

解説



光ディスクの標準化

I. これまでの経緯, 現状と動向†

三橋 慶 喜†

1. はじめに

コンピュータの外部記憶装置などに光ディスクが広く使われるようになってきた。

光ディスクは大容量で、可搬性があり信頼性も高い。これらの特長に加え互換性の確保を目的とした国際的標準化作業が進められ、より幅広い応用が展開すると期待されている。ここでは、コードデータ用光ディスクを対象に、技術内容と、標準化について、標準化の特徴、対象、現状と動向、概要などを紹介する。なお、最も注目されている 90mm 書換形光ディスクについてはデータフォーマットを中心に光ディスクの標準化(II)として別項に述べられているのでそちらを参照していただきたい。

2. 光ディスクのあらまし

光ディスクには CD (コンパクトディスク)、LD (レーザーディスク) など主として民生用として広く普及している再生専用形のもの、業務用として文書ファイルなどに用いられている追記形、および最近実用化された書換形の 3 種類がある。これらの技術基盤は共通していて、透明なディスク基板 (プラスチックやガラス) の裏側に情報が記録されている。コヒーレントな (位相のそろった) レーザ光をレンズで収束させると直径 1 ミクロン (0.001 mm) 程度の光スポットが実現するので、このレーザビームにより高記録密度の情報が記録再生できる。光を用いた非接触記録再生であること、透明基板の裏側に信号を配置するという画期的なアイデアと相まって、ほこりに強いことが大きな特徴である。ハードディスクより大きな記録容量があって、フロッピーディスク以

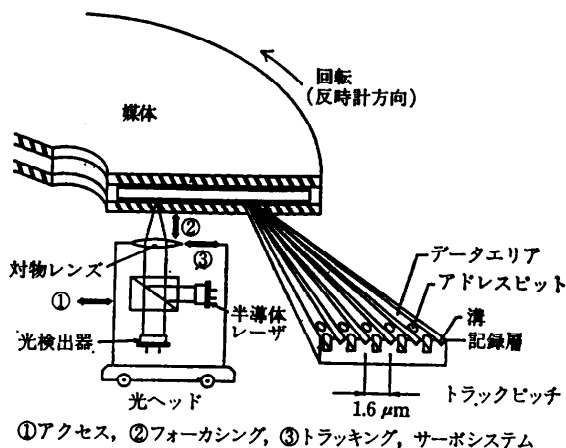


図-1 光ディスク装置の模式図

上の持ち運びやすさと高い信頼性など、情報交換用の記録媒体として優れた機能がある¹⁾。

図-1 は光ディスク装置の模式図である。半導体レーザーの光を基板を通して記録層上に収束させて情報の記録再生が行われる。光ディスクは所定の回転数で回転する。機械的振動などにより媒体が上下するので、レーザ光を常に焦点に合わせ収束させ (フォーカシングという)、さらに所定のトラックにレーザビームを導き固定する (トラッキングという)、二つの高性能なサーボ系がある。さらに半導体レーザーと光学系などからなる光ヘッドを、媒体の内周、あるいは外周へ移動させる (アクセス) サーボ系も不可欠である。媒体には、トラッキングのための溝 (グループという) が付けられるのが普通であり、アドレス情報の凹凸 (ピットという) があらかじめ付与されている。現在の光ディスクでは情報は半導体レーザーの光を熱エネルギーとして利用して記録する。データエリアの記録層に、穴明け、膨らみ、相変化 (反射率変化、磁界ドメインの反転など) を生じさせて情報が記録される。記録層の変化が 1 回のみものは追記形、変化が可逆的に繰返し可能なものが書換

† Optical Disk Standardization —Present & Future— by
Yoshinobu MITSUHASHI (Nippon Sheet Glass Co., Ltd.).

† 日本板硝子 (株) 筑波研究所

表-1 CD とデータ記録用光ディスクとの比較

項目	CD	光ディスク	備考
直径	12 cm	130 mm	IEC, ISO
透明基板厚さ	1.2 mm	1.2 mm	同じ:ほごり対策
ケース	なし	あり	同じ:防湿対策
トラック	スパイラル	スパイラル	同じ(cf 同心円)
同ピッチ	1.6 μm	1.6 μm	同じ(cf より小さく)
内周スタート	yes	yes	同じ
フォーカシング	非点収差法ほか	非点収差法ほか	精度はほぼ同じ
トラッキング	3ビーム	1ビーム	精度はほぼ同じ
光ヘッド	簡単	複雑	非破壊読み出し,ほか
レーザー出力	小	大	多機能
データ	再生専用	追記・書換	多機能
回転速度	低い	高い	高速データ転送
再生方式	CLV	CAV	高速アクセス

形である。再生専用形は媒体全面にピットが作成されている。一方、情報の再生にはコヒーレントなレーザー光の特徴である光の回折、干渉効果などをうまく利用している。

表-1 はコードデータ用光ディスクを再生専用の CD と比較したものである。いずれの光ディスクも信号の再生には、回転数にもよらず、半導体レーザーの出力として約 1 mW あれば十分である。しかし信号の記録には 1 桁以上高い出力、10-20 mW が必要である。高出力の半導体レーザーは開発が遅れ、高価格であり、このことが CD (民生用) に比較してコードデータ用の光ディスク (業務用) の実用化が後になった理由の一つである。再生専用形よりデータ転送速度を高め、信頼性を高くした追記形、さらに消去を行う書換形はそれぞれに難しい技術がつけ加えられ、その順番に実用化されたのである。

標準化活動においてコードデータ用光ディスクのことを当初は Optical Digital Data Disk (略称オーディスリー OD³) などと呼んでいたが1988年以來、ODC (Optical Disk Cartridge) とよぶことに統一された。ちなみに、民生用光ディスクでは disc で表示されるが、業務用コードデータ用光ディスクでは disk と表わすことも決められている。これは、技術の相違、難度を表わしているようにみえる。

図-2 は書換形光ディスクに用いられている光磁気記録材料における記録の原理を示す。バイアス磁界の下で光照射を行い、記録膜の垂直磁化ドメインの反転を行い信号を記録する。信号の再生には記録膜の光磁気効果 (MO: Magneto-Optical effects) によるレーザー光の偏波面の回転を利用して磁化ドメインの反転の有無を検出している。このため、MO 光ディスクと呼んでいる。信号の消

去にはバイアス磁界を反転させて光照射すれば良い。この記録消去サイクルは 100 万回以上が十分可能である。ちなみに、書換形光ディスクには相変化光ディスク (PC: Phase Change) と呼ばれるものもすでに実用化されているが、標準化の対象にはまだない。

表-2 は光ディスクの各種サイ

ズ (直径) と種類 (再生専用形、追記形、書換形) との関係を示している。これらは、技術的難易度、市場の要求などからいろいろな光ディスクが時代的な変遷として開発されていることを物語っている。磁気記録媒体は書換形のみであるが、光ディスクは3種類の記録形態がある。追記形は書換ができないが、このことは欠点というよりも、データの改竄が不可能で、かつデータの長期保存性に優れている長所となっている。書換形で編集

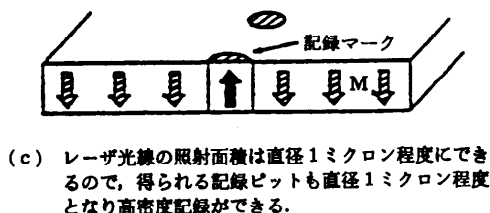
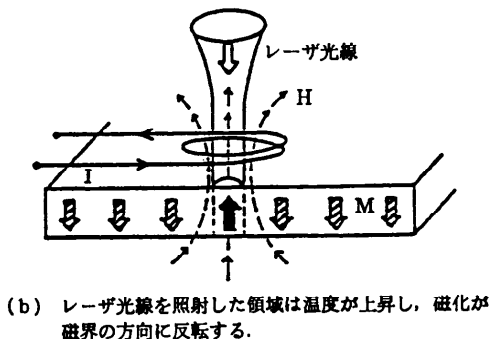
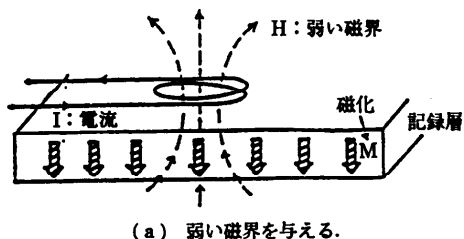


図-2 書換形光磁気ディスクの記録原理

表-3 光ディスクの応用分野と標準化

直 径 mm	イ ン チ	RO 再 生 専 用 形	WO 追 記 形	RW 書 換 形	標準化活動	文 書
356	14		◎★		1989~	CD 10885
300	12	◎	◎★	◎	1988~	WD
200	8	◎	◎	◎		
130	5.25		◎★		1985/1990	IS 9171
130	5.25			◎★☆	1987/1991	IS 10089
120		◎★*			1989	IS 10149
90	3.5	○★		◎★☆	1987~	CD 10090
80		◎				
64	2.5			○		
50	2.0		○			

注) RO: Optical Read Only Memory WD: Working Document
 WO: Write Once CD: Committee Draft
 RW: Rewritable IS: International Standard
 ◎: 実用化されている光ディスク, 民生用を含む
 ○: 開発中
 ★: SC 23 標準化活動の対象
 ★*: CD-ROM (Fast Track Procedure)
 ☆: 第2世代機種標準化が検討されている

作業を行い、重要データの保存は追記形で行うという、使い分けが可能である。再生専用形は印刷物のように大量データの流通に持ってこいである。小さなサイズの光ディスクは持ち運びが簡単で情報交換にうってつけである。市場にでているドライブの中にはマルチファンクションとして1台で追記形と書換形二つの光ディスクを利用できるのがある。また、90 mm 書換形/再生専用形では1枚の光ディスク媒体そのものが書換部と再生専用部とを合わせもっている。このような形態は磁気記録媒体ではまったく不可能である。光ディスクは磁気記録媒体に類似した使い方はもちろんのこと、まったく新しい利用形態を産み出すものと期待されている。

3. 標準化の特徴

光ディスクは可換媒体であるので標準化が望まれるのはいうまでもないが、これまでに標準化された記録媒体とは、やや違っているところがある。たとえば、フロッピディスクではユーザがフォーマットするので、機械的な特性や記録特性を決めるだけですすことができるが、光ディスクでは、その大容量記憶媒体のこともあってフォーマットまできちんと決めている。これは、プラスチックの射出成型などによって比較的簡単にトラック番号やセクタ番号などのID情報をあらかじめ基板に付けることができる光ディスクの製造上の大きな特長が生かされているとも言

える。また記録特性についても、磁気記録のような標準媒体と標準試験機による相対的な決め方でなく、物理特性による絶対的な決め方が試みられている。これは特性を比較的正確につかめる非接触光学系によってヘッドと記録メディアの特性を分離できることから可能になっているのである。そもそも1985年当時に標準化を始めたときには標準媒体はおろか、製品レベルまで完成した技術は皆無であったからやむをえなかったからでもある。それまでの磁気記録媒体の標準化が、デファクト

(defacto: 技術の追認)であったのに比較し、まさに標準の開発を行わざるをえなかったことを物語っている。

このように光ディスクの標準化では従来の例がそのままあてはまらないところがあり、最初の130 mm 追記形では、何をどのように規定していったらよいかの議論から始まったので、作業は最終段階での文書編集のやり直しなど長時間を要した。しかし、次の書換形では追記形の規格をベースにしてきたので比較的短期間に作業が進められた。ただ追記形の規格が最終的に固まる前に並行して進められたので、書換形特有の項目の審議に集中するばかりではなく、共通した項目もより良いものにしていきたいとの願いから作業が混乱したところもあった。

4. 標準化の経緯と対象

民生用の光ディスク(LD, CD)の標準化はIECにおいて行われた²⁾。

一方、コードデータ用光ディスクの国際的標準化作業は、ISOの場で始められた。1984年情報処理関係を扱っている技術委員会であるISO/TC 97(現在はISOとIECの合同委員会JTIC)の中に光ディスクを扱うSC 23が日本を幹事国として設けることが認められた。そして1985年に第1回の総会が東京で開かれ、その後、欧州、米国、欧州、日本、米国と毎年持ち回りで開かれて

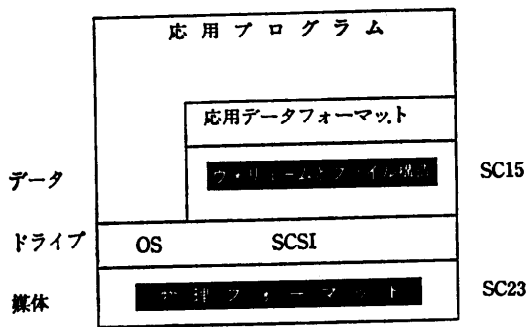


図-3 光ディスクの標準化レベル

最初に取り組みられた 130 mm 追記形光ディスクの規格は 1990 年暮に国際規格が発行された²⁾。次いで、130 mm 書換形光ディスクの規格も 1991 年に完成し²⁾、90 mm 書換形光ディスクの規格も CD の審議が終了し 1992 年には発行の見込である。ところで、コードデータ用光ディスクの実用化は 1980 年代初頭からの 300 mm 追記形が一番早かった。しかし、SC 23 の活動初期には、すでに市場に出ている各社の光ディスク技術の妥協を得ることは困難として、その標準化は見送られた。

その後、300 mm 追記形光ディスクは 1988 年以來、その次世代機種を対象に審議が進められている。さらに、1991 年からは次世代 130 mm 書換形、次世代 90 mm 書換形光ディスクの標準化活動が開始されている。

図-3 に光ディスクの標準化レベルを示す。SC 23 における標準化活動は、物理フォーマットとよばれる規格案の作成であり、その構成は概略 4 つの対象からなっている。①用語、環境条件など、②機械的特性、光ディスク、ケースの寸法など、③光学的特性、④フォーマット、変調方式、誤り検出訂正方式、欠陥管理方式、などである。これらの規格により光ディスク媒体の互換性が得られることになる。さらに、異機種間などのデータ互換性を得るには、上位レベルの論理フォーマットとよばれる〔ボリュームとファイル構造〕の標準化が不可欠である。このレベルの標準化は 1990 年にその重要性が再認識され、そのための JTC1/SC 15 の委員会が復活した。1991 年 7 月に東京に

おいて第 1 回の国際会議が開催された。今後の成果に期待したい。SC 15 のさらに上位レベルの標準化としては、たとえば、印刷、放送、医療画像など、応用分野ごとのデータフォーマットの標準化などが議論されている。

5. 標準化の現状と動向

さて、国際標準規格の作成段階は次の 5 つに分けられる。①NP (New Work Item Proposal) の承認を経てプロジェクトが成立する。次いで、各国提案の作業文書、②WD (Working Draft) にもとづく技術討論が行われる。各国間の争点の調整や妥協を行って、まず③CD (Committee Draft 規格素案) がまとめられプロジェクト番号が決められる。この文書は国際的な郵便投票にかけられコメントが集められる。この段階で技術的な内容はおおかた定まり市場には ISO 準拠を謳う製品が出はじめる。次いで最終的な調整と文章など字句の念入りな編集作業を行い④DIS (Draft International Standard) がまとめられ再び郵便投票を行い、賛成が得られれば最後に⑤IS (国際規格、表示は ISO/IEC...) となる。これらの段階で規格文書には CD から IS まで一つのプロジェクトに対して同一の番号が付与される。たとえば 130 mm 追記形光ディスクでは、ISO/IEC CD 9171 から、ISO/IEC DIS 9171 となり、最後に ISO/IEC 9171 として発行されたのである。

SC 23 には、休眠中のものを含めて WG 1~WG 5 の 5 つの WG があり、光ディスクの製品種別に対応した審議を行っている。以下その現状を簡単に述べる。

5.1 130 mm 追記形光ディスク

SC 23 として、最初に取り組んだ 130 mm 追記形光ディスクの国際規格は、紆余曲折があったが、1990 年暮ようやく発行された (ISO/IEC 9171)。

5.2 130 mm 書換形光ディスク

規格の大筋は 1989 年に完成したので、いわゆる ISO 準拠の光ディスクが 1989 年秋から市場に登場した。1991 年秋の SC 23 総会で国際規格案 (DIS 10089) が承認され 1991 年春に印刷が完了した。

ISO: International Organization for Standardization 国際標準化機構

IEC: International Electrotechnical Commission 国際電気標準会議

JTC1: Joint Technical Committee 1 合同技術委員会 1

SC 23: Sub Committee 23 分科会 23

WG: Working Group 作業部会

5.3 90 mm 書換形/再生専用形光磁気ディスク

この標準化は、1987年の総会から作業が始まった。130 mm とは大きさも違うので、寸法などの機械的特性から、応用分野の概念などを改めて検討した。さらに、130 mm 光ディスクでは2本立てとなったサーボ方式(フォーマット)を90 mm 光ディスクでは1本化しようとの決議がされたので突っ込んだ議論が必要になった。これまでに、光ディスクの外径を86 mm としてケースは3.5" のフロッピーディスクと同じ大きさ90 mm (厚さは6 mm) とすること、光ディスクは単板とすることなどが決められている。日米の争点であったサーボ方式は、連続サーボ方式でCD文書を作ることが1989年の総会で決められた。90 mm 光ディスクは1枚の光ディスクに書換部と再生専用部(ROM) とを合わせもつことが認められているのが大きな特徴である。このため、ドライブ側からみると、二つの特性の異なるサーボ特性をもつ光ディスクを安定して互換性高く読み書きする難しさがある。すなわち、ドライブの負担が大きく技術的争点も多かった。1990年には1年間に4回の国際WG2会議を開催するなどの精力的な活動を行った。すでに技術的争点は解決し文書編集上の課題が残るのみである。1991年春はCD10090の段階であるが、1991年秋にはDISとなり1992年春にはISが完成の見込である。

5.4 130 mm 追記形光ディスク

すでに多くの第1または1.5世代の製品が市場に出ている。SC23ではWG3において第2世代機種を目指して標準化活動を進めている。たとえ直接の世代間互換性はなくとも記録容量では2倍以上、データ転送速度も2倍以上などの機能があればユーザは標準化によるメリットを受け入れるとの概念に立っている。WG3は3年前に設立され、日、米、仏の3カ国が記録容量12 GByte以上というかなり挑戦的な高度の技術を取り込んだ提案を行い、活動を続けている。

5.5 356 mm 追記形光ディスク

これは、直径14"の磁気ディスクとの関連から、米国において開発が行われているものである。米国以外は関心がないが、1991年春にはCD10885として郵便投票が行われた。

5.6 CD-ROM(120mm再生専用形光ディスク)

フィリップス・ソニーによりその内容が大筋決められていたもので、ECMA(European Computer Manufacturer Association)からFast Track Procedureにより提案され、論理フォーマットの国際規格(ISO9660)は1988年9月、物理フォーマット(ISO/IEC10149)は1989年9月に完成した。

表-3に各種直径の光ディスクの概略仕様を示す。

6. 規格案の概要

図-4に130 mm 光ディスク(追記形、書換形、ともに共通)における1024バイト/セクタの

表-3 光ディスクの主な仕様

標準化	光ディスクの直径 mm/(インチ)	記録容量 MByte/片面	セクタサイズ Byte/セクタ	回転数 rpm	レーザ波長 nm	標準化文書
1 130 mm 追記形 Write Once: WO	130※ (5.25)	320	A: 512 & 1024 B: 512	1800 CAV	830	ISO/IEC 9171
2 130 mm 書換形 Rewritable: RW	130※ (5.25)	320	A: 512 & 1024 B: 512	1800† CAV	830	ISO/IEC 10089
3 90 mm 書換形 Rewritable: RW	86 (3.5)	128★	512	1800 CAV	780	CD 10090
4 300 mm 追記形 Write Once: WO	300 (12)	6 GByte*	1024*	MCAV	780* (680)*	
5 356 mm 追記形 Write Once: WO	356 (14)	3.4 GByte	1024	MCAV	830	CD 10885
CD-ROM ☆ Read Only: RO	120	>540	2048	200~500 CLV	780	ISO 9660 ISO 10049

注) ☆: Fast Track Procedure
A: 連続サーボフォーマット
*: 日本提案;
★: Partial ROM を含む
CLV: Constant Linear Velocity

※: カートリッジケースは共通
B: サンプルサーボフォーマット
†: 3600 rpm の製品がある
CAV: Constant Angular Velocity
MCAV: Modified CAV

フォーマットを、表-4 に主要規格数値をそれぞれ示す。

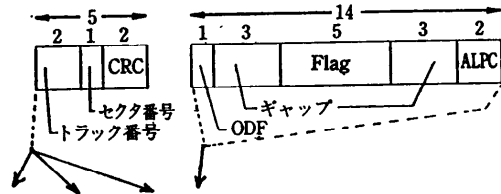
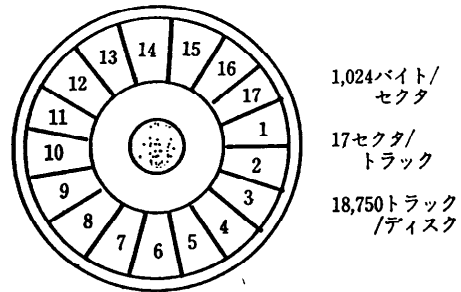
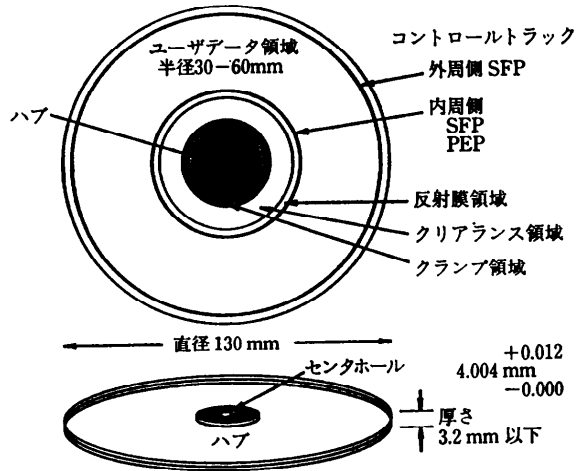
光記録材料は多様であり互換性を確保するための工夫、たとえば、コントロールトラック（光ディスクのユーザーデータ領域外の内周側および外周側の2カ所に設けられている）と、高い信頼性を実現するための配慮、たとえば、セクタフォーマットにおけるID部の3重書きが決められている。

7. 今後の課題

すでに述べたように光ディスクの標準化は製品化の前に標準規格案を作成するという、〔標準の開発〕が行われてきた。そして、可搬形記録媒体ということではフロッピディスクと同じであるが、光ディスクは標準媒体、標準ドライブを想定しない規格作りで、それだけ困難も多かった。さらに光ディスク標準化委員会の多くのメンバは標準化活動に未経験でもあった。これらのことから、標準規格案の数値の決め方が部分的には分かりにくいと批判され、文章構成が何回も変化したのは事実である。現在ほぼ完成した90mm書換形光ディスクの規格案(CD 10090)は幾多の文章構成の変更を経て最終の模範的な文書になっていると考えられる。この大きな成果はSC23の財産として今後次々と受け継がれようとしている。すなわち、現在WDの段階で1991年秋にはCDの段階に進む次世代300mm追記形光ディスクや、すでに検討が開始されている次世代130mm、次世代90mm書換形光ディスクでは、この模範的な規格案(CD 10009)に倣って作業が行われ標準化に要する時間は短縮されることになるであろう。

さて、当初ISO準拠として発売さ

れた130mm光ディスク媒体やドライブの互換性が一部では問題にされたが、これらはレーザーパワーの測定法や、測定機器の校正法に問題があることが明らかになった。それらの対応として標準



S	VFO	A	ID ₁	VFO	A	ID ₂	VFO	A	ID ₃	ODF	VFO	S	データ領域				バッファ	
M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	ALPC	yn	c	ユーザバイト	1,024				
プリコードアドレス部 52											14	12	3	DMP CRC ECC Resync 235				20
												1,259						
												1,274						
											1,360バイト							

- SM: Sector Mark
- VFO: Variable Frequency Oscillator
- AM: Address Mark
- ID: Identifier
- PA: Postamble
- ODE: Offset Detection Flag
- ALPC: Automatic Laser Power Control
- DMP: Defect Management Pointer
- CRC: Cyclic Redundancy Check
- ECC: Error Correction Code

図-4 130mm 光ディスク: 1024 ユーザバイトのセクタフォーマット

規格の運営と維持活動が、海外のメーカの参加を得て日本において行われている³⁾。これらにより標準化の目的である互換性や光ディスクの信頼性が着実に高められている。こうした活動を今後と

表-4 130 mm 書換形光ディスクの規格

ディスク	外径: 130.0 ± 0.1 mm 基板屈折率: 1.46~1.60 基板複屈折率: 差動出力 < 0.06 重量: 120 g max. クランプ方式: マグネチッククランプ ケース シャッタ: あり 識別ホール: 1個使用	内径: 4.004 ± 0.013 mm 基板厚さ: 屈折率の関数として規定 (約 1.2 mm) ハブ外径: 25.0 ± 0.1 mm 長さ*幅*厚さ: 153*135*11 mm 有効面/非有効面	厚さ: 3.2 mm max. (ハブを除く)
記録媒体	反射率: 10~34% C/N: >45 dB 消去残存レベル: ≤ -40 dB 記録消去磁場: 18000~32000 A/m		
[テスト条件]	光の波長(λ): 825 ± 1 nm λ/NA : 1.56 ± 0.04 μ m レンズとビームの大きさ(R/W): 1.0 max. ディスク回転数: 30.0 ± 0.3 Hz		
(なおコントロールトラックにディスク情報を記す)			
	フォーマット A	フォーマット B	
ユーザゾーン	30.00~60.00 mm	30.00~60.00 mm	
トラッキング	連続	サンプル	
トラックピッチ	1.6 ± 0.1 μ m	1.5 ± 0.08 μ m	
セクタサイズ	1024 B/512 B	512 B	
セクタ数 (1トラック)	17/31	32	
変調方式	RLL(2,7), マーク位置	4/15 code, differential detection	
誤り訂正	Reed-Solomon LDC	Reed-Solomon Product Code	

も続けることが、技術的そして経済的にも世界の先進国となった日本の責任でもあり、ユーザおよびメーカ双方の利益にも繋がるであろう。

光ディスク技術は絶えず進展している。半導体レーザーの短波長化による記録密度(記録容量)の向上、高出力化による記録再生速度(データ転送速度)の改善が続いている。次世代 300 mm 追記形光ディスクでは、変調方式として、RLL(2,7)に代わる RLL(1,7)の採用が記録材料の開発にともなう大容量化を目指して提案されている。直径 64 mm (2.5")あるいは 50 mm (2")など超小形光ディスクの開発も行われている。これらの技術進展を適切な時期に取りあげ、ユーザニーズに合わせた標準規格案をタイミング良く作成することが今後の大きな課題である。

8. むすび

再生専用形、追記形、書換形、そして各種直径とバラエティに富む光ディスクの標準化の現状と難しさを述べた。

次世代光ディスクの標準化はすでに実用化された光ディスクとの下位互換性を保ちながら規格案を作成することになっている。このことから光ディスクの技術そのものが発展性高く将来性に富んだ、質の良いものであることを多くの人々に理

解していただけたらと思う。

ユーザおよびメーカ双方への貢献となる光ディスク産業の発展が幅広い標準化活動によって促進されることを願っている。

参考文献

- 1) 一般的な参考書として、三橋他, [光ディスクのおはなし], 日本規格協会 (1989年). 久保, 森 [光ディスク], 電子情報通信学会 (1988年). 尾上監修, [光ディスク技術], ラジオ技術社 (1989年) などがある。
- 2) ISO, IEC の国際規格文書および対応する日本工業規格 (JIS) はいずれも日本規格協会で購入できる。
 - ・ レーザディスク (LD): IEC 857-1986年
 - ・ コンパクトディスク (CD): IEC 908-1987年
 - ・ CD-ROM: ヴォリュームとファイル構造 ISO 9660-1989年
 - ・ CD-ROM: 物理フォーマット: ISO 10149-1989年
 - ・ 130 mm 追記形光ディスク: ISO/IEC 9171-1990年 同 JIS: X-6261 1991
 - ・ 130 mm 書換形光ディスク: ISO/IEC 10089-1991年 同 JIS: X-6271 1991
 - ・ 90 mm 書換形/再生専用形光ディスク: DIS 10090
- 3) 光ディスクの標準化に関する調査研究 VI, 光産業技術振興協会報告書 (1991年).

(平成3年6月1日受付)

**三橋 慶喜 (正会員)**

1940年生。東京工業大学理工学部
制御工学科卒業。電子技術総合研究
所において光情報処理技術の研究に
従事。1991年4月より日本板硝子
(株)筑波研究所に勤務。工学博士。1984年より情報規格
調査会 SC 23 専門委員会委員長。著書「情報処理ハン
ドブック」「光ディスクのおはなし」(日本規格協会、分
担執筆)など。応用物理学会、計測自動制御学会、電子
情報通信学会、米国光学会各会員。

