現像ローラ、攪拌スクリュ、供給スクリュ、回収スクリュから構成され、それぞれのスクリュは単独の機能を保持している。現像剤の流れを以下に説明する。攪拌スクリュで補給されたトナーを均一に分散した現像剤は、供給スクリュへ移流され (Fig.3bの矢印A)、現像ローラに過不足無く供給された後、余剩分は攪拌スクリュに戻される。

一方、現像ローラに汲み上げられた現像剤は回収スクリュにより回収され (矢印C)、攪拌スクリュに戻る (矢印D)。したがって、SD現像システムでは従来の現像装置で発生しているような、一度現像で使用されてTCの低下した現像剤が、現像ローラに再度汲み上げられる現象は起こらない。つまり、現像ローラへは常にトナー濃度が一定な現像剤が供給され、現像ローラ上TCは一定となり (Fig.5)、得られる画像濃度には左右偏差は少なくなる。

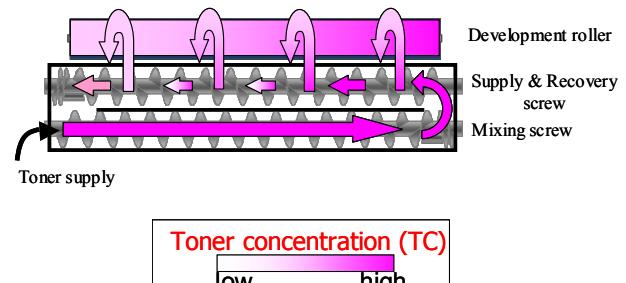


Fig.4 TC distribution in usual system.

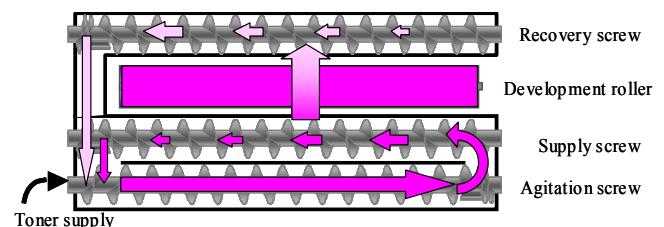


Fig.5 TC distribution in SD-development system.

2-2-1攪拌スクリュの機能

攪拌スクリュの機能は、攪拌搬送路内の現像剤中に補給されたトナーを供給スクリュ到達前までに均一に分散することである。従来の現像装置では、トナー補給量が多い場合、均一にトナーを分散する機能が十分ではなかった。

SD現像システムでは、この機能を達成するために、現像剤のパッキング状態を攪拌搬送路内に形成させ、回転する攪拌スクリュにて現像剤に剪断力を付与する技術を搭載した。一般的に、十分に攪拌された現像剤は、弱帶電や逆帶電トナーの存在率が低い⁴⁾。

一方、現像剤にトナーが補給されて、攪拌が不十分だと弱帶電や逆帶電トナーの存在率は高くなる。連続印刷では補給トナー量が多い為、その傾向は特に顕著になり、攪拌が十分でないと弱帶電や逆帶電トナーの存在率は増加傾向になる。

Fig.6は、A3ベタを100枚印刷した時に攪拌スクリュ下流での弱帶電トナー比率を、従来の現像装置とSD現像システムで比較した結果である。従来の現像装置では、弱帶電や逆帶電トナーは印刷枚数にしたがって増加傾向にある。一方、SD現像システムでは、印刷枚数が増えても弱帶電トナー量が少量に抑えられていることから、補給トナーは十分に攪拌され、現像剤中のトナー濃度は継続的にほぼ均一になっている⁵⁾。

この攪拌スクリュの機能により、リピート画像濃度変動は抑制可能となる。

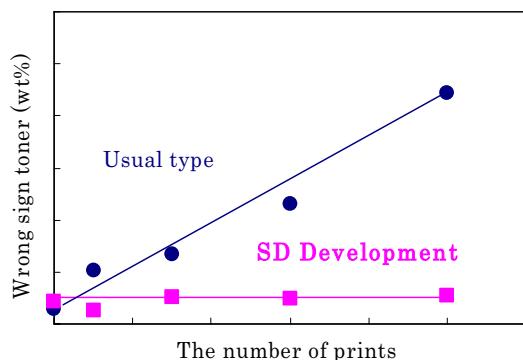


Fig.6 Wrong sign toner ratio dependence on the prints number.

2-2-2供給スクリュの機能

攪拌スクリュにおいてトナーは現像剤中に均一に分散されているので、供給スクリュの機能は、現像剤を現像ローラに過不足無く供給することである。品質工学を用いた手法により、スクリュ条件の最適化を行った。

2-2-3回収スクリュの機能

回収スクリュの機能は、現像に使用されてトナー濃度が低下した現像剤を回収搬送路内で滞留することなく回収することである。100%回収されないと現像に使用されてトナー濃度の低下した現像剤が再度現像に使用されることになり、得られる画像として頁内の画像濃度偏差がおこる。SD現像システムでは、現像剤供給搬送路と現像剤回収搬送路を独立搬送路として設計して、一度現像に使用された現像剤は完全に回収した。この機能により頁内画像濃度変動は抑制される。

2-3プレミックス現像システム

電子写真方式で使用される二成分現像剤はトナーとキャリアから構成され、コピーやプリントにより経時的に変化する⁶⁾。トナーの変化としては添加剤の埋没/離脱、粒径変化（選択現像、ユニット内粉碎）があり、キャリアの変化としてはトナー成分の付着、キャリアコートの膜削れ、等がある。これらの変化は、現像剤の電気特性、粉体特性に影響を与え、それらはさらに現像ローラ上の磁気ブラシ状態や感光体上トナー付着状態に悪影響を与える。その結果、画像にも影響を与え、画像濃度安定性に対しても現像剤特性変化は課題の1つとなっていて、現像剤劣化に起因した異常画像発生の場合は現像剤交換を行う必要がある。また、現像剤交換は、マシンのダウンタイムを増加させるため現像剤の交換頻度を低減させることが望ましい。この現像剤特性変化に起因する画像濃度の安定性を高めるため、現像剤の劣化速度を低減させ現像剤の交換頻度を抑制する技術としてプレミックス現像システムを開発した。プレミックス現像システムは、低ストレス現像とプレミックス現像の2つの技術から構成される。

2-3-1 低ストレス現像

一般的に現像剤の変化は、現像装置からのストレスが原因である²⁾。現像装置のストレスとしては、現像剤の量を規制するドクターブレード、現像剤を搬送するためのドクターブレード前の現像ローラ磁極配置、そして現像剤を搬送する搬送スクリュ等があげられる。このストレス低減のためには、現像ローラの磁束密度分布が重要と考え、磁束密度分布に対する現像剤汲み上げ能力、現像剤離れ能力をシミュレーション(DEM)を用いて解析を行った。

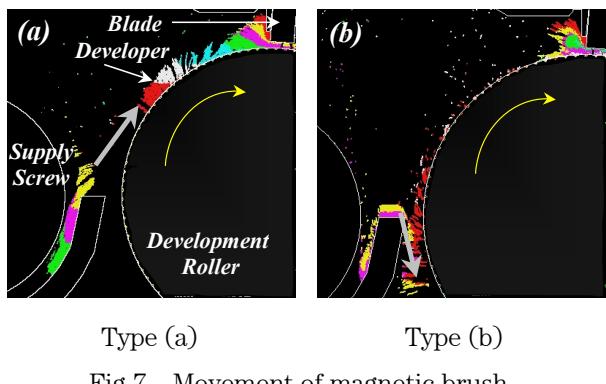


Fig.7 Movement of magnetic brush.

現像剤へのストレスを低減するためには、現像剤を現像ローラに引き付ける磁束密度を下げればよいが、下げ過ぎると現像剤の汲み上げ能力が低下する。そこで、現像ローラの磁極配置/強度を制御因子に、経時で変化する現像剤特性を誤差因子として最適解を算出した。

Fig.7は、低ストレス現像での現像剤の搬送能力の計算結果である。Type(a)では、供給スクリュから現像剤は十分に汲み上げられて、ドクターブレードにより現像剤量が適切に規制されている。一方、磁束密度を下げ過ぎたType(b)では、汲み上げ能力が不十分であることがわかる。現像剤の汲み上げ能力が最適化されたType(a)を採用した低ストレス現像は、汲み上げ能力に十分すぎる余裕度があった従来の現像方式に対して、40%減の低トルク化が達成され、現像剤の寿命を大きく伸ばすことに貢献した。

2-3-2 プレミックス現像

前述した現像剤の変化は、トナー、キャリアの組み合わせにより異なり、トナー成分付着、キャリア膜削れ等がある。またこれらの変化は印字される画像面積率によっても異なる。高画像面積率のトナー消費量が多いモードでは、キャリアに対してトナー成分が付着し、低画像面積率のトナー消費が少ないモードではキャリアの膜削れが発生する。つまり、ユーザーのプリントモードによってトナーおよびキャリアは変化して、トナーQ/Mは上昇または低下して画像濃度に影響を与える。

プレミックス現像システムは、稼動中に徐々に現像装置内の古い現像剤を新しい現像剤に交換していくシステムである。具体的には、補給トナー内にキャリアを一定量混入させておくことで、現像装置内に新しい現像剤を補給し、現像装置に現像剤排出口を設けて現像装置内の古い現像剤を排出する。

この時のトナーと同時に供給するキャリア量はシミュレーション(Fig.8)を用いて検討を行った。キャリア充填率を変化(図中の曲線)させて、ある一定の帶電量(横線)まで低下した時のプリント枚数を現像剤寿命とした。

帶電量推移が、ある一定の値より高い場合のキャリア充填率であれば、現像剤の寿命を増大できることを示している。一方、帶電量推移が目標値より低い場合のキャリア充填率であれば、その時の現像剤寿命は短くなる。

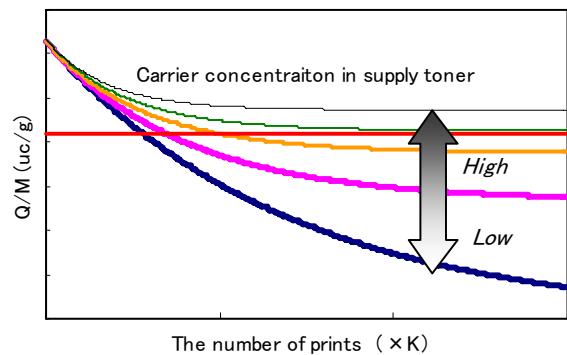


Fig.8 Time dependence of toner charge decay simulation.

最終的には実験によりキャリア充填率を決定し、プレミックス現像システムでは、従来の現像システムの3倍以上の現像剤寿命を達成した。現像剤寿命が伸びることで画像濃度に影響を与えるトナーQ/M変化は少なくなり、プレミックス現像システムは経時での画像濃度変動が低減された。

2-4 現像剤循環の安定化

現像装置内の現像剤は、TC、湿度、劣化により嵩が変化する。嵩変化により現像装置内の現像剤の流れが不安定になると、現像剤の嵩が少ない時には現像剤が現像ローラ全般に行き渡らず、異常画像としてスクリュピッチムラが発生する。また現像剤の嵩が多いと回収スクリュ上の一一度使用された現像剤が現像ローラに供給される再汲み上げが発生して、画像濃度低下が起こる。そのため、プレミックス現像システムでは所定の現像剤の嵩に入るように現像装置内の高精度な現像剤嵩制御技術（①、②）を搭載した⁷⁾。

現像剤嵩制御技術①：現像装置内の現像剤が所定の容量を越えた際に、応答性の高い排出を行う技術であり、現像剤容積が所定の容量を越えると急激に嵩が増す個所を現像装置内に設け、この近傍に現像剤排出口を設置した

現像剤嵩制御技術②：現像装置内の現像剤が所定の容量以下の際には、排出を行わない技術であり、品質工学的手法を用いた最適化からロバスト性の高い性能を得た

プレミックス現像システムでは、応答性の高い排出技術を搭載することで現像剤嵩制御としての役割を持たせた。これらにより、従来機同等の小型サイズの現像装置でも、スクリュピッチムラ等の異常画像発生や、現像剤の再汲み上げを完全に抑えた安定した現像剤移流性能を保持するSD現像システムが得られた。

Fig.9に現像剤嵩制御の性能を示す。横軸に現像剤容積、縦軸に余剰の現像剤排出速度を示している。Volume AからVolume Bの領域では現像剤の排出はゼロに抑えられている。Volume Cの手前から余剰剤の排出は始まり、排出速度は徐々に増加している。つまり、現像剤嵩が一定以上になると、現像剤は排出され、あ

る量以下ではまったく排出されないシステムとなっている。

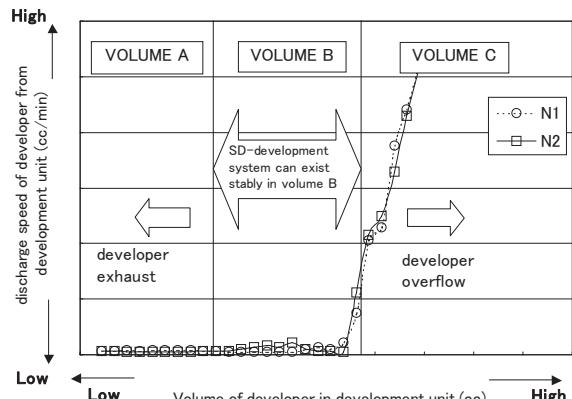


Fig.9 Exhausting speed of developer.

2-5 画像濃度安定性

スクリュ機能を分離したSD現像システムと、現像剤の寿命を伸ばすプレミックス現像システムを、リコーア製従来機に搭載し、現像ローラの長手方向でのTC偏差の評価を行った。

A3ベータ100%画像を数百枚連続して出力して、従来の現像装置を用いた従来機とSD現像システムを搭載した改造機を比較した結果をFig.10に示した。横軸は印刷枚数で、縦軸は現像ローラ上のTC偏差である。従来の現像装置では数十枚印刷で既に大きなTC偏差があり、印刷とともにTC偏差が拡大していることがわかる。一方、SD現像システムでは数十枚印刷ではTC偏差は少なく、印刷枚数が増えてTC偏差は大きく増加しない結果となった。

新しく開発したSD現像システムでは、現像ローラ上TC偏差が従来の約1/6以下になっており、従来の現像装置に比べて大きく改善されていることがわかる。この結果は、供給スクリュと回収スクリュの機能を完全に分離したことと、攪拌スクリュにて補給トナーを均一に分散させた効果である。

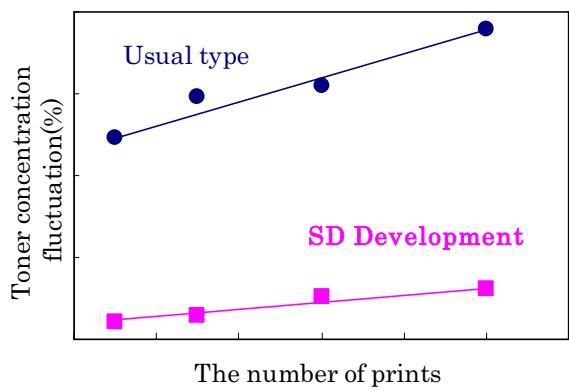


Fig.10 TC fluctuation on development role for the print number of sheets.

Fig.11は、A3ベタ100%画像を数千枚連続で出力した時の画像濃度変動の結果である。従来の現像装置では百枚の印刷で画像濃度バラツキが1枚目の3倍程度まで増加している。一方、SD現像システムでは初期から数千枚後もほぼ同じ画像濃度バラツキであり、その値も小さなものになっている。

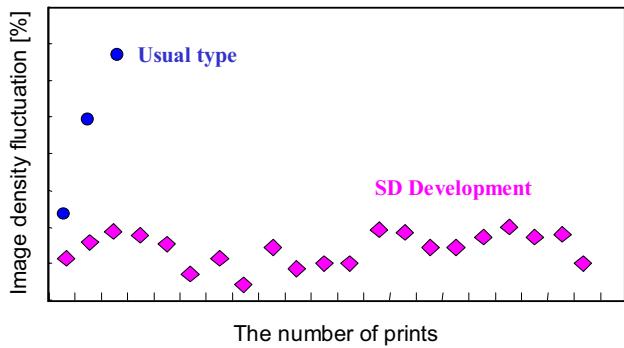


Fig.11 Image density stability for the print number of sheets.

SD現像システムとプレミックス現像システム搭載により、頁内の画像濃度安定性、リピートの画像濃度安定性、ともに従来の現像システムを圧倒する性能が得られた。

3. 成果

SD現像システムとプレミックス現像システムを新しく開発した。前者は、スクリュ機能を分離して現像ローラの長手方向でのTC偏差を低減するとともに、補給トナーの高い分散能力を得ることに成功した。後者は、低ストレス現像方式とプレミックス現像方式からなり、現像剤の寿命を従来現像システムの3倍以上にすることができた。これらの2つの新しいシステムは画像濃度の高安定性に大きく寄与している。

参考文献

- 1) 福原政昭：日本画像学会誌，第45巻，第2号(2006)，pp.60-65.
- 2) 市原美幸：日本画像学会誌，第45巻，第6号(2006)，pp.77-83.
- 3) 木田恒治：日本画像学会誌，第45巻，第2号(2006)，pp.78-84.
- 4) A. C.-M. Yang, C-Yu Chou, and S. Cha : Recent Progress in Toner Technologies, (1997), pp. 230 - 233.
- 5) K. Utsunomiya et al. : PPIC '08 Proceeding, (2008), pp. 92-95.
- 6) R. J. Nash, M. L. Grande and R. N. Muller : J. Imaging Sci. Technol., Vol.46, (2002), pp. 313-320.
- 7) Y. Oshikawa et al. : NIP24 Proceeding, (2008), pp. 329-332

正準相関部分空間における再帰的ランダム・ウォークを用いた 画像の自動タグ付け

Automatic Image Annotation as a Random Walk with Priors on the Canonical Correlation Subspace

ティモシー バヨール* チャイジイ シュ* インフイ ジョ**
Timothée Bailloeul Cai-Zhi Zhu Yinghui Xu

要　旨

本稿では、Panら¹⁴⁾によるGCapと呼ばれる手法をベースとする、グラフ処理に基づく画像の自動タグ付け手法を提案する。我々の手法(EGCap: Enhanced GCap)は、正準相関解析(CCA)を用いて画像空間中の意味的な乖離を縮小すると共に、テキスト空間中においてタグ同士を関連付ける新しい距離関数を定義する。この結果、画像レベルでのリンク誤りが減少し、システムから出力されるタグの一貫性が改善された。更に本手法では、タグ付けの精度向上が確認された。文書の逆出現頻度に基づくリンクの重み付け手法とCCA距離関数を導入する。本手法は単純で且つ安定しており、リアルタイムでのタグ付けが可能である。この要因として、画像の局所的二値パターン(Local Binary Pattern)特徴を利用していること、領域分割が不要であること、またCCAの射影により特徴ベクトルを削減していることが挙げられる。提案手法と他の最先端の手法とをCorelおよびFlickrのデータベースを用いて比較し、本手法の優位性を単語単位、画像単位、および処理時間の各評価指標を用いて示す。

ABSTRACT

In this paper, we present a graph-based scheme founded on the GCap method of Pan *et al.*¹⁴⁾ to perform automatic image annotation. Our approach, namely enhanced GCap (EGCap), takes advantage of the canonical correlation analysis technique (CCA) to shorten the semantic gap in the image space and define a new metric in the text space to correlate annotations. As a result, linkage errors at the image level are decreased and the consistency of tags output by the system is improved. Besides, we introduce graph link weighting techniques based on inverse document frequency and CCA metric which are proved to enhance the annotation quality. Simple and self-consistent, the present approach achieves image annotation in real time due to the lightweight Local Binary Pattern image features used, the absence of image segmentation, and the reduced size of feature vectors after CCA projection. We test the proposed approach against top-grade state-of-the-art techniques on Corel and Flickr databases, and show the effectiveness of our method in terms of per-word, per-image and processing time performance indicators.

* リコーソフトウェア研究所（北京）有限公司

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

** 研究開発本部 ソフトウェア研究所

Software R&D Center, Research and Development Group

1. Introduction

The rapid expansion of the Web and the growing number of digital imaging sensors embedded in consumer-level products are producing larger and larger image repositories. As the mass of accumulated data is meant to be useful, successful image indexing and retrieval systems have become a necessity. Querying databases by an exemplar image has been one of the first techniques to search digital photographs. In such scenario, images of the database which are visually similar to the query are returned. This procedure is inconvenient for two reasons: i) it constrains the user to always have an image at hand. ii) the contents of retrieved images are different from these of the query because of the semantic gap occurring in the image feature space. A more promising alternative consists in indexing images automatically with high-level information keywords prior to the retrieval task. This way, the user can retrieve more semantically consistent images upon text query, which is more effective and suitable.

There are basically two ways to carry out such computerized image annotation. The first, called *text-based* approach, consists in mining keywords from any kind of textual information attached to the image to be indexed. The text metadata used comprehends the image file name, caption, and text wrapping the picture when the latter is embedded in a Web page. While such technique has been widely adopted by major Web search engines, it has two limitations: i) it is prone to indexing errors as the text metadata is not necessarily related to the contents depicted on the image. ii) it is constrained to the processing of photos incorporated into electronic documents, such as Web pages, and cannot process standalone images. The shortcomings of the text-based procedure are addressed by the alternative *image-based* approach. The latter is based on Computer Vision and

statistical Machine Learning techniques to discover the intricate relationships among words and image features given a training set of human-annotated images. The trained statistical model is then able to predict a set of relevant keywords related to an image unseen in the learning phase. For nearly a decade, computer scientists have achieved progresses in this field since the pioneering work of Mori *et al.*¹¹⁾. However, automatic image annotation remains a challenging problem, and because of the moderate annotation accuracy and recall performance obtained, no fully operational system or product has emerged till now. For the past years, various approaches have been proposed, including methods based on machine bilingual translation³⁾, generative probabilistic models^{1), 4)}, graph theory^{8), 14)} and multi-class classification²⁾. Recently, more efforts were dedicated to achieve automatic image annotation in real time. In 12), Nakayama *et al.* disclosed one of the fastest annotation schemes of the moment. Implemented on an 8-core machine, their method achieves image annotation in 0.02 s and yields the best performance on the Corel5k data set designed in 3). The main contribution of their approach is the pre-processing of image features by a subspace method which maximizes the correlation between image and text information contained in the training set. The reduced size of image features after subspace projection fastens the image annotation procedure which is similar to that of Feng *et al.*⁴⁾. In the following, we highlight the main contributions of the approach presented in this paper:

Firstly, we explore the benefit of the Local Binary Pattern (LBP) image features for the task of automatic image annotation. These features are attractive as they compactly embed various sources of information such as contrast and color and have a low computational cost.

Secondly, we introduce the canonical correlation analysis (CCA) subspace technique to improve the graph-based scheme of Pan *et al.*¹⁴⁾. The advantages of CCA are manifold. First, it reduces the semantic gap in

the image feature space, which decreases errors in the "image-to-image" linkage. Second, in case we deal with weakly annotated¹ training data, CCA is most effective when considering image features at the whole image level. We consequently do not need to segment images, which saves processing time and simplifies the structure of the graph linking images and their annotations. The computational workload is also cut by the smaller size of feature vectors after projection in CCA space. Third, we use the CCA-projected text space to measure the similarity among annotations based on visual impression. It allows the creation of new "word-to-word" links in the graph to increase the consistency of words output by the annotation system.

Thirdly, we investigate graph link weighting techniques based on inverse document frequency and the distance in CCA-projected subspaces to improve the quality of annotations.

The remainder of this paper is organized as follows. In sections 2 and 3 we recall the background of LBP image features and the CCA technique. In section 4, we outline the shortcomings of the GCap method¹⁴⁾ and propose counter-measures based on the random walk on the canonical correlation space. In section 5, we provide experimental results to assess the efficiency of the novelties exposed in this paper, and compare the proposed scheme to top-grade state-of-the-art techniques. We show the effectiveness of the proposed method in terms of per-word, per-image and processing time indicators, and conclude in section 6.

2. LBP image features

The LBP feature is a compact texture descriptor for which each comparison result between a center pixel

¹ In "weak annotation", keywords are attached to an image without localization information. It is opposite to region labeling.

and one of its surrounding neighbors will be encoded as a bit in a LBP code (see Fig.1).

6	5	2
7	6	1
9	8	7

1	0	0
1	1	0
1	1	1

1	2	4
128	1	8
64	32	16

Fig.1 LBP code computation for gray level image and an 8-neighbor window⁹⁾. The 8-bit pattern is 11110001, and the corresponding LBP code: $1+16+32+64+128=241$.

LBP codes are computed for every pixel and accumulated into a histogram to represent the whole image. Statistical analysis can also be used to generate even shorter or compacter LBP histograms, such as rotation invariance (RI), uniformity (U2), or the combination of both (RIU2) (see 9) for more details). LBP is flexible as it can be enhanced by contrast, color or multi-scale information. In the proposed approach, we adopted the uniformed LBP (59 bins) to which contrast information - quantized into 5 levels - was added. Finally, we took advantage of color information by extracting the aforementioned LBP feature from three intra-channels (R,G,B) and three inter-channels (RG, RB, GB). The final LBP feature size is then $p = 59 \times 5 \times 6 = 1770$, which is high, but as we will see in the following, CCA can reduce it to a more reasonable size. According to our experience, the above LBP settings are a good balance between annotation performance and time complexity. As LBP extraction mainly requires addition operations, it can be achieved at a very high speed.

3. Canonical correlation analysis

Founded by Hotelling in 1936⁶⁾, the canonical correlation analysis (CCA) is a technique which maximizes the correlation between two linearly dependent signals while minimizing their sizes. CCA and kernel-CCA were first used for the purpose of image

annotation and retrieval by Hardoon *et al.* in 5).

3-1 Inputs of CCA

Assume we are given a training set of N pairs of observations $(\mathbf{x}_i, \mathbf{y}_i)$, where $\mathbf{x}_i \in \Re^p$ and $\mathbf{y}_i \in \Re^q$ refer to the image and annotation feature vectors of the i th training sample respectively. Later on, we assume that all feature vectors corresponding to the training images are stored in the columns of the sample matrix $\mathbf{X} \in \Re^{p \times N} = (\mathbf{x}_1, \dots, \mathbf{x}_N)$.

The vector $\mathbf{y}_i \in \Re^q$ refers to the caption of the i th image of the training set Im_i . It is the output of a function mapping the caption of Im_i to an indicator variable $G_{w_k} \in \{0,1\}$ where w_k is a word of the annotation vocabulary V and with $G_{w_k} = 1$ if w_k is an annotation of Im_i , otherwise it equals 0. In such case, $\mathbf{y}_i = (G_{w_1}, \dots, G_{w_q})$ where q denotes the size of V . All annotation vectors are stored in the columns of the sample matrix $\mathbf{Y} \in \Re^{q \times N} = (\mathbf{y}_1, \dots, \mathbf{y}_N)$. Prior to the computation of the CCA projection model, one has to center the matrices \mathbf{X} and \mathbf{Y} and normalize them by the standard deviation across the samples as follows:

$$\tilde{\mathbf{Z}} = ((\mathbf{z}_1 - \hat{\mathbf{m}}_z)(\hat{\sigma}_z \mathbf{Id}_s)^{-1}, \dots, (\mathbf{z}_N - \hat{\mathbf{m}}_z)(\hat{\sigma}_z \mathbf{Id}_s)^{-1}) \quad (1)$$

where $\tilde{\mathbf{Z}} = \tilde{\mathbf{X}}$ or $\tilde{\mathbf{Z}} = \tilde{\mathbf{Y}}$, $\hat{\mathbf{m}}_z = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \mathbf{z}_i \in \Re^s$ and $\hat{\sigma}_z^2 = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (\mathbf{z}_i - \hat{\mathbf{m}}_z)^2 \in \Re^s$ with $(z, s) = (x, p)$ or $(z, s) = (y, q)$, and \mathbf{Id}_s is the $s \times s$ identity matrix.

3-2 CCA model calculation

CCA is to find pairs of canonical directions \mathbf{W}_x and \mathbf{W}_y that maximize the correlation ρ between the projections $\mathbf{W}_x' \tilde{\mathbf{X}}$ and $\mathbf{W}_y' \tilde{\mathbf{Y}}$. The definition of the correlation is recalled in equation (2):

$$\rho = \frac{\mathbf{W}_x' \hat{\mathbf{C}}_{xy} \mathbf{W}_y}{\sqrt{\mathbf{W}_x' \hat{\mathbf{C}}_{xx} \mathbf{W}_x \mathbf{W}_y' \hat{\mathbf{C}}_{yy} \mathbf{W}_y}} \quad (2)$$

where $\hat{\mathbf{C}}_{xx}$, $\hat{\mathbf{C}}_{yy}$ and $\hat{\mathbf{C}}_{xy}$ are the unbiased estimations of the within-set and between-set covariance matrices. The maximization of ρ is realized by maximizing the covariance $\mathbf{W}_x' \hat{\mathbf{C}}_{xy} \mathbf{W}_y$ given the constraints $\mathbf{W}_x' \hat{\mathbf{C}}_{xx} \mathbf{W}_x = \mathbf{W}_y' \hat{\mathbf{C}}_{yy} \mathbf{W}_y = 1$. It leads to the resolution of two symmetric eigenproblems which can be resolved successively, or by resorting to the Singular Value Decomposition (SVD) technique¹⁰⁾. In the SVD-based approach we consider the following matrix:

$$\mathbf{M} = \hat{\mathbf{C}}_{xx}^{-1/2} \hat{\mathbf{C}}_{xy} \hat{\mathbf{C}}_{yy}^{-1/2} \in \Re^{p \times q} \quad (3)$$

\mathbf{M} can be decomposed by SVD as follows:

$$\mathbf{M} = \mathbf{U} \mathbf{D}_m \mathbf{V}' \quad (4)$$

where $\mathbf{U} \in \Re^{p \times p}$ and $\mathbf{V} \in \Re^{q \times q}$ are two orthonormal matrices and \mathbf{D}_m is a pseudo-diagonal matrix so that $\mathbf{D}_m = \text{diag}(\rho_1^2, \dots, \rho_m^2) \in \Re^{p \times q}$, with $m = \min(p, q)$. The diagonal elements of \mathbf{D}_m - which are referred to as singular values sorted in decreasing order - correspond to the squared correlation values of the canonical directions. The CCA projection matrices are finally $\mathbf{W}_x = \hat{\mathbf{C}}_{xx}^{-1/2} \mathbf{U}$ and $\mathbf{W}_y = \hat{\mathbf{C}}_{yy}^{-1/2} \mathbf{V}$. The canonical directions - or eigenvectors - of both image and text spaces are stored as the columns of \mathbf{W}_x and \mathbf{W}_y respectively. As any subspace method, it is possible to only retain the canonical directions pertaining to the most significant m_0 correlation values and consequently decrease the size of the projected features.

3-3 Outputs of CCA

Given two CCA projection matrices $\mathbf{W}_x \in \Re^{p \times m_0}$ and $\mathbf{W}_y \in \Re^{q \times m_0}$, and some arbitrary image and annotation features \mathbf{x} and \mathbf{y} , the projection in the image CCA subspace is achieved as follows: $\mathbf{x}_{proj} = \mathbf{W}_x' \tilde{\mathbf{x}} \in \Re^{m_0}$, while in the CCA text space, it takes the form: $\mathbf{y}_{proj} = \mathbf{W}_y' \tilde{\mathbf{y}} \in \Re^{m_0}$. Alternatively, the projection matrices \mathbf{W}_x and \mathbf{W}_y can be weighted by the correlation values contained in \mathbf{D} so as to enhance the main canonical directions.

4. Random walk with priors on canonical correlation subspace

4-1 Background and limitations of GCap method

The training model in GCap¹⁴⁾ is represented by a 3-layer undirected graph: i) the word layer whose nodes correspond to the keywords of the annotation vocabulary. ii) the image layer whose nodes relate to the training images. iii) the image region layer whose nodes embody the sub-areas of the training images. Such regions are typically output by an image segmentation procedure, and ideally correspond to the image objects. In the training phase, the image nodes are connected to their respective annotations by an "image-to-word" link. Each image is connected to its regions by "image-to-region" links that establish parent-to-child relationships between the image and its sub-areas. Finally, image regions are connected to each other across the whole data set based on their visual similarity: each region is connected to its k_{im} nearest neighboring regions in the sense of a metric defined on the image feature space ("region-to-region" links). In the image annotation phase, an incoming test image is first appended to the training graph. This is realized by connecting each test image region to its k_{im} nearest neighbors of the trained graph. Then, a random walk with restart (RWR) – beginning from the test image node – is performed to determine the most relevant words to annotate the test image. The RWR can be regarded as a Markov chain transition process biased towards the starting node, and is modeled by the following iterative equation:

$$\mathbf{U}_{n+1} = (1 - c)\mathbf{AU}_n + c\mathbf{V} \quad (5)$$

where \mathbf{U} is the N_{node} -dimensional vector which represents the Markov transition state of all nodes of the graph (N_{node} is the total number of nodes in the graph). \mathbf{A} is the adjacency - or Markov transition - matrix which

is populated with ones when a link is realized in the undirected graph. c is the restart probability and the N_{node} -dimensional restart vector \mathbf{V} is null, except at the entry of the test image where it is set to 1. When the values of vector \mathbf{U} have converged according to equation (5), the entries related to the word nodes are sorted by decreasing order, and the annotations corresponding to the top-n values are chosen to annotate the test image. In the following, we list the limitations of the scheme of Pan *et al.*¹⁴⁾.

4-1-1 Region-to-region linkage errors

The k_{im} nearest image region nodes in the graph are connected based on visual similarity. However, whatever the region similarity, all "region-to-region" links have the same constant weight. This is problematic as the k_{im}^{th} neighbor, which could be somehow very different from the region query, would have the same influence as other nearer neighbors. If the "farthest" neighbor is very dissimilar to the query, an incorrect link would be made, which decreases the annotation quality in the end. As a result, only small values of k_{im} can be used, which precludes from investigating long-range interactions at the region level. This fact is verified in 14) where the annotation accuracy starts to decline for values of k_{im} superior to 3.

The nearest neighbor search to connect regions is not scalable if a brute force approach is employed. As a consequence, it is desirable to resort to optimized nearest neighbor (ONN) search engines to fasten the process. In 13), the Approximate Nearest Neighbor (ANN) engine based on kd-tree data structure is used. In a kd-tree, L_n norm must be used to partition the k-dimensional feature space into hyper-rectangles to optimize the search. However, such L_n metric is incompatible with the multi-form image features often used in automatic image annotation. For instance, in 3), 13), and 14), color histograms, texture histograms and shape descriptors are merged together, which calls for

more sophisticated pseudo-distances to compare images (entropy, chi-square, etc.). Since such pseudo-distances define manifolds that are inconsistent with kd-tree optimization, L_n norm must be used anyway to the detriment of the accuracy in the "region-to-region" linkage.

4-1-2 Bias in "image-to-word" linkage

Some word nodes might be connected to image nodes more often than others. Such terms relate to the most popular tags used in the training phase, and there is a natural bias towards them in the RWR process due to their prominence in the Markov transition matrix. This is an unwelcome effect as popular words would always be output by the annotation system, regardless the image to tag. Balancing the link weight values between frequently and seldom used tags is a possible counter-measure to this problem.

4-2 Proposed counter-measures

We address the aforementioned issues by resorting to the CCA technique to improve and simplify the construction of the graph which associates image and word nodes. The merit of introducing CCA in the graph lies in the two following aspects.

First, the distance in the CCA-projected image space will somehow tell us how visually and semantically similar image nodes are. Such characteristic - inherited from the high-level annotations of the training set - helps bridge the semantic gap and decreases linkage errors in the graph at the image level. Moreover, CCA enables the use of a Euclidean metric in the CCA-projected image space, which allows to fully take advantage of the speed capability of ONN search engines without lowering the accuracy of the linkage. Finally, as we deal with weakly tagged training images in this study, CCA best befits image and annotation information at a global level. Consequently, image features can be computed at the scale of the whole image and no segmentation is needed.

This allows a significant cut in the computational workload and the simplification of the graph in which only image and word nodes are needed (the region nodes can be removed, see Fig. 3). As CCA is a subspace method, image features are also projected in a lower dimensional space. The population to be investigated in "image-to-image" linkage by the ONN search engine is then smaller and carried out in a low-dimensional space. It dramatically enhances the processing speed for training the graph and annotating new images.

Second, the distance in the CCA-projected text space will somehow tell us how similar words are based on their visual impression. Akin to the "image-to-image" linkage procedure, we connect each word node of the graph to its k_{nn} nearest neighbor word nodes based on a metric defined on the CCA-projected text space. This way, we intend to reinforce the consistency among the words of the vocabulary to output annotations which are semantically more similar in the end. Such process is different from that of 8) where dictionary-based prior knowledge is used to increase the consistency of the tags. In synonymy hierarchy like in WordNet, only closely related terms can be correlated. As a result, the words "water" and "boat", while being conceptually correlated, cannot be associated to each other using lexicon-based tools like WordNet. Instead, measuring the word similarity in the CCA-projected text space allows correlating concepts which are often depicted simultaneously on the training images. In Table 1, we provide some examples of word correlation in the CCA space based on the Corel5k data set described in section 5.

Table 1 Examples of "word-to-word" relationships in the CCA-projected text space built from Corel5k data set.

Query word	Top-3 nearest neighbors
boats	sailboats, lighthouse, ships
leaf	plants, branch, stems
horizon	trail, peaks, lake
plane	prop, helicopter, eagle

Fig.2 illustrates the benefits of CCA in both image and text spaces in order to narrow the semantic gap and construct a text metric to correlate annotations.

In order to investigate longer interaction ranges at the image and word levels, i.e. higher values of k_{im} and k_{tx} , we set the weight of "image-to-image" and "word-to-word" links as a decreasing function of the distance measured in the CCA-projected space:

$$w_{im-im}(i,j) = \exp\left(-\frac{d_{ij}^{im}}{\alpha}\right) \quad (6)$$

$$w_{word-word}(i,j) = \exp\left(-\frac{d_{ij}^{tx}}{\beta}\right) \quad (7)$$

where d_{ij}^{im} is the Euclidean distance between image i and j measured in the CCA-projected image space of dimension m_{0x} ; d_{ij}^{tx} is the Euclidean distance between word i and j measured in the CCA-projected text space of dimension m_{0y} ; α and β are parameters controlling the decrease rate of the functions.

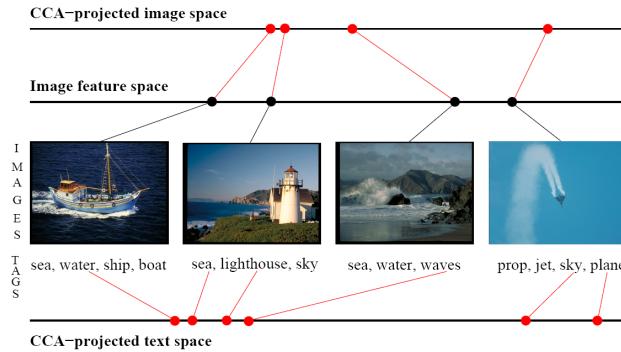


Fig.2 Illustration of projections in CCA image and text spaces.

To counter the bias of popular words learned in the training, we determine the weight between images and words by resorting to the Inverse Document Frequency (IDF) method. The latter sets a weight value to "image-to-word" links which is inversely proportional to number of times the considered word node is connected to image nodes. Consequently, in the graph building phase of the training, we set the weight between image i and word j as follows:

$$w_{im-word}(Im_i, w_j) = (1 - \gamma) + \gamma \left(\frac{Freq_{max} - Freq_j}{Freq_{max} - Freq_{min}} \right) \quad (8)$$

where γ is a parameter tuning the weight balance between popular and rare words, $Freq_{max}$ is the occurrence frequency of the most popular word in the training set, $Freq_{min}$ is the occurrence of the most seldom used word in the training set, and $Freq_j$ is the occurrence frequency of the j^{th} word of the annotation vocabulary. Note that in 8), Liu *et al.* also used IDF to improve the quality of automatic image annotation. Unlike our proposal, the IDF technique in 8) does not intervene directly at the graph level to alleviate the bias towards high frequency tags in the RWR process. It is rather used with exogenous linguistic knowledge derived from WordNet¹⁵⁾ to filter out irrelevant tags from the outputs of a graph-based RWR procedure. As a result, it is a counter-measure to improve the consistency of the final output words, rather than a procedure to alleviate the problem of popular words learned in the training. The schema of Fig.3 summarizes the contributions disclosed in this paper.

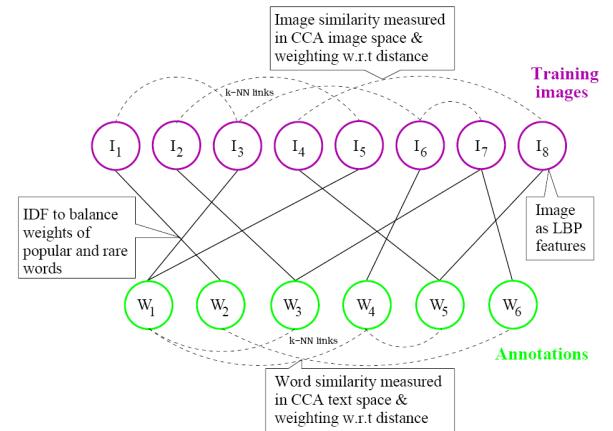


Fig.3 Illustration of the enhanced graph to perform the RWR on canonical correlation space.

5. Experimental results

Two image data sets were used to assess the image auto-annotation quality of the present scheme against that of the state-of-the-art. First, we employed the Corel5k database² which is made of 5,000 color images annotated with 371 English keywords³⁾ (the image size is 768×512 pixels). Typically, 4,500 images are used for training, while 500 images are used for testing. According to the Corel5k protocol, the schemes will be evaluated based on the first 5 tags they would assign to each test image. To evaluate per-word performance, the 260 keywords that are actually used in the ground truth of the testing set are considered. While Corel5k database has been the reference benchmark for computer scientists to compare their algorithms for the past years, it has the following limitations: i) images are taken by professional photographers, which is far from being the case in real world applications. ii) images are originally analog, then scanned. The digitization process always introduces noise. iii) the visual and semantic information contained in the images is not diverse. iv) the most outstanding problem is that the testing set is very similar to the training set. This makes the performance evaluation over-optimistic and biased.

Because of the aforementioned issues, more and more researchers carry out experiments on more challenging and diverse photos such as these available on the Web [7, 17]. As a result, we also built an image data set made of photos gathered from the Internet to evaluate the performance of our approach. Using the Flickr API, we downloaded 11,981 color photographs stored in Flickr's repository in 2007. 8,979 images are used for training while 3,002 photos are employed for testing and the annotation vocabulary is made of 298 English words. Per-word performance is evaluated based on the 292

² This publication includes images from the Corel Stock Photo Library images (Fig.2 and Fig.4) which are protected by the copyright laws of the U.S., Canada and elsewhere. Used under license.

words used in the testing ground truth. Unlike the Corel5k database, Flickr12k has the following features: i) images are taken by average camera users, i.e. non-expert photographers. ii) the visual and semantic diversity of the images is high. This is due to the random selection of images while acquiring them from Flickr. iii) there are errors and inconsistencies in the annotation ground truth as the users are not experts. iv) images are originally in the digital form. In the Flickr12k protocol, we decided to evaluate the proposed annotation scheme based on the first 15 tags assigned to each test image.

5-1 Performance indicators

In this article, traditional performance indicators are used. They are per-word precision&recall (eq. 9-10) and per-image precision&recall (eq. 11-12).

$$pw_{precision}(w) = 100 * \text{Im}_C(w) / \text{Im}_{AUTO}(w) \quad (9)$$

$$pw_{recall}(w) = 100 * \text{Im}_C(w) / \text{Im}_H(w) \quad (10)$$

where $\text{Im}_C(w)$ is the number of images correctly annotated with word w by the system, $\text{Im}_{AUTO}(w)$ is the number of images annotated with word w by the system, and $\text{Im}_H(w)$ is the number of human-annotated images with word w (ground truth).

$$pi_{precision}(\text{Im}) = 100 * W_C(\text{Im}) / W_{AUTO}(\text{Im}) \quad (11)$$

$$pi_{recall}(\text{Im}) = 100 * W_C(\text{Im}) / W_H(\text{Im}) \quad (12)$$

where $W_C(\text{Im})$ is the number of words correctly assigned to image Im by the system, $W_{AUTO}(\text{Im})$ is the number of words assigned to image Im by the system, and $W_H(\text{Im})$ is the number of human-produced annotations for image Im (ground truth). In case a word w is never used by the image annotation scheme to annotate test images, its per-word precision is not computable as the denominator of equation (9) is zero.

By convention, we set the precision of the word to zero when such situation occurs. To derive the global per-word and per-image indicators, the individual scores are averaged over the whole annotation vocabulary and testing image set:

$$PW_{p/r} = \frac{1}{q} \sum_{i=1}^q pw_{precision/recall}(w_i) \quad (13)$$

where q is the size of the annotation vocabulary.

$$PI_{p/r} = \frac{1}{N_{test}} \sum_{j=1}^{N_{test}} pi_{precision/recall}(Im_j) \quad (14)$$

where N_{test} is the number of images in the testing set. The following F1 measures are also used to tune

parameters: $PW_{F1} = \frac{2PW_p PW_r}{PW_p + PW_r}$ and $PI_{F1} = \frac{2PI_p PI_r}{PI_p + PI_r}$.

We define n_{nzr} as the number of words with non-zero recall. Such performance indicator n_{nzr} indicates how many words were used for automatic annotation in the testing phase and represents the number of terms effectively learned by the system. Finally, we also measure the processing time t which is needed to annotate one image on the average over the testing set. The time t is reported in seconds on the basis of a one-core implementation³. It covers all operations needed to annotate an image, including the cost of feature extraction.

5-2 Cross-validation

In order to tune the parameters of the proposed scheme - namely c , k_{im} , k_{tx} , α , β , γ , m_{0x} , and m_{0y} - we carried out a 5-fold cross-validation procedure on the training set of Corel5k and Flickr12k databases. Given a training set, we selected 5 different validation sets made of 450 images each. Optimal parameters are the ones that maximize $PW_{F1} + PI_{F1}$ on the average computed over the 5 validation subsets.

³ EGCap was implemented in C++ on a 2.33 GHz CPU machine with 2 Go RAM (the ANN engine was used to fasten the "image-to-image" linkage).

5-3 Results

In Table 2, we compare the performance of the proposed scheme EGCap to that of the state-of-the-art on the Corel5k benchmark. We also provide results of EGCap with LBP features only, after CCA processing, and with all proposed novelties (CCA + eq. (6-7-8)). The baseline EGCap-LBP is similar to the GCap approach [14], except that there is no image segmentation and LBP features are used. We notice that CCA projection at the image level drastically improves performance indicators. Indeed, compared to EGCap-LBP, EGCap-LBP-CCA enhances by 40% to 50% per-word indicators, while it improves per-image scores by 26% (relative increase). EGCap-LBP-CCA outperforms state-of-the-art methods, except that of Nakayama *et al.* (Proba CCA, 12)) for which results are similar. The number of words learned by EGCap-LBP-CCA increased by 22 while it is lower than that of SML. Note that the processing speed of EGCap-CCA is higher than that of EGCap-LBP. This is due to the smaller size of image feature vectors after CCA projection ($m_{0x} = 60$), which alleviates the computational burden in the NN search to append test images. The full configuration of EGCap (eq. (6-7-8)) allows improving performances compared to EGCap-LBP-CCA. The enhancement is however more subtle as it ranges from 4% to 12% regarding per-word and per-image scores. The most remarkable observation is the higher increase in per-word recall than in per-word precision. It would confirm that the proposed countermeasures not only enhance the accuracy by outputting more consistent tags, but also allow the use of more diverse words to annotate images (this fact is verified by the increase of n_{nzr}). Having a high per-word recall is especially interesting for the image search task as more relevant images would be returned upon keyword queries. Considering the PW_{F1} measure, the full configuration of EGCap outperforms the scheme of Nakayama *et al.*¹²⁾ while having a similar processing time.

The time complexity of the Proba CCA scheme is $O(N \times (m_{0x} + q)) \approx 410N$ according to the parameters used in [12]. The complexity of EGCap is in $O(2 \times N \times n_{iter} \times (\bar{n} + k_{im} + 1)) \approx 640N$, where n_{iter} is the number of iterations needed for the RWR to converge (20) and \bar{n} is the average number of tags per training image (4 in Corel5k). We notice that the time complexity ratio between Proba CCA and EGCap corresponds to the difference in processing time reported in Table 2. Besides, EGCap can achieve faster annotation speed if k_{im} is reduced.

Table 2 Performance results of EGCap on Corel5k. Number of training images $N = 4500$, vocabulary size $q = 371$.

Method	Ref.	PW_p	PW_r	PI_p	PI_r	n_{nzr}	t (s)
EGCap	Eq. (6-7-8)	29	37	41	58	144	21
EGCap	LBP+CCA	27	33	39	56	132	21
EGCap	LBP	18	23	31	44	110	27
Proba CCA	[12]	30	32	-	-	-	16
AGAnn	[8]	24	29	-	-	-	-
SML	[2]	23	29	-	-	137	1620
GCap	[14]	-	-	37	-	-	-

In Table 3, we compare the baseline of EGCap to its full configuration on the Flickr12k data set. As observed on Corel5k, the measures we proposed to enhance GCap are effective to improve the annotation quality. Note that the processing time is higher as there are more training image nodes in the graph. Besides, Flickr images have various sizes which are in general larger than that of Corel data.

Table 3 Performance results of EGCap on Flickr12k. Number of training images $N = 8979$, vocabulary size $q = 298$.

Method	Ref.	PW_p	PW_r	PI_p	PI_r	n_{nzr}	t (s)
EGCap	Eq. (6-7-8)	32	23	35	37	250	43
EGCap	LBP	27	11	29	29	182	47

5-4 Examples of image annotation

In Fig.4, we illustrate the benefits of EGCap on a few images extracted from Corel5k. In the second column, we notice that the joint use of IDF and "word-to-word" linkage is effective to lower the rank of the mistaken tag "water" which belongs to the most popular words learned in the training phase. Instead, the more relevant and correct tag "fox" is output. In column three, whatever the EGCap configuration used, only the tag "snow" is correct. However, note that irrelevant terms like "water", "sky", "grass" could be filtered out and more consistent labels belonging to the snowscape&animal topics were proposed by the most complete version of EGCap. In column four, we acknowledge that the tags of the full EGCap which do not match the ground truth are more relevant than these of EGCap-LBP and EGCap-LBP-CCA. In column five, there is a significant improvement between the baseline EGCap-LBP and the full version of EGCap where the top-3 suggested words are the same as these of the ground truth. Note that there is no significant difference with EGCap-CCA in this case, except that the latter output "tree" which seems less relevant than "frozen" regarding the information depicted on the image. In Fig.5, we illustrate examples of annotations on Flickr images. In column two, we observe that the full version of EGCap output tags related to flowers and colors, while these of the baseline scheme are all irrelevant. In column three, the irrelevant tag "water" could be moved to a lower position in the ranking order of the keywords while "street" could be successfully predicted. In column four, we show that paintings can also be handled by EGCap as the full version of the system could predict keywords consistent with the depicted contents, even if they do not match the ground truth (e.g. "graffiti", "portrait").

6. Conclusion

In this paper, we presented a simple and self-consistent graph-based method to achieve automatic image annotation. Based on the scheme of Pan *et al.*¹⁴⁾, EGCap takes advantage of the canonical correlation analysis (CCA) technique to shorten the semantic gap occurring in the image space, and define a metric in the text space to correlate words directly in the graph. The combination of the enhanced graph with some link weighting techniques dependent on IDF and CCA metric was shown to effectively improve the annotation quality by alleviating the bias towards popular words and enhancing the consistency of tags output by the system. The use of lightweight LBP features, the absence of segmentation and the reduced size of feature vectors

after CCA projection allowed performing automatic image annotation in real time. Experimental results on Corel5k showed that EGCap reached top-level performance results with a processing speed similar to that of the fastest scheme of the moment. Future works will be dedicated to the evaluation of EGCap for the image retrieval task, the incorporation of less empirical link weighting functions, and the reduction of tuning parameters.

7. Acknowledgments

The authors would like to thank Tanakawho, Michael Cameron and Suzanne Limbert for providing the Flickr images displayed in Fig.5.

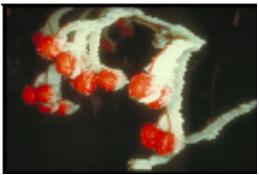
				
Ground truth	fox, snow, tree, wood	lynx, snow	buildings, clothes, shops, street	frost, fruit, ice
EGCap: LBP	festival, street, people, school, arctic	frost, tree, sky, grass, water	street, buildings, shops, people, tree	leaf, tracks, fruit, plants, cars
EGCap: LBP+CCA	water, rocks, grass, birds, tree	head, dog, snow, wolf, water	street, buildings, cars, mast, sign	fruit, frost, ice, snow, tree
EGCap: eq. (6-7-8)	birds, den, fox, water, tree	snow, head, bear, polar, tree	street, buildings, sign, cars, shops	frost, fruit, ice, frozen, snow

Fig.4 Examples of annotations output by EGCap on images extracted from the testing set of Corel5k database. The top-5 auto-tags are displayed.

			
Ground truth	closeup, macro, color, collage, yellow	graffiti, street, art, streetart, Atlanta	drawing, painting, wood, city, art
EGCap: LBP	woman, water, white, summer, street	water, girl, art, white, summer	water, white, UK, summer, street
EGCap: eq. (6-7-8)	flower, macro, color, nature, green	art, city, water, street, white	art, family, portrait, city, graffiti

Fig.5 Examples of annotations output by EGCap on images extracted from the testing set of Flickr12k database. The top-5 auto-tags are displayed.

References

- 1) D. Blei and M. Jordan : Modeling annotated data, Proc. SIGIR'03, 2003.
- 2) G. Carneiro et al. : Supervised learning of semantic classes for image annotation and retrieval, IEEE Trans. Pattern Anal. Mach. Intell., 29(3), (2007), pp.394–410.
- 3) P. Duygulu et al. : Object recognition as machine translation: Learning a lexicon for a fixed image vocabulary, Proc. European Conference in Computer Vision (ECCV02), (2002).
- 4) S. L. Feng, R. Manmatha, and V. Lavrenko : Multiple Bernoulli relevance models for image and video annotation, Proc. IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR'04), (2004).
- 5) D. Hardoon et al. : A correlation approach for automatic image annotation, Z. O. Li, X. and E. Li, Z., editors, Proc. of Second International Conference on Advanced Data Mining and Applications (ADMA), China, (2006), pp. 681–692.
- 6) H. Hotelling : Relations between two sets of variants, Biometrika, 28, (1936), pp.321–377.
- 7) J. Li and J. Z. Wang : Real-time computerized annotation of pictures, IEEE Trans. Pattern Anal. Mach. Intell., 30(6), (2008), pp.985–1002.
- 8) J. Liu et al. : An adaptive graph model for automatic image annotation, MIR'06:Proceedings of the 8th ACM International Workshop on Multimedia Information Retrieval, ACM, (2006), pp.61–70.
- 9) T. Mäenpää : The local binary pattern approach to texture analysis - extensions and applications, PhD thesis, Infotech Oulu and Department of Electrical and Information Engineering, University of Oulu, (2003).
- 10) T. Melzer : Generalized Canonical Correlation Analysis for Object Recognition, PhD thesis, Vienna University of Technology, Institute of Automation, 2002.
- 11) Y. Mori, H. Takahashi, and R. Oka : Image-to-word transformation based on dividing and vector quantizing images with words, Proc. International Workshop on Multimedia Intelligent Storage and Retrieval Management, (1999).
- 12) H. Nakayama et al. : Ultra high speed image annotation/retrieval method by learning the conceptual relationship between images and labels, IEICE tech. report, volume 107 of PRMU2007-147, December, (2007), pp.65–70.
- 13) J.-Y. Pan et al. : Knowledge Discovery and Data Mining: Challenges and Realities with Real World Data, chapter Cross-modal Correlation Mining Using Graph Algorithms, Information Science Reference, June, (2006), p.274.
- 14) J.-Y. Pan et al. : GCap: Graph-based automatic image captioning, Proc. of the 4th International Workshop on Multimedia Data and Document Engineering (MDDE), in conjunction with Computer Vision Pattern Recognition Conference (CVPR'04), (2004).
- 15) M. Pucher : Performance evaluation of Wordnet-based semantic relatedness measures for word prediction in conversational speech, Proc. of Sixth International Workshop on Computational Semantics, Tilburg, Netherland, (2005).
- 16) H. Tong, C. Faloutsos, and J.-Y. Pan : Fast random walk with restart and its applications, Proc. of the Sixth International Conference on Data Mining, ICDM'06, Washington, DC, USA, IEEE Computer Society, (2006), pp.613–622.
- 17) R. Zhang et al. : A probabilistic semantic model for image annotation and multimodal image retrieval, Proc. of the Tenth IEEE International Conference on Computer Vision (ICCV05), (2005).

ソフトウェア大規模再利用の為の共通フレームワーク構築

Common Framework Construction for The Software Large Scale Reusing

森 勇仁*

Yujin MORI

榎並 崇史*

Takashi ENAMI

要　　旨

エンジン制御ソフトウェア開発において、UML (Unified Modeling Language) を用いたオブジェクト指向により、品質向上・開発効率向上を行ってきたが近年の開発製品数や開発機能の増加に伴い、開発工数の増加が課題となってきた。

そこで、従来製品ごとにソフトウェアを流用していたソフトウェア開発プロセスから、制御の本質に着目した共通フレームワークを構築し、その共通フレームワークと製品差分との組み合わせにより多製品同時開発を行う方法に切り替えた。また、モデルとソースコードだけでなく、テスト環境、製品展開マニュアルも含めてコア資産化し、それを再利用することで多製品への展開を行った。

その結果、開発プロセスの変更と、共通フレームワークの構築により、更なる品質・開発効率の向上を実現した。

ABSTRACT

To improve the software quality and the development efficiency, we have used Object Oriented Method with UML (Unified Modeling Language) to develop the engine control software. However, the development man-hour has increased because of the increase of the number of products and functions that should develop.

Then, we changed the approach to develop the engine control software. Previously, we developed engine control software of a product by reusing software of other products. Currently, we develop the common framework that focus on the essence of the control, and develop software for various products by combining the common framework and differences according to the products. And we also make core assets including not only develop models and source code, but also the test environment and the manuals of development using those deliverables. In this way, we can develop software for various products by reusing those core assets.

By changing the development process, and having constructed the common framework, the software quality and the development efficiency are improved still more.

* MFP事業本部 第二設計センター

2nd Designing Center, MFP Business Group

1. 背景、目的

複写機やプリンタのエンジンを制御するソフトウェアの開発において、オブジェクト指向によるモデリング設計主体のソフトウェア開発を行ってきた。しかし、近年同時並行で開発する製品数が増えた為、更なる生産性向上と品質向上が課題となった。

本取り組みでは、複数製品で利用可能な共通フレームワークを基本とした、ソフトウェア開発のコア資産を構築し、それを大規模再利用することにより、多製品並行開発における生産性向上と品質向上を目指す。

2. 大規模再利用の為の共通フレームワーク構築

従来から、ソフトウェアの開発工数削減の為に、ソフトウェアを再利用することが試みられてきた。しかし、小規模のライブラリなどは再利用できても、ソフトウェアの規模が大きくなると、再利用は上手くできなかった。

その理由としては、従来は、ある製品開発が終了し、次の製品開発が始まる段階で、前製品との差分を調査し、ソフトウェアの変更点を検討していた。前製品との差分が小さければ変更は部分的で済むが、差分が大きくなると変更箇所が多くなる。変更箇所が多くなるに従い、ソフトウェアの品質も低下し、メンテナンスも難しくなってくる為、最終的には全部作り直した方が良い、ということになる。

本取り組みでは、ソフトウェアの大規模再利用を行う為、エンジン制御に共通な本質的機能とは何かの分析から行った。それにより、製品ごとの制御方式の違い、ハードウェアやレイアウトの違いに影響しない、多製品展開可能な共通フレームワークを構築した。共通フレームワークを再利用し、レイアウト情報などの製品固有の差分（製品変動部）を開発し、共通部と変動部を組み合わせることで、製品開発を行うようにした。

共通フレームワークを構築する為に、ソフトウェアの開発方法をどのように変えたかを、エンジン制御ソ

フトウェアの一部分である、スキヤナのDF（Document Feeder）制御ソフトウェアの開発で、説明する。

最初に開発する製品（1製品目）のDFはシートスルー方式のDFを搭載し、次に開発する製品（2製品目）のDFはフラットベッド方式のDFを搭載する場合の開発例を示す。

シートスルー方式（Fig.1）：スキヤナキャリッジ位置は固定で、原稿を搬送させながら読み取る。長い原稿も読み取り可能で、装置をコンパクトにできる。

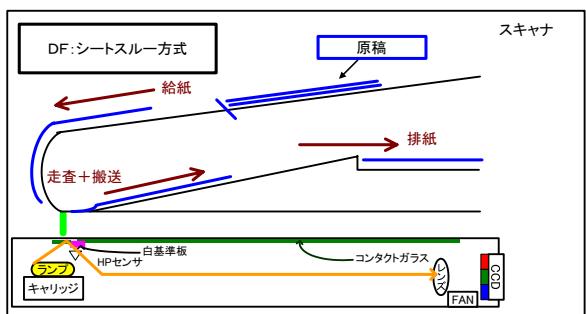


Fig.1 Sheet-through document feeder.

フラットベッド方式（Fig.2）：原稿を読み取り台（コンタクトガラス）上に搬送させ、原稿は動かさずスキヤナキャリッジ位置を動かしながら読み取る。読み取り原稿の最大サイズに応じて装置が大きくなる。

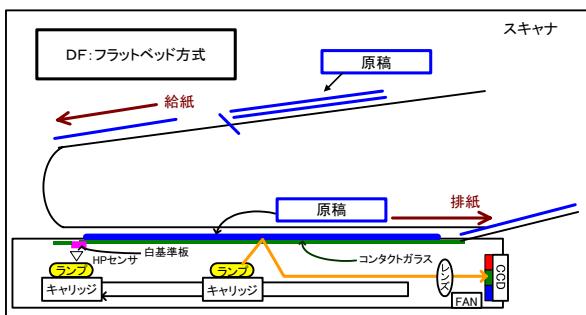


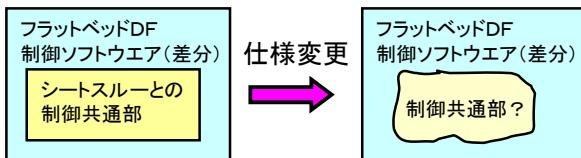
Fig.2 Flat bed document feeder.

従来の開発方法では、

- ① 1製品目：シートスルー方式のDFを制御するソフトウェアを、制御仕様通りに動作するように開発。（この時点では、共通部・変動部の切り分けは意識していない。）

- ② 2製品目：フラットベッド方式のDFの制御と、シートスルー方式のDF制御との共通部・変更部を検討。共通部を流用し、フラットベッド方式の制御ソフトウェアを開発する。

この方法では、1製品目と2製品目の制御仕様を基に、共通部／変更部の切り分けを行う為、共通部の作りや範囲は、個々の製品の制御仕様によって決まる。開発の初期には共通部としていたものが、その後製品の仕様変更により、共通部を変更することもありえる。共通部が製品仕様の影響を受けると、共通部の範囲が小さくなり、共通部／変動部の切り分けが曖昧になる。



- ・共通部は、個々の製品仕様によって決まる。
- ・共通部／変動部の分離が曖昧になる。

Fig.3 Example of remaking software.

本取り組みでの開発方法では、

- ① 本質的な共通の機能を分析する。シートスルーワーク方式やフラットベッド方式など、DFの方式は色々あるが、そもそもDFとは何を行うものかの分析から行う。結果、DFの方式やハードウェアの違いに影響しない、共通の機能を見出す。本質的な共通の機能を実現するソフトウェアの設計を行い、共通フレームワークを構築する。
- ② 1製品目：共通フレームワーク（共通部）を使用し、シートスルーワーク方式のDFの製品差分（変動部）を開発。共通部と変動部の組み合わせにより、製品開発を行う。
- ③ 2製品目：フラットベッド方式のDFも1製品目と同様に製品差分を開発し、共通部と変動部の組み合わせにより、製品開発を行う。

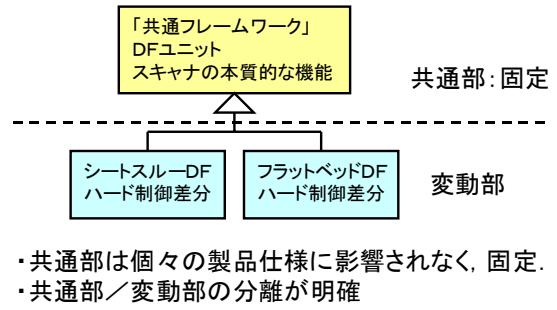


Fig.4 Example of reusing the common framework.

この方法では、共通の機能を分析し、共通フレームワークを構築している為、共通部は、個々の製品仕様によって影響されること無く、固定にすることができる。共通部が固定である為、共通部と製品変動部との分離が明確である。従来のように、制御仕様の変更により、共通部に変更が加わり、共通部/変動部の切り分けが曖昧になる事も無い。

今回は、DF制御ソフトウェアの開発を例に説明したが、本取り組みでは、Fig.5に示すように共通フレームワーク構築をエンジン制御全体で行うことで、共通部を増やし、ソフトウェアの大規模再利用を実現した。

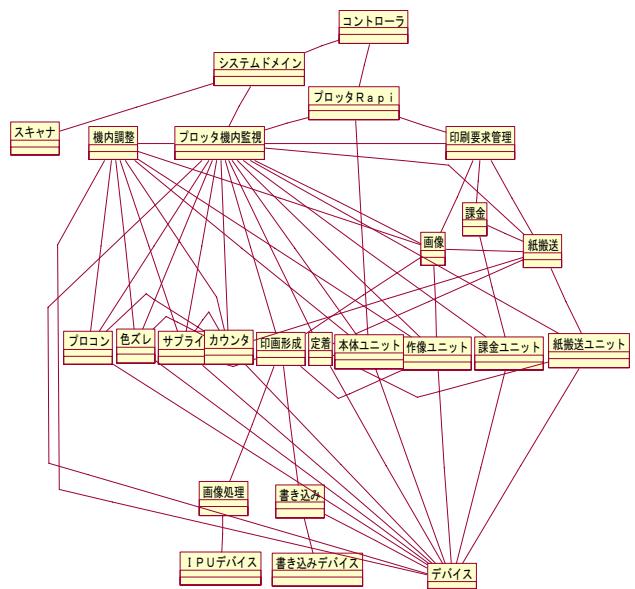


Fig.5 Class diagram of common framework.

3. 多製品展開の為のコア資産の構築

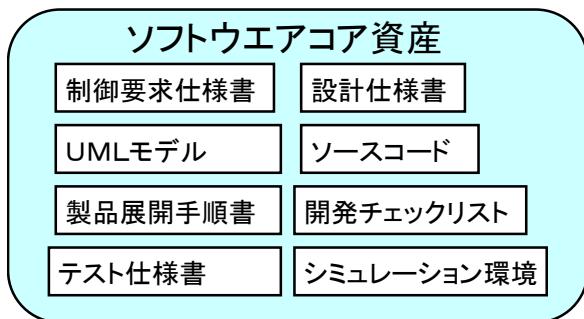


Fig.6 Contents of core assets.

従来の開発手法では、ソフトウェアの共通部の多くは製品の仕様に依存していた。その為、ソフトウェア共通部の製品展開の仕方や、運用の方法が製品ごとにばらばらであり、また、ソフトウェアの品質や開発効率は、開発者のスキルに依存する部分が多くかった。

本取り組みでは、製品の仕様に影響を受けない共通フレームワークを構築したことにより、その共通フレームワークを製品展開する仕方や、運用方法に関しても共通化し手順化することが可能となった。具体的には、共通フレームワークの設計仕様書、UMLモデルとソースコードだけではなく、制御要求仕様書、製品開発に展開する為の手順書、開発チェックリスト、またテスト仕様書や実機の動作をPC上でシミュレーションする環境も併せてコア資産化し、製品開発で再利用を行った。その結果、対象ドメインに精通していない開発者でも、従来に比べ、より短期間で品質の高いソフトウェア開発ができるようになった。

実際に製品開発に展開した結果をフィードバックし、洗練化しつづけることで、コア資産の品質をより向上させることができる。

本取り組みでは、コア資産構築直後に複数の製品に展開するのではなく、まずは先行開発製品（1製品目）に展開し、十分品質確保した後、他の多くの製品開発に展開した。

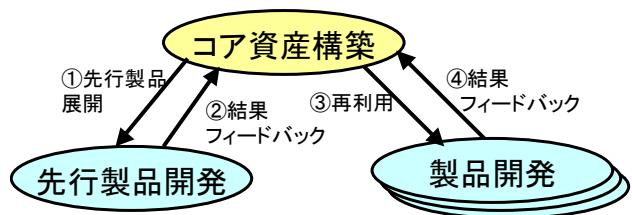


Fig.7 Core assets construction and various products development.

4. 共通フレームワーク構築、製品展開の為の開発体制

共通フレームワークを構築し、それを効率的に製品展開する為に、開発体制の見直しも行った。

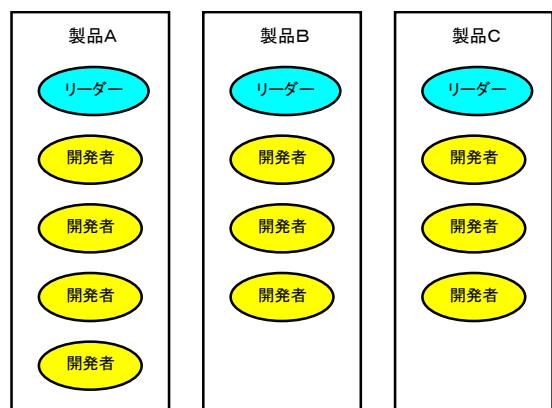


Fig.8 System of development of each product.

従来の開発体制では、Fig.8のように製品ごとに開発者を割り振っていた。この体制では開発製品数が少ない場合には効率的だが、開発製品数が多くなると、同じようなソフトウェアを複数の開発者が作成することになり、非効率である。また開発者は担当製品の対応に専念し、他製品の情報を知らない為、先に述べた共通フレームワークの構築ができない。またある製品で行った改善や不具合対策を他の製品に展開することが難しく、品質向上の点でも課題があった。

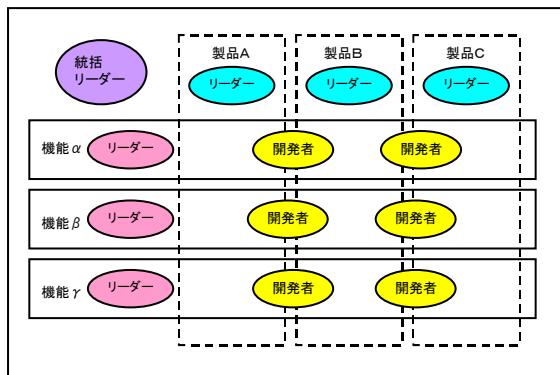


Fig.9 System of development of each function.

本取り組みでは、Fig.9のように機能ごとの開発チームが、複数製品の開発を担当する体制とした。

これにより、開発者は製品の共通部や変動部を把握しやすくなり、ソフトウェアの重複開発も防げる。またソフトウェアの改善や不具合対策の水平展開も容易となった。

5. ソフトウェア開発の上流工程と設計工程の分離

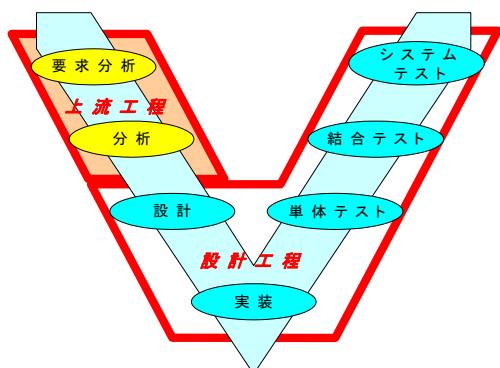


Fig.10 Separation of software development process.

従来の全ての開発者が一連の工程（要求分析からシステムテストまで）を行う開発プロセスでは、製品開発の状況により設計工程以降に工数が取られることが多く、上流工程がおろそかになり、結果として共通フレームワーク構築に支障をきたす傾向にあった。

この問題を解決する為に、機能開発チームを要求分析・分析を行う上流工程担当者と、設計・実装・テストを行う設計工程担当者に分離し、開発を行った。

まず、上流工程担当者が、ある機能に対しソフトウェアの分析まで行う (Fig.11 分析1)。その分析結果を受け、設計工程担当者は、同じ機能に対しソフトウェア設計から実装、テストまでを行う (Fig.11 実装1)。設計工程担当者が実装1を行っている間、上流工程担当者は別の機能に対してソフトウェアの分析まで行う (Fig.11 分析2)。

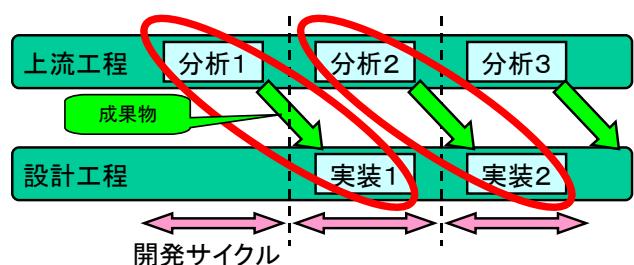


Fig.11 The upstream process charge and design process charge.

このように、上流工程と設計工程を分離することで、製品開発に影響される事無く、共通フレームワーク構築が加速した。更には、複数人で成果物を共有する為、1人で一連の工程を進めていたときの曖昧さが無くなり、品質向上にも繋がった。また上流工程と設計工程を並行に進めることで、開発期間短縮にも繋がった。

6. 結果

6-1 開発工数

Fig.12において、製品開発初期の開発工数の改善例を示す。

試作機械を入手後、その機械で立ち上げから1枚印刷などの基本動作を確認する実機確認において、前製品で品質が保証されているコア資産を再利用した結果、開発手順や評価内容が明確となり、障害が少ない為、工数を従来の1/3に抑えることができた。

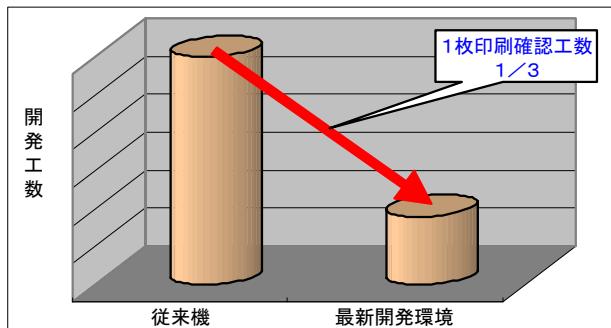


Fig.12 Development man-hour.

またFig.13、14において、コア資産を多製品に展開することで、開発工数全体が低減した例を示す。

1製品目の開発では、コア資産の構築により工数が多くなっている。しかし2製品目以降は、コア資産構築工数が不要となり、コア資産を再利用した結果、全ての製品開発において開発工数が1/3に削減できた。

(Fig.13)

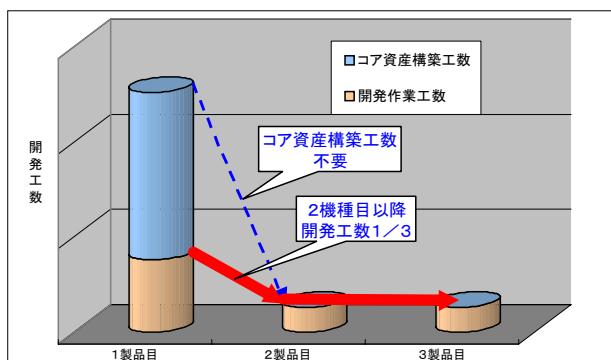


Fig.13 Development man-hour.

このように、コア資産構築にかかる初期投資（工数）は必要であるが、数製品に再利用する事で回収できる。また、製品への再利用が増えるほど削減効果も増えていくことになる。(Fig.14)

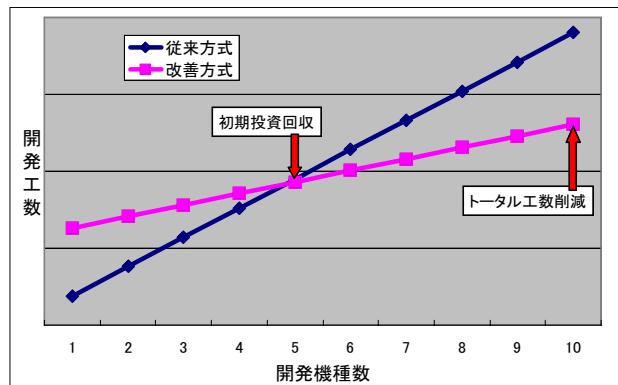


Fig.14 Development man-hour reduction by reusing core assets.

6-2 ソフトウェア品質

Fig.15にコア資産を構築したときの製品、及びそれを再利用した製品での、開発時に発生した障害の量の推移を示す。障害が少ないほど、品質が良いといえる。

グラフ上①のフレームワーク構築では、上流工程に工数をかけ、障害総合指数は大幅に低減した。次にグラフ上②の再利用第1世代では、コア資産の構築を行った事で品質が更に向上した。グラフ上③の再利用第2世代では、品質が安定しているコア資産を多製品展開した事により、全ての製品において品質向上を達成する結果が得られた。

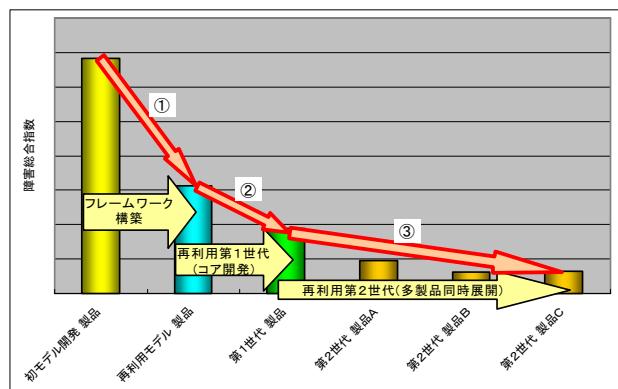


Fig.15 Transition of software quality.

7. 結論

半期ごとのソフトウェア開発工数の推移をFig.16に示す。

グラフの左半分①の時期は、開発製品数の増加、コア資産構築により工数は増加していた。次にグラフの右半分②の時期は、開発製品数は増加しているが、コア資産の再利用により、工数は減少傾向を示している。

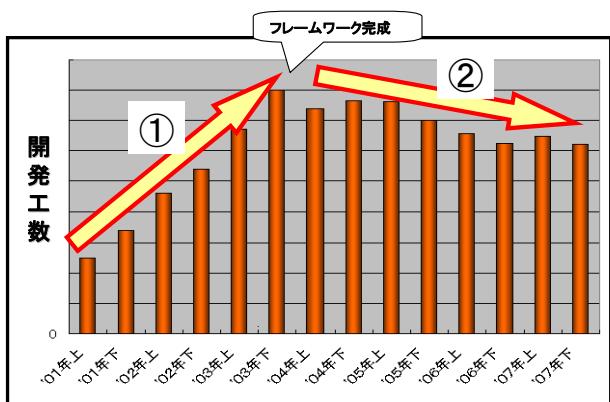


Fig.16 Transition of development man-hour.

共通部と変動部の組み合わせによる製品開発プロセスに変更すること。また、品質を確保したコア資産を多製品に展開すること。これら2点の考え方によりソフトウェア大規模再利用を可能とし、多製品並行開発においても、品質を向上させ、更に開発効率をも向上させることができた。

ジオファイ：WiFiアクセスポイントのラベリングを用いた位置特定システム

GeoFi™ - A System for Indoor Location Using WiFi Access Point Labeling

カート ピアソル* ステファン サヴィツキー* ジョン バラス*
Kurt Piersol Stephen Savitzky John Barrus

要　　旨

屋内でも市街地でもよく動作するデバイスの位置特定のためのシステムを紹介する。このシステムは、人間が識別することのできる802.11ワイヤレスネットワークアクセスポイントの名前の中に、ある特別な位置情報コードを含む。ここでは、この位置情報コードを用いたシステムと簡単な位置推定アルゴリズム、及び使用例を紹介する。

ABSTRACT

A system for location of devices is presented that works well indoors and in urban settings. The system uses special geographic locations codes embedded within the human readable names of 802.11 wireless network access points. A code system, a simple location estimation algorithm, and example usage scenarios are presented.

* California Research Center, Ricoh Innovations, Inc.

1. Introduction

Over the past several years, many forms of geographic location system have been developed. These systems enable a wide array of research and commercial applications, in a wide array of fields. One of the most common of these is the Geographic Positioning System, GPS₁, which was invented for military applications but has found wide adoption in automobile navigation. GPS is widely useful, but has well known problems with indoor operation and operation in urban settings. Office equipment is commonly used in precisely the environments where GPS is least useful.

Many research and commercial systems implement precise location based upon beacons that advertise their position₂. The problem with such systems is that significant expense must be undertaken to install the beacon devices, locate them precisely, and then keep them supplied with power. As a result, few of them are deployed.

What is needed is a system for producing location beacons that does not involve new hardware deployment by businesses, and works well indoors and in urban office settings.

GeoFi™ is a technique for applying labels to existing 802.11 (WiFi) hardware access points so that they can be used as location beacons.³

2. Basic Principles

The basic idea of this GeoFi™ is simple. We encode a precise geographic coordinate into the Service Set Identifier (SSID) of the wireless access point, using a compact encoding.

A WiFi access point broadcasts a human readable name, called a Service Set Identifier (SSID), which helps humans and computers find access points and know which passwords to apply when using the access point. SSIDs are strings that can have alphanumeric characters

and spaces, up to 32 characters long.

We construct a code, which we call a GeoFi™ code. In order to construct the code, we encode latitude and longitude into a pair of base 60 numbers with the two highest order bits from each combined into an initial hex digit. The resulting code uses nine characters to encode a position that is precise to a distance of roughly 2.5 feet at the equator.

More specifically, a GeoFi™ code is a 9-character string constructed from a geographic latitude and longitude in the following way:

1. Scale the latitude and longitude to $0 <= l < 360$
2. Represent the latitude and longitude as 5-character strings by multiplying by 144000, rounding to the nearest integer, and converting the result to Base-60 using the "digits" 0-9, A-Z and a-w. To reduce ambiguity if the code is being typed by hand, replace the letter "O" (uppercase o) with the letter "y", and replace the letter "l" (lowercase l) with "z". Otherwise, the replaced characters might easily be mistaken for the digits 0 and 1.
3. Compute the first character of the tag by taking the high-order digit of the latitude, multiplying by 4, and adding the high-order digit of the longitude.
4. The second through fifth characters of the tag are the four low-order digits of the latitude.
5. The sixth through ninth characters of the tag are the four low-order digits of the longitude.

This works because $360 * 144000 = 360 * 602 * 40 = 40000$ (base60).

Base 60 notation is particularly convenient because it maps well into the standard degrees-minutes-seconds notation for angles. Clearly one can build other coding schemes to encode this data, or slightly more or less accurate information.

Geographically, a nautical mile is 1 meridian arc minute at sea level, and is defined as exactly 1.852 km. So a second is 30.867m, and 1/40 second, which is the

resolution of a GeoFi™ tag, is 77.1675cm.

By inserting this code as the final nine characters of an SSID, we can alter the access point into a precise location beacon. Note that GPS location is often accurate to no more than 26 feet, which is approximately the range of a wireless access point. However, a given WiFi receiver can often see several access points, with relative signal strength. This may be good enough to allow the device to position itself within 3 or so meters, depending on the number of GeoFi™ enabled access points it can see.

If we wish to include altitude information, we add a two digit additional code, which would include 600 possible height codes by allowing the first digit of the pair to represent a multiplier from 0-9, and the second to represent a base 60 number encoded just as specified above. This allows some structural redundancy to reduce the accidental appearance of a height code as part of an ordinary SSID word. By specifying that this two-digit code represents the number of floors above ground, and allowing it to optionally appear in front of a GeoFi™ 9 digit code, we allow users to encode height information.

Since most access points broadcast SSID information several times a second, whether or not a user can connect to that access point, it can be listened to passively by a radio receiver. This can be done with a very low power cost to the receiving device, because the no radio transmitter power is needed. GeoFi™ receivers should be able to determine location with accuracy similar to a GPS, within a fraction of a second, even in dense urban environments. It thus makes an excellent complementary technology to the GPS system, which works best in open areas free of obstruction.

GeoFi™ codes are designed to work with almost every available access point hardware. As long as a 9 character SSID is supported, and the character range is allowed, then the access point can be configured to broadcast location information without disturbing its utility as a network router.

It is clear that someone can set up malicious access points with misleading GeoFi™ codes. Indeed, it is quite likely that some points will appear to have valid GeoFi™ codes by accident. Simple sanity checks against previously calculated locations, the time that has passed, and other visible access points should mitigate such problems almost entirely. It is very difficult to travel 300 miles in a half second, after all. Combined with accelerometer data, one can get a very good idea how far a device has moved for modest power costs, and check such dead reckoning information against the GeoFi™ data, which can be seen.

Availability of precise geographic information in urban, indoor environments enables many applications. GeoFi™ technology might allow users to find their location from a laptop print driver dialog, for instance, giving a relative distance and direction for a chosen printer or MFP. Mobile devices might find their relationship to other devices for document transfer, or might query location based information or allow location based superdistribution of documents. Devices like smart phones might be able to find the nearest printing kiosk or print shop to allow documents to be printed.

3. Access Point Location

In order to create a GeoFi™ code, a user must precisely specify the latitude and longitude coordinates for the access point. One method is to use a mapping program, such as Google Maps™ mapping service, to allow a user to place a marker precisely on the map, and then calculate the resulting GeoFi™ code. The image below is an example of just this sort of interface, built using the Google Maps™ Application Programmer Interface. The user places a marker on the map, and the page returns a code for them to use.



Fig.1 An example of a map-based mash-up for determining the GeoFi™ code for a given location.

Once a code has been obtained, the user would use his ordinary access point management software to insert the code as the final characters of his access point SSID.

4. Location Determination

Once nearby access points have been located and labeled, any device with WiFi reception capability can determine location by the following process:

To determine one's location using GeoFi™, then, simply:

1. Passively listen for the SSID strings of nearby access points
2. List the access points with valid GeoFi™ tags at the end of their SSID strings.
3. Discard any that are too far (e.g., > 100m) away from the centroid of the other points. This gets rid of access points whose SSID accidentally ends in a valid code, or have been intentionally mislabeled.

Interpolate location based on signal strength to locate the receiver.



Fig.2 The relative location is determined based on the signal strength from each access point.

This procedure yields a location with an accuracy of, at worst, the roughly 30m range of a WiFi access point. It may be considerably better, but is constrained by the effect of walls and interference from other WiFi devices. The location computed is always inside the convex hull of a polygon whose vertices are the locations of the visible access points.

5. Advantages

One of the great advantages of GeoFi™ is that it needs no database of access point locations. This means that locations can be derived based on passive reception of beacon frames, even if all the visible access points are closed and no network will allow a connection. This also makes it possible to build location beacons and receivers very cheaply.

A direct consequence of this is that locations do not need to be mapped in advance. Although it is necessary to know where the access points are, it is not necessary to map anything else. Current commercial location products that use WiFi access points have sophisticated data collection methods, where a sensor is moved

through an area on foot or in a vehicle.

On the device side, the advantage is that devices do not need to have an active Internet connection and do not need to store an internal map. Another advantage is that SSIDs are completely under the control of the organization or individual setting up the access point. GeoFi™ can be deployed locally and provides immediate benefits, regardless of how widely it has been adopted.

GeoFi™ devices can determine location very quickly. Within approximately 2/10 second, a given device should be able to detect all available location beacons, and perform the necessary calculation. The device need not broadcast anything in order to calculate location; it just listens to nearby access points. Hence, it can be extremely low power.

GeoFi™ works with all existing WiFi access points and clients. No hardware or software changes are required on the access points and existing WiFi devices like laptops and cell phones can be converted to GeoFi™ clients by installing relatively simple software.

6. Potential applications

Since GeoFi™ tags are nothing but compactly represented geographical coordinates, they can be used as tags or labels in many places beside access points. Examples include computer and printer names (DNS names), and even printed labels on objects. A GeoFi™ tag can easily be represented in a QR-code, RFID, or other machine-readable format.

6-1 Equipment location

An obvious use for this technology in an office setting is to automatically locate equipment. Any object that is equipped with WiFi capability, with some software modifications, can determine its location from GeoFi™ beacons and update a central database. For example, a WiFi connected MFP could determine its location and advertise it through the Simple Network Management

Protocol. This would allow a service technician to locate a printer without needing to ask directions from nearby people, who may not know the network name of the printer.

6-2 Advertisement

Another use is to enable mobile printing applications. In this usage case, a central web service would contain maps of local areas, indexed by geographic location. A client would ask the central database for the map of the area closest to the current GeoFi™ location, and display the location and network name of those printers. This would allow a visitor from another facility to locate available printers directly from a program or even from the printer driver dialog box.

6-3 Document geolocation

Another use is to allow devices to automatically label documents with the current location. This capability is already present in some commercial camera-phones, and GeoFi™ could enable it in WiFi-equipped cameras, in laptops when files are saved, and in MFPs when documents are received. A mail server might tag an email with the location where it was received, and a mail client where it was last read.

There are many specific industries, such as law, military, and finance, where detailed records of where documents were accessed or printed is very important. In such cases, the GeoFi™ location system could be combined with hash-chained document logs to provide a tamper-evident record of the use locations of important information.

References

- 1) T. Imielinski and J. C. Navas : Geographic addressing, routing, and resource discovery with the global positioning system, Communications of the ACM Journal, (1997).
- 2) N. B. Priyantha et al. : The Cricket location-support

- system. In Proceedings of the Sixth Annual ACM International Conference on Mobile Computing and Networking, Boston, MA, ACM Press, (August 2000).
- 3) IEEE Computer Society LAN MAN Standards Committee. *Wireless LAN Medium Access Control* (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications, IEEE Std 802.11-1997. The Institute of Electrical and Electronics Engineers, New York, New York, (1997).

知の伝達を促進するマルチメディア電子図書館システム

A Multimedia Digital Library System to Promote Transmission of Knowledge and Wisdom

小島 裕一*

Yuichi KOJIMA

竹川 弘志*

Hiroshi TAKEGAWA

脇田 由喜*

Yuki WAKITA

金崎 克己*

Katsumi KANASAKI

要　　旨

これまでの電子図書館で十分には蓄積・伝達されていなかった授業そのものを、我々は知の創造の場として重要と捉えている。授業の様子と共にプレゼンテーション資料を記録したアーカイブを提供することで、授業に出席しなかった多数の人々にも知の伝達が可能になる。授業アーカイブ提供の最大の問題であった作成のための膨大な作業量を軽減するため、授業の自動収録を始めとするアーカイブ作成の自動化を試みた。

またアーカイブを視聴するには、これまで利用者はまず検索という手段を通して意図したコンテンツを特定するしかなかった。アーカイブの中には、視聴すれば新たな発想が生まれるようなコンテンツが多数存在すると考えているが、単純な検索だけではそのようなコンテンツの存在を認識することは難しい。様々な情報を図書館を媒介として発信できるポータルと共に、検索条件をシステムがガイドする機能も提供することで、利用者が意図していなかった情報に触れる機会の増加を試みている。

我々の提供したシステムを活用することにより、知識の受け手と送り手との出会いによる新しい知の創造が促進されることを期待している。

ABSTRACT

Lectures have not been adequately stored and transmitted in traditional digital libraries. Lectures are focused on as an important field of knowledge creation. By providing lecture archives with presentation materials, knowledge can be transmitted to many people who otherwise can not attend the lecture. We have built automatic archive creation functionality to minimize the cumbersome archiving operations.

To view the lecture archives, users had to search and identify the contents they wanted to view. Even if there are a lot of useful contents that help users to create new ideas, users have difficulty recognizing the existence of such contents through traditional search functions. By providing a portal through which various types of information can be sent, and a function which the system guides the search, we try to increase the opportunities for users to happen upon information that they otherwise would not have found.

Utilizing the system, it is expected that creation of new knowledge and wisdom will be promoted by the encounter between receivers and senders of knowledge.

* 研究開発本部 ソフトウェア研究所

Software R&D Center, Research and Development Group

1. 背景と目的

図書館は、さまざまな情報へアクセスする手段を提供することを通して知的な欲求を満たし、ひいては人々を知の創造に導いてきた。従来型の図書館では書籍・雑誌・視聴覚資料といった物理的な実体を持つ資料を収集・保管し、閲覧に供してきたが、多くの情報がネットワーク上で利用される現在では、これらの資料をデジタル化し、同じようにネットワーク上で利用することも期待される。このようにして電子図書館が出現することとなった。

リコーの電子図書館への取り組みは奈良先端科学技術大学院大学のシステム構築から始まった¹⁾。日本最初の実用型電子図書館として、契約しているほとんどの専門誌の全ページをスキャンしてデジタル情報として蓄積しており（300万ページ以上），OCRで得られたテキストから全文検索して画面上で読むことができる。

しかし、このアプローチは、知識の送り手と受け手それぞれから見て、唯一最善のものとは言えなくなっている。

送り手から見た場合、送るべき情報の種類に課題がある。実際、外部で出版される資料はインターネット上のサービスでも得られるものが多くなってきている一方、内部で生産される情報の多くはこれまで電子図書館の対象となていなかった。

とくに大学内では毎日の授業そのものが知の創造の場として重要である。授業の様子を記録した授業アーカイブがあれば、必要となったときにいつでも再生することができる。ここで、授業アーカイブをいかに簡単に作れるかが鍵となる。多くの講師はプレゼンテーションソフトウェアを用いながら、またときには板書しながら、講義し、質問に答える。授業アーカイブでは臨場感を得るためにビデオが重要であるが、それだけではプレゼンテーションソフトウェアの投影内容の細部を再現することは難しい。また、そもそもビデオ撮影の準備が面倒であるため、授業アーカイブの整備が進んでいなかった。

今回のマルチメディア電子図書館システムでは、ビデオカメラを教室に常設し、ほぼ自動化された仕組みにより、ビデオとプレゼンテーションソフトウェアを同期して再生可能な形ですべての授業を記録できる。2章で述べるこの仕組みは、授業だけでなく研究会や勉強会などさまざまな活動を記録し共有するために利用でき、大学内での知の蓄積を促進する。

次に知識の受け手から見た場合、検索という手段は利用者が話題を特定していることを前提としており、異質な知の出会いは期待できない。送り手やシステムが受け手に、より能動的にアプローチできる仕組みが求められる。

今回のシステムはポータルを提供することでこの課題に答えようとしている。ポータル画面にはさまざまな情報を配置することができ、これを通じて利用者は頻繁にシステムに触れる事となる。たとえばランキングや新着情報を目にすることから、興味の湧いた情報に自由にアクセスしてまわることができる。

ここには先の授業アーカイブをはじめとして、横断的にさまざまな情報が提示される。また、情報を絞り込むヒントもシステムから提示する。3章で述べるこれらの仕組みにより、受け手の持つ知識とさまざまな送り手の知識との出会いによる新しい知の創造が促進できると期待される。

2. 授業アーカイブ

大学での知の創造の場として日々の授業が重要であることは言うまでもない。授業を記録した授業アーカイブを人手をかけずに作成すると共に、利用者が必要な情報に素早くアクセスするための仕組みを構築した。

2-1 授業アーカイブの概要

授業アーカイブは多くの大学で提供されており、映像を提供するもの、映像と資料を連動させて提供するものがある。後者は映像と共に利用された資料が提示され理解しやすい反面、映像と資料という複数の素材を連動させる作業およびこれに起因する公開までの遅延があり、省力化と高速化が課題となっている。

奈良先端科学技術大学院大学でも、以前から映像と資料を連動させた授業アーカイブを提供していたが、アーカイブの作成のために人による作業があり、省力化は必ずしも十分ではなかった。本システムでも、映像と資料を連動して授業アーカイブを作成するが、前述の課題を解消するため、アーカイブ作成の自動化を試みた。特に、自動化の隠れた作業となりがちな、システムのための講義前後の作業をなくすことを心がけた。

また、アーカイブが大量に蓄積されるようになると、これを効率的に利用するために検索が必要となる。しかしながら、一般に授業アーカイブは数十分以上のコンテンツであり、アーカイブが検索できるだけでは、視聴したい情報にすばやくアクセスすることはできない。本システムでは、シーン単位での検索を採用し、実用レベルでのアクセス機能提供を試みた。

我々は、これらを実現するサブシステムを、MPMeister²⁾の機能を拡張することによって実現した。MPMeisterは、リコーで開発された、映像と資料（スライド）を連動させたマルチメディアコンテンツ作成機能を持つソフトウェアである。Fig.1に、本システム内の授業アーカイブサブシステムの概要を示す。

本システムでは、ビデオ情報、スライド本体、スライドのページをめくったタイミングを記録したページめくり情報から、授業アーカイブおよびMPEG-7³⁾ メタ情報を生成する。授業アーカイブは蔵書や論文情報を蓄積するコンテンツDBに、他のコンテンツと同様に蓄積される。また、MPEG-7メタ情報は検索時に利用され、授業アーカイブの検索やアーカイブ内のシーン単

位の検索を可能とする。

2-2 授業アーカイブを簡単に作成

授業アーカイブを簡単に作成するため、システムでは多くの処理が自動化されている。映像情報の取得は、あらかじめ一括で設定された講義スケジュールに従って、自動で行なわれ、スライド情報（スライド本体およびページめくり情報）は、講師のPCからほぼ自動的にシステムに送信される。

自動化にあたり問題となるのは、映像と資料の関連付けである。授業は、毎日、複数の教室で実施されるため、アーカイブを作成するためには、別々の情報源にある映像情報とスライド情報を正しく関連付ける必要がある。

カメラは、あらかじめ教室ごとに1台が設置されており、講義スケジュールに従って自動的に収録を行うため、教室ごとに1台の専用PCを設置し、このPCからスライド情報を取得すれば、関連付けは困難ではない。しかし、この場合、講義の前に専用PCにあらかじめスライドをコピーする手間、動作を確認する手間、講義終了後に専用PCからスライドを削除するなど、隠れた作業が発生する。我々は専用PCを用意する代わりに、講師のPC（WindowsあるいはMac）で動作するスライド情報取得アプリケーションを開発し、これらの作業を不要にした。

関連付けは、スライド情報取得アプリケーションが、講師PCから発表者・発表時刻情報をシステムに送信し、システムが、すべてのスケジュールに記録された発表者・発表時刻情報を講師PCからの情報と比較すること



Fig.1. Data flow of the video archive subsystem.

により実現している。関連付けが成功した場合にのみスライド本体の送信が行われるため、講義外で利用したスライドが誤って講師PCから流出する可能性は小さいが、誤送信を避けるため、アプリケーションは最終的な送信の前に講師に確認を求めている。

スライド情報と映像情報との関連付けが完了すれば、アーカイブを作成することができる。しかし、すべての講義でスライドを必須にしてしまうのであれば、講義にはスライドが必要ない場合であっても、なんらかのスライドを用意せねばならず、無駄な作業が発生する。我々は映像情報だけからも授業アーカイブの作成を可能にした。

授業アーカイブの作成は、システムがスライド情報の登録と一定時間の経過をチェックして決定する。スライド情報の登録が完了している場合は映像情報とスライド情報から即座に自動的に授業アーカイブを作成する。スライド情報がなくとも、一定の時間が経過した場合は、映像情報のみから自動的に授業アーカイブを作成する。

以上述べたように、システムでは、講義スケジュールを入力するだけで、ほとんど作業をせずとも、簡単に授業アーカイブを作成することができる。

本システムを用いて、奈良先端科学技術大学院大学では、実際に大量の授業アーカイブを作成している。システムは2008年4月から運用を開始したが、運用以前に蓄積されていた映像・資料連動の授業アーカイブでは毎月10本程度の収録である一方、現在は、毎月40本程度の講義が収録されている¹。

2-3 授業アーカイブにすばやくアクセス

授業アーカイブ内の情報を効率的に利用するためには、まず目的の授業アーカイブをすばやく発見できること、次に授業アーカイブ内の必要な情報にすばやくアクセスできることが必要である。このために本システムでは、Fig.2に示すようにシーン単位での検索を可能にし、また、指定したシーンからの授業アーカイブの視聴を可能としている。

1 2007年度第1期のスライド付き収録は14本、2008年度第1期は84本。

この鍵となっているのが検索を利用する情報の記述形式である。MPMeisterでは、マルチメディアコンテンツ検索のためのメタ情報の記述規格であるMPEG-7を採用しており、システムでは、この、MPEG-7メタ情報を利用している。このメタ情報は、スライドの1ページごとに映像情報中のシーンに対応付けられるため、シーンごとの検索が可能となっている。

スライドの1ページとシーンを対応づけるため、スライド情報取得アプリケーションは講師が利用するPCで常に動作している。スライドショーが始まるとそれを検知し、スライドタイトルを記録する。また、ページがめくられるとそれを検知し、めくられたタイミングを記録する。これによって、ページめくり情報をを利用して映像を構造化することが可能となる。

MPEG-7メタ情報の生成時には、さらにスライド中のすべてのテキスト情報を抽出し、同一シーンに属するテキストと映像を関連付けて記録する。

指定シーンからのアーカイブ視聴には、MPMeisterの機能のひとつである、URLとして指定したシーンからのマルチメディアコンテンツ再生機能を利用した。

以上述べたように、本システムでは、授業の中の所望のシーンまで、簡単な手間で到達し、視聴することが可能である。

電子図書館で、実際に授業アーカイブの検索を行ってみると、ある語句に対して多くの授業アーカイブがヒットする。これらは、たとえば同じ講座の第3回目と第5回目などである場合もあり、所望の情報がどこにあるのか、アーカイブのタイトルなどでは簡単には見分けがつかない。しかし、検索結果はページ（スライ

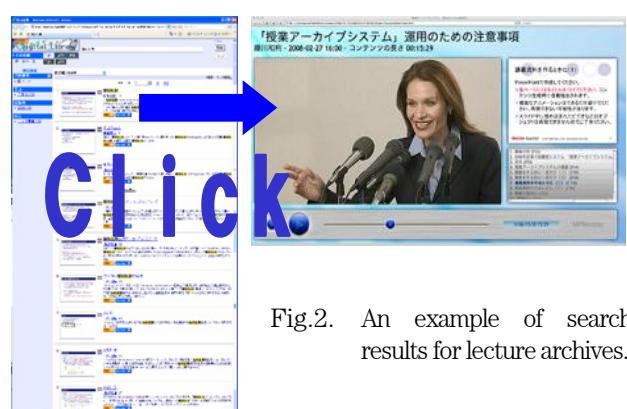


Fig.2. An example of search results for lecture archives.

ド) 単位で見ることができるため、スライドおよび対応するシーンを確認し、実際に所望の情報を含む授業アーカイブを利用するまで、短かい時間を要するのみである。

2-4 より多くの情報を蓄積

本システムでは、高画質の映像として、ハイビジョン映像（H.264/AVC形式）にも対応している。講義では、スライドと同様にホワイトボードなどへの板書も多用される。従来の標準画質と較べ、ハイビジョン映像を利用すると、板書された情報まで判読可能となる。

視聴環境によっては、高画質の映像が視聴不可能な場合もあるため、標準画質の授業アーカイブも並行して作成・公開している。

なお、現在は、高画質映像に対応した授業アーカイブの作成は、手持ちカメラで映像を収録した後、映像情報の作成・編集までを手動で行っている。ハイビジョン化が進んだ場合のデータ量増大への対応、アーカイブ制作時間の短縮が今後の課題である。

3. 利用者ポータル

知識の受け手である図書館利用者が、自分で意図した情報だけでなく、システムから提供する様々な情報に触れることで新たな知的活動を喚起されることを狙い、利用者ポータルを構築した。

3-1 利用者の目的にあった情報の提示

近年の一般的なポータルサイトやブログサイトにおいて、利用者個人好みに応じた画面・機能のカスタマイズが可能になってきている^{4), 5)}。これは一般的にパーソナライズ機能と呼ばれ、機能の追加・削除の単位としてウィジェットまたはガジェットと呼ばれる小さなアプリケーションが提供され、利用者は好みのウィジェットを組み合わせることで、自身の目的に応じたホームページやブログページを作り上げることができる。

本システムにおいても図書館の職員がウィジェットを簡単に構築するための機能ならびに、利用者が用意

されたウィジェットを取捨選択して利用するための利用者ページカスタマイズ機能を提供する。

図書館の職員がウィジェットを構築するための機能として、以下の3つの機能を提供している。

- (1) RSS/Atomフィードを表示可能な簡易RSSリーダー
- (2) 任意のHTML文書を表示可能なIFRAME ウィジェット
- (3) 学術情報の検索などの機能を提供するWeb API

最近は様々なアプリケーションがRSS/AtomやHTML形式の文書を出力できる、また、ログデータなどの既存のデータをこれらの形式に変換することも容易である。そのため、(1)や(2)を用いることで簡単に情報を表示するウィジェットを作成できる。また、雛形のウィジェットを提供しており、これを参考にしてJavaScriptなどの知識があれば、より複雑なウィジェットを作成することもできる。このとき(3)のWeb APIを用いることで本システムの管理する学術情報の検索機能を組み込んだウィジェットを開発できる。このWeb APIは本システムの検索画面の作成にも用いている。

<http://library.naist.jp>でアクセスできる図書館トップページは、図書館利用の窓口であり、図書館関係の情報発信を目的としている。そのため、図書館の職員は、あらかじめ用意されている資料を検索するためのウィジェットや図書館ニュースを表示する簡易RSSリーダーを組み合わせたFig.3のような画面を定義している。



Fig.3 Library top page.

トップページで利用者がログインすると、利用者専用ページであるMyLibrary画面が表示される。利用者はウィジェット選択画面から好みのウィジェットを選び、

画面に追加することができる。画面に配置したウィジェットは、利用者の好みの位置に移動することができ、必要がなくなれば削除することもできる。画面はタブ形式であり、目的別の画面を複数用意して、個々に好みの名前をつけ、切り替えることが可能である。

RSS/Atomを活用したサービスの提供については日本においても議論やサービス提供が始まっている⁶⁾。本システムでは新着通知や貸し出しランキングなどの多くの情報がRSS/Atom形式で提供される。最近の外部サービスの多くもRSS/Atom形式の情報発信に対応している。そのため、利用者は様々な情報源からのRSS/Atomフィードを直接、または目的に応じたフィルタリングを行った後、ウィジェットのひとつである簡易RSSリーダーで表示することができる。その結果、MyLibraryの上で多くの情報を一元的に見ることが可能である。

3-2 利用者の気づきを促し質の高い検索を実現

図書館システムにおける検索アプリケーション(OPAC)のユーザインタフェースについては、様々な問題提起や提案が近年行われている。特に重要な流れとして、ユーザビリティ調査により利用者の探索活動を理解することで、これまでの利用者不在の仕様策定から脱却しようというものがある^{7),8)}。

本システムにおいては、これらの調査結果に基づき、専用システムの流れを受けた利用者に複雑かつ高度な検索条件入力を要求するユーザインタフェースを、利用者が使い慣れているWebの検索エンジンの流れを受けた簡便なものに改めることを方針とし、以下の機能を実現した。

- (1) 条件入力画面は条件入力箱がひとつのみ
- (2) 条件候補の一覧表示
- (3) 結果一覧は検索条件に対する適合度でソート(ランク表示)
- (4) 結果一覧にリッチな情報表示
- (5) 結果の分類であるファセット表示

図書館システムにおける検索条件の入力画面は、以前は様々な条件入力ボックスや選択肢の提示があったものであるが、最近はWebの検索エンジンに近づきつ

つあり、かなりシンプルな構成に変化してきた。本システムにおいては、既存のOPACのデザインについて検討を行い、必須でないもの以外をすべて取り去り、以下の検索条件入力ボックス1つと検索対象選択のボタンのみで構成する。

最近の学生・研究者はWebの検索エンジンを使い慣れており、逆に複雑な検索条件の入力手段を用意しても、使用してもらえない。検索条件入力ボックスには複数の検索条件を入力できるが、利用者が入力するのは平均2語程度であり、OPACでも同様の傾向が見られるという調査結果がある⁸⁾。そのため、精度の高い検索を実現するには、利用者が最初に入力するこの2語として、良い検索語を入力してもらうことが重要になる。本システムでは、良い検索語の入力支援を目的として条件候補の一覧表示を行う。Webの検索エンジンでは一般的な機能であるが、図書館システムで導入された例は見あたらない。利用者が入力中のキーワードに従い、本システムの過去の入力キーワードや利用者自身の閲覧資料から抽出されたキーワードから候補を提示する。候補が提示することで、迅速かつミススペルの少ない入力手段を提供するだけでなく、利用者に対し、一般的なキーワードや利用者が思いもよらないキーワードを提示することで、より質の高い初期条件の入力を実現する。

検索結果はFig.4のように一覧表示される。既存のOPACでは一覧の並びの標準はタイトル順が多く、Webの検索エンジンが提供するような検索条件に対する適合度による並びは提供されていなかった。しかし、前述の調査では利用者が目を通すのは多くても2ページであり、詳細に調べる資料はフィーリングで判断しており、2から3つである。そのため、本システムでは適合度で検索結果をソートすることで利用者が目を通す範囲に条件に適合した度合いの高いものを表示するよう試みると共に、資料の表紙イメージ(サムネール)、資料の要約などの内容の一部分(スニペット)、検索条件にヒットした部分(ハイライト)などリッチな情報表示を行う。その結果、利用者はより高い精度で詳細に調べるべき資料の選択が可能である。

また、既存のシステムでは、詳細に資料を調べたい

場合、一覧画面から詳細画面を開き、詳細な書誌情報を確認し、必要に応じて電子データ（PDFデータやビデオデータ）を再生したり、現物の貸し出し予約をしたりする必要があった。本システムでは、一覧画面で十分な情報が提供されており、一覧画面から直接電子データの再生を行ったり、現物を手に入れるための手段の選択操作を行うことができ、より少ないアクションで資料の獲得を行うことが可能である。

初期条件の候補を提示したり、表示順に工夫を凝らしても、多くの検索結果が得られた場合、適切な資料を見つける可能性は低くなる。そのため、本システムはファセット表示を行うことで、利用者に絞込み検索を行うための条件を自動提示する。ファセットとは資料を分類するために使用する様々な属性（切り口）のことであり、検索結果について、属性ごとに、ある値のものが何件あるかが自動的に求められ、利用者に提示される。そのため、利用者は実際に意味のある（0件になってしまう条件でない）条件の中から選んでいくだけで絞込検索が行え、簡単に精度の高い絞込検索が可能となる。

以上のように、本システムでは条件の入力から適切な資料を発見までに様々な機能を提供している。検索条件や適合する資料の確認などで利用者に新しい発見や適切な文書に気づきの機会を増やす効果がある。そして、見つかった資料を手に入れるための手間は低減される。



Fig.4 Listing of search results.

3-3 図書館との出会いの機会を確保

学生・研究者がある特定のトピックについて情報を探すときにまず、なにを使うかという問い合わせに対して、ほぼ9割の方がWebの検索エンジンを使用し、図書館のサービスを用いるのはわずか2%であるという調査結果がある⁹⁾。

図書館システムに検索アプリケーションを用意しても、使ってもらえない可能性が高い。利用者が通常使用しているアプリケーションから可能な限りシームレスに図書館システムが利用できることが重要である。そのため、本システムでは以下の機能を提供している。

- (1) 新着資料検索結果のAtomフィードによる取得
- (2) Firefox® 2/Internet Explorer® 7 向けの検索プラグインの提供

(1)については、ある条件で検索したとき、一覧表示画面にその検索条件で新着資料のAtomフィードを得るためのRSSボタンが表示される。このボタンを押すことにより、以下の選択が可能である。

- (a) このAtomフィードを得るためにURLの取得
- (b) 利用者のMyLibrary画面にこのAtomフィードを表示する簡易RSSリーダーを配置
- (c) このAtomフィードをブラウザで開く

新着資料を自身のMyLibrary画面で表示するだけでなく、(a)や(c)を行うことにより、自分が利用するiGoogle™パーソナライズドホームページなどのポータルやGoogle Reader™フィードリーダーなどのRSSリーダーアプリケーションにおいて閲覧することが可能である。フィード中の個々の資料を表すアイテムには資料の詳細情報を表示するページへのリンクが埋め込まれており、本システムへの誘導がシームレスに行われる。

また、一般的なWebの検索エンジンなどと同様に検索プラグインを用いてブラウザの検索窓に本システムを登録できる。登録後は、ブラウザの検索窓で本システムを選択後、検索すると、本システムにおいて入力した条件で検索が行われ、検索結果一覧画面が表示される。

以上のようなアクセス経路の提供により、図書館が提供する様々な学術情報への触れ合いの機会のひろがりが期待できる。

4. 今後の展開

本稿では知識の送り手から受け手への伝達という観点から整理したが、この関係は実際には一方ではない。受け手がまた送り手となり、新しい知を創造していくための仕掛けが今後重要となる。たとえば、ある情報を推薦したり、情報にコメントをつけ合う仕組みの有用性はすでにWebの世界で実証されている。この機能を取り込むか、あるいは連携することが考えられる。

本稿と同様のシステムは、大学に限らず、企業においても求められるところである。企業内でのさまざまな活動をマルチメディアで記録し、共有し、さらに双方のコミュニケーションを通して知の創造に結びつけることを模索していく。

謝辞

本システムの仕様についてご教示いただいた奈良先端科学技術大学院大学の砂原秀樹教授ほかの方々に深く感謝いたします。

参考文献

- 1) 金崎克己, 間曉薇, 白田由香利:電子図書館におけるデータ管理フレームワーク, Ricoh Technical Report, 23, (1997), pp.60-67.
(http://www.ricoh.co.jp/about/business_overview/report/23/pdf/063_071.pdf)
- 2) 石井英毅:MPMeisterを使った新しいソリューションの提案, DEWS2007, (2007).
- 3) ISO/IEC 15938: Information technology -- Multimedia content description interface --, (2002).
- 4) iGoogle <http://www.google.co.jp/ig>
- 5) Blogger <http://www.blogger.com/>
- 6) 林 賢紀, 宮坂 和孝:RSS (RDF Site Summary) を活用した新たな図書館サービスの展開 — OPAC2.0へ向けて—, 情報管理 Vol.49 (2006), No.1, pp.11-23.
(<http://www.jstage.jst.go.jp/article/johokanri/49/1/49>)

_11/_article/-char/ja/)

- 7) 森岡倫子, その他:土木学会図書館目録・書誌情報検索システムのログ分析について, 2004年度日本図書館情報学会春季研究集会発表要綱, 青山学院大学, (2004), pp.53-56.
(<http://www.slis.keio.ac.jp/~ueda/paper/opaclog0401.pdf>)
- 8) 種市淳子, 逸村裕:エンドユーザーのWeb探索行動:短期大学生の実験調査にもとづく情報評価モデルの構築, Library and Information Science No.55 (2006), pp.1-23.
(<http://ir.nul.nagoya-u.ac.jp/dspace/handle/2237/92>)
- 9) C. D. Rosa, et al.: Perceptions of libraries and information resources: a report to the OCLC membership, OCLC Online Computer Library Center, (2005).
(<http://www.oclc.org/reports/2005perceptions.htm>)

注 1) Windows および Internet Explorer は米国 Microsoft Corporation の米国およびその他の国における登録商標です。

注 2) Mac は、米国および他の国々で登録された Apple Inc.の商標です。

注 3) Firefox は Mozilla Foundation の登録商標です。

状態遷移量に基づく屋内小型自律飛行船の動作設計に関する検討

Autonomous Indoor Blimp Robot Motion Design Based on State Value

高谷 敏彦* 川村 秀憲** 山本 雅人** 大内 東**
Toshihiko TAKAYA Hidenori KAWAMURA Masahito YAMAMOTO Azuma OHUCHI

要　　旨

屋内飛行船は、ヘリウムガスを利用して中性浮力を得て飛行を行う。建物内を安全に移動することが可能であり、移動に必要なエネルギーが小さく三次元空間を移動可能であるために、新しいタイプの移動ロボットとして注目され、種々の応用研究が行われている。

一方、アプリケーションを実現する際の課題として、目標状態に対する高い制御精度、目的達成までの継続飛行、外乱や気圧等の環境条件に対して影響されないことが必要である。

従来研究では制御に関するものが主で、基本動作となる定点保持や直進移動に関する研究、基本動作を組み合わせて円や三角形の軌道を移動する制御研究が行われてきた。制御手法としては、PID制御やファジィ制御、行動価値関数制御、学習制御等が研究されている。

しかし、飛行船は慣性や外乱の影響が大きく、目標位置へ高精度で到達する制御は困難であった。この問題を解決するために、気流や慣性の影響も認識する位置と速度を情報量として用い、直線移動と回転の同時実行で複雑な動作を実現する。また、本研究では、飛行船の状態量を導入して状態遷移法を用いることにより、飛行船の動作設計を容易に行うことが可能なことを示す。本研究は二次元移動体に関しても適用が可能である。

ABSTRACT

This paper describes indoor balloon operation based on state diagram using PID controller. The design of operation was enabled for control of an indoor blimp robot of operation in the formation propriety of each state by state change. By using the indoor blimp robot control method of this paper, the design of an indoor blimp robot of operation can be performed simply.

By determining the parameter which can realize a benchmark, we showed that an airship applicable to various applications, such as entertainment and round surveillance, is realizable. For these features, indoor balloon robots have enormous potential for applications such as entertainment flight, automatic surveillance and searching activities in the destructive buildings.

* リコーソフトウェア株式会社 事業戦略室

Business Strategy Center, Ricoh Software Inc.

** 北海道大学情報科学研究科

Graduate School of Information Science and Technology, Hokkaido University

1. 序論

屋内飛行船は、ヘリウムガスを利用して中性浮力を得て飛行を行う。建物内を安全に移動することが可能であり、移動に必要なエネルギーが小さく三次元空間を移動可能であるために、新しいタイプの移動ロボットとして注目され、種々の応用研究^{14, 15, 19, 20)}が行われている。

一方、アプリケーションを実現する際の課題として、目標状態に対する高い制御精度、目的達成までの継続飛行、外乱や気圧等の環境条件に対して影響されないことが必要である。

従来研究では制御に関するものが主で、基本動作となる定点保持¹⁾や直進移動²⁾に関する研究、基本動作を組み合わせて円や三角形の軌道を移動する制御³⁾研究が行われてきた。制御手法としては、PID制御³⁾やファジィ制御⁴⁾、行動価値関数制御⁷⁾、学習制御^{18, 22, 23)}等が研究されている。

しかし、飛行船は慣性や外乱の影響が大きく、目標位置へ高精度で到達する制御は困難であった。この問題を解決するために、気流や慣性の影響も認識する位置と速度を情報量として用い、直線移動と回転の同時実行で複雑な動作を実現する。また、本研究では、飛行船の状態量を導入して状態遷移法を用いることにより、飛行船の動作設計を容易に行うことが可能なことを示す。

2. 小型自律飛行船の設計

2-1 ハードウェアフレームワーク

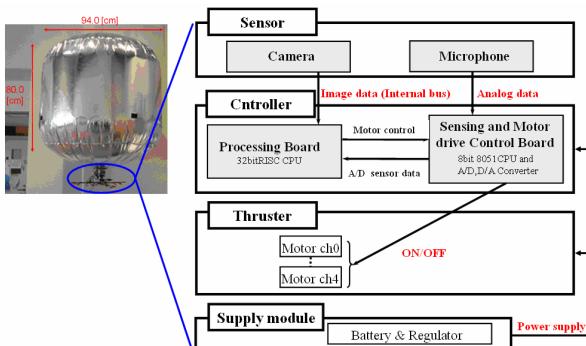


Fig.1 Diagram of the autonomous blimp research platform.

本稿で用いる自律制御飛行船はFig.1に示すように、バルーン、外部状況検出センサ、センサからの入力処理やプロペラの出力を行うための制御、推進、電源の5つの部位に分けて設計しており、バルーンの浮力はバルーンの体積を調整して、全体の総重量543.5[g]以上を達成するために、高さH=0.80[m]、直径D=0.94[m]として浮力567.2[g]を達成した。²⁴⁾

飛行船は、床面に配置されたランドマークから位置を算出するためのカメラを装備し、3次元空間を自由に移動可能とするために、および 軸方向に推力を発生するプロペラを装着している。そして、電源としては LiPo 7.2V400mAhrのバッテリーを搭載し、レギュレータで+5Vに調整して用いる。²⁴⁾

2-2 飛行船の動作遷移

Fig.2に状態遷移図の基本構成を示した。

飛行船は、状態Aの遷移条件を満足した場合、A+1移行して動作を行う。動作遷移の基本構造は遷移条件の組み合わせで決定し、遷移条件を達成するまで動作制御する。

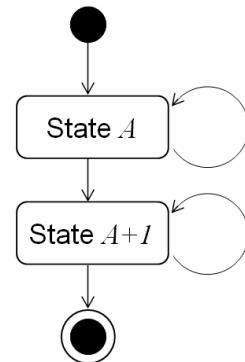


Fig.2 State diagram.

2-3 飛行船への入力と状態量

状態量は、位置情報の取得方法として、環境中に配置されたランドマークの画像処理によりカメラ座標系を取得する¹¹⁾。飛行船はこれらの画像処理により、絶対座標系における位置情報と角度、 x, y, z, θ を取得する。

速度情報は、位置情報の移動推移の近似を利用し、時刻 t での位置情報を $(x(t), y(t), z(t), \theta(t))$ としたとき、

各軸の速度情報は次の式で表すことができる.

$$vx(t) = \frac{x(t) - x(t - \Delta T)}{\Delta T} \quad (3)$$

$$vy(t) = \frac{y(t) - y(t - \Delta T)}{\Delta T} \quad (4)$$

$$vz(t) = \frac{z(t) - z(t - \Delta T)}{\Delta T} \quad (5)$$

$$\omega \theta(t) = \frac{\theta(t) - \theta(t - \Delta T)}{\Delta T} \quad (6)$$

$\Delta T = 0.3[\text{sec}]$ は画像のサンプリング時間である.¹⁴⁾

飛行船は、上記の位置および速度情報を状態量として毎時刻取得する。定点保持や回転動作等では、状態の継続時間や回転回数の副次的な状態量を用いることで動作が可能になる。

以上飛行船の状態量は、式(7)として表現できる。

$$S(t) = (x(t), y(t), z(t), \theta(t), vx(t), vy(t), vz(t), \omega \theta(t), ct(t), cr(t)) \quad (7)$$

ここで、 $ct(t)$ は状態の継続時間、 $cr(t)$ は回転回数を意味する。

2-4 制御層：行動設計

飛行船の動作設計は、飛行船が移動する理想的な軌道が、直線や曲線等の設定した移動軌道上を正確に移動することである。移動ロボットの移動方法として、実験環境中に目標地点を設置しその間を移動することで望ましい軌道を移動する方法^{11, 12)}を用いた。飛行船の移動方法としても実験環境中に目標地点を設定し、目標地点間を移動することで設定軌道に近づくと考えられる。

ここで、目標行動を *Action*、目標状態を *A* とする。目標行動は目標状態の系列として次のように表現される。

$$Action = (A1, A2, \dots) \quad (8)$$

各目標状態は、

$$Ai = (ox_i, oy_i, oz_i, o\theta_i, ovxi_i, ovyi_i, ovzi_i, o\varpi\theta_i, octi_i, ocri_i) \quad (9)$$

という状態量のベクトルで表現できる。 $ox, oy, oz, o\theta$ はそれぞれ *x* 座標、*y* 座標、*z* 座標、 θ の目標値であり、 $ovx, ovy, ovz, o\varpi\theta$ はそれぞれ $vx, vy, vz, \varpi\theta$ の目標値である。また、 oct は動作を継続する時間で、 ocr は回転回数を表す。目標状態の各要素に対して、実数値と * を指定することができる。ここで、* は目標状態量を

指定しないという意味である。 oct および ocr に関しては、制御軸と直接関係のない目標状態である。

制御軸に関する状態量から飛行船の制御システムについて述べる。先ず、同軸に対して位置と速度を同時に指定した場合の飛行船の行動設計は、飛行船が移動する理想的な軌道は直線や曲線等の軌道上を移動することである。ロボットの移動方法として、環境中に目標地点を設置しその間を移動することで所望の軌道を移動する方法が示されている^{11, 12)}。

飛行船の移動方法としても実験環境中に目標地点を設定し、目標地点間を移動していくことで所望の軌道に近づく。

同軸に対して位置と速度を同時に指定した場合、PID制御に基づく屋内飛行船の飛行制御システムの開発では、本稿で用いた機体では、5軸を制御するため目標状態が異なり困難になる。位置と速度の目標値が与えられる場合、*x* 軸に関して考えると次の4通りが想定できる。

- case1 : $(ox, ovx) = (*, *)$
- case2 : $(ox, ovx) = (given, *)$
- case3 : $(ox, ovx) = (*, given)$
- case4 : $(ox, ovx) = (given, given)$

ここで、*given* は目標値が与えられるという意味である。飛行船の位置は速度の積算値で表現することが可能である。その結果、目標とする速度を実現することで、速度を指定することにより位置が指定されている目標状態に到達することが可能であると考えられる。本研究の飛行制御システムでは制御出力を決定するために速度を利用する。

上記の4通りの条件に対してそれぞれ制御出力を決定する速度を計算する規則を決定することにより、飛行船は最適行動ができる。ここで、制御に用いる目標値を *evx* とする。4通りに対して飛行船の最適戦略を検討する。

case1では、位置も速度も目標値として指定しない。この場合、制御対象となる軸に対して目標値が決定できないため、*evx* = 0 とする。

case2では、目標位置が指定されている。目標値に速度を用いるため、位置から速度に変換する規則を設定す

る必要がある。飛行船が目標位置に速度が0で到達するのが望ましいと考え、次の式(10)で目標値を決定する。

$$evx = \alpha_x dx \quad (10)$$

ここで、 dx は目標位置と現在の飛行船の位置との偏差であり、 α は比例定数である。各軸に対する比例定数を予備実験からTable 1に決定した。

Table 1 Proportional constant for each axis.

α_x	α_y	α_z	$\alpha\theta$
0.1	0.1	-0.05	0.25

この比例定数は、目標位置に対して到達する時間から決定する。本件等では、目標値に対して20[sec]程度で到達することを目標として比例定数を決定した。また、比例定数はパラメータとして変更可能であり、動作目的に合わせた定数を用いることが望ましい。

case3の場合、速度の目標値が指定されているため、 $evx = ovx$ として指定する。最後にcase4の場合、case2およびcase3で設定される目標値のどちらかを用いることを考慮する。飛行船はバッテリー容量に制約があるために、短い時間で目標状態に到達することが望ましい。このためcase4の場合、下記の式(11)で目標速度を決定する。

$$evx = \begin{cases} \alpha_x dx & \text{if } (\alpha_x dx) > |ovx| \\ ovx & \text{if } (\alpha_x dx) < |ovx| \end{cases} \quad (11)$$

式(11)では、case2およびcase3で計算される目標速度の最大値をとるため、飛行船は目標の状態に早い時間で到達することが期待される。しかし、 $\alpha x dx$ と ovx の正負が異なる場合、プロペラの回転が正回転と逆回転で推力が異なるために、状態量を同時に満たすことが困難になる。このとき、飛行船は現在の目標状態に到達することを破棄し、次の目標状態に到達する行動を実行する。 x 軸だけでなく、 y, z, θ の軸に対しても同様の規則によって目標速度を決定することにより飛行船は目標状態に到達する制御を実行する。行動を指定し実行するだけで、飛行船はひとつの行動のみを実行する。 A_i の行動をしている飛行船が A_{i+1} に遷移する条件について述べる。

遷移条件として、 $SA = (sx, sy, sz, s\theta, svx, svy, svz, s\omega\theta, st, sr)$ を設定する。 A_i の要素のうち、目標値が *given* である各軸の位置と速度の要素が、対応する遷移条件を満たしたときに次の行動に遷移する。

$$|S(t) - A_i| \leq SA_i, \forall i = given, \quad oa_i \in A_i \quad (12)$$

ここで、 $S(t)$ は時刻 t での状態量であり、各軸の位置 $(x(t), y(t), z(t), \theta(t))$ と速度 $(vx(t), vy(t), vz(t), \omega\theta(t))$ および状態の継続時間 $ct(t)$ 、回転回数 $cr(t)$ である。遷移条件の $S(t)$ には、式(10)の状態を継続する時間を指定し、 srt には(12)式を満足する回転数を指定する。指定がない場合には、*とする。

遷移条件は目標状態ごとに設定する。しかし、設定条件により飛行船が移動可能な時間が変化する。設定条件を詳細にすると、次の目標状態に遷移しない。このため、遷移条件の初期値をTable 2に設定した。

Table 2 Transition condition for next action.

sx	sy	sz	$s\theta$	st
20.0	20.0	20.0	0.2	*
svx	svy	svz	$s\omega\theta$	sr
1.0	1.0	-2.0	0.1	*

遷移条件は飛行船の移動目的に合わせて設定可能であり、例えば三次元空間上のある点を保持するという定点保持を行う際には、状態の継続時間で st を指定することにより可能となる。また、目標地点まで数cm要求事項のタスクを行う際には、 sx や sy の値が満足するように設定する。

2-5 目標位置移動制御

飛行船の行動として、実験環境中に配置された目標地点から動作を開始し、その動作タスクを行った後に目標地点に到達する動作遷移を考える。

目標地点に着地する制御を考えた場合、次の要素が必要になると考えられる。ある地点から動作を開始し、そのタスクを行った後に開始地点に定点保持する動作を考える。

- ・確実に目標地点に定位位置保持する移動方法
- ・飛行船が定位位置保持成功したと判断する方法

- ・目標地点着地する実現する制御システム

このような事例として、二次元移動ロボットでは、ドッキング着地点を設置し、ロボット自身のバッテリー残量が少なくなったときに自律的に充電する方法が研究されてきた^{9, 10)}。二次元移動ロボットの研究と同様に、飛行船においても同様に目的位置への正確な移動が必要である。

本研究では飛行船の目的位置として、定位置保持から移動して目標位置を通過し、最終的な目標位置での着地動作を行う一連の動作設計をして実験で確認する。

本研究における飛行船の目的位置での定位置保持の概要をFig.3に示す。

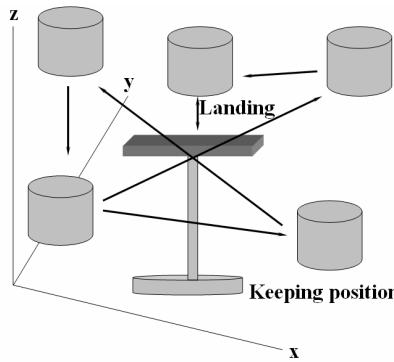


Fig.3 Movement and landing operation.

状態遷移図に示すとFig.4になる。

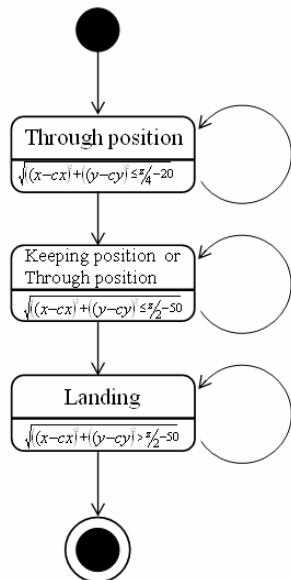


Fig.4 State diagram for blimp robot motion design.

以上の条件から、プロペラ／モータユニットに取り付けられた部品が確実に定位置保持または着地する精度は次の三つの式から半径を決定することで求めることができる。

$$R = \sqrt{(x-cx)^2 + (y-cy)^2} \leq OR \quad (13)$$

$$|d\theta| \leq od\theta \quad (14)$$

$$|v| \leq Vz_{down} od\theta \quad (15)$$

ここで、 cx, cy は目標位置中心の x, y 座標であり、 OR は円の半径を表し、 $d\theta$ は目標位置と飛行船の θ の偏差、 $od\theta$ はその目標偏差を意味する。

また、 Vz_{down} は下降の最大速度である。本研究では、円の半径を $OR=10[\text{cm}]$ とし、 θ に関する目標偏差を $od\theta=0.2[\text{rad}]$ 、 $Vz_{down}=5[\text{cm/s}]$ として設定する。

着地地点の距離を $75[\text{cm}]$ とし、高さ $130[\text{cm}]$ とした着地点は絶対座標系において $\theta=0$ として設置する。着地制御の場合には、目標位置の上空から下降を行う必要がある。目標位置から付近に下降を行うだけでは、突発的な外乱や空気の流れが発生した場合にもう再着地を試みることが困難になる。このため、確実な着地制御を行うために着地部分付近の制御を多段階に分割する。本研究では、着地部分を含む付近の領域を三分割する。

分割する領域を飛行船の x, y および z 座標を変数とした条件式で表現し、条件を満たした場合に制御する領域が決定される。着地条件を包括する分割領域の条件式をTable 3にまとめた。

Table 3 Divided area for target point.

Domain name	Condition formula
area1	$\sqrt{(x-cx)^2 + (y-cy)^2} \leq \pi/4 - 20$
area2	$\sqrt{(x-cx)^2 + (y-cy)^2} \leq \pi/2 - 50$
area3	$\sqrt{(x-cx)^2 + (y-cy)^2} > \pi/2 - 50$

また、分割される領域の概観図をFig.5に示す。

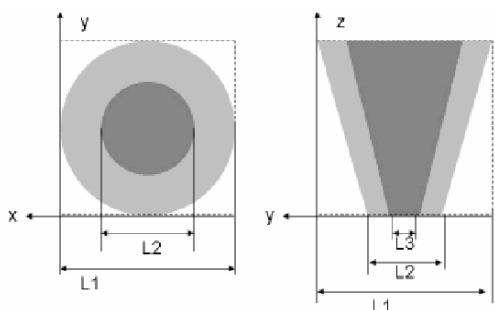


Fig.5 Divided area for motion include landing motion.
(upper view(left) and aspect view(right))

目標地点への到達だけがタスクの目的の場合には、area3の設定を除外して、area2の条件によって制御する。

各領域に存在している飛行船の移動方法は、飛行船がarea1の条件式を満たした場合、目標位置へ向かって速度の制御を行う。このとき、目標状態として下降の場合、 $(ox,oy,o\theta,ovz)=(cx, cy, 0, \mathbf{V}z_{down})$ を指定し x,y 座標と θ,vz を制御する。area2に存在している場合、飛行船は着地点の中心座標 (sx, sy) に向かい、area1の領域への移動を試みる。このとき、目標状態として $(ox,oy,o\theta)=(cx, cy, 0)$ のみを指定する。また、area3に存在している飛行船は目標位置の中心上空へ向かい、area1およびarea2の領域への移動を試みる。目標状態として $(ox,oy,oz)=(cx, cy, cz)$ を指定することで、目標位置の中心上空へ移動することが可能になる。

領域を分割したとき、条件により複数の領域中に飛行船が存在する可能性がある。このとき、飛行船は条件が厳しくなる領域が優先的に選択される。即ち、area1の条件とarea2の条件を満たす場合にはarea1が選択される。また、領域を分割することにより突発的な外乱や空調の影響を受け、飛行船が流された場合であっても、初期領域に依存せず最終的にはarea1への移動を試みるために、着地は確実に実行可能である。定点保持および目標点通過では、下降制御が行われず、area2までの制御となる。

2-6 PID制御

本研究では、飛行船の制御方法としてPID制御を利用する。PID制御は、制御モデルが単純で広く制御の分野で使用されている制御方法であり、飛行船の制御方法としても利用されている^{3,5)}。

PID制御を利用する場合、目標となる状態量と現在の状態量との偏差が必要となる。飛行船の制御では位置の偏差から操作量を計算する研究が行われてきた。しかし、慣性が大きい場合、目標状態に制御することが困難であるという問題がある。本稿では、目標速度と現在速度の偏差から操作量を計算するPID制御を用いる。

飛行船は制御軸として x,y,z,θ を有する。各軸に対する操作量を $m(t)$ とし、目標速度と現在の速度との偏差を $e(t)$ とすると、各軸の操作量は次のようになる。

$$m_x(t) = K_{px}e_x(t) + K_{Ix}\sum e_x(t)\Delta T + K_{Dx}\frac{De_x(t)}{\Delta T} \quad (16)$$

$$m_y(t) = K_{py}e_y(t) + K_{Iy}\sum e_y(t)\Delta T + K_{Dy}\frac{De_y(t)}{\Delta T} \quad (17)$$

$$m_z(t) = K_{pz}e_z(t) + K_{Iz}\sum e_z(t)\Delta T + K_{Dz}\frac{De_z(t)}{\Delta T} \quad (18)$$

$$m_\theta(t) = K_{p\theta}e_\theta(t) + K_{I\theta}\sum e_\theta(t)\Delta T + K_{D\theta}\frac{De_\theta(t)}{\Delta T} \quad (19)$$

ここで、 $K_p \cdot K_I \cdot K_D$ は比例・積分・微分ゲインであり、また $De(t) = e(t - \Delta T)$ である。

PID制御では、各操作量の比例項、積分項、微分項を決定する必要がある。各項の求め方としては、Ziegler-Nicholsによる限界感度法やステップ応答法が知られている¹³⁾。

飛行船が飛行する環境および動作特性から安定点に到達することが困難であるため、ステップ応答法を用いて各項を求める。ステップ応答法におけるPID制御の各項は、制御の特性を示す反応曲線より求め、反応曲線の変曲点に接線を引き、接線と横軸が交わる時刻を T 、変曲点の時刻との差応答の定常値を K とする。このとき、各項は $K_p = 1.2T/K_L$ 、 $K_L = 0.6T/K_{L2}$ 、 $K_D = 0.6T/K$ として求めることができる。

上記の式に基づき各項を決定する。しかし、この値をそのまま適用することは飛行船の動作特性から難しい。そのために、求められた値から予備実験により精

度の高いパラメータを求める必要がある。

2-7 出力層：プロペラ回転時間

出力層では、PID制御を基に計算した x, y, z, θ の操作量からプロペラの回転時間を計算する。各軸に対する操作量を駆動部の6個のプロペラに与えることで飛行船を制御する。

プロペラへ与える操作量を $m_0(t), \dots, m_5(t)$ とすると、これらの操作量は次の式で表すことができる。 θ に関しては、独立に扱うためのプロペラが存在しないため x 軸および y 軸の操作量に足し合せて制御を行う。

$$m_0(t) = m_y(t) + m_\theta(t) \quad (20)$$

$$m_1(t) = m_x(t) + m_\theta(t) \quad (21)$$

$$m_2(t) = m_y(t) - m_\theta(t) \quad (22)$$

$$m_3(t) = m_x(t) - m_\theta(t) \quad (23)$$

$$m_4(t) = m_z(t) \quad (24)$$

$$m_5(t) = m_z(t) \quad (25)$$

上記操作量を基にプロペラの回転時間が決定される。回転数rk[rpm]と発生推力Th[g]の関係を計測した結果から、正回転では最大30[g]程の推力を発生可能であるのに対して、逆回転は最大15[g]までの推力しか得られないために、正回転・逆回転の推進力の差を考慮して回転数の制御を行い²⁴⁾、モータの性能から最小回転時間を0.01[sec]とする。 $m_0(t), m_1(t), m_2(t), m_3(t)$ から回転時間に写像して、 θ 軸の制御を行う。 θ を制御する際、 $m_0(t), m_1(t), m_2(t), m_3(t)$ に関する正の回転時間と逆回転に合せる必要があり、逆回転の推力の最大値はおよそ15[g]であることから、 $m_0(t), m_1(t), m_2(t), m_3(t)$ に関して正回転の最大回転時間を0.21[sec]とする。

3. 実験

3-1 実験環境

飛行実験環境をFig.6に示す。

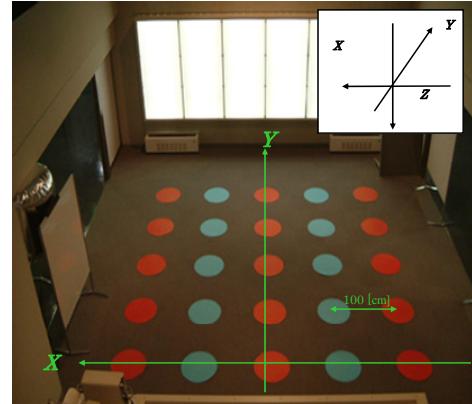


Fig.6 Experimental environment.

環境中には赤と青のランドマークを100[cm]間隔で配置し、着地動作を行う着地点をランドマークの中心付近に配置する。実験環境では、飛行船が飛行可能な領域が、 $-200 \leq X \leq 200$, $-50 \leq Y \leq 350$, $100 \leq Z \leq 300$ として定義される。また、 θ に関しては任意の方向に制御可能であるため $-\pi \leq \theta < \pi$ の範囲とする。飛行船の飛行環境は、空調や気流の影響が常に発生しており、飛行条件が実験ごとに異なる。

本研究ではPID制御の偏差に速度を用いているために、空調や気流の影響を飛行船が自律的に認識して制御が可能である。このため、飛行条件が異なる場合でも指定された同一軌道を移動可能にした。

3-2 実験設定

直線移動に関するベンチマークをTable 4にまとめ、直線移動を組み合わせた中央部への到達定在動作の実験結果をFig.7に示す。

Table 4 Benchmark : linear motion.

3-dimensional target coordinates	ox	oy	oz
P_1	-150.0	0.0	150.0
P_2	150.0	0.0	250.0
P_3	-150.0	300.0	250.0
P_4	150.0	300.0	250.0

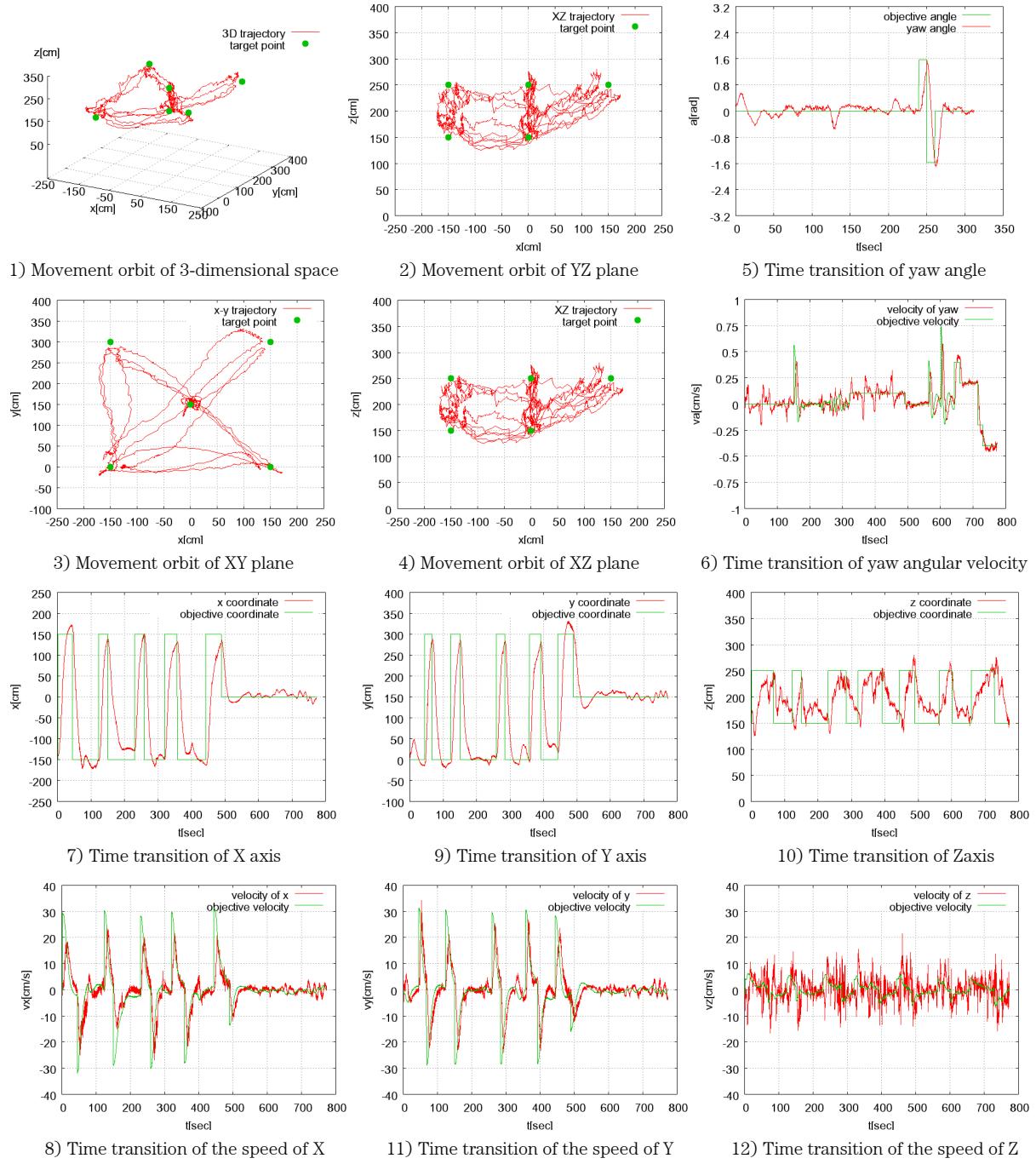


Fig.7 Benchmark experiment result.

基本動作を実現するベンチマークでは、前述した要素を組み合わせた設定を作製する必要がある。ベンチマークとなる実験設定をTable 5に示す。Table 5のベンチマークには、直線移動や定点保持を実行中に回転角を制御する、直線移動中に回転速度を制御する、等の複数の軸が混在しているため制御が困難である。このため、ベンチマークの再現性が可能であれば、飛行船

ロボットは定義された環境の中ですべての目標状態を実現することが可能であり、飛行制御システムが有効であることが示される。ベンチマークを行う飛行船ロボットの初期位置を $(x, y, z) = (-150.0, 0.0, 150.0)$ とする。

同じ実験設定で20回実験を行い、各目標状態に到達した時の偏差をTable 6にまとめた。

Table 5 Objective state of benchmark motion.

Target state	<i>ox</i>	<i>oy</i>	<i>oz</i>	<i>oθ</i>	<i>oωθ</i>	<i>oct</i>
<i>A</i> ₁	150.0	0.0	250.0	*	*	*
<i>A</i> ₂	-150.0	300.0	250.0	*	*	*
<i>A</i> ₃	-150.0	0.0	150.0	*	+	*
<i>A</i> ₄	150.0	300.0	250.0	*	+	+
<i>A</i> ₅	-150.0	0.0	150.0	$3\pi/4$	+	+
<i>A</i> ₆	150.0	0.0	250.0	$3\pi/4$	+	*
<i>A</i> ₇	-150.0	300.0	250.0	$3\pi/4$	*	+
<i>A</i> ₈	-150.0	0.0	150.0	$3\pi/4$	*	*
<i>A</i> ₉	150.0	0.0	250.0	$-3\pi/4$	0.1	*
<i>A</i> ₁₀	-15.0	300.0	250.0	*	0.1	*
<i>A</i> ₁₁	-150.0	0.0	150.0	+	0.1	*
<i>A</i> ₁₂	150.0	300.0	250.0	*	0.1	*
<i>A</i> ₁₃	0.0	150.0	250.0	*	*	30.0
<i>A</i> ₁₄	0.0	150.0	350.0	$\pi/2$	*	30.0
<i>A</i> ₁₅	0.0	150.0	150.0	$-\pi/2$	*	30.0
<i>A</i> ₁₆	0.0	150.0	150.0	*	0.4	30.0
<i>A</i> ₁₇	0.0	150.0	250.0	*	0.2	30.0
<i>A</i> ₁₈	-0.0	150.0	250.0	*	-0.2	30.0
<i>A</i> ₁₉	0.0	150.0	250.0	*	-0.4	30.0

Table 6 Deviation mean of objective state.

objective state	<i>dx</i> [cm]	<i>dy</i> [cm]	<i>dz</i> [cm]	<i>dθ</i> [rad]	<i>dωθ</i> [rad/sec]
<i>A</i> ₁	9.21	10.20	19.20	*	*
<i>A</i> ₂	12.54	14.33	12.30	*	*
<i>A</i> ₃	7.84	8.12	17.90	*	*
<i>A</i> ₄	15.84	10.19	15.48	*	*
<i>A</i> ₅	18.73	3.27	13.52	0.044	*
<i>A</i> ₆	6.53	9.47	16.68	0.063	*
<i>A</i> ₇	12.20	12.09	10.14	0.086	*
<i>A</i> ₈	5.73	7.99	18.87	0.028	*
<i>A</i> ₉	16.46	8.54	8.08	*	0.0081
<i>A</i> ₁₀	14.43	11.88	6.16	*	0.0082
<i>A</i> ₁₁	6.59	12.48	17.46	*	0.0110
<i>A</i> ₁₂	18.55	6.50	11.22	*	0.0092
<i>A</i> ₁₃	8.12	7.16	13.15	*	*
<i>A</i> ₁₄	4.32	6.85	12.83	0.055	*
<i>A</i> ₁₅	6.06	8.63	11.41	0.088	*
<i>A</i> ₁₆	5.08	6.83	6.58	*	0.0326
<i>A</i> ₁₇	4.22	7.03	13.16	*	0.0184
<i>A</i> ₁₈	7.65	13.08	4.64	*	0.0512
<i>A</i> ₁₉	7.39	7.68	6.33	*	0.1880

*X,Y*平面の移動軌跡から、飛行船は初期位置を出発し、目標状態への移動を次々と実行している。四角形の移動を行っているとき、目標状態間の移動時間はおよそ40[sec]から60[sec]である。中央上空へ移動した後、飛行船は θ を $\pi/2$ と $-\pi/2$ へ制御され、中央に設置された着地部へ、着地を試みていることが z 座標の時間推移にあらわされている。着地を試みている段階では飛行船は分割された領域による制御に従う。分割された領

域を移動し、最終的に目標点へ着地していることが*Y,Z*平面の移動軌跡からわかる。

Fig.7から、本稿の提案する飛行動作制御方法を用いて飛行船は目標地点への到達定在及び着地動作が可能なことが示された。

次に、定点保持について考える。定点保持動作では、飛行船は目的状態量を一定の時間継続する必要が生じる。また、定点保持を実行している間プロペラ出力が小さいため、外乱や空調が影響した場合でも定点を保持する必要がある。このため、定点保持を行う三次元空間の位置の座標を実験環境の中心座標である(*oxoy*) = (0.0, 150.0)に設定した。

定点保持に回転動作を加えた場合でも、直線移動・定点保持のみと同程度の精度で制御が可能であるため、目標状態の指定に関係なく目標状態に到達可能であることが示され、目標速度を追従することにより、目標状態を実現する制御システムを構築した。本実験により、*z*座標および*vz*は目標状態への追従が他軸に比べ困難であることがわかる。飛行船は浮力をを利用して浮遊しているため、気温や気圧が変化した場合に自身の浮力を変化する。このため、*z*軸の制御に関して特にパラメータの最適化を行う。

飛行制御方法で、目標速度を計算する比例定数およびPID制御のパラメータが変更可能である。これらのパラメータは繰り返し実験を行い求めていく。最適パラメータを決定する評価量として、最適制御問題²¹⁾の評価量を利用する。

本稿の飛行制御では、目標速度を追従すれば目標状態に到達することが可能であるため、各時刻における速度偏差を小さくすることで改善される。従って、最適制御問題のひとつである最小コスト問題として評価量を決定した(Table 7)。

飛行船の状態は離散時間で取得されるため評価量*E*は次の式で表現される。

$$E = K_p e_x(t) + \sum_{t=1}^T (v(t) - OV(t)) \quad (26)$$

パラメータの評価量として式(26)を選択したため、評価量は小さい値ほど好ましい。

Table 7 Evaluation value for minimum cost problem.

	$T[\text{sec}]$	e_x	e_y	e_z	e_θ
Parameter 1	773.45	141388.10	138857.30	62518.10	30.232
Parameter 2	973.71	84163.26	86860.82	36390.53	26.077
Parameter 3	773.45	77961.75	87239.43	58574.09	26.773
Parameter 4	738.11	83201.11	91771.92	55488.33	31.462
Parameter 5	808.79	79597.28	83620.15	44228.98	28.028

飛行時間の関わらず、目標速度を追従する飛行制御の実現のために、Table 7からパラメータ2をベンチマークに最適なパラメータとして選択する。選択されたパラメータを用いてベンチマークを実行した結果をFig.8に示す。Fig.7に比べ、飛行時間は長くなる。しかし、目標状態に対してより正確な移動が可能であり、目標速度への追従が滑らかになることがわかる。

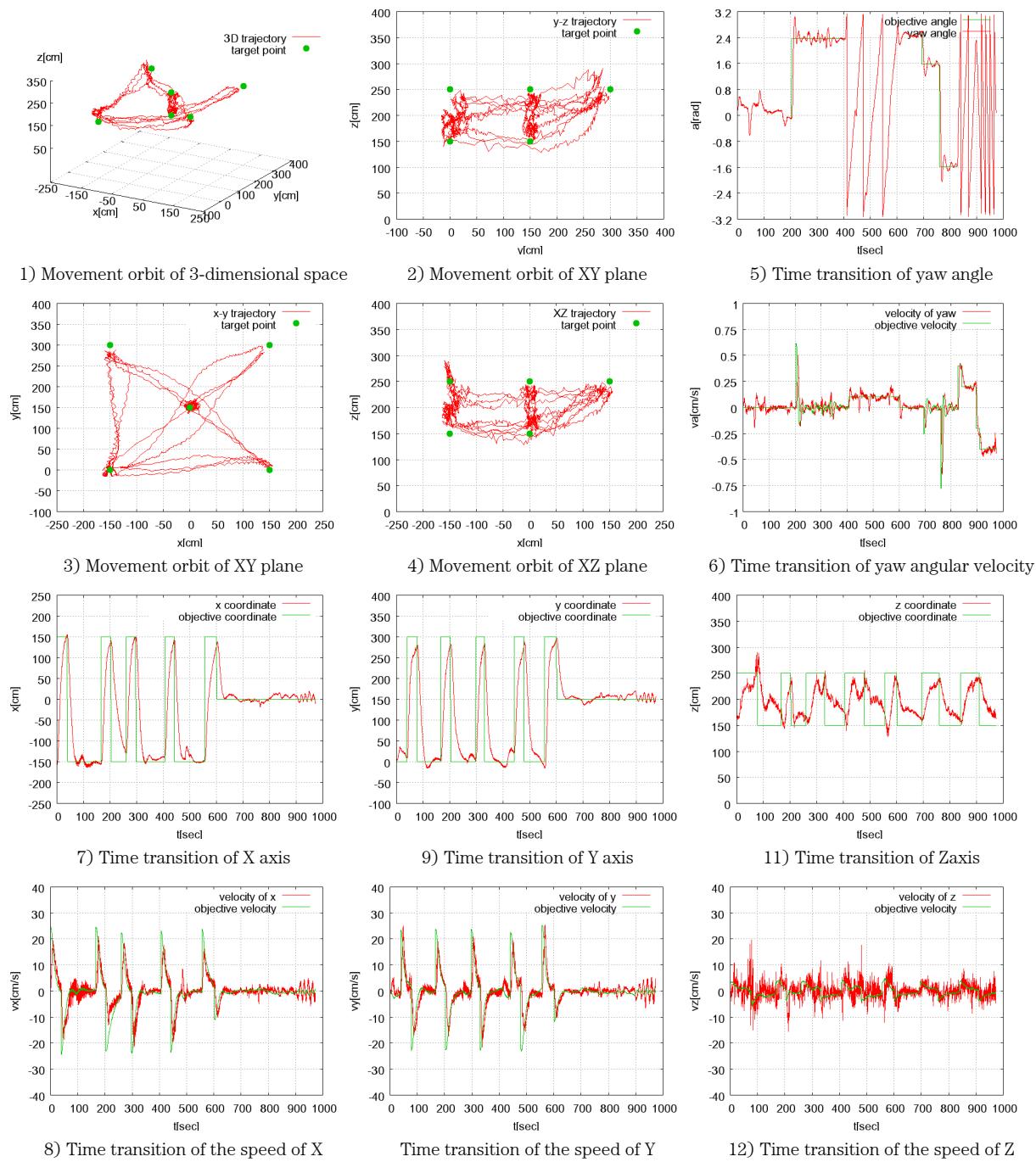


Fig.8 Benchmark result using adjusted parameters.

4. 結び

飛行船の動作制御を、状態遷移によって、各状態の成立可否で動作設計を可能にした。

本稿の飛行船制御方法を用いることにより、飛行船の動作設計を簡易に行うことができる。つまり、状態遷移と判定条件を設定するだけで、飛行船の三次元的な動作を決定できることを示した。また、システムのパラメータを最適化することで飛行船はより精度の高い動作制御が可能になることを示した。

直線移動や定点保持専用のパラメータを探索することも可能である。しかし、飛行船のアプリケーションを考える場合には、全ての動作を網羅するパラメータを決定する方がパラメータの決定コストは小さい。精度が高いベンチマークを実現できるパラメータを決定することにより、エンタテインメントや巡回監視等さまざまなアプリケーションへ適用可能な飛行船が実現できることや、ベンチマーク動作は有効であることを示した。

参考文献

- 1) Zwaan,S., Bernardino,A. and Santos-Vitrol,J. : Visual station keeping for floating robots in unstructured environments, Robotics and Autonomous Systems, Vol.39, pp.145-155 (2002).
- 2) Kobayashi,J., Akatsuka,Y. and Ohkawa,F : Flight Control of Blimp Robot Based on CCD Camera Images, Proceedings of International Symposium on Advanced Control of Industrial Processed, pp.269-274 (2002)
- 3) Kawamura,H. et al. : Motion Design for Indoor Blimp Robot with PID Controller, Journal of Robotics and Mechatronics, Vol.17, No.5, pp.500-508 (2005)
- 4) Sugisaka,M. et al. : Development of the Fuzzy Control for a GPSlocated Airship, Proceedings of the 10th International Symposium on Artificial Life and Robotics, (2005)
- 5) Kadota,H. et al. : PID Orbit Motion Controller for Indoor Blimp Robot, Proceedings of the 10th International Symposium on Artificial Life and Robotics, (2005).
- 6) Minagawa,Y., et al. : Learning landing control of indoor blimp robot for autonomous energy recharging, Proceedings of the 12th International Symposium on Artificial Life and Robotics, (2007)
- 7) Motoyama,K., et al. : Design of Action-value Function in Motion Planning for Autonomous Blimp Robot, IEEJ Transactions on Electronics, Information and Systems, Vol.10, No.124,pp.1930-1937, (2004)
- 8) Jonker,P., Caarls,J. and Bokhove,W. : Fast and Accurate Robot Vision for Vision based Motion, International Workshop on RoboCup (Robot World Cup Soccer Games and Conference), Lecture Notes in Computer Sciences, pp.72-82 (2000)
- 9) Silverman,M., Nies,D., Jung,B., Sukhatme,S., : Staying alive : A Docking Station for Autonomous Robot Recharging, IEEE International Conference on Robotics and Automation, (2002)
- 10) Oh,S., Zenlinsky,A. and Taylor,K. : Autonomous Battery Recharging for Indoor Mobile Robot, Proceedings of Australian Conference on Robotics and Automation, (2000)
- 11) Roy,N. and Thrun,S.: Coastal Navigation with Mobile Robots, Neural Information Processing Systems 12, pp.1043-1049, (2000)
- 12) Bruce,J. and Veloso,M. : Real-Time Randomized Path Planning for Robot Navigation, Intelligent Robots and Systems, (2002)
- 13) Ziegler,J.G., Nichols,N.B. : Optimum Settings for Automatic Controllers, Transaction of American Society of Mechanical Engineers, 64, p.759, (1942)
- 14) 川村秀憲 他：ホバリング制御に基づくエンタテインメントバルーンロボットの開発, 知能情報ファジィ学会誌, Vol.17, No.2, pp.203-211, (2005)
- 15) 高谷敏彦 他：屋内小型自律飛行船の自動巡回システム, 第 22 回ファジィシンポジウム講演論文集, 8A1-1, (2006)

- 16) 角田久雄 他 : カメラ搭載型バルーンロボットシステムの開発と PD 制御による位置制御の実現, 情報処理学会論文誌, Vol.45, No.6, pp.1715-1724, (2004)
- 17) 鈴木恵二, 岡田孟, 三ツ井裕勝 : 視覚情報とポテンシャル法の融合による小型自律飛行船制御, 第 22 回ファジィシステムシンポジウム講演論文集, 8A1-4, (2006)
- 18) 皆川良弘 他 : 充電地点へのドッキングを行う室内バルーンロボットの学習制御, 第 5 回情報技術フォーラム講演論文集, J-050, (2006) 19) 藤内武之, 小野里雅彦 : 被災地の探査を目的とした小型飛行船の開発, 第 3 回計測自動制御学会 SI 部門講演会予稿集, Vol3.3, pp.17-18, (2002)
- 20) 新田亮 他 : 自律飛行船を用いた屋内ナビゲーションシステム, 情報処理学会研究報告, 2005-EC-2, pp.7-14, (2005)
- 21) 近藤文治, 藤井克彦 : 制御工学, オーム社, (1972)
- 22) R.R.Sutton ; Learning to predict by the method of temporal differences, Machine Learning, 3:pp.9-44, (1988)
- 23) C.J.C.H.Watkins : Learning from delayed rewards. PH.D. thesis, Cambridge University, (1989)
- 24) 高谷敏彦 他 : 小型自律飛行船研究プラットホームの実現, 電気学会論文誌 C Vol.127, No.9, pp.1419-pp.1429 (2007)

製品技術解説

EXPLANATION ON PRODUCTS

再生デジタル複写機 imagio Neo 603RC/753RC

Reconditioned Digital Copier imagio Neo 603RC/753RC

鈴木 健太郎* 森井 良浩*
Kentaro SUZUKI Yoshihiro MORII

桑山 尚司* 清水 圭一*
Takashi KUWAYAMA Keiichi SHIMIZU

大槻 善則**
Yoshinori OHTSUKI

佐藤 仙男**
Norio SATOH

要　　旨

imago Neo 603RC/753RCは市場から回収される使用済み製品に対して再生処理を施し、再びお客様にお使い頂くことで循環型社会に貢献する、環境調和型デジタル複写機である。以下に製品の特徴を示す。

- 1) 周辺機を含めリユース部品を質量比平均88%搭載。廃棄物削減と資源枯渇抑制に貢献
- 2) 再生機として初めてHybrid QSU技術を搭載し、大幅な省エネを実現
- 3) ハードディスク残存データ消去等の高度なセキュリティ機能の搭載
- 4) 国際エネルギーestarプログラム基準、エコマーク等の各種環境基準に適合

Abstract

The imagio Neo 603RC/753RC is an environmental-friendly digital copier which contributes to a cyclic society in the effect that end-of-life machines are collected, reconditioned and used again by customers.

It features the following:

- 1) Contributing to the waste reduction and resources savings by using approximately 88wt% of reused parts including peripherals.
- 2) Achieving a large-scale energy savings as the first of its kind at Ricoh by incorporating the Hybrid QSU (Quick Start Up) technology.
- 3) Incorporating cutting-edge security technologies such as residual data-erasing technology in HDD.
- 4) Complying with various environmental standards including International Energy Star Program and Eco-mark.

* MFP事業本部 3R推進センター

3R Promotion Center, MFP Business Group

** 東北リコー株式会社 生産事業本部

Product Business Group, Tohoku Ricoh Co.,Ltd

1. 背景と目的

近年世界中で気候変動による被害が多発し、資源枯渇など地球環境の変化は人間社会に大きな危機をもたらしている。我々人類は従来の大量生産・大量消費・大量廃棄型の社会モデルから、資源循環型、低炭素型への変革が求められている。

当社では循環型社会実現の取り組みの一つとして、再生機（リコンディショニング機）と呼ばれる製品を1999年から世に送り出してきた。再生機とは使用済み複写機を回収し、工場で必要な部品を交換、品質保証を行い、再びお客様に提供して使用して頂くことで、廃棄物削減と省資源を実現する地球環境にやさしい製品である。

今回紹介するimago Neo 603RC/753RCは従来再生機から省エネ性能、セキュリティ性能を大幅に向上了させた製品である。以下にその特徴を紹介する。

- 1)周辺機を含めリユース部品を質量比平均88%搭載。
大量の廃棄物削減と省資源化を同時実現。
- 2)再生機として初めてHybrid QSU技術を搭載し、大幅な省エネ性能を実現。
- 3)ハードディスク残存データ消去等の高度なセキュリティ機能の搭載。
- 4)国際エネルギーestarプログラム基準、エコマーク等の各種環境基準に適合。

2. 製品の概要

2-1 主な性能

imago Neo 603RC/753RCはリサイクル対応設計が施されているimago Neo 603/753の使用済機を回収して、再生処理している製品である。その為、基本機能についてはimago Neo 603/753と同様である。製品構成については元機imago Neo 603/753ではオプション設定となっているフィニッシャーを標準装備している。ベーシックとMFPモデル（プリンタ/スキャナモデル）および、ARDFの主な仕様をTable 1, 2, 3に示す。また、Fig.1には製品写真を示す。



Fig.1 imago Neo 753RC system.

Table 1 imago Neo 603RC/753RC specifications.

		imago Neo 603RC	imago Neo 753RC
型式		コンソール式	
原稿台方式		固定式	
感光体種類		OPCドラム	
複写方式		乾式静電転写方式	
現像方式		乾式2成分磁気ブラシ1段スリーブ現像方式	
定着方式		熱ローラ加圧方式	
複写原稿		シート、ブック、立体物（最大A3、DLT）	
複写 サイズ	トレイ ／両面	最大A3（DLT）、最小A5タテ（HLTタテ）	
	手差し	最大A3（DLT）、最小A6タテ（ハガキ）	
解像度		読み取時：600dpi、書込時：1200dpi	
ウォームアップタイム		30秒以下（20°C）	30秒以下（20°C）
ファーストコピータイム		4.2秒以下（第1トレイ）	3.5秒以下（第1トレイ）
連続複写速度（毎分） (紙サイズで異なる)		標準：60枚/A4ヨコ、 33枚/A3、	標準：75枚/A4ヨコ、 38枚/A3、
複写倍率	標準	1:1 1.15~4.00（拡大5） 0.93~0.25（縮小7）	1:1 1.15~4.00（拡大5） 0.93~0.25（縮小7）
	ズーム	25~400% (1%単位の任意設定)	25~400% (1%単位の任意設定)
給紙方式	本体 トレイ	1,000枚（タンデム）×1段+手差し100枚	
	給紙 テーブル		550枚×3段
連続複写枚数		1~999枚	
用紙紙厚		52.3~216.0g/m ² (45~180kg)	
電源		100V, 15A, 50/60Hz	
最大消費電力		1.5 kW以下	
大きさ (幅×奥×高)		1,417×760×1,165mm (自動原稿送り装置、 フィニッシャー含む)	1,417×847×1,165mm (自動原稿送り装置、 フィニッシャー含む)
質量		255kg以下 (フィニッシャー含む)	267kg以下 (フィニッシャー含む)
エネルギー消費効率		約57Wh/h	約117Wh/h

Table 2 imago Neo 603RC/753RC printer function specifications.

	603RCモデル75	753RCモデル75
解像度	1200dpi/600dpi (RPCS, RPDL) 400dpi (RPDL)	
連続プリント速度	60枚/分 (A4ヨコ)	75枚/分 (A4ヨコ)
変倍	20%~300% (RPCS時)	
インターフェース	イーサネット (100BASE-TX/10BASE-T) IEEE1284ECP準拠 (双方向パラレル)	
プロトコル	TCP/IP, IPX/SPX, SMB	
メモリー	384MB	

Table 3 ARDF Specifications.

原稿サイズ	A3~B6
原稿紙圧	片面原稿時: 40~128g/m ² (35~110kg) 両面原稿時: 52~128g/m ² (45~110kg)
原稿積載枚数	100枚 (リコーPPC用紙タイプ6200のとき)
複写速度(毎分)	75枚 (753RC), 60枚 (603RC)
最大消費電力	110W以下
大きさ (幅×奥×高さ)	680 (幅) × 560 (奥) × 180 (高) mm
質量	約18kg

2-2 HYBRID QSU定着技術

ウォームアップ時間（復帰時間）の短縮を狙いとしたQSU (Quick Start Up) というリコー独自の定着技術がある。これまでの複写機は電源を投入してから定着ローラが所定温度に昇温するまで時間がかかり、使い勝手を優先するために機械が稼動していない待機時においても常に定着に電力を供給する必要があったが、QSU技術により電源OFF時もしくは待機時からの復帰時間が短縮され、使い勝手を損なうことなく消費電力の大幅な削減が可能となった。

QSU定着では、立上げ時間を大幅に短縮するため、薄肉の定着ローラを採用し熱容量を低減している。これを高速機に展開するには通紙開始直後に発生する温度落ち込みの課題を解決する必要があった (Fig.2)。

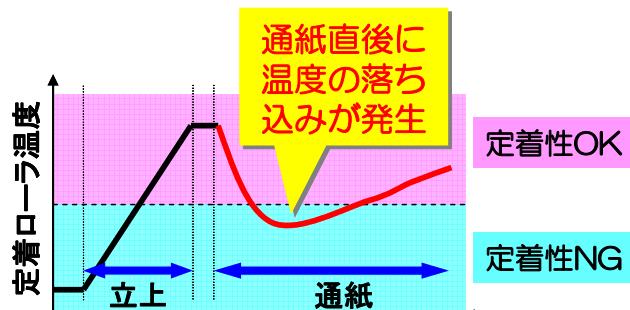


Fig.2 Illustration of fusing roller temperature drop.

そこでimago Neo 753RCの元機であるimago Neo 753では、通常のAC電源に加え、大容量蓄電デバイスのキャパシタを定着補助電源に採用したHybrid QSU定着技術を搭載し、温度の落ち込みの課題を解決した。

再生機imago Neo 753RCもまたHybrid QSU定着技術を搭載しており、前身機imago Neo 751RCと比較してエネルギー消費効率を約59%削減し、大幅な省エネ性能向上を実現している。なおimago Neo 753RCはHybrid QSU定着技術を搭載した最初の再生機である。

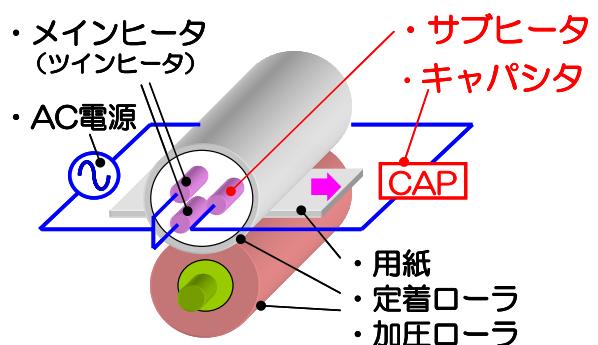


Fig.3 Hybrid QSU fusing system.

2-3 セキュリティ機能の強化

近年の市場におけるセキュリティ意識の高まりから、imago Neo 603RC/753RCは再生機前身機imago Neo 601RC/751RCよりセキュリティ機能面が大幅に強化されている。

HDD残存データ消去機能として、JOB終了後に随時HDDに残存するデータを消去する『随時消去機能』および機械の移動時や返却時等任意のタイミングでHDD残存データを消去する『一括消去機能』の二つの方式にオプションにて対応している。

不正コピー対策として、プリントアウト時に地紋として牽制文字を埋め込むことで、コピーするとその牽制文字が浮き上がってコピーされ情報漏洩を抑止する『不正コピー抑止地紋印刷機能』を標準搭載している。

更にネットワークからの侵入により漏洩する情報のセキュリティにはISO/IEC15408に準拠した設計にて対応している。既存のWindows認証システムやLDAPサーバーとの連携により、ログインユーザー名とパスワー

ドを使用したユーザー認証による機器へのアクセス制限を管理することが可能となっている。また、コピー、プリンタ、スキャナ、ドキュメントボックスといったそれぞれの機能について、登録されたユーザーごとに利用制限することが可能となっている。

2-4 環境基準／環境ラベルへの適合

imago Neo 603RC/753RCはISOで定められた3つの環境ラベルに加え、国際エネルギースタープログラム基準およびグリーン購入法に適合している。以下にその適合基準について紹介する。



Fig.4 Symbol mark of environmental label.

- エコマーク（タイプI環境ラベル）

環境保全に役立ち、環境への負荷が少ない商品であることを、(財)日本環境協会が定める認定基準をクリアすることにより認定される制度。

- リコーエコリサイクルラベル（タイプII環境ラベル）

リコー製機器において、特にリサイクルに配慮されていると認められる製品に認定ラベルを貼付する社内制度であり、再生機の基準として再使用部品使用率が80%以上（質量比）であることが要求される。

- エコリーフ環境ラベル（タイプIII環境ラベル）

(社)産業環境管理協会が開発したタイプIII環境ラベルのプログラムであり、imago Neo 603RC/753RCシリーズはこのシステム認証制度に基づき情報を開示している。

- 国際エネルギースタープログラム基準適合

地球温暖化などの地球環境問題への対応として、エネルギー効率の高い機器の開発・導入を目的としている国際的な省エネルギー制度である。imago Neo 603RC/753RCは国際エネルギースタープログラムの基準に適合している。

- グリーン購入法適合

最先端の省エネルギー設計やリサイクル設計により、高い環境性能を実現し、「グリーン購入法」に適合している。

3. 技術の特徴

3-1 再生工程の特徴

3-1-1 回収品質のバラツキを吸収出来る工程

再生機は回収された使用済み製品を原材料として製造される。回収製品は回収センターにおいて回収・選別基準に沿ってチェックし、再生可と判断された製品のみが再生センターに供給されるが、使用枚数・使用年数・使用条件などにより回収時点の品質のバラツキは大きく、従って工程での清掃・部品交換などの再生作業は個々の製品毎に異なり作業時間にバラツキが発生する。

imago Neo 603RC/753RCでは、再生作業を回収機品質毎に異なる変動作業（洗浄・清掃・部品検査など）と固定作業（再組付け・保証工程など）に分類し、各々を集約した。また、変動作業工程での製品毎の作業時間のバラツキを変動作業/工程作業間にバッファを設けることにより吸収し、工程内の仕掛け、作業者の手待ちがなく、スムーズに流れるライン構成とした。

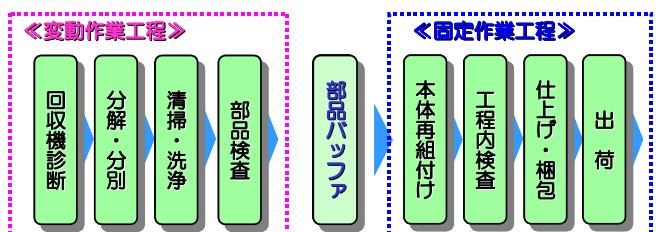


Fig.5 imago Neo 603RC/753RC manufacturing process flow.

3-1-2 紙トレイ上昇モータの機能保証

紙トレイ上昇モータは各トレイ毎に搭載されており、モータの回転角度を検出することでトレイの紙残量を検知できる機能を搭載している。上昇モータによる紙残量レベルは4段階検出することが可能であるが、紙残量検知機能を検査しようとすると、4段のトレイについてそれぞれ4回のトレイ開閉動作を行わなければならず、作業効率が悪い。

imago Neo 603RC/753RCでは、上昇モータの紙残量検知信号を自動的に検査する専用の装置を導入し、作業の効率化と検査及び選別の精度向上を図っている。

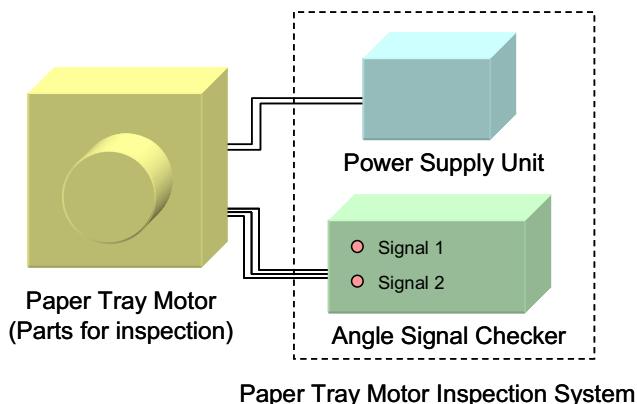


Fig.6 Paper tray motor inspection system

3-1-3 キャパシタユニットの再生

キャパシタユニットはimago Neo 753RCに搭載されている「HYBRID QSU定着」の一部で定着ヒーターに大電流を供給するための大容量蓄電デバイスである。再生後には充放電時間と静電容量の機能保証が要求される。

キャパシタユニットは再生後、新造機と同等の寿命保証が求められるが、回収されたユニットは既に市場で数年稼動しており、使用環境、使用条件などのバラツキにより一部の部品の劣化が懸念される。

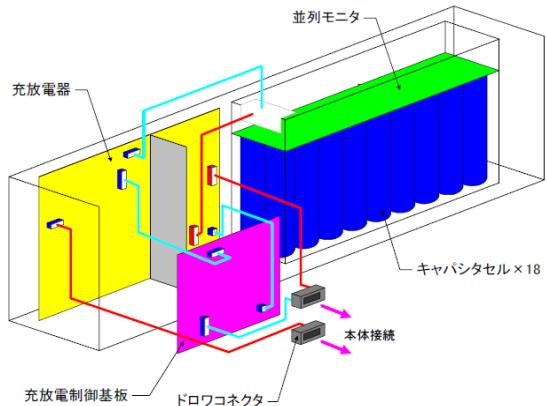


Fig.7 Capacitor power supply unit.

回収品の測定結果より、劣化の見られた部品を抽出し、その部品を新品交換する事により、再生後も新品同等の機能・寿命保証することを可能とした。

また、再生品の保証手段としては専用の計測器を用いて、充放電時間及び静電容量を測定し、新造機製造時点と同等の基準で検査を行っている。

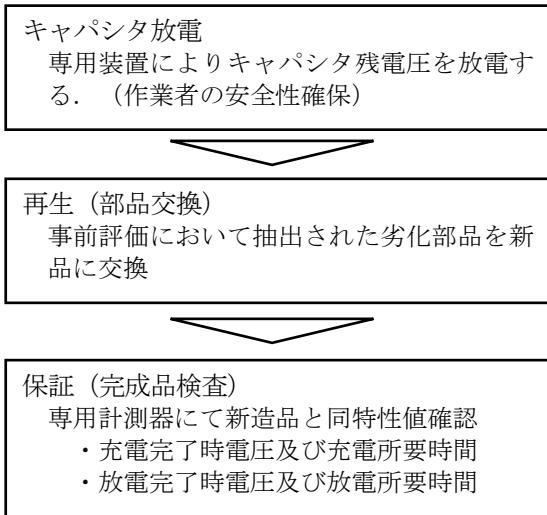


Fig.8 Reconditioning process flow of capacitor power supply unit.

3-2 部品診断技術

imago Neo 603RC/753RCの再生工程では、機能性評価を応用した再使用部品診断を行っている。

電磁クラッチは一台の複写機に複数個使用されてい

る部品であり、単価も比較的高い部品である。従来の再生機においては、回収された複写機に搭載されていた電磁クラッチ（以下回収電磁クラッチ）の品質を診断する技術が無かったことから、再生する際に全数新品交換を行っていた。

imago Neo 603RC/753RCにおいて、環境負荷低減および部品コスト低減を目的として回収電磁クラッチの診断技術を開発した。

回収電磁クラッチの診断は、回収電磁クラッチの機能性評価により得られたSN比（機能の安定性）と静摩擦トルクに相関があることから、再生工程において回収電磁クラッチの静摩擦トルクを測定し、再使用可否を判断している。

この技術により再生機の品質を確保しながらも、従来機種では部品を新品交換されることによって発生していた環境負荷や部品コストを削減することが可能となつた。

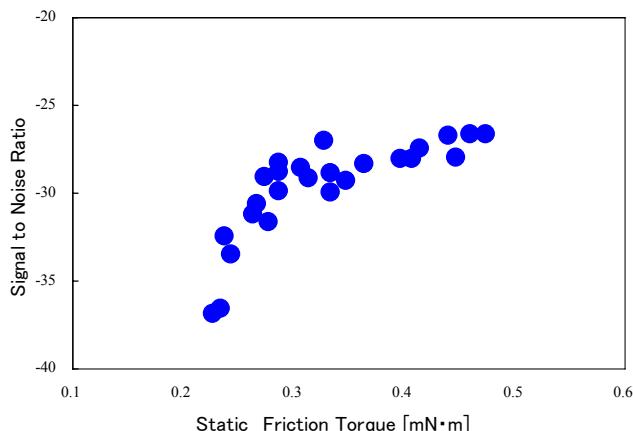


Fig.9 Correlation between static friction to signal to noise ratio of used electro-magnetic clutch.

3-3 回収機の再資源化処理

ところで、これまでの説明のような再生機に活用されなかつた回収機は、マテリアルリサイクルやエネルギーリカバリといった再資源化処理に回される。そして、この再資源化処理は、当社が外部委託した全国10箇所のリサイクルセンターと呼ばれる施設にて実施される。

当社は再資源化率や処理結果報告の義務等、機種間共通の基本的達成要件については処理要求基準書という形でまとめ、リサイクルセンターに提出している。しかし、機種固有の条件が発生するような場合は別途情報発信することにしている。

特にimago Neo 753は、従来機と異なりキャパシタを搭載しているため、リサイクルセンターでの作業時の安全に対する注意が必要となっている。

すなわち、当社が目標とする再資源化率を達成するためには、キャパシタをさらに分解し、鉄やアルミといった素材単位に分別することが必須条件となる。一方で、キャパシタは基本的に電源が入っていない回収機においても、感電や短絡の注意を要するユニットである。

そこで、キャパシタの再資源化処理に対しては、まずリサイクルセンター内ではキャパシタ単位で一次保管し、蓄電電圧が一定レベルまで降下するまで分解には着手してはいけないこととした。さらに、二重三重の安全措置として、キャパシタ分解に着手する場合の作業者の安全眼鏡・手袋の着用を義務化、更にはキャパシタ内部構造における感電・短絡の要注意箇所を明確にした。（fig.10参照）

以上のように、製品再生と再資源化処理が一体となって進めることにより、EPR（拡大生産者責任）を満足する再生機を開発することが可能になっていると言える。



Fig.10 The document for disassembling a capacitor unit safely.

4. 環境負荷削減効果

再生機の環境負荷削減効果を定量的に評価するためLCA（ライフサイクルアセスメント）を実施している。LCAとは原料採取から製造、輸送、製品使用、再資源といった製品ライフサイクル全体わたる資源及びエネルギー使用量、廃棄物排出量から、環境負荷を包括的に評価する手法である。

Fig.11, 12に新造機imago Neo 753及び再生機imago Neo 753RCの製造時及びライフサイクル全体で排出されるCO₂を示す。上記結果より、再生機は新造機に比較してライフサイクル全体で約28%，製造時にいたっては約95%ものCO₂発生を抑制することが示された。再生機のCO₂削減効果が大きいのは、製品ライフサイ

クルでCO₂発生量の大きい素材採掘、材料製造、部品加工といった工程が、平均88%もの部品を再使用することで大幅に省略できたことによるものである。

LCAの結果から再生機を生産することにより廃棄物削減、省資源だけでなく、大幅なCO₂排出量を抑制できることが証明された。

5. おわりに

1999年から発売開始された再生機は、2006年には年間万台販売を達成した。このことは数多くのお客様が再生機の品質への信頼を頂いたことと、再生機が環境負荷削減に貢献できるという趣旨に賛同頂いた結果であると考えている。この場を借りて再生機に理解を頂いたすべての方にお礼を申し上げたい。

今後imago Neo 603RC/753RCシリーズが地球環境保全とお客様へのお役立ちに少しでも貢献できることを願っている。

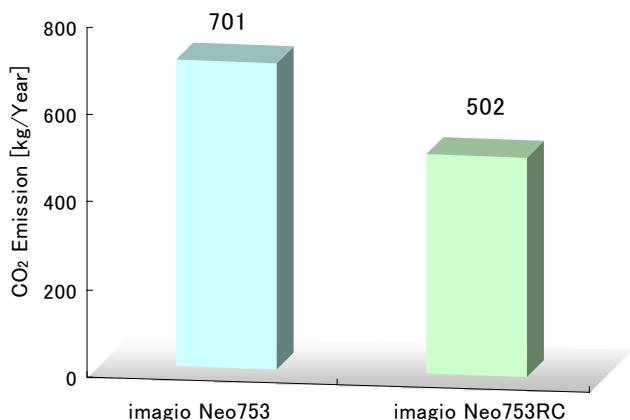


Fig.11 CO₂ emission through the life cycle of imago Neo 753 and 753RC.

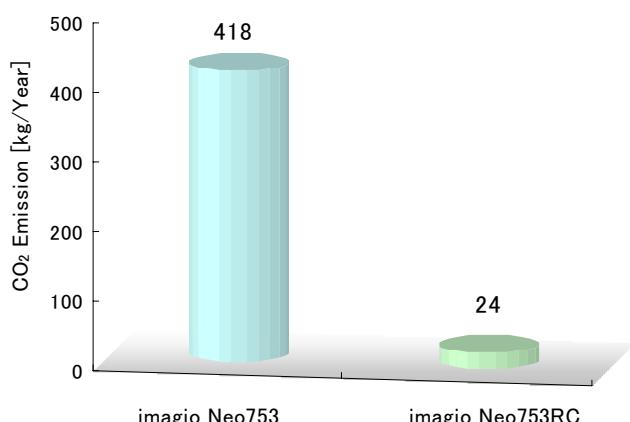


Fig.12 CO₂ emission in product process of imago Neo 753 and 753RC.

高速デジタルフルカラープリンター RICOH Pro C900

High Speed Digital Full Color Printer RICOH Pro C900

佐藤 直基*	宗安 隆行**	神谷 拓郎**	藤沼 善隆***	北嶋 良一****
Naoki SATO	Takayuki MUNEYASU	Takuroh KAMIYA	Yoshitaka FUJINUMA	Ryouichi KITAJIMA
岡本 政己***	杉山 敏弘*****	柏原 裕*	大朏 和俊*	真間 孝*
Masami OKAMOTO	Toshihiro SUGIYAMA	Yutaka KASHIWABARA	Kazutoshi OHTSUKI	Takashi MAMA

要 旨

Pro C900は、プロダクションプリント市場をターゲットに開発された高速デジタルフルカラープリンターであり、高画質、ダウンサイ징、アップタイムマックスを実現している。主な特徴は以下の通りである。

- 1) 高精度レジスト調整機構
- 2) 高画質化実現のための色合わせ技術
- 3) アップタイムマックス実現のためのメンテナンス部品の高寿命化技術
- 4) 高画質化実現のために作像プロセス技術
- 5) 厚紙等速実現のための新規定着技術

ABSTRACT

Pro C900 is a high-speed digital full color printer developed a production printing market in a target and realizes, superior image quality, down sizing, up time max. The major features of these products are as follows :

- 1) High-accuracy paper registration mechanism
- 2) Color registration technology for high image quality
- 3) New technology which enhances life of key maintenance parts for maximizing system uptime
- 4) Image processing technology for high image quality
- 5) Fusing technology to maintain rated print speed in thick paper mode

* PP事業部 CTL/SW開発センター
Controller Software Development Center, Production Business Group

** MFP事業本部 第一設計センター
1st Designing Center, MFP 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

**** 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

*****画像エンジン開発本部 プラットフォーム開発センター
Platform Development Center, Imaging Engine Development Division

1. 背景と目的

近年、商業印刷や企業内印刷市場は、印刷物の多品種・小ロット化により必要な時に必要な部数を低コストで印刷できるカラープリントオンデマンド（POD）に対するニーズが拡大している。また、チラシやダイレクトメールに可変データを印刷して訴求力を高める「バリアブル印刷」へのニーズも高まっている。

Pro C900はプロダクション市場向けクラス最高速となるカラー/モノクロ毎分90枚（A4横送り）の高速・高生産性を実現した上でプロダクション市場で求められる高画質出力や高い安定性・信頼性を実現し、新たなカラー出力ニーズを開拓する。

2. 製品の概要

Pro C900の基本製品仕様を以下に示す。

Table 1 Specification of Pro C900.

本体基本仕様	
商品名	RICOH Pro C900
形式	コンソール式
方式	レーザー静電転写方式、4カラムタンドem方式
連続プリント速度	フルカラー 90ページ/分(A4横送り)、90ページ/分(B5横送り)、50ページ/分(A3) モノクロ 90ページ/分(A4横送り)、90ページ/分(B5横送り)、50ページ/分(A3)
ファーストプリント	フルカラー 13.5秒以下(標準トレイ1にてA4横送り印刷時) モノクロ 13.5秒以下(標準トレイ1にてA4横送り印刷時)
解像度	1,200dpi × 1,200dpi
階調	256階調
変倍率	25%~400%
用紙サイズ	トレイ1 (A4横送り) トレイ2 (A3横送り、B4縦送り、A4縦送り、A4横送り、B5縦送り、B5横送り、A5縦送り)
通紙サイズ	A5(タテ) ~ 13 × 19.2inch (330.2 × 487.7mm)
最大印字可能領域	320mm × 480mm
用紙厚	標準(本体) 60~220g/m ² (52~189kg) オプション A3LCT: 60~300g/m ² (52~257kg) A4LCT: (第3~4フレイ) 60~216g/m ² (52~185kg)、(第5フレイ) 60~163g/m ² (52~140kg) 手差し: 60~220g/m ² (52~185kg)
給紙量	標準(本体) 2,200枚(タンデム) × 1段+550枚 × 1段 オプション A3LCT: 2,200枚 × 2段(2連結可) A4LCT: 1,100枚 × 2段+2,800枚 × 1段 手差し: 550枚 × 1段
最大給紙量	12,100枚(A3LCT × 2連結+手差しフレイ装着時)
排紙量(フィニッシャ装着時)	シフトトレイ: 3,000枚、ブルーフトレイ: 500枚 (フィニッシャ装着時)
両面印刷	標準
電源	単相 200V、30A、50/60Hz
消費電力	最大: 5,500W以下(フルオプションモデル時)
ウォームアップタイム	420秒以下
本体寸法(幅×奥×高さ)	1,250mm × 1,100mm × 1,450mm
本体重量	700kg
推奨使用環境	温度10~32°C 湿度15~80%

3. 技術の特徴

3-1 高精度レジスト調整機構

本機ではリコー独自のレジスト調整機構を採用し、印刷位置精度、スキー精度を従来機比1/2以下の高精度を達成している。

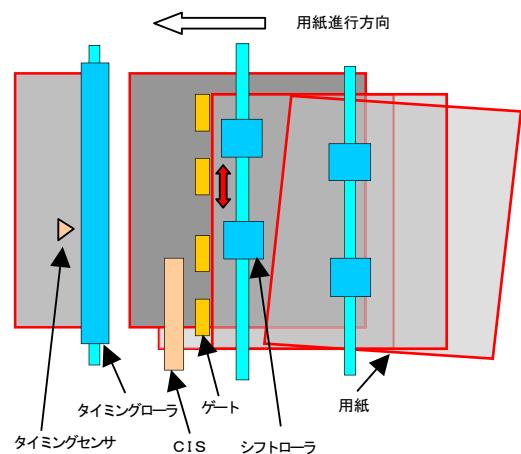


Fig.1 Paper registration mechanism.

3-1-1 スキー補正機構

搬送パス上に設けられたゲートに用紙先端部を均一に突き当ててスキー補正を行う。従来のローラニップ突き当て方式と異なり、フラットな面で用紙先端を揃えるため高精度なスキー補正が可能となる。

3-1-2 横レジスト補正機構

スキー補正完了後、ゲートは搬送パス面から退避し、用紙はシフトローラにより搬送される。センサによって検出された用紙端部位置からずれ量を算出し、横レジストの補正量を決定する。用紙は算出された補正量分横移動することにより高精度に画像位置を合わせることが可能となる。

3-1-3 縦レジスト補正機構

縦レジストはゲートにて一旦用紙を停止させ用紙送りのタイミングを合わせて再搬送する方式を採用している。さらに用紙の停止、再搬送時に生じるわずかな

用紙送り誤差をタイミングセンサで検出し、その誤差分を補正し、高精度な縦レジスト補正を達成している。

3-2 高画質化実現のためのカラーレジストレーション技術

カラープリンターにおいて、カラーレジストレーション精度は高画質な印刷を得るために重要な性能である。近年のタンデム式フルカラープリンターは、

- 1) 光学系（書き込み系）の高精度化と変動補正
 - 2) 転写ベルト上に転写された各色マークをセンシングして露光タイミングを補正
 - 3) 感光体～転写ベルトの高精度駆動と変動補正
- というカラーレジストレーション技術を搭載する。

本機では、特に変動要因の大きい

「感光体～転写ベルトの高精度駆動と変動補正」を高度に実現するため、位相制御に有利なステッピングモータのデジタル制御技術を軸として新規技術を開発した。

3-2-1 感光体ドラム駆動制御

感光体ドラムはモータから樹脂製ギヤを介してドラム回転軸を駆動する。樹脂製ギヤは成型時に生ずる収縮ムラにより厳密な円形には成り得ず、回転ムラを発生させる。本機ではエンコーダによりドラム一回転の回転ムラを読み取り、その逆位相のプロファイルをモータに入力し回転ムラを打ち消す。更に、経時的な状態変化に対応するため、動作中は定期的にエンコーダ読みを行いプロファイルを逐次補正する。

3-2-2 中間転写ベルト駆動制御

中間転写ベルト方式は、ベルト寄りと送りムラという変動要因を持つため印刷の主走査と副走査両方に影響を及ぼす。本機では、両者を制御することにより印刷画質を安定させている。構成概略をFig.2に示す。

主走査を安定させるため、ベルトの寄り制御を行う。センサによりベルトの位置を検出し、寄り調整モータを駆動しカムとレバーを介して寄り制御ローラを微小に傾け、ベルトの寄りの状態を変化させて狙いの位置に安定させる。これにより、ベルト寄りに起因するカ

ラーレジストレーション誤差を30 μm 以下としている。

副走査は、エンコーダ1で駆動ローラの速度情報を、エンコーダ2でその他の変動成分を読み取り、全体の速度変動を算出し、逆位相のプロファイルを作り駆動モータの入力値の補正值として反映する。以上の各制御により、カラーレジストレーションは総合で80 μm 以下を実現した。

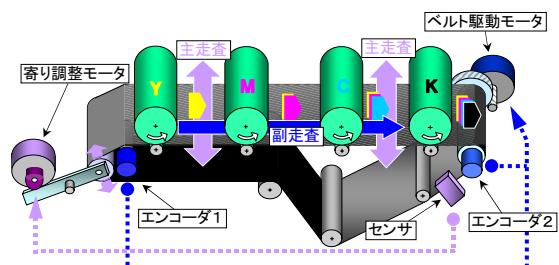


Fig.2 Transfer belt position control system

3-3 アップタイムマックス実現のためのメンテナンス部品の高寿命化技術

3-3-1 新規トナー補給方式による現像剤長寿命化

現像剤の寿命は、画像面積率により帶電性能の変化となって現れる。低画像モードではトナーQ/Mは上昇し、高画像モードでは低下する。そこで、新規トナー補給方式を開発し、従来の現像システムの6倍以上の現像剤寿命を達成した。

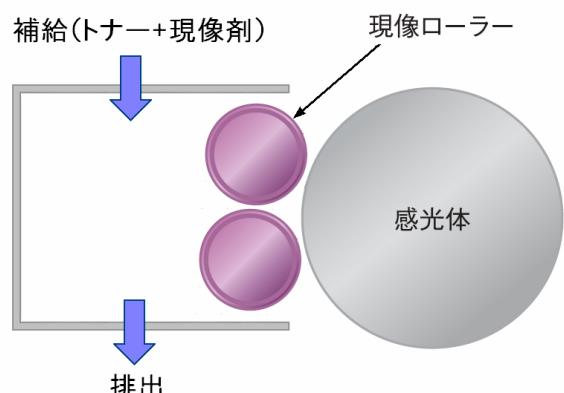


Fig.3 Newly developed toner supplying system

3-3-2 新規感光体による長寿命化の実現

新規感光体の採用により、感光体寿命が飛躍的に向上した。自社開発新規材料によって感光体の電気的特性と繰返し使用による摩耗耐久性を両立させたOL(Overcoat Layer)と静電的安定性を高めた改良IL(Intermediate Layer)の組み合わせにより、機械的な摩耗耐久と電気的安定性のバランスを実現し、感光体の長寿命化を達成した。

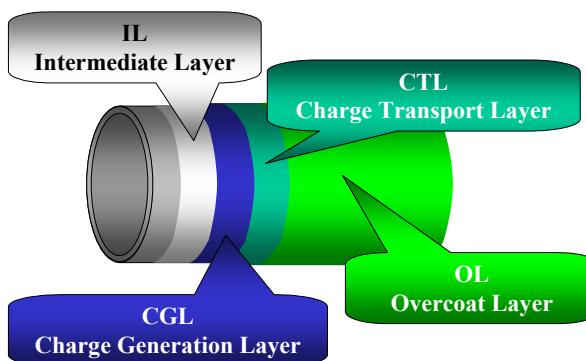


Fig.4 Structure of new OPC.

3-4 高画質化実現のために作像プロセス技術

3-4-1 新規現像システム

本製品では、画像濃度の高安定性を達成するための新規現像システムを搭載した。

このシステムは、現像ローラ長手方向でのトナー濃度偏差を低減し、かつ補給されたトナーの現像剤中の分散性を向上させる技術である。この技術により、画像内での濃度偏差と、リピート出力による濃度の変動が従来機と比較して飛躍的に向上した。

3-4-2 画像濃度調整機構

トナーセンサにより、中間転写ベルト上のトナー量を常に監視。リアルタイムにトナー補給制御へフィードバックすることで安定したカラー濃度を実現。また、電位センサにより感光体の感度変化を検知し、レーザー光量へフィードバックすることにより最大濃度だけでなく、中間調濃度の安定性をも高め、安定した色

再現を達成している。

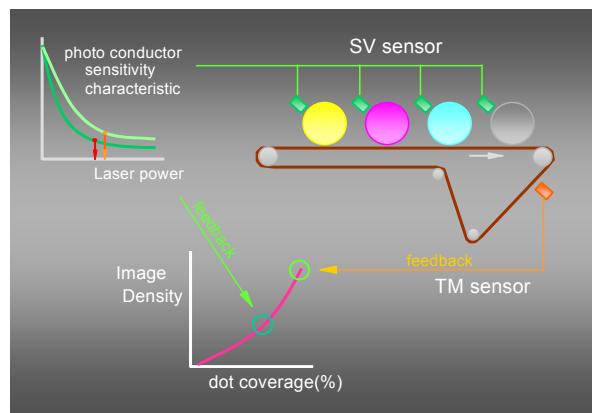


Fig.5 Image Density control system

3-5 厚紙等速実現のための新規定着技術

本機では、低熱量での定着が可能なトナーの採用とニップ幅可変機構により、厚紙の定着性と薄紙の搬送性の両立を実現し、紙厚60g/m²~300g/m²の範囲の等速化(90ppm)を達成した。ニップ幅可変機構は、加圧ローラ下のニップ幅形成カムを回転、所定位置に停止することにより、ニップ幅を各紙厚に対応して可変させる。厚紙はニップ幅を広くすることにより定着性を確保し、薄紙はニップ幅を狭くすることにより用紙にかかるストレスを緩和し、シワを低減する。

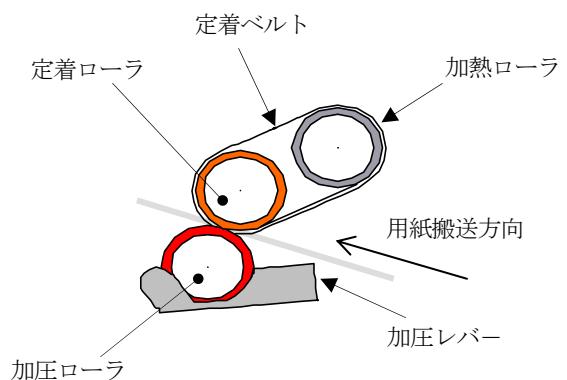


Fig.6 Overview of fusing unit

4. 今後の展開

今後は本機の開発において蓄積された多くの技術を活かして、更なる高生産性、高信頼性、高画質化を目指し、プロダクション市場における商品価値を高めていく。

高速フルカラー複合機 imagio MP C7500/C6000シリーズ

High Speed Full-color MFP, imagio MP C7500/C6000 series

吉田 健* 霜田 直人** 朝田 賢一郎*** 金子 良雄**** 井上 暢夫****
Ken YOSHIDA Naohito SHIMOTA Kenichiro ASADA Yoshio KANEKO Nobuo INOUE
芦川 良久**** 井上 祐樹*****
Yoshihisa ASHIKAWA Yuuki INOUE

要　　旨

imadio MP C7500/C6000シリーズは、高画質、高安定性、高生産性を追求し、オフィス及びライトプロダクション市場双方からの要求に対応したデジタルフルカラー複合機である。

主な特徴は、以下の通りである。

- 1) 高画質化を達成する、新規小粒径重合トナー
- 2) 高画質・高安定性を実現する、新規現像システム
- 3) 最高レベルの位置合わせ精度を達成する、高精度位置合わせ技術
- 4) ウォームアップタイムの短縮、連続出力スピードの高速化、省エネルギー化を実現する、低温定着トナーと定着機構の改善
- 5) ライトプロダクション市場で通用する用紙対応力を実現する、定着技術と給紙技術
- 6) ユーザビリティを配慮した操作パネル
- 7) アプライアンス性の高い給紙トレイ
- 8) クラストップレベルのTEC値を実現する、省エネ技術



ABSTRACT

The imagio MP C7500/C6000 series are digital color MFP while at the same time realizing superior image quality, stability, productivity corresponding to demands from both of office and light production market.

The major features of this product include:

1. A new type of small particle size polymerization toner provides high image quality.
2. A new type of development system provides high image quality and stability.
3. The most accurate color image positioning is made possible by new auto image positioning technology.
4. Low temperature fusing toner and improvement of a fuser provide shortening of warm-up time, speedup of continuous output speed, saving energy.
5. Fusing and paper supplying technology which improves paper compliance for a light production market.
6. A large, quick response LCD for more simplified operations.
7. Paper feed trays that feature user-friendly design which enable easier paper loading.
8. Energy saving technology to realize class top-level TEC value.

* 画像エンジン開発本部 プラットフォーム開発センター
Platform Development Center, Imaging Engine 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

*** PP事業部 CTL/SW開発センター
Controller/Software Development Center, Production Printing Business Group

**** MFP事業本部 第一設計センター
1st Designing Center, MFP Business Group

***** コントローラ開発本部 GW開発センター
GW Development Center, Controller Development Division

1. 背景と目的

近年、各社よりカラー印刷の高画質と高生産性に重点を置いた、デジタルフルカラー複合機の新製品が相次いで発売され、市場としても急速な拡大を続けている。それに対応して、各社とも新規技術の開発と導入が行われており、これらの技術は、市場をオフィス市場からプロダクション市場へと展開する契機となっている。

imago MP C7500/C6000シリーズは、オフィス市場、ライトプロダクション市場双方からの要求に応えるべく、デジタルフルカラー複合機分野におけるリコーの技術を集結し、高画質、高安定性、高生産性を飛躍的に向上させた新世代のデジタルカラー複合機である。

本稿では、imago MP C7500/C6000シリーズで達成した高画質化技術、安定性向上技術、高速化技術、用紙対応性向上技術、アプライアンス性向上機能、省エネ技術、セキュリティ機能について記載する。

2. 製品の概要

imago MP C7500/C6000シリーズの主な仕様をTable 1に示す。

Table 1 Specification of imago MP C7500/C6000 series.

項目	仕様	
	imago MP C6000	imago MP C7500
形式	コンソール式	
複写サイズ	定形：A3～はがき、12×18～5½×8½ 不定形：幅100～305mm、長さ：148～457.2mm	
用紙紙厚	給紙トレイ：52.3g/m ² ～216g/m ² (45～185kg) 手差し給紙：52.3g/m ² ～300g/m ² (45～258kg) 両面時：64g/m ² ～163g/m ² (55～140kg)	
解像度	読み取時：600dpi×600dpi 書き込時：600dpi×600dpi	
階調	256階調	
ウォームアップタイム	100秒以下 (室温20°C)	90秒以下 (室温20°C)
ファーストコピータイム	モノクロ：5.7秒 フルカラー：7.5秒	モノクロ：4.9秒 フルカラー：6.4秒
連続複写速度 (毎分)	A3 B4 A4 B5	モノクロ：32枚 フルカラー：27枚 モノクロ：37枚 フルカラー：30枚 モノクロ：60枚 フルカラー：50枚 モノクロ：66枚 フルカラー：54枚
	モノクロ：38枚 フルカラー：32枚 モノクロ：49枚 フルカラー：37枚 モノクロ：75枚 フルカラー：60枚 モノクロ：80枚 フルカラー：66枚	
複写倍率	25～400%	
給紙方式	標準 オプション	550枚×4段+100枚 (手差し) リコ-PPCトレイ RT39：4,000枚 リコ-PPCトレイ RT39：4,000枚 A3LCT RT4000：2,000枚
最大複写枚数	9,999枚	
電源	AC100V、15A、50/60Hz共通	AC100V、20A、50/60Hz共通 (100V15A電源を2個使用)
最大消費電力	1.5kW以下	2.0kW以下
大きさ	750×850×1,230mm (ADF含む)	
重量	298kg	

3. 技術の特徴

3-1 高画質・高安定性

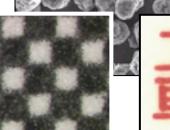
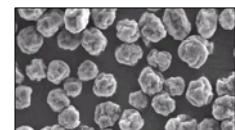
3-1-1 新カラーPxPトナー

imago MP C7500/C6000シリーズでは、高画質、高安定性を高速プリントシステムで達成する為に、第2世代のカラーPxPトナーを開発し搭載した。カラートナーとしては世界最小のトナー粒径 (MP C7500/C6000発売時点) で、且つ、新規な高着色顔料を採用する事により、第1世代のカラーPxPトナーよりも、更に均一で滑らかなドット再現と鮮やかなカラー画像を実現した。

imago Neo C600 (以下、従来機と記す) の粉碎トナーと比較すると、文字周りのチリが少なく、均一なトナー層を形成しており、文字イメージを忠実に再現していることがわかる (Fig.1)。

また、新規形状制御技術により、クリーニングし難い小粒径トナーであっても、第1世代のカラーPxPトナーより高速プリント時のクリーニング性能を向上させる事が出来た。

新カラーPxPトナー



従来トナー

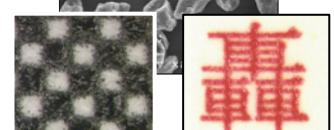
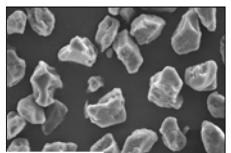


Fig.1 Comparison of New color PxP toner and conventional toner.

3-1-2 新規現像システム

本製品では、画像濃度の高安定性を達成するための新規現像システムを搭載した。

このシステムは、現像ローラ長手方向でのトナー濃度偏差を低減し、かつ補給されたトナーの現像剤中の

分散性を向上させる技術である。この技術により、画像内での濃度偏差と、リピート出力による濃度の変動が従来機と比較して飛躍的に向上した。

3-1-3 駆動系・駆動制御

下記に紹介する色ずれ（版ずれ）防止のための高精度位置合わせ技術、及び、バンディング低減技術を新規に開発・搭載し、高画質化を達成した。

(1) 高精度位置合せ技術

従来機で搭載した、中間転写ベルトの走行安定のためのベルトスケールによるフィードバック制御駆動に、更なる高精度化をはかった。

(2) バンディング低減技術

本製品では、新規のジョイントを開発し搭載することにより、ギヤの振動を排除し、バンディングの発生のない良好な画像を提供した。

3-1-4 画像処理技術

新開発の画像処理ASICの採用で豊かな階調性のある画像処理をおこなっている。

さらにリコー独自の画像処理技術「DT（Dither amplitude Threshold error diffusion）処理」により、読み取った画像の文字と写真を分離し、文字は高解像でくっきり、写真是滑らかで階調性豊かに、バランスの取れた高画質を実現している。

特にシャドー部の色再現性の向上を目的とし、墨処理方式の最適化、及び総量規制方式の最適化を実施した。結果、色再現領域が拡大し（従来比105%）、色再現性の向上のみならず、付随的に滑らかな階調性の実現など、高画質化を実現した。



Fig.2 Image processing ASIC.

3-2 高生産性

3-2-1 低温定着トナーと定着機構の改善

本製品では、低温定着が可能な新カラーPxPトナーの採用と、定着機構の改善により、ウォームアップ時間がMP C7500では90秒以下、MP C6000では100秒以下を実現し、従来機と比較しFig.3のように約1/5に時間短縮した。

定着機構の改善は、定着ローラの素材を従来機のゴムからスポンジに変更することにより、ニップ幅拡大による定着温度の低減及び、大量出力時の温度低下を軽減させたことと、従来機より加熱ローラを薄肉化して熱効率を高め、昇温時間の短縮を行ったことにより実現した。

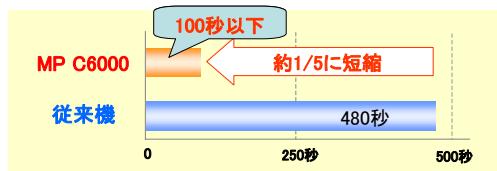


Fig.3 Comparison of warming-up time.

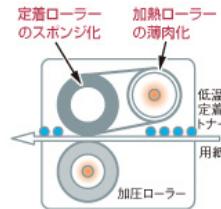


Fig.4 Overview of fusing unit.

3-2-2 画質調整時間

一般的に、カラー複合機では画質維持のために各種調整が入る。高い生産性の確保という観点からこの調整時間の短縮は重要であり、市場からの要望も多い。

本製品では、前述の現像システムを始めとする作像エンジンの改善により、この調整時間、及び動作頻度を削減することができ、生産性と安定した高画質の両立を実現した。

尚、調整時間はTable 2のように従来機の約1/3に削減することができた。

Table 2 Comparison of adjustment time.

	MP C 7500	MP C 6000	Neo C600
カラー調整時間	17秒以下	20秒以下	55秒以下

3-2-3 スキャンスピードの向上

新たにカラー4チャンネルCCDを採用することにより、読み取り品質と速度を向上した。

ARDF（自動両面反転原稿送り装置）と組み合わせることにより、白黒：81ページ／分、カラー：69ページ／分の高速スキャンを実現した。

※A4ヨコ、200dpi時

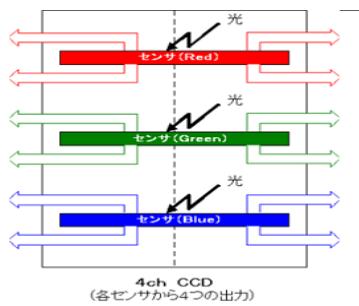


Fig.5 View of 4ch CCD.

3-3 用紙対応力

3-3-1 定着機構の改善

ライトプロダクション市場では様々な用紙が使われるため、用紙対応力の向上が求められる。

本製品では、厚紙の微小光沢ムラ画像対応と、機械動作速度種類を増やすことによる設定定着温度の安定化を行い、300g/m²までの全紙厚範囲での高画質出力を可能にした。

3-3-2 給紙・搬送性の向上

本製品では、ライトプロダクション市場でニーズの高い厚紙や塗工紙に対応する給紙装置を搭載した。

最大300g/m²の厚紙まで給紙可能な手差しトレイと、用紙同士の密着により重送や紙詰まりが発生し易い塗工紙に対してエアーアシスト（吹付け）機能を備えたオプション大量給紙トレイを開発し、搭載した。エアーアシスト機能とは、ファンで風を用紙に吹付けることで、湿気などによる用紙の密着を軽減する技術である。

オプション大量給紙トレイはハガキからA3ノビサイズ（12×18インチ）まで最大2000枚積載可能とし、最大300g/m²の厚紙まで給紙可能とした。

以上によりカードや台紙、カタログやパンフレットなど様々な用紙に印刷可能となった。

本体給紙トレイも従来機よりも約1.7倍となる216g/m²の厚紙まで対応し、自動両面は約1.3倍となる163g/m²の厚紙まで搬送できるようになり、用紙対応力が向上した。

3-4 アプライアンス

3-4-1 操作パネル

幅広いお客様に快適にお使いいただけるカラー複合機となるよう、ユーザビリティの向上、アクセシビリティ対応に取り組んだ。

本製品では、操作パネルのLEDの発光色を、ほとんど全ての色弱の方が判別できるように選定するとともに、色に頼らない表示を実現し、カラーユニバーサルデザイン認証を取得した。

また、操作パネルは8.5インチのカラーTFT、38.4万画素の高精細液晶を採用し、操作画面の視認性を従来機に比べ大幅に向上させた。

さらに、トナー交換、紙詰まりなどの処理をアニメーション表示することにより判りやすい操作を可能とした。



Fig.6 Operational panel.

3-4-2 紙トレイ

順手でも逆手でもアクセス可能な取手形状を採用し、用紙補給時の負担を軽減した。

また、紙トレイのバックフェンスの操作性を改善し、詳しい操作を知らなくても自然に操作ができるようにした。



Fig.7 Paper tray.

3-5 省エネルギー

省エネ技術においては、下記に紹介する新規技術搭載と、3-2-1で技術紹介されている低温定着トナーと定着機構の改善により、従来機に対して大幅にウォームアップ時間短縮・消費電力低減ができ、世界基準のエナジースター指標で業界クラストップレベルを達成した（Fig.8）。

3-5-1 エンジン制御の高速起動化

省エネ復帰監視部からエンジン制御部に復帰要因の情報を直接通知する、立上げモード通知機能を搭載している。この機能により、エンジン制御部が直ちに各復帰要因に応じた起動シーケンスを開始でき、エンジン制御の起動時間短縮を実現した。

3-5-2 コントローラ制御の高速起動・低電力化

コントローラ制御部に、Suspend To RAM機能を搭載している。コントローラ制御の起動時間短縮と、省エネモードの消費電力低減の両立を実現した。

3-5-3 電力配分の最適化

各負荷変動に応じ、定着部への供給電力をフレキシブルに可変できる電力制御機能を搭載している。3-5-1

で技術紹介したエンジン制御の高速起動化と合わせて、ウォームアップ時間短縮に大きく貢献している。

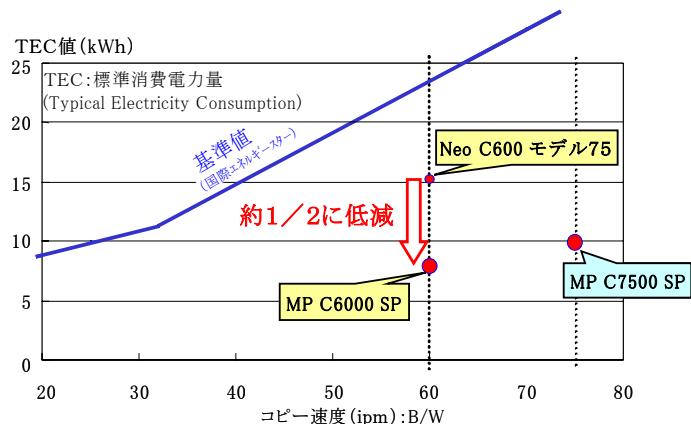


Fig.8 Relation between copy speed and TEC.

3-6 セキュリティ機能

コピー、プリンター、スキャナー、ファックス、ドキュメントボックスといったそれぞれの機能について、登録されたユーザーごとに利用制限を行うことができる。

また、8桁までの数字を使ったユーザーコードによる認証に加え、ユーザー名とパスワードを使ったハイレベルなユーザー認証システムを搭載している。

ICカードによる個人認証システムにより印刷物の置き忘れによる情報漏洩や、通信データの暗号化によりネットワーク情報の盗み見を防いでいる。

更に、HDD残存データ消去や暗号化にも対応し、多様なニーズに対応している。

4. 今後の展開

imago MP C7500/C6000シリーズは発売以来、国内外ともに好調な販売実績を維持しており、安定した稼動品質がオフィスのみならずプロダクション市場のお客様にも好評を得ている。

今後は、本機の開発において蓄積された多くの技術を発展させ、更なる高画質、高安定性、高生産性を追求すると共に、アプライアンス、ユーザビリティの面

でも更に充実した、顧客起点の魅力ある商品の開発を進めていく。

最後に、本機の開発、商品化にあたり、関連する多くの方々にご指導、ご支援を頂きましたことを深く感謝致します。

青色レーザー光ディスク用システム電源IC RP902K

System Power Supply Management IC for Blue Laser Optical Disc Drive, RP902K

福島 正展* 石坂 保弘** 萩野 浩一*** 山田 真一郎*

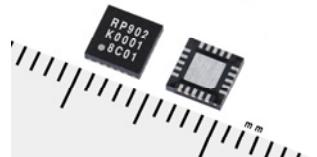
Masanobu FUKUSHIMA Yasuhiro ISHIZAKA Koichi HAGINO Shinichiro YAMADA

古瀬 勝久** 室田 俊也**
Katsuhisa FURUSE Toshiya MUROTA

要　　旨

RP902Kは、青色レーザーを使用した光ディスクドライブ用に最適化したシステム電源である。

光ディスクのD S P (Digital Servo Processor) コア用電源に降圧コンバータ、アナログとI O用電源に降圧コンバータ、レーザーダイオードドライバー用に、動作中に出力電圧を可変できる昇圧コンバータ、入力電圧を監視する電圧検出器、更に立上げシーケンスやマルチ電源で影響が大きくなるノイズを削減するデジタル制御回路を集積した。小型PKG、高効率、安定動作を実現したため、光ディスクシステムの電源を、小面積、低消費電力で、容易に設計可能である。本稿では、RP902Kの製品の概要、達成したエコ関連技術、低ノイズのための技術、昇圧ダイナミック可変技術、その他の技術について記載する。



ABSTRACT

The RP902K is a power management IC optimized for optical disc drive using blue laser diode. It integrates a step-down DCDC converter for DSP core, a step-down DCDC converter for analog and I O circuits, a step-up DCDC converter which has the function of changing output dynamically for laser diode driver, a voltage detector to monitor input voltage, and digital circuits which control "power on sequence" and decrease noise, when more than two DCDC converters operate simultaneously.

The RP902K is mounted in small package, has high efficiency, and stable operation as features, so it is easy to design power supply of optical disc drive, and then the system achieves small size and low power consumption. This paper explains the technology about ecology, noise suppression, and changing output dynamically.

* 電子デバイスカンパニー 第二製品部

2nd Business Section, Electronic Devices Company

** 電子デバイスカンパニー 画像LSI開発センター

Imaging System LSI Development Center, Electronic Devices Company

*** 電子デバイスカンパニー 第三製品部

3rd Business Section, Electronic Devices Company

1. 背景と目的

光ディスクドライブは、赤色レーザーを使用したDVDから、より大容量の青色レーザーを使用したブルーレイディスク（BD）へ移行されており、市場も急速に拡大している。RP902Kは、BDの中で、特により低消費電力が求められるノートPC用に最適なシステム電源である。ワンチップで、BDの電源を構成でき、従来のドライブ用電源よりも高い変換効率で電源を構成できる事を目標に製品開発を行った。また青色レーザーダイオードドライバー（LDD）用の昇圧電源への要求に応えるため、電圧をダイナミックに可変できる機能を備えると共に、特にシステム電源で問題となるノイズ発生を可能な限り抑えたことにより、容易にBDシステムの電源を構成できる特徴を持つ。

本稿では、RP902Kで達成したエコ関連技術、低ノイズのための技術、昇圧ダイナミック可変技術について記載する。

2. 製品の概要

本製品は、光ディスク制御の核となるデジタルサーボプロセッサー（DSP）の内部回路用電源、アナログ回路及びIO用電源、レーザーダイオードドライバー（LDD）用電源に、計3チャネルのDCDCコンバータと入力電圧を監視する電圧検出器（VD）を備えたシステム電源である。各電源のBDシステムへの供給先をFig.1に、主な仕様をTable 1に示す。

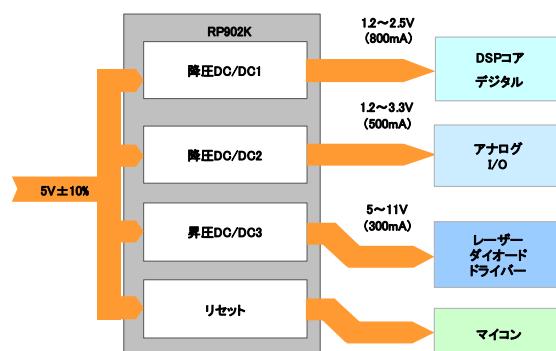


Fig.1 Power Supply Diagram of BD-Drive.

Table 1 Specification of RP902K.

タイプ	仕様			
	降圧	降圧	昇圧	VD
制御方式	PWM/VFM 自動切換	PWM	PWM	-
入力電圧範囲	4.5Vto5.5V			
出力電圧範囲	1.2Vto2.5V	1.2Vto3.3V	5.0Vto11.0V (外部設定)	3.0Vto5.0V (VD)
電圧精度	±2.0%	±2.0%	±2.0%	±2.0%
周波数	1.35MHz			
出力ドライバーTr.	内蔵			
出力電流	800mA	500mA	300mA (外付けFETで大電流対応可)	-
UVLO	機能有り(VD制御)			
ソフトスタート	機能有り(デジタル制御)			
保護回路	各DCDC保護条件成立で、全リセット型			
パッケージ	QFN0404-20			
立上げシーケンス	機能有り (DCDC1→DCDC2→DCDC3) 又は(DCDC2→DCDC1→DCDC3)			

3. 技術の特徴

3-1 エコ関連技術

3-1-1 DCDC複合化による損失削減効果

従来のBDドライブは、低消費電力が求められるノートPC用途といえども、電源系統を全てDCDCコンバータで構成するよりも、降圧DCDC、VR、昇圧DCDC等のVRを含めた単品電源で構成されている場合が多くあった。RP902Kは、全てのチャネルで高効率なDCDCコンバータを搭載し、本製品を用いることにより、低消費電力なドライブ設計が出来る。Table 2には、1チャネルだけVRを使った構成から、全てDCDCに変更した比較表で、1チャネルをDCDCに置き換えただけでも、全体のエネルギー損失は、従来比約10/17=58%に抑えられる効果を示している。

Table 2 Comparison of Efficiency & Loss.

	構成	Vout/Iout	効率	全体	損失
従来の構成	降圧DCDC	1.8V/300mA	87%	83%	17%
	VR	3.3V/200mA	66%		
RP902K	昇圧DCDC	11V/150mA	90%	90%	10%
	降圧DCDC	1.8V/300mA	87%		
	降圧DCDC	3.3V/200mA	94%		

3-1-2 リコーCMOSプロセス

RP902Kは、リコーOCS65プロセスを使用している。OCS65プロセスは、0.30umルールの微細アナログCMOSプロセスで、累計約1億個の出荷実績を持つ携帯電話用システム電源製品の製造プロセスである。モバイル用途のため、低電圧動作、低リーク、低バラツキ等の優れたトランジスタ特性に加え、容量、抵抗等の高精度なパッシブ素子を備え、低消費電力かつ高性能なアナログ回路設計が可能、またデジアナ混載にも最適なプロセスである。

本製品では、上記特性を生かした設計に加えて、基本プロセスにプラスして、トリプルウエル構造オプションを採用することで、DCDCコンバータのドライバーが発生させるノイズが、他のアナログ回路に回りこまないような低ノイズ設計が実現できている。

3-1-3 PWM/VFM自動切換えアーキテクチャ

本製品の降圧DCDC1は、電流モード、同期整流型、PWM/VFMの自動切換えアーキテクチャを採用している。

電流モードで高速な過渡応答を実現し、同期整流で外付けのダイオード部品が不要となる。また負荷電流が多い場合には、1.35MHzのPWM（Pulse Width Modulation）で動作し、システムがスタンバイ状態に準ずる負荷電流が少ない場合には、自動的にDCDCコンバータの動作周波数が下がっていくVFM（Variable Frequency Modulation）動作に切替わる事で、自己消費電力を少なくし、エネルギー変換効率を高めるアーキテクチャを採用している。

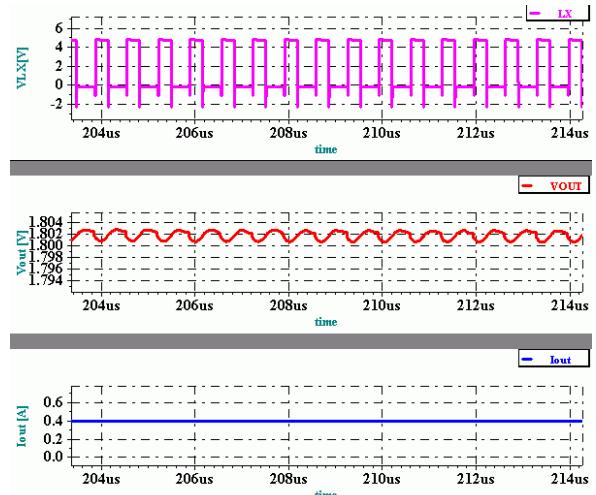


Fig.2 PWM Operation.

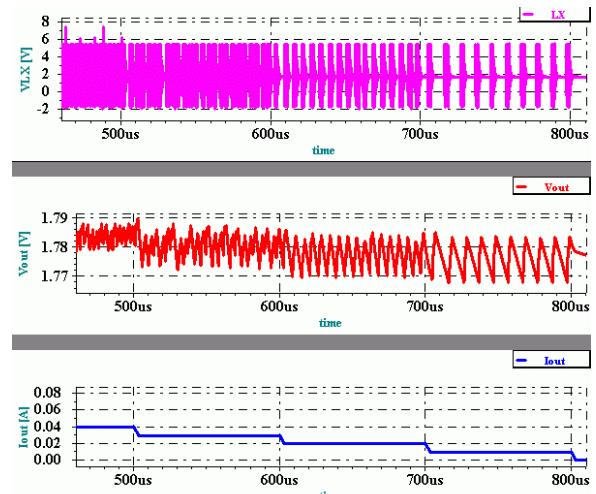


Fig.3 VFM Operation.

Fig.2とFig.3に、PWMとVFM動作のシミュレーション波形を示す（波形は、上からドライバースイッチング波形、出力電圧波形、負荷電流に相当）。

Fig.2のPWM動作は、負荷電流が多い場合で、PWMの連続動作を示しており、Fig.3のVFM動作では、下段の負荷電流が小さくなると、上段のドライバースイッチング波形の周波数が下がる様子を示している。

3-1-4 ICの小型化・低コスト化技術

ICのパッケージを小型化するに従って、放熱特性は悪くなり、発熱が問題となってくる。またシステムの高性能化に伴って、電源ICへの大電流要求に対応していくと、IC内部の熱損失が増大し、小型

パッケージ化に制約をうけることになる。本製品は、ノートPC用のドライブに使われることを想定しているため、特に小型PKGが要求される。このトレードオフ要求に対して、多くのドライブメーカに要求仕様をヒアリングし、各チャンネルに求められる最大電流を、平均的なBDドライブで最適化し製品仕様を決定した。特にLDDへの電源となる昇圧DCDCはその発熱量が大きく、現状開発中のドライブ速度迄は、内蔵ドライバーで対応し、将来のドライブ高速化に伴う大電流化に対しては、外部FET用の制御信号を出力する機能を持たせる事による割り切りでチップサイズを抑え、大電流と小型化のトレードオフ仕様の最適化を実現した。

一般的にICを集積化すると、PKGのアセンブリ、テストコストが集約され低コスト化が図れるが、本製品では複数のIC機能を複合化する際に、各々構成する回路ブロックの共用化を行っている。例えば、各DCDCコンバータ内のクロック生成回路、基準電圧・電流生成回路、ソフトスタート制御回路、保護回路などを共通で使用することで回路規模の縮小を行ない、小チップサイズ化を図り4mm×4mm角のQFN4040-20PKGに収める事ができた。

上記のように、大電流出力要求と発熱問題に合わせて対応しつつチップサイズを抑えることにより、ICの小型化・低コスト化を実現している。

3-2 低ノイズ化技術

3-2-1 立上げシーケンス&ソフトスタート

複数の電源電圧をもつシステムでは、電源供給先のLSI等の制約があり、もし制約を守れない時には、最悪の場合LSIの破壊につながるため、システム側で電源の立上げ順番の制御が必要になる。そのため従来は、電源ICの外部回路で対応していたが、立上げ時の突入電流で苦慮していた。本製品では、立上げシーケンス制御とソフトスタート制御(SS)を、VD、内部デジタル回路、及び内部DACを用いて制御し、立上げシーケンス制御と突入電流の削減を合わせて実現している。Fig.4にSSを含む立上げシーケンスを示す。この図では、各DCDCの出力電圧の波形を示しているが、

VDで、入力電圧を監視してある一定電圧に達すると、内部のデジタル回路で、時間管理を行ないながら、DACの制御信号を生成し、DCDCの基準電圧を発生させる。その際に、DACへの入力信号も、段階的に徐々に立上げることにより、一次側入力電源に急峻な負荷をかけないような制御で突入電流を削減し、かつ出力電圧にオーバーシュートとアンダーシュートの偏差が出ないようにしている。また、供給先LSIの制約が様々なため、本製品は、DCDC1とDCDC2の立上げ順番は、オプションにより変更可能に設計してある。

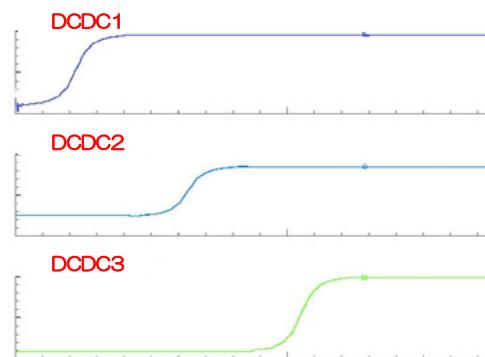


Fig.4 Power On Sequence of RP902K.

3-2-2 位相制御

複数のDCDCコンバータ動作は、各チャンネルのスイッチングの位相が重なることにより、チャネル間の干渉ノイズが発生し、主として内部電源ラインの揺らぎにより、内部回路が誤動作を起こす、もしくは外部のシステムにEMIノイズ等の問題が発生する場合がある。本製品では、Fig.5に示すように、全チャンネルで共通化した三角波発生回路(OSC)を用い、想定される入出力条件から、予めスイッチング幅を割り出し、スイッチングオン、オフの重なりを回避する制御を行うことにより、システム電源の安定動作を実現している。

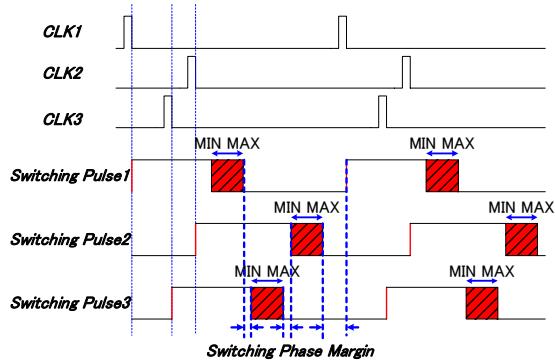


Fig.5 Phase Control of RP902K CLK.

3-3 ダイナミック可変技術

3-3-1 ダイナミック可変仕様

各ドライブメーカーが使用するレーザーダイオード及びレーザーダイオードドライバーを搭載したピックアップの制御方法はドライブメーカーのノウハウに相当し、詳細状況は不明であるが、一般的なLDDへの昇圧電源への要求事項として、Read/Write動作やDVD/BD動作等の比較的時間に余裕のある電圧可変に加え、書き込み時に温度上昇をモニタしながら電圧をコントロールし、書き込み品質確保及び、LD寿命を高める動的な電圧可変の用途が存在する、この要求実現のため、従来システムでは出力電圧をフィードバックする分圧抵抗をSWで切り替制御する。もしくは電源のフィードバック端子にDACから電圧を与えて電源の外部で制御を行っていた。本製品は、追加で外付け部品を使うことなく、7段階のダイナミックに出力を可変する機能を備えている。Table 3が、7段階の出力電圧仕様で、外部分圧抵抗で指定した100%電圧に対して、95.4%・・・72.7%の電圧をダイナミックに可変可能である。また可変する時には、定常時に流れるよりも大きな突入電流が流れる、これを回避する為に、3-2-1で記載した立上げ時に使われるSS制御機能を電圧可変時にも適用し、システムの安定動作を実現している。

Table 3 Variable Output Voltage of RP902K.

Stage	Ratio	V _{OUT3}	V _{FB3}
0	100%	11.000	1.000
1	95.4%	10.505	0.955
2	90.9%	10.000	0.909
3	86.4%	9.500	0.864
4	81.8%	9.000	0.818
5	77.3%	8.500	0.773
6	72.7%	7.997	0.727

3-3-2 外部制御方法

電源ICへの少ピン・小型PKG要求があるため、ダイナミック可変制御を行うコントロールピンは、可能な限り少ないピン数で、かつ専用ピンでなく、共通ピンとして開発する必要があった。本製品では、携帯電話用システム電源で実績のある1-Wire制御を、昇圧のイネーブル制御ピンに対して適用し、パルス幅の制約とパルスの個数で、昇圧の電圧を可変する制御方法を採用した。Fig.6に1-Wire制御のタイミング図を示す。

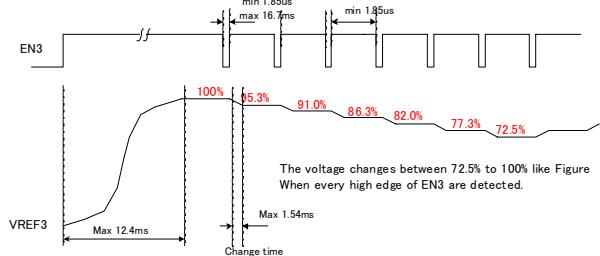


Fig.6 Timing Diagram of 1-Wire Control.

3-4 その他の技術

3-4-1 開発フロー改善

本製品開発は、設計フロー面でも新技術を適用した。

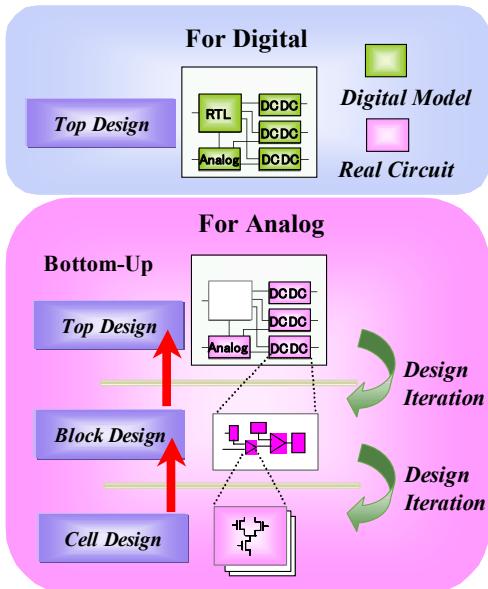


Fig.7 Traditional Design Flow.

システム電源開発において、Fig.7に示した従来の設計フローでは大きく2つの欠点がある。1つ目は、デジタル専用シミュレータとアナログ専用シミュレータを使用していたため、デジタル・アナログ相互動作では検証不足が生じ、設計不具合が発生していた。

2つ目は、小規模パートからのボトムアップでアナログ回路の設計を行っていたため、積み上げ時に仕様書との不整合が発覚し、設計反復が何度も生じていた。

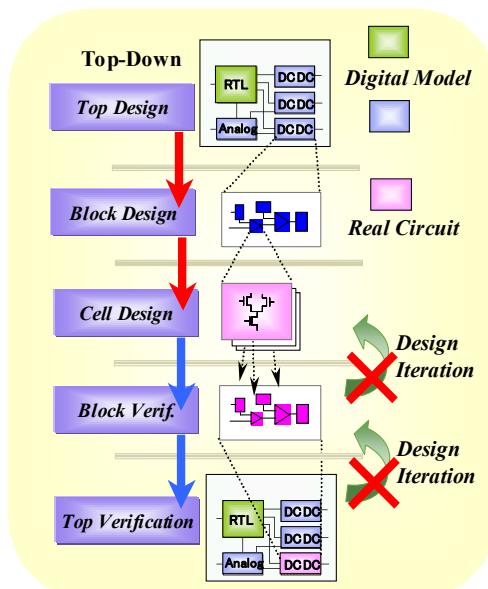


Fig.8 New Design Flow.

本製品開発では、従来の設計フローをFig.8に示す新設計フローを使い、デジタル・アナログ混載用シミュレータの適用と、独自のアナログ機能モデルを用いた上流工程からのトップダウン検証の実施、さらにそれに伴う仕様書やテスト手法の改善を試行した。このため、設計改訂項目や設計反復数が大幅に減少され、再設計に伴う無駄の削減が達成できた。

4. 今後の展開

我々の開発している電源ICのエネルギー変換効率が、機器の低消費電流化に直接影響を与え、環境改善に貢献できるため、今後も更に変換効率の高い電源ICの開発を進めていく。また本製品は、製品設計部ではなく電子デバイスカンパニー内のプロジェクト組織であるMD-PG (Multi DCDC Project Group) で開発を担当し、前述の新しい設計フローを試行した。このような改善活動は、設計期間の短縮と設計品質の向上につながり、広い意味で地球環境の改善にも貢献すると考えている。

RP902Kは、リコーが携帯電話用システム電源で培った製造プロセス、電源アーキテクチャ、設計資産を用い、いち早くBD用のシステム電源として量産化を実現した製品である。ユーザーからは、次の要求仕様として、外付け部品の更なる削減、大電流化、低電圧出力対応、ダイナミック可変の制御方式の改善要求がある。更に高速化され性能が上がる次期ドライブに向け、仕様検討を行って、次期システム電源を開発していく。

裏面にインクジェット記録機能を有した2色感熱記録材料

Multi Color Heat-sensitive Recording Paper with Inkjet Recording Property

門田 康寛* 稲葉 憲彦* 久保山 浩紀* 脇間 隆秀**
Yasuhiro KADOTA Norihiko INABA Hiroki KUBOYAMA Takahide KUTSUMA

要 旨

感熱記録材料は、その印字機構がシンプルで安価であることから、レシート・ラベル・配達用紙・タグ等、様々な市場分野に使用されている。そして、情報の視認性向上およびセキュリティを目的として、多色記録への要望も根強い。

また、市場用途の広がりに合わせて感圧記録やインクジェット記録など、他の記録方式媒体とのハイブリッド化も行なわれている。今回は、赤・黒2色での感熱記録が可能であり、裏面にインクジェット記録機能を付与した両面記録材料を紹介する。なお、本製品の主な特徴は以下の通りである。

- 1) 印加するエネルギーにより、赤・黒2色での感熱印字記録が可能（多色発色）。
- 2) 独自の高中空フィラーの採用により、高精細な画像が得られる（高精細印字可能）。
- 3) 裏面にインクジェット記録が可能であり、背反となる粉落ちが少ない。

ABSTRACT

Heat-sensitive recording material is used at many applications such as receipts, POS labels, couriers, tags, etc. because this material has advantages that can be recorded by relatively simple printing system and is low cost. And there still be big demands for multi color images of heat-sensitive recording materials to improve visibility and security level.

Recently, the market usage is expanding, and making to the hybrid with other recording method media, such as pressure-sensitive recording media and inkjet recording media, have been tried.

In this report, we introduce double side recording material which both black color and red color image can be recorded by heating process and has inkjet recording property on the back side. The main characteristics of this media are as follows.

- 1) Red and black image can be recorded (Multi Color Recording).
- 2) High resolution image (Using original high porous filler technology).
- 3) Good inkjet record image and fewer powder fall.

* サーマルメディアカンパニー 商品技術開発センター

Research & Development Center, Thermal Media Company

** 生産事業本部 OM事業部

Office Machine Production Division, Production Business Group

1. 背景と目的

感熱記録材料は、加熱により発色する感熱発色層（感熱記録層）を、紙・合成紙・樹脂フィルムなどの支持体上に形成した構造の記録材料である。

この記録方法は他の方法に比べ、現像・定着などの処理を施す必要がなく、比較的簡単な装置を用いて短時間で記録することができる上にコストが安い等の利点があり、生鮮食料品・弁当・惣菜用のPOS分野、図書・文書などの複写分野、ファクシミリなどの通信分野、券売機・レシート・領収書などの発券分野など多方面に用いられている。

感熱記録材料の使用用途が拡大するに伴い、顧客要望は多様化してきており、例えば発色特性の高感度化、発色画像の高保存化、および多色記録化等がある。その中でも多色感熱記録については、従来の単色記録と比較して、特定の情報を強調したり識別し易くすることができる等の利点があり、根強い要望となっている。

一方で、同じく近年急速にその使用用途が拡大しつつある記録様式として、インクジェット記録がある。このインクジェット記録方式はカラー化が容易であり、各一枚一枚の記録情報を変えた高速印字が可能であることから、特にオンデマンドでの記録が必要な用途において、オフセット印刷やレーザープリンターからのプロセス転換が進んでいる。

Table 1 Character of printing system (Industrial use).

	オンデマンド 対応	処理 速度	コスト	画質	運用面	判定
インクジェット 印刷	○	○ 150m/min.	○	△	○	○
レーザー プリンター	○	✗ 89m/min.	✗	○	○	△
オフセット 印刷	✗	○	✗	○	✗	✗

本報にて紹介する感熱記録材料は、赤／黒2色の感熱記録が可能であることに加え、裏面にインクジェット記録に優れたバック層を設けることにより、これらの用途にワンサプライで対応可能な機能を付与させたものである。

更に、このような付加機能を持たせることは第三者による偽造防止に寄与する。よって、金券チケット等のセキュリティを重視する用途への応用が可能である。

2. 製品概要

2-1 2色感熱記録

我々の開発した2色感熱／インクジェット両面記録材料においては、低い熱エネルギーにて発色する赤色感熱記録層と、高い熱エネルギーにて発色する黒色感熱記録層を積層させることにより、その印加エネルギーを使い分けることで赤／黒2色での記録を可能にしている。（Fig.1）

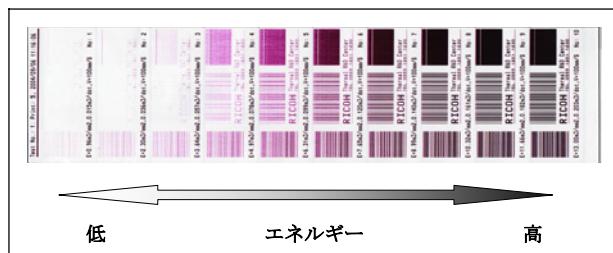


Fig.1 Change of printing image by applied energy.

2-2 高感度・高精細画像

既存の他社2色感熱記録材料と今回我々が開発した2色感熱記録材料について、それぞれ2色プリンターにて印字し、その画像を拡大して比較したものをFig.2に示した。

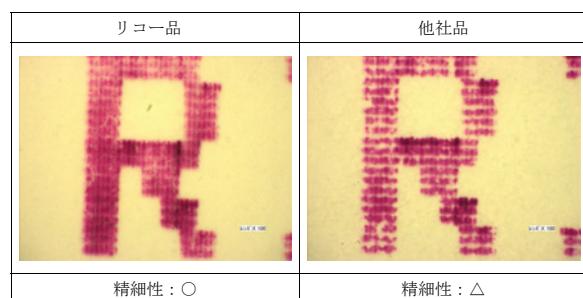


Fig.2 Resolution of printed image.

他社品に比べ、画像精細性に優れていることが分かる。

2-3 裏面インクジェット記録層

当社従来品の中でインク吸収性に優れた製品および市販のインクジェット専用紙とのインクジェット印字比較を行なった結果をFig.3に示す。今回の開発品は従来品に較べてドットの形状が安定してインクの滲みも抑えられており、ドット再現性が良く、市販のインクジェット専用紙並のインクジェット記録適正を有している。

	インクジェット専用紙	従来品	今回品
画像			
大きさ	小	大	小
形状	安定	不安定	安定
	○	×	○

Fig.3 Inkjet dot analysis.

3. 技術の特徴

3-1 2色感熱／インクジェット記録両面記録材料の開発構想について

今回、我々が開発した2色感熱記録／インクジェット記録両面記録材料においては、下記(a)(b)(c)の新しい技術を各層構成中に取り込むことにより、高保存性・高精細に優れた2色感熱記録機能と高インク吸収性に優れたインクジェット記録機能の両立を達成している。(Fig.4)

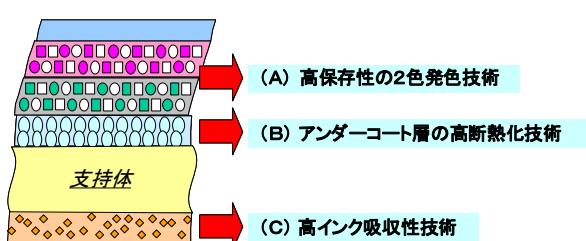


Fig.4 Design of layer conformation.

3-1-1 高保存性の2色発色技術

従来、赤色記録が可能な感熱記録材料においては画像保存性が悪く、印字した直後は赤色を示していても経時で変色し、黒っぽい画像になってしまう課題があった。特に直射日光などの光に対して、画像耐久性が弱い特性を有していた。

このような問題に対して我々は、発色材料選定において高保存特性を有する赤発色染料を採用した。これにより、従来よりも赤発色画像の耐久性を格段に向上させている。

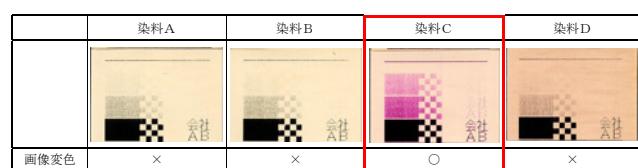


Fig.5 Red color image after Xe light resistance test.

3-1-2 アンダーコート層の高断熱化技術

高感度化および高精細化を達成するための手段として、中空率の高いアンダー層を設けることを継続的に進めてきた。

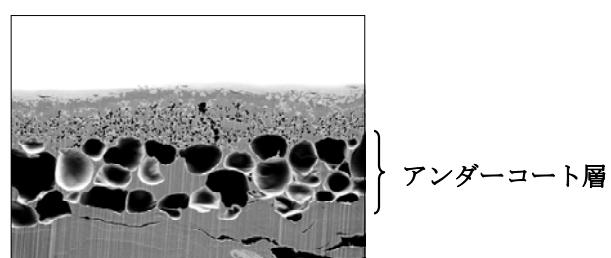


Fig.6 SEM micrograph of high porous under coating.

高中空アンダー層を用いることの利点は2つあり、一つは中空粒子による断熱効果で、印字時のサーマルヘッドからの熱エネルギーが効率的に伝わることである。この断熱効果によって与えられた熱エネルギーが無駄なく記録媒体に伝達されるため、低いエネルギーを有効的に使用でき、記録画像の高感度化につながる。

感度を上げるための手段として一般に広く知られて

いるのは、感熱記録層中に顕色剤成分または染料成分と相溶可能な増感剤を用いることで、発色開始温度を下げる事である。しかし、この増感剤を用いることは夏場の車の中など高温環境下で地肌が発色してしまう課題があった。高中空アンダーによる断熱効果では、発色材料の融点を下げることなく高感度化が図れるため、この様な背反なく感度を向上させることが可能となる。

また、高中空フィラーを用いるもう一つの利点は、プラスチック中空粒子の微妙な変形によりサーマルヘッドとの密着性が高まり、画像精細性が向上することである。特に近年では、感熱記録用途においても二次元コードが普及してきており、記録密度と画像精度の高いバーコードが要求されている。高中空アンダー層による高精細化技術は、これらの要望に応えるための手段として極めて強力なアイテムである。

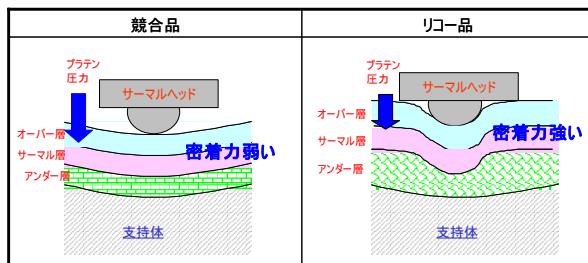


Fig.7 Image model of insulating and head fitting effect by high porous under coating.

3-1-3 インクジェット記録対応技術

通常、感熱記録材料の裏面には何も塗工層を設けないか、もしくは粘着剤等に含有される可塑剤の浸入を防止するためのバック層を設ける。このバック層塗工技術を応用して、バック層中の樹脂および無機顔料の種類や比率を調整することにより、上記のバリア機能や捺印機能など、様々な機能を付与することができる。

インクジェット記録に対応するためには通常、高吸油量の無機顔料を使用したり、樹脂に対する無機顔料比率を高めることが有効である。しかし、無機顔料の割合を増やすと顔料を樹脂により保持することができなくなるため、印刷加工等の次工程において塗布層の

欠陥（＝粉落ち）が多くなるという不具合を有していた。その結果、従来のものではFig.3の様にインクジェット記録機能が不十分であった。

今回開発した両面記録材料においては、従来の高吸油性顔料の2倍以上の吸油性を有する特殊無機顔料を採用し、処方構成の最適化をすることにより、ドット精細性およびインクの滲み防止を向上させ、更には紙粉量の低減にも成功した。（Fig.8）

	1万枚	3万枚
従来品		
今回品		

Fig.8 Evaluation of powder amount by paper cutting test.

これまで述べてきたように、今回我々が開発した2色感熱／インクジェット両面記録材料は、これまで感熱分野で培ってきた塗工技術を活用し、独自技術のプラスチック中空フィラーによる高感度・高精細技術と、高保存性2色感熱記録材料技術、およびインクジェット記録材料技術を複合させた画期的な製品である。

4. 今後の展開

これまでの技術開発の結果、高水準な2色感熱／インクジェット両面記録材料を世の中に送り出すことができ、市場におけるセキュリティ性（偽造防止性）の向上と、使用可能分野の拡大を可能にした。

今後、これらの技術をさらに発展させ、お客様要望に基づく商品開発に取り組んでいく。

編集後記

米サブプライムローンから派生した金融市場の動搖、資源高に加えて減速傾向に拍車がかかりつつある世界景気、グルジア侵攻やアフガニスタン情勢など緊張感が高まりつつある安全保障体制、身近なところでは食品の安全性や食糧の高騰と、悪い話題に関しては枚挙に暇がない状況になっています。

このような状況下にあって、企業は自社の持続可能な競争優位を創り出す『戦略的CSR活動』が求められています。気候変動危機に対して行動を起こすことも、企業の評判やリスク管理の面だけでなく、企業収益や市場で優位な地位を得るという点でも有意義な活動になります。その意味で、環境問題への対応を他社には真似のできないレベルにまで高めて自社のコアコンピタンスとすることにより、環境対応に優れた企業としてのブランドを確立して競争優位を獲得することは、たいへん重要と言えます。

リコーアクニカルレポート（RTR）も今年度で34号になります。そこで、当社の顔が少しでも見えるような特長を持たせるべく、環境について小特集を組んでみました。巻頭言は、環境推進担当である酒井取締役専務執行役員による、環境技術の重要性と今後当社が取り組むべき環境技術の方向性を『環境技術に期待すること』として、また、展望では、谷社会環境本部本部長による、当社が具体的に取り組んでいる主な環境技術の概要を『環境経営の概念と実現のための環境技術の概要』として、載せております。

編集に関しては、昨年度は招待論文の図表のみをカラー化しましたが、技術論文や製品技術解説の図表はモノクロのままでグラフや解析画像が見づらく、大変ご不便をおかけしました。そこで、今年度は少しでも図表を見やすくすべく、全ての図表のカラー化を図りました。逆に、技術論文、製品技術解説の図表の中に、カラー化を十分生かし切れていないものがある点はご容赦下さい。

このRTRを通じて、多くの方に当社の技術を知って頂き、当社の製品だけでなくプロセス、人を感じ取って頂ければ幸いです。

(小瀬古 久秋)

RICOH TECHNICAL REPORT NO.34 2008

編集委員長	株式会社リコー 研究開発本部	小瀬古 久秋
事務局	株式会社リコー グループ技術開発本部 グループ技術企画室	齊藤 泰弘 進藤 由貴 永井 清登(Web担当)
発行日	2008年12月1日	
発 行	株式会社リコー グループ技術開発本部 〒224-0035 神奈川県横浜市都筑区新栄町16-1 TEL 045-593-3411 Fax 045-593-3482 URL http://www.ricoh.co.jp/	
発行責任者	永松 莊一	
印 刷	日経印刷株式会社 〒102-0072 東京都千代田区飯田橋2-16-2	

非売品 禁無断転載 本誌に関するご照会は事務局までご連絡ください

RICOH

