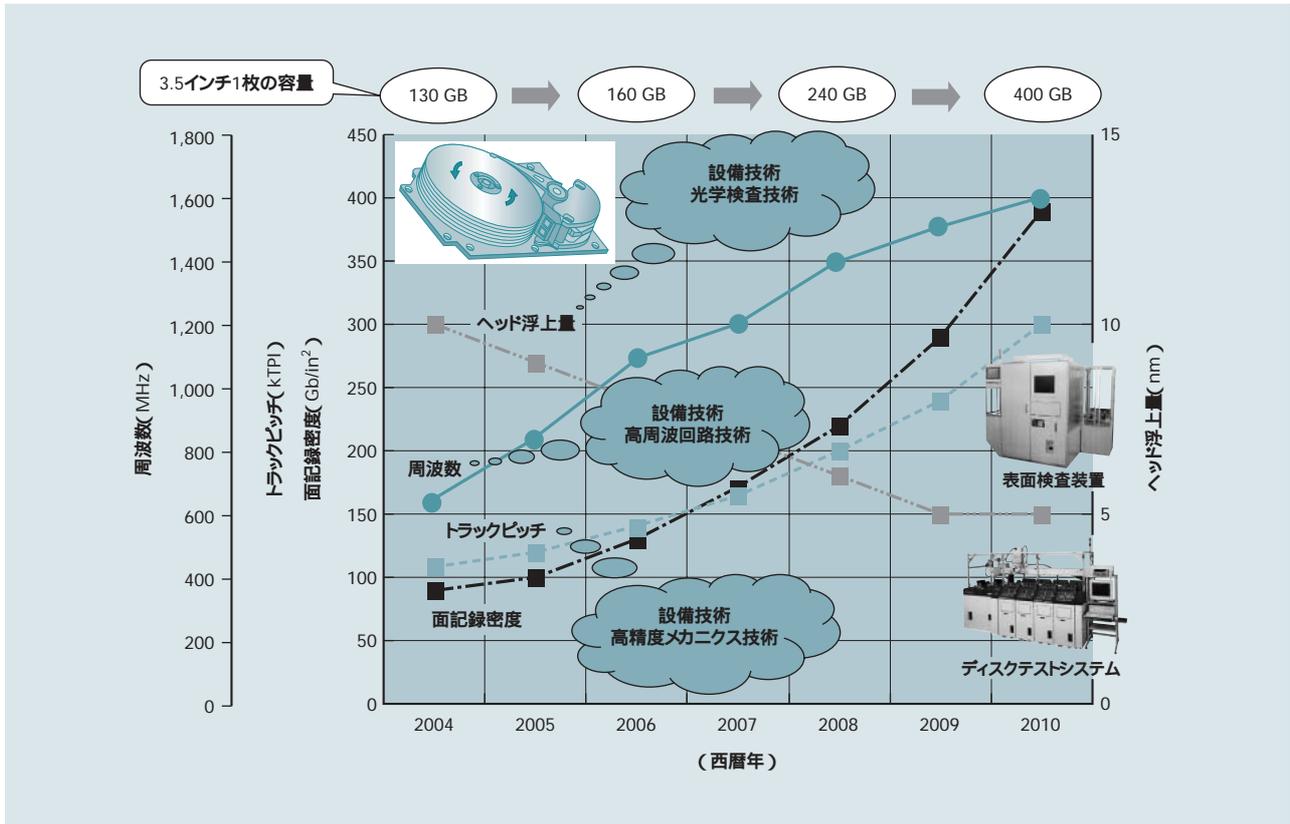


# ハードディスク製造設備の展望

Prospect of Hard Disk Manufacturing Equipment

樋口 龍治 Ryuji Higuchi

森 恭一 Kyoichi Mori



注:略語説明 TP(Track per Inch)

図1 HDD技術ロードマップと設備技術

HDDの主な仕様である面記録密度,トラックピッチ,ヘッド浮上量,および周波数の予測と対応する主な設備技術を示す。

HDDは、近年高密度化・高容量化が進んでいる。製造設備においても新技術への対応や量産安定性の確立が不可欠となっている。

その基幹技術の向上策として、(1)光学検査技術による微小欠陥検出方式の開発、(2)高周波回路技術による検査回路のシミュレーション解析と専用LSIの開発、(3)高精度メカニクス技術によるヘッド位置決め機構・低振動機構の開発などを進めている。

株式会社日立ハイテクノロジーズは、HDDの基幹部品であるディスク(媒体)やヘッドの製造・検査に関する技術開発と関連設備のラインアップを拡充し、高効率生産の実現に取り組んでいる。

## 1.はじめに

HDD( Hard Disk Drive:磁気ディスク装置 )は、コンピュータ市場を中心に拡大してきたが、コンピュータ市場以外( HDDレコーダ・音楽プレーヤなどのデジタル家電分野 )の新規アプリケーションの登場により、急速に普及してきた。

大容量化・高密度化への動きが加速する中、基幹部品であるディスク(媒体)、ヘッド用の製造・検査装置においても、高密度化を支える計測技術や高精度メカニクス技術への対応要求は一段と厳しくなっており、さらなる技術の進化が望まれている。

特に、高密度化に対応した垂直ディスクや高密度ヘッドの採用により、データを書き込み・読み込みするトラックピッチはますます狭くなり、ヘッド位置決めの高精度化や信号の微小化

による高周波数化が進んでいる。

ここでは、技術変遷・設備動向と、技術革新を支えてきた基幹部品であるハードディスク(媒体)の製造工程・設備、および基幹技術の展望について述べる(図1参照)。

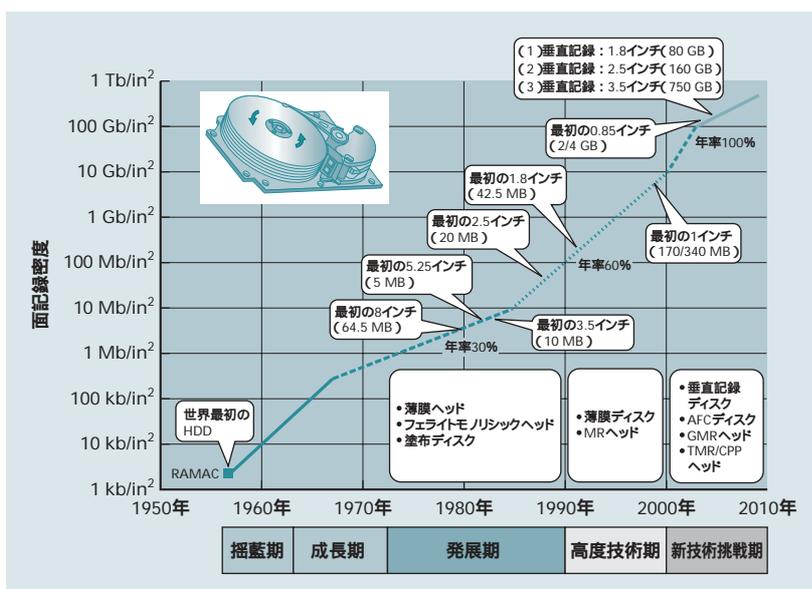
## 2. HDD技術の変遷と設備技術

HDDの歴史は長く、1956年に世界初のHDDであるRAMAC<sup>1)</sup>(Random Access Method of Accounting and Control)が米国IBM社から発表されてすでに50年になる。容量から見ると、RAMAC(24インチのディスクを50枚積層し、記憶容量は約5 Mバイト)に比べ、現在の記録容量は3.5インチディスク1枚で150 Gバイトを達成しており、およそ7,500万倍の容量まで進化を遂げている。

固有技術の変遷から見ると、1990年代後半のHDD技術〔記録方式:長手記録方式,面記録密度:~10 Gビット/in<sup>2</sup>,ヘッド:MIQ(Metal in Gap)薄膜ヘッドなど〕から2000年代に入り,新技術〔記録方式:垂直記録方式,面記録密度:100 Gビット/in<sup>2</sup>以上,ヘッド:GMR(Giant Magneto-Resistance)TMR(Tunnel Magneto-Resistance)ヘッド,AFC(Anti-Ferro Magnetically Coupled)垂直ディスクなど〕が相次いで採用されている(図2参照)。

記録密度の増加に伴い,記録方式では代替技術として

1) RAMACは,米国における米国International Business Machines Corp.の商標である。



注:略語説明 HDD( Hard Disk Drive ), MR( Magneto-Resistance ), GMR( Giant Magneto-Resistance )  
AFC( Anti-Ferro Magnetically Coupled ), MIQ( Metal in Gap )  
TMR( Tunnel Magneto-Resistance ), CPP( Current Perpendicular to Plane )  
RAMAC( Random Access Method of Accounting and Control )

図2 HDD面記録密度推移と固有技術の変遷

1956年に世界初のHDDが登場して以来,急速な高密度化が進んでいる。面記録密度は1990年まで年率30%,以降は年率60%以上と高い伸びを示している。これは新技術であるMR/GMRヘッド,高密度ディスクなどの採用によるもので,今後も新技術の導入が見込まれる。

「パターンメディア技術」,「熱アシスト技術」などが,すでに提案されるなど技術革新も進んでいる。

一方,大容量化・高密度化を支える設備技術も進化している。

特に,製造・検査設備では高密度化に伴う技術として,(1)ヘッド浮上量低下によるディスク面上の光学検査技術,(2)高周波数化による回路技術,(3)狭トラックに対応した高精度メカニクス技術,(4)ディスク表面上の加工技術,(5)ヘッドの微細加工技術などのいろいろな技術が導入されてきた。

## 3. 設備動向と製造工程

### 3.1 設備動向

これまでにも,HDDの基幹部品であるディスク(媒体),サブストレート(基板),ヘッドなどの製造・検査設備において大きな動きがあった。一つは,技術革新による記録密度の増加により,HDD搭載ディスク枚数やヘッド本数が大きく減少したことで,生産設備の投資抑制が起きた。

もう一つは,技術革新や新技術の導入によって量産化技術や生産技術の難易度が増し,生産での歩留りが低下することから,歩留りにかかわる設備・工程品質管理のための設備投資や新技術にかかわる設備投資が行われてきた。

2004年前半から,さらなる技術革新(高密度ヘッド・垂直記録方式の採用)による高密度化が進む一方で,高容量化を必要とするアプリケーション登場でディスク・ヘッド搭載数も増大して需要は拡大した。このため,増産のための新規生産ラインの構築や新技術(垂直記録方式・高密度ヘッド)対応のための設備投資が相次いだ。

今後は,HDDの低価格化が進み,設備に対して高性能・高信頼性(安定稼働)・高スループットとともに,低価格設備への要求も一段と厳しくなると予想される。

### 3.2 ディスク製造工程における設備概要

ディスク断面構造(片面側)を図3に,代表的なサブストレート・ディスク製造工程と,各工程に対応する株式会社日立ハイテクノロジーズの設備の概略を図4にそれぞれ示す。

#### 3.2.1 サブストレート製造工程

ディスクの基板であるサブストレートの材料には,アルミニウム,強化ガラスおよび結晶化ガラスが採用されており製造工程も異なる。ここではアルミサブストレート

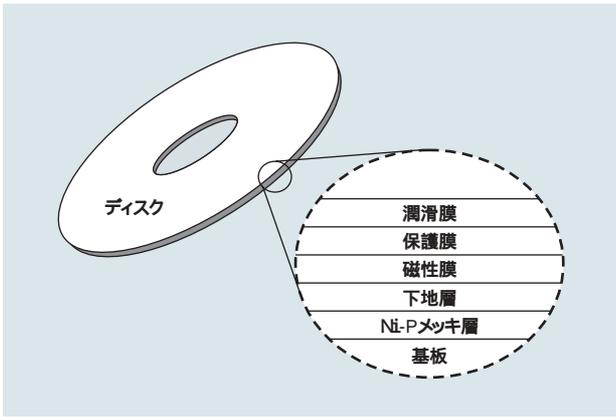


図3 ディスク断面構造 (片面側)  
Ni-Pメッキ層までをサブストレートと称する。その上にテクスチャリングを行い、スパッタリングによって下地層、磁性膜、保護膜を形成する。

製造工程を示し、各工程に対応する製造・検査装置について述べる。

ブランク材と呼ばれるアルミ合金の原材料は、(1) 研磨 (2) 洗浄 (3) Ni-Pメッキ (4) ポリッシュ (5) 洗浄 (6) 検査の工程を経てサブストレートとなる。

日立ハイテクノロジーズでは、最終洗浄工程に使用される「FXシリーズ洗浄装置 (図5参照)」、最終検査工程に使用される「NS7000シリーズ表面検査装置 (図6参照)」などの製品がある。一般的に高密度化が進めばヘッドとディスクとの間隔 (浮上量) がいっそう重要であり、その間隔は極少化されてきた。

このため、基板面の平滑度はさらに重要である。また、記録磁区が小さくなるにつれて、きずや欠陥検出性能が大きな問題となる。

この検査工程に使用されるNS7000シリーズ表面検査装置は、今後、高密度化に伴い、人間の目による目視検査に代わってますます重要となる。

レーザー光を光源としてサブストレート表面上に照射し、欠陥による散乱光、回折光および正反射光を受光することにより、表面上の異物、きずなどを検出する。HDDの小型化に伴い、ディスクとヘッドの対衝撃性が重要視され、低浮上化による表



図5 FXシリーズ洗浄装置  
複合洗浄による高洗浄力、高清潔度および省スペース化を実現した生産型装置である。



図6 NS7000シリーズ表面検査装置  
サブストレートの表面欠陥を高精度で測定し、高い欠陥弁別機能を有した装置である。

面上の平滑度に優れ、高密度化しやすいガラスサブストレートが2.5インチでは主流となっている。

### 3.2.2 ディスク製造工程

サブストレートは、以下のディスク製造工程を経てディスクとなる。

#### (1) テクスチャ工程

サブストレート表面上に細かい凹凸を付けるための処理を行う。この目的は、磁極の配向性をよくするためにある。一般的なテクスチャ処理は、研磨テープとスラリーなどの砥(と)粒子を使用し、機械的に加工したものがあ。日立ハイテクノロジーズは、これらに対応した「FWシリーズテクスチャ装置」を開発して製品化した。

#### (2) 洗浄工程

磁性膜をスパッタリングする前工程で行われる。日立ハイテクノロジーズは、顧客仕様に合わせた洗浄装置を製作している。代表的な装置は「FXシリーズディスク洗浄装置」で、スクラ

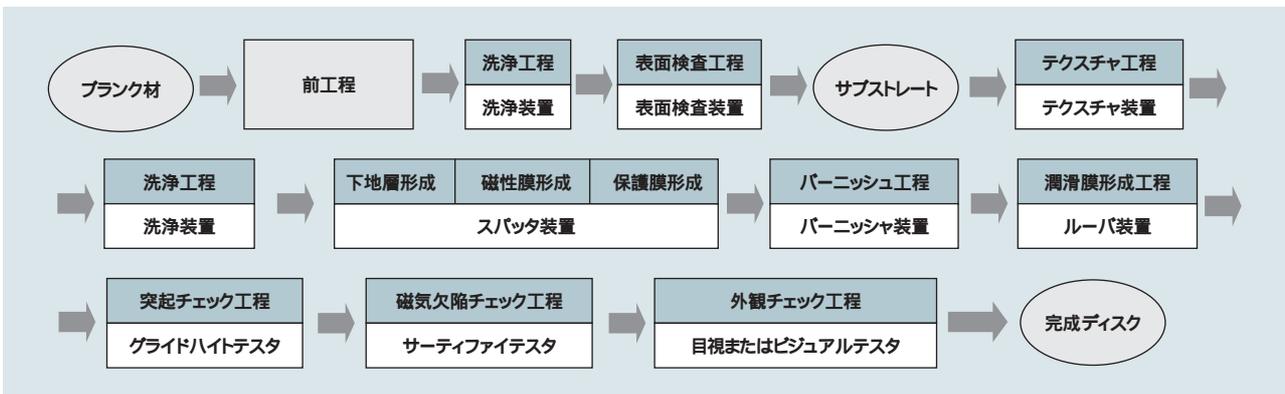


図4 サブストレートとディスク製造工程  
製造工程と関連設備名を示す。ここではブランク材の投入からサブストレートができる工程と、最終検査工程を経て完成ディスクができる工程を示す。



**図7 FXシリーズ  
ディスク洗浄装置**  
最新の洗浄モジュールとIPAベーパーによる高洗浄の乾燥方式を採用したパツジ式の高速度精密洗浄装置である。

ブ洗浄, 超音波洗浄, ドライ乾燥などのモジュールを有する(図7参照)。乾燥方式には, ドライ乾燥のほかにIPA(イソプロピルアルコール)ベーパー乾燥方式もある。

### (3) スパッタ工程

スパッタ装置にて下地層, 配向膜, 磁性膜などをスパッタ(蒸着)し, これらの酸化防止と保護を目的としてDLC(Diamond Like Carbon)膜を連続スパッタする。

### (4) パーニッシュ工程

スパッタされたカーボン膜に対して表面の突起を除去するためのクリーニング工程であり, 研磨テープにて表面上をパーニッシュし, クリーニングテープによって洗浄する。

### (5) ルーバ工程

ディスクとヘッド間の潤滑のための膜を形成するものである。これらの方法として, スピンコートによる塗布, テープに潤滑液を浸透させて擦り込ませる方式, ディップ方式などがあるが, 現在はディップコート方式が主流である。

### (6) グライドハイトテスト工程

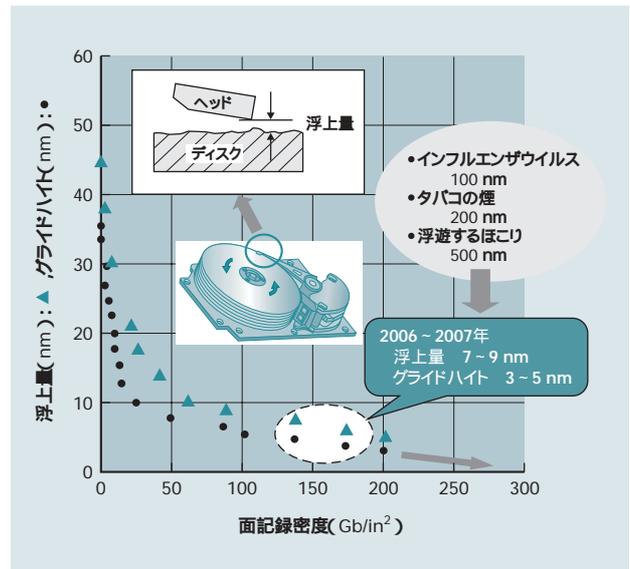
サブストレートからディスクが完成した後, 最終検査工程の一つとしてある。このテストは, ヘッドがディスク上を浮上するときにディスク上の各種突起に当たらないことを保証するためのテストである。通常, グライドハイトテスト時には, ヘッドによるパーニッシュを行いながらグライドハイト用ヘッドにてチェック高さでヘッドを浮上させ, 全面テストを行う。

近年, ディスクの高密度化により, グライドハイトは急激に低下し, 2000年には10 nm以下であったが, 現在は5 nm以下のHDDが実用化されている(図8参照)。

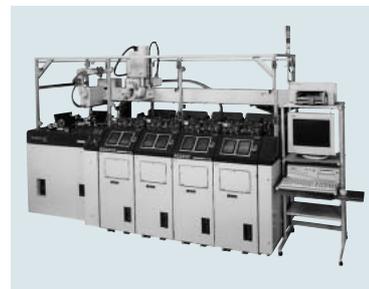
### (7) サーティファイテスト工程

グライドハイトチェックに合格したディスクは, 電気的特性や磁気欠陥の有無がテストされ, クラス分けされる。

このテストでは, テスト用ヘッドを使用し, 記録を行い, 読み出しを行う。主なテスト項目には, パラメトリックテストや欠陥テストがある。パラメトリックテストとは, 電気的特性で, 通常はディスク上の数箇所トラック位置で測定される。欠陥テストは, ディスク全面にわたって行うため時間が掛かる。近年ディスクの高密度化はこのテスト方式にさまざまな課題を投げかけている。高TP(Track per Inch:トラック密度)化はテストトラック本数を増やし, テスト時間が掛かり, 生産性を落としている。



**図8** 面記録密度に対応した浮上量とグライドハイト  
高密度化により, ヘッドとディスクのすきまはさらに狭くなる。



**図9 RQ/RAシリーズ  
ディスクテスト  
システム**  
最終ディスク検査工程におけるグライドハイトテスト, サーティファイテストおよびパラメトリックテストを1台の装置で高速処理する自動化装置である。

これらに対応するため, 日立ハイテクノロジーの装置はマルチヘッド化によるテストエリアの分割, マルチスピンドル化による同時テストを実行し, テスト時間の短縮を図っている。また, 磁気欠陥チェック(サーティファイテスト)工程と突起チェック(グライドハイトテスト)工程とを連続して, 同一スピンドル上で実行できるマルチスピンドル方式の「RQ/RAシリーズディスクテストシステム」を製品化している(図9参照)。

## 4. 高密度ディスク検査を支える基幹技術

ディスクやヘッドの製造工程において, 効率的な生産と安定した品質の保証のため, 検査装置は重要な役割を担っている。高密度化による記録磁区の微小化とヘッドとディスク間の間隙(げき)減少に伴って, 検査装置に求められる性能は年々高度化している。検査装置にかかわる基幹技術としては, 高周波回路技術, 高精度メカニクス技術があり, 市場の技術トレンドに先駆けた開発を行ってきた(図10, 図11参照)。

### 4.1 高周波回路技術

ディスクやヘッドの検査の方法として, ディスクへ信号を書き込み, その読み出し信号の品質から特性を検査するものがある。記録磁区の微小化に伴って検査信号は高周波数化し,

ヘッド検査装置にもGHzクラスの信号検査が求められるようになってきた。

検査回路には信号選択，信号増幅，信号計測などの機能があり，これらを実現しながら高周波化することが必要となる。また，ヘッドと回路間の配線損失増加によって測定誤差となるので，これを補償する回路も必要である。このため，検査回路の開発にあたっては，配線や搭載部品なども含めた三次元磁界シミュレータによる解析を行い，高精度等価回路モデルを作成した。これを用いたシミュレーション検証により，化合物半導体プロセスを用いた多機能アナログ計測LSIをタイムリーに開発した（図12参照）。これにより，周波数帯域，測定精度で世界トップレベルのヘッドテストを製品化した。

#### 4.2 高精度メカニクス技術

検査中は，ヘッドはディスク上に正しく位置づけられ，安定した浮上を保っていなければならない。このため，検査メカニクス部への外乱となる振動は極力抑える必要がある。

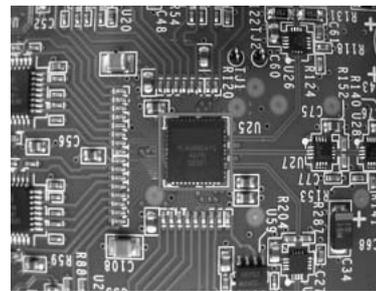


図12 多機能アナログ計測LSI  
世界トップレベルの周波数帯域と測定精度を実現する。

例えば，ヘッド検査装置では，ディスクとヘッド間のトラック方向相対変位が，1 nm程度という，きわめて高い安定性が要求される。この特性はTMR(Track Miss Registration)という値で表現される。TMRを損なう要因としては，ディスクを回転するスピンドルの振動，ヘッドを位置決めするキャリッジの振動，熱や気流など環境の擾(じょう)乱などがあるが，このレベルの振動は計測すること自体が困難であり，解析は容易ではない。

TMRに影響する重要な機械要素にスピンドルがある。HDDでは玉軸受や動圧液体軸受が用いられているのに対し，検査機では静圧気体軸受を採用している。静圧気体軸受は，気体の粘度が液体より3けた小さいことに起因する低摩擦と低発熱が特徴である。これによって熱変形が小さく，安定した回転制御が可能であり，使用回転数範囲も広い。加えて静圧により，常時非接触であり，起動停止時にも摩擦を生じることなく，長期間精度を維持できる。

検査装置には，TMRを特に小さくするよう開発した極低NRRO(Non Repeatable Run Out)スピンドルを採用している（図13参照）。NRROとは回転非繰り返し振れのことであり，これを最小とするため，軸受設計パラメータの最適化を数値解析に基づいた実験評価によって行い，開発した。

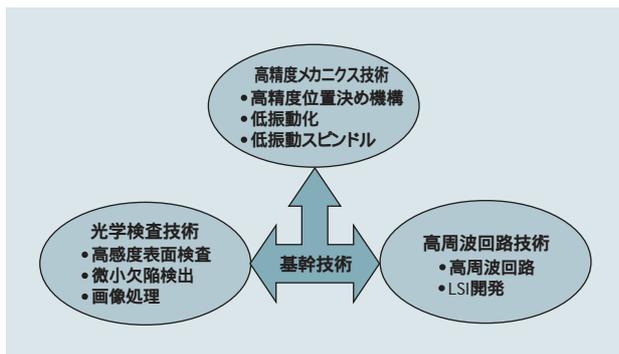


図10 基幹技術  
高密度ディスク検査における基幹技術を示す。

	2004年	2005年	2006年	2007年	2008年	2009年	2010年
面記録密度 (2.5インチ)	90 Gb/in <sup>2</sup>	100 Gb/in <sup>2</sup>	130 Gb/in <sup>2</sup>	170 Gb/in <sup>2</sup>	220 Gb/in <sup>2</sup>	290 Gb/in <sup>2</sup>	390 Gb/in <sup>2</sup>
浮上量	10 nm	9 nm	8 nm	7 nm	6 nm	5 nm	5 nm
トラックピッチ	0.24 μm	0.21 μm	0.18 μm	0.15 μm	0.12 μm	0.11 μm	0.09 μm
ディスク技術	水平AFC媒体		垂直記録媒体		DTM/PM		
ヘッド技術	スピナルパルプGMRヘッド		TMRヘッド			CPPヘッド	
	デュアルアクチュエータ						

注:略語説明 DTM(Discrete Track Media), PM(Patterned Media)

図11 HDD固有技術トレンド  
固有技術トレンド予測を示す。

### 5. 高密度化に向けた光学検査技術の展望

ディスクの製造プロセスは，高密度化のため，高度に管理されるようになってきており，工程ごとの品質管理が重要となってきている。光学検査技術は，検査のためにヘッドを用いる必要がなく，ヘッド特性の影響を受けないので，検査品質が安定であることが特徴である。

#### 5.1 高密度化のための微小欠陥検出

面記録密度170 Gビット/in<sup>2</sup>のディスクでは，表面の1 μm角の面積の中に，260 ビットもの記録磁区が存在することになる。したがって，検出すべきディスク上の欠陥の大きさは，ますます微小となっている。

NS7000シリーズ表面検査装置は，サ



図13 スピンドルモータ  
回転非繰り返し振れがサブナノメートルレベルの静圧気体軸受である。

ブストレートあるいはディスクの製造工程で用いられる量産ライン向け検査装置である。独自のマルチ方位レーザー照明方式の散乱光学系を採用し、微小欠陥を感度よく検出することができる。この光学系は、3式の長円に成形したレーザー微小スポットを、互いに120度の角度を成す3方向から1点に照射する方式である。これにより、欠陥形状に依存する感度異方性がなく、検査精度が安定である。また、パワー密度も3倍となるので、ディスク上の直径0.1 μm以下のポリスチレンラテックス粒子を検出する感度が得られる。

### 5.2 低浮上化のための欠陥凹凸の判別

「NS1500シリーズ表面検査装置」は、評価解析に用いられる検査機である。前述の散乱光学系に加え、欠陥の凹凸判別ならびに形状解析が可能な干渉光学系を備えており、プロセス管理のための多彩な欠陥種別判別が可能である。

この干渉光学系は、高速で微小欠陥の凹凸判別ができることが特徴であり、他社にはないものである(図14参照)。測定方式は、ディスクに照射したレーザー光からの反射光と、基準光との位相差を光ヘテロダイン干渉を用いて測定し、欠陥の高さ、あるいは深さに換算するものである。この装置では、高速化を図るため128チャンネル並列処理しており、そのための専用光学系および信号処理系を開発した。

これにより、従来はAFMを用いて日単位を要していたディスク全面の微小欠陥の凹凸判別を、この装置では約1分間(2.5インチディスクの場合)で行うことが可能である。

### 5.3 検査技術の展望

光学検査技術は、その特性を生かして、今後ますます高度化するプロセスにおいて、種々の工程管理に展開することが望まれている。さらには、従来の検査方式とのインテグレーションにより、より細かいプロセス管理情報を、より高速に提供することが可能となる。このようなニーズに対応し、HDD関連の生産プロセスの効率化に貢献すべく、今後さらなる開発を進めていきたい。

#### 執筆者紹介



樋口 隆浩  
1971年日立電子エンジニアリング株式会社入社、株式会社日立ハイテクノロジー FPD・HD装置営業本部 事業戦略部 所属  
現在、HDD関連製造設備のマーケティングに従事  
IDEMA Japan(国際ディスクドライブ協会)理事

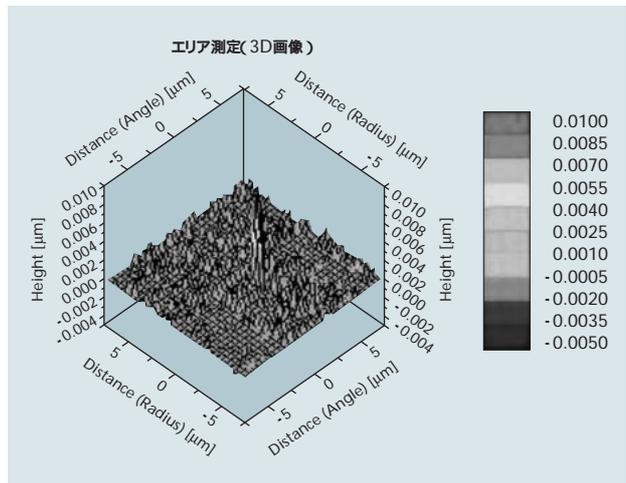


図14 干渉光学系による微小欠陥の形状解析例  
高さ8 nm程度のサブミクロン欠陥のあることがわかる。

### 6. おわりに

ここでは、HDD関連の製造・検査設備の現状(製造工程・関連設備)と、高密度化ディスクを支える基幹技術の展望について述べた。

情報量はますます増大し、磁気ディスク装置は外部記録装置として、コンピュータ分野だけでなく、今後はデジタル家電分野への搭載がますます加速されるであろう。面記録密度の増加に伴い、さまざまな新技術が導入されることから、製造・検査設備は高品質・高効率生産に重要な役割を担っている。

設備分野においても、とどまることを知らない技術革新に対応する技術開発と市場への早期展開を持ち合わせなければならない。

株式会社日立ハイテクノロジーは、今後も顧客ニーズに応えた設備を提供するとともに、将来を展望する技術の先行開発に努めていく考えである。

#### 参考文献

- 1) IDEMA Japan:HDDロードマップ(2006.5)
- 2) 金子:磁気ディスク 50年の歴史, IDEMA Japan技術委員会合同部会資料,(2006.12)
- 3) 坂根:Effect of molecular structure of PFPE lubricant on interaction at HDI in near contact operation, IDEMA Quarterly Seminar October 2006, p.59



森 恭一  
1979年日立電子エンジニアリング株式会社入社、株式会社日立ハイテクノロジー ファインテック製品事業本部ハードディスクシステム部 所属  
現在、HDD関連製造設備の開発に従事