No.154
March 31, 2013

EAJ Information

提　言　書

デジタルデータを超長期間、安定かつ安価に保管することを可能とする技術開発の必要性

(社)日本工学アカデミー
記憶の保管性プロジェクト

社団法人
日本工学アカデミー
THE ENGINEERING ACADEMY OF JAPAN

日本工学アカデミーの使命

社団法人日本工学アカデミーは、広く学界、産業界及び国の機関等において、工学及び科学技術並びにこれらと密接に関連する分野に関し、顕著な貢献をなし、広範な識見を有する指導的人材によって構成されており、工学及び科学技術全般の進歩及びこれらと社会との関係の維持向上を図るため、下記の諸活動を通じて、我が国ひいては世界の発展に資することを目的とする。

記

1）国内外の工学・科学技術政策、教育等に関する調査研究、提言活動を積極的に行う。

2）国内外における学際・業際的及び新技術領域の活動を推進することに資する調査研究等の諸活動を積極的に行う。

3）国内外の工学、科学技術の健全な進歩発展に寄与するための教育活動、及び一般に対する普及、啓発活動を推進する。

4）上記の諸活動を効果的に実施するため、国内外の諸団体、特に海外の工学アカデミーとの連携を強化し、共同事業等を推進する。

5）上記の一環として国際工学アカデミー連合の主要メンバーの一員として、特に近隣諸国における工学アカデミーの設立に対して、良きアドバイザーとしての責務を果たす。

2000年7月19日理事会

【エグゼクティブサマリー】

「デジタルデータを超長期間、安定かつ安価に保管することを可能とする技術開発の必要性」の提言

2013 年 3 月 31 日

社団法人 日本工学アカデミー 記憶の保管性プロジェクト
プロジェクトリーダ 石原 直（東京大学）
委員 雨宮 好仁（北海道大学名誉教授）
委員 玖野 峰也（(社)日本工学アカデミー）
委員 久間 和生（三菱電機株式会社 顧問）
委員 武田 英次（株式会社 日立総合計画研究所 研究顧問）
委員 林 豊 （独立行政法人産業技術総合研究所 招聘研究員）
幹事 小林 敏夫（神奈川大学）

■提言の背景

社会が持続的に発展するためには、二つのカテゴリーの情報技術が必要である。一つは、“今の仕事を処理する技術”、もう一つは“記憶あるいは情報を長期に渡って保管（保存し意味の理解を保障する）技術”である。後者は、文化、科学的知見、歴史、社会規範の継承とアイデンティティを確保するために必要な手段で、過去においては紙あるいはフィルムが担ってきた。しかし、この半世紀の間の“今の仕事を処理する技術”としてのエレクトロニクス技術の発展から状況が大きく変わり、大きな問題を生じつつある。

現状で長期間デジタルデータを保管するためには、定期的にシステムや媒体を全て置き換えるマイグレーションと呼ぶばれる手法に依存せざるを得ない。しかし、昨今の情報量の急速な増大による保管コストの増加や、作業ミスによる情報消失のリスクなどへの充分な対応ができておらず、今後、多くの貴重な情報の消失が危惧されている。

■ 提言の目的

本提言は、社会基盤となったエレクトロニクス技術に内在する危機、すなわちデータ処理技術の進歩に対応できる“デジタルデータを長期間保管する技術”が検討されていない事実を指摘し、問題解決へ向けた課題と方策を示すことを目的とする。

■ 提言の内容

現在、妥当なコストで電子データ、デジタルデータを長期間安定に保存する手段がなく、仮に長期間保存できたとしても、将来保存したデータを読み出すことができ、そして読み出したデータの意味を理解できるという保障が無い。そのため人類にとって貴重な情報の多くが消失する危機にさらされているのである。

本提言ではその危機の実態を指摘するとともに、解決へ向けた技術検討案と課題を示すとともに、さらに解決へ向けた活動を起こすために必要な制度、仕組みの構築を提言する。

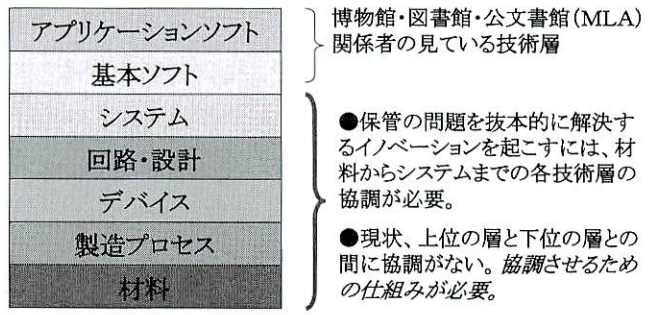
いま、社会、国家の“寿命”という時間スケールで情報の価値を考えると 100 年を超え、1000 年と言う時間スケールで記録あるいは記憶を“保存し活用できる状態に保つこと”（保管）は極めて重要である。従来、国会図書館、

公文書館、博物館などの機関が歴史的な情報の保管を担ってきた。さらに科学分野の情報も人類の資産として長期に継承されるべきであることは言を待たない。また社会制度上、警察や医療等の分野では、記録の長期保存に対する需要があり、さらには個人においても100年を超える記憶の保管が望まれている。しかしながら、これら全ての機関、分野、個人において、妥当なコストで長期に亘る記録あるいは記憶を保管する手段が欠如しており、このままでは意図せざる記録あるいは記憶の大規模消失が危惧されている。

本提言では、具体的な技術的解決案として 1000 年の超長期に亘って情報を保存できる媒体として半導体不揮発性メモリに大きな可能性の在ることを示す。幾つかの課題はあるものの最終的な記憶媒体のコストや実現性を考えると、半導体不揮発性メモリは超長期保管メモリ媒体として最も有望な候補の一つである。

超長期に情報を保存できる記録媒体の存在だけでは、保存された情報が将来読み出され、かつその意味を理解されるということの保障にはならない。読み出しと意味を理解すことを保障するためには、記憶媒体と外のシステムを橋渡しするシステム(アダプター)が重要である。このアダプターと記憶媒体を一体として考え、読み出しと意味理解を保障する仕組を設計する必要がある。読み出しにおいては、記憶媒体とアダプターの間のインターフェース仕様の設計が重要である。保存された情報を理解するためには、保存情報を理解するための情報(メタデータ)が必要であることはもちろん、将来の意味理解を保障するためにメタデータの記述言語の永続性の確保が必要ある。さらに、メタデータとメタデータの階層構造を記憶媒体とアダプターからなるシステムへ実装するために、実装の参照モデルを作る必要がある。

これらの検討は、材料、デバイス、設計、システム、アプリケーションソフトなどの個別の技術階層の中で閉じていては、進めることが困難である。右図に示す材料からアプリケーションソフトまでの全ての階層間での協調と協力が必要と考えられる。現在の差し迫った状況に鑑み、情報の長期保管のための技術・システム開発のために早急に個別の技術階層間の協調と協力を進める組織や仕組みを構築し、記憶媒体技術と意味理解を保証するシステム検討を始めることを提言する。



電子技術の階層構造

おわりに、現状のままデジタルコンテンツの量が増え続けると、超長期保管記憶媒体・システムの市場は、2020年には数十兆円規模になると予想される。デジタルデータの超長期保管手段の確保は人類の持続的発展に必須であるばかりでなく、我が国においてこの技術分野は産業的にも有望な分野と考えられる。

以下に提言内容をまとめる。

(1)　将来への人類の知的資産の継承の危機に対する警鐘
(2)　危機を回避するために、具体的な記憶媒体技術と意味理解を保障するシステムの検討に着手することを提案
(3)　その検討を進めるための組織・仕組みの構築の必要性を指摘
(4)　産業的な価値の指摘

以上

本件連絡先：　幹事　小林敏夫（e-mail: tkoba@purple.plala.or.jp）

提言書

「デジタルデータを超長期間、安定かつ安価に保管することを可能とする技術開発の必要性」

2013 年 3 月 31 日

社団法人 日本工学アカデミー 記憶の保管性プロジェクト

プロジェクトリーダ　石原　直（東京大学）
委員　雨宮 好仁（北海道大学名誉教授）
委員　玖野 峰也（(社)日本工学アカデミー）
委員　久間 和生（三菱電機株式会社 顧問）
委員　武田 英次（株式会社 日立総合計画研究所 研究顧問）
委員　林　豊（独立行政法人産業技術総合研究所 招聘研究員）
幹事　小林 敏夫（神奈川大学）

1．提言の背景

今日、情報あるいはネットワークの基盤がつぎつぎと整備され、デジタル技術に支えられた高度情報化社会、高度ユビキタスネットワーク社会が実現されている（図１）。ネットワークが発展し、データの処理コストが大幅に下がり、多くの人々がスマートホン、携帯電話、パソコンを自由に使って仕事あるいは遊びをする時代になっている。このインフラの整備、技術の発展の原動力となったのは、この半世紀の間の半導体技術の進歩である。

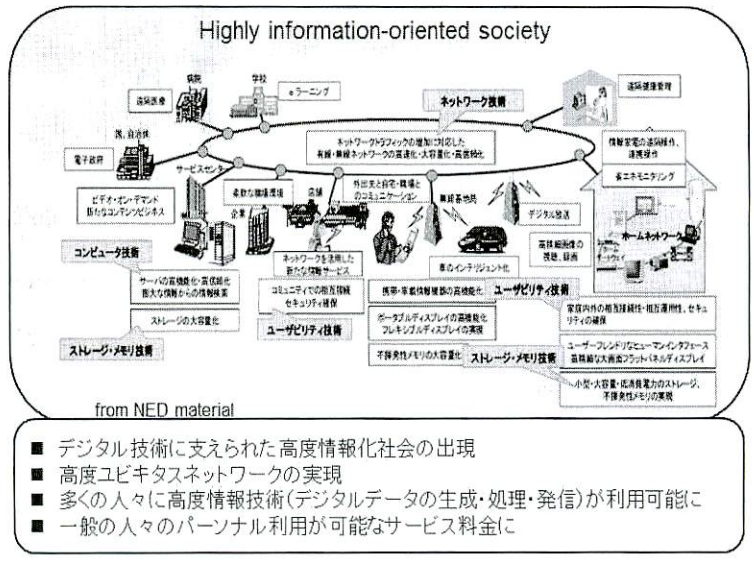


図１．デジタル技術がもたらす高度情報化社会

半導体産業にはムーアの法則という経験則があり、半導体集積回路の集積度は 3 年で 4 倍になるとされる。市場はこのムーアの法則のとおり、約 40 年にわたって常に一本調子で拡大してきた。これを技術として支えたのが、CMOS トランジスタのスケーリング則である。寸法を K 分の 1 にすると、集積度は K の 2 乗倍になり、トランジスタの性能をスピードと消費電力で評価すると、性能が K の 2 乗倍になるという原理である。基本構造は変えずに寸法を縮めていくだけで性能が着実に上がることに技術的な

裏付けを与えるものである。トランジスタの基本構成を変えることなく、この 40 年間で半導体素子の集積度は 100 万倍、あるいはインテルのホームページによると、実は 1,000 万倍に、単体の素子性能は 1 万倍になったとされる（図２）。それにも拘わらず、半導体チップの価格はほぼ一定で推移しているので、データ処理のコストは、10 億分の 1 から 100 億分の 1 に削減されたことになる。この様に半導体の進歩が高度情報化社会発展の大きな駆動力であったことがわかる。

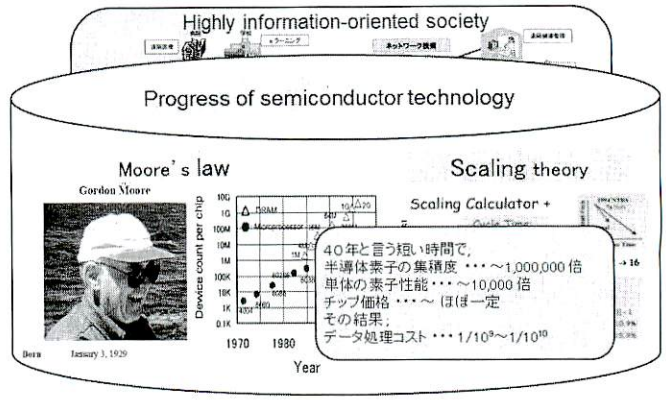


図２．駆動エンジンは半導体技術

2012 年に米国 IDC が公開した資料によると、2020 年には全世界で生成されたデジタルデータ量は、40 ゼタバイトに達するとされている。これまでも、2007 年には 281 エクサバイト、2011 年には 1.8 ゼタバイトと爆発的に増加してきた。（図３）。このように生成されるデジタルデータの指数関数的な増大に比例して人類が保管すべきデータ量も急速に増大していると考えられる。例えば、世界中で発表されている論文の量は、ネットワークで論文を公開するようになった 2000 年以降に急激に増えている。

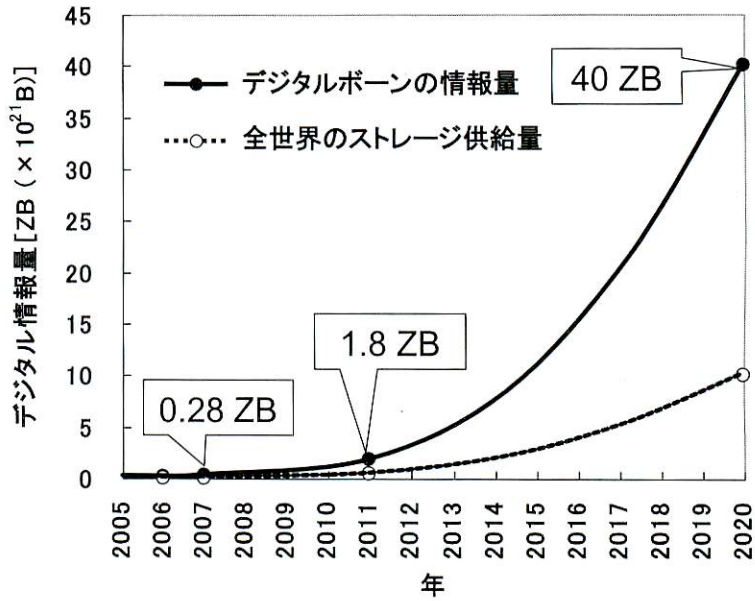


図３．情報爆発（Data Explosion）の現状と将来予測

高度情報化社会となり、情報爆発が起きている今、人類社会が今後とも持続的に発展していくためにどの様な技術が必要なのかを考える時期にきている。人類社会の持続的に発展のためには基本的に二つのデジタル技術が必要と考えられる。一つはデジタルデータを処理する技術で、一般に情報技術（IT）と呼ばれる技術である。今の社会活動、経済活動、産業活動を支えるためのデータ処理のテクノロジー、テクニック、およびそのシステムである。一方、社会が必要とするもう一つの技術は、デジタルデータを保管する技術である。社会、産業、個々人のアイデンティティ、文化、社会的規範、歴史を継承する情報・記憶の保管を行う技術である。ここで言う保管とは、情

報・記憶を保存し、何時でも読み出して意味が理解できる状態を保持することである。

これまで記憶に関するデジタルの技術といえば、処理系のデジタル技術の一部と位置づけられてきたメモリ技術が主であった。(図４)そのため、使われているメモリに要求される寿命は、システム寿命と同程度であり、100 年あるいは 1,000 年の記憶の保管ということは全く考慮されていなかった。保管系のメモリ技術は、必要性に対する社会的認識の欠如とデジタル社会の本質的な課題が理解されてこなかったため、全く置き去りにされてきたと言える。このまま、デジタルデータの保管に無関心なままに情報爆発が進行すれば、社会・文化・産業の貴重な多くのデータがなし崩し的に消失する。今、この様な危険性が増大している状況に気付き対策に着手する必要がある。

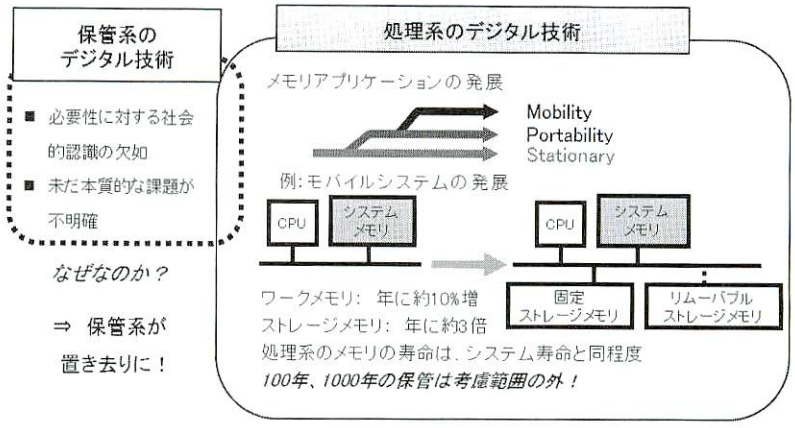


図４．メモリ技術の発展経緯

この問題に対して警鐘をならしている事例を紹介する。一つは、2006 年のスウェーデン国立公文書館からのメッセージである。デジタルデータを長期保管するプロジェクトを進めるためには、初期投資はもちろんだがその後のメンテナンスの経費や継続的にリニューアルしていく経費などデジタルデータの保管には多くの経費が掛かり、資金の手当てを計画しておかないとデジタル化プロジェクトは破綻するという警告を発信している（図５）。

危機意識

デジタルへの過剰な熱意は危険が伴う。デジタル変換プロセスを開始するにはかなりの初期投資が必要である。その投資は、デジタルのメンテナンス経費を継続的に保証する構造的な資金調達手段が無かったり、将来計画が廃止されたりした場合は無駄な投資になってしまう。

このような長期計画の無いデジタル化プロジェクトは、宇宙のブラックホールの様なものである。

スウェーデン国立公文書館の報告書（～2006）より

http://www.jiima.or.jp/pdf/Palm_Black_Hole.pdf

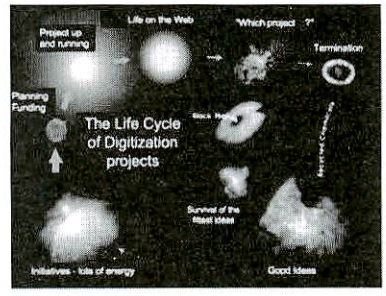


図５．長期保管プロジェクトからの警鐘

また、デジタルデータに特有の保管上の課題もある。次の事例は 1975 年に NASA が、火星探査機バイキングを火星に送ったあとに起きた事例である。NASA は探査後 25 年間探査データを保存していた。ところが 25 年後にバイキングの観測データを復元しようとしたところ、復元できないという事件が起こった。25 年の間に磁気テープに保存されたビットデータのフォーマット情報が失われてしまったため、ビットストリームである 0, 1 データは読み出せたが、その意味を解読できなかったためである。デジタルデータにおけるメタデータの重要性を認識させる事件であった。この事件に衝撃を受けた NASA と米国政府はデジタルデータを保存するためのモデルを作った。しかしながら、このモデルはデジタルデータの意味理解を保障するものであるが、デジタルデ

ータの長期保管を可能にするものではない。

これらの事例から分かる様に、今のところデジタルデータを安定にかつ妥当なコストで長期間保管する技術は無い。その一方、デジタル技術が社会に浸透するに伴ってデジタルデータの長期保管を必要とする組織、団体、人々は着実に増えている。例えばハリウッドに代表される映画業界は、最近の映画の急速なデジタル化によって、デジタルデータの保管はどのようなシステムを使っていけばいいのかという問題を盛んに議論している。ちなみにハリウッドでは次に示す７つの条件、1）世界的な標準、2）長期で 100 年以上アクセス、3）複製マスターの生成、4）オリジナルと同等の品質保証、5）技術プラットフォームに依存しない、6）運用互換性、7）財政事情の影響を受けないこと、を満たす技術・システムを求めている。現状でこのような７つの条件を満たす技術・システムは、フィルムアーカイブのみであるというのがハリウッドの結論である（図６）。デジタル技術が主流となる状況において、ハリウッドはおそらく世界で最もデジタルデータの保管に関心を持っている組織ではないかと思われる。

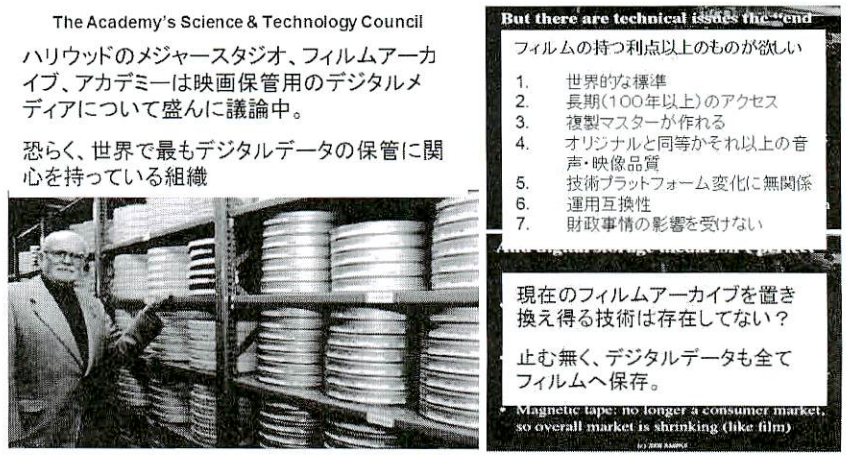


図６．ハリウッド（映画業界）からのメッセージ

他に、図書館関係が大きな関心を寄せて多くのプロジェクトを進めている。事情は公文書館においても同様である。この他にも FBI・警察関係でデジタル写真などの証拠の保管期間として 100 年以上が必要だと言われている。医療の分野でも急速にデジタル化が進んでおり、デジタルデータの長期保管に関する需要が高まっている。さらに科学分野、特に短期に経済的価値を生まない分野の研究成果・知見は、妥当なコストでの長期保管手段が無いため、危機に瀕している。例えば天文学の分野では、今後年間で 200 ペタバイト以上の画像データが出てくると言われている。それらの観測データの長期保存については議論さえ行われていない。

２．解決すべき課題と保管戦略

デジタルデータの長期に渡る保管においては、基本的に二つの課題ある。一つ目の課題は、現在のメモリ・ストレージとシステムの寿命が短命であることである。現在のデジタルメモリ・ストレージはシステムの一部として使われるため、期待される寿命はシステム寿命と同程度であり、そのシステム寿命は 10 年程度と非常に短いのが実情である。旧来の記録記録媒体、例えば紙は保証期間が 250 年、期待寿命は 700 年と

いわれ、マイクロフィルムは保証期間が 500 年のものもある。この一方、既存のデジタルメモリの期待寿命は、数 10 年程度と極めて短いのが実情である（図７）。

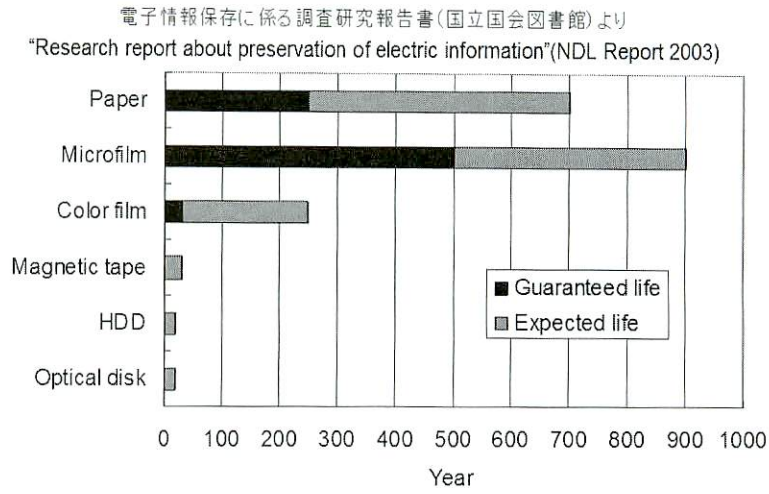


図７．各種ストーレッジ寿命（信頼性）

二つ目の課題は意味理解の問題である。デジタルデータ本体はビットストリームなので、これだけでは何の意味も理解できない。そこでメタデータという、データの持つ意味を理解するために必要なデータを付け加えることが必要となる。さらにメタデータのメタデータが必要となる場合もある。どの様なメタデータをどの様に付与すべきかについてのモデル（参照モデル）が提案されている（図８）。

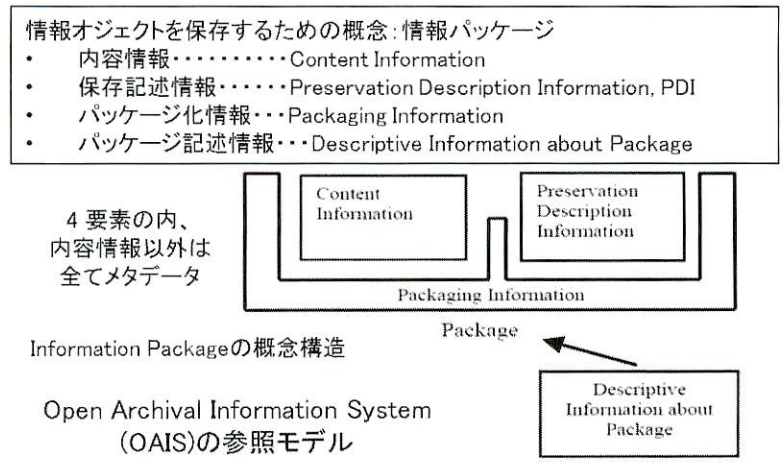


図８．メタデータの参照モデル

先に紹介した NASA バイキングのデータ消失を受けて、NASA と米国政府が Open Archival Information System（OAIS）というデジタル情報の保管モデルを作り標準化した。その概要は、記憶すべきデータの本体である Content Information と、その内容に対するメタデータである Preservation Description Information と、この 2 つを結びつける Packaging Information を加えて 1 つのパッケージとし、さらにこのパッケージの外側にパッケージの内容の特性を記述する Descriptive Information Package を付与するというものである。しかしながら、このモデルは超長期に亘る意味の理解を保障するものではない。

次に、デジタルデータを継続的に保管するための方法（戦略）について考える。現在、次の３つの戦略が有るとされる。まず、単なるコピーの繰り返しである「リフレッシング」がある。次に「エミュレーション」と「マイグレーション（移行）」がある。現状では、システム、媒体とも短命であるため、長期保管システムとしては、定期的に記憶媒体・システムとも新たなものへ移し変えるマイグレーションが広く使われて

おり、唯一の長期保管方法となっている。ただ、コンピュータとソフトウエアの世代が替わると、デジタルデータを新しいシステムへ移し変えていくという方法であるため大きなコスト負担が生じている。もう一つの方法であるエミュレーションは、新システム上に旧システム上にあったメモリ・ストレージ媒体の読み出し環境を作るというものである。エミュレーションが成り立つためにはオリジナルの媒体が生きていることが条件であることから、現状では長期保管戦略としては成立していない。しかしながら、長期間記憶を保持する媒体が存在すればデジタルデータの長期保管戦略として有力な方法になると考えられる。

3．期待される超長期保管メモリ・システム

ここで、期待される長期保管メモリ媒体とシステムには何が要求されるのかについて、基本に戻って考えてみたい。

そもそも現在主流のマイグレーションは何時の時代まで可能であろうか。マイグレーションは、コンピューターの世代が替わるたびに新しい技術体系で作ったシステムに移行していくため、膨大なコストを負担しつづけなければいけない。さらに何らかの理由で一度マイグレーションが途切れると、データは永久に失われ二度と再生できなくなるという脆弱さを持っている。一方、1000 年近く行き続けるメモリ、すなわち保管環境に左右されず、かつメンテナンスがいらないメモリが実現できたとすると、エミュレーションという方法は非常に有効な保管戦略となる（図９）。

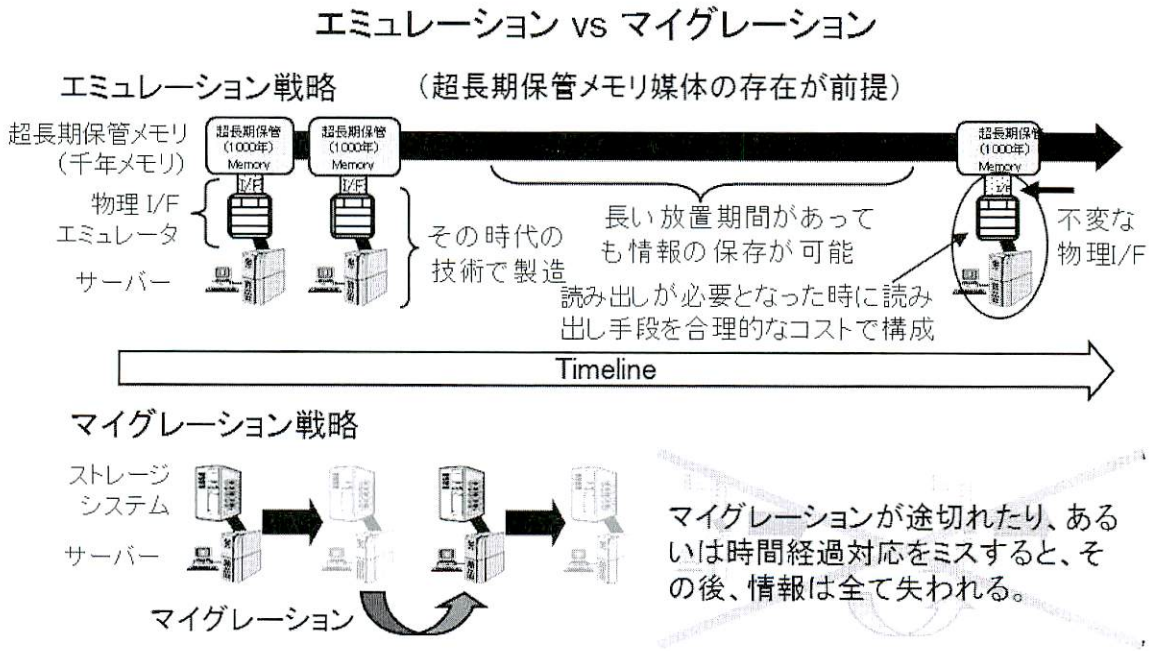


図９．期待される長期保管システム

理想的なエミュレーション戦略を成立させるためには、データが消えないということはもちろんのこと、読み出すための技術的手段を合理的なコストで得られることが

必要である。そのためには読み出すために必要な物理的なインターフェースを低価格で作ることでき、同時に意味理解の手段が存在すること、すなわちハード、ソフトともエミュレーターを作れることが条件となる。また、そのための仕組みとしてデータフォーマット、メタデータの標準化を行う必要があり、さらにそれらの情報をメモリ媒体・システムに実装する必要がある。スケーラビリティーの保証と媒体の再利用の容易性（利便性）の確保も重要となる。

４．実現手段の一提案

４．１　半導体不揮発性メモリ

超長期に記憶を保持するためには、まず

（１） 保持する物理原理が存在すること

（２） 原理を発現する構造体が壊れないこと

の２つが必要である。現在のシリコン半導体不揮発性メモリはこの２つの条件を満たし、大きな可能性があると考えられる。

現在主流のフローティングゲート型半導体不揮発性メモリの記憶原理は、絶縁体に挟まれたフローティングゲート（金属あるいは半導体）中へ電子をためるというものである。フローティングゲート中の電子から見ると接触している絶縁体は壁（ポテンシャルの壁）に見える。情報をつかさどる電荷は、この壁に囲まれた井戸の中に貯められる。貯められた電荷の保持特性（情報の保持特性）は、この電荷がどのようにこの井戸から抜けていくかによって決まる。電荷がこの井戸から抜ける物理的な原理は、２つある。１つは、量子力学的なトンネル現象、もう一つは、熱電子放出という現象である。トンネル現象は温度に関係なく、ポテンシャルの壁の高さと厚さによってきまり、熱電子放出は壁の高さと温度に依存し、壁の高さが低く温度が高ければ大きくなり情報の消失が早くなる。この２つの現象に支配された保持特性は、既に良く

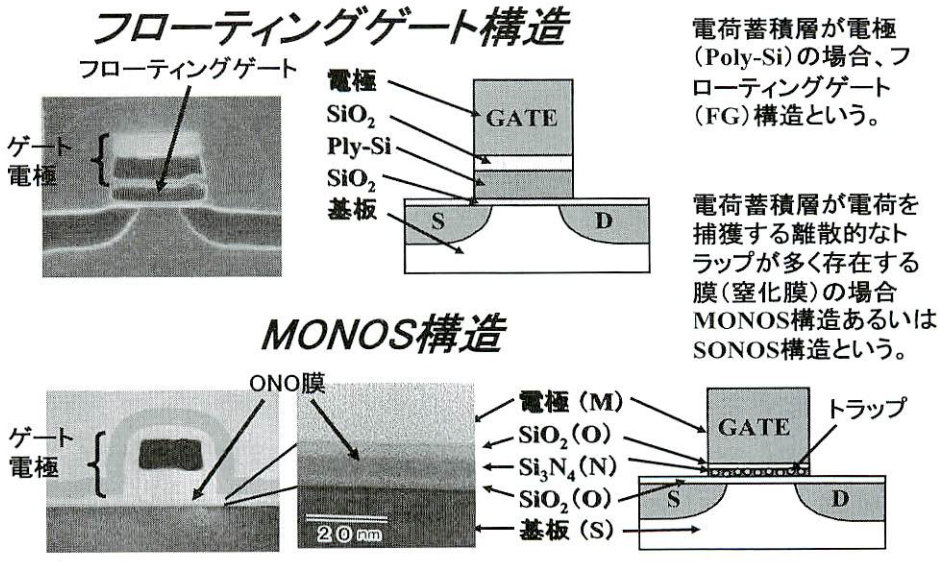


図 10　超長期保管メモリの技術候補主流となっている不揮発性メモリ技術

知られており 100℃以上の保存温度で 100 年以上保持できることが知られている。さらに、MONOS 型と呼ばれるメモリ素子を用いれば、150℃で 1000 年以上記憶を保持できることも期待できる。この 2 つの半導体不揮発性メモリの基本構造を図 10 に示す。

もう一つの要件である「構造体が壊れないこと」は、シリコン半導体不揮発性メモリ素子の構造と構成材料から満たされていると考えられる。不揮発性メモリ素子は1,400℃程度の高温で作られるシリコンの単結晶を基板とし、その上に 800℃～1100℃の高温で絶縁膜すなわちシリコン酸化膜が形成され、その上にポリシリコンからなるフローティングゲート（MONOS 形の場合は窒化膜）を、さらにその上の絶縁膜、シリコンからなるゲート電極が順次形成される。このように高温かつ高度に管理された環境で作られるメモリ媒体は他になく、高温で作られていることと、シリコン、シリコン酸化物（石英）そしてシリコン窒化物（セラミックス）と化学的に極めて安定な物質で作られているため、構造体の熱的な安定性は極めて高いと言える。

４．２ 超長期保管メモリチップ実現へ向けての課題

最終的な商品としての半導体メモリチップによる超長期保管メモリ媒体の実現には、配線と周辺回路を含むチップ総体としての信頼性をどのようにして確保するのかを考えなければならない。耐腐食性の高い配線とパッド材料の検討、実装技術の検討、1,000年の信頼性を保証する評価手法の確立が必要である。また、妥当なビットコストをどの様に実現するのか、さらにシステム、データのフォーマット、それらの sustainability、dependability をどの様に確保していくのかなど多くの課題がある。しかしながら、これらの課題は解決可能であり、解決できた際に得られる対価は非常に大きなものがある。

４．３　意味理解の保障

期待される超長期保管メモリ・システムで述べた様に、デジタルデータの超長期保管戦略としてエミュレーションはマイグレーションに対して堅牢な戦略である。エミュレーション戦略を実現するには、デジタルデータを超長期に保存できるメモリ媒体の存在とそのメモリの内容を読むためのシステムがいつの時代にも手に入ること、さらに意味理解が可能、保障されていることが必要である。

先に述べた様に、デジタルデータを超長期に保存できるメモリ媒体は実現可能である。残る大きな問題は、将来にわたってアクセスが保障し、意味理解ができることをどの様に保障するかである。新たに作るシステムでは、これらのことを可能とする仕組みを作り込んでおく必要がある。このことが実現できれば、デジタルデータの超長期保管戦略として、マイグレーションに対して堅牢かつ安価な戦略であるエミュレーションを採用することができる。

何時の時代においても、アクセスを保障するためには、まずハードウェアー エミュレーターが容易かつ安価に作れる必要がある。そのためには、物理インターフェースは単純なものが望ましい。物理インターフェースとは、例えは光ディスクでは光カッ

プラが、ハードディスクは磁気ヘッドが該当すると考えられる。物理インターフェースが非常に簡単なものであれば、将来、媒体を見つけた人が、その媒体にアクセスするための装置を容易に再構築できると期待できる。今のところ電気的接点が考えうる最も簡単な物理インターフェースと考えられる。信頼性の点から非接触、無線という選択もある。これからの検討課題だと思われる。

もう１つ重要なのは、インターフェース仕様である。仕様が変わってしまうと読み出しが困難になる。仕様は不変であることが望ましいが、必ずしも不変でなくとも仕様が理解でき、再構築できれば読み出しは可能になる。

読み出し装置（ここではアダプターという）すなわちハードウェアエミュレータができたとしても、それだけでは単なる 1、0 のビット情報が出てくるだけである。それだけでは意味が分からない。ビット情報から意味の理解できる形に変換するためには、メタデータが継承される必要がある。そのためには、メタデータを記述している言語に永続性があるかが非常に重要になる。さらに、1000 年、数 100 年先の人がビットデータの意味が理解できることを保障するためには、データの解読性を保障する仕組みが必要である。そのためには、意味を理解するのに必要なメタデータの種類と階層構造、すなわち先に述べた OAIS のモデルの 4 要素を実際の物理実態（ハードシステム）の中にどのように入れ込むか。そのデザインを最初に規定しておかなければならない。すなわち、意味理解のために必要な情報（メタデータ）をどの様に、どの様な形で実装するのかを示す参照モデルを作り、標準化し、将来に伝わる形にしておかなければならない。（図 11）

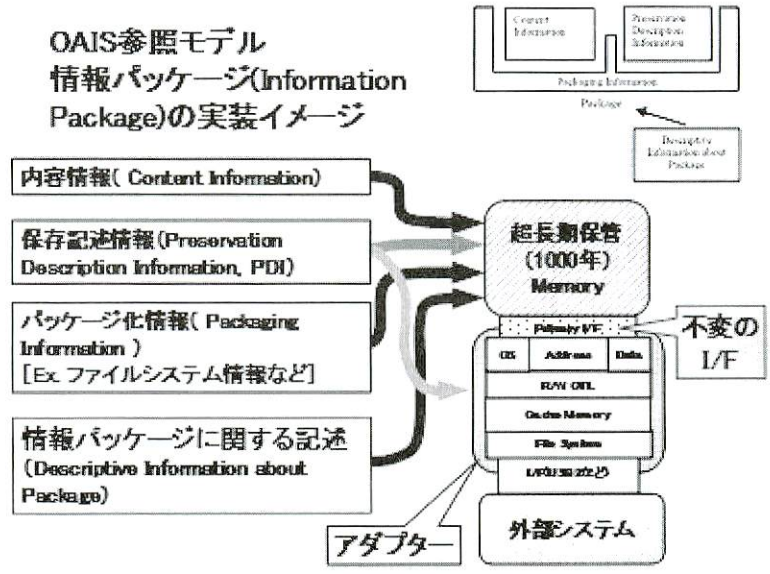


図 11　アダプター概念とメタデータの実装イメージ

次に、幾つかのアイデアと課題について述べる。

1 つは、媒体チップの表面に見た目情報である自然言語すなわち継承されることが期待される文字を使って媒体の仕様を記載しておくという案がある。OAIS のモデルで言う「情報パッケージに関する記述」に該当する。端子情報、すなわちどの端子にどのような信号を加えるのか、どの端子からどういうビット列が出てくるのか、そのビット列の何ビットまでにどういうフォーマットのメタデータが入っているか。それをまず解読することによって、メモリ内の本体情報の解読が可能になる。また、この媒

体の内容がどういうものなのかという情報も記載が必要である。（図１２）

さらに、OAIS の情報パッケージの情報をメモリ媒体とアダプターというシステムの中に、どのように組み込む（実装する）かについてのモデルを作る必要がある。（図１１）そのためにはまず基本となる参照モデルが必要である。それを個々のアプリケーション毎に適用していくことになる。

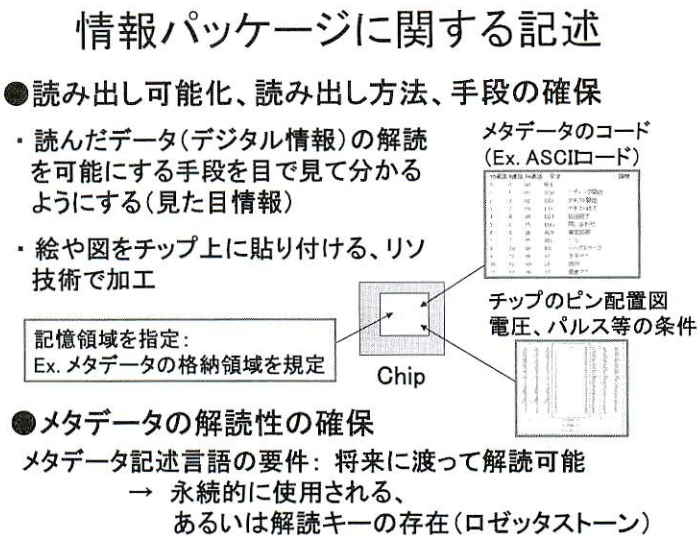


図１２　情報パッケージに関する記述例

まず、OAIS のモデルの情報をチップ媒体へ入れようとすると、容量が問題なる。1 媒体の中に全ての情報を入れるとコンテンツ本体よりもメタデータの方がボリュームが大きくなってしまう場合もある。そのため、意味理解を保障するための情報を実装するモデルを、参照モデルを基にいろいろ考えなければならない。当然のことながら、媒体のメモリ容量によって考え方が影響を受ける。たとえば 1 チップで 8GB ぐらいのメモリができたとし、2 チップで 16GB の媒体を作ったとする。この媒体の大きさが厚さ 1mm で 1cm 角ぐらいとすると、これを例えば 10 個積めば 160GB になる。1m 立法のキューブにすれば 160PB になる。（図 １３）このようなユニットで考えれば、OS から全てのメタデータを入れることも可能となる。一方、デジタルカメラの写真フィルム代わりにメモリを使ったとすると、そこに OS から全てのメタデータを入れることには無理がある。例えば代表して別のチップに写真に直接関係しないメタデータだけを入れるような仕組みを考える必要がある。どういう媒体ユニットを考えるか、使い方によって、メタデータとして入れるものをどう選別するのかということも考えていく必要がある。

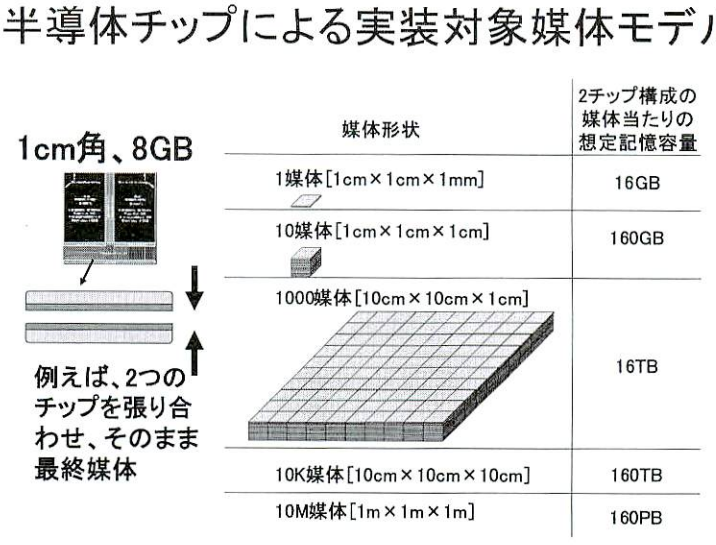


図１３　半導体チップによる媒体モデルの例

このような議論は、具体的な物理モデルが

出てこないと進まない。何か１つリアリティーのある物理モデルを作ることが重要である。

アダプターといわれるブリッジのシステムの物理的な形態は、用途によって大きく変わると思われる。データセンターや大規模な画像を処理するようなシステムの場合には、多くの超長期保管メモリ媒体を載せたボードを多数実装した形の巨大なラックを考えればよいし、個人がカメラのフィルム代わりに使うのであれば、メモリカード状のものがアダプターとなる。(図１４）メモリ媒体は、そこに差して使う。ただ、そのときにメタデータを何処に何処まで入れるのかということは、先に述べたとおり用途ごとに考えなければならない。

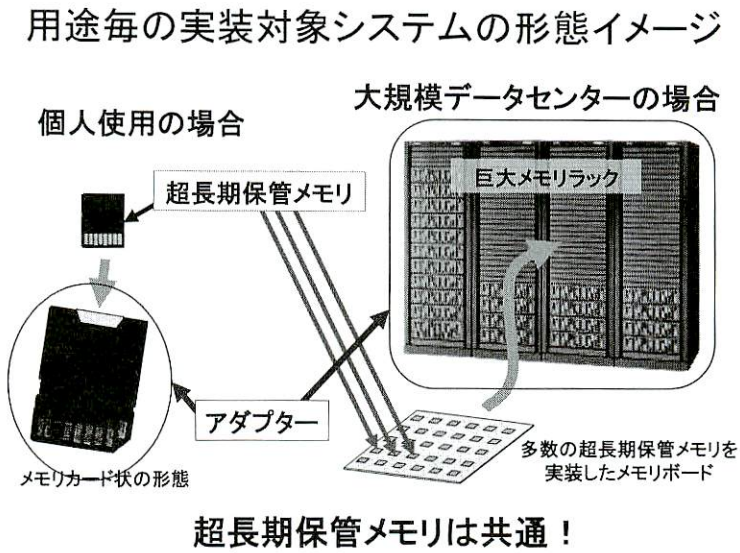


図１４　用途毎のアダプターイメージ

４．４　産業へのインパクト

超長期保管メモリ媒体が実用となれば、その需要は人類の知的生産量に比例し延び続ける。全世界で生み出されるデジタルデータ量の 1%に何らかの意味で保管が必要となると仮定すると、2020 年には１年間で保管すべきデジタルデータ量は 400EB に達する。1 年間で保管すべきデジタルデータ量と記憶媒体の容量、媒体価格を想定することによって市場規模を予想することができる。

先に述べた、1 チップで 8GB のメモリができたとし、2 チップを張り合わせ 16GB の媒体を作ったとする。大きさは 1cm 角、厚さ 1mm、容量は 16GB となる。400EB のデータを保存するのに必要な媒体数は、凡そ 2.5×10^{10}個となる。必要なチップ数は、倍の 5.0×10^{10}個である。これだけの量を、直径 450mm シリコンウェハを使用する現在最先端の半導体工場で生産すると、月産５万枚の工場が 65 棟必要ということになる。この直径 450mm シリコンウェハを使用する現在最先端の半導体工場は、その生産力の巨大さ故、現在、全世界で数棟あればよいと言われている。その工場が６０棟以上必要になることから、いかに超長期メモリ需要が大きなものになるかが分かる。

さらに、金額ベースで市場規模を推定すると 2020 年にはメモリ媒体市場だけで数十兆円の規模になると予想される。アダプターの市場も入れると、メモリ媒体市場の 2 ないし 3 倍になると予想される。

５．超長期保管メモリ・システム実現へ向けての提言

現在のデジタル情報社会を支えている電子技術は、“今の仕事”を処理する技術という形で発達してきた。その一方で、“記憶の保管”のための技術の必要性に対する認識は無いに等しい。その理由は、デジタル技術は生まれてまだ半世紀しか経っていないためと考えられる。しかしその間に処理系の技術は大きな進歩を遂げ、膨大なデータが生成される状況が生まれている。このため、処理と保管の技術のアンバランスが非常に大きくなり、生成されたデータの保管が危機的な状況に成りつつある。人類社会の持続的な発展を保障するためには、保管の問題にたいするイノベーションを起こす必要がある。そのためには、図１５ に示す材料からアプリケーションソフトまでの技術の階層の協調が必要である。アプリケーションソフト、基本ソフトなどの上の階層だけ見ていたのでは記憶の保管技術に対する本質的なイノベーションを起こすことはできない。材料からアプリケーションソフトまでの全ての階層を見通しソリューションを探さないと、見つけることはできない。この様な活動は、データ処理系の技術開発では行われてきた。処理系の分野では ITRS のロードマップというものがあり、材料からシステムまで一気通貫で、何年後にどういうスペックのものが必要かということを議論し目標値を設定し、世界中に提示してきた。すなわち、何時、何が必要かを認識して技術開発を進めてきた。このことが、40 年以上にわたりムーアの法則が維持されてきた理由の一つである。このような努力が処理系の技術開発においては成されてきたが、保管の話にはそのような形で技術開発を行うという認識は全く無いと言える。

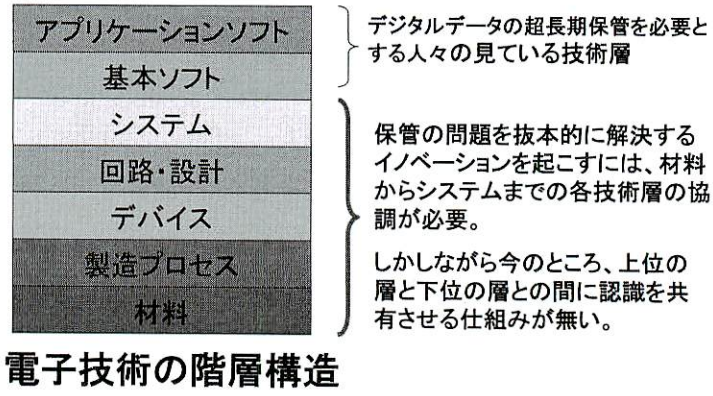


図１５　保管系の技術に対する認識の現状

この状況を打破するために、早急に、超長期保管メモリとシステムについての検討と、意味理解を保障するためのメタデータとそれを実装するための参照モデルの検討を可能にする環境を作る必要がある。いち早く超長期保管メモリ・システムの案を作り世界に問い標準化を行う活動を進める必要がある。技術の最上層しか見ていない超長期保管技術を必要とする人々と、解決することのできるポテンシャルを持つ技術に携わっている人々の間にある認識のギャップを解消し、ニーズに対する共通認識を共有させる場を作ることが重要である。今、世界に先駆けて、日本が文化や科学情報の未来への継承を保障するアクセスと意味理解を保証できるメモリ・システム技術を提案する活動を早急に起こすことが必要である。

以上

2013年 3 月31日

編集発行

(社)日本工学アカデミー

〒108-0014　東京都港区芝 5 － 26 －20
建築会館 4 F
Tel：03－5442－0481
Fax：03－5442－0485
E-mail：academy@eaj.or.jp
URL：http://www.eaj.or.jp/