昭和40年6月3日　第三種郵便物認可　平成14年3月10日発行（毎月1回10日発行）富士時報　第75巻　第3号（通巻第804号）　ISSN 0367-3332

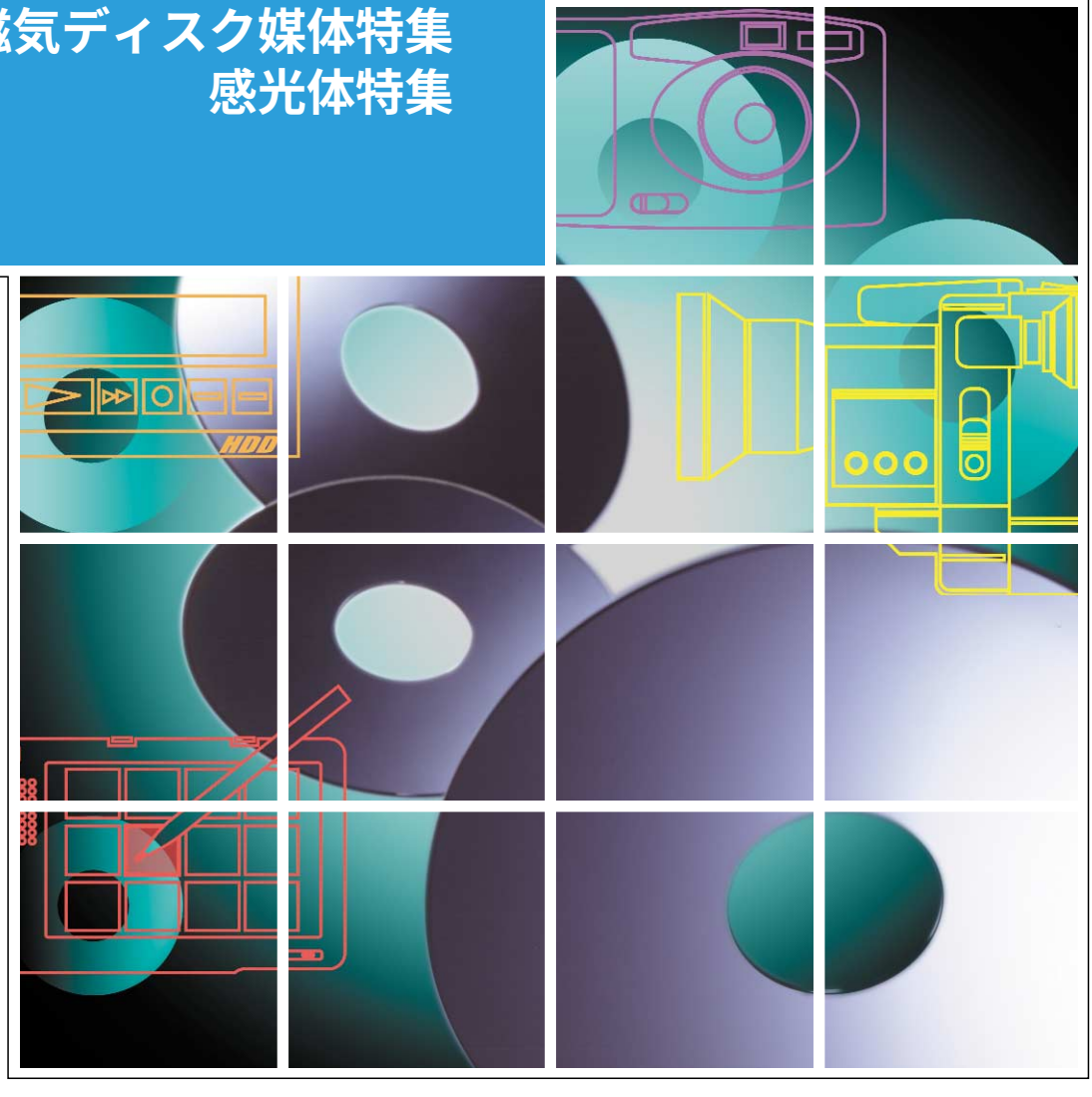
# 富士時報

FUJI ELECTRIC JOURNAL

3

2002 VOL.75

## 磁気ディスク媒体特集
## 感光体特集




FUJI ELECTRIC

聞こえてきますか、技術の鼓動。――富士電機

# 画質の違いは，感光体の違い。
# 鮮明画質に，
# 豊富なラインアップでこたえます。

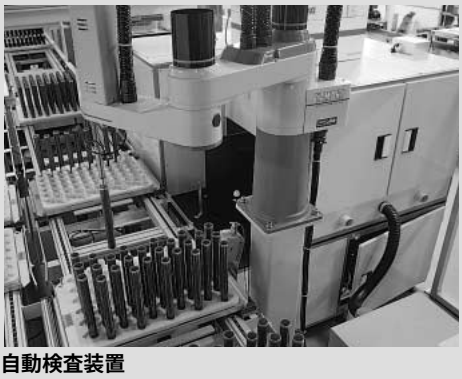
FUJI ELECTRIC

プリンタなどで活躍する感光体

複写機などで活躍する感光体

複写機やファクシミリ，プリンタなどさまざまな情報機器において，鮮明画質へのニーズは高まるばかりです。画質の決め手となる感光体にも，ますます高度な技術が求められます。私たちは，より高解像度化，より高速化をめざし，つねに技術革新を重ねてきました。そのラインアップも複写機用からファクシミリ用，プリンタ用まで，じつに豊富。最新のFA技術を結集した全自動一貫生産ラインと，厳しい品質管理のもと，日本・米国・中国と広がる世界3製造拠点から，信頼の製品を充実のサービスとともにスピーディに提供します。

# 富士電機の感光体



自動検査装置

お問合せ先：富士電機画像デバイス株式会社　電話（0263）27-6340

# 富士時報
FUJI ELECTRIC JOURNAL

3
2002 VOL.75


## 磁気ディスク媒体特集
## 感光体特集

## 目　次


### 磁気ディスク媒体特集

**情報ストレージ技術への期待** 150（2）
中村　慶久

**磁気ディスク媒体の現状と展望** 151（3）
高橋　伸幸　・　大月　章弘　・　小笠原友信

**長手磁気記録用磁性層技術** 156（8）
柏倉　良晴　・　松尾　壮太　・　安宍　善史

**HDI（ヘッドディスク界面）技術の進展** 160（12）
宮里　真樹　・　永田　徳久　・　熊崎　博文

**ガラス磁気ディスク媒体の開発** 165（17）
増田　克也　・　安宅　豊路　・　中村　　吾

**垂直磁気記録用磁性層技術** 169（21）
上住　洋之　・　酒井　泰志　・　竹野入俊司

**磁気転写技術** 173（25）
佐藤　公紀　・　二村　和男　・　斎 藤　　明

### 感光体特集

**感光体の現状と展望** 178（30）
川上　春雄　・　成田　　満　・　田中　辰雄

**プリンタ用有機感光体** 182（34）
寺崎　成史　・　福島　幸二　・　森本　正博

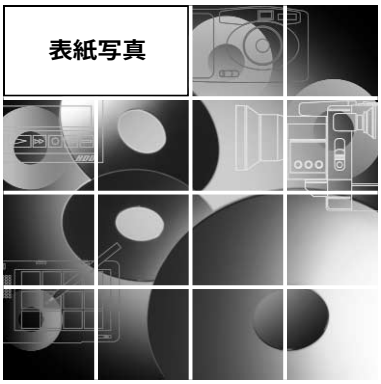
**ディジタル複写機用有機感光体** 186（38）
篠崎　美調　・　笠原　正彦　・　濵田　修一

**正帯電有機感光体** 190（42）
面川　真一　・　石井　秀幸　・　鍋田　　修

**感光体評価技術（１ドット潜像電位評価技術）** 194（46）
会沢　宏一　・　上野　芳弘　・　竹嶋　基浩

**電子写真装置用プロセスユニット** 198（50）
北川　清三　・　浅川　唯志　・　田中　好彦


**表紙写真**



現代のパソコンに必須のアイテムとなったハードディスク装置（HDD）は，情報蓄積量の増大でネットワーキングや AV（Audio-Visual）への応用で新たな市場発展が期待されている。

富士電機は，先端の技術開発をとおして，進化し続ける HDD の構成の中で最重要コンポーネントの一つである磁気ディスク媒体を，最新性能で市場に提供している。

表紙写真は，進化し続ける磁気ディスク媒体と，今後 HDD の搭載が期待される各種 AV 応用製品とを組み合わせることで，輝く未来が期待されることをイメージとして表現した。

# 情報ストレージ技術への期待

**中村　慶久**（なかむら　よしひさ）
**東北大学電気通信研究所長**

云い古されたことだが，IT はソフトだけでは成り立たない。またハードも，高速の CPU や光ネットワークだけでは駄目である。良質なコンテンツを多数収納できる情報ストレージ技術がないと機能しない。HDD などの情報蓄積技術は，半導体デバイスによる情報処理，光ケーブルなどによる情報伝達と共に，IT 社会を支えるハード三本柱の一本である。

2010年までに放送はディジタル化され，光ネットワークが張り巡らされる。無線ネットワークも高速化されて，映像を中心とする多量のマルチメディア情報が有線，無線で行き交う。10 Mbps に圧縮した標準 TV 並みの高画質映像をストレージするには 1 時間分で 4.5 GB，ハイビジョン映像ではその数倍の記録容量が必要である。これらを数時間分，高速かつコンパクトに収納でき，高速にランダムアクセスできる不揮発性メモリは HDD 以外にない。

HDD に一時保存した情報を永久保存するには，D-VTR やテープストリーマの様な磁気テープ装置が最適である。光ディスクもあるが，熱書き込みのため高速書き込みが難しく，ROM 型以外は長期保存性にも疑問が持たれている。また，フラッシュメモリは容量も書き込み速度も現状では論外である。磁気テープの高画質記録や高速再生は実績があり，HDD と組み合わせれば苦手なランダムアクセス性も補えられ，保存スペースも光ディスクの十分の一以下である。「可動部があるから磁気記録はダメ」という人がいるが，機械的走査だからこそ，電子制御技術の進歩と相俟って LSI の配線よりも細かな精度で密に書き込める。磁性膜の潜在能力の高さから云っても，磁気による情報ストレージ技術が主役の座から降りることはない。

ところでいつの世も，豊富な知識と経験を持ち，それを生かした行動を機敏にとる人が尊敬される。国や自治体，各種法人もそうである。多数の情報を収集かつ発信し，期待通りの任務を機敏にとると一目置かれる。これからの IT 社会では，ネットワークでアクセスされたとき，期待通りの情報を提示できて当たり前，そうでないと軽蔑される。ネットワークがブロードバンド化されると，情報の中身や表現法，すなわちコンテンツが益々重要になる。

たとえば日本には，日本製の優れたビデオ機材を担いで世界中を取材した価値ある膨大な映像コンテンツがある。これらは我が国の貴重な文化財である。日本および世界中の文化や芸術を高精細なディジタル映像にして超大容量サーバに蓄積し，世界中に発信するようにすれば，世界の人々から高く評価される。課金制度を整備すれば，これから二次加工，三次加工されて新たなコンテンツが創られ，新たな価値と富を生む。

ノート PC に搭載されている 2.5 型 HDD は，大きさが葉書半分程で厚さ 6 mm の薄い箱である。この中に磁気ディスクや磁気ヘッド，これらを駆動し制御する機構系，書き込み読み出し情報を処理する LSI などの超精密部品がびっしりと詰め込まれている。これらが有機的に結び付き，数 100 Mbps の速度で数 10 GB の情報を保存する。中身によっては正に情報の宝箱である。数年後には，100 GB 以上の情報を 1 Gbps 程度で書き込め，25 Mbps に圧縮したハイビジョン映像なら10 時間近くも収録できるものが市場にでる。500 円玉大の磁気ディスクを用いるマイクロ HDD でも DVD の約 1.4 倍，10 Mbps に圧縮した映像を 90 分録画できるようになる。この十倍の超高密度化を目指す研究開発も始まっている。

HDD の高密度化が進み，カード状 HDD に 100 GB 近く記録できるようになると，PC の一部品であった HDD に MPU が組み込まれ，新たな端末機器として一人歩きしても不思議ではない。家庭や職場のコンピュータは勿論，車の ITS や病院の診療システム，各種ディジタル家電などとも高速無線 LAN で繋がり，日常生活に必要な情報だけでなく医用情報や道路情報，好みの音楽や映像なども取り入れられる。ユビキタス（Ubiquitous）パーソナルサーバである。これ無しでは日常生活が送れなくなる。

磁気ストレージ技術は，発明以来 100 年以上を経てもなお，益々社会を支える主要技術である。巨大ネットワークサーバの構築やユビキタスパーソナルサーバの実用化，かねてから期待されている映像用 HDD の普及などが本格化すれば，情報ストレージ分野の産業力が強まり，関連産業の振興をも促す。日本で開発した VTR が世界中で使われた様に，次世代 HDD とその新しい応用システムが日本から生まれ，世界に普及することを夢見て，本稿を閉じる。

# 磁気ディスク媒体の現状と展望

高橋　伸幸（たかはし　のぶゆき）　大月　章弘（おおつき　あきひろ）　小笠原 友信（おがさわら ともの ぶ）

## 1　まえがき

コンピュータが企業・オフィスのメインフレームからいわゆるパソコンとして個人ベースの業務・私的用途に使われだした1980年代初めに，その外部記憶装置としてのハードディスク装置（HDD）もまた，大きな技術的転換期を迎えた。富士電機は，その背景の中で新たなスパッタ法による連続薄膜型磁気ディスク媒体の製品化に成功し[(1)]，その後の急速な HDD の記録密度の技術進展に，タイムリーに新製品を投入することで，一貫して寄与してきた[(2)]。

近年では，年率 100 %の記録密度の進展を維持しており，これを通してビット単価は大幅に低減し，今や記録媒体として紙（ペーパー）をも下回り，その処理機能の高さと相まって，パソコン以外にも多くの応用が期待されている。

本稿では，今後の市場拡大を支える HDD の技術動向を述べ，これに対応した富士電機の磁気ディスク媒体の技術について現状の到達点と今後の展望を概括する。

## 2　市場・技術動向

HDD は，その特徴である大容量・高速アクセス性に加えて，大幅な単位容量価格の低下により，従来のパソコン市場のほか，コンシューマーエレクトロニクスや IT（Information Technology）関連の新たな市場でも，他のメモリ方式を抑えて最も期待されている記録方式の一つになっている。

これを支えてきたのがたゆまぬ記録密度の進展であり，**図１**に示すように，常に製品化に先行して，世界各研究機関で１～２年先の高い記録密度の検証がなされてきた。2001年には，富士電機で開発した 30 G ビット/in$^2$ 磁気ディスク媒体（40 G バイト/枚，95 mm サイズ）を搭載した HDD がいち早く製品化されるとともに，研究開発では富士通(株)と Seagate Technology が 100 G ビット/in$^2$ の実証に成功した。2002年は，各社が 60 G ビット/in$^2$ クラスの製品化に向けて開発を推進中である。

さて，この高度な HDD 技術開発を実現するためのキーテクノロジーは，磁気ヘッドと磁気ディスク媒体である。この中でも富士電機の製品である磁気ディスク媒体に目を向ければその技術課題は，

○磁気特性として，熱安定性と低媒体ノイズ化

○HDI（ヘッドディスク界面）特性として，磁気ヘッドの低浮上安定性と高信頼性（高耐久・高耐環境）

で整理され，**図２**に模式的に示すように，媒体の多くの因子と複雑に関連することになる。

3章で，その技術の進展を各要素技術に分けて概括する。

**図１　記録密度の年次トレンド**

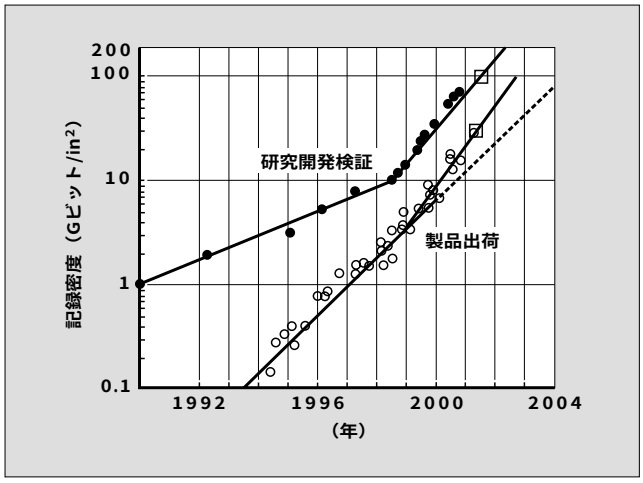
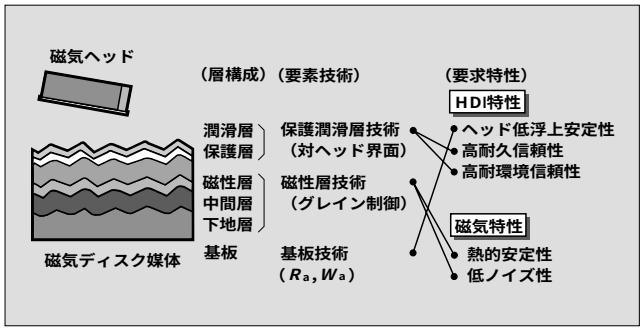



**図２　磁気ディスク媒体の要素技術と要求特性の関連**



**高橋　伸幸**

磁気記録媒体の研究開発に従事。現在，富士電機ストレージデバイス(株)開発・製造統括部第一開発部長。IEEE 会員。

**大月　章弘**

磁気記録媒体の研究開発に従事。現在，富士電機ストレージデバイス(株)取締役開発・製造統括部第二開発部長。日本応用磁気学会会員。

**小笠原 友信**

磁気記録媒体の開発に従事。現在，富士電機ストレージデバイス(株)取締役開発・製造統括部長。

## 3　富士電機製磁気ディスク媒体の現状

### 3.1　基板技術

現在使用されているアルミニウム（アルミ）基板の性能は，記録密度の進展を支える基本的な技術の一つである磁気ヘッドの低浮上化に直接的にかかわり，かつ微小記録ビットの物理的欠陥を抑制するうえでの重要な要素である。

磁気ヘッドの低浮上化を決める物理的定数として，微小うねり（$W_a$）と表面粗さ（$R_a$）がある。改善のためのポイントは，$W_a$ に関しては，ポリッシュ基板におけるグラインド加工技術と耐熱（変形）性の NiP めっき膜形成自体とその後の高精度のポリッシング技術である。また，そのさらに後工程のテクスチャプロセスは，$R_a$ に影響を与える重要な因子となる。

これら各条件のプロセスを最適化することで，現在は，**図3**に示すような表面特性（$R_a$ = 0.25 nm，$W_a$ = 0.15 nm）を可能にし，結果として**図4**に示すような，現在開発中の60 G ビット/in$^2$ で要求される低浮上特性をほぼ満足しうるグライドアバランシ特性を確認できた。

また，記録ビットの欠落を引き起こさないための表面欠陥の許容レベルはますます微細化し，この欠陥抑制は，実際の媒体製造工程での歩留り確保とともに，HDD に組み込んだ際のより高い信頼性確保のためにも重要である。富士電機は2001年に 30 G ビット/in$^2$ の媒体量産化の際に，その改善のポイントに改めて焦点をあて，現在下記技術アイテムの高度化を推進中である。

○ポリッシュ基板工程におけるマイクロピットとポリッシュスクラッチの低減

○テクスチャ工程におけるスクラッチと洗浄マイクロコンタミネーションの低減

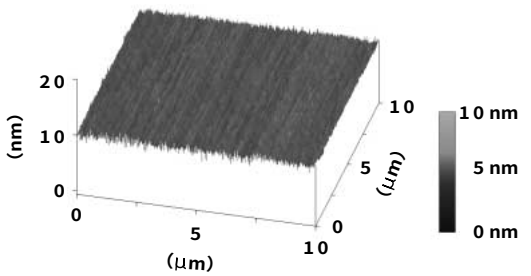
### 3.2　磁性膜技術

高記録密度を実現するうえで，安定した記録ビットをどこまで微細化できるかが第一義的に重要であり，記録用磁性膜はスパッタによる連続薄膜系が採用されて以来，幾つもの変遷を経てきた。またそれは従来から，信号の記録・再生を行う磁気ヘッドの組合せ最適化の中で進み，今後も磁気ヘッドの開発に合わせた磁性膜設計はますます重要となる。

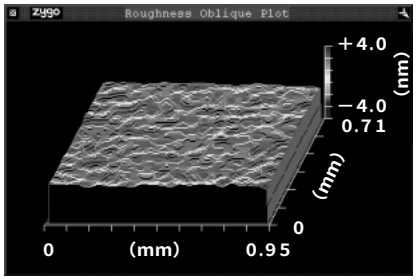
磁性膜技術の詳細は，本特集号の別稿（長手磁気記録用磁性層技術）で詳細に展開されている。ここでは，ポイントの指摘にとどめ，今後の大きな流れとしてのロードマップを紹介する。

長手記録用磁性膜の開発のポイントは，いかに媒体ノイズを低減するかが重要であり，これを基軸に熱的安定性（サーマルディケイ）をどう確保するか，というバランス（あるいはトレードオフ）を実現することである。さらにこれに磁気ヘッドのライタビリティの制約が絡んで媒体磁気特性の（特に，ダイナミックレンジでの）保磁力に歯止めをかけることになる。具体的には，低ノイズを実現するために磁性記録層の結晶グレインの磁気的分離と微細化の達成，および 30 G ビット/in$^2$ の実現でその重要性が認知され，今後の改善が要求されている熱的安定性確保のための手段を併用することである。従来磁気ヘッドの GMR（Giant Magnetoresistive）素子で開発され媒体への転用が期待されている AFC（Anti-Ferromagnetic Coupling）構造[(3)]に注目が集まる由縁である。**図5**に示すロードマップの

**図3　磁気ディスク媒体の表面特性**




(a) AFM による表面粗さ（$R_a$ = 0.25 nm）




(b) Zygo による表面微小うねり（$W_a$ = 0.15 nm）

**図4　グライドアバランシ特性の改善**

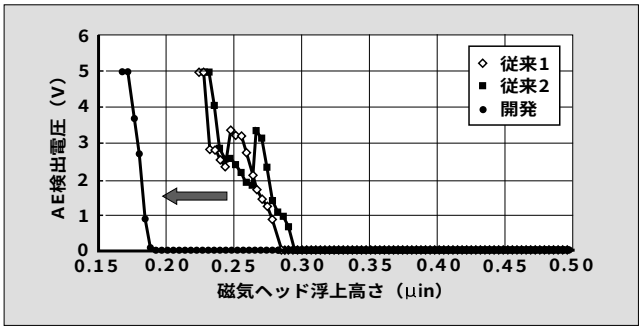



**図5　磁性膜開発のロードマップ**

| 記録密度 | 30 Gビット/in$^2$ → 60 Gビット/in$^2$ → 120 Gビット/in$^2$ → 240 Gビット/in$^2$ | | | |
|---|---|---|---|---|
| 記録層タイプ | <長手記録><br>コンベンショナル構造<br>AFC（反強磁性結合）構造<br><垂直記録><br>CoCr系<br>多層積層膜系，複合膜系 | | | |
| グレンサイズ | 8〜9 nm | → 7〜9 nm | → 5〜6 nm | → 4.5〜5 nm |
| 保磁力 | 295 kA/m | → 334 kA/m | → 478 kA/m | → 637 kA/m |
| 磁性層 | CCPB系 | → CCPB/AFC | → CCPB/軟磁性 | → (Co/M)$n$/軟磁性 |

**図６　保護潤滑膜開発のロードマップ**

| 記録密度 | 30 Gビット/in$^2$ → 60 Gビット/in$^2$ → 120 Gビット/in$^2$ → 240 Gビット/in$^2$ | | | |
|---|---|---|---|---|
| グライド アバランシ | 6 nm | → 5 nm | → 4.5 nm | → <4 nm（ニアコンタクト） |
| 保　護　膜 | <CVD>表面化学修飾<br>5 nm | → 2.5～3 nm | → 2 nm | → <2 nm（FCA） |
| 潤　滑　膜 | <PFPE><br>分子量分布改善 | → 添加剤複合系<br>→ 分子量設計制御 | | → 新塗布方式<br>→ 分子構造制御 |

ように，60 G ビット/in$^2$ においてコンベンショナル構造と並行開発しながら，100 G ビット/in$^2$ での垂直記録とのオーバラップを見極めつつ調査を進めている。

### 3.3　保護潤滑膜技術

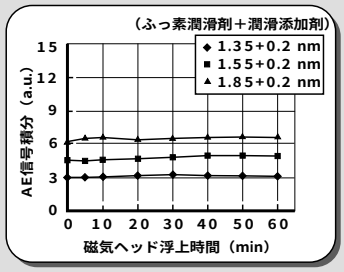
磁気記録における理想は媒体記録層と磁気ヘッド素子の間隔をミニマムに抑えることであり，先の基板技術で述べた，より平滑な媒体表面が重要であるとともに，媒体の保護潤滑膜をいかに薄層化するかがもう一方で重要である。しかしながら，磁気ヘッドの極低浮上時に生じる磁気ヘッドー磁気ディスク間の相互作用に抗して安定浮上を確保し，従来からの磁気ヘッドが磁気ディスクに接触するときに生じる耐久性の確保と，薄層化故にクローズアップする，磁性層の耐食性の確保を同時に成立させなければならないという，今後一層困難になる課題を抱えている。

これら一連の技術は，やはり本特集号の別稿〔HDI（ヘッドディスク界面）技術の進展〕で詳細に展開されている。ここでは，**図６**に示すロードマップの紹介にとどめたい。

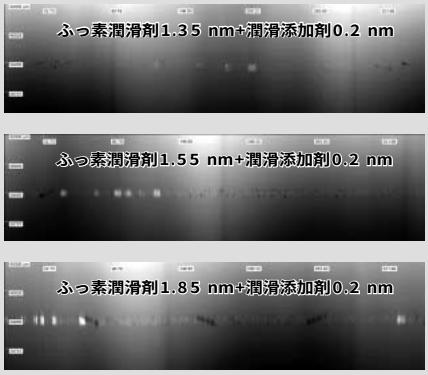
保護膜技術に関しては，30 G ビット/in$^2$ で確立した CVD（Chemical Vapor Deposition）方式による 5 nm 厚の確立以降，さらに薄層化を進めており，その中で，一層の均一性の確保と膜高硬度化により半減させた 2.5 nm クラスまでの耐久・耐食性に見通しを得つつある。また，将来の極薄層化への可能性として新たな成膜手法である FCA 膜の可能性も探っている。

潤滑膜は，HDD デザインの特徴により個々に最適化を進めている。磁気ヘッド浮上の安定化のための基本コンセプトは，富士電機独自の処理を施して表面抵抗を制御した保護膜上にいかに薄い潤滑膜を形成しうるかということになる。従来の CSS（Contact Start Stop）方式からランプロード方式にすることで薄層潤滑膜の設計は有利になる。またサーバ応用の高速回転 HDD においては，耐久性確保で重要な潤滑剤の自己修復力に加えて，スピンオフによる潤滑剤散逸を結合潤滑剤の設計でバランスさせなければならない。一方で磁気ヘッドの低浮上化は，浮上中の磁気ヘッド自体の自己振動（不安定性）が増大するという現象をも生じさせる。これは，実用上の極端環境下で突発的な障害のリスクを増大させるという意味で今後の重要な信頼性特性と理解できる。富士電機の調査から，これらは媒体上の諸特性との関連が判明しており，表面の微小うねりや潤滑剤の厚さへの考慮が重要になる。一例を**図７**に示す。

**図７　AE センサによる磁気ヘッド浮上安定性評価**




（a）磁気ヘッド浮上時の安定性の潤滑膜厚依存性




（b）OSA による潤滑膜変動観察

AE（Acoustic Emission）センサで定量した磁気ヘッドの浮上安定性は，表面の潤滑剤の厚さとともに阻害され，しかも潤滑膜自体のモーグル化（凹凸化）現象を引き起こしており，この抑制は，今後の潤滑膜開発へのガイドラインともなる。

その中で，富士電機では，独自の潤滑剤精製技術〔SFE（Supercritical Fluid Extraction）手法〕を開発し，これを通して，個々の HDD プログラムに合わせたきめ細かな分子量設計に対応している。さらに，これらを踏まえて，基礎検討の段階ながらも将来のニアコンタクトやコンタクト方式に向けての調査も併せて推進中である。

## 4　将来技術への展開

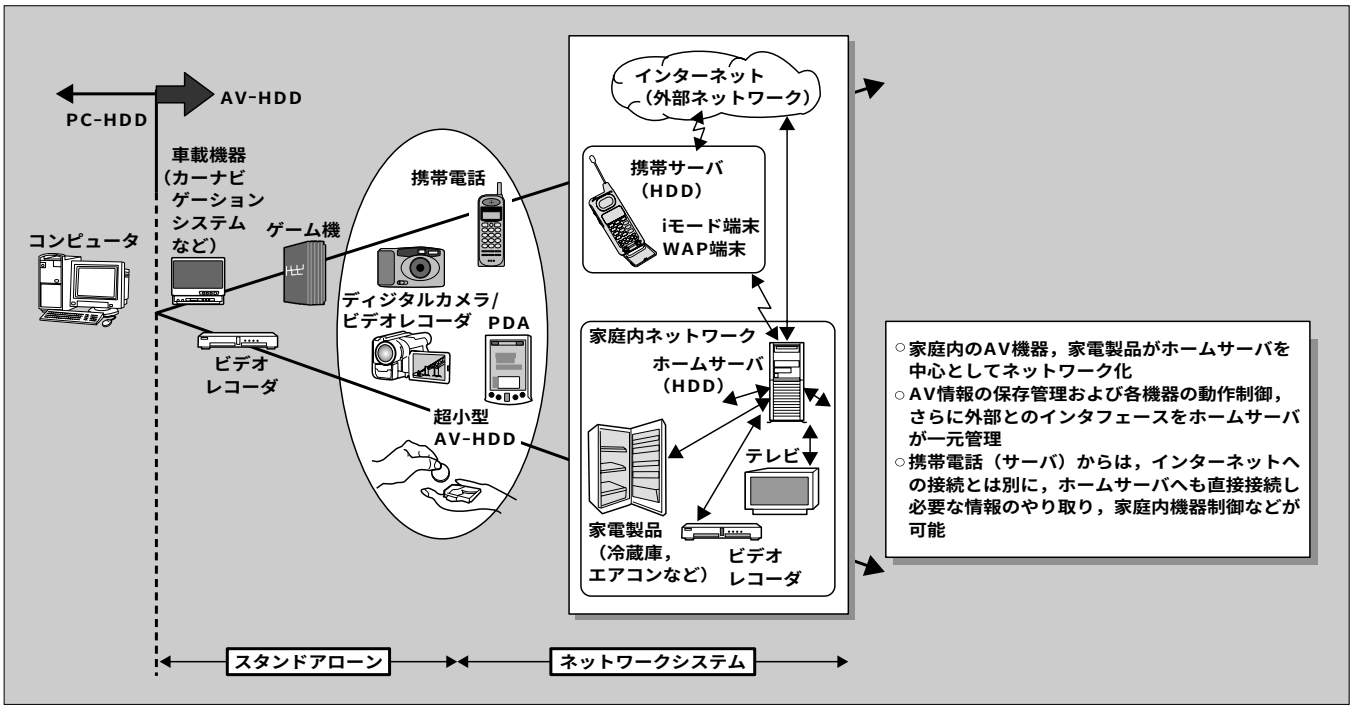
前章では，富士電機製磁気ディスク媒体の技術の現状と課題を展望した。しかしながら最初にも述べたように，記録密度の進展は，あらゆる観点からのコスト低減の技術開発行為とも相まって，HDD に新たな市場形成を実現させつつある。

その流れの中で，富士電機が独自のオリジナリティを持って未開のテーマに取り組み，個々に一定の成果を示しつつある技術の一端を紹介する。詳細は，やはり本特集号の別稿（「ガラス磁気ディスク媒体の開発」「垂直磁気記録用磁性層技術」「磁気転写技術」）に譲るが，ここでは今後に広がる可能性に焦点をあて概要を述べる。

### 4.1　ガラス基板媒体

その材料の特徴である，耐衝撃性と耐 TMR（Track

**図８　AV-HDD の用途展開**




Miss Registration）特性の優位で，ポータブル市場やサーバ市場にてガラス基板の実用化がなされている。しかしながら，従来の等方的表面の特性上，形成される磁性膜は等方性磁性を持ち，アルミ基板媒体で実現している配向性磁性膜と比較したとき，電磁変換特性に優位を保てず今後のガラス基板媒体においても配向性磁性の志向が強まっている。NiP をガラス基板に形成後，アルミ基板同様のテクスチャ加工を施して配向性磁性を確保する手法も存在するが，ガラス本来の特徴を阻害し，しかもコストアップの要因となる。富士電機は，ガラスに直接アルミ基板同様のテクスチャラインを安定に加工するプロセスと，その上に真空中での独自のシード層形成プロセスの最適組合せを開発することで，アルミ媒体に遜色（そんしょく）のない磁気ヘッド浮上特性と電磁変換特性の実現を達成した。

今後は，パソコン市場を超えて，ガラスの耐衝撃性を生かしながら一層の小径化の方向性の中に，モバイル系の各種 HDD アプリケーションへの適用が期待できる。

### 4.2　垂直記録媒体

垂直記録用磁性膜は，前述長手記録の，より高密度になったときのバランス（媒体低ノイズ化，熱安定性，磁気ヘッドのライタビリティ）の破たんが予測されることから，近年，実用化研究に一層の拍車がかかっている。将来的には，100 G ビット/in$^2$ を超えたところからの実現性が注目されるが，生産性はもとより，現在並行開発が進められている各種媒体構成のどれが本命になるか，今後の技術ブレークスルーにかかっている部分がある。富士電機においても，垂直磁性膜のあらゆる可能性を（適用分野も含めて）検討しており，先のロードマップに示すように 100 G ビット/in$^2$ での検証を第一目標に，長手記録用の開発と競いながら，両記録方式において，並行開発を進めている。

ここでもパソコンにおけるディジタル情報からコンシューマーユースの AV（Audio-Visual）情報へと用途が広がるとき，より大容量メモリが必要となり，特に垂直記録への動機づけは高く，適用への期待は大きい。

### 4.3　転写サーボ媒体

磁気ディスク媒体は，HDD に組み立てられた後，適性な記録・再生特性実現のために，あらかじめ磁気ヘッドを制御するサーボ情報を媒体上に書き込まねばならない。しかしながら，記録密度の進展に従ってこのサーボの書込みはサーボライタ装置の高度な更新と，より長時間のプロセスを要し，コストアップの要因となる。今回富士電機は，HDD メーカーのご協力も得て，コンタクト方式によるプリサーボ情報の書込みプロセスを確立し，実際に 15 G ビット/in$^2$ と 30 G ビット/in$^2$ の媒体のプリサーボ組込み媒体の量産を世界で最初に実現した。今後の高記録媒体にも十分適用できる技術であり，かつ垂直記録媒体においてもそのサーボ転写方式の有効性が検証できている。さらに，AV 応用を想定したとき，本技術は従来パソコン用 HDD ではあまり考慮されなかったセキュリティの情報をディスク媒体自体に確保させたい場合に，一つの可能性のある手法として新たな発展性をも示唆している。

本章で述べた新技術は，**図８**に示すように今後に広がる新たな AV 応用を具体的に展開する際の重要な因子（低価格，大容量，セキュリティ）の具体的な解決策として提

案できるものである。

## 5　あとがき

以上，富士電機の技術開発の成果を概括しながら，磁気ディスク媒体の現状を見てきた。詳細は，本特集号の別稿を参照していただきたい。近年の年率 100 %の記録密度を確保する技術開発は，年を追うごとに困難性を増してきている。それでも，2002年に 60 G ビット/in$^2$ を立ち上げる見通しは各方面の努力で確実性を一層増してきている。

30 G ビット/in$^2$ の開発・量産がそうであったように，ここにおいても富士電機の業界における確かな足跡を残すべく，社内外の一層の開発協力を進めていき，HDD の発展に寄与していく所存である。その中で，市場自体の広がりにも結びつくことを期待したい。

### 参考文献


(1)　加藤忠臣ほか．スパッタ法 Co 合金系磁気ディスク媒体．富士時報．vol.59，no.11，1986，p.741–745.

(2)　磁気記録媒体特集．富士時報．vol.65，no.9，1992，p.599–635.

(3)　磁気ディスク媒体特集．富士時報．vol.72，no.11，1999，p.578–608.

(4)　Abarra, E. et al. Longitudinal magnetic recording media with thermal stabilization layers. Appl. Phys. Lett. vol.77，2000，p.2581.

(5)　Fullerton, E. et al. Antiferromagnetically coupled magnetic media layers for thermally stable high-density recording. Appl. Phys. Lett. vol.77，2000，p.3806.


### 解　説　磁気ディスク媒体の記録密度

磁気ディスク媒体に用いられる記録容量の表現方法には，G ビット/in$^2$ と G バイト/枚がある。これらの言葉の意味は，次のとおりである。

○G ビット/in$^2$ ：単位面積あたりの記録容量を表す。単位としては１平方インチの面積に記録できるビット数（ビット/in$^2$）が使われる。

○G バイト/枚 ： 媒体１枚あたりの記録容量を表す。単位としては媒体１枚に記録できるバイト数（バイト/枚）が使われる。

なお，１バイトは８ビットで G（ギガ）は10 億を表す。

記録密度は，図のように媒体の周方向に記録する密度（線記録密度）と半径方向に記録する密度（トラック密度）に分けて考えることができる。

○トラック密度：単位長さ（インチ）あたりのトラック本数

○線記録密度：記録トラック上の単位長さ（インチ）あたりに記録できるビット数

線記録密度とトラック密度を掛け合わせた数値が面記録密度になる。

現在製品化されている媒体の記録密度は，30 G ビット/in$^2$ であるので，3.5 インチディスクでそのまま単純に計算すると 60 G バイト/枚程度の記録容量になるが，実際にはサーボ信号やトラック間のスペースがあり，40 G バイト/枚程度が利用可能な容量になる。

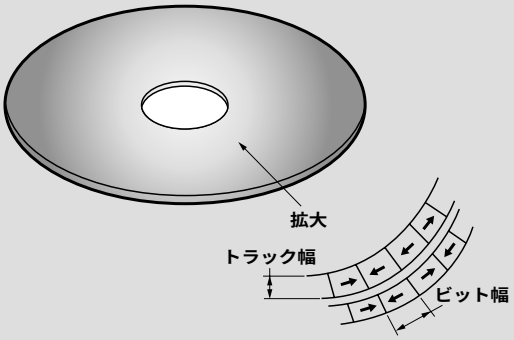
100 G バイト容量のハードディスクではおおよそ以下の量のデータが記録可能となる。

(1)　現行テレビ放送なみの画質の場合：約 40 時間
　◇映画約 20 本
　◇ NHK 大河ドラマ１年分

(2)　MP3 で圧縮して約 25,000 曲
　（CD アルバム約 1,300 枚）

(3)　新聞：約 600 年分

(4)　単行本：約 10 万冊



# 長手磁気記録用磁性層技術

柏倉　良晴（かしわくら　よしはる）　松尾　壮太（まつお　そうた）　安宍　善史（あじし　よしふみ）

## 1　まえがき

現在，富士電機で生産している主要な磁気記録媒体は，記録ビットの磁化の向きが基板面内円周方向を向いている長手記録方式の磁気記録媒体である。富士電機では2000年夏に面記録密度 15 G ビット/in$^2$ の長手磁気記録媒体を市場にリリースした。その10か月後の2001年 6 月には，世界に先駆けて面記録密度 30 G ビット/in$^2$ に対応する磁気記録媒体の生産を開始した。10か月の間に記録密度は倍になり，記録ビットの長さ（ビット長）はおよそ 65 nm から 45 nm と約 30 %縮小された。研究レベルでは 100 G ビット/in$^2$ を超えるものが発表されており，2003年中にも実用化が予想されている。

加速度的に微小化されていく記録ビットを安定して形成するために，富士電機では各製造工程においてさまざまな技術開発を行っている。本稿ではそのうち，磁性記録層成膜工程にかかわる磁性成膜技術について紹介するとともに，現在に至る磁気記録媒体の技術動向の話題を中心に，将来の超 100 G ビット/in$^2$ に向けた次世代技術を併せて述べる。

## 2　磁気記録媒体の構成

磁気記録媒体の構成は，対象とする記録密度，使用目的に応じて変遷している。その目的は，次の技術課題を解決するためである。

(1)　Co 結晶粒径を微細にする。
(2)　Co 結晶粒の磁気的孤立を促進する。
(3)　結晶配向性を向上させる。
(4)　熱的安定性を確保する。

以下にこれらを解決するための磁性成膜技術を説明する。

### 2.1　磁気記録媒体の基本構成

**図１**に磁気記録媒体の基本層構成を示す。磁気記録媒体は，非磁性の円盤状基板の上に，磁気記録信号が書き込まれる磁性記録層と，磁気ヘッドとのしゅう動から磁性記録層を保護する保護層とが成膜された積層構造になっている。これに磁性記録層の結晶方位を制御して磁気的な配向を基板面内方向に向かせるための下地層や，結晶欠陥を低減するための中間層などを適宜組み合わせることで，より高い記録密度に対応できるように工夫されている。保護層の表面にはさらに潤滑剤が塗布され，磁気ヘッドとのしゅう動特性を高めている。これらの薄膜は，それぞれ数～十数 nm の膜厚に成膜される。成膜方法には，極薄膜で高機能，高品質の薄膜が得られるスパッタ法，CVD（Chemical Vapor Deposition）法が採用される。

磁性記録層は強磁性体である Co を主とし，これに Cr が添加された合金磁性薄膜である。磁性薄膜の微細構造は，**図２**に示すような微小 Co 結晶粒子の集合体である。一つ一つの Co 結晶粒子は，Co を主体とする粒中央部分と，周囲に Cr が偏析した結晶粒界とからなる偏析構造になっている。偏析構造をとることにより，隣り合う Co 結晶粒子同士は互いに磁気的な影響を受けないようになる（すなわち，磁気的に孤立している）。安定した記録ビットを形成するためには，Co 粒子間の磁気的な孤立性を高めることが必要である。また微細な記録ビットを形成するためには，これを形成する Co 磁性粒子の微細化と粒径の均一化が必要である。30 G ビット/in$^2$ レベルの磁気記録媒体では１ビット長あたりの結晶粒子数は 5，6 個である。一つ一つの結晶粒子の微細構造を制御しなければ，全体として記録密度を向上させることはできない。微細結晶構造制御技術は，今後ますます重要になっていく。

**図１　磁気記録媒体の基本層構成**

**柏倉　良晴**

磁気記録媒体の次世代磁性記録層成膜技術開発に従事。現在，富士電機ストレージデバイス(株)第一開発部担当課長。

**松尾　壮太**

磁気記録媒体の設計，磁性層の開発に従事。現在，富士電機ストレージデバイス(株)第一開発部課長。

**安宍　善史**

磁気記録媒体の次世代磁性記録層成膜技術開発に従事。現在，富士電機ストレージデバイス(株)第一開発部。博士（工学）。日本応用磁気学会会員。

### 2.2　磁気記録層組成

磁性記録層の組成は，一般には Co-Cr に目的に応じて Ta，Pt，B などが添加された多元系合金が使用されている。例えば Co-Cr に Ta が添加された合金では，Co 合金中の Cr がより積極的に粒界偏析を行い，磁気的孤立化が高められる。結晶粒径を微細化するためにも，元素の添加は有効である。一例として，磁性記録層に B を添加したときの B 添加量と Co 結晶粒径の関係を**図 3** に示す。B 添加量の増加に伴い，Co 結晶粒径が微細化されていることが分かる。かつては設計の容易さと技術的障壁がそれほど高くないことから三元系合金が主流であったが，より高い機能が求められる最近の磁性記録層では，さらに多元系化された四元系，五元系合金が使用されている。多元化を行う際には，組成バランスを考慮することが重要である。例えば，互いに反応し金属間化合物を形成する二つの元素を同時に多量に添加すると，元素添加の効果が得られない。また過剰に元素を添加して Co が希釈されると，「熱ゆらぎ」問題が顕在化する。熱ゆらぎとは，一度書き込まれた磁気記録信号が周囲の熱の影響で減衰し消失してしまう現象である。その対策には，Co の含有量をある程度以上に維持して飽和磁化 $M_s$ を高める，Pt 添加量を増やして磁気異方性を高めるなどの手法が採られる。磁性記録層の組成設計は今後ますます複雑かつ重要になっていく。

**図 2　磁性記録層の平面 TEM 像**

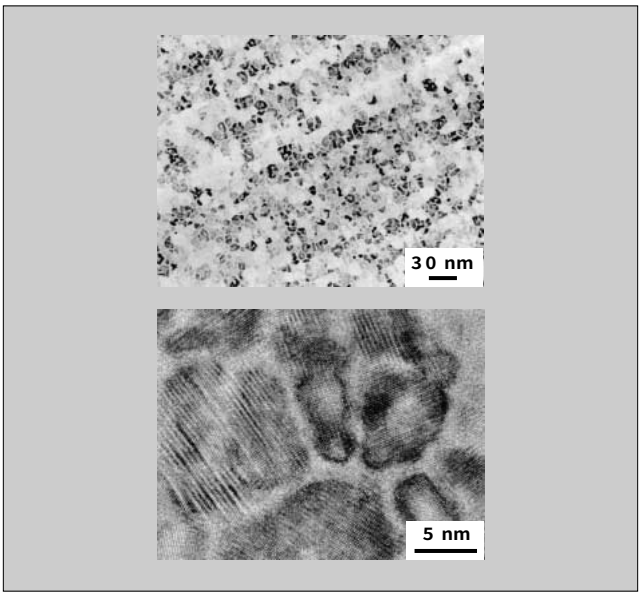
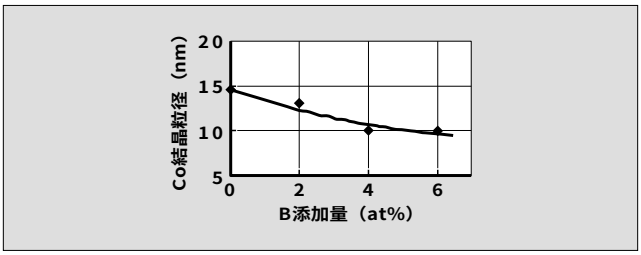



**図 3　B 添加量と Co 結晶粒径の関係**




### 2.3　磁気記録媒体層構成

**図 4** に磁気記録媒体層構成の変遷の一例を示す。磁性記録層組成が多元化されているのに類似して，高記録密度化に伴い，層構造はより多層化されてきている。その目的は，複数の機能を並立することにある。

磁性記録層の積層化について，一例を挙げる。磁気的孤立性は弱いが微細な結晶構造を持ち熱安定性に優れた磁性記録層と，熱安定性に劣るが磁気的孤立化を高めた磁性記録層を所定の順番で積層する。すると，磁気的孤立化，微細結晶粒径，熱安定性を併せ持つ磁気記録層が得られる。

**図 5** に磁性記録層を適宜積層化したときの磁気特性を示す。積層化された磁性記録層媒体は，両磁性記録層の平均値以上の保磁力を示す。この例のように積層する磁性記録層の組成と積層する順番を適宜選択することにより，より優れた特性のみを選択的に併せ持つ磁性記録層を得ることが可能になる。

結晶配向性を制御して記録密度を向上させるため，下地層に対しても多層化が利用されている。**2.1** 節で説明したように，Cr 下地層は磁性記録層の磁気的な配向を基板面内に制御する役割を持っている。これは Cr 下地層の（200）面上に Co 記録層の（110）面がエピタキシアル成長することによって Co 記録層の c 軸が基板面内に配向することに起因している（**図 6**）。下地層が十分に機能を発揮するためには，

(1)　下地層自身の（200）結晶配向性が高いこと。

(2)　磁性記録層との結晶格子間隔整合性が高いこと。

が要求される。Cr 系下地層の場合，純 Cr の結晶配向性が高いことが知られている。しかし，純 Cr の結晶格子間隔

**図 4　磁気記録媒体層構成の変遷**

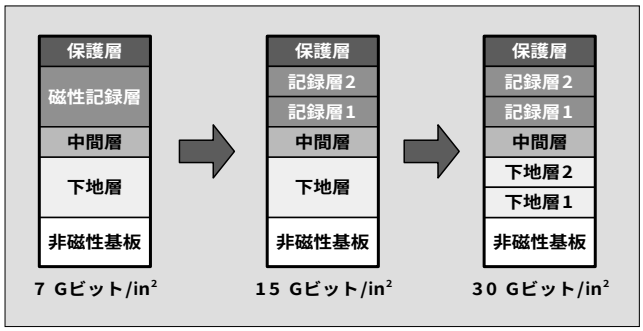
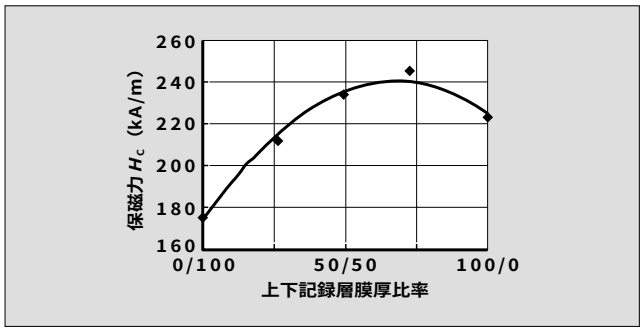



**図 5　記録層の二層化による磁気特性変化**



は現在主流の多元化された磁性記録層には狭すぎるため，磁性記録層とのエピタキシアル成長性が著しく悪い。これに対して，Cr に Cr よりも金属結合半径が大きい Mo，W[(1)]，Ti などを添加した Cr 合金では，結晶格子間隔が広がり，エピタキシアル成長性が良好になる。そこで純 Cr の結晶配向性と Cr 合金の格子整合性を両立させるため，両下地層の積層構造が採用されている。純 Cr と Cr 合金を適宜積層成膜することにより，配向性とエピタキシアル成長性の両立が可能となる。

### 2.4　次世代媒体構成

現行の 30 G ビット/in$^2$ を超え，100 G ビット/in$^2$ 以上を実現するためには，熱ゆらぎ問題の解決が必要不可欠である。これは媒体磁性成膜技術最大の課題である。

熱ゆらぎに対する強さ（熱安定性）を示す指標として，$K_u \times V_{act}/(k_B \times T)$ が用いられる。ここで，$K_u$ は一軸異方性定数，$V_{act}$ は活性化体積と呼ばれ近似的には Co 磁性粒子の体積，$k_B$ はボルツマン定数，$T$ は温度である。高記録密度化には Co 磁性粒子の粒径微細化が必要であり，そのため $V_{act}$ はより小さな値が望ましい。しかし，$V_{act}$ が低下すると，熱安定性が劣化してしまう。また，記録ビットの微小化自体も熱ゆらぎを助長する方向であり，高記録密度化を進めると熱安定性が劣化することになる。

結晶粒径と記録ビットを微細化しながら $V_{act}$ を維持するためには，磁性記録層膜厚を厚くする方法が考えられる。しかし，磁性記録層は媒体ノイズ源でもあり，また厚い磁性記録層では磁気ヘッドからの記録信号の書込みが不完全になる。よって R/W（Read/Write）特性を考えると磁性記録層膜厚はより薄いことが好ましい。

R/W 特性を維持しながら熱ゆらぎを対策し次世代の高記録密度化に対応する新技術として，反強磁性結合（AFC：Anti-Ferromagnetic Coupling）を利用した磁気記録媒体が有望視されている。富士電機においてもこれを「AFC 媒体」と呼称し，60 G ビット/in$^2$ 以降の磁気記録媒体として研究開発を行っている。

**図 7** に AFC 媒体の層構成を示す。AFC 媒体の特徴は，安定化層と呼ばれる磁性薄膜層と 1 nm 以下のごく薄いスペーシング層が設けられている点である。このような層構造を持つ AFC 媒体の磁化の様子を**図 8** に示す。外部磁場が印加され磁気的に飽和した状態では，磁性記録層，安定化層ともに外部磁場と同じ方向に磁化されている。この状態から外部磁場を減少させていくと，AFC 媒体では，外部磁場 $H_{ex}$ が 0 になる手前で反強磁性結合状態が生じる。このとき磁気記録層の磁化は外部磁場と同じ方向を向いているが，安定化層の磁化はそれと反対の方向を向く。そのため $B$–$H$ ループ上に段差が生じる。磁気記録信号が書き込まれた状態に相当する $H_{ex} = 0$ のときも，反強磁性結合状態が維持されている。AFC 媒体では，R/W に寄与する磁性記録層膜厚は，磁性記録層膜厚全体から安定化層によって磁化がキャンセルされた膜厚を差し引いたものに等しい。一方，熱安定性は磁性記録層膜厚全体として確保される。このことから AFC 媒体は熱安定性の向上と R/W 特性の確保を両立することが可能となる。

AFC 媒体は，熱ゆらぎを改善するための重要な技術である。その一方で AFC 媒体の効果を十分に発揮させるためには，書込み能力に優れた磁気ヘッドとの組合せが必要

**図 6　エピタキシアル成長膜式図と XRD パターン**

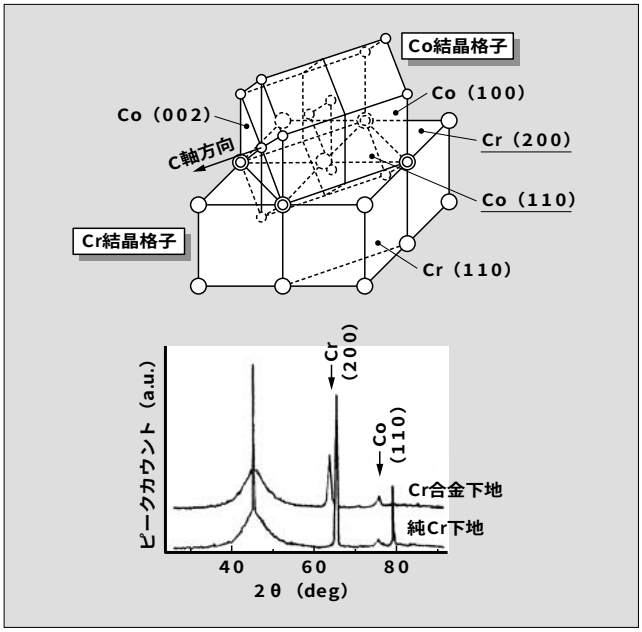



**図 7　AFC 媒体の層構成例**

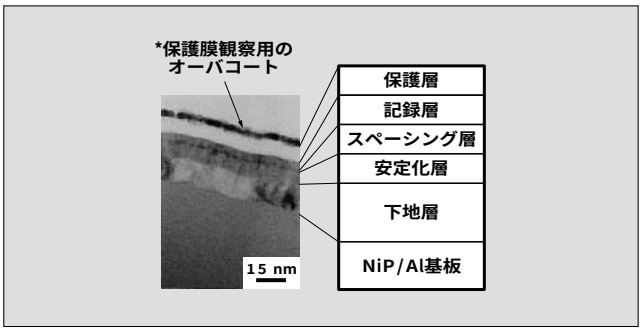
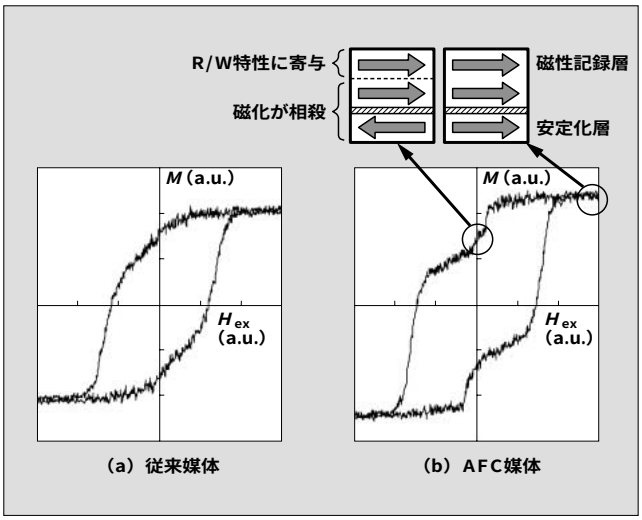



**図 8　AFC 媒体の $M$–$H$ ループ**



であり，今後の AFC 媒体開発課題の一つである。

## 3　成膜プロセス技術

媒体層構成設計とともに，成膜プロセス技術の高度化もまた，高記録密度媒体製造において重要である。

微細結晶構造中の欠陥を極力減少させるため，真空技術の高度化が重要である。真空排気系の強化により高い真空度を獲得するとともに，真空の質を上げるために水分を除去するためのコールドトラップやゲッタポンプが真空装置内適所に配置されている。また成膜される材料やプロセスに応じて，真空ポンプ種が適宜選択されている。

スパッタ成膜，CVD 成膜ともにプラズマ制御技術が必要不可欠である。プラズマ制御用マグネットの形状，漏れ磁束強度などを最適化することにより，プラズマの密度・分布を制御し，磁気記録媒体面内の特性品質均一化が図られている。また，基板を保持するホルダには，基板周囲のプラズマ分布がより均一化されるような形状が適用されている。

そのほか成膜ガス圧，成膜時基板温度，基板へのバイアス印加などさまざまな成膜プロセス技術を駆使することにより，微細構造を制御し，優れた特性を有する磁気記録媒体の生産が可能となる。

## 4　基板表面加工技術

磁気記録媒体の基板表面の性質は，磁気記録媒体の特性に大きな影響を与える。

現在主流の長手記録方式媒体用基板は，Al 母材に NiP めっきが施されたものである。その表面には，テクスチャと呼ばれる基板円周方向の微小凹凸が形成されている。テクスチャを形成する主な目的は，次の二つである。

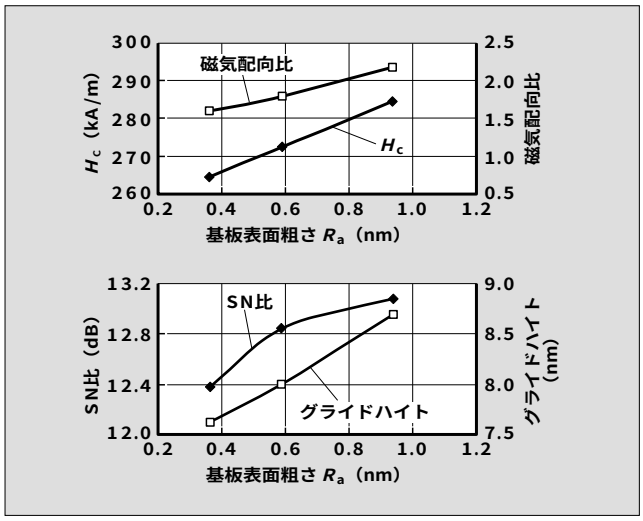
(1)　磁気記録媒体と磁気ヘッドの吸着を抑制する。

(2)　基板円周方向に磁化の方向を配向させる。

このうち後者の機能は，磁性層技術に大きくかかわるものである。

長手記録方式の磁気記録媒体では，磁化の方位（磁化がそろいやすい方向）が基板円周方向に配向していることが好ましい。テクスチャの存在は薄膜結晶中にテクスチャにそった膜応力を発生させるため，磁化の方位が基板円周方向に配向する。配向の度合いは，テクスチャの形状に大きく左右される。その一例として，基板表面の平均粗さ（$R_a$）と各種媒体特性の関係を**図９**に示す。すべて同一の成膜条件で同一の層構成を成膜しているにもかかわらず，$R_a$ が変わることによって各種特性値が変動している。$R_a$ が大きくなるほど，保磁力が大きく，磁気配向比 OR（基板円周方向と半径方向の磁化の比率）が高く，SN 比特性（出力信号とノイズの比）に優れることから，磁性技術の立場から見れば $R_a$ はより大きいことが好ましい。しかし，磁気記録媒体表面と磁気ヘッドとの空げきを表す指標であるグライドハイトは $R_a$ が大きくなるに従ってより大きな値となっている。記録密度向上のためにはグライドハイトをより小さな値にする必要があるため，$R_a$ はより小さな値が望まれることになる。

**図９　基板表面粗さによる諸特性変化**




このように表面品質技術は，磁性技術と密接に関係している。将来の高記録密度化に対応するため，富士電機では基板表面加工技術の高度化，基板表面洗浄技術の高度化に取り組んでいる。

## 5　あとがき

以上，長手記録方式の磁気記録媒体について，磁性層成膜技術の開発状況を紹介した。長手記録方式は，その技術的な限界が議論されている。一方，次世代記録方式として期待されている垂直記録方式はまだ開発途上にあり，市場投入には今しばらく時間を要する。AV（Audio-Visual）用途などストレージ技術利用分野が拡大する中，ハードディスク装置（HDD）業界発展のためには長手記録媒体の技術開発は，むしろ重要度を増しているといえる。富士電機においても，長手記録媒体の技術改善に貢献すべく，努力を継続していく所存である。

### 参考文献

(1)　久保木孔之ほか．CrW 下地構造の CoCrTaPt 膜成長へ与える影響．日本応用磁気学会誌．vol.24，no.4-2，2000，p.295-298.

# HDI（ヘッドディスク界面）技術の進展

宮里　真樹（みやざと　まさき）　永田　徳久（ながた　なるひさ）　熊崎　博文（くまざき　ひろふみ）

## 1　まえがき

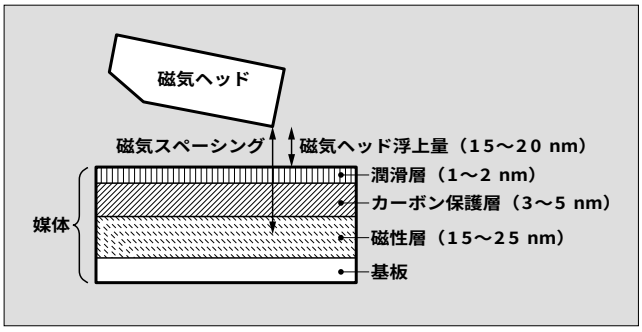
近年，ハードディスク装置（HDD）の面記録密度は，年率100％以上の勢いで上昇し続けている。これに応じて，磁気スペーシング（磁気ヘッド－磁気ディスク媒体磁性層間距離）は減少する傾向があり，近年ではさらなる低減が必要となっている（**図1**）。磁気スペーシングの低減を実現するためには，磁気ヘッドの浮上量を低下させるとともに，媒体磁性層の表面を覆っているカーボン保護膜および潤滑剤の膜厚を低減することが不可欠となる。また，磁気ヘッドの浮上量が低下したときに，磁気ヘッドと媒体が接触しないように，媒体の表面粗さや表面うねりを小さくする基板加工技術も重要になってくる。

本稿では，2章および3章にて磁気スペーシングの低減に対して必要となるカーボン保護膜の薄膜化を中心に，4章にて今後のHDI（Head-Disk Interface）技術の動向について報告する。

## 2　CVD保護膜

これまでのカーボン保護膜は，グラファイトターゲットを用いたスパッタリング法によって形成されていた。しかし，膜厚が10 nm以下になると，耐久性や耐食性など，保護膜としての機能を十分に果たせなくなっていた。これに対して，CVD（Chemical Vapor Deposition）法による成膜は，原料ガスをプラズマ中で励起・分解し，化学的に反応・結合を行うため，より緻密（ちみつ）で被覆性に優れた膜が形成されると期待できる。

**図1　磁気ヘッドと媒体の断面構造**




現在，磁気ディスク用保護膜形成手法として確立したホローカソード（HC：Hollow Cathode）型CVD法に関して，その成膜法とカーボン膜質を以下に報告する。

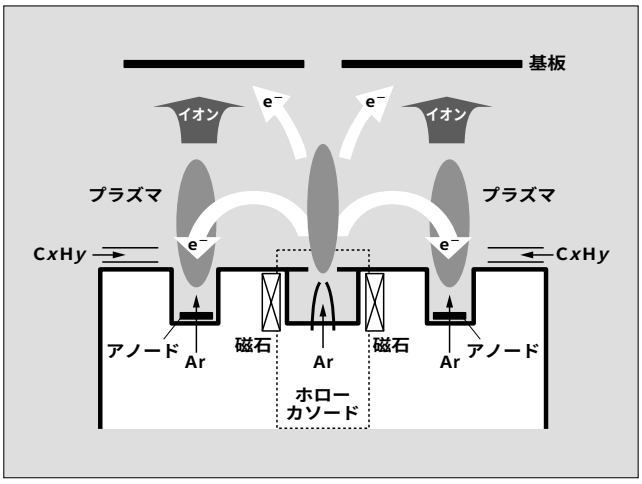
### 2.1　HC方式CVD成膜法

HC方式によるイオン源は，①環状のアノード領域，②円筒状のHC電子源，③プラズマの増強と閉じ込めを行うための磁気回路から構成されている。概念図を**図2**に示す。

まず，HCの放電によって電子を供給し，発生した電子が正に印加したアノードに引き付けられ，アノード電極へ向かう。そのときに，加速された電子が導入されたガスと衝突し，プラズマを発生させる。磁場は一時的に電子をトラップすることで，イオン化を促進し，プラズマ密度を増加させる。

プラズマ中の正イオンは，正に印加されたアノードからの反発力によって基板方向へ加速される。さらに，正イオンは途中で電子によって中和され，基板に到達し膜を形成する。

**図2　HC方式イオンソースの概念図**



**宮里　真樹**

磁気記録媒体のカーボン保護膜の開発に従事。現在，富士電機ストレージデバイス(株)第一開発部グループリーダー。

**永田　徳久**

材料・デバイスの研究開発に従事。現在，(株)富士電機総合研究所材料技術研究所。応用物理学会会員，日本セラミックス協会会員。

**熊崎　博文**

磁気記録媒体のトライボロジー開発設計技術に従事。現在，富士電機ストレージデバイス(株)第一開発部。

HC 放電の特徴として，

(1)　電子の供給源として，フィラメントを用いていないため，フィラメントの劣化・破損によるメンテナンスが不要であること

(2)　高いイオンビーム電流を流せるため，高い成膜速度が可能であること

(3)　低圧成膜が可能であり，高密度（高硬度）を有する膜が作製できること

(4)　基板バイアスを必要としないため，絶縁基板への成膜が可能であること

などが挙げられる。

### 2.2　HC 方式 CVD 膜の特性

カーボン保護膜の耐久性評価法として，HDD の起動・停止時に磁気ヘッドと媒体が必然的に接触する CSS（Contact Start Stop）方式や今後広く実用化されるといわれているランプロード方式がある。CVD カーボンの耐久性を CSS 方式にて行ったところ，スパッタ膜では実現できなかったカーボン膜厚 3 ～ 5 nm での耐久性（10万回）をクリアすることができた。

耐食性評価法の一つとして，希硝酸（$HNO_3$）液中に媒体を浸漬し，その溶液を ICP（Inductively Coupled Plasma）法によって測定し，Co 析出量を測定する方法がある。

その結果を**図 3** に示す。スパッタカーボン保護膜の場合，膜厚 10 nm において Co 析出量が 0.1 μg/m$^2$ であったのに対し，CVD カーボン保護膜では，膜厚 5 nm において同等の耐食性を示している。さらに，膜厚分布や成膜プロセスを改善し，カーボン膜の密度や表面のカバリングを向上させることによって，膜厚 2 ～ 3 nm においても同等の耐食性を持った保護膜を成膜することができた。

### 2.3　長期生産安定性の実現

CVD 成膜法を量産装置へ適用する際の問題点として，

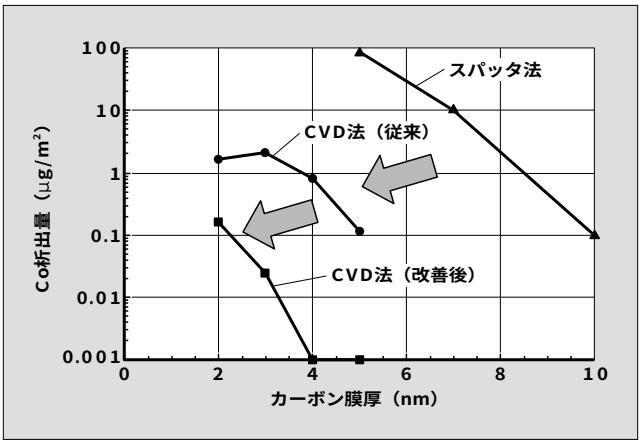
(1)　連続稼動時における装置の安定性

(2)　連続稼動によるパーティクルの発生

(3)　高タクト成膜による制御性の難しさ

(4)　両面同時成膜の難しさ

**図 3　Co 析出量のカーボン膜厚依存性**




などが挙げられている。この問題を解決するために，成膜プロセスの最適化，イオンソースの絶縁強化などを行うことによって，生産性を損なうことなく，品質の長期安定性を確保することができた。

## 3　次世代カーボン保護膜

今後，1 ～ 2 年のうちには面記録密度は 100 G ビット/in$^2$ を超えると予想され，このとき保護膜厚は 2 nm 以下が要求される。これに対応するためには薄膜でも耐久性・耐食性に優れる次世代の保護膜技術が必要となる。

### 3.1　ta-C 膜

2 nm という非常に薄い保護膜厚においても，耐久性・耐食性に優れているためには，プラズマ CVD 法で形成される a-C：H よりもさらに緻密で硬い膜であることが必要と考えられる。これに対応しうる保護膜材料として ta-C（tetrahedral amorphous Carbon）が注目されている。

**図 4** にカーボン膜の相図を示す[(1)]。各頂点はそれぞれダイヤモンド，グラファイト，水素に対応している。この図に示されているように，ta-C は水素を含まず sp$^3$ 結合炭素に富んだ膜である。このためダイヤモンドに似て非常に緻密で硬い。また，アモルファスであることから表面平滑性に優れている。

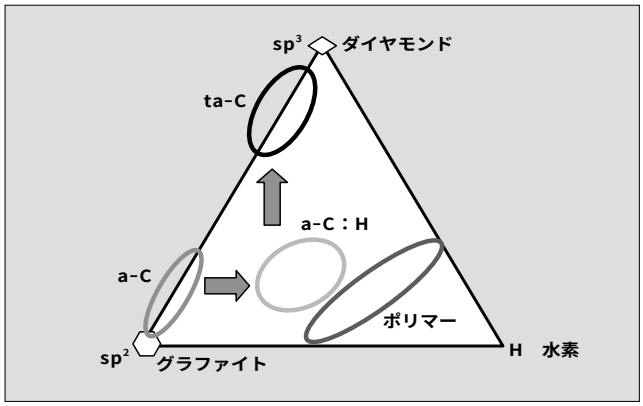
ta-C 膜の媒体保護膜への適用を目指し，開発を行っている[(2)]。

### 3.2　FCA 法

ta-C 膜の形成には FCA（Filtered Cathodic Arc）法を用いている。この方法はアーク放電を用いた真空蒸着法の一種である。

**図 5** に FCA 装置の概念図を示す。アーク源のカソードターゲットにはグラファイトを用いている。ここでアーク放電によってカーボンアークプラズマが形成される。形成されたカーボンアークプラズマは，90 °に湾曲した磁気フィルタの磁場により誘導され，成膜基板まで到達する。アーク放電において，カソードターゲットからカーボンイオンのほかに中性原子やカーボン微粒子も同時に発生する。

**図 4　カーボン膜の相図**



しかし，これらは磁場により誘導されない。このためカーボンイオンおよび電子のみが磁気フィルタによって取り出される。このカーボンイオンのみによって形成された膜は，サブプランテーション効果[(3)]によって，$sp^3$ 結合炭素に富んだ ta-C 膜になると考えられている。

この FCA 装置を用いて形成した ta-C 膜の膜質特性について調べるため，以下のような測定・評価を行った。

### 3.3　ta-C 膜の形成と膜質評価

ta-C 膜の硬さの基板バイアス電圧依存性，および硬さと $sp^3$ 結合炭素比の関係について評価した。

カソードターゲットには純度 99.999 %のグラファイトを用い，アーク電流は 120 A とした。磁気フィルタの磁場は約 0.01 T とした。また，基板バイアス電圧は－600 V から＋200V の範囲とした。

硬さはナノインデンテーション法により測定した。また $sp^3$ 結合炭素比は，XPS（X-ray Photoelectron Spectroscopy）測定の $C_{1s}$ ピークを $sp^3$ 結合炭素成分と $sp^2$ 結合炭素成分とにピーク分離することにより求めた。

**図 6** に硬さの基板バイアス電圧依存性を示す。基板に正バイアスを印加した場合には膜が形成されなかったため，負バイアスの領域のみを示している。約 70 V の負基板バイアス電圧の印加により硬さは極大となり，約 90 GPa と非常に大きな値が得られた。また，バイアスなしの場合でも約 80 GPa と比較的大きい値を示した。これは絶縁性の基板においても，良質の保護膜を形成できる可能性を示している。正バイアスで膜が形成されないことから，中性原子は基板まで到達していないことも分かった。

**図 7** には硬さと $sp^3$ 結合炭素比の関係を示す。ここで比較のため，従来の DC マグネトロンスパッタ法により形成した a-C（amorphous Carbon）膜の結果も合わせてプロットしている。基板バイアス電圧の最適化により，硬さと $sp^3$ 結合炭素比がいずれもスパッタ a-C 膜の約 3 倍の大きさとなる ta-C 膜を得ることができた。また，カーボン膜の硬さは $sp^3$ 結合炭素比とともに増加することが分かった。このことから，負基板バイアス電圧が約 70 V で最も四面体構造が増え，三次元的な剛性が強くなっているものと考えられる。

FCA 法により形成した ta-C 膜は，非常に高い $sp^3$ 結合炭素比を有し，そのため非常に硬い膜になっていることが確かめられた。

以上のことから，ta-C 膜は次世代の媒体保護膜として有望であると考えられる。今後は保護膜特性の評価を行い，実媒体への適用を進めていく予定である。

**図 5　FCA 装置の概念図**

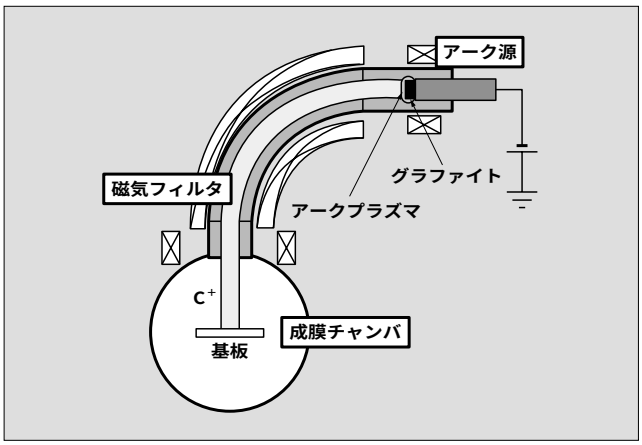
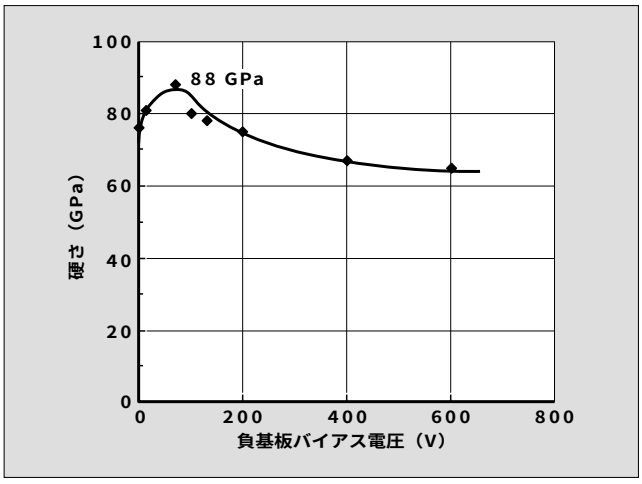



**図 6　ta-C 膜の硬さの基板バイアス電圧依存性**



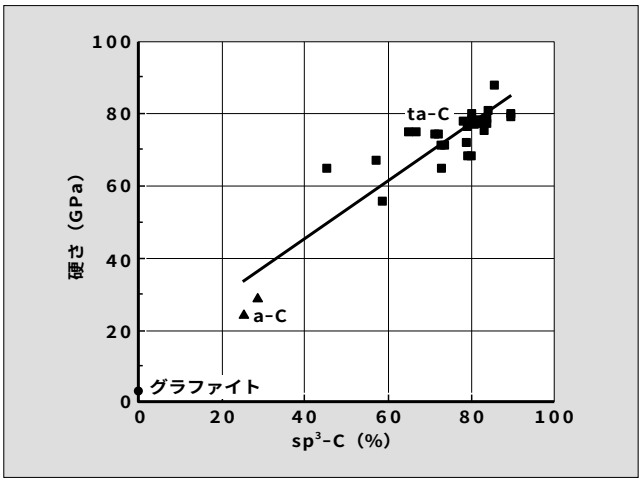

## 4　低浮上 HDI に対する信頼性設計

記録密度向上のため磁気ヘッド浮上量は年々低下し続け，現在ではおよそ 10 ～ 15 nm である。それに伴い，媒体最表面に位置する潤滑層が全体特性に与える影響は従来以上に大きなものになってきている。ここでは主にヘッドしゅう動時の潤滑剤挙動および潤滑剤がヘッド浮上に与える影響について述べる。

### 4.1　しゅう動時の潤滑剤挙動

現在のデスクトップ用およびサーバ用 HDD では CSS 方式が依然主流であり，そこで用いられるヘッドの多くは摩擦低減を目的としたパッドと呼ばれる突起が付いたタイ

**図 7　カーボン膜の硬さと $sp^3$ 結合炭素比の関係**



プである。媒体耐久性確保に加えてパッドの摩耗をも抑える必要性から，媒体に対する要求はますます厳しいものになってきている。潤滑層としては主に，

(1)　ヘッドの接触・しゅう動による潤滑剤の減量・損失を抑えること（自己保持機能）

(2)　減量した部分に流動してその部分の被覆を高め，摩耗を防ぐこと（修復機能）

という二つの機能が求められる。自己保持機能はディスク回転時の遠心力・空気せん断力による潤滑剤散逸（スピンオフ）を防ぐうえでも重要である。

**図8**はパッド付きタイプのヘッドで10分間しゅう動させた直後，およびそれから3時間放置した後の潤滑剤膜厚変動（半径方向断面）をOSA（Optical Surface Analyzer）によって測定したものである。パッド部分の潤滑剤がしゅう動時の接触圧力によって減量し，横方向に移動している様子が分かる。潤滑剤Aは自己保持機能に優れており，膜厚変動量は小さいが流動性に劣る。一方，潤滑剤Bでは変動量が大きいものの修復は速やかである。このように自己保持機能と修復機能はトレードオフの関係にあると考えられ，両者のバランスをいかに取るかが耐摩耗性，耐久性確保の鍵になっている。富士電機では分子量分布の最適化などを行うとともにHDI方式（CSS/ランプロード）やHDDの種類（デスクトップ機種，高回転サーバ機種など）によって最適な潤滑層設計を実施することで信頼性を確保している。

### 4.2　浮上特性に対する潤滑剤の影響

ヘッド浮上量が比較的高い世代においては，ヘッド浮上特性（浮き上がり周速や浮上安定性）を決定づけていたのは主に表面粗さ，うねり，レーザバンプ高さなどのトポグラフィー因子であった。その重要性に変わりはないものの，低浮上領域ではさらに加えて潤滑剤材料や膜厚が浮上特性に大きく影響するようになっている。**図9**はレーザバンプ上を浮上しているときのヘッド振動をAE（Acoustic Emission）により測定したものである。両潤滑剤とも膜厚増加とともにAE出力が大きくなり，浮上特性が悪化する。レーザバンプ上ではデータゾーンに比べて磁気ヘッドー媒体表面間のスペーシングが狭いため，差異が顕著に現れる。潤滑剤材料による違いも大きく，良好な浮上特性を得るには材料選択や膜厚設計が重要であることを示している。

**図10**には，潤滑剤材料および膜厚は同一であるが，保護膜質や潤滑剤塗布後の表面処理方法が異なる3種類の媒体のデータゾーン浮上特性（経時安定性）を示す。保護膜表面の改質や，塗布後の後工程によっても特性をかなり改善することが可能であり，それらの技術は現在量産中の機種に適用されている。保護膜表面エネルギーによって潤滑剤分子の付着形態や配向に違いがあること[(4)]，適切な後処理による潤滑層表面の平滑性向上などが特性の違いに効いているものと考えられる。

### 4.3　次世代HDI方式への対応

磁気ヘッド浮上量がさらに低下し，10 nmを切るような

**図8　しゅう動による潤滑層膜厚変動と修復効果**

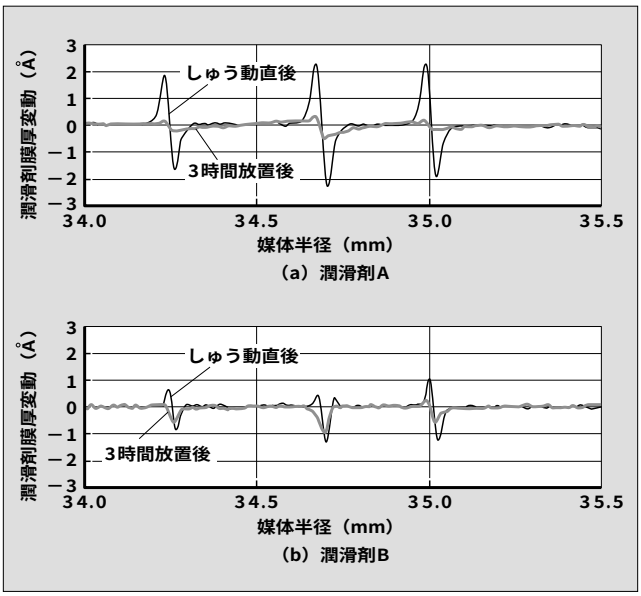



**図9　浮上安定性の潤滑剤依存性**

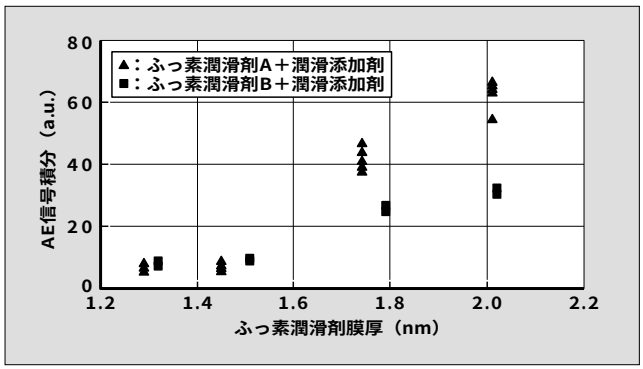
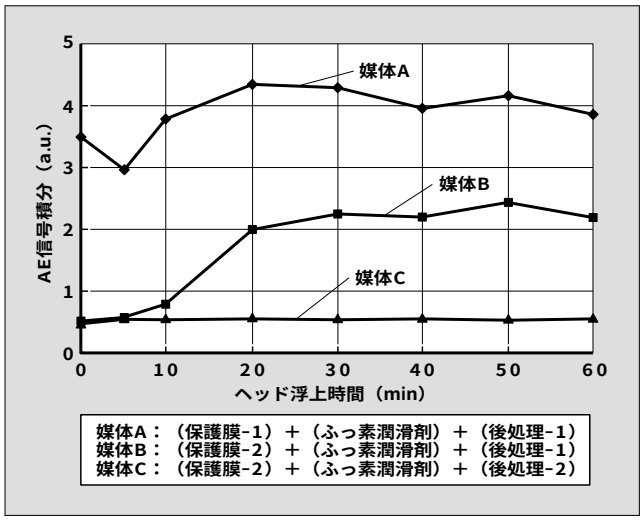



**図10　保護膜質および後処理による浮上特性改善**



領域ではデータゾーンにおいても間欠的接触が不可避となり，いわゆる擬似コンタクトと呼ばれる状態になる。そこではこれまで述べてきたスペーシング安定性と摩耗耐久性の両立がさらに困難になるものと予想される。富士電機では，

(1)　レーザドップラー振動計などを用いた詳細な HDI 解析技術

(2)　シミュレーションを併用した設計技術の高度化

などを現在推進中である。

## 5　あとがき

HDI 技術の一例として，カーボン保護膜の成膜技術と次世代の HDI 技術を紹介した。HDI 技術は多くの技術分野がかかわる総合技術である。今後の HDD の信頼性確保のために，その重要性を認識し，新しい技術開発に取り組む所存である。

### 参考文献

(1)　Ferrari, A. C. et al. Interpretation of Raman spectra of disordered and amorphous carbon. Phys. Rev. B 61, 2000, p.14095.

(2)　永田徳久ほか．FCA 法により合成した ta-C 膜の特性．応用物理学関係連合講演会．春季，2001，30p-YH-5.

(3)　Lifshitz, Y. et al. Subplantation Model for Film Growth from Hyperthermal Species：Application to Diamond. Phys. Rev. Lett. vol.62, 1989, p.1290.

(4)　金暢大ほか．窒素プラズマ処理保護膜上の高ボンド率潤滑剤の付着形態と配向．トライボロジー会議予稿集．2001-11, p.189.

# ガラス磁気ディスク媒体の開発

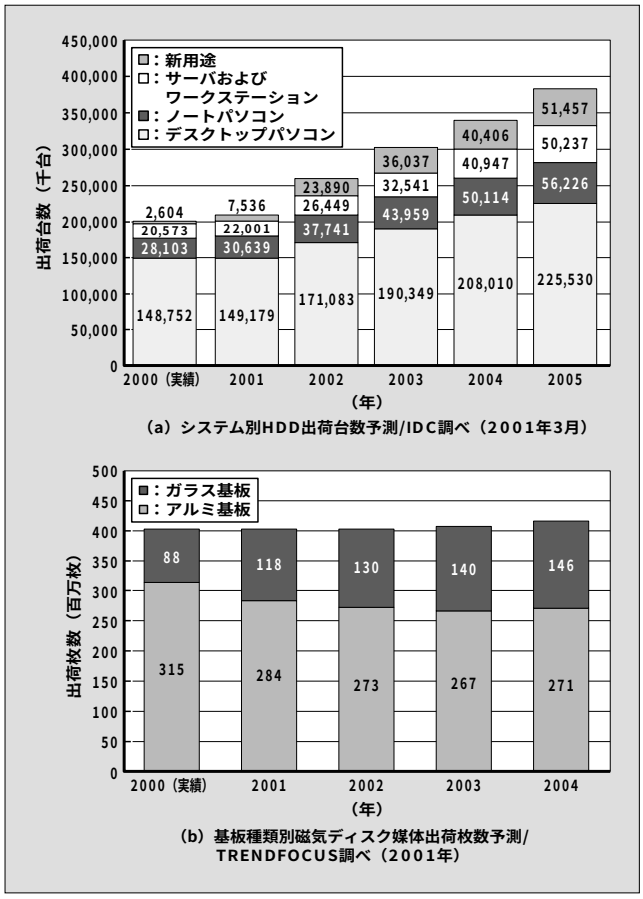
増田　克也（ますだ　かつや）　　安宅　豊路（あたか　とよじ）　　中村　　吾（なかむら　さとる）

## 1　まえがき

現在のハードディスク装置（HDD）に搭載される磁気ディスク媒体は，基板材料としてアルミニウム基板（アルミ基板）とガラス基板の２種類に大別される。ガラス基板の最大の特徴は高剛性である。よってガラス磁気ディスク媒体は耐衝撃性を求められるモバイルノートパソコン市場や高速回転時に問題となる TMR（Track Miss Registration）抑制の鍵である高フラッタ特性を生かした高速サーバ市場が中心である。そして近年では AV（Audio-Visual）製品や携帯機器などの新しいアプリケーションへの HDD 搭載およびインターネットの普及による大容量・高速サーバの需要拡大が見込まれており，これに伴いガラス磁気ディスク媒体の需要拡大も期待されている（**図１**）。

本稿では，富士電機のガラス磁気ディスク媒体の開発状況について記述する。

**図１　HDD および磁気ディスク媒体の市場予測**




## 2　異方性媒体と等方性媒体

アルミ磁気ディスク媒体は，アルミ基板上に NiP 電解めっきが施され，その表面の円周方向に機械的なテクスチャ加工処理を行っている。成膜の過程で，そのテクスチャの方向へ磁気記録層である Co 合金層（hcp 構造）の c 軸（磁化容易軸）が円周方向へ配向し，いわゆる異方性媒体となる。c 軸が円周方向へ配向すると円周方向の $M_{rt}$（残留磁化）が高くなり，OR–$M_{rt}$（配向比：円周方向の $M_{rt}$ と半径方向の $M_{rt}$ との比），および円周方向の $S$（角形比＝ $M_r/M_s$）が高くなる。

アルミ磁気ディスク媒体の異方性については，磁性層は基板および下地から応力を受け，磁気異方性が増大し保持力が増大することが報告されている[(1)]。さらに c 軸面内配向性との相関についても報告されている[(2)]。またアルミ磁気ディスク媒体は，NiP のテクスチャによる形状ひずみによって，その上の Cr（110）の格子間隔が円周方向へ縮み，その際 Cr（200）面は円周方向に短い長方形となり，その上の Co（110）が相似的に成長し，c 軸が円周方向へ優先的に配向すると考えられている[(3)]。これらのことより異方性導出に必要なアイテムは以下のとおりと考えられる。

(1)　テクスチャ処理と基板加熱（または基板バイアス）による Cr（110）の形状ひずみの誘導

(2)　下地層 Cr（200）配向

(3)　シード層材料の選定

一方，ガラス磁気ディスク媒体ではいわゆる等方性媒体がこれまで主流である。ここでの等方性媒体とは，基板の表面形状は面内で等方的な処理とし，磁気記録層である Co 合金層（hcp 構造）の c 軸が面内にほぼ等方的（ラン

**増田　克也**

磁気記録媒体の開発に従事。現在，富士電機ストレージデバイス（株）第一開発部グループリーダー。

**安宅　豊路**

磁気記録媒体の開発に従事。現在，富士電機ストレージデバイス（株）第一開発部。日本応用磁気学会会員。

**中村　　吾**

磁気記録媒体の開発に従事。現在，富士電機ストレージデバイス（株）第一開発部。

ダム）に存在し，磁気的にほぼ面内等方性を有していることをいう。c 軸がほぼ面内等方であるため，OR–$M_{rt}$ は，ほぼ１となり，円周方向の $S$ は異方性媒体より低くなる傾向にある。

異方性媒体と等方性媒体とを比較すると，磁気特性は同様な磁性材料および層構成を用いた場合，異方性媒体のほうが OR–$M_{rt}$，$H_c$（保磁力），$S$ および $S^*$（$H_c$ 近傍の $M$–$H$ ループの傾き）は高くなる傾向にある。この場合，$M_{rt}$ とほぼ比例して変化する TAA（再生出力）を同様にする場合，異方性媒体のほうが等方性媒体に比べ磁性層膜厚を薄くできる。この場合，従来より高密度記録に対応する磁化遷移幅∝ $M_{rt}/H_c$ を小さくできる。磁性層膜厚が薄いと，磁気ヘッドを用いた電磁変換特性における媒体ノイズやオーバライト（データの上書き特性）を良好にすることができる。等方性媒体のメリットとして，高密度記録時の媒体ノイズが挙げられている[(4)]。しかし，富士電機で確認した範囲では，異方性媒体のほうが低周波数域で特性が非常に良好であり，高周波数域においても優位である（**図２**）。一方，オフトラック特性においても等方性媒体のほうが有利とされてきたが，富士電機で確認した範囲では，異方性媒体は遜色（そんしょく）ない（**図３**）。

また，熱ゆらぎ特性においては，同様な磁性材料および層構成を用いた場合，磁性層膜厚が薄い分，異方性媒体は等方性媒体より不利とされるが，AFC（反強磁性結合）構造を用いることで，カバーできると考えられる。他方，等方性媒体では，AFC 構造を利用した製品がすでに市販されている。それは，異方性媒体以上に媒体ノイズを下げる必要性から材料，磁性層膜厚またはプロセスを変更した結果，熱ゆらぎ対策が必要となったためではないかと考えられる。

**図２　SN 比の周波数特性（異方性媒体と等方性媒体）**

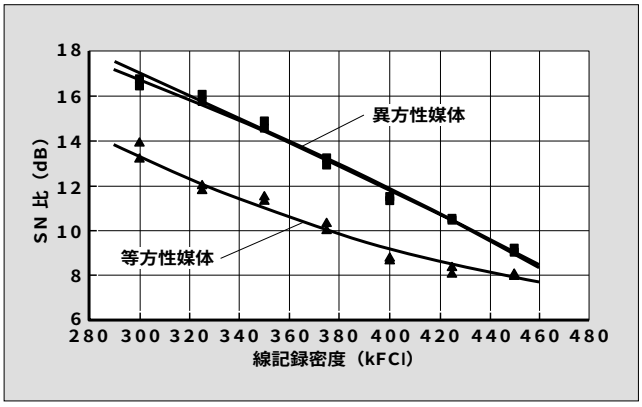
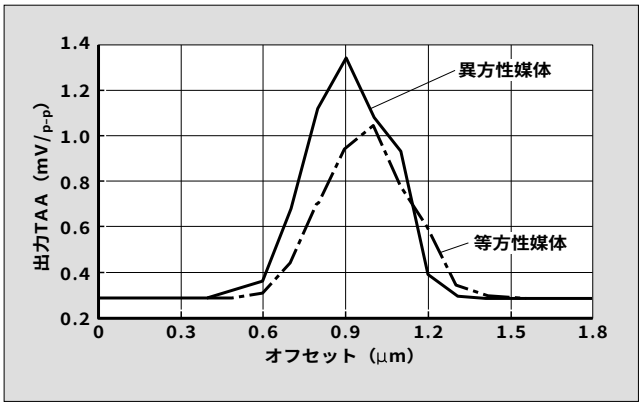



**図３　オフトラック特性（異方性媒体と等方性媒体）**




## ３　ガラス異方性媒体

現在，ガラス基板を用いて異方性媒体を作製するためにはガラス基板の上にいったん NiP などのシード層成膜を行った後，これ以降はアルミ磁気ディスク媒体と同様にしてテクスチャ加工を施し，さらに磁性層などの成膜を行う手法が用いられている。しかしながらこの手法では，従来の工程に対しシード層を成膜するための成膜装置を追加で準備する必要があること，またテクスチャ加工に耐えられる程度に厚くシード層を成膜する（80 ～ 150 nm）必要があり，かなりのコストアップとなってしまう。

今回，富士電機が採用・開発した手法は，ガラス基板に直接テクスチャ加工を施したのちにシード層から磁性層，保護膜までを同一プロセス内で成膜を行うことにより，従来のアルミ基板における異方性媒体と同様に１回（１パス）成膜プロセスにてガラス基板上でも異方性媒体を実現するというものである。これにより従来方式と比較し，より安価に高い電磁変換特性が見込めるガラス異方性媒体を作製することが可能となった（**図４**）。

### 3.1　ガラス基板上のテクスチャ加工技術開発

アルミ基板（NiP めっき）上におけるテクスチャ加工に対する要求特性はおおよそ次のとおりである。

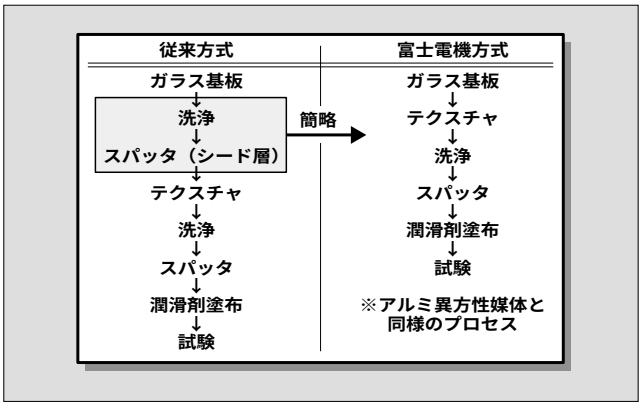
(1)　表面粗さ（$R_a$）の低減

(2)　均一加工性

(3)　研削性の向上

磁気ディスク媒体の表面粗さはテクスチャ加工によってほぼ決定される。さらなる高容量・高記録密度化における磁気ヘッドと磁気ディスク媒体のスペーシングロス低減のために，磁気ディスク媒体表面の粗さや微小うねりを低減していく必要がある。また加工によって発生する加工むらやバリは磁気ヘッドの浮上安定性の阻害や磁気ヘッドと磁

**図４　ガラス異方性媒体のプロセス比較**



気ディスク媒体の衝突によりサーマルアスペリティ問題や磁気ヘッド破壊の一因となる。近年では 3.0 nm 程度の，従来では浅いと考えられていたスクラッチにおいても表面欠陥として認識されたり，磁気ヘッドの微量な劣化に伴う後発エラーとして認識される。テクスチャ加工では加工する前に存在する基板ポリッシュ痕（こん）などを研削により取り除く役割もあるため，ある程度の研削量を維持しつつ表面粗さの低減，加工性の均一化を追求しなければならない。ガラス基板におけるテクスチャ加工も上述した内容を念頭に開発しなければならないことはいうまでもない。

ガラス基板はアルミ（NiP めっき）基板と比較して高剛性，低熱膨張係数であることが特徴であり，ガラス基板へのテクスチャ加工技術を確立するためにこの２点を考慮する必要がある。前述したとおり，異方性を付与するためにはテクスチャの形状ひずみが重要なパラメータになる。特に Cr 下地膜の結晶粒径がテクスチャの微細な溝の半幅よりも小さい場合に結晶格子がひずみやすく，面内磁気異方性が誘導されると報告されている[5]。ガラス基板は熱膨張などによる形状ひずみ量が小さいため，アルミ基板同様の配向性を実現するためには，テクスチャのライン密度をアルミ媒体以上にする必要がある。**図５**にテクスチャライン密度と OR–$M_{rt}$ の関係を示す。

また，ガラス材は高硬度であるため研磨性を向上させるためにはエッチング性の高い加工液が必要となる。しかしながら，このような加工液を使用すると実際にはテクスチャ形状自体をエッチングしてしまい，ライン密度の低下・配向性の低下を招く。逆にエッチング性の低い加工液を用いるとライン密度は向上するものの，加工によるバリが多数発生しグライド品質が低下する。

ライン密度を維持・向上させつつバリを低減できる材料検討・加工条件最適化を行い，さらにバリを除去するためのプロセスを開発し実用化にめどづけができている（**図６**）。現在では次世代機種を想定した低 $R_a$ 化，高ライン密度化，加工均一性の向上に取り組んでいる。

### 3.2　成膜プロセス開発

アルミ媒体にしろ従来のガラス異方性媒体にしろ，NiP などのアモルファス層にテクスチャ加工を施している。本手法ではガラス基板上にテクスチャ加工を施した後，アモルファスシード層などを成膜することが特徴であり，成膜プロセス内では，このシード層形成が配向性を制御するうえで最も重要といえる。

シード層成膜において重要なパラメータは以下のとおりである。

(1)　シード層材料の選定
(2)　シード層膜厚の最適化
(3)　反応性ガスの導入

**図７**に上記重要因子と OR–$M_{rt}$ の関係を明らかにする。シード層材料はアモルファス形態を安定して得られる材料（微結晶になりづらい）が最も良好な OR–$M_{rt}$ が得られる結果となっている。また，本手法ではテクスチャ加工後にシード層を成膜するためシード層膜厚はこの表面形状を損なわない厚さにする必要がある。逆に薄すぎるとガラス基板特有のアルカリ溶出が抑制できないためこの点も注意が必要である。シード層膜厚は適用する材料によっても最適な膜厚が異なることも見逃せない。このシード層上に下地

**図６　テクスチャ加工の最適化**

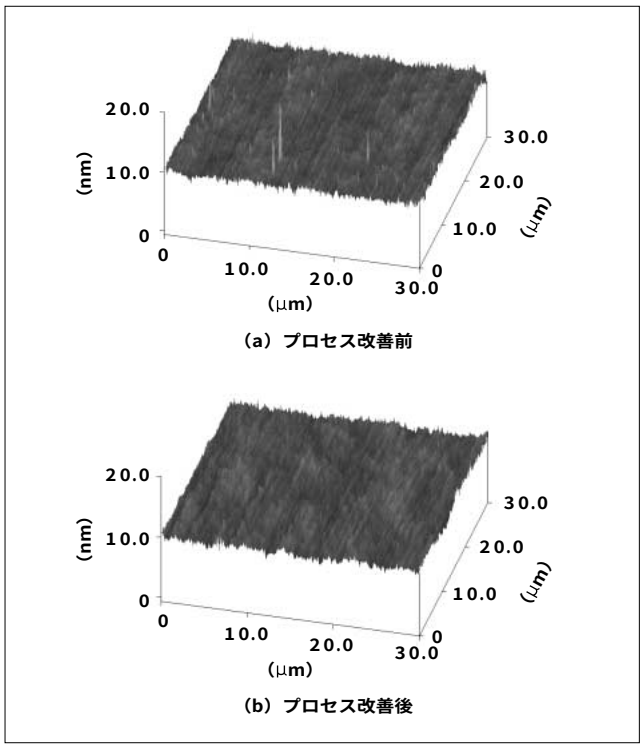



**図５　テクスチャライン密度と OR–$M_{rt}$ の関係**

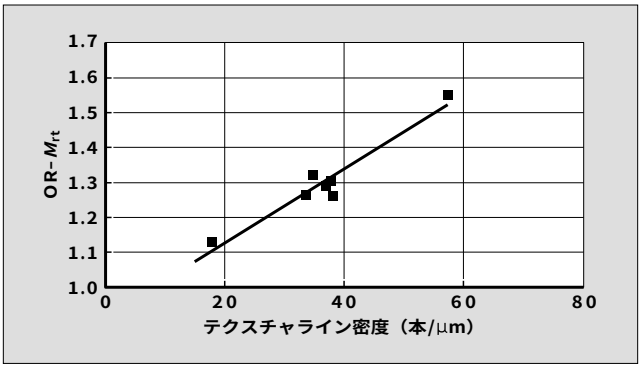



**図７　シード層成膜の重要因子と OR–$M_{rt}$ の関係**

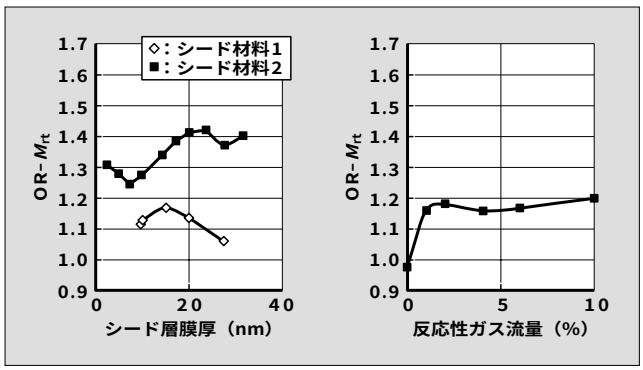
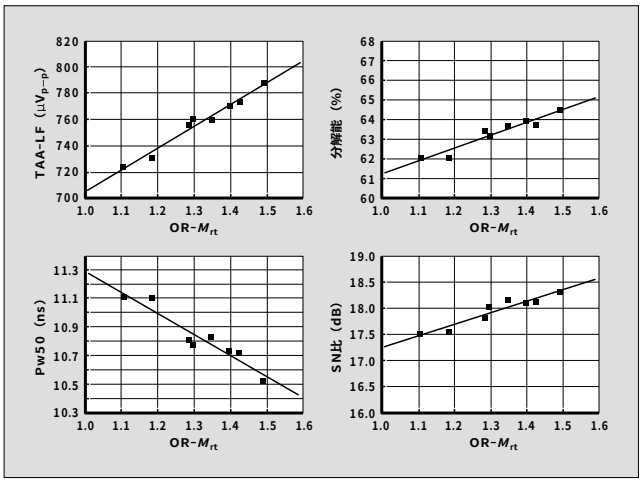


**図８　OR-$M_{rt}$ と電磁変換特性の主要パラメータの関係**




層である Cr を（200）優先配向させるためには反応性ガスの導入が必要である。このガスが表面における Cr 成長核となり，異方性付与に適切な Cr 配向を促すものと推測する。このガス導入もガス種や流量，導入手法によって OR-$M_{rt}$ を向上できることが判明している。

OR-$M_{rt}$ 向上はガラス基板材の特性（熱膨張係数など），テクスチャ加工による表面形状，シード層成膜手法などにより決定される。ガラス基板の熱膨張係数などは HDD に使用されるクランプ材などによりその要求特性が決定されるものであり，媒体メーカーとして容易に変更できるものではない。またテクスチャ加工も現在 $R_a$ ＝ 0.3 nm まで低下しており，さらなる低 $R_a$ 高ライン密度化は難しい。よってシード層成膜プロセスにおけるさらなる最適化を行い OR-$M_{rt}$ の向上を図る必要がある。

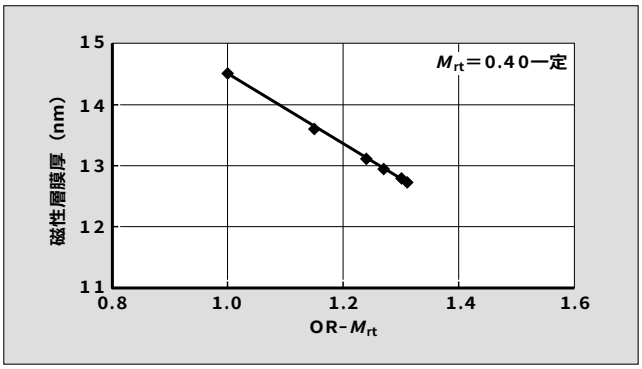
### 3.3　配向比（OR-$M_{rt}$）と電磁変換特性の関係

**図８**に OR-$M_{rt}$ と電磁変換特性の主要パラメータの関係を示す。この評価ではテクスチャ条件により OR-$M_{rt}$ を変更させており，成膜条件や他のプロセス条件は一定としている。

前述したとおり，Co 粒子が円周方向へ優先配向することにより，信号出力（TAA）が向上することが分かる。また分解能や半値幅（$P_w$50）などに代表される周波数特性も向上している。高周波数において十分な信号出力が維持できることから SN 比は向上している。また，信号出力は磁性層膜厚に比例することが分かっているので OR-$M_{rt}$ が良好なものは薄い磁性層膜厚で同等の出力を得ることができる（**図９**）。磁性層を薄膜化することによりノイズ自体も低減できることを考えると OR-$M_{rt}$ 向上の重要性が改めて認識できる。

電磁変換特性の向上については，下地層や磁性層の材料開発やプロセス開発が重要となる。ガラス等方性媒体とアルミ異方性媒体では特性向上における開発コンセプトが若干異なるが，ガラス異方性媒体であればより多くの技術を共有化できる点も本手法を採用した利点といえよう。

**図９　OR-$M_{rt}$ と磁性層膜厚の関係**




## 4　あとがき

以上，富士電機のガラス磁気ディスク媒体の開発状況を紹介した。HDD は従来のパソコン市場から AV 用途を代表とする民生機器への導入が期待されており，すでに製品化されているものもある。当然のことながらこの中でモバイルとして使用される製品への HDD 搭載も検討されており，ガラス磁気ディスク媒体の市場拡大も期待される。

ガラス磁気ディスク媒体の市場拡大には諸特性の向上と低コスト化が重要である。富士電機が採用・開発した本手法は両者を両立しており，非常に有効な技術であると考える。

しかしながら，基板状態でガラスはアルミニウムよりも高価である。このコストが低減できれば，アルミ磁気ディスク媒体の代替としての市場も開けるであろう。

今後は低コストガラス基板の検討も含め，さらなる低コスト化を推進するとともに諸特性の改善・向上に取り組む所存である。

**参考文献**

(1)　屋久四男ほか．CoCrTa 面内磁気記録媒体の歪と保磁力．日本応用磁気学会誌．vol.19，1995，p.77-80.
(2)　寺西秀明ほか．CoCrTaPt 薄膜磁気記録媒体の面内の結晶学的構造と保磁力．日本応用磁気学会誌．vol.21，1997，p.209-212.
(3)　高橋克典ほか．CoCrPtTa 薄膜媒体の面内磁気異方性と微細構造．日本応用磁気学会誌．vol.24，2000，p.283-286.
(4)　Zhu, Jian-Gang. Micromagnetics of Thin Film Media. Magnetic Recording. McGraw Hill. 5.29.
(5)　村尾玲子ほか．薄膜媒体の面内磁気異方性の考察．日本応用磁気学会誌．vol.25，2001，p.615-618.

# 垂直磁気記録用磁性層技術

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

## 1　まえがき

近年，ハードディスク装置（HDD）は，コンピュータの外部記憶装置としてだけではなく，映画やテレビ番組をはじめとしたいわゆるディジタル AV（Audio-Visual）情報を扱うストレージ機器として，ビデオレコーダやカーナビゲーションシステム，家庭用ゲーム機などへ搭載されつつある。AV-HDD と呼ばれるこれらの HDD は，大容量性，高速性ならびに低価格性という特長により，長時間録画や高速ランダムアクセス，ならびに多チャネル同時録画再生など，従来のビデオテープや光ディスクなどでは実現不可能な多彩なニーズに応えることができるため，今後ともその適用範囲を広げながら急激に需要を伸ばしていくものと予想される。そして，そのような新しい市場に対応するためには，現在年率 100 %近い勢いで増加し，量産レベルで 30 G ビット/in$^2$ に達している記録密度を，今後ともさらに向上させていくことが強く要求されている。

現在の HDD は，記録磁化を薄膜面内に配列させる長手磁気記録方式を用いている。この方式で高密度化を進めると，室温の熱エネルギーで記録磁化が不安定化する熱じょう乱の問題が避けられない。最近，反強磁性結合（AFC）媒体と呼ばれる，熱安定性に優れ，かつ 100 G ビット/in$^2$ 以上の高密度化が可能な長手磁気記録媒体が提案されている[(1)]が，一般に 100 G ビット/in$^2$ を大きく超える記録密度の達成は困難であると考えられている。そのため，超高密度記録が実現できる新しい記録方式，すなわち高密度化するほど記録磁化が安定化するという特長を有する垂直磁気記録方式[(2)]が大いに注目されている。

垂直磁気記録媒体の一般的な層構成と，記録磁化の模式図を**図１**に示す。基板上には，軟磁性裏打ち層，非磁性中間層，ならびに情報を担う磁気記録層が順次積層されている。記録磁化は，長手磁気記録とは異なり膜面に垂直方向に配列されることから，各層に求められる膜構造や磁気特性は長手磁気記録媒体とはまったく異なっている。したがって，垂直磁気記録媒体の実用化のためには，その層構成および薄膜材料，さらには精緻（せいち）なプロセス技術をも新規に設計・開発することが必要不可欠である。

このうち，記録磁化を保持する磁気記録層の高性能化は特に重要である。ここで，磁気記録層に用いられる薄膜材料には，**図２**に示すように，適用可能な記録密度に対応して，CoCrPt を主体とする微粒子系薄膜，Co/Pt などの積層膜，アモルファス薄膜，あるいは規則格子合金など幾つかの候補が挙げられている。これらは，それぞれの薄膜材料の微細構造や物性値，特に垂直磁気異方性エネルギー $K_u$ の大きさによって特徴づけられたものであり，磁気記録層の開発にあたっては，目標とする記録密度に応じた適切な材料選択が必要となる。

**図１　垂直磁気記録媒体の層構成と記録磁化の模式図**

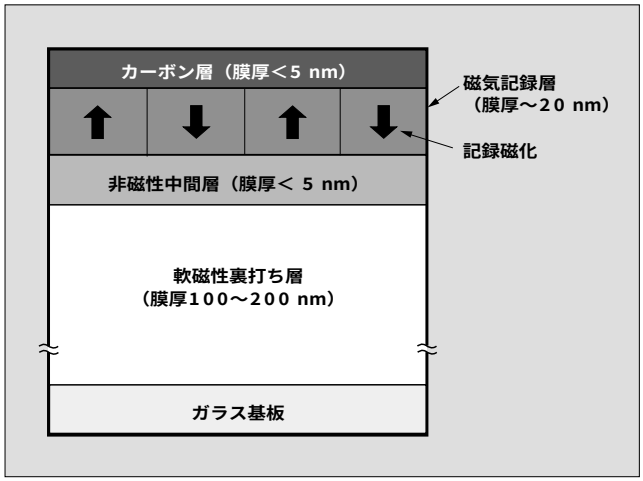
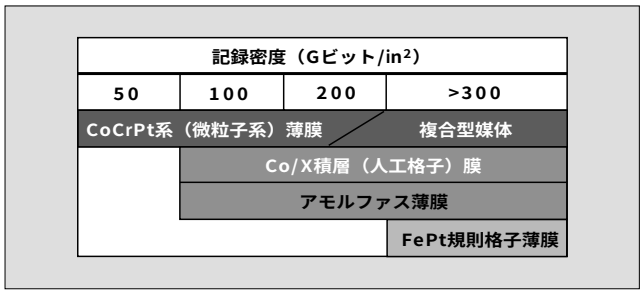



**図２　垂直磁気記録媒体の磁気記録層材料**



**上住　洋之**

磁気記録媒体の磁性層成膜技術の開発に従事。現在，富士電機ストレージデバイス(株)第二開発部グループリーダー。日本応用磁気学会会員。

**酒井　泰志**

磁気記録媒体の研究開発に従事。現在，富士電機ストレージデバイス(株)第二開発部。日本応用磁気学会会員。

**竹野入　俊司**

固体電解質型燃料電池，磁気記録媒体の研究開発に従事。現在，(株)富士電機総合研究所デバイス技術研究所。

富士電機は，次世代の超高密度記録媒体の実現のために，いち早く垂直磁気記録媒体の開発に着手するとともに，垂直記録方式に関しては世界有数の研究機関である東北大学電気通信研究所，ならびに日本放送協会（NHK）放送技術研究所との活発な共同研究を進めてきた。[3][4] 特に磁気記録層の開発にあたっては，当面の目標である 100 ～ 200 G ビット/in$^2$ に対応する CoCrPt 系薄膜や Co/Pt 積層膜に加え，300 G ビット/in$^2$ 以上の超高記録密度実現のポテンシャルがあると考えられるアモルファス薄膜の開発を推進しており，近い将来大きな市場を形成すると予想される大容量 AV-HDD に対応するための準備を整えつつある。

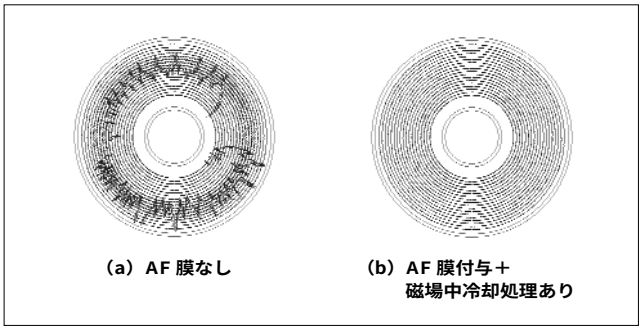
本稿では，垂直磁気記録媒体の実用化に必要不可欠な，磁気記録層の高記録密度化技術，軟磁性裏打ち層の磁区制御技術，および媒体の評価解析技術に関して，富士電機の最新の研究開発の成果を紹介する。

## 2　軟磁性裏打ち層の磁区制御

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こう配を高め，記録分解能を向上させる役割を担う。[5] 一方，このような軟磁性膜は，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磁区構造をとりやすい。磁区と磁区の境界（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る。**図 3**(a)は，ガラス基板上に CoZrNb 合金アモルファス軟磁性層 100 nm を成膜した媒体から発生する出力信号を GMR（Giant Magnetoresistive）ヘッドを用いて検出した結果である。色の濃い部分がスパイクノイズの発生箇所に対応しており，媒体全面にわたって発生していることが分かる。

富士電機では，スパイクノイズを完全に抑止できる，反強磁性（AF）膜による軟磁性裏打ち層の磁区構造制御[6]に着目して検討を行い，効果的にスパイクノイズを抑止する層構成およびプロセス技術を確立した。[7] 層構成は以下のとおりである。AF 膜は MnIr 合金であり，膜構造制御のためのシード層上に成膜され，さらに軟磁性裏打ち層である CoZrNb 層が成膜される。理想的には，AF 膜の磁化の向きをディスク半径方向にそろった状態で固定することで，軟磁性裏打ち層にはディスク半径方向のバイアス磁場が実効的に印加されることになり，磁区の形成が抑止される。

**図 3　スパイクノイズの観察例**



(a) AF 膜なし　　(b) AF 膜付与＋磁場中冷却処理あり

一方，実際には，AF 膜の磁化の向きをそろえるための成膜時のターゲットからの漏れ磁場が，必ずしも一様でないこと，あるいは磁気記録層を成膜する際の基板加熱により AF 膜の磁化の向きが変化してしまう可能性があった。そこで，MnIr 膜が 280 ℃以上で反強磁性の性質を失うことを考慮し，生産性を落とさずにスパッタプロセス中に磁場中冷却を行うことによって，AF 膜自体の磁化の向きを制御する手法を試みた。これは，磁気記録層成膜後に，スパッタ装置内の加熱チャンバ内で基板温度をいったん 300 ℃程度まで上昇させた後，ディスク半径方向に一様な磁場が印加できる冷却チャンバ内で，180 ℃程度にまで冷却を行うものである。冷却チャンバ内の磁界強度は約 80 kA/m（1 kOe）であり，チャンバ内での媒体の保持時間は 15 秒程度である。このようにして得られた媒体から発生する出力信号を**図 3**(b)に示す。媒体全面にわたってスパイクノイズが消失しており，生産性を損なわずに効果的にスパイクノイズを抑止することができた。

ここに示した層構成ならびにプロセス技術は，軟磁性裏打ち層の材料を変更した場合にも有効であり，現在，さらなる高記録密度化に対応するための，高い飽和磁束密度を有する軟磁性裏打ち層の材料開発を推進中である。

## 3　磁気記録層の高記録密度化技術

### 3.1　CoCrPt-$SiO_2$ グラニュラ媒体

CoCrPt 系合金膜を垂直磁気記録媒体の磁気記録層として用いるためには，① Cr を微細な Co 合金結晶粒の粒界へと偏析させ，Co 合金結晶粒間の磁気的な相互作用を低減することで媒体ノイズ特性を向上すること，および② Co 合金結晶粒の c 軸を膜面垂直方向に配向させ，かつ大きな $K_u$ 値を導出することが必要となる。①の実現には，長手磁気記録媒体と同様に Cr 量を増加させ，さらに Ta や B などを添加することが効果的だが，同時に $K_u$ 値の劣化を引き起こしやすい。また，②を実現するために非磁性中間層を最適化し，磁気記録層のエピタキシアル成長を促進すると，逆に Cr の粒界偏析が抑制されやすいこともすでに明らかとなっている。[8]

富士電機では，長手磁気記録媒体用の磁気記録層材料として，CoCrPt 合金に $SiO_2$ を添加したグラニュラ膜の粒界偏析や結晶配向などの微細構造制御技術の開発を行ってきた。[9] この材料系では，$SiO_2$ が Co 合金結晶粒の粒界へ析出しやすいため，粒間の磁気的な相互作用を低減するための Cr 量増加や元素添加が不要になり，高い $K_u$ 値が実現できる。これらの特長に着目し，垂直磁気記録用の磁気記録層として，CoCrPt-$SiO_2$ グラニュラ媒体の検討を開始した。

**図 4** に，Ru 中間層上に，CoCrPt と $SiO_2$ の複合ターゲットを用いて RF マグネトロンスパッタ法により作製した CoCrPt-$SiO_2$ グラニュラ磁気記録層の平面透過型電子顕微鏡（TEM）像を示す。酸化物を主体とする結晶粒界（図中白っぽい部分）が，直径 6 nm 程度の微細な Co 結晶

粒を取り囲んだ，いわゆるグラニュラ構造が形成されていることが分かる。X 線回折法による構造解析から，Co 合金結晶粒の c 軸配向性も優れていることが確認された。さらにこれらの媒体は，$4\times10^5$ J/m$^3$ 程度と従来の CoCrPt 磁気記録層の 2 倍程度以上の非常に大きな $K_u$ 値を有し，磁化曲線の角形比もほぼ 1 であった。

**図 5** には，軟磁性裏打ち層を有する CoCrPt–$SiO_2$ グラニュラ媒体に，単磁極型磁気ヘッドを用いて記録した磁化ビットを磁気力顕微鏡（MFM）により観察した像を示す。ここで，**図 5**(a)，(b)，(c)はそれぞれ，20，28，31 kfc/mm（500，700，800 kFCI）の線記録密度でそれぞれ記録した磁化ビットである。(b)の線記録密度においても比較的明りょうな磁化反転が観察されており，これは 82 G ビット/in$^2$ の記録密度に相当する。なお，これらの媒体は熱安定性も良好であり，記録密度によらず再生出力減衰はほぼ 0 である。

上記のように，$SiO_2$ を添加した CoCrPt グラニュラ磁性層は，100 ～ 200 G ビット/in$^2$ の記録密度を達成するための磁気記録層材料として非常に有望であり，現在，膜構造および材料組成のさらなる最適化を進めている。

### 3.2　CoTb アモルファス複合型媒体

前述のとおり，Tb などの希土類金属と Co や Fe などの 3d 遷移金属とのアモルファス合金薄膜は，300 G ビット/in$^2$ の記録密度を達成するポテンシャルを有する材料の一つである。しかしながら，一般にアモルファス薄膜の膜面内方向には，非常に強い交換相互作用が作用して広範囲に磁化が結合しており，ナノメートルオーダーの微視的な磁化反転を起こさせることは困難である。

このようなアモルファス薄膜の磁化反転単位を微細化する手法について鋭意検討した結果，磁化反転単位が小さな CoCrPtB 薄膜との積層化を行った複合型媒体において，熱安定性と媒体ノイズ特性を両立することができることを見いだした[10]。

**図 6** には，膜厚 20 nm の CoCrPtB 合金薄膜上に膜厚の異なる CoTb アモルファス薄膜を積層した複合型媒体における，線記録密度 12 kfc/mm（300 kFCI）で測定した対信号雑音比 SN 比，および熱安定性の評価として，1 kfc/mm（25 kFCI）で測定した再生出力の減衰率の変化を示す。SN 比は，CoTb 膜厚 6 nm で最大値を示し，CoTb がない場合より 2 dB 程度向上している。一方，CoTb 膜厚の増加に伴い再生出力の減衰率は大きく改善され，6 nm 以上の CoTb 膜を有する媒体の再生出力の減衰率はほぼ 0 となった。すなわち，CoTb（6 nm）/ CoCrPtB（20 nm）の層構成からなる複合型媒体において，非常に優れた SN 比と熱安定性を両立することができた。

MFM による観察では，この媒体において 70 G ビット/in$^2$ 以上の記録密度が達成可能であることが確認されている。さらに，このようなアモルファス膜との複合化技術を，前節で述べたグラニュラ媒体に適用することで，より一層高い記録密度が実現可能であると考えている。

**図 4　CoCrPt–$SiO_2$ グラニュラ磁気記録層の平面 TEM 像**

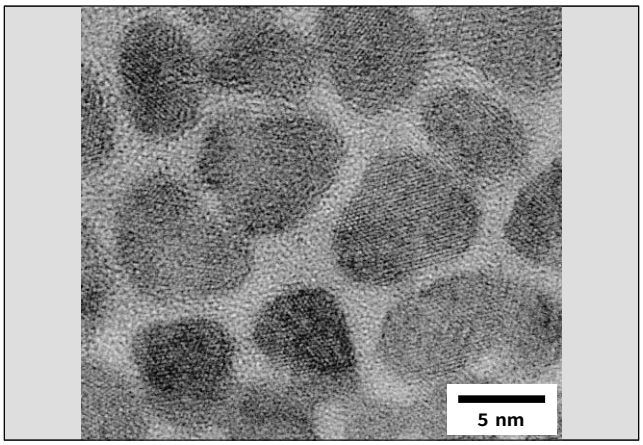



**図 5　CoCrPt–$SiO_2$ グラニュラ媒体の MFM 像**

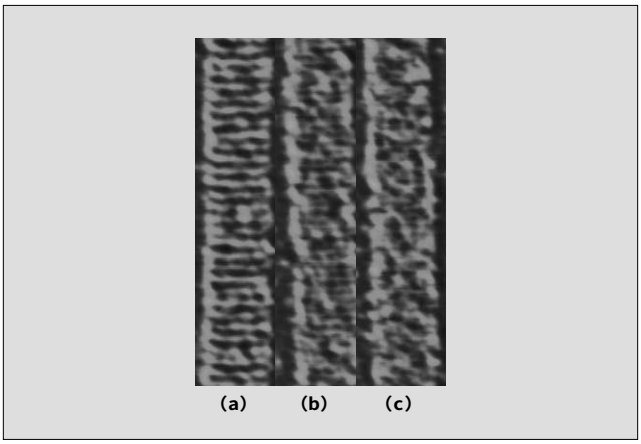



**図 6　CoTb/CoCrPtB 複合型媒体の SN 比と出力減衰量の CoTb 膜厚依存性**

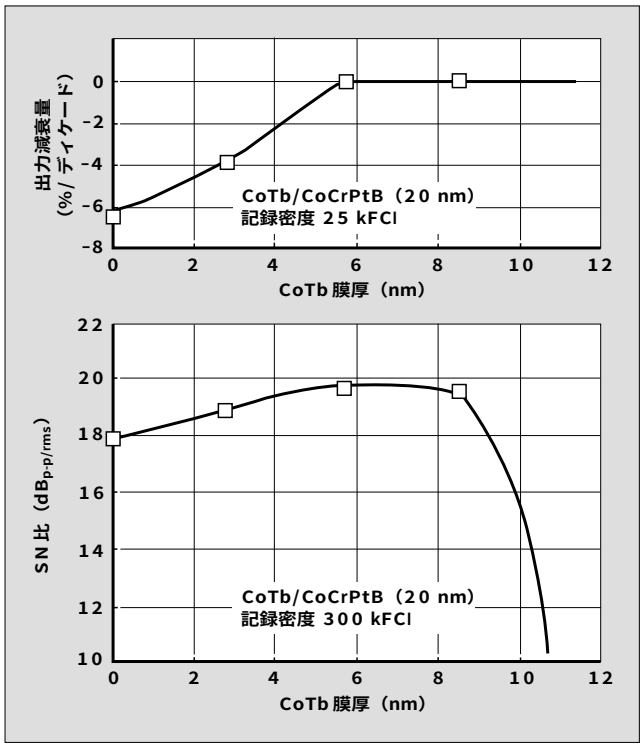
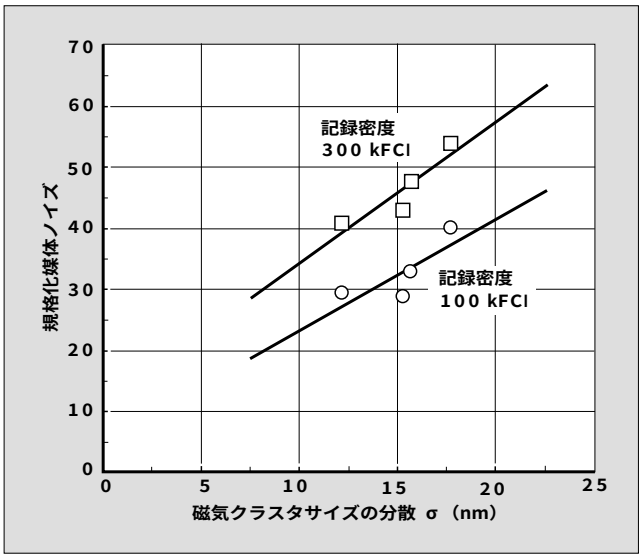


**図7　媒体ノイズと磁気クラスタサイズの分散との関係**




## 4　垂直磁気記録媒体の評価解析技術

優れた磁気記録媒体の開発のためには，媒体の評価解析技術の向上も必要不可欠である。特に，高記録密度時の媒体ノイズ特性を議論するためには，記録された微小な磁化ビットを直接観察，評価し，ノイズの発生起因から検討していくことが重要である。このような観点から，MFM を用いた垂直磁気記録媒体の磁化パターンの評価解析技術の開発を行うとともに，NHK 放送技術研究所との共同研究を推進している[(4)]。本稿では，媒体ノイズと強い相関があると考えられている，交流消磁状態における磁気クラスタサイズの評価技術を紹介する。

交流消磁後の媒体を MFM により観察すると，磁化の向きがそろった領域である，複数の磁気クラスタが観察される。この観察像に画像処理を施し，各クラスタを円で近似したときの直径 $D$ とその分散 $\sigma$ を求めた。磁気記録層の材料および層構成の異なる種々の垂直磁気記録媒体の磁気クラスタの $\sigma$ と，規格化媒体ノイズとの関係を**図7**に示す。$\sigma$ は媒体ノイズと強い相関を示し，$\sigma$ の低下に伴い，媒体ノイズが低下していくことが分かる。また磁気クラスタサイズの大小は記録分解能と強い相関があることも明らかとなっている。

このような解析は，さらなる高密度化，低ノイズ化のために必要とされる磁気クラスタサイズの目標値を定量化できることなどから，媒体設計のうえで非常に有用である。現在，さらに精密な評価が可能となるよう，MFM の観察分解能の向上のための検討を推進中である。

## 5　あとがき

以上述べてきたとおり富士電機では，超高密度記録が可能な垂直磁気記録媒体を実現するために，磁気記録層の高性能化だけでなく，軟磁性裏打ち層の磁区制御や評価解析技術を含めた総合的な研究開発を行っている。特に磁気記録層としては，100 ～ 200 G ビット/in$^2$ に対応する CoCrPt-$SiO_2$ グラニュラ薄膜に加え，300 G ビット/in$^2$ 以上の超高記録密度実現のポテンシャルがあると考えられるアモルファス薄膜の開発を強力に推進しており，近い将来大きな市場を形成すると予想される大容量 AV-HDD に対応すべく，今後とも早期の技術確立に向けて鋭意努力する所存である。

なお，本稿をまとめるにあたり，有益なご助言をいただいた東北大学電気通信研究所の中村慶久所長および村岡裕明教授，ならびに NHK 放送技術研究所の玉城孝彦主任研究員に深く感謝する次第である。

**参考文献**

(1) Inomata, A. et al. Advanced Synthetic Ferrimagnetic Media. Abstracts of 46th Annual Conference on Magnetism and Magnetic Materials. EB-02, 2001, p.180.
(2) Takano, H. et al. A Practical Approach for Realizing High-Recording-Density Hard Disk Drives. Abstracts of The 8th Joint MMM-Intermag Conference, CA-01, 2001, p.131.
(3) Shimatsu, T. et al. Thermal Stability in Perpendicular Recording Media. J. Magn. Magn. Mater. vol.235, 2001, p.273-280.
(4) Kitano, M. et al. MFM Analysis of Recorded Bit Patterns of Perpendicular Media. J. Magn. Magn. Mater. vol.235, 2001, p.459-464.
(5) Iwasaki, S. et al. Perpendicular Magnetic Recording with a Composite Anisotropy Film. IEEE Trans. Magn. vol.15, no.6, 1979, p.1456-1459.
(6) 高橋慎吾ほか．二層膜垂直磁気記録媒体の裏打ち層の特性制御．日本応用磁気学会誌．vol.23, Supplement no.S2, 1999, p.63-66.
(7) 渡辺貞幸ほか．二層膜垂直磁気記録媒体における反強磁性膜による軟磁性裏打ち層のスパイクノイズ低減．電子情報通信学会技術研究報告．MR2001-90, 2002, p.9-15.
(8) 上住洋之ほか．CoCrPt-（Ta, B）垂直記録媒体の初期成長層の低減と磁気特性．日本応用磁気学会誌．vol.26, 2002. 投稿中.
(9) 鄭用一ほか．AV 用磁気ディスク媒体．富士時報．vol.72, no.11, 1999, p.594-597.
(10) Uwazumi, H. et al. Recording Performance and Magnetization Switching of CoTb/CoCrPt Composite Perpendicular Media. J. Appl. Phys. 2002, in press.

# 磁気転写技術

佐藤　公紀（さとう　きみのり）　二村　和男（にむら　かずお）　斎藤　明（さいとう　あきら）

## 1　まえがき

ハードディスク装置（HDD）は，外部記憶装置として大半のパソコンに搭載されており，年間の生産台数はワールドワイドで2億台（2001年見込み）に達する。近年は，情報家電，ディジタル家電，もしくはネットワーク家電と呼ばれる家電製品への搭載も始まっており（第一陣は，カーナビゲーションやディジタルテレビ，HDD内蔵ビデオなどである），パソコン市場と同等以上の市場が新たに創造されつつある。富士電機では，1999年からプロジェクト研究として，当該分野をターゲットとしたHDD用磁気ディスク媒体の研究開発を進めている。その内容は，アルミニウムに代わる新材料基板の開発，高密度化を狙った垂直磁気記録媒体の開発，安価に磁気ディスクへ情報を埋め込む技術など多岐にわたる。この中で情報埋め込み技術は，HDDで使用するサーボパターンや，ネットワーク家電などで必須となるセキュリティ情報を磁気ディスクに埋め込むことを狙いとしたものである。

本稿では，前記技術の一環として，サーボパターンと，それを磁気ディスクに埋め込む新しい手段である磁気転写技術について紹介し，現在までの主な開発成果を述べる。なお，本磁気転写技術は，松下電器産業(株)においてなされた研究成果をもとに，顧客であるHDDメーカーの協力を得て，量産化開発を進めてきたものである。

## 2　磁気ヘッド位置決め機構とサーボパターン

### 2.1　HDDの磁気ヘッド位置決め機構

**図1**はHDDの磁気ヘッド位置決め機構の概略構成である。記録媒体である磁気ディスクは，スピンドルモータにより数千r/minで高速回転し，磁気ヘッドは，スライダと呼ばれる浮上機構により，回転する磁気ディスク上から10 nm程度浮上し，記録再生を行う。スライダはサスペンションを介してロータリ型ポジショナに取り付けられており，ロータリ型ポジショナが回転動作を行うことにより，磁気ヘッドは磁気ディスク上の任意のトラックに移動し，位置決めすることができる。

### 2.2　サーボパターン

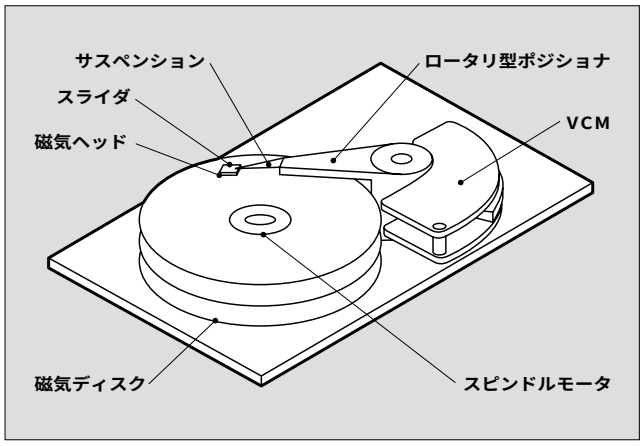
HDDでは，磁気ヘッドと磁気ディスク上のトラックとの相対位置を検出するための位置情報（これをサーボパターンと呼ぶ）が，磁気ディスクに記録されている。**図2**(a)に示すように，サーボパターンを記録したサーボゾーンとデータの記録再生を行うデータゾーンがトラックの周方向に対して一定の間隔で交互に並んでおり，磁気ヘッドは，データ記録再生中，一定時間ごとに自分の位置を検出できる（本方式は，セクタサーボ方式と呼ばれ，HDDで広く使用されるものである）。**図2**(b)は，サーボゾーンに記録されているサーボパターンの一例である。サーボクロック，アドレスマーク，位置検出パターンなどからなる。なお，図中の位置検出パターンは多くのHDDで採用されている千鳥格子パターンであり，再生波形の信号振幅差から位置を検出するものである。

## 3　サーボライト

### 3.1　従来のサーボトラックライタによるサーボライト

既存のHDDは，サーボトラックライタ（STW）と呼

**図1　HDDの磁気ヘッド位置決め機構**



**佐藤　公紀**

磁気ディスク媒体の開発に従事。現在，(株)富士電機総合研究所デバイス技術研究所。計測自動制御学会会員，電子情報通信学会会員，日本機械学会会員。

**二村　和男**

磁気ディスク媒体の開発に従事。現在，富士電機ストレージデバイス(株)第二開発部課長。

**斎藤　明**

磁気ディスク媒体の開発に従事。現在，(株)富士電機総合研究所デバイス技術研究所グループマネージャー。理学博士。応用物理学会会員，日本化学会会員。

ばれる装置により，サーボパターンを記録していた（**図３**参照）。磁気ディスクを HDD に組み込んだ後，HDD の筐体（きょうたい）内にプッシュピンを差し込んで，装置内のロータリ型ポジショナを機械的に保持する。STW 内部のエンコーダに基づいて STW の精密回転機構を動かし，上記プッシュピンとロータリ型ポジショナを微動させ，各トラックに対応するサーボパターンを記録していく。磁気ディスク１枚のサーボライト時間は 20 G バイト/枚クラスの磁気ディスクで10分程度必要である。

トラック記録密度の増加により，トラック数は増大し，サーボライトに要する時間はますます増加する。またトラック幅が狭くなるため，STW の位置決め機構に対する精度要求も高くなる。クリーンルーム内に高価な STW を多数台用意して並列にサーボライトを行えば，急場をしのぐことはできるが，コスト面での負担は大きい。

**図２　サーボパターン**

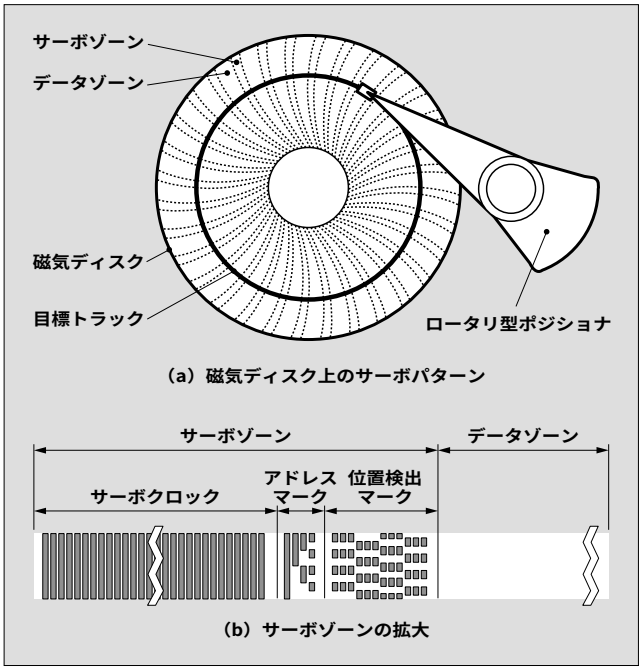
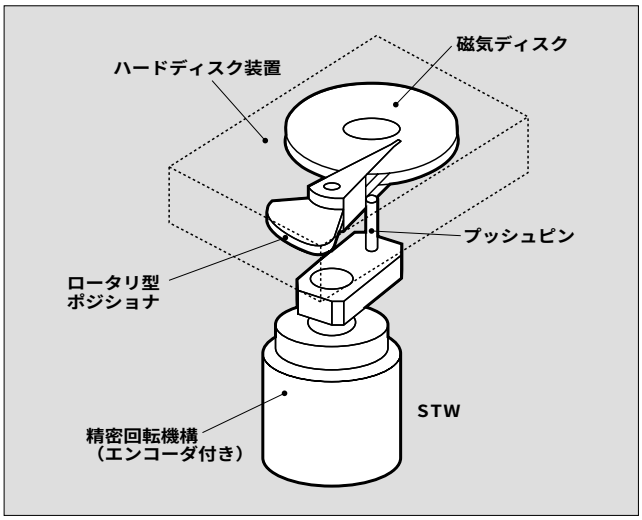



**図３　サーボトラックライタによるサーボライト**

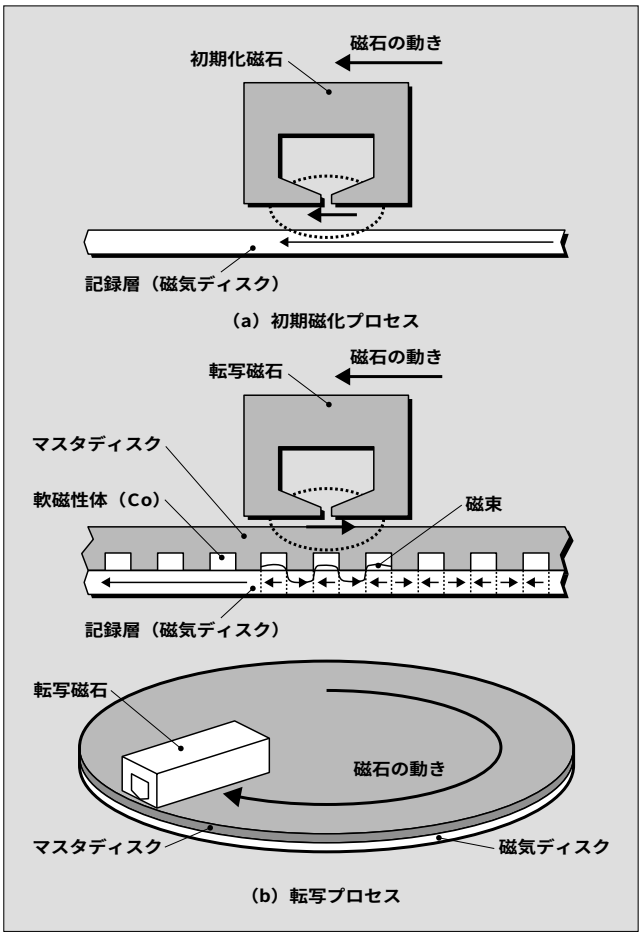



### 3.2　磁気転写によるサーボライト

富士電機は，上記 STW に替わる，安価で処理時間の短いサーボライト手段として，磁気パターンを原盤（マスタディスクと呼ぶ）から磁気ディスクへ一括コピーする磁気転写技術に着目した[(1)～(3)]。磁気転写技術により，あらかじめ磁気ディスクに参照サーボパターンを書き込んでおき，この参照サーボパターンに基づいて，HDD が自ら，さらに細かいサーボパターンを書き込む（これをセルフサーボライトと呼ぶ）。磁気ディスク１枚の磁気転写に要する時間は６秒以下であり，STW の実行時間をはるかに下回る。セルフサーボライトはクリーンルーム外で実行できるため，クリーンルームへの投資を大幅に抑える効果もある。

**図４**に磁気転写プロセスの原理を示す。①まず磁気ディスク近傍に外部磁界を近接させ，磁気ディスクの磁性層を一方向に磁化する（初期磁化）。②次に，マスタディスクを磁気ディスクに密着させた状態で，マスタディスク上から初期磁化と逆向きの磁界を加える。マスタディスクはシリコン基板上に，サーボパターンに対応した数百 nm の溝を掘り，その溝に軟磁性体（Co）を埋め込んだものである。軟磁性体間のギャップでは初期磁界と逆向きの磁束が漏れ出る。磁気ディスクは，軟磁性体のない部分に接した箇所が初期磁界と逆向きに磁化され，軟磁性体のある部分に接していた箇所は初期磁化が保存されて，マスタディス

**図４　磁気転写プロセス（長手記録）**



クのサーボパターン情報が磁気ディスクへ転写される。③最後にマスタディスクと磁気ディスクの密着をとく。**図5**はマスタディスクの外観である。

量産化において，ディスク全面に均一な信号を転写するためのキーポイントは，マスタディスクと磁気ディスクを良好に密着させる技術と，密着時のマスタディスクと磁気ディスクのクリーン度を保つ技術である。前者は，マスタディスク上にサーボパターンを形成したランド部分と，エアの流出入通路として働くグルーブ部分を交互に形成し，グルーブに流れるエア圧力をコントロールすることで実現している。後者に対する対策は次のとおりである。

(1) 磁気転写プロセス直前に磁気ディスク表面検査を実施する。

(2) ダウンフローを徹底し，磁気転写プロセス近傍のクリーン度をクラス1以下に保つ。

(3) マスタディスクのクリーニングを定期的に行う。

**図6**は，磁気転写したサーボパターンから再生したサーボ信号波形の一例である。トラック1周にわたって，均一なエンベロープが得られていることが分かる。

**図5　マスタディスクの外観**

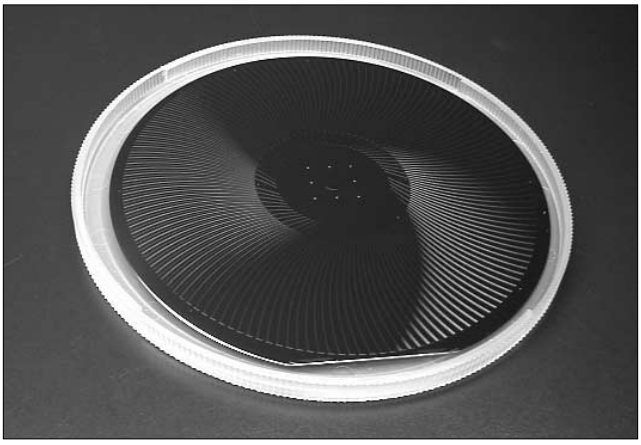
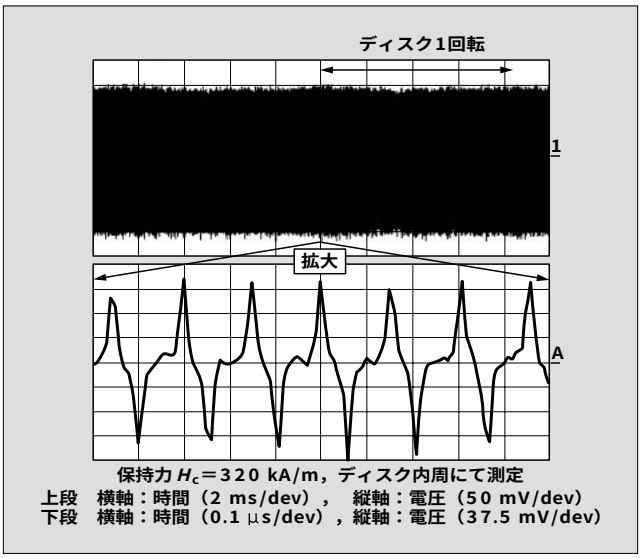


**図6　磁気転写ディスクから再生したサーボ信号波形（長手記録）**




## 4　開発の成果

### 4.1　磁気転写ディスクの量産

富士電機は，2001年7月から，サーボパターンを磁気転写で記録した磁気ディスク（以下，磁気転写ディスクと呼ぶ）の量産を開始した。現在，記録容量40Gバイト/枚クラスの磁気転写ディスクをドライブメーカーへ出荷している。パソコン向け用途であり，2001年度の出荷数は250万枚の予定である。出荷に際して，磁気ディスクの清浄性にかかわる信頼性試験（再生出力の安定性試験，イオンコンタミネーション試験，コロージョン試験，有機系コンタミネーション試験など）を実施しており，前章で述べたクリーン化技術を適用することにより，磁気ディスク表面にダメージやコンタミネーションを与えずに，磁気転写できていることを確認している。

### 4.2　次世代磁気ディスクへの展開

高保磁力の磁気ディスク，垂直磁気記録ディスクへの磁気転写実験を先行して行っている。原理実験の結果，両磁気ディスクとも磁気転写技術が適用できることを確認した。

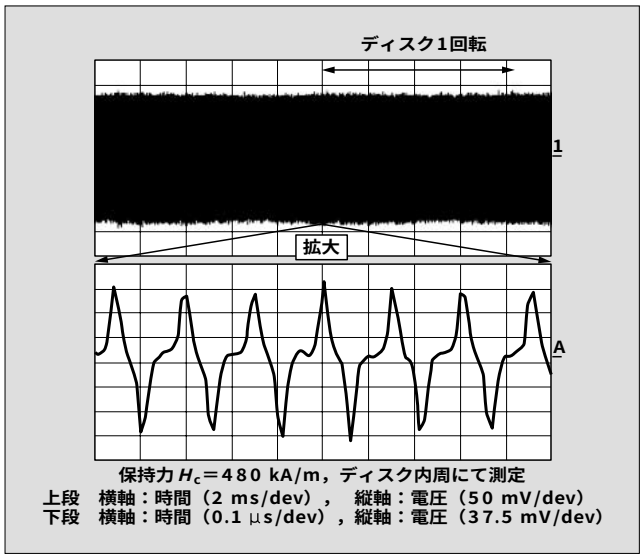
#### 4.2.1　高保磁力ディスク

磁気ディスクの磁性層の保磁力 $H_c$ は年々高くなっており，2003年には480 kA/m（6,000 Oe）に達する見通しである。保磁力 $H_c$ ＝ 480 kA/m 以上の磁性層を持つ磁気ディスクに対して，磁気転写の原理実験を行った結果，外部磁界の起磁力を上げることにより，現行媒体 $H_c$　320 kA/m（4,000 Oe）と同等の信号出力が得られることを確認できた。**図7**にサーボ信号波形の例を示す[(4)]。

#### 4.2.2　垂直磁気記録ディスク

面記録密度100Gビット/in$^2$以上では，記録方式が，現行の長手記録方式から垂直記録方式へシフトするものと予想される。垂直磁気記録ディスクに対して，磁気転写の原

**図7　高保磁力の磁気転写ディスクから再生したサーボ信号波形（長手記録）**



理実験を行った。長手磁気記録と同等の外部磁石とマスタディスクを使用し，マスタディスクの磁性体端部から漏れる磁束の垂直成分を使って記録する。**図８**にサーボ信号波形の例を示す。長手記録ディスクと同等の信号出力が得られることを確認した。[5]

### 4.3　次世代磁気転写装置の開発

**図９**は，富士電機が開発した次世代磁気転写装置の外観である。既存のアルミ基板長手磁気記録ディスクだけでなく，需要の増加が期待されるガラス基板磁気ディスク，垂直磁気記録ディスク，高保磁力の記録層を有する磁気ディスクへの磁気転写に対応するため，新たに開発したものである。バニッシュ（研磨）テープにより磁気ディスクに付着したパーティクルを取り除くテープバニッシュ機能と，磁気ディスクの初期磁化機能を有する磁気ディスククリーニング・初期磁化ユニット，1μm 以下のパーティクル付着を検出する異物検査ユニット，マスタディスクと磁気ディスクの位置ずれを 10μm 以下に抑えて磁気転写を行う，磁気転写ユニット，テープバニッシュ機能により，マスタディスクに付着したパーティクルを除去するマスタディスククリーニングユニットからなる。メンテナンス性を考慮し，ユニットごとに分割運転可能である。磁気ディスククリーニング・初期磁化ユニットと異物検査ユニットを磁気転写ユニットの直前に設置することで，磁気転写ユニットに投入される磁気ディスクのクリーン度を厳密に管理できる。また磁気転写ユニットにおいては，磁気転写機構をディスク搬送系機構の上部に設置し，クリーンエアの上から下への流れを徹底することにより，クラス１のクリーン度を確保している。主な仕様を**表１**にまとめる。

**図８　垂直磁気転写ディスクから再生したサーボ信号波形**

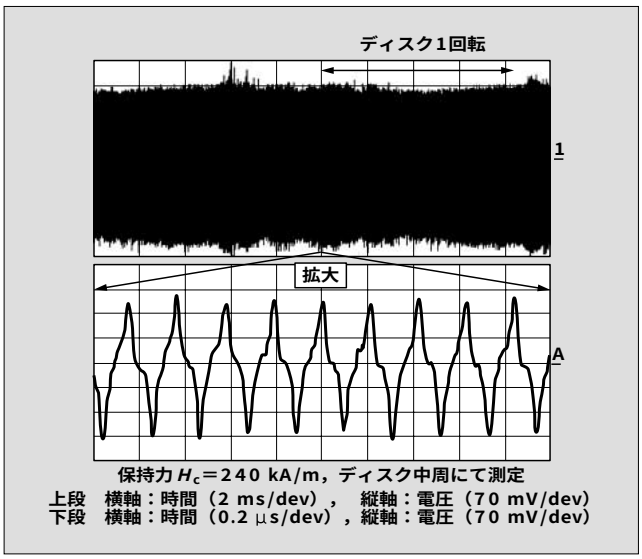



**図９　次世代磁気転写装置の外観図**

### 4.4　サーボ信号評価装置の開発

磁気転写ディスクのサーボ信号の品質を自動測定する，サーボ信号試験機能と，サーボ信号に基づいて，磁気ヘッドを任意トラック上に位置決めし，その位置決め精度を測定する機能（サーボ動作試験機能と呼ぶ）を持つ，サーボ信号評価装置を開発した。サーボ信号試験機能は，信号品質の細部にわたる評価手段として，サーボ動作試験機能は，サーボ信号の総合的な評価として有効である。

**図10**は，サーボ動作試験機能のブロック図である。市販

**表１　次世代磁気転写装置の仕様**

| 項　目 | 仕　様 |
|---|---|
| スループット | 600枚/時間 |
| 偏　心 | ＜10 μm |
| 磁気ディスクサイズ | 2.5/3.5インチ |
| 基　板 | アルミニウム/ガラス |
| 保磁力 $H_c$ | ＜640 kA/m |
| 記録方法 | 長手/垂直 |
| 機種変更時間 | ＜4時間 |
| クリーン度 | クラス1（0.1 μm以下） |
| マスタディスククリーニング | あり（テープバニッシュ方式および専用クリーニングディスク方式） |
| 磁気ディスククリーニング | あり（テープバニッシュ方式） |
| 稼動率 | ＞96% |
| 寸　法 | W3,300×D1,400×H2,000（mm） |

**図10　サーボ動作試験機能の構成**

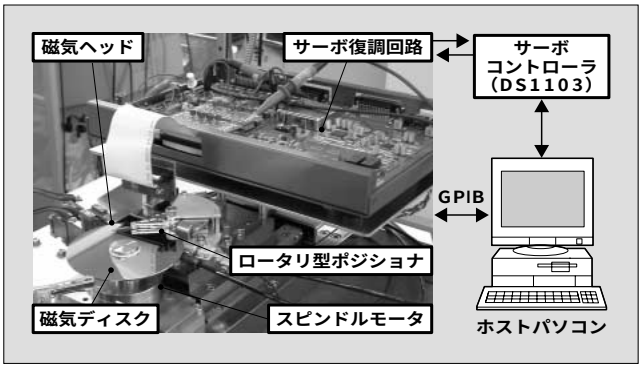


図 11　サーボ動作時における磁気ヘッドの位置決め精度測定波形

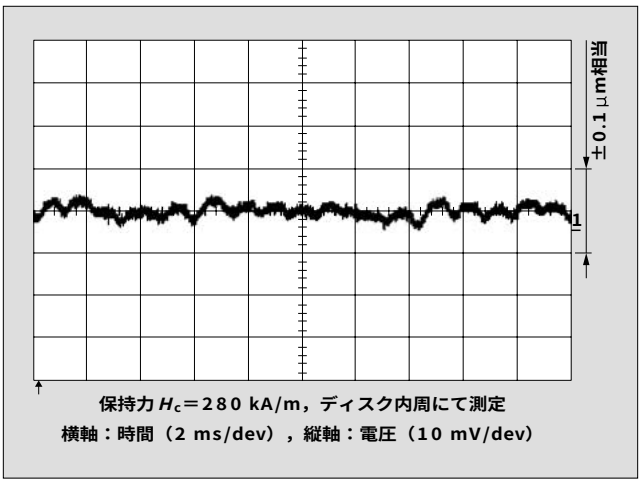
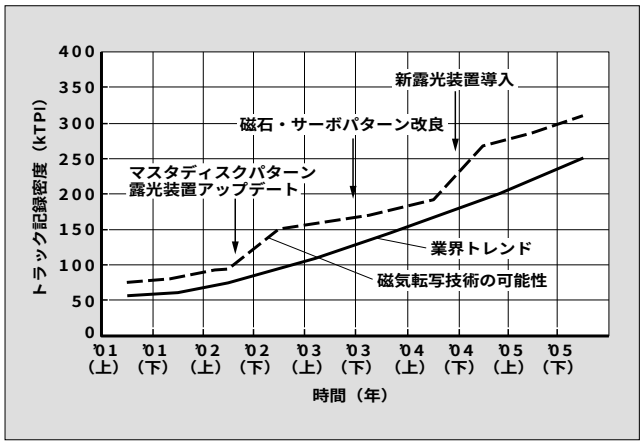



図 12　HDD のトラック記録密度推移予測




のスピンスタンド（磁気ディスクを回転させるスピンドルモータと，磁気ヘッドを移動し位置決めするステージ機構からなる,磁気ディスクおよび磁気ヘッドの専用試験装置）をベースとし，磁気ヘッドを高速に目標トラック上に位置決めするためのロータリ型ポジショナ，サーボトラックからの位置誤差信号を求めるサーボ復調回路，位置誤差信号に基づいてロータリ型ポジショナの位置決め制御を行うサーボコントローラ（dSPACE 社 DS1103），ホストパソコンを備えており，スピンスタンド上で，サーボパターンを記録した磁気転写ディスクのサーボ動作試験を実現できる。ロータリ型ポジショナはドライブに搭載されているVCM（Voice Coil Motor）タイプを流用する。**図11**は磁気転写ディスクに対して，磁気ヘッドの位置決め精度を測定した例である。トラック幅のおよそ 1/10 に相当する±0.1 μm 以下に収まっていることが分かる。

## 5　今後の展開

ネットワーク家電に搭載される HDD では，動画像の記録再生が日常的に行われるものと予想され，パソコン用途同様に磁気ディスク 1 枚あたりの記録密度向上が求められる。**図12**は，トラック記録密度の年予測を示したものである（TPI：Track Per Inch）。

磁気転写技術のブラッシュアップとして，マスタディスク上に形成するサーボパターンの微細化検討，磁気シミュレーション適用による外部磁界用磁石の最適化検討，サーボパターンの改良検討を進め，2002年度中にトラック記録密度 150 kTPI（現行の 2 倍に相当）を達成する予定である。

磁気転写技術は，サーボパターンだけではなく，データやソフトウェアを埋め込む用途にも適用できるものである。ネットワーク家電において鍵となるセキュリティ情報を埋め込んだセキュリティ磁気ディスクといった新しい用途の可能性についても検討を進める。

## 6　あとがき

HDD の磁気ヘッドを位置決めするためのサーボパターンと，その新しい書込み方式である磁気転写技術について紹介し，現在までの主な開発成果と今後の課題について報告した。磁気転写技術は，HDD 製造のサーボライト工程にかかるコストを大きく引き下げることのできる技術として，HDD 関連メーカーから注目されている。今後採用メーカーが増え，サーボライトのデファクトスタンダードになることを期待する。

### 参考文献

(1) Ishida, T. et al. Demodulation of Servo Tracking Signals Printed with Lithographically Patterned Master Disk. IEEE Trans. Magn. vol.37, no.4, 2001, p.1412–1415.

(2) Ishida, T. et al. Printed Media Technology for an Effective and Inexpensive servo Track Writing of HDDs. IEEE Trans. Magn. vol.37, no.4, 2001, p.1875–1877.

(3) Saito, A. et al. Optimization of a Magnetic Printing Process by Computer Simulation. IEEE Trans. Magn. vol.37, no.4, 2001, p.1389–1392.

(4) Saito, A. et al. Magnetic Printing Technique for Longitudinal Thin Film Media with High Coercivity of 6000 Oe. MMM2001, Seattle, HD–02 2001.

(5) Saito, A. et al. A novel magnetic printing technique for perpendicular media. Intermag Europe 2002, Amsterdam, BS–07, 2002.

# 感光体の現状と展望

川上　春雄（かわかみ　はるお）　　成田　　満（なりた　みつる）　　田中　辰雄（たなか　たつお）

## 1　まえがき

最近のパソコンおよびその周辺機器の高性能化と急激な普及は目覚ましいものがある。これら情報機器の進歩がわれわれの生活に及ぼす影響はディジタル化，カラー化，ネットワーク化の三つのキーワードで表されるといわれている。身近な例を挙げれば，カメラ，ビデオなどの画像機器のディジタル化が急ピッチで進んでおり，それらのカラー画像をインターネットを介して配信することがすでに日常化している。特に，これらの現象がオフィスのみならず一般家庭においても幅広く見られるようになったことに大きな意義があるように感じられる。

こうした情況の中で，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，期待される性能も高くなってきている。

本稿では，これらプリンタ，複写機の市場動向と，その中での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および周辺製品の概要について述べる。

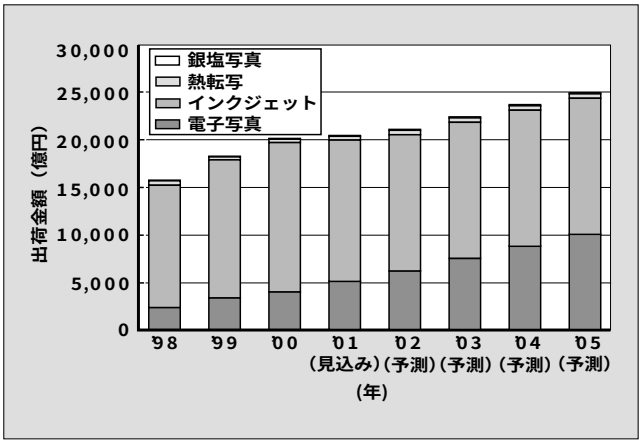
## 2　プリンタ，複写機の市場動向

液晶に代表される薄型ディスプレイの進展にもかかわらず，情報媒体としての紙の消費量は堅実な成長を続けている。この理由は種々考えられるが，なによりも，紙が，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。

一方では，紙に替わる媒体として，電子ブック，電子ペーパーなど，新規技術の開発も進んでいる。中長期的にはこれらの電子媒体が紙媒体に対する相対的比率を増やしていくと予測されるものの，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，しばらくは両媒体とも成長し続けるという推測もなされている。[1]

コンピュータなどからの画像出力デバイス分野においては，個人向けを中心としたインクジェット方式とオフィス向けを中心とした電子写真方式の住み分けが明確となっている。インクジェット方式は，低マシン価格，カラー対応，専用紙での画質に特徴を持ち，電子写真方式は，低ランニングコスト，スピード，普通紙での画質に特徴を持つ。**図1**は，カラーハードコピー機器の市場予測を示したものである。[2] 電子写真方式のカラープリンタ，カラー複写機はようやく本格的な普及が始まった段階であるが，今後は大きく成長すると予測されている。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て共に伸長を続けていくものと考えられる。ちなみに，現状での両方式による印刷枚数の比率は，モノクロ画像を含めて，おおよそインクジェット：電子写真＝１：３といわれている。

**図1　カラーハードコピー機器の出荷金額の推移予測**[2]




## 3　電子写真の動向

電子写真方式のプリンタ，複写機の出荷台数はここ数年は飽和傾向にあり，数%の伸びにとどまっている。しかし，前述の三つのキーワードで表される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ともに，新しい市場が開けつつある。

**川上　春雄**

光機能材料，有機感光体の開発に従事。現在，富士電機画像デバイス(株)取締役 OPC 開発部長。工学博士。応用物理学会会員。

**成田　　満**

プリンタ用・ POD 用有機感光体の開発・設計に従事。現在，富士電機画像デバイス(株)OPC 開発部次長。日本画像学会会員。

**田中　辰雄**

電子写真用感光体の開発および営業に従事。現在，富士電機画像デバイス(株)取締役営業部長。

### 3.1　プリンタ

電子写真方式によるプリンタのカラー化は，他の情報機器に比べると遅れを取っていたといわざるを得ない。**図２**，**図３**にはそれぞれ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示す[(2)(3)]。2001年の予測ではモノクロプリンタの出荷台数が約 1,000 万台であるのに対し，カラープリンタの出荷台数は約 70 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 30 %程度の成長をみせており，今後，急激に市場が拡大するものと予測されている。

**図３**でも分かるように，現在，カラープリンタは画像出力スピード 6 枚/分（ppm）以下の低速機が主流であるが，技術開発，製品化が急ピッチで進められており，今後はこれに加えて 15 枚/分以上の中高速機が主流になると予測されている。この場合，低速機は，１本の感光体ドラムで順に 4 色を印刷する方式（４サイクル方式）を採るのに対し，中高速機では，4 本の感光体ドラムを直列に配しておのおの１本の感光体ドラムが１色ずつを印刷する方式（タンデム方式）が主流になると考えられている。電子写真方式のカラープリンタが今後市場を拡大するには，他方式との比較においていかに低価格の商品を提供していけるかがポイント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基体に高い寸法精度が要求される。

もう一つの新しい動きとしては，情報のネットワーク化の進展に伴うオンデマンドプリンタの普及がある。紙媒体への印刷という観点では，新聞，本，雑誌，カタログなどが全体の約 70 %を占めているといわれている。これらに対する印刷手段として，現在はオフセット印刷やグラビア印刷が用いられているが，オンデマンドプリンタはそのうちの小ロット印刷やオンサイトでの印刷を目的としたものである。その市場イメージはいまだ明確にはなっていない側面があるが，電子写真式プリンタの特長である高速性および利便性を生かした新しい用途であるといえる。

この分野で用いられる感光体には，印刷スピードに対応するための高感度，高速応答性と感光体を長寿命化するための耐刷性，およびオフセット印刷に迫る高解像度が要求される。また一部では，従来の乾式トナーではなく液体トナーを用いて解像度を上げる試みも発表されつつあり，これに対応した感光体の開発も行われている[(4)]。

### 3.2　複写機

**図４**に複写機出荷台数の推移を示す[(3)]。総数ではほぼ横ばいの状態となっているが，その中でディジタル複写機が年率 20 %以上で急成長しており，主役の座を交代しつつある。特に，プリンタ，複写機，ファクシミリの機能を兼ね備えた複合多機能機が中高速機を中心に堅調な伸びを示している。一方で，画像出力スピードが 10 枚/分以下の低速機は徐々にプリンタに置換えが進むという観測もなされている[(3)]。

ディジタル複写機用の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，グラフィック画像のための中間調を再現するための階調性など，プリンタプロセスに適応した光減衰特性の実現が求められる。

**図２　電子写真モノクロプリンタの出荷台数の推移**[(3)]

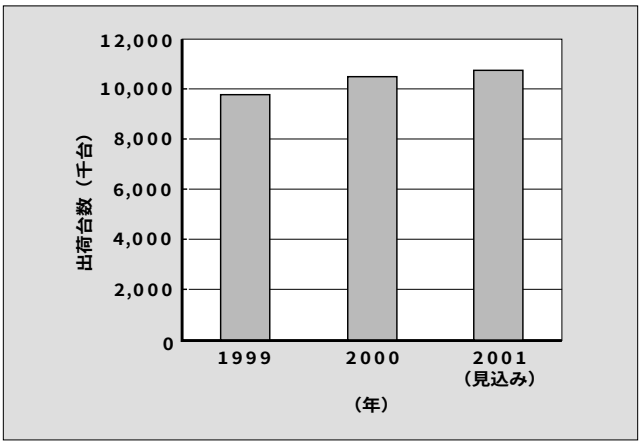



**図３　電子写真カラープリンタの出荷台数の推移予測**[(2)]

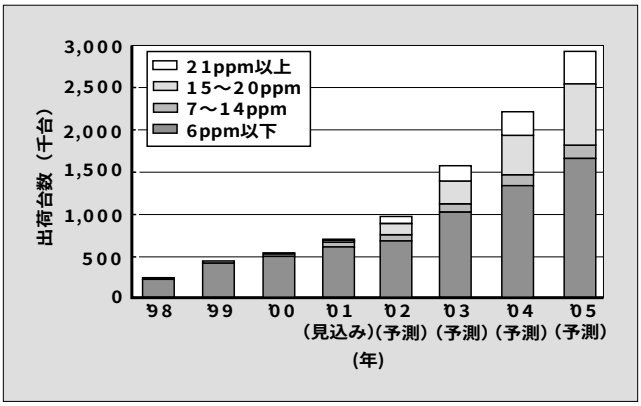



**図４　複写機出荷台数の推移**[(3)]

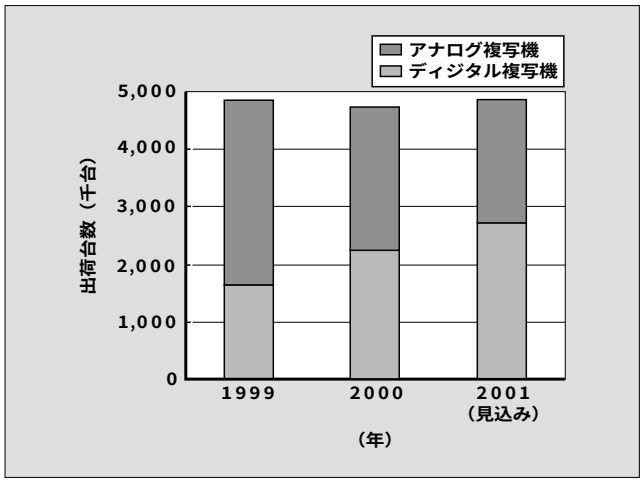
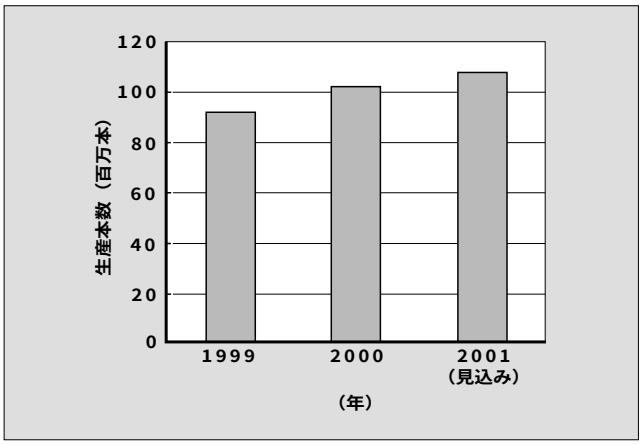


**図５　感光体生産本数の推移**[3]




### 3.3　感光体

これら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５**はこれらの感光体の総数の推移を示したものであるが，年率６～10％の堅調な伸びを示しているのが分かる[3]。今後は前述のように，カラープリンタ，オンデマンドプリンタの普及など，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。

これら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)　ディジタル複写機（高速応答性，耐刷性，階調性）

このほか，現像剤，ローラ，ブレードなど，各種部材の改善，プロセス条件の高度化（定着の低温化，転写条件の改善など）も進んでおり，これらプロセスへの対応を取っていくことも重要な課題となる。

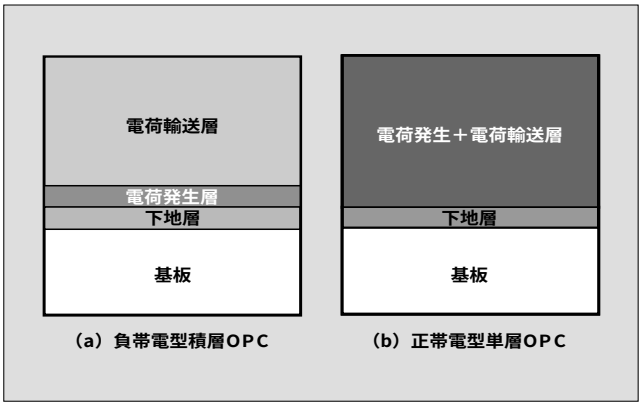
## 4　富士電機の製品概要

富士電機は，電子写真用感光体，およびその関連分野の事業を1999年に富士電機画像デバイス(株)として独立会社化し，急激な環境変化に対するスピーディーな対応を取れる体制とした。感光体の生産拠点として国内（松本地区）のほか，子会社として米国に U. S. Fuji Electric，香港に香港富士電機有限公司を持ち，全世界の需要に効率的に対応している。また，中国・深圳地区には香港富士電機有限公司の子会社として富穂電機有限公司を持ち，プロセスカートリッジ，トナーカートリッジをはじめ，各種の周辺製品の生産拠点としている。多くのプリンタメーカーが中国を含むアジア地区でのプリンタ組立を行っている現在，香港での感光体生産，深圳で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。

**表１　OPC の製品系列**

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

**図６　OPC の層構成**




### 4.1　OPC

富士電機では，**表１**に示す４タイプの OPC を製品系列化している。

(1)　プリンタ用 OPC

プリンタ用 OPC（タイプ８）として，低速機から高速機に至るまで幅広い感度範囲に対応可能な製品をそろえている。特に有機材料系については，豊富な種類の材料系（電荷発生材料，電荷輸送材料など）を取りそろえており，顧客の要望に幅広く応えることが可能である。また，カラープリンタで要求される色再現性の制御も広い範囲で可能となっている。加えて，ドラムの寸法精度についても加工方法の改良により改善を図っている。

(2)　複写機用 OPC

アナログ複写機用としてのタイプ９，ディジタル複写機用としてのタイプ10の２系列の感光体を製品化している。複写機に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，同時に新材料の開発，設計によりさらなる特性の改善を進めている。

(3)　正帯電型単層 OPC

オゾン発生が少なく，解像度，応答性，環境依存性に優れた正帯電型単層 OPC は従来からその実現が待たれていたものである。層構成を**図６**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いというメリットとともに，光吸収と電荷発生が感光体表面で起きるため本質的に高解像度が可能という特徴がある。また，積層型に比して応答性，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，中速ページプリンタ，オンデマン

**表２　セレン感光体の製品系列**

| タイプ | 材　料 | 用　途 |
|---|---|---|
| 4 | Se－Te（－As）系合金 | 中低速複写機，レーザプリンタ |
| 5 | Se－As 系合金 | 高速複写機，レーザプリンタ |

ドプリンタへの展開を進めるとともに，感度の改良によりその適用範囲を広げつつある。

### 4.2　セレン感光体

セレン感光体の製品系列を**表２**に示す。セレン-テルル（-ひ素）〔Se-Te（-As)〕系，セレン-ひ素（Se-As）系の２タイプを製品化している。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常にリードしてきており，顧客の要求に応え続けている。

### 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。さらに，カートリッジを含めた周辺部材の設計および生産を推進するとともに，小型，高画質を実現する富士電機独自のカートリッジの開発に取り組んでいる。これらの製品の多くは前述の中国の富穂電機有限公司で生産される。

## 5　あとがき

本格的な高度情報時代の到来とともに，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。富士電機はこれに応えるべく，材料開発，製品開発，生産技術の高度化へのチャレンジにより，顧客にとって世界で最も魅力ある製品開発を目標としている。今後も全社，全グループが力を結集して技術力の強化を図り，顧客のニーズに対応した高性能で信頼性の高い製品を提供していく所存である。

### 参考文献


(1)　Kipphan, H.　Final Program and Proceedings of IS&T's NIP17.　International Conference on Digital Printing Technology.　2001，p.2.

(2)　2001年版全ハードコピーの将来性と有望市場に関する調査.　データサプライ．2001.

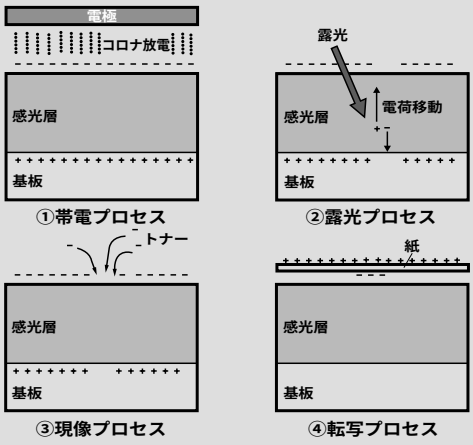
(3)　2001年版 IT 画像機器ハンドブック．データサプライ．2001.

(4)　Yagi, H. et al.　Final Program and Proceedings of IS&T's NIP16.　International Conference on Digital Printing Technology.　2000.　p.246.


### 解　説　電子写真

電子写真は1938年にカールソンにより発明され，現在では複写機，レーザプリンタなどに広く用いられている。そのプロセスの概要を図に示す。導電性の基体の上に形成される感光体は，暗中では電気的に絶縁体である。これをコロナ放電などの方法により数百 V に帯電させる（帯電プロセス）。さらに光を照射するとその部分に正負の電荷が生じ，表面の電荷を中和する。これにより感光体表面に，光の照射を受けた部分と受けない部分で電位分布が生ずる（露光プロセス）。この上に帯電した着色粉末（トナー）を振り掛けると，トナーが電位分布に対応して感光体に付着して画像が形成される（現像プロセス）。最後に，このトナーを紙に転写することにより紙の上に所定の画像を得ることができる（転写プロセス）。

感光体としては，セレンやアモルファスシリコンなどが用いられてきたが，最近は有機電子材料の進歩に伴い，これらを用いた有機感光体が主流となっている。




電子写真プロセスの概要

# プリンタ用有機感光体

寺崎　成史（てらさき　せいし）　福島　幸二（ふくしま　こうじ）　森本　正博（もりもと　まさひろ）

## 1　まえがき

パーソナル向け低速プリンタ分野でのインクジェットプリンタの伸長やネットワーク時代の本格的な到来による環境の変化に伴い，電子写真方式のプリンタ市場は**図1**[(1)]に示すようにプリンタ単機能の低速機市場は縮小する一方，高速機分野やMFP（Multifunction Peripheral）市場，さらにフルカラー機市場が拡大するとみられている。

このような市場動向に伴い，プリンタ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に各種ニーズに適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，ファクシミリ，プロッタ，MFPを含む負帯電型OPC製品の概要とその特長について紹介する。

## 2　製品の概要

負帯電型OPCの層構成は**図2**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なる下引き層（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をなす。

CGLは電荷発生材料（CGM：Charge Generation Material）と樹脂バインダとから構成され，レーザやLED（Light Emitting Diode）などの露光光により電荷発生機能を有する。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，**表1**に示すとおり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有している。CGLの膜厚制御を厳密に行うことと合わせて，**表1**に示すとおり半減衰露光感度で0.08～0.60 μJ/cm$^2$の範囲で調整可能である。

**図3**に低感度・中感度・高感度タイプそれぞれの分光感度特性を示す。いずれのタイプも600 nmから800 nmま

**図1　電子写真方式のプリンタ市場動向**

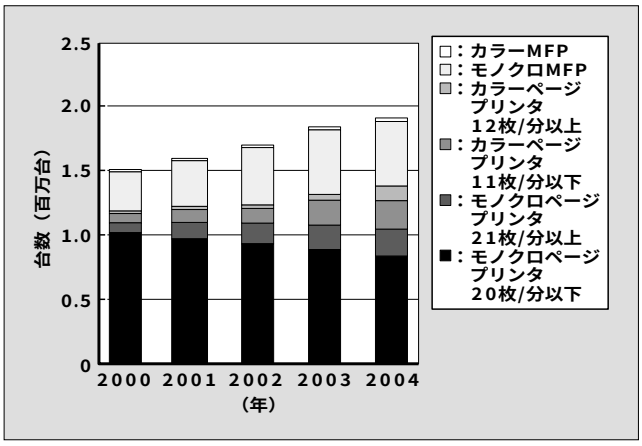



**図2　負帯電型OPCの層構成**

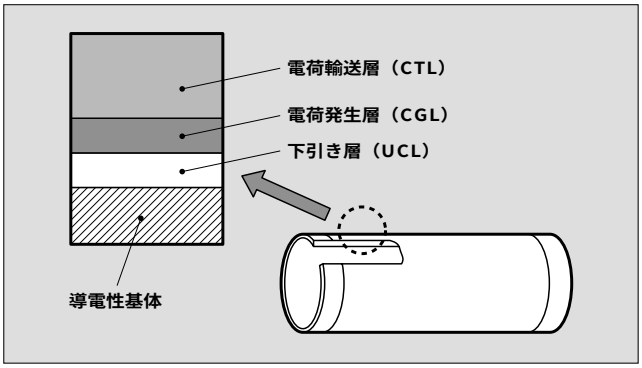



**表1　製品の概要**

| 呼　称 | 感　度（半減衰露光量） | 印字速度適用領域 |
|---|---|---|
| 8A（低感度タイプ） | 0.20～0.60 μJ/cm$^2$ | ～20枚/分 |
| 8B（中感度タイプ） | 0.13～0.20 μJ/cm$^2$ | ～40枚/分 |
| 8C（高感度タイプ） | 0.08～0.13 μJ/cm$^2$ | 40枚/分≦ |

**寺崎　成史**

有機感光体の開発・設計に従事。現在，富士電機画像デバイス(株)OPC開発部課長補佐。日本化学会会員。

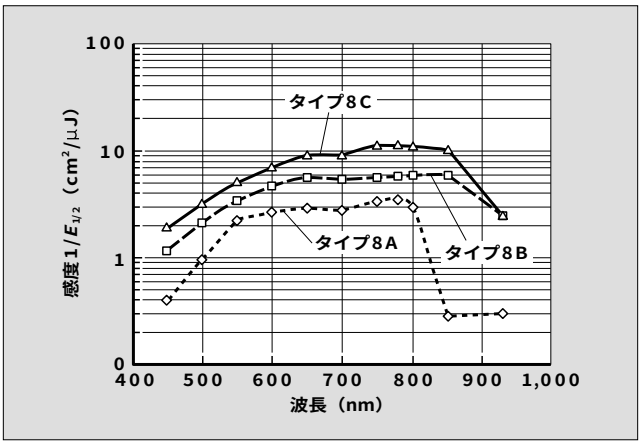
**福島　幸二**

有機感光体の開発・設計に従事。現在，富士電機画像デバイス(株)OPC開発部。

**森本　正博**

感光体の市場開拓・販売に従事。現在，富士電機画像デバイス(株)営業部課長。

図３　分光感度特性




での波長領域でほぼ一様な感度を有しており，一般的なレーザや LED 光源に適合する特性を有している。これらの CGL と CTL との組合せにより，20枚/分以下の低速機から40枚/分以上の高速機まで適合する OPC の供給が可能である。

形状について，外径 24 mm から 262 mm まで，長さ 246 mm から 1,000 mm まで対応可能であり，A4 ページプリンタから A1 プロッタまで幅広く製品展開を行っている。

## 3　製品の特長

高速・多機能・フルカラーというプリンタ市場の三つのキーワードに対応する OPC を供給するために，富士電機では OPC への要求性能について**図４**に示すように分類し，それぞれの技術課題に取り組んでいる。以下，それぞれの項目について特長を記載する。

### 3.1　高感度対応技術

直径 30 mm の OPC で A4 横送り40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 80 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，富士電機ではキャリヤ移動度 5 × $10^{-5}$ $cm^2$/V･s という高速対応の CTM を独自開発している。

**図５**に明部電位の露光ー現像間時間依存性を示す。高速タイプでは露光ー現像間時間が 60 ms までほぼ一様となっており，前記プロセスに十分対応可能な特性を有している。また，**図６**に示すとおり，当該 OPC は明部電位の環境変動値も 20 V 程度でありきわめて良好である。

### 3.2　高画質対応技術

#### 3.2.1　光減衰特性

コピー機能を有する MFP では，ディジタル普通紙複写機（PPC）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 600 dpi（ドット/インチ）から 1,200 dpi 以上へと高解像度化が進み，トナーの微細化やレーザビーム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と合わせて，従来以上に

図４　OPC 要求特性と技術課題

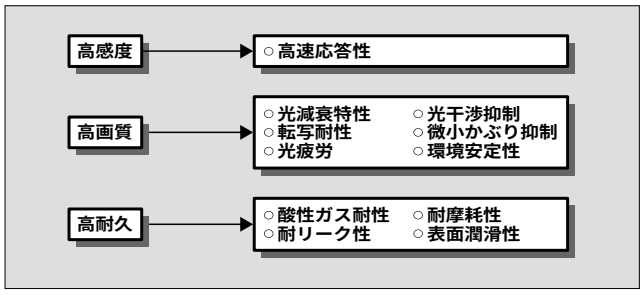



図５　光応答性

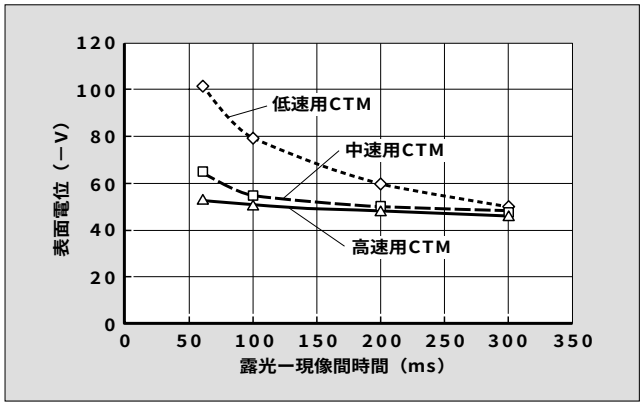
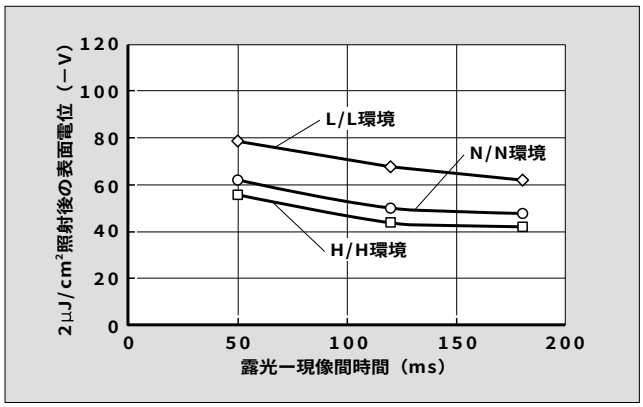



図６　光応答性の環境依存性




グラフィック画質の向上が望まれている。富士電機では，高画質，特に高解像度が得られるように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７**に富士電機製 OPC のタイプ別光減衰特性の一例を示す。本特性は 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可能である。

#### 3.2.2　耐転写特性

負帯電 OPC は反転現像方式にて使用されるため，転写部にて帯電部と逆極性の電荷がドラムに印加されることになる。プロセス条件によっては，次帯電工程にて転写履歴が残りハーフトーン画像上に濃淡差となって現れる，いわゆる転写メモリが発生することがある。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，従来以上に耐転写特性の要求が高まっている。富士電機ではこれまでの知見に基づき UCL/CGL/CTL 各機能層に使用される材料の最適化を図ることにより転写影響の低減を図っている。**表2**に対策品と従来品の耐転写特性を示す。従来品と比較して転写オン・オフ時の表面電位差は 1/3 以下となっており，600 dpi の MFP コピーモードにおけるハーフトーン画像でも転写メモリは皆無となっている。

### 3.2.3　光疲労抑制

転写メモリと同様の理由により，光メモリについてもわずかな電位差が画像障害となりうるため，光疲労の少ない OPC が求められている。富士電機製 OPC と他社製 OPC の強光疲労特性比較データを**図8**に示す。10,000 lx もの強露光や 200 lx の弱い光を長時間暴露した場合，どちらにおいても，ほとんど電位低下は認められず良好な特性を有している。

**図7　光減衰特性**

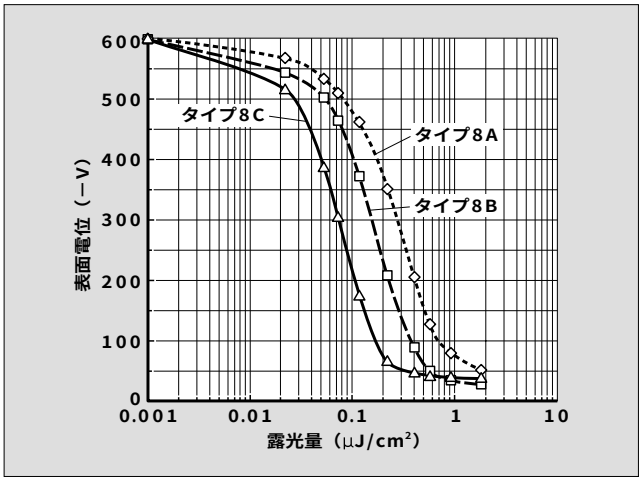
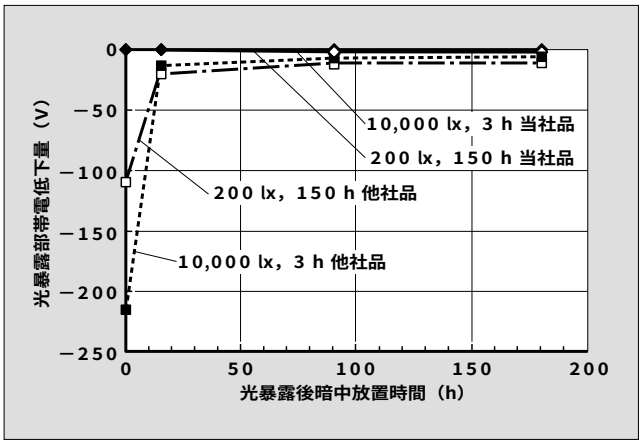



**表2　転写メモリ電位比較**

| 評価ドラム | 転写オフ時帯電位 | 転写オン時帯電位 | 電位差 | 印字結果 |
|---|---|---|---|---|
| 当社従来品 | −610 V | −575 V | 35 V | × |
| 転写メモリ改良品 | −615 V | −605 V | 10 V | ○ |

**図8　強光疲労特性**




### 3.2.4　光干渉抑制

光源がレーザの場合，基板での反射率が高いと入射光との間で光干渉が発生し，ハーフトーン画像上に濃淡むらとして現れるため，プリンタ用 OPC には光干渉抑制機能が必要である。基板表面の微細加工により干渉抑制を行うのが一般的であるが，富士電機では UCL に十分な干渉抑制能力を持たせることにより，素管表面の加工にたよらず光干渉対策を実現している。また，その一方では最近のカラープリンタなど微弱な干渉まで顕像化するプロセスに対応するために，UCL に加えて独自の基板表面の微細加工設備を整え，光干渉に対して万全の体制をとっている。

### 3.2.5　微小かぶり抑制

特に色重ね方式のフルカラー機用 OPC については，従来のプリンタ以上にかぶり抑制の要求が高まっている。かぶりとは，基板側からの微小面積での電荷注入によりドラム表面の帯電電位が低下し，白紙部にトナーが付着する現象である。富士電機では最適な基板材料を選択すると同時に，基板洗浄技術や UCL 材料技術・塗工技術を駆使することにより基板側からの電荷注入の原因となる微細な欠陥の低減に努め，微小かぶりの対策を行っている。

### 3.2.6　環境安定性

初期画質を維持するために，OPC は設定される寿命まで環境の影響をなるべく受けないことが望まれている。

直径 30 mm の OPC を搭載する市販の MFP にて，常温常湿環境（N/N），低温低湿環境（L/L），高温高湿環境（H/H）にてそれぞれ 2 枚間欠モードにて A4 縦送り 25,000 枚の耐刷を行い 5,000 枚ごとに電位測定したデータを**図9**～**図11**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有している。

## 3.3　高耐久対応技術

### 3.3.1　酸性ガス耐性

ページプリンタやパーソナル分野の MFP は帯電方式として，ローラやブラシなどの接触帯電方式が主流となっているが，大型のプリンタやプロッタではまだスコロトロン方式による帯電が一般的であり，オゾンなどの酸性ガスに対する耐性が求められている。

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。富士電機では CTM にイオン化ポテンシャルの深い材料を用い，さらに適切な酸化防止剤を組み合わせることにより十分な酸性ガス耐性を確保している。具体的には使用する CTM に適切な，かつ作用の異なる酸化防止剤を組合せ，より少ない添加量で最大限の効果が得られるように設計している。

### 3.3.2　耐リーク性向上

**3.3.1** 項に記したとおり，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，陽極酸化皮膜（ALM）と

図９　N/N 環境耐刷時の電位安定性

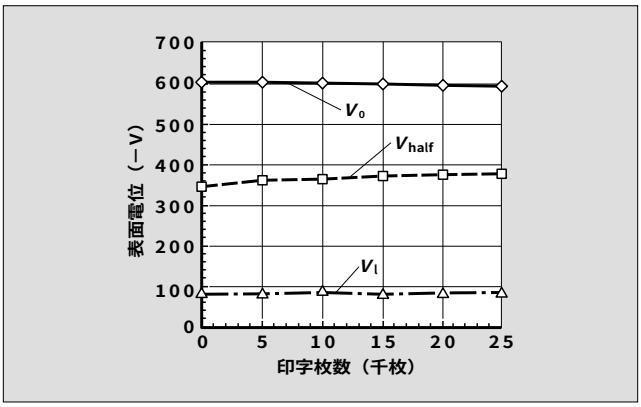



図 10　L/L 環境耐刷時の電位安定性

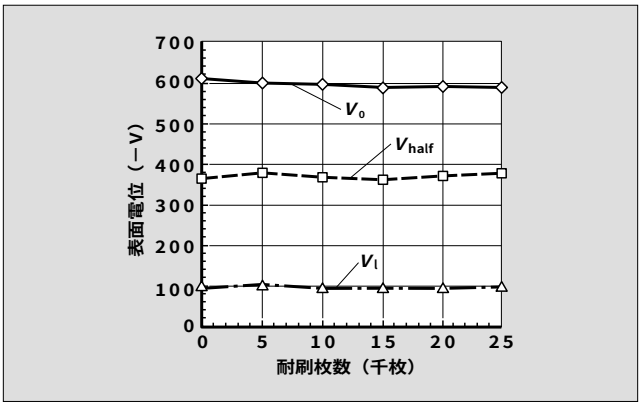
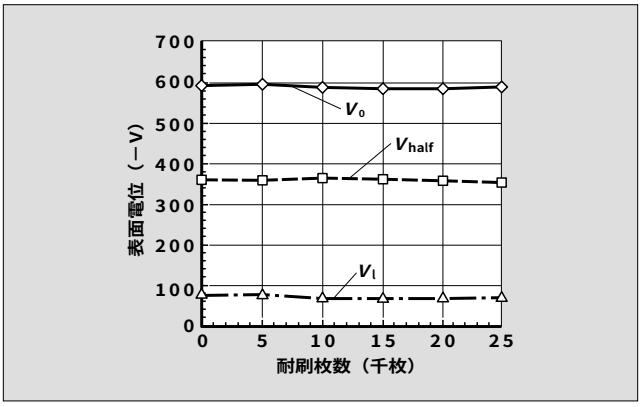



図 11　H/H 環境耐刷時の電位安定性




同等の耐リーク性を有する UCL を開発・製品化している。**表３**に外部電源に接続した帯電部材をドラム表面に固定させ測定した耐リーク性評価結果を示す。ALM と同様に−7 kV 以上の耐電圧特性を有する結果が得られている。

表３　耐リーク性

| 評価ドラム | 接触部材への印加電圧（−kV） | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | 6.0 | 6.5 | 7.0 | 7.5 | 8.0 |
| ALM-サンプル1 | ○ | ○ | ○ | ○ | ×（リーク） |
| ALM-サンプル2 | ○ | ○ | ○ | ×（リーク） | ×（リーク） |
| ALM-サンプル3 | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ |
| UCL-サンプル1 | ○ | ○ | ○ | ×（リーク） | ×（リーク） |
| UCL-サンプル2 | ○ | ○ | ○ | ○ | ×（リーク） |
| UCL-サンプル3 | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ |

### 3.3.3　耐摩耗性，感光体表面物性

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）などによって左右される。これらの現象は OPC 当接部材やプロセス設計によって大きく異なるが，OPC に対しては，低摩耗，高硬度，低フィルミングなどの特性が求められる。

富士電機ではディジタル PPC 用 OPC ともども新規構造設計による耐摩耗性に優れた樹脂および潤滑性を有する樹脂の独自開発を行っており，各種プロセスへの最適化を図っている。

## 4　あとがき

電子写真方式のプリンタはさらに多機能・高品質化が進み，性能上はプリンタと PPC という区分がなくなっていくため，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。富士電機は市場ニーズにマッチした OPC をいち早く開発・製品化すると同時に，カートリッジまで含めた一貫した開発製造を推進し，環境にも配慮した特長ある製品を提供していく所存である。

### 参考文献

(1)　2001年版ビジネスマシーンズセールスブック．オフィス研究所．2001.

# ディジタル複写機用有機感光体

篠崎　美調（しのざき　みちょう）　笠原　正彦（かさはら　まさひこ）　濵田　修一（はまだ　しゅういち）

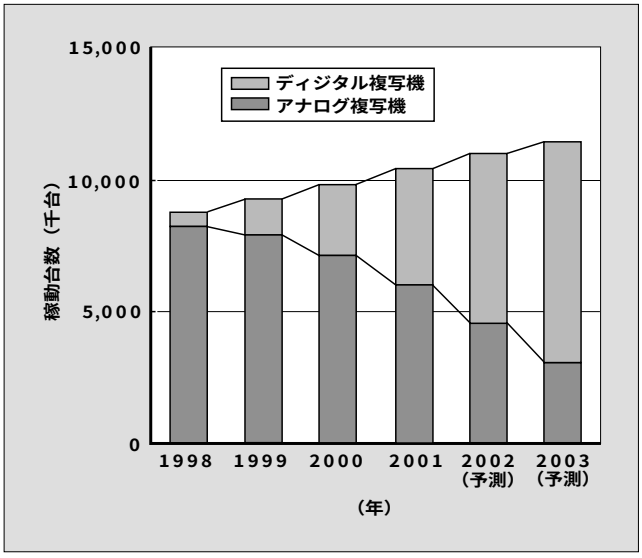
## 1　まえがき

複写機市場の技術動向としては，各メーカーともに高速度化，メンテナンスフリー化，低価格化を進めてきた。これに対応するため，感光体は感度特性，動作安定性，高耐刷性などの改善がなされてきた。特に有機感光体（OPC：Organic Photoconductor）は小型化（小径化）に適し，低価格で製造でき，また廃棄しやすいため急速に発展してきた。

近年のディジタルブームに乗って，複写機市場においてもディジタル化が急速に進んでいる。**図１**にアメリカ市場におけるディジタル機とアナログ機の稼動台数の変化を示す。2000年度においては，ディジタル機の比率は30％弱であるが，2003年度にはおよそ75％にまで成長すると推測されている。

富士電機は，複写機用OPCとしてアナログ式にはタイプ９系を，ディジタル式にはタイプ10系で対応している。本稿では，ディジタル複写機用タイプ10系OPCの概要を紹介する。

**図１　ディジタル複写機とアナログ複写機の稼動台数**




## 2　製品の概要

OPCを使用した複写機は，その複写スピードで低速機（3～12枚/分），中速機（13～39枚/分），および高速機（40枚以上/分）に大別できる。富士電機はこれらの複写機に対応可能なOPCを開発し，**図２**に示すように大別して３タイプで対応している。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，顧客の要求に応じ，自由に選択することができる。

OPCの概略構造を**図３**に示す。図に示すように，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，次に電荷発生層（CGL：Charge Generation Layer）を，最表面に電荷輸送層（CTL：

**図２　複写スピードとOPCの外径および各タイプの適用範囲**

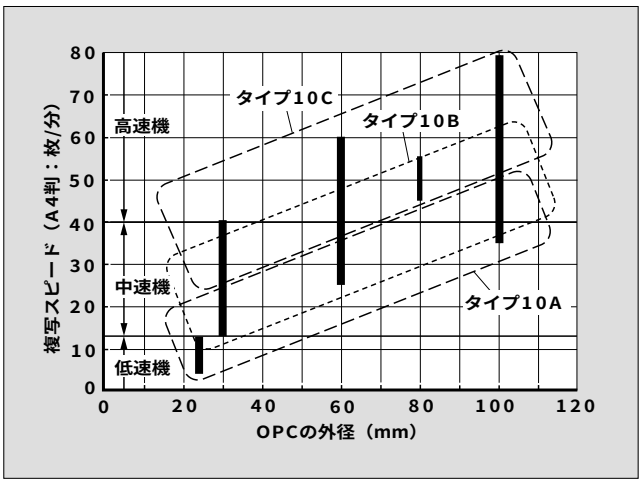



**表１　基本特性**

| 項目 ＼ 分類 | 適用感度帯 半減衰露光量（μJ/cm²） | 帯電位 $V_0$（V） | 暗中帯電保持率（5秒後）（%） | 半減衰露光量（μJ/cm²） | 残留電位 $V_r$（V） |
|---|---|---|---|---|---|
| タイプ10A | 0.30～0.50 | −605 | 97.1 | 0.41 | −35 |
| タイプ10B | 0.15～0.30 | −603 | 97.5 | 0.20 | −21 |
| タイプ10C | 0.07～0.15 | −603 | 97.2 | 0.08 | −9 |

**篠崎　美調**

複写機・プリンタ用有機感光体の開発・設計に従事。現在，富士電機画像デバイス(株)OPC開発部課長。

**笠原　正彦**

複写機用・プリンタ用のセレンおよび有機感光体の開発・設計に従事。現在，富士電機画像デバイス(株)OPC開発部。

**濵田　修一**

複写機用有機感光体の開発・設計に従事。現在，富士電機画像デバイス(株)OPC開発部。

図３　ディジタル複写機用 OPC の構造

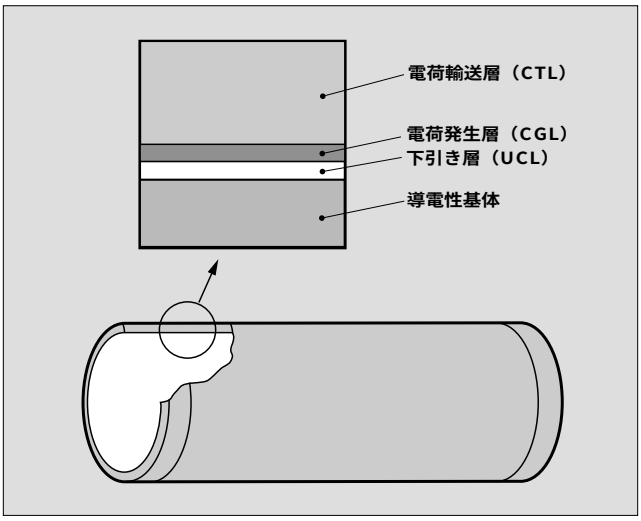
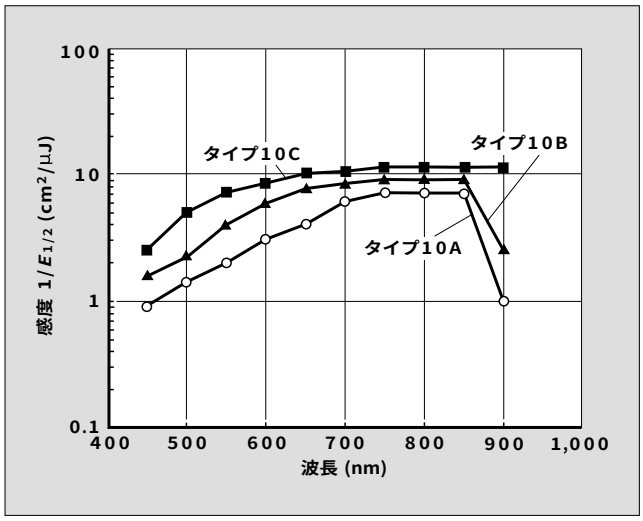



図４　OPC の分光感度




Charge Transport Layer）を塗布した機能分離型積層 OPC である。

ディジタル複写機用 OPC はプリンタ用 OPC に使用している材料（タイプ８系）を共通して使用でき，タイプ８系で培ってきた技術をタイプ10系に活用している。

## 3　製品の特徴

複写機分野では，アナログ複写機からディジタル複写機へ移行し，より高機能化，高速度化，高信頼性化が進んでいる。その中で，OPC に求められる特性も多種多様に分岐しており，おのおのの要求特性に応えるため，材料開発を進めている。

富士電機のディジタル複写機用 OPC は，低・中速機から高速機に至るまで搭載可能であり，次のような特徴を備えている。

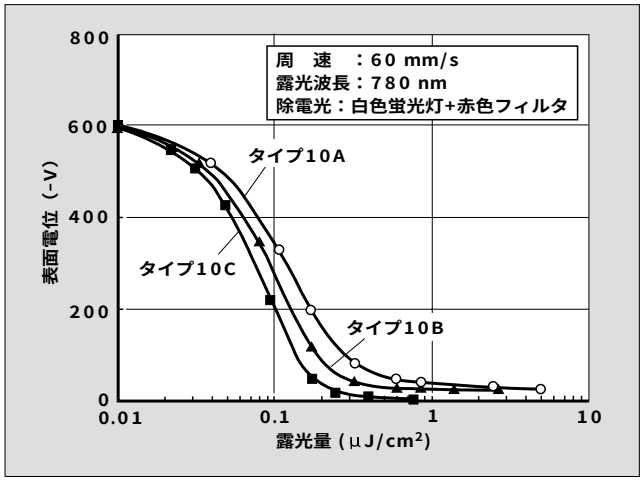
(1)　高感度
(2)　高応答性
(3)　高耐刷性
(4)　高信頼性

### 3.1　高感度

ディジタル複写機は露光光源にレーザや LED（Light Emitting Diode）を使用しているため，OPC として波長領域 600 ～ 800 nm で高感度なことが要求される。富士電機はこの波長領域で高感度なフタロシアニン顔料を採用している。**図４**にタイプ 10 A，10 B，そして高感度タイプ 10 C の分光感度を示す。ディジタル複写機は，露光光源の波長は単色光なので，アナログ複写機用 OPC に見られるような色再現性の特性には気にせず設計することができる。

**図５**には，実際の複写機中に対応した光減衰特性を示す。高感度タイプ 10 C はタイプ 10 A，10 B と比較して，それぞれ 50 %，30 %程度高感度になっている。また，各タイプとも残留領域での裾（すそ）切れが良く，複写機とのプロセス設計上有利である。

図５　OPC の光減衰特性




### 3.2　高応答性

ディジタル複写機は，低速機から高速機まで幅広くラインアップされている。その中で，特にオンデマンド印刷市場や POP（Point of Purchase）広告分野などをターゲットにしている 100 枚機を超す高速機においては，OPC にはより高応答性が求められる。

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。富士電機は，応答性の向上に，高移動度電荷輸送材料（CTM：Charge Transport Material）の開発に取り組み，移動度 $5 \times 10^{-5}$ cm²/V・s と従来タイプの約10倍の性能を持つ高移動度 CTM の開発，製品化を実現した。**図６**には，実際の複写機における現像特性の改善例を示す。応答性を改善した結果，画像濃度（黒濃度）は従来タイプと比較して，改善することができた。

### 3.3　高耐刷性

OPC の一般的な劣化モードは次の二つに大別される。

**図6　現像特性**

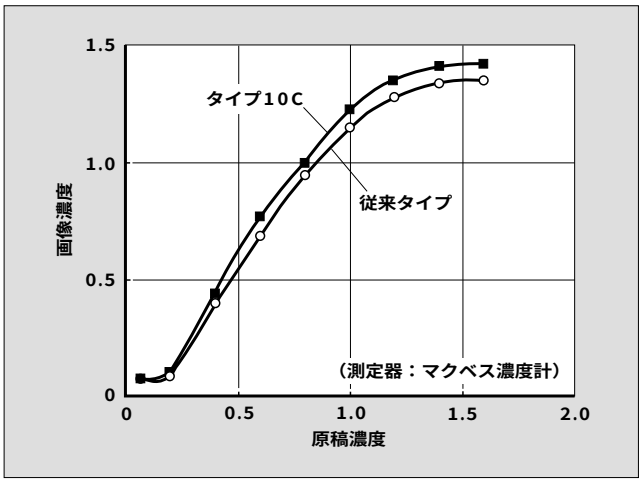
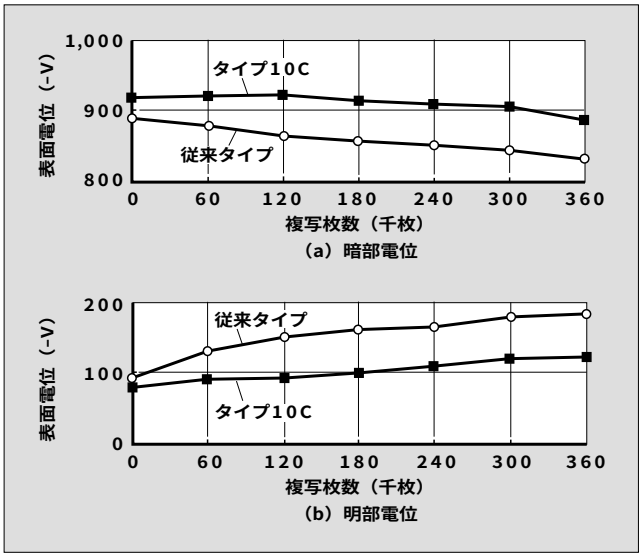



**図7　耐刷特性**




(1)　電気的ストレスによる劣化

(a)　帯電能の低下（白紙かぶり）

(b)　残留電位の上昇（濃度低下）

(2)　機械的ストレスによる劣化

(a)　きず（黒すじ，白すじ）

(b)　感光層摩耗（濃度低下，白紙かぶり）

### 3.3.1　電気特性の改善

OPCは，帯電ー露光工程でコロナ放電，その放電によって発生するオゾン，そして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特性劣化を引き起こし，濃度低下，白紙かぶりなどの原因となる。

富士電機は，帯電特性の劣化および残留電位上昇を抑制するために，CGLおよびCTL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，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**に，代表的なディジタル複写機で評価をした際の表面電位の推移を示す。従来タイプと比較して，電位変動が少なく，画質変化も少ない，動作安定性に優れたOPCを実現している。

**図8　OPCの機械特性**

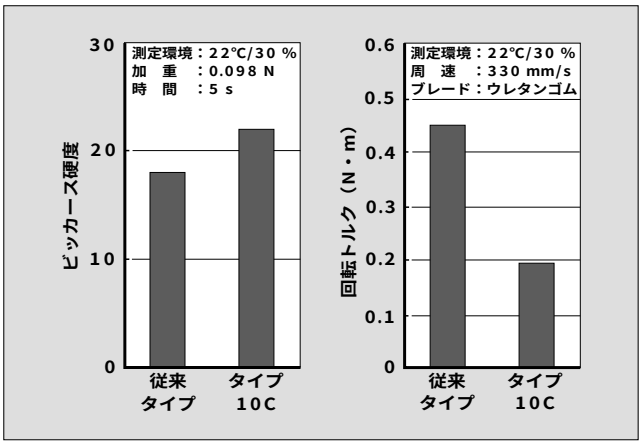
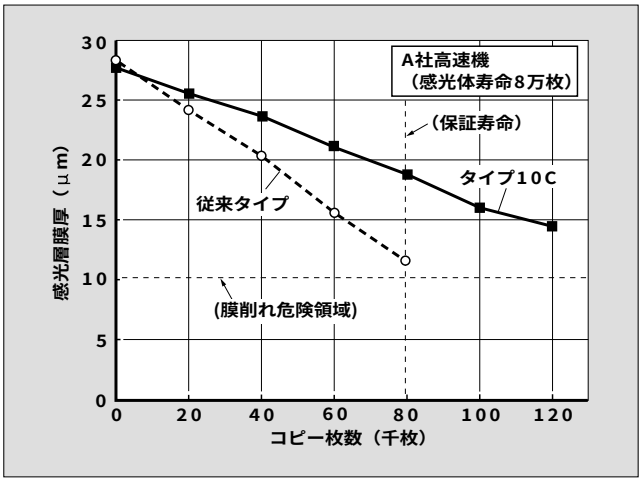



**図9　OPCの摩耗量**




### 3.3.2　機械特性の改善

OPCは，クリーニングブレード，帯電ローラ，転写ローラ，紙，トナーなどの接触により，感光層の摩耗やきず，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，発生のしやすさは異なるが，CTL中の成分であるバインダの性能に大きく依存する。バインダの性能は，OPCの寿命を決める大きな要素であり，バインダの開発は重要である。富士電機は，短期間で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，バインダの性能を大きく向上させることに成功した。

**図8**に機械特性（ビッカース硬度，OPCの回転トルク），**図9**に代表的な複写機での感光層摩耗の改善例を示す。他の接触部材との摩擦を低減させることで，感光層の摩耗やきずを改善し，OPCの寿命を約50 %以上向上させることができた。また，富士電機は環境対策として，感光体寿命を向上させることで，OPCの廃棄量の削減に取り組んでいる。

### 3.4　高信頼性

OPCの信頼性として**表2**に示す信頼性試験を行ってい

表２　信頼性試験

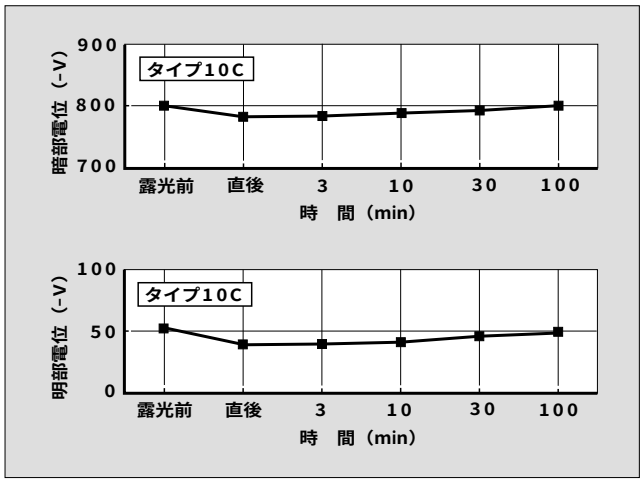
| 項　目 | 条　件 |
|---|---|
| 耐オゾン試験 | 100 ppm，2 h |
| 強光疲労試験 | 1,000 lx，5 min |
| 高温放置試験 | 45℃，1,000 h |
| 高湿放置試験 | 40℃，90% RH，1,000 h |
| 低温放置試験 | −20℃，1,000 h |
| 温湿度サイクル試験（5サイクル） | −20℃，1 h → 常温常湿，0.5 h → 45℃，1 h → 常温常湿，0.5 h → −20℃，1 h |

表３　OPC の耐オゾン特性

| 分　類 ＼ 項　目 | | 帯電位 $V_0$ (V) | 暗中帯電保持率（5秒後）(%) | 半減衰露光量 (μJ/cm²) | 残留電位 $V_r$ (V) |
|---|---|---|---|---|---|
| タイプ10A | 暴露前 | −603 | 97.4 | 0.42 | −34 |
| | 暴露後 | −602 | 94.8 | 0.43 | −38 |
| タイプ10B | 暴露前 | −601 | 97.1 | 0.18 | −22 |
| | 暴露後 | −603 | 95.1 | 0.18 | −23 |
| タイプ10C | 暴露前 | −601 | 97.3 | 0.08 | −8 |
| | 暴露後 | −603 | 95.6 | 0.09 | −12 |

る。耐オゾン試験は複写機中でのコロナ放電で発生するオゾン雰囲気を想定した試験であり，試験結果を**表３**に示す。オゾン濃度 100 ppm，2 時間暴露後においても諸特性にほとんど影響がない。また，強光疲労試験はメンテナンス時に OPC が光にさらされる場合を想定したもので，試験結果を**図10**に示す。照度 1,000 lx の蛍光灯に 5 分間さらされても諸特性にほとんど影響はない。

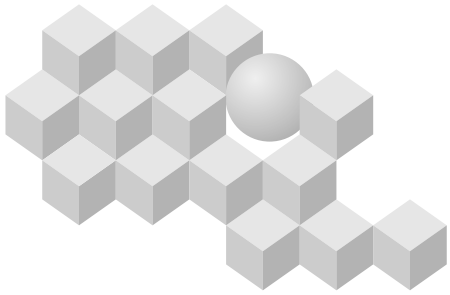
図10　OPC の強光疲労




## 4　あとがき

ディジタル複写機用 OPC について紹介した。特に高感度型（タイプ 10 C）OPC に関して述べた。

複写機市場では，アナログ複写機に代わり，ディジタル複写機が主流になっており，数年後には，ほとんどディジタル複写機に置き換わると予測されている。また，ディジタル化により，1 台でプリンタ機能，コピー機能，ファクシミリ機能を持ち合わせたマルチファンクション化が進み，プリンタと複写機の垣根は次第になくなりつつある。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，魅力のある OPC の開発を進めていく所存である。



# 正帯電有機感光体

面川　真一（おもかわ　しんいち）　石井　秀幸（いしい　ひでゆき）　鍋田　修（なべた　おさむ）

## 1　まえがき

富士電機では，従来の積層型負帯電有機感光体（OPC：Organic Photoconductor）に加えて，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単層型正帯電 OPC を開発し，主に低・中速（24枚/分以下）プリンタ，ファクシミリ向けに製造・市場展開している。

この単層型正帯電 OPC は，積層型負帯電 OPC に対して以下の優位な特徴を持ち，製品系列の拡大が強く望まれている。

(1)　オゾン発生の少ないマシンを低価格で製造できる。

(2)　単層構造のため生産プロセスの単純化が可能である。

(3)　光吸収とそれに伴う電荷発生が表面近傍で起こるため，感光層中での光散乱が少なく高解像度が期待できる。

(4)　従来のセレン系やアモルファスシリコン系の感光体搭載マシンに対してプロセス変更なしでの置換えが可能である（帯電極性が一致）。

一方，近年，電子写真方式のプリンタは，高機能化・高品質化が著しく，特にモノクロプリンタの高速化・小型化・高画質化の進展と，カラープリンタの開発・製品化が急ピッチで進められている。

また，図面用などのエンジニアリング分野，ならびに数千枚レベルの軽印刷用途をターゲットとした POD（Print on Demand）分野への展開が検討されている。

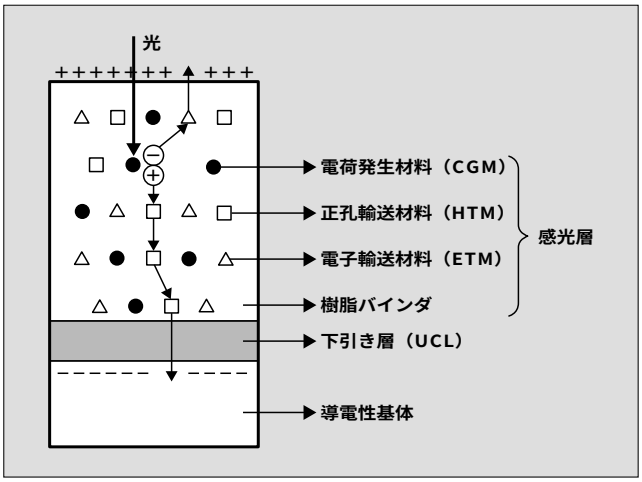
このような市場動向に伴い，マシンに搭載される OPC にも高感度化，高速化，高解像度化，高階調性，高い環境安定性，高耐刷化など要求される機能は一層高度化かつ複雑化している。

本稿では，上述の背景を受けて新たに開発した高速・高耐刷型（タイプ 11D）を中心に，単層型正帯電 OPC の概要を紹介する。

## 2　単層型正帯電 OPC の層構成と材料

**図１**に単層型正帯電 OPC の層構成と動作原理を示す。

**図１　単層型正帯電 OPC の層構成と動作原理**




アルミニウムパイプなどの円筒形導電性基体上に，樹脂などからなる下引き層（UCL：Under Coat Layer）を設け，電荷発生材料（CGM：Charge Generation Material），正孔輸送材料（HTM：Hole Transport Material），電子輸送材料（ETM：Electron Transport Material）および樹脂バインダからなる感光層を形成した単層構造である。

感光層表面をプラスに帯電させ露光することにより，CGM にて正負両電荷が発生し，負電荷は ETM 間を移動し表面電荷を打ち消す。

一方，正電荷は HTM 間を移動し，UCL を通り基板表面に到達することにより，感光層の表面に静電潜像を形成し，トナーによる可視化と紙への転写を通してプリントされる。

## 3　製品の概要

**表１**に富士電機製単層型正帯電 OPC の製品系列を示す。

従来のタイプ 11A から 11C までの製品群に加えて，新たに高速・高耐刷型のタイプ 11D を開発したことにより，低速（12枚/分以下）から高速（30枚/分以上）のプリンタに適応し得る製品構成を実現した。また，外形寸法 24

**面川　真一**

有機機能材料の開発および有機感光体の開発に従事。現在，富士電機画像デバイス(株)OPC 開発部。

**石井　秀幸**

電子写真用感光体およびその周辺装置の営業に従事。現在，富士電機画像デバイス(株)営業部担当課長。

**鍋田　修**

薄膜太陽電池デバイス，有機感光体の開発に従事。現在，富士電機画像デバイス(株)製造部次長。

表１　製品の概要

| 項目／タイプ | 特　徴 | 推奨マシン（枚/分） | 耐刷寿命（枚/A4間欠，φ30 mm 換算） |
|---|---|---|---|
| 11A | 低速型 | ～12 | 20,000 |
| 11B | 中速型 | 10～18 | 30,000 |
| 11C | 中・高速型 | 12～24 | 140,000 |
| 11D | 高速・高耐刷型 | ≧30 | 200,000（φ120 mm にてA4連続換算 100万枚まで使用可能） |

表２　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→量子効率向上 |
| 高速応答 | HTM→正孔移動度向上<br>ETM→電子移動度向上 |
| 高　強　度 | 樹脂バインダ→ガラス転移温度向上→表面硬度向上 |
| 耐リーク性 | UCL→厚膜化（導電性制御） |

mm の小型機種から 262 mm の大型機種までさまざまな要求に応じた製品に対応が可能である。

これらの感光体は以下の特徴を持つ。

(1)　解像度，階調性に優れたプリント画質が得られる。

(2)　環境変動に対する電位安定性が高い。

(3)　光，オゾンなどの暴露に対して高い耐性を示す。

(4)　実機内での連続使用に対する画質変化がきわめて少ない。

特にタイプ 11D は，**表２**に示したように個々の材料設計・開発を通して，より高性能化が図られている。

具体的には以下のとおりである。

(1)　UCL：吸湿性や電気抵抗値を適切に制御し，ブロッキング性を高めた新規材料を適用することで電気特性の安定性を高めた。

(2)　CGM：量子効率を向上した新規 CGM を適用し，高感度化を実現した。

(3)　HTM，ETM：高い電荷移動度を持つ新しい材料を開発し，高速化するとともに，環境安定性の改善を行った。

(4)　バインダ：高強度かつ高いガラス転移温度を有するバインダを適用し，機械的強度（熱的安定性や耐刷性）を高めた。

上記各材料系の含有比率の最適化を行い，感光層中の電荷の移動をスムーズにすることで，画像上に現れるメモリ，画像欠陥などの画質悪化を抑制した。このような特性を有するタイプ 11D は，従来のタイプ 11A から 11C の適用分野が中・低速用プリンタ中心であったのに対して，高速プリンタ，カラープリンタ，エンジニアリング用マシン，オンデマンド印刷機など多様な分野への適用が期待できる。

## 4　感光体特性

以下に正帯電 OPC 製品群の代表的な感光体特性について述べる。

図２　分光感度特性

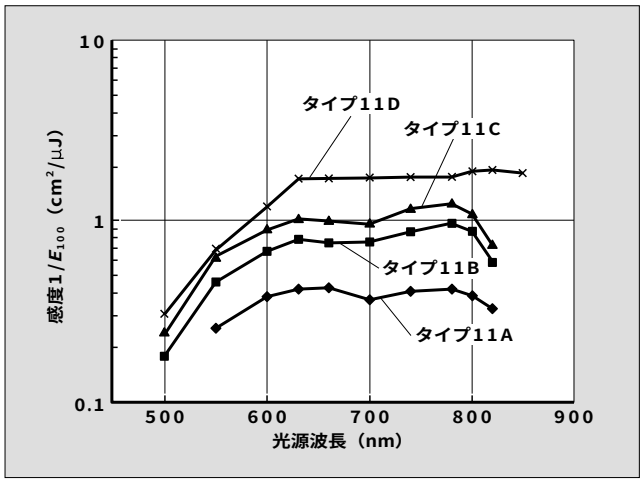
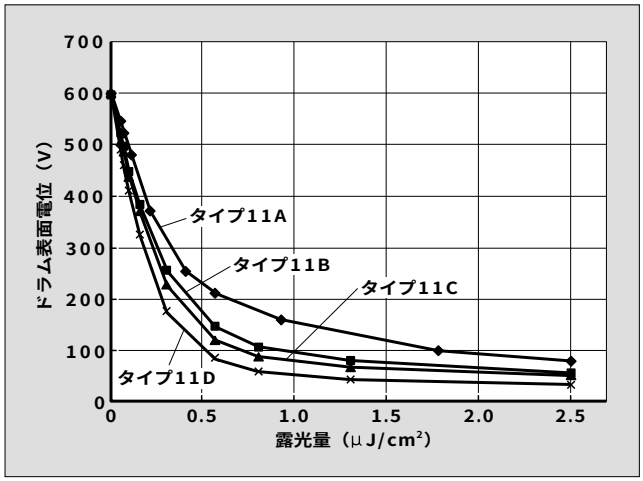



図３　光減衰特性（PIDC）




### 4.1　感度特性

**図２**，**図３**には分光感度特性と光減衰特性（PIDC：Photo Induced Discharge Characteristic）を示す。

いずれの感光体も分光感度特性は光波長 600 nm 以上でほぼ平たんであり，LD（Laser Diode），LED（Light Emitting Diode）などの光源に対応でき，かつ半減衰露光量 0.15 ～ 0.38 μJ/cm² までの幅広い範囲の感光特性をカバーし，低速機から高速機まで対応可能である。

**図４**に帯電特性を示す。

0 ～ 1,000 V まで直線的に上昇し，高帯電電圧においてもリークなどを生じないとともに，ローラやブラシなどの接触帯電方式においても良好な帯電特性が得られる。

### 4.2　応答性

**図５**に光応答性を示す。

タイプ 11A から 11D のすべての OPC ともに，露光後 75 ms まで明部電位は一定の値を示し，露光ー現像間時間 75 ms までのマシンプロセスに十分対応可能である。特にタイプ 11D は，露光後 30 ms においても明部電位上昇が認められず，より露光ー現像間時間の短い，小型高速機へ

図４　帯電特性

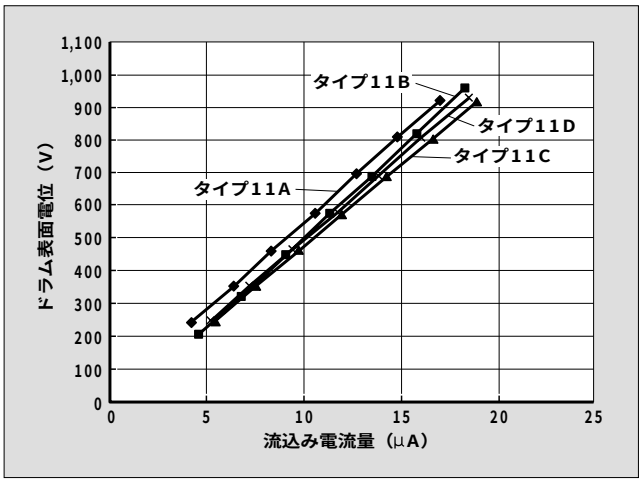



図７　光疲労特性

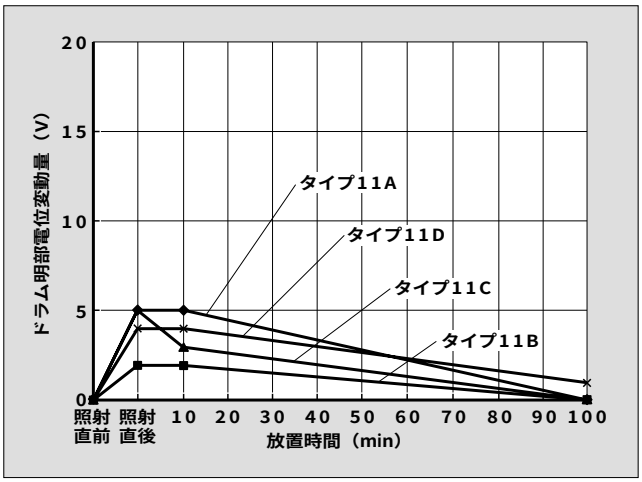



図５　光応答性

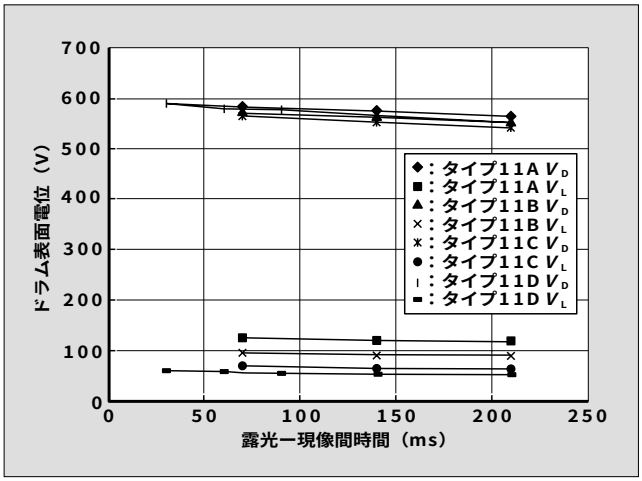



図８　オゾン耐性

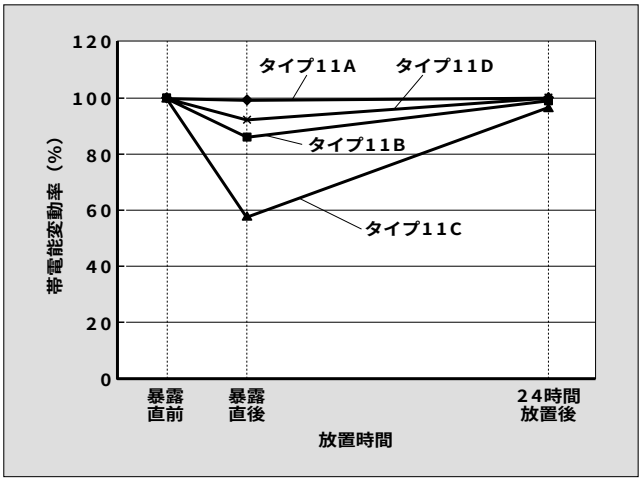
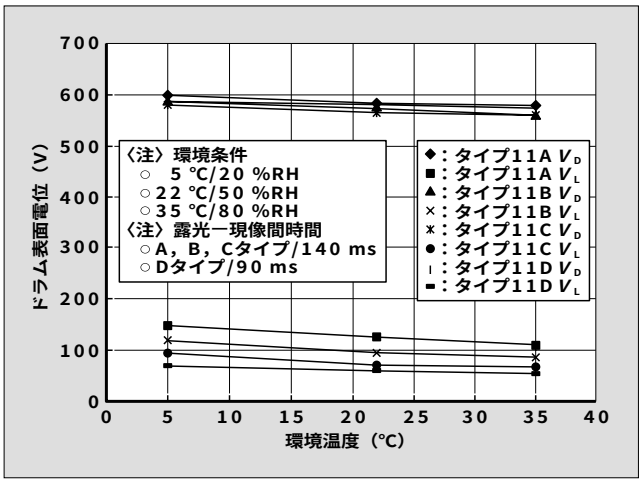



図６　明部電位（$V_L$）と暗部電位（$V_D$）の環境依存性




の適用が期待できる。

### 4.3　環境特性

**図６**に明部電位（$V_L$）および暗部電位（$V_D$）の環境依存性を示す。

いずれの感光体においても，5 ℃ 20 % RH ～ 35 ℃ 80 % RH の温湿度範囲で暗部電位，明部電位ともに安定で，環境変動がきわめて小さく，高い安定性を示す。

### 4.4　光疲労特性とオゾン耐性

**図７**に光疲労特性を示す。

いずれの感光体においても，強光疲労特性が非常に優れており，1,000 lx，10分の光照射による暗部電位の変化量は小さく，その後の時間経過による回復も早い。

**図８**にオゾン暴露後の帯電能変化率を示す。

5 ppm，30分のオゾン暴露直後は一時的に帯電能が低下するが，24時間の室温放置でいずれの感光体も，ほぼ初期の帯電能まで値が回復する。特にタイプ 11A と 11D はオゾンに対する耐性が高く，暴露直後の帯電能低下も小さい。

### 4.5　耐刷性（タイプ 11D）

**図９**にタイプ 11D を二成分現像方式のマシンに搭載し，耐刷性評価を行った際の電位変動を示す。

タイプ 11D は評価後も明部電位，暗部電位ともに安定で，かつ画質の低下も認められず，20万枚程度までの耐刷寿命を実現した。

図９　耐刷試験による電位変化（タイプ 11D）

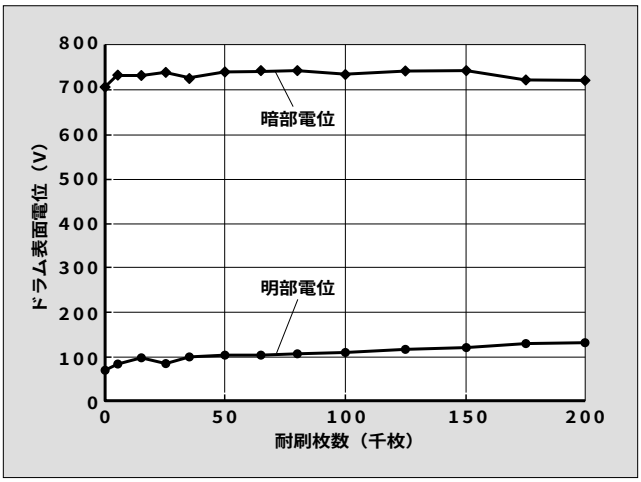



表３　信頼性試験による特性変化

| 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℃下：1時間→<br>常温常湿下：0.5時間→<br>45℃下：1時間→<br>−20℃下：1時間→<br>常温常湿下：0.5時間→ | ＜±5% | ＜±10% |
| ローラ汚染試験 | ローラ材質：NBR/ウレタン/シリコーン<br>50℃ 90%RH下：250時間 | なし | なし |
| | | 画像障害なし | |

### 4.6　信頼性

**表３**に各信頼性試験による特性変化を示す。

すべての試験項目において暗部電位変動率 5 %以下，明部電位変動率 10 %以下と高い信頼性を有している。特にローラ汚染試験に関しては，NBR（アクリロニトリルブタジエンゴム），ウレタン，シリコーンなどからなる各ローラを感光体に圧接し，50 ℃ 90 % RH の環境下で 250 時間放置しても感光体特性変化を起こさず，かつマシンに搭載し画像出しした結果でも画質の低下を起こさないことが確認された。

## 5　あとがき

富士電機では有機材料合成技術，層設計技術，製造技術などの要素技術をベースに単層型正帯電 OPC の品質向上を図り，タイプ 11A から 11D まで，広範囲のマシン仕様に対応できる製品系列を造り上げてきた。

今後も，今回紹介したタイプ 11D を，さらに高速・高品質・高耐刷化した新たな製品群を鋭意開発し続けていく。また，新しい感光体としてトナーの小粒径化による高解像度化を目的とした液体現像用プリンタをターゲットに，液体現像用単層型正帯電 OPC の開発を手がけ，液体現像キャリヤに対して十分な耐性を有する，新しい材料系の創出を図っている。

さらに，マシンの小型化が期待できる低価格な OPC として可とう性基板を用いたベルト型やシート型の単層型正帯電 OPC の検討を進め，カラープリンタなどへの展開を目指し，基板材料やシート接合方法の開発に取り組んでいる。

今後も有機材料合成技術，層設計技術，および製造技術を一層充実させるとともに，これらの開発を通して，多様化する市場ニーズに適合した OPC 製品をより早く提供し続けていく所存である。

# 感光体評価技術（１ドット潜像電位評価技術）

会沢　宏一（あいざわ　こういち）　上野　芳弘（うえの　よしひろ）　竹嶋　基浩（たけしま　もとひろ）

## 1　まえがき

オフィスや一般家庭への高画質コンピュータの普及に伴い，画像などの出力用周辺機器であるカラープリンタ，ディジタル複写機などの印字品質向上が要求されている。印字品質とは印字濃度，階調性，解像度などを意味する。特に解像度について最近は，600 dpi（ドット/インチ）から 1,200，2,400 dpi へと高解像度化の取組みがなされている。

電子写真方式での印字品質を決定するのは，

(1)　画像情報をディジタル信号として感光体表面に書き込むための露光に用いられる露光光源

(2)　露光された画像情報を表面電位として電気的に再現する，すなわち電気潜像を形成する感光体

(3)　電気潜像を顕像化するためにトナーを付着させる現像器およびトナー

(4)　トナーを紙に写し取る転写

が大きく寄与しており，露光光源の小径化，トナーの小径化，転写効率の向上などが図られている。

富士電機では感光体上に画像情報の再現性よく電気潜像を形成するために感光体材料の開発を進めている。この中で電気潜像を評価する方法の開発に取り組み，これまでに１ドット潜像電位の評価を行ってきた。[(1)～(3)]

本稿では，新規に開発した微小面積表面電位測定装置により潜像の評価が可能となったことを紹介し，併せて負帯電積層型有機感光体（OPC：Organic Photoconductor）と正帯電単層型 OPC の潜像プロファイルの膜厚依存性，材料依存性について述べる。

## 2　潜像測定装置の概要

**図１**に微小面積表面電位測定の原理を示す。[(4)]

帯電された感光体に対向して透明電極を設置することで，感光体表面と透明電極の間には擬似的なコンデンサが形成される。ここで感光体に波長 780 nm の検知光を照射すると感光体の表面電位は減衰し，その結果透明電極との間の電気容量は変化する。そのとき，透明電極には容量変化，すなわち表面電位の変化量に対応した誘導電流が流れる。

検知光の光量が十分大きければ表面電位がどのような電位であってもほぼ 0 V まで減衰させることができる。このとき，初期の表面電位に対応して検知光照射による電位変化量は異なり，誘導電流の値も変化する。誘導電流はアンプを通して計測される。OPC の初期表面電位と誘導電流の相関を**図２**に示す。この関係を利用することで誘導電流を測定することにより表面電位が算出可能となる。

今回用いた検知光はビーム径が約 10 μm の半導体レーザビームであり微小な領域の表面電位を測定することが可能である。

**図１　微小面積表面電位測定の原理**

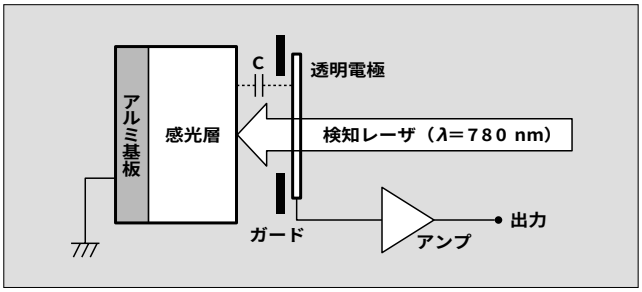
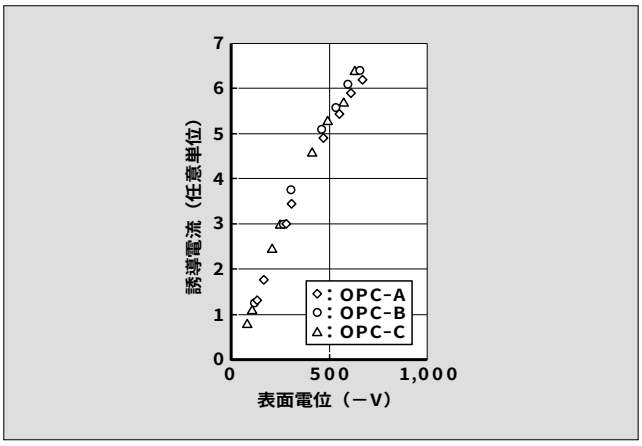



**図２　表面電位と誘導電流の相関**



**会沢　宏一**

アモルファスシリコンおよび有機感光体の開発に従事。現在，富士電機画像デバイス（株）OPC 開発部課長。IS&T 会員，日本画像学会会員，応用物理学会会員。

**上野　芳弘**

有機感光体の開発に従事。現在，富士電機画像デバイス（株）OPC 開発部。

**竹嶋　基浩**

有機感光体用材料開発に従事。現在，富士電機画像デバイス（株）OPC 開発部。応用物理学会会員。

**図３**に本稿に用いられた１ドット潜像測定装置の構成を示す。本装置はチャージャワイヤによる帯電部，レーザスキャニングユニット（LSU）による潜像形成部および微小面積表面電位計による潜像電位測定部の三つの部分からなる。帯電部では感光体表面が正または負極性の所定の電位に均一に帯電され，潜像形成部では市販のレーザプリンタ用 600 dpi LSU を用いて１ドットラインが形成される。電位測定部では直径約 10 μm の検知光により検知光照射部分の表面電位測定が行われる。本装置ではドラム１回転を 25,000 分割しており，位置精度 3.75 μm でドラム上の電位測定位置を制御している。ここでは 30 μm ごとに表面電位の測定を行うことで潜像のプロファイルを評価している。

**図４**に潜像の幅および深さの定義を示す。潜像幅（$W$）とは表面電位が変化していない領域を示す幅であり，現像バイアスにより変化している実印字の幅はこれより狭いため印字の幅よりも大きい数値を示す。

潜像深さ（$D$）は表面電位の変化の最大量，すなわち最も表面電位の低い位置の電位と初期の表面電位の差を示す。

富士電機では潜像測定結果を解像度と結び付けるため潜像解像度（$R$）という数値を式(1)のとおり考案した。

$$R = D/W^2 \quad \cdots\cdots (1)$$

$R$ ：潜像解像度（V/μm²）

$D$ ：潜像深さ（V）

$W$ ：潜像幅（μm）

潜像解像度は１ドット照射した際の光キャリヤ発生による膜厚方向の電荷移動の大きさ（潜像深さ）と表面での電荷の移動，すなわち潜像の広がり（潜像幅の２乗）との比であり，数値が大きいほど膜厚方向への電荷移動が有効に生じ良好な実印字上の解像度が得られると推定している。

**図３　潜像電位測定装置の構成**

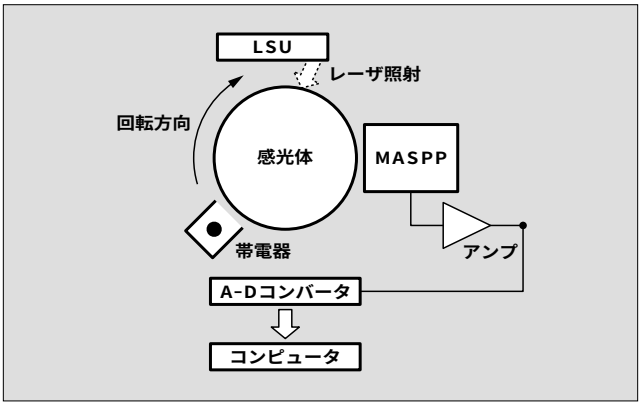
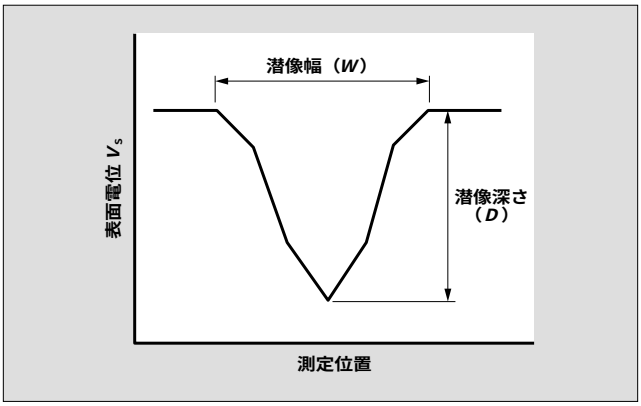



**図４　潜像の幅および深さの定義**




## ③　OPC の潜像の膜厚依存性

評価に用いた負帯電 OPC と正帯電 OPC の層構成と電気特性を**図５**および**表１**に示す。ともに表面電位を 100 V まで減衰させるのに要する露光量は約 8 mJ/m² であり，中感度領域の感光体である。

**図６**および**図７**に，負帯電 OPC と正帯電 OPC における３種類の膜厚サンプルでの１ドット潜像電位のプロファイルを示す。

**図６**に示すように負帯電 OPC では，膜厚が 18 μm のときの潜像幅 180 μm から膜厚 26 μm のときは 240 μm となっている。膜厚の増加に伴い潜像幅が大きくなることで

**図５　OPC の層構成**

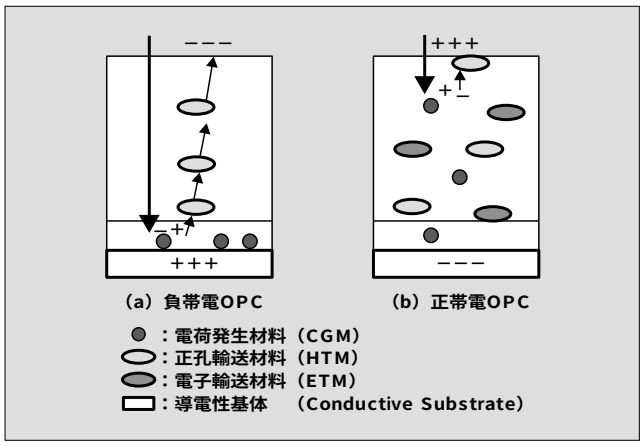
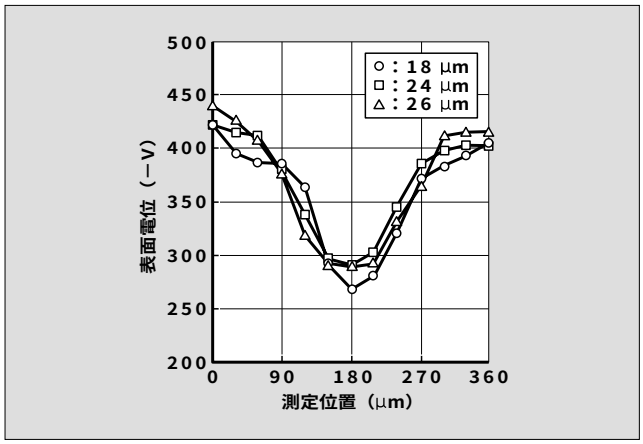



**表１　代表的な OPC の電気特性**

| 分類＼項目 | $E_{300}$（mJ/m²） | $E_{100}$（mJ/m²） | 膜厚（μm） |
|---|---|---|---|
| 負帯電OPC | 3.8 | 8.2 | 24 |
| 正帯電OPC | 2.2 | 7.7 | 22 |

**図６　負帯電 OPC の潜像プロファイル**



高膜厚領域での解像度の劣化が認められる。

**図５**に示したように，負帯電 OPC は電荷発生材料（CGM：Charge Generation Material）を含む電荷発生層（CGL：Charge Generation Layer）と電荷を輸送する電荷輸送層（CTL：Charge Transport Layer）の積層型 OPC である。光キャリヤの生成が導電性基板側の CGL で行われるため，CTL の膜厚が大きくなると発生した電荷が表面に到達するまでに横方向への移動が生じ潜像幅が広がるためと考えられる。

一方，正帯電 OPC では**図７**に示すように膜厚 22 μm で潜像幅は 150 μm，膜厚 31 μm でも 180 μm と膜厚が増加しても潜像の大きな変化は認められず，特に負帯電 OPC に見られたような潜像の広がりが生じていない。

**図５**に示したように正帯電 OPC が導電性基体上に CGM，正孔輸送材料（HTM：Hole Transport Material）および電子輸送材料（ETM：Electron Transport Material）を同一層中に分散させた感光層を形成した単層構造であるため，光キャリヤの生成が表面近傍のみで行われ感光層の膜厚に依存しないためと考えている。

次にこれらの潜像測定結果から潜像幅および潜像深さを用いて前述した潜像解像度 $R$ を算出し，負帯電 OPC と正帯電 OPC の膜厚依存性を比較した。

結果を**図８**に示す。このとき，正帯電 OPC では 44 μm まで膜厚を上げたサンプルの評価も追加して行っている。負帯電 OPC では膜厚の増加に伴い潜像解像度が 0.0015 まで急激に低下しているのに対し，正帯電 OPC では 44 μm まで膜厚を増加させても潜像解像度は 0.003 程度でほぼ一定の数値を示しており，膜厚依存性は小さい。

**図７　正帯電 OPC の潜像プロファイル**

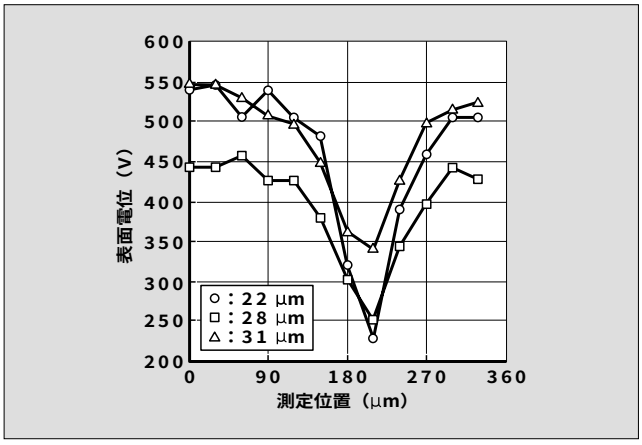
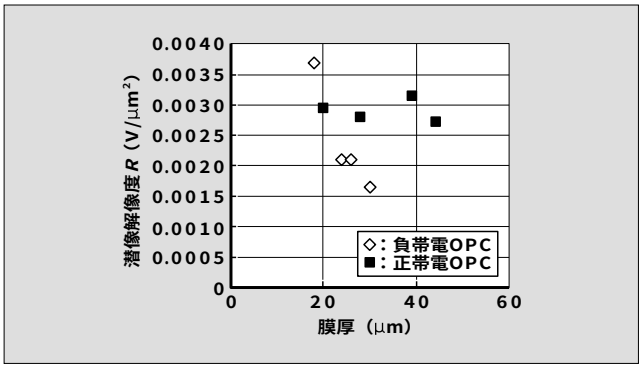



**図８　潜像解像度の膜厚依存性**




## 4　潜像の材料依存性

負帯電 OPC の解像度を上げるために，OPC を構成する機能材料および感光層中における材料の含有される組成を変化させることを検討したのでそのときの潜像解像度の変化について述べる。

### 4.1　HTM 依存性

CTL 中に含有される HTM を変更した場合の潜像変化について検討した。潜像評価サンプルは導電性基体上に CGL および CTL をこの順番に塗布し，積層型 OPC を形成したものを用いた。各層の材料構成は以下のとおりである。

(1)　導電性基体：アルミニウム
(2)　CGL：中感度 CGM およびバインダ樹脂
(3)　CTL：HTM およびバインダ樹脂
　　混合比１：１
　　膜厚 20 μm

HTM は基本構造などについて特に定めずに検討対象とした。HTM の変更により正孔移動度が変化し同時に光感度も変化するが今回の検討では CGL の塗布条件は同一としている。

用いた CTL の正孔移動度は $10^{-7}$ cm²/V･s から $10^{-5}$ cm²/V･s 程度の範囲である。前述した方法と同様に潜像の幅および深さを測定し潜像解像度を算出した。HTM を変更した場合の CTL の正孔移動度潜像解像度との関係を**図９**に示す。

正孔移動度が大きいほど潜像解像度は低下していることが認められた。

これは膜厚方向への電荷の移動しやすさを表す正孔移動度の高い OPC において OPC 表面における横方向への電荷の移動が大きく，潜像幅の増加が生じるためと考えられる。高移動度の材料を用いて高解像度を達成するには，横方向への電荷移動のみを制御するための技術が必要であることを示唆する結果である。

**図９　潜像解像度の正孔移動度依存性**

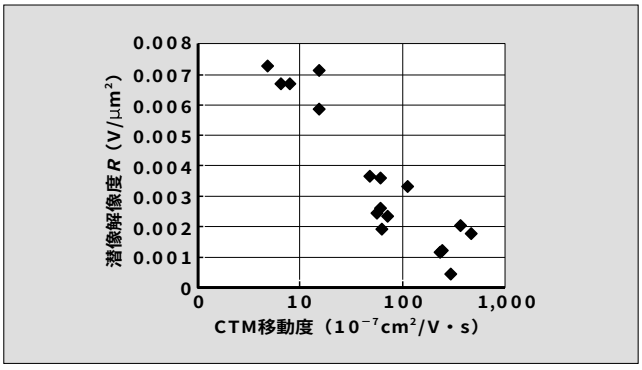


**表２　潜像解像度の組成依存性**

| CTL (CTM/バインダ) | 移動度 $\mu$ ($cm^2/V\cdot s$) | 潜像幅 $W$ (μm) | 潜像深さ $D$ (V) | 潜像解像度 $R$ ($V/\mu m^2$) |
|---|---|---|---|---|
| 10/10 | 37 | 270 | 145 | 0.0020 |
| 8/12 | 25 | 210 | 170 | 0.0039 |

### 4.2　CTL 中の材料組成依存性

CTL 中には HTM とバインダ樹脂が主成分として含有される。本稿では，高移動度の CTM を用い，移動度を大きく損なわずに横方向への電荷の移動を防ぎ解像度を向上する方法を検討した。その結果，バインダ樹脂の量を増加することにより電荷の横方向への広がりを防ぎ潜像解像度を向上できることが確認された。結果を**表２**に示す。

正孔移動度の低下を防ぎながら潜像解像度が向上している。CTL 中のバインダ樹脂量を増加することで表面電気抵抗も増加していることから，OPC 表面での電荷の横移動を制御することが解像度向上に効果的であることが示された例である。

過去に提案された高解像度化のための新規材料・材料構成についても潜像プロファイル，潜像解像度に関する評価を進めている。

## 5　あとがき

微小面積表面電位測定の考案により１ドット潜像測定を可能とした。

正帯電 OPC の１ドット潜像解像度が優れていることを見いだした。

一方，負帯電 OPC では，高膜厚領域で１ドット潜像解像度が劣化することが認められたが材料・組成変更により向上することが示された。

今後は１ドット露光条件を変化させて潜像プロファイルの変化を検討し高解像度化における感光体，露光光源の効果を明確にし，さらなる高解像度化につながる感光体評価および潜像解像度評価の進歩を図りたい。

また，高画質化のもう一つのテーマである画質の安定性，すなわち耐久性についても感光体評価・プロセス評価技術を考案し開発・技術革新の促進に努める所存である。

### 参考文献

(1)　竹嶋基浩，会沢宏一．１ドット潜像電位の検討．Japan Hardcopy 2001 論文集．2001，p.281–284.

(2)　Aizawa, K. et al. A Study of 1-Dot Latent Image Potential. Proceedings of IS&T's NIP17 International Conference on Digital Printing Technologies. 2001, p.572–575.

(3)　上野芳弘ほか．１ DOT 潜像電位の検討（２）．Japan Hardcopy 2001 Fall Meeting．2001，p.28–31.

(4)　Lin, C. W. ; Nozaki, T. The Measurement of Photoconductive Characteristics on Micro-Area Surface of Photoconductor Drum. Proceedings of IS&T's 11th International Congress on Advances in Non-Impact Printing Technologies. 2001, p.138.

# 電子写真装置用プロセスユニット

北川　清三（きたがわ　せいぞう）　浅川　唯志（あさかわ　ただし）　田中　好彦（たなか　よしひこ）

## 1　まえがき

普通紙複写機（PPC），ファクシミリ，プリンタに代表される電子写真装置は，その高い印字品質，高速性および静粛性から今後も重要な画像出力装置として発展し続けるものとみられる。最近の電子写真装置のトレンドとしては，小型・低価格化に加え，アナログ機からディジタル機，単機能機から複合機，モノクロ機からカラー機への移行があげられる。これらの装置の多くは，ユーザーでの利便性を向上するためや消耗品交換が容易に行えるようにするため，装置の心臓部であるプロセス部分のユニット化が図られている。

富士電機は，従来から感光体メーカーとしてセレン感光体や有機感光体（OPC：Organic Photoconductor）を開発・製造してきた。近年は，製品の高付加価値化と顧客へのプロセス提案を目指して，プロセス周辺機器の開発・製造も手がけている。

本稿では，その中のプロセスユニットへの取組みについて概説する。

## 2　製品の概要

### 2.1　プロセスユニットの構成

電子写真装置に用いられるプロセスユニットは，**図1**のように，感光体を中心として，帯電，現像，クリーニングなどの電子写真プロセスの一部あるいは全体を一体化させたものである。これにより，装置の小型化と画質安定化を容易にさせたほか，サービスマンなどによるメンテナンスを不要にしている。

### 2.2　プロセスユニットの種類と特徴

プロセスユニットには，**図2**のような方式があり，各種電子写真装置ごとの特徴（性能）を生かすべく，それぞれ最適な方式が使われている。

一体型ユニットは，感光体，帯電器，現像器およびクリーナなどのプロセス全体を一体化させたもので，トナーも充てんされた状態になっている。そのため，トナーが消費されるとユニット全体，つまりプロセス全体を一括して交換することになる。したがって，取扱いがきわめて容易な反面，充てんされたトナー量でユニット寿命が決まるため，一般に印字コストは高くなる傾向がある。

分割型ユニットには，感光体，帯電器およびクリーナを一つのユニット（ドラムユニット）とし，現像器とトナー容器を一つのユニット（現像ユニット）にした二分割型がある。この方式では，トナーが消費された場合も，寿命の長いドラムユニットを交換せず，現像ユニットのみの交換が可能である。そのため，一体型方式に比べランニングコ

**図1　プリンタの断面図**
**（出典：電子写真技術の基礎と応用，コロナ社，1988）**

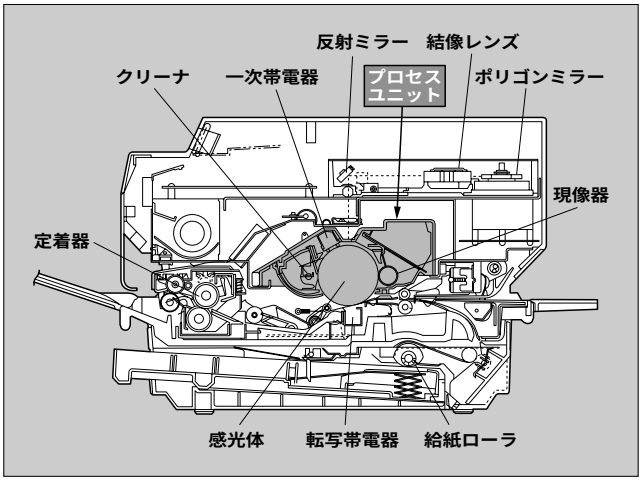
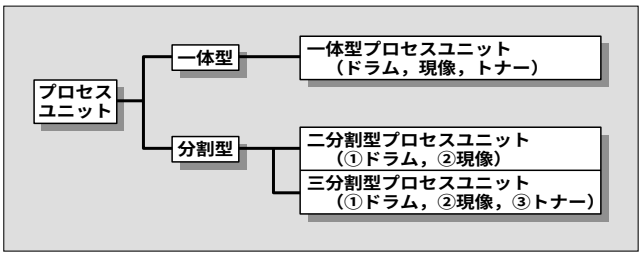



**図2　プロセスユニットの方式**



**北川　清三**

セレン感光体，負帯電型有機感光体，正帯電型有機感光体，プロセスユニットの開発・設計に従事。現在，富士電機画像デバイス(株)プロセス機器開発部課長補佐。

**浅川　唯志**

半導体全般の評価試験設備の設計開発，感光体プロセスユニットの開発設計に従事。現在，富士電機画像デバイス(株)プロセス機器開発部課長補佐。

**田中　好彦**

普通紙複写機，プリンタ，プロセスユニットの開発・設計に従事。現在，富士電機画像デバイス(株)プロセス機器開発部課長補佐。

スト面で有利である。

これに対し，さらに現像ユニットからトナー容器を分離し，トナーユニットにした三分割方式がある。この方式は，利便性の点では他の方式に劣るものの，それぞれのプロセス寿命に応じて，ユニットを交換できる点で最も無駄の少ない低ランニングコスト方式であるといえる。

## 3　市場動向

PPC，ファクシミリ，プリンタなどの電子写真装置の市場は，北米および欧州市場が世界全体のほぼ８割を占めている。**図３**および**図４**に電子写真プリンタ用プロセスユニットの両地域の市場規模予測を示す。低速機分野ではインクジェットプリンタと競合しているものの，中高速機分野では電子写真方式の長所である高速性および高解像性により今後も確実な成長が期待される。

次に，日本国内におけるプロセスユニットごとの市場規模予測を**図５**および**図６**に示す。国内においても，海外同様に堅調な伸びが予測される。2001年現在，一体型ユニットが台数ベースで約８割，金額ベースで約７割を占めているが，今後はドラムユニットと現像ユニットを分割した分割型ユニットの占める比率が高まってくるものとみられる。

このような市場拡大の中，当分野でも地球規模的な環境への対応が要求されている。各装置メーカーには地球資源の循環型社会構築に対する貢献が求められている。従来は，使用済みのユニットは産業廃棄物として扱われ，廃棄されていた。しかしながら近年は，各メーカーごとに使用済みユニットを回収し，一部は再生（リサイクル）する取組みもなされている。今後は回収・リサイクル化が一層進むものとみられ，リサイクルしやすいユニット設計が求められるようになっている。

**図３　プロセスユニットの市場規模予測（台数ベース）**

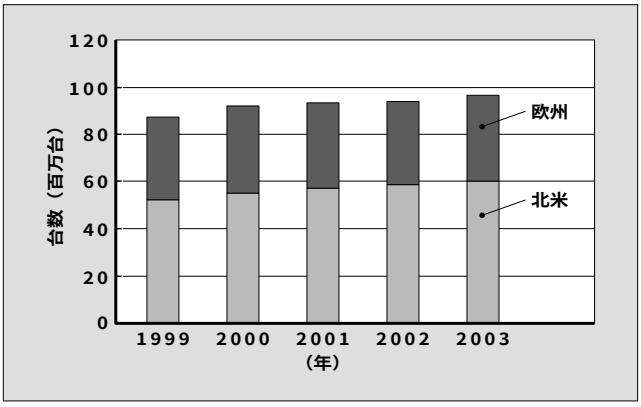
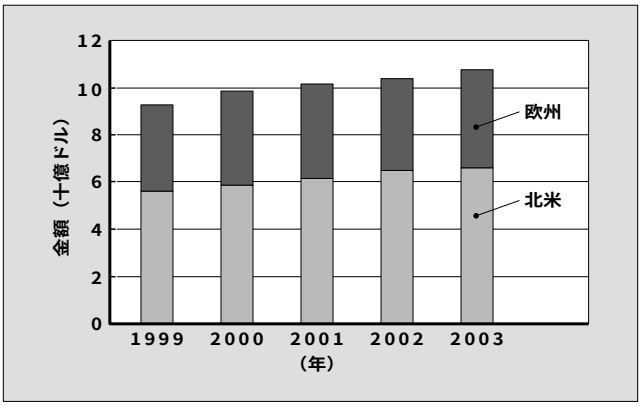



**図４　プロセスユニットの市場規模予測（金額ベース）**




## 4　富士電機の取組み

### 4.1　プロセスユニット事業の変遷

富士電機は，感光体メーカーとして，長年多種多様なセレン感光体ならびにOPCを開発してきた。それぞれ装置ごとに異なる電子写真プロセスに対し，最適に機能する感光体とは何かを模索するとともに，最も安定して動作するプロセスとは何かを追求してきたことにより，多くの装置メーカーに採用いただいてきた。この間，培ったプロセス適合技術は顧客から高い評価をいただいており，現在では感光体生産だけでなく，感光体を組み込んだプロセスユニットおよびトナーユニットの生産も行っている。

またユニット生産をさらに発展させるため，プロセスユニットの開発製品化に取り組んでいる。これまでの富士電機の電子写真プロセスユニットに関する取組み状況を**表１**に示す。

**図５　日本国内のユニット別市場規模予測（台数ベース）**
**（出典：国内カートリッジ市場を席巻するリサイクル品，データサプライ，2001）**

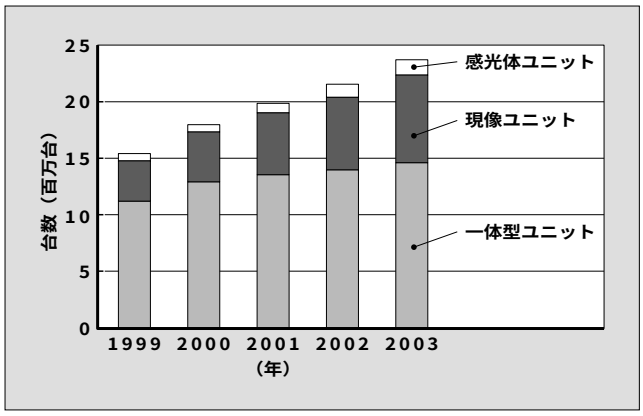
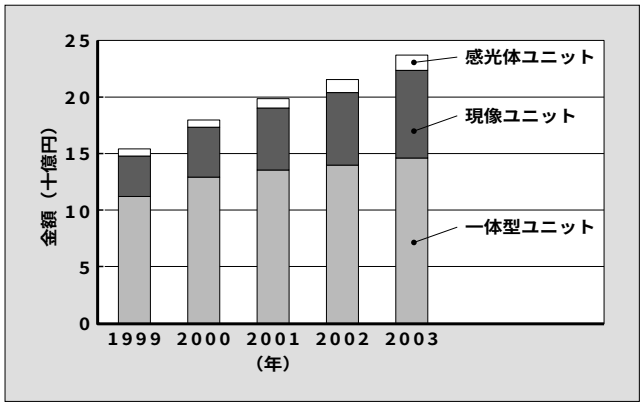



**図６　日本国内ユニット別の市場規模予測（金額ベース）**



富士電機では，現在，松本工場での開発設計から，中国・広東省の富穂電機有限公司（**図７**）での生産まで一貫した体制で製品開発を進めている。**図８**に製品例を示す。

### 4.2　正帯電プロセスユニットの開発

昨今，各装置メーカーは競って装置の低価格化（イニシャルコストおよびランニングコストの引下げ），高速化および高画質化を進めており，感光体に対してもこれらを実現するような低価格，長寿命および高性能が強く要求されるようになっている。富士電機ではこれに対し，従来の負帯電型 OPC に比べ，正帯電型 OPC が原理的に有利であると考え，正帯電型 OPC の開発に着手した。その結果，独自の有機材料開発力とセレン感光体開発から培ってきた製品開発力（適用技術力），さらに OPC 量産技術力を駆使し，従来の負帯電型 OPC に対し，より高速対応かつ高解像度化が可能で，装置の低価格化も可能な正帯電型 OPC の開発・製品化に成功した。

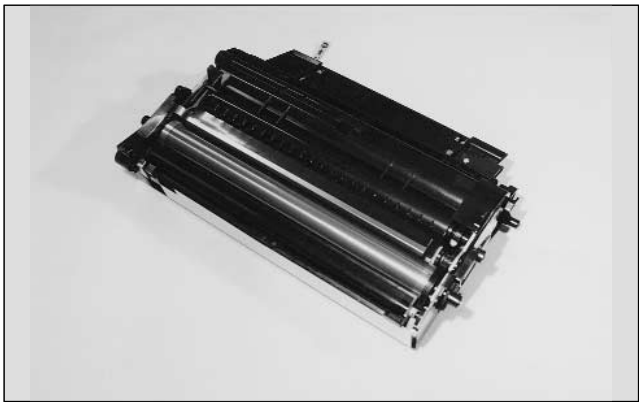
ただし，正帯電型 OPC の適用上の課題として，従来の負帯電型 OPC とは異なるプロセスを必要とすることがあげられる。そのため，負帯電プロセスに対する優位性が認識されつつも，正帯電プロセス（正帯電型 OPC）が採用されづらいという側面があった。富士電機ではこの特徴ある感光体の適用範囲を拡大するためには，このような状況を緩和することが必要と判断し，**図９**のような正帯電用プロセスユニットを独自に開発した。この感光体のプロセス開発を通し，低コストで最適なプロセスを顧客に提案できるようにし，最終的に感光体を含むプロセスユニットまでの開発・設計・生産をさせていただくことを目指している。

**表１　プロセスユニットの製品開発の取組み状況**

| 年 | 取組み |
|---|---|
| 1986 | 富士電機・松本工場にてPPC用ドラムユニット生産開始（複写機用セレン感光体使用） |
| 1987 | 香港富士電機有限公司にてPPC用ドラムユニットの生産開始（複写機用セレン感光体使用） |
| 1990 | 香港富士電機有限公司にてPPC用ドラムユニットの生産開始（複写機用正帯電型OPC使用） |
| 1995 | 中国・広東省にプロセスユニット生産のための富穂電機有限公司設立（図7） |
| 1996 | 富穂電機有限公司にて三分割型A4プリンタプロセスユニット生産開始（プリンタ用負帯電型OPC使用） |
| 1997 | 富穂電機有限公司にて三分割型A3プリンタプロセスユニット生産開始（プリンタ用負帯電型OPC使用） |
| 1998 | 富穂電機有限公司にて二分割型A4プリンタプロセスユニット生産開始（プリンタ用負帯電型OPC使用）<br>複写機用トナーユニットの生産開始 |
| 1999 | カラープリンタ用トナーユニットの生産開始 |

**図７　中国・広東省の富穂電機有限公司（ユニット生産拠点）**

**図８　プロセスユニットの製品例**



### 4.3　正帯電ユニットと従来ユニットの比較実験結果

市販のプリンタを用いて，オリジナルの負帯電プロセス時の特性と，正帯電プロセスに変更し富士電機製正帯電プロセスユニットでの特性を調査した結果を**図10**～**図15**に示す。

**図10**および**図11**は，それぞれ負帯電プロセスおよび正帯電プロセスでの常温常湿環境ランニングによる実機電位推移を示す。正帯電プロセスにおいても，負帯電プロセス同様，安定した実機電位特性が得られている。

**図12**および**図13**は，それぞれ負帯電プロセスおよび正帯電プロセスでの常温常湿環境ランニングによる印字濃度推移を示す。正帯電プロセスにおいても，負帯電プロセス同様，安定した印字濃度が得られている。

**図14**および**図15**は，それぞれ負帯電プロセスおよび正帯電プロセスでの常温常湿環境ランニング前後の階調性を示す。正帯電プロセスでは負帯電プロセスに対し，階調性が

**図９　プロセスユニットの開発例（正帯電ユニット）**

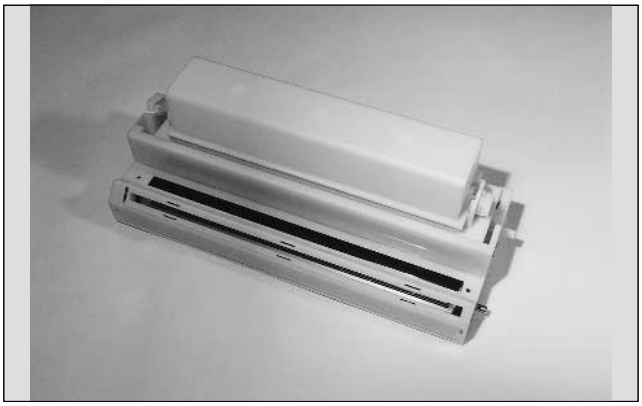


図10　負帯電プロセスでの実機電位推移

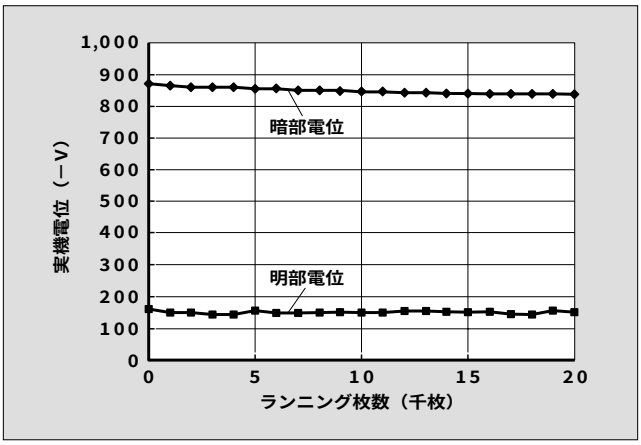



図11　正帯電プロセスでの実機電位推移

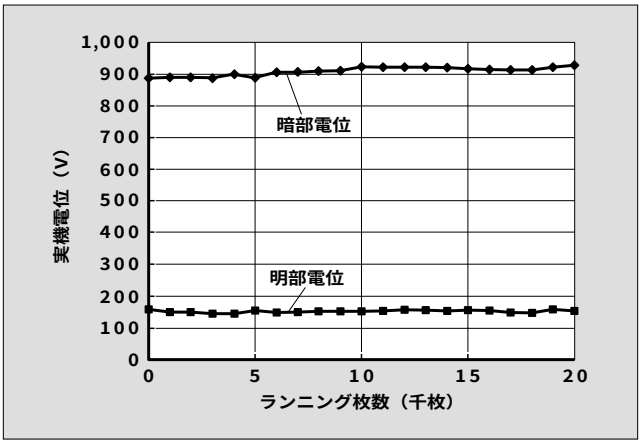



図12　負帯電プロセスでの印字濃度推移

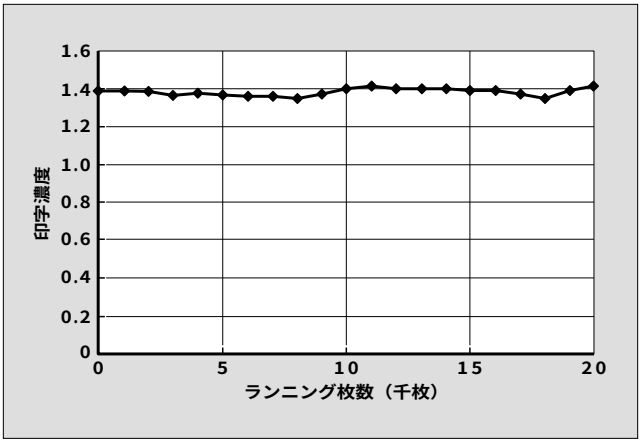



図13　正帯電プロセスでの印字濃度推移

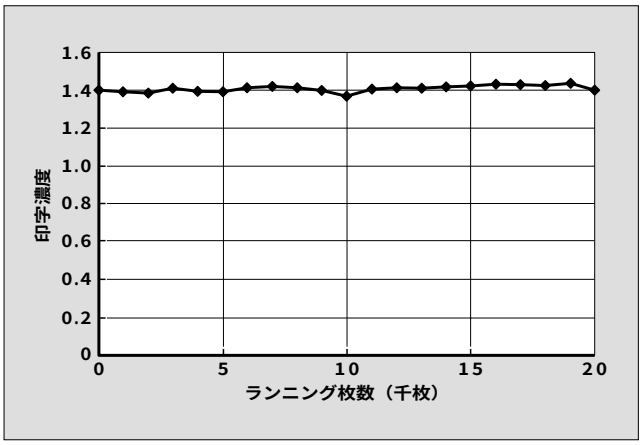



図14　負帯電プロセスでの階調性

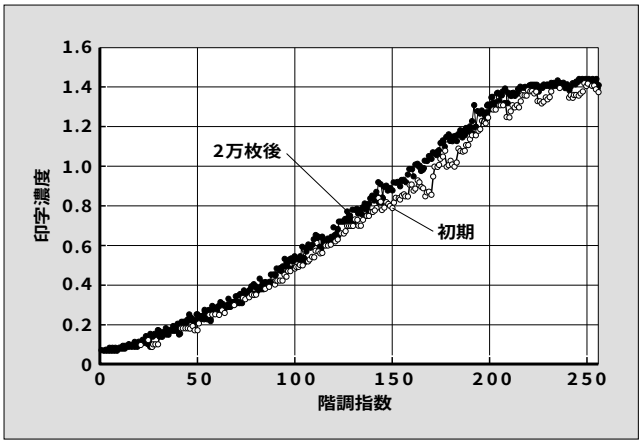
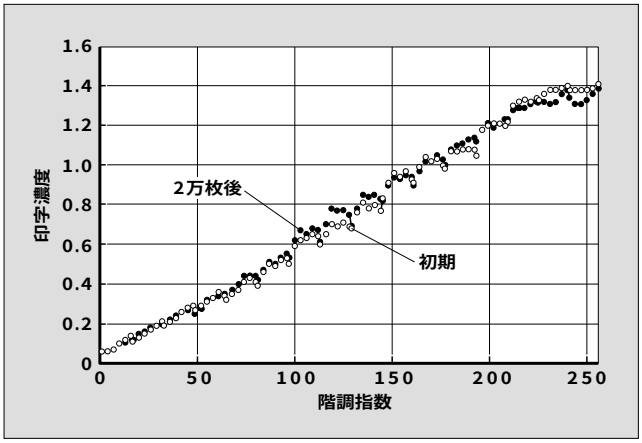



図15　正帯電プロセスでの階調性




優れており，かつ安定したものとなっている。したがって解像度も高く，安定していることが分かり，モノクロの高解像度機はもちろんのこと，カラー機でその優位性がより発揮されるものと考えられる。

## 5　あとがき

電子写真装置は，今後低価格化とともに，ディジタル化，複合化，カラー化が一層進むものとみられる。心臓部であるプロセスユニットに対しても，これらに対応した低価格化，長寿命化および高性能化が要求されている。また環境への対応から，リサイクルのしやすさも求められるようになっている。富士電機では，今後もこれらの要求に応え得るプロセスユニットを，正帯電型 OPC を軸にして開発していく。また，ユニットリサイクル事業そのものについても，積極的に推進していく所存である。

# カンパニー別営業品目

## 電機システムカンパニー

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

## 機器・制御カンパニー

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，汎用モールド変圧器，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，UPS，ミニ UPS

## 電子カンパニー

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，感光体およびその周辺装置

## 流通機器システムカンパニー

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，ホテルベンダシステム，カードシステム


| | | |
|---|---|---|
| 富士時報 | 第 75 巻　第 3 号 | 平成 14 年 2 月 28 日　印刷<br>平成 14 年 3 月 10 日　発行<br>定価 525 円（本体 500 円・送料別） |
| 編集兼発行人 | 高井　明 | |
| 発行所 | 富士電機株式会社<br>技術企画室 | 〒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 －7369 |
| 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 |


© 2002 Fuji Electric Co., Ltd., Printed in Japan（禁無断転載）

# 富士時報論文抄録

## 磁気ディスク媒体の現状と展望

高橋　伸幸　　大月　章弘　　小笠原 友信
富士時報　Vol.75 No.3 p.151-155（2002）

ハードディスク装置は，依然として高い記録密度の進展を続ける中，単位容量価格の大幅な低下を実現し，コンピュータからコンシューマーユースへと応用の拡大が期待されている。この技術進展を支えるキーテクノロジーである富士電機の磁気ディスクについて，技術の現状を概括する。要求される磁気特性と HDI（ヘッドディスク界面）特性の達成点について概要を述べるとともに，今後の技術課題を示す。さらに，応用の広がりを推進するうえで，期待できる新たな新規技術への，富士電機の取組み例を簡単に紹介する。

## HDI（ヘッドディスク界面）技術の進展

宮里　真樹　　永田　徳久　　熊崎　博文
富士時報　Vol.75 No.3 p.160-164（2002）

高記録密度化を実現するためには，磁気スペーシングの低減が重要になっている。カーボン保護膜の薄膜化技術として，「CVD 成膜技術」と「FCA 成膜技術」の現状を報告する。各成膜法について成膜原理を説明し，CVD 法では薄膜領域での Co 析出量特性が良好であったことを，FCA 法ではその膜物性について述べる。さらに，低浮上量の HDI 品質達成のうえで鍵となる潤滑剤の挙動や浮上特性の改善について述べる。

## 垂直磁気記録用磁性層技術

上住　洋之　　酒井　泰志　　竹野入　俊司
富士時報　Vol.75 No.3 p.169-172（2002）

ハードディスク装置は今後とも，特に AV 用途のストレージ機器として急激に需要が伸びると予想され，大容量化が強く要求されている。富士電機では，300 G ビット/in$^2$ 以上の超高密度記録に対応可能な垂直磁気記録媒体の実現のための研究開発を推進している。本稿では，媒体ノイズの原因となる軟磁性裏打ち層の磁区構造制御技術や磁気力顕微鏡を用いた媒体の評価技術とともに，CoCrPt-$SiO_2$ グラニュラ薄膜およびアモルファス薄膜を用いた超高密度記録対応の磁気記録層材料の開発成果を紹介する。

## 感光体の現状と展望

川上 春雄　　成田　満　　田中　辰雄
富士時報　Vol.75 No.3 p.178-181（2002）

電子写真方式のプリンタ，複写機，およびそれらに用いられる感光体の市場動向と，それらに対応する富士電機の情況を概説する。ここ数年のプリンタの出荷台数は年率数%の伸びにとどまっているが，その中にあってカラープリンタが急速な伸びを示している。特に今後は15枚/分以上の中高速機が主流の一つになると見られている。また，オンデマンドプリンタが新しい市場を形成すると期待されている。複写機では，ディジタル複写機が順調に伸びており，アナログ複写機の置換えが進んでいる。

## 長手磁気記録用磁性層技術

柏倉　良晴　　松尾　壮太　　安宍　善史
富士時報　Vol.75 No.3 p.156-159（2002）

現在の長手記録方式磁気記録媒体の磁性成膜技術を紹介する。層構成としては，磁性記録層合金の多元化と層構成の多層化が，高記録密度化を可能にしてきた。30 G ビット/in$^2$ 以上を目指す今後の磁性技術には，R/W 特性と熱安定性を両立することが不可欠である。その手段として，反強磁性結合を利用した新しい磁気記録媒体が有望視されている。層構成とともに成膜プロセス技術，基板表面加工技術が重要であり，これらの高度化と合わせて，現在 100 G ビット/in$^2$ を目指した磁性成膜技術開発を続けている。

## ガラス磁気ディスク媒体の開発

増田　克也　　安宅　豊路　　中村　吾
富士時報　Vol.75 No.3 p.165-168（2002）

モバイルパソコン，モバイル AV，高速サーバ用 HDD においてはガラス磁気ディスク媒体が必須である。ガラス磁気ディスク媒体の主流は等方性媒体であるが，等方性媒体は今後のさらなる高記録密度化において電磁変換特性面で限界が近いといわれている。富士電機は，この特性面で優位とされている異方性媒体をガラス基板においても安価に製造できる技術開発・プロセス開発を実用化に向けて行っている。本稿ではこの開発状況を紹介する。

## 磁気転写技術

佐藤　公紀　　二村　和男　　斎藤　明
富士時報　Vol.75 No.3 p.173-177（2002）

ハードディスク装置の磁気ヘッドを位置決めするためのサーボパターンと，その新しい書込み方式である磁気転写技術を紹介し，開発成果と今後の展開について報告する。磁気転写技術は，サーボパターンの原版であるマスタディスクと磁気ディスクを密着させて外部から磁界をかけ，サーボパターンを磁気ディスクへ一括記録するものである。密着時のクリーン度を保つことに成功し，2001年 7 月から量産を開始した。次世代ディスクへの適用可能性を確認し，次世代磁気転写装置とサーボ信号試験装置の自主開発を完了した。

## プリンタ用有機感光体

寺崎　成史　　福島　幸二　　森本　正博
富士時報　Vol.75 No.3 p.182-185（2002）

レーザビームプリンタや LED プリンタなどの電子写真方式のプリンタは，今後高速機やファクシミリ・コピー機能を有する多機能機，フルカラープリンタが伸長するものと考えられている。したがって，主要部品である感光体に要求される機能・品質は，より高度化している。富士電機ではこれらの要望に応えるために各種感光体を開発，製造している。本稿では，特に負帯電型プリンタ用有機感光体の概要とその特長について紹介する。

# Abstracts (Fuji Electric Journal)

## Magnetic Layers for Longitudinal Magnetic Recording Media

Yoshiharu Kashiwakura Souta Matsuo Yoshifumi Ajishi
Fuji Electric Journal Vol.75 No.3 p.156–159 (2002)

This paper describes present magnetic layer technology for longitudinal magnetic recording media. Regarding the layer structure, the multicomponent alloy applied to magnetic recording layers and the multi-layered structure have enabled an increase in recording density. It is indispensable for future magnetic layers technology those aims at 30 Gbits/in$^2$ or more to make read/write performance compatible with thermal stability. New magnetic recording media utilizing antiferromagnetic coupling are regarded as a promising measure. Film formation and substrate surface processing technologies are as important as layer structure. Fuji Electric is now developing magnetic layer technology aiming at 100 Gbits/in$^2$ as well as advancing these technologies.

## Present Status and Prospects for Magnetic Hard Disks

Nobuyuki Takahashi Akihiro Otsuki Tomonobu Ogasawara
Fuji Electric Journal Vol.75 No.3 p.151–155 (2002)

Hard disk drives have been realizing more reduction in bit cost keeping a continuous high-rate increase in recording density, and it is now expected that they will be applied to consumer electronics as well as computers. This paper describes Fuji Electric s magnetic hard disks as a key technology to support this development. It summarizes the present technical status and targets for magnetic properties and head-disk interface properties required for advanced hard disk drive as well as future technical problems. Further, Fuji Electric s activities on new technologies to widen future applications are briefly introduced.

## Development of Glass Magnetic Hard Disks

Katsuya Masuda Toyoji Ataka Satoru Nakamura
Fuji Electric Journal Vol.75 No.3 p.165–168 (2002)

Glass magnetic disk media are indispensable for the hard-disk drives of mobile personal computers, mobile audio-visual displays, and high-speed servers. The mainstream of glass magnetic disk media is isotropic media; however, the isotropic media is said to nearly reach the limit in parametric performance in case of higher recording density in the future. Fuji Electric is putting to practical use the technical and process developments capable of forming oriented media, which are rated superior in parametric performance, onto glass substrates at a low price. This paper describes the situation of this development.

## Development in Head-Disk Interface Technology

Masaki Miyazato Naruhisa Nagata Hirofumi Kumazaki
Fuji Electric Journal Vol.75 No.3 p.160–164 (2002)

Reduction in magnetic spacing is necessary to realize high recording density. This paper describes the present status of the chemical vapor deposition (CVD) and filtered cathodic arc (FCA) methods as thin film technologies for carbon protective layers. It explains the principles of deposition by each method, the superior Co corrosion properties in thinner region by the CVD method and the physical properties of films by the FCA method. Further, it refers to improvements in lubricant behavior and head flyability that are key points for attaining suitable hard-disk interface quality for low flying height.

## Magnetic Printing Technology

Kiminori Sato Kazuo Nimura Akira Saito
Fuji Electric Journal Vol.75 No.3 p.173–177 (2002)

This paper introduces a novel magnetic printing technology as a promising alternative to the conventional servo-track writer required to write servo patterns onto hard-disk media. This technology is such that lithographically formed fine patterns (as servo patterns) of soft magnetic material on the surface of a master disk are transferred as magnetization patterns onto the media. The media with the servo patterns printed has been put into commercial production since July of 2001. The potential performance of the magnetic printing technology for the media of 200-300 Gbits/in$^2$ is examined.

## Magnetic Layers for Perpendicular Recording Media

Hiroyuki Uwazumi Yasushi Sakai Shunji Takenoiri
Fuji Electric Journal Vol.75 No.3 p.169–172 (2002)

Demand for hard disk drives is supposed to continue rapid expansion as storage devices especially for audio-visual use, and increase in capacity is strongly desired. Fuji Electric is promoting research and development to realize perpendicular recording media capable of ultra-high-density recording over 300 Gbits/in$^2$. This paper describes control technology for the magnetic domain structure of soft magnetic back-layers that cause media noise and media evaluation technology using magnetic force microscopy, and also the developments of magnetic recording layer materials suitable for ultrahigh-density recording using a CoCrPt-$SiO_2$ granular film and an amorphous film.

## Organic Photoconductors for Printers

Seishi Terasaki Koji Fukushima Masahiro Morimoto
Fuji Electric Journal Vol.75 No.3 p.182–185 (2002)

Among electrophotographic printers such as laser-beam printers and light-emitting-diode (LED) printers, high-speed machines, multi-functional machines with facsimile and copying functions, and full-color printers are supposed to diffuse. Accordingly, performance and quality required by photoconductors, the major component, are becoming more sophisticated. Fuji Electric is developing and manufacturing various photoconductors to meet these requirements. This paper particularly describes an outline of negatively charged organic photoconductors for printers as well as their features.

## Present Status and Prospects for Photoconductors

Haruo Kawakami Mitsuru Narita Tatsuo Tanaka
Fuji Electric Journal Vol.75 No.3 p.178–181 (2002)

This paper describes the market trends of printers and copy machines using Carlson s process. The shipment of printers has grown only by a few percent a year in recent years; however, the one of color printers has shown a rapid growth. Especially high- and medium-speed machines over 15 pages/min would be one of major streams in near future. Also printer on demand is expected to form a new printer market. Regarding copy machine, the shipment of digital machines has shown a steady growth and the replacement of analog machines is going on.

## ディジタル複写機用有機感光体

篠崎　美調　　笠原　正彦　　濵田　修一
富士時報　Vol.75 No.3 p.186-189（2002）

複写機市場は，近年のディジタル化の流れにより，アナログ複写機からディジタル複写機へ急速に移行している。ディジタル複写機は，低・中速分野ではプリンタと競合するため，高速化に動いている。高速化の流れを受け，有機感光体には高感度，高耐刷性が要求されている。富士電機は，このような市場要求に応えるために，高性能化を図り，低・中速機から高速機まで幅広く対応できる製品を取りそろえている。本稿では，高感度型（タイプ 10 C）ディジタル複写機用有機感光体を中心に紹介する。

## 正帯電有機感光体

面川　真一　　石井　秀幸　　鍋田　修
富士時報　Vol.75 No.3 p.190-193（2002）

富士電機では従来の低・中速度プリンタ向けに単層型正帯電有機感光体を生産してきたが，これに加えて新たに高感度・高耐刷型の単層型正帯電有機感光体（タイプ 11D）を開発した。タイプ 11D は高い応答性を持つとともに，環境安定性，繰返し使用時の安定性，解像度，耐刷性などの点で優れた特性を持ち，高速プリンティング分野への適用が期待できる。

## 感光体評価技術（1 ドット潜像電位評価技術）

会沢　宏一　　上野　芳弘　　竹嶋　基浩
富士時報　Vol.75 No.3 p.194-197（2002）

電子写真における画像の高解像度化のためには，感光体上に形成された 1 ドット潜像電位を評価することが有効である。本稿では微小面積における表面電位測定の新しい方法を紹介し，潜像の解析法について述べる。また，負帯電積層型有機感光体および正帯電単層型有機感光体の 1 ドット潜像電位の評価結果と潜像の膜厚依存性，電荷移動度依存性についても示す。

## 電子写真装置用プロセスユニット

北川　清三　　浅川　唯志　　田中　好彦
富士時報　Vol.75 No.3 p.198-201（2002）

PPC，ファクシミリ，プリンタなどの電子写真装置のトレンドは，小型低価格化，ディジタル化，複合化およびカラー化である。これらでは，保守点検不要のため電子写真プロセスのユニット化が図られている。富士電機は，感光体の製品開発で培ったプロセス関連技術を活用し，感光体だけでなくプロセスユニットの生産も行っている。本稿では，ユニットの構成，種類，特徴，市場動向とともに富士電機の取組みについて概説する。また，特に上記トレンドに高い能力で対応可能な正帯電プロセスユニットの開発状況についても紹介する。

## Positively Charged Organic Photoconductors

Shinichi Omokawa Hideyuki Ishii Osamu Nabeta
Fuji Electric Journal Vol.75 No.3 p.190–193 (2002)

Fuji Electric, having produced single-layer, positively charged organic photoconductors for conventional low- and medium-speed printers, has developed a new type single-layer, positively charged organic photoconductor (type 11D) with high sensitivity and durability. Since the type 11D has short response time, and also, superior properties in environmental stability, stability in repeated operation, resolution, and durability. Its application to high-speed printing can be expected.

## Organic Photoconductors for Digital Plain Paper Copiers

Micho Shinozaki Masahiko Kasahara Shuichi Hamada
Fuji Electric Journal Vol.75 No.3 p.186–189 (2002)

The copier market is rapidly shifting from analog machines to digital ones in line with the recent trend of digitization. Because there are printers as competitors in the fields of low and medium speed, digital copiers show a tendency toward high-speed machines. To increase operation speed, organic photoconductors are required to have high sensitivity and high durability. To meet these market requirements, Fuji Electric has developed high-performance types and prepared a wide range of products compatible with low-, medium- to high-speed machines. This paper describes organic photoconductors for digital copiers, focusing on the high-sensitivity type (type 10C).

## Process Units for Electrophotographic Machine

Seizo Kitagawa Tadashi Asakawa Yoshihiko Tanaka
Fuji Electric Journal Vol.75 No.3 p.198–201 (2002)

The trend in the market of electrophotographic machines such as copy machines, fax equipment, and printers is pointing toward compact, low-priced, digital, multi-functional, and color units. The electrophotographic processes in these products are unitized to minimize maintenance. Fuji Electric is manufacturing not only photoconductor drums but also process units by utilizing process technologies achieved during the development of photoconductor drums. This paper outlines the configuration, types, features, and market trend of the units and Fuji Electric s activities. In addition, the development of positively charged process units that have particularly high potential in the above-mentioned trend is introduced.

## Photoconductor Evaluation Technology (A Study of 1-dot Latent Image Potential)

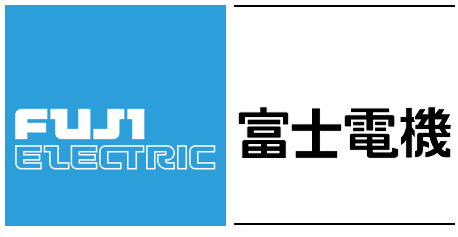
Kouichi Aizawa Yoshihiro Ueno Motohiro Takeshima
Fuji Electric Journal Vol.75 No.3 p.194–197 (2002)

In order to make high-resolution electrophotographic images, it is useful to evaluate 1-dot latent image potential formed on the photoconductor. This paper describes a new method of measuring micro-area surface potential profiles and analyzing the latent image potential. The evaluation results of the 1-dot latent image potential of negatively charged double-layer organic photoconductors and positively charged single-layer organic photoconductors are presented. The dependence of the latent image on film thickness and charge mobility is also examined.

# 富士電機株式会社

| | | | |
|---|---|---|---|
| 本社事務所 | ☎(03)5435-7111 | 〒141-0032 | 東京都品川区大崎一丁目11番2号（ゲートシティ大崎イーストタワー） |
| 北海道支社 | ☎(011)261-7231 | 〒060-0042 | 札幌市中央区大通西四丁目1番地（道銀ビル） |
| 東北支社 | ☎(022)225-5351 | 〒980-0811 | 仙台市青葉区一番町一丁目2番25号（仙台NSビル） |
| 北陸支社 | ☎(076)441-1231 | 〒930-0004 | 富山市桜橋通り3番1号（富山電気ビル） |
| 中部支社 | ☎(052)204-0290 | 〒460-0003 | 名古屋市中区錦一丁目19番24号（名古屋第一ビル） |
| 関西支社 | ☎(06)6455-3800 | 〒553-0002 | 大阪市福島区鷺洲一丁目11番19号（富士電機大阪ビル） |
| 中国支社 | ☎(082)247-4231 | 〒730-0021 | 広島市中区胡町4番21号（朝日生命広島胡町ビル） |
| 四国支社 | ☎(087)851-9101 | 〒760-0017 | 高松市番町一丁目6番8号（高松興銀ビル） |
| 九州支社 | ☎(092)731-7111 | 〒810-0001 | 福岡市中央区天神二丁目12番1号（天神ビル） |
| 北関東支店 | ☎(048)526-2200 | 〒360-0037 | 熊谷市筑波一丁目195番地（能見ビル） |
| 首都圏北部支店 | ☎(048)657-1231 | 〒330-0802 | さいたま市宮町一丁目38番1号（野村不動産大宮共同ビル） |
| 首都圏東部支店 | ☎(043)223-0702 | 〒260-0015 | 千葉市中央区富士見二丁目15番11号（日本生命千葉富士見ビル） |
| 神奈川支店 | ☎(045)325-5611 | 〒220-0004 | 横浜市西区北幸二丁目8番4号（横浜西口KNビル） |
| 新潟支店 | ☎(025)284-5314 | 〒950-0965 | 新潟市新光町16番地4（荏原新潟ビル） |
| 長野システム支店 | ☎(026)228-6731 | 〒380-0836 | 長野市南県町1002番地（陽光エースビル） |
| 長野支店 | ☎(0263)36-6740 | 〒390-0811 | 松本市中央四丁目5番35号（長野県鋳物会館） |
| 東愛知支店 | ☎(0566)24-4031 | 〒448-0857 | 刈谷市大手町二丁目15番地（センターヒルOTE21） |
| 兵庫支店 | ☎(078)325-8185 | 〒650-0033 | 神戸市中央区江戸町95番地（井門神戸ビル） |
| 岡山支店 | ☎(086)227-7500 | 〒700-0826 | 岡山市磨屋町3番10号（住友生命・岡山ニューシティビル） |
| 山口支店 | ☎(0836)21-3177 | 〒755-8577 | 宇部市相生町8番1号（宇部興産ビル） |
| 松山支店 | ☎(089)933-9100 | 〒790-0878 | 松山市勝山町一丁目19番地3（青木第一ビル） |
| 沖縄支店 | ☎(098)862-8625 | 〒900-0004 | 那覇市銘苅二丁目4番51号（ジェイ・ツービル） |
| 道北営業所 | ☎(0166)68-2166 | 〒078-8801 | 旭川市緑が丘東一条四丁目1番19号（旭川リサーチパーク内） |
| 北見営業所 | ☎(0157)22-5225 | 〒090-0831 | 北見市西富町163番地30 |
| 釧路営業所 | ☎(0154)22-4295 | 〒085-0032 | 釧路市新栄町8番13号 |
| 道東営業所 | ☎(0155)24-2416 | 〒080-0803 | 帯広市東三条南十丁目15番地 |
| 道南営業所 | ☎(0138)26-2366 | 〒040-0061 | 函館市海岸町5番18号 |
| 青森営業所 | ☎(017)777-7802 | 〒030-0861 | 青森市長島二丁目25番3号（ニッセイ青森センタービル） |
| 盛岡営業所 | ☎(019)654-1741 | 〒020-0034 | 盛岡市盛岡駅前通16番21号（住友生命盛岡駅前ビル） |
| 秋田営業所 | ☎(018)824-3401 | 〒010-0962 | 秋田市八橋大畑一丁目5番16号 |
| 山形営業所 | ☎(023)641-2371 | 〒990-0057 | 山形市宮町一丁目10番12号 |
| 新庄営業所 | ☎(0233)23-1710 | 〒996-0001 | 新庄市五日町1324番地の6 |
| 福島営業所 | ☎(024)932-0879 | 〒963-8033 | 郡山市亀田一丁目2番5号 |
| いわき営業所 | ☎(0246)27-9595 | 〒973-8402 | いわき市内郷御厩町二丁目29番地 |
| 水戸営業所 | ☎(029)231-3571 | 〒310-0805 | 水戸市中央二丁目8番8号（櫻井第2ビル） |
| 茨城営業所 | ☎(029)266-2945 | 〒311-1307 | 茨城県東茨城郡大洗町桜道304番地（茨交大洗駅前ビル） |
| 栃木営業所 | ☎(028)639-1151 | 〒321-0953 | 宇都宮市東宿郷三丁目1番9号（USK東宿郷ビル） |
| 金沢営業所 | ☎(076)221-9228 | 〒920-0031 | 金沢市広岡一丁目1番18号（伊藤忠金沢ビル） |
| 福井営業所 | ☎(0776)21-0605 | 〒910-0005 | 福井市大手二丁目7番15号（安田生命福井ビル） |
| 山梨営業所 | ☎(055)222-4421 | 〒400-0858 | 甲府市相生一丁目1番21号（清田ビル） |
| 松本営業所 | ☎(0263)33-9141 | 〒390-0811 | 松本市中央四丁目5番35号（長野県鋳物会館） |
| 岐阜営業所 | ☎(058)251-7110 | 〒500-8868 | 岐阜市光明町三丁目1番地（太陽ビル） |
| 静岡営業所 | ☎(054)251-9532 | 〒420-0053 | 静岡市弥勒二丁目5番28号（静岡荏原ビル） |
| 浜松営業所 | ☎(053)458-0380 | 〒430-0945 | 浜松市池町116番地13（山崎電機ビル） |
| 和歌山営業所 | ☎(073)432-5433 | 〒640-8052 | 和歌山市鷺ノ森堂前丁17番地 |
| 鳥取営業所 | ☎(0857)23-4219 | 〒680-0862 | 鳥取市雲山153番地36〔鳥電商事(株)内〕 |
| 倉吉営業所 | ☎(0858)23-5300 | 〒682-0802 | 倉吉市東巌城町181番地（平成ビル） |
| 山陰営業所 | ☎(0852)21-9666 | 〒690-0007 | 松江市御手船場町549番地1号（安田火災松江ビル） |
| 徳島営業所 | ☎(088)655-3533 | 〒770-0832 | 徳島市寺島本町東二丁目5番地1（元木ビル） |
| 高知営業所 | ☎(088)824-8122 | 〒780-0870 | 高知市本町四丁目1番16号（高知電気ビル別館） |
| 小倉営業所 | ☎(093)521-8084 | 〒802-0014 | 北九州市小倉北区砂津二丁目1番40号（富士電機小倉ビル） |
| 長崎営業所 | ☎(095)827-4657 | 〒850-0037 | 長崎市金屋町7番12号 |
| 熊本営業所 | ☎(096)387-7351 | 〒862-0950 | 熊本市水前寺六丁目27番20号（神水恵比須ビル） |
| 大分営業所 | ☎(097)537-3434 | 〒870-0036 | 大分市寿町5番20号 |
| 宮崎営業所 | ☎(0985)20-8178 | 〒880-0805 | 宮崎市橘通東三丁目1番47号（宮崎プレジデントビル） |
| 南九州営業所 | ☎(099)224-8522 | 〒892-0846 | 鹿児島市加治屋町12番7号（日本生命鹿児島加治屋町ビル） |
| エネルギー製作所 | ☎(044)333-7111 | 〒210-9530 | 川崎市川崎区田辺新田1番1号 |
| 変電システム製作所 | ☎(0436)42-8111 | 〒290-8511 | 市原市八幡海岸通7番地 |
| 千葉製作所 | ☎(0436)42-8111 | 〒290-8511 | 市原市八幡海岸通7番地 |
| 東京システム製作所 | ☎(042)583-6111 | 〒191-8502 | 日野市富士町1番地 |
| 神戸工場 | ☎(078)991-2111 | 〒651-2271 | 神戸市西区高塚台四丁目1番地の1 |
| 鈴鹿工場 | ☎(0593)83-8100 | 〒513-8633 | 鈴鹿市南玉垣町5520番地 |
| 松本工場 | ☎(0263)25-7111 | 〒390-0821 | 松本市筑摩四丁目18番1号 |
| 山梨工場 | ☎(055)285-6111 | 〒400-0222 | 山梨県中巨摩郡白根町飯野221番地の1 |
| 吹上工場 | ☎(048)548-1111 | 〒369-0192 | 埼玉県北足立郡吹上町南一丁目5番45号 |
| 大田原工場 | ☎(0287)22-7111 | 〒324-8510 | 大田原市中田原1043番地 |
| 三重工場 | ☎(0593)30-1511 | 〒510-8631 | 四日市市富士町1番27号 |
| (株)富士電機総合研究所 | ☎(0468)56-1191 | 〒240-0194 | 横須賀市長坂二丁目2番1号 |
| (株)FFC | ☎(03)5351-0200 | 〒151-0053 | 東京都渋谷区代々木四丁目30番3号（新宿コヤマビル） |

昭和40年6月3日　第三種郵便物認可　平成14年3月10日発行（毎月1回10日発行）富士時報　第75巻　第3号（通巻第804号）




本誌は再生紙を使用しています。

**定価525円（本体500円）**