

テープドライブのデッドトラック数とストップライト数による キャリブレーション実施条件の適正化

提出年月日 2022 年 9 月 9 日

代表執筆者

みやむら つよし
宮村 剛志
日本アイ・ビー・エム株式会社
スペクトラムストレージ開発

共同執筆者

Ernest Gale
IBM Corporations
Tape & LTFS Development

たなか けいすけ
田中 啓介
日本アイ・ビー・エム株式会社
スペクトラムストレージ開発

原稿量

本文	8,800 字
要約	1,200 字
図表	11 枚

<キーワード>

テープドライブ、キャリブレーション、リライト、デッドトラック、ストップライト、チャンネル

<要約>

1. 背景と目的

テープドライブのヘッドとテープとの組み合わせによって、データの書き込み時におけるリライトによるエラーの発生率が違うことがある。その差が大きいときには、テープドライブのチャンネルの設定をテープに対して最適に設定しなおす必要がある。この操作をキャリブレーションと呼んでいるが、その実施に時間が掛かるために、転送速度が低下してしまう。

チャンネルの状態にかかわらずリライトが増加する要因としては、デッドトラックとストップライトがある。これらが発生すると、常にリライト数が高くなり、必要のないときにまでキャリブレーションを実施してしまう。さらに、デブリと呼ばれる微細な磁気ごみがテープやヘッドに付着すると、デッドトラックのような現象となり、エラーの発生率が高くなってしまう。

本稿では、デッドトラックやストップライトによるリライトの増加数をあらかじめ算出しておき、キャリブレーションの実施条件に反映させることにより、不必要なキャリブレーションを行わない仕組みを提案する。また、デブリによってデッドトラックに見えている場合は、短時間で実施可能な、ヘッド上のデブリを除去する効果のあるリチャック操作を実施する。

2. システム概要

エンタープライズ向けのテープドライブである TS1150, TS1155, TS1160、および、コンシューマー向けのテープドライブである LTO7, LTO8, LTO9 のキャリブレーション判定基準に本手法が適用済みである。

3. キーポイント

キャリブレーション実施判断の条件に、キャリブレーションによって改善しないにより発生するリライト数を加算しておくことで、不必要なキャリブレーションを実施しなくなるので、転送速度が改善する。また、付着したデブリの影響によりデッドトラックと判断される場合を識別して、短時間で行えてデブリ除去に効果のあるリチャック操作を実施する。

4. 計画

一定の速度でテープにデータを書き続ける必要のあるユーザーの環境で、キャリブレーションによる転送速度の低下が発生しないようにできないかという相談を受けた。そこで、プロダクトの PGA のスケジュールに合わせて、テープドライブのマイクロコードに不必要なキャリブレーションを実施しないようにする仕組みを適用するとともに、同時期にリリースがスケジュールされていた複数のプロダクトにも適用した。

5. 評価

デブリによってデッドトラックと判断されたためにキャリブレーションを行ったドライブから取得したダンプを解析した。本稿で提案した仕組みを適用することで、チャンネルの性能向上につながらないキャリブレーションは行わないようにできることを示した。また、デブリの付着によってリライトが増えてしまう場合には、デブリ除去に効果のある仕組みを実行することが可能であることを示した。

目次

1.	はじめに	4
2.	テープドライブのキャリブレーション	4
2.1.	キャリブレーション実施条件	4
2.2.	デッドトラックによるリライトの増加	4
2.3.	ストップライトによるリライトの増加	5
3.	リライトへの影響の除去	5
3.1.	対策の概要	5
3.2.	デッドトラック数を考慮した場合の手順	5
3.3.	ストップライト数を考慮した場合の手順	6
3.4.	デブリによるリライトの影響の排除	7
4.	実施例	7
4.1.	デッドトラックの場合の実施例	7
4.2.	ストップライトの場合の実施例	8
4.3.	デブリの影響排除の実施例	9
5.	まとめ	9
	謝辞	9
	参考文献	9

1. はじめに

2021年にリリースされたテープドライブのLTO9には、32個のデータ用のトラックがあるので、同時に32トラックから並列にデータをテープに書き込むことができる[1][2]。テープの端から端まで32トラックに書き込むと、逆方向に別の32トラック位置に書き込みを行う。テープの端から端への一度の書き込みをラップと呼ぶ。ホストから書き込まれたデジタル信号をアナログ信号に変換して、各データトラックからアナログ信号をテープに出力する、もしくは、テープのデータトラックから読み出したアナログ信号をデジタル信号に変換する処理をチャンネルと呼ぶ。各ヘッド素子の状態によって、入力信号や出力信号の雑音に対する比率(S/N比)を最大化するために、テープドライブはヘッドに流れる電流量を元にチャンネルの各種設定値の最適値を決定し、ヘッドごとの設定値をテープドライブの不揮発性メモリ(VPD)に保存している。テープへの読み書きを行う際は、VPDに保存した設定値をチャンネルの制御を行うコンポーネントのレジスタに設定する。

テープドライブは、ヘッドの劣化やテープメディアの状態によってチャンネルを設定し直す必要があると判断すると、設定値の再調節を行う。この調節[3]をチャンネルキャリブレーション(以下、キャリブレーション)と呼ぶ。キャリブレーションは、テープメディア上のユーザーデータが書かれていない領域で、何往復かデータの書き込みと読み出しを繰り返しながら、各種設定値の最適化を行うため、時間のかかる処理である。

近年、データの大容量化にともない、テープドライブがテープメディアに書く際の1ビット当たりの面積(線密度×トラック幅)[4]が非常に狭くなっている。そのため、テープメディア上やヘッドに付着するデブリと呼ばれる微細な粒子の存在が書き直し(リライト)の発生頻度を増やすことが知られており、これが原因でデータを読み出せなくなるケースも増えている。デブリによりリライトが発生した場合は、キャリブレーションを行わなくてもテープの走行時にデブリが取れることでリライトの発生頻度が減ることもある。

一方で、キャリブレーションを実施している間は新たなデータを書き込むことができないので、1ラップあたりの平均転送速度が通常の300MB/secから170MB/sec程度まで低下[5]してしまう。一度キャリブレーションを実施すると一定量のデータを読み書きするまではキャリブレーションを実施しない仕組みがあるが、テープによって最適値は変わるので、新しいテープに入れ替わるとその仕組みが初期化され、再びキャリブレーションが実施されて転送速度が低下したケースが報告されている。

近年では、この転送速度の低下を問題視するユーザ

も増えてきているので、必要以上にキャリブレーションを実施しないことが求められている。

本稿では、機能しなくなったトラック(デッドトラック)を検出した場合や、サーボ[6]の状態によって位置合わせが困難になり、書き込みを停止(ストップライト)した場合におけるリライトの増分を考慮して、キャリブレーションを実施するリライト数の基準値を調整する仕組みを提案し、効果を実機のログ情報から検証する。

2. テープドライブのキャリブレーション

2.1. キャリブレーション実施条件

テープドライブでは、書き込み用のヘッドと読み出し用のヘッドが対に配置されていて、書き込み時には、テープメディア上にデータをCWI Setという単位で書き込んだ直後に、読み出し用のヘッドでテープ上からデータを読みだして正しくかけたことを検証している。書いたデータを正しく読み出せなかった場合には、直後にその書けなかったCWI Setのみを別のヘッドで書き直している。この仕組みをリライトと呼んでいる。

テープ上を走行しながらデータの書き込みを行っている間、テープドライブは複数のCWI Setで構成されるデータセットという単位で書き込みを行うたびに、リライトの発生頻度を集計している。テープの先頭付近の領域に来たところで、集計したリライト数からキャリブレーションが必要かどうか判断し、必要な場合はユーザーデータ領域外に移動してキャリブレーションを実施して、チャンネルの設定値の最適化を行う。

2.2. デッドトラックによるリライトの増加

何らかの理由によりヘッド素子が機能しなくなった状態をデッドトラックと呼んでいる。LTO9テープドライブには32個のヘッド素子があり、かつ、書き込まれたデータ間で誤り訂正符号(ECC)により冗長化したデータを書き込んでいるので、デッドトラックになったヘッドがあっても、一定数までであれば書き込みは許容される。デッドトラックがあると常にリライトの発生頻度が一定の割合で増えてしまう。デッドトラックのヘッドでは、チャンネルの設定を調節してもリライトの発生頻度が減ることはないので、キャリブレーションは不要である。しかし、従来はこのことを考慮していなかったため、デッドトラックが原因でリライトの発生頻度が増えたために閾値を超えてしまうことがあった。この場合はキャリブレーションを実施する必要はないにも関わらず実施することで、転送速度が低下した事例があった。

なお、キャリブレーションによりデッドトラックと判断されたトラックの情報はVPDに記録されている。一方で、デブリがヘッドに付着していると、デッドトラックに見えることがある。

2.3. ストップライトによるリライトの増加

テープメディアを繰り返し使用することによるメディアの劣化や、ドライブのヘッドにデブリが付着するなどの理由により、ヘッドの位置合わせが困難になると書き込みを停止するストップライトが発生すると、リライトの発生頻度が一定の割合で増える。繰り返しストップライトが発生すると、リライトの発生頻度が閾値を超えてキャリブレーションが実施されて、転送速度が低下してしまう。

3. リライトへの影響の除去

3.1. 対策の概要

デッドトラック数、および、ストップライト数に比例して発生するリライトの頻度を、テープドライブの製品の種類ごとにあらかじめ測定しておく。

テープドライブでは、データセットの書き込みやキャリブレーションを行うたびに、デッドトラックになっているヘッドがないか確認して、デッドトラックを検出した場合には、その情報を VPD に記録している。また、データを書き込むのと並行して、データセットごとのストップライトの数をメモリ上に記録している。

キャリブレーションを実施するかどうかの判断で使用するリライトの基準値に、デッドトラックになっているヘッド数に対応するリライトの発生頻度、および、ストップライト数に対応するリライトの発生頻度を加算しておく。デッドトラック数とストップライト数を考慮したリライトの基準値と、書き込み時に発生したリライト数とを比較して、キャリブレーションの実施を判断する。

デッドトラック数を考慮した場合を 3.2 節に、ストップライト数を考慮した場合を 3.3 節に示す。

3.2. デッドトラック数を考慮した場合の手順

準備手順を図 1 に示す。

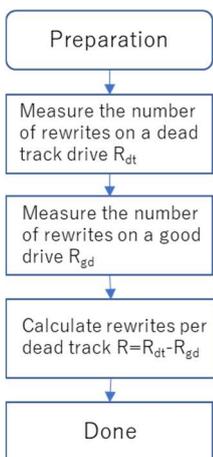


図 1 準備手順

ここで、 R_{dt} は一つのヘッドでデッドトラックが発生したドライブで測定したデータセットあたりのリライトの回数、 R_{gd} はデッドトラックが発生していない良好なドライブで測定したデータセットあたりのリライトの回数である。ここで求める R は、デッドトラックになったヘッドが一つ存在することにより増加するリライト回数である。

データの書き込み時に、デッドトラックかどうかを判断する手順と、デッドトラックと判断したヘッド情報を VPD に格納する手順を図 2 に示す。

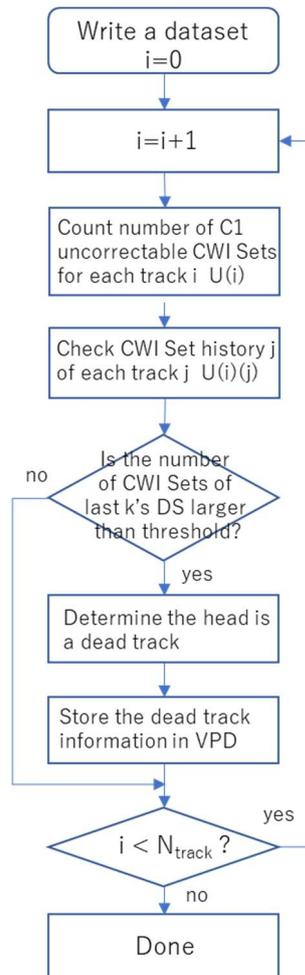


図 2 書き込み時のデッドトラック情報の記録

ここで、 $U(i)$ は i 番目のトラックで発生した C1 (テープドライブの誤り訂正機能の一つ) でエラーを訂正できなかった CWI Set (誤り訂正を行う最小単位) の数、 $U(i)(j)$ は $U(i)$ の j 番目の履歴 (j 個手前のデータセットでの書き込み時における $U(i)$)、 N_{track} はテープドライブのトラック数である。

キャリブレーションを実施したときにデッドトラックと判断したヘッド情報を、テープドライブの不揮発メモリに格納する手順を図 3 に示す。

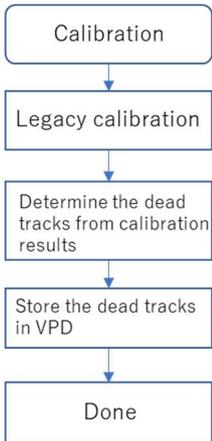


図 3 デッドトラック情報の記録

キャリブレーションを実施するかどうかの、リライト数の基準値の決定手順を図 4 に示す。

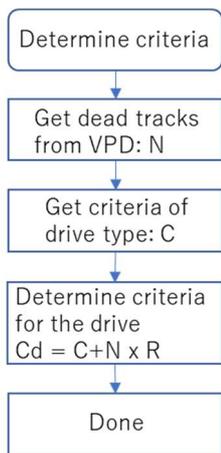


図 4 基準値の決定

N はデッドトラックしているヘッドの数、 C はドライブのタイプごとにあらかじめ測定してある、キャリブレーションを実施するかどうか判断するリライト数の基準値、 R は図 1 で算出したデッドトラックあたりのリトライ回数、 C_d はデッドトラック数を考慮したキャリブレーションを実施するかどうか判断するリライト数の基準値である。

キャリブレーションを実施するかどうかの判断をする手順を図 5 に示す。

$R(K)$ は K データセット手前のデータの書き込み時に発生したリライト数である。 i データセット手前の書き込みで発生したリライト数とキャリブレーション実施のリライト数の基準値とを比較して、リライト数の方が大きければカウントを 1 加える。これを過去 K データセットについて比較した時のカウントが閾値よりも大きければキャリブレーションを実施する。

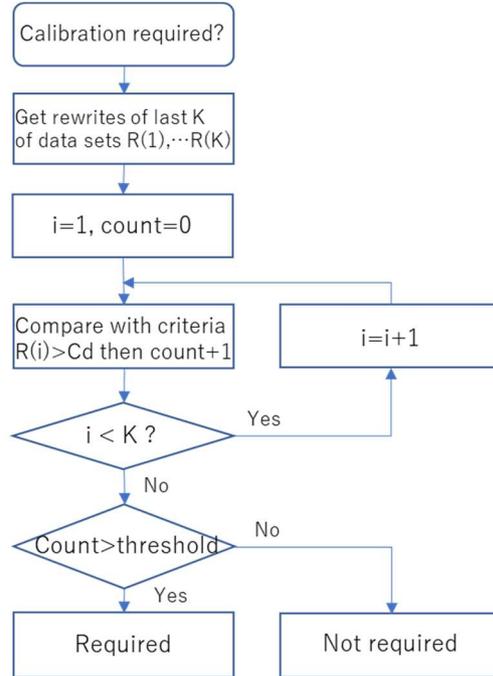


図 5 キャリブレーション実施の判断

3.3. ストップライト数を考慮した場合の手順

準備手順を図 6 に示す。

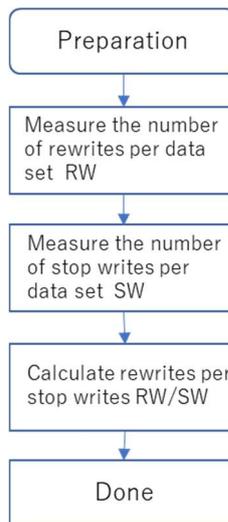


図 6 準備手順

ここで、 RW はデータセットあたりで発生したリライトの回数、 SW はデータセットあたりで発生したストップライトの回数である。ストップライトが 1 回発生することによって発生するリライト数を求めている。

データセットの書き込み時に発生したストップライト数をもとに、リライトの基準値を決定する手順を図 7 に示す。

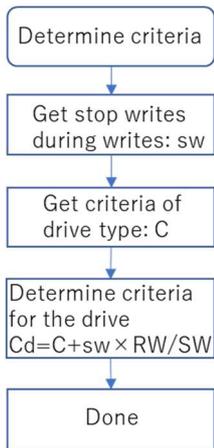


図 7 デッドトラック情報の記録

ここで、RW/SW は図 6 で得られた値である。sw は書き込み時に発生したストップライトの回数である。C はドライブのタイプごとにあらかじめ測定しておいた、キャリブレーションを実施するかどうか判断する基準値、Cd はデッドトラック数を考慮したキャリブレーションを実施するかどうか判断する基準値である。

ストップライトによるリライト数でキャリブレーションを実施するかどうかの判断をする手順は、3.2 節の図 5 と同じである。

ここでも、 $R(K)$ は K データセット手前の書き込みで発生したリライトの数である。i データセット手前の書き込みで発生したリライトの回数 $R(i)$ と、キャリブレーション実施の基準値 Cd を比較して、リライト回数の方が大きければカウントを 1 加える。これを過去 K データセットについて比較した時のカウントが閾値よりも大きければキャリブレーションを実施する。

3.4. デブリによるリライトの影響の排除

3.2 節のデッドトラックに関しては、テープやメディアに付着したデブリによって一時的にデッドトラックに見ることがある。本節ではデブリの影響を考慮してリライト数の基準値を調整する仕組みについて検討する。テープドライブには、キャリブレーションよりも短時間で終わり、かつ、デブリの除去に寄与していることが確認されている、リチャックという動作がある。リチャックは、テープの先頭位置まで巻き戻したうえで、テープカートリッジを排出し、再度テープドライブに投入して、元の位置まで移動する仕組みである。先頭位置まで走行することでテープ上のデブリを除去する効果が期待される。さらに、テープの排出、再投入動作時にブラシでヘッドの掃除をするメカ的な動きによって、ヘッドに付着したデブリを除去する効果が期待される。TS1160 でリチャックの実施時間を測定したところ、キャリブレーションに約 125 秒かかるのに対して、リチャ

ックは約 26 秒で終了することを確認した。キャリブレーションを実施するかどうかの、従来のリライトの基準値を R(簡単のため、ストップライトの影響を含んでいるものとする)、キャリブレーションによりデッドトラックと判断したトラック数を DTc、テープからの読み出し時にデータが入ってこなかったトラック数を DTe (DTe は DTc に加えてデブリなどの影響でデータが入ってこない場合も含むので、 $DTc \leq DTe$ が成り立つ)、デッドトラックが一つあると増えるリライト数を ΔR_d としたときに、実施条件の二つの基準値 R1, R2 を次式で定義する。

$$R1 = R + DTc \times \Delta R_d$$

$$R2 = R + DTe \times \Delta R_d$$

$$R1 \leq R2$$

データセットを一つ書き込むごとに取得したリライト数が実施条件 R1 以下のときは何もしない。リライト数が実施条件 R1 より大きく、実施条件 R2 以下の時は、デッドトラックに加えてデブリの付着による影響もあると考えられるのでリチャックを行う。リライト数が実施条件 R2 よりも大きいときは、デッドトラックやデブリによる影響に加えて、チャンネルの設定を調整する必要があると考えられるのでキャリブレーションを行う。

4. 実施例

3.2 節のデッドトラックの場合の実施例を 4.1 節に、3.3 節のストップライトの時の実施例を 4.2 節に、3.4 節のデブリによるリライトの影響を排除する実施例を 4.3 節にそれぞれ示す。

4.1. デッドトラックの場合の実施例

一つのヘッドがデッドトラックであることが確認されていた LTO 8 テープドライブで調査を行った。このテープドライブでは、Forward 方向の一つのトラックがデッドトラックで、Backward 方法のトラックは非常に良い状態であることが分かっている。なお、LTO 8 では、1 データセットは 192 CWI Set で構成されている。測定の結果、Forward では 1 データセットあたり平均 9.24 CWI Set でリライトが発生していた。一方で、Backward では 1 データセットあたり平均 1.44 CWI Set でリライトが発生していた。3.2 節の図 1 の計算式から $R=R_{dt}-R_{gd}=9.24-1.44=7.80[\text{CWI Set}]$ なので、デッドトラックがあると 1 データセットあたりリライトが約 7.8 CWI Set 発生することが分かる。これは、データセットあたり $4\%(=7.8[\text{CWI Set}]/192[\text{CWI Set}])$ の CWI Set でリライトが発生することに相当する。なお、LTO8 は 32 トラックなので、1 トラックのデッドトラックの影響が $1/32=3.125\%$ よりも大きくなるのは、リライトにおいてデータを書き直す仕組みによるものである。

図 8 は複数の LTO8 テープドライブのダンプから収集したデッドトラック数(横軸)とリライト数(縦軸)との関係プロットしたものである。デッドトラック 1 個につき、リライトが 7.8 回以上発生している。7.8 回よりも大きいプロット箇所はデッドトラック以外の要因により、リライトが発生したものである。リライトが 48 回を超えると書き込みを停止するので、それ以上の数のリライトは記録されていない。デッドトラックが 7 個以上のドライブではリライト数が上限の 48 回に到達してしまい、書き込みがすぐに停止してしまう。

同様に、複数の種類の 32 トラックのテープドライブでも検証を行っており、いずれもデッドトラックの影響によりリライト数が 4% 増加することが確認されている。

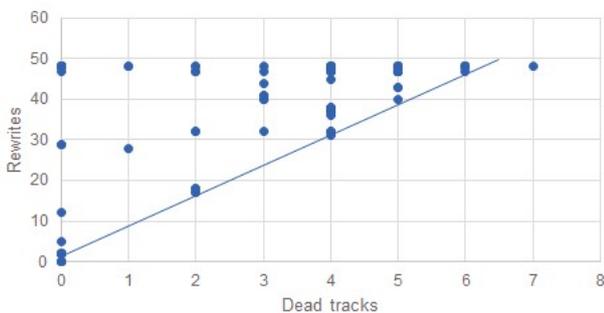


図 8 デッドトラックあたりのリライト数

この LTO8 ドライブにおけるキャリブレーションを実施する判断のリライトの基準値が 9 なので、デッドトラックが一つある Forward 側の基準値は 3.2 節の図 4 の計算式から、 $Cd=C+N \times R=9+1 \times 7.8=16.8$ に設定し、Backward 側の基準値は 9 のままにしておく。

従来の基準値をデッドトラックにより補正しない場合には、デッドトラックによるリライト数を考慮しないと、データセット当たり平均で 1.2 個リライトが発生しただけで基準値の 9 を超えてしまい、キャリブレーションを実施してしまっていた。

提案する仕組みでは、デッドトラックしているヘッド数を考慮して基準値をリライトが 16.8 を超える、つまり、17 にならないとキャリブレーションを実施しないように変更する。これにより、本当にキャリブレーションが必要な条件の時にだけ、キャリブレーションを実施するようになる。

4.2. ストップライトの場合の実施例

ストップライトが何度か発生しているテープドライブ TS1160[7]のダンプを解析した。

テープドライブでは、約 1,000 メートルのテープを 80 の領域に分割して、それぞれの領域で統計情報を収集している。各領域で発生したストップライトの回数とリライトの回数はメモリ上に記録されている。

表 1 は LTO8 のテープ上の領域 1, 2 で発生したリライトおよびストップライトの回数を集計したものである。Region は領域番号、Rewrites がリライト数、Stop Writes がストップライト数である。領域 2 の結果から、このドライブではヘッド、もしくはメディアの劣化により、ストップライトが発生しなくても領域当たり 1,600 以上のリライトが発生していることがわかる。領域 1 ではストップライトが 647 回発生しているのに対して、リライトが 2,853 回発生しているので、ストップライトによるリライトの回数は、 $2,853(\text{Region 1})-1,628(\text{Region 2})=1,225$ 回発生したと考えられる。ストップライトが 1 回発生したときに発生するリライトの回数は、 $1,225/647=1.89$ 、すなわち、約 2 回であることが分かる。

表 1 領域 1 と 2 のリライトとストップライト

Region	Rewrites	Stop Writes
1	2,853	647
2	1,628	0

表 2 は領域 21, 22, 23, 24 で発生したリライトおよびストップライトの回数である。領域 23 では、ストップライトが 25 回なので、ストップライト当たりのリライト数は約 8 回である。

表 2 領域 21-24 のリライトとストップライト

Region	Rewrites	Stop Writes
21	1,634	0
22	1,625	0
23	1,830	25
24	1,623	0

表 3 は領域 43, 44, 45 で発生したリライトおよびストップライトの回数である。領域 44 ではストップライト 129 回なので、ストップライト当たりのリライト数は約 2 回である。

表 3 領域 43-45 のリライトとストップライト

Region	Rewrites	Stop Writes
43	1,694	1
44	1,876	129
45	1,774	13

表 2 のだけがストップライト当たりのリライト数が 8 回になっているが、これはストップライト以外の影響も含まれていたと考えられる。このことから、このドライブにおけるキャリブレーションを実施する判断のリライトの基準値はストップライト 1 回につきリライトが 2 回発生すると考えられる。

したがって、キャリブレーションを実施する判断のリラ

イトの基準値に、ストップライト数×2 を加算しておき、実際の書き込み時における1データセット当たりのリライトの発生数と比較することになる。

1 データセットの書き込みでストップライトが n 回発生すると、リライトが $2n$ 回発生する。例えば 5 回ストップライトが発生すると、ドライブやテープに問題はなくてもリライトが 10 回発生する。この回数は、TS1160 のキャリブレーションの基準値の9回を超えているので、必要のないキャリブレーションが実施される。

提案する仕組みにより、ストップライトによるリライトを考慮すると、リライトが 10 回発生しても基準値 $9+2n=19$ 回よりも少ないので、不必要なキャリブレーションを実施しない。言い換えると、これにより、本当に必要な時にだけキャリブレーションを行うようになる。

4.3. デブリの影響排除の実施例

3.4 節の手順で示した、デブリによるリライトの増加時にキャリブレーションの代わりにチャックを行う仕組みについて、実環境ではキャリブレーションを実施した例で検証する。

ある LTO8 テープドライブでは、データセット当たりのリライト数が 47 回に増加していた。調査すると 5 つのトラックでエラーを訂正できない状態であることが分かった。これは $DTe=5$ であることに相当する。しかし実施したキャリブレーションの結果から、デッドトラックしているトラックはなかった。このことは $DTc=0$ であったことに相当する。つまり、 $DTe - DTc=5$ 個のトラックには、デブリが付着していたと考えられる。4.1 節の結果から ΔRd は 7.8 である。LTO8 のリライトの基準値 $R=9$ なので

$$R1 = R + DTc \times \Delta Rd = 9 + 0 \times 7.8 = 9$$

になる。一方で、エラーを訂正できないトラック数から

$$R2 = R + DTe \times \Delta Rd = 9 + 5 \times 7.8 = 48$$

になる。実際のリライト数は 47 だったので

$$R1 \leq Rewrite(47) < R2$$

の条件に該当して、デブリを除去する効果が期待できるリチャックが選択されることになる。

5. まとめ

本稿では、リライトが増えた時にチャンネルの設定を調整するために実施されるキャリブレーションによって、テープドライブの転送速度が低下することに不満を持つユーザーがいるという課題に対して、デッドトラックやストップライトといったチャンネルの設定状況とは関係ない要因によってリライトが増えてしまうことに着目して、キャリブレーションを実施するかどうかの判断において、デッドトラックやストップライトによって発生するリライト数を排除することで、キャリブレーションを必要としないときのみ実施する仕組みを提案した。

さらにトラックが本当に機能しなくなってデッドトラックする場合と、デブリの付着により機能していないように見えるトラックがあることにも着目して、デブリの付着が疑われる場合は、デブリ除去に効果が認められているリチャックを行う仕組みを提案した。

実際にデブリが付着したと考えられるドライブでキャリブレーションが実施された時のダンプを解析して、提案する仕組みを適用することにより、キャリブレーションを行うことなく、デブリを除去するためのリチャックが実施されるようになることを検証した。提案した仕組みを適用することにより、ユーザーは必要最小限の転送速度の低下のみでデータを書き続けられる。

本稿で提案した仕組みは、LTO 7, LTO 8, TS1150, TS1155, TS1160 の 2021 年の PGA、および 2021 年発表の LTO9 に適用されている。この仕組みについて、米国特許商標庁に 2 件の特許を出願した[8][9]。

謝辞

不必要なキャリブレーションを回避する仕組みの実用化に向けて、様々な助言をいただいた David Swanson 氏、岡撰子氏、および Tucson 事業所、箱崎事業所のテープドライブ開発のメンバーに感謝します。また、課題の抽出、実装の動作検証などについてサポートをいただきました、テープメディアの開発・製造を行っている富士フイルム株式会社記録メディア事業部のメンバーに深謝します。

参考文献

- [1] テープストレージの技術革新における第 9 の波、<https://www.ibm.com/blogs/systems/jp-ja/the-ninth-wave-of-tape-storage-innovation/>
- [2] テープドライブの最新技術高信頼記録再生技術、JEITA、磁気記録媒体標準化専門委員会(2009)
- [3] キャリブレーション、IT 用語辞典 e-Words, <https://e-words.jp/w/キャリブレーション.html>
- [4] *Areal density (computer storage)*, WIKIPEDIA, [https://en.wikipedia.org/wiki/Areal_density_\(computer_storage\)](https://en.wikipedia.org/wiki/Areal_density_(computer_storage))
- [5] テープストレージの速度に対する“誤解”を解く、JEITA、テープシステム技術資料
- [6] 高記録密度を支えるサーボ技術、JEITA、テープシステム技術資料
- [7] *IBM TS1160 Tape Drive*, <https://www.ibm.com/jp-ja/marketplace/ts1160>
- [8] *Adaptive Calibration Criteria by Number of Dead Tracks*, US Patent 96516414 (2021)
- [9] *Adaptive Calibration Criteria by Number of Stop Writes*, US Patent 96516264 (2021)

本論文の著作権は、日本アイ・ビー・エム株式会社(IBM Corporation を含み、以下、IBM といいます。)に帰属します。

ワークショップ、セッション、および資料は、IBM またはセッション発表者によって準備され、それぞれ独自の見解を反映したものです。それらは情報提供の目的のみで提供されており、いかなる参加者に対しても法的またはその他の指導や助言を意図したのではなく、またそのような結果を生むものでもありません。本論文に含まれている情報については、完全性と正確性を期するよう努力しましたが、「現状のまま」提供され、明示または暗示にかかわらずいかなる保証も伴わないものとします。本論文またはその他の資料の使用によって、あるいはその他の関連によって、いかなる損害が生じた場合も、IBM またはセッション発表者は責任を負わないものとします。本論文に含まれている内容は、IBM またはそのサプライヤーやライセンス交付者からいかなる保証または表明を引き出すことを意図したもので、IBM ソフトウェアの使用を規定する適用ライセンス契約の条項を変更することを意図したものでなく、またそのような結果を生むものでもありません。

本論文で IBM 製品、プログラム、またはサービスに言及していても、IBM が営業活動を行っているすべての国でそれらが使用可能であることを暗示するものではありません。本論文で言及している製品リリース日付や製品機能は、市場機会またはその他の要因に基づいて IBM 独自の決定権をもっていつでも変更できるものとし、いかなる方法においても将来の製品または機能が使用可能になると確約することを意図したものではありません。本論文に含まれている内容は、参加者が開始する活動によって特定の販売、売上高の向上、またはその他の結果が生じると述べる、または暗示することを意図したもので、またそのような結果を生むものでもありません。パフォーマンスは、管理された環境において標準的な IBM ベンチマークを使用した測定と予測に基づいています。ユーザーが経験する実際のスループットやパフォーマンスは、ユーザーのジョブ・ストリームにおけるマルチプログラミングの量、入出力構成、ストレージ構成、および処理されるワークロードなどの考慮事項を含む、数多くの要因に応じて変化します。したがって、個々のユーザーがここで述べられているものと同様の結果を得られると確約するものではありません。

記述されているすべてのお客様事例は、それらのお客様がどのように IBM 製品を使用したか、またそれらのお客様が達成した結果の実例として示されたものです。実際の環境コストおよびパフォーマンス特性は、お客様ごとに異なる場合があります。

IBM、IBM ロゴは、米国やその他の国における International Business Machines Corporation の商標または登録商標です。他の製品名およびサービス名等は、それぞれ IBM または各社の商標である場合があります。現時点での IBM の商標リストについては、ibm.com/trademark をご覧ください。