昭和 40 年 6 月 3 日　第三種郵便物認可　平成 18 年 7 月 10 日発行（年 6 回 1，3，5，7，9，11 月の 10 日発行）富士時報　第 79 巻　第 4 号（通巻第 839 号）　ISSN 0367-3332

e-Front runners

# 富士時報

# FUJI ELECTRIC JOURNAL

7
July 2006
Vol. 79 No. 4

特集 1　磁気記録媒体
特集 2　感光体

富士電機グループ

# 富士時報
FUJI ELECTRIC JOURNAL

7
July 2006
Vol. 79 No. 4


特集１ 磁気記録媒体
特集２ 感光体

## 目　次


**特集１　磁気記録媒体**

磁気ディスク装置とトライボロジー　293（1）
川久保 洋一

磁気記録媒体の現状と展望　294（2）
今川　誠・中村　邦広

アルミポリッシュ基板　297（5）
鄭　用一・西村　通徳・若林　秀樹

アルミ長手磁気記録媒体技術　300（8）
二村　和男・坂口　庄司・柏倉　良晴

ガラス長手磁気記録媒体技術　305（13）
松尾　壮太・下里　学・宮里　真樹

垂直磁気記録媒体の開発状況　309（17）
酒井　泰志・竹野入 俊司・上住　洋之

垂直磁気記録媒体の信頼性技術　313（21）
横澤　照久・貝沼　研吾・磯﨑　誠

磁気記録媒体の分析・解析技術　317（25）
熊谷　明恭・渡辺　武

**特集２　感光体**

電子写真の研究開発について思うこと　321（29）
情野　國城

感光体の現状と展望　322（30）
成田　満・山本　輝男

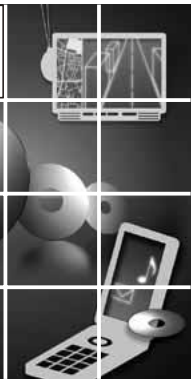
有機感光体用材料技術　326（34）
中村　洋一

プリンタ用有機感光体　330（38）
森田　啓一・池田　豊・田中　靖

プリンタ用長寿命有機感光体　335（43）
宮本　貴仁・小川　祐治・中村　友士

有機感光体の生産技術　340（48）
松橋　幸雄


表紙写真



磁気記録媒体が内蔵されているハードディスク装置（HDD）は，デジタルデータを記録，再生，保存する主要デバイスとして重要な役割を果たしている。IT 化の進展に伴い，膨大な画像情報を高速処理する機器が開発されており，HDD の特徴を生かす市場は一段と拡大している。

富士電機はこれまで磁気記録媒体の開発，製造，販売を行ってきたが，最近は飛躍的な高密度化を実現する垂直磁気記録方式により大容量磁気記録媒体の製品化を推進し，次世代のニーズに対応している。

表紙写真は HDD の搭載が広がりつつある情報家電機器とともに，HDD に内蔵されている磁気記録媒体の外観を示している。多様化する用途にあわせ，磁気記録媒体のサイズも多様化してきている。

# 磁気ディスク装置とトライボロジー

川久保 洋一（かわくぼ　よういち）
信州大学工学部教授 工学博士

磁気ディスク装置（HDD）は 1956 年の発表以来，今年で 50 歳となった。この間に記録密度を 8 桁近く向上させ，PC から携帯電話まで広く使われるとともに，さらなる大容量化が望まれている。HDD の記録原理である磁気記録方式では，記録媒体面を記録再生ヘッドで機械的に走査することにより情報を記録再生する。機械的な走査が必要であることから，記録媒体と磁気ヘッドとの相対運動が生じる。このため HDD にはトライボロジー技術が必須である。トライボロジーの定義は，「相対運動を行いながら相互作用を及ぼしあう表面およびそれに関連する実際問題の科学技術」である。この定義は暗黙の内に機械的相互作用のみを考えているが，これに磁気的相互作用も含めれば磁気記録もトライボロジー技術に含まれることになり，両者の密接な関係を示している。

HDD の記録密度の向上には，それを可能とする磁気ディスク，磁気ヘッド，信号処理回路，磁気ヘッド位置決め機構などの開発とともに，磁気ヘッド・磁気ディスク間のスペーシング短縮が必要である。この磁気的スペーシングは記録密度増加率の平方根に反比例して短縮する必要があり，現状の 100 Gbit/in$^2$ の記録密度を 1 Tbit/in$^2$ へ 10 倍に増加させるためには，現状の 10 ～ 20 nm を 5 nm 程度へと短縮することが必要となる。この隙間にはヘッド・ディスクの磁性膜を保護するためのカーボン保護膜（各 1 nm 程度）も含まれるので，残りの隙間は 3 nm 程度となる。このような狭い隙間を隔てて 10 m/s 以上の相対速度で運動している装置はこれまでに存在していなかった。HDD はトライボロジー技術にとって非常に挑戦的な課題であり，これまでにもマイクロトライボロジー分野を導き，今後もナノトライボロジー分野の先駆けとなるものである。

HDD トライボロジーの技術課題は，初期には「ヘッド・クラッシュ」と呼ばれるヘッド・ディスクの損傷による情報記録再生不能発生の防止であった。最近では磁気ヘッドの小型化が進むとともに接触力も低減され，大面積の磁気ディスクに傷が入るほどの損傷はまれとなり，小面積の磁気ヘッドの摩耗が大きな問題となっている。特に，MR ヘッドでは保護膜の摩耗が素子の腐食に直結することから，その低減は非常に重要である。

筆者らは狭い隙間におけるヘッド摩耗低減の重要性を予測し，ヘッド摩耗を模擬する透明摺動子を用いたピン・オン・ディスク型摩耗試験による解析を続けている。この試験ではヘッド摩耗の連続解析が可能であり，拡張摩耗方程式を提案してヘッド摩耗の予測につなげるとともに，摺動子摩耗とヘッド摩耗との対応を明らかにしている。ヘッド摩耗は磁気ディスク面が平滑なほど，また潤滑剤が流動しやすいほど少なく，「ヘッド摩耗は磁気ディスク突起との直接接触により発生し，その低減には移動可能な潤滑剤が突起頂部潤滑剤の摩擦による減耗を修復することが必須である。」と考えられている。この摩耗低減の鍵を握る潤滑剤は，直径 0.7 nm，長さ 10 nm 程度の寸法を持ち，通常は直径 3 nm 程度の粒子状で存在している。これは今後実用化を目指す隙間と同等であり，潤滑剤分子の存在位置，存在形態，摩擦力による変形，移動などのナノメートル領域での実験観察，解析による新たな知見無くして，ヘッド摩耗低減を従来の考え方の延長により実現することは困難である。一方で，このレベルでの HDD で得られる知見は，今後のナノトライボロジー分野の発展の基礎を築くものである。

今後の HDD 大容量化は，このような潤滑剤分子の長さより狭い平均隙間という未知の領域を開拓するトライボロジー技術に依存している。読者各位の HDD 開発におけるトライボロジー技術の重要性再認識と，この分野のトライボロジストの一層の活躍につながることを願って本稿を結ぶ。

# 磁気記録媒体の現状と展望



今川　　誠（いまかわ　まこと）　　中村　邦広（なかむら　くにひろ）

## 1　まえがき

ハードディスク装置（HDD）は，記録密度を向上させることで「小型・大容量化」への進化を遂げてきた。この「小型・大容量化」への進化は，これまでのパソコンの枠を越え，HDD を搭載した音楽プレーヤ，ビデオムービー，携帯電話などの優れた製品として，市場を確立するに至っている。

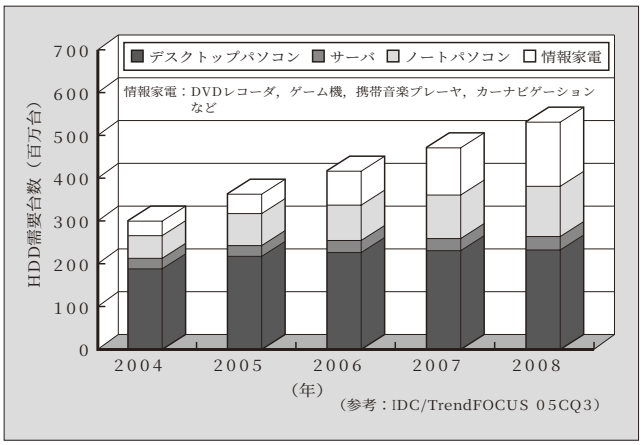
本稿では，今後も拡大が期待される HDD の市場動向・技術動向について述べるとともに，富士電機の磁気記録媒体の技術開発状況と今後の展望について述べる。

## 2　HDD の市場動向

図 1 に今後の HDD の需要予測を示す。旧来からの HDD の用途であるデスクトップパソコンやサーバへの搭載台数は若干の増加にとどまっているが，ノートパソコンおよび情報家電は著しいものがある。特に情報家電は年率 33％以上の伸長が継続すると予想されている。図 2 に情報家電の需要予測を示す。HDD-DVD レコーダには，160 ギガバイト（GB）～1 テラバイト（TB）記憶容量帯 3.5 インチ HDD が搭載されている。カーナビゲーションシステムや MP3 プレーヤへは 2.5 インチ以下の HDD が搭載されている。そのラインアップは 2.5，1.89，1.0，0.85 インチと多岐にわたり，各種モバイル機器・携帯機器への用途拡大に有効に働いている。また，2005 年には，HDD 搭載携帯電話も発売された。

今後も情報家電は，2008 年の北京オリンピックなどにより，さらなる需要の拡大が考えられ，それと同時に HDD 市場も成長を遂げるものと予想される。

図 1　ワールドワイド HDD 需要予測の年次推移

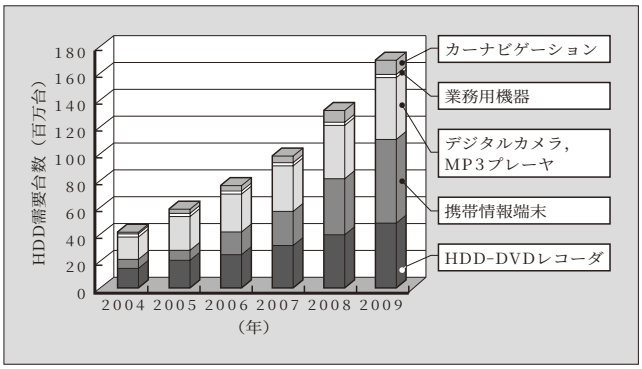



## 3　磁気記録媒体の技術動向

図 3 に HDD の内部構造を示す。HDD は磁気記録媒体，磁気ヘッド，ヘッドアクチュエータ，スピンドルモータなどの部品から成る。

図 4 に記録密度の推移を示す。記録密度は，ヘッド特性，媒体特性およびドライブの位置決め精度向上とともに高密度化を達成してきた。特にヘッドでは GMR（Giant Magnetoresistive）ヘッドでの特性向上，媒体では AFC（Anti-Ferromagnetic Coupling）構造を用いることによる特性向上などにより記録密度を伸ばしてきた。しかし，150 Gbits/in$^2$ を超える長手磁気記録媒体においては，記録ビットの反磁界や隣接するトラックからの磁界の影響，またビットそのものが熱揺らぎの影響を大きく受けるようになるため，さらなる高密度記録は困難な領域となる。

図 2　情報家電向け HDD の需要予測



今川　　誠

磁気ディスク媒体の次世代媒体開発に従事。現在，富士電機デバイステクノロジー株式会社情報デバイス事業本部ディスク媒体事業部開発部長。工学博士。

中村　邦広

磁気ディスク媒体の開発・設計に従事。現在，富士電機デバイステクノロジー株式会社情報デバイス事業本部ディスク媒体事業部開発部課長。

図3　HDD の内部構造

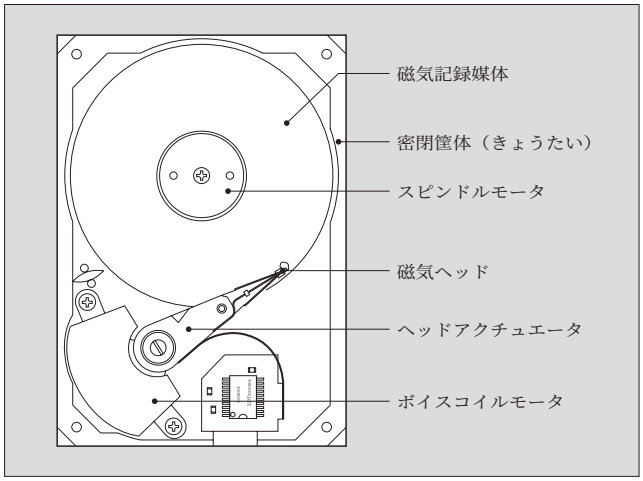
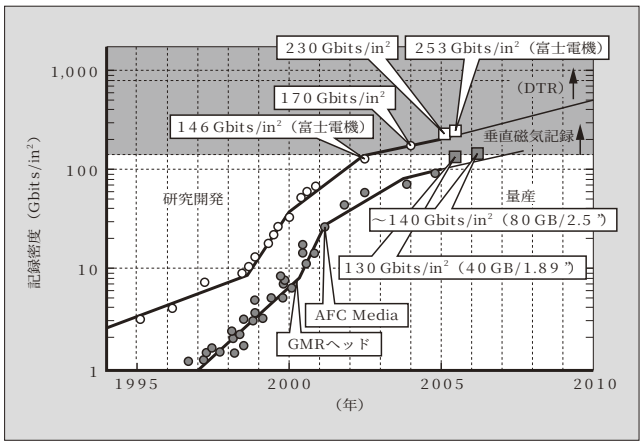



図4　HDD の面記録密度の推移




一方，垂直磁気記録媒体は，原理的に記録密度が高くなるとともに磁気的に安定するため，長手磁気記録媒体の限界を打開し，記録密度を大きく牽引（けんいん）する技術である。

2006 年は垂直磁気記録媒体により，HDD はさらなる大容量の段階に入るといえる。

## 4　磁気記録媒体の開発状況

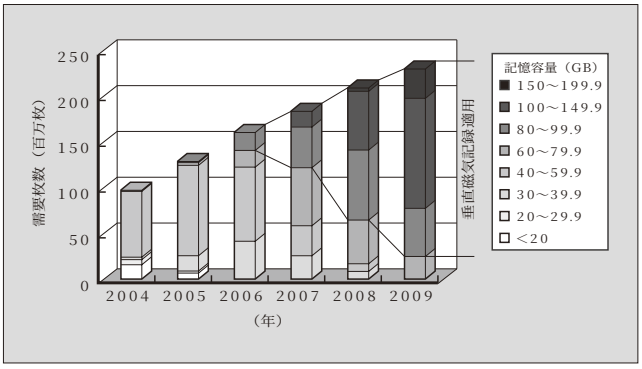
### 4.1　磁気記録媒体用基板技術

HDD における磁気記録の特徴は，高速で回転する磁気記録媒体上に，記録・再生を行う磁気ヘッドがきわめてわずかな間隔で浮上しているという点である。このときの磁気ヘッドが浮上している距離，すなわち浮上量は記録再生特性に大きな影響を与える因子であり，ばらつきが小さく，かつナノメートルオーダーの浮上量が要求される。

磁気記録媒体用基板技術は，磁気記録媒体上の磁気ヘッドにおける「ばらつきが小さいナノ浮上量」を達成するための品質の実現が求められる。特に平滑性に代表される，表面精度の向上が課題である。

富士電機では現在の主流製品である 3.5 インチ 1 枚あたり 80 GB 磁気記録媒体に対する基板を生産するとともに，

図5　2.5 インチ磁気記録媒体の容量別出荷予測




160 GB 磁気記録媒体で要求される磁気ヘッドの浮上要求に適合する表面精度を実現した基板の開発を完了した。同時にこの基板は記録密度の向上とともに顕在化してくる基板表面の欠陥品質も改善しており，記録・再生における信号欠落の低減にも寄与するものである。

### 4.2　長手記録磁性技術

現在主流の 3.5 インチ 1 枚あたり 80 GB 磁気記録媒体は磁性構造に AFC を採用し，GMR ヘッドとの組合せによって高い品質を達成している。

AFC 構造を採用した長手磁気記録媒体は，次世代ヘッドとなる TMR（Tunneling Magnetoresistive）ヘッドへの適合も含めたさらなる高記録密度化への技術開発を実施しており，磁性材料技術・下地積層成膜技術の高度化に加え，磁気異方性の制御により 3.5 インチでは 1 枚あたり 160 GB，2.5 インチでは 1 枚あたり 60 GB に適合する磁気記録媒体技術を実現している。

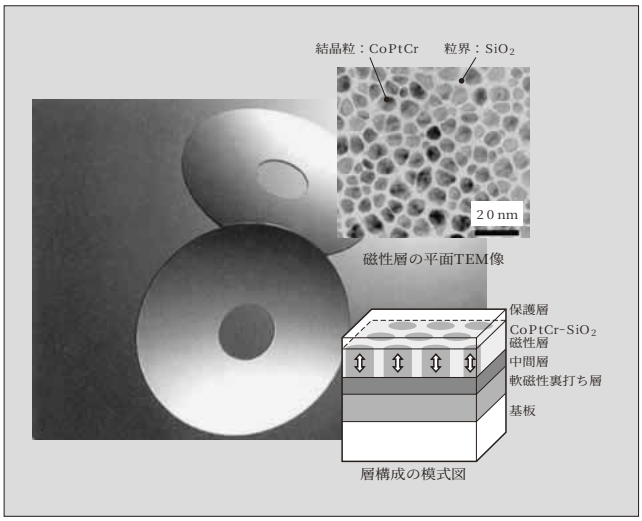
### 4.3　垂直記録磁性技術

小型の HDD でありながら大きな記憶容量を実現し，次世代のアプリケーションに対応するというニーズが高まってきている。これに適合するのが記録密度の大幅な向上が見込まれる垂直記録磁性技術である。垂直磁気記録の実用化はこの小型 HDD が牽引役となる。図 5 に 2.5 インチ HDD における媒体 1 枚あたりの記憶容量の推移予測を示す。この 2.5 インチにおいては 1 枚あたり 80 GB 世代から垂直磁気記録が適用される製品が支配的になると見られ，2008 年には半数以上の 2.5 インチ HDD が垂直磁気記録を採用していくものと考えられる。

ニーズに対応すべく，富士電機では 2.5 インチで 1 枚あたり 80 GB 垂直磁気記録媒体の量産を開始した。この媒体はグラニュラー構造の磁性層と，磁性層の下に軟磁性層を持つ構造であり，高記録密度に対応する磁性層の開発と，軟磁性層を 50 nm まで薄膜化することにより量産性を確保した。また基板表面形状を，軟磁性層における磁壁ノイズと，磁気ヘッド浮上特性に対し最適化し，さらに新しく開発した保護膜技術により耐食信頼性も向上している。図 6 に垂直磁気記録媒体の平面 TEM 像と断面模式図を示す。

今後，2.5 インチ以下の小型 HDD においては，垂直磁

図6　垂直磁気記録媒体の平面 TEM 像と断面模式図




気記録技術を適用した大容量化のニーズが高まるのは必至であり，「小型・大容量」をキーワードとした生産技術の高度化も進めている。

### 4.4　HDI 技術

磁気記録媒体上に浮上する磁気ヘッドの浮上量と磁気記録に寄与しない磁気記録媒体最上層の保護膜の厚さを加えた距離はスペーシングロスと呼ばれ，磁気記録においてはマイナス要素となる。スペーシングロス低減のため，磁気記録媒体は磁気ヘッドの低浮上化に適合する平滑性を達成するとともに，保護膜を薄層化していくことが求められる。また最表面に付与されている潤滑層については，潤滑剤のヘッド移着を抑えながら磁気ヘッドの低浮上化と浮上安定性を向上させることが求められる。

これらの要求品質に対応するため，保護膜における高密度化および化学的安定性の向上，潤滑剤においては精製条件を最適化することを実施しており，長手磁気記録媒体のみならず，垂直磁気記録媒体にも適合した HDI（Head Disk Interface）技術を確立している。

### 4.5　計測技術

すでに述べてきた各種技術に共通の特徴は，その実現すべき物理的ディメンションが現在の計測技術における限界域を要求している点である。計測技術開発は磁性材料の結晶分析，媒体最表面の物理化学分析，記録欠陥低減に向けた微細欠陥分析，磁気記録再生特性測定など多岐にわたる。これらの技術を駆使することで先端的な磁気記録媒体特性を実現するのはもちろんのこと，量産品の品質保証にも適用していくことで，品質要求が一層高まっている市場ニーズに適合していく準備を整えている。

### 4.6　次世代記録媒体

富士電機では次世代記録媒体として，磁気記録媒体にあらかじめ非磁性のトラックを形成し，隣接トラックからのノイズ因子を排除するとともに，その形成トラックにより位置決め情報をも付与する DTM（Discrete Track Media）技術の開発を進めている。さらに磁性微粒子の規則配列によって超微細記録単位を形成するとともに，境界ノイズを制御する超微粒子自己配列媒体技術や熱アシストを伴う記録方式などに注目して技術開発を進めている。

## 5　あとがき

性能・品質の向上を限りなく求めている市場ニーズに応え，長年その優位性が主張されてきた垂直磁気記録方式の HDD が本格的に製品化されるという点で，この 2006 年は重要な意味を持つ年であろう。富士電機は本稿で述べてきた技術を核として，さらなる「大容量化」と「製品ラインアップの充実」を追求していく所存である。

参考文献

(1)　TrendFOCUS 社．年間レポート．1995 ～ 2005.
(2)　IDC 社．フォーキャスト資料．2000 ～ 2005.
(3)　今川誠，小沢賢治．磁気記録媒体の現状と展望．富士時報．vol.77, no.4, 2004, p.244-258.

# アルミポリッシュ基板



鄭　用一（てい　よういち）　西村　通徳（にしむら　みちのり）　若林　秀樹（わかばやし　ひでき）

## 1　まえがき

大容量の情報を素早く扱うことができ，低価格なメモリとして三拍子そろったハードディスク装置（HDD）はコンピュータの外部メモリとしての市場を確立し，今後は車載や情報家電への急速な適用が期待され，より一層の伸長が見込まれている。それに伴い高記録密度化への成長も著しく，2006年には160 Gbits/in$^2$を超える製品が市場へリリースされようとしている。

HDDに使用される磁気記録媒体用基板は，過去にさまざまな材質の検討が行われてきたが，デスクトップパソコンやサーバ系さらには急速に普及しているHDD-DVDレコーダなどの設置型に関しては，高品質で安価なアルミ基板に代わる基材は出てきておらず，今後もその需要は堅調であると考えられる。

富士電機では従来から磁気記録媒体用アルミ基板の開発・製造・販売を行い，世界のトップレベルの技術，すなわちアルミ基板へのめっき技術，ポリッシュ加工技術とその製造ノウハウに関して豊富な技術を蓄積している。

アルミ基板側から見た，高記録密度化への技術的課題は，媒体表面上を10 nm以下の超低浮上走行下でも磁気ヘッドが安定に浮上走行して記録再生ができるように，0.1 nmオーダーでの基板表面粗さや微小うねりの制御と数nmサイズの表面欠陥低減を図ることであり，常に高記録密度化へ対応した技術開発を推進している。

## 2　アルミ基板の製造工程

アルミ基板の製造工程の概略を以下に述べる〔図1(a)〕。富士電機ではグラインド基板を購入した後のめっき工程以降の量産を行っている。

(1)　ブランク工程およびグラインド工程

アルミ合金を溶解・鋳造・圧延し円板状に打ち抜くブランク工程，内外端部を面切削しチャンファー形状を付与後面切削・面研削仕上げを行うグラインド工程から成る。

(2)　めっき工程

グラインド基板を脱脂・エッチング・活性化・触媒化と表面を化学的に調整し，無電解めっき法によりアモルファスのNi-Pめっき膜を十数μm成膜する。このNi-P膜の機能は，磁気ヘッドが磁気ディスクに衝突した際に基板が損傷しない強度や硬度を付与するものであり，またグラインド基板に存在する凹欠陥を埋めるとともに，めっき表面のポリッシングにより平滑な表面を得るための役割を果たす。

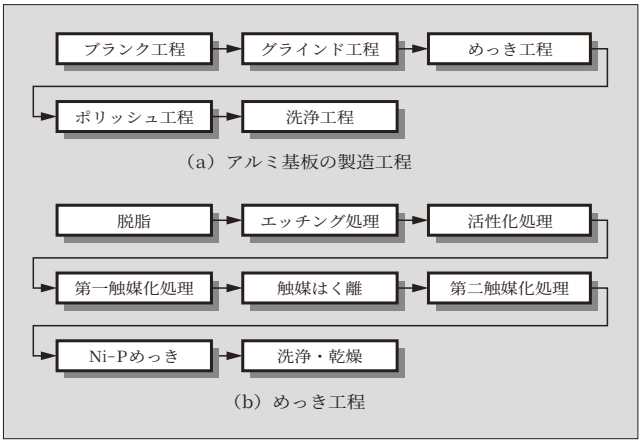
(3)　ポリッシュ工程

めっき成膜の際に発生する応力開放のための加熱処理を行い，次にポリッシュ機にて発泡パッドを用いて遊離砥粒を分散させた研磨液スラリー（加工液と砥粒の混合液）により基板表面を精密研磨加工する。高記録密度化に対応して表面粗さ・うねり・欠陥に代表される表面特性の要求品質がますます高度化している。

(4)　洗浄工程

ポリッシュ後，基板表面に残存するスラリー含有砥粒残渣（ざんさ）や各種構成成分残渣およびめっき膜削れ粉を精密洗浄にて完全に除去し，アルミポリッシュ基板が完成する。

図1　アルミ基板の製造工程とめっき工程詳細



鄭　用一

磁気記録媒体用基板の研究開発に従事。現在，富士電機デバイステクノロジー株式会社情報デバイス事業本部ディスク媒体事業部開発部。

西村　通徳

磁気記録媒体用基板の開発，生産技術に従事。現在，富士電機デバイステクノロジー株式会社情報デバイス事業本部ディスク媒体事業部アルミ生産部。

若林　秀樹

磁気記録媒体用基板の開発，生産技術に従事。現在，富士電機デバイステクノロジー株式会社情報デバイス事業本部ディスク媒体事業部アルミ生産部。

## 3　アルミ基板のめっき技術

次にアルミポリッシュ基板を得る主要工程である，めっき技術およびポリッシュ技術について詳細に記述する。

アルミグラインド基板へのNi-Pめっきプロセスは，以下に示す前処理工程とめっき工程から成る〔図1(b)〕。

(1)　脱脂工程

表面へ付着している金属系や有機系の汚染残渣を除去する。

(2)　エッチング処理工程

グラインド基板表面の表面粗さの低減や散在するマイクロピットの除去および表面酸化膜を除去する。

(3)　活性化処理工程

次工程の触媒化処理において，触媒粒子を基板表面に均一かつ効率的に形成させるため，表面を活性化処理する。

(4)　触媒化処理工程

Ni-Pめっき膜析出の表面触媒化処理である。触媒液の組成や触媒粒子の粒径およびその粒度分布の違いで，基板表面での触媒分子の均一性が大きく異なってくる。その結果，めっき析出初期反応の制御状態に付随するめっき膜の応力や密着性，ピット・ノジュール欠陥の発生量に差が生じたり，また基板表面の粗さやうねりなどの表面品質に大きな影響を及ぼすことがある重要工程である。

(5)　Ni-Pめっき工程

Ni-Pめっき液はNi金属塩のほかに，反応開始剤である還元剤，金属イオンを安定化させるための錯化剤，液のpHの変動を抑える緩衝剤，液の分解を抑制する安定剤，表面のぬれ性を向上させる界面活性剤などの多数の成分から構成される。前述の0.1 nmオーダーの表面精度を保持するためには，Ni-Pめっき液の組成も高度な最適化が要求され，組成が不適正であると，表面硬度の低下，めっき密着性の低下，膜応力増大による耐熱性低下，ピット・ノジュール欠陥の増加，表面粗さの増加，めっき液分解による液寿命低下などさまざまな不具合が発生する。したがって，今後の高記録密度化に対応した基板表面特性（粗さ，うねり）の向上や表面欠陥の低減，さらにめっき液長寿命化によるスループット向上を図るためには，めっき液組成の最適化追求が今後ますます重要な技術開発アイテムとなっている。

## 4　アルミ基板のポリッシュ技術

(1)　ポリッシュ技術の高度化

高記録密度化に対応したアルミ基板に求められる表面粗さ，微小うねり，欠陥レベルなどの表面平滑性や清浄性に対する要求特性はますます高度化され続けている。アルミポリッシュ基板に要求される表面特性を表1に示すが，超平滑かつ超清浄なアルミポリッシュ基板を得るためのポリッシュ技術開発を鋭意推進し続けて，ポリッシュ技術の高度化を常に図っている。

ポリッシュ技術は，発泡研磨パッド，研磨液スラリー，加工条件により決定されるが，その制御パラメータとして，大きくは以下の4項目が挙げられる。

①　スラリー組成中に含まれるケミカルエッチング成分の適性化

②　スラリーに含まれる砥粒（アルミナ，シリカなど）の形状や粒径の適性制御

③　研磨パッドの材質や発泡法によるパッド硬度および圧縮弾性率の向上

④　ポリッシュ加工条件の適性化

富士電機は，世代に対応したアルミ基板の表面精度向上を目的として，スラリーやパッドに代表されるポリッシュ材料を材料メーカーとの密接な共同開発を行うことにより，高度な新材料を開発し，基板特性の向上を図っている。

またポリッシュ後の洗浄においては，スラリーに含まれる砥粒や加工粉などの残渣を低減させる方法として，

①　洗浄性のよいスラリー加工液の使用

②　砥粒や加工粉に対して，洗浄性がよくリンス性の高い洗浄剤の適用

を検討し，アルミポリッシュ基板の清浄性の高度化も同時に図っている。

(2)　アルミポリッシュ基板の表面特性向上

前述の技術開発の成果の例として，従来の80ギガバイト（GB）/枚（3.5インチ）の記録容量を有する磁気記録媒体用アルミ基板と次世代160 GB/枚仕様で新規に開発したアルミ基板の表面粗さを原子間力顕微鏡（AFM）で観察した比較を図2に，また，光学式欠陥検出装置で測定した表面欠陥量の比較を図3に示す。

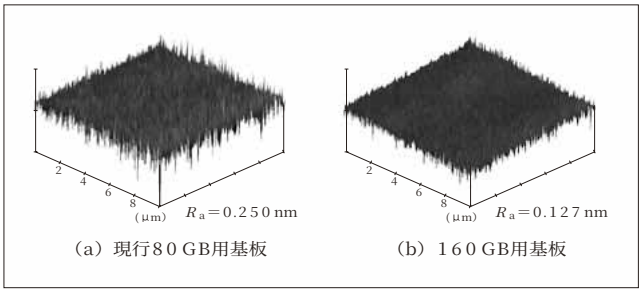
160 GB/枚仕様のアルミ基板では，主に新しいタイプの研磨液スラリーを用い，併せて適性な加工条件を組み合わせることで，表面粗さの半減および大幅な表面欠陥の低減というきわめて大きな成果を達成し，量産適用が決定されている。

表1　アルミポリッシュ基板に要求される表面特性

| | 80 GB基板 | 160 GB基板 |
|---|---|---|
| 表面粗さ（$R_a$） | ≦0.30 nm | ≦0.20 nm |
| 微小うねり（$W_a$） | ≦0.10 nm | ≦0.06 nm |
| 欠陥サイズ | ≦0.20 μm | ≦0.10 μm |
| スクラッチ数＊ | 1.00 | ≦0.03 |

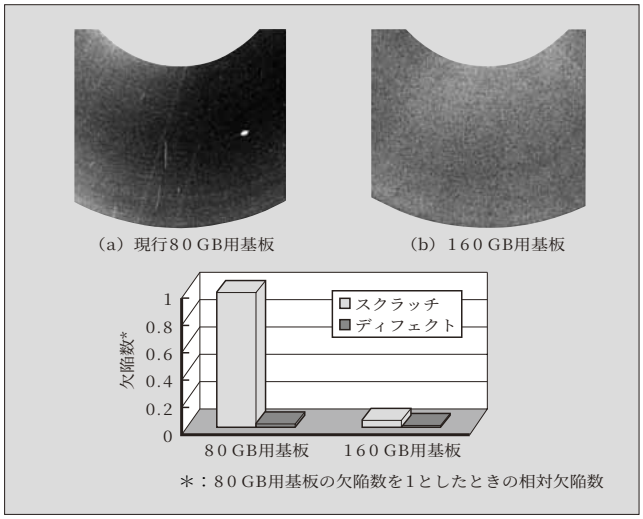
＊：80 GB用基板の欠陥数を1としたときの相対欠陥数

図2　アルミポリッシュ基板の表面粗さ（AFM）




(a) 現行80 GB用基板　　(b) 160 GB用基板

図３　アルミポリッシュ基板の表面欠陥量




## 5　あとがき

長年 HDD に用いられてきた長手磁気記録方式に技術的限界が見え始めてきたが，それを打破する垂直磁気記録方式の技術開発が近年革新的に進み，垂直磁気記録媒体の量産が開始される。

アルミ基板媒体も今後は垂直磁気記録化される予定であり，現在精力的に技術開発に注力している。垂直磁気記録方式のアルミ基板には，従来の長手磁気記録方式では確認されなかった特有の現象が認められており，アルミポリッシュ基板には，より一層の表面精度の高度化が求められている。その困難な課題を新しい技術開発によって打破し，世代進化に対応したアルミ基板特性を達成するため，基板技術，めっき技術，ポリッシュ技術，洗浄技術の探求により一層努めていく所存である。

# アルミ長手磁気記録媒体技術



二村　和男（にむら　かずお）　坂口　庄司（さかぐち　しょうじ）　柏倉　良晴（かしわくら　よしはる）

## 1　まえがき

アルミ長手磁気記録媒体は，アルミ合金基板を用い，長手磁気記録方式の磁気記録装置に搭載される磁気記録媒体である。主な用途はパソコンやサーバであったが，昨今ではDVD（Digital Versatile Disk）レコーダやゲーム機など一部家電にも搭載されている。その記録密度は，ローエンドの製品でも60 Gbits/in$^2$を超え，100 Gbits/in$^2$を超えるものも登場している。

アルミ長手磁気記録媒体の記録密度を高めるために，富士電機では基板表面加工技術，磁性技術，HDI（Head Disk Interface）技術を中核とした要素技術開発を行っている。本稿では，アルミ長手磁気記録媒体の最近の技術動向を紹介する。

## 2　基板表面加工技術

### 2.1　テクスチャ加工の目的

磁気記録媒体は，非磁性の基板上に複数の金属薄膜，非金属薄膜を形成することによって作られる。基板表面の性質は，磁気記録媒体の特性に大きな影響を与える。

長手磁気記録媒体用アルミ基板は，アルミ母材にNi-Pめっきが施された後に鏡面加工を行ったものである。その表面にはさらにテクスチャと呼ばれるサブナノメートルオーダーの凹凸が円周方向に形成されている。テクスチャ加工の目的は，大きく分けると次の二つである。

① 磁気記録媒体と磁気ヘッドとの浮上安定性の確保

② 基板円周方向への磁化の配向

前者については，磁気ヘッドの浮上安定性を確保すると同時に実効的な接触面積を低減し，磁気ヘッドとの吸着を防止させている。

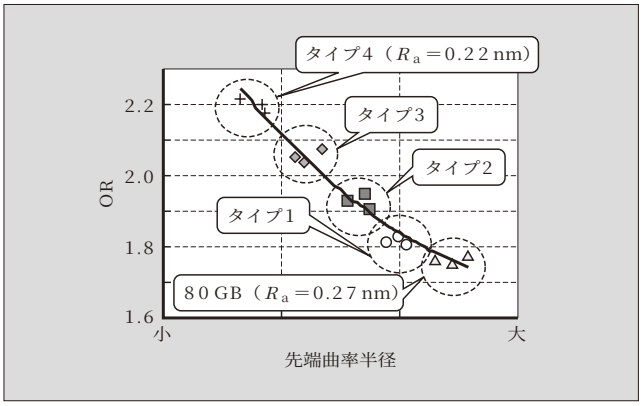
後者については，電磁変換特性に大きく関係している。長手磁気記録方式の媒体では，磁化の方位が基板円周方向に配向していることが好ましい。テクスチャの凹凸は，薄膜結晶中にテクスチャに沿った膜応力を発生させ，磁化の基板円周方向への配向を容易にする。この配向の度合い〔磁気配向比（OR：Orientation Ratio）〕は，テクスチャの形状にも左右される。

### 2.2　テクスチャと各特性との関係

表面粗さ$R_a$（中心線平均粗さ）とORは密接な関係がある[(1)]。ORを高くするためには，$R_a$が大きい方が好ましい。一方，磁気ヘッド浮上高さを低減するためには，$R_a$を低下させる必要がある。富士電機では新たにテクスチャ凹凸の先端曲率半径（Rc p-v：Radial curvature）に着目し，これを数値化する独自ソフトウェアを用いて解析を行った。その結果，①単に$R_a$を下げると先端曲率半径が増加すること，②先端曲率半径が増加するとORが低下すること，③テクスチャ加工工程の改善により$R_a$を下げながら先端曲率半径を低減させることが可能なこと，を確認した。

図1に，先端曲率半径とORの関係を示す。先端曲率半径を低減させることでORが向上することが分かる。また最新のテクスチャ工程を用いたタイプ4は，80ギガバイト（GB）/枚テクスチャより低い$R_a$でありながら，より小さい先端曲率半径を示している。次にORと電磁変換特性の一つであるSNR（Signal-to-Noise Ratio：出力信号とノイズの比）の関係を図2に示す。ORの向上に伴い，SNRも向上している。この結果から，テクスチャ制御は電磁変換特性改善のためにも重要なプロセスであることが分かる。

図1　先端曲率半径とORの関係



二村　和男

磁気記録媒体のトライボロジー技術開発に従事。現在，富士電機デバイステクノロジー株式会社情報デバイス事業本部ディスク媒体事業部開発部課長補佐。

坂口　庄司

磁気記録媒体の基板表面加工技術開発に従事。現在，富士電機デバイステクノロジー株式会社情報デバイス事業本部ディスク媒体事業部開発部課長補佐。

柏倉　良晴

磁気記録媒体の次世代磁気記録層成膜技術開発に従事。現在，富士電機デバイステクノロジー株式会社情報デバイス事業本部ディスク媒体事業部開発部課長補佐。

現在量産している最新製品である120 GB/枚（90 Gbits/in$^2$）媒体は，先端曲率半径が260 nm前後に制御されたテクスチャであり，OR = 2.0以上を確保している。また，160 GB/枚に向けて開発中のタイプ4では，先端曲率半径250 nm以下を可能とし，OR = 2.2に到達した。80 GB/枚（60 Gbits/in$^2$）のOR = 1.8に対して大幅な改善であり，テクスチャ加工条件のみでSNRが約0.6 dB向上している。図3に，世代ごとのテクスチャ原子間力顕微鏡（AFM）像を示す。80 GB/枚製品と比較し，120 GB/枚（タイプ3），および160 GB/枚（タイプ4）のテクスチャ先端はより鋭角な形状となっており，それがORの向上に寄与していることが分かる。

### 2.3　他工程との連携

テクスチャ加工後の洗浄工程も，ORに影響を与える。テクスチャ条件に応じた洗浄工程設計を行い，テクスチャ表面性状を維持しつつ，残渣（ざんさ），パーティクルを確実に除去することも量産化に向けた重要な課題である。

均一で異常部の少ない表面状態を維持するためには，テクスチャ加工設備の管理を含めクリーンルーム維持管理も重要であり，生産技術も重要な開発要素である。

図2　ORとSNRの関係

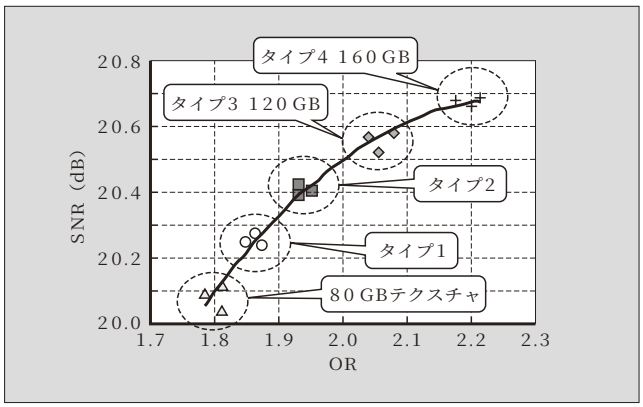
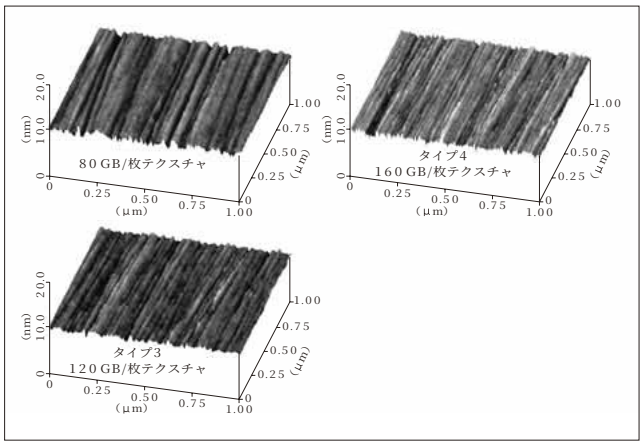



図3　世代ごとのテクスチャ表面形状比較




## 3　磁性技術

### 3.1　磁気記録媒体の基本層構成

図4にアルミ長手磁気記録媒体の層構成の一例を示す。アルミ基板上に，複数の金属薄膜が設けられ，その上にカーボン保護膜と液体状の潤滑膜が形成されている。

金属薄膜はそれぞれに役割を持っている。Cr，Cr合金の積層構造から成る下地層は，その上に形成される磁気記録層の結晶方位を基板面内円周方向に配向させるために設けられる。この働きにより，長手磁気記録が可能になる。安定化層は，Co合金薄膜から成る。下地層と磁気記録層の結晶的な連続性を高めるとともに，この上に形成されるスペーシング層を介して磁気記録層との間に反強磁性結合状態を形成する。反強磁性結合を利用した磁気記録媒体を，一般にAFC（Anti-Ferromagnetic Coupling）媒体と呼んでいる。AFC媒体は，後述する“熱揺らぎ”を改善することができる。富士電機では60 Gbits/in$^2$を超える記録密度のアルミ長手磁気記録媒体に，AFC媒体を採用している。磁気記録層は，実際に磁気信号が書き込まれる薄膜である。一般にCrやPtなどの元素が添加されたCo合金である。

各金属薄膜はナノオーダーの薄さである。例えば，最も薄いスペーシング層の膜厚は約0.8 nmと，原子数個分の厚さしかない。そのため，原子レベルの結晶欠陥が媒体特性を劣化させる。富士電機ではスパッタ法によりこれらの

図4　AFC媒体の層構成例

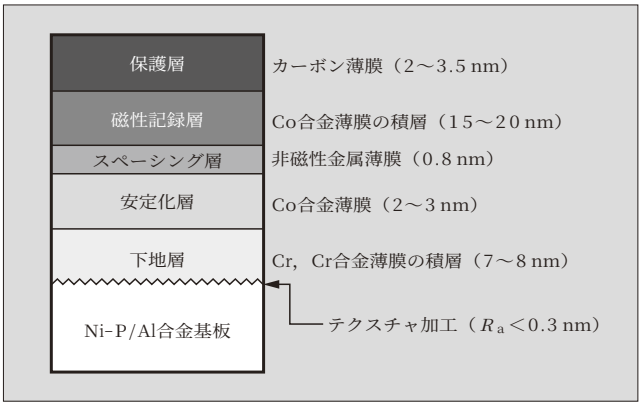
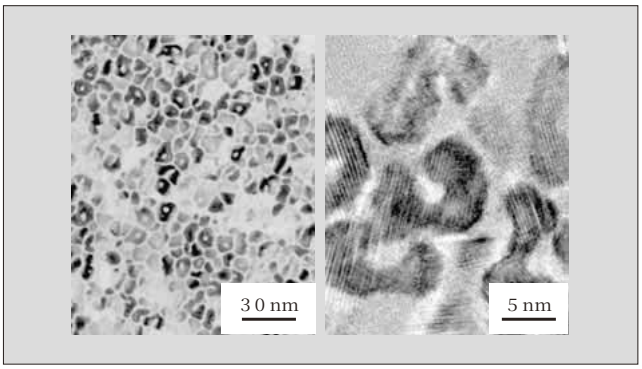



図5　磁気記録層の平面TEM像



金属薄膜を形成している。スパッタ装置内壁の表面処理を工夫することで，壁面からの発ガスや微小なコンタミネーションの発生を低減し，結晶欠陥を抑えている。

### 3.2　磁気記録媒体の微細構造

図5に磁気記録層の平面透過電子顕微鏡（TEM）像を示す。磁気記録層は，複数のCo合金粒子の集合体である。その粒径は記録密度の増加に伴い微細化されている。富士電機で生産する60 Gbits/in$^2$対応磁気記録媒体の平均粒径は約7 nmである。これに対して90～120 Gbits/in$^2$対応の磁気記録媒体の場合，平均粒径は6.5 nm前後に微細化されている。90 Gbits/in$^2$の場合，一つの記録ビットの長さはおよそ32 nmであり，Co結晶粒およそ5個分に相当する。一方でCo結晶粒径が小さくなると，一度記録した磁気信号が熱の影響で減衰する“熱揺らぎ”の問題が顕著となる。最近の高記録密度磁気記録媒体では，媒体ノイズを低減して記録密度を高めるとともに，いかにして熱安定性を確保するのかが重要なポイントになる。

### 3.3　熱安定性の改善

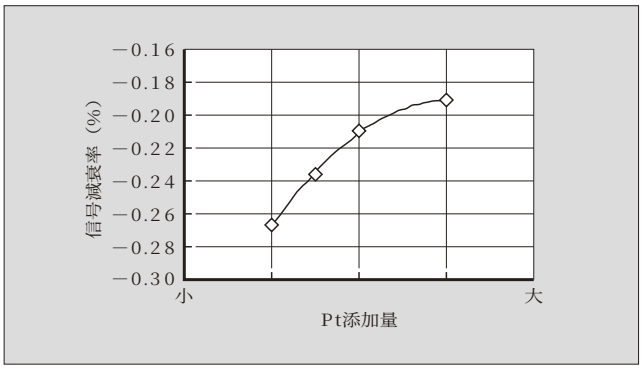
熱安定性を高める方法は幾つかある。基本的には，「熱安定性は$K_uV/kT$に比例する」という考えに基づいている[(2)]。$K_u$は磁気異方性，$V$は磁性粒子の体積，$k$はボルツマン定数，$T$は温度である。すなわち，熱安定性を高めるためには$K_u$を高めることと，磁性粒子の体積$V$を増やすことが必要になる。

$K_u$を高める方法として，磁気記録層中のPt添加量を増やす方法が挙げられる。図6に，磁性層中のPt添加量を変更したときの信号減衰率を示す。信号減衰率は，熱安定性の評価指標の一つである。図6から，磁性層中のPt添加量を増やすことで信号減衰率が減少し，熱安定性が改善されることが分かる。一方で，単純にPt添加量が増えると磁気記録層の磁化が小さくなり，媒体ノイズの増加など他の特性に悪影響を及ぼす。そのため，Pt添加量を増やす場合には，その他の元素の添加量を最適化する，磁気記録層を熱安定性を高める層と低ノイズの層に機能分離する，などの手法が用いられる。

磁性粒子の体積$V$を増して熱安定性を改善するためには，粒径は粗大化できないので磁性層の膜厚を増やすことになる。AFC媒体は，この考え方を応用している。磁性薄膜である安定化層の膜厚を増やすことで磁性層全体の膜厚を厚くして，熱安定性を高めている。単純に安定化層の上に磁気記録層を形成すると，媒体出力とともに媒体ノイズも増えてしまう。しかし，安定化層と磁気記録層の間にスペーシング層が存在するAFC媒体では，反強磁性結合により安定化層と磁気記録層の磁化が互いに反対方向を向くため出力の増加が起こらず，媒体ノイズも抑制される。さらに，磁気記録層自体の膜厚も，ノイズの増加と熱安定性のバランスから最適設計されている。

以上の各種磁性技術を最適化することにより，80 Gbits/in$^2$媒体の結晶粒径：7.1 nm/Signal Decay：－0.29％から6.3 nm/－0.21％へと粒径微細化と熱安定性改善を両立した。SNRも前述のテクスチャ改善と合わせて約1 dBの改善を達成した。現在，120 Gbits/in$^2$対応磁気記録媒体への量産適用準備を行っている。

図6　Pt添加量による信号減衰率の変化



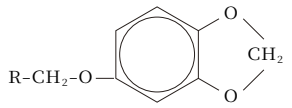
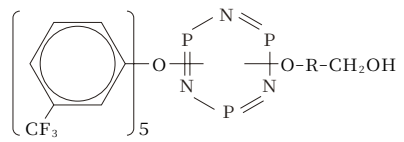

## 4　HDI

高記録密度化のため，近年のハードディスク装置（HDD）のヘッドは磁気記録媒体上10 nm程度の狭間げきで浮上している。そのため，これまで評価してきたヘッド－媒体間の潤滑性や耐摩耗性以外にも重要な特性値が顕在化してきた。ここでは別の側面からみた潤滑膜の特性を紹介する。

### 4.1　コンタミネーションとHDI

アルミ長手磁気記録媒体を搭載したHDDも用途が広がっており，温度，湿度，気圧，塵埃（じんあい）量などが異なるさまざまな環境で使われるようになった。最近のHDDは，フィルタ付きの小さな通気孔が設けられた準密閉構造であり，HDD内への外気の影響は皆無ではない。また，HDD内部の温度上昇に伴う部品からのガス放出もある。HDD内で大きな面積を占め，かつ吸着能力の高いカーボン保護膜で被覆されている媒体表面は，これらコンタミネーションの影響を受けやすい[(1)]。媒体表面に吸着したコンタミネーションは，ヘッドに移着して浮上を不安定に

表1　潤滑剤の種類と構造

| 潤滑剤 | 分子構造 |
|---|---|
| 主鎖構造　R | $-CF_2O(CF_2CF_2O)_p(CF_2O)_qCF_2-$ |
| Z Dol ＊1 | $R-CH_2OH$ |
| Z Tetraol ＊1 | $R-CH_2OCH_2CH(OH)CH_2OH$ |
| AM ＊1 |  |
| A20H ＊2 |  |

＊1：SolvaySolexis製，＊2：MORESCO製

させたり，媒体やヘッドを腐食させたりする。そこで，水分，硫酸ガス，アンモニア，シロキサン，ハイドロカーボン，DOP（Dioctyl Phthalate）などの付着量を指標にして，媒体の表面設計を行っている。また，カーボン保護膜の表面を覆っている潤滑膜も，コンタミネーションの付着低減に効果がある。潤滑膜には，表1に示すような直鎖構造のPFPE（Perfluoro Polyether）の末端に官能基を持つ材料が一般に用いられている。この末端基には，水酸基，ピペロニル基，環状トリフォスファゼンなどがある。末端基の異なる潤滑剤が塗布された媒体を$SO_2$ガスに暴露して，その付着量をTOF-SIMS（Time of Flight Secondary Ion Mass Spectrometry）の$SO_3^-$フラグメント強度で比較した結果を図7に示す。環状構造の末端基を持つ潤滑剤を塗布した媒体の方が，水酸基のものよりも吸着量が少ない傾向が見られた。また，潤滑剤の精製条件によっても，付着するコンタミネーションの量に差異がある。図8に，精製条件の異なる潤滑剤が塗布された媒体を，シリコーンゴムとDOPにそれぞれさらしたときのシロキサンとDOPの付着量をTOF-SIMSで比較した結果を示す。潤滑剤（A）の方が，また潤滑層が厚いものの方が付着量が少ない。このように，潤滑剤にはヘッドとの摩擦に耐えて保護膜の摩耗を抑える働きのほかに，コンタミネーションの吸着を抑制する効果がある。

図7　媒体表面への$SO_2$ガス付着量

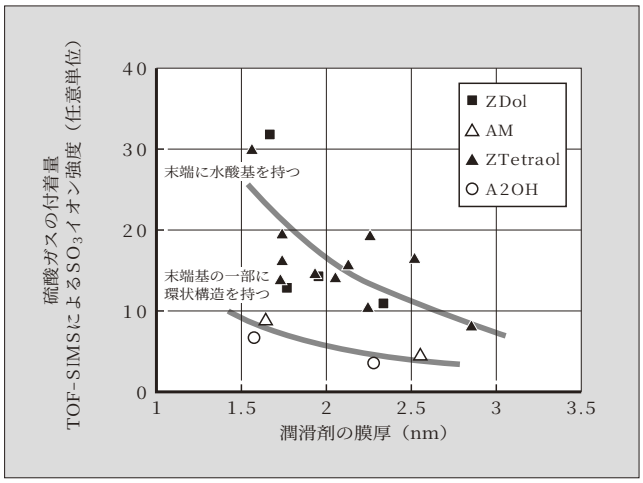
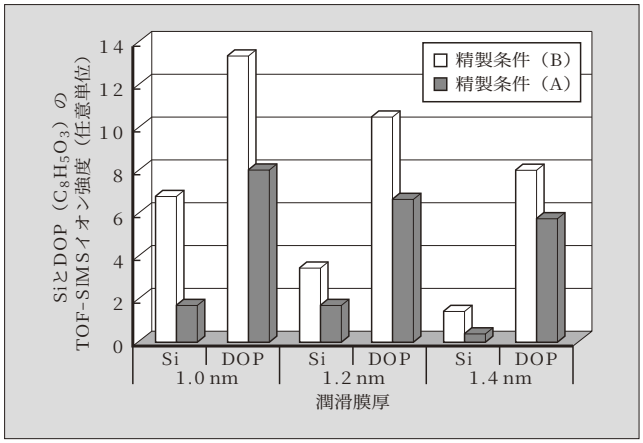



図8　媒体表面へのシロキサンとDOPの付着量




### 4.2　潤滑膜の耐環境安定性と浮上特性

HDDの厳しい使用環境を想定して，従来よりも過酷な温度・湿度環境下でも安定したヘッド浮上特性を保証する表面品質が求められている。それを実現するための鍵となる考え方の一つは，温度・湿度変化の影響を受け難く，安定性の高い潤滑膜とすることである[(4)(5)]。安定性が低い場合，特に高湿度環境下では潤滑剤膜厚の均一性維持が困難になり，局所的な膜厚の不均一が発生しやすくなる。したがって，ストレス環境下において発生した膜厚の不均一箇所数を定量化することにより，潤滑膜の安定性を相対比較できる。富士電機では実際のドライブ使用環境よりもさらに厳しく差異を見極めるために，媒体をあらかじめ結露させた後に各環境での放置試験を実施している。図9に，媒体を結露後に高温（70 ℃）環境で放置し，その表面に観察された潤滑剤の不均一発生箇所数を示す。個数測定にはOSA（Optical Surface Analyzer）を用いた。精製条件（A）の方が高湿での不均一発生が抑制されており，精製条件により潤滑剤の安定性が高められることが分かる。また，同じサンプルの高温高湿度（75 ℃，80 %RH）環境下におけるヘッド浮上特性試験結果を図10に示す。これは試験中にヘッド・媒体接触，もしくは浮上不安定が発生した箇所をAE（Acoustic Emission）で検出してマップ可視化したものである。耐環境安定性に優れる精製条件（A）の方が優れた浮上特性を示した。このように安定性の高い

図9　潤滑剤膜厚不均一発生個数

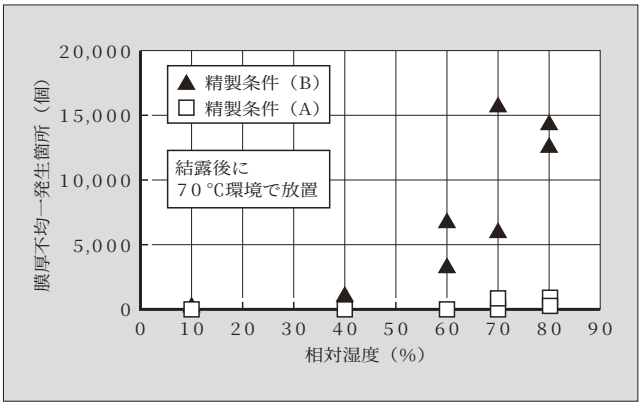
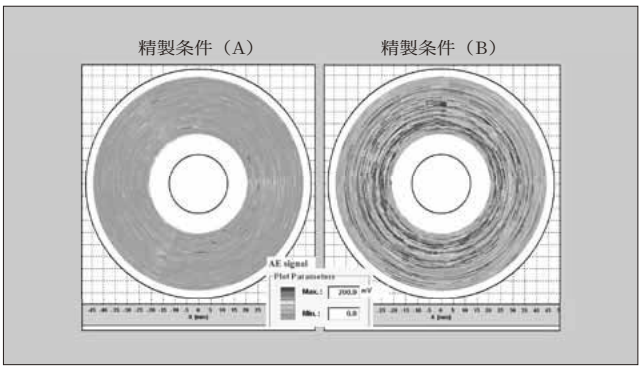



図10　75 ℃/80 %RH環境下での浮上特性



潤滑膜とすることにより，耐環境浮上品質を向上させることができる。

以上述べたように低浮上量の HDI においては，潤滑膜は摩擦低減や耐摩耗性確保に加えて「ヘッドと媒体の接触を発生させない」ための特性が重要である。潤滑膜の新たな機能として必要不可欠な開発課題となっている。

## 5　あとがき

アルミ長手磁気記録媒体の生産量は磁気記録媒体全体の大半を占め，技術的な完成度の高さや記録容量の大きさから，その需要は今後も堅調な推移が予想されている。長手磁気記録の限界を一歩でも延伸できるよう，今後もアルミ長手磁気記録媒体の技術開発を継続していく所存である。

参考文献

(1)　坂口庄司ほか．長手アルミ基板媒体．富士時報．vol.77, no.4, 2004, p.252-259.

(2)　Sharrock, M.P. et al. Kinetic effects in coercivity measurements. IEEE Trans. Mag. vol.17, 1981, p.3020-3022.

(3)　三浦義正．ハードディスクにおけるトライボロジー技術の進展．トライボロジスト．vol.47, no.3, 2002, p.139-144.

(4)　熊崎博文．磁気記録媒体上の潤滑層流動特性評価方法．日本トライボロジー学会トライボロジー会議予稿集．東京・2004-5, p.159-160.

(5)　中澤眞一，川久保洋一．磁気ディスク上の潤滑剤の移動/修復特性及びヘッドの磨耗特性に対する影響．日本トライボロジー学会トライボロジー会議予稿集．東京・2005-11, p.421-422.

# ガラス長手磁気記録媒体技術



松尾　壮太（まつお　そうた）　　下里　　学（しもざと　まなぶ）　　宮里　真樹（みやざと　まさき）

## 1　まえがき

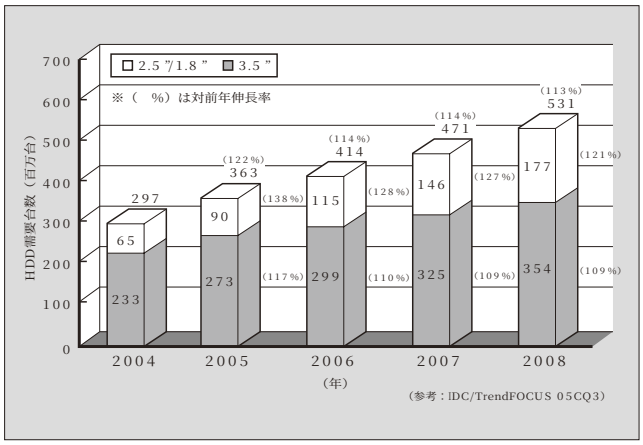
ハードディスク装置（HDD）の生産台数は，従来のパソコン，サーバ用途だけでなく，ノートパソコンなどのモバイル用途，音楽プレーヤなどへと広がりを見せており，今後も年率10％以上の成長が予測されている。

基板材料の視点から市場を見ると，パソコン，サーバ用途の3.5インチ媒体はアルミ基板製が多いが，モバイル用途の2.5インチや1.8インチ媒体にはガラス基板製が用いられることが多い。そのモバイルHDD市場は，ノートパソコンの高性能化と低価格化による需要増加，また家電向けの新用途創出により年率25％で拡大を続けている。図1に示すとおり，2008年にはHDD全体需要の30％近くがモバイルHDDになることが予想される。そのHDD生産台数は，2005年度の0.9億台から1.7億台を超えることが予想されている。

富士電機では，アルミ長手磁気記録媒体で培った高配向技術をガラス長手磁気記録媒体（ガラス長手媒体）に展開し，業界に先がけた高配向ガラス長手媒体に独自技術を採用し，2004年9月から本格量産を続けている。独自技術としては，

(1)　高度テクスチャ技術による高配向媒体

図1　HDD市場（セグメント別）




(2)　シード層技術による高配向媒体

(3)　AFC（Anti-Ferromagnetic Coupling）磁性層技術による高SNR（Signal-to-Noise Ratio）媒体

(4)　2層保護膜技術および混合ルブ（Lube：潤滑剤）技術の採用による高耐久性媒体

が挙げられる。

富士電機で生産するガラス長手媒体は，2.5インチ，40ギガバイト(GB)/枚，5,400 r/min用の高級機種に採用されており，顧客からの高い品質要求を満足し，物量を拡大させている。

2005年度から，ガラス長手媒体の最終機種となる2.5インチ60 GB/枚の開発に着手した。ガラス垂直磁気記録媒体（ガラス垂直媒体）もすでに製品化準備が完了しようとしているが，これが品質面，コスト面で安定するまで，しばらくの間60 GB/枚ガラス長手媒体が主体で生産が続くものと予想される。

本稿では，富士電機が，60 GB/枚ガラス長手媒体用に開発してきた技術について紹介する。

## 2　60 GB/枚ガラス長手媒体に要求される品質

60 GB/枚ガラス長手媒体の開発は，究極の特性である105 Gbits/in$^2$の記録密度へのチャレンジであり，上記のように，5,400 r/min機種に対応するため，一般的な4,200 r/min機種と比較し，1世代進んだ品質が要求される。

富士電機では，40 GB/枚ガラス長手媒体で採用した独自技術をさらに改善し製品化を進めてきた。40 GB/枚から60 GB/枚へ品質を向上させるには，先に述べた記録密度を66 Gbits/in$^2$から105 Gbits/in$^2$へ上げていく必要があり，一つのビットサイズも40％小さくなる。したがって，要求される浮上特性，欠陥特性，低ノイズ特性，書込み特性，LUL（Load/Unload）機構に対する耐久特性は，より厳しくなっている。

40 GB/枚ガラス長手媒体と60 GB/枚ガラス長手媒体に要求される品質の比較を表1に示す。

松尾　壮太

ガラス磁気記録媒体の技術開発および製品化推進に従事。現在，富士電機デバイステクノロジー株式会社情報デバイス事業本部ディスク媒体事業部開発部。

下里　　学

磁気記録媒体の成膜技術および評価技術の開発に従事。現在，富士電機デバイステクノロジー株式会社情報デバイス事業本部ディスク媒体事業部開発部。日本応用磁気学会会員，IEEE会員。

宮里　真樹

ガラス基板媒体の開発に従事。現在，富士電機デバイステクノロジー株式会社情報デバイス事業本部ディスク媒体事業部開発部。

表1　40 GB/枚と60 GB/枚ガラス長手媒体の要求品質比較

| HDDの要求品質 | 40 GB/枚 | 60 GB/枚 |
|---|---|---|
| 回転数 | 5,400 r/min | 5,400 r/min |
| 記録密度 | 66 Gbits/in$^2$ | 105 Gbits/in$^2$ |
| 線記録密度（例） | 660 kBPI | 840 kBPI |
| トラック密度（例） | 100 kTPI | 125 kTPI |
| ヘッドの限界浮上 | 4 nm | 3.5 nm |
| 熱揺らぎ特性 | ＜0.12 %Decay | ＜0.12 %Decay |
| エラーレート | ＜－7乗 | ＜－7乗 |
| コロージョンテスト | 60 ℃/80 %RH/21日 | 70 ℃/80 %RH/21日 |
| 1ビットサイズ | 0.25 μm<br>0.04 μm | 0.21 μm<br>0.03 μm |

## 3　ガラス長手媒体の高配向化技術

Mrt-OR（残留磁気膜厚積の配向比）は，磁性膜の磁気モーメントをいかに効率よく記録のために用いているかを測る指標である。この値を高くするほど効率よく記録が行われ，高密度化設計の基本である磁性膜の薄膜化を促進することができる。

この薄膜化により磁気モーメントを効率よく基板面内に閉じこめることが容易となり，記録信号の高周波特性が改善され，また同じ磁性層膜厚でありながら高い出力特性を可能とする。磁気記録媒体にとって最も重要な指標であるSNR特性が改善する。

富士電機では，テクスチャ技術とシード層技術の組合せにより高Mrt-OR化を達成してきた。また，これらにAFC磁性層技術を組み合わせ，さらに高いSNR特性を達成している。

### 3.1　テクスチャ技術開発

テクスチャ加工とは，ガラス基板をスピンドルに固定して回転させ，そこにゴムローラを介して極細繊維から成る加工布にダイヤモンド砥粒を含む研磨スラリーを滴下し，押し付けて円周状のnmオーダーの溝を形成する加工である。テクスチャ加工による表面形状が媒体特性に与える影響は，以下の3点が挙げられる。

(1)　電磁変換特性（書込み特性，低ノイズ特性）
(2)　信号品質特性（欠陥特性）
(3)　磁気ヘッドの浮上特性

富士電機では，ガラス基板を直接加工し上記特性の制御を行っている。

Mrt-ORはテクスチャ形状と成膜によるシード層のひずみにより決まる。テクスチャ形状的には凹凸の曲率半径が小さいものが要求される。曲率半径を小さくするためには，①凹凸を大きくする，②線密度を高くする，の二つがあるが，磁気ヘッドの浮上特性と信号品質特性の観点からは低表面粗さが要求されるため，線密度をいかに高められるかがポイントである。

図2　ガラス長手媒体のMrt-OR比較

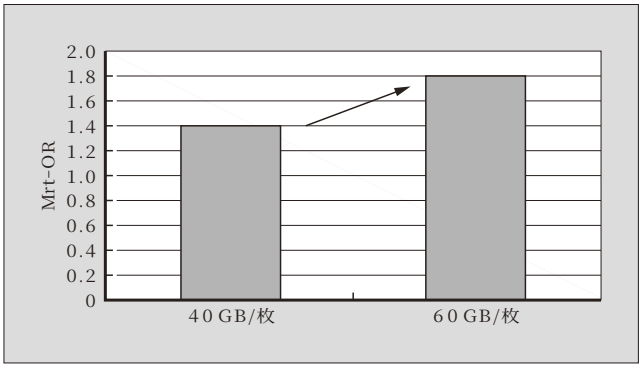
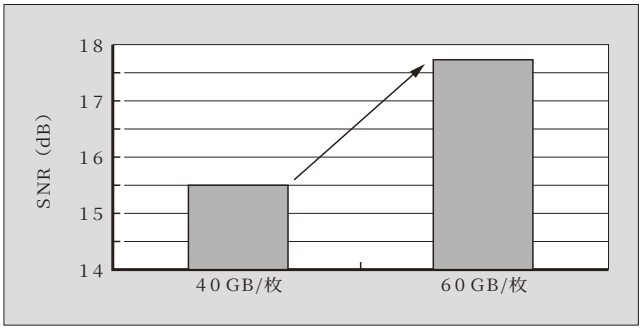



図3　ガラス長手媒体のSNR比較




テクスチャ形状を決める加工パラメータとしては，①加工布，②研磨スラリー，③加工条件の3点が挙げられるが，表面硬度の高いガラス基板に微細な溝を形成するためには，①加工布と②研磨スラリーの組合せが最も重要である。

富士電機では，ガラス媒体生産当初から，低表面粗さかつ高線密度のテクスチャ形状を得るために，極細繊維から成る不織布を加工布として用い，特殊形状ダイヤモンドを含む研磨スラリーを加工に用いることで上記微細形状を形成している。

60 GB/枚対応テクスチャ加工としては，従来よりもさらに線密度を上げる目的で，従来より繊維径の細い加工布を用いて基板表面との接触面積を高め，研磨スラリーは，加工布とガラス基板表面にとどまりやすくするために加工布へのダイヤモンドの保持性が高い加工液を用いている。それらの効果により加工に寄与するダイヤモンド砥粒を増やし，テクスチャ加工後の表面形状としては線密度を上げることが可能となっている。富士電機の特徴は，図2に示すとおり表面粗さが小さな領域で先端曲率半径を小さくし高配向化を可能としていることである。

### 3.2　シード層による高配向化技術

ガラス長手媒体においては，テクスチャによる形状異方性のほかに，シード層と呼ぶ配向制御層の材料選定と構成の最適化が重要な鍵となっている。そのポイントとしては，

(1)　シード層の材質
(2)　シード層の膜厚比率

図4　TEM 測定データ

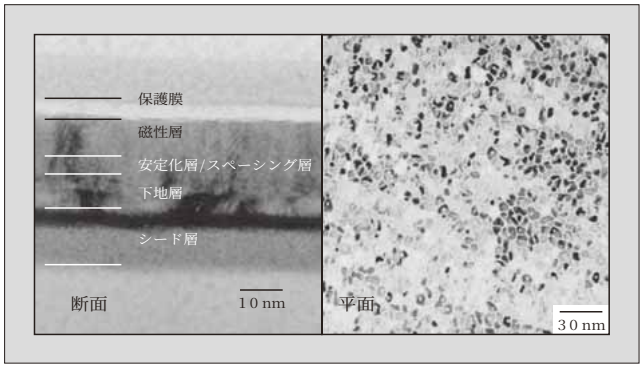
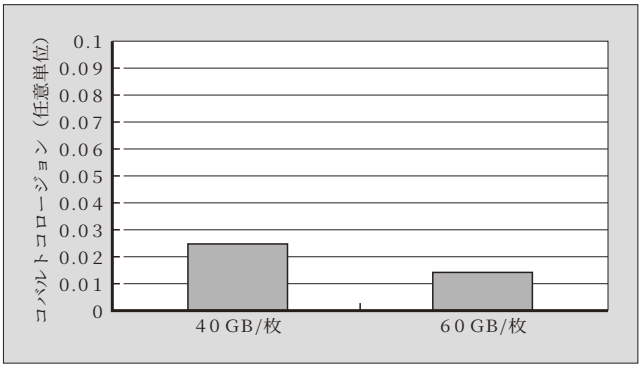



図5　コバルトコロージョンテスト




(3)　反応ガスの制御

が挙げられる。

60 GB/枚ガラス長手媒体の開発にあたっては，40 GB/枚ガラス長手媒体に使用したシード層材料を一から見直すことから開始した。上記(1)〜(3)の改善により，40 GB/枚ガラス長手媒体開発時に 1.4 であった Mrt-OR は，60 GB/枚ガラス長手媒体で 1.8 まで向上している（図 2）。この結果，図 3 に示すように，媒体にとって最も重要な指標である SNR 特性が飛躍的に改善している。

### 3.3　AFC 磁性層技術による低ノイズ化

ガラス長手媒体は，前述のシード層の上に，下地層，安定化層，スペーシング層，磁性層を積層し，AFC 構造を有している。図 4 に断面，平面 TEM 像を示す。

60 GB/枚ガラス長手媒体では，前述のように要求されるビットサイズが非常に小さくなるため，外部の熱環境による磁気特性低下（熱揺らぎ特性）が発生しやすくなる。また要求される SNR 特性も厳しくなるが，通常では SNR 特性を改善するためには，磁性粒子の体積低減とその大きさの均一化が重要となる。それは，熱揺らぎ特性と相反する特性であり，それらを両立するために AFC 磁性層を改善してきた。安定化層は従来に比較し多元化し，従来に比べ熱揺らぎ特性の向上を可能にした。また磁性層も組成の改善を行い，SNR 特性とオーバーライト（O/W）特性のバランスが取れるものとした。

## 4　ガラス長手媒体の HDI 技術

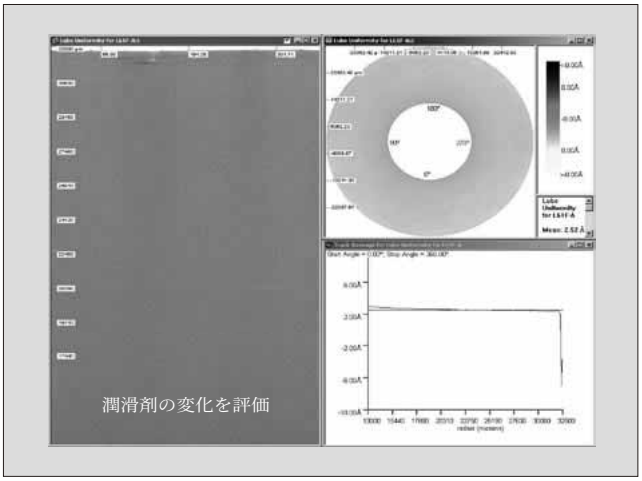
ガラス基板媒体の HDI（Head Disk Interface）方式は，LUL 方式を採用している。この方式では，ヘッドは駆動時媒体上にロードし，非駆動時には媒体外に退避しており，基本的にヘッドが媒体表面に接触しないことを特徴としている。しかし，ヘッドが浮上している間，媒体側の潤滑剤がヘッド側に付着し，その量が限界を超えるとヘッド浮上が不安定になり，場合によってはヘッドが浮上できずに媒体表面と衝突する。

したがって，HDI 特性として以下の項目が要求される。

(1)　ヘッド浮上時の潤滑剤付着量を低減する。

(2)　ヘッド衝突時の媒体表面にきずが付かない。

図6　ドライブ LUL テスト




さらに，高記録密度化を実現するためには，磁気スペーシング（磁性層ーヘッド間距離）を低減することが有効であり，低浮上領域でのヘッド浮上安定性を確保することが重要である。

60 GB/枚ガラス長手媒体に対応する HDI 技術の主要項目である保護膜技術と潤滑技術について紹介する。

### 4.1　保護膜技術

60 GB/枚ガラス長手媒体を達成するにあたり，保護膜に求められる特性は，3 nm 前後という極薄膜において，

(1)　磁性層からのコバルトコロージョン抑制

(2)　ガス吸着量の低減

(3)　LUL に対する耐久性確保

を達成することである。

(1)においては，より高密度なカーボン膜の成膜が必要であり，(2)(3)においては潤滑剤との密着性を高めるとともに，腐食性ガスに対して不活性な表面にする必要がある。上記の特性を満足するために，富士電機では二層保護膜を採用している。まず下層には CVD（Chemical Vapor Deposition）法による高エネルギー成膜によって，より高密度なカーボン膜を形成し，耐久性の確保，コロージョン抑制を行っている。また，上層にはスパッタ法により a-C：N 膜を形成し，ガス吸着を抑制している。

特に CVD に関して，使用するガス種の選定，成膜速度

図7　減圧浮上テスト

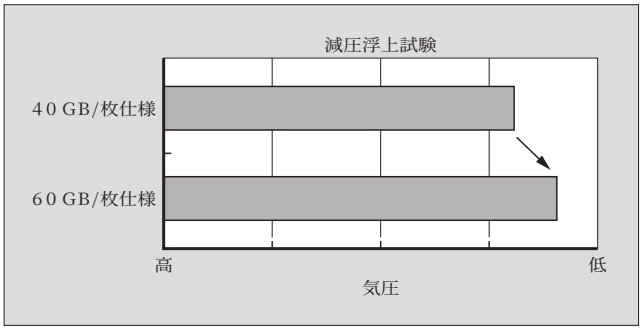
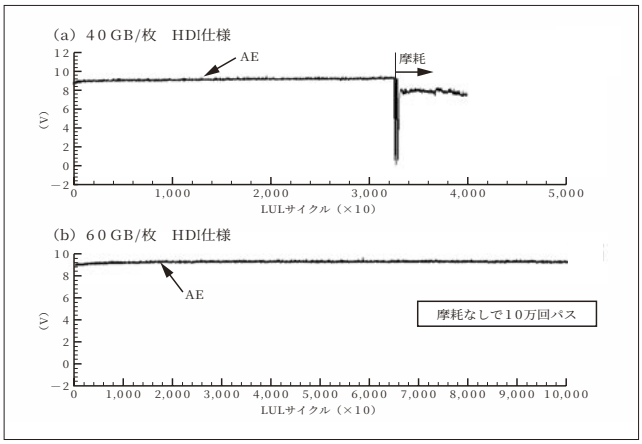



図8　減圧 LUL テスト




の制御，印加バイアス電圧最適化などの改善を図った。結果として，40 GB/枚ガラス長手媒体に比較し 60 GB/枚ガラス長手媒体は，図 5 に示すとおり薄い膜厚ながら 96 時間 80 ℃ 85 %RH の環境に放置しても，ほとんどコロージョンが起きない特性を達成している。

富士電機独自の二層保護膜技術で，特許を取得している[(4)]。

### 4. 2　潤滑技術

保護膜を形成した後，潤滑剤を表面に塗布している。前述のとおり，潤滑剤がヘッド側に付着する量を低減させ，かつ LUL に対する耐久性を上げる必要がある。またヘッドが媒体表面で滑走する際，潤滑剤の膜厚が変化したり，モーグルといわれる凸凹の形状も形成される。これらが，さらにヘッドの浮上特性を不安定にさせる要因となる。

富士電機では，社内で潤滑剤の精製を行い，分子量分布を制御し，40 GB/枚ガラス長手媒体に対応してきた。60 GB/枚ガラス長手媒体に関しては，従来に比べヘッドが小型化され，これに伴いヘッドに生じる負圧が強くなり，潤滑剤が付着しやすいデザインに向かっている。そこで，さらに高度な潤滑剤の分子量制御を行い，保護膜と潤滑剤の結合力，さらに潤滑剤の流動性も制御している。これにより，ヘッドへの潤滑剤吸着を低減し，また流動性を制御することでヘッド滑走時の膜厚変化とモーグルが形成されない技術を開発した。これに添加剤を入れ，混合潤滑剤とすることで従来どおり非常に高い耐久性も保持している。

以上の保護膜技術と潤滑技術の改善により，図 6 に示す 70 ℃ 80 %RH 下での LUL 耐久性評価で潤滑剤の変化がなく，図 7 に示す減圧時の浮上特性が向上した。さらに厳しい条件として，ヘッドが表面接触しながら LUL させる評価においても，図 8 に示すとおり高い耐久性を確保することができている。

## 5　あとがき

富士電機では，40 GB/枚ガラス長手媒体に引き続き 60 GB/枚ガラス長手媒体の製品化を達成し，現在生産している。市場に対して，富士電機のガラス媒体は，アルミ媒体とともに地位を確立した。今後，ガラス媒体とアルミ媒体の両方を手がける総合磁気記録媒体メーカーとして，さらに貢献していく。

今後の中核技術として，ガラス垂直媒体が挙げられる。ガラス垂直媒体は，飛躍的な記録密度向上に寄与し，200 Gbits/in$^2$ の実用化も可能となっている。この技術は，モバイル HDD の使用用途を拡大し，ユビキタス社会へ確実に浸透していくものと確信する。富士電機では，今後はガラス垂直媒体の開発，製品化にも注力し，業界 No.1 のガラス媒体メーカーを目指す所存である。

参考文献

(1)　2005 年 IDC 市場予測．2005.
(2)　増田克也ほか．ガラス磁気ディスク媒体の開発．富士時報．vol.75, no.3, 2002, p.165–168.
(3)　松尾壮太ほか．ガラス基板媒体．富士時報．vol.77, no.4, 2004, p.260–264.
(4)　特許登録番号 USP5,837,357. 特許–3058066号．

# 垂直磁気記録媒体の開発状況



酒井　泰志（さかい　やすし）　竹野入 俊司（たけのいり　しゅんじ）　上住　洋之（うわずみ　ひろゆき）

## 1　まえがき

1956年に実用化されたハードディスク装置（HDD）は，近年，その記録密度を年率60～100％の割合で急速に増加させてきており，今後も年率30％程度の割合で増加し続けると予測されている。このような著しい成長の結果，これまで用いられてきた長手磁気記録方式が，低ノイズ特性と「熱揺らぎ」特性とのトレードオフ問題のため，いよいよその記録密度の限界に近づこうとしている。「熱揺らぎ」とは，記録された磁化が常温の熱エネルギーにより反転してしまって信号を安定に保持できなくなる現象であり，長手磁気記録方式では記録密度が上昇するほど「熱揺らぎ」が大きくなってしまう。

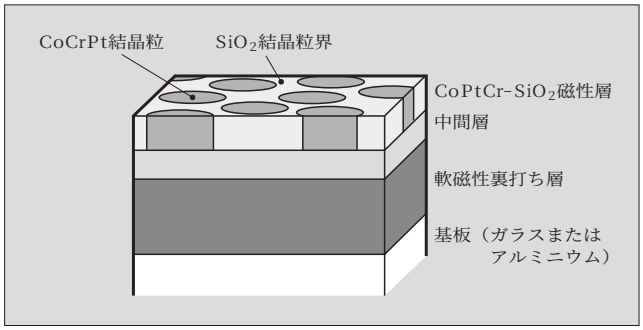
垂直磁気記録方式は1975年にIwasaki[1]らにより提案された記録方式であり，長手磁気記録方式と正反対の特徴，すなわち記録密度の増大に伴い「熱揺らぎ」に強くなるという特性を有している。原理的に高密度記録に適した記録方式であることから，その実用化に向け，磁気記録媒体や磁気記録再生ヘッドに関する数多くの研究がなされてきており，2005年春にはついに垂直磁気記録方式を採用したHDDが発売された。

富士電機では，1999年から垂直磁気記録媒体の開発を開始し，実用化のための大きな課題とされてきた，低ノイズ特性と高熱安定性，および書込み特性を両立させた磁気記録層，および厚膜のため生産性向上が必須であった軟磁性裏打ち層の実用化に注力してきた。富士電機で開発した垂直磁気記録媒体の模式図を図1に示す。軟磁性層（SUL：Soft Under Layer）としてCo基合金アモルファス膜を，グラニュラー磁気記録層として$CoPtCr-SiO_2$を用いており，垂直磁気記録媒体としての特性が良好なことに加え，各層の膜厚が垂直磁気記録媒体としては比較的薄いことに特徴がある。

現在までに，富士電機としては初の垂直磁気記録媒体の量産化に向けためどづけを完了させ，本格的な量産に向けて準備中である。

本稿では，テクスチャ加工による軟磁性裏打ち層への影響を含めた，軟磁性裏打ち層の最適化，グラニュラー構造を有する垂直磁気記録層の構造制御など，富士電機での垂直磁気記録媒体の開発状況について述べる。

図1　垂直磁気記録媒体の模式図

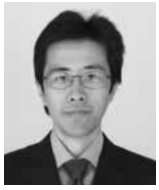



## 2　軟磁性裏打ち層の開発

垂直磁気記録媒体の特徴の一つにSULがある。SULが存在することにより，ヘッドの記録磁界を長手磁気記録方式の1.5倍程度にできるなど，大きなメリットがある[2][3]。しかし，スパイクノイズと呼ばれるSULに発生する磁壁に起因するノイズが大きな問題とされ，その抑制も必須である。生産性を考えるとSULは可能な限り薄い方がよく，また最近はシールドポールヘッドの登場により，従来ほどのSUL膜厚が必要ないとも言われており，SUL膜厚低減が生産性に対して非常に重要な課題であった。

### 2.1　テクスチャによる影響

現在量産されているアルミ基板を用いた長手磁気記録媒体においては，磁気特性ならびにHDI（Head Disk Interface）特性の観点からテクスチャ加工が施されている。垂直磁気記録媒体においても，磁気記録ヘッドの構造が従来のものから大きく変更にならない限り，HDIの観点からは何らかの表面処理が必要になると思われる。そこで，テクスチャ加工条件を各種変更して作製したアルミ基板を用いて，同一成膜条件にて垂直磁気記録媒体を作製し，

酒井　泰志

磁気記録媒体の研究開発に従事。現在，富士電機デバイステクノロジー株式会社情報デバイス事業本部ディスク媒体事業部開発部。

竹野入　俊司

燃料電池，磁気記録媒体の研究開発に従事。現在，富士電機アドバンストテクノロジー株式会社ストレージメディア研究所。日本応用磁気学会会員。

上住　洋之

磁気記録媒体の研究開発に従事。現在，富士電機デバイステクノロジー株式会社情報デバイス事業本部ディスク媒体事業部ガラス生産部課長補佐。博士（情報科学）。日本応用磁気学会会員。

各種評価を行った結果を紹介する。

スパイクノイズならびに電磁変換特性は，スピンスタンドテスタを使用し，シールドポールヘッドを用いて評価を行った。スパイクノイズの評価は，DC イレーズ後の出力信号に対し，ホワイトノイズの 1.2 倍の値をしきい値とし，そのしきい値を超える出力を有するものの個数を算出して求めた。図 2 に，用いたアルミ基板の表面粗さ $R_a$ とそれぞれに対するスパイクノイズの個数を示す。$R_a$ が 0.2 nm 程度以下の場合には，スパイクノイズは 100 個以下の少ない値を示しているが，$R_a$ が 0.2 nm から増加するのに伴い，個数が急激に増加していることが分かる。

次に，テクスチャ加工による電磁変換特性への影響を確認するために，記録密度 150 kfci（fci：flux change per inch）の信号を書込み後，OTP（Off-Track Profile：信号書込み位置から磁気ヘッドを 10 nm ピッチにて左右にそれぞれずらしながら信号出力を測定したときの出力波形）の測定を行い，信号の中心位置から 230 nm 離れた位置での出力値を，OTP のすそ引き量と定義して算出した。すそ引き量と $R_a$ の関係を図 3 に示す。図中には，一例としてすそ引き量の大きな媒体と小さな媒体の OTP を示した。スパイクノイズの場合と同様に，$R_a$ が 0.2 nm 程度よりも小さい場合には，すそ引き量は 0.01 mV 程度の小さな値を示す。しかしながら $R_a$ が 0.2 nm よりも大きくなると急激にその値が大きくなり，OTP の形状が左右に段を持ったものとなり，信号が横に大きく広がってしまっている。

これらの原因を調べるため，それぞれの媒体の SUL の磁気異方性を調査した。その結果，$R_a$ が大きくなるに従い，SUL の磁気異方性の方向が，垂直磁気記録媒体として求められる半径方向から，テクスチャ溝に沿った円周方向に向きを変えていることが分かった。したがって，SUL の異方性制御の観点からは，基板の $R_a$ は小さい方が好ましい。ただし，$R_a$ が小さい条件においても，これらの特性の悪いものがあり，逆に $R_a$ が大きくても，特性が良好なものもあることから，単純に $R_a$ のみに依存するわけではなく，テクスチャの凹凸の密度や形状，向きなどにも影響されることが推察される。

一方，ガラス基板を用いた垂直磁気記録媒体においては，ポリッシュ技術の向上により，テクスチャ加工を用いることなく $R_a$ を制御しつつ，表面欠陥を低減することができており，量産開始となる第一世代の垂直磁気記録媒体においては，テクスチャ加工なしで展開している。

次に，テクスチャの形状による磁気特性ならびに電磁変換特性への影響に関して，一例としてアルミ基板を用いて検討した結果を紹介する。これまでに，$R_a$ の増加に伴い CoPtCr 結晶粒の c 軸分散が増加することにより保磁力 $H_c$ が低下することを報告してきた[(4)]。しかしながら，今回の検討結果によると，$R_a$ に対して $H_c$ はほぼ一定の値を示している。さらに，電磁変換特性の評価項目の一つである信号対ノイズ比（SNR）も $R_a$ に対してほぼ一定の値を示している。これらの傾向は，今回検討した $R_a$ がこれまで報告してきたものに対して小さいことや，SUL へのテクスチャの影響が出難い加工条件を選んだことに起因していると推察される。

HDD の性能として重要なパラメータであるバイトエラーレート（ByER）の $R_a$ 依存性を図 4 に示す。ByER は，$R_a$ が 0.15 nm 程度までは，－2.5 乗程度のほぼ一定の値を示している。しかしながら，$R_a$ が 0.15 nm よりも小さくなると，ByER は単調に増加していることが分かる。$H_c$ と SNR は $R_a$ に対してほぼ一定の値を示していることから，$R_a$ を変更した場合の磁性層への構造などに変化はな

図 2　スパイクノイズ数の表面粗さ $R_a$ 依存性

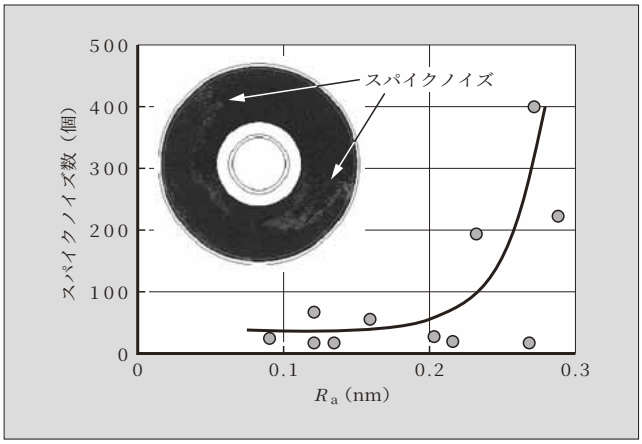



図 3　すそ引き量の表面粗さ $R_a$ 依存性

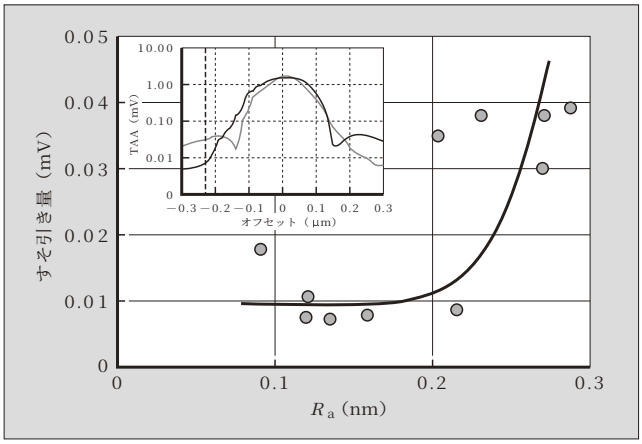
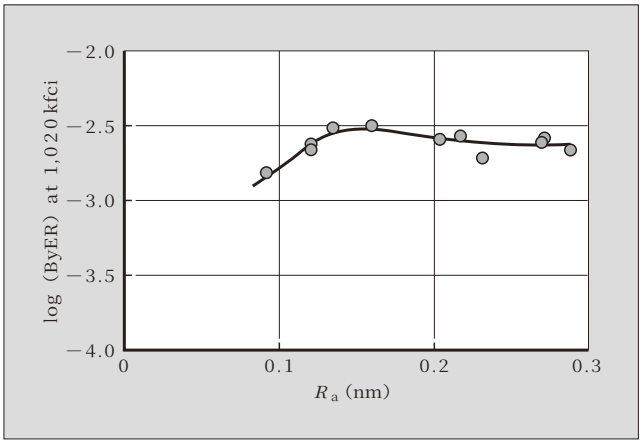



図 4　ByER の表面粗さ $R_a$ 依存性



いものと思われる。したがって，$R_a$ が 0.15 nm より小さい場合に ByER が増加した原因は，前述のとおり，$R_a$ の低下に伴いスパイクノイズが減少していることに起因していると推察される。

このように，垂直磁気記録媒体においては，基板表面の形状が媒体の特性に大きな影響を及ぼすことから，HDI 特性も含め，総合的な観点から，垂直磁気記録媒体として求められる表面形状の開発を推進中である。

### 2.2　SUL の薄膜化

従来のシングルポール（またはモノポール）ヘッドと組み合わせる場合，媒体の SUL は 100 nm を超える膜厚が必要であった。ところが，現在，垂直磁気記録方式の主流となっているシールドポールヘッドの登場により，以前ほど厚い SUL が必要なくなってきている。これは，シールドポールヘッドを用いた場合，有効な書込み磁界が磁性膜の磁化容易軸に対して斜めに作用することが原因と考えられる。例えば，シミュレーションによる検討では，磁気記録層の膜厚を 15 nm，浮上高さを 10 nm とした場合，シード層を 10 nm とすることで最も効率のよい 45 deg の記録磁界角度が得られるとの報告もある[5]。しかし，効率のよい書込みが可能ということは，同時に消去しやすいということも意味する。そこで，SUL 膜厚を変化させたときの各種電磁変換特性の変化や隣接トラック消去（ATE：Adjacent Track Erase）の変化を調べることで，SUL 薄膜化の可能性について検討した。

図 5 に 510 kfci で測定した SNR および 510 kfci の信号上に 68 kfci の信号を上書きしたオーバーライト（O/W）の SUL 膜厚依存性を示す。SUL 膜厚を 70 nm から 40 nm まで薄膜化することで，オーバーライトは－ 41 dB から－ 38.5 dB まで劣化している。しかし，劣化量はたかだか 2.5 dB 程度であり，SUL 膜厚 40 nm でも－ 30 dB を大きく超えるオーバーライトが得られていることから，この SUL 膜厚範囲では十分な上書き特性が得られていると考えている。次に SNR に注目すると，ばらつきはあるものの，SUL の薄膜化に伴い向上していることが分かる。記録層の磁気特性は SUL 膜厚によらずほぼ一定であることから，この SNR の違いは SUL に起因するものと推測される。

図 6 に 1,020 kfci における ByER と MWW（Magnetic Write Width）の SUL 膜厚依存性を示す。図から，SUL が薄くなるほど ByER が向上し MWW が小さくなっていることが分かる。この結果は，SUL を薄膜化することで bpi（ビット/インチ）と tpi（トラック/インチ）が同時に向上することを意味しており，高密度化のためには SUL 起因のノイズ低減も重要な要素の一つであると考えられる。

次に，垂直磁気記録媒体においては SUL が存在していることにより重要な評価項目となる ATE に関して検討を行った。ATE の評価は，ある中心位置に対し，左右それぞれ複数のトラックに低周波の信号を書き込んだ後，磁気ヘッドにて信号出力を測定する。その後，中心位置に高周波の信号を複数回（1,000 ～ 10,000 回程度）書込みを行い，再度磁気ヘッドにて信号出力を測定する。中心位置への高周波信号の書込み前後での信号出力の減衰量を算出し，ATE とした。図 7 に，SUL 膜厚を変化させた媒体の ATE 測定結果を示す。一例として，同じ図中に，実際に得られた出力波形も示す。SUL の異方性の制御ができていないため，ATE として 17 % 程度の大きな出力の落込みが観測される。今回用いた垂直磁気記録媒体では，表面形状を含め，SUL の異方性を制御しているため，膜厚

図 5　SNR ならびに O/W の SUL 膜厚依存性

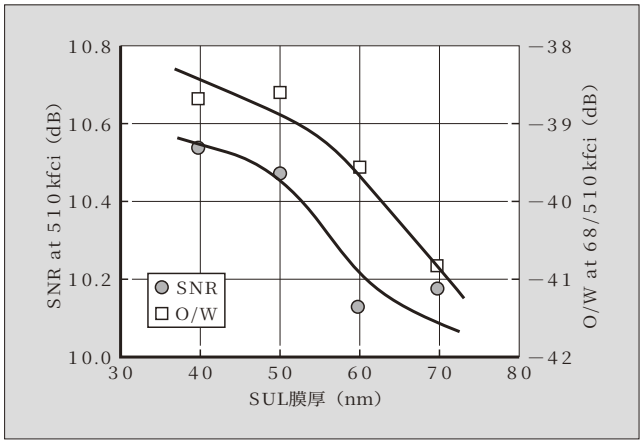



図 6　ByER ならびに MWW の SUL 膜厚依存性

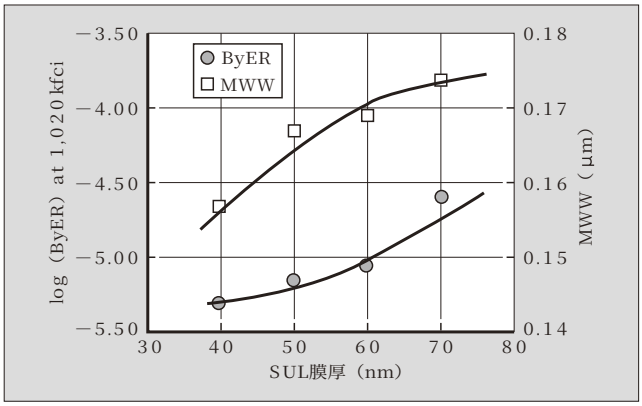
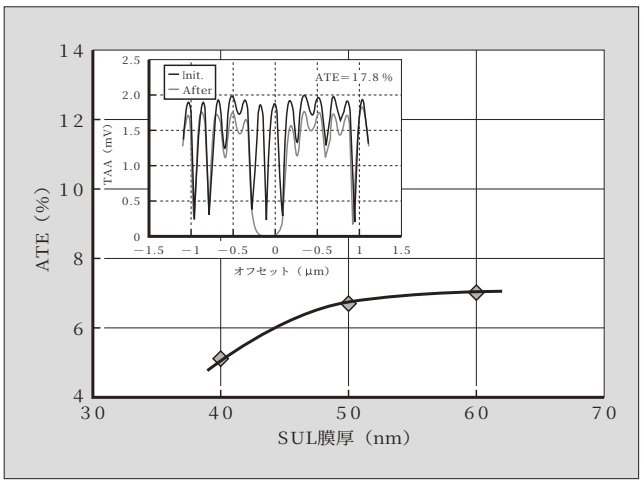



図 7　ATE の SUL 膜厚依存性



60 nm においても ATE の値は 7 % 程度と小さく抑えられている。SUL の膜厚の低下に伴い ATE は単調に減少し，40 nm においては 5 % 程度の小さな値を示す。したがって，ATE の観点からもオーバーライトの値が許容できる範囲において，SUL 膜厚は薄い方が好ましい。

今回のヘッド－媒体の組合せであれば，オーバーライトにもまだ多少の余裕があるので，40 nm 以下の SUL も実現可能と考えられる。また，シールドポールヘッドを用いたときに斜め磁界により記録されるならば，効率のよい記録ができる磁性層と中間層の膜厚が存在する可能性もある。これらの点を考慮して，さらなる高密度化を目指すべく，開発に取り組んでいる。

このように，富士電機の垂直磁気記録媒体の SUL 膜厚は，薄い膜厚で最適化されており，50 nm 前後という膜厚においても HDD として良好な特性が得られている。これは非磁性中間層の薄膜化や磁気記録層の最適化などにより，SUL 膜厚が薄くても，媒体全体として磁気ヘッドによる書込みの行いやすい媒体としていることに起因している。これらの取組みの成果により，生産性ならびに製造コストの観点からも量産化のめどがついている。

## 3　CoPtCr-$SiO_2$ 媒体の微細構造と結晶配向性

富士電機では，他社に先駆けて，$SiO_2$ を添加した CoPtCr を磁性層材料として用いることで，大きな一軸異方性と良好な偏析構造を有する垂直磁気記録媒体が実現できること，また良好な記録・再生特性と高い熱安定性を示すことなどを積極的に社内外に報告してきている[(6)～(10)]。図 8 に垂直磁気記録媒体の平面ならびに断面透過電子顕微鏡（TEM）による格子像を示す。CoPtCr の平均粒径は 4.5 nm，平均の粒界幅は 2.4 nm である。また，中間層の結晶粒径は 7.4 nm であることが分かっており，CoPtCr 結晶粒径 + 粒界幅は中間層の結晶粒径とほぼ一致している。断面 TEM 像からは，これまでと同様に，中間層と CoPtCr が 1 対 1 で成長し，中間層から CoPtCr まで c 面の格子像が連続していること，磁性結晶粒は磁性層成長初期からアモルファス状の結晶粒界により分離されていることが分かる。さらに，X 線回折の結果から，c 軸の配向分散量 $\Delta\theta_{50}$ は中間層および CoPtCr ともに 2.5 deg であり，従来よりもさらに c 軸配向分散は低減している。

図 8　CoPtCr-$SiO_2$ 垂直磁気記録媒体の TEM 像

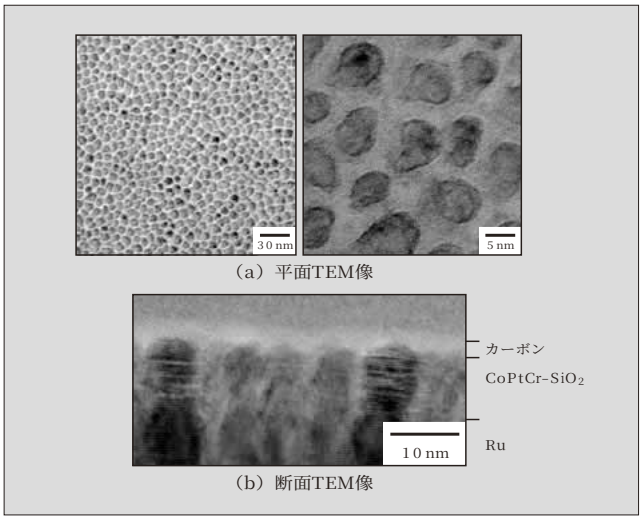



図 8 に示した垂直磁気記録媒体の結晶粒径は，従来の媒体と比較して 65 % 程度まで低減している。しかし，粒界幅も含めると従来の約 80 % までしか微細化されていない。結晶粒径の低減により実際に媒体ノイズは低減されているものの，高 bpi 化を考えた場合，粒界幅を広げて粒径を低減する手法には限界がある。今後，ビットあたり bpi 方向に入る結晶粒の個数をある程度確保するためにも，充てん率を上げながら結晶粒径を低減することが望ましい。そのためには，中間層の結晶粒径を低減しながら，CoPtCr への $SiO_2$ 添加量を最適化していく必要があると考えている。

## 4　あとがき

近年，HDD の用途も広範囲に拡大しており，垂直磁気記録方式の採用による高密度化により，さらにその応用範囲は拡大し，使用量は増大していくものと予想される。

富士電機においても，1999 年から開始した垂直磁気記録媒体の開発も，2006 年春から量産を開始している。量産技術の高度化とともにさらなる高密度化を実現できる技術の開発も並行して検討していく所存である。

参考文献

(1)　Iwasaki, S. ; Takemura, K. An analysis for the circular mode of magnetization in short wavelength recording. IEEE Trans. Magn., vol.11, 1975, p.1173-1175.

(2)　中本一広ほか．100 Gb/in$^2$ 垂直記録向け単磁極 /TMR ヘッド．日本応用磁気学会誌．vol.27, no.3, 2003, p.124.

(3)　中本一広．日本応用磁気学会．第 135 回研究会資料．2004, p.29.

(4)　竹野入俊司ほか．CoPtCr-$SiO_2$ グラニュラー垂直媒体の開発．信学技報．MR2003-14, 2003, p.25.

(5)　Tang, Y. and Zhu, J. G. Optimization of Perpendicular Recording with Shielded Pole Head. Digests of the INTERMAG 2005. CB04, 2005, p.248.

(6)　Oikawa, T. et al. Microstructure and magnetic Properties of CoPtCr-$SiO_2$ Perpendicular Recording Media. IEEE Trans. Magn. vol.38, 2002, p.1976-1978.

(7)　竹野入俊司ほか．CoPtCr-$SiO_2$ グラニュラー垂直媒体の微細構造と電磁変換特性．信学技報．MR2002-6, 2002, p.31.

(8)　渡辺貞幸ほか．CoPtCr-$SiO_2$ 垂直磁気記録媒体の微細構造と諸特性．信学技報．MR2002-76, 2003, p.13.

(9)　Uwazumi, H. et al. CoPtCr-$SiO_2$ Granular Media for High-density Perpendicular Recording. IEEE Trans. Magn. vol.39, 2003, p.1914-1918.

(10)　竹野入俊司ほか．CoPtCr-$SiO_2$ 垂直磁気記録媒体の開発と課題．日本応用磁気学会．第 135 回研究会資料．2004, p.9-16.

# 垂直磁気記録媒体の信頼性技術



横澤　照久（よこさわ　てるひさ）　貝沼　研吾（かいぬま　けんご）　磯﨑　誠（いそざき　まこと）

## 1　まえがき

垂直磁気記録媒体は，低ノイズ・高記録密度の垂直磁性層が基本技術になっているが，実際のハードディスク装置（HDD）製品では信頼性を確保するために，基板，洗浄，軟磁性層，保護膜などを垂直磁気記録媒体用として最適化しなければならない。ここではHDI（Head Disk Interface）技術を含めた，垂直磁気記録媒体用基板と軟磁性層の設計，洗浄技術，保護膜技術について説明する。

## 2　垂直磁気記録媒体用基板および軟磁性層設計

垂直磁気記録媒体の記録密度を支える技術要素として，垂直磁気記録媒体用基板と軟磁性裏打ち層がある。軟磁性裏打ち層は，磁化ビットの書込み時に記録ヘッドと磁気回路を構成し，磁気記録層に印加されるヘッド磁場の強度と磁場こう配を急峻（きゅうしゅん）にさせ，記録分解能を向上させる役割を担っている。ところが，その軟磁性材料は，結晶磁気異方性が小さいため，形状磁気異方性の作用を受けやすく，基板表面の形状により，磁化の向きがそれぞれ異なる複数の磁区に分割された複雑な構造をとりやすい。磁区と磁区との境界（磁壁）からは大きな漏れ磁場が発生するため，信号の再生時にはスパイクノイズと呼ばれる大きなノイズの原因となっている。

従来の長手磁気記録媒体は，円周方向に異方性を付与するため，円周方向にテクスチャを付けている。このようなテクスチャの付いた基板を垂直磁気記録媒体に適用すると，軟磁性裏打ち層が円周方向に配向するという問題が発生する。これは，軟磁性層が形状磁気異方性に大きく影響されるため，テクスチャの溝に対して，磁化容易軸が並行に向きやすくなることによる。円周方向に配向した軟磁性層は，周方向のある位置で180度磁壁を形成する。磁壁からは大きな漏れ磁場が発生するため，信号の再生時にはスパイクノイズが発生する。再生信号のエンベロープをマップにしたものを図1に示す。出力波形で見ると，段差が付いたような波形になり，垂直磁気記録媒体としては適さない。

150 Gbits/in$^2$ 以上の記録密度が必要な垂直磁気記録媒体では，表面の平滑性はいままで以上に必要とされる。また，トライボロジー的には表面粗さが小さくなり平滑になると，摩擦力が増大することと，テークオフ特性が悪くなる。テークオフ特性とは，いったんヘッドが墜落した後，再度ヘッドが媒体面から浮上する特性のことである。

これらの要求を満たすためには，平坦（へいたん）かつランダムで均一性の高い表面であることが必要とされる。富士電機ではこれらを考慮し，超平面でランダムな粗さを

図1　再生信号のエンベロープマップ

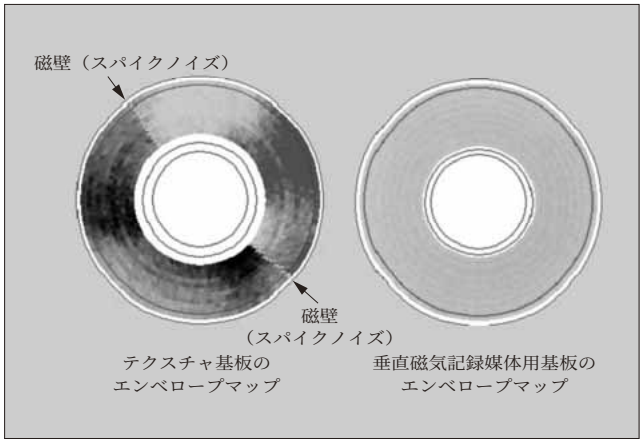
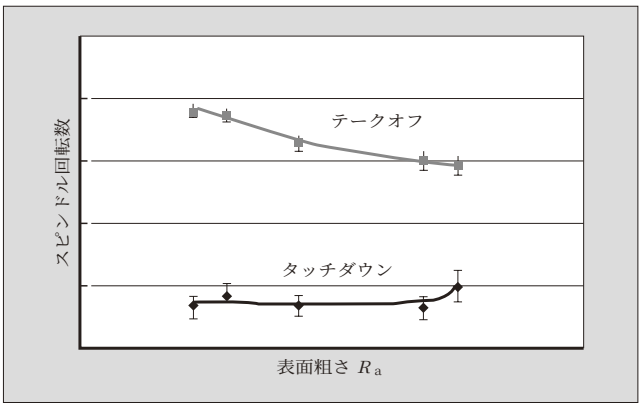



図2　表面粗さと浮上特性



横澤　照久

磁気記録媒体の表面保護・潤滑技術開発に従事。現在，富士電機デバイステクノロジー株式会社情報デバイス事業本部ディスク媒体事業部開発部。日本物理学会会員。

貝沼　研吾

磁気記録媒体用基板の研究開発に従事。現在，富士電機アドバンストテクノロジー株式会社ストレージメディア研究所。電気学会会員。

磯﨑　誠

磁気記録媒体の開発・製品設計に従事。現在，富士電機デバイステクノロジー株式会社情報デバイス事業本部ディスク媒体事業部開発部。日本トライボロジー学会会員。

図3　減圧環境下での LUL 耐久性

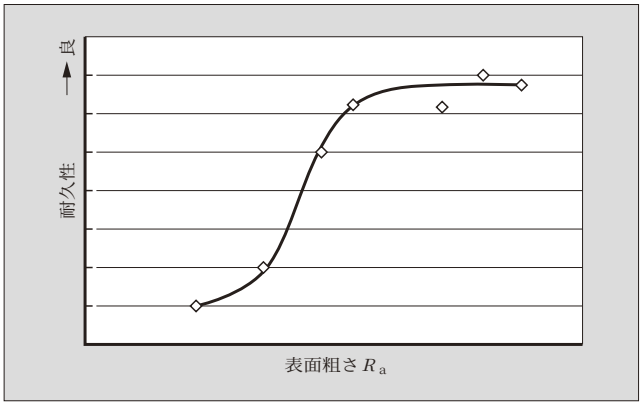
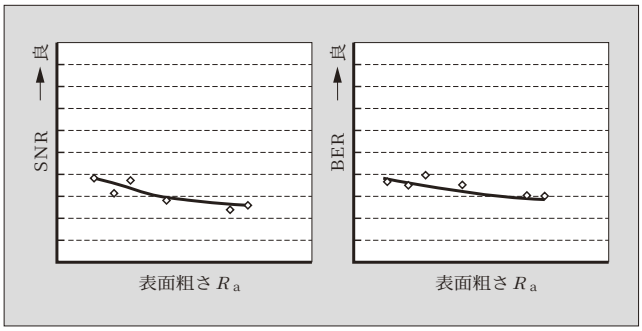



図4　表面粗さと電磁変換特性




コントロールする技術を開発した。

この技術を使い，媒体表面の粗さをコントロールしたときの各種特性を測定した。

浮上性については，磁気ヘッドが浮上している状態からスピンドルの回転数を下げていき，ヘッドが磁気記録媒体に接触しタッチダウンする回転数と，ヘッドが接触した状態からスピンドルの回転数を上げていきヘッドが浮上を開始しテークオフする回転数の 2 種類の評価を行った。結果は図 2 に示すように，表面の粗さを粗くすると，テークオフしやすく浮上特性がよくなってくることが分かる。タッチダウンする速度には粗さ依存性はみえないが，表面が粗くなりすぎると悪くなるようである。

耐久性については，2.5 インチサイズ HDD で一般的に行われている LUL（Load/Unload）テストを行った。LUL テストとは，磁気ヘッドが待機している状態のランプロード位置から，媒体面に進入および退避を繰り返すことで耐久性を評価する試験である。この評価で通常の大気圧では優位差はみつからないが，減圧環境下では，図 3 のような傾向がみられる。表面粗さを粗くすることで，減圧環境下での LUL 特性は改善が見られる。

このように，基板表面をランダムな粗さにすることにより，浮上特性，耐久特性ともに改善することが確認できた。しかし，表面粗さを粗くすることにより，垂直磁性層を形成している結晶性の c 軸（磁化容易軸）が，粗さによる影響で異方性分散が起こることで，磁気特性が劣化する。これにより磁気ヘッドで測定したときの電磁変換特性も劣化する。具体的には電磁変換特性の SNR（Signal-to-Noise Ratio）と BER（Bit Error Rate）がわずかに劣化する。これを図 4 に示す。

図5　垂直磁気記録媒体用基板表面プロファイル

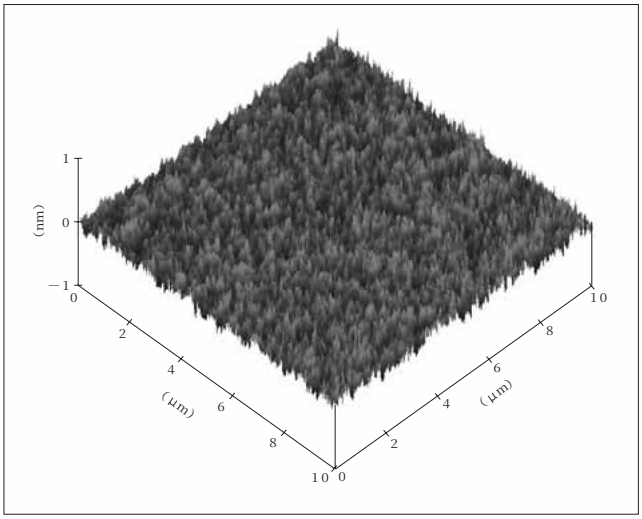
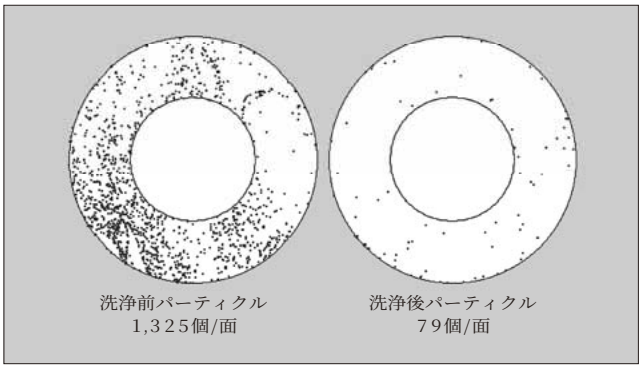



図6　精密洗浄前後のパーティクル




最終的に最適な粗さをコントロールすることで，浮上安定性，耐久性，電磁変換特性，低欠陥の垂直磁気記録媒体用基板を設計した。表面プロファイルを図 5 に示す。なだらかでランダムな粗さにすることで，c 軸分散が少なく，耐久性・浮上性の優れた垂直磁気記録媒体を生産することが可能になった。

## 3　垂直磁気記録媒体用洗浄技術

垂直磁気記録媒体用基板は，多層構造となっており，基板に付着している異物があると大きな欠陥になってしまう。

垂直磁気記録媒体用基板の洗浄に関しては，長手磁気記録媒体用基板よりも強力な洗浄が必要となってくる。長手磁気記録媒体用基板の場合は強力な洗浄を行うと，テクスチャのスクラッチがエッチングの作用を受け，OR（Orientation Ratio）が下がってしまう，という問題がある。しかし垂直磁気記録媒体用基板は，軟磁性層を配向させないことが必要であり，エッチングをかけるような強力な洗浄が可能である。ガラス基板表面をエッチングさせながら，異物除去を行った洗浄前後の基板パーティクルデータを図 6 に示す。垂直磁気記録媒体対応の洗浄において，パー

ティクルが激減していることが分かる。

## 4　保護膜技術

垂直磁気記録媒体は，軟磁性層が厚いためコロージョン特性が悪くなることが予想されていた。そのため，保護膜を高密度層と安定化層の2層構造とし，さらに高密度層の成膜条件を最適化することにより，コロージョン特性の改善を実施した。

具体的には，CVD（Chemical Vapor Deposition）を$SP^3$性の高い膜とすることで，疎水性で潤滑特性の高い膜質を選択した。実際の膜質のラマン分光による測定結果を図7に示す。成膜条件とガス成分をコントロールすることで，従来の$SP^2$リッチな膜から$SP^3$リッチな膜へと変更した。これにより，コバルトコロージョンを抑え，なおかつ耐久性の高い保護膜を形成することが可能となった。

図8に80℃ 80%RHの高温高湿環境下での96時間後のICP-MS（Inductively Coupled Plasma-Mass Spectrometry）によるコロージョン評価結果を示す。Co，Liともに社内仕様の10分の1以下の値に抑えることが可能となった。

## 5　HDI特性評価

最終的に決定した垂直磁気記録媒体について，HDI評価を実施した。評価項目を以下に示す。

①　各環境下でのLULテスト

図7　カーボン膜質コントロール

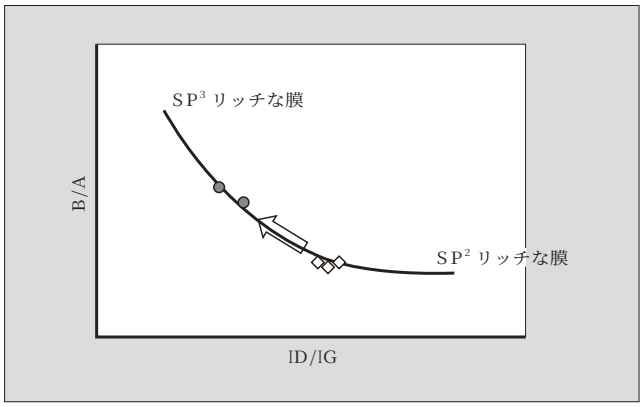
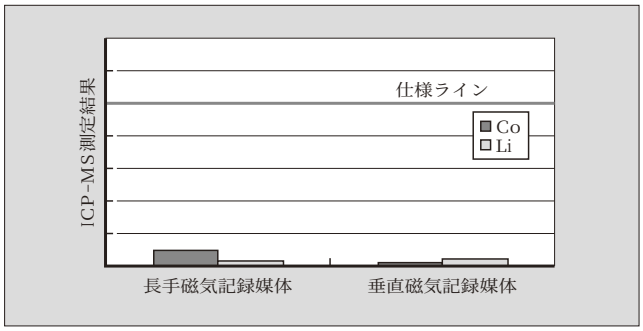



図8　高温高湿放置媒体のコロージョン評価結果




○ホット・ウェット 70℃ 80%RH
○常温常湿
○クール・ドライ

②　高速シークテスト
③　ヘッドスラップテスト
④　減圧環境下でのLULテスト
⑤　テークオフ・タッチダウンテスト

①の各環境下でのLULテスト結果では，特に条件の厳しい70℃ 80%RH環境下で200時間 40万回での結果を図9に示す。高温高湿環境下においても，媒体表面のOSA（Optical Surface Analyser）観察の結果，カーボンのウェアや潤滑剤のモーグルや減量がないことが確認された。また，磁気ヘッドの観察でもスライダ部やポールチップ部に汚れなどが付着していないことを確認した。

②の高速シークテスト結果を図10に示す。10 Hzの速度で磁気ヘッドを高速にシークし50万回までのAE（Acoustic Emission）シグナルを測定した。AEシグナル的に長手磁気記録媒体と比較して問題ない波形が観測され，さらに磁気記録媒体にも磁気ヘッド側にもダメージのないこと

図9　LULテスト結果

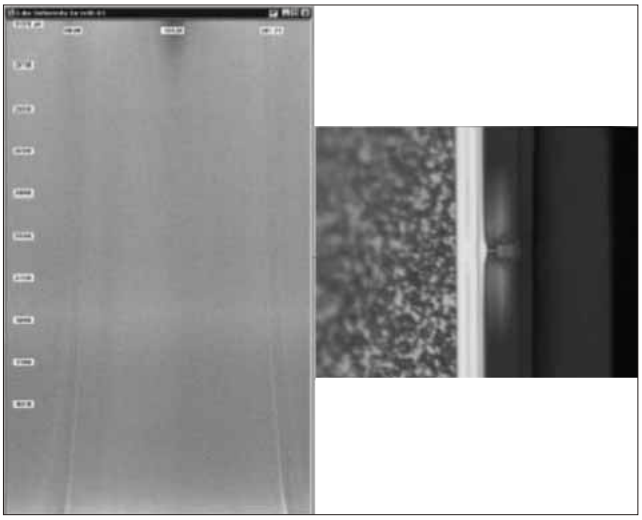


図10　高速シークテスト評価結果

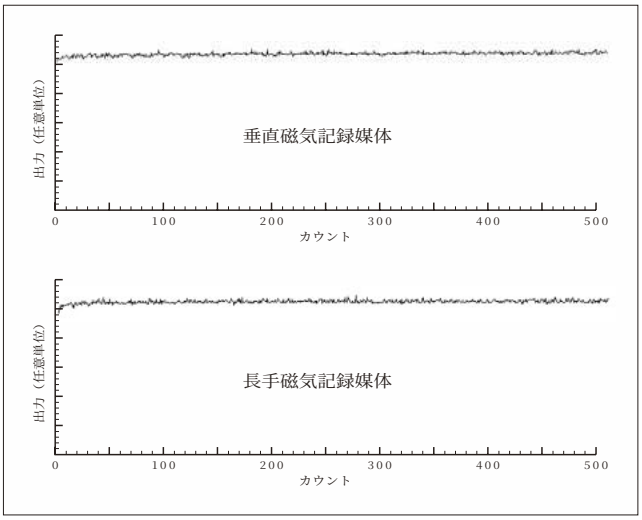
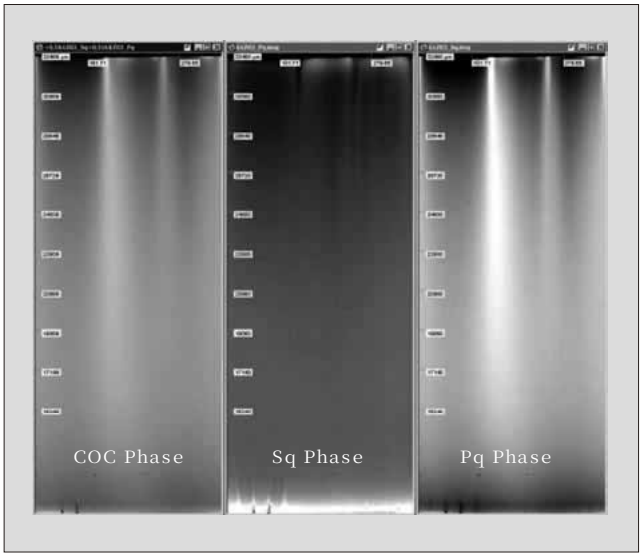


図11　ヘッドスラップテスト評価結果




が確認された。

③のヘッドスラップテストとは，磁気記録媒体を高速で回転させている状態に磁気ヘッドを急速にランプロードから落とすことで，磁気ヘッド LUL 時の耐久性を加速評価する手法である。この評価でも図11に示すとおり，媒体側のカーボンにウェアの発生がなく，潤滑剤の減少も確認されずに，問題のない結果となった。

④・⑤の項目については表面の粗さ依存があり，これは既に報告したように，表面粗さをコントロールすることで最適化を行った。

このように，垂直磁気記録媒体の信頼性は，長手磁気記録媒体と同等以上にまで改善してきた。

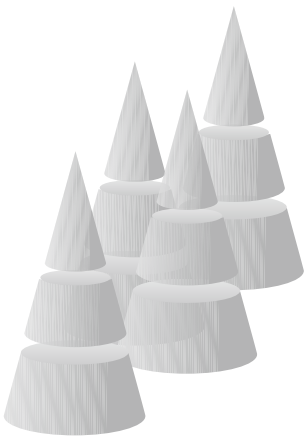
## 6　あとがき

垂直磁気記録媒体は，まずガラス磁気記録媒体から HDD への適用が開始され，アルミ磁気記録媒体へも展開されていく予定である。最終的には今までの長手磁気記録媒体に代わり，すべて垂直磁気記録媒体へと変わっていくと予測されている。そのためには，垂直磁気記録媒体の高記録密度化とともに，信頼性の確保が非常に重要であり，今後とも技術革新，改良に取り組んでいく所存である。

参考文献

(1)　上住洋之ほか．垂直磁気記録用磁性層技術．富士時報．vol.75, no.3, 2002, p.169–172.

(2)　小林光男ほか．磁気ディスク媒体の次世代 HDI 技術．富士時報．vol.72, no.11, 1999, p.590–593.



# 磁気記録媒体の分析・解析技術



熊谷　明恭（くまがい　あきやす）　　渡辺　　武（わたなべ　たけし）

## 1　まえがき

ハードディスク装置（HDD）において，記録密度増大により，磁気ディスクに許容されるエラーおよびその原因となる欠陥の大きさも小さくなってきている。それに伴って，エラーの原因となる欠陥などをより微小部で分析するための評価技術の高度化が必要である。信号の読み書きエラー（リードライトエラー。以下，リードライトはR/Wと略す）評価では高さ数nm以下，面内も数十nm以下の欠陥の分析が必要となる場合が出てきている。

一方，記録密度増大の要求により，ヘッドとディスクのすきま（図1に示すスライダ浮上量）を低減する必要があり，ヘッドをより低く安定して浮上させる技術もますます重要となっている。

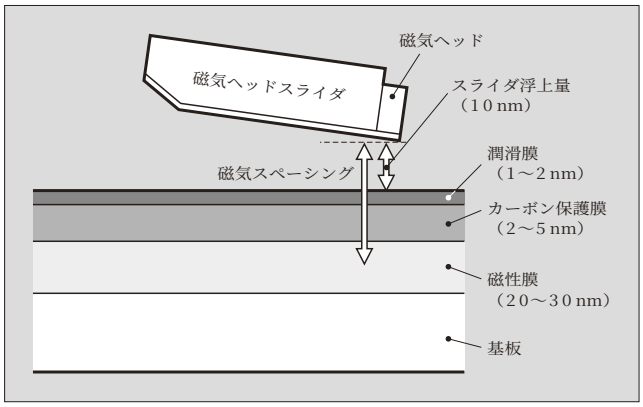
ここでは，R/Wエラーの原因となる微小欠陥に対応した分析技術と，ヘッドの浮上安定性を図るためのディスク表面分析技術について紹介する。

## 2　微小R/Wエラー分析技術

### 2.1　微小R/Wエラー分析の特徴

R/Wエラーの多くは，何らかの欠陥によりその部分の信号が低下することによって起こる。微小で高さが小さい異物などの欠陥によるR/Wエラーは，スパッタ膜下あるいは膜中に原因があることが少なくない。

図1　ヘッド浮上の模式図




高さが小さく，かつ，表面にない欠陥の分析は一般的に難しいことが多い。表面にない異物などを分析する常套（じょうとう）手段として，表面分析とスパッタエッチングを組み合わせた，いわゆるデプスプロファイリングがある。ところが，一定量のエッチングと表面分析を順に繰り返すデプスプロファイリングの場合，高さのきわめて小さな異物に対して，その表面を正確にエッチングにより露出させなければその分析は困難となる。エッチングすべき厚さとの兼ね合いからエッチングレートの下限が現実的には制限されてしまうことと，エッチングによって表面が荒れることから，高さが小さい異物の表面を正確に露出させて分析するのは困難なことが多い。

高さが小さいスパッタ膜中・膜下異物を分析するためのもう一つの常套手段は断面観察である。特に，断面試料を薄膜化し，透過型電子顕微鏡（TEM）や類似の方法で観察する手法では，高空間分解能と分析機能により，得られる情報が多い。一方で，微小な欠陥をいかに追い込んで加工するかにこの手法の難しさがある。富士電機では，R/Wエラーの原因となる微小な欠陥の断面加工と評価技術を開発しており，以下に報告する。

### 2.2　R/Wエラー部の磁気的な構造と形態観察

磁気力顕微鏡（MFM）は，磁性体をコートした探針と，試料間の磁気力（正確には磁気力のこう配）分布を高い空間分解能で観察することが可能であり，磁気ディスクの記録ビット観察も可能である。MFMを用いれば，R/W試験で信号の低下としか認識されなかったエラー部の磁気的構造などについての情報が得られる。さらに，同時，同位置での観察が可能な原子間力顕微鏡（AFM）により，面内形状や高さの評価が可能である。

しかし，MFMとAFMは，数百μm以下での範囲しか評価できず，また，エラー自体のサイズも小さいため，ディスク1枚からエラー部を探し出して観察するのはそのままでは不可能である。そこで，数種の評価装置で場所の

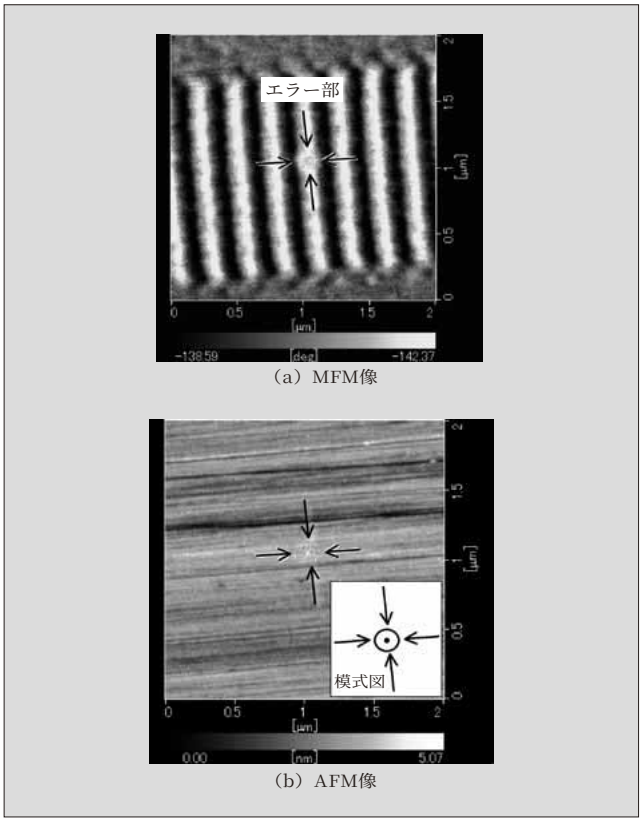
熊谷　明恭

磁気記録媒体の研究開発に従事。現在，富士電機アドバンストテクノロジー株式会社ストレージメディア研究所主任研究員。応用物理学会会員。

渡辺　　武

磁気記録媒体HDI技術の研究開発に従事。現在，富士電機アドバンストテクノロジー株式会社ストレージメディア研究所。日本トライボロジー学会会員。

図2　R/W エラー部の MFM/AFM 観察例




(a) MFM像

(b) AFM像

特定をしながら最終的に MFM と AFM で評価した。評価例を図 2 に示す。

図 2(a)の MFM 像では，ほぼ円形の磁気的な異常が観察された（矢印で囲んだ部分）。(b)の AFM 像では，(a)と同じ位置に矢印を記した。高さが小さいためあまり明確ではないが，エラーに対応した構造が観察できる。(b)の挿入図は観察される構造を模式的に表したものであるが，中心に面内径 20 ～ 30 nm 程度の突起と，同心円状に 200 nm 程度の構造が観察される。(a)の MFM 像と比較すると，大きい方の 200 nm 程度の構造と対応して磁気的な異常が発生していることが分かる。異常部の高さは最も高い中心部でも 1 nm 以下であった。

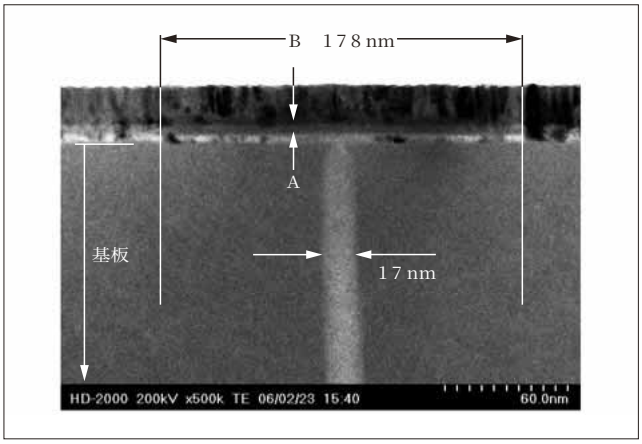
### 2.3　R/W エラー部の断面加工と観察

図 2 に示したエラーに関し，さらに詳細な分析を試みた。エラー部を断面薄膜加工し，TEM や走査透過型電子顕微鏡（STEM）で観察するための加工・評価技術を開発した。

TEM および STEM は，試料を電子線が透過する程度まで薄膜加工し，結晶状態観察や元素分析をする分析評価装置である。軽元素ほど電子は透過しやすいため，比較的重い金属元素から成る磁気ディスクの場合には，100 nm 以下，理想的には 50 nm 以下程度まで薄膜加工する必要がある。また，エラーの原因は，中心の 20 nm 程度で観察される部分に存在する可能性が考えられたため，この大きさが狙えることを想定して手法を考えた。

特定微小部の加工法として，集束イオンビーム（FIB）法があり，今回もこの手法を用いた。これは，細く絞った

図3　エラー部付近の STEM 像




イオンビームにより試料をスパッタエッチングしながら加工していくものである。このとき，イオンビームや，観察用の電子ビームで励起された二次電子像により表面，あるいは断面観察しながら，特定部を加工していく。

この手法を適用するにあたり最も問題となった点は，エラー部の高さがほとんどなく，FIB の観察機能ではもちろん，MFM や AFM 以外のほとんどの手法で観察が不可能であったことにある。観察が不可能であれば，当然，加工や分析も不可能である。検討の結果，欠陥を観察できる手法を見いだし，さらに FIB 加工まで実行できる前処理技術，すなわちマーキング技術を開発し，図 2 に示す欠陥の断面加工と STEM による観察に成功した。結果を図 3 に示す。

図 3 の断面像から，直径 17 nm 程度の欠陥が基板深部から表面まで明るいコントラストで観察されている。これは，図 2(a)で示した形態のうち，中心の面内 20 nm 程度の構造に対応していると考えられる。また，写真左右方向で B，膜厚方向で A と示した部分は，あまり明暗構造のない状態で観察されており，膜がアモルファス化していると考えられる。他の部分では基板上から柱状に成長した結晶構造が観察されている。膜の一部がアモルファス化している領域の大きさ（178 nm）と，図 2 のエラー部の直径とが対応している。図 2(a)の MFM 像の見え方と合わせて考えると，下層のアモルファス化により磁性層が垂直膜（膜面と垂直な方向が磁化容易方向，正常部では磁化容易方向は膜面と平行である）となっていると考えられる。

このように，図 3 では結晶の様子が明確に観察できており，薄膜化加工も良好にできていることが分かる。

この手法により，数十 nm 程度の微小欠陥観察，分析が実現できた。

## 3　ディスク表面における水分吸着量評価

これまでパソコン用に限定されていた HDD が，近年，携帯音楽プレーヤや携帯電話など，小型情報端末製品への適用が検討されるようになり，従来の屋内環境から，使用される温度や湿度範囲がより広範囲にわたる過酷な使用状況を考慮した設計が磁気ディスクにも求められるように

なってきている。特に，高温高湿環境下においてスライダ浮上特性が悪化し，最悪の場合，スライダがディスク表面と接触・吸着して浮上できない状況に陥ることが問題となる。

高温高湿環境下においてスライダがディスクと吸着するのは，スライダ，ディスクの両表面に水分が吸着し，表面の水吸着膜同士がメニスカス（液体架橋）を形成して，両面間に吸着力を発生させるためと考えられている。[(1)(2)] 水のような吸着成分の定量評価には，昇温脱離ガス分析法（TDS）を用いて加熱時の脱離ガスを分析することが一般的である。しかし，スライダーディスク間に架橋するような微量な水膜は，真空環境では蒸気圧により，加熱分析以前に容易に表面から脱離してしまうため，磁気ディスク表面での定量評価には適さない。

富士電機では，真空状態での測定を必要とせず，大気圧下で脱離ガスの微量分析が可能な常圧昇温脱離ガス分析装置（APIMS-TDS）が，磁気ディスク表面の水吸着膜の定量評価に有効であることを見いだした。この評価手法を用いて高温高湿環境下においても安定的にスライダを浮上させることが可能なディスク表面条件を決定した。

### 3.1　測定原理

#### (1)　質量分析法

APIMS-TDS は，TDS と大気圧イオン化法（API 法）[(3)] による質量分析装置を組み合わせ，大気圧下での極微量の吸着物質の質量分析を可能とした装置である。[(4)]

従来の質量分析装置に用いられる電子衝撃イオン化法（EI 法）では，真空環境の下，吸着物質をコロナ放電によりイオン化し，生成した吸着物質イオンを質量分析する。したがって，前述の真空下における水分蒸発は避けられない。加えて，このイオン化法では吸着物質の一部しかイオン化できず，十分な感度が得られないことがある。

一方，API 法では，まずキャリアガス（アルゴンなど）雰囲気において，吸着物分子の一部がコロナ放電によりイオン化する（一次イオン化）。このとき，吸着物質だけでなく，同時にキャリアガス分子も一部イオン化される。キャリアガスとして適切な物質を選ぶと，イオン化されたキャリアガス分子は，イオン化されずに残った吸着物質を電荷交換反応によりイオン化する（二次イオン化）。その結果，吸着物分子のほとんどがイオン化されることになり，質量分析装置による吸着物質の高感度な検出が可能となる。

したがって，API 法では，真空下での水分蒸発の抑制と，二次イオン化によるイオン化効率の増大の 2 点で従来手法に比べ高感度化が図られる。

#### (2)　測定装置・測定方法

APIMS-TDS のチャンバ部を図 4 に示す。キャリアガスとしてアルゴンガスを用い，チャンバ内に設置した磁気ディスクを，サンプル上部に設置したヒータにより室温から 250 ℃まで加熱する。加熱中にディスク表面から脱離する水蒸気を含むキャリアガスを APIMS で質量分析することにより，ディスク表面に吸着していた水分量の定量化を行う。

### 3.2　ディスク表面改質による水分吸着量抑制

APIMS-TDS による測定結果を図 5 に示す。ディスク A は従来製品，ディスク B は表面に塗布する潤滑剤を変更した製品であり，温度 70 ℃ 湿度 80 % の環境下において 60 時間放置した両サンプルディスクを測定した結果である。潤滑剤の変更により，脱離水分量が 1,800 ng 程度から 1,400 ng 程度へと低減し，水分吸着量が 20 % 程度抑制されたことが分かる。

図 4　APIMS-TDS チャンバ部構成[(4)]

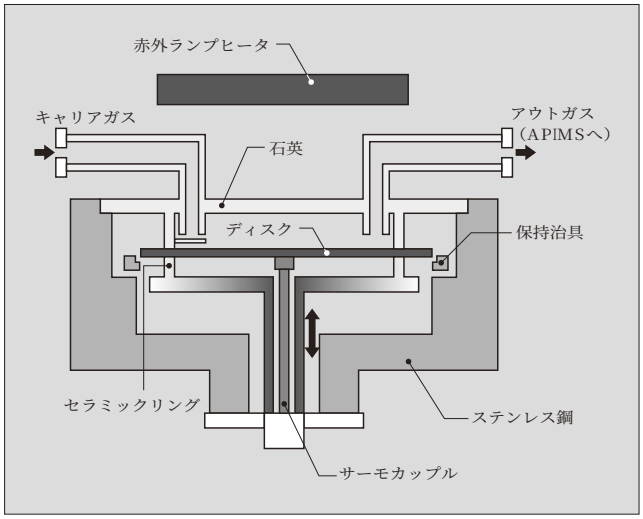



図 5　APIMS-TDS による水分吸着量比較

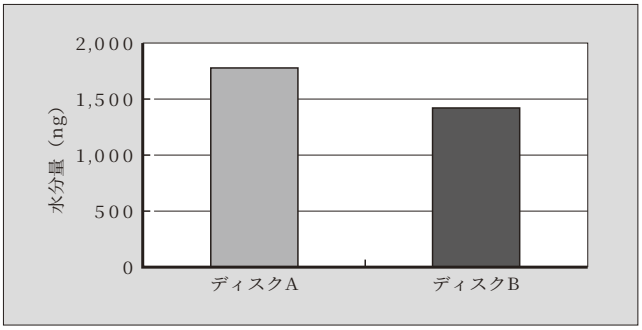
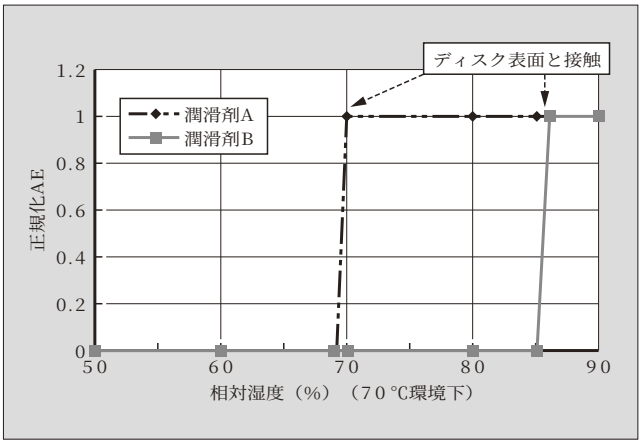



図 6　浮上特性の湿度依存（温度 70 ℃環境下）



次に，潤滑剤条件を変更したディスクサンプルに対し，スライダ浮上特性試験を実施した。温度 70 ℃ 湿度 50 % の環境下，磁気ディスク上にヘッドスライダを浮上させ，次いで湿度を徐々に上昇させ，スライダがディスクに接触を開始する湿度を観察した。スライダとディスクが接触すると，固体であるスライダ内に弾性波が伝搬することが知られており，伝搬する弾性波を検出可能な AE（Acoustic Emission）センサをヘッドスライダ近傍に設置し，その接触を検知した。

試験結果を図 6 に示す。潤滑剤 A を塗布したディスクでは，湿度を 70 % に上昇させるとスライダとディスクの接触が生じてしまうが，一方，潤滑剤 B を塗布したディスクでは，湿度を 85 % まで上昇させても接触が生じないことが分かる。この結果は，APIMS-TDS による水分吸着量の測定結果の傾向と一致しており，水分吸着量が抑制されたディスク上は，高温高湿環境下においても，スライダとディスクの接触が生じにくい表面であることが判明した。

今後も，より低浮上量化へと向かうスライダ浮上に対し，高温高湿環境下における水分吸着量の抑制は大きな問題となり続けるため，この評価手法を活用して最適なディスク表面を探索していく。

## 4　あとがき

ディスク媒体分析・解析技術の一例として，微小 R/W エラー部の分析技術と，ヘッド浮上特性にかかわるディスク表面の水分吸着力の解析について紹介した。今後もあらゆる分析・解析技術を適用し，ディスクの高記録密度化を図っていく所存である。

なお，本研究を実施するにあたり，FIB 加工にご協力いただいたエスアイアイ・ナノテクノロジー株式会社殿，APIMS-TDS によるディスク表面解析にご協力いただいた株式会社日本 API 社殿に深く感謝する次第である。

参考文献

(1)　松岡広成ほか．ヘッド/ディスク間に働く表面力に関する研究．日本トライボロジー学会トライボロジー会議予稿集．仙台 2002-10. 2002. p.447-448.

(2)　國米広道ほか．液体薄膜の不安定性を考慮したインターフェースモデルの構築．日本トライボロジー学会トライボロジー会議予稿集．東京 2005-11. 2005. p.425-426.

(3)　株式会社日本 API．http://www.apinet.co.jp/whatapims.htm

(4)　株式会社ルネサス東日本セミコンダクタ．http://www.tosemi.renesas.com/souchi/pdf/ug522.pdf

# 電子写真の研究開発について思うこと

**情野　國城**（せいの　くにき）
日本工業大学非常勤講師 理学博士
株式会社アフィット技術顧問



1965年ごろ大学院生の時に，アントラセン結晶の光伝導の研究に参加した。当時は最先端の研究テーマの一つであった。後年，私と同世代にあたる電子写真の研究者の多くが，学生時代にアントラセンの研究に携わっていたことを知った。ある日，アントラセンの結晶内部に空間電荷を形成しておいて光パルスを照射したところ，大きな光電流が観測された。偶然に見つけたこの現象を卒論の研究テーマとして取り組んだ。当時はPIP（Persistent Internal Polarization）と言う用語も知らなかったが，ソ連のフリドキン氏が発明したPIP電子写真法の潜像形成過程を観測していたことになる。物性測定においては避けて通るPIP現象を電子写真法の発明に結びつけたフリドキン氏の柔軟な発想に感心し，科学と技術との間にボーダーラインは無いという教訓を得た。

約30年後，1998年にアントワープで開催されたICPS国際学会において，会場の最前列中央の席にひときわ異彩を放つ人物が陣取っていた。「あれはフリドキンだ」と参加者達が遠巻きにして囁いていた。伝説的な研究者の参加によって緊張感のある発表会になり，質問をしてもらった発表者達は感激していた。電子写真の研究で著名なシャファート氏は，1973年に開催された国際電子写真学会の会場入り口で，参加者を出迎え一人一人と握手をされていた。参加者達には新たな意欲が沸く瞬間であった。海外では，著名なパイオニア達を大切にしている雰囲気が強く伝わってくる。日本も，特に産・官は見習って欲しいものである。

1967年ごろ電子写真の研究に着手した当時は，感光体のPIDC（Photo-induced Discharge Characteristics）は不安定で複雑で理論的なアプローチは難しいという気がした。しかし，ゼロックスからSe系感光体のPIDCに関する優れた論文が次々と発表され，PIDCの測定手法や解析手法が急速に普及した。そのお陰でSe系感光体を初めとして多くの感光体のPIDCが明快に説明できるようになった。私が研究開発に携わったPVK/Se積層感光体や$CdS \cdot nCdCO_3$・樹脂分散型感光体の研究開発においても，理論的なアプローチが実用的にも有用な情報を提供できた。電子写真の物造りがノウハウによって支えられていることに異論を唱える人は少ないと思うが，それと同じくらいに，科学的理論的な理解も企業にとって有用な技術資産であると思う。

リチャード・フォスターは著書「イノベーション」において“技術のＳ字曲線の法則”を唱え，技術の進歩は幼年期を経て爆発的に急伸し成熟とともにゆるやかになると述べている。電子写真の研究開発に携わっていた間に，PPC化，OPC化，デジタル化，カラー化などを経験したが，何れも技術の進歩は，典型的なＳ字曲線の法則を具現していた。そして，幼年期の研究開発期間は耐え切れないほど長く，爆発的に急伸する絶好のビジネスチャンスは瞬く間に過ぎ去り，成熟後はコストダウンとの戦いであった。

電子写真が成熟したこの時点において，再びリチャード・フォスターの提言に耳を傾けたい。「技術が成熟し進歩が止まってしまった場合，そのような状況を打破するには，革新しかない，新しい技術で出直すしかない。企業にとって一番大切なことは，イノベーションの土台を支えるサイエンスに研究投資をすることである。」電子写真は，静電気，光物性，光学，粉体，レオロジー，トライボロジーなど多岐にわたるサイエンスによって支えられてきた。今後は，電子写真は，特に要素技術は，サイエンスの進歩をもっと取り込まなければならないと思う。しかし，例えば，電子写真分野の勉強だけでも多忙な感光体の研究者が，静電気や光物性の進歩を遅滞なく取り込むのは難しいと思う。しかし，この意見に対して，電子写真の実務経験者でなければ的を射た適用や応用ができないと主張する人達も多い。今後は，サイエンスと要素技術との双方のエキスパートのより緊密な連携に期待したい。

電子写真の研究開発に携わった古い世代は，“10-22-38 ASTORIA”，原理実験に成功した日のカールソンと同じように，感光板上にトナー像が浮かび上がる瞬間を体験した。つまり，電子写真プロセスの全工程がテリトリーであった。しかし，現在では要素技術ごとに専門化が進んだ。しかし，電子写真は総合工学である。電子写真プロセスそのものをテリトリーとするエキスパート達が新規なイメージング法に挑戦し革新を起こすことを期待している。

# 感光体の現状と展望

成田　　満（なりた　みつる）　　山本　輝男（やまもと　てるお）



## 1　まえがき

今後，情報通信技術はますます高度化し，さまざまな機器がネットワークでつながるNGN（Next Generation Network）が展開されてくる。これに伴い，ネットワークと連携したオフィスや家庭環境も変化し，外部からの情報発信がより重要性を増してくる。

身近な例を挙げればデジタルカメラ，携帯電話，スキャナ，プリンタ，デジタル複写機など，画像入出力装置のネットワーク機能が急速に進んでおり，それらのカラー画像情報をインターネットを介して配信することが急速に普及してきている。

こうした状況の中で，カラー情報・画像を表示，記録するプリンタ，複写機の役割はますます重要性を増しており，近い将来カラー画像はもう当たり前になるかもしれない。

本稿では，これらのプリンタ，複写機の市場動向とその中で電子写真方式のプリンタ，複写機の動向を解説し，これに対応した富士電機の感光体について述べる。

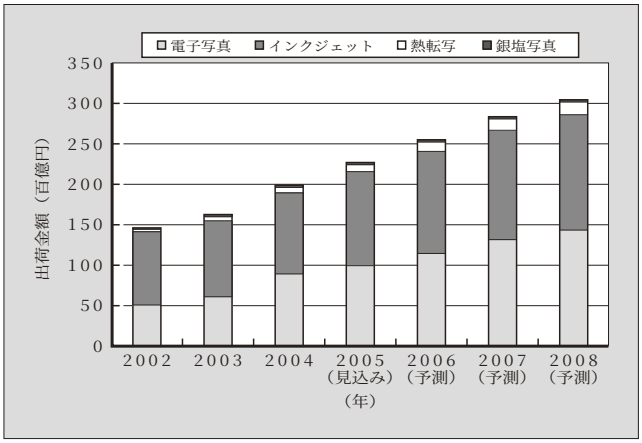
## 2　プリンタ，複写機の市場動向

富士電機は文字や画像の伝達手段として表示によるソフトコピー（ディスプレイ情報）と，印刷によるハードコピー（印刷情報）という方法を用いてきた。

ソフトコピーは液晶または有機EL（Electroluminescence）ディスプレイに代表されるように技術の進歩が目覚ましく，今後ますます普及していく。また，ハードコピーはその媒体として紙の消費量は堅実な成長を続けており，その理由は種々考えられるが，表示，書込み，保存，伝達など多くの機能を併せ持ち，かつ軽量で利便性の高い媒体であることが大きな要因であると考えられる。

一方，最近は紙とディスプレイに次ぐ第三の媒体として電子ペーパー（デジタルペーパー）など新規技術も進んでいる[(1)]。中長期的にはこれらの電子媒体が紙媒体に対し相対的に増加していくと考えられる。また，両媒体の相乗効果により扱われる情報量そのものが増大し続け，その結果，両媒体とも増え続けると予測されている[(2)]。

図1　ワールドワイドのカラーハードコピー機器の出荷金額推移[(3)]




コンピュータなどからの出力分野において，ハードコピー方式はパーソナルユース分野で強いインクジェット方式と，オフィスユース分野で強い電子写真方式に大まかに分類できる。インクジェット方式は装置価格が安く，カラー対応，専用紙という特徴を持ち，一方，電子写真方式はランニングコストが安く，スピーディ，普通紙対応という特徴を持つ。

図1にカラーハードコピー機器の市場予測を示す。電子写真方式のカラープリンタ，カラー複写機は2004年から急激に増加し，ここ数年は約16％台の伸びを示しており，今後も大きく成長すると予測される[(3)]。インクジェット，電子写真の両方式は，今後も競合するものの，それぞれの特徴を生かし，ともに伸長を続けていくものと考えられる。

## 3　電子写真の動向

電子写真方式のプリンタおよび複写機のカラー需要はここ数年増加傾向にあり，特に前述のネットワーク化の進展によりカラー化が進行し，両者とも増加傾向にある。

また今後，環境変化に対応して技術の進展と機種構成の変化が進むと考えられる。

成田　　満

電子写真用感光体の開発・設計に従事。現在，富士電機デバイステクノロジー株式会社情報デバイス事業本部画像デバイス事業部開発部長。日本画像学会会員。

山本　輝男

電子写真用感光体の開発および営業に従事。現在，富士電機デバイステクノロジー株式会社情報デバイス事業本部画像デバイス事業部長。

### 3.1　プリンタ

電子写真方式によるモノクロプリンタとカラープリンタの出荷台数の動向を，図2，図3に示す。2003年はモノクロプリンタで出荷台数が約1,180万台であるのに対し，カラープリンタの出荷台数は約120万台にとどまっている。しかしながらここ数年，カラープリンタの出荷台数は年率20％程度の成長を見せており，今後も市場が拡大するものと予測されている。

図3から分かるように，カラープリンタは画像出力速度が4枚/分（ppm：page per minute）以下の低速機が減少し，2005年からは5ppm以上のプリンタが主流になると予測されている。この場合，低速機では，1本の感光ドラムで順に4色を印刷する方式（4サイクル方式）を採用するのに対し，中高速機では，4本の感光ドラムを直列に配しておのおの1本の感光ドラムが1色ずつ印刷する方式（タンデム方式）が主流になると考えられる。

カラープリンタ用感光体に求められる特性としては，画質，特に解像度の向上と，色再現性に必要な安定した光減衰特性が挙げられる。また，上記のプロセスのうち特にタンデム方式では，4色の色ずれを抑制するために，感光体に高い寸法精度が要求される。

プリンタ分野におけるもう一つの動きは軽印刷分野への進展である。情報のネットワーク化によりオンデマンドプリンタが普及しつつある。具体的には，新聞，雑誌，カタログなどの小ロット印刷やオンサイトでの印刷に使用されており，電子写真方式の高速性および利便性を生かした新しい分野であるといえる。この分野で用いられる感光体には，印刷速度に対応した高感度，高速応答性と長寿命である耐刷性，およびオフセット印刷に迫る高解像度が要求される。最適な感光体として，膜が削れても解像度が低下しない正帯電単層型感光体が報告されている。また一部では，従来の乾式トナーでなく液体トナーを用いた高解像度プリンタも発表されており，これに対応した感光体も開発されつつある。

### 3.2　複写機

複写機分野においてもデジタル化が進んでいる。図4に

図2　ワールドワイドの電子写真方式モノクロプリンタ，カラープリンタの出荷台数推移[3]

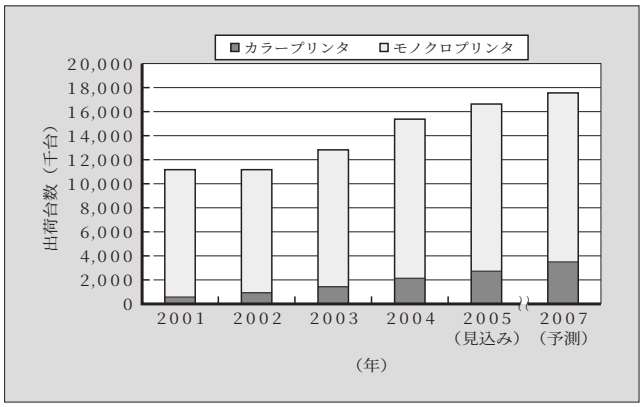



図3　ワールドワイドにおけるカラーレーザプリンタの速度別市場推移[3]

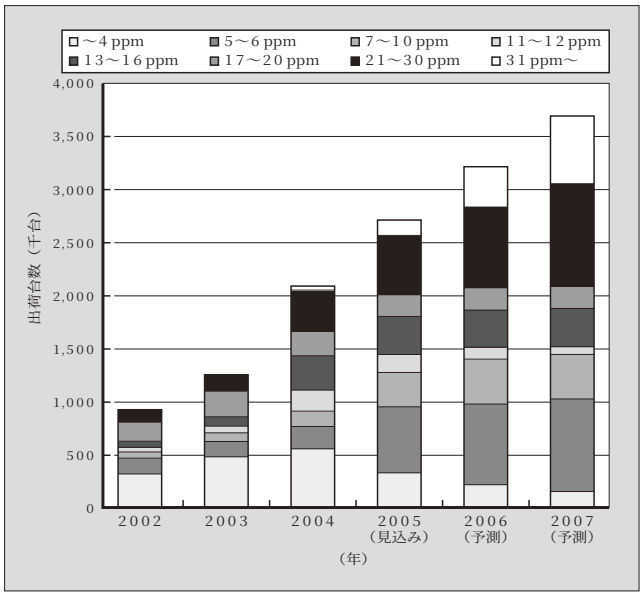



図4　ワールドワイドにおける複写機の出荷台数推移[4]

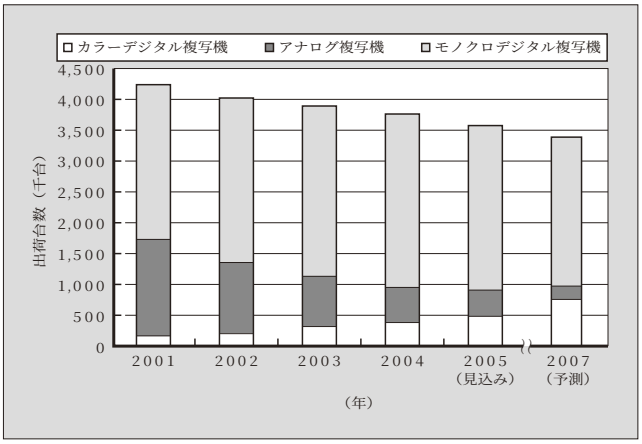
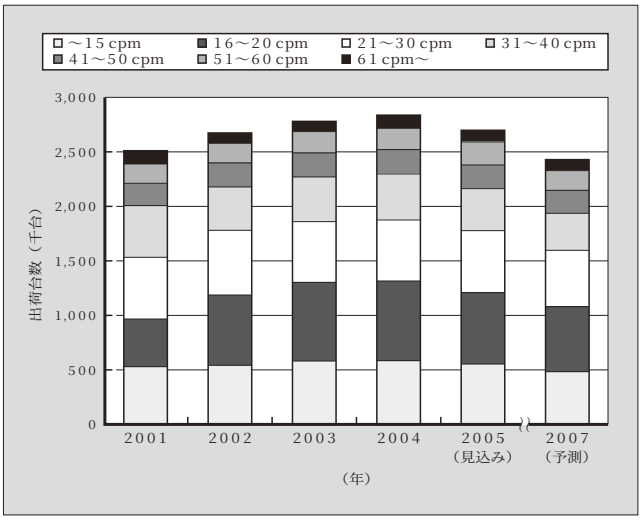



図5　ワールドワイドにおけるモノクロデジタル複写機の速度別市場推移[4]



複写機の出荷台数推移を示す。全体の出荷数では減少しているが，その中でカラーデジタル複写機は成長しているのに対し，モノクロデジタル複写機は急激な減少傾向を示している。これはプリンタのMFP（Multifunction Peripheral）化が進み，複写機に取って代わっているためである。図5にこのデジタル複写機の速度別出荷台数推移を示す。画像出力が21枚/分（cpm：copy per minute）以上の中高速機が堅調な伸びを示しているのに対し，20 cpm以下は減少傾向にある。

デジタル複写機用感光体に求められる特性としては，高速応答性，耐刷性とともに，グラフィック画像における中間調を再現するための階調性など，複写機プロセスに適合した光減衰特性の実現が求められる。

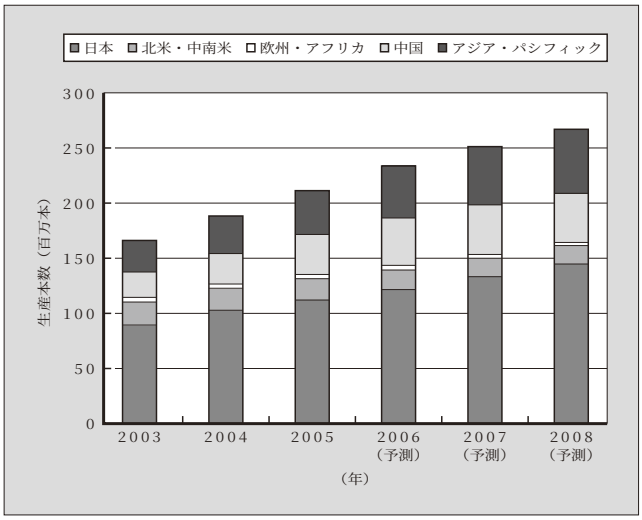
### 3.3　感光体

上述の電子写真方式のプリンタ，複写機に用いられる感光体には有機感光体（OPC：Organic Photoconductor），セレン感光体，アモルファスシリコン感光体などがある。図6はこれら感光体の地域別生産本数推移を示したものである[4]。年率5～10％と堅調な伸びを示している。また生産地としては現状では日本が多くの生産をしているが，今後は中国，アジア・パシフィックの生産が多くなると予測されている。これら感光体が用いられる電子写真方式の装置は今後，カラープリンタ，オンデマンドプリンタ，デジタル複写機の普及が特に期待され，新しい市場が形成される可能性があり，さらなる成長が期待される。

今後の新しい展開に対応するために感光体に求められる特性をまとめると以下のようになる。

(1)　カラープリンタ（高解像度，色再現性，素管精度）
(2)　オンデマンドプリンタ（高感度，高速応答性，耐刷性）
(3)　カラーデジタル複写機（高速応答性，耐刷性，階調性）

図6　ワールドワイドにおける感光体の生産本数推移[5]




## 4　富士電機の製品概要

富士電機では，1973年にセレン感光体を，1988年にOPCをそれぞれ製品化し，販売を開始した。そして，電子写真技術の急速な進歩に迅速，柔軟に対応し，プリンタ，複写機の中核部品である感光体とその周辺装置の開発，生産から販売までを世界規模で事業展開している。

生産拠点としては国内（松本地区）のほか，米国にU. S. Fuji Electric Inc.，中国（深圳地区）に富士電機（深圳）有限公司の3拠点を持っていたが，2006年前半には中国の深圳地区に統合し，全世界の需要に効率的に対応している。

富士電機（深圳）有限公司はマグスリーブ，トナーカートリッジをはじめ，各種周辺製品の生産拠点となっている。多くのプリンタメーカー，複写機メーカーが中国を含むアジア地区で，装置の組立を行っている現在，中国での感光体およびその周辺部材生産は大きな利便性を提供できるものと考える。

### 4.1　OPC

富士電機では，多様化するお客様の個々の要望にお応えできる態勢を整えており，鮮明な画像を得るために，プリンタや複写機の光源の波長に適合するよう，各種感光体を製品系列化している。

表1に4タイプのOPC製品系列を示す。また図7にOPCの層構成を示す。

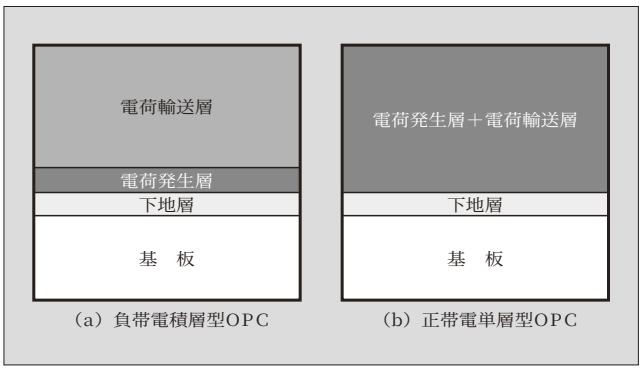
(1)　プリンタ用OPC

プリンタ用OPCとして，タイプ8を製品化しており，低速機から高速機に至るまで幅広い電位応答性や感度範囲

表1　OPCの製品系列

| 種　類 | 特　徴 | | 用　途 |
|---|---|---|---|
| | 帯電極性 | 層構成 | |
| タイプ8 | 負帯電 | 積層型 | プリンタ，ファクシミリ，多機能機 |
| タイプ9 | 負帯電 | 積層型 | アナログ複写機 |
| タイプ10 | 負帯電 | 積層型 | デジタル複写機，多機能機 |
| タイプ11 | 正帯電 | 単層型 | プリンタ，ファクシミリ，多機能機，軽印刷機 |

図7　OPCの層構成



に対応可能なラインアップをそろえている。特に有機材料（電荷発生材料，電荷輸送材料など）については，コンピュータによる材料の分子設計も含め豊富な材料設計技術，材料を塗布液化する分散技術，そしてOPCに仕上げるコーティング技術の開発を日夜続けており，カラープリンタで要求されている高解像度，カラー画像再現性など顧客の要望に幅広く応えることが可能である。

また，ドラムの寸法精度についても素管加工技術の高度化や歯車の高精度設計により優れた回転安定性を保持している。

(2)　複写機用OPC

アナログ複写機用としてタイプ9，デジタル複写機用としてタイプ10の2系列で感光体を製品化している。

複写機用として特に要求される高速応答性，高耐刷性，階調性を満足する製品をそろえるとともに新材料の開発，設計によりさらなる特性の改善を進めている。特にデジタル複写機用は長寿命，電位安定性が強く要求されるため，OPCバインダ材料の分子設計技術や電位安定各種添加材技術により高性能な感光体を製品化している。

(3)　正帯電単層型OPC

負帯電方式に適合したOPCの製品系列の拡大と並行して，富士電機では高画質化が容易に実現できる可能性が高く，また環境面でのオゾン発生量を低減可能な正帯電方式感光体の開発に取り組んできた。この感光体の実現には，高い移動度を持つ電子輸送材料の開発が不可欠であった。富士電機では独自の材料合成に成功し，1999年その製品化を実現した。OPCの層構成を図7に示す。

よく知られているように，正帯電型OPCはコロナ放電による帯電プロセスを用いてもオゾン発生が少なく，また光吸収と電荷発生が感光体表面で起きるため，高解像度化が可能という特徴を有している[(6)(7)]。さらに積層型に比べて応答性，環境特性が高く，かつ塗布工程が単純で生産性も高い。これらの特徴を生かして，モノクロプリンタおよびカラープリンタ，オンデマンドプリンタへの展開を進めるとともに，高感度化改良を進め，高速機へ適用範囲を広げつつある。

### 4.2　セレン感光体

富士電機は，セレン系材料技術，セレン精製技術，真空蒸着技術など，その豊富な経験を生かして当該製品分野をこれまで常にリードし，顧客の要求に応え続けてきた。しかしながら需要が低下したことから，2007年度には生産を終了し，セレン事業から撤退する予定である。

### 4.3　周辺製品

長年培った電子写真プロセス技術を基に，感光体を中心に帯電部，現像部，クリーニング部を一体としたプロセスユニットの開発設計から生産までを行っている。特に現像部に用いられる現像スリーブは，感光体用素管加工技術の高度化により微細な表面加工技術と薄膜コーティング技術高度化により，モノクロプリンタ，カラープリンタ両方に採用されている。

これらの製品の多くは前述の中国にある富士電機（深圳）有限公司で生産されている。

## 5　あとがき

インターネットの発達により電子写真技術はデジタル，カラーの普及が飛躍的に拡大しつつある。感光体に期待される性能はより鮮明な画質と高い耐久性など，ますます高くなってきている。富士電機はこうした市場要求に応えるべく，材料設計，製品開発，生産技術の高度化へ挑戦し顧客にとって魅力ある製品を開発していく所存である。

参考文献

(1)　小谷卓也．電子ペーパーが相次ぎ市場に．日経エレクトロニクス．2006年1月2日号，no.916, p.55-62.

(2)　成田満，田中辰雄．感光体の現状と展望．富士時報．vol.77, no.4, 2004, p.282-285.

(3)　全方式カラープリンタ・カラーMFPのワールドワイドにおけるモデル別販売状況，消耗品市場と現状分析．インターウォッチ．2005年版，2005.

(4)　競合激化が再編を促す全プリンタ/全複合機市場の現状分析．インターウォッチ．2005年版，2005.

(5)　トナー，感光体，トナーカートリッジの生産動向調査．インターウォッチ．2005/2006年版，2005.

(6)　Aizawa, K. et al. A Study of 1-dot Latent Image Potential. IS&Ts NIP17 International Conference on Digital Printing Technologies. 2001, p.572.

(7)　上野芳弘，会沢宏一．電子写真におけるシミュレーション・計測技術．日本画像学会2003年度シンポジウム．2003, p.40-46.

# 有機感光体用材料技術

中村　洋一（なかむら　よういち）



## 1　まえがき

近年，プリンタ，複写機，ファクシミリ，バリアブル印刷機などの感光体応用機器は，デジタル化，カラー化，ネットワーク化の進展に伴い，企業向け，個人向けとも従来に比べ情報量が多く密度の高い原稿が増え，かつその取扱数も増えている。

このような市場動向に伴い，感光体にはさらなる高感度化，高速応答化，高解像度化，高安定化とともに小型化，低価格化も求められている。富士電機ではこれらの要求に応えるため種々の特徴ある有機感光体を製品化している。

本稿ではこれらの有機感光体に関する基礎技術である材料技術と化学技術の概要，特徴について紹介する。

## 2　有機感光体

有機感光体（OPC：Organic Photoconductor）は感光体表面の電位差を利用して画像を形成するが，原理的には電位の極性は正極性・負極性のいずれでも差し支えない。

OPCの画像形成電位の極性が正極性であるものを正帯電型OPCと呼び，負極性であるものを負帯電型OPCと呼ぶ。図1に負帯電積層型OPC，図2に正帯電単層型OPCの層構成と動作原理を示す。

負帯電積層型OPCはまずアルミニウム管などの導電性基体上に樹脂などから成る下引き層（UCL：Under Coat Layer）を設ける。その上に電荷発生材料（CGM：Charge Generation Material）と樹脂などから成る電荷発生層（CGL：Charge Generation Layer）を設け，さらにその上に電荷輸送材料（CTM：Charge Transport Material）の一種である正孔輸送材料（HTM：Hole Transport Material）と樹脂などから成る電荷輸送層（CTL：Charge Transport Layer）を設けて，機能別積層により感光層を設けた構造である。

正帯電単層型OPCもまずアルミニウム管などの導電性基体上に樹脂などから成るUCLを設ける。その上にCGM，HTM，CTMの一種である電子輸送材料（ETM：Electron Transport Material）と樹脂などから成る単層の感光層を設けた構造である。

感光層表面を帯電させたのち露光すると，CGMで正負両電荷が発生し，正電荷はHTM間を移動して負帯電型の場合には感光層表面に，正帯電型の場合にはさらにUCLを通過して基体に達する。一方，負電荷は負帯電型の場合

図1　負帯電積層型OPCの層構成と動作原理

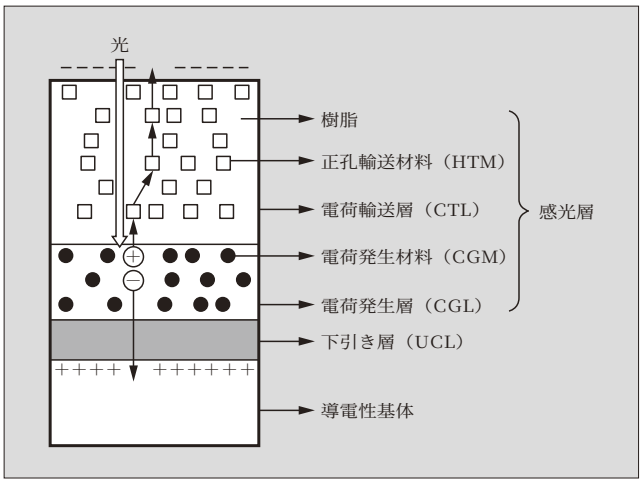
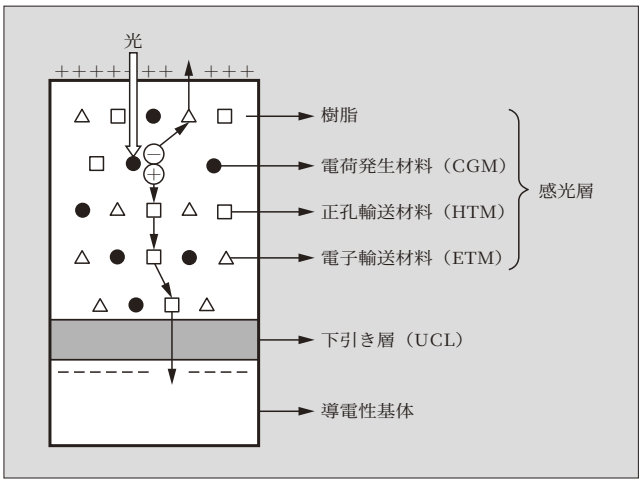



図2　正帯電単層型OPCの層構成と動作原理



中村　洋一

有機電子材料の開発および有機感光体の開発に従事。現在，富士電機デバイステクノロジー株式会社情報デバイス事業本部画像デバイス事業部開発部課長。日本化学会会員。

には UCL を通過して基体に，正帯電型の場合には ETM 間を移動して感光層表面に達する。これにより感光体表面電荷が中和され，周囲表面との電位差により静電潜像が形成される。この後，トナー（粉末着色樹脂インク）による潜像の可視化とトナーの紙への転写・加熱溶融定着を経てプリントが完成する。

## 3　材料技術・化学技術

### 3.1　OPC 材料

表 1 に OPC の主要材料を示す。UCL 材料，CGM，HTM，ETM などの機能材料，各種樹脂などの膜形成材料，およびさらなる高性能を付与する添加剤などから成っている。

OPC が広く市場に受け入れられるためには，機能材料，膜形成材料，添加剤などの材料個々の性能はもとより，相互にバランスよく最適に設計することも必要である。ここに OPC 材料技術の難しさの一端があり，富士電機では独自の材料技術により市場動向に合致することはもとより，市場を切り開き先取りした新しい性能を提供している。

表1　OPC材料の一例

| 層 | | 構成材料 | |
|---|---|---|---|
| 感光層 | 電荷輸送層（CTL） | 正孔輸送材料（HTM） | アリールアミン類，ピラゾリン類，ヒドラゾン類，スチルベン類，ベンジジン類など |
| | | 電子輸送材料（ETM） | アゾキノン類など |
| | | 膜形成材料 | ポリカーボネート類，ポリエステル類など |
| | | 添加剤 | 感光体特性改善材料，膜形成補助材料，塗布液劣化防止材料など |
| | 電荷発生層（CGL） | 電荷発生材料（CGM） | フタロシアニン類，アゾ類など |
| | | 膜形成材料 | ポリ酢酸ビニル類，ポリケタール類など |
| | | 添加剤 | 感光体特性改善材料，膜形成補助材料，塗布液劣化防止材料など |
| 下引き層（UCL） | | 導電性材料 | 金属酸化物類など |
| | | 膜形成材料 | ポリアミド類，ポリエステル類，メラミン類など |
| | | 添加剤 | 感光体特性改善材料，膜形成補助材料，塗布液劣化防止材料など |

### 3.2　分子設計技術

図 3 に分子設計の流れの一例を示す。OPC 材料は化学技術により分子設計されるが，従来は経験と試行錯誤的な側面も少なくなく，情報技術産業の技術革新速度に歩調を合わせるにはさらなる効率化が必要である。

また近年，コンピュータ分子設計技術は計算アルゴリズムの改良，コンピュータの高速化により実用域に達してきている[(1)]。

富士電機では分子設計システムを導入し，OPC 材料に合わせた独自のハードウェア構成，ソフトウェア改良，データ解析によりコンピュータ分子設計技術を確立している。

図 4 に OPC 材料の分子軌道の一例を示す。この材料については OPC 性能，合成時の化学反応性，原料コストなどを計算検討して分子構造を決定することにより，机上構想から化合物の入手まで 3 か月で完了し，所定の設計性能を実現している。

図4　OPC 材料の分子軌道の一例

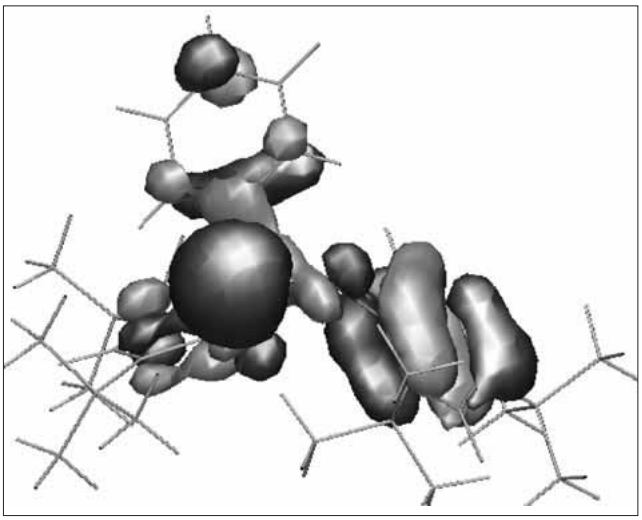
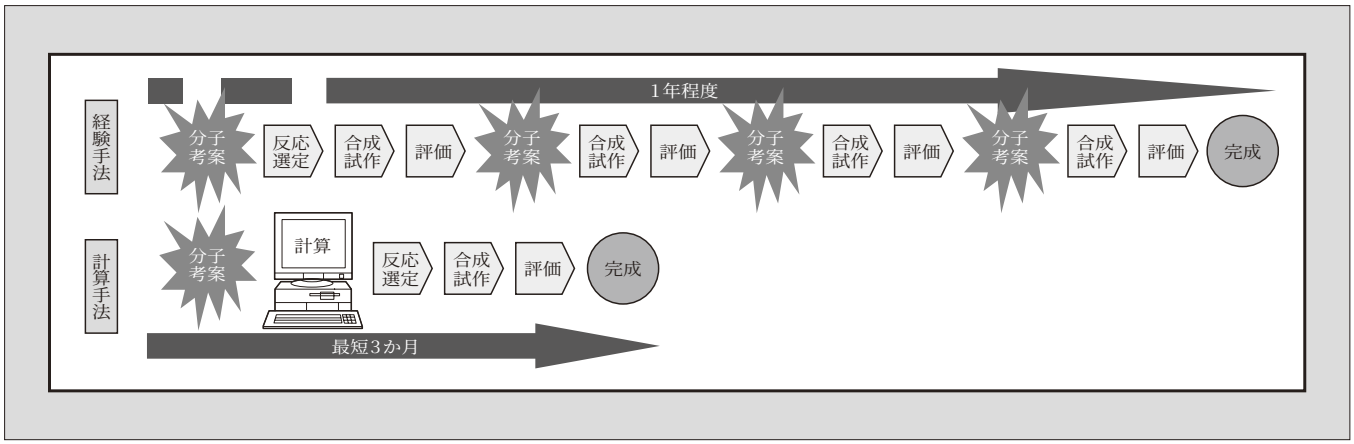


図3　分子設計の流れの一例



### 3.3　合成技術

(1)　合成反応技術

分子設計されたOPC材料は化学技術により合成されるが，合成反応については極力高純度・高収率な反応を選択する必要がある。

また近年，レトロシンセシス（逆合成[2]）などの合成経路設計技術や鈴木反応[3]などの革新的な高反応性，高純度，高収率である合成反応が発展してきており，目的に応じて採用している。

(2)　プロセス制御技術

合成時のプロセス制御については，化学用材料合成の視点から電子用材料合成の視点に見方を変える必要がある。

表2に合成反応時の温度制御の一例を示す。設定値に対して反応安定時温度±0.5℃の条件では所定の性能のOPC材料が合成できなかったが，同±0.1℃の条件では高収率で所定の性能の材料が得られている。

富士電機ではプラント技術，プロセス制御技術を活用し，電機メーカーならではの精密な合成反応制御により，高純度かつ高収率なOPC材料を生産している。

### 3.4　精製技術

表3に精製技術の一例を示す。精製技術はOPC性能の発現のための重要な技術である。

富士電機では再結晶，カラム，蒸留，昇華などの個々の精製技術を目的に応じて使い分けているほか，クリーンルーム，工場立地条件なども含めて水，空気の質にも配慮して品質を維持している。

### 3.5　材料検査技術

表4に材料検査技術の一例を示す。各種のクロマトグラフィー分析技術，光学分析技術，熱分析技術，質量分析技術などを目的に応じて使い分けている。

### 3.6　塗布液技術

表5に塗布液技術の一つである劣化抑制技術の一例を示す。塗布液は塵埃（じんあい），アルミニウムくず，塗布膜くず，塗布装置くず，水分，酸素などの混入や暴露により，きわめて劣化しやすい環境にある。

富士電機では塗布液用劣化抑制添加剤の開発により，塗布液状態でのOPC材料の劣化を抑制しているため，幅広く好ましい材料を選ぶことができる。これによりOPCの性能向上・品質安定はもとより，廃棄ロスがきわめて少ない地球環境に優しい塗布液を完成している。

### 3.7　安全性技術

表6に安全性確認体制を示す。新規OPC材料は安全性確認が不可欠であるが，仕向け先各国の法令および富士電機の規定により開発の要所で第三者機関により安全性を確認している。安全性確認試験は仕向け先各国の基準をすべて満足する条件で行っている。

表2　プロセス制御技術の一例

| OPC材料 | 温度制御項目 | 制御温度 | 収率（%） |
|---|---|---|---|
| A | オーバシュート | 超過　1.0℃ | 0 |
| | | 0.5℃ | 12 |
| | | 0.1℃ | 95 |
| | アンダシュート | 不足　0.1℃ | 91 |
| | | 0.5℃ | 43 |
| | | 1.0℃ | 24 |
| B | 安定温度 | 公差　±0.5℃<br>±0.1℃ | 0<br>94 |

表3　精製技術の一例

| 精製原理 | 精製方法 |
|---|---|
| 溶　解　度 | 再結晶など |
| 吸着脱離分配 | 活性炭吸着，アルミナ吸着，シリカゲル吸着，ゼオライト吸着，カラムクロマトグラフィーなど |
| 沸　　点 | 常圧蒸留，減圧蒸留など |
| 昇　華　点 | 減圧昇華など |

表4　材料検査技術の一例

| 検査関連技術 | 検査方法 |
|---|---|
| 分離技術 | 高速液体クロマトグラフィー，イオンクロマトグラフィー，ゲル浸透クロマトグラフィーなど |
| 光学分析技術 | 赤外線吸収スペクトル，紫外可視吸収スペクトル，X線回折スペクトル，原子吸光スペクトル，レーザ散乱粒度スペクトルなど |
| 熱分析技術 | 融点，示差走査熱量スペクトルなど |
| 質量分析技術 | 質量スペクトルなど |
| そ　の　他 | 各種半導体特性，各種感光体特性など |

表5　劣化抑制技術の一例

| 正孔輸送剤（HTM） | 塗布液用劣化抑制添加剤 | 保存期間による残留電位推移（V） | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | 初期 | 1週間後 | 1か月後 | 1年後 |
| C | なし | 10 | 55 | 127 | 136 |
| | D | 10 | 11 | 10 | 11 |
| E | なし | 10 | 39 | 61 | 85 |
| | D | 10 | 21 | 44 | 52 |
| | F | 10 | 11 | 11 | 10 |

＊残留電位は感光体特性の一種で、経時増加が少ない方が好適である。

表6　安全性確認体制

| 確認段階 | 確認組織 | 確認方法 |
|---|---|---|
| 分子設計 | 富士電機 | 既知危険分子構造の排除 |
| 合成設計 | 富士電機 | 原料不純物，副生成物などの確認 |
| 塗布液設計 | 第三者機関 | エームズ試験，急性毒性など |
| 感光体設計 | 第三者機関 | 仕向け先各国法令に適合する試験方法 |

## 4　あとがき

富士電機では独自の材料技術・化学技術を駆使してOPC材料を開発・生産し，OPC製品として供給している。

これらOPC材料の開発・生産は独自のコンピュータ分子設計技術・材料技術はもとより，関係会社および協力会社のプラント技術，プロセス制御技術などの化学技術を結集して行っている。

今後はOPC材料性能全般のさらなる向上を図るとともに，特にOPC応用機器のメンテナンスフリー化に貢献するため，OPC性能のさらなる公差の縮減と安定性の向上を図る方向である。

富士電機ではこれらの材料技術・化学技術を活用発展させ，カラー・高解像度といったより豊かな情報を安定して再現できるOPC製品を通じて，社会に貢献していく所存である。

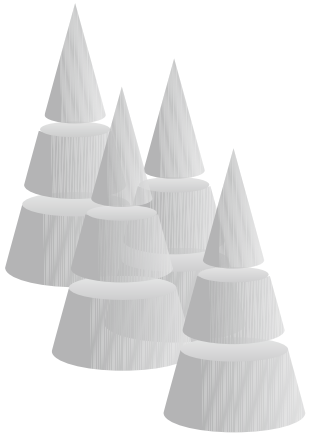
参考文献

(1)　宮本明ほか．計算化学が拓く新しい材料設計．未来材料．vol.6, no.3, 2006, p.8-15.

(2)　Corey, E. J. ; Cheng, X.-M. The Logic of Chemical Synthesis, Wiley, New York. 1995,（ISBN0-47111-594-0）.

(3)　Suzuki, A. ; Brown, H. C. Organic Syntheses via Boranes. Volume 3 Suzuki Coupling, Aldrich Chemical Co., 2003, 314 p.（ISBN0-97084-419-0）.





# プリンタ用有機感光体

森田　啓一（もりた　けいいち）　　池田　　豊（いけだ　ゆたか）　　田中　　靖（たなか　やすし）



## 1　まえがき

近年のデジタル化，カラー化，ネットワーク化の進展に伴い，プリンタ，複写機，ファクシミリなどの出力機器は，非常に情報量の多い原稿・データを扱うようになった。このような市場動向に伴い，電子写真応用出力機器の主要部品である感光体に要求される機能・品質は年々高度なものとなっている。富士電機ではこれらの要望に応えるため，各種ニーズに適した負帯電型および正帯電型の有機感光体（OPC：Organic Photoconductor）を開発・製造し，市場展開を行っている。本稿では，それら製品の概要とその特徴について紹介する。

## 2　製品の概要

### 2.1　負帯電型OPC

負帯電型OPCの層構成は図1に示すように，アルミニウム製の導電性基体上に正電荷のブロッキングおよび露光光の干渉防止を目的とした，樹脂層から成る下引き層（UCL：Under Coat Layer）の上に，電荷発生層（CGL：Charge Generation Layer）および電荷輸送層（CTL：Charge Transport Layer）を順次積層した機能分離型構造になっている。

CGLは電荷発生材料（CGM：Charge Generation Material）と樹脂バインダで構成され，LD（Laser Diode）やLED（Light Emitting Diode）などの露光光により電荷発生機能を持っている。また，CTLは電荷輸送材料（CTM：Charge Transport Material）と樹脂バインダとから構成され，CGLで発生した電荷をCTL表面まで輸送する機能を有する。

富士電機ではさまざまな露光光量に対応できるよう，CGMの特性に対応して低感度・中感度・高感度の3タイプの製品系列を用意している。5種のCGL材料および膜厚制御を行うことにより，表1に示すとおり−100V到達露光感度で0.20～1.50 μJ/cm$^2$という広範囲の感度調整が可能である。

図1　負帯電型OPCの層構成

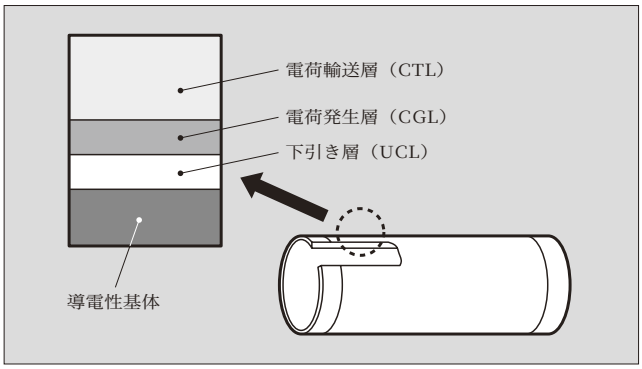
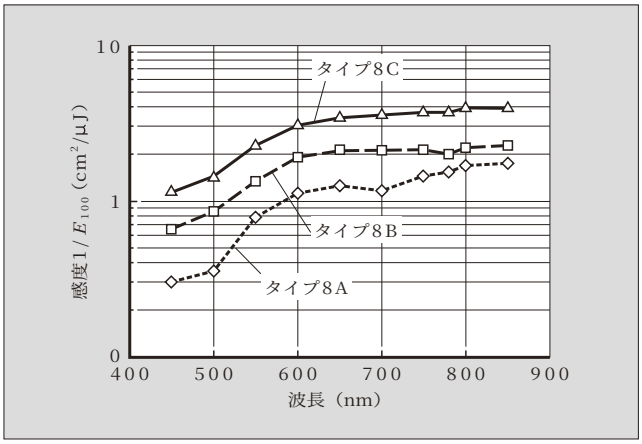



表1　製品の概要

| 呼　称 | 区　分 | 感　度（−100V到達露光量） |
|---|---|---|
| タイプ8A（低感度） | 8A-02 | 0.80～1.50 μJ/cm$^2$ |
| | 8A-15 | 0.70～1.20 μJ/cm$^2$ |
| タイプ8B（中感度） | 8B-16 | 0.50～0.80 μJ/cm$^2$ |
| | 8B-10 | 0.40～0.60 μJ/cm$^2$ |
| タイプ8C（高感度） | 8C-03 | 0.20～0.40 μJ/cm$^2$ |

＊感度は−600Vから−100Vに減衰するのに必要な露光量を示す。

図2　負帯電型OPCの分光感度特性



森田　啓一

有機感光体の開発・設計に従事。現在，富士電機デバイステクノロジー株式会社情報デバイス事業本部画像デバイス事業部開発部課長。

池田　　豊

有機感光体の開発・設計に従事。現在，富士電機デバイステクノロジー株式会社情報デバイス事業本部画像デバイス事業部開発部課長補佐。日本画像学会会員。

田中　　靖

有機感光体の開発・設計に従事。現在，富士電機デバイステクノロジー株式会社情報デバイス事業本部画像デバイス事業部開発部課長補佐。

図2に低感度・中感度・高感度タイプおのおのの代表的な分光感度特性を示す。いずれのタイプも600 nmから800 nmまでの波長領域でほぼ一様な感度を持っており，一般的なLDやLED光源に適合する特性を持っている。

これらのCGLに各種CTMを組み合わせることにより，15枚/分以下の低速機から35枚/分以上の高速機までさまざまなプロセスに適合するOPCの供給が可能である。

### 2.2　正帯電型OPC

従来の負帯電積層型OPCに比べ，単一の感光層で電荷発生と電荷輸送の両機能を担い，帯電電位をプラスとする正帯電単層型OPCは次のような特徴を持つ。

(1)　帯電時のオゾン発生量が少なく，オゾン対策負担が軽くなるため，機器をより小型・低価格にできる。

(2)　単層構造により露光光吸収とそれに続く電荷発生がOPC表面近傍で起こるため，露光光や電荷の散乱・拡散が少なく，より高解像度にできる。

一方で正帯電用のCTM設計は，負帯電用に比べて要求特性が得られにくく難しい。富士電機では独自の計算化学技術，有機合成化学技術により正帯電用CTMを開発し，感光体技術と組み合わせて正帯電型OPCを製品化している。

図3に正帯電単層型OPCの層構成と動作原理を示す。アルミニウム管などの導電性基体上に，樹脂などから成るUCLを設け，CGM，CTMの一種である正孔輸送材料（HTM：Hole Transport Material）および電子輸送材料（ETM：Electron Transport Material），樹脂などから成る単層感光層を形成した構造である。

表2に正帯電単層型OPCの製品系列を，図4にタイプ11Aから11Dまでの4系列の分光感度特性を示す。いずれの正帯電型OPCも分光感度特性は光波長600 nm以上でほぼ平坦（へいたん）であり，LD，LEDなどの光源に適合している。また，図5のとおり半減衰露光量0.15～0.38 μJ/cm$^2$の幅広い範囲の感度を取りそろえており，低速（15枚/分以下）から高速（35枚/分以上）までのプリンタ，ファクシミリ，複写機などに対応している。特にタイプ11Dは近年の高感度高速化機に適用でき，表3に示すように各機能材料の性能向上により，さらなるOPC特

図3　正帯電単層型OPCの層構成と材料

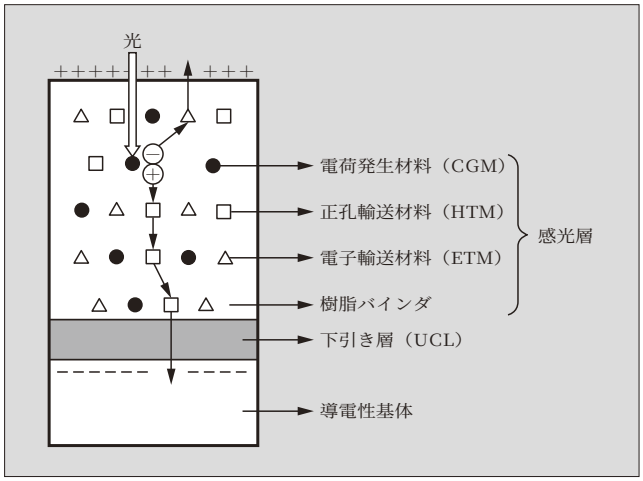



図4　正帯電型OPCの分光感度特性

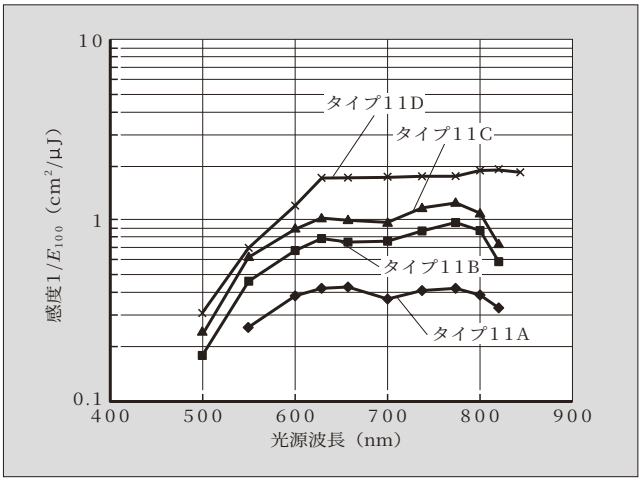



図5　正帯電型OPCの光減衰特性（PIDC）

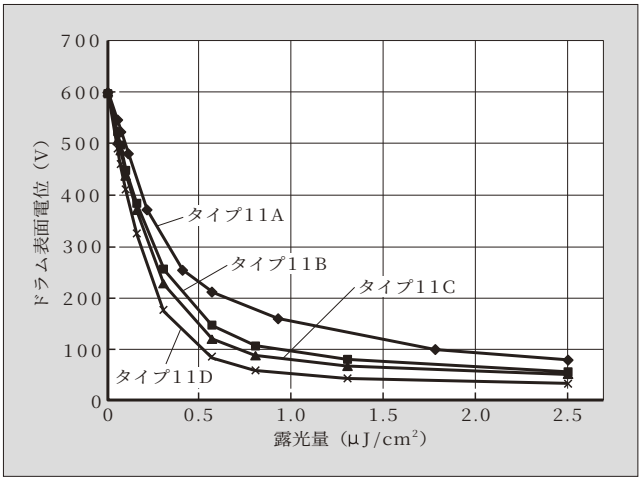



表2　正帯電型OPC製品の概要

| 呼　称 | 特　徴 | 推奨マシン（枚/分） | 耐刷寿命（A4間欠，外径30 mm換算） |
|---|---|---|---|
| タイプ11A | 低速型 | ～12 | 2万枚 |
| タイプ11B | 中速型 | 10～18 | 3万枚 |
| タイプ11C | 中・高速型 | 12～24 | 14万枚 |
| タイプ11D | 高速・高耐刷型 | ≧30 | 20万枚（外形120 mmにてA4連続換算100万枚まで使用可能） |

表3　タイプ11Dの特徴と材料の関係

| 特　徴 | 材料系の特徴 |
|---|---|
| 高感度化 | CGM→量子効率アップ |
| 高速応答 | HTM→正孔移動度アップ<br>ETM→電子移動度アップ |
| 高　強　度 | 樹脂バインダ→ガラス転移温度アップ<br>→表面硬度アップ |
| 耐リーク性 | UCL→厚膜化（導電性制御） |

性の向上を図っている。

正帯電型および負帯電型OPCは，外径24 mmから262 mmまで，長さ236 mmから1,000 mmまで生産しており，A4ページプリンタからA0プロッタまで幅広く製品展開を行っている。

## 3　負帯電型OPC製品の特徴

電子写真方式のプリンタやファクシミリ用のOPCには小型化，カラー化，高速化，メンテナンスフリー化という四つの要求特性に適合する性能を有することが必要である。具体的には図6に示すような技術課題に分類される。以下，負帯電型OPC製品について，それぞれの項目ごとに特徴を記載する。

### 3.1　高速応答性

直径24 mmのOPCでA4縦30枚/分以上の高速機に適合させるためには，プロセス配置にもよるが露光ー現像間時間が60 ms以下の領域まで一様な光応答性が必要となる。これに対応して，富士電機では$2 \times 10^{-5}$ cm$^2$/V･sという高速対応のCTMを実用化している。さらに，将来的な高速化対応として$8 \times 10^{-5}$ cm$^2$/V･sという高移動度を有する材料開発も完了している。

図7に代表的なCGL/CTLの組合せにおける露光電位の露光ー現像間時間依存性を示す。CTMのキャリヤ移動度超高速品「SH」を使用した場合には露光ー現像間時間が40 msまで実用可能な特性を持っている。

図6　OPC要求特性と技術課題

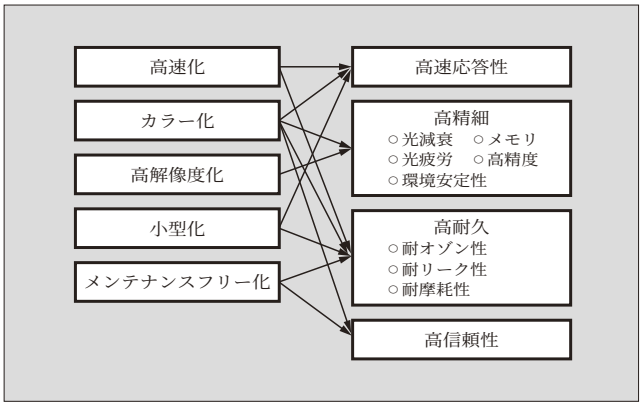
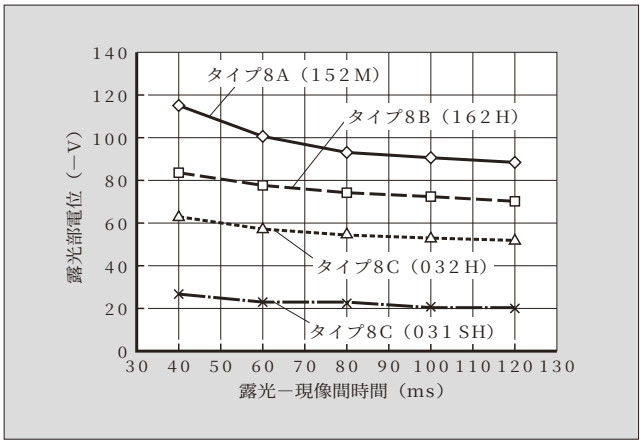



図7　負帯電型OPCの光応答性




### 3.2　高精細性

(1)　光減衰特性

プリント機能とコピー機能を有する複合機（MFP：Multifunction Peripheral）では，デジタル普通紙複写機用OPCと同様，ハーフトーンの濃度階調再現性が要求される。また，プリンタにおいてもカラーあるいは1,200 dpi（dot per inch）以上への高解像度モノクロプリンタについては，トナーの微細化やLD発光の細かな制御が行われるなど周辺プロセスの高度化が進んでおり，従来以上にグラフィック画質向上が望まれている。富士電機では，各種マシンプロセスに最適な光減衰特性を有するOPCの開発・製品化を行っている。

図8にOPCのタイプ別光減衰特性の一例を示す。この特性はCGLからCTLへの電荷注入性に大きく依存するため，CGLとCTLの組合せにより調整することができる。

(2)　ハーフトーン電位均一性

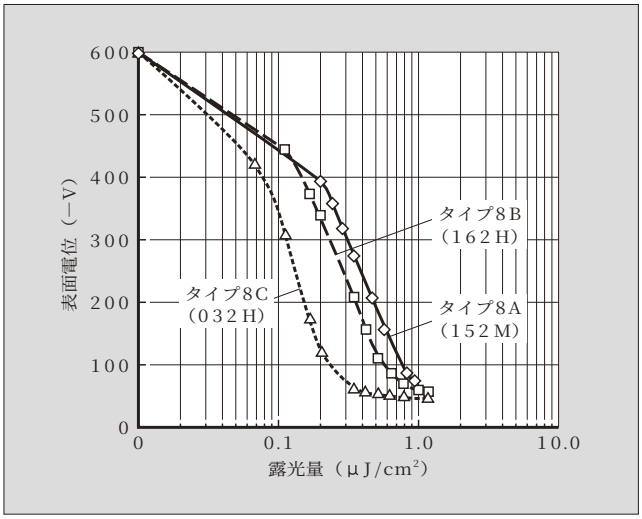
プリンタの高画質化が進むにつれ，OPC表面の微小な電位差が印字濃淡差として画像に再現されやすくなってきており，転写部の逆極性印加や連続露光部の残留電位上昇に対して影響を受け難いOPCが望まれている。富士電機ではUCL，CGL，CTL各機能層に使用される材料の新規開発および最適化を行うことにより電位差の低減を図っている。

(3)　光疲労抑制

プリンタは複写機と異なりOPCを含めた消耗部品をユニット化してユーザーが交換するシステムが一般的である。これらの交換のタイミングあるいは紙詰まりの際にOPCが室内灯や太陽光にさらされる可能性があるため，このような光暴露の影響が少ないOPCが求められている。

富士電機ではCGLおよびCTLを適切に組み合わせることにより蛍光灯などの室内光にさらされても画質への影

図8　光減衰特性



響が少ないOPCを実用化している。

(4)　寸法精度

4色を重ね合わせるカラープリンタには，色ずれ防止のためモノクロプリンタと比較して高い寸法精度が要求される。富士電機では，こうしたカラープリンタに適用可能な振れ精度50 μm以下，真直度20 μm以下のOPC用素管および樹脂フランジの供給体制を整えている。

(5)　環境安定性

初期画質を維持するためには，環境の変化や耐刷による特性変化の少ないOPCが望ましい。

直径24 mmのOPCを搭載する市販の接触帯電方式のレーザプリンタにて，常温常湿環境（N/N：25 ℃ 50 %RH），低温低湿環境（L/L：10 ℃ 20 %RH），高温高湿環境（H/H：32 ℃ 80 %RH）にて，それぞれA4縦送り10,000枚の耐刷を行い2,000枚ごとに電位測定したデータを図9に示す。いずれの環境においても大きな電位変化は認められず良好な特性を示している。

### 3.3　高耐久対応技術

(1)　酸性ガス耐性

プリンタに使用される帯電器からは一般にオゾンが発生することから，OPCには耐ガス性能が必要とされる。

OPCにはさまざまな酸化防止剤が用いられているが，通常，添加量を多くすると酸性ガス耐性は向上する一方，残留電位の上昇など電気特性に悪影響を及ぼす。富士電機は劣化の少ないCTM，電気特性への影響の少ない独自酸化防止剤を開発し，酸性ガス耐性を確保している。

(2)　耐リーク性向上

中低速分野のプリンタ，MFPは接触帯電方式が主流となっており，非接触帯電方式であるスコロトロン帯電と比較して耐リーク性が強く求められている。富士電機では，1995年に干渉抑制機能を兼ね備えたUCLを上市以来，耐リーク性および環境特性向上を目指し開発を進めてきている。今回新たに開発したUCLは，陽極酸化皮膜（ALM）と同等の耐リーク性を有し，かつ環境安定性に優れた性能を持っている。

(3)　耐摩耗性

OPCの寿命は現像系や紙，クリーニングブレードなどの接触部材による摩耗，印字障害となるようなきず，トナーや紙粉などのOPC表面への付着（フィルミング）などによって決まる。OPCに対しては当接部材やプロセス設計と適合させるべく低摩耗，高硬度，低フィルミングなどの性能が求められる。

富士電機では耐摩耗性に優れた樹脂および潤滑性を持つ樹脂の独自開発を行っており，プロセスに併せて適切な配合を行うことにより，各種プロセスに最適なOPCを提供している。

### 3.4　高信頼性

OPCは，さまざまな環境下で安定した特性を維持すること，および外的な機械的・化学的ストレスに対して安定であることが望まれている。

富士電機では，材料開発段階から独自の検査項目を設定して開発を進めるとともに，製品ごとに長期保管特性を含めた信頼性評価を実施することにより，信頼性の高いOPC製品を，開発し，生産している。

## 4　正帯電型OPC製品の特徴

負帯電型OPCと同様に技術課題に対する正帯電型OPC製品の特徴を記載する。

### 4.1　高速応答性

図10に正帯電型OPCの光応答性を示す。いずれの正帯電型OPCも露光－現像間時間75 msまでの機器に適用できる。特にタイプ11Dは露光後30 msにおいても明部電位上昇が少なく，より露光－現像間時間の短い小型高速機に適用できる。

図9　負帯電型OPCの環境耐刷時電位安定性

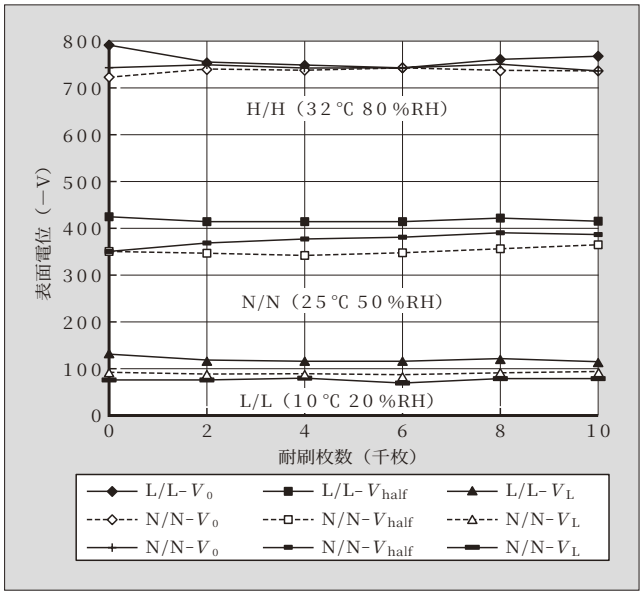



図10　正帯電型OPCの光応答性

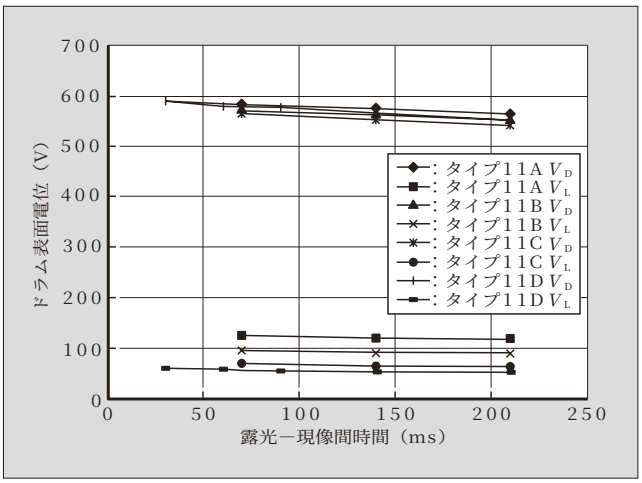


図11　正帯電型OPCの明部電位（$V_L$）・暗部電位（$V_D$）の環境依存性

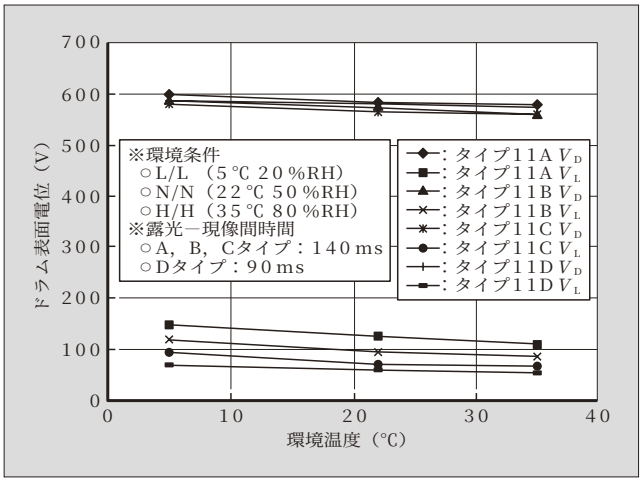



表4　正帯電型OPCの信頼性試験による特性変化

| 試験項目 | 試験条件 | 試験前後特性変動値 | |
|---|---|---|---|
| | | 暗部電位変動率 | 明部電位変動率 |
| 高温放置 | 45℃下：1,000時間 | ＜±5％ | ＜±10％ |
| 高温高湿放置 | 35℃ 90％RH下：1,000時間 | ＜±5％ | ＜±10％ |
| ヒートサイクル（10サイクル） | －20℃：1時間→<br>常温常湿：0.5時間→<br>45℃：1時間→<br>常温常湿：0.5時間→<br>－20℃：1時間 | ＜±5％ | ＜±10％ |
| ローラ汚染試験 | ローラ材質：NBR，ウレタンゴム，シリコーンゴム<br>50℃ 90％RH下：250時間 | なし | なし |
| | | 画像障害なし | |

4.2　高精細性

正帯電単層型OPCは露光光吸収とそれに続く電荷発生がOPC表面近傍で起こるため，感光層内での露光光や電荷の散乱・拡散が少なく，高解像度化に適している。

UCLとの組合せ調整にてハーフトーン電位の均一性を高め，メモリ欠陥をさらに抑制した。

光疲労特性はいずれのタイプも1,000 lxで10分間の光照射による暗部電位の変化量は小さく，照射後の時間経過による回復も早い。

図11に明部電位（$V_L$），および暗部電位（$V_D$）の環境特性を示す。いずれの正帯電型OPCもL/L（5℃ 20％RH）～H/H（35℃ 80％RH）の温湿度範囲で暗部電位，明部電位ともに安定していて，環境変動が小さい。

4.3　高耐久対応技術

いずれの正帯電型OPCも5枚/分，30分のオゾン暴露直後は一時的に帯電位が低下するが，24時間の室温放置で初期の帯電位まで回復する。特にタイプ11Aとタイプ11Dはオゾンに対する耐性が高く，暴露直後の帯電位低下も少ない。

タイプ11Dは，2成分現像方式プリンタでの耐刷性評価で，明部電位，暗部電位ともに安定でかつ画像欠陥も認められず，約20万枚の耐刷寿命を持っている。

4.4　高信頼性

表4に各種信頼性試験による特性変化を示す。いずれの試験項目においても明部電位変動率5％以下，明部電位変動率10％以下と信頼性が高い。

特にローラ汚染試験においては，アクリロニトリルブタジエンゴム（NBR），ウレタンゴム，シリコーンゴムなどから成るローラをそれぞれ感光体に圧接し，50℃ 90％RHの環境下で250時間放置しても感光層のクラック発生や感光体特性変化を起こさない技術を確立した。

## 5　あとがき

電子写真方式のプリンタは今後ますます高速・多機能・高品質化が進んでいき，感光体に要求される性能もより高度化していくものと考えられる。富士電機は今後も化学技術・感光体技術を活用しかつ発展させ，高度化する情報出力ニーズにマッチした高性能感光体の提供を通じて，より豊かな社会に貢献していく所存である。

参考文献

(1)　上野芳弘，会沢宏一．電子写真におけるシミュレーション・計測技術．日本画像学会2003年度シンポジウム．2003, p.40-46.

(2)　寺崎成史ほか．プリンタ用有機感光体．富士時報．vol.77, no.4, 2004, p.286-290.

(3)　中村洋一ほか．正帯電型有機感光体．富士時報．vol.77. no.4, 2004, p.295-298.

# プリンタ用長寿命有機感光体

宮本　貴仁（みやもと　たかひと）　小川　祐治（おがわ　ゆうじ）　中村　友士（なかむら　ゆうじ）



## 1　まえがき

近年のオフィスならびにパーソナル環境におけるネットワークの発達に伴い，電子写真方式のプリンタに代表される情報出力機器の市場は拡大の一途をたどっている。ソフトウェア，ハードウェア両面の進展によって，情報出力機器に対しても，より一層の高速度化，高画質化，動作安定化，低価格化，さらにはカラー化や複合機能化が指向されている。これに呼応するため，電子写真方式のプリンタ，ファクシミリ，デジタル複写機および複合機（MFP：Multifunction Peripheral）の主要デバイスである感光体においては，感度特性，環境安定性，信頼性，耐刷特性などの改善がなされてきている。富士電機では，各種ニーズに対応した負帯電型および正帯電型有機感光体（OPC：Organic Photoconductor）を開発・製造している。

本稿では，プリンタ，ファクシミリおよびそれらをベースにしたMFPに搭載される負帯電型OPC製品の概要とその特徴について，環境配慮・低コスト化に直結する長寿命化を中心に紹介する。

## 2　製品の概要

OPCを使用したプリンタは，その印刷スピードで低速機（～15枚/分），中速機（15～35枚/分），高速機（35枚/分～）に大別できる。富士電機ではこれらのプリンタに対応可能な負帯電型OPCを3タイプ（8A，8B，8C）に分けて開発している。これらの代表的な特性を表1に示す。適用感度帯は各タイプで異なり，顧客の要求に適した低感度・中感度・高感度を自由に選択することができる。

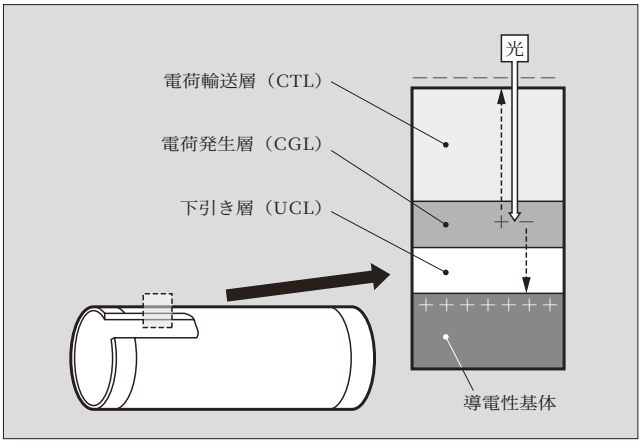
負帯電型OPCの概略構造と動作原理を図1に示す。アルミニウムなどの円筒状導電性基体に下引き層（UCL：Under Coat Layer）を塗布し，次に電荷発生層（CGL：Charge Generation Layer）を塗布し，最表面に電荷輸送層（CTL：Charge Transport Layer）を塗布した機能分離型積層OPCである。

形状については，多数そろえており（外径24 mmから262 mmまで，長さ243 mmから1,000 mmまで対応可能），A4ページプリンタからA0プロッタまで幅広く製品開発を行っている。製品の特徴，使用目的の多様化に伴い，プリンタの高速化・高画質化・長寿命化が進んでいる。その中でOPCに求められる特性も多種多様に分岐し，かつ高度化しており，おのおのの要求特性に応えるための材料開発が進められている。

表1　負帯電型OPCの基本特性

| 項目／タイプ | 適用感度帯 半減衰露光量（μJ/cm²） | 半減衰露光量（μJ/cm²） | 暗中帯電保持率［5秒後］（%） | 残留電位（−V） | 印字速度適用領域（枚/分） |
|---|---|---|---|---|---|
| 8A（低感度） | 0.20～0.60 | 0.38 | 98.0 | 54 | ～15 |
| 8B（中感度） | 0.12～0.24 | 0.18 | 96.3 | 23 | 15～35 |
| 8C（高感度） | 0.06～0.14 | 0.08 | 96.6 | 8 | 35～ |

図1　プリンタ・ファクシミリ・MFP用OPCの層構成と動作原理




## 3　特　徴

富士電機のOPCは，低・中速から高速に至るまでのプリンタに搭載可能であり，次のような特徴を備えている。

宮本　貴仁

有機感光体の開発・設計に従事。現在，富士電機デバイステクノロジー株式会社情報デバイス事業本部画像デバイス事業部開発部課長補佐。

小川　祐治

有機感光体の開発・設計に従事。現在，富士電機デバイステクノロジー株式会社情報デバイス事業本部画像デバイス事業部拠点再編プロジェクト室。

中村　友士

有機感光体の開発・設計に従事。現在，富士電機デバイステクノロジー株式会社情報デバイス事業本部画像デバイス事業部開発部。

(1)　高感度
(2)　高応答性
(3)　高環境安定性
(4)　長寿命特性

特に(4)の長寿命特性は，(1)から(3)の項目を使用開始時から終了時まで維持させることがポイントとなるため，すべての特性を包括するものである。

### 3.1　高感度

電子写真方式のプリンタは，露光光源としてLD（Laser Diode）やLED（Light Emitting Diode）を使用しているため，OPCとして600～800 nmの波長域で感度を有することが要求される。富士電機はこの波長領域で良好な感度特性を示すフタロシアニン顔料を採用している。図2に低感度タイプ8A，中感度タイプ8B，そして高感度タイプ8Cの分光感度を示す。図3には，光減衰特性を示す。高感度タイプ8Cはタイプ8A，8Bと比較して，それぞれ50％，30％程度高感度になっている。

### 3.2　高応答性

プリンタは，SOHO（Small Office Home Office）・パーソナル用途の低速機からオフィス・業務用途の高速機まで幅広くラインアップされている。その中で，小径OPCを適用した省スペースかつ高速印刷を指向したプリンタやMFPにおいては，OPCに対しより高い応答性が求められている。

応答性を向上させるためには材料の移動度，各材料間のイオン化ポテンシャルの整合，そして純度がポイントとなる。富士電機では，高応答性を実現するために，高移動度電荷輸送材料（CTM：Charge Transport Material）の研究に取り組み，移動度$8 \times 10^{-5}$ V・s/cm$^2$と高移動度CTMの開発を行った。図4に露光後電位の露光－現像間時間依存性を，図5にはプリンタ搭載時の現像特性を示す。高移動度CTMを適用した高応答性品は，露光－現像間時間が50 msまで安定している。これは，OPCの外径30 mmでは45（枚/分）以上の高速プロセスにも十分対応するものである。また，画像濃度（黒濃度）も従来品と比

図2　分光感度特性

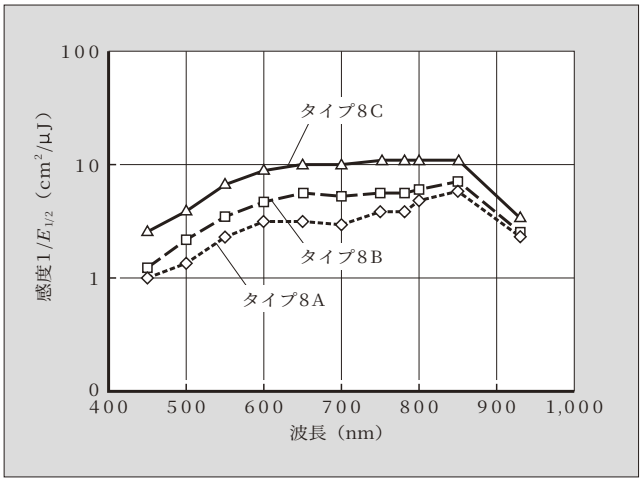



図4　露光－現像間時間依存性（露光後電位）

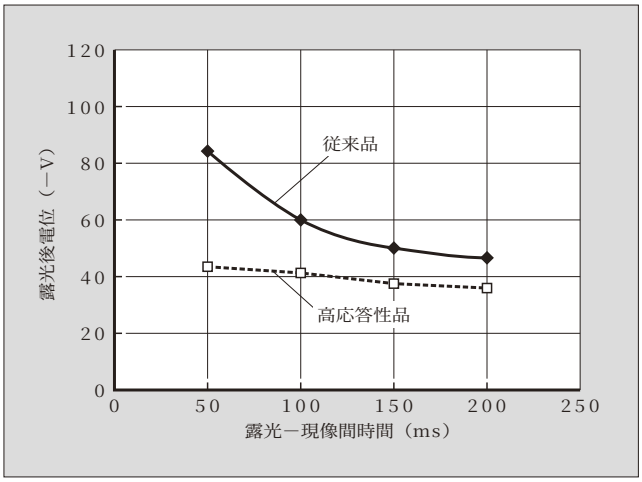



図3　光減衰特性

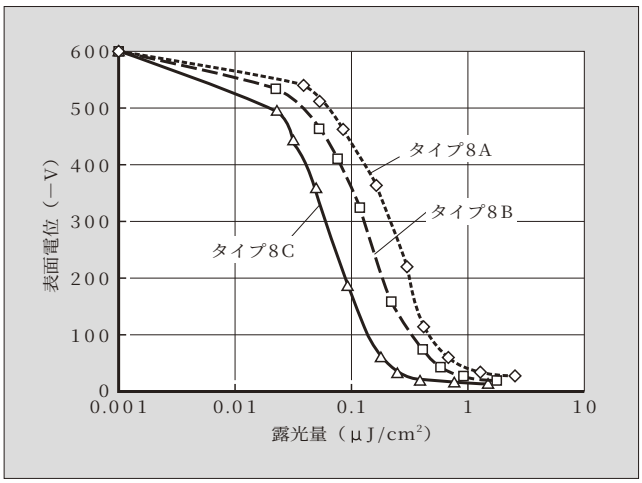



図5　現像特性

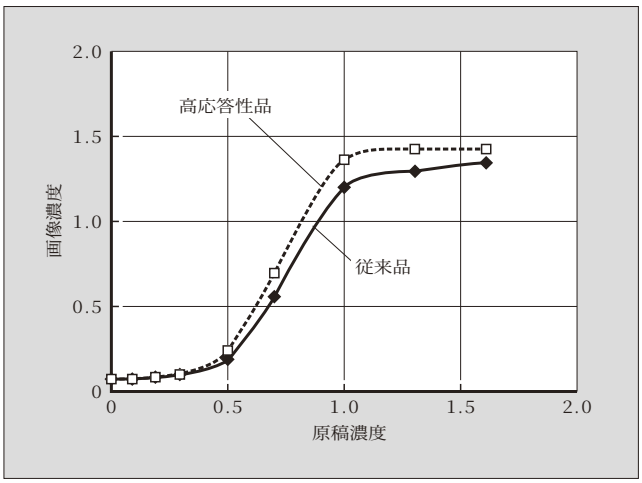
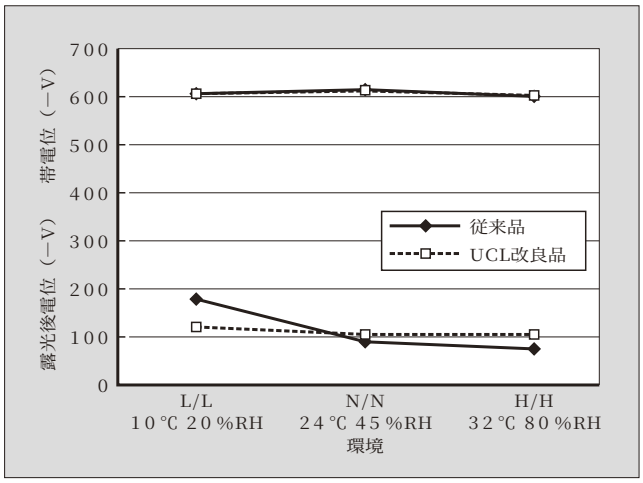


図6　環境電位特性




較して高再現性となっている。

### 3.3　高環境安定性

プリンタのさまざまな環境での使用に対応するため，OPCの環境安定性が望まれている。富士電機では，UCLのフィラーと樹脂バインダを最適化し，環境による体積抵抗率変動を抑制することで，常温常湿（N/N：24℃ 45%RH），低温低湿（L/L：10℃ 20%RH），高温高湿（H/H：32℃ 80%RH）環境下でOPCの安定性を確保している。図6に電位測定データを示す。いずれの環境においてもN/N環境下に対する変動量は小さく良好な特性を有している。

### 3.4　長寿命特性

社会全体で推進されている「環境に優しい」といった活動は，OA機器においても例外ではない。プリンタにおいては，環境配慮に加え低コスト化に直結する「長寿命化」が重要視されている。

OPCの寿命を支配する因子は，OPCそのものの特性変化のほか，OPC周辺消費部材とのマッチング性能などが挙げられ，主として次の三つに大別されている。

(1)　電気特性
　(a)　帯電位の安定性 → 低下により白紙かぶり
　(b)　残留電位の安定性 → 上昇により濃度低下
(2)　機械特性
　(a)　摩耗の低減 → 摩耗によりリーク・白紙かぶり
　(b)　異物付着の抑制 → 付着により黒すじ・白すじ
(3)　トナーマッチング特性
　(a)　トナー消費量の低減

## 4　特性の改善

### 4.1　電気特性の改善

OPCは，帯電工程でコロナ放電によって発生するオゾンや，露光工程での光に繰り返し暴露されると，機能材料が化学的変質を起こす。これにより，帯電位低下あるいは残留電位上昇といった電気特性の劣化を引き起こし，濃度低下，白紙かぶりなどの原因となる。

富士電機では，環境および耐刷における，基礎的なOPC表面電位挙動の加速評価を実現すべく，電位特性シミュレータを導入している。本シミュレータにおいては，N/N環境だけではなく，L/L，H/H環境においても電気特性の詳細測定が可能となっている。またOPCに対する

図7　耐刷特性（L/L：10℃ 20%RH）

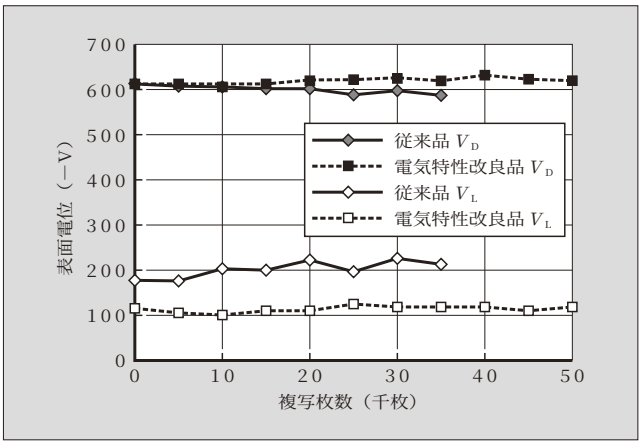



図8　耐刷特性（N/N：24℃ 45%RH）

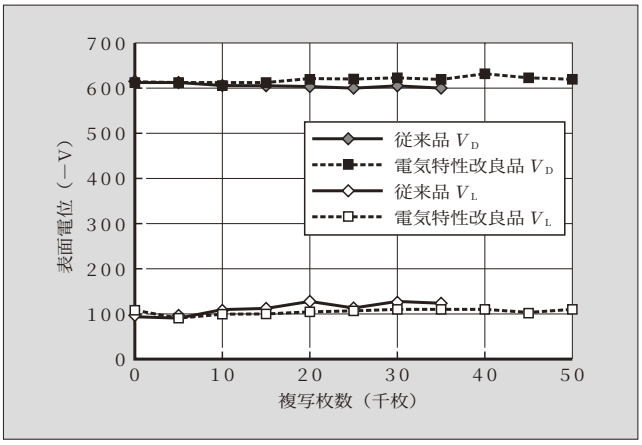
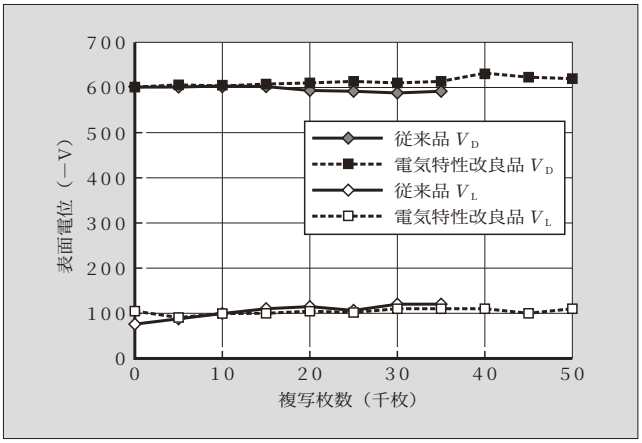



図9　耐刷特性（H/H：32℃ 80%RH）



疲労を連続的に付加することによって，耐刷時に相当する電位挙動の評価を実施することもできる。さらには，各種OPC周辺デバイスを自由に選択できるため，実際のプリンタなどの装置プロセスに即した評価を行うことが可能である。

当該シミュレータによる試験技術と富士電機の材料設計技術を組み合わせることで，帯電位低下および残留電位上昇を抑制するために，感光層中に発生する電気的欠陥を抑制する独自の電荷制御剤を開発し，それを最適配合することによって，さまざまなマシンプロセスにおいても安定的に動作するOPCを提供している。

図7～9に，L/L，N/N，H/H各環境下において高速プリンタで評価した際の表面電位の推移を示す。従来品と比較して電気特性改良品は，電位変動が少なく，すなわち画質変化が少ない動作安定性に優れたOPCを実現している。

### 4.2　機械特性の改善

OPCは，帯電ローラ，トナー，紙，転写ローラ，クリーニングブレードなどとの接触により，感光層の摩耗やトナーや紙粉の異物付着などの物理的・機械的特性の劣化が生じる。これらはマシンプロセスによって，発生の程度は異なるが，CTL中の成分である樹脂バインダの性能に大きく依存している。

富士電機では，短期間で樹脂バインダの性能評価ができる耐刷試験機を導入し，加速評価を進めるとともに，材料設計技術を駆使して，樹脂バインダの性能を大きく向上させることに成功した。

特に，高硬度で，潤滑性に優れた樹脂バインダ材料を開発することにより，膜硬度を向上させながらクリーニングブレードとの摩擦係数を低減させるとともに，樹脂バインダ中にCTMが均一に包括される構造および比率を採用することによって，耐刷中および耐刷後期においてもドラム表面の均一性を保持した。図10，図11に高速プリンタでの感光層摩耗および耐異物付着の改善を示す。富士電機の改善品は，感光層の摩耗において約30％の向上を実現し，異物付着特性については，印字用紙に出現しないレベル（4以上）を維持することが可能となった。

### 4.3　トナーマッチング特性の改善

プリンタ，ファクシミリ，MFPにおいて，印刷用紙のほか最も消費量が多い部材がトナーである。トナーの消費量を低減するために，トナーサイドでさまざまな特性改善が行われているが，昨今では装置プロセスにおいて，実際に印刷用紙に搬送するトナー量をコントロールし得るOPCの特性改善に対する期待が高まってきている。

トナー消費量を低減するには，印刷用紙へのトナー搬送量を抑えることが有効である。しかしながら，印刷内容すべてに対してトナー搬送量を抑制してしまうと，1ドットレベルの再現性が損なわれてしまう不具合をもたらす。これは今日の多岐にわたる印刷内容においては看過できない

図10　耐刷特性（摩耗量）

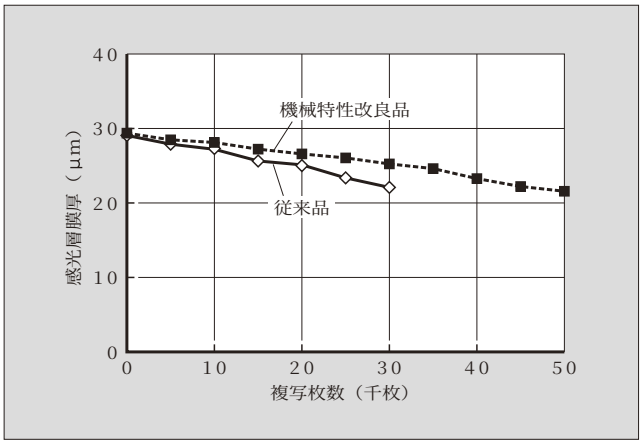



図11　耐刷特性（耐異物付着量）

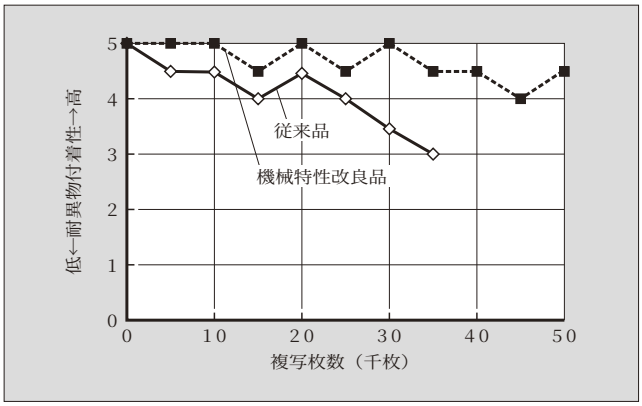
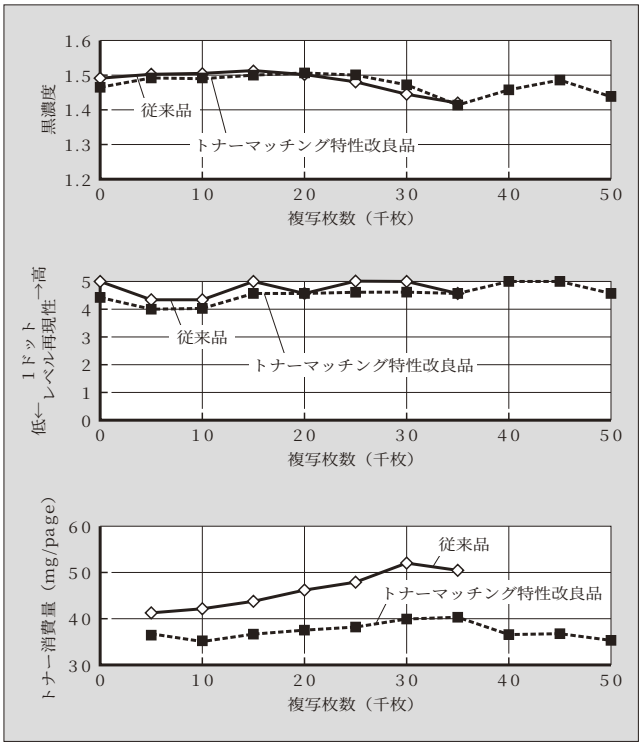



図12　耐刷特性（トナーマッチング性）



項目である。

そのような状況を受け，文字やグラフなどの比較的占有面積が大きい印刷部位においては，過剰トナーの搬送抑制を狙い，1ドットレベルのようなトナー占有面積が微小領域に限られる印刷においては，搬送量の確保を図った。

相反する2項目の両立のために，CTLの移動度およびイオン化ポテンシャルを調整し，さらにはUCL，CGLとの間における整合性を確保して，低露光領域および高露光領域での最適な露光後電位を設定した。図12に黒濃度，1ドットレベル再現性およびトナー消費量の特性を示す。改善品は十分な濃度および1ドットレベル再現性を確保しつつトナー消費量を低減し，長寿命化されていることが確認された。

## 5　あとがき

プリンタ，ファクシミリ，MFP用OPCについて，特に長寿命化を中心に紹介した。

プリンタ市場においては，さらに多機能・高品質化それに高速化が進み，用途・性能ともに複写機（特にデジタルタイプ）との境界がなくなりつつある。それに伴い感光体に要求される性能はますます高度化していくものと考えられる。富士電機は市場のニーズに合わせて要求特性を的確に把握し，環境にも配慮した魅力あるOPCの開発を進めていく所存である。

参考文献

(1)　篠崎美調，宮本貴仁．ディジタル複写機用有機感光体．富士時報．vol.77, no.4, 2004, p.291-294.

# 有機感光体の生産技術

松橋　幸雄（まつはし　ゆきお）



## 1　まえがき

富士電機は，業界トップレベルの有機感光体（OPC：Organic Photoconductor）の生産技術を有し，電子写真技術の進歩や顧客の要求に合致した製造技術開発と改良を続けている。2006年には，感光体生産機能のすべてを中国の工場に集約し，感光体用素管と感光材料の製造から感光体の塗布，検査，組立に至るすべての工程を1か所に集結した工場を立ち上げつつある。感光体生産工場のたたずまいとして，ここまで広範な工程を網羅した工場は，世界に類を見ない。

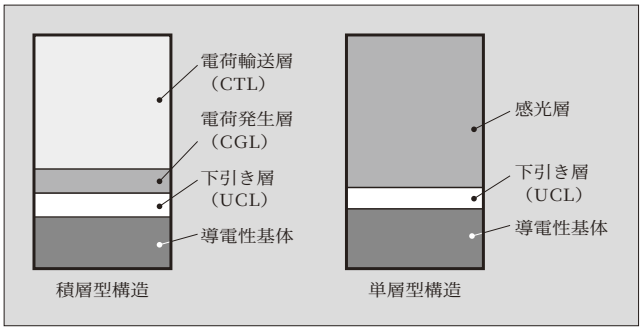
本稿では，個々の要素工程における最新の製造技術動向概要を紹介する。

## 2　OPC生産工程の概要

OPCは図1に示すように，導電性基体上に下引き層（UCL：Under Coat Layer），電荷発生層（CGL：Charge Generation Layer）と電荷輸送層（CTL：Charge Transport Layer）を積層塗布する積層型構造と，UCL上に電荷発生機能と電荷輸送機能を重ねた感光層を塗布して成る単層型構造の2種に大別される。

両者とも，欠陥のない均一な塗布膜を，早く，継続して安定的に形成することが非常に重要である。また，基板や感光材料の設計内容に応じて，適切な製造条件を設定することにより，材料設計開発に対する自由度を拡大させ，ひいては高品質・高信頼性を有する製品を安価に製造することができる。図2に，OPCの生産工程の概略フロー図を示す。

図1　OPCの層構成



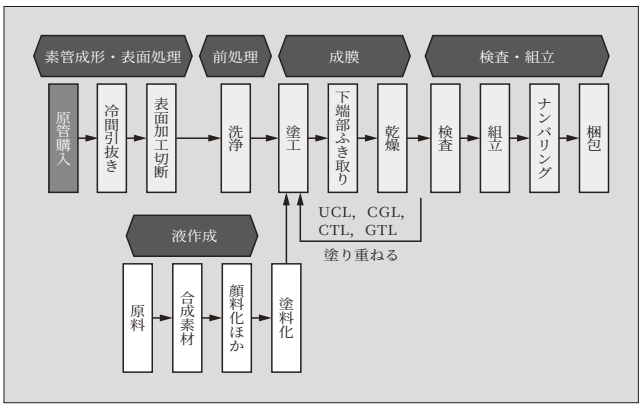

## 3　高品質・高信頼性を実現するOPCの生産技術

### 3.1　素管の成形，表面処理工程

OPC用の基板素材には，アルミ合金や電鋳金属素材，導電性有機材料を用いた例がある。感光体メーカーが多用しているのはアルミ合金であり，基板としての要求仕様に応じて，3000系，5000系，6000系材料を使い分けている。これらの素材は，熱間押出し・冷間引抜きを経て所定の長さに切断し，表面の精密加工に供されるのが一般的である。冷間引抜き工程の後に熱処理工程が加えられる場合もあるが，引抜き時の断面積収縮率を適切に設定することによってアルミ合金の加工硬化具合を調節し，次の精密加工工程の加工負荷を適切に設定することができれば，熱処理工程は割愛できる余地がある。

一方，冷間引抜管そのものを，表面の精密加工を行わずにOPC塗布に供する例もある。この場合は，冷間引抜き加工での寸法精度と表面形状を厳密に制御する必要があるが，精密加工を省略することによるコスト低減効果が大き

図2　OPC生産工程



松橋　幸雄

有機感光体の生産設備の設計に従事。現在，富士電機デバイステクノロジー株式会社情報デバイス事業本部事業統括部生産技術部課長補佐。

いため，一部の感光体メーカーでは主流の素材として採用している。

冷間引抜管の品質は，引抜き工程はもとより，引抜き工程に供する押出し管の品質に大きく依存する。押出し管に存在するきずや介在物は，引抜き工程の中では場所を移動するだけで残存し，引抜き製品に出現する。このため，押出し管の引抜き前処理と，引抜き工程に用いるダイス・プラグ選択が，引抜管の出来栄えを決めると言っても過言ではない。

引抜管に対して施す精密加工は，切削加工と研磨加工に大別される。切削加工は，旋盤を用いた加工である。図3に富士電機における切削加工工程を示す。

超精密加工旋盤は，生産効率向上の趨勢（すうせい）の中で，主軸回転数を高め，刃物台駆動方法にも幾多の改善が加えられてきている。しかし，旋盤に装着された材料に高速回転が与えられれば与えられるほど，回転運動中の素材変形量が拡大し，円筒度などの寸法精度確保に障害が発生しやすい。その防止策として，材料の見掛け密度増加策が種々，工夫されている。

研磨加工には，円筒研削盤や無心研磨盤が多用されている。今後一層の物量増加が見込まれるカラープリンタ用感光体基板加工方法として，適用範囲の拡大が期待されている。

### 3.2　前処理工程

OPC用素管の前処理工程は，水系洗浄が現在の主流になっている。前節で述べた素管の多様化に伴い，洗浄工程に持ち込まれる素管の表面状態は多岐にわたっている。特に引抜管をそのまま感光体塗布に持ち込む場合，引抜き潤滑油の特性から，残存潤滑油量が多いため，前処理工程への負荷を増大させる場合が多い。また，無心研磨工程を経た素管の場合は，残留砥粒が洗浄工程に持ち込まれる可能性が高くなる。富士電機では，水系洗浄工程に，圧水噴射による物理的な洗浄工程を設けている。この圧水は，過剰な残存油分や砥粒の除去に奏功するのみならず，切削加工で掘り起こされた素管表面の微細な突起を除去する効果もある。そのため，比較的薄い膜厚に設計されて被覆効果の少ない下引き層との組合せにおいて，印字障害防止に大きな効果を表す。

### 3.3　成膜工程

感光層の成膜工程は，クリーン度，温度，湿度，気流が精密に管理されたクリーンブースの中で行われ，塗布液が循環している塗工タンク内に素管を浸漬・引き上げることで塗膜が形成される。

塗布液は，電荷発生材料（CGM：Charge Generation Material），電荷輸送材料（CTM：Charge Transport Material）などの有機機能材料とバインダ樹脂を有機溶剤に溶解，または分散して作製される。均質な塗膜を形成するための塗布液への要求特性は，基板へのぬれ性，乾燥性，分散安定性，異物混入などがないクリーン度が挙げられ，組成配合，溶剤の種類，分散技術，フィルタリング技術にて均質で欠陥のない薄膜コーティングが実現されている。特に分散系の電荷発生層（CGL：Charge Generation Layer）用塗布液は，1μm以下の薄膜であり，また印字品質に直接影響を及ぼすため，数百ナノメートルの顔料粒子を凝集しないように，かつ安定的に分散させる技術が必要である。富士電機では，顔料化工程から分散処理工程まで，独自の組成配合とミリング式分散技術を採用し，また塗布液の物性トレンド管理を実施しており，社内一貫管理の下で高品質の塗布液作製を実現している。

塗布工程では，均質な塗膜を形成するために，前述の塗布液管理と合わせて，各種塗布パラメータを高精度に制御する設備技術が重要になる。塗膜の膜厚は，基本的に液粘度，乾燥性，引上げ速度（表面張力）で決められる。液粘度管理については，測定器からの信号を受けて，溶剤自動希釈と液温調整システムによってリアルタイムでフィードバックされている。乾燥性については，塗工タンクのフード形状を工夫して溶剤蒸気濃度を均一化しており，合わせてクリーンブース内の温湿度を細かく制御することで，塗膜から溶剤が揮発するときに発生する乾きむらやゆず肌不良を対策している。さらに塗工用ハンドには，低振動の剛性昇降装置を採用し成膜品質を高めている。塗布環境のクリーン度低下を防止するために，生産設備や搬送系装置か

図3　切削加工工程

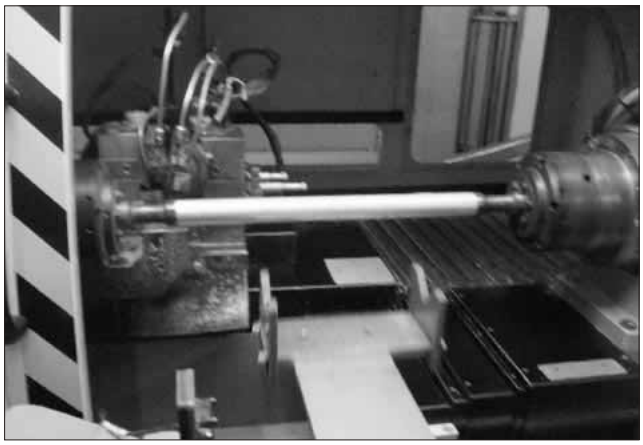


図4　塗布搬送ライン

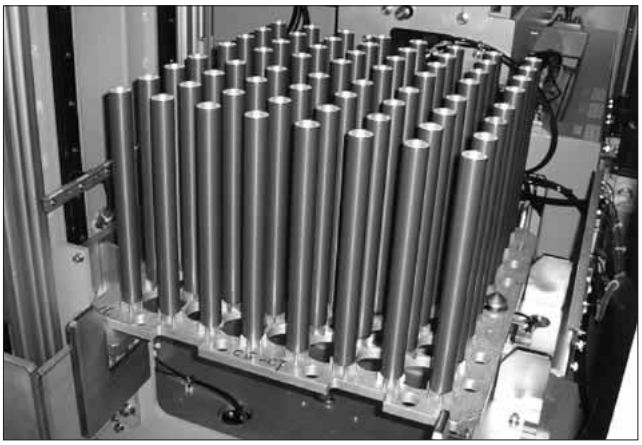


図5　全自動検査組立装置

らの発塵（はつじん）を極力抑制する必要がある。

富士電機では，特に，搬送用パレットとコンベヤの摩耗粉などを次工程に持ち込まないように，各塗布工程ごとに循環式の独立搬送機構を採用しており，コンベヤ間のパレット移動は，Walking Beam 方式（乗せ替え方式）を取り入れている。図4にその一例を示す。生産性の観点では，少量多機種生産に対応するために，塗工タンクと循環系装置のユニット化や搬送パレット・塗工ハンドの無段取り化を適用しており，より高い稼動率を実現している。

### 3.4　検査・組立工程

富士電機は数百種類に及ぶ感光体製品を有し，それらの仕様に応じて，全自動検査組立装置と，手動による検査・組立工程を使い分けている。このうち手動検査組立工程は，人間の目による官能検査と，手動による組立装置運転から構成され，少量多品種生産に対応している。工程はセル方式を基本とした配置とし，作業者の立ち間隔は製品を手渡しできる距離に設定して製品のむだな動きを排除している。また，セルそのものの構造も，製品の仕様に合わせて作業者数を柔軟に変えることができる。

全自動検査組立装置は，CCD（Charge Coupled Device）カメラによる外観検査装置を起点に，ギヤ装着，遮光紙巻き付け，梱包（こんぽう）までをすべて自動で行う装置である。図5は富士電機の全自動検査組立装置である。

基本的に大量生産機種の処理に用いる装置であるが，機種変更に伴う条件変更を迅速に行えるように設備側からの配慮がなされているため，高い稼動率を維持した運転が可能である。

## 4　一貫生産

富士電機では，感光体製造にかかわるすべての工程を一つの工場に集約した結果を受けて，中間滞留在庫を抑制した一貫生産ラインの構築を行っている。この一貫ラインとは，ワークの動きの整備のみならず，最上流工程のアルミ管引抜き工程内容が最下流工程の梱包出荷計画に基づいて設定される，いわゆるジャストインタイム方式の生産工程となっている。また，設備能力の制約から，1本の生産ラインの中で最も多くの生産設備を装備しなくてはならない素管表面切削工程は，感光体生産ラインごとにグループ化を行い，製品のトレーサビリティ確保にも万全の配慮を行っている。

## 5　あとがき

現在の感光体生産技術は，浸漬塗布法の観点からは，応分の進歩を果たし，いったん，踊り場にあるがごとき様相を呈している。

しかし，今後の感光体性能のさらなる向上や，感光体を取り巻くアプリケーションの変化からすると，大きな生産技術革新の要請が近い将来に迫っていることは間違いない。

富士電機は，常に将来の製品開発動向を見つめ，製品開発に先んじた製造技術の確立を行っていく所存である。

# もっと豊かな明日のために。

私たち富士電機グループは，グループ各社が「業界最強の専業」として，
それぞれの事業分野で，つねに最先端を走りつづけます。
同時に，集合体としての総合力を発揮し，お客様によりご満足いただける
ソリューション，サービス，商品を提供していきます。
豊かな暮らしと社会の実現を目指す富士電機グループに，どうぞご期待ください。

e-Front runners 富士電機グループ

# 主要営業品目

## 富士電機システムズ株式会社

情報・通信・制御システム，水処理・計測システム，電力システム，放射線管理システム，FA・物流システム，環境システム，電動力応用システム，産業用電源，車両用電機品，クリーンルーム設備，レーザ機器，ビジョン機器，電力量計，変電システム，火力機器，水力機器，原子力機器，省エネルギーシステム，新エネルギーシステム，UPS，ミニUPS

## 富士電機機器制御株式会社

電磁開閉器，操作表示機器，制御リレー，タイマ，ガス関連機器，配線用遮断器，漏電遮断器，限流ヒューズ，高圧受配電機器，電力制御機器，電力監視機器，交流電力調整器，検出用スイッチ，プログラマブルコントローラ，プログラマブル操作表示器，ネットワーク機器，インダクションモータ，同期モータ，ギヤードモータ，ブレーキモータ，ファン，クーラントポンプ，ブロワ，汎用インバータ，サーボシステム，加熱用インバータ

## 富士電機デバイステクノロジー株式会社

磁気記録媒体，パワートランジスタ，パワーモジュール，スマートパワーデバイス，整流ダイオード，モノリシックIC，ハイブリッドIC，半導体センサ，サージアブソーバ，感光体，画像周辺機器

## 富士電機リテイルシステムズ株式会社

自動販売機，コインメカニズム，紙幣識別装置，貨幣処理システム，飲料ディスペンサ，自動給茶機，冷凍冷蔵ショーケース，カードシステム

＊本誌に記載されている会社名および製品名は，それぞれの会社が所有する商標または登録商標である場合があります。


| | | |
|---|---|---|
| 富士時報 | 第 79 巻 第 4 号 | 平成 18 年 6 月 30 日 印刷<br>平成 18 年 7 月 10 日 発行<br>定価 735 円（本体 700 円・送料別） |
| 編集兼発行人 | 原嶋孝一 | |
| 発行所 | 富士電機ホールディングス株式会社<br>技術企画部 | 〒141-0032 東京都品川区大崎一丁目 11 番 2 号<br>（ゲートシティ大崎イーストタワー） |
| 編集室 | 富士電機情報サービス株式会社内<br>「富士時報」編集室 | 〒151-0053 東京都渋谷区代々木四丁目 30 番 3 号<br>（新宿コヤマビル）<br>電話（03）5388－7826<br>FAX（03）5388－7988 |
| 印刷所 | 富士電機情報サービス株式会社 | 〒151-0053 東京都渋谷区代々木四丁目 30 番 3 号<br>（新宿コヤマビル）<br>電話（03）5388－8241 |
| 発売元 | 株式会社オーム社 | 〒101-8460 東京都千代田区神田錦町三丁目 1 番地<br>電話（03）3233－0641<br>振替口座 東京 6－20018 |


© 2006 Fuji Electric Holdings Co., Ltd., Printed in Japan（禁無断転載）

# 富士時報論文抄録

## 磁気記録媒体の現状と展望

今川　誠　　中村　邦広
富士時報　Vol.79 No.4 p.294-296（2006）

ハードディスク装置（HDD）は，記録密度を向上させることで「小型・大容量化」への進化を遂げてきた。この「小型・大容量化」への進化は，これまでのパソコンの枠を越え，HDD を搭載した音楽プレーヤ，ビデオムービー，携帯電話などの優れた製品として，市場を確立するに至っている。本稿では，今後も拡大が期待される HDD の市場動向・技術動向について述べるとともに，富士電機の磁気記録媒体の技術開発状況と今後の展望について述べる。

## アルミポリッシュ基板

鄭　用一　　西村　通徳　　若林　秀樹
富士時報　Vol.79 No.4 p.297-299（2006）

アルミ基板としての観点から，高記録密度化へ対応すべく技術的課題は，磁気ヘッドが 10 nm 以下の超低浮上走行下でも記録再生できるような 0.1 nm オーダーでの基板微小うねりや表面粗さの制御と数 nm サイズの表面欠陥低減を図ることにある。本稿では，めっき技術，ポリッシュ技術の両プロセスにおいて，より高度な新材料を開発し，かつ適正な製造パラメータを組み合わせることによって，次世代 160 ギガバイト/枚仕様のアルミ基板の開発を目指しており，その過程での成果を報告する。

## アルミ長手磁気記録媒体技術

二村　和男　　坂口　庄司　　柏倉　良晴
富士時報　Vol.79 No.4 p.300-304（2006）

アルミ長手磁気記録媒体は，主にパソコンやサーバに使用されている。その記録容量は，3.5 インチサイズ 1 枚あたり 100 ギガバイト（GB）を超えている。富士電機では，基板表面加工技術，磁性技術を中心に，それを可能とする技術開発を進めている。また，一部家電にも搭載され始めており，温度，湿度，耐衝撃性などの面で，使用される環境がこれまで以上に厳しくなっている。これに対応するために，従来とは違った評価方法を取り入れた表面潤滑技術の開発を行っている。現在，160 GB/枚の量産を目指している。

## ガラス長手磁気記録媒体技術

松尾　壮太　　下里　学　　宮里　真樹
富士時報　Vol.79 No.4 p.305-308（2006）

ガラス長手磁気記録媒体は，2.5 インチのモバイルハードディスク装置（HDD）用として，40 ギガバイト（GB）機種をメインに生産している。富士電機では，独自技術のガラステクスチャ技術，シード層技術，AFC 磁性層技術，2 層保護膜技術そして混合ルブ技術を採用してきた。2005 年度からガラス長手磁気記録媒体としては，最後の機種である 60 GB 機種の開発を進めている。上記独自技術を全面改良し，顧客要求品質を達成してきた。本稿では，その開発技術について紹介する。

## 垂直磁気記録媒体の開発状況

酒井　泰志　　竹野入 俊司　　上住　洋之
富士時報　Vol.79 No.4 p.309-312（2006）

一部には垂直磁気記録方式を採用したハードディスク装置（HDD）が発売され，垂直方式の実用化に向けた開発がにわかに活気を帯びてきている。富士電機では，層構成，材料，成膜プロセスなどの最適化により 250 Gbits/in$^2$ 超の面記録密度を有する垂直磁気記録媒体を開発するとともに，層構成の単純化，各層の薄膜化などにより，量産性ならびにコストを重視した製品開発を行ってきた。本稿では，垂直磁気記録媒体の特徴の一つである軟磁性裏打ち層の最適化，ならびにグラニュラー構造を有する磁気記録層の構造制御に関して，開発状況を紹介する。

## 垂直磁気記録媒体の信頼性技術

横澤　照久　　貝沼　研吾　　磯﨑　誠
富士時報　Vol.79 No.4 p.313-316（2006）

垂直磁気記録媒体は，量産が間近である。富士電機では，信頼性の高い垂直磁気記録媒体を提供するために，ガラス基板の表面設計から保護膜までを開発してきた。具体的には，ガラス基板の表面加工，垂直ガラス基板用洗浄，スパッタ層構成，保護膜の開発を行ってきた。これにより，垂直磁気記録媒体の特徴である，高記録密度でありながら，長手磁気記録媒体と同等以上の信頼性を確保することができた。今後も改善を継続することで，世界のトップレベルの垂直磁気記録媒体を生産していく。

## 磁気記録媒体の分析・解析技術

熊谷　明恭　　渡辺　武
富士時報　Vol.79 No.4 p.317-320（2006）

磁気記録媒体の記録密度向上に伴って，微小化するエラーやその原因となる欠陥，あるいはヘッドの安定浮上のためのディスク表面の分析評価技術が重要となってきている。本稿では，信号読み書きエラー部における数十 nm オーダーの欠陥分析技術と，ディスク表面に吸着する水分を分析し，ディスク表面設計の指針として適用した例を紹介する。

## 感光体の現状と展望

成田　満　　山本　輝男
富士時報　Vol.79 No.4 p.322-325（2006）

情報通信分野において，さまざまな機器がネットワークでつながる NGN（Next Generation Network）が展開される中にあって，その一翼を担う画像入出力装置のネットワーク化は急速に普及している。特に，カラー情報・画像を表示・記録するプリンタ，複写機は，高機能化が進むとともに，今後より一層重要性を増すものと予想される。本稿では，これらのプリンタ，複写機の市場動向と，その中で電子写真方式のプリンタ，複写機の動向を概説し，これに対応した富士電機の感光体について概要を述べる。

# Abstracts (Fuji Electric Journal)

## Polished Aluminum Substrate

Youichi Tei Michinori Nishimura Hideki Wakabayashi
Fuji Electric Journal Vol.79 No.4 p.297–299 (2006)

Technical challenges for achieving higher recording density in an aluminum substrate include the control of 0.1 nm-order minute levels of substrate waviness and surface roughness so that recording and playback can be accomplished at ultra-low magnetic head flying heights of 10 nm or less, and the reduction of surface defects of several nanometers in size. This paper reports the results achieved thus far while targeting development of an aluminum substrate for next-generation 160 GB disks by developing new advanced materials and combining suitable production parameters in both the plating and polishing processes.

## Present Status and Future Prospects for Magnetic Recording Media

Makoto Imakawa Kunihiro Nakamura
Fuji Electric Journal Vol.79 No.4 p.294–296 (2006)

Higher recording densities have enabled hard disk drives (HDDs) to evolve toward smaller sizes and larger capacities. This trend toward smaller size and larger capacity has gone beyond traditional PC applications, and has resulted in the establishment of a market for HDD-equipped products such as music players, video movie players, cell phones and the like. This paper discusses trends of the HDD market, for which future growth is predicted, HDD technical trends, and the status of technical development and future prospects for Fuji Electric's magnetic recording media.

## Longitudinal Glass Substrate Magnetic Recording Media

Souta Matsuo Manabu Shimozato Masaki Miyazato
Fuji Electric Journal Vol.79 No.4 p.305–308 (2006)

Longitudinal glass substrate magnetic recording media is being produced as 2.5-inch mobile hard disk drives (HDDs) mainly for 40 GB drives. Fuji Electric has utilized proprietary glass texture technology, seed layer technology, AFC magnetic layer technology, dual-layer protective film technology and mixed lubrication techniques. Since 2005, Fuji Electric has been advancing the development of a 60 GB model, the latest model of longitudinal glass substrate magnetic recording media. Fuji Electric has fully revised the above proprietary technologies in order to meet customer-required quality levels. This paper describes that technical development.

## Longitudinal Al Substrate Magnetic Recording Media

Kazuo Nimura Shoji Sakaguchi Yoshiharu Kashiwakura
Fuji Electric Journal Vol.79 No.4 p.300–304 (2006)

Longitudinal Al substrate magnetic recording media is used mainly in PCs and servers, and has a recording capacity that exceeds 100 GB per 3.5-inch disk. Fuji Electric is advancing development of the enabling technology, which centers on substrate surface processing technology and magnetic technology. Longitudinal Al substrate magnetic recording media is beginning to be used in some home appliances and in environments more severe in terms of temperature, humidity and mechanical shocks than in the past. To support operation in such severe environments, a surface lubricating technique that incorporates a novel evaluation method is being developed. Presently, the mass production of longitudinal Al substrate magnetic recording media that supports 160 GB/disk is being targeted.

## Reliability of Perpendicular Magnetic Recording Media

Teruhisa Yokosawa Kengo Kainuma Makoto Isozaki
Fuji Electric Journal Vol.79 No.4 p.313–316 (2006)

The mass production of perpendicular magnetic recording media is imminent, and in order to supply highly reliable perpendicular magnetic recording media, Fuji Electric has contributed many developments, from glass substrate surface design to protective film. In particular, Fuji has developed techniques for the surface processing of glass substrates, washing of perpendicular glass substrates, and for the fabrication of a sputtered layer and protective film. The result enables the characteristically high recording density of perpendicular magnetic recording media to be ensured with greater reliability than in the case of longitudinal magnetic recording media. By continuing to make improvements, Fuji Electric intends to produce the worldwide top-level of perpendicular magnetic recording media.

## Development of Perpendicular Magnetic Recording Media

Yasushi Sakai Shunji Takenoiri Hiroyuki Uwazumi
Fuji Electric Journal Vol.79 No.4 p.309–312 (2006)

Hard disk drives (HDDs) that use a method of perpendicular magnetic recording have finally been put on the market, and the development of perpendicular magnetic systems for practical applications has suddenly become invigorated. Fuji Electric has developed perpendicular magnetic recording media having an aerial recording density of more than 250 Gbits/in$^2$ by optimizing the layer structures, materials, sputtering process and the like, and has also simplified the layer structure and made each layer thinner in order to increase productivity and the cost performance. This paper describes the status of development for optimization of the soft magnetic underlayer, a characteristic feature of perpendicular media, and for the structural control of a CoPtCr-$SiO_2$ recording layer.

## Present Status and Future Prospects for Photoconductors

Mitsuru Narita Teruo Yamamoto
Fuji Electric Journal Vol.79 No.4 p.322–325 (2006)

In the information and communications field, the development of next generation networks (NGNs) that link various devices is rapidly causing the networking of video I/O devices to come into widespread use. In particular, printers and copiers that display and record color information and images are expected to achieve higher functionality and to become even more important in the future. This paper describes market trends for these printers and copiers, outlines the trends of electrophotographic-type printers and copiers, and presents an overview of Fuji Electric's photoconductors.

## Latest Analysis and Evaluation Technologies for Magnetic Hard Disks

Akiyasu Kumagai Takeshi Watanabe
Fuji Electric Journal Vol.79 No.4 p.317–320 (2006)

As the recording density of magnetic recording media increases, analysis and evaluation technologies for disk surfaces are becoming increasingly important in order to prevent minute errors and their resultant defects, and to ensure stable flying of the read/write head. This paper describes technologies for analyzing defects of several tens of nanometers in the signal read/write error area, technologies for estimating moisture adhering to the disk surface, and applied examples that serve as guidelines for disk surface design.

## 有機感光体用材料技術

中村　洋一
富士時報　Vol.79 No.4 p.326-329（2006）

近年，プリンタ，複写機などの感光体応用機器はデジタル化，カラー化などの進展により，情報量が多い原稿が増え，かつその取扱量も増えている。これらに用いる有機感光体を製品化するための基礎技術である材料技術と化学技術の概要を紹介する。具体的には，コンピュータによる分子設計技術や劣化抑制剤による廃棄ロスが少ない地球環境に優しい塗布液技術などの現況を報告する。

## プリンタ用有機感光体

森田　啓一　　池田　豊　　田中　靖
富士時報　Vol.79 No.4 p.330-334（2006）

デジタル化，カラー化，ネットワーク化の進展に伴い，プリンタなどの出力機器は情報量の多い原稿・データを扱うようになった。こうした市場動向で感光体に要求される機能・品質は年々高度化している。富士電機ではこれらの要望に応えるべく，各種ニーズに適した感光体を開発・製造している。本稿では，負帯電型および正帯電型プリンタ用有機感光体の概要とその特徴について紹介する。

## プリンタ用長寿命有機感光体

宮本　貴仁　　小川　祐治　　中村　友士
富士時報　Vol.79 No.4 p.335-339（2006）

電子写真方式のプリンタ，ファクシミリ，複写機，およびこれらの機能を兼ね備えた複合機の高速度化，高画質化，動作安定化，低価格化に対応するため，その主要デバイスである有機感光体の感度特性，応答性，環境安定性，信頼性，耐刷性の改善がなされている。本稿では，環境配慮，ならびにランニングコスト低減に直結する長寿命特性を中心に，富士電機の有機感光体製品について，その性能・品質を紹介する。

## 有機感光体の生産技術

松橋　幸雄
富士時報　Vol.79 No.4 p.340-342（2006）

富士電機は，業界トップレベルの生産技術をベースに，2006年には有機感光体の生産機能を中国の工場に集約し，感光体素管および感光体材料の製造から，感光体の塗布，検査，組立に至るすべての工程を集結した一貫ラインを構築する。本稿では，この一貫ラインにおける個々の要素工程について，その最新製造技術の概要を紹介する。

## Organic Photoconductors for Printers

Keiichi Morita Yutaka Ikeda Yasushi Tanaka
Fuji Electric Journal Vol.79 No.4 p.330–334 (2006)

With advances in digitization, colorization, and computer networking technology, printers and other output devices are able to handle information-intensive documents and large data files. Based on these market trends, year after year, ever-higher functionality and quality are being required of photoconductors. In response to such requirements, Fuji Electric develops and manufactures photoconductors suited to various needs. This paper presents an overview and describes the characteristics of organic photoconductors for use in negatively and positively charged printers.

## Material Technology for Organic Photoconductors

Yoichi Nakamura
Fuji Electric Journal Vol.79 No.4 p.326–329 (2006)

With the advances in digitization and colorization technology, there has been an increase in the number of documents containing large quantities of data, and ever larger quantities of data are being processed by printers, copiers and other devices that use photoconductors. This paper describes the materials and chemical technologies that form the basis for the commercialization of organic photoconductors used in such devices. Specifically, the present status of computer-assisted molecular design and an environmentally friendly low-waste coating liquid created with anti-aging material are reported.

## Production Engineering for Organic Photoconductors

Yukio Matsuhashi
Fuji Electric Journal Vol.79 No.4 p.340–342 (2006)

Based on its world-leading manufacturing technology, Fuji Electric is consolidating its manufacturing of organic photoconductors in a factory of China in 2006, and is building an integrated production line that combines all processes from the production of photoconductive tubes and photoconductive materials to the coating, inspection and assembly of photoconductors. This paper describes the latest production technology involved in each process and presents an overview of the integrated line.

## Long-life Organic Photoconductors for Printers

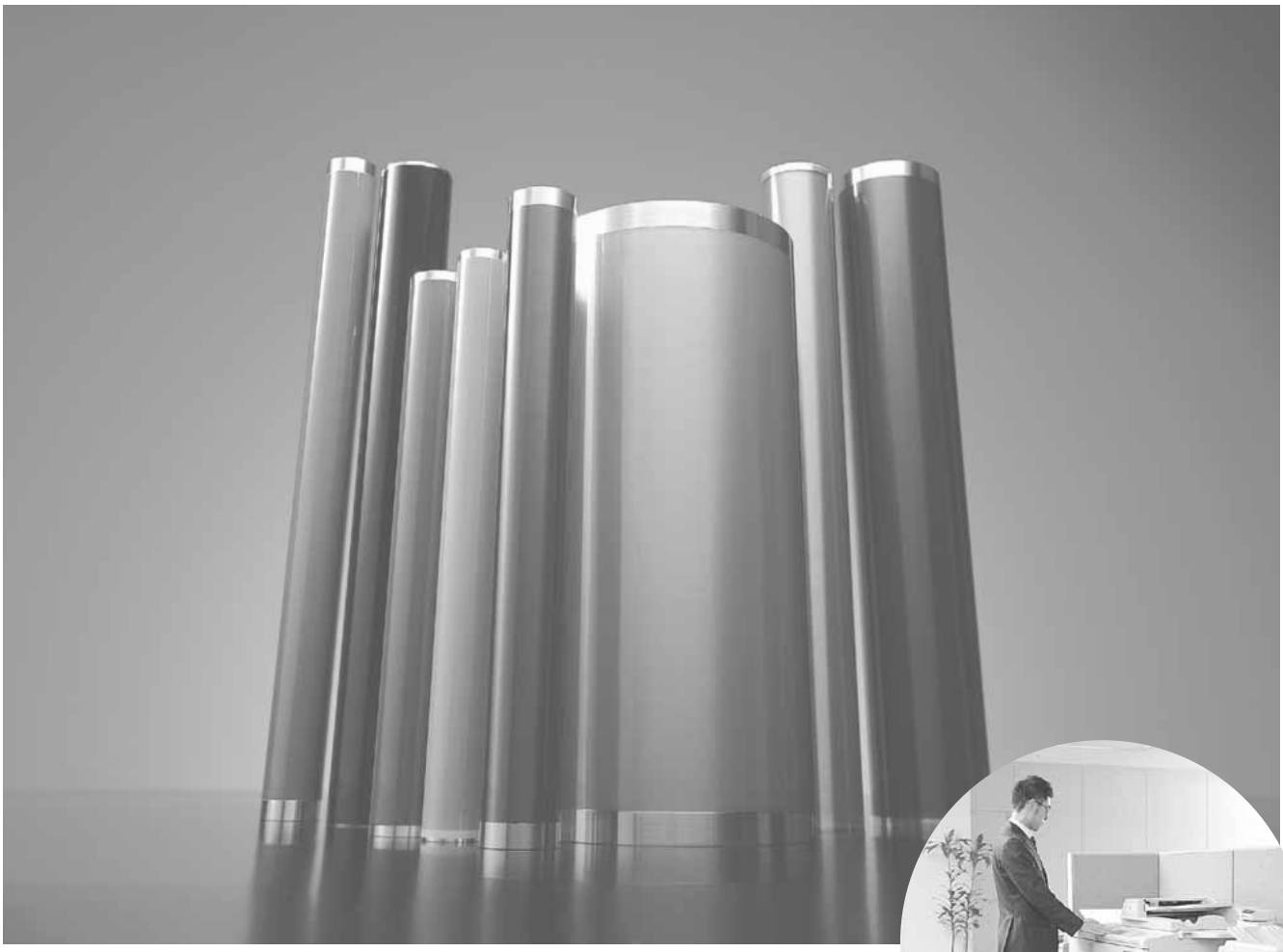
Takahito Miyamoto Yuuji Ogawa Yuuji Nakamura
Fuji Electric Journal Vol.79 No.4 p.335–339 (2006)

To support higher speed, better picture quality, more stable operation and lower cost in electrophotographic-type printers, facsimile machines, copiers, and mixed-use machines that combine these functions, improvements are being made in the sensitivity, responsiveness, environmental stability, reliability and durability of organic photoconductors, the main device in these machines. This paper discusses the performance and quality of Fuji Electric's organic photoconductor products, and focuses on their long service life which is linked directly to environmental friendliness and lower running costs.

e-Front runners

# 高画質化を担う,感光体。
# 豊富なラインアップと,
# きめ細かなテクニカルサポートでお応えします。

IT化の進展により,複写機やファクシミリ,プリンタにはさらなる高性能化が求められています。
これら情報機器の中で,画像形成という重要な働きを担っているのが,私たちの感光体です。
先進の材料技術と精密な製造技術を駆使し,高解像度,高速応答性,高耐刷性,
さらに環境や健康にも配慮した製品開発を推進。
光源の波長と分光感度が適合する豊富なラインアップを揃えるとともに,
個々のご要望に的確にお応えするために,きめ細かなテクニカルサポートを行い,
お客様の機器の性能を高めています。



▲感光体
デジタル複合機やオンデマンド印刷対応のカラープリンタ用など,市場の要望に合わせた新製品をいち早く開発。オゾンの発生を少なくするなど,環境にも配慮しています。

# 富士電機の画像デバイス

お問合せ先：富士電機デバイステクノロジー株式会社 情報デバイス事業本部 事業統括部 電話(0263)27-4939

昭和 40 年 6 月 3 日　第三種郵便物認可　平成 18 年 7 月 10 日発行（年 6 回 1，3，5，7，9，11 月の 10 日発行）富士時報　第 79 巻　第 4 号（通巻第 839 号）

e-Front runners

本誌は再生紙を使用しています。

雑誌コード 07797-7　　定価 735 円（本体 700 円）