



OS SSD の温度を
33°C 低く維持 *

周囲温度 25°C



35°C の条件でも
障害なく動作を継続

Supermicro
SYS-621C-TN12R
サーバーでは障害が発生



OS SSD の温度を
34°C 低く維持 *

HVAC の誤動作シナリオ

データセンターのエネルギー効率を改善： 高温にも確実に耐える Dell PowerEdge HS5620 サーバー

高温テスト シナリオにおいて、Supermicro の SYS-621C-TN12R サーバーでは障害が発生したが、Dell PowerEdge HS5620 サーバーではコンポーネントの警告や障害が生じず、高負荷ワークロードを実行し続けた

データセンターを従来よりも高い温度で稼働させることができれば、組織は冷却コストとエネルギー消費量を節約できます。そうした対策が財政面でのメリットにつながる可能性については、ENERGY STAR® も「稼働可能な温度が 1°F 上昇するごとに、エネルギー コストを 4% から 5% 節約できる」と指摘しています。¹しかし、ハードウェアの許容範囲を超えるような高温の中でデータセンターを稼働させることはできません。日常的な高温環境にも耐えられるようなサーバーであれば、サステナビリティ目標の達成に取り組む組織を後押ししてくれます。適切に熱設計されたサーバーは、内部ファンの障害や外部環境の異常など、予期しない状況が発生した場合でも高温で機能し続けることができます。

Principled Technologies では、2 台のクラウド最適化 2U サーバー、Dell™ PowerEdge™ HS5620 と Supermicro® SYS-621C-TN12R をテストしました。温度を完全に制御して測定できる環境を作るために、フル装備のサーバー ラックの周囲にエンクロージャを構築しました。ラック内のすべてのサーバーで、機械学習推論ワークロードと同様の高負荷な合成浮動小数点ワークロードを実行することで、システムのプロセッサに負荷をかけ、環境内で熱を発生させました。

このようなテスト環境を用意したうえで、周囲温度 25°C、ファンの障害、データセンター HVAC の誤動作という 3 つのテスト シナリオを実施し、Dell と Supermicro のサーバーの内部温度を監視しました。その結果、Dell 製システムは、コンポーネントの発熱に起因する警告や障害を生じさせることなく動作し続けましたが、Supermicro 製システムでは対照的に、すべてのシナリオで警告が発生しました。特に 2 つ目と 3 つ目のシナリオではコンポーネントの障害が生じたため、手動による介入を要するシステム ダウンタイムに至る結果となりました。その冷却設計から圧倒的優位に立つ Dell PowerEdge HS5620 は、それぞれの困難な条件にも確実に対処できることが実証されました。

* 2 時間のワークロードにおける平均温度を Supermicro SYS-621C-TN12R サーバーと比較

テスト方法

表 1 は、今回テストした 2 台のクラウド最適化サーバーの主な構成情報をまとめたものです。詳細については、レポートの背景情報を参照してください。

表 1：テストしたサーバーの主な構成の詳細。

	Dell PowerEdge HS5620	Supermicro SYS-621C-TN12R
プロセッサ	2x インテル® Xeon® Gold 6444Y プロセッサ	2x インテル Xeon Gold 6444Y プロセッサ
メモリー	1,024 GB の DDR5 RAM	1,024 GB の DDR5 RAM
ネットワーク インターフェイス カード (NIC)	インテル E810-XXV (2x 25GbE ポート搭載)	インテル E810-XXVAM2 (AOC-S25GC-i2S) (2x 25GbE ポート搭載)
ストレージ	2x M.2 NVMe® SSD	2x M.2 NVMe SSD
ストレージ コントローラー	Dell BOSS N1	直付け型 PCIe® ストレージ
電源供給ユニット (PSU)	2x 1,800W Dell 05222NA00	2x 1,200W Supermicro HMC94MEBRA123N
ファン	5x Dell HPR シルバー 1x Dell HPR ゴールド	3x Supermicro 製ミドル ファン FAN-0206L4
OS	Ubuntu 22.04.3	Ubuntu 22.04.3

今回のテストでは、Supermicro サーバーのストレージ構成と一致するように、1 台のストレージ コントローラーと 2 台の M.2 NVMe ドライブを使用して Dell サーバーを構成しました。Dell サーバーの構成には、5 台の Dell HPR シルバー ファンと 1 台の Dell HPR ゴールド ファンを使用しました。一方、Supermicro サーバーは、テスト実施時点の実装上限数である 3 台の 8cm ファンを実装しました。パフォーマンス監視を有効にするために、Dell サーバーでは BIOS システム プロファイル設定を「ワットあたりのパフォーマンス (OS)」に調整しました。それに対して Supermicro サーバーでは、デフォルトの BIOS 構成である「OS Controls EPB」設定のままにして、テストに必要なデータを監視できるようにしました。

温度の制御と測定を行える環境を作るために、フル装備の 42U サーバー ラックの周囲にはカスタム エンクロージャを構築しました。テスト時の Dell PowerEdge HS5620 と Supermicro SYS-621C-TN12R はラック中央の同じ位置に配置し、42U ラックの残りの部分には、トップオブラック スイッチや各種 2U および 1U サーバーのほか、ブレード サーバーやシャーシを配置して、ワークロードの実行中に熱が発生するようにしました。さらに、サードパーティ製ツールの Telegraf™ と Prometheus を使用して、コンポーネント監視のためのベースバンド管理と OS レベルのテレメトリーを取得しました。

サーバーのテストは、周囲温度 25°C の典型的な稼働条件、内部ファンの障害が発生した場合（2 回、各回で異なるファンを無効にする）、および周囲温度が 35°C に上昇した際に HVAC が誤動作を起こした場合の 3 通りのシナリオで行い、それぞれのシナリオにおいて、stress-ng ツールでプロセッサの浮動小数点機能にストレスを加えました。こうしたワークロードは、AI 学習やハイパフォーマンス コンピューティング (HPC) などのユースケースにおいて重要です。詳細については、3 ページを参照してください。ワークロードはサーバーのキャビネットから 4 つのウェーブに分けて起動し、今回テストした Dell と Supermicro のシステムでは、最初のサーバーがワークロードを開始してから 3 分 30 秒後、4 つ目のウェーブでワークロードを起動しました。温度とハードウェアの統計情報は、ワークロードを開始する前の 15 分間、2 時間のワークロード全体を通して、およびワークロードが完了してからの 15 分間に監視しました。

実施したテスト、結果、構成の詳細については、レポートの背景情報を参照してください。

テスト結果の概要

表 2 と表 3 は、それぞれのテスト中にサーバーの各種コンポーネントがどのように機能したのかについてまとめたものです。記載されているコンポーネント タイプの 1 つ以上で警告または障害が発生した場合は、以下にその旨を記載しています。表 2 からわかるように、Dell PowerEdge HS5620 のコンポーネントは、どのシナリオでも警告が発生することなく動作し続けました。一方、Supermicro SYS-621C-TN12R では、周囲温度が 25°C のシナリオを含め、どのシナリオでも 1 つ以上の警告が発生したほか、HVAC が誤動作を起こすシナリオと、ファンが障害を起こすシナリオの両方でコンポーネント障害が発生しました（表 3）。テストで確認された OS SSD の障害の結果、システム障害に至り、Supermicro システムが使用できなくなって手動による介入が必要になりました。次ページ以降では、サーバーの熱設計を分析し、その結果をより詳細に検証します。

表 2：各テストシナリオで Dell PowerEdge HS5620 サーバーの主要コンポーネントがどのように機能したかについての概要。

Dell PowerEdge HS5620				
コンポーネント カテゴリ	周囲温度 25°C	ファン 2 の障害	ファン 3 の障害	HVAC の誤動作
CPU	✓ 警告または障害なし	✓ 警告または障害なし	✓ 警告または障害なし	✓ 警告または障害なし
RAM	✓ 警告または障害なし	✓ 警告または障害なし	✓ 警告または障害なし	✓ 警告または障害なし
NIC	✓ 警告または障害なし	✓ 警告または障害なし	✓ 警告または障害なし	✓ 警告または障害なし
M.2 SSD	✓ 警告または障害なし	✓ 警告または障害なし	✓ 警告または障害なし	✓ 警告または障害なし
PSU	✓ 警告または障害なし	✓ 警告または障害なし	✓ 警告または障害なし	✓ 警告または障害なし

表 3：各テストシナリオで Supermicro SYS-621C-TN12R サーバーの主要コンポーネントがどのように機能したかについての概要。

Supermicro SYS-621C-TN12R				
コンポーネント カテゴリ	周囲温度 25°C	ファン 1 の障害	ファン 3 の障害	HVAC の誤動作
CPU	✓ 警告または障害なし	▲ 警告	▲ 警告	▲ 警告
RAM	✓ 警告または障害なし	▲ 警告	✓ 警告または障害なし	✓ 警告または障害なし
NIC	✓ 警告または障害なし	▲ 警告	✓ 警告または障害なし	▲ 警告
M.2 SSD	▲ 警告	✖ 障害発生	▲ 警告	✖ 障害発生
PSU	✓ 警告または障害なし	✓ 警告または障害なし	✖ 障害発生	✓ 警告または障害なし

テストで使用したワークロードについて

テスト対象のシステムでは、stress-ng ツールを使用して浮動小数点ワークロードを実行しました。浮動小数点演算は、小数部を含む数値を扱う数学的計算の管理において重要な役割を果たします。AI 学習や機械学習アルゴリズム、科学シミュレーション、財務モデリング、コンピューター支援設計 (CAD) アプリケーションなど、高精度の数値計算を必要とする科学やエンジニアリングのワークロードでは特に重要です。

システムの冷却設計の分析：Dell PowerEdge HS5620 の優位点を詳しく見る

システムの熱設計を分析することは、それぞれのテスト シナリオでシステムがどのように動作したかを理解するための鍵となります。一般的にサーバーでは、マザーボードの設計など、複数の設計要素を組み合わせることでシステムを低温に保ちます。マザーボード上の高精度のコンポーネントは、その配置を工夫することで、互いに過熱状態になるのを防いでいます。それ以外にも、ファンでエアフローを維持したり、シャーシ設計でコンポーネントを熱気から保護したりしています。ここからは、Dell PowerEdge HS5620 サーバーと Supermicro SYS-621C-TN12R サーバーの設計要素について詳しく分析していきます。

マザーボードの設計

Supermicro システムのマザーボードのレイアウトは、M.2 NVMe モジュールの配置に絡む大きな問題がありました。たとえば、2 つ目と 3 つ目のテスト シナリオでは、アイドル状態の SSD でさえ、負荷がかかっているプロセッサのすぐ下流にあったために温度が上昇しました。それに加えて、2 台の PSU をシステムの他の部分につなぐ配電モジュール (PDU) がシャーシの右側にありますが、そのモジュールに空気を送り込む専用のファンがありませんでした。その代わりに、この Supermicro システムはシャーシ背面の PSU に内蔵されたファンからのエアフローに依存していました。この PDU の障害は確認されませんでした。ファンが障害を起こす 2 つ目のシナリオでは PSU の障害が BMC によって報告され、この設計の欠点が明らかになりました (このテストの詳細については、レポートの背景情報を参照してください)。図 1 を参照してください。

一方、Dell PowerEdge HS5620 のマザーボードは Supermicro のマザーボードよりも複雑な設計になっていました。プロセッサ冷却モジュールでは、ヒート シンク上のヒート パイプを使用して冷却効果が高められていました。PDU はマザーボードに統合されており、コンポーネント表面のエアフローが比較的スムーズになっていました。今回テストした構成では、PDU に Dell HPR ゴールド ファンと Dell HPR シルバー ファンの両方を搭載することでコンポーネントが冷却されていました。図 2 からわかるように、Dell 製システムのエア シュラウドの開閉口は、冷気がコンポーネント表面を通過して、コンポーネント間の熱伝達が軽減されるように配置されていました。

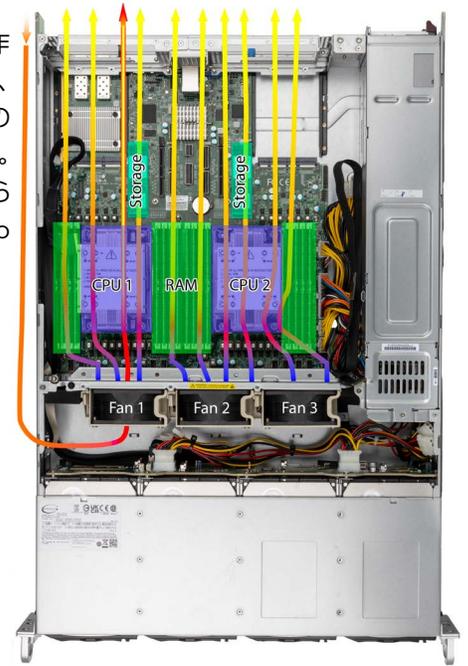


図 1：今回テストした Supermicro SYS-621C-TN12 のマザーボードのレイアウト。各コンポーネントを示すラベルと、ファンからのエアフロー方向を示す矢印を追加。低温の空気は青と紫、高温の空気は赤、オレンジ、黄色で図示。出典：Principled Technologies。



図 2：今回テストした Dell PowerEdge HS5620 のマザーボードのレイアウト。底部の熱層 (左) と上部の熱層 (右) がシュラウドで分割されている。各コンポーネントを示すラベルと、ファンからのエアフロー方向を示す矢印を追加。低温の空気は青と紫、高温の空気は赤、オレンジ、黄色で図示。出典：Principled Technologies。

ファン

システムのファンは冷却設計に欠かせない部分です。今回テストした Dell PowerEdge HS5620 の構成では、5 台の 60mm Dell HPR シルバー ファンと 1 台の 60mm Dell HPR ゴールド ファンが搭載されていました。一方、Supermicro SYS-621C-TN12R では 3 台のプライマリー 80mm ファンが冷却用に使用されていました。どちらのサーバーでも、電源装置それぞれに追加の専用ファンが組み込まれていました。

立方フィート / 分 (CFM) は、ファンが動かす空気量を示す定格です。製品仕様情報によると、Dell 製システムの 6 台のファンはそれぞれ 57.26 CFM (合計 343.56 CFM)、Supermicro システムの 3 台のファンはそれぞれ 104.7 CFM² (合計 314.10 CFM) です。合計値はどちらもほぼ同じですが、CFM はサーバーの性能を表す一要素にすぎません。今回のテストでは、Supermicro SYS-621C-TN12R サーバーのファンがピーク負荷時に約 13,500 RPM で動作することもわかりました。一方、Dell PowerEdge HS5620 サーバーのデュアルローター ファンは、テスト中に約 20,000 RPM で回転していました。このような速度と設計の違いからもわかるように、ファンが生み出す静圧は Dell 製システムの方が大きく、システム内に送られる空気の勢いも強いと考えられます。これには、ホット アイルの背圧を弱める効果もあります。データセンターの機器に備わるファンの性能に違いがあると、強力なファンを備えた機器が、力不足のファンを備えた機器を圧倒してしまい、冷却が不十分になる可能性があるため、冷却効果に大きな違いが生まれます³。

シャーシ設計

Supermicro SYS-621C-TN12R のシャーシには、ファンとストレージ バックプレーンの間の両側に通気口がありましたが、Dell サーバーにはありませんでした。理論的には、キャビネットやホット アイルを格納しないオープンエアのサーバー環境では、こうした通気口によってシャーシに送るエアフローを増やすことができます。しかし、実際のデータセンターのキャビネットでは、サーバー シャーシの側面がホット アイルと同じ熱管理ゾーン内になるように設計されています。サーバー ラックやキャビネットでは、サーバーの側面に自由なエアフローが確保されているため、通気口は隔離されていません。そのため、通気口が熱気を排出したり冷気を取り込んだりする役目を果たさず、むしろ熱せられた空気をサーバー スタックの背後からシャーシに流し込み、コンポーネント内を循環させて加熱ループを生み出してしまいます。図 3 を参照してください。

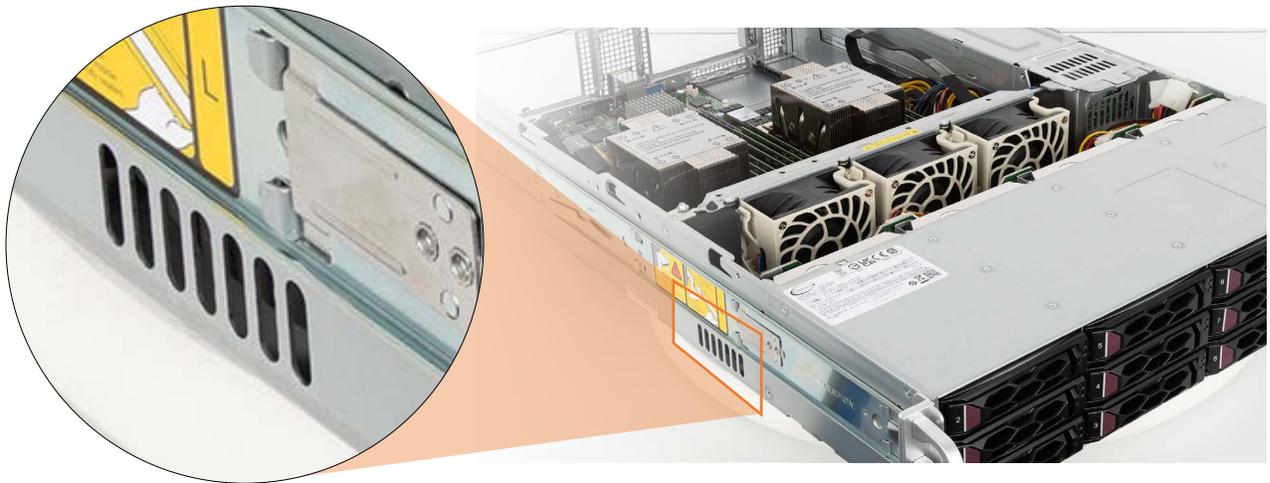


図 3 : 今回テストした Supermicro SYS-621C-TN12 のシャーシでは、ホット アイルで熱せられた空気が通気口からサーバーに入り、コンポーネント内を循環する可能性がある。出典 : Principled Technologies。

熱設計に関する主なテスト結果

Dell PowerEdge HS5620 サーバーのマザーボード レイアウトは、コンポーネント間の熱伝達の軽減に寄与しました。このシステムには合計 6 台のファンがあり、回転速度はいずれも 20,000 RPM です。一方、Supermicro SYS-621C-TN12R サーバーのマザーボード レイアウトでは、高精度のコンポーネントが互いに近接して配置されていました。このシステムには合計 3 台のファンがあり、回転速度はいずれも 13,500 RPM です。それに加えて、ホット アイルの熱気がシャーシ側面の通気口から入り込み、システム内に循環する可能性がありました。

Dell PowerEdge HS5620 はコンポーネントの警告も発生することなく動作し続けたが、Supermicro SYS-621C-TN12R では 2 つのシナリオで障害が発生した

シナリオ 1 : 周囲温度 25°C

標準的なデータセンターの温度下でサーバーがどのように動作するかを確認するため、最初のシナリオを実行しました。アメリカ暖房冷凍空調学会 (ASHRAE) は、標準的なデータセンターの温度を 18°C から 27°C の間に保つことを推奨していますが、特定のクラスの機器では 45°C までの温度が許容されています。⁴ このシナリオでは、テスト環境の周囲温度を 25°C にしてサーバーでワークロードを実行しました。

Dell PowerEdge HS5620 については、このシナリオでコンポーネントの警告や障害は発生しませんでした。エアフロー設計によって熱管理ゾーンが分離され、すべてのコンポーネントが安全な動作温度に保たれていました。対照的に、Supermicro システムの Baseboard Management Controller (BMC) は、テスト開始から 22 分後に、OS SSD が臨界温度に達したという警告が発生しました。それから 10 分後、このシナリオでは SSD に障害は発生しませんでした、ドライブが回復不可能な状態に達したというアサーションが発生しました。これは、この BMC アラートによって、コンポーネントの障害がポーリングされなかったことが原因でした。実際には、障害が差し迫っている可能性を示すきい値を、ドライブが超えたことを示しただけでした。

2 時間のワークロードにおいて、Dell サーバーの OS SSD の平均温度は 43.9°C、アイドル状態の SSD の平均温度は 45.5°C であったのに対して、テスト中の Supermicro システムの OS SSD の平均温度は 77.5°C、アイドル状態の SSD の平均温度は 61.7°C と、Dell 製システムよりも最大 33.6°C 高くなりました。また、ワークロード中の Dell サーバーのプロセッサの平均温度は 73.7°C と 70.7°C でしたが、Supermicro サーバーのプロセッサの平均温度は 77.9°C と 71.1°C でした。

図 4 と図 5 は、2 時間のテスト中に計測された、2 つのシステムの SSD とプロセッサの温度をグラフにしたものです。図 6 はサーバーの電力消費をグラフにしたものです。電力の増加は、サーバーを冷却するファンなど、ワークロードがシステムに与える影響に相当します。

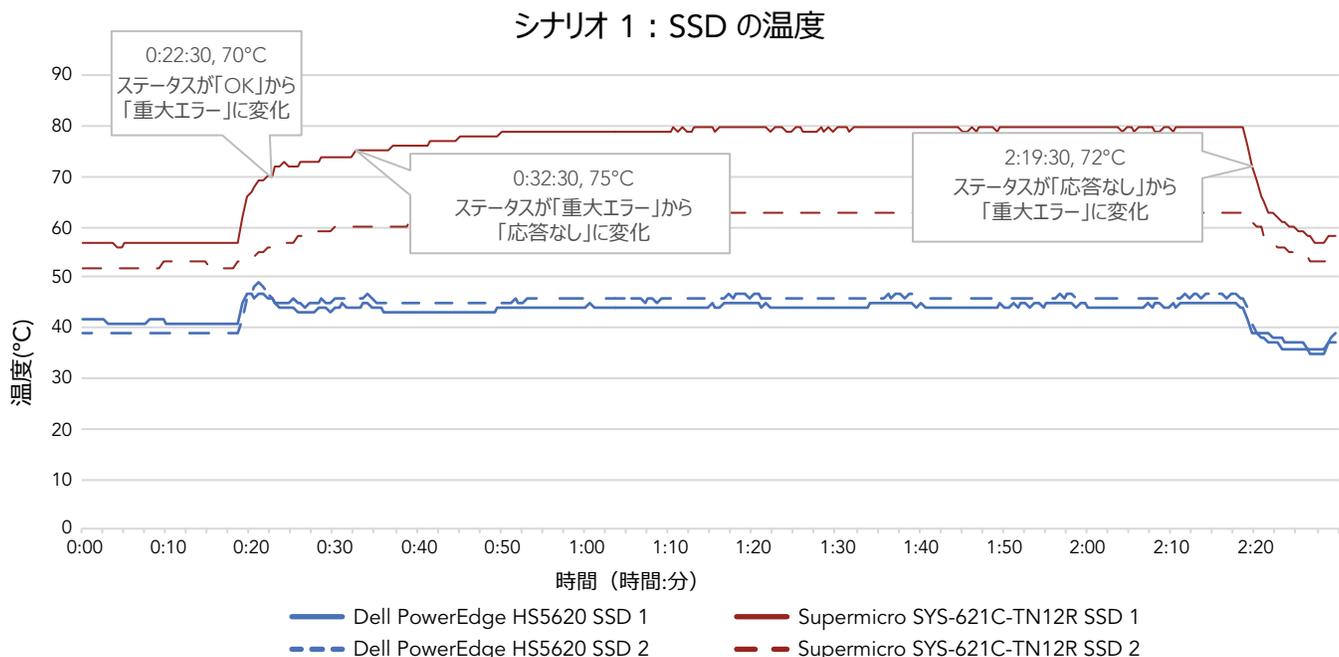


図 4 : 周囲温度 25°C でサーバーが浮動小数点ワークロードを実行した最初のシナリオにおける、Dell PowerEdge HS5620 と Supermicro SYS-621C-TN12 の SSD の温度。ワークロードは 0:15 に開始し、2:15 に終了。SSD 1 で OS を実行し、SSD 2 はアイドル状態。温度が低いほど良い。出典 : Principled Technologies。

シナリオ 1：プロセッサの温度

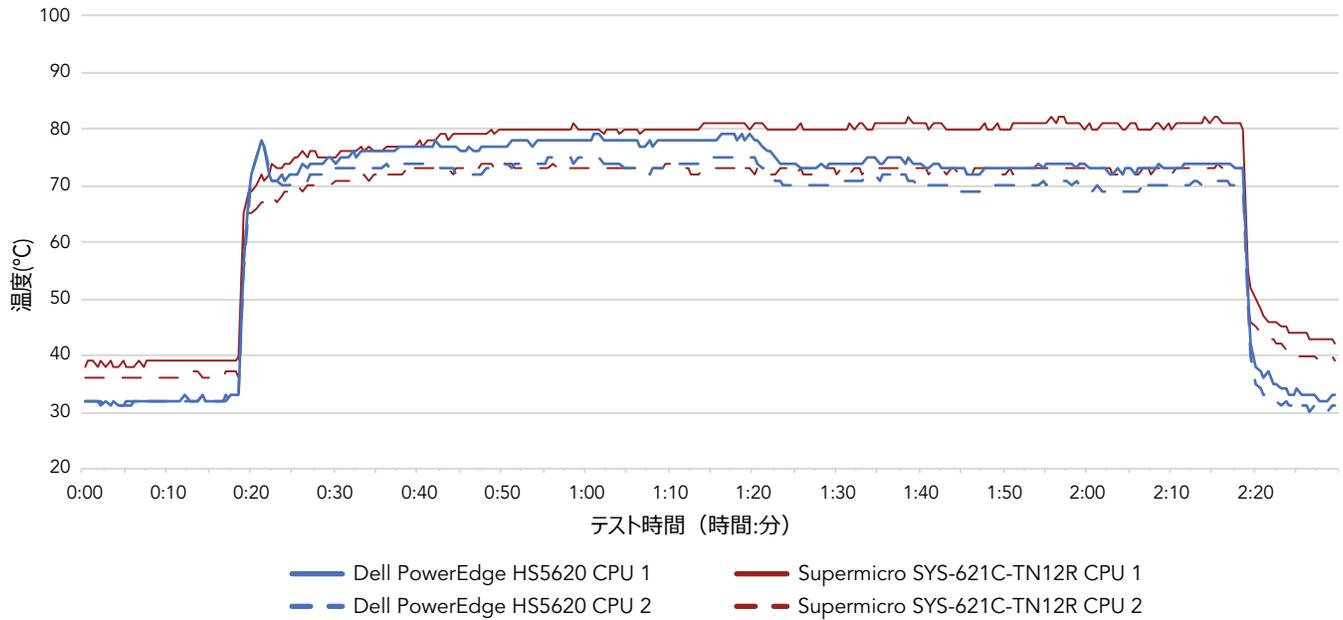


図 5：周囲温度 25°C でサーバーが浮動小数点ワークロードを実行した最初のシナリオにおける、Dell PowerEdge HS5620 と Supermicro SYS-621C-TN12 のプロセッサの温度。ワークロードは 0:15 に開始し、2:15 に終了。温度が低いほど良い。出典：Principled Technologies。

シナリオ 1：電力消費

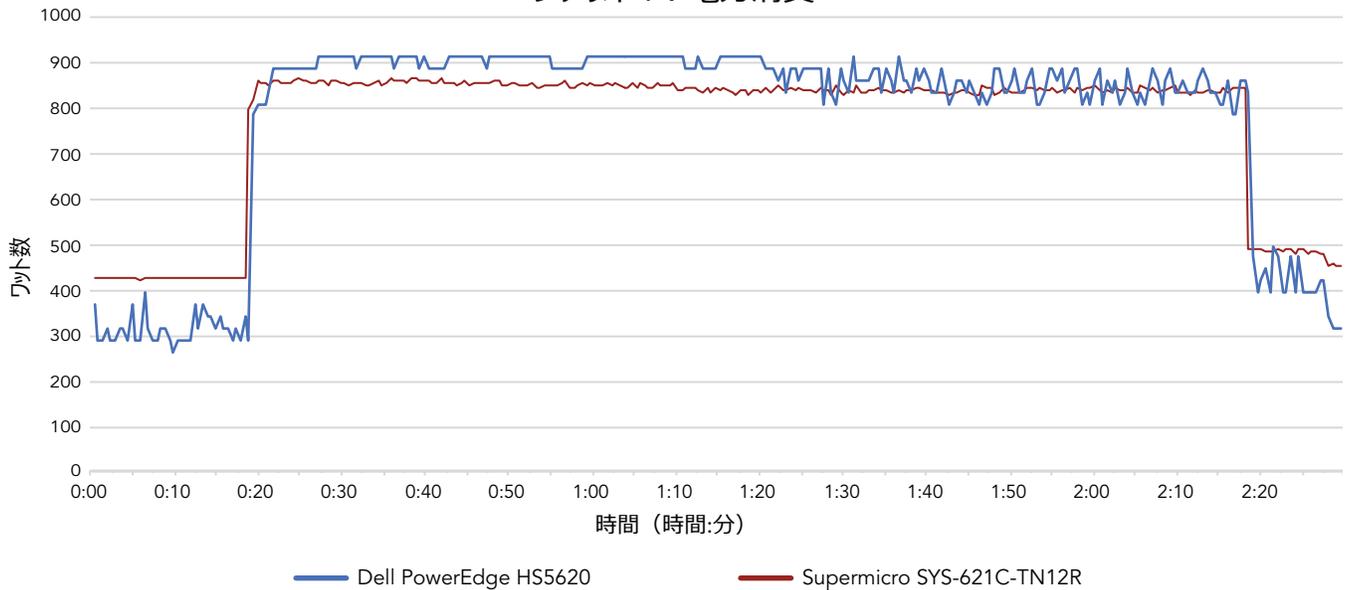


図 6：周囲温度 25°C でサーバーが浮動小数点ワークロードを実行した最初のシナリオにおける、Dell PowerEdge HS5620 と Supermicro SYS-621C-TN12 の電力消費（ワット数）。ワークロードは 0:15 に開始し、2:15 に終了。出典：Principled Technologies。

25°C のデータセンターでの日常的な運用を再現したこのシナリオでは、Dell PowerEdge HS5620 は問題なく動作しましたが、Supermicro SYS-621C-TN12R では OS ドライブについての重大な警告が発生しました。表 4 は、このテスト シナリオの結果をまとめたものです。

表 4：周囲温度 25°C でサーバーが浮動小数点ワークロードを実行した、1 つ目の 2 時間のテストにおける結果の概要。

シナリオ 1：周囲温度 25°C		
	Dell PowerEdge HS5620	Supermicro SYS-621C-TN12
成果	✓ システム障害なし	✓ システム障害なし
コンポーネント障害	なし	なし
コンポーネントの警告	なし	OS SSD
OS SSD の平均温度	43.9°C	77.5°C
アイドル状態の SSD の平均温度	45.5°C	61.7°C
プロセッサの平均温度	73.7°C 70.7°C	77.9°C 71.1°C

シナリオ 2：ファンの障害

サーバーの寿命は慎重な監視や定期的なサービスによって延ばすことができますが、内部コンポーネントが予期せず故障する場合があります。2 つ目のテスト シナリオでは、ファンに障害が発生した場合にそれぞれのサーバーがどのように動作するかを確認しました。

Supermicro サーバーのファン 1 と Dell 製システムのファン 2 が、コンポーネントに対するエアフロー範囲において同等であると判断し、テストではこの 2 台のファンを手動で無効にしました。周囲温度 25°C で再度テストを開始し、サーバーを 15 分間アイドル状態にしてからワークロードを開始しました。2 時間のテストとその後 15 分間にわたって、システムに警告や障害が発生しないか監視しました。

Dell PowerEdge HS5620 ではコンポーネントの障害は発生せず、コンポーネントの警告も表示されませんでした。一方、Supermicro SYS-621C-TN12R（正常なファンが 2 台しかない状態）では、プロセッサと RAM、2 つの NIC の高温について警告が発生しました。**Supermicro システムの OS ドライブはテスト開始から 1 時間 49 分で故障し、その結果システム障害が発生しました。SSD が冷めてから OS は動作を再開できましたが、BMC を介してサーバーを再起動する必要がありました。**このシステムのエア チャネルやファンは、プロセッサやメモリーからの熱気が SSD に向かうエアフロー パターンなど、冷却設計上の欠点を補っていません。対照的に、Supermicro システムよりも多くのファンを搭載し、ファンそれぞれの 1 分あたりの回転率 (RPM) も高い Dell 製システムでは、優れたエアフロー設計との組み合わせも効果を発揮し、システム コンポーネントが低温に保たれ、機能性も維持されていました。

このシナリオでも、Dell 製システムは 2 時間のワークロードにおいて、平均して低い温度を維持していることがわかりました。Dell 製システムの OS SSD の平均温度は 54.2°C で、Supermicro サーバーの 82.2°C に比べて 28.0°C も低い値でした。また、Dell 製システムのアイドル状態の SSD の平均温度は 47.0°C で、これも Supermicro サーバーの 68.5°C に比べて 21.5°C 低い値でした。プロセッサの平均温度については、Dell サーバーでは 56.9°C と 44.3°C であったのに対し、Supermicro サーバーでは 98.6°C と 72.8°C とかなり高温で、温度差は最大で 54.3°C でした。また Dell サーバーでは、温度が安全しきい値を超えた時点で、システムが冷却ハードウェアの障害や異常な環境条件を検出したかどうかに基づいて、その管理システムがパフォーマンスを調整することが確認されました。

図 7 と図 8 は、今回のテストで収集した SSD とプロセッサの温度測定値をグラフにしたものです。図 9 は、システムがワークロードを実行しているときに、負荷に応じて内部熱が発生し、無効になったファンの損失を補う際にシステムが消費する電力を比較したものです。

シナリオ2：SSDの温度

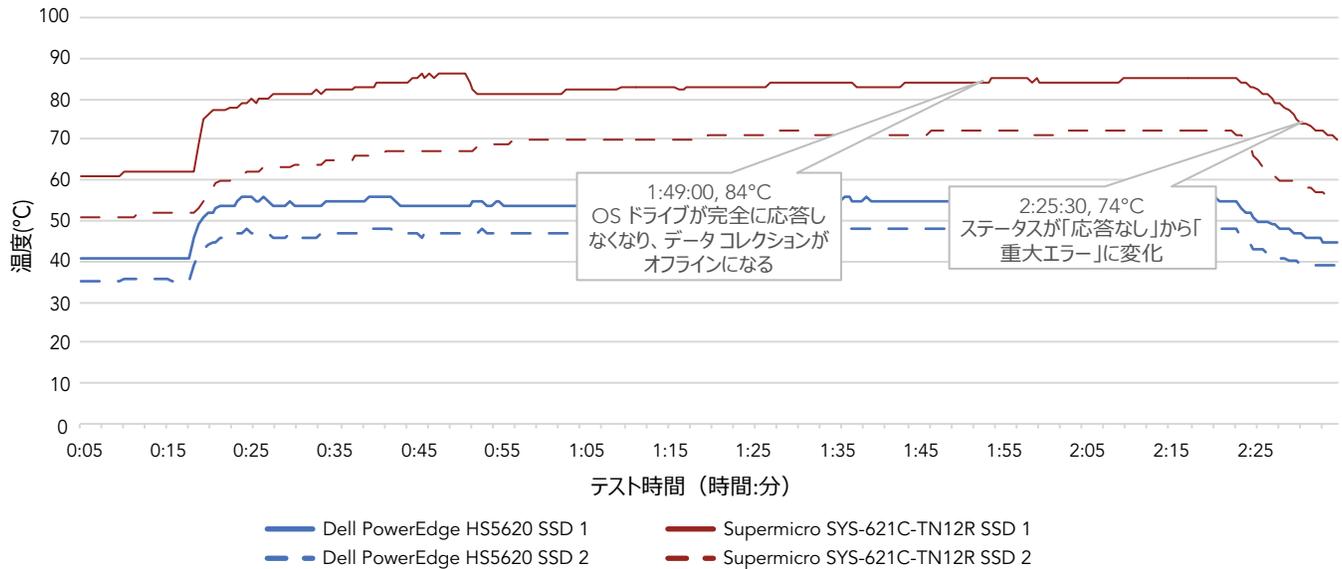


図 7：それぞれのサーバーで 1 台のファンを無効にして浮動小数点ワークロードを実行した 2 つ目のシナリオにおける、Dell PowerEdge HS5620 と Supermicro SYS-621C-TN12 の SSD の温度。ワークロードは 0:15 に開始し、2:15 に終了。SSD 1 で OS を実行し、SSD 2 はアイドル状態。温度が低いほど良い。出典：Principled Technologies。

シナリオ 2：プロセッサの温度

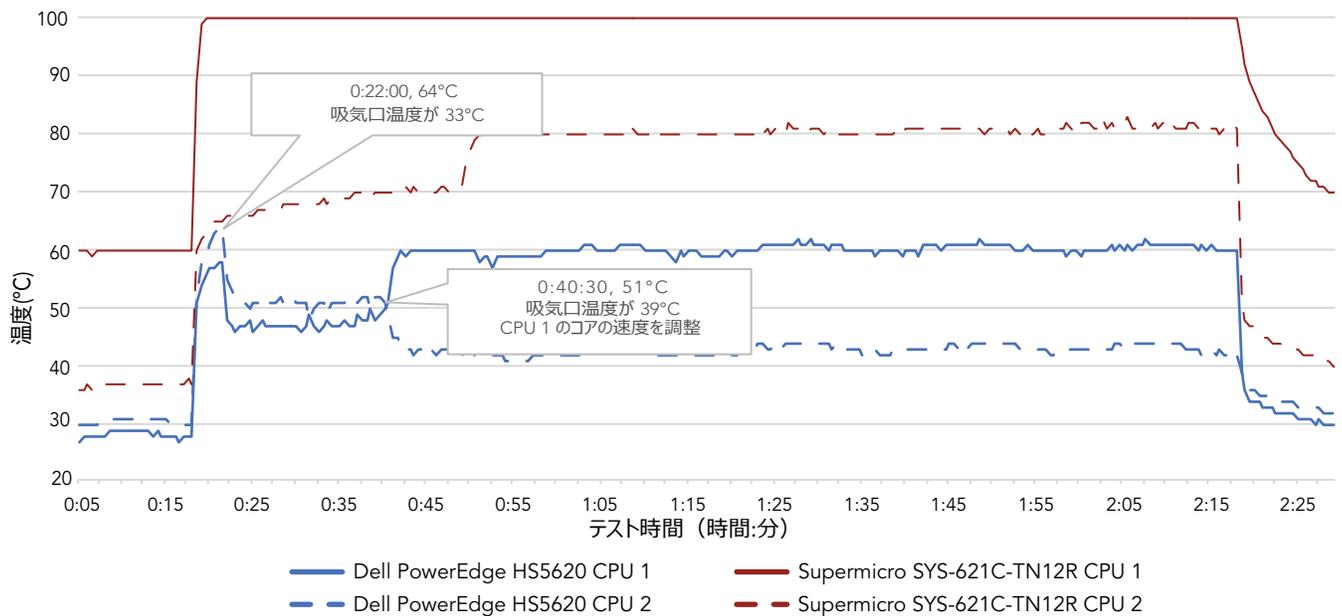


図 8：それぞれのサーバーで 1 台のファンを無効にして浮動小数点ワークロードを実行した 2 つ目のシナリオにおける、Dell PowerEdge HS5620 と Supermicro SYS-621C-TN12 のプロセッサの温度。ワークロードは 0:15 に開始し、2:15 に終了。温度が低いほど良い。出典：Principled Technologies。

シナリオ 2 : 電力消費

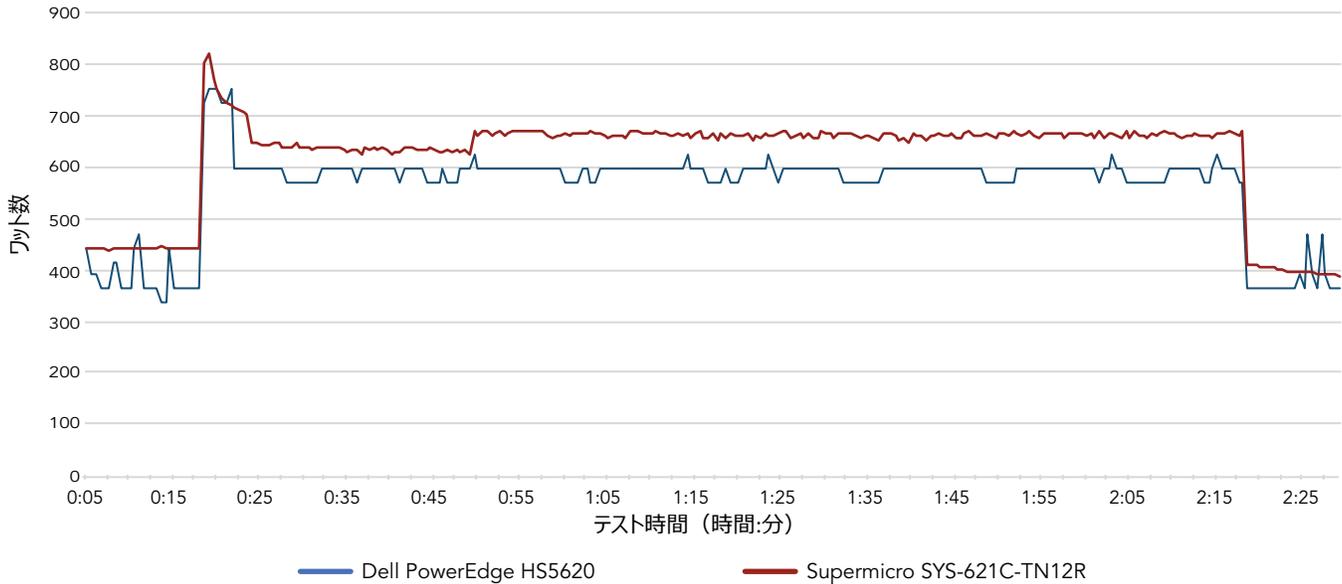


図 9 : それぞれのサーバーで 1 台のファンを無効にして浮動小数点ワークロードを実行した 2 つ目のシナリオにおける、Dell PowerEdge HS5620 と Supermicro SYS-621C-TN12 のプロセッサの電力消費 (ワット数)。ワークロードは 0:15 に開始し、2:15 に終了。出典 : Principled Technologies。

ファンに障害が発生しても稼働状態を維持できるサーバーがあれば、IT 管理者がシステムを修理している間に、組織が緊急時対応手順を実行に移す時間的猶予が生まれます。しかし、ファンに障害が発生した直後にサーバーの OS ドライブやその他の重要なコンポーネントに障害が発生すると、重要なアプリケーションが予期せずオフラインになり、ユーザーの作業を中断させる可能性があります。交換用ファンを待つ場合には、サーバー ダウンがさらに長期化する可能性もあります。表 5 は、このテスト シナリオから得られた結果をまとめたものです。

表 5 : それぞれのサーバーで 1 台のファンを無効にして浮動小数点ワークロードを実行した、2 つ目の 2 時間のテストにおける結果の概要。

シナリオ 2 : ファンの障害		
	Dell PowerEdge HS5620	Supermicro SYS-621C-TN12
成果	✓ システム障害なし	✗ システム障害
コンポーネント障害	なし	OS SSD
コンポーネントの警告	なし	SSD x 1、CPU x 1、 メモリー モジュール x 1、NIC x 2
OS SSD の平均温度	54.2°C	82.2°C
アイドル状態の SSD の平均温度	47.0°C	68.5°C
プロセッサの平均温度	56.9°C 44.3°C	98.6°C 72.8°C

また、無効にするファンの位置を両方のサーバーで変更し、ファンが障害を起こすシナリオを別途実行しました。このシナリオでは、Supermicro システムのファン 3 が Dell 製システムファン 3 と同等であると判断しました。その結果、Dell PowerEdge HS5620 ではコンポーネントの警告や障害は発生しませんでした。Supermicro SYS-621C-TN12R はプロセッサと SSD に関する警告が発生し、2 台の PSU のうち 1 台に障害が発生しました (このテストの詳細については、レポートの背景情報を参照してください)。

シナリオ 3 : HVAC の誤動作

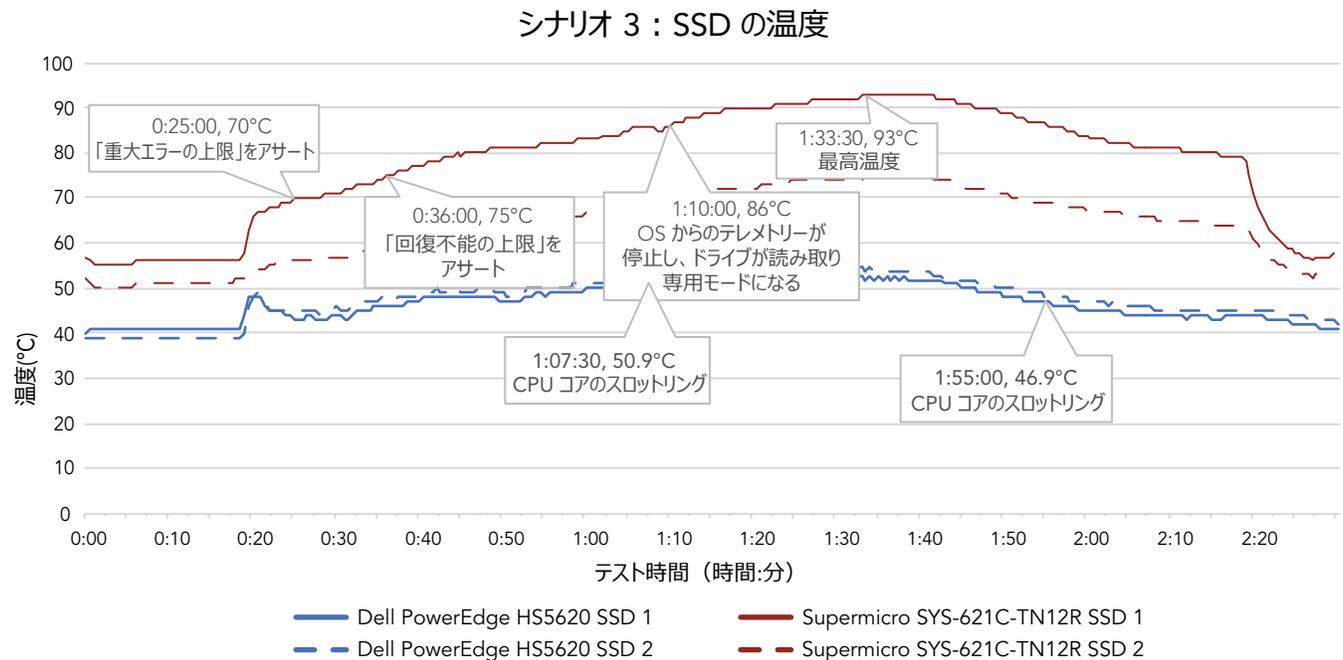
予期しない障害はサーバーの内部コンポーネントに限ったことではありません。施設で何らかの問題が発生した場合にも過熱状態が発生する可能性があります。3 つ目のシナリオでは、データセンターの冷却システムに異常が発生した場合を再現しました。

15 分間、それぞれのサーバーのコンポーネントがネットワークに接続されており、周囲温度 25°C で正常に動作していることを確認しました。次に、ワークロードを 15 分間実行してから、テスト環境のすべてのエア ハンドラーを停止しました。それから約 1 時間後、周囲温度が 35°C に達した時点で、施設チームによる HVAC システムの修理が完了したと想定して、エア ハンドラーを再び作動させました。このような条件で、周囲温度が 25°C に戻るまで、サーバー冷却の進行状況を追跡しました。

技術文書によると、今回テストした構成の Dell PowerEdge HS5620 は 30°C の条件下で動作します。⁵ 温度を 35°C まで上昇させたこのシナリオでは、同システムは限界を超えて動作し、コンポーネントレベルの警告や障害は発生しませんでした。吸気口センサーの信号に応じてプロセッサ コアの色と電力消費量が調整され、過熱が回避されていることが確認できました（詳細については、レポートの背景情報を参照してください）。一方、Supermicro SYS-621C-TN12R の技術文書には、同システムは 35°C の環境でも動作すると記載されていますが⁶、このシナリオでは OS SSD の障害が発生し、システム障害に至りました。OS アプリケーション テレメトリーはテスト開始から約 1 時間後に停止しました。システムが SSH と KVM コマンドへの応答を停止したため、BMC を使用して手動でシステムをシャットダウンしました。特筆すべきは、このダウンタイム中でも、Supermicro システムは Dell PowerEdge HS5620 よりも多くの電力を消費し続けたことです（図 12）。またこのシナリオでは、Supermicro システムは NIC とプロセッサに関しても高温警告を発しました。

2 時間のワークロードを通して、Dell 製システムの OS SSD の平均温度は 48.0°C、アイドル状態の SSD の平均温度は 49.2°C でした。これを Supermicro システムの SSD の平均温度（OS ドライブで 82.4°C、アイドル状態のドライブで 66.4°C）と比較すると、Dell 製システムは SSD の温度を最大 34.4°C 低く抑えています。

図 10 と図 11 は、このシナリオにおける 2 台のシステムの SSD とプロセッサの温度をグラフにしたものです。図 12 は、ワークロードの実行に伴うシステムの電力消費の増加率を比較したものです。



シナリオ 3 : プロセッサの温度

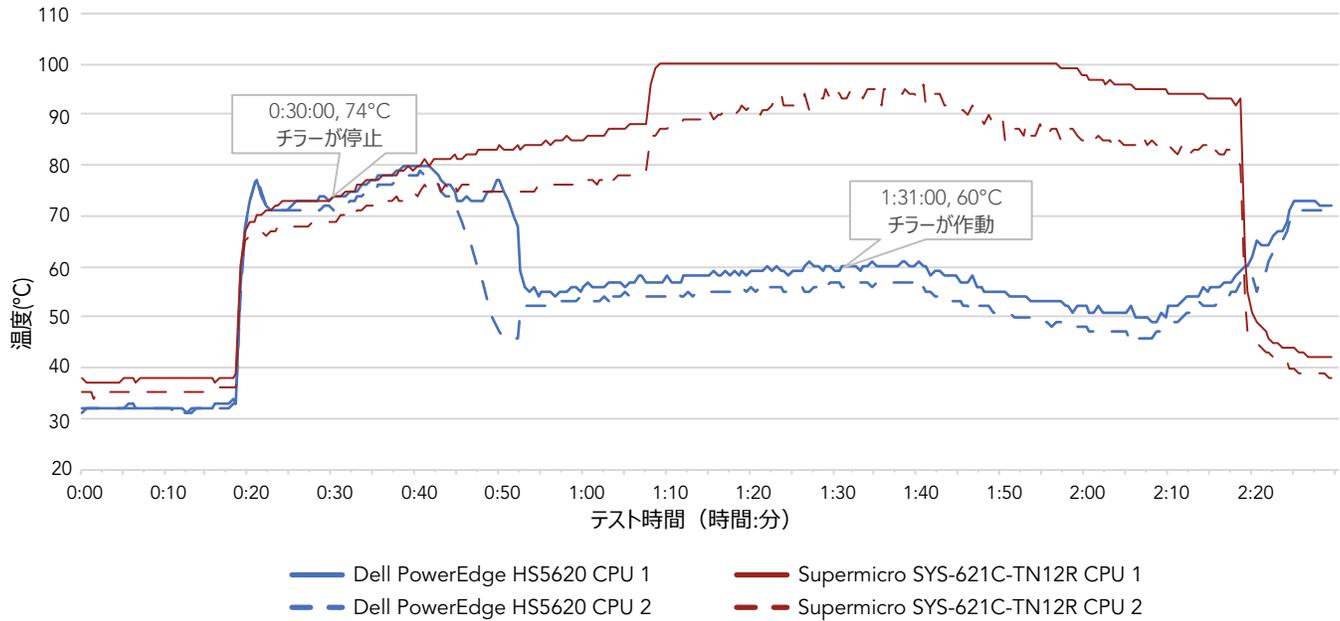


図 11 : 3 つ目のシナリオ (サーバーで浮動小数点ワークロードを実行し、周囲温度を 25°C から 35°C に上昇させて HVAC の障害をシミュレートした場合) の Dell PowerEdge HS5620 と Supermicro SYS-621C-TN12 のプロセッサの温度。ワークロードは 0:15 に開始し、2:15 に終了。温度が低いほど良い。出典: Principled Technologies。

シナリオ 3 : 電力消費

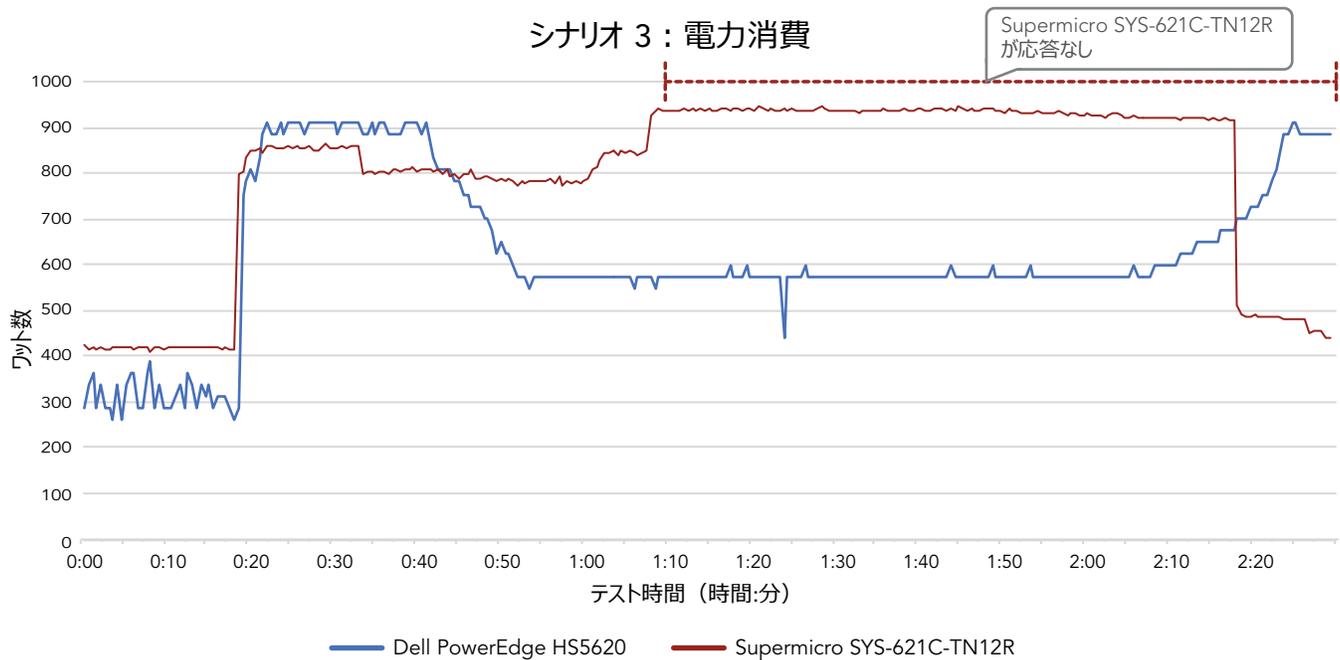


図 12 : 3 つ目のシナリオ (サーバーで浮動小数点ワークロードを実行し、周囲温度を 25°C から 35°C に上昇させて HVAC の障害をシミュレートした場合) の Dell PowerEdge HS5620 と Supermicro SYS-621C-TN12 の電力消費 (ワット数)。ワークロードは 0:15 に開始し、2:15 に終了。出典: Principled Technologies。

データセンターの HVAC システムのパフォーマンスが低下したり、障害が発生したりした場合でも、サーバーが動作し続ければ、ユーザーや重要な業務の中断を最小限に抑えることができます。そのようなソリューションは、IT 管理者の時間と労力の節約にもつながります。サーバーが警告を発したり、過熱が原因で障害が発生したりした場合、管理者はそのチェックに余分な時間を費やさなければならず、場合によってはサーバーを手動で再起動しなければなりません。表 6 は、このテスト シナリオから得られた結果の概要をまとめたものです。

表 6 : サーバーで浮動小数点ワークロードを実行し、周囲温度を 25°C から 35°C に上昇させて HVAC の誤動作をシミュレートした、3 つ目の 2 時間のテストにおける結果の概要。

シナリオ 3 : HVAC の誤動作		
	Dell PowerEdge HS5620	Supermicro SYS-621C-TN12
成果	✓ システム障害なし	✗ システム障害
コンポーネント障害	なし	OS SSD
コンポーネントの警告	なし	SSD x 2、CPU x 1、NIC x 1
OS SSD の平均温度	48.0°C	82.4°C
アイドル状態の SSD の平均温度	49.2°C	66.4°C
プロセッサの平均温度	60.5°C 56.6°C	89.0°C 80.8°C

Dell PowerEdge HS5620 について

Dell によると、2U、2 ソケットの PowerEdge HS5620 は「クラウド サービス プロバイダーの最も一般的な IT アプリケーション向け」に設計されています。⁷ PowerEdge HS5620 は最大 2 基の第 5 世代インテル® Xeon® スケーラブル・プロセッサ・ファミリー、最大 16 枚の DDR5 RDIMM (最大 5,600 MT/秒)、ベンダーによって検証済みのファームウェア COMM カードと SSD を搭載し、「パフォーマンスのカスタマイズ、I/O の柔軟性、オープン エコシステム管理」を特長としています。⁸ 詳細については、<https://www.dell.com/en-us/shop/ipovw/poweredge-hs5620> をご覧ください。

結論 : Dell PowerEdge HS5620 は高温下でも耐障害性が低下せず、効率の向上に寄与

データセンターの耐高温性能を上げることで、組織はエネルギー効率や冷却コストの削減を着実に進めることができます。そのような日常的な高温環境や、不測の事態による高温にも耐えられるサーバーを備えた企業は、アプリケーションやクライアントが必要とするパフォーマンスを提供し続けることができます。

周囲温度 25°C での一般的な動作、ファンの障害、HVAC の誤動作をシミュレートする 3 つのシナリオを用意し、Dell PowerEdge HS5620 と Supermicro SYS-621C-TN12R で高負荷な浮動小数点ワークロードを実行したところ、Dell サーバーではコンポーネントの警告や障害は発生しませんでした。対照的に、Supermicro サーバーでは、3 つのシナリオすべてで警告が発生したうえ、ファンの障害と HVAC の誤動作のテストではコンポーネント障害が発生し、システムが使用できなくなりました。それぞれのシステムについて検査と分析を行ったところ、Dell PowerEdge HS5620 サーバーのマザーボード レイアウト、ファン、シャーシに冷却設計上の優位性が確認できました。

耐高温性能に優れたデータセンターを稼働させてサステナビリティ目標の達成を目指す企業や、サーバーの冷却設計に関心がある企業がシステムを選ぶ際、Dell PowerEdge HS5620 は、日常業務で直面する高温や、予期しない誤動作により生じる高温にも対応する有力な候補となります。

-
1. ENERGY STAR、『5 Simple Ways to Avoid Energy Waste in Your Data Center』、2024年4月8日閲覧
https://www.energystar.gov/products/data_center_equipment/5-simple-ways-avoid-energy-waste-your-data-center。
 2. Supermicro、『Supermicro 80mm Hot-Swappable Middle Fan (FAN-0206L4)』、2024年4月9日閲覧
https://store.supermicro.com/us_en/80mm-fan-0206l4.html。
 3. Electronics Cooling、『The Hidden Risk of Invisible Airflow Imbalance in an Efficient Contained Data Center』、2024年4月4日閲覧 <https://www.electronics-cooling.com/2016/07/the-hidden-risk-of-invisible-airflow-imbalance-in-an-efficient-contained-data-center/>。
 4. ASHRAE TC9.9、『Data Center Power Equipment Thermal Guidelines and Best Practices』、2024年4月24日閲覧
https://www.ashrae.org/file%20library/technical%20resources/bookstore/ashrae_tc0909_power_white_paper_22_june_2016_revised.pdf。
 5. Dell、『Dell PowerEdge HS5620 Technical Guide』、2024年5月8日閲覧 <https://www.delltechnologies.com/asset/en-us/products/servers/technical-support/poweredge-hs5620-technical-guide.pdf>。
 6. Supermicro、『CloudDC SuperServer SYS-621C-TN12R』、2024年4月26日閲覧
<https://www.supermicro.com/en/products/system/datasheet/sys-621c-tn12r>。
 7. Dell、『PowerEdge HS5620 スペックシート』、2024年4月1日閲覧
<https://www.delltechnologies.com/asset/en-us/products/servers/technical-support/poweredge-hs5620-spec-sheet.pdf>。
 8. Dell、『PowerEdge HS5620 スペックシート』

レポートの背景情報

このセクションでは、詳細な結果を記載し、テスト対象のソリューションとテスト方法について説明します。

実地テストは 2024 年 4 月 9 日に終了しました。テスト中に、適切なハードウェアとソフトウェアの構成を決定し、利用可能になった更新を適用しました。このレポートの結果には、2024 年 3 月 11 日以前に確定された構成が反映されています。やむを得ず、これらの構成が、このレポートの公開時点で使用可能な最新のバージョンではない可能性があります。

チャート

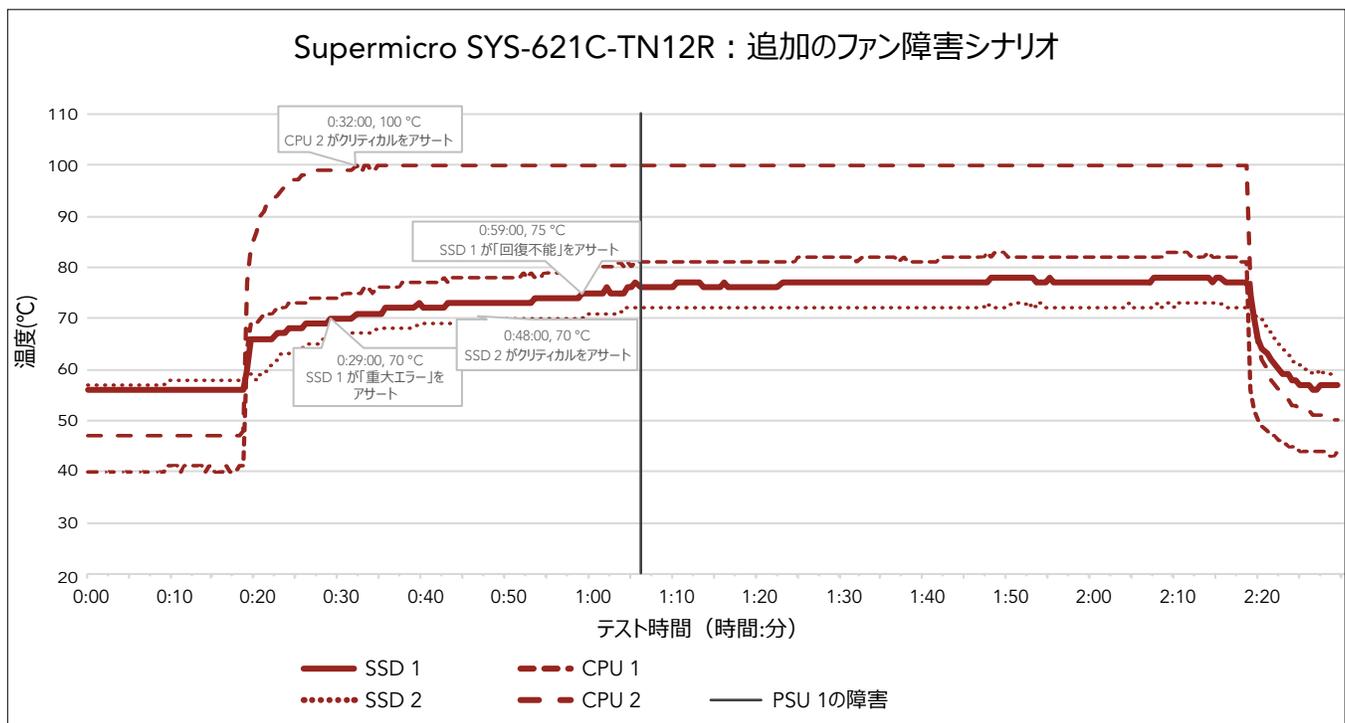


図 1：ファン 3 を無効にした状態でサーバーが浮動小数点ワークロードを実行した追加のファン障害シナリオにおける、Supermicro® SYS-621C-TN12 の SSD とプロセッサの温度。ワークロードは 0:15 に開始し、2:15 に終了。SSD 1 で OS を実行し、SSD 2 はアイドル状態。出典：Principled Technologies。

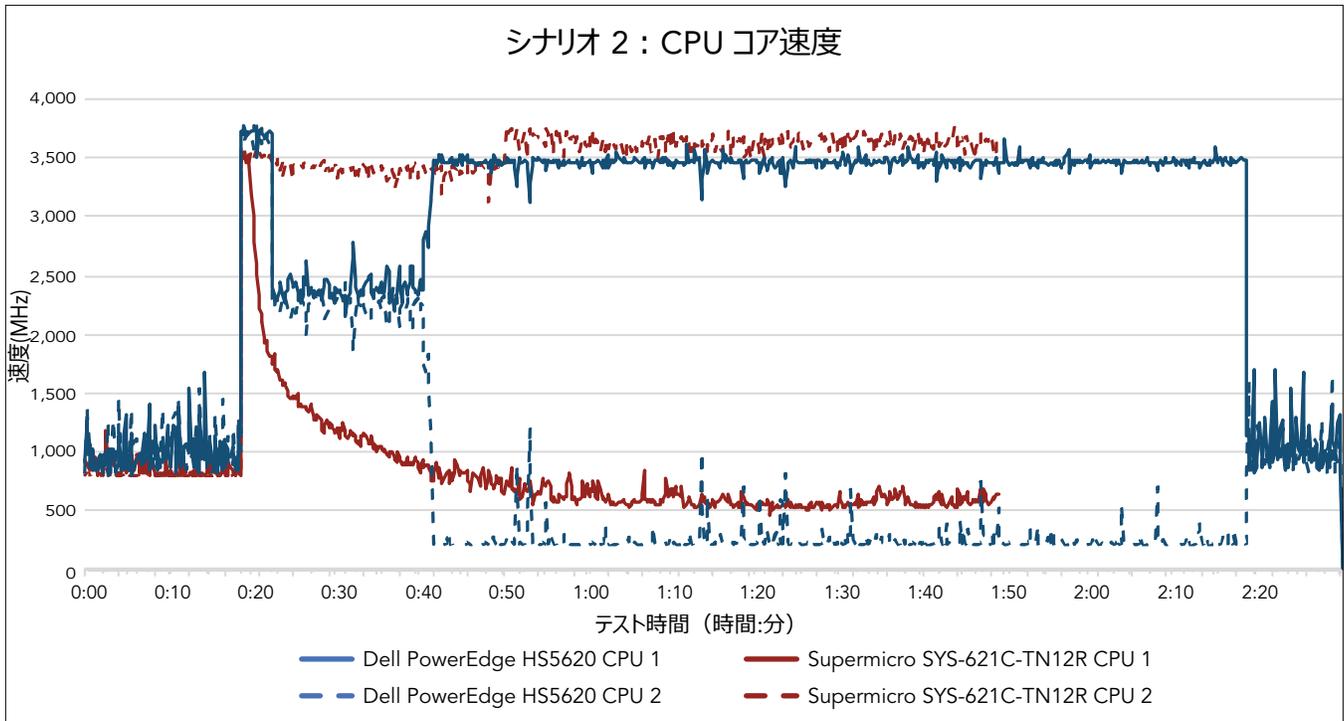


図 2 : 1 つ目のファン障害シナリオにおける Dell™ PowerEdge™ HS5620 と Supermicro SYS-621C-TN12 のプロセッサ コア速度。浮動小数点ワークロードは 0:15 に開始し、2:15 に終了。出典 : Principled Technologies。

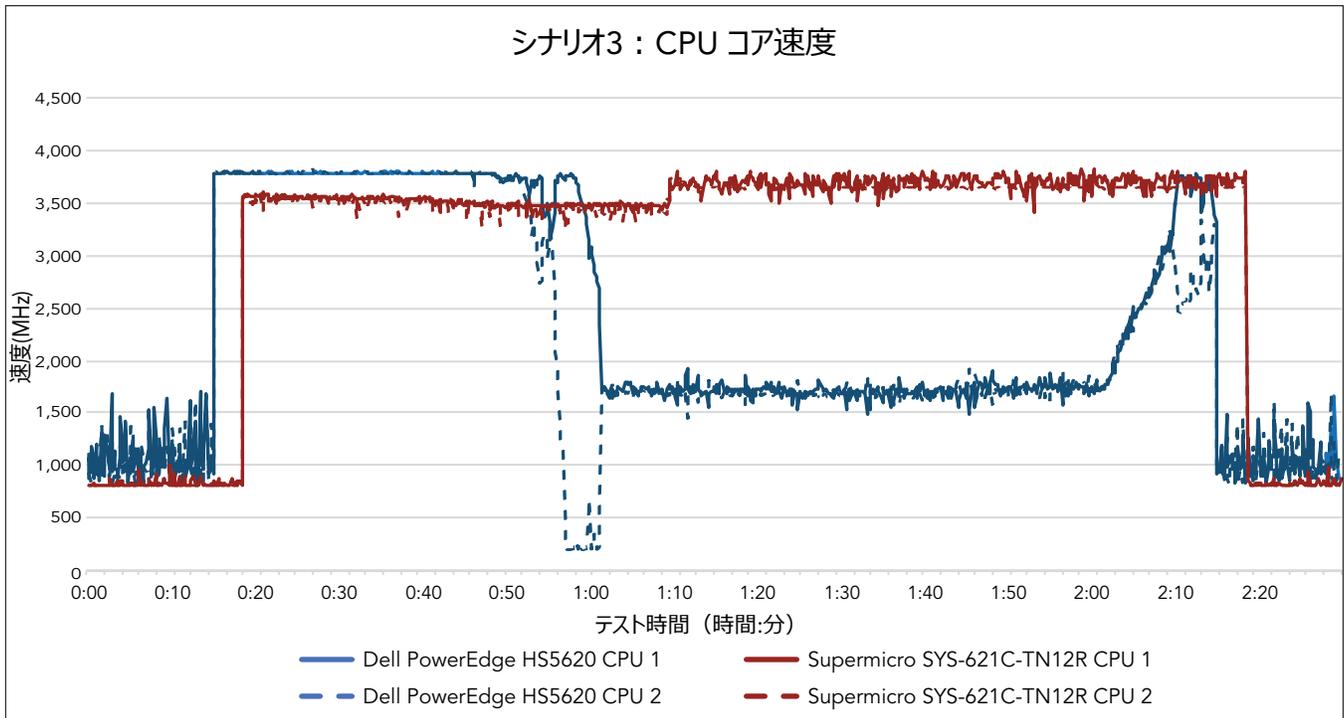


図 3 : HVAC 誤動作シナリオにおける Dell PowerEdge HS5620 と Supermicro SYS-621C-TN12 のプロセッサ コア速度。浮動小数点ワークロードは 0:15 に開始し、2:15 に終了。出典 : Principled Technologies。

システム構成情報

表 1 : 今回のテストで使用したシステムの詳細情報。

システム構成情報	Dell PowerEdge HS5620	Supermicro SYS-621C-TN12R
BIOS 名とバージョン	Dell 2.1.3	Supermicro 2.1
デフォルト以外の BIOS 設定	ワットあたりのパフォーマンス (OS)	該当なし
オペレーティング システムの名前とバージョン / ビルド番号	Ubuntu 22.04.3	Ubuntu 22.04.3
OS 更新プログラム / パッチの最終適用日	2024 年 3 月 11 日	2024 年 1 月 28 日
電源管理ポリシー	ワットあたりのパフォーマンス (OS)	バランスのとれたパフォーマンス
プロセッサ		
プロセッサの数	2	2
ベンダーとモデル	インテル® Xeon® Gold 6444Y	インテル Xeon Gold 6444Y
コア数 (プロセッサあたり)	16	16
コア周波数 (GHz)	3.60 (4.0 ターボ)	3.60 (4.0 ターボ)
ステッピング	8	8
メモリー モジュール		
システム メモリーの合計 (GB)	1,024	1,024
メモリー モジュールの数	16	16
ベンダーとモデル	Hynix® HMC94AEBRA109N	SK Hynix HMC94MEBRA123N
サイズ (GB)	64	64
タイプ	DDR5 DIMM	DDR5
速度 (MHz)	4,800	4,800
サーバーでの実行速度 (MHz)	4,800	4,800
ストレージ コントローラー (前面ストレージ)		
ベンダーとモデル	Dell HBA355i アダプター	Supermicro MegaRAID AOC-S3916L-H16iR-32DD-P
キャッシュ サイズ (GB)	0	8
ファームウェアのバージョン	24.15.14.00	5.240.02-3768
ドライバーのバージョン	該当なし	52.24.0-4766
ストレージ コントローラー (NVMe® M.2)		
ベンダーとモデル	Dell BOSS-N1 モノリス型	該当なし
キャッシュ サイズ (GB)	0	該当なし
ファームウェアのバージョン	2.1.13.2025	該当なし
ローカル ストレージ (OS)		
ドライブ数	2	2
ドライブのベンダーとモデル	Dell NVMe PE8010 RI M.2 960GB	Micron® 7450 MTFDKBA960TFR

システム構成情報	Dell PowerEdge HS5620	Supermicro SYS-621C-TN12R
ドライブ サイズ (GB)	960	960
ドライブ情報 (速度、インターフェイス、タイプ)	8GT/s M.2 SSD	PCIe® M.2 NVMe
ローカル ストレージ (データ)		
ドライブ数	12	12
ドライブのベンダーとモデル	HGST HUH721212AL5200	WDC WUH721814ALE6L4
ドライブ サイズ (GB)	120,000	1,400
ドライブ情報 (速度、インターフェイス、タイプ)	12 Gbps SAS 3.5 インチ HDD	6Gb SATA 3.5 インチ HDD
ネットワーク アダプター A		
ベンダーとモデル	4x インテル 25G 2P E810-XXV	3x インテル E810-XXVAM2 (AOC-S25GC-i2S)
ポートの数とタイプ	2x 25Gb	2x 25Gb
ドライバーのバージョン	22.5.7	4.20 (0x800177B4)
ネットワーク アダプター B		
ベンダーとモデル	1x Broadcom® NetXtreme ギガビット Ethernet (BCM5720)	1x インテル E810-XXVAM2 (AOC-A25G-i2SM)
ポートの数とタイプ	2x 1Gb	2x 25Gb
ドライバーのバージョン	22.71.3	4.30 (0x800177B4)
冷却ファン		
番号、ベンダー、モデル	1x Dell HPR ゴールド 5x Dell HPR シルバー	3x Supermicro 製ミドル ファン FAN-0206L4
電源装置		
ベンダーとモデル	Dell 05222NA00	Supermicro PWS-1K23A-1R
電源装置の数	2	2
個々のワット数 (W)	1,800	1,200

テスト方法

温度の制御と測定を行える環境を作るために、フル装備の 42U サーバー ラックの周囲にはカスタム エンクロージャを構築しました。Dell システムと Supermicro システムはどちらもラック内の同じ位置でテストし、3 つのシナリオでサーバーの内部温度を収集しました。ラック内のサーバーに対して 4 つのウェーブで、それぞれ 1 分 10 秒の間隔をあけて stress-ng ベンチマークを実行しました。今回テストした Dell と Supermicro のシステムでは、最初のサーバーがワークロードを開始してから 3 分 30 秒後、4 つ目のウェーブでワークロードを起動しました。テストのセットアップと実行のために取った手順を以下にまとめます。

Ubuntu 22.04.3 のインストールと設定

1. Ubuntu 22.04.3 メディアから起動する。
2. [Try or Install Ubuntu Server] を選択する。
3. 言語メニューでは、デフォルトのまま [Done] を選択する。
4. [Update to the new installer] を選択する。
5. [Keyboard configuration] では、デフォルトのまま [Done] を選択する。
6. [Installation type] では、デフォルトのまま [Done] をクリックする。
7. [Network connections] メニューでは、デフォルトのまま [Done] を選択する。
8. [Configure proxy] 画面では、デフォルトのまま [Done] を選択する。
9. [Configure Ubuntu archive mirror] 画面では、テストに合格するのを待ってから、[Done] を選択する。
10. [Guided storage configuration] 画面では、デフォルトのまま [Done] を選択する。
11. [Storage configuration] 画面のサマリーでは、デフォルトのまま [Done] を選択する。
12. 破壊アクションを確認するために、[Continue] を選択する。
13. [Profile setup] 画面の [Your name] と [Username] に「ptuser」と入力する。[Your servers name] に名前を入力し、パスワードを確認する。
14. [Done] を選択する。
15. Ubuntu Pro へのアップグレード画面では、デフォルトのまま [Continue] を選択する。
16. [SSH Setup] 画面で [Install OpenSSH server] を選択し、[Done] を選択する。
17. [Featured Server Snaps] 画面では、デフォルトのまま [Done] を選択する。
18. インストールが完了したら、[Reboot now] を選択する。
19. 上記で作成した認証情報を使用して Ubuntu にログインする。
20. アップデートを処理する。

```
sudo apt update
sudo apt upgrade
```

21. CIFS ユーティリティをインストールし、PT 共有をマッピングする。

```
sudo apt install cifs-utils
sudo mkdir /mnt/pt-data01
sudo mount -t cifs //10.41.1.21/pt /mnt/pt-data01/ -o "rw,user=<useraccount>,pass=<password>"
```

22. ネットワーキングを構成する。

```
sudo cp /etc/netplan/*.yaml /etc/netplan/00-installer-config.yaml.bak
sudo nano /etc/netplan/*.yaml
```

23. 目的のネットワーク アダプターを特定し、次の調整を行う。

```
addresses:
- <IP_Address>/<CIDR>
routes:
- to: default
  via: <Default_Gateway>
nameservers:
  search: [<NameServer1>, <NameServer2>]
  addresses: [<DNS_IP1>, <DNS_IP2>, <DNS_IP3>]
```

- 変更されたファイルをテストして適用する。

```
sudo netplan try
sudo netplan apply
```

- ホスト名を設定する。

```
sudo hostnamectl set-hostname <NewHostname>
```

- ホストを再起動する。

```
sudo shutdown -r now
```

パスワード不要 sudo のデプロイ

クライアント側でのデプロイ

- sudoers ファイルを編集する。

```
sudo visudo /etc/sudoers
```

- ファイルの末尾に次の行を追加する。

```
ptuser ALL=(ALL:ALL) NOPASSWD: ALL
```

コントローラー側でのデプロイ

- SSH キーペアを生成する。

```
ssh-keygen -t rsa -b 4096 -N "" -f "$HOME/.ssh/id_rsa.pub"
```

- SSH 公開キーを各リモートサーバーにコピーする。

```
ssh-copy-id ptuser@<remote_server_IP>
```

データ コレクションのための TIG-P スタックの実装

Docker の構成

- ptuser としてロギングマシンにログインする。
- Docker のインストールの準備をする。

```
sudo apt update
sudo apt install ca-certificates curl
sudo install -m 0755 -d /etc/apt/keyrings
sudo curl -fsSL https://download.docker.com/linux/ubuntu/gpg -o /etc/apt/keyrings/docker.asc
sudo chmod a+r /etc/apt/keyrings/docker.asc
```

- Apt ソースにリポジトリを追加し、インストールする。

```
echo \
"deb [arch=$(dpkg --print-architecture) signed-by=/etc/apt/keyrings/docker.asc] https://download.
```

```
docker.com/linux/ubuntu \
$(. /etc/os-release && echo "$VERSION_CODENAME" stable" | \
sudo tee /etc/apt/sources.list.d/docker.list > /dev/null
sudo apt update
sudo apt install docker-ce docker-ce-cli containerd.io docker-buildx-plugin docker-compose-plugin
```

Huntabyte TIG スタックの構成

1. ロギング マシンで tig-stack リポジトリのクローンを作成する。

```
git clone https://github.com/huntabyte/tig-stack.git
```

2. デプロイ用に .env ファイルを編集する。

```
sudo nano tig-stack/.env
```

3. FluxDB について、次のようにユーザー名、パスワード、組織、バケット、保持期間を入力する。

```
DOCKER_INFLUXDB_INIT_USERNAME: admin
DOCKER_INFLUXDB_INIT_Password: <PasswordHere>
DOCKER_INFLUXDB_INIT_ORG: PT
DOCKER_INFLUXDB_INIT_BUCKET: <BucketName>
DOCKER_INFLUXDB_INIT_RETENTION: 52w
```

4. 次のコマンドを使用してランダムな 32 文字の 16 進文字列を生成し、管理者トークンの結果を .env ファイルに入力する。

```
openssl rand -hex 32
```

5. 保存して終了する。
6. telegraf.conf を編集する。

```
sudo nano tig-stack/telegraf/telegraf.conf
```

7. 次の値を設定する。

```
services:
  influxdb:
    image: influxdb
  telegraf:
    image: gibletron/telegraf-ipmitool
  grafana:
    image: grafana/grafana-oss
  links:
    - prometheus
```

8. 保存して終了する。
9. Docker Compose を起動する (ヘッドレス、デタッチ モード)。

```
sudo docker-compose up -d
```

10. 監視する各サーバーで、次のコマンドを実行する。

```
sudo apt install telegraf
```

11. InfluxDB 管理インターフェイスを開くために、ポート 8086 で InfluxDB ホストの IP アドレスをブラウズする。

- 必要に応じて API トークンを作成し、ウィンドウを閉じる前に必ず記録する。
- [Load Data] で [API Tokens] をクリックし、[Generate API Token] をクリックする。
- 監視する各サーバーで、`/etc/telegraf/telegraf.conf` を次のように編集する。

```
[[outputs.influxdb_v2]]
  urls = ["<influxDB_IP>:8086"]
  token = "<API_token>"
  organization = "PT"
  bucket = "<bucket_name>"
```

- テスト対象の各システムで次の行を追加する。

```
[[inputs.intel_powerstat]]
  cpu_metrics = ["cpu_frequency"]
```

- 保存して終了する。
- Telegraf を再起動する。

```
sudo systemctl restart telegraf
```

Prometheus の構成

- 次の行を `/home/ptuser/tig-stack/docker-compose.yml` に追加する。

```
prometheus:
  image: prom/prometheus:latest
  volumes:
    - ${PROM_CFG_PATH}:/etc/prometheus/prometheus.yml
    - prom-storage:/prometheus
  ports:
    - 9090:9090
  volumes:
    prom-storage:
```

- 保存して終了する。
- `.env` ファイルを編集し、次の行を追加する。

```
PROM_CFG_PATH=./prometheus/prometheus.yml
```

- 保存して終了する。
- 監視する各サーバーで、次のコマンドを実行する。

```
sudo apt install dbus prometheus-node-exporter prometheus-node-exporter-collectors -y
```

- テスト対象の各システムで次のコマンドを実行する。

```
sudo apt install prometheus -y
```

- Prometheus で監視ジョブを作成するために、次の行を `/home/ptuser/tig-stack/prometheus/prometheus.yml` に追加する。

```
- job_name: "<custom_name>"
  static_configs:
    - targets: ["<target_IP:9090>"]
```

- ステップ 7 と同様に、追加のエントリを作成して、ジョブやターゲットを追加する。その他のターゲットも、同じジョブに対して別のターゲット行として追加できる。
- 保存して終了する。

stress-ng によるテスト

各テストシナリオでは、次の手順に従って stress-ng 浮動小数点ワークロードを実行しました。

1. 各サーバーで次のコマンドを実行する。

```
sudo apt install stress-ng linux-tools-generic -y
```

2. テスト対象の各サーバーで次のコマンドを実行する。

```
sudo modprobe rapl
sudo modprobe intel_rapl_common
sudo modprobe intel_rapl_msr
sudo modprobe msr
sudo modprobe intel-uncore-frequency
sudo setcap cap_sys_rawio,cap_dac_read_search,cap_sys_admin+ep /usr/bin/telegraf
sudo chmod -R a+rx /sys/devices/virtual/powercap/intel-rapl/
```

3. テスト対象の各サーバーで https://github.com/andikleen/pmu-tools/blob/master/event_download.py に移動し、未加工ファイルをダウンロードして実行する。

```
sudo chmod +x event_download.py
./event_download.py
```

4. コントローラーで PSSH をインストールする。

```
sudo apt install pssh -y
```

5. コントローラーで、stress-ng の実行中に使用するファイルを作成する。

```
sudo touch ~/.pssh_hosts_file
sudo touch ~/.pssh_hosts_file_wave1
sudo touch ~/.pssh_hosts_file_wave2
sudo touch ~/.pssh_hosts_file_wave3
sudo touch ~/.pssh_hosts_file_wave4
```

6. ~/.pssh_hosts_file ファイルを編集し、すべてのサーバー IP アドレスを各行に 1 つずつ入力する。
7. ~/.pssh_hosts_file_wave1 から ~/.pssh_hosts_file_wave4 までのファイルを編集し、各ファイルの IP アドレスの 4 分の 1 を適切に入力する。
8. すべてのサーバーがネットワークに接続されており、リモートコマンドに応答していることをテストする。

```
sudo pssh -i -h ~/.pssh_hosts_file uptime
```

9. コントローラーで stress-ng テスト用のログ フォルダを作成する。

```
sudo mkdir /var/log/stress-ng
sudo chmod 777 /var/log/stress-ng
```

10. 「wave1」を適切なウェブ番号に編集して、次のコマンドでテストを実行する。

```
pssh -i -h ~/.pssh_hosts_file_wave1 sudo stress-ng --cpu 4 --matrix 0 --cpu-method matrixprod --mq 4 --hdd 6 --tz --metrics --perf --times --aggressive -t 2h --log-file /var/log/stress-ng/$(date +%Y%m%d_%H%M%S').log
```

▶ オリジナルの英語版のレポートは
<https://facts.pt/gPS09my> からご覧いただけます

このプロジェクトは、デル・テクノロジーズの委託を受けて作成されています。



Facts matter.®

Principled Technologies は、Principled Technologies, Inc. の登録商標です。
他のすべての製品名は各社の商標です。

保証の免責事項、責任の制限：

Principled Technologies, Inc. はそのテストの精度と妥当性を確保するために適切な努力を行っていますが、テストの結果と分析、それらの精度、完全性、または品質に関して、特定の目的に対する適合性の黙示保証を含め、明示または黙示にかかわらず、いかなる保証も放棄します。すべての個人または事業体は自己の責任においてテストの結果に依存し、Principled Technologies, Inc. およびその従業員、その請負業者が、テスト手順や結果における疑わしいエラーや欠陥による損失や損害についてのいかなる主張に対しても、何ら責任を負わないことを認めるものとします。

Principled Technologies, Inc. は、そのテストに関連する間接的、特別的、付随的、結果的な損害に対して、当該損害の可能性について知らされていた場合でも、一切責任を負わないものとします。いかなる場合も Principled Technologies, Inc. は、直接的損害を含め、Principled Technologies, Inc. のテストに関連して支払われた金額を超える責任を負わないものとします。お客様の唯一の救済手段は、ここに示すとおりです。