

グリーンナノ企画特集 <第 10 回>

グリーン IT に向けての HDD の挑戦



富士通（株）菅谷誠一プロジェクト統括部長他に聞く

1. はじめに

IT 化の進展に伴い、企業 IT システムや個人のパソコンのデータ蓄積は急増し、膨大なデータがインターネットを通して世界中を駆け巡る。データ量の増大と共に、データの保存、処理、転送等の役割を担うデータセンタの消費電力は発電所一つの供給電力に匹敵するともいう。2050 年に温室効果ガスの 50% 削減を目指す Cool Earth 50 は省エネ型情報機器・システムを 21 の重点的に取り組むべきエネルギー革新課題の一つに選んだ。これを承けたグリーン IT イニシャティブは HDD (Hard Disk Drive, 磁気ディスク装置) の消費電力削減を重要課題の一つとする。このような動きの背景、如何に課題に答えようとしているか、ナノテクはどのように貢献するかを伺うべく、富士通（株）本社・川崎工場を訪ねた。お話はストレージプロダクト事業本部 磁気ディスク事業部プロジェクト統括部長 菅谷 誠一氏（写真向かって右）、ストレージプロダクト事業本部 磁気ディスク事業部 部長

付 篠原 徹氏（写真中央）、ストレージシステム事業本部 ストレージインテグレーション統括部プロジェクト部長 関 和久氏（写真向かって左）の 3 人から伺った。（取材日：2009 年 3 月 9 日。なお、富士通の HDD 事業は新設子会社に移管し、2009 年 9 月 1 日にその株式の 80.1% を東芝が取得する形で移管される予定*）

*：2009 年 8 月 7 日現在

2. HDD 省電力化の要請

Cool Earth 50 の重点的に取り組むべきエネルギー革新課題に省エネ型情報機器・システムが選ばれた背景は「グリーン IT イニシャティブの推進」[1] に記されている。すなわち図 1 に示す情報爆発時代の到来と IT 機器の消費電力の急増である。図に見られるように 2006 年から 2025 年の約 20 年間にネットの情報流通量は 190 倍、日本の IT 機器消費電力は 5.2 倍となり、電力は国内総発電量の 20% を占めるに至ると予想される。米国においても

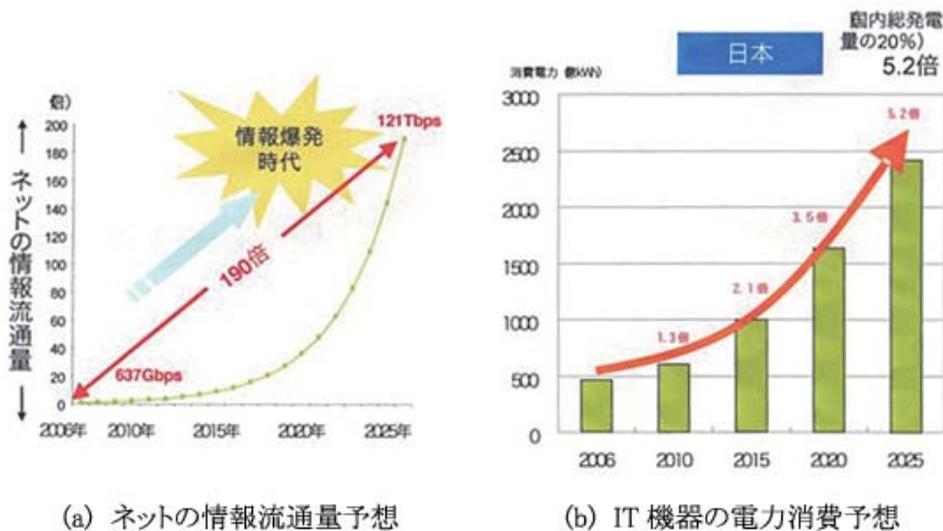


図 1 ネットの情報流通量と IT 機器の消費電力（参考文献 [1] による）

データセンタの消費電力量は過去6年間で倍増したという。Googleは約45万台のサーバを保有し、データセンタの消費電力だけで10億kWhと日本の年間発電量の約1/1000を越えると推定され、送電による損失を少なくするために、新規データセンタは水力発電所近傍に建設中とのことである [2]。

そこで経済産業省はグリーンITプロジェクトを2008年度より発足・推進させることとした。企業・機関・団体約200社が参加するグリーンIT推進協議会も組織された。グリーンITは「IT機器自身の省エネ」と「ITによる社会の省エネ」を車の両輪とする。後者は電気機器、産業用機器、自動車、オフィスビル等の省エネ、温暖化対策へのIT技術の貢献を期待するものである。「IT機器自身の省エネ」ではデータセンタ（サーバ、ストレージ）の消費電力量30%以上の削減、及びネットワーク部分（ルータ）で30%以上の省エネを目指す。このために掲げられた課題の一つが低消費電力HDD記録技術の確立である。

HDDの省エネ化の必要性は以前から指摘されて来た。1995年に省エネ法が制定された時、省エネの主なターゲットは最終製品だったが、部品では唯一HDDがターゲットにされた。例えば、当時の大型データセンタでは、4階建てデータセンタの3フロアを磁気ディスクサブシステムが占めていたというところもあった。当時のディスク径は3.5", 5", 10.5"（"はインチの慣用単位記号）で、径も消費電力も大きかった。HDDの消費電力が大きいためコンピュータ分野のCO₂削減が出来ないとしてその省エネ化がターゲットとされたのである [3]。

現在の情報量の爆発的増加の時代に、低消費電力HDD記録技術の確立は再び、グリーンITプロジェクト加速化のための課題とされた。冷却、省エネルータ、次世代ディスプレイ技術の確立を加えて、グリーンITプロジェクトは次世代ITインフラの革新的省エネ技術としてクラウドコンピューティング（雲と見立てたインターネット上のサーバやソフトウェアを一つのコンピュータ資源として扱うサービス）の開発とその省エネ化を指向する [1]。

3. HDDの現状

3.1 HDDの市場動向

HDDはノートPC用に1.8", 2.5", デスクトップPC、ビデオ用に2.5", 3.5", 企業システム用は2.5"と3.5"が用いられている。ストレージ全体ではSSD (Solid State Drive) の導入が始まったが、省エネ、高速性に優れるものの、高価なため、本格導入時期の予測は人によって異なる。データセンタにおけるデータの長期保管やデータの移動には磁気テープが使われている。

HDD市場動向を図2に示した。電子情報技術産業協会の統計資料 [4] を基に作成したもので、2008年までは実績、2009年以降は見込み又は予測である（2009年は概要説明文中の値、2010年は2009年と2011年の直線補間で推定）。2.5"と3.5"の出荷台数推移を見ると、3.5"から2.5"への小径化の傾向が見られる。合計出荷台数は世界市場において2009年に減少した後、2010年から再び増加に転じると見られている。

3.2 データセンタの中のHDD

データセンタで使う電力は送電されて来る電力を主とし、状況に応じてバックアップ発電機、無停電電源から供給される。この電力はオフィスの照明、空調装置、IT機器などで消費される。データセンタ内各機器の消費電力は参考文献 [1] に図3のように記されている。この図によれば機器冷却が33%を占め、IT機器がこれに次ぐ30%を消費している。

同様なデータが米国環境保護局 (EPA, Environmental Protection Agency) の報告書には表1のように示されている [5]。建物等のインフラが電力消費の50%、サーバ、ネットワーク、ストレージ等のIT機器が残りの50%を占める。表には増加年率も示され、ストレージの増加年率が特に大きい。

EPAはサーバ内の各要素の電力消費を表2のように分

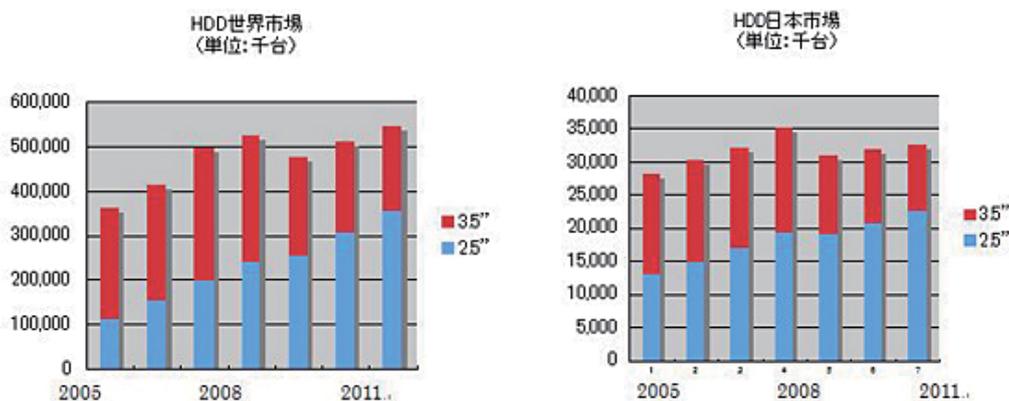


図2 HDDの市場動向 (参考文献 [4] より作成)

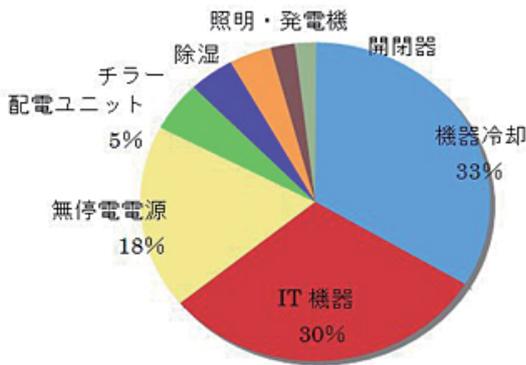


図3 データセンタ内の電力消費 (参考文献 [1] による)

表1 データセンタ内各機器の電力消費の動向 (参考文献 [5] による)

	2000	2006	増加年率
建物等基本設備	50%	50%	14%
ネットワーク設備	5%	5%	14%
ストレージ	4%	5%	20%
ハイエンドサーバ	4%	2%	5%
ミドルレンジサーバ	9%	4%	-2%
端末サーバ	29%	34%	17%
合計	100%	100%	14%

表2 サーバ内要素ごとのピーク電力 (参考文献 [5] による)

CPU	80W
メモリー	36W
ディスク	12W
周辺機器スロット	50W
マザーボード	25W
ファン	10W
PSU(電源)損失	38W
合計	251W

析する。ディスク (HDD) の消費電力はサーバ消費電力の5%を占める。従って、ディスクとストレージを合わせた電力消費はデータセンタの電力消費の7~8%となり、IT機器の15%になる。全体の電力消費は年率14%で増えるのに対し、ストレージの電力消費増加は年率20%と大きい。ディスクも同様とすると、今後同じ増加率で推移すると仮定した場合に10年後にディスクとストレージの消費電力は6倍、データセンタ消費電力に占める割合は12~13%になる。IT機器の消費電力増加は冷却に要する電力を増加させるから、ディスクとストレージの消費電力低減は不可欠となる。

3.3 HDDの電力消費

ストレージシステムを構成するHDD1台当たりの消費電力推移を2つの回転数について、記憶容量別に図4に示した。15,000rpmの場合、1台ごとの消費電力は2001年に73GBが主流になった時は12Wだった。2007年には73GBのトップのもの(最も消費電力の少ないもの)は6Wに半減し、古いものが含まれる平均でも10W

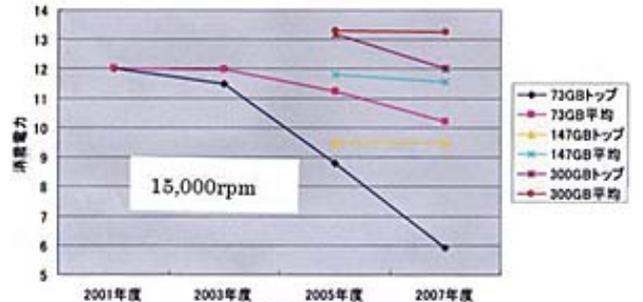
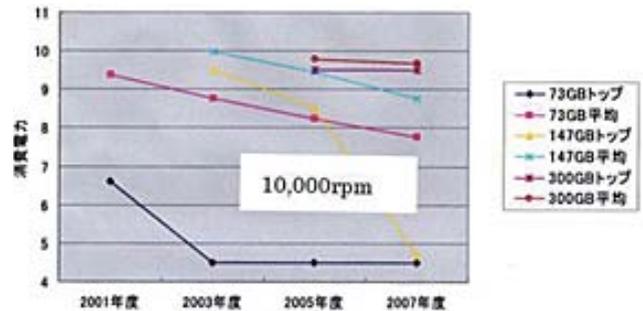


図4 単体磁気ディスク装置の消費電力推移 (提供: 富士通 (株))

に下がる。この消費電力の低減は、記録密度が上がるために同じ容量の装置を少ない媒体枚数や小径のディスクで構成できるようになったからである。2005年からは300GBが使われ始め、その2007年の消費電力は12~13Wである。10,000rpmの場合は早い内に2.5"の装置の使用量が増えて消費電力の低減は15,000rpmより急激である。今後、記録密度の更なる改善で15,000rpm装置も小型化が進む傾向で、記録密度の高容量化で搭載媒体枚数の削減が進み、更なる省電力化が進む方向である。

4. HDDの省エネの進め方

4.1 直径と速度

HDDでは回転数が高いほどアクセス速度は早く高性能である。しかし、図4に見られるように同じ記憶容量でも回転数が高いほど消費電力は大きい。2007年度で見ると、73GBの2.5"の装置で10,000rpmと15,000rpmの省消費電力トップの比較では10,000rpmの4.5Wに対し、15,000rpmでは6.0Wと、約1.3倍になる。その消費電力の差の主要要素は回転速度の上昇によるものである。HDDは次節の図5の要素で構成され、Spindle Motor (SPM)の10,000rpmの装置の構成要素の消費電力で回路部分 (SPMとVoice Coil Motor (VCM)以外の構成要素)は両装置とも大きく変わらないとされている。特にSPMの消費電力が占める割合が約28%と高いことから、10,000rpmのSPMの消費電力を割り出すと、1.26Wになり回路部分は3.24Wとなる。これを15,000rpmの装置で見ると回路部分はほぼ同じく3.24Wとみなすと、

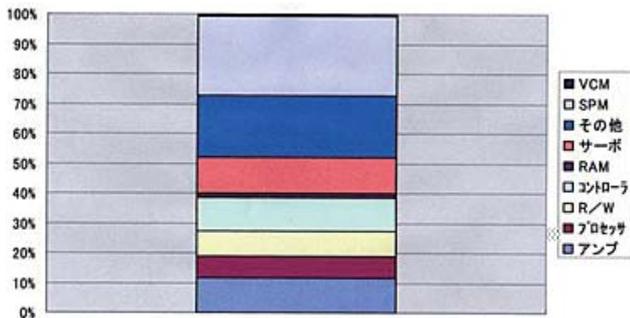


図5 HDD 構成要素の消費電力比率 (提供：富士通 (株))

15,000rpm の SPM の消費電力は 2.76W となり、記憶媒体の回転数に対してその比の約 2.5 乗以上、すなわち $(\text{rpm}_2/\text{rpm}_1)^{2.5}$ 以上になるという。また、高速化によって、VCM のアクセス時の消費電力が増えたとしても、平均アクセスの時間は数 ms と大変に短い時間にアクセス動作が完了するその消費電力は無視できる。

また、同じ記憶容量を持つ装置も記録密度が向上することで、当初 3.5" でしか達成できなかった装置記憶容量が 2.5" の装置で達成できるようになり、使用している記憶媒体の直径の小径化によって、消費電力は低減できる。小さい媒体を回す摩擦は軽くなり、消費電力も小さくて済む。ディスクの直径 D に対してはその比の 4 乗以上、すなわち $(D_2/D_1)^4$ 以上の SPM の消費電力の低減効果がある。機構部を小径化することで動作安定性も向上する。

4.2 HDD 構成要素の電力消費

HDD 構成要素ごとの消費電力を図 5 に比較した。10,000rpm, 2.5" の HDD について消費電力比率を示している。VCM は 1% だが、SPM は 28% を占める。サーボ、コントローラ、アンプが各 10%、プロセッサが 7~8%、R/W (Read/Write) が 7~8%、データ処理用 RAM が 1% 程度の消費電力で電子回路で約 70% を占めている。従って、大きな割合を占める SPM 系と電子回路系の消費電力削減が求められる。

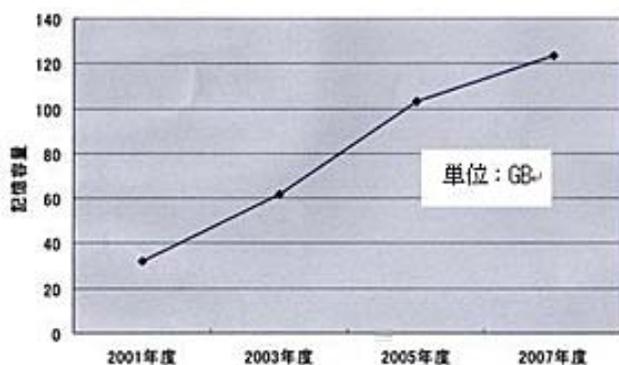


図6 HDD の記憶容量と消費電力推移 (提供：富士通 (株))

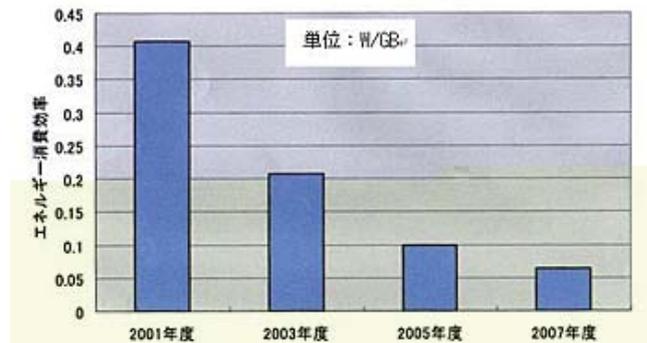


図7 HDD のエネルギー消費効率推移 (提供：富士通 (株))

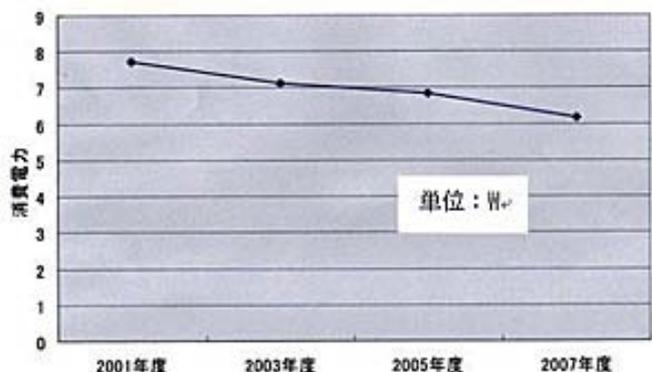
4.3 HDD 省エネの推進

前節までに述べたように、HDD の省電力化にはディスクの径を小さくしたり、搭載媒体枚数を削減したり、電気系・制御系の消費電力削減が必要になる。記録密度の向上は現在も進んでおり、ディスクの径を小さくしたり、搭載媒体枚数を削減して、記憶容量は年々増加して行く。図 6 には HDD 1 台当たりの記憶容量と消費電力の推移を示した。3 年間に記憶容量は 3 倍以上に増えるのに消費電力は逆に 20% 下がっている。この結果、エネルギー消費効率は図 7 のように 0.41W/GB から 0.06W/GB に低下している。

5. ナノテクの貢献

5.1 記録密度の向上

HDD の消費電力はディスクの小径化、周辺回路や電気系の省電力化によって低減されて来た。小径にしてなお大容量化するには記録密度の向上が不可欠である。図 8 には HDD 技術の推移を、記録密度と共に示した。縦軸はビット単位で書かれているが、概ね 1 平方インチ当たりの b/in^2 で表した記録密度に相当する。1Gb/in² になると 1 ビットが占める面積は一辺 0.8 μm の正方形に相当し、一辺の長さは 800nm のナノ領域に入る。1990 年代後半



5.2 ナノテクノロジーへの期待

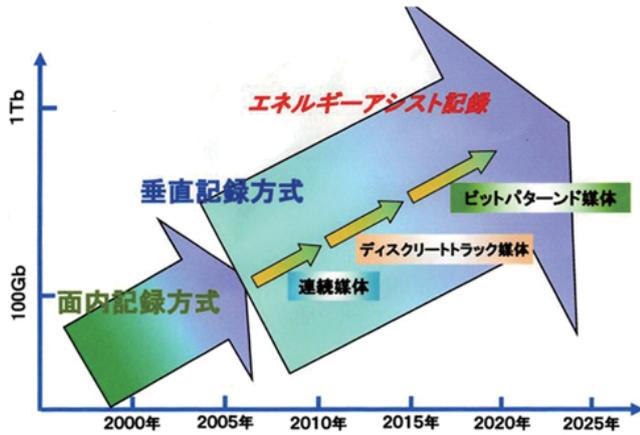


図8 HDD技術の推移（提供：富士通（株））

には年率60%以上の伸びを示し、2010年以降に1Tb/in²の実現を目指した研究・開発が進んでいる[6]。2005年までの記録密度向上には面内記録から垂直磁気記録への移行が寄与している。現在市場に出ている装置の記録密度は250～300Gb/in²である。300Gb/in²は1ビットが2150nm²=(46nm)²の面積、1Tb/in²は(25nm)²に相当する。HDDの技術の進歩は記録密度で表わされる。しかし、その内情はビットサイズ縮小へのナノテクの挑戦であった。

垂直記録方式の技術で400Gb/in²まで行けるだろうという。しかし、500Gb/in²以上にするにはディスクリットトラック媒体からビットパターン媒体に進み、エネルギーアシスト記録が必要になる。ディスクリットトラック媒体は記録トラックの間を非磁性体で仕切るものであり、ビットパターン媒体では非磁性体で仕切る単位がトラックからビットになる。1Tb/in²では1ビットの面積が(25nm)²だから、25nmの中に磁性体と非磁性体を取める微細加工が求められることになる。この要求には電子線描画やナノインプリント技術の適用、ナノサイズの計測技術の研究・開発で応えようとしている[7]。

記憶内容が安定に保持されるには記憶ビットの持つ磁気エネルギーが熱的擾乱より大きくなければならない。磁気エネルギーは記憶ビットの体積に比例するから、記録密度の上昇のため記憶ビットの体積を小さくするには磁気異方性エネルギーの大きい材料を選ばねばならない。磁気異方性エネルギーが大きいと磁気だけでは書き込みが難しくなるので熱エネルギーの助けを借りることになる。その熱エネルギーもナノサイズの領域を区別して供給する必要があるためレーザを光源にし、光を波長以下の寸法に絞り込める近接場光学を利用することになる[8]。ナノテクノロジーはHDDの高性能化、低消費電力化のためになくってはならない技術である。

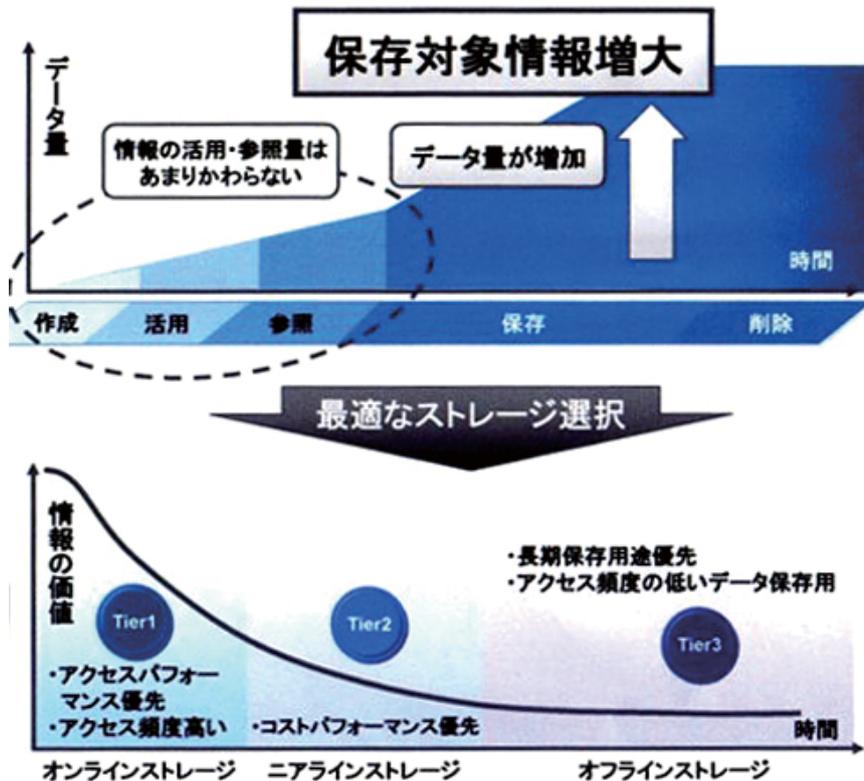


図9 情報ライフサイクル管理の必要性（提供：富士通（株））

6. サブシステムからのアプローチ

6.1 情報のライフサイクルマネジメント

単体磁気ディスク装置を組合せてストレージサブシステムを構成し、サブシステムでデータセンタのストレージシステムを組み上げる。データセンタの省エネのため単体磁気ディスク装置の低消費電力化に加え、ストレージサブシステムの低消費電力化を図る。これにはまずライフサイクルマネジメントを考える。図9に示すようにデータは作成→活用→参照→保存→削除のサイクルを廻る。この過程で情報量は増えるが情報価値は下がる。データは年率50～60%で増加し、保存したままになっているものが多い。そこで情報価値の変化に応じてデータを階層化して適切なストレージへの自動格納を行う。業務で作成されたアクセス頻度の高いファイルはSSD(Solid State Drive, フラッシュメモリ適用)や高速ファイバチャネル搭載のオンラインストレージ、永続的なファイルは大容量・安価なディスク搭載のニアラインストレージ、長期保存されるアクセス頻度の低いデータはMAID(Massive Array of Idle Disks)機能搭載のオフラインストレージに配置する。ハードでいうなら、例えば15,000rpmのHDDから7,200rpmのHDDに移し、保存のみなら磁気テープを使う。不要な時はディスクの回転を止める。バックアップ用ファイルは、最初からニアラインストレージやオフラインストレージに配置する。1ヶ月アクセスがなかったファイルは下の階層に落とす。最後は所定期間(例えば5年間)経過したら削除する。この操作を人手でなく自動的に行ってファイルを最適に配置する。

6.2 省電力・省スペース

ストレージシステムのグリーン化においては省電力・省スペースに加えて、次節に述べるストレージの統合、容量仮想化による運用効率向上を図る。

省電力・省スペースには最先端技術でハードを減らすことが有効だった。即ち、図10に示すようにRAID on chipにより、RAIDコントローラをワンチップ化した(RAID: Redundant Array of Independent Disk)。1チップ化により、故障率は低減し、基板サイズ、部品点数ともそれぞれ60%縮小した。この結果、装置サイズは1/2、質量は70%となった。年間消費電力は1台当たり、2,100kWh削減出来た。

6.3 運用効率の向上

容量の仮想化はサーバから見える容量を、搭載しているハードの容量より大きく見せる技術である。システム管理者がここ1年は10TBで良いが、5年後は50TB必要と考えたとする。物理ディスクはさしあたり10TBだけ用意する。図11に示すようにサーバからの書き込みルートごとにディスク領域は5年後を見た容量を割り当てるが、最初は20～30%しか埋まらないので残りは物理ディスクに割り当てない。ボリュームの埋っただけを物理ディスクに収めるから当初は10TBの物理ディスクで済む。物理ディスクが一杯になったらハードを追加するが、サーバ側の運用を変えずに増設できるから、サーバからは常時50TBのディスク容量に見えている。必要なだけ増強するから物理ディスクの無駄が少ない。

運用効率向上には重複排除機能を付ける。ファイル名が異なれば同じ内容のものも保存してしまう。そこで、図12のように各拠点のバックアップサーバによりブロッ

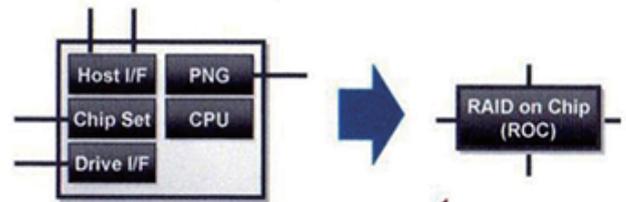


図10 RAIDコントローラの1チップ化(提供:富士通(株))

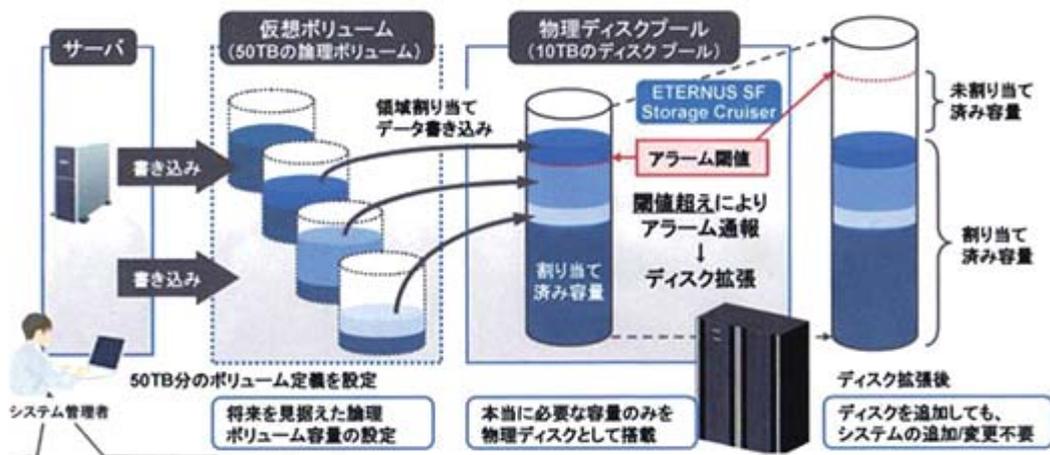


図11 容量の仮想化(提供:富士通(株))

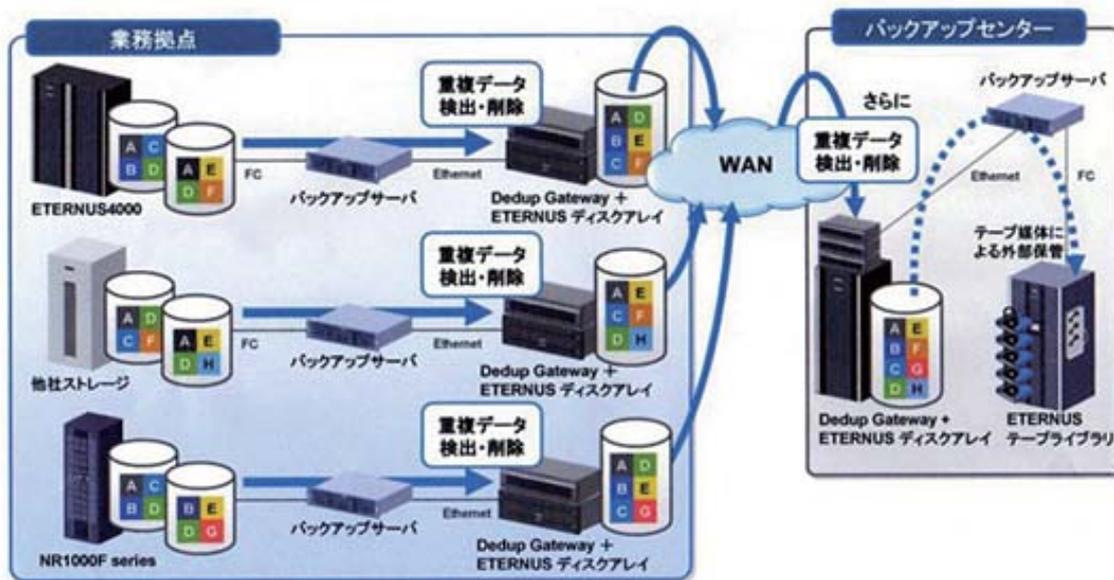


図 12 重複排除機能 (提供：富士通 (株))

ク分けしたデータを比較して重複データの検出・削除を行う。各拠点のバックアップサーバは WAN (広域ネットワーク) を通じてバックアップセンターに接続され、バックアップセンターで拠点間の重複を排除する。重複排除後のデータはバックアップセンターの磁気テープに保存し、災害時に備える。

7. おわりに

Cool Earth 50 に向け、IT 化による省エネルギー化も期待されている。しかし、IT 化の進展に伴う情報量の急増により、情報処理や蓄積能力の大きな向上が必要になり、IT 機器自身の電力消費の増大がおこる。データセンターの場合、現在は約 1 割を占める HDD の電力消費の割合は年々増加し、これを冷却する空調の消費電力も含めて看過できない状況になると言われている。

これまで継続してきた単体磁気ディスク装置の省エネルギー化の根幹には物質・材料の基礎に支えられた記録密度の増加があり、10 年以上前にナノの領域に達している。低消費電力化の要請に対しては今後さらにビットサイズの縮小により記憶密度を向上させる必要があり、ディスクリットトラック媒体、ビットパターンド媒体、熱エネルギーアシスト等の新記録方式の開拓が考えられている。その実現に要求されるものは極めて高度なナノテクノロジーの追及である。

最終的に求められるのは IT システムの省電力化であり、サブシステムからの省電力化のアプローチが行われている。基礎となる物質・材料から、単体ディスク装置、サブシステムと、垂直的な広がりを持った省電力化へ向け

て HDD の挑戦が続いている。

参考文献

- [1] グリーン IT イニシアティブの推進 平成 20 年 10 月 経済産業省商務情報政策局 高濱航
- [2] グリーン IT イニシアティブ 平成 19 年 12 月 6 日 経済産業省
- [3] GISPRI ニュースレター「省エネルギー法改正について」 1995 年 5 月
- [4] 情報端末関連機器の世界・日本市場規模および需要予測 電子情報技術産業協会
- [5] U.S. Environmental Protection Agency ENERGY STAR Program, "Report to Congress on Server and Data Center energy Efficiency", Public Law 109-431
- [6] Z. Z. Bandic and R. H. Victoria, "Advances in Magnetic Data Storage Technologies", Proc. IEEE, Vol. 96, No. 11, pp. 1749-1753, Nov. 2008.
- [7] E. A. Dobisz, Z. Bamdic, T.-W. Wu, and T. Albrecht, "Patterned Media: Nanofabrication Challenges of Future Disk Drives", Proc. IEEE, Vol. 96, No. 11, pp. 1836-1846, Nov. 2008.
- [8] M. H. Kryder, E. C. Gage, T. W. McDaniel, W. A. Challener, R. E. Rottmayer, G. Ju, Y. -H. Hsia, and M. F. Erden, "Heat Assisted Magnetic Recording", Proc. IEEE, Vol. 96, No. 11, pp. 1810-1835, Nov. 2008.

(古寺博)