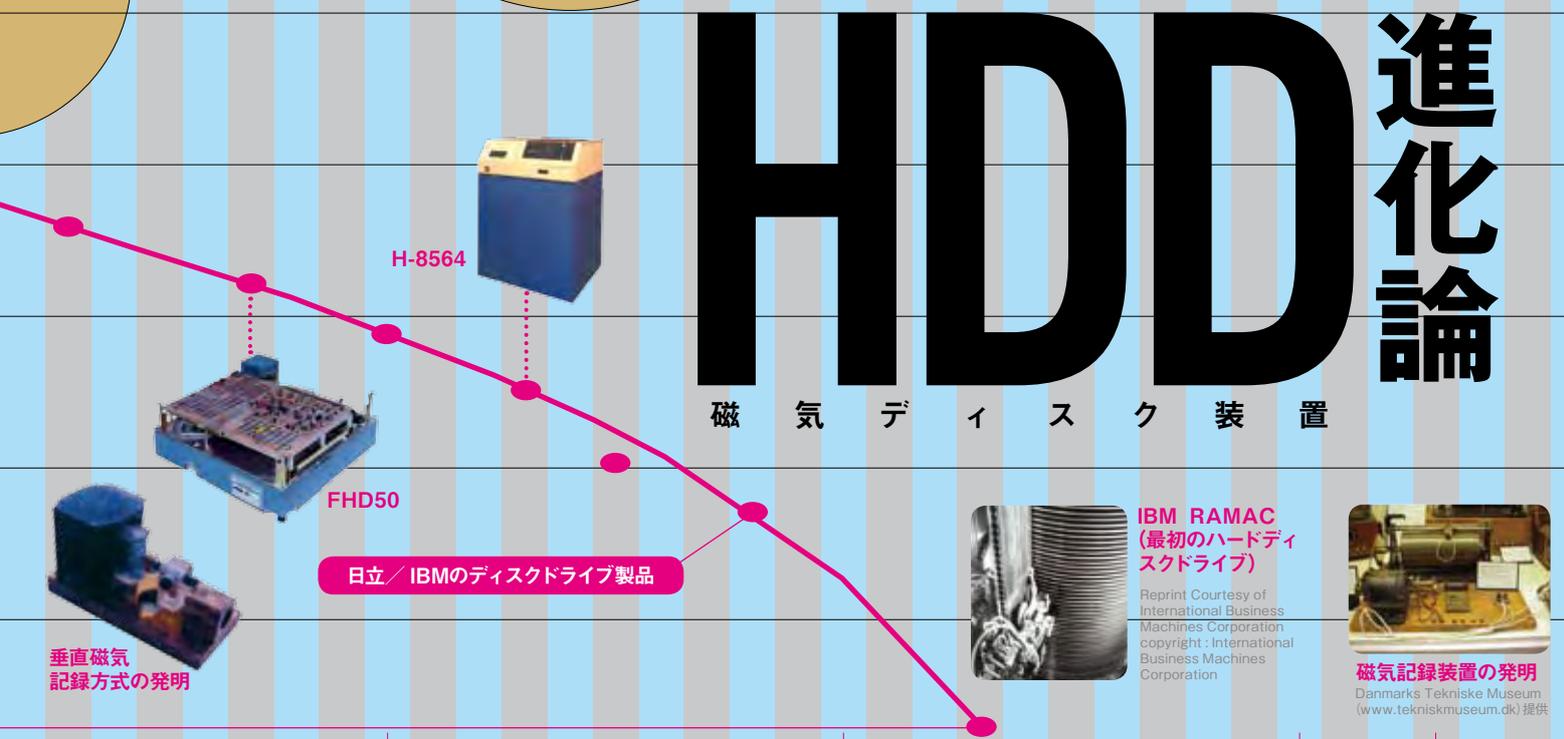


ディスクの大きさの推移

# HDD

## 進化論

磁気ディスク装置



日立/IBMのディスクドライブ製品

垂直磁気記録方式の発明

磁気記録装置の発明  
Danmarks Tekniske Museum  
(www.tekniskmuseum.dk) 提供

- 1898
- 1908
- 1955
- 1960
- 1970
- 1973
- 1975

\*は一般事項。他は日立関連事項。





田宮敏彦(日立グローバルストレージテクノロジーズ 取締役社長) 主に制御回路設計に携わり、2006年に社長に就任。



森部義裕(日立グローバルストレージテクノロジーズ 企画管理部 部長) '80年代よりHDDの小型化、高速化を推進してきた。

## 記録容量1テラバイト時代に 入ったHDD

「現在のハードディスクドライブのような磁気記憶メモリーの歴史は、1898(明治31)年にファンデマール・ポールセンが発明したワイヤレコーダーまでさかのぼります」

こう話を切り出したのは、株式会社日立グローバルストレージテクノロジーズ(日立GST)の森部義裕(企画管理部 部長)だ。

磁性体を塗布したディスクを高速で回転させ、磁気ヘッドを用いて情報の記録・再生を行うHDD(Hard Disk Drive=磁気ディスク装置)。IT分野はもちろん、今やデジタル家電向けの記録媒体としても欠かせない存在だ。

日立GST(中西宏明CEO)は、日立製作所のHDD事業部門と、IBM社のHDD事業部門を統合し、2003年に設立された会社で、本社は米国カリフォルニア州サンノゼ市にある。IBMが世界で最初にコンピューター用HDDを開発したのは1956年だから、日立GSTは新会社としての設立こそ新しいものの、半世紀以上にわたる両社のHD

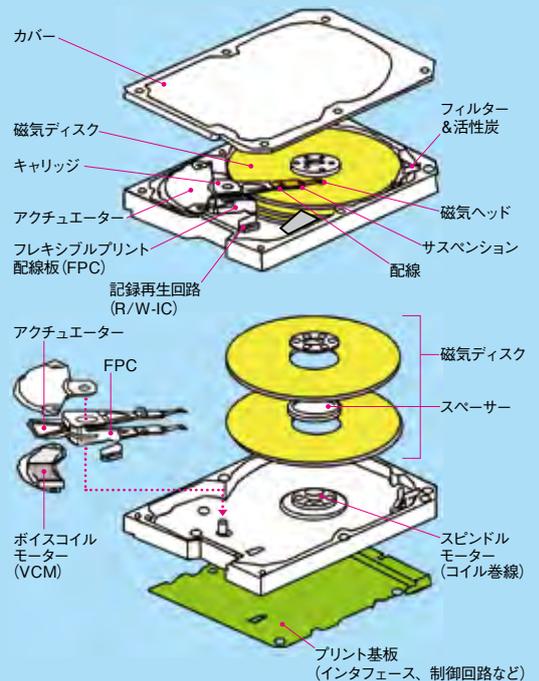
D開発の歴史を継承していることになる。

日立GST社長の田宮敏彦は語る。

「日立GSTでは、昨年、3.5インチ径のディスクを5枚使つて、世界で最初に1テラバイトの容量の装置を実現しています。もっと小型の2.5インチのディスクを使ったものも、500ギガバイトの領域に達しつつありますから、概算ですと1年半後には2.5インチのタイプでも1テラバイトの容量が実現できることとなります」

今、HDD装置は1年で6割は容量が増えるといわれています。おおまかには2年で2.5倍、3年で4倍、4年で6倍、5年で9倍の容量が実現されることとなります。ということとは、3年後にはすべてのサイズでテラバイト単位のもの標準になるわけですね。ちょっと前までのHDD容量の単位だったメガバイトは約100万バイト、ギガが10億、テラは1兆に相当するから、その進化のスピードはすさまじい。1バイトを2進法に換算すると8桁、8ビットとなる。つまり、テラバイト容量のHDD装置は英文の文字・記号で約1兆字を記録できることになる。

### HDDの基本構造



こうした急激な進歩を可能にしているのは一体、どのような技術なのだろうか？

鍵はディスク側では「垂直磁気記録方式」、データの読み取りと書き込みに使う磁気ヘッド側では「GMR効果(Giant Magneto Resistive Effect)」つまり「巨大磁気抵抗効果」だと言われている。その新技术を理解するためには、磁気でデータを記録するシステムの原点までさかのぼって考える必要がある(森部)という。

これがつまり、1898年のポールセンの発明である。

## HDD前史—— 電磁石、ワイヤレコーダー、 テープレコーダー

このポールセンの発明に至るには、さらに

昔、1825年にイギリスのウィリアム・スタージェンが発明した電磁石のことも忘れてはならない。スタージェンは実用化されたばかりの湿式の電池から電線に電流を流す際に、電線の一部をコイル状にループさせてみた。電流が流れると、その直角方向に磁場が発生する。コイルにして電流をループさせてやると、円周の各部分で発生した磁場が合成され、軸方向に向けた人工の電磁石が生じるのだ。

一方、はるかに先立つ大航海時代には、鉄の針などを処理して細い磁石にした磁気コンパスが多用されていた。この人工磁石の製法はさきわめてシンプルで、鉄の針や薄い板をいったん熱してから、南北方向に置いてゆっくりと冷ましてやればよい。この方法は11世紀の中国の文献にすでに記されていた。

そもそも、鉄を含むすべての原子は、陽子と中性子という重い素粒子(バリオン)を核と



城石芳博(日立グローバルストレージテクノロジーズ 研究・技術開発 次世代技術開発プロジェクトリーダー 主管技師長) HDDはナノテクの結晶だ、と言う。

し、プラスの電荷を有するこの原子核の周囲をマイナスの電気を帯びた電子が周回している。つまり電流が流れるのと同じで、鉄のような磁力を帯びやすい物質は、原子一粒ずつが電流がループする超極小サイズの電磁石なのである。

磁気を帯びていない鉄では原子単位の電磁石がばらばらの方向を向いているが、これといった加熱して、超巨大サイズの磁石である地球の磁場や、天然磁石の磁場の中に置いてゆつくりと冷やすと、その方向にすべての鉄原子の周回電子の向きがそろう。

スタージャンの電磁石は、原子一粒サイズのごうした磁石と同じ現象を、電線と電流を利用し、人間が目で確かめられるサイズで再現したものである。磁気記録とは、記録するデータに対応する電気信号を磁界に変換することにはかならないが、スタージャンの電磁石は、仮に10cmの長さとして換算すると、原子粒のナノ磁石のおよそ10億倍の大きさである。こうした装置で得られる磁場は強力ではあるものの、大きすぎ、大ざっぱすぎて、データの書き込みには向ききである。

原子を囲む電子一粒単位の、方向成分を加えた回転力(角運動量)をスピン角運動量と呼んでいる。このスピン角運動量は電子が原子から離れても保存される。この現象こそスタージャンの電磁石が抱えていた問題解決の鍵だったのだが、ITの現場に引用されるまでには、後述する巨大磁気抵抗が発見され理論化された1987年まで待たなければならなかった。

一方、スタージャンによる考案後には電磁石の強力な磁力によって、熱を加えずに人工磁石にする技術が確立された。これを応用したのが1898年にポールセンが発明したワイヤレコーダーにはかならない。ポールセンは、ワイヤを電磁石に接して送り出し、電流の変動に応じて磁場の強さを変え、自然界の音や人間の声、音楽を記録することをねらっていた。

ただし、ワイヤレコーダーが改良され、実用的な製品が可能となり、さらに、紙やアセテートのテープに磁性を帯びた粉状の材料を塗ったテープレコーダーへと発達したのは1930年代から40年代にかけてのことだった。しかも、テープレコーダーが技術的にも完成され、身近な存在になったのは第二次大戦も終わった40年代後半から50年代にかけてのこと。これはまさにデジタルコンピューターが実現し、商用化される時期と同じである。

## 磁気ディスクの汎用性を高めた「薄膜ヘッド」の開発

本来、アナログ音声を記録するためにつくられたテープレコーダーは、こうしてコンピューターに転用されることとなった。

しかし、テープ方式には大きな欠点があった。テープを一定速度で一方向に送って音声や楽曲を再生する録音再生機とは違い、コンピューターでは、望みのデータを読み取り、また書き直すのに、頻繁に早送りや巻き戻しをしなければならないのだ。

こうしたランダムアクセスという機能をなんとか強化できないか。その要求にまず応えたのは磁気ドラムという方式だったが、最終的な勝者となったのは、IBMが1956年に開発に成功した磁気ディスクだった。

磁気ディスクは、見た目はアナログレコードと似ているが、レコード盤のような一本の溝の渦巻きではなく、円形の記憶トラック部分をバウムクーヘンのように多重化し、さらに扇状の区画(セクター)ごとに分割している。これによってランダムアクセスを可能にしているのである。

だが、日立がHDDを自社生産するようになったのが1967年だったことからわかるように、60年代はまだテープドライブが主力で、磁気ディスクの利用は大型機(メイン

フレームの一部に限られていた。

それが70年代に入り、オフィスコンピューター(オフコン)の普及が始まるとHDDはその標準装備となり、性能向上も急速に進んだ。その象徴とも呼べる技術が薄膜ヘッドである。

日立GSTで次世代技術開発のプロジェクトのリーダーを務める城石芳博(研究・技術開発 主管技師長)はこう指摘する。

「磁気ヘッドには、もともと、フェライトという鉄の酸化物が使われていました。ところが酸化物であるために書き込み能力が低いのです。そこで、パーマロイやセンダストといったニッケルや鉄系の合金が試されることになったのですが、これらの合金で高密度にデータを書いていくためにはヘッドそのものを小さくし、書き込み・読み取り部分を薄くする必要が生じたのです。半導体技術を駆使することによって、きわめて薄く、磁性体としての能力の高い薄膜ヘッドが、日立では1986年に実用化されました」

GMR(巨大磁気抵抗)ヘッドというターニングポイント

ヘッドへの薄膜技術の導入と並行して進められたのが、記録媒体であるディスクの開発だった。

「当時は塗布媒体が主流でした。ところが塗布するためにはどうしても混ぜものを加

えて練り込む必要があるのですが、これが性能を低下させてしまう。そこに導入されたのが、蒸発させた金属材料を混ぜものなしにそのまま吹きつけるスパッタリング(物理蒸着)という技術です(城石)

日立では1986年に薄膜ヘッドを用いた装置の商品化に続き、2年後の1988年にはディスク側でも、これによるスパッタディスクが採用された。

そして、1987年にはまさに絶妙のタイミングで、真の革命につながる発見がなされる。ドイツのペーター・グリュンベルク、フランスのアルベルト・フェールトらによって、巨大磁気抵抗という現象の観測、理論化が行われたのだ。この功績により、グリュンベルクとフェールトは2007年のノーベル物理学賞を受賞している。では、それはどのような現象なのだろうか。

金属などの物質は外部の磁場によって電気抵抗が変化する。これが磁気抵抗現象であり、すでに19世紀には知られていた。ただし、当時知られていた電気抵抗の変化はただか数%にすぎなかった。ところが、強い磁性を保っている材料とそうでない材料を1nm(ナノメートル)100万分の1mm程度のきわめて

薄い層にして重ねると、抵抗の変化が数十%にもなる場合がある。

「薄膜技術を用いたスパッタディスクの記録部分の厚みは20nmほど。材料の金属原子の大きさは0.2nm程度なので、原子400層。あと一歩で原子の粒単位の薄さにできるところまでたどりついていました。

一方、GMRヘッドに使われる層は1nm程度の厚さしかありません。これだけの薄さの積層に電流を流してやります。このとき、境界を越えてきた電子は磁性の状態が異なっていると強く散乱してしまい、電流として流れにくくなるのです(城石)

磁性体となる鉄などの金属中には大量の電流を流すことができるが、その際、金属結晶を構成する原子核の外側の電子がこぼれやすくなる。しかし、金属の核との関係で電子に備わったスピン角運動量は、原子からこぼれたあともそのまま保存される。通常はその影響が小さいために注目されなかつたが、厚さにして原子数十粒分しかない薄い層から成る巨大磁気抵抗効果積層膜では、外部の磁場の向きに電子のスピンがそろふ。その電子が原子からこぼれだし、一定の境界を越えようと、周囲とズレが生じ、いわば弾き出される。つまり、電子が自由な流体として動くのに対する抵抗が高まることを意味する。

これが巨大磁気抵抗効果であり、この現

象によって、ディスクへの書き込み・読み取りの速度や精度が高まり、結果的にHDDの容量を飛躍的に増大させることができる。一挙に世界的な注目が集まり、GMRヘッドの開発がスタートした。

原理は異なるものの、ほぼ同タイミングで商品化された薄膜技術を延長させれば、すぐにでも実用化できることが期待されたからだ。

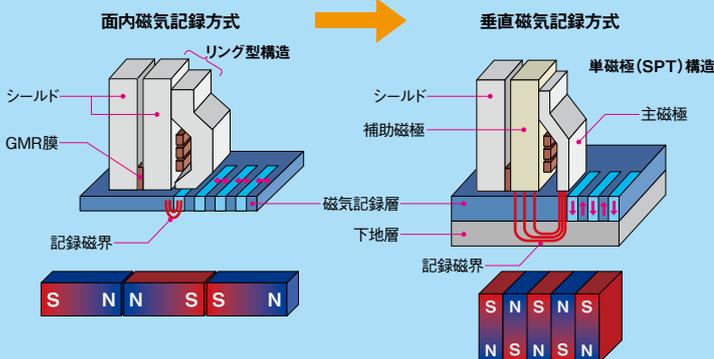
### 垂直磁気記録方式によって、610ギガビット／平方の高密度記録を実現

日立では、1996年には一種の予習として通常のMR効果を利用したHDDを製品化し、1998年には、巨大磁気抵抗効果を利用した磁気ヘッドを実用化した。

原子以下のレベルの電子のスピンを用いた、まったく新しいスピントロニクス技術の始まりだった。

しかも、その渦中の1995年にはまたしても、まったく違う原理で起こる新しい磁気抵抗現象が確認されている。このトンネル磁気抵抗(TMR)ヘッドでは、GMRと同様のナノメートルオーダーの厚さの、ただし二つとも強い磁性をもった層の間に電気を絶縁する絶縁層を挟んである。この厚さになると、完全絶縁は不可能になる。エネルギーの最小単

### 面内磁気記録方式と垂直磁気記録方式



磁石は互いに反発し、高密度化が困難

磁石は互いに引き合い、高密度化に向く



小田原宏明(日立製作所 中央研究所 ストレージ・テクノロジー研究センター センタ長) 垂直記録方式を軸にした技術開発がテーマ。

永瀬唯(ながせ・ただし)  
1952年生まれ。東京都立大学理学部卒業。理工学系出版社の編集を経て、科学技術ライターとなる。1987年、サイバークムーブメントを契機として、技術文化史、SF思想史を中心とした評論活動を開始。明治大学理工学部講師。著書『宇宙世紀科学読本 スペース・コロニーとガンダムのできるまで』(角川書店)、『腕時計の誕生』(廣済堂出版)、『京極夏彦の世界』(青弓社)、『欲望の未来 機械じかけの夢の文化誌』(水声社)ほか。



クリーンルーム内のHDD試作ライン



成瀬淳(日立製作所 研究開発本部 技師長) ディスク開発を中心に、長年、日立のHDD事業部門を主導してきた。

位である量子レベルで起こる一種の壁抜け現象(トンネル効果)により、電子が絶縁層を飛び越えて移動してしまうのである。

この現象による磁気抵抗の値はGMRよりもさらに大きく、通常の2倍以上。容量をさらに大きくできるため、現在ではGMR側からTMRへの移行が起きている。日立では、TMRの基本的な特許を確保しており、開発の当面の目標はTMRと、もう一つのキーテクノロジーである「垂直磁気記録方式」とを組み合わせたシステムの完成に絞っている。

垂直磁気記録方式が考案されたのは1977年、コンピュータ関連技術としてはさほど新しい技術ではない。20世紀に入ってから実用化されたワイヤレコーダーやのちのテープレコーダー、さらに従来の磁気ディスクでは、磁性材料から局所的につくられるミニ磁石の極性の向き、N極とS極を結ぶ軸は、テープやディスクと同じ平面にある。つまり横倒しの棒磁石というわけだ。一方、垂直磁気方式では棒磁石はテープやディスクの厚み方向に垂直に立っているため、よりたくさんの棒磁石、つまり磁気データを高密度に詰め込むことができる。わかりやすい理論だが、周辺の技術が未熟であったため、実用化は容易ではなく、日立GSTは、薄膜ヘッドやスパッタディスク、GMRなどの加工技術が完成されたのちの2006年によくやく市販モデルに採用した。

2008年の7月段階では、TMR技術と組み合わせることにより、現在のラインアップの2.5倍、平方インチあたり610ギガビットの高密度記録が実証できた。

では、さらにその先にはどのような技術が必要とされ、また期待できるだろうか？

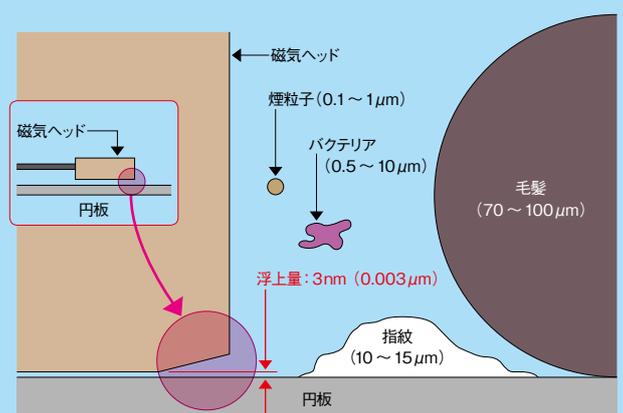
その一つに、ディスクの回転速度の向上があると、日立製作所中央研究所の小田原宏明(ストレージ・テクノロジー研究センター センタ長)だ。

「ヘッドはディスクの回転を待つて読み取りや書き込みをするわけで、回転のスピードアップは大きなテーマです。ただ、回転速度が上がるとディスクの端っこのデータ処理が難しくなったり、電力消費が大きくなるという問題もある。これからはいろいろな技術を組み合わせ、バランスのとれた開発をしていく必要があります」

そして最後に、1970年代から一貫してHDDの開発に携わってきた成瀬淳(日立製作所 研究開発本部 技師長)から聞いたさまざまな展望の中から一つだけ事例を紹介しておく。

「現在の磁気ヘッドのチップは1mm角、ディスクとの距離はわずか数nmしかありません。そうした極小スケールになると、熱による揺らぎとか、ほんのわずかな拳動の影響を受けます。そのためより安定な構造が求められるわけですが、磁気記録方式の根本矛盾として、安定させるとデータの書き込みが難しくなり、容易に書き込めると安定性が失わ

### 磁気ヘッドとディスクのスケールイメージ



れるという問題があります。そこで、きわめて微小な領域を、しかも書く瞬間だけレーザー光線で加熱する、といった技術が考えられるわけです」

ここで、もう一度はるか昔、中国で人工の磁石をつくるのに用いた方法を思い出してみよう。鉄の針などを熱して、原子の粒でできたナノ以下サイズの磁石の方向をばらばらにしてやり、ゆつくりと冷やす。磁石にまつわるテクノロジーの究極の原点に、情報ビットを極限まで微細化しようとする最新の磁気ヘッド技術が回帰しようとしている……。実に興味深い話ではないだろうか。