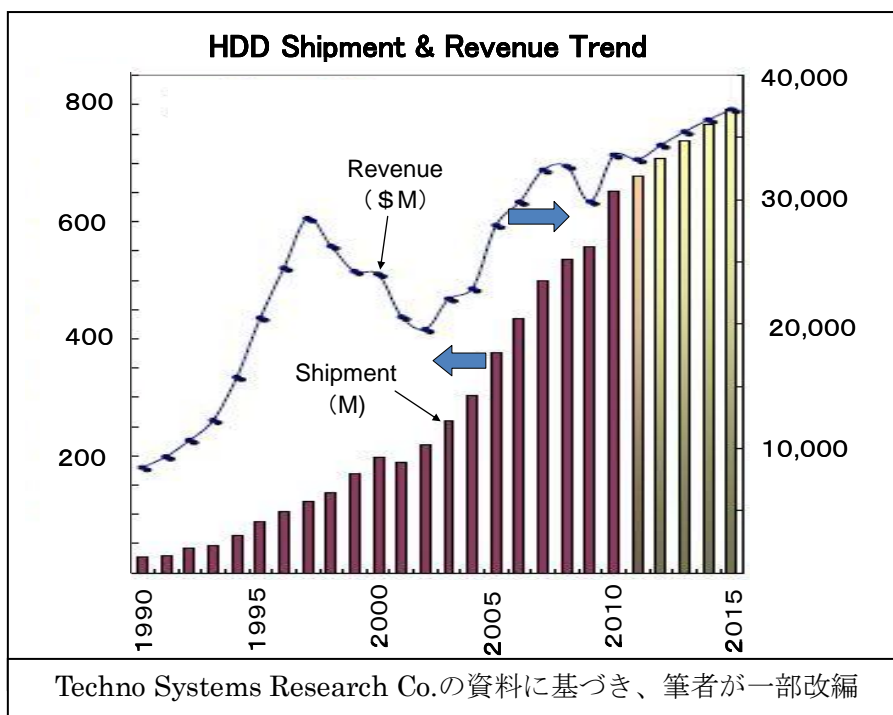


HDD(Hard Disc Drive)は、普段 PC や AV 機器などでお世話になっている割には、余り世間の関心と呼んでいないように思われる。しかし、集積度、動作スピード、信頼性など非常な勢いで進歩しており、半導体の SSD(Solid State Drive)への置き換えなどは極く一部を除いて当分は起こりそうもない安定した発展する産業である。HDD 業界の Shipment と Revenue の推移と今後の伸びを第1図に示す。



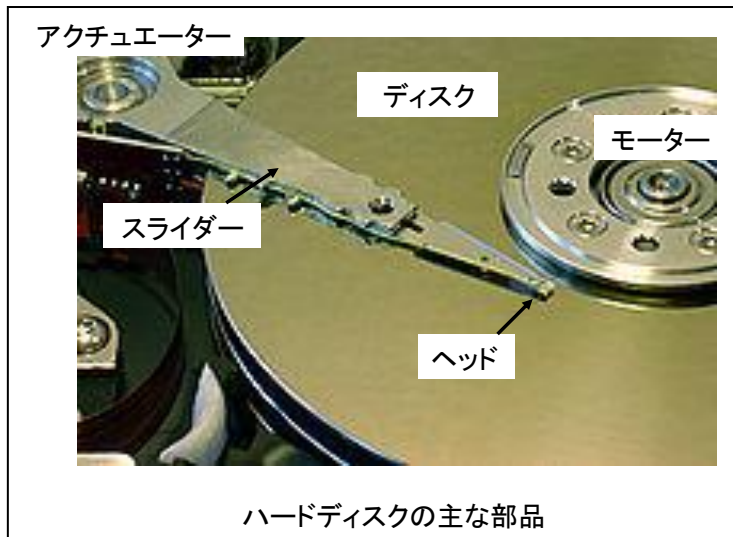
第1図

HDD 業界のグローバルな団体として、IDEM(International Disk Drive, Equipment and Materials Association)があり、大きな年間行事としてセミナーと展示の DISKCON が、米国、日本、シンガポールで開かれている。去る8月2, 3日に、蒲田の大田区産業プラザで DISKCON Japan が行われ見学してきたので報告する。(筆者は3年続けて参加している)。ただし、筆者は HDD の門外漢なので、説明不足や誤解しているところがあるかも知れないので、ご指摘を頂ければ幸いである。

**HDD とは**

世界最初の HDD は、1956年 IBM350に用いられ、直径24インチ(約60cm)のディスクを50枚重ねたもので、それでも記憶容量はたったの4.8MBであった。ディスクの基板はアルミニウムであり、フロッピーディスク基板が柔らかい樹脂なのに対して硬いので Hard Disc と呼ばれるようになった。

HDD の主要部品は、ディスクとヘッドである。第2図に示すように、ディスクの上に、スライダの先端に取り付けたヘッドがわずかの隙間を保っており、ディスクとヘッドで磁気的な交信が行われて、記録と読み出しが行われる。



第2図

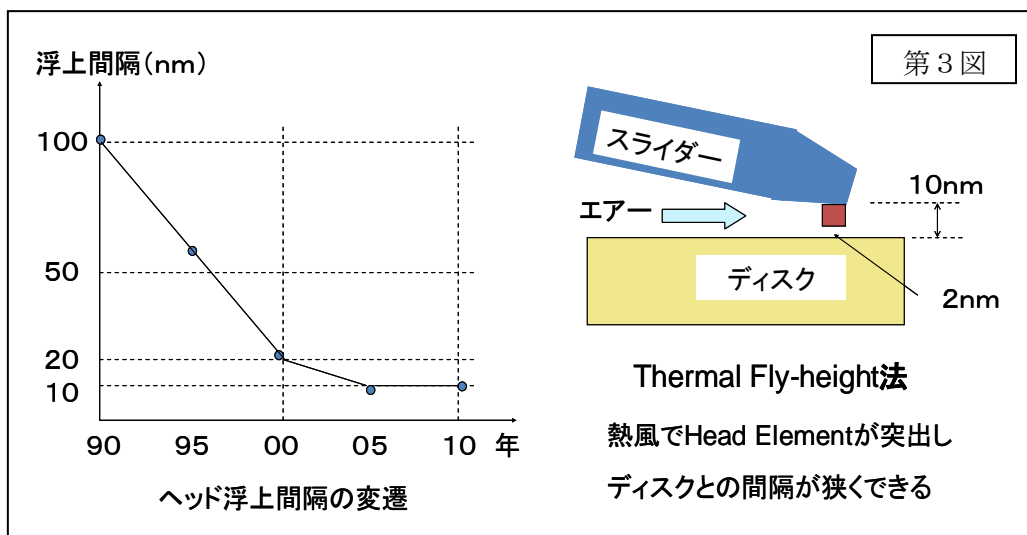
### ディスク

ディスク基板は、初期のアルミニウムに代わって、HOYA によって開発されたガラス基板が用いられている。現在は、直径3.5インチと2.5インチが主に用いられている。それ以下の1.8インチ、1.3インチもあるが、この程度の小容量になると半導体 NAND フラッシュの SSD (Solid State Drive) に置き換わりつつある。

ディスクは、停止時にヘッドが載っているCSS (Contact Stop Start) 方式と、ヘッドが退避場所へ移動するLoad/Unload方式がある。

CSSの場合は、ディスクが回転を始める時ヘッドがディスクに接触しているが、ディスク上に潤滑皮膜があって滑る。回転数が上がると、ディスク表面の空気の流れによってヘッドに揚力が発生しわずかに浮き上がる。L/UnL方式では、ディスクが所定の回転数に達したときに、ヘッドが退避場所からディスク表面へ移動する。

ディスクとヘッドの間隔は狭いほど記録密度が上げられるので、第3図左のように年々間隔が狭くなり、現在は10nm程度となっている。最近、Thermal Fly-height法が開発され、ヘッドの先端が熱風でスライダーから突出するようになり、ディスクとヘッドの間隔が更に狭くできると言われている。

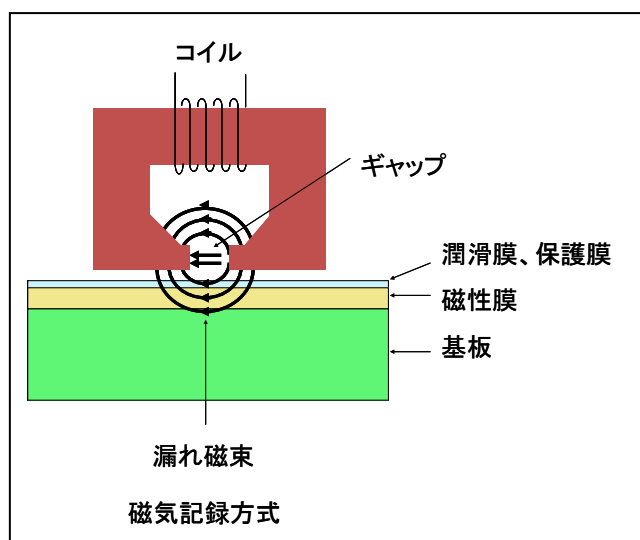


ディスクとヘッドの間隔は、そろそろ原子の数で数えられるほど狭くなってきたので、ディスク上に異物が載っていると大事件となる。異物が混入しないように半導体LSIに劣らない厳重な洗浄工程を経て作成され、ディスクとヘッドは密閉されているが、温度変化によって内部の気圧が変わるとヘッドの揚力が変わってディスクにぶつかる危険があるので、ダストフィルターを付けた空気孔が設けられ、気圧的には外部と繋がっている。

## 記録方式とヘッド

ヘッドの材質・構造とも画期的な進歩を遂げている。

初期は、オーディオ／ビデオの磁気テープの記録方式と同じ磁気記録方式であった。この様子を第4図に示す。コイルに電流を流して、ギャップのある磁気ヘッドを磁化するとギャップの部分の漏れ磁束によりディスク上の磁性膜が磁化される。コイルに電流を流さなければ磁化されないのので、これがデータとして記録となる。読み出しも同様にして、ディスクの磁性膜に磁場があれば、磁気ヘッドに磁束が発生しコイルに電流となって検出される。この磁気記録方式は、1990年ごろまで用いられたが、ギャップを無闇に狭く出来ないため記録の面密度が大きく取れないので、次に述べるMRヘッドに置き換わって行った。



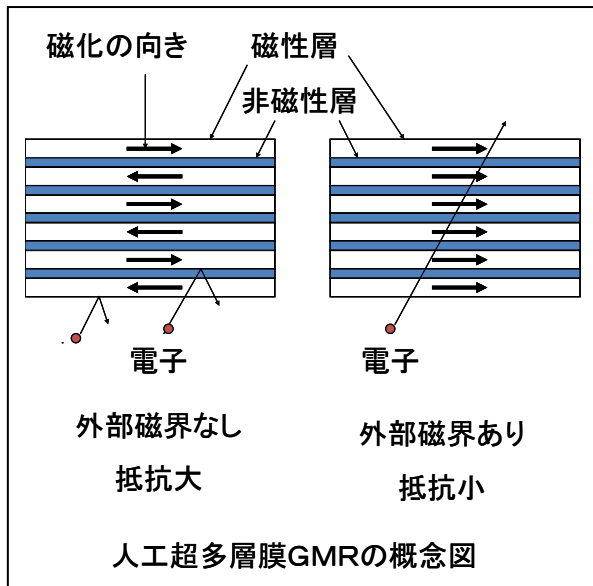
第4図

MRヘッドはMagneto-Resistiveの略で、読み出しに用いられる(書き込みは従来タイプの磁気ヘッドである)。MRとは、強磁性体薄膜に電流を流す時、電流の方向と磁化の方向がなす角度により抵抗値が変化する現象である。ディスク上に記録された磁界信号により、ヘッドの抵抗が大きく変化し、これを検出するのがMRヘッドの原理である。MRヘッドに続いて、巨大磁気抵抗GMR(Gaint Magnetic Resistive)効果が開発され、更にトンネル磁気抵抗TMR(Tunnel Magnetic Resistive)効果と続いて、面密度が向上してきた。ここでは、GMRの構造と動作を見て行こう。

## GMR

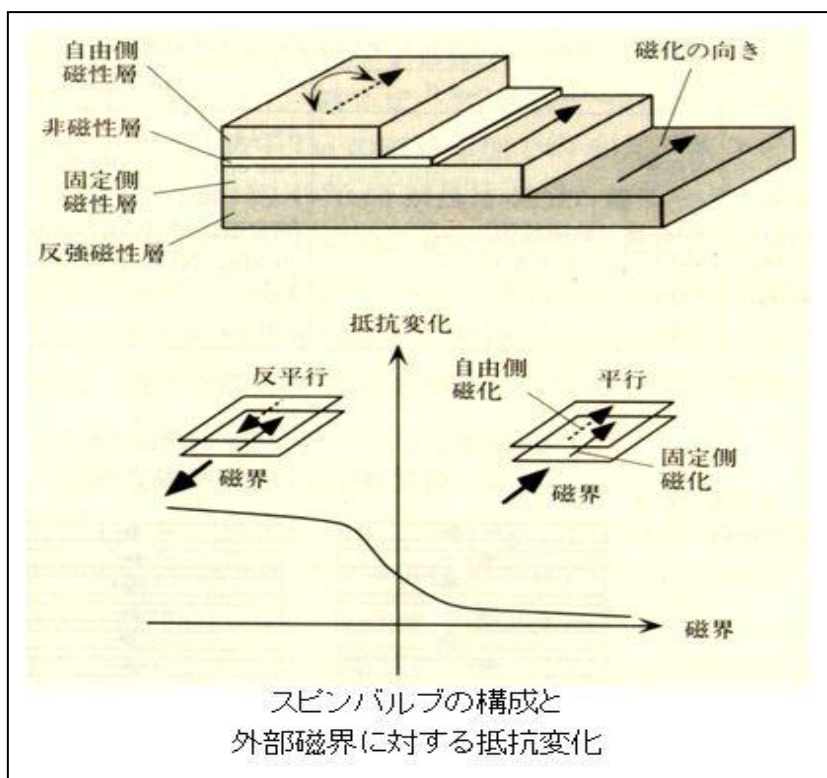
ヘッドの性能を表すのにMR比が使われる。これは2つの磁化状態での抵抗の差  $R_a$

を平行状態での抵抗値で割ったもので、MR素子はMR比が2%程度であるが、これを大幅に上回るGMR効果が発見され、1990年後半から実用化された。GMR効果は、厚さ数nmの磁性膜(Fe、Co、NiFeなど)と非磁性膜(Cu、Crなど)を交互に積層した構造で、第5図のように全ての磁性層の磁化の向きが揃っていると電子が通り易く、即ち抵抗が低い。逆に、1枚毎の向きが逆になっていると電子が流れなくて抵抗が大きくなる現象である。



第5図

GMR効果を利用するには、非常に強い磁界が必要で実用化の障害になっていたので、これを改良したスピバルブヘッドが開発された。その構造と外部磁界による抵抗の変化を第6図に示す。構造的には、固定磁性層の下に、FeMnなどの反強磁性層が貼り付けられている。



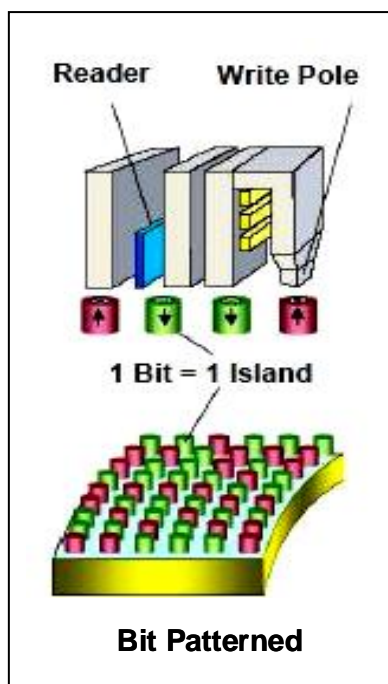
第6図

## GMR からTMRへ

トンネル磁気抵抗素子TMRは、2つの強磁性層の間に、膜厚 1~2nm の絶縁体層をはさみこんだ構造で、2つの強磁性層に平行に磁場を加えた場合、膜面に対して垂直に電圧をかけるとトンネル効果により絶縁体層に電流が流れる。反平行に加えた場合は、トンネル電流は流れず、抵抗は高くなる。トンネル磁気抵抗効果の大きさは、MR比によって表されるが、1995年には室温でのMR比は20%程度であったが、TMRによって500%のMR比が得られるようになった。

## ディスクの加工

初期のころのディスクは、アルミニウムまたはガラス基板に磁性体を塗布した構造であったが、ディスクリット・トラックの導入により、隣接トラックの干渉が無くなり密度が向上し、更に第7図のようなパターンド・メディアにより、1Tbit/inch<sup>2</sup>が可能になってきた。パターンの径は30nm、厚さは3nm、トラックピッチは80nm程度であり、半導体LSI同様、ナノ時代になってきた。パターン形成には、ナノインプリント技術が活用されている。



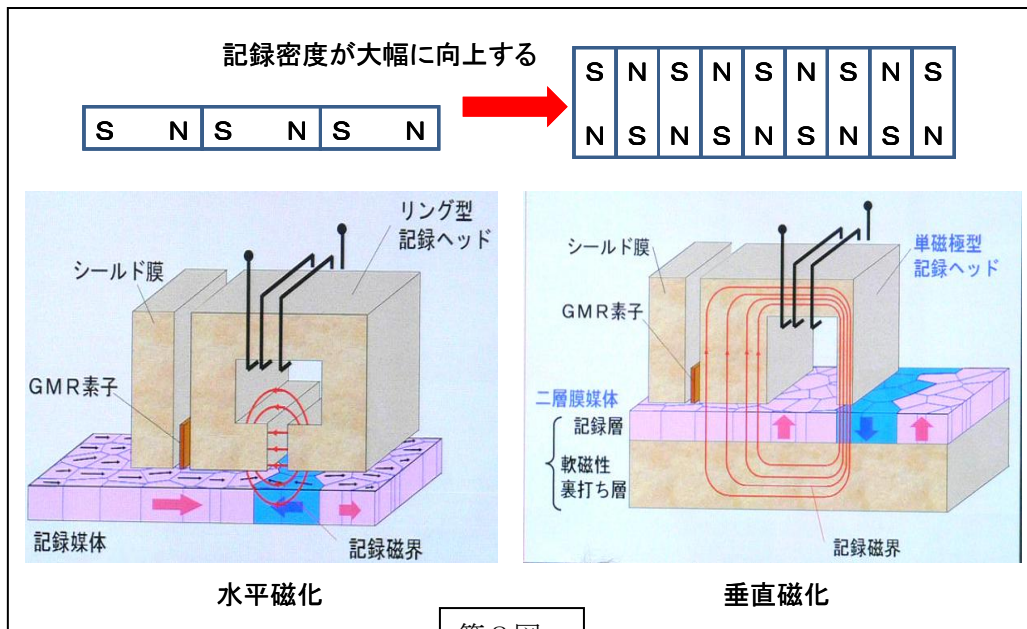
第7図

## 垂直磁化

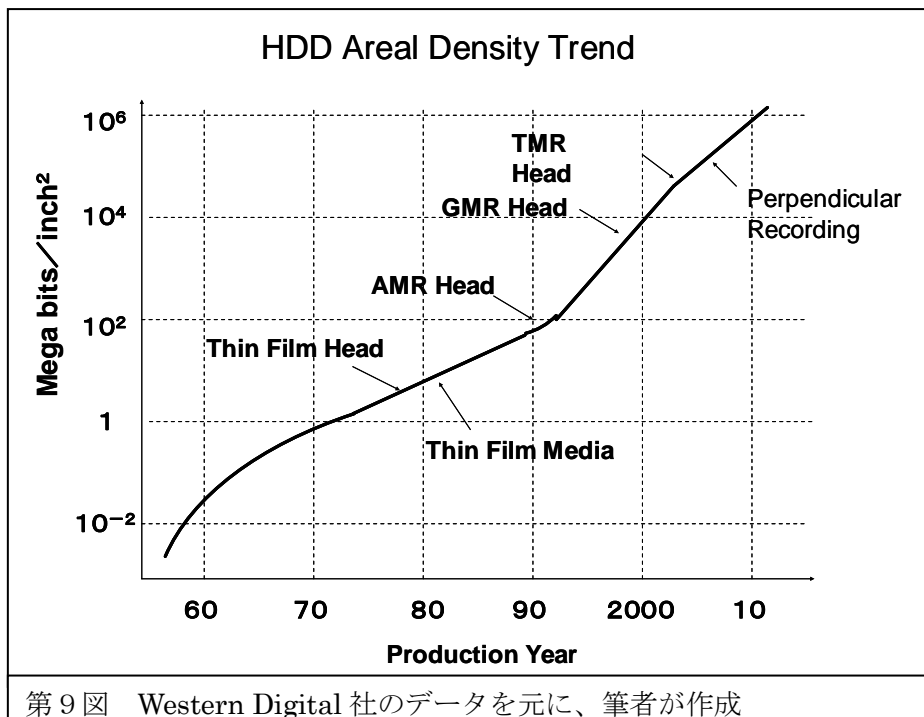
更に、最近の大きな進歩は垂直磁化である。ディスク上に、微少なマグネットを水平に並べると、垂直に並べるとを比較したのが、第8図である。垂直磁化方式は1977年に東北大の岩崎俊一氏により発明された技術で、ディスクの面密度は画期的に大きく出来るが、ヘッドの構造がやや複雑になるので、実用化が遅れていたが、そろそろ技術が固まり実用化を迎えている。



岩崎 俊一



以上のような技術革新により、面記録密度は益々向上している。面記録密度は、平方インチ当たり、1970年—1Mbit、1990年—100Mbit、2000年—10Gbit、2010年になると、1Tbit と、驚異的な進歩を実現している。この様子を第9図に示す。

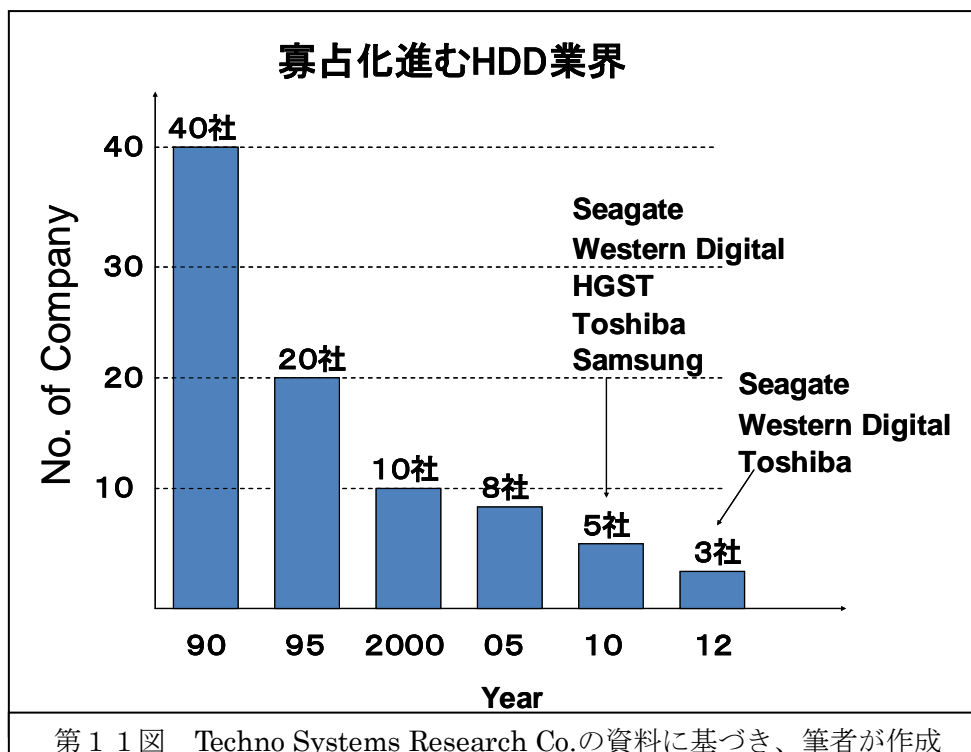
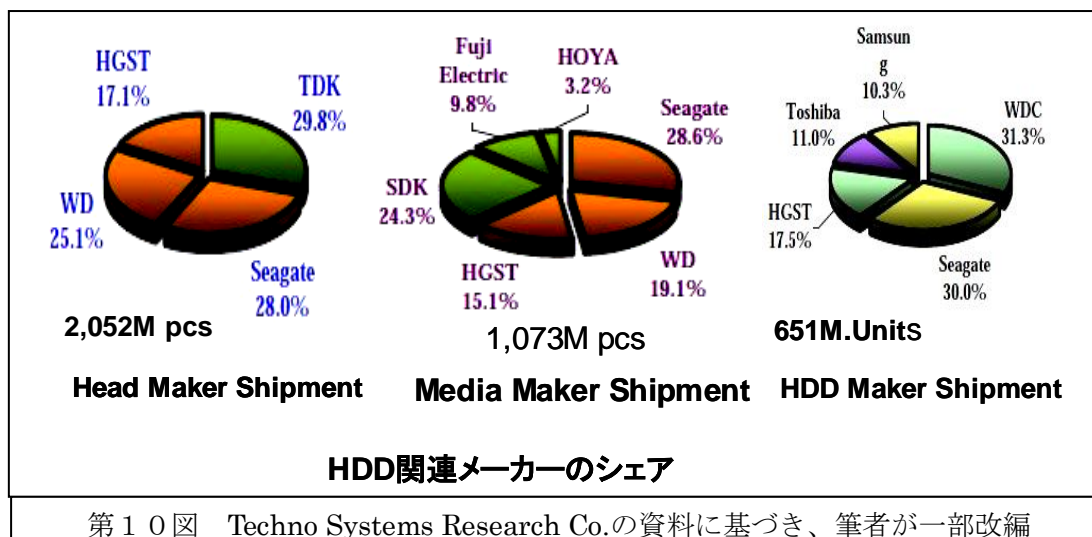


### 信頼性(対衝撃)

HDD は、転倒や落下によりディスクとヘッドが衝突するのをヘッドクラッシュと呼んでおり、データの読み出しが不可能になる場合があり、ユーザーには心配な点である。最近の HDD では、加速度センサーを内蔵して、落下中の無重力状態を検出して、ヘッドを退避ポジションに移動させる機能が付いている場合が多い。これを Auto-retract と読んでおり、携帯機器に HDD が用いられることになった。

## 業界のプレーヤー

第10図に、業界に参加している企業とシェアを示す。これによると、Seagate と Western digital が支配的であることが分かる、更に第11図では、1990年に40社あった企業が、2000年に10社、2010年に5社、更に2013年には買収が行われて、たったの3社の寡占状態となることが決まっている。かなり乱暴な業界であることが見て取れる。



以上、素人の報告であるが、HDD の技術・業界状況のまとめを行った。今後も、TMR や垂直磁化により、益々記録面密度が向上し、3.5インチから2.5インチに主流が移って行くと思われる。勿論、2.5インチでもTeraByteの容量となって、半導体SDDなどの追従を許さない業界として伸びて行くであろう。