

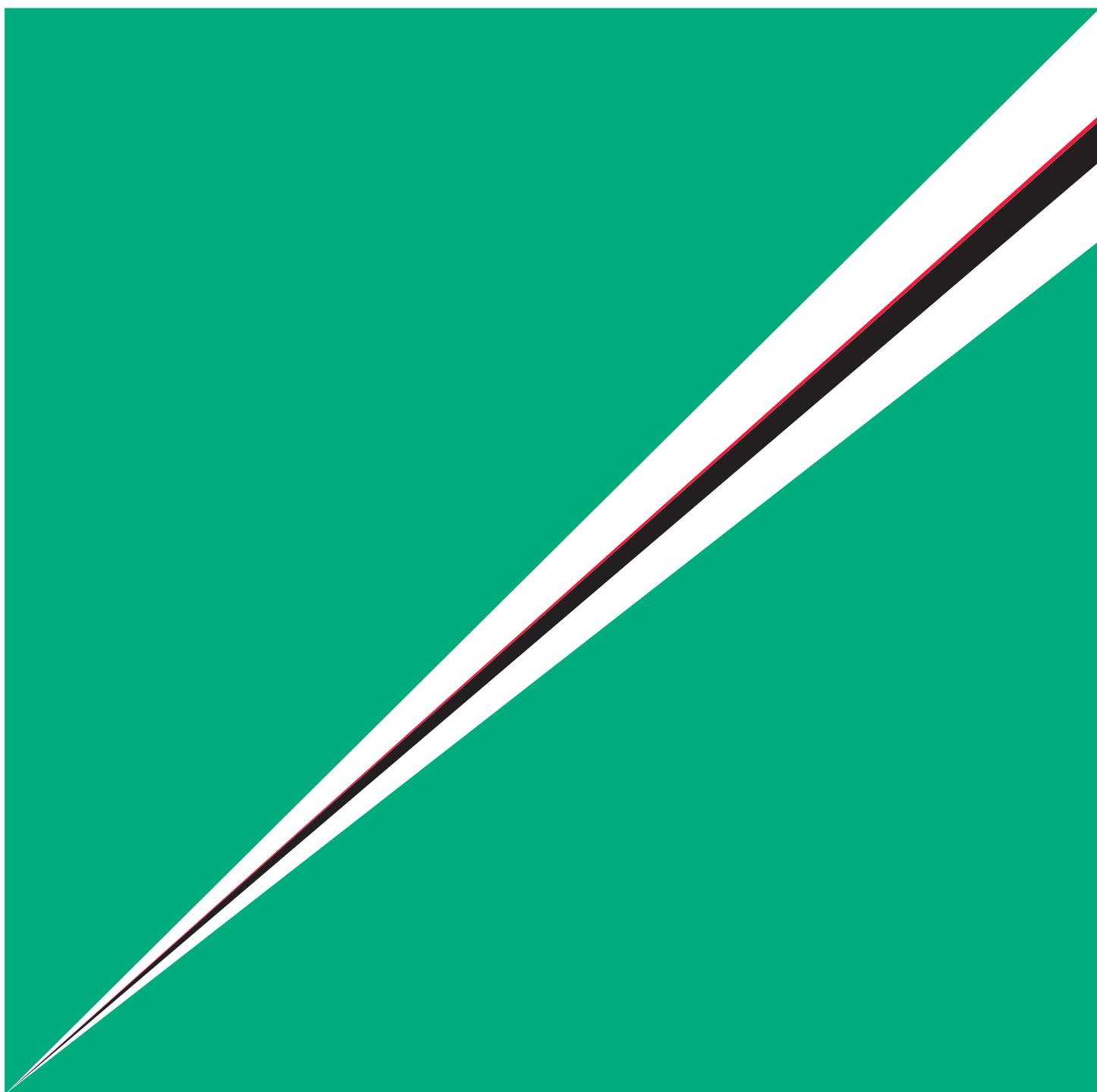
**FUJIFILM**

ISSN : 0915-1478  
CODEN : FFRDEK 58, 1-164 (2013)

**FUJIFILM  
RESEARCH &  
DEVELOPMENT**

No.58-2013

富士フイルム研究報告



## 刊行の趣旨

富士フイルム株式会社および関連会社が行なった研究開発活動の成果を紹介するために、本誌を毎年発行する。多様な研究開発の全容を俯瞰できるように、多くの事業分野から特筆すべき新製品およびそれらに盛り込まれた技術を取りあげ、本誌に投稿された書き下ろし論文と、科学技術誌等に掲載された論文の転載により解説するとともに、過去1年間に科学技術誌や学会等の講演要旨集に公表された論文のリストを巻末に掲げる。

## PURPOSE OF PUBLICATION

This annual publication is issued in order to introduce the results of research and development carried out in the laboratories of FUJIFILM Corporation and its subsidiaries. To provide an overview of our wide-ranging R&D activities across numerous business fields, this collection includes the papers, which are newly written or have already been published in various science and technology journals, regarding our noteworthy new products and novel technologies. In addition, a list of such papers published in journals and those presented at academic conferences in the past one year is attached at the end.

© FUJIFILM Corporation 2013

Published by Strategic Corporate Technology Planning Division,

Research & Development Management Headquarters,

FUJIFILM Corporation

Ushijima, Kaisei-machi, Ashigarakami-gun, Kanagawa 258-8577, Japan

## 巻頭言

富士フイルム株式会社  
R&D統括本部  
フェロー 佐藤 幸蔵



だいぶ前になるが東京大学の総長さんから興味深い話をうかがった。東京大学には多くの科学者がいるが、そのうちのトップ10%は非常に優秀でノーベル賞級の研究成果が期待できる。残りの方々にはトップ10%の人たちをバックアップしてもらいたい、という話であった。また、ある化学企業のCTOも、独創的な技術を発想できる研究者は高々5%くらいだと話していた。先駆的で独創的な発想は個人の資質に委ねられ、それは主に個人のDNAと生まれ育った環境および経験によって培われるもので、訓練によって易々と身につくものではない。従ってごく少数の人間に限られるのは当然である。さて、ひとつの独創的な技術が生まれればそれでよいかという必ずしもそうでもない。できれば複数の独創的な差別化技術が欲しい。なぜなら、昨今の技術革新のスピードは目覚しく、どんな独創的技術でも早晚、代替技術が出現する。他社の追随を許さないために、差別化技術を融合させるのが望ましい。ただし、組み合わせる技術をしっかり吟味する必要がある。「樽桶の法則」というのがある。これは、空手家の宇城憲治氏著の「空手と気」に書かれているもので、心技体のレベルが、心=40、技=80、体=60だったとすると、その人の力は180でなく120になるというものである。心が劣ればいくら技が優れていても力を発揮できない。樽桶に水を張ると、水が一番低いところからこぼれ出る、という教えである。優れた技術があっても、並みの技術と組み合わせると総合力で並みになってしまう。富士フイルムには異種技術がたくさんあり、人材も豊富である。是非、おのおのが崇高な目標に向かって果敢にチャレンジし、独創的技術を構築して欲しい。

次に研究開発の効率に言及したい。独創的技術を売れる製品に誘導するにはさまざまなハードルを越えねばならない。その過程を効率よく進めることが研究開発にとってきわめて重要である。社会性を有する生き物としてアリがいる。アリの生態はよく調べられている。女王アリが産んだ卵が孵ると多くは不妊の雌になる。それがいわゆる働きアリである。働きアリの仕事は女王や幼虫、蛹の世話、巣の掃除、拡張、修復、餌の調達、敵に対する防御など、多岐にわたるが、それらを一糸乱れぬ統制のもと、実に効率的にこなしている。彼女らの行動に無駄はない。驚くのは個々の作業チームにリーダーがない点である。アリの社会では起動フェロモンと解発フェロモンと呼ばれる多くの化学言語で意思疎通を図っている。フェロモンを出し合って自らが為すべき行動を認識し、一心不乱に働いている。これぞまさに究極の現場力である。残念ながらヒトの社会にはフェロモンのような切札はない。しかし、アリにない知恵がある。研究開発の効率を高めるには、現場の個々の人間が強い問題意識を持ち、知恵を最大限働かして賢く、アクティブに行動するしかないのである。読者諸兄にはほかに考えがおりだろうか。



# 富士フイルム研究報告

## 第 58 号

### 目 次

#### 原 著

レーザー光源搭載の新世代内視鏡システム「LASEREO (レザリオ)」の開発 ..... 森本美範, 久保雅裕, 蔵本昌之, 山口博司, 加來俊彦 .....	1
FUJIFILM DR D-EVO plus C24i/sの開発 ..... 北野浩一, 渡邊敬太, 別当屋敷豪人 .....	7
画像診断を支援する類似症例検索システム「SYNAPSE Case Match」の開発 ..... 大沢 哲, 久永隆治, 井上泰助, 星野 貴, 志村一男 .....	11
新機能性化粧品ブランド「ルナメア」の開発 ..... 村口太一, 立石朋美, 大軽郁子, 黒岩果林, 谷 武晴, 吉田那緒子, 磴 秀康, 小杉拓治 .....	15
新アスタリフトシリーズの開発 ..... 乾 江梨子, 村口太一, 北岡弘行, 森 幹永, 澤田敏彦, 芝本匡雄, 織笠 敦, 永田幸三 .....	20
自己乳化型DHA製剤の開発 ..... 阪口博之, 原口暢之*, 小田由里子, 植田文教 .....	24
バリウムフェライト磁性体によるエンタープライズデータストレージシステム用の高性能テープメディアの開発 ..... 高野博昭, 浅井雅彦, 小柳真仁, 大石忠宏, 白井正幸 .....	28
高耐刷サーマルポジCTPシステム「XL-T」の開発 ..... 青島徳生, 渡辺則章, 藤井重克*, 有富隆志, 荒 陽一郎, 倉本 守, 田口貴規, 安原祐一 .....	33
ソフトウェア開発プロセスの改善効果予測と制御技術の確立 ..... 本多八郎, 相磯正司*, 鈴木圭一 .....	38
電子コミック向け画像処理技術の開発とその応用 ..... 野中俊一郎, 寺横 素, 沢野哲也, 羽田典久 .....	42
熱可塑性ナノコンポジット光学材料の開発 ..... 大林達彦, 鈴木 亮, 望月宏顕, 相木康弘 .....	48
銀ナノ平板粒子を用いた近赤外反射材料の開発 ..... 清都尚治, 白田真也, 谷 武晴, 納谷昌之, 鎌田 晃 .....	52
アップテーパー型マルチモードファイバを用いる広帯域・非接触・高効率光コネクタ ..... 吉弘達矢, 小野幸孝, 笠松直史 .....	56
液相プロセスによる酸化物薄膜トランジスタの作製 ..... 梅田賢一, 東 耕平, 野本麻紀, 平井博幸, 田中 淳, 鈴木真之 .....	60
撥水性パターンニングにおける表面間力によるハジキ流動 ..... 宮本公明 .....	65

#### 転 載

銀増幅を用いてH5インフルエンザウイルスのヘマグルチニンを高感度に検出するイムノクロマトキットの開発 ..... 和田淳彦, 迫田義博*, 小山田孝嘉, 喜田 宏* .....	72
モネンシン銀塩とヨウ化メチルとの反応: 強固に水素結合したカルボキシラートの円滑なアルキル化 ..... 稲垣由夫, 穴戸忠夫* .....	77
燐光性有機ナノ粒子の調製とその発光挙動 ..... 宮下陽介, 堀野伸一, 笠井 均*, 及川英俊*, 中西八郎* .....	80
最大局在化ワニア関数を利用した圧電定数の評価法とそのBi系強誘電体への応用 ..... 奥野幸洋, 坂下幸雄 .....	85
BiFeO <sub>3</sub> -BaTiO <sub>3</sub> 系非鉛圧電薄膜における添加元素の圧電特性への影響 ..... 佐々木 勉, 平林恭稔, 小林宏之, 坂下幸雄 .....	92
UVナノインプリントレジストの設計 ..... 白杵一幸, 若松哲史, 大松 禎, 服部昭子, 樽谷晋司, 児玉邦彦, 田鍋秀人, 下島孝二 .....	97
ポリマーPAG型EUVレジストの性質 ..... 樽谷晋司, 玉置広志, 椿 英明, 高橋年哉*, 滝沢裕雄, 高橋秀知 .....	105
ネガ現像プロセスの量産適性 ..... 樽谷晋司, 上村 聡, 藤井佳奈, 加藤啓太, 榎本雄一郎 .....	112
バリウムフェライト磁気テープの長期保存適性 ..... 清水 治, 村田悠人, 栗橋悠一, 原沢 建, 浅井雅彦, 居樹 実, 野口 仁 .....	118
「X-Trans CMOS」の開発 ..... 田中誠二, 河村典子, 田丸雅也 .....	122
光音響時間波形および画像分解能の固体励起レーザーパルス幅依存性 ..... 入澤 覚, 平沢 壮*, 広田和弘, 辻田和宏, 石原美弥* .....	126
デュアル エネルギー サブトラクション ラジオグラフィーのための多重解像度に基づく画像位置合わせ ..... 川村隆浩, 大前徳宏, 山田雅彦, 伊藤 渡, 川本清澄*, 土井 司* .....	134
学習型検出と形状マッチングによる自動冠動脈抽出 ..... 北村嘉郎, 李 元中, 伊藤 渡 .....	142
印刷発表リスト .....	146

\*印は富士フイルム株式会社以外の研究者または共同研究者

# FUJIFILM RESEARCH & DEVELOPMENT

No. 58

## CONTENTS

### Originals

Development of a New Generation Endoscope System with Lasers "LASEREO" ..... Yoshinori MORIMOTO, Masahiro KUBO, Masayuki KURAMOTO, Hiroshi YAMAGUCHI, and Toshihiko KAKU .....	1
Development of "FUJIFILM DR D-EVO plus C24i/s"..... Kouichi KITANO, Keita WATANABE, and Akihito BETTOUYASHIKI .....	7
Development of "SYNAPSE Case Match", Content-based Image Retrieval System for Supporting Image Diagnosis ..... Akira OOSAWA, Ryuji HISANAGA, Taisuke INOUE, Takashi HOSHINO, and Kazuo SHIMURA .....	11
Development of Functional Cosmetics Brand "Lunamer" ..... Taichi MURAGUCHI, Tomomi TATEISHI, Ikuko OOGARU, Karin KUROIWA, Takeharu TANI, Naoko YOSHIDA, Hideyasu ISHIBASHI, and Takuji KOSUGI .....	15
Development of ASTALIFT Renewal Products ..... Eriko INUI, Taichi MURAGUCHI, Hiroyuki KITAOKA, Mikinaga MORI, Toshihiko SAWADA, Tadao SHIBAMOTO, Atsushi ORIKASA, and Kouzou NAGATA .....	20
Development of Self-emulsifying DHA Formulation ..... Hiroyuki SAKAGUCHI, Nobuyuki HARAGUCHI*, Yuriko ODA, and Fumitaka UEDA .....	24
Development of Higher Performance Tape Media for Enterprise Data Storage Systems by using Barium Ferrite Magnetic Particles ..... Hiroaki TAKANO, Masahiko ASAI, Masahito OYANAGI, Tadahiro OHISHI, and Masayuki USUI .....	28
Long Run Length Positive Thermal CTP System "XL-T" ..... Norio AOSHIMA, Noriaki WATANABE, Shigekatsu FUJII*, Takashi ARIDOMI, Yoichiro ARA, Mamoru KURAMOTO, Yoshinori TAGUCHI, and Yuichi YASUHARA .....	33
Controlling a Software Development Process by Predicting the Effect of Improvements ..... Hachiro HONDA, Masashi AISO*, and Keiichi SUZUKI .....	38
Development of Image Processing Technologies Used for Creation of Digital Comics and Their Application ..... Shunichiro NONAKA, Hajime TERAYOKO, Tetsuya SAWANO, and Norihisa HANEDA .....	42
Development of Thermoplastic Nanocomposite Optical Materials ..... Tatsuhiko OBAYASHI, Ryo SUZUKI, Hiroaki MOCHIZUKI, and Yasuhiro AIKI .....	48
Development of a Near-infrared Reflective Film Using Disk-shaped Silver Nanoparticles ..... Naoharu KIYOTO, Shinya HAKUTA, Takeharu TANI, Masayuki NAYA, and Kou KAMADA .....	52
Wavelength Insensitive, Non-contact and Highly Efficient Fiber Optic Connector using Up-tapered Multimode Optical Fibers ..... Tatsuya YOSHIHIRO, Yukitaka ONO, and Tadashi KASAMATSU .....	56
Fabrication of Solution-Processed Oxide Thin Film Transistors ..... Kenichi UMEDA, Kouhei HIGASHI, Maki NOMOTO, Hiroyuki HIRAI, Atsushi TANAKA, and Masayuki SUZUKI .....	60
Dewetting Flow Caused by Inter-surface Force during Hydrophobic Patterning .....	65

### Reprints

Development of a highly sensitive immunochromatographic detection kit for H5 influenza virus hemagglutinin using silver amplification ..... Atsuhiko WADA, Yoshihiro SAKODA*, Takayoshi OYAMADA, and Hiroshi KIDA* .....	72
Reaction of Monensin Silver Salt with Methyl Iodide: Smooth Alkylation of a Tightly Hydrogen-Bonded Carboxylate ..... Yoshio INAGAKI and Tadao SHISHIDO* .....	77
Preparation and Luminescence Properties of Organic Phosphorescent Nanoparticles ..... Yousuke MIYASHITA, Shinichi HORINO, Hitoshi KASAI*, Hidetoshi OIKAWA*, and Hachiro NAKANISHI* .....	80
Estimation of Piezoelectric Response Using Maximally Localized Wannier Function and Its Application to the Bismuth-Based Ferroelectric Materials .....	85
Effect of Dopant on Piezoelectric Properties of Lead-Free BiFeO <sub>3</sub> -BaTiO <sub>3</sub> Film ..... Tsutomu SASAKI, Yasutoshi HIRABAYASHI, Hiroyuki KOBAYASHI, and Yukio SAKASHITA .....	92
Design considerations for ultraviolet-nanoimprint lithography resists .....	97
Characterizing Polymer bound PAG Type EUV Resist..... Shinji TARUTANI, Hiroshi TAMAOKI, Hideaki TSUBAKI, Toshiya TAKAHASHI*, Hiroo TAKIZAWA, and Hidenori TAKAHASHI .....	105
High Volume Manufacturing Capability of Negative Tone Development Process ..... Shinji TARUTANI, Sou KAMIMURA, Kana FUJII, Keita KATOU, and Yuuichirou ENOMOTO .....	112
Long-Term Archival Stability of Barium Ferrite Magnetic Tape..... Osamu SHIMIZU, Yuto MURATA, Yuichi KURIHASHI, Takeshi HARASAWA, Masahiko ASAI, Minoru SUEKI, and Hitoshi NOGUCHI .....	118
Development of "X-Trans CMOS" .....	122
Influence of laser pulse width to the photoacoustic temporal waveform and the image resolution with a solid-state excitation laser ..... Kaku IRISAWA, Takeshi HIRASAWA*, Kazuhiro HIROTA, Kazuhiro TSUJITA, and Miya ISHIIHARA* .....	126
Image Registration Method Based on Multi-resolution for Dual-Energy Subtraction Radiography ..... Takahiro KAWAMURA, Norihiro OMAE, Masahiko YAMADA, Wataru ITO, Kiyosumi KAWAMOTO*, and Tsukasa DOI* .....	134
AUTOMATIC CORONARY EXTRACTION BY SUPERVISED DETECTION AND SHAPE MATCHING ..... Yoshiro KITAMURA, Yuanzhong LI, and Wataru ITO .....	142

Published Papers List .....	146
-----------------------------	-----

\* Co-researcher outside FUJIFILM Corporation

# レーザー光源搭載の新世代内視鏡システム 「LASEREO (レザリオ)」の開発

森本 美範\*, 久保 雅裕\*, 蔵本 昌之\*, 山口 博司\*\*, 加來 俊彦\*\*

## Development of a New Generation Endoscope System with Lasers “LASEREO”

Yoshinori MORIMOTO\*, Masahiro KUBO\*, Masayuki KURAMOTO\*,  
Hiroshi YAMAGUCHI\*\*, and Toshihiko KAKU\*\*

### Abstract

We have developed a new generation endoscope system “LASEREO”. A new laser illumination technology is applied to LASEREO. Having two kinds of lasers and phosphor, the new illumination is useful in detecting the structure of the mucous membrane. We realized the narrow band light observation BLI (Blue LASER Imaging) that can emphasize a minute change of the mucous membrane structure by using the new illumination technology together with our original image processing technology.

### 1. はじめに

これまでの当社内視鏡システムでは、内視鏡で一般的に使われる白色光から、信号処理で任意の波長の分光画像を抽出して、組織の性状や血管などを見やすくするFICE (Flexible spectral Imaging Color Enhancement) 機能を搭載してきた。しかし、白色光照明では粘膜表層の微細な血管を高いコントラストで描出することはむずかしいとされていた。

2012年9月に発売した新世代内視鏡システム「LASEREO (レザリオ)」(Fig. 1) では、2種類のレーザー光に蛍光体を組み合わせたレーザー照明技術と独自の画像処理技術を搭載した。それにより、がん診断に重要な情報といわれている粘膜表層の微細な変化を強調した画像観察が可能である狭帯域光観察機能BLI (Blue LASER Imaging) を実現した。

本報告においては、そのシステムの概要と特長、原理、性能、そしてレーザー内視鏡が持つ将来性について解説する。



Fig. 1 LASEREO system.

本誌投稿論文 (受理2012年12月20日)

\*富士フイルム (株) R&D 統括本部

メディカルシステム開発センター

〒258-8538 神奈川県足柄上郡開成町宮台798

\*Medical System Research & Development Center  
Research & Development Management Headquarters  
FUJIFILM Corporation

Miyanodai, Kaisei-machi, Ashigarakami-gun, Kanagawa  
258-8538, Japan

\*\*富士フイルム (株) R&D 統括本部

画像技術センター

〒258-8538 神奈川県足柄上郡開成町宮台798

\*\*Imaging Technology Center

Research & Development Management Headquarters  
FUJIFILM Corporation

Miyanodai, Kaisei-machi, Ashigarakami-gun, Kanagawa  
258-8538, Japan

## 2. 市場の特徴

消化器内視鏡検査を行なう病院は、①拠点病院、②一般病院、③診療所（クリニック）に分けることができる。拠点病院には高度医療を行なう特定機能病院と一般病院・診療所の後方支援を行なう地域医療支援病院があり、EMR（内視鏡的粘膜切除術）やESD（内視鏡的粘膜下層剥離術）などの内視鏡治療を行なう前の確定診断として、拡大観察・画像強調観察のニーズが強い。特に、がん診断では、粘膜表層の微細構造や微細血管のパターンを詳細に観察し、パターン分類に従って病変の状態を内視鏡下で判断して、治療方針を決定することがある（咽頭・食道、胃、大腸、それぞれの部位で組織構造やがんの発生形態が異なるため、部位ごとにいくつかのパターン分類が存在する）。一方、診療所ではスクリーニング検査が中心であり、拡大観察を行なうことはほとんどないが、拾い上げとしての画像強調観察のニーズがある。

画像強調観察は、①光学法、②デジタル法、③光学デジタル法、④色素散布法、に分けられ、前述の表面構造・微細血管の観察や拾い上げには、デジタル法であるFICE、光学デジタル法であるNBI（Narrow Band Imaging）、色素散布法であるインジゴカルミン散布、ルゴール散布などが用いられている。FICEは白色光を照射して得られる信号から演算手段によって、NBIは光学フィルタを用いて白色光を狭帯域化して照射する手段によって、それぞれ生体の反射スペクトル情報を取得し、強調表示している。実施前後の準備・手間やランニングコストがかかる色素散布法に比べて、スイッチを押すだけで効果が得られるFICEやNBIに対する期待は高い。

## 3. システムの概要・特長

LASEREOは消化器内視鏡システムとしては、初めてレーザーを照明光として採用した。白色光観察だけではなく、レーザー光の特性を利用した狭帯域光観察機能を標準搭載している。また、従来のキセノンランプを使った光源に比べて消費電力・発熱が少ないことも特長である。システムは、プロセッサ「VP-4450HD」、レーザー光源「LL-4450」、専用スコープ「L590シリーズ」（上部消化管用拡大スコープEG-L590ZW、上部消化管汎用スコープEG-L590WR、下部消化管用拡大スコープEC-L590ZW、下部消化管汎用スコープEC-L590WM）で構成される。

Table 1 Types of illumination and observation modes.

モード	目的	レーザー強度		特長
		白色用	BLI用	
通常	白色光観察	強	弱	従来システム（キセノン光源）と同等の色調。
FICE	色彩強調	通常モードと同じ		分光画像処理により微細な色の変化を強調する。粘膜と血管の色の差を強調することで、血管の視認性を向上させる効果がある。通常画像と同等の明るさ。
BLI	血管・粘膜表層構造観察	弱	強	レーザーによる短波光成分を増やし、ヘモグロビン由来のコントラストを高めることで、表層微細血管の強調に適した画像を生成する。
BLI-bright	血管・粘膜表層構造観察	中	強	BLIに対して白色光成分をやや強めることで、遠景でも明るい画像を生成する。血管・表面構造のコントラストは白色光・FICEよりは高いが、BLIよりは若干弱い。

### 3.1 レーザー光源LL-4450の特長

レーザー光源LL-4450は2つの波長のレーザーを搭載し、それらの発光強度比を変えることで、通常観察と狭帯域光観察それぞれに適した照明を実現している。

2種類のレーザーの1つ、白色用レーザー（波長：450nm ± 10nm）は、蛍光体を発光させて通常観察に適したスペクトル幅の広い白色光照明を得るために使用し、もう1つの狭帯域光観察用レーザー（波長：410nm ± 10nm）は波長が短くスペクトル幅が狭い特長を利用して、粘膜表層の微細血管やわずかな粘膜の凹凸、深部の血管などの情報を高コントラストな信号として取得するために使用している（Fig. 2）。

照明光に求められる調光のダイナミックレンジが広いことも特長である。さらに狭帯域光観察BLIを用いる場合は、広い調光範囲において白色用レーザーとBLI用レーザーの発光強度比が常に一定になるよう出力制御することが求められる。LL-4450は複数種類のレーザー変調駆動方式を組み合わせることで、広い調光範囲での高精度制御を可能としている。

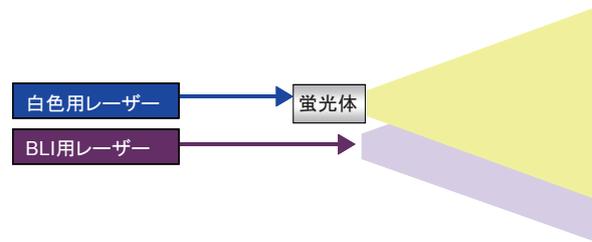


Fig. 2 Laser illumination.

### 3.2 3種の照明と4つの観察モード

LASEREOは4つの観察モードに対応し、スペクトル分布が異なる3種の照明を行なっている（Fig. 3, Table 1）。

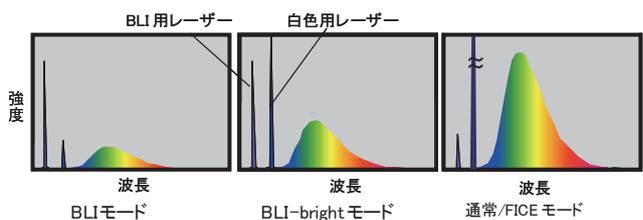


Fig. 3 Spectral distribution of illumination.

白色光観察では従来のFICE機能が使用可能である。新規に開発した狭帯域光観察機能BLIは、狭帯域短波光と白色光をバランスよく照射し、狭帯域短波光で得られる狭い波長帯による信号と、白色光で得られる広い波長帯による信号に対して画像処理を行なうことで、粘膜と血管のコントラストを向上させた画像を表示する (Fig. 4)。

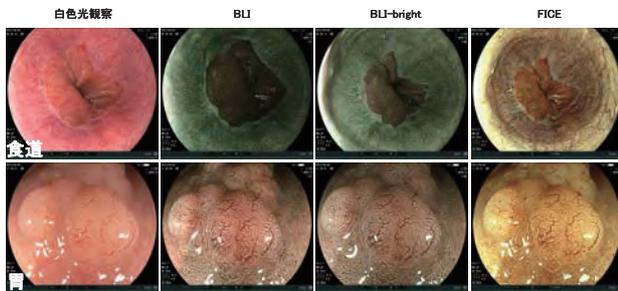


Fig. 4 Clinical images captured by LASEREO. (supplied by Kyoto Prefectural University of Medicine Hospital)

BLIは狭帯域短波光の割合を大きくすることで、粘膜表層の構造や微細血管をより高コントラストに表示し、BLI-brightは白色光成分の割合を大きくすることで、比較的遠景でも明るい画像を得ることができる。

### 3.3 BLIとFICEの違い

FICEは、白色光の画像から信号処理によって狭い波長帯による画像を生成し、RGB画像として再構築して強調することで、粘膜と血管のコントラストを向上させている (Fig. 5)。一方、BLIは、狭帯域短波光を強く照射することで狭い波長帯による画像を取得し、強調処理を行なうことで粘膜と血管のコントラストを向上させている (Fig. 6)。

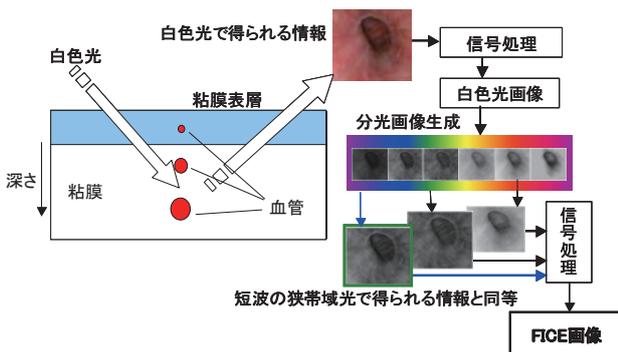


Fig. 5 Processing flow of FICE.

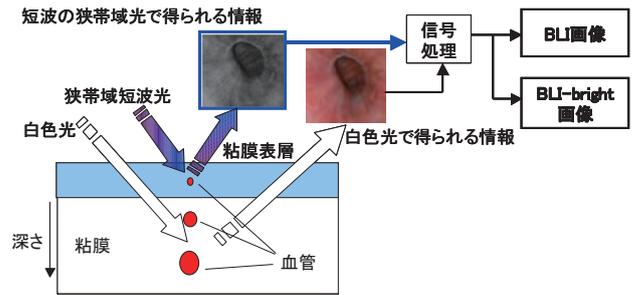


Fig. 6 Processing flow of BLI.

FICE/BLI/BLI-brightでは、いずれも狭帯域光による観察が可能だが、明るさと血管コントラストについては強调度合いに差があり、以下のような関係になる。

画像の明るさ：

暗い  $\longleftrightarrow$  明るい

BLI < BLI-bright < FICE  $\approx$  白色光観察

血管と粘膜のコントラスト：

高い  $\longleftrightarrow$  低い

BLI > BLI-bright > FICE > 白色光観察

## 4. BLIの開発

### 4.1 BLIの原理

BLIはヘモグロビンの吸光特性 (Fig. 7) と粘膜の散乱特性に基づき表層にある微細血管と深層にある血管を区別して画像化する技術である。

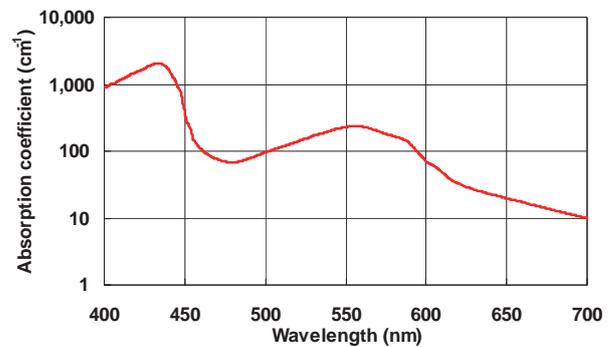


Fig. 7 Absorption spectrum of hemoglobin.

Fig. 8にBLIの基本原理を示す。短波長の光は粘膜内部で散乱しにくく血管に吸収されやすい特性を持つため、表層微細血管は高コントラストに描写される (Fig. 8a)。一方、長波長の光は散乱しやすく血管に吸収されにくいいため、表層微細血管は散乱の影響により低コントラストの輪郭がぼけた画像になり、深層血管はコントラストの高い画像で描写される (Fig. 8b)。

この2つの画像を用いることで表層微細血管と深層にある血管を分離して表示することが可能となる。

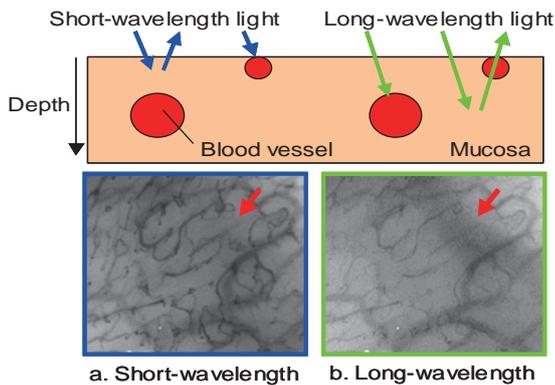


Fig. 8 Principle of BLI.

## 4.2 光源条件

内視鏡検査では表層微細血管の明瞭な抽出が望まれる。従来、短波長域の狭帯域光フィルタで表層血管のコントラストが高まることは知られていたが、定性的な理解にとどまっておき、中心波長と帯域幅との関係は不明であった。

そこでまずシミュレーションにて、レーザーの波長・帯域でも表層血管が高コントラストで得られるかを確認し、実粘膜での検証を踏まえ、BLIの光源条件を決定した。

### 4.2.1 シミュレーションによる検討

照明スペクトル分布と粘膜モデルより画像信号値は以下の式で求められる。

$$S(c, m) = \int L(\lambda) M(m, \lambda) C(c, \lambda) d\lambda \quad \dots (1)$$

$S(c, m)$  : 画像信号値

$L(\lambda)$  : 照明スペクトル分布

$M(m, \lambda)$  : 粘膜分光反射率

$C(c, \lambda)$  : CCD分光感度

$c = R, G, B$

$m =$  粘膜, 表層微細血管, 深層血管

照明スペクトル分布  $L(\lambda)$  には、短波長域の各種レーザーおよび白色用レーザーと蛍光体のスペクトルを使用した。

未知の値である粘膜分光反射率  $M(m, \lambda)$  は、光伝播シミュレーションを用い胃粘膜と血液のデータより算出した。光伝播シミュレーションより算出した粘膜・表層血管の反射スペクトルの一例を Fig. 9 に示す。

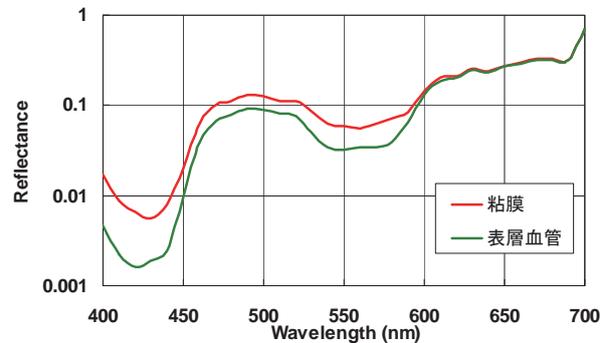


Fig. 9 Reflection spectra obtained by simulation.

短波長域の各種レーザーと白色用レーザーと蛍光体の比率を変えさせた光源条件やキセノンランプ・狭帯域フィルタなどの照明スペクトル分布  $L(\lambda)$  を式(1)に適用しシミュレーションを行ない、各条件の血管コントラストを比較した (Fig. 10)。

その結果、「適切な波長を選択すればレーザーの帯域でも高コントラストが得られること」、「短波長域レーザーの光量を白色用レーザーと蛍光体に対し上げることで、高コントラストが得られること」が結論として得られ、表層血管観察用に適した短波長域レーザー (BLI用レーザー) として波長410nmを選択した。

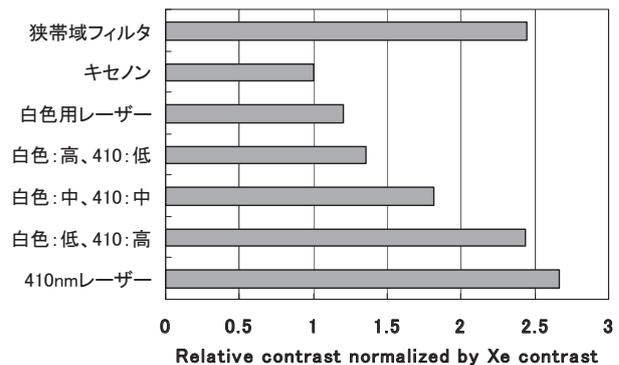


Fig. 10 Contrasts in microvessel images obtained by simulation.

### 4.2.2 口唇裏粘膜での実験

シミュレーションでの結論を踏まえ、口唇裏粘膜を被写体とし、BLI用レーザーと白色用レーザーの光量比率を変化させながら、血管が高コントラストで得られる条件の検証を行なった。

各光源条件での口唇裏の粘膜と表層血管のコントラスト（粘膜の信号値/血管の信号値）を Fig. 11 に、それらの画像を Fig. 12 に示す。

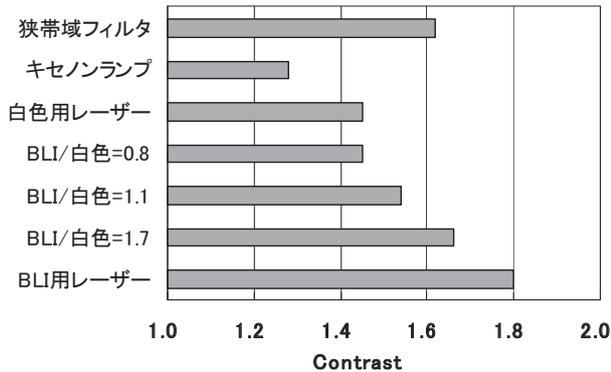


Fig. 11 Contrasts in microvessel images obtained in an experiment.

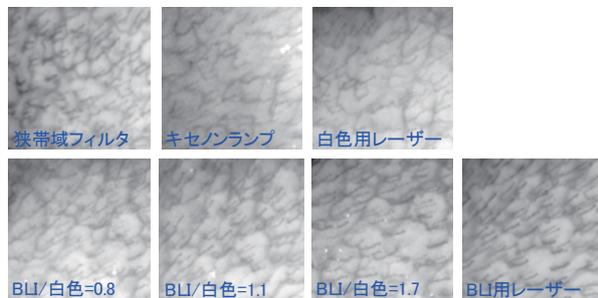


Fig. 12 Experimental results using oral mucosa.

Fig. 11 より、BLI用レーザーと白色用レーザーの光量比率を適切に設定することで、狭帯域光フィルタ方式（420nmを中心波長としたフィルタを使用）と同等の血管コントラストが得られることを確認した。

また、Fig. 12 より2つのレーザーの比率を変更することでさまざまな血管のコントラストを得られることを確認した。BLI用レーザーと白色用レーザーの光量比率を変えることで、用途や観察対象に応じた光源を実現できる可能性を得た。

実験で得られた口唇裏粘膜の血管コントラストとシミュレーションで得られた血管コントラストの光源条件間の関係は対応が取れており、シミュレーションを用いた光源条件選択の妥当性が検証できた。

#### 4.2.3 2つの狭帯域光観察モードの設定

BLI用レーザーと白色用レーザーの特長を踏まえ、LASEREOでは次の2つの狭帯域光観察モードを用意した。

・BLIモード：

粘膜表層の微細血管のコントラストを高めることを狙い、BLI用レーザー光の比率を高めた。主として近接～拡大観察用を想定。

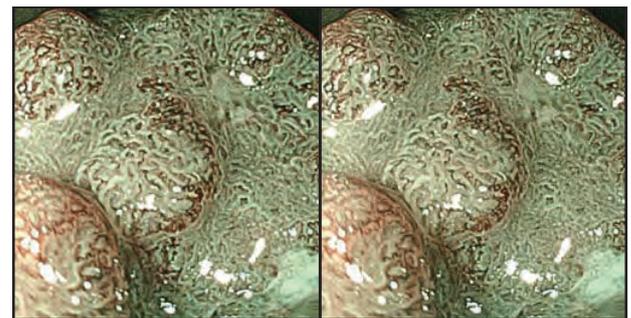
・BLI-brightモード：

BLI用レーザー光と白色用レーザー光とをバランスよく配分し、血管コントラストの向上と明るさを両立。主として中景～近接の観察用を想定。

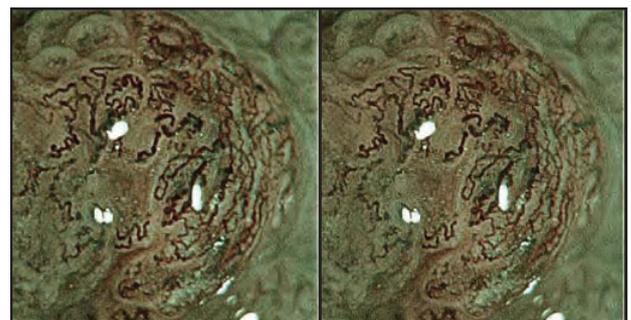
この2つの狭帯域光観察モードにより、LASEREOの狭帯域光観察では、明るい非拡大観察と血管コントラストの高い拡大観察を実現した。

#### 4.3 構造強調

内視鏡検査では数cmの病変を遠景で観察し、Fig. 13 下段の10 $\mu$ m程度の微細血管を拡大観察するなど観察対象がさまざまである。拡大観察においても10 $\mu$ mの微細血管だけでなく、Fig. 13上段の白く縁取られた腺窩辺縁上皮を観察して今後の治療方針を決定することがある。さまざまな観察条件に対応するため、BLIの構造強調は強調の周波数帯域を変えた2種類の強調モードを搭載している。Fig. 13のAモードは周波数の低い所も強調する設計になっておりエリアや構造を強調するのに適している。また、Fig. 13のBモードは細線のみを強調するように設計しており、微細血管の観察用と考えている。



観察距離5mm



観察距離2mm

a. A-mode

b. B-mode

Fig. 13 Two modes of structure enhancement.

#### 4.4 色彩強調

消化管は部位によって粘膜上皮や血管密度が異なり、再現される色調はさまざまである。咽頭・食道・胃・大

腸の各部位で病変を目立たせることを目的としてBLIでは3つの色調 (C1, C2, C3) を提供している。また、BLI-brightでは、さらに白色光観察に近い色調の「色彩強調なし」を追加している (Fig. 14)。

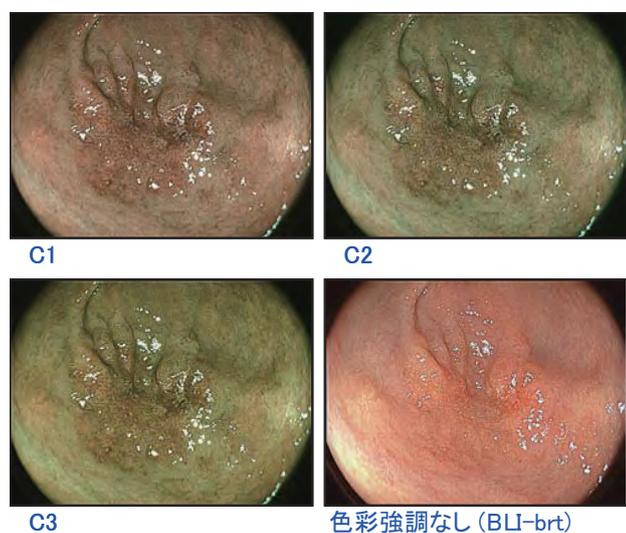


Fig. 14 Color enhancement by BLI and BLI-bright.

## 5. まとめ

消化器内視鏡システムLASEREOはレーザー光源を照明光として採用し、レーザー光源の持つ高輝度・狭帯域の特性を活かして、粘膜・血管を高コントラストに表示する狭帯域観察機能BLIを搭載するに至った。また、BLI用レーザーと白色用レーザーの強度を変化させることによって比較的遠景でも明るい狭帯域観察を可能とするBLI-brightを実現した。

今後、早期のがん病変発見やより詳細な治療方針の決定に役立つ内視鏡システムを実現するには、BLIやBLI-brightに加えて、多種多様な「がんの生物学的、機能的な変化」を可視化する技術が必要と考えている。

LASEREOでは光の波長の異なるレーザー光源を用いることにより「がんの生物学的、機能的な変化」を可視化する新しい診断機能を拡張する発展性を備えている。

現在、われわれは独立行政法人国立がん研究センター東病院と、レーザー光源を用いて、がんの生物学的、機能的な変化の一つである「がん病変の低酸素状態」を可視化する技術に取り組んでおり、今後も、早期のがん病変発見や、治療方針決定につながる内視鏡システムとして、LASEREOを発展させていきたい。

## 6. 謝辞

LASEREOの開発においては、開発当初からシステム構想に携わった小澤聡氏、スコープ開発を中心になって遂行した松永純氏、プロセッサ開発を中心になって遂行した高平正行氏、光源開発を中心になって遂行した遠藤安土氏に深く感謝の意を表する。

(本報告中にある“BLI”, “FICE”, “LASEREO” は富士フイルム (株) の登録商標です。)

# FUJIFILM DR D-EVO plus C24i/sの開発

北野 浩一\*, 渡邊 敬太\*, 別当屋敷 豪人\*

## Development of “FUJIFILM DR D-EVO plus C24i/s”

Kouichi KITANO\*, Keita WATANABE\*, and Akihito BETTOUYASHIKI\*

### Abstract

We have newly developed the small and light CsI DR cassette, “FDR D-EVO plus C24i/s”, which features better image quality with low dose exposure, improved durability and prolonged battery life. The details of the FDR D-EVO plus C24i/s are described in this paper.

### 1. はじめに

昨今のカセットDR化が進むなか、整形分野や耳鼻科の領域では、さまざまな体位での撮影ポジショニングが要求されるため、従来の14inch×17inchサイズモデルではなく小型のカセットDRが有用となる。そのほかにも小型サイズのIncubator専用カセットトレイへの適合なども求められており、小型カセットDRならではの

ムズなワークフローを実現することができる (Fig. 1)。

この度、富士フイルムは24cm×30cmの小型Cs-IカセットDR「FDR D-EVO plus C24i/s」の開発に成功したので紹介する。FDR D-EVO plus C24i/sは小サイズゆえの自由度の高さで、整形分野でのフリー撮影に適している。また、Incubator専用カセットトレイにも改造なしで装着することが可能であり、新生児の診断用撮影ソリューションにも新たに展開することができる。



Fig. 1 The 24cm x 30cm DR cassette: FDR D-EVO plus C24 i/s, well suited for small patients and anatomy.

本誌投稿論文 (受理2012年12月3日)

\*富士フイルム (株) R&D統括本部  
メディカルシステム開発センター  
〒258-8538 神奈川県足柄上郡開成町宮台798

\*Medical System Research & Development Center  
Research & Development Management Headquarters  
FUJIFILM Corporation  
Miyanodai, Kaisei-machi, Ashigarakami-gun, Kanagawa  
258-8538, Japan

## 2. 主な特長

富士フィルムの独自技術であるISS (Irradiation Side Sampling) 方式を搭載したD-EVOシリーズカセットDRの機能・性能を踏襲し、さらなる高画質かつ低被ばくを実現した小型・軽量のカセットDR FDR D-EVO plus C24i/sの特長を紹介する (Fig. 2)。

### 2.1 被ばく線量の低減

CsIシンチレータに照射されたX線信号をアナログ電気回路で読み出し、アナログ/デジタル変換したデータを出力することで画像を取得する。FDR D-EVO plus C24i/sでは新規開発した高感度・低ノイズのアナログ電気回路および高性能のデジタル画像処理を実現し、独自技術のISS方式 (Fig. 2) と組み合わせることで、少ないX線量でも高いDQEが得られ、低ノイズによる粒状性の向上に成功した。RQA5水準でのそれぞれの線量におけるDQE (FDR D-EVO plus C24i/sとFDR D-EVO plus C35i/s) をFig. 3に、MTFをFig. 4に示す。

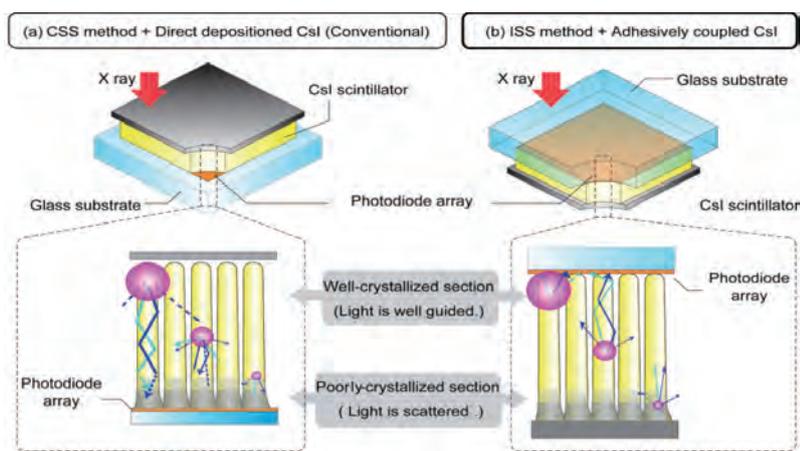


Fig. 2 Unlike Conventional Side Sampling (CSS) methods (a), FUJIFILM Irradiated Side Sampling (b) avoids the poorly-crystallized section of the CsI scintillator.

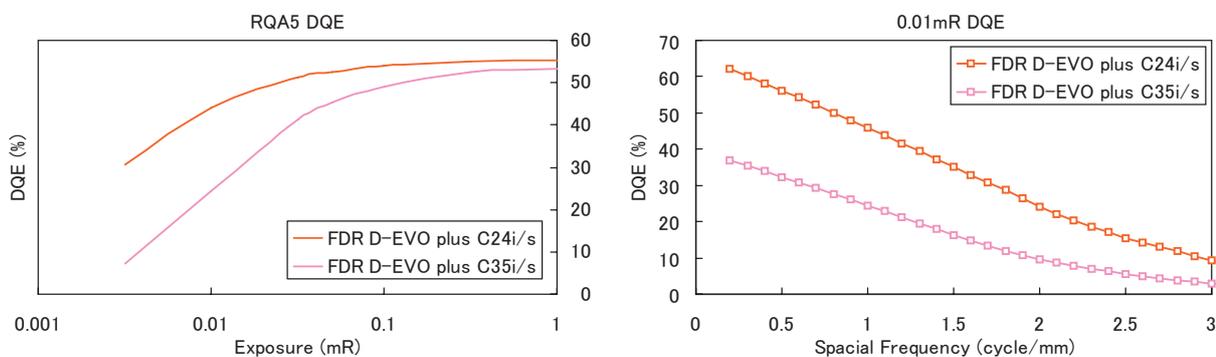


Fig. 3 Comparison of Detectable Quantum Efficiency (DQE) between FDR D-EVO plus C24 i/s and FDR D-EVO plus C35i/s.

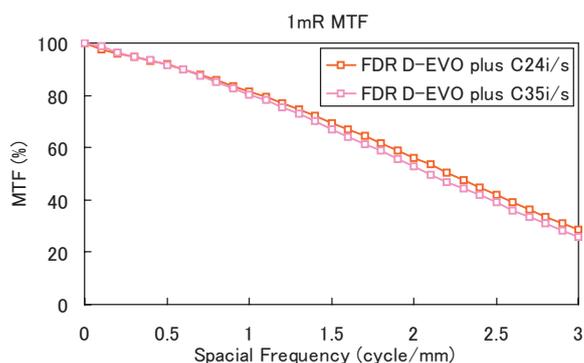


Fig. 4 Comparison of Modular Transfer Function (MTF) between FDR D-EVO plus C24i/s and FDR D-EVO plus C35i/s.

## 2.2 堅牢性の向上

これまで、4モデルのカセットDRを開発した。これらの開発知見を結集した信頼性の高いシミュレーション技術を開発し、カセットDRの内部補強部材を効果的に設置することで、重量1.9kg（バッテリー含む）の軽量でありながら撮影面に対する全面荷重310kg（当社比2倍）とφ40mmのスポット荷重160kg（当社比1.5倍）という高レベルの耐強度性能を達成した。スポット荷重は撮影面のすべてにおいて耐強度160kgに成功した。スポット荷重に対する分散設計のモデル図をFig. 5に示す。これによって整形分野を始めとする患者の荷重がかかるさまざまな撮影シーンでも、放射線技師に対し安心かつ快適な撮影を提供できる。

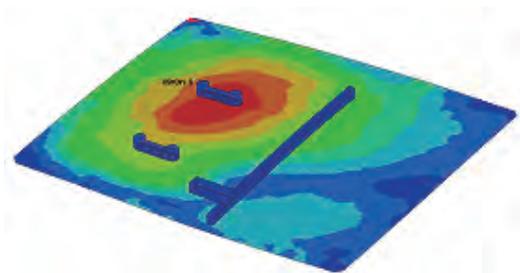
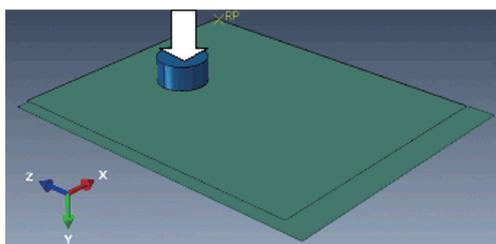


Fig. 5 Spot load dispersion design of FDR D-EVO plus C24i/s.

## 2.3 バッテリーでの長時間駆動

フラットパネルセンサ内の駆動・制御の電気回路を全面的に見直し、徹底した小型化（省スペース）と低消費電力によって、バッテリー1回の充電で約7.5時間（当社比2倍）の長時間駆動を実現した。また連続撮影枚数は800枚可能である。待機時および画像読み出し時における電力低減効果（最大消費電力を1として規格化）をFig. 6に示す。これによって、撮影のワークフローと病院内でのユーザビリティを格段に向上させることができる。

またFDR D-EVO plus C24i/sは、FDR D-EVOシリーズで採用しているバッテリーを使用することで従来システムとの相互運用性も可能とした。

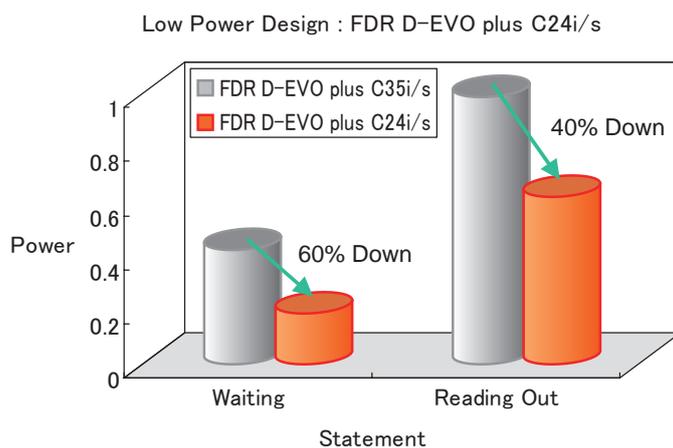


Fig. 6 Power Consumption comparison between FDR D-EVO plus C24i/s and FDR D-EVO plus C35i/s.

## 2.4 D-EVOシリーズの特長をそのまま継承

FDR D-EVO plus C24i/sはほかのD-EVOシリーズカセットDRとも併用することが可能である。D-EVOシリーズカセットDRの特長であるスピーディーな画像表示 (Fig. 7) や照射野の自動トリミングは、FDR D-EVO plus C24i/sでも継承されており、スムーズな撮影ワークフローを実現できる。また、SmartSwitch機能も搭載されている (X線自動検出機能: Fig. 8)。このため小型サイズの特性を活かした、よりフレキシブルな撮影を実施できる。

## 3. まとめ

FDR D-EVO plus C24i/sによって、被ばく線量を低減しながらも高い自由度を持つ撮影が可能となり、整形・耳鼻科・そのほかの分野におけるカセットDRの適用可能性を拡大することができる。

(本報告中にある“FUJIFILM”, “FDR D-EVO”, “SmartSwitch”は富士フイルム (株) の登録商標です。)



Fig. 7 FDR D-EVO plus C24i/s exposure cycle time.

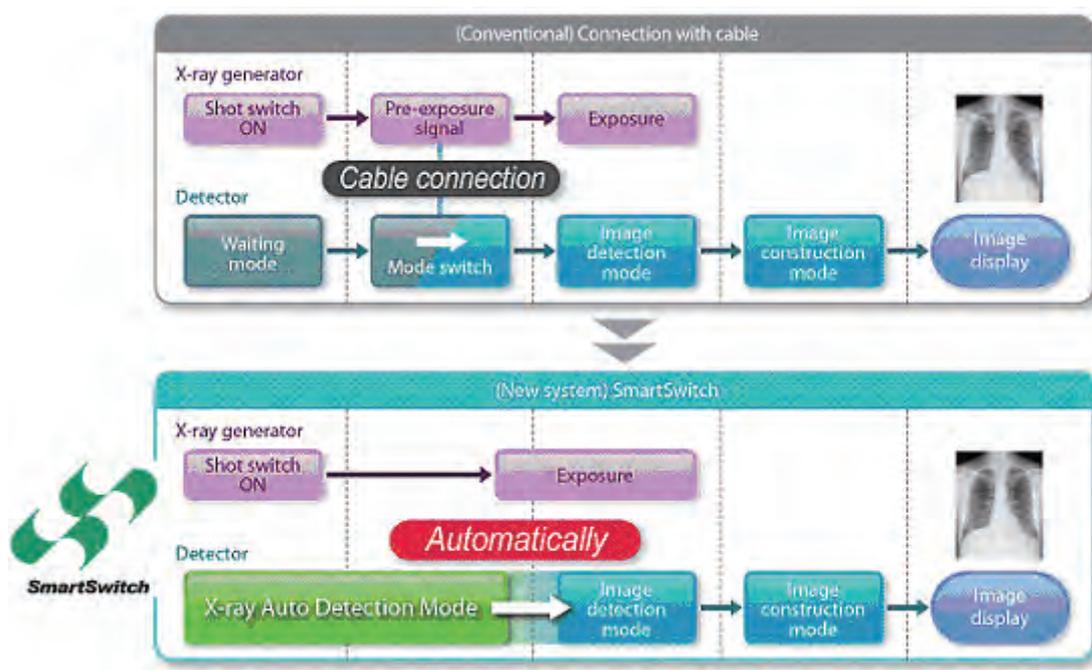


Fig. 8 FUJIFILM SmartSwitch technology enables X-ray auto detection, eliminating the need for electrical interfacing with the X-ray generator.

# 新機能性化粧品ブランド「ルナメア」の開発

村口 太一\*, 立石 朋美\*, 大軽 郁子\*, 黒岩 果林\*\*\*, 谷 武晴\*\*\*,  
吉田 那緒子\*\*, 磴 秀康\*\*, 小杉 拓治\*

## Development of Functional Cosmetics Brand “Lunamer”

Taichi MURAGUCHI\*, Tomomi TATEISHI\*, Ikuko OOGARU\*, Karin KUROIWA\*\*\*,  
Takeharu TANI\*\*\*, Naoko YOSHIDA\*\*, Hideyasu ISHIBASHI\*\*, and Takuji KOSUGI\*

### Abstract

Skin dullness is one of the major problems for women of a certain age. Although some hypotheses for the causes were postulated, for examples the structure of the skin surface or pigmentation of proteins, they have not been proven completely. As a result of our optical analyses including measurement using polarized images and OCT, it turned out that a key for a clear skin is a healthy epidermal layer which does not affect light. Thus, we have developed an active vitamin E (tocotrienol) emulsion, named Clear-nano Vitamin E, which is effective to prevent damage on the epidermal layer caused by environmental factors. We have created the “Lunamer” series containing Clear-nano Vitamin E and the other selected active ingredients based on Fujifilm’s original “Clear & Charge” concept in an effective formula, for the purpose of improving the healthiness of the epidermal layer.

### 1. はじめに

富士フィルムは「美しい写真を作る」技術を「美しい肌を作る」ために応用し、機能性化粧品の開発を進めてきた。そして2012年7月に新・機能性化粧品ブランド「ルナメア」シリーズを上市した。

ルナメアは20代・30代の女性が感じ始める「肌にごり」に着目して光学的解析から原因を解明し、その原因に対して最適なアプローチである「クリア&チャージ」コンセプトに基づき「クリアナノビタミンE」を含む5つの成分を配合して、“やさしく”そして“きちんと”透明感にあふれ、肌表面と肌内部の両方から輝きを放つ肌の実現を目指し開発した (Fig. 1)。



Fig. 1 New cosmetic brand “Lunamer”.

本誌投稿論文 (受理2012年12月4日)

\*富士フィルム (株) R&D統括本部  
医薬品・ヘルスケア研究所  
〒258-8577 神奈川県足柄上郡開成町牛島577

\*Pharmaceutical & Healthcare Research Laboratories  
Research & Development Management Headquarters  
FUJIFILM Corporation  
Ushijima, Kaisei-machi, Ashigarakami-gun, Kanagawa  
258-8577, Japan

\*\*富士フィルム (株) R&D統括本部  
画像技術センター  
〒258-8538 神奈川県足柄上郡開成町宮台798

\*\* Imaging Technology Center  
Research & Development Management Headquarters  
FUJIFILM Corporation  
Miyanodai, Kaisei-machi, Ashigarakami-gun, Kanagawa  
258-8538, Japan

\*\*\*富士フィルム (株) R&D統括本部  
先端コア技術研究所  
〒258-8577 神奈川県足柄上郡開成町牛島577

\*\*\* Frontier Core-Technology Laboratories  
Research & Development Management Headquarters  
FUJIFILM Corporation  
Ushijima, Kaisei-machi, Ashigarakami-gun, Kanagawa  
258-8577, Japan

## 2. 肌にごりの要因とは

肌にごりを起こす要因として、大別すると下記メカニズムが提唱されている (Fig. 2)。

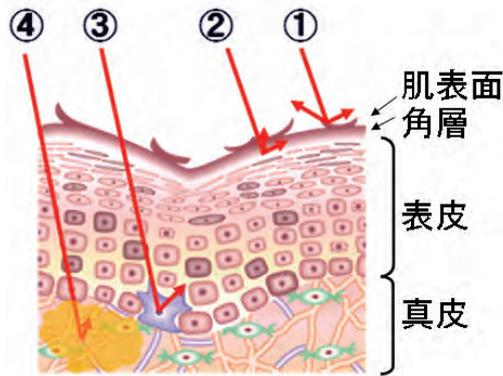


Fig. 2 Presumed causes of dull skin.

- ①肌表面の凹凸
- ②角層の乱れ
- ③表皮の着色 (メラニン)
- ④真皮の着色 (糖化, カルボニル化)

しかし、現在までこれらは詳細に説明されてはいなかった。そこで、本課題に対して写真技術により培った「光による解析技術」を肌に応用した。

## 3. 独自光学解析から明らかにしたこと

### 3.1 画像計測による肌にごり解析

肌に照射された光は肌表面での反射・散乱, 肌内部での散乱・吸収を経て, 肌表面に戻ってきた光を私たちは観察している (Fig. 3)。

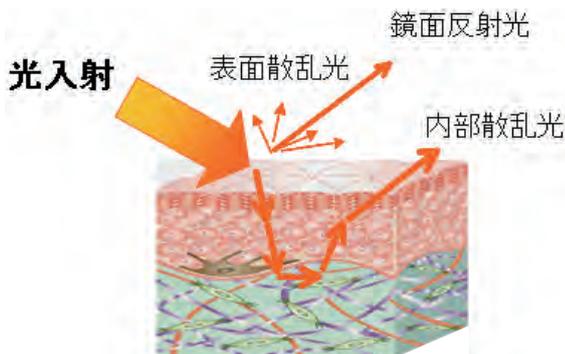


Fig. 3 Light reflection of human skin.

前述のように、肌をにごらせる原因は複数提案されているが詳細は説明されておらず新たな仮説として肌内部、特に表皮層内の光の伝搬の乱れが原因ではないかと考えた。この仮説を検証するため、肌表面と肌内部で光の状態を分離計測が可能な偏光画像計測技術を用いて可視化を行なった。

偏光画像計測技術は、光が持つ偏光特性 (振動方向の違

い)を利用している。肌内部を散乱し再び表面に戻る光は、肌内部の物質特性や不均一性により乱反射するため、肌表面で反射する光と偏光特性が変化する。この偏光特性の変化を計測、画像化することで肌表面により反射した光と肌内部を散乱し戻ってきた光に分離することができる。

20代から50代のボランティア (にごりのある肌とない肌) に対し偏光画像計測を行なった。肌内部を散乱し肌表面に戻る光を計測し、階調調整などの画像処理を行なった後、光量の分布解析を行なった (Fig. 4)。

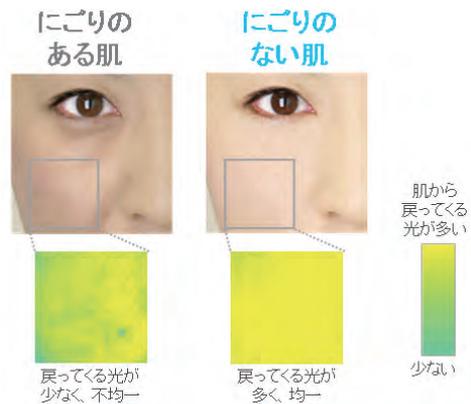


Fig. 4 Result of dull skin analysis using polarized images.

にごりのある肌は、にごりのない肌の画像と比較すると、「肌内部から戻ってくる光の量が全体的に少なく、さらに光の分布が不均一な状態である」ことを明らかにした。

### 3.2 OCTによる肌断層解析

さらに、医療画像診断に用いる光干渉断層計 (OCT) を応用し、肌に入った光が、肌のどの深さから戻ってくるのかを可視化した<sup>1)</sup>。近赤外 (1.3  $\mu\text{m}$ ) のレーザー光を頬に照射し、光が戻ってくるまでの時間から、どここの位置からより多くの光が戻ってきているかを測定した。図ににごりのある肌と、にごりのない肌を比較した結果を示す (Fig. 5)。図中青く表示した位置の肌深さから多くの光が戻ってきていることを示している。図に示したようににごりのある肌では、全体として戻ってくる光が少ないのに対し、にごりのない肌では、表皮を透過して肌の奥 (真皮) から多くの光が戻ってきていることがわかった。

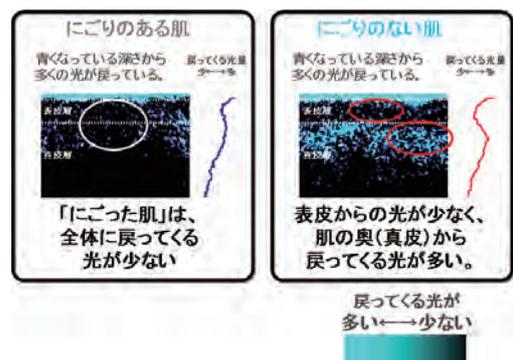


Fig. 5 OCT (Optical Coherence Tomography) images of dull skin and clear skin.

### 3.3 光伝搬シミュレーション

次に、にごりのある肌と、にごりのない肌の違いを明らかにするため、肌のなかを伝わる光の伝搬をシミュレーションで解析した。肌のなかでは、細胞レベルのミクロな構造が、光を散乱、吸収する原因となっている。このため、微細構造中の光伝搬を正確に再現できる電磁波解析手法のFDTD (Finite-difference time-domain method) 法を用いた (Fig. 6)。光が肌に浸入し、拡散した後、肌の外に出て行くまでの時間経過を計算し可視化したところ、にごりのある肌では表皮層で光が散乱し急速に減衰した。これに対しにごりのない肌では、表皮層を通過し、真皮層に到達した光が肌の奥で拡散し、より多くの均質化された光を跳ね返していることがわかる。このことから、表皮層での光の散乱、吸収の原因を取り除くことが重要であることがわかった。

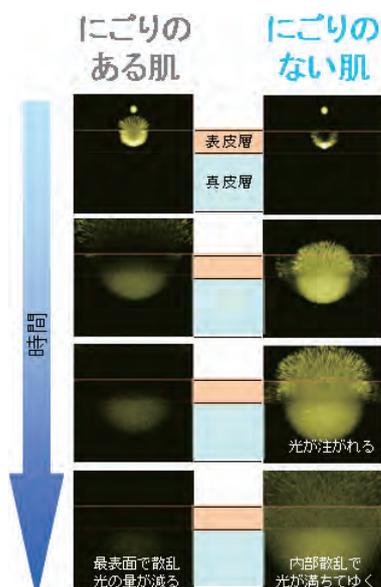


Fig. 6 Cross-sectional images of simulated light propagation in dull skin and clear skin.

すなわち、にごりのない肌とは、肌の内部から均一な光が戻って来る状態であり、このためには肌の表皮層で光を乱すものがない健全な状態であることが重要だとわかった。

## 4. クリア&チャージのアプローチ

そこで表皮層から均一に光を拡散するためには、肌表面の乱れだけではなく、肌内部の光学的な乱れをも解消していく必要がある。そのためには健やかな肌 (内部) を維持するため、日々さらされる環境中のストレス (紫外線やタバコ・排気ガスなど) に負けないケアと弱った肌を健やかに育てるケアの両立を達成する必要がある。そこでわれわれは“やさしく”そして“きちんと”肌を健やかにする独自のクリア&チャージコンセプト (Fig. 7) に基づき、5つの成分をバランスよく添加、表皮細胞を健全に保ち肌内部から均一な光を戻す肌へと導く機能性化粧品ルナメアを開発した。



Fig. 7 "Clear & Charge" concept.

### 4.1 活性型ビタミンE (トコトリエノール) とは

ビタミンEには、通常型のビタミンE (トコフェロール) と、一部構造が異なる「活性型ビタミンE」 (トコトリエノール) が存在する (Fig. 8)。

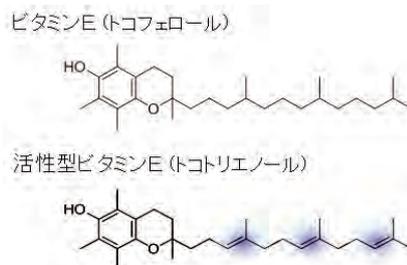


Fig. 8 Molecular structures of tocopherol (widely used) and tocotrienol.

活性型ビタミンEは、自然界で最も多く含まれているパーム油にさえ1kgあたり0.8g (800ppm) しか含まれない希少成分であり、そのため研究が遅れていた。一方、基礎研究においては神経保護作用、細胞中抗酸化力において一般のビタミンE以上の効果が報告されている<sup>2)</sup>。われわれの研究においても活性型ビタミンEは、美白主剤として許可されている脂溶性ビタミンC誘導体 (VCIP) と比較しUVB誘導性炎症物質の生成を70倍抑制した。また、その効果は通常型のビタミンEに比べ高かった (Fig. 9)。また、活性酸素やラジカル有機物などの有害物質無毒化 (還元) に対して濃度依存的に効果を有していることを確認した。

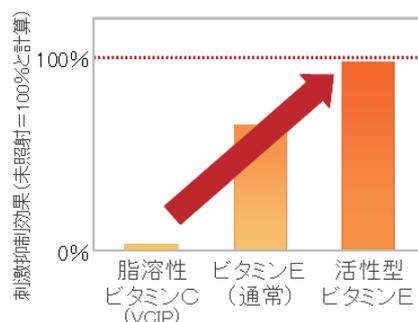


Fig. 9 Inhibition of UVB-induced inflammation by antioxidant properties.

## 4.2 クリアナノビタミンEの開発

活性型ビタミンEは非常に有用であるが、水に溶けにくい成分であることから、皮膚内に有効に届け、また化粧品へ効果的かつ使用感よく配合することがむずかしく、さらにその高い抗酸化性のために製剤中での安定性が低いという問題があった。

これらの課題に対して、当社独自のナノ化技術を駆使し世界最小クラスの60nmの水溶化ナノ粒子を作成した。ナノ化することで生じる表面積の増大による粒子の不安定化には、新たに開発した「ナノプロテクト」設計により、異なる極性の油分を適切に利用することで、活性型ビタミンEの安定性を飛躍的に高め、肌での有用性も期待できるクリアナノビタミンEの開発に成功した (Fig. 10)。

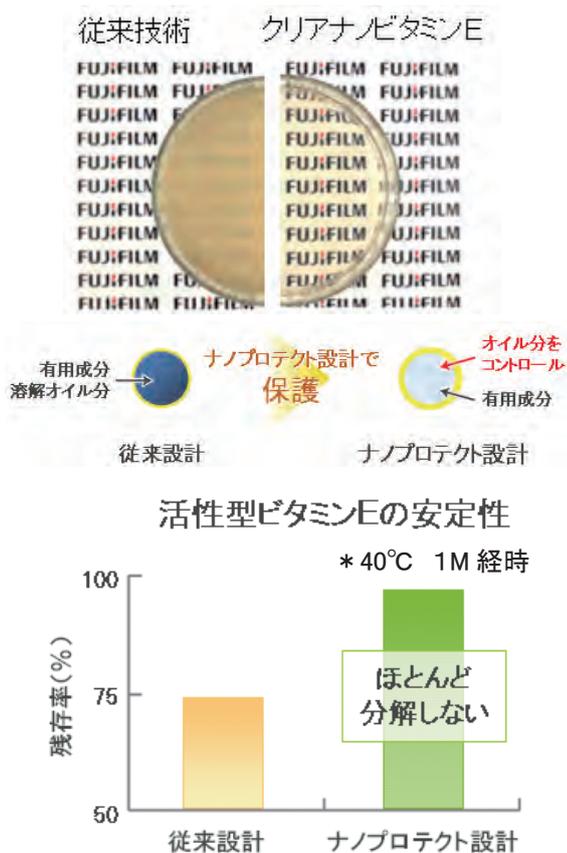


Fig. 10 Stability of Clear-nano Vitamin E.

クリアナノビタミンEの角層浸透性を上腕内部に閉塞塗布後洗浄して、角層をテープストリッピング法にて採取・定量して比較したところ、非ナノ粒子と比較して、角層浸透性を最大8倍高めることができた。

## 4.3 そのほかの有用成分

ルナメアにはクリアナノビタミンE以外にクリア成分とチャージ成分がそれぞれ2つずつ配合されている。クリア成分としてのオリゴ糖の一種「クラウンシュガー」

はその包摂作用により有害な物質をキャッチし、「和漢植物オウゴンエキス」は初期老化を加速する有害物質や紫外線ダメージが肌へ伝わることを抑制する成分である<sup>3), 4)</sup>。また、チャージ成分として「和漢植物クルクミン」は肌細胞中の解毒酵素産生量を増加する成分で、安定型ビタミンA油をナノ化した「ナノビタミンA」は表皮細胞に働きかけ増殖を促す効果を持つ。

ルナメアの各アイテムにはこの5つの成分を製品の特性に合わせて処方設計している。

## 5. 肌での効果実証

ルナメアの使用効果確認のため、2週間の連用試験を行なった。20代から30代の被験者6名に、ルナメア洗顔フォーム（朝夜）と拭き取りタイプの美容液であるルナメアブライトナー（夜のみ）を使用して頂き、使用前後での肌の状態を確認した。

Table 1に2週間の連用における毛穴、および頬全体の明るさ(L\*値)の増加量を示した。いずれも連用試験後、6名中3名においてL\*値が0.5以上増加し、効果が見られた。

Table 1 Increase in the brightness of pores and cheeks after two weeks continuous use.

L*値増加量	0.5以下	0.5～1.0	1.0以上
毛穴のL*値	3人	2人	1人
頬のL*値	3人	2人	1人 <sup>※1</sup>

また一例 (Table 1中※1) として、連用試験前後の頬の分光反射スペクトル形状 (Topcon製分光放射計SR-3で計測) を Fig. 11に示す。580nm付近では黄色反射光の減少による肌にごり減少の効果が、また600nm以上では、赤色反射光の増加による血色良化の効果が見られた。

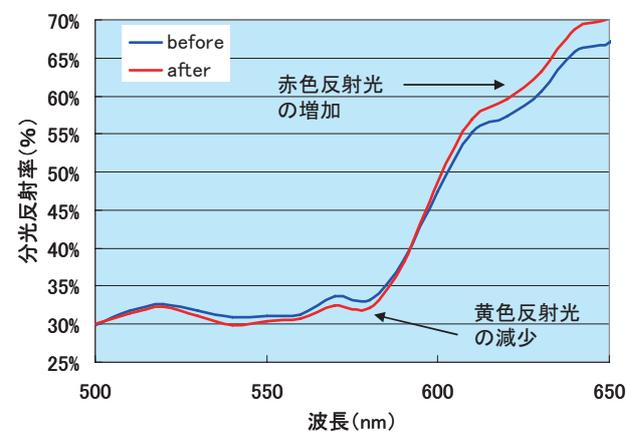


Fig. 11 Color change on cheeks after two weeks continuous use.

---

## 6. まとめ

今回報告した新機能性ブランドルナメアは、「独自の光解析技術」からの発見を「独自のナノ技術」により解決を目指した富士フィルムにしか提供できない機能性化粧品である。

今後も写真で培った解析技術を肌悩み解決のために活用し、新しい着眼点とサイエンスに裏付けられた「富士フィルムにしかできない」商品開発をとおして人々の生活の質のさらなる向上に貢献していきたい。

### 参考文献

- 1) Schmitt, Joseph M. IEEE J. Sel. Top. Quantum Electron. **5** (4), 1205-1215 (1992).
- 2) Aggarwal, B.B.; Sundaram, C.; Prasad, S.; Kannappan, R. Biochem. Pharmacol. **80** (11), 1613-1631 (2010).
- 3) Morita, A.; Torii, K.; Maeda, A.; Yamaguchi, Y. J. Investig. Dermatol. Symp. Proc. **14** (1), 53-55 (2009).
- 4) 甲斐泰, 岸本哲郎. 環境負荷物質－シクトデキストリン包接化合物の構造化学(1)：1,4-dioxane-*a*-cyclodextrin錯体のX線結晶構造解析. 福井工業大学研究紀要. No.45, 395-402 (2012).

(本報告中にある“ルナメア”, “Lunamer”, “クラウンシュガー”, “クリアナノ”は富士フィルム(株)の登録商標です。“ナノプロテクト”は富士フィルム(株)により商標登録出願中です。)

---

# 新アスタリフトシリーズの開発

乾 江梨子\*, 村口 太一\*, 北岡 弘行\*, 森 幹永\*,  
澤田 敏彦\*\*, 芝本 匡雄\*\*, 織笠 敦\*\*\*, 永田 幸三\*

## Development of ASTALIFT Renewal Products

Eriko INUI\*, Taichi MURAGUCHI\*, Hiroyuki KITAOKA\*, Mikinaga MORI\*,  
Toshihiko SAWADA\*\*, Tadao SHIBAMOTO\*\*, Atsushi ORIKASA\*\*\*, and Kouzou NAGATA\*

### Abstract

The ASTALIFT series is a comprehensive anti-aging skincare brand, developed by applying Fujifilm's photo technology. After five years of success in the market, we renewed the ASTALIFT series having enhanced anti-aging capabilities realized by adding lycopene and an analog of resveratrol in appropriate form. We discovered novel benefits of lycopene, such as its ability to promote antioxidant production in human skin cells and boost astaxanthin's antioxidant capacity. We stabilized the lycopene in nano size, further enhancing the total antioxidant capacity. This nano lycopene is added to all products of this new series. Moreover, we also discovered that mesh collagen (type IV collagen) plays an important role in increasing the thickness of the epidermal layer; and thus, added high permeable resveratrol, which exerts a protective effect on mesh collagen, into one of the new series products, "ASTALIFT ESSENCE DESTINY".

## 1. はじめに

われわれは、写真分野で培ったコラーゲン研究、抗酸化技術、ナノ化技術、光反応解析・コントロール技術などを応用し、豊かなハリ感やみずみずしいうおいで肌が満たされる化粧品として、2007年9月スキンケアシリーズ「アスタリフト」を発売した。アスタリフトは、高い抗酸化能を持つ成分「アスタキサンチン」と、肌の保湿成分である「コラーゲン」を配合し、エイジングケア機能化粧品として展開してきた。

発売から5年を迎えた2012年9月、アスタリフトのエイジングケア機能をさらに進化させ、「チャレンジする化粧品。」をキャッチコピーに全アイテムに「ナノリコピン」を配合し総合抗酸化力を高めリニューアル発売し

た。さらに、独自のコラーゲン研究の深耕により見出した「高浸透型レスベラトロール」を配合した「アスタリフト エッセンス デスティニー」をヒーローアイテムとして発売した。

本報告では抗酸化研究により見出したリコピンの新規機能とナノ化技術、また、メッシュコラーゲンの有用性研究について詳細を報告する。

## 2. 抗酸化研究の進化

### 2.1 リコピンの機能性研究

リコピンとはカロテノイドの一種であり、トマトやスイカ、柿などに豊富に含まれる赤色色素である。紫外線

---

本誌投稿論文（受理2012年12月4日）

\*富士フィルム（株）R&D統括本部  
医薬品・ヘルスケア研究所  
〒258-8577 神奈川県足柄上郡開成町牛島577

\*Pharmaceutical & Healthcare Research Laboratories  
Research & Development Management Headquarters  
FUJIFILM Corporation  
Ushijima, Kaisei-machi, Ashigarakami-gun, Kanagawa  
258-8577, Japan

\*\*富士フィルム（株）R&D統括本部  
解析技術センター  
〒250-0193 神奈川県南足柄市中沼210

\*\* Analysis Technology Center  
Research & Development Management Headquarters  
FUJIFILM Corporation  
Nakanuma, Minamiashigara, Kanagawa 250-0193, Japan

\*\*\*富士フィルム（株）  
ライフサイエンス事業部 商品グループ  
〒107-0052 東京都港区赤坂9-7-3

\*\*\* Product Marketing Group  
Life Science Products Division  
FUJIFILM Corporation  
Akasaka, Minato-ku, Tokyo 107-0052, Japan

や環境ダメージによって発生する活性酸素を消去する抗酸化成分のなかでもリコピンは高い抗酸化能を有することが知られ、抗ガン作用や糖尿病改善作用が報告されている<sup>1)</sup>。われわれはこのリコピンの高い機能に着目し研究を進め、リコピンの新規機能「皮膚の自己抗酸化能向上作用」と「アスタキサンチン抗酸化能向上作用」を見出した。

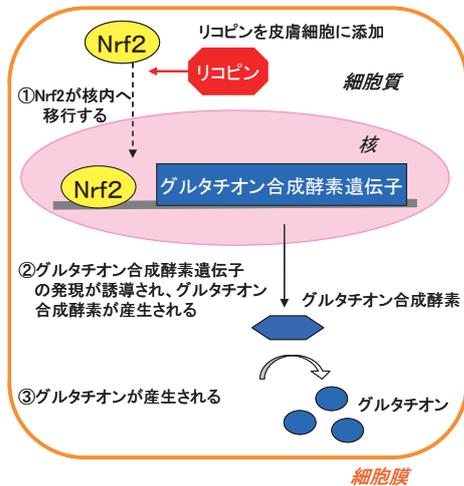


Fig. 1-a Glutathione synthesis mechanism.

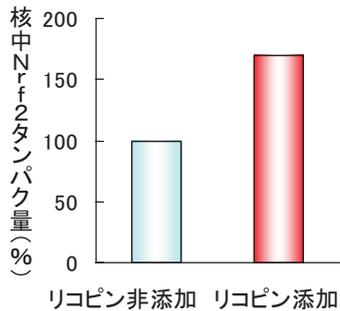


Fig. 1-b1 Effect of lycopene on Nrf2 protein in nucleus.

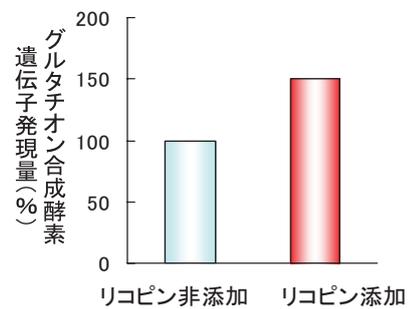


Fig. 1-b2 Effect of lycopene on gene expression of glutathione synthesis enzymes.

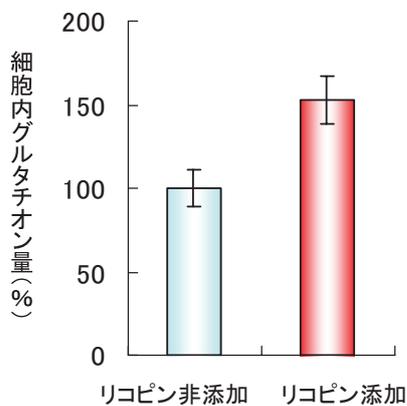


Fig. 1-b3 Effect of lycopene on intracellular glutathione production.

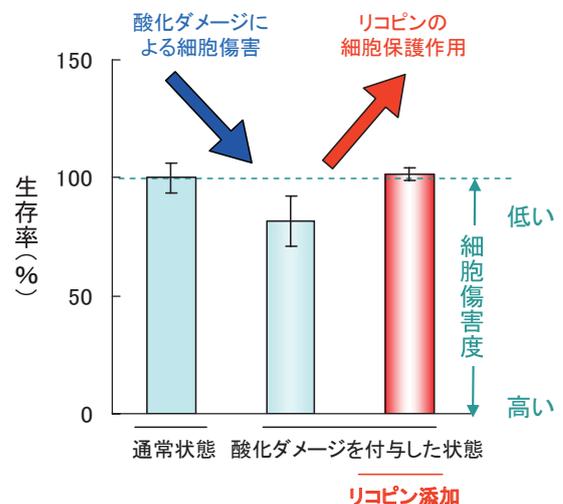


Fig. 1-b4 Effect of lycopene on inhibiting cell injury.

## 2.1.2 リコピンのアスタキサンチン抗酸化能向上作用

リコピンと同様、高い抗酸化能を有することが知られているアスタキサンチンの抗酸化能は、リコピンと共存させることで、その持続性を約3倍向上した (Fig. 2)。

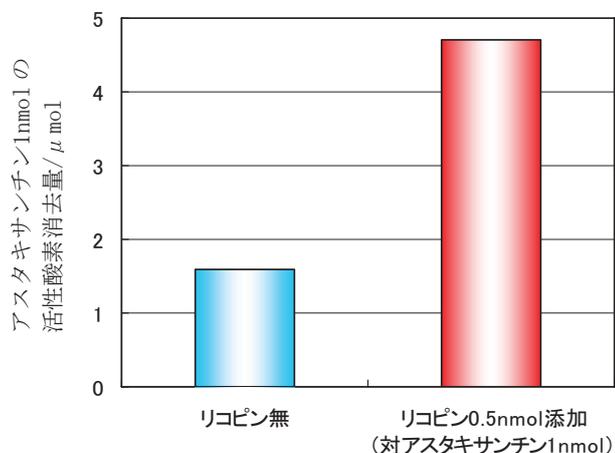


Fig. 2 Synergistic effect of astaxanthin and lycopene.

## 2.1.3 抗酸化能向上機構

リコピン共存下でアスタキサンチンの抗酸化能がより持続する理由の一つに、分子間1電子移動仮説が考えられた。抗酸化作用を示した結果発生したアスタキサンチン酸化体に対して、リコピンが自身の $\pi$ 電子を供与し、リコピン酸化体に変化すると考えられた。アスタキサンチンとリコピンのエネルギー準位関係を実験と理論計算から見積もったところ、本仮説を支持する結果が得られた (Fig. 3)。

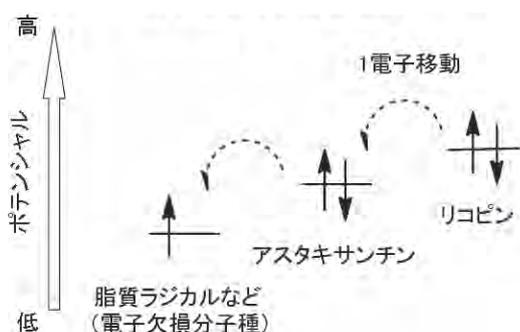


Fig. 3 Hypothesis of intermolecular electron transfer reaction.

## 2.2 リコピンのナノ化技術

このようにリコピンは、化粧品に配合することで、高い機能を発揮することが期待される。リコピンは油性のため、化粧水などに配合する際は、品質 (透明性、べたつき) の観点から、ナノ化することが好ましい。しかし、分解しやすく不安定な物質であり、また結晶性が高いため (Fig. 4)、安定的にナノ化することは困難で、これまで実現されていなかった。

われわれは結晶化しやすいリコピンを極微小な70nmにまでナノ化し、かつ、複数の成分を組み合わせることで

的に安定性を保つ独自技術を開発した。この技術により、リコピンの高い抗酸化能などの有用性を損なわず、透明かつ肌の角質層透過を期待できるサイズの独自のナノリコピンを開発することに成功した (Fig. 5)。この技術開発により、アスタリフトシリーズ全アイテムへのナノリコピンの配合を達成した。

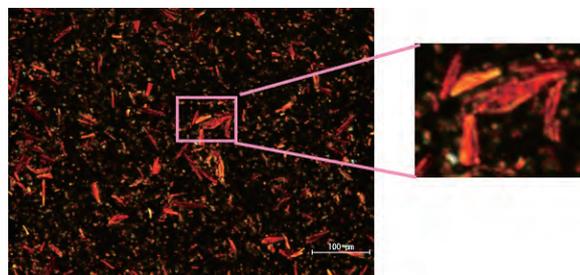


Fig. 4 Optical microscopic image of lycopene (at approx. 100x magnification).



Fig. 5 Transparency comparison between lycopene nano-sized by conventional technology (left) and nano-lycopene developed by Fujifilm (right).

## 3. コラーゲン研究の深化

### 3.1 メッシュコラーゲンケア

従来の研究において、加齢に伴いハリを失う原因として、肌の土台となる真皮層の変化とされていた。しかし、われわれは「加齢により肌 (表皮層) が薄層化する」ことがハリ低下の一つの原因と考えた。そこでわれわれは、基底膜層に多く存在し、特殊な構造を持つコラーゲンであるIV型コラーゲン (メッシュコラーゲン) に着目し詳細に機能解明を実施した (Fig. 6)。

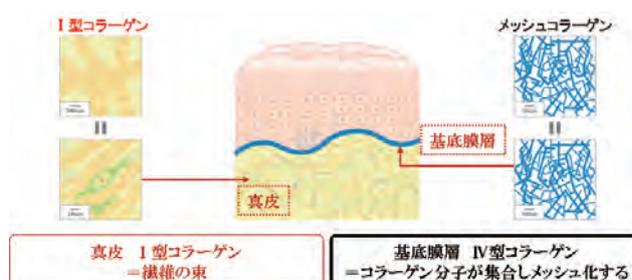


Fig. 6 Localization of Type I collagen and Type IV collagen (mesh collagen).

メッシュコラーゲンの肌への機能を調べるために、東京農工大学 西山教授と共同で再構築皮膚モデルを作製

した。組織学的な解析から、メッシュコラーゲンを持った再構築皮膚モデルは従来のモデルと比較し、14日培養時点で表皮層の厚さが約2倍以上の差が出ることを明らかにした (Fig. 7)。この結果から、生体内でメッシュコラーゲンが正常な質・量で存在することが表皮層の薄層化予防に重要と示唆された。

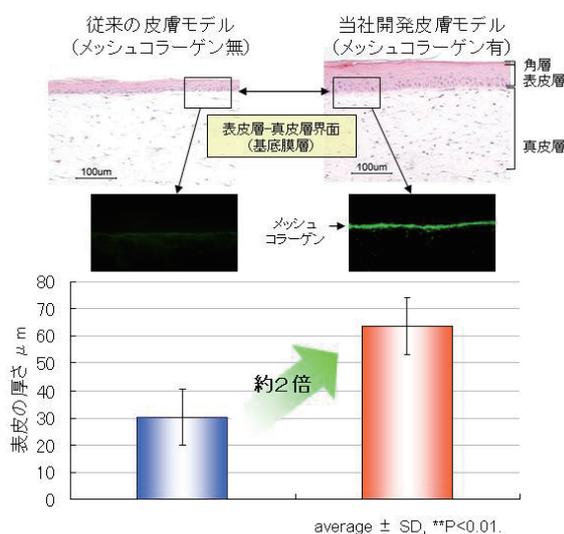


Fig. 7 Effect of mesh collagen on the thickness of the epidermis layer (Comparison of epidermis thickness after 14 days of culture).

### 3.2 メッシュコラーゲンを守る高浸透型レスベラトロール

上記の独自知見から、加齢や紫外線など外的要因により分解されるメッシュコラーゲンを保護する化合物の探索を開始した。富士フィルムの化合物ライブラリーをスクリーニングした結果、ポリフェノールの一種であるレスベラトロールに強いIV型コラーゲン分解抑制能を見出した。ただし、見出したレスベラトロールは経時安定性と浸透性の観点から問題があり、その誘導体を検索した結果、メトキシ誘導体であるプテロスチルベンにレスベラトロール同等の保護能があることを見出した (Fig. 8)。本化合物はブルーベリー系の植物に含まれる天然由来成分である。

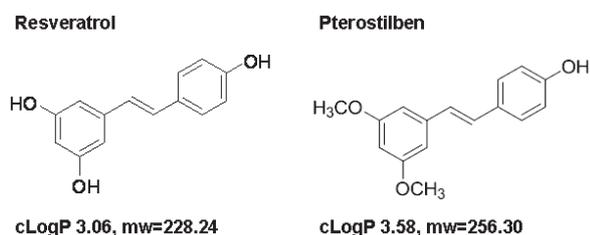


Fig. 8 The molecular structures of resveratrol and pterostilbene.

また、3次元皮膚モデルを用いたプテロスチルベンの肌浸透性試験の結果、通常のレスベラトロールと比較して30倍程度高く (Fig. 9)、浸透速度を計算すると基底層という角層奥に存在するメッシュコラーゲン近傍へ十分に浸透することが期待できた。また、水系剤形の安定性も高く、機能を保持したまま化粧品への配合が可能と

なった (Fig. 10)。

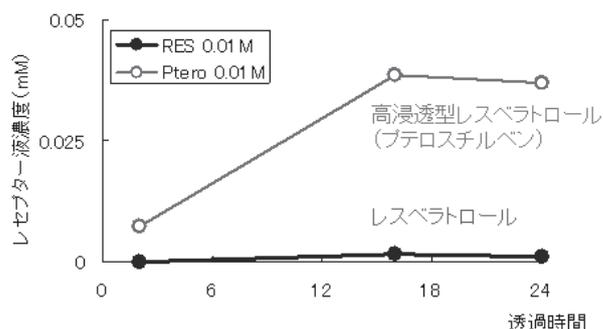


Fig. 9 Permeability of resveratrol in epidermis model.



Fig. 10 The stability of resveratrol and pterostilbene under room temperature.

## 4. まとめ

ASTALIFTシリーズのリニューアルは、ナノリコピンをシリーズトータルのパワーアップ素材として配合し、総合抗酸化力を高めることに成功した。さらに、メッシュコラーゲンの表皮層増殖への関与の発見により見出された高浸透型レスベラトロールを配合したアスタリフトエッセンス デスティニーは、角層奥のメッシュコラーゲンケアを可能とした。なお、アスタリフトエッセンス デスティニーは、抗シワ製品評価ガイドラインに基づく試験を実施しており、乾燥による小ジワを目立たなくする効果を確認している。

これらにより、アスタリフトシリーズは、輝きとハリに満ちた「フォトジェニック・スキン」へと導く化粧品ブランドとして展開が可能となった。今後も独自技術を駆使し、「チャレンジする化粧品。」としてお客様に新たな価値を提供し続けたい。

## 参考文献

- Giovannucci, E. et al. J. Natl. Cancer Inst. **94** (5), 391-398 (2002).
- Jung, Suh.H. et al. Proc. Natl. Acad. Sci. **101** (10), 3381-3386 (2004).

(本報告中にある“アスタリフト”, “ASTALIFT”, “デスティニー”は富士フィルム (株) の登録商標です。)

# 自己乳化型DHA製剤の開発

阪口 博之\*, 原口 暢之\*\*, 小田 由里子\*, 植田 文教\*

## Development of Self-emulsifying DHA Formulation

Hiroyuki SAKAGUCHI\*, Nobuyuki HARAGUCHI\*\*, Yuriko ODA\*, and Fumitaka UEDA\*

### Abstract

Various physiological functions as essential fatty acids are reported regarding docosahexaenoic acid (DHA) and eicosapentaenoic acid (EPA). The two acids are polyunsaturated fatty acid (PUFAs). Absorption of DHA is often influenced by meal consumption. We prepared a self-emulsifying DHA formulation which achieved stable and high absorption ability without depending on bile acid. Absorption evaluation on rats revealed that bioavailability of this self-emulsifying DHA formulation was three times higher than that of general DHA fish oil. The evaluation also proved that the formulation has high absorption ability without being affected by food consumption. In conclusion, this formulation technology improved DHA absorption by oral intake, leading to more convenient DHA ingestion.

### 1. はじめに

富士フィルムは、「社会の文化・科学・技術・産業の発展、健康増進や環境保持に貢献し、人々の生活の質のさらなる向上に寄与する」を新たな企業理念とし、2006年に機能性化粧品・サプリメントを発売し、「予防」の領域へと新たな一歩を踏み出した。

これらヘルスケア商品には、写真分野で培ったさまざまな技術や知見を応用している。例えば、写真フィルムの主原料は肌と同じコラーゲンであり、また、肌のシミや老化の原因とされる酸化は写真の退色の原因と共通している。このように、当社の持つ、コラーゲンのハンドリング技術や抗酸化技術が、そのままヘルスケア商品に応用できている。そして、機能的に配合した成分や素材を適切かつ効果的にカラダに浸透・吸収させるための高度なナノテクノロジー（FTD技術）を差別化ポイント

として、富士フィルムならではの価値あるヘルスケア商品の技術開発を進めている。

以上の状況を背景に、自己乳化型製剤技術を開発し、「DHA・EPA & アスタキサンチン」を、2012年1月に上市した（Fig. 1）。



Fig. 1 DHA, EPA and Astaxanthin.

本誌投稿論文（受理2012年12月4日）

\*富士フィルム（株）R&D統括本部

医薬品・ヘルスケア研究所

〒258-8577 神奈川県足柄上郡開成町牛島577

\*Pharmaceutical & Healthcare Research Laboratories  
Research & Development Management Headquarters  
FUJIFILM Corporation

Ushijima, Kaisei-machi, Ashigarakami-gun, Kanagawa  
258-8577, Japan

\*\*協和キリン富士フィルムバイオロジクス（株）

生産開発センター

〒370-0013 群馬県高崎市萩原町100-1

\*\*Production & Development Center

FUJIFILM KYOWA KIRIN BIOLOGICS Co., Ltd.

Hagiwara-cho, Takasaki-shi, Gunma 370-0013, Japan

## 2. 「DHA・EPA & アスタキサンチン」の開発

### 2.1 DHAとは

サプリメントに配合される機能性素材は、ビタミンCやビタミンB群などの水溶性物質や、ビタミンE、DHA、コエンザイムQ10、アスタキサンチンなどの油溶性素材がある。水溶性素材は、錠剤やハードカプセル化されるのに対し、油溶性素材はソフトカプセルとして製剤化されている。

DHA（ドコサヘキサエン酸）（Fig. 2）は、EPA（エイコサペンタエン酸）同様、青魚などに多く含まれるn-3（ $\omega$ -3）系多価不飽和脂肪酸（PUFA）の一種であり、哺乳類の網膜、心臓、中枢神経系に多く存在し、必須脂肪酸として血中脂質低下作用、抗血栓作用、などさまざまな生理機能が報告されている<sup>1)</sup>。

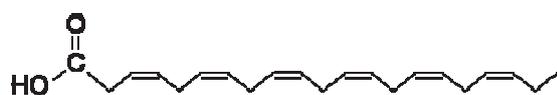


Fig. 2 Docosahexaenoic acid.

また、Table 1のとおり「日本人の食事摂取基準（2010年版）」で、DHA・EPAの摂取目標量（1g以上/日）が設定されたこともあり、DHA・EPAを含めたn-3系多価不飽和脂肪酸は、健康維持成分として、ますます重要視されてきている<sup>2)</sup>。このような背景より、DHAやEPAは、人気の高いサプリメントとして多く流通している。

Table 1 Recommended daily ingestion amount of EPA and DHA for Japanese.

望ましいEPAおよびDHAの摂取量（g/日）

年齢（歳）	男性	女性
	目標量	目標量
18～29	1以上	1以上
30～49	1以上	1以上
50～69	1以上	1以上
70以上	1以上	1以上

### 2.2 摂食、絶食によるDHA吸収性への影響

ただし、サプリメントは手軽に摂取できる半面、通常、摂取タイミングを指定しないため、そのタイミングによって、有効成分の吸収性が異なる場合がある。一般的なサプリメントに使用されるDHA原料は、他の脂肪酸とともにトリグリセリドの形で存在しており、その吸収は、胆汁によりミセル化、小腸内でリパーゼによる加水分解され、小腸上皮から吸収される。

胆のうを持たないラットにおいても、摂食時には胆汁分泌量が増加することは知られており、胆汁の分泌量により、吸収が大きく異なることが考えられる。

そこで、われわれは、摂取タイミング（絶食・摂食）によるDHAの吸収性の違いを検証するため、ラットを用い、実験を実施した。その結果をFig. 3に示す。この時間-血漿DHA濃度のグラフより、最高血中濃度（C<sub>max</sub>）、最高血中濃度時間（T<sub>max</sub>）、血中濃度-時間曲線下面積（AUC；area under the curve）を求めた。

Table 2に示すように、摂食時の吸収は、絶食時のDHAの吸収と比較して、T<sub>max</sub>は変わらないもののC<sub>max</sub>は約2.7倍、AUC<sub>0-24h</sub>は2.5倍と高い値を示した。このことから、摂取タイミングにより、DHAの吸収性が大きく異なることがわかった。

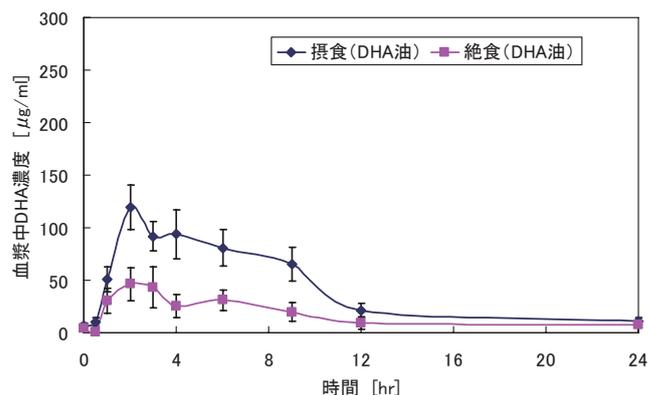


Fig. 3 Plasma concentration profile of DHA.

Table 2 Pharmacokinetic parameters of oral administration of DHA oil to fed rats and fasted rats.

		fed DHA OIL	fasted DHA OIL
C <sub>max</sub>	μg/ml	119.2±21.2	44.5±15.7
T <sub>max</sub>	hr	2	2
AUC <sub>0-24h</sub>	μg·hr/ml	1018.9	405.8*

fed:摂食, fasted:絶食, DHA OIL:一般食用魚油

C<sub>max</sub>: maximum serum concentration

T<sub>max</sub>: time to reach the C<sub>max</sub>, AUC: area under the serum concentration-time curve

Values of C<sub>max</sub> are the mean ± SEM, n=5

\* P<0.1

## 3. 自己乳化型DHA製剤技術の開発

これまで、われわれは、アスタキサンチンなど吸収性が低い油溶性素材に対し、ナノ乳化物を調製し、吸収性を向上させてきた<sup>3)</sup>。しかし、この技術は1日あたりの配合量が数十mg以下であるアスタキサンチンなどのカロテノイドやコエンザイムQ10などの油溶性素材について、有効な技術ではあるが、一日あたり数百mgを必要とするDHAなどの有効成分については、粒数増加の問題から、技術応用がむずかしい素材であった。

そこで、「高吸収を保ちつつ摂取する粒数を少なく抑えること」を課題とし、摂食時、油溶性物質の吸収に大きく関わっている胆汁酸の影響を低減させ、摂食、絶食関係なく、常に高い吸収性が期待できる自己乳化型

DHA 製剤の開発を行なった。ナノ乳化と自己乳化処方  
の違いを Fig. 4 に示す。

なお、自己乳化型製剤とは、ホモミキサーなどのせん  
断力を必要とせず、界面化学的手法により、水と接触す  
ることで、自発的に微細なエマルション（粒子）を形成  
し、結果、比表面積を増大させ、吸収を向上させる製剤  
のことである。Fig. 5 に一般的な自己乳化型製剤の調製

法と乳化メカニズムを示す<sup>4)</sup>。

### 3.1 自己乳化型 DHA 製剤の吸収評価①

われわれは、まず、今回開発した自己乳化型 DHA 製  
剤の吸収性を確認するため、一般的にサプリメントで使  
用されている DHA 油と自己乳化型 DHA 製剤の空腹時  
のラットにおける吸収比較を行なった。実験結果を

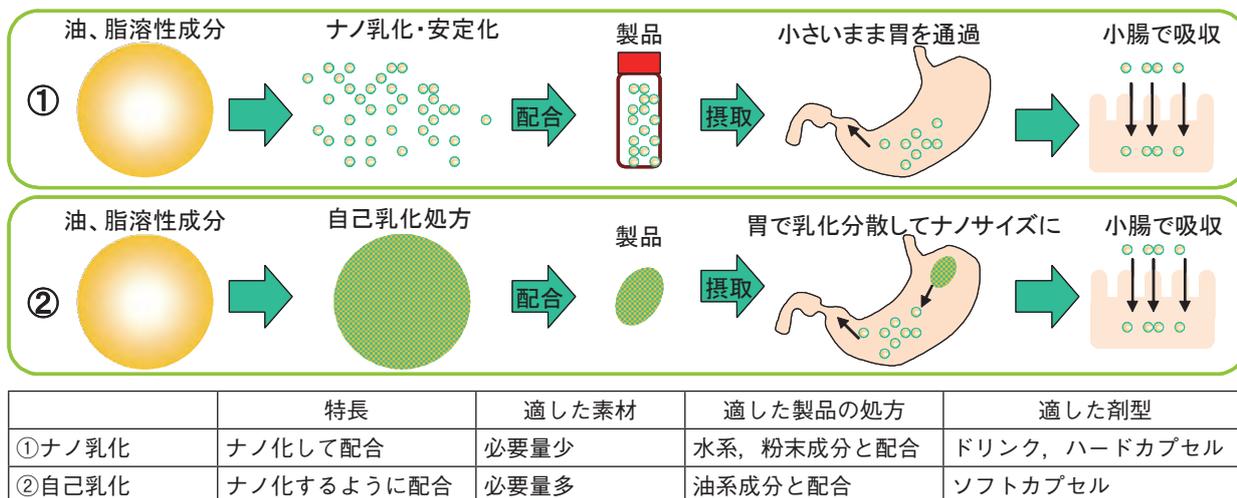


Fig. 4 Difference in DHA absorption between nano-emulsion and self-emulsification formulations.

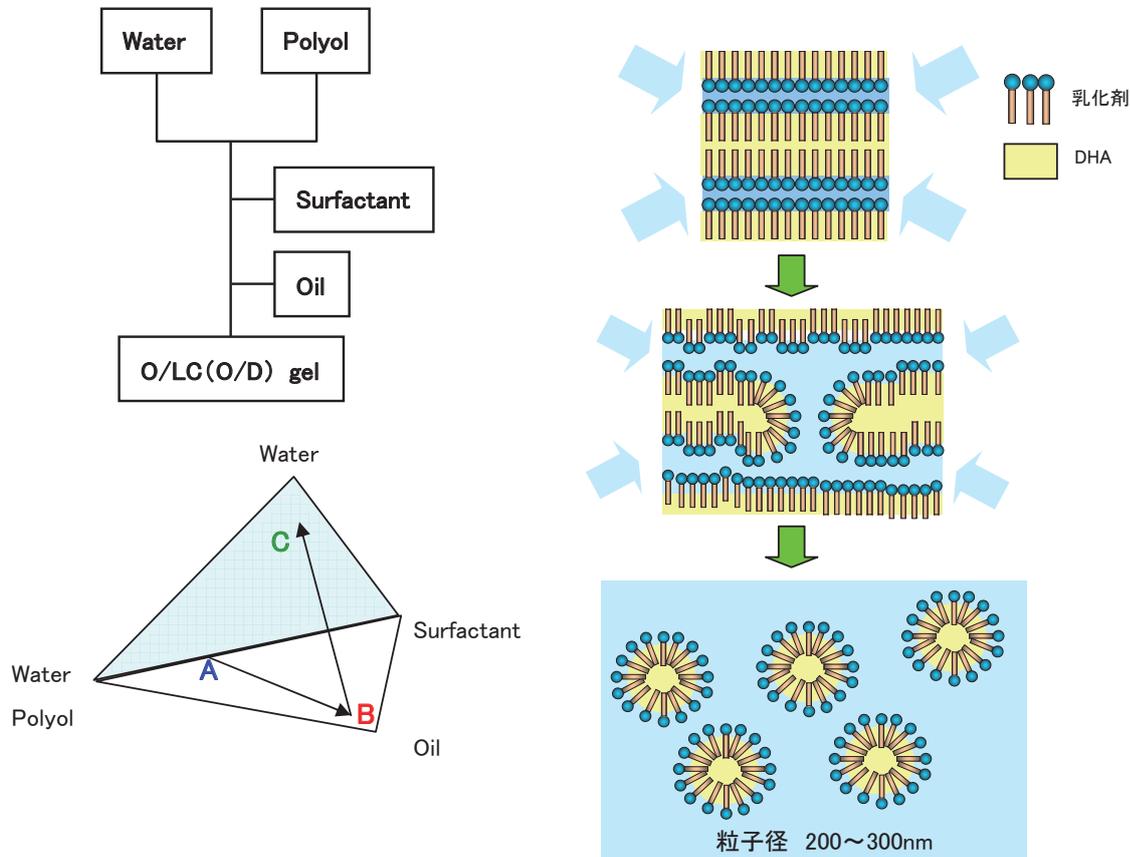


Fig. 5 General self-emulsification preparation and mechanism.

Fig. 6, Table 3に示す。

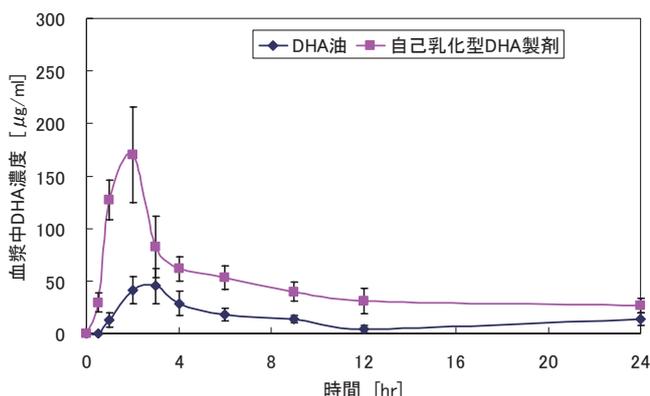


Fig. 6 Plasma concentration profile of DHA.

Table 3 Pharmacokinetic parameters of oral administration of DHA oil and SEDDS-DHA to fasted rats.

		DHA OIL	SEDDS-DHA
$C_{max}$	µg/ml	45.2 ± 16.8	170.0 ± 45.4
$T_{max}$	hr	3	2
$AUC_{0-24h}$	µg·hr/ml	341.3	1100.0**

DHA OIL: 一般食用魚油, SEDDS-DHA: 自己乳化型DHA製剤  
 $C_{max}$ : maximum serum concentration,  $T_{max}$ : time to reach the  $C_{max}$   
 $AUC$ : area under the serum concentration-time curve  
 Values of  $C_{max}$  are the mean ± SEM, n=3 \*\* P<0.05

上記結果より、自己乳化型DHA製剤の血漿中DHA濃度は、投与後2時間で $C_{max}$ に達し、その後、緩やかに減少した。一方、一般的にサプリメントで使用されているDHA油は、投与後3時間で $C_{max}$ に達し、その後緩やかに減少した。また、自己乳化型製剤のAUCは、通常DHA油のAUCと比較して、約3倍であることがわかった。このことから、自己乳化型DHA製剤は、通常DHA油と比較して高い吸収能を持つことがわかった。

### 3.2 自己乳化型DHA製剤の吸収評価②

最後に、通常DHA油では、吸収の差が大きかった絶食、摂食のDHA吸収性について、自己乳化型DHA製剤を用い、ラットにおける絶食時および摂食時の吸収性を確認した。試験条件および実験結果をFig. 7, Table 4に示す。

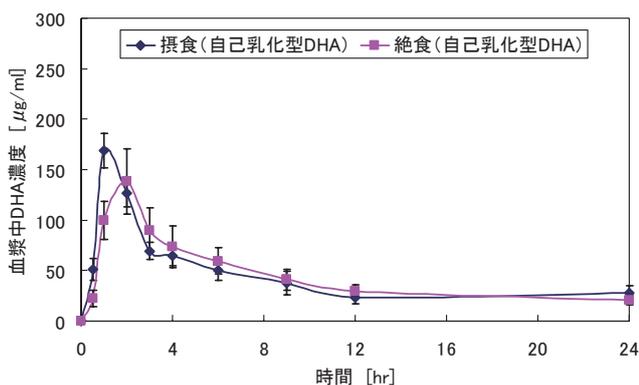


Fig. 7 Plasma concentration profile of DHA.

Table 4 Pharmacokinetic parameters of oral administration of SEDDS-DHA to fed rats and fasted rats.

		fed SEDDS-DHA	fasted SEDDS-DHA
$C_{max}$	µg/ml	169.1 ± 17.0	138.1 ± 32.2
$T_{max}$	hr	1	2
$AUC_{0-24h}$	µg·hr/ml	1028.9	1044.7

fed: 摂食, fasted: 絶食, SEDDS-DHA: 自己乳化型DHA製剤  
 $C_{max}$ : maximum serum concentration  
 $T_{max}$ : time to reach the  $C_{max}$ ,  $AUC$ : area under the serum concentration-time curve  
 Values of  $C_{max}$  are the mean ± SEM, n=5

上記結果より、絶食時の自己乳化型DHA製剤の血漿中DHA濃度は、実験②と同様、投与後2時間で $C_{max}$ に達し、その後、緩やかに減少した。一方、摂食時に自己乳化型DHA製剤を投与した群については、投与後1時間で $C_{max}$ に達し、その後緩やかに減少した。AUCについては、絶食、摂食の影響はほとんど見られず、自己乳化型DHA製剤は、絶食、摂食に関係なく、高い吸収性を示すことが明らかとなった。

なお、摂食時の $C_{max}$ が絶食時の $C_{max}$ より、1時間早くなったことについては、摂食時の方が、絶食時よりも、胆汁酸分泌量が増加していたため、より早く吸収されたものと考えている。

## 4. まとめ

今回、サプリメントを摂取する際に飲む水によって、DHAが体内で自然に微細化する「アクアナノサイジングDHA」を開発し、摂食、絶食の影響がほとんどなく、常に安定した高い吸収を持つサプリメントを開発することができた。今後もFTDという特徴のある技術を生かした機能性食品の開発をとおして、人々の生活の質に寄与できるよう努力し、広く社会に貢献していきたい。

## 参考文献

- 1) 鈴木平光ほか. 水産食品栄養学 - 基礎からヒトへ. 技報堂出版 (2004).
- 2) 日本人の食事摂取基準 (2010年版). 厚生労働省 (2009).
- 3) 鈴木啓一ほか. アスタキサンチンナノ乳化物の開発. 富士フィルム研究報告. No.52, 27-29 (2007).
- 4) Binks, B.P. ed. Modern Aspects of Emulsion Science. Royal Society of Chemistry. Cambridge (1998).

(本報告中にある“アクアナノサイジング”, “FTD”は富士フィルム (株) の登録商標です。)

# バリウムフェライト磁性体によるエンタープライズデータストレージシステム用の高性能テープメディアの開発

高野 博昭\*, 浅井 雅彦\*, 小柳 真仁\*, 大石 忠宏\*, 白井 正幸\*

## Development of Higher Performance Tape Media for Enterprise Data Storage Systems by using Barium Ferrite Magnetic Particles

Hiroaki TAKANO\*, Masahiko ASAI\*, Masahito OYANAGI\*,  
Tadahiro OHISHI\*, and Masayuki USUI\*

### Abstract

The magnetic tape using barium ferrite magnetic particles instead of traditional metal magnetic particles demonstrated much higher areal recording density of 6.7Gbit/in<sup>2</sup> in 2007 and 29.5Gbit/in<sup>2</sup> in 2010. We applied NANOCUBIC technology to the barium ferrite material through these demonstrations, and moved these technical achievements into the production phase while increasing the durability. For enterprise-class systems, we released in 2011 the reliable magnetic tape products that have an approximately three times larger storage capacity than LTO Generation 5 tape. This proves that Fujifilm's barium ferrite technology can contribute to an increase in the storage capacity of magnetic tape in response to the market needs for data storage systems having higher capacity.

## 1. はじめに

デジタルデータのストレージ市場では、信頼性や費用対効果の要求がますます高まっている。磁気テープは、容量あたりの単価とランニングコストが安価である点、および長期保存に対する信頼性が高い点がストレージ市場で評価されている。1990年代に登場したリニアテープシステムは年率40%、ほぼ2年で2倍のペースで容量増加を続けてきたが、近年この記録容量上昇トレンドに鈍化の傾向が現れてきている。これはメタル磁性体の微粒子化が限界に近づいているためである。これを克服する手段として結晶磁気異方性を有するBarium Ferrite (以下BaFe) のような磁性粒子が古くから研究されている<sup>1), 2)</sup>。しかし微粒子なBaFeを合成することやそれを均一分散することがむずかしいこと、また磁化量が小さいため感度の低い磁気ヘッドでは良好なSNRが得られず、これまでBaFe磁性体の性能を十分に引き出すことができなかった。そこで当社は、ナノキュービック技術によりBaFe磁性体の性能を引き出し<sup>3)~9)</sup>、システムメーカーと共同で面記録密度6.7Gbit/in<sup>2</sup>および29.5Gbit/in<sup>2</sup>の技術デモンストレーション (以下技術デ

モ) を実現した<sup>4), 8)</sup>。Fig. 1にハードディスクとリニアテープシステムの面記録密度のトレンドを示す。2つの技術デモが達成した記録密度は、鈍化したりニアテープ商品の高記録密度化を、BaFe磁性体を用いることによって再度加速可能であることを示した。

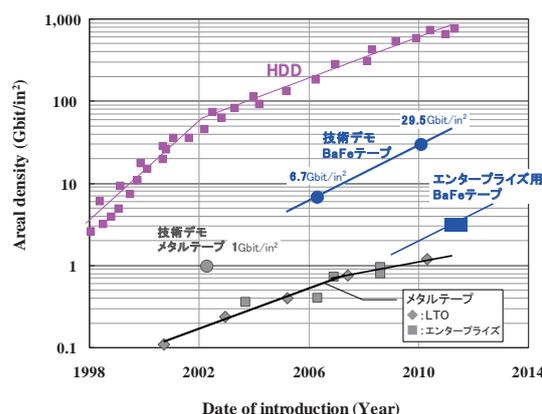


Fig. 1 Recording areal densities of general hard-disk drive and tape products, and the tape used in the demonstrations.

本誌投稿論文 (受理2012年12月28日)

\*富士フイルム (株) R&D統括本部  
記録メディア研究所

〒250-0001 神奈川県小田原市扇町2-12-1

\*Recording Media Research Laboratories  
Research & Development Management Headquarters  
FUJIFILM Corporation  
Ohgi-cho, Odawara, Kanagawa 250-0001, Japan

われわれは、この6.7Gbit/in<sup>2</sup>技術デモに導入した技術を応用し、高い信頼性が要求されるエンタープライズストレージ市場において、十分な実用性を持った高容量磁気テープを開発し商品化した。

## 2. 高記録密度テープの設計

塗布型磁気テープの記録密度向上に重要なナノキュービック技術、すなわち、①ナノパーティクル（磁性体の微粒子化）②ナノディスパージョン（磁性体の微細化分散）③ナノコーティング（磁性層の均一薄層化）の3つの技術によって記録密度向上を図り、かつ工業的に量産化できるレベルを達成した。

### 2.1 ナノパーティクル（磁性体微粒子化）

従来使用されてきたメタル磁性体の磁気異方性の起源は形状異方性である。その長軸長は以前には不可能と思われた領域以下にまで短く微粒子化し続けてきたが、さらなる微細化は、針状形状に由来する保持力の維持や酸化皮膜の維持がむずかしい領域になってきた。一方、BaFe磁性体の磁気異方性の起源は主に結晶磁気異方性であるため、微粒子化と高保持力化の両立が可能である。形状は六角板状粒子で磁化容易軸が板面に対して垂直方向にある。また酸化物であることからメタル磁性体に比べ空气中で安定である特徴を持っている。Table 1およびFig. 2に6.7Gbit/in<sup>2</sup>技術デモで開発したBaFe磁性体とLTO5用メタル磁性体の特性を示す。この板径21nmで体積がメタル磁性体より26%小さい微粒子BaFe磁性体をエンタープライズシステム用テープに採用した。

Table 1 Comparison between a metal particle and BaFe particle.

	Metal particle (LTO5)	BaFe particle
Size [nm]	37	21
Volume [nm <sup>3</sup> ]	2850	2100
Hc [Oe]	2380	2280
$\sigma_s$ [emu/g]	105	50

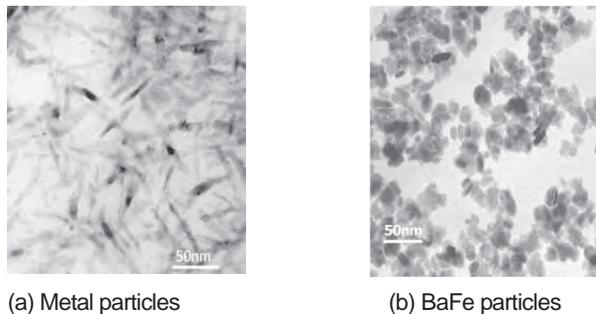


Fig. 2 TEM images of magnetic material: (a) Metal particles and (b) BaFe particles.

### 2.2 ナノディスパージョン（粒子の微細化分散）

磁気テープでは記録信号のノイズ成分を低減するために、磁性体の凝集を抑え均一に塗布することが重要である。磁性液の分散はセラミックやガラスなどの分散メディアを用いて行なうことがこの業界では一般的である。今回採用した超微粒子BaFe磁性体を均一に分散するために、従来よりも飛躍的に解砕効率を向上させた量産レベルの高分散ラインを設備化した。BaFe磁性体は磁化容易軸が板面に対して垂直であることからスタッキングしやすい性質があり、分散後の再凝集が発生しやすい。この問題を抑制するために、磁性体間にバインダーなどの有機素材を立体障害として吸着させる技術を導入した。磁性体粒子間に存在するバインダーは多いほうが立体障害を形成しやすいが、その反面、磁性体充填密度が低下するため記録性能が劣化する。そこでBaFe磁性体に適した分散剤とポリマー極性基を検討し、必要最小限のバインダーを高い吸着率で磁性体表面に均一に吸着させ、スタッキングによる再凝集を抑制することに成功した。

Fig. 3は分散後に支持体に塗布した磁性層表面のSEM像である。今回採用した技術で分散されたFig. 3 (b)は、従来分散条件 (a) に比べて磁性体粒子が均一に分離していることがわかる。

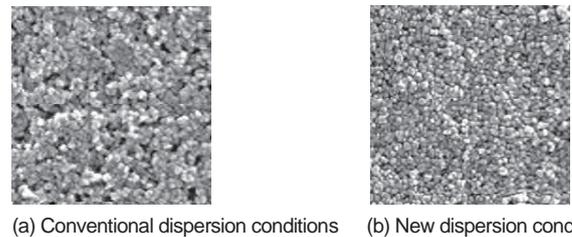
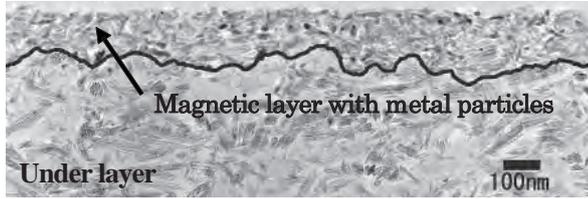


Fig. 3 SEM images of magnetic layer surfaces under (a) conventional dispersion conditions and (b) new dispersion conditions using nano-dispersion technology.

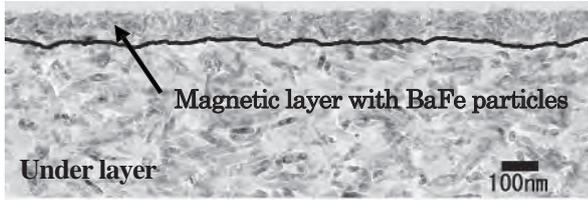
### 2.3 ナノコーティング（磁性層の薄層均一化）

記録密度の向上にはシャープな孤立反転波を得て記録信号の解像度を上げることが重要であるが、そのためには磁性層の薄層化が必要となる。当社は下層非磁性層と磁性層を同時に塗布して磁性層の薄層化を達成する技術(ATOMM技術)によって、1990年代の民生用ビデオテープHi8から、データストレージ用途であるDLTやLTOなどに至るまで一連の商品群を開発してきた。しかしながら、記録波長の短波長化が進み100nm以下の磁性層厚みが必要となったため、下層非磁性層と磁性層の界面の乱れによるノイズが電磁変換特性に影響しはじめた。界面変動は下層と上層の塗布液がその界面で混合することによって発現することから、塗布液のチキソトロピー性と塗布方式を見直すことによって、界面変動の小さい

薄層磁性層塗布を実現した。Fig. 4は、非磁性層と磁性層の界面の様子を観察したTEM断面図である。新たに導入した薄層塗布技術(b)によって形成された界面は、従来塗布方式 (a) にくらべて大幅にその変動が抑制されている。



(a) Conventional coating conditions



(b) New coating conditions

Fig. 4 Cross-sectional TEM images of interfaces between magnetic and non-magnetic-layer under (a) conventional coating conditions and (b) new coating conditions using nano-coating technology.

### 3. 耐久性設計

#### 3.1 摺動性と電磁変換特性の両立

磁気ヘッドとテープ表面の間に存在するスペーシングは磁氣的ロスとして記録再生性能を低下させる原因になる。このスペーシングの低減は特に短波長域におけるSNRの向上に効果が大いだが、一方で接触面積の増加により摺動摩擦力の増大を招く。今回開発したエンタープライズ用テープ、6.7Gbit/in<sup>2</sup>技術デモ用テープおよびメタル磁性体を用いたLTOG5製品の磁性層表面粗さと摩擦係数をTable 2に、表面粗さのプロファイルを図5に示す。表面粗さは、光干渉型表面粗さ計 (Optical Interferometric Profiler : OIP) による測定したものであり、Raは平均表面粗さ、Rzは十点平均粗さを表わす。摩擦係数は、磁気ヘッドを想定した表面粗さを持つAITiC材料に対しテープテンション0.98 (N)、テープ速度14mm/sの低速条件で評価した結果である。

Table 2 Surface roughness measured with optical interferometric profiler (OIP) and friction with AITiC bar.

	LTOG5	6.7Gbit/in <sup>2</sup> 技術デモ用テープ	エンタープライズ用テープ
Ra [nm]	1.7	1.3	1.4
Rz [nm]	35	23	20
20nm高さ突起数 (比率)	12	1	5
摩擦係数	0.30	> 0.5	0.28

6.7Gbit/in<sup>2</sup>技術デモ用テープは、磁性層表面性が非常に平滑であったため磁気ヘッドとのスペーシングが小さくSNRは良好だが、磁気ヘッドとの摩擦力が高い課題があった。そのためエンタープライズ用テープの開発にあたり、摺動性や耐久性を確保するために添加されるフィラーを従来より均一な粒度分布に制御することによって、RaやRzを6.7Gbit/in<sup>2</sup>技術デモ用テープと同様な値に維持し、かつ微小な表面突起だけを少量形成することができ、磁気ヘッド/テープ間の小さいスペーシングと摺動性能の両立を実現した。

Fig. 6に、再生トラック幅0.5umのGMRヘッドを用いた線記録密度275kfc/iにおける再生信号のスペクトラムを示す。6.7Gbit/in<sup>2</sup>技術デモ用テープと同等の低ノイズ性を確保しながら、立ち上がりの非常にシャープな出力が得られており、高いSNRを達成していることがわかる。

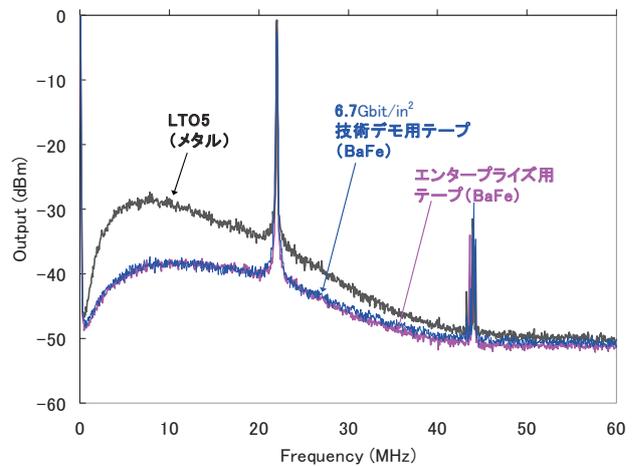
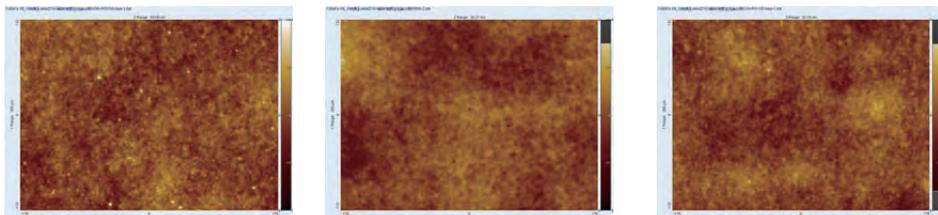


Fig. 6 Signal and modulation noise spectra.



(a) LTO5 (b) 6.7Gbit/in<sup>2</sup> 技術デモ用テープ (c) エンタープライズ用テープ

Fig. 5 Surface profiles measured with optical interferometric profiler.

### 3.2 長期保存性

磁気テープの保存性能を示す指標として、Battelle研究所によって開発された、腐食性ガスを用いた加速環境による保存試験 (Battelle Class II)<sup>10)</sup> が業界でも広く利用されている<sup>11), 12)</sup>。

Table 3に示すBattelle Class II環境下に、BaFe磁性体を用いたテープはその表面を保存環境中に露出した状態で、メタル磁性体を用いたテープは同様に表面を保存環境中に露出した状態とカートリッジに入れられた状態の二通りで、14日間 (加速比率はおおむね400～1,000倍であり<sup>13)</sup>、15～38年に相当する) 放置し、テープ表面の変化と、残留磁化と磁性層厚の積の変化を調査した<sup>9)</sup>。通常磁気テープはカートリッジ内で巻かれており、ほとんど外部の大気に接触することがないので、表面を露出した状態は相当過酷な環境である。メタル磁性体を用いたテープは、カートリッジ内 (リーダーテープ直後含めて) であればまったく腐食せず磁化量の変化もなかったが、表面を露出した状態で保存したテープの表面は腐食が観察され、磁化量も大きく低下した。しかしながら、その環境であってもBaFe磁性体を用いたテープの表面はほとんど変化することなく、Table 4に示すように磁化量も同一であった。この結果はBaFe磁性体の化学的安定性がきわめて高いことを意味している。今後さらに磁性体の微粒子化が必須となるなかで、BaFe磁性体はメタル磁性体に対してデータの長期保存安定性の観点で優れた性能を示した。

Table 3 Conditions for gas environmental test.

Cl <sub>2</sub> concentration	10ppb
NO <sub>2</sub> concentration	200ppb
H <sub>2</sub> S concentration	10ppb
Relative humidity	70%
Temperature	30°C

Table 4 Change in Mrt (remanent magnetization X thickness) value in Battelle Class II test.

	Before [mA]	After [mA]	Ratio
BeFe tape	3.1	3.1	1.00
Metal tape (LTO4)	19.5	12.5	0.64
Metal tape (in cartridge)	21.4	21.7	1.01

### 4. まとめ

2006年に行なった6.7Gbit/in<sup>2</sup>の技術デモから5年後の2011年に、そこで培ったBaFe磁性体とナノキュービック技術の融合を生産レベルで実現し、さらに耐久性を付与させることによって、エンタープライズデータスト

レージシステム用に高容量かつ高信頼性の磁気テープを上市した。その記録容量は前年に発売されたLTO5の約3倍に達し、鈍化傾向にあったテープシステムの記録容量拡張スピードを業界の期待以上に引き上げた。さまざまな情報端末が加速的に増加していくなかで、今後も高容量データストレージへのニーズは高まっていくと予想される。顧客の要求する記録容量、記録密度はすでにメタル磁性体では到達し得ない領域に入っており、BaFe磁性体を用いた磁気テープへの期待は大きい。当社はBaFe磁性体のさらなる性能向上、より高度な均一塗布技術、磁気ヘッドとテープのインターフェースに関する性能の改良によって、より高容量の磁気テープを開発していく。

### 参考文献

- 1) Fujiwara, T.; Isshiki, M.; Koike, Y.; Oguchi, T. Recording performances of Ba-ferrite coated perpendicular magnetic tapes. *IEEE Trans. Magn.* **18** (6), 1200-1202 (1982).
- 2) Kubo, O.; Ido, T.; Yokoyama, H. Properties of Ba ferrite particles for perpendicular magnetic recording media. *IEEE Trans. Magn.* **18** (6), 1122-1124 (1982).
- 3) Nagata, T.; Harasawa, T.; Oyanagi, M.; Abe, N.; Saito, S. A Recording Density Study of Advanced Barium-Ferrite Particulate Tape. *IEEE Trans. Magn.* **42** (10), 2312-2314 (2006).
- 4) Berman, D.; Biskeborn, R.; Bui, N.; Childers, E.; Cideciyan, R.D; Dyer, W.; Eleftheriou, E.; Hellman, D.; Hutchins, R.; Imano, W.; Jaquette, G.; Jelitto, J.; Jubert, P.-O.; Lo, C.; McClelland, G.; Narayan, S.; Ölçer, S.; Topuria, T.; Harasawa, T.; Hashimoto, A.; Nagata, T.; Ohtsu, H.; Saito, S. 6.7 Gb/in<sup>2</sup> Recording Areal Density on Barium Ferrite Tape. *IEEE Trans. Magn.* **43** (8), 3502-3508 (2007).
- 5) Ölçer, S.; Eleftheriou, E.; Hutchins, R.A.; Noguchi, H.; Asai, M.; Takano, H. Performance of Advanced Data-Detection Schemes on Barium-Ferrite Particulate Media. *IEEE Trans. Magn.* **45** (10), 3765-3768 (2009).
- 6) Matsumoto, A.; Murata, Y.; Musha, A.; Matsubaguchi, S.; Shimizu, O. High Recording Density Tape Using Fine Barium-Ferrite Particles With Improved Thermal Stability. *IEEE Trans. Magn.* **46** (5), 1208-1211 (2010).
- 7) Harasawa, T.; Suzuki, R.; Shimizu, O.; Ölçer, S.; Eleftheriou, E. Barium-Ferrite Particulate Media for High-Recording-Density Tape Storage Systems. *IEEE Trans. Magn.* **46** (6), 1894-1897 (2010).

- 
- 8) Cherubini, G.; Cideciyan, R.D.; Dellmann, L.; Eleftheriou, E.; Haeberle, W.; Jelitto, J.; Kartik, V.; Lantz, M.A.; Ölçer, S.; Pantazi, A.; Rothuizen, H.E.; Berman, D.; Imano, W.; Jubert, P.-O.; McClelland, G.; Koeppe, P.V.; Tsuruta, K.; Harasawa, T.; Murata, Y.; Musha, A.; Noguchi, H.; Ohtsu, H.; Shimizu, O.; Suzuki, R. 29.5 Gb/in<sup>2</sup> Recording Areal Density on Barium Ferrite Tape. *IEEE Trans. Magn.* **47** (1), 137-147, (2011).
  - 9) Shimizu, O. et al. Ba-ferrite Particulate Media for Linear Tape System. *J. Magn. Soc. Jpn.* **35**, 27-33 (2011).
  - 10) Abbott, W.H. The development and performance characteristics of mixed flowing gas test environments. *IEEE Trans. Components, Hybrids, Manuf. Technol.* **11** (1), 22-35 (1988).
  - 11) Sides, P.J; Spratt, G.; Kampf, J.P. An investigation of the archivability of metal particle tape. *IEEE Trans. Magn.* **30** (6), 4059-4064 (1994).
  - 12) Iwano, T.; Kobayashi, K. Improving the corrosion resistance of metal-evaporated tape using dicarboxy acid as a lubricant. *IEEE Trans. Magn.* **41** (10), 3010-3012 (2005).
  - 13) Abbott, D.C.; Frechette, R.A.; Haynes, G.; Romm, D.W. Shelf-Life Evaluation of Nickel/Palladium Lead Finish for Integrated Circuits. Texas Instruments Application Note (1998).  
<http://www.ti.com/lit/an/szza002/szza002.pdf>, (accessed 2012-12-26).

(本報告中にある“DLT”はQuantum Corp.の登録商標です。“LTO”はHewlett-Packard Ltd., International Business Machines Corp., Quantum Corp.の商標または登録商標です。“NANOCUBIC”, “Barium Ferrite”を含んだBarium Ferrite マークは富士フイルム (株) の登録商標です。)

# 高耐刷サーマルポジCTPシステム「XL-T」の開発

青島 徳生\*, 渡辺 則章\*, 藤井 重克\*\*, 有富 隆志\*\*\*,  
荒 陽一郎\*, 倉本 守\*, 田口 貴規\*\*\*\*, 安原 祐一\*\*\*\*\*

## Long Run Length Positive Thermal CTP System “XL-T”

Norio AOSHIMA\*, Noriaki WATANABE\*, Shigekatsu FUJII\*\*, Takashi ARIDOMI\*\*\*,  
Yoichiro ARA\*, Mamoru KURAMOTO\*, Yoshinori TAGUCHI\*\*\*\*, and Yuichi YASUHARA\*\*\*\*\*

### Abstract

We have developed a positive thermal CTP (Computer To Plate) plate “XL-T”, which employs high durability urethane resin for the photo sensitive layer. XL-T is suitable for long run length jobs, for example, printing of forms, ledgers, magazines, and so on. We have also formulated special developer “XL-D” and replenisher “XL-DR” for XL-T, which can be used in a highly concentrated state. Together with the apparatuses for reducing waste developer/rinse water “XR-2000/5000”, the XL-T system realizes reduction of waste solutions equal to that with the XP-series, which are standard positive thermal CTP systems.

### 1. はじめに

環境負荷の少ない印刷システムの採用などを促す日本印刷産業連合会のグリーンプリンティング認定制度など、印刷業界では環境負荷低減への取り組みが進められている。

当社では印刷版メーカーとして、産業廃棄物である現像廃液の排出量が少ないCTP (Computer To Plate) システムやCTP版の支持体であるアルミニウム廃材のク

ローズドループ・リサイクルシステム「PLATE to PLATE システム」の開発、および包装材料である外装の段ボール、内装の合紙やボール紙の使用量削減、などを行なってきた。

このなかでCTPシステムについては、まったく廃液のでない無処理CTPシステム「ECO & FREE SYSTEM XZ-R」や、現像廃液削減装置「XR-2000/5000」との組み合わせで大幅に現像廃液量を低減できるサーマルポジCTP版「XP-Series」などの、環境に配慮したCTPシス

本誌投稿論文 (受理2012年12月19日)

\*富士フィルム (株) 吉田南工場 開発センター  
〒421-0396 静岡県榛原郡吉田町川尻4000

\*Research & Development Center  
Yoshida-Minami Factory  
FUJIFILM Corporation  
Kawashiri, Yoshida-cho, Haibara-gun, Shizuoka  
421-0396, Japan

\*\*富士フィルムグローバルグラフィックシステムズ (株)  
技術一部

〒106-0031 東京都港区西麻布2-26-30  
富士フィルム西麻布ビル

\*\* Technical Support & Product Development Division #1  
FUJIFILM GLOBAL GRAPHIC SYSTEMS Co., Ltd.  
Fujifilm Nishiazabu Bldg.  
Nishiazabu, Minato-ku, Tokyo 106-0031, Japan

\*\*\*富士フィルム (株) R&D統括本部  
フラットパネルディスプレイ材料研究所  
〒418-8666 静岡県富士宮市大中里200

\*\*\* Flat Panel Display Materials Research Laboratories  
Research & Development Management Headquarters  
FUJIFILM Corporation

Ohnakazato, Fujinomiya-shi, Shizuoka 418-8666, Japan

\*\*\*\*富士フィルム (株) R&D統括本部  
エレクトロニクス マテリアルズ研究所  
〒421-0396 静岡県榛原郡吉田町川尻4000

\*\*\*\* Electronic Materials Research Laboratories  
Research & Development Management Headquarters  
FUJIFILM Corporation  
Kawashiri, Yoshida-cho, Haibara-gun, Shizuoka  
421-0396, Japan

\*\*\*\*富士フィルム (株) R&D統括本部  
有機合成化学研究所  
〒421-0396 静岡県榛原郡吉田町川尻4000

\*\*\*\* Synthetic Organic Chemistry Laboratories  
Research & Development Management Headquarters  
FUJIFILM Corporation  
Kawashiri, Yoshida-cho, Haibara-gun, Shizuoka  
421-0396, Japan

テムのラインアップを広げてきた<sup>1)</sup>。

しかし、伝票、帳簿や雑誌など、印刷部数の大きい高耐刷用途には対応するCTP版がなく、本報告の高耐刷サーマルポジCTP版「XL-T」の開発に至った (Photo 1, Fig. 1)。



Photo 1 Positive thermal CTP plate XL-T.

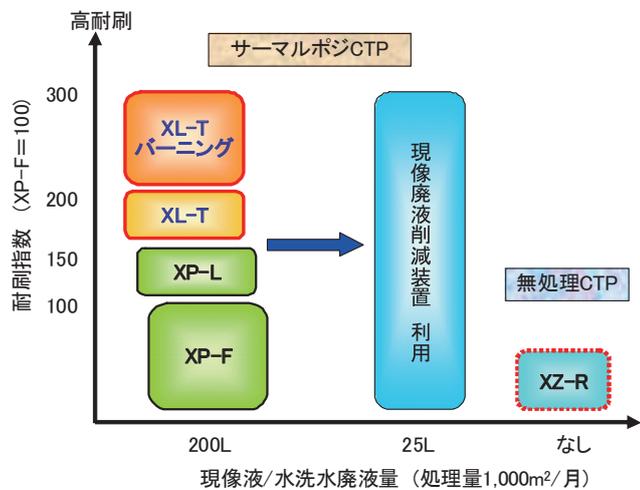


Fig. 1 Quality target for XL-T.

## 2. サーマルポジCTP版における耐刷性向上の課題

標準的な耐刷力を持つサーマルポジCTP版「XP-F」の感光層は重層構成をとっている。サーマルポジCTP版の画像形成は、ノボラック樹脂の水素結合を画像露光時に発生する熱により解除し、アルカリ現像液に対する溶解性を向上させることで行なわれている。しかしながら、アルミ支持体付近の感光層は支持体への熱拡散により露光時の到達温度が低く、十分な水素結合の解除が行

なわれずに低感度となる。このため、到達温度が高い上層が画像形成を担い、下層は未露光でも現像性を高く設計したアクリル系樹脂が用いられている。また、高感度に画像形成するために上層は薄く、かつ画像形成能力に優れるノボラック樹脂を用いる必要がある<sup>2)</sup>。ノボラック樹脂の耐刷性はアクリル樹脂に劣るため、上層の耐刷性への寄与率は下層の1/4にとどまる。

上層は画像形成を担うため、素材や塗布量の制約が大きく検討の余地が小さい。耐刷性への寄与が高く、また画像形成上の制約が少なく設計の自由度が高い下層の耐刷性向上を検討した。

下層の耐刷性を向上するには、アクリル樹脂の塗布量を上げることが最もシンプルな考え方であり、XP-Fの約1.5倍の耐刷性を持つXP-Lの耐刷力はこれにより実現している。しかし、下層の塗布量を上げることによる課題もある。下層は、現像液に浸漬されている12秒のうちに、露光部は現像により除去され、未露光部は画像部サイドより進入してくる現像液に侵されずに残る必要がある。よって下層の塗布量を上げる場合は、露光部と未露光部の現像速度差（ディスクリミネーション）をより大きくとらないと、露光部が現像除去しきれずに感光層が残存（残膜）して印刷汚れを引き起こしたり、未露光部の周囲が現像液に侵され画像面積が小さくなる、いわゆるサイドエッチングの問題が生じてしまう<sup>2)</sup> (Fig. 2)。

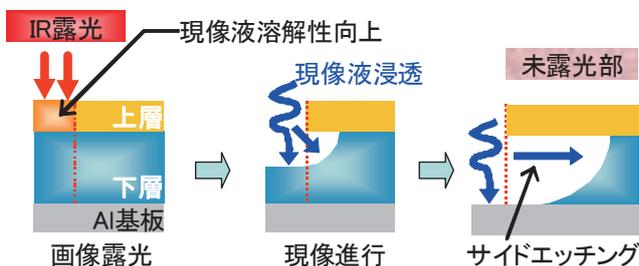


Fig. 2 Mechanism of side-etching.

XL-Tの目標であるXP-Fの約2倍の耐刷性を、すべて塗布量を上げることで達成するためにはアクリル樹脂の耐刷力とディスクリミネーションでは不足であり、下層に用いる樹脂の耐刷性を向上させ塗布量を抑える必要があった。

本報告では、耐刷性とディスクリミネーションを両立するための、CTP版XL-T、現像液「XL-D」および現像補充液「XL-DR」の設計について、詳細に報告する。

### 2.1 CTP版XL-T

耐刷性の高い樹脂には、印刷中に画像部の感光層にかかるインキローラーやブランケットからの応力に対してダメージを受けにくい特性が求められる。例えば、硬度を増して変形や磨耗を抑えたり、粘弾性を利用して応力を緩和するようなことが考えられる。今回、アクリル樹

脂と同じ現像性でも高い耐刷性を示し、検討した耐刷性の高い樹脂のなかでは現像性とのバランスに優れるウレタン樹脂を採用した。応力緩和の寄与が大きいと考えるウレタン樹脂は、硬く高密度な樹脂と比べ現像液の浸透性に優れ、現像性が有利になったと考える。また、フォトポリマータイプのCTP版で使用実績があることも、選択のポイントとなった。

アクリル樹脂にかえて下層にウレタン樹脂を用いる場合、改良すべき課題は、ディスクリミネーションとUVインキ耐刷性の2点である。ディスクリミネーション不足の原因は、上層のノボラック樹脂と下層のウレタン樹脂の極性が近いため、上層塗設時の塗布溶媒に下層を溶解しない溶剤を選択できず層が混合してしまうこと、および下層に溶解抑制効果がないことである。UVインキ耐刷性不足の原因は、UVインキとウレタン樹脂の極性が近く、ウレタン樹脂がUVインキのダメージを受けやすいことである。改良するためには、ノボラック樹脂やUVインキの極性から遠ざけ、XP-Fで用いるアクリル樹脂のように、より高極性側に設計することが重要であった (Fig. 3)。

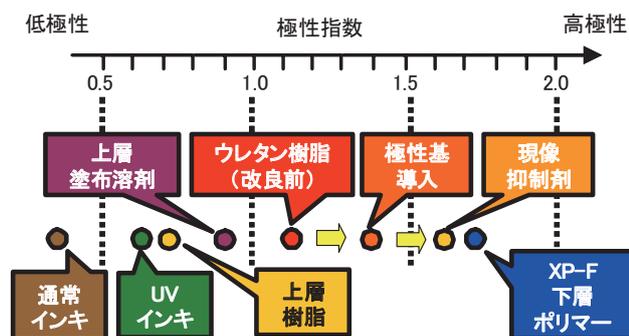


Fig. 3 Process of enhancing dipole moment.

高極性にするために、二つの施策を用いた。

一つは、XP-Fの下層で用いるアクリル樹脂に高極性の特性を付与する構造を、ウレタン樹脂に導入することである。この構造はアルカリ現像液に対する溶解性を向上する機能も兼ねるため、現像性を損ねることがなく導入量の制約が小さいことが特長である。これにより、UVインキ耐刷性は目標レベルに到達した。しかし、上層塗設時の層混合は抑制できず、ディスクリミネーションは改良されなかった。

二つ目は、ウレタン樹脂の酸基とのイオンの相互作用の形成である。これによりさらに極性を高めることができ、層混合は改良された。

また、この相互作用の形成により酸基が保護されるため、ウレタン樹脂の現像液に対する溶解性を抑える現像抑制効果も発現する。上層のノボラック樹脂と同様に、画像露光で発生する熱によりこの現像抑制効果が解除されるため、下層にディスクリミネーションを付与することができる。

この現像抑制剤の極性、分子サイズ、および親疎水性を最適化することでディスクリミネーションを最大化し、後述する専用現像液との組み合わせにより、残膜やサイドエッチングのないXP-F同等の感度を有するCTP版を設計することができた。

Fig. 4に現像抑制剤を下層に添加した場合のディスクリミネーション拡大効果を示す。添加量に比例し、未露光部の感光層が現像液に侵されない時間が延びていることがわかる。

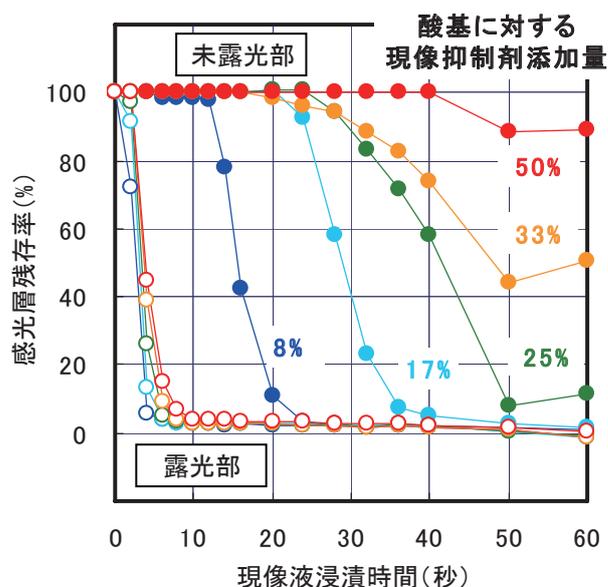


Fig. 4 Effect of development inhibitor.

Photo 2にAMスクリーンの50%網点の電子顕微鏡写真を示す。改良前にはサイドエッチングにより網点サイズが小さくなり、画像部の縁に残った上層のひさしが折れてカスになっていたものが、改良されていることがわかる。

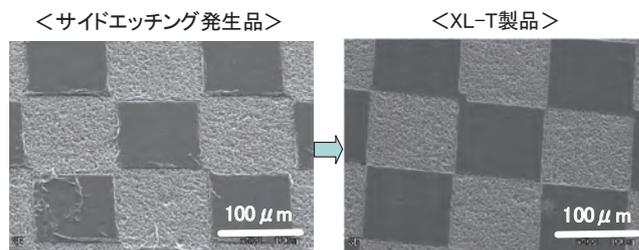


Photo 2 Effect of side-etching control.

また、ウレタン樹脂は現像後に行なわれる加熱処理 (バーニング) の温度領域で熱硬化性を示すように構造設計している。この効果により耐刷性はさらに1.5倍以上向上し、UVインキやその洗浄剤などに対する耐性も大幅に向上する。仕事の内容によりバーニング処理を選択できることは、XL-Tの特長の一つである (Fig. 1)。

## 2.2 現像液XL-D, 現像補充液XL-DR

耐刷性の高いウレタン樹脂は、前項で述べた技術を導入しても、XP-Fで用いるアクリル樹脂と比較してディスクリミネーションが不足し、現像液への分散性も劣る。このため、XP-F用の現像液XP-Dで現像すると、現像が遅れて感光層カスが残る残膜が発生する。逆に露光部の残膜発生を抑制するために露光部現像性を上げる設計とすると、未露光部の現像液耐性が不足し溶解が発生する (Fig. 5)。

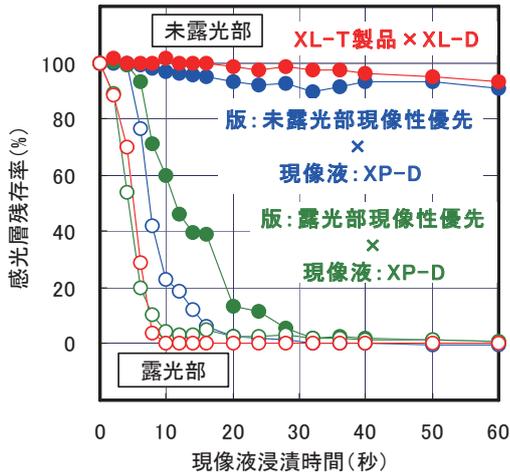


Fig. 5 Discrimination of developed and undeveloped areas.

この関係から抜け出すために、現像液側からディスクリミネーションの拡大を図った。

現像液として、未露光部の現像は抑制し、露光部の現像を促進する特性が必要となる。この特性を現像活性調整剤で実現した。この素材は、未露光部では上層のノボラック樹脂表面と相互作用し現像液の浸透を抑制する。一方で、露光部では現像性が向上したノボラック樹脂の溶解が優位となり上層の現像が進む。さらに下層に現像液が浸透したところでウレタン樹脂と相互作用し、下層の溶解、拡散を促進する。現像抑制、現像促進の相反する特性を、上層および下層の樹脂との相互作用力を適切に制御することで実現している (Fig. 5, Fig. 6)。

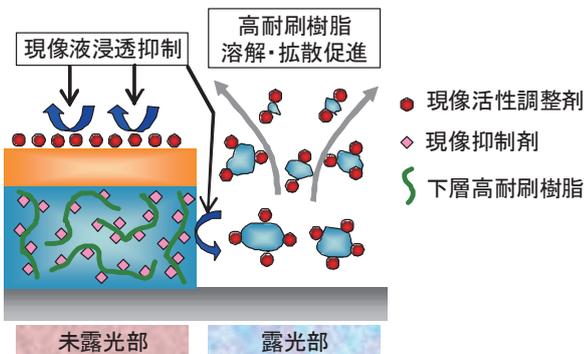


Fig. 6 Development mechanism of XL-T.

Fig. 7に現像液に浸漬したXL-Tの、感光層の溶解・拡散シミュレーションの結果を示した。XP-Dでは現像性が不十分なため、感光層が塊状に拡散しながら現像が進行するのに対し、XL-Dではきれいに溶解していることがわかる。

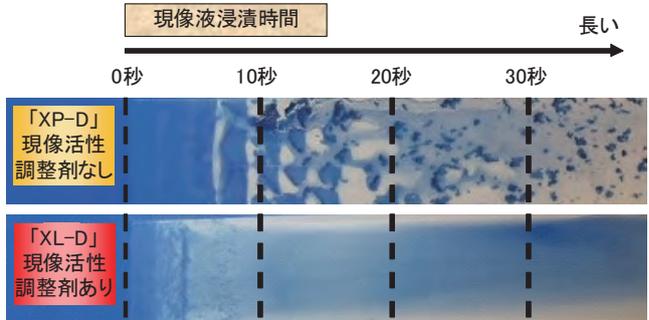


Fig. 7 Dispersion promoting effect of XL-D.

現像された感光層の現像液中での安定性にも優れるため、自動現像機内の汚れも少ない。Photo 3に長期連続使用のテストを実施した前後の自動現像機の現像浴の状態を示す。テスト後も感光層のカスはなく、洗浄は水で流すだけで十分であり、現像液交換時のメンテナンス性に優れる。

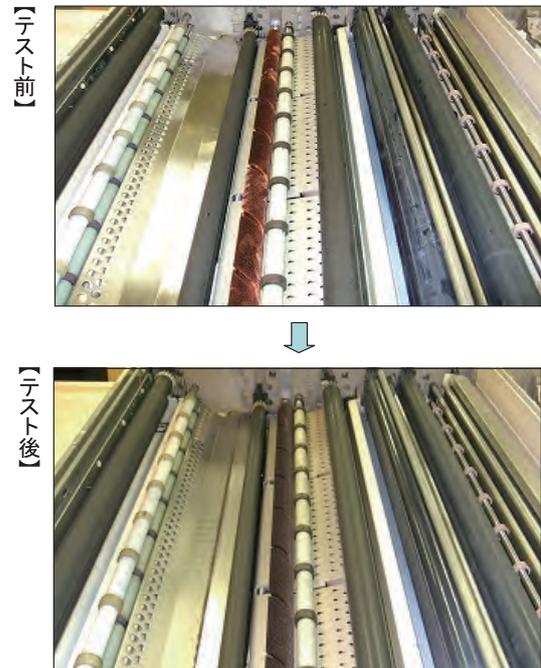


Photo 3 XL-D keeping developer bath clean.

また、XP-Seriesの特長である現像廃液量の少なさを実現するため、現像活性調整剤は高pHでイオン濃度が高い条件でも塩析しにくいものを選択した。この特性により、現像補充液XL-DRの高濃度化が可能となり、オー

バーフローの廃液量を削減することができる。減圧蒸留により現像廃液を濃縮する現像廃液削減装置XR-2000/5000についても、水洗水廃液とあわせて約1/8の量まで濃縮を可能とした (Fig. 8)。



Fig. 8 Systematic view of reducing waste developer/rinse water.

### 3. おわりに

本報告のXL-Tは、産業廃棄物となる現像廃液の排出量を従来品同等に抑えながら、耐刷性を大幅に向上させた。さらにバーニング処理も可能で、伝票、帳簿や雑誌など印刷部数が多い仕事に最適なCTP版である。

これで、環境に配慮したサーマルポジCTP版のラインアップが完成し、商業印刷市場を広くカバーできるようになった。これらの商品で、印刷業界の環境負荷低減に貢献できることを期待している。

### 参考文献

- 1) 青島徳生, 渡辺年宏. 環境対応サーマルCTPシステム「ECONEX」の開発. 富士フィルム研究報告. No.56, 16-19 (2011).
- 2) 河内幾生, 中村一平. 重層型サーマルポジCTPプレートの高機能化. 富士フィルム研究報告. No.51, 48-51 (2006).

(本報告中にある“ECONEX”, “PLATE to PLATE”は富士フィルム(株)の登録商標です。)

# ソフトウェア開発プロセスの改善効果予測と制御技術の確立

本多 八郎\*, 相磯 正司\*\*, 鈴木 圭一\*

## Controlling a Software Development Process by Predicting the Effect of Improvements

Hachiro HONDA\*, Masashi AISO\*\*, and Keiichi SUZUKI\*

### Abstract

We have established a continuous quality improvement process by applying the Capability Maturity Model Integration (CMMI) method to our software development activities. The process consists of the following steps: (1) analyzing the key performance indicators of each development phase, (2) predicting the effect of improvements based on the analysis, and (3) monitoring and controlling the quality and cost. In upgrading from the CMMI level 4 to level 5, we focused on improvement of quality in the early development phases and achieved three times better quality in system tests.

## 1. はじめに

富士フィルムでは医療を始めとする多業種分野で、高性能・高性能な製品を提供するための、ソフトウェアが必要不可欠な技術になってきている。さらにIT技術革新やソフトウェアシステムの巨大化・複雑化が進み、ソフトウェア開発力が一段と重要になったため、ソフトウェア開発管理、品質管理技術向上が求められている。

このような状況のもと、富士フィルム(株)ソフトウェア開発センターと富士フィルムソフトウェア(株)(以下われわれと略す)が共同で、QCD(Q:品質, C:コスト, D:期間)を改善するために、世界で広く認められているCMMI(Capability Maturity Model Integration)<sup>1)</sup>のモデルを参考に、ソフトウェア開発プロセス改善を積み重ねている。

「X線画像診断システム用画像処理ユニットの開発組織」(以下、「医療系コンソール開発組織」と略す)を対象に、2010年3月に高成熟度モデルCMMIレベル4(以下L4と略す)の認定を受け、その成果を研究報告書「ソフトウェア開発における統計的プロジェクト管理手法の

導入と実践」<sup>2)</sup>として報告したが、今回、プロセスの管理手法をさらにブラッシュアップし、CMMIレベル5(以下L5と略す)の認定を獲得した。

L4からL5へ開発プロセスをブラッシュアップするために実施した改善活動の一部として、組織のデータ分析、改善施策の効果予測、品質と工数の監視・制御技術を、改善目標と改善活動の狙い、プロセス改善活動の取り組み、改善効果の確認、得られた制御技術の成果を踏まえて報告する。

## 2. 改善目標と改善活動の狙い

はじめにビジネス面から見た改善目標と、改善活動の狙いを明確化し、組織内で共有化した。

### (1) ビジネス面から見たプロセスの改善目標

L4の達成に至るプロセス改善で、すでに開発コストを1/2以下に削減する実績を上げた。今回のL5に向けた改善では、「継続的なプロセス改善を組織的に定着させる」ことを主たる目的としたことから、L4段階からさらに品質を向上しつつ、5%の生産性向上を目標に設定した。

本誌投稿論文(受理2012年11月28日)

\*富士フィルム(株)R&D統括本部

ソフトウェア開発センター

〒222-0033 神奈川県横浜市港北区新横浜2-10-23

\*Software Research & Development Center

Research & Development Management Headquarters

FUJIFILM Corporation

Shin-yokohama, Kouhoku-ku, Yokohama, Kanagawa

222-0033, Japan

\*\*富士フィルムソフトウェア(株)ソフトウェア技術本部  
〒222-0033 神奈川県横浜市港北区新横浜2-10-23

\*\*Software Corporate Engineering Division

FUJIFILM Software Co., Ltd.

Shin-yokohama, Kouhoku-ku, Yokohama, Kanagawa

222-0033, Japan

(2) 工数削減の考え方と改善活動の狙い

品質向上とコスト（工数）は相反する要素ととらえがちであるが、われわれは、L4の達成時に確立していた統計的な組織ベースライン分析の結果、上流での品質を向上すれば、全体として修正工数が少なくなり工数削減に繋がることわかった。そのため改善活動の狙いとして「上流工程の品質向上」に注目した。

3. プロセス改善活動の取り組み

目標とした5%の生産性向上効果を上げるために、組織の実績データの分析と改善予測から工程ごとに管理目標値を設定し、対策の監視までのプロセス改善活動に取り組んだ。

(1) 改善策の予測値

i) 組織のデータ分析と改善策の抽出

改善活動を行なった「医療系コンソール開発組織」の各プロジェクトがバージョンアップ開発であったことから、改善するための分析対象を、前バージョンの「最終評価のシステムテストでの不具合と、市場で発生した不具合」とした。

- a) 「最終評価のシステムテストでの不具合と、市場で発生した不具合」の原因として多い項目の特性要因図を作成し、その根本原因を分析した (Fig. 1)。

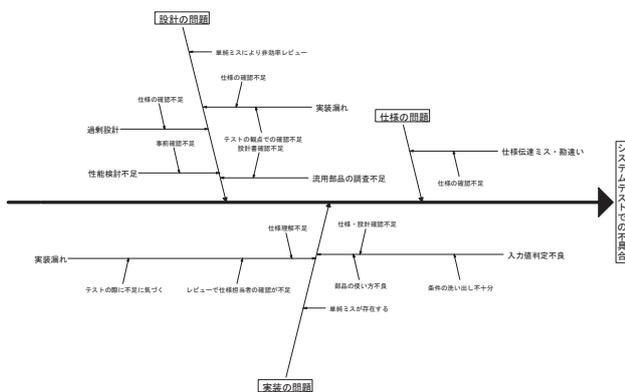


Fig. 1 Cause and effect diagram (fishbone diagram).

- b) a) の根本原因を系統図にまとめ、対応策を挙げ、その効果と実現性を評定して、実施すべき対応策として点数の高いものを選択した (Fig. 2)。

項目	原因	対策	効果	実現性	優先度	備考
設計の箇所	単独レビューによる見落とし	複数レビュー実施	高	高	高	
	仕様確認不足	仕様確認徹底	高	高	高	
	通称設計	通称設計禁止	高	高	高	
	性能検証不足	性能検証実施	高	高	高	
仕様の箇所	実装漏れ	仕様確認徹底	高	高	高	
	テストの観点での確認不足	テスト観点での確認徹底	高	高	高	
	設計書確認不足	設計書確認徹底	高	高	高	
	汎用部品の調査不足	汎用部品の調査徹底	高	高	高	
実装の箇所	仕様の誤り	仕様確認徹底	高	高	高	
	仕様の誤り	仕様確認徹底	高	高	高	
	製品の誤り	製品確認徹底	高	高	高	
	条件の誤り	条件確認徹底	高	高	高	

Fig. 2 Causes and countermeasures.

ii) 改善策の加算

単独の対応策実施による改善効果1つ1つは大きくはないが、因果関係が独立な施策を対策範囲の規模の重みに換算して加算すると改善効果は大きくなる。この考えに沿って、過去の統計データをベースとした工程ごとに改善効果の加算が見えるツールを開発した (Table 1)。ツールで試算した結果、Table 1の「合計%」のように、狙いどおりに上流工程で不具合を先行して抽出すれば、下流工程で不具合を減らすことが可能であることが予測できた。

Table 1 Degree of quality improvements.

工程	工程1	工程2	工程3	工程4	工程5	工程6
施策A	11%	11%	11%	-17%	-17%	-17%
施策B						-16%
施策C		6%			-6%	
施策D					-5%	-7%
施策E	-4%	-2%	-15%			
合計%	6%	15%	-4%	-17%	-28%	-39%

iii) 改善施策効果の簡易予測

平均の差の検定はt-検定を用いて実施するが、毎回正規な手法で実施すると、効果の算出に時間を要するため、改善施策の効果が出ているかどうか簡単に確認できるツールを新たに追加した (Table 2)。これにより、改善施策が統計的に有意差があるほど効果的かどうかを瞬時に予測できる。

Table 2 Simplified version of t-Test.

1. 平均値の差の場合 (t-検定)	
有意水準 $\alpha$	5%
自由度 $\phi$	23
併合分散 $V$	146.17
統計量 $ t_0 $	2.77
$t(\phi, \alpha)$	2.07
$ t_0  \geq t(\phi, \alpha)$ ?	yes (有意差あり)

iv) 採用した予測値

複数の施策による改善効果が、組織のプロセス改善活動の目標に届き、かつ有意差があるほど効果的かを事前に確認するために、ii) の改善策の加算と、iii) の改善施策効果の簡易予測を繰り返した後、最終的な改善施策を採用した。その上でシステムテスト時のソフトウェアの品質がどれくらい改善するかの目標をL4と比較して、システムテストの不具合密度 [件/千ステップ] を以下とした (Table 3)。

Table 3 Estimation of expected improvements in quality.

対象工程	システムテスト
不具合密度の改善目標	L4比 -48%

同様に、システム設計からシステムテストまでの総修正工数 [時間/千ステップ] の改善目標を以下とした (Table 4)。

Table 4 Estimation of expected improvements in performance.

	システム設計～システムテストまでの総修正工数合計
総修正工数の改善目標	L4比 -46%

## (2) 対策効果の監視

実績データが予測の管理幅内で推移するかどうかの監視を以下の i) から iii) の方法で実践した。i) と ii) は L4 から実施している既存技術で、iii) は新規に追加した監視技術である。

### i) プロジェクトごとの工程内品質の監視

各プロジェクトのシステム設計以降の全工程で、サブシステムごとに不具合を確認した (Fig. 3)。そのなかで目標値の幅を逸脱する場合にはその原因を特定し、対策するという方法で監視を続けた。なお、今回の「医療系コンソール開発組織」の開発では一部で既存のソフトウェア部品の流用により、下限値を下回る事例が見られた以外は、管理幅からの逸脱はなく安定していたため、対策や目標値再設定の必要はなかった。

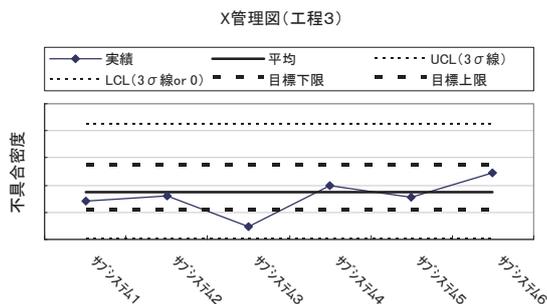


Fig. 3 Quality control graph in a process.

### ii) 予測モデルを使った累積品質の監視

プロジェクトごとの各工程で、累積不具合予測モデルを使い、累積不具合が管理幅に入っているかどうかの監視を行なった (Table 5)。そこで、逸脱の予測結果が出た場合には品質の目標を見直すことができる。今回はここでの管理幅の逸脱は観測されず安定しており、予測モデル再設定の必要はなかった。

Table 5 Quality monitoring by our prediction model.

使用工程	予測モデルの工程	定数項	工程1	工程2	工程3	工程4	工程5	工程6	合計 [件/ks]	予測区間 (70%) 上限	予測区間 (70%) 下限
工程2	最終										
工程3	最終										
工程4	最終										
工程5	最終										

### iii) 組織の改善効果実績データの監視

「医療系コンソール開発組織」全体で、品質と生産性 (総修正工数) の実績データの推移を週単位に確認した。このために開発した監視ツールを使い、複数のプロジェクトの各サブシステムの品質を入力することにより、組織目標値の管理幅以内かどうかを確認できる (Fig. 4)。

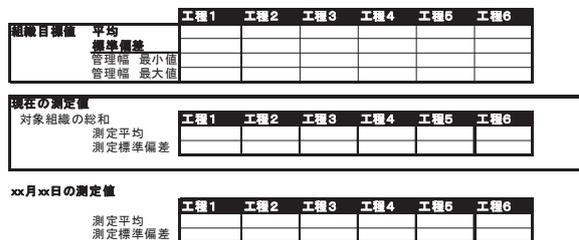


Fig. 4 Weekly monitoring of the organization's target.

## 4. 改善効果の確認

全プロジェクトの開発終了後、「3. プロセス改善活動の取り組み」の結果を検証した。

### (1) 品質の改善施策の効果確認

品質の改善予測に対して結果は Table 6 のとおりとなった。より修正工数のかかるシステムテスト工程での不具合密度が L4 比で、平均 69% 下がり、品質が改善していることを確認した。標準偏差の比も L4 を 1 とすると 0.35 に狭まり安定性が向上した。これは種々の施策の結果としてシステムテストでの不具合件数が大幅に減少したためである。

Table 6 Results of quality improvements.

対象工程	システムテスト	参考
不具合密度の改善目標	L4比 -48%	標準偏差の比 1 → 0.35
不具合密度の改善結果	L4比 -69%	

また、L4 と L5 でシステムテストの不具合密度を t-検定すると、5% 水準で有意差が認められるため、品質において統計的にも改善効果があったことが証明できている (Fig. 5)。

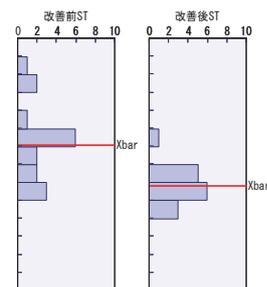


Fig. 5 t-test for quality improvements.

## (2) 総修正工数に対する改善施策の効果確認

総修正工数の予測に関して、結果はTable 7のとおりとなった。上流工程施策で品質を向上できたことと、施策「ソフトウェア構造の改革」により、「システムテスト」の修正工数が削減できたため、総修正工数（システム設計以降の各工程の不具合密度と修正時間を掛け合わせた総和）でもL4比で、平均62%下がり、改善施策効果が見られた。予測値は最低限の効果予測で見積もっていたため、結果として修正工数が予測値より、よい値となっている。標準偏差の比もL4を1とすると0.84に狭まり安定性が向上した。これは改善施策により解析時間が短くなり安定したことが原因である。

Table 7 Results of performance improvements.

	システム設計～システムテストまでの総修正工数合計	参考
総修正工数の改善目標	L4比 -46%	標準偏差の比 1→0.84
総修正工数の改善結果	L4比 -62%	

また、総修正工数をt-検定すると5%の水準で有意差が認められるため、生産性（修正工数）において統計上の改善効果があったことが証明できている（Fig. 6）。

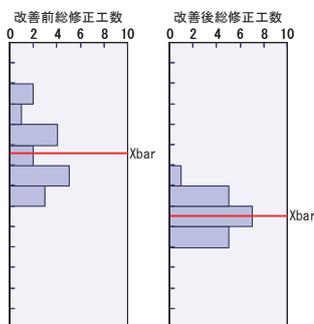


Fig. 6 t-test for performance improvements.

## (3) ビジネス上の効果

一連の改善施策と監視の結果、開発工数平均は6%の削減になっており（Fig. 7）、5%の生産性向上の目標を達成し開発費削減に貢献できた。

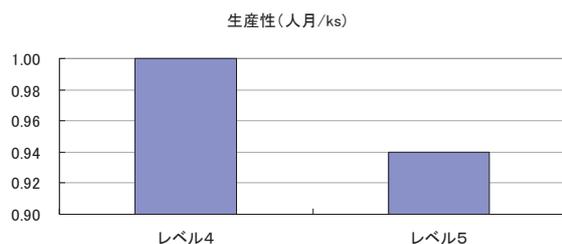


Fig. 7 Productivity improvements from CMMI-L4 to L5.

またL4からL5への活動で、システムテストでの品質は不具合密度の値で3倍に向上した（Fig. 8）。

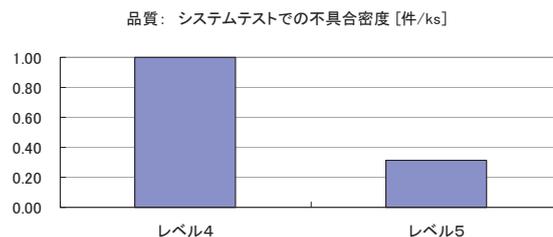


Fig. 8 Quality improvements from CMMI-L4 to L5.

## 5. 得られた制御技術の成果

プロセス改善活動をとおり、L4達成時と比較して予測から監視までの制御技術確立の成果が得られた。

- 改善策の効果予測技術
  - ・改善策を加算した改善効果の予測手法が確立できた。
  - ・品質と生産性について統計的な効果の有無を事前に予測する手法が確立できた。
- 組織全体の目標設定から監視までの制御技術

## 6. まとめ

CMMIのモデルを参考に、2002年以来ソフトウェア開発プロセス改善を積み重ねてきた。今回さらにCMMIの高成熟度モデルを「医療系コンソール開発組織」に導入することで、組織のデータを分析し、複数の改善施策の効果を統合的に予測し、品質と工数を監視する制御技術を確立した。

公式アプレイザルにて2011年12月にCMMI (V1.3) -L5（最適化している段階）を達成できたと同時に生産性向上目標を達成し開発工数削減に貢献することができた。

改善は現在も進行中であり、今後L5を達成した「医療系コンソール開発組織」のソフトウェア開発プロセスにおけるノウハウや仕組みを、社内のソフトウェア開発プロセスの改善に適用して、開発組織全体のレベルアップに繋げていく。

## 参考文献

- 1) カーネギーメロン大学ソフトウェアエンジニアリング研究所. CMMI for Development, Version 1.3 (2010).
- 2) 相磯正司ほか. ソフトウェア開発における統計的プロジェクト管理手法の導入と実践. 富士フイルム研究報告. No.56, 31-34 (2011).

(本報告中にある“CMMI”は、米国・カーネギーメロン大学の登録商標で、同大学のソフトウェアエンジニアリング研究所が開発した、開発組織のプロセス成熟度を5段階で評価する指標です。)

# 電子コミック向け画像処理技術の開発とその応用

野中 俊一郎\*, 寺横 素\*, 沢野 哲也\*, 羽田 典久\*

## Development of Image Processing Technologies Used for Creation of Digital Comics and Their Application

Shunichiro NONAKA\*, Hajime TERAYOKO\*, Tetsuya SAWANO\*, and Norihisa HANEDA\*

### Abstract

We have developed image processing technologies for digital comics (e-comic) creation and distribution. In this paper, we introduce “GT-Smartone” (moiré-less image resizing technology), “GT-ComicEncoder” (highly efficient comic image compression technology), “GT-Balloon” (automatic speech balloon detection technology) and “GT-Translate” (automatic digital comic translation technology).

### 1. はじめに

近年、電子書籍が大きな関心を集めている。このなかで当社は蓄積された画像処理技術を活かして、特に画像が重要な要素となる電子コミック向けの画像処理技術を開発し、これら技術を搭載したソフトウェアを中心に電子書籍の制作や閲覧を効果的に行なうための商品やサービスを提供する事業を実施している。

電子コミック向けの画像処理技術には、Fig. 1に示すとおり自動コマ検出技術「GT-Scan」<sup>1)</sup>など「画像解析技術」と電子書籍に用いられる画像を高品質に変換する「画像変換技術」からなる「要素技術」とそれらを活用した「応用技術」がある。

本報告では、2.で「要素技術」を紹介し、3.でそれらを活用した「応用技術」を紹介するとともに、4.でまとめと今後の課題などについて解説する。

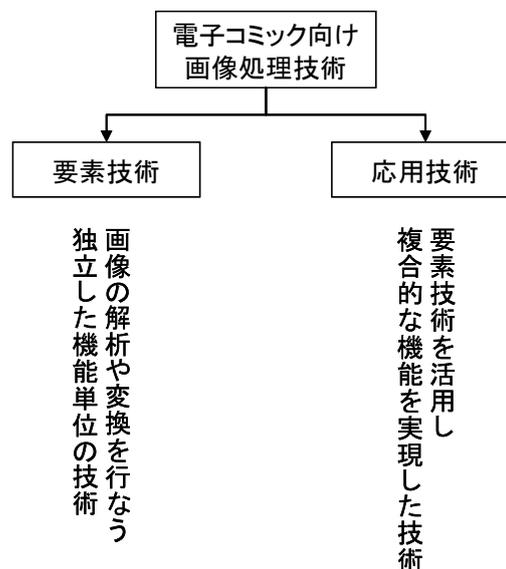


Fig. 1 Image processing technologies used for e-comics.

### 2. 電子コミック向け要素技術の開発

電子コミック向けの画像処理要素技術は、Fig. 2で示すように「画像解析技術」と「画像変換技術」に大別される。当社ではこれまでに、「画像解析技術」の一つである自動コマ検出技術GT-Scanを開発し<sup>1)</sup>、当社製品「GT-EpubAuthor for Fixed Layout」<sup>2)</sup>に搭載し、さまざまな場面で電子書籍制作・配信に活用いただいていた。

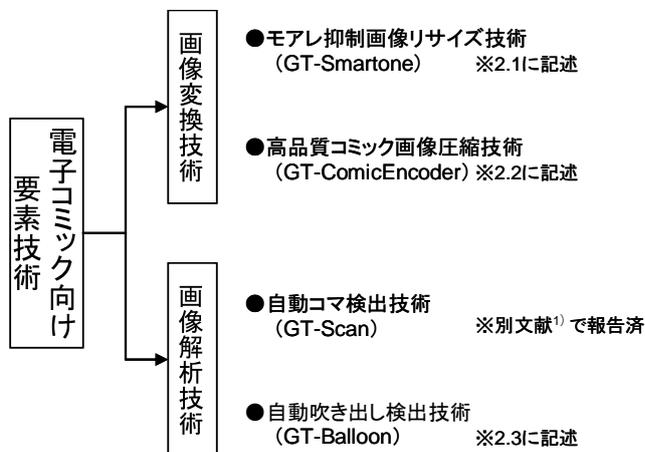


Fig. 2 Component technologies for e-comics.

本誌投稿論文（受理2012年12月25日）

\*富士フイルム（株）ネット応用ビジネス推進部  
〒107-0052 東京都港区赤坂9-7-3

\*Internet Business Development Division  
FUJIFILM Corporation  
Akasaka, Minato-ku, Tokyo 107-0052, Japan

本報告では、「画像変換技術」に関して2.1でモアレ抑制画像リサイズ技術「GT-Smartone」および2.2で高品質画像圧縮技術「GT-ComicEncoder」について紹介し、「画像解析技術」に関して2.3で自動吹き出し検出技術「GT-Balloon」を紹介する。

## 2.1 モアレ抑制画像リサイズ技術GT-Smartoneの開発

コミックを制作する際には、濃淡を表現するためにしばしばスクリーントンなどの網点 (Half Tone) が用いられる。電子コミックが制作から閲覧される工程のなかで、デジタルの工程あるいはオーサリング工程や閲覧時の表示の工程などでリサイズなどの画像処理が行なわれるが、その際に網点の画像処理に関して「モアレ」と呼ばれる画質劣化が発生することが問題となっていた (Fig. 3)。

「モアレ」を抑制する技術は、印刷向けを中心にさまざまな技術が知られているが<sup>3)</sup>、電子コミック向けにおいては、

- 入力されるオリジナル画像解像度と中間保存される解像度、閲覧時に使用される解像度のバリエーションがきわめて多い。
- デジタルの過程で、「カラー/モノクロ」「二値/多階調」など異なる性質を持つ画像フォーマットを経る可能性がある。
- 一般的に、閲覧時に用いられる端末では汎用的なりサイズ処理が採用されるため、モアレ発生が避けられない。
- 一般的に、「モアレ抑制」と「シャープネス確保」は、シャープネスが期待されるエッジを大量に含むコミックでは両立が困難。

といった多くの課題があり、これらを満たす電子コミックに適したモアレ抑制ソリューションが存在しなかった。

特に電子コミック制作工程のリサイズ処理におけるモアレの発生が最も重要な問題であるため、われわれは、これまで長年にわたって蓄積してきた画像処理技術を活用し、電子コミック向けモアレ抑制リサイズ技術を開発することとした。電子コミック向けモアレ抑制リサイズ技術には、

- 入出力や処理過程のバリエーションに対してロバスト性を持つこと。
- 将来的に閲覧端末に搭載することを想定して、極力演算量を抑えること。
- 「モアレ抑制」と「シャープネス確保」のトレードオフに対して最適バランスを確保すること。

が期待される。そこでわれわれは、①電子コミックにおける網点の統計的性質を徹底的に分析するとともに、②閲覧に用いられる端末の性質を検討し、③演算量抑制とモアレ抑制/シャープネス特性の特徴を持つ、電子コミックに適したリサイズ技術GT-Smartoneを新規に設計・開発することに成功した。

Fig. 4にGT-Smartoneによるリサイズ結果と電子書籍制作の工程で最も一般的に使われているフォトタッチ

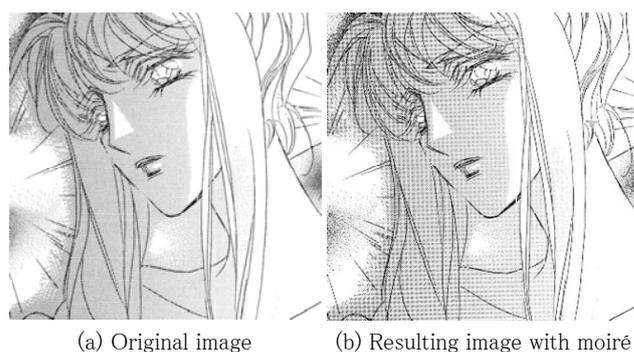


Fig. 3 Sample of moiré.



(a) Result with GT-Smartone



(b) Result with popular tool

Fig. 4 Effectiveness of GT-Smartone.

ソフトウェアによるリサイズ結果の比較を示す。Fig. 4より、GT-Smartoneでは滑らかに処理され、モアレが抑制されていることがわかる。

われわれは、当社製品電子コミック画像変換システム「GT-Quality」<sup>4)</sup>への当技術搭載を計画しているとともに、スマートフォン・タブレット・電子書籍専用端末への当技術展開も検討している。

## 2.2 高品質画像圧縮技術GT-ComicEncoderの開発

電子コミックの多くは、ネット回線を通じて提供され、端末のストレージに蓄積される。この際、可能な限り少ない容量で高画質を確保することが必要となる。電子コミックは、画像データの集合体として提供されることが多く、そのほとんどのケースでJPEG形式<sup>5)</sup>で圧縮されている。ところがJPEG圧縮技術は「写真」の圧縮を主要として想定されているため、写真とはデータの傾向が違うコミック画像の圧縮では圧縮効率が十分ではなかった。

われわれは、非常に多数の「コミックをスキャンした画像」の統計的あるいは視覚的な性質を分析し、それに基づきコミック画像に最適化され、かつ汎用的なJPEGを扱えるビューアで解凍可能なJPEGデータを生成可能なエンコーダGT-ComicEncoderを開発した。

Fig. 5に、GT-ComicEncoderと一般的なフォトタッチソフトウェアで作成した画像ファイルのファイル容量と画質（平均二乗誤差）の比較を示す。Fig. 5からわかるように、一般的なフォトタッチソフトウェアと比較して、GT-ComicEncoderは同等の画質においてファイル容量を5～15%程度削減できることがわかる。

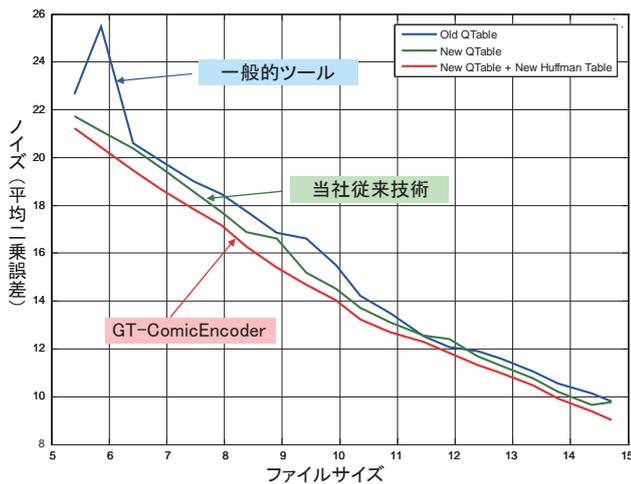


Fig. 5 Effectiveness of GT-ComicEncoder.

われわれは、当社製品の電子コミック画像変換システムGT-Qualityに当技術を搭載しており、多くの利用者様よりご好評をいただいている。

## 2.3 自動吹き出し検出技術GT-Balloonの開発

われわれは、電子コミック制作における手作業でのコマ情報割付作業の工数を劇的に削減するために自動コマ検出技術GT-Scanを開発し<sup>1)</sup>、活用してきた。

GT-Scanを多くの場面で活用いただくにあたり、

- 「コマ」だけでなく、ページやコマ内に記述されたさまざまなオブジェクトを画像解析により抽出してほしい。

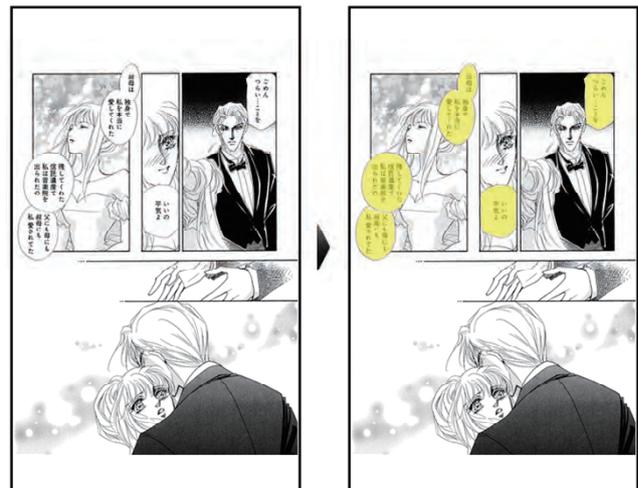
- 特に「吹き出し」は翻訳や文字情報の抽出、画像領域と性質の異なる文字領域に異なるパラメータで処理を行なうなど、活用度が大きく最優先で抽出したい。

といった多くの声を頂戴した。

そこでわれわれは、画像解析による自動吹き出し検出技術GT-Balloonを開発することとした。

多様なコミック画像をサンプルに、吹き出しの形状や内容などの特徴を分類し、吹き出しの領域を自動検出するロジックを試作し、多くのサンプルデータによりロジックやパラメータの最適化を施すことで、GT-Balloonを完成させた。

Fig. 6に、GT-Balloonの処理結果を示す。Fig. 6より、画像解析により良好に吹き出し領域を自動検出できていることがわかる。



Before After  
: Areas detected by GT-Balloon

Fig. 6 Result of processing by GT-Balloon.

GT-Balloonは、翻訳や文字情報抽出、画質向上などさまざまな用途で応用することが可能だが、3.では自動翻訳への応用について紹介する。

### 3. 電子コミック向け応用技術の開発

～自動翻訳システムGT-Translate～

#### 3.1 開発の背景

前章で紹介した電子コミック向け要素技術を、それぞれ単体で使用するだけでなく、有機的に組み合わせることで新たな価値を生む「応用技術」へ発展させることを考えたい。

その一例として、世界中で読まれている日本のコミックを各国語に翻訳する作業を自動化することを目標に、吹き出し検出技術GT-Balloonを中心に、電子コミックを自動翻訳するシステムの実現を検討した。

#### 3.2 電子コミック自動翻訳システムGT-Translate

GT-Balloonなどの要素技術やほかの既存技術を組み合わせ、電子コミックをリアルタイムで自動的に翻訳するシステムGT-Translateを開発した。

##### ●ユーザ操作フロー

システムは以下のような操作によって動作する。

- (1) 電子コミック表示：  
スマートフォンのコミックビューア上で、電子コミックを表示する。
- (2) 翻訳指示：  
リストから翻訳したい言語を選択して、翻訳を実行する。
- (3) 翻訳結果表示：  
コミックの吹き出し位置に、翻訳された他言語のテキストが重ねて表示される。

##### ●システム構成

GT-Translateは、ユーザが操作して翻訳指示を行ない、翻訳結果を表示する「GT-Translateクライアント」と、実際の翻訳処理を行なう「GT-Translateサーバ」の二つの要素によって構成される、クライアント-サーバ型のシステムである (Fig. 7)。

##### ●内部処理フロー

システム内部では、以下のような処理を行なっている。

- (1) 翻訳指示：  
まずはGT-Translateクライアントのビューアがユーザ操作を受け付け、言語を指定してGT-Translateサーバに対して翻訳指示を行なう。
- (2) 解析用画像生成：  
GT-Translateサーバは、翻訳対象のコミック画像を受け取り、解析用画像に変換する。ここでは画像変換の要素技術を組み合わせて使用し、解析精度を落とさず高速に処理できる最適な大きさにリサイズしている。
- (3) 吹き出し検出：  
続いて、解析用画像に対しGT-Balloonで吹き出し検出を行なう。この時、吹き出し位置と同時に、吹き出し内の文字領域の矩位置を検出している。

- (4) 吹き出しテキスト抽出：  
検出した吹き出し領域の画像から、OCRを用いて吹き出し内に配置される文字列 (吹き出しテキスト) を抽出する。
- (5) 吹き出しテキスト翻訳：  
吹き出しテキストを、指定された他言語に翻訳する。翻訳には既存の翻訳ウェブサービスを使用し、通信により翻訳結果を受領している。
- (6) 翻訳吹き出し画像生成：  
翻訳結果の他言語テキストを、吹き出し領域に重ねて表示するための画像 (翻訳吹き出し画像) を、吹き出し一つごとに生成する。この時、吹き出し領域の幅を考慮し、テキストの折り返し位置や文字サイズを適切に調節している。
- (7) 翻訳ページ画像合成：  
ページ内のすべての翻訳吹き出し画像を合成し、もとのコミックのページ画像にそのまま重ねて表示できる翻訳ページ画像として生成する。GT-Translateサーバは、(2) から (8) までの処理を終えると、翻訳結果をGT-Translateクライアントに送信する。
- (8) 翻訳ページ画像オーバーレイ表示：  
GT-Translateクライアントは、受け取った翻訳結果 (翻訳ページ画像) をもとのコミックのページ画像の上に重ねて表示する。すると、吹き出し位置に翻訳テキストが上書きで表示される。

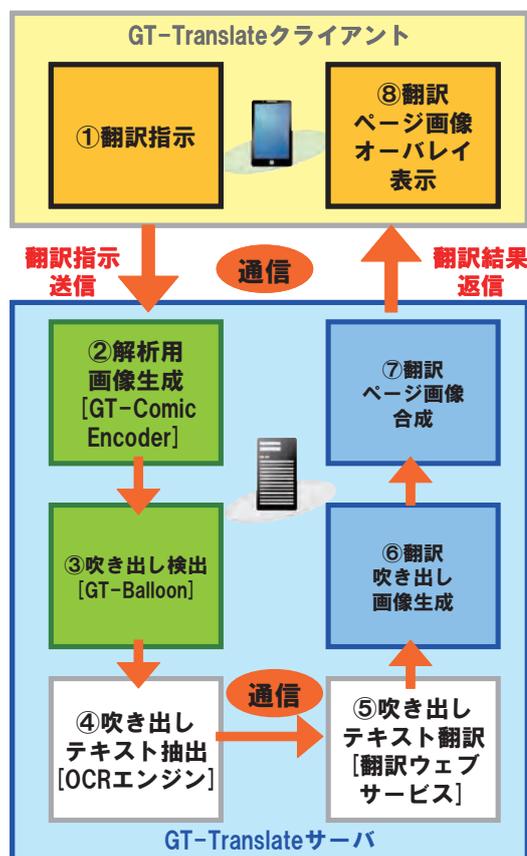


Fig. 7 GT-Translate system configuration diagram.

以上のような処理を通じて、GT-Translateは電子コミックのリアルタイム自動翻訳を実現した (Fig. 8)。

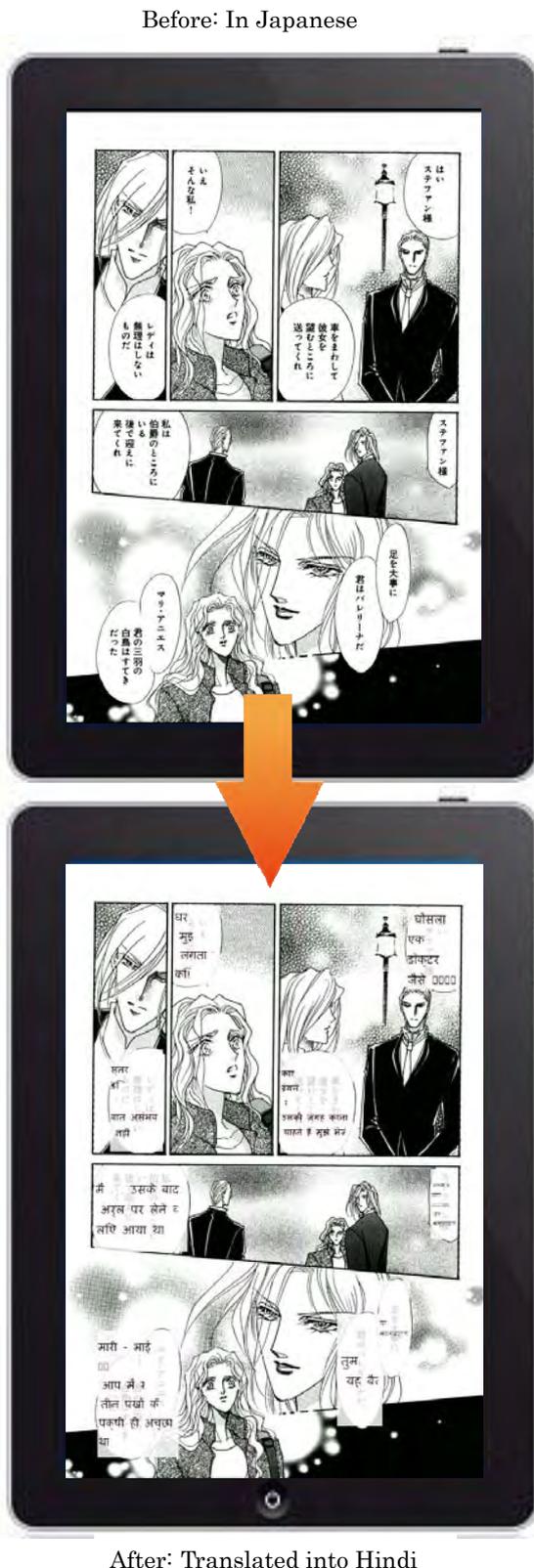


Fig. 8 Result of processing by GT-Translate.

### 3.3 成果と課題

GT-Translateによって「モバイル端末で電子コミックを閲覧しながら、吹き出し内の文字列を指定した言語に自動翻訳する」という衝撃的なユーザ体験をひとまずは実現することができた。あらかじめ用意した翻訳テキストを用いず、これをすべて画像処理技術により達成したという点において、一定の成果を上げたといつてよいと考える。

一方で、肝心の吹き出しテキストの翻訳精度は、現状では読むに耐えるレベルに達したとはいい難く、以下のような技術課題が浮き彫りになった。

- 吹き出しテキストは口語による「セリフ」が中心であり、そもそも機械翻訳に向いていない。
- また、個々の吹き出しテキストは絵と合わせて読むのが前提のため前後の文脈が省略されている場合が多く、こちらも翻訳精度が上がらない要因になっている。

このように、現状のGT-Translateは「コミックのリアルタイム自動翻訳」という用途に向けては翻訳精度の課題が大きく、実用レベルに到達するにはまだ時間を要すると思われる。

一方で、「吹き出し内の文字領域の検出」「検出した文字領域の白塗り」「吹き出し内文字領域への翻訳テキストの再配置」など「翻訳精度」に関連しない処理工程については、十分に実用化可能なレベルに到達できた。

そのため、当面は目的を「電子コミック翻訳版の簡易制作」にシフトし、翻訳支援ツールと位置づけて知見を積んでいくことで、将来的な「コミックのリアルタイム自動翻訳」の実現に向けて着実に技術を向上させていきたい。

## 4. まとめ

電子コミックの制作・配信・閲覧における画像に関する課題を解決するために、コマや吹き出しといった画像の構成要素の座標を自動検出する「画像解析技術」と、品質と容量の最適なバランスを保った画像を生成するための「画像変換技術」という二つの「要素技術」を開発してきた。

そして、これら要素技術を、電子書籍編集ツールや電子コミック画像変換システムといったソフトウェア製品に搭載し、市場の評価を得てきた。

また、こうした要素技術の組み合わせから新しい価値を生み出す「応用技術」として、電子コミック自動翻訳システムを開発し、ワールドワイドな電子コミックの拡大を見据えた技術課題の発掘を行なった。

今後は、「画像解析技術」「画像変換技術」という二つの要素技術にさらに磨きをかけるとともに、これらの有機的な組み合わせによって新しい価値を創造する応用技術の開発にも引き続き取り組み、電子コミックの快適な制作・配信・閲覧を実現するソリューションとして市場に投入していきたいと考えている。

---

また、これらの技術を、電子コミックのみならず画像を用いた固定レイアウトの電子書籍全体に広く応用展開することで、電子書籍のさらなる普及・発展に寄与し、「紙を真の意味でデジタル活用する」という観点でさまざまな技術貢献をしていきたい。

## 参考文献

- 1) 野中俊一郎ほか. コミックスキャン画像からの自動コマ検出を可能とする画像処理技術「GT-Scan」の開発. 富士フィルム研究報告. No.57, 46-49 (2012).
- 2) 富士フィルムニュースリリース. 2012-12-17.  
[http://www.fujifilm.co.jp/corporate/news/articleffnr\\_0726.html](http://www.fujifilm.co.jp/corporate/news/articleffnr_0726.html)
- 3) 井上義章. 新しいデジタルスクリーニング技術の画像品質. 印刷学会誌. **38** (6), 30-34 (2001).
- 4) 富士フィルムニュースリリース. 2012-4-2.  
[http://fujifilm.jp/information/articlelead\\_0154.html](http://fujifilm.jp/information/articlelead_0154.html)
- 5) ISO/IEC 10918-1:1994. Information Technology - Digital compression and coding of continuous - tone still images: Requirement and guidelines.

※「プリンスは恋を歌う」

©HARUMO SANAZAKI 2009/

OHZORA PUBLISHING Co. (Fig. 3, Fig. 4, Fig. 6, Fig. 8)

(本報告中にある“GT-Balloon”, “GT-Quality”, “GT-Scan”は富士フィルム(株)の登録商標です。“GT-EpubAuthor”は富士フィルム(株)により商標登録出願中です。)

# 熱可塑性ナノコンポジット光学材料の開発

大林 達彦\*, 鈴木 亮\*\*, 望月 宏顕\*, 相木 康弘\*

## Development of Thermoplastic Nanocomposite Optical Materials

Tatsuhiko OBAYASHI\*, Ryo SUZUKI\*\*, Hiroaki MOCHIZUKI\*, and Yasuhiro AIKI\*

### Abstract

Thermoplastic nanocomposite optical materials that include ZrO<sub>2</sub> nanoparticles in high concentration have been developed. Even after undergoing the melt-molding processing, homogeneous dispersion of nanoparticles in the resin was maintained and the molded articles showed good transparency. The refractive index of the resin rose from 1.59 to 1.65 by the addition of 12.5 vol% ZrO<sub>2</sub> nanoparticles. It was found that the kinds and number of functional groups in polymer, the length of linkers between the functional groups and the main chain of the polymer were very important to achieve the homogeneous dispersion of particles and the moldability of the nanocomposite. This material was molded into convex and concave lenses.

### 1. はじめに

「屈折率」はレンズなどの光学部品において、最も重要な基本特性の一つである。屈折率の制御は、光の速度・進路を操作し、「光を加工する」ための重要な技術であり、高・低屈折率材料の追及、アップ数（屈折率の波長依存性）制御、複屈折（屈折率の異方性）制御などの材料研究が活発に続けられている。

高屈折率材料をレンズに用いた場合には、小さな曲率でも光の進路をより大きく曲げることができるため、レンズの薄肉化、高解像度化が可能になる。

従来、光学部品では、硝子やセラミクスなど屈折率を制御できる範囲が広い無機材料が多用されてきたが、近年、軽量化、低価格化へのニーズの高まりにより、多くの用途で無機材料から樹脂への置き換えが進んでいる。一方で、樹脂は無機材料に比べて屈折率を制御できる範囲が狭いという弱点もあり、樹脂を使用できない用途も多い。

材料の屈折率を上げるには、分極率または密度を高める必要があるが、樹脂は無機材料に比べて高密度化がむずかしいという致命的な弱点がある。

樹脂の屈折率を上げるために、ハロゲン (Cl, Br, I),

硫黄、重金属原子、芳香環などを導入することにより分極率を高める分子設計が一般的であるが<sup>1), 2)</sup>, 該高屈折率化手段は吸収波長の長波化につながるため、透明材料を設計する上では限界がある。また、「酸化による耐熱着色性の悪化」、「吸水性上昇」など別の問題とも関連するため注意が必要である。

樹脂単独での屈折率向上には限界があるため、別の手段として屈折率の高い無機材料を樹脂に複合する手段も検討されてきた<sup>3)~6)</sup>。Table 1に示すように有機材料に比べて無機材料では広い範囲の屈折率に対応した材料が知られており、ZrO<sub>2</sub>, TiO<sub>2</sub>のように可視域で透明かつ非常に屈折率が高い材料も存在する。

Table 1 Refractive index at 589nm of typical optical materials.

代表的な光学樹脂	屈折率	透明無機材料	屈折率
非晶性フッ素樹脂	1.34	TiO <sub>2</sub> (ルチル)	2.72
PMMA	1.49	TiO <sub>2</sub> (アナターズ)	2.52
COP	1.53	ダイヤモンド	2.42
ポリスチレン	1.59	ZrO <sub>2</sub>	2.10
光学用ポリカーボネート	1.59~1.63	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1.62
フルオレン系ポリエステル	1.60~1.64	SiO <sub>2</sub>	1.45
ポリエーテルスルホン	1.64	MgF <sub>2</sub>	1.37

本誌投稿論文（受理2012年12月11日）

\*富士フイルム（株）R&D統括本部

有機合成化学研究所

〒250-0193 神奈川県南足柄市中沼210

\*Synthetic Organic Chemistry Laboratories

Research & Development Management Headquarters

FUJIFILM Corporation

Nakanuma, Minamiashigara, Kanagawa 250-0193,

Japan

\*\*富士フイルム（株）R&D統括本部

フラットパネルディスプレイ材料研究所

〒250-0193 神奈川県南足柄市中沼210

\*\*Flat Panel Display Materials Research Laboratories

Research & Development Management Headquarters

FUJIFILM Corporation

Nakanuma, Minamiashigara, Kanagawa 250-0193,

Japan

複合体の屈折率は添加する無機粒子の体積分率によって制御できることは容易に予測できる。有機無機複合技術はすでに反射防止膜などの薄膜では、汎用技術となっている。

しかし、レンズのように厚みのある成形体への適用を考えると樹脂と高屈折率無機粒子の大きな屈折率差に起因する散乱の影響を無視することができず、高屈折率化と高度な透明性の両立は困難な課題である。

またコストパフォーマンスのよい成形方法を適用するには、無溶剤で樹脂を「溶かして、流して、固められる」ことが必要になるが、粒子間相互作用による流動性の低下、熔融過程での粒子の凝集などの問題があり容易ではない。高屈折率化と高透明化を両立するためには、サイズの小さな粒子を高濃度で均一に分散することが必要であるが、これは通常熔融成形適性が損なわれる方向である。熱可塑性高屈折率ナノコンポジット材料に対するニーズは高いが、きわめてむずかしい技術であり、われわれの知る限り実用レベルでは実現していないのが現状である。

本報告では、有機無機複合による高屈折率化と熔融成形適性の両立を目指して開発した熱可塑性ナノコンポジット光学材料に関して報告する。

## 2. 熱可塑性ナノコンポジット光学材料

### 2.1 シミュレーション

樹脂（屈折率1.60）にZrO<sub>2</sub>微粒子（屈折率2.10）が均一に分散すると仮定すると、微粒子の体積分率によってコンポジットの屈折率はFig. 1のように変化すると予測される。

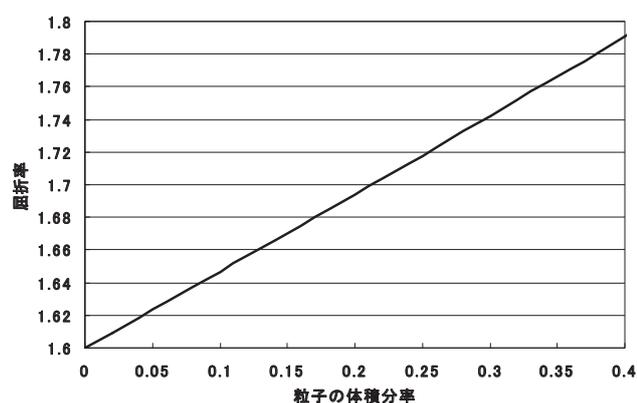


Fig. 1 Refractive index of the nanocomposite calculated according to the volume fraction of the nanoparticle.

屈折率1.70のナノコンポジットを得るには、21.2vol%のZrO<sub>2</sub>微粒子の添加が必要という計算である。この際、厚み1mmの成形体を想定して微粒子径と透明性の関係をシミュレーションで予測した結果をFig. 2に示す。

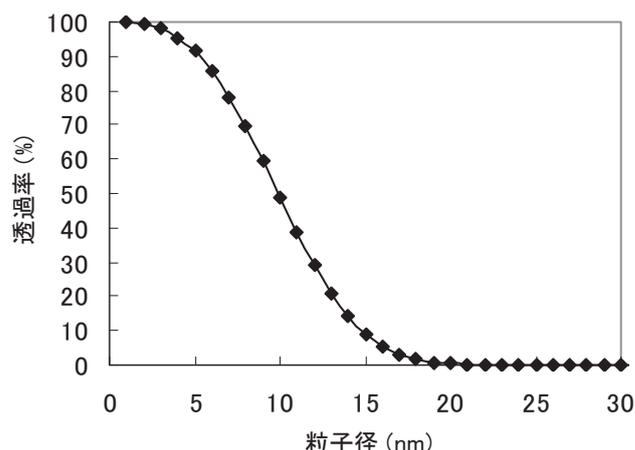


Fig. 2 Transparency of the nanocomposite calculated as a function of the particle diameter.

90%以上の高い内部光線透過率を実現するためには、平均粒子径5nm以下の粒子を、凝集なく均一に分散することが必要であり、粒子径の増加に伴い急激に透明性が低下すると予想した。

粒子径5nmの粒子を六方最密充填の頂点に配置し、樹脂中に10vol%および20vol%均一分散したコンポジットを想定して計算した粒子間距離はそれぞれ、4.7nmおよび2.7nmとなる (Fig. 3)。ナノ粒子は、バルク材料に対して比表面積が著しく大きいため凝集が起こりやすく、高濃度で均一分散を実現するのは非常に難度が高い課題である。

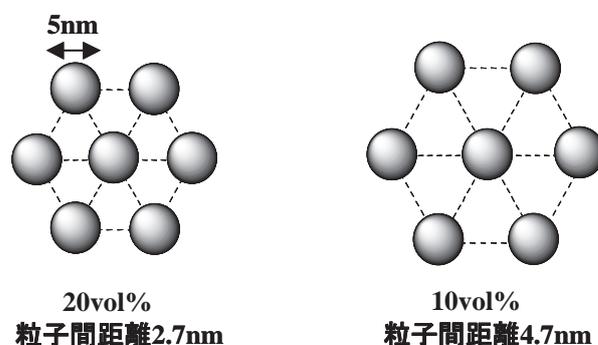


Fig. 3 Distance between particles expected in the nanocomposite : particle diameter, 5nm ; particle amount, 20vol% (left)/ 10vol% (right).

われわれはまず、φ5nmのジルコニア微粒子を10-20vol%の範囲で均一分散した熱可塑性ナノコンポジット材料の開発を目指し、微粒子分散樹脂の設計を行なった。

### 2.2 微粒子分散樹脂の設計

#### 2.2.1 熱可塑性樹脂への微粒子分散

最初に、簡便な手段としてZrO<sub>2</sub>微粒子の表面を分散剤で修飾し、市販の熱可塑性樹脂 (PMMA, PSなど) 中に分散する方法を検討した。しかし、この手法での均

一分散は困難であり、ナノ粒子の凝集による白濁を回避することができなかった。

Fig. 4には、リン酸系表面修飾剤でナノジルコニア ( $\phi$  5nm) の表面を修飾し、PMMA中に10vol%の添加量で分散を試みた結果を示す。コンポジットは、白濁し微粒子は数十  $\mu$ mオーダーの凝集塊となっていることが確認された。この手法では、樹脂と粒子の相互作用が乏しく、粒子間の凝集および樹脂との相分離に伴う白濁が生じたものと思われる (Fig. 5)。

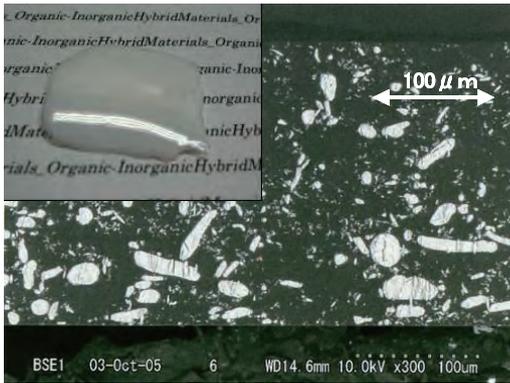


Fig. 4 TEM image (x300) of a cloudy nanocomposite section.

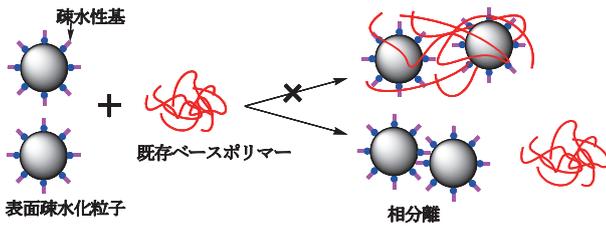


Fig. 5 Cohesion of particles in a cloudy nanocomposite.

均一分散を達成するためにはマトリクスポリマーと粒子間のより強い相互作用が必要と考えられる。しかし、粒子と樹脂がランダムに多点で相互作用する場合には、物理ゲルの形成により可塑性、流動性が損なわれることが容易に予想される。

### 2.2.2 片末端吸着基導入樹脂

われわれの考えた理想的な系は、Fig. 6に示す片末端吸着性樹脂による微粒子グラフト化である。ナノ粒子と樹脂を「混ぜる」という概念ではなく、「樹脂と粒子が一体になった高分子材料」のイメージである。この系が実際に実現できれば、粒子は樹脂で被覆されているため凝集や相分離は起き難く、また、吸着基が片末端のみに存在するため、樹脂が複数の粒子を架橋することによるゲル化の懸念が少ないことが期待できる。

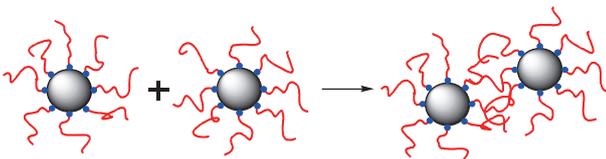


Fig. 6 Ideal thermoplastic nanocomposite.

このコンセプトに従い、ポリスチレン (屈折率1.59) を主骨格にした分散性樹脂を開発し、ナノジルコニア ( $\phi$  ~ 5nm) を用いたコンポジット化の検討を行なった。

吸着基として、金属酸化物との相互作用が強い、ホスホン酸基、カルボン酸基を選択し、リビングラジカル重合法 (ATRP法<sup>7), 8)</sup> を利用して片末端に吸着基を集めたブロック共重合体 (A)、ならびに片末端にのみ一つの強力な吸着基を導入した樹脂 (B) を合成した (Fig. 7)。

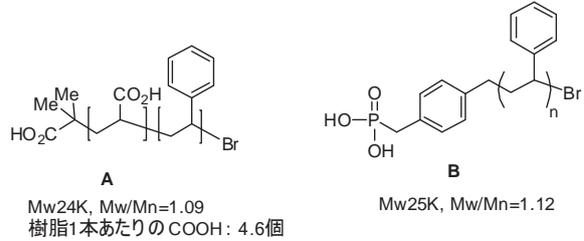


Fig. 7 Polymer design suitable for particle dispersion.

ジルコニア微粒子 ( $\phi$  5nm) のジメチルアセトアミド溶液に上記樹脂、補助分散剤、可塑剤を添加して均一に混合した後、溶媒を留去して得られた白色のコンポジット粉体 (ZrO<sub>2</sub> 含率41.7wt%) を、180°Cでプレスすることにより厚み約1.5mmの透明な試験片を得た。得られた試験片における微粒子分散状態を透過型電子顕微鏡 (TEM) で観察したところいずれも良好な粒子分散状態が観察された。Fig. 8にはポリマー A を使用して得られた試験片の粒子分散状態を示す。

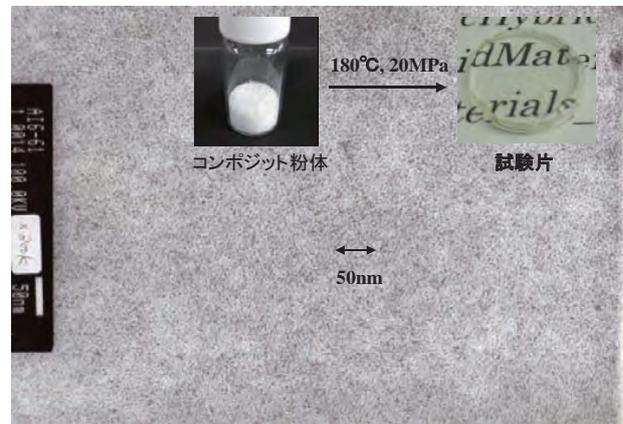


Fig. 8 TEM image (x300) of a section of the transparent nanocomposite using Polymer A.

### 2.2.3 ランダム共重合体

上記リビング重合法で末端のみに吸着性基を導入することで、ゲル化抑制とナノ粒子の均一分散を両立した熱可塑性コンポジット材料が実現できることがわかったが、安価なランダム共重合体で実現できることが実用上はより好ましい。

次にわれわれはランダム共重合体において、吸着性基の種類、導入量と多点吸着によるゲル化挙動、微粒子均一分散性 (透明性) の関係を詳細に調べた。その結果、

ランダム共重合体であっても適切な分子設計によりゲル化（不溶化，不融化）の回避と微粒子均一分散（透明化）の両立が可能であることを確認した。

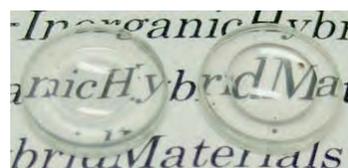
吸着性官能基の最適導入量は吸着力の強さで決まり，導入量が不足すると微粒子の凝集が起こり，多すぎるとゲル化が起こる。ポリマー1本あたりへの最適導入個数の範囲が広い吸着基が使いやすく好ましい。ZrO<sub>2</sub>粒子への吸着力の序列は，リン酸（ホスホン酸）>スルホン酸>カルボン酸の順であり，いずれの吸着基でも適量を導入することにより，透明性の制御は可能であるが，吸着力の強いものほど，少量の導入でゲル化が起こりやすくなり制御がむずかしくなる。ゲル化回避と均一分散性を両立できる導入量の範囲が最も広いのはカルボン酸であり，スチレン系ランダム共重合体でのZrO<sub>2</sub>ナノ粒子（φ5nm）の分散においては，ポリマー1本あたり10～15個程度の範囲にカルボキシル基導入量を制御した場合に最も良好な結果が得られた。

#### 2.2.4 流動性

上記原理確認実験では，粉体を加熱プレス機でプレスすることにより試験片を作製したが，実用的な成形材料とするにはさらに熔融流動性改良が必要であった。

われわれは，流動性と透明性の制御に対して種々検討を行なった結果，主鎖と官能基を結ぶ側鎖連結鎖長およびポリマー1本あたりの官能基量の制御がきわめて重要であることを見出した（Fig. 9）。主鎖にカルボキシル基が直接結合したアクリル酸構造を吸着部位として導入したポリマーではナノコンポジットの流動性が乏しいのに対し，主鎖からの距離を伸ばすにつれて流動性が向上し，より低圧力で熔融押し出しが可能になる。ただし，主鎖からの距離を伸ばしすぎると粒子の分散安定性が悪くなるため，最適値が存在する。

上記材料技術を最適化することにより，ZrO<sub>2</sub>微粒子を樹脂中に12.5vol%均一分散した熱可塑性ナノコンポジット材料を作製し，1.2mmの厚みでd線透過率92%の凹凸レンズ形状の透明成形体を得ることに成功した（Fig. 10）。



nd;1.65329 (25 °C)  
 $\nu$  d;28.8  
 (ベース樹脂nd;1.59)

Fig. 10 Appearance of molded nanocomposite lenses.

### 3. まとめ

光学樹脂において屈折率制御範囲の拡大は永遠の課題といっても過言ではない。樹脂材料は，無機材料に比べて軽量で加工性がよい一方で，屈折率を制御できる範囲が狭いという問題があり，有機無機複合技術が注目されてきた。ただし，レンズのような厚みのある光学部品に適用するのは透明性の点でむずかしいばかりでなく，量産適性にも課題があった。われわれは，量産性を考慮して熔融成形可能な熱可塑性ナノコンポジット材料の開発に取り組み，透明な成形体を得ることに成功した。実用化に向けては，まだいくつかの課題が残されているが，今後の展開を期待している。

#### 参考文献

- 湯川博. 季刊化学総説39 透明ポリマーの屈折率制御. 日本化学会編. 学術出版センター, 174-182 (1998).
- 小柳津康史, 押切達也, 谷川晴康, 宇野憲治. 機能材料. **18** (7), 33-40 (1998).
- 福井俊巳. 透明プラスチックの最前線, (社) 高分子学会編. (株) エヌ・ティー・エス, 195-228 (2006).
- Imai, Y.; Terahara, A.; Hakuta, Y.; Matsui, K.; Hayashi, H.; Ueno, N. Euro. Polym. J. **45** (3), 630-638 (2009).
- Hatakeyama, F.; Uchida, S.; Ishizu, K.; Ozawa, M. Polymer Preprints, Japan, **59** (1), 973 (2010).
- 岡田夕佳, 村田晶子, 安藤貴真, 末永辰敏, 是永継博, 鈴木正明. 高分子論文集. **67** (7), 390-396 (2010).
- 山田健史, 飯田和則, 山子茂. 高分子論文集. **64** (6), 329-342 (2007).
- Matyjaszeski, K.; Paik, H.; Zhou, P.; Diamanti, S.J. Macromolecules, **34**, 5125-5131 (2001).

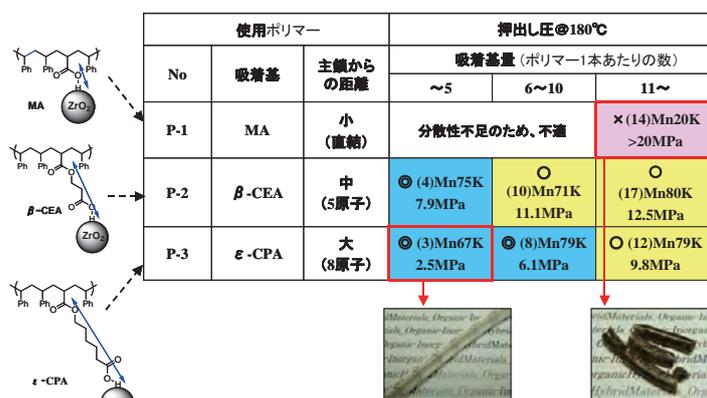


Fig. 9 Relation between the polymer design and melt-molding processability.

# 銀ナノ平板粒子を用いた近赤外反射材料の開発

清都 尚治\*, 白田 真也\*, 谷 武晴\*, 納谷 昌之\*, 鎌田 晃\*

## Development of a Near-infrared Reflective Film Using Disk-shaped Silver Nanoparticles

Naoharu KIYOTO\*, Shinya HAKUTA\*, Takeharu TANI\*,  
Masayuki NAYA\*, and Kou KAMADA\*

### Abstract

FUJIFILM Corporation has developed a novel near-infrared reflective film using disk-shaped silver nanoparticles. We estimated the best shape and arrangement of the silver nanodisks to reflect near-infrared rays by simulation. In order to form an optimum structure, we applied the technology which has been used to form silver halide tabular grains in photographic film. Moreover, we have developed the coating technology to make a uniform layer of silver nanodisks that reflect near-infrared rays effectively.

### 1. はじめに

近年高まっている省エネ需要に応えるため、遮熱フィルムが注目されている。遮熱フィルムは窓に貼って、赤外光をカットし、冷房負荷を下げるができる材料である。われわれは銀ナノ平板粒子を用いて、遮熱フィルムに応用可能な新たな近赤外反射材料を開発した<sup>1)~4)</sup>(Fig. 1)。

遮熱フィルムとして特に最近市場で求められているのは、可視光透過率が高く、赤外光をより多くカットする材料である。Fig. 2に太陽光のエネルギースペクトルを示す。太陽エネルギーの約半分は赤外光である。太陽光が出す赤外光のなかでも特に近赤外領域(波長800~

1,100nm)のエネルギーが大きいため、市場からは近赤外光を遮蔽する材料が求められている。また、赤外光を遮蔽する材料のなかでも吸収材料は吸収した熱の一部が室内に放射されて効率が悪いので、反射材料の方が好ましい。

現在市販されている遮熱フィルムのなかには近赤外反射材料を用いているものがあるが、球面追従性や電波透過性などの問題をかかえていた。そこで、両問題を同時に解決するため、われわれは新たな近赤外反射材料を開発した。

本報告ではシミュレーションから予想した好ましい構造、その構造を作製するために開発した新技術、近赤外反射材料を使用した遮熱フィルムの性能について報告する。

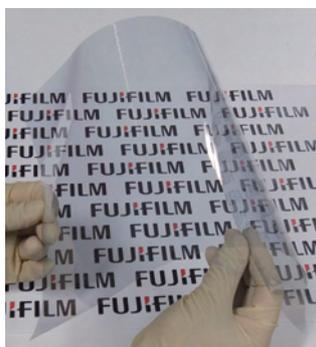


Fig. 1 Near-infrared reflective film using silver nanodisks.

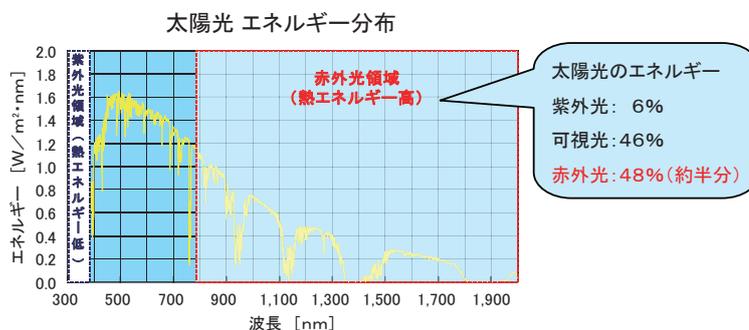


Fig. 2 Solar energy distribution.

本誌投稿論文(受理2012年12月13日)

\*富士フイルム(株)R&D統括本部  
先端コア技術研究所  
〒250-0193 神奈川県南足柄市中沼210

\*Frontier Core-Technology Laboratories  
Research & Development Management Headquarters  
FUJIFILM Corporation  
Nakanuma, Minamiashigara, Kanagawa 250-0193,  
Japan

## 2. 銀ナノ平板粒子配置のメタマテリアルによる近赤外反射構造の設計

所望の特性を発現する構造として、われわれは局在プラズモン共鳴の原理に基づくメタマテリアルに注目した。局在プラズモン共鳴は、金属中の自由電子が、光の電場の振動に共鳴して集団運動する現象である。共鳴周波数の付近では、光が強く吸収、散乱される。局在プラズモン共鳴の周波数や散乱光の特性は、金属微細構造のサイズや形状、そして配列状態によって制御することが可能であるため、ナノ構造によって特異な光特性を人工的に実現するメタマテリアルの中心的技術となっている。プラズモン共鳴は電気抵抗が低い貴金属で生じやすく、なかでも銀は、あらゆる金属のなかで、最も強いプラズモン共鳴を起こす材料として知られている。以上の観点から、われわれは銀のナノ構造を用いて、近赤外光のみを反射し、可視光や電波に対しては透明な性質を持つメタマテリアルの実現を目指した。

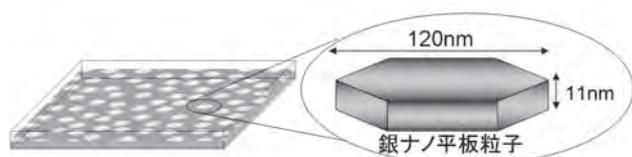


Fig. 3 Best formation and arrangement of silver nanodisks estimated by simulation.

ナノ微粒子の形状や配列によって決まる光散乱などの特性を正確に予測するため、電磁場光学の数値計算手法である、FDTD (Finite Difference Time Domain) 法を用いた。シミュレーションによる検討を行なった結果、Fig. 3に示すような銀ナノ平板粒子を石畳状に並べることができれば、目標とする特性を実現できることを見出した。以下に好ましい構造について詳細に説明する。

銀ナノ平板粒子の形状は共鳴波長を制御する上で重要なパラメーターである。球形の銀粒子が可視光に共鳴を持つのに対して、平板状の粒子とすることで、アスペクト比 (円相当径/厚み) の調整によって、可視から赤外まで、共鳴波長を比較的大きく変えることができる<sup>5)</sup>。Fig. 4に平板状の銀粒子に対してアスペクト比を変えて消失断面積を計算した例を示す。この結果、アスペクト比約10以上の平板粒子を用いれば赤外領域に共鳴を持たせることができることがわかる。

銀ナノ平板粒子の分布状態は反射を制御する上で重要なパラメーターである。Fig. 5に銀ナノ平板粒子が厚み

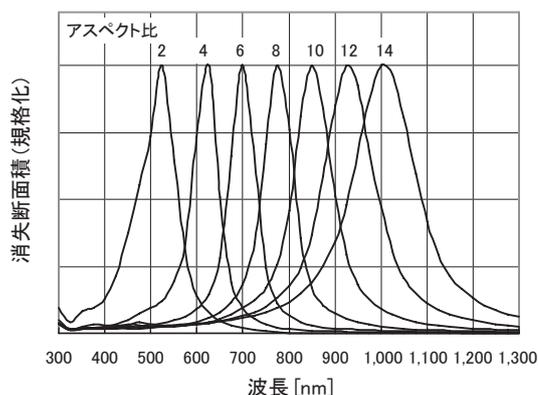


Fig. 4 Resonance wavelength variation according to the aspect ratio of silver nanodisks.

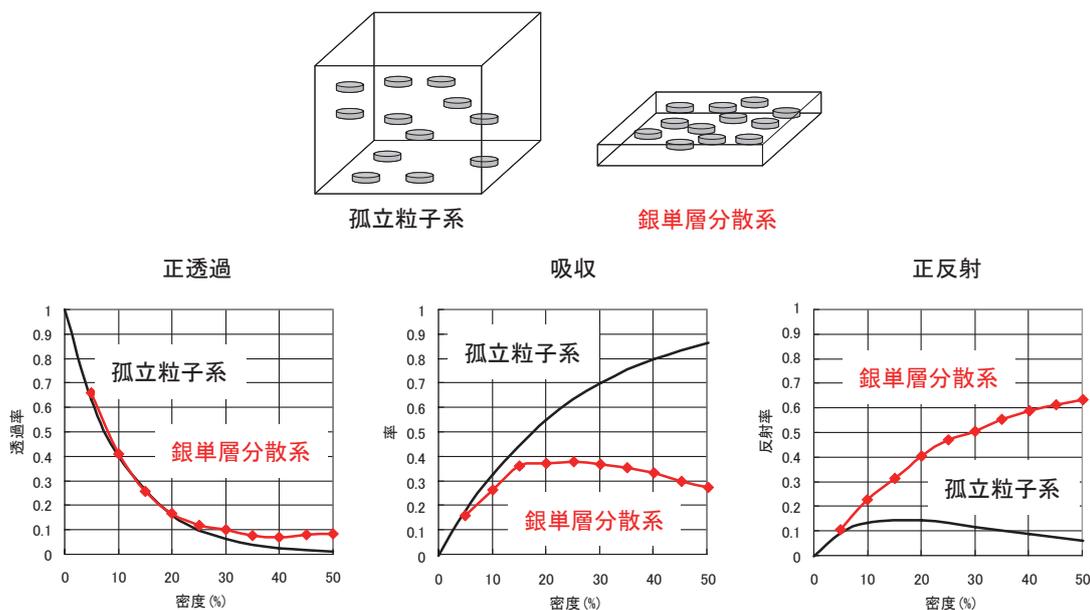


Fig. 5 Spectra of isolated dispersion and monolayer dispersion.

方向に広く分布した「孤立粒子系」と銀ナノ平板粒子が同一平面上に存在する「銀単層分散系」それぞれで発現する光学特性のシミュレーション結果の比較を示す。ここで示す特性は、プラズモン共鳴の中心値として設計した900nmにおけるものである。これらの結果より、「孤立粒子系」の分布状態では、共鳴状態のエネルギーの散逸は吸収が支配的であり、「銀単層分散系」の分布状態では、共鳴時のエネルギー散逸に対して反射の割合が大きくなることがわかる。銀ナノ平板微粒子が同一平面状に密に配置されることにより、プラズモン共鳴が複数のナノ微粒子にまたがる大きな領域の電磁場振動となり、それによって光の電磁波を外に放出しやすくなることだが、このような現象が生じる原因と考えられる。

これらの、ナノフォトニクスの見解に基づいたシミュレーションの結果より、可視光高透過性と近赤外光高反射の両立を実現するために以下の構造が最適であると結論した。

- ①銀ナノ平板粒子が同一平面上に適切な密度で並んだ膜であること。
- ②銀ナノ平板粒子の形状が、厚み11nm、円相当径120nmであること。
- ③銀の面積充填率が35%であること。

### 3. 近赤外反射材料作製

当初シミュレーションから導き出した最適構造を作り、しかも量産化することは難易度が高いことと考えていた。しかし、写真フィルムの技術を応用することによって目標のフィルムを作ることに成功した。

写真フィルムの技術のなかには、平板状のハロゲン化銀粒子を形成し、その粒子を塗布で面配向させる技術がある。この技術を応用して銀ナノ平板粒子を形成し、適切な密度で平面配向させた構造膜が作れないか検討した。

銀ナノ平板粒子の形成においては、ハロゲン化銀も銀も同じ結晶系であるため、同じような思想で平板粒子を作ることができた。作成方法のフローをFig. 6に示す。

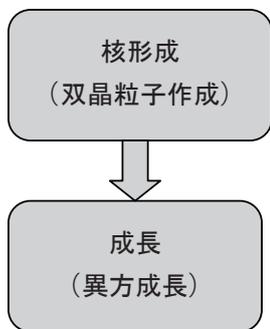


Fig. 6 Flow of silver nanodisk formation.

まず核形成工程条件を整えて銀の双晶粒子を作製する。もともと、双晶粒子は異方成長性があるため、平板粒子に成長しやすい。さらに成長工程についても異方成長性が高い条件で成長させることにより、銀ナノ平板粒子を作製した。成長条件を検討することにより、目標としている厚み11nm、円相当径120nmの銀ナノ平板粒子を作製することに成功した。

このようにして得られた銀ナノ平板粒子をただ塗布するだけではFig. 7のように銀ナノ平板粒子が塗布膜中でバラバラの向きになってしまい、塗布膜の反射率が低い。これは銀ナノ平板粒子が厚み方向に広く分布した「孤立粒子系」と同じ状態になっているためと考えられる。塗布を特定の条件で行なうことによって、銀ナノ平板粒子が重なることなく、石畳状に並べることができた (Fig. 8)。

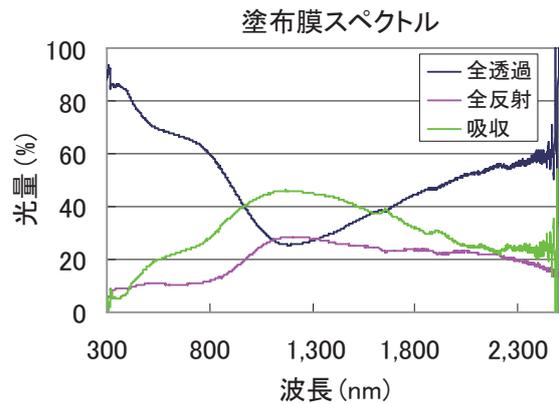
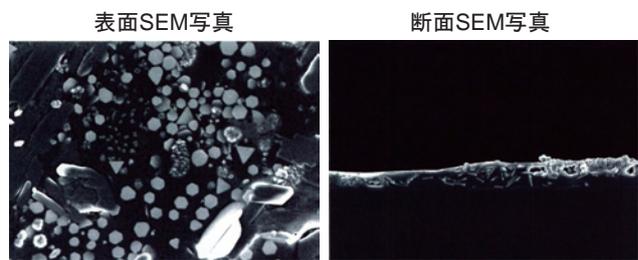


Fig. 7 SEM pictures and spectrum of coating film (before using coating technology).

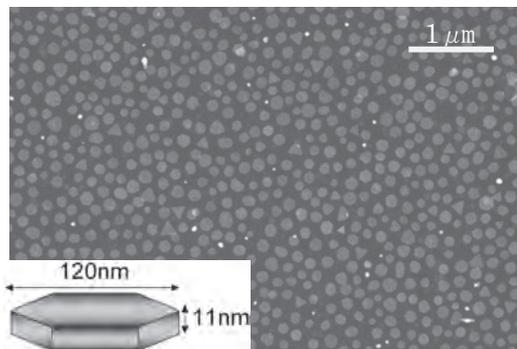


Fig. 8 SEM picture of coating film.

Fig. 9は、この塗布フィルムのスペクトル性能である。光学シミュレーションと実測結果はよい一致をしており、可視光高透過性と近赤外光高反射性を実現している。

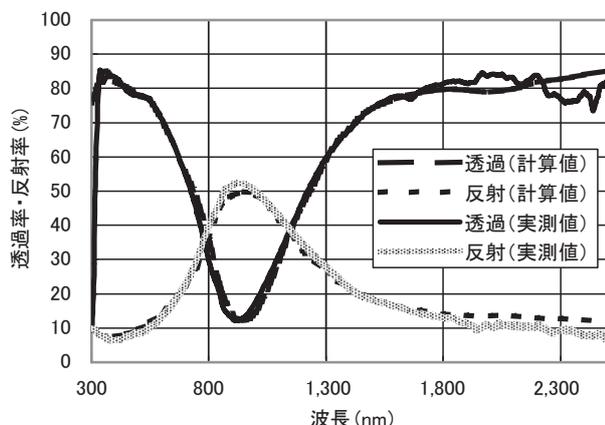


Fig. 9 Experimental and calculated spectra.

#### 4. 近赤外反射材料の特徴

この近赤外反射材料の特徴を下記に示す。

- ① IR 反射：遮蔽ピークには、吸収と同時に反射成分が大きく含まれる
- ② 電波透過性：KEC法測定にて0.2dB未満
- ③ 遮蔽ピークの視野角依存シフトがない
- ④ 曲面追従性良好

#### 5. 建材用遮熱フィルムへの応用

このようにして開発した近赤外反射材料を使用した遮熱フィルムを窓に貼る実験をしたところ、窓辺の温度は最大6.5℃低くなるという実証結果が得られた。また、近赤外反射材料を使用した遮熱フィルムを貼った部屋と貼らなかった部屋を作り、エアコンの消費電力を調べる実験をしたところ、エアコンの消費電力をピーク時で15%カットできることを確認した。

この近赤外反射材料を用いたフィルムは建材用フィルムメーカーに販売を開始しており、建材用遮熱フィルムとして利用されている。

#### 6. まとめ

光学シミュレーションにより、透明で、かつ近赤外領域の選択反射を出せる膜構造を算出した。そしてシミュレーションで求めた最適構造の銀ナノ平板粒子配列膜を実際に塗布で作ることに成功し、その膜はシミュレーションで予想したとおり近赤外に反射する性質を持つことを示した。

#### 参考文献

- 1) 富士フイルム(株). Polyfile. **49** (581), 32-33 (2012).
- 2) 白田真也, 谷武晴, 清都尚治, 鎌田晃, 納谷昌之. 銀ナノディスク単層分散構造による波長選択遮蔽膜. 第59回応用物理学関係連合講演会予稿集. 18a-B11-2 (2012).
- 3) 清都尚治, 白田真也, 鎌田晃. 銀平板粒子を用いた近赤外反射材料の開発. 日本写真学会誌. **75** (2), 158 (2012).
- 4) 富士フイルム(株). 松並由木, 清都尚治, 白田真也, 谷武晴, 納谷昌之, 鎌田晃. 特開2011-118347. 2011-6-16.
- 5) Jin, R. et al. Nature, **425**, 487 (2003).

# アップテーパ型マルチモードファイバを用いる 広帯域・非接触・高効率光コネクタ

吉弘 達矢\*, 小野 幸孝\*, 笠松 直史\*

## Wavelength Insensitive, Non-contact and Highly Efficient Fiber Optic Connector using Up-tapered Multimode Optical Fibers

Tatsuya YOSHIHIRO\*, Yukitaka ONO\*, and Tadashi KASAMATSU\*

### Abstract

A wavelength insensitive, non-contact and highly efficient fiber optic connector has been created and demonstrated excellent performance. The fiber optic connector consists of a pair of up-tapered multimode optical fibers with an insertion loss of 0.9 dB in the range of 410 to 790 nm. With anti-reflective coating applied on the sections, the loss is expected to fall to 0.6 dB. We believe this novel fiber optic connector is suitable for multi-color illumination systems or devices subject to frequent connection and disconnection of the connector.

## 1. 序

### 1.1 はじめに

近年、医療機器の高機能化に伴い、単一の機器で利用される照明光の波長帯域は拡大しており、近紫外域から近赤外域にわたる。例えば、自家蛍光 (325nm) と OCT 像 (1,300nm) の内視鏡による同時観察<sup>1)</sup> や、光線力学診断と光線力学療法の併用時の診断用レーザー光 (410nm) と治療用レーザー光 (630nm) の同時照射などが挙げられる<sup>2)</sup>。一方、最近ではオーディオ機器やパソコンなど民生用機器の機器間の通信に光を利用される動きも進んでおり、利用波長も可視域から赤外域まで多岐にわたる。

これらの応用の特徴は、複数の波長のレーザー照明光を同時に利用することである。今後、さらに利用波長の広帯域化が進むと考えられ、そのときに光源とスコップの接続部に求められることは波長に依存せず、高効率に光接続が行なえることである。

また、例に挙げたような医療用途の応用では、滅菌の観点から照射用ヘッドが光源装置から取り外せることが要求される。民生用機器に利用される場合もコネクタの挿抜は必須である。いずれの場合にしても、光

源および照射用ヘッドの損傷を避けるために光接続は非接触で行なうことが望ましい。

このような要求のなかで従来実現されていなかった高い性能を得ることを目的とし、われわれはアップテーパファイバ<sup>3)-5)</sup>を利用した波長無依存性、非接触性を両立する高効率のアップテーパ型マルチモードファイバを用いる光コネクタを提案、作製した。その結果、波長 410nm ~ 790nm にわたり 0.9dB の挿入損失 (伝送効率 81%) を実証した。さらに端面に反射防止加工を施すことで 0.6dB の挿入損失 (伝送効率 87%) が期待される。本報告ではこれらの内容について報告する。

### 1.2 従来の光接続方式

Fig. 1 に示すような、複数波長を合波して光ファイバ出力するレーザー光源と、光ファイバが内蔵された照射用ヘッド、両者を接続する光接続部からなるシステムを考える。このようなシステムにおける一般的な光接続の方法を Table 1 に示す。

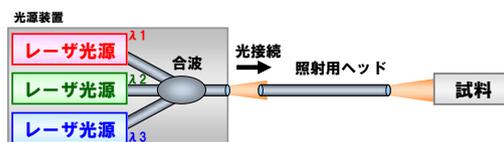


Fig. 1 Schematic diagram of multi-color laser illumination system.

本誌投稿論文 (受理 2012 年 12 月 4 日)

\*富士フイルム (株) R&D 統括本部

先端コア技術研究所

〒258-8577 神奈川県足柄上郡開成町牛島 577

\*Frontier Core-Technology Laboratories

Research & Development Management Headquarters  
FUJIFILM Corporation

Ushijima, Kaisei-machi, Ashigarakami-gun, Kanagawa  
258-8577, Japan

Table 1 Fiber-optic connector types.

	接触	非接触
色収差		レンズ方式
あり		色収差への対応 細み付けの複雑化 ±50nm
なし	PC研磨、接触 塵埃の挟み込み 擦れつき 波長範囲 ~∞ nm	なし

光通信などで最も一般的に用いられる方法は物理接触による光接続である。球面状に研磨（PC研磨; Physical Contact）した光ファイバ端面を突き当て接触させることにより、広い波長帯域にわたり挿入損失0.3 dB以下（伝送効率93%以上）の高い伝送効率を得ることができる<sup>6)</sup>。ただし、端面の塵埃に非常に弱く、端面ふき取りができない環境で頻繁に接続を繰り返す用途には適さない。

端面非接触の光接続方式であるレンズ結合は、例えば鉄道、船舶—埠頭間接続、軍用光コネクタなどに用いられている<sup>6)</sup>。コネクタ端面ではビーム径が拡大されるために、キズなどの損傷に強く、挿入損失0.8 dB以下（伝送効率83%以上）で光接続を行なうことができる。欠点として、コネクタ内で光ファイバとレンズのアライメントが要求されることと、ファイバ端の口径は拡大されないため、端面の光汚染が懸念されること、レンズは屈折作用を利用して集光を行なうため波長による屈折率分散の影響を受けることなどが挙げられる。

以上から、広い波長帯域にわたるレーザー光を光源として用いるシステムの要求を両立する光コネクタの接続方式は提案されていないことがわかる。

## 2. アップテーパ型光コネクタの原理

本研究では波長無依存・非接触方式で高い伝送効率の光コネクタとして、アップテーパ型マルチモードファイバを用いたアップテーパ型光コネクタを提案する。アップテーパ型光コネクタは先端に向けコア径が増大するアップテーパファイバを対向させることで光接続を行なう光コネクタである。ファイバ端面間に離間（0.5 mm）を持たせることで非接触性を実現している。アップテーパ型光コネクタの模式図をFig. 2に示す。

コア径が十分大きいマルチモードファイバ中を伝搬する光は、断熱的にコア径が変化していく場合、幾何光学に従う範囲では式(1)で表わされるエタンデュ保存則（輝度不変の法則）を満たす<sup>7)</sup>。

$$r_{in} NA_{in} = r_{out} NA_{out} \quad (1)$$

ただし、 $r_{in}$ は入射側のコア径、 $NA_{in}$ は入射光の開口数、 $r_{out}$ は出射側のコア径、 $NA_{out}$ は出射光の開口数である。エタンデュが保存される限りにおいては、例えば出射側のコア径が2倍に増大すれば、出射光の開口数（≒ビーム拡がり角）は1/2倍に減少することになる。アップテーパ型光コネクタはこの原理を利用し、端面間の離間に対して光結合損失を抑えている。

この時のビーム拡がり角変化は、光ファイバの伝搬光がテーパ部において、ある角度をもつ側壁で全反射されることに由来する。幾何光学的に考えると、テーパ部の側壁で1回反射されるごとに、テーパの角度の分だけビーム拡がり角は減少することになる。従って、レンズのような屈折作用に由来する光学素子とは異なり、アップテーパファイバの拡がり角減少は波長にほとんど依存せず、広い波長範囲で高い伝送効率を得ることができる。

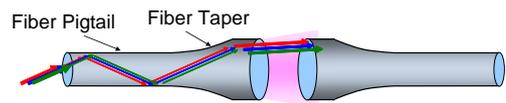


Fig. 2 Fiber optic connector using up-tapered optical fibers.

## 3. 設計・作製

### 3.1 幾何光学シミュレーションによるアップテーパファイバの設計

アップテーパ型光コネクタで設計できるパラメータは、コア径の拡大率とテーパ部長さである。最適なパラメータを見出すために、テーパ部長さを一定値としたときのコア径拡大率に対する挿入損失を幾何光学シミュレーションソフトZEMAX（Radiant Zemax社）により予測し、挿入損失が最小となるコア径拡大率を求めた。

幾何光学シミュレーションで用いたアップテーパ型光コネクタのモデルをFig. 3に示す。光ファイバのコア屈折率は1.45、クラッド屈折率は1.433とし、NA0.22の光ファイバとした。ストレート部のコア径/クラッド径は104  $\mu\text{m}$ /126  $\mu\text{m}$ とした。テーパ部は長さ10mmの円錐として近似し、細径側のコア/クラッド径104  $\mu\text{m}$ /126  $\mu\text{m}$ から拡大し、最終的に2～6倍のコア/クラッド径となる時の挿入損失を計算した。ただし、ファイバ端面の反射の影響は無視した。シミュレーションの結果をFig. 4に示す。

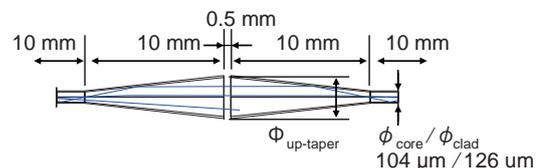


Fig. 3 Simulation model of up-tapered fiber-optic connector for ray trace.

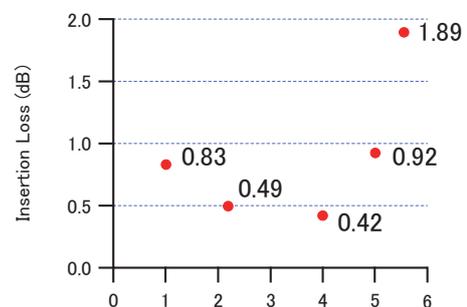


Fig. 4 Calculated insertion loss of up-tapered fiber-optic connector.

シミュレーションの結果から、4倍のコア/クラッド径拡大率のアップテーパファイバが最も小さい挿入損失0.42dB（伝送効率91%）を得られることがわかる。テーパ拡大率が小さい時には離間による挿入損失が大きく、

テーパ拡大率が大きい時にはテーパ部の角度が急峻すぎるために断熱的なテーパファイバとみなせず、ビーム変換が理想的に行なわれないために挿入損失が増加すると考えられる。

### 3.2 加熱延伸・融着法による作製

幾何光学シミュレーションの結果をもとに、コア/クラッド径 105/125  $\mu\text{m}$  から約4倍の 400/500  $\mu\text{m}$  へ拡大するアップテーパファイバの試作を行なった。

数m オーダのテーパ部長さのアップテーパファイバは市販されているが、製造方法がプリフォームからの線引き速度を変更するものであるので余剰分が多く、きわめて高価なデバイスであるとともに小型化にも難がある。そこで、本報告ではより小型かつ安価な方法を模索した。具体的には、コア/クラッド径 400/500  $\mu\text{m}$ , NA 0.22 の大口径石英ファイバを加熱延伸することで先端に向かってコア径が細くなるダウンテーパファイバを作製し<sup>8)</sup>、その後コア/クラッド径 105/125  $\mu\text{m}$ , NA 0.22 の石英ストレートファイバと融着接続することでアップテーパファイバの作製を行なった。作製工程を下記に示す。

1. 大口径ファイバの被覆除去
2. 大口径ファイバの加熱延伸によるダウンテーパファイバ化
3. ダウンテーパファイバのクリーブ
4. ダウンテーパファイバとストレートファイバを融着しアップテーパファイバ化
5. アップテーパファイバのフェルールへの接着固定・FCコネクタの組立
6. ファイバ端の光学研磨

以上の工程で作製したアップテーパファイバのパッチケーブルの写真を Fig. 5 に示す。



Fig. 5 Up-tapered fiber optic patch cable.

## 4. 評価

### 4.1 ビーム拡がり角の減少

アップテーパ部で良質なビーム径変換が行なわれているれば、ファイバから出射されるビーム拡がり角はエタンデュ保存則に従い縮小すると期待できる。本報告のアップ

テーパファイバの倍率は4倍であるので、ビーム拡がり角はストレートファイバと比べ1/4となる。アップテーパファイバ出射光の遠視野像を測定することでビーム拡がり角の減少を確認した。測定した遠視野像の断面プロファイルを Fig. 6 に示す。

ビームの全エネルギーの63%が含まれる角度を拡がり角と定義すると<sup>9)</sup>、ストレートファイバ10.2° に対しアップテーパファイバでは2.6° であった。この結果から、確かにビーム拡がり角は1/4に減少しており、良質なビーム径変換が行なわれていることがわかる。

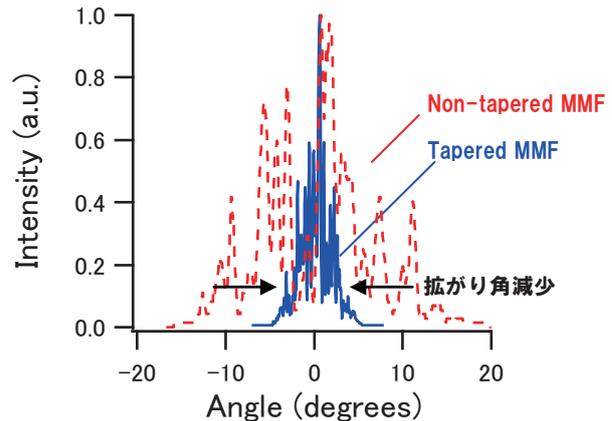


Fig. 6 Sections of far-field radiation patterns of the up-tapered multimode fiber (solid line) and non-tapered multimode fiber (dashed line).

### 4.2 挿入損失の波長依存性

作製したアップテーパ型光コネクタの挿入損失を波長 410 nm, 450 nm, 790 nm について測定した。ファイバ端面間の離間距離を 0.5 mm として測定した挿入損失を Fig. 7 に示す。

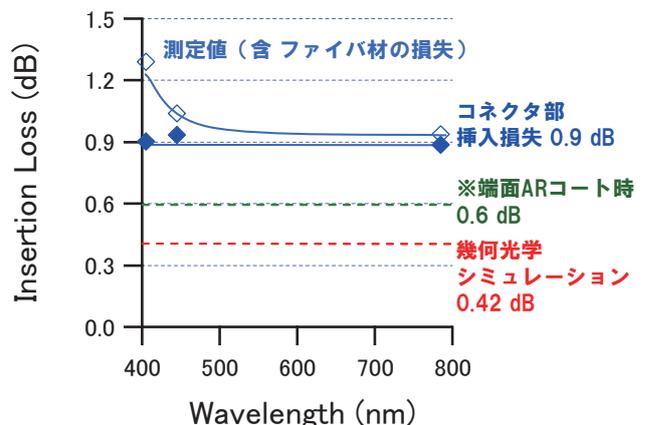


Fig. 7 Insertion loss of up-tapered fiber optic connector, the values measured and calculated by ray trace.

測定により得られた挿入損失は410nmで増加している。この挿入損失増加は、ファイバ材の吸収や散乱に由

来すると考えられる。同じ長さのストレートファイバで測定したファイバ材の損失を除くと、コネクタ部の挿入損失は波長に依存せず0.9dB（伝送効率81%）となることがわかる<sup>10)</sup>。

また、今回試作した光コネクタでは端面の反射防止処理を施していない。仮に端面に反射防止処理を施し、ファイバ端面の反射に由来する損失を低減したとすると、挿入損失は0.6dB（伝送効率87%）まで減少すると考えられる。これは幾何光学シミュレーションの値である0.42dB（伝送効率91%）に迫る値である。幾何光学シミュレーションと比べると0.18dB（4%）だけ過剰損失が存在するが、由来として融着部やテーパ部側面の外乱による損失を推測している。

## 5. まとめと今後の展望

波長410, 450, 790nmにおいて挿入損失0.9dB（伝送効率81%）のアップテーパファイバ型光コネクタを数サンプルレベルで実現することに成功した。また、反射防止加工を施すことで挿入損失0.6 dB（伝送効率87%）が期待されることが明らかになった。

非接触の光接続にも関わらず広い波長帯域にわたり高い伝送効率を得られることから、本報告のアップテーパ型光コネクタは広い波長範囲の照明光を照射し、かつ光接続部の挿抜が繰り返されるような機器に適していると考えられる。そのような例として、例えば多色の励起光源を持つレーザ内視鏡や光センシング用ファイバデバイスなどが挙げられる。また、端面のコア径が大きいことから光コネクタ端部の耐傷性の向上も考えられ、光インターコネクタ<sup>11)</sup>などユーザが日常的に挿抜を繰り返す光応用機器への広範な展開が期待される。

## 参考文献

- 1) Wall, R. Andrew.; Bonnema, Garret. T.; Barton, Jennifer K. Novel focused OCT-LIF endoscope. *Biomed. Opt. Express*. **2** (3), 421-430 (2011).
- 2) Fritsch, C.; Lang, K.; Neuse, W.; Ruzicka, T.; Lehmann, P. Photodynamic diagnosis and therapy in dermatology. *Skin Pharmacol. Appl. Skin Physiol*. **11**, 358-373 (1998).
- 3) Presby, H.M.; Benner, A.; Amitay, N. Research on an expanded beam single-mode fiber-optic connector. *Appl. Opt.* **27**, 3121-3123 (1988).
- 4) Shiraishi, K.; Aizawa, Y.; Kawakami, S. Beam expanding fiber using thermal-diffusion of the dopant. *J. Lightwave Technol.* **8**, 1151-1161 (1990).
- 5) Amitay, N.; Presby, H.M. Optical fiber up-tapers modeling and performance analysis. *J. Lightwave Technol.* **7**, 131-137 (1989).
- 6) アンフェノールジャパン(株). 光コネクタカタログ.
- 7) 牛山善太. シミュレーション光学. 東海大学出版会 (2003).
- 8) Birks, Timothy A.; Li, Youwei. W. The shape of fiber tapers. *J. Lightwave Technol.* **10**, 432-438 (1992).
- 9) JIS C 6802: 2011. レーザ安全の安全基準.
- 10) 吉弘達矢, 小野幸孝, 笠松直史. 第73回秋季応用物理学学会学術講演会. 13p-F3-2 (2012).
- 11) 日経エレクトロニクス. 2011年7月11日号.

(本報告中にある“ZEMAX”はRadiant ZEMAX, LLCの登録商標です。)

# 液相プロセスによる酸化物薄膜トランジスタの作製

梅田 賢一\*, 東 耕平\*, 野本 麻紀\*, 平井 博幸\*, 田中 淳\*, 鈴木 真之\*

## Fabrication of Solution-Processed Oxide Thin Film Transistors

Kenichi UMEDA\*, Kouhei HIGASHI\*, Maki NOMOTO\*, Hiroyuki HIRAI\*,  
Atsushi TANAKA\*, and Masayuki SUZUKI\*

### Abstract

In recent years, the transparent amorphous oxide semiconductor (TAOS) has attracted attention as an active layer for next generation TFTs. With the aim of reducing manufacturing cost, the solution-processed TAOS has been also under review. In this paper, we report on film formation, material analysis and fabrication of InGaZnO<sub>4</sub> and In-Zn-O TFTs using the solution-based process.

## 1. はじめに

酸化物半導体材料は可視域での光学透明性と電気伝導性の2つの特徴を有する物質として注目を集めている。特に近年、この透明導電性を生かし、太陽電池やディスプレイの透明電極材料としてITOが幅広く用いられるなど、われわれの生活にとっても身近な材料となってきた。しかしながら、これまで注目を浴びてきたのは主として透明導電性材料としてであり、半導体デバイスそのものの機能を担う材料という観点ではあまり注目を浴びてこなかった。

このような状況下、東京工業大学の細野秀雄教授などのグループは、InGaO<sub>3</sub>(ZnO)<sub>5</sub>を用いた単結晶の透明酸化物トランジスタを2003年に、さらにアモルファスInGaZnO<sub>4</sub>相による室温成膜薄膜トランジスタ(TFT)を2004年に順次発表した<sup>1), 2)</sup>。特に、アモルファスのInGaZnO<sub>4</sub>は、室温成膜であるにも関わらずアモルファスシリコンの10倍という高い移動度を示しており、この発見以降、In-Ga-Zn-O系を中心とした酸化物半導体材料が、次世代ディスプレイ用のTFTの活性層として注目を集めるきっかけとなった。

このIn-Ga-Zn-O系を始めとした透明アモルファス酸化物半導体は、「TAOS(Transparent Amorphous Oxide Semiconductor)」と称され、細野らの発表以降、さまざまな研究機関やメーカーが研究開発を行ない、技術躍進を遂げている。特に、日本や韓国、台湾のパネルメーカーが中心となって大型のディスプレイの試作が活発に

行なわれており、信頼性や安定性の議論、さらには量産化に向けた技術検討も進み、かなり実用化に近いレベルにまで達してきている<sup>3), 4)</sup>。

一方で、ディスプレイの面積化トレンドのなか、有機材料基板を用いたフレキシブルディスプレイへの次世代戦略や、脱真空プロセスによって製造コストを下げる狙いとして液相プロセスによるTAOS-TFT作製の研究開発も盛んである。一例として、Oregon州立大学を中心にZnO(2003年<sup>5)</sup>), Zn-Sn-O(2006年<sup>6)</sup>), In-Zn-O(2007年<sup>7)</sup>)などが報告されており、特に近年は報告数が劇的に増加している。またSID2009において、サムスン電子が液相プロセスで作製したTAOS-TFT駆動の4インチ液晶ディスプレイを報告するなど<sup>8)</sup>、液相プロセスによるTFT作製に対する世のなかの期待はますます高まっている。しかしながら、液相プロセスにおいては、真空成膜と比較してプロセス温度がまだまだ高いこと、良質な薄膜を得ることが困難であるということが、今後乗り越えなければならない課題として挙げられ、現時点でも『低温プロセスでもいかに高移動度で安定な素子が得られるのか』といった技術視点で、世界の研究機関を巻き込んだ競争が繰り上げられている。

## 2. 弊社における取り組み

ここで弊社におけるIn-Ga-Zn-O系を中心とした酸化物半導体材料に関する研究概要を紹介する。われわれの

本誌投稿論文(受理2012年11月12日)

\*富士フイルム(株)R&D統括本部  
先端コア技術研究所  
〒258-8577 神奈川県足柄上郡開成町牛島577

\*Frontier Core-Technology Laboratories  
Research & Development Management Headquarters  
FUJIFILM Corporation  
Ushijima, Kaisei-machi, Ashigarakami-gun, Kanagawa  
258-8577, Japan

グループでは、酸化物半導体材料自身の持つ真の特性、ポテンシャルを把握するため、アモルファスから単結晶まで、より広い視野に立って多角的に材料研究に取り組んでいる。さらに基礎的な材料物性評価から、TFTデバイスとしての信頼性、安定性に至るまで、実用的な視点も踏まえて研究を推進してきた。以下に、これまでに得られた具体的な研究結果事例を記す<sup>9)</sup>。

- [I]：セラミックス固相法を用い、半導体特性を示す領域における $\text{In}_{2-x}\text{Ga}_x\text{ZnO}_{4-\delta}$  ( $\delta$ :酸素欠陥量)の基礎的物性を精密に評価した。結晶相としてのGa固溶領域やそれに関連した電気特性を明らかにした。
- [II]：反応性固相エピタキシャル法を用いて $\text{InGaZnO}_4$ 単結晶膜を作製した。プロセス改良の可能性を検討すると同時に、単結晶という視点から電気特性の評価を行ない、単結晶膜を用いて、材料固有の測定雰囲気依存性を明らかにした。
- [III]：液相プロセスに適応した $\text{InGaZnO}_4$ 、 $\text{In-Zn-O}$ 原料を合成した。スピコートおよびインクジェット法を用いて、デバイスの作製・評価を行ない、良好な特性を有する酸化物TFTの作製に成功した。
- [IV]：スパッタ成膜法により作製した $\text{In-Ga-Zn-O}$ TFTの信頼性向上のため、保護層として新規に酸化ガリウム層を採用した。閾値シフト抑制など、信頼性の向上に成功した。
- [V]：可視光領域における $\text{In-Ga-Zn-O}$ TFTの光安定性向上を図る狙いで、 $\text{In-Ga-Zn-O}$ 膜の $\text{In/Ga}$ 比に注目して組成変調を行なった。光学バンドギャップの拡大を実現させ、TFTの光安定性向上を達成した。
- [VI]：スパッタ成膜アモルファス $\text{In-Ga-Zn-O}$ 膜において、 $200^\circ\text{C}$ 付近でのポストアニールが導電率に与える影響を評価した。In-Situ測定により精査することで、膜中の含有水分がポストアニール後の導電率に大きく影響を与えることを明らかにした。

以下の章では、上記 [III] に記した液相プロセスによる酸化物TFT作製に関して詳細に報告する。

### 3. 液相プロセスによる $\text{InGaZnO}_4$ 、 $\text{In-Zn-O}$ TFTの作製および評価

#### 3.1 プレカーサー材料の合成および評価

液相プロセスで酸化物材料を作製するための原料としては、金属アルコキシド、金属有機酸塩、硝酸塩、塩化物などのさまざまな候補がある。本報告では、出発原料として、有機金属化合物である金属アルコキシドを採用し、酸化物半導体のプレカーサー溶液を作製した。金属アルコキシドは、金属原子とアルコール基が結合した状態の材料であり、塩素などの不要な元素を最初から排除

しておくことが可能なため、電子デバイスを作製するための原料としては好ましい<sup>10)</sup>。

$\text{InGaZnO}_4$ プレカーサー溶液の合成フローをFig. 1に示す。In原料としては、 $\text{In}(\text{O-C}_3\text{H}_7)_3$  (高純度化学製3N)、Ga原料としては、 $\text{Ga}(\text{O-C}_3\text{H}_7)_3$  (添川理化学製3N)、さらにZn原料としては $\text{Zn}(\text{CH}_3\text{COO})_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  (高純度化学製3N)を用いた。ここでは、作製する膜の組成として $\text{InGaZnO}_4$ を目指すこととし、各原料の量を適切に調整している。また、溶解性および経時安定性を向上させるために、溶媒として $(\text{C}_2\text{H}_5)_2\text{NC}_2\text{H}_5\text{OH}$  (ジエチルエタノールアミン) (和光純薬工業製)を用いた。得られた溶液の組成比をICP測定により求めるところ、 $\text{In}:\text{Ga}:\text{Zn}=1:1:0.95$ であった。

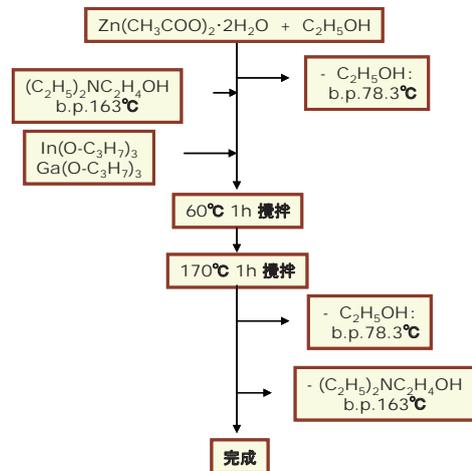


Fig. 1 Synthesis flow of  $\text{InGaZnO}_4$  precursor solution.

作製した $\text{InGaZnO}_4$ プレカーサー溶液の熱分解特性を、TG-DTAを用いて測定した (Fig. 2)。約 $400^\circ\text{C}$ までで有機物

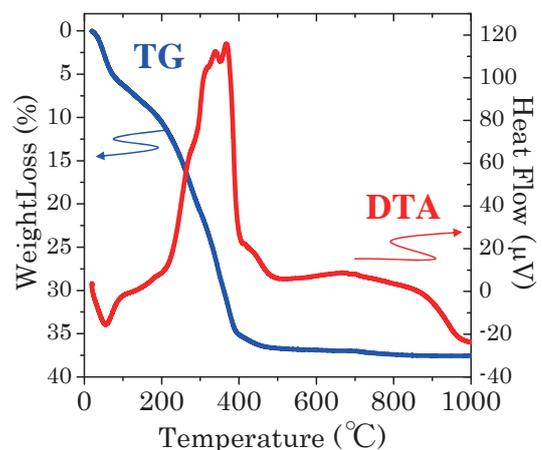


Fig. 2 TG-DTA characteristics of  $\text{InGaZnO}_4$  precursor solution.

の燃焼による重量減少が終了しており、焼成温度の上昇とともに脱水縮合重合が進行していることが確認された。次に、得られた $\text{InGaZnO}_4$ 溶液の塗布膜 (スピコート膜)

におけるXRDパターンの焼成温度依存性をFig. 3に示す。600℃焼成まで安定なアモルファス相として存在し、700℃以上の焼成にて単相で結晶化することを確認した。これらは、真空成膜による報告例と同等の傾向であり、溶液を出発源としても単相のInGaZnO<sub>4</sub>が形成可能であることが確認された。

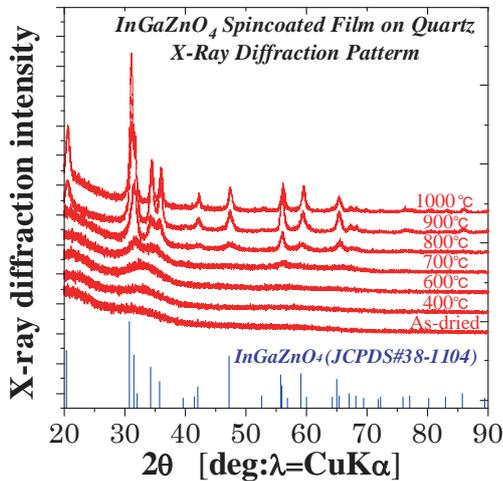


Fig. 3 Annealing temperature dependence of the XRD patterns of InGaZnO<sub>4</sub> film.

### 3.2 TFTの作製および評価

前述のInGaZnO<sub>4</sub>溶液を用い、スピコート法およびインクジェット法それぞれによるTop-Gate型TFTを作製して、電気特性を評価した。インクジェット法によりパターンニング成膜を行なう場合は、装置ごとに適性を考慮し、最適な溶液パラメータ（粘度、表面張力、濡れ性など）を選択する必要がある。今回はインクジェット装置にFUJIFILM Dimatix社製DMP2831を用い、溶液に対しては粘度を中心とした調整を行なった。具体的には、前述したInGaZnO<sub>4</sub>溶液（粘度45cps）に対し、アルコール可溶かつ粘性の高いシクロヘキサノールを添加して、粘度9.89cpsのインクジェット用InGaZnO<sub>4</sub>溶液（Printable Ink）を調合した。

TFT作製フローをFig. 4に示す。石英基板上にInGaZnO<sub>4</sub>

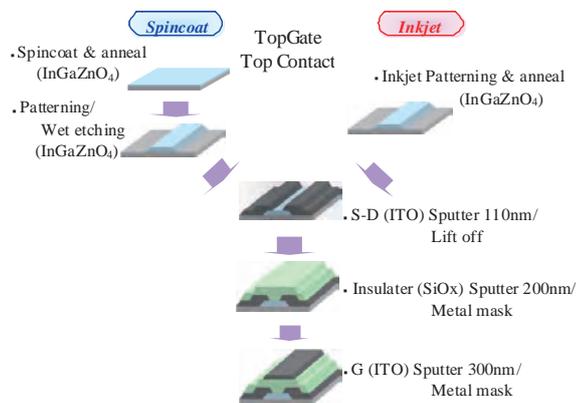


Fig. 4 Process flow of TFT fabrication.

薄膜を形成し、スピコート膜の場合にはフォトリソグラフィを用いてパターンニングを行なった。ソース・ドレイン電極作製以降の工程に関しては、InGaZnO<sub>4</sub>膜の形成方法に関わらず、プロセスを共通とした。スピコート膜、インクジェット膜、ともに900℃焼成膜を用いて作製したTFTの特性をFig. 5に示す。ともに良好なTFT特性が得られていることが確認されたが、インクジェット膜ではスピコート膜に比べて若干、特性が劣っていることがわかる。これは薄膜形成時の乾燥速度に由来したパターンノイズ、膜質の不均一化などが生じているためだと推測され、今後の課題である。

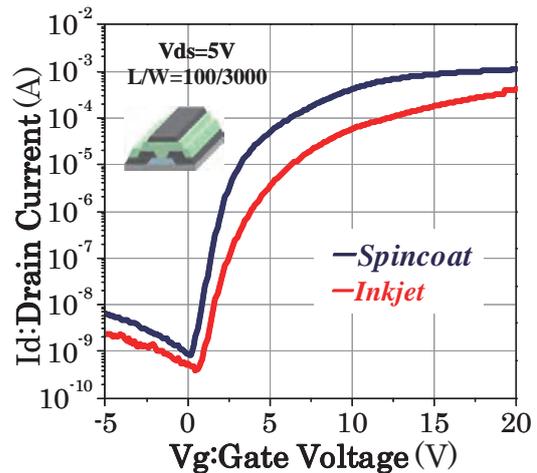


Fig. 5 Vg-Id characteristics of spin-coated and inkjetted InGaZnO<sub>4</sub> TFTs (At an annealing temperature of 900°C).

### 3.3 プロセス温度の低温化

前述のTFTは良好な特性を示したが、プロセス温度に900℃という高い温度を必要としており、実用化に際して使用する基板材料に大きな制約が生じる。また、高温焼成によりInGaZnO<sub>4</sub>膜が多結晶となっているため、粒界による素子特性への影響、特に不均一性などの問題が懸念される。しかしながら今回作製したInGaZnO<sub>4</sub>膜では、アモルファス状態のままでは、On電流が著しく低下し、良好なTFT特性を示さなかった。このため、活性層の酸化半導体層をアモルファス状態に保ったままでも良好なTFT特性を示すよう、プロセス低温化を軸に出発材料の改良を行なった。プロセス低温化のためには、組成、形態（微粒子など）、溶液設計、プロセス制御など、さまざまなアプローチが存在する。特に、今回はIn-Ga-Zn-O系のキャリア濃度を制御しているといわれているGaに着目し、Ga濃度を低減させ、キャリア濃度を増加させることで、On電流の向上とプロセス低温化の両立を狙った。そのなかで、Gaを含まないIn-Zn-O(=IZO：本報告ではIn：Zn=1：1の組成比)系にて特徴的な効果が得られたので報告する。

In-Zn-O系においても、InGaZnO<sub>4</sub>と同様の合成方法を用いて、アルコキシドを出発原料としたプレカーサー溶液

を得た。スピコート膜のXRD評価では、600℃焼成までアモルファス状態を示し、熱分解特性を含めInGaZnO<sub>4</sub>とほぼ同様の材料特性を示すことが確認された。

続いて、熱酸化膜付きSi基板上にスピコート法によりIn-Zn-O膜を形成し、600℃焼成後、簡易評価用TFT素子を作製した。通常の大気雰囲気下では、電気特性は導電性を示したが、水分を除去したDry Air中にて測定を実施すると、TFT動作を示すことが確認された。さらに同様の条件下では400℃焼成のIn-Zn-O膜においてもTFT動作が確認でき、一般的なガラス基板を使用できる温度領域までプロセス温度を低温化できることを明示した (Fig. 6)。プロセス低温化に対して、Ga濃度の低減 (除去) という組成制御が有効に働いたと考えられる。

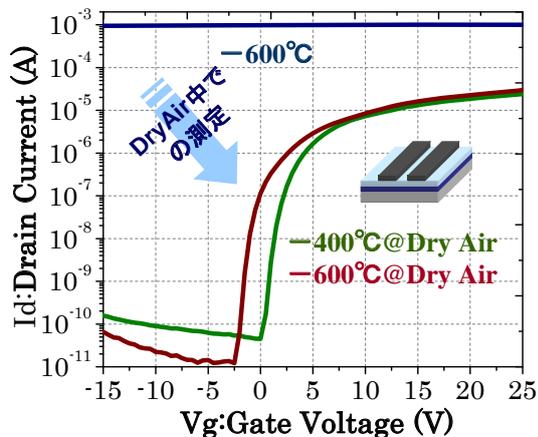


Fig. 6 Influence on measurement environment for spin-coated In-Zn-O TFTs, and annealing temperature dependence.

この簡易評価用の試料では作製した活性層 (In-Zn-O膜) が直接、外気にさらされる構造であるため、電気特性が雰囲気に対して大きく影響を受ける結果となった。類似した傾向は真空成膜で作製された酸化物TFTにおいても報告されているが、今回のように液相プロセスで作製した場合には、溶液の溶媒成分や膜中に存在する残留成分、欠陥などの影響により、真空成膜で形成した試料に比べて、より影響を受けやすくなっているものと推測される<sup>11), 12)</sup>。

最後に、In-Zn-OにおいてもInGaZnO<sub>4</sub>と同様にしてインクジェット用の溶液を調整し、Top-Gate型TFTを作製して特性評価を行なった。Fig. 7に示すように600℃焼成膜にて、スピコート膜、インクジェット膜、ともにInGaZnO<sub>4</sub>と同レベルの良好なTFT特性を示した。また、本実験で作製したTFTは、ゲート絶縁膜が保護層として機能し、活性層が外気から遮蔽された構造となっているため、通常雰囲気下においてもTFT動作を確認することができた。

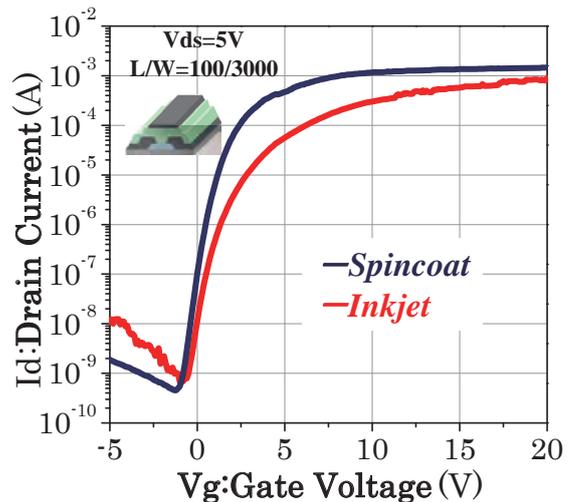


Fig. 7 Vg-Id characteristics of spin-coated and inkjetted In-Zn-O TFTs (At an annealing temperature of 600°C).

#### 4. まとめ

前述したように近年、脱真空プロセスとして、液相を介して薄膜トランジスタを構築する概念『Solution-Processed TFT』が隆盛しつつある。そのなかで、さまざまなプリンティング技術とそれに適応した材料設計が求められてきており、本研究では、TFTとして良好に機能し得るInGaZnO<sub>4</sub>およびプロセス低温化に対して有効なIn-Zn-O形成用のプレカーサー溶液の合成を行ない、さらにインクジェットに対応したPrintable Inkの作製に成功した。今後、これらの技術を生かしさらなる技術発展を目指し、新たな応用展開へと広げていきたい。

#### 参考文献

- 1) Nomura, K.; Ohta, H.; Ueda, K.; Kamiya, T.; Hirano, M.; Hosono, H. *Science*, **300**, 1269-1272 (2003).
- 2) Nomura, K.; Ohta, H.; Takagi, A.; Kamiya, T.; Hirano, M.; Hosono, H. *Nature*, **432**, 488-492 (2004).
- 3) 細野秀雄, 野村研二. 酸化物TFTの最近の動向と展望. 月刊ディスプレイ. 1月号, 4-13 (2011).
- 4) Kamiya, T.; Nomura, K.; Hosono, H. *Sci. Technol. Adv. Mater.* **11**, 044305 (2010).
- 5) Norris, B.J.; Anderson, J.; Wager, J.F.; Keszler, D.A. *J. Phys. D: Appl. Phys.* **36**, L105-107 (2003).
- 6) Herman, G.S. *TAOS2006*, 3 (2006).
- 7) Lee, D.H.; Chang, Y.J.; Herman, G.S.; Chang, C.H. *Adv. Mater.* **19**, 843-847 (2007).
- 8) Souk, J.H.; Roh, N.S. *SID Symposium Digest of Technical Papers.* **40** (1), 622-624 (2009).
- 9) 第57 回応用物理学関係連合講演会 (2010) :  
(a) 梅田賢一, 田中淳, 鈴木真之. セラミックス固相法によるIn<sub>2-x</sub>Ga<sub>x</sub>ZnO<sub>4-δ</sub>固溶系の研究. 17a-TL-2.

---

(b) 奈良裕樹, 高田真宏, 梅田賢一, 望月文彦, 田中淳, 鈴木真之. InGaZnO<sub>4</sub>単結晶薄膜の作製と電気特性評価. 17a-TL-3.

(c) 梅田賢一, 平井博幸, 東耕平, 南宮麻紀, 田中淳. 液相プロセスによる In-Ga-Zn-O, In-Zn-O TFT の作製. 17a-TL-7.

(d) 中山昌哉, 板井雄一郎, 多田宏, 今井真二, 三島康由. IGZO-TFT 活性層上の GaO 層の効果. 17a-TL-8.

(e) 濱威史, 望月文彦, 田中淳, 鈴木真之. 高 Ga 濃度 IGZO TFT の可視光照射時における光安定性. 17a-TL-9.

第58回応用物理学関係連合講演会 (2011) :

(f) 高田真宏, 小野雅司, 望月文彦, 田中淳, 鈴木真之. IGZO 薄膜における導電率温度依存性の In-situ 測定. 24a-BS-4.

10) Bradley, Donald C. Chem. Rev., **89**, 1317-1322 (1989).

11) Kim, Y.H.; Kim, H.S.; Han, J.I.; Park, S.K. Appl. Phys. Lett. **97**, 0921051-0921053 (2010).

12) Kang, D.; Lim, H.; Kim, C.; Song, I.; Park, J.; Park, Y.; Chung, J. Appl. Phys. Lett. **90**, 192101-192103 (2007).

(本報告中にある“IGZO”はシャープ(株)の登録商標です。)

# 撥水性パターニングにおける表面間力によるハジキ流動

宮本 公明\*

## Dewetting Flow Caused by Inter-surface Force during Hydrophobic Patterning

Kimiaki MIYAMOTO\*

### Abstract

Hydrophobic patterning is a method of precise patterning for printed electronics. Exposure to UV light is used to create wiring and electrode patterns on a pre-coated photo-polymer, then hydrophilic conductive ink makes the pattern according to the hydrophilicity induced by the UV light. This study clarifies effects of difference in inter-surface force of adjacent regions and effects of surface unevenness by solving a film profile equation. The results show that stripes of two different levels of hydrophobicity provide a sufficient condition to make a dewetting pattern. In other words, it is not necessary to combine the hydrophilic stripe with the hydrophobic stripe for creation of a dewetting pattern. Also, it was found that hydrophobicity in a hill of a wavy surface is better for quick dewetting. If this status is reversed, namely hydrophobicity in a valley on the surface, stabilization or slow dewetting is caused. These findings suggest that the capillary force and inter-surface force affect each other during dewetting when the thickness is in the sub-micron order and no gravity effect occurs to level the surface.

## 1. Introduction

Recent development of organic semi-conductors has enabled Thin Film Transistors (TFTs) to be fabricated using printing technology alone. Although many samples of printed TFTs have been exhibited at trade-shows, it is hard to start mass-production because of the printing accuracy required. Inkjet printing is preferable because it has flexible alignment features and allows printing TFTs on demand. However, the problem with IJ technology is the trade-off between productivity and drop size that is typically 10 microns. In contrast, the typical TFT requires a 5 micron gap between source and drain electrodes.

Photonic assistance or hydrophobic patterning was proposed to overcome the difference between IJ accuracy and requirements when printing TFTs<sup>1), 2)</sup>. This method changes the hydrophobic polymer surface allowing it to be wetted by hydrophilic IJ ink. A special hydrophobic polymer on a substrate is exposed to patterned UV light as shown in Fig. 1. Then its surface

changes to hydrophilic by a chemical decomposition. This reaction has the additional effect of shrinkage of polymer which combines the chemical pattern and physical pattern. When hydrophilic IJ ink is sprayed roughly on the hydrophilic part, the ink dewets the hydrophobic surface and concentrates at the hydrophilic part. Accuracy of this process depends on the dewetting behavior of the surface-ink system.

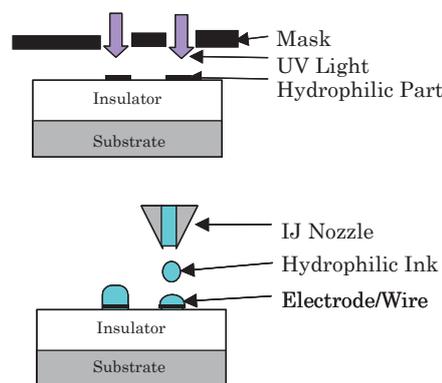


Fig. 1 Process of hydrophobic patterning.

本誌投稿論文 (受理2012年10月26日)

\*富士フイルム (株) R&D 統括本部  
〒258-8577 神奈川県足柄上郡開成町牛島577

\*Research & Development Management Headquarters  
FUJIFILM Corporation  
Ushijima, Kaisei-machi, Ashigarakami-gun, Kanagawa  
258-8577, Japan

Intensive analysis of patterned dewetting was carried out by A. Sharma et al. <sup>3)~5)</sup>, but they limited cases to very thin film of fine patterns for use in the photo-lithography of semiconductor process. In the field of printed electronics, concerns are on much thicker film and a coarser pattern in the order of micrometers. This study elaborates on the dewetting phenomena found in the actual printed electronics process including the dewetting effect of solid surface morphology, Hamaker constant and liquid film parameters. The author adopts a theory by D. K. Owens and R. C. Wendt <sup>6)</sup> for the relationship between a contact angle and dispersion/non-dispersion components of both liquid and solid (eq. 1a-1c), which is an extension of the theory by Fowkes <sup>7)</sup>. Also the empirical relationship between surface energy components and the Hamaker constant is used according to A. Sharma and G. Reiter <sup>4)</sup> (eq. 2).

$$\gamma_i = \gamma_i^d + \gamma_i^h \quad (1a)$$

$$\gamma_{SL} = \gamma_S + \gamma_L - 2\sqrt{\gamma_S^d \gamma_L^d} - 2\sqrt{\gamma_S^h \gamma_L^h} \quad (1b)$$

$$1 + \cos \theta = 2\sqrt{\gamma_S^d} \left( \frac{\sqrt{\gamma_L^d}}{\gamma_L} \right) + 2\sqrt{\gamma_S^h} \left( \frac{\sqrt{\gamma_L^h}}{\gamma_L} \right) \quad (1c)$$

$$a_H = -24\pi d_0^2 \sqrt{\gamma_L^d} \left( \sqrt{\gamma_S^d} - \sqrt{\gamma_L^d} \right) \quad (2)$$

where  $\gamma_i$  is the surface energy of liquid L or solid S in [N/m],  $\gamma_i^d$  is the dispersion component of surface energy,  $\gamma_i^h$  is the non-dispersion component of surface energy and  $\theta$  is the contact angle.  $a_H$  is the Hamaker constant [J] of this system and  $d_0$  is the separation distance at contact [m].

This relationship supports the use of the Hamaker constant as a parameter for the disjoining pressure of a liquid–solid system (eq. 3). The flow driven by the disjoining pressure was analyzed earlier by M. B. Williams and S. H. Davis <sup>8)</sup> but the results were not precise enough. This study shows the results in greater detail with much more accuracy.

$$\Pi = \frac{a_H}{6\pi\delta^3} \quad (3)$$

where  $\Pi$  is the disjoining pressure [Pa],  $\delta$  is the liquid film thickness [m].

## 2. Model

The simplest model to examine the dewetting hydrodynamics is evenly coated liquid film on a flat surface with one half of the area hydrophilic and the other half hydrophobic as shown in Fig. 2.

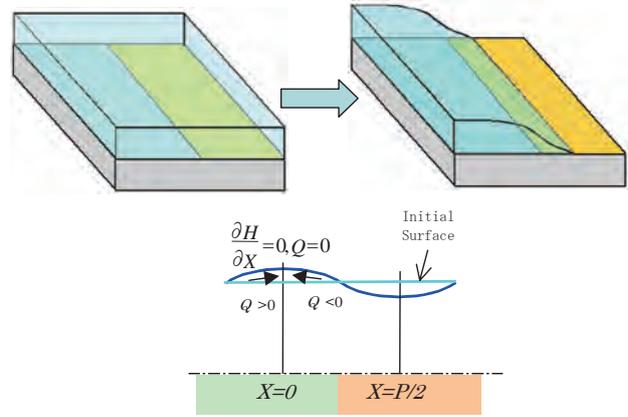


Fig. 2 Model for flat surface.

The boundary of these two regions is linear and a calculation domain corresponds to a half of the pitch of the line pattern. The well-known Film-Profile Equation (eq. 4) is used for calculation together with lubrication approximation.

$$\frac{\partial \delta}{\partial t} = -\frac{\partial q}{\partial x}, \quad \frac{\partial \delta}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} \left[ \frac{\delta^3}{3} \left( \frac{\partial p}{\partial x} \right) \right] \quad (4)$$

where  $q$  is the unit width flow rate [ $\text{m}^2/\text{s}$ ],  $p$  is the total pressure in the liquid film [Pa].

Here, the pressure gradient includes not only the gravity potential term and capillary force term but also the gradient of a Hamaker constant and that of an inter-surface force.

(eq. 5) In the equation,  $\rho$  is the density [ $\text{kg}/\text{m}^3$ ],  $\sigma$  is the surface tension [N/m] and  $h$  is the surface position [m].

$$\frac{\partial p}{\partial x} = \rho g \frac{dh}{dx} - \sigma \frac{d^3 h}{dx^3} - \frac{1}{6\pi\delta^3} \frac{da_H}{dx} + \frac{a_H}{2\pi\delta^4} \frac{d\delta}{dx} \quad (5)$$

Coverage of this model is limited to calculation from the beginning of film thinning to the instant of film breakage at the thinnest point. Thus, the process of a receding contact line is not covered in this study.

Before solving the model numerically, the analytical relationship between a Hamaker constant and parameters is deduced. Dewetting flow stops when the capillary force balances with the inter-surface force

(eq. 6). Assuming that the film surface shape is a sinusoidal curve (Fig. 3), a simple equation expressing the parameter effect on the critical Hamaker constant is deduced. This shows that the Hamaker constant is proportional to the surface tension  $\sigma$  and the fourth power of the thickness  $\delta$ , and inversely proportional to the square of the pitch  $p_w$  (eq. 7). These findings are compared with numerical results in the next section.

$$\sigma \frac{d^3 h}{dx^3} \approx \frac{a_H}{2\pi\delta^4} \frac{d\delta}{dx} \quad (6)$$

$$a_H = -\frac{(2\pi)^3 \delta^4}{p_w^2} \sigma \quad (7)$$

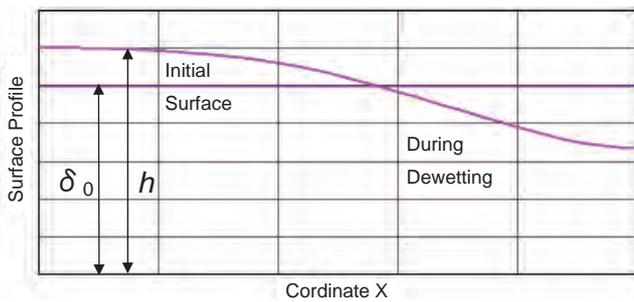


Fig. 3 Simple analytical model.

### 3. Parameter study by numerical calculation

Numerical analysis is performed with a flat surface, sinusoidal surface (eq. 8) and terrace surface (eq. 9).

$$h = \delta + h_0 = \delta - A_{mp} \cos(2\pi x / p_w) \quad (8)$$

$$h = \delta + h_0 = \delta + A_{mp} \tanh(\alpha(x - x_{orgn}) / \delta) \quad (9)$$

where  $A_{mp}$  is the amplitude of waviness [m],  $\alpha$  is the slope parameter [-] and  $h_0$  is the position of a solid surface [m].

With a terrace shape, polymer shrinkage by UV light and various line-and-space ratios are well demonstrated. Solutions are acquired by using the finite difference method and Euler integration with seven point expression of third order derivatives for better accuracy. Non-dimensionalization is performed by using the initial film thickness  $\delta_0$  as the length scale and  $\mu/\rho g \delta_0$  as the time scale. As a result, two non-dimensional parameters, the Bond number  $B_o$  and non-dimensional Hamaker constant  $A_H$ , are derived (eq. 10).

$$B_o = \frac{\rho g \delta_0^2}{\sigma}, \quad A_H = \frac{a_H}{\rho g \delta_0^2} \quad (10)$$

Basic parameters are 0.001 Pa.s for viscosity, 0.02 N/m for surface tension, 1,000 kg/m<sup>3</sup> for density, 0.1  $\mu$ m for

the liquid film thickness, 50  $\mu$ m for the pitch of a stripe and  $\pm 10\%$  difference in level between the steps of a terrace. Calculations are done with each value of the Hamaker constant (mostly negative) for the right half and with zero Hamaker constant for the left half in this parameter study section. Various combinations of Hamaker constants are investigated in the next section.

Two major phenomena, wetting and dewetting, are observed by the calculation (Fig. 4a, Fig. 4b). The dewetting case shows rapid thinning at the hydrophobic side creating zero thickness at the center of a hydrophobic stripe. There is a critical Hamaker constant that distinguishes between wetting and dewetting. In addition, strong dewetting may cause droplet formation resulting in incomplete dewetting with liquid left behind on the hydrophobic part (Fig. 4c).

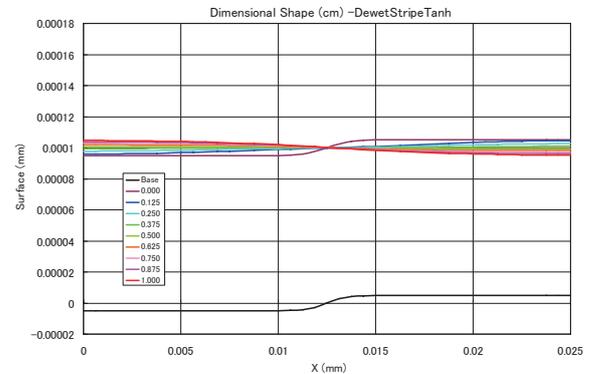


Fig. 4a Wetting.

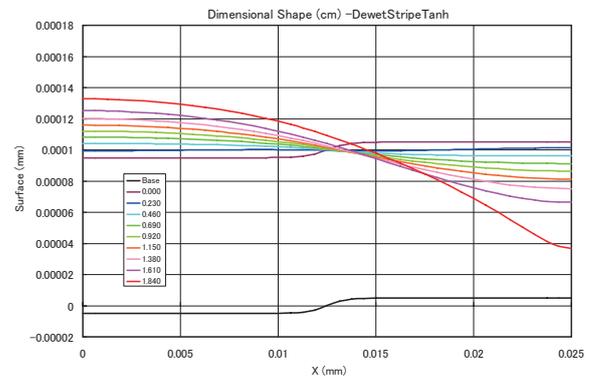


Fig. 4b Dewetting.

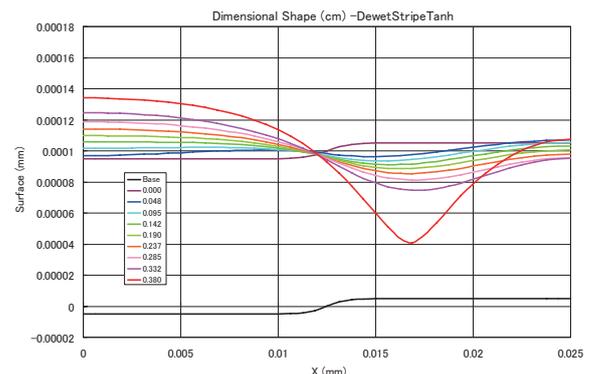


Fig. 4c Drop formation.

The hyperbolic tangent function is mainly used for a solid surface shape because this function can express a terrace shape that is commonly used in an actual printed electronics process (Fig. 5). A line-and-space ratio is usually not 1.0/1.0 because it depends on the circuit design, and a slope of the boundary between a hill and a valley varies depending on the defocus level of the UV light. These two surface morphology effects are examined first by changing parameters of the hyperbolic tangent function before calculating parameter effects. Fig. 6 shows the effect of the line-and-space ratio by shifting the origin of a hyperbolic tangent function together with a hydrophobic area that is on the right side of the origin of the curve. The vertical axis shows a negative critical Hamaker constant that distinguishes between wetting and dewetting, and the area above the graph line indicates dewetting resistance. The graph shows that the critical Hamaker constant changes slightly when the line-and-space ratio is changed from 12.5/37.5 to 37.5/12.5. Also the effect of slope is found to be weak as shown in Fig. 7.

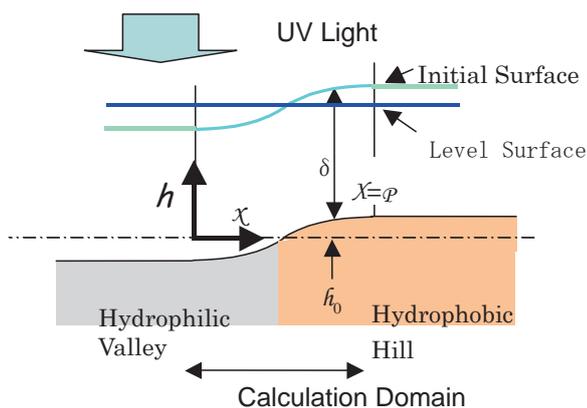


Fig. 5 Model for curved surface.

Therefore, the line-and-space ratio is fixed at 1.0/1.0 and a slope parameter of 0.1 is used in further sections.

The author examined the effects of solid surface shapes by using the shape function of flat, sinusoidal and hyperbolic tangent. The results for three surface shapes and an approximate solution are compared in Fig. 8 where the vertical axis also indicates a negative critical Hamaker constant. It is found that the surface waviness does not have much influence but it assists dewetting especially for shorter pitches. Waviness helps dewetting, which suggests a capillary force created by a curvature accelerates flattening and thinning the film toward dewetting at the beginning. However, the effect of shorter pitches, unlike the waviness effect, resists thinning in a later stage with a capillary force created by a concave surface. Also the graph shows that the simple analytical model represents a fair approximation of the numerical calculation for a flat surface. The comparison between the simple model and various parameter effects will be performed.

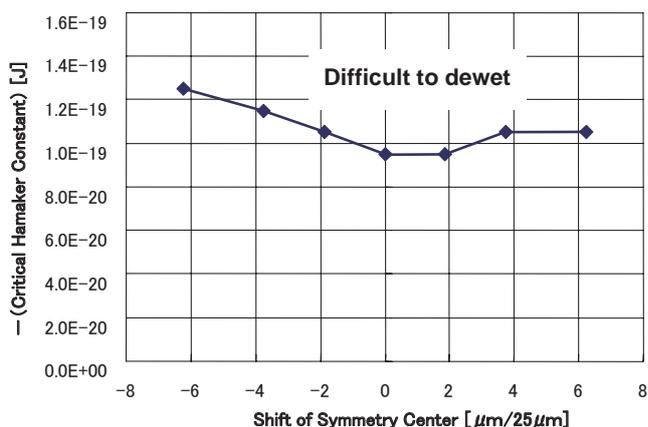


Fig. 6 Effect of line-and-space ratio on the critical Hamaker constant.

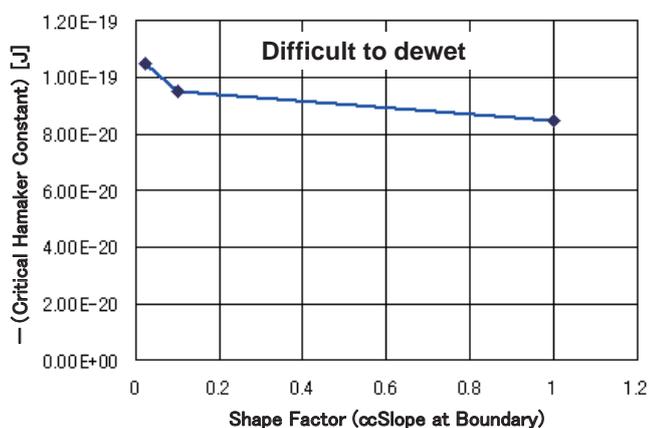


Fig. 7 Effect of slope at the boundary on the critical Hamaker constant.

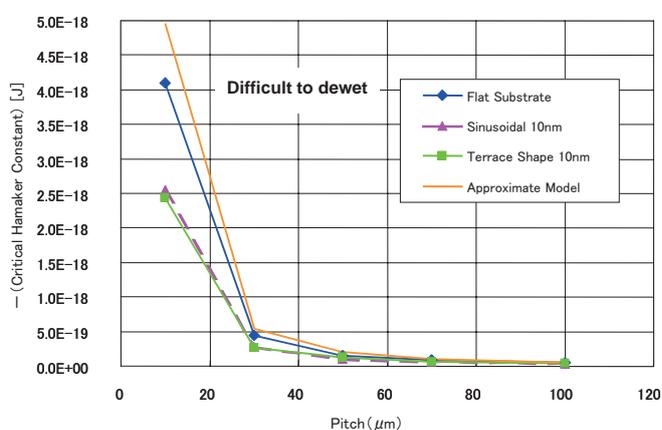


Fig. 8 Effect of pitch on the critical Hamaker constant.

Effects of liquid parameters are examined. The effect of viscosity is shown in Fig. 9 using the time length required for dewetting instead of a critical Hamaker constant as viscosity does not affect a critical Hamaker constant. This is because viscosity is only used in the non-dimensional time, not in the non-dimensional parameters in the differential equations. Therefore, the dewetting time required is linearly proportional to the degree of viscosity, which coincides with the empirical knowledge, "increase viscosity to prevent dewetting."

The surface tension effect is examined, and in Fig. 10 the relationship between negative critical Hamaker constants and surface tension for various morphologies is shown. All the lines converge at the origin of the graph and dependence is linearly proportional to the surface tension. The effect of a pitch is shown together

with the surface tension effect. These effects can be reasonably explained by a hypothesis that the flattening effect of capillarity and the dewetting effect of hydrophobicity affect the level between each other. This mechanism is much different from the conventional theory, which solved the same equation, of film leveling caused by gravity and capillarity. The simple model result agrees with the numerical result for proportionality.

The effect of film thickness to the negative critical Hamaker constant is found to be proportional to 3.82 power of the thickness, which is slightly different from the analytical value of 4 (Fig. 11). The graph shows that there is no difference between the sinusoidal surface and terrace surface.

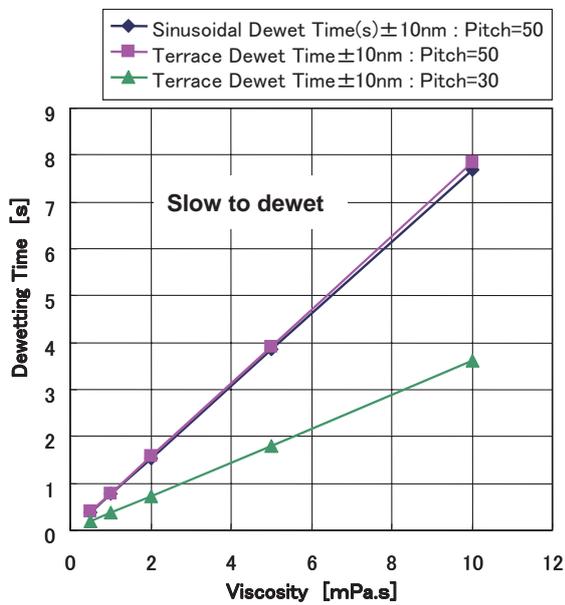


Fig. 9 Effect of viscosity on dewetting time.

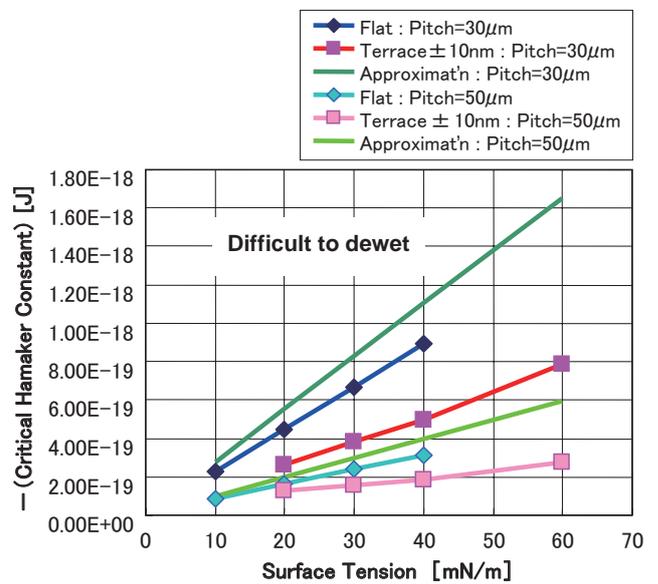


Fig. 10 Effect of surface tension on the critical Hamaker constant.

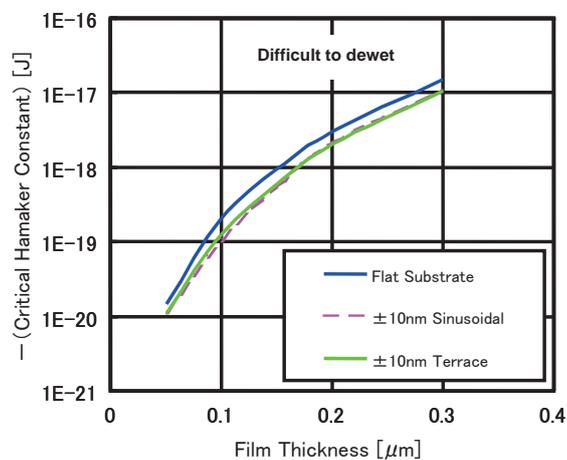


Fig. 11 Effect of film thickness on the critical Hamaker constant.

#### 4. Combination of two Hamaker constants for the hydrophobic area and hydrophilic area

There are various combinations of wettability of the hydrophilic area and the hydrophobic area in actual products. The result from the film on a combined surface with two Hamaker constants is of interest. Fig. 12, Fig. 13 and Fig. 14 visualize the dewettability of the film on a flat surface, sinusoidal surface and terrace shape surface. The horizontal axis corresponds to the Hamaker constant on the right side and the vertical axis corresponds to that on the left side. For a curved surface, the hill side is fixed to the right. In these figures, the left and/or bottom of axes represents the most hydrophobic condition. For the flat surface (Fig. 12), it is symmetric around the center so that the graph area is symmetric around the 45 degree line. It is found that

the liquid dewets when a Hamaker constant on the right side is more hydrophobic than  $-2 \times 10^{-19} \text{J}$  even if the one on the left side is also hydrophobic, as long as the two constants are different. In other words, it is not necessary that a Hamaker constant on the left half to be positive. Another finding is incomplete dewetting that occurs with overly strong Hamaker constants. However, these strong Hamaker constants are difficult to attain in actual practice.

Fig. 13 shows the results of a sinusoidal surface, which is similar to the flat surface case except for the dewettability on the 45 degree line. As the system is no longer symmetric around the two-surface-boundary, the difference from flat cases appears even when two Hamaker constants are the same. Because the surface shape of a coated film has a curvature, capillary force is the initial driving force to flatten the surface, namely

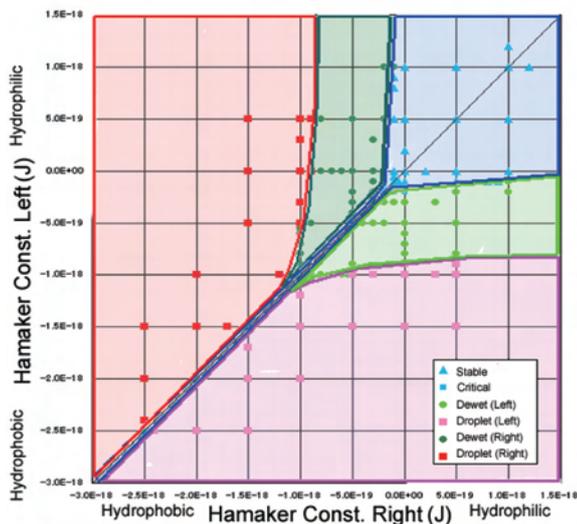


Fig. 12 Dewetting window for flat surface.

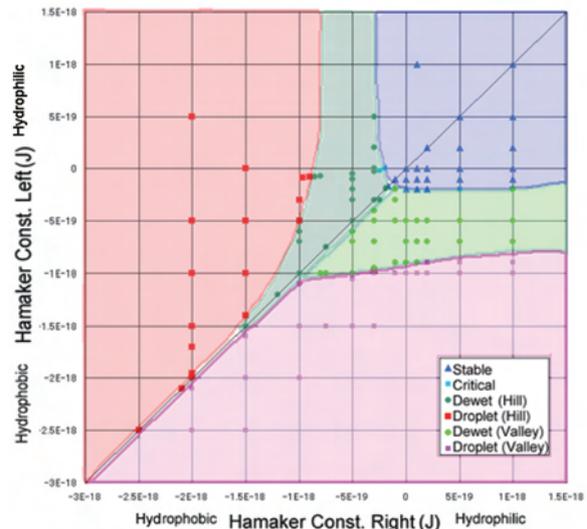


Fig. 13 Dewetting window for sinusoidal surface.

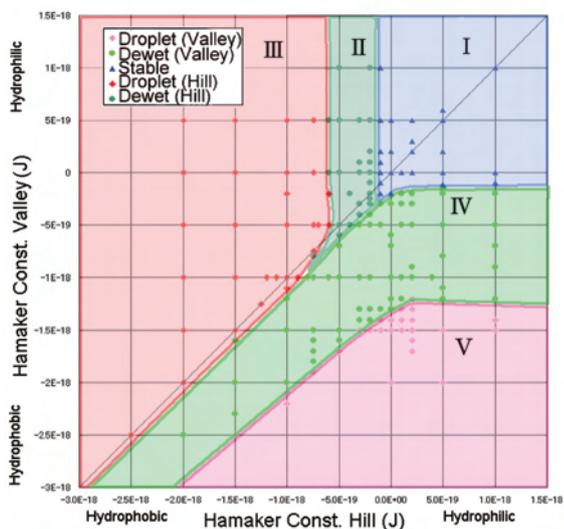


Fig. 14a (Top) Dewetting window for terrace shaped surface.

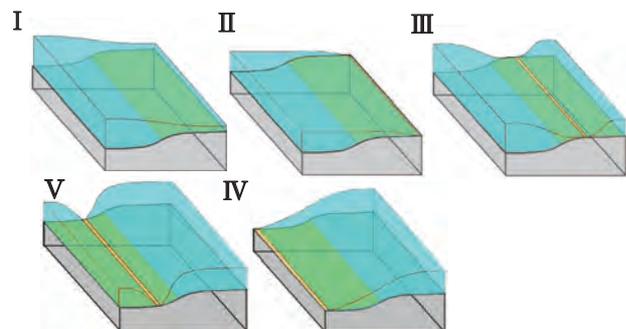


Fig. 14b (Bottom) Final shape of a liquid film.

---

to dewet, a pressure gradient with the same disjoining pressure at the boundary with the same Hamaker constants can be different at the point.

When the inter-surface force is strong enough, incomplete dewetting that forms droplets can also occur in the terrace surface case. The terrace shape case shown in Fig. 14 is basically similar to a flat surface case with the exception in the hydrophobic part at the valley of the terrace. In this case, hydrophobicity repels a liquid upward to the right hill although capillarity moves a liquid to the left valley, resulting in a very slow dewetting motion that might be the reason of complete dewetting free from drop formation. Finally, the author acknowledges that the weak effect of the surface shape appears to change the critical Hamaker constant to  $-1 \times 10^{-19} \text{J}$  from  $-2 \times 10^{-19} \text{J}$  for the flat surface.

## 5. Conclusion

The study of the dewetting process on hydrophobic and hydrophilic surfaces by changing parameters shows that the process is controlled by the mutual effects between the capillary and inter-surface forces. Also the results suggest that a large difference between the two Hamaker constants is not necessary but a reasonable hydrophobicity is necessary. The wider area of complete dewetting in Fig. 14 is a result of slower dewetting caused by hydrophobicity that moves the liquid against the opposing capillary force. Although these findings are helpful to find good conditions for dewetting, it is hard to estimate the practical Hamaker constants for actual systems. Future experimental confirmation of the theory is necessary for this study.

## References

- 1) Suzuki, K. et al. All-printed Organic TFT Backplanes for Flexible Electronic Paper. International Symposium on Electronic Paper 2010 (2010).
- 2) Maeda, H. Printed Organic TFT with High Operating Voltages for Active-Matrix Driven Electronic Papers. International Symposium on Electronic Paper 2010 (2010).
- 3) Sharma, A.; Jameel, A.T. Nonlinear Stability, Rupture, and Morphological Phase Separation of Thin Fluid Films on Apolar and Polar Substrates. *J. Coll. Interf. Sci.* **161**, 190-208 (1993).
- 4) Sharma, A.; Reiter, G. Instability on Thin Polymer Films on Coated Substrates: Rupture, Dewetting, and Drop Formation. *J. Coll. Interf. Sci.* **178**, 383-399 (1996).
- 5) Kargupta, K.; Sharma, A. Dewetting of Thin Films on Periodic Physically and Chemically Patterned Surfaces. *Langmuir.* **18**, 1893-1903 (2002).
- 6) Owens, D.K.; Wendt, R.C. Estimation of the Surface Free Energy of Polymers. *J. Appl. Polym. Sci.* **13**, 1741-1747 (1969).
- 7) Fowkes, F.M. ADDITIVITY OF INTERMOLECULAR FORCES AT INTERFACES. I. DETERMINATION OF THE CONTRIBUTION TO SURFACE AND INTERFACIAL TENSIONS OF DISPERSION FORCES IN VARIOUS LIQUIDS. *J. Phys. Chem.* **67**, 2538-2541 (1963).
- 8) Williams, M.; Davis, S.H. Nonlinear Theory of Film Rupture. *J. Coll. Interf. Sci.* **90**, 220-228 (1982).

## 印刷発表リスト

本リストは、2011年12月から2012年12月までに独立行政法人 科学技術振興機構作成のJDream II JSTPlusファイルに収録された当社研究者の論文を転載したもの（許可 第文-2410-2号）に、当社で保有する発表情報を追加したもの（左側に◎印のついたもの）である。なお、転載論文に掲載した論文は除外している。

\*印は当社以外の共同研究者である。

題 目	著 者	報 告 誌
デジタルセパレーション用白黒レコーディングフィルム「ETERNA-RDS」の開発	白 井 英 行 村 上 光 豊 嶋 悠 樹 大 関 勝 久	FujiFilm Res & Dev, No.57, 15-21 (2012)
デジタルセパレーション用白黒レコーディングフィルム「ETERNA-RDS」の開発	村 上 光 白 井 英 行 豊 嶋 悠 樹 大 関 勝 久	映画テレビ技術, No.723, 52-54 (2012)
2010年の写真の進歩 12. 映画	永 井 悟	日本写真学会誌, <b>74</b> (3), 149-150 (2011)
2011年の写真の進歩 12. 映画	永 井 悟	日本写真学会誌, <b>75</b> (3), 259-260 (2012)
◎ New D2T2 photo printing material: Advanced techniques and excellent properties	Terashima T. Arai T. Ohtani S.	Int Conf on Digital Printing Technologies, 678-681 (2011)
感光材料開発のためのハロゲン化銀粒子の形成とその写真的挙動に関する研究	大 関 勝 久	日本写真学会誌, <b>74</b> , 別冊, 18-19 (2011)
色素増感の電子移動機構：色素/ハロゲン化銀界面の電子構造の解明	谷 忠 昭	日本写真学会誌, <b>74</b> (6), 308-314 (2011)
色素増感の電子移動機構：色素/ハロゲン化銀界面の電子構造と色素分子の配向	谷 忠 昭	日本写真学会誌, <b>75</b> (2), 157 (2012)
色素層/ハロゲン化銀界面の電子構造と色素増感の電子移動機構 II	谷 忠 昭	応用物理学会学術講演会講演予稿集 (CD-ROM), <b>73</b> , 11A-H1-5 (2012)
映画フィルムにおける支持体と塗布層の密着についての長期保存性試験と寿命予測	豊 嶋 悠 樹 大 関 勝 久	日本写真学会誌, <b>74</b> , 別冊, 90-91 (2011)
映画業界における3D化の現状と今後	平 野 浩 司	日本写真学会年次大会特別セッション講演会講演要旨集, <b>2010</b> , 10-11 (2010)
シーン基準色空間からの高ダイナミックレンジCMS - デジタルシネマ規格 AMPAS-IIF の色変換 -	岩 城 康 晴 内 田 充 洋 近 藤 浩 和	Imaging Conference Japan 論文集, <b>2011</b> , 93-96 (2011)
2010年の写真の進歩 6. 画像保存 6.1 画像保存関連技術	大 関 勝 久	日本写真学会誌, <b>74</b> (3), 136-137 (2011)
2011年の写真の進歩 6. 画像保存 6.1 画像保存関連技術	大 関 勝 久	日本写真学会誌, <b>75</b> (3), 247-248 (2012)

題 目	著 者	報 告 誌
3Dデジタルカメラ「FinePix REAL 3D W3」の撮影画像を用いた「3D計測システム」の開発	増 田 智 紀 石 山 英 二 玉 山 宏	FujiFilm Res & Dev, No.57, 38-41 (2012)
3Dデジタルカメラ「FinePix Real 3D W3」による「3D計測システム」	卷 島 杉 夫 増 田 智 紀	画像ラボ, <b>23</b> (4), 72-75 (2012)
ハイブリッドビューファインダーの開発	近 藤 茂 竹 下 幸 孝 宮 野 俊	日本写真学会誌, <b>75</b> (2), 134 (2012)
2011年のカメラ『ハイブリッドビューファインダー』搭載FUJIFILM X100の開発について	近 藤 茂	日本写真学会誌, <b>75</b> (3), 267-271 (2012)
カメラの進化は止まらない プレミアムコンパクトカメラ「FUJIFILM X100」とハイブリッドビューファインダーの開発	近 藤 茂	O plus E, No.386, 39-44 (2011)
撮像素子内蔵型位相差AF	岩 崎 洋 一	日本写真学会誌, <b>74</b> , 別冊, 66-69 (2011)
ミー理論を用いた光線追跡法による電子写真画像の色再現モデル	中 村 崇市郎 野 口 高 史 平 松 崇* 他	Imaging Conference Japan 論文集, <b>2012</b> , 67-70 (2012)
スーパーハイビジョン広色域カメラの分光感度設計と色再現評価	斎 田 有 宏 正 岡 顕一郎* 他	電子情報通信学会技術研究報告, <b>111</b> (284), 83-86 (2011)
有機光電変換膜を敷設したCMOSイメージセンサ：斜め入射光の捕捉に対する光学的優位性	林 誠 之 井 浜 三樹男	日本写真学会誌, <b>75</b> (2), 133 (2012)
画素サイズの微細化に適した有機光電変換膜積層型CMOSイメージセンサ	後 藤 崇	半導体・集積回路技術シンポジウム講演論文集, <b>76</b> , 47-50 (2012)
イメージセンサ技術の最新動向 3 有機イメージセンサの技術動向	井 浜 三樹男	映像情報メディア学会誌, <b>66</b> (3), 178-181 (2012)
携帯端末向け文書画像レイアウト再構成技術「GT-Layout」の開発	矢 野 浩 教 浅 井 有 人 沢 野 哲 也 羽 田 典 久	FujiFilm Res & Dev, No.57, 42-45 (2012)
コミックスキャン画像からの自動コマ検出を可能とする画像処理技術「GT-Scan」の開発	野 中 俊一郎 沢 野 哲 也 羽 田 典 久	FujiFilm Res & Dev, No.57, 46-49 (2012)

題 目	著 者	報 告 誌
映像監視システム向けインテリジェント圧縮技術の開発	高 森 哲 弥 胡 軼 軼 胡 学 斌 野 口 幸 典 與那覇 誠	FujiFilm Res & Dev, No.57, 50-54 (2012)
顔画像の修正作業における注目点の変化に対する解析	内 山 高 夫 山 内 拓 也* 他	日本写真学会誌, <b>75</b> (2), 135 (2012)
感熱記録技術の基礎と最新技術動向	寺 嶋 尚 久	日本画像学会技術講習会, <b>73</b> , 283-299 (2012)
無処理CTP刷版「PRO-T3 (国内名称: XZ-R)」の開発	森 崇 徳 倉 本 守 石 黒 由利子 金 久 真由子 河 内 幾 生 大 橋 秀 和	FujiFilm Res & Dev, No.57, 22-26 (2012)
彫刻型フレキシオCTPセッター露光系要素技術の開発	板 倉 亨	日本印刷学会研究発表会講演予稿集, <b>126</b> , 10-13 (2011)
明日への印刷技術 CTP版・PS版のクローズドループリサイクル CO <sub>2</sub> 大幅削減技術	吉 川 直 紀 大 貫 良 子	印刷雑誌, <b>95</b> (1), 17-21 (2012)
UVワイドフォーマットインクジェットシステム「Acuity LED 1600」の開発	佐 藤 武 彦 可 知 泰 彦 眞 田 和 男 新 居 欣 三	FujiFilm Res & Dev, No.57, 33-37 (2012)
UV-LEDワイドフォーマットインクジェットシステムの開発	佐 藤 武 彦 可 知 泰 彦 眞 田 和 男 新 居 欣 三 齊 田 博 文 大 西 弘 哲	Imaging Conference Japan 論文集, <b>2012</b> , 97-98 (2012)
UV-LEDワイドフォーマットインクジェットシステム技術の開発	佐 藤 武 彦 可 知 泰 彦 眞 田 和 男 新 居 欣 三	日本印刷学会研究発表会講演予稿集, <b>127</b> , 20-23 (2012)
デジタルインクジェット印刷機「Jet Press 720」の開発	中 澤 雄 祐 柳 輝 一 永 島 完 司 井 上 義 章	FujiFilm Res & Dev, No.57, 27-32 (2012)
研究開発用マテリアルプリンター	井 上 齊 逸 本 郷 豊	日本印刷学会研究発表会講演予稿集, <b>127</b> , 62-67 (2012)

題 目	著 者	報 告 誌
研究開発用マテリアルプリンター	井 上 齊 逸 森 徹 本 郷 豊	日本画像学会技術講習会, <b>73</b> , 336-350 (2012)
FUJIFILM Dimatix マテリアルプリンターの紹介	森 徹 本 郷 豊	日本写真学会誌, <b>74</b> , 別冊, 96-97 (2011)
次世代水系インクジェット印刷におけるマーキングプロセス技術	山 野 辺 淳 津 澤 義 行 中 澤 雄 祐 小 田 晃 央	Imaging Conference Japan 論文集, <b>2011</b> , 147-148 (2011)
散乱・吸収と反射の複合モデルによる印刷色再現予測	堀 田 修 平 近 藤 浩 和	Imaging Conference Japan 論文集, <b>2012</b> , 35-38 (2012)
ステレオマンモグラフィシステムの開発	桑 原 孝 夫 海 野 靖 子 楠 木 哲 郎 石 川 和 夫*	日本写真学会誌, <b>74</b> , 別冊, 56-57 (2011)
乳癌の検査・診断 画像診断 (新しいdeviceを含む) 3Dマンモグラフィ	楠 木 哲 郎 白 岩 美 咲*	日本臨床, <b>70</b> (7), 322-325 (2012)
3Dマンモグラフィシステムの最適条件の検討	楠 木 哲 郎 桑 原 孝 夫	日本写真学会秋季研究報告会講演要旨集, <b>2011</b> , 68-69 (2011)
乳腺画像診断の現在 3Dマンモグラフィシステムの撮影条件の最適化と臨床使用	楠 木 哲 郎	映像情報Medical, <b>43</b> (12), 1023-1025 (2011)
最新トピックスから知るマンモグラフィの“今” マンモ効果の新局面を示す メーカーが示すデジタルマンモグラフィと3Dマンモの新たな試み デジタルマンモグラフィシステム「AMULET f」「AMULET s」と3Dマンモグラフィ	楠 木 哲 郎 村 本 綾 子	月刊新医療, <b>38</b> (12), 116-119 (2011)
ステレオマンモグラフィの読影における疲労の検討	桑 原 孝 夫 海 野 靖 子 田 島 崇 史 石 川 和 夫*	日本写真学会誌, <b>74</b> , 別冊, 58-59 (2011)
フラットパネルディテクタ2012 オリジナル技術で高画質と使いやすさを両立した『CALNEO C Wireless』シリーズのご紹介	五十嵐 博	映像情報Medical, <b>44</b> (2), 148-151 (2012)

題 目	著 者	報 告 誌
CRからDRへの発展における新方式CsI間接変換FPDの開発	細 井 雄 一 成 行 書 史 鍋 田 敏 之 榎 本 淳 阿賀野 俊 孝	日本写真学会誌, <b>75</b> (2), 144 (2012)
照射線量低減に向けた新方式CsI間接変換FPDの開発	成 行 書 史 鍋 田 敏 之 榎 本 淳 五十嵐 博 孝 阿賀野 俊 孝	日本写真学会秋季研究報告会講演要旨集, <b>2011</b> , 6-7 (2011)
◎ Feasibility study of the sub-pixel scanning method for single-exposure X-ray refraction imaging by Talbot-Lau interferometer using an a-Se direct conversion type FPD	Murakoshi D. Tada T. Ishii H. Hashimoto A. Kaneko Y. Ito W. Agano T.	Proc SPIE, <b>8313</b> , 83135G.1-83135G.6 (2012)
デジタルラジオグラフィ技術の動向 最新のコンピュータ・ラジオグラフィについて	成 川 康 則	非破壊検査, <b>61</b> (4), 141-147 (2012)
◎ New computed radiography processing condition for whole-spine radiography	Kamiya N. Sasagawa T.* 他	Orthopedics, <b>34</b> (12), e906-e910 (2011)
A New Approach: Endoscopic Submucosal Dissection Using the Clutch Cutter for Early Stage Digestive Tract Tumors	Akahane H. Akahoshi K.* 他	Digestion, <b>85</b> (2), 80-84 (2012)
◎ Content-based image-retrieval system in chest computed tomography for a solitary pulmonary nodule: Method and preliminary experiments	Osawa A. Hisanaga R. Moriya Y. Shimura K. Endo M.* 他	Int J Computer Assisted Radiology and Surgery, <b>7</b> (2), 331-338 (2012)
血管壁弾性計測自動化のための拍検出自動化処理の検討	宮 地 幸 哉 近 藤 祐 司 宮 地 幸 哉* 他	超音波医学, <b>39</b> , 増刊, S333 (2012)
反射型超音波診断装置を用いた音速測定法の開発	勝 山 公 人 山 口 博 司 近 藤 祐 司 伊 東 紘 一* 他	超音波医学, <b>39</b> , 増刊, S356 (2012)

題 目	著 者	報 告 誌
スマートフォンを用いた脳血管障害遠隔画像診断治療補助システム「i-Stroke」の開発	宮崎 幸一朗 宇佐美 亮 介 上 田 智	FujiFilm Res & Dev, No.57, 1-4 (2012)
脳卒中における携帯端末 (smart phone) を用いた画像診断・治療補助システムの有用性	中村 幸 司 菱沼 和 弘 高尾 洋 之* 他	J Neuroendovascular Ther, <b>5</b> (4), 316 (2011)
スマートフォンを用いた皮膚科領域における遠隔画像診断補助システムの可能性	菱沼 和 弘 高尾 洋 之* 他	日本皮膚科学会雑誌, <b>122</b> (4), 1107 (2012)
OCDにおける肘関節屈曲拘縮と長橈側手根伸筋の組織弾性について - ZONE Sonography を用いた検討 -	杉田 望 代 福吉 正 樹* 他	東海スポーツ傷害研究会会誌, <b>29</b> , 55 (2011)
タングステンターゲット・マンモグラフィ装置のX線スペクトル測定におけるモリブデンX線の出現とその検討	乙訓 伸 次 石井 裕 康 沼元 瞳* 他	日本放射線技術学会雑誌, <b>67</b> (9), 1088 (2011)
The clinical utility of a one-shot energy subtraction method for thoracic spine radiography	Kamiya N. Sasagawa T.* 他	J Orthop Sci, <b>17</b> (4), 346-351 (2012)
地域連携と遠隔画像診断の流儀 VII クラウド型サービスの最新技術解説 6. 医療連携におけるクラウド環境の利用	舟 橋 毅	Innervision, <b>26</b> (11), 62-63 (2011)
医用画像の外部保存化がもたらすもの [患者データ保管のメリットと可能性] 医用画像外部保存サービスの現況と運用の課題 ASSISTA Portal+STORAGEの価値と役割	舟 橋 毅	月刊新医療, <b>39</b> (7), 125-128 (2012)
医師の画像診断をサポートする「類似症例検索システム」の開発	志村 一 男 久 永 隆 治	メディカル・サイエンス・ダイジェスト, <b>38</b> (9), 409-412 (2012)
医師の画像診断をサポートする「類似症例検索システム」の開発	志村 一 男 久 永 隆 治	細胞, <b>44</b> (11), 522-525 (2012)
a-Se <sub>2</sub> 層構造直接変換型デジタルマンモグラフィにおける画像処理の検討 - 臨床画像を用いた評価 -	瀧 伴 子 川 島 博 子* 他	日本医学放射線学会総会抄録集, <b>71</b> , S266 (2012)
エネルギー差分法を用いた胸椎単純レントゲン画像の臨床的有用性	神谷 尚 一 笹川 武 史* 他	J Spine Res, <b>3</b> (3), 588 (2012)

題 目	著 者	報 告 誌
一般撮影用FPDにおける「新画像処理の画質」評価	岩 木 健 廣 澤 賢 一* 他	日本放射線技術学会総会学術大会予稿集, <b>68</b> , 108 (2012)
一般撮影用FPDにおける「新コンソール」のワークフロー評価	岩 木 健 大 川 宏 人* 他	日本放射線技術学会総会学術大会予稿集, <b>68</b> , 108 (2012)
線量指標としてのExposure Index (EI) の一般撮影領域への適用の検討	大 前 徳 宏 岩 木 健 章* 中 智 章* 他	日本放射線技術学会総会学術大会予稿集, <b>68</b> , 149 (2012)
線量指標としてのExposure Index (EI) の胸部領域への適用の検討 - Exposure Index (EI) とNEQの関係について -	大 前 徳 宏 岩 木 健 幸* 樫 山 和 幸* 他	日本放射線技術学会総会学術大会予稿集, <b>68</b> , 149 (2012)
GOS及びCsI間接変換方式FPDを使用した撮影線量低減の検討	大 前 徳 宏 三 枝 裕 之* 他	日本放射線技術学会総会学術大会予稿集, <b>68</b> , 150 (2012)
カセット型FPD向けグリッドモアレ除去技術の有用性	岩 木 健 山 下 晃 司* 他	日本放射線技術学会総会学術大会予稿集, <b>68</b> , 208 (2012)
小児胸部撮影における新方式CsIカセットFPDの画質評価	岩 木 健 村 石 泰 伸* 他	日本放射線技術学会総会学術大会予稿集, <b>68</b> , 250 (2012)
小児胸部撮影における新方式CsIカセットFPDによる視覚評価	岩 木 健 鳴 海 知 秋* 他	日本放射線技術学会総会学術大会予稿集, <b>68</b> , 250 (2012)
仮想気管支鏡ナビゲーションCADの精度	井 上 努 岸 本 真理子* 他	肺癌, <b>52</b> (5), 762 (2012)
音速補正による画質改善	近 藤 祐 司 杉 田 望 代	超音波検査技術, <b>37</b> (1), 31-37 (2012)
電子内視鏡照明光源の演色性評価	久 保 雅 裕 林 秀 樹 中 口 俊 哉* 他	日本医用画像工学会大会予稿集 (CD-ROM), <b>30</b> , OP3-10 (2011)
グラフ解析を用いた肝臓血管の抽出および分離	井 原 聡 志 北 村 嘉 郎 LI Y. 伊 藤 渡	電子情報通信学会技術研究報告, <b>111</b> (389), 239-244 (2012)

題 目	著 者	報 告 誌
機械学習と最小全域木を用いた高精度な気管支領域の抽出	井 上 努 北 村 嘉 郎 LI Y. 伊 藤 渡	電子情報通信学会技術研究報告, <b>111</b> (389), 215-220 (2012)
銀増幅イムノクロマトグラフィー法を用いた高感度インフルエンザ迅速診断システムの臨床検討	片 田 順 一 小山田 孝 嘉 三田村 敬 子* 他	月刊医学と薬学, <b>67</b> (2), 307-314 (2012)
銀増幅技術による高感度インフルエンザ診断薬の開発	森 幹 永 片 田 順 一 知 久 浩 之 中 村 健太郎 小山田 孝 嘉	FujiFilm Res & Dev, No.57, 5-10 (2012)
厚みのある移植用細胞構造体（細胞+足場）中での内部細胞生存と血管誘導	岩 澤 玲 子 中 村 健太郎 佐々木 翼 吉 岡 康 弘 芦 刈 智 子* 他	再生医療, <b>11</b> , 増刊, 183 (2012)
◎ Development of a highly sensitive immunochromatographic detection kit for H5 influenza virus hemagglutinin using silver amplification	Wada A. Sakoda Y.* 他	J Virol Meth, <b>178</b> (1-2), 82-86 (2011)
ドライケミストリー 多層フィルムの科学	杉 原 充	検査と技術, <b>40</b> (3), 177-181 (2012)
「アスタリフトライトアナライジングモイスチャーファンデーション」の開発	中 村 和 浩 城 内 美 樹 石 川 乃 梨子 宇田川 英 里 相 見 牧 子 小 杉 拓 治 植 田 文 教 中 村 善 貞 森 那 緒 子 磴 秀 康 前 田 麻 美	FujiFilm Res & Dev, No.57, 11-14 (2012)
アンチエイジングと機能性食品因子 マイクロアレイ解析を用いたラット小腸におけるサラシア属植物エキスの免疫亢進機能の発見	小 田 由 里子	イルシー, No.108, 27-38 (2012)
腸内細菌叢調節を介したサラシア属植物エキスのインフルエンザ症状軽減作用	植 田 文 教 小 田 由 里子 柿 沼 千 早 鶴 田 剛 司* 他	日本食品科学工学会大会講演集, <b>59</b> , 156 (2012)

題 目	著 者	報 告 誌
サラシア属植物を含むサプリメント摂取によるMetS改善効果の評価	境野佳樹 阿部道郎 山末耕太郎* 他	日本公衆衛生学会総会抄録集, <b>70</b> , 186 (2011)
非結晶化リコピンの安全性確認と吸収動態評価	小田由里子 植田文教 北岡弘行 丸山裕子 柿沼千早	日本栄養・食糧学会大会講演要旨集, <b>66</b> , 166 (2012)
アスタキサンチン-リコピン混合系の抗酸化能	澤田敏彦 横山裕 芝本匡雄 宮下陽介 立石朋美 永田幸三	日本化学会講演予稿集, <b>92</b> (3), 923 (2012)
自己乳化型DHA製剤の吸収性評価	阪口博之 原口暢之 小田由里子 植田文教	日本薬学会年会要旨集, <b>132</b> (4), 203 (2012)
退院サマリとDPCデータを用いた医薬品副作用エビデンス取得に関する実証実験	北原祐徳 高島正伸 柴田真吾* 他	Pharma Med, <b>30</b> (3), 83-90 (2012)
ポリミキシンB投与における腎毒性の病理学的検討	湯浅敦子 丸山裕子 梅屋直久 日置孝徳 佐藤洋 柿沼千早	日本毒性病理学会講演要旨集, <b>28</b> , 69 (2012)
日本版WETに適したバイオアッセイ手法のリングテスト結果について	窪田和代 渡部春奈* 他	環境化学討論会要旨集 (CD-ROM), <b>21</b> , 3C-02 (2012)
単回および反復投与毒性試験における分散剤による体内動態への影響	藤田正晴 秋元美由紀 梅屋直久 湯浅敦子 日置孝徳 柿沼千早	J Toxicol Sci, <b>36</b> (Suppl), S201 (2011)
蛍光イメージングシステムを使用したハイスループット in vitro 小核試験の評価	芝井亜弥 柿沼千早 日置孝徳 笠原利彦	J Toxicol Sci, <b>36</b> (Suppl), S204 (2011)

題 目	著 者	報 告 誌
定量的リアルタイムPCR法と主成分分析法による 遺伝子傷害性肝発がん物質と非遺伝子傷害性肝発 がん物質の識別	平 山 満 朝 降 旗 千 恵* 他	日本環境変異原学会大会プログラム・ 要旨集, <b>40</b> , 146 (2011)
◎ The antimicrobial activity, hydrophobicity and toxicity of tri (n-alkyl) sulfoniums and tris (n-alkylphenyl) sulfoniums, and their relationships	Hirayama M.	Biocontrol Science, <b>16</b> (4), 149-158 (2011)
◎ The antimicrobial activity, toxicity and antimicrobial mechanism of a new type of tris (alkylphenyl) sulfonium	Hirayama M.	Biocontrol Science, <b>17</b> (1), 27-35 (2012)
Discrimination of genotoxic and non-genotoxic hepatocarcinogens by statistical analysis based on gene expression profiling in the mouse liver as determined by quantitative real-time PCR	Hirayama M. Watanabe T.* 他	Mutat Res, <b>747</b> (2), 164-175 (2012)
The optimization for preparing the lymph node cell suspension in LLNA BrdU-ELISA	Maruyama Y. Yuasa A. Hioki T. Kasahara T. Kojima H.* 他	Altern Anim Test Exp, <b>16</b> (Suppl), 192 (2011)
An alternative method using a novel Cys derivative with UV absorption for skin sensitization test	Fujita M. Maruyama Y. Yuasa A. Jinbo Y. Hioki T.	Altern Anim Test Exp, <b>16</b> (Suppl), 195 (2011)
Additonal multisite study of reconstructed human epidermis, LabCyte EPI-MODEL24 skin irritation test	Kasahara T. Shibai A. Shinoda S.* 他	Altern Anim Test Exp, <b>16</b> (Suppl), 201 (2011)
◎ Validation study of the in vitro skin irritation test with the LabCyte EPI-MODEL24	Yuasa A. Kojima H.* 他	Alternatives to Lab Animals, <b>40</b> (1), 33-50 (2012)
Development of Coating-type Quarter-Wave Retardation Film for 3D-LCDs	Shiguro M. Ohmuro K. Saitoh Y. Takahashi Y. Watanabe J. Arai T. Mihayashi K.	Proc Int Disp Workshops, <b>18</b> (1), 207- 210 (2011)
Optical Compensation Film for FPD Produced by Liquid Crystalline Monomer	Nishikawa H. Kawata K.	J Photopolym Sci Technol, <b>25</b> (3), 289- 293 (2012)

題 目	著 者	報 告 誌
光学・機能フィルム 低複屈折光学フィルムの開発と動向	鈴木 亮	月刊ディスプレイ, <b>18</b> (4), 34-38 (2012)
バリウムフェライト磁気テープの長期保存性	清水 治 村田 悠人 栗橋 悠一 原 沢 建彦 浅井 雅彦 居 樹 実仁 野 口 仁	日本磁気学会学術講演概要集, <b>35</b> , 206 (2011)
リニアテープシステム用バリウムフェライト媒体の長期保存性能	栗橋 悠一 清水 治 村田 悠人 浅井 雅彦 野 口 仁	電子情報通信学会技術研究報告, <b>112</b> (137), 53-57 (2012)
磁気テープシステムの今後の媒体性能向上について	清水 治 村田 悠人 原 沢 建彦 浅井 雅彦 居 樹 実仁 野 口 仁	日本写真学会誌, <b>74</b> , 別冊, 88-89 (2011)
映像アーカイブメディアの新星「LTO-5」を学ぶ 開発者+ユーザがLTO-5の特徴とメリットを解説	長谷川 文彦	New Media, <b>29</b> (8), 68-73 (2011)
◎ Magnetic printing characteristics using master disk with perpendicular magnetic anisotropy	Fujiwara N. Nishida Y. Ishioka T. Yasunaga T. Sugita R.*	Phys Procedia, <b>16</b> , 24-27 (2011)
二光子吸収を応用したヒートモード記録光ディスク	望 月 英 宏 見 上 竜 雄 佐々木 俊 央 北 原 淑 行 津 山 博 昭 牧 野 雅 臣 中 村 崇市郎 井 上 健一郎	映像情報メディア学会技術報告, <b>35</b> (27), 35-42 (2011)
マークエッジ記録方式を用いた二光子吸収記録再生系のモデル化と信号処理方式の検討	北 原 淑 行 佐々木 俊 央 大 澤 壽* 他	愛媛大学社会連携推進機構研究成果報告書, No.5, 3-7 (2012)
ハーフピッチ20nm以下に対応するEUVレジスト材料	樽 谷 晋 司	日本化学会講演予稿集, <b>92</b> (1), 60 (2012)

題 目	著 者	報 告 誌
Functional Resist Materials for Negative Tone Development in Advanced Lithography	Tarutani S. Fujii K. Yamamoto K. Iwato K. Shirakawa M.	J Photopolym Sci Technol, <b>25</b> (1), 109-114 (2012)
EUV Resist Materials for 16nm and below Half Pitch Applications	Tarutani S. Tsubaki H. Takizawa H. Goto T.	J Photopolym Sci Technol, <b>25</b> (5), 597-602 (2012)
◎ Functional resist materials for negative tone development in advanced lithography	Tarutani S. Fujii K. Yamamoto K. Iwato K. Shirakawa M.	Proc SPIE, <b>8325</b> , 832505.1-832505.8 (2012)
◎ EUV resist materials for 20nm and below half pitch applications	Tsubaki H. Tarutani S. Takizawa H. Goto T.	Proc SPIE, <b>8325</b> , 832509.1-832509.8 (2012)
◎ Solvent pre-wetting as an effective start-up method for point-of-use filter	Sugiyama S. Nakamura T. Momota M. Umeda T.* 他	Proc SPIE, <b>8325</b> , 83252H.1-83252H.8 (2012)
アルミニウム陽極酸化膜を用いた高耐熱フレキシブル絶縁基板の開発	佐藤 圭 吾 垣内 良 蔵 宮下 陽 太 矢後 栄 郎 祐谷 重 徳 山根 勝 敏	日本写真学会誌, <b>75</b> (2), 122 (2012)
アルミ陽極酸化被膜の絶縁特性に及ぼす電界印加極性の影響	宮下 陽 太 佐藤 圭 吾 垣内 良 蔵 矢後 栄 郎 祐谷 重 徳	表面技術協会講演大会講演要旨集, <b>125</b> , 194 (2012)
アルミニウム陽極酸化皮膜を用いたフレキシブル絶縁基板の開発	祐谷 重 徳 佐藤 圭 吾 垣内 良 蔵 宮下 陽 太 矢後 栄 郎 山根 勝 敏	表面技術協会講演大会講演要旨集, <b>125</b> , 276-277 (2012)
アルミニウム陽極酸化膜を用いた耐熱性フレキシブル絶縁金属基板	祐谷 重 徳	機能材料, <b>32</b> (3), 57-60 (2012)

題 目	著 者	報 告 誌
次代を拓く 工業材料キーワード40 500℃以上の耐熱性を有するフレキシブル絶縁金属基板	祐 谷 重 徳	工業材料, <b>60</b> (1), 82-83 (2012)
太陽電池の開発動向 アルミニウム陽極酸化膜を用いた高耐熱フレキシブル絶縁基板	佐 藤 圭 吾 祐 谷 重 徳	月刊ディスプレイ, <b>18</b> (3), 18-23 (2012)
Monolithically Integrated CIGS Sub-modules Fabricated on New-structured Flexible Substrates	Murakami N. Moriwaki K. Nangu M. Ohgoh T. Yuuya S. Ishizuka S.* 他	Conf Rec IEEE Photovoltaic Spec Conf, <b>37</b> (2), 1310-1313 (2011)
銀塩写真技術を応用した透明導電性フィルムの開発	一 木 晃 栗 城 匡 志 白 井 英 行 横 田 耕 一	日本写真学会誌, <b>74</b> , 別冊, 22-23 (2011)
銀塩写真技術を応用した透明導電性フィルムの開発	高 橋 俊 朗	ポリマーフロンティア21講演要旨集, <b>2012</b> (2), 15-20 (2012)
銀平板粒子を用いた近赤外反射材料の開発	清 都 尚 治 白 田 真 也 鎌 田 晃	日本写真学会誌, <b>75</b> (2), 158 (2012)
銀ナノディスク単層分散構造による波長選択遮蔽膜	白 田 真 也 谷 武 晴 清 都 尚 治 鎌 田 晃 納 谷 昌 之	応用物理学関係連合講演会講演予稿集 (CD-ROM), <b>59</b> , 18A-B11-2 (2012)
Fabrication of 20-nm half-pitch quartz template by nano-imprinting	Sato N. Oomatsu T. Wakamatsu S. Nishimaki K. Usa T. Usuki K. Kodama K.	Proc SPIE, <b>8166</b> , 81661V.1-81661V.6 (2011)
植物由来原料からなる無色透明/高耐熱フィルム	芳 谷 俊 英 上 平 茂 生 佐久間 俊 光 塚 田 芳 久 佐 藤 幸 蔵 安 田 知 一	高分子学会予稿集 (CD-ROM), <b>61</b> (1), 3PB142 (2012)
有機・無機ハイブリッド化による新機能デバイスへの展開	三 島 康 由	電気化学会大会講演要旨集, <b>79</b> , 221 (2012)

題 目	著 者	報 告 誌
Novel High Performance IGZO-TFT with High Mobility over 40cm <sup>2</sup> /Vs and High Photostability Incorporated Oxygen Diffusion	Ono M. Takata M. Mochizuki F. Tanaka A. Suzuki M.	Proc Int Disp Workshops, <b>18</b> (3), 1689-1690 (2011)
最新の非破壊検査に活用される X線技術 2)最新のコンピュータド・ラジオグラフィーについて	成 川 康 則	検査技術, <b>17</b> (2), 70-75 (2012)
◎ Metamaterial 'gecko toe': Optically-controlled adhesion to any surface	Yasuda H. Zhang J.* 他	Conference on Lasers and Electro-Optics, 6326949 (2012)
◎ High performance sputtered PZT film for MEMS applications	Fujii T. Naono T. Arakawa T. Hishinuma Y.* 他	Tech Proc NSTI Nanotech Conf & Expo, 137-140 (2012)
粘着キャリアの剥離モデルの考察	當 間 隆 司	エレクトロニクス実装技術, <b>28</b> (8), 34-38 (2012)
溶融成形可能な新規セルロース誘導体の開発	澤 井 大 輔 野 副 寛 芳 谷 俊 英 塚 田 芳 久	FujiFilm Res & Dev, No.57, 55-57 (2012)
内部可塑化によるセルロースへの溶融特性付与	芳 谷 俊 英 澤 井 大 輔 野 副 寛 塚 田 芳 久	高分子学会予稿集 (CD-ROM), <b>60</b> (1), Disk1, 135 (2011)
無色透明高耐熱バイオマスポリマーフィルムの開発	上 平 茂 生 芳 谷 俊 英 佐久間 俊 光 塚 田 芳 久	日本化学会講演予稿集, <b>92</b> (1), 88 (2012)
熱可塑性ナノコンポジット光学材料	大 林 達 彦 鈴 木 亮 望 月 宏 顕 相 木 康 弘	成形加工, <b>24</b> (2), 51-56 (2012)
溶液プロセスで設置した有機電界発光素子用ホール注入層の室温大気圧プラズマ処理による安定化	林 直 之 稲 垣 由 夫	日本写真学会誌, <b>75</b> (2), 129 (2012)
ポリメチン色素の新しい機能化	稲 垣 由 夫	有機合成化学セミナー講演予稿集, <b>28</b> , 51-54 (2011)
新規機能性素材の創生に役立つ $\pi$ 電子系化合物 - 光と色で世界を変える	柳 原 直 人 湯 本 眞 敏 山 川 一 義	有機合成化学協会誌, <b>70</b> (5), 450-464 (2012)

題 目	著 者	報 告 誌
Liquid crystals that affected the world: discotic liquid crystals	Kawata K. Bushuby R. J.*	Liq Cryst, <b>38</b> (11/12), 1415-1426 (2011)
エキゾチック自己組織化材料の商品化のためには何が必要か?	西 見 大 成	日本化学会講演予稿集, <b>92</b> (1), 196 (2012)
◎ Electrochemical elucidation of structural changes in physical organo bicontinuous microemulsion gel systems	Nishimi T. Sakata K.* 他	Chem Commun, <b>48</b> (90), 11124-11126 (2012)
◎ Open-sandwich molecular imprinting: Making a recognition matrix with antigen-imprinted antibody fragments	Minami K. Tsuzuki H. Ihara M.* 他	Bioconjug Chem, <b>23</b> (7), 1463-1469 (2012)
プラズモン共鳴を利用した高感度バイオセンサ	納 谷 昌 之 都 丸 雄 一 堀 井 和 由	応用物理, <b>80</b> (9), 808-812 (2011)
Surface plasmon enhanced-field fluorescence biosensor for point-of-care testing using fluorescent nanoparticles	Horii K. Kimura T. Ohtsuka H. Kasagi N. Oohara T. Matsuno T. Hakamata M. Komatsu A. Sendai T.	Proc SPIE, <b>8234</b> , 82340V.1-82340V.8 (2012)
ナノフォトニクスと撮像素子	納 谷 昌 之 谷 武 晴 後 藤 崇 高 橋 周	Optics & Photonics Japan 講演予稿集 (CD-ROM), <b>2011</b> , 29ABS4 (2011)
マルチモードアップテーパーファイバーを用いた波長無依存・非接触光コネクタ	吉 弘 達 矢 小 野 幸 孝 笠 松 直 史	応用物理学会学術講演会講演予稿集 (CD-ROM), <b>73</b> , 13P-F3-2 (2012)
銀ナノ石畳構造の光学特性	都 丸 雄 一 白 田 真 也 谷 武 晴 納 谷 昌 之	応用物理学会学術講演会講演予稿集 (CD-ROM), <b>73</b> , 14A-F8-8 (2012)
金ナノコーラルによる表面増強ラマン散乱	山 添 昇 吾 塩 田 芽 実 納 谷 昌 之 梶 村 真 弓* 他	応用物理学会学術講演会講演予稿集 (CD-ROM), <b>73</b> , 13P-F8-1 (2012)

題 目	著 者	報 告 誌
低コヒーレンス動的光散乱法の高感度化	中 村 崇市郎 佐 藤 悠 貴 石 井 勝 弘* 他	Optics & Photonics Japan 講演予稿集 (CD-ROM), <b>2011</b> , 30AA2 (2011)
◎ Continuous wavelet-transform analysis of photoacoustic signal waveform to determine optical absorption coefficient	Tsujita K. Hirota K. Irisawa K. Hirasawa T.* 他	Proc SPIE, <b>8223</b> , 822333.1-822333.7 (2012)
TOF-SIMS imaging of halide/thiocyanate anions and hydrogen sulfide in mouse kidney sections using silver-deposited plates	Naya M. Yamazoe S. Maekawa T. Akahoshi N.* 他	Anal Bioanal Chem, <b>402</b> (5), 1859-1864 (2012)
第一原理計算による多端子単一分子デバイスの研究	奥 野 幸 洋 尾 崎 泰 助* 他	応用物理学関係連合講演会講演予稿集 (CD-ROM), <b>59</b> , 16P-DP3-3 (2012)
P3HT : PCBM 薄膜のキャリア再結合の活性化エネルギーと光電変換効率との関係	藤 村 秀 俊 梶 山 卓 郎 江 口 潤* 他	応用物理学関係連合講演会講演予稿集 (CD-ROM), <b>59</b> , 18A-F10-6 (2012)
P3HT : PCBM 薄膜のキャリア再結合の活性化エネルギーと光電変換効率の溶剤依存性	藤 村 秀 俊 梶 山 卓 郎 吉 田 大 樹* 他	応用物理学会学術講演会講演予稿集 (CD-ROM), <b>73</b> , 14A-H1-6 (2012)
水熱合成法の特徴を生かして作製された (K <sub>x</sub> Na <sub>1-x</sub> )NbO <sub>3</sub> 膜の特性評価	坂 下 幸 雄 白 石 貴 久* 他	セラミックス基礎科学討論会講演要旨 集, <b>50</b> , 179 (2012)
時間分解光導波路分光法を用いた青燐光材料の逆エネルギー移動の直接観測	平 山 平二郎 菅 原 美 博 藤 村 秀 俊 宮 下 陽 介* 三ツ石 方 也* 他	日本化学会講演予稿集, <b>92</b> (1), 16 (2012)
ボルツマン方程式と整合的で自然な相対論的流体方程式のフレームとモーメントの取り方について	津 村 享 佑 国 広 悌 二* 他	日本物理学会講演概要集, <b>67</b> (2), 第1分 冊, 43 (2012)
くりこみ群の方法によるメソスコピックダイナミクスの構成法の開発とそのボルツマン方程式への応用	津 村 享 佑 国 広 悌 二* 他	日本物理学会講演概要集, <b>67</b> (2), 第2分 冊, 288 (2012)

題 目	著 者	報 告 誌
First-Principles Derivation of Stable First-Order Generic-Frame Relativistic Dissipative Hydrodynamic Equations from Kinetic Theory by Renormalization-Group Method	Tsumura K. Kunihiro T.*	Prog Theor Phys, <b>126</b> (5), 761-809 (2011)
New Forms of Non-Relativistic and Relativistic Hydrodynamic Equations as Derived by the Renormalization-Group Method-Possible Functional Ansatz in the Moment Method Consistent with Chapman-Enskog Theory-	Tsumura K. Kunihiro T.* 他	Prog Theor Phys Suppl, <b>195</b> , 19-28 (2012)
TERS open the door on dynamics of protein-drug complexes?	Watanabe H.	メタマテリアル&ナノフォトニクスシンポジウム講演予稿集, <b>10</b> , 32-33 (2012)
◎ Analysis of solute-solvent interactions in the fragment molecular orbital method interfaced with effective fragment potentials: Theory and application to a solvated griffithsin-carbohydrate complex	Sawada T. Nagata T.* 他	J Phys Chem A, <b>116</b> (36), 9088-9099 (2012)
◎ Chemical insight into the influenza a virus hemagglutinin binding to the sialoside revealed by the fragment molecular orbital method	Sawada T.	Open Glycosci, <b>5</b> (1), 26-30 (2012)
◎ High-sensitivity low-coherence dynamic light scattering and particle sizing for nanoparticles	Sato Y. Ishii K.* 他	Proc SPIE, <b>8082</b> , 80821Z.1-80821Z.6 (2011)
◎ Infrared and Raman spectroscopy of organic thin films used for electronic devices	Sugiyama T. Fujimura H. Furukawa Y.* 他	Vibrational Spectroscopy, <b>60</b> , 5-9 (2012)
Release Behavior of W/O/W-type Microcapsule	Ichikawa K. Uehara M.* 他	Key Eng Mater, <b>497</b> , 55-60 (2012)
アンビエント技術 写真のプロセス・材料技術のアンビエント技術への展開	宮 本 公 明	日本写真学会誌, <b>75</b> (1), 57-62 (2012)
親疎水性パターンニング流動における表面間力/表面毛管力効果	宮 本 公 明	日本写真学会誌, <b>75</b> (2), 123 (2012)
親疎水性パターンニングにおける表面間力による流動	宮 本 公 明	化学工学会年会研究発表講演要旨集 (CD-ROM), <b>77</b> , M124 (2012)
ウェブハンドリング 光学フィルムのウェブハンドリング技術	疋 田 伸 治	成形加工, <b>24</b> (6), 293-298 (2012)
柔軟媒体の搬送技術 液晶用光学フィルムにおけるウェブハンドリング技術	疋 田 伸 治	精密工学会誌, <b>78</b> (5), 372-376 (2012)

題 目	著 者	報 告 誌
高機能材料のロール・ツー・ロール搬送技術	疋 田 伸 治 橋 本 巨* 他	日本機械学会誌, <b>115</b> (1124), 471-474 (2012)
Talbot-Lau干渉X線屈折イメージングにおける接合基板を用いた高アスペクト・グリッドの製作	石 井 裕 康 村 越 大 多 田 拓 司 橋 本 温 之 金 子 泰 久 阿賀野 俊 孝 伊 藤 渡	日本写真学会誌, <b>75</b> (2), 151 (2012)
JIS Z4751-2:45乳房用X線装置及び乳房撮影定位装置－基礎安全及び基本性能（仮称）	早乙女 滋	日本放射線技術学会総会学術大会予稿集, <b>68</b> , 93 (2012)
ISO16371-1規格の紹介及び動向	窪 田 聡 大 岡 紀 一* 他	放射線による非破壊評価シンポジウム講演論文集, <b>8</b> , 65-72 (2012)
ISO17636-2規格紹介と今後について	窪 田 聡 脇 部 康 彦* 他	放射線による非破壊評価シンポジウム講演論文集, <b>8</b> , 73-78 (2012)
放射線透過試験関連のISO規格の進捗状況－デジタルラジオグラフィ関連規格－	窪 田 聡 加 藤 潔* 他	放射線による非破壊評価シンポジウム講演論文集, <b>8</b> , 59-64 (2012)
環境法規制の動向と各国・地域の比較	大 野 茂	日本印刷学会誌, <b>49</b> (1), 006-010 (2012)
商品化推進におけるステージゲート手法の利点と具体的な注意点	森 本 恭 史	技術情報協会研究開発リーダー, No.66, 19-20 (2011)
グローバル対応の知財部門のあり方－グローバル展開する企業における知財活動シミュレーション－	仲 田 公 明 浅 田 学* 他	知財管理, <b>62</b> (7), 961-976 (2012)
ライセンスに関わる法改正についての調査研究－当然対抗制度の導入とライセンス特許の譲渡に係る契約上の留意点－	柴 田 陽 一 片 山 和 之* 他	知財管理, <b>62</b> (10), 1435-1447 (2012)
世界で勝てる機能性フィルム 富士フィルム 未来を創る高機能フィルム	中 台 加津男	化学経済, <b>59</b> (5), 42-43 (2012)
現場の優秀改善事例 電気・計装機器を手の平に乗せて保全しよう!	池 谷 友 希 大 田 宜 彦 上 田 仁	プラントエンジニア, <b>44</b> (10), 26-31 (2012)
印刷用CTP版/PS版のクローズドループリサイクル (Plate to Plate)	吉 川 直 紀	アルトピア, <b>42</b> (4), 15-20 (2012)

題 目	著 者	報 告 誌
産業廃棄物適正処理推進功労賞・3R推進協議会会長賞 廃棄物削減への取り組み	西 川 純 生	紙パルプの技術, <b>63</b> (1), 41-43 (2012)
東日本大震災被災写真の修復 東日本大震災による被災写真の救済	鎌 田 桂 成	日本写真学会誌, <b>74</b> (4), 181-186 (2011)
映像を用いた技能者教育の試みと効果 (第2報)	天 野 高 宏 横 山 淳 一 澤 武 一* 他	工学教育, <b>59</b> (6), 6.91-6.96 (2011)
英語・原語によるハイブリッド検索: PatBase, QPAT (Orbit.com), Discoverによる英語・原語ハイブリッド検索の検討	田 畑 文 也 石 田 政 司* 他	情報プロフェッショナルシンポジウム予稿集, <b>8</b> , 59-63 (2011)
中国特許データベース新CNIPRの徹底活用	田 畑 文 也 石 田 政 司* 他	情報プロフェッショナルシンポジウム予稿集, <b>8</b> , 7-11 (2011)
アジア特許情報のテキストマイニングによる解析: 自動テキスト分類への挑戦	多 田 幸 輔 安 藤 俊 幸* 他	情報プロフェッショナルシンポジウム予稿集, <b>8</b> , 13-17 (2011)

## 編集後記

今号は、掲載する論文の応募が例年になく多かった。できるだけ多くの報告を掲載したいのだが、限られた紙面では全部を収容しきれない。選抜するにしても、どの論文も甲乙つけがたく、大変悩ましい。結局、編集委員長の嗜好ともいべき微妙な基準にもとづいて応募論文を選別させていただき、本誌のために新たに書き下ろした論文15編と、最近発行された科学技術誌からの転載論文13件を収録しました。このほかにも科学技術の進歩に貢献すべく、学会発表や学術誌への投稿により公表した多くの技術知見があり、それらを巻末の印刷論文リストとして掲載しました。これらを御覧になることで、社内外の科学技術を融合発展させて、多様な応用分野を開拓している弊社の研究開発の活力を感じていただければ幸いです。

(編集委員長 稲垣 由夫)

Editorial Board		編集委員			
Editor in Chief	Yoshio Inagaki	委員長	稲垣 由夫		
Editors	Keitaro Aoshima	委員	青島 啓太郎		
	Satoshi Arakawa		荒川 哲		
	Atsushi Uejima		上島 敦		
	Toshiyuki Kitahara		北原 淑行		
	Yoshiaki Kinoshita		木下 義章		
	Akira Kurisu		栗栖 顕		
	Masahiro Konishi		Tatsuo Shiino	小西 正弘	椎野 龍雄
	Takeshi Shibata		Hiroshi Takeuchi	柴田 剛	竹内 寛
	Hiroshi Nagate		Junji Nishigaki	長手 弘	西垣 純爾
Shunichiro Nonaka	Naoto Matsuda	野中 俊一郎	松田 直人		
Takeshi Misawa	Keiichi Miyazaki	三沢 岳志	宮崎 桂一		
Hiroyasu Yamamoto	Hiroyuki Watanabe	山本 容靖	渡辺 裕幸		

### 富士フイルム研究報告 第58号

平成25年3月27日 発行 非売品

編集人 猪狩伸治

発行人 細矢光一

発行所 富士フイルム株式会社  
R&D統括本部 技術戦略部  
〒258-8577  
神奈川県足柄上郡開成町牛島577  
TEL 0465-86-1066  
FAX 0465-86-1029

印刷所 富士フイルムビジネスエキスパート株式会社  
神奈川県南足柄市中沼210

禁無断転載

本誌は環境保全・資源確保のため再生紙を使用しています。

