

追記型光ディスク管理方式の検討と性能評価

-ISO9660ベースの管理方式を中心に-

三木 匡 小塚 雅之 青木 則夫

松下電器産業株式会社 情報システム研究所

追記型光ディスク管理方式のサーベイと開発中の方式の実装結果を報告する。WORM管理方式を目的毎にFD型、MT型、OD型の3つに分類し、各方式の性能上の評価項目、特徴、実装方式、能力等の比較検討を行った。WORMではオンライン時の効率的な処理機能(階層型ディレクトリとデータの連続記憶等)と異種システム間の情報交換機能とを同時に実現することが重要である。このような機能を持つ標準的なボリュームファイルフォーマットが必要であり、ディレクトリ管理とファイル管理を分離して階層型ディレクトリを効率的に実現したISO9660をベースにした方式が有効であることを示した。更にその一例として開発中の方式を実装し、実測値に基づいた性能評価を報告した。

An evaluation about WORM Optical Disk management methods based on ISO9660

Tadashi MIKI, Masayuki KOZUKA and Norio AOKI

Information Systems research Laboratory

MATSUSHITA Electric Industrial CO.Ltd

3-15 Yakumo-Nakamachi Moriguchi-shi Osaka, Japan

We describe a survey about management methods for WORM (Write Once Read Many) optical disks and an evaluation for our methods. We have categorized the management methods into three types (floppy disk types, magnetic tape type and optical disk type) and investigated each types regarding their subjects should be examined, purposes, features and performance. It is important for WORM disks to realize both functions--high performance and transportability among other systems, and any standardize volume file format is required. A format stood for and modified ISO9660 which divides its management method into directory and file management portion is proved to be effective. As an example, we have implemented the method we have proposed and evaluated its performance through a experiment and its results.

1. はじめに

文書ファイルシステム等のイメージファイルから追記型光ディスク(WORM:Write Once Read Many)の利用が本格化してきた。5インチ光ディスクの物理フォーマットの国際標準が制定され、小型・低価格の標準仕様の光ディスクの出荷も始まり、信頼性も向上しデータファイルとしての利用も多くなってきた。

このため光ディスクの応用分野や利用形態が多様化している。大型(20センチ以上)の光ディスクは、従来の文書ファイルシステムの用途に加え、汎用計算機のバックアップやMSSSとしての利用が始まった。小型(5インチ以下)の光ディスクでも、文書ファイルを中心にマルチメディア化の動きと、より一般的なPCやWSでの磁気媒体の補完、代替媒体としての利用も本格化しつつある。

しかし、磁気媒体との競合を考慮すると、近年の磁気媒体の高密度化に伴い、小型の光ディスクでは大容量性は強調できなくなってきた。そこで主流となる小型光ディスクの用途としては、その可搬性を活かした用途を開拓する。つまりデータの交換配布用媒体、特に大容量を必要とし、今後盛んになるマルチメディアデータの記憶交換配布媒体としての利用を考える必要がある。

現状のWORM管理方式は、磁気媒体の方式が利用できない上、標準化されたボリュームファイルフォーマットも存在しない。このため、各OS、各専用システムで独自の管理方式が取られており、記憶されたデータの汎用性(交換性、相互運用性)が損なわれているため、可搬性が生かされない。

文書ファイル等の専用システムにおいても、標準フォーマットが無いことは問題を起こす可能性がある。光ディスクとそのシステムのライフサイクルの差、即ち光ディスク内に長期保存されるデータに比べ、システムの陳腐化のスピードは速いことから、複数世代のシステムで1つの光ディスクのデータをサポートできることが必要になる。つまり、各世代で複数の独自フォーマットをサポートする代わりに、一つの標準のデータ交換フォーマットをサポートする方が容易であるため、この点でも標準化フォーマットが望まれる。長期に継続的に使用可能な標準的なフォーマットが不備であれば、利用者は追記型光ディスクの有望な用途である長期保存情報(例えば医療情報、証券類、図書、芸術作品等)を電子ファイルに移行させることを躊躇するのではない。

このように今後光ディスクの普及にとって情報交換配布媒体としての用途が重要であると考え、この観点からWORM管理方式の研究開発を行ってきた。そして読出専用光ディスクの国際標準フォーマットであり、光ディスクの特性を考慮したファイル管理手法を持ったISO9660の良好な性質に着目し、ISO9660をベースに新たなWORM管理方式を開発し、MS-DOS™で動作するPCに実装し性能評価を行った。

以下、2章でWORM用管理方式の考慮点、3章では特にパフォーマンスに関する要件を検討する。4章では、現在提案されているWORMの各管理方式の検討を行い、5章では各方式の全般的な比較を行う。6章では本方式の実測値に基づき、性能とチューニングパラメータの特性について評価を行い、最後にまとめについて述べる。

2. 追記型光ディスク管理方式の考慮点

追記型光ディスク管理方式で考慮すべき点について各文献⁽¹⁾⁽²⁾⁽³⁾⁽⁴⁾⁽⁵⁾で述べられている。ここでは、利用目的により考慮点は異なることを明確にして論じる。

2.1 管理方式の実装形態

システムへの実装形態に関する要件は、利用目的により相反するものが多い。ここでは各利用目的において重要な条件(OS独立性、OS透過性、情報交換性、実装容易性)の取捨選択を行う。

(1) 専用システム(特定OS専用)方式

特定のOSやシステムに依存した、管理方式であり、利用形態としては、文書ファイルサーバや文書ファイル専用

機等のイメージファイルとワークステーション(以下WS)やパソコン(以下PC)等での磁気媒体の補完的な用途がある。この場合は、OS独立性、データ交換性、実装容易性への要求は低下する分、システムに対しては高機能な機能、つまりアプリケーションにWORMを意識させないOS透過性が重要である。

(2) オフライン的な管理方式

オフラインでのデータ保存・交換を意図した磁気テープ(以下MT)的な用途である。この場合は特定システム(OS)専用のバックアップ機能を果たすものと、汎用的なフォーマットで記憶され単純な情報交換を果たすものがある。前者はOS透過性が、後者は情報交換性、OS独立性、実装容易性が必要な要件となる。

(3) オンライン処理とデータ交換を両立させる方式

WSやPC等で、オンラインでの情報の利用に加え、データの交換性を重視する管理方式である。WORMの標準管理方式がない現状ではシステム例はないが、データの交換性が実現されれば、大量情報のオフラインでの通信機能が実現されたことになり、今後CAD、DTP、マルチメディア等データ量の多い情報が増えて来ることを考えると非常に重要である(通信コストが高くつくため)。この場合は、OS独立性、情報交換性、実装容易性が重要である。

2.2 信頼性について

メディアの障害とシステムの障害対策に分類して考える。

(1) メディアの信頼性

WORMのエラーレートは、まだ十分に高いとは言えない。このため特に信頼性を要求される管理情報等については、何らかの対策が必要になる。この方式としては、データの重複記録、付加のエラー訂正コード等がある。

高速なデータ転送、特に音声や動画等のリアルタイムでの連続再生が必要な場合は、通常ドライブ装置側でサポートする不良セクタの管理方式についても配慮しておく必要がある。つまり交替セクタ管理方式により、ファイルの一部が大きく分散して配置されることの悪影響を避けるため、管理方式側でサポートすることもあり得る。

(2) システムの信頼性(リカバリ機能)

WORM管理方式でも、不慮の事態(記録中の電源断やオフラインでの光ディスクの取り出し等)の対策に備えたりリカバリ機能が重要である。一度記録した情報は削除できないため、誤った管理情報やデータが記録された場合でも対処可能な方式である必要がある。最低限、障害により不要になった管理情報等をスキップする機能が必要である。

光ディスク以外の補助記憶装置内に光ディスクの管理情報を格納し、光ディスクの更新の結果生じる管理情報の変更を、補助記憶装置内の更新に止め、一定回数毎まとめて光ディスクに反映する方式もある。このような方式では、障害時は補助記憶装置内の管理情報の消失や補助記憶装置内の情報と光ディスク内の情報との不整合の発生が生じ易く、信頼性の問題がある。更にこの方式ではWORMの可搬性を損なうため本論では議論の対象から外す。

2.3 拡張機能

拡張機能については、実装容易性を維持するため、用途に応じて機能の取捨選択を行う必要がある。WORMの特徴を生かすための、大容量情報の効率的な管理機能(マルチパーティション、階層型ディレクトリ、マルチボリューム)と追記性を生かしたバージョン管理機能について検討する。

(1) マルチパーティション

階層型ディレクトリを用いない、MT的な用途の場合も、ボリューム全体を1つのディレクトリで管理することは実用的でない。幾つかのボリュームに論理的に分割できるマルチパーティション機能が必要である。階層型ディレクトリを用いた方式でも、適性な情報のサイズ、複数OSのデータのサポート、データ構造の異なる音声や動画データ等を格納できるマルチメディア情報のサポート等の点でマルチパーティション機能が必要になる。

(2) 階層型ディレクトリ構造

オンライン処理では階層型ディレクトリ構造が必須である。しかし階層型ディレクトリの実装は、追記性とアクセススピードが遅い問題のため、実装方式により処理速度、媒体使用効率が大きく異なる。汎用OSで一般的なディレクトリ間のポイントのみで階層構造を構成する方式は、アクセス速度の遅さ、媒体の使用効率(3.1節で述べる)の点で不利である。特殊な階層型ディレクトリ用サポート機構が必要である。

(3) マルチボリューム機能

データ量の大きいイメージやマルチメディア情報の格納のためには複数枚のボリュームを1枚の論理ボリュームとして扱うマルチボリューム機能が必要である。更に動画等の高速データ転送が要求される用途には複数の光ディスクを同時に読み出すディスクストライピングが可能なマルチボリューム機能も考慮する必要がある。

(4) バージョン管理

WORMの追記性、削除不能性(困難性)を生かすため、ファイルシステムで論理的に削除されたファイルの復旧や効率的な更新履歴の維持管理が必要である。将来的にWORMに記憶された情報の証拠保存性が法的に認められればこの機能は更に重要となろう。

3. 管理方式の性能評価ポイント

追記型光ディスクの管理方式を性能の面から検討する。性能評価ポイントとしては、処理速度、メディアの使用効率及び内部メモリの必要量などがあり、各要件がトレードオフの関係にあるものが多い。これらを、管理情報、データ実体、管理情報とデータの配置に分けて検討する。

3.1 管理情報に関する性能評価項目

管理情報に関する性能は、更新削除の処理方式、特に階層型ディレクトリの実装方式が大きく影響する。WORMでの一般的な更新・削除処理を説明することにより追記媒体での問題点を明確にし、処理方式と関係が深い管理情報用の内部メモリについても評価する。

(1) ファイルの削除・更新処理

ファイルは、ファイル識別子、サイズ、格納位置を管理する管理情報(ファイルラベル)とファイル実体を組にして管理する。WORMでは管理情報も書換ができないため、更新削除処理は複雑となる。

ファイルの更新・削除に伴うファイルラベルの変更には図1のように2つの方式がある。1つは単にラベルまたは変更履歴を追加記憶する差分型(図1(a))と、その時点で有効なラベル群をまとめて記憶する一括型(図1(b))とがある。また削除処理を行えないが、差分型の簡易形として変更履歴の代わりに最新のラベルのみ記憶する方式もある。

差分型では更新内容を差分形式で記録するため容量効率の点で一括型に比べて優る。しかし、差分型はファイルの探索に管理情報を全て検索する必要があるため、最終の管理情報だけを読みだせばよい一括型に比べてファイルの探索速度面で劣る。

(2) 階層型ディレクトリ処理

階層型ディレクトリを汎用OSと同様な階層型ディレクトリ構造で管理する場合の更新処理を考える。ディレクトリファイル(以下DFと略記)内にファイルラベルを連続的に記録することを前提にすると、DF内の更新処理は一括型となる。磁気媒体では、DFの階層構造はDF内にDFの親子関係を示すラベル(ポイント)を有することで実現している。この方式を追記媒体に適用するとファイルの更新に伴うDF再記憶で親子関係ポイントのズレが生じる。

例えば図1(c)で、Cディレクトリ下にファイルを追加すると、CのDFを変更し、再記憶する必要がある。これに伴い新しいCのDFを参照するAのDF内のCに対するポイントを更新する必要がある。Aを更新、再記憶し、更にRのDFを更新するという様に連鎖的にDFを更新していく必要がある。

これを防止する更新方法として階層型ディレクトリ構造の管理とディレクトリ内のファイル管理情報を分離し、更

新の影響を局所化する方式が考えられる。例えば図1(c)の様に、DFの更新の系列とDF間の階層関係の更新の系列を持ち、後者に新しいCのDFとAとをつなぐ更新履歴を記録する方式がある。AからCのDFを読み出す場合は、この階層系列内の更新情報を読み取り最新のCへのポイント取り出すことで実現する。また、この方式では階層関係の処理が遅くなるため、階層関係をひとかたまりのインデックス(例えばIS09660のバスターブル)として管理し、これを階層系列内の一括型で記憶する方式も考えられる。

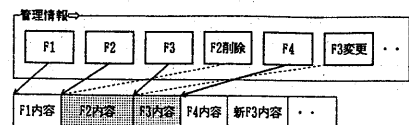
(3) 管理情報用内部メモリの使用

一般に更新・削除された管理情報を差分管理する場合は、ファイルの再生時に光ディスク内を検索する必要があり、処理速度は悪化する。この対処として、内部メモリを併用しWORMの交換時に内部メモリに必要な管理情報の一部または全部を最新の状態でロードし、更新処理時は光ディスク内と内部メモリの双方を更新する方法もある。この場合はロード以後の検索処理はメモリ内の管理情報を使って行うため、高速な検索処理が可能となる。内部メモリの使用時は、マウント時の管理情報のロード時間と内部メモリ容量が問題となる。

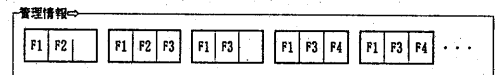
① マウント処理時間

マウント時間は、メモリ内にロードする情報の量と媒体内の情報と内部メモリ内の格納形態との差が大きい程フォーマット変換のための時間が掛かる。従って一括型で媒体内に記憶された情報をロードする場合は情報量に比例し比較的高速であるが、差分型で記憶している場合はその更新履歴の格納方式により処理時間に大きな差がある。媒体の使用効率の改善のため、複雑な更新履歴の管理方式を用いると、フォーマット変換時間は長くなる。

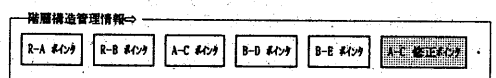
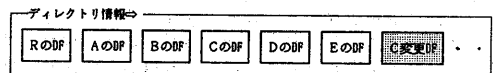
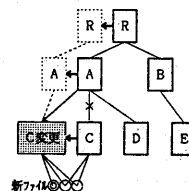
このため、差分形式の更新処理を行う場合には、一定量の更新履歴がたまった時点で一括記憶を行い、フォーマット変換時間を一定時間以下にすることが必要である。また、フォーマット変更を高速に行う方式も提案されており¹²⁾これらの利用も考慮する必要がある。



(a)平坦な管理構造【更新するファイルのみを記録する(差分型)】
(不要になった関点の部分を再利用できない)



(b)平坦な管理構造【最新のファイル全体を再記録する(一括型)】



(c)階層型ディレクトリ構造
(Cの下にファイルを作成した場合)

図1. 更新処理の一般例

② 内部メモリの容量

一般に大量の内部メモリを使用することは、その方式の汎用性を低下させることになる上、ロード時間も増加する。このため、その管理方式の内で処理速度に非常に効果がある管理情報のみを内部メモリに展開すべきであり、その採否は用途、スピード、メモリ容量に対する要件等を判断し決めるべきである。前述のディレクトリ構造の管理情報をロードする場合は、階層管理情報とD/Fの管理を分離し、前者のみをメモリ内にロードすることが一般的であろう。

3. 2 データ再生の高速化

WORMでは記録された領域は再利用できないため、磁気媒体の管理方式で最も複雑な部分であるファイルの削除や更新に伴う、記録領域の割当・開放の処理を考慮する必要がある。つまり、WORMの記録領域管理はデータを連続的に記録し、最終記録位置の管理のみで良く、アクセス速度からもこの方式が有利である。

磁気媒体ではセクタ単位の記録再生が基本であり、複数セクタの記録再生処理においても、媒体の回転待ち等を考慮して、数セクタ間隔で記録する方法が取られる。しかし、WORMの場合はファイルシステムでマルチセクタ一括記録再生の機能をサポートすることにより、連続セクタに一度に記録再生することができ、このことが処理時間の面から望ましい。特に画像や動画等を記録した転送レートが重要であるファイルシステムでは、連続セクタ記録再生のサポートが必須である。

また、データの追加（アペンド）時にも、ファイル全体を書換えると媒体の使用効率が悪化する。ファイルを残すかの連続セクタの集まりとして管理する方式は使用効率の点からは重要である。

3. 3 管理情報とファイル内容の位置関係

WORMは、HDなどの磁気媒体に比べて一般にシーク時間が遅い。しかしながら数十トラックの範囲であれば比較的速い。この性質を利用するために、管理情報とファイル実体の配置についても出来るだけ大きなシークを防ぐ様な配置が望ましい。特に管理情報をすべて一箇所に記憶するフォーマットの場合は媒体の使用が進むほど、管理情報とデータの距離が大きくなり、速度も低下する。シーク時間を平均化するような物理配置を考慮する必要がある。

4. 追記型光ディスクの管理方式

特定のOS下でFD等の磁気媒体のエミュレーションを可能にするOS依存磁気媒体互換方式（FD型）と、MT的な利用を意識してバックアップやオフラインでの情報交換に機能限定した低機能交換方式（MT型）と、オンラインでの使用を前提に階層型ディレクトリと連続記憶ファイルをサポートしたWORM専用ファイルシステムを作成する方式（OD専用型）と、OD専用型で特に可搬性を生かすためにシステム（異OS）間での情報交換を意図した標準化指向交換方式（CD-ROM型）の4つの代表的な方式がある。

以下に各方式の概略について2、3章で説明した評価の観点から説明する。

4. 1 OS依存磁気媒体互換方式（FD型）

OSがWORMを磁気媒体（大容量FD）として扱うことを実現する方式である。この方式では、汎用OSのファイルシステムをそのまま利用し、BIOS（デバイスドライバ）内に磁気媒体をエミュレーションするファイルシステムを構築する。つまりOSからの磁気媒体へのセクタ単位のR/W指示を光ディスクに対する指示に変換し、ファイルシステム部分で追記性を吸収する機構を組み込むことにより磁気媒体と互換に見せる方式である。

この方式の一例として、汎用OSの一つであるMS-DOS下にエミュレーションファイルシステム（以下EFSと略記）を構築する例を述べる。ファイル名やディレクトリの管理はOSのファイルシステムに任せ、EFS内ではMS-DOSで使用されているセクタの管理単位であるブロック（FATで管理する）毎にデータを管理する。

図2(a)に示すように、ブロック毎にWORM内のどの位置に記録したかを格納したブロックテーブルを持ち、OSの各ブロック毎のR/W指示の記憶再生位置を、ブロックテーブルで変換している。つまり同一ブロックへの再書き込みを、交替ブロックへの書き込みとその位置のブロックテーブル値の更新により、再記憶を擬似的に可能にする。

このブロックテーブルは光ディスクのマウント時に、WORM内の最新ブロックテーブルが内部メモリにロードされる。また、ディスクマウント時に内部記憶内のブロックテーブルが一括してWORMに記録される。

この方法では、ユーザー側はWORMの特殊性を意識する必要がない利点がある。つまり、ユーザが自由に光ディスクを使用できるため、光ディスクにとって望ましくない使用方法も取りうる。例えば、エディタ等を使用する場合の一時ファイルを光ディスク上に作成することもできる。この場合は同一ブロックへの書き込みが頻発する可能性があり、書き込み指示毎に光ディスクに記憶すると、ファイルサイズの数倍の記憶容量を消費する可能性もあり、非常に光ディスクの使用効率が悪くなる。

このことを避けるためには、光ディスクへの書き込み指示を一旦メモリまたは他の磁気媒体への記憶指示に変換し、適当なタイミング（ファイルクローズ・媒体のディスクマウント等）で光ディスクに記憶する必要がある。これを実装するためには、実際に記憶するタイミングの制御や中間記憶媒体の記憶領域管理等の複雑な処理が必要になる。

また、内部記憶内に格納したブロックテーブルに障害が起こると再生出来なくなるため、電源断等の障害に備えて、毎回ブロックテーブルの差分等を記憶するか、磁気ディスクを併用する必要がある。

内部記憶容量と媒体の使用効率との関係は、ブロックサイズを小さく取ればブロックテーブルが大きくなり内部記憶容量の点で不利となる。逆に、大きくとればテーブルは小さくなるが、媒体の使用効率は悪化する恐れがある。また、媒体全体を1つで管理するとブロックテーブルが大きくなり過ぎるため、WORMを幾つかのパーティションに分割し、仮想的に数個の磁気媒体として管理する方法も取った方がよい。

4. 2 低機能交換方式（MT型）

WORMの大容量性と可搬性を生かし、主にMT的なバックアップやオフラインでの交換配布の用途を指向する方式である。この方式は図2(b)に示すように、階層型ディレクトリを持たない方式で、ファイル実体（データは連続的に記憶）とそれを管理するファイルラベルを媒体の両端から順に記録する。

非常に単純なファイル構造であり、バックアップやMT的なオフラインでの使用を意図した場合には良いフォーマットである。しかし、3章で説明したように、ファイルの削除や更新を行う場合は特別な削除ファイルラベル等を必要とし、全てのファイルラベルを検索した後でないと正確なファイルを取り出すことが出来ない。そこでオンラインでの使用を行う場合は、全てのファイルラベルを編集した

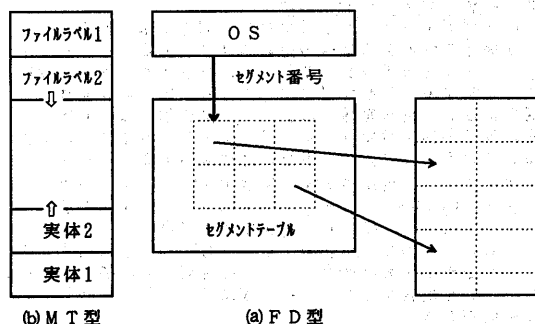


図2: WORM管理方式例

結果を内部メモリか他の記憶媒体にロードした上で使用するか、ディスク内を幾つかのパーティションに分割してパーティション毎にファイルラベルの管理を行わないとファイルラベルの検索時間が掛りすぎて実用にならない。

この方式の例として、ISO/TC97/SC23(光デジタルデータディスク委員会)に提案されたSC23/N140 フォーマット¹⁰⁾がある。この方式では複数の連続領域に記憶されたファイル実体を一つのファイルとして管理する機構を持つが、ファイルの削除はできない。

4.3 WORM専用方式(OD専用型)

WORMをオンライン記憶媒体として使用するために、WORM専用ファイルシステムを新たに設計する方式(OD専用型)がある。このようにWORM専用型に新たなファイルシステムを設計する場合には、大容量性を生かす階層型ディレクトリと高速な読出を実現する連続的なデータ記憶をサポートすることが必須である。

光ディスク単独の方式では、3章で議論したように、更新処理による管理情報の変更の影響を局所化するため、階層型ディレクトリの管理をディレクトリ間の階層関係の管理とディレクトリ内のファイル管理を分離して実現することが必要である。データ自体は連続領域(エクステンツ)単位での記録がアクセス速度の面で有利である。

またOD専用型では設計の自由度が大きく、OSに依存しない方式であるため、管理情報の更新処理を簡易にし、媒体の使用効率を向上させるために、磁気記憶媒体等を併用する方式も考えられる。しかしながらこの方式では2章の信頼性の節で述べた様に信頼性が劣る。さらに使用形態の面から検討すると、予め他の記憶媒体上に光ディスク用の予約領域を取る必要があり、他の媒体の使用効率が悪くなることと、その予約領域を持った特定のシステムのみでしか使えないこと等制約が多くなる等の問題点がある。

4.4 標準化指向交換方式(CD-ROM型)

光ディスクを情報(特に大容量のマルチメディア情報等)の交換配布媒体として使用する場合のOD専用型方式の一種である。この標準化指向交換方式(CD-ROM型)は、特定のOSに依存しない標準化指向のボリュームファイルフォーマット(以下VFFと略記)と仮想ファイルシステムで実装される。

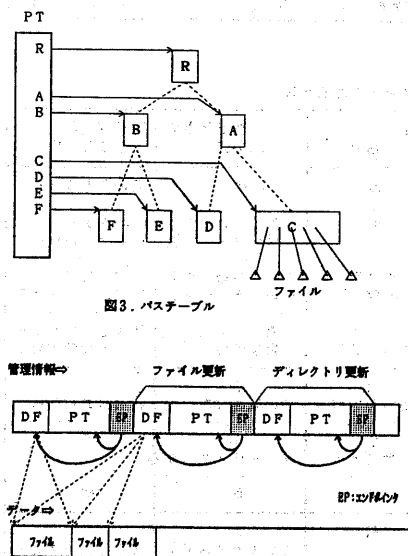


図3. バステープル

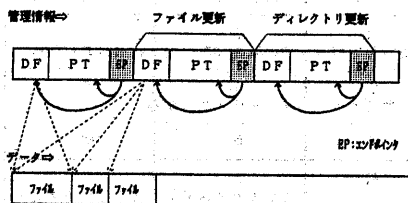


図4. DEC方式

この例としては、CD-ROMの国際標準VFFであるISO9660¹¹⁾がある。このISO9660は4.3で述べたように効率的な階層型ディレクトリ管理機構をバステープル(図3参照)と呼ばれる一種のディレクトリファイルのインデックスで行い、連続データ記憶をエクステンツと呼ばれる連続領域で管理する。更に、更新をサポートするための拡張が容易であり、追記型光ディスクのVFFとしても望ましい性質を持つ。このISO9660をベースに追記型光ディスクのための拡張を施した方式の提案が2つ、我々とDEC社から行われており、次のその2つの方式を説明する。

4.5 DEC社のISO9660ベースの方式¹²⁾

DEC社の方式はISO9660に対して、更新のために邪魔になるDF内の他のDFへの参照ポイントを外し、ファイル更新のための最新管理情報位置を示すレコードを追加することで、ISO9660の利点を継承しつつ更新処理機能を実現した方式である。特徴をまとめると、

(1) 階層型ディレクトリ管理: バステープルのみ

ISO9660と同様にバステープル(以下PTと略記)とDFで階層型ディレクトリの管理を行うが、ISO9660と異なりDF内のDF参照ポイントを除き、PTですべてDF間の管理を行う。

(2) 管理情報の更新方式: 一括型

更新された管理情報はその都度、全部最新の情報(PTと変更が起こったDF)を書き直し、最新の管理情報群を示すポイント情報レコードと共に追記する。このため更新による管理情報のオーバーヘッドは比較的大きい。(図4参照)

(3) 処理の高速化:

内部メモリを併用し、初期起動時に、最新のポイント情報レコードを読みだし、次にその情報から最新のバステープル等の管理情報をメモリ内にロードすることにより処理を開始する。このためディレクトリサーチは高速である。

(4) ファイルシステムの実装方式:

ISO9660との完全互換ではないが、ISO9660ファイルシステムの若干の変更(ディレクトリサーチをPTに限定しDF内の他のDFへのポイントを使用しないこと)で対処できる構成となっている。

4.6 我々が提案するISO9660互換方式^{11) 12) 13)}

本方式はOSに対しISO9660と完全互換のVFFを提供するISO9660エミュレーション方式である。図3に示すよ

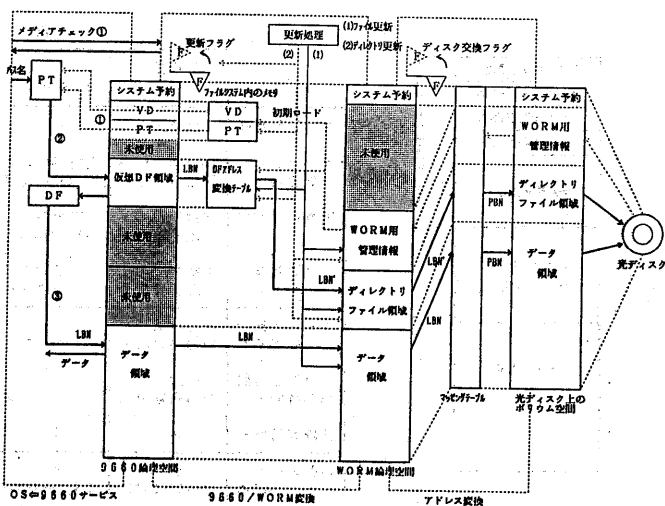


図5. ファイルシステムの中で定義される9660互換型空間とWORM型空間

うに、更新処理の影響を受ける管理情報（PT等）を差分型で光ディスクに記憶し、マウント時に内部記憶内にISO9660形式に変換してロードし、その内容のみを使用すること、DF内のDFポイントの値の変換テーブルを持つことにより、更新処理の影響を避けている。DEC社の方式に比べ、ファイルシステムに要求される処理は複雑になるが効率的な媒体の使用が可能である。特徴をまとめると、

- (1) 階層型ディレクトリ管理：パステブル+仮想DF
ISO9660と同様にディレクトリの階層構造の管理はPTとDF間の参照ポイントを用いた2重管理を行っている。従って、DFの更新と並行してPTの更新を行っている。

- (2) 管理情報の更新方式：PT=差分型、DF=一括型
ディレクトリの更新処理：ディレクトリの更新はPTの更新のみで行う。このPTの更新は媒体の使用効率を重視して差分形式の更新履歴情報（ΔPT）を記録する方式である。

ファイルの更新（仮想DFアドレスを導入したDFの一括記憶方式）：ファイルの更新は格納されるDFを一括記憶する方式を取る。この方式では、DFの格納位置が変わるため、そのDFを参照する他のDFやPT内の参照ポイントの値を修正する必要がある。2章で議論したように、これを再記録で実現したのでは効率が悪くて実用に耐えない。そこで本方式では、DFを参照するための仮想のアドレスを導入し、PT、DF内の参照アドレスはこの仮想アドレスを使用し、この仮想アドレスと実際のアドレスとの対応を示すDFアドレス変換テーブル（以下DFTと略記）を持つ。DFの再記録により実アドレスが変化した場合も、この対応表の実アドレスの値を書換えることにより対処している。

- (3) 処理の高速化：

内部メモリを併用し、初期起動時に、更新履歴情報群を読出、最新のPT、DFT等の管理情報をメモリ内に再生する。このためディレクトリサーチは高速である。この際の更新履歴情報からPT、DFTの再生時間が問題となるが、ポイント情報を用いた更新処理の高速化¹⁴⁾と、一定の更新毎に最新のPT、DFT情報群を一括して書き直す機能により、一定時間以上マウント時間が掛かることを避けている。この時間については実測値を基に6章で検討する。

- (4) ファイルシステムの実装方式：

ISO9660との完全互換のWORMをエミュレーション可能であるため、ISO9660ファイルシステムのBIOS部分に本方式のファイルシステムを実装することにより、ISO9660ファイルシステムを変更なしに実現可能である。

5. ファイルシステムの全般的評価

4章で説明したMT型、FD型、C/D-ROM型について、2章で議論した要件への適合性と、3章に挙げた論点から処理速度に関する全般的な評価を行った。

5.1 機能に関する評価

ファイルシステムの各機能の実現度を評価する（表1参照）。各機能は実装はファイルシステムの設計に任される。ここではフォーマットでの規定の有無、実現可能性・容易性から比較した。本方式については、目的とする交換配布媒体としての要件面から特に検討した。

- (1) 信頼性

各方式共に、コントローラによるECC以外に、特別にエラー訂正用のコードを付加する方式はない。信頼性の向上の方法としての重複記録は、標準化指向型ではボリウム情報で定義することにより実装可能である。だが重複記録は使用効率を悪化させるため通常は実装されない。本方式では、新規WORMの使用開始時に重要性に応じて管理情報の重複回数を指定する方法で実装し、信頼性を高めた。

表1. 管理方式別の定性的性能比較

	MT型	FD型	標準化指向型		
			ISO9660	本方式	DEC
システム形態	①OS透過性	×	◎(R/W)	○(R)	○(R)
	②実装容易性	◎	△	○	○
	③情報交換性	◎	×	◎	◎
	④特定OSからの独立性	◎	×	◎VRS	◎VRS
信頼性	⑤データの重複記録	△	×	◎	○
	⑥エラー訂正コード	×	×	×	×
	⑦リカバリ機能	◎	×	○	○
拡張機能	⑧マルチパーティション	○	○	○	○
	⑨MMマルチパーティション	○	×	○	○
	⑩階層型ディレクトリ	×	◎	◎	◎
	⑪マルチボリウム	△	×	△	△
	⑫ディスクライピングマシナリ	△	×	△	△
	⑬バージョン管理機能	◎	×	◎	◎

表2. 管理方式の性能比較

	FD型	MT型		標準化指向 (CD-ROM) 型	
		メモリ型	単独型	本方式	DEC方式
マウント処理時間	小⇒大	大	無	小⇒中	最新PTのロード
マウント処理内容	FAT/フロッピー再生ロード時間	全ファイルロード時間	無	PT、DFTの再生ロード時間	境界サーチ 最新PTのロード
更新処理方式	フロッピーの差分処理	差分型 (N14074ファイル追加のサポート)	差分型	ディレクトリ構造：差分 ディレクトリ内：一括型	ディレクトリ構造：一括 ディレクトリ内：一括型
ファイル更新時オーバーヘッド	更新ブロックの差分情報分	通常1～2ブロック (ファイルレベル分)	通常1ブロック (履歴情報のみ)	通常1ブロック (履歴情報のみ)	通常2～3ブロック (PT+位置情報)
ファイル検索処理時間	小⇒大 ディレクトリレベル	小 (メモリサーチ)	大 全ファイルレベルサーチ	小 PTの検索+DF再生	小 PTの検索+DF再生
ファイル転送時間 (R/W時間)	大 ファイル内容分散	小	小 (連続一括再生：バッファサイズに依存)	小	小
連続記録サポート	×	◎	◎	◎	◎
内部メモリ使用量	小 (L-RDP+FAT)	大 (全ファイルレベル)	無	小 (PTサイズ分)	小 (PTサイズ分)
磁気媒体併用	不要	一部要	不要	不要	不要

図6. 光ディスク上のボリウム空間レイアウト

また、WORMに記録された情報は全て消えずに残るため、WORM内の更新情報を辿って以前の状態に逆登する方法によりリカバリ処理を実装することができる。このリカバリ処理の複雑さは、更新方式に依存する。MT型や本方式では、更新(差分)情報を一定の領域に連続して記録するため、更新情報の探索処理が容易に実現できる。DEC方式でも、前回のエンドポイントの位置情報を指す逆ポイントを保持するため、リカバリ処理の実現は容易である。

(2) 拡張機能

各方式共に、各パーティションの先頭位置とサイズを記録するマルチパーティション機能を実装している。FD型を除く各方式では、コード情報以外のデータ構造を格納する領域の設定が可能である。本方式では、この領域を利用して音声や動画等のデータを格納できる(パーティション内のデータ構造はファイルシステムに任される)。

FD型以外の方式ではフォーマット上は、マルチボリュームの記録方式やバージョン番号の記録方式を規定している。しかし、マルチデッキ装置を備えない場合には、ディスク差替えの負担が大きく逆効果なため、通常のファイルシステムでは実装されない可能性が高い。バージョン管理はディレクトリ内のファイル数を増し、更新処理効率を悪化させるため、バージ機能を同時に実装する必要がある。

ディスクストライピング機能やマルチメディア記憶等の機能についてはフォーマットレベルだけでは規定できない。高位の交換性をサポートするためには、標準案でもファイルシステムがサポートすべきサービス内容まで規定する必要があるのではないかと。

5.2 処理速度に関する評価

処理速度を左右する要件についての評価結果を表2に示す。評価上の判断の目安として用いた処理内容やデータ量を付記する。MT型については、ファイルラベルを内部メモリにロードするオンメモリ型についても検討した。

(1) 更新効率とマウント時間

マウント時間は最新情報のみをロードするDEC方式が優る。本方式でもセーブ処理直後は同等の処理速度となるが、ディレクトリ構造の更新を差分型により行うため、更新情報の増加とともに一括型のDEC方式に比べてマウント時間は若干悪化する。しかし、更新効率の点ではファイル更新毎に1ブロック以上の改善ができる。

(注: PTの一括型更新処理は、ファイルの更新が頻繁な使用条件ではファイル管理情報のオーバーヘッドが大きく有効ではない。この方式の実装は、数回の更新を1つのトランザクションとしてまとめ、トランザクション毎にファイル管理情報を記憶する方法を可能にする機能をサポートする必要性が高い。このことから、本方式は処理は複雑である代わりにオンラインの更新が頻繁に発生しうる環境に適し、DEC方式は単純で実装が容易であり、主に読出処理が中心の検索ビューワ的な使用環境に適していると思われる。)

(2) ファイルの記録再生

MT単独型を除けばファイル検索はメモリ内で行うため、各方式とも同等の性能を持つ(平坦構造のMTオンメモリ型ではDFの読出がない分高速)。ファイルの記録再生(転送)性能では、連続記録をサポートしないFD型を除き、各方式について同等の処理速度を持つ。

(3) 内部メモリ容量・磁気媒体の併用

FD型ではFATとルートディレクトリで~3KB程度、本方式・DEC方式ではPTサイズ(100ディレクトリ時で2KB以下)のみを要する。MTオンメモリ型では全ファイルラベル分(2000ファイル時で1MB~2MB以上)を必要とするため、ラベル内の最低必要情報のみに整理する等の処理を講じる必要がある。

6. 本ファイルシステムの実測評価

他の記憶媒体と比較することにより、本システムを実装した追記型光ディスクの処理速度を評価した。更に、3章で議論したチューニング項目に関して処理速度について実測し、検討を行った。

6.1 評価の環境

5章で説明したファイルシステムのプロトタイプをMS-DOS下の実装した。本体:Panacom-M800(32bits)、5'25インチ追記型光ディスク装置:LF-5100、CD-ROMドライブ装置:CV-MOR501を用いた。

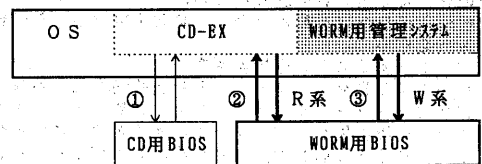


図7. ファイルシステム構成

6.2 磁気媒体との処理速度比較

RAMディスクと各記憶媒体間のファイルコピー時間(図7)を比較した。比較の参考として、表3に各媒体のドライブ装置の平均アクセス性能を示す。比較は、①ルートディレクトリ間、及び②ルートディレクトリと7階層下位レベルのディレクトリ間、のコピー時間を測定した。今回の測定結果はCD-ROMとHDの中間程度の処理速度を示した。但し、本方式では内部メモリにロードしたバステータブルを検索するため、FDのようなディレクトリ探索時のオーバーヘッドによるコピー時間の悪化は見られない(DFのばらつき具合にも影響されるが、HDの場合もプロット上で有意な程の差は見られない)。

表3. ドライブ装置のアクセス性能[カタログ値]

(単位: msec)	HD**	FD**	CD-ROM	WORM
平均バグジョング時間	94	85	max	max
平均回転待時間	83	8.3	650	230

** はM500/700テクノカルガイドブック(BNN 社版) 参照

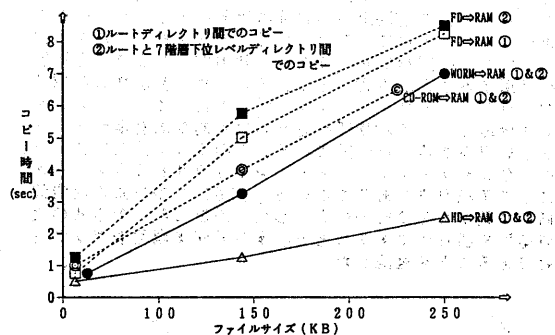


図8. RAMディスクと各媒体間のファイルコピー速度 (M800で測定、バッファサイズ=10KB)

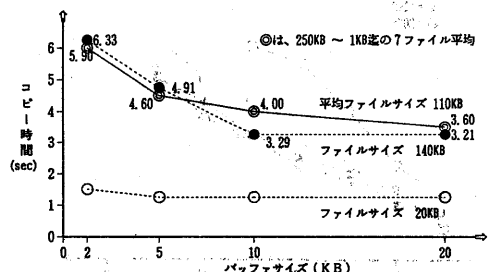


図9. バッファサイズによるファイルコピー時間比較 (M800で測定) (RAMディスク⇄WORM)

6.3 ファイルシステムのチューニング定数

ファイルシステムのチューニング定数を定めるため、連続データ転送時の処理速度に効果があるバッファサイズと、マウント時間と媒体使用効率に關する一括セーブ処理の実行時の履歴数を定めるため、バッファサイズと処理速度の關係及び履歴数とマウント時間を実測し、その結果から値を求める。

(1) バッファサイズと転送処理速度

H DからWORMへのファイルの転送時間を元に検討する。図8にバッファサイズ(マルチセクタ数)とファイル転送時間の比較結果を示す。ファイルサイズの小さい場合は、リードライトの回数が少ないため、効果が小さいが、図から明らかに10KBのバッファでほぼ十分であると考えられる。

(2) 履歴情報数とマウント時間(セーブ間隔の検討)

頻繁なセーブ処理はマウント時間を高速にするが、逆に媒体の使用効率を悪化させる。本実測では適宜なセーブ間隔を検討すべく、履歴情報数とマウント時間(図9)を測定した。

マウント処理自体もバッファサイズを変えることで、一回に読出せる履歴情報の量が変わり、バスターブル情報の再生時間が変わってくる。しかしながら10KB以上のバッファでもほぼ同じ傾向で時間が上昇しているため、この値付近で高速化に対する寄与が無くっているようである。

(1)の結果と同様にバッファサイズは10KBが適当である。また、マウント時間については5秒前後が、イライラせず待てる時間(CD-ROMでの初期設定時間は3~4秒)と考えるため、10KBのバッファサイズで5秒前後のマウント時間で済む、300履歴情報程度が適当と思われる。

この値ではDEC方式に比べると、PTのサイズにより使用効率の改善効果は異なってくるが、(PTの1セクタを超えるセクタ分×履歴情報数のオーバーヘッド)を改善することができる。

7. まとめ

本論文では、管理方式をFD型・MT型・OD型に分類して各方式の目的・特徴・性能を比較し、階層型ディレクトリとデータの連続記録の実装の重要性を示した。今後の光ディスクの市場拡大のためには、情報(特にマルチメディア情報)の交換配布媒体として利用することで、可塑性を活用することが重要である。そのために要求される標準的なボリュームファイルフォーマットとしては、ディレクトリ管理とファイル管理を分割し効率的な階層型ディレクトリを実現することが求められる。このような性質を持った、追記型光ディスクフォーマットをISO9660をベースにして実現可能であることを述べ、更にこの方式の性能評価の結果からその有効性を示した。最後に我々の方式の実装結果を明らかにすることで、本方式が実現可能かつ有効であることを確認した。

今後の課題としては、(1)ファイルシステム部のチューニングによる処理の高速化、(2)マルチボリュームのサポート・マルチユーザ対応等システム機能の拡充、(3)Unixなど他汎用OSへの実装と評価、(4)各管理方式の実装による定量的な比較検討を行う事等が挙げられる。

更に今回は、WORMの管理システムに限ったが、一部商品化が始まっている書換型の光磁気ディスクとの整合性も検討していく必要があろう。

参考文献

- (1) Roy J. Slicker, 「A Software Standard for Write-Once Optical Disks」, Optical Information Systems/March-April 1988
- (2) Brian A. Berg, 「Critical Consideration for WORM Software Development」, Optical Information Systems /September-October 1988
- (3) Wayne Rash J., 「A Quintet of WORMs」, BYTE, 2, 1988
- (4) L. Bruce Lowenthal, 「INTEGRATION OF OPTICAL DISK INTO MAINFRAME SOFTWARE」, IEEE 1987
- (5) ジェフリー・R・デュルデ, 「追記型光ディスクのアプリケーション・インターフェイス」日経バイト, 1986年9月号
- (6) 鈴木、深海, 「UNIXにおける追記型光ディスクシステムの扱い」, 情報処理学会第33回全大, 6Y-1, 1987
- (7) 安藤、岩村、今井, 「追記型光ディスクのソフトウェア構造」, 情報処理学会第35回全国大会, 4D-2, 1988
- (8) 「Volume and File Structure of CD-ROM for Information Inter-change」, ISO 9660, Apr. 1988
- (9) Howard Kaikow (Digital Equipment Corporation), 「Working Paper for Volume and File Structure of WORM for information interchange」, 7 August 1988
- (10) 「OPTICAL DISK LOGICAL LABELS AND FILE STRUCTURE FOR DIGITAL INFORMATION INTERCHANGE」, Document ISO/TC97/SC23/N140, Third Meeting of ISO/TC97/SC23, October 1987
- (11) 小塚、三木、青木, 「CD-ROM (HSF) との互換性を汎用OS上で実現した追記型光ディスクの記憶管理方式(1)」, 情報処理学会第36回全国大会, 4S-6, 1988
- (12) 三木、小塚、青木, 「CD-ROM (HSF) との互換性を汎用OS上で実現した追記型光ディスクの記憶管理方式(2)」, 情報処理学会第36回全国大会, 4S-6, 1988
- (13) 小町、小塚、三木, 「光ディスクの上位レベル・フォーマット、標準化への挑戦」, 日経エレクトロニクス, 1988年7月25日号
- (14) 小塚、兼子, 「追記型記憶媒体を用いた主記憶データベース〜文書ファイルシステムへの応用〜」情報処理学会、DBS研究会, 57-8, 1987. 1. 19

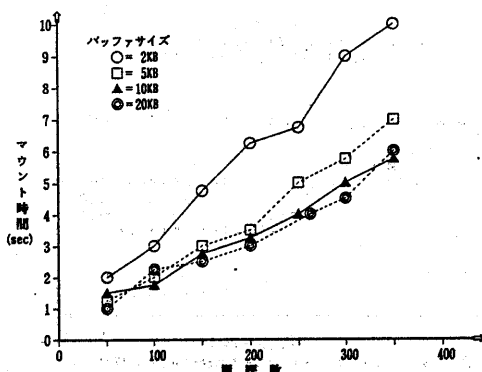


図10. 履歴数とマウント処理時間(M800で測定)