テープストレージ動向
＜2017年版＞

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
2017年5月

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

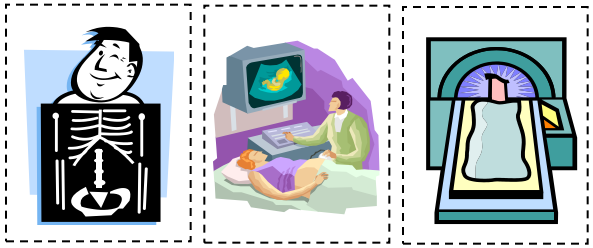
※本資料を引用される際は、出典元（JEITA テープストレージ専門委員会）を明記してください。但し、本資料が引用している図等（出典元記載）の再利用に関しては、当委員会での責任は負いかねます。適切な対応をお願いいたします。

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

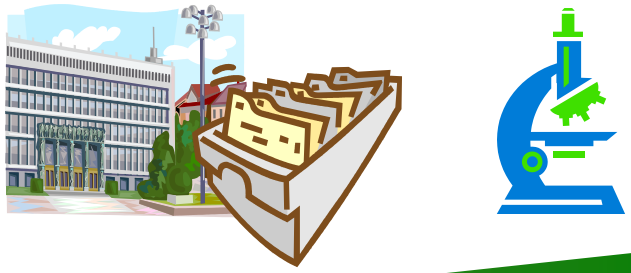
- **超高解像度・詳細なパーソナライズされた医療データのセキュアーな長期保管**



- **製品に関わる設計図、仕様書などをまとめて長期保管**（ディスカ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。

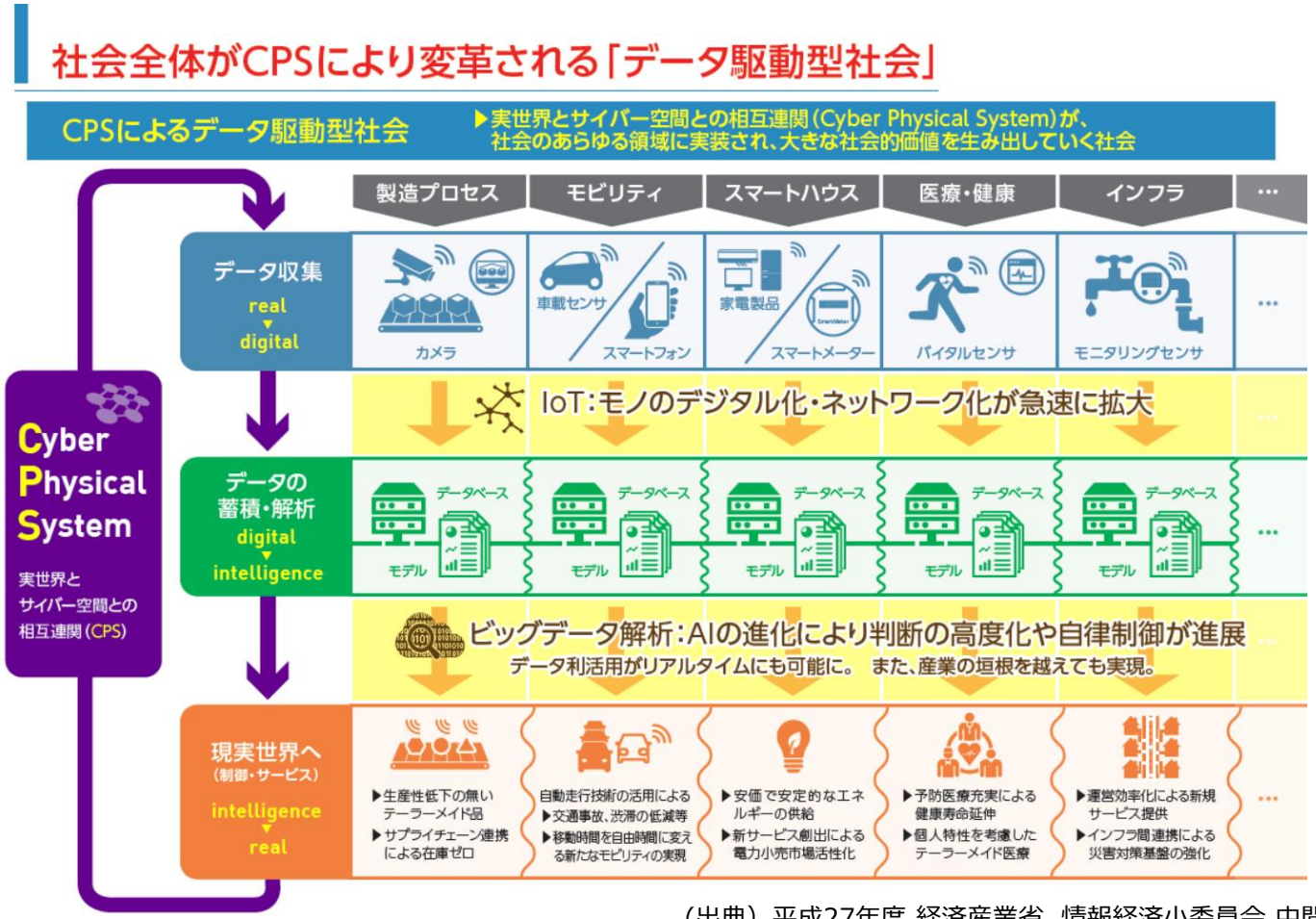
データの大容量化で求められるのは
経済的な保管

※本資料を引用される際は、出典元（JEITA テープストレージ専門委員会）を明記してください。但し、本資料が引用している図等（出典元記載）の再利用に関しては、当委員会での責任は負いかねます。適切な対応をお願いいたします。

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。



(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

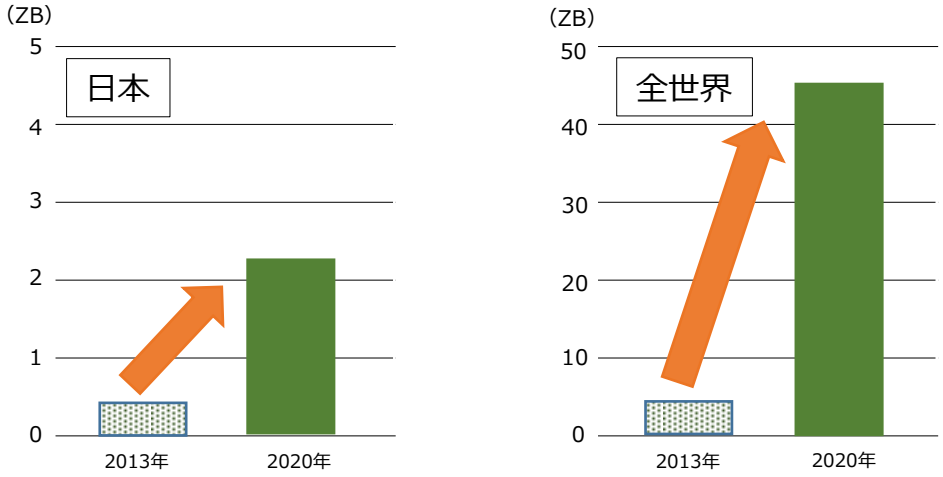
CPS:Cyber Physical System。デジタルデータの収集、蓄積、解析、解析結果の実世界へのフィードバックという実世界とサイバー空間との相互連関。

※本資料を引用される際は、出典元（JEITA テープストレージ専門委員会）を明記してください。但し、本資料が引用している図等（出典元記載）の再利用に関しては、当委員会での責任は負いかねます。適切な対応をお願いいたします。

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2020年に40ゼタバイト超へ

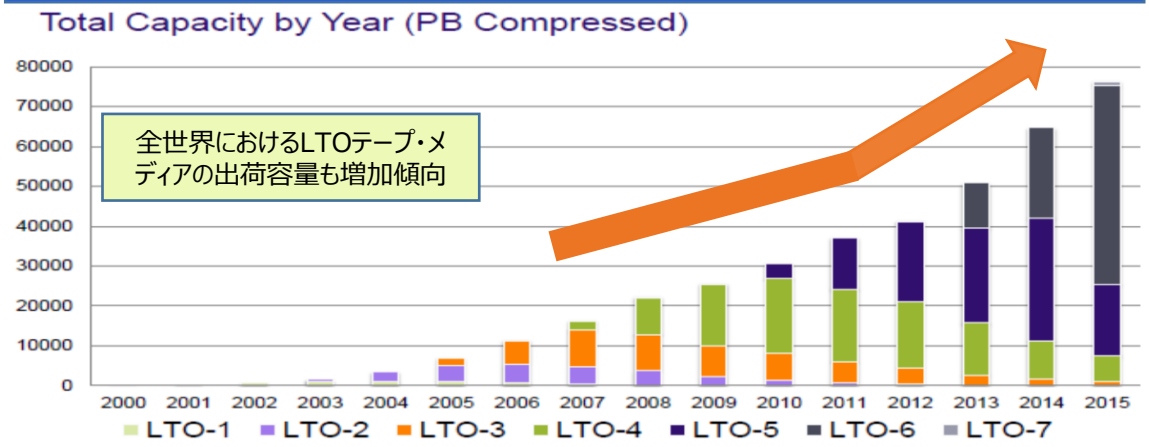
全世界で流通するデジタルデータ量が飛躍的に増大



米国の調査会社IDCによると、国際的なデジタルデータの量は飛躍的に増大しており、2013年の約4.4ゼタバイト（4.4兆ギガバイト）から**2020年には約44ゼタバイト**に達すると予想されている。

(出展)IDC Digital Universe 2014「The Digital Universe of Opportunities: Rich Data and the Increasing Value of the Internet of Things」(グラフはJEITAで作成)

LTOテープ・メディアの出荷容量も10年間で7倍に増加



2015年のLTOテープ・メディアの出荷容量は***70*エクサバイト（７百億ギガバイト）**を超えた。
データ増加率は2006年と比較し**10年間で約7倍**の伸びとなっている。

(出典)LTO Media Shipment Reports LTO Consortium http://www.lto.org/

※本資料を引用される際は、出典元（JEITA テープストレージ専門委員会）を明記してください。但し、本資料が引用している図等（出典元記載）の再利用に関しては、当委員会での責任は負いかねます。適切な対応をお願いいたします。

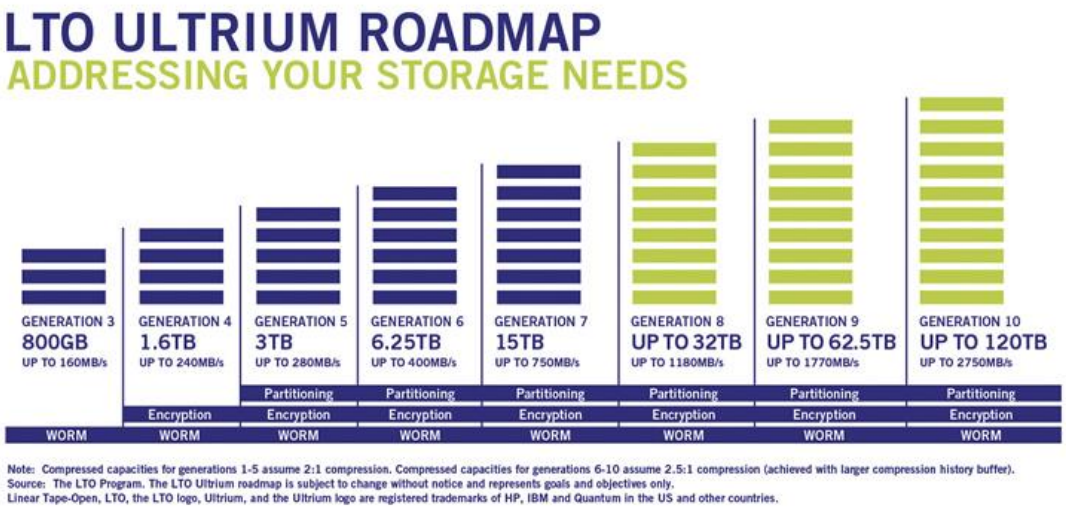
1. テープストレージの未来

■ 進化し続けるテープテクノロジー

✓ LTO 10まで確立されたロードマップ

- LTO 8　：容量　32TB、 転送速度1,180MB/秒（*）
- LTO 9　：容量 62.5TB、転送速度1,770MB/秒（*）
- LTO 10　：容量 120TB、 転送速度2,750MB/秒（*）

＊圧縮時の仕様（圧縮比 2.5:1 想定）



<2016年10月現在のLTOコンソーシアムのロードマップ>

※本資料を引用される際は、出典元（JEITA テープストレージ専門委員会）を明記してください。但し、本資料が引用している図等（出典元記載）の再利用に関しては、当委員会での責任は負いかねます。適切な対応をお願いいたします。

1. テープストレージの未来

大容量・長期保管向きのストレージ

■ アクセスが少ないアーカイブ用途の大容量データの保管はテープストレージの得意分野

- ✓ **大容量・長期間保管ならテープストレージ！**
  - 省エネ、高信頼性、大容量、高速データ転送、長寿命、廉価の面に優れる
  - 社会問題となっている「災害対策」や「サイバー攻撃対策」としてデータの遠隔地保管にも向く

- ✓ 小容量や短期間の保管なら他の選択肢もある
  - 光ディスク
  - HDD
  - USBメモリー
  - クラウド

※本資料を引用される際は、出典元（JEITA テープストレージ専門委員会）を明記してください。但し、本資料が引用している図等（出典元記載）の再利用に関しては、当委員会での責任は負いかねます。適切な対応をお願いいたします。

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60年ほど前にさかのぼる。
現在では、当時と比較すると容積比で600万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、その後に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(れいめいき): ストレージの主役»

- ✓ 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社が開発の磁気テープを使ったModel726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、読取り・書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に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Model727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Model350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。

※本資料を引用される際は、出典元（JEITA テープストレージ専門委員会）を明記してください。但し、本資料が引用している図等（出典元記載）の再利用に関しては、当委員会での責任は負いかねます。適切な対応をお願いいたします。

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てなかったこと、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

※本資料を引用される際は、出典元（JEITA テープストレージ専門委員会）を明記してください。但し、本資料が引用している図等（出典元記載）の再利用に関しては、当委員会での責任は負いかねます。適切な対応をお願いいたします。

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、テープライブラリによる大容量化、自動化を進めていった。

- ✓ 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カートリッジテープ
  - 薄膜記録ヘッドはHDDが採用するよりも数年前であった
- ✓ 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
- ✓ 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

※本資料を引用される際は、出典元（JEITA テープストレージ専門委員会）を明記してください。但し、本資料が引用している図等（出典元記載）の再利用に関しては、当委員会での責任は負いかねます。適切な対応をお願いいたします。

2. テープの歴史と技術革新

■ 1990年代«第２の危機 – テープライブラリ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ーの普及によって、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ライブラリを普及させ、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
- ✓ 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

※本資料を引用される際は、出典元（JEITA テープストレージ専門委員会）を明記してください。但し、本資料が引用している図等（出典元記載）の再利用に関しては、当委員会での責任は負いかねます。適切な対応をお願いいたします。

2. テープの歴史と技術革新

■ 2000年代«LTO規格の登場»

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：第一世代のLTO（100GB）
- ✓ 2002年：第二世代のLTO（200GB）
  - 参考 2003年：IBM社の3592（300GB）*
- ✓ 2004年：第三世代のLTO（400GB）
  - 参考 2005年：StorageTek社（現Oracle社）のT10000（500GB）*
- ✓ 2006年：第四世代のLTO（800GB）
- ✓ 2010年：第五世代のLTO（1500GB）
  - 参考 2011年： Oracle社のT10000C（5000GB）*
  - 参考 2011年：IBM社のTS1140（4000GB）*
- ✓ 2012年：第六世代のLTO（2500GB）
  - 参考 2013年： Oracle社のT10000D（8500GB）*
  - 参考 2014年： IBM社のTS1150（10000GB）*
- ✓ 2015年：第七世代のLTO（6000GB）
  - 参考 2017年： IBM社のTS1155（15000GB）*

注： （ ）内は非圧縮時の容量。参考はエンタープライズテープ製品

テープストレージは誕生以来HDDを初めとする競合製品との市場争いで浮き沈みがあったが、保管の容易性と 体積あたりの容量の
大きさによる低コストという特性は変わらない。2015年に出荷された第七世代LTOは 6TBの容量を持つ。長期アーカイブや大量のデータを
扱うクラウド・コンピューティングにおいて、大容量テー プストレージは引き続き大きな活用の可能性を持っている。

※本資料を引用される際は、出典元（JEITA テープストレージ専門委員会）を明記してください。但し、本資料が引用している図等（出典元記載）の再利用に関しては、当委員会での責任は負いかねます。適切な対応をお願いいたします。

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60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

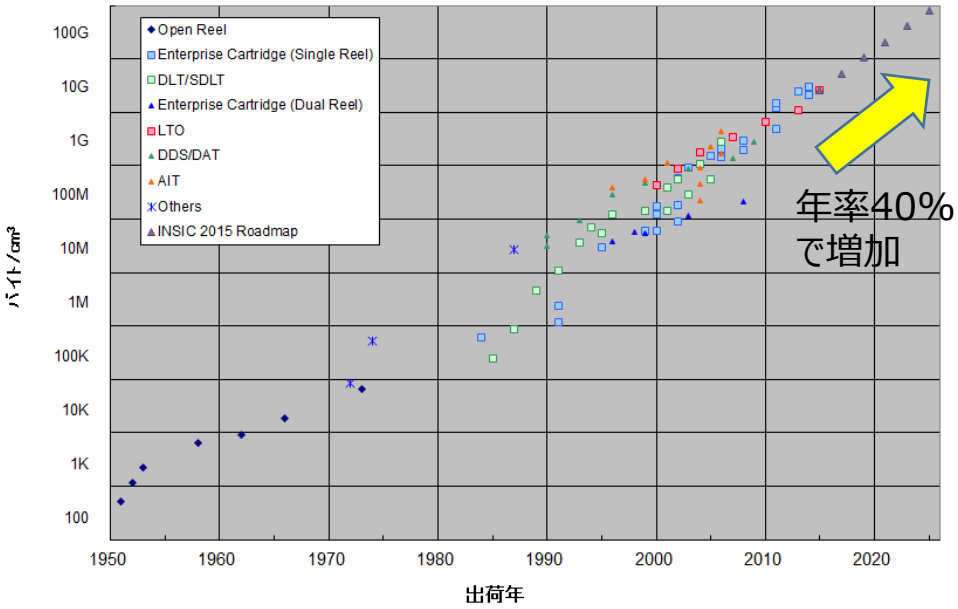
記録密度 = トラック密度 × 線記録密度

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 Roadmap, December 2015
http://www.insic.org/news/2015%20roadmap/15pdfs/2015%20Technical%20Roadmap.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

※本資料を引用される際は、出典元（JEITA テープストレージ専門委員会）を明記してください。但し、本資料が引用している図等（出典元記載）の再利用に関しては、当委員会での責任は負いかねます。適切な対応をお願いいたします。

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

- LTO 7はメディアの体積はオープンリールの1/10程度であるが、テープ長はオープンリールよりも長い

※ 直径の決まった円板の面積が増やせないディスクに対し、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。

✓ 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）、PA(ポリアミド)のいずれかが使用されている
- LTO 7のベースフィルムの厚みは5μm程度とオープンリールのベースフィルムから1/8程度に薄くなっている

✓ 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方法には、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）と、磁性体を気化させてベースフィルムに付着さ せる方法（蒸着）の2種類
- 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

※本資料を引用される際は、出典元（JEITA テープストレージ専門委員会）を明記してください。但し、本資料が引用している図等（出典元記載）の再利用に関しては、当委員会での責任は負いかねます。適切な対応をお願いいたします。

3. 記憶容量向上の歴史
トラック密度の増加

■ 幅12.7mmに3584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283本以上のトラック！
  - ※ 上記はLTO 7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
  - 書込み用ヘッド、読取り用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

※本資料を引用される際は、出典元（JEITA テープストレージ専門委員会）を明記してください。但し、本資料が引用している図等（出典元記載）の再利用に関しては、当委員会での責任は負いかねます。適切な対応をお願いいたします。

3. 記憶容量向上の歴史
線記録密度の増加

■ 面記録密度は2桁アップの余地もある

✓ 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取り用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
- 書込み用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
- 読取り用ヘッドは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

※本資料を引用される際は、出典元（JEITA テープストレージ専門委員会）を明記してください。但し、本資料が引用している図等（出典元記載）の再利用に関しては、当委員会での責任は負いかねます。適切な対応をお願いいたします。

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

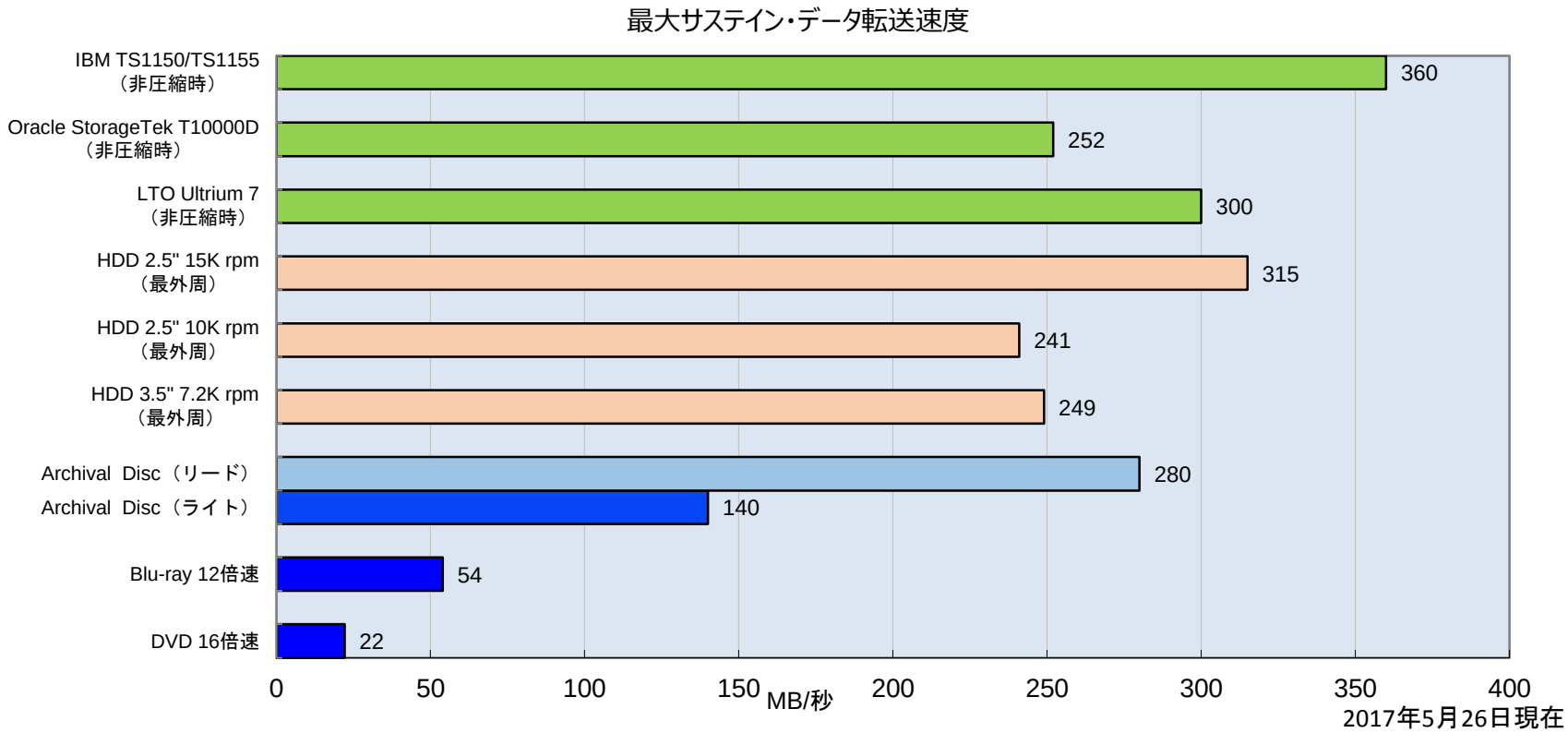
	オープンリール	カートリッジMT（18トラック）	LTO 7
容量（MB、非圧縮）	4.8	200	6,000,000
外形寸法（cm）	φ27.44×2.858	12.5×10.9×2.45	10.2×10.54×2.15
体積（cm³）	2152（直方体として計算）	334	231
単位体積辺りの容量（オープンリールを1とした場合の相対値）	1	270	11,800,000
トラック数	9	18	3,584
線密度（kbits/mm）	0.2	1.0	19.1
テープ幅（cm）	1.27	1.27	1.27
テープ長（m）	732	165	960
テープ厚（μm）	48	25～33	5.6
出荷開始時期	1953年	1984年	2015年

※本資料を引用される際は、出典元（JEITA テープストレージ専門委員会）を明記してください。但し、本資料が引用している図等（出典元記載）の再利用に関しては、当委員会での責任は負いかねます。適切な対応をお願いいたします。

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はるかに高速。2017年に登場したArchival Discは同時に使用するヘッド数を増やすことで、さらに高速化している。

※本資料を引用される際は、出典元（JEITA テープストレージ専門委員会）を明記してください。但し、本資料が引用している図等（出典元記載）の再利用に関しては、当委員会での責任は負いかねます。適切な対応をお願いいたします。

4. 転送速度
マルチチャネル・ヘッド

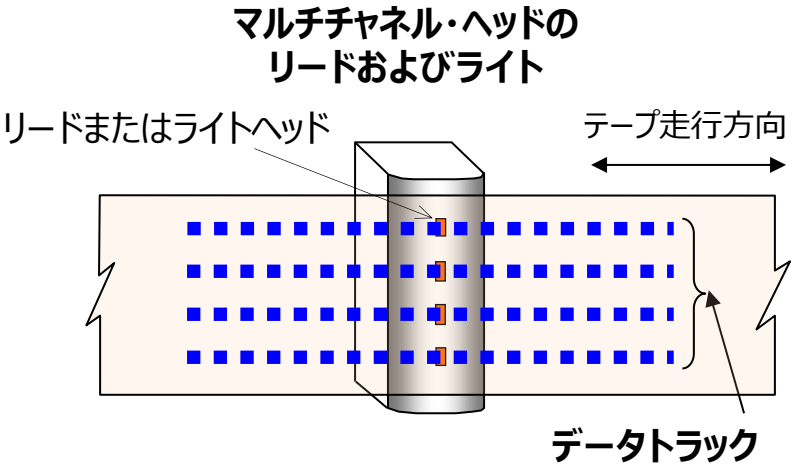
■ マルチチャネル・ヘッドによる転送速度の高速化

✓ 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×ヘッドチャネル数

✓ ヘッドチャ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チャネル、
LTO 3～6は16チャネル、
LTO 7は32チャネル



４チャネルの例：
４トラック同時のリード及びライト

※本資料を引用される際は、出典元（JEITA テープストレージ専門委員会）を明記してください。但し、本資料が引用している図等（出典元記載）の再利用に関しては、当委員会での責任は負いかねます。適切な対応をお願いいたします。

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

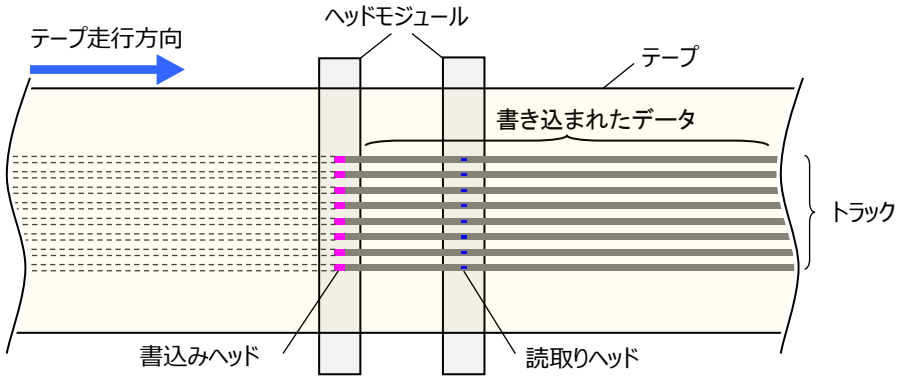
✓ LTOにおけるデータ書き込み時のRead While Write機能

- 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

  書込みヘッドと読取りヘッドで実現

- 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



※本資料を引用される際は、出典元（JEITA テープストレージ専門委員会）を明記してください。但し、本資料が引用している図等（出典元記載）の再利用に関しては、当委員会での責任は負いかねます。適切な対応をお願いいたします。

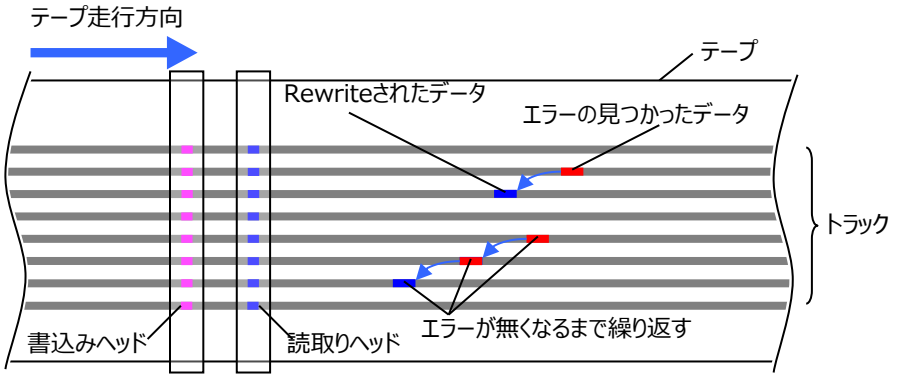
5. 信頼性を支える技術
Read While Write機能（続き）

■ 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生かしている

- 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出来る限り小さくしている

※本資料を引用される際は、出典元（JEITA テープストレージ専門委員会）を明記してください。但し、本資料が引用している図等（出典元記載）の再利用に関しては、当委員会での責任は負いかねます。適切な対応をお願いいたします。

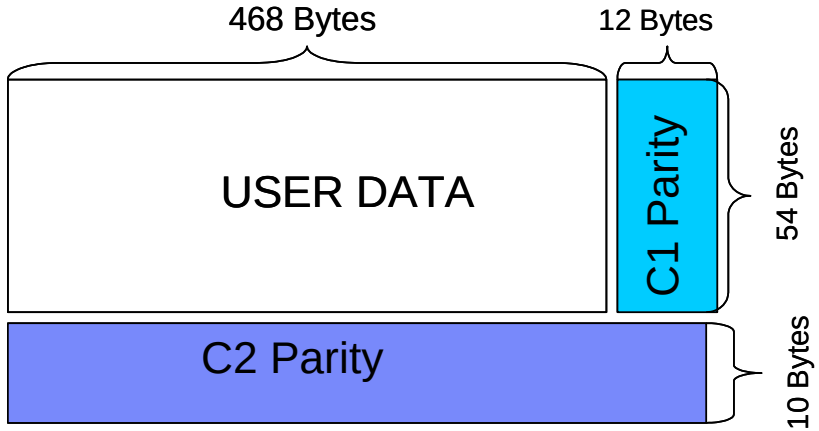
■ データ読取り時の技術（ECCの強力なエラー訂正能力）

✓ 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で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



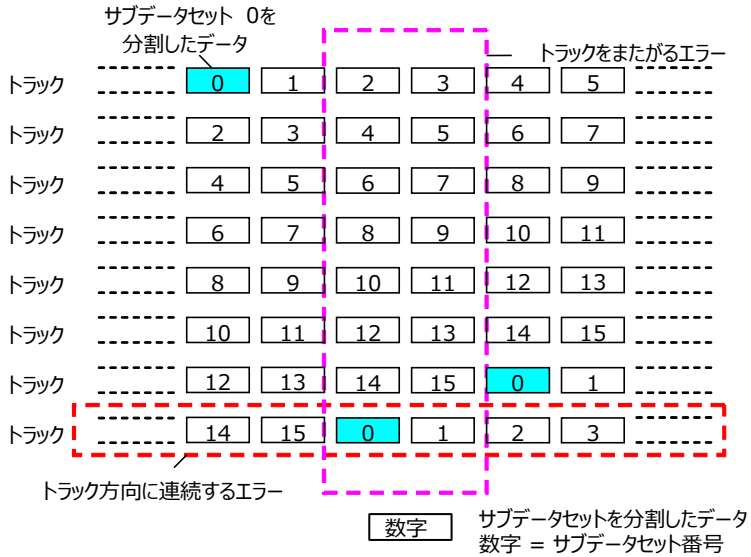
補足：パリティを含めたデータのひとかたまりを、サブデータセットと呼ぶ

※本資料を引用される際は、出典元（JEITA テープストレージ専門委員会）を明記してください。但し、本資料が引用している図等（出典元記載）の再利用に関しては、当委員会での責任は負いかねます。適切な対応をお願いいたします。

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



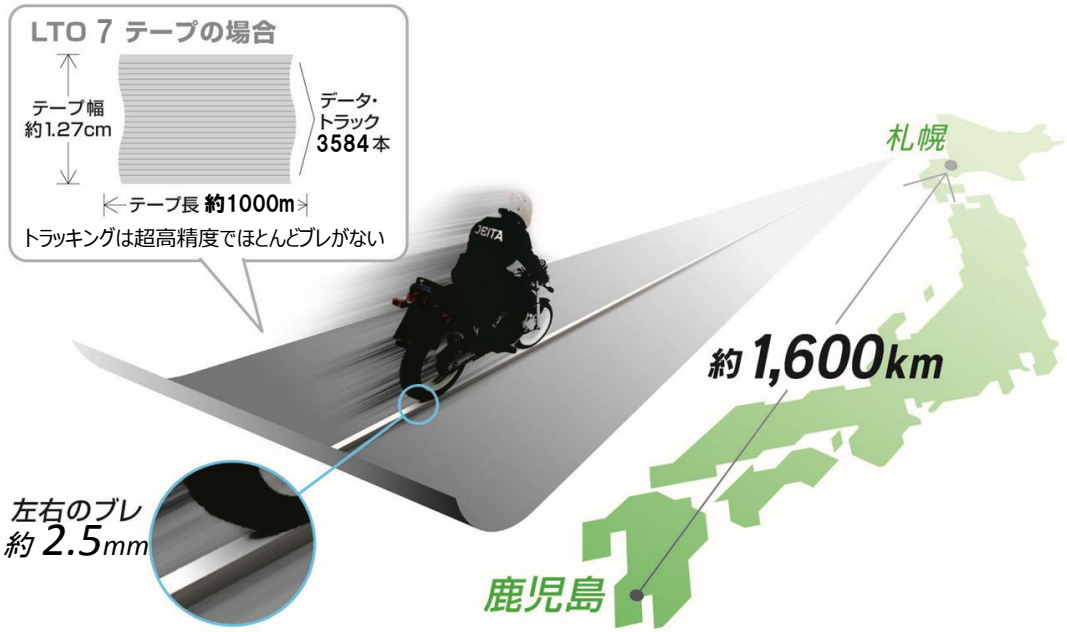
※本資料を引用される際は、出典元（JEITA テープストレージ専門委員会）を明記してください。但し、本資料が引用している図等（出典元記載）の再利用に関しては、当委員会での責任は負いかねます。適切な対応をお願いいたします。

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 7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（1600km）の道路で例えると、道路上の直線でのブレは、約2.5mm

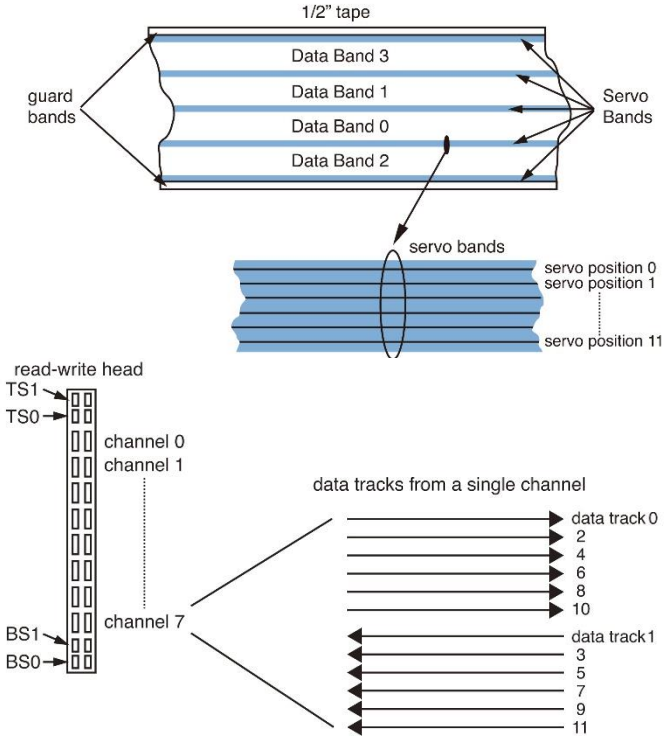


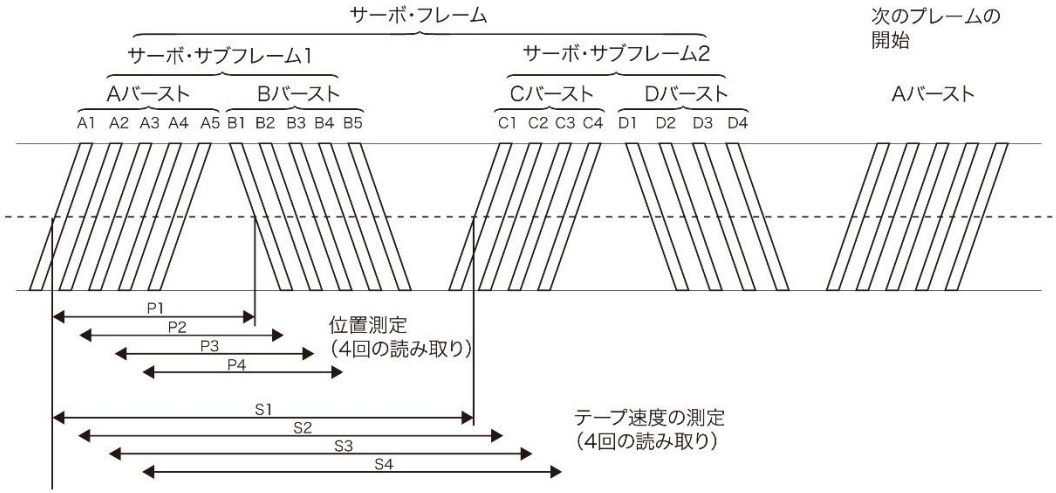
※本資料を引用される際は、出典元（JEITA テープストレージ専門委員会）を明記してください。但し、本資料が引用している図等（出典元記載）の再利用に関しては、当委員会での責任は負いかねます。適切な対応をお願いいたします。

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

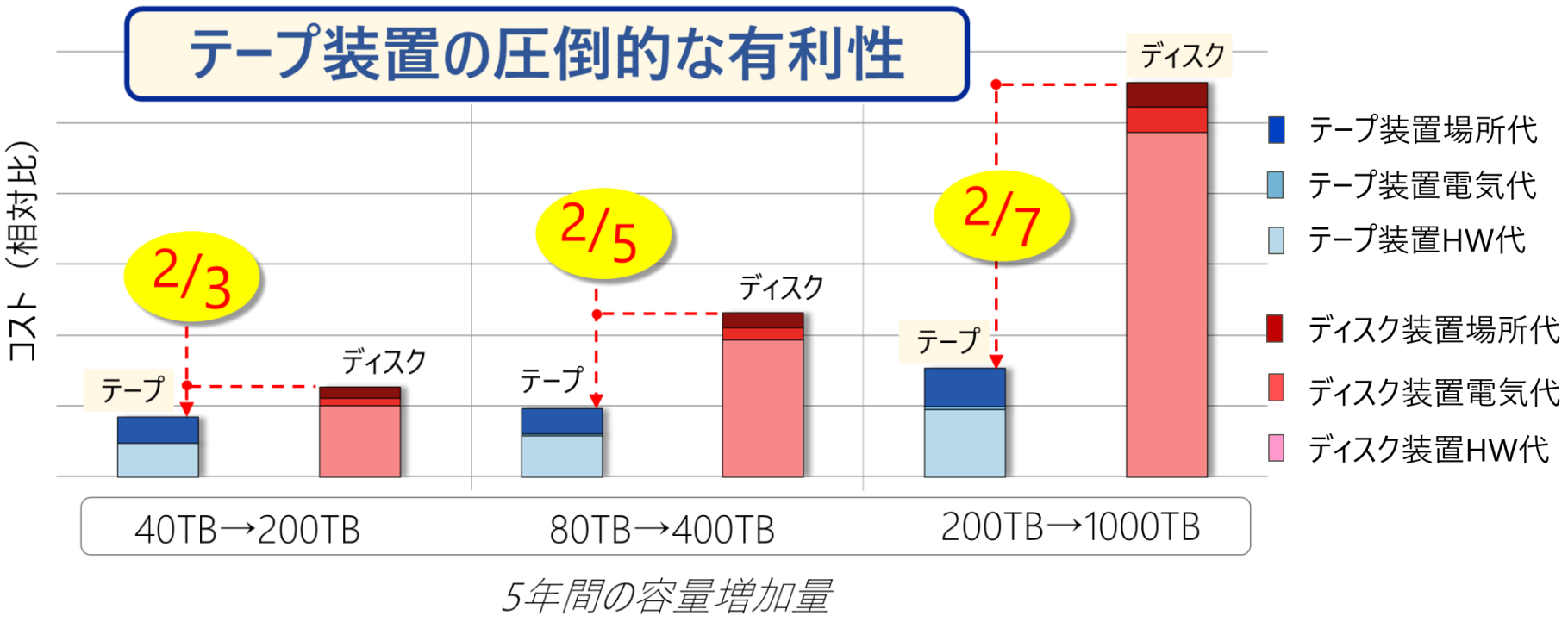




※本資料を引用される際は、出典元（JEITA テープストレージ専門委員会）を明記してください。但し、本資料が引用している図等（出典元記載）の再利用に関しては、当委員会での責任は負いかねます。適切な対応をお願いいたします。

第7章
省エネルギー効果

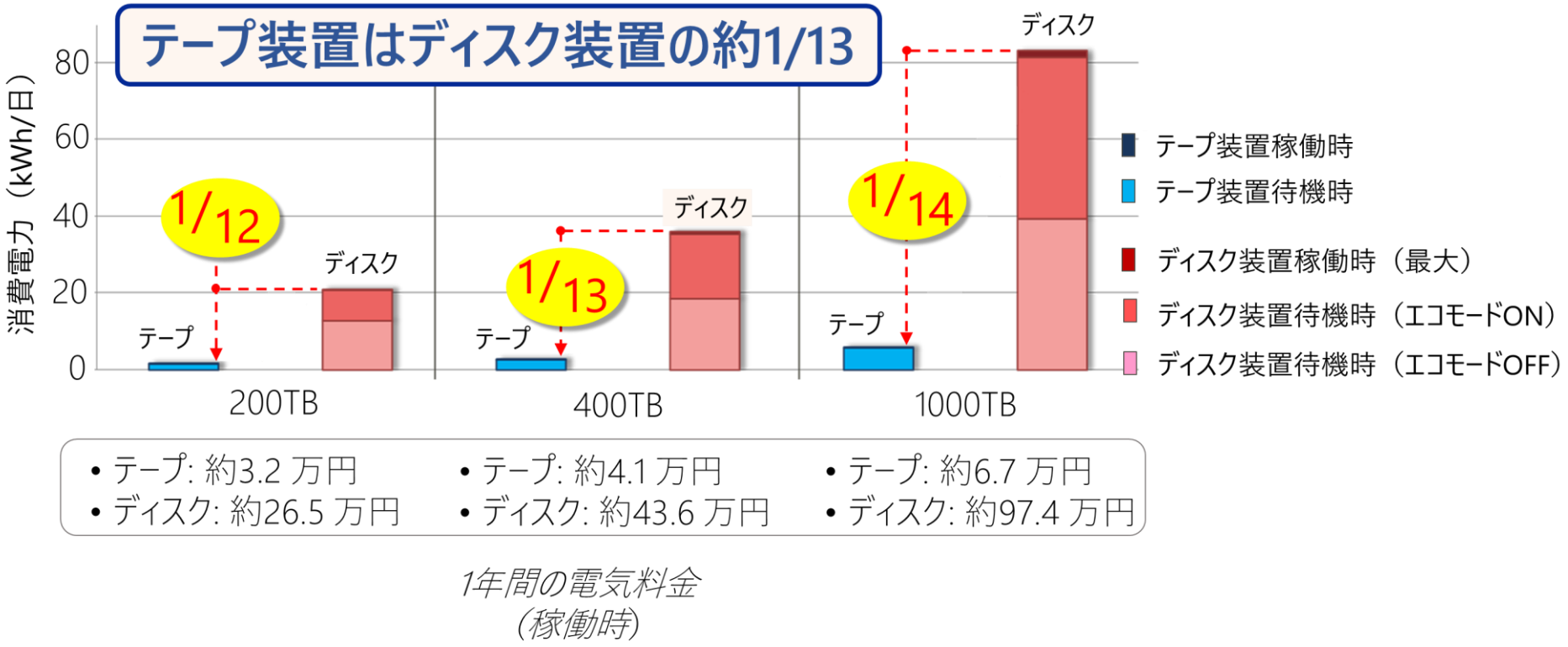
7. TCOの優位性



※ テープ装置　：80巻テープライブラリー、LTO 6ドライブ搭載（非圧縮2.5TB）
※ ディスク装置　：RAID 6構成、高密度実装タイプ、エコモード、Near Line 6 TB HDD

※本資料を引用される際は、出典元（JEITA テープストレージ専門委員会）を明記してください。但し、本資料が引用している図等（出典元記載）の再利用に関しては、当委員会での責任は負いかねます。適切な対応をお願いいたします。

7. 消費電力の削減

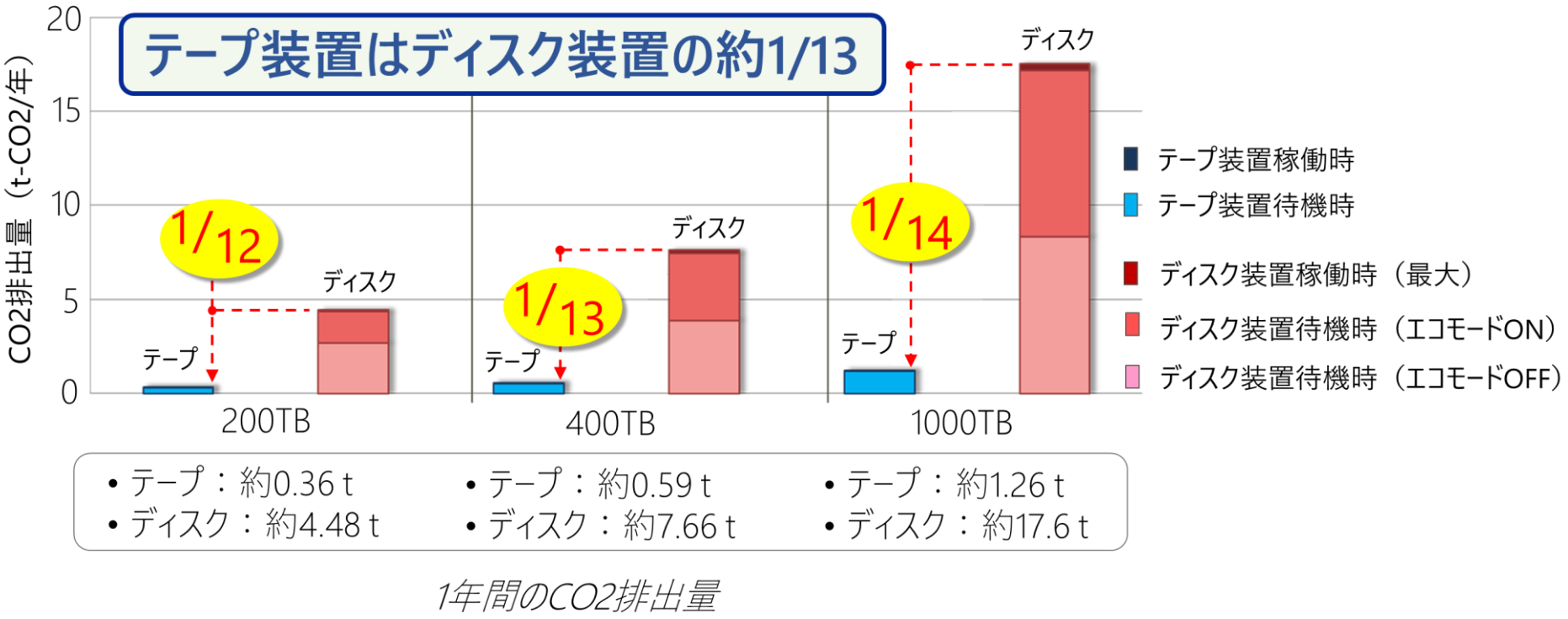


1年間の電気料金
(稼働時)

※ テープ装置　：80巻テープライブラリー、LTO 6ドライブ搭載（非圧縮2.5TB）
※ ディスク装置　：RAID 6構成、高密度実装タイプ、エコモード、Near Line 6 TB HDD

※本資料を引用される際は、出典元（JEITA テープストレージ専門委員会）を明記してください。但し、本資料が引用している図等（出典元記載）の再利用に関しては、当委員会での責任は負いかねます。適切な対応をお願いいたします。

7. CO2排出量の削減



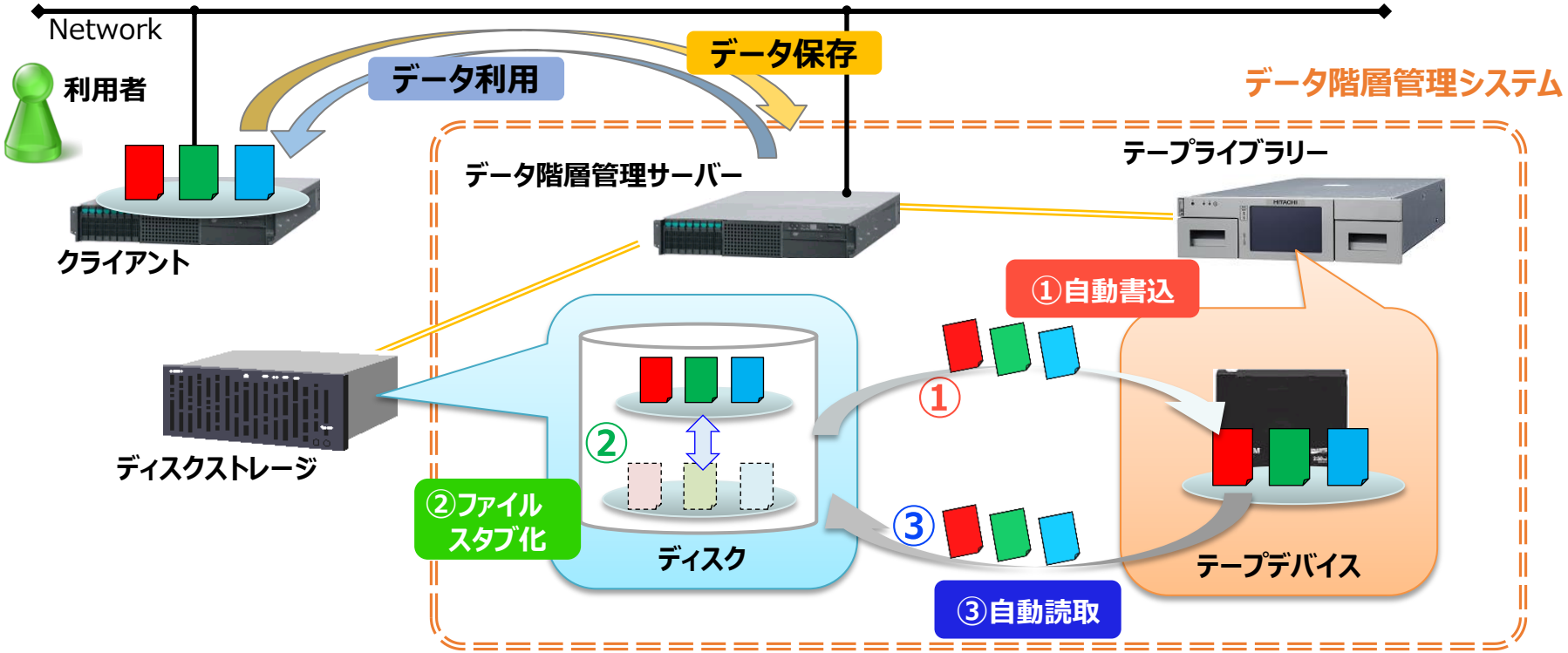
1年間のCO2排出量

※ テープ装置　：80巻テープライブラリー、LTO 6ドライブ搭載（非圧縮2.5TB）
※ ディスク装置　：RAID 6構成、高密度実装タイプ、エコモード、Near Line 6 TB HDD

※本資料を引用される際は、出典元（JEITA テープストレージ専門委員会）を明記してください。但し、本資料が引用している図等（出典元記載）の再利用に関しては、当委員会での責任は負いかねます。適切な対応をお願いいたします。

7. テープの省エネ性を組込んだ構成例

「ハードディスク」と「テープストレージ」のお互いのメリットを組合わせて省エネやTCO削減を実現！



動作	内容
①自動書込	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を移動(書込)
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自動読取	スタブ化されたデータにアクセスがあるとテープから自動的にデータを読取る

※本資料を引用される際は、出典元（JEITA テープストレージ専門委員会）を明記してください。但し、本資料が引用している図等（出典元記載）の再利用に関しては、当委員会での責任は負いかねます。適切な対応をお願いいたします。

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
- ✓ 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

※本資料を引用される際は、出典元（JEITA テープストレージ専門委員会）を明記してください。但し、本資料が引用している図等（出典元記載）の再利用に関しては、当委員会での責任は負いかねます。適切な対応をお願いいたします。

8. WORM技術と暗号化技術

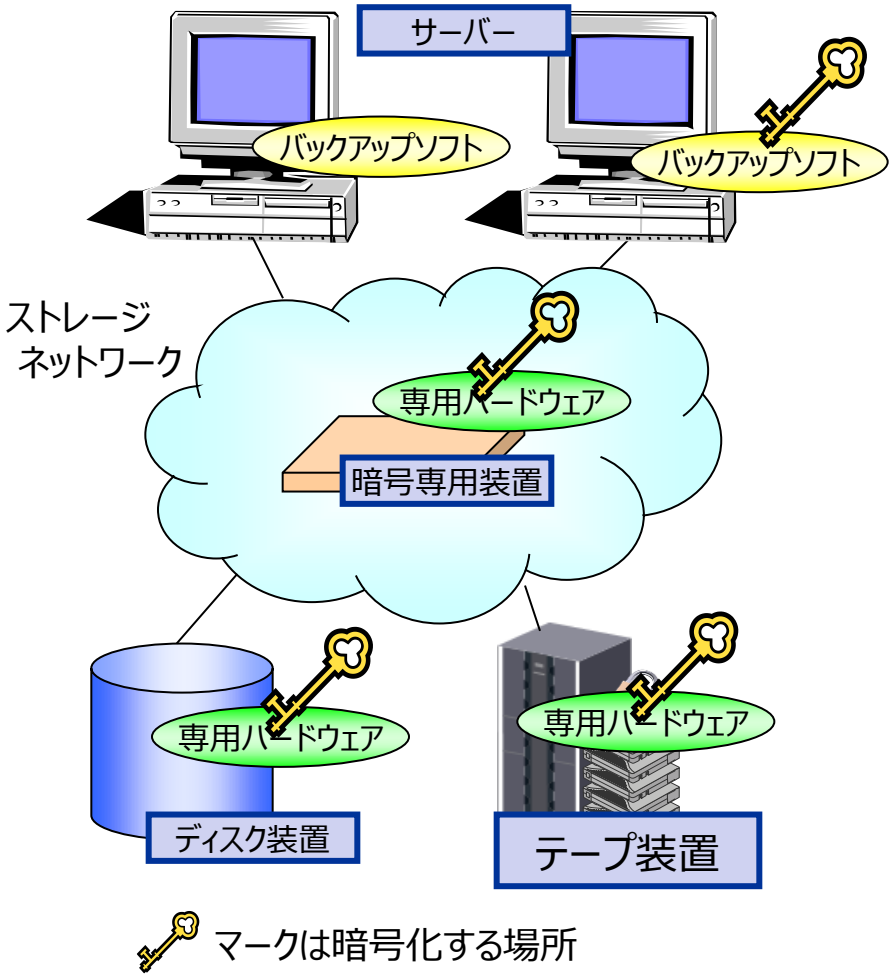
■ WORMの応用分野

- ✓ 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/ディーラー
  - 金融取引
- ✓ 法律
  - 必要書類
- ✓ 政府機関
  - 必要書類

※本資料を引用される際は、出典元（JEITA テープストレージ専門委員会）を明記してください。但し、本資料が引用している図等（出典元記載）の再利用に関しては、当委員会での責任は負いかねます。適切な対応をお願いいたします。

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、サーバのCPUに負荷を与え、処理能力はサーバの性能に依存

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ではテープ装置にバックアップが出来ない

（サーバ読取り時、復号しないとサーバ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

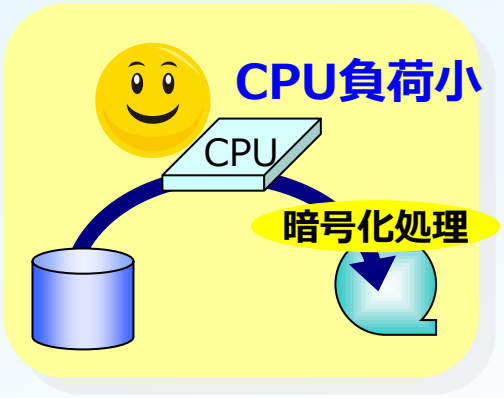
暗号化前にデータ圧縮が可能なので圧縮効率が低下しない

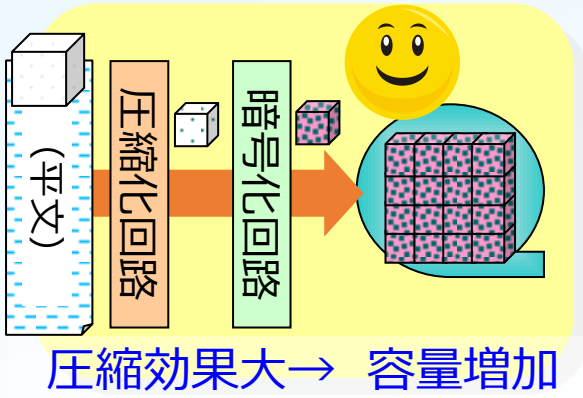
※本資料を引用される際は、出典元（JEITA テープストレージ専門委員会）を明記してください。但し、本資料が引用している図等（出典元記載）の再利用に関しては、当委員会での責任は負いかねます。適切な対応をお願いいたします。

8. WORM技術と暗号化技術

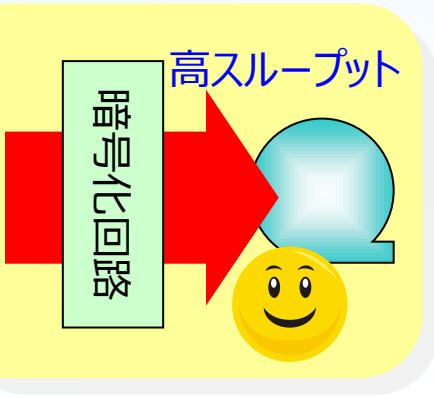
■ テープドライブでの暗号化処理の優位性

テープ装置の暗号



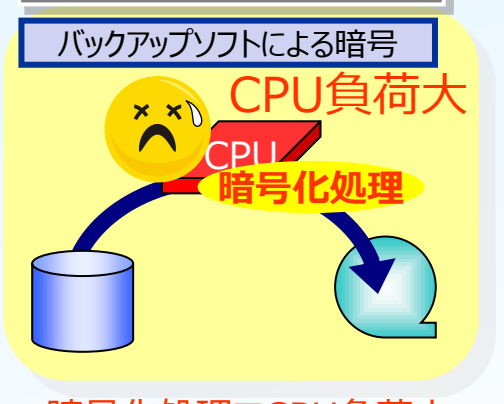


圧縮効果大→ 容量増加

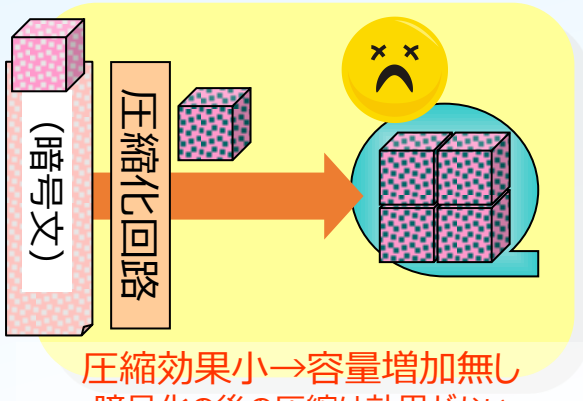


テープ装置以外の暗号

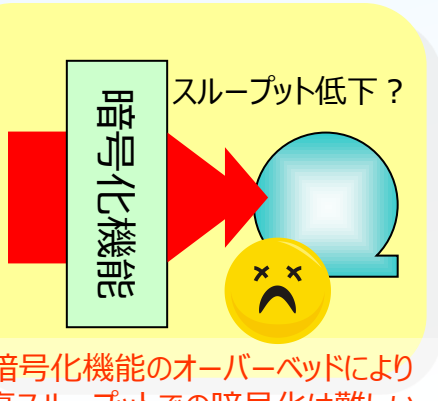
バックアップソフトによる暗号



暗号化処理でCPU負荷大



圧縮効果小→容量増加無し
暗号化の後の圧縮は効果がない



暗号化機能のオーバーベッドにより
高スループットでの暗号化は難しい

※本資料を引用される際は、出典元（JEITA テープストレージ専門委員会）を明記してください。但し、本資料が引用している図等（出典元記載）の再利用に関しては、当委員会での責任は負いかねます。適切な対応をお願いいたします。

第9章
LTFS
(Linear Tape File System)

9. テープの新たなる活用

■ 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ライブラリー装置による自動運用
  - 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

- 非構造化データの爆発的な増大とコンテンツの流通
- 新たな価値創造技術（分析技術など）の活用によるデータの再利用
- 長期保管に対する法的要請

大容量メディアとしてのLTOテープの優位性

- **低コスト – ビット単価、保管費用（エネルギー効率、保管スペース効率）**
- **高速なシーケンシャルアクセス**
- **メディアの可搬性**
- **長期保存特性**
- **複数のベンダーによりメディア互換性が実現されたオープンなテクノロジー**
- **高信頼性**

長期アーカイブやデータ交換媒体としての活用へ

※本資料を引用される際は、出典元（JEITA テープストレージ専門委員会）を明記してください。但し、本資料が引用している図等（出典元記載）の再利用に関しては、当委員会での責任は負いかねます。適切な対応をお願いいたします。

9. 長期アーカイブやデータ交換における要件

（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

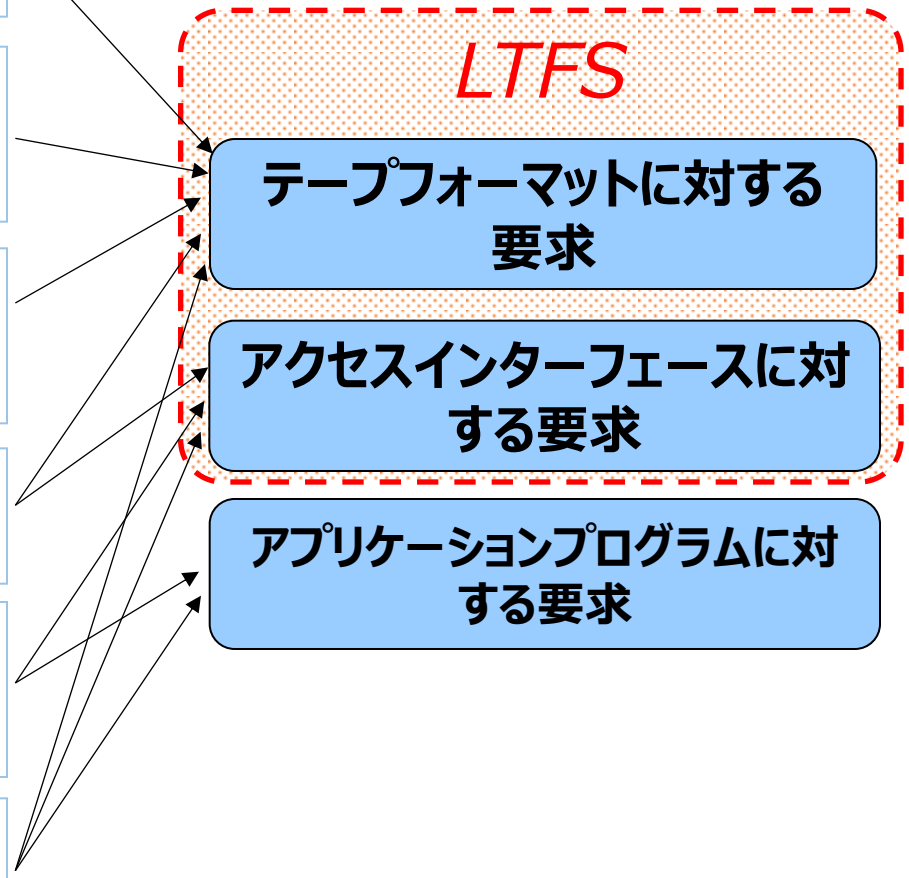
（２） データ移行の容易性
テープメディアを１つのシステムから容易にエクスポートして他のシステムにインポートできること

（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



※本資料を引用される際は、出典元（JEITA テープストレージ専門委員会）を明記してください。但し、本資料が引用している図等（出典元記載）の再利用に関しては、当委員会での責任は負いかねます。適切な対応をお願いいたします。

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のウェブサイト(*1)で一般に公開(2016年12月現在、最新版はv2.3)

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操作性で提供することが可能
- リファレンス実装(Linux用とMac OS X用)を、LTOサプライヤーよりオープンソースライセンスで提供

技術情報の公開によりLTFSがデファクトスタンダード化
2016年4月に「ISO/IEC 20919:2016 (*2)」として国際規格化

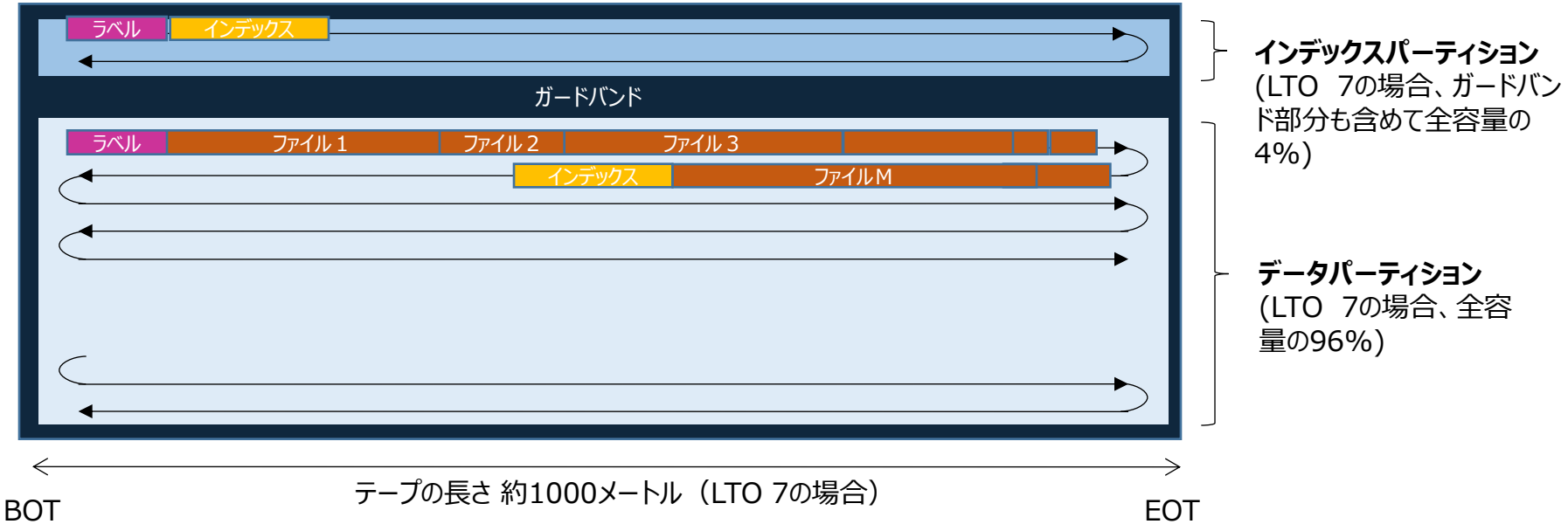
*1) http://www.snia.org/tech_activities/standards/curr_standards/ltfs
*2) ISO/IEC 20919:2016 Information technology -- Linear Tape File System (LTFS) Format Specification

※本資料を引用される際は、出典元（JEITA テープストレージ専門委員会）を明記してください。但し、本資料が引用している図等（出典元記載）の再利用に関しては、当委員会での責任は負いかねます。適切な対応をお願いいたします。

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



※本資料を引用される際は、出典元（JEITA テープストレージ専門委員会）を明記してください。但し、本資料が引用している図等（出典元記載）の再利用に関しては、当委員会での責任は負いかねます。適切な対応をお願いいたします。

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

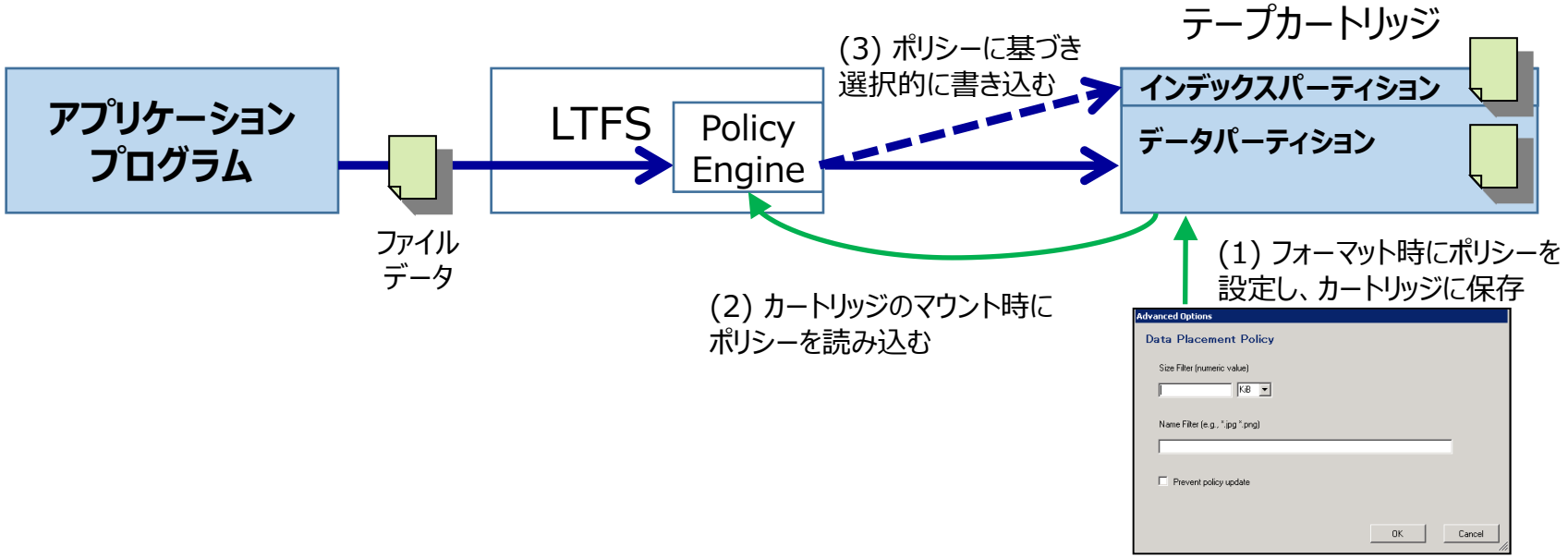
ユーザーの操作	LTFSの動作
新たなファイルの書き込み	データの書き込みとインデックスの変更を行う
ファイルの削除	データの消去、変更は行わずにインデックスからの参照だけを削除する。 このため、ファイルを削除してもテープ上の空き容量は増えない
ファイルの部分書き換え	古いデータを置き換える差分だけを新たに記録し(コピーオンライト方式)、インデックスの参照を切り替える

※本資料を引用される際は、出典元（JEITA テープストレージ専門委員会）を明記してください。但し、本資料が引用している図等（出典元記載）の再利用に関しては、当委員会での責任は負いかねます。適切な対応をお願いいたします。

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ーリングし、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。



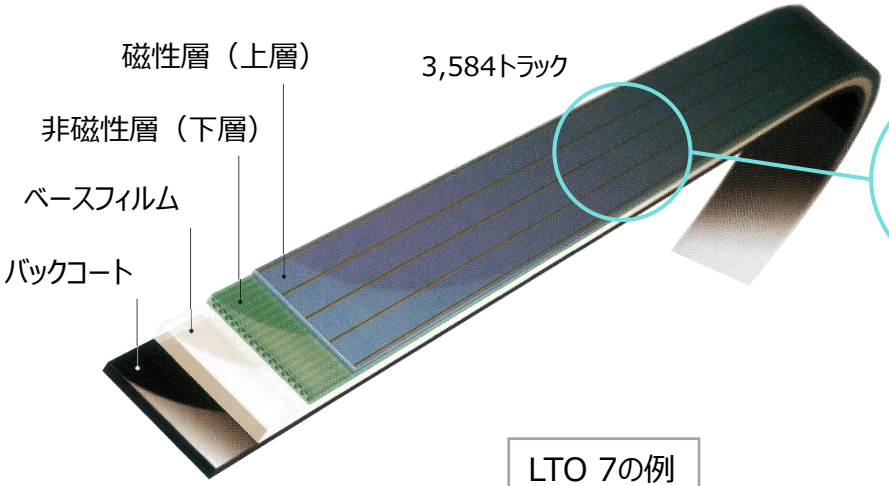
※本資料を引用される際は、出典元（JEITA テープストレージ専門委員会）を明記してください。但し、本資料が引用している図等（出典元記載）の再利用に関しては、当委員会での責任は負いかねます。適切な対応をお願いいたします。

第10章
テープメディア製造技術

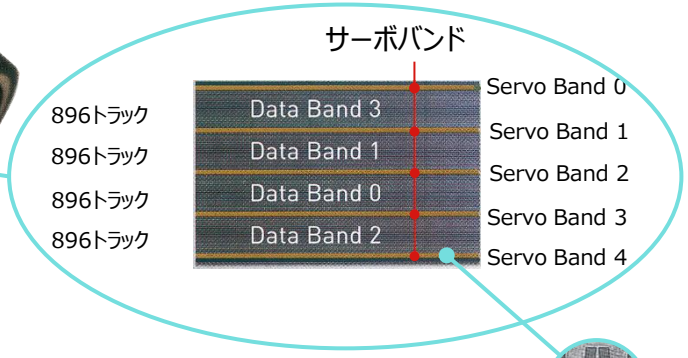
10. テープメディア製造技術
構造と素材

■ 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）、PA(ポリアミド)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 7の例



※ サーボトラッキングについては、第6章を参照のこと

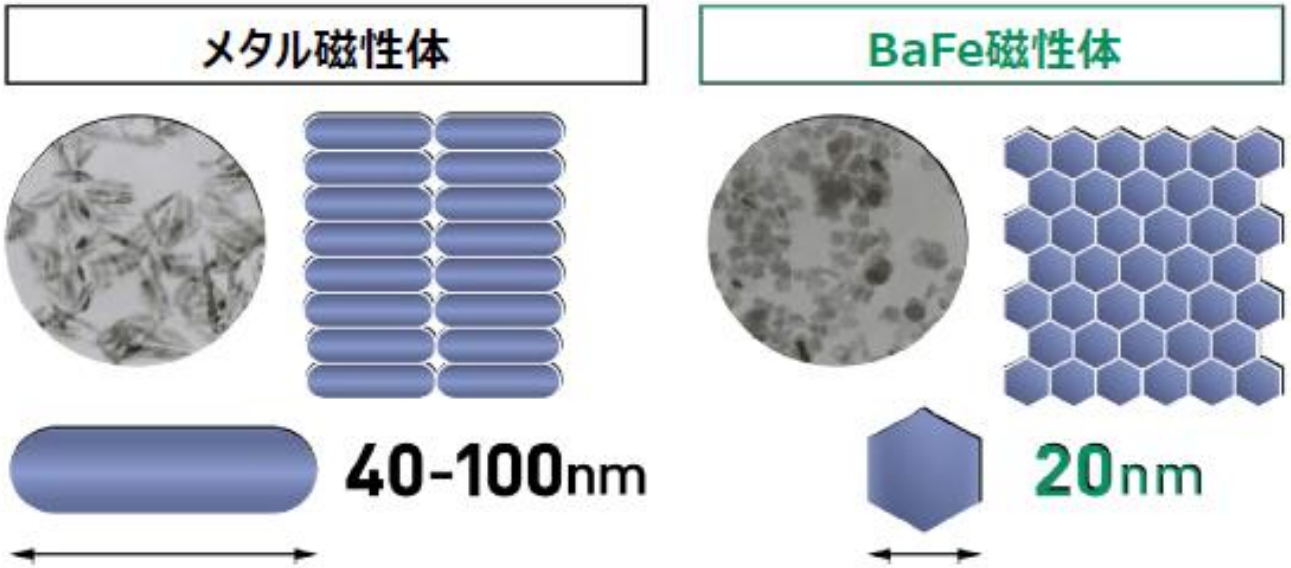
サーボパターン拡大写真

※本資料を引用される際は、出典元（JEITA テープストレージ専門委員会）を明記してください。但し、本資料が引用している図等（出典元記載）の再利用に関しては、当委員会での責任は負いかねます。適切な対応をお願いいたします。

10. テープメディア製造技術
構造と素材

■ 磁性体

- ✓ データを記録・保持する磁性体には、LTO 7ではバリウムフェライト(Barium Ferrite：BaFe)が使用されている。
- ✓ 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。



LTOテープの容量：～2.5TB　　**LTOテープの容量：6TB～(2016年時点)**

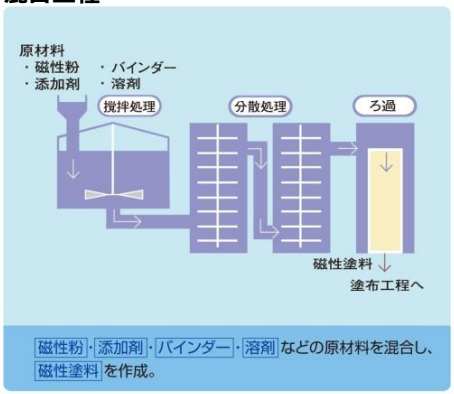
※本資料を引用される際は、出典元（JEITA テープストレージ専門委員会）を明記してください。但し、本資料が引用している図等（出典元記載）の再利用に関しては、当委員会での責任は負いかねます。適切な対応をお願いいたします。

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

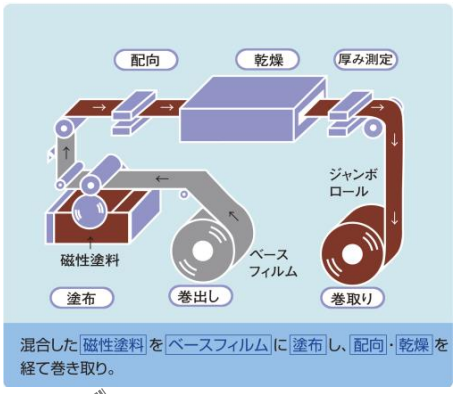
✓ 混合、塗布、カレンダー、裁断

混合工程



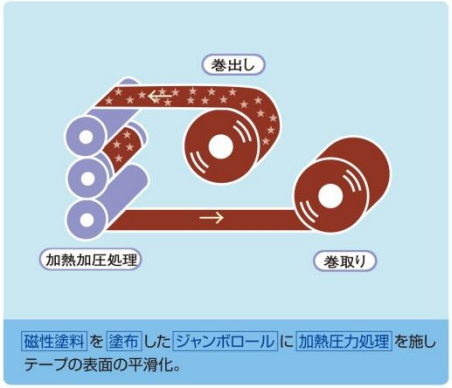
磁性粉・添加剤・バインダー・溶剤などの原材料を混合し、磁性塗料を作成。

塗布工程



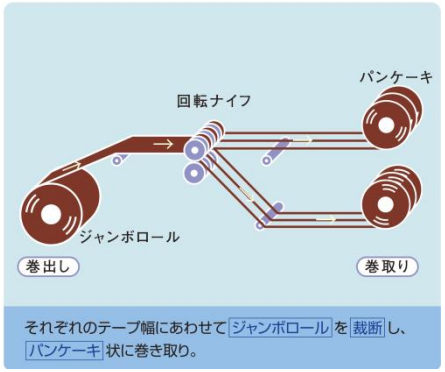
混合した磁性塗料をベースフィルムに塗布し、配向・乾燥を経て巻き取り。

カレンダー工程



磁性塗料を塗布したジャンボロールに加熱圧力処理を施しテープの表面の平滑化。

裁断工程



それぞれのテープ幅にあわせてジャンボロールを裁断し、パンケーキ状に巻き取り。

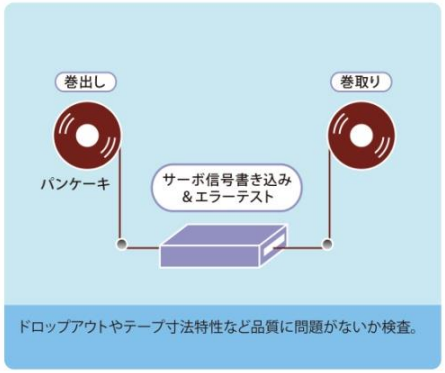
※本資料を引用される際は、出典元（JEITA テープストレージ専門委員会）を明記してください。但し、本資料が引用している図等（出典元記載）の再利用に関しては、当委員会での責任は負いかねます。適切な対応をお願いいたします。

10. テープメディア製造技術
製造工程（続）

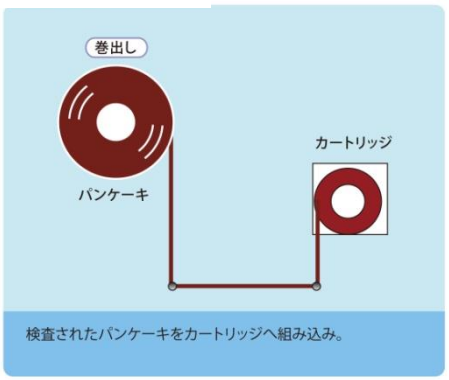
■ 磁気テープの製造工程（続）

✓ 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

完成品検査

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

※本資料を引用される際は、出典元（JEITA テープストレージ専門委員会）を明記してください。但し、本資料が引用している図等（出典元記載）の再利用に関しては、当委員会での責任は負いかねます。適切な対応をお願いいたします。

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
必要性と特徴

■ テープオートメーションの必要性

- ✓データの大容量化、アーカイブやバックアップの統合化
- ✓管理・運用のコストの削減

上記のニーズに以下の機能で対応

- ✓無人運用（カートリッジ交換など）
- ✓アーカイブやバックアップアプリケーションとの親和性
- ✓複数サーバーからのアクセスが可能
- ✓集中管理

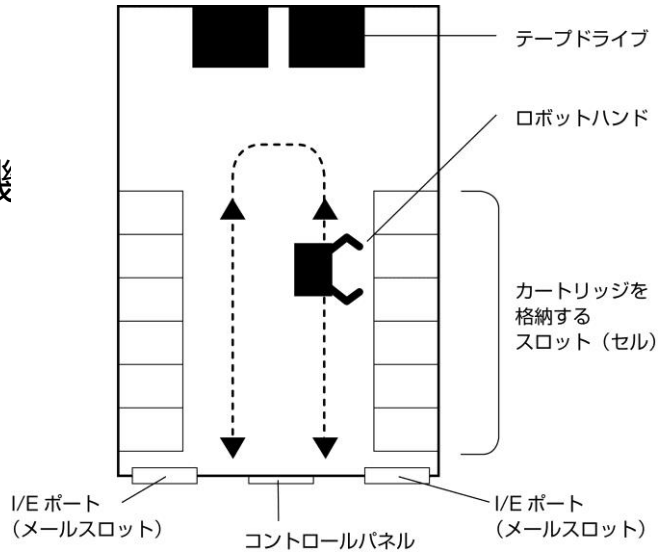
※本資料を引用される際は、出典元（JEITA テープストレージ専門委員会）を明記してください。但し、本資料が引用している図等（出典元記載）の再利用に関しては、当委員会での責任は負いかねます。適切な対応をお願いいたします。

11. テープオートメーション
構造と機能

■テープオートメーション※の基本構造

✓主要な構成要素

- データのリード・ライトを行うテープドライブ
- カートリッジを並べて格納するスロット（またはセル）
- ドライブとスロット間などでカートリッジを搬送するロボット機構（カートリッジを掴むハンドを含む）
- ロボット（ハンド）をコントロールする回路（ロボットコントローラー）
- サーバー等からのデータ入出力をつかさどるI/Oインターフェース
- カートリッジの出し入れ専用のメールスロット（またはImport/Exportスロットなどの別名）



■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で、パフォーマンス向上や容量増設が容易

※ テープオートメーションには、テープライブラリーとオートローダーの製品がある。オートローダーは最大収納カートリッジ巻数が20巻程度と比較的小型の装置でテープドライブ１台を搭載する（メーカーによってはハーフハイトドライブ2台）。テープライブラリーはドライブを2台以上を搭載でき、最大収納カートリッジ巻数は20巻程度から数千巻を超える製品が存在する。

※本資料を引用される際は、出典元（JEITA テープストレージ専門委員会）を明記してください。但し、本資料が引用している図等（出典元記載）の再利用に関しては、当委員会での責任は負いかねます。適切な対応をお願いいたします。

final page