



アイオメガ REV テクノロジにおける汚れの 防止やその影響を緩和する方法について

本資料は、2004年3月に Iomega Corporation により発行された「Contamination Control and Mitigation for Iomega's REV™ Technology」の翻訳です。

アイオメガの汚れの影響を防止するための3つの戦略：
清潔な状態での生産・出荷、清潔な環境の維持、その
他の対策

- ▶ はじめに
- ▶ リムーバブルストレージにおいてアイオメガが持つ
技術的資産
- ▶ クリーンな状態での生産・出荷
- ▶ クリーンな環境の維持
- ▶ その他の対策
- ▶ 結語

▶ はじめに

アイオメガによる革新的なリムーバブルリジッドディスク(RRD)テクノロジーはスピード、信頼性、使いやすさなどのハードドライブの持つ利点と、持ち運びやすさや高い拡張性というテープメディアや光学メディアの利点の双方を同時に提供します。標準的なハードドライブのコンポーネントをベースに置きながらも、アイオメガの RRD リムーバブルディスクには磁気メディア、スピンドルハブ、そしてモーターが入っているのみであり、また、製品の使用可能期間をより長くするための構造になっています。精密な部品である、ドライブのヘッドおよび電子部品はドライブの中にそのまま残されています。ドライブとディスクはともにアイオメガ独自のシャッターメカニズムによって密封され、ヘッドとメディアがつねにクリーンな環境に置かれるように設計されています。高度な空気のフィルタリング機能、自動ヘッドクリーニング機能、そして、データを確実に保護するために二段階のエラー訂正機能が搭載されており、アイオメガのハードディスクテクノロジーによって、より統合度の高い、より信頼性の高い環境が手に入ります。

アイオメガ REV35GB/90GB* ドライブシステムはアイオメガ初の RRD ベースによる製品シリーズです。高速、大容量とリムーバブルメディアを両立させたアイオメガ REV シリーズはデスクトップやサーバでのバックアップだけでなく、大容量のポータブルなストレージアプリケーションとしても理想的なソリューションといえるでしょう。

このホワイトペーパーではリジッドメディアを活用しているリムーバブルカートリッジディスクドライブシステムでの汚れの防止方法について説明します。このホワイトペーパーではアイオメガの広い範囲におよぶ発見や分析の他、アイオメガ REV 製品が汚れを防ぎ、除去するためにどのような形で設計がなされているかについても要約して説明を加えます。この文書で要約されている研究では、アイオメガが RRD プラットフォーム製品に対する汚れの侵入を最小限にとどめ、操作中に起こる汚れをできる限り抑えるため、技術革新に焦点を当て続けていることについても考察がなされています。

▶ リムーバブルストレージにおいてアイオメガが持つ技術的資産

RRD テクノロジーの開発に際して、アイオメガは高性能かつ最新の技術を取り入れたリムーバブルリジッドディスクドライブを作るという可能性を切り開くための先進的な設計から着手しました。特に中心的な問題となったのは以下の4つの領域でした。

1. REV システム外部からの汚れの防止
2. REV システム内部に侵入した汚れ、もしくは自身によって生成してしまう汚れの取り扱い
3. 汚れによってヘッドがディスクから浮上している距離に対してどのような影響があるか、または、このような影響は検知することができるか、もしくは実際に汚れが影響を与えている場合にディスクとヘッドの距離を正常に戻ることができるかの判定および策定
4. どのような種類のエラーが汚れによって生じるか、どのようにしてこれらのエラーが修正されるか、どのディスクフォーマットであればこれらのエラーを抑制できるかについての評価

*Iomega Automatic Backup Pro ソフトウェアで "高圧縮" を選択し、高度圧縮によって 2.6:1 までデータを圧縮したときの最大容量。この最大容量は使用しているデータや圧縮に用いるソフトウェアによって異なる可能性があります。

アイオメガは在庫にあった 2.5 インチハードディスクドライブ(HDD)を実験台として使用し、これらの重要な問題の解決策を探りました。これらのドライブはシールによって封印されたシステムで動作させていたため、実験中に起こった問題は、検証するために導入した条件がもとで起こったと考えられます。ここで導入した条件は通常、様々な汚れによって起こるものです。

この実験から得られた知見を、アイオメガが初めてリジッドメディアベースで発売したリムーバブルストレージである Jaz ドライブの経験とあわせて考慮することで、アイオメガによる全面的な製品開発プログラムの開始を後押しすることになりました。これらの知見や経験の結晶が RRD テクノロジとして、新たに発売される REV ドライブやディスクに反映されているのです。

当初から、製品設計の最重要課題は汚れの防止や影響の緩和であることが明確になっていました。RRD アーキテクチャや機能を設計するに際して、アイオメガはあくまでもシンプルな 3 つの戦略に力点を置いています。

1. クリーンな状態での生産・出荷
2. クリーンな環境の維持
3. その他の対策

このうち初めの二つの戦略ではシステムに汚れが侵入するのを防ぐという話題が中心になります。三番目の戦略においてはシステムの中に侵入した汚れを、特許出願中のヘッドクリーニングシステムと強力な二段階のエラー訂正コード(ECC)システムによって、どのように対処するかについて述べていきます。

▶ クリーンな状態での生産・出荷

REV テクノロジはハードディスクドライブ産業の知識と経験を積極的に取り入れています。製品をクリーンな状態で出荷するために、アイオメガは原材料を精選しハードディスクドライブで標準となっているクリーニングの方法を採用しました。アイオメガはハードディスクドライブを生産した経験を持つサプライヤーと共同で生産業務を行っており、微粒子の混入を防ぎ、化学的にもクリーンであることを特に重視して洗練された原材料分析を行っています。ハードディスクドライブおよび Jaz ドライブでの経験をもとに、アイオメガは化学的にクリーンであるように配慮を加えた結果、アウトガスに関する検証においてもこれまでになく望ましい結果を得ることができました。摂氏 55 度および相対湿度 80% の環境下での 120 時間におよぶ動作テストと、摂氏 32 度および相対湿度 90% の環境下での 168 時間に及ぶ放置状態での検証の結果では、ヘッドやメディアには何の残留物もありませんでした。この標準的なハードディスクドライブの検証方法によれば、REV 製品がじつにクリーンであることが示されています。REV 製品に関する部品の仕様も、コンポーネントがクリーンであるために首尾一貫した設定がなされています。

▶ クリーンな環境の維持

アイオメガは、製品をクリーンな状態で生産・出荷するという戦略に取り組んでいる一方で、リムーバブルであるという RRD の設計が、一つのケースに密閉されているハードディスクドライブドライブに比べて汚れに晒される可能性は遥かに高くなっていることも理解しています。RRD テクノロジは独自のカートリッジ設計、カートリッジを上手く閉じこめるテクノロジー、空気や乾燥剤によるフィルタメカニズムのほか、ハードディスクをリムーバブルにすることによって新たに生じた問題を解決するために用いられている腐食の防止といった機能を取り入れています。

ディスクの設計: 外気からの遮断と破損によるチリの発生

REV カートリッジは微粒子の侵入を最大限防ぐように設計がなされています。このためにはカートリッジを外気から効果的に遮断することとカートリッジの抜き差しの際に生じる破損を最小限に抑えることが必要となります。REV カートリッジの設計の目的は、できる限り可動である装置を少なくすることにあります。さらには部品が動くことによってチリの生じる可能性をできる限り減らすことも目的となっています。

アイオメガの Jaz テクノロジーの設計を分析した結果からは Jaz カートリッジの二つの部分では完全にカートリッジをふさぐことができなかつたことが判明しています。一つ目の場所はモーターハブがアクセスする大きな穴、もしくはスピンドルホール、二つ目は大きなヘッドがアクセスする大きな穴です。幸いなことに REV の設計によってスピンドルホールを開ける必要は全くなくなっています。したがって、ヘッドのアクセスに対する全体のデザインのコンセプトは根本的に変わっています

カートリッジ内部に収められたスピンドルモーター

REV テクノロジーの設計はモーターをドライブの一部としてではなく、カートリッジの内部に取り込むことでモーターがアクセスする穴を通じて汚れがディスクに侵入するという問題を回避しています。カートリッジの設計におけるこの重大な革新はモーターがアクセスする大きな穴やさらにはこの穴を保護するために追加される装置の必要性を完全になくしてしまいました。また、アンチジャイロのメカニズムを使用して、ディスクハブをモーターに固定させて、システムが駆動している間に離れてしまうことを回避するドライブもありますが、このようなメカニズムはかえって内部をひっかいてしまい、破損を招き、チリを生じさせてしまう可能性があります。新しい REV ドライブはこのようなドライブとは異なり、アンチジャイロ・メカニズムを必要とはしません。REV ディスクのカートリッジ内部にモーターを収めることによって、困難を伴う形でディスクやハブモーターハブに固定する方法を回避できるようになりました。

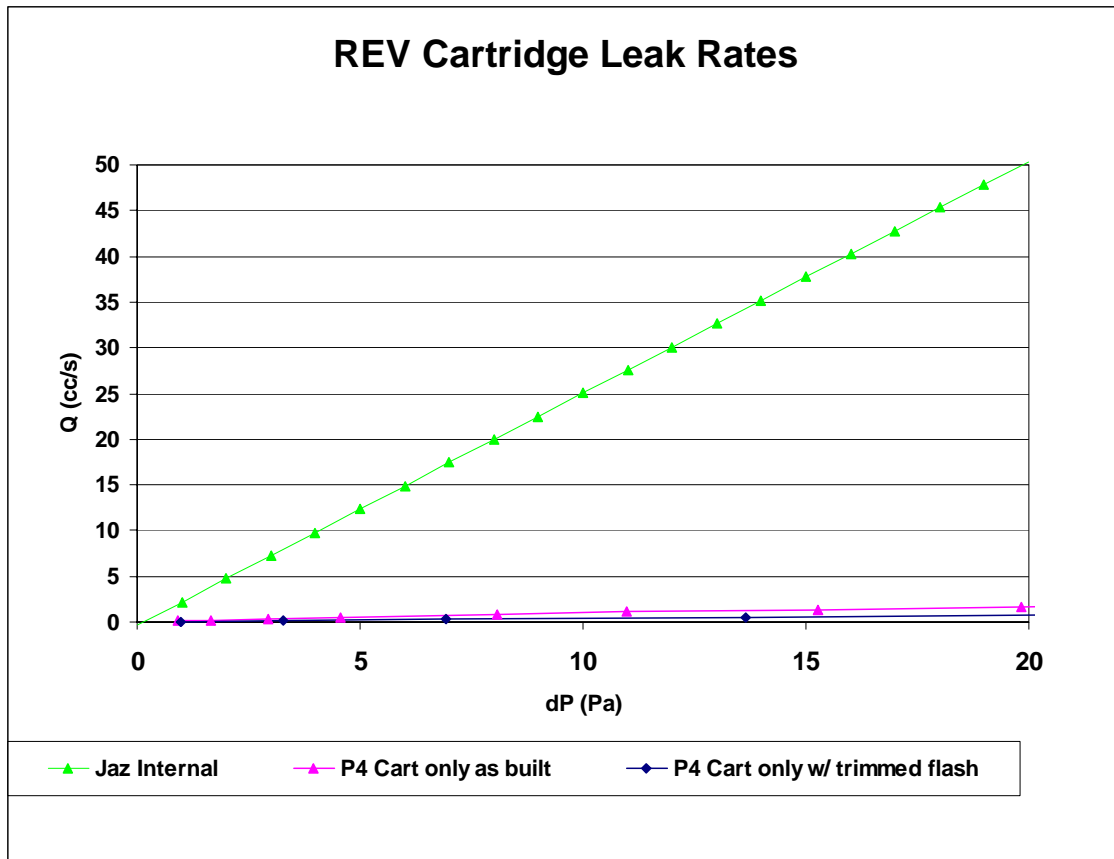
シンプルな設計 カートリッジシャッターメカニズムの鍵

REV カートリッジのシャッターは二つの旋回軸と弾性に富んだシールをもつシンプルな回転ドアです。シャッターはカートリッジ正面部のヘッドがアクセスする穴をふさいで、さらにスライド式の連結部を最小限に減らしています。このことは、他の製品でも使われていて、動作中に破損を生じさせてしまう可能性をもつスライド式ヘッドアクセスのシャッターという製品の品質改善ではないかとアイオメガは確信しています。

カートリッジのプラスチック部分の設計は、カートリッジの上半分と下半分のそれぞれにあるお互いに噛み合っている環状の壁をきつくくっつけています。これら 2 つの壁は組み立て部品の上で互いに重なり合っています。これらが迷路のような構造となって入り口からカートリッジ内のクリーンな空間へ微粒子が入り込むことを極度に難しくしており、微粒子を遮断します。結果として、微粒子は迷路を抜け出す前に空気の流出と合わせて外に押し出される方が遥かに多くなります。さらに、REV カートリッジは金属製のモーター基板を持ち、この基板はプラスチック製の底部シェルの半分と発泡スチロール製の緩衝材を挟んで接しています。この結果、カートリッジ全体で空気の漏れる可能性のある場所をできる限りふさぐことで外気をさらに遮断することに成功しています。

設計の改善やカートリッジをより閉じたものにするという意識が働いた結果、REV テクノロジーを昔のテクノロジーである Jaz と比べた場合、カートリッジからの気体の流出率が大幅に改善されました。ここではまだドライブに差し

込んだことのない REV カートリッジのプロトタイプ(P4)にかかる圧力を検証してみました。1990 年代半ば以降の Jaz テクノロジからの改善は以下のグラフで見ることができます。このグラフではカートリッジをふさいで内部の圧力を保つことに関して、REV カートリッジが効果的に圧力の維持を行っている点が注目されます。



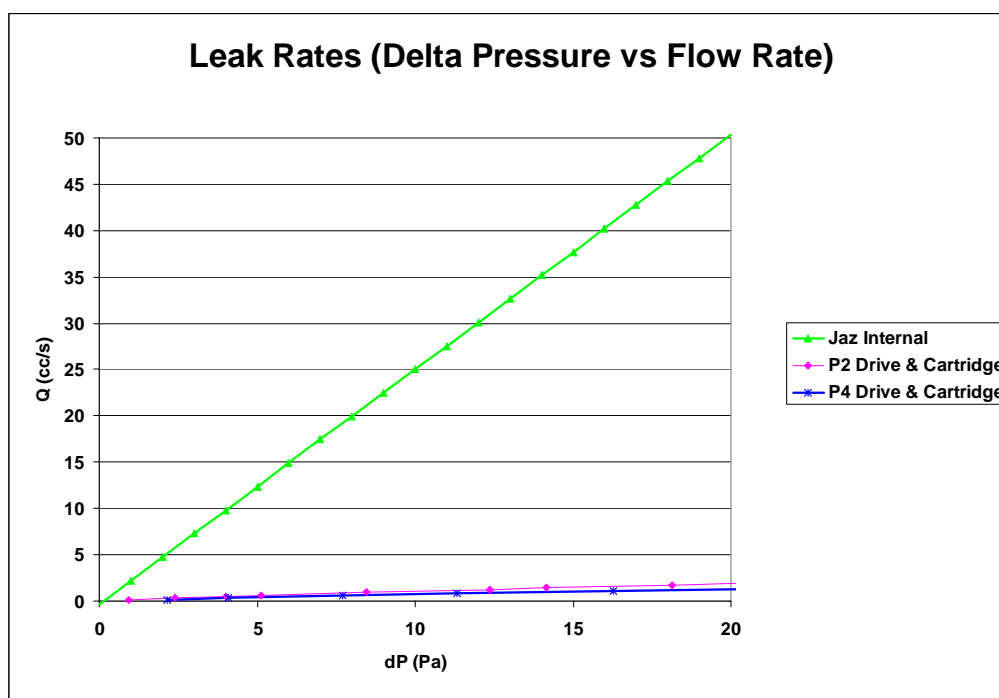
ドライブの設計 外気からの遮断と破損によるチリの発生

カートリッジメカニズムに加えて、外気からの遮断と、破損によるチリの発生の防止を一番の優先順位に置いてドライブのアーキテクチャも構築されています。ドライブの作動装置の部品はドライブの後方部を向いたクリーンな空間に収められています。クリーンな空間の前には「グレー」である空間として知られているセクションがあります。ドライブは「グレー」な空間から、ドライブの中でも最も外気に触れて汚れに晒されている前面の部分分割し、その間をシールします。この設計はドライブの空間を前から後ろに三つの区域に分けることになります。さらに、ドライブシャッターは弾性に富んだシールを持っており、カートリッジが挿入されていないときはこのシールが「グレー」およびクリーンな空間を保護しています。

その他、二つの機構がカートリッジのないときのドライブをクリーンに保つために使用されています。前部のパタパタと動く種類の扉は外側のホコリなどがドライブの中に侵入してくるのを防ぎます。また、ドライブは5つの面によって密閉された箱であり、ドライブ内部のすき間は「ムダ」であるという考えのもとで設計がなされています。この設計は空気の流れを作ったり、汚れがドライブの中へと動く原因となる圧力の差が生じるのを防いでいます。圧力の差は他 REV ドライブの近くに設置されたコンピュータの冷却ファンやその他、空気を動かすような機械によっても引き起こされることがあります。

REV ドライブの挿入メカニズムは破損によるチリができる限り作られないように、さらに作動装置の置かれたクリーンな空間ではなく、前部もしくはグレーな空間で動作が行われるように設計されています。カートリッジを挿入する際には、グレーな空間にあるカートリッジシャッターが一瞬だけ開き、ディスクへのアクセスができるようになっています。カートリッジが完全に挿入され、動作する位置に置かれたとき、もう一方のドライブの扉はカートリッジの前面部と一緒にあってドライブとカートリッジの間を相互につなぐクリーンな空間を形成するしくみになっています。ドライブの扉は、カートリッジがドライブから離れているときにカートリッジのシャッター扉が接するのと同じカートリッジ表面部に接しています。相互につながったクリーンな空間について圧力の検証を行った結果、空気の漏れは、以下のリークレートに関するグラフが示すとおり、最小限にとどまっています。ここでも Jaz ドライブのパフォーマンスを比較のために置いており、さらには P2 および P4 は REV のプロトタイプバージョンを示しています。

(図) 漏洩量(圧力差対流出量)



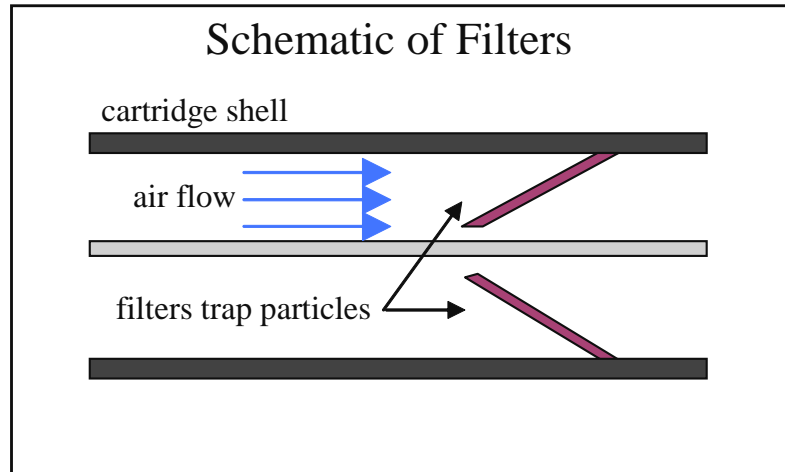
カートリッジが外されるとき、DC モーターと一連のギア類はカートリッジを抜き取るメカニズムにしたがって動くこととなります。DC モーター、一連のギア類およびリンク機構はすべて 5 つの面をふさがれた箱の外側に置かれています。したがって、これらのコンポーネントが原因となって起こる、すべての破損やチリの発生もメディアやヘッドに晒された形では起こることはありません。

クリーンな空間の空気の浄化と乾燥剤の効果

カートリッジシャッターが開くのはほんの瞬間であるにもかかわらず、ディスクの挿入時にはクリーンに保っているはずの空間へ外気が入り込む可能性があります。カートリッジがドライブへ挿入されると、ヘッドがディスクの上に置かれる前に空気の浄化が行われます。ここではクリーンに保たれた空間の空気にフィルタがかけられま

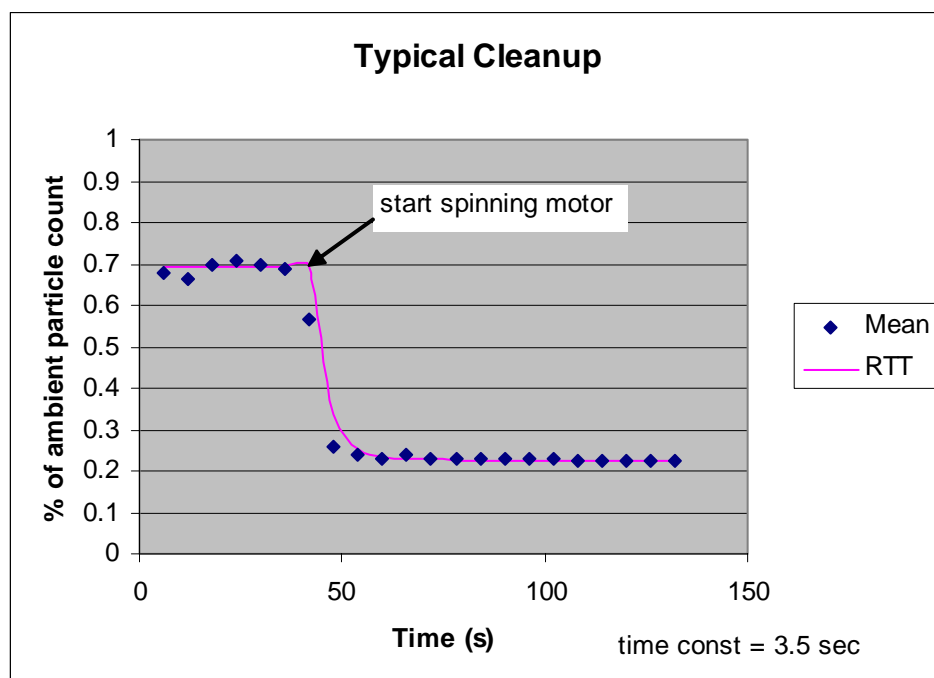
す。カートリッジの中には 2 つのフィルタがあり、1 つのフィルタがディスクのそれぞれの表面に面しています。また、フィルタを通して内部へと空気を運び込む気圧差に対しては特に注意を傾けています。以下のダイアグラムでは REV カートリッジで採用されているフィルタのコンセプトを図式化して説明しています。

(図) フィルタの図式



以下の図で典型的な浄化作用として図示しているように、フィルタによる浄化システムは効果的であり、かつ内部環境は迅速に浄化されていることが検証によって証明されています。この浄化サイクルは 7 秒間続くように考えられています。

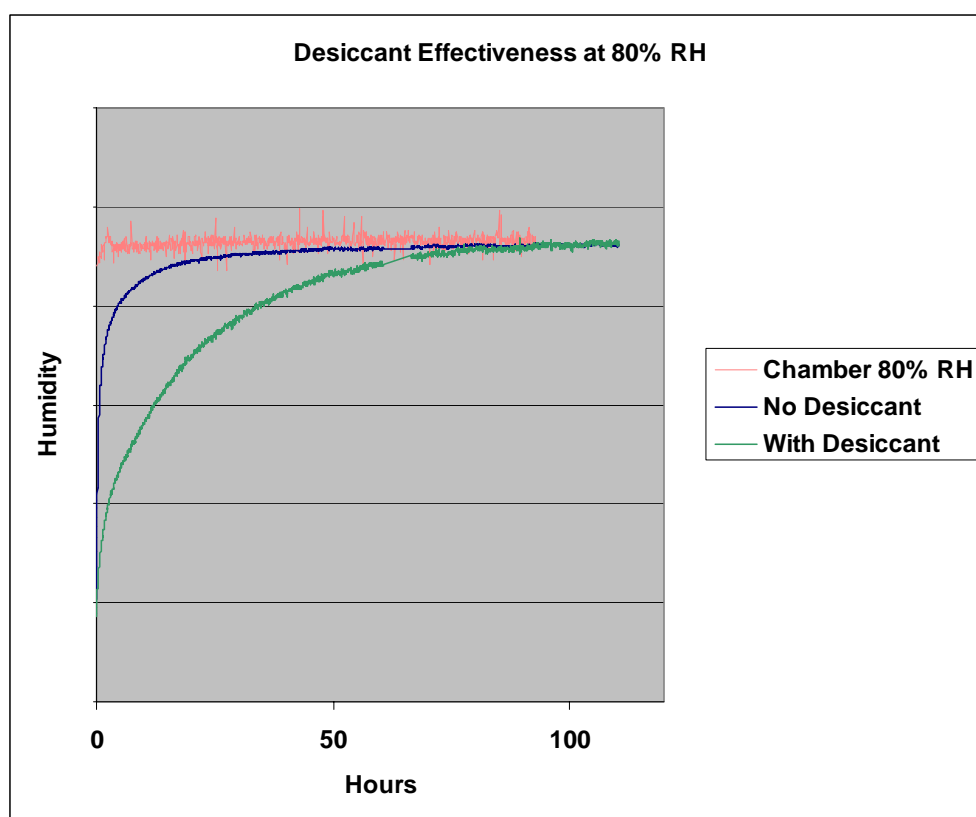
(図) 典型的な浄化作用



カートリッジは内部に吸収剤フィルタを組み込んで相対湿度の変化を抑えるために役立てています。相対湿度があまりにも高いときは吸収剤が水分を吸収し、あまりにも湿度が低いときには空気中に水分を補給します。この吸収剤フィルタは揮発性の有機物質や酸性の気体をシステムから除去するようにも設計がなされています。効果的にこれらの汚れをシステムから除去することでドライブの中にある敏感なコンポーネントを保護しています。

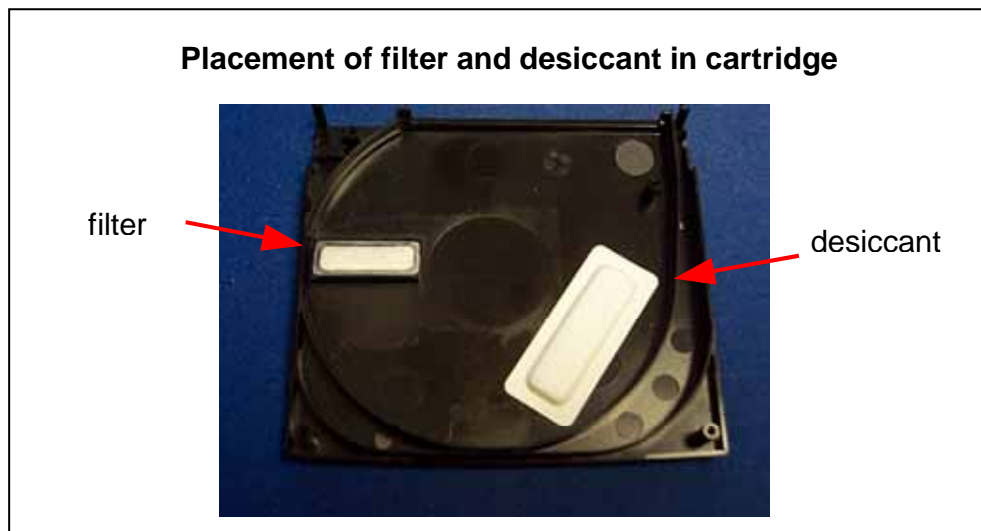
以下のグラフでは乾燥剤の効果が示されています。したがって、吸収剤フィルタがどれだけカートリッジを保護しているかがグラフに示されています。データを蓄積し、乾燥剤が外部環境に対して開かれているカートリッジの内部の相対湿度に与える効果について調べるために加速寿命テストが行われました。

(図) 相対湿度 80% の環境下での乾燥剤の有効性



以下の写真はカートリッジシェルの中でのフィルタと乾燥剤の配置を示しています。

(図) カートリッジ内のフィルタおよび乾燥剤の配置



メディアの腐食および汚れに対する反応

もちろん、クリーンであることを維持するというのは、腐食、特にメディア自体の腐食を防ぐことを意味します。REV ディスクの腐食に対するテストはバツェルの方式に従い、混合ガスを使って行われています。バツェルテストではコンポーネントを腐食の起こりやすい環境に置くことで現実の腐食よりも速い速度で効果を確認することができます。これらのテストを使用することで凹凸加工がなされたアルミ基板ディスクにはいくつかの場所で腐食が確認されました。この腐食は表面の凹凸上の線から写ってきたものでした。しかしながら、REV メディアはガラス基板を採用しており、アイオメガおよびハードディスクドライブ産業内の研究ではともに腐食を防ぐという点でガラス基板はアルミ基板に比べて遥かに優れているという共通の見解に達しています。さらに、ガラスはディスクの中へ入り込んでハードエラーの原因となる微粒子やヘッドの読み込みおよび書き込み部分にダメージを与える可能性に対しても耐性があることが判っています。この問題はアルミニウム基板を採用したメディアを使う他のリムーバブル製品にも生じています。ガラスを使用することで微粒子が堆積されにくくなり、システムに対して、実際にダメージを与えた場合でもほとんど認知されない程度のダメージしか与えずに微粒子は除去されます。アイオメガの経験ではガラス基板のメディアは微粒子によるダメージに対抗する上で実に頼もしい存在です。

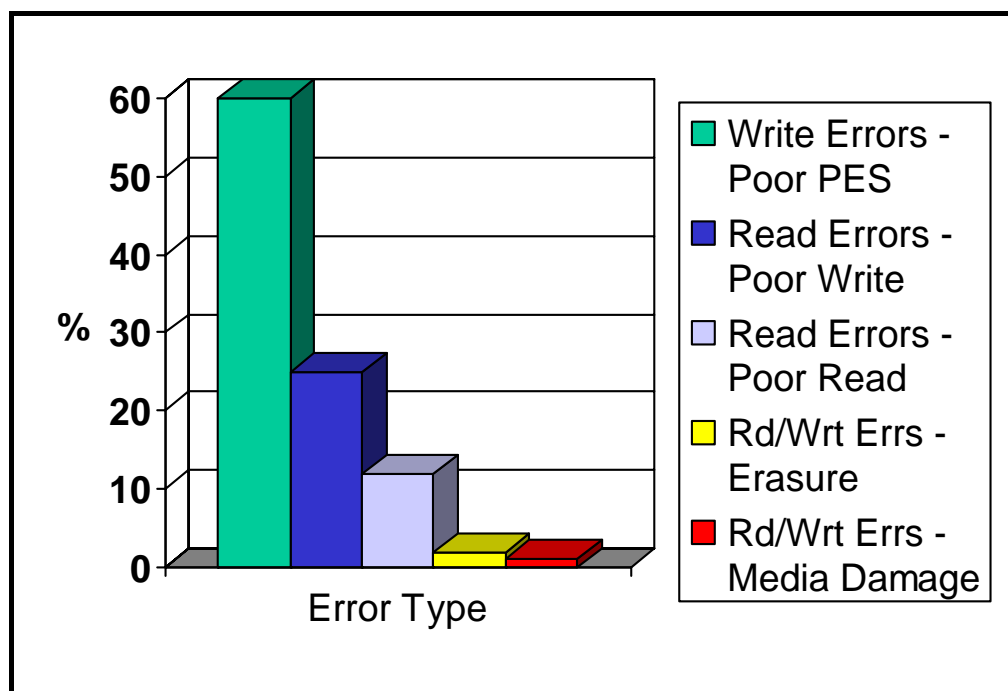
▶ その他の対策 ヘッドのクリーニングと二段階のエラー訂正コード

クリーンな状態を作り出し、維持するという模範的な戦略を採用したとしても、RRDテクノロジーがリムーバブルという特性を持っている限り、REVドライブおよびディスクの環境は一つの箱の中に入っているハードディスクドライブに比べてクリーンにはなりえない状況を作り出していることも、アイオメガは十分に認識しています。実験台として使用した在庫にあった2.5インチハードディスクドライブ(HDD)についてさらなる検討を加えた結果、ヘッドクリーニング、ディスクとヘッドの距離を監視するシステム、および強力なエラー訂正コードを採用することで、汚れによる悪影響を緩和できることが判明しました。

汚れからの影響を確認するために、ハードディスクドライブのヘッドおよびメディアを様々なレベルの外部からの汚れに晒した際のシステムの反応と生成されるエラーの性質についてみていくことにしましょう。以下の5つの分節においては汚れの多い環境に晒されたハードディスクドライブが遭遇したエラーについて、そしてエラーの根本的な原因を特定します。さらに、これらの種類のエラーによる影響を緩和する、ヘッドのクリーニングやディスクとヘッドの距離を監視するシステム、および二段階のエラー訂正コードといった REV 製品の特長についても触れていきます。

エラーの分類

REV テクノロジーについてのこれまでの調査によって、エラーの多くが位置エラーシグナル(PES)によって起こるハードへの書き込みエラー、もしくは書き込みに問題があった、もしくはデータの読み込みを上手く行えないことが原因で起こるハードからの読み込みエラーに分類されます。熱によるデータの消去やメディアへのダメージによるエラーはほとんど観察されていません。分類の結果は以下のヒストグラムに示してあります。

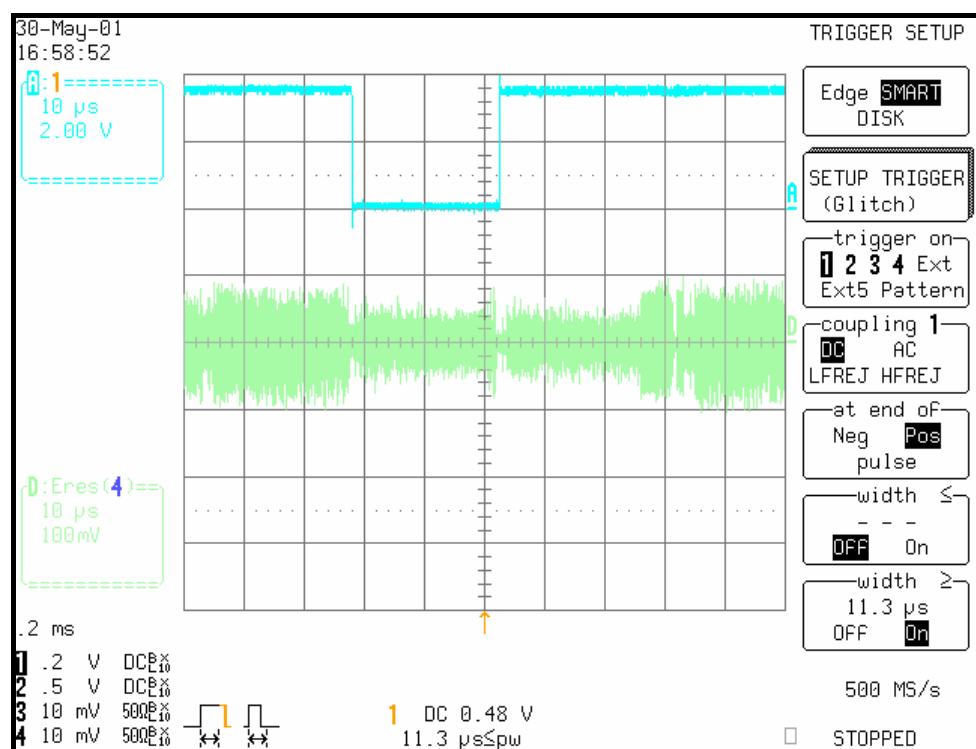


過度の位置エラーによる書き込みエラー

ハードディスクドライブが汚れの多い環境に一定期間以上置かれた場合、ドライブは位置エラーシグナルの異常による書き込みエラーが増え始めます。書き込み時における位置エラーシグナルの異常は、ハードドライブの中でも時折起こります。さらに位置エラーシグナルの異常は様々な要因によって引き起こされるものでもあります。しかしながら、汚れの多い環境におかれた場合、この異常が高い頻度で起こるようになります。これらのエラーはヘッドに汚れがたまった場合に起こると考えられています。ヘッドに汚れがたまると、ヘッドは、スライダがディスクへの接触を始めるまでの間は、ディスクからの高さを十分に取るができなくなります。この妨害によってトラックを追跡する際に問題が起こったり、ヘッドとディスクの間で取られる距離に異常が起こったりします。

書き込み時に問題があったデータの読み込み

磁気メディアに対して、適切な書き込みを行うためにはヘッドとディスクの間に正確かつ一定のスペースが取られている必要があります。ヘッドやディスクの間を動く微粒子はヘッドが一時的に高く飛ぶ、すなわちヘッドとディスクとの距離が通常より多く取られる原因となります。ヘッドが飛ぶ現象が、書き込みを行っている間に起こった場合、データの書き込みが適切に行われなくなることがあります。これらの種類のエラーはほんの数バイトというものから複数のセクタにおよぶ大きなものまでがあります。



(図) 幅の小さい2つの隣接したセクタ。ともにハードからの読み込みエラーを起こしている。

データの読み込みに問題がある場合

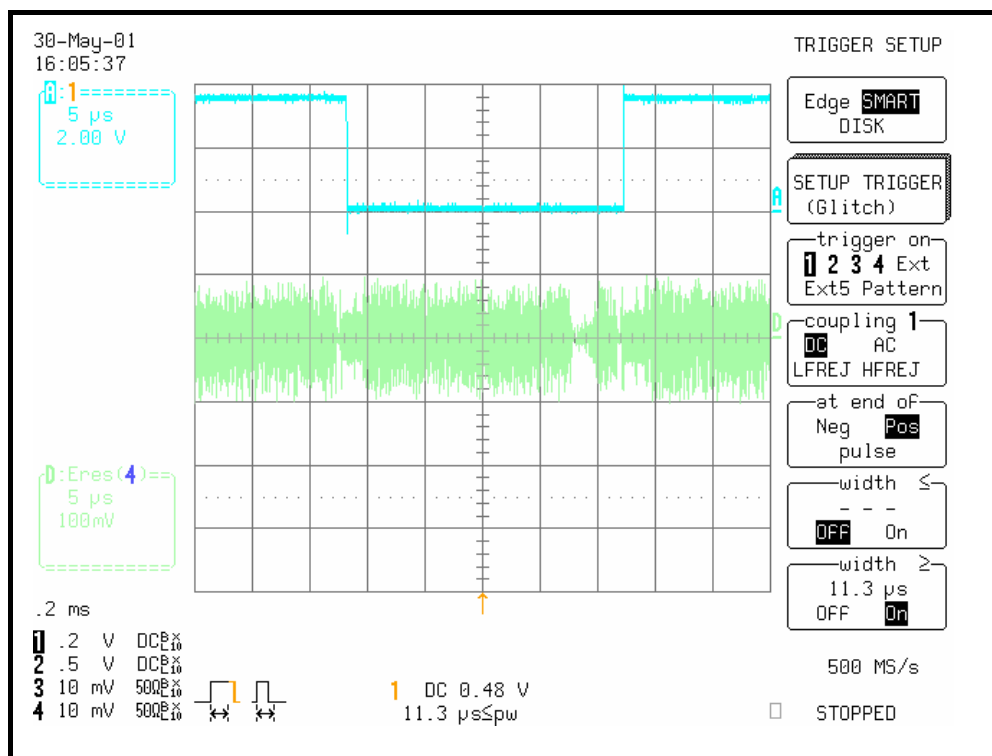
ヘッドとディスクが適切でない距離を保っていなかった場合、近すぎた場合であっても遠すぎた場合であっても、適切に書き込みをなされたデータをドライブが読み込む際に悪影響を与えます。

熱によるデータの消去とメディアへのダメージ

高度な検証シナリオの中でも熱によるデータの消去とメディアへのダメージというエラーが観察された数は少な

いものでした。熱によるデータの消去はヘッドとメディアの間に物が挟まって磁気記録の状態を変えてしまうほどに熱を持ってしまった場合に起こることがあります。熱によるデータの消去の被害は一般的に複数のトラックに及びますが、被害を受けるのは一つのトラック当たり一つのデータもしくは一つのサーボセクタに限られます。

メディアへのダメージはヘッド、もしくは別のものがメディアに直接接触することで生じるメディアの物理的なダメージのことを指しています。メディアへのダメージはほとんど見られませんでした。ここで見られた被害も一つのセクタおよび一つのトラックに限られていました。



メディアの異常がハードエラーを引き起こしていることを、プリアンプのアウトプットが示している。

エラーの緩和

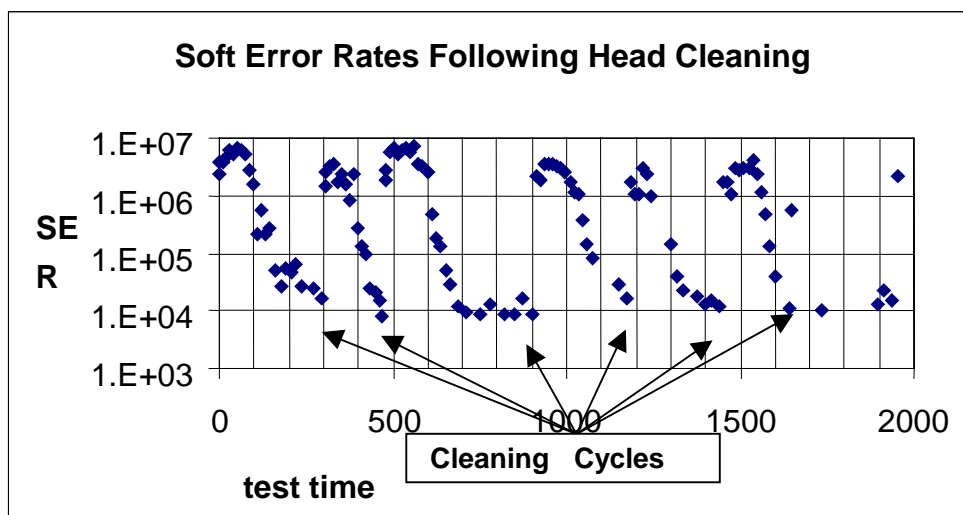
位置エラーシグナルの異常によって起こる書き込みハードエラー、およびデータの読み込み時に問題が生じて正しく記録されたデータを読み込めないケースはヘッドにホコリや汚れがたまっているという原因に帰着します。これらのエラーが起こった際に取りべき対策は以下に示す手順でヘッドのクリーニングを行うことです。ヘッドが高く飛んだ場合、メディアにダメージがあった場合、さらに熱によるデータの消去が起こった場合は、以下で述べるディスクとヘッドの距離を監視するシステムによる記録や二段階のエラー訂正コードを適宜組み合わせる必要があります。

ヘッドのクリーニング

筐体からむき出しにされたハードディスクドライブを 300,000ppm クラスの汚れやすい環境で動作させます。300,000ppm クラスは、人間が素肌を晒すとクリーン度に影響を及ぼす環境レベルです。ちなみに、通常のオフィスが 20,000ppm クラスの環境レベルにあります。300,000ppm クラスの環境にむき出しで置かれたドライブは一般

的に、約 24 時間の動作時間を経た後に何らかの故障に見舞われます。ここで重要かつ興味深い発見は、ソフトウェアエラーでも観測されているように、これらのユニットのヘッドはクリーニングが可能であり、さらにクリーニングによってシステムがもとの動作環境へと修復されることです。その中でも最も興味深いことは、ヘッドのクリーニングを行った後のソフトウェアエラーの図にもまとめられているように、この環境の修復は何度も繰り返すことができるということです。

(図) ヘッドのクリーニングを行った後のソフトウェアエラーレート



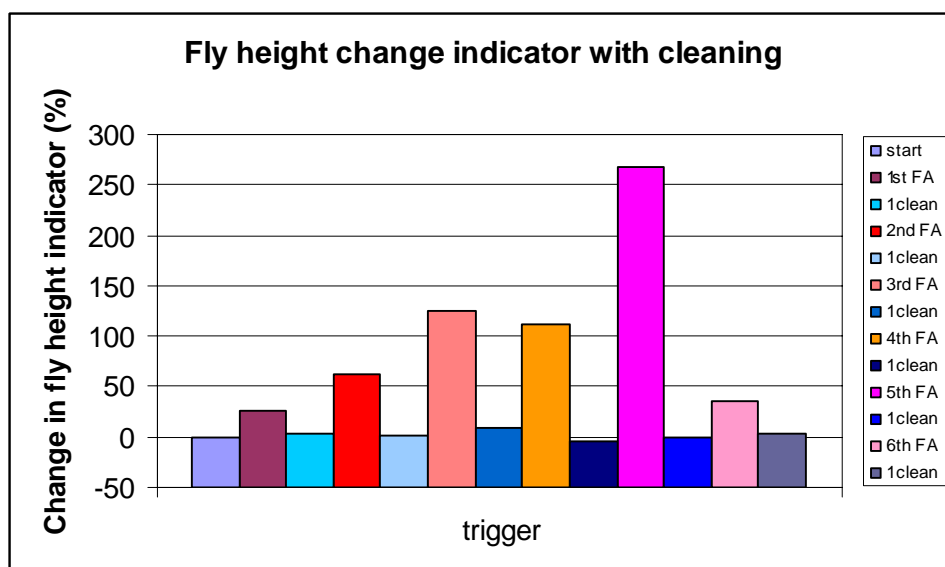
ソフトウェアエラーレートの変動はヘッドの空気との接触面(ABS)に汚れが蓄積されることが原因となっていました。ヘッドの接触面は、ヘッドとディスクの距離すなわちヘッドの飛び高さに影響を与えていました。ヘッドから汚れを払うことで動作は元に戻りました。また、このテストでは、ヘッドの特定の接触面はとくにこのような汚れの蓄積に対して敏感であることも判明しました。REV ヘッドクリーニングシステムの発明と最終デザインは、先だっで行われたこの検証の結果を反映したものとなっています。例えば、実験においては、ヘッドの空気との接触面が大きく上昇することやステップを踏むように上下することがヘッドの飛び高さに大きな影響を与えていることが証明されています。REV ヘッドクリーナーはヘッドがこのような状況にあるとき、ヘッドの挙動を元に戻す上で効果的に働くように設計がなされています。

ヘッドクリーナーの表面には特別な凹凸がつけられています。効果的にヘッドのクリーニングを行うためにはヘッドとクリーナーの凹凸面の両方が同時に特定の動きをすることが必要です。これまでの研究から、どの方向に動けばよいか、どの程度の頻度で、およびどの程度の広さをクリーニングすればよいかといった問題については最適な結果がすでに見いだされています。

クリーニングを行うとき、ファームウェアの命令に従ってヘッドはクリーナーの凹凸面に向かって動きます。この命令はドライブ内のいくつかのパラメータを監視しているシステムによって出されます。ヘッドクリーニングを行うタイミングは技術設計の重要な要素です。汚れが蓄積された場合でも、ヘッドのクリーニングが行われる回数が少ないときにはヘッドが飛び高さに影響を与えます。クリーニングが十分行われていないため、ヘッドの飛び高さは小さくなります。最終的にはヘッドとディスクの接触の原因となり、ヘッドもしくはディスクへのダメージにつながります。一方でヘッドのクリーニングがあまりにも頻繁に行われる場合、クリーナーがすり減ってしまいその効果が

失われることとなります。システムはヘッドが飛んでいる高さに関する重要な指標を監視するように設計されています。指標が制限を超えた場合、ヘッドがクリーニングを行う物質まで動かされ、ドライブはクリーニングのルーチンを実行します。クリーニングが終わった後でドライブはヘッドが飛ぶ高さに関する指標をチェックし、クリーニングが適切に行われたかどうかを判定します。以下の図ではヘッドのクリーニングの前後で起こった指標の変化が示されています。このデータからはクリーニングの後に指標が通常の動作範囲に戻っていること、さらにはドライブのソフトエラーレートも通常に戻っていることが判ります。

(図)クリーニングを行った際のディスクとヘッドの距離の変化



ディスクとヘッドの距離の監視システムによる記録

ディスクとヘッドの距離、すなわちヘッドが飛んだ高さを監視することで一時的な距離の変動による影響を最小限に抑えることができます。書き込みが行われているときにヘッドの高さが変動した場合、必要であればデータの再書き込みや再割り当てを行うことができます。しかし、ディスクとヘッドの距離を続けて監視することは難しい上に手間やコストのかかることでもあります。したがって、REV ドライブはサンプルを抽出するシステムを採用しています。これは、それぞれのサーボセクタについてドライブがサーボのデータの性質を測定することでヘッドが飛んでいるかどうかを判断する方法です。これらの測定値もしくはサンプルからサンプルの間の変化があらかじめ決められた限度を超えている場合、ドライブはヘッドが飛んでいる条件を検知しそれに応じた反応を行います。

サンプルを抽出するシステムの利点はまずシンプルに行えることと、実質的にはドライブに余計なコストをかけないということです。一方でこの方法の欠点はサーボセクタごとのサンプルに過ぎないということであり、サーボセクタからセクタへ移る時間よりも短い瞬間だけヘッドが飛んだ場合、この方法では検知することができません。ただし、この問題はエラー訂正コードシステムの設計によって修正されています。

二段階のエラー訂正コードシステム

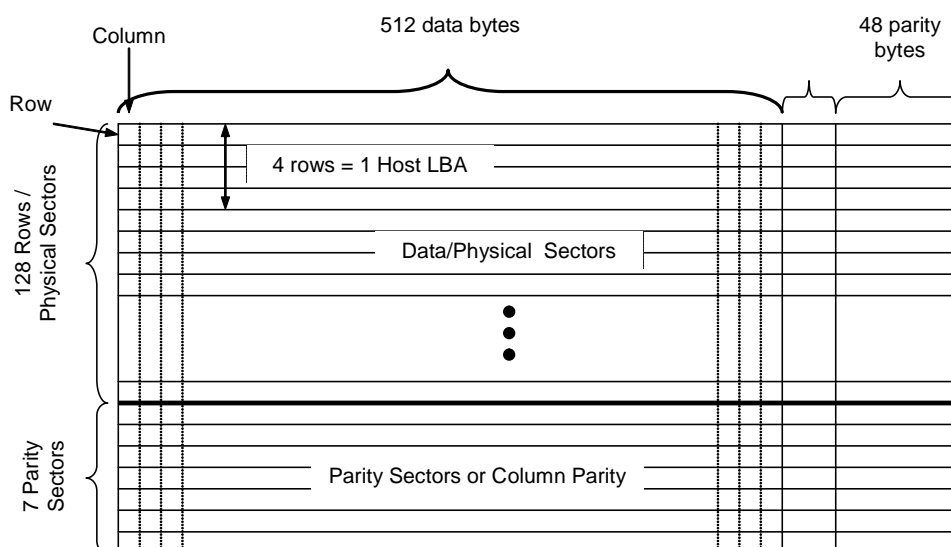
REV ドライブは 2 次元のリード・ソロモン製品コードに基づくエラー訂正コード(RSPC ECC)を採用し、データの信

信頼性を向上させています。この方式はハードディスクドライブやアイオメガの過去の製品で使われていた訂正方式に比べて優れていると見なされています。2次元エラー訂正コードはドライブの中にある各セクタのバイト数だけを比較して、比較した数値にエラーがある場合に全体のセクタを訂正するという方法を採用しています。内部、もしくはセクタの訂正方法は現在ハードドライブで用いられている方法と同じものであり、512バイトのセクタの中で最大24バイトまでを動作中に訂正することができます。この訂正はエラーに対する第一陣の防御策となっています。内部での訂正によってエラーのフィックスが可能であれば外部での訂正は決して使われることはありません。外部での訂正、もしくはブロックエラー訂正コードとして知られている方法では、内部でのエラー訂正コードでは訂正できなかったエラーに関して全体の行だけを訂正します。エラーが起きている場所は既に判っているため、ブロックエラー訂正コードの訂正量はデータとともに含まれるパリティセクタの数と等しくなります。

既に述べたように、ブロックエラー訂正コードに必要なとされる訂正量はヘッドの飛びを検知する能力の大きさに依存します。REVドライブはサンプル抽出システムを使用しているため、ブロックエラー訂正コードは二つのサーボセクタの間で保存できる最大のデータ量を訂正可能にしておかなければなりません。35GBのREVドライブには外周部にある一つのサーボセクタ当たり6つのデータセクタがあります。したがって、ブロックエラー訂正コード方式では、エラー訂正コードブロック一つ当たり6セクタまでの訂正が行えるように設計がなされています。エラー訂正コードブロックのサイズは128セクタに6つのパリティセクタを合わせたものに等しく、したがって64KBのユーザデータを使用することになります。この値はUDFファイルシステムを使用しているときの、フォーマットの効率性とパフォーマンスおよび便利さの間の妥協点として選ばれています。

内部および外部の訂正方式を組み合わせた場合、エラーが起こる確率分布にも依存しますが、それぞれの64KBのエラー訂正コードブロックは、3,072バイトから6,000バイトまでのエラーを起こした文字列の訂正を行うことができます。なお、64Kエラー訂正コードブロックの様子を以下の図で示しています。

(図) REVによるエラー訂正コードのコンフィギュレーション



▶ 結語

アイオメガの REV リムーバブルハードディスクドライブシステムは汚れの防止と、汚れによる悪影響を抑制する価値の高い機能を総合的に組み合わせて設計がなされています。これらの設計はハードディスクドライブの内部に汚れが侵入したときの反応を考慮した高度な技術的試行をベースに置いています。また、広い範囲におよぶ研究と検証の結果からはシンプルな汚れ対策の導入が示唆されました。すなわち、クリーンな状態での生産・出荷、クリーンな状態の維持、およびヘッドのクリーニングや強力な二段階のエラー訂正コードを使用したその他の対策です

原材料の選択やクリーニングの方法においてハードディスクドライブ産業の標準的な経験をもとにしているため、REV コンポネントはクリーンな状態で生産され、アウトガスを最小限に抑えることが可能になっています。ドライブおよびカートリッジを効果的に封印するという目的が達成されていることも追加的な検証結果から判明し、REV アーキテクチャの信頼性の高さを裏書きしています。ホコリや汚れの生成を最小限にとどめ、運ばれてきた汚れの侵入から防ぐという目的にもかなった設計がなされています。アイオメガが特許出願中のヘッドクリーニングシステムおよびアイオメガ独自のクリーニングインジケータルーチンも汚れから製品を保護する強い味方となります。さらに、REV テクノロジはデータ保護の最後の手段として強力なエラー訂正コードを採用しています。これらの機能と汚れを抑制するという意識が組み合わせられることによって REV ドライブおよびリムーバブルディスクはとてつもなく高いレベルでの品質と信頼性をもって機能するのです。

#####

このホワイトペーパーで示されている情報はあくまでも予備調査の結果であると考えており、今後変更が行われる可能性があります。アイオメガが今後この文書に書かれている情報の更新、もしくは改訂を行う義務はなく、情報の更新や改訂を行うかどうかは確定していないことはご承知を願います。また、この文書を根拠としてアイオメガが製品の性能やその他の事項について保証を行うということでもない点もご了承ください。この文書はいかなる契約上の権利をも生み出すものではありません。