

DVD-R 2倍速記録技術

Recording technologies for 2X-speed DVD-R

堀川 邦彦, 城田 彰, 加藤 正浩

Kunihiko Horikawa, Akira Shiota, Masahiro Kato

村松 英治, 谷口 昭史

Eiji Muramatsu, Shoji Taniguchi

要旨 DVD-Forum公認の規格であるDVD-R for Generalは、標準速記録(1倍速記録: ユーザーデータレート 11.08Mbps、記録線速度3.49m/s)を前提に策定された。筆者らは、このDVD-R規格に準拠したディスクメディアで2倍速記録を実現するための記録技術検討を行った。

Summary DVD-R for General specifications were developed by DVD-Forum based on the recording technology with User data rate of 11.08Mbps and Reference recording velocity of 3.49m/s (1x-speed recording). We studied 2x-speed recording technologies using the DVD-R media conformed to by the current 1x-speed specifications.

キーワード: DVD-R for General 2倍速記録 熱干渉 ストラテジ最適化 ストラテジ補正

1. まえがき

1997年7月、当社より世界初のDVD-R記録ドライブが発売された。当初は主たる用途を、DVD-R for Authoring規格に基づいたDVD-ROMディスクの業務用オーサリングツールとして製品化された。その後、民生用DVD-R for General規格およびそれを用いた製品で民生用途の市場を切り拓き、今日に至っている。民生用途ではDVDビデオレコーダへの応用、およびコンピュータ周辺機器としてのDVD-R記録ドライブなどで商品展開を行っている。とりわけコンピュータ周辺機器用途では記録速度の高速化に対する要求が強く、それが商品の付加価値を左右する重要な要素となっている。現在、DVD-R for Generalのディスク規格では標準速記録のみをサポートしているが、当社から既に発売されているDVD-R/RW記録ドライブ

では2倍速記録をサポートしており、市場で高く評価されている。本稿ではこの2倍速記録技術の重要な要素に関して紹介する。

2. DVD-R for General規格

DVD-R for Generalディスク物理規格¹⁾の代表的なパラメータ値を表1に示す。標準記録線速度は3.49m/sに規定されており、その速度で記録再生した場合のユーザーデータ転送レートは1.08Mbpsである。また、標準記録速度における記録条件は記録パルスを含めて厳密に定義されている。DVD-R規格ではライトストラテジと呼ばれる記録レーザのマルチパルス変調が規定されており、記録条件を表2に、記録パルスの定義を図1に示す。これらの条件で記録されたディスクの特性はDVD-ROMディスクと再生互換が保たれるように各物理パラメータ値が規定されている²⁾。

3. 2倍速記録の概要

2倍速記録は 標準記録速度を前提として開発されたメディアに対する付加機能として開発された技術である。そのため、全てのメディアに対して2倍速記録できる訳ではなく、必要な条件を満たし、記録条件の最適化を行ったメディアにのみ2倍速記録が可能となる。

2倍速記録において標準速記録よりも厳しい条

件または異なる条件が必要と考えられる項目を以下にあげる。

(1)メディア:

機械特性,記録感度,耐熱干渉性

(2)記録ドライブ:

サーボ特性,レーザ出力,レーザ出射パルス形状 記録ストラテジ

2倍速記録では,メディアの面振れや偏芯加速

表1 DVD-R for Generalディスク物理規格の代表的なパラメータ値

Major items		Specifications
User data capacity/side (GB)	12cm disc	4.7
	8cm disc	1.46
Wavelength of LD (nm)	Recording	650
	Playback	650/635
Numerical aperture of objective lens		0.6
Data bit length (μm)		0.267
Channel bit length (μm)		0.133
Minimum pit length (μm)		0.400
Maximum pit length (μm)		1.866
Track pitch (μm)		0.74
Reference scanning velocity (m/s)		3.49
Channel bit rate at reference velocity (Mbps)		26.16
User data bit rate at reference velocity (Mbps)		11.08

表2 記録条件

Major items		specifications
Wavelength of laser diode		650 ± 10 ⁻⁵ nm
Polarization		circularly polarised
Numerical aperture		0.6 ± 0.01
Light intensity at the rim of the pupil	radial direction	0.40 min.
	tangential direction	0.50 min.
Wave front aberration after passing through an ideal substrate		0.033 λ rms max.
Relative intensity noise of LD		-130 dB/Hz max.

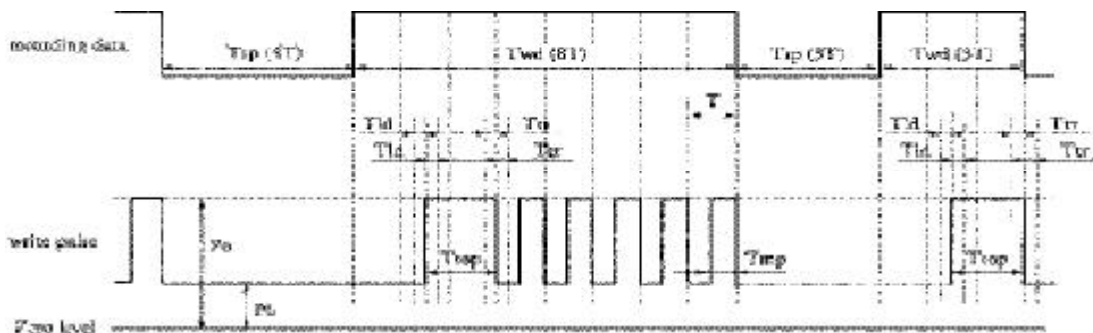


図1 標準記録の記録パルス定義

度が増加するので、サーボ特性の広帯域化が必要となる。また、記録パワーが1.5～1.7倍になるため、定格出力が70mWのレーザーダイオード(LD:Laser Diode)を採用している。記録ストラテジは標準速記録と同じマルチパルス変調を採用しているが、記録クロックの周波数が2倍になるため、ほぼ半分の時間幅のパルス列で記録を行うことになる。標準速記録と2倍速記録に対する記録ストラテジの例を図2に示す。

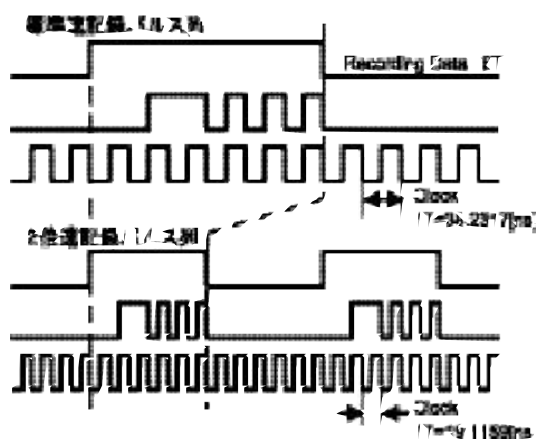


図2 記録ストラテジ例

4. 2倍速記録技術

4.1 バイアスパワーと熱干渉

標準速記録のバイアスパワー;P_t(図1参照)は、規格によって0.7mW以下と規定されているが、このバイアスパワーが変動した場合に最適記録ストラテジの変化と記録特性の劣化を引き起こす。

最適記録ストラテジの変化は、トップパルスとマルチパルス間 およびマルチパルス間のバイアスパワーレベルの変動により発生する。例えば、この部分のバイアスパワーが増加すると、マルチパルス幅が大きくなることと同じ効果があらわれ、記録特性が変化する。従って、記録特性を一定に保つためにはバイアスパワーを一定に保つことが必要となる。また、記録特性の劣化は記録マークに挟まれたスペース部のバイアスパワーが増加することにより発生する。この部分のバイアスパワーが増加すると本来記録を行わないマーク間の温度が上昇し、色素が熱分解を引き起こす。

その結果スペース部とマーク部の境界が変動し記録特性が劣化する。筆者らはこの現象を熱干渉と呼んでおり、熱干渉は最短スペースである3Tスペース部および最短マークである3Tマーク部に顕著に現れる。標準速記録時のスペース部の温度は、通常100～200℃であるが、バイアスパワーが増加すると約300℃を超え、熱干渉が発生する。図3にバイアスパワー0.7mW、および3.0mWの場合の記録再生波形を示す。バイアスパワー3.0mWの再生波形には熱干渉発生による波形の乱れが確認できる。熱干渉を発生させないためには、スペース部の温度が色素の分解温度以上に上昇しないようにバイアスパワーを制御することが必要となる。

2倍速記録は、記録パワーが標準速記録の1.5倍以上になる。そのため、記録マーク部からスペース部へ伝わる熱量は標準速記録時と比べて大きく、スペース部の温度上昇は大きい。通常、記録後HF信号のアシンメトリは記録パワーに比例して増加するが、熱干渉が発生するとこの比例関係が崩れる。図4に標準速記録時および2倍速記録時の記録パワー対アシンメトリのバイアスパワー依存特性を示す。図4より、標準速記録、2倍速記録共にバイアスパワーが高いものほど高パワーでのグラフの傾きが小さい。また、2倍速記録は記録パワーを増加させても標準速記録ほどアシンメトリが大きくなる。このように、バイアスパワーや記録速度が異なると記録パワーの増加に伴うアシンメトリの変化量が熱干渉の影響により異なる。

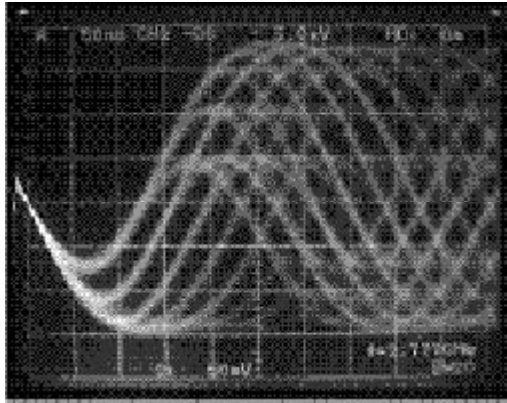
以上より、2倍速記録では標準速記録と比べて記録パワーが大きいため、バイアスパワーの変動による熱干渉の発生や記録特性の変化を抑制することが特に重要であることがわかった。なお、バイアスパワーレベルは記録時のプリアドレス取得能力にも関係するため、通常は規格値上限の0.7mWに保つことが望ましい。

4.2 2倍速記録ストラテジ

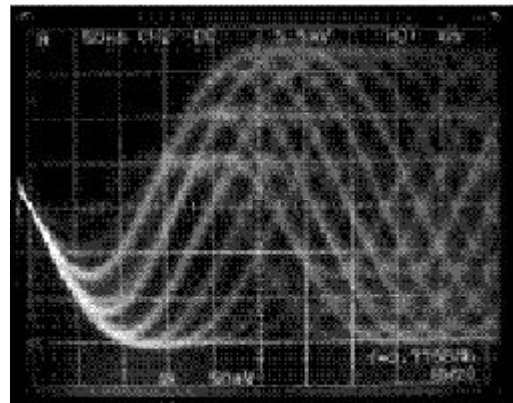
標準速記録では表3に示すように、ベーシックライトストラテジと呼ばれる3種類の基本的なス

ストラテジが規定されている。各メディアはこの3種類のベーシックライトストラテジのうち少なくとも1種類でジッタ値8%以下を満たさなければならない。しかし、標準速記録においてベーシックライトストラテジでジッタ値8%以下を満たす

メディアであっても、2倍速記録において同一のストラテジでジッタ値8%以下を満たすことは難しい。これは標準速記録と2倍速記録で最適なストラテジが異なるためである。標準速記録にベーシックライトストラテジType1を採用するメ

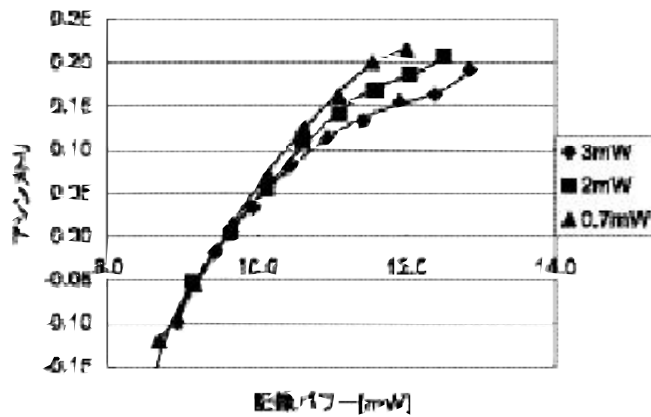


(a) バイアスパワー : 0.7mW

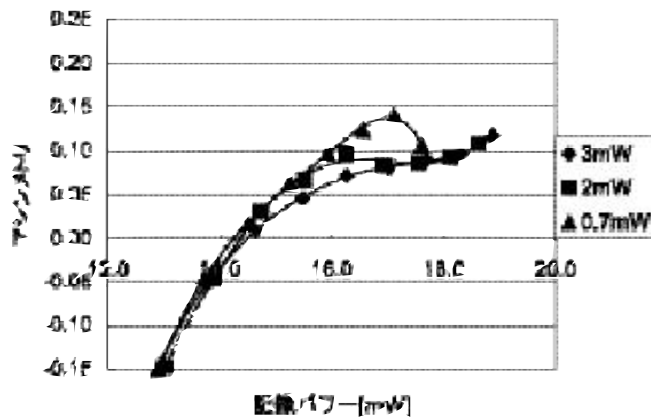


(b) バイアスパワー : 3.0mW

図3 バイアスパワーと熱干渉



(a) 標準速記録時



(b) 2倍速記録時

図4 記録パワー対アシンメトリのバイアスパワー依存特性

ディアにおける2倍速記録時の最適ストラテジを表4に示す。また、ベーシックライトストラテジ Type1で標準速記録したときの、および表4に示した記録ストラテジを用いて2倍速記録したときの各メディアのジッタ値を表5に示す。表4および表5より、

- (1)各メディアともに 標準速記録とのジッタ値の差は小さい。
- (2)2倍速記録では標準速記録と記録ストラテジが異なる。
- (3)記録ストラテジの変化量はメディアごとに異なる。

のことがわかった。

また、2倍速記録は最適記録パワーが大きいため、記録ストラテジの設定によって最適記録パワーを制御する必要が生じる場合がある。この制御はトップパルス幅とマルチパルス幅の比率を変えることにより行われる。トップパルス幅をマルチパルス幅より相対的に大きくすることで、最適記録パワーを減少させることが可能となる。この手法により、通常の最適記録パワーがピックアップの最大出力を超えるメディアであっても、記録ストラテジの設定のみで2倍速記録が可能となる。しかし、最適記録パワーを抑制するためにトップパルス幅を増加させるとスペース分の幅が狭くなるため、4.1章で述べた熱干渉が発生しやすくなる。最適記録パワーを制御するには、熱干渉の発生を十分考慮する必要がある。

以上のように2倍速記録では、記録特性や記録感度の観点から、メディアごとに最適な記録ストラテジを設定することが必要となる。

4.3 ストラテジ補正

記録に用いるレーザ変調パルスは、記録パルス信号に対応した電流値でLDを駆動することによって生成される。この駆動にはレーザドライバと呼ぶ回路を用いるが、LD自身が持つ固有の特性によってレーザ出射波形に影響を与える場合がある。一例として、図5に示すように、レーザ出射波形の立上りや立下り部分に大きなオーバーシュートやリングングを生じる場合をあげる。標準速記録と2

倍速記録でレーザ出射波形のオーバーシュートとリングングは同じであるが、パルス幅の時間は標準速記録に対して2倍速記録は半分である。従って、レーザ出射波形の乱れという観点では、2倍速記録の方がパルス幅に対して相対的に大きくなるので、記録再生信号品質(例えばジッタ値)に及ぼす影響も同様に大きいものとなる。

DVD-Rの技術開発や規格策定時においては、検討に用いる基準評価機のLDとレーザドライバのマッチングをとり、レーザ出射波形にオーバーシュート

表3 ベーシックライトストラテジ

	Type 1	Type 2	Type 3
2T Time (T)	1.25	1.67	1.25
4T Time (T)	1.50	1.50	1.15
5T~ P1ac (T)	1.52	1.52	1.15
Time (T)	0.85	0.95	0.90

表4 2倍速用ライトストラテジ

	media A	media B	media C
2T Time (T)	1.25	1.95	1.95
4T Time (T)	1.25	1.25	1.75
5T~ P1ac (T)	1.52	1.60	1.75
Time (T)	0.72	0.72	0.55

表5 ベーシックライトストラテジType1記録および2倍速記録特性

	media A	media B	media C
標準速記録ジッタ値 [%]	6.46	6.47	7.42
2倍速記録ジッタ値 [%]	6.56	6.73	7.13

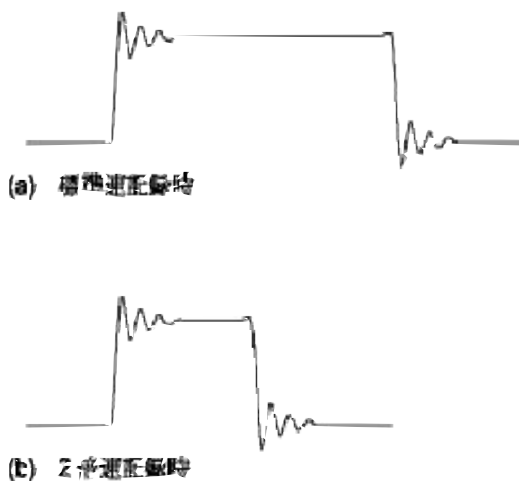


図5 記録レーザ出射波形の一例

やリングングが生じないように回路調整を行っている。一方、実際の製品である記録ドライブでは、レーザドライバとLD間の距離が長くなりやすく、またその部分にフレキシブルケーブルが使用されることもあるため、回路調整のみではレーザ出射波形の乱れを完全に除去できない場合が多い。そのような場合には、前述した基準評価機で設定した2倍速記録用ストラテジを用いても良好な記録再生ジッタ値が得られない。従って、記録ドライブのレーザ出射波形にオーバーシュートやリングングなどが存在する場合でも、2倍速記録時のジッタ劣化を防止する技術が必要となる。

そこで実験的にレーザ出射波形にオーバーシュートやリングングなどを生じさせ、それらの有無による記録特性の検討を行った。その結果、レーザ出射波形の形状に応じて記録パルス幅の補正を行うことで記録特性を改善できることが分かった。実際に、ある記録ドライブを用いてレーザ出射波形の形状に応じたパルス幅の補正を行い、その効果の確認を行った。一例として、このとき用いた補正前ストラテジと補正ストラテジの記録パルス幅データを表6に示す。また、基準評

価機での記録特性評価結果と記録ドライブでの補正前後のストラテジによる記録特性評価結果を表7に示す。表7より、補正ストラテジを用いることで、製品レベルのドライブにおいて基準評価機と同等のジッタ特性が得られることがわかる。また、補正前後で記録再生特性のジッタ値が2.4ポイントで改善していることがわかる。

以上の結果より、記録システムはレーザ出射形状により記録特性が変化するが、パルス幅の制御を行うことにより記録特性の変化を補正できることが明らかとなった。

5. 記録再生特性

前章ではいくつかの2倍速記録要素技術について説明したが、実際にそれらの技術を用いて記録を行ったディスクの評価結果を表8に、また再生信号波形を図6に示す。標準速記録の結果と比較してほぼ同等の信号品質であり、かつ規格値を十分に満たしている。

6. まとめ

本稿では、DVD-R for General 準拠ディスクへ

表6 補正前ストラテジと補正ストラテジの記録パルス幅データ

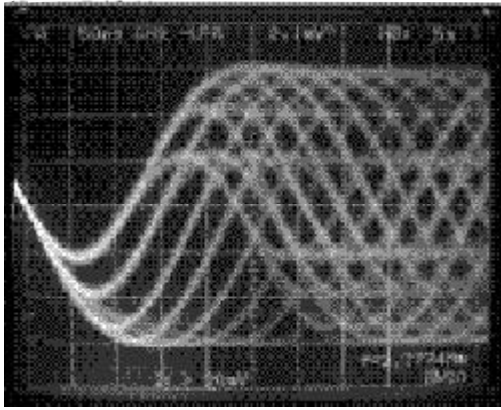
	3Tトップ	4Tトップ	5Tトップ	マルチパルス
補正前ストラテジ	1.80	1.75	1.75	0.70
補正ストラテジ	1.85	1.80	1.85	0.75

表7 補正前後のストラテジによる記録特性評価結果

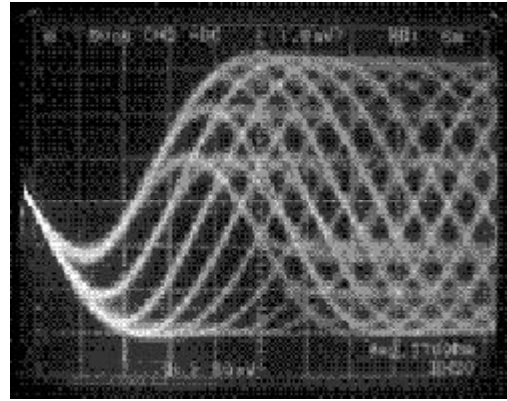
	ジッタ値 [%]
理想系基準評価機記録再生特性	6.70
補正前ストラテジ記録再生特性	9.25
補正ストラテジ記録再生特性	6.85

表8 2倍速記録評価結果

	Spec.	media A	media B	media C	media D	media E
Bottom jitter [%]	<0.8	0.58	0.73	0.72	0.75	0.69
nonlinear amplitude [%/100]	0.50min	0.701	0.776	0.726	0.706	0.710
linear amplitude [%/100]	0.15min	0.208	0.228	0.238	0.208	0.208
Signal asymmetry	0.05~0.15	0.027	0.032	0.013	0.050	0.045



(a) 標準速記録波形



(b) 2倍速記録波形

図6 標準速および2倍速記録再生波形

2倍速記録を行う際に必要不可欠な技術である

- ・記録時のバイアスレベル制御による熱干渉の抑制
- ・メディアごとの記録ストラテジ最適化

について述べた。さらにレーザ出射波形が理想的な矩形波と異なる場合は、ストラテジの補正を行う必要があることを述べた。

これらの技術を用いて2倍速記録を行ったディスクの再生特性は、標準速用に規定されているDVD-R for General フォーマットの各種スペックを十分に満足しており、記録後のDVD-Rディスクは再生専用ディスクとの高い物理的互換性を保存している。

現在では4倍速記録の技術開発が完了し、DVD-Forum公認の規格としてOptional Specifications 4X-SPEED DVD-Rが2002年8月に発行された。今後4倍速対応のDVD-Rドライブおよびメディアが製品化され、DVD-R/RWの市場拡大に寄与することを期待する。

7. 謝辞

本開発を進めるにあたり、協力をいただいた所沢工場コンポーネンツ第2 技術部の関係各位に感謝します。

参考文献

- (1)DVD Specifications for Recordable Disc
Part1 Version 2.0 for General

(2)谷口 井上 “DVD-R/RWフォーマット” オプト
ロニクス ,1999.9 No. 213

筆者

堀川 邦彦(ほりかわ くにひこ)

- a. AV開発センター光ディスクシステム開発部
- b. 1991年4月
- c. CDピックアップアクチュエータ開発相変化およびCD-Rディスク評価を経て、現在DVD-R/RWの記録技術開発規格化に従事

城田 彰(しろた あきら)

- a. AV開発センター光ディスクシステム開発部
- b. 1998年4月
- c. 入社以来、DVD-R/RWの記録技術開発に従事

加藤 正浩(かとう まさひろ)

- a. AV開発センター光ディスクシステム開発部
- b. 1989年4月
- c. 光ディスクや光磁気テープの要素技術およびシステム開発を経て、現在DVD-R/RWの記録技術開発に従事

村松 英治(むらまつ えいじ)

- a. AV開発センター光ディスクシステム開発部
- b. 1988年4月
- c. CDピックアップ開発設計、CD-Rディスクの評価、記録用ピックアップ開発を経て、現在DVD-R/RWの記録技術開発規格化に従事

谷口 昭史(たにぐち しょうじ)

- a. AV開発センター光ディスクシステム開発部
- b. 1985年4月
- c. 光ディスク関連の開発(追記型、光磁気相変化)を経て、現在DVD-R/RWの規格化業務に従事