

テープストレージ動向 <2026版>

Revision : 2.1

一般社団法人 電子情報技術産業協会
テープストレージ専門委員会
2026/05

目次

1. テープストレージの未来
2. テープの歴史と技術革新
3. 記憶容量向上の歴史
4. 転送速度
5. 信頼性を支える技術
6. 高記録密度を支えるサーボ技術
7. 省エネルギー効果
8. WORM技術と暗号化技術
9. LTFS(Linear Tape File System)
10. テープメディア製造技術
11. テープオートメーション
12. 補足資料



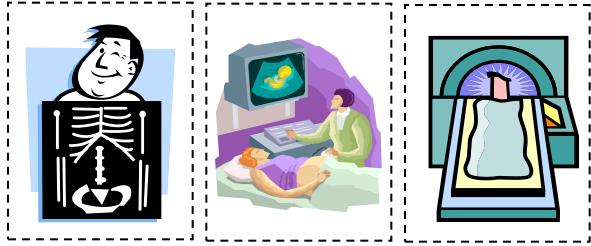
第1章

テープストレージの未来

1. テープストレージの未来

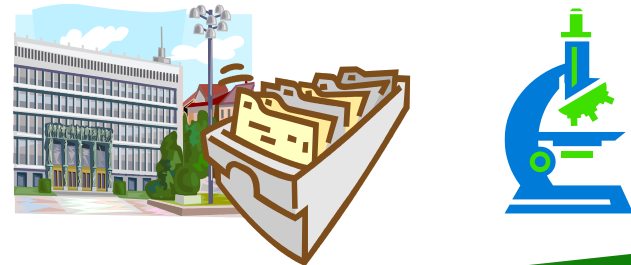
◆ データ量の増加と長期保管へのニーズ

- 超高解像度・詳細なパーソナライズされた医療データのセキュアな長期保管
- 製品に関わる設計図、仕様書などをまとめて長期保管(ディスクバリー法への対応など)



- 監視カメラのデータを期間単位で保管
- 映画・ドラマなどの映像を素材を含め保管

- 長年にわたる膨大な研究データを保管(高度化したセンサー情報、ゲノムなど)



ネットワークやデバイスの高度化や技術革新により生成、管理、再利用されるデータ量やファイルサイズは増大の一途をたどっている。

データの大容量化で求められるのは
経済的な保管

1. テープストレージの未来

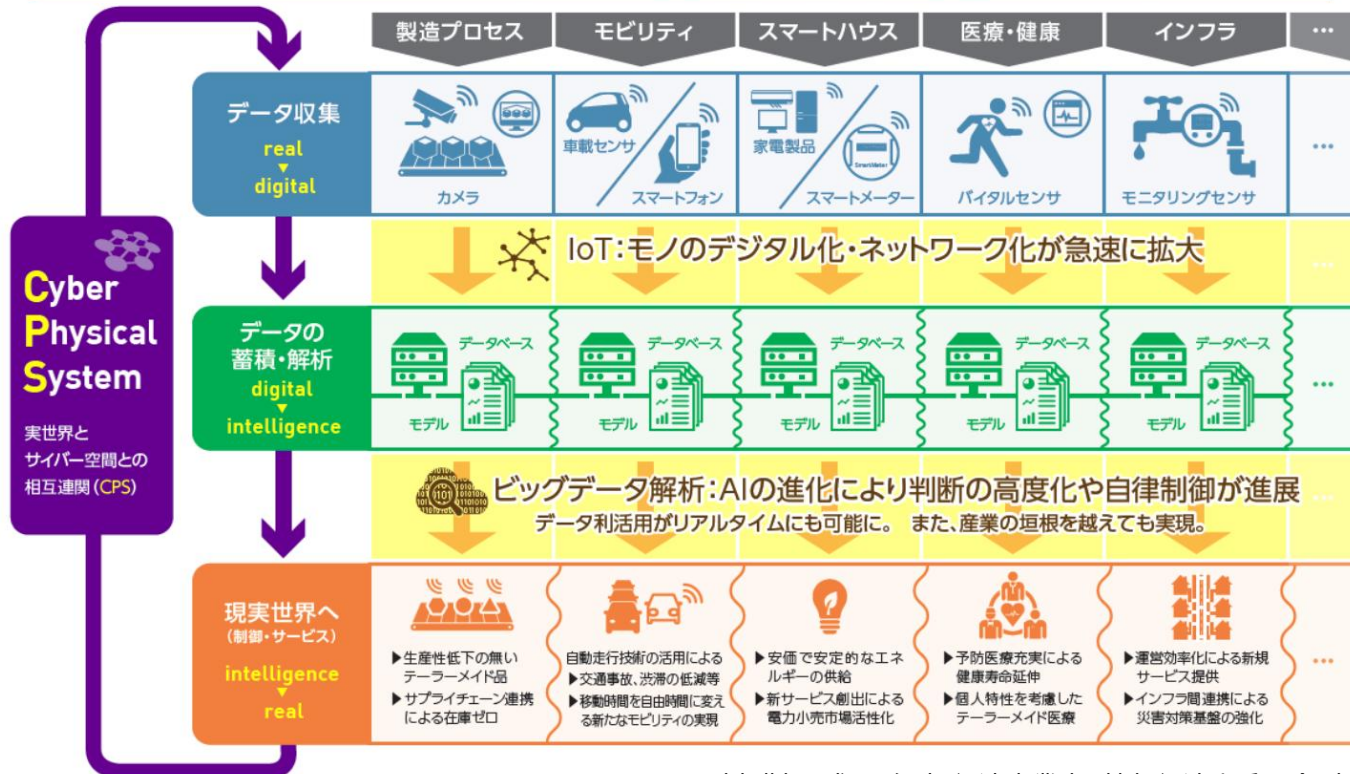
◆データを戦略的に利活用する時代の到来

データがなければ何も始まらない。分析したいと思った時に貯めはじめたのでは遅い。

社会全体がCPSにより変革される「データ駆動型社会」

CPSによるデータ駆動型社会

▶ 実世界とサイバー空間との相互連関 (Cyber Physical System) が、社会のあらゆる領域に実装され、大きな社会的価値を生み出していく社会



(出典)平成27年度 経済産業省 情報経済小委員会 中間取りまとめ報告書

CPS: Cyber Physical System。デジタルデータの収集、蓄積、解析、解析結果の実世界へのフィードバックという実世界とサイバー空間との相互連関。

1. テープストレージの未来

◆爆発的に増え続けるデータは2027年に291ゼタバイト超へ

全世界で流通するデジタルデータ量が飛躍的に増大

米国の調査会社IDCによると、国際的なデジタルデータの生成量は飛躍的に増大しており、**2027年には291.7ゼタバイト**に達すると予想されています。(https://www.lto.org/cybersecurity/)

データ生成量の増加にともなって、全世界で保存されるデータの総量は**2027年には15.1ゼタバイト**に達すると予測されている。これは生成量の約5%のデータが保存されていることになる。(https://www.lto.org/2024/11/how-to-manage-massive-volumes-of-data-for-ai-and-survivability/)

LTOテープメディアの出荷容量が176エクサバイトに

データ生成量が急激に増加し、サイバーセキュリティ対策が必須となっているなか、LTOテクノロジーは信頼性が高く、費用効果の高い長期アーカイブストレージとして利用され続けています。**2024年のLTOテープメディアの全世界での出荷容量は176.5エクサバイト**を超えました。

(出典) LTO TAPE TECHNOLOGY SHIPMENTS SCALE TO NEW HEIGHTS. https://www.lto.org/2025/07/lto-tape-technology-shipments-scale-to-new-heights/



第2章

テープの歴史と技術革新

2. テープの歴史と技術革新

コンピューターのテープストレージの登場は、今から70年以上前にさかのぼる。現在では、当時と比較すると容積比で375万倍以上のデータを人間の髪の毛の10分の1ほどの薄さの磁気テープに保存するまでテープストレージは進化した。この世界初のコンピューター用磁気テープは、その後続くデジタル記録用記録テープの基本的要素がすべて含まれている。

ここでは、その時代の特徴的な製品を時系列に取り上げる。

◆1950年代「テープの黎明期: ストレージの主演」

- ✓ 1951年: UNIVAC (現Unisys)社から世界初の商用データ記録磁気テープ
- ✓ 1952年: IBM社は3M社が開発した磁気テープを使ったModel 726テープユニットを発表
 - 書き込まれたデータを直後に読み取って確認する、読み取り・書き込み一体型ヘッドや、NRZIレコーディング、CRC機能を初めて実装
 - 現在の磁気テープでも一般的である下地層のPET(ポリエチレンテレフタレート)フィルムに記録層を塗布する構造を採用
- ✓ 1955年: IBM社Model 727テープユニット

参考)1956年IBM社から最初のハードディスクストレージのModel 350ディスクストレージが登場したが、容量サイズと消費電力が実用的でないことから、1970年代までは一般には使われなかった。

2. テープの歴史と技術革新

◆1970年代《すでに存在していたバーチャルテープストレージ》

- ✓ 1972年: 3M社とTandberg社が開発したQICフォーマットが登場
- ✓ 1974年: IBM社テープ・ディスク・ハイブリッド製品3850MSS(Mass Storage System)を発表
 - シリンダ状で容量100MBのカートリッジを7000個格納できるテープオートメーションと、DASD(Direct Access Storage Devices)システムの組み合わせで、ディスクをキャッシュとして扱った
 - 人手を必要とするテープの不便性の解消とディスクのランダムアクセス性を併せ持つ画期的なシステム
 - 現在のバーチャルテープストレージの原型

注: バーチャルテープストレージは、ホストからの要求のキュー処理やエラー回復処理などの最先端技術があったが十分成熟しなかったこと、またDASDとテープさらにオートメーション機器一体型のシステムで高コストだったなどの理由で、市場を拡大するには至らず、早すぎたデビューであった

2. テープの歴史と技術革新

◆1980年代「テープ第1の危機 - 小型大容量化、ミッドレンジ製品の普及」

背景)HDDの技術革新によりディスクストレージ市場が拡大、オンラインデータストレージが普及。テープは、データ保存(アーカイブ)、データ交換媒体としてのオフサイト使用に限定されていった。さらに光ディスクの登場によって、リムーバブルメディアとしてもテープの地位は低下した。そのような状況の中でテープは、HDDに先駆けた薄膜ヘッドの採用、1/2インチシングルリール、ヘリカルスキャン等による高密度化と、テープオートメーション※による大容量化、自動化を進めていった。

※テープライブラリー/オートローダの総称

- ✓ 1984年:IBM社のIBM3480 (200MB)
 - 世界初のAMR再生ヘッドやシングルリールのテープカートリッジ
 - AMR再生ヘッドの採用はHDDの約6年前であった
- ✓ 1984年: DEC(現HPE)社のTK50 (94MB)
 - 1/2インチシングルリールカートリッジで、当時主流であったQICや8mmテープなどの2リールカートリッジから省スペースを実現
- ✓ 1987年: DEC (現HPE)社のTK70 (294MB)
- ✓ 1987年:StorageTek(現Oracle)社のStorageTek4400ライブラリー
- ✓ 1980年代後半: Exabyte社の家庭用8mmビデオをもとにしたデータ記録用システム
 - 1巻当たり2.4GBという高性能から、1990年代前半まではオープンシステムのデファクトスタンダードの地位を確立

注: ()内は非圧縮時の容量

2. テープの歴史と技術革新

◆1990年代「第2の危機 – テープオートメーションとローエンドへの展開」

背景)HDD の急激な大容量化、パーソナルコンピュータの普及によって、HDD市場がさらに拡大した。それに対し、テープはエラー訂正コード(ECC)やPRML信号処理、ヘッド技術、ホストインターフェースなどのHDD技術を取り込み対応した。より大容量、高速化のためにテープオートメーションを普及させ、さらにミッドレンジ・オープンシステムへの展開が進んだ。またDATやAITなどで、より低価格帯市場への普及も行った。

- ✓ 1993年 : IBM社のIBM3495テープライブラリー
- ✓ 1994年 : Exabyte社の8mmテープ(7GB)
: Quantum社のDLT4000(20GB)
: ソニー社とHP社から、音楽用DAT(Digital Audio Tape)ベースのDDS
: IBM社のミッドレンジ・オープンシステムライブラリー3494
- ✓ 1996年 : Exabyte社のmammoth(20GB)
: ソニー社のAIT-1(25GB)
- ✓ 1998年 : IBM社のIBM3590E(40GB)
: Quantum社のDLT8000(40GB)
- ✓ 1999年 : Exabyte社のmammoth2(60GB)

注: ()内は非圧縮時の容量

2. テープの歴史と技術革新

◆2000年代「LTO規格の登場」

背景)ライブラリーによる大規模ストレージ管理が広がったが、それまでのテープフォーマットでは、容量と転送速度において技術の限界があった。ミッドレンジリニアテープの世界では、業界共通オープンフォーマットを確立しようという動きが起こり、HP社、IBM社、Seagate社(現Quantum社)が共同で開発したオープン規格のLTOが登場した。

✓ 2000年 :第1世代のLTO(100GB)

✓ 2002年 :第2世代のLTO(200GB)

- 参考 2003年 :IBM社の3592(300GB)*

✓ 2004年 :第3世代のLTO(400GB)

- 参考 2006年 : Sun Microsystems/StorageTek社(現Oracle社)のT10000(500GB)*

✓ 2006年 :第4世代のLTO(800GB)

- 参考 2008年 :IBM社のTS1130(1,000GB)*

- 参考 2008年 : Sun Microsystems/ StorageTek社(現Oracle社)のT10000B(1,000GB)*

注: ()内は非圧縮時の容量。参考はエンタープライズテープ

2. テープの歴史と技術革新

◆2010年代以降「LTO規格の発展」

背景)2014年にこれまで第8世代までだったLTOロードマップが第10世代、2017年には第12世代、2022年に第14世代までに拡張された。これを実現するために、面記録密度の向上に寄与する新メディア素材、ヘッドやサーボ技術の開発が現在も続いている。これまで以上にテープストレージの特長が生かせるクラウド領域のデータアーカイブ需要は広がっている。

- ✓ 2010年 :第5世代のLTO(1,500GB)
 - ・ 参考 2011年: Oracle社のT10000C(5,000GB)*
 - ・ 参考 2011年: IBM社のTS1140(4,000GB)*
- ✓ 2012年 :第6世代のLTO(2,500GB)
 - ・ 参考 2013年: Oracle社のT10000D(8,500GB)*
 - ・ 参考 2014年: IBM社のTS1150(10,000GB)*
- ✓ 2015年 :第7世代のLTO(6,000GB)
 - ・ 参考 2017年: IBM社のTS1155(15,000GB)*
- ✓ 2017年 :第8世代のLTO(12,000GB)
 - ・ 参考 2018年: IBM社のTS1160(20,000GB)*
- ✓ 2020年 :第9世代のLTO(18,000GB)
 - ・ 参考 2023年: IBM社のTS1170(50,000GB)*
- ✓ 2025年 :第10世代のLTO(30,000GB)
- ✓ 2026年 :第10世代のLTO エンタープライズ メディア(40,000GB)

注: ()内は非圧縮時の容量。参考はエンタープライズテープ



第3章

記憶容量向上の歴史

3. 記憶容量向上の歴史

◆テープ記憶容量増加の変遷

- ✓ 商用のデータ記録用テープ装置が出現してから70年以上が経過
- ✓ 容積あたりの記憶容量は右肩上がりで増加(右図)

磁気テープの容量は、以下の計算式で決まる。

テープの記憶容量 = テープの表面積 × 面記録密度

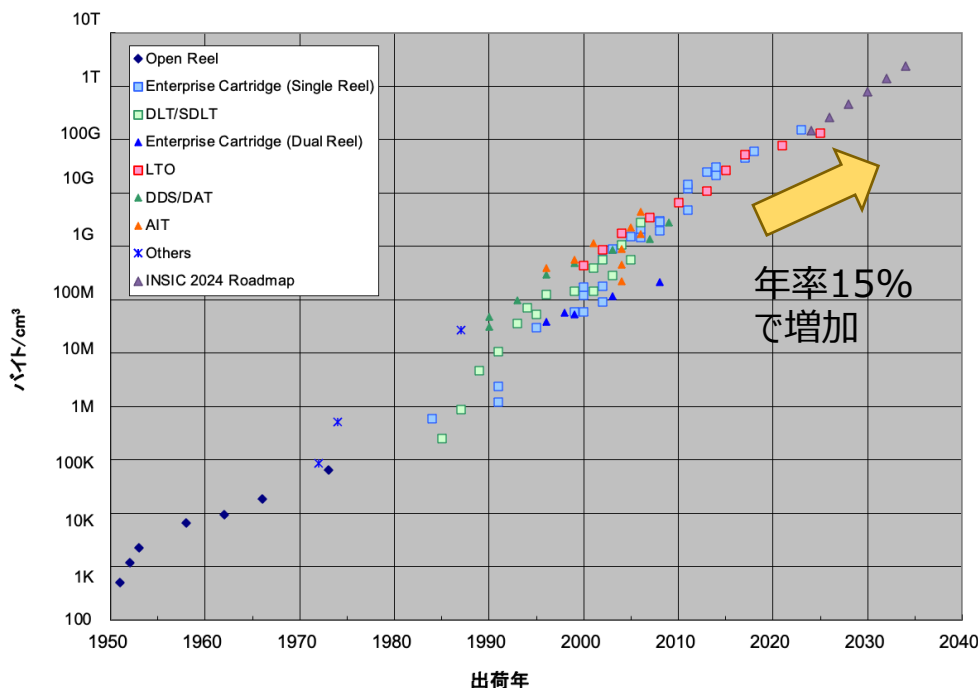
ここで、

テープの表面積 = テープ幅 × テープ長
面記録密度 = トラック密度 × 線記録密度

となる。また、

トラック密度: 単位長あたりのトラック本数
線記録密度: 単位長あたりのビット数

を意味する



テープカートリッジの容量(1cm³)あたりのバイト数(データ非圧縮時)

(出展)INSIC International Magnetic Tape Storage Technology Roadmap 2024, March 2024
<https://insic.org/wp-content/uploads/2024/08/INSIC-International-Magnetic-Tape-Storage-Technology-Roadmap-2024-1.pdf>

上記から、テープの記憶容量を増加する方法としては、大きく分けると次の3種類となる

- ✓ テープ厚の削減によるテープ長の増加*
- ✓ トラック密度の増加
- ✓ 線記録密度の増加

* テープ幅は、規格上、あまり変えることはしない

3. 記憶容量向上の歴史

テープ厚の削減によるテープ長の増加

◆テープは媒体を薄く、長くすることで記録面積を増やせる

- ✓ ベースフィルムや磁性層を薄くすることにより、テープを長くできる
 - 最新のLTO-10 エンタープライズ・メディアのテープ長は1,337mと、2000年に出荷されたLTO-1のテープ長である609mに比較して、2倍以上の長さを実現している。
- ✓ こんなに薄いテープのベースフィルム
 - テープのベースフィルムには、PET(ポリエチレンテレフタレート)、PEN(ポリエチレンナフタレート)、アラミドのいずれかが使用されている
 - 最新のLTO-10 エンタープライズ・メディアの厚さは4.0 μ mで、LTO-1の8.9 μ mに比較して1/2以下の厚みとなっている。
- ✓ 磁性層(テープの厚みのもう一つの要素)
 - 磁性層をベースフィルム上に形成するために、磁性体を接着・粘着性のある物質と混ぜ 合わせてベースフィルムに塗る方法(塗布)を用いている
 - 磁性体の改良や製造工程の改良により、磁性層の厚みもどんどん薄くなってきている

3. 記憶容量向上の歴史

トラック密度と線記録密度の増加

◆トラック密度と線記録密度の増加で面記録密度は2桁アップの余地

- ✓ 線記録密度を増加するには
 - 記録単位に相当する磁区(*)の大きさ(長さ)を小さく(短く)する
 - 磁性体の粒を小さくすることに加え、高い周波数で記録を行う
 - 小さい磁区から読み取るため、以下の研究開発が行われている
 - 記録ヘッドが作り出す磁界の大きさを小さくするために、(記録のための)漏れ磁界を作り出すギャップを小さくする
 - 小さい磁性体、薄い磁性層からの微小な磁気の変化を読み出すための読み取りヘッドの感度を上げる
 - 小さい磁界で確実に書込み・読取りを行うために、磁性面の平滑度を上げて、ヘッドと磁性面の距離を微小・一定に保つ
- ✓ 線記録密度とトラック密度の増加のためのヘッドの小型化の技術
 - 書き込みヘッドには半導体の製造プロセスと同様なプロセスで製造される薄膜ヘッドが使われている
 - 読み取りヘッドはMR素子を利用した薄膜ヘッドが利用されている

※ 磁場の方向が揃っている区域

3. 記憶容量向上の歴史

トラック密度の増加

◆幅12.7mmに15104トラックの驚異！

サーボで正確にトラックを追従

✓ 1mmあたり1189本以上のトラック！

※ 上記はLTO-10の例。詳細は、第6章を参照のこと

✓ トラック密度を増加させるための、記録トラックの幅を狭くする技術

- 書き込みヘッド、読み取りヘッドの幅を狭くする
- テープ、ヘッド、ヘッドを支持している機構、テープの走行路などの寸法精度（製造精度、組立精度）を上げる
- ヘッドとテープ（あるいはトラック）の位置関係を制御するためのサーボ方式の改良

3. 記憶容量向上の歴史

テープリールとテープカートリッジ規格の変遷

	オープンリール	カートリッジMT (18トラック)	LTO-10
容量(MB、非圧縮)	4.8	200	30,000,000*
外形寸法(cm)	φ27.44×2.858	12.5×10.9×2.45	10.2×10.54×2.15
体積(cm ³)	2152(直方体として計算)	334	231
単位体積辺りの容量 (オープンリールを1とした場合の相対値)	1	270	58,000,000
トラック数	9	18	15104
線密度(kbits/mm)	0.2	1.0	21.7
テープ幅(cm)	1.27	1.27	1.27
テープ長(m)	732	165	1035
テープ厚(μm)	48	25~33	5.2
出荷開始時期	1953年	1984年	2025年



磁気テープ媒体(透明サンプル)

*2026年エンタープライズ向けの非圧縮容量が40,000,000MBのカートリッジがリリース



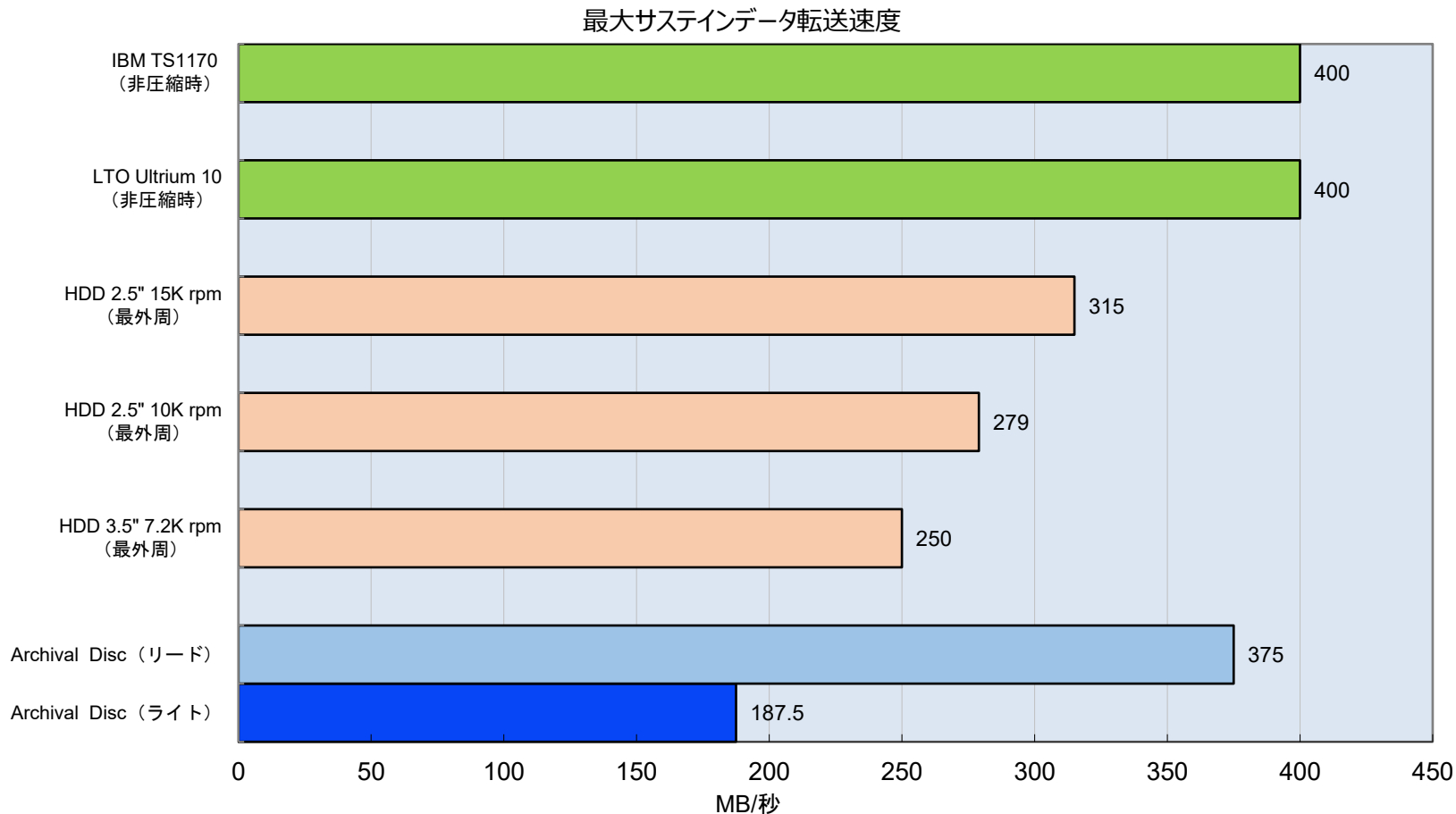
第4章

転送速度

4. 転送速度

ハードディスク/光ディスクドライブとの比較

◆各種ドライブの転送レート比較



- テープドライブの転送速度は、データ非圧縮時の値。データ圧縮の効果があると転送速度は数倍の向上が期待できる
- HDDでは、その記録方式の性質上、円盤の内周側に向かって、最高速度から低下していく。（最内周では最速値のおよそ50%の値に低下することもある）
- 記録媒体（メディア）がリムーバブルという同じ特徴を持つBlu-rayやDVDと比べても、テープドライブの方が高速。

4. 転送速度

マルチチャンネルヘッド

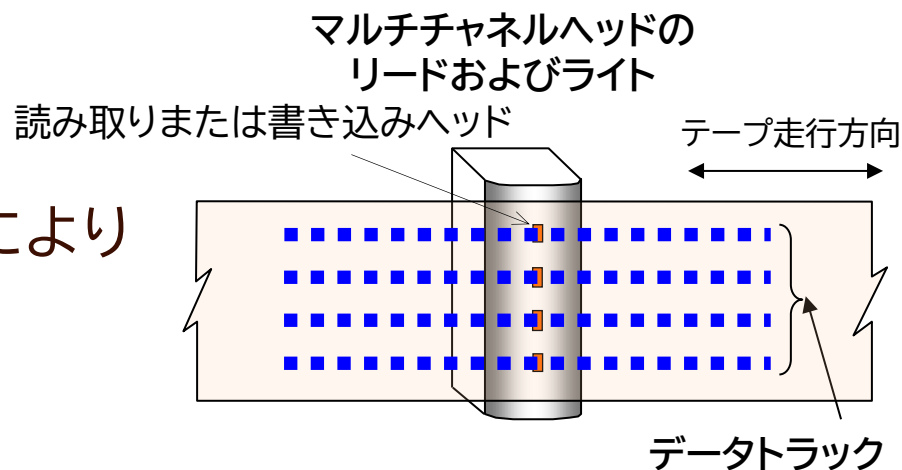
◆マルチチャンネルヘッドによる転送速度の高速化

- ✓ LTOなどが採用しているリニアサーペンタイン方式のデータ転送速度は下記の積に比例

テープ走行速度×線記録密度×ヘッドチャンネル数

- ✓ ヘッドチャンネル数を増やすことによりデータ転送速度を向上できる

※ 例: LTO-1~2は8チャンネル、
LTO-3~6は16チャンネル、
LTO-7~10は32チャンネル



4チャンネルの例:
4トラック同時のリード及びライト



第5章

信頼性を支える技術

5. 信頼性を支える技術

Read While Write機能

◆データ書き込み時のRead While Write機能

ドライブから取り出して持ち運んだり、長期間保管するような使い方を前提とし、データを間違いなく記録・再生するというユーザーの期待に応えるための様々な機能をもつ

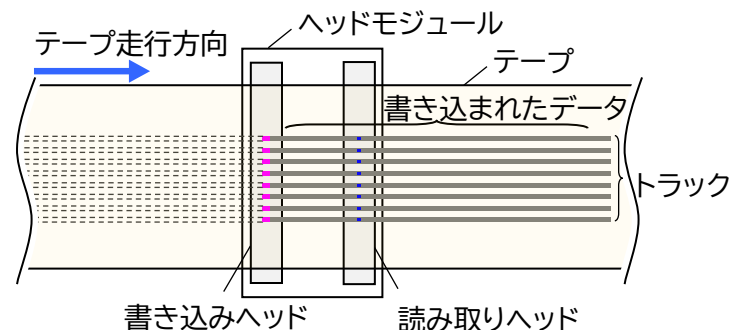
✓ LTOにおけるデータ書き込み時のRead While Write機能

- データを書き込む時には、ユーザーデータがテープメディアに確実に間違いなく書き込まれていることが最も重要
- テープにデータを書き込んだ直後に今書いたデータがテープから読み直せるかどうかを確認

書き込みヘッドと読み取りヘッドで実現

- 読み取りが失敗した場合、書き込みに何らかの問題があったと判断し、そのデータをもう一度書き直す

これを**Rewrite機能**と呼ぶ



5. 信頼性を支える技術

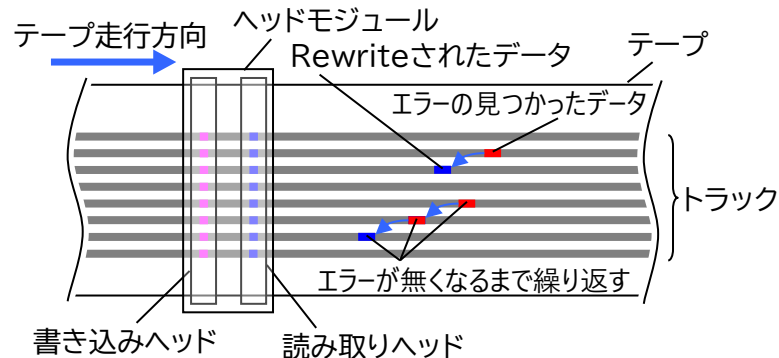
Read While Write機能

◆データ書き込み時のRead While Write機能（続き）

✓ Rewrite時のイメージ

LTOテープドライブは同時に書き込むトラック数と同じ数のヘッドの対を備え、並列にデータを書き込むことで、高速な書き込み速度を実現している。この複数のヘッドを持つという特徴を最大限に活かしている

- いずれかのトラックでデータの読み取りができなかった場合、そのデータを書き損じたヘッドとは別のヘッドで改めて書き込む
- Rewriteでも「Read While Write」は機能するので、読み取りができなかった場合には、さらにRewriteを繰り返す



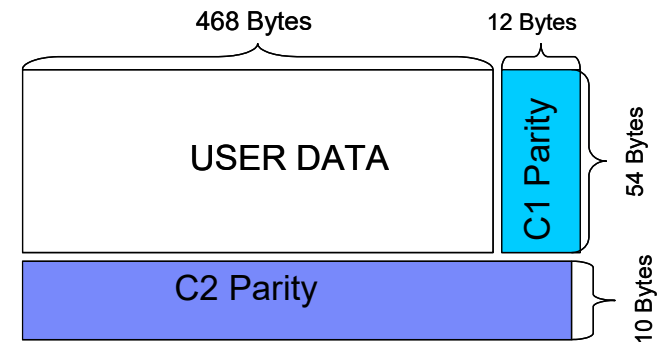
LTOテープドライブでは、書き込みヘッドを次々と切り替えることで、たとえトラックの一本が書き込みできない状況にあったとしても、効率よくRewriteを実行し、容量やパフォーマンスへの影響をできる限り小さくしている

5. 信頼性を支える技術

データ読み取り時の技術(ECCの強力なエラー訂正能力)

◆データ読取り時の技術(ECCの強力なエラー訂正能力)

- ✓ 先述のような技術を使って確実にテープメディアに書き込むことができたユーザーデータは、磁気信号として記録した瞬間から、寸分違わず全くそのままの状態記録磁気信号を維持し続けることは物理的に不可能
 - ・ 記録された磁気信号の読み取りが困難になることが充分にあり得る
- ✓ そのような場合でも、記録したデータを正確に読み取るための機能の一つがECC(Error Correction Code:誤り訂正符号)
 - ・ LTOのECCには非常に強力なエラー訂正能力がある。理論的には、書き込まれているデータの15%が正しく読み取れなくなっても、データを訂正して再生する能力がある
 - ・ ユーザーデータに加えて、ユーザーデータから計算したパリティ(Parity)と呼ばれる計算値を使って訂正を行う
 - ・ ユーザーデータを横468バイト、縦54バイトの形に並べて、その横一列のデータから計算したC1パリティと、縦一列から計算したC2パリティの2種類のパリティを使用する
 - ・ 縦・横それぞれの列の中で複数個のデータが読み取り出来なくても、同じ列の読み取り可能なデータから計算することで、読み取れなかったデータを算出(再生)することができる



LTO-1の誤り訂正用 ECC

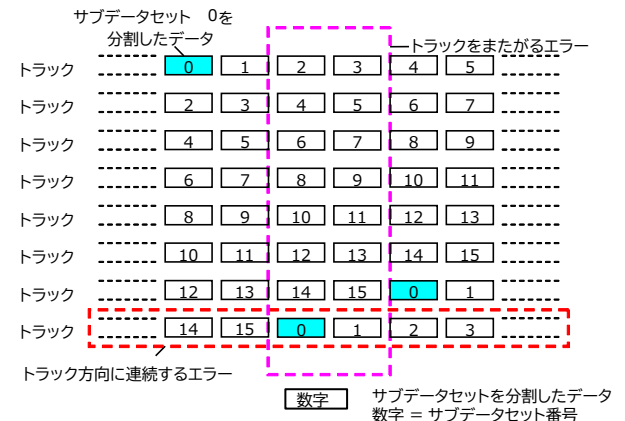
補足:パリティを含めたデータのひとかたまりを、サブデータセットと呼ぶ

5. 信頼性を支える技術

データ読み取り時の技術(ECCを補うインターリーブ)

◆データ読み取り時の技術(ECCを補うインターリーブ)

- ✓ ECCで訂正できるバイト数は、サブデータセットの縦・横それぞれの列の中で上限がある
- ✓ 読み取りできないデータが複数の列に散らばっている場合には、それぞれの列でECCを使って読めなかったデータを算出することができるが、同じ数の読取りエラーが全て同じ列で発生してしまった場合には、ECCで算出できる限度を超えてしまい、結果的にデータは読み取れなくなってしまう
 - 物理的なダメージによりテープメディアに小さな傷がついてしまった場合を考えると、傷の周辺に記録されているデータにエラーが集中してしまい、LTOの強力なECCでも訂正できないことが考えられる
- ✓ テープドライブはこのサブデータセットのデータを一箇所にもまとめて記録するのではなく、テープメディア上を縦横両方向に広く分散させて書き込みを行う
 - 物理的なダメージによる読取りエラーの発生率を低減させるインターリーブという手法を用いる
 - (右図の例)小さな四角形がサブデータセットを分割した一つのパーツである。ここでは0から15の番号をつけた16個のサブデータセットを細かいパーツに分割したうえで、分散させて記録している様子を示す
 - 横方向(トラック方向)に傷がついても、縦方向に傷がついても、同じサブデータセットのパーツができるだけ含まれないようにしている
 - さらに、傷ついてしまったパーツについては先述の強力なECCで読めなくなったデータを算出することで、結果としてデータ全体を見た場合の読取りエラーに対する信頼性を向上させている





第6章

高記録密度を支えるサーボ技術

6. 高記録密度を支えるサーボ技術

比喩でその制度を理解

◆ヘッドの正確なトレースを実現するサーボ技術

✓事前に記録されたサーボバンドパターンにより高精度なトラッキングが可能

✓LTO-10のトラッキング精度の比喩

- 精度を「鹿児島－札幌」間の直線距離(1,600km)の道路で例えると、道路上の直線でのブレは、約1mm

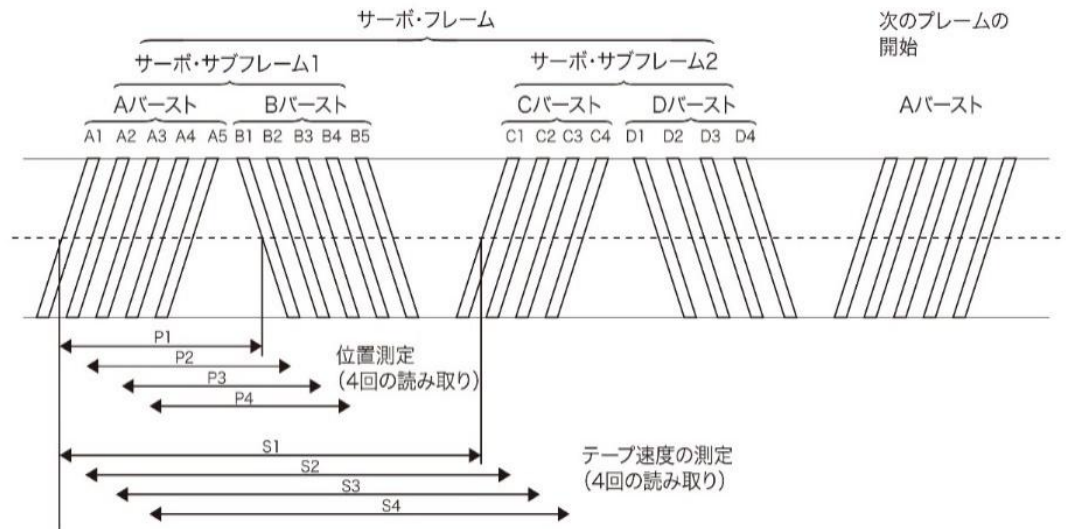
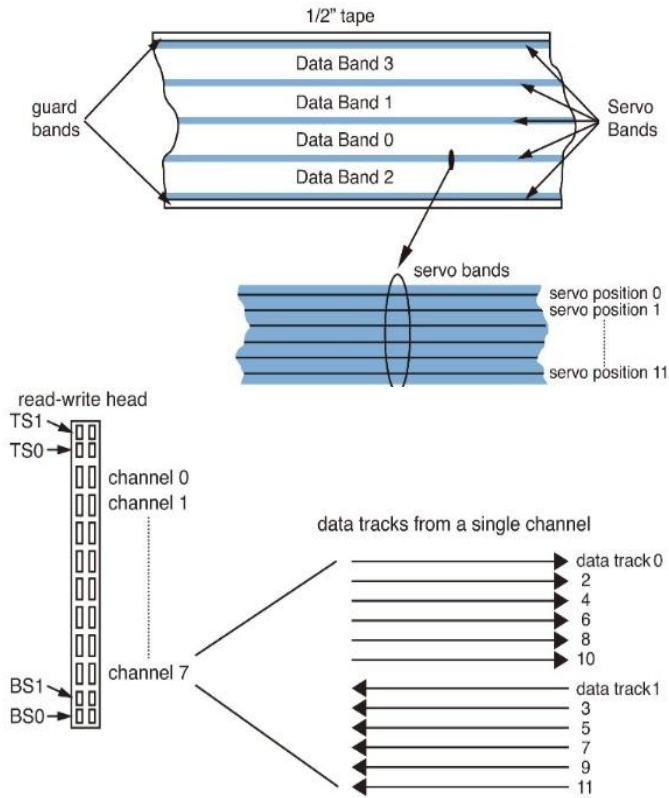


6. 高記録密度を支えるサーボ技術

サーボバンドパターンのメリット

◆それだけでは無い事前記録サーボバンドパターンのメリット

- ✓ ヘッド位置の検出
- ✓ テープ速度の測定
- ✓ 製造情報などをエンコードして保持





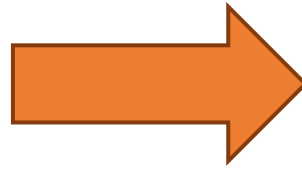
第7章

省エネルギー効果

7. テープストレージの省エネルギー効果

「2050年カーボンニュートラル」脱炭素社会の実現に向けたストレージの有り方

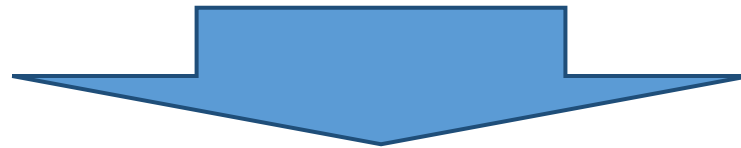
年々、地球温暖化は
深刻化



その対策が全世界共通の
課題に

日本政府は、二酸化炭素(CO₂)などの温暖化ガスを
2030年度にマイナス26.0%(2013年度比)に削減する
目標を掲げたが、2020年10月に
2050年までに温室効果ガスの排出を全体として
ゼロにする「2050年カーボンニュートラル」に挑戦し、
脱炭素社会の実現を目指すことを宣言

世界のデータセンター事業者も『カーボンフリーエネルギー調達』に積極的に
取り組んでいるが、今後ITシステムが脱炭素社会の実現に大きな役割を求め
られ、さらなる低消費電力化・CO₂排出量の低減が必要に。



Green ITの取り組みへ

7. テープストレージの省エネルギー効果

ITシステムにおける低消費電力化、およびCO₂排出量の低減を実現する手法「Green IT」の2つのアプローチ

・ Green by IT

業務のIT化による効率向上、ITシステム機器・設備の高度な電力制御などにより従来よりも環境への負荷を低減すること。

- 文書の作成・管理にIT機器を導入して、紙の使用量を減らす
- ペーパーレス化、テレビ会議などの活用による出張の削減・テレワーク化の推進
- 通信ネットワークで遠隔地を結んで行う遠隔授業や遠隔医療
- 住宅やオフィスのエネルギー利用の最適化、など



エネルギーの利用効率を高めて環境改善を推進

・ Green of IT

コンピューターシステムの電力消費や発熱の増大を低減することで、コスト削減と環境対策の両立を目指すこと。

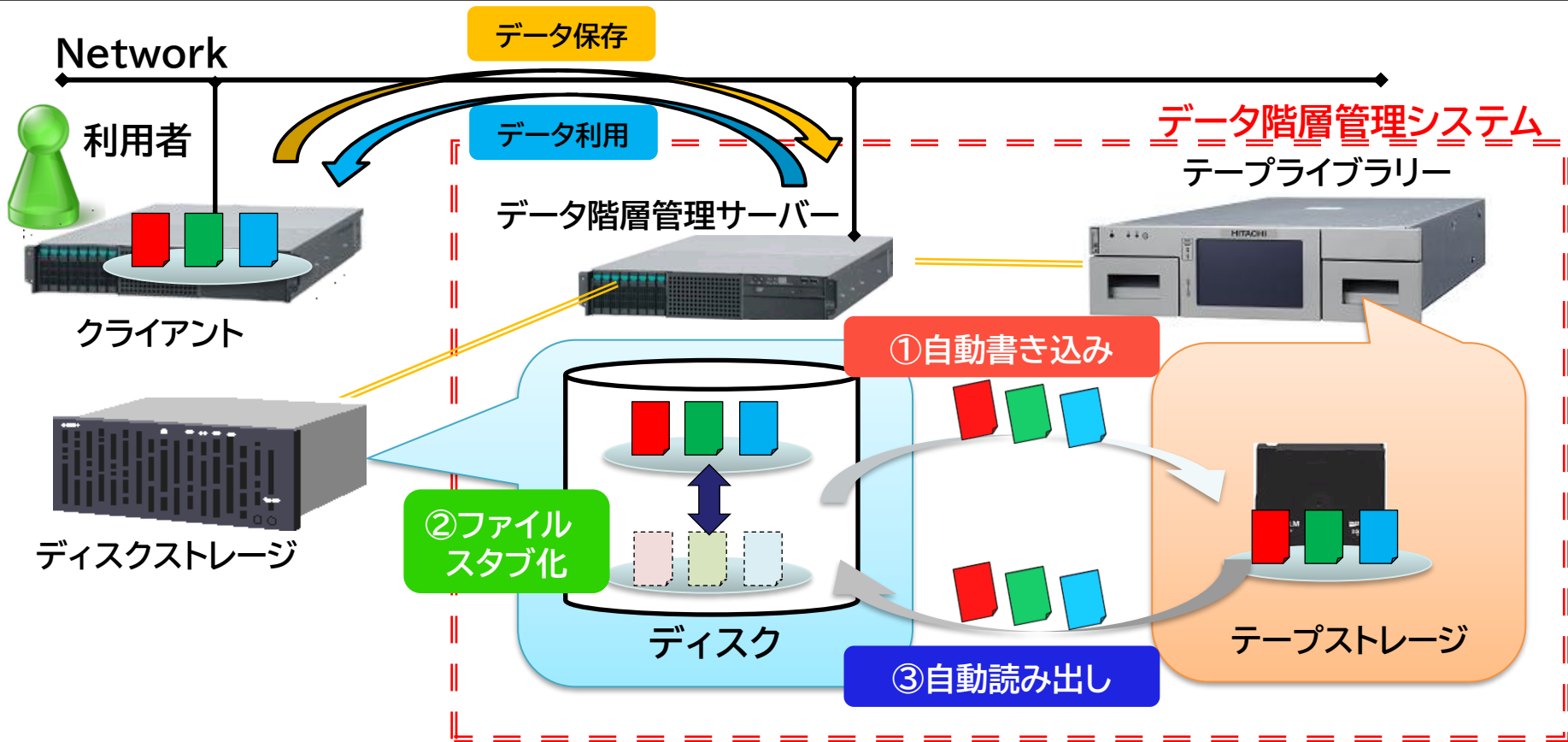
- 消費電力を抑えた半導体製品の活用
- サーバー統合化や仮想化、クラウド化などを活用した機器の台数削減・利用効率の向上、など



ストレージ製品の低消費電力化を推進し、ストレージシステムの構成や運用を見直して最適化を図ることが、消費電力の削減に効果的であり重要

7. テープストレージの省エネルギー効果

ディスクとテープを組み合わせたシステム構成の一例(データ階層管理システム)



動作	内容
①自動書き込み	データのアクセス頻度に応じて自動的にディスクからテープにデータ移動(書き込み)
②スタブ化	ディスク内のデータを管理情報のみにする(データのスタブ化)
③自動読み出し	スタブ化されたデータが使用されるとテープから自動的にデータを読み出す

7. テープストレージの省エネルギー効果

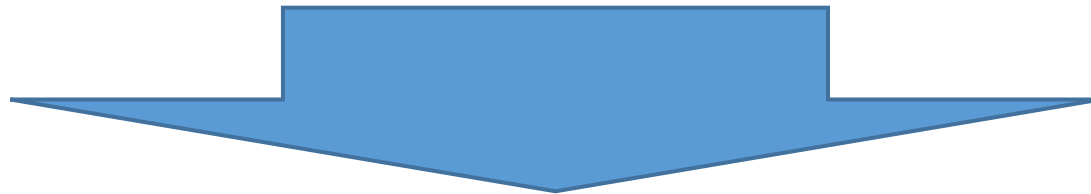
データ階層管理システムにおけるテープストレージの優位性比較

◆テープストレージの優位性

HDDなどのオンラインストレージに比べ、一般にアクセス性能では劣るものの、記憶容量あたりのコスト・体積・消費電力などの面では優れている。

◆データ階層管理システム

大量のデータを蓄えるストレージシステムは、保存媒体の階層化を行い、データごとに重要度や参照頻度などの情報を管理する。重要度や参照頻度が低いデータは自動でHDDからテープへ移動する。



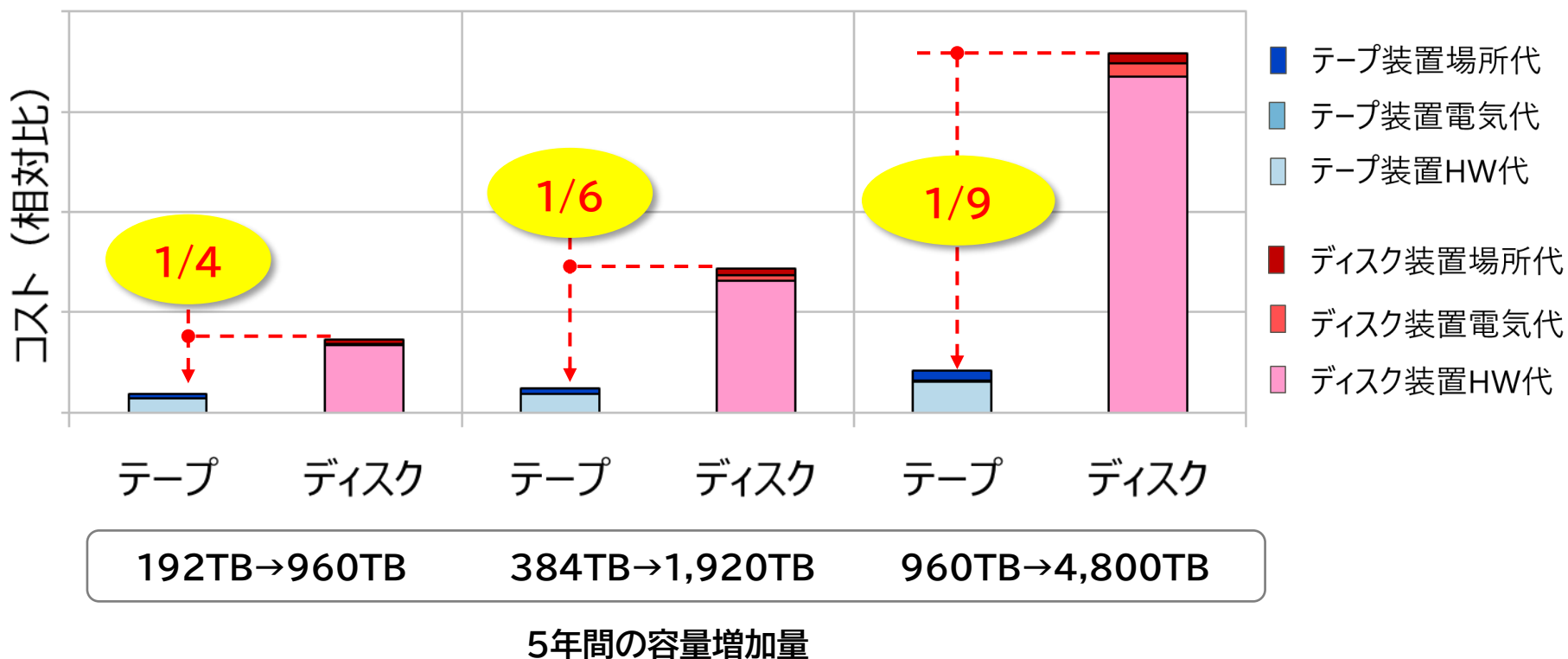
テープストレージは、システム性能にほとんど影響を与えることなく、データ保管に要するトータルコスト(TCO)と、CO₂排出量を低減することが可能

7. テープストレージの省エネルギー効果

テープストレージの優位性比較①:TCO※Total Cost of Ownership

5年間にかかる費用は、テープはディスクの1/4程度でトータルコスト(TCO)もテープが圧倒的に有利。

アクセスしなくなったデータをテープ装置へ移動することで、5年間にかかる費用は1/9になる。



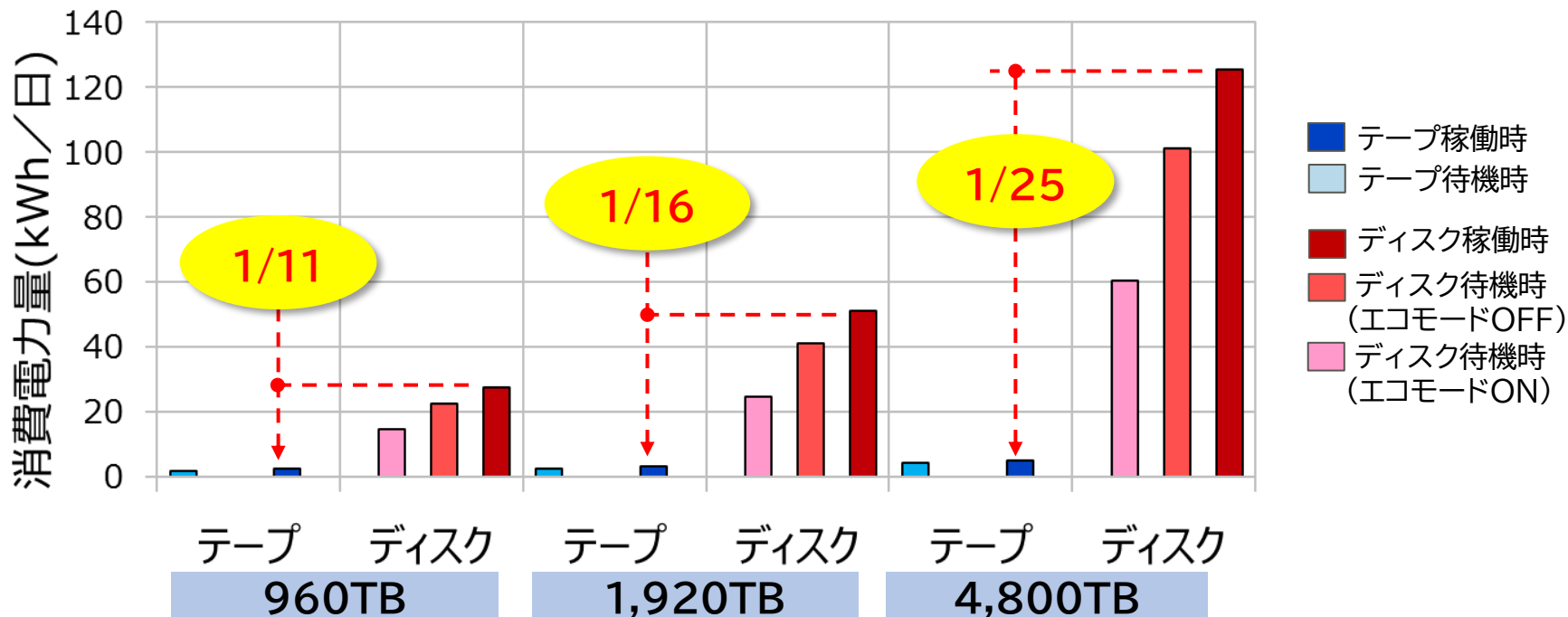
※テープ装置 :80巻テープライブラリー、LTO-8ドライブ搭載(非圧縮12TB)

※ディスク製品:RAID6 構成、高密度実装タイプ、エコモード、Near Line 18TB HDD

7. テープストレージの省エネルギー効果

テープストレージの優位性比較②:消費電力量

テープストレージの消費電力量は、ディスク製品に比べて約4~10%で大幅な消費電力量の削減につながる。



<ul style="list-style-type: none"> ・テープ :約2.4万円 ・ディスク:約27万円 	<ul style="list-style-type: none"> ・テープ :約 3万円 ・ディスク:約49万円 	<ul style="list-style-type: none"> ・テープ :約 4.7万円 ・ディスク:約121万円
---	--	---

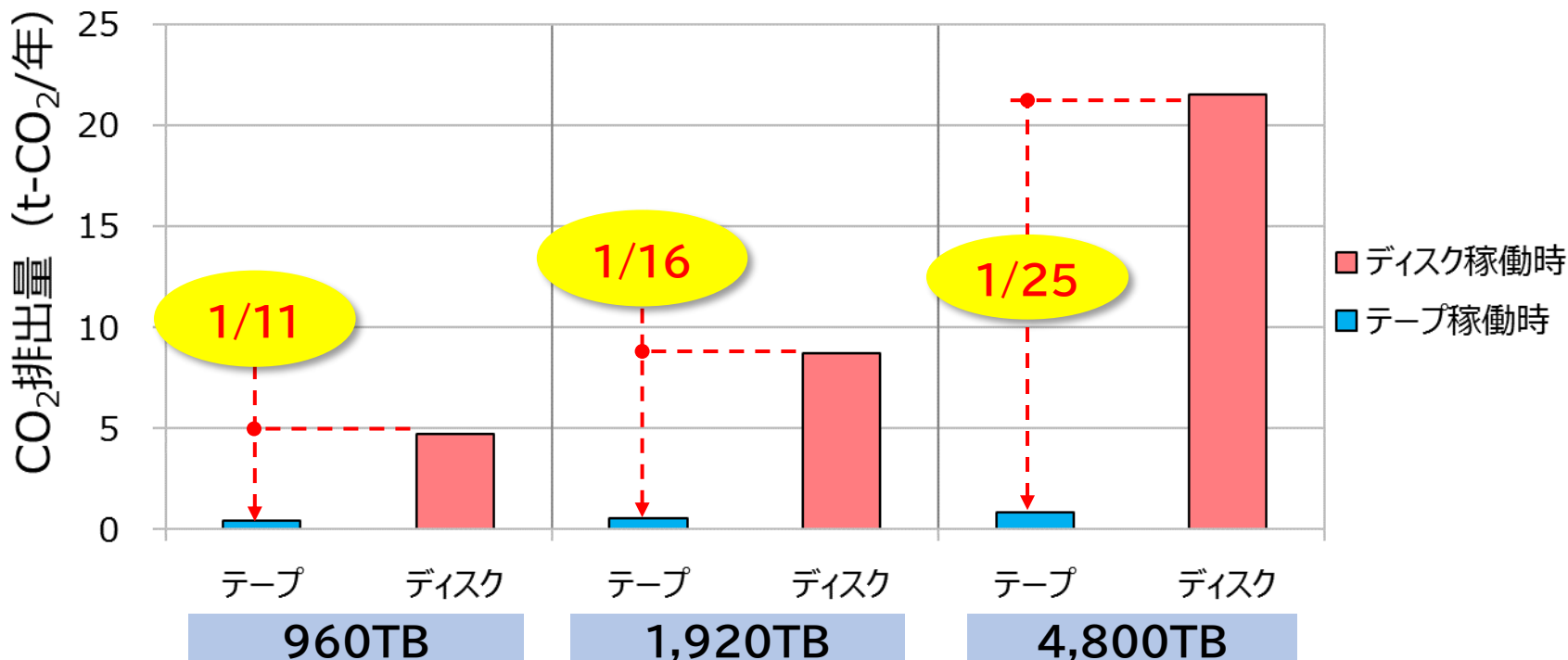
1年間の電気料金
(稼働時)

※テープ装置 :80巻テープライブラリー、LTO-8ドライブ搭載(非圧縮12TB)
 ※ディスク製品:RAID6 構成、高密度実装タイプ、エコモード、Near Line 18TB HDD

7. テープストレージの省エネルギー効果

テープストレージの優位性比較③:CO₂排出量

テープストレージのCO₂排出量はディスク製品に比べて約4~10%。
 4.8PBの容量のディスク装置は、1年間に21.5tのCO₂を排出するのに対して
 同容量のテープ装置は1tの排出で収まる。



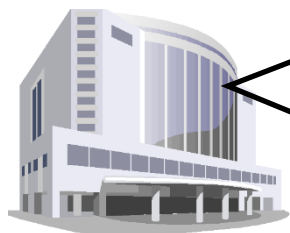
テープ : 約0.54(t) テープ : 約0.67(t) テープ : 約1.05(t)
 ディスク : 約4.73(t) ディスク : 約8.73(t) ディスク : 約21.5(t)

1年間の
CO₂排出量
(稼働時)

※テープ装置 : 80巻テープライブラリー、LTO-8ドライブ搭載(非圧縮12TB)
 ※ディスク製品: RAID6 構成、高密度実装タイプ、Near Line 18TB HDD

7. テープストレージの省エネルギー効果

【1PBモデル】 システム構成例「消費電力削減」



サーバー/ストレージ 構成例



x サーバー 15台









x ディスクストレージ(計 約1PB)

ディスクストレージ



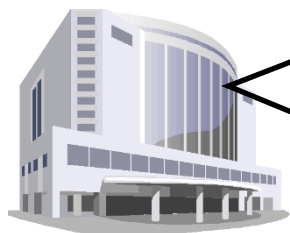
トータル約1PB=980TB x1ユニット

960TBx1ユニット = **約10,074kWh/年**

#	ディスク容量	テープ容量	比率/トータル容量	消費電力
組合せ パターン1	 96TB + 	864TB	ディスク(1):テープ(9) (トータル 約1PB)	約1,571kWh/年 (84.4% 低減)
組合せ パターン2	 192TB + 	768TB	ディスク(2):テープ(8) (トータル 約1PB)	約2,515kWh/年 (75.0% 低減)
組合せ パターン3	 288TB + 	672TB	ディスク(3):テープ(7) (トータル 約1PB)	約3,460kWh/年 (65.7%低減)

7. テープストレージの省エネルギー効果

【1PBモデル】 システム構成例「CO₂削減」



サーバー/ストレージ 構成例



x サーバー 15台









x ディスクストレージ(計 約1PB)

ディスクストレージ トータル約1PB=960TB x1ユニット



960TBx1ユニット = **CO₂排出量 約4.73t/年**

#	ディスク容量	テープ容量	比率/トータル容量	CO ₂ 排出量
組合せ パターン1	 96TB	+ 	ディスク(1):テープ(9) (トータル 約1PB)	約0.74t/年 (84.4% 低減)
組合せ パターン2	 192TB	+ 	ディスク(2):テープ(8) (トータル 約1PB)	約1.18t/年 (75.0% 低減)
組合せ パターン3	 288TB	+ 	ディスク(3):テープ(7) (トータル 約1PB)	約1.63t/年 (65.7%低減)

7. テープストレージの省エネルギー効果

【1PBモデル】 システム構成例「消費電力・CO₂削減」テープ/ディスク装置の年間CO₂排出量

960TBのテープ/ディスク装置が排出するCO₂量を基準に算出した。

運用条件:毎日、約526GBのデータをライト(アーカイブ)し、5年間で960TBのデータを蓄える。
24時間通電状態で、データライト時(=稼働時)と、それ以外(=待機時)の時間より算出。

表1 テープ/ディスク装置の年間CO₂排出量

		テープ装置	ディスク装置(Hot)	(参考) ディスク装置(Cold)
待機時	電力(W)	71	940	600
	時間(h)	23.69	0	23.69
稼働時	電力(W)	105	1,150	1,150
	時間(h)	0.31	24	0.31
1日当たりの消費電力(Wh)		1,710	27,600	14,569
年間の消費電力(kWh/年)		624	10,074	5,318
年間CO ₂ 排出量(t)*		0.294	4.735	2.499

*年間CO₂排出量(t) = 年間の消費電力 × k(係数: 0.000470)

テープ装置:LTO-8(非圧縮12TB)×80巻、2ドライブ搭載 ライブラリ装置
ディスク装置:18TB/7.2krpm3.5インチニアラインHDD RAID6+ホットスペア1、
Hot=24時間稼働、Cold=データライト時以外は省電力モードON

7. テープストレージの省エネルギー効果

磁気テープ(LTO)装置のPC-USB接続での使用例

PCで日々生成されるデジタルデータは、通常は内蔵または外付けのディスク装置へ保存され、増え続ける。



データ生成～保存に多くの電力を消費し、CO₂排出にも深く関係

PC環境でのデータ長期保存ニーズに対しては、ディスク装置に依存すること無く磁気テープを活用することで、トータルの消費電力量やCO₂排出の削減に大いに有効

ノートPCやデスクトップPC



磁気テープ装置



USB接続

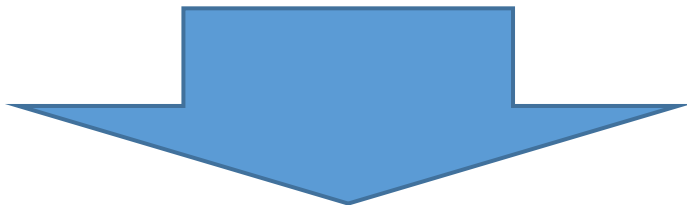
7. テープストレージの省エネルギー効果

省エネルギー効果のまとめ

新たなテープフォーマット・ファイルシステム
LTFS (Linear Tape File System) が登場。

テープカートリッジをUSBメモリーや光学ディスクと同様のインターフェースで提供することが可能になり、テープ装置は一般ユーザーにも手軽に利用が可能になった。

省エネルギー効果が高かったテープストレージをデータの保存先として利用することが容易になり、ストレージシステム全体のTCO (Total Cost of Ownership) および消費電力量・CO₂排出量の削減が可能になった。



テープは、地球環境の保護に貢献するエコなストレージ



第8章

WORMと暗号化の技術

8. WORM技術と暗号化技術

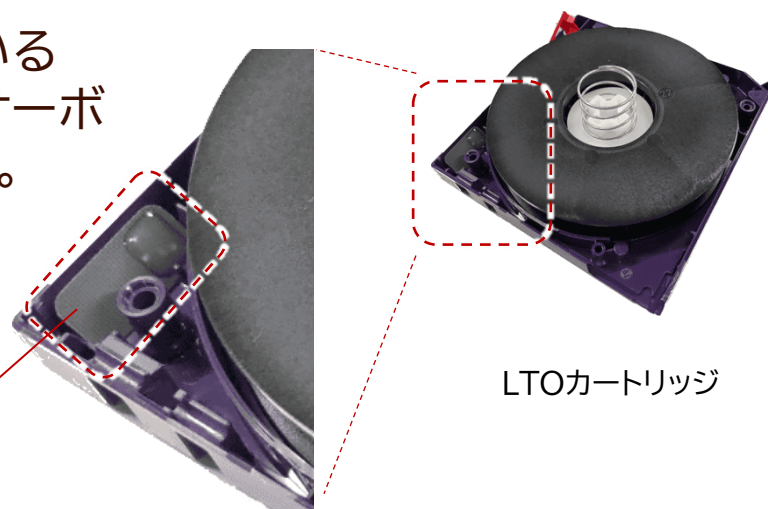
◆WORM(Write Once, Read Many)とは

- ✓ 一度書き込まれたデータを編集、改ざん、消去ができない形態で保管するための技術。LTO規格では、LTO-3以降からWORMをサポート。

◆WORMの実現方法(LTO規格の場合)

- ✓ WORMテープは、カートリッジに内蔵されている半導体メモリー(CM)およびテープ表面上のサーボコードにWORMであることが記録されている。

半導体メモリー(CM)
※Cartridge Memory



- ✓ これらの情報はテープの製造時にだけ書き込まれ書き換えはできない。したがって、データは改ざんできない。

8. WORM技術と暗号化技術

◆WORMの応用分野

✓一般企業

- 財務データ、研究・開発データ、取引情報、eメールなど

✓製薬産業

- 医薬認定記録

✓証券仲買人/証券会社

- 金融取引

✓法律

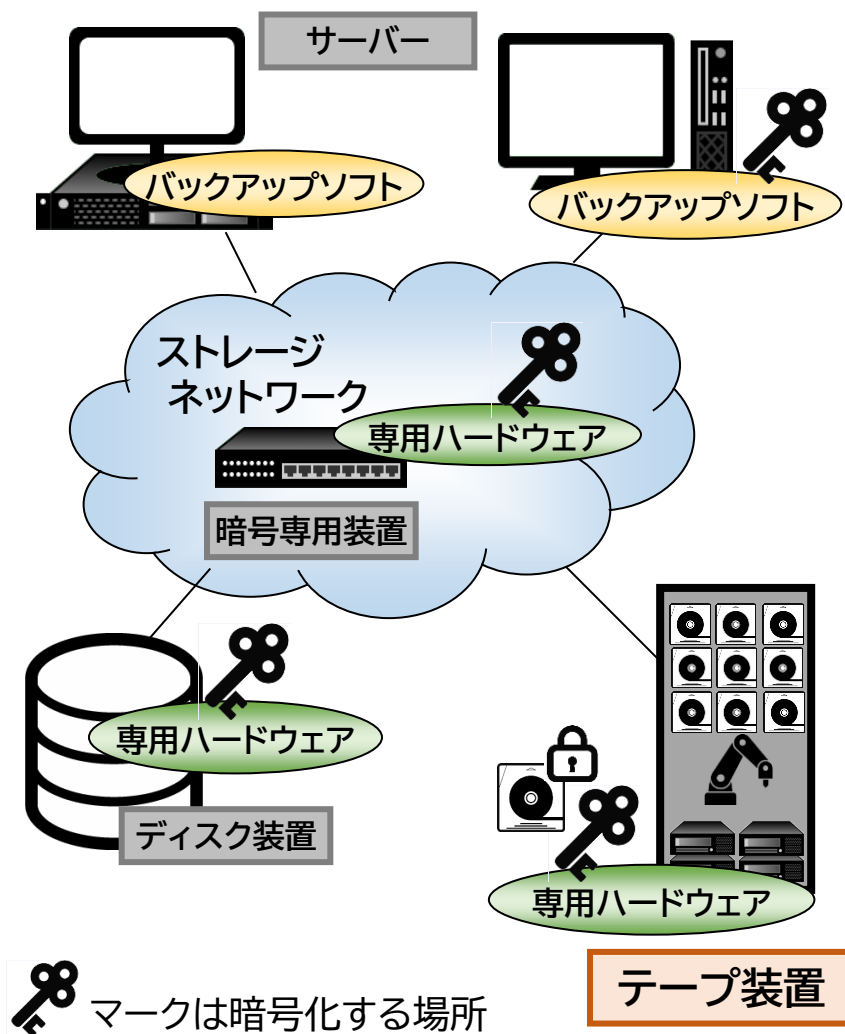
- 必要書類

✓政府機関

- 必要書類

8. WORM技術と暗号化技術

◆暗号化技術の実装場所と特徴



サーバー

暗号のJOB管理が容易であるが、サーバーのCPUに負荷を与え、処理能力はサーバーの性能に依存

暗号専用装置

高価な専用装置の追加導入が必要で、転送性能にも影響

ディスク装置

ディスクで暗号化したデータのままだではテープ装置にバックアップが出来ない
(サーバー読み取り時、復号しないとサーバー側でデータを認識しない)
(他にも、長期保管や消費電力の観点で不利)

テープ装置

標準機能として実装されている専用ハードウェアを利用するため高速かつ安価

暗号化前にデータ圧縮が可能なので圧縮効率が低下しない



第9章

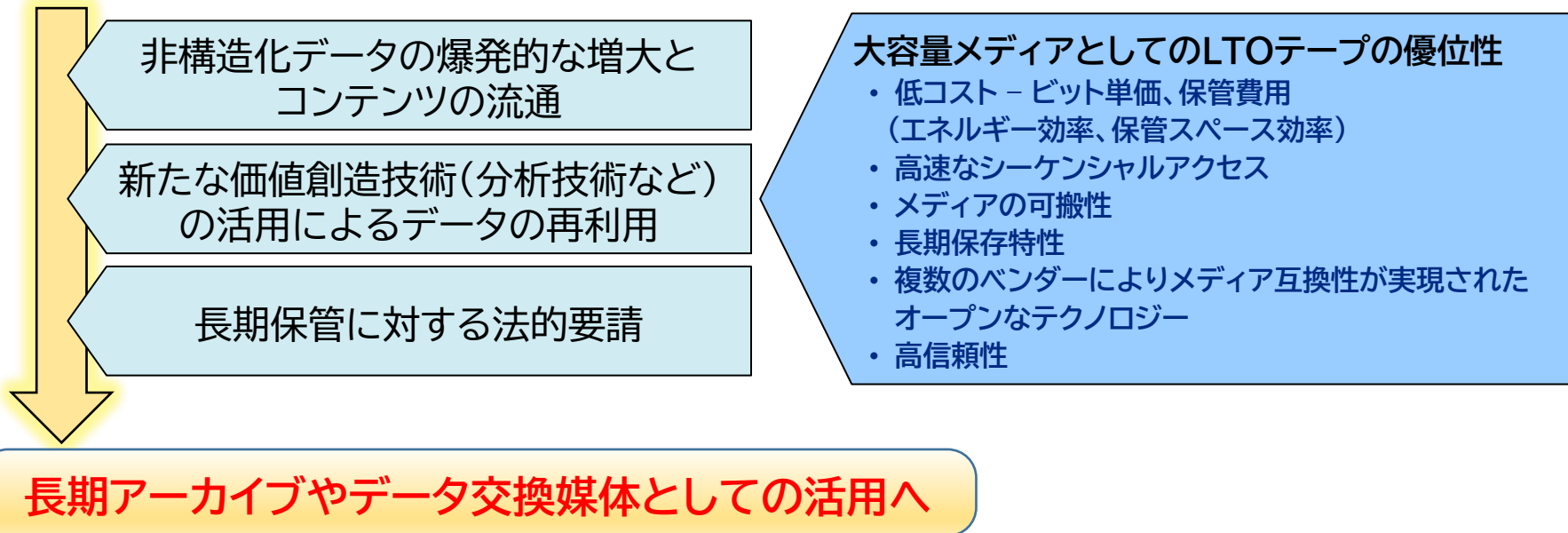
LTFS (Linear Tape File System)

9. テープの新たな活用

◆従来はバックアップが主体

- 自然災害、システム障害および人為的ミスなどによるデータ損失発生時に業務継続を実現
 - ・ 一次ストレージの複製としてデータを記録
 - ・ 定期的な上書きによるテープの再利用
- バックアップソフトウェアとテープオートメーションによる自動運用
 - ・ 災害対策サイトを含むデータセンタ内での、主にクローズドな利用

データを長期保存し新しい利用を促進する要因



9. テープの新たな活用

(1) フォーマットの長期利用

テープメディアの長期保存特性に加えて、記録フォーマットが長期的に利用可能であること

(2) データ移行の容易性

テープメディアを1つのシステムから容易にエクスポートして他のシステムにインポートできること

(3) テープ単独での運用

テープメディアに保存されている情報だけで中身が分かり、個々のデータを参照したり編集したりできること

(4) 高速アクセス

メタデータなどの重要な情報に素早くアクセスできること

(5) 導入運用が容易

業務アプリケーションやワークフローと親和性が高く、導入・運用が容易であること

(6) マルチベンダー対応

複数ベンダーが対応しており、他のストレージ技術との組み合わせやシステム構成にも柔軟性があること

LTFS

テープフォーマットに対する要求

アクセスインターフェースに対する要求

アプリケーションプログラムに対する要求

9. LTFSを構成する要素

LTFSフォーマット仕様書

- テープ媒体の互換性を実現するように、データのテープ上でのレイアウトとインデックス(ファイルの管理情報)の記述フォーマットを定義
- テープのコンテンツ情報を同じテープ上に記録する自己記述型
- データに対するアクセス方法は定義されていないので、ベンダー独自にフォーマットに則ったアクセスインターフェースを開発可能
- SNIAの標準規格として一般に公開(*1)

LTFSアクセスインターフェース

- ファイルシステムAPIを外部インターフェースとして、LTFSフォーマットでテープへの記録や読み取りを行う
- ファイルシステムデバイスと見せることにより、テープカートリッジをUSBメモリーや光学ディスクと同様のインターフェースで提供することが可能
- GitHubでLTFSファイルシステム実装のソースコードを、オープンソースライセンスで公開・提供



**技術情報の公開によりLTFSがデファクトスタンダード化
「ISO/IEC 20919(*2)」として国際規格化**

*1) 2021年8月現在、最新版は v2.5.1 http://www.snia.org/tech_activities/standards/curr_standards/ltfs

*2) 2021年8月現在、最新版は ISO/IEC 20919:2021 <https://www.iso.org/standard/80598.html>

ISO/IEC 20919:2021 Information technology -- Linear Tape File System (LTFS) Format Specification

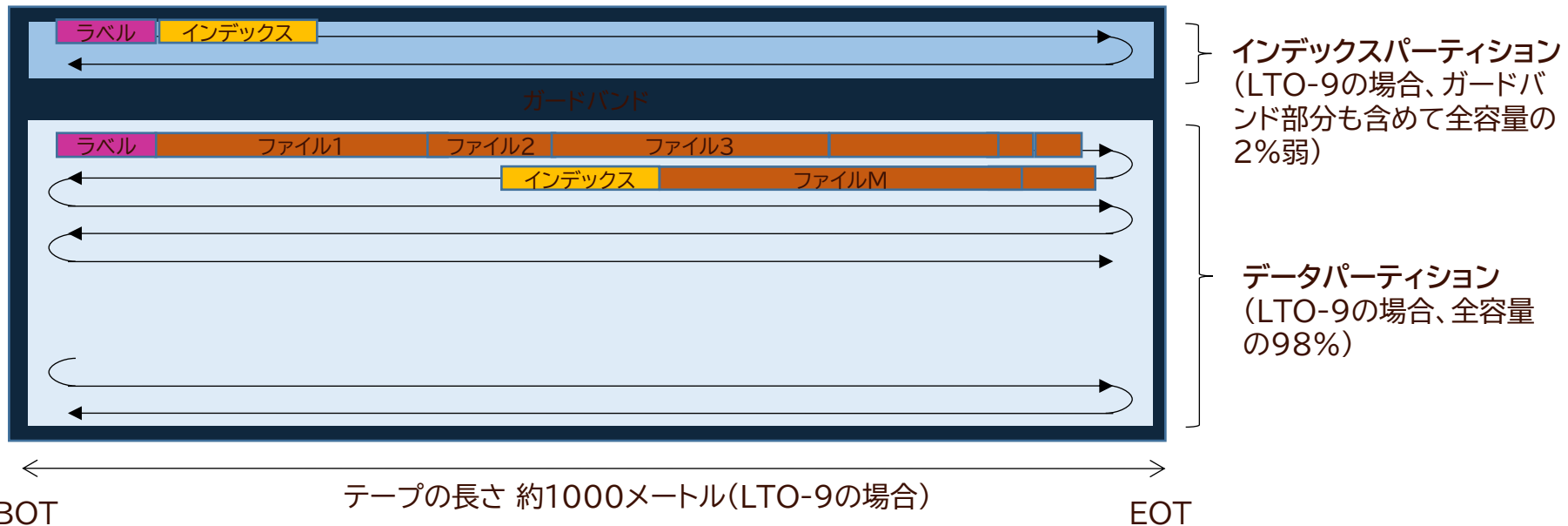
9. LTFSを支える技術 テープパーティショニング

◆LTO-5から、テープのパーティショニングをサポート

◆1本のテープを非対称に論理2分割

- ✓ インデックスパーティション：インデックスを保存する小さい領域。
最新のインデックスをテープの先頭部分に配置し、テープに含まれるユーザーデータの内容をテープロード直後に高速に一覧可能
- ✓ データパーティション：ユーザーデータを追記保管する大きい領域

図：分割されたテープとファイル保存の模式



9. LTFSを支える技術 スペースマネージメント

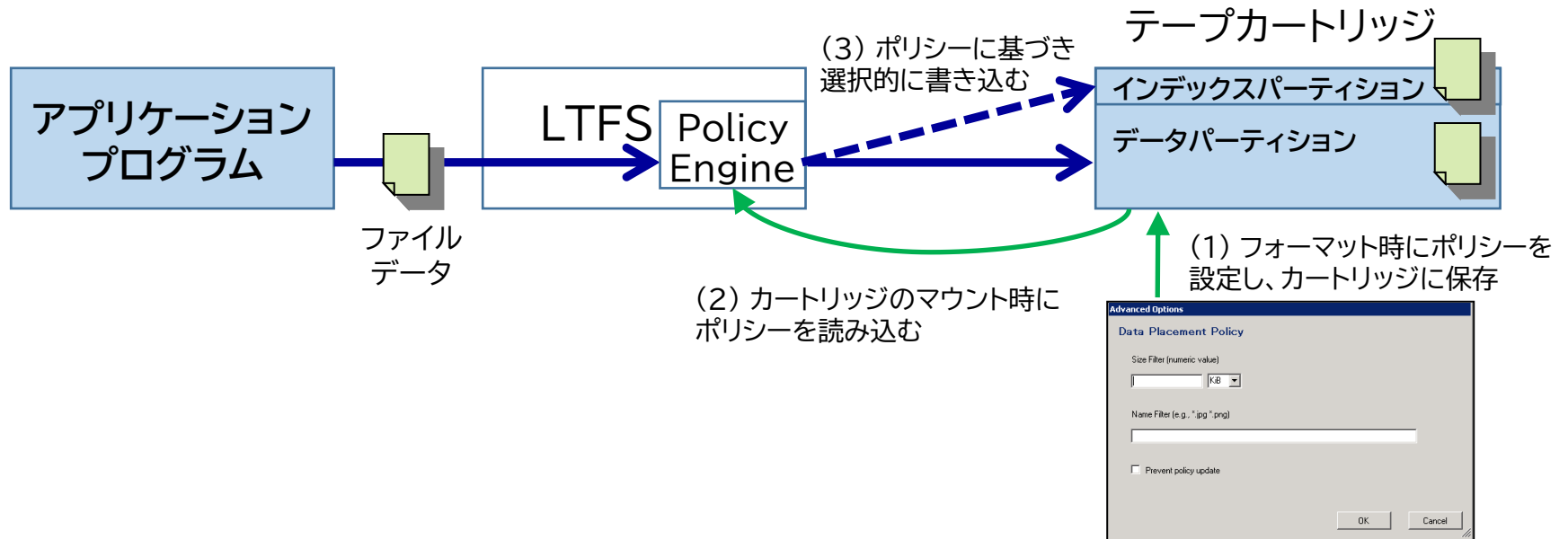
◆データパーティションは追記書き込みのみを行う

- ✓ 空き領域は常に連続しているため、テープのシーケンシャル書き込み性能が活かせる

ユーザーの操作	LTFSの動作
新たなファイルの書き込み	データの書き込みとインデックスの変更を行う
ファイルの削除	データの消去、変更は行わずにインデックスからの参照だけを削除する。このため、ファイルを削除してもテープ上の空き容量は増えない
ファイルの部分書き換え	古いデータを置き換える差分だけを新たに記録し(コピーオンライト方式)、インデックスの参照を切り替える

9. LTFSを支える技術 データプレースメント

- ◆配置ポリシー(Placement Policy)を指定することにより、特定のファイルをインデックスパーティションに集中配置することが可能
 - ✓サムネイルファイルやカタログリストなどのマウント直後に必要なファイルを指定することにより、業務の高速化が可能
 - ✓ファイル名(ワイルドカードも可)とファイルサイズのしきい値でファイル書き込み時にフィルタリングし、条件に合致するファイルだけをインデックスパーティションに置く。データパーティションにも同じデータは書き込まれる。





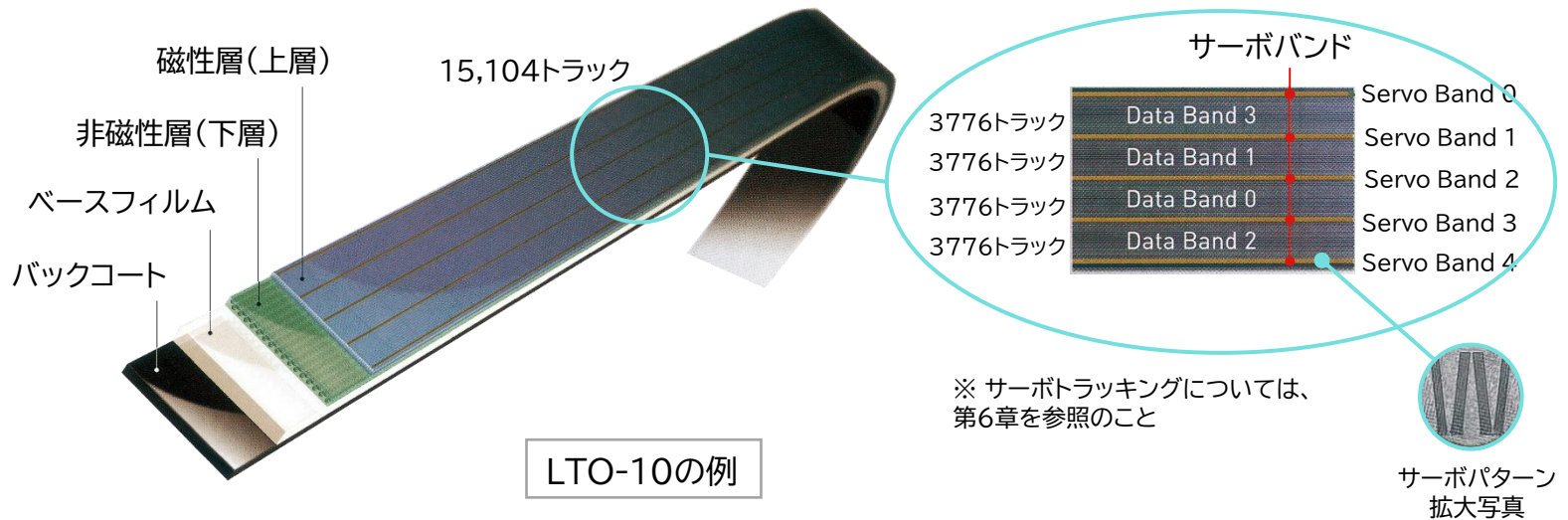
第10章

テープメディア製造技術

10. テープメディア製造技術 構造と素材

◆磁気テープの構造と素材

- ✓ 現在、テープメディアのベースフィルムの素材として用いられているのは、PET(ポリエチレンテレフタレート)、PEN(ポリエチレンナフタレート)、アラミドのいずれか
- ✓ テープの基本構造は、ベースフィルム上にデータを記録する磁性層とで構成される
- ✓ さらに巻き乱れの防止や良好な走行耐久性を保つと共に、帯電防止や搬送性のためにバックコート層が加えられている



LTO-10の例

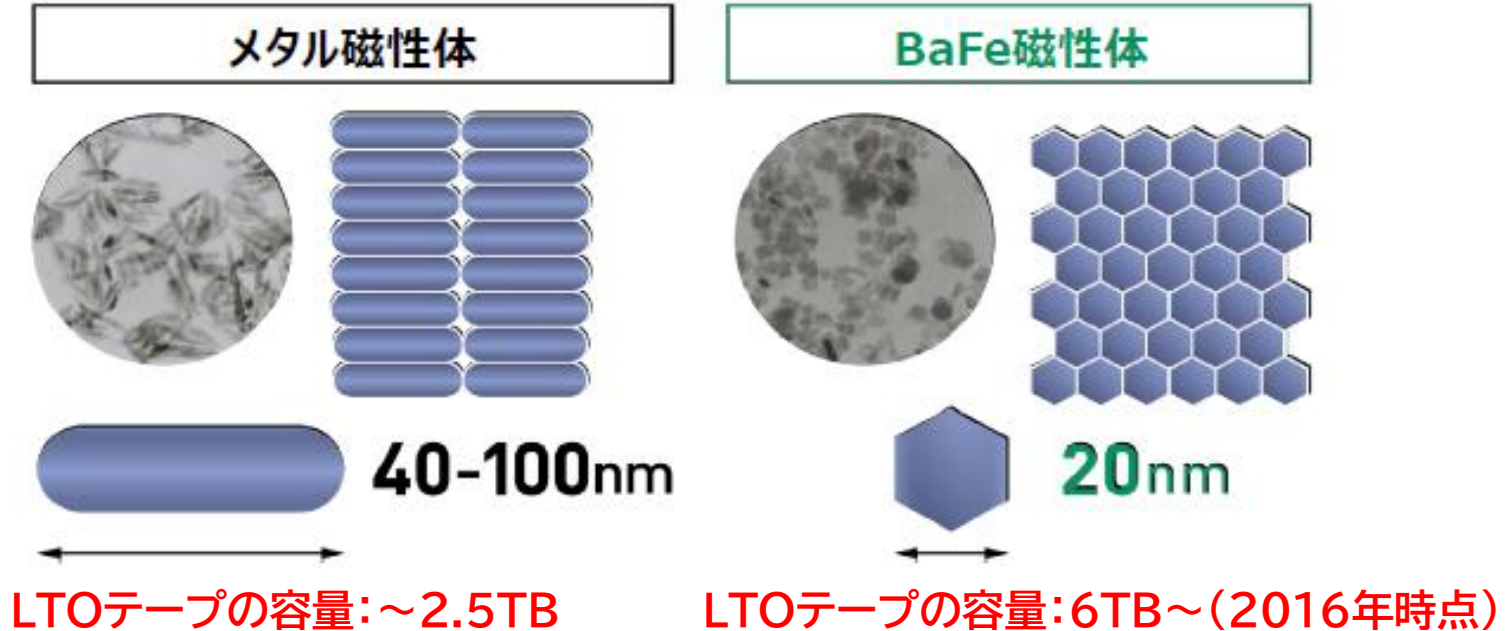
※ サーボトラックングについては、第6章を参照のこと

サーボパターン
拡大写真

10. テープメディア製造技術 構造と素材

◆磁性体

- ✓ LTO-6から六方晶フェライトである、BaFeの使用も開始された。
- ✓ BaFe磁性体は小さくしてもデータを保持する力が劣化しにくいいため、テープの高密度・高容量化に適す。
- ✓ 酸化物で化学的に安定なため、従来のメタル磁性体と比較して、さらに長期保管にも優れた適性を示す。
- ✓ 最新の製品では、SrFeの使用も開始されている。

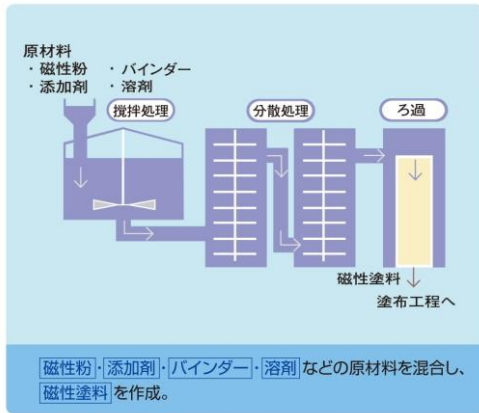


10. テープメディア製造技術 製造工程

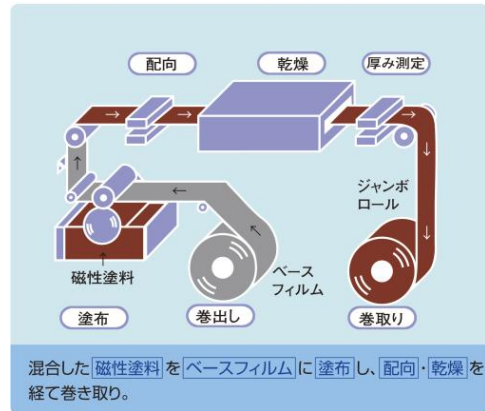
◆磁気テープの製造工程

✓ 混合、塗布、カレンダー、裁断

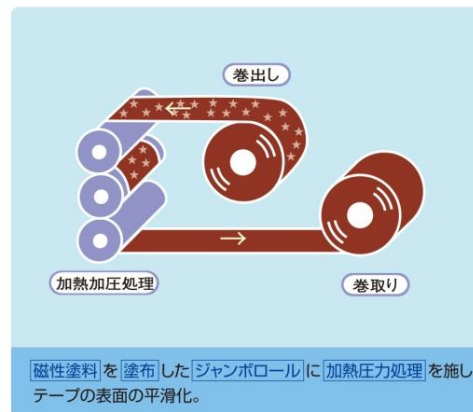
混合工程



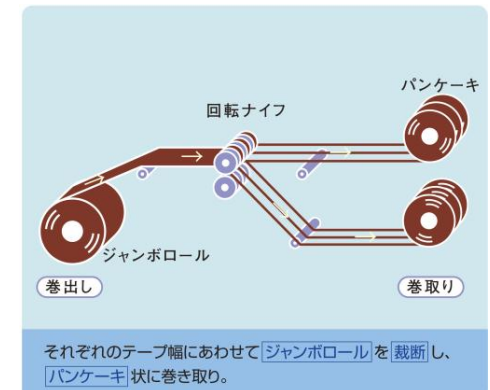
塗布工程



カレンダー工程



裁断工程

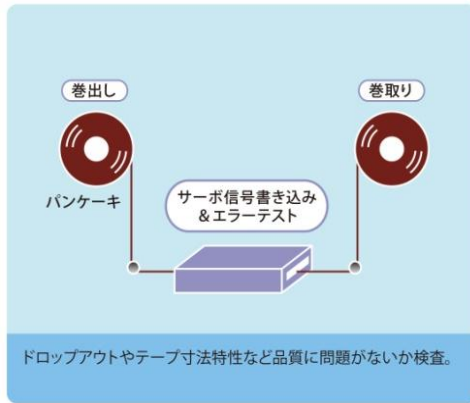


10. テープメディア製造技術 製造工程(続)

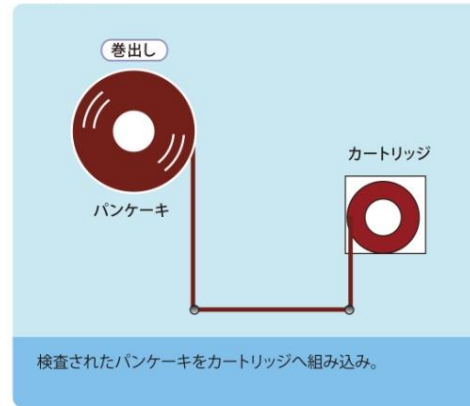
◆磁気テープの製造工程(続)

✓ パンケーキ検査、組み込み、完成品検査、製品出荷

パンケーキ検査工程



組み込み工程



製品出荷工程



特記：LTOテープの製造において

- ヘッドがテープの所定の位置に所定の精度で追従していることを確認するために不可欠なサーボ信号を書き込まなければならない
- 書き込み後に、サーボ信号が適正に記録されているか否かのベリファイ(確認)を行う必要がある

完成品検査

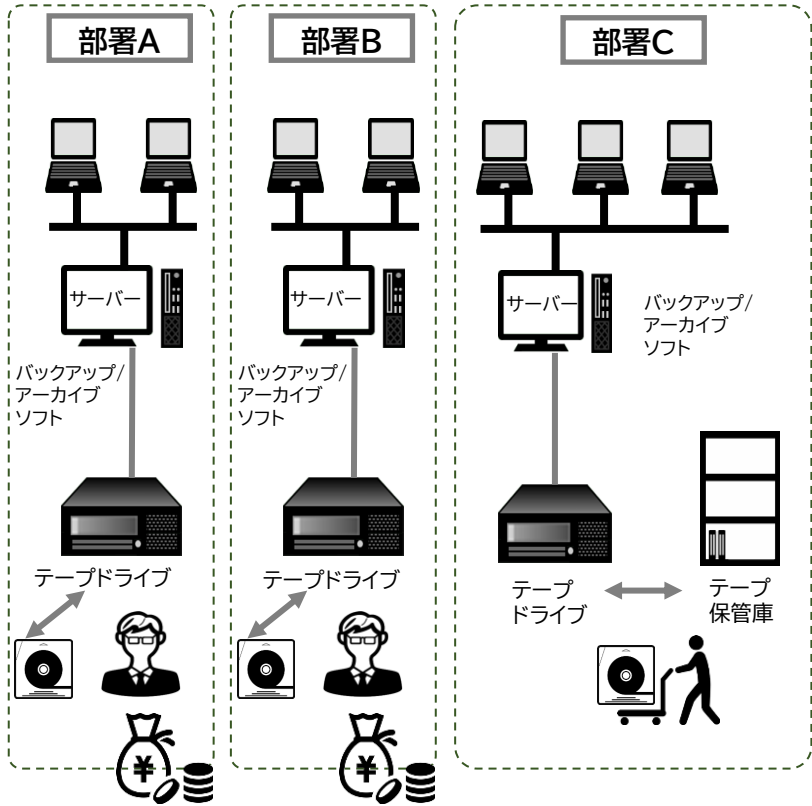


第11章

テープオートメーション

11. テープオートメーション登場の背景

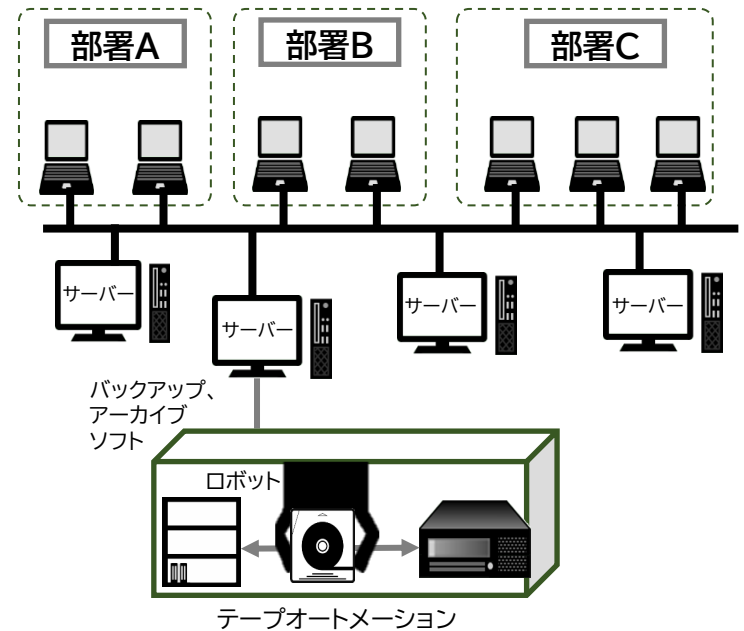
従来のお客様の課題



- アーカイブやバックアップの統合化
→各部署または拠点毎で独自にシステムが分散
- 管理・運用コストの削減
→人手による作業、分散によるコスト増

テープオートメーションの登場

テープオートメーションで解決

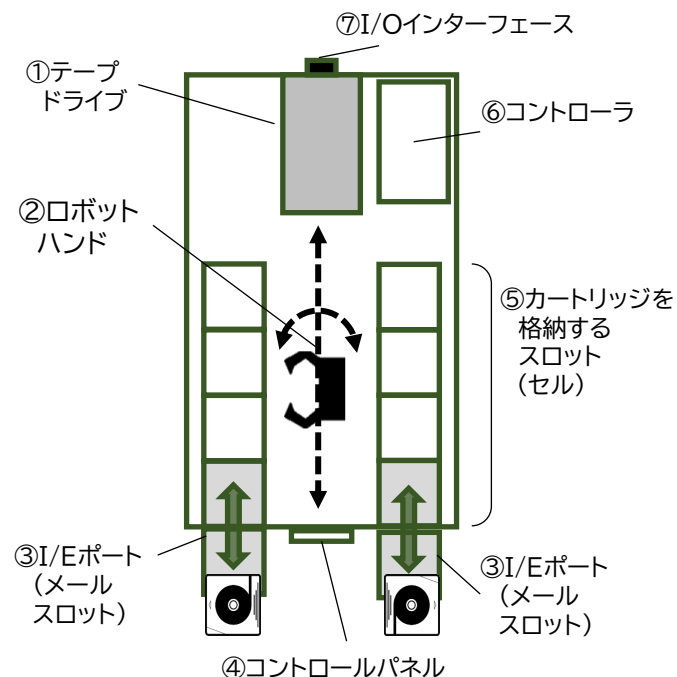


- 無人運用化
→テープカートリッジ交換の自動化
- アーカイブ、バックアップソフトウェアとの親和性
→用途に応じたソフトウェアの選択枝の拡大
- 複数の業務サーバーからアクセス可能
→各業務データの統合化が可能
- 集中管理
→統合による一括管理

11. 構造と機能

◆テープオートメーションの基本機能

- ① テードライブ:テープカートリッジへのデータのリードとライトを行う
- ② ロボットハンド:テープカートリッジをテープドライブ、スロットに搬送する機構。上下に移動するものもある
- ③ I/Eポート:テープカートリッジを出し入れする専用のスロット
メールスロットとも呼ばれる
- ④ コントロールパネル:装置の各種設定などを行うための操作パネル
- ⑤ スロット(セル):テープカートリッジをならべて格納。マガジン式となっていて、スロット全部を引き出せる構造になっているものもある
- ⑥ コントローラ:ソフトなどからの指示を受けてロボット、ドライブを制御する基盤
- ⑦ I/Oインターフェース:サーバー等からのデータ入出力やコマンドをつかさどるインターフェース。SASやFCなどがある

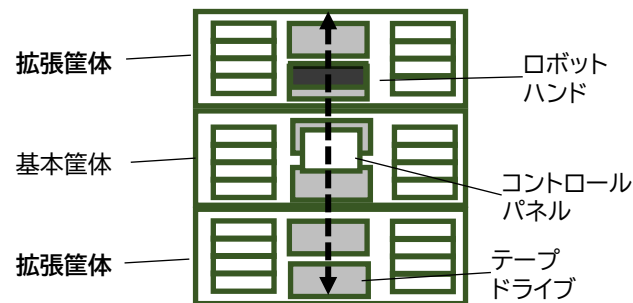


例)テープオートメーションの構造(上面図)


◆テープライブラリー*の拡張性

- 搭載ドライブ台数の増設やカートリッジ格納スロット数の拡張が可能
これにより、パフォーマンスの向上、容量増設が容易となった

- *テープオートメーションには「オートローダ」と「テープライブラリー」の2種類ある。
- ・オートローダは通常テープドライブ1台、巻数は約20巻くらいのEntryクラスを示す
 - ・テープライブラリーはテープドライブが2台以上搭載でき、巻数も数十巻から数千巻まで増設できるものもある



例)テープオートメーションの拡張(正面図)



第12章

補足資料

12.1 LTOテープパス

◆LTOカートリッジ

LTOはシングルリール構造のテープメディアで巻取りリール(テイクアップリール)はドライブ内部に存在する。

シングルリール構造のカートリッジにより体積が小さくなり、棚置き保管時の占有スペースを少なくし容量効率向上の効果がある。

ドライブにロードされるとドライブ内のテープロード用アームがテープを引きだし、テイクアップリールに導き、テープパスを形成する。

LTOドライブ内部構造

ドライブ内
テイクアップリール

カートリッジリール用
モータ



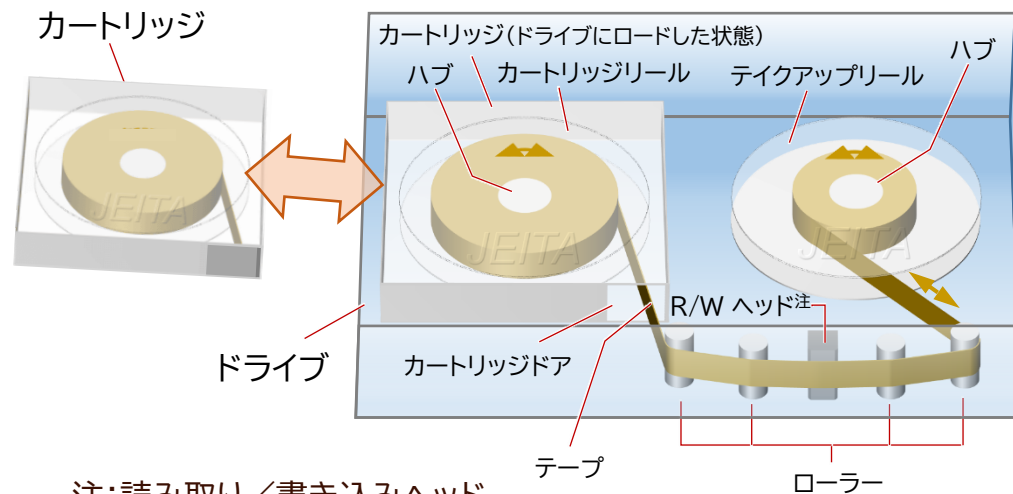
LTOカートリッジ
(透明サンプル品)



(出典:日本アイ・ビー・エム株式会社)

◆LTOのテープパス

カートリッジ内のリール(カートリッジリール)とドライブ内のリール(テイクアップリール)の2つのリールによってテープの走行制御が行われ、テープパス中にある読み取り/書き込みヘッドによってデータが読み書きされる。



注:読み取り/書き込みヘッド

JEITA

一般社団法人 電子情報技術産業協会

テープストレージ専門委員会
Tape Storage Technical Committee