

DVD 技術と将来展望

山田尚志

DVD の登場は、デジタル画像時代を迎えて、ユーザーからの要望を受け入れる形で企画された。最初にこの構想を提案したのは、ワーナーホームビデオのリーバファーブ社長である。筆者は1993年2月彼を訪問し、DVD の構想を8時間にわたり議論した。なかなか議論が尽きず彼の情熱の強さを肌で感じたことは記憶に新しい。DVD は、技術的な面では、一つ一つの要素技術の積み重ねであり、これまでのいろいろな技術の集大成である。今までの話題になった新製品が大きな技術革新が引き金になっていた物が多いことからいうと、一つ一つの技術は従来から存在するのであるが、これが長い期間の積み重ねで革新的に進歩して、システム全体として今まで実現できなかったことが実現できるようになった技術である。ただ、可変レートデジタル画像圧縮方式は初めて実用的に使われたという意味では画期的といえる。一方ではマルチメディアも、一種の組合せ技術であり、一つ一つを見ると革新的な技術はない点では似たような話になっている。しかし、技術が革新的であるかないかにかかわらず、この社会へのインパクトは非常に大きなものになることが予想される。新しい技術の登場が、社会的に与えるインパクトは、予測が非常に難しいものであり、例えば過去の新幹線の例では新幹線の登場により、東京、大阪間の時間的距離は半分以下になり、この結果、大阪から東京への出張は、日帰りができるため、東京への一極集中はなくなるという予想であったが、実際はどんどん一極集中が加速して、大阪は日帰り出張で行けばよいというふうに変わったのである。過去30年間で登場した技術の中では、計算機の発明、LSI の発明

などが大きな発明であるが、マルチメディア時代になり世界が通信手段で一つに結ばれるほうが社会的にははるかに影響が大きそうであるといえる。ソ連の崩壊も、西側諸国の豊かな生活がTVを通じて報道され、これが引き金になったことを考えると、放送通信の技術のほうが、原爆や水爆の発明よりも大きな影響があったともいえる。DVD は、画像と音声と、グラフィックなどのデータを統一的に記録するシステムであり、今後の記録メディアに対して革新的な影響を及ぼす可能性がある汎用的なシステムである。

1. DVD の登場の背景

DVD の登場には民生機器としてみた場合と、コンピューターの周辺機器としてみた場合の2通りの見方ができる。これを、図1と図2に示した。AV 機器の場合、記録すべき信号は、音楽とTV 画像と最初から決まっており、これをいかにその時に存在する技術で実現するかに主眼が置かれてきた。この結果、ディスクはこの関係がきわめてはっきりしており、20年から25年間隔で新しいメディアが登場し、世代交代が行われてきた。これはCD に至るまで、まったく同じ経過をたどっている。ただ、いまだにLP の音質のほうが良いと言う人もいて、CD の場合は12 cm 盤が扱いやすいことが市場に受け入れられた大きな要因になっている。テープはまったく異なる経過で、C-カセット以外は成功したとはいえない。DAT はそれなりに完成したシステムであったが、消費者からみると、同じテープであり、扱いやすさも変わらず、音質的には、アナログテープでも改良による音質の向上とコスト低下が実現され、ウォーターマン的な使い方では十分ということもあり、値段の安さ

のほうが選ばれたともいえる。ビデオについては、LDとVHSしか今のところ成功していないが、これも、現在のTV放送に対して、それなりの品質を確保しているからといえるが、VHSなどは、テープのコストダウンが著しく、かつ規格を徐々に変えて高画質を取り込んでいる面も見逃せないのである。

のことから、これらのメディアを置き換えるには次の条件が必要なことがわかる。

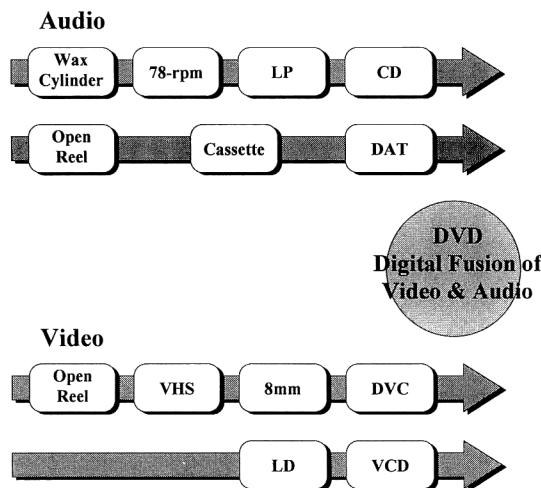


図1 民生用AV機器の歴史。

(1) 画質、音質が従来より消費者が認めるほど良いこと。

(2) 最低限の記録時間が確保されること、これは音楽と映画では異なり、映画は2時間、音楽は1時間程度が必要となる。

(3) 操作性が良いこと、すなわち従来よりコンパクトで、扱いやすいこと。

(4) コストが下がること。

このような条件を満たしたのがDVDであるといえるが、一方でコンピューターの周辺機器という面でみると、図2に示すような変化が過去に起こっている。コンピューターは、LSI技術の進歩のおかげで、7~8年周期で主役交代を繰り返しており、そのたびにより小さく高性能になっているのが特徴である。これに対して、扱うデータも、単純な数値計算から、文字、图形、音声、静止画、動画像、グラフィックデータまで、徐々に多様化している。コンピューターの理想は電腦といわれるよう、人間に近づくことであるから、人間の五感に相当するデータを徐々に扱うようになっているのは当然といえるが、マルチメディア時代を迎え、動画像へ重点が移りつつある。このため、コンピューターの周辺機器も変化しており、持ち歩ける媒体としては、フロッピーディスクから、CD-ROMに移行したといえるが、CD-ROMは記録ができないため、何らかのデバイスが欲しいとい

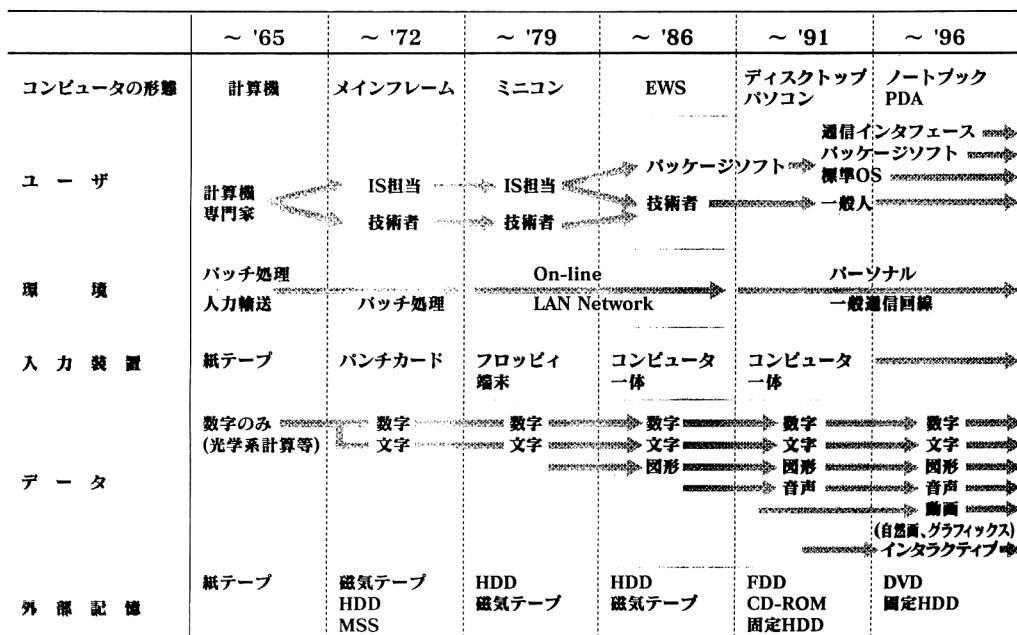


図2 コンピューターとその周辺。

うのが現状である。また CD-ROM は容量が小さく、135 分の再生時間を実現しようとすると MPEG 1 の画像しか記録できないため、現在の TV の画面の 1/4 の面積に相当する解像度の画像しか記録できず、画質的に問題があった。このような状況をみると、コンピューターの外部記憶媒体として、

- (1) 記録ができること。
- (2) 民生用と共通に使えること。
- (3) 容量が十分大きいこと。
- (4) 信頼性が高いこと。
- (5) CD 並みの大きさで扱いやすいこと。

などの要求が出てくる。実際は DVD の企画に際しては、ハリウッドの映画スタジオと、コンピューターメーカーの要求を聞く会合が持たれて、まさに上記のような要求が提案され、最終仕様に反映された。

2. DVD 規格の概要

DVD の規格は、図 3 に示すように、ベーシックな ROM の規格と、ファイルフォーマット規格、ビデオ規格、オーディオ規格、DVD-RAM, DVD-R の規格に別れている。特徴として、0.6 mm 貼合わせ基盤を用いている点が CD と異なるが、光学的には基盤の薄いほうが記録密度が上げられ、CD と同じ 1.2 mm に比べると理論的には約 1.5 倍の容量が実現できる。このほかに、読み出しのレーザーとして CD の波長 0.78 μm の赤外線レーザーから、0.65 μm の赤色レーザーに変えたことなどをあわせて、最終的な規格は、表 1 に示すものになつ

ている。CD に対して約 6 倍の大容量を実現しているが、この実現のための要素技術の寄与について表 2 に示した。実際は、容量をここまで上げるには CD と同じマージンでは実現できず、マージンを削っているため、ディスクやプレーヤーの製造のマージンは CD の約半分になっているが、CD の登場以来の製造技術の蓄積で可能な範囲に収まっている。

表 1 DVD-ROM 規格。

直径	120 cm
厚み	0.6 mm
層数	1 または 2 層
中心穴径	15 mm
チルト角	0.7 deg
記録内周半径	24 mm
記録外周半径	48 mm
レーザー波長	0.65 μm
レンズ NA	0.6
総容量 (12 cm 盤) (8 cm 盤)	4.7 GB(1 層)8.5 GB(2 層) 1.4 GB(1 層)2.6 GB(2 層)
トラックピッチ	0.74 μm
ピット長	0.4~1.87 μm
変調方式	8/16
記録ビット長	0.133 μm
ソースデータ記録長	0.266 μm
標準再生速度	3.49 m/s
ユーザーデータ転送速度	10.08 Mb/s
セクターサイズ	2048 kB
エラー訂正方式	リードソロモン積符号
エラー訂正ブロックサイズ	32 kB
映画再生平均ピットレート	4.7 Mb/s
再生時間	135 min
ビデオデータ形式	MPEG 2 システムレーベ

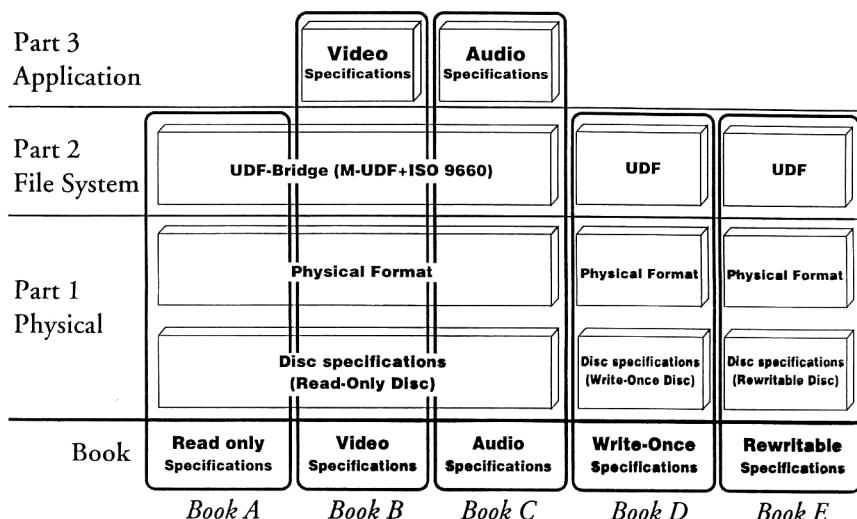


図 3 DVD 規格関連図。

表2 DVD要素技術と寄与。

	CD	DVD	倍率
NA	0.45	0.6	1.78
誤り訂正冗長度	31 %	15.4 %	1.24
変調	8/17	8/16	1.06
レーザー波長	0.78 μm	0.65 μm	1.44
トラックピッチ/スポットサイズ	0.92	0.68	1.35
ピットサイズ/スポットサイズ	0.48	0.37	1.30
内周の拡大	25 mm	24 mm	1.02
容量	780 MB	4.7 GB	6.03

容量増加への要素技術の寄与：CDは、音楽用は780 MB、CD-ROMは、誤り訂正を強化して容量が減り650 MBなので、CD-ROMに対しては7.23倍になる。

表3 DVDビデオの機能。

データ圧縮方式	MPEG 2 (or MPEG 1)
ピットレート	max 10 Mbps (MPEG 2) max 1.856 Mbps (MPEG 1)
GOP サイズ	max 36 フィールド
画面表示	
TV システム	525/60, 625/50
アスペクト比	4:3, 16:9
モード	パンスキャン、レターボックス
ユーザーデータ	クローズド・キャプション

一方で、ビデオの規格としては、表3に示すようなものになっており、これはハリウッドの要望を入れたものであるが、映画の場合2時間ものが多いので、135分の記録時間で約95%程度の劇場映画が1枚のディスクに収まることが要求として出されたこと、北米などでは英語、フランス語、スペイン語の3カ国語を同時に発売したいとか、ヨーロッパではさらに2カ国語をたして5カ国語を1枚のディスクに入れたいなどの要望を聞いた結果、ディスク容量を4.7 GBにすることで実現しているのである。音声は劇場映画で普通になってきた5チャンネルの圧縮音声を標準規格としたため、家庭でも劇場並みの立体音響が楽しめるようになった。

3. DVD-RAM, DVD-R

DVD-RAM, DVD-Rの規格についてはまだ詳細が公表されていないが、概要について表4と表5に示す。DVD-RAMは、相変化記録媒体を採用している。相変化的記録の原理を図4に示すが、Ge-Sb-Te等の3元合金を用い、この合金が500°Cぐらいまで温度を上昇させると融解し、急冷することによりアモルファス状態に固まる現象と、中間の温度ではアニール効果が出て、結晶状態になることを利用し、この2つの状態で反射率が異なることで情報の記録再生を行う。

つまり、温度を融点まで上げると、前の状態に関係な

表4 DVD-RAM 規格。

記録方式	相変化型
ディスク寸法	直径120 mm、厚さ0.6 mm 基板の貼合わせ
メモリー容量	2.6 GB以上(片面)/ 5.2 GB以上(両面)
セクターサイズ	2 kB
レーザー波長	635~680 nm
データレート	10 Mbps/秒以上

表5 DVD-R 規格。

ディスク径*	120 mm
ディスク厚*	0.6 mm×2
変調誤り訂正*	ROMと同じ
容量	3.9 ギガバイト
読み出しレーザー	635~685 nm
記録材料	染料タイプ
アドレッシング	ウォブリング
トラックピッチ	0.8 μm

*物理規格はROMと同じ

くアモルファス状態になり、温度をアニール温度にすると前の状態に関係なくアニール状態になるということで、すでに信号が記録されている部分に後から上書きできるという特徴がある。また信号の読み出しには反射率の違いを利用するが、10~20%の反射率の違いがあるために、比較的大きな信号振幅が得られる。また、従来の凸凹ピットによるROMの記録に比較しても、反射率の違いで信号を読み取るという原理は同じであり、光学系を同じにできるため、ROM/RAM共用のピックアップが作りやすい特徴がある。現在普及しているMO(光磁気記録)方式は名前のとおり磁気記録膜に対して光で書き込むもので、光は原理的には磁気記録の補助として使われる。本来が磁気記録であり、繰返し記録の信頼性は高いが、基本的に磁気記録と光記録の両方をもつ装置となり複雑になる欠点がある。また読み出しは、Kerr効果という垂直磁気膜に偏光された光が入射したとき、反射光の偏光角が1度程度回転するという効果を利用して検出するが、信号振幅が入射光の1%程度と非常に小さいため読み出しには特別の工夫と、ROMとのコンパチビリティのためには特別の光学系が必要で、ピックアップが複雑になる傾向がある。以上の点で今回は相変化が選ばれたが、容量については2.6 GBと、ROMの約半分の無理のない値に設定されている。DVD-Rは色素系の記録膜を使い、容量は3.9 GBである。色素系の記録膜は、スピンドル等で記録膜を塗布するために非常にコストを下げる特徴がありCD-R等でも用いられているが、もともと色素であるため、光を吸収して色の変

	PCR	MO
Write / Read	Amorphous Christal Anneal Melt & Cooling Low Reflectivity High Reflectivity	Kerr Rotation Erase Write
Configuration		
Head	Optical (Simple)	Optical and Magnet
Signal Detection	Reflectivity Change	Kerr Rotation

図4 相変化記録原理。

わることを利用しており、読み出しの際はレーザーの波長は特別の値に限定される。今回はレーザーとしては 635 nm から 690 nm 程度の範囲が予想されるため、このなかで読めるように記録膜の特性ができているが、RAM のように青色レーザーでも読み出すことはできない。

4. ビデオ規格とインタラクティブメディア

ビデオの規格には、図5の機能表に示すように、画面サイズの切替え (16:9, 4:3, レターボックス) 等の規格のほかに、マルチアングル、マルチストーリー等のビデオのストリーム切替えの機能が含まれており、また、サブピクチャーと組み合わせて、画面上で問題を出しうユーザーがボタンで選択するようなインタラクティブ機能も設けられている。この結果、インタラクティブ機能を利用して教育用ソフトや、さらに高度のインタラクティブゲームなどの応用も考えられる。このように、高画質、高音質だけでなくマルチメディア時代にふさわしいインタラクティブソフトの可能性も DVD 規格のなかに含まれていることが特徴である。マルチアングルでは、複数のストリームが並列に走ることになるが、これを途切れることなく再生する、シームレス再生も特徴のひとつである。

5. DVD の市場展望

DVD の市場については予測はさまざまであるが、AV 機器としてみた場合は過去の AV 機器の市場変化を



図5 DVD ビデオ規格。

参考にできる。これを図6に示した。過去に AV 商品では、白黒 TV, カラー TV, VTR と一時は AV 全体の売り上げの大部分を占めるような大型商品が登場した。しかし、90 年代は HDTV が期待されたにもかかわらず、まったく期待外れに終わっている。これは、NTSC が消費者にかなりの満足を与えているともいえ

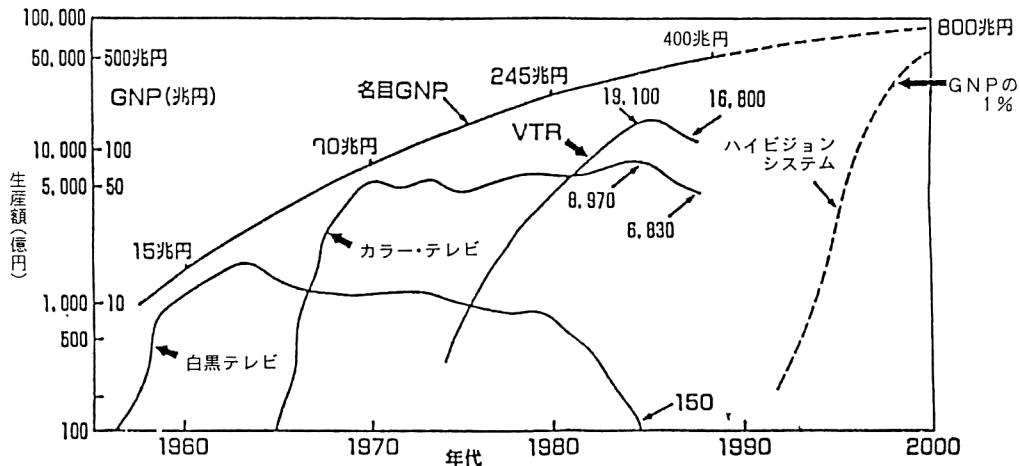


図6 AV機器市場の変化。

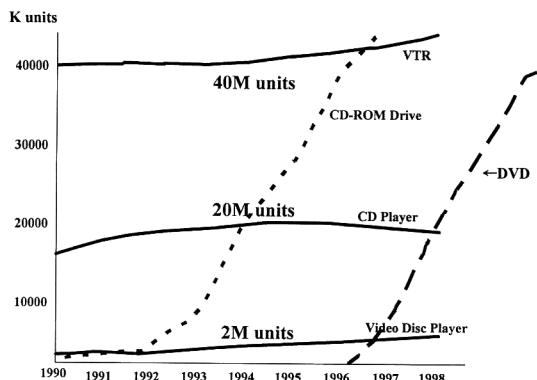


図7 CD-ROM市場。

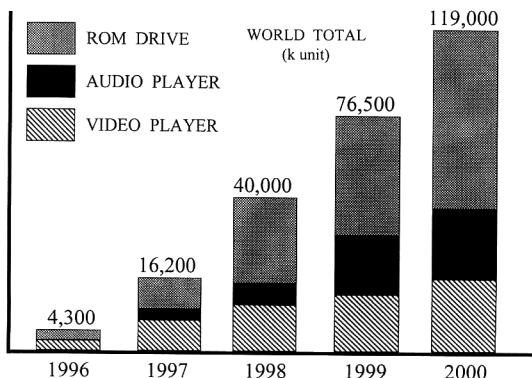


図8 DVD市場予測。

るが、魅力的な新商品の開発に失敗したともいえる。商品としてみた場合、いまだに50万円を切ったところでコストがなかなか下がらないことと、放送番組がなかなか

か増えないことがあげられるが、技術的には、コストが下がらないのはまだ要素技術的に無理があったともいえる。一方で、情報機器の分野の発展は目覚しく、パソコンが次世代大型商品の位置を占めているともいえる。

この環境に合わせて、コンピューターの周辺機器としてのCD-ROMの最近の発展は目覚しく、図7に示すように、90年代に入り急激な伸びを示している。DVD-ROMがこれを置き換えるとしてDVD-ROMの市場立ち上がり予測曲線を書き入れてある。このようなアナロジを参考にしてDVDの市場を予測すると、図8になる。この予想では、2000年には全体で1億台を超すDVD製品が世の中で生産されることを予測している。この際のDVDディスクの生産量については枚数はDVDドライブの累積台数に比例するが、累積台数は2億台を超すことから、1台あたり年間10枚としても20億枚という膨大な数字になる。このように、DVDは単なるAV記録媒体だけでなく、多くの応用が期待される。

6. 将来への期待

DVDはコンピューターとAVの融合したコンセプトで最初から作られた商品であり、マルチメディア社会の中でさまざまな応用が考えられる。この応用商品の発展を示したのが図9である。特に今回はファイルシステムを共通にして、記録可能なディスクを規格に取り入れているため、ROMとRAMが共通のファイルフォーマットをもっており、これによる両者の融合した応用がマルチメディア時代とあいまって有力になっている。また、将来は青色レーザーの実現によりHDTVの記録が可能

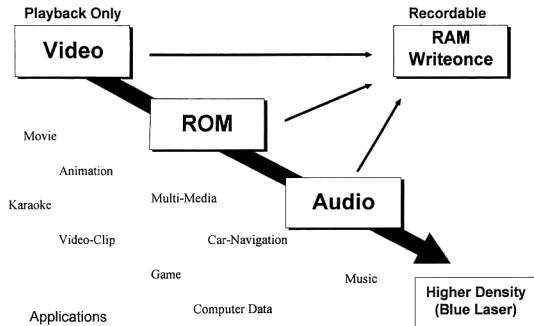


図9 DVDの世界。

表6 青、青緑色レーザー。

材料	波長(nm)	650 nm レーザーに対する容量比	現状
ZnSe 系	510	1.62	室温 101 時間発振
GaN 系	417	2.43	室温数十分間発振

となり、HDTV-DVDが実現されることが予測されると同時に、これを記録再生用等に応用すれば、さらに大容量のDVD-RAMも実現できることから、コンピューターの発展とあいまつた発展が期待できる。現在の報告されている青または青緑色レーザーとこれによる容量増加の比率を表6に示す。

HDTVは、画素数では、1920 * 1125であるのに対して、NTSCでは720 * 525であり、約5.7倍の情報量になる。しかし、画像の情報量は増えても、字幕等のほうは変わらない。またHDTVでは相対的に高周波成分が減るので、圧縮の効率が少しよくなり、実際のビットレートは、3~5倍といわれている。すると、ビデオのビットレートは、現在の標準である3.5Mbpsの約4

倍として14Mbps、その他を1Mbpsとすると、15Mbps程度がHDTVのビットレートになり、これに対して、ZnSe系のレーザーでは、理論的な波長短縮によるスポットサイズの縮小による効果は1.62倍で、7.61GBになりますまだ不足である。一方で、GaN系では2.43倍となり、容量は11.43GBで依然不足であるが、100分程度の記録は可能で、なんとかHDTV-DVDを実現できるレベルである。このため、GaN系のレーザーの実現がHDTVとしては望まれるところである。これが実現すると、12cmのディスクでHDTVが見られることになり、かつ、現在の映画の解像度はHDTVの約2倍であるが、すでに映画作りにコンピューターグラフィックスとHDTVが使われているように、見方によってはほぼ十分に映画並みの画質が再現されるようになる。

こうなればソフトも大量に出回ることから、長い間次世代AV機器の本命とされながら期待を裏切り続けてきたHDTVがやっと本物になると思われる。以上期待のきわめて大きい青色レーザーであるが、技術は着実に進歩しており、実用化も21世紀前にできそうな勢いである。登場前から応用がはっきりしており、市場も期待されることから、開発は加速傾向にあり、近来にない目標のはっきりした開発競争が繰り広げられている。このように光ディスクの技術はレーザーの開発に依存するところが大きく、またレーザーの開発により新しい世界の開拓が期待される。この意味では将来、応用面と技術面がかみ合ってますます新しい分野を開いてゆくことが予想され、ますます楽しみな技術であるといえる。

(1996年10月15日受理)