

No.146
December 1, 2010



EAI *Information*

講 演

2010年11月4日(木)・第164回談話サロン(東京・アルカディア市ヶ谷)

講師・演題

小林 敏夫：記憶の保管性

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

記憶の保管性



小林 敏夫 (こばやしとしお)

- 1972 年 上智大学 理工学部 物理学科卒業
- 1974 年 早稲田大学 理工学研究科 応用物理学専攻 修士課程修了
- 1974 年 NTT 研究所 (当時は電電公社電気通信研究所) 入社
シリコン半導体のデバイス・プロセスの研究開発に従事
 - ・微細 MOS トランジスタゲート膜の超薄膜化
 - ・シンクロトロン X 線による IC 試作と MOS 超高速化
 - ・LSI の銅配線化の検証、などの先端研究
- 1997 年 早稲田大学にて工学博士号取得
論文名: 微細 MOSFET の製造技術とデバイス特性の研究
- 1998 年 ソニー株式会社入社 主幹研究員、統括部長
主に記憶デバイスの開発と実用化
 - ・窒化膜を用いた MONOS 型不揮発性メモリなど
- 2009 年 ソニー株式会社定年退職
- 2009 年 日本工学アカデミー会員
文部科学省 科学技術政策研究所 科学技術専門調査員
神奈川大学 非常勤講師

日本工学アカデミー会員選考委員会が企画する談話サロンシリーズとして、2009 年 10 月に当アカデミーの会員になられた小林敏夫氏を講師に招いて、「記憶の保管性」をテーマとする談話サロンが開催された。テーマ「記憶の保管性」は日本工学アカデミーに新たに設置された作業部会でもあることから、その活動の報告会も兼ねて実施された。

小林氏は、NTT とソニーにおいて一貫して携わった半導体デバイス・プロセスの研究開発を通じて、「デジタル社会における記憶の保管性の脆弱さ」によって「このままにしておくと社会的・文化的に貴重な情報がここ数十年で地球上から消えてしまうのではないか」という人類にとって深刻な事態への危機感を抱いてきた。本談話サロンでは、小林氏から「21 世紀のデジタル社会における記憶の保管性に関する危機」について、社会的背景、社会的経済的問題点、技術検討課題、その解決方策などについて総括的な講演を頂き、この課題に関する議論を行った。

講演要旨

デジタル社会となって 30 年足らず。ソフト、ハード両面の目覚ましい進歩によって、デジタル技術は、我々の社会を維持・活動させるために必須なシステムに急速に浸透しており、デジタル技術への依存は抜きさしならぬ状況になっています。今後、レガシーな媒体、すなわち紙、フィルムなどは、特殊な用途を除いて急速に姿を消していくと思われまふ。それに伴い、利便性の影に潜む危うさの指摘も行われるようになってきております。

その 1 つに、人間社会の存在の根源である記憶の保管性の危機があります。一般にはこれまであまり目が向けられてこなかったのですが、デジタル化による記憶の保管性の脆弱性、すなわち CD、DVD、ハードディスク、フラッシュメモリなどのメモリ媒体の寿命が 5 年ないし 20 年程度しかもたないという事実による危機が生じています。今、妥当なコストでデジタルデータを 100 年以上の長期に保管できるメモリ媒体に対するニーズは、映画業界、図書館、公文書館、各国政府機関、医療機関、地質探査関係、データセンターなど、個人、組織を問わず確実に増大してきております。ハリウッドでは、今でもデジタルデータとして作成されたコンテンツをフィルムに移して保管しています。

デジタルデータの保管の問題は複雑です。保管とは、単にデータが残っているだけの状態を指すものではありません。必要な時にデータの意味を理解できなければなりません。

このため、デジタルデータを保管する際の基本的な手続きについて Open Archival Information System (OAIS) というものが提唱され、ISO の標準規格となっています。このように保管データとそれを解読するための付与データ (メタデータ) とを含むデータの構成についての検討は、進んでいるようです。しかし、データの物理的な保管性については、状況は変わっていません。媒体が劣化するという問題の他に、OS、読み出し装置が変わり、古い媒体が読めなくなるという問題があります。これらが短命であるため現在長期保管戦略として、マイグレーションとエミュレーションという方法が推奨されています。マイグレーションとは、デジタル資産を、あるハード/ソフト環境から別の環境へ、あるいはある世代のコンピュータ技術から次世代の技術へ移行させることです。エミュレーションとは、オリジナルのアプリケーションや OS の振舞いを真似るエミュレータを用意するというものです。メモリ媒体が生きていることが条件となります。いずれも定期的に大きなコストが発生します。規模の小さい組織、団体、個人にとって継続的なコスト負担は大きな問題となります。資金の切れ目が、データ保管の切れ目になりかねません。

理想的には、棚に置いておくだけで保管ができる (読み出しも保証される) ことが望ましい。このことを実現するための第一歩として、劣化しないメモリ媒体が必要です。少なくとも 100 年以上の保管を保証できるメモリ媒体が望まれます。現在このことを実現しているのは、良質の紙媒体を除くと、アーカイブ仕様のフィルムだけです。特に画像情報に対しては、見た目保存ができることから有利です。

しかし、今後も増大し続ける種々のデジタルデータとその利便性をフィルムのみによって確保できるとは考えにくく、利便性の点で他のデジタルメディア、すなわち光ディスク、ハードディスク、半導体不揮発性メモリなどによって市場が席卷されているのが実情です。

このデジタル社会における記憶の保管性の危機を救うものとして、半導体不揮発性メモリに大きな可能性があると考えられます。今の半導体メモリは、長期保管性を考慮して作られていないものが殆どであり、幾つもの課題があります。しかし、半導体技術には品質の均質さを保証できる生産技術、信頼性を保証する物理モデルがすでに存在しています。製品ばらつきが小さいことは、メモリ媒体にとって重要な要素です。また、現在すでに市販されている主流のフローティング型半導体不揮発性メモリの記憶原理によると、他のメモリ媒体では絶対に実現できない高温（例えば 100℃）で、100 年以上記憶を保持できます。さらに、MONOS 型メモリを用いれば、150℃で 1000 年以上記憶を保持することも分っています。しかしながら最終的な商品としての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。耐腐食性の高い配線とパッド材料の検討、100 年以上の信頼性を保証する評価手法の確立が必要です。また、妥当なビットコストを実現できるのか、さらにシステム、データのフォーマット、それらの sustainability、dependability をどのように確保していくのかなど多くの課題があります。

多くの課題はありますが、課題が解決し、1mm 厚、1cm 角の超長期保管メモリが実現できたとすると、どれほどの保管に対するインパクトがあるのかを考えてみます。2008 年に米 EMC の発表によると、2007 年に全世界で生成されたデジタル情報量は、281E（エクサ）バイト（2810 億 G バイト）です。1mm 厚、1cm 角の超長期保管メモリに全て保管したとすると、50m プール 1 つ分の容積で保管できます。しかも、保管温度は、150℃まで大丈夫なので、空調などの電力コストが不要になります。

超長期保管メモリにとって、読み出しあるいは解読可能性を永続的に保証することは必須です。そのためには、外のシステムとの物理インターフェースは極めて重要で、なるべく簡便なもの、永続性のあるものを使用する必要があります。多分、考えられる物理インターフェースの中で、電気接点が一番簡単なものだと思います。

また、超長期保管メモリの利便性を高めるために、アダプターという概念（装置）を提案します。超長期保管メモリとアダプターとの間は、時代が変わっても普遍性のある最も簡便かつ基本的な物理インターフェースによって接続されます。種々のアダプターを用意することによって個人利用から、大規模データベースまでスケラブルなファイルシステムの構築が可能となります。このことを実現するためには、メモリ内のメモリセルアレー構成、ID 領域の定義などを検討しなければなりません。

ここまでくると、超長期保管メモリ関連のビジネスとして 2 つ領域が生まれることが分ります。1 つは半導体チップビジネス、1 つは、アダプターというセットビジネスです。

ここで、半導体チップビジネスへのインパクトについて考えてみます。ITRS（国際半導体技術ロードマップ）によれば先端の半導体技術は 32nm から 28nm へ、2020 年には 14nm まで微細化が進むと予想されています。同時に、シリコンウェハの大口径化も進み、現在 450mm への移行が始まろうとしています。しかしながら、450mm 工場のあまりにも大きな生産能力のため、全世界で数棟もあれば十分という説もあります。しかし、今回の超長期保管メモリチップが実用となれば、その需要は、人類の知的生産活動に比例し伸び続け、2014 年には、10 棟もの月産 5

万枚の 450mm 工場を稼働させることができます。

EAJ 作業部会「記憶の保管性研究会」は、デジタル技術の進展に伴って、人類にとって極めて重要な問題となった記憶の保管性について議論を行い、具体的な解決案の策定を目指します。そのために、記憶媒体の物理モデルを提案し、その物理モデルを例題として、メモリ仕様、フォーマット、システムなどの検討を進めます。具体案を持って、積極的に公的な機関、政府への働きかけを行うとともに、日本からこの分野の情報発信をいち早く行います。

(小林敏夫)

質疑応答

質問：この分野における日本の技術は世界の中でどのような地位にあるのか？

回答：今回提案させてもらった半導体メモリ素子の技術で言えば、日本のみならず米国や韓国なども持っている。日本だけが強い訳ではない。しかし、チップ総体として 1000 年もたす技術、例えば（超長期信頼性を持つ）配線技術は何処も検討していない。半導体不揮発性メモリ素子開発を行っているエンジニアは、トンネル酸化膜を壊さない使い方をすれば、既存の素子でも書き込み情報を 1000 年でも保持できることは知っている。有名な Sze の教科書にも書いてある。ただ、半導体チップビジネスをしている人々は半導体チップを超長期保管媒体にしようとする意識が無い。（可能性と価値に）気づいていない。日本も例外ではない。しかし今、活動を始めれば日本が先行できる好機と思う。

質問：この話、ビジネス化という視点で活動するよりも、社会インフラ整備という観点から進めてはどうか。例えば UNESCO とか国連とかを（企画の）主体にすえて、そこから開発のリクエストを出す仕組みにしてはどうか。日本のブランド、品質を武器に日本が受注を受ける形にしてはどうか。全体のインフラ構築のヘッドを UNESCO へ持って行ってはどうか。

回答：たしかにそういう考えもあるが、すでに同じような立場に位置している組織としてハリウッドがある。ハリウッドには今でも強い需要があり世界中に案を持ってこいとリクエストを出している。実際の“物”を持ってこいと言っている。国連のような所からアナウンスを出してもらえるのは面白いアイデアと思う。しかし、技術商品開発主体は、個別の企業になると思われる。気づいた所が始めると思われる。それは、日本企業とは限らない。商品レベルでデファクトを取られると大変なことになる。RF タグが良い例。この作業部会の目的は、日本の中で、意識を高め、世界に対していち早く記憶の保管を保証するシステムの提案をする活動を起こすことである。早く規格をまとめプロトタイプを作ることが必要だが、議論すべきことが多く、また、何処まで内容を詰めれば、多くの人にリアリティを感じてもらえるのか、閾値が分からない。皆様のお力を借りて作業部会での検討を進めたい。

質問：自分もある出版社で作成した原稿のデータが、別の出版社で読むことができず困った経験がある。ハードウェアの問題のみならずソフトウェアの問題も大きいのではないか？

回答：正に、その通りです。そのことを目指すために、データの階層構造をよく考える必要があ

る。何処からを共通の領域にするのかの議論をする必要がある。それによって物理的なメモリアレー中に記録されているビット列の意味も変わってくる。私としては、データそのものはなるべくシンプルな形でメモリアレーに記録し、それを解読するためのキーとなるメタデータを同じチップ上の別のある領域に記録する方式を想定している。解読作業、人間が最終的に認識できるテキストあるいは画像などのフォーマットへの変換は、チップを搭載するアダプターという装置に押し付けたいと考えている。物理的チップ側に種々のフォーマットを持たせるのは良くないと思う。データの階層構成とメタデータの議論を進めるためにも、まずプロトタイプを作って実際に使うことを想定して検討する必要があると思われる。早く始めることが重要。力のある所に先行されると追いつくことは難しい。

質問：物理的なチップは生きていても、そのフォーマットが解読できなくなる可能性はあるのでは。どうやって、解読のキーを残すのか。キーそのものが読めなくなることがあるのではないか？

回答：そうなる可能性はあると思う。そうならないような仕組みを考えることが重要であるが、その際に、具体的に 1000 年以上にわたって記憶を保持できる媒体がないと議論が進まないと思う。具体的なビット容量、密度など境界条件を決めないとデータの階層構成、解読キーの継承方法などの議論が具体化しないと思う。そのために具体的な物理モデルを提案したい。

質問：人間共通のキーとして何が必要なのかの議論は、今のメモリを使ってもできるのでは。記録媒体とデータ構造は別のもので、今あるメモリを使っても望ましいデータ構造、解読キーについての議論はできるのではないか？ 問題意識さえ持てばできるのでは？

回答：その通りと思う。しかし、具体的に 1000 年記憶保持できるものを目の前にした方が、インパクトがあり、多くの人に問題意識を持ってもらえると思う。何から手をつけるかの順番の問題はあるが、ご意見として言われていることを含めて、先に述べた 5 つの要素を並行して検討し、リアリティを増すことが最終的な商品として成立させる上で大事だと考えている。

質問：これまでの歴史を見ると何事も永遠に続くというものはない。デジタル記録ということすら将来変化し、別のものに置き換わる可能性はないのか？ 例として、計算の分野では、デジタルからアナログ技術の回帰が起きている。

回答：大変面白い視点だとは思いますが、現時点でデジタル保管に代わりうる手段は思いつかない。アナログと言っても、アナログが和紙とか羊皮紙を指すのではなくテクノロジーとしてのアナログ技術を指すのであれば、保管性という観点からはデジタル技術と変わるものではない。現時点では、引き続きデジタル技術が記録の中心になるものと思う。

質問：保管が 100 年でよいと言う人々の根拠は？

回答：単に業務の必要上 100 年と言っているものと理解している。

質問：記録を読み取るためのハードウェアがすぐ陳腐化して使えなくなってしまうことにも問題

があると思う。古いハードウェアで記録したものを読み取るためのハードウェア技術の維持、継続性が必要ではないか？

回答：時代が変わっても、読み取り装置が作れることをどのように保証するのかとのご質問ですが、だからこそ、記録媒体の物理インターフェースが重要になる。半導体メモリを記録媒体と考える理由の1つは、電気的接点を通してデータを読み取ることができるからである。電気接点は最も単純な物理インターフェースであると考えている。特殊な物理インターフェース、例えば、光ピックアップ、磁気ヘッドのようなものを用いると、将来その技術が失われると読み取りが困難になる。それに対して、電気的接点であれば特殊な技術は要らず、その時代のベースとなるエレクトロニクス技術でエミュレータを作ることができると考えている。

質問：電気的接点の意味を確保するのは難しいのでは。ハードウェアは多様化している。どのように永続性を保つのか？

回答：何時の時代でも、電気接点であれば、プローバという措置を使えばコンタクト（接続）することができる。どの接点にどういう電圧をかければどの接点からビット列が出てくるかという最低限の情報を文字や記号などでチップ上に記録しておけばよい。メタデータを出力する端子などもチップ上に記載されていれば、読み出したビット情報を解読できる。今後、見たいデータであるチップ上への記載情報、メタデータとしてのビット情報、主のビット情報などの情報の階層構成（メタデータスキーム）などが議論されるべきと考えている。

質問：世界中の人類が持つ全てのデータを1000年保管する必要はない。1000年残すべきものとしてでないものを区分して、必要なものだけを記録すればよいのではないか？

回答：歴史は誰かが意図的に選別して残すべきものではないと思う。貝塚のように、一般の人々の暮らしの記録の中に真実が残ることもある。最初から妥当なコストで一般の方々に提供できないと思われるので、初めはハリウッドなど多少コストが掛かっても需要があるところからスタートすれば、漸次普及するものと思う。

使う側から、信頼性保証を考えると100年もつと言われると、100年間は絶対に壊れないことを期待される。しかし、工業製品には必ず製品ばらつきが存在する。ばらつきの幅を小さくするために全数検査を行うのは不可能である。現実には、抜き取り検査で加速係数をかけて保証するわけだが、1000年、1万年保証を目指し加速係数を設定して抜き取り検査を実施することによって、より短い保管時間、例えば100年での故障確率を、大幅に小さくすることができる。このことによって、ユーザが感じる、品質ばらつきへの不安の解消もできるのではと思う。

質問：電子書籍につながるものと思うが、その意味では記録技術だけでなくブラウザの技術も重要と思うがどうか？

回答：その通りだが、今回の検討では長期間にわたって安心して使える記録媒体・記録方式という観点に絞って進めたい。

以上

来るべきデジタル社会の危機 記憶の保管性について

-超長期保管メモリ、千年メモリの必要性とその課題-

2010年11月4日 小林 敏夫

1

アジェンダ

- はじめに: 危機意識と幾つかの消失事例
- 長期デジタル保管を必要とする人々
- デジタル保管の課題と保管戦略
- ストレージの寿命[信頼性]
- 保管コスト
- 課題のまとめと更なる課題
- 半導体千年メモリの可能性について
- メッセージ[まとめ]と今後の課題

2

危機意識

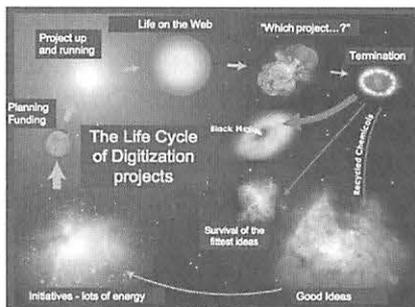
スウェーデン国立公文書館の報告書:

デジタルブラックホール

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ようなものである。

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



3

危機意識

夕刊文化

伊豆 正規氏

青柳 正規さん

2008年11月26日 日経夕刊: 国立西洋美術館長 青柳正規氏

記録媒体の限界 認識を



2008年11月26日 日経夕刊:
国立西洋美術館長 青柳正規氏

デジタル情報を読み取るには、保存した時代のハードとソフト双方の維持が必要。ハードディスクを含め、書き込んだ情報がいつまで保持できるか保証はない。また、紙の時代とは比較できないほど大量に生産される情報をこれまでの分類体系にどう合わせていくのか。この二つを解決しないと、メソポタミアや中国に始まった人類の知的蓄積を継承できない。

危機意識

2010年電子情報通信学会誌1月号

情報がどのくらい長く正確に保存できるのか、そしてそれをどのくらい長く利用できるのかが問われている。

中略

デジタルコンテンツのSustainabilityに懸念が出ており、「デジタルジレンマ」とも呼ばれる。現在のデジタル情報を蓄積するストレージの寿命は10年オーダー、したがって、情報にエラーが生じる前にコピーをするマイグレーションが行われる。しかし、指数関数的に増加しているデジタル情報を例えば10年に一度コピーをすると、そのコピー量はより急速に増大しいずれ破たんする。

中略

現代の情報がすべてではなくとも1,000年後に見ることができるとであろうか。また、技術進歩により蓄積システムが新方式に置き換わり、旧方式が利用できなくなることはよく経験することである。このようにデジタル情報の恒久的保存と活用が可能な技術が確立されなければ人類の歴史が失われてしまうこととなる。



電子情報通信技術の発展を
二次元から四次元へ



著者 山崎 明

過去の消失事例

1975年に打ち上げられたNASAのバイキング探査機(火星探査機)の初期のデジタルデータは、磁気データテープ上に記録され、アーカイブされていた。しかし、1999年に南カリフォルニア大学のジョセフミラーが、古いバイキングのデータをチェックしようとし、テープは探し出せたものの、それを読む方法を見つけられなかった。わずか25年前のデータであるにもかかわらず、そのフォーマットをNASAがすっかり忘れてしまっていた。幸いなことに、3分の1ほどのデータを繋ぎ合わせることに成功し、いくつか有用な結果を引き出すことができた。これは、部分的な参照資料と記録が紙に印刷され、テープと共に保管されていたおかげである。この事件は、「データの絶滅」と呼ぶ危険に対する重要な警鐘となった。その後、システムだったデータ移行を行うことにより米国連邦政府内のデータ資産を保護することを企図して作られた、Open Archival Information System (OAIS、開放型アーカイブ情報システム)と呼ばれるデータ参照モデルの開発の契機となった。

慶応大学DMC 訳 ザ・デジタル・ジレンマより

過去の消失事例

1986年に、BBCはDomesday Bookの900周年を記念し対話型ビデオディスクを制作した。60人のBBCスタッフと2百万ポンドの予算、および何千人という英国の生徒と先生のボランティアが参加。テキスト、写真、ビデオ、地図、データ、およびこれらすべてを結び合わせるコントロール用のコンピュータプログラムから構成されていた。しかし、このデジタルDomesdayは作成後15年程度で使用不能になった。これに対して、1086年に作られたオリジナルのDomesday Bookは、今でも(ラテン語ではあるが)読むことができる。

幸いにも、2002年に、リーズ大学とミシガン大学の研究プロジェクトが、最新のハードウェアとソフトウェアを使って、元のBBCのシステムをエミュレートすることに成功し、ほとんど「絶滅」したデジタルメディア資産に継続してアクセスできることに成功。デジタル「考古学」の草分け的研究のひとつとなった。

慶応大学DMC 沢・デジタル・ジレンマより

Domesday Book: イングランドを征服したウィリアム1世が行った検地の結果を記録した世界初の土地台帳の通称。1085年に最初の台帳が作られた。Doomsdayとは、キリスト教における「最後の審判」のことで、全ての人々の行いを明らかにし罪を決定することから、12世紀ごろからこの台帳をドゥームズデイ・ブックと呼ぶようになった。

過去の消失事例

国立国会図書館におけるデジタル資料の長期保存に関する調査

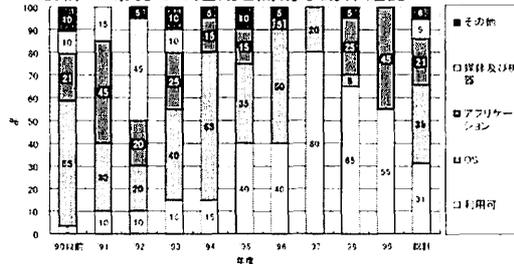
2007年2月 国立国会図書館関西館

デジタルアーカイブシンポジウム - デジタルアーカイブとその長期利用に関する研究会 - 資料より

当館所蔵資料の再生可能性調査

PC用電子資料200点(1990~1999年度受入分)

最新PC環境での起動と簡易な動作確認



□ 全体の7割弱の資料の利用に問題

個人のデータ(デジカメ写真)

国立国会図書館-National Diet Library

電子情報の長期的な保存と利用

Q10: デジタルカメラの画像を孫の代まで保存するにはどうすればよいですか?

画像をデジタルデータとして保存し、孫の代まで長期にわたって見ることを可能とするには、そのファイル形式が将来にわたって使用できることが必要です。現在、一般的なデジタルカメラの画像の保存形式は、いつ時代遅れのファイル形式になるとも知れません。

中略

他に考えられる方法として、デジタルカメラの画像を写真店等で銀塩写真用の印画紙にプリントして保管する方法があります。銀塩写真とは、フィルムに記録する旧来からのカメラ写真のことをさします。銀塩写真用の印画紙の寿命は、適切に保管すれば100~150年ともいわれています。ただ、この方法ではどうしても物理的な劣化は避けられません。

まだまだ、個人レベルでデジタルカメラの画像を保存するための最良の方法は確立していないといえます

記録が後世に残せなかった文明は 歴史の闇に沈んでしまう！

古代エジプトのヒエログリフ(聖刻文字)



甲骨文字



文字の存在だけでは駄目。

数千年風化しない媒体が必要。

それだけでも不十分。解読できることが必要。



インダス文字:インダス文明



アジェンダ

- はじめに: 危機意識と幾つかの消失事例
- 長期デジタル保管を必要とする人々
- デジタル保管の課題と保管戦略
- ストレージの寿命[信頼性]
- 保管コスト
- 課題のまとめと更なる課題
- 半導体千年メモリの可能性について
- メッセージ[まとめ]と今後の課題

ハリウッド -映画業界-

The Academy's Science & Technology Council

恐らく、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



But there are technical issues the "end users" cannot solve

- Storage "Total Cost of Ownership" increases over time
 - Labor, energy, system "stack"
- Network and device bandwidth is not keeping up with increased storage demands
 - Time to migrate can exceed data lifetime
- High performance digital storage systems are very complex and far beyond the skills of film archivists

And digital storage media isn't perfect

- Magnetic hard drives: fail more quickly and with different characteristics than MTBF curves suggest
- Optical media: U.S. NIST testing: 34% of DVDs fail after 15 years; limited data transfer rates
- Magnetic tape: no longer a consumer market, so overall market is shrinking (like film)

アメリカ政府と公文書館

- アメリカ議会図書館：
デジタル情報インフラおよび保管の国家計画 (NDIIPP) を推進。議会は2000年に、NDIIPPの共同プロジェクトに1億ドルの予算。
- 国立音声映像保存センター (NAVCC)：
アメリカ議会図書館の映画、放送及びレコード音声部門の全ての収蔵物を保管。NAVCCのデジタルストレージ・システムは、年間8ペタバイト以上の情報を取り込む。著作権法により120年もしくはそれ以上の長さの寿命が要求される。
- 国立公文書記録管理局 (NARA)：
アメリカ政府の全公式記録の保管を担当。何千というフォーマットで作られた何兆にもなるデータを「永久に」保存。このため、長期的な計画の立案のため Electronic Records Archive (ERA、電子記録アーカイブ) 計画を立ち上げる。

慶応大学DMC訳 ザ・デジタル・ジレンマより

13

医療

- 1996年に米国で施行された健康保険の可搬性と責任に関する法律 (HIPAA) が契機となり、医療用データのアーカイブが生まれる。米国で最も規模の大きな病院は、2007年当時1ペタバイトのデジタルデータを保存。アーカイブは、1週間に3テラバイトの割合で増え続けており、2008年にはデータ量が2倍に。データの増加傾向は今後も続く。

地球科学

- 資源探査および地球科学センター (EROS)：
米国地質調査所のデータ管理、システム開発、および研究分野の中核施設。2004年、EROSアーカイブは、およそ2ペタバイトのデジタル画像データを保存。2004年には、1日当たり2テラバイトの割合で増加。2倍になるのは4年後。定期的にデータ移行を実施。1992年以前は7年から10年の間隔で、1992年からは、3年ないし5年毎に実施。

慶応大学DMC訳 ザ・デジタル・ジレンマより

14

科学技術計算

- SAN DIEGO SUPERCOMPUTER CENTER (SDSC、サンディエゴスーパーコンピュータセンター)：
スーパーコンピュータを、国家的研究を行うグループ向けに運用。5ペタバイト以上の容量を持つハイブリッドストレージシステムを保有。SDSCのストレージ容量は、14ヶ月ごとに2倍に増えており、2008年の終わりには10ペタバイトに。SDSCの移行間隔は5年。デジタルアーカイブの紛失を引き起こす主要な原因は、人間のミスとディスクハードウェアの故障。

慶応大学DMC訳 ザ・デジタル・ジレンマより

15

情報爆発

米EMCの予測(2008年):2007年における世界のデジタル情報量は合計281E(エクサ)バイト(2810億Gバイト)に。今後情報量は年平均約1.6倍で増加し、2011年には1.8Z(ゼッタ)バイト(1800Eバイト)に拡大する。

16

日本の活動団体

国立国会図書館:

多くの調査活動。

- 「電子情報保存に係る調査研究報告書」平成15年3月
- 「電子情報の長期的保存とアクセス手段の確保のための調査報告書」H16年3月
- 「電子情報の長期的保存とアクセス手段の確保のための調査報告書」H17年3月
- 「パッケージ系電子出版物の長期的な再生可能性について」図書館調査研究レポートNo.6(H18年3月)
- 「電子情報の長期利用保証に関する平成18年度調査報告書」H19年3月
http://www.ndl.go.jp/jp/aboutus/preservation_02.html#

国立公文書館:

電子記録について調査活動。

- アーカイブズの観点から見る電子記録管理ガイド(1997年ICA報告書8)日本語版
- 電子記録:アーキビストのためのワークブック(2005年ICA報告書16)日本語版
- 電子媒体による公文書等の適切な移管・管理・利用に向けて—調査研究報告書—(H18年3月)(国立公文書館)
- 電子公文書等の作成時又は作成前からの評価選別」に係る調査研究報告書(H21年3月)
- 電子公文書等の管理・移管・保存・利用システムに関する調査報告書(H21年3月)(内閣府)
http://www.archives.go.jp/law/report.html#Repo_02

17

アジェンダ

- はじめに: 危機意識と幾つかの消失事例
- 長期デジタル保管を必要とする人々
- デジタル保管の課題と保管戦略
- ストレージの寿命[信頼性]
- 保管コスト
- 課題のまとめと更なる課題
- 半導体千年メモリの可能性について
- メッセージ[まとめ]と今後の課題

18

デジタルデータ特有の課題

メタデータ

メタデータというのはデータについてのデータ。長期保存のためには、保存用のメタデータや管理用のメタデータといったものも必要になる。

コンテンツ・データ・オブジェクトがそもそもの保存対象のデジタル情報で、それ以外は全てメタデータ。

デジタル情報では、特に重要。ビット列が絵の情報なのか、テキストなのか、数値データなのか、フォーマットは、何時、誰が、目的は、履歴はなどなど。

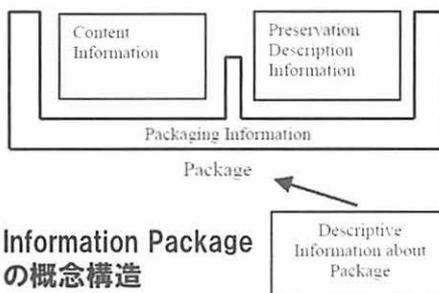
メタデータの記述要素や構造を定義するものをメタデータスキーマという。デジタル情報の長期保存に使えるようなメタデータスキーマが様々な機関で検討されている。

19

デジタルデータ特有の課題

Open Archival Information System (OAIS) の参照モデル

OAIS参照モデルでは、情報オブジェクトを保存するために情報パッケージという概念を導入。情報パッケージには、内容情報(Content Information)、保存記述情報(Preservation Description Information, PDI)、およびパッケージ



Information Package の概念構造

化情報(Packaging Information)からなる。

また、情報パッケージに関する記述(Descriptive Information about Package)も必要とされる。この4 要素のうち内容情報以外はメタデータと言える。

20

マイグレーションとエミュレーション

デジタルデータを保管するための手順とデータシステムイメージはOAISとして標準化された。しかし、実体としてのデジタルデータにはシステムのハード、ソフトの寿命という問題が残る。

ライフスパン	ハードウェア	ソフトウェア
3 → 5 年	ホストコンピュータ	<ul style="list-style-type: none"> ・アプリケーションソフトウェア ・オペレーティングシステム ・デバイスドライバ
5 → 10+ 年	フィジカルインターフェース	・インターフェースファームウェア
3 → 5 年	メディアドライブ	・ドライブコントロールファームウェア
5 → 10 年	メディア	<ul style="list-style-type: none"> ・ファイルシステム ・データファイルフォーマット ・フィジカルレコードフォーマット
不定	トレーニングを受けた担当者	
不定	\$	\$

慶応大学DMC 訳 ザ・デジタル・ジレンマより

21

マイグレーションとエミュレーション

Research Libraries Group (RLG; デジタル情報の保存に関して活動している団体) の報告書 (1996年5月) より

- リフレッシュング: 単に情報を別の新しいメディアにコピー。
- エミュレーション: オリジナルのアプリケーションやOSの振舞いを真似るエミュレータを用意する。オリジナルの媒体が生きていることが条件。
- マイグレーション(移行)(migration): 包括的な手段。マイグレーションはデジタル資料のあるハード/ソフト環境から別の環境への、あるいはある世代のコンピュータ技術から次世代の技術への定期的な移動。
しかし、これは時間も金もかかる複雑な作業。

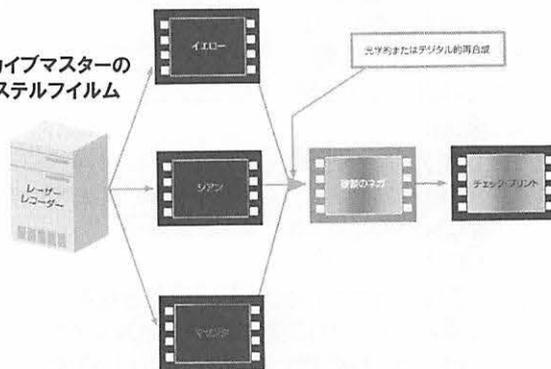
図書館情報大学大学院メディア研究科 栗山 正光氏資料より 22

ハリウッドの選択

現在100年以上にわたって保安が保障されると認識されている手段はフィルム保管のみ

フィルム保管

デジタルYCMアーカイブマスターの作成自黒のポリエステルフィルムを使用



慶応大学DMC 訳 ザ・デジタル・ジレンマより 23

ハリウッドの問題意識

現在、フィルムアーカイブを置き換え得る技術は存在しないとの認識。

フィルムシステムの利点とは:

- 世界的な標準方式
- 品質の劣化がなく長期的なアクセス(最低でも100年間)が保証
- 将来の(そして未知の)配給の機会やニーズを満たすため、複製したマスターが作れる
- オリジナル・カメラ・ネガや制作段階で録画、録音された品質と同等か、それ以上の品質
- テクノロジープラットフォームの変化と無関係
- 運用互換性がある
- 保管コストの増大が少なく、財政変動の影響を受けにくい
(棚に置いておくだけで保管ができる)

慶応大学DMC 訳 ザ・デジタル・ジレンマより 24

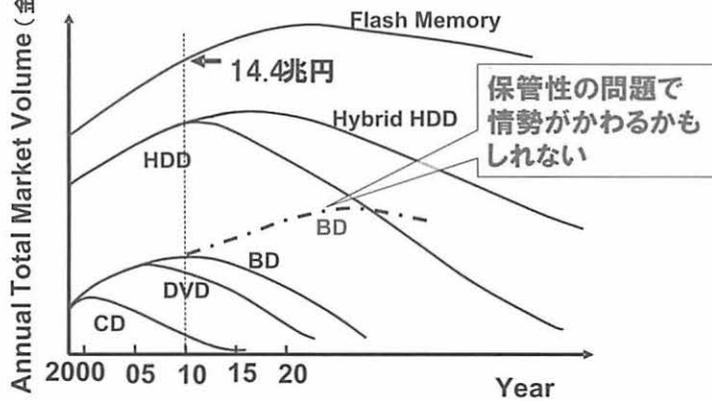
アジェンダ

- はじめに: 危機意識と幾つかの消失事例
- 長期デジタル保管を必要とする人々
- デジタル保管の課題と保管戦略
- ストレージの寿命[信頼性]
- 保管コスト
- 課題のまとめと更なる課題
- 半導体千年メモリの可能性について
- メッセージ[まとめ]と今後の課題

25

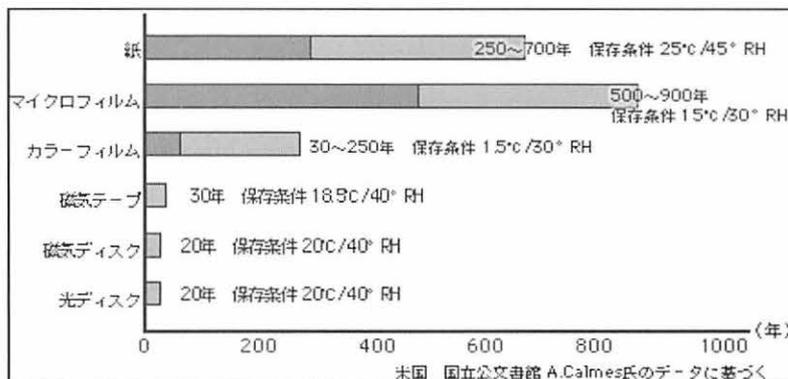
ストレージ寿命[信頼性]

主カデジタルストレージデバイスの市場予測
 市場は半導体へと予測[保管性は考慮外]
 しかしコストの点で今のところアーカイブ用としては考慮外



26

ストレージ寿命[信頼性]



出典: 株式会社極東マイクロの Web サイト (<http://www.kyokuto-micro.co.jp/media.ht>)

27

ストレージ寿命[信頼性]

Digital Archive Directions (DADs) Workshop June 22-26, 1998
Anne Van Camp/Research Libraries Group
For storage at 20° C (68° F) & 40% RH

Retention Period - Required Storage Life	Magnetic Tape					Optical Disk					Paper	Microfilm						
	Magnetic Tape	Data D-2	Data D-3	3480	3490/3490e	DLT	Data 8mm / Data VHS	DDS / 4mm	QIC / QIC-wide	CD-ROM	WORM	CD-R	M-O	Newspaper (high lignin)	High Quality (low lignin)	"Permanent" (buffered)	Medium-Term Film	Archival Quality (Silver)
1 year																		
2 years																		
5 years																		
10 years																		
15 years																		
20 years																		
30 years																		
50 years																		

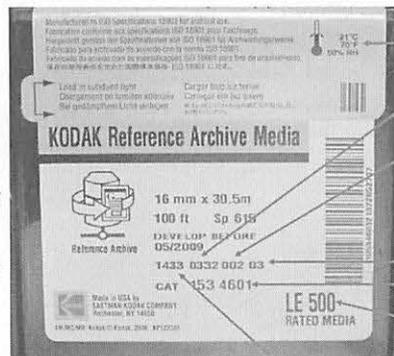
Ratings: All major vendors are acceptable for reliable data storage under these conditions for these times.
 Only the best vendors are acceptable for storage under these conditions and times.
 No vendors are considered acceptable for storage under these conditions and times. All may fail.

<http://nssdc.gsfc.nasa.gov/nost/isoas/us12/presentations/VanBogart/>

ストレージ寿命[信頼性]

アーカイブ仕様フィルム 21°C、50%RH 期待寿命500年

パッケージラベルの製品情報



ボックス底面
8桁の意味
3 5 5 1 0 1 1 2
スプーリング機番
(1~3)
スリット番号
(1~83)
スプール番号
(1~29)
ジュリアンデント
(001~365)

ISO 18901
LE 500の保
存環境
乳剂番号
ワイドロール
番号
連番
カタログ番号
期待寿命
500年の媒体

製品番号

ストレージ寿命[信頼性]

Optical Storage の信頼性について

Volume 109, Number 5 September-October 2004
Journal of Research of the National Institute of Standards and Technology

[J. Res. Natl. Inst. Stand. Technol. 109, 317-324 (2004)]

Stability Comparison of Recordable Optical Discs—A Study of Error Rates in Harsh Conditions

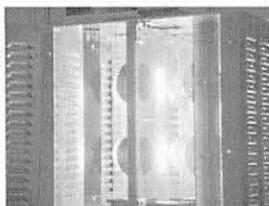


Fig. 2. Eight Chambers

It is demonstrated here that CD-R and DVD-R media can be very stable (sample S4 for CD-R and sample D2 for DVD-R). Results suggest that these media types will ensure data is available for several tens of years and therefore may be suitable for archival uses. Unfortunately, it is very difficult for customers to identify these more stable media.

ストレージ寿命[信頼性]

Optical Storage の信頼性について

Volume 129, Number 1, September-October 2011
Journal of Research of the National Institute of Standards and Technology

J. Res. Nat. Inst. Stand. Technol. 109, 015524 (2014)

National Institute of Standards and Technologyによれば、DVDテクノロジーには劣化特性があるが、**DVDディスクコレクションの約半数は15年以上の寿命を見込むことができる。逆に言えば、その半数は15年の寿命がない。**

-ザ・デジタル・シネマ、映画芸術科学アカデミー-科学技術評議会(ハリウッド)資料より-



Fig. 2. Exotic Photo

will ensure data is available for several tens of years and therefore may be suitable for archival uses. Unfortunately, it is very difficult for customers to identify these more stable media.

31

ストレージ寿命[信頼性]

Optical Storage の信頼性について 業界の取り組み

●(財)デジタルコンテンツ協会: 長期保存のための光ディスク媒体の開発に関するフェージビリティスタデ(平成18年3月) DVDの評価データの拡充を実施し寿命推定法をより確実なものにするための基礎実験を行い、その結果を標準試験規格として提案し、光ディスク媒体の長期保存化を目指す。

●社団法人日本記録メディア工業会: 「光ディスクの現状と将来」(2009年、パナソニック、長谷川氏講演から) 記録型光ディスクとして年間200億枚弱も消費される状況のなかで、Blu-ray Disc(BD)も成長の兆しが出始めており、2009年は6000万枚程度の市場を形成すると思われます。最近では、光ディスクに関して、アイリングモデルを採用した加速試験による寿命推定法のISO化が完了しました。BDは、アレニウス法により100年以上の寿命が推定されています。

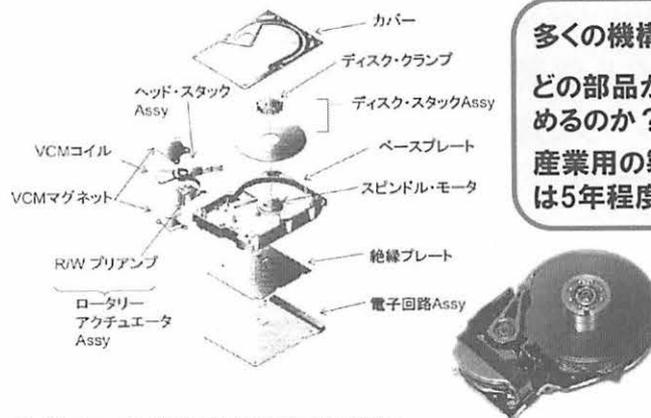
32

ストレージ寿命[信頼性]

ハードディスク

HDDの構成とメカニズム

ディスク装置の構造



多くの機構部分
どの部品が寿命を決めるのか?
産業用の製品で保証は5年程度と言われる

出典: IDEMA Powering Today's Disk Drives Courtesy of Quantum Konag Home Page

33

ストレージ寿命[信頼性]

半導体の長期保管ストレージ

サンディスク新製品、ライトワンスメモリーカードSD™ WORM

消去や改ざんが不可能な追記型メモリーカード8月発売開始
 2008年7月15日、サンディスク・コーポレーション(NASDAQ:
 SNDK)はデータファイルの改ざんや消去に対するセキュリティが
 重視される業種向けのデジタルメモリーカードSD™ WORM「Write
 Once Read Many」カード
 を発表。
 静電気や湿気から守ら
 れた適切な室温の環境
 においては100年の寿
 命を持つ。



根拠が不明。コストが高く大規模アーカイブ、
 個人対応の商品ではない。

<http://www.sandisk.co.jp/Corporate/PressRoom/PressReleases/PressRelease.aspx?ID=4242>

34

ストレージ寿命[信頼性]

幾つかの事実

- Linear Tape-Open (LTO)：磁気テープの平均寿命は30年。しかし、主要テープベンダーも、またNARAも、磁気テープに記録したデジタル資産は、5年から10年おきでデータを移行するように推奨。
- ハードディスク：グーグルとカーネギーメロン大学の最近の研究は、メーカーが主張しているほどの信頼性はなく、一般に認められている「バスタブカーブ」の故障特性にも従っていない。多数のドライブがメーカーが定めた「平均故障時間」(MTBF)よりはるかに短い時間で故障し、一般に故障の予兆指標だと考えられている温度と故障率との間には、低い相関性しかないことを示している。大規模なデジタル画像アーカイブの管理者は、製品の品質むらを指摘。
- ストレージテクノロジーのサプライヤーとエンドユーザの両者とも、デジタルストレージシステムの全てについて、発表されている平均寿命の数字を大幅に割り引いて見ている。

慶応大学DMC 沢・デジタル・ジレンマより

35

アジェンダ

- はじめに：危機意識と幾つかの消失事例
- 長期デジタル保管を必要とする人々
- デジタル保管の課題と保管戦略
- ストレージの寿命[信頼性]
- 保管コスト
- 課題のまとめと更なる課題
- 半導体千年メモリの可能性について
- メッセージ[まとめ]と今後の課題

36

保管コスト 幾つかの事例

SAN DIEGO SUPERCOMPUTER CENTER (SDSC、サンディエゴスーパーコンピュータセンター)



ハードディスクの場合:

科学技術計算ディスクストレージ費用

- \$1,500/(年・Tbyte) (2006年)
- 維持管理コストはハードディスクメディア本体の約3倍

小規模なアーカイブでは、維持管理コストの比率は、さらに増大

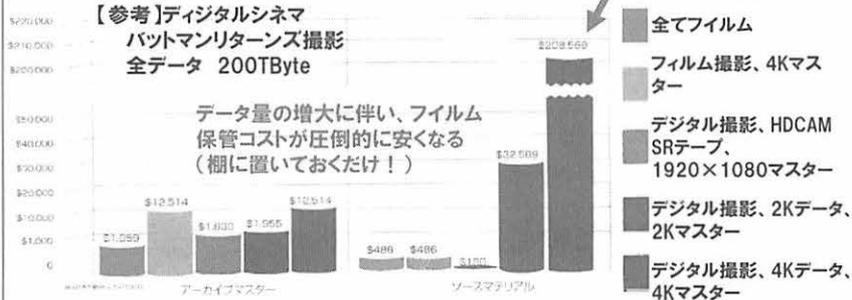
慶応大学DMC 訳 ザ・デジタル・ジレンマより

保管コスト 幾つかの事例

デジタル映画の保存

デジタルのソースマテリアルの保管費用は、フィルムアーカイブマスターの保管費用の17倍

代表的な5つの方式について1年当りの保管費用を要約



- 4K画像: 4096 × 2160ピクセル、1ピクセル当り48bit
- 2K画像: 2048 × 1080ピクセル、1ピクセル当り30bit
- 1920 × 1080画像: 1920 × 1080ピクセル、1ピクセル当り30bit

慶応大学DMC 訳 ザ・デジタル・ジレンマより

保管コスト

保管コストを正しく見積もるのは難しい

デジタルストレージシステムを構築する際の総所有コストの内訳。

- ハードウェア、オペレーティングシステム、およびアプリケーションソフトウェアの初期費用
- ソフトウェアおよびハードウェアのメンテナンス契約
- ハードウェア、オペレーティングシステム、およびソフトウェアアプリケーションの更新費用
- 分散システムの外部ネットワークアクセス費用
- メディアの初期費用および更新費用
- 継続的トレーニングを含む人的費用
- 電力及び冷房費用
- 設備及び不動産の費用、税金、保険
- デジタル資産の収蔵量の増大にともなう費用の増加
- データの取り込みおよびアクセス費用

3~5年毎のマイグレーション時に発生

慶応大学DMC 訳 ザ・デジタル・ジレンマより

保管コスト

保管コストを正しく見積もるのは難しい

デジタルストレージシステムを構築する際の総所有コストの内訳。

現在のハリウッドのフィルムシステムのよ
うな適切なデジタル記憶媒体が開発され
れば、これらのコスト要因の幾つかは大
幅に低減できることが期待できる

- ・継続的トレーニングを含む人的費用
- ・電力及び冷房費用
- ・設備及び不動産の費用、税金、保険
- ・デジタル資産の収蔵量の増大にともなう費用の増加
- ・データの取り込みおよびアクセス費用

慶応大学DMC訳 ザ・デジタル・ジレンマより

40

アジェンダ

- はじめに： 危機意識と幾つかの消失事例
- 長期デジタル保管を必要とする人々
- デジタル保管の課題と保管戦略
- ストレージの寿命[信頼性]
- 保管コスト
- 課題のまとめと更なる課題
- 半導体千年メモリの可能性について
- メッセージ[まとめ]と今後の課題

41

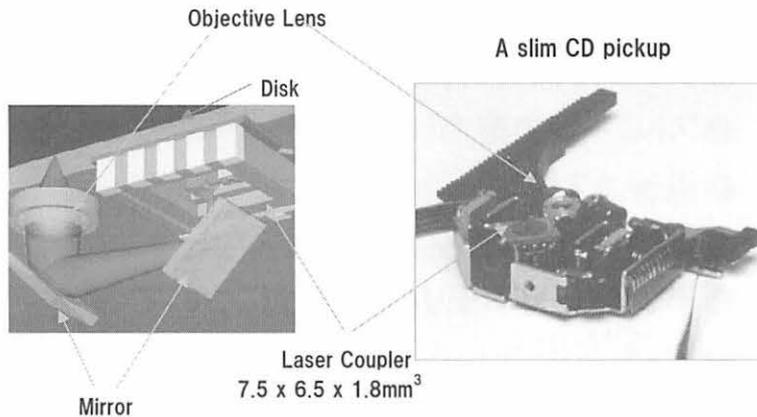
ここまでの課題のまとめと更なる課題

コスト分析の結果と今後の規模の増大から
期待されるメモリ媒体の要件

- 長期間放置されたとしても、財政的な困難が生じたとしても、影響を受けないことが理想。棚に置いておくだけ“保管”可能なこと。環境、メンテナンスフリー。
- 媒体自身のコストが安いのみならず、コスト構造を変える媒体。すなわち読み出し装置、システムコストが安くできる媒体。
⇒ 物理インターフェースが単純なもの
【電気的な接点が最も単純】
- 拡張性(スケーラビリティ)の保証

42

例： 光ディスクの物理インターフェース レーザカップラを用いた光ピックアップ



43

例： ハードディスクの物理インターフェース

磁気ディスク装置の磁気ヘッドは、超高速回転しているディスク表面から、わずか $0.02\mu\text{m}$ のところを浮上している。磁気ヘッドをジャンボジェット機に例えると、地上から数ミリメートルの高さを超低空飛行していることと同じ。

ジャンボジェットが地上から秒毎1億分程度の浮上量で高速飛行するようなもの。



髪の毛の断面
 $80\sim 120\mu\text{m}$

ヘッドは、超高速回転しているディスク表面からわずか $0.02\mu\text{m}$ のところを浮上している



44

課題のまとめと更なる課題

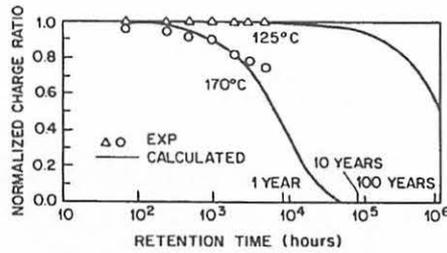
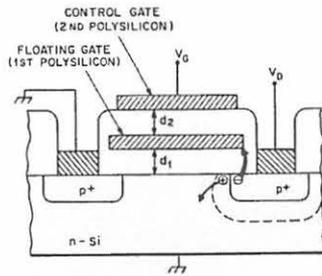
- データ爆発
そもそもマイグレーションは将来も可能か？
データの転送速度の問題。
1PBの転送；100MBsで3.8ヶ月弱。(USB2は60MBs)
- デジタルボーンのコンテンツの保管のあり方
原本＝アーカイブの必要性。
さらに アーカイブ＝ライブラリが理想。
- コストが妥当で、原本＝アーカイブ＝ライブラリが実現できるメディアがあれば個人ユースとしても最適。
- アーカイブ＝ライブラリが実現できれば、アクセス手段の確保はエミュレーションが主流に。かつ容易に。

45

アジェンダ

- はじめに: 危機意識と幾つかの消失事例
- 長期デジタル保管を必要とする人々
- デジタル保管の課題と保管戦略
- ストレージの寿命[信頼性]
- 保管コスト
- 課題のまとめと更なる課題
- 半導体千年メモリの可能性について
- メッセージ[まとめ]と今後の課題

半導体不揮発性メモリ(フローティングゲート構造)の記憶保持特性



SAMOS. (After Iizuka et al.)

Normalized charge storage versus time for two ambient temperatures. (After Nishi and Iizuka)

S. M. Sze: Physics Of Semiconductor Devices [2nd Edition]

MONOS型不揮発性メモリ

MONOS構造



構造が簡単
製造が容易
高い歩留まり
高い信頼性
信頼性評価手法確立

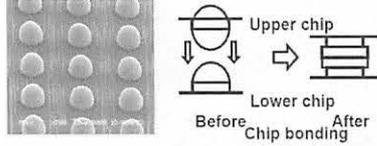
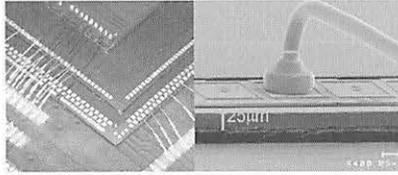


MONOS型不揮発性メモリは、日立、Spansionで実用化されている。シチズン、ソニーにおいても使用されている。

MONOS型不揮発性メモリは、SiO₂薄膜で挟まれた窒化シリコン膜(ONO膜構造)に電荷をため、記憶を保持するメモリ。

ONO膜構造を最適化し、使用方法を規定する事によって、極めて高い記憶保持力と信頼性を得られる。

読み出しPadの工夫



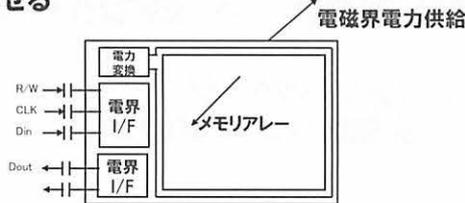
従来は、パッドに金線、あるいはアルミニウム線を接続していた。あるいは、 bumps という金属魂を介してチップを実装基盤に接続していた。しかし、極めて長時間使用できるチップ、再利用可能なチップにおいては、着脱可能な接続方法とそれに適したパッド構造が必要となる。

パッドあるいは配線を 導電性酸化物あるいは導電性酸化物になり得る導電物質によって構成すると言う案が考えられる。導電性酸化物としては、RuO₂、MoO₂、WO₂などがある。

読み出しPadの工夫

金属を排除されたMemoryと I/F方法の工夫

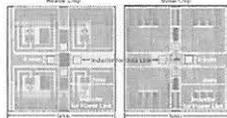
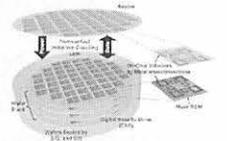
- 書き込み時は金属端子などの金属を含んでも読み出し時に金属端子などを用いないMemory
- 電力源として非接触I/Fを内蔵するNVR Memory
 - 電磁界結合での電力転送
- 低速動作をカバーするために並列読み出し
 - メモリアレーを複数のブロックで構成してブロック毎にデータを読み出せる



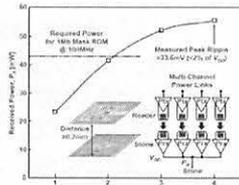
超長期保管メモリに関する最近のトピックス

1. 慶応義塾大学, シャープ, 京都大学の共同チームは、1000年以上の長期に渡って大容量データを保存できるメモリシステム「Digital Rosetta Stone(DRS)」の試作品を開発した。京都で開かれている「2009 Symposium on VLSI Circuits」で2009年6月16日に発表した(講演番号:C3-3)。「Digital Rosetta Stone(DRS)」のコンセプト。電子ビーム直描技術を使ってマスクROMにデータを記録し、そのウエハーを積層してSiO₂で全体を封止することで「石版」を形成するアイデア。この石版に読み取り用のウエハー(リーダー)を重ねることで、無線で電源を供給し、データを読み出す。45nm世代のCMOS技術で形成した15インチウエハーを4枚積層すれば、容量は2.5Tビットになるという。

今回、0.18 μm世代のCMOS技術を利用し、石版とリーダーに相当するテストチップを試作。テストチップの寸法は5mm角。インダクタの直径は電源供給用が2mm、データ通信用が0.4mmである。マスクROMの容量は1Mビット。0.2mmの距離で石版とリーダーを配置し、4チャンネルの無線で56mWの電力を供給することに成功。これによって150Mビット/秒のデータ転送速度を実現できる。



テストチップを試作



56mWの電力供給を実現

パッケージコストの削減と信頼性の高いパッケージ ⇒ 究極はパッケージなし。チップが最終商品

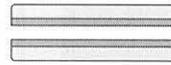
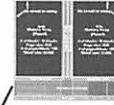


外形寸法
11 (L) × 15 (W) × 1 (H) mm

課題

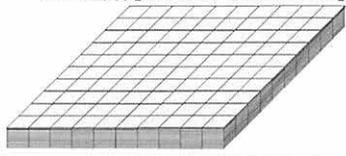
- CSP ← ウェハレベルでパッケージ
- ESD対策

究極の形態



例えば、2つのチップを張り合わせ、そのまま最終媒体

想定保管体積と容量

媒体形状	2チップ構成の媒体当たりの想定記憶容量		
1媒体[1cm×1cm×1mm] 	2GB	8GB	16GB
10媒体[1cm×1cm×1cm] 	20GB	80GB	160GB
1000媒体[10cm×10cm×1cm] 	2TB	8TB	16TB
10K媒体[10cm×10cm×10cm]	20TB	80TB	160TB
10M媒体[1m×1m×1m]	20PB	80PB	160PB

160PBの場合、水深1.5m、幅23mの50mプール一杯で2007年に全世界で生成された全デジタルデータ(281EB)を保管できる。

その他の課題

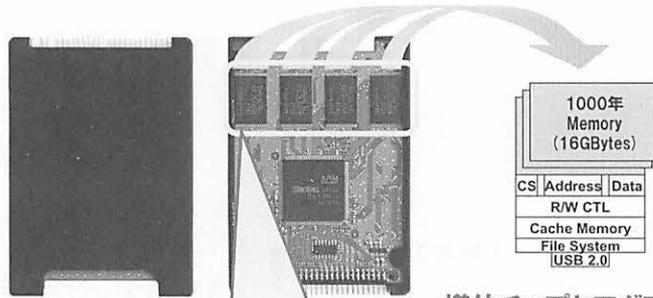
1000年動作保証されたNVMメモリチップを作ることが可能となったとして:

- 1000年動作保証するNVMメモリチップの仕様をどうするのか
 - Write once
 - 基本“紙と同じ機能”
 - メモリとして最小限の回路:書き込み、読み出し、保護回路
- データ形式、読み出しの方式は
 - フォーマットレス、単なるビットストリーム

■ 実使用の際には、“アダプター”へ入れて使用

- アダプターの機能は
- アダプターは時代ごとに変遷
- アダプターのDependabilityは

アダプターのイメージ

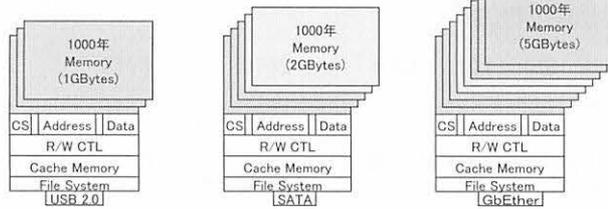


1000年間信頼性を保証する部分
その他の部分は通常の信頼性

媒体チップとアダプターとの間のインターフェース仕様は単純ものとし、変えない

千年読み出しを維持できるシステム アダプターとメモリ媒体チップ

- アダプター
 - メモリ媒体チップのインターフェースがシンプルで上位互換を維持(標準化)
 - 複数のメモリからなる単一ファイルシステムを構築できる
 - 記録フォーマットの変換
- メモリ媒体チップ
 - I/Fはシンプルで上位互換を維持
 - 複雑なコントローラなどはいれない



その他の課題

読み出し可能化、読み出し方法、手段の確保

●メタデータの問題

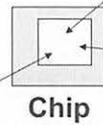
チップデータ読み出し、解読の容易化
データ解読:データの階層化

- ◎ 読んだデータ(デジタル情報)の解読を可能にする手段を目で見分かるよう(見た目情報)にする
- ◎ 絵や図をチップ上に貼り付ける、リソ技術で加工
- ◎ メタデータの階層化

ASCIIコード

10進法	16進法	16進法	文字	説明
0	00	00	NUL	
1	01	01	SOH	文頭記号
2	02	02	STX	文の開始記号
3	03	03	ETX	文の終了記号
4	04	04	EOF	文の終了記号
5	05	05	LF	改行
6	06	06	ACN	改行記号
7	07	07	DEL	削除
8	08	08	HT	水平タブ
9	09	09	HT	水平タブ
10	0A	0A	LF	改行
11	0B	0B	VT	垂直タブ

チップのピン配置図



記憶領域を指定: データの性格
についての情報格納領域を規定

もう一つの課題：コスト

●チップ収率の増大とプロセスコストの低減

基本的には、メモリアレイのみのチップに
コントローラ等、直接周辺以外のメモリ回路

⇒アダプターへ

●そもそも、チップの価格は？（ロジックチップの場合）

32nm、450mm、2万枚工場のコスト(STRJの試算)

- ・大口径化は1.5倍のコストアップ
- ・世代毎の工場建設費用は1.2倍のコストアップ
- ・加工費として、32nm450mmは72万円

300mm(65nm)ではおよそ576個

$330000 / 576 = 573$ 円 (NAND 1GB/チップ)

450mm(32nm)ではおよそ1296個

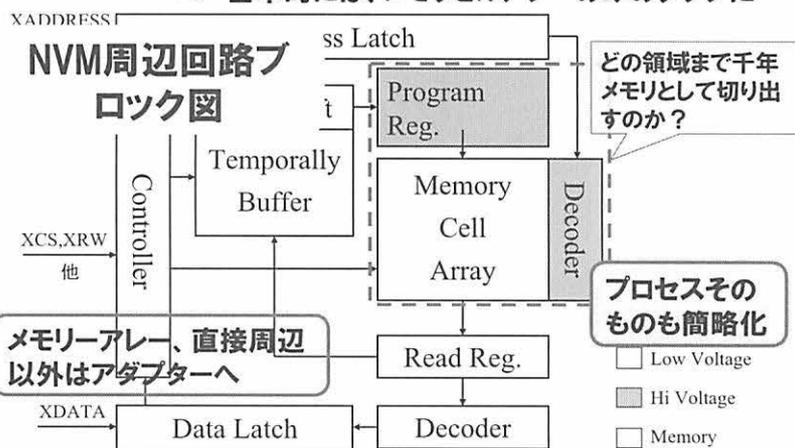
$720000 / 1296 = 555$ 円 (NAND 8GB/チップ)

もう一つの課題：コスト

チップ収率の増大とプロセスコストの低減

⇒ 基本的には、メモリアレイのみのチップに

1cm²のダイコストは標準
ロジックチップで500円程
度(STRJ見積)

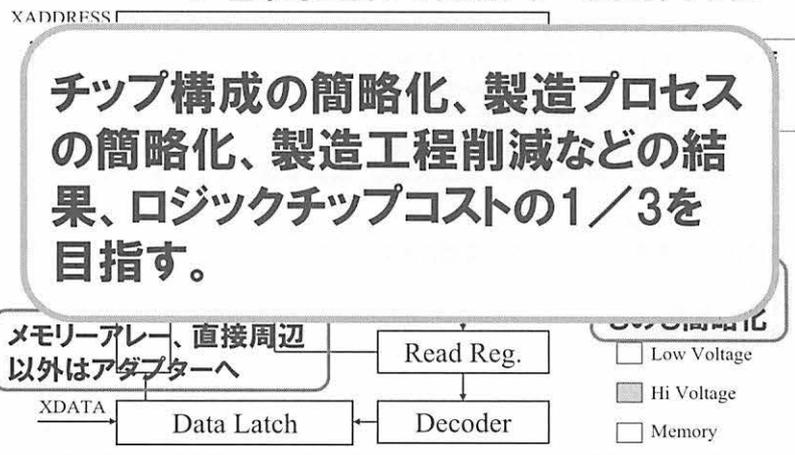


もう一つの課題：コスト

チップ収率の増大とプロセスコストの低減

⇒ 基本的には、メモリアレイのみのチップに

1cm²のダイコストは標準
ロジックチップで500円程
度(STRJ見積)



半導体産業と超長期保管メモリの 相性について

STRJ(JEITA半導体技術ロードマップ委員会)
経済性検討小委員会より投資効率のよくなる
工場規模として以下の数字が報告されている

投資効率のよくなる工場規模(出展:STRJ)

150mm 14,000枚/月

200mm 20,000~24,000枚/月

300mm 32,000~48,000枚/月

450mm 50,000~75,000枚/月

64

米Intel Corp.のLSI製造技術戦略を統括する同社Fellow, Director
of Technology StrategyのPaolo A. Gargini



INTERNATIONAL ROADMAP COMMITTEE

- Europe—Wolfgang Arden, Patrick Cogez, Mart Graef, Reinhard Mahnkopf
- Japan—Hidemi Ishiuchi, Toshihiko Osada
- Korea—JooTae Moon, JaeSung Roh,
- Taiwan—Carlos H. Diaz, Burn Lin
- U.S.A.—Pushkar Apte, Bob Doering, Paolo Gargini

65

いったいなにをつくるのか

ファウンドリは最新プロセスを顧客に提供し続けるために、継続して投資を行っていかなければならない。そして、一旦新しく工場を建設したら、高い稼働率を維持して多くの半導体チップを製造しなければならない。

450mmウェーハになれば:

- 面積は159,043mm²で140mm²のチップは908チップ(歩留80%)
- 2万枚/月の工場で年間1.8億個を供給できる。これは年間のパソコン出荷台数1.75億台(2004年)とほぼ同数。
- インテルのMPU年間出荷個数は2.4億個
- 単一品種でこの工場を埋めることは不可能。複数品種を流す必要がある。

32nmデバイス

微細化、消費電力、バラツキの問題はあるものの以下のデバイスがある

- MPU
- 16GFALSH
- 8GDRAM、NAND
- ASSP(MediaProcessor)
- ASICは?マスク費用(開発費)の問題もあり色々なICを作れない

---\$24Mのマスク費用

66

『ISTF 2007』

東芝四日市工場

TOSHIBA
Leading Innovation



新棟では、本年12月に量産を開始し、2008年後半には月産8万枚まで生産能力を整備する計画です。その後も市場動向に応じた追加投資を実施し、フル生産時にはLSI製造棟単独の生産能力としては世界最大級の月産21万枚程度に達する見込み。
 微細加工技術としては、当初56nm(ナノメートル:10億分の1メートル)プロセスを採用し、2008年3月以降順次、次世代43nmプロセスに移行する予定。
 新棟への投資金額は2006年と2007年の2年間で約3000億円を見込む。新棟向け設備投資のうち、建物の建設費用は東芝が負担し、内蔵装置の費用は両社折半出資による合弁会社・フラッシュアライアンス社(東芝50.1%、サンテイスク49.9%出資)が負担。

半導体産業と超長期保管メモリの相性について

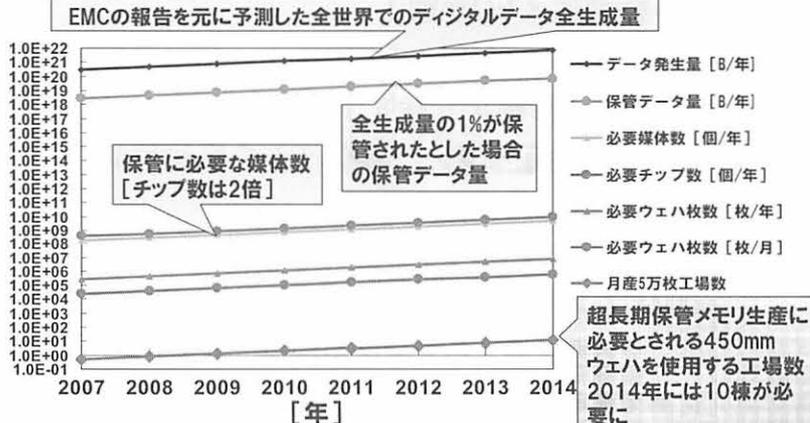
2017年時点での450mm工場分布予測:
 アジア(日本、韓国、台湾、中国) 4棟?
 北米 2棟?



450mm工場分布予測

商品としての超長期保管メモリが実現した場合、世界中で必要とされる450mmLSI生産工場数の予測

【前提】 工場規模 : 月産5万枚
 媒体容量(2チップ構成) : 16GB



アジェンダ

- はじめに：危機意識と幾つかの消失事例
- 長期デジタル保管を必要とする人々
- デジタル保管の課題と保管戦略
- ストレージの寿命[信頼性]
- 保管コスト
- 課題のまとめと更なる課題
- 半導体千年メモリの可能性について
- メッセージ[まとめ]と今後の課題と活動方針

70

まとめとして

◆問いかけ！

- 我々は、百年、千年以上に渡って、記憶を保持できる手段、テクノロジーを持っているのか？
- それは、現行のフィルムシステムよりも優れているか？

71

まとめとして

◆答えは Yes！

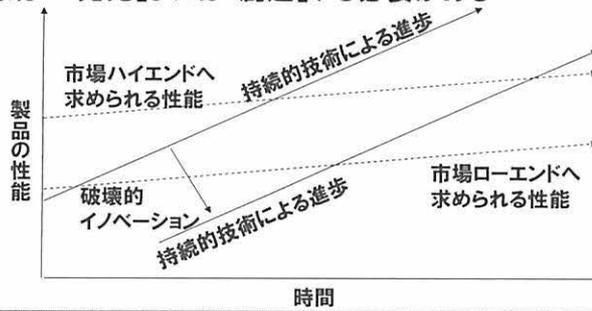
シリコン不揮発性メモリが解！

- シリコンICの大きなメリット
 - ⇒ 簡単な物理的I/F、電気接点
 - 大規模ファイルシステムの構築可能
- 半導体技術による高い品質
- 信頼性評価の物理モデルの存在
 - フィルムアーカイブの要件の全てを満たし、かつそれらを超える大きな利便性、経済性が期待できる！

72

破壊的イノベーションの可能性

破壊的イノベーション(クリステンセン)は自らの成長に適した市場を新規に「発見」または「創造」する必要がある

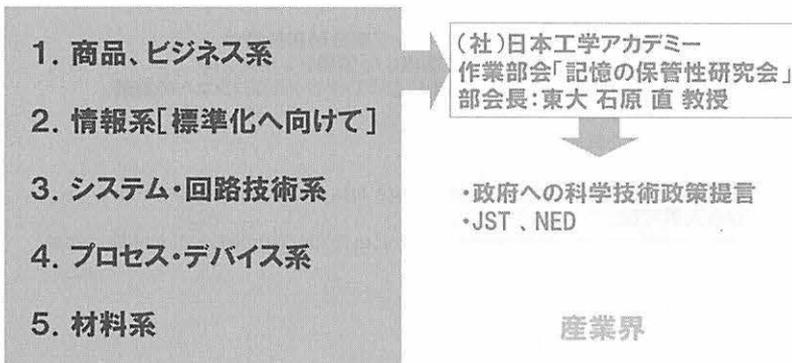


超長期保管メモリは、既存のメモリ媒体に対して、記憶の保管性という新たな価値を持ち込み、長期保管という新たな市場を形成。人類の知的生産に連動して持続的に成長する。半導体産業の持続的発展のために必要な絶好のアプリ。

73

今後の課題と活動方針

議論すべき課題と出口



超長期保管メモリが商品として成立するためには、1～5の全ての課題解決へ向けての進捗が必要。

74

課題

1. 商品、ビジネス系
 - 1-1. 普及のための条件、戦略の検討。
コスト、使用環境、周辺機器、1stターゲットユーザー
 - 1-2. ビジネスモデル検討。[2つの案]
 - 1-3. 競合商品の有無。[当面BDか?]
2. 情報系[標準化へ向けて]
 - 2-1. チップ内に書き込まれるメタデータのスキーム。解読可能性を保証するために。
 - 2-2. Dependability、Sustainability問題。情報の階層構成の何処から超長期保管とするのか。
 - 2-3. 超長期保管部分のフォーマットの永続性の保証。
 - 2-4. 超長期保管メモリを前提としてファイルシステムの検討。

75

3. システム・回路技術系

- 3-1. アダプター概念の導入。超長期信頼性保証領域の最小化。
- 3-2. メモリアレーの回路構成(NOR?)。
- 3-3. 直接周辺回路、読み出し回路の構成。
- 3-4. ESD対策、改塵防止技術(対タンパー)。

4. プロセス・デバイス系

- 4-1. チップ全体としての信頼性保証技術。従来とは異なり、100年以上の動作保証を行なうための技術、考え方の確立。
- 4-2. プロセス技術の見直し。ケミカルキャリアオーバーなどの見直し。
- 4-3. パッケージ技術。

5. 材料系

- 5-1. 腐食しない配線材料の検討。
- 5-2. 腐食しないパッド材料の検討。

76

慶応大学DMC 訳 ザ・デジタル・ジレンマについて

2008年10月24日(金)に
慶應義塾大学デジタルメディア・コンテンツ統合研究機構が
慶應義塾大学三田キャンパスにて開催した 国際シンポジウム
「デジタル知の恒久的な保存と活用における-デジタルジレンマへの挑戦」
<http://note.dmc.keio.ac.jp/topics/archives/455>
にて配布された資料。

原著は、The Academy of Motion Picture Arts and Sciences のホームページ
から入手可能。
<http://www.oscars.org/science-technology/council/projects/digitaldilemma/>

77

おわり

ご静聴ありがとうございました
作業部会「記憶の保管性研究会」に
ご期待下さい

78

2010年12月1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4F

Tel : 03-5442-0481

Fax : 03-5442-0485

E-mail : academy@ej.or.jp

URL : <http://www.ej.or.jp/>