Western Digital.

ホワイトペーパー 2021年9月

自動車ワークロード分析

Einav Zilberstein | Adi Klein

概要

自動車業界は、新しいテクノロジー、アプリケーション、サービスの採用による大きな変革の中にいます。次世代の自動車システムへと進化する中で、より要求の厳しいユースケースや新しいアプリケーションに対応するために、ストレージへの要求が増大し続けています。高度なインフォテインメント、ADASシステム、データレコーディングセンサーとカメラ、3Dマッピングはすべて、大量のデータを生成、消費することがわかっています。リアルタイムで意思決定を行うには、車載ストレージにデータを保存できる必要があります。5G機能、人工知能、機械学習とディープラーニング、ビッグデータ分析を活用すると、まったく新しいアプリケーションや機能が生み出されることが予想されます。

アプリケーションが変化し、ワークロードが増加するにつれて、ストレージ要件も再評価する必要があります。図1に示すように、スマートフォンの書き込みワークロードは時間の経過とともに着実に増加していますが、自動車業界では、自動運転の複雑さと規制要件により、ストレージ使用量が徐々に増加していくことが予想されます。

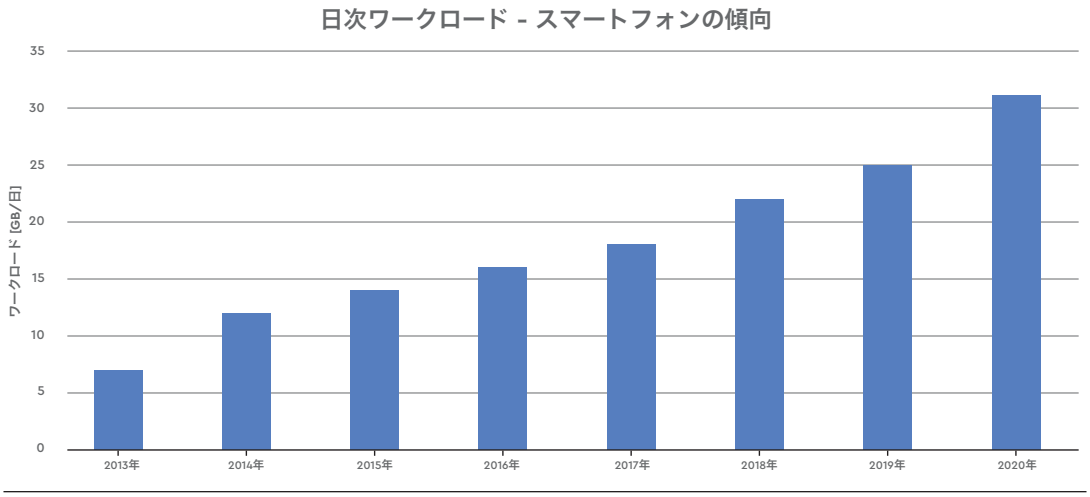

図1: Western Digitalによるスマートフォンヘビーユーザーの日次推定ストレージワークロード[1]

ストレージは自動車業界の継続的な進化における重要な要素ですが、増え続けるデータを保存する容量があればよいというわけではありません。自動車システムに必要な耐久性と寿命を備え、監視機能を搭載し、新しいアプリケーションのニーズに対応する優れたユーザーエクスペリエンスを提供する機能も求められています。

Western Digitalは成長する車載ストレージ市場に対応し、ストレージの上書きにより発生する高額なリコールを防ぐために、現在および将来にわたり対応できる業界独自のワークロードに適したソリューションを設計するためのツールと分析手法を開発しました。

[1] グラフのデータは一般的なアプリケーションと高負荷のユースケースを使用したWestern Digitalの社内ユーザープロファイルに基づいています。このデータはWestern Digitalの社内ラボテストから収集されており、これらのユーザープロファイルが調査されています。

ワークロード分析の重要性

実際のワークロード分析は、自動車のターゲットシステムのニーズとストレージの要件を把握するために非常に重要です。ストレージワークロード分析を行うと、ソフトウェアの問題をプロアクティブに監視および予防できるため、それぞれに必要な容量がわかり、容量を使い切ってしまうということがなくなります。この分析は、予測寿命、ストレージ製品の設計、検証に関する考慮事項の基準となります。これに加え、将来のストレージ、システムの最適化、イノベーションの基準にすることもできます。

以下はワークロード分析ツールを使用して答えを出すことができる問いのほんの一例です。

- ターゲットシステムで1日にどのくらいのデータが読み書きされるのか?
- ターゲットシステムに予期しない、または独自のデータパターンがあるか?
- データ転送とは何か? ライトアンプリフィケーション係数とどのような関連性があるのか?
- システム内のストレージ動作プロファイルはどのようになっているか?
- ホストソフトウェアスタックは効率的になっているか?
- システムパフォーマンス要件は何か?
- このシステム使用量でのストレージの予測寿命はどれくらいか?

過去10年間、Western Digitalはワークロード分析アクティビティをサポートする最先端のツールと手法への投資と開発を続け、こうした数々の問いに答えを出してきました。

ワークロード分析フロー

ワークロード分析は、主に次の4つのフェーズで構成されます。

- 第1フェーズ - インフラストラクチャの立ち上げ
- 第2フェーズ - ワークロードの定義
- 第3フェーズ - ワークロード実験
- 第4フェーズ - システム分析

第1フェーズ (インフラストラクチャの立ち上げ) での主な目標は、ターゲットシステムで必要なすべてのストレージイベントを捕捉するトレーサーを有効にすることです。完全な分析機能を得るために、読み出し、書き込み、マップ解除/消去、同期コマンド、管理コマンド、クエリコマンドなどのすべてのストレージトランザクションタイプをトレースに含めることが強く推奨されます。各トランザクション/コマンドの開始と完了のタイムスタンプをトレースに含めることも推奨されます。

ホストソフトウェアやストレージデバイスのいずれかから有効にできるトレーサーにはいくつかのタイプがあります。eMMCトレーサーftrace、UFS Ftrace SCSIトレーサー、UPIUトレーサーなどの一部のトレーサータイプは、すでにLinux®オープンソースの一部として利用可能であり、Linuxの標準デバッグディレクトリコマンドを使用して有効にできます。

ターゲットシステム内でのストレージトレーサーの有効化に関する詳細とサポートについては、Western Digitalの担当者にお問い合わせください。

ユースケースの概要を理解し、ユーザーのアクションとストレージアクティビティの相関関係を見つけることは、包括的なワークロード分析の重要な側面です。よって**第2フェーズ (ワークロードの定義)** の主な目標は、ターゲットシステムでのユーザーアクティビティのプロファイルを定義することです。

ワークロードの定義フェーズの一環として、以下のような問いに答える必要があります。

- 分析する製品/システムは何か? (インフォテインメント? データレコーダー? マッピング?)
- ストレージデバイスの前提条件は何か? (充填状態? どのファイルタイプ?)
- 1日あたり何時間使用するのか?
- 実際使用するアプリケーションはどのようなタイプか?
- 各アプリケーションでどのユーザーアクションがどのような頻度で実行されているか?
- このワークロードの定義は、システムの標準、高負荷、または過度な使用量を表しているのか?

システムで必要なアプリケーションと有効なトレーサーの準備ができたら、**第3フェーズ (実際のワークロード実験)** を開始できます。実験時、定義されたワークロードの実行中に大量のトレースログが捕捉されます。ワークロード分析の効果を最大化するために、イベントを捕捉するのに十分な期間 (少なくとも数時間またはまる1日の使用) のテストログにすることが強く推奨されます。

第4フェーズ（システム分析）では、捕捉されたワークロードログが後処理を経て分析され、システムとストレージのパターンと動作に関するインサイトと結論が引き出されます。

以下は、通常分析されるストレージメトリックの例です。

- 時間の経過に伴いアドレススパンに広がるI/O操作（図2の例を参照）
- チャンクサイズの分布
- シーケンシャル操作とランダム操作
- 時間の経過に伴うストレージアクティビティプロファイル
- 時間の経過に伴うストレージIOPSとMB/秒
- 時間の経過に伴うコマンドレイテンシ
- 時間の経過に伴うキュー使用量（深さ）

Western Digitalはストレージトレース分析とインサイトでお客様をサポートできます。

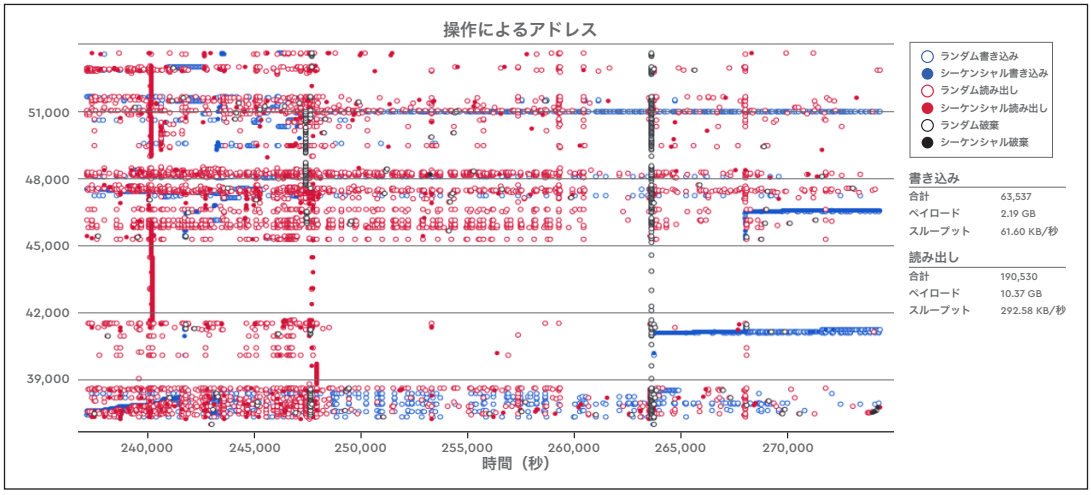

図2: 時間の経過に伴いアドレススパンに広がる操作

例: ワークロード分析に基づく予期しない書き込みアクティビティの特定

進化する製品世代とさまざまなセットアップでワークロード分析をルーチンとして繰り返し実行することで、変化する傾向と予期しないパターンを特定できます。

同じナビゲーションアプリケーションが2つの異なるセットアップでテストされた以下の例を考えてみましょう。このアプリケーションはさまざまなセットアップと条件で何年にもわたりテストされているため、その動作とパターンは把握されており、20分のナビゲーションで約150～300MBを生成します。ただし、最近のセットアップでこのアプリケーションを分析しているときに、予想外にまったく同じ使用プロファイルで1.5GBのデータが生成されました。アドレス範囲での操作を分析すると（図3を参照）、ほとんどの書き込みが集中している特定のアドレス領域が示されました。高度な分析ツ

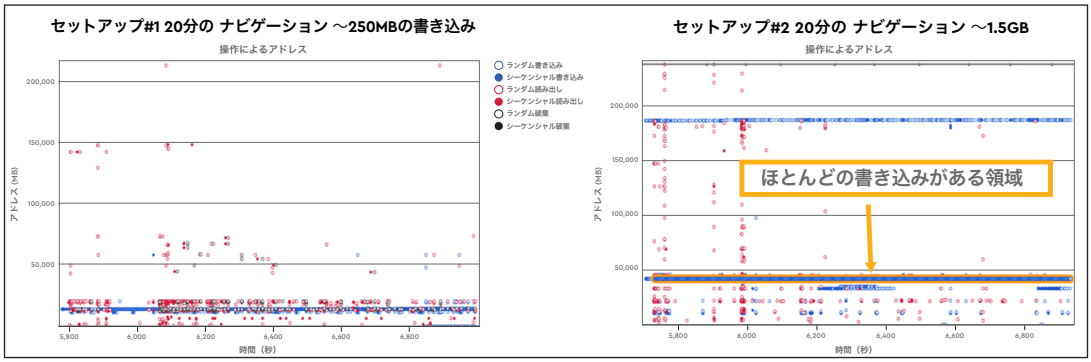

図3: ナビゲーションアプリの実行中にセットアップ#2で観察された過度の書き込み

ール機能を使用してこの領域を拡大すると（図4を参照）、同じ1MBファイルを周期的に連続して再書き込みする集中的なログアクティビティが見つかりました。

ワークロード分析手法を使用して、現場での実装および運用前にこうした予期しない動作を特定することで、予防と事前の修正措置が可能になります。

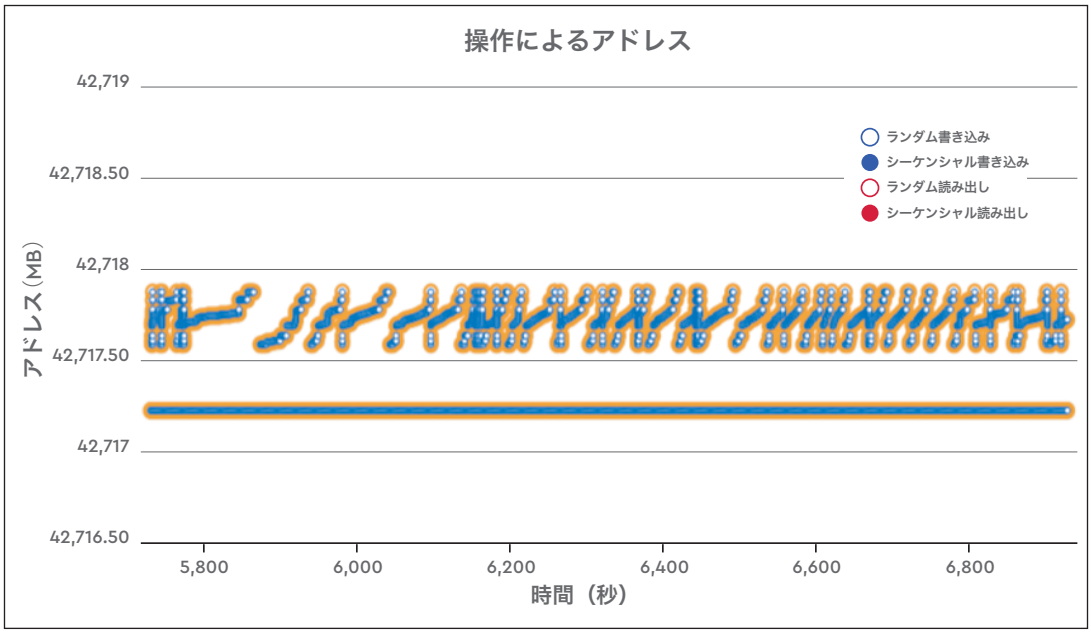

図4: セットアップ#2で観察された標準的なロギングアクティビティの動作

ワークロード分析に基づく製品寿命の予測

ワークロード分析は、ターゲットシステムでストレージの寿命を予測できるようにするための基本的なツールです。

寿命予測は、**ライトアンプリフィケーション係数（WAF）**と**テラバイト書き込み（TBW）**に基づいて行われます。

WAFはフラッシュメモリに書き込まれるデータ量とホストによって書き込まれるデータ量の比率です。ライトアンプリフィケーション（WA）はフラッシュメモリに関連する現象であり、フラッシュに書き込まれる物理情報の実際の量は、通常、ホストによって書き込まれる予定の量よりも多くなります。WAが発生する主な理由は、固定サイズのブロックしか消去できず、プログラムされたデータを上書きできない、特定の条件でデータを更新する必要があるフラッシュメモリ属性です。WAFの式を図5に示します。

フラッシュメモリ容量と書き込みサイクルを指定し、WAFが小さくなれば製品の寿命を延ばすことができます。

$$\frac{\text{フラッシュメモリに書き込まれたデータ}}{\text{ホストによって書き込まれたデータ}} = \text{ライトアンプリフィケーション係数}$$

図5: ライトアンプリフィケーションの式

WAFはワークロードパターンと製品によって変わります。WAF分析はターゲットの標準または限界の場合のワークロードでの特定の製品のシミュレーションやテストに基づいて実施されます。この結果はワークロード分析フローの一部として決定される多くのメトリックと動作の影響を受ける可能性があります。WAFに影響を与える可能性のある要素の例を以下に示します。

- ホストの書き込みパターン - シーケンシャル対ランダム、ホットスポット、チャンクサイズ
- コマンドの破棄とキャッシュ使用量の同期
- 実施時のアイドル時間プロファイルとストレージガベージコレクションアルゴリズム
- 物理メディアの空き容量
- フラッシュ管理メタデータとテーブルの更新

製品の**TBW**は、製品がその寿命中にサポートできるホスト書き込みの合計量（テラバイト単位）です。TBWはワークロードWAFの影響を直接受けます。寿命予測の割り出しは、製品TBWとワークロード分析から結論付けられた予期される標準/高負荷の日次書き込みに基づいて行われます。TBWと予測寿命の両方を計算する式については、図6を参照してください。

$$TBW = \frac{[予想される容量] \times [最大PEサイクル]}{ライトアンプリフィケーション係数}$$

$$製品寿命（日） = \frac{製品\ TBW}{予期される日次書き込み\ (TB)}$$

図6: テラバイト書き込みと製品寿命の式

ストレージ診断を使用した現場の問題のプロアクティブな監視

ストレージデバイスから直接読み取られた統計と診断情報に基づき、別のワークロード分析のアプローチをする場合があります。このような診断情報の例としては、eMMC、UFS、NVMe™で簡単かつ一般的な方法でストレージデバイスから読み取ることができる寿命統計やサポート終了通知があります。

現場のストレージデバイスでこのような統計データを刻々と監視するのは、ストレージの予期せぬ過度の使用、システムの不具合やその他の異常が発生した場合に、現場の問題をプロアクティブに特定できる機能として非常に強力です。現場の問題を早期に特定することで、デバイスが寿命に達し、製品のリコールが必要になる可能性のある障害が発生する前に予防措置を講じられます。

このようなデバイス診断は、現場の使用状況の監視に加え、追加の分析ツールとしてラボで使用することもできます。ワークロード分析中に、診断を使用してテストと認定の微調整、セットアップの問題の特定、製品の動作の分析ができます。

現場の診断の監視は、ワークロード実験フローを補完する取り組みです。図7に示すように、それぞれのアプローチには長所と短所がありますが、両方の手法を利用し、偏りなく学習することが推奨されます。

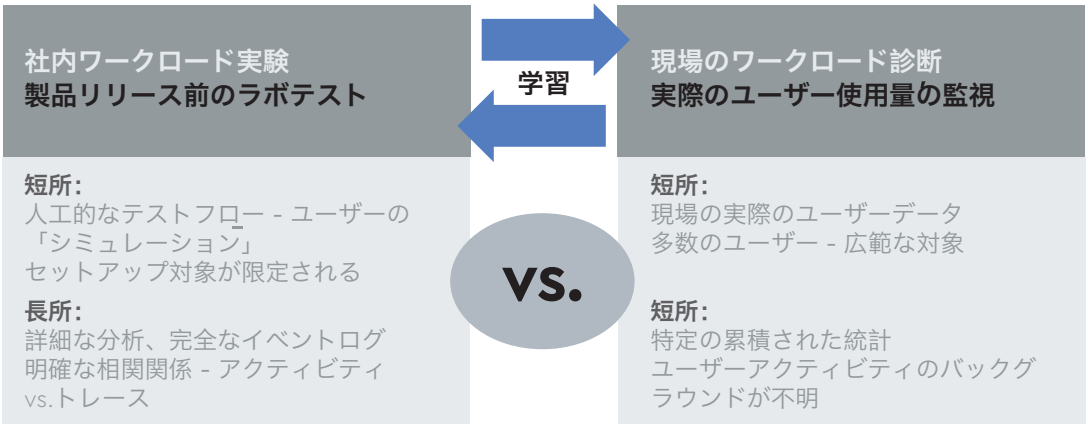

図7: ワークロード分析のためのラボ実験と現場診断アプローチの比較

自動車市場におけるワークロード分析 - まとめ

絶え間なく変化する自動車市場において、ストレージはこれまで以上にさまざまな用途で要求の厳しいアプリケーションをサポートすることが求められています。アプリケーションが変化し、ワークロードの負荷がますます高くなるにつれ、ストレージはシステム全体の信頼性、耐久性、ユーザーエクスペリエンスを高めるためにますます重要になっています。

WesternDigitalの最先端の診断監視とツールを活用したラボでのワークロード分析の実施は、予期せぬ動作を特定し、予防措置を講じ、ストレージ仕様の互換性を確保して、システム要件とユースケースを満たすためのシステム検証過程の必須フェーズです。

Western Digitalは広範かつ詳細なワークロード分析を可能にするツールと手法に多額の投資を行ってきました。Western Digitalはこれらのツールを提供して、OEMおよびTier-1企業が予期されるストレージの動作と寿命をより厳密に予測して、エンドユーザーが優れたソリューションを利用できるようにお手伝いします。

Western Digital.

5601 Great Oaks Parkway
San Jose, CA 95119, USA
www.westerndigital.com
すべてのお問い合わせは、次のアドレス宛てにお送りください。
OEMProducts@WDC.com

© 2021 Western Digital Corporation or its affiliates. All rights reserved. Western DigitalおよびWestern Digitalのロゴは、米国および他の国におけるWestern Digital Corporation、またはその関連企業の登録商標または商標です。Linux®は米国およびその他の国におけるLinus Torvaldsの登録商標です。NVMeのワードマークはNVM Express, Inc.の商標です。その他の商標は各所有者に帰属します。