

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10nm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

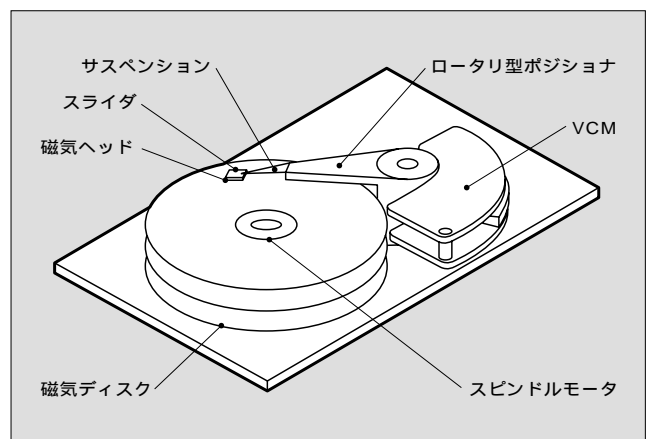
HDDでは、磁気ヘッドと磁気ディスク上のトラックとの相対位置を検出するための位置情報(これをサーボパターンと呼ぶ)が、磁気ディスクに記録されている。図2(a)に示すように、サーボパターンを記録したサーボゾーンとデータの記録再生を行うデータゾーンがトラックの周方向に対して一定の間隔で交互に並んでおり、磁気ヘッドは、データ記録再生中、一定時間ごとに自分の位置を検出できる(本方式は、セクタサーボ方式と呼ばれ、HDDで広く使用されるものである)。図2(b)は、サーボゾーンに記録されているサーボパターンの一例である。サーボクロック、アドレスマーク、位置検出パターンなどからなる。なお、図中の位置検出パターンは多くの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ン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ンを微動させ、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20G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

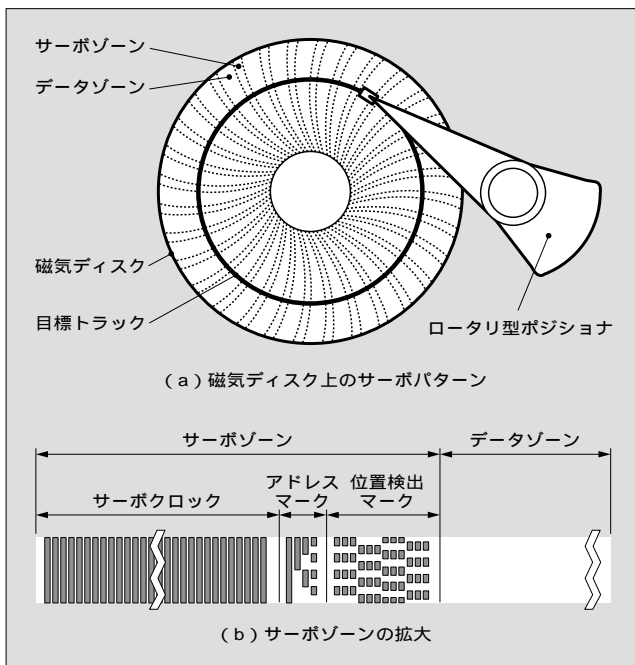
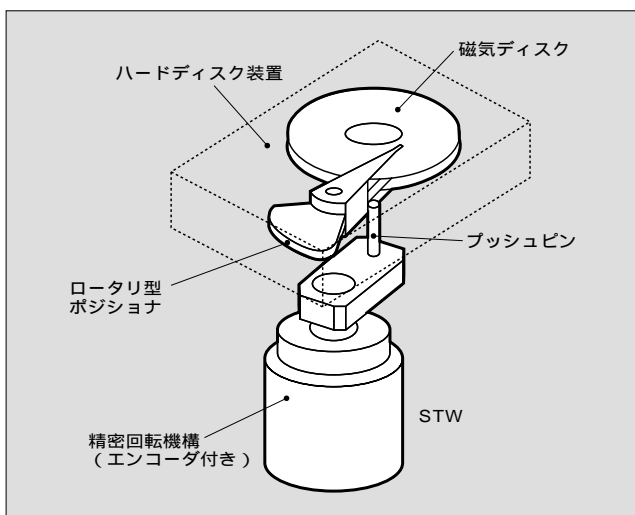


図3 サーボトラックライターによるサーボライト

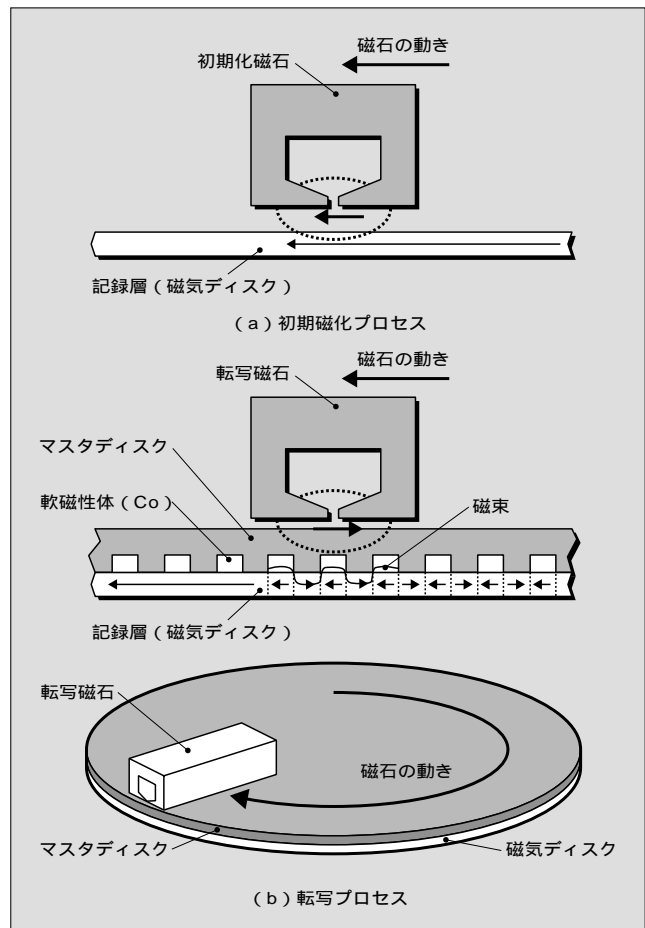


3.2 磁気転写によるサーボライト

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。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。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方向に磁化する（初期磁化）。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。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プ部分を交互に形成し、グループ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、均一なエンベロッ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

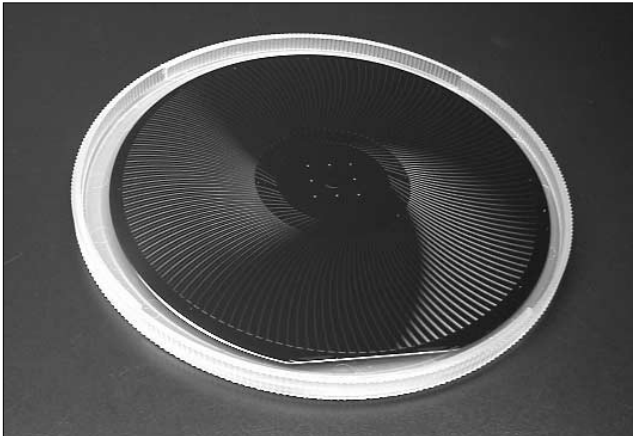
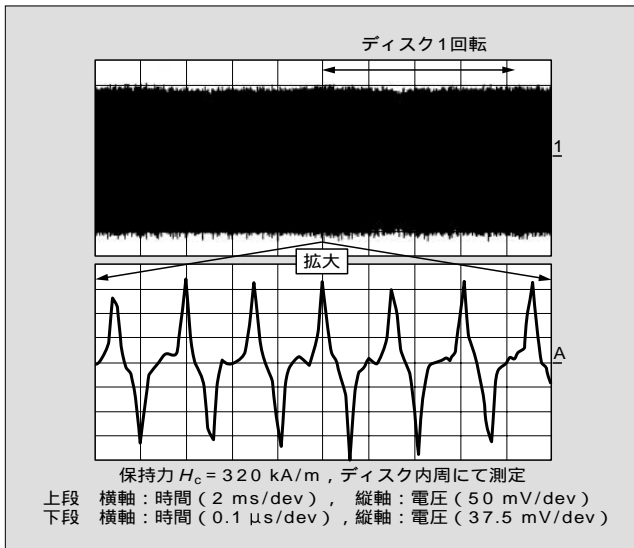


図6 磁気転写ディスクから再生したサーボ信号波形 (長手記録)



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。

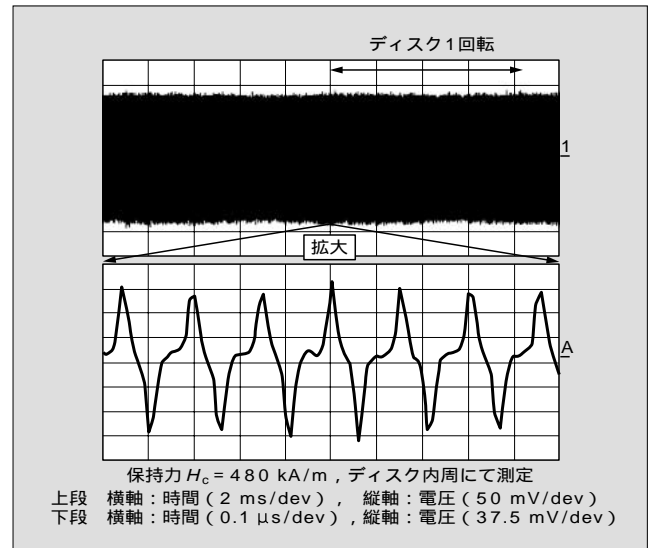
4.2.1 高保磁力ディスク

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 $H_c = 480 \text{ kA/m}$ 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 $H_c = 320 \text{ kA/m}$ (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。

4.2.2 垂直磁気記録ディスク

面記録密度 100 G ビット/in² 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。

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

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

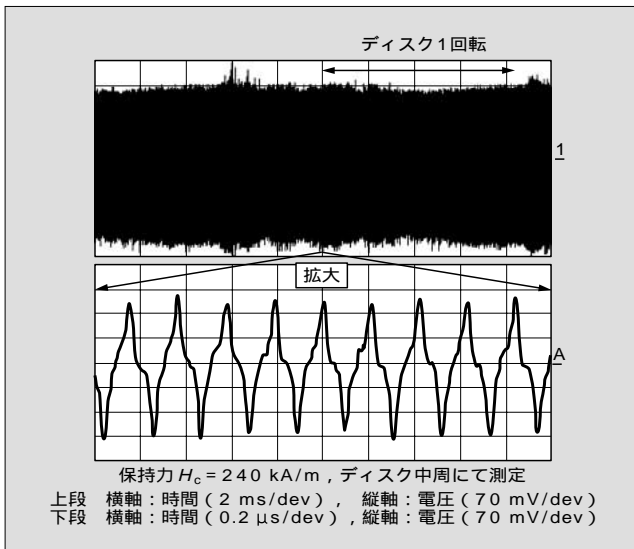


図9 次世代磁気転写装置の外観図



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。

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)
稼働率	> 96 %
寸法	W3,300 × D1,400 × H2,000 (mm)

図10 サーボ動作試験機能の構成

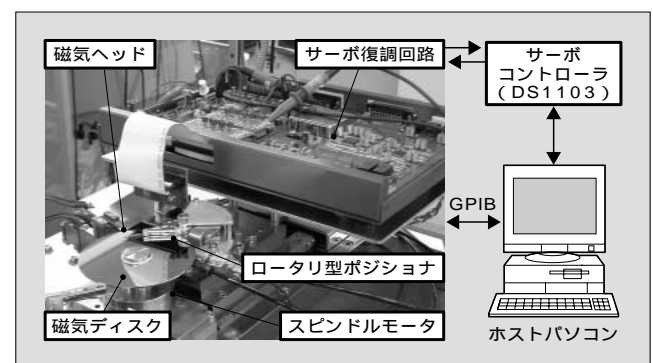
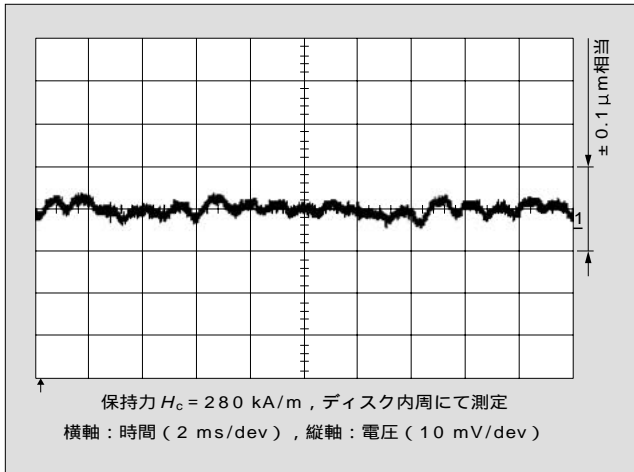


図 11 サーボ動作時における磁気ヘッドの位置決め精度測定波形



のスピンドル（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、スピンドル上で、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。

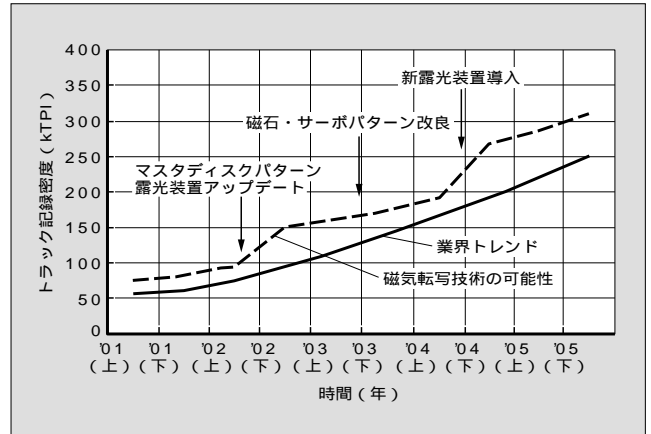
⑤ 今後の展開

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150kTPI（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。

図 12 HDDのトラック記録密度推移予測



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.



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