

様式3-1

論文内容要旨（和文）

氏名 斎藤 温



論文題目 リムーバブルハードディスクドライブにおけるiVDRの標準化に関する研究

近年、IT (Information Technology)化の急速な進化と普及にともない、身の周りの情報量は増加の一途をたどっている。情報はデジタル化されることで、データストレージデバイスへの蓄積や保存が容易になる。各種のデータストレージデバイスは、それぞれの特長を活かして、さまざまなアプリケーションで活用されている。ハードディスクドライブ (HDD: Hard Disk Drive)は、大容量・高速アクセス・高速データ転送・低ビット単価などの特長を持ち、今やデータストレージデバイスの中心的な役割を担っている。

1956年に、世界初のHDD(5Mbyte)が発表されて半世紀以上が過ぎた。現在、3.5型HDDで最大8Tbyte、2.5型HDDで最大3Tbyteの製品が発表されている。HDDの対象アプリケーションは、1970年代まではメインフレーム・ミニコン・サーバーなどの業務用途が中心であった。1980年代以降は、コンシューマ市場に浸透し、PC(Personal Computer)をはじめとして、AV(Audio Visual)機器にも搭載され、年間6億台規模の市場にまで成長した。

データの利用形態も変遷している。クライアント機器に保存するだけでなく、クラウドにデータを転送し保存することで、“時”と“場所”を選ばずに目的のデータにアクセスできる環境が整ってきた。クラウドはこうした利便性を持つ反面で、通信速度、運用コスト、機密性、クラウド間の互換性などの残された課題も多い。

パーソナルデータストレージは、大容量・高速転送、コンテンツ収集、可視的な機密性などの要求に応える個人用のデータストレージデバイスである。これに可換性を持たせることによって、ブリッジメディアとしての利用範囲が加わる。iVDR(information Versatile Device for Removable usage)は、国際標準規格のリムーバブルHDDで、PCからAVに至るまでの広範な用途に利用できるブリッジメディアである。

iVDRは、2002年設立のiVDRコンソーシアムで規格の策定を行なった。物理規格の策定と管理を行なう”ハードウエア部会”の部会長を務めた。”コンソーシアム方式”により策定した物理規格について、技術背景や諸課題を含めて変遷の歴史を述べる。コンシューマ用途の標準型(Standard type)と、業務用途のEX型(EX type)について、仕様決定の要件と経緯、技術的背景を詳述する。

2006年2月に、国内ディジタル放送用録画用の著作権保護技術としてSAFIA (Security Architecture For Intelligent Attachment device)が認可された。iVDRの特長である”大容量”、”高速データ転送”に加え、”著作権保護機能”が追加されたことにより、VTRカセットと同様の利便性が提供できる。翌2007年春に、このSAFIAを搭載したiVDRを製品化した。

また、著者は”高記録密度追記型光ディスク”的研究開発と国際標準化にも携わった。光ディスクは、HDDとは異なり、円板自体が可換である。このため、円板と装置(光ヘッド・記録再生方式など)とのインターフェースを意識した標準化が必要になる。1985年当時の現流製品に対して、3倍の記憶容量達成を目標とした。本論文では、高密度記録実現のための基本技術である”ピットエッジ記録再生方式”的研究について述べる。

氏名 斎藤温

2007年に、iVDR物理規格の国際標準化に着手した。知名度の向上や国際調達時の優位性確保などを目的として、“コンソーシアム標準”を“デジュール標準”にするための作業を開始した。推進組織には、光ディスクの国際標準化を多く手掛けているISO/IEC/JTC1/SC23を選定した。

著者はSC23において、”エキスパート”を務め、iVDR物理規格を基にしたドラフト作成を担当した。着手から約1年後の2008年10月に、規格提案(NP: New work item Proposal)が承認された。翌2009年11月に国際標準規格(ISO/IEC29171)を発行した。標準化の目的と分類を整理し、標準化におけるiVDR規格の位置付けを明らかにした。

“コンソーシアム標準”や“国際標準”的目的は、“外部規格”として仕様を公開し、それにより互換性を保証することにある。標準規格に準拠した製品を製造するには、“外部規格”を基にした“内部規格”への展開が必要になる。実用化するに当って注目したテーマは、持ち運ぶときに落下した場合の衝撃耐性の確保とその後の動作保証である。iVDRコネクタは1万回の挿抜回数に耐える仕様である。いずれもコンシューマ用途を対象とした場合に重要な課題である。論文の後半で、これらの課題を解決するための、カートリッジとコネクタの構造設計と検証について詳述する。

高さ 1m からの落下時に受ける衝撃加速度は 900G を想定した。HDD の衝撃加速度仕様を決めている要素技術について整理した。当時は、iVDR のように HDD 単体に近い形態で使われることは無かった。限界試験による落下耐性の確認は行われていたが、障害発生確率の推定手法は確立されていなかった。HDD に加わる加速度の周波数成分を調査するために衝撃応答スペクトル(SRS: Shock Response Spectrum)の概念を導入した。iVDR の構造をモデル化し、数値解析によって、入力加速度に対する過渡応答を求めた。iVDR の固有振動数を下げてやることが、衝撃耐性の向上に有効であることを確認した。HDD の周囲を”ダンパー”で支持してカートリッジに収める構造を採用した。カートリッジの内部は、“外部規格”的制約を受けずに設計できる。部品工数の削減や生産効率の向上を視野に入れた”ダンパー”的設計を行い製品に適用した。

実機を用いた落下試験の結果から、障害発生確率の推定手法を考案した。エネルギー保存則から導かれた落下位置での運動量比を加速係数とする手法である。2007 年以降に出荷した総計 150 万台の iVDR の累積障害発生率との比較によって、推定手法の妥当性を検証した。

iVDR コネクタは専用コネクタを開発した。HDD の標準インターフェース SATA(Serial Advanced Technology Attachment)との互換性を確保し、同時にインターフェース変換も兼ねた両面コネクタ構造(HDD \leftrightarrow iVDR)を採用した。両面コネクタによって、カートリッジ内の限られた空間への実装を可能にした。また、挿抜回数の仕様を実現するための構造設計を行った。局所的な磨耗を避けるためのピン配列やハウジング補強材の形状選択と実装方法を検討した。数値解析によって応力分布を求め、応力集中する部位の特定を行った。試作コネクタを用いた挿抜試験の結果から、接触電気抵抗の変化が SATA の信号伝送仕様範囲に収まることを確認した。

学術的価値は、iVDR を対象とした標準化活動における要件整理と規格策定方法、ならびに“外部規格”と“内部規格”的位置付けを提案し明らかにしたことにある。工業的価値は、“外部規格”的検証と“内部規格”的展開を行い、実用化に際して重要な衝撃耐性、挿抜耐性を確保し製品設計に反映したこと、ならびに市場における障害発生確率の推定方法の提案と検証を行なったことにある。

学位論文の審査及び学力確認の結果の要旨

平成 27 年 8 月 5 日

理 工 学 研 究 科 長 殿

論文博士論文審査委員会

主査 児玉 直樹 印
副査 飯塚 博 印
副査 稲葉 信幸 印
副査 志村 勉 印
副査 印

学位論文の審査及び学力確認の結果を下記のとおり報告します。

記

論文申請者	氏名 斎藤 温		
論文題目	リムーバブルハードディスク ドライブにおける iVDR の標準化に関する研究		
学位論文審査結果	合格	論文審査年月日	平成 27 年 7 月 21 日～ 平成 27 年 8 月 5 日
論文公聴会	平成 27 年 8 月 5 日	場所	工学部国際事業化研究センター MOT 講義室
学力確認結果	合格	学力確認年月日	平成 27 年 8 月 5 日

学位論文の審査結果の要旨

磁気ディスク装置(HDD: Hard Disk Drive)は、大容量・高速伝送・低ビット単価の特長を持ち、データストレージ階層の中核的な位置付けにある。HDD に可搬性を持たせたリムーバブル HDD に、国際標準規格の iVDR (information Versatile Device for Removable usage) がある。2007 年以降の出荷台数は約 300 万台で、HDD 製品としては不十分な状況にある。

本論文では、iVDR における標準化活動の調査分析を行うとともに、普及未達の原因と課題について、技術マネジメントの観点から考察し、今後の標準化活動に対する施策を提言している。リムーバブル HDD にとって必須である耐衝撃カートリッジと耐挿抜コネクタの設計検証を行い、製品化に貢献するとともに、工業的な課題の解決も行っている。

第 1 章では、iVDR の特徴とデータストレージ階層における位置付け、およびクラウドサービスとリムーバブルデータストレージの得失比較、iVDR の概要、活用分野、関連要素技術(コンテンツ保護技術など)について述べている。

第 2 章では、標準化の目的、手順、ならびに標準化推進のための要件について明らかにしている。iVDR 規格と国際標準規格に至る経緯に関して、当時の周辺技術動向などの背景を踏まえた包括的な調査分析を行っている。

第 3 章では、耐衝撃性能を保証するカートリッジの設計検証を行っている。落下モデルを構築し、障害発生確率の推定方法を確立している。出荷製品の累積障害発生確率と比較し、学術的にモデルの妥当性を検証している。

第 4 章では、耐挿抜性能を保証するコネクタの設計検証を行っている。実用的に問題の無い挿抜回数(1 万回)を保証するコネクタを開発し、製品に適用している。これら設計検証に関する本論文の工業的価値は高いと思われる。

第 5 章では、第 2 章で述べた標準化活動における諸課題を、事業化の側面も含め総合的に分析している。当初想定した技術要素の欠落と、標準化の目的の見誤りの視点から普及未達の原因を考察している。新たな市場展開の現状と将来性、今後の標準化活動における施策に関しても技術マネジメントの観点からの考察を加え有益な提言を行っている。

本研究の iVDR に関する成果は、筆頭論文 3 報(内英文 1 報)、連名論文 1 報(英文)、国内発表 4 件(内筆頭 3 件)、国内登録特許 2 件、米国登録特許 5 件により公表している。光ディスク装置に関する成果は、筆頭論文 1 報(英文)、連名論文 9 報(英文)、国内発表 29 件(内筆頭 15 件)、国内登録特許 47 件、米国登録特許 45 件により公表している。学術的、工業的な意義も十分にあると判断した。本論文の印刷公表についても問題は無いと判断する。

以上を総合的に判断し、本論文に関する研究と成果は博士(工学)学位論文の水準を満たしており、合格と判定した。

学力確認の結果の要旨

学力確認は、博士論文公聴会における質疑応答と口頭試問を通じて、博士論文に関連する内容および当該専攻分野の内容について実施した。その結果、博士として必要とされる専門知識、および学力は十分にあると認められた。

外国語科目(英語)については、英語による筆頭論文 2 報、米国登録特許 50 件などから、英語力は十分に備えていると判断した。審査委員による審議の結果、合格と判定した。