

ハードディスクとムーアの法則

2013年8月21日 (8月27日改)

西村 二郎

1. まえがき

半導体の集積密度は18~24ヶ月毎に倍増する、というのが当初のムーアの法則である。集積回路のトランジスタの数という言い方もなしているが、記録密度無関係では意味がない。ここでは記録密度が指数関数的に上昇することと定義する。1965年、ゴードン・ムーアがこの経験則を発表して以来、半導体業界のロードマップ化した。

ハードディスクドライブ(HDD)は1956年、記録密度が2kbit/inch² (1平方インチ当りのbit数)のIBMのRAMACに始まり、幾多の技術革新を重ね、2011年9月には744.1Gbit/inch²に達した。ムーアの法則に従って記録密度が伸びている典型的な製品である。

半導体の場合、記録密度向上の手段をひと言で言えば、線幅の狭小化である。パターンを描くために波長の短い光が用いられ、現在は極紫外線領域に到達した。半導体は産業界の基幹製品であり、市場の急拡大が見込めること、ハイテクでありながら開発の目標・手段が明確なので、参入する企業も多く競争が激しかった。

HDDも同様な立場にあるので多くの企業が参入した。とくに1980年代後半には顕著であった。日本においても、片手に余る化学系企業がハードディスク(HD)事業に参入した。

ムーアの法則を維持するための努力は概ね技術の小改善である。HDDの場合、HDDメーカー主導で、関連する部品の小改善をまとめ次世代の製品が開発されていた。こうした事情を背景としてHDDメーカーがキイとなる部品の安定確保とコストダウンを目指したことから90年代末には垂直統合が風潮となった。独立系HDおよびヘッドメーカーの危機は、2000年を挟むIT不況の時期、そしてリーマンショック後の不況期であった。

イノベーションによってムーアの法則が加速されたり維持される時期がある。1990年代以降では、MRヘッドの導入と垂直磁気記録方式への移行が該当する(図1参照)。このような時期には、組立メーカーの主導性は弱くなるようだ。

一方、業界の整理統合も進んでいる(表1参照)。そ

れに伴い、HDDメーカーの業績は著しく改善されている(図2参照)。恩恵は部品メーカーにも及んでいる。

ここでは、1990年代以降を振り返り、ムーアの法則を維持するために必要であった新たなイノベーションが業界の勢力バランスに与えた微妙な影響について紹介するとともにムーアの法則が末期的症状を示し始めたことに加えて、フラッシュメモリーの追い上げに苦しむHDD業界の現状と将来について考えてみたい。

図1 HDDの記録密度の動向と技術革新

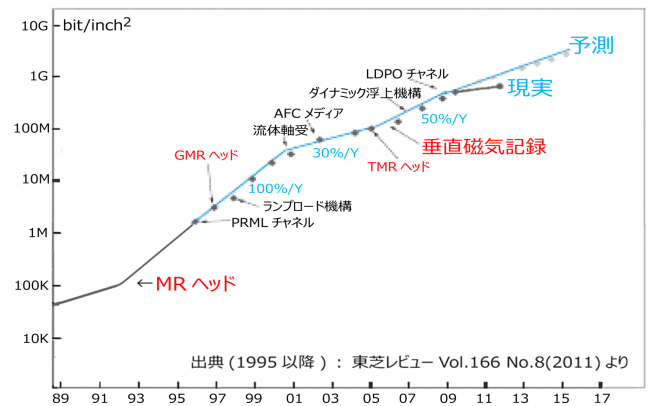
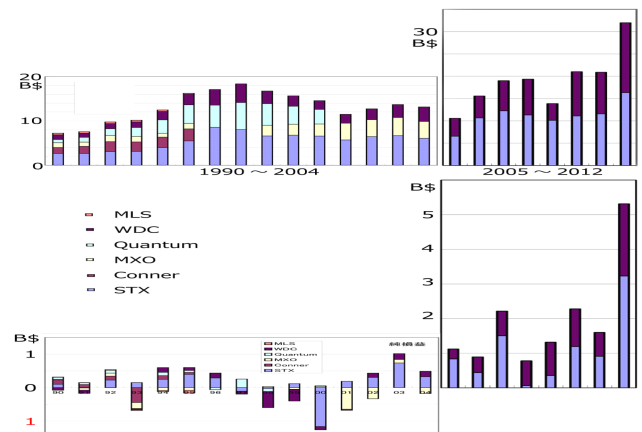


表1 HDD業界の変遷

	1990	1996	2004	2012
HDDメーカー	41	21	9	3
HDメーカー	21 (6)	17 (5)	8 (4)	4 (2)
ヘッドメーカー	14 (4)	13 (4)	6 (4)	3 (1)

()内は独立系メーカーの数

図2 米国上場HDDメーカーの業績の推移



2. MRヘッドの出現

磁気記録の書込みおよび読出しは薄膜ヘッドにより行われていた。1992年頃から読出しにはMRヘッドが使われるようになり記録密度の向上に大きく貢献した。当初はIBMの独走状態であり、競合するHDDメーカー、ヘッドメーカーは対策に苦慮した。その際たるものはWestern Digital社で、90年台半ばには、ワンポイントリリーフとして擬似接触記録を採用して苦境を凌いでいた。今思うと、当時のHDDは家電に採用されていなかったことなどにより、ハイエンド以外は短寿命であったのでこのようなトリッキーな手段が採用可能であったのであろう。

MRヘッドは1997年、飛躍的に感度を高められるGMR (Giant MR) ヘッド、さらにTMR (Tunnel MR) ヘッドへと発展していった。さらにGMR効果はスピンの方向を保存するMRAMの開発を誘発した。スピントロニクス誕生である。量子工学の幕開けでもある。GMR効果の発見者 (Peter Gruenberg : 独と Albert Fert : 仏) は2007年のノーベル物理学賞に輝いた。なお、GMR以降、IBMの優位性は崩れていった。学界をも凌ぐ技術王国を築き上げていた当時のIBMについて経営工学的解析が進むことを期待したい。

読出しヘッドの高感度化に対応して、HDのビットの微細化が進み、磁気記録方式は面内から垂直へと移行すべき必然性が生じたのである。

3. 垂直磁気記録への移行

垂直磁気記録方式は、概念としては、1975年東北大学の岩崎教授によって提唱された。HDDにおいては1990年台の初めに米国のCenstor社はこの方式の製品を市場に出した。しかし当時はまだ垂直にすべき必然性がなかった。その上、該社の技術は現在の垂直磁気記録とは異なっており記録密度も業界標準に比して高いわけではなかった。ヘッドも信頼性の低い接触方式であったため1994年に業界から姿を消した。提携先の電気化学 (HD)、大同製鋼 (ヘッド) も撤退した。

現在の垂直磁気記録方式への移行は2005年、世界に先駆けて東芝-TDK-昭和電工連合軍の手によって先鞭が付けられた。最近、Open Innovationの重要性が叫ばれているが、筆者が体験した数少ないOpen Innovationの成功例の陰には強固な信頼関係があっ

た。磁性膜の開発自体は本質的に化学屋向きの仕事だが、化学会社の化学系技術者の足らざるをエレキ会社のエレキ系技術者が見事に補ったのである。

岩崎教授の提案は概念的なものなので、HDDに直接役立つものではなかったが、伝統の強みと言うべきか、日本では、早くから、水面下で研究が行われていた。垂直磁気記録への移行が不可避となったとき、この分野では遅れていたHDD業界の雄、米国のSeagate社はCarnegie Mellon大学の教授をスカウトし、Pittsburgh研究所を設立した。Doctorだけの数で100名集めると言われた研究所の構想は当時、業界に大きな波紋を投げかけた。なお、この研究所は垂直磁気記録移行後は目的は果たしたとして現在は解散になっている。物量作戦が経営を圧迫したとも言われている。

二つの大きなイノベーションを経て、HDDの主役であった組立メーカーの役割に翳りが出てきたように思われる。

4. 現行技術の限界

記録密度 744Gbps (Gbit/inch²) (→500GB/2.5インチディスク 1枚) のHDDが上市された2011年秋以来、業界は記録密度向上に関しては鳴りを潜めている。多少の容量増は可能になっているとしても中途半端な容量増では製品化しないという事情があるにしても、間が空き過ぎている。

ビットサイズが小さくなると、熱擾乱の影響が問題となる。これを防ぐにはHDの磁性膜の保磁力を上げる必要がある。保磁力を上げれば、書き込みが困難となる。つまり、高記録密度、熱安定性、書き込み易さは3スクミの関係にあり、磁気記録のトリレンマとして問題になっている。しかし、最大の理由は連続媒体中に分散している磁性粒子のサイズを小さくすることが困難になったからである。

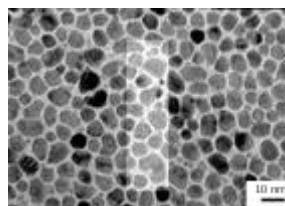


図3 ビットイメージ (744 Gbps に対応)

図3はディスクの水平断面のEPMA写真である。記録密度を上げるにはビット (左図の明るい部分) 中に如何に多くの磁性粒子を存在させることができるかが重要である。したが

たがって粒子の断面積を小さくするとともに粒界

を薄くしてしかも磁性粒子を磁氣的に絶縁する必要がある。このような特性の探求は化学系技術者が得意とする分野だ。

744Gbpsの記録密度を可能ならしめるHDの量産に一番乗りを果たしたのは、やはり化学系企業(昭和電工)であった。しかし、この先、瓦状記録(Shingle Write)やほどほどのレベルの熱アシストに助けられるとしても、現行技術の延長線上に記録密度の向上余地はあまりない。

これらの解決策として現在喧伝されている技術がBPM(Bit Patterened Media)と熱アシスト(またはマイクロ波アシスト)との組合せである。筆者は下記の理由により、BPMは本命ではなく、スピンの磁気記録に代るイノベーションが必要と考えている。スピンの基盤となる学問は物理学であるが、重要なのは物質の探索である。化学系企業が主導的役割を果たすべきである。

5. 半導体メモリーに対するHDDの優位性

記録密度744Gbpsのディスクのビット長は15nmであった。この時期のフラッシュメモリーの線幅(30nm程度)に比して明らかに小さい。位置決め技術はサスペンションメーカーが担当している。最近ではアクチュエーターの他、ピエゾで微細制御をするダブルサスペンション方式が採用されている。これまで地味な存在であったが、位置決め技術は今やヘッドやHDと共にHDDの基幹技術となっている。

一方、半導体メモリーの線幅は、現在極紫外線リソグラフィによっている。理論的限界が迫っているわけではないが、装置コストの問題があり、現実的な限界が迫っていると言わざるを得ない。

半導体対HDDの戦いはpatterningとpositioningの争いとも言える。そしてpositioningは連続媒体と結びつくことで生きる技術なのだ。

BPMの問題点は他にもある。まずは、信頼性のある技術の確立だ。書いたはずの信号が消えてしまうなんて論外だ。アバタ面(イオンプレーティングを採用したとしても)上を飛行するヘッドの飛行安定性も問題ではないか。さらに半導体的プロセスを必要とするためのプロセス変更とコストアップが問題だ。本質的問題として、ビットが磁性を失う大きさの限界があると

ということもある。記録密度向上余地が少ない技術に多額の設備投資をするのは悩ましい問題だ。筆者は紆余曲折があるにしても、BPMはDTM(Discrete Track Media)同様、不発に終わると予想する。

記録密度を上げずに容量を上げる当面の対策は、半導体、HDDとも3次元化(HDDは多数枚化というべきか)である。1990年頃、ハイエンドHDDでは5.25インチで14枚組というのが一般的であった。3次元化のコストは半導体の方が有利であると言われている。しかし、発熱のため多くは望めないだろう。

スマホがノートパソコンの需要を喰い始めた。そしてスマホにはHDDではなく、フラッシュメモリーで構成されているSSD(Solid State Disk)が搭載される。このため、最近、HDD需要も減少している。しかし、ビッグデータを記録するための大容量記録媒体へのニーズは根強い。HDDが当にすべき市場はクラウド用途であることが明確になりつつあるだけのことだろう。

もっとも、クラウド用途もやがてSSDが席捲するという見方も根強い。くどいが半導体メモリーもムーアの法則が守れなくて四苦八苦している。それに現在、NAND型フラッシュメモリーの生産量は記録容量としてHDDの10%程度である。SSDとして市場規模300億\$のHDDを置き換えるために必要な設備投資は7500億\$であるという(2011/12のSeagateの見解)。したがって、大容量記録装置はHDDという構図は当分崩れそうもない。

6. まとめ

筆者がHD事業に関与したのは、1988年9月から2001年3月まで。その後も業界ウォッチングを続けているので、通算では四半世紀となる。その間、抱いた疑問は、①いわゆるハイテク産業は何故薄利なのか、②化学系企業はハイテクにおいて何故主役足り得ないか、という問題である。

①については、ムーアの法則の副産物として技術開発のロードマップが決まっていることである。現行技術の小改善によってロードマップが達成可能である限り、ハイテクとは見掛けだけの話。実質はローテクなのだ。ローテクで過当競争では儲かるわけがない。

技術の拡散に寄与している要因にJob Hoppingと

クロスライセンス網、それに研究組合がある。ハイテク産業（とくに米国）では、人の出入りが激しい。かつてIBMはHDD業界において技術的に圧倒的な優位性を有していた。HDD業界では、一時、米国のどのメーカーを訪問しても技術の中核にIBM出身者がいた時期があった。それも新たなイノベーションの立上がりとともに希薄になっていった。さらに1999年の全面的なガラス基板化という判断ミスにより、Seagateにハイエンドのシェアを奪われ撤退することになった。

クロスライセンスといえば、Seagate社がディスクのスタート・ストップに関する重要な特許(レーザーテクスチャー)を公開したのもそのせいと解釈される。また研究組合は弱者を利する。

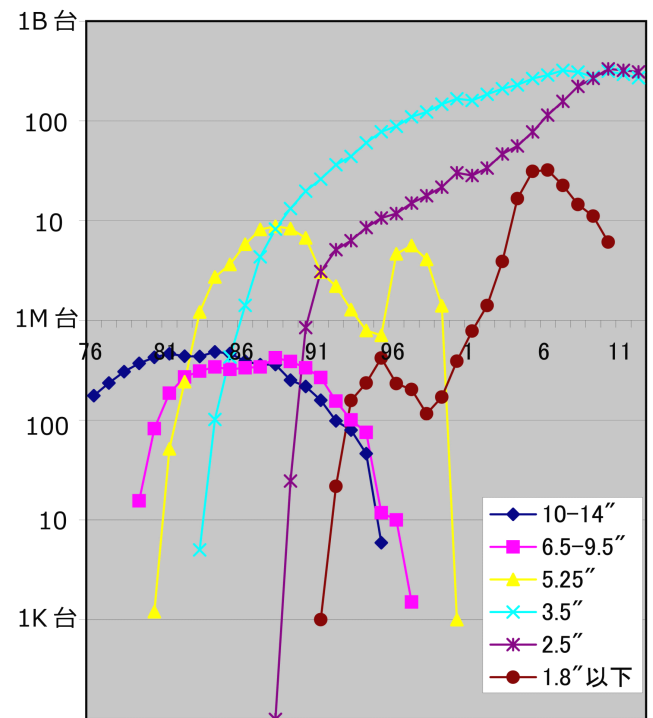
②については、化学的な処理は重要な役割を担っていることが多い。しかも化学系企業には化学系の研究者・技術者が多い。それにも拘らず、化学系企業はハイテクにおいて組立メーカーの下請け的地位に甘んじていた。それどころか、組立メーカーの垂直統合の脅威にさらされてきた。その理由の一つは製品を作る上でのニーズを組立メーカーが握っていたからと考えられる。ハイテクビジネスにおいて、何をなすべきか、化学系企業自身が問題意識を持たば主導権を握るチャンスがあるはずだ。

HDDに関してはその時期が到来した。1990年以降MRヘッドの導入、垂直磁気記録への移行という大きなイノベーションを経て、新たな記録方式への転換期を迎えている。そこで活躍すると期待されている基盤技術はやはり”化学”なのだ。明確な問題意識のなかで固有技術を先鋭的に研ぎ澄ましてイノベーションを成し遂げて欲しい。その後は技術とコストのリーダーとなりHDメーカーとして、スピンドルモーターの日本電産を目指すことだ。逆垂直統合と言いたいところだが化学系企業に組立メーカーは向かないだろう。

Appendix

図4はHDDのサイズの変遷を表している。この図を見る限りHDDのサイズは市場ニーズに基づいて変化している。5.25”HDDの二こぶはローエンドにおける容量ニーズを満たすためのものである。1.8”以下のHDDの

二こぶのうち前者は、早過ぎたダウンサイジングによるものである。二こぶ目はフラッシュメモリーの立ち上がりによるものであり、プロである関係者も意外に先が見えていないことを物語っている。ノートPCは携帯端末に喰われ、スマホはHDDを搭載しないので2.5”は再び3.5”HDDに抜かれようとしている。



以上

(戻る) <http://www.nishimura-reports.jp>