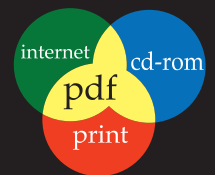


Ricoh Technical Report

Digital Publishing



RICOH TECHNICAL REPORT
No.35, 2009

目次

巻頭言

モノと情報…………… 養老孟司 3

技術論文

新しいオートホワイトバランス (AWB) のための日向・日陰領域分割…………… 袁 勳・李 滔・師 忠超・王 剛・関 海克 9
文書画像検索…………… 徐 盈輝・伊東秀夫・大黒慶久 17
適時情報配信のための簡易コンセプトモデリングとコンセプトを用いたタスクのタグ付け
オーレグ ロスタニン・ハイコ マウス・インヤン チャン・鈴木剛・前田薫 24
Java言語を利用した機種互換可能なアプリを開発できるMFP/LP向けのソリューションプラットフォーム
安藤光男・田中浩行・新村健治・大橋英樹・大石勉 34
R & D主導によるコーポレート・エスノグラフィと人間中心設計の実践…………… 伊賀聡一郎・新西誠人・山本健吾 41
ペーパーライク・コンピューティング
ケン グダン・ジョン バラス・セルゲイ ケミスキアン・グートン フェン・マイケル ゴーミッシュ
リッチ コソグロウ・カート ピアソル・ブラッドリー ローズ・エドワード シュワルツ 50
ハードウェアモデリング手法によるPCIeの性能予測…………… 池田純一 65
全印刷有機TFTバックプレーンを用いたフレキシブル電気泳動ディスプレイ
小野寺敦・油谷圭一郎・田野隆徳・友野英紀・村上明繁・鈴木幸栄・柳澤匡浩・亀山健司・川島伊久衛 73
ガス圧を利用したマイクロハニカム構造体の形成方法…………… 金松俊宏・妹尾晋哉 80
1枚走査レンズ及びマルチステップ回折レンズを用いた走査光学系…………… 宮武直樹・齊所賢一郎・甲斐聡・畠山寿治 87
デジタル孔版印刷画像の紫外線硬化型定着技術開発…………… 佐藤光雄・武田布千雄・浅田啓介 95
カートリッジ自動減容型トナー補給システム…………… 松本純一・北恵美・高見伸雄・村松智・岩田信夫 101
感光体ドラム生産におけるコンパクトラインの開発…………… 江川豪 106
三次元有限要素法を用いた小形コアレスモータの特性解析…………… 中橋鮎香・中嶋乃・遠山和久 113
劣化データによるリユース対象部品の信頼性試験法…………… 太田周一・亀川幸雄・坂津務・渡辺英生・廣野元久 120

製品技術解説

デジタルカメラ CX1…………… 山田学・兼弘亮・野村健一郎・吉田彰宏・伊藤洋一 129
コンパクトA3カラー複合機 imagio MP C2200シリーズ
渡瀬浩之・木村祥之・田中秀樹・上田正之・樽木隆志・川村拓己 133
A4フルカラープリンター IPSiO/Aficio GX e3300… 福嶋徳太郎・鈴木道治・習田知宏・南場通彦・星野好昭・矢野良多 139
A4フルカラープリンタ IPSiO SP C220/310シリーズ
武市隆太・田中雅樹・竹越哲司・河崎明博・花島透・成田敏・松尾一好・竹原淳・岩倉良恵・藤原宏 145
多機能A0紙折り機 imagio フォルダー FD6500B… 関根範明・丸山雄一・原田進・飛嶋寿明・大友智・木村雅文・栗田亘 153
筆者紹介…………… 159

RICOH TECHNICAL REPORT

No.35, 2009

INDEX

PREFACE

Physical Existence and Information	Takeshi YORO	3
--	--------------	---

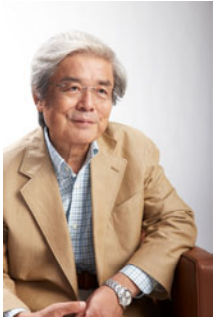
TECHNICAL PAPERS

Shade Segmentation for New Automatic White Balance (AWB) Xun YUAN Tao LI Zhongchao SHI Gang WANG Haike GUAN		9
Document Image Retrieval	Yinghui XU Hideo ITOH Yoshihisa OHGURO	17
Lightweight Conceptual Modeling and Concept-based Tagging for Proactive Information Delivery Oleg ROSTANIN Heiko MAUS Yingyan ZHANG Takeshi SUZUKI Kaoru MAEDA		24
Solution Platform for Java Applications Development to Eliminate Model-Dependency of MFP/LP Mitsuo ANDO Hiroyuki TANAKA Kenji NIIMURA Hideki OHHASHI Tsutomu OHISHI		34
Practice of R&D-led Corporate Ethnography and User-Centered Design Process Soichiro IGA Makoto SHINNISHI Kengo YAMAMOTO		41
Paper-Like Computing Ken GUDAN John BARRUS Sergey CHEMISHKIAN Guotong FENG Michael GORMISH Rich KOSOGLOW Kurt PIERSOL Bradley RHODES Edward SCHWARTZ		50
Hardware Modeling Methodology for Performance Estimation of PCIe	Junichi IKEDA	65
An All-printed Organic TFT Backplane for Flexible Electrophoretic Displays Atsushi ONODERA Keiichiroh YUTANI Takanori TANO Hidenori TOMONO Akishige MURAKAMI Koei SUZUKI Masahiro YANAGISAWA Kenji KAMEYAMA Ikue KAWASHIMA		73
A New Method of Fabricating Micro Honeycomb Structure by Controlling Gas Pressure Toshihiro KANEMATSU Shinya SENO		80
The Scanning Optical System that Adopted Single Scanning Lens and Multi-Step Diffraction Lens Naoki MIYATAKE Kenichiroh SAISHO Satoshi KAI Toshiharu HATAKEYAMA		87
Development of UV-Curable Ink Printing Process for Mimeography	Mitsuo SATOH Fuchio TAKEDA Keisuke ASADA	95
Toner Supply System with Auto Volume Reduction Cartridge Jun-ichi MATSUMOTO Emi KITA Nobuo TAKAMI Satoshi MURAMATSU Nobuo IWATA		101
Development of "Compact Line" in Production of Organic Photoconductor Drums	Go EGAWA	106
3-D Finite Element Analysis of a Miniature Coreless Motor ...	Ayuka NAKAHASHI Osamu NAKASHIMA Kazuhisa TOUYAMA	113
A Method of Parts Reliability Tests Based on Degradation Data for Reuse Objective Products Shuuichi OHTA Yukio KAMEGAWA Tsutomu SAKATSU Hideo WATANABE Motohisa Hirono		120

EXPLANATION ON PRODUCTS

CX1, Digital Camera by Ricoh ...	Manabu YAMADA Makoto KANEHIRO Kenichiro NOMURA Akihiro YOSHIDA Yoichi ITO	129
Compact A3 Full-Color Multifunctional Printers - imagio MP C2200 series Hiroyuki WATASE Yoshiyuki KIMURA Shuuji TANAKA Masayuki UEDA Takashi TARUKI Takumi KAWAMURA		133
A4 Full-Color Inkjet Technology Printer IPSiO/Aficio GX e3300 Tokutaro FUKUSHIMA Michiharu SUZUKI Tomohiro SHUTA Michihiko NAMBA Yoshiaki HOSHINO Ryota YANO		139
A4 Full-Color Compact Technology in Color Tandem Printer IPSiO SP C220/310 series Ryuta TAKEICHI Masaki TANAKA Tetsuji TAKEGOSHI Akihiro KAWASAKI Toru HANASHIMA Satoshi NARITA Kazuyoshi MATSUO Atsushi TAKEHARA Yoshie IWAKURA Hiroshi FUJIWARA		145
Multifunctional A0 Wide Format Folder imagio FD6500B Noriaki SEKINE Yuichi MARUYAMA Susumu HARADA Toshiaki TOBISHIMA Satoshi OTOMO Masafumi KIMURA Wataru KURITA		153

AUTHORS		159
---------------	--	-----



巻頭言

モノと情報

養老孟司

古希を過ぎた老人がいうことでは、あまり参考にならないのではないかと、最近ものを書くときによく思う。現役で働いている人たちとは、まず生きてきた時代が違う。しかもこの間の時代の変化は、世界史の上でもかなり極端だったのではなかろうか。

同時に思う。ヒトはべつに変わらない。生物学でゲノムの研究が進み、遺伝子を個々にいじった程度では、生物は変わらないことがわかってきた。遺伝子導入をされた個体は、たしかに個体としての性質は変化する。しかしマウスという種はあくまでもマウスであり、ラットに変わるわけではない。家畜の品種改良と、根本的に違ってきたわけではない。

ヒトが変わらないとすれば、時代の変化とは無関係に、年寄りがいい残せることがあるのではないかと、そう思って、これを書いている。

私が生きてきた時代とは、どういう時代だったか。文科系の本を調べたら汗牛充棟、一生かかっても読み切れない書物の集積があるはずである。そんなものを参照している暇はない。寿命も残っていない。では理科的にいったらどうか。まず石油の時代だったという一言であろう。そんなことはない。いまいちばん重要なのは情報だ。そう思う人もあるかもしれない。そう、概念としては情報だが、モノとしては石油である。その二つでいいのではないかと。

まず石油だが、二十世紀の初頭に、テキサスから大量の石油が噴出する。これがわずかに三年後には、フォードが家庭に一台という大衆車構想を打ち出し、ライト兄弟が飛行機を飛ばす。当時米国は欧州に対する後進国だったが、時間とともにそれが逆転していく。欧州に止めを刺したのは、むろん第二次世界大戦である。科学の世界というなら、優秀な学者が数多く欧州から米国に行った。日本もまた、アメリカに学んだ。

そのアメリカに影が差している。オバマ大統領の登場を明るい未来の兆しと受け取るか、衰亡の始まりと受け取るのか。後者であろう。それはなぜか。ここでも理科的に簡単に述べよう。米国の凋落はすでに一九七〇年に始まっている。第一次オイルショックである。これは大産油国だった米国が石油の輸入国になったためである。米国内での石油需要増に、産出が追いつけなくなった。米国文明の興亡とは、石油の有無である。それは古代文明が木材という資源、エネルギー源を失ったときに、どういう道をたどったか、それと同じである。

日本について、一言付け加える。この前の戦争の直接の原因は、A B C Dライン、すなわち米英中蘭による日本への石油の禁輸である。それを若い人たちはほとんど知らないのではないかと。石油を切られた日本では、軍部がパニックを起こした。軍艦も飛行機も車も、石油がなくては動かない。だから緒戦はまず蘭印の石油獲得に動き、同時に本土に石油を運ぶため、制海権を確保しようとした。だから米国太平洋艦隊の基地であった真珠湾攻撃であり、英国東洋艦隊の基地だったシンガポール攻略なのである。それが終わったら、戦略目標も消えた。だからその後が

ミッドウェーで、あそこから戦局が逆転していく。でも、なぜあんなことをしたのか、だれもわからない。要するに自分に必要なのは石油だという単純な事実を、きちんと意識していなかっただけであろう。八紘一宇、鬼畜米英、一億玉砕、要するに意味のない言葉が横行したのは、モノをきちんと見るという冷たさに欠けたからだと思う。愛国心なんて、はっきりいえば関係がない。

十年前なら、個人あたりにして、日本人のエネルギー消費を一とすれば、米国が四、欧州が二、中国は一桁下であった。国際社会での地位のようなものが、それに比例していることは、だれでも認めるであろう。「理科的にいえば」、それだけのことである。

石油の後はどうなるのか。だれにも読めない。ただ私は個人的には、エネルギー高消費型の文明は、地球を滅ぼすだけだと思っている。化石燃料を好きだけ消費した現在の世界がいい例である。それはいかなるエネルギーを新規に開発しても同じことである。なぜなら文明とは意識活動の産物で、意識にランダム活動はない。つまり秩序活動である。それなら意識活動によって世界を動かせば、かならずその分のエントロピーが発生する。それが環境問題、公害問題の根源となるからである。

以上で私の文明論の筋書きはお終い。

じゃあ、情報のほうはどうなるのか。上の続きでいえば、石油の限度を見た米国の利口者たちが、エネルギーにできるだけ依存しない仕事を考えた結果が、インターネットであり、金融なのである。ただし金融でいくらお金を稼いでも、人類全体の富は増えない。お金を使う権利が右往左往するだけだからである。インターネットを一日見ている、なにも生産できない。じゃあどうすればいいかって、モノの世界をどう情報化するか、それが科学の基本なのである。

情報処理と情報化は、言葉にすればわずかの違いだが、まさに天地雲泥の差がある。インターネットのなかにあるものは、すでに情報化されたものである。それをどう扱っても、それは広義の情報処理である。しかしモノを見て、それを情報化するのは、じつは容易ではない。私は解剖学を専攻した。人体は昔からあって、いまでもある。それをどう「言葉にするか」、それが解剖学の基本である。さらにいうなら、ヒトは「言葉を創る」。人体にわけのわからないものがあって、まず名前がつけられ、やがてそれは「どういうものか」、しだいに概念付けられていく。そうやってヒトは言葉を創り続けているのだが、まさか言葉が創られるものなどは、いまのヒトは思っていないのではないだろうか。既成の言葉を運転すれば十分、それどころか、既成の言葉の運転もままならない、車が複雑すぎる、そう思っているのではないだろうか。

情報という概念を考えてみよう。情報とは時間がたっても変化しないものである。こんな定義は私しかしないが、そうなんだから仕方がないのである。つまり「同じもの」である。たとえば「平家物語」も情報だが、あの文面は七百年間、まったく変化していない。それでなにが諸行無常か。写真だろうが、血圧のデータだろうが、情報はすべて記録された時点で停止している。意識はそういうものしか扱えない。だから世界が意識化されてしまうと、つまり都市化すると、必然的に情報化社会となる。そこではヒトも「同じもの」つまり「私は私、同じ私」となるからである。もしあなたが理科系の出身なら、その物質的根拠を問うべきであろう。物質代謝があるために、モノとしてみた人間は諸行無常、同じであることができない。人体の七割は水だが、その水は一年で何回入れ替わるだろうか。標識されたアミノ酸を食事とともに投与すると、三ヶ月以上たてば高分子に取り込まれたアミノ酸でも、なくなってしまうことがわかる。福岡伸一さんのいう動的平衡である。

ヒトが情報になれば、世界は情報化する。それは当然であろう。ではこの情報という概念は、いつできたのだろうか。面白いことに、十九世紀の生物学の歴史を調べると、情報という概念をめぐって、学者が苦勞していることがよくわかる。生物には、無機的なモノの世界とは違ったなにかがある。それを「生氣」と呼ぶ。そういう考え方の人たちは、生氣論者として、後の機械論的生物学の支持者から、時代遅れの学問として批判された。生氣論の代表者、たとえばドリーシュの著作を読み直してみればいい。そこで著者が必死に語っているのは、当時「言葉として存在しなかった」情報のことなのである。

それだけではない。メンデル、ダーウィン、ヘッケルというのは、十九世紀を代表する生物学の法則を考えた人たちである。それぞれは、本当に生物学の法則だったのだろうか。私はそのことを「人間科学」に書いたことがある。私の意見は、まだ学会の定説などにはとうてい入っていない。しかしどの法則も、単に情報に関する経験則なのである。

よろしいですか。生物を「情報として見る」なら、生物は「情報としてふるまう」ことになる。メンデルはたとえば黄色いエンドウ豆をA、緑のエンドウ豆をaと書いた。つまり生物の形質の一つを記号化したのである。そしてその記号の遺伝的組み合わせを考えた。大切なのは、黄色あるいは緑という感覚的性質を、メンデルは情報化つまり記号化したことである。遺伝において、生物のさまざまな形質は記号的にふるまう、つまり「情報として」ふるまうのである。だってメンデルはエンドウの形質を「情報として」見ているからである。

さてその情報は、どうなるのか。自然淘汰に会う。私がいくら立派な説明をしても、あなたの脳に適応しなかったら、その情報は「滅びる」。頭に入らないのである。自然選択とは、それだけのことである。インターネットの中にくら情報があろうと、あなたに必要な情報はほんの一部である。つまりほとんどの情報は、「自然淘汰される」。情報として見た生物が自然淘汰されるほど、当然なことではない。

ヘッケルは「個体発生は系統発生を要約して繰り返す」といった。それを生物発生基本原則と述べたのである。これはなにか。あなたが論文を書くことを考えたら、すぐにわかる。その論文が扱う主題について、いままでの研究者たちがなにを述べたか、それを「短く要約して繰り返す」であろう。その先に、自分独自の所見を「付け加える」。こうして生物は「進化する」のである。要するに、十九世紀に情報という概念がなかったことが、一種の混乱を生んだだけである。だからDNAの構造決定が生物学の革命だったのである。そのことは詳述しない。面倒くさい。

つい最近、ディケンズの「オリヴァー・ツイスト」を読んだ。面白かったのは、「なにかニュースがないか」と作中人物がいうときに、インテリジェンスという言葉が使われていることである。これがインフォメーションになるまでに、ほぼ百年近くかかっている。

モノと情報、この二つについて、きちんと考えておけば、あとは細かいことではないのか。年もとったし、私はそう考えるようになった。皆さんの参考になるかどうか、それは知らない。でもモノと情報以外のこと、人間関係とか、お金とか、そういうことは学問にとって所詮は付録である。金がなければ、仕事にならない。それならその仕事は金がした仕事か、あなたがした仕事か。

技術論文

TECHNICAL PAPERS

新しいオートホワイトバランス (AWB) のための日向・日陰領域分割

Shade Segmentation for New Automatic White Balance (AWB)

袁 勛*
Xun YUAN

李 滔*
Tao LI

師 忠超*
Zhongchao SHI

王 剛*
Gang WANG

関 海克**
Haike GUAN

要 旨

日向と日陰が混在するシーンを撮影するとき、画面全体で均一なホワイトバランスの設定が行われる従来法では、最適な色再現は困難である。本論文で提案する新しいAWB技術では日向と日陰領域ごとにホワイトバランスパラメータを設定することで、最適な色再現ができる。そのため、日向・日陰領域を高精度かつ自動的に認識する技術が必要となる。

本論文は新しいAWB処理のための日向・日陰領域の自動認識方法を提案する。本技術は晴天・曇天認識、日向・日陰認識、空認識、認識結果の後処理の4つのステップで日向・日陰の自動認識を行う。

多様なシーンについて実験を行い、本技術の日向・日陰の認識率が90%以上であることを確認した。アルゴリズムの高速化検討を行い、リアルタイム処理を実現した。

ABSTRACT

Traditional automatic white balance (AWB) functions could not adequately handle images with both sunlight and shadow. In this situation, new AWB is powerful by setting different AWB parameters for different image regions. Shade segmentation is the key problem for new AWB, which aims at segmenting bright and shadow regions in an image with very high accuracy.

This article presents our contributions on shade segmentation for new AWB, which consists of the following four steps: sunny-vs.-rainy image classification, shade detection, sky detection, and post-processing.

Extensive experiments on a wide variety of images demonstrate that our shade segmentation algorithm is able to discriminate the bright and shade area with more than 90% accuracy, and achieve real-time processing speed.

* 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.

** グループ技術開発本部 デバイスモジュール技術開発センター

Device and Module Technology Development Center, Corporate Technology Development Group

1. Introduction

Automatic White Balance (AWB) is the automatic adjustment of the intensities of the colors¹⁾ (typically red, green, and blue primary colors). An important goal of this adjustment is to render specific colors (particularly white colors) correctly.

Traditional AWB algorithms make global adjustment of the color in the whole image using uniform transformation parameters. It could not adequately handle images with both sunlight and shadow. In this situation, new AWB is powerful by setting different AWB parameters for different image regions. Shade segmentation is the key problem for new AWB, which aims at segmenting bright and shadow regions in an image with very high accuracy.

The framework of shade segmentation for new AWB is illustrated in Fig. 1 below. In the first step, images are classified as sunny image or rainy image. As there is no sunlight and shadow area in rainy image, we only perform new AWB for sunny images. In the second step, shade detection is used to classify each image block as bright or shadow image block at a coarse level. Because shade detection usually classifies blue sky area as shadow area falsely, we use the third step, i.e. sky detection to correct such misclassified blocks. In the final step, a post-processing step is performed to merge neighborhood image blocks with similar color appearance as one area, in order to remove some misclassified small areas and improve the segmentation accuracy.

As the first three steps are all classification problems, we use machine learning techniques to build the final classification model, based on a series of features. The framework for the three tasks is illustrated in Fig. 2. In the training process, features are extracted from training images (for sunny-vs.-rainy image classification) or image blocks (for sky detection and shade detection).

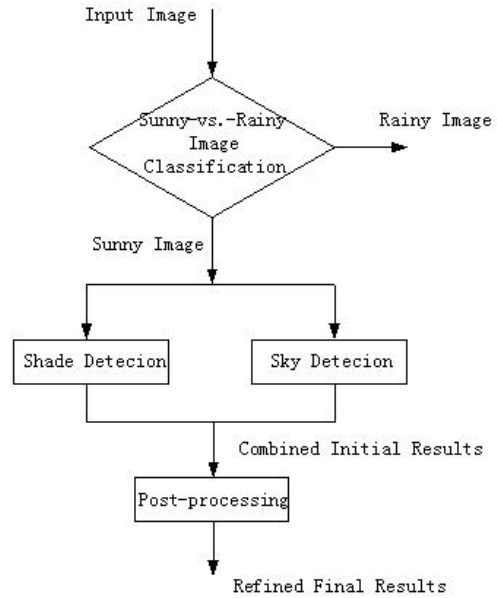


Fig. 1 Framework of Shade Segmentation for New AWB.

Then a model is trained based on the features of training images (or image blocks). In the test process, we also extract features from test images (or image blocks) firstly as in the training process. After that, the model output by the training process is used to predict the labels of the test images (or image blocks), based on the features of test images (or image blocks).

The three classification tasks are highly related to an academic research field named scene classification. Extensive research has been dedicated to this topic in recent years. The major difference between these works is different scene types, different features, and different classification models. Due to limited page, we only select some most relevant, or the most famous works²⁾³⁾⁴⁾⁵⁾⁶⁾⁷⁾, and list them in the reference.

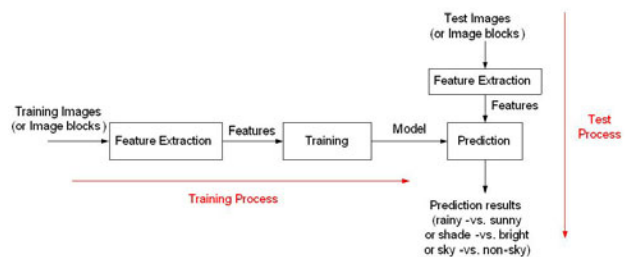


Fig. 2 Framework for the Three Classification Tasks in New AWB.

In the final step, a region grow procedure is performed to merge neighborhood image regions with similar color appearance, and get refined shade segmentation results.

The rest of this paper is organized as follows. In Section 2, we introduce the learning-based method for the first three steps of shade segmentation, including both feature extraction and classifier building. Then, we give the description of post processing procedure in Section 3. The experimental results are presented in Section 4, followed by the conclusions in Section 5.

2. Learning-Based Method for the First Three Steps

In this section, we introduce the learning-based method for the first three steps. As illustrated in Fig. 2, there are two major components for learning-based method: feature extraction, and classifier building. We introduce the different features for the three steps in subsection 2-1. After that, two alternative classifiers (SVM and AdaBoost) are compared in subsection 2-2.

2-1 Feature Extraction

We test different effective features for sunny-vs.-rainy image classification, sky detection, and shade detection. The features include color features, image capture device parameters, and some transformations of them. To achieve real time processing speed, we just use simple features here. Experimental results show that such features are discriminative enough for the three classification tasks.

2-1-1 Features for Sunny-vs.-Rainy Image Classification

The following 8 features for sunny-vs.-rainy image classification have been tested now:

- 2 calibrated AE-related features: mean of calibrated AE, standard deviation of calibrated AE

- 3 image capture device parameters: exposure time, ISO number, F number
- 2 B/R-related features: mean of B/R, standard deviation of B/R

Here AE are all calibrated for different parameters of image capture device as follow:

$$AE = AE * rate \quad (1)$$

$$rate = \left(\frac{0.01}{\text{exposure_time}}\right) \times \left(\frac{200}{\text{ISO}}\right) \times \left(\frac{\text{F_num}}{4}\right)^2 \quad (2)$$

Where exposure_time, ISO, F_num refer to the exposure time, ISO number, and F number of the image capture device.

The mean and standard deviation of AE are calculated as follows:

$$mean_{AE} = \frac{\sum_{i=1}^N AE_i}{N} \quad std_{AE} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (AE_i - mean_{AE})^2}{N-1}} \quad (3)$$

Where N is the total number of image blocks.

2-1-2 Features for Sky Detection

Sky detection has been investigated by Luo et. al⁽⁴⁾⁽⁵⁾⁽⁶⁾. However, their methods have two limitations in our application: first, the high computation complexity makes it impossible for real time processing; second, it makes an assumption that sky area has a de-saturation rate from the top to the bottom of one image, which is not necessarily the case in our experimental images.

To overcome the above limitations, we design another simple yet effective method to perform real time sky detection. It should be pointed out that our method cannot discriminate sky from other blue colored objects as in ⁽⁴⁾⁽⁵⁾⁽⁶⁾. However, our aim of sky detection is for the shade segmentation of new AWB. In this application, such false alarms (misclassified blue colored objects) have little negative impact to the final AWB results.

In sunny-vs.-rainy image classification, the features are extracted from the whole image. While in sky detection and shade detection, the features are extracted from each image block. Currently, we have tested the following features for sky detection:

- R, Gr, Gb, B
- hue, value, saturation
- B/R, B/G

Hue, value, and saturation are the block's color components in HSV color space.

2-1-3 Features for Shade Detection

The following features for shade detection have been tested now:

- R, Gr, Gb, B
- AE value
- B/R
- Saturation

2-2 Classifier Building

For the classifier building, we compare the following two alternatives: Support Vector Machine⁹⁾ (SVM), and AdaBoost¹⁰⁾¹¹⁾. We firstly introduce linear-kernel SVM in subsection 2-2-1, and then AdaBoost in subsection 2-2-2.

2-2-1 Linear-Kernel SVM

Due to limited page, we give a brief description of SVM theory here, please refer to⁹⁾ for more details. SVM is proposed from optimal hyper-plane in linear separable situation. Then it is extended in linear inseparable situation. As shown in Fig. 3, SVM is trying to maximize the margin between positive and negative samples, while minimize the training error.

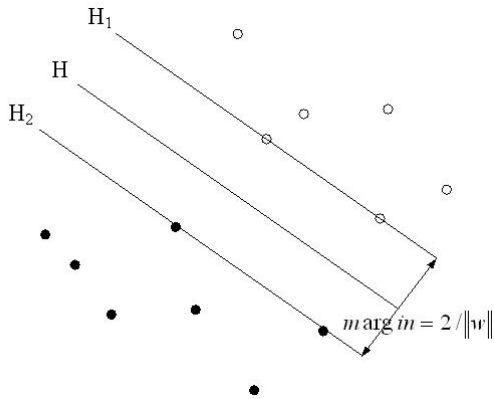


Fig. 3 Illustration of Optimal Hyper-plane.

In the training process, SVM tries to solve the following optimization problem:

$$\begin{aligned} \phi(w, \varepsilon) &= \frac{1}{2}(w \bullet w) + C(\sum_{i=1}^n \varepsilon_i) \\ y_i[(w \bullet x_i) + b] - 1 + \varepsilon_i &\geq 0 \end{aligned} \quad (4)$$

In Eqn. 4, $w \bullet w$ stands for the margin of the classifier (as shown in Fig. 3), $\sum_{i=1}^n \varepsilon_i$ is the classification error, and C is a pre-defined constant. Therefore, we can see that C controls the tradeoff between classification error and margin of the classifier.

The prediction function for SVM is:

$$f(x) = \text{sgn}(\sum_{i=1}^{sv_num} \alpha Y_i * K(x_i \bullet x) - rho) \quad (5)$$

where sv_num is the total number of support vectors x_i , $K(x_i \bullet x)$ is the kernel function of the two vectors x_i and x .

To speed up the prediction time, we adopt the linear kernel. In this case, the kernel function $K(x_i \bullet x)$ becomes the inner product $(x_i \bullet x)$, and the prediction function can be re-written as:

$$\begin{aligned} f(x) &= \text{sgn}(\sum_{i=1}^{sv_num} \alpha Y_i * (x_i \bullet x) - rho) \\ &= \text{sgn}(\sum_{i=1}^{sv_num} ((\alpha Y_i * x_i) \bullet x) - rho) \\ &= \text{sgn}((\sum_{i=1}^{sv_num} \alpha Y_i * x_i) \bullet x - rho) \\ &= \text{sgn}(w \bullet x - rho) \end{aligned} \quad (6)$$

Where w can be pre-computed before the prediction, the prediction time can be reduced greatly.

2-2-2 Real AdaBoost

Boosting¹⁰⁾ is a method of finding a high accurate hypothesis (classification rule) by combining many "weak" hypotheses, each of which is only moderately accurate. We use a generalized version of AdaBoost, which is called Real AdaBoost¹¹⁾, in which the weak learner returns a real-value prediction.

Next we give a brief introduction of the weak learner and Real AdaBoost procedure we used here.

The weak learner is a histogram-type classifier constructed on each single dimension of the feature vector, as illustrated in Fig. 4.

The output of the weak classifier is a piece-wise function, as shown in Fig. 5 below.

Input: $(x_1, y_1), \dots, (x_m, y_m)$ where $y_i = 0, 1$ for negative and positive examples respectively, training sample weight $w(x_i)$

- 1) Divide the feature space into n sub space X_1, X_2, \dots, X_n
- 2) Given the training sample weight $w(x_i)$, calculate $W_l^j, l=0, 1, j=1, 2, \dots, n$

$$W_l^j = P(x_i \in X_j, y_i = l) = \sum_{i: x_i \in X_j, y_i = l} w(x_i)$$
- 3) The output of the weak learner on the training sample weight $w(x_i)$ is

$$h(x) = \frac{1}{2} \log\left(\frac{W_1^j + \varepsilon}{W_0^j + \varepsilon}\right), \quad j=1, \dots, n, \quad \forall x \in X_j$$
 where ε is a small positive constant
- 4) The corresponding training error is calculated as follows:

$$err = \sum_{h(x_i) \geq 0, y_i = 0} w(x_i) + \sum_{h(x_i) < 0, y_i = 1} w(x_i)$$

Fig. 4 The Weak Classifier.

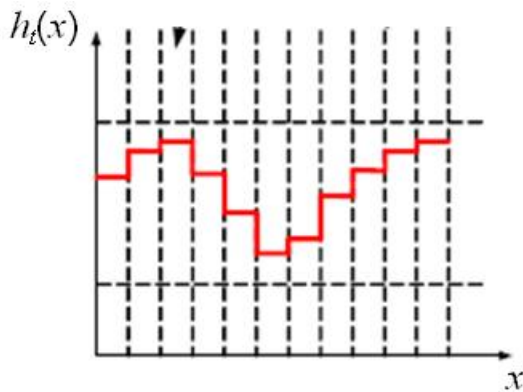


Fig. 5 The Output Piece-Wise Function of the Weak Classifier.

Based on this real-value output weak learner, our AdaBoost procedure is shown in Fig. 6.

In our AdaBoost procedure, the sums of sample weights for positive and negative samples are always kept equal to be 1/2. This is to tackle the unbalance problem in training data when the number of negative samples is much larger than the number of positive samples.

Input: $(x_1, y_1), \dots, (x_m, y_m)$ where $y_i = -1, 1$ for negative and positive examples respectively

- 1) Initialize weight $w(x_i) = 1/2n, 1/2p$ for $y_i = -1, 1$ respectively, where n and p are the number of negative and positive samples respectively.
- 2) For $t = 1, \dots, T$
 - a) According to the weak learner shown in Fig. 4, train one weak learner $h_j \in R$ for each feature j using $w(x_i)$, and get the corresponding training error err_j .
 - b) Choose $h_t = h_j$ with the lowest error, set $err_t = err_j$.
 - c) Update:

$$w_{t+1}(x_i) = \frac{w_t(x_i)}{Z_p} \times e^{-y_i h_t}$$
 for positive samples, and

$$w_{t+1}(x_i) = \frac{w_t(x_i)}{Z_m} \times e^{-y_i h_t}$$
 for negative samples, where Z_p and Z_m are normalization factors to ensure that $w_{t+1}(x_i)$ will be a distribution, and the weight of positive and negative samples all sum up to 1/2.

Output:
The final hypothesis is

$$H(x) = \text{sgn}\left(\sum_{t=1}^T h_t(x)\right)$$

Fig. 6 The Real AdaBoost Algorithm Uses Real-Valued Weak Classifier Output h_t .

3. Post Processing

After the first three steps, post-processing is performed to merge neighborhood image blocks with similar color appearance. The procedure of post-processing is shown in Fig. 7:

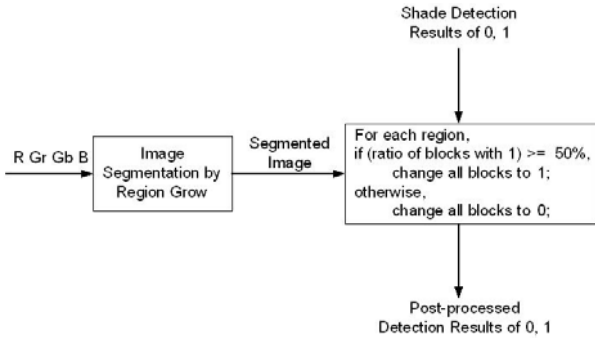


Fig. 7 The Procedure of Post-Processing.

In region grow ⁸⁾, neighborhood image blocks with similar color appearances will be merged as one region. The “similar” is judged by calculating the color difference between image blocks:

$$Diff_{ij} = abs(Gr_i - Gr_j) + abs(Gb_i - Gb_j) + abs(R_i - R_j) + abs(B_i - B_j) \quad (7)$$

Where the suffix i and j indicate the color components from image blocks i and j . If $Diff_{ij}$ is smaller than a predetermined threshold T , the two neighborhood blocks are considered to have “similar” color difference, and will be merged into one region. The threshold T indicates the difference between neighborhood blocks. Currently, we set it empirically to be 50.

4. Experimental Results

In this section, we give the experimental results for the four steps in four subsections respectively.

4-1 Sunny-vs.-Rainy Image Classification

The image dataset for scene recognition contains 166 images (75 for sunny, and 91 for rainy). The following four feature combinations are compared, and the accuracy is listed in Table 1.

- 2-D: mean of AE, standard deviation of AE
- 3-D: exposure time, F number, ISO number
- 4-D: mean of AE, standard deviation of AE, mean of B/R, standard deviation of B/R
- 7-D: mean of AE, standard deviation of AE, mean of B/R, standard deviation of B/R, exposure time, F number, ISO number

Table 1 Accuracy for Sunny-vs.-Rainy Image Classification.

	2-D	3-D	4-D	7-D
Linear-kernel SVM	60.93%	62.50%	81.25%	76.56%
AdaBoost	59.38%	70.31%	78.13%	81.25%

4-2 Sky Detection

The experiments for sky detection are performed in 25 images (16 images for training, and the rest 9 images for test). The following feature combinations are tested and the results are summarized in Table 2.

- 3-D: R, (Gr+Gb)/2, B
- 4-D: R, (Gr+Gb)/2, B, saturation
- 5-D: R, (Gr+Gb)/2, B, B/R, B/G
- 6-D: R, (Gr+Gb)/2, B, B/R, B/G, saturation
- 8-D: R, (Gr+Gb)/2, B, B/R, B/G, saturation, hue, value

Table 2 Accuracy for Sky Detection.

	3-D	4-D	5-D	6-D	8-D
Linear-kernel SVM	93.97%	93.53%	93.16%	93.18%	93.15%
AdaBoost	92.88%	90.37%	91.67%	91.35%	91.35%

Fig. 8 shows two sample images for sky detection. We can see Most of the sky area is successfully located in the images.

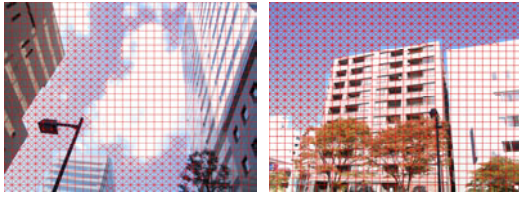


Fig. 8 Sample Result Images of Sky Detection.

4-3 Shade Detection

The experiments for shade detection are performed in 90 images (64 images for training, and the rest 26 images for test). The following feature combinations are tested and the results are summarized in Table 3.

- 1-D: AE value
- 3-D: R, G, B
- 4-D: R, G, B, AE value
- 5-D: R, G, B, AE value, B/R
- 6-D: R, G, B, AE value, B/R, saturation

Table 3 Accuracy for Shade Detection.

	1-D	3-D	4-D	5-D	6-D
Linear-kernel SVM	89.69%	89.88%	89.86%	90.02%	91.37%
AdaBoost	89.59%	90.82%	90.29%	91.39%	91.57%

Fig. 9 shows two sample result images for shade detection. We can see that some sky area is misclassified as shade area in shade detection, which should be corrected in the sky detection step.

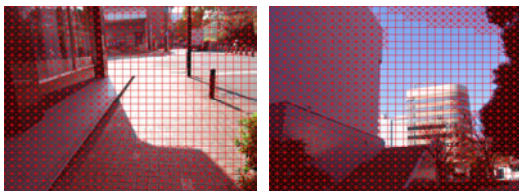


Fig. 9 Sample Result Images of Shade Detection.

4-4 Post-Processing

The effect of post processing is shown in Fig. 10. We can see that there is some misclassified area within the blue circle in Fig. 10 (b) before post processing, which is successfully corrected in Fig. 10 (a) after post processing.

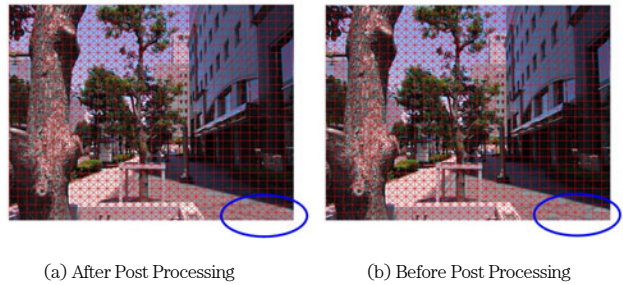


Fig. 10 Sample Images for the Post-processing Procedure.

5. Conclusion

In this paper, we present a framework of shade segmentation for new AWB. The framework consists of four steps: sunny-vs.-rainy image classification, sky detection, shade detection, and post processing. As the first three steps are all classification problems, we use machine learning techniques to build the final classification model. Different features (color, image capture device parameters, etc.) and classifiers (SVM, AdaBoost) are compared for the three classification problems. A post-processing procedure is performed to merge neighborhood image regions with similar color appearance, and get refined shade segmentation results. Extensive experiments on a wide variety of images demonstrate the effectiveness and efficiency of our shade segmentation framework.

References

- 1) Hsien-Che Lee. "Introduction to color imaging science". Cambridge University Press, 2005.

- 2) M. R. Boutell, C. B. Brown, and J. Luo. "Review of the state of the art in semantic scene classification". Technical Report, 2002.
- 3) A. Vailaya and A. Jain. "Detecting sky and vegetation in outdoor images". Proc. IS&T/SPIE Symp. Electronic Imaging Science and Technology, 2000.
- 4) A. C. Gallagher, J. Luo, and W. Hao. "Improved blue sky detection using polynomial model fit". IEEE International Conference on Image Processing, 2004.
- 5) Bahman Zafarifar, and Peter H. N. de With. "Blue sky detection for picture quality enhancement". Advanced concepts for intelligent vision systems, 2006.
- 6) Jiebo Luo, and Stephen P. Etz. "A physical model-based approach to detecting sky in photographic images". IEEE Transaction on Image Processing, 2002.
- 7) Anna Bosche, Andrew Zisserman, and Xavier Munoz. "Scene Classification using a Hybrid Generative / Discriminative Approach". IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 2008.
- 8) Rafael C. Gonzalez, and Richard e. Woods. "Digital Image Processing" 3rd Ed. Prentice Hall. 2008
- 9) V. Vapnik. "The nature of statistical learning theory". Springer-Verlag, New York, 1995.
- 10) J. Friedman, T. Hastie, and R. Tibshirani. "Additive logistic regression: a statistical view of boosting". Annals of Statistics, 2000.
- 11) Robert E. Schapire, and Yoav Singer. "Improved boosting algorithms using confidence-rated predictions". Proceedings of the eleventh annual conference on computational learning theory, 1998.

文書画像検索

Document Image Retrieval

徐 盈輝*
Yinghui XU

伊東 秀夫*
Hideo ITOH

大黒 慶久**
Yoshihisa OHGURO

要 旨

オフィス文書の電子化が進む中、画像データの検索ニーズが高まってきている。本論文では、内容ベースの画像検索のための新しい手法を提案する。我々は画像データの特徴を記号化し、かつ1次元化することで、テキスト検索と同様の高速な画像検索を可能にした。この手法では、対象とする画像のピクセルを、二値化した後、縦方向と横方向に射影を取り、1次元の特徴量を生成する。この特徴量は、スムージングを施した後、ランドマークと呼ぶ特徴点の列として正規化される。そして、各ランドマークに記号を割り当てることで、元の画像全体を1つの記号列に変換する。最後に、従来のテキスト検索技術を、これら記号列に適用することで、画像検索の機能を実現する。いくつかの性能評価の実験を通し、その効果を検証した。

ABSTRACT

Digital documents are a mixture in modern office working environments. With the digitalizing era coming, the drop in the cost of digital data storage, easy-reading device, PDA, mobile device, etc. are become popular nowadays. It is critical to be able to manage and retrieve office images to satisfy user information needs. In this paper, we propose a novel framework for content-based image retrieval using symbolic time series. Given an image, the foreground pixels (usually the black pixels) projections along the horizontal direction and vertical direction are generated to be the primitive representation. projection profile of an image is inherently a sequence of data which is the same as the one dimensional time series data. In our framework, data cleaning and data reduction are introduced in the data normalization module to enhance the data quality, and then turning points, called landmarks, along the normalized data sequence are extracted. Next, symbolic representation for the extracted landmarks are produced. Finally, the converted symbol sequence enable us to use the conventional text retrieval indexing strategy and thus Ngram model is adopted to gauge the similarity of the symbolic time series. Experiment results confirmed the effectiveness of the proposed approach.

* グループ技術開発本部 オフィスソリューション技術開発センター
Office Solution Technology Development Center, Corporate Technology Development 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. Introduction

With the coming of the digitalization era, the huge amount of document images has left a tremendous need for robust ways to access the information these images contain. Printed documents are often scanned for archiving or in an attempt to move toward to a paperless office and stored as images but without adequate index information. To enable us to make good use of digitalized resources, especially document images, we have developed a content-based image retrieval system which is a marriage of our efficient full text index engine and the novel image feature symbolization technique.

Several approaches for document image retrieval are summarized in a survey ¹⁾. The existent approaches can be divided into two categories, optical character recognition (OCR) based approach and image feature based algorithms. While the state-of-art OCR technology can produce very accuracy results, the sensitiveness to image resolution, heavy computation cost and language dependency limit its applications. Different from the OCR based algorithms, image feature based algorithm focus on the image contents instead of the text information. Several approaches are summarized in a survey. Spitz maps alphabetic characters to a small set of character shape codes (CSC) which can be used to compile search keys for ASCII text retrieval ²⁾. CSC's can also be obtained from text images based on the relative positions of connected components to baselines and x-height lines, as used by Spitz for word spotting in document image. Doermann, etc. al. ¹⁾ extend the application of CSC's to document duplicate detection by constructing multiple indexes using short sequences of CSC's extracted from the first line of text of sufficient length. Hull and Cullen ³⁾ have proposed a method to detect equivalent document images by matching the pass codes of document. Yu and Tan ⁴⁾ presented a retrieval method for Chinese document images based on stroke density code of each character object. These

methods have shown their advantages on fast and light-weight solutions for normal document images. However, these methods are inherently relying to some extent on the text line, word or even character segmentation results. Low document image quality or images with complex layout can inhibit accurate recognition and segmentation. What is more, image features are usually represented as numerical feature vector and the similarity between images are measured via vector distance metric. The high-dimensional indexing technique is usually chosen for fast accessing the similar images from large image database. However, there are problems of vector space solution on the ambiguities of distance measure and scalability issues.

To overcome the challenges of both the image feature extraction problems caused by image resolutions, complex layout, different languages, distortion and the indexing and distance measure problems caused by the vector space model, we propose a novel framework which is a marriage of our efficient full text index engine and the novel image feature symbolization technique.

The remainder of this paper is organized as follows. In Section 2, we will present our approach. In Section 3, the experimental results are presented. Finally, conclusion is drawn in Section 4.

2. Our Approach

In this report, we propose a novel approach which is directly addressing the limitations of the document image retrieval problems. Fig. 1 illustrates the system diagram. The distinguished module is the "Image2Symbols" which play an important role in our system. There are four major steps in this module:

- Making the image projection profile
- Data normalization: envelope filter the projection profile
- Feature extraction - landmark identification
- Feature presentation - symbolization process

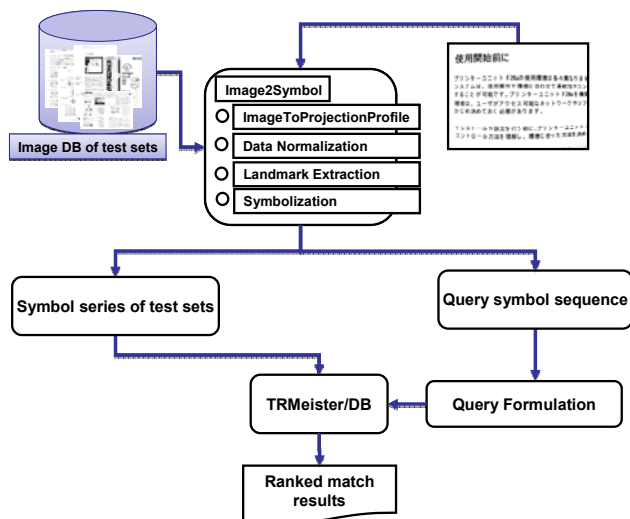


Fig.1 System diagram.

Given an image, we choose to use the primitive pixel histograms (projection profile) based on the binary image because the flipping foreground and background pixels with equal probability has only small effect on the distribution of white and black pixels in a row or column. There are mainly two types of document images, one is of the multiple text lines, like the publications, technical reports, etc., the other is of the pictorial style, such as diagrams, drawings, etc.. In the case of the paper-style document images, to enable us to search the target page images based on small patch of the target copies, we choose to use the quick and dirty line segmentation before making the projection profiles. After segmenting the target images into multiple line-style images, the vertical projection profile along the line image is generated for the subsequent feature extraction. While, for those pictorial style images, to reflect the 2D structure of the entire image, both the horizontal and vertical projection profile are taken into consideration. The goal is to relate the results of this analysis to the structure of the images which is reflected by the image foreground pixel histogram; the projection profile is a sequence of non-negative integer value.

2-1 Data Normalization

Data normalization process is to overcome the noise and lengthy effects in the raw projection profile. The foreground pixel projections can be viewed as a high frequency signal superimposed on a low frequency one. It is this underlying low frequency coarse scale signal that is highly characteristic of the image structure. To minimize the effect of noise, a low pass filter is adopted in our approach.

2-2 Landmark Extraction

In psychology and cognitive science, more and more evidence have shown that human and animals depend on landmarks to arrange spatial memory ⁵⁾. Landmarks representation for time series is proposed by Chang-Shing Perng to capture the most significant evidence of the time series data. In our approach, similar to the landmark idea, instead of using the entire low pass filtered data series, feature points (called landmarks) along it are extracted and used to be the representative information. In the data structure of each landmark containing two elements, one is the attribute (hill and valley) and the other is the magnitude value; for the landmark point with hill attribute, it indicates that this point goes though the change from up to down. Conversely, the landmark with valley attribute indicate that it goes though the change from down to up. The detection algorithm performs one pass through the entire data sequence. The attribute of each landmark will be used in the symbolization process to assign different symbolic sets for the landmark points with different attributes.

2-3 Symbolic Representation

In this section, we will introduce how to symbolize the landmarks which are extracted in the last process. Every landmark will be assigned a symbol in the symbolic process. The symbolization scheme called "*ContextSYM*" is illustrated in Fig 2. Each landmark will be assigned a

symbol following the rule illustrated in Fig 2. In Fig 2, vertex "CV" with attribute valley and vertex "CH" with attribute hill are symbolized by choosing a symbol from different symbolic sets. For example, the ASCII code of the symbolic sets for valley vertices range from 48 to 55, while the ASCII code of the symbolic sets for hill range from 56 to 63. For a particular code, the three neighboring vertices with the same attribute will be used to determine its symbol. In the case of "CV" in the left-to-right symbolic process, three right neighboring vertices are "RV_1", "RV_2" and "RV_3" respectively. Comparison results between these three vertices and the vertex "CV" are categorized into two types, less-equal and greater, which are represented as "0" and "1" respectively. Vertex "CV" illustrated in the figure got the code "111" and thus '7' is assigned on "CV". Similarly, vertex "CH" is symbolized to be ";". In the conventional symbolization approaches proposed in ^{6, 7, 8}, usually, coarse symbol definition involves partitioning the range of the original observations into a finite number of regions ⁹. Each region is associated with a specific symbolic value and each original measurement is thus uniquely mapped to a particular symbol depending on the region in which the measurement falls. The SAX model proposed by Keogh is one well-cited symbolic method. The symbolization process in SAX is basically following the way described above. Symbols are allocated based on mean value of equal sized frames along the entire data series. However, the SAX model will not be suitable in the case of analyzing the projection profile of document image because it may cause a possibility to miss some important patterns. Moreover, the coarse symbol definition in SAX involves partitioning only the amplitude range (projection value) of the original observations into a finite number of regions without considering the phase range (the position of the foreground pixel histogram from left to right). However, the local variation in a particular phase may possibly have the distinguished pattern for matching operation. What is more, the

symbolization results may be even worse in SAX model when the query series are not synchronized with the target series in the collection; in our approach, the landmark feature point derived from projection profile is encoded via magnitude relationship of the local context within a phase range. Such kind of design enables us to overcome the limitations of the conventional symbolic algorithms.

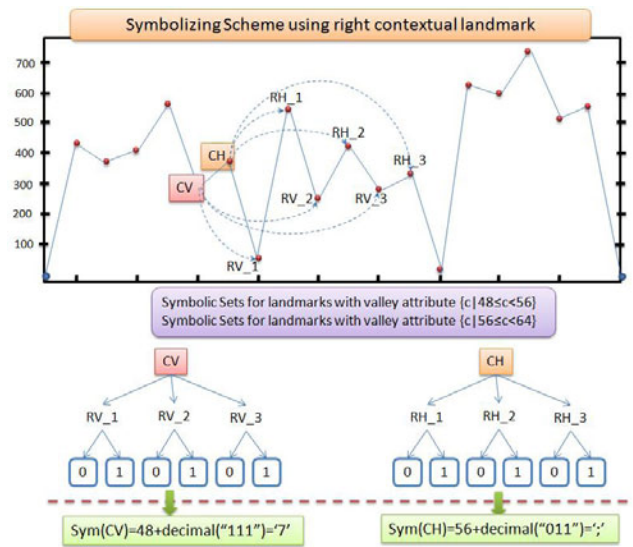


Fig.2 Symbolization illustration.

2-4 Searching

After symbolization, a document image is converted into a symbol series. Since the image features are finally represented as a symbol sequence, it enables us to choose the conventional full text search technology which has merit on the high scalability and effective probabilistic ranking function; An N-gram model based full text search is used to find the relevant images for a query from the database. The ranking function used in our system is OKAPI BM25 ¹⁰.

$$score(q; d) = \frac{tf(t_i) \times \log(\beta \times \frac{N}{df(t_i)} + 1)}{tf(t_i) + \alpha \times (1 - \gamma) + \gamma \times \frac{docLen}{aveDocLen}}$$

Where the parameter sets, α , β and γ are set to be 1.0, 0.2 and 0.9 respectively.

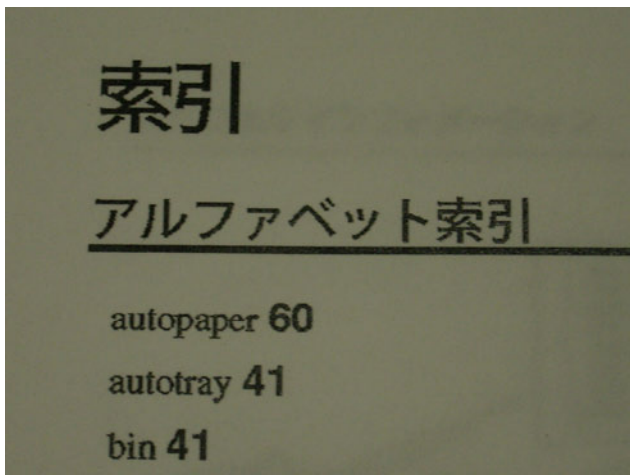


Fig.3 Query example in the language independence test.

3. Experiment

To verify the effectiveness of our approach on dealing with the document image retrieval task: we have done experiments:

- Language Independence Test
- Pictorial style image search with test samples having different image characteristic, such as resolutions, color and binarization status

For the evaluation metrics, we use the most commonly recall precision (RP) measure. R-precision de-emphasizes the exact ranking among the retrieved documents and more useful when there are a large number of relevant documents. A relevant judgment file will be created based on associating the query name with its corresponding resource document image. RP at top 1, 5, 10, 30, denoted as R@1, R@5, R@10, R@30, are calculated respectively. That is, system is evaluated by the percentage of queries which find their resource at top N return sets with total number of queries.

3-1 Language Independence Test

To investigate the effectiveness of our approach on searching a query with different language from the images in the database, a test corpus which contains document images with various languages (14 languages) is prepared and summarized in Table 1. Fig. 3 is an example of a query image which is captured by Ricoh Caplio camera. There are around 2653 page images with the multiple-text line style. 90747 line images are generated from these page images after the line segmentation process. All of the line images of the test pages are converted into symbols sequence by our approach and then inserted into the TRMeister's DB¹¹⁾. Queries are prepared by capturing a patch from the entire page image by Ricoh Caplio camera. 33 queries with English languages are made for the experiment. The same as the process done for the images in the database, the 33 query images are also separated into 443 line images, each query length is of 13 lines in average. To get the relevant target for a query, each line image of a query is converted into symbols and pools the top 100 relevant page ID with score in the search. Finally, the top 100 relevant targets are produced from the pool. The performance is shown in Table 2;

Table 1 Multi-lingual test set.

	#page	#lines	Language
Newsweek	61	4946	En
Multi-lingual	351	24856	Dutch, French.. etc..
MFP spec.	2241	60945	Jp

Table 2 Search performance of language independence test.

	R@1	R@2	R@5	R@10	R@30
RP at top K	93%	93%	93%	93%	96%

3-2 Pictorial- Style Image Search

A test corpus which is made of the power-point slides is prepared for the evaluation. There are 1993 colorful

images and 1993 binary version with the same image content generated through Open-Office ¹²⁾ software.

The query images are prepared by choosing samples from test corpus randomly and then making the query images by print-and-scan. To investigate the robustness and insensitivity of our approach to the image colors and various image transformations, two test runs are performed. Color-color test: in this case, the search target is the 1993 color images while the queries are randomly chosen from them and then make copies by print-and-scan2color with 200 dpi. There are 30 queries prepared for tuning and 37 queries prepared for the test. In the same manner, for the binary-binary test run: the search target is the 1993 binary version images while the queries are randomly chosen from the binary collection and then make copies by print-and-scan2binary with 200 dpi. Similarly, there are 30 queries prepared for tuning and 37 queries prepared for the test. The important parameters involved in the system are the window size of the envelope filter and N-gram search unit. First of all, 30 queries are used to tune the system parameters by which the system obtained the best accuracy of R@1. And then based on the tuning parameters, experiments on the 35 test queries were performed. In the case of the color-color test run, the results for the 30 tuning queries are shown in Table 3 and the results for the 35 test queries are shown in Table 4. The parameters, filter_size, which is the window size of the low pass filter for the data normalization process, is set to be 7 for test images in the DB and 18 for the query images. N-gram unit is set to 4-gram. In the case of the binary-binary test run, the result for the 30 tuning queries are shown in Table 5 and the results for the 35 test queries are shown in Table 6.

Table 3 Color-color test run for the 30 tuning Queries.

	R@1	R@2	R@5	R@10	R@30
RP at top K	63%	86%	96%	96%	100%

Table 4 Color-color test run for the 35 test queries.

	R@1	R@2	R@5	R@10	R@30
RP at top K	72%	97%	97%	97%	100%

Table 5 Binary-binary test run: for the 30 tuning queries.

	R@1	R@2	R@5	R@10	R@30
RP at top K	43%	60%	73%	73%	83%

Table 6 Binary-binary test run: for the 35 test queries.

	R@1	R@2	R@5	R@10	R@30
RP at top K	62%	78%	89%	89%	91%

The experimental results confirmed that the high search performance is reached based on our proposed approach.

4. Conclusion

In this report, we propose a novel approach for content-based document image retrieval using symbolic image features. Novel models for symbolization are proposed as well. Through the experiments, we found the most effective way to reach the surprisingly good accuracy. Experiment results show that our method is very promising to be used in the related area.

Reference

- 1) D. Doermann, The indexing and retrieval of document images: A survey. *Computer Vision and Image Understanding: CVIU*, 70 (3), pp. 287-298, 1998.
- 2) A. L. Spitz, Duplicate document detection. in the *Proceedings of the SPIE - International Society for Optical Engineering, Document Recognition IV*, San Jose, pp. 88-94, 1997
- 3) J. J. Hull and J. F. Cullen, Imaged document text retrieval without OCR. in *Proc. of the 4th Int'l Conf.*

- on Document Analysis and Recognition, pp. 308-312. ICDAR, 1997
- 4) C. L. Tan, W. Huang, Z. H. Yu and Y. Xu, Imaged document text retrieval without OCR. IEEE Trans. Pattern Analysis and Machine Intelligence, 24 (6), pp. 838-844, 2002
 - 5) C.-S. Perng, D.S. Parker, K. Leung, Representing time series by landmarks, in Proceedings of the CIKM, 1999.
 - 6) B. G. Hbrail, Symbolic representation of long time-series, in Symbolic representation of long time-series. Proc. of Applied Stochastic Models and Data Analysis Conference (ASMDA'2001), 2001
 - 7) S. Lawrence, C. L. Giles, and A. C. Tsoi, Noisy time series prediction using symbolic representation and recurrent neural network grammatical inference, Technical Report UMIACS-TR-96-27 and CS-TR-3625, 1996.
 - 8) J. Lin, E. Keogh, S. Lonardi, B. Chiu, A symbolic representation of time series, with implications for streaming algorithms, in proceedings of the 8th ACM SIGMOD Workshop on Research Issues in Data Mining and Knowledge Discovery, 2003.
 - 9) C. Daw and C. Finney, A review of symbolic analysis of experimental data, Review of Scientific Instruments, Volume 74, Issue 2, pp. 915-930 (2003).
 - 10) S. E. Robertson, Steve Walker, and M. H. Beaulieu, Okapi at TREC-7, in Proceedings of the Seventh Text Retrieval Conference. Gaithersburg, USA, November 1998.
 - 11) TRMeister,
<http://www.ricoh.com/about/technology/showcase/trmeister.html>
 - 12) Open-Office Software, <http://www.openoffice.org/>

適時情報配信のための簡易コンセプトモデリングとコンセプトを用いたタスクのタグ付け

Lightweight Conceptual Modeling and Concept-based Tagging for Proactive Information Delivery

オーレグ ロスタニン* ハイコ マウス* インヤン チャン* 鈴木 剛** 前田 薫***
Oleg ROSTANIN Heiko MAUS Yingyan ZHANG Takeshi SUZUKI Kaoru MAEDA

要 旨

近年、知識集約的な業務へのサポートに関して様々な研究がおこなわれてきた。これらの中には、ユーザ観察に基づく適時情報配信 (Proactive Information Delivery: PID) から、ユーザの作業プロセスや組織などのモデリングを必要とするワークフローに基づいたサポートまで、様々なアプローチがある。一般的にモデリングを伴わない簡便なアプローチは導入コストが低い、ユーザが必要とする情報を提示する精度が低く、また不必要な情報を提示してしまうことで、情報過多を助長することもあり得る。逆に洗練されたモデリング過程を持つアプローチは高い情報提示精度を持ちうるが、モデルの生成及び更新のコストに関して大きな問題がある。本稿で提案するアプローチは、タスクに関連した知識とプロセスノウハウの漸増型モデリングを利用することで、これらの問題を解決する。本アプローチでは、コンセプトマップ及びコンセプトを用いたタスクのタグ付けを利用し、PIDの精度向上を図る。ケーススタディの結果により、タスクのタグ付けによってPIDの精度が向上できることが示される。

ABSTRACT

During the last decade, a plenty of approaches for intelligent user assistance in knowledge intensive working environments were developed. These solutions vary from a lightweight proactive information delivery (PID) based on a non-intrusive user observation to workflow-based assistance that requires formal modeling of processes, organizations, knowledge domains and task specific information needs. Whereas lightweight solutions have low precision and sometimes yet increase the user's information overflow, approaches based on sophisticated modeling have severe problems with bootstrapping and maintenance. The work presented in the current paper aims to find an optimal integrated solution for user assistance in agile knowledge working environments that exploits a lightweight incremental modeling of task relevant knowledge and process know-how using concept maps and concept-based task tagging to improve the quality of PID results. The results from our case study show that the task tagging is feasible and facilitates PID quality improvement.

* ドイツ人工知能研究所

German Research Center for Artificial Intelligence GmbH (DFKI)

** 研究開発本部 基盤技術開発センター

Core Technology R&D Center, Research and Development Group

*** グループ技術開発本部 オフィスソリューション技術開発センター

Office Solution Technology Development Center, Corporate Technology Development Group

1. Introduction

During the last decade, a plenty of approaches for intelligent user assistance in knowledge intensive working environments were developed. These approaches can be classified using following two dimensions ¹⁾; i) type of supported processes: from weakly structured to strictly structured and ii) type of information modeling: from lightweight to heavyweight. Knowledge intensive work consists of both strictly structured processes that can be formally modeled and enacted using workflow management systems (WFMS) and agile processes (agile knowledge work, AKW) that are highly dynamic that makes them difficult to be formalized, modeled in advance and later reused ²⁾.

Our current work concentrates on the support for AKW, e.g., developing a software or supervising a scientific thesis. Although AKW is dynamic, it is required to manage it to be successfully completed in time. A task list management (TLM) is powerful tool for flexible time management and planning in AKW environments which allows keeping track of tasks being performed in the environments. The popularity of TLM systems is intensified by effective time management e.g., GTD ³⁾. Despite of agility of TLM, one can find certain regularities implied by tasks and dependencies between them. This fact opens numerous opportunities for process know-how reuse in TLM tools ⁴⁾.

Furthermore, a TLM tool is an ideal place for intelligent information assistance required by a knowledge worker coping with tasks. Advocated in the previous paper ⁵⁾, the method of the lightweight proactive information delivery (PID) realized by connecting a TLM system FRODO Taskman ⁶⁾ and an information retrieval system BrainFiler ⁷⁾. Generally, PID has two main purposes, i) minimize users information overload by providing information precisely adapted to the current task's needs, ii) diminish users' risk of overlooking important documents relevant to their tasks.

One can distinguish between light- and heavyweight PID methods based on the required amount of upfront modeling effort.

There are many works describing heavyweight approaches of learning-on-the-job^{8),9),10)} aiming to improve users' competency level by providing information according to users' information needs and competency level. These approaches claim to ensure a high precision information delivery. Their major bottleneck is a necessity of relatively large effort on process, user and information modeling that makes them difficult to introduce in an enterprise.

We developed TaskNavigator ^{2),11)} in the joint project Virtual Office of the Future (VOF) of Ricoh and DFKI, and applied lightweight PID based on a TLM system to cope with requirements from knowledge intensive works. The second half of the VOF project was dedicated to find and evaluate means that would allow combining advantages of light- and heavy- weight PID, i.e., low modeling effort and high delivery precision.

In this paper we first analyze problems in the lightweight PID in section 2. Then, task tagging as easy way of task annotation is introduced in section 3. Using concept maps as a means for knowledge extraction and modeling as well as its integration with TaskNavigator for the PID improvement is discussed in section 4. The results of a feasibility test conducted in DFKI that showed positive user feedback and acceptance are depicted in section 5. Conclusion with an outlook is given in section 6.

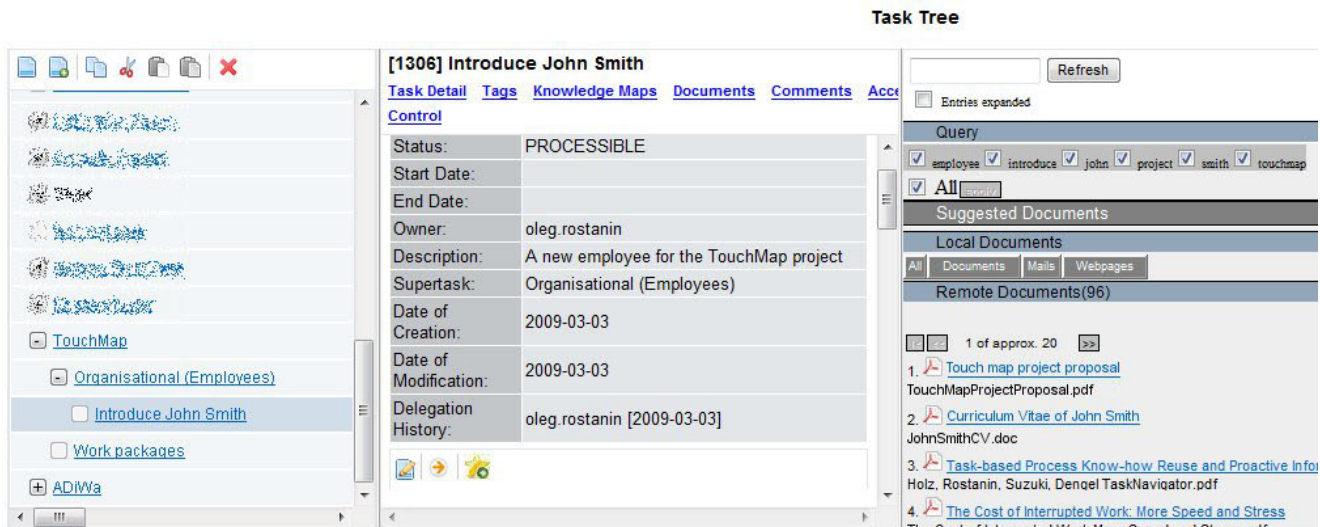


Fig.1 TaskNavigator screenshot.

2. Proactive Information Delivery in TaskNavigator

This section gives a short introduction into the TaskNavigator system and its PID feature. After that, problems in lightweight PID are identified.

2-1 TaskNavigator

TaskNavigator is a novel TLM system providing support for knowledge intensive business processes ²⁾. By the mechanism of task delegation, task comments and notification as well as flexible task structure management implied by work breakdown structure (WBS), TaskNavigator becomes a powerful tool for work coordination and collaboration in small distributed teams. (Fig.1)

2-2 Lightweight PID in TaskNavigator

The unique selling proposition of TaskNavigator is its PID feature. The main idea of PID is to proactively deliver task-relevant information e.g., documents or e-mails related to the task without explicit user request and information modeling in advance. The principle of

lightweight PID is based on the assumption that a context of a task can be described sufficiently by the task information (title, description, etc.) and the information attached to the task. The PID module of TaskNavigator generates a keyword-based query from the current task context represented by a task and its attached documents and sends request to external information retrieval (IR) systems automatically to get task-relevant information. Results from the IR systems are sorted by their relevance score relative to the query and presented to the user in the TaskNavigator GUI (Fig.1, rightmost). The user can navigate in the result list, open documents and attach them to the current task. The current implementation of the system uses the TRMeister database ¹²⁾ for document retrieval from the central TaskNavigator repository in network drives and Google Desktop Search API ¹ to request user's personal documents stored in a local computer.

¹ <http://code.google.com/apis/desktop/docs/queryapi.html>

Example

An example task is given in Table 1

Table 1 example task and generated terms.

Task name	Introduce John Smith
Task description	John Smith is a new employee for the project TouchMap
Comments	Dear Peter, please take this over
Term set	introduce, john, smith, employee, project, touchmap, peter

From the task name, description, and comments, the system automatically generates the term set. The query issued automatically to the search engine on the user's desktop or to the central repository will deliver documents that at most satisfy the given list of keywords, e.g. a description of the project TouchMap or a John Smith's CV (Fig.1, rightmost). These documents can be helpful to successfully and quickly complete the task.

2-3 Problems of Lightweight PID

The first feasibility test of TaskNavigator showed great potential of lightweight PID as well as its bottlenecks^{2),5)}: on one hand, users were often positively surprised for getting useful e-mails or documents provided by PID that would have been overlooked when working on the task. On the other hand, users were sometimes irritated by too many irrelevant documents delivered by PID caused by the query generation from a textual task description. Hereunder we explain the advantage and disadvantage of the lightweight PID.

- *Advantages: The main advantage of lightweight PID is the low level of human effort to make it work: the user just needs to type a new task name in TaskNavigator to get first PID results. A formal modeling of potential information needs of the task is not required (compare to 13)).*
- *Problem (P1): Statistics-based query generation used in lightweight PID can cause unsatisfactory quality of generated queries or search results:*
 - *(P1.1), Weaknesses of the TF/IDF algorithm*
The above example shows that the TF/IDF

algorithm removes the word "new" from the query as it is considered as a stop word. However, in the given context, the word "new [employee]" is essential to express the task semantics.

- *(P1.2), Compound search terms not supported*
Even if the algorithm could identify the importance of the keyword "new" for the current task context, this keyword alone does not have much sense without the combination with the keyword "employee".
- *(P1.3), Verbose descriptions*
Verbose task descriptions sometimes spoils automatically generated query. For the task "Apply a new MySQL-DB¹⁴⁾ for TouchMap weblog" with a verbose description "To install a new WordPress¹⁵⁾ software we need a separate database with the name wordpress on our MySQL server with the user WordPress" would generate the query "apply, mysql, db, touchmap, weblog, wordpress, install, software, separate, database ..." that would result in unsatisfactory PID results: depending on the IR engine, the result set could contain no or too many documents.

Consequently, the quality of results delivered by lightweight PID can be unacceptable in some cases.

Below, we describe an integrated solution of above problems based on concept-based task tagging and lightweight conceptual modeling realized in TaskNavigator.

3. Using Task Tagging to Improve PID Quality

In comparison with the previous approaches e.g.¹⁰⁾, TaskNavigator follows the paradigm of lightweight PID characterized by low level of task context modeling effort. As described above, this could cause problems of a bad

quality of PID results. The objective of the TaskNavigator project was to find an optimal solution that requires a minimally possible modeling effort to achieve acceptable PID results. Our claim here is that:

(C1) introducing implicit bottom-up modeling of the task context by task tagging is feasible and can contribute to the PID quality improvement.

The claim is specified in detail in the following section by introducing tagging technology into PID.

3-1 Using Task Tags for PID Query Refinement

Tagging is a wide-spread technology for lightweight classification and annotation of electronic resources by manually or automatically assigning keywords to them.

Considering tasks in TaskNavigator as resources that are annotated collaboratively by tags, we decompose *CI* into the following sub-claims:

- *(C1.1) Task tags can be used as keywords to refine a search query for task-related PID. Keywords defined by users do not cause problems P1.1 and P1.2 (if multi-word tags are allowed). Moreover, the implicit semantics behind task tags given by users will highlight the most important task aspects suppressing the problem of verbose task descriptions P1.3.*
- *(C1.2) Provided the bag tagging model ¹⁶⁾ is utilized by TaskNavigator, where different users can tag tasks multiple times with the same tag, the popularity/relevance of task-related tags can be used to specify weights of single terms comprising a PID query. A weighted PID query will express the importance of each search term thus yet better defining the task semantics (contributes to solving P1.3).*
- *(C1.3) Provided a list of tags of the parent task is easily available in the current task details, the parent task tags will ease the effort on current task tagging, increasing the system usability.*
- *(C1.4) Task tags can be used to find similarly*

tagged resources (tasks or documents).

In order to implement this new vision on PID, the process of the task-specific information retrieval and delivery will be extended as follows:

- (1) Propose possible tags to the user proactively
- (2) User accepts/rejects tag proposals or tags tasks manually (compound tags are allowed)
- (3) In collaborative task management environment, users can vote for or against the tag assigned by themselves or by colleagues.
- (4) A new PID query is generated by TaskNavigator considering tags and tag votes as (compound) search terms and their weights in the query.

Example

For the task from the previous example, task tagging example is given in Table 2.

Table 2 example of task tagging.

Task name	Introduce John Smith
Term set	introduce, john, smith, employee, project, touchmap, peter
Tag	"new employee", "john smith"

The user accepts the keyword "employee" as a tag and makes a compound tag "new employee" from it. Further, she composes a tag "john smith" from the two auto-generated keywords. These two phrases explicitly defined by the user will be given higher weights than ones for the auto-generated keywords that allow better controlling the behavior of the IR engine and getting more precise PID results.

3-2 Problems of Direct Usage of Task Tags for PID

Although task tagging could solve problems of lightweight PID, there are severe problems going along with tagging such as synonymy (*P2.1*), homonymity (*P2.2*) and polysemy (*P2.3*) ¹⁷⁾. In respect to the information retrieval, the problem of synonymy (includes synonyms, misspelling, different writing styles, and

different languages) is the most critical. The problem of homonymity can emerge, for e.g., if the user tagged a task with "SME" assuming "subject matter expert" but received documents about "small and medium enterprises". The problem of polysemy is sometimes difficult to recognize but it could still spoil IR results: searching for the description of the TouchMap system, the user receives documents about the TouchMap project which are tightly related but still not the same.

3-3 Solving Tagging Problems by Lightweight Conceptual Modeling

A standard way of solving the problem of synonymity and misspelling is to use mechanisms supporting controlled vocabularies during the tagging process (e.g. auto-completion supported by SKOS² or thesauri). To solve homonymy and polysemy problems, more sophisticated ontological modeling of the task-relevant domains can be utilized. A sound modeling of task context is a very complex endeavor that is practically impossible for every task in TaskNavigator. A complete modeling of the task-related knowledge domains that can be used for precise PID⁸⁾ is effort consuming and hardly possible in an open knowledge intensive working environment. As an alternative, we offer a lightweight modeling of tasks and task-relevant knowledge domains that partially includes the functionality of controlled vocabulary. The proposed solution is based on the idea of concept maps and is described below in detail.

2 <http://www.w3.org/TR/2008/WD-skos-primer-20080829/>

4. Lightweight Conceptual Modeling using Concept Maps

Concept map is a methodology for a graphical knowledge presentation created in early 1970s by J. Novak¹⁸⁾. A simple information model behind standard concept maps lacks a control of the vocabulary. Formally defined concept facets described by domains and ranges are also missing, as opposite to ontologies. These simplifications restrict using concept maps in the semantic web applications that require formal inference.

A concept mapping tool LeCoOnt³ developed at DFKI is aimed to combine the graphical expressiveness and intuitiveness of standard concept maps, a simple but well-defined concept model as well as vocabulary control to provide a universal platform for lightweight modeling of knowledge domains and typical user tasks using a concept map paradigm. We claim that introducing such formalisms into the information model of concept maps will suffice to solve problems of tag-based PID described above. Moreover, concept maps can have positive side effects to deeper solution to problems *PI.1-PI.3* as compared to simple tagging.

Fig. 2 shows a screen of the LeCoOnt tool currently editing a concept map "How to introduce a new employee?". The concept map defines a concept "New employee" as well as the task type "Introduce a new employee" consisting of several subtasks. Every concept in LeCoOnt consists of the following fields: i) a unique "uri" that allows to identify the concept; ii) a "stereotype" specifying the concept type; iii) a "label" (textual name, comparable with skos:prefLabel in SKOS notation); iv) "alternative label" consisting of a ";"-separated label list, e.g. abbreviations; v) "translations" consisting of a ";"-separated list of labels in different languages; vi) an informal textual description. The user can freely define relation names between the concepts. To avoid

3 <http://lecoont.opendfki.de/>

redundant relations, the user is supported by an auto-completion feature when creating a new relation between concepts that shows relation types already defined in the LeCoOnt database. Furthermore, LeCoOnt allows associating documents and URLs with any concept (e.g. a wiki page "NeuerMitarbeiter" for the concept "New employee").

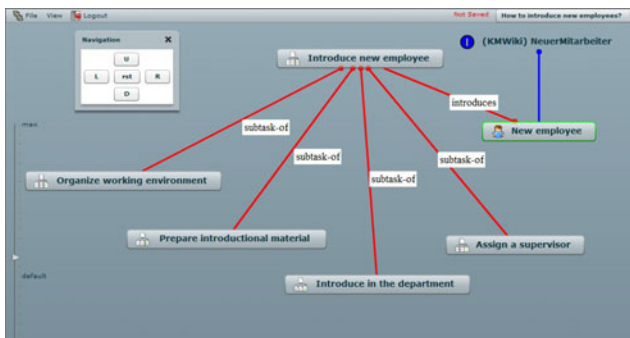


Fig.2 LeCoOnt.

TaskNavigator integrates LeCoOnt as means to control the vocabulary used for task tagging: when the user tries to add a tag to a task that already exists, a LeCoOnt service warns the user and delivers a list of concepts that eventually can be used to tag the task according to the user input (auto-completion function). The user can select a proposed concept as a task tag or create a new tag. This new tag will be stored in the LeCoOnt database as an unbound concept (independent from concept maps) that can be later reused for domain or task modeling.

4-1 Concept-Based PID

Having introduced a controlled vocabulary maintained by LeCoOnt, we are able to use it to identify which concepts from the LeCoOnt database match the current task context and not to rely on unstable results of statistics-based keyword extraction (see *PI.1-PI.3*). Fig. 3 (right bottom) shows a proposal to use the concept "New employee" as a tag for the task "Introduce John Smith". Tag proposals based on the LeCoOnt DB are

generated by an information extraction (IE) engine iDocument¹⁹ that is integrated into LeCoOnt. The user can tag the current task with proposed concepts or attach concept information items to the task. Fig. 3 (left middle) illustrates tags accepted by the user and attached to the task "Introduce John Smith".

Fig.3 Concept-based PID.

Attached concepts (concept-based tags) together with their alternative labels will be used by the PID engine to generate new PID queries. A simple PID query expansion enabled by the underlying concept model will ease the problem of synonymity (*P2.1*) when searching the documents. Relations of a tag to other concepts in the LeCoOnt database can be used to disambiguate meanings of keywords presented by tags and filter the resulting documents set delivered by PID (currently not implemented).

Example

A concept based query generation example is given in Table 3.

Table 3 generating query from concepts.

Task name	Provide introduction material for John Smith
Tag	"Provide introduction material"
Concepts	"Provide introduction material" (not important), "Digital paper"(important),
Automatically generated query	"digital paper" (weight=100), "digitaes papier" (weight=100), "digital" (weight=6), "paper" (weight=4), "digitaes" (weight=6), "papier" (weight=4)

The task "Provide introduction material for John Smith" tagged with concepts "Provide introduction material" (voted as not important), "Digital paper" (voted as important, translation "digitaes Papier") will produce the above query with weights.

In implementing the concept-based PID we used the some heuristics, e.g., tags defined by users as important (just added to the task) get a weight of 100, less important (added but voted negatively) get the weight of 50, and not important (voted more than once negatively) get a weight of 0. In some cases it is necessary to include not only concept labels but also single tokens comprising labels. Such search terms get a weight proportional to the length of term relative to the length of the label. This ratio is divided by 10 to get the final term weight. Heuristics mentioned here were tested during the TaskNavigator feasibility study and were found by users as adequate.

4-2 Using Concept Maps as Lightweight Process Models

Whereas the task tagging represents a bottom-up approach to task modeling, the LeCoOnt tool can be used as means to lightweight top-down task modeling. In Fig. 2 an informal process model "Introduce a new employee" created in LeCoOnt is shown. Having attached the concept "Introduce a new employee" as a task tag, a TaskNavigator user can decompose the task into subtasks according to the task model defined in the concept map. Created subtasks will be automatically

tagged by corresponding concepts from the concept map and inherit information items attached to the concepts.

5. Feasibility Test of Concept-Based PID

In order to show the feasibility of the approach, a case study was conducted at the DFKI knowledge management department. An excerpt of evaluation settings is given in Table 4. The users can be classified into two groups: i) 7 intensive users those who used TaskNavigator for part of their work and initiated 97% of the tasks created in the case study, and ii) the rest with rather short usage period and small number of own created tasks.

Table 4 overview of evaluation.

Subjects	4 students 9 researchers 2 consultants
Duration	3 months
Created tasks	376
Attached documents	624
Attached comments	164
Attached tags	485
Created concepts	70
Notifications	104

The type of tasks conducted with TaskNavigator ranged from personal tasks such as workshop preparation, writing publications, or diploma theses to project tasks such as project organization, proposal preparations, or customer relations. Over the case study period, 458 tags were added to tasks. During task tagging, 70 new concepts were created, thus, the concept base evolved also during task execution both with reusing existing tags and contributing new ones not yet reflected in the concept base.

The breakdown of the given 458 tags is shown in Table 5. Considering both numbers of tasks and given tags, each task got enriched description by 1.2 tags in average. Over 80% of tags were reused by some means, which means a number of tags being used in the system is fairly

maintained to reduce previously mentioned risks. Over half (54%) of the tags are automatically provided by the system. This support by the system facilitates tag use to enrich task context. Finally 24% of the tags were proposed by the concept-based PID and added to tasks by users.

Table 5 breakdown of given tags.

Manually created and added	15%
Manually added (reused) from existing tag clouds	31%
Automatically given by task decomposition	30%
Proposed by concept-based PID and added to users' tasks by users	24%

For the investigated tasks, the subjects compared the query generated from the task's textual context to the query generated from the concepts attached to the tasks. Once tags were available, usually the tag-based query terms were rated better. However, this depends on the preciseness of used task description, e.g., a precise task name "related work on Semantic Desktop" vs. "find related work".

The overall impression of the subjects was, that both, lightweight standard PID and tag-based PID have benefits and drawbacks, e.g., tag-based PID is considered providing better quality of queries than ones from standard PID; however, the former still requires user effort to assign tags to tasks while the latter is fairly automated. Therefore, both approaches should be combined. For instance, standard PID could be used for a task without tags.

6. Conclusion

This paper explains the notion of lightweight PID and its shortcomings and proposes an advanced extension based on both bottom-up and top-down lightweight task modeling that allows solving problems of lightweight PID. As a feasibility test with real users showed, both lightweight and extended PID approaches complement each other and should be used together. Whereas the

advanced PID solves many problems of the lightweight one, a lightweight PID can help to solve the problem of a system cold start specific to tag-based PID: when there are only few concepts available in the knowledge base, standard PID keyword proposals can be used as a basis to create concepts to initialize the knowledge base.

Although the first feasibility test results were positive, a lot of improvement potentials, like better usability and workplace integration were identified by test users. There were also some conceptual aspects that could not be tackled in the project's time frame, e.g., the model of a task context defined in this work considers neither different user skill and knowledge levels nor different user roles ⁹⁾. This could be a topic of the following research.

Acknowledgement

Work funded in part by "Stiftung Rheinland-Pfalz für Innovation" (Virtual Office of the Future)

7. Reference

- 1) H. Holz, et. al. (2005) From Lightweight, Proactive Information Delivery to Business Process-Oriented Knowledge Management. *Journal of Universal Knowledge Management*. 2, 2005,
- 2) H. Holz, et. al., (2006) Task-Based Process Know-how Reuse and Proactive Information Delivery in TaskNavigator. In *Proceedings: CIKM '06. ACM Conference on Information and Knowledge Management*, November 6-11, 2006, Arlington, USA.
- 3) D. Allen (2001). *Getting Things Done: The Art of Stress-Free Productivity*. Penguin Books. ISBN 0-14-200028-0.
- 4) U. V. Riss, H. M. Jarodzka and O. Grebner. (2007). *Pattern-based task management & implicit knowledge - How to mobilize implicit knowledge*. 4. *Konferenz Professionelles Wissensmanagement*. Potsdam.

- 5) H. Holz, et. al., (2005) A Lightweight Approach for Proactive, Task-Specific Information Delivery In: Proc. of I-KNOW'05 - Special Track on Business Process Oriented Knowledge Infrastructures (BPOKI)
- 6) L.v. Elst, et. al. (2003) Weakly-structured workflows for knowledge-intensive tasks: An experimental evaluation. IEEE WETICE Workshop on Knowledge Management for Distributed Agile Processes (KMDAP03). IEEE Computer Press.
- 7) BrainFile is a software product of the brainbot technologies AG, Germany.
(<http://brainbot.com/site3/produkte/brainfiler>)
- 8) C. Christl, et. al. (2008) Deploying semantic web technologies for work integrated learning in industry. A comparison: SME vs. large sized company in: Sheth, A. et al. (eds): Proceedings of the ISWC 2008, 7th Intl. Semantic Web Conference, Karlsruhe, Germany, Oct 26-30, 2008, pp. 709-722, Springer
- 9) O. Rostanin, et. al., (2006) Project TEAL: Add Adaptive e-Learning to your Workflows. In Proc. of I-KNOW'06, 6-8 Sept. Graz.
- 10) A. Schmidt, S. Braun, (2006). Context-Aware Workplace Learning Support: Concept, Experiences, and Remaining Challenges. First European Conference on Technology Enhanced Learning - EC-TEL 2006, Crete, Greece. Nejdl, W., Tochtermann, K. (eds.). LNCS vol. 4227, Springer, 2006, pp. 518-524.
- 11) T. Suzuki, et. al. Agile Workflow Management and Proactive Information Delivery in TaskNavigator, Ricoh Technical Report 32 (2006)
- 12) T. Ikeda, et. al., (2005) TRMeister: a DBMS with High-Performance Full-text Search Functions. 21st Intl. Conference on Data Engineering (ICDE 2005), 2005 IEEE.
- 13) A. Abecker, et. al. (2000) Context-Aware, Proactive Delivery of Task-Specific Information: The Know-More Project. DFKI GmbH. Intl. Journal on Information Systems Frontiers (ISF) 2 (314); Special Issue on Knowledge Management and Organizational Memory. Kluwer 2000. pp. 139-162
- 14) MySQL is a trademark of MySQL AB
- 15) WordPress is a trademark of Automattic Inc.
- 16) Cameron Marlow, et.al., HT06, Tagging Paper, Taxonomy, Flickr, Academic Article ToRead: <http://www.danah.org/papers/Hypertext2006.pdf>
- 17) S.A. Golder, B.A. Huberman, (2006) The structure of collaborative tagging. Journal of Information Science, 32, 198-208, pp. 101-127.
- 18) J.D. Novak, (1998). Learning, creating, and using knowledge: Concept maps as facilitative tools in schools and corporations. Mahwah, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.
- 19) B. Adrian, A. Dengel. (2008) Believing Finite-State cascades in Knowledge-based Information Extraction. Dengel, A. et al. (eds.): KI 2008: Advances in Artificial Intelligence. Springer.

Java言語を利用した機種互換可能なアプリを開発できる MFP/LP向けのソリューションプラットフォーム

Solution Platform for Java Applications Development to Eliminate Model-Dependency of MFP/LP

安藤 光男*
Mitsuo ANDO

田中 浩行*
Hiroyuki TANAKA

新村 健治*
Kenji NIIMURA

大橋 英樹*
Hideki OHHASHI

大石 勉*
Tsutomu OHISHI

要 旨

リコーは2000年に業界で初めて、MFPやLP（レーザープリンタ）で動作するアプリケーションを追加できる開発ツールを公開した。2004年に発表したESA（Embedded Software Architecture）では、開発言語をC言語からJava言語とし、MFPやLPの機種に依存しないアプリケーションの作成を可能にした。さらに、アプリケーションの開発や配布を容易にし、PC上で動作するエミュレータを提供することにより、実機がなくてもアプリケーションが開発できるようになり、サードベンダを巻き込んだ価値の高いソリューションを提供できるようになった。現在では120社以上のベンダと協力し、リコーのMFPやLPの付加価値を創出し続けている。

ABSTRACT

In 2000, for the first time in the industry, Ricoh released an application development tool that enabled the user to develop additional applications for Ricoh's MFPs/LPs. And after this release, in 2004, the company introduced ESA (Embedded Software Architecture: a new architecture for software development), in which the development language was changed from the C language to the Java language so that created applications could run on various different models. This introduction of the Java technology eliminated model-dependency in created applications and as a result more efficient application development and distribution were achieved. The company also started to offer an emulation tool that enabled the user to simulate operations of an MFP/LP on a PC and to develop additional applications without actual devices. Now more than 120 vendors use ESA and various additional applications from the vendors are available to Ricoh's MFPs/LPs.

* グローバルマーケティング本部 NSS事業センター
Network Solutions & Services Center, Global Marketing Group

1. 背景と目的

オフィス業務の生産性向上のため、OA機器に対して、「ワークフロー」、「セキュリティ」、「TCO（トータルコストオブオーナーシップ）」、「コンプライアンス」、「環境」に焦点を当てた顧客価値の創造が求められている。

リコーでは、1999年に「ドキュメントハイウェイ」構想を打ち出した。これは簡単にいえば、エンドユーザーが、いつでも、どこからでも、ネットワークに接続されているさまざまな機器から、必要な情報を、最適な形で取り出し、やり取りするための仕組みを提供するというものである。即ち、ユーザーが今いる場所や利用するオフィス機器の違い、音声や動画といったデータ形式の違いを意識せずに、自由に情報をやり取りするための環境を提供するものである。

そしてこの「ドキュメントハイウェイ」構想において、デジタル複合機（MFP）やレーザープリンター（LP）といった機器の役割に大きな変化が要求された。これは、複数の複写機、プリンターを効率的にネットワークで連携させるプリンティングソリューション、ファイルサーバーによる集約的な保管、検索、出力のためのシステムを構築・運用するドキュメントソリューション、ワークフローにそったユーザーインターフェースのカスタマイズなどである。

例えば、MFPの機能をワークフローにそって使用するために、従来では、予め組み込まれたユーザーインターフェースを使用せざるを得ないため、煩雑な操作が必要な場合があった。これに対し、ワークフロー毎に抽出された機能がワンアクションで操作可能なユーザーインターフェースが要望されていた。

リコーでは、このような要望を実現するためのソリューションプラットフォームとして、C言語アプリケーション開発・実行環境を2000年から提供してきた。

さらに、2004年には、開発効率をさらに向上させ、より多くのアプリケーション開発技術者の参画を可能とするために、Sun Microsystems社が開発したJavaをベースとした機種互換可能なアプリケーション開発・実行環境を提供した。

2. 技術の特徴

2-1 ESA (Embedded Software Architecture)

リコーのMFP/LPは、共通のプラットフォーム上で各機能（コピー、プリント、スキャン、FAX）が動作する構成になっている。ESAは、こうした共通のプラットフォーム上で機種間および後継機での互換性を維持しつつ、MFP/LPの多彩な機能を生かした高度なシステム開発を可能とするJava言語を利用したアプリケーション開発プラットフォームである。

ESAは、C言語の開発ツールをさらに発展させ、開発言語にネットワークとの親和性が高いJavaを採用しており、OSへの非依存、異機種での高い互換性といったJavaの特徴を活かすことで、例えば、オフィス機器と社内システムの連携も図りやすくなり、開発期間の短縮や開発コストの大幅な低減を可能としている。

2-2 ソフトウェア構成

ESAは、C言語の開発ツールをベースに構築されている。ESAのアプリケーションには、XletとServletの2つのTypeがある。Xlet Typeは、MFP/LP上の操作パネルにユーザーインターフェースを表示するアプリケーションモデルである。Servlet Typeは、MFP/LPにネットワーク接続されたWebクライアント上にユーザーインターフェースを表示するアプリケーションモデルである。Xlet Type及びServlet Typeは、アプリケーションのライフサイクルを管理しやすい仕様となっている。アプリケーションは、それぞれ独立にリソースを管理され、複数のJavaアプリケーションを同時に実行することが可能である。Fig.1は、ESAのソフトウェア構成図である。

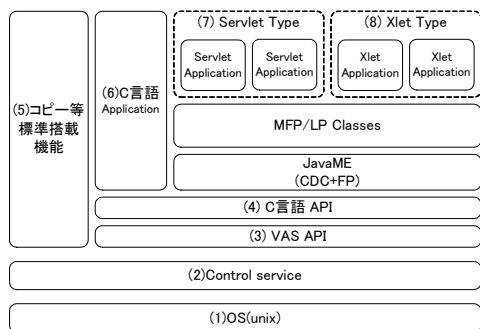


Fig.1 ESA Software Configuration.

ソフトウェア構成の各部分の概要をTable 1に記す。

Table 1 ESA Software Configuration Overview.

(1) OS(unix)	オペレーティングシステム
(2) Control Service	機器制御のために用意されている機能群
(3) VAS API	機器サービス層のラッパー層
(4) C言語API	C言語の開発ツールが提供する機種互換ライブラリ群
(5) コピー等標準搭載機能	コピー/Fax/スキャナ/印刷などの標準搭載機能群
(6) C言語Application	C言語APIを使用したアプリケーション
(7) Servlet Type	ESA Servlet Typeアプリケーション
(8) Xlet Type	ESA Xlet Typeアプリケーション

2-3 ESAの特徴, 互換技術

ESAでは, Java ME (Java Platform Micro Edition) の CDC (Connected Device Configuration) 及び FP (Foundation Profile) という構成で実装している。

MFP/LPクラスは, MFP/LPの機器制御を行うことができる。MFP/LPクラスは, C言語のAPIに比べ, 複雑な処理手続きを意識せずに効率良くアプリケーションが開発できるように機器制御における様々な特異性を, オブジェクト指向のMFP/LPクラス群として組み込んで提供している。

ESAは, 以下のような特徴を持つ。

- (1) ESAで開発したJavaアプリケーションは, ESA対応のすべてのMFP/LP機器で使用することができ, ESAクラスライブラリは, 機種共通である。
- (2) 機器の操作パネル, 印刷, スキャン, ファイル保存等の機能を制御することができる。
- (3) HTTP(S), FTP, SMTP等のネットワークプロトコルを提供する。また, アプリケーションが自身でオープンソースのjcifsを使用することによってSMBも利用可能となる。
- (4) Webサービスを使用できる。これは, アプリケーション開発時に, 必要に応じて拡張モジュールをインストールすることにより利用される。

2-4 MFP/LPクラス, デバイス仮想化技術

MFP/LPクラスは, MFP/LPの機器制御を行うことができ, 以下のようなサービスを提供する。

(1) ユーザーインターフェース制御

「パネル制御 (パネルサービス : Panelパッケージ)」等により, ユーザーインターフェースの構築を可能とする。主なユーザーインターフェースのアイテムとして, Button, Buzzer, Icon, Label, LED, Pattern (線, 矩形を描画), Soft Keyboard, Window等を提供している。

(2) スキャン制御

「スキャン (スキャンサービス : Scanパッケージ)」を利用することにより, 原稿をMFPのスキャナを利用して読み取り, 読み取った画像データをMFP本体にTIFFやJPEG等の標準的な画像フォーマットで保存ができる。

(3) プリント制御

「プリント (印刷サービス : Printパッケージ)」を利用することにより, MFPのスキャナを利用して紙原稿から読み取った画像データや, ネットワーク上のクライアントから受け取った画像データの印刷を可能とする。

(4) アプリケーション管理

アプリケーションに対して以下の制御を行うことができる。

- ・インストール

- ・アンインストール
- ・起動
- ・停止
- ・アプリケーション情報取得

それぞれのサービスは、機器サービスから見ると仮想のアプリケーションとして振る舞うラッパー層であるVAS (Virtual Application Service) を経由して実現している。VASは機器本体側に置かれるサービスであり、提供する機能の仮想化を行っている。

例えば、表示に関する仮想化技術としては、インストールされるアプリケーションの情報として、そのアプリケーションの画面設計で想定されている画面サイズ情報を付加し、例えばHVGA用に設計された画面を有するアプリケーションをWVGA、若しくはSVGAの操作部画面の機器で動作させた場合でも、表示部サイズの違いに応じて自動的に拡大して表示するようになっている。

2-5 機能のバンドル化

ESA Ver.2以降ではプラットフォームにOSGiが導入されており、Ver.5以降では、追加可能な機能をバンドル単位で行うことができるようになった。

バンドルは、追加可能なオプションバンドルとESAリリース時に組み込まれ複数のバンドルから利用されるサービスバンドルに区別されている。オプションバンドルの追加・削除（インストール・アンインストール）のほか、リリース時にあらかじめ組み込まれたサービスバンドルの起動・停止も行うこともできる。これにより利用しないサービスバンドルを停止することで、メモリリソースの有効利用などを行うことが可能である。

2-6 ライセンス管理

2-6-1 ESAプラットフォームのコピー防止と改ざん防止

ESAプラットフォーム本体は、認証付きのSDカードに格納されており、SDカードをコピーしても起動しない。ESAを動作させるには、ESAプラットフォーム本

体が格納されたSDカードが、機体に挿入されている必要がある。これにより、SDカード単位でESAプラットフォームのライセンス管理を行っている。

2-6-2 アプリケーションのコピー・改ざん防止

ESAのアプリケーションが、リコーにより発行される認証データにより認証を受けた後、第三者によって不正にコピーされると、アプリケーションインストール時に、システムにより不正なアプリケーションと見なされインストールされない。

また、インストールおよびインストール後の起動時において、改ざん防止確認を行っている。これによりアプリケーションに改変や置き換え等の不正が認められた場合、そのアプリケーションは起動されない。上記の認証処理は、リコーから発行される認証データと電子署名を利用して実現される。

アプリケーション認証データを使用することで、MFP/LP上で動作するアプリケーションが機器を破損するようなものではないこと、また正規のベンダにより作成されたアプリケーションが不正にコピーされたものではないことを証明できるようにしている。

この認証はESAのプラットフォームが行う。プラットフォームは、アプリケーションのオブジェクトに組み込まれたアプリケーション認証データを使用し認証を行う。MFP/LPのリソース保護やアクセス制限などを行う認証データは、電子署名を行う際にアプリケーションのオブジェクトに組み込む。

電子署名は、アプリケーションを構成する全てのJARファイルに対して行う必要がある。

2-7 エミュレータ

ESAでは、開発支援ツールとして、Windows版およびLinux版のエミュレータを提供している。エミュレータは、MFPと同じ操作環境 (Fig.2) をPC上に構築することで、実機を使用せずに開発を始めることができ、開発作業の大半を行うことができる。実機の使用は、最終的な評価に限定できる。本エミュレータは、実機の動作環境を正確に再現させるため、実機と同一の動作環境 (J2ME) を使用し、表示や機能のエミュレー

シジョンにPC上のJava (J2SE) を利用することにより、実現されている。

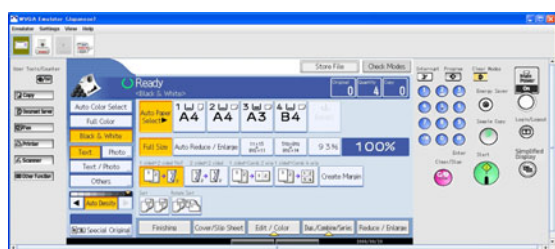


Fig.2 Emulator Screen.

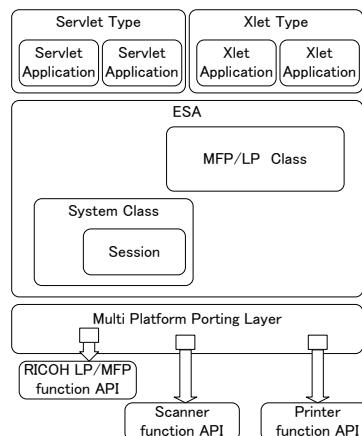


Fig.3 Multi-Platform Architecture.

2-8 マルチプラットフォーム対応

MFP/LPは、ほとんどの機種において共通のプラットフォームをもち、その上で稼動するESAは、機種間・後継機での互換性を維持してきた。一方で、一部のローエンド機器や、OEM製品など、異なるプラットフォームをもつ機種も存在する。このような機種に対してもESAをサポートし、機種互換の幅を広げることで、既存のESAアプリケーションのリソースを有効に活用する試みがなされている。

ESAは、マルチプラットフォーム対応のため、各種プラットフォームに応じて実装が可能な構造となっている。各プラットフォームに依存する処理は、ESAとネイティブの部分の中間層にあたるMulti Platform Porting Layerに実装される (Fig.3)。Multi Platform Porting Layerは、実装形態を特定していない。このため、各種プラットフォームが持つAPIに応じた実装を行うことにより、さまざまな機器上でESAを動作させることができる。

マルチプラットフォーム対応への研究テーマとして、OEM提供されている機器に対し、ESAをサポートし、いくつかのESAアプリを同機器に搭載させる試みが行われた。対象となった機器のスペックは下記の通りである。

OS :VxWorks PCD2.0 (WindRiver)
 CPU :Tx4937_MIPS 300Mz (Toshiba)
 Memory :64MB for Java (Total 128MB)

本件では、同機器に複数のXletアプリを搭載させ、基本機能についての動作を確認した。性能面についても、JavaVMの高速化、キャッシュの利用などにより、CPUクロックで倍程度の上位機種と比較しても、アプリの性能を3割程度の低下に押さえることができた。一方、課題として、同機器のハードウェア・OS・ファンクションAPIの制約、取得可能な機器情報の制限などにより、既存のESAと完全な互換性を確保することが難しいことが明らかとなった。

また、PCや外付けBoxのように、外部機器上でESAをサポートした例もあるが、それぞれの電源状態 (ON/OFF/省エネ等) が異なり制御が複雑になるという課題が明らかになった。

しかし、イベントのエミュレートや、搭載するプラットフォームがもつAPI機能を組み合わせたり、ネイティブ側の機能実装による対応などにより、各種プラットフォームへの対応が、技術的に可能であることが明らかになった。

2-9 アクティベーション

近年、ネットワークを利用して、ソフトウェアアプリケーションのパッケージ単位での販売、サービスや課金が行われている。これは、ユーザーからみると必要なサービスを必要なときに必要な分だけ利用できるためコスト面で優位であり、また必要なサービスの検索・導入が容易であるため利用面でも優れている。

ESAではFig.4に示すように、ネットワーク上のPCがActivation Clientとなり、複数のMFP/LPのアプリケーションのライセンスを管理することができるようになってきている。ユーザーがアプリケーションを使用する際には、Activation ClientがActivation Serverと通信し、ライセンスを取得してMFP/LPに導入する。ライセンスの解除などもActivation Clientから可能となっている。また複数のプラグインから構成されるアプリケーションなど、複数のライセンスを必要とするアプリケーションにも対応している。

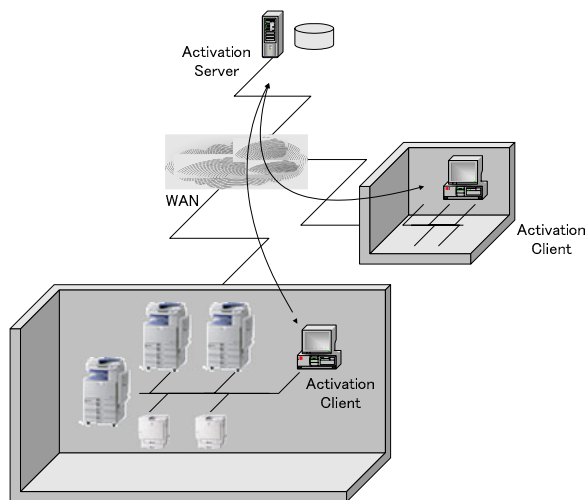


Fig.4 Activation.

2-10 アプリケーション開発サポートツール

ESAではアプリケーション開発を補助するためのツールとして、アプリケーション操作レコーダーとアプリケーション互換性チェックツールを提供する予定である。

アプリケーション操作レコーダー (Fig.5) は、Xletアプリケーションに対するユーザー操作の記録・再生

と、画面遷移の検証を行うツールである。ツールの起動・停止などはWebクライアントから行う事ができる。本ツールを利用することで、テストの効率化や障害発生状況把握が容易となる。

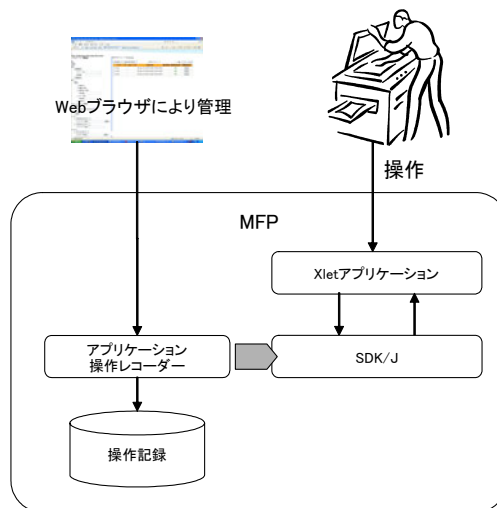


Fig.5 Application Operation Recorder.

アプリケーション互換性チェックツールは、アプリケーションと、その動作環境となるESAの各バージョンや対象機器との間のAPIレベルでの整合性を静的に解析し、レポートするツールである。本ツールは、コマンドラインやプログラム開発環境 (Fig.6) から利用でき、ESAの各バージョン間や機種間のアプリケーションのポーティングを容易にする。

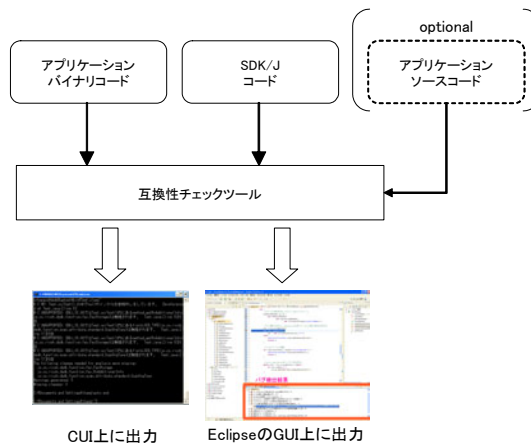


Fig.6 Application Compatibility Check Tool.

3. 成果

ESAというソリューションプラットフォームにより、新たな価値を容易にMFP/LPに組み込むことができるようになった。サードベンダを巻き込んだ、お客様に近い場所でのソリューションの開発が可能となり、市場の要望を反映したより価値の高いソリューションを提供できるようになった。現在では120社以上のベンダと協力し、リコーのMFP/LPの付加価値を創出し続けている。

4. 今後の展開

現在、多くのソリューションが全世界で提供されているが、類似したものも多く、ソリューションの品質を均一化する必要がある。例えば、特定の機能のある一定の使い方に統一するような施策が必要である。

MFP/LPに対しては常に新たな機能が要求されている。ソリューションとして追加した機能を新たな機種標準機能あるいはAPIとして提供するには、互換性の維持やテストなどに多くの工数が必要である。SDKはAPIの集合であり、これを利用したソリューションは本体機能とのリソース競合が必ず発生する。現在では量産開始までにESAに必要な機能やソリューションのためのメモリリソースなどをあらかじめ確保し、すべて組み込んで出荷しているが、OEM製品などではそれも難しい。メモリリソースの監視機能と組み合わせることで、出荷後にソリューションに必要な機能を動的に組み込むことができれば、MFP/LPだけでなく、様々なEmbedded Systemに対してソリューションプラットフォームを組み込むことができるようになる。

5. 謝辞

最後に、本開発にご協力いただきました方々をはじめとし、関連する多くの方々に、ご指導ご支援いただきましたことを心より感謝いたします。

注1) Javaは、米国Sun Microsystems, Inc. の米国及びその他の国における商標または登録商標です。

R & D主導によるコーポレート・エスノグラフィと人間中心設計の実践

Practice of R&D-led Corporate Ethnography and User-Centered Design Process

伊賀 聡一郎* 新西 誠人* 山本 健吾*
Soichiro IGA Makoto SHINNISHI Kengo YAMAMOTO

要 旨

私たちの身の回りにはモノやサービスがあふれており、これらの機能や価格といった「差別化要因」だけでは利用者にとっての導入選択が難しくなっている。利用者がモノやサービスを具体的にどのように活用するのか、どのような環境やコンテキストで用いるのかなど、利用者起点の活きた情報に基づいたモノづくりがメーカーとしても急務である。このためには、R & D（研究開発）の現場においても、従来のシーズ指向の技術開発のみならず、商品やサービスの利用者やその利用者の置かれた環境といった利用者起点の情報を活用した商品やサービスの開発アプローチが必要となる。本稿では、R & Dの現場が主導するコーポレート・エスノグラフィと人間中心設計に基づく技術開発の実践について紹介する。そして、R & D主導でこれら活動を進める利点と課題について考察する。

ABSTRACT

Vast numbers of products and services are flooding today that it is almost impossible for manufacturers to differentiate them only with functions and prices. We should shift on to a customer-centric design process which focuses on how products and services are leveraged in the context of customers' everyday lives. To incorporate these customer experiences to the development of new technologies, field of research and development (R&D) should introduce a new way of development process which integrates two approaches, a technology-centric approach (seeds) and a customer-centric approach (needs). In this article, we report on a practice of corporate ethnographic approaches and user-centered design processes which led by the R&D section. We describe advantages and new challenges of our approach.

* グループ技術開発本部オフィスソリューション技術開発センター
Office Solution Technology Development Center, Corporate Technology Development Group

1. はじめに

「モノからコトへ」といわれるように、製品やサービスの持つ機能面が価値を持つ時代から、それらがどのような場面で利用者の目的を果たすのかといった経験的な側面が価値を生む時代へと移り変わって来ている¹⁰⁾¹⁹⁾。企業の製品開発においても、従来のような技術指向の製品開発によるシーズ指向のアプローチから実際のユーザを想定したニーズ指向の開発アプローチが重視されつつある⁶⁾⁹⁾。このような流れの中において、ISO13407などの標準化も進み、ユーザ起点で製品開発を行う人間中心設計（UCD：User-Centered Design）の考え方も浸透してきている⁸⁾。R&D（研究開発）のフィールドにおいても、これら価値観の変化を捉えた新たなR&Dプロセスが求められている。

ユーザのニーズを直接的に吸収する開発手法に「参加型デザイン」がある¹⁵⁾。ユーザが定常的に製品開発プロジェクトに参加して、開発者とユーザがともに製品開発の課題解決にあたるというものである。しかしながら、これまで市場にない製品を開拓するような場合には、例えば、具体的なユーザがいない、長期的にユーザをプロジェクトに参加させることが難しい、ターゲットユーザのセグメンテーションが難しいなどの課題がある¹²⁾。特に新しい製品やサービスを生み出すようなR&Dのプロジェクトにおいては、これら課題は顕著であり、技術やノウハウといった知的財産のマネジメントの観点からも参加型デザインを適用することは困難であろう。

企業における製品のR&Dプロジェクトには、様々なスキルを持った人材が関わる。例えば、企画、設計、開発、販売といった役割別の人材もさることながら、材料、物性、メカトロニクス、ソフトウェア工学、心理学、マーケティング、グラフィックデザイン、インタラクションデザインなど多種多様に渡るバックグラウンドを持つ人間が一つの製品／サービス作りに携わることもある。これら多様なバックグラウンド、スキル、マインドセットを持った人間が、ユーザのニーズに密着した製品やサービスの開発というゴールに対して協働することが求められる。

様々なバックグラウンドを持つ人材が関わるプロジェクトの場合には、旧来的なR&Dのように「技術」の魅力のみでは協働を促進することは難しく、それぞれのメンバーのスキルを十分に活かすことが難しくなる。R&Dフィールドだからといって技術的な視点のみでモノづくりを進めるだけでは、最終的に一貫したユーザ経験を伝えられる製品やサービスを生み出すことはできないだろう。

このように、これからのR&Dフィールドでは、ユーザのニーズと、自社の独自技術から成るシーズとをマッチングさせて新しい仮説を導出し、さらに様々なスキルやスタンスでプロジェクトに関わる人材の協働へとシームレスにつなげられるようなフレームワークが求められる。

本稿では、R&D主導でのコーポレート・エスノグラフィによる潜在的ニーズの発掘と仮説立案、コーポレート・エスノグラフィの結果を基にしたペルソナ法やシナリオベース法から構成する人間中心設計の開発プロセスを紹介する。

まず、コーポレート・エスノグラフィや人間中心設計の一般的な言葉の意味と関連するアプローチを概観する。次に、R&Dフィールドで実践したコーポレート・エスノグラフィと人間中心設計を事例紹介的に触れ、そのメリットと現状の課題を考察する。

2. コーポレート・エスノグラフィとは

エスノグラフィ（民族誌学）とは人類学者が民族誌を書くために開発したフィールドワークという研究方法であり、調査者自らが対象の集団活動に関与する参与観察法やインフォーマルインタビューなどの現場調査（フィールドワーク）と、現場調査の結果を分析・解釈した報告書（民族誌）から成る¹⁴⁾。

「コーポレート・エスノグラフィ」とは、企業活動におけるエスノグラフィ的なアプローチの応用である。いわゆる民族誌学としてのエスノグラフィのように長期に渡る参与観察を行うケースは少ないが、顧客の日常や業務を簡易的に観察し、インタビューを通じて顧客を理解し、潜在的なニーズを吸収した上で、新たな

製品の企画につなげるものである。現状コーポレート・エスノグラフィは、特にマーケティング部門での実践例が多く見られる。

関連するアプローチとしては、田村は人間観察を中心とするフィールドワークを基点とし、対象者へのインタビュー内容や行為の記録に対して複層的な解釈を与えることにより新たなビジネス機会を見出す一連の質的リサーチ手法として「ビジネス・エスノグラフィ」という概念を提案している¹⁸⁾。特定の認知行動の意味と安定的に結びつく変数の計測はビジネス・エスノグラフィにおける解釈を深めることに役立ち、ビジネスでの発見をデータ計測や可視化で鮮明にするアプローチは革新的な価値の創造する上で不可欠になると提言している。

企業でエスノグラフィ的なアプローチを実践する場合、人的なリソースと時間的なコストが問題となる。専門的なトレーニングを受けたエスノグラフィを単一のプロジェクトに長時間投入することは現実としては難しい。したがって、エスノグラフィに関する専門的なトレーニングを受けていない人材でも効率的にフィールドからの情報を吸収できるようにすることで、人的なリソースの問題や時間短縮を図る必要がある。

矢島は、聞くことから顧客業務や意識を把握するための体系化したインタビュー手法として、分析を前提とした体系化された専用ツール類を使用することで、聞き手のスキルに左右されずに語り手の観点や言葉で現状行動や問題意識を人間関係・時間・空間といった多角度から獲得する手法である「エスノ・コグニティブインタビュー」を提案している²²⁾。

3. 人間中心設計とは

人間中心設計（UCD）とはユーザをデザインプロセスの中心に据えることで、適切で使いやすい利用者起点の製品やサービスの提供をめざす手法である²⁰⁾。基本的なステップとしては、市場を定義し、ステイクホルダーへのインタビューやフィールドの観察・調査により²¹⁾、ユーザ像の詳細やニーズを収集／分析する。そこからの気づきを基に、ユーザのニーズやそこの

課題を解決する仮説を立案する。仮説を形にするために、ユーザの利用コンテキストを取り込んだシナリオを作成し^{1) 2)}、仮説を形として実現するラピッドプロトタイプを作成し¹⁶⁾、実際に想定されるユーザを交えてテストを繰り返す。このような開発サイクルを実践することにより、製品をユーザのニーズにより近くことが期待できる。

UCDの実践としては、例えば、平野らは紙や電子ペーパーといったドキュメントワーク環境をデザインするにあたって、人のワーク行動を観察し、観察からの特徴的なシーンを抜きだし、そのシーンを支援する仮説をたて、ラピッドプロトタイピングの手法によりインタラクションデザインを実施している⁵⁾。

4. これまでのアプローチの問題点

これまでのコーポレート・エスノグラフィの先行事例では、マーケティング部門やデザイン部門などの特定部署における企画立案に向けた仮説発見手法としての実践例が多い。マーケティング部門で立案された企画を実際にモノづくりのプロセスに進めるには、ターゲットユーザやそのユーザの置かれた環境、モノがどのようにその中で活用されるのかといった具体的なイメージを開発区に伝える必要がある。

しかし、企画区と開発区の間では、組織間を越えた情報共有を行うための時間的なコストと、企画と開発をつなぐ「共通言語」の欠如が問題となる。

UCDの実践には本来、プロジェクトの構想から終了までの様々なスキルを持つ人材を横断的に集める必要がある²⁰⁾。また、インタラクションデザインのスキルを持つ人材が継続的にプロジェクトに関わっていることが望ましいだろう。このように横断的に人材を集めるには、部門を越えて人材を集める必要があり、本質的にはトップマネジメントが関与する必要がある。しかしながら、このような人材異動コストの高いプロジェクト形成は実際には難しく、従来の垂直的な組織マネジメントにおいてUCDのマインドを推進させるに留まっているのが多くのメーカーとしての現状であろう。

5. R&D主導のコーポレート・エスノグラフィと人間中心設計

これらの従来のアプローチの問題を解決する一つの方法として、R&D主導でのコーポレート・エスノグラフィと人間中心設計によるプロトタイプシステムの開発を実践している。主にオフィスワーカーを対象として彼らの潜在的なユーザペインを理解し、そのペインを解決する新たな仮説を構築し、プロトタイプシステムを通じて仮説を検証した。ここではその実践の一旦を紹介する。

R & Dのプロセスを創発プロセス (Emergent Process) と実現プロセス (Realization Process) の2つのプロセスに大別している (Fig.1)。

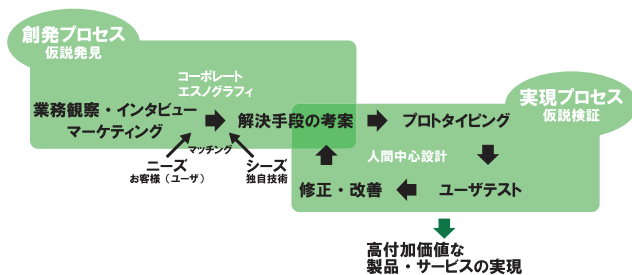


Fig.1 Emergent Process and Realization Process

創発プロセス：ユーザニーズを吸収し、技術的なシーズとマッチングさせ、仮説を発見・立案するためのプロセス。

実現プロセス：立案した仮説をプロトタイピングを通じて実現し、ユーザテストを通じて改善を繰り返し、仮説を検証するプロセス。

開発者を中心に構成するメンバーによるR&D主導でこのようなプロセスを実施することにより、企画案だけではイメージできなかった利用者の日常生活や具体的なペインを理解し、それらイメージを開発プロセスの中で息づかせながらプロトタイプとして具現化につなげることができるようになる。

以下それぞれのプロセスと、そこで実践した手法を説明する。

5-1 創発プロセス

創発プロセスの一部として、田村らの提唱するビジネス・エスノグラフィの手法を取り入れている。オフィスワーカーにとってのユーザペインを解決する具体的な解決手段としてのアプリケーションを構築することが主眼であるため、ブレインストーミング時には自社で獲得している独自技術に基づくシーズ的な技術情報と、さらに人間中心設計を進める上での仮想的なユーザ像としてのペルソナ構築 (ペルソナの詳細は後述) を行うために、ターゲットユーザ像の具体的なシナリオ構築の際には観察結果に加えてインターネットによるマーケティング調査などのマクロデータを見ている。

ビジネス・エスノグラフィのプロセスは、主に以下の4つから構成する。

オブザベーション：チームメンバーのうち数名が観察者としてフィールドで観察を実施する。観察に加えて、観察対象者中心にインタビューを行い、観察では十分に把握しきれなかった周辺のコンテキスト情報を収集する。

ダウンロード：観察者がフィールド観察を直接経験していないチームメンバーとストーリーテリングによりフィールドでの体験を共有する。

シンセシス：観察体験を共有した上で、印象に残った観察対象者の言葉やフィールドでの出来事を基にしてアイデアをブレインストーミングする。

エクスプレッション：ブレインストーミングの結果を企画提案の形に可視化してまとめる。

当社の実践の中では、オブザベーションのプロセスとしてR&Dメンバー自身がフィールド観察を行っている。エスノグラフィ手法の専門的なスキルを持たないR&Dメンバーでフィールド観察を実施することは、集められる観察データの客観性に影響する。そこで、まず参与観察の準備期間として身近な小さな事例で練習材料的に観察と観察結果の共有を行うトレーニングを行った。

フィールドでの観察はまず全体観察を通じて観察においてフォーカスするポイントを検討し、焦点観察により定めたフォーカスポイントの詳細な観察を実施し

た¹⁷⁾。例えば、オフィスワーカーの初期の全体観察では日常の業務やアーティファクト（道具や電子機器類）の扱いなどを網羅的に観察し、焦点観察では特に組織内外ワーカーのインタラクションにフォーカスして観察する、といったようにフォーカスポイントを定めて観察を行った。

特に観察者自身がR&Dメンバーであることを考慮して、観察対象となるフィールドには必ず複数名（2～3名）のメンバーが参加するようにして、観察データの客観性を担保できるようにした。

観察後には、観察に参加したメンバー間でデブリーフィング（振り返り）を行い、観察者の印象に残ったトピックや観察対象者の言葉や振る舞いについて、観察者の記憶の鮮度が高いうちにリストアップした。

ダウンロードのプロセスでは、観察者がフィールドで観察した結果をスライドやポスター形式でまとめ、観察に参加していない他のメンバーに対して、フィールドにおける観察対象者の言動や振る舞いについて臨場感を持たせて伝える。観察結果を要約して伝えるのではなく、特徴的なフィールドでの出来事、観察対象者の言動や振る舞いに注目し、それらを「リアルに」「生々しく」伝えることに力点を置き、観察対象者の経験を第一人称的な視点で共有できるようにした。

ダウンロードによるフィールドでの経験の共有を行った後に、シンセシスのプロセスとしてブレインストーミングを実施する（Fig.2）。まずメンバーから特徴的な出来事やユーザペインを抽出し、観察者との質疑応答を交えて、その出来事や問題の背景を深堀りする。それら背景についての根本的な要因を洞察し、特徴的な出来事やユーザペイン項目ごとに解決方法のアイデアを付箋に書き込み壁に張り出していく。現状当社が保有している技術で解決可能なアイデア、技術は保有していないが将来的に適用可能であろうアイデアを挙げる。また、必ずしも新規の技術アイデアのみならず、観察対象者の現状のフィールドにおける運用面で解決できるものについてもアイデアとして挙げるようにしている。



Fig.2 Download/Synthesis Process

本来はこの次のプロセスとして、これらダウンロード/シンセシスの結果をエクスプレッションとして企画書のような形にまとめることになる。しかし、今回のプロジェクトの目的は、さらに創案したアイデアを基にした仮説をプロトタイプシステムとして実現して、観察したフィールドで検証することにあるため、コーポレート・エスノグラフィの結果から、「実現プロセス」にシームレスに移行するような実践の形態をとった。

5-2 実現プロセス

創発プロセスにおいてフィールド観察から得られた特長的な出来事などからユーザペインが最も顕著に見られる部分に関する仮説を構築した。次に、その仮説に対する具体的なソリューションとしてデザインするにあたり、実現プロセスとして人間中心設計によるインタラクションデザインのプロセスを導入した。具体的にはペルソナ法とシナリオ法によるデザインと、アジャイルな開発手法を採用したラピッドプロトタイピングを実施している。

ペルソナ法とは、製品開発プロジェクトをユーザ起点にするUCD手法の一つである³⁾⁴⁾。ペルソナという仮想的なユーザを詳細にデザインし、そのユーザが使うことを想定して製品開発を進める手法である。創発プロセスでのフィールド観察対象者と、マーケット調査

で収集したマクロなセグメンテーション情報を基にペルソナをデザインした。

今回の実践におけるフィールド観察の対象はオフィスワーカーである。そのため直接的にエクストリームユーザ（例外的ユーザ）を初期のオブザベーション段階から特定することは難しい。そこでフィールドで観察した出来事のうち特徴的なユーザペインをまず抽出し、そのペインに対してソリューションを持たないユーザと、そのペインに対して独自のソリューションを持つユーザとを対象として、それらユーザとマクロデータを基にしてそのユーザのタスクのゴールや本質的なペインについて洞察してプライマリーペルソナ（主要ペルソナ）をデザインした。さらに、観察したフィールドの状況を考えながらペルソナのキャスト（登場人物群）をデザインした。

ペルソナをデザインすることにより、対象としているユーザが本来どのような仕事を果たしたいと思っていて、どのような課題を抱えているのかを具体化できる。

次にシナリオ法により、ペルソナのタスクの流れをストーリー的に具体化する。シナリオの中には、ペルソナとツールとのインタラクション、他のペルソナとのインタラクションも含める。このようにペルソナとそのタスクのシナリオを具体化することにより、対象としているユーザが具体的にどのシーンでペインを抱えており、それに対して我々がどういった解決方法を提供しようとしているのかを具体的なイメージとして把握できる。さらに、シナリオを全体的に俯瞰することにより、例えば、技術的な解決よりもペルソナと他のペルソナの間のインタラクションによる運用面でカバーすべきポイントや、より包括的な解決方法の必要性も見えてくるなど、本質的にどのポイントに対して重点的にソリューションを提供すれば良いかが深く検討できるようになる。

シナリオの具体化を進めながら、同時にスケッチにより解決手段としてのシステムを大まかにイメージ化する。また、シナリオ作成がある程度フィックスしてきた段階で、タスクフローとプロセスマップ¹³⁾を作成して、シナリオではあいまいに記述していたポイント

をよりシステマティックに仕様として記述していく。スケッチを作成する際には、いくつかデザインバリエーションとして検討すべきシステムの機能については、ペーパープロトタイプを作成してデザインの検討を進める。

今回のプロジェクトでは、オフィスワーカーにおけるインタラクティブなソフトウェアによるソリューションを提供することが狙いであったため、ペーパープロトタイプだけでは十分なユーザテストが行えない。そこで、アジャイル開発プロセスにより、実際に動作を体感できるプロトタイプシステムの開発を進めた。作成したプロトタイプシステムを実際に観察したフィールドの現場に持ち込み、観察対象のユーザの方々を対象としてユーザテストを実施する。一回目のユーザテストで得られた結果を基にして問題点が修正されるまでユーザテストを実施する。

本章では創発プロセスと実現プロセスのそれぞれの手法について説明した。次章以降では本プロセス実践における利点と課題について考察する。

6. 考察

6-1 創発プロセスの効率化

創発プロセスでは、フィールド観察、観察したフィールドでの経験の共有、ブレインストーミングといった一連の活動にかかる人的なリソースと時間的なコストが課題となる。

そこで、創発プロセスを進めるにあたり、時間的な効率を向上させるための工夫を加えた。具体的には、ダウンロード時間の短縮化、より密な質疑応答をインタラクティブに実施するといった改善施策を加えた。効果を考察するために、特にダウンロード／シンセシスのプロセスの時間的な内訳をFig.3に示す。

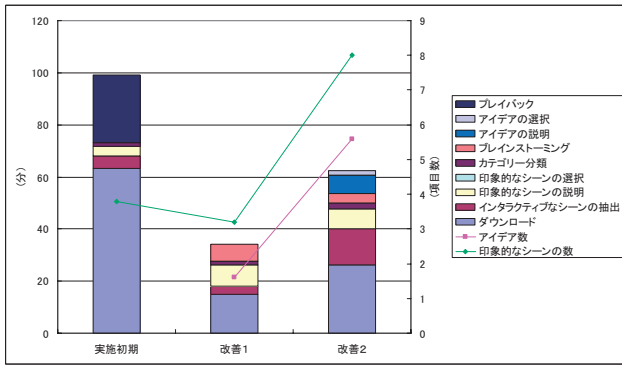


Fig.3 Improving Efficiency of the Download/Synthesis Process

図中では、実施の初期段階の結果、最初の改善を加えた結果、2回目の改善を加えた結果の3つの試行を示しており、詳細は以下に示すとおりである。

「実施初期」：参与観察の準備期間で実施したダウンロード/シンセシス

「改善1」：「15分でダウンロード」ルール

「改善2」：「15分でダウンロード」ルール+インタラクティブなシーン抽出。

図中では値を平準化するために、それぞれの試行に対して2回分のものの平均をとっている。棒グラフはプロセス毎に掛かった時間を分単位で示し積み上げてある。また、折れ線グラフは抽出した印象的なシーン件数とアイデア件数を示す。この件数は、それぞれの回でセッションへの参加人数が異なるため、その回で出た件数の総数を人数で割った値としている。実施初期ではブレインストーミング自体は行っていないが、試行1、試行2については、実際のダウンロード/シンセシスセッションとして、アイデアの発想を開始している。

創発プロセス実施の初期には、フィールド観察で経験したことをメンバー間で深く共有する必要があると考え、ダウンロードに時間を大きく割いていた。しかしながら、例えば60分のオブザベーションに対し、同時間以上の時間をかけてダウンロードを実施した事例もあり、多くのメンバーのリソースを長時間拘束する点でも必ずしも効率的ではなかった。

そこで、オブザベーション1時間当たり、およそ15分でダウンロードを行うというルールを定めた（改善

1）。グラフに示すように、参加者が相対的に多いセッションであったにも関わらず改善前に比較して印象的なシーンの件数が減少したことが分かる。

次にダウンロードの時間は増やさずに、ダウンロードしたフィールド観察結果に対する質疑応答の時間を設け、フィールド観察者とそれ以外のメンバー間でインタラクティブに印象的なシーンを記述するようにした（改善2）。その結果、1人当たりの印象的なシーンの抽出件数が増えたことが分かる（グラフ参照）。また、ブレインストーミングに費やした時間はむしろ減少しているにも関わらず、アイデア発想の件数も1人当たりで3倍以上に増えている。

これらの結果、ダウンロード時のメンバー間でのインタラクションの時間を効果的にとり、インタラクティブにシーンの記述を進めることが、創発プロセスを効率化するために重要といえる。

6-2 実現プロセスにおけるコーポレート・エスノグラフィ導入の利点

一般にソフトウェア開発は、「要件定義」「基本設計」「機能設計」「詳細設計」「テスト（結合テストやシステムテスト）」などのフェーズからなる。

今回実践した実現プロセスの利点として、通常のシーケンシャルなソフトウェア開発のステップと異なり、機能設計の中の画面設計と詳細設計の中のロジック設計を同時並行的に作業できることからソフトウェア開発の時間的な効率アップが挙げられる。開発者が観察でのフィールドの経験やブレインストーミングのプロセスも共有していることから、要件定義の時点で作成するプロトタイプシステムの全体像がロジックの設計担当者にも共有化されているために、このような同時並行的な作業が実施できたものと考えられる。

画面設計者はユーザ行動のそぐわないと思われる機能についてペルソナ起点でロジック設計者に指摘することもあるし、逆にロジック設計者もペルソナ起点でユーザインタフェースに改善事項を指摘するといったように、担当者の枠を超えて利用者起点でのインタラクションが生まれている。つまり、ソフトウェアの開

発効率のみならず、ユーザ経験をシステムに継続的に反映できる点で提供価値の向上も期待できる。

6-3 実現プロセスにおける人間中心設計導入の利点

開発者自身がチームを組んでエスノグラフィを行ったため、プロジェクトの開始から終了までターゲットユーザのゴールを満たしたいという意識がずれることなく開発が可能であった。特に、観察を元にして、ペルソナやシナリオを作成したものを共有したことにより、開発者の独りよがりではなく合意の取れた機能の実装やユーザ起点での詳細なUIデザインが可能となった。その中でも、数値化されない生の情報、雰囲気共有して仕様化できたのは開発にとってプラスであった。

7. 現状の課題と今後の展開

創発プロセスとしてR&Dメンバー自身のフィールド観察結果からユーザペインを発掘し、解決手段を創案し、さらには実現プロセスとしてフィールド観察結果を基にした人間中心設計によるプロトタイプシステムの開発とユーザテストによる検証をシームレスに実施する事ができた。

今回の実践例では、主に仮説の発見とプロトタイプシステムを用いた顧客価値の検証のプロセスとしてコーポレート・エスノグラフィと人間中心設計を適用した。商品レベルのシステムの開発については現状のフレームワークだけでは十分とはいえず、フレームワークの拡張が今後の課題である。また、R&D主導ということからもプロジェクトメンバーの多くは技術者であるため、作成するプロトタイプシステムの仕様を策定する際に、技術的に「できる・できない」という議論になることもあった。今後は、ペルソナやペルソナのゴール起点で実現プロセスをファシリテートする手法⁷⁾などをプロセス全体に取り込む必要があると考える。

顧客起点の開発プロセスを開発のライフサイクルとして実施するには、ターゲットユーザとの継続的な関係構築も課題である。今回の実践例では、観察対象者

である方々の協力を得ながらフィールドの観察からユーザテストまでの一連の検証サイクルをまわすことができた。しかしながら、中長期的なレンジでの商品化開発の中で継続的にこれらターゲットユーザの方々が参画できるような体制作りは十分できているとはいえない。この問題に対しては、例えば顧客のフィールド観察で得られた発見を顧客とWikiなどのツール上で共有し、金銭を伴わずに顧客を評価検証サイクルに巻き込むことに成功している事例がある¹¹⁾。金銭を伴わずに顧客が協力してくれた理由として、顧客は自分たちのビジネスに役立つ見識を求めて無償で協力してくれたことが挙げられている。先行する事例を参考にしながら、プロトタイプレベルの顧客価値検証に留まらず、商品開発から商品展開後のライフサイクルに渡る顧客との関係構築を試みて行きたい。

8. おわりに

本稿では、R&Dの研究者・開発者主導によるコーポレート・エスノグラフィと、人間中心設計に基づく技術開発の実践について紹介した。

仮説発見の段階からR&Dメンバー自身が関与し、フィールド観察結果から顧客を理解し、ユーザペインを発掘し、そのペインに対する解決手段を創案する。フィールドでの経験を共有することにより、顧客のタスクのゴール理解が深まり、人間中心設計によるプロトタイプシステムの開発とユーザテストによる検証をシームレスに実施する事ができる。

参考文献

- 1) H. Beyer and K. Holtzblatt : Contextual Design - Defining Customer-Centered Systems, Morgan Kaufmann, (1998).
- 2) J.M. Carroll : Making Use - Scenario-Based Design of Human-Computer Interactions, MIT, (2000).
- 3) A. Cooper : The Inmates Are Running the Asylum, Sams, (1999).
- 4) A. Cooper and R. Reimann : About Face 2.0, Wiley, (2003).

- 5) 平野靖洋 (et al.) : ワーク観察とプロトタイピングを通じたドキュメントワーク環境のデザイン, 日本デザイン学会デザイン学研究, (2007), pp.92-93.
- 6) 伊賀彩子, 丸山有紀子, 伊賀聡一郎 : モノヅクリノカタチ - コンテンツの企画・設計・制作プロセス, 東海大学出版会, (2007).
- 7) 伊賀聡一郎 (et al.) : 「すごい」ペルソナ法 : UC D 設計手法とファシリテーション技法の融合, ヒューマンインタフェース 2007, (2007), pp.865-868.
- 8) 黒須正明 (et al.) : ISO13407 がわかる本, オーム社, (2001).
- 9) 中臣政司, 伊賀聡一郎, 嶋田敦夫 : ニーズ探索のためのフィールド調査法 : 人間中心の研究開発プロセスの提案, 社会情報学フェア 2005 ワークショップ「CMC 及び HCI の分析メソドロジー」, (2005), pp.4-8.
- 10) D.A. Norman 著, 岡本明, 安村通晃, 伊賀聡一郎, 上野晶子 訳 : エモーショナル・デザイン, 新曜社, (2004).
- 11) D. Phillips : Ricoh Innovations, Inc. Research to Reality : A Business Perspective, in proc of Ethnographic Praxis In Industry Conference (EPIC 2007), (2007).
- 12) J.S. Pruitt and T. Adlin 著, 秋本芳伸訳 : ペルソナ戦略 - マーケティング, 製品開発, デザインを顧客志向にする, ダイヤモンド社, (2007).
- 13) D. Saffer : Designing for Interaction : Creating Smart Application and Clever Devices, Pearson Education, Inc., (2007).
- 14) 佐藤郁哉 : 組織と経営について知るための実践フィールドワーク入門, 有斐閣, (2002).
- 15) D. Schuler and A. Namioka : Participatory Design : Principles and Practices, Lawrence Erlbaum, (1993).
- 16) C. Snyder : Paper Prototyping : The Fast and Simple Techniques for Designing and Refining the User Interface, Morgan Kaufmann, (2003).
- 17) J.P. Spradley : Participant observation, New York : Harcourt Brace Jovonovich College Publishers, (1980).
- 18) 田村大 : ビジネス・エスノグラフィ : 機会発見のための質的リサーチ, 計測と制御, 第 48 巻第 5 号, (2009).
- 19) J.M. Tien, et.al. : A Case for Service Systems Engineering, Journal of Systems Science and Systems Engineering, Vol. 12, No. 1, (2003), pp. 13-38.
- 20) 山崎和彦, 吉武良治, 松田美奈子 : 使いやすさのためのデザイン - ユーザーセンタード・デザイン, 丸善, (2004).
- 21) 山崎敬一 : 実践エスノメソドロジー入門, 有斐閣, (2004).
- 22) 矢島彩子 : IT 業界におけるフィールドワークによる視覚化の試み - "聞く"ことからの顧客起点での見える化 -, 計測と制御, 第 48 巻第 5 号, (2009).

ペーパーライク・コンピューティング

Paper-Like Computing

ケン グダン*	ジョン バラス*	セルゲイ ケミスキアン*	グートン フェン*	
Ken GUDAN	John BARRUS	Sergey CHEMISHKIAN	Guotong FENG	
マイケル ゴーミッシュ*	リッチ コソグロウ*	カート ピアソル*	ブラッドリー ローズ*	エドワード シュワルツ*
Michael GORMISH	Rich KOSOGLOW	Kurt PIERSOL	Bradley RHODES	Edward SCHWARTZ

要 旨

電子機器とのユーザインタラクションを紙により近づける重要な取り組みを紹介する。紙を用いた従来の業務ワークフローに可能な限り近づけつつ、電子機器の利点をもたらすという特徴を持つシステムを導入して、「ペーパーライクコンピューティング」と定義する。中でも、フォーム処理の業務ワークフローに着目する。ここでは、ペーパーライクコンピューティングデバイスの重要要件を特定して、ペーパーライクディスプレイと紙との類似点、本デバイスがもつ共通の課題の解決手段を述べる。さらに携帯性、使いやすいインターフェース、コンテンツの共有しやすさなどを含むユーザニーズを特定する。我々は、上記要件を考慮しながらデバイスを設計し、合計21台のユニットを組み立てた。これらのユニットを用いて、ディスプレイサイズ、ペントラッキング（追跡）の待ち時間および業務ワークフロー全体における本デバイスの有効性を評価した。この結果、ペントラッキングは成功し、本デバイスのディスプレイサイズはフォームの表示に十分であること、フォーム上のタスク遂行に本デバイスが有効であることを確認した。さらに、ペーパーライクコンピューティングデバイスを設計するに当たり、電力管理、触感がフィードバックされるユーザインタフェースボタン、デバイス全体としてのサイズ・重量が重要な設計基準となることも確認した。本デバイスは、バックエンドシステムとのユーザインタラクションを改良することができ、フォーム処理の業務ワークフローに有効に使えるデバイスであると言える。

ABSTRACT

We discuss significant challenges in making user interactions with electronic devices more paper-like. We define paper-like computing as the introduction of a system that brings the advantages of electronic devices into business workflows that is as similar to working with paper as possible. Our particular focus is on forms processing workflows. We identify key requirements for a paper-like computing device, and describe how paper-like displays are similar to paper, together with how to overcome common issues of paper-like displays. We identify additional user needs, including portability, a familiar interface, and easily shared content. With these requirements in mind, we designed a device, and built twenty-one units. We used these units to evaluate the display size, pen tracking latency, and its overall usefulness in workflows. Our results indicate the display size was sufficient for the forms we used, the pen tracking was successful, and the devices were useful for their tasks. We also discovered that power management, tactile user interface buttons, and overall size/weight are important design criteria for paper-like devices. Although users still preferred paper over the device, the improved interaction with backend electronic systems make this a useful device for forms processing workflows.

* California Research Center, Ricoh Innovations, Inc.

1. Introduction

The push to use less paper in the office in the interest of workflow efficiencies, and being more ecologically friendly is very real these days. Employers encourage printing less and using more recycled paper. However, business workflows are still largely paper-based. According to a recent study by Xerox and Harris Interactive, 37% of business respondents agree that their organizations are drowning in paper and 50% feel that their organization's business processes are paper-based.²⁰⁾ There are many good reasons why paper-based workflows are still so prevalent, including familiarity, flexibility, and robustness.

One way to reduce paper use is to convert business workflows, like timecards, expense reports, and purchase requests, to electronic forms. The advantages of moving to an electronic workflow are enormous, but the costs of implementing it are staggering. Consider the medical industry. According to Karen Bell, Director of the U.S. Office of Health IT Adoption:

"...despite the benefits, only 15 to 18 percent of U.S. physicians have adopted electronic health records. ... Physicians have to shell out considerable upfront costs and lose about 20 percent productivity in the first few months as personnel get used to the system."¹⁾

It is appealing to find new ways for businesses to convert to electronic workflows, without incurring large up-front IT and training costs, and without sacrificing the user experience. This motivated us to experiment with "Paper-Like Computing" — i.e., with electronic systems characterized by their similarity to the experience of working with paper. We have developed a hardware and software platform to allow us to experiment with paper-like workflow systems, comprising a thin, low-power device with a paper-like

display and a pen input. We've developed technology for fast pen tracking and improving contrast to make the device behave like a clipboard with paper forms. Designing a device intended to be similar to paper is very different from designing a device intended only for reading.

2. What is Paper-Like Computing?

The dream of paper-like computing is the introduction of a hardware/software system that is so similar to paper, that it seamlessly blends all the advantages of electronic devices into business workflows in such a way that users hardly notice they're not using paper anymore.

Workflows in a business environment still rely partially, if not fully, on paper at some point in the process. But transitioning workflows across electronic/paper domains is a lossy process — for example, any time an electronic document is printed and scanned back later, the scanned document is only an image of the original form, and is not as useful as the original electronic document. Paper-like devices may replace many workflow steps by an electronic device, keeping documents in their original formats. The electronic device augments the workflow with new capabilities (error-checking, etc.). Ideally, the electronic device is so similar to paper that it "just works" in the existing workflow. This means that forms do not have to be re-designed, they are simply scanned onto the electronic device and used as-is. System installation is almost as easy as replacing clipboards with portable devices, and it requires little re-training, and can co-exist with legacy paper-based workflows.

There are several research and commercial devices that place paper-like system intelligence in the pen, and function on regular paper^{25), 17), 13)}. We use a more standard shaped pen, and place the computer in the

paper, which allows strokes to be generated and erased, pages to be updated, and displays multiple pages. Meanwhile, we maintain a paper-like interface, not attempting to display cursors, windows, or menus.

After identifying system requirements from user needs for paper-like computing, we found that no current device meets the needs of paper-like computing. In this paper, first we discuss a key component of any device designed for paper-like computing, a paper-like display. Then the other hardware components and software that make a paper-like computing system possible are discussed. Finally, we describe our user studies based on the device we actually built.

3. About Paper-Like Displays

If a device is intended to emulate paper, the expectations of the user must be met with the characteristics of the device's display. User needs, and how electronic paper displays meet these needs, especially when compared with more traditional displays, such as LCDs (liquid crystal displays), are discussed below.

Paper is Portable

Anyone who wants to use an electronic device as if it were paper is not likely to tolerate a device tethered to a wall. Paper is highly portable, so any paper-like device must be portable, too. Electronic paper displays consume zero power except when changing the page. In fact, battery-life for most of the devices based on electronic paper is often specified in terms of page-turns, rather than hours.²²⁾ In a portable device, longer battery life is key, and paper-like displays are best positioned to meet this need.

Paper is Easier on the Eyes

Research has shown that human eyes fatigue faster when reading on a traditional LCD display than paper,

or an electronic paper display. Inoue, Sakamoto, and Omodani claim that:

"These results suggest that the electronic paper used in this study (Sony Libre) is superior to conventional displays (LCD) with regard to avoiding fatigue in reading tasks. ... The free handling of the medium enabled by electronic paper should be regarded as contributing to the reduction in eye fatigue."¹¹⁾

Electronic paper displays are not as tiring on the eyes as traditional displays.

Paper is Easy to Read Outdoors and Indoors

The display quality of a standard LCD is "washed out" by the ambient sunshine. The displays become difficult to read. Electronic paper displays are a reflective light technology — that is, the light users see on electronic paper displays is ambient light reflected off the display itself. This is identical to how users interact with paper. Conversely, in low ambient light, electronic paper displays, like real paper, are difficult to read.

Paper-Like Displays are not Perfect

Clearly, electronic paper displays emulate the real thing — paper — much more effectively than traditional displays. However, with these benefits also come several drawbacks. These will be discussed below. It is beyond the scope of this paper to delve into the details as to the physics of the electronic paper displays, and hence the causes of these issues, but many papers, especially from E-Ink, reference these issues.²⁶⁾

Low Pixel Update Rates. Vizplex, E-Ink's latest generation electronic paper display film, requires 260msec to update in 1-bit mode, and as long as 740msec in grayscale mode.⁴⁾ While users expect to turn pages of a book in sub-seconds, or even more challenging, quickly flip through many pages of a book looking for a particular chapter or picture, this type of interaction is very difficult to emulate on an electronic

paper display. Pixels simply do not move change enough to display all that information.

Image Ghosting. Image ghosting is another issue with electronic paper. Due to the physics of E-Ink displays in particular, image ghosting occurs when updating the image from image-A to image-B. Faint ghost lines of image-A will remain in the background of image-B, reducing the clarity and contrast of image-B. Figure 1 shows a simulated example where image-A is a black "E" and image-B is a black "I". In a forms workflow, where a device is re-used from one customer to the next, ghosting may actually leave a shadow of prior answers on the form. This is not desirable if the form is in a health clinic, for example.



Fig.1 Example of image ghosting on an electronic paper display.²⁶⁾

There are solutions to the image ghosting problem. E-Ink, for example, in order to obtain the highest contrast least-ghosting images, recommends flashing all the pixels from full white to full black, and back to full white again. At a high level, this "resets" the electronic paper pixels, ultimately allowing an accurate gray level position result on the final image. However, when driving the pixels full white to full black, at the update rate of 260msec per update, this appears as if the entire display is flashing, which is disturbing or annoying.

Color. All available electronic paper displays available today are monochrome, except the Fujitsu FLEPia. Currently, 16 gray levels is the greatest number of pixel shading variations available in these types of displays.⁴⁾ Some companies have added color filters on top of existing electronic paper displays to achieve color, but this reduces resolution, as well as overall color saturation.¹⁸⁾ Our brief analysis of business forms shows that color is not essential for many business workflows.

4. Designing a Paper-Like Device

There is much more involved with paper-like computer than just using a paper-like display. There are other attributes of paper that must be emulated as effectively as possible by the device in order for it to be more paper-like. Some of the previously discussed display characteristics, such as "Paper is portable", must be applied to the whole device.

Paper is thin, and lightweight. However, technology is not available today to match the thickness and weight of single sheets of paper. Devices should compare favorably with books and clipboards, and considered to be collections of paper pages, because they can store so much information.

Paper is easy to use. It doesn't come with instructions or require initialization. This device must be as obvious and as easy to use as possible, yet flexible for a wide variety of applications.

Paper is inexpensive, and information on paper is easy to share with others. In fact, paper is so inexpensive, that one does not hesitate to just "give" a piece of paper to another person! Again, at today's costs, electronic devices are not likely to approach the cost of a sheet of paper soon, but unit design decisions must be made with practical cost considerations in mind. Solutions are needed to easily share documents between electronic devices, as easy as giving a piece of paper to someone.

Paper has important and well-understood properties for security and sharing. Users have the option to make many copies for wide distribution, or make just one to share with one person. But this type of sharing in an electronic domain is not as tangible and more error-prone (e-mails are often sent to too many, or to the wrong, people). A paper-like device should implement safe secure data transfers that are as easy to use as paper.

There are many ways to capture information on paper — drawing, printing, writing, and sketching. A paper-like device must allow many forms of input as well.

Paper allows the user to draw free-form figures, and write anywhere on the page. Often, when users complete forms on electronic devices, they are constrained as computer forms, with specific fields for entry, requiring specific types of information. Specific fields often support only the automated part of a workflow. Critical parts of workflows done by humans often require users to write in the margins, draw figures, write in different sizes/colors, etc. Electronic forms must support the same flexibility.

Finally, there are substantial differences between designing an electronic device for reading purposes, and designing an electronic device to emulate paper in a business workflow. There are two key aspects to consider: (a) most paper-emulating devices today function more as readers and are not appropriate for business workflows; and (b) aspects of electronic paper devices that are not paper-like must be overcome.

Existing Devices are not Business Workflow Devices

As we do research on paper-like computing, we must consider using devices that are already commonly available. These devices will be much less expensive, and quicker to deploy for research testing. There are, in fact, a number of very popular electronic devices that have been designed to emulate paper, and to some extent, they may also be re-targeted at the business environment. A good reference for an updated listing of available devices is at Wired.⁹⁾

While these devices are all different in how they attempt to meet their user expectations, the fundamental technologies involved are quite common. Critically, they all employ a paper-like display, as already discussed in this paper. Most use the display from E-Ink Corporation. Furthermore, they are similar to slate-tablets, thin, lightweight, with long battery life, a

single active surface, and are single-page sized (although, of different sizes between vendors). However, it is interesting to note that Chen, et. al., have shown that dual-display devices offer significant advantages in document navigation, making it easier to find content as well as re-reading material.²⁾ In most cases, the User Interface consists of buttons or capacitive sensing. All allow cable connections to a standard PC for document synchronization and/or power recharging, and most provide some form of wireless connectivity.

However, as implied by the label of these devices, "electronic readers", most do not support writing capability. This renders them mostly useless in a business world where markup and signature requirements (i.e., filling out forms) are commonplace.

Alternatively, tablet PC's offer many alternatives for electronic workflows. A leader in this design space is MotionComputing¹⁶⁾. Tablet PC's support both read and write capability in a device versatile enough to suit a wide variety of applications. But they tend to be too heavy for prolonged use (3.3 pounds for the Motion Computing example). Furthermore, they are more complicated to run and maintain, and in many cases their high price point prevents widespread proliferation.

iRex technologies developed the Digital Reader, which is an electronic paper based device that allows stylus input¹²⁾. Similar devices are expected from other companies in the near future, although it's unclear if they will allow writing capability¹⁸⁾. These devices come close to many paper-like qualities, but are much better for note-taking, than emulating paper in a business workflow. Current devices suffer from an attempt to emulate LCD displays with the user interface.

Overcoming Non-Paper-Like Aspects with Electronic Devices

As stated above, there are some characteristics about paper-like displays that must be overcome to attain paper-like computing.

Pen Tracking. Any electronic device intended to replace paper must support document markup. In their book, "The Myth Of The Paperless Office", Sellen and Harper state that ²¹⁾:

"Paper readers extensively annotated the article we gave them to summarize as they read through it. They underlined, used asterisks, and made notes in the margin."

Supporting pen-based-markup of electronic documents is critical in paper-like computing, but with a 260msec pixel update rate of electronic paper displays, it would seem that fast-pen-tracking is impossible.

Most devices with E-Ink displays do not support pen-based input, thereby avoiding this problem. As a result, these devices require more complicated user interfaces (Amazon's Kindle adds a full-function keyboard), bypassing an opportunity for user interaction in a paper-like manner.

Another option vendors have chosen in order to support pen-input on electronic ink displays is to create their own controller IC, such as iRex ¹⁰⁾. However, most development companies are not in a position to support such a large undertaking.

The authors of this paper instead researched the workings of an electronic ink controller, which is normally considered to not support fast pen updates. Using the controller in a novel way, we found that fast pen tracking with this existing controller is indeed possible ⁶⁾. In fact, we found that our method of fast pen tracking is faster than other known methods available, even when normalized for processor speeds and functional differences (Table 1) ⁸⁾. This speed difference has a large impact on the user, and helps the

interaction with the device to be more natural, more paper-like.

Table 1 A comparison of pen tracking latencies on electronic paper displays ⁸⁾.

Pen Tracking	Measured Latency (ms)
iRex	200
AM300 Broadsheet Kit	100
Author's Solution	67

Fast pen tracking (low-latency) is not only a good attribute for system design, but is also critical for a positive user paper-like experience. Miller states that ¹⁵⁾:

"Where the lines are drawn with deliberation by the user — relatively slowly as compared with slashing sketch strokes — a delay of up to 0.1 second seems to be acceptable. There must not be variability perceived by the user in this delay."

The user experience decreases if the pen tracking latency grows beyond 0.1 second. However, Miller's research focused on slow and deliberate movements. Further research has shown that actual pen writing involves secondary common adjustments, for which feedback is required to be even faster. Meyer, et al., showed that these secondary adjustments occur in the 100~160msec timeframe. ¹⁴⁾ To feel unconstrained to the user, the delays should not exceed half this time, i.e., close to 50msec.

Ghosting Reduction. We have researched several ghosting-reduction methods, including adding an intermediate display update with a pseudo-random noise display ⁸⁾, and using digital halftoning on image updates to compensate for the ghosting artifacts ⁷⁾. These methods are useful to achieve the high display quality on displays that users expect with electronic (non-paper!) devices, without the annoying flashing which resets the pixels to a known state before driving the desired image.

Color. As already stated, most electronic paper displays today are monochrome grayscale, and do not support color. This aspect of paper-like computing must be considered when designing applications.

What role does color play in business workflows — it color essential? Business workflows are usually forms that get passed from one person to another, and are modified with a pen. Color on the form can help clarify or make sections more interesting, but color is not a key component of the workflow requiring the form to be completed.

While color support would indeed be an asset, we found by analysis that its lack did not hinder the results of the research performed in this report.

Selecting Components for a Paper-Like Device

There are many design options for a custom device, but we highlight the significant design decisions here.

Primary Display. We have already established the virtues, and issues, around an electronic paper display for a paper-like computing device. But there are still several design decisions to be made — which type of paper-like display to choose? Several manufacturers provide electronic paper displays based on several different technologies, but E-Ink's film is desirable in terms of quality and availability.

E-Ink panels are available in a number of different sizes, the largest being 6" (800x600) or 9.7" (1200x825). Note from Table 2 that the larger E-Ink panel has a better resolution than even the much-larger XLibris display (color, LCD), evaluated by Price, et al ¹⁹⁾. We found that the 6" display is just too small to display full page forms. 9.7" displays are available, but their active viewing area is only half that of a standard 8.5x11" sheet of paper. However, obtaining E-Ink panels larger than this size becomes cost-prohibitive. As a result, one of the goals of this research was to determine if the high-resolution 9.7" E-Ink display is sufficient for forms processing in a business workflow.

Table 2 A comparison of displays and resolutions.

Panel (diagonal dim)	Resolution
E-Ink 6"	800x600
E-Ink 9.7"	1200x825
XLibris 12.1"	1024x768

Another important aspect of the choice of primary display for a paper-like device is the "cost of adoption" of the device. If a new electronic device is too difficult to use, or it is too difficult to integrate into existing workflows, its use will be quite limited. More explicitly, it is vital that forms used in paper workflows do not need to be re-designed for paperless use. It takes too much time and re-training to redesign a form at many customer sites. The display needs to be large enough, and of sufficient resolution, to allow blank forms to be scanned into the electronic system, and worked on in the electronic flow, without any further modification.

Microprocessor. To save cost and design time, the authors decided to take advantage of processor modules designed by other vendors and design our system around them, rather than do a processor design from scratch. There are a large number of excellent microprocessor modules available. The authors conducted a survey of available modules, considering such features as cost, size, power, performance, technical support, software support, serial busses, and GPIOs.

Table 3 shows the functions that were most critical to our needs: processor type, power, size, GPIOs, and overall support. Ultimately, we selected the Marvell 520MHz PXA270-based module provided by Strategic Test ²³⁾.

Table 3 Processor module selector matrix for first paper-like prototype device. "all" in the "serial" row indicates SPI, I2C, and UART are all supported.

Vendor	Compulab	Voipac	TI	Strategic Test
Cost	\$\$	\$	\$	\$\$\$
Processor	PXA270	PXA270	OMAP	PXA270
Pwr (W)	2	1	1.25	1
Physical	2x SODIMM	SODIMM	large	SODIMM
ROM MB	128	2	32	32
RAM MB	64	64	32	64
GPIO	45	85	16	all
Serial	4 UART	4-all	3-all	5-all
Support	☺	☺	☺ ☺	☺ ☺ ☺

Touch Pad. There are a wide variety of touch sensors available. Early lab tests showed that a stylus on a resistive touch screen was inappropriate for this task, for the following reasons: (a) The resistive touch screen, layered on top of the primary display, adds a parallax issue between the pointer tip and the "ink" on the display. This makes the interface uncomfortable for the user. (b) The resistive touch screen, laminated to a piece of glass as a system sub-component, is much too heavy for a device large enough to display a one-page form (7.7oz). (c) The resistive touch screen is only 87.5% transparent⁵⁾. Because E-Ink displays are reflective, light passes through touchscreens twice, reducing the light by nearly one-quarter. Therefore, we placed a high priority on touch screen inputs that are located behind the E-Ink display, rather than in front of or on top of it. This decision, combined with a non-powered stylus input for form markup (like a pencil on paper), limits the solution to a Wacom digitizing tablet²⁴⁾.

Wacom digitizers transmit an RF field and listen to the changes in the field to sense the location of the pen. As such, a Wacom digitizer needs to be turned on any time there is potential for writing. Therefore, Wacom-based solutions tend to consume more power than alternatives; however, we believe the other user benefits

of the Wacom solution outweigh the power issue for paper-like computing.

Operating System. There are many different types of operating systems, but only a few provide quality developer support, and free drivers applications. This is important for a system development that needs to be as fast as possible with a minimal development team. We decided to go with Debian Linux for reasons of stability, maturity, and driver/kernel availability.

The Rest of the Design

With these key decision points determined, the rest of the system design is summarized below, as shown in Figure 2.

Hardware System. A significant hardware feature we added to this research platform is a high-resolution (3MP) camera sensor, with a small (1.5") Organic-LED-based display used as a camera viewfinder. The selection of the high-resolution camera was to enable pictures of full-page documents to scan them into the device for forms processing. A VGA camera does not have sufficient resolution to take a usable image of a page. The selection of the OLED display as a viewfinder was based on power consumption and ease of implementation.

Our device has only four buttons on the front: two on the right and two on the left. Button functionality is determined by application software, and they can be redundant or unique. Two on each side supports different hand-hold points to make it comfortable for the user. The main purpose of the buttons on either side is to support page flipping forward and back. We implemented force-sensitive buttons, rather than standard press-buttons, to enable the user to press harder in order to move through pages faster.

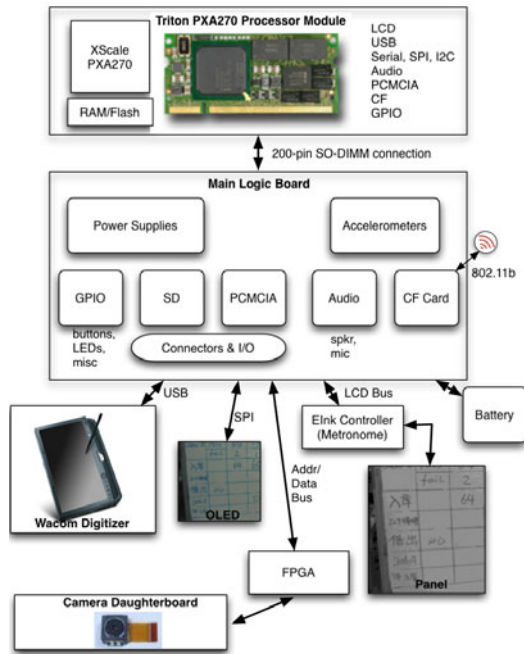


Fig. 2 Block Diagram of a paper-like device.

Connectivity is limited to two ports: a USB host port (which serves USB thumb drives as well as USB-ethernet adapters) and a serial communications port for debugging.

We implemented 802.11b wireless connectivity through a wireless card module inserted into a CompactFlash slot. A PCMCIA slot internally to the device was pre-filled with a 4GB flash memory card for the OS and applications. This card is not accessible to the user. An SD card slot was supported for removable storage, holding user data.

The device can be powered and charged by a +12VDC wall jack, and has a 2-pack of Lithium Polymer 3.7V batteries with a capacity of 1000mAh at 7.4V.

Software Development Environment We used the Linux Debian distribution, and the kernel supported by the selected processor module. For a number of reasons, we used an old kernel, Debian ARM Linux 4.0, with kernel 2.6.17. The build environment for the PXA270 processor was a native environment, using the Thecus N2100 Yesbox. Drivers were general purpose where available, but some custom drivers were required

as well (force sensor buttons, OLED display, E-Ink display).

Application code was written in C, Java, Python, and shell/Bash scripts.



Fig. 3 The actual paper-like trial device.

Mechanical Implementation Our goal was to design an enclosure that was as lightweight and thin as feasible, robust enough to withstand actual user testing, and practical within our limited time and budget. The resulting device weighed 1 pound 15 oz., and has dimensions 205 x 250 x 31 mm., and is shown in Figure 3. Overall, it is approximately the size of an 8.5x11" sheet of paper.

5. User Studies

The authors were able to build 21 units with the design elements described above. Using these devices, we conducted controlled research experiments, forms testing, and the researchers themselves used the units on a continual basis to gain familiarity with them.

Our research questions included:

- 1) Is a 9.7" display large enough for working with full-page forms on an electronic paper device?
- 2) Is the latency of our pen tracking solution low enough that it is nearly as convenient to use as paper?
- 3) Can our system (hardware/software) emulate paper sufficiently well in a business workflow so that it may eventually replace paper in that workflow? This

covers ease of use, reliability, user comfort, and barriers to entry.

4) What system characteristics worked sufficiently like paper?

5) What system characteristics need more attention to become more paper-like?

Trial 1: Patent Review Committee

A patent review committee meeting consists of a series of presentations by inventors to a committee. After each presentation, each committee member completes a form evaluating such aspects of the invention including novelty and applicability, ultimately to decide whether the time and effort should be spent to patent the idea. This is a paper-electronic workflow hybrid, where the voting is performed on a pre-designed paper form, and entered by hand into an electronic database. Results are distributed and tracked electronically.

A sample paper-based patent review committee evaluation form is shown in Figure 4. We scanned the form into our electronic device as-is (low barrier to entry), and evaluated the effectiveness of our paper-like device in this business workflow environment.

Fig.4 An example of the form completed by the patent review committee. Red areas are redacted for the confidentiality of the actual invention reviewed. Not actual size.

For the purpose of this trial, we alerted all members of this committee to the experiment, and informed them that we would provide paper-like devices to half the members for filling out their voting forms, and continue to use the standard paper process for the other half. Mid-way through the presentations, those with paper and those with electronic devices swapped roles. Researchers observed usage models of the devices as compared to paper, recorded impacts of the devices in the workflow, and noted encumbering aspects. A survey was presented to the committee members to get their feedback after the trial.

This trial involved 6 units for a roughly 3-hour test.

Trial 2: Poster Session Presentation Review

This trial was held at an internal research and design event, open only to employees of the worldwide

company sponsoring this research. It is a multi-day conference with hundreds of posters and side-meetings, where research and development team members can collaborate, share, and exchange ideas.

During this trial, we conducted a conference survey, where users completed a form on the paper-like devices. It was a fully-electronic workflow, where survey questions were presented on a form on the device, and responses were captured and collected to internal memory (Flash) storage, to be tallied later.

The conference was two days long, and approximately 200 visitors were in attendance. Three units were used.

Electronic Forms Usability Experiment

A key aspect of any paper-like computing device, especially one targeted at business forms workflows, is to determine if the standard sized 8.5x11" form is usable on the 9.7" E-Ink display (with half the active area of a sheet of paper). We experimented with a paper workflow, and used a standard full-page paper form. We scanned the form and displayed it on the electronic paper device. The form was displayed as a single, full page on the device, and we completed the form, and sent it back to a standard printer and printed it at standard size. The form from this process was then scanned into the remainder of the workflow, together with forms that followed a purely paper workflow. This form functioned normally in the workflow. Forms processed by the electronic paper device are just as functional as forms that followed purely paper workflows, for downstream workflow actions.

During this exercise, we recognized that it is possible to eliminate the paper margins of the form to make form features slightly larger.

6. Results

The trials presented a clear view of the benefits and issues of the paper-like device.

Successes — High Level

Display Size is Sufficient for Many Applications

This is significant, because it has wide-reaching impact on future devices. Larger display sizes directly relate to cost of the test device, as well as overall size and portability of the unit. Larger sized displays are not always better, when, for example, they are no longer easily carried, or they become cost-prohibitive to use.

Even though the 9.7" E-Ink display is really only about half the size of a regular form on an 8.5x11" sheet of paper, in these test cases, users reported that forms completion was sufficiently functional for this display. The ink resolution was sufficient for the scaled text. Margins/borders were cropped when displayed on the electronic display, but the device bezel provided sufficient margins for holding the form.

It should be clarified, however, that this result applies to forms that are relatively sparse, as in the example form. Denser forms proved to be more difficult to read, and forms that require writing need more space.

Pen Tracking is Acceptable We learned that our fast-pen tracking system was effective for filling out forms in an electronic workflow. The latency and experience of the pen tracking did not interfere with the tasks that the users performed. For those unfamiliar with E-Ink technology, pen tracking was obviously different from pen/paper, but was still effective at completing paper-like tasks.

Finally, some respondents reported that the pen tracking on this device was of even higher quality than typical tablet PC's. The authors did not research this issue further.

The Device was Found to be Useful Sample feedback included: "Forms filling was much more useful than I thought it would be," and "Better, lighter... a PC

implies complexity. This was limited and therefore simple." Some test subjects felt that this electronic paper device is "much better" than a typical tablet PC. The reasons given were size and simplicity.

System Characteristics That Merit Greater Attention

Power Management One of the design decisions made, to decrease the overall system development time, was to largely ignore power management in the device. This led to a battery life of approximately 1 hour. This resulted in our devices being tethered to a power cord, thereby limiting portability.

Using a power cord also conveys a feeling of fragility to the user as well, and we observed that this problem caused users to handle the device quite differently from paper.

The design simplification showed a failure in our experiment — any research into paper-like computing must pay strict attention to power management.

Tactile Feedback on Buttons The force-sensitive buttons were more problematic than expected. These buttons are significantly more expensive than standard buttons, have a greater variability from sensor to sensor (more complicated software driver), and provide no tactile feedback to the user.

The authors observed that users expect nearly instantaneous reaction to their actions, or else they grow impatient, often repeating the gesture again. Miller, et al., showed that the maximum time delay from a mechanical action should be no more than 100msec.¹⁵⁾ Repeated pressing of a button caused unwanted or undesirable reactions from the application program.

There are really two issues with this problem: (a) no tactile feedback on the buttons, and (b) a lower-power microprocessor combined with slow-to-update E-Ink display. The combined effect is a response time that is slower than expected.

We must provide fast (<100msec) feedback to users of paper-like devices. Standard buttons that click

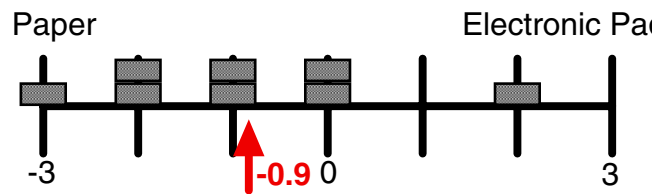
when pressed are preferred. This also reduces accidental selection, as well as impatient double-pressing.

Size and Weight We intended this unit as a research device to investigate paper replacement options, and knew that reduced weight and thickness improves the overall experience. But we did little to minimize these characteristics. Feedback from users indicated that the device needs to be as thin and light as possible, and more effort is merited in this area

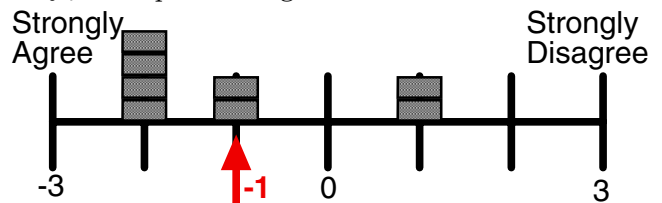
Detailed Results — Patent Committee Trial

The following questions were asked of users after the patent committee trial. Eight people took this survey.

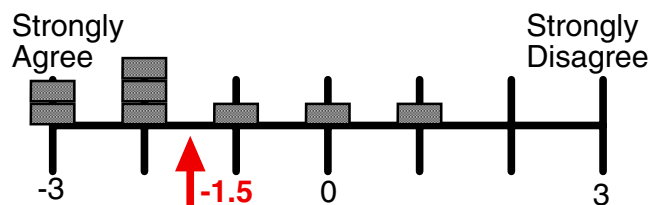
Q1) I prefer to use paper or electronic pad for this type of interaction.



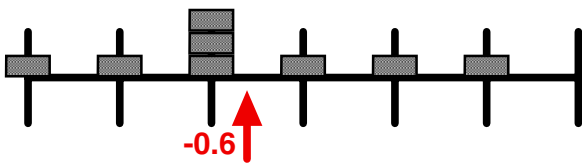
Q2) The pen tracking worked well.



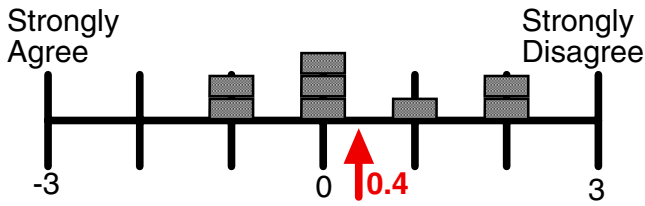
Q3) The electronic pad display was quite readable.



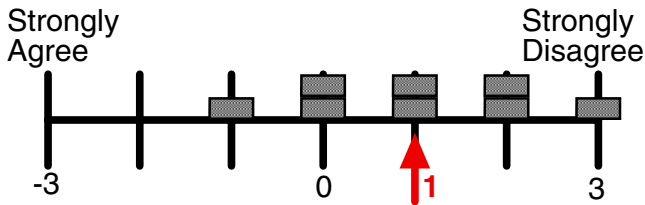
Q4) Writing on the electronic pad felt natural.



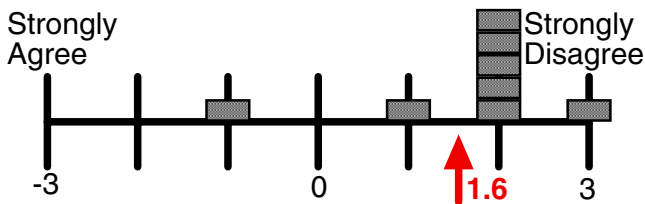
Q5) I wish I could have changed the pen width or pen color.



Q6) I would only use this if it were in color.



Q7) I found this system very difficult to understand and use.



Interpretation of These Results: Test subjects are clearly still more comfortable with paper than with the electronic-paper device. Basic overall preferences are still inclined for paper over electronic devices (Q1). Device frailty may have affected these results slightly.

But users weren't interested in flexibilities that paper affords over the electronic system (Q5 and Q6). And the electronic form itself, even though it was a smaller font on a smaller display, was not a problem (Q2, Q3, Q4, Q7).

7. Future Work

The scope of the user trials should be increased, to apply to more diverse workflows, conditions, and people, and to be used at a real customer site. We are considering a future trial in a daily usage scenario within a university environment. Before we do this, however, we would like to overcome the liabilities uncovered in our preliminary tests. We need more devices, with a more appropriate size, weight, and a better power management system.

We would also like to conduct user trials that correlate fast pen tracking to user's overall paper-like expectations, as compared to other solutions. Stroke erasure presents a large number of other issues, including how to erase (pixels, strokes, different erasers, etc.), and effective ghosting elimination. Finally, effective display of denser forms should be researched.

8. Conclusion

We have presented significant challenges in making an electronic paper device. We focused on forms processing workflows for basic design foundations and our testing, and investigated how an electronic device can augment traditionally paper workflows.

We designed a device to be as paper-like as possible. Primary components were an E-Ink display, a Marvell PXA270 processor, and a simple user interface. Furthermore, driver software was written to overcome many of the drawbacks of electronic paper displays, including support of fast pen tracking and ghosting-reduction algorithms.

We tested the device in trials and user testing to evaluate its paper-like qualities. Although users preferred paper in general (in part due to poor power management, and a device that was larger and heavier than desired), our implementation of many paper-like attributes was successful. Users commented that the

device is useful, fast pen tracking was effective, and users were able to work with full-page forms.

9. Acknowledgements

The author wishes to acknowledge the contribution of many researchers from Ricoh Innovations who contributed to the work contained in this paper. These include: John Barrus, Sergey Chemishkian, Guotong Feng, Michael Gormish, Rich Kosoglow, Kurt Piersol, Brad Rhodes, Edward Schwartz.

References

- 1) Bell, K. : What's Delaying Digital Health Records? *Technology Review*, (2008).
- 2) Chen, N., et al. : Navigation Techniques for Dual-Display E-Book Readers, *CHI 2008 Proceedings - Finding Your Way*, (2008), Florence, Italy.
- 3) Copeland, M. : Hearst to Launch a Wireless E-Reader, (2009).
http://money.cnn.com/2009/02/27/technology/copeland_hearst.fortune/index.htm
- 4) E-Ink Electronic Paper Displays, High Resolution Displays, Specifications.
http://www.eink.com/products/matrix/High_Res.html
- 5) EZScreen Resistive Touchpanel Product Features.
<http://www.ezscreen.com/features.html>
- 6) Feng, G., et al. : Real-Time Pen Tracking on Electronic Paper Displays, *SID Symposium Digest, Vol. 39*, (2008), pp. 689-692.
- 7) Feng, G. and Gormish, Michael : Ghosting Reduction Using Digital Halftoning for Electrophoretic Displays. *SID Symposium Digest, Vol. 39*, (2008), pp. 697-700.
- 8) Feng, G., et al. : Performance Pen Tracking on Electronic Paper Displays : (2008), IDW '08, Niigata, Japan, pp. 245-248. Contact authors for additional data.
- 9) Ganapati, Priya : E-Book Reader Roundup: Samsung's Papyrus Joins the Crowd, (2009)
<http://blog.wired.com/gadgets/2009/03/samsungs-new-e.html>
- 10) The History of iRex' Technology.
<http://www.irextechnologies.com/about/history>
- 11) Inoue, S., Sakamoto, M., and Omodani, M. : Near Point Measurement on an Electronic Paper for Assessment of Eye Fatigue, *Proceedings of the 15th International Display Workshops*, (2008), IDW '08, Niigata, Japan, pp. 1263-1266.
- 12) The iRex Digital Reader Series.
<http://www.irextechnologies.com/irexdr1000>
- 13) Liao, C., Guimbretiere, F., and Loeckenhoff, C. : Pen-top Feedback for Paper-based Interfaces. *UIST: ACM Symposium on User Interface Software and Technology*, (2006), pp 201-210.
- 14) Meyer, D., et al. : Optimality in Human Motor Performance: Ideal Control of Rapid Aimed Movements, *Psychological Review, Vol. 95, No. 3* (1988), pp. 340-370.
- 15) Miller, R.B. : Response Time in Man-Computer Conversational Transactions, *Proceedings AFIPS Fall Joint Computer Conference, Vol. 33*, (1968), pp. 267-277.
- 16) Motion Computing Motion F5 Rugged Mobile Tablet PC.
http://www.motioncomputing.com/products/tablet_pc_f5.asp
- 17) Norrie, M., Singer, B., and Weibel, N. : Print-n-Link: Weaving the Paper Web, *DocEng: ACM Symposium on Document Engineering*, (2006).
- 18) Now In Color — E-Ink Shows Advanced Electronic Paper.
<http://www.e-ink.com/press/releases/pr86.html>
- 19) Price, M., Schilit, B., and Golovchinsky, G. : XLibris: The Active Reading Machine, *Proceedings of CHI*, (1998).

- 20) Relief for Government Workers: Easing Information Overload Will Uncover Cost Savings, Relieve Stress, (2009).
http://www.xerox.com/go/xrx//template/inv_rel_newsroom.jsp?app=Newsroom&ed_name=NR_2009Feb19_Xerox_and_Harris_Interactive_Public_Sector_Survey&format=article&view=newsrelease&Xcntry=USA&Xlang=en_US.
- 21) Sellen, A. and Harper, R. : The Myth of the Paperless Office, Copyright 2002 by the Massachusetts Institute of Technology, pp. 96-97.
- 22) Sony Style PRS-700BC Reader Digital Book. Specifications.
<http://www.sonystyle.com/webapp/wcs/stores/servlet/ProductDisplay?catalogId=10551&storeId=10151&langId=-1&productId=8198552921665562069>.
- 23) Strategic Test Inc., Triton-270 Marvell XScale PXA270 CPU Module Selection.
http://www.strategic-embedded.com/pxa270_linux_wince/index.html.
- 24) Wacom Input Technology. <http://www.wacom-components.com/english/technology/emr.html>.
- 25) Yeh, R., Paepcke, A., and Klemmer, S. : Iterative Design and Evaluation of an Event Architecture for Pen-and-Paper Interfaces, *UIST '08: Proceedings of the 21st annual ACM symposium on User Interface Software and Technology*, (2008). pp. 111-120.
- 26) Zehner, R., et al. : Drive Waveforms for Active Matrix Electrophoretic Displays, SID 2003 (2003).
<http://dx.doi.org/10.1889/1.1832402>.
- 注1) LIBRIe はソニーエンジニアリング株式会社の商標です。
- 注2) E Ink 及び Vizplex は、イーインクコーポレーションの登録商標です。
- 注3) FLEPia は、富士通フロンテックの登録商標です。
- 注4) Kindle はアマゾンの商標です。
- 注5) XLibris は FX Palo Alto Laboratory の商標です。
- 注6) Marvell は Marvell 社の商標です。
- 注7) Compulab は Cole-Parmer Instrument の登録商標です。
- 注8) OMAP は Texas Instruments の商標です。
- 注9) Wacom は Wacom Company の登録商標です。
- 注10) Thecus は Thecus Technology の登録商標です。

ハードウェアモデリング手法によるPCIeの性能予測

Hardware Modeling Methodology for Performance Estimation of PCIe

池田 純一*

Junichi IKEDA

要 旨

組み込みシステムの複雑化に伴い、LSIなどのハードウェア設計においてもシステムレベルの効率的な設計手法が渴望されている。近年のシステムレベル設計では記述が簡単なC言語ベースのハードウェアモデルが主流となり、ソフトウェアとの協調設計や演算アルゴリズムの高位合成の分野で実用化が始まった。しかし、これらの分野のモデリング手法はハードウェア構造やタイミングを抽象化することが前提となっており、様々なハードウェアシステムの性能を比較することが難しいという課題があった。このため、我々はハードウェアシステムの性能予測を主目的として、ハードウェア構造やタイミングに関する抽象度を下げる一方、データ構成や機能の抽象度を上げることで、単純な記述で精度の高い性能予測が可能で、独自のハードウェアモデリング手法を考案した。本稿では、PCIe (PCI Express) 通信コアモデルによるデータ転送性能評価を題材に、ハードウェア性能予測向けモデリング手法の適用効果を報告する。

ABSTRACT

In recent years, as the complexities of the embedded system increase, efficiency of system-level design becomes the one of the most important part of the hardware system development such as system LSI design. Among many system-level design methodologies, C-based hardware modeling is becoming the mainstream and several practical examples have been reported in field of Co-design of hardware and software, and high-level synthesis of arithmetic algorithms. In spite of those practical examples, above methodologies are not suitable to estimate performance of hardware architectures, since modeling methodology in above fields is based on abstraction of the hardware structures and timings.

In this paper, we propose a new hardware modeling methodology which can be used to estimate performance of hardware architectures. The proposed method is based on the high-level abstraction of the data structure and functionality, and low-level abstraction of hardware structure and timings, so that it satisfies both simple description and accurate performance estimation. Modeling of the PCI Express system is shown to illustrate the validity of the method.

* 研究開発本部 東北研究所

Tohoku R&D Center, Research and Development Group

1. 背景と目的

1-1 はじめに

近年の組み込みシステムの大規模・複雑化と通信技術をはじめとするさまざまな技術革新に伴い、システムレベルの効率的な設計手法の重要性が高まっている。特に性能未達成によるLSIなどのハードウェア開発の手戻りが発生すると、膨大な修正期間とコストが必要となる。このため、回路設計前の早い段階で正確にシステム性能を予測することが、システムレベルの設計手法における重要課題のひとつとなっている。本稿では、デジタルカラー複合機（MFP）におけるPCI Express（PCIe）の導入に際して考案した独自の性能予測向けハードウェアモデリング手法と、設計上流工程におけるシステム性能評価の適用効果について報告する。

1-2 デジタルカラー複合機におけるPCIeの導入

Fig.1にデジタルカラー複合機（MFP）の主力機種に搭載されている、PCI Expressを2ポート持つ制御チップを搭載したコントローラボードを示す。PCI Expressは、パラレル方式のPCIバスに代わる新たな高速シリアルインタフェースとして、PCI-SIG（Peripheral Component Interconnect-Special Interest Group）により2002年に最初の仕様が公表された通信規格である¹⁾。従来のPCIバス（64bit）は100本以上の信号線で533MB/secの理論限界性能を有していたのに対し、PCI Express（4レーン）は16本の信号線で双方向合わせて2GB/secの理論限界性能を発揮し、信号線の簡素化・バスの高速化を両立することができる。

PCI Expressを搭載したコントローラ制御ボードは印刷速度の向上に大きく貢献しているが、ボード信号路レイアウト・LSIパッケージはもとより論理層の回路設計にも多くの難易度の高い技術課題があった。本稿で報告するハードウェアモデリング手法は、PCI Expressの論理層設計における性能を正確に予測することを目的として考案した手法である。

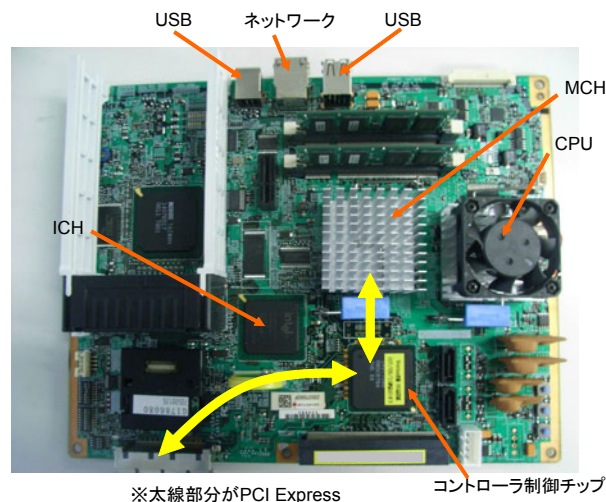


Fig.1 MFP Controller Board using PCIe.

1-3 PCIe導入の課題

MFPに対するPCI Expressの導入には、レガシPCIの性能限界という背景があった。したがって、PCI ExpressでMFPの画像データの同期転送に要求される性能を達成できるか、性能面の実力値をいち早く把握することが重要課題のひとつとなった。しかし、パラレル通信方式からシリアル通信方式への転換に伴い、物理層信号の伝送レートは向上する反面、レイテンシの増大が避けられない。また、PCIに比べて設計パラメータも飛躍的に増加しており、各設計パラメータ同士が相互に依存し合うことで、データ転送性能が大きく変化してしまう。そのため、組み込むシステムで必要とされる同期転送制約にマッチした設計パラメータを選択しないと、システム全体としての性能が、従来のPCIよりも低下する可能性がある。

上記のように、PCI Expressを採用したシステムは、複雑な設計要素が影響し合うため、静的な机上計算でシステム性能を正確に予測することは困難である。このため、シミュレーションによる動的な解析で定量的にPCI Expressの性能を評価して、設計の上流工程で基本通信特性を把握する必要がある。

2. 技術

2-1 ハードウェアモデリング手法によるPCIe性能予測モデル

2-1-1 ハードウェアのモデリング手法

ハードウェア設計前の上流工程の段階ではRTL (Register Transfer Level) の回路設計データはまだ存在せず、性能予測向けのシミュレーションモデルを独自に開発する必要がある。ハードウェアのモデル化は抽象度の高いシミュレーションでシステム動作を確認する手法で、複雑なシステムを設計する際に用いられている。ハードウェア設計前の上流工程の段階で、動作解析しながら大きな問題点をつぶし、間違いの無い実装設計の指針をたてられる。近年のシステムレベル設計^{2),3)}では記述が簡単なC言語ベースのハードウェアモデルが主流となっており、HDL (Hardware Description Language) よりも記述量が少なく、シミュレーションの実行速度が速い、という特徴がある。特に、出来るだけ抽象度の高いモデルで、簡単かつ正確なものであるほど設計上流におけるシステム設計検証 / 修正が短期間で可能になる。

Fig.2は、ハードウェアモデルの抽象度のバランスを5つの設計要素の軸で表現したグラフである。グラフの中心ほど各要素の抽象度が高いことを示しており、中心からもっとも離れた点が、回路記述がまったく抽象化されていないRTL設計データに相当する。

それまで多く利用されていたソフトウェアとの協調設計を目的としたモデルの抽象度を、Fig.2のグラフでは三角の点で示した。ソフトウェアに対する動作を検証する事を目的としているために、機能とデータの構成は詳細に記述し、構造やプロトコルについては抽象度が高くなっている。PCI Expressのハードウェア性能予測には、構造・タイミング・通信プロトコルといった、それまでのモデルで抽象度が高かった設計要素の影響を再現することが不可欠である。そこで、我々は新たにFig.2の丸の点で示した抽象度のバランスのモ

デリングスタイルを考案した。ハードウェアの構造を詳細化することで、性能を見積もる際に不可欠な要素となるタイミング情報を正確に表現することができる。逆に、各モジュールの機能やデータ構成の抽象度を上げることでシミュレーションの時間をできるだけ短縮できるようにした。言い換えると、“効率の良い動作予測可能なブロック図”となっている。

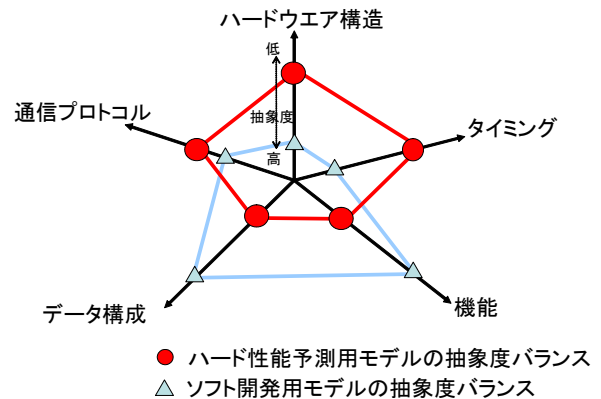


Fig.2 Balance Chart of Abstraction Level.

2-1-2 PCIe性能予測モデルの開発

PCI Expressのハードウェアモデルでは、MFPの画像データベースを想定した性能予測に利用するため、通信コア単体ではなく、画像機器に要求される画像データの同期転送制約をもった、対向通信システム全体をモデル化した。また、シミュレーション精度はパケット単位の精度を目標とした。Fig.3にPCI Expressによる画像データ通信システムモデルの概念図を示す。マスターデバイスとターゲットデバイスをPCI Expressで接続して画像データを相互にやりとりするもので、PCI Express通信コアの部分は、Transactionレイヤー、DataLinkレイヤー、Physicalレイヤーの3つのレイヤーで構成される。2つのデバイス間を送受信の2本のシリアル線でつながれており、スキャナ画像データ (Writeデータ)、プリンタ画像データ (Readデータ)をはじめとする画像データパケットと、PCI Express規格で規定されるDLLP (Data Link Layer Packet) 等の通信プロトコルを管理するための制御パケットが双方向に転送される。

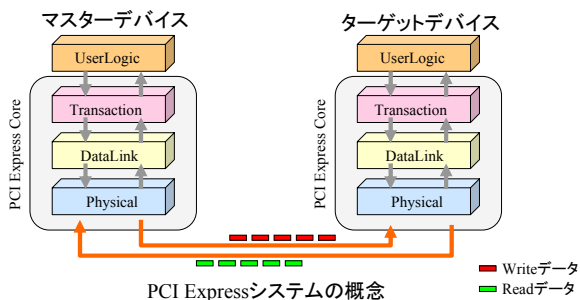


Fig.3 PCI Express Data Transfer System Concept.

モデルの作成にあたり、PCI Expressの仕様からデータ転送レートに影響を及ぼす重要な機能および設計パラメータを抽出した。モデルに実装した機能および設計パラメータを以下に示す。

- ・ レーン数およびVC (Virtual Channel) 数
- ・ FC (Flow Control) 制御動作
- ・ タイムアウト、エラーによる再送動作
- ・ VCアービトレーション・データリンク層アービトレーション動作
- ・ 送受信バッファサイズ・リトライバッファサイズ
- ・ バス帯域、遅延発生パターン
- ・ 各種解析用ログの出力

特に重要な機能は、PCI Expressの規格上実装依存度が高い設計パラメータである。たとえば、制御パケットの発行周期や、パケットを格納する内部バッファの構成およびデータリンク層のアービトレーション（パケット転送が競合した際の優先度調停）方式などは、搭載するシステムの用途に合わせて最適な実装方式を決定する必要がある。

モデル化を進める過程をFig.4に示す。モデルに新しく機能を追加する際は、コーディングできるレベルまで動作を理解できていなければならない。この時点で機能仕様のあやふやな部分が浮き彫りになり、再検討することで明確化される。追加した機能は、シミュレーションによって動作を確認し、問題が無ければ次の機能追加へ進む。しかし、実際には動かなかつたり、

予想と異なる動作をしたりする問題が生じる場合がある。この時点で再度シミュレーション結果を解析することで、仕様の誤解やモデルへの実装の不具合を発見する。モデルの修正あるいは仕様の誤解を正して動作確認するごとに、仕様の理解度と設計上のノウハウが蓄積し、複雑な仕様書を読んだだけでは誤解していた部分が、正しいものへと修正されていく。この作業を繰り返してモデルを詳細化する。短期間で設計パラメータの理解度を効率良く高めることができることは、ハードウェアモデリング手法の効果のひとつである。

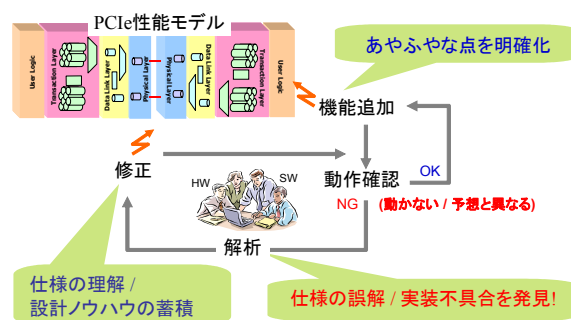


Fig.4 Hardware Modeling Process.

コーディングの完了したモデルには、各機能の性能値をパラメータとして埋め込んでいく。Fig.5にPCI Expressの通信性能に影響を与える要素を示す。デバイスのUser Logicからは、画像データ転送にした同期したタイミングで、データ転送要求のコマンドが発行される。Transactionレイヤーでは、VC (Virtual Channel) とよばれる複数の仮想的な通信チャンネルが定義され、それぞれが送受信のためのパケットバッファメモリを持ち、さらにアービタによるトラフィック制御でQoS (Quality of Service) を実現する仕組みが用意されている。Data Linkレイヤーでは、Physicalレイヤーの通信を保証するための制御パケットの生成やエラー検出などの管理、再送処理用のリトライバッファなどの仕組みを持っている。また、これら制御用のパケットとTransactionレイヤーから発行されるMemory ReadやMemory Writeなどのトランザクション用のパケットとのアービトレーションなども処理されている。さらに、内部バスIF (Interface) の帯域も実装条件に合わせて

考慮する必要がある。これらの要素の実装方式に合わせて性能値をパラメータ化し、機能モデルに性能値を埋め込むことで、PCI Express性能予測モデルを完成させた。

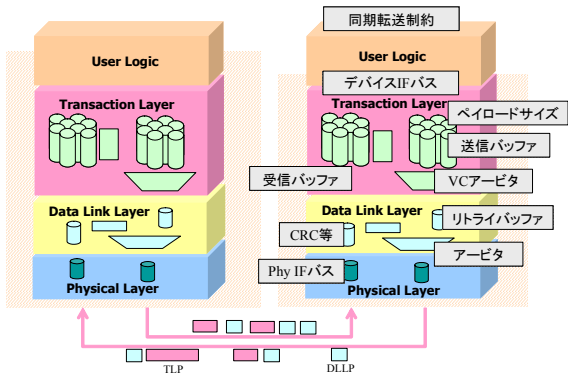


Fig.5 Parameters for Performance Estimation.

2-2 PCIe性能予測モデルによる通信特性評価

2-2-1 単一トラフィックの通信特性

初めに単純な通信特性として、PCI ExpressのMemory Readのデータ転送レートを測定した結果を示す。Memory Read転送ではFig.6に示すように、マスターデバイスからのMemory Readリクエストと、ターゲットデバイスからは、Memory Readリクエストで要求されたデータを応答するCompletion Dataパケットおよびそれぞれのパケットに対するAck (Acknowledge) / Nak (Negative Acknowledge) 通知パケットやFC (Flow Control) 制御パケットが双方向に転送される。Completion DataパケットはFig.6に示すように、データ領域とそれ以外のフレームやヘッダの領域とから構成される。またデータ領域の大きさをペイロードサイズと呼ぶ。

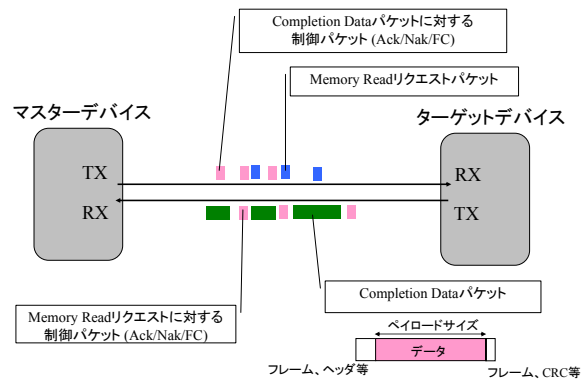


Fig.6 Example of Memory Read Transaction.

Fig.7のグラフに、PCI Express ×1レーン接続時のMemory Read転送における、ペイロードサイズ特性を測定した結果を示す。測定条件として、バッファサイズには制限を与えず十分に大きくし、Memory Readリクエストを連続させた。×1リンクの理論限界転送レート250MB/secに対して、ペイロードサイズが小さいと、プロトコルオーバーヘッド (パケットを構成するヘッダサイズとペイロードサイズの比率や制御パケット数の増大) によって、大きくデータ転送レートが低下することが分かる。このため単純なデータ転送では、ペイロードサイズを大きくする必要がある。

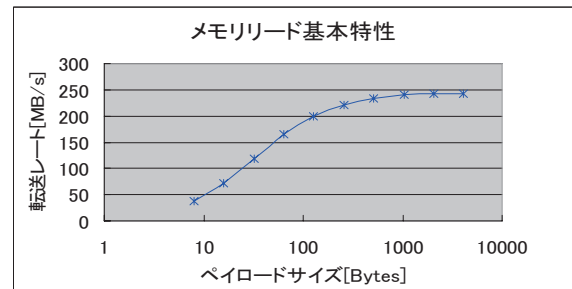


Fig.7 Payload Size vs Memory Read Performance.

次に、マスターデバイスからMFPシステムの画像データ転送に固有の同期制約を加え、PCI Express通信コア内部の遅延発生モデルを3通り (A, B, C) に変えた場合のペイロードサイズとデータ転送レートの特性を確認した。結果をFig.8のグラフに示す。遅延モデルBおよびCでは、ペイロードサイズが大きすぎると性能が低下し、Fig.7のグラフの結果に反する特性があるこ

とがわかった。これは、同期転送の制約条件として与えた、1周期あたりの画像データの転送サイズとMemory Readリクエストが送信されてからCompletion Dataパケットを受信するまでに要する経路の遅延によって発生するオーバーヘッドおよびパケットのペイロードサイズとヘッダサイズの比率による損失のバランスが影響するためである。

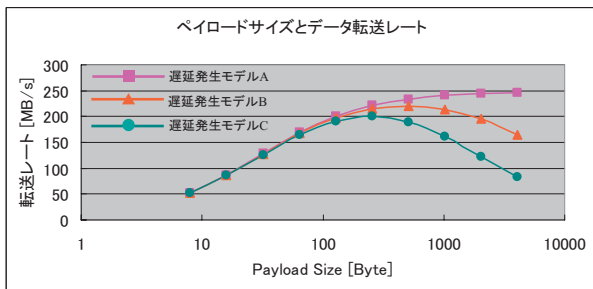


Fig.8 Payload Size vs Memory Read Performance.

Fig.9に画像データの転送時間と経路遅延の関係を示したタイミングチャート（上図）および経路で発生する遅延の影響によるデータ転送レートのロスおよびヘッダサイズによるプロトコル損失のロスの要因別のロス特性に描き直したグラフ（下図）を示す。Fig.9のグラフのシミュレーション結果から、ペイロードサイズを128B~256Bにすると双方のロスが小さい効率の高いデータ転送が可能といえる。画像データの同期転送制約の下では、回路実装方法によって変わる経路遅延時間と、プロトコルロスとを考慮した、適切なペイロードサイズの選択が必要であることがわかった。

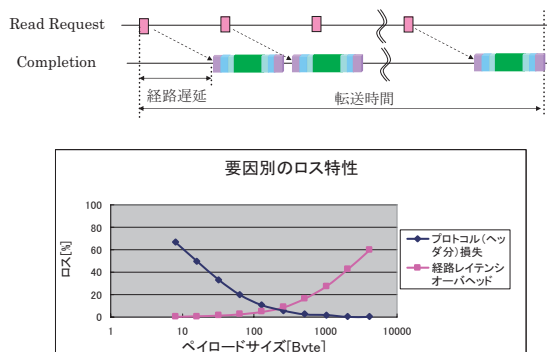


Fig.9 Payload Size vs Protocol Overhead and Latency Overhead.

2-2-2 複合トラフィックの通信特性

複合トラフィックの通信特性を評価した例として、Fig.10に2つのデバイス間で、双方向に2つのトラフィックを発生させたときのバッファサイズ等の特性を示す。それぞれのグラフの縦横軸は2つのトラフィックで使用するデータパケットのペイロードサイズの組み合わせで、高さが転送レートを表している。左右のグラフは、PCI Express通信コアの内部バッファサイズについて、16パケット分と64パケット分の大小2種類を比較したものである。バッファサイズが64パケット分確保されている場合は、大きいペイロードサイズの組み合わせによって高いデータ転送レートが得られるが、バッファサイズを16パケット分に制限した場合は高いデータ転送レートが得られるペイロードサイズの組み合わせの範囲が限定されることがわかった。このようにトラフィック数とパラメータの組み合わせが増えてくると静的な解析は困難となり、モデルによる動的な解析が有効となる。

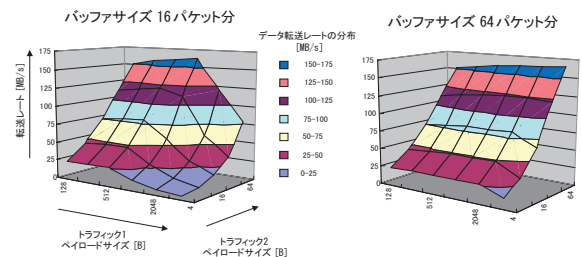


Fig.10 Buffer Size and Payload Size of Bi-Direction Traffic.

さらに複雑な例として、Fig.11にPCI ExpressのVC (Virtual Channel) を利用して、2つのトラフィックグループ (A, B) に分けられた複合トラフィックを転送するマスターデバイス構成を示す。ここでトラフィックグループAは4本のスキャナ画像入力であり、トラフィックグループBは4本のプリンタ画像出力である。従って同時に発生するトラフィックは最大8本となり、しかも各トラフィックのペイロードサイズや使用するVCの数とバッファサイズが異なった通信条件をとることができる。このような複雑な通信システムの性能は

机上計算が不可能となり、回路設計を始める前の設計上流工程ではモデルで性能を予測する手法が有効である。

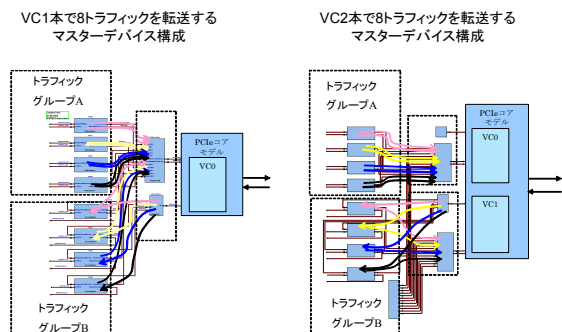


Fig.11 Simultaneous Traffic using Virtual Channel.

3. 成果

3-1 ハードウェアモデリング手法によるPCIe性能予測の効果

基本通信特性評価の流れをFig.12にまとめる。システムモデルには、解析用にマスターデバイスおよびターゲットデバイスの通信ログ、プロトコル解析に利用するパケットログさらには内部動作解析ログの出力機能を設けている。また外部から入力する情報として、PCI Expressの通信パラメータや内部ブロックの処理に与える遅延、エラーの発生頻度などを任意に指定することができる。この環境を利用してシミュレーションを実行することで、通信特性を測定することができた。予想と異なる結果などが得られた場合は、各種のログデータやシミュレーション中のモデル内部の動作を解析することによって、なぜそのような特性になるか、影響を与える通信パラメータに対する変化などを解析する。このような評価を通信条件を変えながら進めていくことで、PCI Expressの基本的な通信特性を把握し、設計パラメータの依存関係を明確化した。MFP画像バスシステムとしての実効性能をRTLや実機の無い段階の設計上流工程で見積もることができた。

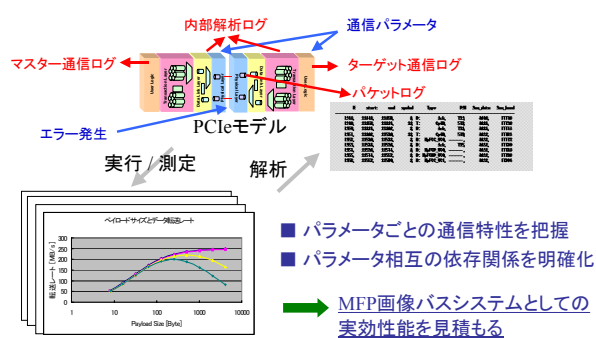


Fig.12 Process of PCIe Performance Estimations.

3-2 PCIe IP導入に対する性能予測結果の反映

基本特性評価シミュレーションの実施結果は、その後の設計工程において製品開発向けに導入するPCI Express IP (Intellectual Property) コアの選定に活用している。性能予測モデルで評価した結果をもとに、性能面に着目したIPチェックリスト (Table 1) を作成し、性能面で留意した部分の仕様に問題が無いことを確認した。

Table 1 PCIe IP Checklist.

チェックポイント	判定結果
VCアービトレーション	○
Ordering機能	○
FCアルゴリズム	○
FCパラメータ	○
Link層アービトレーション	○
FC, Ack/Nak通知方式	○
送信バッファ	○
リトライバッファ	○
受信バッファ	○

さらに、導入したIPをカスタマイズして評価チップを開発する際にも、ハードウェアモデルによる評価結果を参照して実装仕様を決定した。完成したハードウェアによる実測値とシミュレーションの結果は、基本的なDMA (Direct Memory Access) 転送のデータ転送レートにおいて、差異が約0.2%であり、開発したモ

デルが高い精度で実機の性能を予測できることを確認できた。

4. 今後の展開

本稿では性能予測用PCI Express通信コアモデルによるデータ転送性能評価を題材に、ハードウェア性能予測向けモデリング手法の適用効果を報告した。PCI Express IPコアの導入に先駆けて、モデルによる最適な各種パラメータ検討を開始し、RTLや実機が無い段階からシステム性能評価まで実施できた。ハードウェアモデリング手法適用の効果として、モデル化（動かすこと）を通じて仕様理解度が深まり、複雑な通信パラメータが性能に及ぼす影響を早期に把握することができた。またIP選定を想定したチェックポイントを事前に明確にできたことも、デジタルカラーMFPにおけるPCI Expressのスムーズな導入に繋がった。

本手法は、現在までにMFPのコントローラ制御チップの内部設計などにも適用範囲を広げ、大規模なシステムレベル設計の効率化に貢献している。近年はOSCI（Open SystemC Initiative）によるTLM（Transaction Level Modeling）規格の標準化をはじめとするシステムレベル設計における性能予測向けモデリング技術の進歩や、IPベンダーからハードウェア性能予測に利用可能なCモデルが提供される事例も見受けられ、さらなるモデルの開発工数削減が期待される。今後もこれらのシステムレベル設計の効率化につながる技術を取り込み、より簡単で精度の高い動作解析シミュレーション技術を確立していきたい。

参考文献

- 1) PCI-SIG: PCI Express Base Specification Revision 1.0, (2002)
- 2) Thorsten Grötter, et al.: SystemC によるシステム設計, 丸善, (2003)
- 3) Daniel D. Gajski, et al.: SecC 仕様記述言語と方法論, CQ 出版社, (2000)

注1) PCI-SIG, PCI, PCI Express および PCIe は PCI-SIG の登録商標です。

注2) OSCI および SystemC は Open SystemC Initiative の登録商標です。

全印刷有機TFTバックプレーンを用いたフレキシブル電気泳動ディスプレイ

An All-printed Organic TFT Backplane for Flexible Electrophoretic Displays

小野寺 敦*	油谷 圭一郎*	田野 隆徳*	友野 英紀**	村上 明繁*
Atsushi ONODERA	Keiichiroh YUTANI	Takanori TANO	Hidenori TOMONO	Akishige MURAKAMI
鈴木 幸栄*	柳澤 匡浩*	亀山 健司***	川島 伊久衛****	
Koei SUZUKI	Masahiro YANAGISAWA	Kenji KAMEYAMA	Ikue KAWASHIMA	

要 旨

見やすい、軽量で持ち運びが容易、低消費電力といった特徴を有するペーパーライクディスプレイを低コストで実現するために、ディスプレイの有機TFTバックプレーンを全て印刷法で形成する技術を開発した。紫外線照射により表面（自由）エネルギーが制御できる新規機能性ポリイミドとインクジェット法を用いた電極形成技術を開発し、線幅 $20\mu\text{m}$ や電極間スペース $2\mu\text{m}$ といった微細電極を実現した。また印刷条件ならびに溶媒や濃度といった有機半導体のインク処方を最適化することで、 $100\mu\text{m}$ 以下の有機半導体パターンをインクジェット法により実現した。これらの技術を用いて解像度160 ppiの全印刷有機TFTバックプレーンをフィルム基板上に作製した。さらにこのバックプレーンを用いてフレキシブル電気泳動ディスプレイを試作し、10 ptの文字表示を確認した。

Abstract

We have demonstrated an all-printed organic thin film transistor (OTFT) backplane for low-cost manufacturing of paper-like displays, which have unique features such as whiteness like a paper, portability because of its light weight, and low power consumption. Using surface energy controlled inkjet printing with ultraviolet (UV) irradiation on novel polyimide, electrodes with a line width of $20\mu\text{m}$ and a space of $2\mu\text{m}$ are successfully patterned. The patterning of organic semiconductor below $100\mu\text{m}$ is realized using inkjet printing method by optimizing inkjet condition and polymer organic semiconductor ink formulation such as solvent and concentration. We have fabricated a 160 ppi all-printed OTFT backplane on a plastic substrate using these technologies, and also fabricated a flexible electrophoretic display using an all-printed OTFT backplane, and demonstrated that 10-point figure pattern is clearly displayed.

* 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 環境技術開発室

Environmental Technology Development Department, Corporate Technology Development Group

*** グループ技術開発本部 オフィスソリューション開発センター

Office Solution Technology Development Center, Corporate Technology Development Group

**** 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

1. はじめに

近年、紙の長所である視認性や携帯性と、ディスプレイの特徴である電氣的な表示書き換え機能を併せ持った新規な表示媒体として電子ペーパーが注目されている。既にガラス基板を用いた携帯型白黒表示の電子書籍リーダーが数社から商品化されており、カラー化や大面積化あるいはフレキシブル化に向けた開発も活発に行われている¹⁻⁵⁾。我々はオフィス等の環境で知識創造活動を支援する新規なツールとして電子ペーパーに着目し、紙のような高い視認性、低消費電力、軽量で持ち運びが容易、といった特徴を有し、さらに文字を違和感無く読めるような高い解像度を有するペーパーライクディスプレイの実現を目指している。

その上で、特に低コスト、低環境負荷でのペーパーライクディスプレイの実現が重要であると考え、ディスプレイの駆動部である有機TFTバックプレーンの製造方法として印刷法を検討してきた。印刷法とは一般に、紙などの媒体にインキを用いて文字や写真などの画像を形成する手段であるが、近年、日本や欧州を中心に、電子デバイスの製造方法として注目されている^{6, 7)}。これは、従来のシリコン半導体製造プロセスで用いられたフォトリソグラフィやエッチングなどのプロセスと比較して、材料使用効率が高い、設備にかかるコストが低い、プロセスが簡便であるといった特徴を印刷法が有するからである。これまでに反転印刷法を用いて作製した解像度76 ppiの有機TFTバックプレーン⁸⁾、光照射による表面改質技術とスクリーン印刷法を組み合わせ作製した解像度80 ppi, 150 ppiの有機TFTバックプレーン⁹⁾、フォトリソグラフィで形成した電極とインクジェット法で形成した有機半導体を用いた解像度167 ppiの有機TFTバックプレーン¹⁰⁾の報告がある。

我々は有機TFTバックプレーンを作製するに当たってインクジェット法に着目した。インクジェット法は、材料使用効率が高い、 $1\mu\text{m}$ 以下の薄膜形成に適している、版を用いないため版歪みが無い、非接触であるため被印刷面を汚染しない、などの特徴を有するためである。しかし一般的なインクジェット法では、 1pL 以

下の液滴の制御が非常に困難である¹¹⁾、複数のノズルを用いた場合に着弾位置のバラツキが生じる、着弾後に被印刷面で液滴が濡れ広がる、といった理由で、例えば線幅 $50\mu\text{m}$ 以下の微細パターンの形成は困難とされてきた¹¹⁾。結果としてインクジェット法を用いて電極を形成する場合、有機TFTの高精細化に限界があった。同様に、実現できる電極間距離にも限界があるため、有機TFTのソース電極とドレイン電極の間隔（チャンネル長）を短くできず、有機TFTの性能にも限界があった。

このようなインクジェット法の課題に対して、これを補うための手法が提案されている。例えばSirringhausらは、ガラス基板上にフォトリソグラフィおよびエッチングを用いてポリイミドのバンクを形成している。ポリイミドバンク表面とガラス表面の濡れ性の違いを利用することで、 $5\mu\text{m}$ という、一般的なインクジェット法の限界を超える微細なチャンネル長を実現している⁷⁾。またAraiらは、ゲート電極をマスクとした紫外線照射により、セルフアラインで自己組織化単分子膜をパターンニングする技術を報告している。紫外線照射された部分と、されていない部分との濡れ性の違いを利用することで、スピコート法で $20\mu\text{m}$ という電極間スペースを実現している¹²⁾。

我々は印刷法による高精細デバイスの作製に向けて、紫外線照射により表面（自由）エネルギーが制御できる新規機能性ポリイミドとインクジェット法を用いた電極パターン形成技術（以下、表面エネルギー制御IJ技術と呼ぶ）を開発した¹³⁾。従来技術よりも少ない工程数で、線幅 $20\mu\text{m}$ や電極間スペース $2\mu\text{m}$ といった微細電極を実現した。また印刷法に適した有機半導体材料を開発し、インクジェット法によって微細な有機半導体パターンを実現した。これらの印刷技術を用いてフィルム基板上に解像度160 ppiの高精細な全印刷有機TFTアレイを作製し、さらに電気泳動ディスプレイを駆動した結果、10 ptの明瞭な白黒文字表示が得られることを確認できた。

本稿では、開発した印刷技術、ならびにそれを用いて作製した全印刷有機TFTバックプレーン、および電気泳動ディスプレイに関して報告する¹⁴⁾。

2. 全印刷有機TFTバックプレーン

2-1 全印刷有機TFTバックプレーンの概要

Fig.1に我々が開発した有機TFTバックプレーンの断面図を示す。ボトムゲート型の有機TFTで、プラスチック基板上に、ゲート電極、保持容量電極、ゲート絶縁膜、ソース電極、ドレイン電極、有機半導体、層間絶縁膜および画素電極のすべての構成要素が印刷で形成されている。ゲート電極、保持容量電極、ソース電極、ドレイン電極およびこれらと接続する配線は、Agのナノメタルインクを用いた表面エネルギー制御IJ技術で形成している。ゲート絶縁膜は、機能性ポリイミドをスピコートして形成している。また有機半導体パターンは、ポリマー有機半導体のインクを用いてインクジェット法で形成している。さらに、層間絶縁膜は絶縁性ペースト、画素電極は導電性ペーストを用いてスクリーン印刷法で形成している。高精細な有機TFTアレイを作製するためには、有機TFTの構成要素である電極あるいは有機半導体の微細化が不可欠である。ここでは、その2点についてより詳細な検討結果を示す。

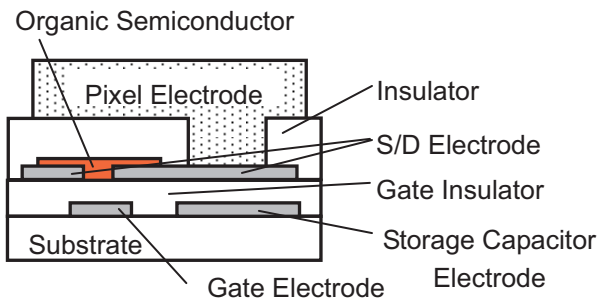


Fig.1 Schematic cross-section of the all-printed OTFT backplane.

2-2 表面エネルギー制御IJ技術

表面エネルギー制御IJ技術はFig.2に示す工程からなる。はじめに基板上に新規機能性ポリイミド材料を含む溶液をスピコート成膜し、焼成して薄膜を形成する。この新規機能性ポリイミドは、絶縁性に優れるポリイミド骨格を有する主鎖に疎水性基が結合している

ため、薄膜形成後の表面は低表面エネルギー（疎水性）である。次にフォトマスクを介して新規機能性ポリイミドに紫外線を照射する。これにより疎水性基の結合が切れ、膜表面の状態が低表面（自由）エネルギーから高表面（自由）エネルギーに変化するため、ポリイミド薄膜表面に選択的に高表面エネルギー部（親水性）が形成される。次にインクジェット法により、導電性材料を含有する親水性インクを高表面エネルギー部に選択的に滴下し、乾燥固化させることで電極パターンを形成する。

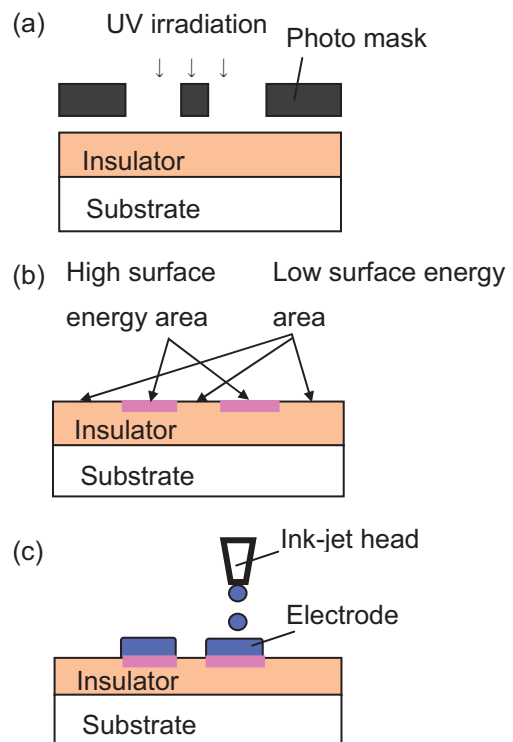


Fig.2 Schematic of the surface energy controlled ink-jet printing process (a) UV irradiation, (b) Formation of areas with different surface energy, (c) Fabrication of electrodes by ink-jet printing.

ポリイミド薄膜表面の高表面エネルギー部は親水性であるために滴下されたインクが濡れ広がるが、低表面エネルギー部は疎水性であるためにインクを弾くため、結果として高/低表面エネルギー境界を越えてインクが低表面エネルギー部に広がることなく、高表面

エネルギー部のみを選択的に電極パターンを形成することが可能である。

このように、成膜工程と紫外線照射工程のみで、表面エネルギーが制御された高絶縁性の機能性薄膜が得られる、という点で従来技術と異なる。

Fig.3にインクジェット法を用いた電極形成例を示す。(a)は表面エネルギー制御を用いていない場合、(b)は表面エネルギー制御を用いた場合である。インクジェット法での印刷データは同じもので、インクの滴下は同じように行っている。電極形成後、電極の表面性を見るために、電極の上層に透明な樹脂膜を形成している。Fig.3から、(a)が滴下された液滴の形状を反映した電極パターンとなっているのに対し、(b)はフォトマスクパターンを反映した形状となっているのがわかる。またFig.3から、(a)では樹脂膜の膜厚差を反映した干渉縞が見られるように電極表面凹凸が大きいのに対して、(b)では干渉縞が見られず平坦性の良い電極パターンが得られていることがわかる。

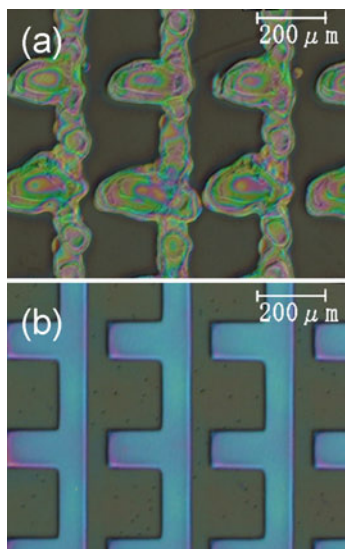


Fig.3 Optical micrograph of electrode patterns (a) without and (b) with surface energy controlled ink-jet printing method.

次に表面エネルギー制御IJ技術を用いた場合にどの程度微細な電極間距離が実現可能かを調べた。Fig.4は、微小な距離を隔てて対向する2つの電極を100個形成した場合に、2つの電極が分離できる割合を光学顕微鏡を

用いて評価した結果である。間隔の異なるマスクパターンを用いて2つの電極間の距離を変え、またインクジェットの印刷条件を調整して膜厚の異なる2種類の電極を形成している。電極を厚くした場合 (Thickness B) は、10 μm 以下の電極間距離を形成する場合に歩留まりの低下が見られるが、電極膜厚を最適化した場合 (Thickness A) には、2 μm の電極間距離まで高い歩留まりで形成できることが確認できた。

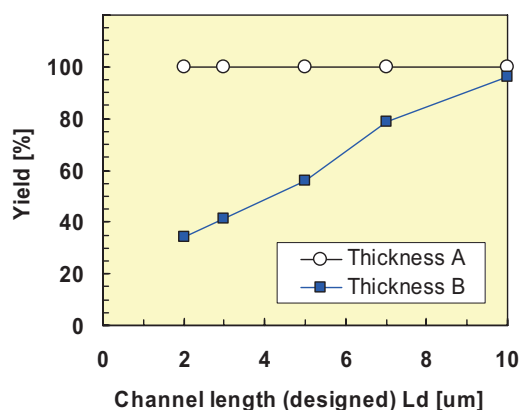


Fig.4 Yield of electrodes separation on designed space for several electrode thicknesses.

続いて、この表面エネルギー制御を用いたインクジェット法は、どの程度の着弾位置の許容値があるかを確認した。10 μm ずつずらした階段状のライン形状を持つマスクパターンを作製し、これを通してUV露光し、ポリイミド膜面に高表面エネルギー部を作製した。インク液滴の吐出を同一直線に行い、電極ラインを形成した。Fig.5に結果を示す。80 μm 幅の高表面エネルギー部の中心に対して、着弾位置が $\pm 50 \mu\text{m}$ 程度ずれた場合でも、マスクパターン通りにラインが形成できている。これは親水性インクが表面エネルギーの低い面 (疎水面) に着弾してもエネルギーの高い面 (親水面) に引き込まれるためである。

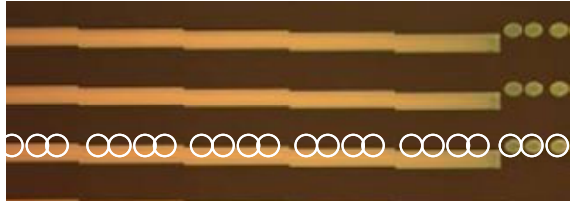


Fig.5 Alignment margin of ink droplets ejected from IJ head onto the surface energy controlled polyimide film. White circles show impact positions of ink droplets.

このように、表面エネルギー制御IJ技術は、微細なパターンが形成可能、電極表面の平坦性が優れる、さらにマスクパターンに従って電極が形成されるため、インクジェットインクの着弾位置のばらつきに対する許容値が大きいといった特徴がある。

2-3 有機半導体パターン形成技術

Fig.6に自社開発した有機半導体材料の分子構造を示す。耐候性に優れたトリフェニルアミン骨格と溶解性に優れた長鎖アルキル基を有しており、大気中でのインクジェットプロセスに適した材料となっている¹⁵⁾。表面エネルギー制御IJ技術を用いて作製したAg電極上に、インクジェット法で有機半導体（OSC）パターンを形成した例をFig.7に示す。有機半導体インクの溶媒や粘度を調整し、また印刷条件を最適化することで、100 μm以下の有機半導体パターンを形成できている。

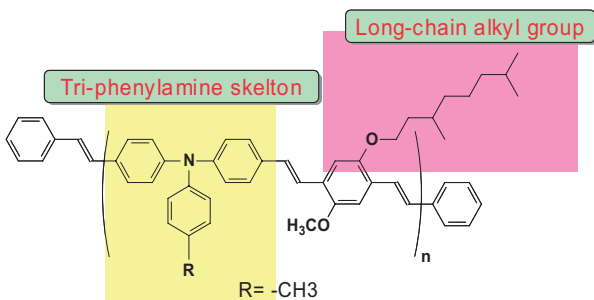


Fig.6 Schematic of organic semiconductor.

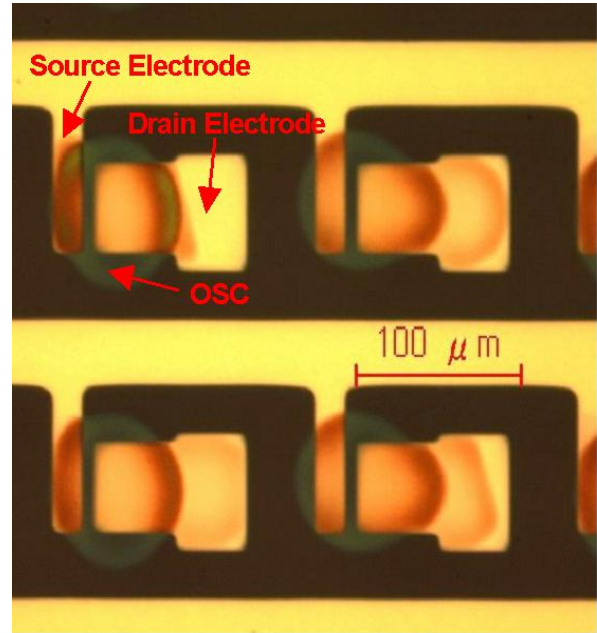


Fig.7 Optical micrograph of OSC patterns.

2-4 全印刷有機TFTアレイの作製

上述した表面エネルギー制御IJ技術と有機半導体パターン形成技術を用いて有機TFTアレイを作製した。Fig.8に、フィルム基板上に作製した解像度160 ppi（画素サイズ 159 μm × 159 μm）、対角3.2 inchの有機TFTアレイ（素子数 432 × 288）の有機半導体形成後の光学顕微鏡写真を示す。表面エネルギー制御IJ技術を用いることで、チャンネル長5 μm、最小線幅20 μmのAg電極が形成できている。電極膜厚は約100 nmである。この電極の比抵抗は16 μΩ・cm程度でありAgの比抵抗1.6 μΩ・cmと比べて約一桁高いが、電気泳動ディスプレイを駆動する上では問題ない値である。また有機半導体に関しても、隣接画素間に跨ることなくチャンネル上に安定して形成できている。そのため隣接画素間のリーク電流が小さく、1素子毎に有機TFTを安定動作させることができる。

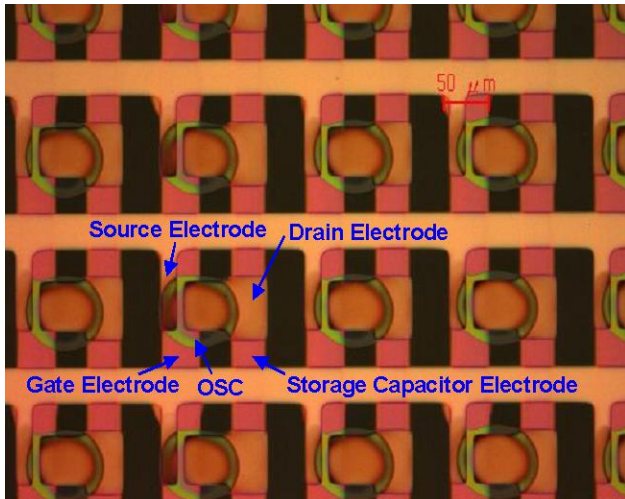


Fig.8 Optical micrograph of a 160ppi all-printed OTFT array on flexible substrates after OSC fabrication.

3. 電気泳動ディスプレイの試作

次に、得られた有機TFTバックプレーンを用いて電気泳動ディスプレイを試作した。Fig.9に示すように、この電気泳動ディスプレイは、有機TFTバックプレーンに電気泳動表示シートを貼り合せた簡易な構成である。電気泳動表示シートは自社開発しており、透明フィルム基板の上に形成された透明電極の上層に、おのおの逆極性に帯電した白粒子と黒粒子を含むマイクロカプセル型電気泳動インクを形成している。有機TFTバックプレーンに対して、マイクロカプセル型電気泳動インクの面を貼り合せている。有機TFTバックプレーンの1つの画素電極に、表示データに対応した極性の電位を印加すると、この電位と逆極性の粒子が透明電極側（表示面側）に移動するため、表示が切り替わる。

Fig.10に選択線および信号線への印加電圧をそれぞれ30 V_{pp}、27 V_{pp}とした条件における表示結果を示す。10 pt文字を明瞭に表示できており、高精細な有機TFTバックプレーンが動作していることが確認できた。電気泳動ディスプレイはメモリ性を有するため、電源を切っても表示された画像が保存される。またFig.11に示すように、フィルム基板の上に形成されていることからフレキシブル性を有している。

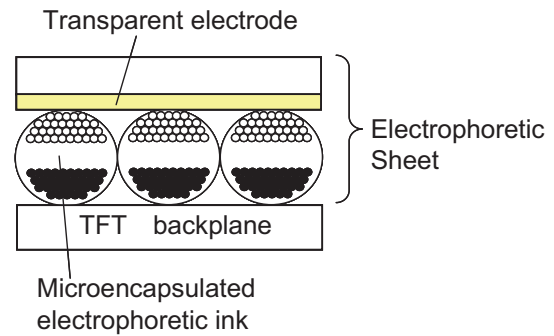


Fig.9 Schematic cross-section of EPD using all-printed OTFT backplane on flexible substrates.



Fig.10 A 160 ppi EPD driven by all-printed OTFT backplane on flexible substrates.



Fig.11 Photograph of a 160 ppi flexible EPD.

4. まとめと今後

紫外線照射により表面（自由）エネルギーが制御できる新規機能性ポリイミドとインクジェット法を用いた電極パターン形成技術を開発し、従来技術よりも少ない工程数で、線幅 $20\mu\text{m}$ や電極間スペース $2\mu\text{m}$ といった微細電極を実現した。また有機半導体のインクジェット法によるパターン形成技術を開発し、 $100\mu\text{m}$ 以下の有機半導体パターンを実現した。これらの印刷技術を用いてフィルム基板上に解像度160 ppi、対角3.2 inchの高精細な全印刷有機TFTアレイを作製した。さらに電気泳動表示ディスプレイを試作し表示動作させた所、10 ptの明瞭な白黒文字表示が得られ、高精細な有機TFTバックプレーンが動作していることが確認できた。

今後は、カラーで高精細なペーパーライクディスプレイの実現に向けて、全印刷有機TFTバックプレーンの更なる高精細化と、カラー表示素子の開発を進める。

参考文献

- 1) I. French: Flexible E-Books, SID 09 DIGEST, (2009), pp.100-103.
- 2) M. Nishii, et al.: The Use of Transparent Conductive Polymer for Electrode Materials in Flexible Electronic Paper, SID 09 DIGEST, (2009), pp.768-771.
- 3) Y. Kurosaki, et al.: Improvement of Reflectance and Contrast Ratio of Low-Power-Driving, Bendable, Color Electronic Paper Using Ch-LCs, SID 09 DIGEST, (2009), pp.764-767.
- 4) A. Giraldo, et al.: Transmissive Electrowetting-Based Displays for Portable Multi-Media Devices, SID 09 DIGEST, (2009), pp.479-482.
- 5) D. Sikharulidze, et al.: Electrophoretically Controlled Nematic LCD: Plastic Bistable Technology with Memorized Intrinsic Grey Scale, SID 08 DIGEST, (2008), pp.1030-1033.
- 6) Z. Bao, et al.: High-Performance Plastic Transistors Fabricated by Printing Techniques, Chem. Mater., 9, (1997), pp.1299-1301.
- 7) H. Sirringhaus, et al.: High-Resolution Inkjet Printing of All-Polymer Transistor Circuits, Science, 290, (2000), pp.2123-2126.
- 8) T. Okubo, et al.: VGA All-printed Flexible Organic TFT Backplane for Electrophoretic Displays, IDW '07, (2007), pp.463-464.
- 9) H. Maeda, et al.: 10 inch Flexible Active-Matrix QR-LPD for Fast Image Refreshing with Printed OTFTs, IDW '08, (2008), pp.1469-1472.
- 10) N. Kawashima, et al.: A High Resolution Flexible Electrophoretic Display Driven by OTFTs with Inkjet-Printed Organic Semiconductor, SID 09 DIGEST, (2009), pp.25-27.
- 11) 村田和広: インクジェットプロセス, ミニマルマニュファクチャリング 考え方とテクノロジー, (2007), pp.11-15.
- 12) T. Arai, et al.: Self-Aligned Fabrication Process of Electrode for Organic Thin-Film Transistors on Flexible Substrate Using Photosensitive Self-Assembled Monolayer, Jpn. J. Appl. Phys., 46, (2007), pp.2700-2703.
- 13) T. Tano, et al.: Organic Thin-Film Transistors with a Novel Polyimide Gate Insulator, AMLCD2004 Digest, (2004), pp.37-40.
- 14) K. Suzuki, et al.: A 160 ppi All-printed Organic TFT Backplane for Flexible Electrophoretic Displays, IDW '08, (2008), pp.1477-1478.
- 15) T. Yamaga, T. Sagisaka and Y. Akiyama: Development of Amorphous Polymer as High FET Mobility materials, Abstracts of Papers, MRS 2007 Fall Meeting, (2007), pp.165.

ガス圧を利用したマイクロハニカム構造体の形成方法

A New Method of Fabricating Micro Honeycomb Structure by Controlling Gas Pressure

金松 俊宏*

Toshihiro KANEMATSU

妹尾 晋哉**

Shinya SENO

要 旨

非常に簡単な装置および工程にてマイクロハニカムセル構造体を作製するユニークな製造方法を提案する。本工法はシャボン玉の発生原理を応用しており、配列した複数のシャボン玉 (=ハニカム材料) を同時に発生させて成長させることでハニカム形状へ自己形成させる製造方法である。セルピッチが5~200 μm で隔壁厚みが0.1~1 μm , アスペクト比 (セル高さ/隔壁厚み) が100以上のハニカム構造体を数秒~数分程度で形成できる。これは軟X線リソグラフィやインプリント等の他工法では達成困難な、低コストと高アスペクトの微細形状形成を両立した加工方法である。形成したハニカムセルに機能性材料を充填することで、様々な機能性デバイスへの展開が期待出来る。

Abstract

A unique method, based on the principle of soap bubble generation has been developed to fabricate a micro periodic honeycomb structure. Arrayed bubbles are generated from a thin material layer on the template and grown into the induced honeycomb structure through the inflation process by controlling gas pressure.

The honeycomb cell pitch, depending on the template, is selectable from 5 to 200 micrometers, and the thickness of the cell wall is from 0.1 to 1 micrometer, together with the aspect ratio (cell height/cell wall thickness) is over 100. The process generally takes several minutes, even as little as a few seconds with some materials.

Compared with normal processes, such as X-ray lithography and imprint processing, this method not only successfully fabricates the honeycomb structure with thinner cell walls and a higher aspect ratio, but also reduces processing costs significantly. Further study is now focused on introducing functional materials into the empty spaces of the periodic honeycomb, which is expected to lead to the development of various functional devices.

* 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

** GJ開発本部 技術戦略センター

Technology Strategy Center, GJ Design & Development Division

1. はじめに

1-1 マイクロハニカム構造体の用途および課題

従来のハニカム構造材料は航空機等に代表されるように、軽量かつ高剛性を両立する構造として適用されている。そのときのセルピッチの大きさはミリメートル以上の大きなサイズである。更にハニカムのセルピッチがナノメートルおよびマイクロメートルになると、機械特性以外に、Fig.1に示すようにフィルター機能や異方性機能等の新たな機能の可能性が出てくる。

例えば、FPD（フラットパネルディスプレイ）の表示パネルのセルへのマイクロハニカム構造体の適用等である。このときの要求特性の一つに光利用効率向上のための開口率の向上（＝セルの薄壁化）や大面積化が挙げられる。これらセル加工方法の一つにインプリント工法が挙げられるが、Fig.2に示すようにインプリント工法は型にセル材料を注入し転写する方法であるので、型から取り出す時に転写した材料（＝成形品）を破損させてしまう等の課題があった。

我々は、材料を型に注入し転写する方法でなくて、ハニカムをテンプレート上に形成する方法にてそれら課題を解決できるものと考え検証を行ったので報告する。^{1, 2)}

2. マイクロハニカム構造体形成工法原理

マイクロハニカム構造体形成方法のヒントとしたのは、シャボン玉を作る方法である。通常シャボン玉は、膜が非常に薄く、その膜厚に対して大きな構造体である（Fig.3-a）。また、シャボン玉をお互いに接触させるだけで簡単にアレイ化し自然とハニカム形状となる特性がある（Fig.3-b）。シャボン玉を作るには、圧力を発生させる装置とその圧力をシャボン玉内部に搬送する機構が必要となる。簡単に例えると、人間の肺とストローとの関係になる。しかしながら、直径数百マイクロメートル以下のシャボン玉を数万個以上発生させアレイ化することは、従来技術の延長線上では非常に困難である。そこで考え出したのが、シャボン膜（＝ハニカ

ム材料の膜）の外側から圧力差を発生させ、ハニカム材料の膜を多数同時に膨張させることでマイクロハニカム構造体を形成する方法である。

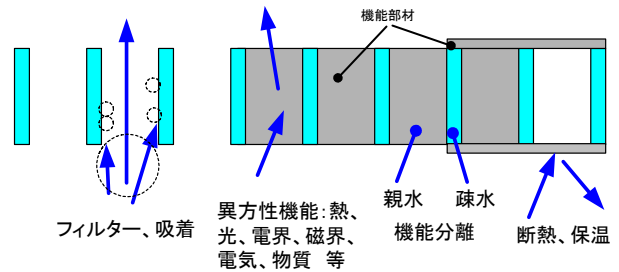


Fig.1 Possibility of micro honeycomb application.

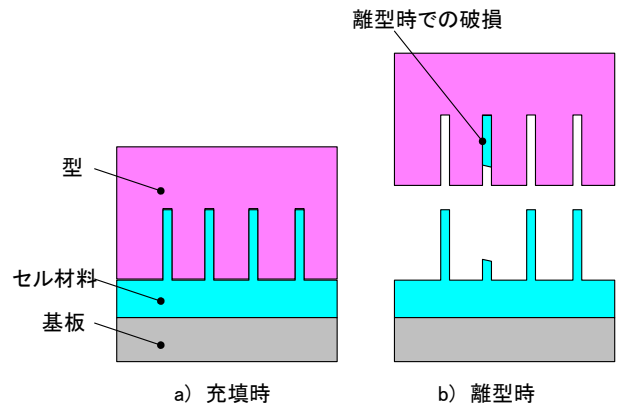
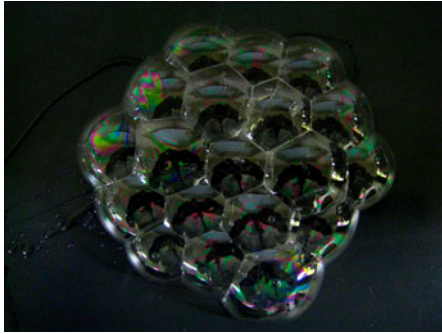


Fig.2 Problem of Imprinting process.



(a) A soap bubble.



(b) Arrayed soap bubbles.

Fig.3 The characteristics of soap bubbles

この工法の工程をFig.4の例を用いて簡単に説明する。

イ) 規則的に配列した凹部を有するテンプレートを用いて、その上にハニカム材料を密着させる。

ロ、ハ) 圧力差 (P_0-P_1) を発生させて凹部空間内のガスを同時膨張させハニカム材料を塑性変形させる。

ニ) ハニカム材料を硬化し、テンプレートから剥離することで片側のみ通気孔を有する複数のマイクロハニカム構造体を得る。

更に、各工程における装置構成と動作を詳細に説明する。

イ) の工程の説明

規則的に配列した凹部を有するテンプレートと圧力を制御する装置と圧力容器にて装置を構成する。この例では、ハニカム材料にゼラチン水溶液を使用する。ゼラチンは、非常に伸び易く割れにくくゲル化および乾燥にて容易に固体化ができるため、ハニカム形成に適した材料である。このハニカム材料を、テンプレートの凹部に空洞を形成するように密着させる。この時、凹部にハニカム材料が浸入しないような工夫が重要なポイントとなる。ここでは、テンプレートの凹部には撥水性の高い材料を用い、スピュコートにて塗布している。

ロ) の工程の説明

真空ポンプを用いて容器内のガスを減圧する。ここで初期の圧力を P_0 とし減圧後の圧力を P_1 とすると、その圧力差 (P_0-P_1) が発生し凹部内のガスが膨張することによりハニカム材料が塑性変形し半球状に膨む。

ハ) の工程の説明

隣のセル空間も同時膨張するため、空間同士がぶつかる時点 (アレイ化) からは横方向には膨らまず、上方向へとセル空間は成長していく。最終的には、力が釣り合った時点 ($P_2=P_1+\sigma_1$) で空間の成長は停止する。

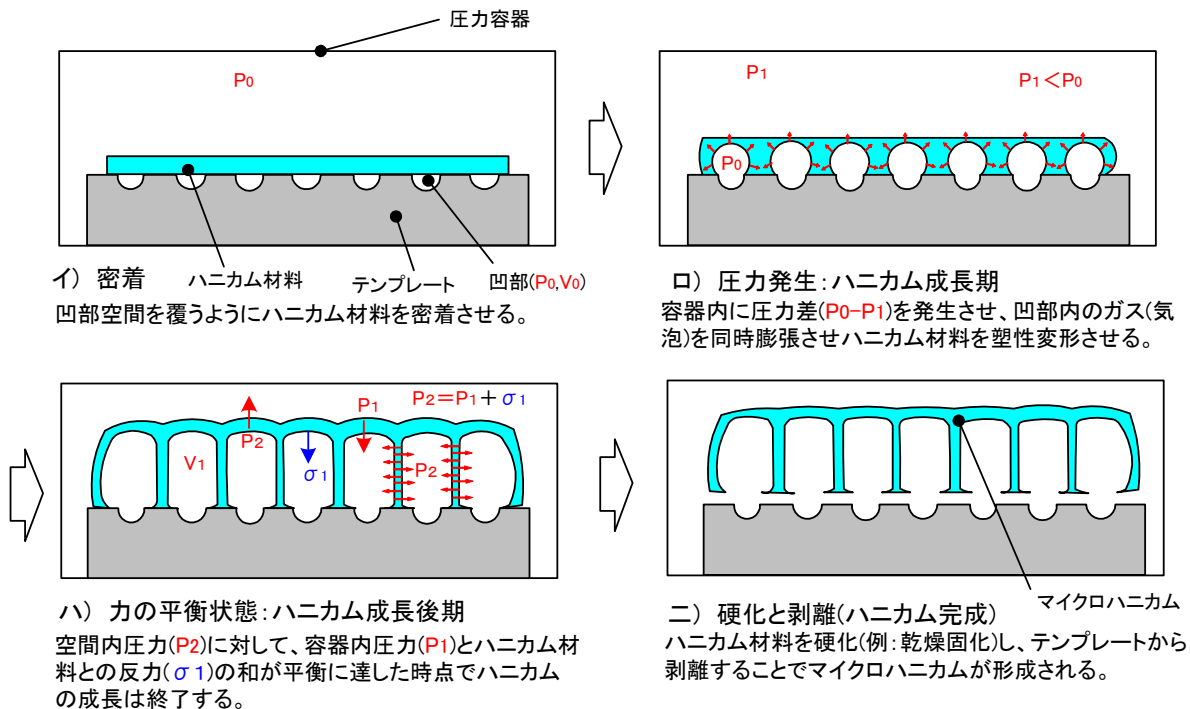


Fig.4 Principle of micro honeycomb processing.

そのときの形状がハニカム形状となる。

二) 硬化と剥離 (ハニカム完成)

ここでは、ハニカム材料にゼラチン水溶液を使用しているため、減圧により水分が蒸発しハニカム材料が固化していく。完全に固化した時点でテンプレートから剥離する。

次に、テンプレートの凹部の配列および形状と形成されるマイクロハニカム構造体形状について説明する。前述したように、ほぼガス圧力の均衡を保つように形作られるので、テンプレートの配列を変えるだけでマイクロハニカム構造体の形状は変化する。Fig.5にテンプレートの凹部配列およびその形状とそれらテンプレートから得られるマイクロハニカム構造体の配列および断面形状を示す。凹部が格子配列の場合、得られるマイクロハニカム構造体は格子状に配列し、その断面形状は四角形となる。また、千鳥配列の場合は、マイクロハニカム構造体は千鳥状に配列しその断面形状は六角形となる。このとき、凹部形状を六角形や円にしても、得られるマイクロハニカム構造体形状は六角形である。このように、Fig.4ロ) およびハ) の工程中に、ハニカムのセルは凹部配列によって変形成長していき、配列や形状を決定していく。これが、この工法の大きな特徴である。なお、ここでは記述しないが、凹部体積を変化させてもマイクロハニカム構造体形状および寸法は変化する。

以上、本工法は、圧力差を利用してその力のバランスにてテンプレート上にマイクロハニカム構造体を形成する至ってシンプルな加工方法である。

凹部配列	凹部形状	テンプレート	マイクロハニカム
格子配列	四角		
千鳥配列	六角		
	円		

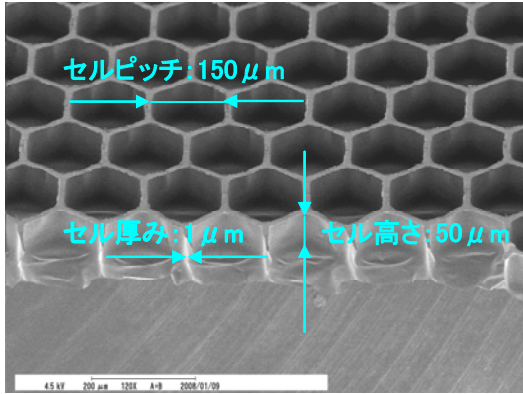
Fig.5 Shapes of formed micro honeycombs and their corresponding templates.

3. マイクロハニカム構造体加工能力

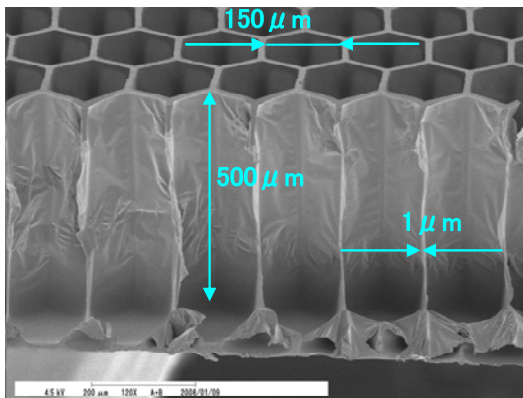
3-1 圧力によるセル高さ制御

Fig.6は本工法にて得られたマイクロハニカム構造体である。セル厚みは約 $1\mu\text{m}$ である。セルピッチ $150\mu\text{m}$ でのマイクロハニカム構造体のアスペクト比A (セル高さ/セルピッチ) およびアスペクト比B (セル高さ/セル厚み) において、アスペクト比Aは $0.3\sim 7$ 、アスペクト比Bは $50\sim 500$ である。また、加工時の圧力比によってセル高さが制御出来る。

Fig.7はFig.4のロ) での圧力比 (P_1/P_0) に対するセル高さの関係のグラフある。PV=一定の基で計算した予測値と実験値との比較である。実験値は予測値と同傾向の曲線であり、その値は予測値より小さいことが判る。この差分がFig.4で示すハニカム材料の反力 σ_1 と考えている。なお、Fig.6-aおよび6-bは、それぞれ圧力比 0.33 、 0.07 、での例である。セル高さは、それぞれ $50\mu\text{m}$ 、 $500\mu\text{m}$ である。



(a) Pressure ratio : 0.33, Cell pitch : 150 μm ,
Honeycomb material : Gelatin.



(b) Pressure ratio : 0.07, Cell pitch : 150 μm ,
Honeycomb material : Gelatin.

Fig.6 Cell height control with gas pressure

3-2 高いアスペクト比

Fig.8はアスペクト比A : 7, アスペクト比B : 350の
写真である. 非常に高いアスペクト比を示す. ゼラチ
ン水溶液の希釈度および, テンプレート凹部の容積 V_0
を増すことで更なる高アスペクト比が期待できる.

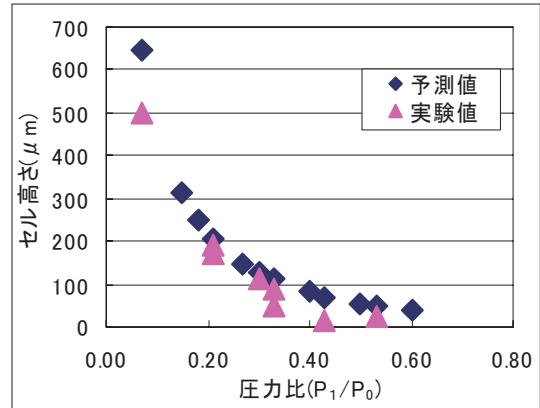


Fig.7 Relation between pressure ratio and height of
honeycomb cell. (Standard pressure: $P_0=100\text{kPa}$,
Estimated values were calculated with $PV=\text{constant}$)

3-3 広い加工領域

Fig.9の中央画像は, 本工法で作製したマイクロハ
ニカム構造体の全体写真 (加工領域 $210 \times 140 \text{ mm}$)
である. 周辺は, 各部分を拡大した顕微鏡写真である.
これらから全域でマイクロハニカム構造体が形成され
ていることが判る. 流動性が高く圧力分布は均一と成
り易いガス圧力制御のため, 大面積でのハニカムが容
易に形成出来る. 現在は塗布装置や圧力装置等の大き
さにて加工領域が制限されているが, 更なる大面積化
も容易である.

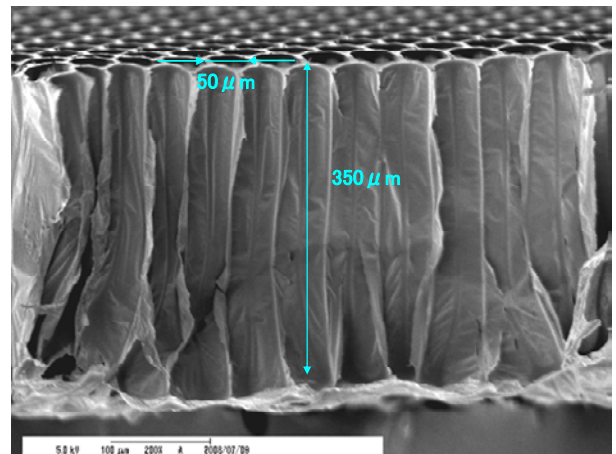


Fig.8 Aspect ratio A : 7, Cell pitch : 50 μm ,
Honeycomb material : Gelatin

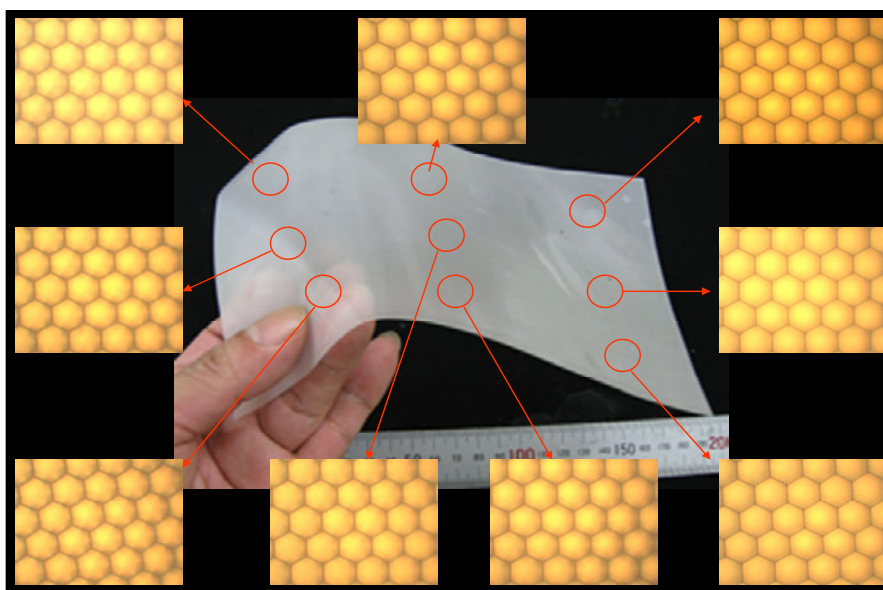


Fig.9 A sheet of micro honeycomb and its microscopic cell images in some areas. (Processed area : 210x140mm, Cell pitch : 200 μ m, Honeycomb material : UV curable resin)

3-4 多様なセルピッチ

Fig.10はセルピッチ5 μ mでの例である。セルピッチはテンプレートの凹部のピッチにて制御出来る。

Fig.6やFig.9の結果も合わせると少なくともセルピッチ5~200 μ mでの制御が可能である。

なお、セルピッチ5 μ mの時のセル厚みは0.2 μ m、セルピッチ150 μ mの時のセル厚みは1 μ mである。

3-5 多様なハニカム材料

延伸性を有する材料がハニカム材料として適している。Fig.11には、熱可塑性樹脂のPS（ポリスチレン）やPE（ポリエチレン）およびアクリル系UV硬化樹脂の例を載せる。その他、溶剤に希釈したウレタンやPAI（ポリアミドイミド）および熱可塑性樹脂のPC（ポリカーボネイト）でのハニカム形成を確認している。ただし、熱可塑性樹脂は温度による膨張収縮や粘度および粘着力等の変化が大きく、改良の余地がある。

3-6 その他

ハニカム材料がゼラチンの場合、セル厚みが1 μ m以下と非常に薄いため、水分が短時間で蒸発し固体化する。セルピッチやセル高さによって固化時間は異なるが、数10秒~数分程度で固化する。UV硬化樹脂の場合

は、照射強度等によるが、数~数十秒程度での短時間で加工が可能である。

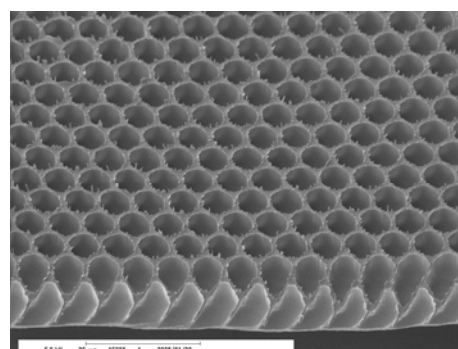
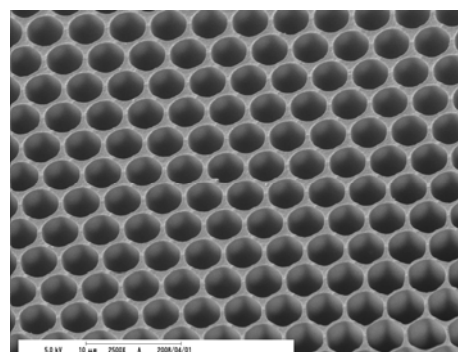
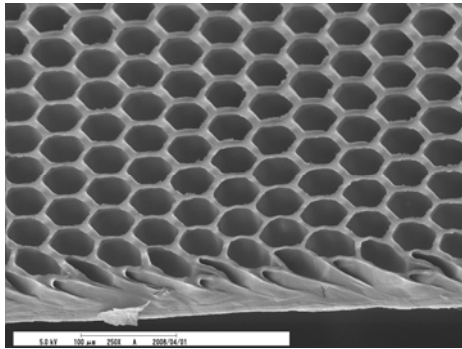


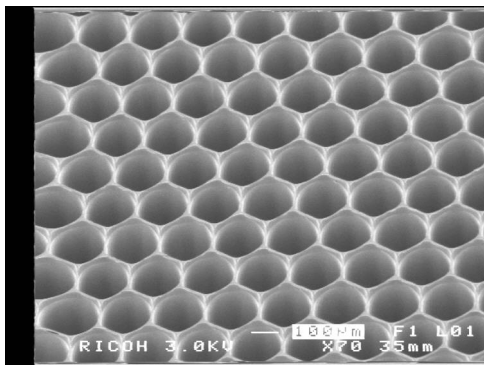
Fig.10 Cell pitch : 5 μ m, Honeycomb material : Gelatin.



(a) Material : Polystyrene, Cell pitch : 5 μ m.



(b) Material : Polyethylene, Cell pitch : $50\ \mu\text{m}$.



(c) Material : UV curable acrylic resin, Cell pitch : $200\ \mu\text{m}$.

Fig.11 Examples of various honeycomb cell pitches and the materials

4. まとめ

本工法は、マイクロハニカム構造体を簡易に形成する従来にない新しい工法であることを確認した。また、その特徴として以下のことを確認した。

- 50～500と高アスペクト比（セル高さ／セル厚み）が可能である。
- 5～200 μm の多様なセルピッチが可能である。
- 140×200mmと加工領域が広い。
- 材料に多様性がある。
- 数分程度の短時間加工が可能である。

また、本マイクロハニカム構造体形成技術を用いることで、多様な用途展開が期待出来ると考えている。

参考文献

- 1) 金松俊宏, 妹尾晋哉 : 第 55 回応用物理学関連連合講演会 講演予稿集, 1275 (2008)
- 2) 金松俊宏 : ハニカム構造の応用と機能, シーエムシー出版, 196 (2008)

1枚走査レンズ及びマルチステップ回折レンズを用いた走査光学系

The Scanning Optical System that Adopted Single Scanning Lens and Multi-Step Diffraction Lens

宮武 直樹*
Naoki MIYATAKE

齊所 賢一郎*
Kenichiroh SAISHO

甲斐 聡**
Satoshi KAI

畠山 寿治**
Toshiharu HATAKEYAMA

要 旨

1枚構成の走査レンズと、回折レンズを採用し、小型、低コストに対応可能なタンデムカラー走査光学系を開発した。1枚構成の走査レンズの採用は、A3タンデムカラー機としては業界初であり、走査光学系を構成する各光学素子レイアウトの自由度を向上させ小型化に大きく寄与している。走査レンズ設計では、光束の収束・発散性を設計パラメータに加え最適化することで、広画角・等速性・良好な結像特性を獲得している。1枚構成の走査レンズで課題となる環境変化時の結像位置変動に対しては、リコー独自のマルチステップ回折レンズの採用により解決した。マルチステップ回折面は光学平面と等価な面となるため、偏心等の加工誤差に対する光学特性の安定性が高い。また、高アスペクト比の微細構造を形成する必要が無く、金型加工、形状測定がし易い。これらの加工面での優位性を活かし、内部歪みを低減した高精度プラスチック回折レンズを得ることを可能とした。本走査光学系は、コンパクトボディを商品コンセプトとした、リコーのA3デジタルカラー複合機に搭載されている。

ABSTRACT

This report presents a newly developed scanning optical system for compact and low cost A3 tandem full color imaging devices. The optical system features a single scanning lens, which is the first use for A3 imaging devices. Adopting a single scanning lens contributes to downsizing by improving the flexibility of the optical arrangement. In designing the scanning lens, the optimization of convergence or divergence of light flux gives wide scanning angle, high linearity, and excellent imaging characteristics. Defocuses caused by thermal change, that is particular problem in adopting the single scanning lens, were solved by deploying our innovative multi-step diffraction lens. The multi-step diffraction surface is stable toward a decentering due to machining errors because of the equivalence to an optical flat. In addition, the multi-step diffraction surface doesn't need to be formed microstructure in high-aspect ratio. Consequently, the forming mold tool and the form measurement were simplified. Above superiority achieved high precision and low internal distortion plastic lens. The optical system is mounted on the A3 tandem full color multifunctional printer of RICOH with downsizing concept.

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

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

1. 背景

近年、デジタルカラー複合機の市場では、省設置スペース実現に向け、小型化への要求が高くなっている。また、同時に多彩な先進機能の搭載を低コストで実現することも重要な商品コンセプトとなっている。

本報は、1枚構成の走査レンズと回折レンズを採用し、小型、低コストを実現した走査光学系の紹介である。

2. 走査光学系の構成

走査光学系の小型化、低コスト化への要求を実現するために、A3カラーに対応する走査光学系としては、業界初となる1枚構成の走査レンズを採用した。

従来の走査光学系は、Fig.1に示すような2枚構成の走査レンズが多く用いられている。

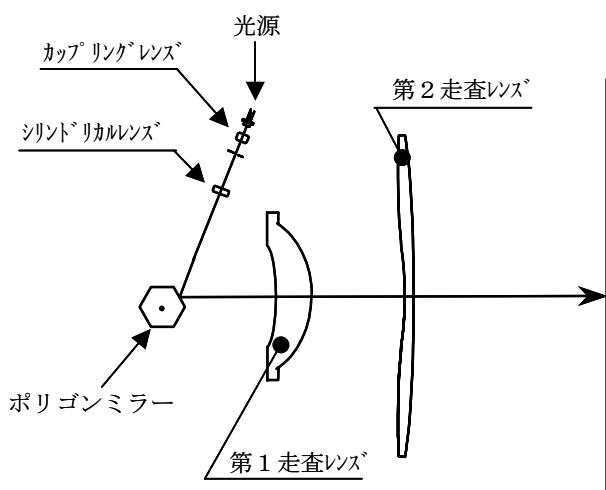


Fig.1 Layout of Laser Scanning System with Two Scanning Lenses.

感光体側に配置される第2走査レンズに、副走査方向に強い正の屈折力を配分することで、ポリゴンミラーと感光体表面間の横倍率を小さく設定でき、環境温度の変化や光学素子の形状ばらつきにより生じる結像位置変動を小さくし、安定した光学特性を得ることができるというメリットがある。

ここで、ポリゴンミラーによる光束の偏向方向を主走査方向、主走査方向に直交する方向を副走査方向と定義する。

一方、2枚構成の走査レンズは、感光体に光を導くための光学レイアウトにおいて、第2走査レンズを配置するスペースの確保が制約となり、光走査装置の小型化の弊害となってしまうデメリットがある。

本報で紹介する走査光学系は、1枚構成の走査レンズを採用している (Fig.2)。第2走査レンズを持たないことで、前記光学レイアウトの課題を解決している。更に、画角を約84度 (走査レンズ2枚構成の前身機：約72度) と広角化することで、ポリゴンミラーから感光体表面までの光路長を短く設定し、コンパクトな光走査装置を実現している。

また、1枚構成の走査レンズ実現に向け大きな課題となる、環境温度変化による結像位置変動は、後述する回折レンズの採用により解決した。

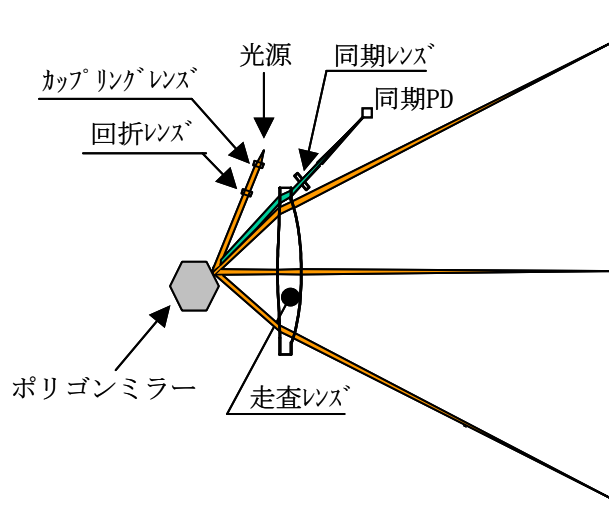


Fig.2 Layout of Laser Scanning System with Single Scanning Lens.

3. 走査レンズ

3-1 走査レンズの設計

1枚構成の走査レンズは、主走査方向の結像機能と等速走査維持のための $f \theta$ 特性機能という2つの機能の両立が課題となる。

結像機能を満足させるためには、光線高さごとに最適な正の屈折力を持たせる必要がある。一方、 $f\theta$ 特性を満足させるためには、走査レンズの光軸から離れるに従い光線を光軸側に曲げる必要が生じる。この偏角は、広角になるほど大きくなる。

一般的に、走査レンズに入射する光束は平行光束とすることが多いが、本走査光学系の画角においては、走査レンズ周辺部分で、 $f\theta$ 特性を満足させるための偏角を得ようとした場合、屈折力が強くなりマイナスの像面湾曲が発生する。そこで本走査光学系では、走査レンズに入射する光束を発散性の光束とし、 $f\theta$ 特性を満足する走査レンズ面の形状で像面湾曲を補正し、1枚の走査レンズであるにも関わらず2つの機能を両立させている。

本走査光学系の像面湾曲、及び、 $f\theta$ 特性をFig.3に示す。

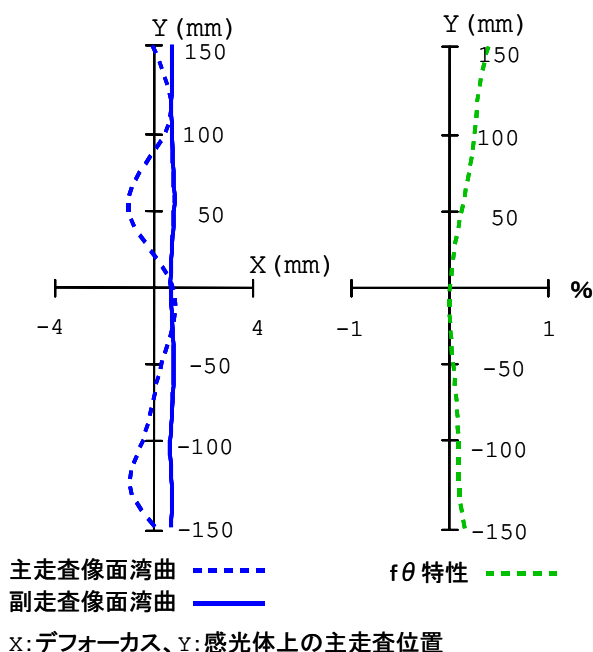


Fig.3 Aberrations.

本走査光学系の走査レンズ形状は、主走査方向は両面ともに非円弧形状、副走査方向は主走査方向の各光線高さにおいて副走査方向の曲率半径の最適化が可能な特殊なトロイダル面を採用している。前記レンズ面形状は、像面湾曲などの光学特性を良好に補正するために有効な面である。

一方で、走査レンズ成形時の入射面と射出面の金型位置精度による相対的な偏心が発生した場合、光線高さ毎の屈折力が変化し像面湾曲が増加する。

そこで、走査レンズの主走査方向の形状を両凸形状とし、正の屈折力を2つの面に分配することで、各面では光線高さ毎の曲率変化を緩くし、相対的な偏心による主走査方向の像面湾曲の発生を低減した。更に、副走査方向においても光線高さ毎での曲率半径の変化を緩くすることで、副走査方向の像面湾曲の発生を低減し、走査レンズ面の相対的な偏心発生時においても安定した結像性能を維持している。

3-2 走査レンズの特徴

本走査光学系は、シアン、マゼンタ、イエロー、ブラックの4色の感光体に対応する。各々の光源から射出された光束は、単一のポリゴンミラーにより対向する方向に振り分けられ、走査レンズ透過後対応する感光体に結像する (Fig.4)。(以降対向走査方式)

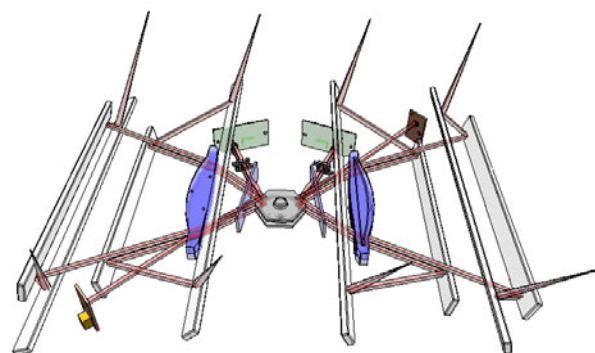


Fig.4 Opposite-placed Scanning Method.

走査レンズの主走査方向両端には、感光体を走査する光束が透過する領域とは別に、同期光が透過する領域を設けている。走査レンズ形状をFig.5に示す。

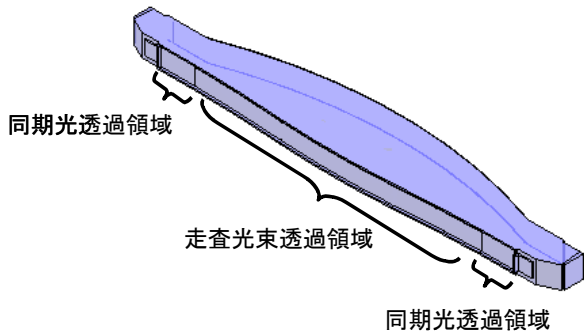


Fig.5 Scanning Lens.

一般的な同期方式は、同期光束が主走査方向に屈折力を持つ走査レンズを透過する。この場合、環境温度変化に伴う走査レンズの屈折力変化の影響を受け、主走査方向の書込開始位置が変動する。カラー対応の対向走査方式の走査光学系においては、Fig.4に示す如く書込開始側が対向する走査光学系で反転するため、各々の感光体に書き込まれるドットの位置は相対的にずれ、出力画像において色ずれとなってしまう。

本光学系では、同期光と感光体を走査する光束の透過領域を分離し、同期光透過領域は主走査方向に屈折力を持たない面としている。この結果、環境温度変化が発生した時の屈折力変化は小さくなり、同期光による書込開始位置の変動を低減することが可能となる。カラー画像においては、各々の感光体に書き込まれるドットの位置は、光軸近傍を中心に走査線が伸縮するように変化するが、相対的なドット位置は略一致させ、色ずれを改善している。

一方、感光体を走査する光束は、環境温度変化による光学素子の膨張、収縮の影響を受け、屈折力が変化し結像位置ずれが発生する。従来の2枚構成の走査光学系に対し、本走査光学系は副走査方向でポリゴンスキャナと感光体表面間の横倍率が高い拡大系の走査光学系であるため、光学素子などの形状誤差による結像位置ずれは大きくなるが、後述する回折レンズを搭載し所望の光学特性を維持している。

尚、走査レンズの光軸方向の厚みを均肉化する設計と独自の成形技術により、走査レンズ成形時の形状誤差発生を低減し、高い形状精度を得ている。

4. 回折レンズ

4-1 マルチステップ回折面

本光学系で用いられている回折レンズ(DOE)の外観及び模式図をFig.6に示す。入射面側にシリンドリカル面、出射面側に微細な段差を設けた回折面をもつ樹脂製光学素子である。

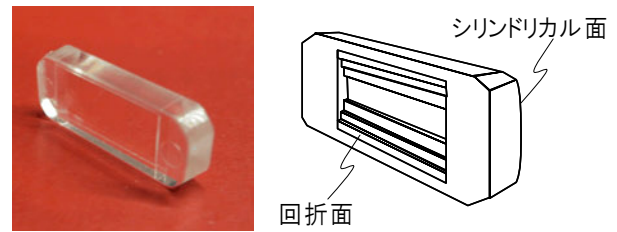


Fig.6 Appearance and Illustration of Diffractive Optical Elements.

一般的な走査光学系には、入射光束をポリゴンミラーの反射面上に主走査方向に長い線像として結像する作用をもつシリンドリカルレンズが設けられている。

本報では回折レンズの入射面にシリンドリカル面、射出面にマルチステップ回折面を設けることで、シリンドリカルレンズの機能と温度補償機能を集約させ、従来用いられていたガラス製のシリンドリカルレンズを樹脂製回折レンズで置き換えた。以下より、回折レンズ形状の特徴的な点に関して述べる。

回折面には、約 $1\mu\text{m}$ の段差が、数 μm ～数 $100\mu\text{m}$ のピッチで階段状に設けられている。回折面を正面から見たとき、段差は主走査方向に平行な数十本の直線群として観測される。また、直線群は回折面の外周に近づくとその間隔が狭くなるように形成されている(Fig.7)。

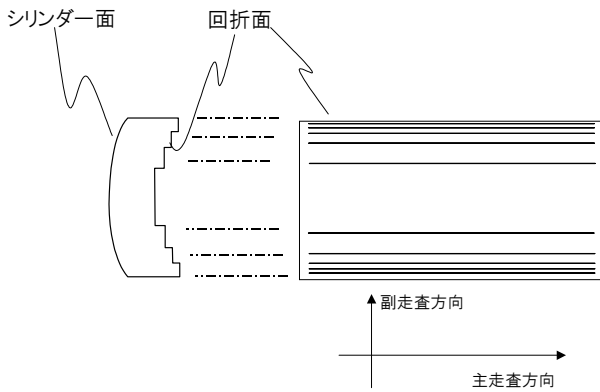


Fig.7 Shape of Optical Surface.

普通、段差によって区切られた面は傾斜面或いは曲面であり、段差の間隔が狭くなるのに伴いその傾斜角が増加していく所謂フレネルレンズによく似た形状が一般的である。便宜上このような回折面をフレネル型回折面と呼ぶ。それに対して、我々が考案した回折面は、段差によって区切られた面が全て光軸に対して垂直な形状になっており、本報ではそのような回折面をマルチステップ回折面と呼ぶ。マルチステップ回折面は、従来のフレネル型回折面に比べ、以下のような利点がある。

第1に、光学的安定性が挙げられる。段差が使用波長に合わせて設計されている場合、マルチステップ回折面は、光学平面と等価になる。従って、回折レンズから射出する光束は、面間偏心の影響を殆ど受けない。

第2に、加工面でのメリットが挙げられる。マルチステップ回折面はフレネル型のような鋭角部分を持たず全て直角から成る階段形状であり、互いに符号が逆のパワーをもつ凹面とフレネル型回折面の組合せとして解釈することができる(Fig.8)。回折面のパワーは、後述する温度補償機能を実現するべく設定されている。但し、従来のフレネル型回折面においては、強い回折面のパワーを設定しようとする、高アスペクト比の微細形状を形成する必要に迫られてしまう。対してマルチステップ回折面は、そのような必要がない。従ってマルチステップ回折面は、加工の容易性によりフレネル型回折面に比べて自由なパワー設定が可能な面であると言える。

また、マルチステップ回折面は、射出成形におけるキャビティを切削加工するのが容易であり(詳細は3-2にて後述する。)、製品検査時の形状精度測定においても、全てプローブに対して垂直な面から成る為、精度良く計測ができるという利点も持っている。

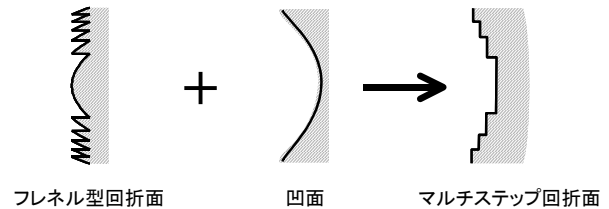


Fig.8 Multi-step Diffractive Surface.

以上に述べたように、マルチステップ回折面は後述する温度補償機能と合わせて本光学系の独自性の1つになっている。

4-2 回折面加工

4-2-1 金型加工技術

回折レンズを成形する金型の加工法について述べる。まず、従来のフレネル型回折面用金型と、マルチステップ回折面用金型の切削工程の違いをFig.9に示す。

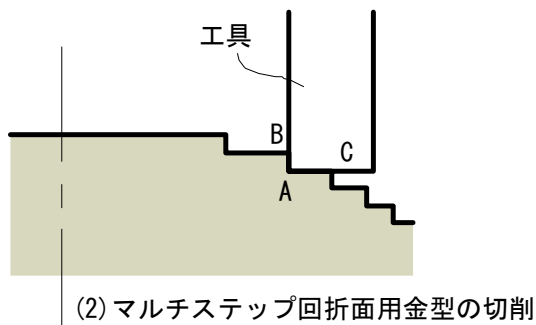
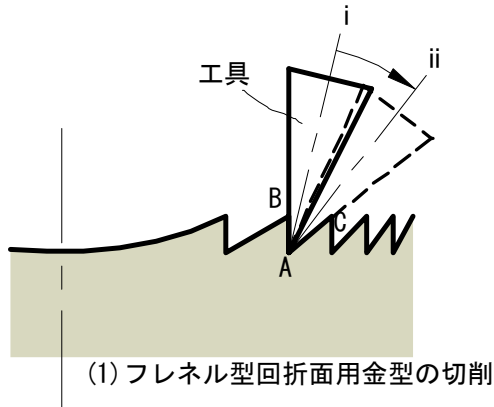


Fig.9 Difference of Cutting Processes.

フレネル型回折面で、回折面BACの切削を行う場合、まず i の状態で、立ち壁となるAB面の切削を行い、その後、工具傾け角を変化させ、ii の状態にして傾斜面であるAC面の切削を行う。

以上のように、フレネル型回折面の場合、立ち壁部と傾斜面のなす角度が個々に異なるため、1つの回折面を複数回加工する必要があり、金型加工精度の確保が難しい問題がある。

それに対して、マルチステップ回折面の場合、Fig.9 (2) に示すように、AB面とAC面を同時に加工することが可能である。また、加工時の負荷を低減するように工具形状を設計し、切削条件を適正化することにより、形状精度も確保できた。以上より、金型加工時間の短縮とともに、回折面に要求される精度を達成することができた。

4-2-2 成形技術

次に上記マルチステップ回折レンズを製造する為の手法について述べる。

本回折レンズは、生産性の良い一般的な射出成形法を用いて製造した。射出成形法は、加熱して熔融状態となった樹脂(プラスチック材料)を、温度制御手段により、一定温度に保たれた金型のキャビティ(レンズ形状をした空洞)内に射出充填し、冷却固化させた後、金型から取り出して成形品を得る方法である。

本回折レンズは、組み込まれる走査光学系を省スペース化するために、小型化する必要がある。そのような小型な回折レンズを射出成形する上で、次の2点の課題が生じた。

①ゲート近傍における内部歪み

射出成形法では、キャビティ内からの樹脂の逆流を防ぐために、ゲート(熔融状態のプラスチック材料が、金型のキャビティ内へ充填される入口)が固化するまで保持圧力をかけておく必要があることから、ゲート近傍では内部歪みが大きくなる。本回折レンズのように小型なレンズの場合、光線透過有効領域とゲートとの距離が近い場合、特に影響を受けやすい。

②エジェクタピン周辺に生じる内部歪み

成形品を金型から取り出す際には、金型の可動側に設けられたエジェクタピンで突き出しを行うが、エジェクタピンの接触面近傍に、突き出し力の影響で内部歪みが発生する。

これらの内部歪みは、レンズにおいては、屈折率を乱す原因となる。

そこで、ゲート近傍及び成形品突き出し部に内部歪みの影響を回避可能な大きさのコバ部を設けることにより、光線透過有効領域に内部歪みの影響を与えない形状とした。

更に、微細形状の転写と成形品のソリ変形に対して、成形条件の最適化を図ることにより、高精度なプラスチック回折レンズを得ることを可能とした。

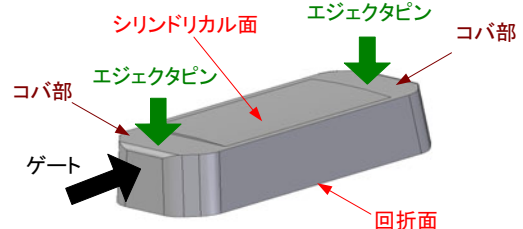


Fig.10 Optimized Lens Shape to Shift the Influence of Internal Stress Distribution.

4-3 回折レンズによる温度補償

本走査光学系では、上記のような回折レンズを用いて、光学系の温度安定性を向上させている。Fig.11は、副走査断面内における結像位置の温度補償機能を説明するための図である。

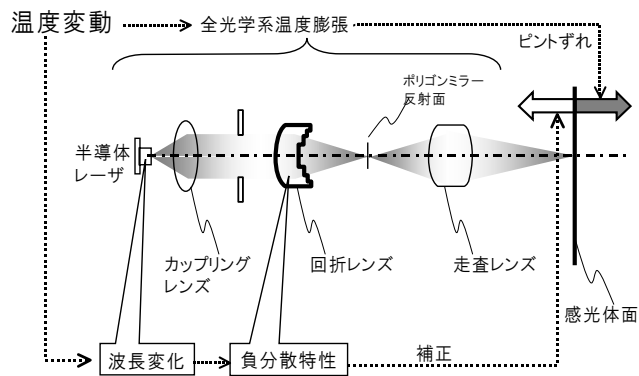


Fig.11 Diagram of Thermal Compensation.

駆動中の書込ユニット内では、主にポリゴンミラーが熱源となり温度上昇が起こる。このとき各光学素子の膨張が起こるため、光学系の結像位置は感光体表面に対してオーバー側にずれる。

回折レンズは、焦点距離が入射光束の波長に反比例するという性質をもつ。これは、通常のレンズ材料がもつ分散特性とは逆の性質で、且つその影響が極めて強い。このような回折レンズの性質を一般的に「強い負分散特性」と呼ぶことがある。

温度上昇時、半導体レーザーの発振波長はわずかに長くなる。このとき光学系に回折レンズが設けてあると、先述の「強い負分散特性」により、結像位置は感光体表面に対してアンダー側に引き寄せられる。

ここで、回折レンズに適切なパワーを設定していれば、光学素子の膨張と回折レンズの強い負分散特性による結像位置ずれを相殺することができる。

本光学系においても、回折レンズには環境温度変化時の結像位置ずれを相殺するような回折面のパワーが設定されており、光学系の温度安定性を向上させている。

特に1枚構成の走査光学系は副走査方向の横倍率が大きいいため、温度上昇に伴う結像位置ずれは副走査方向

に関して顕著に起こる。そこで本光学系の回折レンズは、Fig.6に示したように主走査方向に平行な直線群からなるマルチステップ回折面、即ち副走査方向の結像位置ずれを選択的に補正する回折面を用いている。

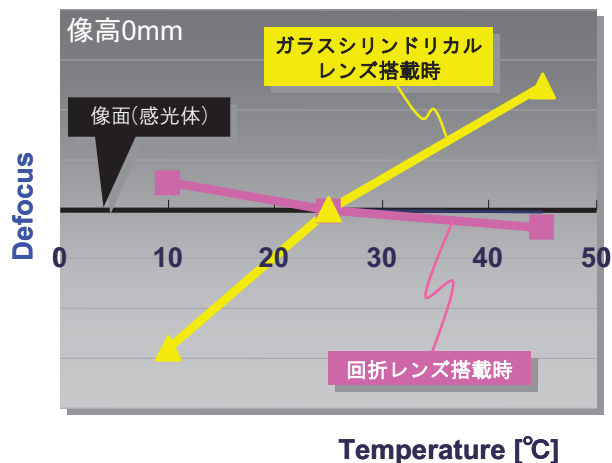


Fig.12 Thermal stability of focus in sub-scanning direction.

回折レンズの有無に対する本光学系の副走査方向における結像位置温度依存性測定結果をFig.12に示す。

Fig.12からわかるように、温度変動による結像位置ずれは回折面を持たない従来のガラス製シリンドリカルレンズ搭載時に比べ、回折レンズ搭載時はその温度補償機能により結像位置ずれが抑えられていることがわかる。

以上より、樹脂製回折レンズの導入により、温度安定化と加工成形の簡便さによる低価格化を両立することが可能となった。

5. まとめ

我々は、A3デジタルカラー複合機の小型化、低コスト化の要求に応えるため、業界初となるプラスチック1枚構成の走査レンズと、独自技術であるマルチステップ回折レンズを採用した走査光学系を開発した。

本走査光学系は、リコーのA3デジタルカラー複合機に搭載されている。

参考文献

- 1) 小野信昭 : 1200dpi/A3 対応プラスチック走査レンズの開発, Ricoh Technical Report, No.27, (2001), pp.83-93.

デジタル孔版印刷画像の紫外線硬化型定着技術開発

Development of UV-Curable Ink Printing Process for Mimeography

佐藤 光雄* 武田 布千雄* 浅田 啓介**

Mitsuo SATOH Fuchio TAKEDA Keisuke ASADA

要 旨

デジタル孔版印刷プロセスは用紙へのエマルジョンインキ浸透で擬似的乾燥を行うプロセスであり、定着工程を有していない。そのため印刷直後の用紙を触ると手にインキが付着し、またローラー機構により印刷後の用紙搬送を行うとインキが次の用紙に付着する。この未定着と言う大きな課題は、これまでデジタル孔版印刷装置の発展・展開・活用において大きな制約となっており、永遠の課題とさえ言われていた。そこで印刷産業用途では一般的に用いられている紫外線硬化型の定着技術を、安全性・信頼性を確保した上でデジタル孔版印刷機に活用することをめざして技術開発活動を実施した。同時にこれまで不可能と言われていた塗工紙へのデジタル孔版印刷についても、画像形成・完全定着・マスタ耐久等の技術的課題の明確化と対応策検討を実施し、開発を通して多くの知見を得ることができた。

ABSTRACT

The digital mimeographic machine has both of a plate-making unit and a printing unit. The mimeographic process is non-drying process. Printed ink remains undried on paper. It stains one's hand when he or she touches the fresh printed paper and also adheres to the following paper during the various post-press process.

Undried ink strictly limits the scope for print application of mimeography. It was even called "The Unending Problem". For resolving this limitation, we developed an UV-curable ink printing process for mimeography with fulfilling the safety standards and assuring the reliability. Although it was the accepted view that mimeography could not print on coated paper, we studied out the mechanism of mimeographic printing process for coated paper with UV-curable ink. Through the studies, we learned many things about image forming, instantaneous drying and master durability enhancement technology for mimeographic printing on coated paper with UV-curable ink..

* 東北リコー株式会社 画像システム事業本部
Imaging System Business Div., Tohoku Ricoh Co., LTD.

** 東北リコー株式会社 事業化推進センター
Business Promotion Center Div., Tohoku Ricoh Co., LTD.

1. 背景

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

これは謄写印刷が簡易な印刷方式として広く長く市場で使われてきた中で、あきらめられていた欠点であった。画質や操作性等で大幅な技術革新がもたらされたデジタル孔版印刷機が登場しても、この「乾燥性/定着性」という課題は若干の改善はあったものの今でも解決されずに残っている。

この長年の課題を解決することをめざしていろいろな乾燥性/定着性向上の方法を検討してきたが、これといった決定的な方法は見つからなかった。そこで産業用途の印刷業界では一般的な、紫外線硬化型定着技術を応用することで、孔版印刷による印刷物の完全定着を実現すべく技術開発活動を実施することにした。同時に紫外線硬化型定着技術を活用して、これまで不可能と言われていたコート紙へのデジタル孔版印刷にもチャレンジすることにした。

2. 技術

2-1 デジタル孔版印刷機の定着¹⁾

デジタル孔版印刷画像の定着性について最初に簡単に説明したい。

使われているインキはW/O型エマルジョンインキであり、水相を油相中に細かく分散させた形態になっていて、空気中では決して乾燥固化することがない。これは、長期間不使用放置されても再使用時にトラブルなく使えるように考慮された結果である。

印刷によって所定量のインキが用紙上に画像として転移した場合、インキは用紙の繊維間に浸透していく。同時にエマルジョンの部分的破壊が起こり水相成分は空气中に蒸発して減量が起る。その結果時間経過と

共に徐々に擬似的乾燥状態が形成され、軽く触れた程度では汚れないが強くこすれば手指が汚れるといった定着レベルになる。この様子をFig.1に示す。

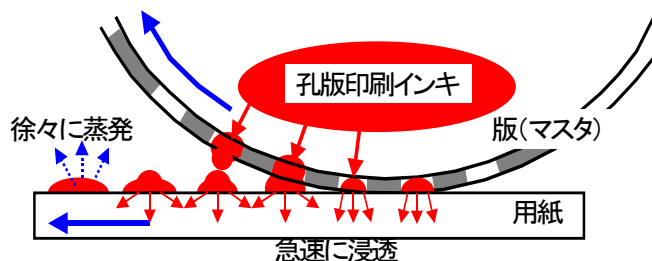


Fig.1 Movement and a change of ink at printing area.

2-2 紫外線硬化型インキ

上記に示したようなW/O型エマルジョンインキと比較して紫外線硬化型インキの場合には、色材と分散材は共通だがTable 1に示すような全く新しい材料を選定開発して処方設計をしなければならない。従来インキとはかなり構成が異なってしまうことになる。従来と共通の印刷部を用いたデジタル孔版印刷を可能にするためには、要求される粘弾性などの印刷所要特性を保つことが求められる。

Table 1 Comparison of emulsion ink and UV-curable ink.

従来プリポートインキ (エマルジョンインキ)		紫外線硬化型インキ
油相	色材(顔料) 分散剤 オイル(鉱物油等) 乳化剤 樹脂	色材(顔料) 分散剤
水相	水 凍結防止剤 抗菌剤 添加剤	開始剤 → UV光により重合反応を開始する モノマー(オリゴマー) → 重合反応で硬化する 体質顔料 → インキの物性をコントロールする

ここで特に問題となるのはモノマーの安全性である。というのは多くのモノマーは感さ性物質であることから、「皮膚感さ性」といった人体への安全性をクリアできる材料を探索しなければいけない。これが最も重要な課題となった。

2-3 技術開発項目と目標設定

技術開発項目は主に下記の5項目とした。そしてそれぞれの開発目標を設定し、更に品質目標、コスト目標、日程目標を設定した。

- (1) 安全性の高い紫外線硬化型インキの開発
インキ材料の選定と処方開発及び硬化特性の把握と印刷適性評価等。
- (2) 紫外線ランプの選定と硬化効率化開発
安全で省エネの紫外線ランプ選定と硬化特性の評価及び効率的硬化条件探索。
- (3) 定着搬送装置の開発
安全で高信頼の紫外線照射装置兼印刷物搬送装置の開発。
- (4) 紫外線硬化型インキ対応印刷部開発
印刷ドラム部や排版部において、新しい紫外線硬化型インキを使用してもトラブルを起こさないようにする技術の開発。
- (5) コート紙印刷対応技術開発
コート紙上デジタル孔版印刷における最適ドット形成技術及び印刷物の排紙剥離技術の開発。

2-4 システム構想と定着装置構想

現行マシンを最大限に活用して完全定着技術を搭載できる商品のイメージとシステムの構想を行い、そこで用いられる定着装置（紫外線照射搬送装置）についても複数の構想案を作成した。Fig.2に全体システム構想案概略図を示す²⁾。

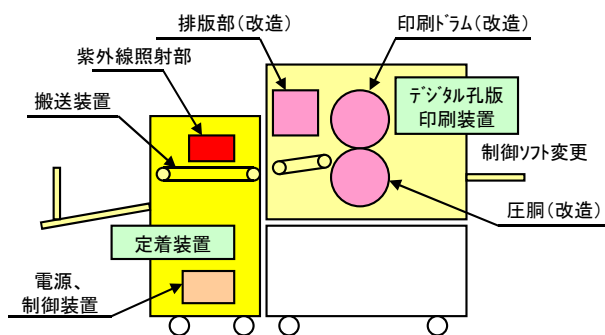


Fig.2 UV cure system for a digital mimeograph.

現行印刷機の部分的改良を行うとともに、それに接続する紫外線照射定着搬送装置を開発するという構想である。

2-5 紫外線照射ランプの選定

一般に印刷産業用として使われている紫外線照射ランプは、高圧水銀ランプやメタルハライドランプである。これらは主波長が365nmであるが広範なスペクトルを持ち、紫外線発光効率が低く、過大発熱と過大消費電力、オゾン発生、短寿命、点灯立ち上がりが悪いといったような欠点を有する。発熱に対する安全性を考慮すれば採用できない。

一方低圧水銀ランプは、一般に殺菌用として使われる低出力のものであるが主波長254nmの線スペクトルを持ち、発光効率が高く発熱や消費電力も少なくオゾンレスも可能である。我々は多種のランプを検討した結果、この低圧水銀ランプにアマルガム合金の封入で高出力化をはかったアマルガム水銀ランプを選定した。

2-6 紫外線照射実験装置と硬化特性

インキの開発と平行して、Fig.3に示すような紫外線照射実験装置を製作し、印刷物定着性能と最適条件の把握及び発生課題の抽出を行うこととした³⁾。初期評価確認の結果、印刷機の最高速度1100mm/secにおいて、紫外線出力20~30W程度のアマルガム水銀ランプにより所要の硬化品質を得ることは、非常に困難であることがわかった。

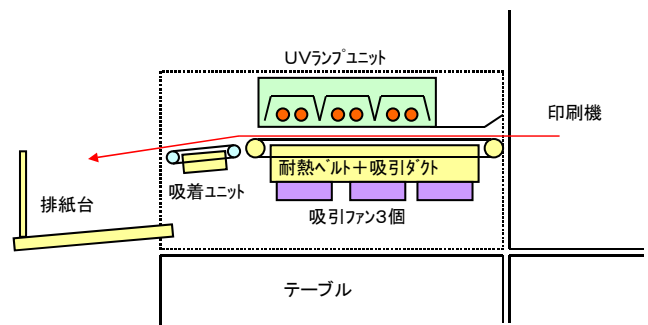


Fig.3 UV-exposure and paper transfer unit.

解析の結果、初期のインキでは硬化感が不十分であること、紫外線の最大強度が不十分であることが主な原因であることが判明した。これらに対し、下記2つの方針で改善を図ることとした。

- (1) インキ処方に関するパラメータ設計の継続
- (2) シミュレーションを併用したランプリフレクタの形状最適化とランプ照射条件設計

2-7 硬化特性の改善

最適インキ処方の開発については詳細を省略させていただくが、評価特性として「インキの硬化感度」「インキの粘弾性特性」「インキの保存安定性」とらえて、数回のパラメータ設計を実施することによって非常に大きな成果を得ることができた。

リフレクタの検討では反射効率の良い材料選定と積算光量に加えて、ピーク出力を大にできるリフレクタ形状の設計を主テーマにとらえた。Fig.4に各種反射材の分光反射率測定結果のグラフを示す。ここから254nmで最も高い反射率を有する材料を選定した。

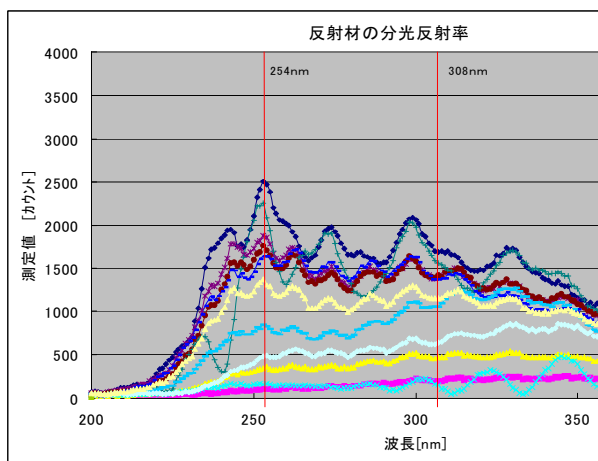


Fig.4 Reflection spectra of various materials.

リフレクタ形状は光学反射シミュレーションも活用して最適形状の検討を行った。Fig.5に数種のリフレクタ形状別光量分布の測定結果グラフを示す。実際にはこの他に最適ランプ配置も検討して照射部設計を行った。

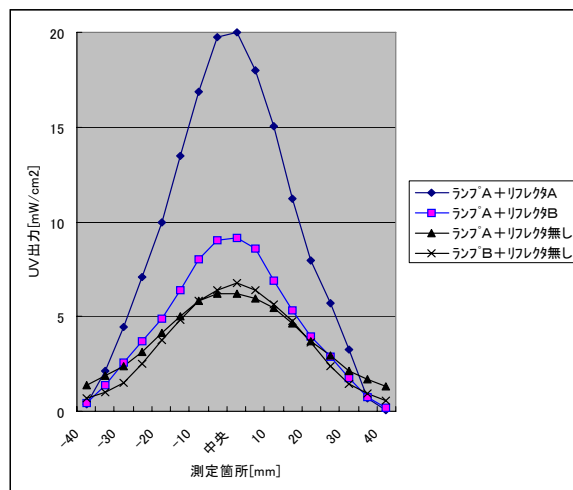


Fig.5 UV light distribution of various reflectors.

こうした改善活動を継続した結果、普通紙においては1100mm/secの高速搬送条件でも、数本のランプを用いることで要求硬化特性を得ることが可能というレベルまで到達することができた。なお硬化特性の評価方法としては、クロックメーターを用いたこすり汚れの段階見本比較評価を主として、ガラス板上硬化度の定量的評価法など複数の方法を用いた。

2-8 コート紙における硬化不良の検討

実験を通して明らかになった新たな課題として、普通紙で最適の紫外線硬化型インキ及び照射条件を求めたものの、塗工紙（コート紙）の場合にはそれが適用されず硬化に必要な紫外線光量が2倍ほど必要になってしまうという事実があった。詳細に検討した結果、印刷後紫外線照射までの経過時間を大にするほど硬化特性が低下することもわかった。

Fig.6左側に普通紙表面の、Fig.6右側に塗工紙（コート紙）の表面電子顕微鏡写真を示す。このように、コート紙表面には多数の微細な孔があり、印刷によってコート紙表面に転移した紫外線硬化型インキは、低粘度成分がこの多数の微細な孔に急速に浸透してしまうことが考えられた。その際に紫外線硬化とインキの用紙への密着に大きな影響を与える成分も内部に浸透してしまうことが想定され、確認実験からもそれが検証された。そこでインキ処方の見直しを行った結果、コート紙における硬化特性も改善することができたが、

厳密に言えば普通紙定着に最適な処方とコート紙定着に最適な処方とは異なるということがわかった。

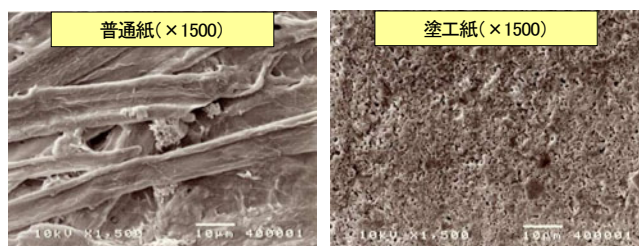


Fig.6 Textural difference of surface between plain paper and coated paper.

2-9 コート紙表面へのインキ転移

塗工紙（コート紙）へのデジタル孔版印刷においては他にもいくつかの大きな技術課題が明らかになった。その一つが「ドット状インキ転移が消えない」という課題であり、具体的には画像濃度が確保できず濃度ムラが大きいということである。もちろんインキ転移量も普通紙の場合に比べて少なくなる。

普通紙へのデジタル孔版印刷画像の場合には、Fig.7左側の顕微鏡写真に示すようにインキが用紙表面繊維へのじみ浸透によって拡散が起こり、ベタ埋りと画像濃度確保を実現している。

しかし塗工紙（コート紙）への孔版印刷では、用紙表面繊維へのじみ浸透が起こらずにインキがドット状にそのまま残って、しかもそのドット状態にばらつきがあり、Fig.7右側の顕微鏡写真に示すようになってしまう。

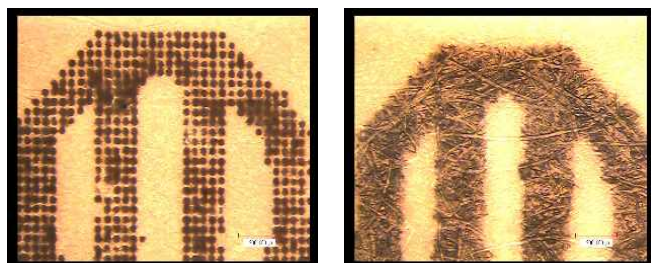


Fig.7 Mimeographic image on plain paper and coated paper.

2-10 コート紙印刷画質の改善

上記課題すなわちコート紙へのデジタル孔版印刷画像品質の改善に向けて、下記3つの方向で開発活動を展開した。

- (1) インキ処方の調整
- (2) マスタ構造及び孔版製版方法の開発
- (3) 印刷ドラム及び印刷剥離方法の開発

それぞれの具体的な内容については詳細を省略するが、一例として新しい孔版製版方法の開発について簡単に説明する。

孔版製版は微細な発熱体が並んだサーマルヘッドによって、マスタを構成する熱可塑性樹脂フィルムに点状発熱を加えることで穿孔を行うが、これまでの孔の配置はFig.8左側の顕微鏡写真に示すように、マス目状になっていた。

我々はそれに対して、マスタフィルムの強度確保とインキ転移画像改善を目的として、孔の配置を変えた特殊製版技術を開発した。これをFig.8右側の顕微鏡写真に示す。こうすることで穿孔製版されたマスタの強度バランスが向上し、インキ転移ドットの均一性が改善された⁴⁾。

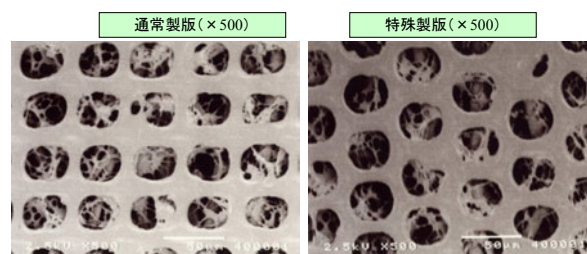


Fig.8 Difference between traditional plate-making method and improved one.

3. まとめ

紫外線硬化型定着の技術を、安全性・信頼性を確保した上でデジタル孔版印刷機に活用することをめざして、初期に設定した5つの開発項目に対しそれぞれ技術開発活動を実施した。その結果、紫外線硬化技術を用いたデジタル孔版印刷画像の完全定着技術について、商品化も考慮した実現可能性を明確にすることができ

た。さらにコート紙への孔版印刷における技術課題を抽出し、課題対策案を明らかにすることができた。こうした開発活動を通して、デジタル孔版印刷が持っている特質を改めて理解・認識することができたことは大きな成果である。

4. 今後の展開

今回我々は、孔版印刷画像の完全定着というテーマで紫外線硬化方式の実用化可能性を明らかにしたが、孔版印刷に限らずインクジェットプロセスなど他の画像形成方式においても、後処理の容易化や業務時間短縮のために即時完全定着の要望は強いものがある。

紫外線硬化方式を一般に適用するにあたっては、安全性、取扱い性、発熱と消費電力、オゾン発生など、まだ多くの課題を有しているが、即時完全定着方式として大きな可能性を有するものであり、今後とも継続した開発活動が望まれるところである。

謝辞

本開発を進めるにあたり、関係者の皆様から多くのご意見・ご助言ならびにご指導を賜りました。皆様に心より深く御礼申し上げます。

参考文献

- 1) 佐藤光雄, その他: デジタル孔版印刷方式で世界初の自動両面印刷装置の開発, Ricoh Technical Report, 33, 85 (2007)
- 2) 佐藤光雄: 公開特許 2006-281658 号
- 3) 渡辺達郎: 公開特許 2008-44176 号
- 4) 椿健吾, 加藤肇: 公開特許 2009-940 号

カートリッジ自動減容型トナー補給システム

Toner Supply System with Auto Volume Reduction Cartridge

松本 純一*

北 恵美*

高見 伸雄*

村松 智*

岩田 信夫**

Jun-ichi MATSUMOTO

Emi KITA

Nobuo TAKAMI

Satoshi MURAMATSU

Nobuo IWATA

要 旨

本システムは、粉体ポンプを利用して現像装置へトナー供給しながら、ソフトトナーカートリッジを自動的に減容させる技術である。ソフトトナーカートリッジは、柔軟性のある袋状の容器で、粉体ポンプのトナー吸引による内圧低下を利用し、トナー消費に伴い徐々に折り畳まれながら減容する。ソフトトナーカートリッジは従来に比べ、大幅な省資源化と、使用后減容するため、回収（破棄）コストの削減にも貢献する。また柔軟な容器であるが、ドロップインで本体にセットでき、ユーザーの操作性も向上している。本システムは、環境負荷低減と使い易さを追求した新しいトナー補給システムで、imagic Neo C600に初めて搭載された。

ABSTRACT

We have developed the technology that automatically decreases volume of the toner cartridge by using the screw pump while supplying the toner to the developing device. As the toner cartridge is made of soft and flexible material in this system, it is folded gradually (smoothly) due to the toner suck by the screw pump along with toner consumption. This technology enables the resource saving and reduction of disposal cost due to the volume reduction. And the very easy exchange of the toner cartridge.

* 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 基盤・制御技術開発センター

Fundamental&Control Technology Center, Imaging Engine Development Division

1. 背景と目的

1-1 はじめに

近年、地球温暖化等の問題から世界的に環境負荷低減の取り組みが注目されており、複写機、プリンタにおいても環境負荷低減が必須である。

電子写真方式による複写機、プリンタのトナー容器の多くは、ハードプラスチック製のカートリッジやボトルが用いられている。これらの容器では、使用する部品点数、材料の使用量が多い。また、再生時の洗浄に多くの手間がかかる。同時に、使用済み容器の回収、運搬時に容積がかさむため、運搬効率が悪く、物流コストに高額を要すると共にCO₂排出量の増加をまねいていた。

当社は2000年に発売したIPSiO Color 8000シリーズにおいて、袋状のトナー容器を用いたトナー補給システムを開発し、搭載した。^{1), 2)} 袋状の容器の採用により、使用材料を削減し、環境負荷の低減することに成功したが、運搬によるCO₂排出量、物流コスト低減に、まだ課題が残った。そこで今回さらなる環境負荷の低減と、ユーザーの使い易さを追求した新しいトナー容器及びトナー補給システムを開発したので本稿で紹介する。

2. 技術

2-1 自動減容型STC(Soft Toner Cartridge)

Fig.1に従来型STC、自動減容型STC(以下新型STC)の写真を示す。従来型STCは柔軟性のある袋状のトナー容器を樹脂製のハードケースに収める形式であるのに対し、自動減容型STCはハードケースを省略し袋状の容器のみの構成である。また大きな特徴として、複写機本体内でトナーの消費に伴い自動的に減容していき、トナーがなくなると折り畳まれた状態に戻る。従来型STCに対しハードケースが省略されたことにより、使用材料が大幅に削減されていると共に、トナーの充填効率が20%以上向上した。

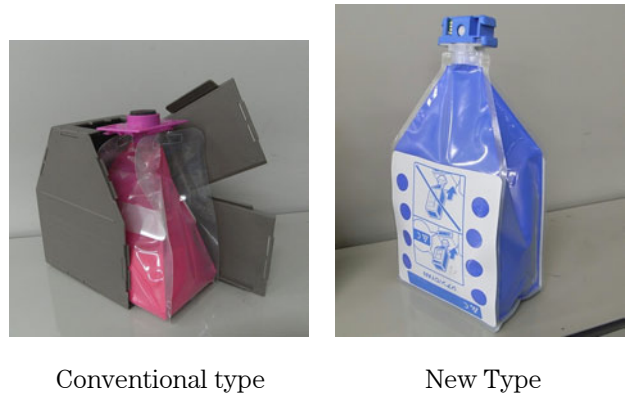


Fig.1 Comparison with conventional and newly developed type of STC.

2-2 自動減容型STCの環境負荷低減効果

Fig.2に容器部と分割したキャップの写真を示す。キャップ部は容器から取り外しが可能となっており、使用後再使用し、袋はサーマルリサイクルとして再利用される。



Fig.2 Cap of new STC.

Fig.3にトナーカートリッジのライフサイクルにおけるCO₂排出量の比較を示す。(キャップ部は除く)

従来のブローボトルタイプを5回再生利用した時のCO₂排出量を100とすると、従来型STC(ハードケースを5回再生)はブローボトルに対し32%の低減効果であるが、新型STCでは一回の使用によるサーマルリサイクルで、77%に低減することができた。

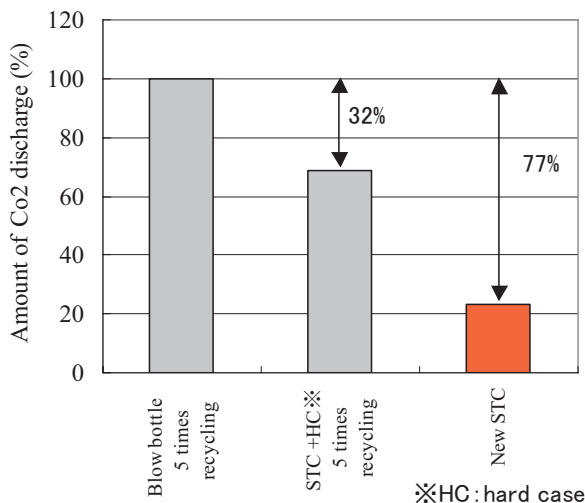


Fig.3 Comparison of carbon dioxide emission between conventional type and newly developed STC.

2-3 トナー供給システム

Fig.4に新型STCを用いたトナー供給システムの構成を示す。STCは現像装置近傍に配置された粉体ポンプ（1軸偏心スクリープンプ）とフレキシブルチューブと、トナーを吸引するノズルによって接続される。

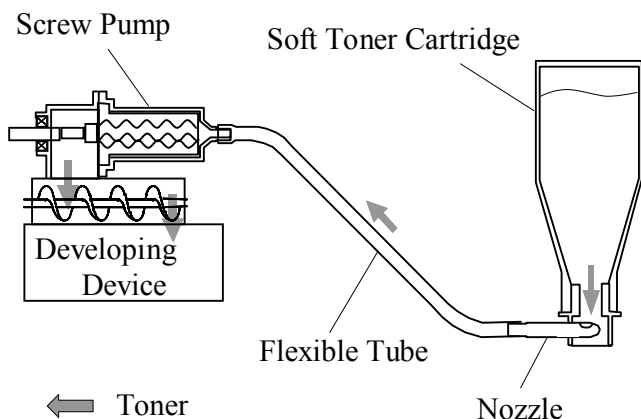


Fig.4 The diagram of toner transferring system.

従来型STCに用いられていた、「トナー容器内にエアを流入」を廃止し、粉体ポンプのみでトナー吸引を行っている。

粉体ポンプが発生する吸引圧力によって、STC内トナーはチューブを通して現像装置まで移送される。圧力差によってトナーを搬送しているため、トナー容器は現像装置の近傍に設置する必要がなく、マシン本体内に自在にレイアウトすることができる。従って、ユーザーの操作し易い場所にトナー容器を設置することが可能となっている。

粉体ポンプは、雄ネジ状の金属ロータと、ロータを包む2条雌ネジ形状のゴムステータから成り、ロータが回転することによりロータ/ステータによって形成される内部の空間が移動するため、この空間内をトナーが移動する。トナーの搬送量はロータ及びステータの各寸法によって決まり、ロータの回転角度と比例し、連続的に高い精度でトナーを搬送することができる。

2-4 自動減容

従来型STCのトナー補給システムで利用したトナー容器へのエアの流入は、トナーを搬送し易くするために流動化させる機能もあるが、むしろ容器内トナーの粉体であるがゆえに起きる架橋現象やブリッジ現象を防止し、常に吸引ノズル上にトナーを集める機能が重要である。

本システムではエアを利用していないためトナーをノズル上に集めるために、容器の運動（減容）を利用している。トナーが粉体ポンプにより吸引され容器外に排出されると、容器の内圧は低下しようとするが、容器が縮まる（折り畳まれる）ことにより内圧が大気圧に保たれる。このときの容器の動きによりトナーが崩され、ノズル上にトナーが集まる。

Fig.5にFig.4で示した従来型STCを用いて、エアを使用せずにトナーを排出したときのトナー残量とトナー排出量の推移を示す。一回の排出量を約1.6gに設定し、220g充填されたトナー容器を粉体ポンプで吸引し測定した。その結果トナー残量が半分辺りから、排出量が不安定になり、最終的に22gのトナーが容器内に残った。

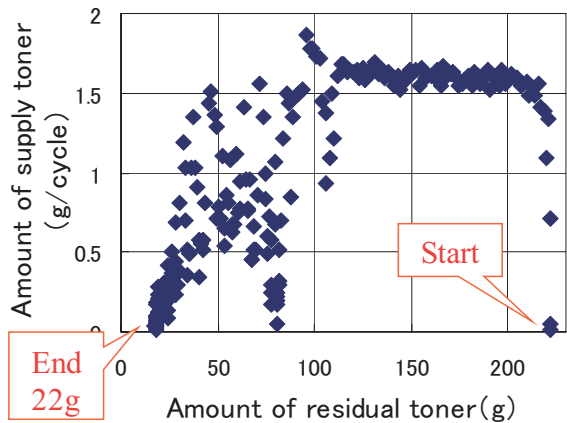


Fig.5 Relation between amount of discharge toner and amount of residual toner.

Fig.6に、従来型S T Cの実験前後の写真を示す。

前述のトナー排出量が不安定になったのは、S T Cが薄いシートを張り合わせて構成されているため、減容していく際に容壁の弱い部位から無秩序な形状に収縮し、元の形状に折り畳まれないことが原因である。

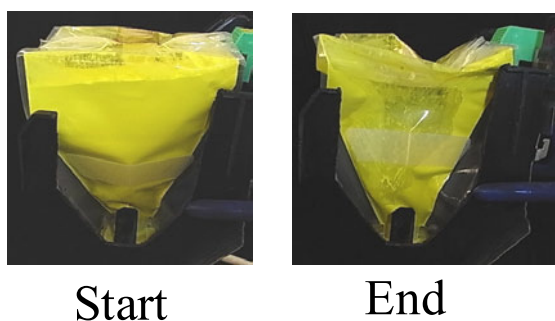


Fig.6 Photograph before and after experiment.

そこで、今回容器の形状（製袋方式）から見直しを図り、底部がスクウェア形状のガゼットタイプの容器を選定した。この形状は、容器の底部及び側面の折り目が内側に折り畳まれるため、トナーを効果的に崩す効果と共に、投影面積が増えない特徴がある。

さらに品質工学を用い、Fig.7に示したシートの厚み、本体側の減容アシスト部材、補強部材、キャップ形状などのパラメータ設計を行い、トナー残量がほぼゼロ、かつ元の形状に折り畳まれる本システムが実現した。

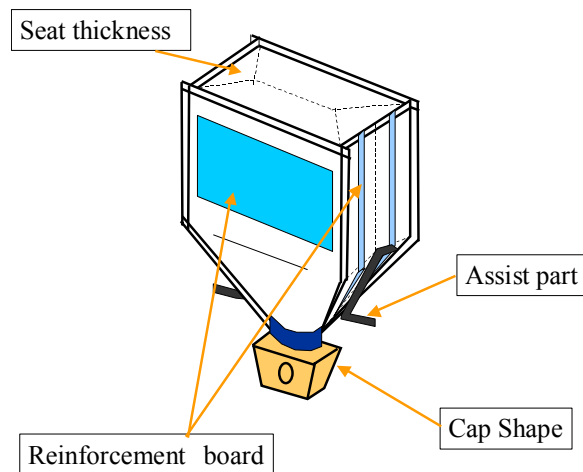


Fig.7 The diagram of toner transferring system.

Fig.8に、本システムを採用した際のトナー残量とトナー排出量の関係を示す。一回当たりのトナー補給量を2gに設定し、600g充填されたトナー容器を粉体ポンプで吸引し、トナー排出量を測定した。

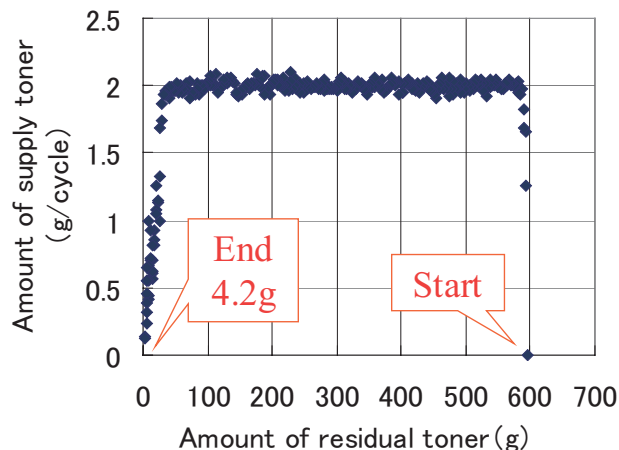


Fig.8 Relation between amount of discharge toner and amount of residual toner.

トナー排出量のばらつきは $2\text{g} \pm 0.2$ で推移し、最終的なトナー残量は4.2gであった。

2-5 新型STCの操作性

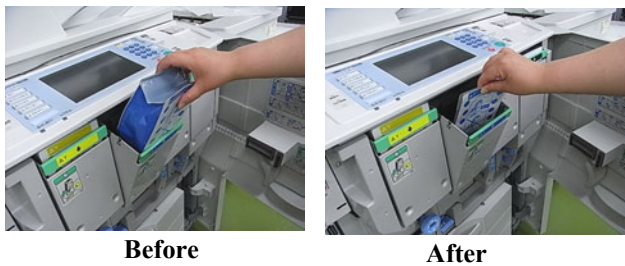


Fig.9 The newly developed STC in imagio Neo C600.

本トナー供給システムは、弊社のデジタルフルカラー複合機に搭載された。Fig.9に示すように、新型STCはユーザーの操作性を考慮しマシン上部の手前に並列配置されている。本体側のホルダの開閉動作でノズルがSTCに着脱されるようになっているため、ユーザーは従来のボトルのようにキャップ等を外す手間もなく、STCをホルダに落とし込むだけでマシンにセットできる。使用後も自動減容されたSTCを取り出すだけで、誰でも簡単にトナーの交換を行うことができる。

また使用済みのSTCは、減容により1/10に体積が減少しているため、オフィス等で一時的に保管する際もスペースを取らない。郵送で回収先に送る場合も封筒に入れて送ることが可能である。

3. 成果

トナーカートリッジ自動減容型トナー補給システムの実現により、フレキシブルな容器でありながら優れた操作性、自動減容容器による輸送コストの低減、保管スペースの削減を達成すると共に、トナーカートリッジの環境負荷を大幅に低減することができた。

4. 今後の展開

今後は容器形状のバリエーション拡大、更なるユーザーインターフェースの向上、環境負荷を低減させるトナー容器の開発を図る。

参考文献

- 1) 松本純一,村松智,岩田信夫：フレキシブルカートリッジを用いたトナー供給システム, JH2003 論文集, (2003), pp.69-71.
- 2) 笠原信夫, 村松智：“OA 機器用粉体移送システムの開発”, Ricoh Technical Report, No.26, (2000), pp.87-91.

感光体ドラム生産におけるコンパクトラインの開発

Development of “Compact Line” in Production of Organic Photoconductor Drums

江川 豪*

Go EGAWA

要 旨

従来の大型生産設備での感光体生産プロセスでは、少量多品種化が加速していく環境において、段取増加による稼働率低下や要員の増加、競合他社との生産物量の絶対量差（生産ロット差）による大型生産設備でのコスト優位性低下から低コストのものづくりが出来ないことや、立上げリードタイムが長いという問題があった。この問題に対して、『小さく・安く・運べ・即稼働する・環境に優しい』をコンセプトに技術開発を着手し、洗剤レス洗浄技術、局所クリーン化技術を展開した感光体1本取りのコンパクトラインを開発し、2004年より海外生産拠点にて量産を開始した。獲得した独自技術は、国内外既存設備への水平展開を行い、空調省エネ等に効果をあげている。その後、更に生産性向上を目的とした高効率乾燥技術、生産設備を解体せずに輸送を可能としたモジュール化設計を展開した、同等スペース以下で生産性が4倍のフレキシブルコンパクトラインを開発し、量産化した。

ABSTRACT

Recently, there are more and more needs for low volume production of a wide variety of products in the field of Organic Photo Conductor (OPC) manufacturing. In such situation, our conventional OPC production process consists of large-scale lines had some problems like the following: more changeover time decreased equipment operation rate, manufacturing with large-scale lines came to be less competitive in price than competitors with more production volume, large equipment led to long-term installation. In order to solve these problems, “Compact Line” has been developed with the concept of “Compact, Inexpensive, Movable, Immediately-Installable, Eco-friendly”. In 2004, development of “detergent-free washing technology” and “spot clean zone technology” for our first one-piece-flow Compact Line had been completed, and started mass production in a overseas factory. These developed original technologies are also introduced to conventional large-scale lines worldwide and contribute much to energy savings of air conditioning equipment and so on. Furthermore, “efficient drying technology” and “moduled design” have been developed to increase productivity and enable transportation without disassembling. These are implemented into the latest “Flexible Compact Line”, which achieves quadruple productivity in less space.

* 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 製品バラエティーの増加

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。

OPCドラムは複写機及びプリンター製品の仕様にあわせ、耐久性、プリント速度に対応して口径、長さ、塗膜処方及び膜厚と種類も増加している。10年前と現在の品種数と物量を比較すると、品種数は1.6倍に増え、少量品種の物量の割合も50%から70%と少量多品種化が大きく進んできた (Fig.1)。また、今後、小口径品種を中心に物量増加も見込まれている。

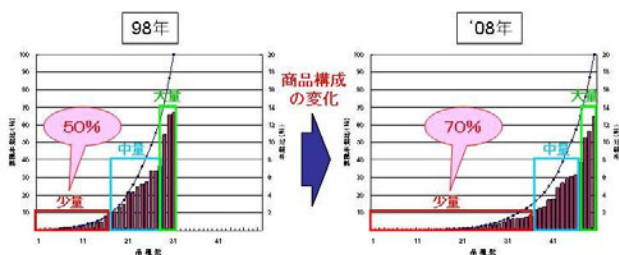


Fig.1 An increase in product variety.

1-2 従来技術の課題

1-2-1 大量生産設備の問題点と課題

従来のOPCドラム生産プロセスは大型生産設備で、一度で大量に塗工する生産方式を行ってきた。

しかしながら、少量多品種化が加速していく環境において、大量生産設備での感光体生産プロセスでは、重厚長大な大型設備は設備投資コストが高く、及びクリーン空調容積が広い事で空調電力量が大きい、品種切替回数の増加により稼働率が低下する、製造要員が多い、大口径用生産設備で小口径を生産するムダがある、また競合他社との生産物量の絶対量差（生産ロット差）により大量生産設備でのコスト優位性が低下する、といった問題を抱えていた。

また、過去に大量生産型設備を海外に導入した際には、設備が大型な為に日本での組付け、調整、試運転を実施せず、海外拠点現地での直接立上げを行った。この結果、品質安定までに1年も要するといった問題が発生した。

この為、OPCドラムの生産プロセスには物量変動、及び、多品種化にタイムリーに対応できるものづくりが課題となる。

1-3 目的

1-3-1 『小さく・安く・運べ・即稼動する・環境に優しい』OPCドラム生産設備の開発

大量生産品種は従来の大量生産設備を活用し安く作る方式と、少量生産品種は小型な設備でムダを無くし少量でも安く作る方式を、商品の生涯物量変化に応じてタイムリーかつフレキシブルに大量生産設備と少量生産設備を選定する事で、低コストで生産できると考えた。

そして、『小さく・安く・運べ・即稼動する・環境に優しい』OPCドラム生産設備を開発し、少量生産設備にて、品種及び物量に合わせて生産品種、生産体制をフレキシブルに変更することで品種切り替えのムダ低減、在庫の低減等を図り、低コストものづくりに貢献できる事を目的とする。

2. 技術

2-1 OPCドラムコンパクトラインの概要説明

OPCとは有機光半導体の略で、OPCドラムは複写機・プリンター等の電子写真プロセスにおける重要なキーパーツで (Fig.2)、3層品はアルミニウム製の導電性支持体 (アルミ素管) の上に機能性塗膜を3層塗工した物である。(Fig.3)

OPCドラムの生産フローは、投入したアルミ素管を洗浄後にUL層、CGL層、CTL層と3層塗工をおこない、外観検査、フランジ組付け等の仕上げ工程へと流れ製品化される。各塗工工程では、塗工後に乾燥、冷却を行う事で塗膜を形成する。

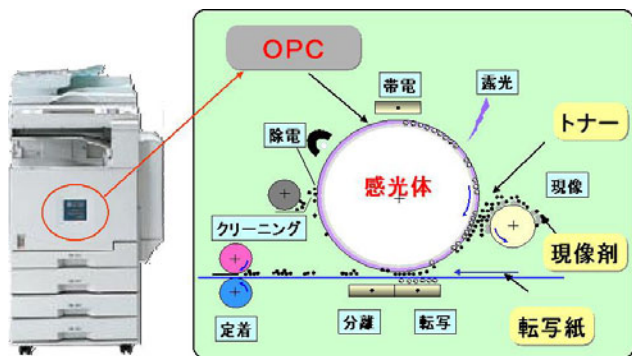


Fig.2 Positioning of OPC drum.

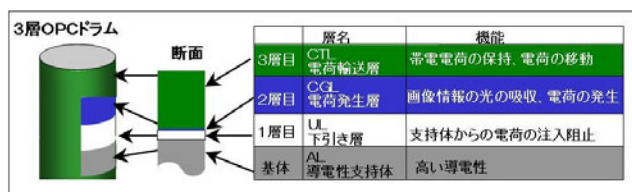


Fig.3 Layer constitution of OPC drum.

OPCドラムコンパクトラインは、アルミ素管洗浄から3層塗工を行う生産設備であり、OPCドラムを低コストで生産する為に、『小さく・安く・運べ・即稼動する・環境に優しい』をコンセプトに技術を開発し、ラインを完成させた。

主な開発した技術およびそのポイントとしては、以下となる。

①局所クリーン技術

OPCドラム塗工工程は、従来は塗膜形成を行っている生産設備内のエリアのみならず、設備外の作業者が作業を行う作業エリアまで含めた全体をクリーン空調する事で品質確保を行っていた為、クリーン空調の電力量が非常に多く、大型空調機の導入により設備コストが高いという問題があった。

これを、塗膜形成エリアのみの局所クリーン化とした事でクリーン空調エリアを削減し、空調機の小型化により電力量削減、動燃費、設備投資の低コスト化を達成した。

②洗剤レス洗浄技術

アルミ素管の脱脂洗浄に、従来は中性洗剤を用いていたが、劣化した中性洗剤を産業廃棄物として処理する事が必要であり、また脱脂洗浄後に素管上に付着し

た中性洗剤を落とす濯ぎ工程の負荷が大きい為に、濯ぎ工程が長くなるという問題があった。

これを、洗剤を使用しない無害な電解水での洗浄方法を確立した事で、産業廃棄物レスや、工程の短縮及び設備の小型化、低コスト化を達成した。

③高効率乾燥技術

塗膜の乾燥工程は、従来は熱風の流れる炉内に据え置き乾燥を行う熱風乾燥方式により塗膜内の溶剤揮発及び塗膜の硬化を行っていた。

熱風乾燥工程は、乾燥時間が長時間掛かるとともに、工程スペースが広い、電力量が多いといった問題があった。

これを、熱風乾燥方式に代わる新たな乾燥方式を開発する事で、乾燥時間の大幅な短縮、電力量削減、動燃費、設備投資の低コスト化、小型化を達成した。

尚、この独自技術に関して多数の特許出願による権利化をおこなっている。

以下で技術の詳細を説明する。

2-2 局所クリーン技術

OPCドラムの塗膜表面及び塗膜内部に異物が付着していると、出力画像に異物付着箇所が黒点となる等の異常となり画像不良となる。この為、OPCドラム生産工程ではクリーン環境で生産を行いOPC塗膜への異物の付着を防止している。

クリーン環境は、HEPAフィルター等の高精度フィルターを通過した空調エアーを給気し、排気する事で、空間内を清浄な空気で置換し作事ができる。また、クリーン環境を作る為には室内の置換回数を30~200回/hと多くする為に処理風量の多い大型空調機が必要となり、電力量がOPC生産での使用量の6割を占め、設備導入コストが全体の3割と高い。

OPCドラムの塗工では、塗工液に有機溶剤を使用している為、塗工設備内は塗工中の設備、塗工したOPCドラムより揮発した有機溶剤蒸気が充満する。この有機溶剤蒸気から作業者の安全、健康を守り作業環境を確保する為、塗工設備を可能な限り密閉構造とする事と、Fig.4の様に塗工設備内の室圧を設備外の作業

エリアに対し、数Pa負圧となるように塗工設備内外の給排気風量のバランス調整を実施し、有機溶剤蒸気が作業エリアに漏れない様にしている。



Fig.4 Existing current of air control.

しかしながら、クリーンルームの最大の発塵源は人と言われており、作業者が外部より入出する際に外部より付着し持ち込む異物、衣服の繊維、毛髪、頭垢等々がクリーンルーム内で発塵してしまう。この異物は数Pa陰圧となる様に設定した塗工設備内に流れ込み設備内の清浄度を悪化してしまう。

この為、本来OPCドラム生産にクリーン環境が必要なのは塗膜形成を行うエリア（塗膜形成エリア）のみであるはずが作業エリアもクリーン環境にする必要となり、それにともない大型空調機の導入、エアシャワー、パスBOXの設置および室内の気流をダウンフローとする為のグレーティング構造の建屋仕様となり、設備導入維持コストが非常に高くなるといった問題がある。また、作業者がクリーン着を着用する必要がある。

OPCドラム生産工程におけるクリーン環境の要求は、塗膜形成エリアをクリーンとし、作業エリアへの有機溶剤蒸気漏れを防ぎ、作業エリアから塗工設備内への異物の進入を防ぐ事が求められる。この要件を満たす為に、塗工設備内と作業エリアの間の気流制御を行った局所クリーンを開発した。

本開発した気流制御は、作業エリアに対し塗膜形成エリアを数Pa陽圧に保ったまま、有機溶剤蒸気が作業エリアに漏れる事を防ぐ様に行ったもので、給気、排気的位置、形状をCFD（流体解析シミュレーション）により最適化し、塗膜形成エリア内を層流ダウン

フローの気流とすることで、塗膜形成エリアに送気する空調機のみを清浄化できる置換回数とし、作業エリアに送気する空調機は温度管理できる程度まで置換回数を減らした状態とした。結果、塗膜形成エリアの清浄度および作業環境の確保を実現し、作業者は一般衣の着用が可能となった。

この効果として、クリーン空調設備コストが1/10、電力量及び動燃費を1/22と大幅に削減する事ができた。また、クリーンエリアを塗膜形成エリアのみとし、スペースを狭く局所にした事と気流を最適化し層流ダウンフローとした事で、空調立上げからクリーン清浄度立上げに要する時間が1/4となり（Fig.5）、設備保全等により塗膜形成エリアの扉を開放しクリーン環境を破壊した後も短時間で清浄度立上げが完了し、設備稼働率を落とさずして生産開始する事ができた。

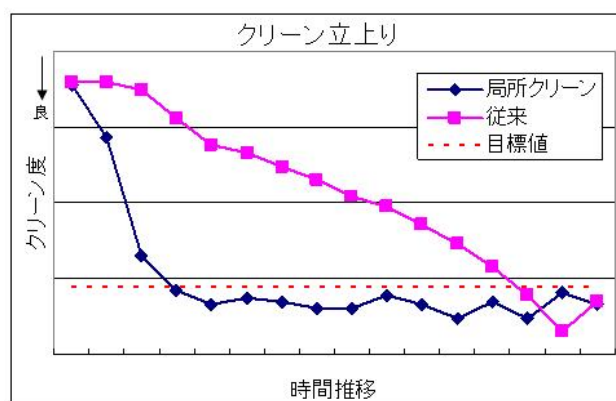


Fig.5 Cleanliness degree change in booth.

2-3 洗剤レス洗浄技術

OPCドラムの塗工では塗工前のアルミ素管に異物、油分、切削バリが付着していると塗工欠陥となる為、これらを洗浄して除去することが必要となる。

洗浄工程は、油分、異物を除去する脱脂工程、脱脂工程で用いた洗浄液を純水にて洗い落とす濯ぎ工程、水分を蒸発させる乾燥工程からなる。

従来、脱脂工程には中性洗剤の化学的洗浄力と超音波の物理的洗浄力の組み合わせにて洗浄を行っていた。

中性洗剤を用いた際、汚れを取り込んだ中性洗剤は永久的に使用ができない為、劣化した中性洗剤は定期

的に産業排気物として廃棄が必要となり、また脱脂洗浄後にアルミ素管上に付着した中性洗剤を落とす濯ぎ工程の負荷が大きい為に濯ぎ工程が長くなる、及び濯ぎ水に中性洗剤が混じる為廃棄に排水処理設備が必要となる、といった問題がある。

この問題を解決する為に、無害で産業廃棄物レスが可能かつ濯ぎ工程の短縮が見込める洗浄溶媒として、アルカリ性の電解水に着目した。

アルカリ洗浄は、洗浄力を上げるためにはpH値を上げ強アルカリにする必要がある。

しかしながら、強アルカリでアルミ素管を洗浄すると表面がエッチングされ、表面状態が変化し抵抗が変化する為、OPCドラムの機能である電気的特性に影響をおよぼす。よって弱アルカリでの洗浄となり、従来の洗浄方式で洗浄溶媒を代えたのみでは、洗浄力が低下してしまうといった課題があった。

アルカリ水による化学的洗浄力を補う為に組み合わせる物理的洗浄力として、ブラシ、超音波、ウォータージェット、バブリング、バブルジェット、スポンジ、等より、洗浄力、設備投資コスト、ランニングコスト、設置スペースから総合的に判断し、ブラシ洗浄を選定した。

ブラシ洗浄の条件は品質工学にてブラシの形状、線径及びブラシとアルミ素管との接触条件、アルカリ水pH値、温度、供給方法を最適化し、短時間でアルカリ水の濯ぎが可能なバブリング濯ぎを開発した事で、弱アルカリ水で洗浄機能とOPCドラムの電気的特性の両立を実現した。

この効果として、濯ぎ工程を短縮する事で設置スペース1/2、産業廃棄物レス、排水処理設備の削減をする事ができた。

2-4 高効率乾燥技術

OPCドラムの塗膜形成において、乾燥工程は塗工された塗膜中の有機溶剤の蒸発と熱硬化性の樹脂を硬化させる為に必要である。この乾燥は、塗膜中の残留溶剂量や樹脂の硬化状態により、OPCドラムの電気的特性が顕著に変化する為、品質確保が可能な条件設定範囲が狭い。

従来は、熱風の流れる炉内にOPCドラムを据え置きし、熱風による対流伝熱により塗膜を加熱し乾燥を行う熱風乾燥方式を実施していた。

空気は熱伝達率が低い為、短時間に塗膜を昇温させる事は不得意であり、短時間に昇温を行う為には、熱風の温度を上げ温度勾配を大きくするか、もしくは風速を上げる等で熱伝達率を上げる必要がある。

しかしながら熱風乾燥は塗膜表面から熱が伝達する為、温度勾配を大きくする、もしくは風速を上げ急速に昇温を行うと、塗膜内部の有機溶剤の蒸発が進む前に塗膜表面が先に乾燥し、いわゆる皮張り状態となってしまう。この状態になると塗膜内部の有機溶剤蒸気が表面を通過する事の妨げとなり、塗膜表面に突起状の気泡欠陥が発生したり、塗膜中の残留溶剂量が上昇し電気特性に影響を及ぼす事となり、プリントアウト画像の異常原因となる。

この為、従来の熱風乾燥は、時間をかけて昇温し、昇温後も長時間放置していた。結果、乾燥工程に要する時間が長く、OPCドラム生産の洗浄から3層塗工を完了する迄の生産時間（生産リードタイム）の1/3を要し、使用電力量が多く、設備が大きかった。また、他工程との生産タクトバランスをとる為に、熱風乾燥炉内の在籍数を増やして対応したり、このことにより工程間仕掛かり量が多く同期化1コ流し生産ができていない、といった問題があった。

この問題を解決する為に、電気特性が現状と同等以上であり、短時間で乾燥が可能で、省エネで小型な、熱風乾燥方式に変わる新たな乾燥方式の開発を実施した。

様々な乾燥手段より目標達成の可能性、安全性を評価し、2つの手段に絞込み予備実験を実施した。

結果、Fig.6の様にA案にて現状同等の電気特性と気泡欠陥の抑制ができた。そして、昇温条件等の加熱条件を品質工学で最適化する事で乾燥時間を1/10 (Fig.7)にする事ができた。

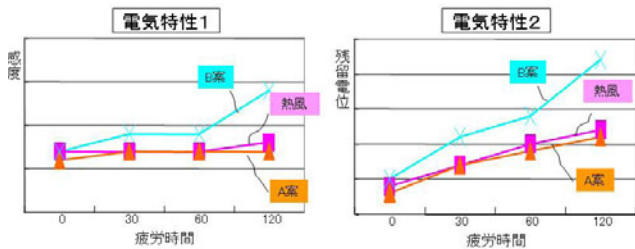


Fig.6 Electric characteristic.

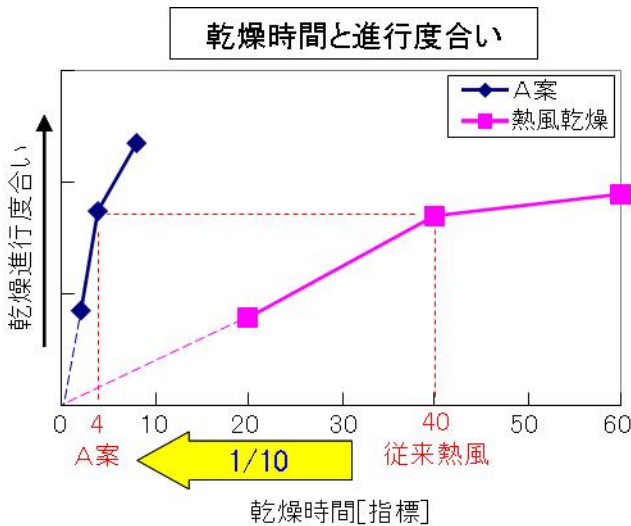


Fig.7 Quality of the drying.

開発当初は、熱風乾燥方式は、一定温度の雰囲気 OPC ドラムを放置する方式の為、OPC ドラム1本内での温度差は小さいのに対し、新規乾燥手段は温度差が1本内で数十度発生し乾燥ムラとなるといった課題が発生したが、独自の温度制御均一化技術により熱風乾燥同等の温度差に抑制した。

この効果として、乾燥時間短縮により生産リードタイム1/2、電力量1/2、設置スペース1/3とする事ができた。

3. 結論及び展開

3-1 OPCドラムコンパクトライン開発の効果

洗剤レス洗浄技術、局所クリーン化技術を展開した感光体1本取りのコンパクトラインを開発し、2004年より海外生産拠点にて量産を開始した、その後、更に

生産性向上を目的とした高効率乾燥技術、生産設備を解体せずに輸送を可能としたモジュール化設計を展開し、初期の1本取りのコンパクトラインと同等スペース以下で生産性が4倍のフレキシブルコンパクトラインを開発、量産化した。

この開発により、従来の大量生産設備と比較し、長さ1/6、設置スペース1/16と小型で、OPCドラム製造コスト1/2、設備投資コスト1/5と安く、産業廃棄物レス、CO₂排出量1/8と環境に優しい生産設備を構築した。(Fig.8)

また、生産スピードは大量生産設備の1/4であるが、在庫量低減、少量多品種生産への対応として大量生産設備で1日に2回品種切り替え生産を行ったと想定すると、生産性は同等となった。

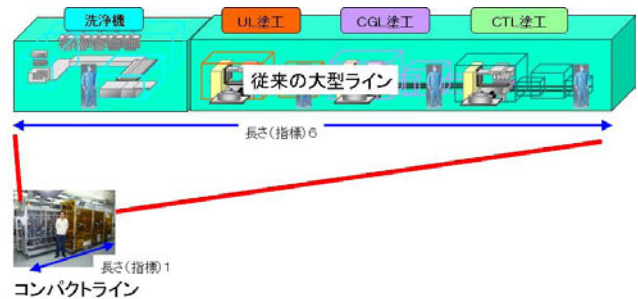


Fig.8 OPC compact line.

また、モジュール化設計は洗浄工程、UL塗工工程、CGL塗工工程、CTL塗工工程の工程毎に移動、運搬を解体レスで可能な設計とした。これは、各モジュール毎に1台の車輪の付いたベース上に設備、局所クリーンブース、制御盤を一体化したモジュール構造となり制御は独立化した。またモジュールが解体せずにコンテナに入る大きさの為、海外生産拠点での立上げの際もモジュール内を解体レスで輸出を行う事ができた。

結果、海外生産拠点での立上げに対し、国内で組付け、調整、試運転、品質確認を実施後にモジュール単位に分割して輸出を行い、現地ではモジュール間の設置調整及び1次ユーティリティ（1次電源、圧縮空気、空調、水 etc）の繋ぎ込みのみとし、従来の海外立上

げに対し設備立上げリードタイムを1/15に短縮し、簡単に運べ、即稼動する生産ラインを実現した。

3-2 OPCドラムコンパクトライン技術の展開

OPCドラムコンパクトラインで確立された洗剤レス洗浄技術、局所クリーン技術は、リコー国内外のOPCドラム生産拠点へ水平展開され、電力量削減、CO₂排出量削減、産業廃棄物削減に大きな効果を上げている。

4. 今後の展開

OPCドラムコンパクトラインの開発により、生産ネック工程であった乾燥工程の生産能力を10倍等の大きな成果を上げたが、大量生産型大型ラインと生産能力を比較すると1/4と少量生産品対応の生産設備である。

今後は、現在の生産ネック工程の塗工工程に対し生産性向上を図り、OPCドラムコンパクトラインでの生産対象領域を更に広げていく活動を進めていき、よりフレキシブルな生産を可能とすることで世界一のものづくりを目指していく。

三次元有限要素法を用いた小形コアレスモータの特性解析

3-D Finite Element Analysis of a Miniature Coreless Motor

中橋 鮎香* 中嶋 乃* 遠山 和久**
Ayuka NAKAHASHI Osamu NAKASHIMA Kazuhisa TOUYAMA

要 旨

近年、携帯機器の発達に伴って、小形モータの更なる小形化・高性能化が望まれている。しかし、小形コアレスモータにおいては、各部位の形状・サイズの制約が多く、形状やサイズ変更による高性能化が困難である。

そこで本報告では、ペンタゴン結線のコイルを用いた小形コアレスモータを解析対象とし、三次元有限要素法を用いて磁界解析を行った。各部位を構成する材質を変えることによって高性能化が望めるかどうかを検証した。

ABSTRACT

Recently, it is desired to miniaturize and improve capabilities of miniature motors, accompanied by development of portable devices. However, it is strongly difficult to develop of miniature coreless motors by changing parts shape or size with constraint.

In this paper, Miniature coreless motor with the pentagon connection is analyzed using the 3-D finite element method. The effects of the material of the parts on the characteristics of the torque and the current are clarified.

* リコーエレメックス株式会社 技術統括室
Technology Management Office, Ricoh Elemex Corp.
** リコーエレメックスエーティー株式会社 製造部
Engineer Section, Ricoh Elemex AT Corp.

1. 背景と目的

近年、携帯機器の発達に伴って、小形モータの更なる小形化・高性能化が望まれている。一方、弊社は精密加工技術を得意としており、その技術力を活かして、多方面に応用展開可能な小形モータの開発に取り組む事となった。

ここで、超細型の小形モータとして、コアレスモータがよく使用されている。コアレスモータとは、コイル鉄芯がなく、ハウジングにて磁気回路を構成し、界磁用永久磁石より発せられる磁束と、コイルへの通電より生じる磁界の磁氣的吸引力・反発力により回転する。

しかし、小形コアレスモータ¹⁾においては、各部位の形状・サイズの制約が多く、形状やサイズ変更による高性能化が困難である。

そこで本報告では、ペンタゴン結線のコイルを用いた小形コアレスモータを解析対象とし、三次元有限要素法を用いて磁界解析し、各部位を構成する材質を変えることによって高性能化が望めるかどうかを検証した。

2. 技術

2-1 解析手法

2-1-1 有限要素法による磁界解析

永久磁石を考慮した磁界の基礎方程式は、マクスウェルの電磁方程式より磁気ベクトルポテンシャル A を用いて次式で表される²⁾。

$$\text{rot}(\nu \text{rot } A) = J_0 + \nu_0 \text{rot } M \quad \dots\dots\dots (1)$$

ここで、 ν は磁気抵抗率、 J_0 は強制電流密度、 ν_0 は真空中の磁気抵抗率、 M は永久磁石の磁化である。

2-1-2 電気回路方程式との連立

本報告で解析したモータのコイルはペンタゴン結線であり、Fig.1に示すように常に直列接続された2つの

コイルと3つのコイルが並列に接続された回路となる。その5つのコイルの組み合わせは、整流子によって回転子の回転にともなって変化する。Fig.1(a)に示すpattern1では、コイルa, bの直列接続とコイルe, d, cの直列接続が並列に接続された回路となり、このときの電圧に関する方程式は次式で表される。

$$\left. \begin{aligned} E_{ab} &= V_0 - (R_a + R_b)I_{ab} - \frac{d\Psi_a}{dt} - \frac{d\Psi_b}{dt} = 0 \\ E_{edc} &= V_0 - (R_e + R_d + R_c)I_{edc} \\ &\quad - \frac{d\Psi_e}{dt} - \frac{d\Psi_d}{dt} - \frac{d\Psi_c}{dt} = 0 \\ I_0 &= I_{ab} + I_{edc} \end{aligned} \right\} (2)$$

ここで、 $R_a \sim R_e$ はそれぞれコイルa～eの巻線抵抗、 $\Psi_a \sim \Psi_e$ はそれぞれコイルa～eの総鎖交磁束数、 I_0 は電源電流、 V_0 は電源電圧、 I_{ab} はコイルa, bを流れる電流、 I_{edc} はコイルe, d, cを流れる電流、 E_{ab} はコイルa, b間にかかる電圧、 E_{edc} はコイルe, d, c間にかかる電圧である。

回転子が回転すると、Fig.1(b)に示すpattern2のように、左側のブラシはpattern1同様に整流子Cに接続されたままであるが、右側のブラシは整流子Aから整流子Eに切り替わる。この場合、コイルe, a, bの直列接続とコイルd, cの直列接続が並列に接続された回路となり、電圧に関する方程式は次式で表される。

$$\left. \begin{aligned} E_{eab} &= V_0 - (R_e + R_a + R_b)I_{eab} \\ &\quad - \frac{d\Psi_e}{dt} - \frac{d\Psi_a}{dt} - \frac{d\Psi_b}{dt} = 0 \\ E_{dc} &= V_0 - (R_d + R_c)I_{dc} - \frac{d\Psi_d}{dt} - \frac{d\Psi_c}{dt} = 0 \\ I_0 &= I_{eab} + I_{dc} \end{aligned} \right\} (3)$$

さらにFig.1(c)に示すpattern3では、右側のブラシはpattern2同様に整流子Eに接続されたままであるが、左側のブラシは整流子Cから整流子Bに切り替わる。この場合、コイルe, aの直列接続とコイルd, c, bの直列接続が並列に接続された回路となり、電圧に関する方程式は次式で表される。

$$\left. \begin{aligned} E_{ea} &= V_0 - (R_c + R_a)I_{ea} - \frac{d\Psi_c}{dt} - \frac{d\Psi_a}{dt} = 0 \\ E_{dcb} &= V_0 - (R_d + R_c + R_b)I_{dcb} - \frac{d\Psi_d}{dt} - \frac{d\Psi_c}{dt} - \frac{d\Psi_b}{dt} = 0 \\ I_0 &= I_{ea} + I_{dcb} \end{aligned} \right\} (4)$$

さらにFig.1(d)に示すpattern4では、左側のブラシはpattern3同様に整流子Bに接続されたままであるが、右側のブラシは整流子Eから整流子Dに切り替わる。この場合、コイルd, e, aの直列接続とコイルc, bの直列接続が並列に接続された回路となり、電圧に関する方程式は次式で表される。

$$\left. \begin{aligned} E_{dea} &= V_0 - (R_d + R_c + R_a)I_{dea} - \frac{d\Psi_d}{dt} - \frac{d\Psi_c}{dt} - \frac{d\Psi_a}{dt} = 0 \\ E_{cb} &= V_0 - (R_c + R_b)I_{cb} - \frac{d\Psi_c}{dt} - \frac{d\Psi_b}{dt} = 0 \\ I_0 &= I_{dea} + I_{cb} \end{aligned} \right\} (5)$$

以上のように、回転子が1回転する間に切り替えが10回行われる。

2-1-3 トルクの算出法

回転子に働くトルクは節点法を用いて求めた。節点法は、磁性体内の各節点に働く力の和を求めることにより磁性体全体に働く力を計算する方法であり、電磁力 F は次式で表される。

$$F = \sum_n F_n, \quad F_n = -\int_V (T \text{ grad } N_n) dV \dots\dots(6)$$

ここで、 Ω は力を求めたい物体に含まれる全節点である。 F_n は有限要素法における各節点 n に働く力であり、 V は節点 n を含む要素の総体積、 T は応力テンソル、 N_n は節点 n を含む要素の補関関数である。

節点法は、マクスウェルの応力法のような閉曲面の設定が不要で、局所的な電磁力の検討が容易であるという利点を有する³⁾。

2-2 解析モデルおよび解析条件

Fig.2に解析モデルを示す。図は空気とコイルを除き1/2領域で示しているが、実際の解析領域は1/1領域である。回転子領域は、コイル、コミュテータプレートおよびシャフトである。Fig.3に三次元分割図を示す。2-1-2節で述べたように、機械角 36° 毎に電圧（定格電圧3.0V）を印加するコイルの組み合わせを切り替えた。永久磁石には、x軸方向に一律に0.6Tの磁化を与えた。

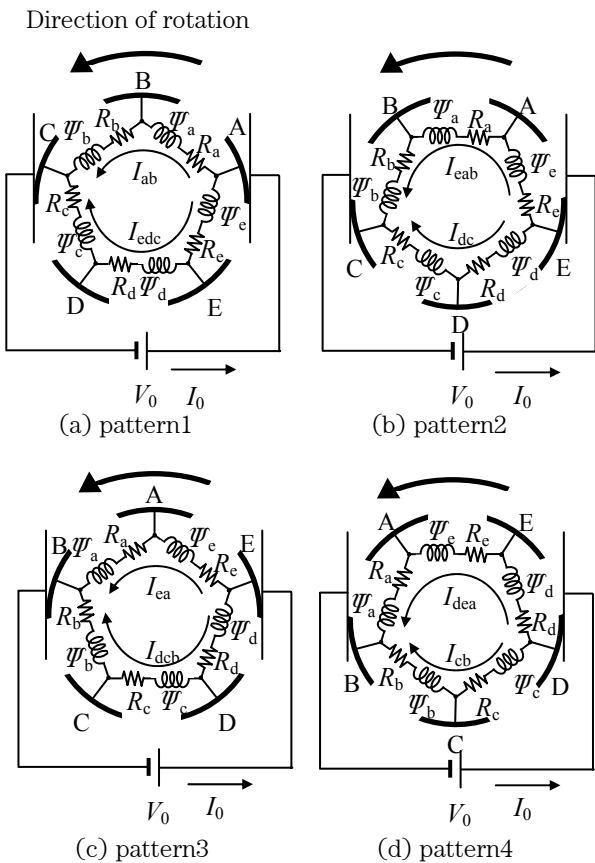


Fig.1 Pentagon connection.

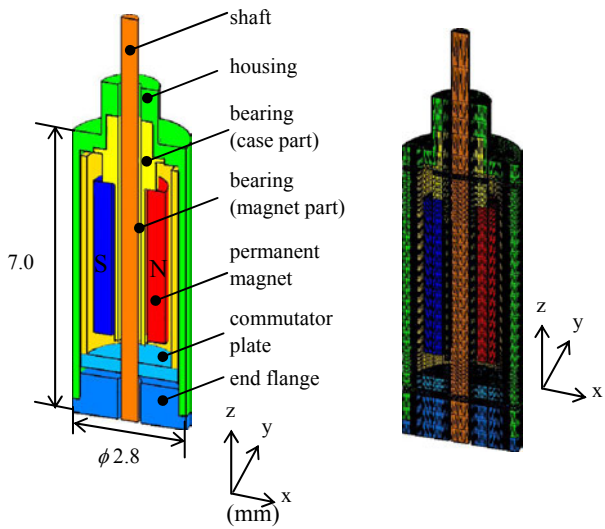


Fig.2 Analyzed model.

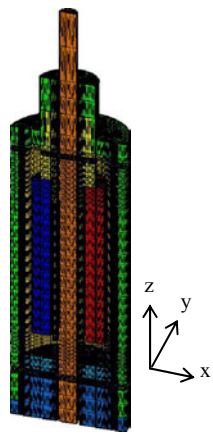


Fig.3 3-D finite element mesh.

Fig.4に本報告で検討した材質条件を示す。ハウジングはどの条件においても磁性体であり、シャフト、軸受ケース部および軸受磁石部の材質を図に示す5パターンにおいて解析を行い、電流特性およびトルク特性を比較した。

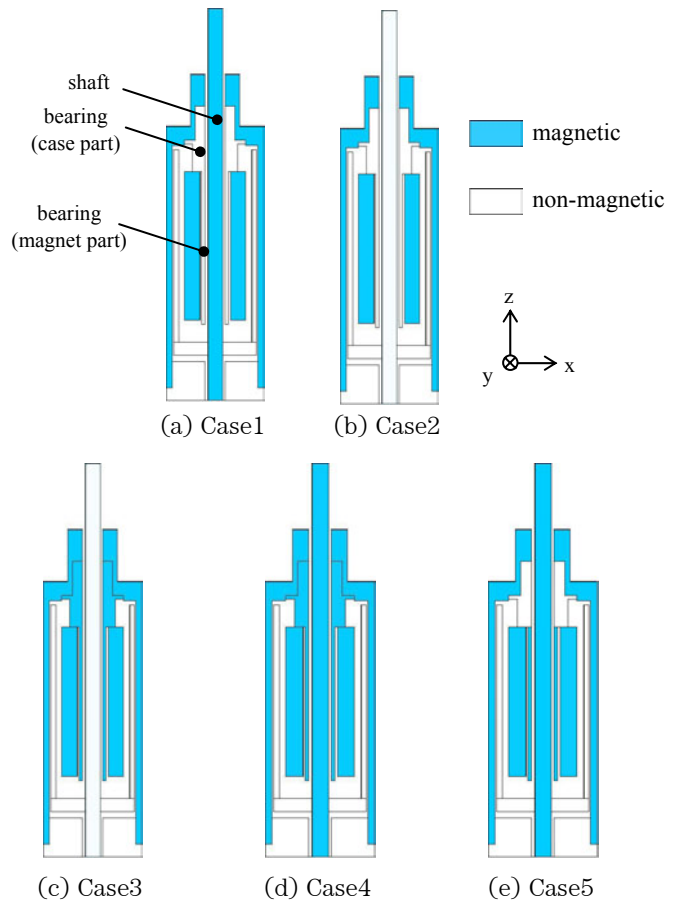


Fig.4 Material conditions.

Table 1に解析条件を示す。

Table 1 Analysis conditions.

Number of pole pairs	1
Magnetization of permanent magnet (T)	0.6
Rotation speed (min^{-1})	30,000
Voltage (V)	3.0
Coil resistance (Ω/coil)	66.7
Number of coil turns (turn/coil)	77

2-3 解析結果と検討

Fig.5に磁束密度ベクトル分布 ($y=0\text{mm}$ 断面)を示す。Case1, 2では磁束がシャフト中を横切るのに対し、Case3~5では磁束がシャフト中を横切らないことがわかる。これは、Case3~5では磁性体である軸受磁石部を磁束が通るためである。なお、Case4, 5ではシャフトが磁性体であるがシャフト中を磁束が横切らないの

は、軸受磁石部とシャフトの間にギャップがあるためである。

また、Case3, 4ではCase1, 2, 5と比較して、軸受ケース部が磁性体であるため軸受ケース部の磁束密度が高くなる。さらに、Case5は他のモデルと比較して、軸受ケース部と軸受磁石部との境界を通る磁束が少ないことがわかる。これは、軸受磁石部が磁性体であり、かつ永久磁石の上面の高さと軸受磁石部の上面の高さが等しいため、軸受ケース部と軸受磁石部との境界においてz軸方向へ通る磁束が少なくなったためであると考えられる。

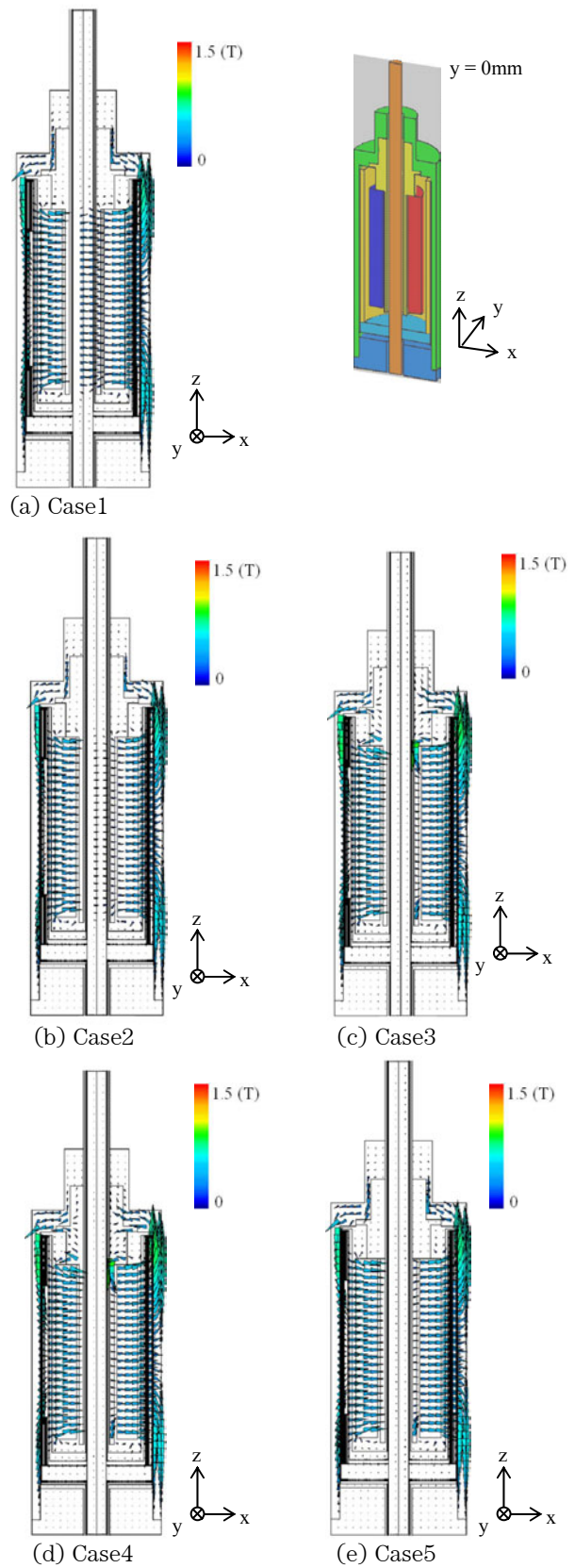


Fig.5 Distributions of flux density vectors ($y=0\text{mm}$) .

Fig.6に磁束密度ベクトル分布（永久磁石中央断面（ $z = 4\text{mm}$ ））を示す。Case1, 2では磁束がシャフト中を横切るのに対し、Case3~5は、軸受磁石部が磁性体であり、かつ、シャフトと軸受磁石部にギャップがあるため、シャフトを避けるように軸受磁石部を磁束が通っている。また、Case3~5はCase1, 2と比較してハウジングの磁束密度が高い。これは、軸受磁石部を磁性体にするによって、永久磁石、ハウジング、軸受磁石部を通る磁気回路の抵抗が小さくなったためであると考えられる。

Fig.7に電源電流波形を示す。回転子が1回転する間にコイルの切り替えが10回行われるため、電流波形の周期は 36° となる。また、電源電流の平均値は、Case1, 2と比較してCase3~5の方が小さい。さらに、Case2が最も大きく、他の条件よりも逆起電力が小さいことがわかる。

Fig.8にトルク波形を示す。前述と同様に、回転子が1回転する間にコイルの切り替えが10回行われるため、トルク波形の周期は 36° となる。また、平均トルクはCase1, 2と比較してCase3~5の方が大きく、Case2が最も小さい。また、どの条件においてもトルクリップルの大きさはほぼ同じである。

Fig.7, 8より、電源電流の平均値が小さく、平均トルクが大きいCase3~5が効率のよい条件であることがわかる。これは、Case3~5が他の条件と比較して永久磁石、ハウジング、軸受磁石部を通る磁気回路の抵抗が小さくなったためであると考えられる。また、電源電流の平均値が最も小さいにもかかわらず、平均トルクが大きいことから、コイルによる磁界よりも、永久磁石による磁界の方がトルクに及ぼす影響が大きいと考えられる。

Table 2に解析諸元を示す。

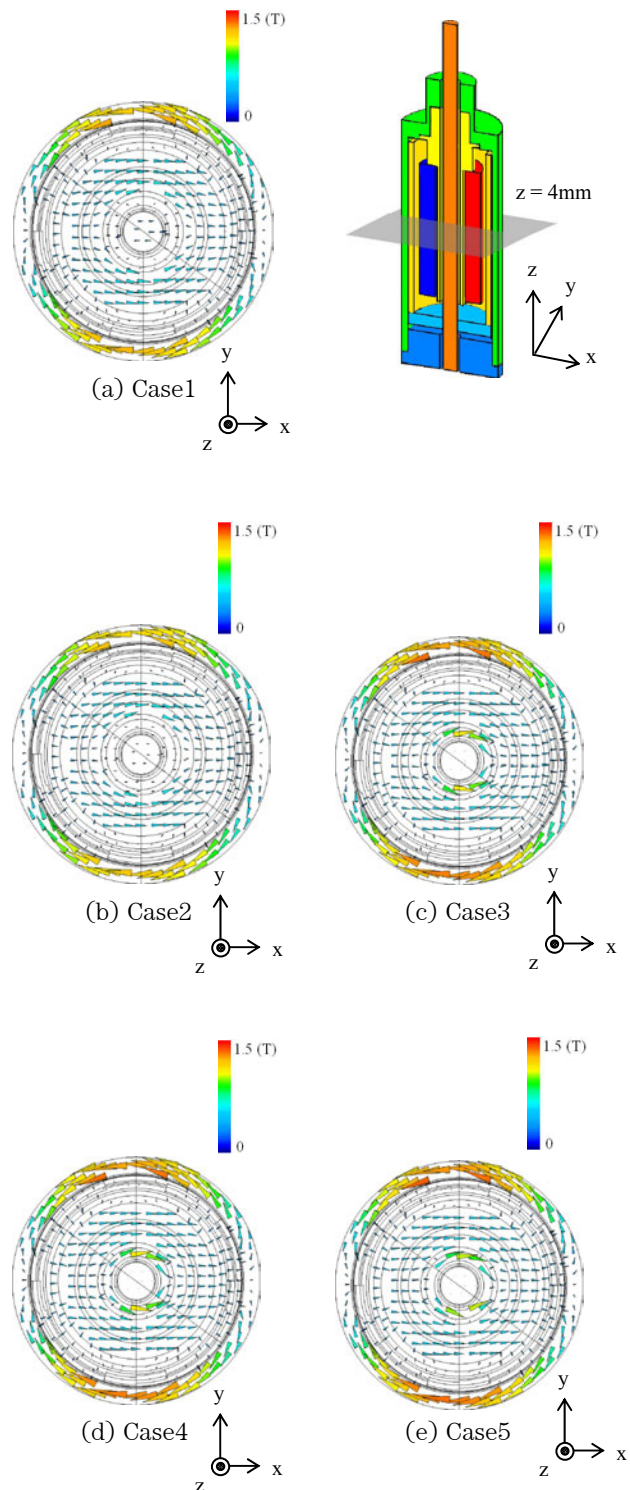


Fig.6 Distributions of flux density vectors ($z=4\text{mm}$) .

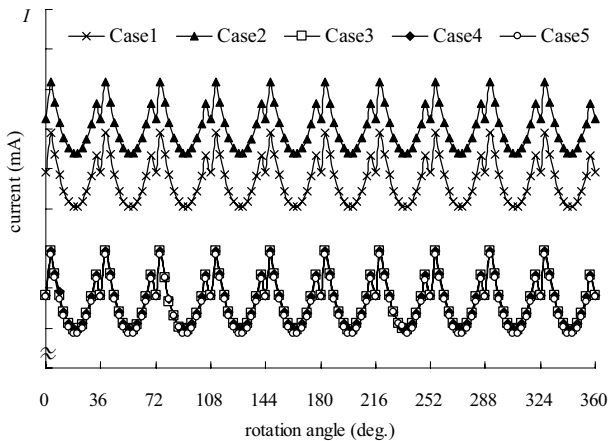


Fig.7 Waveforms of Current.

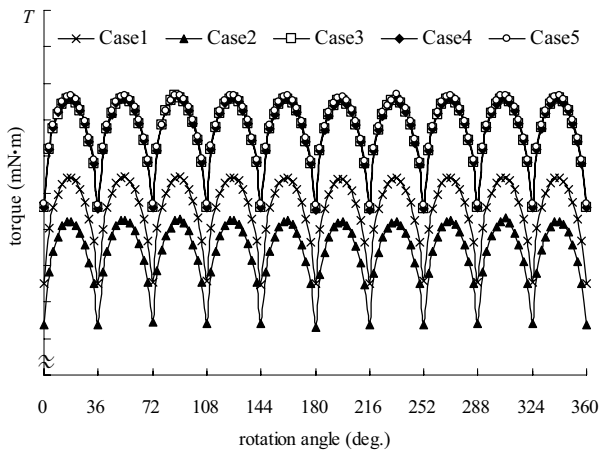


Fig.8 Waveforms of Torque.

Table 2 Discretization data and CPU time.

Number of elements	2,468,880
Number of nodes	422,455
Number of edges	2,913,054
Number of unknown variables	2,847,896
Number of time steps	241
Total CPU time (hours)	265

Computer used: Core2 Duo 2.66GHz (64bit)PC

3. まとめ

本報告では、ペンタゴン結線のコイルを用いた小形コアレスモータを解析対象として、三次元有限要素法を用いて磁界解析を行い、各部位を構成する材質が電

流特性およびトルク特性に及ぼす影響について比較を行った。その結果、軸受磁石部を磁性体で構成することにより、電流値が小さくなり、平均トルクが大きくなることがわかった。

謝辞

本研究の実施において、共同研究先である岐阜大学河瀬・山口研究室に多大なご指導、ご支援を頂きましたことを深く感謝いたします。また、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。

参考文献

- 1) 河瀬順洋, 中橋鮎香, 他: 電気学会回転機研究会資料, 回転機研究会 RM-08-108~130, (2008), pp.7-11.
- 2) 河瀬順洋, 他: 電気学会回転機研究会資料, 回転機研究会 RM-07-49~69, (2008), pp.49-52.
- 3) 伊藤昭吉, 河瀬順洋: 最新有限要素法による電気・電子機器のCAE, 森北出版, (2000).
- 4) A. Kameari: Local force calculation in 3D FEM with edge elements, International Journal of Applied Electromagnetics in Materials, vol. 3, pp.231-240 (1993).

劣化データによるリユース対象部品の信頼性試験法

A Method of Parts Reliability Tests Based on Degradation Data for Reuse Objective Products

太田 周一*

Shuuichi OHTA

亀川 幸雄**

Yukio KAMEGAWA

坂津 務***

Tsutomu SAKATSU

渡辺 英生****

Hideo WATANABE

廣野 元久*****

Motohisa Hirono

要 旨

一般的に、信頼性試験は加速環境下において故障・非故障を判定基準として間欠的観測によって行われている。しかし短期間かつ限定されたサンプル数では十分な信頼性データを得ることは困難である。さらに、リユース対象製品の場合、製品寿命（耐用期間）が従来製品よりも長期にわたり、従来の信頼性試験法ではほとんど有効な信頼性データは得られない。筆者らはかかる事情に鑑み、劣化データを有効活用し、パスモデル、混合効果モデルを適用することにより従来の信頼性試験と同等の期間、サンプル数でリユース部品の信頼性データを得る手法を試みている。本論文は事例を引きそれらの手法の概要とその有効性を示す。

Abstract

A common reliability data is provided through accelerated tests, and evaluated by GO-NOGO judgement at every interval observations. Then it is hard to acquire a sufficient reliability data under limited test time and specimens. Moreover, A reuse objective product is required longer life time, so it is almost impossible to get a good data according to the traditional method. Therefore, we research to get a reuse reliability information from the degradation data using Path-model and Mixed-effects model within traditional test time and specimens. This paper introduces about its procedures and effectiveness including the example.

-
- * 電装ユニットカンパニー QM推進室
Quality Management Promotion Department, PC Unit Products Company
 - ** 電子デバイスカンパニー 品質保証部
Quality Assurance Department, Electronic Device Company
 - *** 品質本部 信頼性技術室
Reliability Engineering office, Quality Management Division
 - **** 電装ユニットカンパニー 技術統括センター
Technical Center, PC Unit Products Company
 - ***** 品質本部 RICOH Quality推進室
RICOH Quality Management Office, Quality Management Division,

1. 背景と目的

1-1 背景

1-1-1 リユース製品の信頼性試験の課題

リユース製品評価において寿命予測とその確認は重要なアイテムであり¹⁾、Fig.1に示すように耐用期間において所定内の故障率を保持することが求められている²⁾。

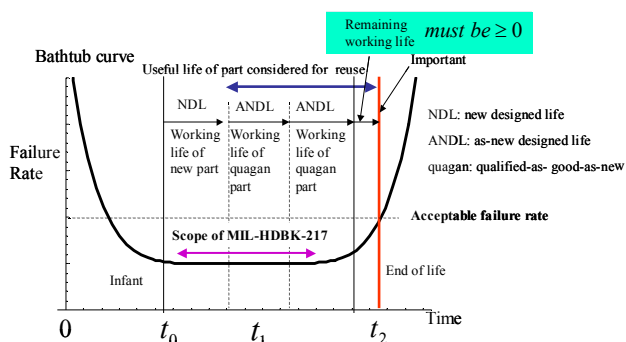


Fig.1 Bathtub curve and reuse.

一方、製品は多くの部品から構成されており、個々の部品の信頼性を把握し、製品に要求される信頼性と調和させる必要がある。リユース製品に使われる部品は高信頼性である場合が多いが、リユース終了までの長い期間について正確な故障率を求めることは困難である場合が多い。以下にそれらの問題点を示す。

- リユース製品に使われる高信頼性部品は寿命が長いので、試験期間中に故障に至らない「打ち切り」データが多数発生し、寿命推定精度を低下させる。
- 試験サンプル数を増やすことによって寿命推定精度を向上させることが可能であるが、費用、試験工数、試験設備の関係から十分な試験時間と試験サンプル数を確保するのは困難である場合が多い。
- 故障の確認は一般にある時間間隔で行われるので故障時間は区間推定値になってしまう。

- 加速試験によって、試験時間短縮が可能であるが、過度なストレス（過度の高温・低温や過度な電圧・電流）を加えた場合、故障モードが変化する恐れがあり、加速試験による時間短縮にも限界がある。

1-1-2 目的

本論文は、前節で述べたリユース製品に使用する部品の信頼性試験の課題を克服する方法として、劣化データに基づく寿命解析法を、事例としてLED光出力劣化解析を用い、その手順を紹介しかつ明確化することを目的としている。

2. 技術

2-1 従来技術

通常よく行われる信頼性試験は加速試験およびワイブル回帰分析である。Nelson³⁾は電力ケーブルの加速（高）温度における絶縁破壊電圧データにアレニウスモデルを適用し最尤法により絶縁破壊電圧回帰式を求め、任意の条件における寿命を求めている。廣野⁴⁾は「微細ピッチAl（アルミ）ワイヤの加速寿命試験データの解析」において、アレニウスモデルに主効果と推定されるパラメータ（ワイヤ下断面積）を追加した複合加速モデルを設定し、加速寿命試験データに非線形重回帰分析を使って要因解析および寿命予測を行い、追加パラメータの寿命への影響および実使用環境での寿命を外挿により推定している。

2-2 劣化データに基く信頼性解析

従来技術で述べた方法は試験環境および故障が発生した時間情報を用いて解析しているのに対し、着目する特性値の時間的変化（劣化データ）を用いる方法がある^{5),6)}。この方法は以下に述べる特徴を有する。

- 予め故障レベル（閾値）を設定しておけば、劣化データを外挿することにより、故障が実際に起こる前のデータから寿命推定が可能である。

- ・ 試験温度条件を2水準以上に設定しておけば活性化エネルギーから加速係数を求めることが可能であり、故障モードが変化しない範囲で任意の使用条件下への寿命換算が可能である。
- ・ 試験時間が同じであれば、故障、非故障から得られた寿命データよりも高精度の寿命推定が可能である。
- ・ 部品メーカーではJISまたは各部品メーカーが規定する条件における信頼性試験を実施しているが、それらの劣化データを活性化エネルギー値とともに入手することにより、製品における該部品の寿命を推定することが可能である。

しかしながら劣化データに基づく信頼性解析は次のような欠点も有する。

- ・ 信頼性試験において特性値の測定を必要とする。
- ・ ワイブル回帰分析のような整備された解析法やデータ解析のためのソフトウェアが少ない。

しかしながら製品レベルの最終信頼性試験においてはエラー発生の有無を確認するのみのGO-NOGO判定試験であるが、ユニットレベルの信頼性試験においては文献^{4),7)}に示すように、故障判定のために特性値をモニタリングしており、その情報はすでに存在している。かかる背景により本論文では劣化データによる信頼性解析法の優位性を利用したリユース寿命予測手法を述べるとともに、その具体的手順を紹介する。

2-3 劣化モデル

信頼性試験は一般に複数のユニットを用い加速試験環境下で、ある間隔の時間において観察される。得られたデータを表すモデルとして次式で示されるパスモデルがある。パスモデルとは、複数のサンプルについて繰り返し測定を行いながら実験観察を行い、その結果をサンプルごとの時系列線図（パス）によって表す方法であり、ユニット*i*の時間 t_j における観察されたサンプル劣化 y_{ij} は式(1)で表される⁵⁾。

$$y_{ij} = D_{ij} + \varepsilon_{ij}, i = 1, \dots, n, j = 1, \dots, m_i \quad (1)$$

ここで $D_{ij} = D(t_{ij}, \beta_{i1}, \dots, \beta_{ki})$ はユニット*i*の時間 t_{ij} における実際のパスである。 ε_{ij} は平均値0、標準偏差 σ_e の正規分布関数でありランダム誤差を表す。 $\beta_{i1}, \dots, \beta_{ki}$ は未知パラメータであり、*i*番目のユニットは*k*個のパラメータを持つが通常試験される各ユニットは同質であるので共通パラメータ β_1, \dots, β_k としても大きな誤差は生じない。 β_1, \dots, β_k の母数 Θ_β は母平均ベクトル μ_β 、分散・共分散行列 Σ_β 、およびランダム誤差 σ_e で表すことができる。これらのパラメータについての尤度関数は式(2)で与えられる。

$$L(\Theta_\beta, \sigma_e | DATA) = \prod_{i=1}^n \int_{-\infty}^{\infty} \dots \int_{-\infty}^{\infty} \left[\prod_{j=1}^{m_i} \frac{1}{\sigma_e} \phi_{nor}(\xi_{ij}) \right] \cdot f_\beta(\beta_{i1}, \dots, \beta_{ki}) d\beta_{i1}, \dots, d\beta_{ki} \quad (2)$$

ここで、 $DATA$ は観測された値、 $\phi_{nor}(\cdot)$ は標準正規分布関数、 $\xi_{ij} = [y_{ij} - D(t_{ij}, \beta_{i1}, \dots, \beta_{ki})] / \sigma_e$ 、

$f(\beta_{i1}, \dots, \beta_{ki} : \Theta_\beta)$ は多変量正規分布の確率密度関数を表す。この尤度関数を最大にするパラメータ値を求め、回帰式を決定し⁸⁾、さらに得られた回帰式を外挿することによってリユース寿命を推定する。

2-4 事例

近年、光源として省エネルギーで寿命が長い発光ダイオード(LED)が広く用いられている。しかしながら従来の白熱灯や蛍光灯に比べ長寿命ではあるがLEDも有限の寿命を持ち、リユースのように長期使用が予想される場合、劣化による光出力の低下が問題となる。本事例ではまだ故障レベルまで至っていないLED信頼性試験の劣化データからその故障時間を推定する。

2-4-1 LED光量測定回路および条件

Fig.2にLED信頼性試験を行った回路および条件を示す。加速条件として常温ではあるが定格よりも大きな電流を流すことによって加速係数「3」を得ている。LEDから出射された光は対向するホトダイオードにより光電流に変換され電流・電圧変換回路に接続された電圧計により光出力として計測される。

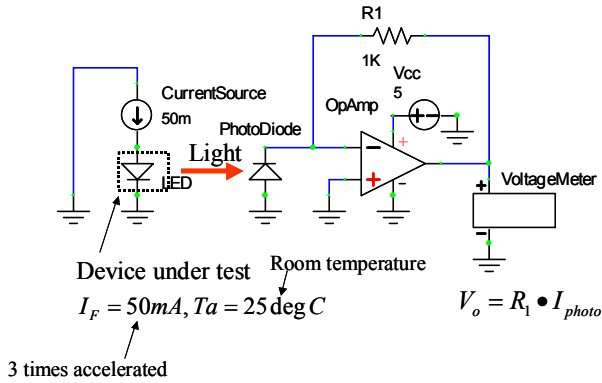


Fig.2 Block Diagram of LED light measurement.

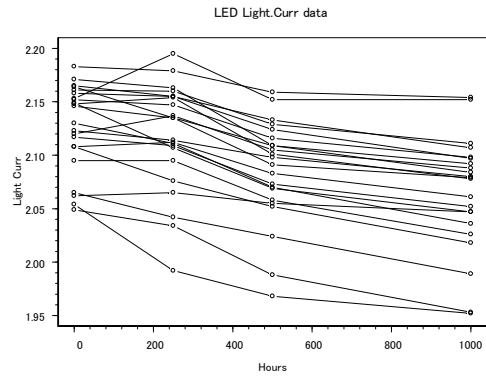


Fig.3 Path model for light current.

2-4-2 LED光量測定データ

Table 1にLED光量測定結果を示す。試験は1000時間まで行っている。通常、寿命は光出力が半減する時間で表されるので、これらのサンプルはすべて未故障ということになる。

Table 1 LED light current data.

	0hr	250hr	500hr	1000hr
SampleNo.1	2.065	2.042	2.024	1.989
No.2	2.148	2.154	2.101	2.078
No.3	2.183	2.179	2.159	2.154
No.4	2.146	2.135	2.091	2.079
No.5	2.049	2.034	1.988	1.953
No.6	2.164	2.135	2.109	2.084
No.7	2.108	2.112	2.083	2.061
No.8	2.123	2.114	2.098	2.080
No.9	2.054	1.992	1.968	1.952
No.10	2.120	2.137	2.105	2.088
No.11	2.130	2.111	2.070	2.036
No.12	2.153	2.195	2.152	2.152
No.13	2.095	2.095	2.058	2.026
No.14	2.158	2.155	2.124	2.097
No.15	2.149	2.107	2.069	2.047
No.16	2.165	2.155	2.133	2.107
No.17	2.062	2.065	2.055	2.047
No.18	2.117	2.109	2.073	2.052
No.19	2.161	2.160	2.129	2.111
No.20	2.171	2.163	2.109	2.092
No.21	2.152	2.147	2.116	2.098
No.22	2.108	2.076	2.052	2.018

Unit:mA

2-4-3 LED光量測定データのパスモデル表示

Fig.3に得られたデータをパスモデルで表示した結果を示す。時間とともに光量は低下しているがユニットによって若干差があることがわかる。

2-4-4 光量測定データのチェック

本手法では劣化データを外挿して寿命推定を行うので、測定データのぶれが影響しやすい。得られたデータの約10%低下に閾値を設定し、劣化データのチェックを行った (Fig.4)。その結果、2本のパスが他のパスに比べてぶれが大きいと判断されることから、この2本のパスデータははずれ値として寿命推定から除外した。

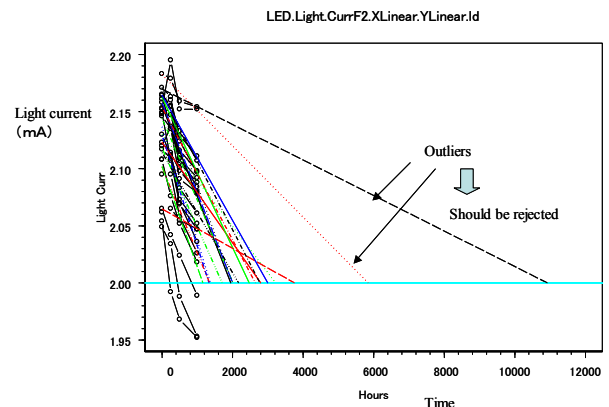


Fig.4 Data check on Path model.

2-4-5 パス外挿による寿命時間推定

光電流値が初期値の50%まで低下した時間を寿命としてパスを外挿して閾値と交差する時間を求める。Fig.5にその状態を示す。またTable 2に得られた寿命推定値を示す。

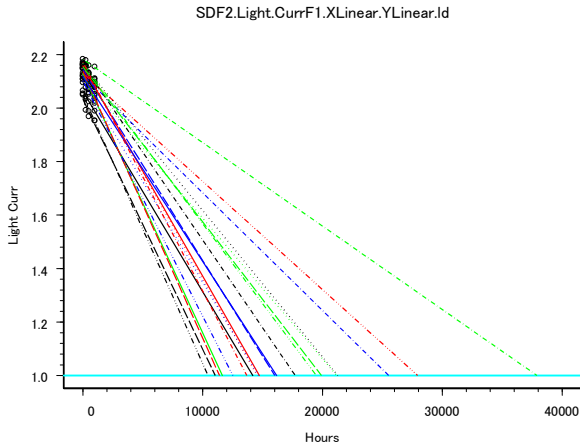


Fig.5 LED life estimation.

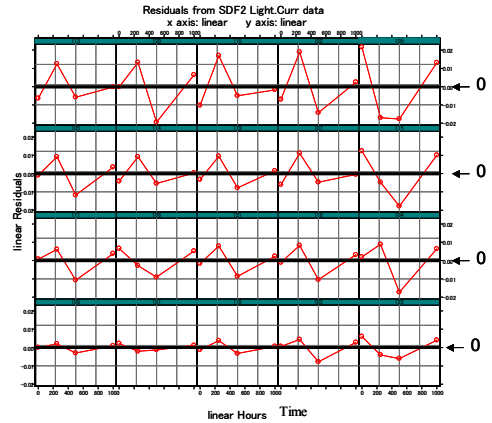


Fig.7 Residuals for each path.

Table 2 LED estimated life.

Accelerated(Hours)	at 25deg C(Hours)
14176	42528
14541	43623
37897	113691
16016	48048
10440	31320
14720	44160
21190	63570
25523	76569
11043	33129
27936	83808
11638	34914
14646	43938
17716	53148
11405	34215
19474	58422
16169	48507
21267	63801
13682	41046
19909	59727
12523	37569

これらの推定値 (Accelerated) をヒストグラムに表した結果をFig.6に、各パスと各回帰式との残差をFig.7に示す。

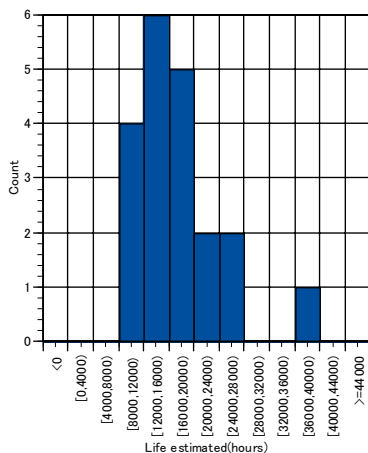


Fig.6 Histogram of estimated life data.

各パスについての残差は振幅の大きさにはばらつきがあるがゼロを中心に分布しており回帰式の傾き、切片が適切に求められていることがわかる。

2-4-6 寿命推定値についての分布形の当てはめ

寿命推定値についてフレッシュ分布、対数正規分布、ワイブル分布を当てはめ、どの分布に近いかを判定した。Table 3にそれらの赤池情報量基準 (AIC)、最大対数尤度、パラメータの平均 μ 、標準偏差 σ を示す。当てはめを行った3つの分布のうち、フレッシュ分布のAICが最も小さくなっており、えられた寿命推定値の分布をもっともよく表す分布と判断される。

Table 3 Fitting for appropriate distributions.

分布形	AIC	最大対数尤度	μ	μ の標準誤差	σ	σ の標準誤差
フレッシュ	402.2	-199.1	9.565	0.06112	0.2595	0.04635
対数正規	405.0	-200.5	9.717	0.07350	0.3287	0.05197
ワイブル	411.6	-203.8	9.892	0.08714	0.3661	0.05711

Fig.8にフレッシュ分布、Fig.9に対数正規分布およびFig.10にワイブル分布の確率プロットを示す。これらの図からもフレッシュ分布が得られた寿命推定値に最も適合していることを読み取ることができる。

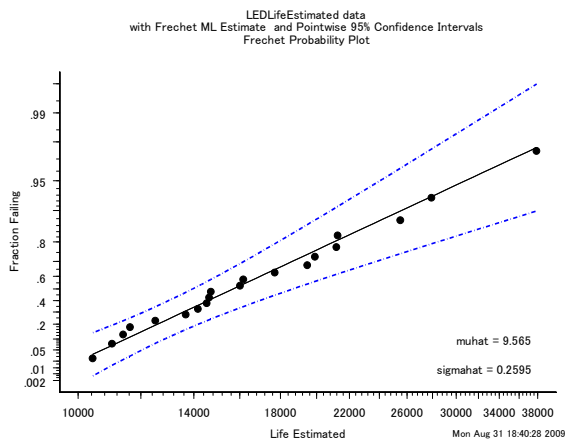


Fig.8 Probability plot for Frechet distribution.

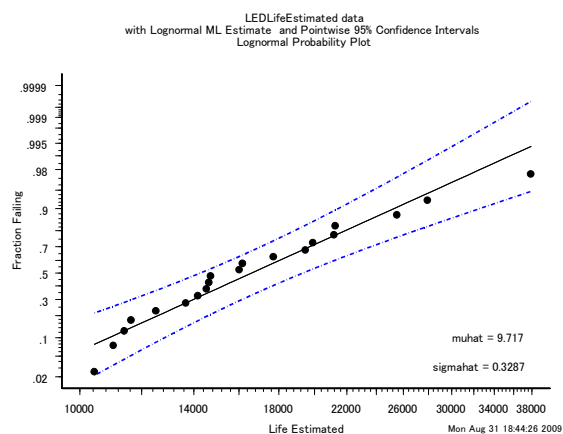


Fig.9 Probability plot for lognormal distribution.

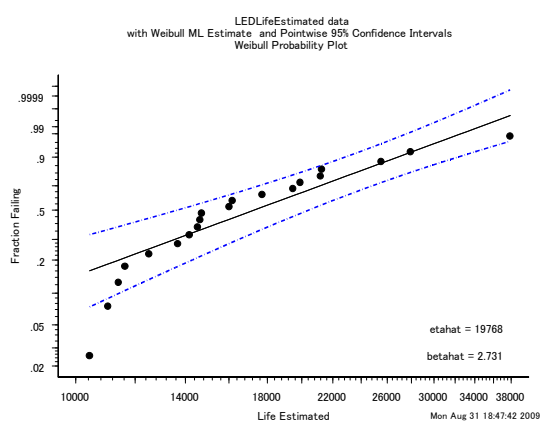


Fig.10 Probability plot for Weibull distribution.

3. 成果

劣化データをもとに、それらをパスモデルで表し、混合効果モデルに従ってパラメータ、回帰式を求め、それらを外挿することにより、リユースに必要な長期寿命を推定する手順を、LED光量寿命解析事例に沿って示すことができた。得られた寿命データは閾値を持つ劣化データ分布を表すとされているフレッシュ分布に最も適合していた。

4. 今後の展開

今後、劣化データ解析手順、解析ソフトを整備するとともに、ワイブル回帰分析の寿命予測と本論文で示す劣化データによる寿命予測との予測精度、試験期間、試験費用などについて比較事例を蓄積し、それらの優劣を検証すると同時に、さらに効率的なリユース寿命予測手法を探索していきたい。

謝辞

本活動を進めるに当たりご協力いただいた関係各位に深く感謝いたします。

参考文献

- 1) 太田周一, その他: 電子回路基板における設計情報を用いた統計的信頼性評価, Ricoh Technical Report No.32, (2006), pp.117-123.
- 2) JIS C 5750-4-1: デペンダビリティ管理—第4部—1部, 適用の指針—リユース部品を含む製品のデペンダビリティ, 機能性及び試験にかんする要求事項, (2008).
- 3) Nelson W.: Analysis of Performance-Degradation Data from Accelerated Tests, IEEE Transactions on Reliability, Vol.R-30, No.2 (1981).
- 4) 廣野元久: 微細ピッチ Al (アルミ) ワイヤの加速寿命試験データの解析, 多変量解析実例ハンドブック, 朝倉書店, (2002), pp.51-60.

- 5) Meeker W. Q., L. A. Escobar : Statistical Methods for Reliability Data, John Wiley & Sons, Inc., (1998), pp.316-342, pp.563-581.
- 6) 鈴木和幸, 真木浩司, 横川慎二 : 劣化データを用いた寿命推定法に関する一考察～拡散の故障メカニズムに基づく場合～, 日本信頼性学会誌, Vol.15, No.2, (1993), pp.6-13.
- 7) 坂津務, 高橋昭治, 磯田昌志 : ハンダ接合信頼性評価技術, Ricoh Technical Report No.31, (2005), pp.75-81.
- 8) Pinheiro J. C., D. M. Bates : Mixed-Effects Models in S and S-PLUS, Springer Verlag NewYork, (2000), pp.62-66.

製品技術解説

EXPLANATION ON PRODUCTS



デジタルカメラ CX1

CX1, Digital Camera by Ricoh

山田 学*
Manabu YAMADA

兼弘 亮*
Makoto KANEHIRO

野村 健一郎*
Kenichiro NOMURA

吉田 彰宏*
Akihiro YOSHIDA

伊藤 洋一*
Yoichi ITO

要 旨

リコーは「撮影領域の拡大」をカメラ事業のコンセプトとして活動してきた。その中でCX1は、より思いのままの仕上がりを手に入れるという「表現領域の拡大」をコンセプトに開発したデジタルカメラのスタンダードモデルである。

主な特徴は以下のとおりである。

- 1) 新画像処理エンジンと高速画像処理を実現するCMOSセンサーを搭載
- 2) 新画像処理エンジンには最大1EVのダイナミックレンジ拡大を実現する「画素出力補間アルゴリズム」専用回路を搭載
- 3) 最大12EV相当のダイナミックレンジを実現する「ダイナミックレンジダブルショットモード」を搭載
- 4) 色温度が混在した被写体の撮影において、最適な色再現を実現する「マルチパターン・オートホワイトバランス」機能を搭載
- 5) カメラが自動検出した7つの合焦距離それぞれを連続撮影する「マルチターゲットAF」機能を搭載

ABSTRACT

CX1 is a standard model digital camera that has been developed with the design concept of “expand the range of photo shooting”, which can express the end user’s intention.

Main features of the CX1 as follows:

- 1) With new image processing engine and a new high-speed image processing CMOS sensor.
- 2) The new image processing engine has a customized circuit for the pixel output interpolation algorithm that expands 1 EV level of the maximum dynamic range.
- 3) Dynamic range double shot mode with maximum dynamic range equivalent to 12 EV.
- 4) The multi-pattern auto white balance function gives the optimum color reproduction when shooting subjects mixing different color temperatures.
- 5) Multi-target AF function enables CX1 to continuously shoot images with seven different focal distances that the camera automatically found.

* パーソナルマルチメディアカンパニー ICS設計室
ICS Design Office, Personal MultiMedia Products Company

1. 背景と目的

近年のデジタルカメラ市場では、コンパクト機の多画素化競争が続く中で、デジタル一眼レフやハイエンドコンパクトの市場拡大にみられるように、総合的な画質、および絵作りへの関心が高まっている。

このような状況の中で、リコーは「撮影領域の拡大」をキーワードに掲げ、時間軸や空間軸での撮影領域の拡大を追求してきたが、その枠をさらに広げ、より思いのままの仕上がりを手に入れるという「表現領域の拡大」をコンセプトに、高画質、ダイナミックレンジの拡大、最適な色再現の実現、高速性、および撮影の道具として使いやすさを追求したコンパクトデジタルカメラCX1を開発した。

本稿ではCX1の主な特徴を中心に記述する。

2. 製品の概要

本機の主な特徴をTable 1に示す。

Table 1 CX1 Major Specifications.

撮像素子	1/2.3型CMOS 有効画素数 約929万画素	
レンズ	焦点距離	f=4.95~35.4mm (35mm換算28~200mm相当)
	F値	F3.3~F5.2
	撮影距離	通常撮影:約30cm~∞(広角), 約1.0m~∞(望遠) (レンズ先端から)
		マクロ撮影:約1cm~∞(広角), 約25cm~∞(望遠), 約1cm~∞ (ズームマクロ) (レンズ先端から)
レンズ構成	7群10枚 (非球面レンズ5面4枚)	
ズーム倍率	7.1倍光学ズーム (35mm換算28~200mm) デジタルズーム:4.8倍 オートリサイズズーム:5.4倍	
フォーカスモード	マルチAF (コントラストAF方式) / スポットAF (コントラストAF方式) / マルチターゲットAF / マニュアルフォーカス / スナップ / ∞ (AF補助光あり)	
ブレ軽減機能	イメージセンサーシフト方式ブレ補正機能	
シャッタースピード	静止画	8, 4, 2, 1~1/2000秒
	動画	1/30~1/2000秒
連写	連写速度	約4コマ/秒 (F3456/F3.2/F1.1撮影時, 60枚以降の連写速度は約3コマ/秒)
	連写可能枚数	999枚
ISO感度 (標準出力感度)	AUTO, AUTO-HI, ISO80, ISO100, ISO200, ISO400, ISO800, ISO1600	
ホワイトバランスモード	オート/マルチパターン/AUTO/屋外/曇天/白熱灯/白熱灯2/蛍光灯/手動設定, ホワイトバランスブラケット機能	

フラッシュ	フラッシュモード	オート (低輝度時及び逆光時自動発光) / 赤目軽減/強制発光/スローシンクロ/発光禁止	
	調光範囲	約20cm~3.0m (広角) 約25cm~2.0m (望遠) (ISO AUTO/ISO 400, レンズ先端から)	
画像モニター	3.0型 透過型液晶 約92万ドット		
撮影モード	オート撮影モード/イージー撮影モード/ダイナミックレンジダブルショットモード/連写モード (通常連写/M連写プラス/超高速連写) / シーンモード (ポートレート/フェイス/スポーツ/夜景ポートレート/遠景/夜景/高感度/ズームマクロ/斜め補正/文字) / マイセッティングモード/動画モード		
画質モード	F (Fine)/N (Normal)		
記録媒体	SDメモリーカード, SDHCメモリーカード, 内蔵メモリー (約88MB)		
記録画素数	静止画/ マルチピクチャー	[4:3]3456 × 2592, 3072 × 2304, 2592 × 1944, 2048 × 1536, 1728 × 1296 (M連写プラス), 1280 × 960, 640 × 480 [3:2]3456 × 2304 [1:1]2592 × 2592	
		動画	640 × 480, 320 × 240
		文字	3456 × 2592, 2048 × 1536
記録媒体	SDメモリーカード, SDHCメモリーカード, 内蔵メモリー (約88MB)		
記録可能枚数/ 時間 (約88MB)	静止画/ マルチピクチャー	3456 × 2592 F: 14枚 N: 24枚 3456 × 2304 F: 16枚 2592 × 2592 F: 19枚 3072 × 2304 N: 30枚 2592 × 1944 N: 48枚 2048 × 1536 N: 74枚 1728 × 1296 N: 143枚 (M連写プラス) 1280 × 960 N: 133枚 640 × 480 N: 497枚	
		動画	640 × 480 30コマ/秒 41秒 320 × 240 30コマ/秒 1分22秒
画像ファイル形式	静止画	JPEG (Exif ver2.21), DCF準拠, DPOF対応	
	マルチピクチャー	CIPA DC-X007-2009 マルチピクチャーフォーマット/DRAFT準拠	
	動画	AVI (Open DML Motion JPEGフォーマット準拠)	
	圧縮方式	JPEGベースライン方式準拠	
電源	リチャージャブルバッテリー (DB-70) × 1, ACアダプター (AC-4gオプション)		
外形寸法	101.5mm (W) × 58.3mm (H) × 27.9mm (D) (突起部含まず)		
質量	約180g (バッテリー/SDメモリーカード/ストラップは含まず)		

3. 製品の特徴

3-1 撮像素子と画像処理

CX1に搭載しているイメージセンサは、単位画素サイズが1.75 μm、有効画素数が約929万 (水平3528画素、垂直2632画素) 画素、光学サイズが1/2.3型 (対角7.63mm) の正画面素配列カラーCMOS固体撮像素子である。

このイメージセンサは静止画撮影時に有効約929万画素の信号を高速かつ高精度に出力することができる。

このイメージセンサから出力される高速かつ大容量の画像を高速に処理するために、新画像処理エンジン「スムーズイメージングエンジンIV」(以下、SIE IVと呼ぶ)を新規に開発した。

CX1の新画像処理システムは、高速CMOSイメージセンサ、新画像処理エンジンSIE IV、メモリーその他のデバイスを組み合わせて実現している。

本システムは、高速CMOSイメージセンサから出力される高速データを処理するため、高速データをSDRAMへ直接転送する回路を搭載した。これにより、高速かつ大容量のデータ処理を可能にした。

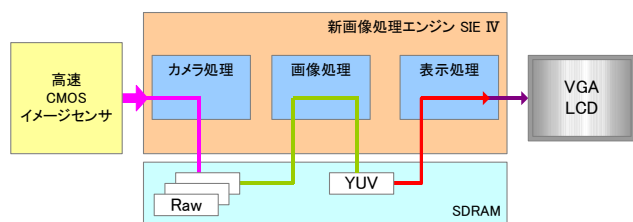


Fig.1 Block Diagram of SIE IV.

3-2 画素出力補間アルゴリズム

新画像処理エンジンSIE IVには、従来処理に対して最大1EVのダイナミックレンジ拡大を可能にする「画素出力補間アルゴリズム」専用回路を搭載した。

カラー撮像センサ (CCDやCMOSセンサ) の出力は、人間の目で白と認識できる被写体でもR・G・Bの出力比は不均一な値で出力される。この不均等な強さで出てくるR・G・Bの各成分出力に対してホワイトバランスをかけることで、白の部分のR・G・Bの値が同じになるようにR・G・Bにそれぞれ係数をかけている。

通常カラー撮像センサの出力は、太陽光下においてG成分出力がR・B成分の出力に対して2倍程度の出力となる。そのため高輝度被写体ではG成分出力が最初に飽和してしまう。

G成分が飽和してしまうと、ホワイトバランス係数を乗算してもR・G・Bの値を合わせる事が出来なくなるため、従来処理では、G成分が飽和しない範囲だ

けを用い、飽和した範囲は白飛びとなるような制御を行っていた。

そこで、SIE IVでは、ある画素出力が飽和しても、飽和になった画素の強さを予測して補間することで、白とびしていた部分について、階調を再現できるようになった。

3-3 ダイナミックレンジダブルショットモード

高速連続撮影を応用し、露出が異なる2枚の静止画を高速撮影し、それぞれの適正露出部分を合成した画像を記録する「ダイナミックレンジダブルショットモード」を搭載した。

ダイナミックレンジ拡大において最も重要な処理が表示に適した一定の輝度範囲へ変換するトーンマッピング処理である。

CX1で搭載したトーンマッピングは、非線形に輝度成分を変換することで、人の目を見た印象と近い自然な画像を実現している。

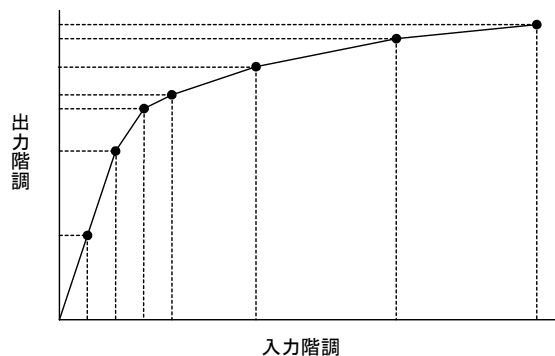


Fig.2 Tone mapping curve.

3-4 マルチパターン・オートホワイトバランス

色温度の異なる光源が混在した被写体の撮影において、最適な色再現を実現する「マルチパターン・オートホワイトバランス」機能を搭載した。

従来機では、画面全体に対して1つのホワイトバランスを設定していたため、日向と日陰が混在していてもカメラが日向だと判断すると、本来は日陰であっても日向の白を基準としてしまうために、たとえば日陰にいる人の肌など、青みがかかった色になっていた。

そこで、CX1では画面分割された複数のエリアの色情報を基に画面を複数の領域に分割し、分割した領域ごとに最適なホワイトバランスを設定している。

これによって、日陰の人物でも最適なホワイトバランスを設定することができ、目で見たとような自然な肌色を再現することができるようになった。

また、屋内で複数の人物がいるようなシーンにおいて、フラッシュを使用した撮影では、フラッシュ光が非常に青い光なので、フラッシュ光が強くあたっている人の顔は青白く、フラッシュ光の影響が弱い人の顔は赤っぽくなってしまっていた。

CX1のマルチパターン・オートホワイトバランスは、フラッシュ撮影において、フラッシュ光の影響にあわせて領域毎に最適なホワイトバランスを設定することで、フラッシュ光の影響度による肌色の違和感をなくし、自然な肌色を再現することができるようになった。

CX1は、オート撮影モードでは「画素出力補間アルゴリズム」と同時に動作することで、撮影者が特別な操作をしなくても普通に撮影すれば自然な仕上がりを簡単に手に入れることができるようになった。



Fig.3 Example of segregate the image into multiple areas.

3-5 マルチターゲットAF

CX1の新画像処理システムは、カメラの基本機能が従来機種と比べて格段に向上した。特に撮像素子の出力レートおよび画像処理速度の向上により、マルチターゲットAFを可能にした。

マルチターゲットAFは、撮影時にカメラが自動的に7点の合焦距離を決定し、7枚の写真を高速連続撮影す

る。たとえば手前から遠方までいろいろな撮影対象物があるとき、1度シャッターを押すだけで、それぞれにピントが合った画像を手に入れることができる。

さらに、再生画面上で各画像の合焦領域を枠表示し、画像選択をアシストする機能を有する。

この機能を用いれば、撮影後に所望の位置でピントが合った画像を選択できるので、撮影者はピント合わせの心配をすることなく撮影ができる。

またマクロモードで用いれば、合焦深度の狭い画像が撮影できるので、ピント位置の違いによるボケ味の変化を見ることができ、新しい撮影の面白さを実感できるはずである。



Fig.4 Conceptual diagram of multi target AF.

4. 今後の展開

CX1は、「表現領域の拡大」をコンセプトに、高画質、ダイナミックレンジの拡大、最適な色再現の実現、高速性、撮影の道具として使いやすさを追求し、新しい顧客価値の提案を行った。

今回のCX1で行った新たな提案に対する内外の反響、およびお客様の新たなニーズをキャッチアップし、更に進んだ顧客価値を創造するリコーにしかできない製品の開発を進めていきたい。

謝辞

最後にCX1の開発にあたり、多くの方々にご指導、ご支援を賜りましたことを深く感謝いたします。

コンパクトA3カラー複合機 imagio MP C2200シリーズ

Compact A3 Full-Color Multifunctional Printers - imagio MP C2200 series

渡瀬 浩之* 木村 祥之* 田中 秀樹** 上田 正之*
Hiroyuki WATASE Yoshiyuki KIMURA Shuuji TANAKA Masayuki UEDA

樽木 隆志*** 川村 拓己****
Takashi TARUKI Takumi KAWAMURA

要 旨

imagio MP C2200シリーズは“クラス最高”のコストパフォーマンスとコンパクトデザインの融合をコンセプトとし、胴内フィニッシャー対応をはじめとする省スペース設置を可能にするコンパクトボディに、コピー・プリント・スキャン・ファクスといったビジネス用途に最適な基本機能を凝縮したデジタルカラー複合機である。

主な特徴は、以下の通りである。

- 1) モノクロ機同等サイズでの胴内フィニッシャー対応コンパクト化技術
- 2) ベルトアシスト技術によるリコー最高レベルの紙厚対応力
- 3) 省エネに貢献するクラッチレス給紙技術，低熱容量定着
- 4) 画質向上に貢献する新トナー補給制御
- 5) アプライアンス性向上の為の新機能
- 6) バイオマス資源を原料にした植物由来樹脂の採用

ABSTRACT

The imagio Neo 2200 series is the most suitable digital full color MFP for business uses, realizing the concept of integrating the best class contributions to the both cost performance and compact designing. This multifunctional model features copying, printing, scanning, and facsimile functions, and furthermore, it is offering Ricoh's first internal finisher which enables the smallest footprint in its product range.

The major features are as follows:

- 1) The size of a B&W MFP with an internal finisher in its body.
- 2) "Belt-assisted technology", which enables the MFP to handle the widest range of thick paper.
- 3) Advanced technologies of paper feeding without using clutch and fusing mechanism in low temperature, meeting Energy Star compliant.
- 4) New toner supplying method for the high image quality.
- 5) New functions regarding the appliance improvements.
- 6) Adoption of plant-resin plastic materials from biomass resources.

* MFP事業本部 第二設計センター

2nd Designing Center, MFP Business Group

** 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

*** MFP事業本部 周辺機事業センター

Peripheral Products Business Center, MFP Business Group

**** MFP事業本部 第三設計センター

3rd Designing Center, MFP Business Group

1. 背景と目的

imagio MP C2200は”クラス最高”のコストパフォーマンスとコンパクトデザインの融合を旗印に、主に低速層（15～25cpm）のカラー化を大きく加速させる事をターゲットに開発したマシンである。基本機能を向上させつつ、モノクロ機以下の本体幅寸法とし、さらに胴内排紙スペースにフィニッシャーを設置可能にするなど従来機に比べ大幅なコンパクト化を実現した。本編ではそのコンパクト化に関する技術だけではなく、アプライアンス性向上、急速に意識の高まりつつある環境技術を合わせて説明する。

2. 製品仕様

Table 1にimagio MP C2200の主な仕様とFig.1に製品外観を示す。

Table 1 Specification of imagio MP C2200.

商品名	imagio MP C2200	
形式	デスクトップ式	
カラー対応	フルカラー	
ウォームアップタイム	29秒(室温20℃にて)	
ファーストプリント速度	モノクロ6.5秒, フルカラー9.5秒	
連続プリント速度	22枚/分	
解像度	600×600dpi	
用紙サイズ	定形:A3～はがき(100×148mm) 12×18”～51/2×81/2” 不定形:幅90～305mm, 長さ148～457.2mm, 封筒	
用紙厚	標準トレイ	本体(第1給紙): 60～256g/m ² (60～220kg) 本体(第2給紙): 60～169g/m ² (60～145kg) Imagio給紙テーブルPB3030/PB3070: 60～105g/m ² (60～90kg)
	手差し	52～256g/m ² (45～220kg)
	両面	60～105g/m ² (60～90kg)
操作部	大型フルカラーTFT(800×480ドット)高精細液晶タッチパネル	
最大消費電力	1.5kW以下	
騒音	稼働時: 64.6dB(A), 待機時: 40dB(A)以下	
寸法	587(W)×655(D)×725(H)mm ※高さは原稿ガラスまで	
質量	85kg以下	
フィニッシャー	imagioインナーフィニッシャーSR3060 最大積載枚数: 500枚 最大綴じ枚数: 50枚 3ポジションステーブル(奥, 手前, 2箇所綴じ) パンチ機能: 有り(オプション)	
機能別出力仕分け(最大)	3箇所 インナー1ピン+サイドトレイ	



Fig.1 imagio MP C2200.

3. 製品の特徴

3-1 コンパクト化

感光体モジュールにおいては、感光体の大きさを同クラスの従来機に比べ小径化（φ40→φ30）した上で、その感光体に合わせて帯電、現像、クリーニングも小型化した。中間転写モジュールにおいては、転写ベルトを屈曲させることで断面積を小さくし、二次転写モジュールにおいては、従来機では右カバーに配置されていたが、本体中間転写ベルト近傍に配置したことによって、薄型化が可能になり、更には両モジュール間の位置決め精度も向上した。定着モジュールにおいては、定着ローラ径を同クラスの従来機に比べ小径化（φ35→φ29.3）し、定着ベルトの周長を従来機比83%にした。ベルトクリーニングは、モジュールに廃トナータンクを直接持たせることによって、廃トナー搬送経路を無くした。

Table 2に、作像関連モジュールのコンパクト化率を示す。

Table 2 Comparison of sectional area and capacity.

	対従来機 容積比較	対従来機 断面積比較
感光体	-18%	-16%
中間転写	-9%	-5%
二次転写	-36%	-32%
定着	-38%	-37%
ベルトクリーニング	-10%	0%
作像全体	-21%	-19%

両面モジュールにおいて、従来機ではフレーム、カバー、用紙搬送ガイド板は各機能に合わせ樹脂もしくは板金の別部材で構成していた。そこでカバーを高強度の樹脂にし、フレーム機能を持たせ、また内面に補強リブを兼ねた用紙搬送リブにて用紙搬送ガイド機能を持たせる事でカバーによる一体化構成とした。この機能集約化により、構成を簡素化することでモジュール厚を低減した。(60mm→37mm)

また両面モジュール側面に収納される手差しトレイは、強度を保ちつつ先端にかけて薄型化することで両面モジュール内側への入り込み量を低減し、搬送経路を確保した。さらに、両面搬送経路と給紙搬送経路との合流部分にベルトアシスト機構を採用することで搬送性能を損なうことなく狭いスペースで給紙、手差し、両面の3つの用紙搬送経路の合流を可能にした。

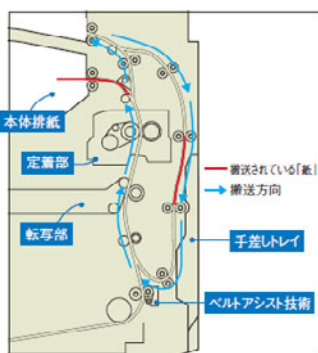


Fig.2 Paper path of imagio MP C2200.

これらのコンパクト化技術によりFig.3, Fig.4に示す通りモノクロ機 imagio MP 2550と比較すると本体では面積比6.5%減、フィニッシャー装着時では面積比33.3%減と大幅なコンパクト化を実現した。

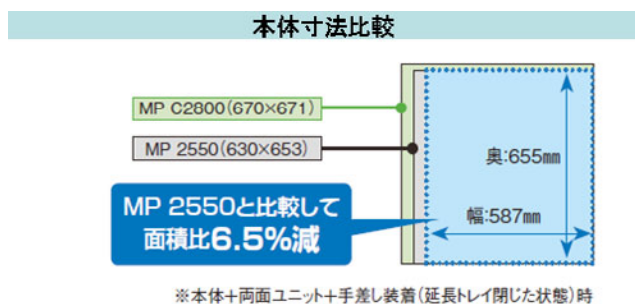


Fig.3 Comparison of machine size 1.

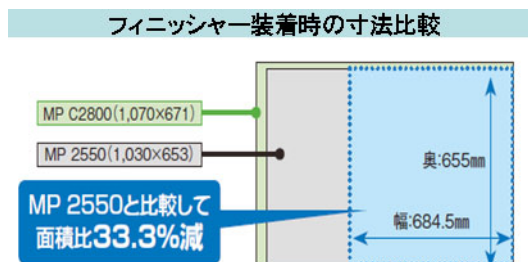


Fig.4 Comparison of machine size 2.

Fig.5にフィニッシャー装着時の幅寸法比較図を示す。



Fig.5 Comparison of machine size 3.

3-2 リコー最高レベルの紙厚対応力

厚紙などの剛性の高い用紙は、給紙トレイから垂直搬送経路に進入する際、搬送経路の急カーブを曲がりきれずスムーズな搬送が困難であった。搬送経路のカーブを緩やかにすれば回避可能だが、機械幅が大きくなってしまふ。そこで、用紙搬送ターン外郭部の従動ローラを搬送ベルトに置き換えるベルトアシスト機構を搭載することで、剛性の高い用紙でもローラ間にスムーズに引き込まれ、スペースを維持したまま給紙トレイ対応紙厚をリコー最高レベル(256g/m²紙対応)まで向上させた。(第1給紙トレイ)

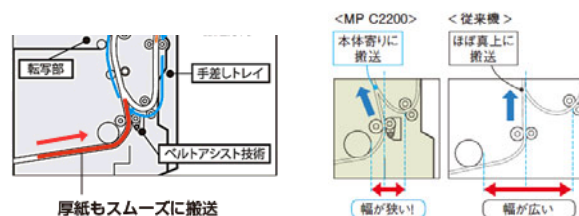


Fig.6 Belt assistance technology.

3-3 省エネ

3-3-1 省エネ構成とその貢献技術

用紙搬送部では、小サイズPM型ステッピングモータとエネルギーロスの少ないギヤ列にて用紙搬送に必要なローラだけを1本または2本ずつ個別に必要なタイミングだけ駆動する方式を開発した。さらに給紙部では imagio MP C7500等の高速機のクラッチレス給紙技術を小サイズPM型ステッピングモータ（高速機はHB型ステッピングモータ）と低トルク化が可能なフリクションパッド給紙方式を組み合わせ、低速機における新規クラッチレス給紙部を開発した。

以上の技術開発等により、モータ、ファン、クラッチ等を約20%削減し、必要最小限の電力で動作する構成とした。

3-3-2 ウォームアップタイム

各機能部品の小径化による低熱容量定着モジュールと新しい定着制御方式を採用し、新規起動シーケンスの開発やスキャナ起動タイミングとの調整により、ウォームアップタイム29秒を実現した。

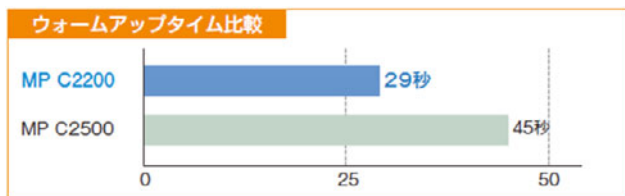


Fig.7 Comparison of warm up time.

3-3-3 画質調整時間

カラー複合機において、画像品質維持のため各種調整動作が行われる。省エネや高生産性確保のためには調整時間の短縮が必須である。

- ①調整パターン階調数低減
- ②調整動作実行頻度の低減
- ③調整動作シームレス化技術の搭載 (*1)
- ④モード別画像濃度調整動作の採用 (*2)

これらの新規技術、最適化処理を実施することで従来機と比較して、Fig.8に示すように画質調整時間を大幅に短縮した。

- *1 装置を停止することなく、印刷動作から連続して調整動作に移行可能な制御技術。
- *2 白黒モード/カラーモードそれぞれ画像濃度調整動作を設ける事で調整時の切り替え時間を短縮している。

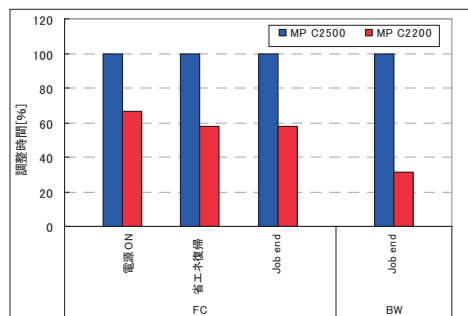


Fig.8 Comparison of adjustment time.

3-3-4 画像調整

調整動作実行頻度の最適化、調整パターンの小サイズ化、および調整パターン階調数の低減等の新規トナー補給制御を開発し、調整動作で使用されるトナー量を従来比で約92%削減した。

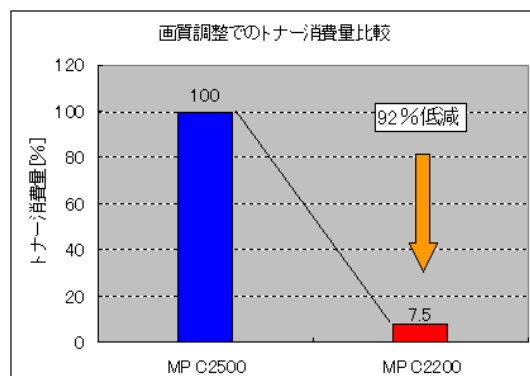


Fig.9 Comparison of consumption of toner.

3-4 画質向上

3-4-1 トナー補給制御

新規トナー補給制御は画像濃度安定化のための新規技術も搭載している。新たにモデルベース開発手法を適用し、トナー補給アルゴリズムを最適化した。従来のトナー補給制御はトナーの補給量、および補給タイミングを印刷1枚毎に1回決定していた。一方、本機では、トナー濃度センサ出力と画像情報等から、印刷中に随時、トナー補給量、補給タイミングを決定する。そのため、従来制御と比較して、トナー濃度をより高精度に制御し、画像濃度安定性を向上させた。例えば画像面積比率50%の画像を5P/Jで、計100枚印刷した場合、トナー濃度センサ出力の標準偏差を、従来比で約20%低減した。

3-6 アプライアンス性

imagic MP C3500/4500にて高い評価を頂いている給紙トレイ、ジャム操作性、大型フルカラーTFT高精細液晶タッチパネル、CUD対応はそのまま踏襲した上で、さらなる新機能を搭載した。

①手差し自動用紙サイズ検知

手差しトレイに用紙長さを検知するセンサを新規に配置し、従来機では判別できなかった同一幅で長さの異なる用紙（例えば A3サイズ横送りとA4サイズ縦送り）のサイズ検知を可能とした。

②手差し底板昇降機構による静音化

小サイズPM型ステッピングモータの正転で給紙ローラの駆動、逆転で底板部の昇降動作を可能とした構成及び制御を新規開発した。従来機は給紙ローラと底板部の昇降が同期し、一度に複数枚の印刷を行う場合でも1枚ごとに底板昇降動作音が発生する。本機では1枚目の給紙開始時に上昇、最終枚目の給紙完了後に下降する制御とし、底板動作回数を低減させ静音化した。

③3WAY排紙

サイドトレイを新規開発し、インナー1ピントレイとの組み合わせにより、コピー、プリンター、ファクス、ドキュメントボックスの機能別仕分けが可能な3WAY排紙機能を提供している。



Fig.10 Overview of output trays.

3-7 植物由来性樹脂の採用

本製品では、とうもろこし等のバイオマス資源を原料にした植物由来プラスチックをマニュアルポケットに採用している。バイオマス度（重量の69%）が高いため、ライフサイクルの中で排出されるCO₂量が大幅に削減される。また、バイオマスマーク認定（日本有機資源協会）も取得した。



Fig.11 Manual pocket.

4. 今後の展開

以上imagic MP C2200シリーズの特徴的な技術について解説した。

本機は発売と同時に米国Buyers Laboratory Inc. (BLI) 社 PICK OF THE YEAR & HIGHLY RECOMMENDEDを獲得した。（発売同時は当社初）

また発売以来、高画質、高信頼性、アプライアンス性、環境対応性に加え、特にコンパクト性に関して国内外にて好評を得ている。今後は、本機の開発において蓄積された多くの新規技術を発展させると共に、お客様の満足度を更に向上できるよう、顧客視点に立った魅力有る商品の開発を進めていきたい。

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心より感謝いたします。

A4フルカラープリンター IPSiO/Aficio GX e3300

A4 Full-Color Inkjet Technology Printer IPSiO/Aficio GX e3300

福嶋 徳太郎*
Tokutaro FUKUSHIMA

鈴木 道治**
Michiharu SUZUKI

習田 知宏**
Tomohiro SHUTA

南場 通彦***
Michihiko NAMBA

星野 好昭***
Yoshiaki HOSHINO

矢野 良多****
Ryota YANO

要 旨

リコーGELJETプリンターは2004年のIPSiO Gシリーズ発売以来、本格的ビジネスプリンターとして市場投入し、インクジェット方式でありながら高速性、両面印刷、普通紙高画質といった技術的特長によりビジネスインクジェットプリンター市場を開拓してきた。2006年には、IPSiO GXシリーズを発売し、第二世代のヘッド、インクを搭載して、ビジネスユースで求められる速乾性、普通紙高画質、高速性を進化させ、小規模多店舗オフィスや狭小空間でのシステム出力プリンターとして広く受け入れられている。新製品IPSiO GX e3300/Aficio GX e3300では、従来機での特徴のレベルアップを図ると共に、カラーユニバーサルデザインの採用やユーザーにわかりやすい機構を採用してユーザーフレンドリーな操作性を実現した。更に、低消費電力や消耗品の有効活用を可能とする多くの新技術を開発し、飛躍的な環境性能向上を実現した。

ABSTRACT

Since IPSiO G series were released in 2004, Ricoh GELJET printer has been pioneering the business inkjet printer market by the technological feature such as high speed performance, duplex print, and high image quality on plain paper. In 2006 IPSiO GX series were released, second-generation head and ink were mounted, and evolved to be more fast-dry, high image quality on plain paper, and high speed performance which is required for business use. This printer has been widely accepted as the system output printer at a lot of small office, and narrow space. New product, IPSiO GX e3300/Aficio GX e3300 levels up the feature of the former printer, adopts Color Universal Design, and achieves user friendly operability which adopts simple structure. In addition, a lot of new technology has been developed, which enables lower power consumption and effective utilization of consumables, it achieves great improvement of environmental efficiency.

* プリンタ事業本部 事業戦略センター
Business Strategy Center, Printer Business Group

** プリンタ事業本部 GJ設計センター
GELJET Designing Center, Printer Business Group

*** GJ開発本部 GC開発センター
GC Development Center, GJ Design & Development Division

**** 総合経営企画室 総合デザインセンター
Corporate Design Center, Corporate Planning Division

1. 背景と目的

GELJETプリンタは'04年2月の発売以来、リコー独自技術である高粘度高浸透性顔料インク（GELJETビスカスインク）、1.27インチヘッド（GELJETワイドヘッド）、静電吸着ベルト搬送方式（GELJET BTシステム）により、従来インクジェットプリンタが不得意としていた両面印刷であっても滲みの無い普通紙高画質と高印刷生産性を実現した。また、稼動時における低消費電力、および、カラー印刷を白黒印刷と同等コストで印刷するレベルカラー印刷画像処理技術により優れた環境性能を実現し、国内ビジネスプリンタ市場でのシェア拡大に貢献してきた。

'06年5月に第二世代のIPSiO/Aficio GX 3000 /5000を発売し、それ以降、設置面積縮小機、A3対応機、マルチファンクション対応機を国内外市場に投入し、ビジネスプリンタ市場における確固たる地位を築いてきた。

'09年5月には第三世代のGELJETプリンタとして、環境性能を飛躍的に向上させたIPSiO/Aficio GX e3300（以下、GX e3300と表記）を発売した。本編では、GX e3300におけるTCO*削減、低消費電力化といった環境性能向上技術について説明する。

2. 製品仕様

GX e3300の外観図をFig.1、製品仕様をTable 1に示す。



Fig.1 Appearance of IPSiO GX e3300.

* Total Cost of Ownership の略

Table 1 Specifications of IPSiO GX e3300.

商品名	IPSiO GX e3300	
印刷方式	GELJET™テクノロジー	
用紙搬送方式	GELJET™BTシステム	
インク(C/M/Y/Bk各色)	高発色ビスカスインク(高粘度速乾性顔料インク)	
ファーストプリント速度	2.6秒以下	
連続プリント速度	29枚/分	
解像度	最大3,600×1,200dpi相当	
用紙サイズ	A4縦送り, B5縦送り, A5横送り, A6縦送り, LT縦送り, LG縦送り, HLT横送り, 郵便はがき縦送り, 往復はがき縦送り, 長形3/4号封筒縦送り, 不定形サイズ(縦: 139.7~356mm, 横: 88~216mm)	
用紙厚	標準トレイ	60~157g/m ² (52~135kg)
	手差し	52~255g/m ² (52~220kg)
自動両面印刷	標準	
消費電力	省エネモード時	2W以下
	動作時平均	36W以下(オプション除く)
騒音	稼働時: 52.8dB(A), 待機時: 34dB(A)以下	
寸法	420(W)×485(D)×259(H)mm	
質量	14.0kg以下(マルチ手差しフィードア追加時: 16.5kg以下)	
ページ記述言語	RPCSラスター	
インターフェース	イーサネット(100BASE-TX, 10BASE-T), USB2.0	
対応OS	Windows 2000/XP/Vista, Windows Server2003/2008, Mac OS X 10.3以降	
耐久性(製品寿命)	5年または15万ページ(A4換算)	
関連規格	VCCIクラスB情報処理装置, 国際エネルギースタープログラム, エコマーク商品類型No.122「プリンタ」適合	

3. 製品の特徴

3-1 高信頼性GELJETビスカスインク

GX e3300では、前身機IPSiO/Aficio GX5000/ GX3000搭載インクの、高発色画像特性、高粘度、高浸透特性は継承し、さまざまな環境下での対応性をさらに向上させた。以下、その詳細を説明する。

GX e3300インクの水分蒸発時の粘度特性について、下記Fig.2に前身インクとの比較を示す。

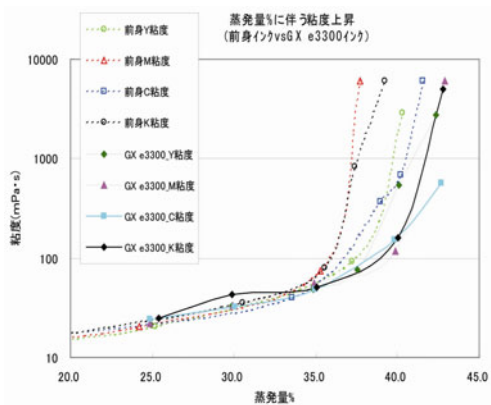


Fig.2 Viscosity Change in Evaporation Process (v.s.Loss).

上記Fig.2に示すように、従来インクに比較して、GX e3300インクは水分蒸発が35%を超えてからの急峻な蒸発特性を緩和させている。この特性の緩和により、特に、低湿環境下においてインクの流動性を確保し、本体装置内でのインク増粘などを軽減、本体耐久性の更なる向上を図っている。

次に、4色混合インクの水分蒸発時間に対する、粘度特性をFig.3に示す。

Fig.3に示すように、15時間以降（水分蒸発として約45%前後）の粘度上昇がGX e3300インクでは抑制されており、これが、機器本体内でのインク固着に対して有効な特性になっている。

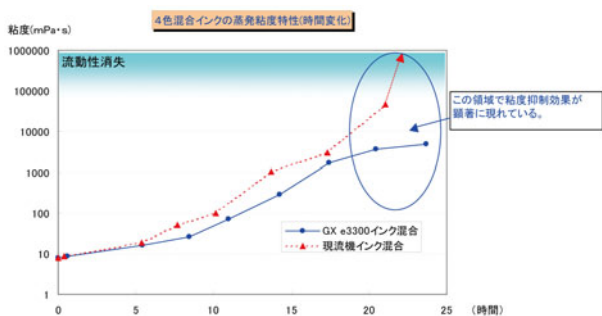


Fig.3 Viscosity Change in Evaporation Process (v.s.Time).

これらのインク特性により、従来の特性を踏襲しつつ、さまざまな環境下での対応性を向上させた。

Fig.4に吸引キャップをはずした状態で放置されたヘッド内でのインク挙動イメージ図を示す。

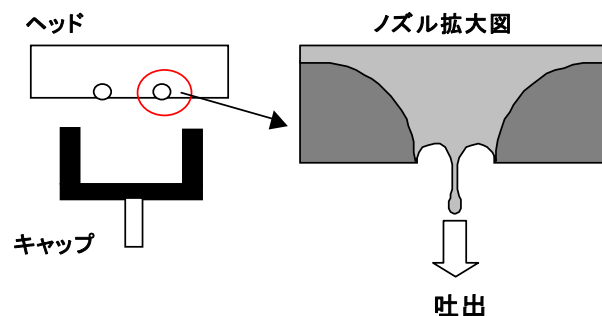


Fig.4 Improved moistening effect in machine. "Inks" are hard to dry in the print heads while "waiting".

Fig.4のように、キャップをはずしてヘッドを放置した場合、従来インクでは、メニスカス近傍のインクが水分蒸発に伴い濃縮し、凝集が徐々に進行することで、低湿環境下ではインク吐出性に影響するのに対して、GX e3300インクでは、メニスカスの水分蒸発を抑制していることで、低湿環境下におけるヘッドのインク吐出性を更に向上させている。

以上、前身機の特性を向上させ、環境対応性と画像特性を更に向上したインクを搭載することが可能となった。

3-2 双方向供給方式チューピングポンプ

IPSiO GX e3300では、インク供給ポンプとして、双方向にインク供給が可能なチューピングポンプを搭載することで、低ランニングコストを実現している。

GELJETプリンタでは、ヘッドノズル面を一定の負圧に保つことで安定したインク吐出を可能としており、ヘッドタンク内の容積を変化させることで、この負圧を保持している。しかし、一定以上の時間が経過すると、材質の透気などにより、このヘッドタンク内に空気が混入し圧力変化が発生するため、定期的に負圧を再形成する必要が生じる。

インク供給ポンプに、ヘッドタンクへの送液のみ可能なピストンポンプを採用していた従来機種では、この負圧を再形成するために、ヘッドノズル面からインクを吐出もしくは吸引し、インクを排出することが負圧を再形成する手段となっていた。

Fig.5に示すように、回転する偏心カムによってチューブを押し潰して送液するチューピングポンプに

においては、偏心カムを正逆転することによって、インクをヘッドタンクへ送液、又は、ヘッドタンクから吸引することが可能である。このため、圧力変化が発生した時には、ヘッドタンクからインクを吸引することで、インクを排出することなく負圧を再形成することが出来る。

その結果、維持メンテナンスで消費するインク量が減少し、ランニングコストの大幅低減に貢献している。

3-3 待機時省電力化

市場におけるプリンタの使用状態では大半が電源を切らずに運用されているという調査結果がある。GX e3300では、以下に記載する技術を搭載し、省エネモード時の低電力化を大幅に実現している。

消費電力削減のためにクロックゲーティング機能を搭載している。省エネモード時のプリンタは、外部からの入力（ホストIF、ユーザIF、一部のセンサ入力など）を監視しているだけであり、その他の大半のロジックは機能していない。そのため、動作不要な回路

に対してはクロック供給を遮断することで回路の動作を停止させて電力の削減を図っている。

新規開発のシステムLSIではネットワーク機能を内蔵している。従来のGELJETプリンタでは、ネットワーク機能を実現するために、プリンタ制御用とは別に、ネットワーク専用のプロセッサが搭載され制御を行っていた。GX e3300のシステムではプロセッサパワーを効率的に使用することで、プリンタ制御とネットワーク機能の制御を1つのプロセッサで制御することが可能となった。これにより、省エネモード時に複数のプロセッサが動作する必要がなくなり、電力低減に対して大きく貢献している。

コントローラボードにおいては、省エネモード時に機能しない部品に対しては電力を停止しリーク電流の発生を抑えている。また、搭載されているLEDは省エネモード中には光量を落とすことで消費電力の削減を行っている。

これらを融合することにより、GX e3300は省エネモード時2W未満の非常に低い消費電力を実現している。

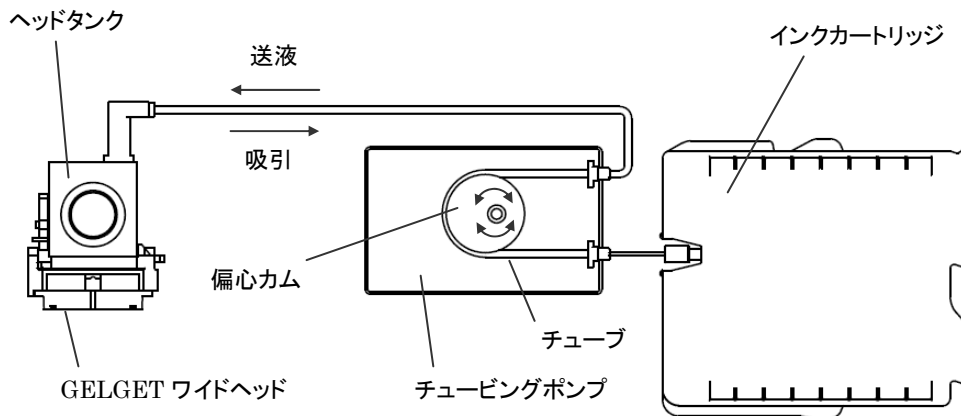


Fig.5 Ink cartridge and interactive pumping system.

3-4 新規レベルカラー画像処理

一般的にカラー印刷はモノクロ印刷よりインク使用量が多くランニングコストは高くなる。レベルカラーとはランニングコストをモノクロ印刷と同等コストにするためのカラー印刷技術である。ランニングコストはページ当たりの紙へのインク使用量から算出される。ランニングコスト節約のため、インク量を全体的に低減すると画像全体の品質が著しく劣化する。

従来のレベルカラーでは、文字に使用するインク量は減らさず、グラフィックスや写真画像に使用するインク量を減らすことで、文字はクッキリのまま、イラストやグラフなどの画像は濃度を落としていた。しかし、グラフィックスと写真に対して係数が一律に適用されるため、Web画像や写真画像などの出力は全体的に色が薄くメリハリのないものとなる場合があった。

GX e3300の新規レベルカラーでは、カラーマッチングパラメータを調整することでフルカラーにて濃く出力される色（Blue領域など）は従来レベルカラー以上に濃く、逆に明るい色（Yellow領域など）に関しては薄く出力し、よりメリハリのある画像品質とした。

また、グレーやシャドウ部の色を独自のアルゴリズムにて調整することで、従来と同等のインク使用量にてシャドウ部の色を従来レベルカラーより濃く表現し、画像のコントラストを向上させた。

Fig.6に、写真画像をフルカラー、従来のレベルカラー、新レベルカラーにて印字した結果の一部の比較を示す。

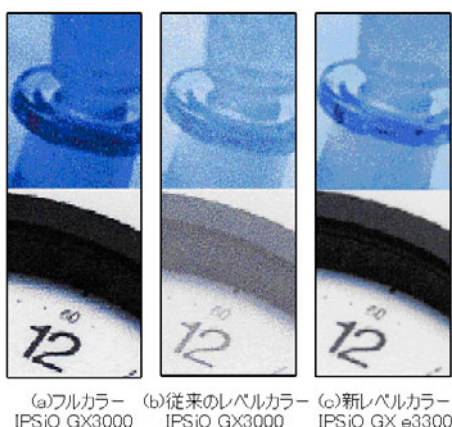


Fig.6 Quality at “New Level Color Mode” print.

以上により、新レベルカラーでは従来のレベルカラーと比較して、同等のインク使用量にて、高品質な画像の出力を実現した。

3-5 デザイン・操作性

3-5-1 操作性向上

GELJETプリンタでの使用状況調査結果を元にGX e3300では様々な操作性の向上を図った。

① 操作パネル

GELJETプリンタではラック上（小スペース）に設置されるケースが多い。GX e3300では操作パネルをチルト方式にし、ラック上に設置した状態での視認性を確保した。また、過大な操作力が加わった際の強度、耐久性を充分なものとした。



Fig.7 Operational panel with turning on LEDs.

② 給紙トレイ

前身機では、給紙トレイを引き出すことで用紙分離機構が解除する構成になっているが、給紙トレイを引き出さない状態で排紙トレイを開き（分離機構未解除状態）用紙をセットすると、連送（多数枚送り）の発生する場合があった。GX e3300では、給紙トレイを引き出すことをトリガーとし

て排紙トレイを開く構成とすることで、連送の低減を図っている。

③ 廃インクボックス

GX e3300では廃インクボックス交換をユーザが行える構成とするため、フロントオペレーションとした。また、落下等の事故による不用意なインクこぼれが発生しない構造とした。

④ カラーユニバーサルデザイン

製品の操作部位や表示などに色を用いる場合、色の組み合わせによっては、一般色覚者にとって問題がなくても色弱者には判別しにくい場合や同色に見えてしまうことがある。本製品では、多様な色覚を持つ様々な人に情報を正確に伝わるように配慮した。Fig.7に示すように操作パネルの状態表示に用いるLEDには、識別しやすい波長のもので選定し、間隔をとって配置した。レバーやつまみ等の操作部位および操作説明については、明度差の確保や文字の説明を加えるなど、色だけに頼らない表現を施した。また、ホストコンピュータ上で操作するプリンタードライバーやステータスマニター、メンテナンスユーティリティのユーザーインターフェースには、Fig.8に示すように、色でのみ表現している設定項目やビットマップに、色の文字表記を配置した。

以上の結果としてカラーユニバーサルデザイン認証を取得するとともに、わかりやすくかつ洗練されたデザインを実現した。

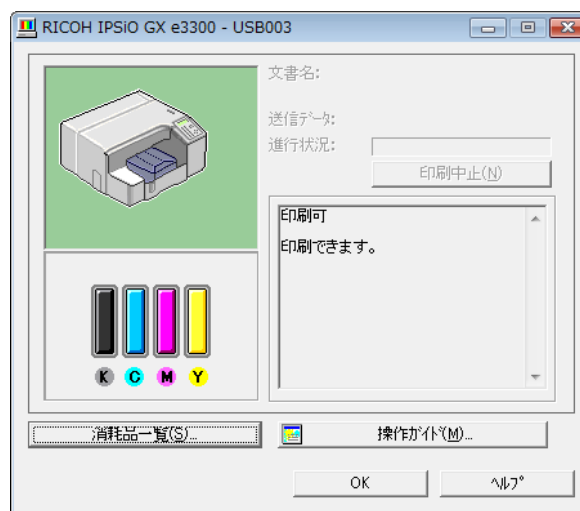


Fig.8 Printer driver window image by Color Universal Design.

4. 今後の展開

以上IPSiO/Aficio GX e3300の技術的特長を解説した。本機は、ビジネス用ローエンドカラープリンタとして発売したGX3000をベースに環境性能、使いやすい操作性を飛躍的に向上させたカラープリンタであり、より幅の広い使用条件、および、環境条件下でも低TCO・環境性能を発揮できる製品と考えている。

今後、本技術を搭載し、高速化・ワイドフォーマット化・小型化等様々なニーズに対応すべく製品展開を行っていく。

注1) Windows および Windows Server 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 Apple Inc.の米国およびその他の国における登録商標です。

A4フルカラープリンタ IPSiO SP C220/310シリーズ

A4 Full-Color Compact Technology in Color Tandem Printer IPSiO SP C220/310 series

武市 隆太*	田中 雅樹*	竹越 哲司*	河崎 明博*	花島 透*
Ryuta TAKEICHI	Masaki TANAKA	Tetsuji TAKEGOSHI	Akihiro KAWASAKI	Toru HANASHIMA
成田 敏*	松尾 一好*	竹原 淳*	岩倉 良恵*	藤原 宏*
Satoshi NARITA	Kazuyoshi MATSUO	Atsushi TAKEHARA	Yoshie IWAKURA	Hiroshi FUJIWARA

要 旨

2008年、A4フルカラープリンタIPSiO SP C220/310シリーズを新規開発し市場投入した。本マシンは中高速A4カラープリンタで世界最小の大きさを誇るだけでなく、高生産性や高信頼性などトップクラスの機能や品質を多く搭載したカラープリンタである。

主な特徴は、以下の通りである。

- 1)クラス世界最小を実現した、コンパクト構成
- 2)ユーザー操作性を配慮した、フルフロントアクセス
- 3)コンパクトレイアウト・高安定性を実現する、作像システム
- 4)コンパクトレイアウト・簡易構成を実現する、給紙/搬送技術
- 5)クラストップレベルの位置合わせ精度を実現する、駆動技術
- 6)クラストップレベルの高安定性を実現する、画像安定化技術

ABSTRACT

We developed A4 full-color printer IPSiO SP C220/310 series, and marketed it in 2008. This series machine is the color printer that not only the smallest size in the world with a middle and high speed A4 color printer but also many functions and qualities of the top level such as high productivity and high reliability.

The major features of IPSiO SP C220/310 series are as follows.

- 1)Class top-level compact platform in the world
- 2)Full-front access for more simplified operations
- 3)A new type of image processing system provides compact platform and high image stability.
- 4)Paper supplying and feeding technology provides compact and simple platform.
- 5)Driving technology provides class top-level high color image positioning.
- 6)Image stabilization technology provides class top-level image stability.

* プリンタ事業本部 LP設計センター
LP Designing Center, Printer Business Group

1. 背景と目的

カラープリンタを取り巻く環境は急速に変化している。2005年、A4中高速カラープリンタでトップクラスの信頼性、低ランニングコストを確保した当社タンドム方式のIPSiO SP C400シリーズの発売後、市場では急激な低価格化、またニーズの多様化に伴い省スペースのための小型化が加速していた。

ローエンドカラープリンタ市場シェア確保に対して遅れを取っていたことから、タンドム方式のメリットである高速カラー印刷を備えつつ、世界最小の大きさ、低価格化を目指す開発が急務であった。2008年、A4フルカラープリンタIPSiO SP C220シリーズを開発し市場投入した。発売当時、このマシンは中高速カラープリンタで世界最小を誇ったばかりではなく、現時点においても高生産性など業界トップの機能や品質を多く搭載したカラープリンタである。

本稿では、2009年後継機としてさらに高速化、低ランニングコストを実現したIPSiO SP C310に搭載された技術も合わせて紹介する。

2. 製品の概要

2-1 製品仕様

Table 1 Specification of SP C220/310 series.

商品名	IPSiO SP C220		IPSiO SP C310	
方式	半導体レーザー		+ 静式1成分電子写真方式	
連続プリント速度	フルカラー	16枚/分 (A4縦送り)	25枚/分 (A4縦送り)	25枚/分 (A4縦送り)
	モノクロ	16枚/分 (A4縦送り)	25枚/分 (A4縦送り)	25枚/分 (A4縦送り)
ファーストプリント	フルカラー	14秒以下	13.5秒以下	13.5秒以下
	モノクロ	14秒以下	13.5秒以下	13.5秒以下
解像度	9,600dpi相当×600dpi/2,400dpi相当×600dpi/800dpi×600dpi			
解像度	256階調			
変換率	25%~400%			
用紙サイズ	標準	給紙トレイ/手差しトレイ: A4縦送り, B5縦送り, A5縦送り, B6縦送り A6縦送り, LT縦送り, LG縦送り 郵便はがき縦送り, 往復はがき縦送り (幅: 90~216mm, 長さ: 148~356mm)	給紙トレイ: A4縦送り, B5縦送り, A5縦送り, LT縦送り, LG縦送り 不定形サイズ (幅: 90~216mm, 長さ: 148~356mm)	手差しトレイ: A4縦送り, B5縦送り, A5縦送り, LT縦送り, LG縦送り 不定形サイズ (幅: 90~216mm, 長さ: 148~356mm)
		オプション	増設トレイ: A4縦送り, LT縦送り	
用紙厚	標準	給紙トレイ/手差しトレイ: 60~160g/m ²	60~105g/m ² (52~90kg)	手差しトレイ: 60~200g/m ² (52~172kg)
		オプション	増設トレイ: 60~105g/m ² (52~90kg)	
給紙量	標準	給紙トレイ: 250枚 (郵便はがき約50枚) 手差しトレイ: 枚	給紙トレイ: 500枚	手差しトレイ: 100枚
		オプション	増設トレイ: 500枚	
排紙量	150枚 (フェイスワウのみ)			
両面印刷	標準			
電源	AC100V 50/60Hz			
消費電力	最大: 1,300W以下		最大: 1,300W以下	
	予熱モード時: 100W以下 省エネモード時: 15W以下		予熱モード時: 60W以下 省エネモード時: 10W以下	
ウォームアップタイム	電源投入時/省エネモード時: 51秒以下		電源投入時/省エネモード時: 30秒以下	
	予熱モード時: 10秒以下 (常備23℃・定格電圧時)		予熱モード時: 10秒以下 (常備23℃・定格電圧時)	
本体寸法	標準	400(W)×480(D)×320(H)mm	400(W)×480(D)×357(H)mm	400(W)×480(D)×512(H)mm
	オプション	500枚増設トレイ追加時		
本体質量	約23kg (消耗品含む)			
推奨使用環境	温度: 10~32℃, 湿度: 15~80% (非結露) 温度: 10~32℃, 湿度: 15~80% (非結露)			

2-2 商品コンセプト

近年、オフィス環境は多様化しており、お客様ごとに使われ方、置かれる場所も様々である。すぐに手が届くデスクサイドに置き効率良く使いたい、みんなが使いやすい共有スペースや棚に置きたいなど、それらニーズに対応させる狙いで、コンパクトで使いやすいプリンタの開発に着手した。

2-2-1 コンパクトレイアウト

IPSiO SP C220/310シリーズのマシンは、Fig.1に示すような構成となっている。下段より給紙ユニット、中間転写ユニット、作像ユニット、定着ユニット、排紙ローラである。

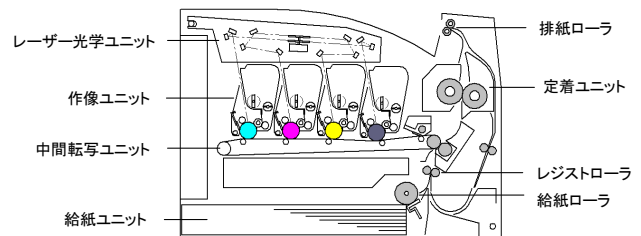


Fig.1 Overview of IPSiO SP C220/310series.

プリンタの設置面積は、用紙最大サイズより小さくならないため、如何に高さを抑えて各ユニットを配置するかがコンパクト化のポイントと考え、デッドスペースが生じやすい作像ユニットの斜め配置や転写ユニット後に定着ユニットを配置する縦型配置を避け、横型配置を選択している。

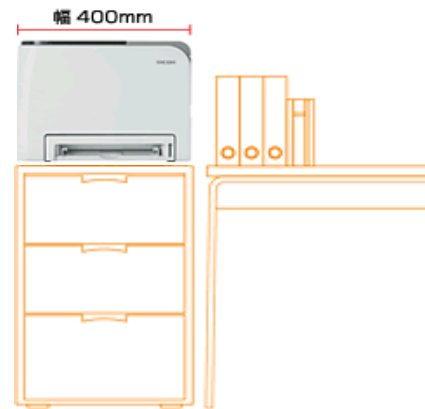


Fig.2 Layout sample.

また我々は、マシンがサイドデスクに設置されることを想定し、市販されているサイドデスクの大きさを調査した結果、最も数多く企画されているものが幅400mmであったことからマシン幅仕様を400mmとし、Fig.2に示すように、無駄なスペースが生じないレイアウトを実現させた。

2-2-2 フルフロントアクセス

本マシンでは、中間転写方式を採用することで、装置片側に通紙部を集約している。また作像ユニットを中間転写ユニットの上部に配置している (Fig.1)。この構成を実現させることにより、お客様は用紙アクセスとメンテナンスアクセスをマシン前面のみで行うことができ、わかり易い、そして簡便な操作性を実現している。

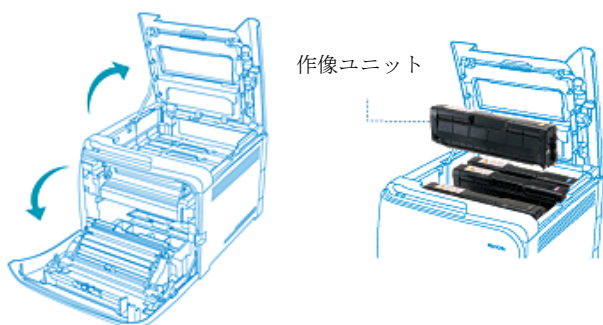


Fig.3 Users access.

コンパクト化を達成するためには、給紙ユニットの高さは用紙積載量で決定されることから、ポイントはレーザー光学ユニット、作像ユニット、転写ユニット、定着ユニットを如何に小さくできるかである。これらについては、次項で紹介する。

3. 技術の特徴

3-1 小型化・低コスト化

3-1-1 縦型1成分現像ベース作像システム

作像ユニットは、商品コンセプトである『お客様が使いやすい』という観点から、フルフロントアクセスに対応し且つ交換点数を最小限とすることを設計指針とし、現像部と感光体周辺部を一体ユニットとすることで対応している。



Fig.4 Imaging unit.

全体構成概略図をFig.5に示すが、イニシャルコストが安く、比較的簡易構成が可能な1成分現像方式を選択し、さらに縦型構成、機能部材の最小化と感光体クリーナー及び廃トナー処理機構を一体化することで、小型化、低コスト化を達成している。

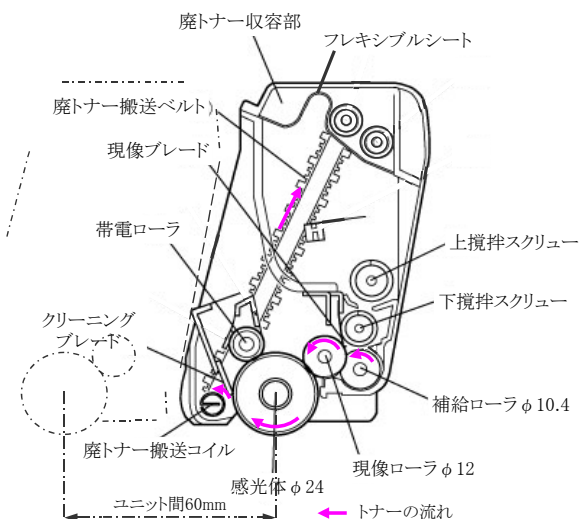


Fig.5 Overview of imaging unit.

従来、感光体からの廃トナーは、マシン内に別のボックスを設け、作像ユニットから搬送するのが一般的である。

本マシンではFig.5断面図からわかるように、ユニット側方からトナーを収納している上部へ搬送する構成をとっている。この構成とすることで、マシン側での搬送機構を廃止することができ、マシン幅方向の大きさを抑えることができています。廃トナーを上部へ搬送すると一般的に高さ方向に影響を及ぼすが、Fig.5断面図で示すように、トナーホッパー部と廃トナー収納部の仕切りをフレキシブルなシートにすることにより、容積の共有化を図り、高さへの影響を抑えている。

機能部材の小型化に関しては、Fig.5に示すように感光体Φ24、現像ローラΦ12、供給ローラはΦ10を採用している。本作像部では1成分接触現像方式を採用しているが、これら部材を使いこなす上で感光体と現像ローラの接触安定性を確保するために、バンディングを考慮した各部材の配置、現像ブレード圧力と現像押圧力とのバランスを突き詰め達成している。

次に縦型1成分現像構成について紹介する。縦型の場合、重力によりトナーが下部でパッキング（詰まり）する恐れがある。現像ローラや供給ローラ周辺部のトナーは絶えず流動化された状態が望ましく、Fig.6に示すように①供給ローラと現像ケースの隙間②供給ローラ下部へのトナー溜り抑制③供給ローラ上部のトナー

搬送④下搬送スクリーンと現像ブレード間デッドトナーの抑制を適正化することにより、トナーは絶えず流動化している状態を実現している。

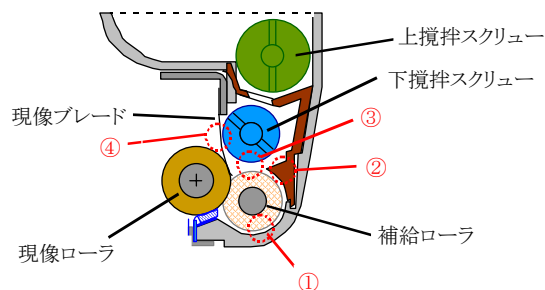


Fig.6 Overview of developing unit.

また軸方向のトナーの流れについては、上攪拌スクリーンと下攪拌スクリーンとトナー供給の開口部の適正化で、循環性を確保している。以上の現像構成を採用し、お客様に良好な画像品質を提供することを実現している。

3-1-2 薄型2軸転写システム

転写システムとしては、本体小型化を狙うために前述のように紙搬送を片側に寄せ、中間転写方式を採用している。さらには用紙対応力、色ずれ精度を確保する上でも本方式採用に至っている。

中間転写ベルトユニットをFig.7に示すが、2軸張架の薄型構成、1次転写ローラを金属シャフト、2次転写ローラを接離レスの構成とすることによって、省スペース化、低コスト化を実現している。

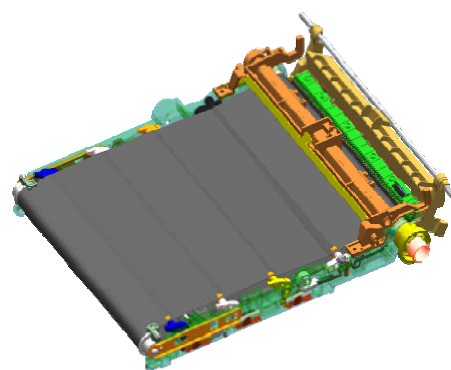


Fig.7 Intermediate transfer unit.

中間転写ユニットの構成断面図をFig.8に示す。転写ベルトは駆動ローラと従動ローラによって張架され、1次転写ローラは感光体に対して転写ベルトを介してオフセット配置されている。1次転写ローラを転写ベルトに介して直接当接させる方式では、長手方向に対して圧を均一にまた軽微な圧力で設定する必要があり、部材や組付の高精度化が必要になりコスト高になるため本配置を採用している。転写ベルトは安価な材料系を採用しており、端部はシールで補強されているのみで、テンションローラに取りつけられた寄り止めガイド部材によってベルトが片側に寄り、端部割れを抑制している。このように薄型コンパクト且つ安価な構成で90kp以上の寿命を確保している。

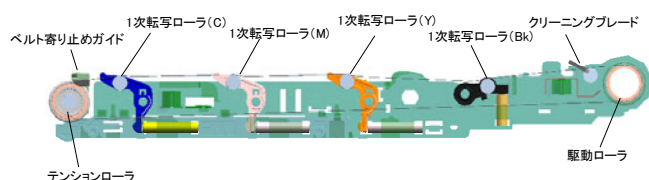


Fig.8 Overview of intermediate transfer unit.

3-1-3 薄型レーザー光学システム

本体小型化とフロントアクセスを両立させるために、レーザー光学ユニットは上部カバーに設置している。作像ユニット脱着時には、開閉カバーとともに光学ユニットが退避する構成とした。

上記構成の技術課題は、上部カバー開閉操作時の光学ユニットと作像ユニットの相対位置ずれ、光学ユニットへの衝撃による光軸ずれにより発生する色合わせばらつきである。その対応として、光学ユニットを上部カバーに浮動保持する構成とし、上部カバーを閉じると同時に、主走査、副走査方向に光学ユニットがバネで押圧され、高精度に位置決めされる構成としている。また耐衝撃については、上部カバーヒンジ部のブレーキ力と開閉操作力のバランスをとり、その条件での衝撃に耐えられるようにユニットの耐衝撃性を高めている。

光学ユニット自体の小型化については、レンズ及びミラーの小型化、光路折り返しの薄型レイアウト、レンズ接着締結による調整機構廃止により実現している。

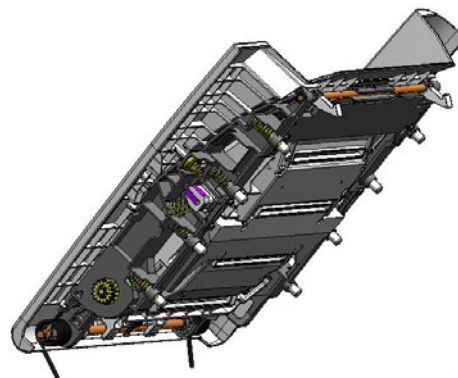


Fig.9 Laser unit.

3-1-4 給紙・搬送

給紙・搬送構成としては、Fig.1マシン全体構成図に示すように、給紙ローラ・レジストローラ間、2次転写ローラ・定着ローラ間、及び定着ローラ・排紙ローラ間に中間搬送ローラを配置しないコンパクト且つ低コスト化を考えた構成としている。また、給紙からレジストローラ、定着、排紙までを1つのモータで駆動することにより、低コスト化を図っている。

給紙・分離方式としては、安価で簡易な構成として、フリクションパッド方式を採用している。給紙ローラ径を $\Phi 32$ 、分離パッド材質はゴムコルクとした。紙のこしが強い厚紙に対しては、分離パッドへの用紙進入角を適正化するとともに、パッド台形状を工夫して給紙ローラの用紙搬送力を確保することで、給紙・レジストローラ間の中間ローラ廃止を実現している。

レジストローラ径は、駆動・従動ローラともに $\Phi 12$ と小径化し、本ローラ対は一体としてフロントカバー側へ配置することにより、フロントアクセスとしてのジャム処理性を確保している。

排紙反転機構の特徴として、SP C310シリーズではソレノイド駆動による分岐爪での搬送経路切換えと連動する排紙反転駆動ギア列切換え機構の採用で排紙反

転ローラを正逆回転させ、両面機においても1つのモータで給紙・搬送系全体の駆動を実現している。

しかし、1つのモータで給紙搬送系全体を駆動すると、2次転写搬送速度に対する給紙・レジスト系、定着・排紙系の各用紙搬送速度をそれぞれ独立に設定することができない。その対応として、画像濃度変化、ショックジター、ピッチジター、倍率誤差、及び用紙シワに対する性能を把握し、全体最適可能な上記各系での用紙速度を設定し、安定した品質を実現している。

3-2 高画質安定性

3-2-1 駆動技術

本マシンでは低コスト駆動構成を達成するため、駆動源を3つのDCブラシレスモータで対応している。Fig.10に示すように、YMC3色の作像プロセスユニットをモータ1で、Bk作像プロセスユニットと中間転写ユニットをモータ2で、給紙から排紙までの用紙搬送を司るユニットをモータ3で駆動している。これにより、使用モータ数を最小化すると共に、Bk印刷時にはモータ2および3のみを駆動させるため、電力消費および可動音の低減を図っている。

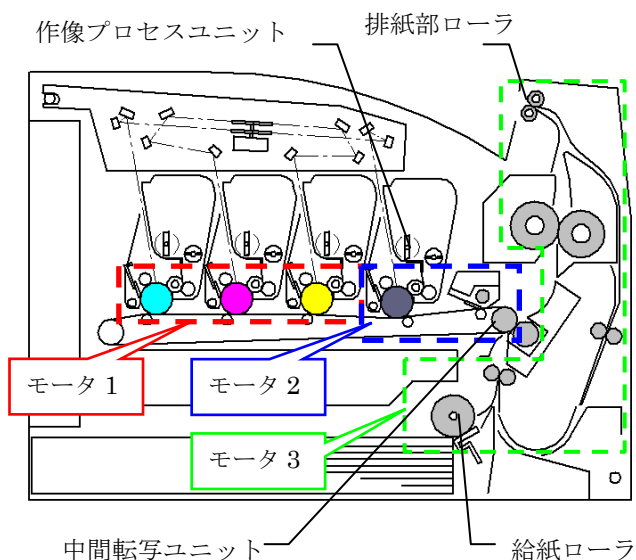


Fig.10 Overview of driving system.

また作像プロセスユニット内駆動については、ユニット内部で感光体駆動と現像駆動を直接連結する構成とし、現像ローラへの駆動連結にはクラッチを介さず感光体と常に同期回転させることにより、駆動構成の簡素化を達成すると共に、現像ローラの間欠駆動による負荷変動を排除している。更に、Fig.11に示すようにユニット内部の感光体から供給ローラまで連結している4つのギア精度を抑え込むことにより、ショックジター、ピッチジターを低減している。

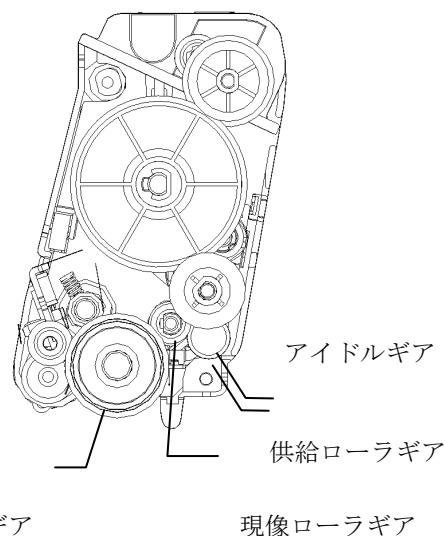


Fig.11 Overview of imaging unit driving.

3-2-2 カラーレジストレーション技術

カラーレジストレーション精度は高品位なカラー画質を得るためには重要な性能である。本マシンでのカラーレジストレーション技術における特徴を以下に紹介する。

1) 各色感光体回転位相差による色ずれ

一般的には感光体の回転角速度ムラにより、各色の感光体回転に位相差があると、その回転周期に同期した周期的色ずれが発生する。そのため感光体への駆動連結は、カップリング連結としたり、各色感光体の回転位相を調整あるいは制御的に合わせる手法が用いられる。本マシンにおいては、低コスト構造を達成するため直接ギア連結、および回転位相の調整をせず、製

品仕様が満足できるよう部品精度，組付け精度で品質を確保している。

2) 感光体平行度ずれによる色ずれ

各感光体の軸方向平行度誤差により，走査レーザー光と感光体との相対的な平行度誤差が発生し，傾き色ずれが発生する。本マシンは，Fig.12に示すように本体左右側板と作像プロセスユニットを左右同一部品であるプレートを通じて位置決めし，各感光体平行度精度を確保する構成としている。

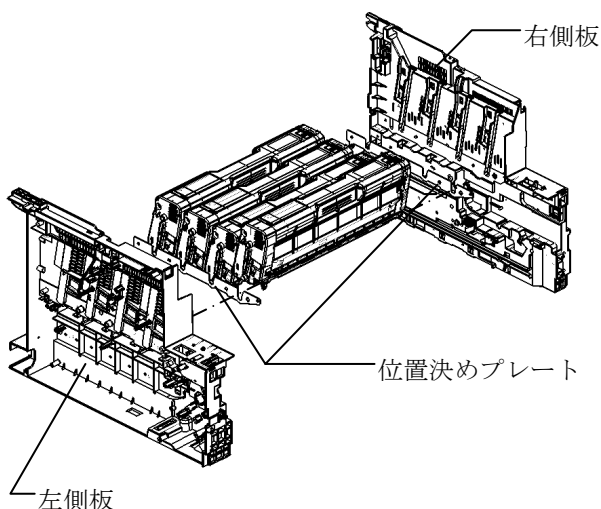


Fig.12 Imaging unit position to platform.

3) レジストレーション制御検出誤差による色ずれ

本マシンでは安価な光学センサを採用しているため，センサに視向性バラツキがあり，特にレーザー主走査方向の色ずれが生じやすい。主走査方向ずれを検出するパターンは，傾斜パターンが多く採用されているが，本マシンではその傾斜パターンの傾き方向を相反する2方向に配置し，センサの視向性バラツキをキャンセルしている。

レーザー副走査方向の色ずれ補正は，検出パターンを多数作成し，極所的な位置ずれを検出しないように工夫している。

3-2-3 画像安定化技術

昨今のカラー機は，画質維持のために濃度補正・色ずれ補正といった安定化制御を実行するが，お客さま

にとってはマシンが使用できないダウンタイムである。よって市場からは調整時間の短縮，もしくは実行頻度の極小化が要求されている。

本マシンでは，調整時間を極力かけない制御構成とするため，階調検出による階調補正を廃止している。具体的にはFig.13に示すように，帯電電位制御，Solid部付着量制御，ハーフトーン部付着量制御の3制御で画像安定性を確保している。

Solid部付着量制御は，光学センサにより中間転写ベルト上のSolid部のトナー量を検出し，現像バイアス設定へフィードバックする事で，安定したSolid濃度を実現している。またハーフトーン部付着量制御では，同様に中間転写ベルト上のハーフトーントナー量を検出し，レーザー光量設定へフィードバックする事で，中間濃度安定性を確保している。

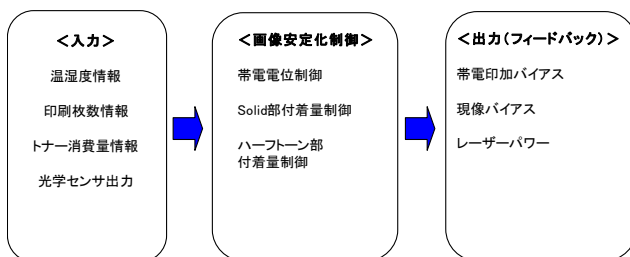


Fig.13 image stabilization system.

本マシンでは，従来電源ONの度に実行していた画像安定化制御動作を削除するなど，画像安定化制御の動作頻度の極小化を図るとともに，生産性と安定画質維持の両立を実現している。

4. 今後の展開

本稿において，A4カラープリンタ開発について著述した。様々な新規技術開発をもって上市を達成したことにより，リコーのローエンドカラープリンタ開発は新しい段階へと移行した。

今後は，IPSiO SP C220/310シリーズ開発にて培った先進技術をベースとし，持てる機能を正常進化させると共に新たな技術導入により，更に多くのお客様に満足いただける製品の提供を目指していく。

また小型化，生産性向上は勿論のこと，リコーが掲げる環境経営の一環として，普及層に対する環境技術開発を積極的に進め，広く社会にて活用される商品群を提供し続けていく。

多機能A0紙折り機 imagio フォルダー FD6500B

Multifunctional A0 Wide Format Folder imagio FD6500B

関根 範明*
Noriaki SEKINE

丸山 雄一*
Yuichi MARUYAMA

原田 進*
Susumu HARADA

飛嶋 寿明*
Toshiaki TOBISHIMA

大友 智*
Satoshi OTOMO

木村 雅文*
Masafumi KIMURA

栗田 亘*
Wataru KURITA

要 旨

広幅分野において、お客様の図面出力後の紙折り作業を自動化する目的とし、低コストを達成したA0紙折り機 imagio フォルダー FD6500Bは、次の特徴を有している。

- 1) A0～A3サイズ対応高精度クロス折り技術.
- 2) A0～A2サイズ対応耳折り技術.
- 3) A0～A3サイズ対応パンチ技術.
- 4) 省スペースと高アプライアンスの実現.

ABSTRACT

“imagio Folder FD6500B”, the A0 Wide Format Folder that is designed to automate work in a paper occasion after the drawing output of customers with its cost effectiveness, has following features;

- 1) A0～A3 Fomat correspondence high precision paper fold technology
- 2) A0～A2 Fomat correspondence paper end section fold technology
- 3) A0～A3 Fomat correspondence punch technology
- 4) High appliance and compact design



* リコーユニテクノ株式会社 開発事業部

Product Development Operation Division, Ricoh Unitechno Co.LTD.

1. 背景と目的

従来、折り機はハイエンドモデルA0デジタル複合機の後処理機として搭載されていたが、近年、CADアプリケーションの普及やネットワーク環境の拡大により、図面出力がコピーセンター等の集中出力から、各部署での分散出力の頻度が高くなり、普及層モデルに対応した低価格折り機が要求されている。

2008年8月に発売されたimagio MP W7140/W5100シリーズは、A0判やA1判で出力した図面をA4サイズに自動的に折りたたむimagio フォルダー FD6500Bをオプションで用意したことで、製造業でよく行われる出力後の図面折り、パンチ、スタンプまでの作業が自動化され、お客様の業務効率を向上することができた。

本稿においては、低価格および多機能化を達成する為の開発課題となった大判サイズまで対応した折り技術、パンチ技術について解説する。

又、省スペース化と操作性向上についても解説する。

2. 製品の概要

imagio フォルダー FD6500Bの概略図をFig.1にまた主な仕様をTable 1に示す。

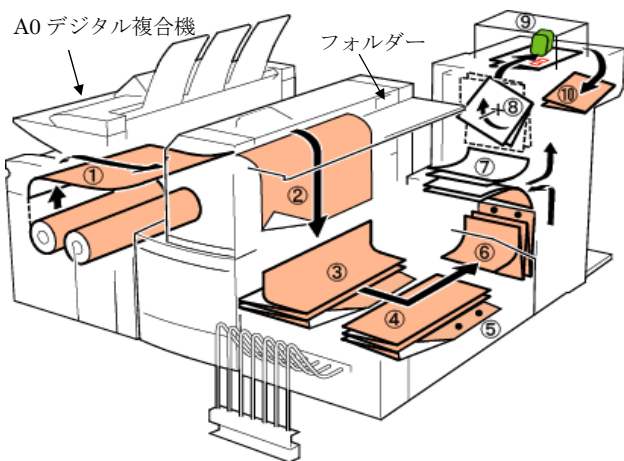


Fig.1 Paper pass of imagio folder FD6500B.

- ①imagio MP W7140/W5100本体から用紙が搬送される。
- ②ジャバラ折り機内部に用紙が搬送され、耳折りを行う。
- ③ジャバラ折りをを行う。
- ④搬送切換部でジョギングにより用紙の姿勢を補正し、搬送方向を90° 変え搬送する。
- ⑤一端停止し、パンチを行い、再搬送する。
- ⑥クロス折りをを行う。
- ⑦用紙の表裏を揃えるため、場合により反転させる。
- ⑧用紙の前後を揃えるため、場合により回転させる。
- ⑨一端停止し、赤スタンプを押し、再搬送する。
- ⑩折った用紙をトレイに排紙し、スタックする。

Table 1 Specification of imagio folder FD6500B.

機能/性能	FD500 (前身機)	FD6500B
接続機種 (MFP本体)	imagio Wide 8100	imagio MP W7140/W5100
長尺折り 種類	140mm/170mm/ 174mm/210mm/ 297mm	140mm/170mm/ 210mm/ ジャバラファイル 折り
定形折り 種類	基本折り, 袋折り, ファイル折り, クロス折り	基本折り, 袋折り, ファイル折り, 特殊折り*1
耳折り	無し	A0T, A1T, A2TY 対応
パンチ	無し	A0T, A1T, A2TY, A3TY, A4TY対応
赤スタンプ	標準	オプション
手差し	標準	標準
サイズ混載	A0T, A1TY, A2TY, A3TY 対応	A0T, A1TY, A2TY, A3TY, A4TY 対応
プログラム登録	各サイズ3種類	各サイズ4種類
環境対応率	非対応	100%対応

*1 クロス折りは特殊折りの一部を含む

3. 技術の特徴

3-1 A0～A3サイズ対応高精度クロス折り技術

3-1-1 紙折り部メカ機構

紙折り部は、上下ナイフ、搬送ローラ、上下折りローラにより構成されている。用紙先端はナイフにより折りローラへ案内され、一定量搬送後に折りローラが逆転し、対向側ナイフが用紙を折るように対向側折りローラへ送ることにより折りが生成される。引き続き、折りローラの正逆転、ナイフ動作により以降の折りを生成する。また、各部の駆動は位置精度を重視しステッピングモータを使用している。

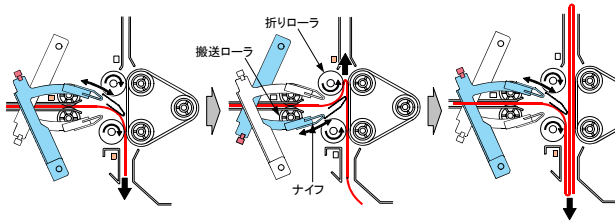


Fig.2 Movement to fold paper.

3-1-2 1面目高精度紙折り技術

環境変動や用紙サイズ、種類などにより、搬送ローラ～折りローラ間での用紙挙動によるタルミが発生し1面目長さに影響する。更にクロス折りの場合はジャバラ折りの折り面数、折り種類の影響も受ける。この影響を受けないよう折りローラの逆転タイミングを制御する。具体的には用紙先端がS0～S1（またはS2）を通過する時間を測定し、折りローラ逆転タイミングに反映させることで実現している。

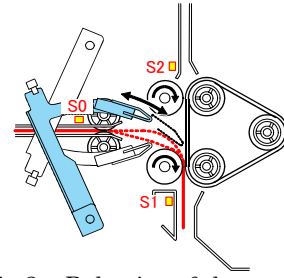


Fig.3 Behavior of the paper.

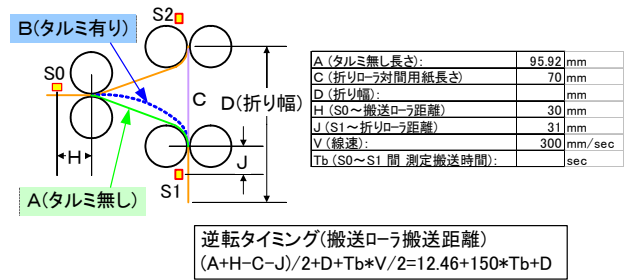


Fig.4 The timing of the reversal 1.

3-1-3 2面目以降高精度紙折り技術

2面以降の折りは各面の長さが規格内であっても、各面の誤差が積み重なり仕上がりサイズが拡大する場合がある。このサイズ拡大を防止する為、折り実施中のサイズを読み取り、折りローラ駆動を制御する。具体的には、各面の長さを基準とせず、折り実施中S1、S2により外形凸部を検出し、検出結果を基準に折りローラ駆動を制御することで実現している。

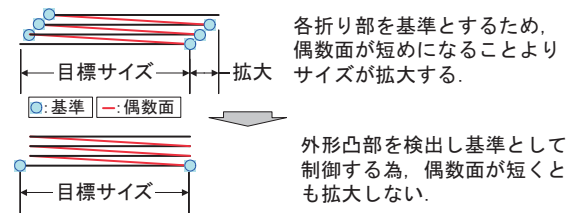


Fig.5 A difference by the datum point.

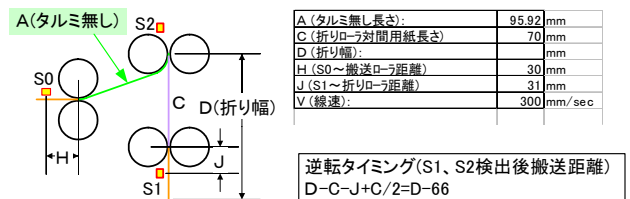


Fig.6 The timing of the reversal 2.

3-2 A0～A2サイズ対応耳折り技術

3-2-1 耳折り機構

用紙搬送方向に対して斜めに配置された樹脂ローラ対と用紙押し込み金属ブレードからなるプレ折り部と、用紙搬送方向に対して垂直に配置された金属ローラとゴムローラ対の本折り部にて構成されている。

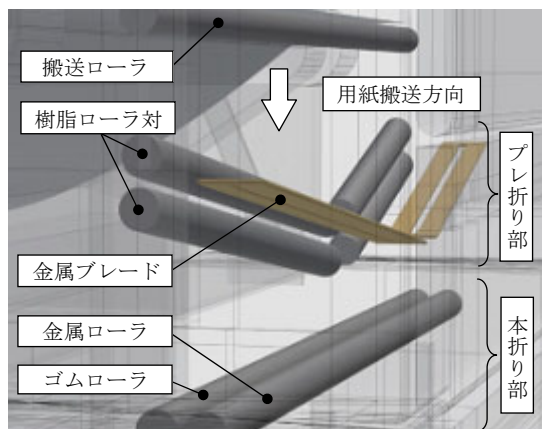


Fig.7 Paper end section fold mechanism.

用紙がプレ折り部まで搬送されるとプレ折り部手前の搬送ローラが停止してタルミを形成し、一定時間経過後に用紙を金属ブレードにて樹脂ローラ対へ押し込む。樹脂ローラ対は常に用紙を吐き出す方向に回転しているが、ブレードが押し込まれた時のみ逆転する構造になっており、ブレードが抜けると再び用紙を吐き出す方向に回転して、ブレードにより押し込まれた用紙を吐き出す。これにより、耳折り部分の折り目線が形成される。

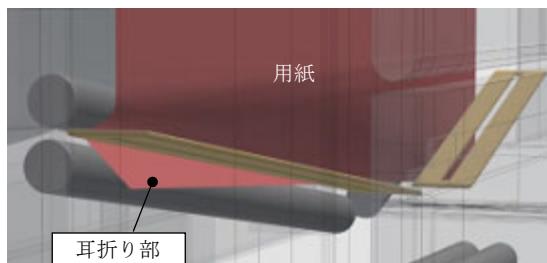


Fig.8 First fold mechanism.

その後、停止していた搬送ローラの回転再開により耳折り部分を含む用紙先端部分は搬送され、金属ローラとゴムローラ対に挿入されて本折りされ、折り目がしっかりと付けられる。

ラとゴムローラ対に挿入されて本折りされ、折り目がしっかりと付けられる。

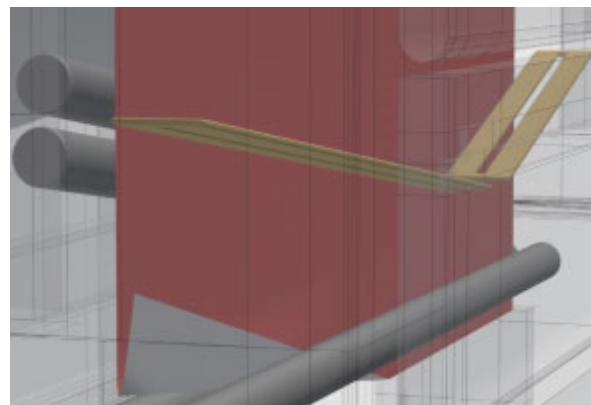


Fig.9 Second fold mechanism.

3-2-2 A0～A2サイズ対応

縦搬送 (A0, A1, A2) と横搬送 (A2) の全てにおいて耳折りを行うためにプレ折り部の樹脂ローラ対と金属ブレードを用紙搬送方向に対して「ハの字」に2箇所所配置し、搬送ローラの停止タイミングを制御し、プレ折りによる耳折り部の大きさを変えることで、一つの装置で各サイズでの耳折りを可能にし、且つ、耳折りサイズの調整も可能にしている。

また、プレ折り部手前の搬送ローラのみを停止させてタルミを形成させることにより、真っ直ぐ送りながら斜めに折り目を付ける事ができ、生産性を低下させることなくA0～A2サイズ対応を可能にしている。

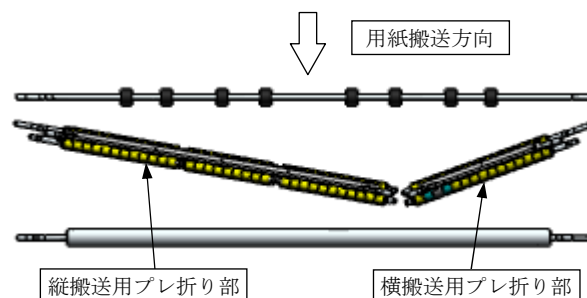


Fig.10 Layout of Paper end section fold.

3-3 A0～A4対応パンチユニット

3-3-1 縦搬送用パンチユニット

ジャバラ折り機から搬送切替部に用紙が搬送すると、ジョガーフェンスが移動し用紙の姿勢を補正する。

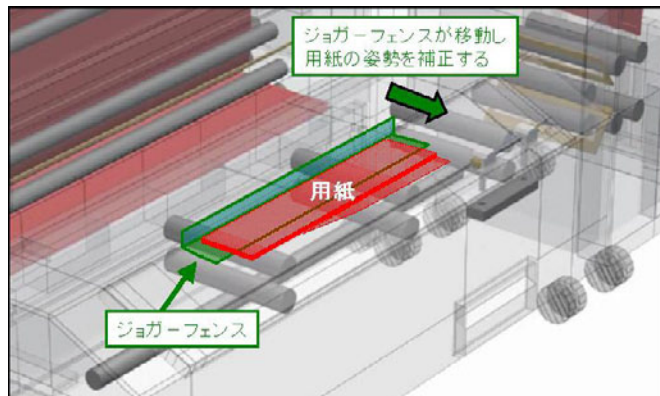


Fig.11 Position revision mechanism.

姿勢補正の後、用紙の搬送方向を変更し、用紙をパンチユニット穿孔位置まで搬送する。そして、待機していたパンチユニットが用紙位置まで移動し穿孔する。縦搬送用パンチユニットは、コの字形状にすることでユニットを小型化し、移動装置側のコストダウンも可能になった。

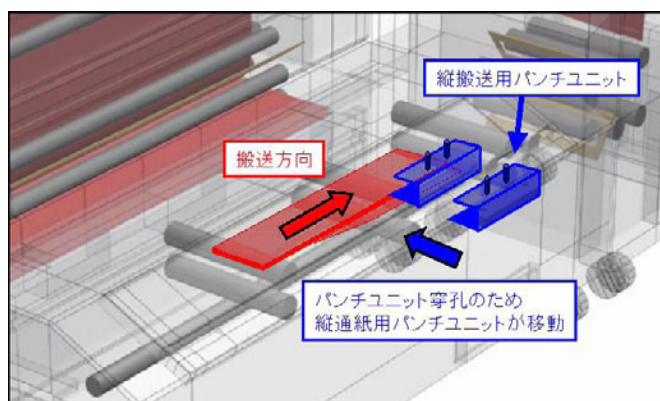


Fig.12 Length punch mechanism.

3-3-2 横搬送用パンチユニット

横搬送用パンチユニットは、パンチユニット穿孔用の専用経路内に設けられている。ジョガーフェンスで

の姿勢補正の後、用紙の搬送方向を変更し、用紙を専用経路内に搬送し、一旦停止し穿孔する。穿孔後、用紙をスイッチバックさせクロス折り部に搬送する。横搬送用パンチユニットは、A3機フィニッシャー用のユニットを流用しており大幅なコストダウンを実現している。

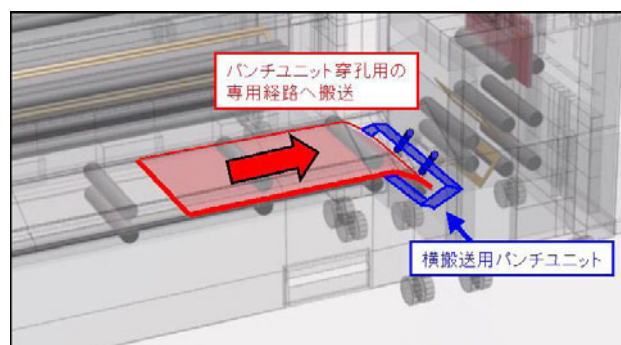


Fig.13 Wide punch mechanism.

3-4 省スペースと高アプライアンスの実現

3-4-1 手差し/ストレート排紙

手差しテーブルを搬送切替部上部に設けることによりデッドスペースの有効活用を行った。さらに折り無しストレート排紙についても、手差しテーブルの下側空間に用紙スタッカーを設けることにより省スペース化を実現している。

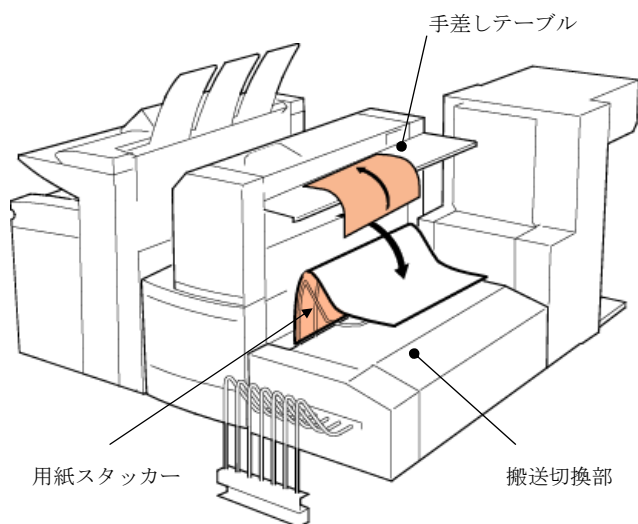


Fig.14 Manual Feeder & Tray for Straight-Through Output.

3-4-2 定形折り用紙スタック

定形サイズに折った用紙は正面左側のシフトトレイに排出される。A1基本折りで50部までスタックが可能で、トレイが満杯になると本体操作部に通知される。用紙の取り出しはA3機フィニッシャー同様、操作部側からのアクセス可能なレイアウトとなっており高アプライアンスを実現できている。



Fig.15 Imagio MP W7140 & FD6500B.

4. 今後の展開

以上、imagio フォルダー FD6500Bの特徴的な技術について解説した。

本機は、2008年8月の発売以来、製造業を中心とした新たな顧客開拓に貢献し、品質、機能面においても高い評価を頂いている。

今後は、お客様特有の折り方要望に合った折りを提供し、より一層、満足頂ける商品の開発に努めたい。

編集後記

金融市場の混乱から一年が経ち、中国、インド、ブラジルに明るさが見えつつも、財政出動によりなんとか世界経済が立ち直っていることを考えると、まだまだ予断が許される状況にはないようです。

国内においても政権が民主党に移り、新たな動きが見られます。政策においても、積み上げ方式による目標設定から、目標設定後に達成手段を作り上げる方式に変わるようです。環境に於いても既に厳しい目標設定がされていますが、難課題を設定して先行開発していくことこそ我が国が生き残っていくべき道ではないかと思えます。

ただし、世界はもとより、日本も大きな転換点にさしかかってきていることは確かです。エネルギー、資源、生産、流通等の産業構造だけでなく、高齢化、少子化、福祉、教育等の社会構造においても問題が山積みであり、まさに小宮山前東大総長が言われている「課題先進国」です。戦後一貫して経済成長の恩恵を受けてきましたが、そこから生まれた大量生産・大量消費、使い捨ての文化に大きな転換期が来ています。今までの延長の衣食住の拡大ではなく、安心・安全で心を豊かにする社会が求められ、企業もそこにビジネスチャンスを見いだしていく必要があると言えます。

リコーテクニカルレポートも今年度で35号になります。前号では環境の小特集を組みましたが、今年度はハードからソフトへのトレンドを意識した構成にしました。また、巻頭言は著名な養老孟司先生の「モノと情報」です。とかく目先の変化に振り回されがちな者にとっては大変興味深い内容になっています。先生には多忙にもかかわらずご厚意により執筆して頂き、大変感謝申し上げます。

編集面では、この不景気を好機として新たな試みを実施しました。長年、紙にてご愛読頂いていた方々には少しご不便をおかけすることになりましたが、電子化文章を基本とし、図書館等の製本したものを継続保管して頂いているところにはオンデマンド印刷で対応させて頂くことに致しました。必要なときに必要部数を印刷することは、当社が掲げるビジネスモデルとも合致し、また環境にも優しい手段であります。皆様方のご配慮をよろしくお願い致します。

(小瀬古 久秋)

RICOH TECHNICAL REPORT NO.35 2009

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	斉藤 泰弘 進藤 由貴 大庭 秀章

発行日 2009年12月1日

発行 株式会社リコー 研究開発本部
〒224-0035 神奈川県横浜市都筑区新栄町16-1
TEL 045-593-3411 Fax 045-593-3482 URL <http://www.ricoh.co.jp/>

発行責任者 野中 照元

編集 日経印刷株式会社
〒102-0072 東京都千代田区飯田橋2-16-2

印刷 リコー三愛サービス株式会社
〒141-0031 東京都品川区西五反田2-18-2

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

本誌は RICOH Pro C900s で出力いたしました

RICOH

