

ホワイトペーパー

FUJITSU Server PRIMERGY & PRIMEQUEST RAID コントローラーのパフォーマンス 2016

本書は、Fujitsu PRIMERGY および PRIMEQUEST サーバのディスク I/O パフォーマンスの担当者を対象としています。内蔵ディスクサブシステムに適用する各種 RAID コントローラーのオプションやアプリケーション分野について、パフォーマンスの観点から理解するための情報を提供しています。推奨するコントローラーの選択およびパラメータ設定は、データの安全性やパフォーマンスに対する要件、およびサーバ構成により異なります。本書では、2016 年の PRIMERGY および PRIMEQUEST システムに搭載可能な現世代のコントローラーを紹介します。

バージョン

1.0d

2016-08-29



目次

目次	2
ドキュメントの履歴	2
はじめに	3
PRIMERGY および PRIMEQUEST 用 RAID コントローラー：基本	5
RAID コントローラーの概要	5
コントローラーインターフェースとそのスループットの限界	7
電源障害に対するコントローラーキャッシュの保護	10
FastPath	11
パフォーマンス関連のキャッシュ設定	11
その他の設定	14
オンボードコントローラーの特性	16
測定内容	17
測定方法	17
測定環境	18
コントローラーの比較	20
RAID 1 (SATA ハードディスク 2 台)	21
RAID 0 および 10 (SATA ハードディスク 4 台で構成)	23
RAID 0、10、5 (8 台の SAS ハードディスクで構成)	29
RAID 0、10、5 (9 台以上の SAS-SSD で構成)	42
コントローラーキャッシュのサイズの影響	48
低負荷レベル	49
結論	50
関連資料	52
お問い合わせ先	52

ドキュメントの履歴

バージョン 1.0 (2016-03-07)

- 初版

バージョン 1.0a (2016-03-23)

- マイナー修正

バージョン 1.0b (2016-03-23)

- マイナー修正

バージョン 1.0c (2016-05-20)

- マイナー修正

バージョン 1.0d (2016-08-29)

- マイナー修正

はじめに

ハードディスクは、サーバ環境においてセキュリティ上の要素であると同時に、パフォーマンスを左右する重要なコンポーネントでもあります。そのため、ハードディスクがシステムのボトルネックとならないように、インテリジェントな方法で複数のハードディスクのパフォーマンスを統括することが重要です。また同時に、特定のコンポーネントで障害が発生した場合、他のコンポーネントで補う必要があります。1つの論理ドライブに複数台のハードディスクをアレンジすることで、いずれかのハードディスクが故障したときに、他のハードディスクでそれを補うという方法があります。これは RAID (Redundant Array of Independent Disks: 独立ディスク冗長配列) と呼ばれる方法です。RAID の構成には、通常、特別な RAID コントローラーを使用します。

PRIMERGY および PRIMEQUEST サーバは、種々の RAID コントローラーとハードディスク構成によるさまざまな内部構成で利用できます。PRIMERGY および PRIMEQUEST ファミリーのすべてのサーバに標準で提供される「モジュラー RAID」コンセプトは、RAID コントローラーファミリーと富士通製ソフトウェア「ServerView RAID Manager」で構成されています。幅広い RAID ソリューションが用意されているため、ユーザーは特定のアプリケーションシナリオに合った適切なコントローラーを選択できます。ディスクサブシステムのパフォーマンスは、コントローラー、選択したハードディスク、および RAID レベルの機能によって決まります。

これまでの PRIMERGY & PRIMEQUEST ホワイトペーパーシリーズでは、「モジュラー RAID」のパフォーマンスに関して、次のようにあらゆる側面を取り上げてきました。

- ディスク I/O パフォーマンスの概要については、『[ディスク I/O パフォーマンスの基本](#)』を参照してください。
- 本書「[RAID コントローラーのパフォーマンス 2016](#)」では、PRIMERGY および PRIMEQUEST 向けに提供されている現行世代のすべての RAID コントローラーについて、そのパフォーマンスを含めて説明しています。
- 本書に先行する文書「[RAID コントローラーのパフォーマンス 2013](#)」では、その当時の世代のコントローラーおよびそれらのパフォーマンスについて説明しています。

PRIMERGY および PRIMEQUEST サーバの内蔵ディスクサブシステムをサイジングする際は、最初に適切なハードディスクタイプを選択し、次に、所要の RAID レベルを確立するために必要なハードディスクの数を経験則から見積もります。接続するハードディスクの数およびテクノロジーと、所要の RAID レベルにより、RAID コントローラーが決まります。ディスクサブシステムを的確にサイジングするには、数年かかるかもしれません。

しかし、SSD (Solid State Drives: ソリッドステートディスク) などのストレージメディアやサーバの内部インターフェースは日々技術的に進化しており、それにより増大した要件が、サイジングしたディスクサブシステムで満たされなくなります。あるいは、実環境のサーバ構成では、アプリケーションシナリオの変化により、ハードディスクの数は十分でも期待どおりのディスク I/O パフォーマンスが得られないこともあります。このような場合、RAID コントローラーがパフォーマンスに与える影響をさらに詳しく検証すると効果的です。適切なコントローラーを選択すること、あるいは単にコントローラーを正しく構成することが、最高のパフォーマンスを得るための必須条件になることがあります。

本書の目的は、上記の課題を解決することです。最初に、PRIMERGY および PRIMEQUEST システムに搭載可能な現行の内蔵 RAID コントローラーの概要を説明します。次に、関連するコントローラーインターフェースのスループットの限界について、パフォーマンスの観点から説明します。さらに、測定の背景を簡単に説明した後、さまざまな RAID コントローラーを各 RAID レベルおよび異なるアプリケーションシナリオで測定し、測定結果を元に比較します。

従来、「ハードディスク」や「ハードディスクドライブ (HDD)」という用語は、直接アドレス指定できる、硬質で磁気コーティングされた、回転式のデジタル非揮発性ストレージメディアを指していました。現在では技術の進歩により、新しい形の「ハードディスク」がストレージメディアとして登場しています。これらはサーバに対して従来と同じインターフェースを持ち、サーバからはハードディスクと同様に扱われます。代表的な例が SSD です。これは可動部分のない電子ストレージメディアですが、通常、ハードディスクとして扱われます。本書では、総称として「ハードディスク」という用語を使用し、区別する場合に「SSD」や「HDD」という用語を使用します。

本書では、ハードディスクの容量を示す場合は 10 のべき乗（1 TB = 10^{12} バイト）、その他の容量やファイルサイズ、ブロックサイズ、スループットを示す場合は 2 のべき乗（1 MB/s = 2^{20} バイト/s）で表記しています。

PRIMERGY および PRIMEQUEST 用 RAID コントローラー：基本

ここでは、まず PRIMERGY および PRIMEQUEST サーバに搭載可能な RAID コントローラーとそれらの基本的な機能について説明します。さらに、各コントローラーとサーバ内インターフェースの組み合わせにより得られるスループットの限界について詳しく見ていきます。次に、コントローラーで選択できる設定について解説し、最後にオンボードコントローラーの特性について述べます。

RAID コントローラーの概要

次の表は、利用可能な RAID コントローラーの機能性に関する最も重要なデータをまとめたものです。

本書では、コントローラーの名称を簡略化するため、表の「略称」列に記載した略称を使用します（例：C610）。

コントローラー名	略称	FF	キャッシュ	周波数	対応インターフェース		最大ディスク数	RAID レベル	FBU
Intel C220 (オンボード SATA) 上の LSI SW RAID	C220	I	-	6G	SATA 6G	DMI 2.0 x4	4	JBOD、0、1、10	-
Intel C236 (オンボード SATA) 上の LSI SW RAID	C236	I	-	6G	SATA 6G	DMI 3.0 x4	4	JBOD、0、1、10	-
Intel C610 (オンボード SATA) 上の LSI SW RAID ³⁾	C610	I	-	6G	SATA 6G	DMI 2.0 x4	4 (6)	JBOD、0、1、10	-
PRAID CM400i ¹⁾	PRAID CM400i	M	-	12G	SATA 6G SAS 12G	PCIe 3.0 x8	8	0、1	-
PRAID CP400i	PRAID CP400i	P	-	12G	SATA 6G SAS 12G	PCIe 3.0 x8	8	0、1、1E、5、10、50	-
PSAS CP400i	PSAS CP400i	P	-	12G	SATA 6G SAS 12G	PCIe 3.0 x8	8	JBOD、0、1	-
PRAID EM400i ¹⁾²⁾	PRAID EP400i	M	1 GB	12G	SATA 6G SAS 12G	PCIe 3.0 x8	8	0、1、1E、5、6、10、50、60	✓
PRAID EP400i		P							
PRAID EP420i	PRAID EP420i	P	2 GB	12G	SATA 6G SAS 12G	PCIe 3.0 x8	8	0、1、1E、5、6、10、50、60	✓

¹⁾ これらのコントローラーは PRIMERGY BX2560 M1 にのみ搭載可能です。

²⁾ PRIMERGY SX980 ストレージブレードなどより多くのディスクスロットを持つ機器を接続する場合、PRAID EM400i コントローラーは RAID 0 および RAID 1 だけでなくすべての RAID レベルを使用できます。

³⁾ Intel C610 チップセットには、2 つのオンボード RAID コントローラーが組み込まれています。これらのコントローラーはそれぞれ、PRIMERGY RAID Management を使用し、最大 4 台のハードディスクで構成される論理デバイスを作成できます (CX25x0 M1 では、これらのコントローラーの 1 つでハードディスクを最大 6 台とすることも可能です)。本書内では、このチップセット内の 1 つのコントローラーのインスタンスを、オンボードコントローラーという通称として使用します。

列「FF」はフォームファクターを表し、「I」は「統合型」、「P」は「PCIe スロット」、「M」は「メザニンカード」を指します。「最大ディスク数」列は、PRIMERGY および PRIMEQUEST サーバの RAID 管理コンセプトに基づき、コントローラーで直接操作できるハードディスクの最大数を示します。この情報により、コントローラーが理論的なボトルネックになるかどうか判断できます。一部の PRIMERGY モデルでは、特定のコントローラーモデルに「エクспанダー」（SAS 規格で定義されている専用コンポーネント）を接続することで、ハードディスクの最大数をさらに増やすことができます。この場合、エクспанダーは既存のポートの帯域幅を拡大することはできませんが、接続されているすべてのハードディスクでその帯域幅を利用できるようにします。

ディスクサブシステムのパフォーマンスの評価では、プロセッサパフォーマンスとメモリ構成は、今日のシステムでは、ほとんどの場合大きな要因ではありません。通常、考えられるボトルネックはサーバシステムの CPU やメモリではなく、ハードディスクや RAID コントローラーに影響を及ぼします。したがって、ハードディスクの拡張性の違いのためすべての PRIMERGY または PRIMEQUEST ですべての構成を実現できない場合でも、使用する PRIMERGY または PRIMEQUEST のモデルに関係なく、さまざまな RAID コントローラーを比較できます。

次の表は、本書の作成時に各 PRIMERGY および PRIMEQUEST システムでリリースしているハードディスク接続用の 現行世代の RAID コントローラーと、1つの RAID コントローラーがサポートする最大ハードディスク数をまとめたものです。PRIMERGY または PRIMEQUEST 構成バージョンとコントローラーの可能な組み合わせについては、システムのコンフィギュレータを参照してください。

システム	Expander	オンボードコントローラー			PCIe インターフェースを搭載したコントローラー					
		C220	C236	C610	PRAID CM400i	PRAID CP400i	PSAS CP400i	PRAID EM400i	PRAID EP400i	PRAID EP420i
PRIMERGY BX2560 M1				2	2			2		
PRIMERGY BX2580 M1				2						
PRIMERGY CX2550 M1				6		6	6		6	6
PRIMERGY CX2570 M1				6		6			6	6
PRIMEQUEST 2800B2 (DU)										4
PRIMEQUEST 2x00E2 (SB)										4
PRIMEQUEST 2x00E2 (DU)										4
PRIMERGY RX1330 M1	-/✓	4				8	10		10	10
PRIMERGY RX1330 M2	-/✓		4			8			10	10
PRIMERGY RX2530 M1	-/✓			4 (8)		8	10		10	10
PRIMERGY RX2540 M1	-/✓			4 (8)		8	24		24	24
PRIMERGY RX2560 M1	-/✓					8	32		32	32
PRIMERGY RX4770 M2						8			8	8
PRIMERGY SX960 S1	-/✓						10		10	10
PRIMERGY TX1310 M1		4								
PRIMERGY TX1320 M1		4								
PRIMERGY TX1320 M2			4			6			6	6
PRIMERGY TX1330 M1		4								
PRIMERGY TX1330 M2	-/✓		4			8			24	24
PRIMERGY TX2560 M1	-/✓					8	32		32	32

システムによっては、前世代 (SAS-6G) の RAID コントローラーを注文することも可能です。これらのコントローラーは、以前の文書「[RAID コントローラーのパフォーマンス 2013](#)」で扱ってきたので、ここでは再度分析しません。

PRIMEQUEST システムでは、「ディスクユニット (Disk Unit)」の略称を「DU」、「システムボード (System Board)」の略称を「SB」としています。対応する表中の数字は、いずれの場合も、サブユニット内のハードディスクの最大数を示しています。

本書では、同サーバブレードの内蔵ハードディスクに接続された上記メザニンカードについてのみ調査します。

ハードディスクに関しては、PSAS CP400i は、基本的に Microsoft Windows Server 2012 のストレージスペース向けに設計されています。そのため、このコントローラーは、物理ドライブを未変更状態でオペレーティングシステムに通知します。このコントローラーではハードウェア RAID もサポートされており、RAID 0 および RAID 1 を使用できます。このサポートは、ブートドライブを対象としています。

コントローラーインターフェースとそのスループットの限界

RAID コントローラーには、ハードディスクに接続するインターフェースと、CPU に接続するインターフェースが必要です。ハードディスクとのインターフェースは、一般に SAS または SATA です。チップセットとのインターフェースは一般に PCIe ですが、統合型オンボードコントローラーの場合は、DMI を使用します。SAS、SATA、PCIe、DMI のスループットの上限は次のとおりです。

SAS および SATA

「Serial Attached SCSI」 (SAS) および「Serial Advanced Technology Attachment」 (SATA) はシリアルインターフェースであり、データスループットは周波数に依存します。これらのインターフェースは、ハードディスク、光ドライブ、テープドライブなどの非揮発性ストレージメディアを接続するのに使用されます。

タイプ	周波数	理論スループット	実効スループット (90%)
SAS 3G/SATA 3G	3000 MHz	286 MB/s	257 MB/s
SAS 6G/SATA 6G	6000 MHz	572 MB/s	515 MB/s
SAS 12G	12000 MHz	1144 MB/s	1030 MB/s

または、SAS のバージョン番号で確認できます。バージョン番号が 1.0 では 3G、2.0 では 6G、3.0 では 12G です。または、SATA のバージョン番号で確認できます。バージョン番号が 2.0 であれば 3G、3.0 であれば 6G です。

理論的に達成可能なスループットは、1 Hz あたり 1 ビットから、いわゆる 8b/10b コーディングによるシリアル転送の冗長性 20% を引いて計算します。実際に達成可能なスループットは、この値に 0.90 を掛けることで見積もれます。この 90% という値は、長年観測してきたさまざまなコンポーネントの値から算出された平均経験値です。

端末間を接続するすべてのコンポーネントは、同じバージョンの SAS または SATA プロトコルを使用する必要があります。このコンポーネントには、ハードディスクのほかに、使用する可能性のあるコントローラーおよびエクspander も含まれます。バージョンが異なるコンポーネントを混在させると、すべてのコンポーネントでサポートされる最も高いパフォーマンス基準が自動的に選択されるため、周波数が低くなる可能性があります。この点では、上位のプロトコルには下位互換性があります。

SATA 対応の各ポートは、通常それぞれハードディスクに接続されます。一方 SAS の場合は、SAS ケーブル 4 本をひとまとめにすることが多く、「x4 SAS」または「x4 ワイドポート」と呼ばれます。これにより、バックプレーン経由で最大 4 台の SAS ハードディスクを直接接続できます。x4 SAS のスループットは SAS 接続を個別に使用した場合の 4 倍になります。これは SATA の場合でも同様です。

インターフェース	接続	周波数	理論スループット	実効スループット (90%)
SAS 3G/SATA 3G	x4 x 1	3000 MHz	1144 MB/s	1030 MB/s
SAS 3G/SATA 3G	x4 x 2	3000 MHz	2289 MB/s	2060 MB/s
SAS 6G/SATA 6G	x4 x 1	6000 MHz	2289 MB/s	2060 MB/s
SAS 6G/SATA 6G	x4 x 2	6000 MHz	4578 MB/s	4120 MB/s
SAS 12G	x4 x 1	12000 MHz	4578 MB/s	4120 MB/s
SAS 12G	x4 x 2	12000 MHz	9155 MB/s	8240 MB/s

一部の PRIMERGY モデルは、コントローラーのハードディスク接続数より多くのハードディスクを接続できます。この場合、接続可能なハードディスクの数は、エクspander を使用して拡張します。すでに述べたように、エクspander はデータフローを分散するだけで、スループットを増加させるわけではありません。

SAS プロトコルは、周波数が同じか、より低い SATA プロトコルも転送 (トンネリング) できるように定義されています。これにより、どちらのバージョンの SAS コントローラーでも、SATA ハードディスクと通信できます。逆に、SATA インターフェース経由で SAS ハードディスクを接続することはできません。

PCIe と DMI

PCIe は、コントローラーとマザーボード間のシリアルインターフェースでもあります。コネクタには、数種類の帯域（レーン数）があります。通常は x4（4 レーン）と x8（8 レーン）ですが、重要なのは電氣的に使用される実際のレーンの数（以降、「PCIe 有効帯域」と呼びます）です。レーンのスループットは周波数によっても変化します。

インターフェース	接続	周波数	理論スループット	実効スループット (90 %)
PCIe.1.0、PCIe Gen1	x4	2500 MHz	954 MB/s	858 MB/s
PCIe.1.0、PCIe Gen1	x8	2500 MHz	1907 MB/s	1716 MB/s
PCIe.2.0、PCIe Gen2	x4	5000 MHz	1907 MB/s	1716 MB/s
PCIe.2.0、PCIe Gen2	x8	5000 MHz	3815 MB/s	3433 MB/s
PCIe 3.0、PCIe Gen3	x4	8000 MHz	3756 MB/s	3380 MB/s
PCIe 3.0、PCIe Gen3	x8	8000 MHz	7512 MB/s	6761 MB/s

PCIe 1.0 は「PCIe Gen1」、PCIe 2.0 は「PCIe Gen2」、PCIe 3.0 は「PCIe Gen3」とも表記します。

理論的に達成可能なスループットは次のように計算します。1 Hz あたり 1 ビットに接続数（x4 または x8）を掛けたものから、PCIe 1.0 および 2.0 の場合、いわゆる 8b/10b コーディングによるシリアル転送の冗長性 20 %を、あるいは、PCIe 3.0 の場合、128b/130b コーディングによる冗長性 1.54 %を引きます。実際に達成可能なスループットは、この値に 0.90 を掛けることで見積もれます。この 90 %という値は、長年測定してきたさまざまなコンポーネントの値から算出した、経験的な平均値です。

2010 年の導入世代以降のすべての PRIMERGY サーバ（つまり、PRIMERGY RX300 S5 以降）は PCIe 2.0 をサポートしており、2012 年の導入世代以降のすべての PRIMERGY サーバ（つまり、PRIMERGY RX300 S7 以降）は、PCIe 3.0 をサポートします。バージョンが異なるコンポーネントを混在させると、すべてのコンポーネントでサポートされる最も高い周波数が選択されます。

Direct Media Interface（略称：DMI）は、PCIe と密接に関連しています。これは、CPU をチップセットに接続するためのインテル独自の規格です。スループットに関しては、上の表で PCIe について示されているように、対応する説明が DMI に当てはまります。したがって、例えば DMI 2.0 が x4 であれば、最大実効スループットは 1716 MB/s となります。オンボードコントローラーはチップセットに組み込まれているため、これらの入力側（CPU 側）では、このスループット値がオンボードコントローラーに直接関係してきます。

RAID コントローラーへの適用

次の表は、すべての RAID コントローラーのパフォーマンスを判断するためのデータです。前述の「[SAS および SATA](#)」と「[PCIe と DMI](#)」で示したスループットの限界を、ここに記載しています。各ケースのスループットの限界で重要なものを太字で示しています。

コントローラーの略称	CPU コアの数	キャッシュメモリアイ	ディスク接続の数	ディスクインターフェースのスループットの限界	# CPU サイドのデータチャンネル	CPU サイドのインターフェースのスループット制限
C220			SATA 6G × 4	2060 MB/s	DMI 2.0 × 4	1716 MB/s
C236			SATA 6G × 4	2060 MB/s	DMI 3.0 × 4	3433 MB/s
C610 × 1			SATA 6G × 4 × 1	2060 MB/s	DMI 2.0 × 4	1716 MB/s
C610 × 2			SATA 6G × 4 × 2	4120 MB/s	DMI 2.0 × 4	¹⁾ 1716 MB/s
PRAID CM400i	1.2 GHz × 1		SAS 12G × 2	2060 MB/s	PCIe 3.0 × 8	6761 MB/s
				²⁾ 1030 MB/s		6761 MB/s
PRAID CP400i	1.2 GHz × 1		SAS 12G × 8	8240 MB/s	PCIe 3.0 × 8	6761 MB/s
				²⁾ 4120 MB/s		6761 MB/s
PSAS CP400i	1.2 GHz × 1		SAS 12G × 8	8240 MB/s	PCIe 3.0 × 8	6761 MB/s
				²⁾ 4120 MB/s		6761 MB/s
PRAID EM400i	1.2 GHz × 2	DDR3/ 1866 MHz	SAS 12G × 2	2060 MB/s	PCIe 3.0 × 8	6761 MB/s
				²⁾ 1030 MB/s		6761 MB/s
PRAID EP400i	1.2 GHz × 2	DDR3/ 1866 MHz	SAS 12G × 8	8240 MB/s	PCIe 3.0 × 8	6761 MB/s
				²⁾ 4120 MB/s		6761 MB/s
PRAID EP420i	1.2 GHz × 2	DDR3/ 1866 MHz	SAS 12G × 8	8240 MB/s	PCIe 3.0 × 8	6761 MB/s
				²⁾ 4120 MB/s		6761 MB/s

- 1) 2 つ目のコントローラーインスタンスによって CPU 側インターフェースのスループットの限界値が増加することはありません。
- 2) このような半減されたスループットの限界値は、コントローラーに 6G インターフェースのハードディスクのみが接続されている場合に適用されます。

ほとんどの場合、スループットの限界はボトルネックにはなりません。従来型ハードディスクヘランダムアクセスを行うアプリケーションシナリオは高いスループットを達成できませんが、実際には特に優れたパフォーマンスを達成します。

「ディスクインターフェースのスループットの限界」列のスループット値は、そのままコントローラーとハードディスクの間の接続に適用されます。この SAS/SATA インターフェースを介したスループットは、RAID 0 構成の場合のみ、アプリケーション側から見たスループットと同一になります。その他の RAID レベルの場合、SAS/SATA インターフェースを介したスループットは、アプリケーション側から見ると、スループットに特定の係数を乗じた値になります。この係数は常に 1 以上であり、RAID レベルやアクセスパターンの複数の特徴によって異なります。そのため実際のスループットの限界は、この係数により、「ディスクインターフェースのスループットの限界」列の値よりも常に小さい値になります。

電源障害に対するコントローラーキャッシュの保護

電源障害に備えてキャッシュのデータをバックアップするために、現在 PRIMERGY および PRIMEQUEST サーバには次の 2 つの選択肢が用意されています。

バッテリーバックアップユニット (BBU)

バッテリーバックアップユニット (BBU) を使用した従来の方法です。この場合、電源障害発生時には、揮発性キャッシュメモリの電源が再充電可能バッテリー (アキュムレーター) を使用してバックアップされます。バッテリーの容量には上限があり、物理的、化学的プロセスによって時間とともに減少していくので、キャッシュメモリに電源を供給できるのは限られた時間だけです。この時間は一定ではなく、BBU の寿命、充電状態、温度といった影響をおよぼす複数の要因によって変わります。そのため、BBU による保証には制限があると言えます。

電源が復旧してサーバに電源が入るとすぐに、RAID コントローラーはキャッシュメモリコンテンツの操作を続行し、データの一貫性は保持されます。

フラッシュバックアップユニット (FBU)

より新しい技術を基盤としたフラッシュバックアップユニット (FBU) を使用すると、電源障害発生時にはデータがキャッシュメモリに保存されるのではなく、キャッシュメモリコンテンツが不揮発性フラッシュメモリにコピーされます。このフラッシュメモリには、データを必要な期間保存しておくことができます。つまり、BBU の問題であった保存期間が、FBU では解消されます。

電源障害発生時に、キャッシュメモリからフラッシュメモリにコピーするために必要となるエネルギーは、スーパーコンデンサから供給されます。

電源が復旧してサーバに電源が入るとすぐに、キャッシュコンテンツはフラッシュメモリから元のキャッシュメモリへ書き込まれます。RAID コントローラーは再度動作可能になり、データの一貫性は保持されま

このホワイトペーパーで説明されている、コントローラーキャッシュ付き RAID コントローラーのすべてに関し、FBU バージョンが提供されています。

FastPath

FastPath は SSD で構成される論理ドライブの高パフォーマンス IO アクセラレーターです。この最適化された LSI MegaRAID テクノロジーにより、SSD が使用された場合に、ランダムアクセスにより IO 負荷が高いアプリケーションのパフォーマンスを明確に向上させることができます。

FastPath は、以前は RAID コントローラーに追加して注文できた RAID オプション「RAID Advanced Software Options int.」の一部でした。

ファームウェアパッケージのバージョン 24.7.0-0061 から、12G 対応のキャッシュ付き RAID コントローラー（PRAID EM400i、PRAID EP400i、PRAID EP420i）では自動的にアクティブになります。また、新しく作成された論理ドライブや、以前のバージョンのファームウェアで作成された論理ドライブに対しても適用されます。キャッシュの設定に関して行うことは、SSD に対する最適前提要件が一般的に満たされていることを確認するだけです。つまり、ServerView RAID Manager で論理ドライブを作成する際には、キャッシュの設定はまとめて「Fast Path optimum」に設定する必要があります。また、既存の論理ドライブについては、以下のように設定してください。

- Read Mode 「No read-ahead」
- Write Mode 「Write-through」
- Cache Mode 「Direct」
- Disk Cache 「Enabled」

本書のこれ以後の部分では、ファームウェアステータスのため、FastPath はアクティブになっているものとします。

パフォーマンス関連のキャッシュ設定

RAID コントローラーが最高のパフォーマンスを発揮するには、各 論理ドライブのパラメータ設定を正確に行う必要があります。設定できるパラメータの数は、コントローラーによって異なります。RAID コントローラーとハードディスクの設定を簡単かつ確実に行うため、PRIMERGY と PRIMERQUEST サーバ向けに提供されている ソフトウェア「ServerView RAID Manager（バージョン 6.3.3 以上）」の使用を推奨します。あらかじめ定義されている「Performance」モードまたは「Data Protection」モードを使用すると、特定のアプリケーションに合わせたコントローラーおよびハードディスクのキャッシュ設定を一括処理できます。

「Data Protection」モードになっている場合、停電時にデータ損失が防止されます。これは、RAID コントローラーとハードディスクのライトキャッシュが通常は無効になっていることを意味しています。RAID コントローラーがライトキャッシュ（停電時に備えて動作中の FBU により保護されている）を持っている場合、このライトキャッシュは有効化されています。これにより、通常はパフォーマンス上の大きな利点が得られます。

「Performance」モードでは、既存のコントローラーとハードディスクのすべてのキャッシュが有効になります。このため、このモードでは、電源障害が発生した場合に備え、フラッシュバックアップユニット（FBU）を使用して RAID コントローラーのキャッシュをデータ損失から守る必要があります。さらに、ハードディスクのキャッシュも、無停電電源装置（UPS）を使用して保護する必要があります。この場合、使用中のサーバは、冗長電源ユニットも備えている必要があります。「Performance」モードでは、HDD を使用するアプリケーションシナリオのほとんどに対応する、最高のパフォーマンス設定が可能です。

「Fast Path optimum」モードは、オプションの FastPath が実際に RAID コントローラー内でアクティブになっている場合にのみ表示されます。小さいブロック（ ≤ 8 kB、例：データベースの OLTP 運用）のランダムアクセスで SSD の最大トランザクションレートを得られる場合は、これを選択してください。このような場合、RAID コントローラーのライト/リードキャッシュ（すでに非常に短くなっている SSD のアクセス時間に基いている）は、主としてブレーキとして働くため、このモードでは無効になっています。

特殊なケースでは、「Performance」モードのパラメーター設定を標準から変更したほうが効果的な場合もあります。変更が効果的な場合については、「[コントローラーの比較](#)」の該当する箇所を参照してください。

「ServerView RAID Manager」ソフトウェアのキャッシュ設定には、次の RAID コントローラーおよびハードディスクの設定オプションがあります（設定できるオプションは、コントローラーにより異なります）。最初の 3 つの設定オプションは RAID コントローラーを制御し、最後のオプションは論理ドライブのハードディスクを制御します。すべてのパラメーターは、論理ドライブごとに個別に設定することができます。

Read mode

「Read mode」パラメーターを使用して、先読みを行うかどうかをコントロールできます。設定できるオプションは、「No read-ahead」と「Read-ahead」の2種類です。「No read-ahead」に設定すると、先読みは行われません。「Read-ahead」に設定すると、リクエストされたブロックの直後に続くブロックが読み取られ、コントローラーキャッシュへ送られます。これは、次のリクエストのいずれかでもブロックが要求されることを想定して実行されます。

「Read-ahead」の場合、オンボードコントローラー（C220 など）は通常、ブロックを先読みします。キャッシュ付きの PCIe コントローラーでこのオプションを選択すると、さらに異なる動作が見られます。リクエストされたブロックは継続的に分析され、シーケンシャルリードアクセスが行われるかどうかを確認されます。コントローラーがこのようなアクセスを検出すると、リクエストされたブロックに加えて、キャッシュ内の後続ブロックのリードも開始します。これは、それらのブロックが次にリクエストされることを予想しての動作です。現在のオプション「Read-ahead」は、適応型（Adaptive）とも言えます。このオプションは、従来の2つのオプション「Read-ahead」と「Adaptive」を統合したものです。

Write mode

「Write mode」は、ライトリクエスト時のコントローラーキャッシュの動作を制御する設定オプションです。ライトキャッシュの設定には、「Write-through」、「Write-back」、「Always Write-back (independent of BBU state)」という3つのオプションがあります。「Write-through」オプションでは、コントローラーからの各ライトリクエストは、ハードディスクから応答があった時点で初めて完了済みとしてレポートされます。「Write-back」および「Always Write-back」オプションでは、リクエストはコントローラーキャッシュにキャッシュされ、完了済みとしてただちにアプリケーションにレスポンスが返されます。リクエストが実際にハードディスクに転送されるのはその後になります。この方法により、コントローラーのリソース利用が最適化され、ライトリクエストの処理が速くなり、スループットが向上します。電源障害には、オプションのFBUにより対応できるので、コントローラーキャッシュのデータ整合性が保証されます。「Always Write-back」オプションでは、キャッシュへの書き込みが常時確保されます。FBU が動作していない場合にも使用されます。これに対し、「Write-back」オプションでは、コントローラーキャッシュが FBU によって保護されていない場合、自動的に「Write-through」に切り替わります。

Cache mode

「Cache Mode」パラメーターは、「I/O Cache」と呼ばれる場合もあります。「Direct」に設定した場合、読み取るデータはハードディスクからサーバの RAM へ直接転送されます。「Cached」に設定した場合は、データはすべて、サーバメモリからハードディスクまでの途中で読み取りおよび書き込みが行われ、コントローラーキャッシュに渡されます。「Direct」に設定することをお勧めします。「Read-ahead」機能は、キャッシュモードの設定には影響されません。

Disk cache mode

ここで可能な値は、「enabled」と「disabled」です。ほとんどの場合、ハードディスクキャッシュの有効化によって、ライトアクセスのスループットが増加します。もしシステムが UPS により保護されているなら、性能向上のためハードディスクキャッシュの有効化を推奨します。

各コントローラーで選択できる設定オプションは次のとおりです。

コントローラーの略称	Read mode	Write mode	Cache mode
C220、C236、C610	✓		
PRAID CM400i、 PRAID CP400i、 PSAS CP400i			
PRAID EM400i、 PRAID EP400i、 PRAID EP420i	✓	✓	✓

最後に、ServerView RAID Manager の「Data Protection」、「Performance」および「Fast Path optimum」モードでの標準設定を、次の表にまとめます。なお、コントローラーキャッシュ付きのコントローラーを設定する場合、FBUの有無によっても異なりますが、選択された RAID レベルは無関係です。

コントローラーの略称		C220、 C236、 C610	PRAID CM400i、 PRAID CP400i、 PSAS CP400i	PRAID EM400i、 PRAID EP400i、 PRAID EP420i
FBU?				✓
Data Protection	Read mode	Read-ahead		Read-ahead
	Write mode			Write-through
	Cache mode			Direct
	Disk cache	オフ	オフ	オフ
Performance	Read mode	Read-ahead		Read-ahead
	Write mode			Always Write-back
	Cache mode			Direct
	Disk cache	オン	オン	オン
Fast Path optimum	Read mode			No read-ahead
	Write mode			Write-through
	Cache mode			Direct
	Disk cache		オン	オン

その他の設定

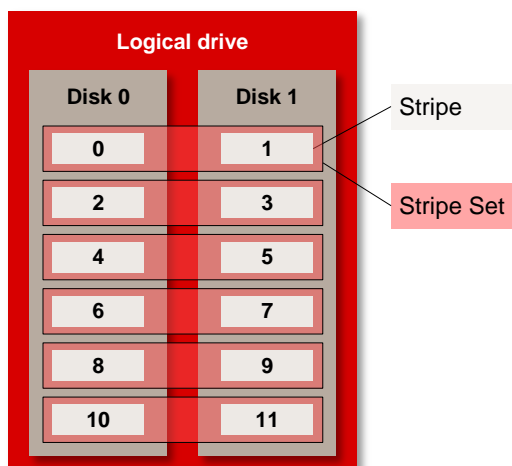
RAID コントローラーおよびハードディスクのキャッシュの設定オプション以外に、「ServerView RAID Manager」（バージョン ≥ 6.3.3）には、論理ドライブの設定オプションがあります。これらのオプションについて知っておくことは、パフォーマンスの点から有益です。

ストライプサイズ

第 1 に重要なパラメーターは、ストライプサイズです。これは、論理ドライブを作成したときにのみ設定可能です。さまざまな値をキャッシュ付きの RAID コントローラー（PRAID EP400i 等）では設定できませんが、それ以外のすべてのコントローラーのデフォルト値は 64 kB です。

ストライプサイズの重要性については、最も単純な RAID 0 を例として、以下に詳しく説明しています。

ストライプサイズは、物理ハードディスクで構成されている論理ドライブの設計を左右するパラメーターです。コントローラーは、一定のルールを用いて、論理ドライブ内のアドレスを関連する物理ハードディスク内のアドレスに変換することで、論理ドライブのブロックへのアクセスを実現します。この変換は、使用されている各ハードディスクの区分（どの場合も、ハードディスクの最初から始まる）に基づき、N バイトずつの同サイズのブロックごとに行われます。論理ドライブの最初の N バイトはハードディスク 0 のブロック 0 に割り当てられ、次の N バイトはハードディスク 1 のブロック 0 に割り当てられます。これは、使用されているすべてのハードディスクのブロック 0 に割り当てが行われるまで続けられます。次に、ハードディスク 0 のブロック 1、ハードディスク 1 のブロック 1...というように続きます。以下の図に、この変換ルールが示されています。



ハードディスク上のこれらのブロックの 1 つをストライプと呼び、そのサイズ（バイト単位）をストライプサイズと呼びます。上の図の横向きに隣接するすべてのストライプを、ストライプセットと呼びます。

ストライプサイズは、パフォーマンスに影響を与えます。一方では、ストライプは、論理ドライブへのアクセスをハードディスク全体に均等に（高い確率で）分散できる程度に小さいサイズである必要があります。しかし他方では、リクエストされた論理ドライブのブロックがハードディスクの限界値でほとんど分割されてしまわない程度に大きいサイズである必要もあります。この分割が起こると、ハードディスクへのアクセスが増加し、ハードディスクの過負荷が早期に発生するという、望ましくない状況が生じます。

通常は、ストライプサイズのデフォルト値は最適な値に設定されています。大半で上記のブロック分割を防ぐ必要があるのは、ランダムアクセスの場合のみです。つまり、ストライプサイズは以下のいずれかである必要があります。

- アプリケーションがリクエストするブロックサイズよりも大きい（例：リクエストされるブロックが 8 kB でストライプサイズが 64 kB）。
- または、アプリケーションがリクエストするブロックサイズと全く同じサイズ（後者がストライプの限界値に合わせてサイズを調整している場合）。

本書で説明されているキャッシュ付き RAID コントローラーに使用できるストライプサイズは、64 kB、128 kB、256 kB、512 kB、1 MB で、デフォルト値は 256 kB です。

エミュレーションタイプ

第 2 に重要なパラメーターは、エミュレーションタイプです。512e ハードディスクの処理は、エミュレーションが関連しています。このようなハードディスクの内部構造のセクターサイズは 4096 B です。しかし、外部から見ると、512 B のセクターサイズをエミュレートしています。つまり、このようなハードディスクの物理セクターのサイズは 4096 B ですが、論理セクターのサイズは 512 B です。512e HDD の詳細については、ホワイトペーパー「[512e HDD : テクノロジー、パフォーマンス、構成](#)」をご覧ください。

エミュレーションタイプの設定は論理ドライブ作成時に行いますが、その後の変更も可能です。この変更は、次の再起動から有効になります。設定可能な値は以下の 3 つです。

Default (デフォルト) 1 つの論理ドライブ内に 512n のハードディスクのみが含まれている場合、その論理ドライブは、オペレーティングシステムにとっては「論理セクターサイズ = 512 B」というプロパティが与えられます。512e のハードディスクが 1 台でも含まれていると、その論理ドライブには「物理セクターサイズ = 4096 B」というプロパティが与えられます。通常は、このデフォルトを使用することをお勧めします。これは、上方に位置するソフトウェアレイヤーがアクセスする際に重要なパラメーター情報を提供することになります。論理ドライブに物理セクターサイズが 4096 B のハードディスクが含まれている場合、上方に位置するソフトウェアレイヤーは、その情報を受け取り、レイヤーの論理ドライブへのアクセスを、最適のパフォーマンスレベルを持つ 4096 B の物理セクターに整合させることができます。

None (なし) 論理ドライブには常に「物理セクターサイズ = 512 B」のプロパティが与えられます。これは、影響を受けるハードディスクの 1 つの物理セクターサイズが 4096 B である場合も同様です。このモードは実用的ではありません。

Force 512e (強制 512e) 論理ドライブには常に（物理セクターサイズが 512 B しかなくても）「物理セクターサイズ = 4096 B」のプロパティが与えられます。この設定を選択すると、512n ハードディスクで構成されている既存の論理ドライブで、故障したハードディスクを 512e ハードディスクに交換した場合のパフォーマンスの低下を回避することができます。

オンボードコントローラーの特性

一部の PRIMERGY モデルでは、最大 4 台のハードディスクを運用できる、シンプルで低価格なエントリーレベルのソリューションをオンボードコントローラーで提供しています。また、これらのオンボードコントローラーは、RAID (0、1、10) 機能をサポートすることで一般的な RAID レベルに幅広く対応し、PCIe スロットを占有しません。

本書では、PCIe インターフェース経由で接続されるすべてのコントローラーは、マザーボードに組み込まれている場合でも、オンボードコントローラーとして扱いません（「[RAID コントローラーの概要](#)」の表を参照）。

オンボードコントローラーは、ファームウェア/ドライバベースのソフトウェア RAID ソリューションとして実装されます。それは、マザーボードのチップセットの 1 つである「プラットフォームコントローラハブ」チップに組み込まれます。サーバ起動時は、論理ドライブへのアクセスは、ファームウェアから行われます。

オンボードコントローラー自体は CPU を持ちませんが、RAID 機能を実行するためにサーバシステムの CPU を使用します。プロセッサパフォーマンスの使用率は、新しいサーバになるほど重要性が低下します。

C220、C236、C610

これらのオンボードコントローラーは、純粋な SATA コントローラーです。C220 オンボードコントローラーは 2013 年に導入された 1 ソケットサーバ世代のチップセットに、C610 オンボードコントローラーは 2014 年に導入された 2 ソケットサーバ世代のチップセットに、C236 オンボードコントローラーは 2015 年に導入された 1 ソケットサーバ世代のチップセットに、それぞれ組み込まれています。これらのコントローラーは、BIOS を通じてさまざまなモードに設定できます。このタイプのコントローラーを効果的に使用するには「RAID」モードが適していますが、ここでは SATA コントローラーのすべてのモードについて説明します。高度な SATA 機能である Native Command Queuing (NCQ) および「ホットスワップ」がサポートされていない場合もあります。次の 3 つのモードがあります。

- | | |
|------|---|
| RAID | 柔軟性に優れた推奨モードです。SATA-HDD を非 RAID から RAID 構成にスムーズに移行できる唯一のモードです。NCQ や「ホットスワップ」を含む、SATA のすべての機能をサポートします。PRIMERGY サーバのコントローラー BIOS には、サポートする RAID レベルに対応した「LSI Logic Embedded MegaRAID」というファームウェアが組み込まれています。起動フェーズで RAID アレイが有効になるのはこのモードのみです。また、「ServerView RAID Manager」でコントローラーとハードディスクを認識して管理できるのもこのモードのみです。専用のドライバが必要です。 |
| AHCI | AHCI (Advanced Host Controller Interface) は、メーカー共通の SATA コントローラーのインターフェース規格です。NCQ と「ホットスワップ」をサポートしています。AHCI の場合も、オペレーティングシステムで専用のドライバが必要です。 |
| IDE | このモードでは、SATA ポートがオペレーティングシステムで認識されるようになります。NCQ はサポートしません。また、適切な SATA ドライバが必要です。「ServerStart DVD」に各種オペレーティングシステム用のドライバが収録されています。 |

測定内容

ここまでは、各種コントローラーを紹介し、その技術的特徴について説明してきました。次の「[コントローラーの比較](#)」では、さまざまなアプリケーションシナリオでのコントローラーについて、測定結果に基づいて説明します。そのため、まず測定方法と測定環境について簡単に説明します。

測定方法とディスク I/O パフォーマンスの基本については、ホワイトペーパー『[ディスク I/O パフォーマンスの基本](#)』を参照してください。

測定方法

PRIMERGY および PRIMEQUEST サーバのディスクサブシステムのパフォーマンス測定は、実際のアプリケーションシナリオでのディスクアクセスを、規定に基づいてモデル化して行います。

規定する項目は次のとおりです。

- ランダムアクセス／シーケンシャルアクセスの比率
- リードアクセス／ライトアクセスの比率
- ブロックサイズ (KB)
- 同時アクセス数 (未処理 I/O の数)

規定した値の組み合わせを「負荷プロファイル」と呼びます。次の 5 つの標準負荷プロファイルは、典型的なアプリケーションシナリオに相当します。

標準負荷プロファイル	アクセス	アクセスの種類		ブロックサイズ [KB]	アプリケーション
		リード	ライト		
ファイルコピー	ランダム	50 %	50 %	64	ファイルのコピー
ファイルサーバ	ランダム	67 %	33 %	64	ファイルサーバ
データベース	ランダム	67 %	33 %	8	データベース (データ転送) メールサーバ
ストリーミング	シーケンシャル	100 %	0 %	64	データベース (ログファイル)、 データバックアップ、ビデオ ストリーミング (一部)
リストア	シーケンシャル	0 %	100 %	64	ファイルのリストア

異なる負荷密度で同時にアクセスするアプリケーションをモデル化するため、「未処理 I/O の数」を 1 から 512 まで増やしていきます (2 の累乗で計算していきます)。

本書の測定は、これらの標準負荷プロファイルに基づいて行いました。

主な測定結果は次のとおりです。

- スループット [MB/s] 1 秒あたりのデータ転送量 (メガバイト単位)
- トランザクション [I/O/s] 1 秒あたりの I/O 処理数
- レイテンシー [ms] 平均応答時間 (ミリ秒単位)

通常、シーケンシャルな負荷プロファイルでは「データスループット」が使用され、小規模なブロックサイズを使用するランダムな負荷プロファイルでは「トランザクションレート」が使用されます。スループットとトランザクションは互いに正比例の関係にあるので、次の計算式で相互に算出できます。

データスループット [MB/s]	= トランザクションレート [I/O/s] × ブロックサイズ [MB]
トランザクションレート [I/O/s]	= データスループット [MB/s] / ブロックサイズ [MB]

測定環境

本書で示すすべての測定は、次のハードウェアとソフトウェアのコンポーネントを使用して行いました。

SUT (System Under Test : テスト対象システム)							
ハードウェア							
モデル	PRIMERGY RX1330 M1 PRIMERGY RX2540 M1 PRIMERGY RX2560 M1 PRIMERGY TX1330 M2						
コントローラー	C220 : Intel C226 PCH、コード名 Lynx Point (で使用 PRIMERGY RX1330 M1) ドライバ名 : megasr1.sys、ドライババージョン : 16.01.2014.0318 BIOS バージョン : A.14.02121826R C236 : Intel C236 PCH、コード名 Sunrise Point (で使用 PRIMERGY TX1330 M2) ドライバ名 : megasr1.sys、ドライババージョン : 17.01.2015.0716 BIOS バージョン : A.15.08211538R C610 : Intel C610 PCH、コード名 Wellsburg (で使用 PRIMERGY RX2560 M1) ドライバ名 : megasr1.sys、ドライババージョン : 16.02.2014.0811 BIOS バージョン : A.14.02121826R PRAID CM400i、PRAID CP400i、PRAID EM400i、PRAID EP400i、PRAID EP420i : ドライバ名 : megasas2.sys、ドライババージョン : 6.706.06 ファームウェアパッケージ : 24.7.0-0061 PSAS CP400i : ドライバ名 : lsi_sas3.sys、ドライババージョン : 2.50.85.00 ファームウェア : 05.00.00.00						
ストレージ媒体	<table border="1"> <thead> <tr> <th>SSD</th> <th>HDD</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>SAS-12G: Toshiba PX02SMF040</td> <td>SAS-12G: HGST HUC156045CSS204</td> </tr> <tr> <td>SATA-6G: Intel SSDSC2BA400G3C</td> <td>SATA-6G: Seagate ST91000640NS</td> </tr> </tbody> </table>	SSD	HDD	SAS-12G: Toshiba PX02SMF040	SAS-12G: HGST HUC156045CSS204	SATA-6G: Intel SSDSC2BA400G3C	SATA-6G: Seagate ST91000640NS
SSD	HDD						
SAS-12G: Toshiba PX02SMF040	SAS-12G: HGST HUC156045CSS204						
SATA-6G: Intel SSDSC2BA400G3C	SATA-6G: Seagate ST91000640NS						
ソフトウェア							
オペレーティングシステム	Microsoft Windows Server 2012 Standard R2						
管理ソフトウェア	ServerView RAID Manager 6.3.4						
ベンチマークバージョン	3.0						
RAID タイプ	タイプ RAID 0、1、5、または 10 の論理ドライブ						
ストライプサイズ	コントローラーのデフォルト (例 : キャッシュ付き 12G コントローラーでは 256 kB、それ以外は 64 kB)						
測定ツール	lometer 1.1.0						
測定領域	使用可能な LBA 領域の最初の 10 % はシーケンシャルアクセスで使用。続く 25 % はランダムアクセスで使用。						
ファイルシステム	RAW						
lometer worker の総数	1						
lometer アクセスの調整	4096 バイトの整数倍に調整						

ここで再び、コントローラーの比較に使用したハードディスクモデルとその基本的なパフォーマンス値を詳しくまとめ、次の表に示します。これらは、コントローラーで得たパフォーマンス値を理解するために重要です。高性能の SATA-6G および SAS-12G ハードディスクは、従来型のハードディスク（HDD）として各ケースで選択されています。また SAS-12G-SSD と SATA-6G-SSD は、SSD クラスとして表記しています。表では、前述の「測定方法」で説明した 5 つの標準負荷プロファイルに従って、1 台のハードディスクで測定した場合の最大値を示しています。最適なパフォーマンスが得られるように、ハードディスクキャッシュはすべてのケースで有効になっています。

ハードディスクタイプ	省略名 (略称)	シーケンシャル最大 スループット [MB/s] 64 KB ブロックサイズ		ランダムアクセスの最大トランザクシ ョンレート [IO/s]		
		リード	ライト	8 KB ブロックサイ ズ		
				リードの割 合：	リードの割合：	
				67 %	67 %	67 %
HDD SATA、6 Gb/s、2.5 インチ 1000 GB、7200 rpm、 ホットプラグ対応、 カテゴリー：ビジネスクリティ カル (BC)	SATA-6G-HDD	108 MB/s	108 MB/s	302 IO/s	258 IO/s	243 IO/s
HDD SAS、12 Gb/s、2.5 インチ 450 GB、15000 rpm、 カテゴリー：エンタープライズ (EP)	SAS-12G-HDD	237 MB/s	237 MB/s	744 IO/s	608 IO/s	631 IO/s
SSD SATA、6 Gb/s、2.5 インチ 400 GB、 ホットプラグ対応、 カテゴリー：エンタープライズ (EP)	SATA-6G-SSD	468 MB/s	436 MB/s	41005 IO/s	5268 IO/s	5206 IO/s
SSD SAS、12 Gb/s、2.5 インチ 400 GB、 ホットプラグ対応、 カテゴリー：エンタープライズ (EP)	SAS-12G-SSD	950 MB/s	420 MB/s	55865 IO/s	7599 IO/s	6715 IO/s

コントローラーの比較

ここまでは、コントローラに関する重要な予備情報について解説しました。多くの場合、この情報により、所定のアプリケーションで選択すべきコントローラーを絞り込めます。しかし、コントローラーの想定用途に関する顧客情報がさらに追加されると、個々のコントローラーのパフォーマンスに関して、より詳細な情報が求められる可能性があります。このため、ここでは、さまざまな RAID レベル、アプリケーションシナリオ、負荷密度、ハードディスク数、およびハードディスクテクノロジーにおいて、コントローラーを比較し、測定結果を分析しながら解説します。比較は次のように分けて行われました。これらの比較は、それぞれ単独で参照できます。

- [RAID 1 \(SATA ハードディスク 2 台\)](#)
- [RAID 0 および 10 \(SATA ハードディスク 4 台で構成\)](#)
- [RAID 0、10、5 \(8 台の SAS ハードディスクで構成\)](#)
- [RAID 0、10、5 \(9 台以上の SAS-SSD で構成\)](#)

比較に関する一般的な前提事項：

- 比較では、「[測定方法](#)」で説明した 5 つの負荷プロファイル（ファイルコピー、データベース、ファイルサーバ、ストリーミング、リストア）を主に使用しています。これにより、ランダムおよびシーケンシャルアプリケーションシナリオを十分にカバーできます。顧客の負荷プロファイルがこれと大幅に異なる場合は、ここでの解説は制限付きでの適用となります。
- ディスクサブシステムのパフォーマンスを測定するベンチマークでは、一般の規定に従い、ランダム負荷プロファイルではトランザクションレート（IO/s）を、シーケンシャル負荷プロファイルではスループット（MB/s）を使用しています。
- RAID レベルをサポートするすべてのコントローラーと、これまで解説してきたハードディスクタイプについて検討します。
- わかりやすくするため、以降のほとんどのグラフで、達成可能な最大値のみ示しています。これらは通常、ディスクサブシステムが高負荷密度の場合にのみ達成される値です。
- ハードディスクテクノロジーの代表として、「[測定環境](#)」で詳しく説明している 4 種類のハードディスク（SATA-6G-HDD、SAS-12G-HDD、SATA-6G-SSD、SAS-12G-SSD）を使用しています。また、これらの重要なパフォーマンスデータも示します。以降の比較の一部では、達成したパフォーマンス値を、これらのハードディスクタイプのパフォーマンスデータに基づいて説明しています。
- 測定において最大限のパフォーマンスを得るために、キャッシュとハードディスクは、「ServerView RAID Manager」モードを使用して以下のように設定されています。
 - SATA-6G-HDD 用：「Performance」モード（通常では HDD の最高のパフォーマンスモード）
 - SAS-12G-HDD 用：「Performance」モード（ただし次のみが異なる：ディスクキャッシュが無効）
 - SSD 用：「Fast Path optimum」モード（コントローラーで使用できる場合）、そうでない場合は「Performance」モード。

測定に関して例外がある場合は、その都度説明されます。

- 以降のコントローラーの比較では、従来のハードディスクと SSD を区別するため、従来のハードディスクを「HDD」と表記します。

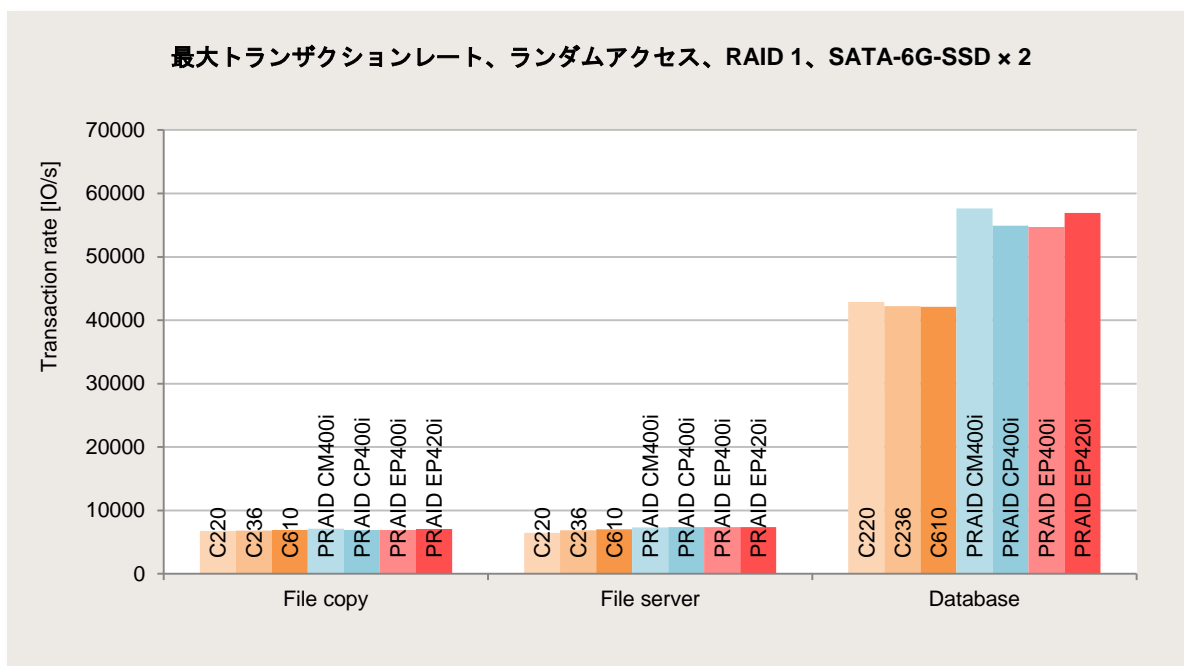
RAID 1 (SATA ハードディスク 2 台)

すべてのオンボードコントローラーと、多くの PCIe コントローラーとの比較はハードディスク 2 台以下でのみ可能なため、3 台以上のハードディスクを使用する場合とは分けて検証する必要があります。比較は SATA-6G-SSD を使用して行います。SATA-6G-SSD の詳細は、「[測定環境](#)」を参照してください。

ランダムアクセス

RAID 1 (SATA-6G-SSD × 2 で構成)

次のグラフは、2 台の SATA-6G-SSD で RAID 1 を構成した場合におけるコントローラーの比較を示しています。グラフの 3 つのグループは、それぞれ標準負荷プロファイル「ファイルコピー」(ランダムアクセス、50 % リード、64 KB ブロックサイズ)、「ファイルサーバ」(ランダムアクセス、67 % リード、64 KB ブロックサイズ)、「データベース」(ランダムアクセス、67 % リード、8 KB ブロックサイズ)でのトランザクションレートを示しています。このケースでは、コントローラーの違いによるパフォーマンスへの影響はほとんどありません。

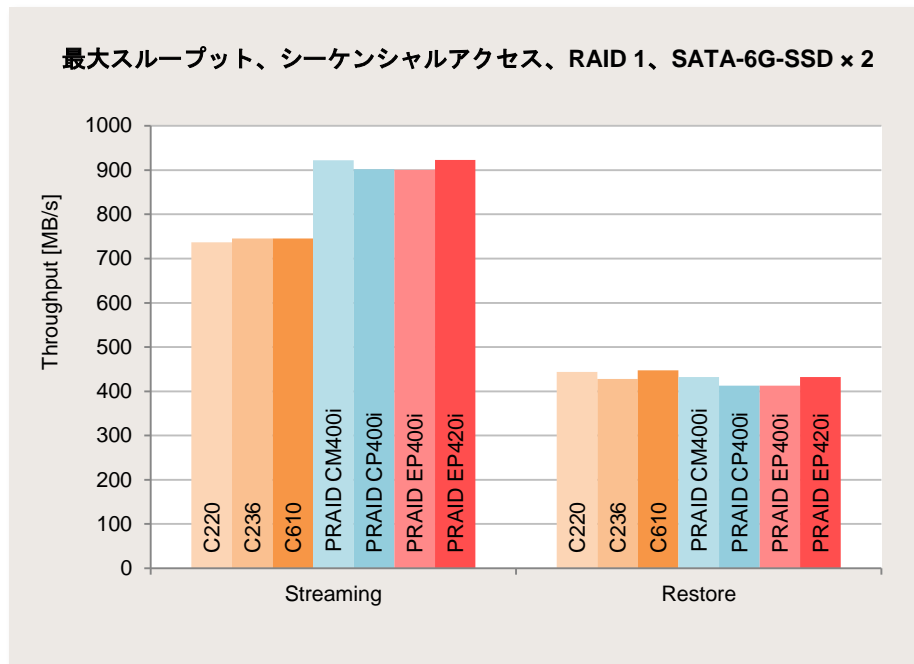


PCIe コントローラーは、ここで総合的に最高のトランザクションレートを提供するコントローラーです。

シーケンシャルアクセス

RAID 1 (SATA-6G-SSD × 2 で構成)

次のグラフは、2 台の SATA-6G-SSD で RAID 1 を構成した場合におけるコントローラーの比較を示しています。グラフの 2 つのグループは、それぞれ標準負荷プロファイル「ストリーミング」（シーケンシャルアクセス、100 % リード、64 KB ブロックサイズ）と「リストア」（シーケンシャルアクセス、100 % ライト、64 KB ブロックサイズ）でのスループットを示しています。



高負荷状態で読み取りを行う場合、PCIe コントローラーはオンボードコントローラーよりも大きい範囲で両方のハードディスクを使用するため、最大スループットがより大きくなります。

RAID 0 および 10 (SATA ハードディスク 4 台で構成)

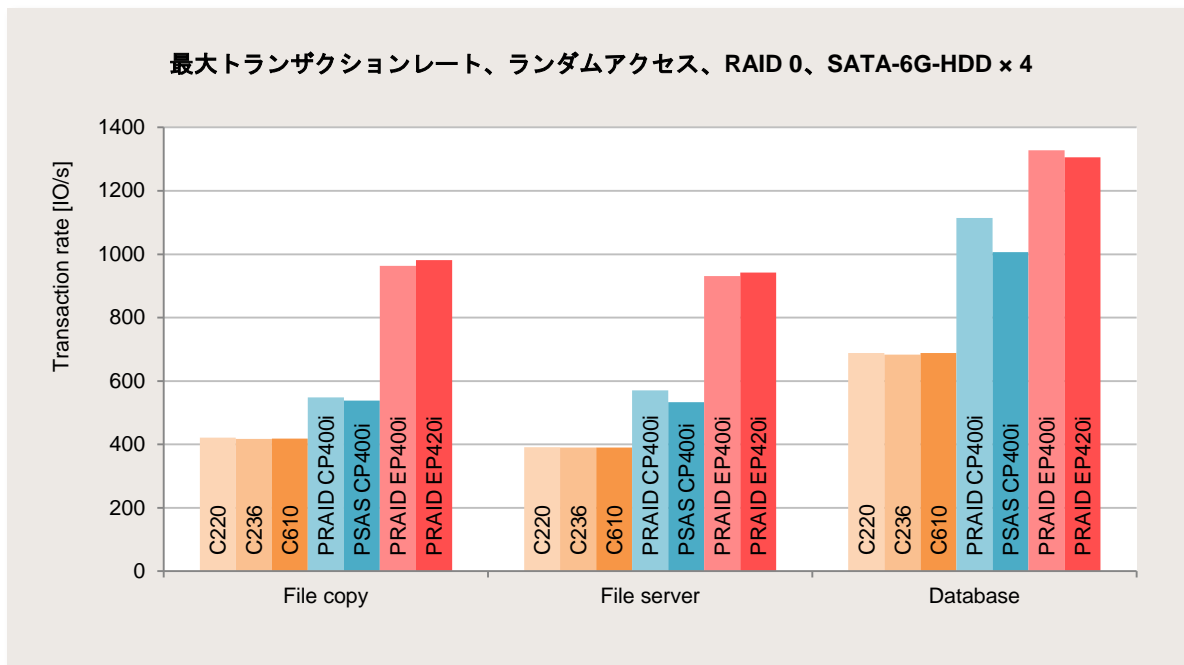
ここでは 4 台のハードディスクを使用して、「[RAID 1 \(SATA ハードディスク 2 台で構成\)](#)」で行われたコントローラーの比較を続けます。ここで、HDD と SSD を区別することは、意味のあることです。これは、HDD では、もう 1 つのコントローラーモデル (PSAS CP400i) がリリースされ、SSD を使用すると、コントローラーのより高いパフォーマンス範囲を比較することができるためです。

ランダムアクセス

HDD

RAID 0 (SATA-6G-HDD × 4 で構成)

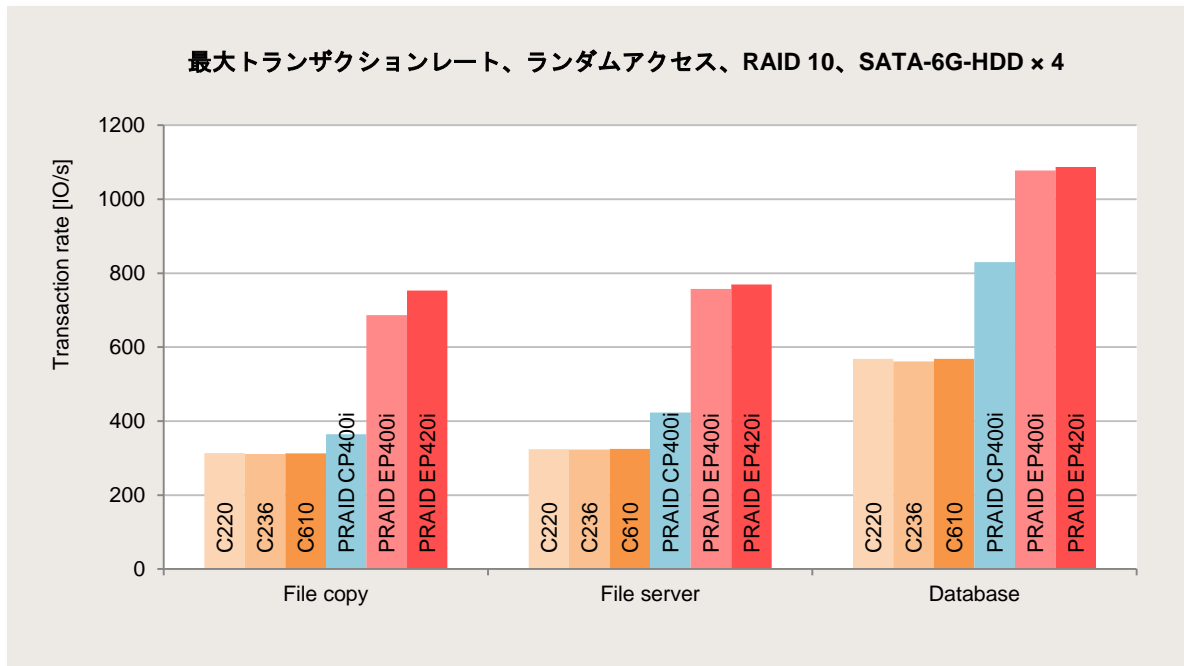
次のグラフは、ランダム負荷プロファイルでの RAID 0 の論理ドライブにおけるトランザクションレートを示しています。このレートはさまざまなコントローラーで達成可能です。グラフの 3 つのグループは、それぞれ標準負荷プロファイル「ファイルコピー」(ランダムアクセス、50 % リード、64 KB ブロックサイズ)、「ファイルサーバ」(ランダムアクセス、67 % リード、64 KB ブロックサイズ)、「データベース」(ランダムアクセス、67 % リード、8 KB ブロックサイズ)でのトランザクションレートを示しています。



コントローラーの品質が高いと、トランザクションレートが高いことが明らかです。

RAID 10 (SATA-6G-HDD × 4 で構成)

次のグラフは、ランダム負荷プロファイルでの RAID 10 の論理ドライブにおけるトランザクションレートを示しています。このレートはさまざまなコントローラーで達成可能です。グラフの 3 つのグループは、それぞれ標準負荷プロファイル「ファイルコピー」（ランダムアクセス、50 %リード、64 KB ブロックサイズ）、「ファイルサーバ」（ランダムアクセス、67 %リード、64 KB ブロックサイズ）、「データベース」（ランダムアクセス、67 %リード、8 KB ブロックサイズ）でのトランザクションレートを示しています。

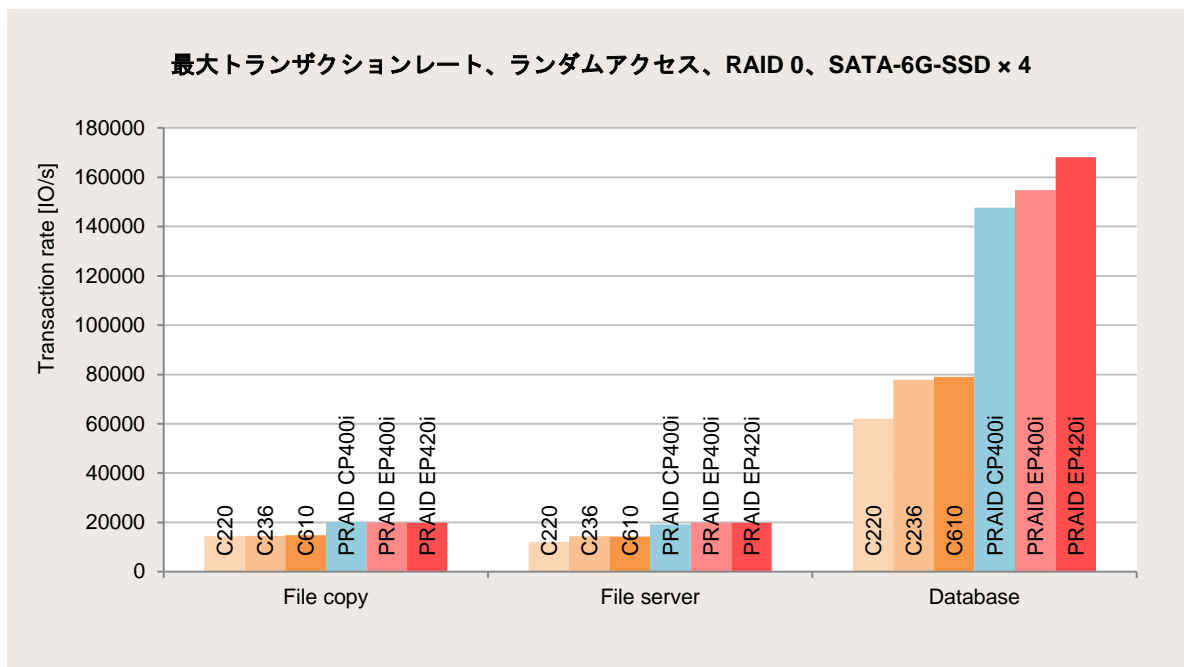


ここでも、コントローラーの品質が高いと、トランザクションレートが高いことが明らかです。

SSD

RAID 0 (SATA-6G-SSD × 4 で構成)

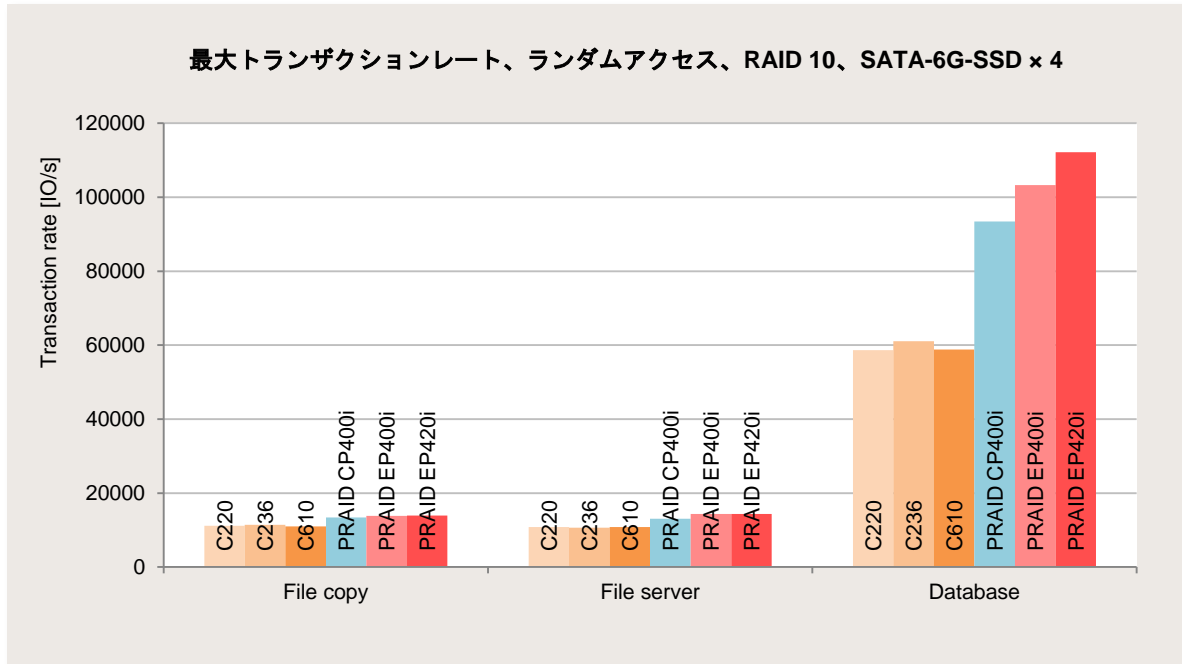
次のグラフは、ランダム負荷プロファイルでの RAID 0 の論理ドライブにおけるトランザクションレートを示しています。このレートはさまざまなコントローラーで達成可能です。グラフの 3 つのグループは、それぞれ標準負荷プロファイル「ファイルコピー」(ランダムアクセス、50 % リード、64 KB ブロックサイズ)、「ファイルサーバ」(ランダムアクセス、67 % リード、64 KB ブロックサイズ)、「データベース」(ランダムアクセス、67 % リード、8 KB ブロックサイズ)でのトランザクションレートを示しています。



コントローラーの品質が高いと、トランザクションレートが高いことが明らかです。

RAID 10 (SATA-6G-SSD × 4 で構成)

次のグラフは、ランダム負荷プロファイルでの RAID 10 の論理ドライブにおけるトランザクションレートを示しています。このレートはさまざまなコントローラーで達成可能です。グラフの 3 つのグループは、それぞれ標準負荷プロファイル「ファイルコピー」（ランダムアクセス、50 %リード、64 KB ブロックサイズ）、「ファイルサーバ」（ランダムアクセス、67 %リード、64 KB ブロックサイズ）、「データベース」（ランダムアクセス、67 %リード、8 KB ブロックサイズ）でのトランザクションレートを示しています。



ここでも、コントローラーの品質が高いと、トランザクションレートが高いことが明らかです。

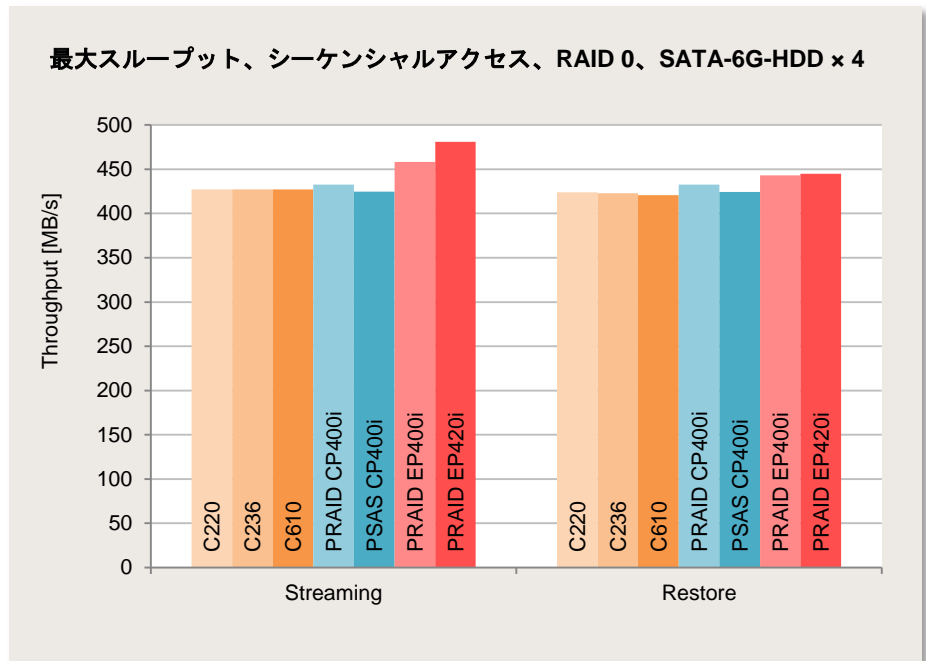
シーケンシャルアクセス

HDD

RAID 0 (SATA-6G-HDD × 4 で構成)

次のグラフは、シーケンシャル負荷プロファイルでの RAID 0 の論理ドライブにおける最大スループットを示しています。このスループットはさまざまなコントローラーで達成可能です。グラフの2つのグループは、それぞれ標準負荷プロファイル「ストリーミング」（シーケンシャルアクセス、100 %リード、64 KB ブロックサイズ）と「リストア」（シーケンシャルアクセス、100 %ライト、64 KB ブロックサイズ）でのスループットを示しています。

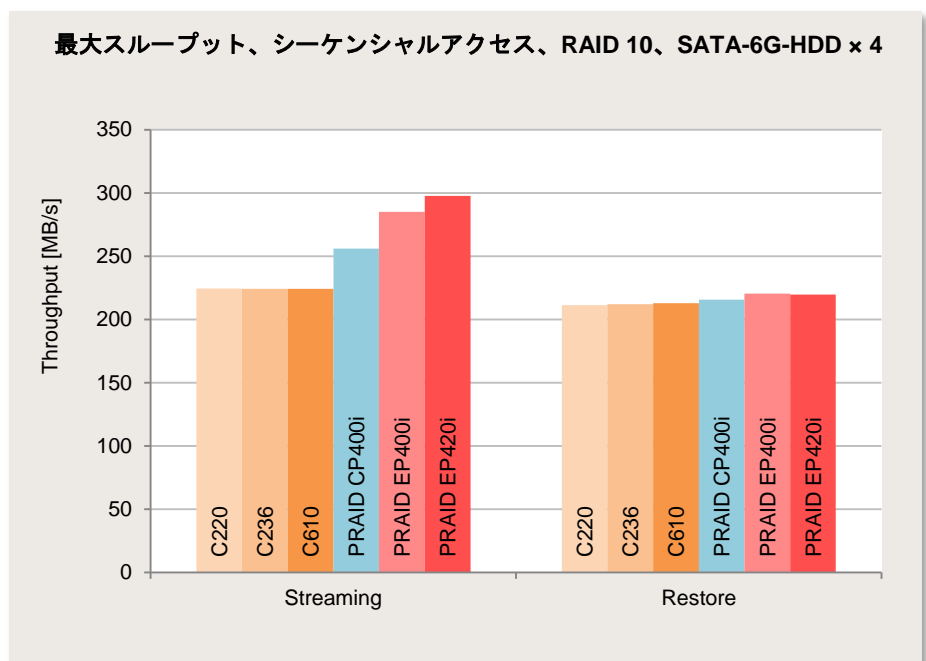
これらのケースでは、各コントローラーのパフォーマンスはほとんど同じです。



RAID 10 (SATA-6G-HDD × 4 で構成)

次のグラフは、シーケンシャル負荷プロファイルでの RAID 10 の論理ドライブにおける最大スループットを示しています。このスループットはさまざまなコントローラーで達成可能です。グラフの2つのグループは、それぞれ標準負荷プロファイル「ストリーミング」（シーケンシャルアクセス、100 %リード、64 KB ブロックサイズ）と「リストア」（シーケンシャルアクセス、100 %ライト、64 KB ブロックサイズ）でのスループットを示しています。

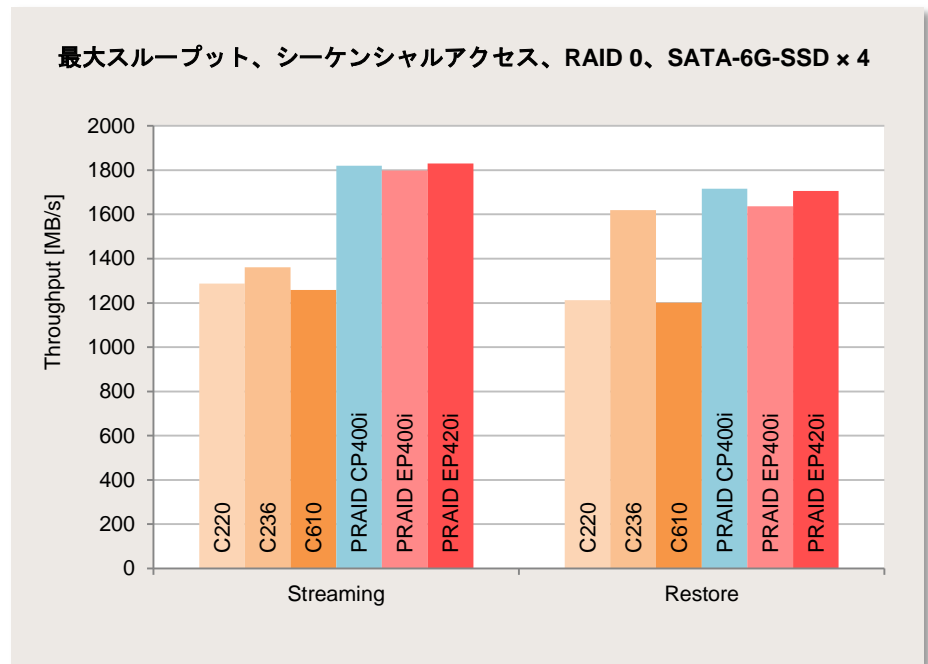
標準的な負荷プロファイルの「ストリーミング」の場合、PCIe コントローラーは、ある程度は、2台ではなく4台のHDDから同時に読み取りを行い、その結果、スループットを1台のHDDの2倍以上増やすことができます。



SSD

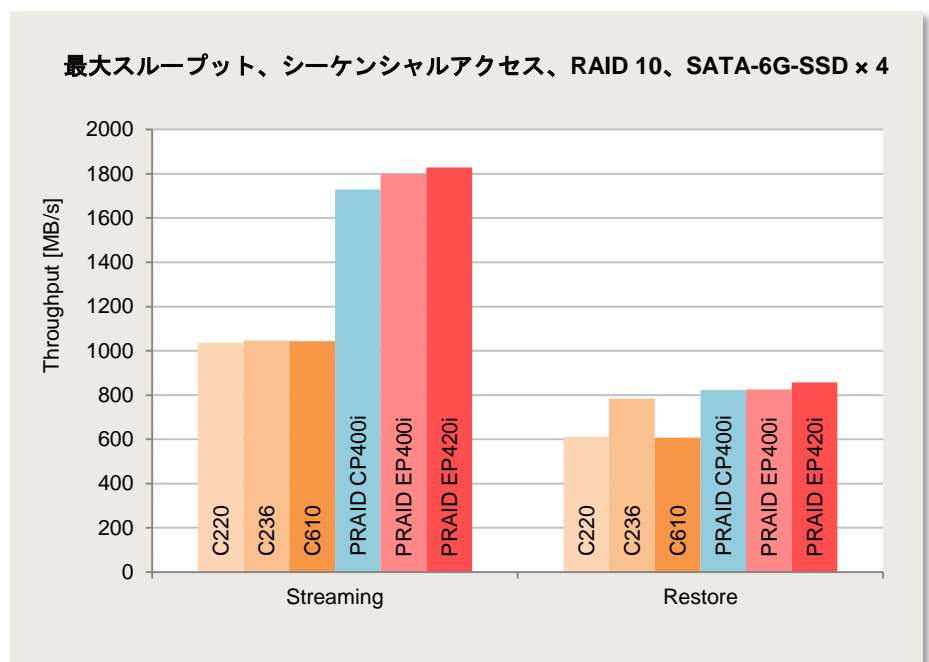
RAID 0 (SATA-6G-SSD × 4 で構成)

次のグラフは、シーケンシャル負荷プロファイルでの RAID 0 の論理ドライブにおける最大スループットを示しています。このスループットはさまざまなコントローラーで達成可能です。グラフの 2 つのグループは、それぞれ標準負荷プロファイル「ストリーミング」（シーケンシャルアクセス、100 % リード、64 KB ブロックサイズ）と「リストア」（シーケンシャルアクセス、100 % ライト、64 KB ブロックサイズ）でのスループットを示しています。



RAID 10 (SATA-16-SSD × 4 で構成)

次のグラフは、シーケンシャル負荷プロファイルでの RAID 10 の論理ドライブにおける最大スループットを示しています。このスループットはさまざまなコントローラーで達成可能です。グラフの 2 つのグループは、それぞれ標準負荷プロファイル「ストリーミング」（シーケンシャルアクセス、100 % リード、64 KB ブロックサイズ）と「リストア」（シーケンシャルアクセス、100 % ライト、64 KB ブロックサイズ）でのスループットを示しています。



RAID 0、10、5 (8 台の SAS ハードディスクで構成)

オンボードコントローラーは、現在の PRIMERGY サーバで 8 台以上のハードディスクを操作するには不十分です。1 つの PCIe コントローラー (PRAID CP400i) は最大 8 台のハードディスクに対応しているため、8 台のハードディスクが接続された場合について、すべてのコントローラーを比較します。また、ここで示されているパフォーマンス値は、典型的な中程度の数のハードディスクを使用した場合のパフォーマンス値の範囲をカバーしています。ここでは、より高いパフォーマンス要件の最大値が特に重要なので、高パフォーマンスの SAS-12G-HDD または SAS-12G-SSD による測定に基づいて解説しています。これらのハードディスクについての詳細は「[測定環境](#)」を参照してください。

ランダムアクセス

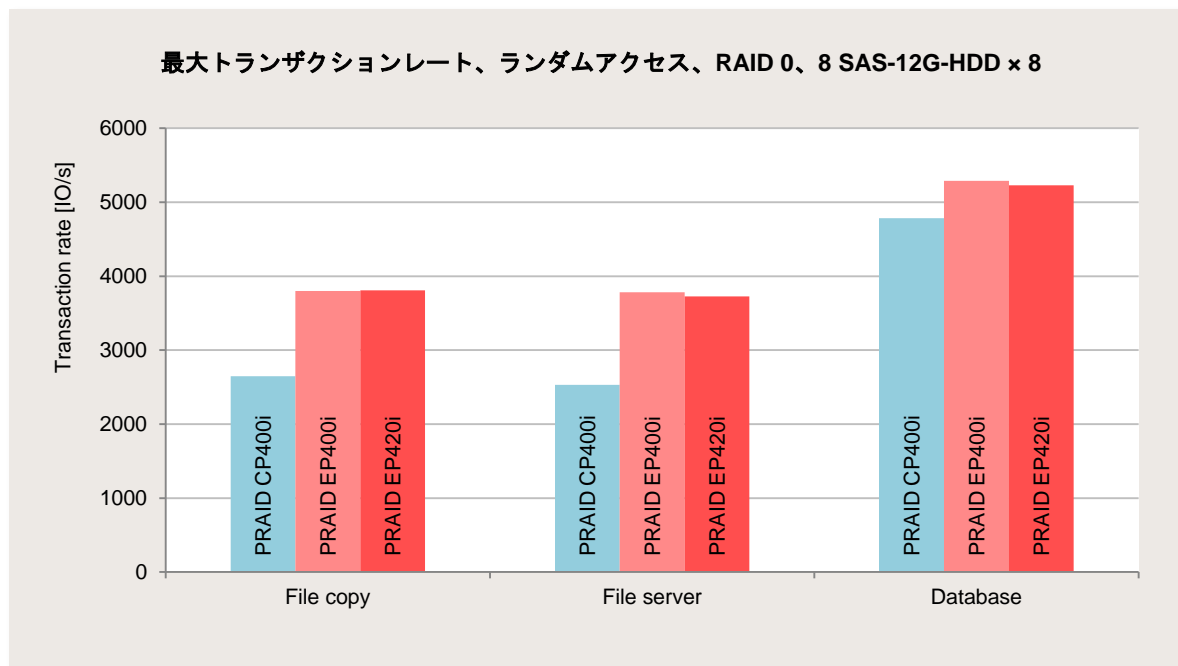
多数のハードディスクへのランダムアクセスでは、SSD の最大値が大幅に異なるため、HDD と SSD を区別して検討します。

HDD

以降では、コントローラーによる HDD へのランダムアクセスを比較しています。ここでは、各負荷プロファイルでのストレージメディアの最大トランザクションレートが、最も重要な制限要因になります。ただし、こうしたケースでのパフォーマンスは、コントローラーと完全に独立しているわけではありません。次に示す測定結果は 8 台の SAS-12G-HDD で得られたものですが、異なるタイプやハードディスク数 (8 台以下) での最大トランザクションレートを見積もる場合にも使用できます。

RAID 0 (SAS-12G-HDD × 8 で構成)

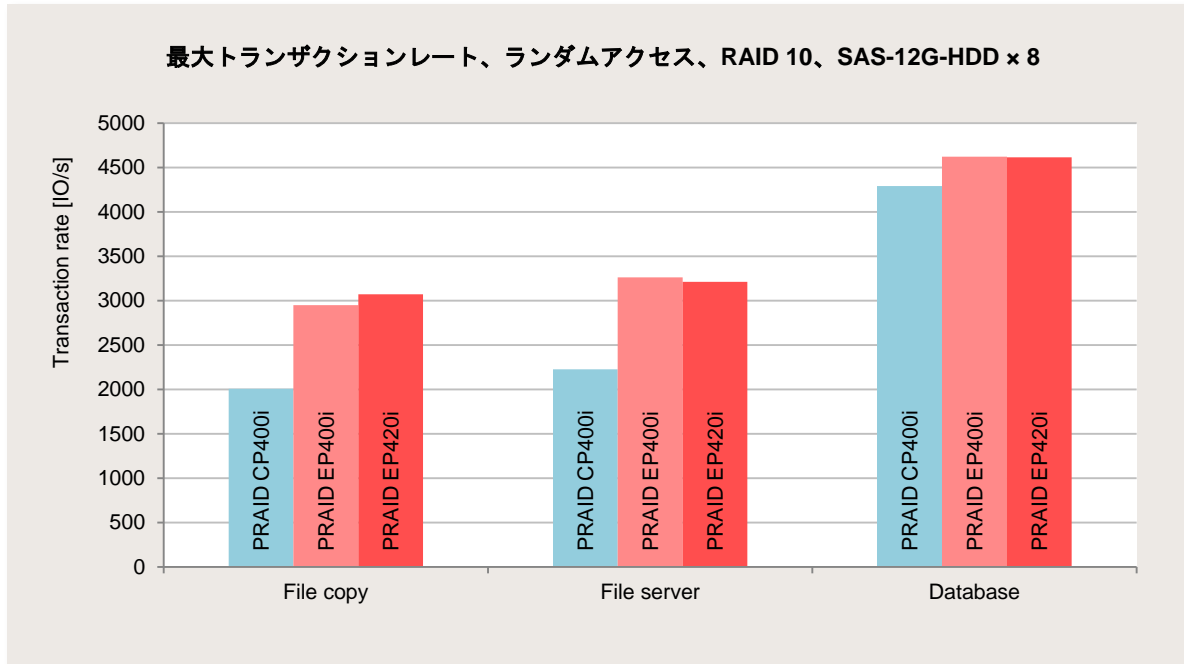
次のグラフは、ランダム負荷プロファイルでの RAID 0 の論理ドライブにおけるトランザクションレートを示しています。このレートはさまざまなコントローラーで達成可能です。グラフの 3 つのグループは、それぞれ標準負荷プロファイル「ファイルコピー」（ランダムアクセス、50 % リード、64 KB ブロックサイズ）、「ファイルサーバ」（ランダムアクセス、67 % リード、64 KB ブロックサイズ）、「データベース」（ランダムアクセス、67 % リード、8 KB ブロックサイズ）でのトランザクションレートを示しています。



このグラフの各プロファイルの右側 2 列は、キャッシュ付きのコントローラー（PRAID EP400i および PRAID EP420i）を示しています。これらの 2 種類のコントローラーの優位性は、一方ではコントローラーのキャッシュによりもたらされ、また他方では PRAID CP400i に比べてストライプサイズのデフォルト値が大きいことによりもたらされています。

RAID 10 (SAS-12G-HDD × 8 で構成)

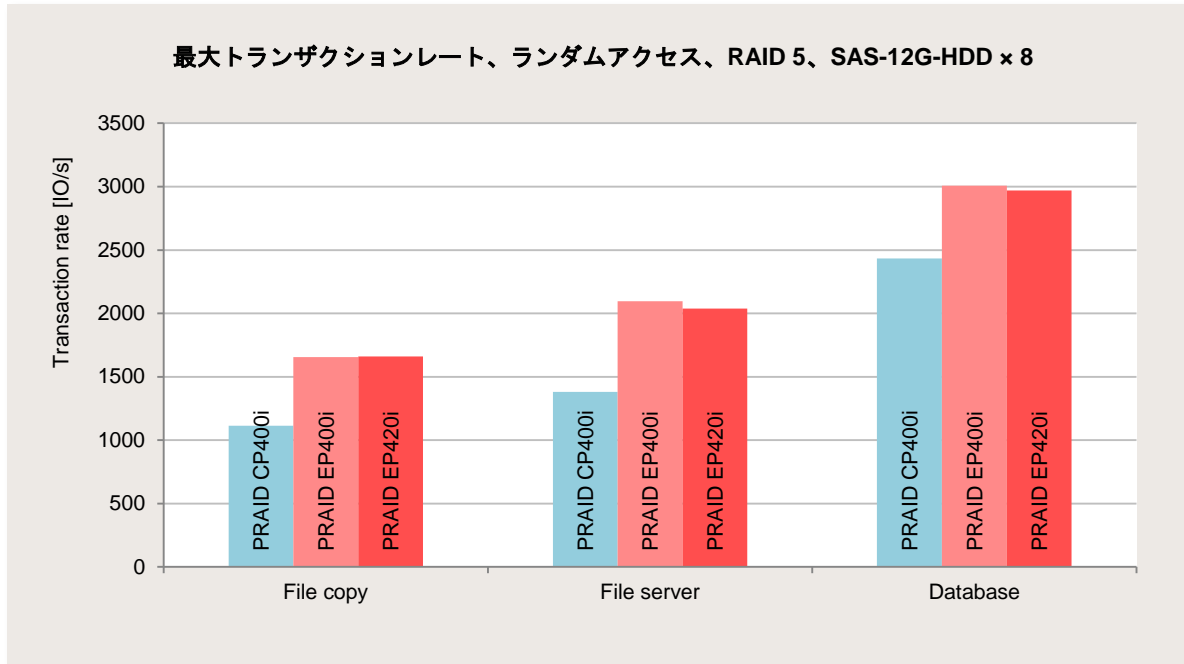
次のグラフは、ランダム負荷プロファイルでの RAID 10 の論理ドライブにおけるトランザクションレートを示しています。このレートはさまざまなコントローラーで達成可能です。グラフの 3 つのグループは、それぞれ標準負荷プロファイル「ファイルコピー」（ランダムアクセス、50 %リード、64 KB ブロックサイズ）、「ファイルサーバ」（ランダムアクセス、67 %リード、64 KB ブロックサイズ）、「データベース」（ランダムアクセス、67 %リード、8 KB ブロックサイズ）でのトランザクションレートを示しています。



グラフは、RAID 0 と同様の傾向を示しています。

RAID 5 (SAS-12G-HDD × 8 で構成)

次のグラフは、ランダム負荷プロファイルでの RAID 5 の論理ドライブにおけるトランザクションレートを示しています。このレートはさまざまなコントローラーで達成可能です。グラフの 3 つのグループは、それぞれ標準負荷プロファイル「ファイルコピー」（ランダムアクセス、50 % リード、64 KB ブロックサイズ）、「ファイルサーバ」（ランダムアクセス、67 % リード、64 KB ブロックサイズ）、「データベース」（ランダムアクセス、67 % リード、8 KB ブロックサイズ）でのトランザクションレートを示しています。



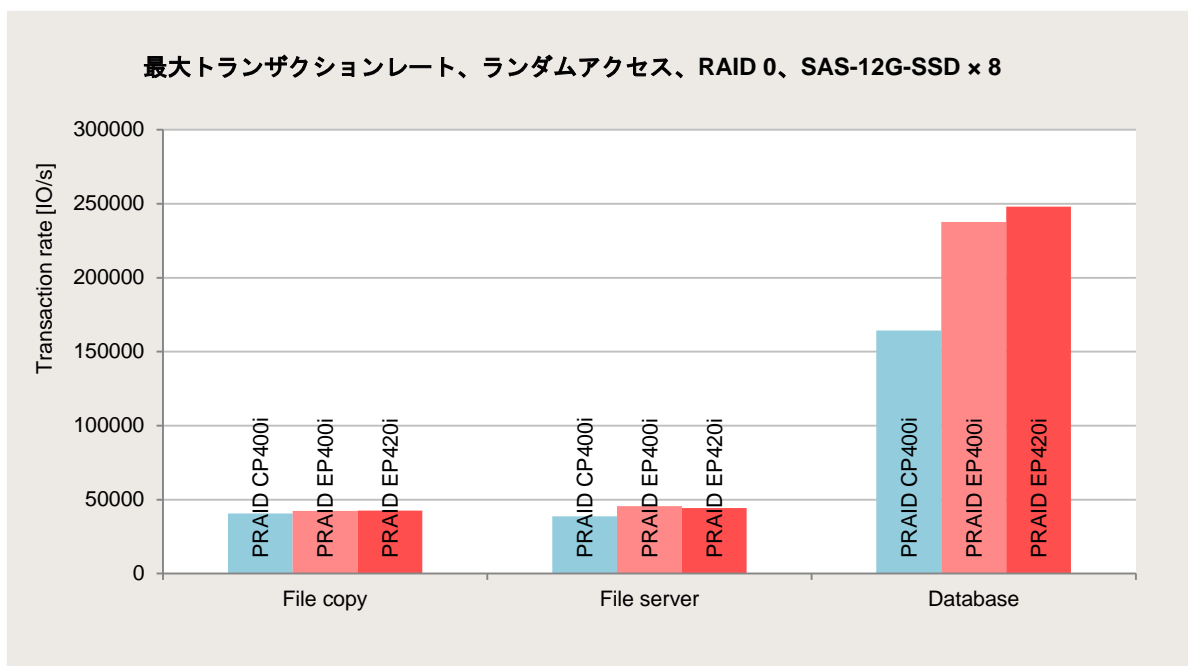
グラフは、RAID 0 と同様の傾向を示しています。

SSD

ここで考慮されている SSD の数については、論理ドライブで可能なトランザクションレートが非常に高いため、最新のコントローラーのファームウェアで標準として使用できる FastPath オプションが明確な影響力を持ちます。これは、PRAID CP400i に比較してコントローラー PRAID EP400i および PRAID EP420i が持つ優位性により、以下のように示されています。PRAID CP400i は FastPath オプションをサポートしていません。

RAID 0 (SAS-12G-SSD × 8 で構成)

次のグラフは、ランダム負荷プロファイルでの RAID 0 の論理ドライブにおけるトランザクションレートを示しています。このレートはさまざまなコントローラーで達成可能です。グラフの 3 つのグループは、それぞれ標準負荷プロファイル「ファイルコピー」（ランダムアクセス、50 % リード、64 KB ブロックサイズ）、「ファイルサーバ」（ランダムアクセス、67 % リード、64 KB ブロックサイズ）、「データベース」（ランダムアクセス、67 % リード、8 KB ブロックサイズ）でのトランザクションレートを示しています。



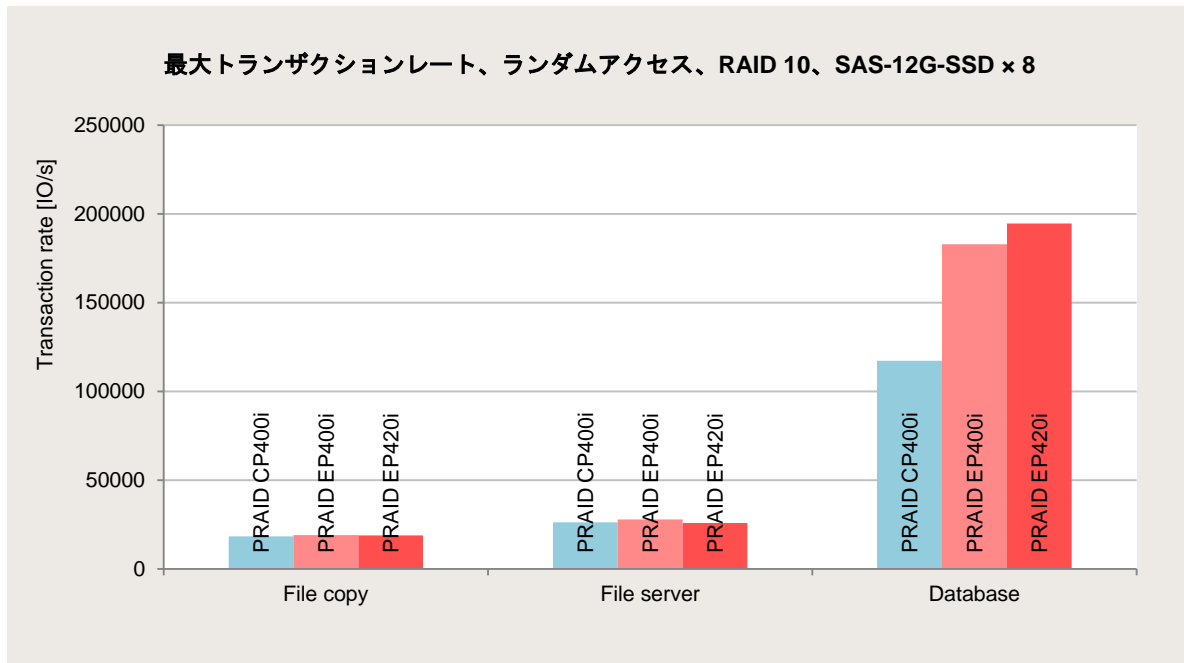
ここでは、PRAID EP420i コントローラーが最高のパフォーマンスを実現しています。

キャッシュ付きコントローラーは、負荷プロファイル「Database」（8 kB のブロックサイズ）に関して明確な優位性を有しています。これらはここで、最高のトランザクションレートも達成しています。

これらのトランザクションレートに関連するスループット値を理解すると興味深いことがわかります。トランザクションレートが低くても、64 KB ブロックサイズの 2 つの負荷プロファイルではスループットが高くなります。例えば、PRAID EP400i コントローラーは、「ファイルサーバ」負荷プロファイルで約 2848 MB/s のスループットを処理します。これらのコントローラーはここでは、「File copy」および「File server」（64 kB のブロックサイズ）の 2 つの負荷プロファイルに対し、制限効果をまだ持っていません。

RAID 10 (SAS-12G-SSD × 8 で構成)

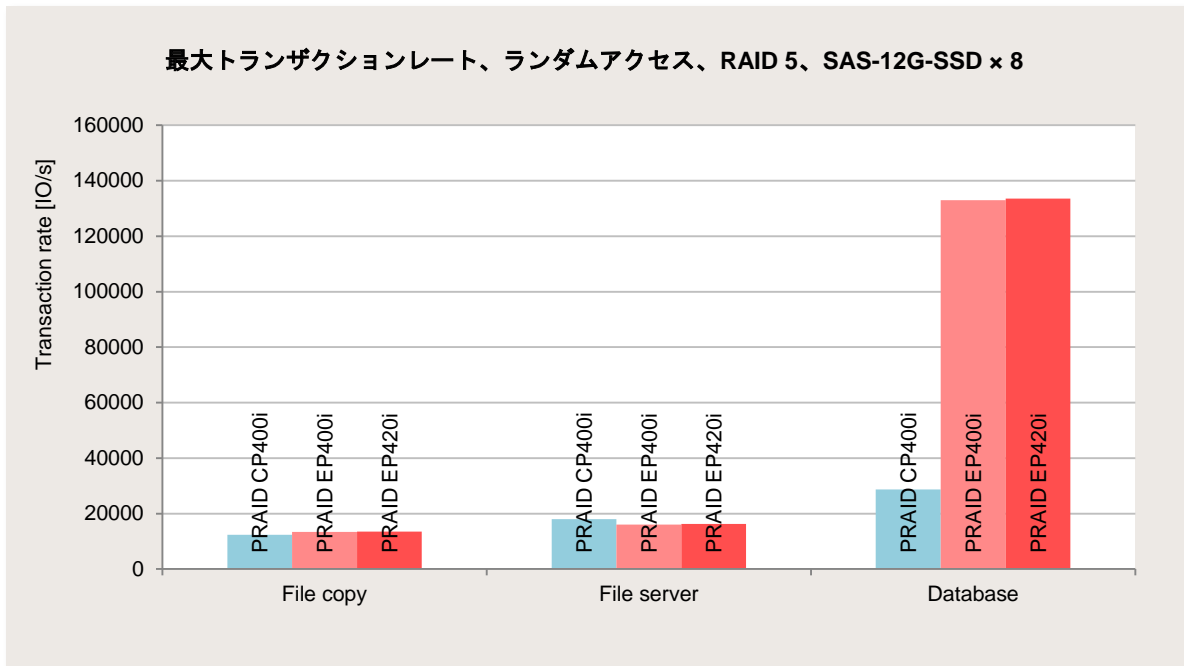
次のグラフは、ランダム負荷プロファイルでの RAID 10 の論理ドライブにおけるトランザクションレートを示しています。このレートはさまざまなコントローラーで達成可能です。グラフの 3 つのグループは、それぞれ標準負荷プロファイル「ファイルコピー」（ランダムアクセス、50 %リード、64 KB ブロックサイズ）、「ファイルサーバ」（ランダムアクセス、67 %リード、64 KB ブロックサイズ）、「データベース」（ランダムアクセス、67 %リード、8 KB ブロックサイズ）でのトランザクションレートを示しています。



小さいブロック「Database」を持つ負荷プロファイルの場合、ここでもキャッシュ付きコントローラーに優位性があります。

RAID 5 (SAS-12G-SSD × 8 で構成)

次のグラフは、ランダム負荷プロファイルでの RAID 5 の論理ドライブにおけるトランザクションレートを示しています。このレートはさまざまなコントローラーで達成可能です。グラフの 3 つのグループは、それぞれ標準負荷プロファイル「ファイルコピー」（ランダムアクセス、50 % リード、64 KB ブロックサイズ）、「ファイルサーバ」（ランダムアクセス、67 % リード、64 KB ブロックサイズ）、「データベース」（ランダムアクセス、67 % リード、8 KB ブロックサイズ）でのトランザクションレートを示しています。



小さいブロック「Database」を持つ負荷プロファイルの場合、ここでもキャッシュ付きコントローラーに優位性があります。

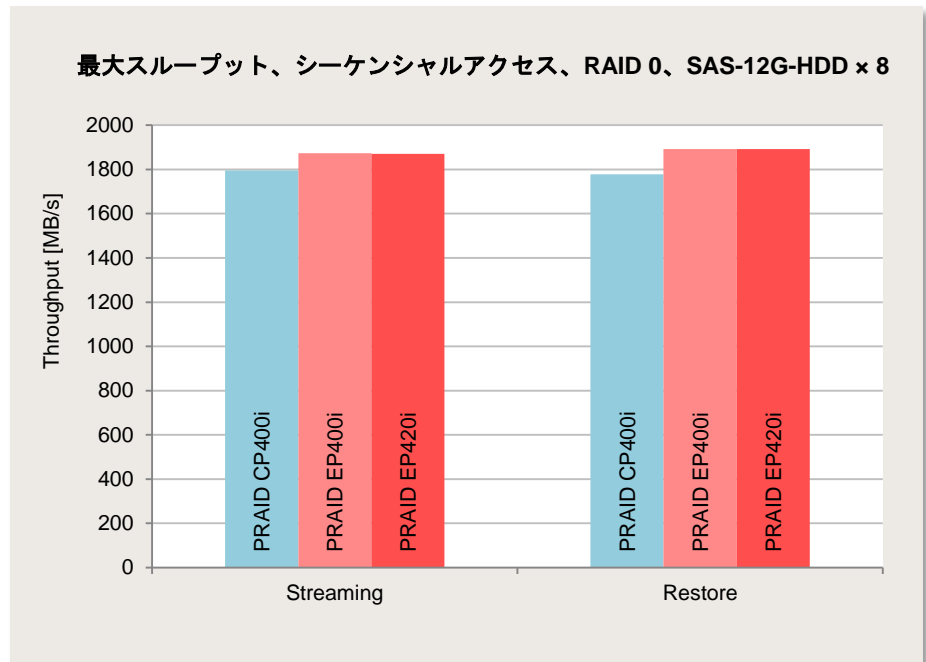
シーケンシャルアクセス

HDD

RAID 0 (SAS-12G-SSD × 8 で構成)

次のグラフは、シーケンシャル負荷プロファイルでの RAID 0 の論理ドライブにおけるスループットを示しています。このレートはさまざまなコントローラーで達成可能です。グラフの 2 つのグループは、それぞれ標準負荷プロファイル「ストリーミング」（シーケンシャルアクセス、100 % リード、64 KB ブロックサイズ）と「リストア」（シーケンシャルアクセス、100 % ライト、64 KB ブロックサイズ）でのスループットを示しています。

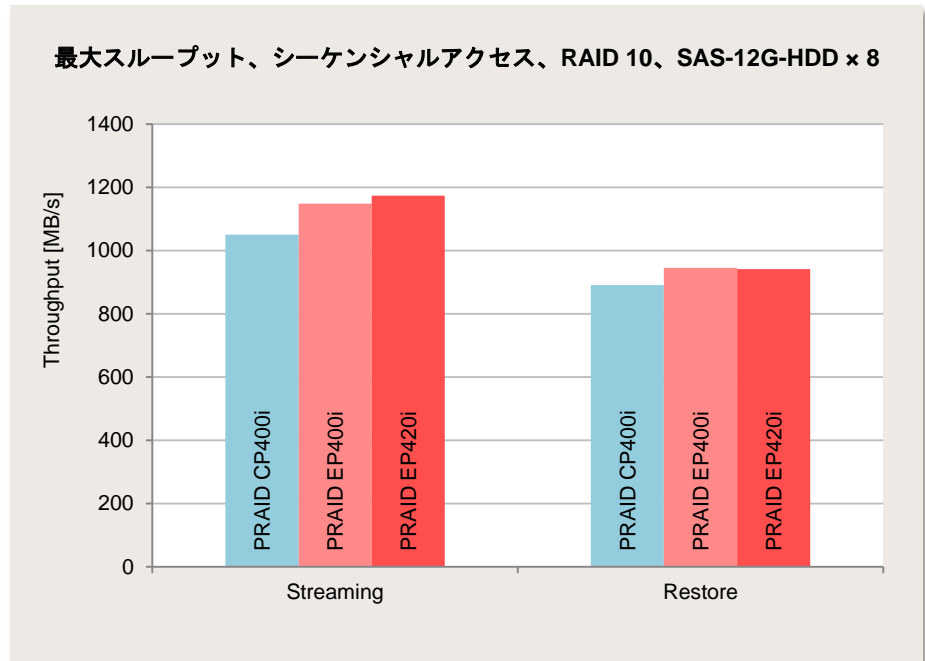
ここでのスループットは、HDD のタイプと数により明確に制限されます。



RAID 10 (SAS-12G-HDD × 8 で構成)

次のグラフは、シーケンシャル負荷プロファイルでの RAID 10 の論理ドライブにおけるスループットを示しています。このレートはさまざまなコントローラーで達成可能です。グラフの 2 つのグループは、それぞれ標準負荷プロファイル「ストリーミング」（シーケンシャルアクセス、100 % リード、64 KB ブロックサイズ）と「リストア」（シーケンシャルアクセス、100 % ライト、64 KB ブロックサイズ）でのスループットを示しています。

シーケンシャルリードおよびライトについては、この論理ドライブに対して検討されている 3 つすべてのコントローラーが、単一 HDD の最大スループットの約 4 倍（つまり、この場合は約 940 MB/s）を達成または超過しています。



RAID 5 (SAS-12G-HDD × 8 で構成)

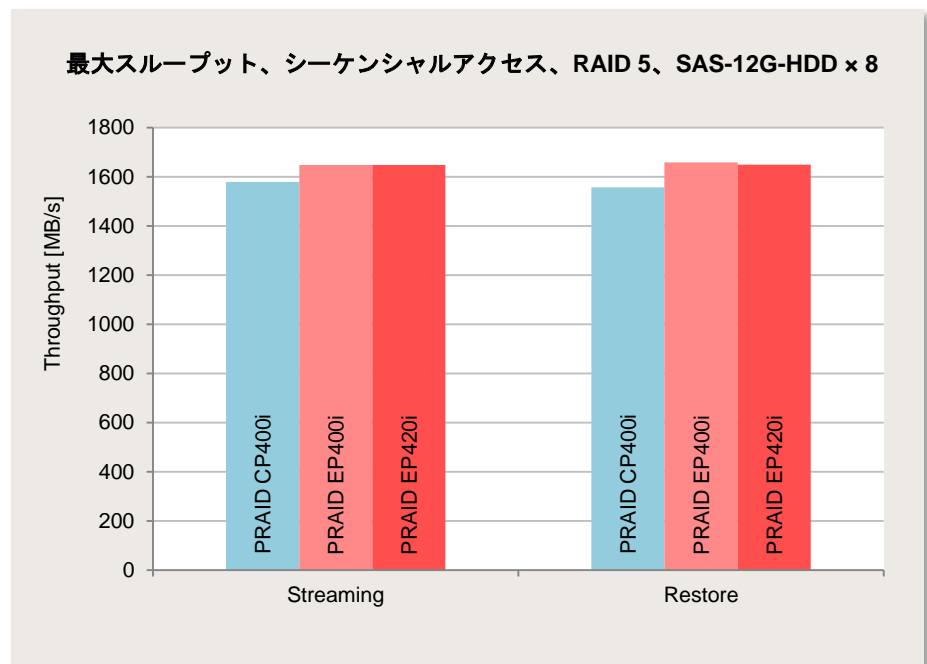
次の図は、シーケンシャル負荷プロファイルでさまざまなコントローラーによって達成できる、タイプ RAID 5 の論理ドライブのスループットを示しています。グラフの 2 つのグループは、それぞれ標準負荷プロファイル「ストリーミング」（シーケンシャルアクセス、100 % リード、64 KB ブロックサイズ）と「リストア」（シーケンシャルアクセス、100 % ライト、64 KB ブロックサイズ）でのスループットを示しています。

N 台の HDD で構成されるタイプ RAID 5 の論理ドライブについては、概算ルールによれば、利用可能なスループットは、多くても、HDD の最大シーケンシャルスループットの (N-1) 倍です。

ここで示されているケースでは、有効になっているコントローラーのしきい値はまだありません。したがって、HDD の数とタイプに基づく最大スループットは、以下のように概算されます。

$$7 \times 237 \text{ MB/s} = 1659 \text{ MB/s}$$

これは、この図で確認できます。



概算ルールの説明：

論理ドライブを構成する HDD のうちの 1 台について考えてみてください。この HDD に対して、正確には、ある数 (N) の連続するストライプの中の 1 つが、1 個のパリティストライプです。これらのパリティストライプは、ユーザーデータを全く含まないデータエリアであり、HDD の場合は、読み取り、書き込み両方の利用可能なデータスループットを減らします。

HDD から読み取りを行う場合、このパリティブロックは、単に無視されます。読み取り／書き込みヘッドがパリティブロック上を移動するには（スピンドルの回転のため）一定の時間が必要であるため、この時間の分だけ利用可能なデータスループットは少なくなります。書き込みの際に N 個のストライプがある場合、パリティストライプを正確に 1 個書き込む必要があります。したがってこの場合は、利用可能なデータスループットの減少分は、そのパリティストライプのシェアとなります。そのため、読み取り時と書き取り時の両方において、この HDD から得られる実際のデータのシーケンシャルスループットは、最大でも、HDD の最大シーケンシャルスループットのシェア (N-1) / N となります。したがって、論理ドライブの N 台の HDD のすべてから得られる実際のデータのスループットは、最大でも、HDD の最大シーケンシャルスループットの (N-1) 倍です。

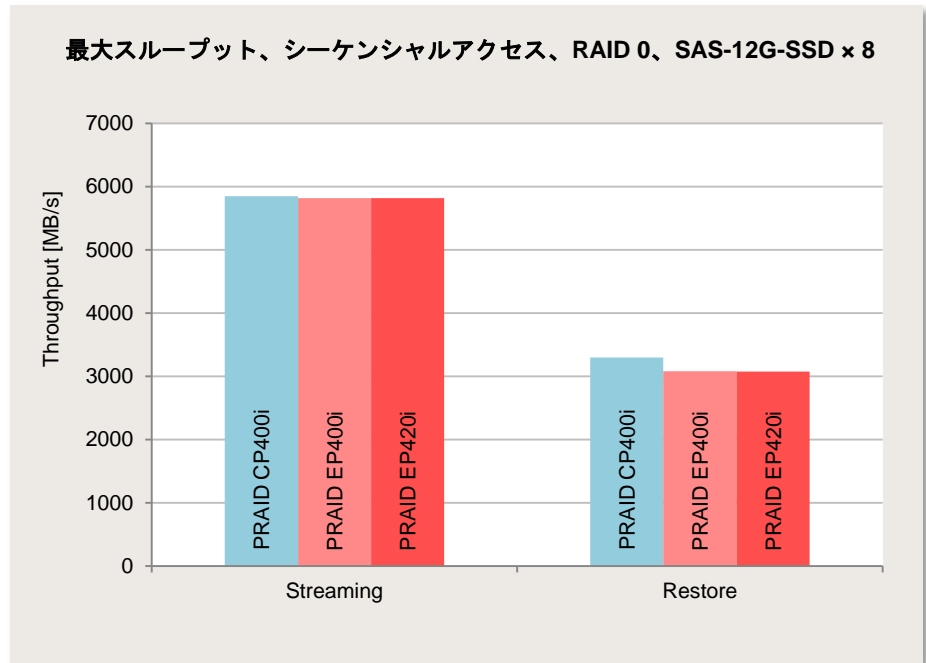
SSD を読み取る際には、ユーザーデータから構成されているストライプは直接処理できます。読み取り／書き込みヘッドがパリティデータのストライプを無視して移動するため、時間を無駄にすることがありません。ただし、SSD に書き込む際には、ユーザーデータに加えてパリティストライプの書き込みにも時間間隔が必要になるため、利用可能なデータスループットもそれに従って小さくなります。

SSD

RAID 0 (SAS-12G-SSD × 8 で構成)

次のグラフは、シーケンシャル負荷プロファイルでの RAID 0 の論理ドライブにおけるスループットを示しています。このレートはさまざまなコントローラーで達成可能です。グラフの 2 つのグループは、それぞれ標準負荷プロファイル「ストリーミング」（シーケンシャルアクセス、100 % リード、64 KB ブロックサイズ）と「リストア」（シーケンシャルアクセス、100 % ライト、64 KB ブロックサイズ）でのスループットを示しています。

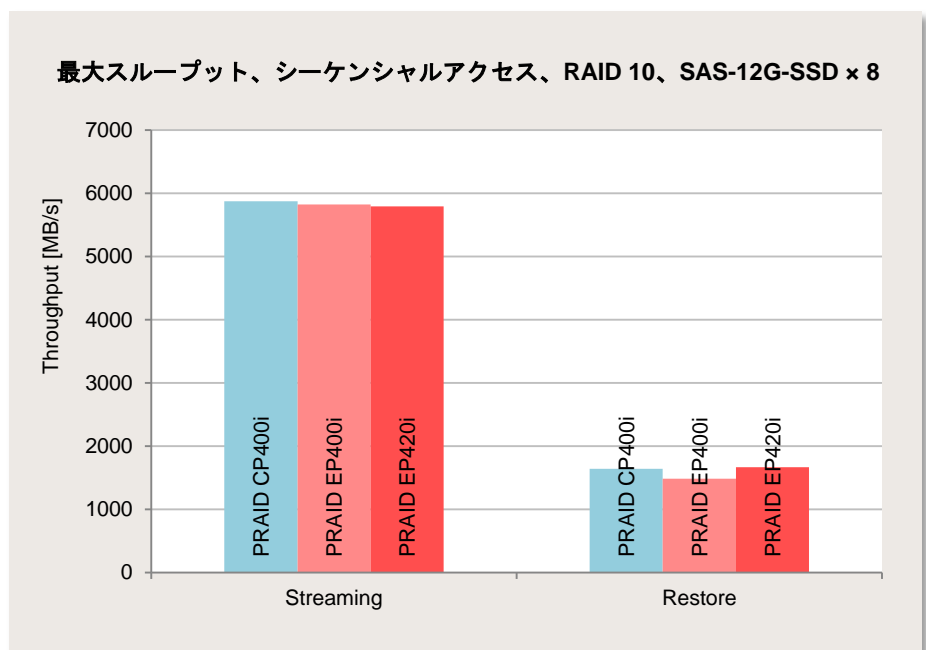
「ストリーミング」については、コントローラーの読み取り方向のスループット限界値（約 5900 MB/s）が、8 台の SAS-12G-SSD（RAID 0）で達成されています。ここでの「リストア」については、コントローラーではなく SSD の最大パフォーマンスが決定要因となります。



RAID 10 (SAS-12G-SSD × 8 で構成)

次のグラフは、シーケンシャル負荷プロファイルでの RAID 10 の論理ドライブにおけるスループットを示しています。このレートはさまざまなコントローラーで達成可能です。グラフの 2 つのグループは、それぞれ標準負荷プロファイル「ストリーミング」（シーケンシャルアクセス、100 % リード、64 KB ブロックサイズ）と「リストア」（シーケンシャルアクセス、100 % ライト、64 KB ブロックサイズ）でのスループットを示しています。

「ストリーミング」については、コントローラーの読み取り方向のスループット限界値（約 5900 MB/s）が、この場合、RAID 10 での制限要因にもなっています。

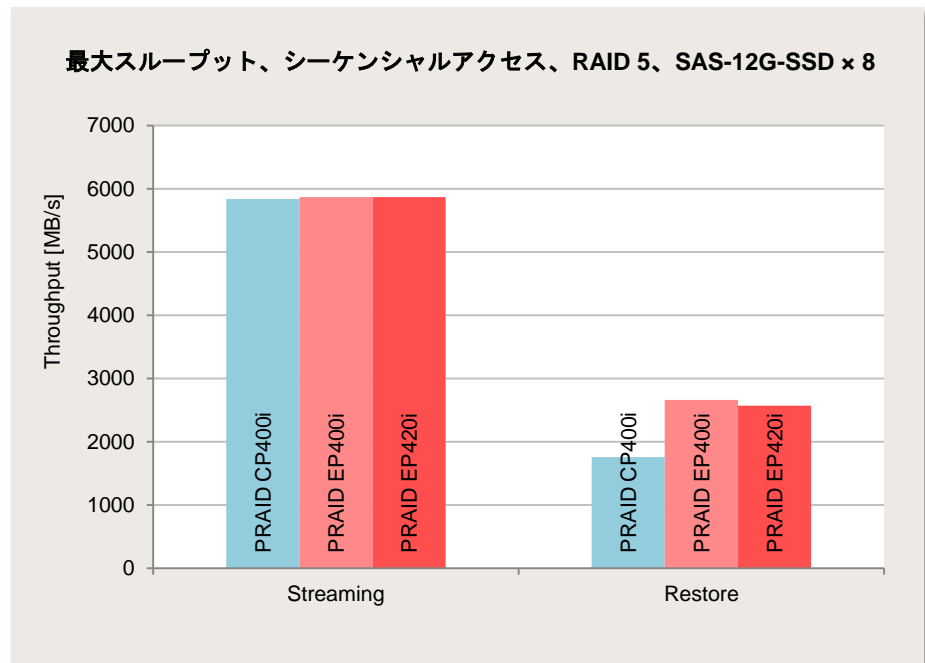


RAID 5 (SAS-12G-SSD × 8 で構成)

次のグラフは、シーケンシャル負荷プロファイルでの RAID 5 の論理ドライブにおけるスループットを示しています。このレートはさまざまなコントローラーで達成可能です。グラフの 2 つのグループは、それぞれ標準負荷プロファイル「ストリーミング」（シーケンシャルアクセス、100 % リード、64 KB ブロックサイズ）と「リストア」（シーケンシャルアクセス、100 % ライト、64 KB ブロックサイズ）でのスループットを示しています。

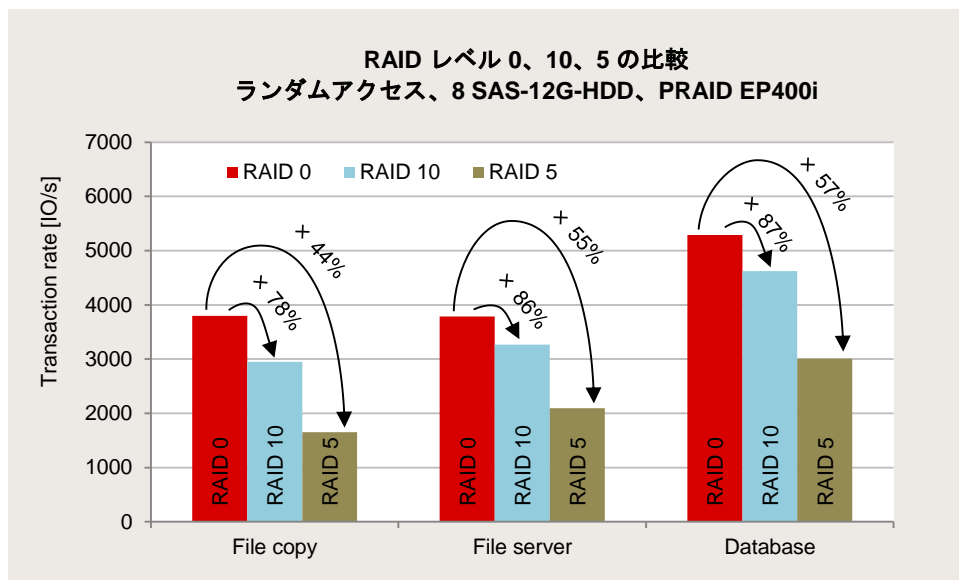
「ストリーミング」については、コントローラーの読み取り方向のスループット限界値（約 5900 MB/s）が、この場合、RAID 5 での制限要因にもなっています。

ここで（SSD であるにも関わらず）RAID 5 により最大のデータスループットを達成するためには、ServerView RAID Manager で「Performance」モードに設定されている必要があります。「リストア」において最大のデータスループットを達成するためには、コントローラーのライトキャッシュを有効化しておくことが不可欠となります。



HDD へのランダムアクセス : RAID レベル間の相互関係

HDD で構成されている論理ドライブへのランダムアクセスの場合、それぞれの負荷プロファイルについて、別の RAID レベルのトランザクションレートを概算することが可能です。これは、RAID 0 の最大トランザクションレートに適切な係数を掛けることで行います。この場合、その HDD の数とタイプ、ストライプサイズ、コントローラーが全く同じである必要があります。最初に、これらの相互関係を、測定値に基づいて以下の図に示します。



これらのパーセンテージは、ランダム書き込みアクセスの増倍係数を使用して理論的に概算することもできます。これはいわゆる「ライトペナルティ」の問題です。「ライトペナルティ」は以下のように定義されています。

すべての物理ハードディスク側から見た、実行されたアクセスの数
 アプリケーション側から見た、実行する書き込みアクセスの数

この「ライトペナルティ」¹の値は、RAID 0 では 1、RAID 10 では 2、RAID 5 では 4 です。それぞれの負荷プロファイルに含まれている読み取りシェア（これは掛け算はしません）をまとめると、その結果は、アプリケーション側から見たアクセスとすべてのハードディスク側から見たアクセスの間の特定の増倍係数になります。例えば、RAID 5 を RAID 0 と比較すると、この係数により、アプリケーション側から見てハードディスクはすでに最大負荷の下にあり、トランザクションレートがかなり低くなります。3 つのランダムな標準負荷プロファイル（そして最終的には書き込みシェア）について、さまざまな RAID レベル間のこれらの割合の理論値の違いが、以下の表に記されています。

比較した RAID レベル	プロファイルの最大トランザクションレートの割合の理論値		
	ファイルコピー (50 %書き込み)	ファイルサーバ (33 %書き込み)	データベース (33 %書き込み)
RAID 10/RAID 0	67 %	75 %	75 %
RAID 5/RAID 0	40 %	50 %	50 %

これらの値を上図中の（測定値から得られた）割合と比較すると、図中の割合の方がいくらか大きくなっていますが、これは、キャッシュ使用によるコントローラーの最適化手法によるものです。

¹ RAID 10 では、値 2 は、ディスクミラーリングのための各データブロックの二重書き込みを示しています。RAID 5 の場合、ランダム負荷プロファイルのため、1 つのライトアクセスは次のように実行される必要があります。1) 古いデータストライプを読み取る。2) 古いパリティストライプを読み取る。3) リードストライプから新しいパリティストライプを計算する。4) 新しいデータストライプを書き込む。5) 新しいパリティストライプを書き込む。したがって、合計すると、データストライプのランダム書き込みは、2 回の読み取りと 2 回の書き込みを意味することになります。これが、値 4 が「ライトペナルティ」を示している理由です。

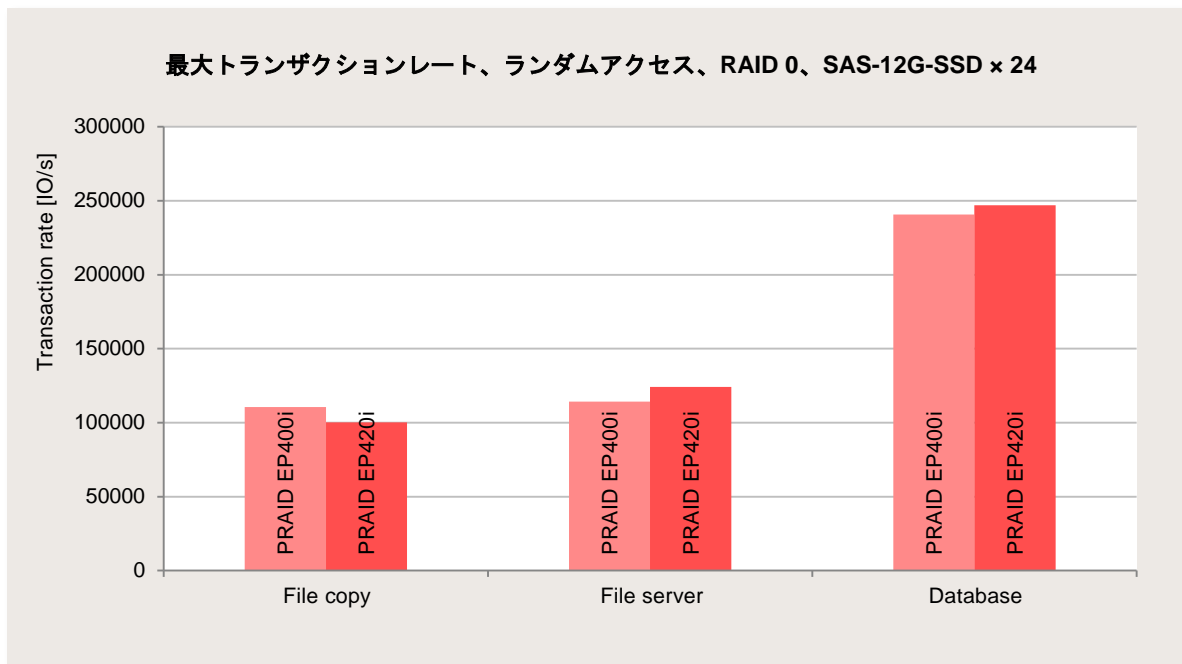
RAID 0、10、5（9 台以上の SAS-SSD で構成）

現在の PRIMERGY サーバでは、9 台以上のハードディスクの操作に、最高のパフォーマンスを実現する 2 つのコントローラー（PRAID EP400i、PRAID EP420i）を使用できます。これらのコントローラーでは、現在のところ、最大 32 台の内蔵ハードディスクによるサーバ構成が可能です（PRIMERGY RX2560 M1 などを使用）。5 つの標準負荷プロファイルについての以下の表は、さまざまな RAID レベルのコントローラーの最大スループットとトランザクションレートを示すためのものです。この目的のため、台数の多い SSD による測定が使用されます。測定は、RAID 0 および RAID 5 では 24 台の SSD で行われ、RAID 10 では 16 台の SSD（RAID 10 では、これは 1 台の論理ドライブの現在の上限值です）で行われます。結果の値は、多数のハードディスクを使用した場合のパフォーマンス値の範囲をカバーしています。前の項と同様、説明には、高パフォーマンスの SAS-12G-SSD を使用した測定が取り上げられています。これらのハードディスクについての詳細は「[測定環境](#)」を参照してください。

ランダムアクセス

RAID 0（SAS-12G-SSD × 24 で構成）

次のグラフは、ランダム負荷プロファイルでの RAID 0 の論理ドライブにおけるトランザクションレートを示しています。このレートはさまざまなコントローラーで達成可能です。グラフの 3 つのグループは、それぞれ標準負荷プロファイル「ファイルコピー」（ランダムアクセス、50 %リード、64 KB ブロックサイズ）、「ファイルサーバ」（ランダムアクセス、67 %リード、64 KB ブロックサイズ）、「データベース」（ランダムアクセス、67 %リード、8 KB ブロックサイズ）でのトランザクションレートを示しています。



ここで得られる最も重要な情報は、小さいブロックサイズ（「Database」）の負荷プロファイルで達成可能な、約 240000 IO/s という非常に高いトランザクションレートです。最新のコントローラーファームウェアで標準として使用できる FastPath オプションの影響は、この負荷プロファイルで特に顕著です。

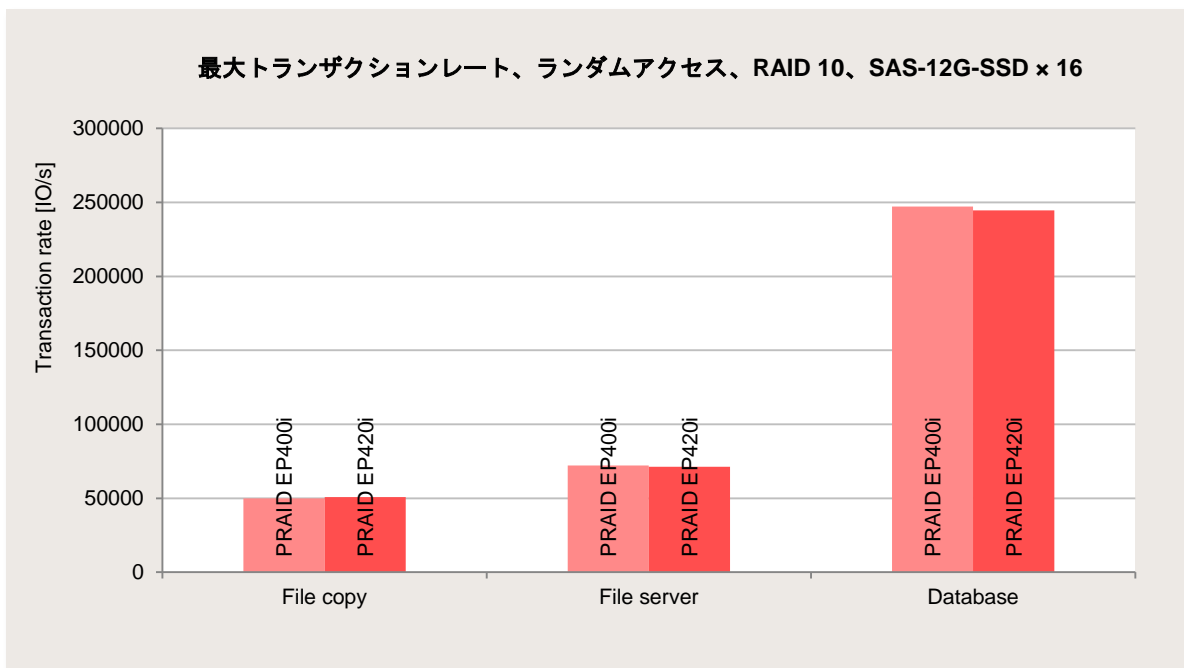
SAS-12G-SSD の台数で示した場合：RAID 0 の PRAID EP400i を最大限に活用するには、ランダム負荷プロファイルに応じて、5 台（8 kB ブロックサイズ）から 17 台（64 kB ブロックサイズ）の、フル負荷がかかっている SAS-12G-SSD が必要です。SSD の負荷が小さい場合、または他の SSD タイプの場合は、これらの数は適切に調整する必要があります。

これらのトランザクションレートを変換することで生成されるスループット値も重要です。トランザクションレートが低くても、64 KB ブロックサイズの 2 つの負荷プロファイルではスループットが高くなります。例えば、PRAID EP420i は、「ファイルサーバ」負荷プロファイルで約 7763 MB/s のスループットを処理し

ます。この値は、100 % リード、100 % ライトの負荷プロファイルにおける、この RAID レベルでのコントローラーの 2 つの最大シーケンシャルスループットよりも高いものであり、注目に値します。この値は、SAS 接続を実際に双方向で使用しない限り、達成できない値です。

RAID 10 (SAS-12G-SSD × 16 で構成)

次のグラフは、ランダム負荷プロファイルでの RAID 10 の論理ドライブにおけるトランザクションレートを示しています。このレートはさまざまなコントローラーで達成可能です。グラフの 3 つのグループは、それぞれ標準負荷プロファイル「ファイルコピー」(ランダムアクセス、50 % リード、64 KB ブロックサイズ)、「ファイルサーバ」(ランダムアクセス、67 % リード、64 KB ブロックサイズ)、「データベース」(ランダムアクセス、67 % リード、8 KB ブロックサイズ)でのトランザクションレートを示しています。

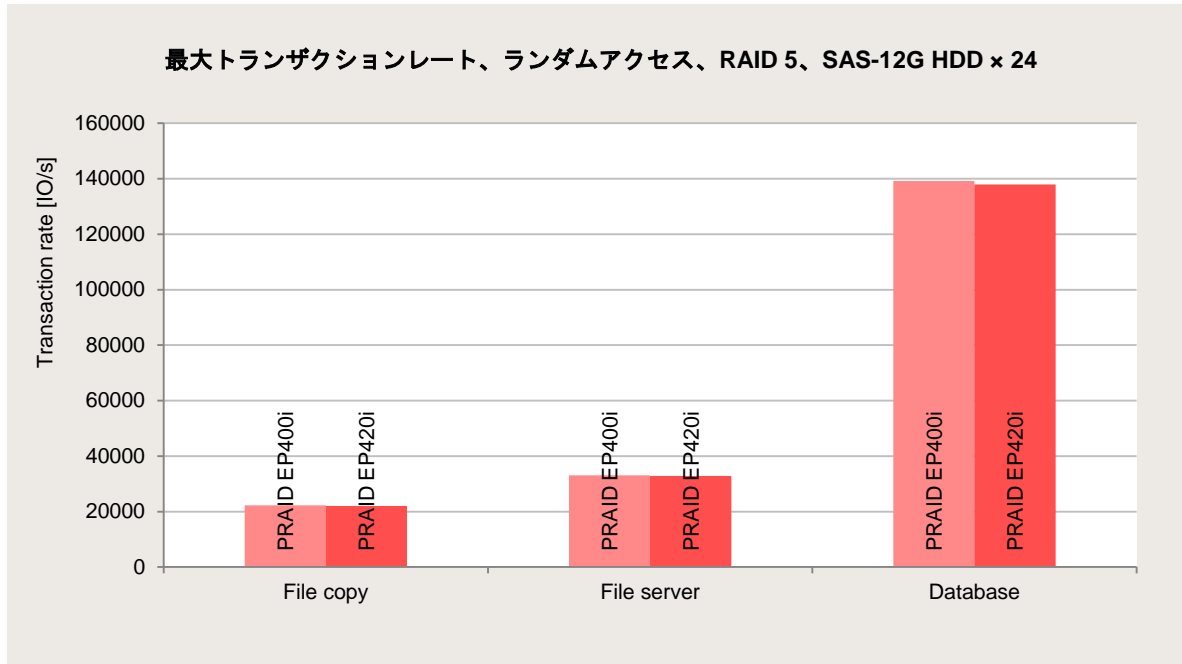


備考:

ここで説明されているような多数の SAS-12G-SSD からなる構成は、小さいブロックサイズ (≤ 8 kB) の数十万 IO/s のトランザクションレートを達成するために使用することができます。このように多くの I/O を処理する場合、処理を行う CPU コアの容量の 100 % 近くを使用することがあります。その結果、サーバ CPU の実周波数が制限要因となる場合があります。測定結果を得るにあたっては、中程度の公称周波数を持つ CPU (Xeon E5-2660 v3 @ 2.60 GHz) と、最適パフォーマンスのための BIOS 設定が使用されました。これらの測定結果は、平均的な CPU 構成および広い範囲のサーバモデルでも有効です。Xeon E5-2600 v4 ベースのサーバでは、ここで示されているトランザクションレートは、例えばプロセッサタイプ Xeon E5-2623 v4 @ 2.60 GHz でも達成されます。最適周波数の CPU を使用すれば、ここに示されているトランザクションレートを明らかに超えるレートを達成することも可能です。例えば、Xeon E5 2637 v3 @ 3.50 GHz または Xeon E5 2637 v4 @ 3.50 GHz の CPU を使用した場合、[24 台の SAS-SSD で構成される RAID 0](#) タイプの論理ドライブで、負荷プロファイル「Database」(ランダムアクセス、67 % リード、8 kB ブロックサイズ)において、約 250,000 IO/s ではなく 300,000 IO/s 以上を達成することが可能です。

RAID 5 (SAS-12G-SSD × 24 で構成)

次のグラフは、24 台の SAS-12G-SSD で構成した論理ドライブを使用する各コントローラーの最大トランザクションレートを示しています。グラフの 3 つのグループは、それぞれ標準負荷プロファイル「ファイルコピー」（ランダムアクセス、50 % リード、64 KB ブロックサイズ）、「ファイルサーバ」（ランダムアクセス、67 % リード、64 KB ブロックサイズ）、「データベース」（ランダムアクセス、67 % リード、8 KB ブロックサイズ）でのトランザクションレートを示しています。



これを SAS-12G-SSD の台数で示すと、RAID 5 の PRAID EP400i を最大限に活用するには、ランダム負荷プロファイルに応じて、7 台（8 kB ブロックサイズ）から 17 台（64 kB ブロックサイズ）の、フル負荷がかかっている SAS-12G-SSD が必要です。SSD の負荷が小さい場合、または他の SSD タイプの場合は、これらの数は適切に調整する必要があります。

シーケンシャルアクセス

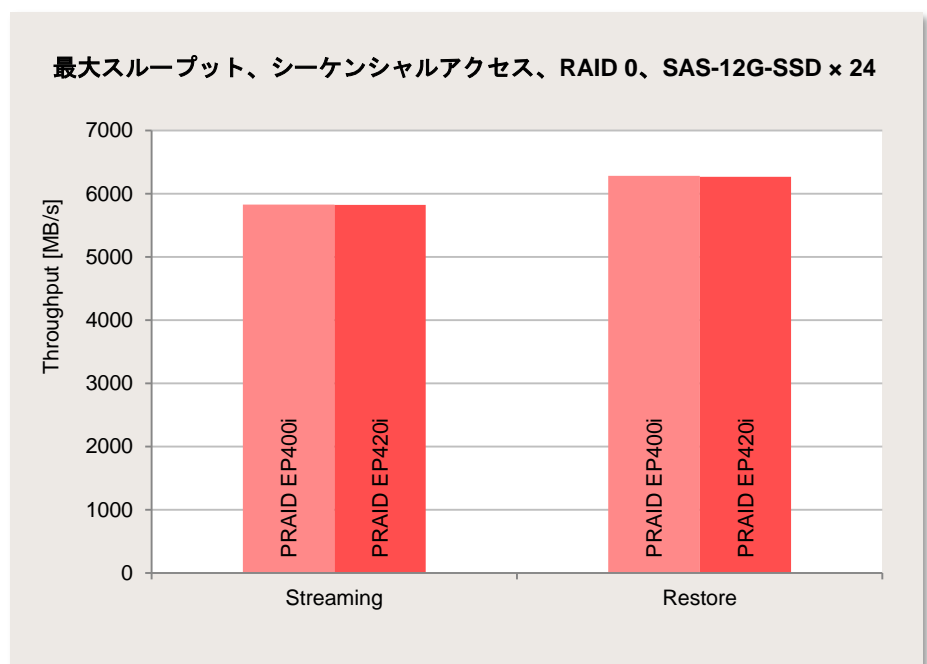
24 台（または 16 台）の SAS-12G-SSD での測定に基づく、これらのコントローラーに一般的に適用される説明が、以下に記されています。ハードディスクの基本的なパフォーマンス値に適切な係数を掛けることで、タイプや台数の異なるハードディスクの予想最大スループットを計算することができます。この方法で計算したスループットがコントローラーのしきい値を超える場合は、コントローラーのしきい値が有効になります。

RAID 0 (SAS-12G-SSD × 24 で構成)

次のグラフは、シーケンシャル負荷プロファイルでの RAID 0 の論理ドライブにおけるスループットを示しています。このレートはさまざまなコントローラーで達成可能です。グラフの 2 つのグループは、それぞれ標準負荷プロファイル「ストリーミング」（シーケンシャルアクセス、100 % リード、64 KB ブロックサイズ）と「リストア」（シーケンシャルアクセス、100 % ライト、64 KB ブロックサイズ）でのスループットを示しています。

ここに示されている、「リストア」のデータスループット（約 6280 MB/s）は、ここで RAID 0 に使用されているコントローラーの限界値です。

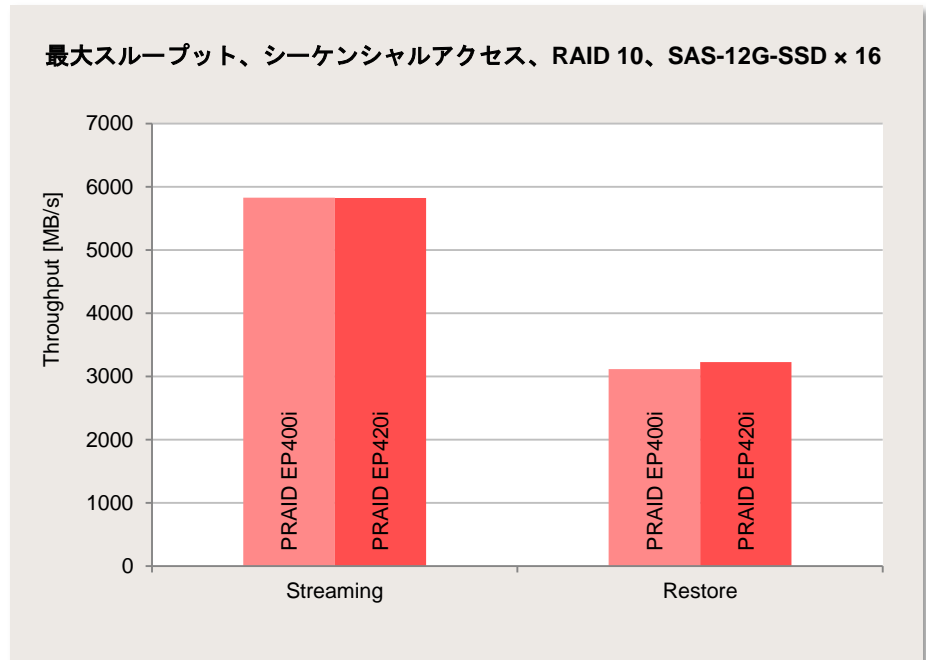
「ストリーミング」の限界値（約 5900 MB/s）は、8 台の SAS-12G-SSD (RAID 0) ですでに達成されています。



RAID 10 (SAS-12G-SSD × 16 で構成)

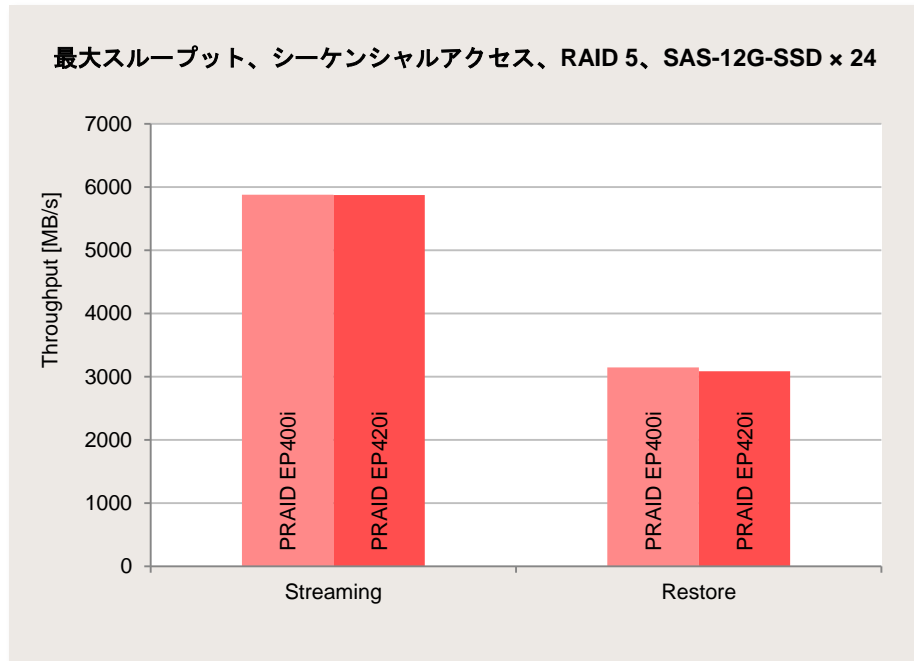
次のグラフは、シーケンシャル負荷プロファイルでの RAID 10 の論理ドライブにおけるスループットを示しています。このレートはさまざまなコントローラーで達成可能です。グラフの 2 つのグループは、それぞれ標準負荷プロファイル「ストリーミング」（シーケンシャルアクセス、100 % リード、64 KB ブロックサイズ）と「リストア」（シーケンシャルアクセス、100 % ライト、64 KB ブロックサイズ）でのスループットを示しています。

「ストリーミング」の限界値（約 5900 MB/s）は、RAID 0 と同様に、8 台の SAS-12G-SSD（RAID 10）ですでに達成されています。



RAID 5 (SAS-12G-SSD × 24 で構成)

次のグラフは、シーケンシャル負荷プロファイルでの RAID 5 の論理ドライブにおけるスループットを示しています。このレートはさまざまなコントローラーで達成可能です。グラフの 2 つのグループは、それぞれ標準負荷プロファイル「ストリーミング」（シーケンシャルアクセス、100 % リード、64 KB ブロックサイズ）と「リストア」（シーケンシャルアクセス、100 % ライト、64 KB ブロックサイズ）でのスループットを示しています。



ここに示されている、「リストア」のデータスループット（約 3100 MB/s）および「ストリーミング」のデータスループット（約 5900 MB/s）は、ここで RAID 5 に使用されているコントローラーの限界値です。

RAID 5 構成の場合、コントローラーの速度は、比較的ゆがめられることなくパリティブロックの計算に反映されているので、このシーケンシャルライトの最大値は RAID コントローラーのパフォーマンスを示す重要なインジケータであると言えます。

ここで（SSD であるにも関わらず）RAID 5 により最大のデータスループットを達成するためには、ServerView RAID Manager で「Performance」モードに設定されている必要があります。「リストア」において最大のデータスループットを達成するためには、コントローラーのライトキャッシュを有効化しておくことが不可欠となります。

コントローラーキャッシュのサイズの影響

原則として、HDD で構成され、書き込みシェアの高いランダム負荷プロファイルに使用される論理ドライブでは、PRAID EP400i (1 GB) と比較してコントローラーキャッシュの大きい PRAID EP420i (2 GB) の方がパフォーマンス優位性を持っています。HDD を使用する他の場合や、(一般的には) SSD を使用する場合は、コントローラーキャッシュのサイズが大きく影響することはありません。

キャッシュが大きいことによる優位性が最も明確になるのは、HDD で構成されている RAID 5 タイプの論理ドライブが、小さいブロック (≤ 8 kB) にランダムにアクセスされている (書き込みのみ、つまりランダム読み取り 0 %) 場合です。この場合、キャッシュが大きいと、通常は 20 % ~ 30 % の優位性が得られます。実際には、このような負荷プロファイルになる頻度は少ないと予想されますが、多数の小さいファイルによるデータのリストアがその例です。サーバ (データベースサーバ、メールサーバ、Web サーバ) のアプリケーションシナリオのほとんどは、50 % 以上の読み取りシェアを含んでいます。このような場合、パフォーマンスの優位性は小さくなります。

一般的に言って、HDD で構成されている論理ドライブへのランダムアクセスに関する大きなキャッシュのパフォーマンスの優位性は、以下の要因により決定されます。

- 書き込みシェアが大きいほど優位性が大きくなる。
- RAID 10 よりも RAID 5 の方が優位性が大きい。
- HDD 台数の少ない方が優位性が大きい。
- ブロックサイズの小さい方が優位性が大きい。
- 負荷が大きいほど優位性が大きくなる。

パフォーマンスの優位性の割合が重要なファクターによりどのように変わるかを説明するため、以下の比較表で、適切な負荷プロファイルと負荷強度を一覧で示しています。ここで示されている割合は、さまざまな HDD タイプを選択した場合の測定値を平均することで算出された、一般的な値です。

負荷プロファイル	負荷密度	PRAID EP420i が PRAID EP400i に対して持つ パフォーマンスの優位性 (IO/s のパーセンテージで表示)	
		RAID 5 (HDD 8 台まで)	RAID 10 (HDD 8 台まで)
67 %ランダム読み取り、4 kB	低負荷から許容高負荷まで	6-11 %	<6%
	過負荷	6-11 %	6-11 %
67 %ランダム読み取り、64 kB	低負荷から許容高負荷まで	<6 %	<6 %
	過負荷	6-11 %	6-11 %
0 %ランダム読み取り、4 kB	低負荷から許容高負荷まで	20-30 %	11-20 %
	過負荷	20-30 %	11-20 %
0 %ランダム読み取り、64 kB	低負荷から許容高負荷まで	<6 %	<6 %
	過負荷	6-11 %	6-11 %

備考：

- ここで検討されているケースで、ディスクのキャッシュが「無効」の場合、それぞれのケースで「有効」とされている場合のパーセンテージは、「無効」の場合と非常によく似ています。
- ここで示されている負荷強度の範囲は、次の測定値範囲でモデリングされています：「低負荷から許容高負荷まで」は 1~32 の処理待ち I/O に対応し、「過負荷」は 64~512 の処理待ち I/O に対応しています。
- RAID 10 は RAID 0 および RAID 1 (パリティ計算なしの RAID レベル) の例も示し、RAID 5 は RAID 6、RAID 50、RAID 60 (パリティ計算ありの RAID レベル) の例も示しています。

低負荷レベル

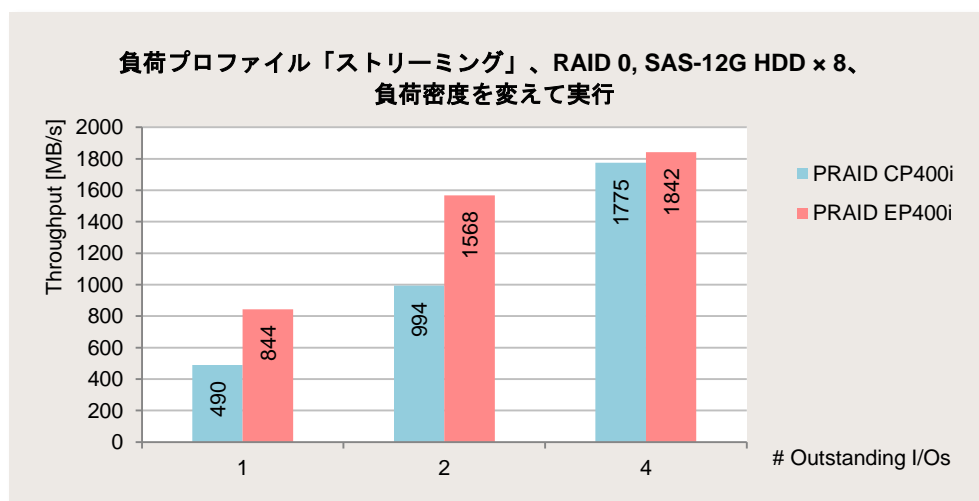
コントローラー間の差は、高負荷時の最大達成値だけでなく、低負荷時にも見られます。そのため、次の表では、同時アクセスなし（下記では「同時アクセス（未処理 I/O）× 1」と表記）で動作する、単一アプリケーションのシーケンシャルスループットについて、個々のコントローラの最大値をまとめました。これらの最大値は、コントローラーがサポートするすべての RAID レベルに適用されます。また、この値が超過されることはありません。これらのスループットは、RAID 0 でのみ得られます。RAID 0 以外の RAID レベルでは、多くの場合、スループットは最大値未満に留まります。

コントローラー	シーケンシャルスループットの最大値 同時アクセス（未処理 I/O）× 1、64 KB ブロックサイズ	
	100 % リード （負荷プロファイル「ストリーミング」）	100 % ライト （負荷プロファイル「リストア」）
PRAID CP400i	490 MB/s	315 MB/s
PRAID EP400i	1300 MB/s	1375 MB/s
PRAID EP420i	1300 MB/s	1375 MB/s

シーケンシャルリードでこれらの値を達成するためには、「Read-ahead」設定が前提条件となります（シーケンシャルライトの場合は「Write-back」設定）。これらの最大スループットはブロックサイズにも大きく依存しますが、サイズに関する表の値の相互関係は、他のブロックサイズの場合でも同様になります。

使用される論理ドライブが、「同時アクセス（未処理 I/O）× 1」で 500 MB/s 以上のシーケンシャルスループットが得られるという原則にあるとき、表のコントローラー間の差はさらに大きくなります。この場合、コントローラーの選択を誤ると、制限に影響が出ます。

このことについて、次の例で説明します。この例は、SAS-12G-HDD 8 台で構成した RAID0 の論理ドライブに負荷プロファイル「ストリーミング」（シーケンシャルアクセス、100 % リード、64 KB ブロックサイズ）を適用した場合のスループットの測定に基づいています。比較は、PRAID CP400i および PRAID EP400i 間で、同時アクセスの数（「処理待ち IO 数」）を変えながら行いました。



このケースでは、同時アクセス（未処理 I/O）が 1 および 2 の場合、PRAID CP400i は、PRAID EP400i と同等のスループットを達成していないことが明確にわかります。PRAID EP400i はすでに 844 MB/s のスループットを達成していますが、PRAID CP400i のスループットはその半分を少し超える程度です。

応答時間の観点からみると、低負荷密度では、PRAID EP400i の応答時間は PRAID CP400i の約半分です。

結論

PRIMERGY および PRIMEQUEST サーバは、「モジュラー RAID」のコンセプトによって、さまざまなアプリケーションシナリオの多様な要件を満たすことができます。

オンボードコントローラーは、RAID レベル 0、1、10 に対応する低価格なエントリーレベルの代替ソリューションです。PCIe スロットを 1 つ節約できますが、ハードディスクは 6 台に制限されます。プロセッサパフォーマンスの使用率は、新しいサーバになるほど重要性が低下します。

SATA 側では、現在のオンボードコントローラーは最大周波数 6G の標準をサポートします。

PCIe コントローラーの場合、現世代製品は規格 SAS-12G をサポートしています。その結果、最大実データスループットは、先行世代の製品に比べて、3800 MB/s から 6280 MB/s へ増加しています。

PRAID CP400i は、平均的な要件に適した PCIe コントローラーです。このコントローラーはキャッシュ付きではなく、最大 8 台のハードディスクに使用でき、RAID ソリューションの RAID 0、RAID 1、RAID 1E、RAID 10 に加えて（先行世代のコントローラーとは異なり）RAID 5 もサポートしています。

PRAID EP400i と EP420i コントローラーは、現在のすべての標準 RAID ソリューション RAID 0、1、1E、5、6、10、50、60 を提供します。これらのコントローラーにはコントローラーキャッシュが搭載され、オプションで FBU を使用したバックアップも可能です。キャッシュの使用を設定する多様なオプションにより、使用する RAID レベルに合わせた最適なパフォーマンスを柔軟に引き出すことができます。ここで説明されているさらなる最適化オプションは、調整可能なストライプサイズです。プロセッサパフォーマンスの使用率は、新しいサーバになるほど重要性が低下します。負荷密度の高い従来のハードディスクでランダムアクセスが発生する場合など、多くのアプリケーションシナリオで、これらのコントローラーは PRAID CP400i よりも 75 % 高いトランザクションレートを達成できます（例：SATA-6G-HDD 4 台で RAID 0、ランダムアクセス、50%リード、64KB ブロックサイズ）。

RAID コントローラー PRAID EP400i と PRAID EP420i の違いは、キャッシュサイズに関わる点のみです。前者のキャッシュサイズは 1 GB、後者のキャッシュサイズは 2 GB です。書き込みシェアの大きいランダム負荷プロファイルに使用される HDD には、大きなキャッシュを推奨します。

ディスクサブシステムに負荷をかけるアプリケーションシナリオのほとんどは、ランダムリード/ライトアクセスが伴います。SSD を使用して非常に高い I/O レートを管理する場合は、コントローラーが最大トランザクションレートに大きく影響します。タイプ RAID 0 で、データベースへの一般的なアクセス（67 % 読み取り、ランダム、ブロックサイズ 8 kB）の論理ドライブの場合、例えば PRAID CP400i では最大 164000 IO/s ですが、PRAID EP420i では最大 248000 IO/s（つまり 1.5 倍）となります。タイプ RAID 5 の論理ドライブでは、この違いは特に大きくなります：データベースへの一般的なアクセスにおいて、PRAID CP400i の最大値は 28700 IO/s ですが、PRAID EP420i の最大値は 133000 IO/s（つまり 4.6 倍）となります。したがって、SSD を使用する RAID 5 では、PRAID EP400i または PRAID EP420i を必ず使用するべきです。

ハードディスクタイプにかかわらず、さまざまなコントローラーがそれぞれ、RAID レベルと負荷プロファイルに固有の最大シーケンシャルスループットを実現します。これらの最大値の一部は、先行世代と比較して大幅に増加しています。タイプ RAID 5 の論理ドライブへのシーケンシャルライトでは、例えば PRAID EP420i が約 3100 MB/s を達成するのに対して、その先行コントローラーのスループットは約 2200 Mb/s です。

計画されているアプリケーションシナリオで、単一のコントローラーで実現するトランザクションレートやスループットよりも高い値が必要とされる場合は、2 つのコントローラーを使用できます。このオプションを提供する PRIMERGY サーバは多数存在します（、PRIMERGY RX2540 M1 など）。

より高速なコントローラーでは、シーケンシャルアクセスの負荷プロファイルで、同時アクセスが少ないケースで達成したスループットを達成できます。論理ドライブの効率が十分であれば、PRAID EP400i を使用することにより、このようなアプリケーションで 1300 MB/s を超えるリードおよびライトのスループットも実現可能です。これらの特殊なケースでは、旧世代のコントローラーと比較して、最大スループットを大幅に増加させることができます。

コントローラーとハードディスクの構成には、PRIMERGY サーバに添付される RAID-Manager ソフトウェア「ServerView RAID Manager」の使用を推奨します。このソフトウェアを使用すると、パフォーマンスやデータセキュリティに関する顧客要件に合わせて、コントローラーとハードディスクの設定を容易に調整できます。設定は、ほとんどのアプリケーションシナリオでコントローラーに依存せずに行えます。電源障害

時の緩衝措置として FBU および UPS を使用している場合は、データの安全性を確保しながら最大パフォーマンスを得ることができます。

関連資料

PRIMERGY & PRIMEQUEST サーバ

<http://jp.fujitsu.com/platform/server/>




PRIMEQUEST のパフォーマンス

<http://jp.fujitsu.com/platform/server/primequest/products/2000/benchmark/>

PRIMERGY のパフォーマンス

<http://jp.fujitsu.com/platform/server/primergy/performance/>

このホワイトペーパー

 <http://docs.ts.fujitsu.com/dl.aspx?id=9845be50-7d4f-4ef7-ac61-bbde399c1014>
 <http://docs.ts.fujitsu.com/dl.aspx?id=7826d783-bc71-4cd7-8486-d74f4dc2509c>
 <http://docs.ts.fujitsu.com/dl.aspx?id=3075886a-3c79-4b5b-8d9f-e9269e083bef>

Xeon E5-2600 v4 搭載システムのための BIOS 最適化

<http://docs.ts.fujitsu.com/dl.aspx?id=6caa932b-38c5-4088-8c13-7dcc9366f6a0>

Xeon E5-2600 v3 搭載システムのための BIOS 最適化

<http://docs.ts.fujitsu.com/dl.aspx?id=2009eb5b-f273-4f1f-94ef-07f1d0304255>

RAID コントローラーのパフォーマンス 2013 (過去のホワイトペーパー)

<http://docs.ts.fujitsu.com/dl.aspx?id=e34159fa-0196-4a01-99ff-8792b5f644eb>

512e HDD : テクノロジー、パフォーマンス、構成

<http://docs.ts.fujitsu.com/dl.aspx?id=12ee4986-3782-460f-b26c-8ba9c6acfacf>

ディスク I/O パフォーマンスの基本

<http://docs.ts.fujitsu.com/dl.aspx?id=35801735-a223-491a-a879-43f506444366>

Iometer についての情報

<http://www.iometer.org>

お問い合わせ先

富士通

Web サイト : <http://jp.fujitsu.com/>

PRIMERGY のパフォーマンスとベンチマーク

<mailto:primergy.benchmark@ts.fujitsu.com>

© Copyright 2016 Fujitsu Technology Solutions. Fujitsu と Fujitsu ロゴは、富士通株式会社の日本およびその他の国における登録商標または商標です。その他の会社名、製品名、サービス名は、それぞれ各社の登録商標または商標です。知的所有権を含むすべての権利は弊社に帰属します。製品データは変更される場合があります。納品までの時間は在庫状況によって異なります。データおよび図の完全性、事実性、または正確性について、弊社は一切の責任を負いません。本書に記載されているハードウェアおよびソフトウェアの名称は、それぞれのメーカーの商標等である場合があります。第三者が各自の目的でこれらを使用した場合、当該所有者の権利を侵害することがあります。

詳細については、<http://www.fujitsu.com/fts/resources/navigation/terms-of-use.html> を参照してください。

2016-05-20 WW JA