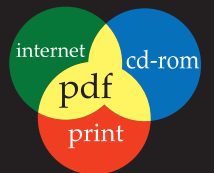
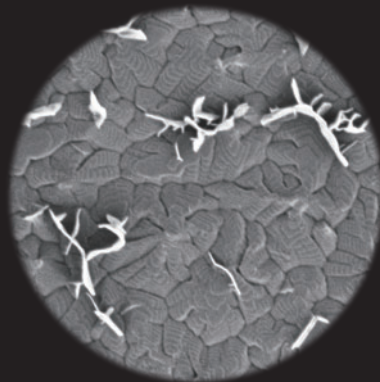


Ricoh Technical Report

Digital Publishing



RICOH TECHNICAL REPORT

No.36, 2010

目次

巻頭言

先進国経済の再生と技術革新..... 稲葉延雄 3

技術論文

H S S ベースの音声文書検索システム..... ヤオジエ ル・ダフェ シ・ユエヤン イン・ジチュアン チョン・リジュン ジョ 9

符号化方式に依存しないテレビ会議向け関心領域の映像処理技術..... リエン リュウ・ショウモン ワン・ウェイトウ ゴン 19

液晶素子を用いた記録密度可変走査光学系の開発..... 天田琢・宮武直樹・安藤文刀・井上斗貴子・三ヶ尻晋・吉田佳樹 29

有機電極を用いた有機薄膜トランジスタ..... 加藤拓司・篠田雅人・折口稚佳子・山本諭・安達千波矢 37

架橋保護層を用いた高耐摩耗感光体の開発..... 河崎佳明・北嶋良一・鈴木哲郎・永井一清・梁川宜輝・
廣瀬光章・杉野顕洋・浅野友晴・藤原由貴男・生野弘 46

薄片メディアを用いたドライ洗浄技術の開発..... 岡本洋一・淵上明弘・佐藤達哉・種子田裕介 53

画像の ε 近傍に基づくカラーCCDノイズ低減..... 原崇之・関海克 61

半導体レーザ記録によるサーマルライタブル記録媒体の耐光性と繰り返し耐久性の向上
浅井敏明・長谷川史裕・土屋美由紀・川原真哉・山本和孝・石見知三・古川隆弘・堀田吉彦 68

ラジオグラフィーによる電子写真画像形成装置内部の粉流体挙動の可視化..... 内田圭亮 77

M F P 搭載 0.1 3 μ m C u 配線デバイスの故障解析..... 横山弘一・直永卓也・西垣直彦 85

製品技術解説

App2Meが提案する新しい複合機の使い方..... 木野哲郎・柳浦豊・池浦隆一・堀誠二郎・高田忠礼・安達真一 95

文書管理システム Ridoc Smart Navigator..... 江口雄久・池ノ谷和幸・飯室理恵子 102

ユニット交換式デジタルカメラシステム"GXR"
片桐進・牧隆史・布野勝彦・大橋和泰・加賀良太・清水隆好・吉田和弘・岡浩二 108

筆者紹介..... 115

RICOH TECHNICAL REPORT
No.36, 2010

INDEX

PREFACE

Economic Revitalization of Leading Countries and Technological Innovation	Nobuo INABA	3
---	-------------	---

TECHNICAL PAPERS

HSS-based Spoken Document Retrieval System	YaoJie Lu DaFei Shi YueYan Yin JiChuan Zheng LiJun Zhao	9
CODEC-free Region of Interest Video Processing Technology for Video Conference Systems	Liyan Liu Xiaomeng Wang Weitao Gong	19
Optical Scanning System Capable of Recording Density Switching by using Liquid Crystal Device	Taku AMADA Naoki MIYATAKE Fumikata ANDOH Tokiko INOUE Susumu MIKAJIRI Yoshiki YOSHIDA	29
Organic Field Effect Transistor using Organic Electrode	Takuji KATO Masato SHINODA Chikako ORIGUCHI Satoshi YAMAMOTO Chihaya ADACHI	37
Development of High Abrasion Resistance Organic Photoreceptors utilizing Cross-linked Overcoat Layer	Yoshiaki KAWASAKI Ryohichi KITAJIMA Tetsuro SUZUKI Kazukiyo NAGAI Yoshiki YANAGAWA Mitsuaki HIROSE Akihiro SUGINO Tomoharu ASANO Yukio FUJIWARA Hiroshi IKUNO	46
Development of Dry Washing Technology with Thin Pieces of Media	Yoichi OKAMOTO Akihiro FUCHIGAMI Tatsuya SATO Yusuke TANEDA	53
Noise Reduction for Color CCD Image Sensors Based on ϵ -neighborhood of Images	Takayuki HARA Haike GUAN	61
Improvement of Light Durability and Repetition Durability of Thermal Rewritable Media by a Recording Process using Laser Diode	Toshiaki ASAI Fumihiro HASEGAWA Miyuki TSUCHIYA Shinya KAWAHARA Kazutaka YAMAMOTO Tomomi ISHIMI Takahiro FURUKAWA Yoshihiko HOTTA	68
A Visualization Study of Powder Flow in an Electrophotographic Equipment with Transmissible Radiography ..	Keisuke UCHIDA	77
Failure Analysis on a 0.13 μ m Cu Metallization Device for Multi Functional Printer	Koichi YOKOYAMA Takuya NAOE Naohiko NISHIGAKI	85

EXPLANATION ON PRODUCTS

App2Me enhances while it simplifies	Tetsuroh KINO Yutaka YAGIURA Ryuichi IKEURA Seiji HORI Tadahihiro TAKATA Shinichi ADACHI	95
Ridoc Smart Navigator, Ricoh's New Document Management System ...	Takehisa EGUCHI Kazuyuki IKENOYA Rieko IIMURO	102
Interchangeable Unit Digital Camera System "GXR"	Susumu KATAGIRI Takashi MAKI Katsuhiko NUNO Kazuyasu OHASHI Ryohta KAGA Takayoshi SHIMIZU Kazuhiro YOSHIDA Koji OKA	108

AUTHORS		115
---------------	--	-----



巻頭言

先進国経済の再生と技術革新

株式会社リコー 取締役専務執行役員
リコー経済社会研究所所長 稲葉 延雄

リーマン・ショックから2年が経過するが、世界の景気回復に対する警戒的な見方が増えてきた。中国をはじめとする新興国の成長は続いている模様ながら、財政問題を抱える欧州に続いて、最近では、米国でも景気と雇用の回復足踏みが強く懸念されている。米欧とも財政・金融面からの大規模な景気対策にもかかわらず、自律的な成長への展望がにわかに怪しくなってきたからである。

そのため、一足先にバブルの生成と崩壊、さらには、その後の「失われた10年」を経験した日本経済を引き合いに出して、結局のところ、米欧経済も日本型の長期停滞に直面するのではないか、という警告を発する論者も増えている。世界の経済論壇では、時ならぬ「日本ブーム」が起きている。

考えてみれば、米国経済は、先の金融危機を契機にして、過大な債務や資産バブルを前提とした過剰消費経済を変革することが強く求められてきた。欧州経済も同様であって、EU拡大の過程での過大な住宅投資や財政支出、それを支えた過大な債務の整理が必要であり、同時に、どのような経済を新たに構築するかが問われていたのである。そうした作業が終わるまで、今しばらく時間が必要なのであろうし、直ちに金融危機以前の高成長に復帰できると考えるほうが無理だったのかもしれない。また、その間に必要な施策も、単なる需要喚起策ではなくて、経済構造の変換のための政策や、高い成長でなくても雇用増が図れる経済体質への改善策だったのであろう。

需要喚起政策というのは、経済が一時的に悪化して需要が落ち込んだ際に、政府や中央銀行による財政・金融政策を通じて需要を刺激する経済制御手法である。しかし、そもそも米国などでは、家計は消費水準を落として住宅ローン債務を返済することが求められているのに、逆に減税などの需要喚起策で消費の増加を促そうとしたわけで、そうした政策対応の考え方が矛盾をはらむものであったといえる。しかも最近では、こうした需要喚起策をさらに講じていく余地すらほとんどなくなっている。

たとえば財政面では、多くの国々で、大規模な減税措置や破たん金融機関の救済などの対策によって財政赤字が急拡大しており、政府債務（国債）残高も急増している。こうした財政赤字を放置していると、いずれは、国債の債務不履行（デフォルト）か、インフレを招くことになりかねない。また、そこまで行かなくても、長い間長期金利を押し上げ、かえって経済の低迷を強いることになりかねない。

一方、金融政策面ではどうか、とみると、日米欧の政策金利はいずれも事実上ゼロ金利にまで低下しており、伝統的な金利引き下げによる金融緩和余地はほとんどない。そこで、金利ではなく資金の供給量を増やすという非伝統的手段（量的緩和政策などとも言われている）を積極的に活用して景気を刺激しようとの試みも検討されている。しかし、こうした非伝統的手段が経済に及ぼす政策効果と副作用については、金融当局にも十分な知識がない。この面では、日銀が他国の中央銀行に先駆けてかなりの経験を積んできているが、それでも十分とは言えない。

このような事情もあって、先進各国では、先に述べたような短期的な対応ではなくて、むしろ長い目で見た経済の「成長戦略」への取り組みが重要ではないか、との認識が強まっている。

成長戦略といえば、日本では、これまでも事あるごとに議論されてきた。多くの場合、輸出主導経済から内需主導経済への転換が主たるテーマであった。最近では、デフレ克服のために成長戦略が語られることもある。しかし、議論が長年に亘って続けられていること自体が物語っているように、いったい経済成長のために何が有効か、については様々な議論があり、日本経済の処方箋としては「アジア重視」以外にコンセンサスが得られていない。

米国も、暗黙のうちに成長戦略としてきたアプローチが見直しを迫られている。このアプローチは、人々の豊かさの増進のために消費の増大を主エンジンに据えて、その需要増をもとに生産や雇用を増やし、ひいては経済の拡大につなげていこう、というものであった。消費や住宅投資の増加は、仮に現在の所得が十分になくとも、消費者ローンや住宅ローンを活用することで、いわば将来支出の先食いという形で実現できる。しかし、これが生産や雇用に繋がっていくうちはいいが、先食いの行き過ぎが生じると、家計の債務返済能力を越してしまい、金融機関には不良債権が蓄積してしまう。さらに、この問題を公的に処理しようとする、財政状況が悪化して政府債務が累増する。持続可能な成長戦略ではないのである。

このように成長戦略を巡っては、かつての貿易黒字国も赤字国も、ともに悩んでいる。相変わらず、それぞれの国の実情に合わせて、消費であれ、輸出であれ、個別需要の増加を成長の戦略目標にしようとする議論もあるにはある。しかし最近の特徴は、所得や雇用の増進そのものを直接強化しようとの考え方が共通に議論されていることである。

その際の着目点は、長い目で見て経済が成長し、人々の生活が豊かになる根本的な要素は「技術革新による生産性の上昇」である、という単純な経済原則である。したがって対応策としても、とくに目新しくはないが、①良質な労働力の育成、確保を図り、②そうした労働力を必要とする高度な財・サービス生産を先端技術の活用で拡大させ、それでもって所得や雇用の増進を実現しようというものである。そして、その技術革新を促進していくために、どのような条件整備が必要か、とか、それぞれの経済がこれまで蓄積してきた経験や知見をどう生かして技術革新に繋げていくかが議論されている。

日本経済は、世界経済が今後直面する多くの課題に関して、すでに豊富な経験と知見を有している。今後、技術革新を促進していくためには極めて良い位置にいるといえる。

たとえば、米欧先進国に先駆けて大規模なバブルの生成と崩壊を経験していることは、前述のとおりであるし、少子高齢化・人口減少問題にも直面している。多くの人々が限られた国土に生活しているという意味で高密度な日本社会において、環境問題にはとりわけ鋭敏でなければならず、これまでも先進的な技術で諸問題を解決してきたし、今後のCO₂削減問題についても、そ

の技術力で世界をリードしていく実力を有している。また、資源・エネルギーの多くを海外に依存している経済大国としては、省資源技術の絶えざる高度化が常に求められてきた。さらに、新興国の代表である中国との経済関係に関していえば、両国の交流の歴史は2000年余に及び、多くの経験が日本人のDNAに刷り込まれている。

先進国経済は、日本経済のポスト・バブルの状況から今後の展開のヒントを得ようとしている。しかし、それだけではなく、その間の経験や知見を生かした技術革新により生産性を引き上げ、日本経済自身が——そして、その中核に位置する日本の企業集団が先頭にたって——持続的な経済成長を実現していくことでも、先進国経済の再生に貢献していきたいものである。

(2010年9月記)

----- リコー経済社会研究所 -----

国際経済社会は、これまでにないダイナミックに変化しており、地球温暖化等の様々な課題を克服しながら、成長と発展を遂げることが求められています。こうした持続可能な経済社会を実現する主体として、企業への期待は高まっています。

リコー経済社会研究所は、「企業活動」を通して「企業の成長」を図るとともに、「持続可能な経済社会」の実現に貢献するため2010年4月に設立されました。経済社会の将来動向と企業経営への影響を研究する「シンクタンク機能」と、その研究成果を基に経営陣に対して助言・課題提起を行う「アドバイザー機能」を併せ持ち、企業自らの経営状況に照らし合わせた独自の分析をより強力に行ってまいります。

リコーは、こうした研究と企業活動との連環を通して、企業としての競争力を高めると同時に、より一層国際社会から信頼される企業を目指します。

技術論文

TECHNICAL PAPERS

HSSベースの音声文書検索システム

HSS-based Spoken Document Retrieval System

ヤオジエ ル* ダフェ シ* ユエヤン イン* ジチュアン チョン* リジュン ジョ*
YaoJie Lu DaFei Shi YueYan Yin JiChuan Zheng LiJun Zhao

要 旨

近年、音声文書検索（SDR）が広く使われるようになってきた。SDRシステムの性能向上のために、ワード、サブワード、あるいは音素に基づくアプローチが採られてきた。しかし、ワードベースでは訓練データの不足が、音素ベースでは精度の不足が、それぞれ性能向上の障害となっている。本論文は、音響的特徴、音素、サブワード、（音声認識結果としての）ワード、およびコンテキストといった、音声文書のさまざまなレベルの特徴を同時に利用するHSS（ホロ符号化音声検索）に基づく検索手法を提案する。本検索手法では異なる音響モデルや言語モデルを統合することもできる。HSSでは、音声文書の分割、評価、ランキングのために、シンボル構造という新しいデータ構造を考案した。シンボル構造に基づいて音声文書のさまざまな階層や粒度から特徴を検索するには、テキスト検索の手法を修正して用いる。詳細な分析により、HSSのアプローチが上述のSDRの問題を緩和できることを検証した。

Abstract

In recent years, Spoken Document Retrieval (SDR) becomes widely used in our life. Word-based, subword-based, and phoneme-based approaches have been used to improve the performance of SDR system. However, the known problems of SDR, e.g. insufficient training of Word-based system, low accuracy of phoneme-based system, limit the performance. This paper presents a HSS (Holo-coded Speech Search) based retrieval approach for SDR systems, which tries to make full use of the evidences of spoken documents on different levels, such as acoustic features, phonemes, sub-words, words (Automatic Speech Recognition Result) and context data. This method can also integrate different acoustic models and language models. In HSS, a novel data structure called Symbol Structure is designed and implemented to segment, score and rank the spoken documents. We introduce an improved text retrieval method to retrieve evidences from different hierarchies and granularities of spoken documents based on Symbol Structure. After a detailed analysis, we can see that the HSS approach is a feasible way to alleviate the problems in SDR. The experimental result shows it can meet the desire of practicability.

* 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.

1. Introduction

Nowadays, audio contents are continuously growing and filling our computers, networks and daily lives, such as broadcast news, TV shows, podcasts, lectures, videos, voice mails, (contact center or meeting) conversations, etc. How to find the wanted spoken document is a severe problem which we have to face and resolve. The need for intelligent indexing and retrieval of spoken documents is becoming increasingly pressing. With the maturity of the speech recognition, audio event detection and other speech processing techniques, Spoken Document Retrieval (SDR) has become feasible.

IR (information retrieval) is widely applied in text corpus to retrieve the documents that match queries¹⁾. The aim of SDR is to provide similar functionality for spoken document corpus. It would be desirable to be able to retrieve in both text and spoken queries. The spoken documents can be converted into acoustic features, phonemes, sub-words or words, using speech related technologies, in order to be matched against queries²⁾. After the conversion, IR methods could be introduced to make index on the acoustic features, phonemes, sub-words or words.

The contributions of this paper include:

- Make full use of the evidences (acoustic features, phonemes, sub-words, words and context data) from the spoken documents on different levels. This has reduced several problems when using single evidence in the SDR, including insufficient training when using word evidence, low precision when using phonemes evidences and etc.
- Integrate different Acoustic Models and Language Models in SDR to handle spoken documents of different languages.
- Introduce a novel data structure called Symbol Structure, which contains all the evidences from the spoken documents. With it, the HSS method could be implemented.

- Improve text retrieval method to retrieve evidences from different hierarchies and granularities of spoken documents based on Symbol Structure, thus relatively high performance is achieved.

This paper is organized as follows: In section 2, we give an introduction to related works, section 3 describes a brief overview of the system architecture, section 4 introduces our HSS approaches, Symbol Structure and its usage for HSS, and section 5 gives a sample of implementation and experimental results. We reach our conclusions and discuss about future works in section 6.

2. Related Works

The easiest speech search method decodes continuous speech into text by Automatic Speech Recognition system with a dictionary and then uses common text search algorithms to find terms for obtained files. The main problem of this method is that the limited dictionary cannot recognize Out of Vocabulary (OOV) Words, such as names, acronyms, words from foreign languages.

Then a method that uses phonetic string representation for speech retrieval emerged⁴⁾, but it was clear that a large vocabulary recognition system can do better than an all phone recognition system. As a result, the method of combining both word and phone representations performs better than either method alone⁵⁾.

The phoneme-based approach is less effective than the word-based one, but is nonetheless effective enough to be used in practice⁸⁾, which can handle OOV problem and extend the recall.

Another method is sub-word based approach, which can be regarded as a combination of some continuous phoneme. It's an effective way to alleviate the OOV problem^{9) 10)}.

Other methods are proposed to take possible recognition error into account. They utilize multiple speech recognition output alternatives in addition to the

1-best result. Lattice-based approaches such as position specific posterior lattices (PSPL)⁶⁾ and confusion networks (CN) are examples⁷⁾.

The acoustic features (eg. Mel-Frequency Cepstral Coefficients) are used for retrieving and classifying music files. Paper¹¹⁾ proposes and develops a novel index structure for efficient content-based music retrieval, named the CF-tree, which adopts multiple acoustic features.

3. HSS method introduction

3-1 What is HSS?

Usually, we divide evidences of the spoken document into different levels. They are acoustic features, phonemes, sub-words, words (ASR results) and context data. Using evidence alone for SDR will experience merits and drawbacks, as Table 1 shows.

HSS is the abbreviation for Holo-coded Speech Search, in which the prefix ‘Holo-’ means “whole and entire”. In this sense, the HSS method tries to make full use of all the evidences of the spoken documents on different levels and to integrate different Acoustic Models (AM) and Language Models (LM) for SDR.

In practical usage, one evidence would be enough for HSS, though it would then degenerate into a traditional SDR method. Text retrieval methods are introduced to

retrieve on different hierarchies and granularities of the spoken documents. In order to achieve such goals, we design and implement a novel data structure called Symbol Structure, which is the unit of segmentation, scoring and ranking in the spoken documents retrieval.

3-2 HSS system overview

Figure 1 shows the main components of the HSS system, which include both Off-line process and On-line retrieval. The Off-line process prepares and extracts the acoustic features, phonemes, sub-words, words and context data of the speech corpus. After segmentation, all the features and evidences are filled in the Symbol Structure with time slots. Based on the Symbol Structure units, the Symbol Structure index is generated. After Off-line process, the On-line retrieval is possible. During the retrieval, the query (text or spoken) is transformed to the same kind of Symbol Structure too. This query Symbol Structure is used for matching, scoring, ranking and retrieval on the Symbol Structures of the spoken document corpus.

In the system, the FrontEnd, Recognizer, Pronunciation Model, Acoustic Model, Language Model and Acoustic Feature Extractor are out of scope of our discussion, though we just utilize the results of the speech recognizer. Indexing and retrieval techniques are introduced to improve the SDR system.

Table 1 The merits and drawbacks when using single evidence.

Evidence	Merits	Drawbacks
Acoustic features (the physical feature of the audio)	Don't require training. There is no language extensibility problem.	Inaccuracy for SDR
Phonetic code (the smallest unit of human voice)	Alleviate the training problem. Have fault-tolerance ability.	Not accurate as using sub-word and words.
Sub-words (the reasonable combination of phonetic code)	Between using the Phonetic code and words.	Require training by Large Corpus.
Words (word or sentence)	Usually, accuracy enough for SDR when the training is sufficient.	Require training by Large Corpus. If the Word Error Rate (WER) is high, the SDR will be greatly influenced.
Context data (manually annotation or materials affiliated to the audio)	The most useful and accurate material for SDR.	Hard to collect and annotate.

4. HSS approach for SDR

4-1 Evidence data generation

We generate acoustic feature, phoneme, sub-word transcription of corpus and word transcription by using speech recognizer. The time information is also generated from the speech recognizer.

Context data such as lecture PPTs, meeting minutes and transcripts are collected and associated with spoken document manually. While they are useful for spoken document retrieval, unlike phonemes, sub-words and words, there is no strict time information with them.

4-2 Segment

Spoken document segmentation is the process of identifying the boundaries between words, syllables, or phonemes in natural spoken languages. In the HSS approach, the spoken retrieval unit is Symbol Structure instead of words, syllables, or phoneme. We segment the spoken document by setting a constant time span, TL, and constant overlap time length, OTL. The length of TL should be larger than one word pronunciation length. With TL and OTL, the spoken document can be

segmented. Given that the speech length is T. The first segment's start point is time 0; the end point is the smaller one between TL and T. If T is chosen, the segmentation process is finished. The next segment's start point is:

$$S_n = T_{ps} + TL - OTL$$

Wherein, the T_{ps} means the previous segment's start point.

The end point is:

$$\text{Min}(S_n + TL, T)$$

If the T is chosen, the segmentation process is finished.

Figure 2 shows one example of the segmentation process. The spoken document is divided into 5 segments, from S1 to S5. And the (T_2, T_1') , (T_3, T_2') , (T_4, T_3') and (T_5, T_4') are the time overlaps.

The context data may not have the fine-granular and precise time information. So the segmentation process is different. If there are event changes (page up, page down, mouse click, and so on) or manual annotation, the time information of such event or annotation is used to segment the context data. If not, the context data don't need to be segmented, and are just associated with the spoken document as a whole.

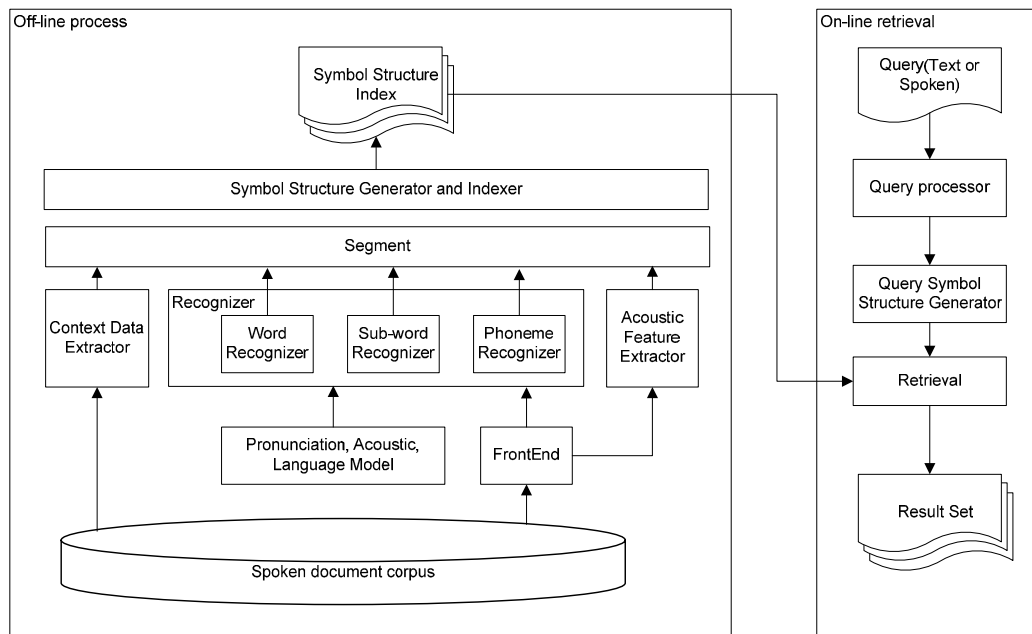


Fig.1 HSS System Overview.

4-3 Symbol structure

Figure 3 shows the sketch of the Symbol Structure. Actually, a Symbol Structure contains segments of acoustic feature codes, phonetic codes, sub-words, words and context data, and more importantly the time slot information of the segment. Symbol Structure is the unit of the retrieval process.

Usually, the Symbol Structure is filled by evidences from one Acoustic Model (AM) and one Language Model (LM). Further, information generated from different AM and LM can be used to fill the Symbol Structure, thus the training problem and language dependency could be alleviated to a certain degree, due to the different training materials of different AM and LM. For example,

we can use phonetic code1 from AM1 and LM1 and phonetic code2 from AM2 and LM2 to fill the Symbol Structure.

4-4 Retrieval

In the HSS system, index is separately made on the acoustic feature codes, phonetic codes, sub-words, words or context data. It's improved index, in which the associated Symbol Structure and spoken document could be found.

To process the query (spoken or text), Speech Recognition, Text To Speech (TTS) and Phoneme Dictionary are used to convert the query into the acoustic features, phonetic codes, sub words, words. The query doesn't have any context data, so the word itself is

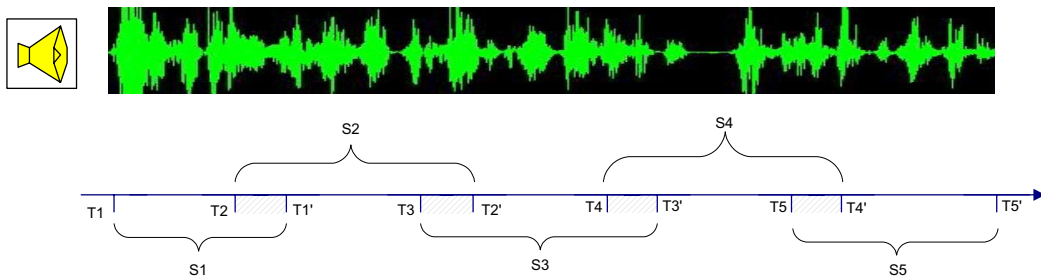


Fig.2 Spoken document segment method.

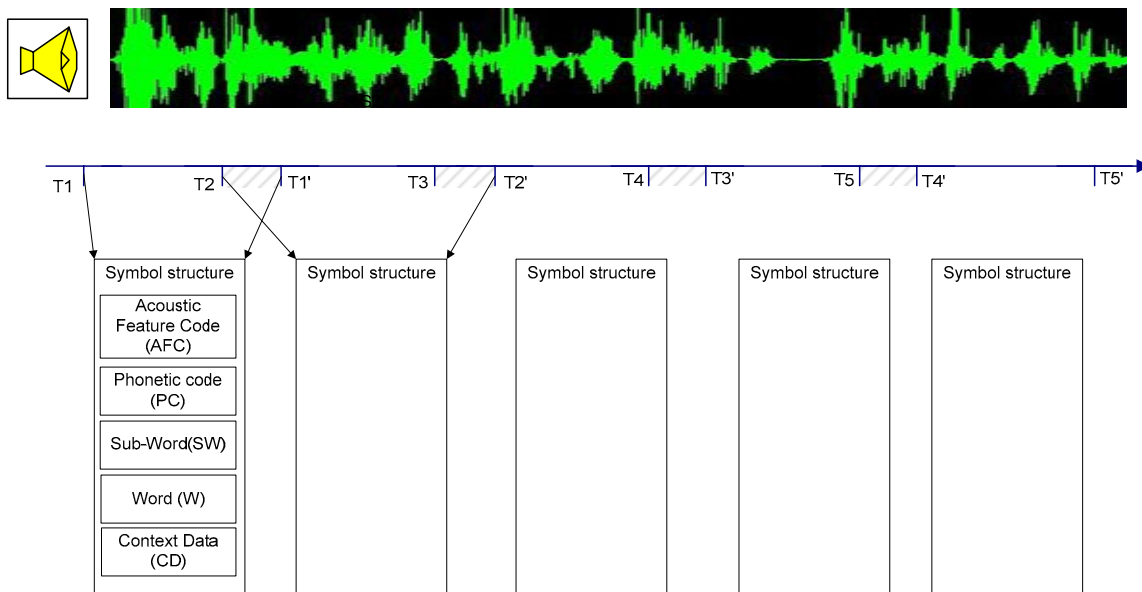


Fig.3 Symbol structure.

used to retrieve context data.

Acoustic features, phonetic codes, sub words, words and context data are used to calculate the matching separately. Each matching on any of the acoustic features, phonetic codes, sub words, words or context data contributes to the final matching between the Symbol Structure of the query and of the spoken document. To determine the matching, a weighted summation is needed. If the summation reaches or exceeds a threshold, the query Symbol Structure matches the certain Symbol Structure of the spoken document.

Figure 4 shows an example of the matching process. If the threshold is set to 2, and all the weights are set to 1, the final units that match the query are Symbol Structure 2 and 3.

The input query contains several terms ($q_1, q_2, q_3, \dots, q_n \dots, q_n$).

After matching is calculated, we modify the Okapi BM25¹⁵⁾ to rank the Symbol Structure matching. The Symbol Structure Frequency (SSF) is calculated as follows.

$$SSF_{i,j} = \frac{n_{i,j}}{\sum_k n_{k,j}}$$

$n_{i,j}$ is the number of Symbol Structures in the spoken document (s_j) that match the Symbol Structure of query (q_i). $\sum_k n_{k,j}$ is the sum of the numbers of all the Symbol Structures in spoken document (s_j).

The Inverse Symbol Structure Frequency (ISSOF) in the spoken document corpus is calculated as follows.

$$ISSOF(q_i) = \log \frac{N - n(q_i) + 0.5}{n(q_i) + 0.5}$$

N is the total number of spoken documents in the corpus. $n(q_i)$ is the number of spoken documents containing q_i . (“Containing” here means having Symbol Structure(s) that matches the Symbol Structure of query (q_i)).

The score by SSF and ISSOF is calculated as follows.

$$SCORE(S,Q) = \sum_{i=1}^n ISSOF(q_i) \cdot \frac{SSF(q_i,S) \cdot (k_1 + 1)}{SSF(q_i,S) + k_1(1 - b + b \cdot \frac{|S|}{avgSl})}$$

$SSF(q_i, S)$ is q_i 's Symbol Structure frequency in spoken document S , n is the number of the query terms.

The letter S in the expression $|S|$ should be italic. (But the vertical bars should not be italic.) is the length of speech S in Symbol Structure, and $avgSl$ is average The letter S in the expression $|S|$ should be italic. (But the vertical bars should not be italic.) in the spoken document corpus. k_1 and b are free parameters, usually chosen as $k_1=2.0$ and $b=0.75$.

The speech is ranked by the $SCORE(S, Q)$, thus the retrieval results list is generated. The location of the query in the speech can be found easily, by using the time span information in the Symbol Structure. The retrieval and ranking methods are originated from Okapi BM25 (information retrieval methods).

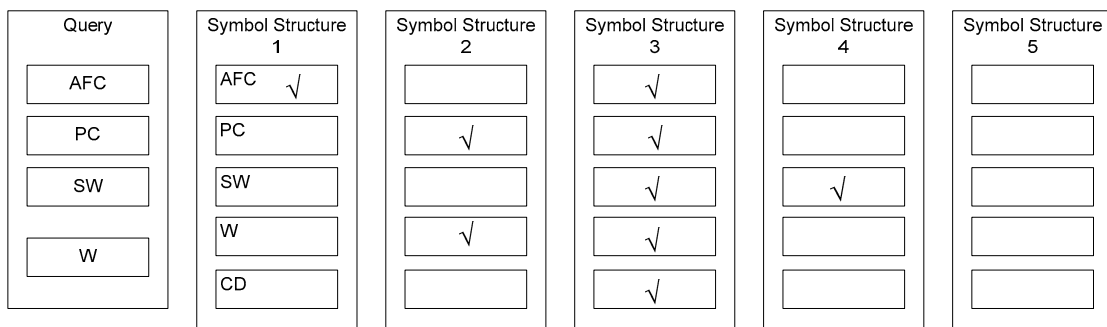


Fig.4 Match using symbol structure.

5. Prototype Implementation

5-1 Spoken document corpus

As Table 2 shows, the corpus used in the experiments is AMI Mic-Array Corpus¹⁶⁾, which is a multi-modal data set consisting of 100 hours of meeting recordings.

Moreover, AMI Head-Set Corpus¹⁶⁾, WSJ²¹⁾ and Voxforge²²⁾ are selected for training the Acoustic Models and Language Models.

5-2 The acoustic model and language model

In the prototype implementation, we use several Acoustic Models and Language Models, as Table 3 and Table 4 shows.

5-3 Evidences and symbol structure generation

In the prototype implementation, 5 evidences are generated by Sphinx-4¹²⁾ speech recognizer, using the Acoustic Models and Language Models listed in Section 5.2. The 5 evidences are listed in Table 5. The Acoustic Feature Evidence and Context Data Evidence are not added in the prototype system.

As discussed in the Section 4.3, we set TL to 2 seconds. The length of OTL should be smaller than TL/2. Here we set it to 200 milliseconds. With the TL and OTL, the spoken document can be segmented, further, the evidences are segmented too.

Using the evidences segmented, the Symbol Structures are generated.

Table 2 AMI Mic-Array meeting corpus.

Corpus	Amount	Data size	Duration
AMI mic-array	127 meetings	7.87G	73.4h
AMI mic-array for retrieval	37 meetings	2.33G	22.0h
AMI mic-array for training	90 meetings	5.54G	51.4h

Table 3 Different acoustic models.

No	Acoustic Models	Description
1	WSJ Acoustic Model	Trained using Wall Street Journal corpus
2	AMI Mic-array Acoustic Model	Trained using AMI Mic-array corpus
3	AMI Head-set Acoustic Model	Trained using AMI Head-set corpus
4	AMI Head-set & Voxforge Acoustic Model	Trained using AMI Head-set data and Wall Street Journal corpus

Table 4 Different language models.

No	Language Models	Description
1	Word Language Model	Trained using AMI manual annotation and Voxforge manual annotation
2	Sub-word Language Model	Trained using AMI manual annotation (Sub-word format) and Voxforge manual annotation (Sub-word format)
3	Phonetic Code Language Model	Trained using AMI manual annotation (Phonetic Code format) and Voxforge manual annotation (Phonetic Code format)

Table 5 Different evidences.

No	Evidence	Description
1	Evidence1	Word (AMI Mic-array Acoustic Model and Word Language Model)
2	Evidence2	Sub-word (AMI Mic-array Acoustic Model and Sub-word Language Model)
3	Evidence3	Phonetic Code (AMI Mic-array Acoustic Model and Phonetic Code Language Model)
4	Evidence4	Sub-word (AMI Head-set Acoustic Model and Sub-word Language Model)
5	Evidence5	Word (AMI Head-set & Voxforge Acoustic Model and Word Language Model)

5-4 Matching and retrieval

To allow matching of phonemes, and sub-words we treat them as n-grams. Any sequence of symbols can be transformed into a sequence of n-grams; for example, the sequence “ABCDEF” is transformed into a sequence of 3-grams “ABC BCD CDE DEF”¹⁹⁾.

TRMeister (DBMS with high-performance full-text search functions)²⁰⁾ is used to generate the index, and the retrieval using Symbol Structures is implemented in the application layer.

As for the single evidence, TRMeister is used as the search engine. All the single evidence search result is generated by TRMeister.

5-5 Results

In the experiment, Average MAP@TopN (Mean Average Precision)²⁰⁾ and Average Precision@TopN are used as the evaluation metric. For the evaluation, 90 queries are selected from the AMI annotations. In the experiment, we aim to compare the evaluation metrics between the HSS method (retrieval using HSS method) and single evidence along (retrieval using single evidence).

Table 6 MAP@Top10.

Evidences	Map@Top10	Map@Top5
Evidence1	0.397163182	0.472764228
Evidence2	0.283414634	0.327560976
Evidence3	0.041799264	0.061869919
Evidence4	0.057433217	0.105284553
Evidence5	0.380979481	0.444796748
HSS	0.501191444	0.59097561

Table 7 Precision@Top10.

Evidences	Precision@Top10	Precision@Top5
Evidence1	0.52439	0.278049
Evidence2	0.419512	0.214634
Evidence3	0.085366	0.046341
Evidence4	0.080488	0.065854
Evidence5	0.507317	0.273171
HSS	0.617073	0.341463

The evaluation results are list below, from Table 6 to 7. And Fig.5~6 compares the MAP and Precision results between the HSS method and single evidence.

The results shows the HSS method improve the MAP and Precision. The MAP@Top10 (HSS) improves 26.1% of the best of the single evidence (Evidence1). The MAP@Top5 (HSS) improves 25.0% of the best of the single evidence (Evidence1). The Precision@Top10 (HSS) improves 17.7% of the best of the single evidence

(Evidence1). The Precision@Top5 improves 22.8% of the best of the single evidence (Evidence1).

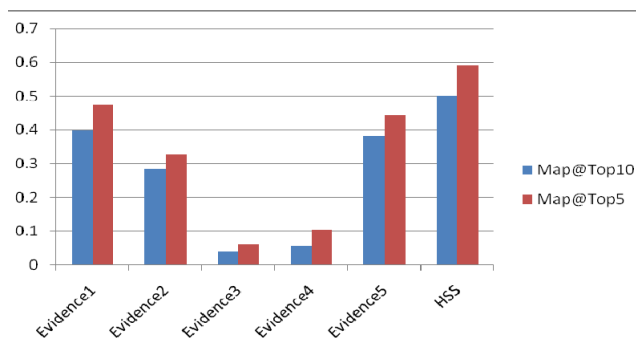


Fig.5 Map evaluation results.

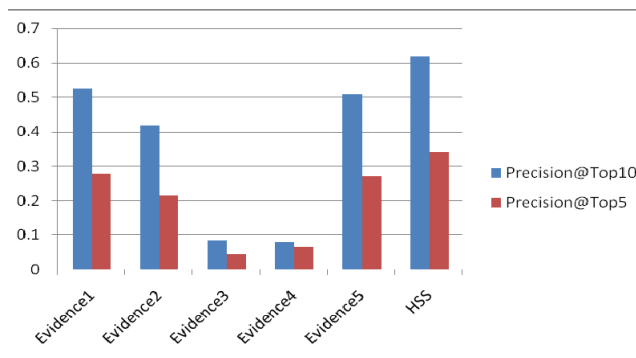


Fig.6 Precision evaluation results.

And we did the speed test of the HSS system as Figure 7 shows. First we enlarge the corpus to 2650 hours, and then deploy the HSS system on the Window XP server with Intel 6300, 1G memory, TRMeister on Linux with Intel Xeon 3.0G x2, 8G memory.

The result shows that the system can have desirable practicability. There are two reasons why high speed is reached. 1) Due to the index on evidence separately, the Symbol Structure can be located quickly. 2) On every user request, the retrieval on evidences works in parallel.

Sometimes, the query contains most popular Symbol Structures which are linked to many audio time slots. This causes computing burden on hit process. In some cases, the max response time reaches to 10000ms.

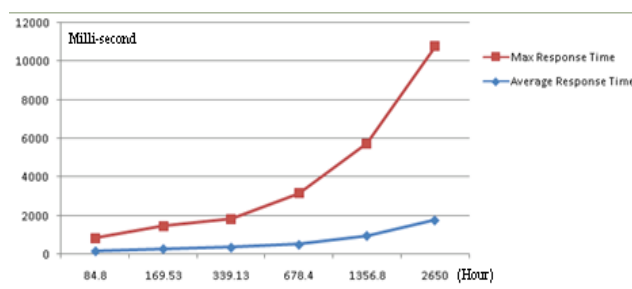


Fig.7 Speed test of the HSS system.

6. Conclusions and Future Work

We have explored the approach of SDR based on HSS code. Using the method, the multi-level evidences from the spoken documents could be taken part in the retrieval. Not only the word evidence (Automatic Speech Recognition result) but also the phonetic codes, and sub-words are used, so the influence of the training problem, Out of Vocabulary Problem of ASR, is reduced to a certain extent. Each of evidences contributes to the final matching between the query and the spoken document, so the retrieval precision is improved compared to single evidence method. The MAP@Top10 (HSS) improves 26.1% of the best of the single evidence (Evidence1). The MAP@Top5 (HSS) improves 25.0% of the best of the single evidence (Evidence1). The Precision@Top10 (HSS) improves 17.7% of the best of the single evidence (Evidence1). The Precision@Top5 improves 22.8% of the best of the single evidence (Evidence1).

The text retrieval method and Symbol Structure are introduced to make the index, matching, scoring and ranking, so the high-speed spoken documents retrieval can be realized. Furthermore, the time slot information in the Symbol Structure makes it easy to locate matching position in the spoken documents. The experiment result has shown it can meet the desire of practicability.

In terms of future work, it's necessary to make a comparison between our approach and other existing systems and methods. Do further experiments to measure the advantages of training, language independence and

fault-tolerance. The proposed HSS method should be also evaluated on a larger spoken document corpus.

References

- 1) G. Salton and M. J. McGill: Introduction to Modern Information Retrieval, 1st edition, McGraw Hill, (1983), pp. 229-237.
- 2) K. F. Lee: Automatic Speech Recognition: The Development of the SPHINX System, Kluwer Academic Publishers, (1989), pp. 63-90.
- 3) W. B. Cavnar: Using an n-gram-based document representation with a vector processing retrieval model, In Proceedings of the Third Text Retrieval Conference (TREC-3), (1994), pp 269 -227.
- 4) Schäuble, P. and Wechsler, M: First Experiences with a System for Context Based Retrieval of Informatin from Speech Recordings, In IJCAI-95, Workshop on Intelligent Multimedia Information Retrieval, Maybury, M.T., (1995), pp 59-69.
- 5) James, D.: A System for Unrestricted Topic Retrieval from Radio News Broadcasts, In Proceedings of ICASSP-96, Atlanta, GA, May (1996), pp. 279-282.
- 6) C. Chelba, J. Silva, and A.Acerro: Soft indexing of speech content for search in spoken documents, Computer Speech and Language, vol, 21, no. 3, July (2007), pp. 458-478.
- 7) T. Hori, I.L. Hetherington, T.J. Hazen, and J.R. Glass: Open-vocabulary spoken utterance retrieval using confusion networks, in LCASSP, (2007), pp 73-76.
- 8) Corinna Ng, Ross Wilkinson, Justin Zobel: Experiments in spoken document retrieval using phoneme n-grams, Special issue on accessing information in spoken audio, vol 32, (2000), pp. 61-77.
- 9) Ville T. Turunen, Mikko Kurimo: Indexing Confusion Networks for Morph-based Spoken Document Retrieval, SIGIR 2007 Proceedings, July 23?27, (2007), pp. 632-635.
- 10) K. Ng.: Subword-based Approaches for Spoken Document Retrieval, PhD thesis, Massachusetts Institute of Technology, (2000), pp. 105-130.
- 11) Bin Cui, Jialie Shen and Gao Cong: Exploring Composite Acoustic Features for Efficient Music Similarity Query, International Multimedia Conference, 2006, pp. 412-420.
- 12) The CMU Sphinx Group Open Source Speech Recognition Engines, <http://cmusphinx.sourceforge.net/html/cmusphinx.php>
- 13) CMU Sphinx Wall Street Journal Acoustic Models, http://www.inference.phy.cam.ac.uk/kv227/sphinx/acoustic_models.html
- 14) Hub 4: Business Broadcast News, http://www.speech.cs.cmu.edu/air/papers/hub4/proceedings_paper1.html
- 15) Okapi BM25, http://en.wikipedia.org/wiki/Okapi_BM25
- 16) AMI Corpus, <http://corpus.amiproject.org/>
- 17) Vector Quantization, <http://www.mqasem.net/vectorquantization/vq.html>
- 18) Statistical Language Modeling (SLM), <http://homepages.inf.ed.ac.uk/lzhang10/slm.html>
- 19) N-gram, <http://en.wikipedia.org/wiki/N-gram>
- 20) Tetsuya Ikeda,Hiroko Mano,Hideo Itoh,Hiroshi Takegawa,Takuya Hiraoka,Shiroh Horibe,Yasushi Ogawa: TRMeister: A DBMS with High-Performance Full-Text Search Functions, IEEE Computer Society Washington, DC, USA, 2005, pp 958 – 967.
- 21) WSJ, Wall Street Journal Corpus, http://www.idiap.ch/mmm/corpora/ami_wsj
- 22) Voxforge, <http://www.voxforge.org/>

符号化方式に依存しないテレビ会議向け関心領域の映像処理技術

CODEC-free Region of Interest Video Processing Technology for Video Conference Systems

リエン リュウ* ショウモン ワン* ウェイトウ ゴン*
Liyuan Liu Xiaomeng Wang Weitao Gong

要 旨

現在、ビデオによる相互通信、例えばビデオ会議などが重要な役割を果たしている。しかし、ネットワークの通信帯域の制限により、画像がはっきり見えなくなるなどの現象を生じることがある。関心領域 (ROI) に基づくビデオ処理技術は人間の視覚システム (HSV) を利用して、ユーザーの関心のある範囲を最重視することにより、このような問題を解決する。

本論文では、符号化方式に依存しないROI処理方法を2つ提案する。1つはフィルターに基づくROI処理方法、もう1つはマルチストリームに基づくROI処理方法であり、どちらもビデオデータの送信量を削減するために、背景領域の品質を犠牲にして、ROI領域の品質を維持する。

可変ビットレート(VBR)と固定ビットレート(CBR)の両方の場合について、それぞれを評価した。その結果、通常の方法のデータ送信量に比べると、本方法はVBRの場合帯域はほぼ40%削減でき、CBRの場合はROI領域の品質は最大2dB以上の向上が見られる。

また、無線環境下でのダイナミックな帯域の変化に対して、本方法を評価した。模擬ネットワーク環境下での評価結果により、当該技術の実用性が示された。

Abstract

Nowadays, conversational video applications, such as video conferencing, have played more and more important role in daily communications. Viewers of these applications, however, may suffer from unclear or jittered video due to restriction of available network bandwidth. Region of interest (ROI) based video processing technology, which utilizes characteristics of human visual system (HSV), by paying more attention to viewers' focusing areas, is of practical use for solving such problems.

In this paper, we propose two ROI-based CODEC-free video processing approaches, which are Filter based ROI Video Processing and Multi-stream based ROI Video Processing, with both preserving quality of ROI area and sacrificing quality of background area, in order to reduce video data transmission volume.

We evaluate each approach by both variable bit rate coding (VBR) and constant bit rate coding (CBR). In our evaluation, compared to "uniform coding" method, our proposed approaches can reduce around 40% of bandwidth consumption in VBR case, or obtain a maximum of more than 2dB increase in quality of ROI area in CBR case.

We also adapt and evaluate the proposed ROI-based approaches for dynamic bandwidth situations in wireless network environments. The evaluation results in a simulated network environment prove the feasibility of this technology in practical use.

* 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.

1. Introduction

Nowadays, demands for applications of the digital video communication, such as video conferencing, have increased considerably. However, due to restriction of network bandwidth, sometimes video would be encoded at very low bit rate before transmission, which makes viewers suffer from degradation of video quality, like block effects, jittered video, etc. Although many standards have been proposed and evolved for improving coding efficiency, most implementations adopt “uniform coding” method, which gives equal importance to each block of video frame regardless of its relative importance to the human visual system (HVS).

To address this problem, Region of Interest (ROI) coding was proposed, by which one or more interesting areas in each frame are defined and encoded in priority to preserve quality of ROI area, while quality of other areas are sacrificed to reduce bandwidth consumption. The rationale behind ROI-based video coding relies on the highly non-uniform distribution of photoreceptors on the human retina, by which only a small region of 2–5 visual angles (the fovea) around the center of gaze is captured at high resolution, with logarithmic resolution falloff with eccentricity [1]. Thus, it may not be necessary or useful to encode each video frame with equal quality, since human observers will crisply perceive only a very small fraction of each frame, dependent upon their current point of fixation.

Generally, approaches of ROI coding can be divided into two categories: CODEC free[2][3][4][5][6] and CODEC dependent [7][8][9]. The former precedes encoding stage and can be pipelined with any coding standards, while the latter has closer link with CODEC implementation and usually focuses on quantizer parameter (QP) tuning. Although QP tuning can offer more precise control on video quality, in this paper, our proposed approaches belong to the CODEC-free category because of its flexibility and universality.

We conduct trials on both filter based ROI processing and multi stream based ROI processing, which can reduce bandwidth consumption in variable bit rates (VBR) situation or improve quality of ROI area in constant bit rates (CBR) situation, compared to traditional uniform coding method.

The rest of this paper is organized as follows. Section II gives detailed description of our ROI processing approaches. Section III presents our experimental results. Conclusions are given in Section IV.

2. ROI Processing Approaches

2-1 Applying ROI processing in video conference scenario

A general flow of CODEC free ROI processing is described in Fig.1.

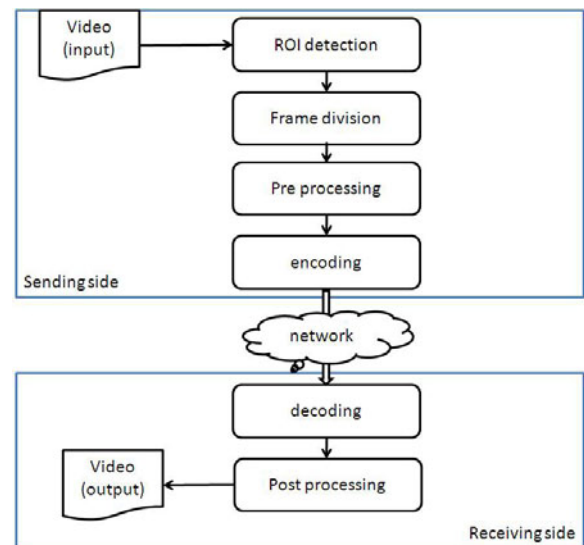


Fig.1 Procedure of applying ROI processing in video conferencing scenario.

In this procedure, ROI detection method is firstly applied to detect interesting area within one video frame following the policy of ROI definition, which is up to the requirements of applications. For example, in a video conferencing scenario, a speaker who is making a

presentation attracts attention from all attendees so the speaker becomes the focus of the scene. Thus, speaker detection or human detection technology is the option to detect the ROI area.

Once the ROI area is detected, the video frame can be divided into two parts: ROI area and non-ROI area, or foreground and background. In our later descriptions, we will not differentiate the two groups. As the core idea of ROI processing is to keep high quality of interesting area and sacrifice quality of the background area, obvious subjective difference can be perceived between these two portions, as shown in Fig.2.

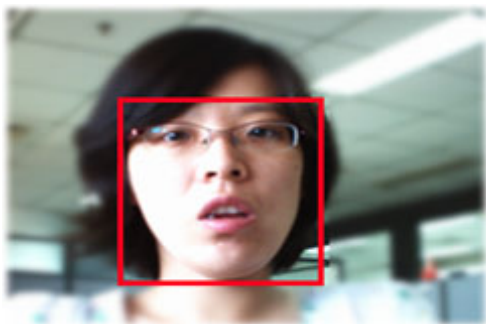


Fig.2 Quality difference between ROI area (red box) and background.

To alleviate such drastic degradation, a transitioning area is introduced between ROI area and non-ROI area – extended region of interest area (X-ROI). It is produced through extending the border of ROI area outward with a predefined distance. Then pre-processing is conducted prior to encoding step. We have two trials in our research: filter based and multi stream based region of interest processing. After that the ROI coded video is encoded and transmitted to the other end. At receiving side, a post processing step is added after the decoding step, though it is optional for filter based approach.

After this brief introduction of ROI processing in video conferencing scenario, next we will focus on the two proposed ROI processing approaches.

2-2 Filter based ROI processing

Filter based Region of Interest processing can be done either spatially[3][5] or temporally[8], or in a hybrid mode[6]. The main purpose of this approach is illustrated as follows:

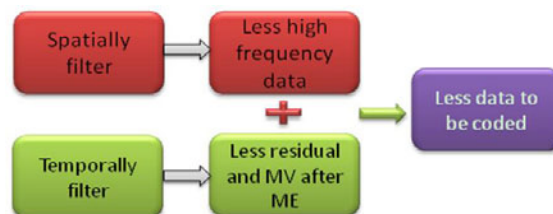


Fig.3 Idea of filtering in ROI processing.
(MV : motion vector; ME: motion estimation)

- Spatial filtering

X-ROI area and non-ROI area are blurred spatially through low-pass filter. By this way, high frequency information is greatly removed from the picture, which results in more zero (high frequency coefficients) in DCT-transformed matrix so less bit rates are needed for later encoding[10](Fig.4).

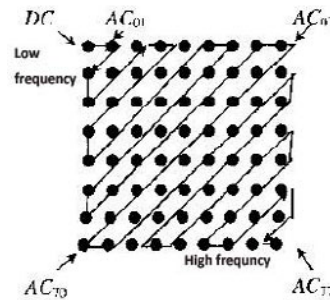


Fig. 4 DCT-transformed matrix.

Different filters can be used here, such as mean filter or Gaussian filter. To smooth transitioning from ROI area to non-ROI area, parameters of the filters are tuned while being applied to X-ROI area and non-ROI area, with the former less blurred than the latter to get gradual quality degradation.

- Temporal filtering

Temporal filter functions similar to spatial filter with the purpose of reducing data to be encoded. Due to continuity of video frames, especially in video conferencing scenario, usually changes between two successive frames at background part are too minor to be perceived, which provides us the chance to do filtering temporally. The simplest way is background skipping. For example, in every two frames only background of the odd frame is preserved, while background of the even frame is skipped. In other words, two successive frames share one background. However, mismatch between ROI area of the current frame and background of the previous frame would occur sometimes because of motions of some objects in the scene. Linear interpolation method is introduced to counter this issue. It is illustrated by following formula:

$$I_i(x,y) = \begin{cases} I_i(x,y), & \text{if } (x,y) \in \text{ROI} \\ (I_i(x,y) + I_{i-1}(x,y)) / 2, & \text{if } (x,y) \in \text{x-ROI} \\ I_{i-1}(x,y), & \text{if } (x,y) \in \text{non-ROI} \end{cases} \quad (1)$$

$I_i(x,y)$: pixel value of (x,y) in i^{th} frame

Either background sharing or background interpolation utilizes a feature of the video coding: motion estimation and motion compensation. For non-key frames (P or B frame), only difference with previous frame is considered for encoding[10](Fig.5). Reduction in difference between two adjacent frames helps significantly in bitrates saving as well.

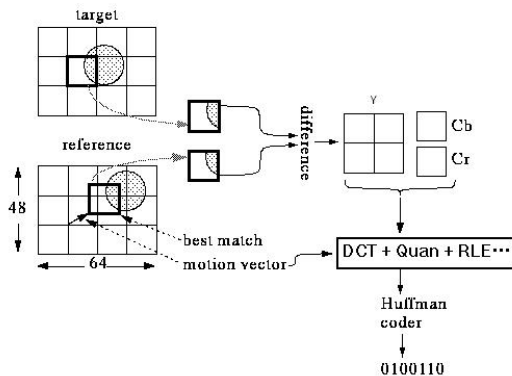


Fig.5 Illustration of motion estimation between two adjacent frames.

2-3 Multi stream based ROI processing

Another approach proposed in our research is to separate one video stream to two or more streams for later ROI processing. The main idea of this approach is shown below(Fig.6). It involves both pre-processing stage and post processing stage.

- Pre-processing

After being detected in video frame, the interesting area and its extension are extracted from original frame to form “ROI stream”, and the remaining part becomes “background stream”. Separate processing methods are then applied to these two parts.

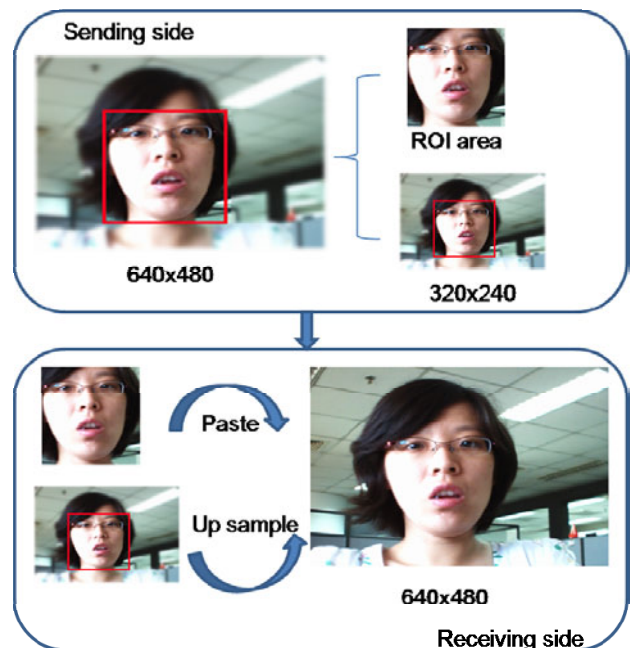


Fig.6 Idea of multi stream based ROI processing approach.

The size of each frame in “ROI stream” may vary due to changes of ROI area, and this does not conform to rules of coding (every frame in one stream must be of constant size). Consequently, an additional step is necessary before encoding ROI area and X-ROI area. For each ROI frame, a monochroic image with identical size of original frame is prepared and the ROI area and X-ROI area are put on this image at same position in original

frame, as shown in Fig.7. So all frames in ROI stream are “padded” to have an equal size and can be encoded and transmitted.

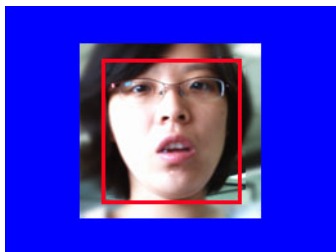


Fig.7 “Padded” ROI frame on blue image.

As the two streams are separated, they are independent to each other. So the processing for background is different from that of ROI part. The background frame sent through “background stream” can be down sampled to a smaller size. For example, if both x direction and y direction are down sampled at a scale of 1/2, then 3/4 data are removed from original background frame. Meanwhile, interpolation based down sampling can remove some high frequency information. All of this helps considerably in reducing bandwidth consumption.

- Post-processing

At receiving side, the two streams are decoded separately, which generates a ROI frame and a background frame. A composition operation is needed to restore the whole video frame before displaying. This is a reverse process compared with that in pre-processing stage. Firstly, ROI area and X-ROI area are detected and extracted from the ROI frame. The background frame is up sampled to restore to its original size. Secondly, the extracted ROI and X-ROI portion should be put back to their original positions on the up-sampled background. However, direct replacement may lead to mismatch on the border between the background and X-ROI area. This is caused by the error introduced in the encoding stage if bit rates are very low, because motion difference between frames is not precisely encoded due to

bandwidth shortage. This is illustrated in Fig.8. To remove possible mismatch, a “matching” process is inserted to find best position to put back ROI and X-ROI area on the background.

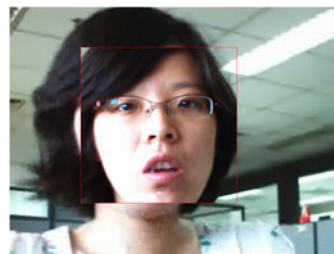


Fig.8 “mismatch” between foreground (red box) and background.

Furthermore, to smooth the quality degradation from ROI area to background, the overlap area between background and X-ROI area is updated by interpolation which is similar to that in “temporal filtering”.

2-4 Adaptive coding

In some cases, video communication is done over wireless network with dynamic bandwidth. To adapt our proposed approaches to such network environments, a real time encoding control is added based on available bandwidth. Each frame is coded under restriction of present usable bit rates to avoid potential packet loss, which may lead to distorted frames. By doing so, we could preserve quality of interesting area and reduce its quality fluctuation.

3. Experimental results

3-1 Test data

The test video used here is of resolution 1024x768. Face detection method is used here for ROI detection and ROI area varies in coverage from 0 (no face detected) to more than 30%. Three video clips are extracted from it with each clip containing relative constant ROI coverage. Details are shown in Table 1:

Table 1 Three Test video clips.

Video clip No.	Frame count	ROI coverage
1	20	2.43%
2	32	20.51%
3	33	28.55%

Each video clip is encoded by three coding methods in both VBR and CBR cases:

- Uniform coding
- Filter based approach: Gaussian filter with kernel value being 7
- Multi stream based approach: with background scaling to 1/4 size of original frame

3-2 Experimental results

In the case of VBR coding, bandwidth consumption is measured for evaluation. ROI processing approaches are expected to reduce consumption of bandwidth after encoding. In the case of CBR coding, available bandwidth is set to be constant and the quality of ROI area becomes a measurement for different methods. Under this condition, ROI processing approaches should produce video clips with higher quality for interesting area compared to the uniform coding approach.

Table 2 shows experimental results in both VBR and CBR cases on the video clip with ROI coverage of 2.43%.

The results show that both filter based approach and multi stream based approach perform better than traditional uniform coding. In VBR situation, bandwidth consumed by the video clip after encoding is compared, and 22% and 43% of bandwidth consumption are reduced respectively; while in CBR case, PSNR value of encoded video clip is calculated. ROI processing approaches improve the quality of interesting area by 1.11dB and 2.63dB respectively, which is in accordance with our expectations.

The results also indicate that multi stream based ROI processing approach can achieve more bitrates gain compared with filter based approach, though it is more sensitive to ROI coverage in the video frame. With ROI area accounts for more in video frame, multi stream based approach gradually loses its advantage over filter based approach. Table 3 and Fig.9 show this trend.

Another point to be considered in multi stream based approach is the bitrates allocation policy between ROI stream and background stream. Different proportions are tried in our experiments. If more bitrates are allocated to ROI stream, the quality of ROI area gets higher at sacrifice of worse quality of background area.

Table 2 Experimental results on the video clip with ROI coverage of 2.43%.

	VBR	CBR (384KB)
Uniform coding	617KB	40.65dB
Filter based approach	484KB (78%)*	41.76dB (1.11dB ↑)**
Multi stream based approach	356KB (57%)	43.28dB (2.63dB ↑)

*: the percentage is calculated by comparing with result of uniform coding

** : the difference of PSNR value is calculated by comparing with result of uniform coding

Table 3 Bandwidth consumption comparison between video clips with different ROI coverage.

	Clip 1	Clip 2	Clip 3
Uniform coding	617KB	1016KB	1076KB
Filter based approach	484KB (78%)*	847KB(83%)	921KB(85%)
Multi stream based approach	356KB (57%)	817KB(80%)	920KB(85%)

However there is an upper limit for bitrates allocated to ROI stream, beyond which quality of ROI area remains almost constant.

Table 4 gives results of video quality of ROI area and background area under different bitrates allocation proportion on three video clips. For video clip with ROI coverage of 2.43%, the quality of ROI area reaches the peak at proportion of 1:3 (background area: ROI area). Even if more bitrates are allocated, quality of ROI area remains unchanged. However, with ROI coverage increasing in video frame, the “upper limit” increases as well. So with size of ROI area varying in video frame, the proportion between two parts should be adjusted to reach a balance between ROI area and background area so as to make full use of available bandwidth.

To evaluate ROI processing in variable network situations, adaptive coding is conducted under a simulated network environment. The simulation is done

by NS2[11], assuming 22 applications in the environment starting and stopping randomly and repeatedly in 100 seconds. Fig.10-a shows the simulated result. To match duration of our test video clip (around 50s), a segment of the simulated result is extracted (red box, 24ths -73rds) and shown in Fig.10-b.

As mentioned earlier, in this dynamic network environment, we hope not only generate higher quality of ROI area than uniform coding method, but also decrease the influence by fluctuation of available bandwidth and keep the quality as stable as possible. This is to be realized by adjusting parameters of ROI processing approaches. In the case of filter based approach, the kernel value of Gaussian filter is the only tunable parameter; while in multi stream based approach this is done through adjusting bitrates allocation between ROI area and background area.

With available bandwidth decreasing, we try to keep

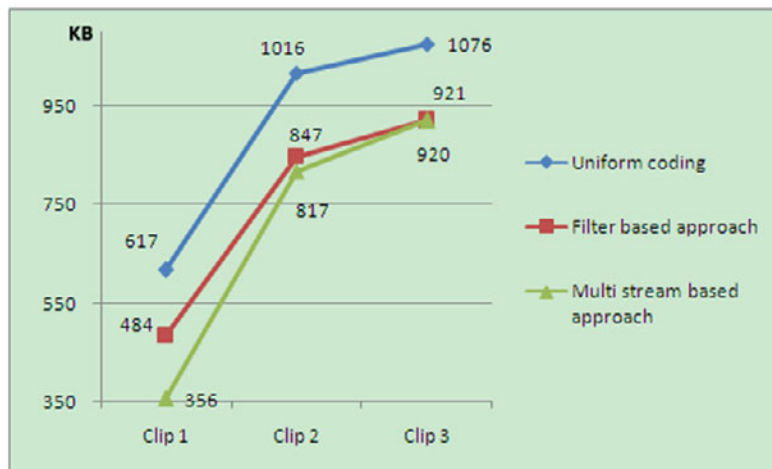


Fig.9 Bandwidth consumption comparison by three methods on three video clips.

Table 4 Video quality under different bitrates allocation proportion in multi stream based approach. (CBR, 384KB) (BG: background, ROI: region of interest)

Video clip \ Bitrates allocation (BG:ROI)	1 (2.43%)		2 (20.51%)		3 (28.55%)	
	ROI part	BG part	ROI part	BG part	ROI part	BG part
1:1	43.08dB	37.75 dB	37.72 dB	37.83 dB	38.69 dB	37.40 dB
1:3	43.28 dB	36.28 dB	39.20 dB	36.74 dB	41.08 dB	35.75 dB
1:5	43.28 dB	35.61 dB	39.68 dB	35.78 dB	41.31 dB	34.29 dB

stable quality of ROI area by increasing the kernel value of Gaussian filter (hopefully, a larger kernel value removes more information of background area, so less bitrates are needed for encoding background part). However, experimental results prove no feasibility of this method (Table 5). With bandwidth down from 1200kbps and the kernel value growing up from 5 to 13 correspondingly, the quality of ROI area still gets lower

by 1.28dB, which does not behave as our expectation (This relates to the characteristics of video conferencing scenario, where background is relatively simple and contains little high frequency information. So even if we increase kernel value, no more bitrates can be reduced from background part and reallocated to ROI part)

But in case of multi stream based approach, due to separation of ROI stream and background stream, much

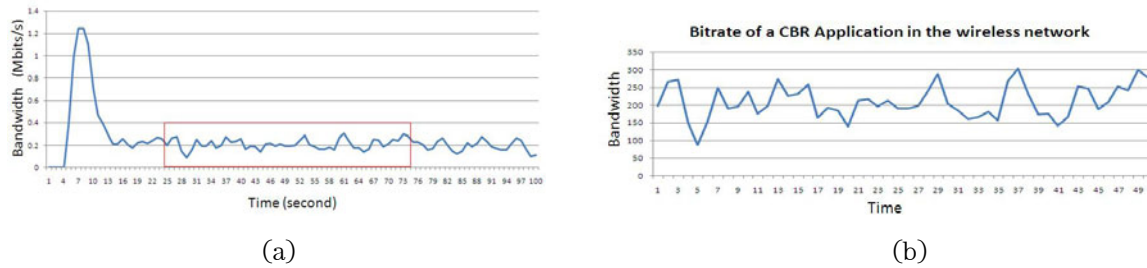


Fig.10

- (a) simulated bandwidth variation by NS2 with duration of 100s.
- (b) extracted segment of (a) with duration of 50s.

Table 5 Quality of ROI area under different bitrates by filter based approach. (dB)

bitrates	Gaussian filter kernel value			
	5	7	9	13
300Kbit/s	26.51	26.59	26.59	26.53
600Kbit/s	27.33	27.39	27.42	27.44
900Kbit/s	27.62	27.65	27.67	27.69
1200Kbit/s	27.81	27.86	27.88	27.90

Table 6 Quality of ROI area under different bitrates by multi stream based approach. (dB)

(a) Quality of ROI area set to constant, remaining bandwidth allocated to background.

bitrates	Quality of ROI area	Quality of background area
300Kbit/s	27.52	21.09
600Kbit/s	27.52	22.19
900Kbit/s	27.52	22.34
1200Kbit/s	27.52	22.34

(b) ROI area encoded by “best” effort, remaining bandwidth allocated to background.

bitrates	Quality of ROI area	Quality of background area
300Kbit/s	27.52	21.09
600Kbit/s	27.97	21.70
900Kbit/s	28.14	22.06
1200Kbit/s	28.20	22.19

more flexibility is provided in bitrates controlling. Table 6 shows two kinds of policies in bitrates allocation: the quality of ROI area can remain unchanged by setting to a constant or ROI part is always encoded by “best” effort, and then the background part is encoded with the remaining bandwidth. Comparing between results by filter based method and multi stream based method, with bandwidth down from 1200kbps to 300kbps, the quality of ROI area by former decreases from 27.81dB to 26.53dB (1.28dB ↓); while for latter, the value is either of no change (as constant as 27.52dB, Table 6(a)) or from 28.20dB to 27.52dB(0.68dB ↓, Table 6(b)). This indicates better adaptability of multi stream based approach. As a result, this approach is selected to be applied to dynamic network situation. Table 7 shows the mean value and the standard deviation value of the quality of ROI area in simulated network environments. And Fig.11 illustrates results of the actual bandwidth consumption. Most bandwidth is allocated to ROI area to guarantee its quality and the remaining bandwidth is allocated to the background stream.

Table 7 Quality of ROI area by multi stream based approach in simulated network environment.

	Mean value	Standard deviation value
Adaptive multi stream based approach	28.14dB(↑)	0.08dB(↓)
Uniform coding	26.98dB	0.19dB

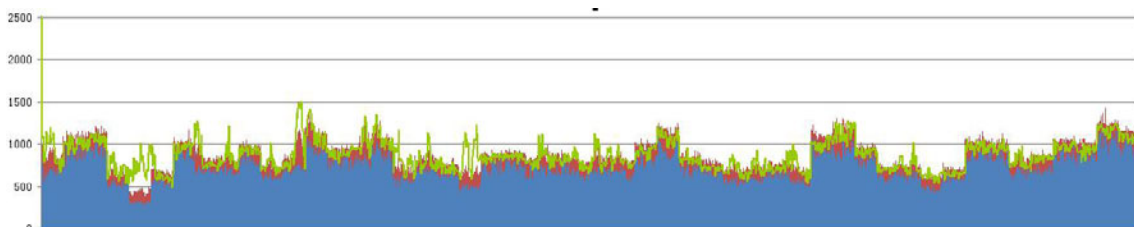


Fig.11 Actual bandwidth consumption in simulated network environment
 — ROI area — background area — uniform coding.

4. Conclusions and Future Work

In this paper, two CODEC-free ROI processing approaches are presented: filter based and multi stream based approach. The former is a pre-processing step prior to encoding stage with background being blurred by filters; and the latter covers both pre-processing and post processing stages, with ROI area and background area being separated for different processing. The two approaches can be combined with any standard encoder and decoder because it is independent of any concrete implementation of them. We evaluate the two proposed methods in VBR and CBR situations and the results show advantages over traditional uniform coding method.

In dynamic network situations, the multi stream based approach proves its feasibility. Due to independency between background and ROI area, it offers more flexibility than filter based approach with free bitrates allocation.

Consequently, in future, the intelligent bitrates allocation between ROI and background area is to be studied to make full use of available bandwidth. Furthermore, if more than one ROI areas exist in vide frame, prioritized encoding and transmitting can also be studied on basis of independency feature of this approach. And because the quality of background area is sacrificed in pre-processing stage, video enhancement techniques can be applied to restore the quality of the background part.

Reference

- 1) B.Wandell : Foundations of Vision. 1st edition, Sinauer Associates, (1995).
- 2) Chen et al.: Using a region based blurring method and bits reallocation to enhance quality on face region in very low bitrate video, Proc. of the 1998 IEEE Int. Symp. on Circuits and Systems, vol. 4, (1998), pp. 134-137.
- 3) Chen et al.: ROI video coding based on H.263+ with robust skin-Color detection technique, IEEE Transactions on Consumer Electronics, (2003), pp. 724-730.
- 4) Cavallaro, A. et al: Perceptual prefiltering for video coding, ISIMP'04, (2004), pp. 510-513.
- 5) Nicolas Tsapatsoulis et al.: Visual attention based region of interest coding for video-telephony applications, 5th International Symposium on Communication Systems, Networks and Digital Signal Processing, (2006).
- 6) Linda S. Karlsson: Spatio-temporal filter for ROI video coding, (2006).
- 7) Chung-Ming Huang et al.: Multiple priority region of interest h.264 video compression using constraint variable bitrate control for video surveillance, Optical Engineering, vol. 48, issue 4, (2009), pp. 47004-47005.
- 8) Haohong Wang et al: Real time region of interest video coding using content-adaptive background skipping with dynamic bit reallocation, ICASSP'06, (2006), pp. 45-48
- 9) Yang Liu et al: Region of interest based resource allocation for conversational video communication of h.264/avc, IEEE transactions on circuits and systems for video technology, Vol. 18, No. 1, (2008), pp. 134-139
- 10) Iain E. G. Richardson: Video CODEC design, Wiley, (2002).
- 11) Network simulator – NS2, <http://www.isi.edu/nsnam/ns/>

液晶素子を用いた記録密度可変走査光学系の開発

Optical Scanning System Capable of Recording Density Switching by Liquid Crystal Device

天田 琢*	宮武 直樹*	安藤 文刀**	井上 斗貴子**
Taku AMADA	Naoki MIYATAKE	Fumikata ANDOH	Tokiko INOUE
三ヶ尻 晋***	吉田 佳樹****		
Susumu MIKAJIRI	Yoshiki YOSHIDA		

要 旨

MFP (Multi Function Printer) における出力速度の高速化及び出力画像の高密度化を図るため、マルチビーム走査光学系を用いた書込方式が用いられている。マルチビーム走査光学系において副走査方向の記録密度を可変とするには、走査線間隔の変更が必要である。

従来、走査線間隔を変更する技術としてステッピングモータ等のアクチュエータにより光源装置を回転調整する方式が用いられているが、我々は新たに、小型/軽量、低消費電力に優れる方式として、液晶素子を搭載した走査光学系を開発した。本走査光学系では、液晶素子に入射したレーザービームの波面を傾けて光路を偏向することにより、走査線間隔を変更する。

ここでは、記録密度可変用の液晶素子の駆動原理及び光学仕様、並びに本液晶素子を搭載した走査光学系の特徴について報告する。

Abstract

Applying a multi-beam scanning system to MFPs is effective in order to achieve high-speed printing and produce a high-density image. In the multi-beam scanning system, altering a scanning line pitch is needed to switch the recording density in the sub-scanning direction.

A scanning line pitch is generally altered by rotating a multi-beam light source driven by actuators such as a stepping motor. We developed a novel technique which utilizes a liquid crystal device as a light path deflector, which contributes to reduction in size and weight, and low power consumption of the scanning system. Light path deflection by inclining wavefronts of two laser beams incident on the liquid crystal device can alter the scanning line pitch in our scanning system.

This report presents mechanics and optical properties of the liquid crystal device to switch recording density, and features of the multi-beam scanning system equipped with the liquid crystal device.

-
- * 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
 - ** 光学ユニットカンパニー
Optical Components Company
 - *** PP事業本部 PP設計センター
Production Printing Designing Center, Production Printing Business Group
 - **** MFP事業本部 第三設計センター
3rd Designing Center, MFP Business Group

1. はじめに

デジタル画像出力機における出力画像の高画質化の要求に応えるため、高記録密度化が進んできた。例えば、600dpi画像と比較し、1200dpi画像では高画質な印刷が可能であり、小さな文字でも細部までクリアに再現することができる。そのため、コピー機能とプリンタ機能を備えたMFP(Multi Function Printer)においては、コピーモードでは600dpi、プリンタ高画質モードでは1200dpiのように、出力画像の記録密度を切り替えたいとのニーズがある。

マルチビーム走査光学系を搭載したMFPにおいて出力画像の副走査方向の記録密度を可変とするには、感光体ドラム上の走査線間隔を変更する必要がある。我々は、小型/軽量、低消費電力に優れた液晶素子を利用して走査線間隔を変更可能な走査光学系を業界で初めて開発した。この走査光学系は、オフィス向けフルカラーデジタルカラーMFP「imagic MP C7501」(2010年1月発売)に搭載されている。

本報では、記録密度可変用の液晶素子の駆動原理及び光学仕様、本液晶素子を搭載した走査光学系の特徴について報告する。

2. マルチビーム走査光学系

2-1 ビーム合成方式の概要

出力画像の高速化(高出力枚数化)及び高画質化(高記録密度化)を達成するため、MFPにおける光走査装置においては、感光体ドラム上を同時に複数のレーザービームで走査する「マルチビーム走査光学系」が主流となっている。マルチビーム光源は、低コストなシングルビーム半導体レーザーからのレーザービームを合成する方式と複数の発光点を有する半導体レーザーアレイを利用する方式に大別される。

Fig.1に示す走査光学系は、2本のレーザービームで同時に走査する「2ビーム走査光学系」の構成であり、レーザービームを合成する方式を採用した例である。この2ビーム走査光学系の光源ユニットにおいては、2つの半

導体レーザーが主走査方向に離間して配列している¹⁾。Fig.2は、ビーム合成プリズムを利用して、副走査方向に離間して配列した2つの半導体レーザーを出射した2本のレーザービームを合成する構成である²⁾。

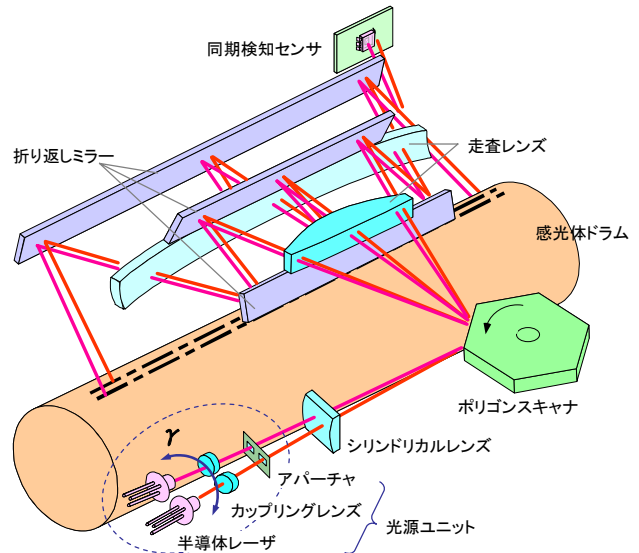


Fig.1 Dual-beam laser scanning system.

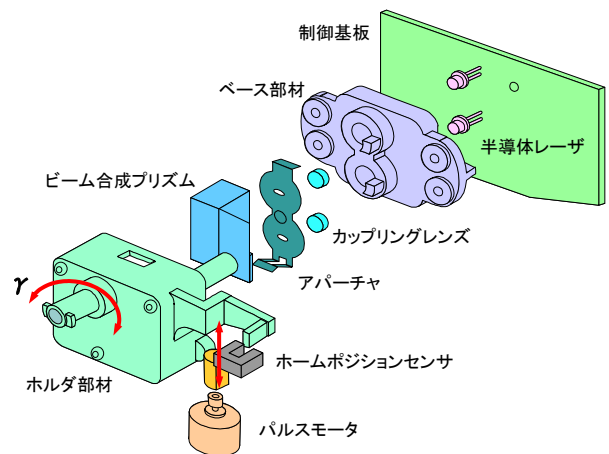


Fig.2 Light source unit with beam-synthesizing prism.

2-2 走査線間隔を可変する手段

出力画像の副走査方向の記録密度を切り替えるには、走査光学系において、感光体ドラム上の走査線間隔を切り替える必要がある。Fig.2の光源ユニットを図中の矢印 γ で示す方向に回転調整することにより、走査線

間隔を可変することができるが、パルスモータ等のアクチュエータ手段を備える必要がある。そのため、調整機構等のメカ要素の大型化を招き、レイアウトの自由度が制限される。Fig.1の構成の場合には、主走査方向のビームスポット間隔が広く、回転角度に対する走査線間隔変化の感度が高くなり過ぎる。その結果、減速機構が必要となるため、さらに調整機構の大型化/複雑化に繋がる。

また、走査線間隔を切り替える際に、調整機構内部のバックラッシュの影響を回避するため、一度ホームポジションに復帰させる必要がある。その結果、切替動作時間が長くなってしまうという欠点があった。

そこで、我々は、小型/軽量であり、かつ、応答速度が速い液晶素子を利用して走査線間隔を切り替え可能な走査光学系の開発に着手した。その模式図及び液晶素子の外観写真を、Fig.3に示す。

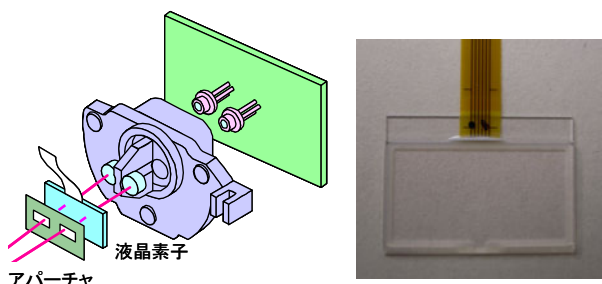


Fig.3 Diagram of light-source unit and photograph of liquid crystal device.

3. 液晶素子の基本原理^{3),4)}

3-1 液晶素子の基本構成

レーザービームの光路を偏向するための液晶素子の有効エリア内の電極パターン及び動作原理を、Fig.4及びFig.5に示す。

Fig.5の断面図に示すように、透明電極及び配向膜が形成された2枚のガラス基板により、層厚数 μm 程度の液晶層が挟持されている。透明電極と配向膜の膜厚は、数十～数百nm程度である。また、ガラス基板周縁部のシール材及び液晶層内に分散したスペーサ部材(不図

示)により、2枚のガラス基板間の間隔が維持され、透過波面収差の発生を抑制することができる。

一方のガラス基板1には全面に様な透明電極が形成されており、グラウンドに接地される。他方のガラス基板2側の透明電極は、Fig.4に示すY軸方向に長いストライプ状の電極パターンを形成し、それらの一端(-Y側の端部)を共通の抵抗膜で接続する。この抵抗膜は長さ方向(Z軸方向)に一定の抵抗を有している。

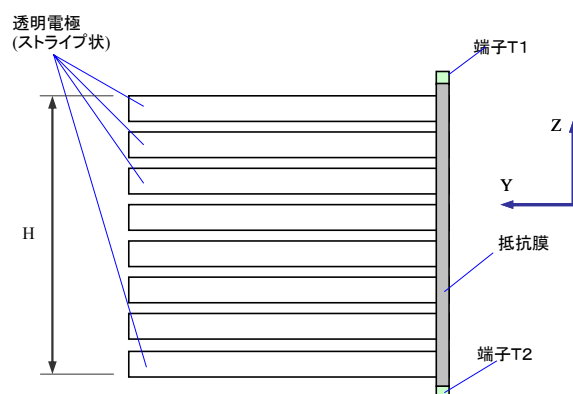


Fig.4 Electrodes within effective area of liquid crystal device.

3-2 液晶素子によるレーザービームの光路偏向

Fig.4に示す電極パターンの+Z側及び-Z側の端子T1及びT2に、各々駆動電圧V1及びV2を入力する。ストライプ状の電極パターンの幅を狭くし、配備数を多くすることにより、Fig.5(a)に示すように、有効エリア内部には実質的に直線状の電位分布(電位勾配)が発生する。この電位勾配に従い、液晶分子の傾き角度(配向角) θ がZ軸方向に分布をもつようになる。

Fig.5の断面図においては、図が煩雑になることを避けるため、配向角 θ を液晶層厚方向(X軸方向)に同じ角度で図示したが、実際には、配向膜の影響により、配向角 θ は液晶層厚方向に分布をもっている。

Z軸方向に振動するレーザービーム(直線偏光)が+X方向に進行して液晶素子に入射した場合、レーザービームに対する実効的な屈折率 N_{eff} は下式で表される。

$$N_{\text{eff}}(\theta) = \frac{N_e \cdot N_o}{\sqrt{N_e^2 \sin^2 \theta + N_o^2 \cos^2 \theta}} \quad \dots (式1)$$

ここで、 N_o は常光線の屈折率、 N_e は異常光線の屈折率を表す。このような液晶中をレーザービームが距離 d だけ進行した場合、その光路長は「 $N_{\text{eff}} \times d$ 」となり、レーザービームの位相が変調される。

Fig.5(b)に示す屈折率分布が生じた液晶層の中をレーザービームが進行することにより、Fig.5(c)に示す位相分布(位相遅れ)が発生する。このように液晶素子によりレーザービームの位相を変調して、波面を傾けることにより、その光路を偏向することが可能となる。駆動電圧 V_1 及び V_2 の電位差 ΔV を適宜設定することにより、端子 T_1 と T_2 の間の位相差 $\Delta \phi$ を変調できる。すなわち、液晶素子は、くさび形状の「可変頂角プリズム」として機能する。

4. 液晶素子による走査線間隔の可変

4-1 液晶素子の構成

「imagio MP C7501」の光走査装置においては、Fig.3に示した構成の光源ユニットが搭載されている。この構成の光源ユニットと組み合わせるため、Fig.6に示すような液晶素子を開発した。

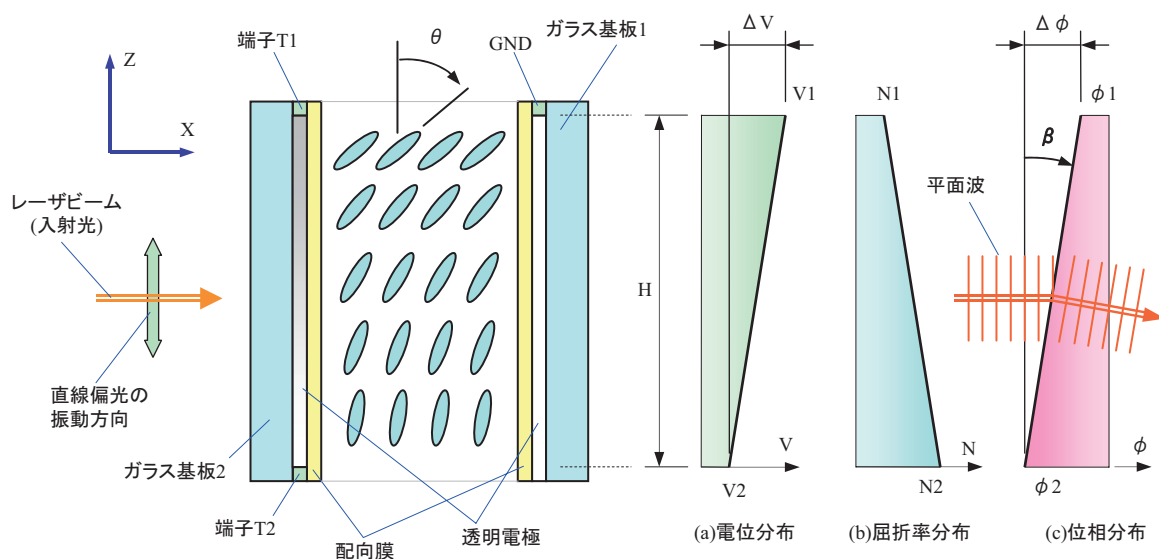


Fig.5 Cross-sectional configuration of liquid crystal device, distributions of electrical potential, refractive index and phase modulated in effective area.

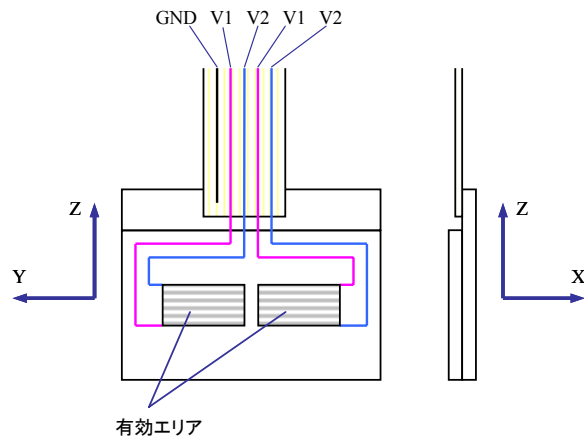


Fig.6 Electrical schematic diagram of liquid crystal device.

一方のガラス基板においては、2つの「有効エリア」内に、Fig.4で説明したストライプ状の電極パターンが形成されている。また、2つの有効エリアのZ軸方向両端部に、駆動電圧 V_1 及び V_2 を入力するために形成された透明電極が、各々2本ずつ接続されている。他方のガラス基板には全面一様の電極パターンが形成されており、グラウンドに接地するための透明電極(1本)が接続されている。合計5本の透明電極は、液晶素子に装着されたFPCを介して制御基板に接続される。

4-2 動作

Fig.6に示したように、駆動電圧V1及びV2を入力したときに、2つの有効エリア内のZ軸方向(副走査方向)において、互いに逆向きの電位分布が発生するように電極パターンが形成されている。これにより、各有効エリアに入射したレーザービームの光路を、副走査断面内で互いに逆向きに同じ角度だけ偏向することが可能である。

有効エリアのZ軸方向の幅をH、駆動電圧の電位差 ΔV により有効エリア内で発生する位相差を $\Delta \phi$ とする。液晶素子の駆動に伴う2本のレーザービームの光路の副走査断面内の角度偏差 β は、Fig.5(c)を参照して、

$$\tan \beta = 2 \times \Delta \phi / H \quad \dots (式2)$$

で表される。このような液晶素子を走査光学系に配備した場合、液晶素子を駆動することにより、感光体ドラム上を走査する2本の走査線の間隔を、

$$\Delta p = K \times |m| \times (\Delta \phi / H) \quad \dots (式3)$$

だけ変化させることが可能である。但し、(式3)において、Kは定数、mはポリゴンミラーから感光体ドラム表面までの光学系の副走査方向の横倍率を表す。

次に、走査線間隔を可変したときの2つのビームスポットの挙動の概念図を、Fig.7に示す。光源ユニットを回転させる従来方式の場合には、Fig.7(a)に示すように、2つのビームスポットも感光体ドラム上で回転する。一方、液晶素子によりレーザービームの光路を偏向する方式の場合には、Fig.7(b)に示すように、2つのビームスポットが上下方向に移動することにより、走査線間隔が可変される。

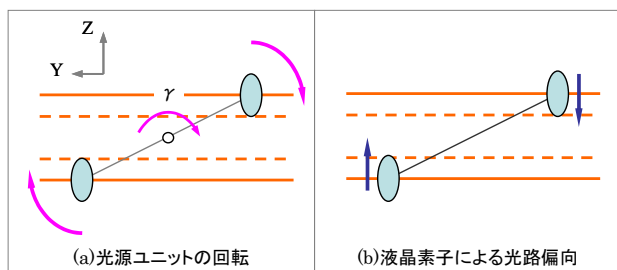


Fig.7 Manner of scanning line pitch switching from 600dpi to 1200dpi.

4-3 位相変調特性(獲得位相差)

Fig.8に示す位相変調特性(獲得位相差曲線)を有する液晶材料を備えた液晶素子の有効エリアの両端部(端子T1及びT2)に、駆動電圧V1及びV2を入力した場合について考える。

端子T1及びT2に駆動電圧V1及びV2を入力することにより、有効エリア内部には電位差 ΔV の電位勾配が発生する。すなわち、液晶素子の有効エリア内のZ軸方向の座標は、Fig.8の横軸(駆動電圧)Vに対応する。そこで、Fig.8の横軸を有効エリア内のZ軸方向の座標に置き換えた後、反時計方向に90°回転させた図を、Fig.9に示す。図中のT1及びT2は端子T1及びT2の座標を表す。

Fig.9では、有効エリア($T2 \leq Z \leq T1$ の領域)に平面波(平行光束)を入射させた場合の出射光の波面形状の様子を、模式的に表した。Fig.9の左図は有効エリアの幅Hを適切に設定した例であり、平面波が直線性の良好な領域を通過している。そのため、平面波が液晶素子により角度 β だけ偏向される際に発生する波面収差は最小限となっている。一方、右図は幅Hを広く設定した例であり、平面波が直線性の良好ではない領域を通過している。そのため、液晶素子により光路を偏向される際に、発散光束に変換されている。

このような波面収差の発生を低減するには、①位相差 $\Delta \phi$ を小さくする、②有効エリアの幅Hを小さくする、等の対策が有効である。

本液晶素子では、上述(4-2)のように2つの有効エリアで互いに逆向きにレーザービームの光路を偏向する構成とすることにより、走査位置を切り替えるのに必要な位相差 $\Delta \phi$ を1/2とした。さらに、後述(5-1)のように、アパーチャ部材に液晶素子を装着することにより、有効エリアの幅Hを最小限とすることができた。

これらの対策を講じた上で、所定の獲得位相差 $\Delta \phi$ に対して、Fig.8に示す獲得位相差曲線において直線性が良好な領域を利用可能な駆動電圧V1及びV2を選定した。これにより、駆動電圧のばらつきを考慮しても、液晶素子駆動時に発生する波面収差を、出力画像品質に影響を及ぼさないレベルに抑制することができた。

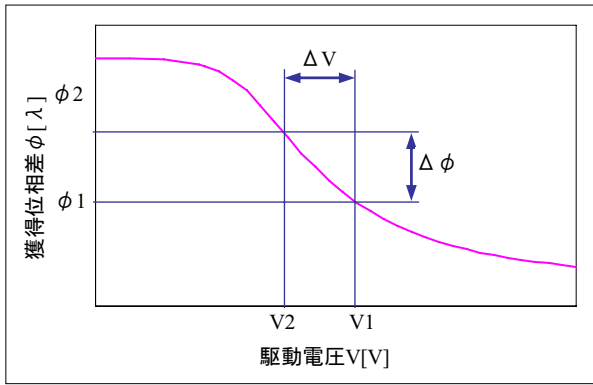


Fig.8 Phase characteristic curve.

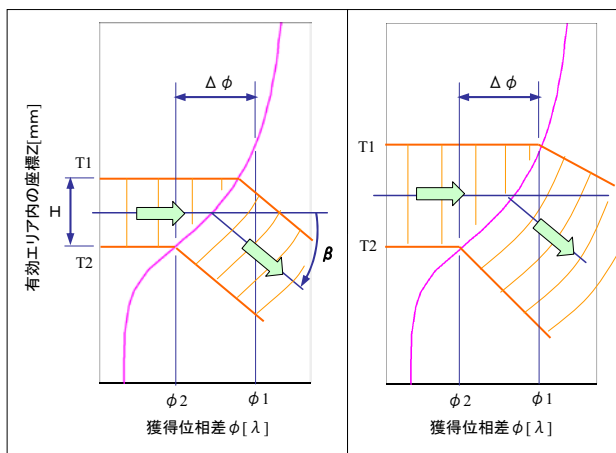


Fig.9 Wavefront aberration occurring during beam deflection.

5. 液晶素子を備えた光走査装置

5-1 構成

液晶素子を備えた光走査装置の外観図をFig.10に示す。一般に光走査装置においては、レーザービームの光束径を規制するための開口部(アパーチャ)が備えられている。液晶素子の有効エリアと入射するレーザービームを高精度に位置合わせするために、液晶素子をアパーチャに装着することにした。「imaggio MP C7501」では、アパーチャのみを設計変更して液晶素子を装着可能な形状に修正することにより、前身機「同C7500」と光走査装置(光学ハウジング)を共通化することができた。

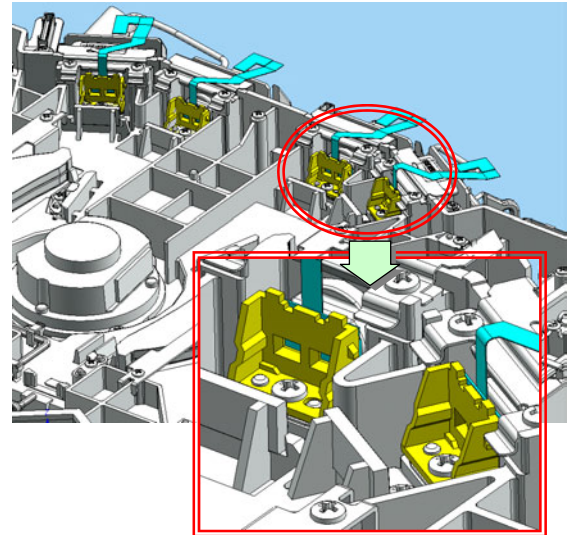


Fig.10 Magnified drawing of optical housing around liquid crystal device.

5-2 液晶素子の装着方法

アパーチャに対する液晶素子の装着には、Fig.11に示すような接着工法を採用した。この接着工法によるアパーチャと液晶素子との固定には、「外部からの衝撃に耐える接着強度の確保」と「接着剤の硬化収縮力による波面収差の抑制」の2つの課題があった。

上記2つの課題を解決するために、これまでの独自の接着工法開発で得た技術を展開し、接着前後及び環境試験前後での変形挙動のメカニズムを分析した。これにより、アパーチャと液晶素子とを強固に接着し、かつ温度変動、搬送時の衝撃、接着剤硬化収縮力等の外乱に対する液晶素子の変形を抑制する接着固定条件を設定した。

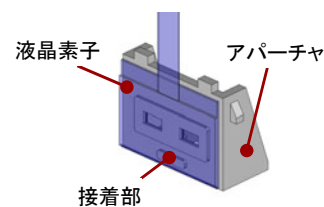


Fig.11 Adhesion of liquid crystal device to aperture member.

5-3 走査線間隔の調整方法

「imaging MP C7501」における記録密度のデフォルト値は600dpiである。そこで、組立工場での調整工程において、液晶素子を非駆動状態として、600dpiの走査線間隔になるように、光源ユニットを回転調整して、光学ハウジングに固定する。一方、ユーザの使用時に「高画質モード(1200dpi)」が選択されると、液晶素子が駆動されることになる。その詳細については、「5-4 駆動/制御系」にて説明する。

5-4 駆動/制御系

「imaging MP C7501」の光走査装置における液晶素子の駆動/制御系の概念図をFig.12に示す。また、「高画質モード(1200dpi)」時の液晶素子及びポリゴンスキャナへの入力信号をFig.13に示す。

液晶材料の「焼け付き」を防止するため、液晶素子の駆動電圧は通常は直流成分をもたない交流電圧(周波数：数十Hz～数千Hz)としている。一方、光走査装置におけるポリゴンスキャナを回転駆動させるためのクロックの周波数は数kHzであることが多い。両者の周波数が比較的近いことから、本光走査装置ではポリゴンスキャナと液晶素子のクロック発生部を共通化することにした。

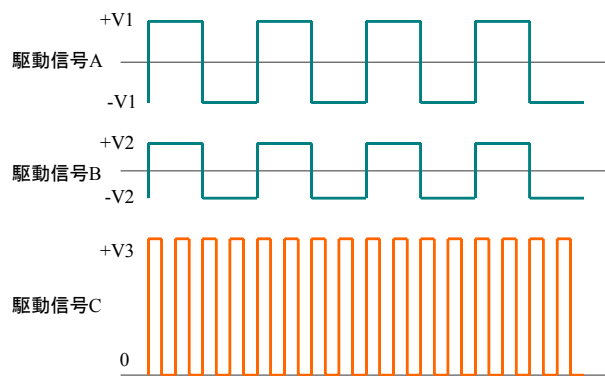


Fig.13 Input signals of polygonal mirror scanner and liquid crystal device.

ポリゴンスキャナを回転させる駆動信号Cは、画像形成装置のプロセス速度から予め決定されている。

一方、液晶素子を駆動させる駆動信号A及びBは、液晶素子の位相変調特性を考慮し、分周器を用いて駆動信号Cを1/4に分周した。

ユーザが高画質モード(1200dpi)を選択すると、切替信号がAMP部に入力され、所定の駆動電圧V1及びV2となるように、バイアス成分及び振幅成分が変換される。一方、600dpi時には、切替信号がAMP部のバッファに入力され、バッファ出力がHiZ(ハイ・インピーダンス)になることにより駆動信号の周波数成分がなくなり、液晶素子が非駆動となる。

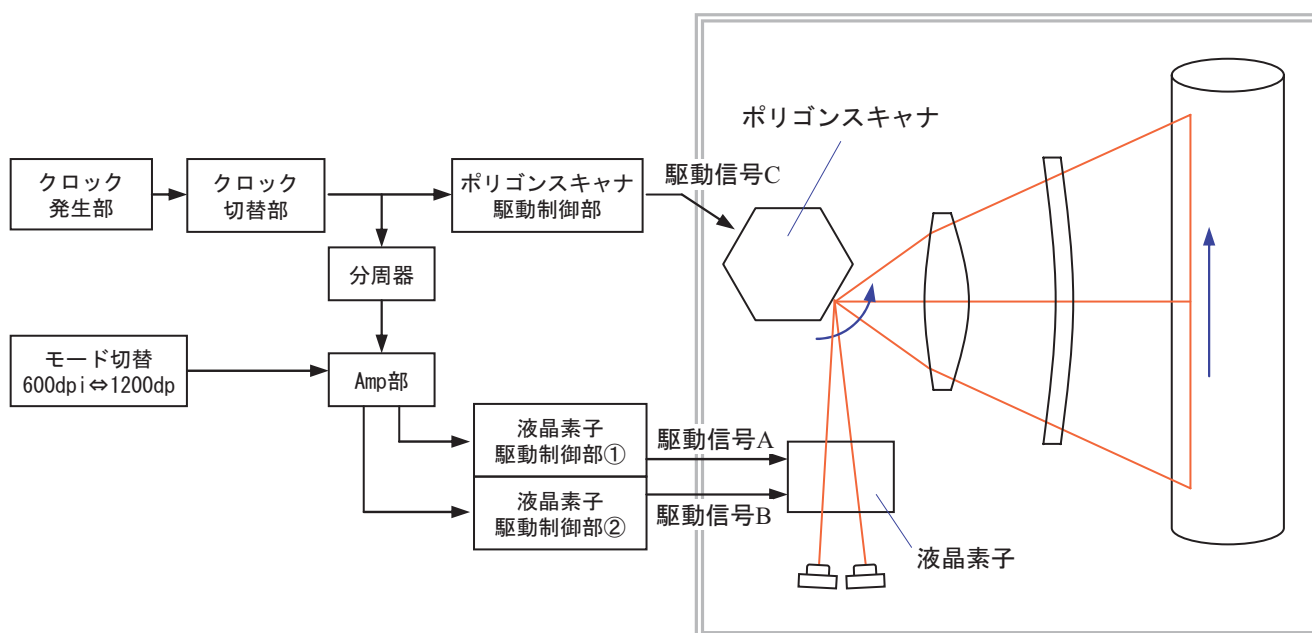


Fig.12 Block diagram of laser scanning system with liquid crystal device.

5-5 光学特性

①走査線間隔

駆動電圧の電位差 ΔV に対する走査線間隔の補正量 Δp を、Fig.14に示す。電位差 ΔV に対して、走査線間隔は連続的かつ直線的に変化することから、電位差 ΔV の分解能に応じた補正量 Δp を得ることができる。

副走査方向の記録密度を600dpi(走査線間隔：42.3 μm)から1200dpi(同：21.2 μm)に切り替えるには、走査線間隔を $\Delta p = -21.2 \mu\text{m}$ だけ変化させればよい。そこで、 $\Delta p = -21.2 \mu\text{m}$ となる電位差 ΔV_{set} を設定した。本図から分かるように、温度変化に対しても安定である。

②ビームスポット径

液晶素子の製造上の誤差や光走査装置内部の温度変化に伴い、液晶素子が膨張/収縮することにより、波面収差が発生する。液晶素子により波面収差が発生すると、感光体ドラム上のビームスポット形状が乱れ、出力画像の品質が劣化する。

既述した有効エリアの極小化及びアパーチャに対する液晶素子の接着工法の改善等により、液晶素子で発生する波面収差を、出力画像品質に影響を及ぼさないレベルに抑制することができた。

③応答時間

液晶素子の液晶層厚を数 μm とすることにより、応答時間を0.1秒オーダーとすることができた。これにより、光源ユニットの回転による従来の方法と比較して、走査線間隔の切替時間を大幅に短縮することができた。

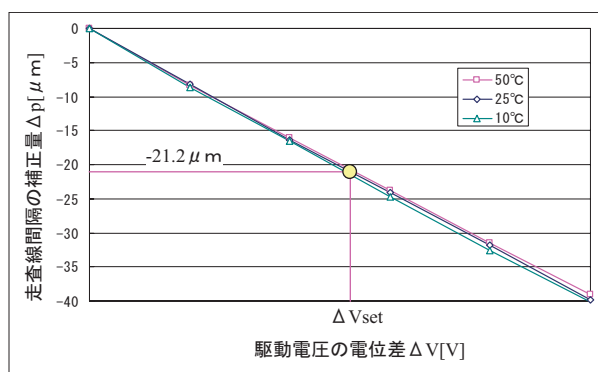


Fig.14 Relationship between driving voltage and variable amount of scanning line pitch.

6. まとめ

我々は、業界で初めて走査線間隔を切り替え可能な液晶素子を搭載したマルチビーム走査光学系を開発した。これにより、光走査装置の小型化及び記録密度切替時間の短縮化を達成することができた。

この走査光学系は、オフィス向けフルカラーデジタルカラーMFP「imagio MP C7501」に搭載されている。

参考文献

- 1) 林善紀, 天田琢: 2LD 交差方式光源ユニットの開発, Ricoh Technical Report, No.27, (2001), pp.83-87.
- 2) T. Ito, T. Nakajima: High Speed and High Definition Technology for Laser Printing, NIP14, (1998), p.417.
- 3) IBM Technical Disclosure Bulletin, Vol.15, No.8, January (1973).
- 4) W. Klaus et al.: Efficient liquid crystal wavefront modulator, SPIE Vol.3015, (1997), pp.84-92.

有機電極を用いた有機薄膜トランジスタ

Organic Field Effect Transistor using Organic Electrode

加藤 拓司* 篠田 雅人* 折口 稚佳子* 山本 諭* 安達 千波矢**
Takuji KATO Masato SHINODA Chikako ORIGUCHI Satoshi YAMAMOTO Chihaya ADACHI

要 旨

電子供与性分子と電子受容性分子からなる電荷移動錯体が金属的挙動を示すことはTTF-TCNQを用いて知られるようになり、有機電極としての利用に特に注目されている。

本研究では、TTF誘導体であるDATTFとフラーレンの積層膜からなる有機電極を用いて有機半導体素子の駆動に成功した。ここでDATTFとフラーレンの積層膜の伝導度は0.2 S/cmと高く、有機電極としての利用が可能である。

さらに、DATTF/フラーレン積層膜を用いて有機電極を作製し、ペンタセンおよびフラーレンをそれぞれ有機半導体活性層として用い半導体特性を調べたところ、共に半導体素子駆動を確認した。すなわち、この有機電極はホール輸送能、電子輸送能を共に有していることが明らかとなった。又、DATTF、フラーレンはそれぞれp型およびn型有機半導体材料として優れた特性を有していることから、2回の成膜プロセスだけで有機半導体活性層と有機電極を作製できる新規デバイス構造を開発した。

ABSTRACT

It has been well established that molecular complexes by the combination of electron donor and acceptor molecules such as TTF-TCNQ show metallic conduction, and recently these materials have been paid attention as novel organic electrodes.

In this work, we succeeded to build the organic field effect transistor (OFET) equipped with the organic electrodes consisted novel TTF derivatives, DATTF, and fullerenes. The DATTF/fulleren layer shows high conductivity $\sigma = 0.2$ S/cm, and can work as an electrode.

Moreover, we succeeded in obtaining both n-type and the p-type OFET operation with the organic electrodes which consisted of a DATTF/fulleren layer and fullere and pentacene were used as the active layers, respectively.

By using the high performance properties as p-type and n-type organic semiconductor materials of DATTF and fulleren, we succeeded to develop a novel OFET device structure, which can fabricate the active layer and electrodes by only two step processes.

* 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

** 九州大学 未来化学創造センター
Center for Future Chemistry, Kyushu University

1. はじめに

1-1 背景・目的

有機エレクトロニクスデバイスは、大面積化が容易であることや、フレキシビリティ性に優れるなどのメリットから、新規な利用価値が期待されている。さらに低コスト化にも寄与できると考えられている。そのため、ここで主役を担う有機半導体材料の開発や、それを活用した有機薄膜トランジスタ、有機LED、有機太陽電池といった有機エレクトロニクスに関わる基礎デバイスの研究開発が盛んに行われている。

Fig.1に一般的な電界効果型有機薄膜トランジスタの簡略図を示す。電界効果型有機薄膜トランジスタは、ゲート電極に電圧を印加し有機半導体層とゲート絶縁膜界面にキャリアを蓄積しソース電極 - ドレイン電極間に電圧を印加すると電流が流れる。またゲート電極に印加する電圧を変化させると有機半導体層/ゲート絶縁膜界面に蓄積されるキャリア数が変化し結果として電流量が変化する。このように活性層に有機半導体材料を用いてゲート電圧により電流を変調させることが可能であり、有機エレクトロニクスデバイスの柱の一つとして、材料、デバイス構造共に開発が進められている。

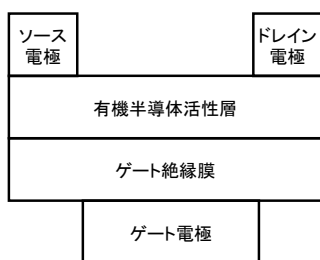


Fig.1 Schematic image of organic field effect transistor.

特に材料に関しては、溶液プロセス適応可能な有機半導体材料の開発¹⁾、有機絶縁膜材料の開発²⁾、フレキシブル基板の開発など、有機エレクトロニクスデバイスの実現へ向けた新材料の研究開発が盛んに行われており、また、一部についてはすでに実用化も始まって

いる。さらに、エレクトロニクスデバイスとして重要な電極材料としては、これまで伝導度の問題から溶液プロセス適応可能な銀ナノ粒子が用いられてきた³⁾。

しかしながら使用する有機半導体材料のイオン化ポテンシャルなどに合わせて適応範囲を広げることは重要であり、有機電極の研究開発にも注目が集まっている。

有機物は本来絶縁体であるが、テトラチアフルバレン (TTF) -テトラシアノキノジメタン (TCNQ) 等の電子供与性分子と電子受容性分子からなる電荷移動錯体 (CT錯体) が金属的伝導を示すことが知られている⁴⁾。

近年では、このCT錯体を有機エレクトロニクス素子の有機電極へ活用する取り組みが報告されている。

例えば p型有機半導体特性を有するジベンゾテトラチアフルバレン(DBTTF)とTCNQ混晶上にTTFとTCNQを共蒸着法によりCT錯体を形成させ電極形状に配した例⁵⁾、ペンタセンの蒸着膜上にTTF-TCNQをインクジェット法により成膜する方法⁶⁾等が報告されている。

また、TTF-TCNQおよびそれら誘導体以外の有機化合物を用いた例として、4,4',4''-トリ [3-メチルフェニル (フェニル) アミノ] トリフェニルアミン(m-MTDATA)膜上にヘキサデカフルオロ亜鉛フタロシアニン (F₁₆ZnPc)を成膜する方法が挙げられる⁷⁾。この報告では、電子供与性分子層と電子受容性分子層界面の平滑化が重要なこと、さらに伝導度はキャリア密度とキャリア移動度の積で表されることからキャリア移動度も重要であることが示され、実用的な有機電極に必要な特性を明確にした。

しかしながら、成膜性を重視しアモルファス材料であるm-MTDATA膜を電子供与性分子層として利用したため、そのキャリア移動度は低く、その結果、伝導度 σ も 1×10^{-3} S/cmと有機エレクトロニクスデバイスに利用する有機電極に求められる伝導度までには至っていない。

本研究では、有機エレクトロニクスデバイスに利用可能な有機電極の実現に向け、キャリア移動度の高い材料の平滑膜を成膜し、この膜上にCT錯体を形成することで高伝導性有機電極の形成を試みた。

2. 技術

2-1 有機半導体電極を実現するための電子供与性分子と電子受容性分子の設計

有機半導体電極を構成する電子供与性分子と電子受容性分子に求められる特性としては以下の性質が必要とされる。

- ①CT錯体を形成すること
- ②高いキャリア移動度を有すること
- ③少なくとも一方が平滑な成膜が可能であること

CT錯体の存在は19世紀から知られており分子軌道法を用いた理論解析により定量的説明もなされている⁸⁾。電子供与性分子 (D) と電子受容性分子 (A) から成る錯体 (D \cdots A) の電荷移動量を δ で表すと式1となる。

$$D + A \rightarrow D^{+\delta} \cdots A^{-\delta} \quad (0 \leq \delta \leq 1) \quad \text{式1}$$

Dのイオン化ポテンシャル (IP) が小さいほどドナー性が強く、Aの電子親和力 (EA) が大きいほどアクセプターは強く、この場合 $\delta = 1$ となりイオン結晶となる。その逆の場合、 δ が材料によって決まる臨界電荷移動量 (δ_c) を下回れば ($\delta \leq \delta_c$) 中性錯体となる。イオン結晶と中性錯体の中間 ($1 > \delta \geq \delta_c$) では、TTF-TCNQのように金属的挙動を示すようになる。TTF-TCNQ系の場合 δ_c はほぼ0.5である。特にTTF-TCNQ系列についてはDのIPの目安となる酸化電位とAのEAの目安となる還元電位とを用いたダイアグラムが提案されており⁹⁾、およそどの形態を取るかは予測が可能となっている。

TTF-TCNQおよびその誘導体は混晶によって $1 \text{ cm}^2/\text{Vs}$ を超えるキャリア移動度が報告されており⁵⁾、また同時に TTFの蒸着膜についても高いキャリア移動度が報告されているがTCNQの蒸着膜については $0.01 \text{ cm}^2/\text{Vs}$ 程度の移動度にとどまっている¹⁰⁾。

そこで本研究では高いキャリア移動度が知られており¹¹⁾、同時に電子受容性の強いフラーレン(C60)を電子受容性分子として選択した。しかしながらC60のLUMOは 4.2 eV でありTCNQと比べて小さく¹²⁾、TTFのHOMO

(5.1 eV)¹⁵⁾よりさらにIPを小さくした電子供与性分子の選択が必要である。そこでジアントラテトラチアフルバレン (DATTF : Fig.2) を新たに開発した。

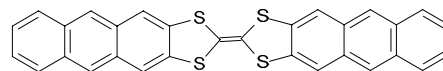


Fig.2 Molecular structure of DATTF.

まず、C60とDATTFについて、以下に記した方法により薄膜電界効果型トランジスタ (OFET) を作製し、それぞれのキャリア移動度を見積もった。

300nmの熱酸化膜を有する n^{++} -Si基板表面をフェニルトリクロロシラン(PhTS)により単分子膜処理を施し、C60およびDATTFをそれぞれ真空蒸着法にて成膜した場合のn型有機半導体特性およびp型有機半導体特性をFig.3に示す。ここで、横軸はゲート電圧を示し、縦軸は得られたドレイン電流を表す。共にソース電極ードレイン電極間電圧は100 Vであり、さらに、チャンネル長/チャンネル幅 (L/W) = $60 \mu\text{m}/2 \text{ mm}$ のチャンネルを形成するように金電極を配し半導体特性評価を行っている。

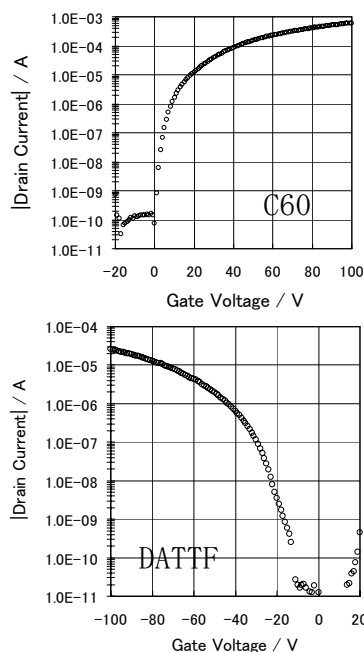


Fig.3 Transfer characteristics of FET characteristics for C60 and DATTF.

C60の電子移動度は $0.38 \text{ cm}^2/\text{Vs}$ と比較的高いが、DATTFはホール移動度 $0.022 \text{ cm}^2/\text{Vs}$ と低くさらに高い移動度を必要とする。しかしながらFig.4 に示す電子顕微鏡観察からC60は平滑な成膜となっているが結晶性が低く結晶性を上げることによりさらに高い移動度の可能性があること、DATTFは結晶性を有しているがフィン状の突起物があり平滑性に欠ける問題点が明らかとなった。

そこで、基板の表面エネルギーと真空蒸着時の基板温度の制御によりC60およびDATTFの高キャリア移動度化および平滑性向上の両立について検討をおこなった。

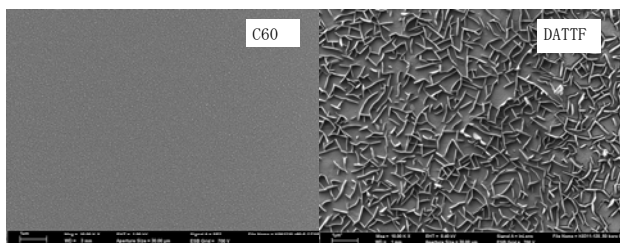


Fig.4 SEM images for the surface of C60 and DATTF layers.

2-2 平滑性と高キャリア移動度を両立する成膜

2-2-1 C60の成膜

C60の蒸着膜は電子顕微鏡では平滑に見えるが、面外X線回折測定 (Fig.5(下)) からその結晶性は低く、結晶性を向上させることにより更に高移動度化の可能性が示唆される。

そこでSi基板にPhTS単分子膜を設ける表面処理を施し、さらに結晶性を向上させるため基板温度を 150°C とした条件下でC60を真空蒸着法により成膜をおこない結晶性を向上させた(Fig.5(上))。また、その有機半導体特性評価をおこなったところ、電子移動度 $1.5 \text{ cm}^2/\text{Vs}$ が得られ(Fig.6)、結晶性を向上させることによりキャリア移動度を向上させた。しかしながらFig.7に示す電子顕微鏡観察から結晶性を向上させたため膜の平滑性はかえって減少した。

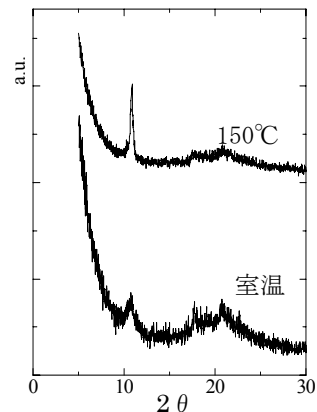


Fig.5 Out of plane XRD results for C60 deposition films.

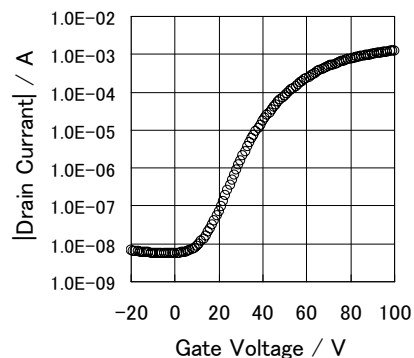


Fig.6 Transfer characteristics of FET characteristics for C60 deposited at 150°C .

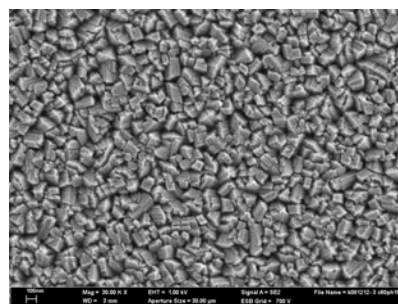


Fig.7 SEM images for the surface of C60 deposited at 150°C .

2-2-2 DATTFの成膜

Fig.4(右)に示したDATTF膜の面内・面外X線回折測定結果をFig.8 に示す。面外X線回折測定では 3.5° に鋭い回折ピークが見られるがDATTFの長手方向の周期

を示し、基板面に対してDATTFは立っていることが分かる。しかしながら面内回折においても同じく 3.5° に鋭い回折ピークが得られており、基板面に対して寝ている分子も数多く存在していることが分かる。

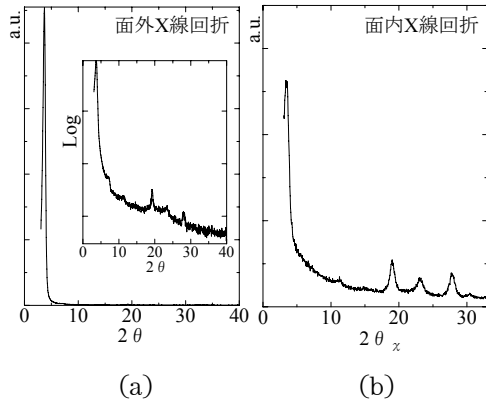


Fig.8 (a) Out of plane XRD result and (b) In plane XRD result for DATTF.

すなわちFig.9 に示されるようにDATTFは基板面に立って結晶化した構造が安定であるが、なかには基板面に対して寝た状態で結晶化する分子も存在するため、Fig.4に示されるようなフィン状の突起形状が形成される。このような場合は基板処理として表面エネルギーを下げることにより基板表面と分子間の密着性を弱め、かつ、蒸着時における基板加熱により分子の基板表面での動きをスムーズにすることにより平滑性を向上させることが可能である。

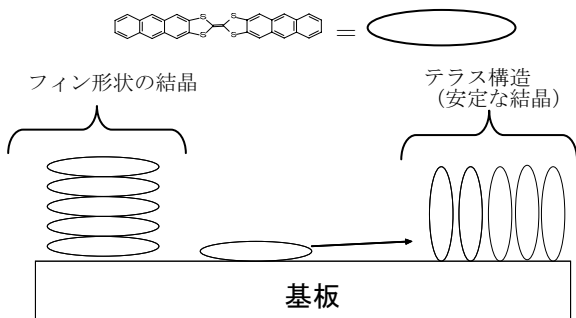


Fig.9 Schematic images for crystallization of DATTF.

そこで、Si基板にオクチルトリクロロシラン (C8-OTS) から成る単分子膜を設ける表面処理を施し、C60同様に基板温度を 150°C とした条件下でDATTFを真

空蒸着法により成膜をおこなったところ、Fig.10 に示すようなテラス構造を有する平滑性を向上させた成膜が可能となった。

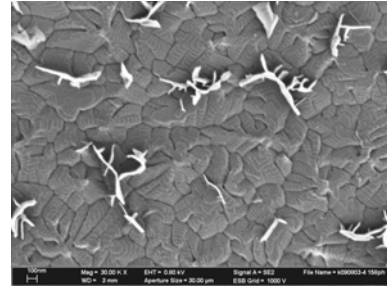


Fig.10 SEM image of smooth DATTF layer.

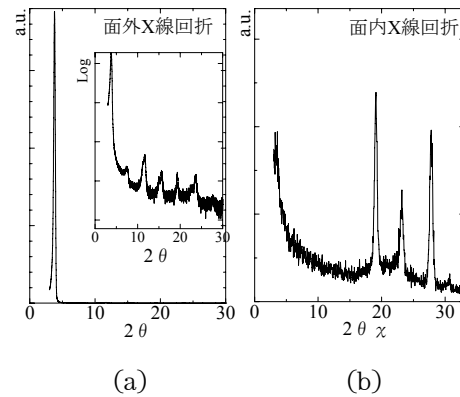


Fig.11 (a)Out of plane XRD results and (b)In plane XRD results for DATTF deposited at 150°C .

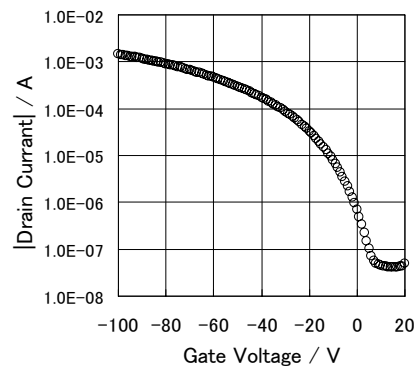


Fig.12 Transfer characteristics of FET characteristics for DATTF deposited on the C8-OTS treated n^{++} -Si-wafer at 150°C .

Fig.10 から室温での真空蒸着膜に現れていたフィン状の突起形状は大幅に減少しており、面内・面外X線

回折測定結果からも結晶性が向上し、かつ、基板面に対して寝ている分子の存在も大幅に減少していることが確認できる(Fig.11). p型有機半導体素子を作製し半導体特性評価をおこなったところ、ホール移動度 $2.2 \text{ cm}^2/\text{Vs}$ と大幅にキャリア移動度の向上にも成功した(Fig.12).

以上のことから、C60の結晶性を上げるとキャリア移動度は向上するが平滑性はむしろ悪くなるため下層での利用は好ましくない. 一方、DATTFは基板表面処理と蒸着時の基板温度を適切にコントロールすることにより高キャリア移動度と膜の平滑性の両立に成功した.

2-2 伝導度特性

DATTFは高キャリア移動度を有し、かつ、平滑性を向上させた成膜が可能となったことから、このDATTF膜上にC60を同じく真空蒸着法により成膜した積層膜についてその伝導度特性評価を行った. この積層膜は、基板表面をC8-OTSにて表面処理を施し、 150°C の基板温度下で 0.01 nm/s の蒸着速度にてDATTFを 40 nm 、続けてC60を 60 nm 成膜した(Fig.13). 金電極を用いて伝導度特性を評価した結果をFig.14に示す. 電流—電圧(I-V)特性では直線の関係が得られ、その伝導度は 0.2 S/cm と高い伝導度を示した. なお、ここで伝導度の計算には式2を使用した.

$$\sigma = I \cdot L / V \cdot t \cdot w \quad \text{式2}$$

Iは電流値、Lはチャンネル長、Vは電圧、tは導電厚さ(キャリア発生の深さ)、wはチャンネル幅をそれぞれ示す. また、キャリア発生領域はDATTFおよびC60の膜厚を変えて同様の測定を実施し、電流値が変化しなくなる 10 nm を用いて計算した.

比較のためC8-OTS単分子膜処理を施したSi基板の上にDATTFとC60の共蒸着膜についても同様の検討をおこなったが電流値も低く、また直線関係も得られておらず、DATTF/C60界面の平滑性が重要であることが確認できる(Fig.15).

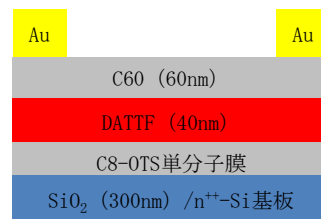


Fig.13 Schematic image of device structure for conductivity measurements.

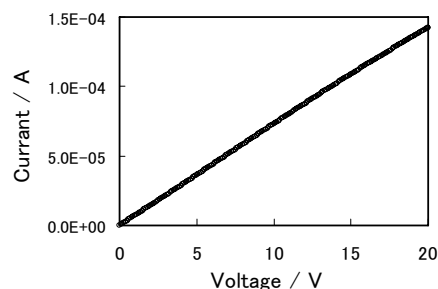


Fig.14 I-V characteristic for heterolayer of DATTF/C60.

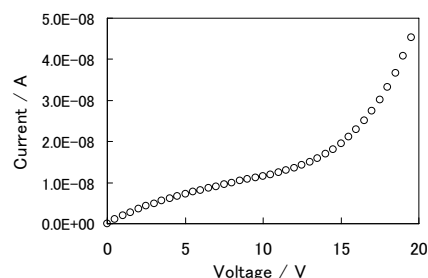


Fig.15 I-V characteristic for co-deposition film of DATTF/C60.

2-3 有機電極を用いたOFET特性

先に示したようにDATTFとC60の積層膜は有機電極として利用できるまで高い伝導度が得られた. 本実験で用いた電子供与性分子、電子受容性分子は共に単層膜で高いキャリア移動度を有していることから、正孔と電子共に伝導度に寄与していることが予想される.

そこでDATTFとC60の積層膜を電極形状に配しp型半導体であるペンタセンおよびn型半導体であるC60を活性層に用いて半導体特性評価を行った (Fig.16).

まず、 300 nm の酸化膜を有するSi基板表面をC8-OTS単分子膜処理を施した後、前節2-2で示した成膜条件にてシャドーマスクを用いてDATTFを、続けてC60を成

膜しボトムコンタクト型FETのソース電極およびドレイン電極を作製した。その後、シャドーマスクを外し有機半導体活性層であるペンタセンあるいはC60を成膜した。それぞれの真空蒸着時の基板温度は70℃と150℃で実施した。Fig.16(b)から明らかなようにDATTFとC60積層膜からなる有機電極はp型有機半導体、n型有機半導体共に駆動できることを確認した。

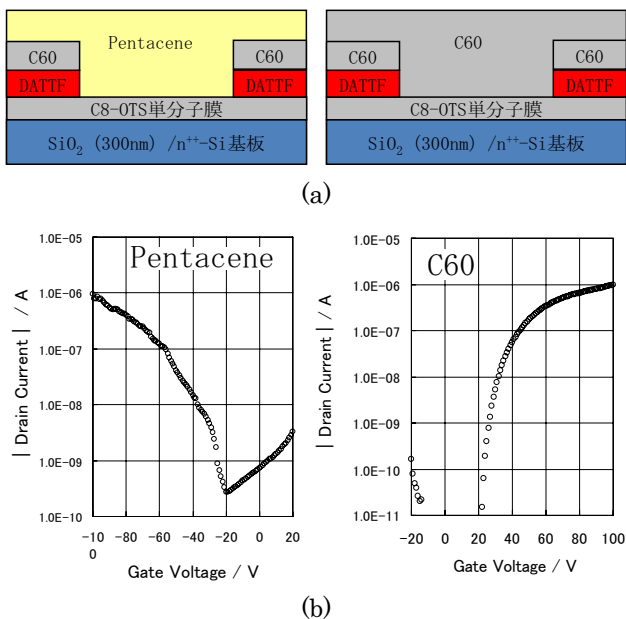


Fig.16 (a) Schematic image for device structure to p-type and n-type FET with the organic electrode consisted of DATTF/C60 layers. (b) Transfer characteristics of p-type and n-type FET characteristics in OFET devices.

2-4 新規有機半導体素子

Fig.12 および Fig.6 で示したように本研究で用いた電子供与性分子であるDATTFおよび電子受容性分子であるC60は、それぞれの単層膜において高いp型有機半導体特性とn型有機半導体特性を有しており、そのまま有機半導体素子の活性層として利用することが可能である特徴を有している。Fig.16(右)では、DATTF/C60積層膜からなる有機電極を電極形状に配した後、シャドーマスクを取り除き再度C60を真空蒸着法にて成膜しているが、DATTFを電極形状に成膜後、C60をDATTF上および有機半導体チャネル領域を覆うように成膜するだけでも、n型有機半導体素子の有機電極およ

び有機半導体活性層が同時に作製できる。同様に、DATTFを電極および有機半導体活性層部分に成膜後、所望の電極形状にC60を続けて成膜するとp型有機半導体活性層と有機電極が同時に作製できる (Fig.17)。

そこで、Fig.17に示した成膜プロセスにより、p型有機半導体素子とn型有機半導体素子および有機電極を同時に作製し、それぞれの有機半導体特性評価を行った (Fig.18)。

今回作製した素子ではFig.18(下)の半導体特性から示されるように現状では完全なオーミック接合には至っていないが、ここで提案する新規有機半導体素子は、Fig.18(上)に示したようにp型有機半導体ではDATTFとC60界面に形成された正孔がDATTFと絶縁膜界面に注入され、n型半導体素子ではDATTFとC60界面に形成された電子がC60と絶縁膜界面に注入されることになり、理想的には完全なオーミック接合となることが期待できる。

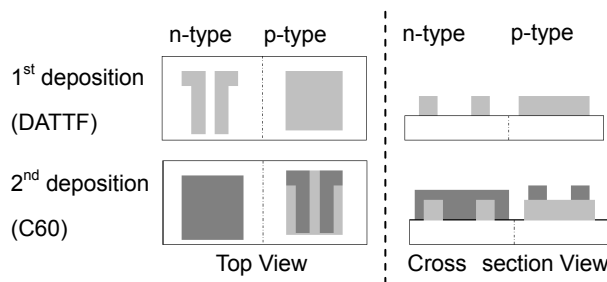


Fig.17 How to fabricate p-type, n-type and electrode by only twice deposition.

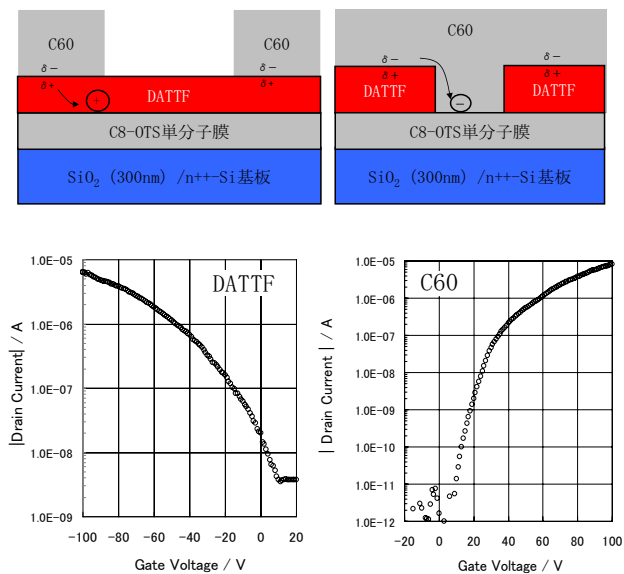


Fig.18 Novel OFET device structure and the transfer characteristics of p-type and n-type OFET.

3. まとめ

本研究では、新たに開発したDATTFとC60の積層膜を有機電極として用い、p型、n型それぞれの有機半導体駆動に成功した。また、DATTF、C60をそれぞれ同時に活性層として利用することにより2回の成膜プロセスによりp型有機半導体素子、n型有機半導体素子を有機電極まで含めて作製できることを示した。

4. 今後の展開

有機エレクトロニクスデバイスは、大面積化が容易であること、フレキシビリティ、可搬性に優れること等、様々なメリットから今後その利用価値はますます高くなることが期待されているが、同時に低コスト化についても大きな期待が寄せられている。

低コスト化にはプロセスの簡略化が大きな要素の一つである。本研究で開発した製造プロセスでは真空蒸着法を使用しているが、たとえば、下地層の上にインクジェットにて電極パターンを描画するだけで回路まで作製することができるようになるなど将来さらに発展が期待できる有望な技術といえる。

参考文献

- 1) H. EBATA et al. : Highly Soluble [1]Benzothieno[3,2-b]benzothiophene (BTBT) Derivatives for High-Performance, Solution-Processed Organic Field-Effect Transistors, *J. Am. Chem. Soc.*, 129, (2007), pp.15732-15733.
- 2) Z.LIU et al. : Solution-processed Flexible Organic Transistors Showing very-low Subthreshold Slope with a Bilayer Polymeric Dielectric on Plastic, *Appl. Phys. Lett.*, 94, (2009), pp. 203301-203303.
- 3) J.PERELAR et al. : Microwave Flash Sintering of Inkjet-Printed SilverTracks on Polymer Substrates, *Advanced Materials* 21, (2009), pp. 4830-4834.
- 4) J.FERRARIS et al. : Electron Transfer in a New Highly Conducting Donor-Acceptor Complex, *J. Am. Chem. Soc.*, 95, (1973), pp. 948-949.
- 5) Y.TAKAHASHI et al. : High Mobility Organic Field-Effect Transistor Based on Hexamethylenetetrafulvalene with Organic Metal Electrode, *Chem. Matter*, 19, (2007), pp. 6382-6384.
- 6) M.HIRAOKA et al. : On-Substrate Synthesis of Molecular Conductor Films and Circuits, *Advanced Materials* 19, (2007), pp. 3248-3251.
- 7) T.SAKANOUE et al. : Charge separation and transport behavior of a two-dimensional charge sheet at organic donor-acceptor heterointerfaces, *Appl. Phys. Lett.*, 105, (2009), pp. 114502-114507.
- 8) R.S.MULLIKEN : Molecular Compounds and their Spectra. II, *J. Am. Chem. Soc.*, 74, (1952), pp. 811-824.
- 9) Y.TAKAHASHI et al. : Organic Metal Electrodes for Controlled p- and n-type Carrier Injections in Organic Field-effect Transistors, *Appl. Phys. Lett.*, 88, (2006), pp. 073504-07506.
- 10) H.Wada et al. : Contact Resistance and Electrode Material Dependence of Air-stable n-channel Organic Field-effect Transistors using Dimethyldicyanoquinone-diimine (DMDCNQI), *Journal of Materials Chemistry*, 18, (2008), pp.4165-4168.

- 11) K.ITAKA et al. : High-Mobility C60 Field-Effect Transistors Fabricated onMolecular-Wetting Controlled Substrates, *Advanced Materials* 18, (2008), pp. 1713-1716.
- 12) N.MUHAMMAD et al. : Charge transfer in hybrid organic- inorganic PbS nanocrystal systems, *Phys. Chem. Chem. Phys.*, 12, (2010), pp. 7371-7377.

架橋保護層を用いた高耐摩耗感光体の開発

Development of High Abrasion Resistance Organic Photoreceptors utilizing Cross-linked Overcoat Layer

河崎 佳明*	北嶋 良一*	鈴木 哲郎*	永井 一清*	梁川 宜輝*
Yoshiaki KAWASAKI	Ryohichi KITAJIMA	Tetsuro SUZUKI	Kazukiyo NAGAI	Yoshiki YANAGAWA
廣瀬 光章*	杉野 顕洋*	浅野 友晴*	藤原 由貴男*	生野 弘*
Mitsuaki HIROSE	Akihiro SUGINO	Tomoharu ASANO	Yukio FUJIWARA	Hiroshi IKUNO

要 旨

近年、電子写真方式を用いた高速デジタルプリンタのプロダクション市場への進出が拡大している。プロダクション市場では「高画質」、「高信頼性/高耐久性」、「高生産性」が求められており、感光体については静電的な安定性、及び機械的な摩耗耐久性が求められている。従来の感光体では最表層の摩耗速度が大きいため摩耗耐久性に劣り、プロダクション市場で求められる耐久寿命を得ることが困難であった。

上記課題に対して、我々は電荷輸送性を低減させることなく摩耗耐久性を向上させた新規保護層を開発した。

ABSTRACT

Recently, electrophotographic high-speed digital printers have been making progress in the production printing market. The production printing market requires “high image quality”, “high reliability and durability”, and “high productivity” for high-speed digital printers, and “electrostatic stability” and “mechanical abrasion resistance” for organic photoreceptors. The conventional organic photoreceptors have not met such requirements, because the conventional surface layer is less durable to abrasion.

To solve the above problem, we have developed a novel overcoat layer having improved abrasion durability, without reducing charge transport ability.

* 画像エンジン開発本部 機能材料開発センター
Functional Material Development Center, Imaging Engine Development Division

1. はじめに

近年、プロダクション市場では印刷物の多品種、少ロット化に対するニーズが拡大しており、必要な時に必要な部数を低コストで印刷できるPOD（プリントオンデマンド）に対応する印刷機が求められている。多くの印刷方式の中でも、このようなニーズを十分に満足する方式として電子写真方式が有望であるが、「画質」，「信頼性/耐久性」，「生産性」をさらに向上させることが、電子写真方式に求められている¹⁾。中でも「信頼性/耐久性」を向上させるためには、電子写真プロセスの中心を構成する感光体の長寿命化が必要であり、リコーにおいても感光体の高耐久化の開発が活発に行われている。

感光体の高耐久化については高速モノクロデジタルプリンタ(imagio MP1350)に搭載している感光体において、局所的なリークを抑制するためのブロッキング層の導入、及び、電荷輸送層の厚膜化による摩擦余裕度を向上させることで地肌汚れ特性の改善²⁾がなされている。また耐摩擦性の向上についてはフィラーを含有した表面保護層及び感光体表面への滑剤塗布による摩擦量の低減^{3), 4)}などによって徐々に耐久性を高めてきた。

しかしながら「高画質」，「高信頼性/高耐久性」，「高生産性」が求められるプロダクション市場において、さらに電子写真方式を拡大していくためには、今まで以上に感光体の長寿命化が求められ、感光体のさらなる高耐久化、特に高耐摩擦化が必要となる。

感光体の高耐摩擦化は特にカラープリンタで重要と考えられる。タンデム方式のカラープリンタの場合、わずかな差でも色重ねにより色差として現れるため、中間調電位を安定化させることは非常に重要である。

Fig.1は感光体表面を強制的に約15 μ m摩擦させて膜厚を変えたPhoto-induced discharge curve (PIDC)である。感光体膜厚が大きく変化することでPIDCが大きく変化する。特に中間調電位は膜厚変動の影響が非常に大きいことから、中間調電位の安定化のためには高耐摩擦化による膜厚変動の低減が非常に重要である。

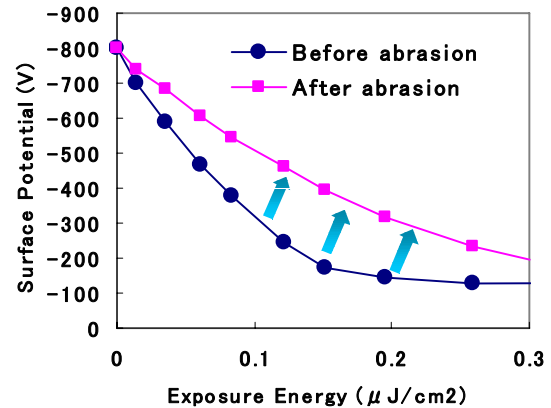


Fig.1 PIDC of photoreceptor before and after abrasion.

また感光体の高耐久化に対する別の課題として、地肌汚れの改善がある。

地肌汚れとはネガポジ現像において未露光部にもかかわらず、紙上にトナーが現像される状態である。

Fig.2は摩擦原因による地肌汚れの発生をイメージした図である。

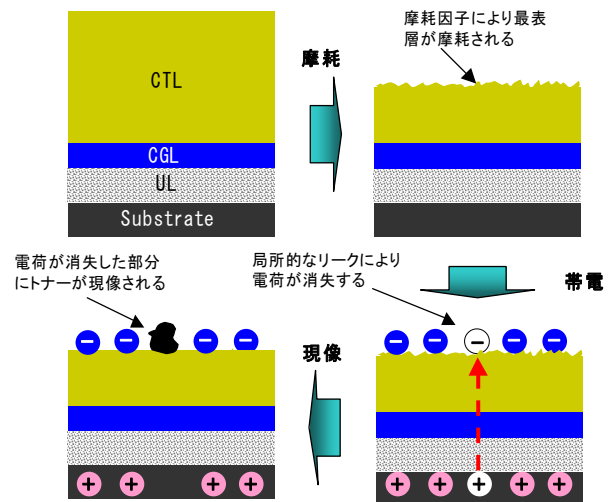


Fig.2 Background fouling model.

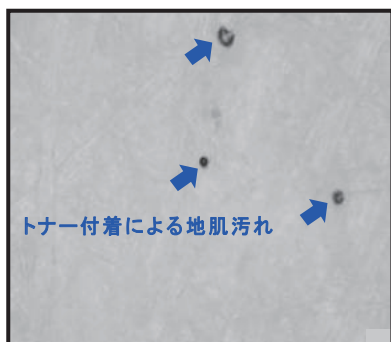


Fig.3 Optical microscope photograph of background fouling on a paper.

イメージ図に示すように、感光体表面がクリーニングブレード等の摩耗要因によって摩耗されることで感光層の膜厚が小さくなり、一定の帯電電圧下において電界強度が大きくなり、その中でも耐電圧の弱い部分に局所的なリークが発生して表面電荷が消失する。その結果、電荷が消失した部分にトナーが現像されて地肌汚れとなることが考えられる(Fig.3)。

このように感光層の摩耗が原因で起こる地肌汚れを改善するためには中間調濃度の安定化と同様に耐摩耗性の向上が重要である。

耐摩耗性の向上という課題に対し我々は、紫外線(UV)照射によって架橋する保護層の技術を開発した。本報告では電気特性を損なうことなく、高い耐摩耗性を有する長寿命感光体技術について紹介する。

2. 技術

2-1 電子写真プロセスの概要/感光体の構成

はじめに電子写真プロセスと感光体について簡単に説明する。

電子写真方式における作像プロセスでは、まず感光体表面が帯電器によって均一に帯電され、次にレーザー光によって画像情報が感光体上に露光されることで静電潜像を形成する。その後、現像部においてトナーで現像され、そのトナー像を紙に転写して画像を得る。転写されなかったトナーはクリーニング部材によって取り除かれる。このようにして1サイクルが終了

して初期の状態に戻る。プリンタではこのような作像サイクルが数十万回繰り返され、各部材より電氣的、化学的、機械的な負荷を受けて、徐々に劣化して寿命を迎える。

次に感光体について簡単に説明する。

一般的な感光体の層構成をFig.4に示す。下から順にアルミニウム支持体、下引き層(UL)、電荷発生層(CGL)、電荷輸送層(CTL)が形成される。ULは基体からの電荷注入防止、及びモアレ画像防止の役割があり、CGLは画像露光を吸収して電荷を発生する役割がある。CTLはCGLから表面にまで電荷を輸送させる役割があり、さらにその上に今回開発した架橋保護層が形成される。

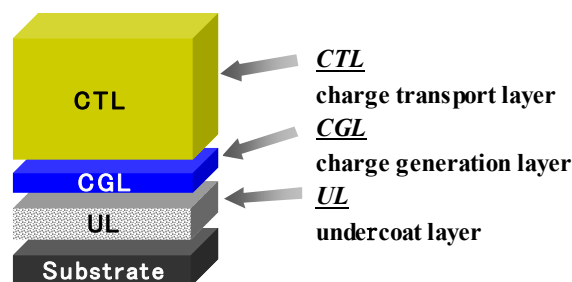


Fig.4 Structure of organic photoreceptors.

2-2 架橋保護層の特徴

2-2-1 耐摩耗性

次に新規開発した架橋保護層について説明する。

Fig.5は従来の電荷輸送層(CTL)の摩耗モデル(a)と新規保護層の摩耗モデル(b)のイメージ図である。CTLには電荷輸送機能を持たせるため、低分子電荷輸送物質(CTM)を樹脂中に分散している。しかしながら十分な電荷輸送性を持たせるために樹脂中のCTM含有濃度が大きくなると樹脂間の絡み合いが少なくなり、例えば、クリーニングブレードのような摩耗要因によって繰り返し摺擦されることで樹脂がほぐれるように摩耗が進行することが考えられる。

一方、3次元的に架橋している新規保護層の場合、摩耗要因によって一部の分子鎖が切断しても他の結合が

残存するため、耐摩耗性が向上すると考えられる。

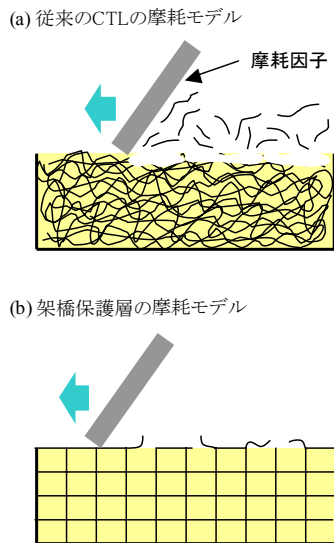


Fig.5 Abrasion diagrams of (a) conventional charge transport layer and (b) cross-linked overcoat layer.

2-2-2 電荷輸送性

従来のCTLには電荷輸送性を持たせるためCTMを樹脂中に分散させていることは先ほど述べた。同様に架橋保護層においても電荷輸送性を持たせるためにCTMを含有させることは可能であるが、従来のCTMでは架橋保護層中にCTMが固定されないため、耐摩耗性が著しく低下する。そこで新規保護層では重合性官能基を有する電荷輸送物質 [CT-monomer(Fig.6)] と電荷輸送機能を持たないMonomerをUV照射により3次元架橋させることで電荷輸送性と耐摩耗性を実現させている。

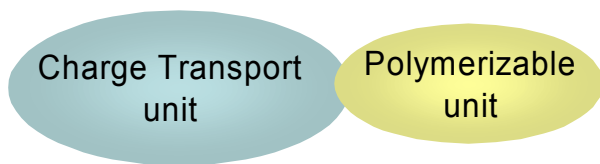


Fig.6 CT-monomer model.

さらに詳細に説明すると、Fig.7のイメージ図に示すように、3次元架橋構造により耐摩耗性が維持され、かつ、CTLから注入された正孔はCT-monomerの重合性

官能基に結合された電荷輸送ユニット間をホッピング移動することで感光体表面に達することが可能となる。

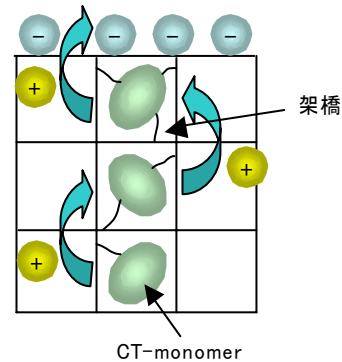


Fig.7 Charge transporting model in overcoat layer.

Fig.8 は保護層中のCT-monomerの含有効果を示したグラフである。

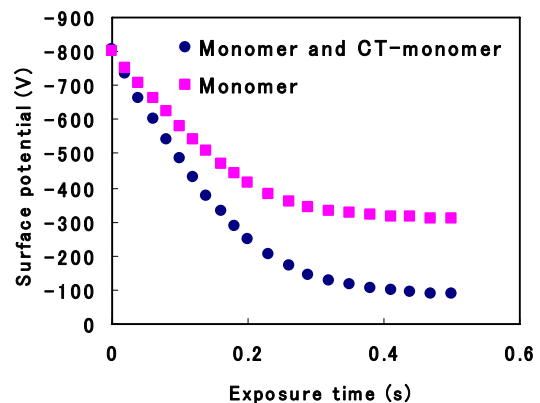


Fig.8 Effect of CT-monomer in overcoat layer.

CT-monomerを含有しない保護層の場合、露光後、感光体の表面電位が十分に減衰しないのに対して、Monomerに加えてCT-monomerを含有させた保護層では露光後すみやかに電位減衰した。この結果より、CT-monomerを保護層に含有させることにより電荷輸送機能が改善されたことがわかる。

2-3 架橋保護層の形成

2-3-1 構成材料

次に架橋保護層の形成方法について説明する。

保護層を形成する材料は、

- ① Monomer,
- ② CT-monomer,
- ③ 開始剤,

から構成される。

① Monomerは耐摩耗性に関わる材料として非常に重要である。耐摩耗性を向上させるためには、いかに架橋密度を大きくするかが重要となるが、そのためにはMonomerの重合性官能基数を多くすることが効果的である。

② CT-monomerは先ほども述べたように、電荷輸送機能を持ったユニットと重合性官能基から構成される。重合性官能基数が多いほど架橋密度が大きくなり、耐摩耗性が良好になるが、一方、膜中におけるCT-monomerの空間的な自由度が低下するため電荷輸送性が低下する。従って、耐摩耗性と電荷輸送性さらにその他の特性を考慮してCT-monomerを選択する必要がある。

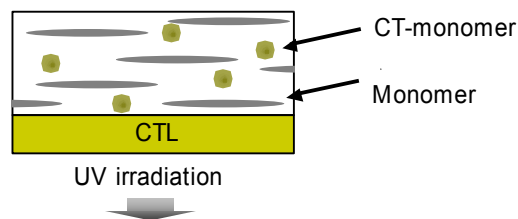
③ 開始剤の機能は光を吸収してラジカルを発生し、ラジカル重合を開始させることである。そのためには開始剤の吸収波長とUVランプの発光波長を合わせることが重要である。一方、開始剤、あるいはその分解物が感光体内に残留しても感光体特性に悪影響を及ぼさないものであることが重要である。

2-3-2 保護層の作製

次に保護層の作製について説明する。Fig.9は保護層の作製方法を簡単に示したイメージ図である。

Monomer, CT-monomer, 及び開始剤を必要に応じて溶剤に溶解し、塗工液を作製する。この塗工液をCTL上に適当な方法で塗布して、その後必要な時間UVを照射する。

(a) Before UV irradiation



(b) After UV irradiation

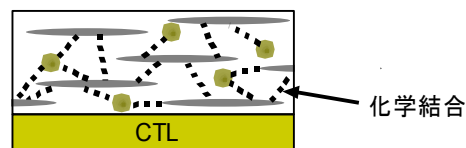


Fig.9 Image chart of forming overcoat layer.

このようにして作製された架橋保護層はFig.10のSEM写真でわかるようにCTL上に形成され、有機溶剤に不溶となることが確認された。



Fig.10 Cross sectional SEM view of organic photoreceptors.

2-4 耐久性評価

架橋保護層の実力を把握するため、高速モノクロデジタリプリンタ imagio MP1350にて耐久性試験を実施した。

2-4-1 感光体の層構成

評価用感光体として、3次元架橋された新規保護層を有する感光体 [(a)New type] を準備した。また比較感光体として保護層を有さない感光体 [(b)Conventional type] を準備した(Fig.11)。

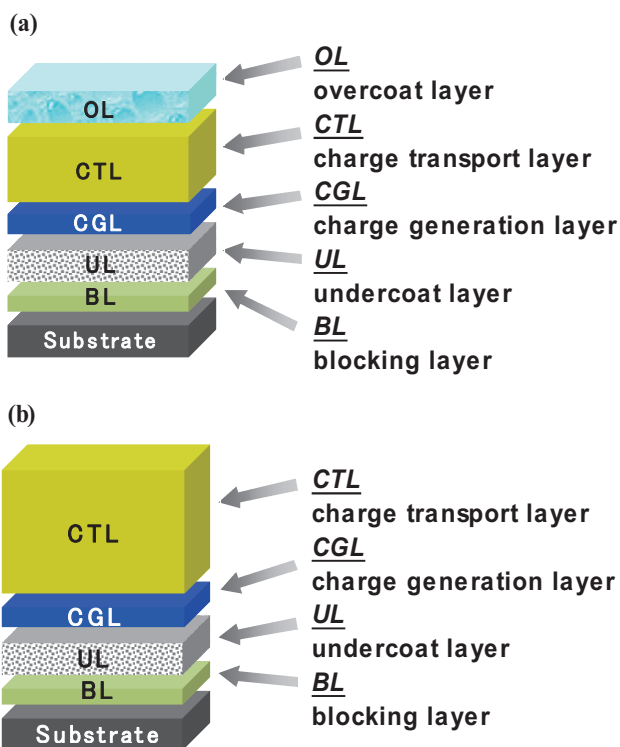


Fig.11 Schematically illustrates the layer structures of (a) the novel photoreceptor and (b) a conventional photoreceptor diagram of forming cross-linked overcoat layer.

2-4-2 摩耗特性

はじめに摩耗特性について説明する。

Fig.12はプリント枚数に対する最表層の摩耗量を示した図である。

従来の感光体は1000Kプリントで約 $7.5\mu\text{m}$ の摩耗量に対して、新規保護層を有する感光体では $1.9\mu\text{m}$ の摩耗量に低減しており、最表層を3次元架橋させることで摩耗特性が格段に改善されたことがわかる。

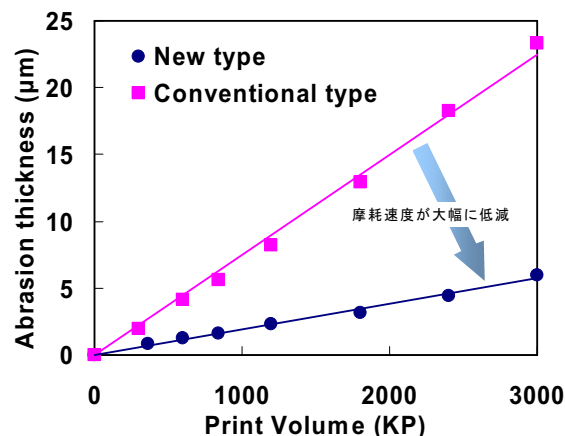


Fig.12 Results of abrasion resistance.

2-4-3 中間調電位特性

Fig.13はプリント枚数に対する中間調電位の変動を示した図である。

従来の感光体は1000Kプリントで70Vの中間調電位の増加が見られるのに対して新規保護層を有する感光体では40Vに低減している。これはFig.1で説明したように摩耗量の低減効果によるものと考えている。

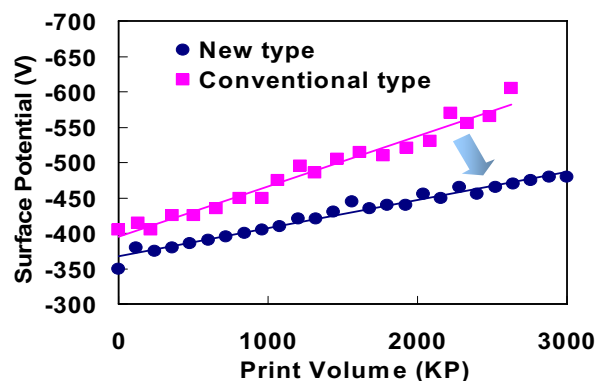


Fig.13 Results of halftone potential variation.

2-4-4 地肌汚れ特性

次に地肌汚れ評価結果について述べる。

Fig.14はプリント枚数に対する地肌汚れ特性を示したものである。ここでは地肌汚れのレベルを5段階でランク評価しており、数値が大きいほど地肌汚れの程度が良くなることを示している。

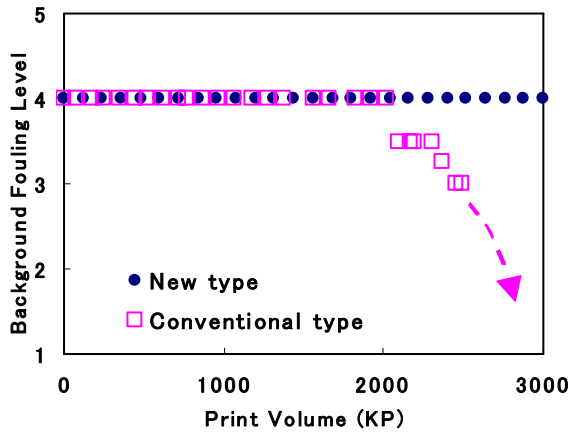


Fig.14 Results of background fouling level.

従来の感光体では2000Kプリントを越えると地肌汚れランクが急激に低下し始めるが、これはCTLの大幅な摩耗によって、電界強度が大きくなり、局所的な電荷のリークが増大したことで地肌汚れが急激に発生したと考えている。一方、新規保護層を有する感光体では3000Kプリント後も地肌汚れランクの低下がなく、地肌汚れ特性が大幅に改善された。これは新規保護層の摩耗量が非常に少なく、3000Kプリントにおいても従来の感光体の1000Kプリント程度しか摩耗しないためと考えている。

3. まとめ

本報告ではMonomerとCT-monomerを共重合させることで電気特性を低下させることなく耐摩耗性を向上させたUV架橋保護層の開発について述べた。

結果は以下の通りである。

- (1) 耐摩耗性が従来の約4倍向上した。
- (2) 中間調電位変動が従来の約2倍向上した。
- (3) 地肌汚れ特性が従来と比較して格段に向上した。

以上の結果より、新規保護層を採用した感光体を搭載することで、プロダクションプリンタに求められる「高信頼性/高耐久性」に寄与できると考えている。

4. 今後の展開

UV照射による3次元架橋膜を保護層に採用することで耐摩耗性が格段に向上し、その効果によって中間調電位の安定化、及び地肌汚れの大幅な向上が確認された。今後はMonomer、CT-monomer及びそれらの構成比等の最適化を行うことで、さらに高速デジタルプリンタにマッチングした感光体の開発を進めていく。

参考文献

- 1) T.Sugiyama, Y.Fujinuma, M.Nakayama, R.Kitajima, T.Satoh, M.Okamoto: High Speed Digital Full Color Printer RICOH Pro C900, Journal of the Imaging Society of Japan, 48, 51-57 (2009)
- 2) N.Toda, R.Kitajima, T.Niimi, N.Tamoto, T.Orito, Y.Yamashita, M.Koeda and I.Shimeki: Development of OPC for high speed digital monochromatic MFP, Proceeding of NIP23: International Conference on Digital Printing Technologies (Anchorage, Alaska), 639-642 (2007).
- 3) S. Nohsho, R. Kitajima, T. Ikegami, T. Suzuki, T. Niimi and N. Kojima: A High-Endurance Organic Photoreceptor Having a Filler-Reinforced Layer, Proceeding of NIP22: International Conference on Digital Printing Technologies (Denver, Colorado, USA), 4-7 (2006).
- 4) S. Nohsho, R. Kitajima, T. Ikegami, T. Suzuki, T. Niimi and N. Kojima: Development of High Endurance OPC accumulating protective layer, RICOH TECHNICAL REPORT, 31, 32-38 (2005).

薄片メディアを用いたドライ洗浄技術の開発

Development of Dry Washing Technology with Thin Pieces of Media

岡本 洋一* 淵上 明弘* 佐藤 達哉* 種子田 裕介*
Yoichi OKAMOTO Akihiro FUCHIGAMI Tatsuya SATO Yusuke TANEDA

要 旨

環境負荷が高い湿式洗浄に代わる、樹脂フィルム等の小片を用いたドライ洗浄技術を開発し、自社内の生産工程に導入して環境負荷の削減とコスト削減を実現した。この技術は、複写機等の回収部品再生のためのトナー清掃工程、およびプリント基板半田付け装置で用いる治具の洗浄工程で実用化され、現在国内外の多数の工場で運用中である。同技術は、(1)水や溶剤を使用しないため、洗浄による廃液が発生しない、(2)薄片メディアのエッジや面の接触作用により効率よく汚れを除去できる、(3)薄片メディアを循環させ繰り返し利用するため、消耗品の環境負荷やランニングコストが小さい、といった特徴を有しており、今後さらなる応用拡大が期待される。

ABSTRACT

Dry washing technology with small pieces of plastic film has been developed; it reduces both the environmental load in and the cost of the company's production process. The new technology was first applied practically to the toner-cleaning process for recycling used copier parts, and then to the jig-cleaning process for soldering printed circuit boards. It is now used at domestic and overseas manufacturing sites. The technology has several advantages: (1) it generates no wastewater, because neither water nor solvent is used; (2) it achieves effective cleaning by making contact with the edge or face of thin cleaning media; (3) it exacts a small environmental load and has a low running cost of consumables because of the circulation and repetitive use of thin cleaning media.

* グループ技術開発本部 環境技術開発室
Environmental Technology Development Dep., Corporate Technology Development Group

1. 背景

1-1 開発のねらい

洗浄工程は、ものづくりになくてはならない工程であり、当社においても複写機やプリンターといった製品の製造やリサイクル工程においてさまざまな洗浄が行われている。しかしながら、一般的に用いられる湿式洗浄は、①環境負荷が大きい、②リードタイムが長い、③コストや作業負荷が大きいといった課題を有している。

これらの湿式工程の課題を解決し、①洗浄に伴い発生する廃液やVOC（揮発性有機化合物）の削減、②洗浄および乾燥に要する時間の短縮、③ランニングコストおよび洗浄作業負荷の削減、を実現するため、より環境負荷が低く効率的な新規洗浄技術の開発に取り組んだ。

1-2 従来技術¹⁾

汚れを除去する方式は、固体や気体を洗浄媒体として用いる乾式洗浄と、液体を洗浄媒体として用いる湿式洗浄の2つに分類することができる。

1-2-1 乾式洗浄

(1) 空気流のみを用いるエアブロー方式は、除去能力がそれほど高くないため、主として弱い付着汚れの除塵等の目的で用いられている。

(2) 空気流にドライアイスの粒子を混入させて対象物に衝突させるドライアイスブラスト方式は、洗浄媒体が対象物に残留しないという長所を有するが、消耗品となるドライアイスのランニングコストが大きく、実用上使える対象物が限られている。

(3) ガラスビーズやアルミナ粒子、重曹粒子等を気流で吹き付けるブラスト方式は、強固にこびりついた付着物の除去に用いられている。除去力が大きい反面、対象物を傷つけてしまう場合や、投射する粒子が大量の廃棄物を発生させるといった問題がある。

1-2-2 湿式洗浄

(1) 界面活性剤等の水系洗浄は、洗浄媒体として安価な水を利用できるメリットがあるが、洗浄後の乾燥に時間とエネルギーがかかり、すすぎも含めると大量の廃液が発生する点が欠点である。

(2) 有機溶剤等の非水系洗浄は、脱脂洗浄等の用途に適しているが、オゾン層破壊や地球温暖化に影響の大きい溶剤は規制により使われなくなっている。また、揮発性溶剤を用いる場合は、安全性（引火性、人体に対する有害性）の問題やVOC（揮発性有機化合物）の発生による大気汚染の問題がある。

以上説明した各洗浄方式の主なメリット／デメリットの比較をTable 1に示す。

Table 1 Comparison of cleaning methods.

方式	メリット	デメリット	
乾式	(1)エアブロー	ダメージが低い 廃棄物が少ない	除去力が低い
	(2)ドライアイス ブラスト	投射材の残留なし	ランニングコストが高い 酸欠に注意が必要
	(3)各種 ブラスト	除去力が高い	対象物へのダメージ 投射材の消耗が多い
湿式	(1)水系	コストが安い	大量の廃液の発生 乾燥時間が長い 錆の発生
	(2)非水系	脱脂能力に優れる	環境や人体に悪影響 溶剤が高価 樹脂等へのダメージ

2. 新洗浄方式

2-1 原理と特徴

Table 1に示した従来技術のデメリットを克服する新たな洗浄方式の開発に取り組み、樹脂フィルム等の薄片を洗浄媒体として気流で吹きつけるという、独自の乾式洗浄方式を考案した。本洗浄方式は、以下のような原理と特徴を有している。

2-1-1 汚れの除去

薄片状の洗浄媒体を高速で衝突・接触させることにより、対象物から汚れを除去する。薄片状の洗浄媒体として柔軟で薄くたわみやすい素材を用いた場合は、広い面積で接触することにより、対象物を傷つけることなく効率的に汚れを除去することができる (Fig.1)。

また、硬く厚めの素材を用いた場合は、薄片のエッジ部で衝突する際に高い除去力が得られるため、強固に付着した汚れを除去することもできる。

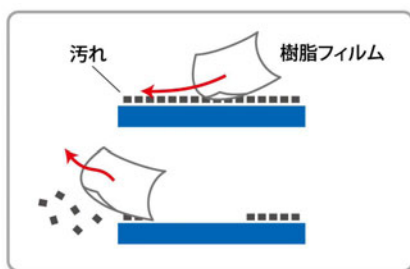


Fig.1 Cleaning process of residual substances using plastic films.

2-1-2 汚れの分離・排出

対象物から除去された汚れは、気流に乗って集塵口へ運ばれる。薄片状の洗浄媒体と汚れは大きさの違いにより集塵口で分離され、気流とともに汚れのみが排出される (Fig.2)。

洗浄媒体に付着した汚れや洗浄装置内に付着した汚れも、洗浄媒体を装置内で循環させる過程でセルフクリーニングされ排出される。洗浄媒体の清浄度を保ちつつ、洗浄媒体を繰り返し使用することにより、少量の洗浄媒体で汚れが除去可能である。

なお、繰り返し使用により劣化・磨耗して集塵口より小さくなった洗浄媒体は、汚れとともに排出される。

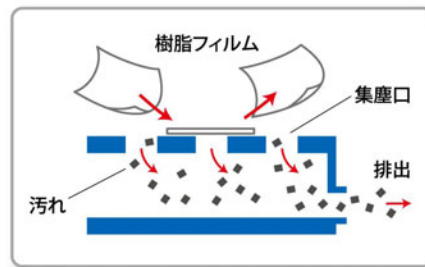


Fig.2 Separation and release of residual substances from plastic films.

2-2 洗浄のモデル式

本洗浄方式は、洗浄媒体の衝突・接触作用により汚れを除去するため、対象物からの汚れの除去速度 V は洗浄媒体と汚れの接触確率 P に比例する。

$$V \propto P \quad (1)$$

ここでは、洗浄媒体が接触した箇所の汚れはすべて除去され、対象物へ再付着はしないものとする。この仮定は、洗浄媒体が清浄であれば妥当なものと考えられる。

Fig.3のモデル図で示すように、洗浄媒体が汚れに接触する確率 P は、汚れの濃度 (残留率) Y に比例することから、

$$P \propto Y \quad (2)$$

と置くことができる。

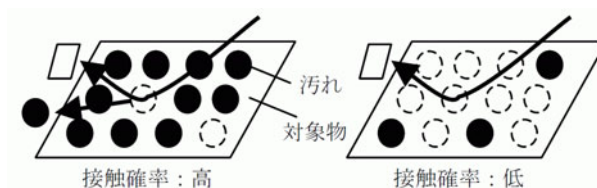


Fig.3 Probability model of contact of films with residual substances.

汚れの濃度 (残留率) Y を用いると汚れの除去速度 V は $-dY/dt$ で表わされるため、(1)(2)より以下の式が成り立つ。

$$-dY/dt = kY \quad (3)$$

ここで、 t は時間、 k は比例係数である。式(3)より

$$Y = Y_0 \exp(-kt) \quad (4)$$

を得る。ここで、 Y_0 は Y の初期値を示す。

式(4)によれば、汚れの濃度（残留率）は時間に対して指数関数的に減少していくことになる。

本洗浄方式での実際の汚れ除去過程を縦対数グラフでプロットすると、Fig.4に示すようにほぼ直線となる。汚れの付着力や除去能力の違い（投入する気流エネルギーや洗浄媒体の種類等）によりグラフの傾きは異なるが、おおむね上記の式(4)を導いたモデルで汚れが除去されていると考えられる。

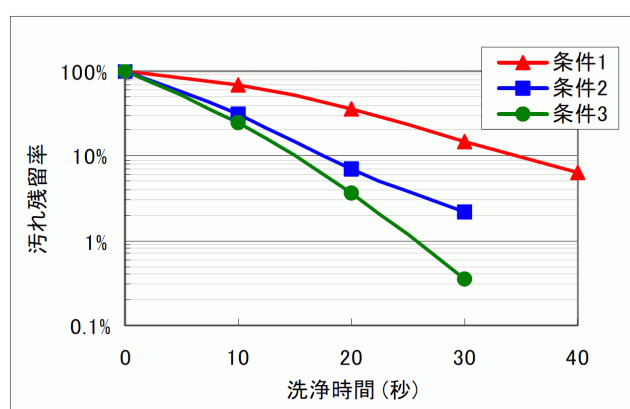


Fig.4 Time-series progress of cleaning process.

3. 要素技術

3-1 洗浄媒体

3-1-1 粉体汚れ用洗浄媒体

トナー粉等の比較的付着力の小さい汚れに対しては、柔軟な薄片洗浄媒体を用いて「はたき」と同様の作用で効率的に汚れを除去することができる。洗浄媒体として使用する樹脂フィルムは下記の特徴が要求される。

- (1) 対象物へ広い面積で接触する柔軟性
- (2) 対象物を傷つけない適度な硬さ
- (3) 繰り返し使用に対する耐久性
- (4) 帯電による付着の少なさ

これらの要求特性を元に、さまざまなフィルム素材の評価を行い、最終的に耐折性³⁾が10000回以上の耐久

性を持つ、ポリエステル系の素材 (Fig.5) を選定した。フィルム片の大きさは数mm角である。



Fig.5 Cleaning media.

3-1-2 固着汚れ用洗浄媒体

強固に付着した汚れの除去に対しては、薄片洗浄媒体のエッジで削り取るような除去作用が有効である。Fig.7に示すさまざまなフィルム素材を評価した結果、以下の知見が得られた。

- (1) エッジが変形したり潰れたりする素材では、繰り返し使用するうちに、固着汚れの除去能力が低下する (Fig.6 : 材質A, B) .
- (2) 適度に割れやすい素材では、割れて新たなエッジが生成することによりエッジの鋭さが維持され、繰り返し使用しても固着汚れの除去能力が保たれる (Fig.6 : 材質C, D) .

すなわち、樹脂フィルムのエッジによる汚れ除去作用を保つことが重要なポイントとなる。

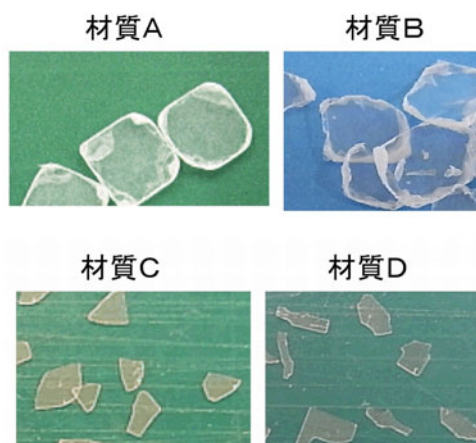


Fig.6 Deterioration mode differences with film materials.

フィルム素材の機械的特性値と、汚れ除去能力の相関を調べた結果、最終的に下記の特性値を抽出した。

- (1) 塗膜の引掻き硬度測定で使用される「鉛筆硬度²⁾」という特性値（傷がつかない鉛筆の最大硬度）が、汚れを除去するのに必要なフィルム硬さを最もよく表す。
- (2) 屈曲耐久性の評価指標である「耐折性³⁾」という特性値（破断までに要する繰り返し曲げ回数）が小さい方が、繰り返し使用時に鋭いエッジが保たれ、汚れ除去能力が維持される。

フィルムの硬さの指標として「鉛筆硬度」を横軸に、エッジ維持の指標として「耐折性」を縦軸にとり、各種フィルムの測定データをプロットしたものをFig.7に示す。

固着汚れを除去する能力が維持される素材はすべて、Fig.7の右下の領域（鉛筆硬度が付着物よりも大きく、耐折性が65未満）に入ることがわかった。

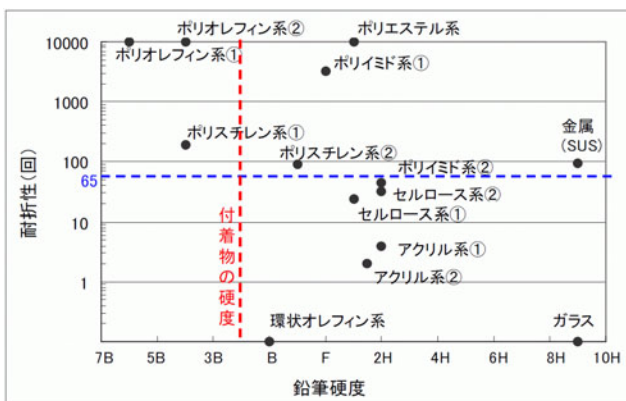


Fig.7 Bending durability and pencil hardness for various film materials.

3-2 洗浄装置

3-2-1 粉体汚れ用洗浄装置

洗浄装置に求められる主な機能を、以下に挙げる。

- (1) 洗浄媒体を滞りなく循環させノズルへ供給する。
- (2) 洗浄媒体をノズルからの気流で加速して対象物に吹きつける。

- (3) 洗浄媒体に付着した汚れを分離・排出する。
- (4) 洗浄対象物とノズルを相対移動させて全面を洗浄する。

機能(1)に関して、薄片状の洗浄媒体には下記の課題があった。

- (a) 一般的なブラストで使用する投射材に比べて大きさが大きいいため、チューブ等の管内を搬送すると詰まりが発生しやすい。
- (b) 狭い隙間にも入りやすいため、機械的に搬送した場合、洗浄媒体が可動部の隙間に入り込んで不具合を生じやすい。

そこで、Fig.8に示すように装置の内壁面に沿って洗浄媒体を気流で搬送し、ノズルへ供給する方式を考案した。搬送路を形成する装置内壁面で、洗浄媒体と汚れを分離することにより、洗浄媒体を再生しながら循環させることができる。

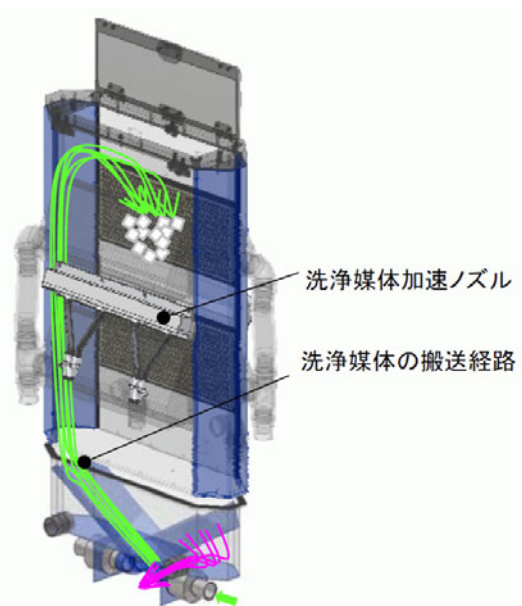


Fig.8 Perspective diagram of cleaning machine.

3-2-2 固着汚れ用洗浄装置

付着力の強い汚れを短時間で除去するためには、高速の洗浄媒体を高頻度で衝突させる必要がある。洗浄媒体を飛翔させる空間の容積が小さい方が、少ない投

入エネルギーで洗浄媒体の衝突速度および循環速度を高めることが可能である。

そこで、Fig.9に示すような半円筒形状の空間に洗浄媒体を閉じ込め、洗浄対象物はその空間の外側に配置するという装置構成を考案した。狭い空間内にノズルからの気流を作用させることにより、洗浄媒体が空間内を高速で循環し、対象物へ繰り返し衝突する。高速カメラにより洗浄媒体の衝突速度を確認したところ、平均10~20m/s程度であった。

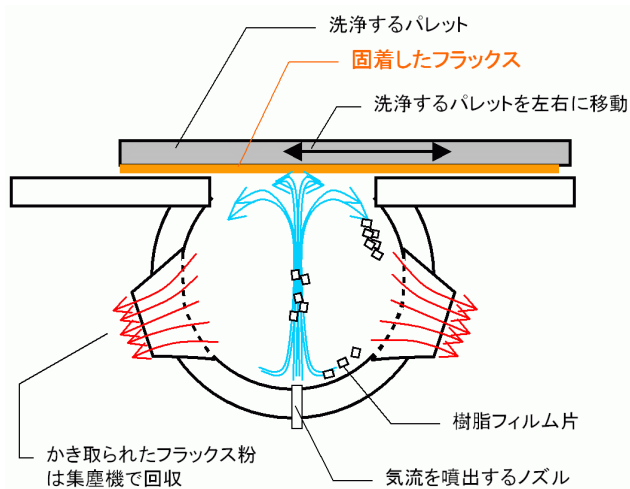


Fig.9 Schematic diagram of cleaning machine.

洗浄装置全体の外観をFig.10に、主な仕様をTable 2に示す。本報告書の参考文献5)で挙げたウェブサイトでは、装置の動作の様子を動画で公開している。



Fig.10 Exterior view of pallet cleaner.

Table 2 Pallet cleaner specifications.

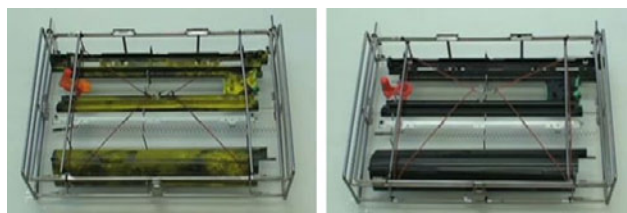
項目	仕様
本体寸法	W1200×D800×H1200 mm
本体質量	約180 kg
標準洗浄時間	1~2分 (※)
対応パレットサイズ	最大400×400 mm
必要ユーティリティ	圧縮空気：最大1500L/min 電力：単相100V，定格1000W

※パレットサイズやフラックスの付着量等による

4. 効果

4-1 トナー洗浄工程

本技術は、リコーグループの国内外のリサイクル拠点でプロセスカートリッジ等の再生に使用されており、Fig.11に示すようなトナー等の付着汚れを、短時間で除去することができるようになった。



(a)before cleaning

(b)after cleaning

Fig.11 Cleaning performance of toner on process cartridge.

実際の洗浄品質を評価した例をFig.12に示す。図の縦軸は、テープ転写法により測定されたトナー濃度である。洗浄媒体が接触できない細かい凹凸を有するシボ面では洗浄品質は劣るものの、平滑面では短時間で従来（界面活性剤と超音波洗浄装置を使用）とほぼ同レベルの品質が得られている。

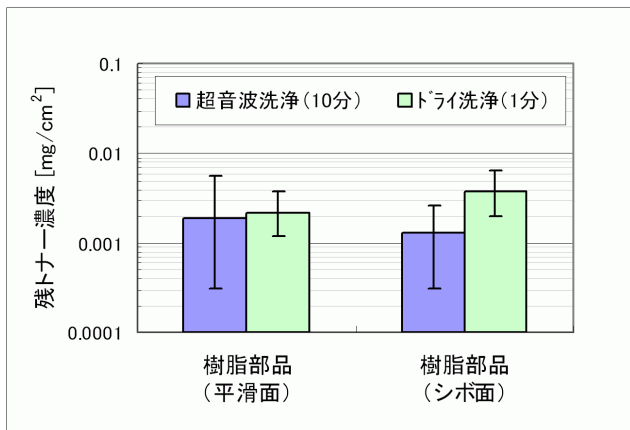


Fig.12 Cleaning efficiency for flat surface and wrinkly textured surface.

本技術導入による効果をTable 3に示す。①洗浄廃液の削減, ②洗浄・乾燥時間の短縮, ③洗浄コストの削減において効果を上げている。

Table 3 Advantages of dry washing in toner cleaning process.

項目	効果
廃液削減	▲30トン/年
リードタイム短縮	1時間以上(※)→約1分
コスト削減	▲1700万円/年

※洗浄後の乾燥時間を含む

4-2 フラックス洗浄工程⁴⁾

本技術の応用として、より強固に付着した汚れへの適用例を示す。電子部品の自動はんだ付け工程では、プリント基板を搬送し、部品を熱から保護するためにパレットと呼ばれる治具が使用される (Fig.14)。はんだ付け工程で噴霧されるフラックスが、パレットに積層固着して (Fig.13) はんだ付け品質に影響を与えるため、定期的に溶剤を用いて洗浄を行っていた。

本技術の導入により、①溶剤 (石油資源) の消費量の削減, ②溶剤の使用に伴うCO₂およびVOC排出量の削減, ③リードタイムの短縮, ④洗浄コストの削減, 等の効果を上げている (Table 4)。

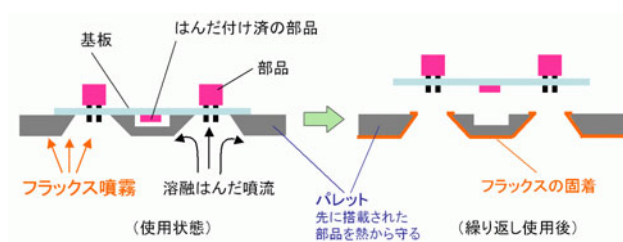
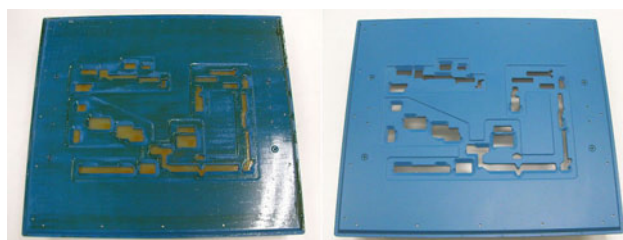


Fig.13 Mechanism of flux accumulation.



(a)before cleaning (b)after cleaning

Fig.14 Cleaning performance of flux on pallet.

Table 4 Advantages of dry washing in flux cleaning process.

項目	効果
溶剤削減(※1)	▲1500L/年
CO ₂ 削減(※2)	▲4トン/年
リードタイム短縮	2時間以上(※3)→1~2分
コスト削減	▲600万円/年

※1) 溶剤の使用はVOCの発生源となる
 ※2) 電力, 装置製造, 消耗品製造および廃棄処理を考慮
 ※3) 洗浄前の溶剤浸漬時間を含む

5. まとめ

薄片メディアを用いたドライ洗浄方式を開発し、リコーグループの国内外の生産拠点での実用化に結びつけた。社外からも、水や溶剤を使用しない洗浄方式として反響が大きく、外販に向けた市場調査活動を進めている。

また、薄片状の洗浄媒体のもつ特性を活用した新たな用途への応用開発を進めている。

【参考文献】

- 1) 最新洗浄技術総覧, (株)産業技術サービスセンター, (1996).
- 2) JIS P 8115「紙及び板紙—耐折強さ試験方法—MIT試験機法」, (2001).
- 3) JIS K 5600 5-4「塗料一般試験方法—第5部:塗膜の機械的性質—第4節:引っかき硬度(鉛筆法)」, (2002).
- 4) 日経ものづくり, 12月号(2009), pp.22-23.
- 5) リコーの技術 -ドライ洗浄技術-
<http://www.ricoh.co.jp/technology/tech/006.html>

画像の ϵ 近傍に基づくカラーCCDノイズ低減

Noise Reduction for Color CCD Image Sensors Based on ϵ -neighborhood of Images

原 崇之*

関 海克**

Takayuki HARA

Haike GUAN

要 旨

デジタルカメラやイメージスキャナで使用されるCCDカラーイメージセンサで撮影された画像に現れる色ノイズを低減する手法を提案する。従来、画像の解像感を保持したまま色ノイズを高速に低減することは困難であった。本提案手法では、注目画素の空間近傍で色の乖離度が特定閾値以内の画素の集合を ϵ 近傍と定義し、 ϵ 近傍の画像とノイズの特性を利用してノイズ低減処理を行う。まず、 ϵ 近傍における画素値の平均・分散を算出する。次に、CCDの特性を利用して ϵ 近傍の画素値の平均からノイズの分散を推定する。そして、画素値とノイズの分散比に応じて ϵ 近傍の平均色方向に注目画素の出力値を生成することでノイズ低減を行う。実験により、提案手法は従来手法に対して色ノイズの低減性、解像の保持性、処理の高速性の観点から優位であることを示す。

Abstract

A novel noise reduction algorithm is proposed for color image sensors such as CCDs, which are used in digital cameras and image scanners. It has been difficult to reduce color noise at high speed without losing image details. To solve this problem, the proposed method reduces noise using the properties of images and noise in the ϵ -neighborhood; this is defined as a set of pixels that are in a spatial neighborhood and have less color divergence for a focused pixel. First, the mean and the variance of pixel values in the ϵ -neighborhood are calculated. Next, the variance of noise is estimated from the mean of the ϵ -neighborhood using the properties of CCDs. Finally, the output value is generated along the mean color vector direction in RGB space, depending on the variance ratio between the image and noise in the ϵ -neighborhood. Experiments indicate that the proposed method delivers better performance than conventional methods in terms of low color noise, preserving image details with high speed processing.

* 研究開発本部 基盤技術研究センター

Core Technology R&D Center, Research and Development Group

** グループ技術開発本部 デバイスモジュール技術開発センター

Device and Module Technology Development Center, Corporate Technology Development Group

1. 背景と目的

イメージスキャナやデジタルカメラ等の撮像機器により撮影した画像には、CCDやCMOSといった撮像素子及び回路の特性上、ショットノイズ、暗電流ノイズなどのノイズが含まれる。これらの撮像機器から高画質の画像を得るためには、ノイズを低減する処理（Noise Reduction, 以下NRと略記）を施さなければならない。単純に線形のローパスフィルタを用いてNRを行うと、エッジやテクスチャといった人間が画像を知覚する上で重要な要素がノイズと共に失われて画質が劣化する。したがって、画像の特性に応じて適応的にNRを行うことが必要となる。

このような要請から、従来、種々のNR手法が提案されている。処理対象画素の近傍の画素値情報を元にフィルタリングを行う手法として、メディアンフィルタ¹⁾、バイラテラルフィルタ²⁾がある。これらの手法は画像のエッジを保存しノイズを低減することができるが、画像の微細なテクスチャが失われやすい。Anisotropic diffusion^{3) 4) 5)}と呼ばれる手法では、画素値を拡散物質の密度と見立てた拡散方程式を反復して計算することにより、画素値のバラツキ（ノイズ）を低減する。この手法は、繰り返し計算を要するため計算コストが高く、また過剰な平滑化やエッジ強調が発生しやすい。ウェーブレット変換をNRに応用する試みも行われている。自然画像のサブバンドのウェーブレット係数が尖度の高い分布であることを利用し、大きい係数値を保存し、小さい係数値を弱めるコアリングと呼ばれる手法の有効性が確認されている⁶⁾。また、サブバンドのウェーブレット係数の尖度の高さをGaussian Scale Mixturesによりモデル化することで、NRを行う方式が提案されている^{7) 8)}。これらのウェーブレット変換を用いた方法では、主に変換に係る計算コストの高さや、人工パターンの発生が問題となる。他にも、マルコフ確率場⁹⁾、Fields of Experts¹⁰⁾、領域分割ベースのガウシアンモデル¹¹⁾、を画像の確率モデルとして用い、NRを行う手法がある。これらは、画像の特性に応じた処理結果を得られるものの、一般に計算コストが高い。

以上述べた従来技術は、ノイズ低減量、解像保持性（エッジやテクスチャの保存性）、処理の高速性の観点から一長一短である。イメージスキャナやデジタルカメラといった機器上でNRをリアルタイムに実行することを考えると、従来の技術で高S/N、高解像保持を達成することは極めて困難である。

以上の背景のもと本研究では、CCD等の撮像素子で撮影されたカラー画像を対象としたNRにおいて、高S/N、高解像保持を少ない計算コストで実現することを目的とする。

2. CCD撮影画像に現れるノイズ

本章では、CCDで撮影した画像に現れるノイズを計測し、その特性を示す。

2-1 測定方法

RICOH GR DIGITAL IIによりISO1600の感度で撮影し、CCDの出力信号をAD変換したRAW画像を取得する。そのRAW画像の平坦部から64×64 [pixel]の部分画像を切り出す。この平坦部の部分画像内の画素値変動をノイズとみなす。撮影シーンは4シーンで、部分画像の数は計66個である。画素値は閉区間[0, 1]に正規化している。

2-2 測定結果

測定した66個の部分画像におけるノイズのRGB成分間の分散・共分散をFig.1に示す。図より、RGB成分間の共分散は分散と比較して極めて小さいことが分かる。次に、部分画像の画素値の平均に対するノイズの分散をFig.2に示す。ノイズの分散は平均値に対して線形に増加する傾向があり、その傾向は色成分に非依存である。Fig.2の実線は画素値平均 x に対してノイズの分散を次の関数 $\phi(x)$ で近似したものである。

$$\phi(x) = 3.40 \times 10^{-3} x + 2.82 \times 10^{-4} \quad (1)$$

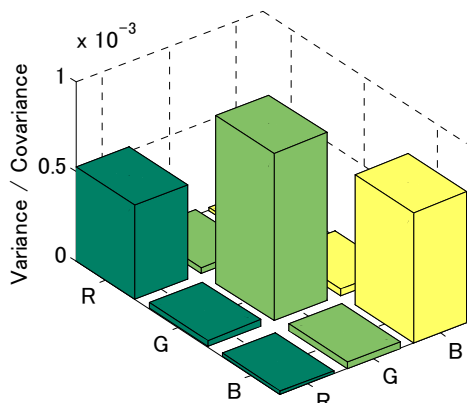


Fig.1 Variance-covariance of noise.

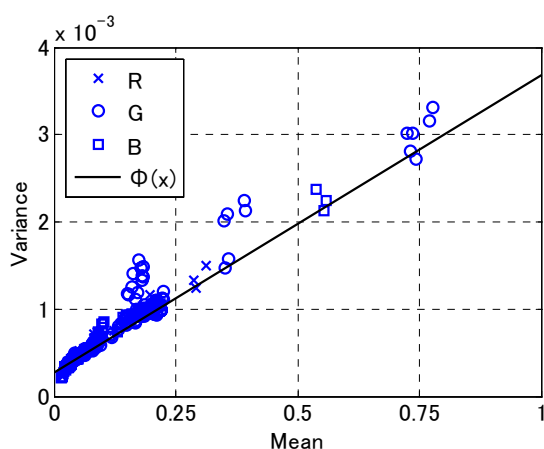


Fig.2 Mean of signal versus variance of noise in partial regions.

3. ノイズ低減手法

本章では提案するNR手法について述べる。提案手法では、注目画素の空間近傍でRGB値の類似する画素の集合を ϵ 近傍と定義し、この ϵ 近傍における画像とノイズの特性をNRに利用する。まず、 ϵ 近傍における画素値の平均と分散を算出する。次に ϵ 近傍の画素値の平均値からノイズの分散を推定する。そして、 ϵ 近傍の画素値とノイズの分散比に応じて、 ϵ 近傍内の平均色方向に注目画素の出力値を生成することでノイズ低減を行う。

3-1 ϵ 近傍

処理の基本単位となる ϵ 近傍について説明する。まず、画像を構成する各画素が任意の方法でユニークにラベル付けされているとする。ラベル i が付けられた画素を画素 i と呼ぶ。画素 i に対する ϵ 近傍 $E(i)$ を次のように定義する。

$$E(i) \equiv \{j | j \in \Omega(i) \wedge K(\mathbf{g}_i, \mathbf{g}_j) < \epsilon\} \quad (2)$$

ここで、 $\Omega(i)$ は画素 i の空間近傍、 \mathbf{g}_i は処理対象画像の画素 i の画素値(RGBの3次元ベクトル)、 $K(\mathbf{g}_i, \mathbf{g}_j)$ は画素値 \mathbf{g}_i と画素値 \mathbf{g}_j の乖離度、 ϵ は乖離度の判定閾値を示す。つまり、画素 i の空間近傍の画素で、乖離度が特定閾値 ϵ より小さい画素の集合が ϵ 近傍 $E(i)$ である。具体的には、 $\Omega(i)$ は画素 i を中心とした $m \times m$ の矩形領域、乖離度 K は、処理対象画素値 \mathbf{g}_i に 3×3 の平均フィルタを適用した画素値 $\bar{\mathbf{g}}_i$ を用いて次式で定義する。

$$K(\mathbf{g}_p, \mathbf{g}_q) = |G'_p - G'_q| + |Cr'_p - Cr'_q| + |Cb'_p - Cb'_q|$$

$$\begin{cases} G'_i = \lambda (\bar{\mathbf{g}}_i^G)^{\gamma_G} \\ Cr'_i = (\bar{\mathbf{g}}_i^R)^{\gamma_C} - (\bar{\mathbf{g}}_i^G)^{\gamma_C} \\ Cb'_i = (\bar{\mathbf{g}}_i^G)^{\gamma_C} - (\bar{\mathbf{g}}_i^B)^{\gamma_C} \end{cases} \quad (3)$$

ここで、 λ 、 γ_G 、 γ_C は設計パラメータである。

3-2 処理フロー

処理対象画像から画素 i の出力値 (NR後の画素値) \hat{f}_i を得るまでの処理は以下の3つのステップにより構成される。

- Step1: ϵ 近傍の平均・分散の算出
- Step2: ノイズの分散の推定
- Step3: 平均色方向への出力値作成

この3ステップを処理対象画像中のすべての画素に対して実行する。以下、各ステップの詳細を説明する。

Step1: ϵ 近傍の平均・分散の算出

提案手法の第1ステップでは、 ϵ 近傍 $E(i)$ の画素値平均 $\mu_i = (\mu_i^R \ \mu_i^G \ \mu_i^B)^T$ と、RGB間の分散共分散行列 Σ_i を算出する。

Step2: ノイズの分散の推定

第2章で示したように、ノイズはRGB間の共分散が分散と比較して極めて小さく、分散が周辺画素値の平均値に依存する。この性質を元に、 ϵ 近傍 $E(i)$ の画素値平均 μ_i から、ノイズ分散推定関数 $\phi(\cdot)$ を用いてノイズの分散共分散行列 Θ_i を次式で推定する。

$$\Theta_i = \begin{pmatrix} \phi(\mu_i^R) & 0 & 0 \\ 0 & \phi(\mu_i^G) & 0 \\ 0 & 0 & \phi(\mu_i^B) \end{pmatrix} \quad (4)$$

$\phi(\cdot)$ は撮像機器に合わせて事前に同定しておく必要がある。本稿では式(1)の関数を用いる。

Step3: 平均色方向への出力値作成

ϵ 近傍 $E(i)$ の平均値 μ_i 方向におけるノイズの処理対象画素値に対する分散比 η_i を次式で算出する。

$$\eta_i = \frac{\mu_i^T \Theta_i \mu_i}{\mu_i^T \Sigma_i \mu_i} \quad (5)$$

この値を用いて、重み係数 w_i をパラメータ $a (> 0)$, b の下で次のように算出する。

$$w_i = a\eta_i + b \quad (6)$$

w_i が0より小さくなる場合は0に、1より大きくなる場合は1に値を固定する。そしてこの重み係数を用いて画素 i に対する出力値 \hat{f}_i を算出する。

$$\hat{f}_i = (1 - w_i) \frac{\mu_i \mu_i^T}{|\mu_i|^2} g_i + w_i \mu_i \quad (7)$$

式(7)の処理をRGB空間で幾何学的に示すとFig.3のようになる。処理対象画素値 g_i を平均色方向に射影した点と平均値 μ_i を重み係数 w_i で内分した点が出力値 \hat{f}_i となる。この処理には次の2つの効果がある。まず、平均色方向に画素値を射影することで、出力値が ϵ 近傍の平均値の色相に合わされ、色ノイズが低減される。また、画像の平坦領域では、ノイズと処理対象画素値の分散比が大きいため重み係数が大きくなり、出力値 \hat{f}_i は ϵ 近傍平均 μ_i に近づく。つまり、平坦領域ではより多くのノイズが低減されることになる。テクスチャの多い領域では逆の作用がはたらき、ノイズの処理対象画素値に対する分散比が小さいため重み係数が小さくなり、出力値 \hat{f}_i が g_i を平均色方向に射影した点に近づく。これによりテクスチャ領域では処理対象画像の元の信号がより多く保存される。

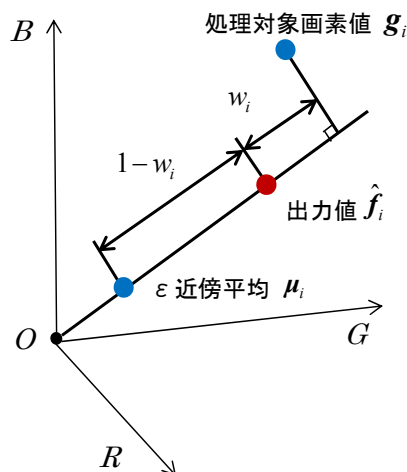


Fig.3 Illustration of the noise reduction algorithm in RGB space.

4. 性能検証

本章では提案したNR手法と、従来技術であるバイラテラルフィルタ²⁾、Bayes Least Squares - Gaussian Scale Mixtures (BLS-GSM)法⁷⁾と提案手法との性能比較を行う。

4-1 NRの設定

4-1-1 提案手法

処理対象画像はベイヤー配列のRAW画像であるため、線形補間して1画素ごとにRGB信号を生成する。ε近傍の空間近傍のサイズはm=65とする。ε近傍の分散共分散行列Σ_iは処理の高速化のため対角成分のみ計算を行う。

4-1-2 バイラテラルフィルタ

処理対象画像をYCrCb成分に分解し、バイラテラルフィルタを適用する。画素*i*と画素*j*の間のフィルタ係数τ_{ij}は、画素*i-j*間の位置のユークリッド距離*d(i,j)*、画素*i-j*間の信号差分*r(i,j)*（ここでは式(3)の乖離度を用いる）、パラメータσ_d、σ_rを用いて次式で定義する。

$$\tau_{ij} \propto \exp\left\{-\frac{1}{2}\left(\frac{d^2(i,j)}{\sigma_d^2} + \frac{r^2(i,j)}{\sigma_r^2}\right)\right\} \quad (8)$$

Y成分に対してはσ_d=1.0×10²、σ_r=9.8×10⁻²として、ウィンドウサイズを7×7 [pixel]としてフィルタを適用する。CrCb成分に対しては、色ノイズを効果的に低減するため、Y成分の6倍の大きさのフィルタを適用する。

4-1-3 BLS-GSM

公開されているコード¹²⁾を用いてYCrCb成分ごとにNRを施す。ノイズの標準偏差パラメータσはY成分に対して12、CrCb成分に対して20とする。

4-2 実験結果と考察

RICOH GR DIGITAL IIにより感度設定ISO1600で撮影したRAW画像に対するNR結果をFig.4に示す。図中の最左列が処理対象のRAW画像をRAW現像ソフトでNR

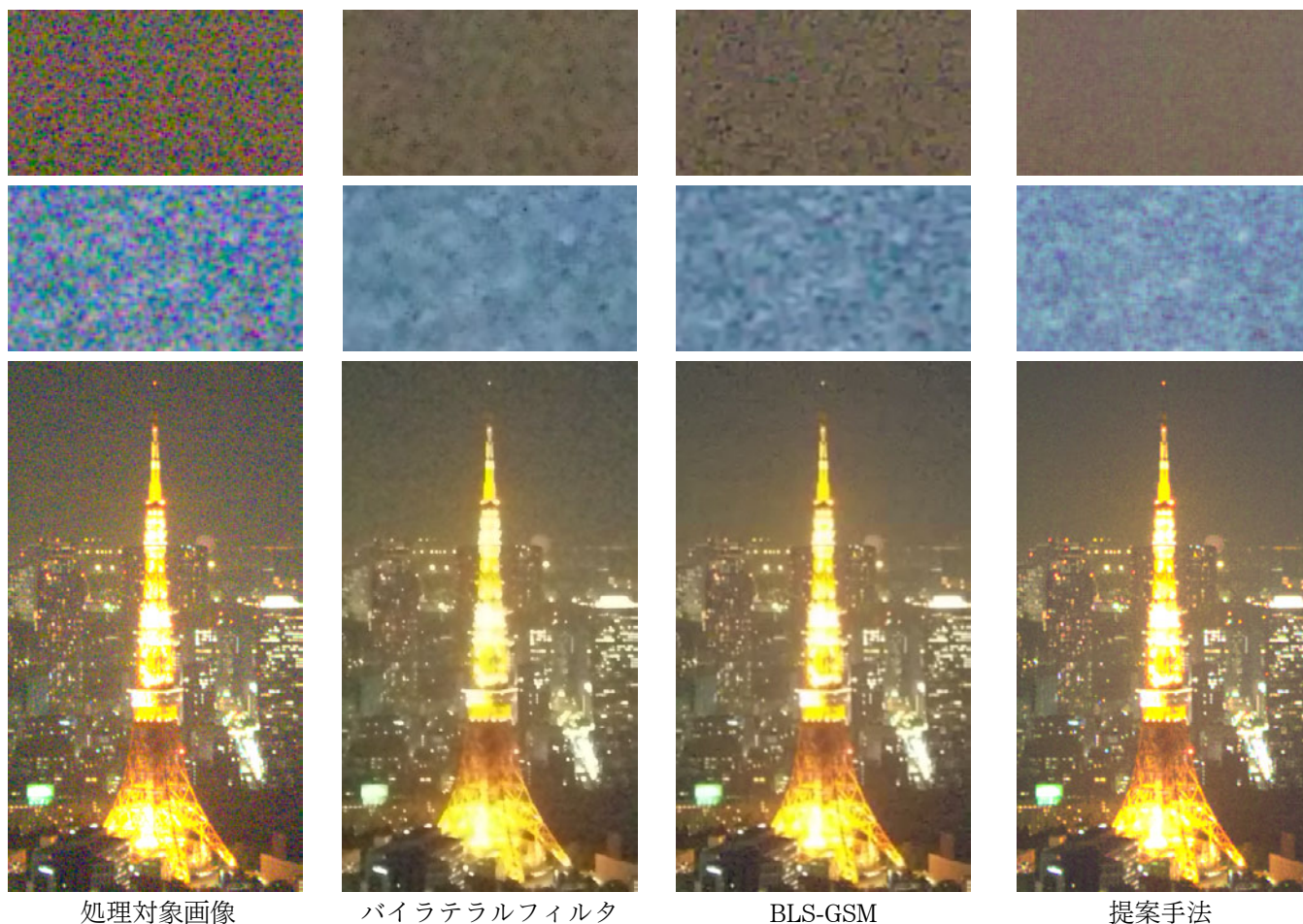
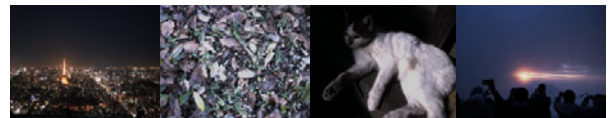


Fig.4 Comparison of the proposed method with conventional methods.

なしで現像処理した色ノイズを含む画像である。各々の手法によるNR結果をその右に示す。Fig.4上段の平坦領域では、提案手法がバイラテラルフィルタ、BLS-GSMに対して、ムラが少なく色ノイズを低減している。Fig.4中段のテクスチャ領域においては、バイラテラルフィルタではテクスチャが潰れており、BLS-GSMでは低周波の特徴を保持するものの細部にボケが発生する。提案手法は低周波の残存性はBLS-GSMに劣るが、微細なテクスチャを保持している。Fig.4下段の夜景では、どの手法も明暗のはっきりしたエッジを良好に残している。しかし、窓の光、塔の鉄骨などの細部で提案手法は従来技術よりも解像を高く保持している。以上の結果から提案手法は、色ノイズ低減と解像保持を高いバランスで実現しているといえる。これは、 ϵ 近傍内の処理によるエッジ保存、平均色方向への射影による色ノイズ低減、ノイズと処理対象画素値の分散比を用いた適応処理による解像保持、に一定の効果があると考えられる。

次に、シミュレーションによりPSNR (Peak Signal to Noise Ratio) を算出し、定量評価を行う。低感度で撮影した画像 (Fig.5) において、式(1)の分散を持つ白色ガウス雑音を付加する。これにNRを施し、PSNRを算出する。PSNRの算出値をTable 1に示す。表より提案手法が平均的に従来技術を上回ることが分かる。ただし、画像3のBLS-GSMのみ、提案手法を上回る。画像3は猫の毛並みなど極微細なテクスチャが多く、提案手法ではテクスチャを残すことでノイズも多く残留し、結果的にPSNRが向上しにくいと考えられる。

最後にTable 2に処理時間を示す。処理対象画像のサイズは 3656×2744 [pixel]であり、Intel Core 2 Duo E6600 (2.4GHz) でシングルコアにて計算を行った。提案手法はバイラテラルフィルタに比べて3.7倍、BLS-GSMに比べて177倍高速に計算することができる。提案手法は、単純な平均・分散算出演算と画素独立の線形演算で出力値を生成するため、低い計算コストで実行可能である。



1 2 3 4

Fig.5 Processed images.

Table 1 PSNR [dB].

画像 I D	処理対象画像	バイラテラルフィルタ	BLS-GSM	提案手法
1	26.15	30.77	31.61	34.46
2	24.73	29.83	30.91	31.70
3	26.14	33.33	33.78	33.66
4	25.46	34.41	36.29	36.58
平均	25.68	31.31	32.10	33.27

Table 2 Processing time [sec].

手法	処理時間
バイラテラルフィルタ	44.3
BLS-GSM	2123.8
提案手法	12.0

5. 結論と今後の展望

本稿では、CCDで撮影されたカラー画像に対するNR手法を提案した。従来技術では、解像感を保持したまま色ノイズを高速に低減することが困難であった。そこで、注目画素の空間近傍で色の乖離度が特定閾値以下となる画素の集合である ϵ 近傍において、平均色方向にノイズと画素値の分散比に応じて出力値を作成する手法を提案した。実験により、提案手法は色ノイズの低減性、解像の保持性、処理の高速性の観点でバイラテラルフィルタ、BLS-GSMに対して優位であることを確認した。今後は、さらなる高速性・解像保持性の向上、多様な条件で撮影された画像への対応が課題である。

参考文献

- 1) 田村秀行：コンピュータ画像処理，オーム社，(2002).
- 2) C. Tomasi and R. Manduchi: Bilateral Filtering for Gray and Color Images, Proc. Sixth Int'l Conf. Computer Vision, (1998), pp. 839-846.
- 3) M.J. Black, G. Sapiro, D.H. Marimont, and D. Heeger: Robust Anisotropic Diffusion, IEEE Trans. Image Processing, vol. 7, no. 3 (1998), pp. 421-432.
- 4) D. Tschumperl: Fast Anisotropic Smoothing of Multi-Valued Images Using Curvature-Preserving PDE's, Int'l J. Computer Vision, vol. 68, no. 1 (2006), pp. 65-82.
- 5) G. Gilboa: Nonlinear Scale Space with Spatially Varying Stopping Time, IEEE Trans. Pattern Analysis and Machine Intelligence, vol. 30, no. 12 (2008), pp. 2175-2187.
- 6) E.P. Simoncelli and E.H. Adelson: Noise Removal via Bayesian Wavelet Coring, Proc. IEEE Int'l Conf. Image Processing, vol. I (1996), pp.379-382.
- 7) J. Portilla, V. Strela, M.J. Wainwright, and E.P. Simoncelli: Image Denoising Using Scale Mixtures of Gaussians in the Wavelet Domain, IEEE Trans. Image Processing, vol. 12, no. 11 (2003), pp. 1338-1351.
- 8) S. Lyu and E.P. Simoncelli: Modeling Multiscale Subbands of Photographic Images with Fields of Gaussian Scale Mixtures, IEEE Trans. Pattern Analysis and Machine Intelligence, vol. 31, no. 4 (2009), pp. 693-706.
- 9) S. Geman and D. Geman: Stochastic Relaxation, Gibbs Distributions and the Bayesian Restoration of Images, IEEE Trans. Pattern Analysis and Machine Intelligence, vol. 6, no. 6 (1984), pp.721-741.
- 10) S. Roth and M.J. Black: Fields of Experts: A Framework for Learning Image Priors, Proc. IEEE Conf. Computer Vision and Pattern Recognition, vol. 2 (2005), pp. 860-867.
- 11) C. Liu, et al.: Automatic Estimation and Removal of Noise from a Single Image, IEEE Trans. Pattern Analysis and Machine Intelligence, vol. 30, no. 2 (2008), pp. 299-314.
- 12) BLS-GSM Image Denoising, <http://decsai.ugr.es/~javier/denoise/>

半導体レーザー記録によるサーマルリライタブル記録媒体の耐光性と繰り返し耐久性の向上

Improvement of Light Durability and Repetition Durability of Thermal Rewritable Media by a Recording Process using Laser Diode

浅井 敏明* 長谷川 史裕** 土屋 美由紀** 川原 真哉* 山本 和孝*
Toshiaki ASAI Fumihiro HASEGAWA Miyuki TSUCHIYA Shinya KAWAHARA Kazutaka YAMAMOTO
石見 知三* 古川 隆弘* 堀田 吉彦*
Tomomi ISHIMI Takahiro FURUKAWA Yoshihiko HOTTA

要 旨

サーマルリライタブル記録媒体 (Thermal Rewritable Media : TRM) は、数百回の記録/消去が可能であることから、環境負荷の少ない記録媒体として注目されている。視認性のよいロイコ染料を利用したTRMは、耐光性に弱くオープン環境では使用できないという課題があり、また高出力レーザーを用いて文字を効率的に描画するベクタースキャン方式では文字の交点や折り返し部などで過剰に加熱され部分的に繰り返し耐久性が低下するという課題があった。半導体レーザー記録プロセスを用いることにより耐光性向上可能な技術を確認し、さらに媒体性能を最大に発現させるプロセス技術およびその記録プロセスを実現させるレーザー制御技術を確認することにより、物流用途などのオープン環境に展開できるようになった。

ABSTRACT

Thermal Rewritable Media (TRM) attract considerable attention as low environmental load media because TRM can be recorded and erased several hundreds times. However, there is a problem that the TRM using leuco dye whose image contrast is high cannot be used outdoors due to low light durability. In a vector scan, that is efficient method to draw characters through high power laser, there is also a problem that the repetition durability tends to decrease partially by overheating at the crossing and turning points of character strokes. We have established technologies that can improve light durability of the TRM by a recording process of using laser diode. In addition, we also established irradiation process technologies that bring out the primary durability of the TRM, and laser control technologies that realize the process. As a result, we can use the TRM outdoors such as logistics.

* サーマルメディアカンパニー リライタブル開発センター
R&D Center of Rewritable Media, Thermal Media Company

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

1. 背景と目的

リライタブル表示技術は、その利便性や環境負荷低減の点から注目度の高い技術分野として各種方式が提案されている。それらの中で、熱を利用したサーマルリライタブル記録媒体(TRM)はいち早く実用化に至っている¹⁾。従来、TRMにはサーマルヘッドによる加熱記録が用いられてきたが、レーザ光により加熱して記録するレーザ記録についても検討されており²⁾、レーザ記録では従来のサーマルヘッド記録と異なり非接触であるために、記録媒体から離れた位置からレーザ光を照射して記録が可能であり、移動体への記録も容易となる事から、TRMの用途が広がる可能性がある。

従来の視認性に優れたロイコ染料を利用したTRMは、直射日光に曝されるようなオープン環境で使用すると光劣化により画像の消え残り等が生じるという課題があり、さらにベクタースキャン方式では文字ストロークの交点部等が複数回加熱されるので繰り返し描画するとTRMが劣化するという課題があった。

本報告ではTRMを物流用途などのオープン環境で長期間使用できるように、半導体レーザ(LD)記録による媒体とレーザ制御の検討を行ったので報告する。

2. 実験方法

2-1 記録媒体

Fig.1に従来のTRMの基本構成を示す。ベースフィルムは白色PETフィルム、記録層はロイコ染料とフェノール系長鎖型顔色剤を主成分としている。記録層上には紫外光遮蔽のための紫外光遮断層及び媒体表面を保護する保護層を設けている。

2-2 実験装置

Fig.2に今回用いたLDマーキング実験装置の概略図を示す。光源にはファイバー結合半導体レーザ(波長976nm, 最大出力30W)を用いた。レーザ光の走査はX, Y軸ガルバノスキャナミラーを用いることにより行い、 $f\theta$ レンズ(焦点距離: 107mm)により集光して印字を

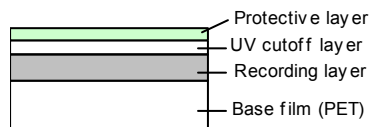


Fig.1 Structure of conventional TRM.

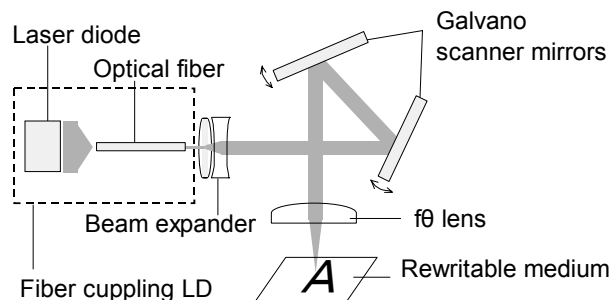


Fig.2 Schematic diagram of the experimental laser recording system.

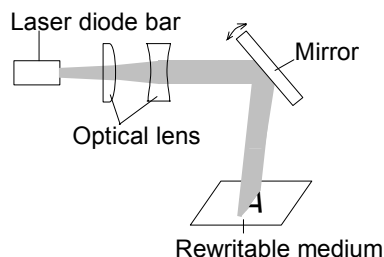


Fig.3 Schematic diagram of the experimental laser erasing system.

行う。Fig.3に今回用いたLD消去実験装置の概略図を示す。光源にはバータイプの半導体レーザ(波長976nm, 最大出力55W)を用いており、ライン状光分布を活用した消去を行う。

3. TRMの耐光性向上の検討

3-1 従来TRMの耐光性

3-1-1 実験および評価方法

Fig.1の従来TRMに対して、サーマルヘッドを用いた感熱印字シュミレーターにより印字を行った。印字したTRMに対して、キセノン光照射下(10万lux)に曝露後、

ホットプレートで加熱して画像の消去を行った後に、画像濃度、地肌濃度、画像消去後の濃度を測定した。濃度の測定は、測定部をスキャナーで読み取り、反射濃度に換算した。

3-1-2 結果と考察

Fig.4に従来TRMの耐光性試験の結果を示す。長時間キセノン光照射下に曝すと画像濃度は低下し、地肌濃度、画像消去後の濃度は増加している。Fig.5に耐光性試験前後のTRMを示す。物流分野における通い箱には屋外での耐光性5年が必要であり、これはキセノン光照射580時間の曝露試験に相当するが、580時間試験後では、特に画像の消え残りが大きく生じていることが確認できる。これら性能低下の原因は、光と酸素によるロイコ染料の分解であると考えられる。

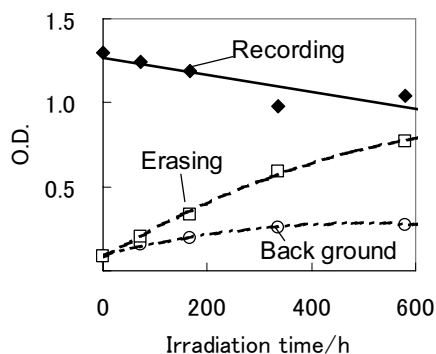


Fig.4 Light durability of conventional medium indicated in Fig.1.

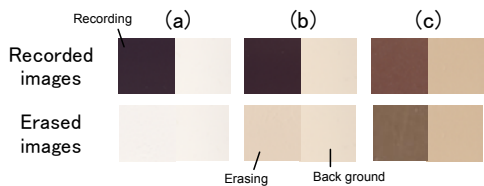


Fig.5 Recorded images, erased images and back ground images (a) before exposed to the light. (b) after exposed to the light 168h. (c) after exposed to the light 580h.

3-2 耐光性に対する紫外光の影響

3-2-1 実験および評価方法

Fig.1の従来TRMに対して、サーマルヘッド感熱印字シュミレーターにより印字を行った。印字したTRM上に、Fig.6に示した特定の波長を遮断するカットフィルターを設置してキセノン光照射下（10万lux）に168時間曝露後、ホットプレートで加熱して画像の消去を行った後に画像濃度、地肌濃度、画像消去後の濃度を測定した。

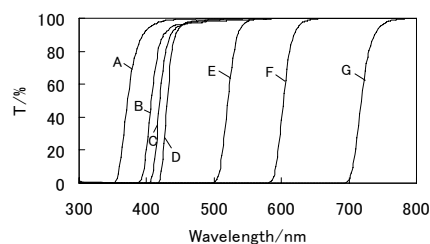


Fig.6 Transmittance spectrum of cutoff film A-G.

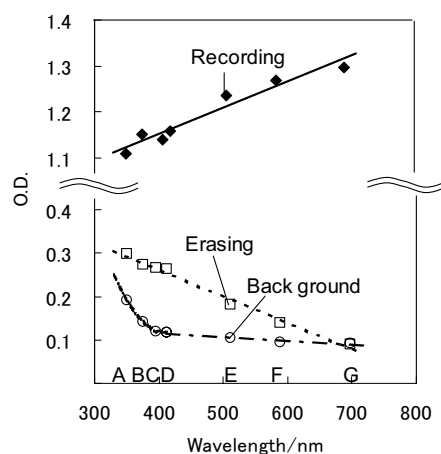


Fig.7 Light durability of conventional medium shown in Fig.1 with various cutoff films after exposed to the light for 168h.

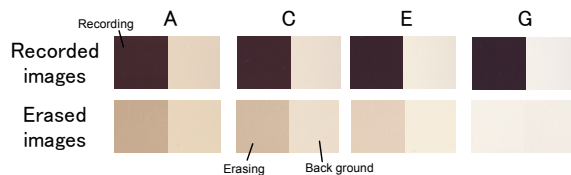


Fig.8 Recorded images, erased images and back ground images with various cutoff films after exposed to the light 168h.

3-2-2 結果と考察

Fig.6に使用したカットフィルターの透過率特性を示す。従来のTRMの紫外光遮断層はFig.6のカットフィルターBと同等の透過率特性を示す。Fig.7にカットフィルターを設置した従来TRMの耐光性試験の結果を示す。地肌濃度は400nm以下の光を照射すると大きく増加し、400nmより波長の長い光を照射しても増加しないことがわかった。画像濃度、画像消去後の濃度変化は、照射する光の波長に比例して、小さくなることが分かった。400nmより波長の長い光で画像部が濃度変化するのは、画像部は可視領域に吸収を持つことから、可視領域の光もロイコ染料の分解に影響を与えているためと考えられる。紫外光の遮断により地肌濃度変化は抑制できるが、画像濃度、画像消去後の濃度の変化は大きくなってしまふ。Fig.8に耐光性試験後のTRMを示す。紫外光のみの遮断では、画像部の劣化の抑制が不十分であることが確認できる。

3-3 耐光性に対する酸素の影響

3-3-1 実験および評価方法

基材に記録層を設けたTRMを、熱スタンプで加熱して発色させた。印字したTRMに、シリカを蒸着したバリアフィルム（厚み12 μ m, O₂ transmission rate; 5 ml/m²/24h/Mpa）を上側に貼り合せ、さらにFig.6のカットフィルターCをバリアフィルム上に設置してキセノン光照射下(10万lux)に曝露後、ホットプレートで加熱して画像の消去を行った後に、地肌濃度、画像濃度、画像消去後の濃度を測定した。

3-3-2 結果と考察

Fig.9に、バリアフィルム有無のTRMの耐光性試験の結果を示す。バリアフィルムを貼り合せて酸素遮断することで、画像濃度、画像消去後の濃度変化は小さくなることがわかった。これはバリアフィルムを貼り合せた事で記録層中の酸素が少なくなり、ロイコ染料の分解を抑制することができたためと考えられる。

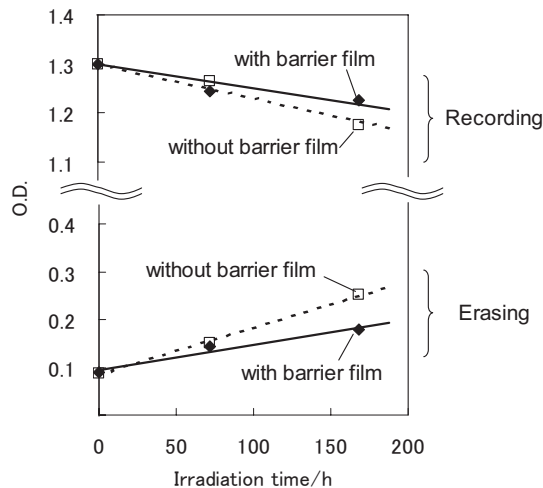


Fig.9 Light durability of the thermal rewritable medium with barrier film that O₂ transmission rate is 5 ml/m²/24h/Mpa and that without barrier film.

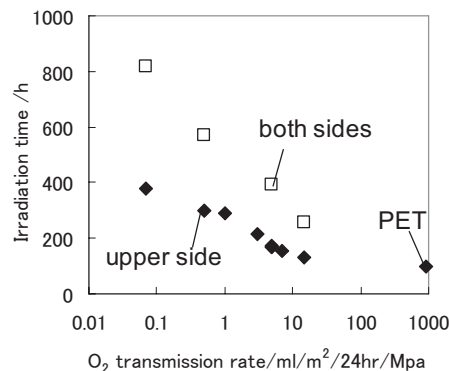


Fig. 10 Irradiation time of thermal rewritable media with various barrier films in both sides and that in upper side when the difference between O.D. of erasing and background is 0.1 after exposed to the light.

Fig.10に、酸素透過度の異なるバリアフィルムを記録層の上側または記録層の両側に貼り合せて、画像消去後の濃度と地肌濃度の差が顧客で許容される0.1になる時のキセノン光曝露時間と酸素透過度の関係性を評価した結果を示す。バリアフィルムの酸素透過度を小さくすると画像消去後の濃度と地肌濃度の差は小さくなり、その結果、許容レベルまでの照射時間が長くなる。さらに記録層の両側にバリアフィルムを貼り合せた方が、記録層の上側に貼り合せた場合に比べて、画像消去後の濃度と地肌濃度の差がより小さくなり、その結果、許容レベルまでの照射時間が長くなることがわ

かった。これは記録層の上側の酸素遮断のみでは酸素遮断が十分ではなく、下の基材側からも酸素が透過してロイコ染料の分解に影響を与えているためと考えられる。

3-4 新規TRMの耐光性

3-4-1 実験および評価方法

Fig.11に、3-2で確立した紫外光遮断技術と3-3で確立した酸素遮断技術を活用した新規TRMの基本構成を示す。記録層にはLD光を吸収して発熱する光熱変換材料として酸化インジウムスズ(ITO)粒子を添加し、ベンゾ

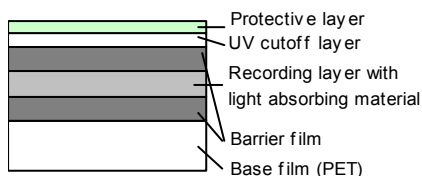


Fig.11 Structure of new TRM.

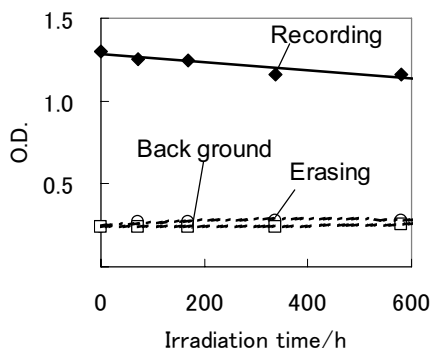


Fig.12 Light durability of new medium indicated in Fig.11.

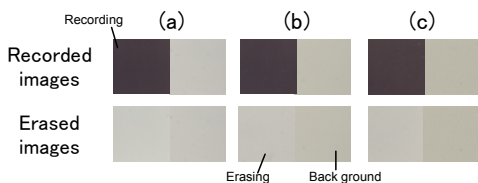


Fig.13 Recorded images, erased images and back ground images (a) before exposed to the light, (b) after exposed to the light 168h, (c) after exposed to the light 580h.

トリアゾール系樹脂をコーティングしてFig.6のカットフィルターCと同等の透過率特性を示す厚み15 μ mの紫外光遮断層を形成し、記録層の上下面には酸素透過度0.5 ml/m²/24h/Mpaのバリアフィルム12 μ mを形成した。Fig.11のTRMにFig.2のLDマーキング実験装置により印字を行った。印字したTRMに対して、キセノン光照射下(10万lux)に曝露後、Fig.3のLD消去実験装置により画像の消去を行った後に、画像濃度、地肌濃度、画像消去後の濃度を測定した。

3-4-2 結果と考察

Fig.12に新規TRMの耐光性試験の結果を示す。LD記録プロセスを導入して、従来TRMでは不十分であった紫外光と酸素を遮断することで、画像濃度、地肌濃度、画像消去後の濃度変化を少なくすることができた。また従来TRMより新規TRMの初期の地肌濃度が大きいのは、ITOを記録層に添加したためである。Fig.13に耐光性試験前後のTRMを示す。580時間試験後においても、画像部と地肌部の劣化が少ないことが確認できる。これより、新規TRMを直射日光に曝されるようなオープン環境で5年以上使用できるようになった。

4. レーザ制御による耐久性向上の検討

LD光を筆で描くようになぞるベクタースキャンは、多数の平行線で文字を表現するラスタースキャンに比べ、短時間で描画が行えることと文字の輪郭を滑らかに表現できる利点があるため、高出力レーザーでのマーキングに好適である。しかしフォントデータをそのまま描画に利用すると、交点部などが劣化し、媒体の本来持つ耐久性が発揮できないという課題があった。そこで本章ではまず劣化の原因、さらにその対策としてのレーザー制御技術について述べる。

なお、本章で図示される描画例は、特に断りのない限り、描画データを基にしてCGにて生成したシミュレーション画像である。

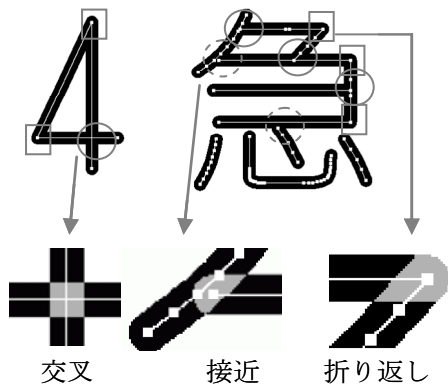


Fig.14 Font data showing overlapped area.

4-1 媒体劣化の原因

Fig.14は本稿で用いたフォントデータの例である。白い線分が文字の中心部を通るストロークで、この集合体がストロークフォントデータである。このフォントデータを基に、レーザのビーム幅分の太さで描画を行った結果を黒で表している。

TRMは過剰な熱が加わると材料の分解温度に達して劣化するが、その原因はFig.14に示す3種類からなるストロークの重複である。1つめは実線の丸で囲んだ部分で、ストロークが「交叉」しているため、レーザが2度照射されることになり、媒体の温度が上がりすぎて劣化する。2つめは点線の丸で囲んだ部分で、ストロークが線幅より「接近」しているため照射域が重なり、温度が上がりすぎて劣化する領域である。3つめは四角で囲んだ部分で、描画時にレーザが走査方向を大きく変える「折り返し」を示している。この位置では2度照射される上、向きを制御するガルバノミラーがその慣性により、急激な方向変化に遅れて追従するため、設定された速度よりも走査速度が低下し、温度が上がりすぎて劣化する。

4-2 従来技術の問題点

Fig.14で示した3種類の重複を除去できれば過度の温度上昇の問題は解決するので、フォントデータ自体を加工することが対策として考えられる。しかし、文字の大きさ、線幅は、装置設定により変化するので、過不足なく重複部を除去したフォントデータを前もって

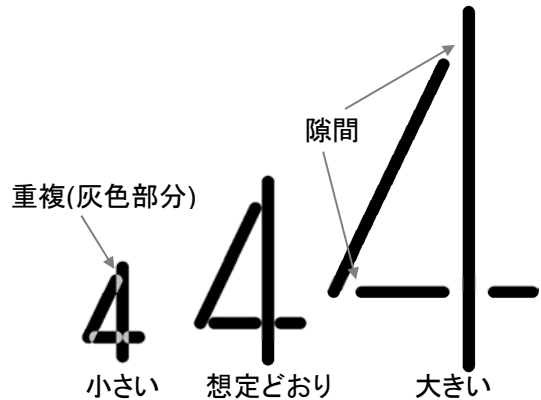


Fig.15 Drawing result in case of modifying font data.

作成することはできない。Fig.15はある線幅・文字サイズを想定して、重複がないようにフォントを加工した場合に、文字の大きさを变化させたときの描画の概念図である。文字の拡大倍率によってフォントデータ上であけた隙間が変化するため、文字の拡大率によって重複が残ったり、隙間が空いたりして文字の品質が劣化してしまう。また、特に日本語では文字種類が多いためこの加工の手間が膨大であり、対応できる書体や表現のバリエーションが少なくなりがちである。

4-3 レーザ制御技術の概要

本技術は、Fig.2におけるベクタースキャンを行うレーザを制御する描画データの生成技術であり、過度の温度上昇なしに品質の高い文字を描画することを目的とする。Fig.16は処理の概略を示した図である。

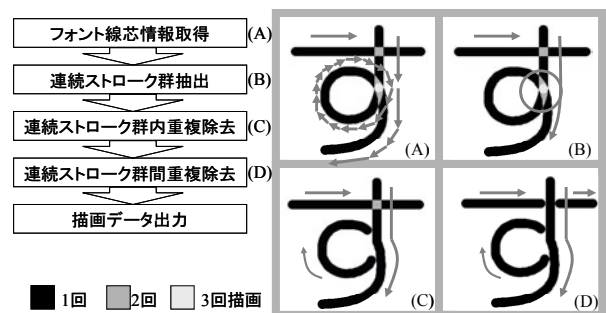


Fig.16 Outline of the process.

4-4 本技術の詳細説明

次にFig.16で示した処理を詳細に説明する。

4-4-1 フォント線芯情報取得

線分列で定義されたストロークフォントデータから線分を線芯情報として取得する。これはFig.14の白い線分で例示された線分列に相当する。

4-4-2 連続ストローク群抽出

線芯情報から連続する線分（ストローク）をグループ化して取得する。Fig.16(B)の例では、水平線と、ループを含む縦方向の2つにグループ化される。手書きで文字を描く場合の一筆書きできる単位と考えると想像しやすい。これを連続ストローク群と呼ぶことにする。ここで、Fig.14の「折り返し」に相当する急角度での連続箇所では別のストローク群として分割登録することで、「折り返し」が解消され「接近」の状態となる。

4-4-3 連続ストローク群内重複除去

1本の連続ストローク群に属するストローク同士の重複のうち、残る「交叉」「接近」を検知し、必要な分だけストロークを分割・短縮してこれら除去する処理である。Fig.17はその例でありFig.16では(B)→(C)の処理に相当する。ここでの説明はFig.18を参照して行う。

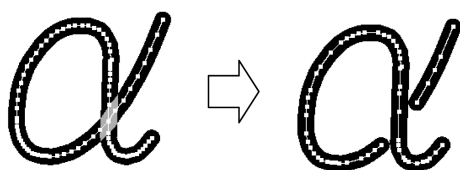


Fig.17 Example of removing overlap within a stroke group.

- (1) ストローク同士が「交叉」あるいは「接近」しているかどうかをすべてのストロークの組に対して検知する。

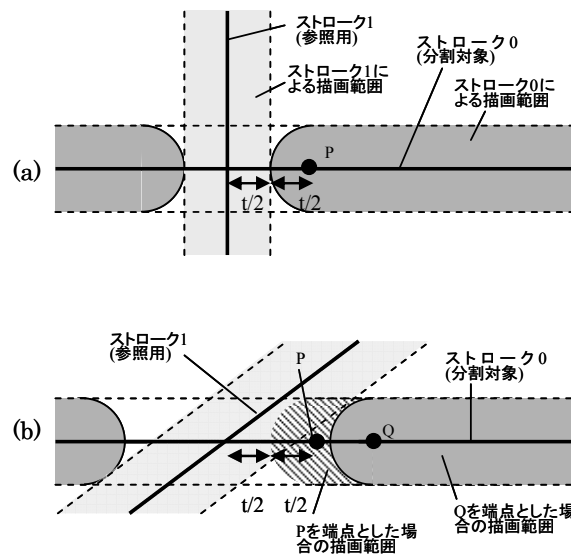


Fig.18 Calculation of dividing or reducing strokes.

- (2) 「交叉」あるいは「接近」のストロークは必要な分だけストロークを分割・短縮する。短縮量の算出にあたってはストローク同士の角度の考慮が必要である。
 - ① Fig.18(a)のように、分割対象のストローク0と参照用のストローク1の2本のストロークが直角に「交叉」している場合は、ストローク線幅 t だけ交点から後退させた点Pを新たなストロークの端点とすればよい。
 - ② Fig.18(b)のように直角でない場合は(a)と同様に t だけ後退させると斜線部のようになり、重複する領域が残ってしまう。そこで、ストローク同士の角度に応じて後退すべき長さ調節し、点Qの位置をストロークの端点とする。ストローク同士の角度が直角から離れるほど、点Qは点Pよりも後退していく。
 - ③ 「交叉」の場合はP、Qの、ストローク1を挟んだ反対側でも同様に端点を算出する。「接近」の場合は反対側にもともとストローク0はないので算出の必要はない。

以上の手順によって、線幅や文字サイズ、さらにストローク同士の角度がどのようなものであっても、過不足のないストロークの分割・短縮が実現できる。

4-4-4 連続ストローク群間重複除去

2つの連続ストローク群が互いに「交叉」「接近」している場合に、一方を分割・短縮してこれらの重複状態を解消する処理である。Fig.16においては(C)→(D)の処理に相当し、水平方向と縦方向のストローク群の交叉を解消する。ストロークの短縮量は4-4-3と同じ手順で求めることができる。2つのストローク群のどちらかを分割・短縮するかは、ストロークの消失量の小さいほうなど情報量の消失が少ない側を選択する。

4-5 字体のバリエーション

本技術では、ストロークフォントを利用して通常の字体Fig.19(a)を描画できる他、各ストロークの平行線を生成すれば太文字(b)が描画できる。さらにアウトラインフォントを利用すれば袋文字(c)が、文字ストロークの存在域以外を平行線でずらしながらべた塗りで描画すれば白抜き文字(d)が可能である。またすべての字体に対し、ストロークの座標を回転させて回転文字も印字できるなど、さまざまな字体表現が可能である。

4-6 結果と考察

Fig.20は本技術を適用した描画データを基にFig.2の書き込み装置でTRMに印字を行った例である。同じ文字を同じ線幅で、異なるサイズでTRMに描画した例でありFig.15にあった隙間はなく、また重複も除去され

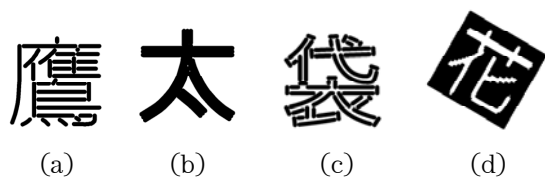


Fig.19 Various expressions.

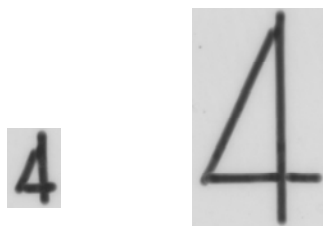
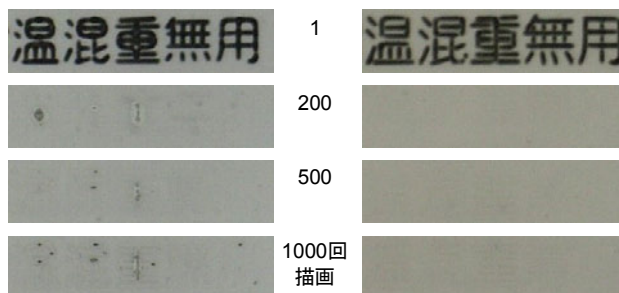


Fig.20 Characters of different sizes.



(a)No removal (b)Overlap Removed

Fig.21 Drawing example on TRM.

ているため、Fig.21で示した耐久性を得ることができる。

Fig.21はTRMに印字、消去を行った例である。(a)(b)とも上から1回、200回、500回、1000回描画したものを表し、一番上以外は消去後の状態である。(a)の重複除去を行わない例では、折り返しや交叉部分を中心に記録媒体の劣化により消えない領域が発生している。(b)は重複除去を行った例で、1000回でも消えない領域はなく、媒体の本来持つ耐久性を発揮できている。

5. 結論

半導体レーザ記録プロセスを用いることにより耐光性向上可能な技術を確立し、さらに媒体性能を最大に発現させるプロセス技術およびその記録プロセスを実現させるレーザ制御技術を確立することにより、TRMを物流用途などのオープン環境に展開できるようになった。

謝辞

最後にLD記録プロセスの検討にあたって、千葉大学大学院 融合科学研究科 北村研究室に多大なるご協力をいただき、感謝いたします。

参考文献

- 1) Y.Hotta: Development of Rewritable Card and Paper, International Congress of Imaging Science 2002, (2002), p. 503.
- 2) 堀田, 鈴木, 北村, 山岡: “リライタブル熱記録媒体へのレーザ書込み”, 電子写真学会誌 第 35 卷, (1996), p. 168.
- 3) 川原, 石見, 堀田: リライタブル熱記録媒体へのレーザ記録 (1) レーザ光強度分布制御による繰返し耐久性の向上, Imaging Conference JAPAN 2007, (2007), p. 51.
- 4) T. Ishimi, S. Kawahara, T. Asai, Y. Hotta: Laser Recording on Thermal Rewritable Media (2) Simulation of Thermal Distribution and Control of Intensity distribution Using the Optical Lens, Proceeding of Imaging Conference JAPAN 2008, (2008), p. 390.
- 4) 浅井, 川原, 石見, 堀田: リライタブル熱記録媒体へのレーザ記録 (3) 半導体レーザ記録による耐光性の向上, Imaging Conference JAPAN 2010, (2010), p. 223.

ラジオグラフィーによる電子写真画像形成装置内部の粉流体挙動の可視化

A Visualization Study of Powder Flow in an Electrophotographic Equipment with Transmissible Radiography

内田 圭亮*

Keisuke UCHIDA

要 旨

乾式二成分電子写真方式ではトナーとキャリアからなる現像剤粉体が現像器内部で、回転するスクリューによって搬送・循環されている。この粉体流動挙動を正確に理解することは画像品質向上や安定性に重要であり、スクリュー等の機能部品設計に生かすことによって設計効率化に寄与できる。しかしながら一般に装置内部の粉体流動内部を、可視光で直接観察することは困難である。そのため現像剤流動挙動には未解明なメカニズムが多く、上記目的達成の主阻害要因となっている。本点に鑑み、エックス線や中性子線といった透過放射線を用いて粉体流動を直接可視化する技術を開発した。この技術によれば装置内部の現像剤流動の特徴はスクリュー形状によって大きく変化することや、トナーとキャリアの混合における興味深い性質が明らかになった。

ABSTRACT

Two-component developer powder of electrophotography, which comprises toner and carrier, is translated and continuously circulated and transported by rotating screws in a development unit. Understanding the properties of developer powder flow and designing suitable screw shape in the unit is an important factor for the stability of image quality in an electro-photographic process. However, it is almost impossible to observe the flow motion in a unit because powder is almost opaque to visual rays. Since the difficulty in evaluating the screw function causes much trouble for a unit design process. New visualization techniques with radiography using X-ray and neutron ray have been studied for direct observation of the powder flow motion. The visualization techniques provides some unique characteristics of the powder flow including various path-line figures due to the screw shape, and interesting mixing motion of toner and carrier.

* 研究開発本部 基盤技術研究センター

Core Technology R&D Center, Research and Development Group

1. 背景と目的

乾式二成分現像方式を用いた電子写真画像形成装置に対するカラー高画質化・高速化・装置小型化・画質安定性の市場要求が高まってきている。二成分現像剤粉体を構成するキャリアやトナーは高画質化を目指し小粒径化が進んでいるが、粉体としての流動の様相はいっそう複雑になってきている。二成分現像方式の現像器では、現像剤粉体の搬送・混合には螺旋状スクリーが主に用いられている。スクリー機構には、外部から供給されたトナーを、現像剤中に短時間に均一に混合させ、現像剤中トナー濃度やトナー帯電量などの条件を安定化させることが望まれている。

従来、現像器等のプロセス設計開発には品質工学やシミュレーションを用いた手法によってユニットの制御が行われてきた¹⁾。しかしながら局所的な流動問題、例えばスクリーやトラフの構造が現像剤の流動特性に及ぼす影響や、外部供給されたトナーがどのように現像剤中に混合されていくか、滞留領域が存在していないか、という問題には未だ十分な解析が行われてはいない。

このような流動物理メカニズムを解き明かすことは、より精密・効率的な現像剤粉体の搬送・混合のハンドリング技術につながると考えられる。

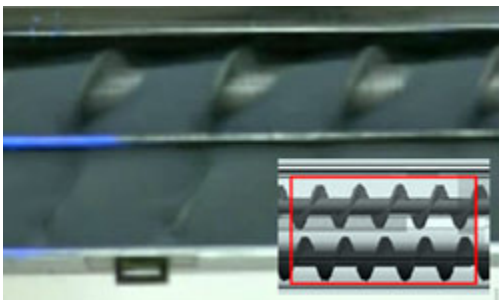


Fig.1 Developer powder flow in a screw feeder unit observed with visual ray.

しかしながら、装置内部の現像剤の流動構造を直接観察、計測することは難しい。粉体は可視光には非透過であるので、基本的に表面しか観察できない(Fig.1)。トラフ壁面等に透明部材を用いても、表面に瞬時に粉

体が付着してしまい、やはり観察が難しい。可視光によらず、粉体の内部を動的に可視化する技術としては、電気容量トモグラフィー^{2,3)}や、超音波トモグラフィー⁴⁾等があるが、本課題においては回転する内部構造体(スクリー)が存在するため、適用困難である。

このような問題に鑑み、エックス線と中性子線を用いたラジオグラフィにより、装置内部の現像剤粉体の流動を透過的に可視化する技術を開発した。本技術は、現像剤粉体の流動メカニズム、スクリー形状の流動に及ぼす機能を明確にすることを目的としている。

2. ラジオグラフィの原理

透過放射線が物体内部を透過する際、式(1)のように物体固有の吸収率 μ と透過方向の厚さ x に依存して強度 I が減衰する。

$$I = I_0 \exp(-\mu x) \quad (1)$$

ここで I_0 は初期強度である。 I の空間的な分布を可視化することにより、物体内部の構造を観察するのがラジオグラフィである。透過放射線には α 線、 β 線、エックス線(ガンマ線)、中性子線等があるが、ラジオグラフィは主にエックス線と中性子線が利用されている。Fig.2にエックス線と中性子線の元素に対する吸収率⁵⁾を示す。エックス線の吸収率は図中、緑の曲線で、中性子線のそれは、各元素毎に不連続の点として分布している。

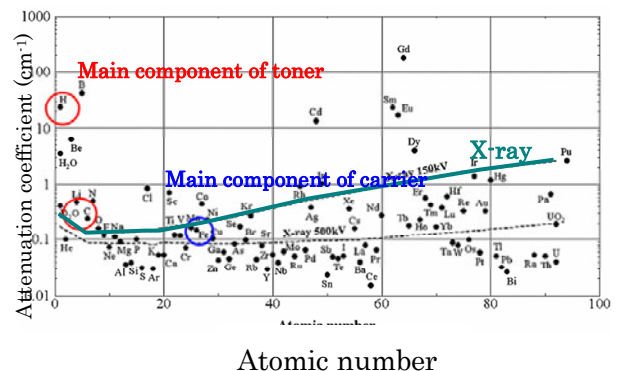


Fig.2 Neutron and X-ray attenuation coefficient on elements.

エックス線の吸収率はほぼ原子量に依存して増加する。すなわち高比重のフェライトキャリアは低比重のトナーよりも吸収率が高い。一方、中性子線の吸収率の傾向は殆ど原子量の大きさに依存せず、トナーの主要構成元素である水素が高い吸収率を有する。このような性質を利用して、(i)エックス線ラジオグラフィでは、現像剤の主要構成粉体のキャリア粉体流動を、(ii)中性子線ラジオグラフィでは、現像剤粉体中のトナー粉体の挙動を、可視化することが可能となる。

3. エックス線ラジオグラフィ

3-1 エックス線によるキャリア粉体流動の可視化

エックス線ラジオグラフィによれば、前述のように装置内部のキャリア粉体流動現象を透過的に観察できる可能性がある。しかしながら、単純に現象にエックス線ラジオグラフィを適用しても、流動特徴を反映する画像情報は得られない。そこで、キャリアよりも高いエックス線吸収率を有するタングステン粒子を微量にトレーサーとして注入し、その挙動をエックス線で観察することで間接的に流動現象を可視化することにした。実験装置の概略をFig.3に示す。エックス線装置は、東芝ITコントロールシステム株式会社製TF4550を用いた。エックス線（管電圧130 kV、管電流1.0 mA）を、観察対象たる現像剤粉体を充填したスクリー粉体搬送装置に鉛直照射し、透過像をイメージインテンシファイヤーによって画像化する。スクリー粉体搬送装置やトレーサー注入装置は、放射線防護室の外部から有線で操作する。

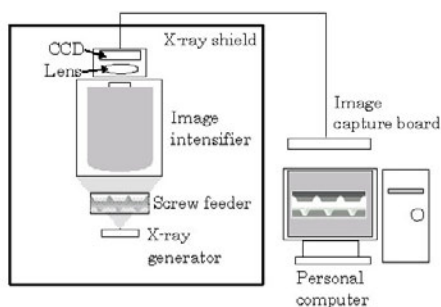


Fig.3 Experimental apparatus for X-ray visualization of Screw feeder.

トレーサーであるタングステン粒子平均直径（50 μm）は本実験で使用したキャリア粒子とほぼ等しいが、比重は異なる（タングステン：19,000 kg/m³、キャリア：4,000 kg/m³）。そこでトレーサーの追従性能を、事前に検証した。Fig.4はスクリー回転速度に対する、タングステントレーサーの平均移動速度とキャリアの平均速度である。本条件の下ではトレーサーの挙動はキャリアのそれに十分追従している。

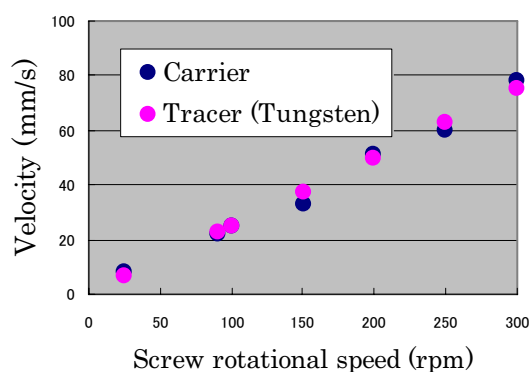


Fig.4 Tungsten tracer followability in carrier powder translated by a screw.

一般に振動・回転・斜面カスケードのような場では、粉体は粒子比重差による偏析が起こりやすい、とされている^{6,7)}。しかしスクリー機構は、トナーとキャリアのような比重差の大きい粒子同士の混合でも広く利用されており、そのような偏析が起こりにくい機構である。すなわち比重の大きいタングステントレーサーも偏析せずに追従性を保っていると考えられる。

3-2 現像剤スクリー搬送装置

使用したスクリーをFig.5に示す。トレーサーの移動速度はエックス線ラジオグラフィ画像（Fig.6）から、画像計測にて容易に確認可能である。キャリアの平均速度 v は、単位時間あたりの搬送質量 M を計測し、平均比重 ρ ・トラフの断面積 A から下記式より算出した。

$$v = \frac{M}{\rho A} \quad (2)$$

本可視化手法を用いて、Table 1に示す異なる5種類の特徴的な形状を有するスクリーによって搬送される流動構造を解析した。回転数は24 rpmである。

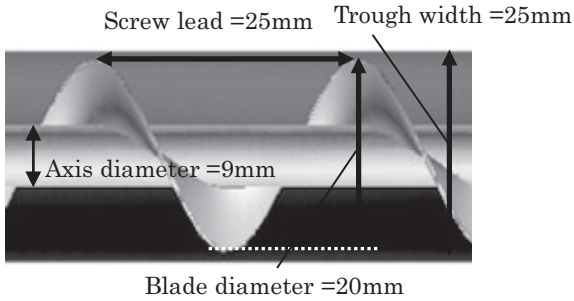


Fig.5 Schematic diagram of screw and trough.

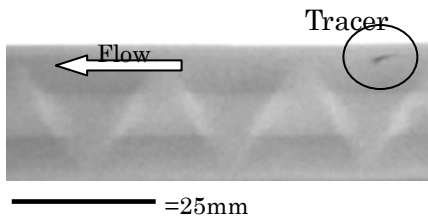


Fig.6 Tungsten tracer captured with X-ray radiography in carrier powder.

Table 1 Properties of screws tested.

Screw name	Lead width and the feature
Single A	25.0 mm
Single B	37.5 mm
Single C	57.5 mm
Double	25.0 mm
Plate	25.0 mm, Single screw with small plates on the axis

3-3 エックス線可視化結果

本手法によって得られた可視化画像から、画像フレームを積算する画像処理によってトレーサー粒子の粒跡線 (pathline) を可視化した結果をFig.7に示す。粒跡線の色はトレーサー注入時からの経過時間を示している。

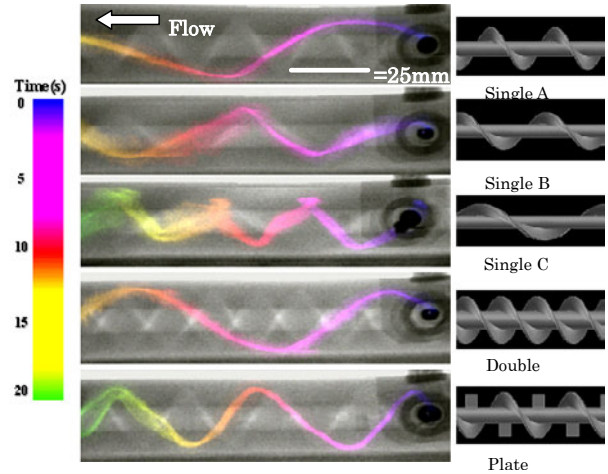


Fig.7 Powder flow visualization results with different shaped screws.

また、画像処理によって計測された流動速度・混合係数の結果をFig.8(A), Fig.8(B)に示す。

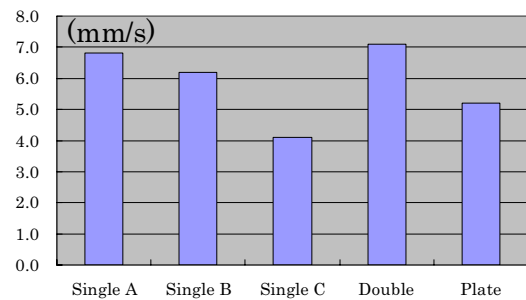


Fig.8(A) velocity of tracer on different shaped screws.

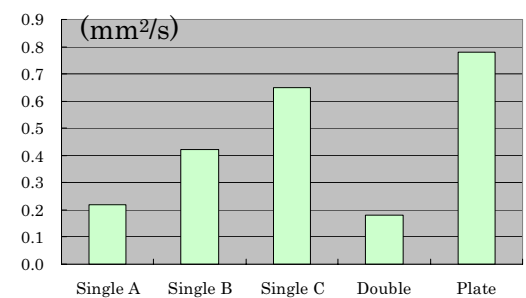


Fig.8(B) Mixing performance of the flow on different shaped screws.

ここで、混合係数とはスクリーへの混合力の強さを表す量である。スクリーによる混合が強い程、トレーサー濃度・領域が変化する割合が強い。その変化

割合が分子拡散現象に相似であると仮定し、可視化画像のトレーサー変形挙動を、分子拡散方程式に当てはめる。得られた拡散係数を、混合強度として表す⁸⁾。

本結果によれば従来不可視で評価困難だった粉体流動構造が、スクリー形状によって大きく異なることが明瞭に分かる。一条スクリー (Single A, B, C) ではリードが大きくなると、搬送方向のスクリーブレード表面と粉体との滑りが大きくなり、搬送速度は減少する。ブレードの傾斜角度が、搬送方向となす角度が減少するためである。一方、搬送方向に直角な方向への挙動が顕著になり、結果的に混合強度が増加する。

また、二条スクリー(Double)ではリード長さは等しいがピッチ幅が半分になるため、ブレードとの接触面積が倍となる。よって粉体とスクリーブレード表面との滑りが相対的に減り搬送速度が大きくなる。しかしながら、混合強度は低下する。軸表面に小型プレートをつけたスクリー(Plate)では、搬送速度がやや低くなるが、混合強度が大きくなるという性質を有する。

このように本可視化手法によれば従来不可視であった粉体の流動状態について、定量的に評価することが可能となる。

4. 中性子線ラジオグラフィ

4-1 中性子線による現像剤中トナー挙動の可視化

トナーは画像プロセスで適宜消費されるので、常に外部から現像剤内部に供給されなくてはならない。かつ、現像剤のトナー濃度 (TC) を均一に保つために、トナーは迅速に混合されなくてはならない。しかしながら、トナーが混合されるのは現像剤粉体の内部であるので、可視光での観察は困難である。よって、本混合現象の物理メカニズムも、不明な点が多かった。

前述したように、トナーは水素原子を多く含むため、フェライトキャリアよりも中性子線吸収率が高い。このため、中性子ラジオグラフィによれば、トナーが現像剤中に混合していく挙動を動的かつ選択的に観察できるので、上記メカニズムを解き明かす重要なツールとなりうる。

4-2 中性子線発生源

中性子ラジオグラフィに用いる中性子発生源として、日本原子力研究開発機構の研究用原子炉JRR3を主に用いた。原子炉の中性子線はフラックス強度が非常に大きく高速な画像撮影が可能であるが、試料放射化抑制や粉体飛散防止など、実験安全面の制約も大きい。そこで相補的手段として、住重試験検査株式会社のサイクロトロンCYPRIS-370も用いた。各中性子線ラジオグラフィとしての特徴を、Table 2に示す。

Table 2 Specifications of the neutron radiographies.

	JRR3	CYPRIS-370
Neutron flux (n/cm ² .s)	1.5x10 ⁸	1.0x10 ⁵
Image capture	Dynamic	Static
Observation area size (mm)	255x300	400x400
Observation direction	Horizontal	Vertical

4-3 トナー・現像剤混合試験装置

トナーと現像剤の混合を評価するために、シンプルな回転シリンダによる混合装置と、より実際の現像ユニットに近い回転スクリー混合装置の二種類を用意した。回転シリンダ装置は混合の性質上、水平方向からJRR3にて高速度カメラにて動的に観察した (Fig.9(A))。回転スクリー混合装置は鉛直方向からCYPRIS-370にてイメージングプレートで静止画として観察した (Fig.9(B))。

Fig.9(A)の回転シリンダ装置では、図のように直径35 mmのシリンダ内部に、キャリアは下面から15 mm、トナーはその上に厚さ1 mmでそれぞれ積層させる。3 rpsで回転させたときの混合挙動を高速度カメラで観察する。

Fig.9(B)の回転スクリー装置はFig.4の装置と同一であり、スクリーはSingle A (リード25 mm) である。現像剤が充填されたスクリー粉体搬送装置に対して上方からトナーを注入しその混合挙動を可視化する。サイクロトロンCYPRIS-370の場合、中性子線フラックスが低い場合露光時間が長時間必要である。そこでスクリーを所定回数 (2回転) 回転させ停止し、その状

態で静止画撮影することを繰り返し、注入されたトナーが搬送・混合されていく状態を、連続静止画として評価する。

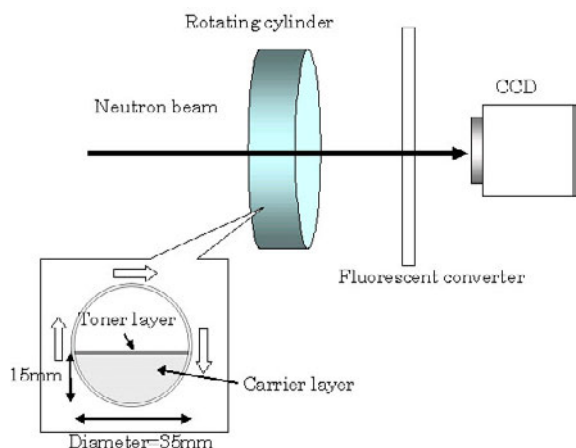


Fig.9(A) Experimental apparatus of rotating cylinder and the layout in JRR3.

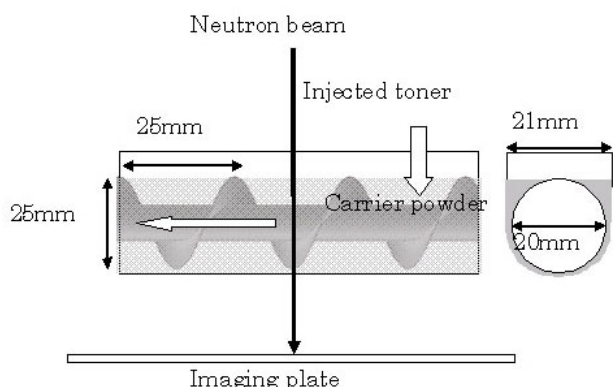


Fig.9(B) Experimental apparatus of screw auger and the layout in Cypris-370.

4-4 使用したトナー

粒子平均直径・分布が殆ど同一であるが、流動性が異なる二種類のトナーA,Bを用意した (Table 3) . 流動性指数 (Flowability index) はホソカワミクロン (株) のパウダーテスターPT-6で計測した. 流動性指数の値は安息角や見掛け比重など5つの計測値から求められ、値が大きいほど流体のように流れやすい. トナーAの流動性は、トナーBのそれに対して非常に大きい.

Table 3 Properties of Toner A and B

	Toner A	Toner B
Mean diameter (μm)	5.24	5.16
Size distribution variance (μm^2)	1.00	1.14
Flowability index	76.5	48.0

4-5 中性子線可視化結果

回転シリンダによるトナーAの混合状態可視化結果をFig.10(A), トナーBのそれをFig.10(B)にそれぞれ示す. また、各トナーの典型的なトナーの偏在の様子をFig.10(C)に概略図として示す.

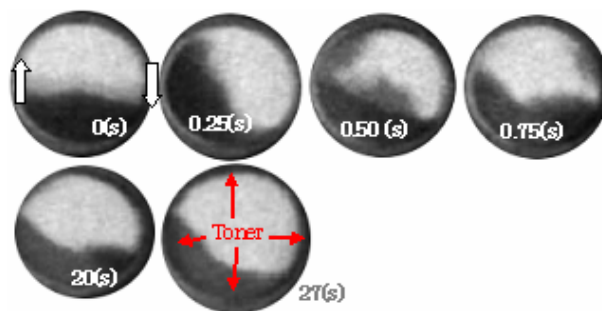


Fig.10(A) Mixing motion of Toner A with carrier powder in a rotating cylinder.

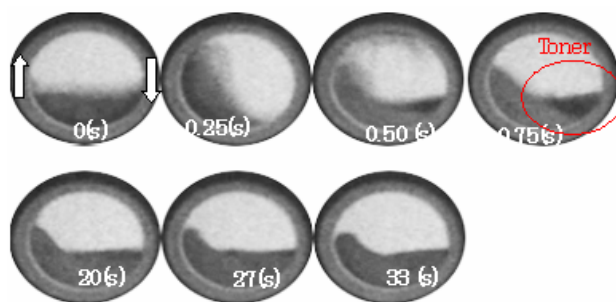


Fig.10(B) Mixing motion of Toner B with carrier powder in a rotating cylinder.

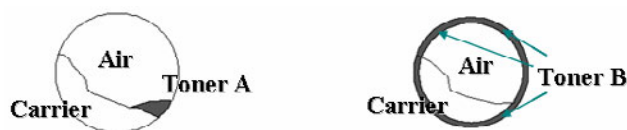


Fig.10(C) Typical mixing motion of Toner A and B.

トナーは現像剤よりも中性子線吸収率が高いために、
 図中画像濃度が黒く観察される。混合が進むと、その
 濃度は現像剤のそれと等しくなる。図中の数字は各画
 像フレームの、回転開始からの経過時間を示している。
 トナーAとBの混合挙動には明確な差が見られた。回転
 直後、トナーと現像剤は回転方向に巻き上げられ、ト
 ナーは上層に現像剤は下部に堆積する。トナーAでは、
 Fig.10(A)の0.75 sの図に示したように、現像剤とト
 ナーは垂直方向に明瞭な界面を形成し、その界面を介
 して混合が進み、約30秒後にはほぼ完全に両者が混合
 される。一方、トナーBではFig.10(B)の矢印に示した
 ように、トナーは回転シリンダ内面に付着し、トナー
 と現像剤は全く混合しないことが分かった。

次に、スクリー粉体搬送装置におけるトナーAの
 混合状態の可視化結果をFig.11(A)に、トナーBのそれ
 をFig.11(B)に示す。

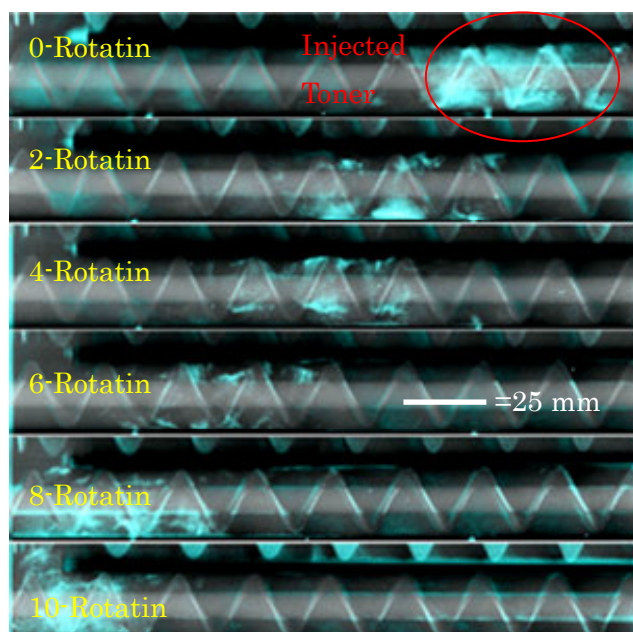


Fig.11(A) Mixing motion of Toner A in a rotating screw feeder.

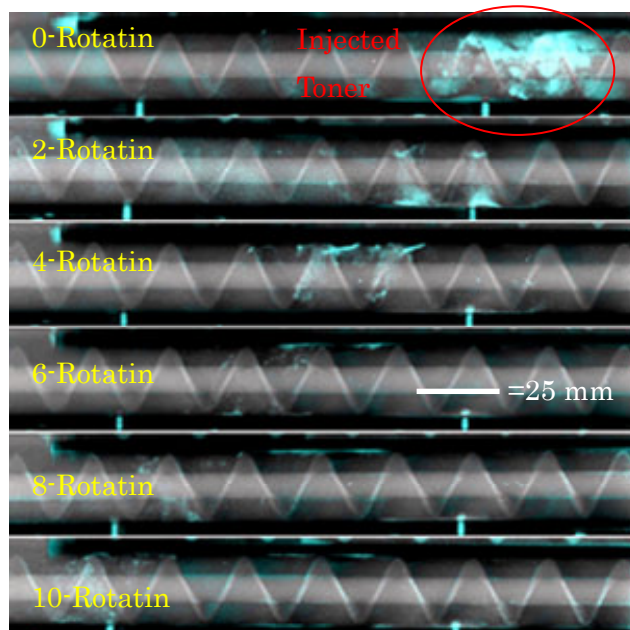


Fig.11(B) Mixing motion of Toner B in a rotating screw feeder.

Fig.11(A), (B)は、スクリー二回転ごとに静止画
 で撮影した画像を時系列に並べている。注入されたト
 ナーの領域は、画像処理によってカラー強調している。
 トナーAとトナーBでは混合挙動に顕著な差が出てい
 るが、その傾向は前述の回転シリンダの結果とは反対で
 あった。すなわち、トナーAではあまり混合が進まな
 いが、トナーBは速やかに混合されている。すなわち
 トナーの混合のメカニズムは、流動性だけではなく機
 械的な駆動場に大きく依存すると考えられる。本物理
 メカニズムについては今後の展開としたいが、中性子
 ラジオグラフィによる混合挙動の可視化技術は、直接
 混合状態を観察できるという点で非常に有効なツール
 であると、結論できる。

5. 結論と今後の展開

従来可視光の観察では不可能であった、装置内部の
 現像剤粉体の流動挙動をエックス線と中性子線という
 放射線を用いて可視化する手法を開発した。エックス
 線ラジオグラフィでは、現像剤の主要構成粉体のキャ
 リア粉体流動を、中性子線ラジオグラフィでは、現像

剤粉体中のトナー粉体の挙動を、それぞれ可視化することが可能となる。

一般的に粉体の挙動は非線形で、種々の初期条件に強く依存し予測することは非常に難しいが、本手法を用いて観測データを蓄積し、より精密・効率的な現像剤粉体の搬送・混合のハンドリング技術につなげていきたいと考える。

参考文献

- 1) 加藤弘一, 他, "高画質 SD 現像システム", Ricoh Technical Report, 34, (2008), pp. 79-85.
- 2) R. A. Williams, X. Jia and S.L. McKee, "Development of slurry mixing models using resistance tomography", Powder Technology, Vol. 87, (1996), pp. 21-27.
- 3) T. Dyakowski, S. P. Luke, K. L. Ostrowski and R. A. Williams, "On-line monitoring of dense phase flow using real time dielectric imaging", Powder Technology, Vol. 104, (1999), pp. 287-295.
- 4) 河府賢治, 他, "超音波による粒子群摩擦低減に及ぼす粒子物性の影響", 粉体工学会会誌, Vol. 46, No. 5 (2009), pp. 330-337.
- 5) P.von Der Hardt and H. Rotger, Neutron Radiography Handbook, D.Reidel Publishing Company, (1981).
- 6) 篠原邦夫, "粉流体堆積層における偏析の基本機構と対策", 鉄と鋼, Vol. 81, No. 2 (1995), pp. 1-9.
- 7) 大山恭二, "鉛直振動粉体層における密度逆偏析現象", 粉体工学誌, Vol. 35, No. 3 (1998), pp. 218-211.
- 8) 内田圭亮, 岡本孝司, "スクリーン搬送機内粉体の X 線可視化画像による拡散係数測定", 可視化情報学会論文集, Vol. 27, No.5 (2007), pp. 23-30.

MFP搭載0.13 μ mCu配線デバイスの故障解析

Failure Analysis on a 0.13 μ m Cu Metallization Device for Multi Functional Printer

横山 弘一* 直永 卓也* 西垣 直彦**
Koichi YOKOYAMA Takuya NAOE Naohiko NISHIGAKI

要 旨

LSIの故障解析において十分な実績のある解析技術であるエミッション解析法やOBIRCH解析法などのハード的な故障箇所特定手法は、電子デバイスの多層配線化に伴い困難さを増している。MFPに搭載されているLSIにおいても微細化を目的とした多層配線化が進みその故障解析は非常に難解なものとなっている。本報告ではMFP搭載の0.13 μ mプロセスノード8層Cu配線のプリンタコントロールLSIの故障解析において、その故障原因を特定した事例を報告する。ソフト的な故障箇所特定手法である故障診断とハード的なSEM式ナノプロービング解析技術やOBIRCH法を適用することで故障箇所の絞込みを行い、特定された故障箇所に対する物理解析結果より配線層からSi基板へのCu異常拡散起因によるゲート電極の破壊が故障原因であることを突き止めた。

ABSTRACT

PEM (Photon Emission Microscope) and OBIRCH (Optical Beam Induced Resistance CHange) have sufficient performances as hardware failure analysis technique. However they have more challenge as the number of interconnect layers of LSIs increases. Of course, LSIs which MFP (Multi Functional Printer) employs continue to shrink and promote multilevel metallization, therefore the failure analysis on them becomes very difficult. This article reports an example of successful failure analysis of a printing control LSI fabricated by 0.13 μ m technology and eight-layer copper metallization. In this case, the fault was localized with Failure Diagnosis as software failure analysis technique and with SEM based nano probing technique and OBIRCH method. The subsequent physical analysis revealed the gate electrode breakdown caused by the penetration of copper in silicon substrate.

* 電子デバイスカンパニー 品質保証部
Quality Assurance Department, Electronic Devices Company

** 電子デバイスカンパニー 画像LSI開発センター
Imaging System LSI Development Center, Electronic Devices Company

1. 緒論

半導体デバイスの故障解析は故障箇所を絞り込むための故障箇所特定と故障原因を明らかにするための物理解析から構成されている。物理解析を実施するためには事前に故障箇所が特定されていることが必要条件となっており、エミッション顕微鏡を利用した発光解析法やOBIRCH法などが十分な実績のある故障箇所特定手法として認知されている。しかしながらCu配線が採用された0.13 μm プロセスノードを境にそれらの故障箇所特定手法は劇的に困難さを増している。上述した故障箇所特定手法は光学的要素の強い解析技術であるため、微細化に伴う分解能不足の他に多層配線化やダミー配線の存在により検出器もしくは異常箇所へ光が到達する前に遮光される確率が高くなることが大きな要因となっている。配線材による遮光を回避する方法の一つとしてSi基板面であるチップ裏面からのアプローチが考えられるが、電氣的に故障を再現させた状態でチップ裏面から観察するためには原則的にパッケージがFlip Chip構造となっている必要があり、BGAやCSP、QFP、QFNなどのフェイスアップタイプパッケージへの適用は非常に困難である。

この問題の解決策として物理構造の影響を受けないソフト的な故障箇所特定手法である故障診断技術が存在感を高めている。また光学的な分解能限界に起因した故障箇所特定手法の空間分解能不足に対しては、走査電子顕微鏡（SEM）を利用した解析技術である吸収電流法が電子ビームのスポット径に依存した高い空間分解能を持つ故障箇所特定手法として期待されている。

本報告では高速動作を要求されるMFPに搭載された、8層Cu配線の0.13 μm プロセスノードロジックLSIの故障解析を対象として取り上げ、前述の故障箇所特定手法を含めた多様な解析技術を駆使することで故障原因を導くことが出来た結果を示す。

2. 故障箇所特定（非破壊）

解析対象となる故障デバイスは8層Cu配線の0.13 μm プロセスノードが採用された800万ゲート規模のMFP

搭載プリンタコントロールLSIである。故障は1サンプルのみで、LSIテスターでの再検査結果ではSCANテスト項目のみがFailしている。パッケージにはBGAが採用されており、ハード的な故障箇所特定手法では故障箇所の特定が困難であると考えられる。

2-1 ハード的な故障箇所特定手法

故障箇所の特定は難しいと推察されるがチップ表面から発光解析法を実施した。発光解析には浜松ホトニクス製エミッション顕微鏡PHEMOS-1000を使用した。検出器としてはInGaAsおよびC-CCDが備わっている。故障状態を再現させるためにテストパターンを入力した状態で実施したが良品とのエミッション像比較から異常発光は確認出来なかった。同様にOBIRCH法も実施したが異常反応は確認できなかった。次に赤外域の透過光を利用したチップ裏面からの裏面発光解析法もしくは裏面OBIRCH法[1]の実施が検討されるが、この故障デバイスはBGAパッケージが採用されておりチップ裏面からのアプローチが非常に困難な構造となっている。そのため、本件においては解析対象の物理構造に依存しない故障箇所特定手法である故障診断を適用した。

2-2 故障診断

故障診断とはSCANテストのFail情報をもとにソフト的に故障箇所を絞り込む故障箇所特定手法である。FailしているSCAN-FFへ故障値を伝搬可能な仮定故障を追跡し、Failしている全てのSCAN-FFへ共通に伝搬可能な仮定故障が故障候補として選ばれる[2]。今回、故障診断にはMentor Graphics社のYield Assistと、指摘された故障候補にレイアウト情報を付加するLayout Aware Diagnosisオプションを利用した。診断の結果、故障候補としてscore=100のStuck-at-1故障、Cell故障、Open故障、Bridge故障が指摘された。例としてFig.1に故障診断の結果を示す。ここで、score=100とはテストログと故障シミュレーション結果に矛盾が存在せず診断結果の信用度が高いことを意味している。


```

#symptoms=1 #suspects=1 CPU_time=2338.72sec fail_log=logs/SCAN.log
#failing_patterns=49, #passing_patterns=3452
#unexplained_failing_patterns=0

symptom=1 #suspect=1 #explained_patterns=49
41 106 153 207 357 373 525 526 557 639
685 713 891 1150 1191 1273 1335 1628 1670 1713
.....

suspect score fail_match pass_mismatch type value pin_pathname cell_name net_pathname layout_status
1 100 49 0 STUCK 1 /U_TOP/U_YE/P2CODE/INNER/U93/O KA23D
/U_TOP/U_YE/P2CODE/INNER/docedX2X LOCATION_IN_LAYOUT

#potential_open_segments=1, #total_segments=3, #potential_bridge_aggressors=2, #total_neighbors=35
suspect score fail_match pass_mismatch type value location layout_layer critical_area
1.1 100 49 0 CELL 1 /U_TOP/U_YE/P2CODE/INNER/U93
1.2 100 49 0 OPEN 1 B1&B2 metal1 2.45E-03
via 1.16E-02
metalID 6.27E-02
1.3 100 49 0 DOM agr /U_TOP/U_YE/P2CODE/INNER/LAD/s3NET690 metal2
1.4 100 49 0 DOM agr /U_TOP/U_YE/P2CODE/INNER/DCE/s9732 metal2

XMAP_TABLE_BEGIN
1.0
UNITS_DISTANCE_MICRONS 2000
BRANCH_INFORMATION_BEGIN
symptom suspect branch state pin_pathname cell_name
1 1 B1 F /U_TOP/U_YE/P2CODE/INNER/LAD/U18/A1 CS0F
1 1 B2 F /U_TOP/U_YE/P2CODE/INNER/DCE/M83/I CS0F
BRANCH_INFORMATION_END
BRIDGE_LOCATION_BEGIN
symptom suspect layout_layer category critical_area x_coord1 y_coord1 x_coord2 y_coord2
1 1.3 metal2 525 1.48E-01 6002.100 8294.000 6002.300 8295.560
1 1.4 metal2 525 8.65E-01 6004.100 8294.840 6004.300 8295.100
.....

```

Fig.1 An example of the failure diagnosis result.

2-3 レイアウト追跡

診断結果をレイアウトに落とし込むことで、全ての故障候補が1本の配線に関連していることが判明した。この配線を故障候補ネットとして着目する。Fig.2にその概略図を示す。

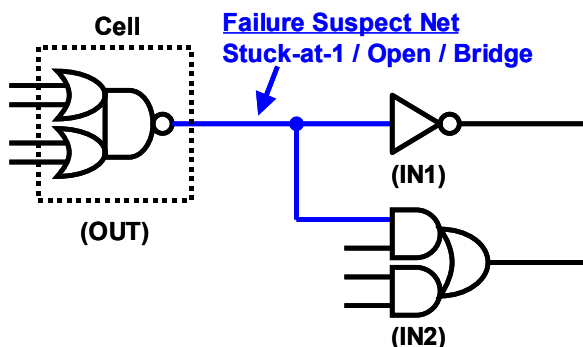


Fig.2 Schematic diagram of failure suspects.

特定された故障候補ネットはLogic回路のマクロセル (OUT) の出力から他の2つのセル (IN1, IN2) の入力へと繋がる配線であり、Poly-SiからMe4までの層で構成されている。次に故障箇所候補を絞り込むため浜松ホトニクス製FA-Navigation Systemを利用し、故障候補ネットに対する最近接箇所が19箇所存在していることを確認した。最近接箇所とはデザインルール上の最小間隔でレイアウトされている配線箇所を指しており、配線間ショートが生じ易い箇所と考えられる。FA-Navigation Systemを用いて抽出された最近接箇所

の一例をFig.3に示す。一方で診断結果のLayout Aware Diagnosis機能ではBridge故障の候補箇所は12箇所指摘されている。これらの共通項をとることでBridge故障の有力候補は4箇所まで絞り込まれた。また、FA-Navigationの抽出結果よりStuck-at-1故障の有力候補となるVCC配線に対する最近接箇所が存在していないことも確認された。

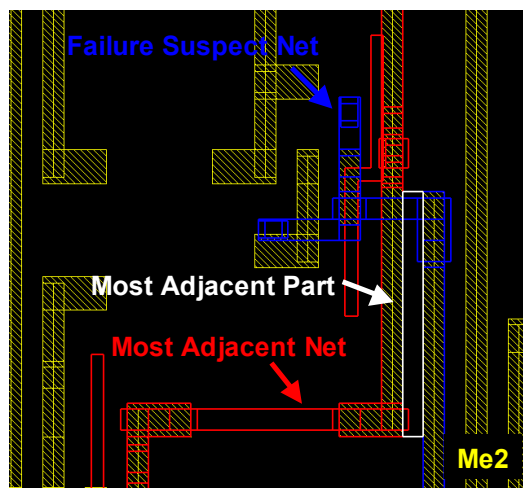


Fig.3 An example of the most adjacent parts extracted by FA-Navigation system.

3. 故障箇所特定 (半破壊)

故障候補ネットにおいて指摘のある故障モードはStuck-at-1故障, Open故障, Bridge故障と様々であり、故障箇所もBridge故障の4候補を含めた多数の箇所が候補として挙げられる。物理解析実施前に故障候補ネット上のどの箇所、どのモードで故障しているのかを明確にしておく必要があるため、半破壊的な故障箇所特定手法として吸収電流法とOBIRCH法を利用して更なる絞り込みを行った。吸収電流法はOpen故障とBridge故障, OBIRCH法はStuck-at故障とBridge故障を特定することが出来るためこれら2手法を併用することで故障候補ネットに関して疑いのある全ての故障モードに対応することが出来る。吸収電流法はSEM式ナノプロービングシステムを利用して行うため1.0μm以下のViaでも実施可能であるがOBIRCH法の実施を考慮して、不要なMe5層以上の上層配線を機械研磨処理により除去し

Via4層上にプローブ電極を形成した。電極形成で生じる電極下層のブラインドエリアの抑制，狭小なVia間スペースでの電極形成のため電極サイズは $2\mu\text{m}\times 2\mu\text{m}$ として形成した。

3-1 吸収電流法

吸収電流法はSEM装置内に搭載されたプロービングシステムをベースとしており，SEM装置内で走査された電子線の吸収電流を配線を通してプローブで検出し，電子線走査位置に対応した吸収電流値の変化を明暗コントラストで表示することでプロービングされた配線の導通状態を画像化しOpen故障やBridge故障の故障箇所を高い空間分解能で特定することが出来る解析技術である[3]。Fig.4に吸収電流像の一例を示す。

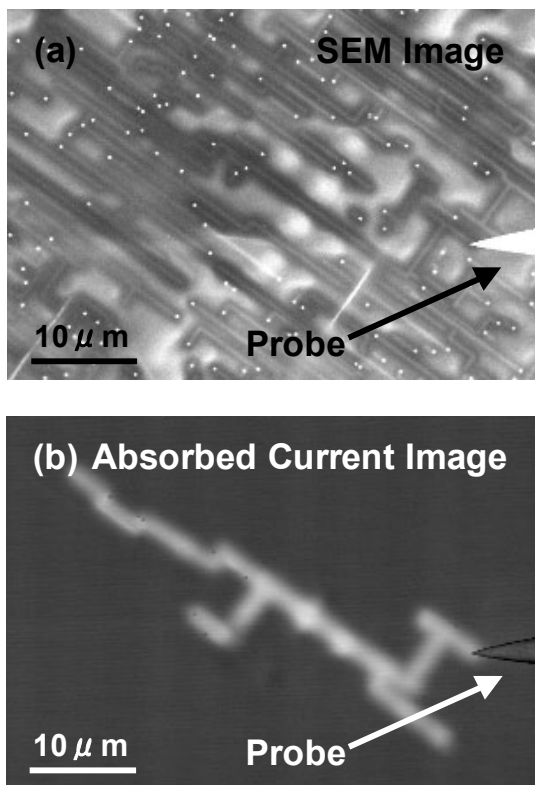


Fig.4 An example of the (a) SEM image and (b) absorbed current image.

しかしプローブ電極へのプロービングではプローブや電極を含めて吸収電流像は全く検出されなかった。この結果は故障候補ネットの導通配線への吸収電流がプローブではなくVCCもしくはGNDレベルへ流れていることを示唆している。Fig.5(b)，(d)に(a)Open故障と(c)Stuck-at故障のそれぞれに対応した吸収電流像の概要図を示す。

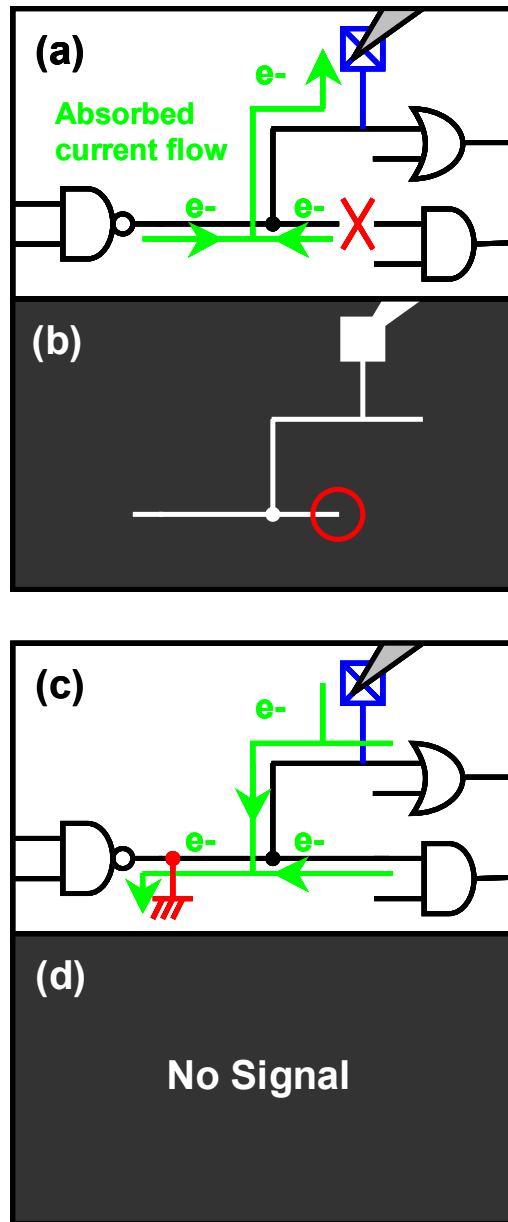


Fig.5 Schematic diagram of (a) open fault model, (c) stuck-at fault model and absorbed current image corresponding to respectively is shown in (b) and (d).

吸収電流法と故障診断結果より、この故障デバイスは故障候補ネットにおけるStuck-at-1故障である可能性が高いと判断できる。プローブ電極とVCC配線間でIV特性確認を実施しおよそ2[kΩ]の抵抗成分によるショート波形を得た。

3-2 OBIRCH法

吸収電流法を実施することで故障モードはStuck-at-1故障の可能性が高いと判断できたが、VCC電位とのショート箇所を絞り込むため引き続きOBIRCH法を実施した。プローブ電極には吸収電流法で使用したW-PADを利用した。VCC配線を基準としてOBIRCH法を実施し、Fig.6(a)に示す箇所でも異常反応を確認した。Fig.6(b)に示すレイアウトイメージとの重ね合わせから異常反応箇所がFig.2に示した故障候補ネットに繋がる2入力のうち一方のTr.箇所 (IN1) であることが判明した。事前のLayout追跡において、VCC配線に対しての最近接箇所は存在していないことが判っているためIN1のPch-Tr.での故障の可能性が高いと推測される。前述の非破壊状態でのOBIRCH法と比較するとダミー配線層を含む上層4層分の配線が除去されており、これにより異常箇所への赤外光レーザーの入射効率が向上したことが異常反応を得ることが出来た一因であると考えられる。

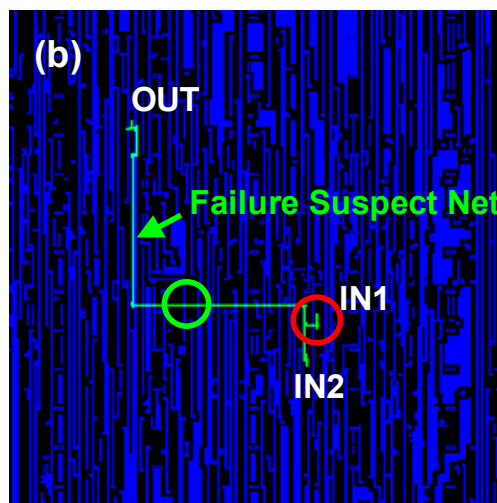
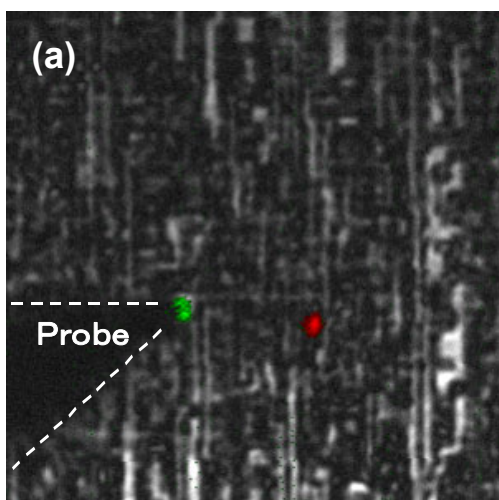


Fig.6 (a)OBIRCH image of failure suspect net versus VCC and (b)layout image of failure suspect net for reference.

4. 物理解析

故障原因を明確にするため特定された故障箇所に対して物理解析を実施した。

4-1 平面観察

故障が疑われるTr.を観察するため、平面機械研磨処理によりOBIRCH法の異常反応箇所の各層観察を実施した。最下層のMe1層が無くなるまで処理を施し、配線間ショートを疑わせる異常形状が存在しないことを確認した。一方で、Me1層除去後のSEM観察においてPch-Tr.のソース拡散エリアの異常コントラストが観察された。SEM観察像をFig.7(a)に、対応したレイアウトイメージをFig.7(b)に示す。しかしながら、この異常コントラストはPch-Tr.のゲートではなくソースであるため故障候補ネットとVCCとのショートモデルには直接的には結びつかない。ソースで観察される異常が間接的にゲートのショートを引き起こしているものと推測される。

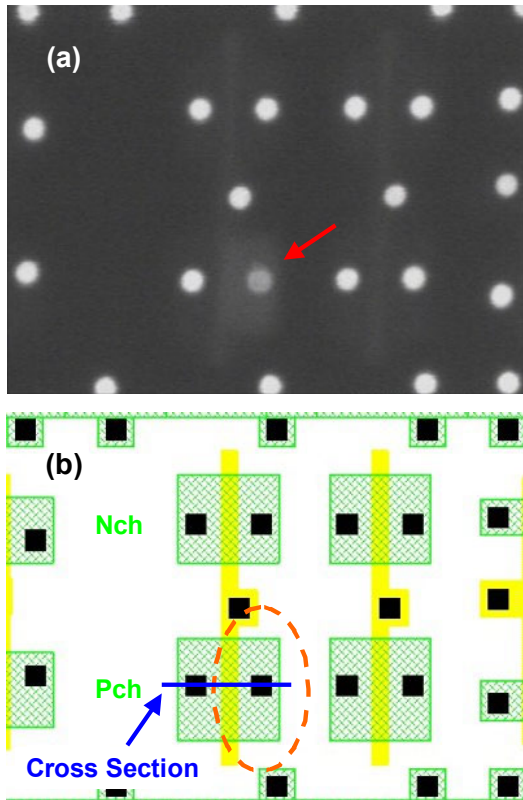


Fig.7 (a)SEM image of contact layer at isolated fault and (b)layout image at SEM image.

4-2 断面観察

Me1層除去後の平面SEM観察においてはソース箇所の異常コントラストが観察されており、ソースの異常とゲートのショートに関連が疑われるためFig.7(b)のCross Sectionラインに示すようにソースコンタクトを含んだ面の断面TEM観察を実施し、ソース箇所では拡散異常を確認した。そのTEM像をFig.8(a)に示す。拡散異常は緑矢印で示すようにSi基板に対してSi(111)ファセット界面を形成している。また赤矢印で示す拡散異常界面とゲートPoly-Si接点箇所においてはPoly-Siへ拡散異常の影響が観察されており、青矢印で示す拡散異常とゲート酸化膜の界面形状からは拡散異常の体積膨張を読み取ることが出来る。この異常拡散に対してEDX分析を実施し、これらの拡散物質がCuであることを特定した。EDX元素マッピングではソースコンタクトからもCuが検出された一方でWは殆ど検出されなかった。Fig.8(b)にCuのEDXマッピング結果を示す。

また、ソースコンタクトの底部からは通常に存在しているSi, Ti, CoのほかにCuとTaが検出されている。

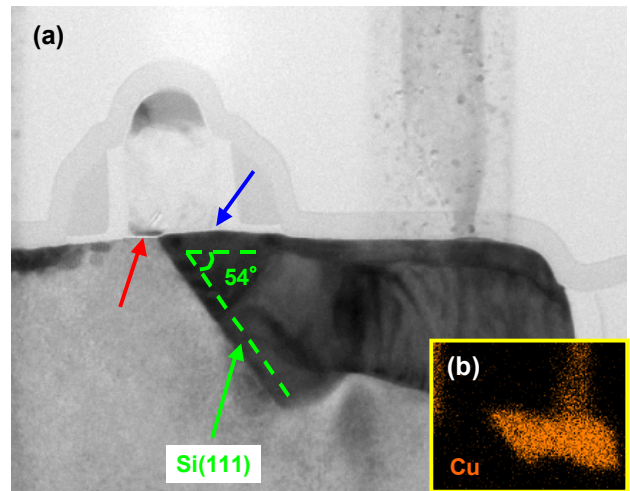


Fig.8 (a)TEM image of defect and (b)EDX mapping of Cu in TEM image.

5. 故障メカニズム推定

本製品の0.13 μm プロセスノードの配線工程にはCuデュアルダマシン構造が採用されており、Si基板に拡散しているCuは配線工程であるMe1配線由来のものであると推測される。またEDXマッピング結果よりソースコンタクトからWが殆ど検出されずCuが検出されていることやCu配線のバリアメタル成分であるTaがソースコンタクトの底部から検出されていることから、WのバリアメタルであるTiNバリア形成後のW埋め込み工程が正常に行われずMe1層形成時にコンタクトホールに対してCuが埋め込まれSi基板へと拡散したものと推測される。W埋め込み異常の原因としては異物によるマスク作用などが疑われる。また、Si基板に対するCu拡散の容易性は一般的に知られており[4-7]、Si基板中に拡散したCuは後の工程の熱処理や異常発熱を経てシリサイドを形成する。形成されたシリサイドは体積膨張を引き起こすことが報告されており[7]、シリサイドとSi(111)界面で生じたミスフィット転位によって接点箇所のゲート酸化膜が破断しゲートPoly-Si中へCuが侵入したものと推測される。これにより、故障候補ネットのゲートがVCCに対してショートしStuck-at-1故障に

至ったと考えられる。また、Cuのシリサイド化は前述のプローブ電極とVCC配線間で測定されたおよそ2[k Ω]の抵抗成分のオーミック性やその抵抗値が高いことから説明が出来る。

- 6) G.S.Chen and S.C.Huang : J. Electrochem. Soc. 148, (2001), pp.G424-G429.
- 7) M.Seibt, et al.: phys. stat. sol.(a) 166, (1998), pp.171-182.

6. 結論

8層Cu配線の0.13 μ mプロセスノードが採用されたMFP搭載プリンタコントロールLSIの故障デバイスに対して故障診断、吸収電流法、OBIRCH法など様々な故障箇所特定手法を駆使することで故障箇所を絞り込むことに成功した。物理解析結果より、W埋め込み異常が引き金となりゲートがVCCとのショートに至る故障メカニズムを推定した。

本報告の事例で示した様にLSIの故障解析はプロセス技術の進歩と共に複雑化しており、多様な解析技術を駆使しなければ原因の特定に至ることは困難である。特にCu配線プロセスが適用されている製品においては故障箇所の特定が非常に困難になっており故障診断技術や吸収電流法の重要度が高まっている。

謝辞

Layout Aware Diagnosis評価ライセンスを提供して下さいましたメンター・グラフィックス・ジャパン株式会社の関係各位に感謝致します。

参考文献

- 1) Y.Yamada and H.Komoda : Proceedings of ISTFA, (2001), pp.305-311.
- 2) LSI テスティング学会 : LSI テスティングハンドブック, 第1版, オーム社, (2008), pp.285-294.
- 3) 水越克郎, 小山田太郎, 寄崎真吾, 嶋瀬朗, 真島敏幸, 小柳肇, 野副真理 : LSI テスティングシンポジウム会議録, (2003), pp.213-218.
- 4) M.T.Wang, Y.C.Lin and M.C.Chen : J. Electrochem. Soc. 145, (1998), pp.2538-2544.
- 5) M.T.Wang, L.J.Chen and M.C.Chen : J. Electrochem. Soc. 146, (1999), pp.728-734.

製品技術解説

EXPLANATION ON PRODUCTS

App2Meが提案する新しい複合機の使い方

App2Me enhances while it simplifies

木野 哲郎*	柳浦 豊*	池浦 隆一*	堀 誠二郎**
Tetsuroh KINO	Yutaka YAGIURA	Ryuuichi IKEURA	Seijiro HORI
高田 忠礼***	安達 真一****		
Tadahiro TAKATA	Shinichi ADACHI		

要 旨

App2Meは、複合機を有効活用する機能やクラウド上のさまざまなサービスと連携させる機能をウィジェット形式で提供するソリューションである。利用者はApp2Meウィジェットサイトから個人のPCやスマートフォンなどIT端末にApp2Meウィジェットをダウンロードするだけで、ウィジェットが提供する様々な機能を利用することが可能となる。例えば、App2Me対応の複合機がある場所であればどこでも、自分専用の設定で複合機を簡単に活用することができる。また、App2Meとクラウド上のアプリケーションとの連携により、複合機で文書をスキャンするだけで、電子データとしてクラウド上のデータ保管場所に自動的に保管するといったことも可能となる。

Abstract

The "App2Me" solution provides functions in widget form, allowing MFPs to be used efficiently in concert with services on Cloud. The widget offers varied functions, without special setup on the MFP side. Users merely download the "App2Me" widget from the "App2Me" widget site to their IT terminals, such as private PCs, smart phones, etc. For example, an MFP can easily be used on dedicated setups any place an MFP adapted to "App2Me" is installed. Beyond that, documents can automatically be saved to the data storage area on Cloud merely by scanning them on the MFP and aligning "App2Me" with Cloud applications.

-
- * コントローラ開発本部 BP開発センター
BP Development Center, Controller Development Division
 - ** グローバルマーケティング本部 ビジネスデベロップメントセンター
Business Development Center, Global Marketing Group
 - *** リコーITソリューションズ株式会社
Ricoh IT Solutions Co., Ltd.
 - **** MFP事業本部 事業戦略センター
Business Strategy Center, MFP Business Group

1. 背景と目的

リコーのデジタル複合機「imaggioシリーズ」には、環境に優しく仕事を効率化する為の機能が数多く搭載されている。しかし、アンケート調査によると実際には“機能がよくわからない”，“設定が難しい”という理由で、お客様に十分に機能が利用されていないということが分かった。そこでリコーでは、お客様が使い慣れたPCや携帯電話などの画面上の簡単操作で、デジタル複合機の機能を使いこなすことができる「App2Me（アップ・トゥ・ミー）」というソフトウェアプラットフォームを開発した。開発段階では、一般のお客様に加えITプロフェッショナルの方々やブロガーの方々にもご意見を伺いながら、App2Meがお客様に提供できる価値を明確にした。

App2Meを利用すれば、自席のパソコンの画面上で“ウィジェット”と呼ばれるツールを使って、例えば両面印刷や中とじ製本などの設定を事前に行い、簡単に印刷やスキャンができる。印刷したいファイルをこのウィジェットにドラッグ&ドロップするだけでネットワーク上の任意の複合機で簡単に印刷することができる。また、保存先やファイル名を予めPCで設定しておくことで、紙文書の電子化も簡単にできる。

2. 製品の概要

App2Meの概要を具体的な使用例によって説明する。例えば「ecoフレンドリープリント」というウィジェットを使用すれば、プリンタードライバーでの設定なしに、簡単に両面集約印刷ができる。

操作の流れを、ステップ(1)～(5)、Fig.1～4に示す。

- (1) PC上の“ウィジェット”に印刷データをドラッグアンドドロップ

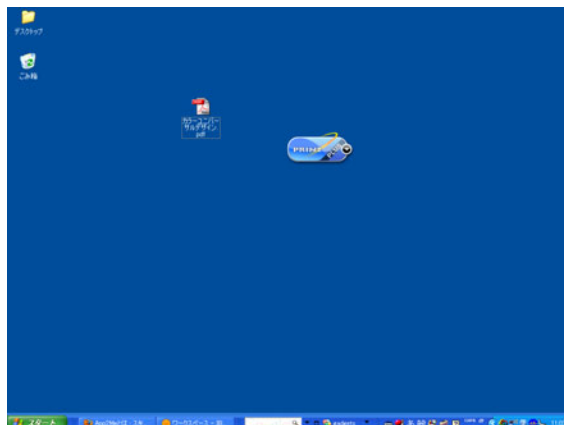


Fig.1 Widget on the desktop of PC.

- (2) 複合機の操作パネルで自分のPCを選択



Fig.2 App2Me Screen on MFP (1).

- (3) 複合機の操作パネルで自分のPC上にあるウィジェットを選択



Fig.3 App2Me Screen on MFP (2).

- (4) 複合機の操作パネルで印刷ジョブを確認，スタートキーを押す



Fig.4 Start Key on MFP.

(5) 印刷出力が行われる

機能やユーザインタフェースはウィジェットによって異なるが、一般にPCでウィジェットを用いて面倒な設定等を行い、次に複合機で単純に操作する流れとなる。

従来の複合機の操作画面には設定項目が多く、複合機の狭い画面で設定するには複雑で操作しにくいものもあった。App2Meでは、ユーザーはPC上のリッチな画面で設定操作を行い、複合機上では①ユーザーを選択、②ウィジェットを選択、③スタートボタンを押すだけのシンプルで、かつウィジェットによらない共通の操作体系を実現している。複合機の操作フローはFig.5に示すようになり、これを3ステップ操作と呼んでいる。

また、基本的には複合機をIPアドレス等で指定する必要がないので、導入が容易である。

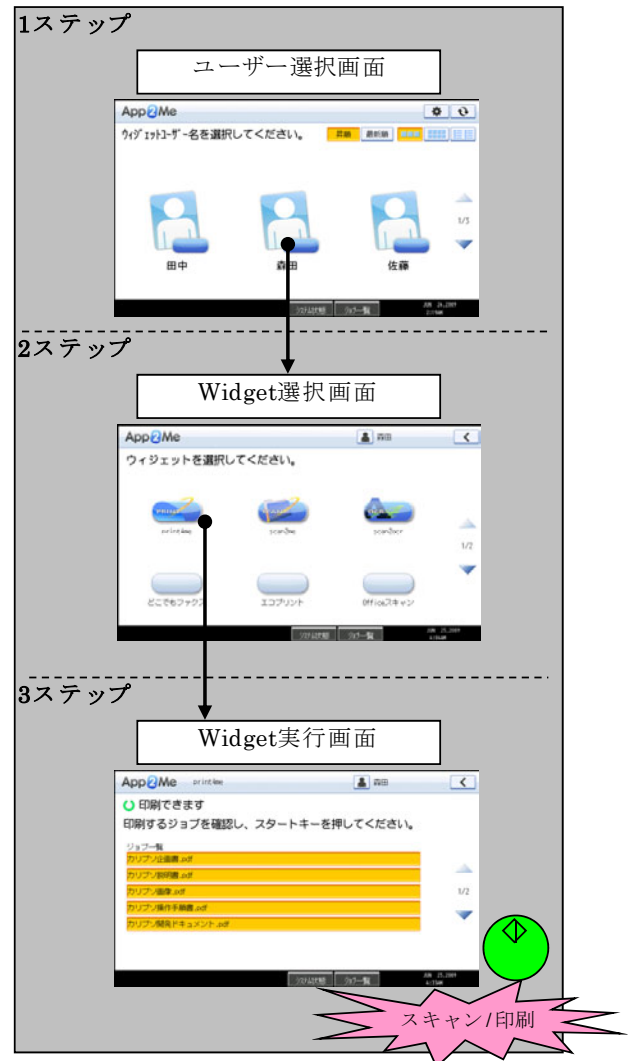


Fig.5 Operation Flow of MFP.
(simple three step process)

3. 技術の特徴

App2Meのコンセプトである、「カンタン！、便利！、楽しい！」を実現するために採用したシステムアーキテクチャとその技術を紹介する。

これらは、システム導入を容易とし、設定および操作の簡素化に徹底的にこだわったことから採用された技術群である。複合機はスキャン機能、印刷機能を提供する紙媒体の入出力機器としての位置づけとなる。複合機のファームウェアを変更することなく、PC側のアプリケーションによって処理を追加/変更することにより付加価値を提供し続けることができる構成となっ

ていることが特徴である。App2Meのソフトウェア構成をFig.6に示す。

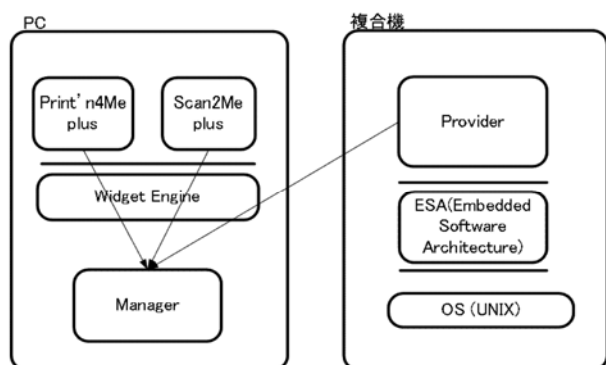


Fig.6 App2Me Software Configuration.

とくに重要な要素は、Fig.7に示すようにWidget, Provider, およびその両者を結びつけるManagerである。以下、これらの要素について説明する。

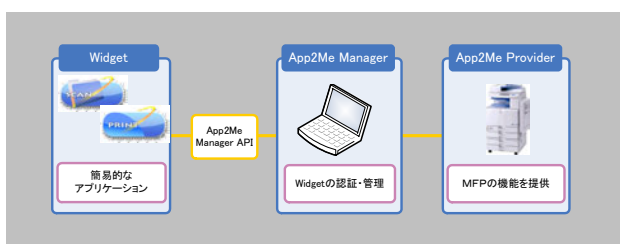


Fig.7 App2Me Architecture.

3-1 Widget

一般的にウィジェットは、時計、カレンダーや電卓などのようにPCのデスクトップの片隅や、携帯電話のように小さな画面上で動作する小さなアプリケーションである。使いたい機能に特化して、使いたい時にすぐに簡単に利用でき、ユーザーにとって身近で使いやすい存在であるのが一番の特徴である。

App2Meウィジェット（以下Widget）は、このような一般的なウィジェットの特征により、複合機のスキャン機能、印刷機能をより簡単に利用できるアプリケーションである。

ここでは、Widgetの基本となる、スキャンウィジェットとプリントウィジェットについて触れる。

(1) Widgetの構成

Widgetは、ウィジェットエンジン上で動作するアプリケーションであり、ウィジェットエンジンを経由して、ManagerとHttp通信を行い、複合機のスキャン機能、印刷機能を提供するアプリケーションである。

Widgetは下記3つの機能から構成される。

- 1)利用者にGUIを提供する機能.
- 2)OS上のファイルにアクセスする機能.
- 3)Managerと通信を行う機能.

Widgetは公開仕様に基づいて誰でも開発することができる。JavaScript等の軽量の言語で開発でき、作成のみならず、修正、追加、拡張も容易である。

Widgetの目的は様々である。複合機の高度な機能群のうちの一つに着目して、その機能を簡単に使えるようにするものを、機能特化型ウィジェットと呼んでいる。複合機の持っている機能を拡張したり、別の機能と組み合わせて使えるようにするものは、機能追加型ウィジェットと呼ぶ。とくにクラウド上のサービスと連携することで多様な価値を生むと考えており、これが外部連携型ウィジェットである。

(2) スキャンウィジェット

スキャンウィジェットをPCのデスクトップ上に置いておけば、複合機側の設定なしに3ステップ操作で紙文書が電子化されて自分のパソコンに保存できる。

ファイル名、ファイル形式、カラー/モノクロ、片面/両面、解像度などのスキャン設定は複合機側でなく、自分のPC上から設定することができる。

スキャンウィジェットのスキャン設定のGUIをFig.8に示す。



Fig.8 App2Me Scan2Me plus Screen.

(3) プリントウィジェット

PCのデスクトップ上のプリントウィジェットを利用して、App2Meを利用できる複合機でどこでも印刷できる、ロケーションフリー印刷を簡単に実現できる。

PC上から印刷指示を出した後に、出力したい複合機の操作パネル上の3ステップ操作で印刷文書を取得することができ、印刷文書の取り忘れも防止することができる。プリントウィジェットのGUIをFig.9に示す。

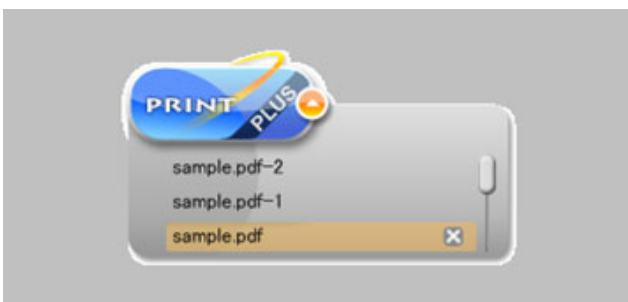


Fig.9 App2Me Print'n4Me plus Screen.

3-2 Provider

Providerは、複合機上で動作する組み込みソフトウェアであり、PCに登録しているWidgetを自動的に発見し、複合機の操作画面からそのWidgetを実行できるようにする。

(1) Providerの構成

Providerは、リコーのアプリケーション開発プラットフォームである ESA¹⁾(Embedded Software Architecture) 上で動作するアプリケーションである。Providerのソフトウェア構成をFig.10に示す。

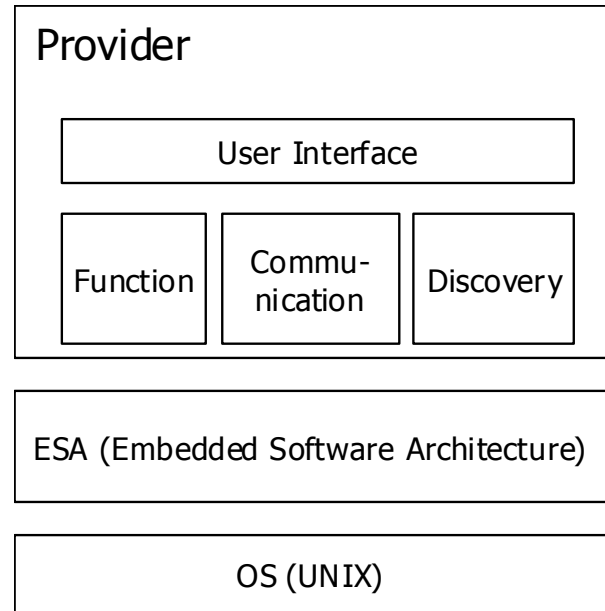


Fig.10 App2Me Provider Architecture.

Providerは4つのサブモジュールから構成される。サブモジュールの役割をTable 1に示す。

Table 1 Provider Overview.

サブモジュール	役割
User Interface	複合機のタッチパネルに画面を表示し、ユーザーからの入力を受け付ける。
Function	複合機の印刷機能、スキャン機能を制御する。
Communication	Managerと通信し、ユーザーやWidget、ジョブの情報を取得する。
Discovery	ネットワーク上の Manager を発見する。

3-3 Manager

Managerは、PC上で動作するアプリケーションである。

スキャン機能、プリント機能などの複合機の機能を実行するアプリケーションであるProviderとコミュニケーションを行い、Widgetに対し複合機の機能の橋渡しを行う。

(1) Provider-Widgetのペアリング

ネットワーク上にN対Nで存在するProvider(複合機)とWidget(PC)をペアリングするためにディスカバリ機能を提供する。Widgetはネットワーク的に固定されたManagerを介することで個別にペアリング機能を持たなくても特定の複合機と通信できる。

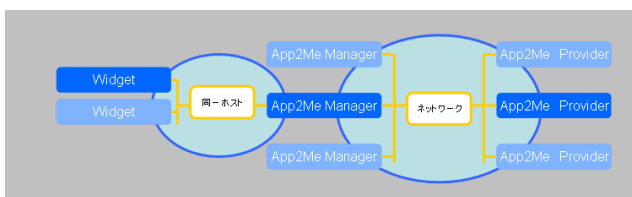


Fig.11 Paring between PC & MFP on the network.

(2) Webインタフェース機能

Provider, Widgetのコミュニケーションの実現手段として、Managerはそれぞれに対してRESTful WebAPIを提供する。これにより、Widgetは軽量なWebアプリケーションの形態をとることが可能である。

Widgetに対しては、Widget情報やジョブ情報の登録、ジョブの実行結果を取得するためのWebAPIを提供する。WidgetからManagerへのコミュニケーションは、①登録、②実行結果の取得、というシンプルなシーケンスになる。Widgetは個別機能としてのインタラクションを①や②のシーケンスにフックして実装する仕組みとなる。

Providerに対しては、Widget情報やスキャン/印刷の実行に必要なジョブ情報、スキャンデータや印刷結果をWidgetに通知するためのWebAPIを提供する。これは

オペレーションパネルでの3ステップ操作において利用する。

3-4 ProviderとManagerを自動発見する仕組み

App2Meでは、複合機から事前に準備した自分のウィジェットを呼び出す際にProviderからManagerを検索(発見)する。また、PCから利用可能な複合機の存在を確認する機能も提供しており、このためにManagerからProviderの検索も必要となる。この検索において、いかに簡単に、事前設定を限りなく少なくして相手を探せるかが課題となる。

そこで、App2Meでの検索は、multicast DNS²⁾(以下mDNSと記載)の技術をカスタマイズして実現した。mDNS自体は、RFCで定義されているマルチキャスト検索技術であり、Apple Inc.では、mDNSをBonjour³⁾の一部として標準で使っている。

(1) マルチキャスト通信機能による検索

同一サブネットのすべてのPCに対して、マルチキャストアドレスを使い、Providerもしくは、Managerの検索を行う。この検索自身は、mDNSでもともと使用している方法である。

(2) ユニキャスト通信機能による検索

mDNSはマルチキャスト検索用の技術であるため、同一サブネット内にあるものしか検索対象とならない。しかし、App2Meの利用時のネットワーク環境として、必ずしも同一サブネット内にManagerとProviderがあるとは限らない。例えば、外出先の複合機のProviderに対して手持ちのノートPCにあるManagerからApp2Meを使うケースでは、ノートPCは無線ネットワーク上、複合機は有線ネットワーク上にあり、かつ無線と有線はサブネットが異なるケースが多い。このようなケースに対応するため、今回Fig.12のようなUIを提供して、同一サブネットでない複合機の検索を行えるようにした。



Fig.12 App2Me Manager Configuration Screen.

(3) mDNSがもつ広告機能の抑制

お客様の環境下で、ネットワーク負荷を高めるような通信を極力減らすことが求められる。このためにオリジナルのmDNSから、機能を提供しているユーザーが、マルチキャストで自身が提供できる機能について広告する機能を削除した。

4. 今後の展開

今後、App2Meはサービス内容を順次拡大していく予定である。ウィジェットは元々Webとの親和性が良いため、これまで複合機単体では実現できなかった事が、世の中のWebサービスと連携することで可能となる。

例えば、いつでもどこでもWeb上の保管サービスに文書を保存または印刷したり、外国語の紙原稿を複合機でスキャンするとWeb上の翻訳サービスで日本語に翻訳されたり、手書きの紙書類からWeb上の入力サービスを介してデータ入力を行ったりなど様々な展開を検討している。

このようなサービスはWebサービス提供会社や開発パートナーとも積極的に提携していく。

さらにWidgetプラットフォームもスマートフォンや新型タブレットへの展開もすすめていく。

App2Meは複合機などオフィス内の共用機器をあたかも個人ツールとして活用でき、かつ紙とWebサービスをつなぐことで、様々な魅力的なサービスを提供する仕組みへと進化していく。

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。

参考文献

- 1) 安藤光男他：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, Ricoh Technical Report, No.35 (2009), pp.34-40.
- 2) Stuart Cheshire, Marc Krochmal : Multicast DNS <draft-cheshire-dnsexst-multicastdns-11.txt>, Internet Draft (2010).
- 3) Apple Inc. : Bonjour Protocol Specifications, <http://developer.apple.com/networking/bonjour/specs.html>.

注) Apple, Bonjour は米国 Apple Inc.の商標です。その他、文中の社名および製品名は、各社の商標または登録商標です。

文書管理システム Ridoc Smart Navigator

Ridoc Smart Navigator, Ricoh's New Document Management System

江口 雄久* 池ノ谷 和幸* 飯室 理恵子*
Takehisa EGUCHI Kazuyuki IKENOYA Rieko IIMURO

要 旨

リコーでは文書管理システムとして、Ridoc Document Server、サーバーへのユーザーインターフェースとして、PCアプリケーションのRidoc Desk Navigator、Webブラウザ対応のRidoc Web Navigatorを提供してきた。Ridoc Smart Navigatorは、Ridoc Document ServerとRidoc Web Navigator、およびRidoc Desk Navigatorの文書管理システムへのアクセス機能を統合し、リッチクライアント技術を採用したWeb文書管理システムである。これまでのWeb文書管理システムと異なり、ドラッグ&ドロップでの文書登録などクライアントアプリケーションに近い操作性を実現している。また、文書配信システムであるRidoc GlobalScanともシームレスに連携している。主な機能・技術的特徴は以下の通りである。

- 1)電子ファイル、紙文書に関係なく、簡単な操作で登録可能
- 2)アプリケーションがなくても、PDFファイルとして参照可能
- 3)リコー製の全文検索エンジンによる高速な全文検索
- 4)Webサービスの提供により他アプリケーションから連携可能

ABSTRACT

Ricoh has offered the Ridoc Document Server as a document management system. And the user interfaces of the system are the Ridoc Desk Navigator (desktop application), and the Ridoc Web Navigator (web application). Ridoc Smart Navigator integrates the functions of the Ridoc Document Server and the Ridoc Web Navigator, and also integrates the access function of the Ridoc Desk Navigator. Ridoc Smart Navigator is a web-based document management system which adopts rich client technology. It achieves easy operation such as drag-and-drop functionality, and a seamless integration between the document delivery system, Ridoc GlobalScan.

The followings are main functions and technical features.

1. Accepts both electronic and paper documents with easy operation.
2. Converts all documents in PDF, enabling users to view them without Word or Excel.
3. Adopts Ricoh's original full text search engine with high speed full text search.
4. Provides web API to access documents stored in Ridoc Smart Navigator from another application.

* グローバルマーケティング本部 ビジネスディベロップメントセンター
Business Development Center, Global Marketing Group

1. 背景と目的

近年、企業では紙文書の電子化や文書管理システムの導入が進んでおり、リコーではこれまでもRidoc Document Systemシリーズとして、文書管理システムおよび配信システムを提供してきた。

一方、インターネットの通信速度向上や低コスト化の流れにより、ブラウザのみで操作できるWebアプリケーションの普及や、サーバーを持たないクラウド環境など、業務環境が急速に変化してきている。

このような市場動向を受け、文書管理システムにもWebアプリケーションであり、クライアント・サーバー型のシステムの操作性・性能を維持すること、が求められるようになった。

Ridoc Smart Navigatorは、リッチクライアント技術の採用により高い操作性を提供し、業務に利用可能な性能を実現したWeb文書管理システムである。

2. 製品の概要

Ridoc Smart Navigatorは、企業でよく利用されるMicrosoft OfficeのWordやExcel等のファイルや、紙文書の電子化による画像ファイル、PDFファイルなどを登録できる。電子ファイルについては、クライアントPC上のドラッグ&ドロップの操作で登録でき、紙文書についてはRidoc GlobalScanを利用することで画像ファイルやPDFファイルに変換して登録できる。

登録されたファイルは、関連アプリケーションがない環境でも、またアプリケーションの起動を待たずに参照できるように、内部でPDFファイルに変換している。文書参照時には、ブラウザ内にPDFファイルが表示される。

ファイルの検索のため、業務に応じた書誌情報を文書タイプごとに付与することができる。また、独自開発のOCR技術により画像からテキストを抽出し、独自開発の全文検索エンジンによって高速な検索機能を提供している。

クライアント・サーバー型のアプリケーションと同様に以下の操作性でシステムを利用できる。

- (1) ドラッグ&ドロップで文書の移動
- (2) 右クリックメニューによる操作の実行
- (3) キー操作によるフィールドの移動
- (4) 表の中にプルダウンやチェックボックスの表示

その他、文書を活用するために「メールによる通知機能」や「簡易ワークフロー機能」、「お気に入り登録機能」が実現されている。

機能概要をTable 1に示す。

2-1 システム構成

Ridoc Smart Navigatorのシステム構成をFig.1に示す。

2-2 機能概要

Ridoc Smart Navigatorのメイン画面をFig.2に、ビューア画面をFig.3に示す。

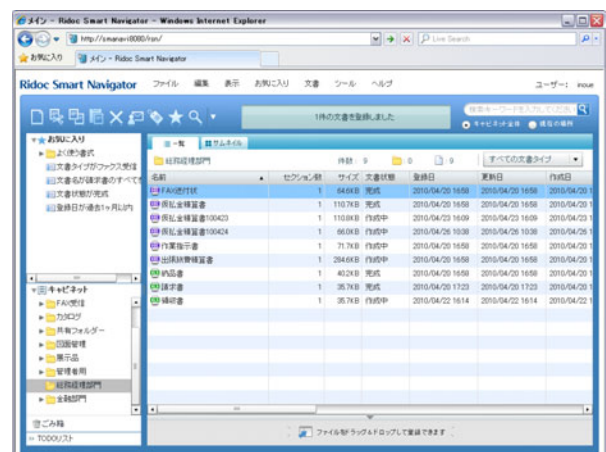


Fig.2 Main Window.



Fig.3 Viewer Window.

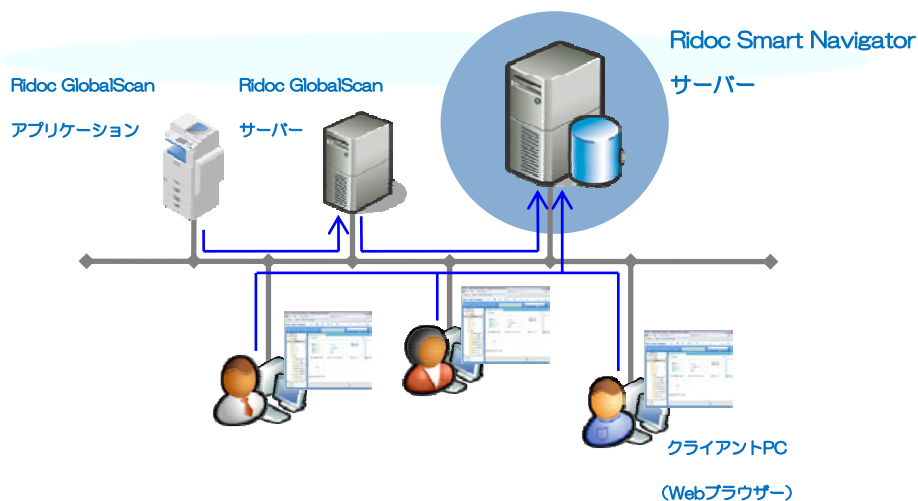


Fig.1 System Configuration.

Table 1 Features Summary.

登録		ファイル選択, ドラッグ&ドロップ, 複数ファイル1文書登録
ブラウジング		サムネイル一覧, 詳細一覧
登録データ	アプリケーションデータ	.txt/.doc/.docx/.docm/.rtf/.ppt/.pptx/.pptm/.xls/.csv/.xlsx/.xslm/.vsd
	画像データ	BMP/TIFFマルチページ対応/TIFF Class F マルチページ対応/JPEG/PNG
認証方式		Windows認証, 独自認証
検索	簡易検索	文書プロパティの文字列型項目の値 (文書名も含む), 全文検索データ内の文字列
	詳細検索	検索キーワード: のすべてを含む/のいずれかを含む/のいずれも含まない/ 文書/フォルダーを検索する /全文検索を行う
		詳細検索条件: 文書タイプ, 項目間条件 (AND/OR), 項目
		検索結果: 昇順/降順
		検索範囲: キャビネット/フォルダー/サブフォルダー
条件保存・条件選択: 文字列型 (すべてを含む/いずれかを含む/いずれも含まない/いずれかで始まる/いずれかで終わる/どれかである/どれでもない/値がない), 数値型 (~の範囲/値がない), 日付型 (~の範囲/値がない/過去3日以内, 過去1週間以内/過去1ヶ月以内), サイズ (指定した数値の範囲/サイズの条件を選択), 文書状態 (文書状態, 完成回覧状態)		
表示		Webブラウザでのビューア表示
文書操作		文書情報の設定と確認/更新/旧版の管理/整理/移動・複製・削除/文書ショートカットの作成/通知/URLコピー/文書一覧のCSV書き出し/全文検索データの参照/サブデータの作成・削除/ワークフロー
アクセス権	設定箇所	キャビネット/フォルダー/文書
	設定内容	【フォルダーのアクセス権】 プロパティ参照/プロパティ更新/サブフォルダー作成/文書作成/フォルダー削除/アクセス権変更/所有権変更 【文書のアクセス権】 プロパティ参照/読み取り/更新/文書削除/アクセス権変更/所有権変更
変換		PDF変換
クライアントアプリケーション		Webブラウザ(Internet Explorer 7/8)

2-3 ソフトウェア構成

ソフトウェア構成を、Fig.4に示す。



Fig.4 Software Configuration.

- UIアプリケーション
Ridoc Smart Navigatorのユーザーインターフェースを実現している部分である。
- Webサービス
Ridoc Smart Navigatorの文書管理機能およびユーザー認証機能を、連携アプリケーションから利用するためのサービスを実現している部分である。
- 文書管理アプリケーションロジック
文書管理機能とPDF/画像変換機能および全文テキスト生成等の、アプリケーションの機能を実現している部分である。
- Document Manager
Ridoc Smart Navigatorの文書管理エンジンであり文書の検索/保管を行う。
- リコー製のRDBMS
独自に開発した、高速全文検索エンジン付のデータベース管理システムである。
- 全文テキスト生成
独自に開発したOCR技術により画像からテキストデータの抽出を行う。
- PDF変換機能
独自に開発したPDF変換技術により、画像からPDFファイルを作成する。

- ・ 画像変換機能
画像やアプリケーションデータをサムネイル画像に変換している。
- ・ ユーザ認証機能
独自の認証機能を実現している。また、独自認証およびWindows認証を統一したインターフェースで利用できる。

3. 技術の特徴

3-1 Rich Internet Application

本製品は、従来のHTMLベースのWebアプリケーションよりも操作性が優れたWebアプリケーション、いわゆるRIA (Rich Internet Application) を開発するため、オープンソース技術を採用している。

生成されたアプリケーションは、普及率が高いAdobe Flash Player上で動作するため、インストールの手間を軽減することができる。

また、サーバーサイドにはリモート通信、メッセージ送信のためのオープンソース技術を採用し、アプリケーションとはHTTP/HTTPSで通信する。

アプリケーションとリモート通信サーバーソフトウェアの組み合わせでは、HTTPリクエストのヘッダー部の「Content-type」に「application/x-amf」という値がセットされ、ボディ部にAction Message Format (AMF) というバイナリフォーマットが使用される。

AMFでは、データをコンパクトにシリアライズするため、アプリケーションとサーバー間の通信を高速に行うことができる。

結果として、AjaxアプリケーションのようにXMLなどのテキストベースのフォーマットを使用した場合と比較して、Webアプリケーションのパフォーマンスが向上する。

3-2 PDF表示の高速化

本製品は、ファイルを登録すると、自動でPDFデータを作成して、ビューア内のPDF表示エリアに埋め込まれたAdobe Readerで表示される。

Microsoft Officeなどの文書作成ソフトで作成したファイルの場合、PDFデータはWeb表示用に最適化され、Webサーバからページ単位でダウンロード(バイトサービング)できるようになる。

バイトサービングにより、全ページのデータのダウンロードの完了を待たずに先頭ページから表示を開始できるため、サイズの大きいPDFデータでも内容をすばやく確認することができる。

3-3 Webサービス

本製品はRidoc GlobalScanと連携するために、ステートフルなWebサービスとMTOM (Message

Transmission Optimization Mechanism) をサポートしているオープンソース技術を採用している。

ステートフルなWebサービスでは、サーバーサイドに状態を保持することができるため、サーバーサイドに状態を保持しないステートレスなWebサービスと比較して、毎回認証処理を行う必要がなくなるなど、サービス呼び出し時のオーバーヘッドを低減できる。

MTOMでは大きいサイズのバイナリデータを転送するために最適化されており、データサイズが約1.3倍になるBase64エンコーディングよりも転送のオーバーヘッドが減少し、Ridoc GlobalScanから送られる画像データを効率よく処理することができる。

4. 今後の展開

今後は、Ridoc Smart Navigatorの機能を外部から呼び出せるようSDKを提供する予定である。これにより他システムとの連携機能を強化し、カスタマイズニーズにも応えることができるようになる。

またRIAの特徴である操作性を向上させ、さらに使い勝手が良いドキュメントソリューション製品の開発を進めていく。

注1) Adobe, Flash, Readerは、Adobe Systems Incorporated(アドビシステムズ社)の米国及びその他の国における登録商標または商標です。

注2) Microsoft, Windows, Excel, Internet Explorer
は、米国Microsoft Corporationの米国及びそ
の他の国における登録商標または商標です。

ユニット交換式デジタルカメラシステム “GXR”

Interchangeable Unit Digital Camera System "GXR"

片桐 進*	牧 隆史*	布野 勝彦*	大橋 和泰**	加賀 良太*
Susumu KATAGIRI	Takashi MAKI	Katsuhiko NUNO	Kazuyasu OHASHI	Ryohta KAGA
清水 隆好*	吉田 和弘*	岡 浩二*		
Takayoshi SHIMIZU	Kazuhiro YOSHIDA	Koji OKA		

要 旨

レンズ交換式としては世界最小・最軽量⁽¹⁾となるデジタルカメラシステム“GXR”を製品化した。GXRではレンズ、撮像素子、画像処理エンジンをひとつにまとめてカメラユニットとし、これを交換できる方式を採用している。従来のレンズ交換式一眼レフカメラでスペース上の制約となっていたミラーボックスを排除して小型化を実現するとともに、ユニット交換方式により撮影目的に応じて大きさの異なる撮像素子を持つユニットの選択を可能とした。また、画像エンジンはそれぞれのカメラユニットのレンズ光学系および撮像素子に合わせた最適化を実現している。今後、ストレージユニットやプロジェクタユニット等、撮影用途以外のユニットの展開も可能であり、今までにない新しい拡張性のあるシステムとして期待されている。

(1) 2009年11月新製品発表時点（リコー調べ）



ABSTRACT

RICOH launched GXR as a world smallest interchangeable unit camera system. The interchangeable camera unit contains an image sensor and an image processing engine along with a lens. By eliminating mirror box that occupies large space in conventional SLR cameras, GXR achieved outstanding compact size among interchangeable cameras. An epoch-making unit-interchangeable system gives a choice of sensor size for the photographic objectives. Image processing engine is optimized for the lens and the image sensor of the camera unit. There are possibilities of non-photographic units such as a storage unit or a projector unit. GXR is expected as a new camera system that has unexplored extendability.

* パーソナルマルチメディアカンパニー ICS設計室
ICS Desing office, Personal MultiMedia Products Company

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

1. 背景と目的

従来のレンズ交換式カメラでは、ボディにレンズを取り付ける部分にマウント方式を採用している。交換用レンズは、ボディに内蔵された撮像素子のサイズと、マウント方式の規格（撮像素子とマウント部分との間隔を定めたフランジバックや、マウント部分の形状）に沿った製品にする必要があるために、大きさの制限がある。

従来のデジタル一眼レフカメラでは、画像処理エンジンがボディに内蔵されているので、ボディ開発時に存在する交換用レンズと撮像素子との組み合わせに対しては最適化できるが、その後に発売される交換用レンズに対しては最適化できない。

開発したGXRに採用したユニット交換方式は、交換するユニット内部に、レンズ、撮像素子、画像処理エ

ンジンを実蔵することで、小型化と高画質化（レンズ・撮像素子・画像処理エンジンの最適化）を実現している。

本稿では、GXRシステムを実現するために必要であった下記技術を紹介する。

- ①GXRシステム構成
- ②ボディとユニット間の着脱機構
- ③レンズユニットの光学系・機構
- ④高密度実装PCB
- ⑤GXRシステムとして統一された画質設計
- ⑥GXRシステムのファームウェア技術

2. 製品の概要

本機の主な特徴をTable 1に示す。

Table 1 Specification of GXR with camera unit.

機種	GXR+GR Lens A12 50mm F2.5 MACRO	GXR+RICOH Lens S10 24-72mm f2.5-4.4 VC
記録フォーマット	〈静止画〉圧縮:JPEG (Exif ver.2.21), RAW (DNG), DCF準拠, DPOF対応 〈動画〉AVI (Open DML Motion JPEGフォーマット準拠)	
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86MB)	
撮像素子	23.6×15.7mm 原色CMOSセンサー 有効画素数 1230万画素	1/1.7型 原色CCD 有効画素 1000万画素
解像度	〈静止画〉 3776×2832 (4:3), 4288×2848 (3:2), 2848×2848 (1:1), 4288×2416 (16:9), 3072×2304 (4:3), 3456×2304 (3:2), 2304×2304 (1:1), 3456×1944 (16:9), 2592×1944, 2048×1536, 1280×960, 640×480 〈動画〉 1280×720, 640×480, 320×240	〈静止画〉 3648×2736 (4:3), 3648×2432 (3:2), 2736×2736 (1:1), 3648×2048 (16:9), 3264×2448 (4:3), 3264×2176 (3:2), 2448×2448 (1:1), 3264×1840 (16:9), 2592×1944, 2048×1536, 1280×960, 640×480 〈動画〉 640×480, 320×240
記録モード	静止画オート, 絞り優先, シャッター優先, マニュアル露光, プログラムシフト, シーン (動画, ポートレート, スポーツ, 遠景, 夜景, 斜め補正)	静止画オート, 絞り優先, シャッター優先, マニュアル露光, プログラムシフト, シーン (動画, ポートレート, スポーツ, 遠景, 夜景, 斜め補正, ズームマクロ)
静止画記録枚数 (内蔵メモリ約86MB)	3776×2832 RAW:4枚 F:20枚 N:35枚 4288×2848 RAW:3枚 F:18枚 N:31枚 2848×2848 RAW:5枚 F:27枚 N:47枚 4288×2416 RAW:4枚 F:21枚 N:36枚 3072×2304 F:30枚 N:52枚 3456×2304 F:27枚 N:47枚 2304×2304 F:41枚 N:69枚 3456×1944 F:32枚 N:56枚 2592×1944 F:34枚 2048×1536 F:53枚 1280×960 F:96枚 640×480 N:395枚	3648×2736 RAW:4枚 F:22枚 N:38枚 3648×2432 RAW:5枚 F:24枚 N:42枚 2736×2736 RAW:6枚 F:29枚 N:50枚 3648×2048 RAW:6枚 F:29枚 N:50枚 3264×2448 F:27枚 N:47枚 3264×2176 F:30枚 N:52枚 2448×2448 F:36枚 N:62枚 3264×1840 F:36枚 N:62枚 2592×1944 F:34枚 2048×1536 F:53枚 1280×960 F:96枚 640×480 N:395枚
動画記録時間 (内蔵メモリ約86MB)	1280×720 21秒, 640×480 60秒, 640×480 145秒	640×480 60秒, 640×480 145秒
レンズ	焦点距離 f=33mm (35mm換算50mm) 明るさ (F値) F2.5-F22 レンズ構成 8群9枚 (非球面x面x枚)	焦点距離 f=5.1-15.3mm (35mm換算24mm-72mm) 明るさ (F値) F2.5-F4.4 レンズ構成 7群11枚 (非球面x面x枚)
絞り	20段階構成, NDフィルタ併用	12段階構成

シャッター	〈静止画〉180, 120, 60, 30, 15, 8, 4, 2, 1~1/3200秒 (電子シャッター, メカニカルシャッター併用) 〈動画〉1/30~1/3200秒 (電子シャッター)	〈静止画〉180, 120, 60, 30, 15, 8, 4, 2, 1~1/2000秒 (電子シャッター, メカニカルシャッター併用) 〈動画〉1/30~1/2000秒 (電子シャッター)
撮影距離	約0.3m~∞ (マクロ撮影範囲約0.07m~∞)	約0.3m~∞ (マクロ撮影範囲約0.015m~∞)
デジタルズーム	4倍	
ISO感度	AUTO, AUTO-HI, 200, 400, 800, 1600, 3200	AUTO, AUTO-HI, 100, 200, 400, 800, 1600, 3200
液晶モニター	3.0型 TFT (アモルファスシリコン) アクティブマトリクス方式 約92万画素	
フラッシュ (内蔵)	ポップアップ方式 オート (低輝度時及び逆光時自動発光) / 強制発光 / スローシンクロ / 発光禁止 / 赤目軽減 到達距離 0.2m~3.0m (ISO AUTO)	
フラッシュ (外付)	到達距離 0.2m~4.5m (広角) (ISO AUTO) 0.15m~2.7m (望遠) (ISO AUTO)	
バッテリー	専用リチウムイオン充電電池 (DB-90 同梱), ACアダプター (AC-4c 別売)	
A F 補助光	有	
外形寸法 (本体装着時)	113.9mm (W) × 70.2mm (H) × 77.1mm (D) (レンズ鏡筒部含む, 端子部含まず)	113.9mm (W) × 70.2mm (H) × 44.1mm (D) (レンズ鏡筒部含む, 端子部含まず)
質量 (本体装着時)	約423g (バッテリー/メモリーカード/ネックストラップ/レンズキャップを除く)	約325g (バッテリー/メモリーカード/ネックストラップ/レンズキャップを除く)

3. 製品の特徴

3-1 ユニット交換システム

Fig.1に本機のシステムブロック図を示す。

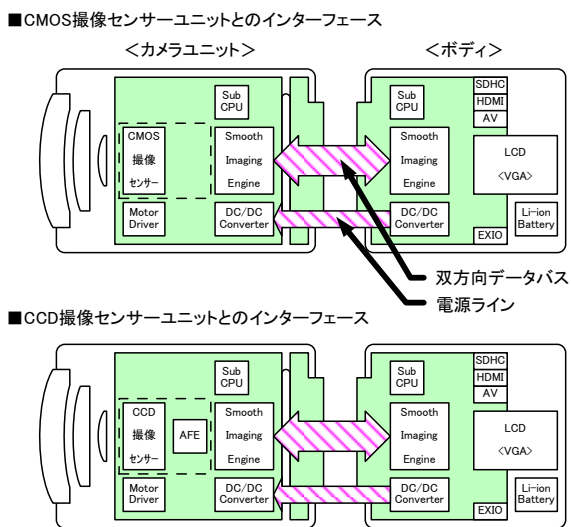


Fig.1 System block diagram of GXR.

GXRシステムの特徴として、カメラユニット内部に画像処理エンジン、モーター制御回路ならびに電源回路などを実装しており、カメラユニットの撮像素子の種類 (CMOS又はCCD) や画素数に関係なく、ボディとは68ピンのコネクタにて接続される。カメラユニット内に画像処理エンジンと電源回路を実装することで

撮像素子の種類毎に変動する、画像エンジン間とのインターフェース信号ならびに電源の種類変動をカメラユニット内で吸収している。

カメラユニット、ボディそれぞれの画像処理エンジンにて画像処理プロセスの最適配分を実施している。

カメラユニットとボディは高速な双方向バスにて接続されており、将来的にカメラユニットではないプロジェクトユニットのような様々な拡張ユニットとの接続も可能である。

3-2 着脱機構

Fig.2にGXRの斜視図を示す。着脱機構の品質特性としては、強度、信頼性、操作性、操作感の4つが重要である。

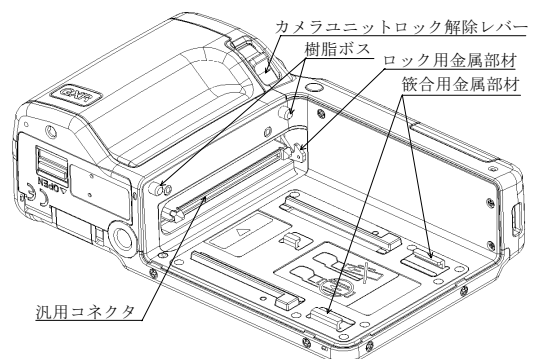


Fig.2 Perspective illustration of GXR.

強度については、カメラユニットとの嵌合部とロック部に金属部材を使用し、また、樹脂ボスによる補助嵌合を併用することで、強度の確保を実現している。

信頼性については、汎用コネクタを採用し、実力耐久回数10万回の信頼性を実現している。

操作性については、一眼レフカメラの作法を踏襲するために、カメラユニットロック解除レバーをGXR前側に配置し、さらに、カメラユニットスライド時の滑らかさ、装着時の音および力量を重視することで快適な操作感を実現している。

3-3 A12 50mmカメラユニット

3-3-1 光学系

GR LENS A12 50mm F2.5 MACROカメラユニット（以下A12 50mmカメラユニット）は、“GR LENS”の呼称が示す通り、優れた描写性能の確保を第一に開発したものである。対角28.3mmの大型センサを採用し、レンズの実焦点距離は33mmとなる。

Fig.3に、A12 50mmカメラユニットに採用した光学系の構成と、フォーカシング時の移動軌跡を示す。

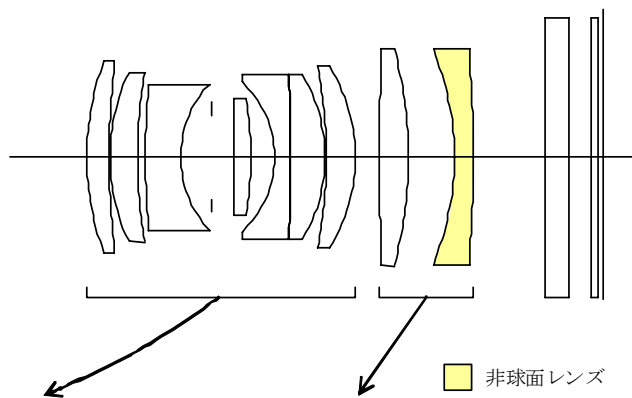


Fig.3 Construction of A12 50mm Unit.

レンズ構成は8群9枚で、6群7枚の変形ガウスタイプである前群と、2群2枚の後群からなる。

近距離物体へのフォーカシングに際して、前群と後群との間隔を広げながら全体を繰り出す、いわゆるフローティング方式を採用することにより、無限遠から最大撮影倍率（1/2倍）に至るまで、像面の平坦性を十

分に確保している。コンパクトカメラのマクロモードとは一線を画する本格的マクロレンズである。

また、主に後群のパワー配置を最適化することによって、バックフォーカスに制約のない本システムの特徴を生かし、小型化を達成した。

Fig.4に、絞り開放におけるMTF曲線を示す。画面中心では非常に高いレスポンスを有している上、周辺部まで大きな低下がなく、均一な結像性能を有していることが分かる。歪曲収差・色収差についてはほとんど分からないレベルまで抑え込んでおり、さらに、ビネッティングが少ないことも特徴として挙げられる。

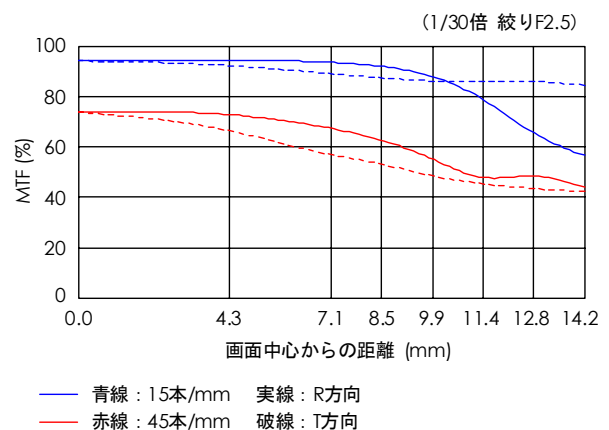


Fig.4 MTF of A12 50mm Unit.

3-3-2 機構系

A12 50mmカメラユニットはLPFを含む撮像素子部を密閉構造にする事で、『ホコリを気にせずレンズを交換できる』というユニット交換式カメラシステムの特徴を実現している。

鏡筒のレンズ保持枠の構成は前群枠と後群枠で構成され、回転筒の内径に2種類のカムが形成され前群枠と後群枠の同軸精度を確保しながら駆動される。

前群内にはシャッター・絞りが設置されているが、絞りよりも被写体側のレンズは前群前枠に組み込まれ前群枠とは分離されているが、前群前枠外径と前群枠内径を非常に高精度な嵌合寸法とする事で、前群内の同軸精度を確保している。この結果、優れた描写性を持つA12 50mmカメラユニットを完成する事ができた。

マニュアルフォーカス時の合焦の操作性を考慮し、フォーカスリングを鏡筒の最外径に設置しており、リングの回転角・回転速度を検出し、モータを最適に制御する事で撮影者が求める微小なフォーカス移動を行う事ができる。

また、屋外での描写性の確保と携帯性の良さを考慮した結果、レンズフード内蔵という仕様が決まり、直進筒とマニュアルフォーカスリングの間に設置する事で、サイズを大きくする事なくレンズフード内蔵を実現した。

3-4 S10 24-72mmカメラユニット

RICOH LENS S10 24-72mm F2.5-4.4 VCカメラユニット（以下S10 24-72mmカメラユニット）はナチュラルな描写力で定評のあるGX200と同じレンズ光学系を採用し、撮像素子にはGR DIGITAL IIIと同じ1/1.7型1000万画素高感度CCDを採用して、高い解像力と高感度を実現している。

製造面においてはレンズ組立方法や調整に改良を加える事で、周辺の像性能劣化を防ぎ、画質の改善を行っている。

鏡筒の構成はレンズ交換式カメラユニットとしての厳しい使用に耐え得る様、GX200の鏡筒からは主に耐久性の面で改善が施されている。

また、GX200の特徴のひとつでもある広角1cmマクロ仕様は当然継承しており、被写体のディテールに迫るクローズアップ撮影が可能である。

3-5 外装デザイン

GXRは、コンパクトデジタルカメラの領域を広げる新しいカメラシステムである。多彩な表現力と毎日持ち歩ける携帯性を達成するため、GXRが秘めている可能性や魅力を感じてもらえることができるデザインを目指した。“表現者のための道具”として、カメラに求められる作法や手触りを大切に受け継ぎながら、新しいカメラシステムによって広がる表現力や可能性、今後の拡張性や発展性を取り入れたデザインを行い、これからも続くデジタルカメラの進化を形にしようと考えた。

ユニットを交換する為のスライド機構には、高い信頼性ととともに、簡単・確実な操作性とセットした時の心地良い感触が必要不可欠であるため、試作機での検証と改良を重ねてつくり込みを実施した。グリップのホールド感やボタンの操作性についてもこだわり抜き、これらの全てをコンパクトなボディサイズに集約させた。

3-6 電子部品実装技術

カメラユニット内部に画像処理エンジン、モーター制御回路ならびに電源回路などを実装するため、0603（0.6mm×0.3mm）チップ抵抗、PoP（Package on Package）実装などの高密度実装手法を採用している。

ボディに実装されているHDMI信号、USB2.0信号など配線インピーダンスコントロールが必要なユニットのPCBについては10層のPCBを採用している。

3-7 高画質信号処理

GXRでは、カメラユニット毎に撮像素子が異なるため、撮像素子に応じた画像処理が必要となる。そのため、GXRでは、カメラユニット側に画像処理エンジンと画像処理パラメータをもち、カメラユニット側で撮像素子に応じたノイズリダクション、階調補正、色調補正等の画作りに関わる画像処理を行い、ボディ側でJPEG圧縮を行っている。

3-7-1 ユニット間の画質統一

GXRでは、カメラユニット間で撮影される画像に差異が生じないように、シャープネス、コントラスト、色再現性に共通の目標を設定しカメラユニット毎に目標への合せ込みを行い、仕上り画質に統一感を持たせている。シャープネスでは、デジタルカメラの解像度測定規格であるISO12233記載の空間周波数応答＝SFR（Spatial Frequency Response）で各カメラユニットの特性値が一致するようにしている。コントラストでは、撮像素子によりダイナミックレンジ幅が異なるため、暗部階調特性を共通化しながら高輝度部の階調特性に差を持たせた新規階調特性を採用し、従来機種比較でA12 50mmカメラユニットは+0.8Ev、S10 24-72mmカ

メラユニットは+0.6Evのダイナミックレンジ拡大を図っている。色再現性では、GR DIGITAL IIIの色再現を踏襲しつつ苦手色の改善を図っている。

3-7-2 様々なニーズに対応したカスタム設定

GXRの画質設定には、従来からのビビッド、スタンダードに加え、一眼ユーザーに要望の高い撮影画像の後処理に適した弱めの画像処理であるナチュラル設定を追加している。更にカスタム設定としてシャープネス、コントラスト、色再現の各設定を9段階（従来5段階）、NR設定を4段階（OFF、弱、強、MAX）もち、様々なユーザーニーズに対応した画質設定が可能となっている。

3-8 ダイレクト画面

GXRカメラシステムでは、複数のカメラユニットが装着されうることを考え、様々な工夫が行われている。ここでは、そのうち設定操作を行うためのダイレクト画面について説明する。ダイレクト画面は、カメラの設定項目を見やすい形で本体LCDに表示し、そこでの設定操作を提供する機能である。同様の機能は一眼レフデジタルカメラ等で一般的となっているが、GXRカメラシステムでは、ユニット交換式ならではの工夫がされている。Fig.5に、GXRにおけるダイレクト画面の例を示す。図中、点線で示した部材が「ダイレクト釦」である。ライブビュー中にこの釦を押すことにより、いつでもダイレクト画面の呼び出しが可能である。

光学ファインダーを内蔵しないGXRにおいては、本体LCDでライブビュー画面を確認しながら撮影するシーンが多くなる。このため、GXRのダイレクト画面では、ライブビューと重ねて表示することを想定し、透過度を4種類から選択できるようになっている。透過度の選択はメニュー画面から行うほか、ダイレクト画面表示中にDISP釦を押下することによっても変更が可能である。将来的な機能追加を考慮し、アイコンのレイアウトはスペースに余裕を持たせている。



Fig.5 DIRECT screen.

3-9 バージョンアップシステム

GXRは1つのカメラをボディとカメラユニットに分離したシステムである。ハードウェアとして分離した構成に沿う形でファームウェアも機能的に分離した構成になっている。両ユニットのファームウェアが連動して動作することによりカメラとして動作する。

新しいカメラユニットを開発する場合、本体ユニットのファームウェアも変更が必要となり両ユニットのファームウェアをリリースする必要があるがでてくる。新しいカメラユニットを購入したお客様は、本体ユニットのバージョンアップも必要となってしまう。

GXRでは、カメラユニットと互換性のあるボディのファームウェア保持している。電源ON時にユニット間でファームウェア情報を能力交換し、ボディのファームウェアを更新した方が良いと判断すると、自動的にボディのファームウェアを更新する機能を持たせている。これにより、お客様が手間をかけることなく、最新の動作環境に更新することを可能とした。また、今後のカメラ以外の拡張ユニット（ストレージユニット、プロジェクタユニットなど）への対応も同様に行うことができる。

今後の展開

2つのカメラユニットを発売した6ヵ月後に3つ目のカメラユニットとして、RICOH LENS P10 28-300mm F3.5-5.6VCを発売した。1/2.3型CMOSセンサーと10.7倍

ズームレンズを搭載し、装置の大きさを変えることなく従来のレンズ交換式一眼カメラに無い高速連写・高倍率ズームを実現している。さらに4つ目のカメラユニットとして、大型のCMOSセンサーを搭載し、"GR LENS"の名称がつけられる性能のレンズを持つ単焦点のGR LENS A12 28mm F2.5を発売する。

今後もさらに新たなカメラユニットを開発して、レンズユニットのラインナップを拡大していく。

GXRのユニット交換方式では、カメラユニット以外にも新たなユニットが可能である。例えば、大容量メモリを搭載し多くの写真や動画データを保管・管理できるストレージユニットや、モニタが無いところでも壁等に映して写真・動画鑑賞ができるプロジェクタユニットなど、GXRのシステムでは、従来のレンズ交換式カメラには無かった広いシステム展開が可能である。

編集後記

世界経済はリーマンショックから立ち直ったかのように見えてましたが、その回復速度は予想外に遅く、ドル安、ユーロ安が続き、有効な対策が打てない状況です。

昨年度の編集後記では、「日本は大きな転換点にさしかかっている」と述べましたが、どうやら世界が大きな転換点にさしかかっているようです。経済の多極化です。

その結果、「成長戦略」を立案しようにも、今までの延長線上だけでは描けなくなってきたように思われます。偶然にもNHK大河ドラマ「龍馬伝」で明治維新前の状況が放映されていますが、この時代のように、将来のために今までの枠組みを捨てる大胆な施策が必要なのかも知れません。その意味では、世界経済の動きを空間軸、時間軸にて分析し、施策を見直すことが重要であるとともに、そこに大きなビジネスチャンスがあると言えます。

リコーテクニカルレポートは今年度で36号になります。巻頭言は、技術は市場があつてこそ価値を持つことから、リコー経済社会研究所長に就任された稲葉専務に、「先進国経済の再生と技術革新」と題して執筆をお願い致しました。

編集面では、昨年試みました「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」ことを、本年も継続することに致しました。必要なものを必要部数印刷させていただくことは、環境的にも優しく、お客様起点での対応でもあります。皆様方にはご配慮をよろしくお願い致します。

(小瀬古 久秋)

RICOH TECHNICAL REPORT NO.36 2010

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	井上 隆夫 杉本 浩之 斉藤 泰弘 進藤 由貴

発行日	2010年年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

