

オータムフェスタ特別講座
コンピュータの歴史(5)
～記憶装置の歴史～

リナックスアカデミー

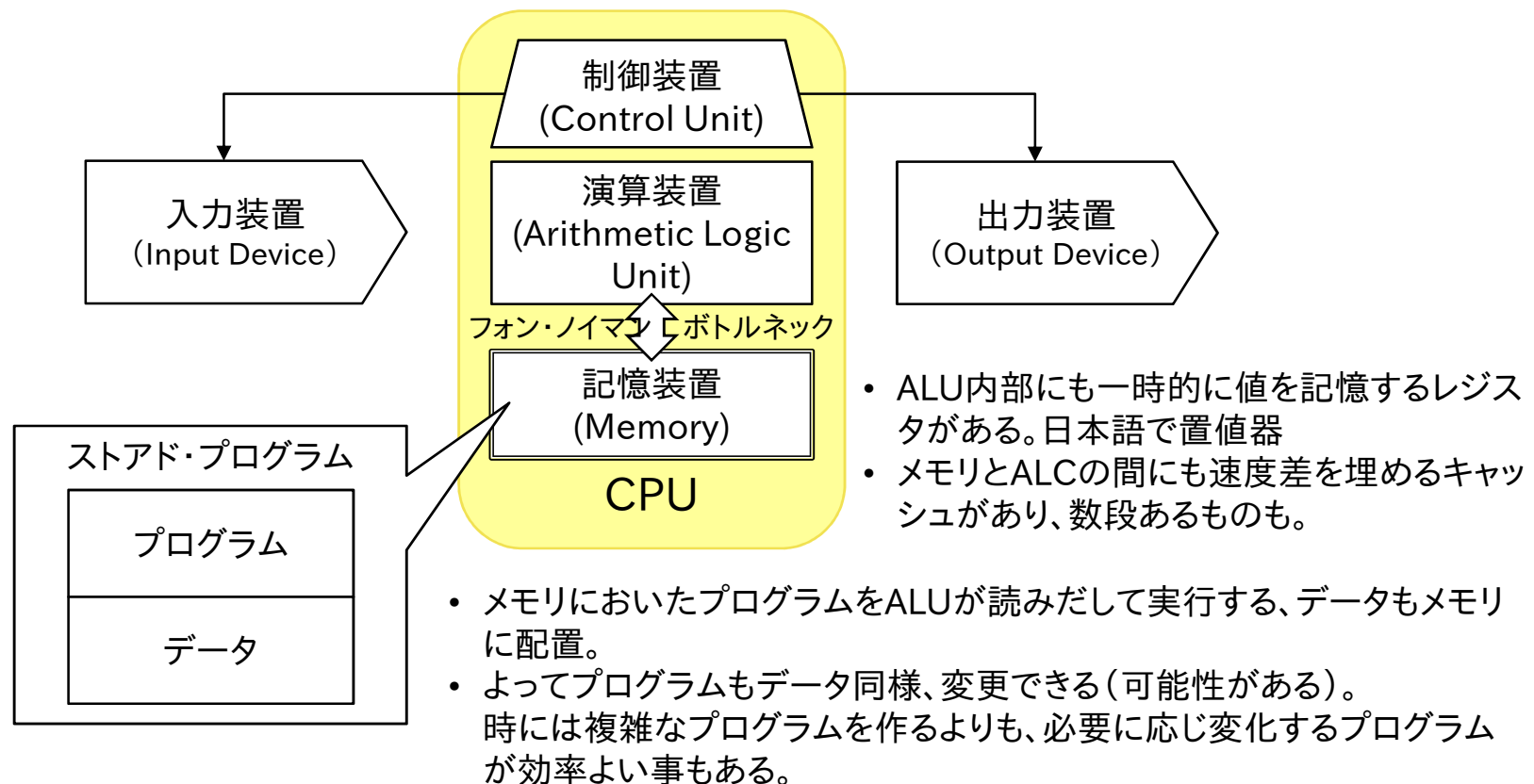
2015年11月15日

本日のアジェンダ

1. 計算機の5大装置
2. 記憶装置の使分け
3. 主記憶装置(黎明期)
4. 補助記憶装置(紙)
5. 主記憶装置(真空管)
6. 主記憶装置(次期コア)
7. 半導体メモリ(SRAM)
8. 半導体メモリ(DRAM)
9. 補助記憶装置(磁気テープ)
10. 補助記憶装置(磁気ディスク)
11. 補助記憶装置(光ディスク)
12. 補助記憶装置(フラッシュメモリ)
13. 補助記憶装置(高速・大容量化)
14. 補助記憶装置(ネットワーク対応)
15. 補助記憶装置(クラウド対応)
16. 補助記憶装置(番外編)

計算機の5大装置

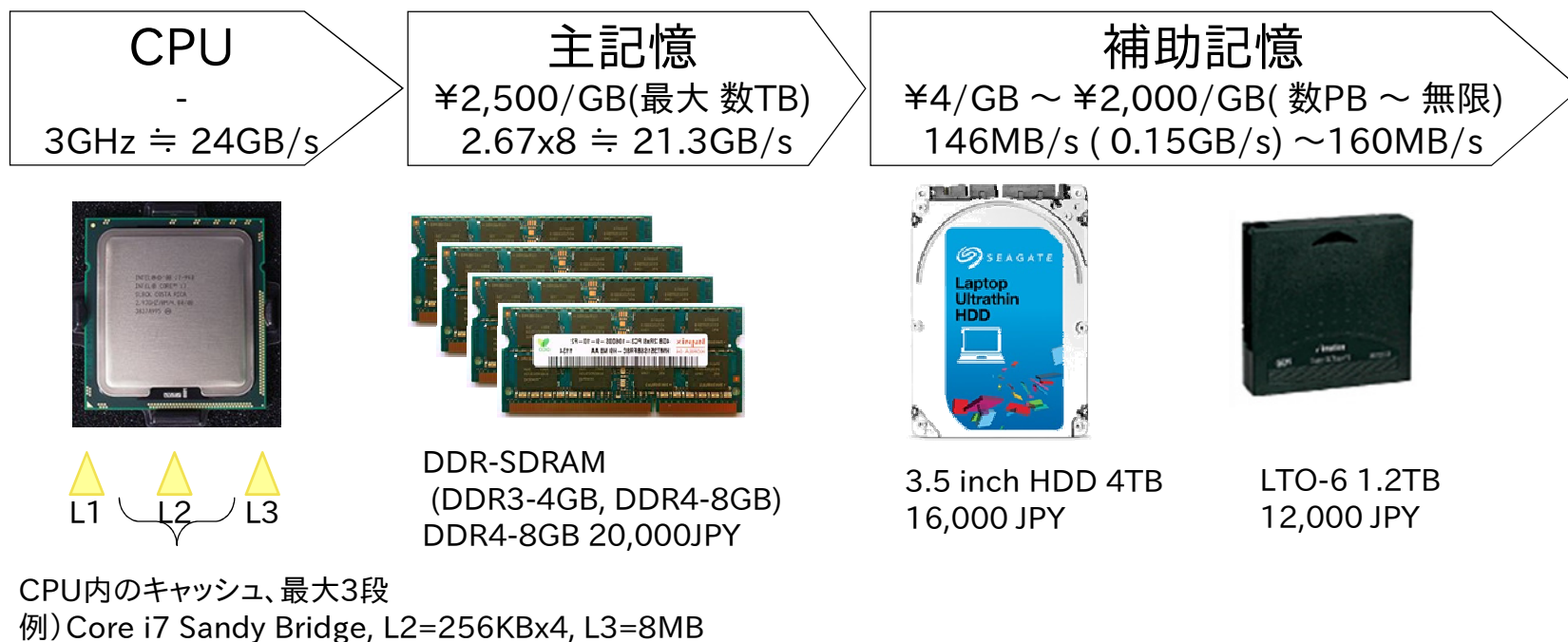
- 日本ではコンピュータは、概ね下図の装置から構成されると考えられている。
- 入出力装置は50年ほぼ変わらず、ALUは 4, 8, 16, 32, 64bit と拡大。制御装置はすでに4GHz前後で停滞(2004年 P4-3rd/3.8G、2015年 i7/4.2G)
- メモリは磁気テープ、CD、USBと音楽や映画の世界でも大きく変化。



記憶装置の使い分け

- プログラムを記憶装置に一旦配置して、CPUが処理するため、高速な主記憶が必要。
- 一般的にメモリには次の特性がある
高速・小容量・揮発性・高価 ←(相反)→ 低速・大容量・非揮発性・安価
- このため主(一次)記憶装置と補助(二次)記憶装置の使い分けが一般的

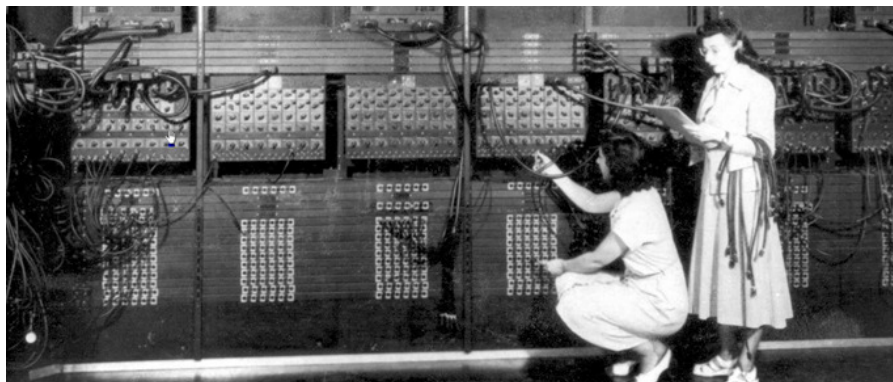
現在の記憶装置階層



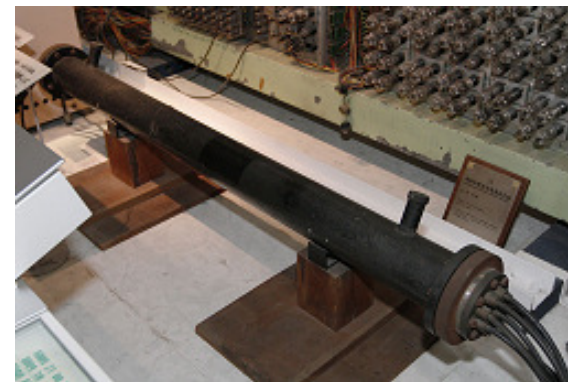
主記憶装置(黎明期)

- ~1950年代
パッチボードによる物理的な結線(ワイヤードロジック)、理論上アクセス速度はCPU動作速度とほぼ同じ。修正が手作業になるため、動作中の変更はほぼありえない。
- 遅延線装置
波の振動を利用し遅延を発生させる。使用した媒体によって水銀遅延管、電磁遅延線、ガラス遅延線などがある。
圧電素子やクォーツを使って電気信号を振動に変換し、媒体中を波として伝わり、もう一方から再び電気信号に変換。媒体の長さによる遅延が発生する。
つまり数秒しか記憶が残らない揮発性メモリ。

ENIAC(1946-1955) のパッチボード



FUJIC(1956-1958) の水銀遅延管



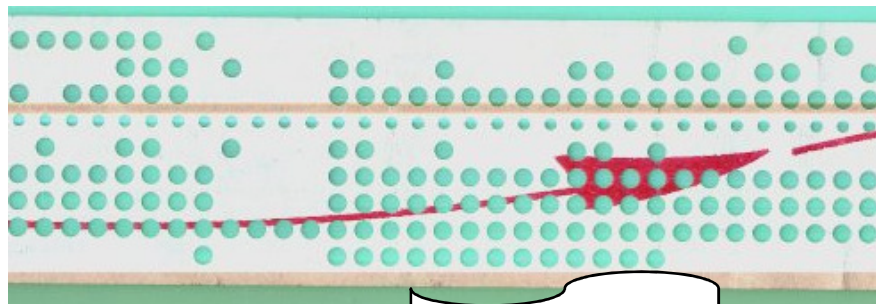
補助記憶装置(紙)

■ ~80年代

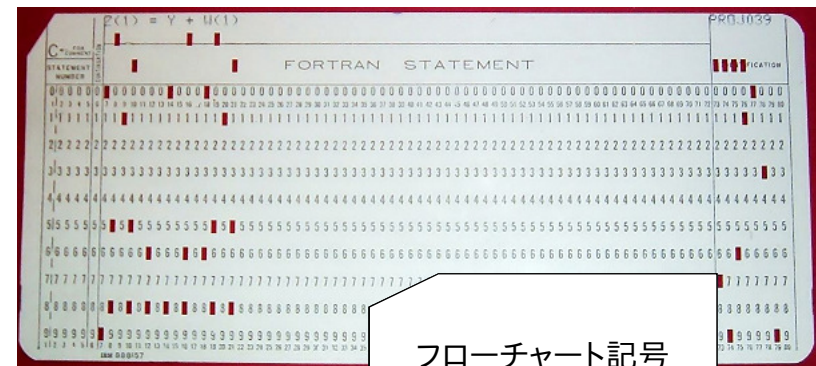
「紙テープ」はTTY装置の通信データ記録用として用いられていたが、そのままコンピュータの補助記憶装置として流用された。ミニコンピュータではOSなども紙テープで提供されていた。しかし可読性が低く、修正しにくい、かさばる、転送速度が低い(1,000B/s)等の欠点があった。

他方紙カードはテープよりもかさ張るものの、可読性が高く、1行1枚であり修正が比較的楽ということもあり紙テープよりも長い間、コンピュータで利用されていた。

紙カード自体は自動織機の柄パターンを記録するため1750年頃実用化され、1890年代には統計機として大きく躍進する。そのトップメーカーだったホレリスが興した会社はIBMの源流といわれる。



フローチャート記号
「せん孔テープ」



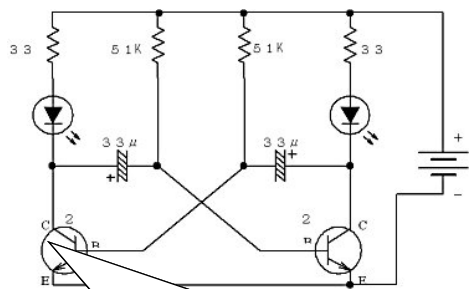
フローチャート記号
「カード」

主記憶装置(真空管)

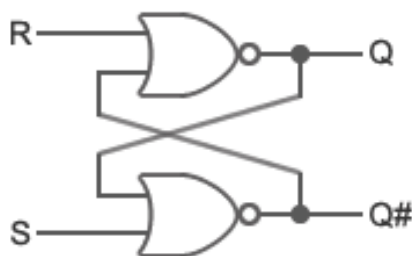
■ 1950年代

電子的に ON/OFF を保存できる双安定バイブレータ、フリップ・フロップ回路を利用する事が考案され、電子素子での実装が可能となると、それが主流となる。ただし黎明期では安定性に問題があり、半導体素子が誕生するまでは、他の技術と併用される期間が長かった。

電子回路図



論理回路図



論理回路図

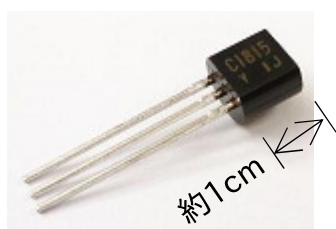
操作	Set	Reset	Q	Q#
セット	1	0	1	0
リセット	0	1	0	1
保持	0	0	直前の状態	
抑制	1	1	0	0

真空管
3極x2



4~6cm

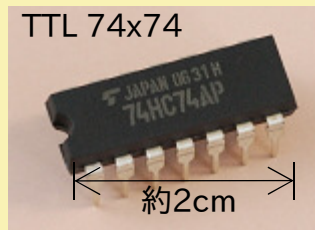
トランジスタ



約1cm

1970年代からは半導体が主流となる

TTL 74x74



約2cm



45mm

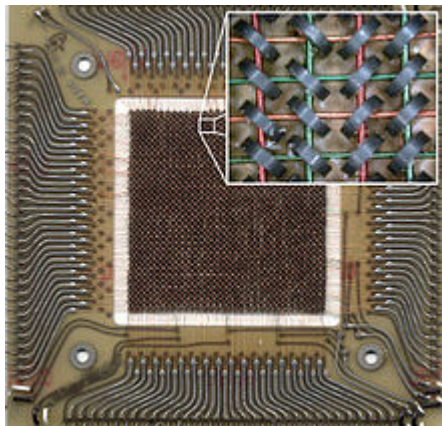
- 初期のTTL (transistor-transistor-logic) F/F回路が2つ納められている
- Core i7 Sandy Bridge トランジスタ数は約12億個

主記憶装置(磁気コア)

■ 1960年代

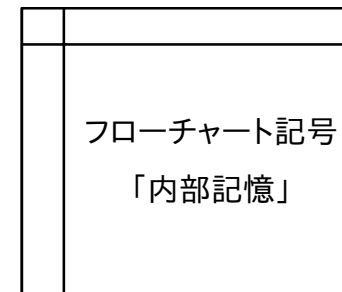
磁気コアメモリが登場すると、小さく壊れにくいため真空管にとってかわる事となる。ドーナツ状のフェライト(コア)に十字に導線を通し、そこに流れる電流でフェライトを磁化する。読み取るときは再び導線に電流を流すと、磁化されたコアに沿って電流が発生し、この方向によって0、1を判定する。ただし読み出すと、磁化が失われるため「破壊読出し」と呼ばれる。読み込むとその値を再び書き込む必要があるが、原理上は不揮発メモリである。トランジスタが普及する1970年代まで主記憶装置としてよく利用されてた。

当時の製造方法は、手作業でビーズ細工のようにコアを導線で編みこんでおり、東アジア(特に日本)を中心に工場が数多くあった。1bit/\$ だったものも、最盛期には 0.01bit/\$となった。



CDC 6600(1964年)で使われた磁気コアメモリ。大きさは10.8×10.8 cm。拡大図はコアの構造を示したもので、1コアごとに1ビット、全体では64 x 64 コアで合計4096ビットの容量がある。

Wiki Pedia より



半導体メモリ (SRAM)

■ 1970年代

トランジスタが登場すると、低電力・小型・安定性(可用性)の高さから、それまで汎用的に利用されていた真空管の座を一気に奪うことになる。

フリップ・フロップ回路使ったメモリ素子も誕生し、SRAM (Static Random Access Memory) とよばれ1969年にはインテルが64bitのチップを発表。さらに1970年には、より高密度に実装できる1024bit DRAM (Dynamic RAM) を発表する事となる。

後にインテルはDRAMの市場に見限りを付けCPUなど、付加価値の高い製品中心へとシフトしてゆく。



- インテル初の製品となった Intel 3101
64bitの容量をもつ。
75ns ÷ 13Mbps

	メリット	デメリット
SRAM	<ul style="list-style-type: none"> • (DRAMより) 高速 • 非アクセス時の消費電力が低い(電池による記憶保持が可能) 	<ul style="list-style-type: none"> • 高密度化しづらい(最大32~64Mbit) • 比較的高価になる
DRAM	<ul style="list-style-type: none"> • 構造が簡単で高密度化しやすい • コストが低く抑えられる。 	<ul style="list-style-type: none"> • 放電により記録が失われるため、再書き込みが必要(リフレッシュ要) • 比較的低速

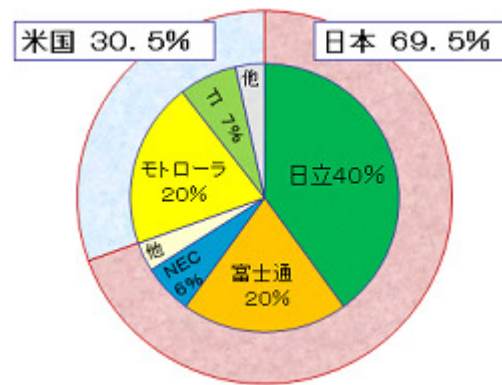
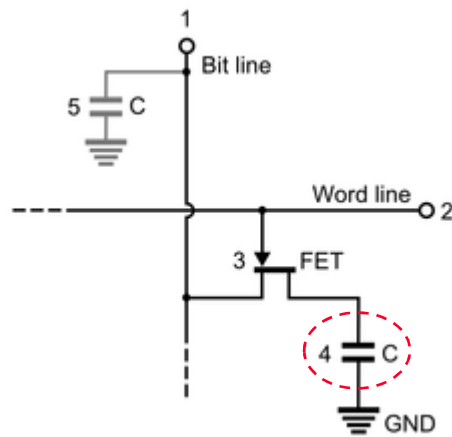
http://www.antiquetech.com/?page_id=622

半導体メモリ(DRAM)

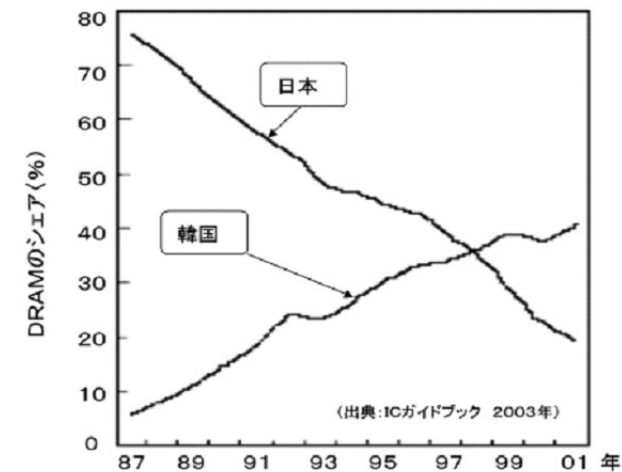
■ 1980年代

高密度で安価に作成できるDRAMがメモリの主力となり、日本は一躍シェアNo.1に躍り出る。70年代は世界市場25%程度、シェアトップ10にも入っていなかった日本はDRAMに注力することで80年代には世界シェア80%を超え、国際的な経済摩擦を生み出すまでになる。

- DRAMはコンデンサを使って記憶を保持するため、放電により時間と共に記憶が失われる。これを解決するために、定期的な内容の上書き(リフレッシュ)が必要となる。



64K DRAM 世界シェア(1981)

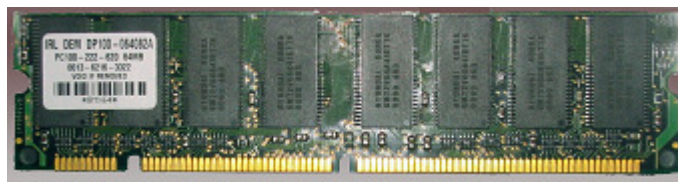


1985 DRAM価格大幅下落



半導体メモリ(DRAM)

- 1980年代にコンピュータの主要部品だったDRAMは高集積を高めるとともに、大幅な価格下落を起こし1990年代中盤移行殆どの日本企業は撤退することになる。CPUやASICといった付加価値の高い事業への展開を迫られる。
- DRAMは単品から複数のDRAMとリフレッシュ回路などをひとまとめにしたモジュール化が一般化し、現在はDIMM (Dual Inline Memory Module)として知られる。これはSDRAMと呼ばれるシステムクロック同期型システムの登場によるもので、クロックの多重化によりDDRシリーズが誕生した。画像処理に特化したGDDRも存在する。
- DDR2はクロックの立ち上がり、立下りで動作させDDRの倍速としたもの。DDR3ではメモリへの命令経路の最適化(フライバイ)、SDRAMごとの終端(オンダイターミネーション)などの高速化技術に加え、パリティチェック、温度チェックが組み込まれ信頼性も向上されている。DDR4ではさらにデータ取り出し部分(メモリバンク)を多重化するなどして速度を向上させている。

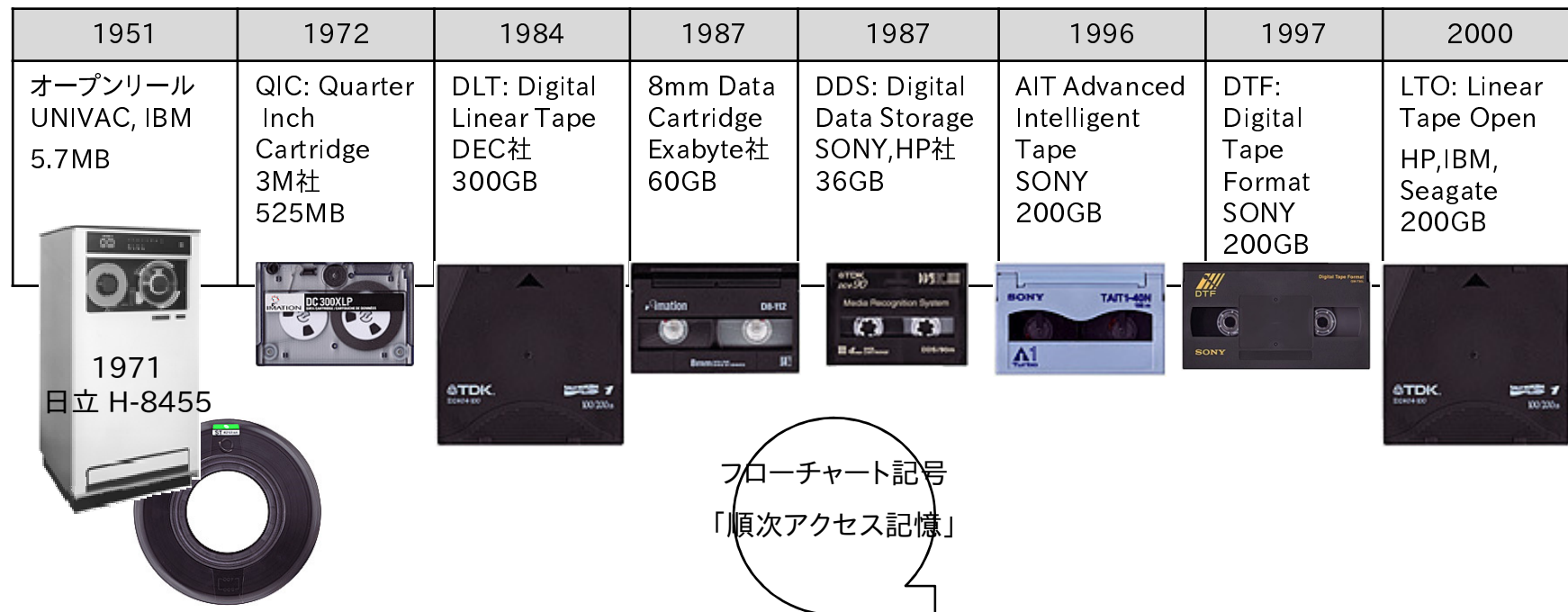


64MB SDRAM / PC100
 Synchronous Dynamic Random Access Memory

1993	1999	2004	2007	2014
SamsungがSDRAM製品を投入 66,100,133MHz	IntelがDDR(Double Data Rate)を投入。200~550MHz 1.6~4.4GB/s	DDR2 200~600MHz 3.2~9.6GB/s	DDR3 400~1,3GHz 6.4~21.3GB/s	DDR4 800~2.1GHz 12.1~34.1GB/s

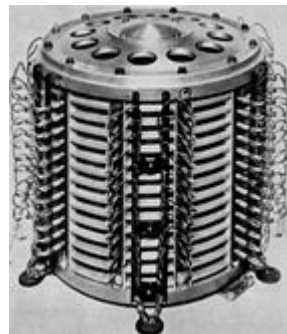
補助記憶装置 (磁気テープ)

- 磁気テープは樹脂のテープに磁性体を塗布した媒体で、1951年から用いられている。ランダムアクセスはできないが、信頼度が高く長期保存に耐える事が評価され今日も災害対策といったアーカイブに用いられる。
- オープンリールから始まり、今日一般的なプラスチックの筐体に収められたカセットテープ各種規格が数多く変遷している。またビデオや音響用メディアを流用した時期も存在する。
- オープンリールは1/2インチ幅で複数の長さがあり、長尺 (2,600ft, 731M リール径40cm)、半尺 (1,200ft/25cm)、短尺 (600ft/15cm) があった。



補助記憶装置 (磁気ディスク)

- 磁性体を用いた記憶装置は古くから用いられており、磁気ドラムは主記憶装置としても利用されていた。その後、補助記憶装置としてハードディスクドライブ (HDD: Hard Disk Drive) が開発され今日では最も一般的な補助記憶装置となっている。HDDの派生版として、メディア着脱可能なフロッピーディスクが開発されるもデータの大容量化とともに廃れていった。



磁気ドラム装置

1932年に発明され、黎明期のコンピュータでは主記憶装置としても利用されていた。磁性体を塗布した円柱に読み書きを行うヘッドが配置されている。ヘッド数そのままトラックとなるため、ヘッドが移動するシーク時間は発生しない。



磁気ディスク装置

1956年にIBMが開発したIBM 350が世界初となる。当時はディスク(プラッタ)が直径24インチ(61cm)、50枚を搭載し4.4MBの容量だった。

40年で約1,000倍の容量に進化

この20年で更に1,000倍

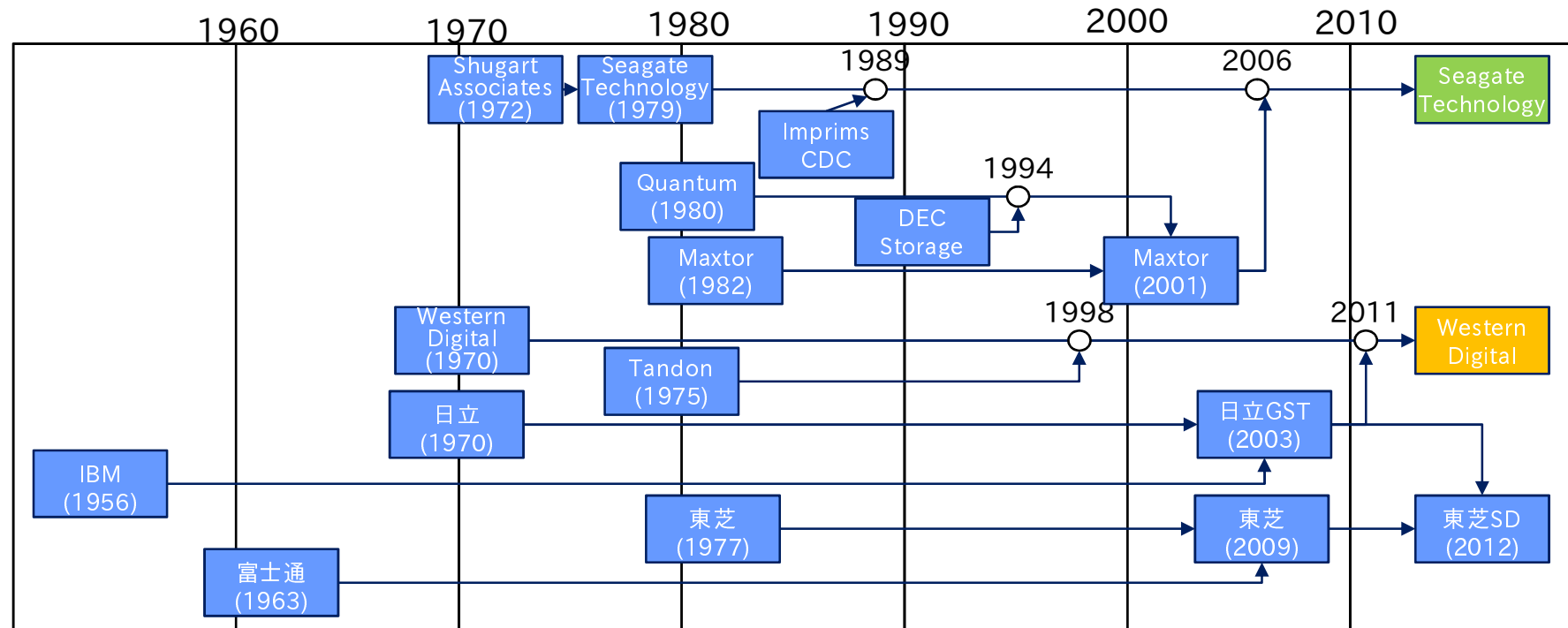
年代	1956 IBM 350	1962-75 IBM 1311	1973-84 IBM 3340	1979 IBM	1983 Rodomi	1985 IDE規格	1988 PT220	1991 IBM	1992 Seagate	1996 SG	2003 WD	2006 SG	2015 SG
容量	24' x 50 4.4MB	14' x 6 2 MB(着脱可)	35,70MB Winchester	8' x 6 64 MB	5.25x 2 10MB	max 504MB	2.5' x2 3.5主流	3.5x8 1GB	2.1GB Barracuda	'96 10,000 '00	SATA 35GB	750 GB	8TB
速度	1,200RPM 8.8KB/s	1,500RPM 4KB/s	885KB/s	Piccolo		SCSI (86Mac)	RAID (UCB)		7200rpm	15,000 '02 SATA			

フロッピーチャート記号
「直接アクセス記憶」

フロッピーチャート記号
「磁気ディスク」

HDDベンダーの趨勢と現在のシェア

- HDD業界も統廃合など寡占化が進み、現在ではグローバルで3社となる。



■ 2014年4~6月期 HDDシェア

Western Digital (45.7%)	Seagate Technology (38.1%)	東芝 (16.2%)
-------------------------	----------------------------	------------

ヘッド	TDK (25.2%)	WD(HGST) (HGST 18.5%, WD 25.21)	Seagate (31.2%)
モーター	日本電産 (70.9%)		SEMCO 16.7 ミネベア 12.5

補助記憶装置 (磁気ディスク)

- IBMのHDDから派生した着脱可能なフロッピーディスク (Floppy Disk Drive, JISでの正式名称はフレキシブルディスクカートリッジ)も、当時は持ち運び可能で手軽な媒体として活躍した。OSもFDDで提供されていたが、ピーク時には10枚を超える事態になっていた。
- フロッピー各種 (8インチ、5.25インチ、3.5インチ)



IBMが1971年に開発した8インチフロッピーは紙製のジャケットに、磁性体を塗布した樹脂の柔らかい円盤がはいていた。初期の頃は裏表を入れ替えて両面仕えるようなものもあったが、シュガートが開発した5.25インチからは両面にヘッドが搭載されたドライブが基本となった。

23FD 1970	33FD(1S) 1972	42FD(2S) 1976	53FD(2D) 1977	← 8インチ
80KB	400KB	800KB	1.6MB	

5.25インチ →

2D 1976	2DD 1978	2HD 1982
90KB	360KB	1.2MB



1982年にはSONYが3.5インチを開発。プラスチックのケースと、読み取り部に金属シャッターを付けることで大幅に強度を上げ、操作性と耐久性が向上した。また書込み禁止は右下のノッチをずらす事で行う。8インチは切欠きを入れ、5.25インチでは書込み許可シールを張るといった手間がなくなった。また松下が3インチを開発したが普及しなかった。

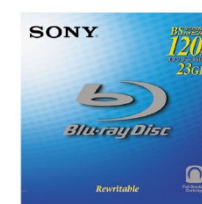
3.5 インチ	SD 1982	2DD 1984	2HD 1987	2ED 1991
	280KB	720KB	1.44MB	2.8MB

3 インチ	1982	2DD 1984
	360KB	720KB

補助記憶装置(光ディスク)

- CD(Compact Disc)はSONYが音響用に開発したが、デジタルデータを記録できることからコンピュータの補助記憶装置にも流量された。当時のFDが1.4MBに対し600MBと大容量であったことからOSやソフトウェアの提供で広まった。また1回だけ書き込み可能(WORM: Write Once Read Many)な物もあり監査証跡の保存などにも用いられる。
- CDを大判化したLD、多層にしたDVDや、レーザにより磁化させる事で繰り返し書込める光磁気ディスク(MO: Magneto Optical)などのバリエーションがある。現在はDVDが主力となるが、発表当時は「DVDフォーラム」と「DVD+RWアライアンス」とう2つの標準化団体により混乱が見られた。
- 第3世代光ディスクでは東芝のHD DVDとSONYのBlu-ray Disc(BD)が対立を深めたが、最終的に2008年、東芝はHD DVDの終息宣言を行う。

1982	1989	1996	1997	1998	2003	2006	2010
CD 700MB	CD-R	DVD 4.7~17GB	CD-RW DVD-R	DVD-RAM 9.4GB	BD 23GB	BD 50GB	BDXL 100GB



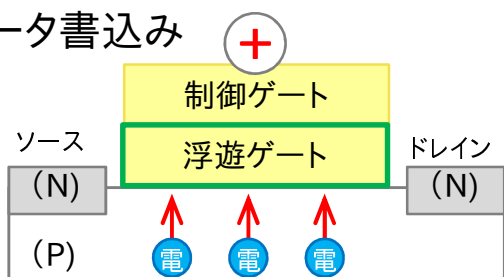
補助記憶装置 (DVD戦争)

- 光ディスクの歴史は古く 1970年ごろには蘭フィリップスと米MCAが開発に着手、1974年には両者の規格を統合し Leaser Vision (国内では Leaser Disc、絵の出るレコードとしてパイオニアが商標登録、後に一般名称化)として発表される。ただしデータの記録方式はアナログでメディアも 30cmと大判であった。
- 1979年からソニーとフィリップスがデジタル記録方式のCompact Discの開発に着手1982年にはソニーから製品が発表される。1989年にはデータを記録できるCD-Rが発表され補助記憶装置として一般化した。映像を記録できる大容量化のニーズが高まり第2世代CD開発が各社によって行われる。
- 1994年に東芝・松下・日立などが主要メンバーとなりSD (Super Density Disc)が、ソニー・フィリップス連合のMMCD (Multi Media Compact Disc)が発表されると、複数規格による混乱を危惧したIBMが2団体の調停に乗り出し、1995年折衷案のDVDを制定(DVDコンソーシアム)。一旦は収束したかに思われたが、書込み方式をめくり再び陣営が対立。2001年にはDVD+RWアライアンスがソニー・フィリップス・HPを中心に設立される。
- 同時期に第3世代CDとして、ソニー・フィリップス陣営がDVR-Bluを、松下・日立・東芝が2層変化RAMを提案。これらを一本化し2002年にBlu-ray Discがソニー・松下陣営から発表されると、東芝がHD DVDをDVDフォーラムの次期規格として提案。
- 製品出荷はHD陣営が早かったものの、その後ハリウッドを中心としたコンテンツ市場へのロビー活動や容量の大きさからBDが支持され2008年には東芝が事実上の敗北宣言を行い、BDに一本化される。

補助記憶装置 (フラッシュメモリ)

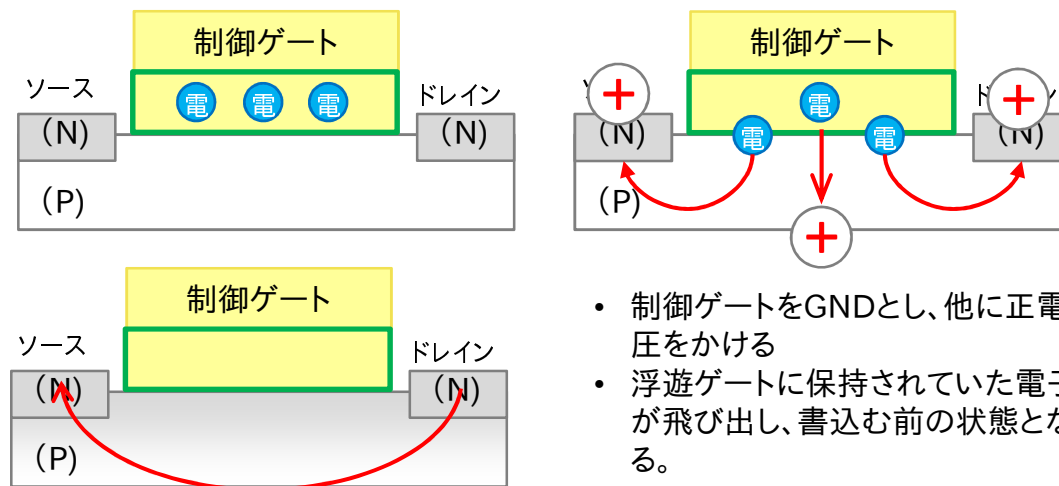
- 1980年に東芝の舛岡氏により発明された記憶素子。当時世界最強だった日本のDRAMはすでにオーバースペックとなっており、作っても売れない状況が続いていた事に気付いたのが研究のきっかけだといわれる。なお名前は「カメラのフラッシュのように一瞬で消去可能」から。なお同氏は特許の報酬について東芝に40億円を求め裁判を行い8,700万円で2006年和解。
- 電界効果トランジスタ (FET: Field Effect Transistor) を応用し、浮遊ゲートに電子をためることで情報を記憶する。不揮発性で低コストとう事から最近ではHDDのキャッシュやHDDその物を置換える媒体として普及している。また小型化が可能なことから携帯のSIMカードや家電製品の部品としても普及している。

データ書込み



- 制御ゲートに高い正電位をかける
- P型素子から電子が吸い寄せられ絶縁幕を破りフローティングゲートに入り込む
- この状態は電気を切っても保持
- 電子を蓄えた状態ではソース、ドレイン間に電機は流れない。

データ消去



- 制御ゲートをGNDとし、他に正電圧をかける
- 浮遊ゲートに保持されていた電子が飛び出し、書込む前の状態となる。

補助記憶装置(フラッシュメモリ)

- 1990年代に入るとノートPCを中心にフラッシュメモリを使ったカード型の媒体が登場する。さらに小型化が進むと、PC以外にもデジカメ、携帯電話、家電製品など広範囲に普及する。
- SDカードは最も普及したメモリカードだが、ファイルシステムがFATであるため最大2GBの制約がある。miniSD, microSD と小型化が進みSDHC, SDXCといった拡張規格にも発展している。
因みにSDはDVDのコピープロテクション規格の一部であり、ロゴのD部分には光ディスクを模したものとなっている。
- xDピクチャカードは富士フイルム・オリンパスが中心となりデジタル・カメラ用として開発した。当時は他のカードよりも容量が多かったが、現在ではSD系カードを利用している。
- 2000年頃はSDカードとメモリースティックが市場で激しい市場争いをしていたが、miniSDの登場により携帯への採用が増え、シェアは70%超(2006年)決定的となった。



補助記憶装置(高速・大容量化)

- 爆発的に増大したストレージ容量に対し、より高速なアクセスと大容量を同時に実現するためフラッシュメモリなどの高速装置と、光ディスクやテープ装置などの大容量(長期保管)可能な装置を組合せた装置が登場しています。
- SSD (Solid State Desk) フラッシュメモリをsATAなどHDDのインターフェースから操作できるようにしたもの。高速なアクセス(特に読取)が可能で、消費電力が低く、衝撃に強い、小型化できるといった利点があります。HDDに比べると高価であったり書込み回数の制限といった欠点もあります。最近の企業向けRAID装置には、HDDのキャッシュとしてSSDを搭載したものも増えています。
- データは生成されてからある程度時間が経つとアクセス頻度が低くなる傾向があります。そこでアクセス頻度が低いデータは低速・低コストのメディアへ移すことで限られた高速メディアを効率よく使う事が可能となります。HSM(Hierarchical Storage Management)



Intel SSD 535 Series
 360GB, 2.5in sATA
 6Gb/s



HP XP7ストレージ
 4.6 PB、最大 247 PB 外部ストレージ



Panasonic LB-DM9
 BDx12x90 108 TB



StorageTek SL8500 テープライブラリ
 100,000 LTO = 2,100 PB

補助記憶装置 (ネットワーク対応)

- ネットワークの性能向上や複数のサーバを用いるスケールアウトが普及したことから、近年では複数のサーバで共有する補助記憶装置が一般的となる。
- 1990年代後半に登場したSAN (Storage Area Network) は専用のネットワークを介しブロック単位での入出力が可能で、大規模・高性能システムに用いられる。
- 2005年頃になるとファイル単位でデータを共有する NAS (Network Attached Storage) が登場。設置後すぐに利用できる普及型のアプライアンスサーバもあり個人・小規模法人でも利用されている。

SANの例
 EMC社 VMAX 400K



- 最大 4PB (4,000TB)
- 5076 HDD
- RAID 1/5/6
- SSD/SAS
- Fiber Channel / GbE
- 16Gb/s x 32+
- Dispersion 25m
- Cache 16TB
- 384 CPU core
- HW Encryption

5,000万円～
 (100K - 1,380万円～)

NASの例
 Buffalo 社 LS420DS



- 最大 8TB
- 2 HDD
- RAID 0/1
- sATA
- TCP/IP, WiFi, USB2.0
- (1000 Base-T = 1Gbps)
- Windows, Mac OS
- SMB, CIFS, AFS, FTP, HTTP, BitTorrent

3万円～

<http://www.emc.com/collateral/hardware/data-sheet/h13219-vmax3-ds.pdf> <http://buffalo.jp/product/hdd/network/ls420dc/>

補助記憶装置(クラウド対応)

- クラウドではデータセンター内だけでなく、遠く離れたセンター間での冗長化を行っている。また格段に大量の処理をこなすため、1つ1つ確実な書込みではなく安全性を担保できる範囲でエラーを無視している。
- SDS(Software Defined Storage)では、今までに登場した技術を組みあわせ、利用者の要求に応じたインタフェース、バス(ブロック、ファイル)、装置の組合せ(SSD,SAS,BD,LTO)を柔軟に提供する。さらに管理・管理は自律的に自動化されている。

Microsoft Azure Storage (西日本 2015/10/28日現在)

	Locally Redundant Storage (LRS)	Zone Redundant Storage (ZRS)	eographically Redundant Storage (GRS)	Read-Access Geographically Redundant Storage (RA-GRS)
ストレージのしくみ	1つのデータセンター内でデータの同期コピーを複数作成します。	同一リージョン内または複数のリージョンに位置する複数のデータセンターに3つのデータコピーを保管します。ブロック BLOB 専用です。	LRS と同じように、数百 Km 離れた位置にある 2 番目のデータセンターへの複数の非同期コピーが可能です。	GRS と同じように、2 番目のデータセンターへの読み取りアクセスが可能です。
コピー合計数	3	3	6	6
使用目的	経済的なローカル ストレージまたはデータ ガバナンスへの準拠	ブロック Blob Storage の経済的かつ耐久性の高いオプション	大規模なデータセンターの停電または災害に備えた保護	データの可用性と持続性を最大化するため、停電中にもデータに読み取りアクセスできるようにする
可用性 SLA	99.9読み取り/書き込み (%)	99.9読み取り/書き込み (%)	99.9読み取り/書き込み (%)	99.9書き込み (%) 99.99読み取り (%)
合計1TB未満月額	¥2.45/GB	¥3.06/GB	¥4.90/GB	¥6.23/GB

補助記憶装置(番外編)

汎用的ではないが、その他の記憶装置としては以下のものが過去に登場した。

- 磁気バブルカートリッジ: 1981年に富士通が8bitパソコン FM-8 用に投入したものが有名で、当時の半導体メモリよりも大容量化できる利点があった。FM-8用は128KBが最大であった。
- ROMカートリッジ: 書込み不可のマスクROMを着脱可能にしたもので、初代ファミリーコンピュータ(1983年)で普及、その後スーパーファミコンなどでも利用された。ファミコン登場時はMSXと呼ばれるパソコンでも採用された。
- ディスクシステム: オリジナルは1984年にクイックディスクとして開発され、ファミリーコンピュータの外部記憶装置として1986年に発表・普及した、3.5インチフロッピーに似た形状だが、渦巻状に記録するシーケンシャルアクセスであった。両面で128KB、2.8インチの大きさ。

