

【産業競争力懇談会 2019年度 プロジェクト 中間報告】

【データ連携を支える次世代データ蓄積基盤】

2019年10月3日

産業競争力懇談会 **COCN**

【エクゼクティブサマリ（中間）】

1. 本プロジェクトの基本的な考え方

本プロジェクトでは、将来必要となる「階層型ストレージ」システムを利用した次世代のデータ蓄積基盤構築を推進し、データ連携の加速と拡大を支えることで産業競争力の強化を図る。

2. 検討の視点と範囲

(1) 現状・課題認識

データ保存は、①生成時の一時保存、②活用頻度の多い短期保存、③長期保存に分類できるが、昨今は利活用を前提としたデータの長期保存（アーカイブ）の重要性が高まっている。また、AI等データの活用にはデータ数が多いほど精度の高い結果が得られるため大量のデータが望まれ、さらにエッジ・デバイスの高性能化によりデータサイズもより大きくなる。このように大量で大容量なデータを扱うため、容量と性能のスケールアウト可能なオブジェクトストレージを採用したパブリッククラウドサービス（GAFA等）の利用が進んでいる。更に、国際的には、CO2の排出量削減が求められており、データ量の増大が見込まれる中での省エネルギー／CO2削減という、相反した対応も求められている。このような認識の下、課題を以下の通り整理する。

（課題1）大手クラウドサービスへの依存度が増す一方で、異なるサービス間のデータ連携の仕組みの検討は進んでおらず、サイロ化（ベンダーロックイン）が進む。

（課題2）データ蓄積基盤において、増え続ける膨大なデータを物理的にどのように保存し、如何に効率的に管理するか、という検討が遅れている。

（課題3）アクセス性能に優れるホットストレージ（HDD、SSD）は、データの増大に伴い、電力の消費やデータの保存・利用コストが大きな課題となる。一方、電力・コストでは優れたコールドストレージ（テープや光ディスク等）は、アクセス性能などでは劣る。

（課題4）分野によってデータに求められる特性（データ蓄積要件）が異なるため、データ特性の洗い出しとそれに対応した蓄積のしくみが必要であるが、その検討が遅れている。

加えて、異なる分野間でのデータ流通の仕組みも発展途上にあり、多様なデータの価値を活用するには、ユーザーが欲しいデータに適時・適切に検索・アクセスできる仕組みも重要である。

(2) 検討範囲

本プロジェクトでは、ホットストレージとコールドストレージを組み合わせた「階層型ストレージ」システムを利用したデータ蓄積基盤の実現に向け、以下の検討を行った。

- 1) 次世代データ蓄積基盤に求められる要件の検討
- 2) データ連携を実現するための効率的なデータ管理手法の検討
- 3) コールドストレージを利用した階層型ストレージの最適化検討
- 4) データ蓄積基盤に関連する技術動向などの俯瞰

中間段階ではあるが、現状以下の認識が得られている。

- ① 今後10年程度を見据えると、個々の記録メディアの高性能化はさらに進むものの、既存の記録メディアを凌駕する新たなメディアやデバイスが出現する可能性は低い。

- ② 高速性・大容量性、経済性、保全性等の要件を同時に満たす単一の記録メディアは存在せず、階層型ストレージが今後も最善の方法と考えられる。
- ③ データ保存・管理のための表現・記述が各システム、サービス間で異なり、データ連携に必要なデータの移行・共有に課題がある。対策としてメタデータの活用が有望である。
- ④ データ保全に関しては、個人情報データも急増しており、ユーザーが簡単に保護レベルを指定するだけで適切にデータ保全環境が提供されることが期待されている。

今後検討を進める上で重要な実証環境の構築については、具体的な課題を抱えている組織との間で共同プロジェクトの準備を進めており、その選定にあたっては、統合イノベーション戦略の中で強化すべき主要分野、データ蓄積基盤に先行して取り組んでいる分野などを考慮している。

具体的には、バイオ戦略 2019 の 4 重点分野の 1 つである『バイオとデジタルの融合を実現するデータ基盤』との協業を検討している。その実現には、①データベースが散在し連携していない、②ゲノム等のデータ量増大に対応し長期保全可能なデータ蓄積基盤が必要、③バイオ戦略 2020 ではデータ蓄積基盤を含めシステム全体の議論が必要、等といった課題が指摘されている。

3. 産業競争力強化のための提言および施策

(1) 提言および施策

「データ連携を加速するために、ソフトウェア階層におけるデータ連携だけでなく、それを支えるデータ蓄積基盤を含めた全体の検討加速が必要である。」そのために、大容量データの長期保全可能なコールドストレージを含む階層型ストレージを利用した次世代データ蓄積基盤の構築に向けてコンソーシアムの設立を検討する。コンソーシアムの主な役割は以下の通り。

- ① 階層化ストレージシステムを利用したデータ蓄積基盤の要件やデータ保存に係るメタデータの整理・標準化（インターフェースやプロトコル）、ガイドラインの作成
- ② 階層型ストレージ活用のための研究開発の活性化
- ③ 複数基盤間（分野間）の実証環境による POC の実施
- ④ 魅力ある次世代データ蓄積基盤づくり（ユーザー利便性向上、使いやすいシステム化）

(2) 実現のための役割分担

「産」においては、コンソーシアムを設立し、最新技術を集めた次世代データ蓄積基盤のための環境整備を推進していく。「学」には、データ最適配置のためのアルゴリズム開発やデータ流通の仕組み等の研究開発の協力を仰ぎ、そのための予算確保方法を共に検討する。「官」には特に要望の高いデータ保全に関する基準の整備や関連する規格化活動などについてご指導をお願いする。

4. 最終報告に向けた検討上の課題と展開

- ① バイオデータ領域をはじめとする具体的なユースケースにおいて、個別課題抽出を行い実証環境の構築に向けた準備を具体化する。
- ② 本蓄積基盤が取り組む横断的な課題への対応や新たな仕組み作りなどを継続的に可能にするため、関連企業が集まるコンソーシアムの設立（2021 年度）を検討する。これに向け、2019 年度後半では基本構想（主体、活動内容など）を固め、設立準備会の立ち上げを目指す。

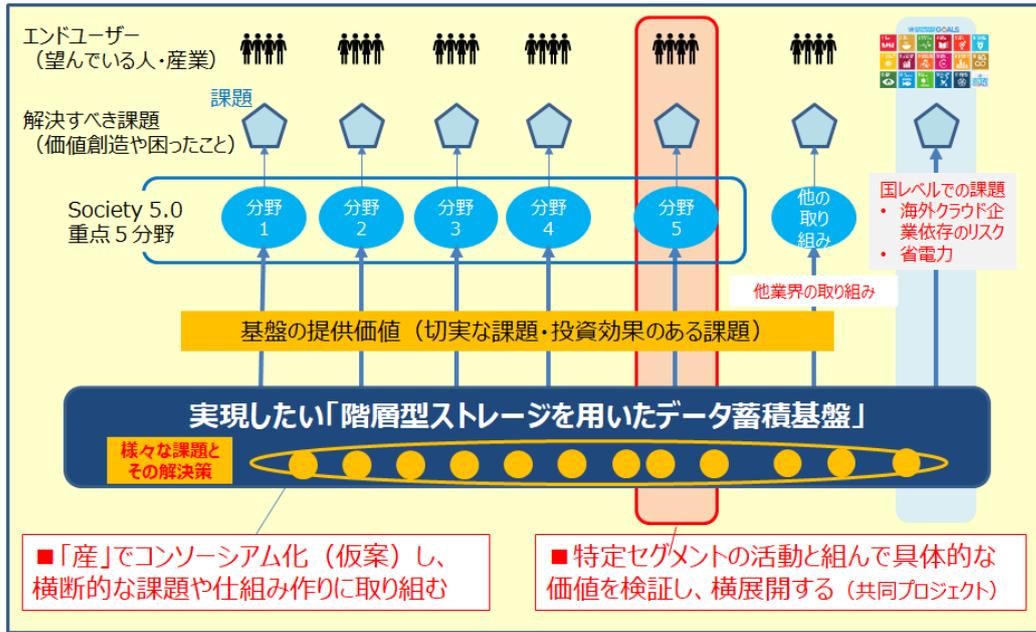


図1 PJの取り組み方針

【目 次】

1. プロジェクトの背景

2. 次世代データ蓄積基盤に求められる要件

2-1 次世代データ蓄積基盤に向けた課題の洗い出し

2-1-1 現行の問題点（全般）

2-1-2 各分野における課題抽出のためのインタビュー調査

- 調査内容
- 対象
- 結果概要（詳細は別紙）

2-1-3 各分野における課題のまとめ

2-2 次世代データ蓄積基盤に求められる要件

3. データ連携を実現するためのデータマネジメント手法

3-1 データ連携の課題と対策の提言

3-2 クラウドサービスの普及と階層型ストレージの変化

3-3 各種アーカイブストレージ群の連携 ～ メタデータの活用

3-4 データ連携において必要となる要件

3-5 コールドストレージ活用に向けての考え方

3-6 ユースケース

3-7 メタデータの具体例

4. データ蓄積基盤に係る技術動向

4-1 ストレージ技術ロードマップ

4-2 先端技術開発動向

4-3 データ蓄積基盤向けストレージシステムの今後

5. 産業競争力強化のための提言と産学官の役割分担

5-1 提言および施策

5-2 実現のための役割分担

6. 最終報告書に向けた検討上の課題と展開

【プロジェクトメンバー】

プロジェクトメンバー

■リーダー：

岩本 哲也（ソニーイメージングプロダクツ&ソリューションズ株式会社）

■ワーキンググループ主査・副査

標準データ蓄積基盤 WG 主査 : 脇 昌弘（ソニービジネスソリューション株式会社）

同 WG 副査 : 荒木 純隆（富士通株式会社）

データ蓄積エコシステム WG 主査 : 鶴見 利章（クラウドファン株式会社）

同 WG 副査 : 熊沢 忠志（富士通株式会社）

将来データ蓄積基盤技術 WG 主査 : 今井 拓司（技術ジャーナリスト）

■プロジェクト事務局

竹島 秀治 三菱ケミカル株式会社

金井 浩之 株式会社三菱ケミカルホールディングス

柴垣 奨 ソニーイメージングプロダクツ&ソリューションズ株式会社

河村 和彦 ソニーイメージングプロダクツ&ソリューションズ株式会社

■メンバー：

松本 信幸 NTT データ先端技術株式会社

中村 俊一 NTT データ先端技術株式会社

川村 直毅 NTT データ先端技術株式会社

角野 弘明 有限会社オプティカルエキスパート

中澤 道治 さくらインターネット株式会社

吉田 浩 大学共同利用機関法人 国立情報学研究所

山地 一禎 大学共同利用機関法人 国立情報学研究所

合田 憲人 大学共同利用機関法人 国立情報学研究所

安田 哲二 国立研究開発法人 産業技術総合研究所

来見田 淳也 国立研究開発法人 産業技術総合研究所

小笠原 泰弘 国立研究開発法人 産業技術総合研究所

田中 良夫 国立研究開発法人 産業技術総合研究所

妹尾 義樹 国立研究開発法人 産業技術総合研究所

時実 象一 東京大学大学院

柳 与志夫 東京大学大学院

沖野 剛史 株式会社東芝

安達 三郎 有限会社 日本 HDD 協会

青山 宏 パイオニア株式会社

谷口 昭史	パイオニア株式会社
立川 篤	富士フイルム株式会社
村田 悠人	富士フイルム株式会社
長谷川 文彦	富士フイルム株式会社
富井 大介	富士通株式会社
山下 智也	富士通株式会社
田村 雅寿	株式会社富士通研究所
野村 貴彦	株式会社ボウラインマネジメント
溝上 卓也	株式会社ボウラインマネジメント
千葉 善二郎	株式会社三菱ケミカルホールディングス
橋爪 宇生	三菱ケミカル株式会社
佐藤 嘉記	三菱ケミカル株式会社
大漣 宏明	三菱ケミカルメディア株式会社
柴田 高広	株式会社三菱総研
西郷 貴洋	株式会社三菱総研
鶴 薫	三菱電機株式会社
濱口 雄彦	株式会社 HGST ジャパン
竹内 晃一	沖電気工業株式会社
伊加田 恵志	沖電気工業株式会社

■COCN 実行委員： 江村 克己 日本電気株式会社
田中 幸二 株式会社日立製作所

■COCN 企画小委員： 大久保 進之介 富士通株式会社
武田 安司 株式会社日立製作所
田中 克二 株式会社三菱ケミカルホールディングス
菊地 達朗 株式会社日立製作所

■COCN 事務局長： 中塚 隆雄

■COCN 副事務局長： 五日市 敦 株式会社東芝
佐藤 桂樹 トヨタ自動車株式会社

【本文】

1. プロジェクトの背景

昨今の IoT/AI の発展が牽引するデータ利活用は加速度的に増大しているが、日々増え続けるデータの保存・管理に関しては、その議論が国家単位で検討され始められた段階であり、諸外国に大きく遅れをとっている状況にある。本プロジェクトでは、データ駆動社会を支えるデータ蓄積基盤のあるべき姿を明らかにし、将来必要となる「階層型ストレージ」システムを利用した次世代のデータ蓄積基盤構築を推進し、データ流通の加速と拡大を通じて産業競争力強化を図る。

データ保存は、①生成時の一時保存、②活用頻度の多い短期保存、③長期保存に分類できるが、昨今は利活用を前提としたデータの長期保存（アーカイブ）の重要性が高まっている。また、AI 等データの活用にはデータ数が多いほど精度の高い結果が得られるため大量のデータが望まれ、さらにエッジ・デバイスの高性能化によりデータサイズもより大きくなる。このように大量で大容量なデータを扱うため、容量と性能のスケールアウト可能なオブジェクトストレージを採用したパブリッククラウドサービス（GAFA 等）の利用が進んでいる。更に、国際的には、CO2 の排出量削減が求められており、データ量の増大が見込まれる中での省エネルギー／CO2 削減という、相反した対応も求められている。このような認識の下、課題を以下の通り整理する。

（課題 1）大手クラウドサービスへの依存度が増す一方で、異なるサービス間のデータ連携の仕組みの検討は進んでおらず、サイロ化（ベンダーロックイン）が進む。

（課題 2）データ蓄積基盤において、増え続ける膨大なデータを物理的にどのように保存し、如何に効率的に管理するか、という検討が遅れている。

（課題 3）アクセス性能に優れるホットストレージ（HDD、SSD）は、データの増大に伴い、電力の消費やデータの保存・利用コストが大きな課題となる。一方、電力・コストでは優位なコールドストレージ（テープや光ディスク等）は、アクセス性能などでは劣る。

（課題 4）分野によってデータに求められる特性（データ蓄積要件）が異なるため、データ特性の洗い出しとそれに対応した蓄積のしくみが必要であるが、その検討が遅れている。

加えて、異なる分野間でのデータ流通の仕組みも発展途上にあり、多様なデータの価値を活用するには、ユーザーが欲しいデータに適時・適切に検索・アクセスできる仕組みも重要である。

2. 次世代データ蓄積基盤に求められる要件

2-1 次世代データ蓄積基盤に向けた課題の洗い出し

本プロジェクトでは、まずは、代表的な機関、団体、企業などのユーザーへのインタビューに基づきデータ活用を前提としたデータ蓄積に関する課題抽出と、データ蓄積基盤に求められる要件の整理を実施した。

2-1-1 現行の問題点（全般）

近年、生成されるデータ量が益々膨大になっている中、確実なデータ保全だけでなく、個人情報などのセキュリティ対応や、より広範囲なデータ活用に当たってアクセス性の担保など、システムに求められる要件は高度化しているが、経済性の追及も重要な課題である。

一方で従来の大量データ保存システムの多くは、組織内での利用が前提となっているうえ、特定のデータ管理ソフトウェアの古い仕様に縛られ、十分な拡張性や俊敏性に乏しい。また、外部とのデータ連携に対する機能が十分ではなく、データ活用による新たなビジネス創出などには対応が困難である。

そのため、外部とのデータ連携を求めるケースではパブリッククラウドを利用することが増えているが、システムの稼働率、性能およびコストがユーザーのニーズと一致しないことも多い。また、大量データのパブリッククラウド間での移行に関しては、性能やコスト以外にもアクセス・インターフェースの違いなどによる障壁がありユーザーの不利益となっている。

これらの背景に加え、データの種類、ユーザーの属性により優先順位が違うことから、複数の記録メディアを活用する階層型ストレージシステムが必要であると考えられる。階層型ストレージシステムは従来から一部のユーザーでは利用されてきたが、運用性や導入の複雑さ、環境整備の遅れなどから普及が進んでいないため、これらの課題を解決し、大量のデータを各々のユーザー要件に合わせて効率的に管理するソリューションを用意する必要があると考えられる。

階層型ストレージシステムとは、異なる特性のメディア(*)を組み合わせることでアクセス性とコストの両立を図るシステムであり、一般には SSD/HDD といったホットストレージとテープ/光ディスクといったコールドストレージを組み合わせる。また、メディア間のデータ移動の機能を持つソフトウェアで構成される。特にデータ量の増加が大きく、アクセス頻度が低いデータについては、読出し時間が許容されれば、コールドストレージを活用することで、コスト削減と消費電力の削減が可能となる。

*異なる特性のメディア

ホットストレージ

SSD : 高速データ処理に優れるため、ホットストレージとして適しているが、比較的高コストである。

HDD : 高速データ処理が可能でホットストレージとして普及しているが、耐衝撃性、消費電力に課題がある。

コールドストレージ

Tape : 大容量、低コストかつ低消費電力であるため、一般的なコールドストレージとして普及している。また、データ圧縮技術や暗号化技術も標準搭載している。

Optical : 長期保存特性、災害耐性、改ざん防止に優れ、かつ低消費電力であることから、特にデータ保全が必要なコールドストレージとして適している。

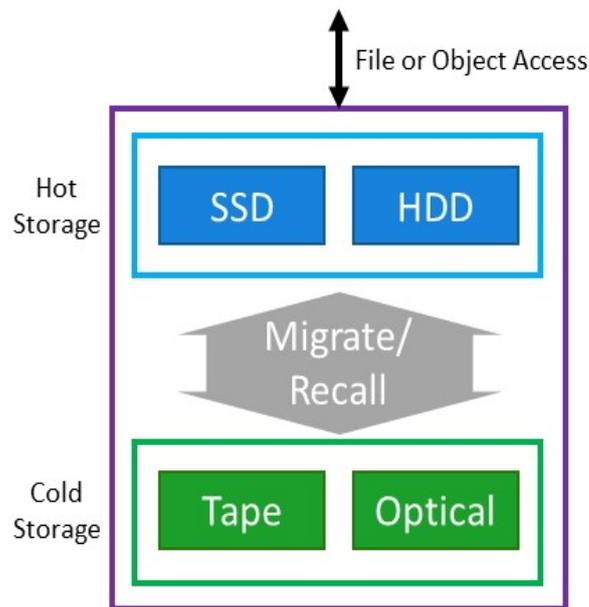


図 2-1 階層型ストレージシステムの概念図

2-1-2 各分野における課題抽出のためのインタビュー調査

- 調査内容：データ種別、データ量／増加量、保存要件など
- 調査対象の団体・企業：データ種ごとの主なユーザー 51 団体
- 結果概要

ユーザーカテゴリごとの要件の中で優先度の高いものを以下にまとめた。

ユーザーカテゴリ・データ種	保存年数	読み出し許容時間	優先順位		
			1位	2位	3位
図書館/博物館/公文書館など 文化財のデジタルコンテンツ	永年	時間確保可の コンテンツあり	データ保全性	保存環境の 継続性	コスト
建設/土木・図面など	永年	時間確保可	データ保全性	コスト	性能
企業の会計情報など	法に基づく	時間確保可	データ保全性	コスト	
医療・手術映像	20年	時間確保可	データ保全性	保存環境の継続性	秘匿性
研究データ	10年	時間確保可	データ保全性	保存環境の継続性	コスト
製薬	法に基づく	時間確保可	データ保全性		
地球・宇宙・自然現象観測データ	永年	時間確保可	データ保全性	保存環境の継続性	性能
放送・報道映像素材	永年	時間確保可	保存環境の継続性	データ保全性	性能
国防、国家機密	永年	時間確保可	秘匿性	データ保全性	
ゲノム・生体データ	永年	時間確保可	秘匿性	データ保全性	改ざん防止
コネクテッドカー (自動運転)	20年	時間確保可	コスト	省電力	データ保全性

上記のユーザーニーズに対し具体的な解決方法が標準化されていないことが、複数のユーザーへのインタビュー調査で判明した。

特にバイオ業界では、2019年6月11日の統合イノベーション戦略推進会議で決定されたバイオ戦略2019に基づいて、『バイオとデジタルの融合を実現するデータ基盤の構築』が、4つの重点分野の一つとなっており、バイオインダストリー協会（以下 JBA）、バイオ産業人会議（以下、JABEX）での意見交換の結果、『実際にバイオとデジタルの融合を実現するデータ基盤を構築するためには IT 専門部隊の協力が是非とも必要』、『COCN データ連携を支える次世代データ蓄積基盤プロジェクトとは補完関係になるため、相互協力の方向で動けないか』といった声を複数の主要参加者から確認しており、今後のデータ爆発が想定される以下の2つの市場領域におけるデータ基盤構築において、相互協力の必要性が急務であるとの認識で一致した。

① 生活習慣改善ヘルスケア、機能性食品、デジタルヘルス分野

この分野では、これまで分散し眠っていた健康・医療関連データをビッグデータ化し、バイオテクノロジーと組み合わせることや、健康に良い食の解明・開発とそのオーダーメイドな提供を通じて、本市場領域を発展させ、健康・未病段階のセルフケア・早期発見・再発予防などを切れ目なく行う社会システムを世界に先駆けて実現し、新市場を創出し、世界市場を獲得するというバイオ戦略を支えるデータ連携・蓄積基盤が期待されている。

② バイオ医薬・再生医療・細胞治療・遺伝子治療関連産業分野

この分野ではバイオ医薬品や再生医療等の研究開発が進み、バイオとデジタルの融合により、今後、バイオ医薬品や再生医療等の本格的な産業化と巨大な新市場の創出が期待されている他、創薬分野の共通的な関連産業市場を押さえることで、再生医療等の本格的な産業化の際の大市場を獲得するというバイオ戦略を支えるデータ蓄積基盤の構築を期待されている。

現在、バイオ戦略2019タスクフォースで強かに推進することになっている下記①②（バイオ戦略2019から抜粋）に対して当プロジェクトの次世代基盤構築思想を盛り込み、基盤構築側の実行部隊として、JBA/JABEX と協力し合いながら具体的な候補を絞り、実証実験を実施していくことを模索している。

① データ基盤の全体設計【関係省庁 IT、健康医療、科技、文、厚、農、経】

市場領域や科学の発展という観点から必要なデータ基盤を整備（健康医療、バイオ素材、育種等）が求められている。

2020 年度までに全体設計（アーキテクチャ。標準化を含む）を策定するとともに、現行のライフサイエンスデータベース統合推進事業の取組を生かしつつ、2021 年度にデータ基盤の整備運用体制を構築（SIP において全体設計策定、整備運用体制構築を先導（PoC 含む）

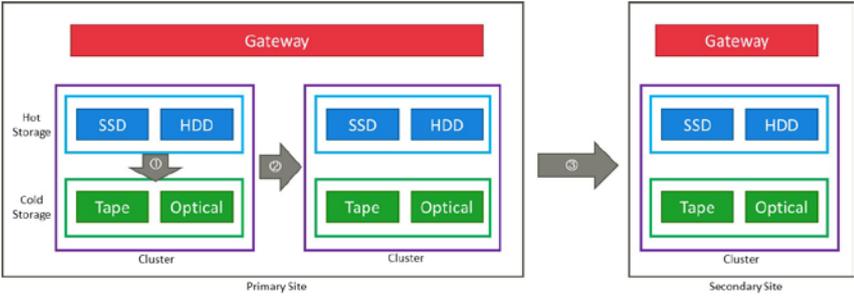
② 健康医療関連データ基盤

医療分野での取組をベースに、非医療分野も含めた健康・医療分野全体での我が国の成長（研究とイノベーションの双方）の土台となるデータ基盤を整備し、その利活用を通じて、予防・治療法の開発による社会コストの削減、個別化ヘルスケアなど幅広いサービスの創出等による産業界の活性化を実現することが求められている。

<大規模模統合コホート（一定の集団における、長期間にわたる健康・疾病状態の追跡研究）バイオバンクの構築> 大規模ヒトデータ統合プラットフォーム構築を 2020 夏までに SIP で検討されている。

ここで扱われるデータはゲノムなど「長期保存」が必要な要配慮個人データとなり、今後爆発的に増加することが見込まれるため、大容量データの長期保全、セキュリティを強化したデータ蓄積基盤が必要との声も挙がっている（JBA、JABEX、バイオバンク、大学医学部など）。

ユーザーニーズ	課題と解決手段に関する考察
データ保全性	<p>確実なデータ保全に当たっては、“1 Copy Offsite, 2 Different Media Types, 3 Copies”と言われるように災害、機器障害、メディアエラーなどに関しリスク回避が必要となる。また、災害への備えとして国内においては大規模地震を想定し、データセンター間の距離(100km 以上が推奨)だけでなく、異なる電力会社のエリアにデータセンターを分散配置するなども考慮に入れる必要がある。また、近年増加している外部からの侵入・改ざん・消去などへの対応のためにもデータ復旧が必要となる。</p> <p>しかし、これらのデータ保全に関する基本的概念も JIS として標準化されているものもあるが、全ての記録メディアが記載されているわけではない。その他のガイドラインなども多数存在するが十分に浸透しているとは言えず、実際にはリスクを含んでいるシステムも見受けられる。この基本的な概念については、もっと周知する活動が必要と考える。</p>

	 <p>階層制御ストレージでの具体的なデータ保全としては、①クラスタ内でのミラーリング(三重以上が推奨)やイレージャーコーディング(複数のパリティ)により冗長データを持つ。②同一サイト内でも異なるクラスタなど分離された物理的に異なる種類のメディアに置く。③大規模災害に対応するためオフサイトへのコピーをとる。</p>
<p>保存環境 の 継続性</p>	<p>長期保存の観点では、データ保存環境およびデータ再現環境について計画的な対応が必要となるが、これらがユーザーの負担増加につながっている。</p> <p>① 機器および記録メディアのマイグレーション(物理的老朽化対応)</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ 特にコールドストレージを長期に棚保管している場合など、再生可能なドライブが入手できないというユーザー事例もあり注意が必要。場合によってはメディアコンバートサービスなどの利用も検討可能。 <p>② データフォーマットやビューアーの継続性(論理的な老朽化対応)</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ 建設図面などでは、TIFF形式での電子的な保存もあるが、数十年に渡る見読性の観点から、拡大することで目視できるマイクロフィルムも多用されている。 ✓ 映像データも作成された時点で普及しているデータフォーマットを使用するが、データ圧縮をしないベーシックなフォーマットでの記録をしているユーザーもある。いずれにしても数十年後の再生に関してはフォーマットの変換や対応するビューアーの継続性が課題となっている。
<p>性能</p>	<p>性能に関しては以下の3つの観点があるが、ユーザーにとっては具体的な実装方法が分かりにくいという課題がある。特にコールドストレージに関しての知識が少ないため、実際にはコールドストレージを活用できるケースでも、ホットストレージの単一構成をとっているケースも多く見受けられる。</p> <p>① 総書込み/読出しスループット性能</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ データ蓄積基盤として記録要求されるすべてのデータを取りこぼさなく格納することが必要 ✓ 階層型ストレージではホットストレージ層はスケールアウト構成をと

	<p>りやすく性能担保は比較的容易であるが、コールドストレージ層はメディアプールとドライブの割当てについて十分に考慮する必要がある</p> <p>② 単一ストリーミングでの書き込み／読出しスループット性能</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ 大容量データの高速入出力に関しては、ホットストレージ層でデータ転送時間としてはカバーできるが、コールドストレージのアクセスに関して時間がかかることによって、ホットストレージ層の容量を圧迫することがある ✓ コールドストレージ層の高速化はドライブおよび媒体の並列転送などの機能を持つ必要がある <p>③ 読出しリクエストからデータ転送開始までの時間</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ コールドストレージに関しては、ライブラリ装置のロボットによるメディアの搬送、ドライブでのローディングなどの時間が必要となる。そのため、インターネット経由のアクセスではアプリケーション側のタイムアウトが発生しない仕組みが必要。
コスト	<p>コスト最適化は多くのケースで言われており下記のような観点でコスト最適化が可能であるが、階層制御の複雑さからコールドストレージを活用できていないケースがある。</p> <p>① コールドストレージの活用</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ アクセス頻度が低いデータを容量単価の低いメディアに配置することでコストを削減 <ul style="list-style-type: none"> ● 生成されるデータ量に対し、メディアの記憶容量の増加が追いついていないという課題がある ✓ コールドストレージを使うことでの消費電力を削減し運用コストを最適化する <p>② ソフトウェアライセンス</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ 既に大規模な階層型ストレージを使っているユーザーからは、制御ソフトウェアのライセンス料・サポート料が高額で規模の拡大がしにくいという課題が挙げられている。また、階層制御ソフトウェアの提供ベンダーの寡占や事業継続性に対する不安もある <p>③ データリダクション</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ データ圧縮や重複排除など、物理的に記録されるデータ量を削減する。ただし、メディア単体で再現性が担保されることが前提。
秘匿性	<p>データ活用が大きなテーマとなっているが、一方ではオープンに出来ないデータも多く存在している。</p> <ul style="list-style-type: none"> ● 国防などの機密情報 ● ゲノム、医療情報ほかの個人情報となるもの

	<ul style="list-style-type: none"> ● 企業の競争領域となる情報 <p>メディアの外部保管や廃棄(消去)の観点では、暗号化機能も検討する必要がある。暗号化については、OSなどに依存しないハードウェアレベルでの暗号化機能とアクセスキーの統合管理機能により容易な管理を提供する必要がある。</p> <p>一方で、企業の内部情報に関しては仕分けができないため、社外提供されていないが、適切に仕分けされれば社外利用可能なものもあり「知」の共有の阻害要因となっている。これらについて適切なガイドラインなどを設けることが望ましい。</p>
省電力	<p>一般には電力などの費用は、経費項目や管理担当者が異なり十分に意識されないケースが多い。しかし、一部の大規模ユーザーでは電力の総供給能力の問題などもあり、大きな課題として認識されている。</p> <p>一方、国レベルではCO2の排出量の削減に取り組むことは国際的に求められる課題であり、データ量の増大が見込まれる中で省エネルギー／CO2削減に対応するソリューションが求められる。</p> <p>データ蓄積基盤としては、コールドストレージの活用により電力消費量を大幅に削減することが可能であり、今後のデータ量の増大やエネルギー消費効率の向上の観点で貢献可能と考える。</p>

2-1-3 各分野における課題のまとめ

今回のユーザー調査及び、各参加企業がこれまで行ってきた調査から各分野におけるユーザーの課題を下記の通りまとめた。

分類 ユーザー	分類 データ	データ管理の特徴と課題	ニーズ
大学・研究機関	観測データ	<p>再現不可能な観測データなどについては確実な永年保存が求められる。機関によっては場所を含めデータを多重で持つことでデータ保全を図っているが、コスト負担も大きい。既存で数十PB程度のデータを保有している機関も多くあり、マイグレーションの負担を感じている。</p> <p>また、階層型ストレージ管理ソフトウェアのライセンス料や保守料もコスト課題として挙げられている。</p>	<p>永年保存 コスト削減 容易なマイグレーション (機器、データ)</p>

		研究機関によっては、コストとアクセス頻度から可搬媒体へ記録し棚保管をしている部門も少なくない。不適切な媒体管理に伴うデータ消失のリスクがある。	消去防止、媒体管理 * 将来的にはオンラインアクセスが可能なデータセンターへの集約が必要
	エビデンス情報 論文の	各機関では論文および、その裏付けとなるデータなどの10~15年保存を進めている。	改ざん防止・改ざん検知
	研究資料	特に人文系の研究室では、収集された貴重な資料がデジタル化もされず、棚保管されていることが少なくない。 研究員の退職の際に資料やデータの管理が引き継がれず消失するものも多々ある。	デジタル化、データ保全 データ共有・検索機能 * ITリテラシーの高くない研究者にデータ化と共有のための仕組みの提供が必要
研究機関・創薬	ゲノムデータ	個人を特定可能な情報であり、秘匿化や厳格なデータ管理が必要。	個人情報の秘匿化 アクセスコントロール
		データの保存期間は永年であること、次世代シーケンサによるデータ量の増大への対応が必要。	コスト削減 拡張性
	バイオ	従来、データは各社がクラウド戦略で進めてきたが、今後はバイタルデータなど異業種のデータを含めた連携が成長戦略の鍵となる。	データ連携 個人情報の取り扱い
図書館・博物館・美術館・公文書館など	書籍のスキヤン	国立国会図書館、公文書館や自治体の図書館での書籍のスキヤンデータ、電子文書の保存においては保存期間が永年または長期にわたること、継続的にデータが増え続けることへの対応が求められている。また、国立国会図書館には、その他の図書館や海外の図書館への送信が求められる。送信要求に対しては、利用者が端末から行うため、ある程度の即時性を求められる。	永年保存 拡張性(データ量増大への対応) ある程度の即時読出し

	画像	地方にある古文書や古地図などのスキャンデータの保存と閲覧による、原本の劣化を防止している。課題としては画像データのフォーマットに関する悩みが多い。また、自治体の予算が限られるなどの問題もある。	永年保存の観点でのデータフォーマットの選択や変換 コスト削減
	映像	地方の無形文化財(祭り、踊り)などを映像化し、観光コンテンツ化することや、後世に残すなどの事例が増えている。高精細映像化によるデータ量の増加や、自治体の予算が限られるなどの問題がある。	永年保存 コスト削減 大容量化への対応
	3D スキャン	有形文化財(仏像、建物など)を3Dスキャンする事業が進められているが、高精細化によるデータ量の増大の課題がある。	永年保存 コスト削減 大容量化への対応
建設・土木	図面	構造物がある限り保存対象となる。数十年に渡るためデジタルデータの場合、可視化するソフトウェアおよびデータフォーマットの継続性が大きな課題となる。そのため、アーカイブ方式として拡大すれば目視できるマイクロフィルムも利用されている。また、紙の図面として倉庫に保管されているものの多く存在する。実際のデジタル化率は1%程度であり、デジタル化のコストおよびデータ量の増大が課題となる。 災害対策のため2か所以上の場所に保管が必要。 読出しはコンプライアンス要件などのため、頻度は非常に低いが、ある程度の即時性が必要。 データは公開・共有されることはない。	長期保存の観点でデータフォーマット(アプリケーション)の継続性 確実な原本保証 コスト 性能
上場企業	会計情報	会社法、金融商品取引法に基づく監査などに対応するため必要な情報を法令の定める期間保存する義務がある。 データ量は比較的少ない。	監査の観点での真正性 コスト

警備会社など	監視画像	現在は警察、消防などとの連携のみであり、長期保存要件はない。 ただし、別の業界からは人の行動分析などのためにデータを欲しいという話が出ており今後の活用が期待される。	個人情報への配慮
--------	------	---	----------

2-2 次世代データ蓄積基盤に求められる要件

データ蓄積基盤としての要件を、ユーザーヒアリング結果をもとに優先順位付けした。

- ① データ保全
 - ✓ ユーザーが簡単な保護レベルを指定するだけで適切なデータ保全環境が提供される
 - ✓ これまで以上に長期保存特性、災害耐性、改ざん防止に優れた記録メディアも期待されている
- ② コスト／省電力
 - ✓ 消費電力および容量単価の低いメディアの活用(コールドストレージ)
 - ✓ コールドストレージをホットストレージのように使わせる階層制御機能
 - ✓ データマイグレーションコストの削減手法／マイグレーション周期の長期化
- ③ 保存環境の継続性
 - ✓ 永年保存を前提としたハードウェア・記録メディアのマイグレーション機能
 - ✓ 記録フォーマットや再現するビューアーの提供またはフォーマット変換の対応
- ④ 秘匿性
 - ✓ 情報漏えい対策も機器やメディアのライフサイクルに渡った考慮が必要
 - ✓ 外部とのデータ交換時も暗号化の対応
 - ✓ 新たな視点として、データの中に意図せず混入している個人情報を保護する機能
- ⑤ 性能
 - ✓ オブジェクトストレージの機能としてデータ管理メタに性能に関する定義
 - ✓ 利用頻度に応じた適切な階層管理機能
- ⑥ 改ざん防止
 - ✓ 更新されないまたは更新してはならないデータの真正性の担保
 - ✓ 改版履歴保存やデータリネージュへの対応

また、ユーザー調査では出てきていない下記機能も必要と考えられる。

- A) 容易なスケールアウト構成
 - ✓ データ量の増大に対応し容易に増設できる仕組み
- B) アクセスログなどの監査機能

上記を踏まえ、大容量データを効率的かつ省エネルギーな形で蓄積・連携させるためには、ホットストレージとコールドストレージを組み合わせた階層型のオブジェクトストレージが必要と考える。

従来の階層型ストレージはファイルアクセスでありネットワークを経由した遠隔地からのアクセスには大きな課題があるため、新規にオブジェクト形式の階層型ストレージシステムの提供が必要である。

また、いくつかの分野で標準化によりユーザーが基準をもって採用できる準備を整えることも重要と考える。

- データ保全の仕組みについての基準
- データ保存量に対する消費電力の基準

3. データ連携を実現するためのデータ管理手法

3-1 データ連携の課題と対策の提言

本章では、蓄積されるデータが大量、大容量化していくにつれ、システム運用上の大きな負荷となる「データ管理」の課題について検討した。

本文において「データ管理」とは、以下のようなストレージデータ管理を意味している。

- データの価値やアクセス統制に応じて格納するストレージデバイスを選択して、データを移動するデータの最適配置管理
- ストレージデバイスやシステムの故障時にもデータが必要に応じて復元できるバックアップやリカバリのようなデータの保護管理
- 各データへのアクセスを定められた権利・規約に従って許可するなどのデータのセキュリティ管理など

またデータ管理の運用規約を「データ管理ポリシー」と呼ぶ。例えば、階層型ストレージの最適配置の管理のための運用規約は「階層管理ポリシー」として、システムやデータ毎にデータの取り扱い方法が決められる。例えば、アクセス時間が常に短いことが要求されるデータの階層管理ポリシーは「ホットストレージに保存すること」となり、長いアクセス時間許されるデータの階層管理ポリシーは「アクセス頻度が少ない場合は、コールドストレージに移動配置する」などとなる。

システム運用においては、バックアップの数を指定する「バックアップ管理ポリシー」や、組織や個人の権限に応じてデータアクセスの許可／禁止を規定する「アクセス許可ポリシー」など、多くのポリシーが存在する。データが少量である場合には、文書化されたデータ管理ポリシーに従い人手作業で運用可能であるが、データ数が多い場合は、プログラム・コード化したデータ管理ポリシーをデータ管理サーバに入力設定し、自動運用するのが一般的である。

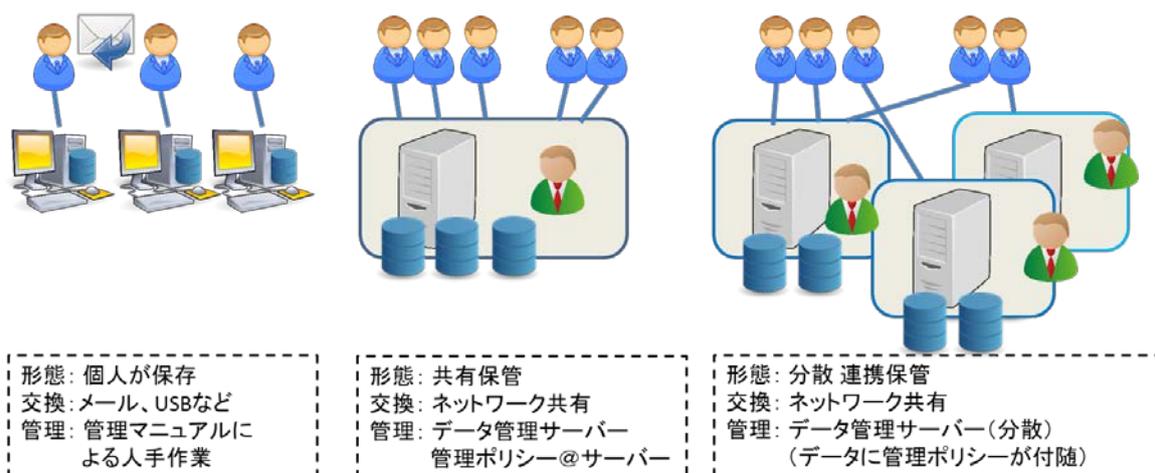


図 3-1 データ保管形態とデータ管理手法

しかし、これらのデータ管理ポリシーの記述や取り扱いの仕様は、データ管理サーバの機種、ベンダー毎に異なっており、システム構成に合わせた個別仕様も多数存在している。大規模シス

テムでは異なるベンダーの異なる装置機種を組み合わせることで構成せざるを得ないことも起きえる。

このような分散環境でデータ管理を統一的行うための仕組みとして、個々のデータの「管理ポリシー」をデータに付随して保存する方法がある。データ管理サーバはデータへのアクセス時あるいは定期的に管理ポリシーを読み取り、そのポリシーに従った管理を実現することが出来る。実際、大規模なクラウドシステムなど、大量のデータを蓄積しているシステムでは、この方法でデータ管理を自動的・効率的に運用している。但し、各システムで用いられている管理ポリシーの仕様は、システム毎に独自に定義されており互換性がないため、クラウドシステムを跨いでデータを移動した場合には、所望のデータ管理は行われないため、「データの配置先が最適ではない」「必要なバックアップが取得されない」などの問題が発生し得る。

以上のことから本プロジェクトでは、以下を提言する。

大規模なデータ蓄積基盤が複数、分散して構築される場合でも、それらの基盤を連携させて活用することを自動的かつ効率的に行える統一したデータ管理手法の仕組みを用意すべきである。

以降の各節に、提言実現に向けた今後の検討のために、足掛かりや方向性を示す。

3-2 クラウドサービスの普及と階層型ストレージの変化

クラウドサービスの一部として、ストレージサービスが各種存在している。その中でもデータ増加に柔軟に対応できる RESTful API（HTTP ベース）で動作するクラウドストレージ（オブジェクトストレージ）が膨大なデータを保持するようになってきた。インターネットを介して利用するクラウドストレージは、低コストだがアクセス時のレイテンシーが大きい傾向にある（コールドストレージと近い側面を持つ）ため、アーカイブとして利用されるケースも多い。さらにインターネットの特性、すなわちどこからでもアクセスできるという点によりコールドストレージの課題の一つを解決している。また、RESTful API を利用したクラウドストレージへデータをアーカイブできるアプリケーション・ソフトウェアが増えている。このため RESTful API に対応したコールドストレージ装置が普及しつつある。

以上の状況から、コールドストレージは、これまで特定の階層ストレージ管理の元でのみ利用されてきたが、今後はより広範な活用が期待されている。

3-3 各種アーカイブストレージ群の連携 ～ メタデータの活用

RESTful API を利用する観点で考えると、ネットワークの接続性次第で各種コールドストレージやクラウドストレージ（オブジェクトストレージ）は全て、階層アーカイブストレージシステムの対象として連携し易くなる。パブリッククラウドサービスとプライベートクラウドの連携や、各サイト間を跨がるストレージにおいても容易に相互アクセスが可能になる。

しかし、アクセス性が向上するもののコールドストレージでは、読み書きの性能要件がホットストレージとは異なっており、設置場所や構成に依存してコールドストレージ特有の留意すべき要件が想定される。

以上のようにコールドストレージ特有の要件を把握した上でアーカイブストレージシステムが効率良く動作できるよう、共通の管理要件を把握する必要がある。

データ管理ポリシーを保持する場所として、RESTful API で利用可能なメタデータ領域を活用する事が考えられる。特にユーザーメタデータ領域は任意の使い方が許されているため、メタデータ記述に一定の規約を設けることで、異なるアーカイブストレージシステム間でも、特定のデータ管理運用を指示・実行することが可能になる。

3-4 データ連携において必要となる要件

本プロジェクトでは、考慮すべき要件の抽出を優先し、具体的なメタデータの取り決めは実装段階で確定していくこととした。以下に、①オブジェクト（ファイル）の観点と②アーカイブストレージの観点で要件を記載する。前者の要求に後者が応えられなければ、効率を維持できない事を鑑み、特にコールドストレージを構成するアーカイブストレージの要件も記載する。

① オブジェクト（ファイル）の観点

- オブジェクト（ファイル）名に応じて階層アーカイブストレージを移動
 - ◇ 前方一致
 - ◇ 中間一致
 - ◇ 後方一致（拡張子）
- サイズに応じて階層アーカイブストレージを移動
- 時間軸に応じて階層アーカイブストレージを移動
 - ◇ 作成日時（作成日を起算とした階層化）
 - ◇ 最終アクセス日時（アクセス頻度による階層化）
 - ◇ 任意の日時（イベント等終了や期限が明確な階層化）
 - コールドストレージに持っていきだけでなく、日時が近づいたら事前にコールドストレージから読み出しておくために利用する方法もあり。
- 参照回数に応じて階層アーカイブストレージを移動
- 特定階層のアーカイブストレージを移動
 - ◇ アーカイブストレージタイプ（オフライン可否や手動/オフライン可否等まで）
 - ◇ 読み出し速度（これ以上遅いストレージには移動しない）
- 特定地理のアーカイブストレージを移動
 - ◇ GPS と距離
 - ◇ 国、地域
 - ◇ サイト名
- オブジェクト（ファイル）種別による階層アーカイブストレージを移動
 - ◇ カテゴリー
 - ◇ タグ
- アーカイブではなくバックアップ扱い（アーカイブストレージのバックアップをオフラ

インメディアへ取る場合)

コンテナ/バケットと呼ばれるオブジェクトの入れ物の単位でも、上述の内容をまとめて設定できると利便性が増す。

② アーカイブストレージの観点（主にコールドストレージで構成するアーカイブストレージ）

- ストレージ特性を開示し、前段の階層からの移動の判断基準とする
 - ◇ RESTful API 種別（S3, GOOGLE, AZURE, CDMI, SWIFT 等）
 - ◇ アーカイブストレージ種別（SSD, HDD, OPTICAL, TAPE 等）
 - ◇ 基本性能（読み書き平均速度）
 - ◇ 性能統計（高負荷時間帯、低負荷時間帯）
 - ◇ 状況（通常状態や輻輳状態）
 - ◇ キャッシュ有無
 - ◇ 受け入れ可能容量（現在の空き容量）

3-5 コールドストレージ活用に向けての考え方

コールドストレージはアクセスが可能になるまでの時間を短くすることでシステムの経済性と利便性の両方を満足する答えになりうる。そのためにはリクエストに対する①ジョブ管理、②事前読み出し、③キャッシュ領域といった仕組みが必要となる。

ジョブ管理に求められる基本機能は待ち行列上の I/O リクエストの管理であるが、オフラインメディアが不得手とする小さいサイズのファイル群をまとめて書き込む、ファイルの読み出しを効率化できるよう待ち行列上のリクエストを並べ替えるなどの最適化案が考えられる。また、キャッシュ領域に関して容量の拡張が必要な場合、オブジェクトストレージ製品の一部をキャッシュ領域として割り当てるような機能も考えられる。これらの動作を連携させるためにメタデータを活用することも実装段階では検討対象とすべきである。

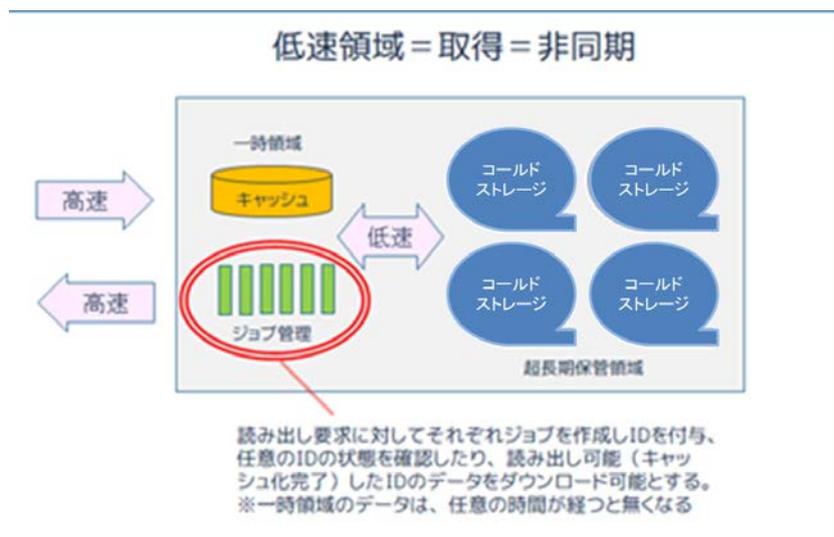


図 3-2 コールドストレージへのアクセス応答短縮のための仕組み

3-6 ユースケース

階層アーカイブストレージの利点を享受できるユースケースには以下のような分野、システムが考えられる。

- ① 研究目的、特に機械学習の分野で、年次や月次といった、ある程度の期間毎にデータを読み出して解析する事例
- ② WORM (Write Once Read Memory) で物理的な削除を防ぐような事例 (オブジェクトストレージにも WORM 機能はあるが、ここでは物理的に変更不可な光ディスクを想定)
- ③ 任意の複数拠点へデータをアーカイブしておくといった地域冗長 (DR) を踏まえた事例
- ④ 参照頻度の低いデータの保持のために、高価なストレージ装置のみでシステム構成する事例

3-7 メタデータの具体例

メタデータの具体例として、クラウドストレージのデータアクセスと管理インターフェースの標準化を目的とした CDMI (Cloud Data Management Interface) 仕様の一部を記載する。その他の RESTful API を利用するアーカイブストレージ群と連携する際は、CDMI で提示されたメタデータを基準に対応表を作成していく方法を検討すべきである。

メタデータ名	説明
cdmi_size	オブジェクトの保存されたバイト数
cdmi_ctime	オブジェクトの作成時刻
cdmi_atime	オブジェクトが最後にアクセスされた時刻
cdmi_mtime	オブジェクトが最後に変更された時刻
cdmi_acount	オブジェクトが作成されて以降にアクセスされた回数。アクセスには、読み取り、書き込み、および表示が含まれる。
cdmi_mcount	オブジェクトが作成されて以降に変更された回数。変更には、値とメタデータの変更が含まれる。読み取りの結果メタデータが変更された場合 (atime の更新など) は変更としてカウントされない。
cdmi_data_dispersion	データの複数のコピーをサポートするインフラストラクチャ間の必要距離 (km)
cdmi_geographic_placement	当該オブジェクトの格納が許される (あるいは許されない) 地理的領域 (ISO3166 の国コードで表現) のリスト
cdmi_retention_id	当該オブジェクトに適用される特定の保有ポリシー
cdmi_retention_period	当該オブジェクトの保有期間 (指定された場合に保有対象となる)
cdmi_retention_autodelete	保有期間満了後の自動削除の指定

cdmi_latency	最初のバイトの到達までの最大時間の希望値（ミリ秒）
cdmi_throughput	データ読み出し時の最大データ転送量の希望値（バイト/秒）
cdmi_santization_method	当該オブジェクトを更新あるいは削除後に完全に不可能とするための方法の指定：セキュアワイプ、DoD方式など
cdmi_RPO	当該オブジェクトの最大データ復旧時点（復旧時刻からどこまで遡ったデータが保証されるか）の条件（秒）
cdmi_RTO	当該オブジェクトの最大データ復旧時間の条件（秒）

4. データ蓄積基盤に係る技術動向などの整理

今後の情報システムがオンプレミス、プライベートやパブリッククラウド環境のいずれの形態になっても、それらを支えるハードウェアに対する要求は基本的には同様と考えられる。このため、本章では、HDD、磁気テープ、光ディスクといったハードウェアレベルの技術動向を調査し、各技術の発展を鑑みて、今後のストレージシステムについて検討を行った。

4-1 ストレージ技術ロードマップ

大規模なデータを扱う高性能のコンピューティング環境では、データを保管するストレージとして複数の異なる装置が利用されている。以前は HDD が中心的な役割を果たしていたが、現在はより高速なデータアクセスが可能な SSD や、大量のデータを安価に長期間保存できる磁気テープ装置や光ディスク装置の利用も広がってきた。それぞれの装置には他の装置にはない特徴があり、それらが相互に補完することで、コンピューティング・システム全体のストレージに対する需要を満たす記憶階層を成している。

今後 10 年程度を考えても、これらが適材適所で役割分担する構図は変わらない見込みである。各々の装置のメーカーは大容量化や高速化に向けたロードマップを描いており、製品の進歩が続くことは間違いない。ただし、いずれも技術開発のハードルは高く、他の装置の役割を包含してしまうほどの進化を遂げる装置は見当たらないからである。

例えば SSD と HDD の間の 1T バイト当たりの価格は、当面は 1 桁違う状態が続くとみられる。調査会社のテクノシステムリサーチは、2023 年の時点でも SSD とニアライン向け HDD では、単位容量当たりの価格は 10 倍違うと予測する（図 4-1）。また、米 Western Digital 社が 2017 年に公表した資料は、2028 年の時点でも HDD と SSD の間には 10 倍程度の差があると指摘した（図 4-2）。このため、当分は SSD で HDD を置き換えるよりも、両者を活用した方がコスト面では有利になる。

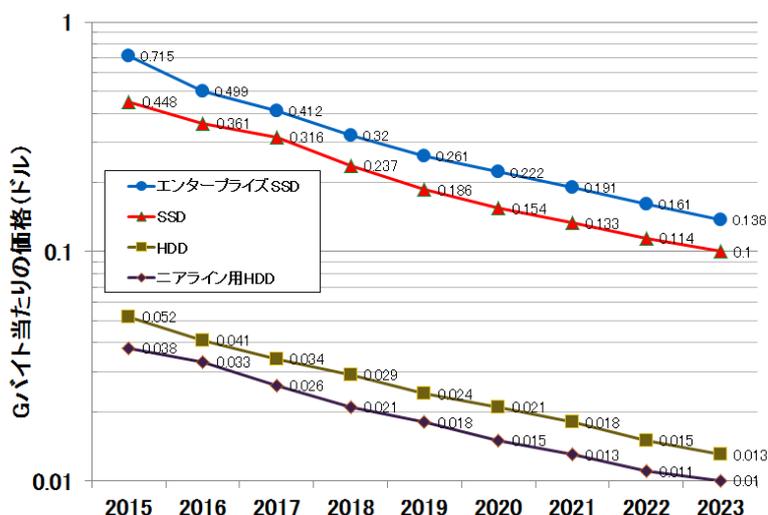
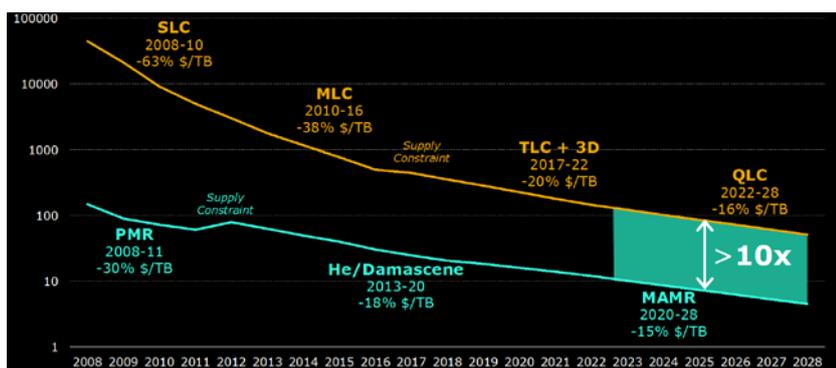


図 4-1 : HDD と SSD の G バイトあたりの価格の推移
(出所：テクノシステムリサーチのデータをもとに作成)



SLC : Single Level Cell MLC : Multi-Level Cell TLC : Triple-Level Cell QLC : Quad-Level Cell
 PMR : Perpendicular Magnetic Recording MAMR : Microwave Assisted Magnetic Recording

図 4-2 HDD と SSD の T バイト当たりの価格の推移

(出所 : Western Digital 社)

このことは、SSD、HDD、磁気テープ装置、光ディスク装置が自動的に連携し、ユーザーからはあたかも 1 つのストレージ装置であるかのように振る舞うことを可能にする技術の重要性も示唆している。ユーザーにとって肝心なのは、必要なデータを必要なときに高速で保存ないしは再生でき、あるいは将来必要になるときまで安全に格納しておくといったストレージ装置の機能であり、個別の装置の使い勝手に煩わされることではないからである。

とりわけデータの長期保存という観点では、今後は HDD、磁気テープ装置、光ディスク装置の連携がますます重要になるだろう。これからの社会の発展においてデータが果たす役割は膨らむ一方であり、それに応じて保存すべきデータの量も指数関数的に増えていく。それらのうち頻繁かつ高速にアクセスする必要があるものは SSD に格納される一方で、アクセスの頻度が少ないものの、今後の利用価値を見込めたり保存の義務があったりするデータは、その下の記憶階層にアーカイブされる。

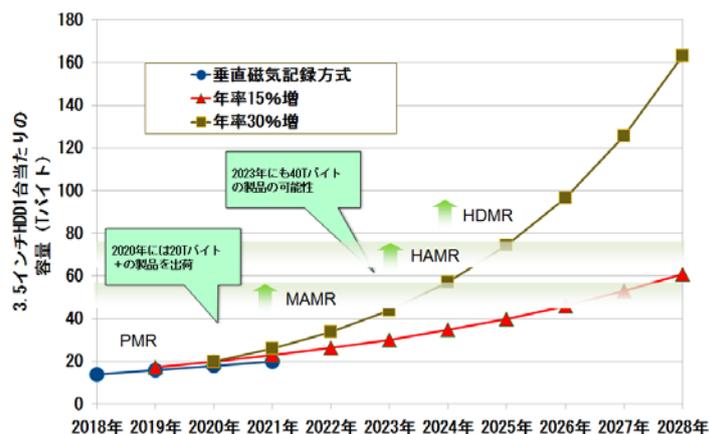
アーカイブされるデータの中でも、必要に応じて即座に読み出される必要があるもの（アクティブアーカイブ）は HDD、長期保存が何よりも重要でアクセスの即時性はさほど要求されないもの（ロングタームアーカイブ）は磁気テープや光ディスクに保管される。ロングタームアーカイブのうち、容量あたりのコストの低さや高速なデータ転送速度が重要な場合は磁気テープ、数十年にわたる保管や耐環境性の高さなどを要求する場合は光ディスクが適している。こうした役割の違いから、HDD、磁気テープ、光ディスクはそれぞれの特徴をより発揮できる方向で技術開発を続けることになる。

HDD の動向

HDD では、従来と同様に価格あたりの容量の最大化が第一目標となる。2019 年には、これまで容量拡大のけん引役だった垂直磁気記録（PMR : Perpendicular Magnetic Recording）に代わる新方式の実用化が始まり、今後 10 年程度の成長に道筋をつける見通しだ。1 つはマイクロ波アシスト記録（MAMR : Microwave Assisted Magnetic Recording）、もう 1 つは熱アシスト記録（HAMR :

Heat Assisted Magnetic Recording) である。前者は米 Western Digital (WD) 社、後者は米 Seagate Technology 社が 2019 年中にそれぞれ製品を投入するとしている。日本勢の東芝も媒体メーカーの昭和電工と協力して、まずは MAMR 方式のサンプル品を年内に生産する見込みだ。

新方式の登場は、今後 5~10 年にわたって HDD の継続的な容量拡大を約束する。WD 社や Seagate 社は、2020 年には容量が 20T バイト超の 3.5 インチ HDD を提供するとそれぞれ表明済みである。その後の拡大についても、WD 社は年率 15% 増、Seagate 社は同 30% 増で進むと表明したことがあり、2020 年代半ばから後半にかけて容量の拡大基調は続くとみられる (図 4-3)。



PMR : Perpendicular Magnetic Recording MAMR : Microwave Assisted Magnetic Recording
HAMR : Heat Assisted Magnetic Recording HDMR : Heated-Dot Magnetic Recording

図 4-3 HDD 容量の推移

(出所 : 各社の発表を基に推定)

ただし、MAMR、HAMR ともに達成できる記録密度には限度がある。前者は WD 社によれば 4T ビット/インチ²程度、後者は米 ASTC (Advanced Storage Technology Consortium) が 2016 年に公表したロードマップによると 5~6T ビット/インチ²のようだ。記録密度が約 1T ビット/インチ²でディスク 8 枚を内蔵する 3.5 インチ HDD の容量が 14T バイトだったことから、ディスク枚数が一定だとすると MAMR は 60T バイト弱、HAMR は 70~80T バイト程度が装置あたりの容量の上限になる。

もっとも、ガラス基板を用いることで、現在と同じ装置の寸法の中にディスクを 12 枚格納できることを、HOYA が示している。その分のコストを吸収する努力は必要ではあるが、記録密度が同等でも容量を 1.5 倍に引き上げることは可能なわけである。ここから、1 台あたり 100T バイト程度の容量までは、実現の見通しが立ったといえそうだ。

ASTC のロードマップでは、5~6T ビット/インチ²以上の記録密度の実現には、いわゆるビットパターンメディアと HAMR を組み合わせた HDMR (Heated-Dot Magnetic Recording) 方式が必要になるとされる。技術のアイデアは以前からあるものの、現在までにこの方式で実用的な HDD を構成した例は発表されておらず、今後の研究開発が期待される。

容量の拡大が順調に進む一方で、HDD の性能はさほど向上していない。典型的な例がデータ転送速度で、ここ数年大きな進歩がみられない。2019 年 7 月現在、Seagate 社が業界最大の容量 16T

バイトの製品を販売しているが、カタログ上の転送速度は最大 261M バイト/秒で、約 2 年前に登場した 12T バイト品と同じある。HDD の回転速度はいずれも 7200rpm と同一であることから、2 つの製品の線記録密度が同等であることが推測できる。

今後、HAMR や MAMR によって記録密度の向上が加速すれば転送速度も高まりうるが、面記録密度が年率 15~30% 増で高まったとしても、BAR (Bit Aspect Ratio) が同等と仮定すると、線記録密度の伸びは 4~5% 程度に過ぎない。高速化の 1 つの手段は回転速度の向上だが、消費電力を押し上げるため採用しづらい。

今後活用される可能性があるのが、1 台の HDD に独立して動作する複数のアクチュエータを搭載する技術である。実際、Seagate 社は 2018 年 3 月にデュアルアクチュエータを利用する「MACH. 2」と呼ぶ技術のデモを公開し、データ転送速度を 480M バイト/秒まで高めることが可能と表明した。回転速度 1 万 5000rpm の製品と比べても 60% 高速であるという。

複数のアクチュエータの搭載は、同一装置にある異なるデータに並行してアクセスできることにもなり、アクセス時間の短縮にも効果がある。ただし、本質的には容量が 1/2 の製品を 2 台使った場合と効果は同じであるため、複数アクチュエータを搭載する大容量の装置を作る場合と、小容量の装置を複数台作る場合のどちらの製造コストが安くなるかの勝負になる。将来は、単純な構造で容量の小さい HDD を多数並べて、高機能のコントローラで制御するといった構成もありうるかもしれない。

磁気テープの動向

HDD と磁気テープは、今後も競合ではなく棲み分けを続ける見込みである。オンラインでデータにアクセスできる HDD に対して、磁気テープでは媒体の搬送などに時間がかかり、アクセス時間は大きく見劣りする。

一方で、管理やメンテナンス、必要な人的コストまで含めた TCO (Total Cost of Ownership) では磁気テープが有利である。米 Enterprise Strategy Group (ESG) 社の 2018 年の調査によれば、業界標準の LT0 第 8 世代 (LT0-8) を利用した場合で 10 年間にかかる TCO (210 万ドル) は、全てを HDD に保存した場合 (1520 万ドル) の 14% に留まるという (図 4-4)。

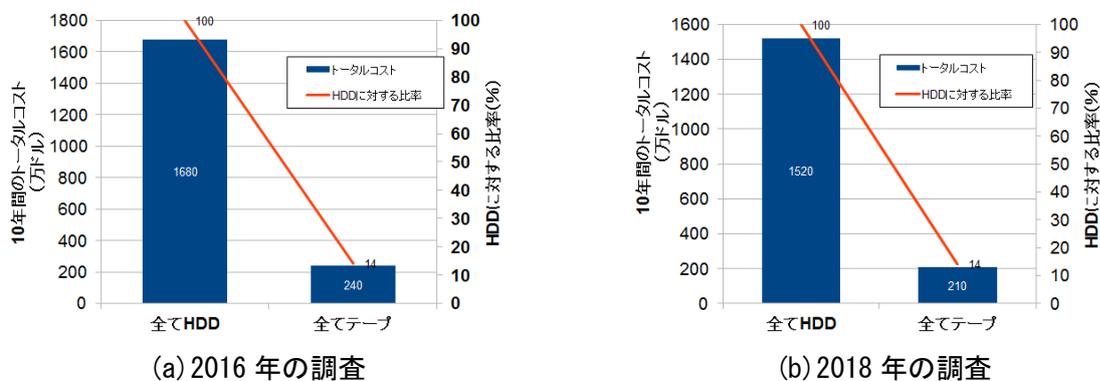


図 4-4 磁気テープ、HDD の TCO の比較

(出所：米 Enterprise Strategy Group 社)

また、米 INSIC (Information Storage Industry Consortium) によれば、2016 年の ESG による

同様な調査や、2015年に米 Clipper Groupが実施した類似の調査から、磁気テープとHDDの間のTCOの比率は年々拡大しているという。2015年にはHDDのTCOが磁気ディスクと比べて6.2倍大きかったのに対して、2016年には7.0倍、2018年には7.2倍に拡大した。

磁気テープの今後の容量拡大のロードマップからすれば、少なくともこの差が縮まることはなさそうだ。INSICが2019年に公開した技術ロードマップでは、2019年の1巻当たりの非圧縮容量が25Tバイトであるのに対し、年率40%増で成長し、2029年には同723Tバイトに達するという(図4-5)。HDDの容量が仮に年率30%増で拡大したとしても差は開くばかりである。

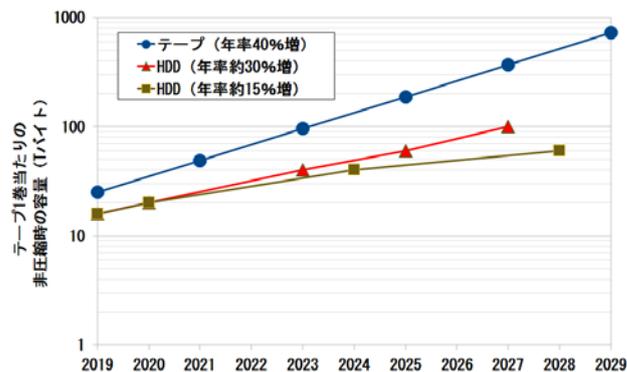


図4-5 磁気テープの容量の推移

(出所：INSICのロードマップのデータを基に加筆)

これだけの差が開く理由は、容量拡大の裏付けになる面記録密度の違いにある。記録面積が大きい磁気テープでは、同じ容量を実現するために必要な面記録密度がHDDの1/100程度と低い。INSICのロードマップが示す2029年の容量723Tバイトに対応する面密度は278Gビット/インチ²で、HDD製品が2009年に達成しているものと同等であり、磁気記録としては実現可能であることが明らかである。また、最新の磁気テープの技術デモでも現行テープの10倍程度の面記録密度(201Gビット/インチ²)が実証されている。これらの根拠から、今後も磁気テープは面記録密度を高め容量コストを低減することでTCOの優位性を保つ見込みだ。

なお、INSICのロードマップは「可能な製品の平均的な値を表す技術ロードマップ(a technology roadmap that might represent an average of possible products)」といい、実際の製品が必ずこの通りに登場するわけではない。INSICのロードマップで2019年としている25Tバイトに近い製品としては、米IBM社のエンタープライズシステム(3592シリーズ)のJEテープがあり、1巻あたりの非圧縮容量は20Tバイトである。オープン規格のLT0では現行のLT0-8(12Tバイト)の4世代先のLT0-12(最大192TB)までのロードマップが示されているが、製品化の記事は未公表である。

性能面でもHDDよりも磁気テープの方が有利な点がある。大量のデータを連続的に転送する場合の速度である。複数チャンネルを利用してデータを一気に転送できる磁気テープ装置は、現在のLT0-8で非圧縮時に最大300Mバイト/秒以上の転送速度を実現しており、上述した最新のニアライン用HDDの最高速度を凌いでいる。INSICの技術ロードマップは、2019年の475Mバイト/秒を起点に、その後は年率15%増で高速になるという将来像を描いている。

なお磁気テープの高速転送能力は、あくまでも大容量のデータを転送する際のみ威力を発揮することに注意が必要である。富士フィルムのウェブサイトでは、データの容量が 30G バイトを超えると優位性が現れると指摘している。

光ディスクの動向

日本で独自の進化を遂げてきたストレージ装置が光ディスクであり、中でもデータのアーカイブに狙いを定めた規格が「Archival Disc (アーカイバル・ディスク)」である。民生機器の Blu-ray Disc の技術を基に高密度化を進め、ソニーとパナソニックが 2014 年に共同で発表した。既に容量 300G バイトのディスクを 11 枚内蔵するカートリッジを用いた製品をソニーが販売しているうえ、2019 年内には第 2 世代の容量 500G バイトのディスクを用いてカートリッジの容量を 5.5T バイトに高めた製品が登場する見込みである。

Archival Disc の特色は、温度・湿度に対する媒体の耐性が高いことであり、世界中のほとんどの都市で、空調設備なしでも長期保存が可能な性能を有する(図 4-6)。究極の状況を想定して、熱湯や海水に浸けたり、亜硫酸ガス(SO₂)や硫化水素(H₂S)などの腐食性ガスに一定期間暴露したりするなどの過酷なテストを行った場合も、その後にディスク表面をクリーニングするだけで問題なくデータが再生可能であることが確認されている。このため、災害などの不測の事態にも耐える保存手段が必要なケースには、Archival Disc が最も適している。

また、Archival Disc はライトワンス方式で記録膜の中の金属酸化物の不可逆変化を用いて書き込んだデータは物理的に書き換え不能であるため原理上改ざんが不可能という特徴もある。特に中国市場ではこの特徴に注目して、Archival Disc に対する需要が高まっている。光ディスクでは、寿命推定試験方法やデータの長期保管における運用管理方法が ISO、JIS で整備されていることも大きな特徴である。これらの規格により、長期間、改ざんなく確実に保存しておきたいデータには Archival Disc をはじめとした光ディスクが適しているといえる。

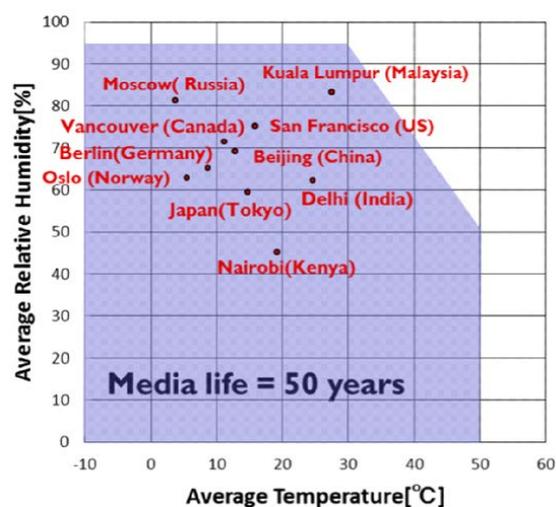


図 4-6 Archival Disc の耐環境性

(出所: Archival Disc Technology の White Paper)

Archival Disc はディスク 1 枚あたり 1TB を実現する第 3 世代までのロードマップが示されている (図 4-7)。11 枚のディスクが収納されたカートリッジの容量は 11TB に到達する。

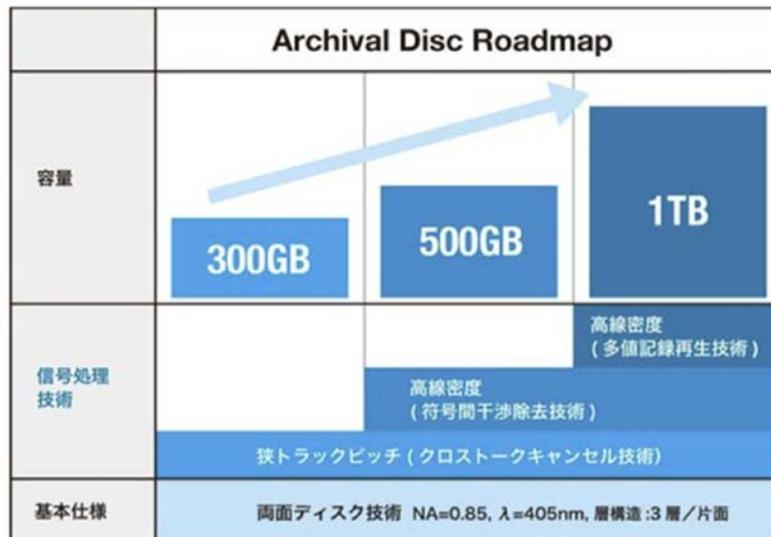


図 4-7 Archival Disc の容量の推移

(出所 : Archival Disc Technology の White Paper)

さらに、Archival ディスクにとどまらず、光ディスクの記録密度を向上させる技術開発は多くの企業や大学で活発に行われている。一例をあげるとクッション材と蛍光体材料を埋め込まれたフィルムをラミネート構造化することで 16 層の超多層化を実現し、容量 10TB を達成する技術 (Folio Photonics 社) や超高速レーザーを使って石英ガラスに直接データを記録することにより 360TB の容量を目指す研究 (Microsoft 社/University of Southampton) などがある。これらの技術開発により光ディスクは大容量化を実現しつつ、データの長期保全本性といった強みが発揮できる領域を中心に活用の広がりが期待される。

4-2 先端技術開発動向

新方式のストレージ技術の有力候補としては、新たな記録原理に基づく半導体メモリ技術がある。MRAM、ReRAM、PCRAM といった技術の開発が進んでいる。ただし最初に結論を書くと、これらは記憶階層の中でも DRAM と NAND フラッシュメモリの間を狙うものといえ、HDD より下の階層の装置の置き換えを狙ったものではない。例えば高速かつ書き換え可能回数が多い MRAM は SoC の主記憶やキャッシュメモリ、容量あたりのコストが低い PCRAM はいわゆる SCM (ストレージクラスメモリ) を狙っており、既に実用化も始まっている。

日本国内では、これらの新型メモリの性能を大幅に改良する研究開発が進んでいる。実際、産業技術総合研究所が開発した Ge 原子の配位変化を用いる PCRAM は、既存の PCRAM と比べて消費電力を桁違いに改善できる。もっとも、これらの先端技術をもってしても、NAND フラッシュメモリのコストを下回することは困難であり、データ蓄積基盤のメインの記録媒体として採用することは困難な状況である。

このほか、生物の DNA を記憶媒体に利用する DNA ストレージなどのエキゾチックな技術の開発が進んでいるが、2019 年現在では実用化へのメドが立ったとはいえない。上記の検討から、今後 10 年程度は新型半導体メモリ、新方式のストレージ技術ともに、次世代データ蓄積基盤の要素技術にはなりにくいと結論づけられる。

4-3 データ蓄積基盤向けストレージシステムの今後

前節までに示した様に、ストレージデバイスのロードマップや、新デバイスの学術研究を調査した結果、現在のストレージの全階層をカバー可能な超汎用的なデバイスの出現を予見させる技術には当たらなかった。また過去のストレージデバイス研究について振り返ると研究段階の技術の実用化には 10 年を越える期間を要している。よって、本文に述べている階層型ストレージシステムは、「アクセスの利便性」、「大量・大容量性」、「経済性」を同時に満たす現実なシステム構築方法であり続けると推測できる。

この推測の傍証として、以下に例を挙げる。

- 1) クラウドサービスが始まった当初のサービスプロバイダーのストレージシステムは全て HDD によって構成されていたが、データ容量の増大、特にアーカイブデータの容量増大に対応するためライブラリ装置を活用し始めている。
- 2) 中国では放送局、政府機関のデータ利活用基盤、博物館などのデータセンターにおいて光ディスクライブラリ装置の導入が積極的に行われている。

以上に述べたように、階層型ストレージシステムはデータ利活用で先行する各企業、各国が採用している標準的な考え方であり、増大するデータを受け止めることができる唯一の現実解である。

5. 産業競争力強化のための提言と産学官の役割分担

5-1 提言および施策

「データ連携を加速するために、ソフトウェア階層におけるデータ連携だけでなく、それを支えるデータ蓄積基盤を含めた全体の検討加速が必要である。」そのために、大容量データの長期保全可能なコールドストレージを含む階層型ストレージを利用した次世代データ蓄積基盤の構築に向けてコンソーシアムの設立を検討する。コンソーシアムの主な役割は以下の通り。

- ① 階層化ストレージシステムを利用したデータ蓄積基盤の要件やデータ保存に係るメタデータの整理・標準化（インターフェースやプロトコル）、ガイドラインの作成
- ② 階層型ストレージ活用のための研究開発の活性化
- ③ 複数基盤間（分野間）の実証環境による POC の実施
- ④ 魅力ある次世代データ蓄積基盤づくり（ユーザー利便性向上、使いやすいシステム化）

5-2 実現のための役割分担

「産」においては、コンソーシアムを設立し、最新技術を集めた次世代データ蓄積基盤のための環境整備を推進していく。「学」には、データ最適配置のためのアルゴリズム開発やデータ流通の仕組み等の研究開発の協力を仰ぎ、そのための予算確保方法を共に検討する。「官」には特に要望の高いデータ保全に関する基準の整備や関連する規格化活動などについてご指導をお願いする。

6. 最終報告書に向けた検討上の課題と展開

- ① バイオデータ領域をはじめとする具体的なユースケースにおいて、個別課題抽出を行い実証環境の構築に向けた準備を具体化する。
- ② 本蓄積基盤が取り組む横断的な課題への対応や新たな仕組み作りなどを継続的に可能にするため、関連企業が集まるコンソーシアムの設立（2021年度）を検討する。これに向け、2019年度後半では基本構想（主体、活動内容など）を固め、設立準備会の立ち上げを目指す。

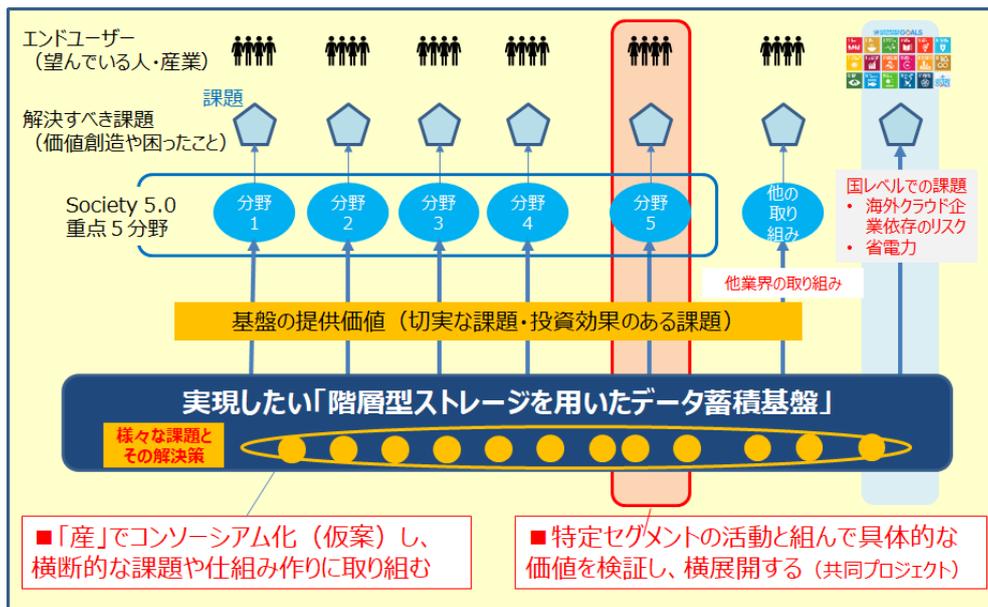


図 6-1 PJ の取り組み方針

一般社団法人 産業競争力懇談会（COCN）

〒100-0011 東京都千代田区内幸町 2-2-1

日本プレスセンタービル 4階

Tel : 03-5510-6931 Fax : 03-5510-6932

E-mail : jimukyoku@cocn.jp

URL : <http://www.cocn.jp/>

事務局長 中塚隆雄