

リムーバブル HDD の製品開発と国際標準化

齋藤 温*

Development of Removable HDD (Hard Disk Drive) and its International Standardization

Atsushi SAITOU*

1. 緒言

情報化社会において、データストレージは欠くことのできない社会インフラの地位を確立した。データストレージはその得失に拠って用途の棲み分けがなされており、様々な装置に適用されている。データストレージの一種である磁気ディスク装置（以下 HDD: Hard Disk Drive）は、記憶容量、データ転送速度、ビット単価、装置寸法などの評価指標によって、データストレージ階層の中核に位置している。世界初の HDD は、1957年に IBM 社が発表した⁽¹⁾。その後、HDD は、大容量化、小型軽量化と相俟って、メインフレーム、サーバ、PC (Personal Computer) を始めとして、2000年以降には録画用の機器、テレビなどの情報家電機器にも搭載されている^{(2)~(4)}。

昨今、クラウドが普及し、場所や時間を選ばずにユーザが所望するデータにアクセスできる環境が整った。一方、記憶データの実体が見え難いことや、著作権保護の観点から、ユーザの手元で管理運用するパーソナルデータストレージの需要も存在する。パーソナルデータストレージは、クラウドデータストレージとの対比から、ローカルデータストレージとも呼ばれる。フラッシュメモリ、光ディスク、磁気テープなどに代表されるパーソナルデータストレージは、ユーザがデータの実体（どのストレージに何のデータが記録されているか）を容易に把握できる。このため、物理的なセキュリティの確保や、著作権保護機能のストレージ単位の実装によって、不正なデータ複製が防止できる特長を持っている。

HDD が情報家電機器に搭載され始めた2000年当時は、HDD を手軽に持ち運ぶことができ、様々な機器で横断的に利用できる標準化された可換型のリムーバブル HDD は存在していなかった。筆者が製品開発を手掛けた iVDR (information Versatile Device for Removable usage) は、AV (Audio Visual) 用途から PC 用途に至るまでの幅広い分野で活用できる国際標準化されたリムーバブル HDD である⁽⁴⁾⁽⁵⁾。iVDR は、HDD を収納したカートリッジ形状を採用している。HDD の持つ大容量、高速データ転送、低ビット単価の特長を活かしつつ、デジタル放送録画用途にも適用可能とすべく著作権保護機能 (DRM: Digital Rights Management) が実装できるリムーバブル HDD である⁽⁶⁾。

iVDR は、2002年3月に設立した iVDR コンソーシアムで規格化

された。iVDR 対応の情報家電機器と ICT (Information Communication Technology) 機器との間で、全規格階層における互換性が保証されている。2005年に、iVDR に実装可能なデジタル放送録画用の著作権保護技術が、電波産業会 ARIB (Association of Radio Industries Business) で承認された⁽⁷⁾。この著作権保護技術は、SAFIA (Security Architecture For Intelligent Attachment device) と命名された。SAFIA を実装した iVDR を iVDR-S (Secure) と称する⁽⁸⁾。iVDR-S は、VTR (Video Tape Recorder) 用のテープと同様の使い勝手で、デジタル放送番組が録画できる。録画した機器に限定されずに、SAFIA 対応の機器間で相互に視聴できる。iVDR-S の物理仕様は、iVDR と共通である。本報では、特に断りの無い限り iVDR-S を含めて iVDR と称する。現行の iVDR の物理仕様は、2006年に iVDR コンソーシアムにより策定された。この iVDR の物理仕様であるハードウェア規格を、国際標準規格 ISO/IEC29171として、2009年11月に発行した⁽⁹⁾。

本報では、(1) iVDR のコンセプト、(2) iVDR 規格の策定経緯、(3) 耐衝撃性能の確保・向上施策・実機検証、(4) 国際標準化の経緯について述べる。iVDR の製品企画や標準化作業においては、技術経営工学 (MOT: Management Of Technology) の知見を活用した。品質機能展開 (QFD: Quality Function Deployment) 技法を用いた要求分析の結果に基づき、ユーザ視点から iVDR の寸法形状や互換性に関する検討を行った^{(10)~(12)}。また製品設計では、各種設計技法や CAE (Computer Aided Engineering) を活用し、設計効率の向上を図った。

2. iVDR 規格の概要

2.1 iVDR の開発コンセプト

図1に、iVDR の開発コンセプトを示す。iVDR は HDD を収納している。現在の HDD は、SATA (Serial Advanced Technology Attachment) インタフェースが主流である⁽¹³⁾⁽¹⁴⁾。HDD の寸法は、SFF (Small Form Factor) 規格で規定されている⁽¹⁵⁾。

可搬性 (Removability) と互換性 (Compatibility) は、iVDR コンソーシアム規格によって保証される。可搬性を保証するには、取扱いの不備や不慮の落下に耐え得る耐衝撃性能が必須である。約1mの高さからカーペット上に落としても、データの記録再生に障害が生じない耐衝撃性能 (衝撃加速度900G 以上) が仕様である⁽¹⁶⁾。

図2は、iVDR のカットモデルである。左の写真は、2.5型 HDD を収めた標準型 iVDR (Standard type)、右の写真は1.8型 HDD を収めたミニ型 iVDR (Mini type) である。双方共に SATA 信号規格に

*助教 電気電子情報工学科

Assistant Professor, Dept. of Electrical and Electronic Information Engineering

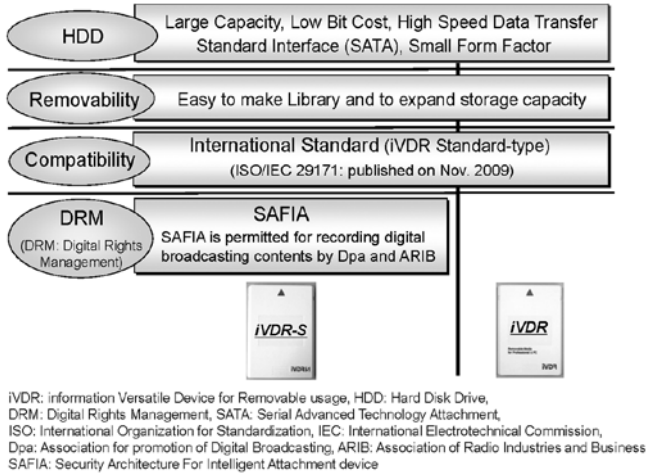


図1 iVDRの開発コンセプト

準拠した iVDR 専用コネクタを採用した。iVDR にはこれら2種類の規格に加えて、標準型よりも寸法を拡大し、さらに耐衝撃性能を高めた EX 型 (EX type) がある⁽¹⁷⁾。

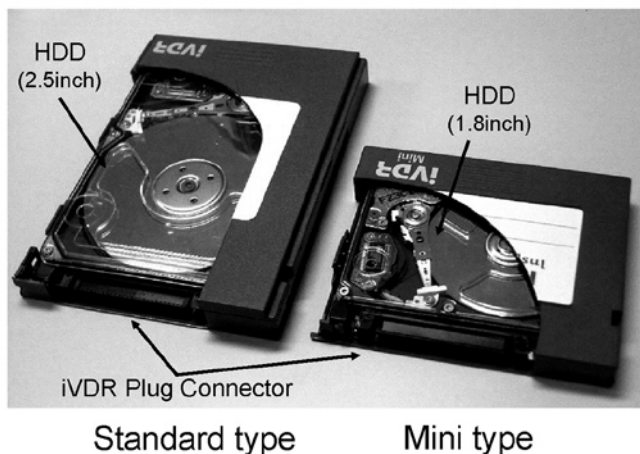


図2 iVDRのカットモデル

2.2 iVDR コンソーシアム設立当初の規格

iVDR コンソーシアム設立当時の HDD インタフェースは PATA (Parallel Advanced Technology Attachment) が主流であった。PATA はデータ信号を複数の信号線で伝送し、計40ピンのインタフェースコネクタを用いる。PATA のインタフェースコネクタは、多数回の挿抜は想定していない。このため、HDD の PATA プラグコネクタを PATA レセプタクルで一旦受けた後、ケーブルを介して iVDR 専用の計50ピンからなるプラグに接続する構成を採った。

iVDR コンソーシアムを設立した翌年の2003年に、PATA よりもピン数が少なく、且つ高速データ転送が可能な SATA インタフェースに対応した iVDR 規格を策定した。SATA インタフェースコネクタは計22ピンである。2003年当時、SATA 規格は普及黎明期にあったが、データ転送性能や将来性を鑑み、iVDR 規格への採用を決断した。

図3に、2003年当時の iVDR ハードウェア規格のラインアップを示す。2.5-inch PATA type は、長さ130mm、幅80mm、厚み12.7mm である。SATA 対応の iVDR 規格として、2.5-inch SATA type と1.8-

inch SATA type の2種類の規格を策定した。前者は、2.5-inch PATA type と幅と厚みを共通にし、長さのみ20mm 短い110mm とした。2.5-inch SATA type と1.8-inch SATA type は、HDD の SATA インタフェースコネクタを直接 iVDR コネクタとして用いていた。iVDR の底面からのコネクタ位置を両者共通にした。これにより、2.5-inch SATA type の iVDR 対応機器側にあるスロットに対し、双方の iVDR を挿入可能とした⁽¹³⁾。この形状互換性の詳細については後述する。

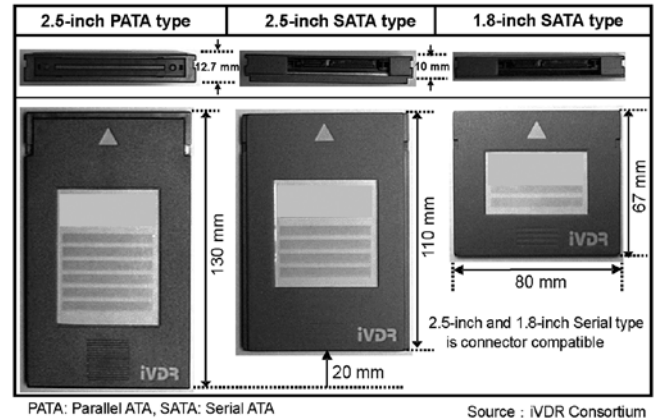


図3 2003年策定の iVDR 規格

SATA コネクタの挿抜回数は公称500回である⁽¹⁴⁾。様々な機器の間で横断的に利用するために、挿抜可能な回数のさらなる増加が求められた。VTR テープやゲームカートリッジの挿抜回数を参考にし、iVDR の挿抜回数の目標仕様を1万回に定めた。SATA 信号との互換性を維持しつつ、1万回の挿抜回数を保証するために、新たな iVDR 専用コネクタを開発した。

2.3 iVDR 専用の SATA 信号互換コネクタの開発

2.5-inch SATA type iVDR は、標準 SATA コネクタを直接 iVDR コネクタとして用いていた。2.5型 HDD の長さは100mm である。カートリッジの長さ110mm との差の10mm 内に収め、且つ1万回の挿抜回数に耐える iVDR コネクタが必要になった。HDD の SATA 信号を、ケーブルを介して iVDR コネクタに伝送する方式では、10mm 内に収めることは困難であった。また、SATA 信号の伝送特性の劣化も懸念された。そこで、図4に示した iVDR 専用コネクタを、新たに設計した。HDD からの SATA 信号を受ける SATA レセプタクル (To HDD plug connector) と、ホスト側の iVDR プラグ (To Host iVDR receptacle connector) が対面一体となる構造を採った。この一体構造のコネクタを HDD に装着することにより、SATA 信号の伝送特性の劣化を最小限に留め、且つ10mm 内に収容することを可能とした。

HDD 側の SATA コネクタは、データ信号を1番ピンから7番ピンまでの計7ピンで伝送する。1番、4番、7番の3ピンは接地 (Ground) である。データ信号は2番と3番、5番と6番のそれぞれが対となる差動信号として伝送する。iVDR コネクタのデータ信号ピンを SATA コネクタのピン配列に一致させた。2.5型 HDD は、+5V 単電源で動作する。標準 SATA コネクタは3.5型の HDD にも対応するため、+12V、+3.3V の電圧供給ピンが存在する。iVDR に収納する2.5型 HDD に特化し、+5V 単電源ピンのみを中継した。未使用となる+12V と+3.3V のピンは、iVDR の種類を判別するためのピンに割り

当てた。

iVDR専用コネクタはSATAより4ピン多い、計26ピン構成とした。コネクタのピンの先端を同一線上に揃え、機器挿入時の応力が特定のピンに集中しないよう配慮した。iVDR専用コネクタと機器側のiVDRレセプタクルの嵌合力と抜去力を、ピン間の接触電気抵抗を、標準SATAコネクタの仕様範囲内に調整した。さらに、コネクタハウジングの形状やピンのメッキ厚を最適化し、挿抜回数1万回に耐えるSATA互換のiVDR専用コネクタを開発した⁽¹⁸⁾。

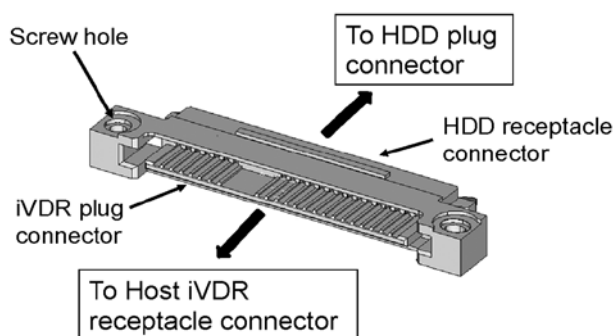
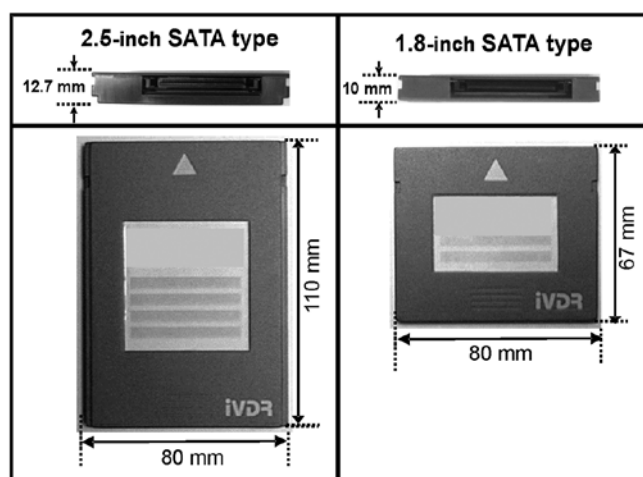


図4 iVDR専用コネクタ

図5に、2006年当時策定したiVDR専用コネクタを採用したiVDR規格を示す。2003年当時のSATA typeの外形寸法を継承した。また、収納するHDDのインタフェースがPATAからSATAへ移行したことを契機に、PATAのiVDR規格は抹消した。既述の図2に示した標準型iVDR (Standard type) とミニ型iVDR (Mini type) は、それぞれ2.5-inch SATA type と1.8-inch SATA type に相当する。



Source : iVDR Consortium

図5 2006年策定のiVDR規格（現行規格）

2008年には、上記の規格に加えて、放送局内での利用を想定したEX型の規格を追加した。EX型iVDRは、幅は標準型iVDRやミニ型iVDRと共通とし、厚みは18mm、長さは126mmにそれぞれ寸法拡大した。表1に、現行iVDRファミリーの主な仕様を示す。

2.4 iVDRファミリーにおける形状互換

図6に、ミニ型 (Mini type)、標準型 (Standard type)、およびEX型 (EX type) の3種類のiVDRを、コネクタ側から見た図を示す。

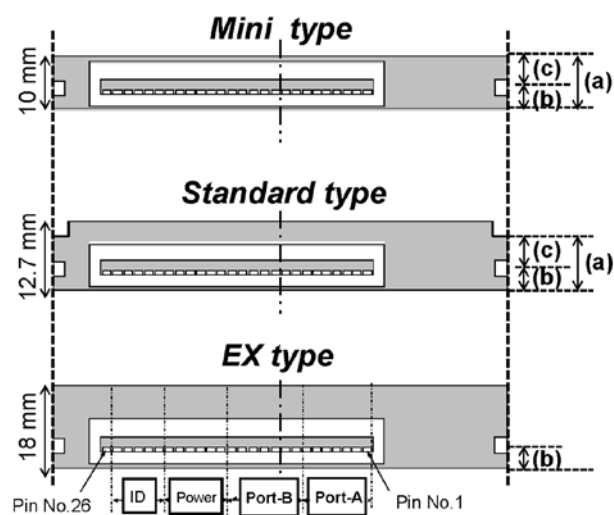
表1 現行iVDRファミリーの主な仕様

Type	EX type	Standard type	Mini type
Size	126×80×18 D/W/H mm	110×80×12.7 D/W/H mm	67×80×10 D/W/H mm
Shockproof Performance	900 G (Non-Operation mode)		
Connector	26 pin iVDR Special Connector		
Insertion Durability	10,000 Cycles		
Command set	ATA- 8 + Secure expansion (Option)		

Source : iVDR Consortium

横幅の80mmは3種類で全て共通とした。またiVDRカートリッジの側面に設けた機器挿入時に用いる案内溝までの、底面からの距離を共通とした。ミニ型の厚さ(a)は10mmで、標準型より2.7mmだけ薄い。標準型の底面から10mmまでの厚み(a)の範囲の横幅は、ミニ型と共通化した。これにより、機器側に標準型の受け入れスロットのある機器では、ミニ型も挿入することを可能とした。

底面から案内溝までの距離(b)と、iVDRの上面からの距離(c)の間には、敢えて差異を設けることによって、上下逆挿入を防止した。EX型を受け入れることができる機器は標準型とミニ型も、標準型を受け入れることができる機器はミニ型も挿入できる。例えば、EX型に対応した機器では、容量や性能の違いにより、全3種類のiVDRを使い分けることができる⁽¹⁹⁾。



Source : iVDR Consortium

図6 現行iVDRファミリーにおける形状互換

3. 耐衝撃性能の確保向上

3.1 衝撃解析のモデリング

本章では、リムーバブルHDDとして必須な耐衝撃性能の保証施策と実機検証について述べる⁽²⁰⁾。図7に衝撃解析モデルを示す。HDD周囲をダンパで囲み、カートリッジケースに収納する。モデルには、3つの観測点を設けた。中央のPoint-Bに、鉛直Z軸方向に加速度が加わる場合を想定した。各観測点で得られる加速度を、汎用解析ソフトANSYSの過渡応答解析により算出した⁽²¹⁾⁽²²⁾。なお、

HDD 業界の慣習に倣い、加速度の単位には G ($1G = 9.81m/sec^2$) を用いる。

表2に、HDD を構成する要素部品の特性を示す。HDD の設計で用いている計算要素数を参考にし、節点数143147点、四面体要素数77234個を選定した。HDD は、上部のカバー (Cover)、ベース (Base)、回路基板 (Circuit Card)、インタフェース (Interface) から構成される。表2に示したヤング率 (Young's modulus)、ポアソン比 (Poisson's ratio)、密度 (Density)、減衰率 (Damping rate) を用い、鉛直 Z 方向から最大値1000G で1msec 時間幅の半波正弦波を加えた場合に各 Point で観測される加速度を算出した。

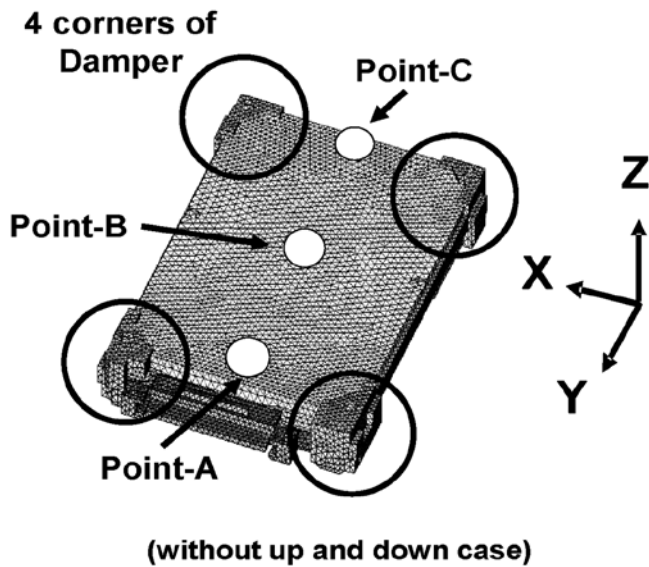


図7 衝撃解析モデル

表2 HDD 構成部品の機械特性

Material	Young's modulus (GPa)	Poisson's ratio	Density ($\times 10^{-6} \text{ kg/mm}^3$)	Damping rate (%)
Cover	4.51	0.3	1.3	50
Base	68.6		2.7	
Circuit Card	23.0		2.8	
Interface	11.3		1.73	

表3に、解析モデルに用いた数値と、固有振動数の計算結果を示す。HDD の構造設計に用いている ANSYS に上記の構成部品を組み入れ、1自由度の減衰振動を想定して行った。Model-A は、HDD と下部のケースとダンパで構成したモデルである。ダンパの減衰率は、一般的なゴムダンパを仮定し50%とした。Model-A の固有振動数は866.4Hz、減衰振動の周期は1.15msec であった。

Model-B と Mode-C は、Model-A に、上部のケースと iVDR 変換コネクタを追加した構成部品を全て含むモデルである。固有振動数は1182.5Hz、減衰振動の周期は0.846msec となり、部品追加による固有振動数の増加がみられた。そこで、Model-B の減衰率を Model-A と同一のままとし、ダンパの減衰率が変化した場合に HDD に加わる加速度を調査した。Model-C では減衰率を極端に小さくし1.0%とした。表2の材料特性を用いて HDD 単体の固有振動数を求めた結果、約800Hz であった。HDD 単体における耐衝撃性能は、非動作時において約1000G まで許容できる。そこで、カートリッジケースに HDD を収納した場合においても、固有振動数の増加を最小限に留めるカートリッジ構造を探索した。

3.2 衝撃応答スペクトルの適用

HDD に衝撃加速度が加わった場合の挙動解析には、衝撃応答スペクトル (以下 SRS: Shock Response Spectrum) が活用されている⁽²³⁾⁽²⁴⁾。SRS は JIS 規格における衝撃試験方法として提唱されている⁽²⁵⁾。対象とする物体 (試供体) が、様々な固有振動数を持つ質点で構成されていると仮定し、応答加速度の最大値を加速周波数に対して記述した結果が SRS である。一般的に数学モデルとして、パネマスダンパモデルが用いられている。図8(a)は最大値1000G で1msec 幅の半波正弦波状の加速度である。この加速度を HDD に加えた場合に得られた SRS を図8(b)に示す。

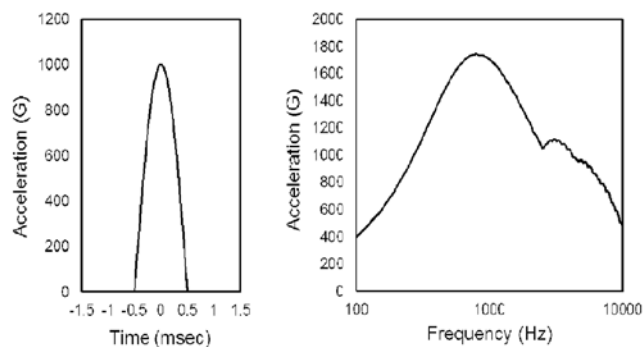
HDD 内の磁気ヘッドを支持するアームは、耐衝撃性能を支配する部品である。当該アームの固有振動数は、約1kHz である。iVDR に加わる加速度に含まれる1kHz 以上の高周波成分を減衰させることができれば、残留する低周波成分は、磁気ヘッドの位置制御サーボにより抑圧できる。これにより iVDR に収納されている HDD の耐衝撃性能を維持できる。すなわち、iVDR の筐体全体の固有振動数を低減させることが、耐衝撃性能の確保と向上に繋がる。

3.3 固有振動数低減のためのダンパ設計

固有振動数を低減させる施策は幾つかある。iVDR カートリッジの寸法形状を変えた場合は、iVDR 規格に対して大幅な変更が必要

表3 iVDR の解析パラメータと固有振動数

Model	Components	Input Acceleration		Young's Modulus (MPa)	Damping Rate (%)	Natural Frequency	
		Magnitude (G)	Duration (msec)			Frequency (Hz)	Period (msec)
A	(1) Damper (2) HDD (3) Down Case	1000	1.0 (Half Sine Wave)	15.0	50	866.4	1.15
B	(1) Damper (2) HDD (3) Down Case					1182.5	0.846
C	(4) Up Case (5) Connector				1.0		



(a) Input Acceleration (b) Shock Response Spectrum

図8 入力加速度とHDDの衝撃応答スペクトル

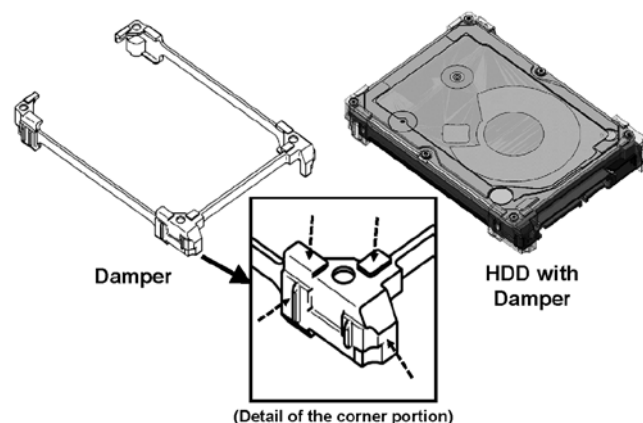


図9 iVDR用の新規設計ダンパ

となる。そもそも、iVDRの物理規格（寸法形状）は、ユーザ要求の分析結果を基にして、作り手側では無く、ユーザの視点に立って策定した規格である。そこで、iVDRの寸法形状を変更せずに、耐衝撃性能の確保向上を図る方策を検討した。着目したのはダンパである。カートリッジ内でHDDを支持するダンパ形状の工夫により、固有振動数を低減させる方策を探った。図7の3つの観測点において観測された加速度の挙動を基に、固有振動数低減に向けた設計指針を検討した。以下、ダンパ設計により、iVDR全体の固有振動数を低減する方策について述べる。

ダンパの固有振動数を下げるために、以下3つの方策を候補に挙げた。第1はダンパに減衰率の大きな材料を選定すること、第2はダンパ厚を増加させてダンパ体積を増加させること、第3はダンパとカートリッジ内壁との接触面積を減少させることである。

第1の方策は、iVDRの外部から加わった衝撃加速度により、ダンパの柔軟性が悪影響を及ぼし、HDDを平衡位置に留めることが出来ずに、HDDがカートリッジ内壁に接触する可能性がある。さらにHDD自身が発生する自己振動の増大も危惧される。第2の方策は、HDDとカートリッジの寸法形状が規定されていることから、ダンパの厚みがカートリッジの内寸法に制限される。以上から、第3の方策を採用した。

図9に、新規設計のダンパとHDDへの実装図を示す。図9の左図に示すように、ダンパの4隅でHDDを支持し、カートリッジの内壁に接触させ支持する構造を採った。4隅を独立させたダンパでも同様の効果が期待できる。しかしながら、部品点数の増加に伴う管理・作業工数の増加や特性変動を考慮し、4隅のダンパを同一材料で結合させ一体構造とした。さらに1辺を開放してコの字型とし、HDDへの装着作業を容易にするともに誤装着を防止した。

図9の右図に、HDDにダンパを実装した図を示す。ダンパとカートリッジ内壁との接触面に図9の中央拡大図に示した段差を設け、接触面積を低減させ、固有振動数のさらなる低減を図った。このダンパを用いて、Model-Bと同様の解析を行った。ダンパ効果を考慮しない場合の約1.2kHzの固有振動数に対して、HDD単体の固有振動数近傍に相当する800Hz付近にまで、iVDR全体の固有振動数を低減できた。次節では、耐衝撃仕様を定めたコンソーシアム規格と実機検証について詳述する。

3.4 iVDRの衝撃耐性仕様と障害発生確率

図10にiVDRの床面落下時のエネルギー関係図を示す。図10(a)に、それぞれ高さ h_1 と h_2 からiVDRを落下した状態を示す。高さ h_1 のiVDRが持つ位置エネルギー mgh_1 は、床面に落下した瞬間に運動エネルギー $mv_1^2/2$ に変換される。ここで、 m は重力加速度、 v_1 は床面への衝突速度である。図10(a-2)も同様である。

図10(b)に、iVDRが床面に衝突した瞬間のエネルギー分配を示す。図10(b-1)において、運動エネルギーは床面からの反発エネルギー Er_1 と、床面の吸収エネルギー Ea_1 に分配される。高さ h_2 から落下した場合も同様であり、図10(b-2)に示した。図10では、床面が同一材質の場合を想定している。高さ h_1 から落下する場合の床面の材質と、高さ h_2 から落下する場合の床面の材質が異なる場合でも、同様のエネルギー関係が成立する。

異なる高さから異なる材質の床面に落下した場合について考える。高さ h_1 から材質Aの床面に落下委した場合にiVDRが受けるエネルギー Er_1 と、高さ h_2 から材質Bの床面に落下した場合にiVDRが受けるエネルギー Er_2 が等しいとすれば、双方の落下条件下で、iVDRに加わる衝撃力は等価と考えられる。

iVDRコンソーシアム規格における落下耐性の評価条件を選定するに当たり、同様の考え方をを用いた。図11に、iVDRコンソーシアム

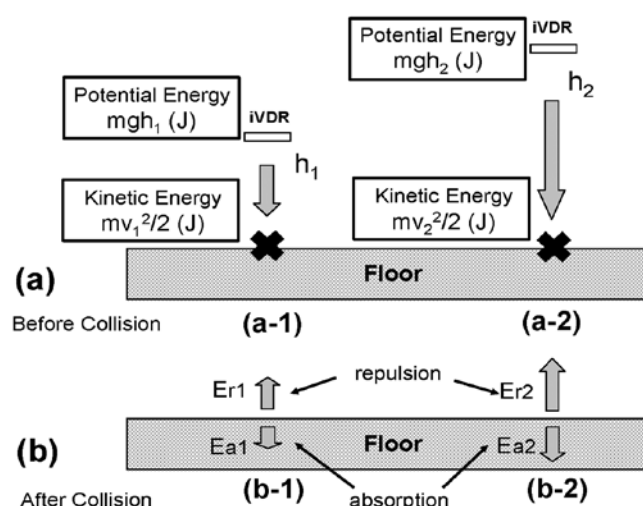


図10 iVDRの自由落下モデル

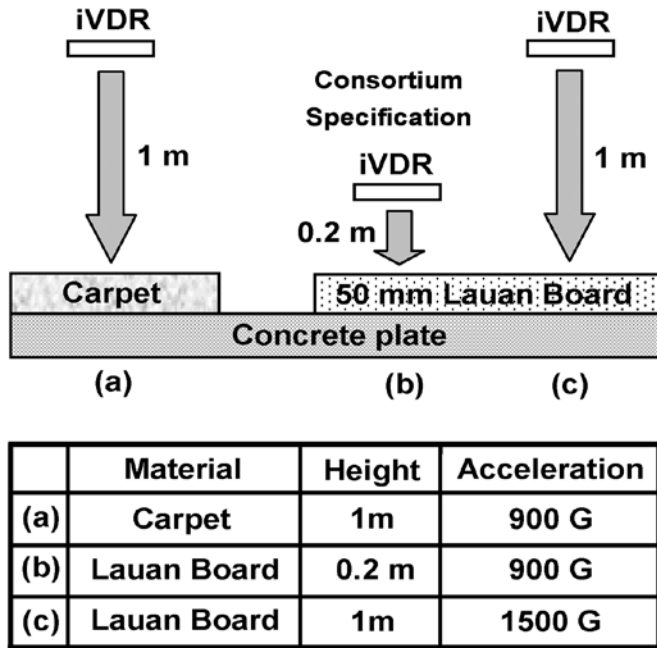


図11 落下耐性の仕様と評価条件

ムで設定した落下耐性の仕様と評価条件を示す。図11(a)に示したように、iVDRをカーペット上の高さ1mから自由落下させた後に、データの記録再生に支障無きことを、落下耐性の目標とした。落下試験の実測値から、iVDR内のHDDが受ける加速度の最大値は約900Gであった。

カーペット上への落下は、日常起こり得る状況としては分かり易い。しかしながら、各種素材のカーペットを想定して測定条件を一律に定めることは困難である。そこで、MIL規格に準じて、50mm厚のラワン板を落下面とした場合に、900Gの加速度を受ける落下開始高さを実機により測定した⁽²⁶⁾。iVDRに加速度センサを取り付けて落下実験を行った。図11(b)に示したように、カーペット上の高さ1mからの自由落下でHDDが受ける最大加速度は、ラワン板上の高さ0.2mからの落下で受ける最大加速度と概ね同等であることを実験により求め、iVDRコンソーシアムの落下耐性の仕様とした。

障害発生確率を予測するために、ラワン板上の落下開始高さを0.2mから増加させていき、データの記録再生に障害が発生し出す高さを求めた。計36個の試作iVDRを落下させ、ラワン板上の高さ0.2mからの落下では障害無しであった。落下開始高さを増加させ、高さ1mから落下させた場合に障害が発生した。このときHDDに加わった最大加速度は、約1500Gであった。落下させた36個の内、2個のiVDRに障害が発生した。障害発生確率は、5.6%に相当する。

衝撃加速度は、物体がある速度で衝突し、速度が零になるまでの時間微分に相当する。この衝撃加速度と質量との積は衝撃力とも呼ばれる。物体への衝撃の影響は、この衝撃力の時間積分に相当する力積、ないしは運動量によって把握できる。ある高さのiVDRが持つ位置エネルギーは、ラワン板上に衝突した瞬間に運動エネルギーに変換される。ラワン板上に衝突した瞬間の速度は、エネルギー保存則より、落下高さの平方根に比例する。2つの異なる高さから落下させた場合の両者間の加速係数比は、衝突した瞬間の速度比、す

表4 落下耐性の仕様に対する障害発生確率の推定手順

Steps	Procedure	Result	
		Item	Value
Step 1	Free drop from 0.2 (m) height	Experimental Failure Rate	0 (%)
Step 2	Free drop from 1.0 (m) height	(1) Experimental Failure Rate	5.6 (%)
		(2) Standard Deviation (σ_1)	1.59
Step 3	Prediction of 0.2 (m) Free drop Failure Rate	(1) Acceleration Factor	2.23
		(2) Predicted Standard Deviation (σ_2)	3.55
		(3) Predicted Failure Rate	0.0193 (%)

なわち落下高さの比の平方根で与えられる。この加速係数比を用いて、落下実験結果から障害発生確率を推定する方法を考案した。

表4に、障害発生確率の推定手順を示す。Step 1は、高さ0.2mから落下させた場合を示した。このとき障害は発生していない。Step 2は、高さ1mから落下させた場合であり、障害発生確率は5.6%であった。確率分布が正規分布に従うものと仮定すれば、標準偏差(σ_1)は1.59と求まる。表3のStep 3は、Step 2の結果から、高さ0.2mからの落下における障害発生確率を求める手順である。

落下高さの比(1/0.2)の平方根2.23を加速係数比として用いた。標準偏差(σ_1)1.59の2.23倍が、高さ0.2mからの落下における障害発生確率の標準偏差(σ_2)を与えるものと考え、これを3.55と推定した。標準偏差(σ_2)3.55を用いることにより、障害発生確率を0.0193%、すなわち193ppmと推定した。

図9に示したダンパを採用したiVDR製品の市場における障害発生確率を調査した。2007年から2013年まで約150万台の累計出荷台数において、約300ppmの実績値が得られた。障害解析の分析結果から、取り扱いに起因した障害が大半を占めていたことが判明した。この実績値は、加速係数比から推定した障害発生確率と同等のオーダーであることが検証された。

3.5 落下試験と衝突時の加速度測定

前節で述べた実機での落下試験は、図12の落下試験機(神栄テストマシナリー(株)製DT-202)を用いて行った⁽²⁷⁾。図中の白丸で囲った部分にiVDRを装着する。iVDRは電磁石付きの対向する支持具で挟まれている。床面に衝突する直前に、電磁石への電源供給を切り、iVDRのみを床面に衝突させる。これにより、iVDRの姿勢を維持したまま、衝突時の加速度が測定できる。

図13は、1mの高さから50mm厚ラワン板の床面に落下させた場合の床面衝突時に得られた加速度波形の一例である。この例では、床面衝突時の加速度の最大値は約1800G、持続時間幅は約1msecであった。この最大加速度は、図8(b)に示したSRSの最大値と概ね同値である。したがって、iVDRには図8(a)と類似形状の加速度波形が加わったものと推察される。また、iVDRの質量は約0.1kgであることから、高さ1mから床面に落下した瞬間の初速は、約4.4m/secに相当する。

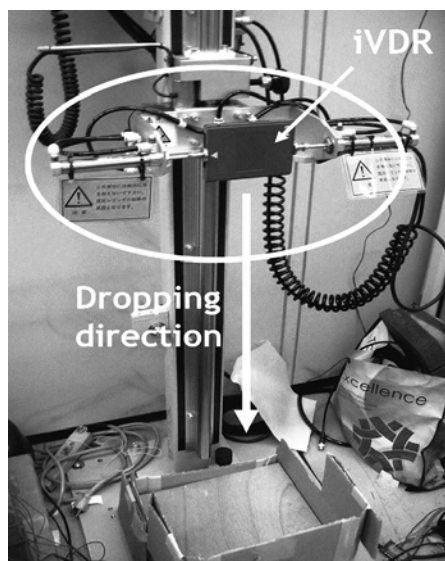


図12 落下試験機

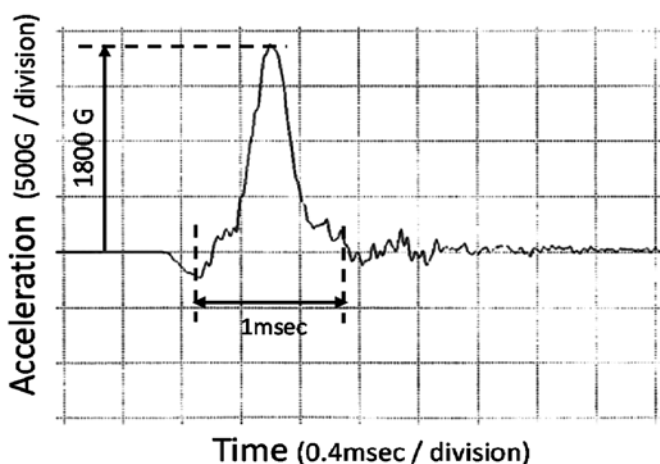
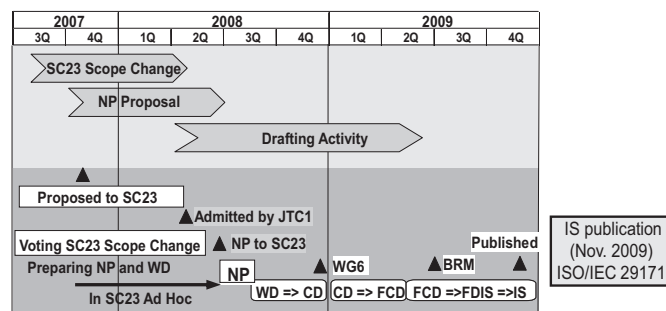


図13 落下試験で得られた加速度波形の一例

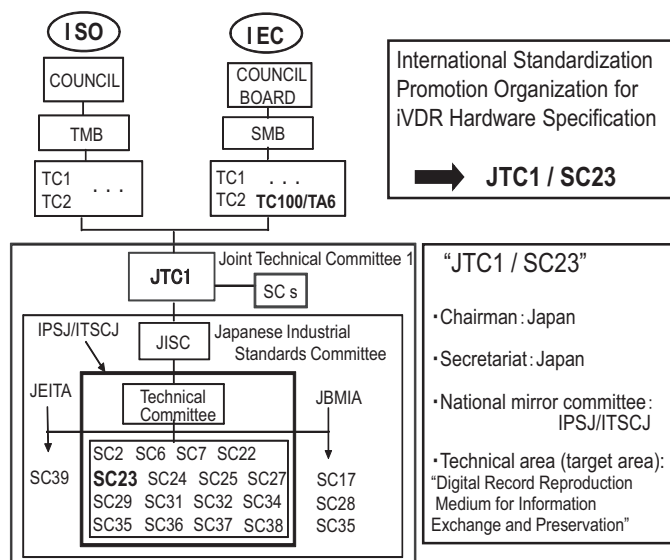


Action Steps	Scope Change	NP	WD	CD	FCD	FDIS	IS
	Preparing	Proposing	Working	Committee Deliberations	Reference	Approval	Publish

JTC 1: Joint Technical Committee 1, SC: Sub Committee, WG: Working Group, NP: New work item Proposal, WD: Working Draft, CD: Committee Draft, FCD: Final Committee Draft, FDIS: Final Draft International Standard, IS: International Standard, BRM: Ballot Resolution Meeting

Source and Reference: The Outline of IEC Business - 2012 edition -

図14 iVDR ハードウェア規格の国際標準化の経緯



TMB: Technical Management Board. SMB: Standardization Management Board
 JBMA: Japan Business Machine and Information System Industries Association
 JEITA: Japan Electronics and Information Technology Industries Association
 IPSJ: Information Processing Society of Japan, ITSCJ: Information Technology Standards Commission of Japan

Source: The Outline of IEC Business - 2012 edition -

図15 国際標準化の推進組織

4. iVDR ハードウェア規格の国際標準化

現在、3種類の iVDR ハードウェア規格が存在する。最も普及している標準型 iVDR のハードウェア規格を、2009年11月に国際標準規格として発行した。以下、国際標準化の経緯について述べる。

iVDR のハードウェア規格を国際標準規格にする目的は、(1)国際調達の環境変化への対応、(2)ビジネス戦略としての活用である。(1)は、1995年に発行された WTO/TBT (World Trade Organization/agreement on Technical Barriers to Trade) 協定に基づく⁽²⁸⁾⁽²⁹⁾。2001年に中国もこの協定に参画し、政府調達に国際標準規格品を優先して採用する方針を表明している。(2)は、国際標準規格として開示し、参画企業の増加、部品調達コストの低減、独禁法のリスク低減を図ることが狙いである。

国際標準化の経緯を図14に示す。標準化作業は、2007年9月に開始した。図15に、国際標準化の推進組織を示す⁽³⁰⁾。以下の2組織を、国際標準化の推進組織の候補に挙げた。一つ目の候補は、IEC/TC100/TA6 (International Electrotechnical Commission/Technical Committee 100/Technical Area 6) であった。二つ目の候補は、ISO/IEC/JTC1/SC23 (International Organization for Standardization/IEC/Joint

Technical Committee 1/Sub Committee 23) であった。

前者の TA6は、ストレージメディア・データ構造と関連装置の標準化を担当する組織である。データフォーマットやアプリケーション規格の標準化を推進している。後者の SC23は、光ディスクにおける情報交換のためのデジタル記憶メディアおよびファイルフォーマットに関する標準化を担当する組織である。国際標準化の対象とした iVDR ハードウェア規格は、カートリッジの寸法形状やインターフェースの物理仕様を対象としている。SC23は、光ディスク用のカートリッジ規格の標準化も手掛けており、議長国と監事国がともに日本であることなどから、iVDR ハードウェア規格の国際標準化の推進組織として選定した。図15の右側に SC23の諸元を記した。

国際標準化作業において、2007年10月に SC23 に対して、iVDR の国際標準化を提案した。2007年当時の SC23 には、国際標準化の対象スコープに HDD は含まれていなかった。2007年7月時点の委員会報告は、SC23 のスコープが「情報交換用デジタル記録媒体（光記録方式の媒体およびハードディスクを除く磁気記録方式の媒体）および光ディスク用ファイルフォーマットの標準化等を担当する」と記載されていた。対象スコープに HDD を含める変更は、2008年2月に SC23 で承認され、同年4月に上位組織の JTC1 で承認された。“ハードディスクを除く”の部分を削除する改定提案は、JTC1 での60日間の投票期間を経て、2008年4月に承認された。

国際標準化の制定までは、(1) NP (New work item Proposal), (2) WD (Working Draft), (3) CD (Committee Draft), (4) FCD (Final CD), (5) FDIS (Final Draft International Standard), (6) IS (International Standard) のプロセスを経る。SC23 のスコープ改定の承認後、2008年6月に NP と WD を同時に提案した。2008年10月に、国際 SC23 の NP 承認を受けて、プロジェクト番号の 29171 が割り当てられた。iVDR の国際標準化では、すでに iVDR コンソーシアムで開発した規格書を基に、WD の完成度を向上させた。それにより、WD から直接 FCD を作成し、FDIS の承認手順を省略することができた。

NP として認可されるためには、SC23 の当時のプライマリメンバー 8ヶ国のうち、最低5ヶ国が賛同し、かつ国際標準化作業へ貢献することが条件であった。WD 制定の作業と並行して、各国の代表者に対して、iVDR のコンセプトを理解して頂く活動を進めた。最終的に、日本、中国、韓国、米国、オランダ（順不同）の5ヶ国が賛同し、2008年9月に NP が承認された。その後、2008年12月に開催された SC23 総会において、CD 登録と、FCD 登録を完了した。2009年6月に FCD を完成し、7月に FDIS 登録まで完了した。FDIS に対する投票を8月に開始し、BRM (Ballot Resolution Meeting) を行い、10月に FDIS が承認された。翌月の11月に、iVDR の国際標準規格 ISO/IEC29171 が発行された。

一般的に、NP 提案から FDIS 承認までは3年程度かかる。iVDR の国際標準化は、約2年で発行まで至った。人脈の有効活用や、2007年春からの iVDR 関連製品の市場投入実績が認められたこと、iVDR コンソーシアムで既にハードウェア規格を策定済であったことなどが、短期間で国際標準化を成し得た要因と考える。

5. 結言

本報では、データストレージの中核をなす HDD を可搬型とするリムーバブル HDD の製品設計と標準化について述べた。2000年当時は HDD の衝撃耐性は不十分であり、HDD を持ち運ぶことはタブーであった。また、光ディスクと差別化できる記憶容量まで達していなかった。しかしながら、高速データ転送や内蔵 CPU (Central Processing Unit) による堅固で柔軟な著作権保護技術の実現可能性などの多くの長を高く評価し、可搬型 HDD とするコンセプトを堅持した。HDD は「衝撃に弱く持ち運びは無謀」というタブーを打破すべく、iVDR の製品開発と標準化に挑戦した。

iVDR の製品開発と標準化に際し、技術経営工学の知見を活用した。ユーザの要求事項を収集分析し、周辺技術の動向や将来有望な技術の萌芽も見据えながら、要素技術の選定を行った。ユーザの使い勝手を優先すべく、必要最小限の寸法形状を規格として採用した

ことや、2006年当時は黎明期にあった SATA インタフェースを先行して採用したことは、技術経営工学の知見活用の一環である。

当初懸念された耐衝撃性能については、iVDR 専用に新規設計したダンパを採用した。iVDR 規格で制定された寸法形状を一切変更することなく固有振動数を低減し、実用上支障の無い耐衝撃性能を実現した。また、各種の設計技法や CAE を活用により、試作工数の増加を抑え、目標仕様達成に向けた具現化方法を選定した。

2002年に設立した iVDR コンソーシアムで規格化と普及促進を行った。会員企業との連携の下、2007年春に世界初となる著作権保護機能を実装したリムーバブル HDD (iVDR-S) を製品化した。同年9月にハードウェア規格の国際標準化作業を開始し、約2年後の2009年11月に国際標準規格 ISO/IEC29171 を発行するに至った。iVDR の国際標準化活動は、コンソーシアム設立の趣旨である「AV から PC までの様々な機器で横断的に活用できるブリッジメディア」を世界に発信する絶好の機会になったと言える⁽³¹⁾⁽³²⁾。

謝辞

本報は、前職勤務先の(株)日立製作所、(株)日立グローバルストレージテクノロジーズ、(株) HGST ジャパンで行った研究開発の内容を纏めたものである。研究開発を進めるにあたり、元(株) HGST ジャパン新事業推進本部本部長（現在(有)日本 HDD 協会会長、(一社) iVDR コンソーシアム理事長）の釘屋文雄博士、国立大学法人山形大学大学院理工学研究科の兒玉直樹教授、元(一社) iVDR コンソーシアム理事長（現在同社会長）の日置敏昭博士、加えて多くの皆様の御指導と御協力、およびデータの御提供に対し、ここに深謝致します。

参考文献

- (1) M. L. Lesser and J. W. Haanstra, The Random Access Memory Accounting Machine, IBM, Journal Research Development, 62-71 (1957).
- (2) 高松久司, 田中真由美, 島田朗伸, 情報処理システムを支えるストレージシステムの技術と利用動向, 日立評論, 76, 130-134 (1994).
- (3) 斎藤温, HDD のコンシューマ市場展開と技術課題, 日本 HDD 協会セミナー招待講演 (2003年7月18日開催), 講演番号6, (2003).
- (4) 斎藤温, 西田博, コンシューマ向け HDD のトレンドとそれを支える技術, 日立評論, 88, 243-246 (2006).
- (5) F. Kugiya, H. Nishida, A. Saitou and N. Kodama, iVDR business perspective, Journal of Magnetism and Magnetic Materials, 320, 2894-2899 (2008).
- (6) 稲垣幸秀, 岡本宏夫, 助田裕史, 平井達哉, 新しいコンテンツアクセスを可能にする S-iVDR, 日立評論, 88, 255-258 (2006).
- (7) 電波産業会報告 (ARIB), Technical Report in the Field of Broadcasting, http://www.arib.or.jp/english/html/overview/rb_ej.html, (2006).
- (8) SAFIA ライセンスグループ報告, iVDR に対応したコンテンツ保護技術 (SAFIA) ライセンスグループの設立, <http://www.safia-lb.com/doc/zip/SAFIA-P.zip> (2005).
- (9) ISO/IEC 29171: 2009, Information technology — Digitally recorded media for information interchange and storage — Information Versatile Disk for Removable usage (iVDR) cartridge, (2009).

- (10) 赤尾洋二, 品質機能展開活用マニュアル1, 品質展開入門, 日科技連, ISBN4-8171-0527-8, (2005).
- (11) 大藤正, 小野道照, 赤尾洋二, 品質機能展開活用マニュアル2, 品質展開法(1), 日科技連, ISBN4-8171-0528-6, (2005).
- (12) 大藤正, 小野道照, 赤尾洋二, 品質機能展開活用マニュアル3, 品質展開法(2), 日科技連, ISBN4-8171-0529-4, (2005).
- (13) Serial ATA Revision 2.6, Serial ATA Organization, Feb.15, (2007).
- (14) ISO/IEC 24739-3, 2010/Coe 1: 2003, Information Technology – AT Attachment with Packet Interface – 7, (2011).
- (15) SFF Committee, SFF 8201 Specification for Form Factor of 2.5” Disk Drives, Rev.2.4, May 30, (2005).
- (16) 一般社団法人 iVDR コンソーシアム, 規格概要 (Standard type), http://www.ivdr.org/jp/business/standard/pdf/iVDR-Outline-HWSpec-25SATA-BasedVer2.20E_110706.pdf, (2011) .
- (17) 一般社団法人 iVDR コンソーシアム, 規格概要 (EX type), http://www.ivdr.org/jp/business/standard/pdf/iVDR-Outline-HWSpec-EX_Based_Ver1.30E_110704.pdf, (2011) .
- (18) 斎藤温, 富川忠昭, 釘屋文雄, 兒玉直樹, iVDR 用インタフェースコネクタの設計と検証, 設計工学, 49(10), 535-542 (2014).
- (19) 斎藤温, 釘屋文雄, 兒玉直樹, iVDR ハードウェア技術規格の開発と国際標準化, 日本磁気学会, 10(5), 247-253 (2015).
- (20) 斎藤温, 富川忠昭, 釘屋文雄, 兒玉直樹, iVDR カートリッジにおける耐衝撃モデルと設計検証, 設計工学, 50(6), 50-57 (2015).
- (21) サイバネットシステム(株)発行, ANSYS 動解析セミナー (解説書), DN-0273_TG0502 : 1105, (2011).
- (22) サイバネットシステム(株)発行, ANSYS 動解析セミナー (解説書), DN-0268_TG0502 : 1105, (2011).
- (23) 奥山淳, 小林正人, 堀口孝雄, 宍田和久, 衝撃応答スペクトル解析に基づく磁気ディスク装置のシーク目標軌道設計手法, 電気学会, 論文誌 D, 産業部門誌, 124(1), 116-123 (2004).
- (24) 奥山淳, 堀口孝雄, 宍田和久, Shock-Response Spectrum 解析に基づく磁気ディスクのセトリング残留振動低減, 電気学会, 産業制御研究会, 85, 29-34 (2002).
- (25) 環境試験方法—電気・電子—第2-81部, 衝撃応答スペクトル合成による衝撃試験方法, JIS-C60068-2-81 : 2007 IEC60088-2-81, 2003.
- (26) Department of Defense Test Method Standard for Environment Engineering Considerations and Laboratory Tests, MIL-STD-810F (2000).
- (27) 神栄テストマシナリー(株)製軽量落下試験機 DT-202, 製品紹介, http://www.shinyei-tm.co.jp/main_product_DT.html, 神栄テストマシナリー(株).
- (28) 一般・共通, 国際協議・協力について (WTO/TBT他), <http://www.jisc.go.jp/cooperation/index.html>, 日本工業標準調査会.
- (29) 審議会・研究会資料, WTO・TBT 協定, <http://www.meti.go.jp/committee/materials/downloadfiles/g50913a45j.pdf>, 経済産業省.
- (30) IEC 事業概要 2012年度版, IEC 活動推進会議編, 財団法人日本規格協会 (2012).
- (31) A. Saitou, F. Kugiyu and N. Kodama, Standardization & Application Expansion Activity of Removable HDD (iVDR), IEICE Transaction Electronics, E96-C (12), 1508-1514 (2013).
- (32) 斎藤温, 釘屋文雄, 兒玉直樹, リムーバブル HDD の標準化活動と用途拡大, 電子情報通信学会磁気記録研究会招待講演, MR-2012-36, 25-30 (2012).