

## DRT-DM の概要

### Introduction to Distributed Real [time Defect Management (DRT-DM)

幸田 健志, 片多 啓二, 谷川 敏郎

Takeshi Kohda, Keiji Katata, Toshiro Tanikawa

**要 旨** 本稿では、書換型光メディアに適用可能な新しいディフェクトマネジメント手法についてその概略を解説する。この新しい手法は、DRT-DM (Distributed Real-time Defect Management) と呼ばれている。DRT-DM は、基本的にソフトウェアディフェクトマネジメントの一種であるが、ドライブ側も積極的にホストコンピュータのディフェクトマネジメント処理をサポートする点で、従来のソフトウェアディフェクトマネジメント方式とは一線を画している。また、DRT-DM では、従来難しいとされたりリアルタイムデータ記録中のディフェクトマネジメント機能も提供することが可能となっている点を特徴としている。

**Summary** This document provides information about new defect management technology for rewritable DVD drives. The new defect management scheme is called DRT-DM (Distributed Real-time Defect Management). The DRT-DM is a kind of software defect management, but the drive also assists the defect management. The new defect management scheme is applicable to real-time recording without disabling defect management capability

**キーワード** : ディフェクトマネジメント, DVD-RW

#### 1. まえがき

近年、DVD 記録機の普及はめざましいものがある。民生用の DVD レコーダはもとより、PC 用の DVD ライターも 2002 年を境に急速に市場におけるシェアの裾野を広げている。図 1 に DVD レコーダの市場の推移を示す。

このような状況の中、2003 年 6 月に世界で初めて、当社より DRT-DM の技術が搭載された DVD-R/RW ドライブ (DVR-A06J) が発売された。図 2 に DVR-A06J の外観を示す。

DRT-DM とは、Distributed Real-time Defect Management の略称で、当社が開発した

ディフェクトマネジメント方式の名称である。

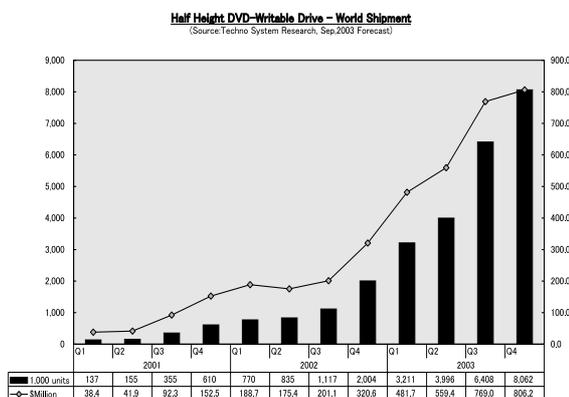


図 1 DVD 記録機市場の推移 (source: TSR)

本稿では、このDRT-DMの概要とその動作について解説する。



図 2 DVR-A06Jの外観

## 2. ディフェクトマネジメントとは

光ディスクやハードディスクなどの書換型記録メディアではデータのディフェクトマネジメントが欠かせない。

ディフェクトマネジメントとは、その名の通り、ディスク上のデータの欠陥を管理するための機構の総称である。ただし、ここでいうディフェクトマネジメントとは、あくまでも消失の危機にあるデータを救うための機構であり、すでに消失してしまったデータについてはディフェクトマネジメントの対象外である。

例えば、ディスクに記録されているデータを読み込むとき、ディスク表面にある傷や汚れなどでデータが全く読めなかった場合は、ディフェクトマネジメントの対象外である。

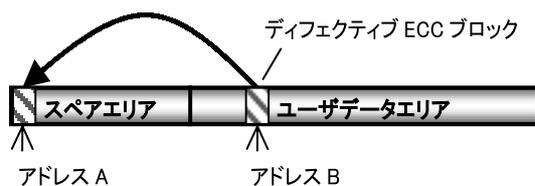
では、どのような場合が対象になるのだろうか。例えば、ディスク上に記録されているデータを読み込もうとした場合を考えてみる。データの読み込み時において、ドライブはECCブロック単位でエラーの検出、および訂正を行いながらDVDディスク上に記録されているデータを読み込んでいる。このとき、例えば、ある一定基準値以上のエラーシンボルが検出された場合に、そのECCブロックが“ディフェクティブ”であると定義する。“ディフェクティブ”なECCブロックは、ドライブのエラー訂正能力により正しくデータを復元することが可能である。

通常、このようにECCブロックがディフェクティブな状態になるのは、メディアに対するオーバーライトの繰り返しによる記録膜の劣化や、メディア自体の品質不良、あるいはメディア上の傷、汚れなどが原因となることが多い。このような状態になったとき、そのECCブロックを今後のデータの読み書きに使用するのは適切ではないと判断することができる。このとき、そのECCブロックに記録されているデータはディフェクトマネジメントの対象となる。

次に、データをディスクに書き込む場合を考えてみる。データが正しく書き込まれているかどうかは、書き込みが終わった後に読み込み(ベリファイ)を行うことで確認することができる。このとき、上述のように、ECCブロック内で、ある一定基準値以上のエラーが検出された場合、そのECCブロックに書き込もうとしていたデータは、ディフェクトマネジメントの対象となる。

通常、書き込み直後のベリファイでは、書き込もうとしているデータがドライブの書き込み用バッファメモリ上に残っている状態なので、仮に書き込んだデータが、ディスク上からまったく読めなかったとしてもディフェクトマネジメントの対象とすることが可能である。

上述のように、ディフェクトマネジメントの対象となるデータは、ディスク上の、ある領域に用意されているデータ退避のための専用エリア(スペアエリア)に記録される。このとき、書き込み/読み込み時にディフェクトマネジメントの対象となったユーザデータエリア内のECCブロックのアドレスと、そのECCブロックを退避したスペアエリア内のECCブロックのアドレスを対にしたもののリスト(ディフェクトリスト)を作成し、これをディスク上の、ある領域に記録しておく。したがって、ディスク再生時には、ディフェクトリストを参照することにより、正しく記録されたデータを読むことが可能となる。図3にディフェクトマネジメントの原理を示す。



ディフェクトリスト =

退避先	退避元
アドレス A	アドレス B

ディフェクティブなECCブロックのデータをスペアエリアに退避し、ディフェクトリストを作成する。ディフェクトリストは、ディスク上の所定のエリアに記録される。

図3 ディフェクトマネジメントの概念

### 3. ハードウェアディフェクトマネジメントとソフトウェアディフェクトマネジメント

ディフェクトマネジメントには、大きく分けて、ハードウェアディフェクトマネジメントとソフトウェアディフェクトマネジメントの2種類がある。

ハードウェアディフェクトマネジメントを行う機器の代表例としては、DVD-RAMドライブ、マウントレイニア規格対応のDVD+RW/CD-RWドライブなどがあげられる。一方、ソフトウェアディフェクトマネジメントを使用する機器の代表例がDVD-RWである。具体的には、UDFのSparable partitionとSparing tableを使用して、ディフェクト管理をファイルシステムの管理下で行っている。

ハードウェアディフェクトマネジメントとソフトウェアディフェクトマネジメントの違いを簡単に述べると、上述のディフェクトリストをドライブ側が作成・管理するのが、ハードウェアディフェクトマネジメントであり、ディフェクトリストをホストコンピュータ（ホスト）側で作成・管理するのがソフトウェアディフェクトマネジメントである。

本稿で紹介するDRT-DMは、一種のソフトウェアディフェクトマネジメントである。

ただし、全体のシステムとしてはドライブ側もディフェクトマネジメントの一部を援助するため、ある意味、ハイブリッド型ということも可能である。

図4にハードウェア・ディフェクトマネジメント、図5にソフトウェア・ディフェクトマネジメントのホストとドライブの役割の違いを示す。

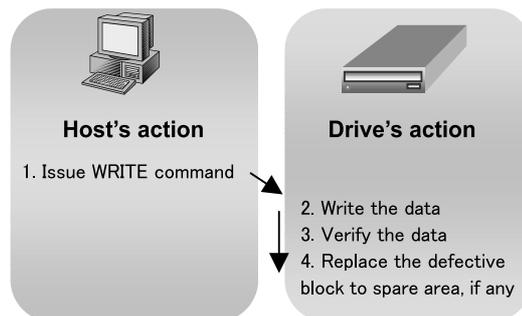


図4 ハードウェアディフェクトマネジメント

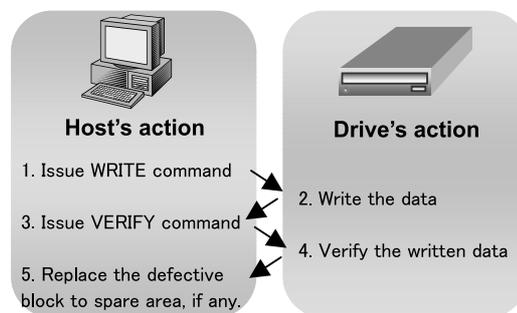


図5 ソフトウェアディフェクトマネジメント

4. ディフェクトマネジメントの問題点  
ディフェクトマネジメントを行うことにより、記録媒体を仮想的にディフェクトフリーなメディアとして扱えるため、メディアの信頼性や、機器間での再生互換性（Interchangeability）を向上することが可能になる。これは、PC環境などで重要なデータを記録する場合などには特に重要なメリットである。

その一方で、ディフェクトマネジメントを行

う場合に無視できない問題点も存在する。それは、書込み時のパフォーマンス悪化である。

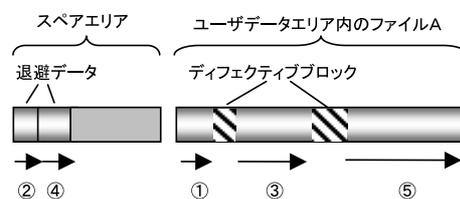
ディフェクトマネジメントを行う場合、データを記録すると、記録した場所のベリファイを行う必要がある。さらに、ベリファイ時に、ディフェクティブなECCブロックが発見された場合には、スペアエリアにデータを退避し、ディフェクトリストを作成し、ディフェクト管理エリアに登録(記録)するといった一連の動作を処理する必要がある。つまり、ディフェクトマネジメントを行わない場合に比べて、ユーザから見た書込み速度は常に2分の1以下、あるいは、実際にディフェクティブなECCブロックの退避処理を行った場合には、それ以下になってしまうのである。図6に書き込み速度への悪影響の様子を示す。このパフォーマンスへの影響は、特にビデオデータのようなリアルタイム性を要求されるコンテンツを記録する場合に大きな障害となる場合がある。



図6 書き込み速度への影響

また、ディフェクトマネジメントのもうひとつの問題点としては、データのフラグメンテーションがあげられる。図7にフラグメンテーションの発生とアクセス時の影響を示す。通常、スペアエリアはユーザデータエリアと異なる領域に設けられているため、ディフェクトマネジメントによるスペアエリアへの書込みが行われると、記録データの連続性を保証することができなくなる。このことは、リアルタイム再生が必要なデータに対しては、大きな影響を与えることになる。したがって、ディフェクトマネジメントを行う機器では、ほとんどの場合、

このようなリアルタイムデータを記録する際には、ディフェクトマネジメント機能をオフにして記録再生しているのが実情である。



スペアエリアへの退避によってデータは分断されるので、例えば、図に示すような連続ファイルAを再生するためには、～の番号順にアクセスする必要がある。

図7 フラグメンテーションの発生とアクセス時の影響

## 5. DVD-RW メディアのディフェクトマネジメント

DVD-RW メディアは、DVD-ROM メディアとの再生互換性に重点を置いて開発されたため、ハードウェアディフェクトマネジメントの仕組みは採用されなかった。もし、ハードウェアディフェクトマネジメントの仕組みを採用した場合、ユーザデータエリアとは異なる場所に専用のスペアエリアやディフェクト管理エリアを物理規格として定義しなければならず、結果としてスペアエリア、ディフェクト管理エリアをもたないDVD-ROM メディアとの互換性が損なわれることになってしまう。このようなことを避けるためにDVD-RWは、当初からソフトウェアディフェクトマネジメントを前提にしていたメディアなのである。

DVD-RW メディアは、導入当初、DVDレコーダ機器に代表される民生用途、主にビデオデータの記録用途から普及がスタートした。しかしながら、当時のソフトウェアディフェクトマネジメントの世界では、ディフェクトレベルの規準と、その取り扱いなどが明確に定義されていなかったこともあり、各社独自の方式を定義して

実装を行うしかなかった。民生機器の場合、それ自体が閉じた世界で動作していたのである程度は許容できたのだが、次第にPCデータの記録用途が増えるにつれて、メディアのInterchangeabilityが非常に重要な問題になってきた。すべての民生機器、PC間で再生可能互換を確保するための統一的なディフェクトの規準の定義と、その取り扱い方法の規定が要求されるようになってきたのである。

同時に、PCデータの記録用途とビデオデータなどのリアルタイムデータ記録用途の両方に柔軟に対応できるディフェクトマネジメント手法が望まれた。これらの要求を満たした上で、実装時のOSやアプリケーション側に必要な変更を最小限に抑えることも要求された。

## 6. DRT-DMとは

5章で述べた課題を解決するためにDRT-DMと呼ばれるディフェクトマネジメント手法が考案された。DRT-DMは、前述のようにソフトウェアディフェクトマネジメントの一種である。ホストコンピュータは、ディフェクトリストの管理や、データの退避処理の機能を有している。

DRT-DMの大きな特徴は、ソフトウェアディフェクトマネジメントの最大の欠点ともいえる書き込みパフォーマンスへの影響を解決することが考慮されている点である。さらにDRT-DMでは、CD/DVD-RW、+RWなどの書換え型メディアの記録膜のDOW(Direct Overwrite)による劣化特性も考慮できるような設計になっている。メディアのDOW劣化特性により適切に設定された複数のディフェクトレベルを定義することによりメディアのInterchangeabilityを向上させることを可能にし、ディフェクトの発生を予測管理する従来にない機能が盛り込まれている。

以下に、DRT-DMの動作に必要な仕組みと、通常のソフトウェアディフェクトマネジメントとの違いについて、具体的に解説をする。

### 6.1 DRT-DMに必要な仕組みと動作

ここで、まず、一般的なソフトウェアディ

フェクトマネジメントを構成する一連の動作を大きく分類してみると、主に以下の3つの動作に分類できる。

#### a) 検出:

ディスクからデータを読み出した時に、そのECCブロックのエラーレートをチェックし、ECCブロックがディフェクティブかどうかを検出する動作(ドライブの動作)

#### b) 通知:

“検出”動作でディフェクティブであると検出されたECCブロックの情報をホストに通知する動作(ドライブの動作)

#### c) 管理:

“通知”動作で通知されたECCブロックをスペアエリアに退避すると共に、ディフェクトリストを更新して記録する動作(ホストの動作)

通常の、ソフトウェアディフェクトマネジメントでは、これら3つの動作は一連の処理として連続して行われる。

一方、DRT-DMでは、これらの動作を分離して、それぞれを適切かつ、柔軟なタイミングで実行することを特徴としている。このことにより、記録時のリアルタイム性を確保する仕組みを提供している。具体的に言うと、あるアプリケーションがリアルタイムデータを記録している最中は、“検出”と“通知”のみを行い、“管理”は、記録が終了してから行うといった方法をとっている。

## 6.2 DBIメモリ

上述の基本動作の分離を実現するために、DRT-DMを実装するドライブには、DBI(Defective Block Information)メモリと呼ばれるディフェクトマネジメント専用のメモリを持っている。このメモリは、“検出”動作で検出された、ディフェクティブなECCブロックのアドレスと、エラーレートで分類されたディフェクトの度合い(ディフェクトレベル)を、一時的に格納することを目的としている。

DBIメモリへの情報の格納は、ディスクから

データを読み出す際にドライブが自動的に行う。これを図8に示す。DBIメモリに蓄えられた情報は、ホストが好きなタイミングでドライブに対して要求し、取得することができる。ドライブは、ホストからの要求(コマンド)に応じてその情報を“通知”する。そして、ホストはその通知された情報を元に、適切なタイミングで“管理”を行うのである。

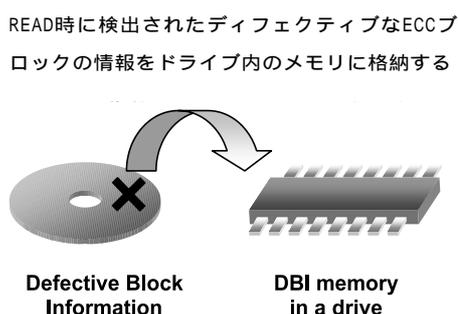


図8 DBIメモリの機能

DBIメモリが存在することによって、上述した3つの各基本動作は時間的に分離することができるため、柔軟性の高いディフェクト管理が可能となった。また、DBIメモリに記録される情報は、あるECCブロックが、ディフェクティブかどうかという情報だけでなく、そのディフェクトの度合いも記録することができるため、その度合いに応じたディフェクトの発生予測など、より高度な応用を可能としている。図9にディスクのECCブロックとDBIメモリの情報との関係を示す。

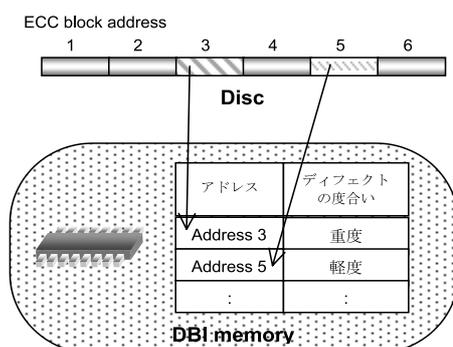


図9 DBIメモリ内の情報

また、DBIメモリの実装方法は、そのメモリ容量に応じていくつかの方式が定義されており、例えば、ディスク容量に対して非常にわずかな量のメモリでも動作させることが可能なように設計されている。

### 6.3 Enhanced Defect Reporting

ホストコンピュータは、任意のタイミングでドライブのDBIメモリの情報を取得することが可能だが、実際には、ある条件に応じてDBIメモリの情報をドライブに要求する。その条件とは、

- DBIメモリに登録されているディフェクティブなECCブロックに対する書込みを行った時 -

である。

DRT-DMを実装しているドライブは、上述の条件が起きたときに、ホストに対して報告を行うことになっている。この報告機能のことを、特にEnhanced Defect Reportingと呼んでいる。ホストはEnhanced Defect Reportingによるシグナル(Recovered Error)をドライブから受け取った後、適切なタイミングでDBIメモリの情報を取得し、管理動作を実行することになる。ここで、“適切なタイミングで”と書いたのは、例えばリアルタイムデータの記録中にこのシグナルを受け取ったとしてもホストは直ちにディフェクトマネジメント動作を行う必要はなく、単にシグナルが送られたことだけを覚えておき、リアルタイムデータの書込みが終了した後に管理動作を行うことができるという意味である。

このように、DBIメモリを利用して各動作を時間的に分離することで、ディフェクトマネジメントの機能をオフにすることなく、リアルタイムデータの記録が可能となるのである。

### 6.4 複数のディフェクトレベルと推移予測

DBIメモリには、ディフェクトの度合いに関する情報を格納することができる。DRT-DMでは大きく分けて以下の3種類のディフェクトレベルが定義されている。

Type1) Interchangeable defect:

標準的なエラー訂正を行うドライブ(例:一般的な民生用DVDプレーヤなど)で訂正可能な範囲のディフェクトである。このディフェクトが発生した後,50~100回程程度の書込みで,次のディフェクトレベルType2に移行する可能性が高いレベル

Type2) Unreliable defect:

高度なエラー訂正を行うドライブ(例:PC用ドライブなど)で訂正可能な範囲のディフェクトである。このディフェクトが発生した後,50~100回程程度の書込みで訂正不能なディフェクトに移行する可能性が高いレベル

Type3) Unusable defect:

訂正不能なレベルのディフェクト(書込みすらできないレベルのディフェクトレベルを含む)

Interchangeabilityのためのディフェクトマネジメントは,基本的には上述のType1とType2に分類されるディフェクトレベルのECCブロックが対象となる。Type1,Type2のディフェクトレベルの規準値は,メディアの種類によって異なる。例えば,DVD-RWの場合は,エラー訂正不能なECCのPIライン数が,8~15の場合をType1とし,エラー訂正不能なECCのPIライン数が16以上の場合をType2として,定義している。では,Type3のディフェクトレベルは,どのように使うのかというと,主に記録・再生時に使用不能なブロックをスキップする目的などに用いられている。

ここで,DVD-RWメディアにおけるディフェクトレベルの典型的な推移の様子を図10に示す。この図ではDOW(Direct Overwrite)の影響によるディフェクトレベルの推移が示されている。

このように,DVD-RWメディアでは,オーバーライトを繰り返していくと,ディフェクトレベルが増減を繰り返しながら上昇していくのがわかる。他の種類のメディアでも,Type1とType2

のディフェクトレベルを適切に設定することにより,あとのくらいで次のディフェクトレベルに達するかが予測できるので,ディフェクトレベルに応じたマネジメントを行うことが可能となる。

例えば,民生用機器との互換を重視するのであれば,ディフェクトレベルが,Type1からType2に移行するまでの間にECCブロックをスペアエリアに退避する必要がある。また,PCドライブのみでの使用しか考えないのであればType2に移行した後もしくはディフェクティブなECCブロックの状態にしておくことも可能である。

以上述べてきたように,DRT-DMの特徴を利用すれば,リアルタイムデータの記録時にもディフェクトマネジメント機能を働かせることができ,さらに,複数のディフェクトレベルを活用し,その推移を予測することにより,他機種との互換性を最大限に保つように管理することが可能となる。

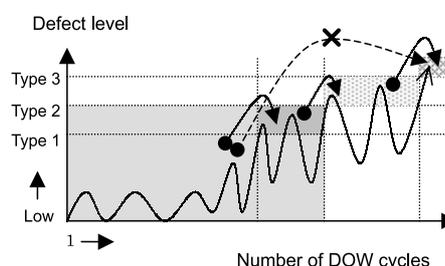


図10 ディフェクトレベルの推移例

## 7. まとめ

以上,述べてきたようにDRT-DMは,通常はホストが行うソフトウェアディフェクトマネジメントをドライブ側も,積極的に支援するという従来にないディフェクトマネジメント方式である。リアルタイムデータの記録にも対応しており,今後対応アプリケーションが増えることによりその恩恵がユーザにとって身近に感じられるようになるだろう。

また,DVD-R/RWの記録再生機能は,マイク

ロソフトの次期 Windows OS の新ドライバー  
IMAPI-2(Image Mastering Application Pro-  
gramming Interface-2)により，標準サポート  
されることが決定している。

これにより，専用の書込みソフトを用意しな  
くとも DVD-R/RW メディアへの書込みが可能に  
なるため，今後ますますユーザの使い勝手が良い  
くなっていくものと思われる。

#### 筆 者

幸 田 健 志 (こうだ たけし)

所属：研究開発本部 AV 開発センター  
光ディスクシステム開発部  
入社年月：1991 年 4 月  
主な経歴：光メディア応用機器の開発，記  
録型光メディア関連の規格開発

片 多 啓 二 (かた た けいじ)

所属：コンポーネンツビジネスカンパニー  
第 3 技術部  
入社年月：1984 年 4 月  
主な経歴：光メディアドライブの開発，光  
メディア全般の規格開発

谷 川 敏 郎 (たにかわ としろう)

所属：研究開発本部 AV 開発センター  
デジタル AV システム開発部  
入社年月：1981 年 4 月  
主な経歴：光メディア応用機器の開発，記  
録型光メディア関連の規格開発。現在は，  
ホームネットワークに関する研究に従事。