



ある。しかし、このように記録ビットが小さくなってくると、当然そこから得られる信号磁界も小さくなっていくので、それを正確に再生するためには、磁気ヘッドの再生感度の向上、及び信号処理技術の改善が必要である。近年の記録密度の向上は、図1に示すように、主には磁気ディスクの磁性粒子の微細化、信号処理技術の改善、及びMR(磁気抵抗効果)ヘッドあるいはGMR(巨大磁気抵抗効果)ヘッドの採用及びその特性改善によるヘッド再生感度の向上とによりなされてきた。

## 2.2 磁気ディスクにおける高記録密度化

これまでのHDDは面内記録と呼ばれる、記録信号をディスク面内に並べた磁石として記録する方式である。図2(a)に従来の面内記録方式HDDのヘッド及びディスク構造を示す。磁気ディスクの高密度化のためには、前述のように磁性層を構成する磁性粒子をより微細化する、すなわち信号磁石のサイズを小さくしていく必要がある。

しかし、面内記録方式の場合は信号磁石のサイズを小さくすると隣接するS極どうし、N極どうしが互いに弱めあう作用すなわち減磁界が働き、面内記録方式においては記録密度を高くする際、記録分解能を低下させてしまう。更に記録密度向上のために磁性粒子のサイズを小さくすると、熱エネルギーに対する磁性粒子の磁気エネルギー余裕が小さくなり、記録磁化を安定に保つことが難しくなる。この現象を

熱揺らぎ現象という。

近年の磁気ディスクでは、高い記録密度で安定な記録磁化を維持できるように、磁性粒子の磁気エネルギーを大きくする記録磁性材料の開発、あるいは積層化した複数の磁性層を互いに反平行な磁氣的結合を与えて安定化させる反強磁性結合ディスク(AFCディスク)の開発により、記録密度の改善がなされてきているが、120 Gビット/in<sup>2</sup>を超える記録密度においては、反強磁性結合ディスクでも記録磁化を安定に維持するのは困難になってきている。

## 2.3 垂直記録方式による高記録密度の実現

これに対して垂直記録方式の構造を図2(b)に示す。先に述べた面内記録方式と比較し、垂直記録方式では信号磁石がディスク面内に垂直方向に配置されている。したがって、高い記録密度で記録された場合、信号磁石のN極とS極が隣り合い互いを強めあうという面内記録とは対照を成す性質を示し、高記録密度に有利な方式である。また熱揺らぎによる記録データ品質の劣化という面でも、減磁界が小さいことから熱揺らぎに対する影響も小さく、面内記録方式より安定な高密度記録を実現できる。

この垂直記録方式は1975年に東北大学名誉教授の岩崎俊一博士により発明され、将来の革新的な記録方式として開発が進められていた。

## 2.4 世界で初めて実用化した垂直記録HDD

当社は、垂直記録方式の特長を小型大容量ストレージ機器に活用することを目指し、垂直記録HDD技術の開発を積極的に進めてきた。2004年12月14日には、世界で初めて垂直磁気記録方式を採用し、世界最高記録密度133 Gビット/in<sup>2</sup>を達成した1.8型HDDの製品化を発表した(図3)。基本仕様を表1に示す。

垂直記録方式HDDの主な特長は次のとおりである。

- (1) 優れた線記録密度特性 垂直記録方式においては高記録密度における減磁界の影響が小さいため、線記録密度を従来の面内記録方式に対して高く配分するこ

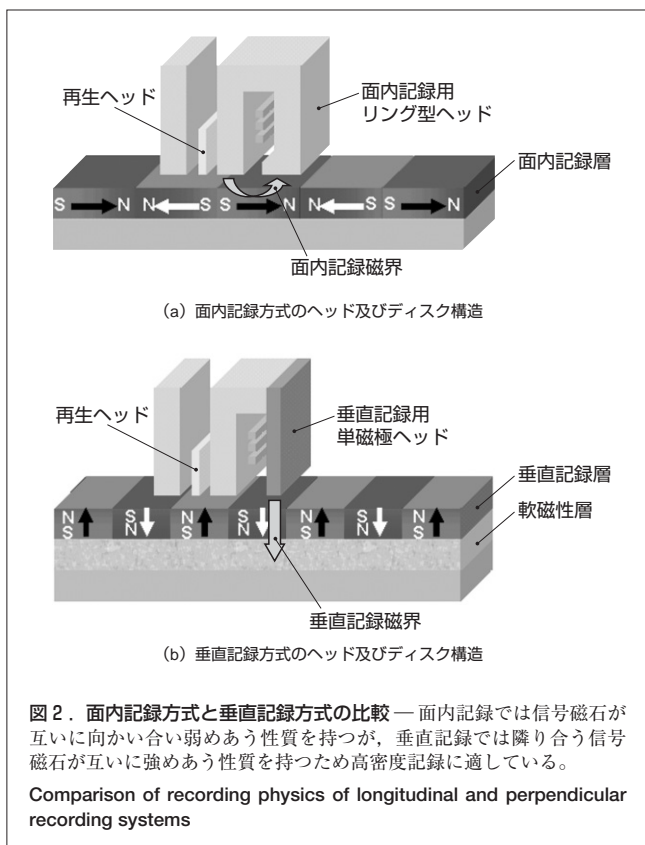


表1. MK4007GALとMK8007GAHの基本仕様

Specifications of MK4007GAL and MK8007GAH HDDs

項目	MK4007GAL	MK8007GAH
記憶容量 (Gバイト)	40	80
ディスク枚数	1	2
ヘッド数	2	4
回転数 (rpm)	4,200	
線記録密度 (BPI)	1,014,000	
トラック密度 (TPI)	134,300	
耐衝撃性	動作時	500 G以上
	非動作時	1,500 G以上

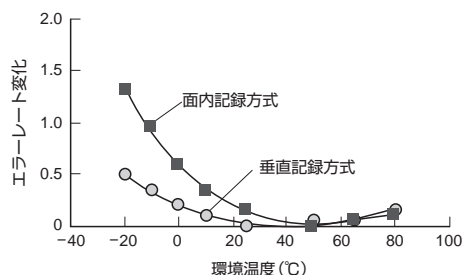


図4. 垂直記録方式の優れた温度特性 — 垂直記録方式は低温においても優れた書き込み特性を持ち、幅広い温度範囲で良好なエラーレートを得ることができる。

Superior performance at wider temperature range with perpendicular recording

とが可能となり、線記録密度は1,014 kBPI (ビット/in)に達し、従来の面内記録方式よりBPI/TPI (トラック/in)比は7.4と高めに設計することが可能となった。

(2) 優れた温度特性 垂直記録方式は優れた熱安定性を持つとともに、エラーレートの環境温度依存性も小さく抑えられている(図4)。

このように垂直記録方式では、高い記録密度の達成が得られるだけでなく、環境温度などに対する信号安定性など、幅広い温度環境に対応するポテンシャルを併せ持っており、より超小型大容量のストレージとして期待ができる記録方式である。

### 3 超小型HDD

ユビキタス機器においてHDDに対する要求は、HDDの小型化、大容量化、低消費電力化である。特に音楽配信が始まるなど、新たなアプリケーションが増えている携帯電話においては、超小型大容量のHDDが望まれている。

当社はこれら超小型HDDの需要に応えるため、0.85型HDDの開発を行い、2004年にその製品化を発表した(図5)。基本仕様を表2に示す。



図5. 超小型HDD MK2001MTN — 世界で初めての0.85型HDDである。

World's smallest HDD: Toshiba MK2001MTN

表2. MK2001MTN/MK4001MTD基本仕様

Specifications of MK2001MTN and MK4001MTD HDDs

項目	MK2001MTN	MK4001MTD
装置質量 (g)	6.7 max	9.5 max
記憶容量 (Gバイト)	2	4
ディスク枚数	1	
ヘッド数	1	2
回転数 (rpm)	3,600	
面記録密度 (Gビット/in <sup>2</sup> )	86	
耐衝撃性	動作時	1,000 G以上
	非動作時	2,000 G以上

#### 3.1 優れた耐衝撃特性

HDDが超小型になり、その使われるユビキタス機器が小さくなるに従い、耐衝撃特性の向上が重要になってくる。

このうち、動作時衝撃特性の向上については、サスペンションの軽量化が望ましい。しかしサスペンションの軽量化は、その剛性の低下につながり、高トラック密度化の弊害となる。0.85型HDDにおいては、装置やサスペンションの小型化に伴い、この相反する二つの特性をサスペンションロードビームの板厚及び形状の最適化設計で解決し、動作時の衝撃特性として1,000 G以上の特性を達成した。

2.5型、1.8型、0.85型HDDの、サスペンションの軽量化の指標となる等価質量と動作時耐衝撃特性の比較を図6に示す。また、サスペンションのスウェイモードでの共振特性のFEM(有限要素法)構造解析例を図7に示す。

0.85型HDDにおいてはスウェイモードの共振周波数を10 kHz以上に高く保ったまま、サスペンションを2.5型に対して1/3以下に軽量化し、動作時衝撃特性を3倍以上に改善している。

#### 3.2 低消費電力化

0.85型HDDとして重要なもう一つの特性である消費電力の改善に関しては、超小型DC(直流)-DCコンバータの採用、LSIの低消費電力化などを行うことにより、HDDの消費電力は読取り/書き込み時で0.65 Wと1.8型HDDの約1/2、2.5型HDDの約1/3に抑えることが可能となった(図8)。

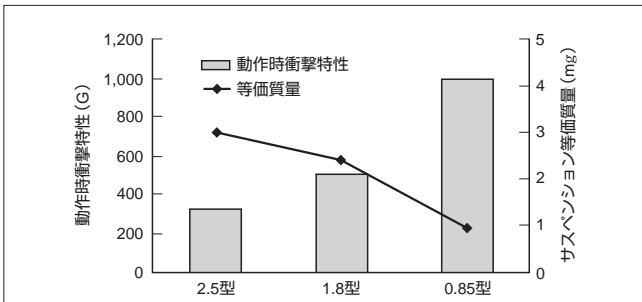


図6. サスペンション等価質量と動作時衝撃特性 — 0.85型HDDではサスペンションの軽量化により、1,000 G以上の動作時衝撃特性を達成している。

Equivalent mass of suspension and operational shock performance

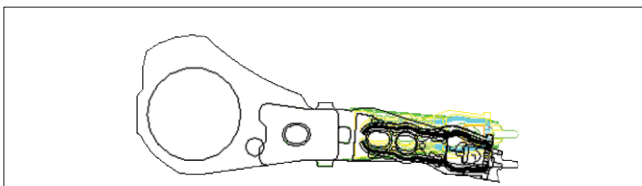


図7. FEMによるサスペンション特性解析例 — 0.85型HDDではサスペンションの最適化設計により、衝撃特性と剛性をより高いレベルで実現している。

Finite-element method (FEM) analysis of suspension

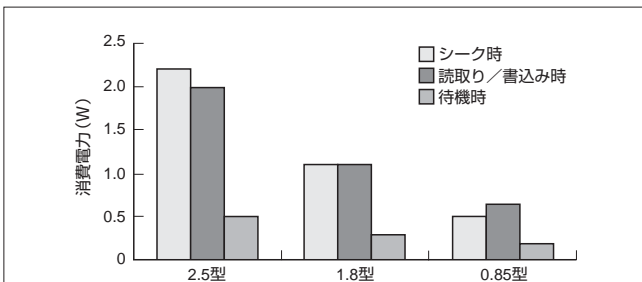


図8. HDD消費電力比較 — 0.85型HDDはいずれの動作モードにおいても、消費電力を極めて小さく抑えられている。

Comparison of power consumption of 0.85-, 1.8-, and 2.5-inch HDDs

このように当社が開発した0.85型HDDは、優れた耐衝撃性と極めて少ない低消費電力により、携帯電話などのハンディなユビキタス機器に魅力あるストレージ機器として、今後の発展が期待される。

## 4 超小型HDDの将来

各種サイズの小型HDDが期待される市場とその要求される特性を図9に示す。この中で0.85型、1.8型など、超小型HDDがユビキタス機器として魅力的な記憶容量を得るための記録密度の向上は、垂直記録方式の採用及びその発展に

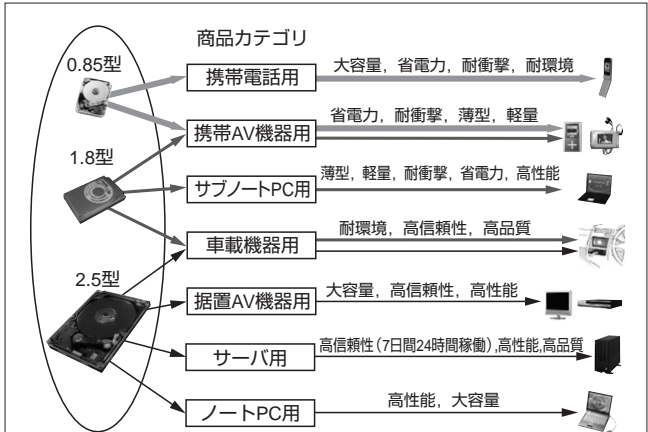


図9. 市場が広がる小型HDDとその要求される特性 — 小型磁気ディスク装置が魅力ある記憶容量になることにより、それぞれのサイズの特長を生かして、様々な新たなデジタル機器市場が形成されつつある。

Expanding application of small-form-factor HDDs to consumer electronic products

より、今後も継続して年率30%以上の伸張が期待できる。

当社が開発した第1世代の0.85型HDDは従来の面内記録方式を用い、面記録密度は86 Gビット/in<sup>2</sup>であるため、ディスク1枚当たりの容量は4Gバイトであるが、垂直記録方式の採用及びその発展により、近い将来1枚当たり8~10Gバイトの容量を達成することが可能である。

また0.85型HDDは前述のように、装置の小型化とともに、耐衝撃特性と消費電力の改善により、携帯電話などのハンディなユビキタス機器に必要な要求仕様を満たしており、新たな市場の開拓が期待される。

## 5 あとがき

ここでは、小型・大容量化を推し進める磁気記録技術と、超小型HDDの製品化及びその将来について述べた。

当社は、これら超小型HDD技術や垂直記録方式をはじめとする磁気記録技術の進化を進め、それぞれのサイズのHDDの特長を生かして、ストレージ機器を用いた様々なデジタル機器の発展に貢献していきたいと考えている。

## 文献

- (1) 田中陽一郎. 次世代ストレージを切り開く垂直磁気記録HDD技術. 東芝レビュー. 60, 2, 2005, p.82-83.



山本 耕太郎 YAMAMOTO Kotaro

デジタルメディアネットワーク社 青梅デジタルメディア工場 SD品質保証部長。磁気ディスク装置の開発・設計を経て、現在は品質保証業務に従事。日本機械学会、日本応用磁気学会会員。

Ome Operations - Digital Media Network