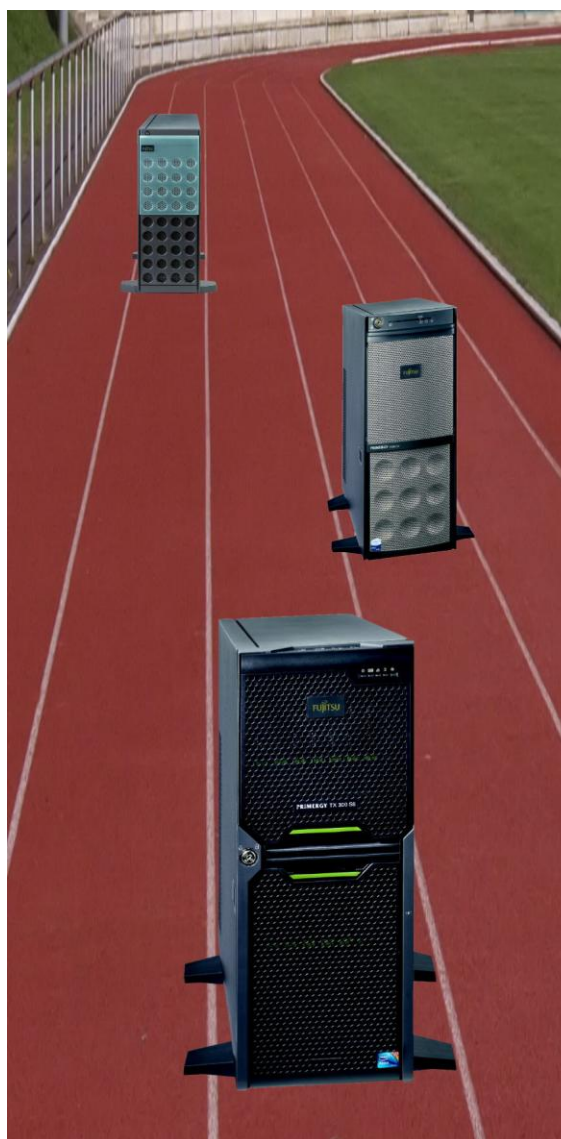


ホワイトペーパー

FUJITSU PRIMERGY サーバ

単一ディスクのパフォーマンス

本書は、PRIMERGY サーバ上でディスクサブシステムを運用するためのハードディスクドライブおよびソリッドステートドライブの選択に携わる方々を対象としています。計画したソリューションに適したストレージ（通常、RAID 構成で使用）の早期選定を支援することを目的として、さまざまなデータメディアとそのパフォーマンスデータをご紹介します。



バージョン

1.0a
2011-08-31

目次

ドキュメントの履歴.....	2
はじめに	3
ハードディスクの基本	4
品質および信頼性	5
デュアルポート機能.....	5
転送プロトコル	5
ソリッドステートドライブと従来型のハードディスクの比較	6
ドライブクラス.....	7
ディスク I/O パフォーマンス測定	10
負荷プロファイル	10
測定環境	12
主要パラメーター	13
ブロックサイズ.....	13
負荷密度	17
ハードディスクのパフォーマンスデータ	21
エコノミッククラス（ECO）のハードディスク	21
ビジネスクリティカルクラス（BC）のハードディスク	23
エンタープライズクラス（EP）のハードディスク	29
パフォーマンスデータの比較	35
サーバのサイジング.....	35
形状.....	37
回転速度	39
容量.....	42
ディスクキャッシュ.....	48
結論.....	51
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 1.0a

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1つに統合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。複数台のハードディスクを組み合わせることで、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 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 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 RAID Manager 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 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。
- 現在 PRIMERGY に対応している各種ハードディスクと、さまざまな状況でのそれぞれのパフォーマンスについては、本書『[単一ディスクのパフォーマンス](#)』を参照してください。
- 現在 PRIMERGY に対応しているすべての RAID コントローラーとそれぞれのパフォーマンスについては、『[RAID コントローラーのパフォーマンス](#)』を参照してください。
- 各 RAID レベルのパフォーマンスの詳細と最適な構成については、『[RAID のパフォーマンス](#)』を参照してください。

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、サーバが関与する限りにおいてハードディスクと同様に扱われます。代表的な例がフラッシュメモリ (SSD : ソリッドステートドライブ) 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、一貫して「ハードディスク」という用語を使用します。必要な場合のみ (構造上の特徴を説明する場合など)、「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 億バイト)、その他の容量やスループットを示す場合は 2 のべき乗 (1 MB/s = 2²⁰ バイト/s) で表記しています。

ハードディスクの基本

通常、ハードディスクは、サーバ上で唯一直接アドレスを指定できる非揮発性ストレージメディアです。プロセッサやメインメモリなど、他のサーバコンポーネントと比較して非常にアクセス時間が長いので、ハードディスクを選択する際は、ディスクサブシステムのサイジングと構成に注意が必要です。サーバでのハードディスクの使われ方は、デスクトップやノートブックとは基本的に異なります。サーバのハードディスクはユーザー数が多いため、一般にははるかに大きな作業負荷がかかります。データ転送リクエストが届く可能性が常にあり、届いた際には可能な限り早く処理する必要があります。高いトランザクションレート（IO/s）と短い応答時間（レイテンシー）が不可欠です。さらに、データログやバックアップ／リストア機能には、高いスループット（MB/s）が必要です。同時に、サーバのハードディスクは一般に長時間動作し、極端な場合、24 時間動作し続けることもあります。こうした大きな作業負荷や、単一のハードディスクが抱える故障の危険に対応しながら、可能な限り高度なデータセキュリティレベルを確保するため、サーバのハードディスクは、通常、RAID アレイ（Redundant Array of Independent Disks）で使用します。RAID アレイを使用するのは、個別のハードディスクより高いスループットを実現するためでもあります。RAID レベルの種類とそれらのセキュリティおよびパフォーマンスの詳細については、『[RAID のパフォーマンス](#)』を参照してください。また、このような個別のハードディスクは、デスクトップ環境で使用されるディスクよりも長い寿命が求められます。最後に、サーバのディスクサブシステムは非常に規模が大きいため、多くの場合サーバの消費電力の大きな割合を占めます。

サーバのハードディスクに求められる品質要件は、サーバで実行する具体的なタスクに依存するので、さらに詳細な説明が可能です。次に例を示します。

- **ファイルサーバ**は、主にファイルストレージに使用されます。通常、ファイルサーバはハードディスクを内蔵しているだけでなく、外部ハードディスクアレイにも接続されています。このようなファイルサーバにとって、フェイルセーフ機構は最優先事項です。サーバをアーカイブの目的のみに使用している場合は、ハードディスクへのアクセスはそれほど多くありません。このような状況では、速度が大きな役割を果たすことはありません。しかし、サーバを日常業務の中心的部分として使用している場合は、動作が異なります。この場合は、ハードディスクの高レベルなパフォーマンスが必須です。
- **データベースサーバ**はデータベースを格納し、企業ネットワーク内で、また場合によってはインターネット経由でデータを提供します。ユーザーの視点から見ると、データベースサーバへのアクセスは、通常、アプリケーションサーバまたは Web サーバ経由で行われます。通常、データベースサーバは多くの並行アクセスを処理する必要があるため、この種のサーバでもデータセキュリティと高速な応答は必須です。
- **メールサーバ**は、電子メールの送受信と保存を行うサーバであり、通信の世界で非常に重要です。このようなシナリオでは、信頼性の高いハードディスクが必要です。また、迅速な応答時間も要求されます。
- **アプリケーションサーバ**は、ネットワーク内でアプリケーションプログラムを実行するために使用されます。このようなアプリケーションプログラムには、Web アプリケーションや認証サービスなどが含まれます。つまり、サーバ上で動作し、クライアントとサーバ間のトランザクションに必須のすべてのサービスです。このサーバは、限られた数のユーザーにアクセスを限定することも、すべてのインターネットユーザーに公開することもできます。このような用途で使用する場合は、非常に高速でしかもセキュアなハードディスクが必要です。
- **ストリーミングサーバ**は、ユーザーにマルチメディアファイルを提供します。通常、24 時間 365 日稼動し続けます。フェイルセーフ機構と高いスループットの両方が、ハードディスクを選択する際の主な条件となります。
- **仮想化サーバ**は、異なるオペレーティングシステムとアプリケーションが動作する仮想マシンです。このようなシナリオでは、非常に高速で信頼性の高いハードディスクが必須です。

実際には、前述の異なるサーバアクティビティを任意に組み合わせ、同一のサーバハードウェア上で実行することができます。この場合、タスク別にハードディスクをグループ化する必要があります。ただし、同じハードディスクをすべてのタスクで共通して使用することは可能な限り避けます。

品質および信頼性

適切なハードディスクの選択にあたって、信頼性の要件は重要な要素です。

ハードディスクのおよその寿命は、ハードディスクタイプごとの MTBF 値によって示されます。**MTBF** (Mean Time Between Failures : 平均故障間隔) は、故障から次の故障までの平均稼働期間を時間単位で表します。これはあくまで統計上の数値であり、特定の状況でその MTBF 値の間故障が起きないことを保証するものではありません。

デュアルポート機能

SAS ハードディスクにはポートが 2 つあるため、2 つの異なるコントローラーを介して同時に操作できます。2 つのコントローラーのうちいずれか 1 つが故障した場合でも、この冗長性によってハードディスクにアクセスできます。

SATA ハードディスクでは、2 つのコントローラーを接続するためにポートセレクターが必要です。したがって、同時アクセスはできません。最初のコントローラーがアクティブでない場合、2 番目のコントローラーは SATA ハードディスクにのみアクセスできます。

転送プロトコル

SATA および SAS プロトコルは、コントローラーとハードディスクとの間のデータ交換に使用されるインターフェース規格です。両方のプロトコルについて、転送速度を次に示していますが、これはハードディスクのスループットとは別のものです。ハードディスクの実際のスループットは、インターフェースの設計上のスループットよりも小さくなります。次に挙げるインターフェースには、後方互換性があります。たとえば、SATA 6.0 Gbit/s インターフェースは SATA 3.0 Gbit/s インターフェースを備えたサーバ上で動作できますが、低い転送速度に限られます。インターフェースがボトルネックにならないようにするためには、その転送速度がハードディスクの最大スループットより大きくなるように設計する必要があります。

SATA インターフェース

SATA (Serial Advanced Technology Attachment) は、ストレージメディアを駆動するための ATA インターフェースの後継規格です。ATA では 16 ビットをパラレル転送できますが、SATA ではシリアル転送です。現在のところ、SATA 規格には 3 世代が存在します。次に示す理論上の転送速度 (MB/s) は、それぞれの世代の SATA に関して規定されている転送速度の約 80 % です。

- SATA 1.5 Gbit/s は、最大 143 MB/s のスループットを実現します。
- SATA 3.0 Gbit/s は、最大 286 MB/s のスループットを実現します。ホットプラグ、スタaggerドスピンドル、NCQ が導入されるとともに、それまでより長いケーブルを使用できるようになりました。
- SATA 6.0 Gbit/s の最大スループットは、572 MB/s です。改善された NCQ (ストリーミングコマンド) および省電力機能も実装され、特別なコネクタ (LIF、ZIF) が導入されました。

SAS インターフェース

SAS (Serial Attached SCSI) は、ストレージメディアを駆動するための SCSI インターフェースの後継規格です。SCSI の最終世代である「Ultra-320 SCSI」は 16 ビットパラレル転送でしたが、SAS ではシリアル転送です。現在のところ、SAS 規格には 2 世代が存在します。理論上の転送速度は、それぞれの世代の SAS に関して規定されている転送速度の約 80 % です。

- SAS 3 Gbit/s は、最大 286 MB/s のスループットを実現します。
- SAS 6 Gbit/s は、最大 572 MB/s のスループットを実現します。
- 現在、最大 1144 MB/s のスループットを実現する SAS 12 Gbit/s が計画されています。

SATA インターフェースを持つハードディスクは、SAS インターフェースを持つコントローラー上でも動作します。

ソリッドステートドライブと従来型のハードディスクの比較

ソリッドステートドライブ（SSD）が普及するようになって、かなりの時が経過しました。SSD は従来型のハードディスクと違って可動部分がなく、フラッシュメモリをベースとしています。外部的な設計とインターフェースは、従来型のハードディスクに対応しています。従来型のハードディスクと比較して、SSD は短いアクセス時間、機械的堅牢性、低ノイズ、および低消費電力の点で優れていますが、今日ではまだ容量が非常に小さく高価です。

SSD はいわゆる NAND フラッシュメモリの SLC（single level cell : シングルレベルセル）または MLC（multi level cell : マルチレベルセル）に情報を格納します。MLC ベースのドライブに比べ、SLC ベースの SSD は容量が小さくなります。その反面はるかに耐久性があり、書き込みパフォーマンスが明らかに優れています。SSD は一般に読み取り回数は無限ですが、書き込み回数は無限ではありません。しかし、SSD 内に存在するコントローラーによって、すべてのフラッシュメモリセルにわたって均等に書き込み操作が行われるように制御されるので、全体が均等に消耗します。従来型のハードディスクと同様、SSD も S.M.A.R.T.（Self-Monitoring, Analysis and Reporting Technology）によって監視することができます。SSD の寿命は、エンタープライズクラスの従来型ハードディスクの寿命に匹敵します（「[ドライブクラス](#)」を参照）。

SSD は一般に、従来型のハードディスクよりも高いスループットを実現します。ただしこれは、SSD がライフサイクルのどの時点にあるかに大きく依存します。SSD の最初の書き込みアクセスは、空のセルだけに書き込まれるので、最も高速に処理されます。その後しばらく時間が経過すると、書き込み操作のたびにまず古いデータを削除する必要が生じるため、スループットが低下しそのまま停滞します。実務上意味があるのは、この時点でのスループットです。弊社の測定では、この状態の SSD を使用しました。読み取りパフォーマンスでは、このようなスループットの停滞はありません。このようにパフォーマンスが低下した時点で比較しても、SSD は従来型のハードディスクより（少なくともランダムアクセスに関して）はるかに大きなスループットを実現します。

ドライブクラス

富士通は、考えられるあらゆるシナリオ（業務時間の間のみ移動すれば足りる小さな部門のサーバから高可用性のデータベースサーバまで）に対応するため、PRIMERGY サーバ向けに、さまざまなパフォーマンスと可用性機能を備えた多数のハードディスクを提供しています。豊富な種類の中から適切なハードディスクを容易に選択できるようにするため、富士通は次の3つのハードディスククラスを導入しました。

- **エコノミッククラス (ECO)** のハードディスクは、最もコスト効率の高い製品です。これらのディスクは、パフォーマンスとフェイルセーフ機構について最高レベルの要件を満たす必要がない場合を選択します。これらは、高いトランザクションレートが予想されず、24 時間 365 日常時稼動する必要がない、重要性の低いアプリケーション領域でのみ使用してください。ECO ハードディスクは、SATA インターフェースを備え、5400 rpm または 7200 rpm の回転速度で作動します。
- **ビジネスクリティカルクラス (BC)** は、24 時間 365 日の稼動に適し、最高のフェイルセーフ機構の要件を満たします。また、容量が大きいので、GB あたりのコストが最小です。BC ハードディスクには、SATA インターフェースで回転速度が 7200 rpm のタイプと、SAS インターフェースで回転速度が 10000 rpm のタイプがあります。
- **エンタープライズクラス (EP)** のハードディスクは、最高のパフォーマンスを備えると同時に、最高のセキュリティ要件に対応します。また、負荷の大きな環境で、最高のスループット要件も満たす必要があるシナリオに特化しています。EP ハードディスクには、SAS インターフェースを備えた回転速度 15000 rpm のディスクと、SATA SSD があります。

次の概要は、本書の執筆時点での情報です。今後、新しい PRIMERGY モデルとハードディスクタイプが追加される可能性があります。入手可能なハードディスクの最新情報については、対象の PRIMERGY サーバのデータシートまたはコンフィギュレーターを参照してください。

現行の PRIMERGY サーバに対応する、エコノミッククラスのハードディスクは次のとおりです。

ドライブ クラス	ストレージ タイプ	インター フェース	形状	rpm	容量 [GB]	PRIMERGY サーバ
ECO	HDD	SATA 3 Gbit/s	3.5 インチ	7200	250	TX120、TX140 を除くすべてのタワー型サーバ
ECO	HDD	SATA 3 Gbit/s	2.5 インチ	5400	500	TX100、TX120 を除くすべてのタワー型サーバ CX122 BX920 SX940、SX960
ECO	HDD	SATA 3 Gbit/s	2.5 インチ	5400	320	TX100 を除くすべてのタワー型サーバ すべてのスケールアウトサーバ RX100 S6 BX620、BX920、BX922 すべてのストレージブレード
ECO	HDD	SATA 3 Gbit/s	2.5 インチ	5400	160	TX100 を除くすべてのタワー型サーバ すべてのスケールアウトサーバ RX100 S6 BX620、BX920、BX922 すべてのストレージブレード

すべてのタワー型サーバ:

すべてのラック型サーバ:

すべてのスケールアウトサーバ:

すべてのサーバブレード:

すべてのストレージブレード:

PRIMERGY TX100 S2、TX120 S3、TX140 S1、TX150 S6、TX200 S6、TX300 S6

PRIMERGY RX100 S6、RX100 S7、RX200 S6、RX300 S6、RX600 S5、
RX600 S6、RX900 S1、RX900 S2

PRIMERGY CX120 S1、CX122 S1

PRIMERGY BX620 S6、BX920 S2、BX922 S2、BX924 S2、BX960 S1

PRIMERGY SX650、SX940 S1、SX960 S1

現行の PRIMERGY サーバに対応する、ビジネスクリティカルクラスのハードディスクは次のとおりです。

ドライブ クラス	ストレージ タイプ	インター フェース	形状	rpm	容量 [GB]	PRIMERGY サーバ
BC	HDD	SAS 6 Gbit/s	2.5 インチ	10000	600	TX100 を除くすべてのタワー型サーバ すべてのラック型サーバ BX920 SX940、SX960
BC	HDD	SAS 6 Gbit/s	2.5 インチ	10000	450	TX100 を除くすべてのタワー型サーバ すべてのラック型サーバ BX920 SX940、SX960
BC	HDD	SAS 6 Gbit/s	2.5 インチ	10000	300	TX100 を除くすべてのタワー型サーバ すべてのラック型サーバ BX920 SX940、SX960
BC	HDD	SAS 6 Gbit/s	2.5 インチ	10000	146	TX100 を除くすべてのタワー型サーバ すべてのラック型サーバ BX920 SX940、SX960
BC	HDD	SATA 3 Gbit/s	3.5 インチ	7200	2000	TX100 を除くすべてのタワー型サーバ RX100、RX300
BC	HDD	SATA 3 Gbit/s	3.5 インチ	7200	1000	TX120 を除くすべてのタワー型サーバ RX100、RX300
BC	HDD	SATA 3 Gbit/s	3.5 インチ	7200	500	TX120 を除くすべてのタワー型サーバ RX100、RX300
BC	HDD	SATA 3 Gbit/s	3.5 インチ	7200	250	TX120 を除くすべてのタワー型サーバ RX100、RX300
BC	HDD	SATA 3 Gbit/s	2.5 インチ	7200	1000	TX100 を除くすべてのタワー型サーバ RX100、RX200、RX300、RX600 S5 BX620、BX920 すべてのストレージブレード
BC	HDD	SATA 3 Gbit/s	2.5 インチ	7200	500	TX100 を除くすべてのタワー型サーバ すべてのスケールアウトサーバ RX100、RX200、RX300、RX600 S5 BX620、BX920 すべてのストレージブレード
BC	HDD	SATA 3 Gbit/s	2.5 インチ	7200	160	TX100 を除くすべてのタワー型サーバ すべてのスケールアウトサーバ RX100、RX200、RX300、RX600 S5 BX620、BX920 すべてのストレージブレード

すべてのタワー型サーバ:

PRIMERGY TX100 S2、TX120 S3、TX140 S1、TX150 S6、TX200 S6、TX300 S6

すべてのラック型サーバ:

PRIMERGY RX100 S6、RX100 S7、RX200 S6、RX300 S6、RX600 S5、
RX600 S6、RX900 S1、RX900 S2

すべてのスケールアウトサーバ:

PRIMERGY CX120 S1、CX122 S1

すべてのサーバブレード:

PRIMERGY BX620 S6、BX920 S2、BX922 S2、BX924 S2、BX960 S1

すべてのストレージブレード:

PRIMERGY SX650、SX940 S1、SX960 S1

現行の PRIMERGY サーバに対応する、エンタープライズクラスのハードディスクは次のとおりです。

ドライブ クラス	ストレージ タイプ	インター フェース	形状	rpm	容量 [GB]	PRIMERGY サーバ
EP	SSD	SATA 3 Gbit/s	2.5 インチ	-	64	TX100 を除くすべてのタワー型サーバ すべてのラック型サーバ BX620 を除くすべてのサーバブレード SX940、SX960
EP	SSD	SATA 3 Gbit/s	2.5 インチ	-	32	TX100、TX140 を除くすべてのタワー型 サーバ すべてのラック型サーバ BX620 を除くすべてのサーバブレード SX940、SX960
EP	HDD	SAS 6 Gbit/s	3.5 インチ	15000	600	TX100、TX120 を除くすべてのタワー型 サーバ RX100、RX300
EP	HDD	SAS 6 Gbit/s	3.5 インチ	15000	450	TX100、TX120 を除くすべてのタワー型 サーバ RX100、RX300
EP	HDD	SAS 6 Gbit/s	3.5 インチ	15000	300	TX100、TX120 を除くすべてのタワー型 サーバ RX100、RX300
EP	HDD	SAS 3 Gbit/s	3.5 インチ	15000	146	TX100、TX120 を除くすべてのタワー型 サーバ RX100、RX300
EP	HDD	SAS 6 Gbit/s	2.5 インチ	15000	146	TX100 を除くすべてのタワー型サーバ すべてのラック型サーバ BX920 SX940、SX960
EP	HDD	SAS 6 Gbit/s	2.5 インチ	15000	73	TX100 を除くすべてのタワー型サーバ すべてのラック型サーバ BX920 SX940、SX960

すべてのタワー型サーバ: PRIMERGY TX100 S2、TX120 S3、TX140 S1、TX150 S6、TX200 S6、TX300 S6
 すべてのラック型サーバ: PRIMERGY RX100 S6、RX100 S7、RX200 S6、RX300 S6、RX600 S5、
 RX600 S6、RX900 S1、RX900 S2
 すべてのスケールアウトサーバ: PRIMERGY CX120 S1、CX122 S1
 すべてのサーバブレード: PRIMERGY BX620 S6、BX920 S2、BX922 S2、BX924 S2、BX960 S1
 すべてのストレージブレード: PRIMERGY SX650、SX940 S1、SX960 S1

ディスク I/O パフォーマンス測定

富士通では、PRIMERGY Performance Lab において、PRIMERGY 用に販売されているすべてのハードディスクのディスク I/O パフォーマンス測定を行っています。アプリケーションのベンチマークとは異なり、ディスク I/O パフォーマンスでは、通常、サーバ全体ではなく、ディスクサブシステム（ストレージメディア本体とそのコントローラー）のみのパフォーマンスを測定します。本書で示す単一ディスクの測定では、プロセッサやメインメモリなどのサーバコンポーネントがボトルネックにならないように考慮して、ディスクサブシステムのサイズを決定しています。

このディスク I/O パフォーマンス測定は、Iometer 測定ツールを使用して行いました。Iometer を使うと、ディスクサブシステムへのアクセスについて実際のアプリケーションの動作を再現できます。これにより、非常に多様なアプリケーションシナリオの再現が可能になります。たとえば、さまざまなブロックサイズを使用し、同時アクセス数を調整して変化させながら、シーケンシャルリード／ライト、ランダムリード／ライト、およびこれらの組み合わせを再現できます。この方法により、特定のアクセスパターンを使ってさまざまなハードディスクのパフォーマンスを比較できます。

Iometer が提供する主な指標は次のとおりです。

- 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「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」が使用されます。本書もこれに従います。

負荷プロファイル

ディスク I/O パフォーマンス測定の負荷プロファイルには、標準で、次のような大容量ストレージへのさまざまなアクセスパターンを使用します。

アクセス	アクセスの種類		転送リクエストのサイズ [KB] (ブロックサイズ)	未処理 I/O の数
	リード	ライト		
シーケンシャル	100 %	0 %	1、4、8、64、128、512、1024	1、3、8、16、32、64、128、256、512
シーケンシャル	0 %	100 %	1、4、8、64、128、512、1024	1、3、8、16、32、64、128、256、512
ランダム	100 %	0 %	1、4、8、64、256、1024	1、3、8、16、32、64、128、256、512
ランダム	0 %	100 %	1、4、8、64、256、1024	1、3、8、16、32、64、128、256、512
ランダム	67 %	33 %	1、4、8、16、32、64、128	1、3、8、16、32、64、128、256、512
ランダム	50 %	50 %	64	1、3、8、16、32、64、128、256、512

これらの負荷プロファイルの一部は、次のような典型的なアプリケーションによる負荷プロファイルに相当します。

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

本書で示すすべての測定結果は、実務に関連した上記 5 つの標準負荷プロファイルのいずれかを使用しています（ハードディスクパフォーマンスに対するブロックサイズの影響を示す複数の測定結果（「[主要パラメーター](#)」の「[ブロックサイズ](#)」を参照）を除く）。

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た標準測定環境で行いました。

コンポーネント	詳細
オペレーティングシステム	Windows Server 2008 Enterprise Edition
ファイルシステム	NTFS
測定ツール	Iometer 2006.07.27
測定データ	32 GB 測定ファイル
コントローラー	LSI MegaRAID SAS 1068
ドライブ	ECO HDD SATA 3 Gbit/s 2.5 インチ 5400 rpm 160 GB ECO HDD SATA 3 Gbit/s 2.5 インチ 5400 rpm 320 GB ECO HDD SATA 3 Gbit/s 2.5 インチ 5400 rpm 500 GB ECO HDD SATA 3 Gbit/s 3.5 インチ 7200 rpm 250 GB BC HDD SATA 3 Gbit/s 2.5 インチ 7200 rpm 160 GB BC HDD SATA 3 Gbit/s 2.5 インチ 7200 rpm 500 GB BC HDD SATA 3 Gbit/s 2.5 インチ 7200 rpm 1 TB BC HDD SATA 3 Gbit/s 3.5 インチ 7200 rpm 250 GB BC HDD SATA 3 Gbit/s 3.5 インチ 7200 rpm 500 GB BC HDD SATA 3 Gbit/s 3.5 インチ 7200 rpm 1 TB BC HDD SATA 3 Gbit/s 3.5 インチ 7200 rpm 2 TB BC HDD SAS 6 Gbit/s 2.5 インチ 10000 rpm 146 GB BC HDD SAS 6 Gbit/s 2.5 インチ 10000 rpm 300 GB BC HDD SAS 6 Gbit/s 2.5 インチ 10000 rpm 450 GB BC HDD SAS 6 Gbit/s 2.5 インチ 10000 rpm 600 GB EP HDD SAS 6 Gbit/s 2.5 インチ 15000 rpm 73 GB EP HDD SAS 6 Gbit/s 2.5 インチ 15000 rpm 146 GB EP HDD SAS 6 Gbit/s 3.5 インチ 15000 rpm 146 GB EP HDD SAS 6 Gbit/s 3.5 インチ 15000 rpm 300 GB EP HDD SAS 6 Gbit/s 3.5 インチ 15000 rpm 450 GB EP HDD SAS 6 Gbit/s 3.5 インチ 15000 rpm 600 GB EP SSD SATA 3 Gbit/s 2.5 インチ 32 GB EP SSD SATA 3 Gbit/s 2.5 インチ 64 GB
RAID レベル	JBOD

主要パラメーター

ここでは、以降に示すパフォーマンスデータを理解するために必要な、ブロックサイズと負荷密度という 2 つの重要なパラメーターの変動が与える影響について説明します。

ブロックサイズ

ディスクサブシステムにアクセスする際、データ転送は常にブロック単位で行われます。データ転送時のブロックサイズは、オペレーティングシステムやアプリケーションによって決まっており、ユーザーが調整することはできません。したがって、スループットは、アプリケーションのディスクアクセスパターンに大きく依存すると言えます。

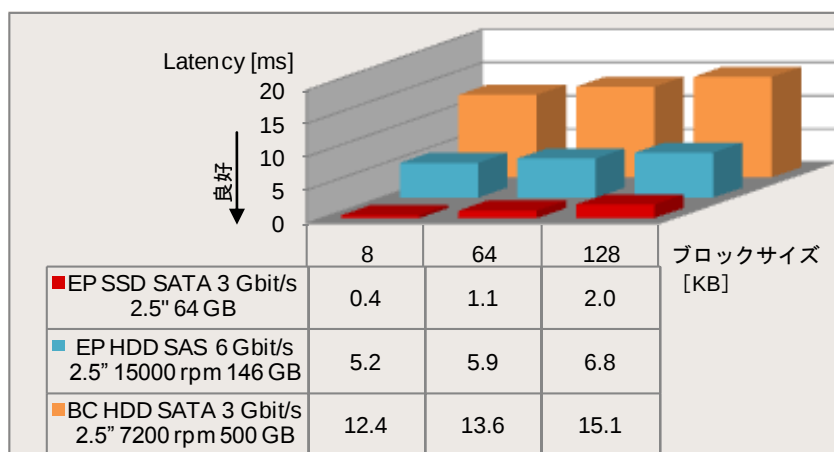
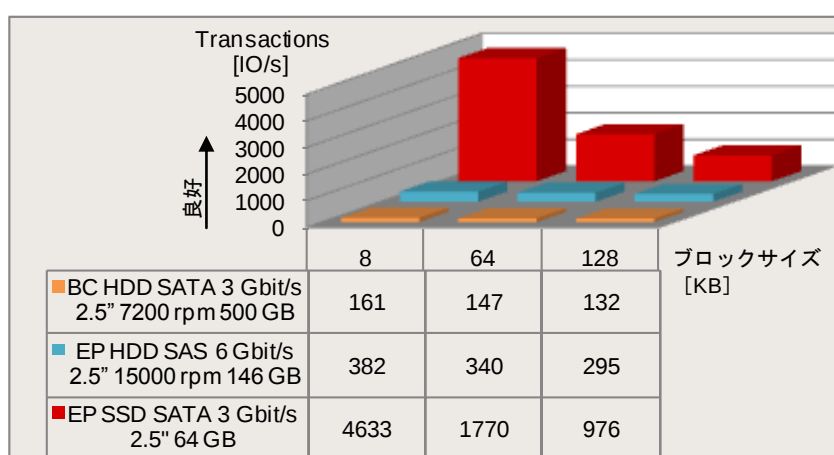
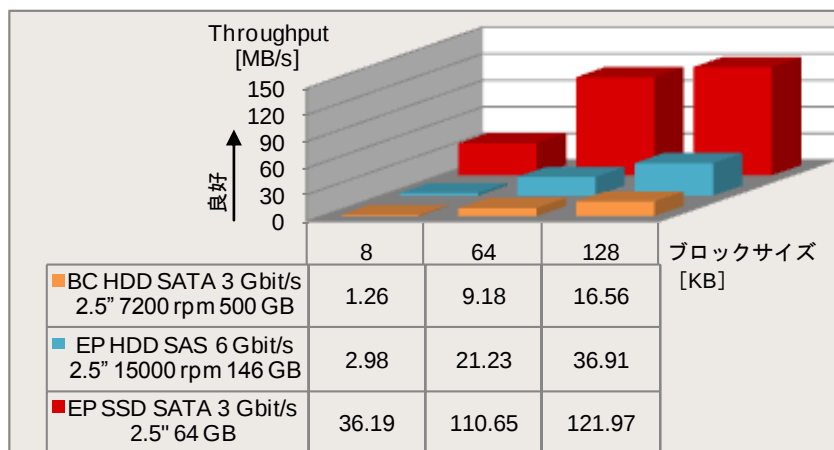
各種アプリケーションの典型的なアクセスパターンは次のとおりです。

アプリケーション	アクセスパターン
オペレーティングシステム	ランダム、40 % リード、60 % ライト、ブロック ≥ 4 KB
ファイルコピー (SMB)	ランダム、50 % リード、50 % ライト、64 KB ブロック
ファイルサーバ (SMB)	ランダム、67 % リード、33 % ライト、64 KB ブロック
メールサーバ	ランダム、67 % リード、33 % ライト、8 KB ブロック
データベース (トランザクション処理)	ランダム、67 % リード、33 % ライト、8 KB ブロック
Web サーバ	ランダム、100 % ライト、64 KB ブロック
データベース (ログファイル)	シーケンシャル、100 % ライト、64 KB ブロック
ビデオストリーミング	シーケンシャル、100 % リード、ブロック ≥ 64 KB
バックアップ	シーケンシャル、100 % リード、ブロック ≥ 64 KB
リストア	シーケンシャル、100 % ライト、ブロック ≥ 64 KB

実装されたブロックサイズはアプリケーションの機能であり、変更できません。そのため、さまざまなブロックサイズでハードディスクのパフォーマンスを比較するのは、異なるアプリケーション（ファイルサーバ、データベースサーバなど）の I/O 動作を比較したり、特異なあるいはまったく意味のないアクセスパターンを持つ特定のアプリケーションの I/O 動作を比較したりすることと同じです。意味のあるアクセスパターンに比べて、より大きなハードディスクスループットを示す測定結果が得られる可能性があります。しかしその代わり、応答時間はより長くなります。したがって、この種の測定データはあくまで理論的なものであり、実務上意味のあるものではありません。

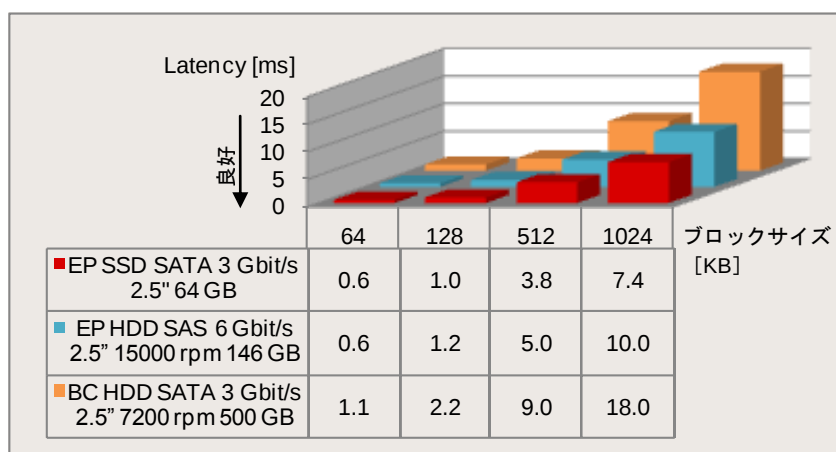
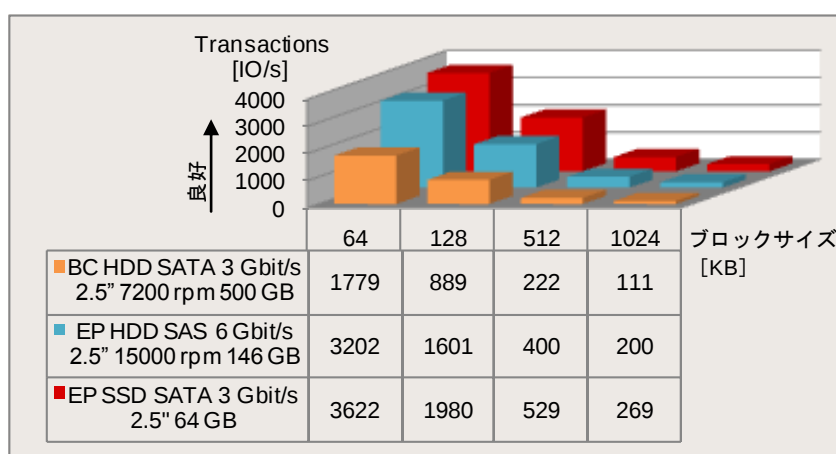
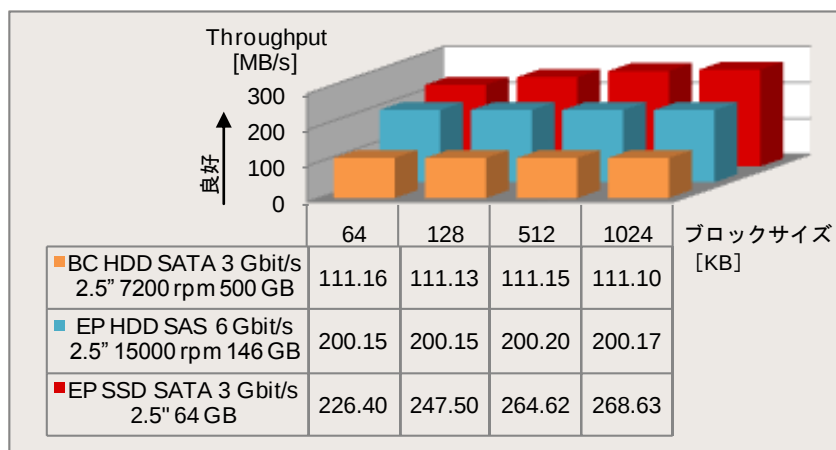
以下では、SATA-HDD、SAS-HDD、および SATA-SSD のスループット、トランザクション、およびレイテンシー（応答時間）に対するブロックサイズの影響を検討します。このため、ランダムアクセスでリード／ライトの比率が 67 % 対 33 % の場合、シーケンシャルリードアクセスの場合、およびシーケンシャルライトアクセスの場合の測定結果を示しました。負荷密度（未処理 I/O）はすべての場合で同じです。

ランダムアクセス、67 %リード、33 %ライト、2つの未処理 I/O



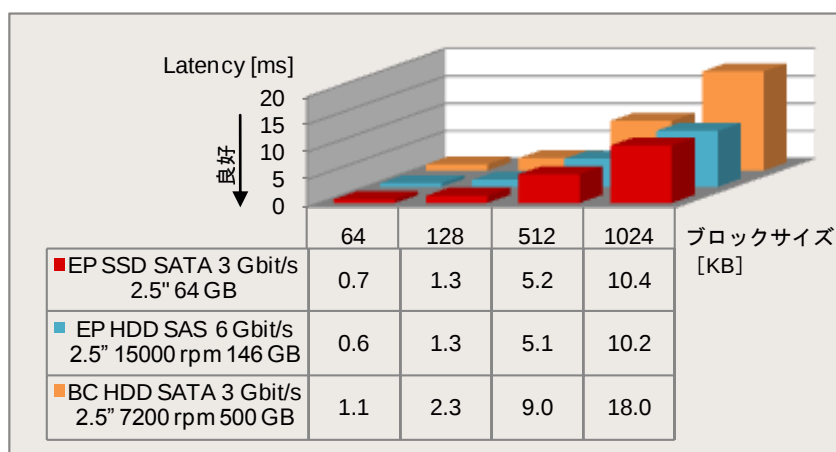
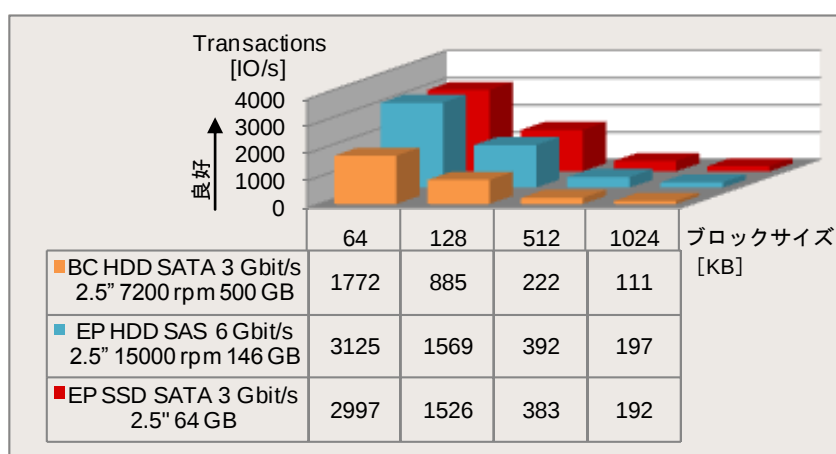
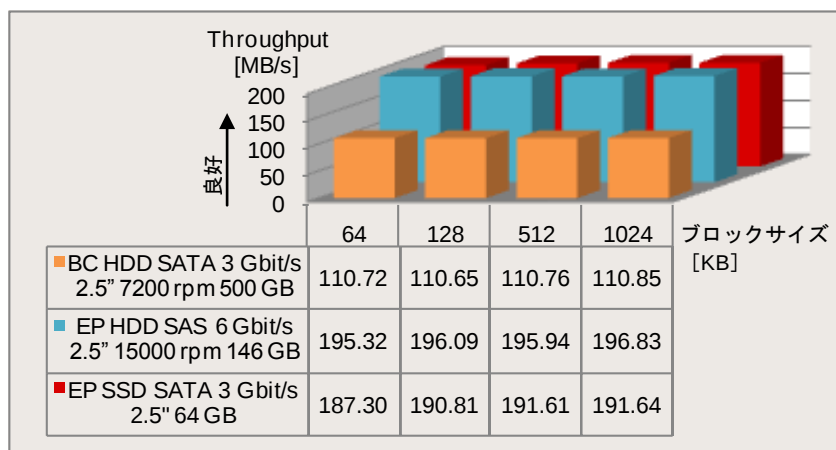
リードの割合が 67 %のランダムアクセスでは、ブロックサイズの増加とともに、トランザクションレートの減少が見られます（グラフ 2）。しかし、ブロックサイズの増加に比べて減少の度合いが非常に小さいため、結果としてスループットが大幅に向上しています（グラフ 1）。ただし同時に、ブロックサイズが大きくなると、応答時間も長くなると考えられます（グラフ 3）。ブロックサイズが 8 KB の場合の測定結果は、データベースの一般的なトランザクション処理の測定結果に相当し、ブロックサイズが 64 KB の場合の測定結果は、一般的なファイルサーバの測定結果に相当します。一番上のグラフの、右側のデータ列に示されているように、大きなブロックサイズを使用するアプリケーションでスループットが大きくなっています。当然ながら、これはトランザクションレートの低下および応答時間の増加を伴います。

シーケンシャルアクセス、100 % リード、2 つの未処理 I/O



SATA および SAS ハードディスクでシーケンシャルリードアクセスを実行した場合、スループットはブロックサイズに依存しません。この場合、ブロックサイズが 2 倍になると、平均応答時間が 2 倍になり、I/O レートが半分にになりました。SATA-SSD ではこれと異なり、64 KB を超えるブロックサイズでも、スループットがわずかに向上しました。バックアップではトランザクションレートや応答時間ではなく、スループットのみが問題なので大きなブロックが使用されます。逆に、ストリーミングでは一般に、小さいブロックサイズが使用されます。

シーケンシャルアクセス、100 % リード、2 つの未処理 I/O



シーケンシャルライトアクセスの場合、ハードディスクのスループットはブロックサイズに依存しません。この場合、ブロックサイズが 2 倍になると、平均応答時間が 2 倍になり、トランザクションレートが半分になりました。したがって、応答時間が重要でない場合、アプリケーションを 64 KB、またはそれ以上のブロックサイズで実行しても問題ありません。

負荷密度

通常、サーバへは同時に多数のクライアントがアクセスします。また、クライアントから 1 台のサーバに、応答を待たずに複数のリクエストを送信することもあります。いずれの場合も、1 基のコントローラーやストレージに対して、同時アクセスが発生します。このため、多くのコントローラーおよびストレージは、待ち行列（キューイング）の機能を備えています。これにより、特定の条件下では、同時アクセスを処理する際に、より少数の同時アクセスや単一アクセスを処理するときよりも高いパフォーマンスが得られます。しかしその代わり、応答時間はより長くなります。多数の同時リクエストにより応答時間が長くなる一方で、スループットが向上しない場合は、ディスクサブシステムは過負荷ということになります。負荷がさらに増加しても、一般にスループットは一定のまま低下しません。サーバの応答速度を無視できないアプリケーションシナリオでは、スループットと応答時間のどちらを最適化するか選択する必要があります。その上で、個々の要件に従って同時リクエストを処理できるように、サーバのサイジングと構成を行ってください。

本書の以降のグラフでは、負荷プロファイルがランダムアクセスの場合は最大トランザクションレート、シーケンシャルアクセスの場合は最大スループットを示しています。スループットまたはトランザクションレートに関して、負荷密度が最大の場合と、次に大きい場合を比較すると、どのハードディスクも差異が 5 % 未満であり、特筆すべき差異はありません。

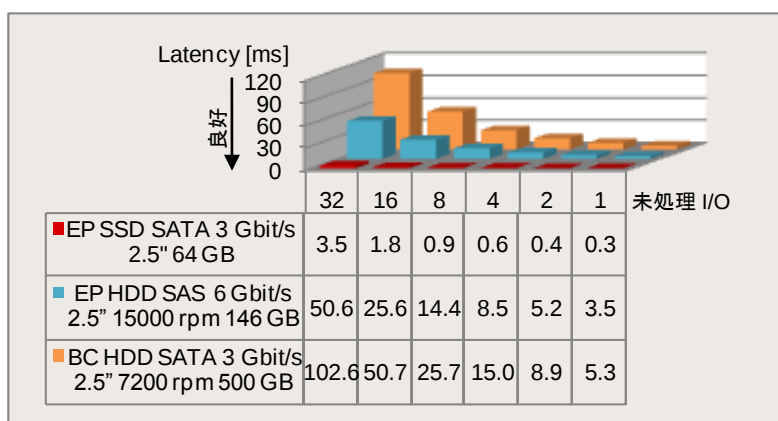
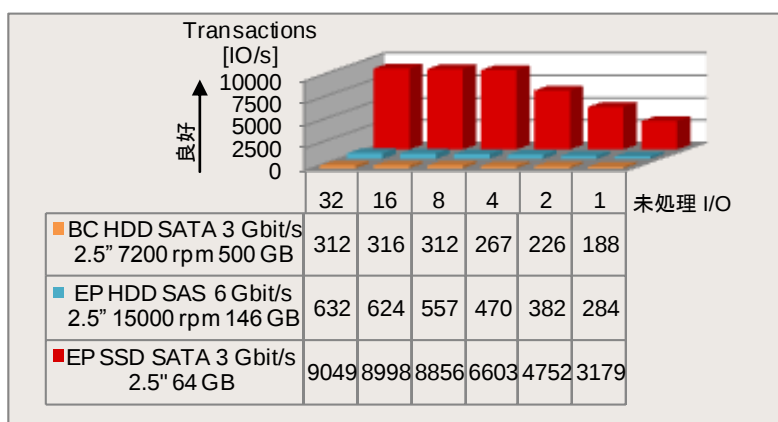
以降の 10 個のグラフでは、標準負荷プロファイル「ファイルサーバ」、「データベース」、「ファイルコピー」、「ストリーミング」、および「リストア」での、負荷密度（未処理 I/O）に応じた SATA-HDD、SAS-HDD、および SATA-SSD のパフォーマンスを示します。測定したハードディスクは次のとおりです。

BC HDD SATA 3 Gbit/s 2.5 インチ 7200 rpm 500 GB

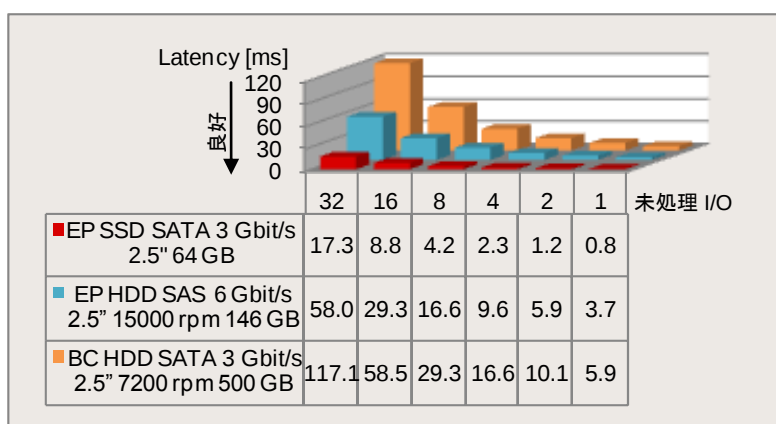
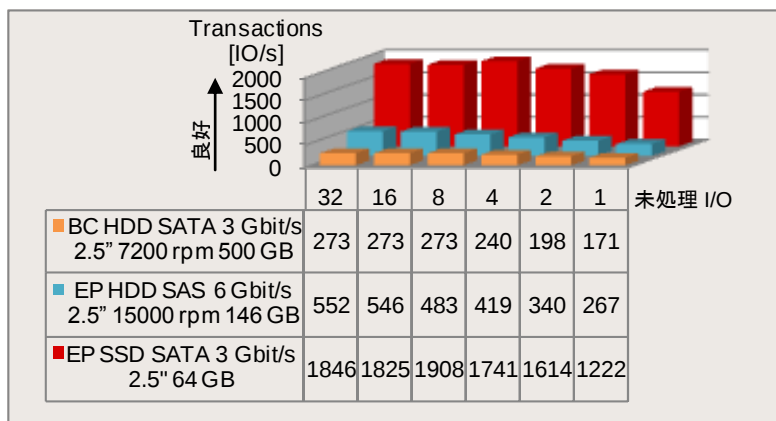
EP HDD SAS 6 Gbit/s 2.5 インチ 15000 rpm 146 GB

EP SSD SATA 3 Gbit/s 2.5 インチ 64 GB

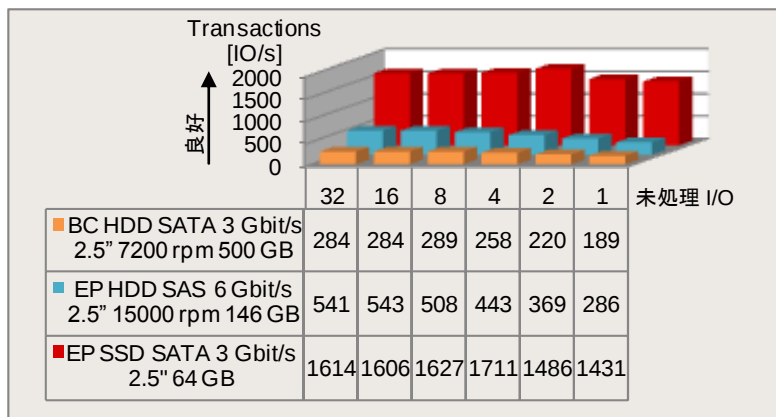
標準負荷プロファイル「データベース」（ランダムアクセス、67 % リード、33 % ライト、8 KB のブロックサイズ）

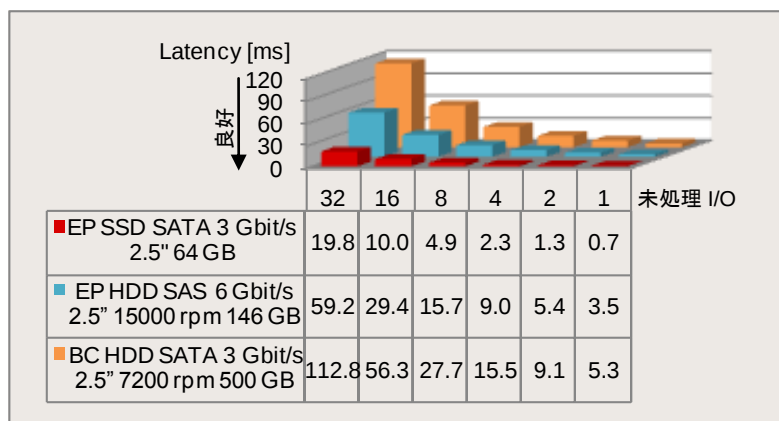


標準負荷プロファイル「ファイルサーバ」 (ランダムアクセス、67 %リード、33 %ライト、64 KB のブロックサイズ)



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、50 %ライト、64 KB のブロックサイズ)

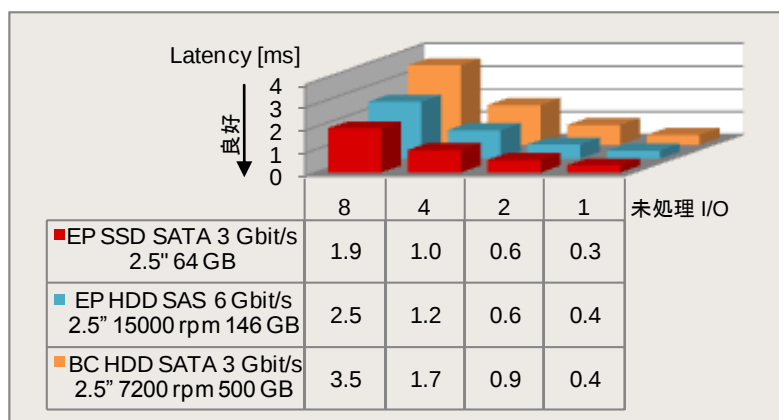
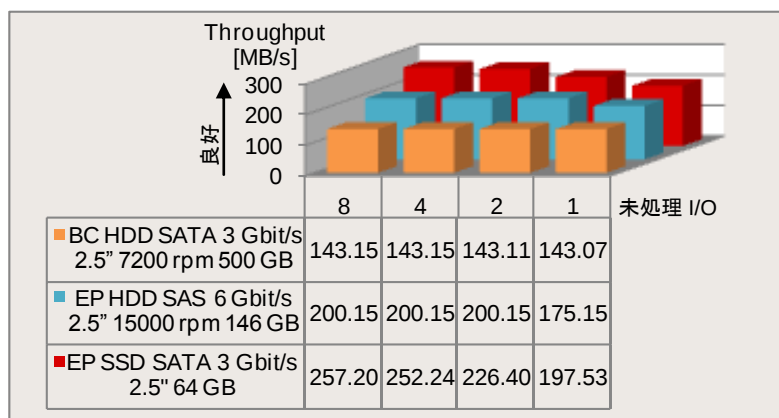




低負荷の場合、SAS-HDD はランダムアクセスのこれら 3 つの標準負荷プロファイルで、SATA-HDD よりも 50 % 高いトランザクションレートを実現します。高負荷の場合、SAS-HDD は SATA-HDD の約 2 倍のパフォーマンスを示します。SAS-HDD の負荷が SATA-HDD の負荷の 2 倍である場合、応答時間はほぼ同じです。

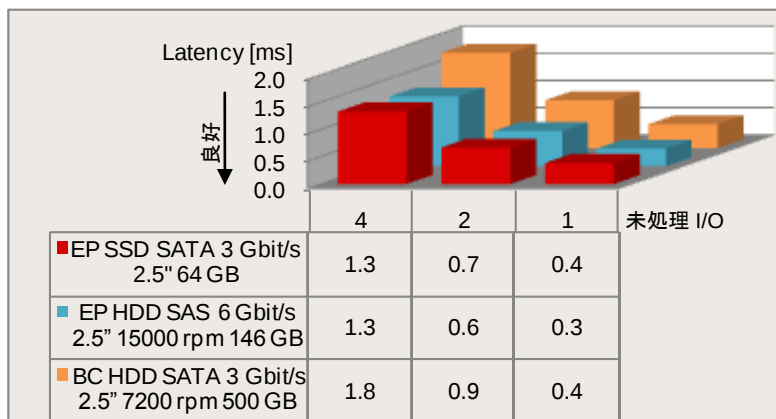
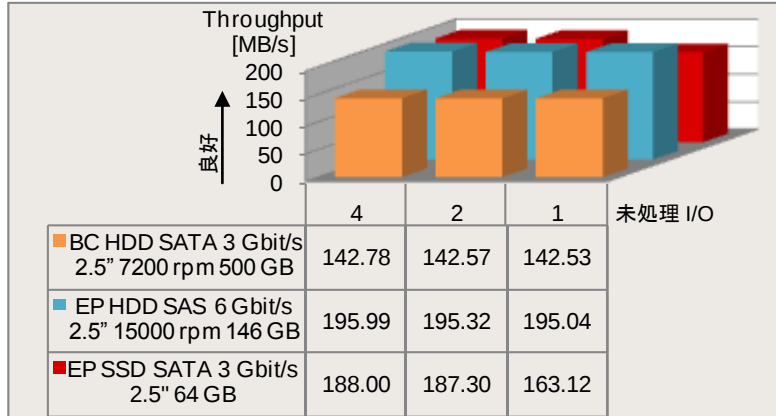
SAS-HDD と比較して、SATA-SSD はトランザクションレートが数倍に上り、応答時間がはるかに短縮されます。SATA-SSD は SAS-HDD の 2 倍の負荷を処理しながら、SAS-HDD とほぼ同じ応答時間を維持できます。したがって RAID アレイに SATA-SSD を使用した場合、容量要件を満たすことができれば、はるかに少ない数の SATA-SSD で SAS-HDD と同じパフォーマンスを実現できます。

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 のブロックサイズ)



ストリーミングの場合、SAS-HDD は SATA-HDD よりも 40 % 高いスループットを示します。SAS-HDD と比較して、SATA-SSD は約 30 % 高いスループットを実現します。応答時間はいずれの場合も、20 % ~ 30 % 短縮されます。

標準負荷プロファイル「リストア」 (シーケンシャルアクセス、100 %ライト、64 KB のブロックサイズ)



リストアの場合、SAS-HDD は SATA-HDD に比べ、スループットが 40 %弱高く、応答時間が 30 %弱短くなります。SAS-HDD と比較して、SATA-SSD のスループットと応答時間はやや劣ります。

ハードディスクのパフォーマンスデータ

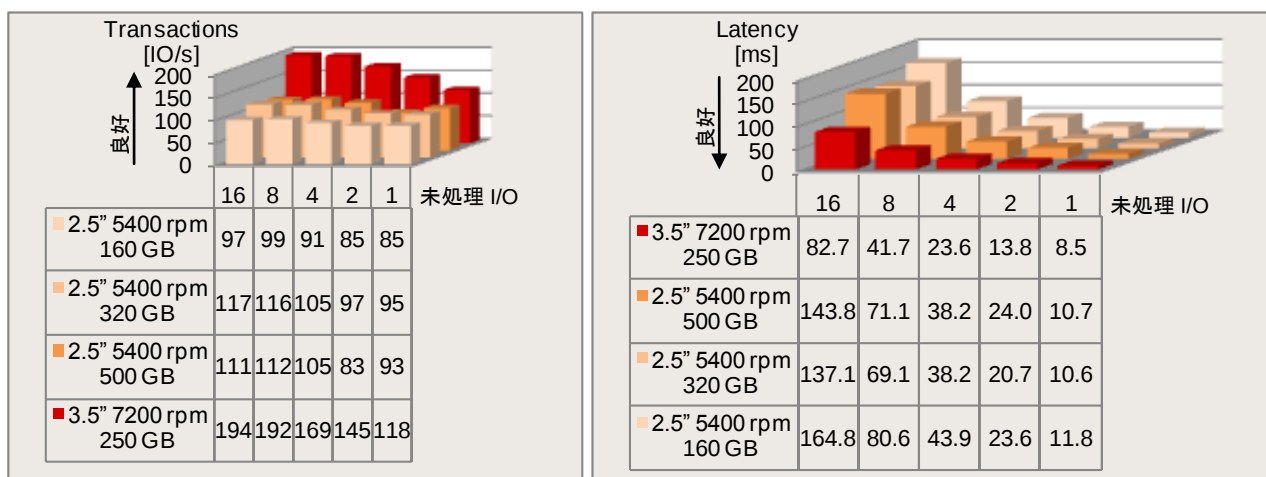
測定したすべてのハードディスクについて、パフォーマンスデータの概要（ドライブクラス別）を次に示します。

エコノミッククラス（ECO）のハードディスク

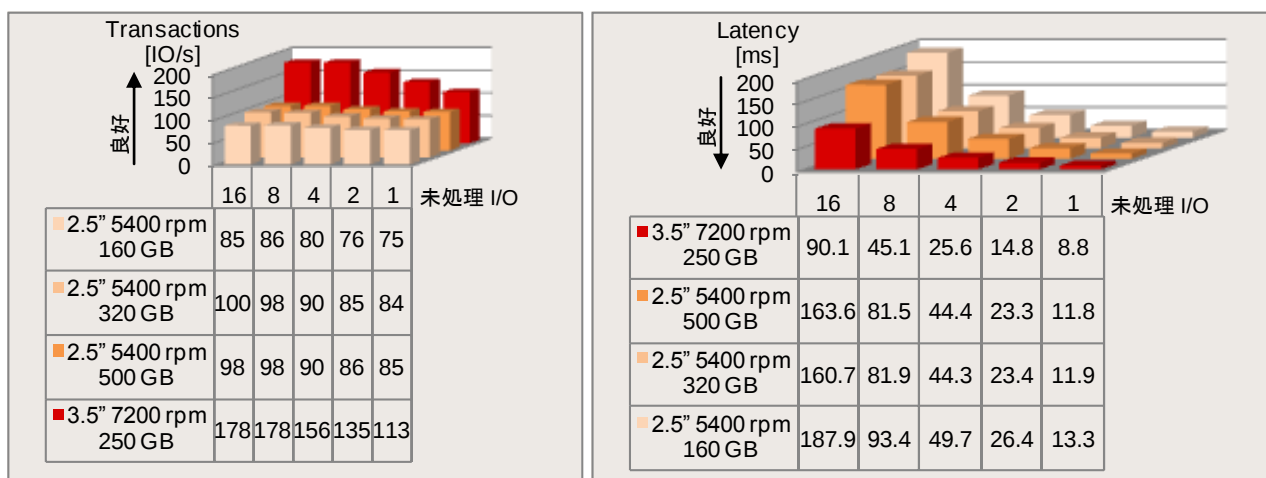
以降の 10 個のグラフは、それぞれ、標準負荷プロファイル「ファイルサーバ」、「データベース」、「ファイルコピー」、「ストリーミング」、および「リストア」で、同時リクエスト数（未処理 I/O）の増加に伴って負荷が増大した場合のパフォーマンス値（トランザクション、スループット、および応答時間）を示します。測定したハードディスクは次のとおりです。

ECO HDD SATA	3 Gbit/s	2.5 インチ	5400 rpm	160 GB
ECO HDD SATA	3 Gbit/s	2.5 インチ	5400 rpm	320 GB
ECO HDD SATA	3 Gbit/s	2.5 インチ	5400 rpm	500 GB
ECO HDD SATA	3 Gbit/s	3.5 インチ	7200 rpm	250 GB

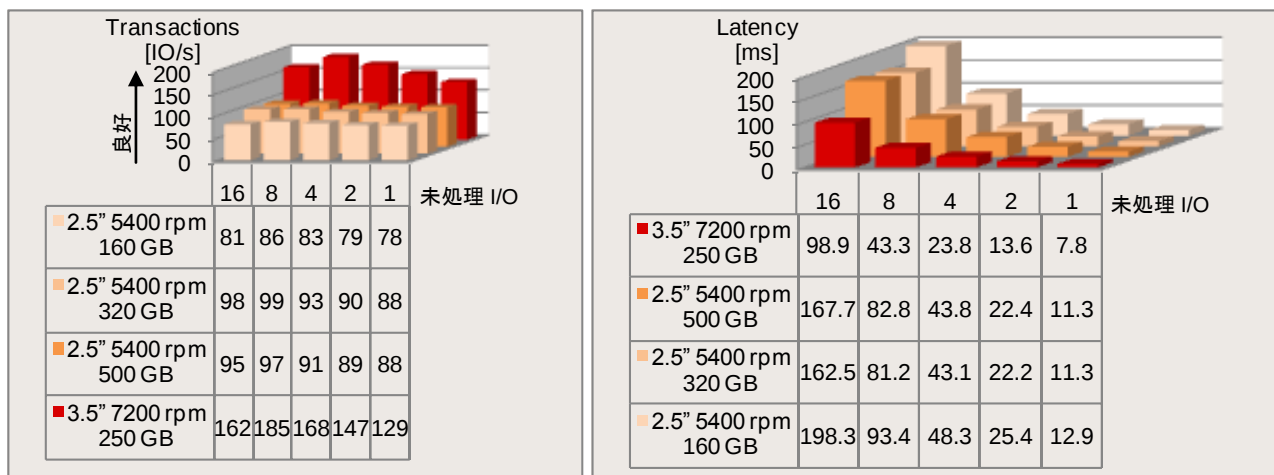
標準負荷プロファイル「データベース」（ランダムアクセス、67 %リード、33 %ライト、8 KB のブロックサイズ）



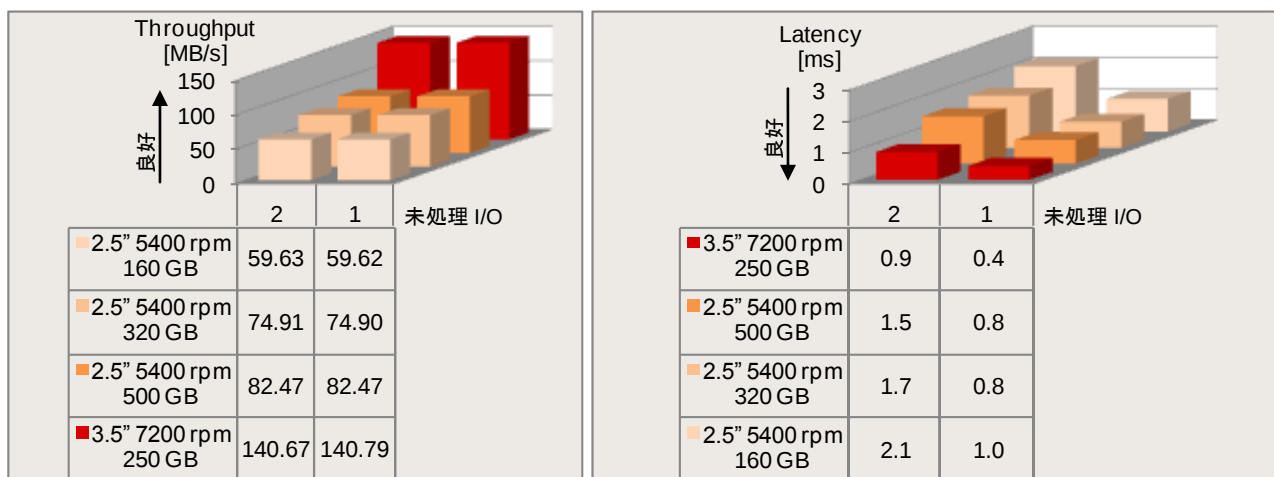
標準負荷プロファイル「ファイルサーバ」（ランダムアクセス、67 %リード、33 %ライト、64 KB のブロックサイズ）



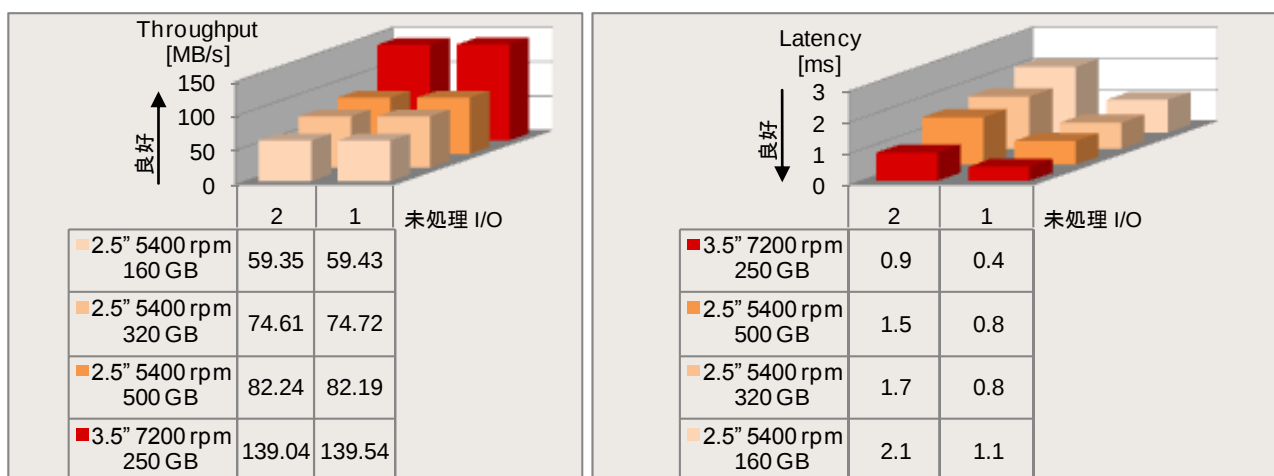
標準負荷プロファイル「ファイルコピー」 (ランダムアクセス、50 %リード、50 %ライト、64 KB のブロックサイズ)



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 のブロックサイズ)



標準負荷プロファイル「リストア」 (シーケンシャルアクセス、100 %ライト、64 KB のブロックサイズ)

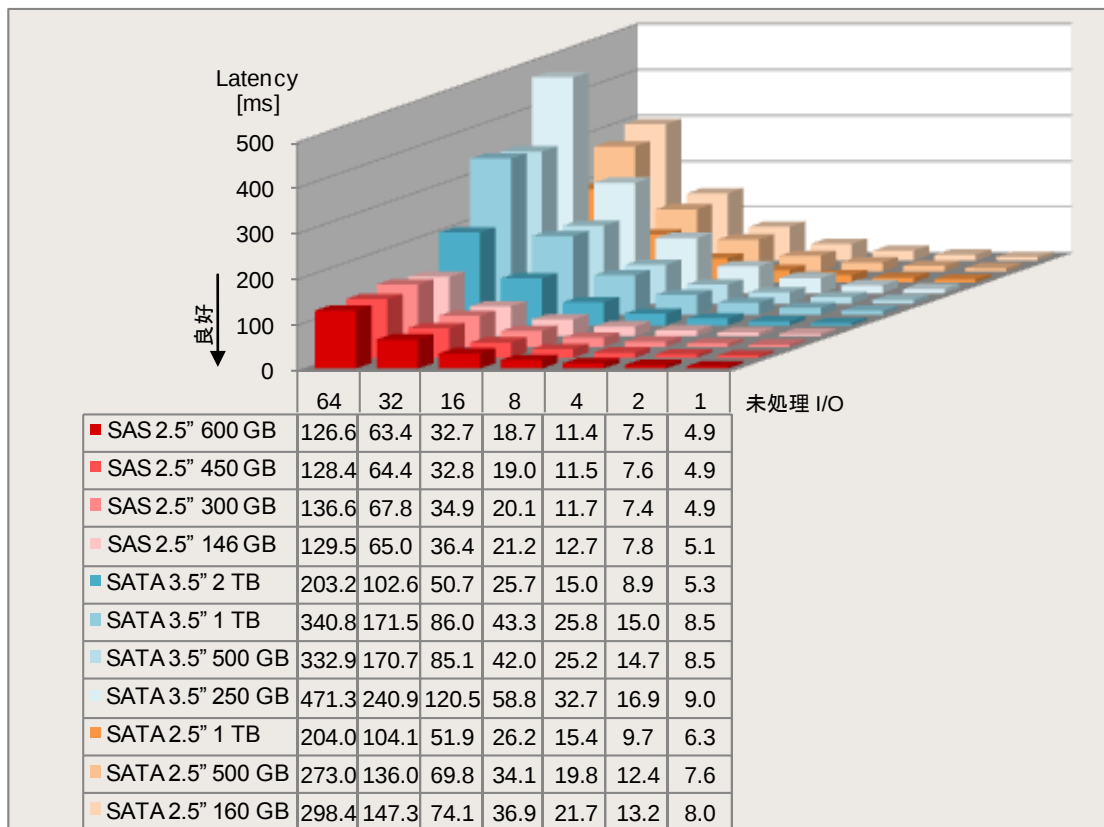
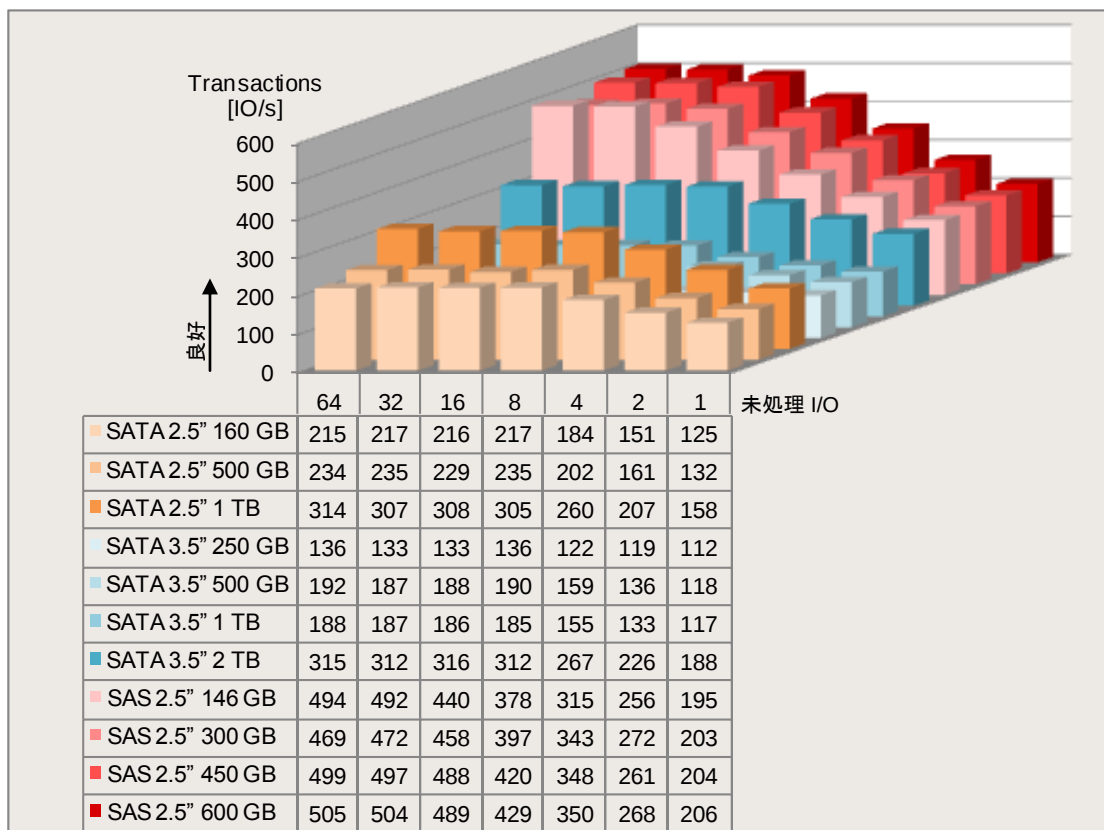


ビジネスクリティカルクラス (BC) のハードディスク

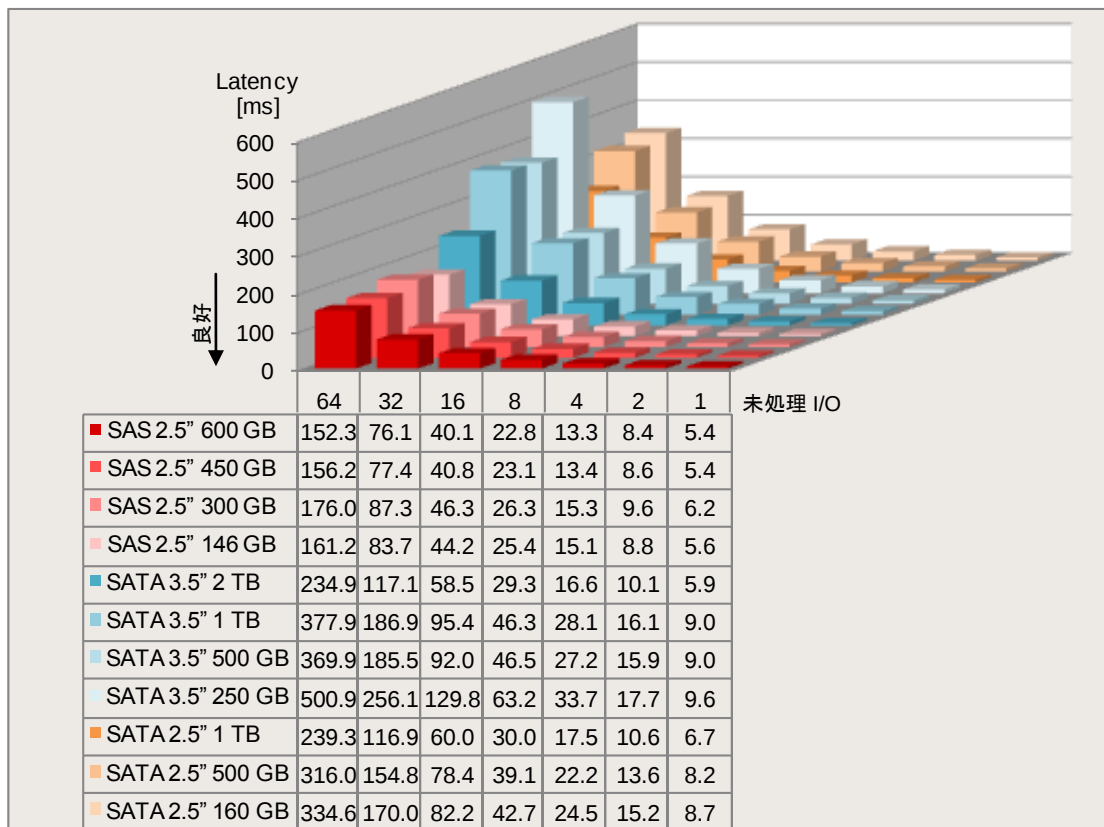
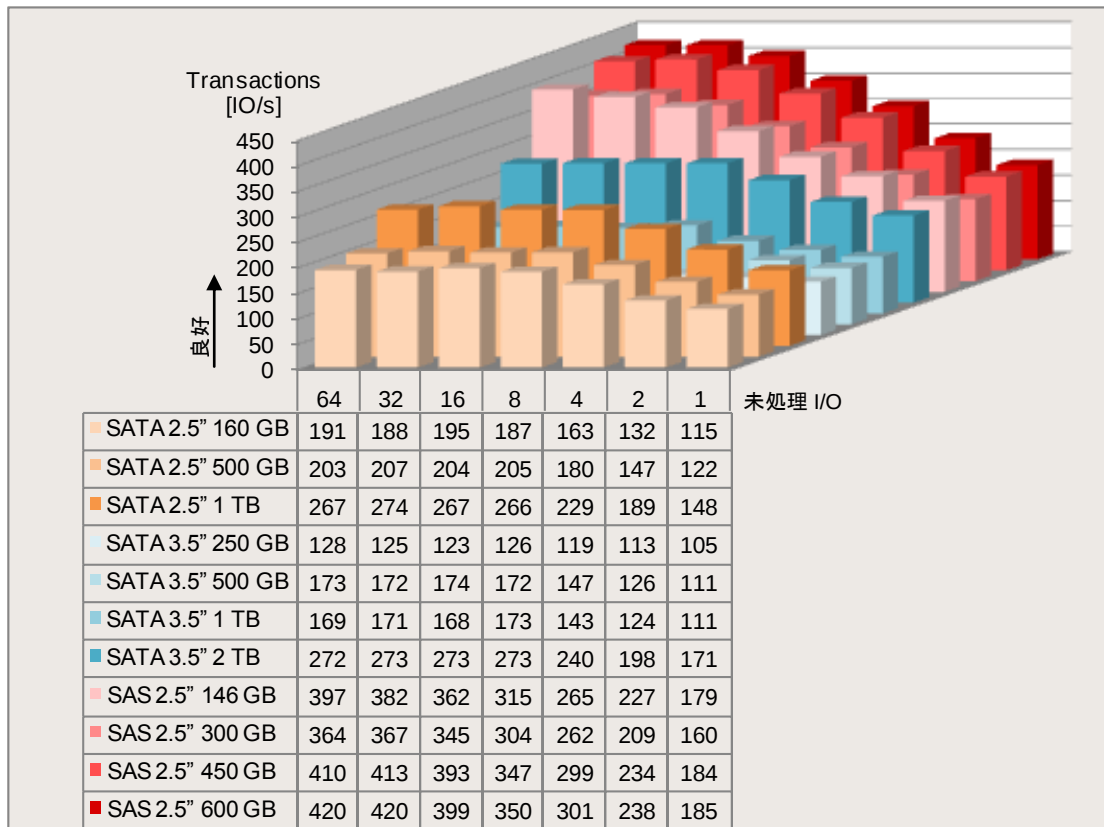
以降の 10 個のグラフは、それぞれ、標準負荷プロファイル「ファイルサーバ」、「データベース」、「ファイルコピー」、「ストリーミング」、および「リストア」で、同時リクエスト数（未処理 I/O）の増加に伴って負荷が増大した場合のパフォーマンス値（トランザクション、スループット、および応答時間）を示します。測定したハードディスクは次のとおりです。

BC	HDD	SATA	3 Gbit/s	2.5 インチ	7200 rpm	160 GB
BC	HDD	SATA	3 Gbit/s	2.5 インチ	7200 rpm	500 GB
BC	HDD	SATA	3 Gbit/s	2.5 インチ	7200 rpm	1 TB
BC	HDD	SATA	3 Gbit/s	3.5 インチ	7200 rpm	250 GB
BC	HDD	SATA	3 Gbit/s	3.5 インチ	7200 rpm	500 GB
BC	HDD	SATA	3 Gbit/s	3.5 インチ	7200 rpm	1 TB
BC	HDD	SATA	3 Gbit/s	3.5 インチ	7200 rpm	2 TB
BC	HDD	SAS	6 Gbit/s	2.5 インチ	10000 rpm	146 GB
BC	HDD	SAS	6 Gbit/s	2.5 インチ	10000 rpm	300 GB
BC	HDD	SAS	6 Gbit/s	2.5 インチ	10000 rpm	450 GB
BC	HDD	SAS	6 Gbit/s	2.5 インチ	10000 rpm	600 GB

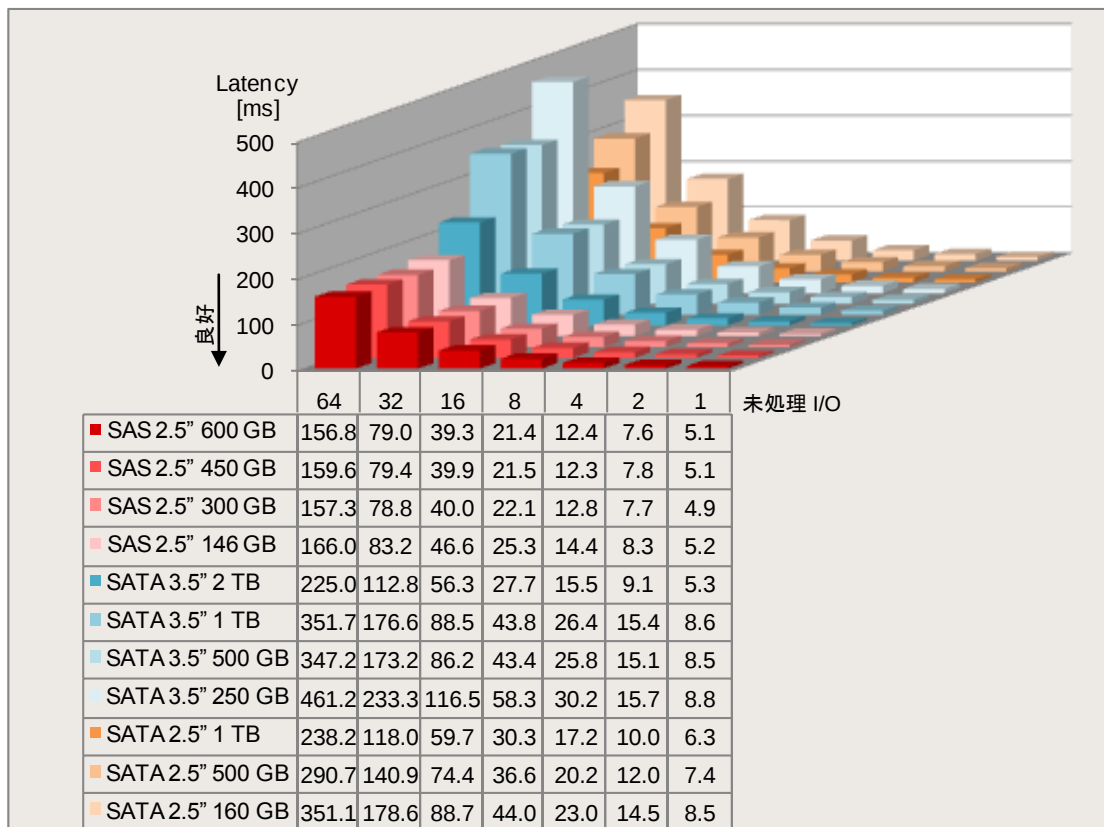
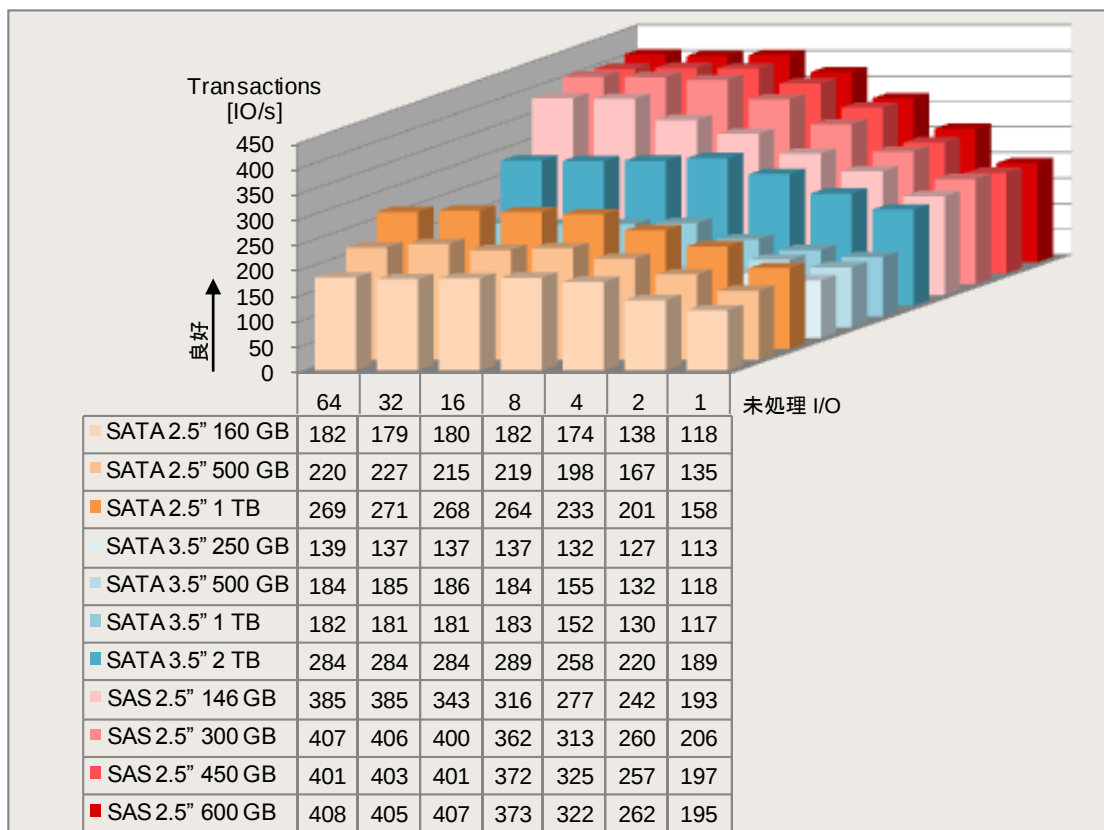
標準負荷プロファイル「データベース」（ランダムアクセス、67 %リード、33 %ライト、8 KB のブロックサイズ）



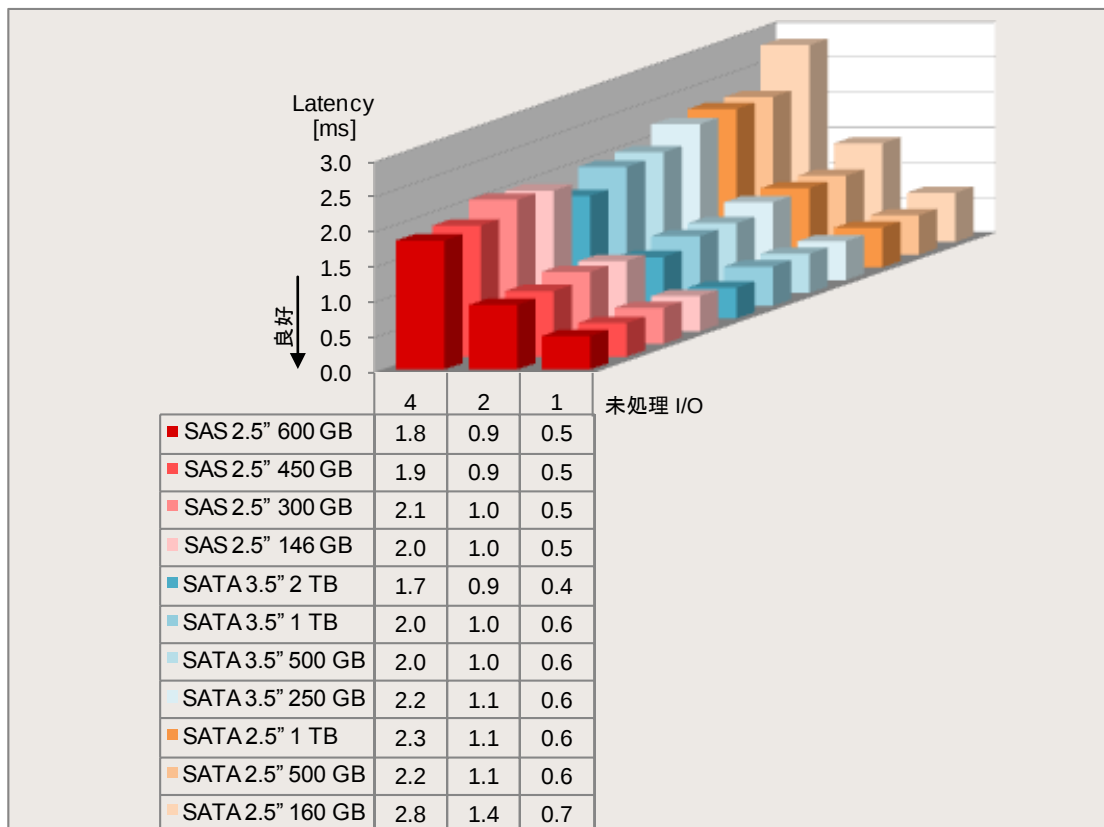
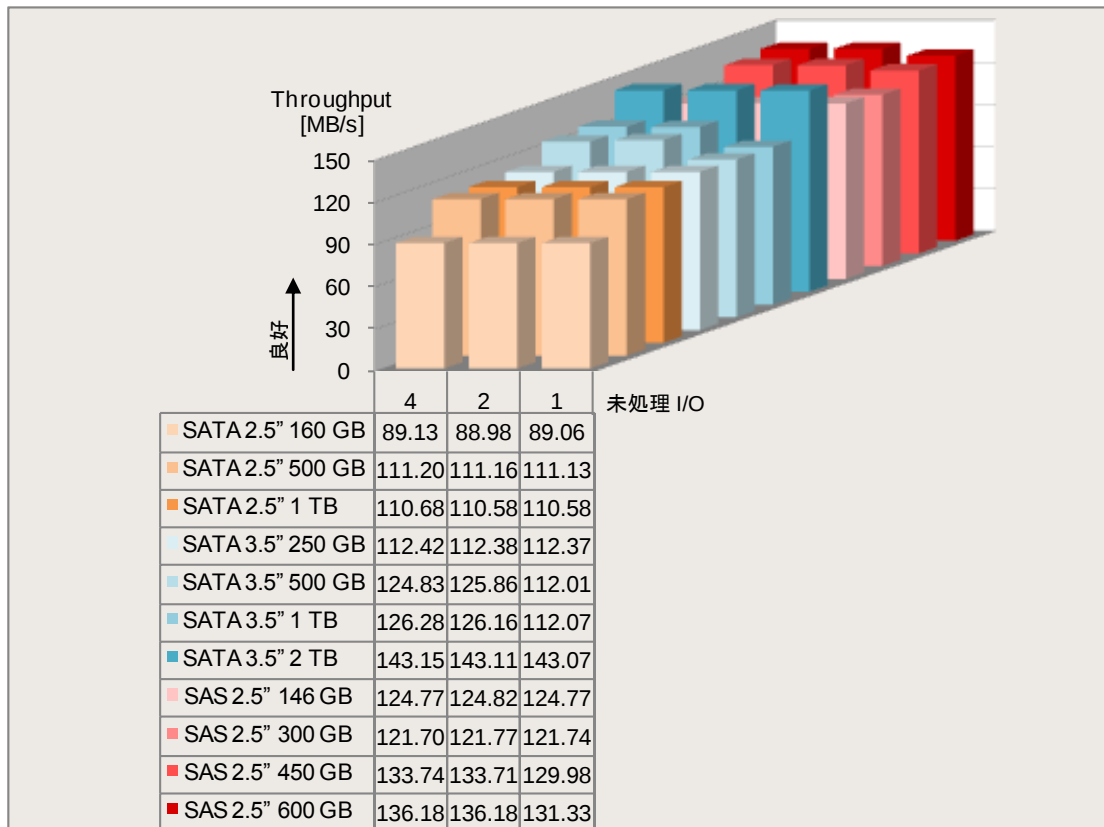
標準負荷プロファイル「ファイルサーバ」（ランダムアクセス、67 %リード、33 %ライト、64 KB のブロックサイズ）



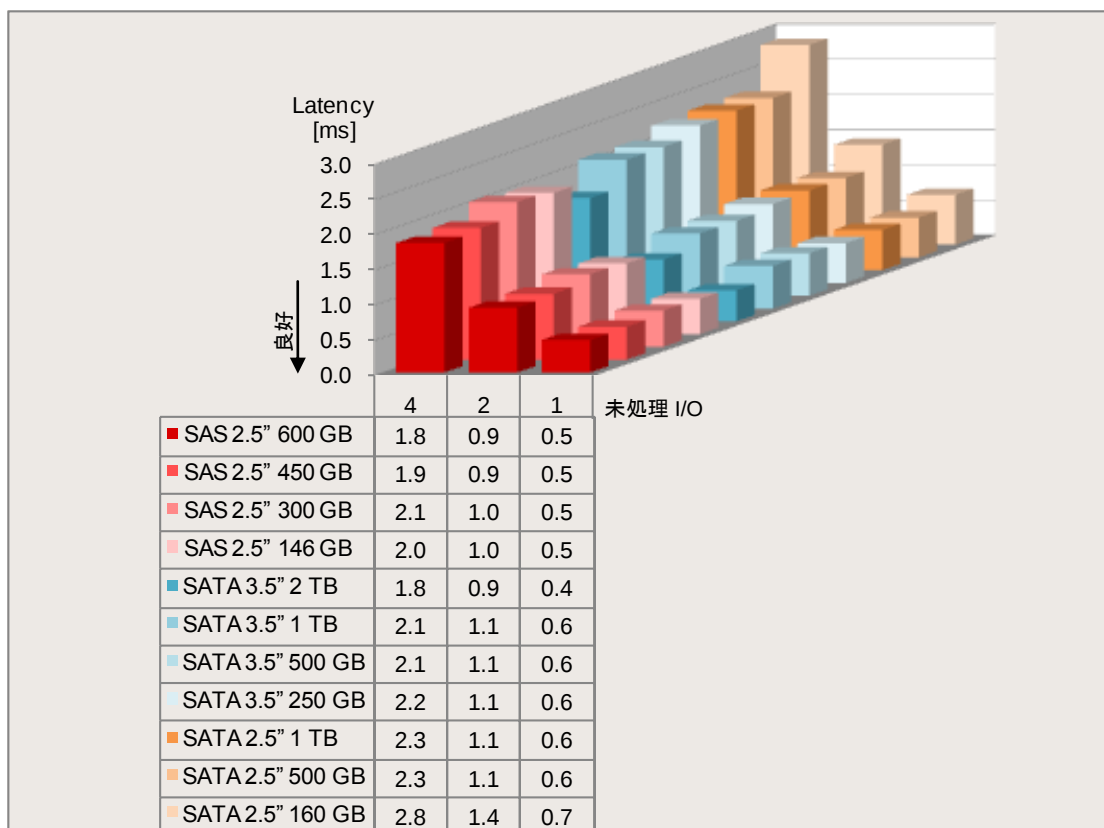
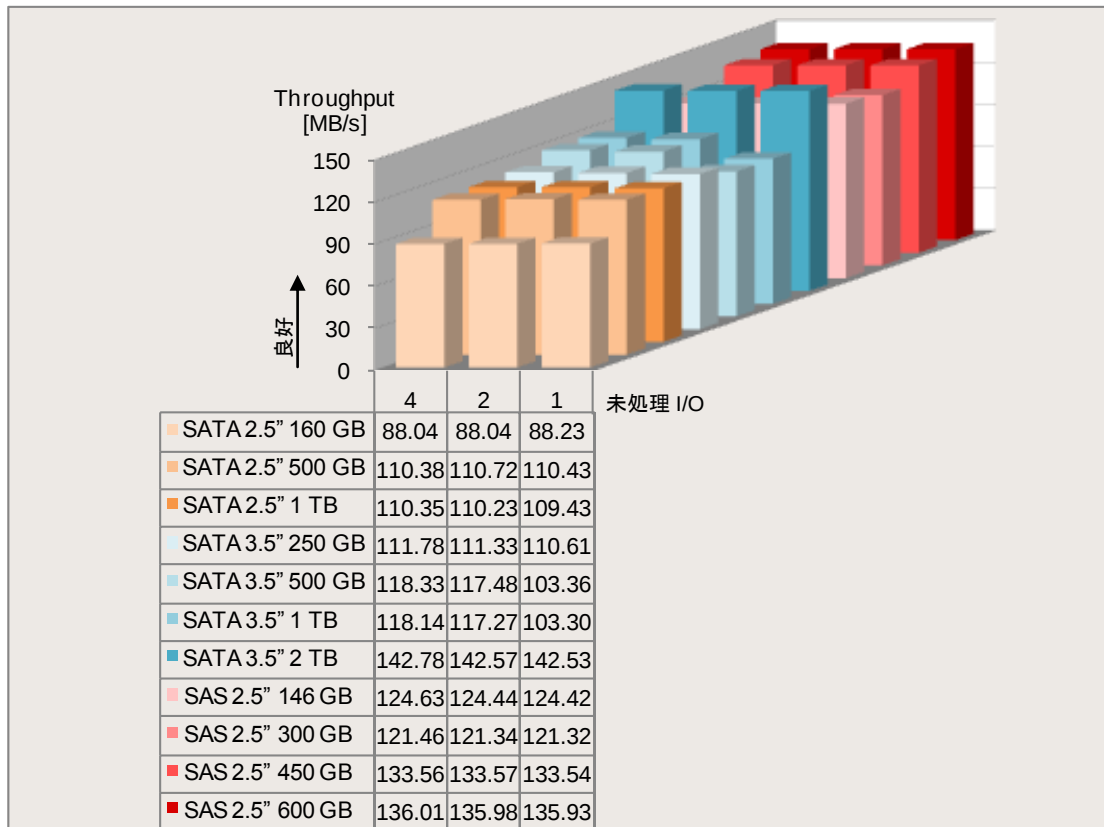
標準負荷プロファイル「ファイルコピー」（ランダムアクセス、50 %リード、50 %ライト、64 KB のブロックサイズ）



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 のブロックサイズ）



標準負荷プロファイル「リストア」 (シーケンシャルアクセス、100 %ライト、64 KB のブロックサイズ)

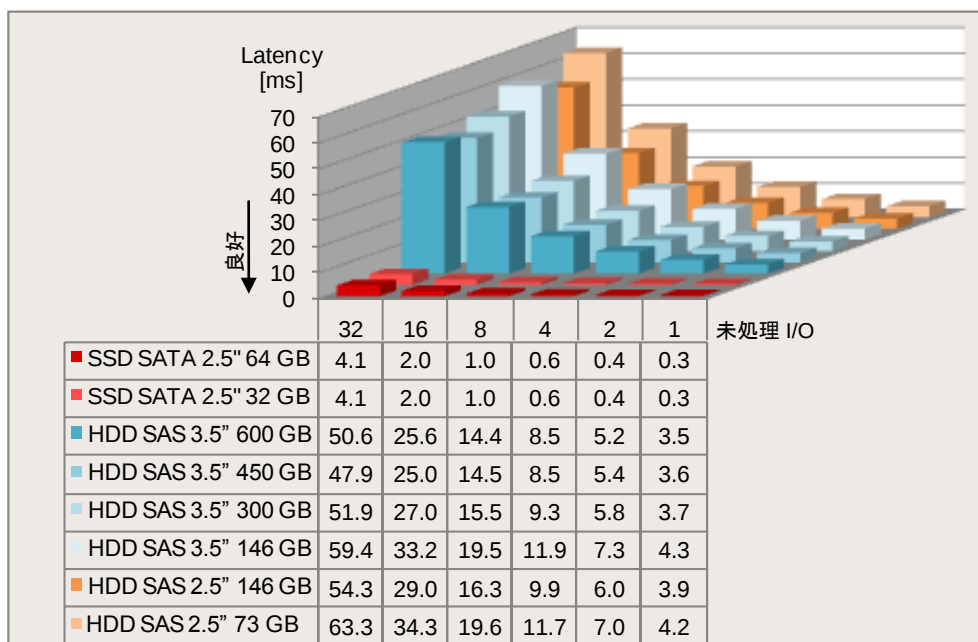
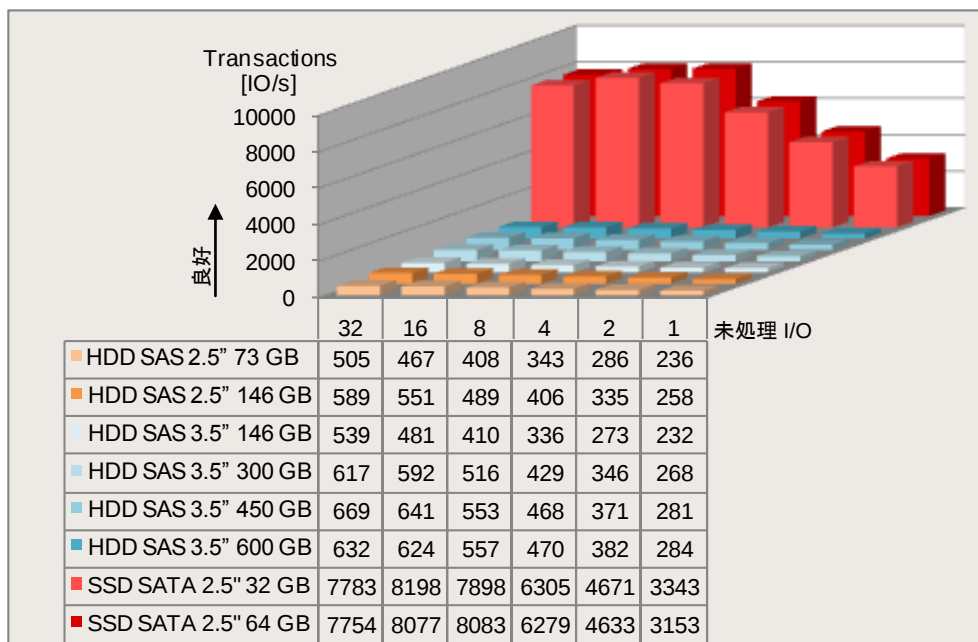


エンタープライズクラス (EP) のハードディスク

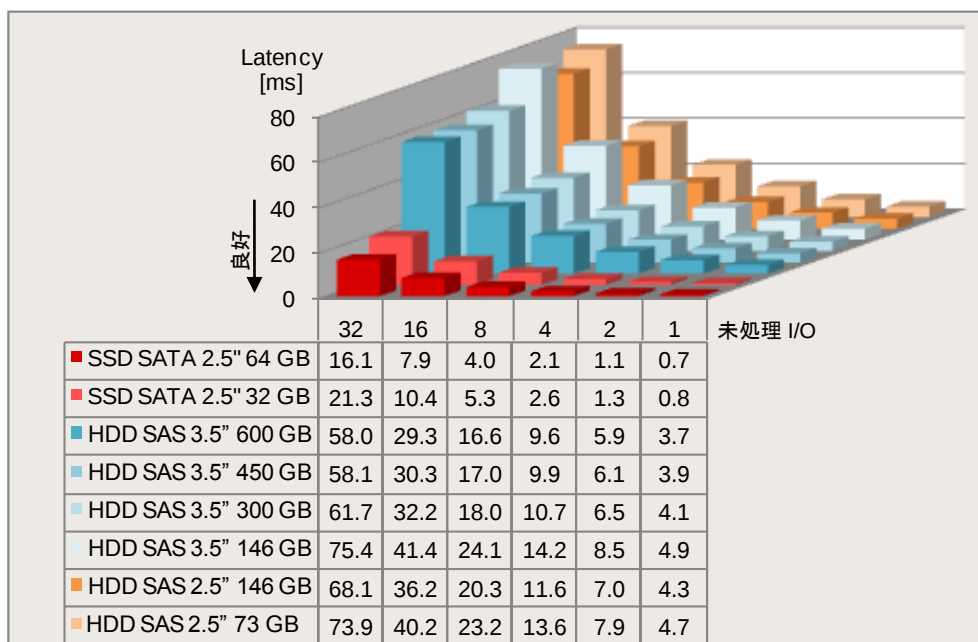
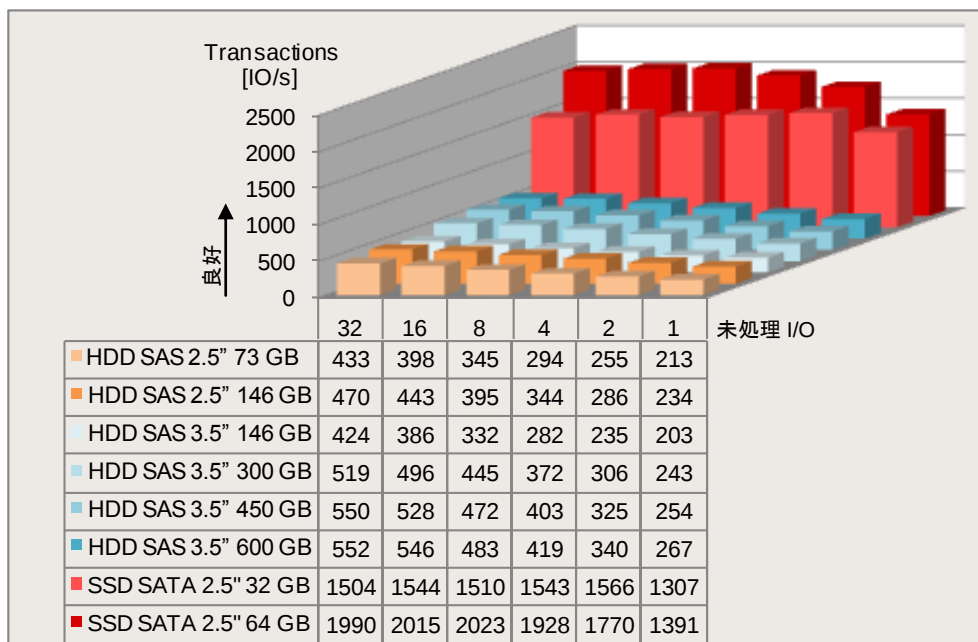
以降の 10 個のグラフは、それぞれ、標準負荷プロファイル「ファイルサーバ」、「データベース」、「ファイルコピー」、「ストリーミング」、および「リストア」で、同時リクエスト数（未処理 I/O）の増加に伴って負荷が増大した場合のパフォーマンス値（トランザクション、スループット、および応答時間）を示します。測定したハードディスクは次のとおりです。

EP	HDD	SAS	6 Gbit/s	2.5 インチ	15000 rpm	73 GB
EP	HDD	SAS	6 Gbit/s	2.5 インチ	15000 rpm	146 GB
EP	HDD	SAS	6 Gbit/s	3.5 インチ	15000 rpm	146 GB
EP	HDD	SAS	6 Gbit/s	3.5 インチ	15000 rpm	300 GB
EP	HDD	SAS	6 Gbit/s	3.5 インチ	15000 rpm	450 GB
EP	HDD	SAS	6 Gbit/s	3.5 インチ	15000 rpm	600 GB
EP	SSD	SATA	3 Gbit/s	2.5 インチ		32 GB
EP	SSD	SATA	3 Gbit/s	2.5 インチ		64 GB

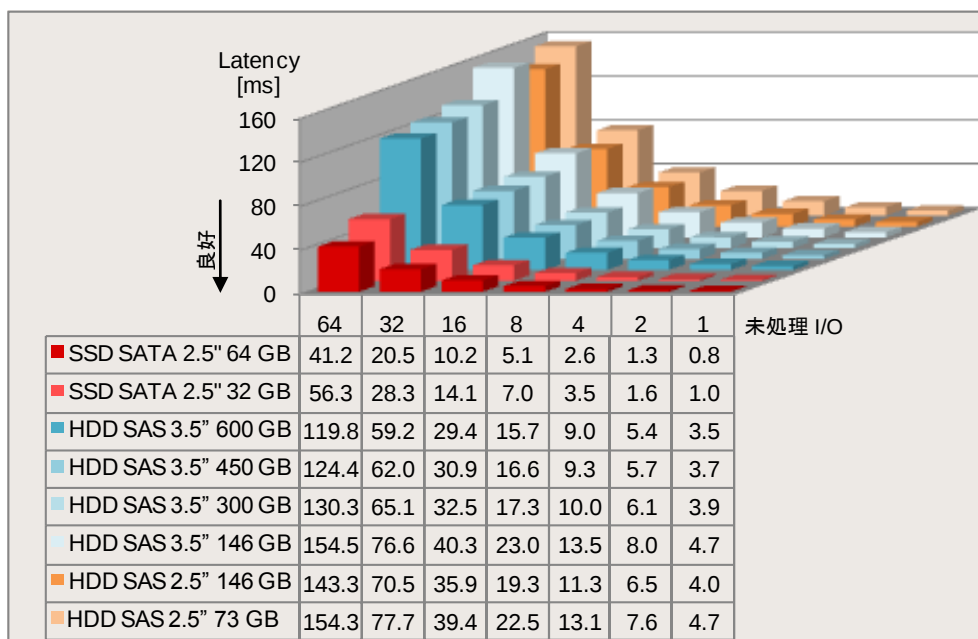
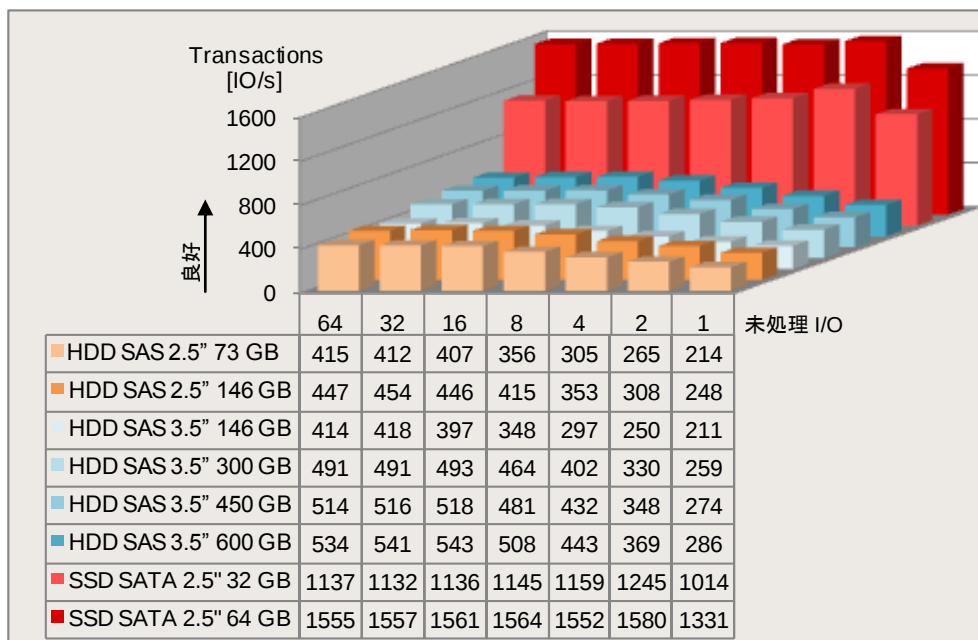
標準負荷プロファイル「データベース」（ランダムアクセス、67 %リード、33 %ライト、8 KB のブロックサイズ）



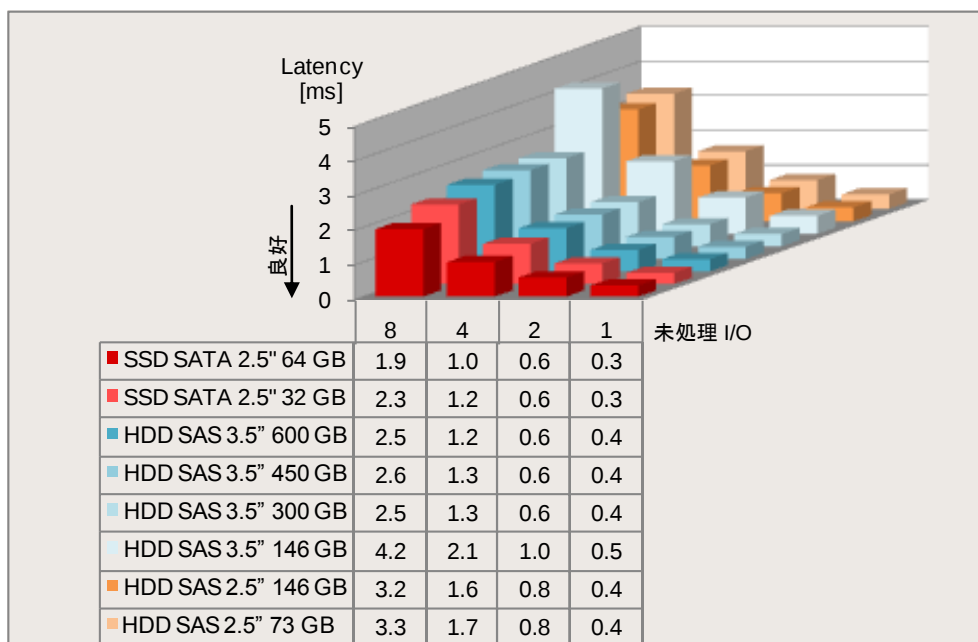
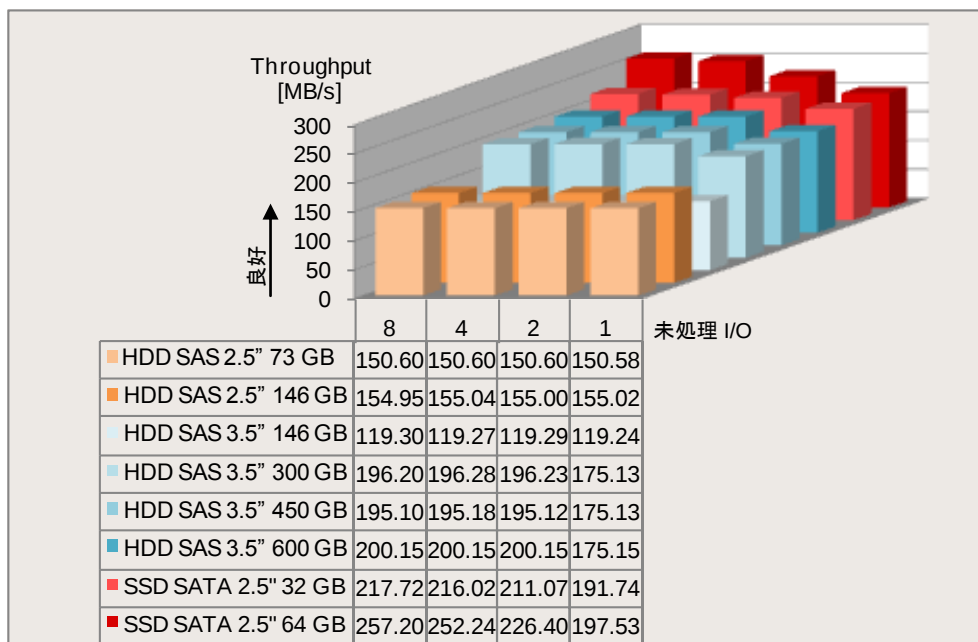
標準負荷プロファイル「ファイルサーバ」（ランダムアクセス、67 %リード、33 %ライト、64 KB のブロックサイズ）



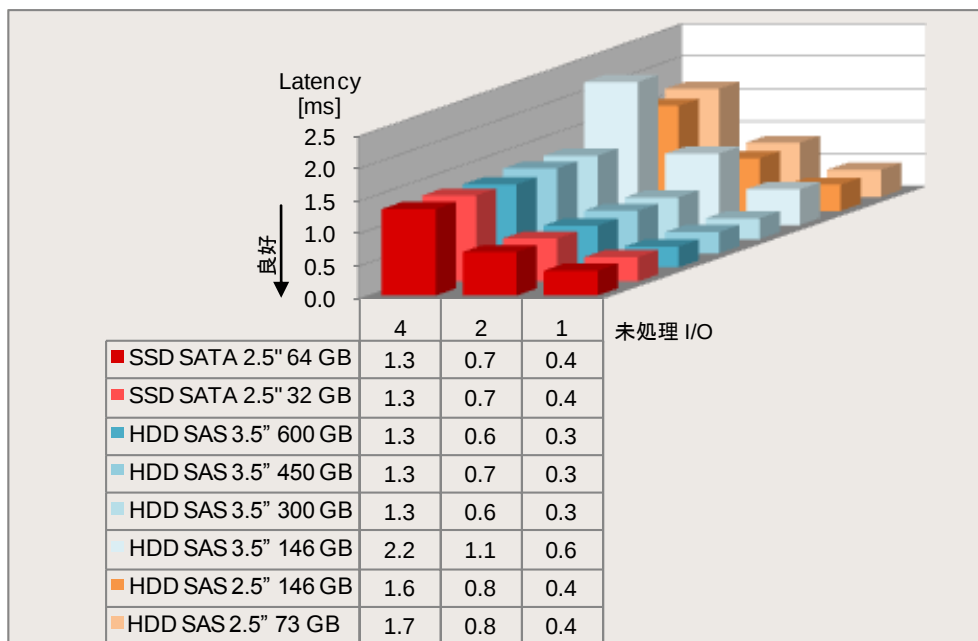
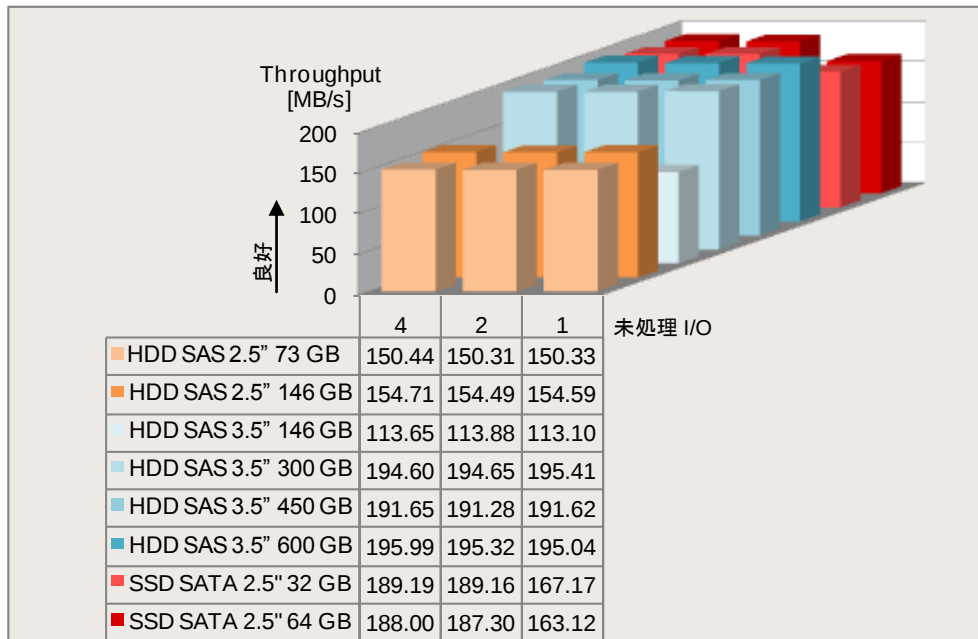
標準負荷プロファイル「ファイルコピー」（ランダムアクセス、50 %リード、50 %ライト、64 KB のブロックサイズ）



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 のブロックサイズ)



標準負荷プロファイル「リストア」 (シーケンシャルアクセス、100 %ライト、64 KB のブロックサイズ)



パフォーマンスデータの比較

ここでは、パフォーマンスに顕著な影響を与える、ハードディスクの各特徴を説明します。まず、切り替え可能なパラメーターという特徴が挙げられます。ディスクキャッシュの有効／無効の切り替えは、ハードディスクのパフォーマンスに多大な影響を与えると同時に、サーバの構成時に注意が必要なセキュリティ面にも関係します。その他のハードディスクの特徴として、「形状」、「回転速度」、および「容量」の3つがあります。これらは、特定のサーバに適したハードディスクを選択する際に考慮する必要があります。また、サーバのパフォーマンスに影響があるだけでなく、サーバのサイジングの際に最も重要な要素となります。

サーバのサイジング

サーバとそのハードディスクの選択にあたっては、まず合計容量の最小要件に注意する必要があります。特にサーバに搭載可能なハードディスクの数は、合計容量に影響を与えると同時に、個々のハードディスクにおける次の要素にも影響します。

- 形状
- 回転速度
- 容量

次の表に、現在入手可能な PRIMERGY サーバと、ハードディスク（2.5 インチおよび 3.5 インチ）の拡張性および実現可能な最大合計容量を示します。

サーバブレード	最大構成 3.5 インチ	最大合計容量 3.5 インチ	最大構成 2.5 インチ	最大合計容量 2.5 インチ
PRIMERGY BX620 S6			2	SAS : 1.2 TB SATA : 2 TB
PRIMERGY BX920 S2			2	SAS : 1.2 TB SATA : 2 TB
PRIMERGY BX922 S2			2	SATA : 0.3 TB
PRIMERGY BX924 S2			2	SATA : 0.1 TB
PRIMERGY BX960 S1			2	SATA : 0.1 TB
ストレージブレード	最大構成 3.5 インチ	最大合計容量 3.5 インチ	最大構成 2.5 インチ	最大合計容量 2.5 インチ
PRIMERGY SX650			5	SAS : 1.5 TB SATA : 5 TB
PRIMERGY SX940 S1			4	SAS : 2.4 TB SATA : 4 TB
PRIMERGY SX960 S1			10	SAS : 6 TB SATA : 10 TB
スケールアウトサーバ	最大構成 3.5 インチ	最大合計容量 3.5 インチ	最大構成 2.5 インチ	最大合計容量 2.5 インチ
PRIMERGY CX120 S1			2	SATA : 1 TB
PRIMERGY CX122 S1			2	SATA : 1 TB

ラック型サーバ	最大構成 3.5 インチ	最大合計容量 3.5 インチ	最大構成 2.5 インチ	最大合計容量 2.5 インチ
PRIMERGY RX100 S6	2	SAS : 1.2 TB SATA : 4 TB	4	SAS : 2.4 TB SATA : 4 TB
PRIMERGY RX100 S7	2	SAS : 1.2 TB SATA : 4 TB	4	SAS : 2.4 TB SATA : 4 TB
PRIMERGY RX200 S6			8	SAS : 4.8 TB SATA : 8 TB
PRIMERGY RX300 S6	6	SAS : 3.6 TB SATA : 12 TB	12	SAS : 7.2 TB SATA : 12 TB
PRIMERGY RX600 S5			8	SAS : 4.8 TB SATA : 8 TB
PRIMERGY RX600 S6			8	SAS : 4.8 TB SATA : 0.5 TB
PRIMERGY RX900 S1			8	SAS : 4.8 TB SATA : 0.5 TB
PRIMERGY RX900 S2			8	SAS : 4.8 TB SATA : 0.5 TB
タワー型サーバ	最大構成 3.5 インチ	最大合計容量 3.5 インチ	最大構成 2.5 インチ	最大合計容量 2.5 インチ
PRIMERGY TX100 S2	4	SATA : 8 TB		
PRIMERGY TX120 S3	2	SATA : 4 TB	4	SAS : 2.4 TB SATA : 4 TB
PRIMERGY TX140 S1	4	SAS : 2.4 TB SATA : 8 TB	8	SAS : 4.8 TB SATA : 8 TB
PRIMERGY TX150 S7	4	SAS : 2.4 TB SATA : 8 TB	8	SAS : 4.8 TB SATA : 8 TB
PRIMERGY TX200 S6	6	SAS : 3.6 TB SATA : 12 TB	16	SAS : 9.2 TB SATA : 16 TB
PRIMERGY TX300 S6	8	SAS : 4.8 TB SATA : 16 TB	20	SAS : 12 TB SATA : 20 TB

PRIMERGY TX200 S6 および PRIMERGY TX300 S6 で、2.5 インチハードディスク「BC HDD SATA 3 Gbit/s 2.5 インチ 7200 rpm 1 TB」を使用した場合に、合計容量が最大になります。他のサーバでは、2.5 インチと 3.5 インチのハードディスクのいずれを使用しても最大合計容量は等しくなります。SAS インターフェースを備えたハードディスクでは、2.5 インチハードディスク「BC HDD SAS 6 Gbit/s 2.5 インチ 10000 rpm 600 GB」を使用した場合に合計容量が最大になります。

PRIMERGY TX200 S6 と PRIMERGY TX300 S6 では、単一のコントローラーに最大 12 台のハードディスクを接続できます。それを超える数のハードディスクを接続するには、2 つ目のコントローラーが必要です。

形状

3.5 インチ形状のハードディスクは、サーバに設置するディスクとして、長い間広く一般に使用されてきました。これらのディスクは、2.5 インチハードディスクよりも容量が大きく、長期にわたってより優れたパフォーマンスを発揮したからです。しかし今日では、これが当てはまるのは SATA ハードディスクの容量についてのみであり、パフォーマンスについては、3.5 インチハードディスクが常に優位というわけではありません。

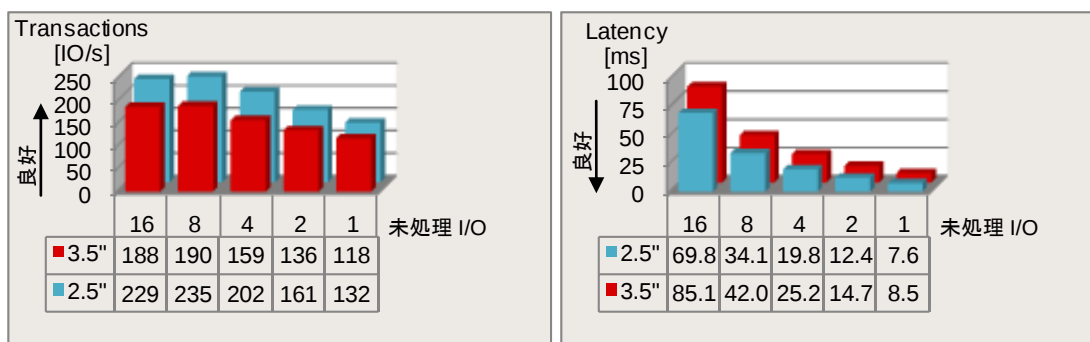
2.5 インチハードディスクの利点は、消費電力と発熱量が小さく、省スペースな点です。2.5 インチハードディスクは、3.5 インチハードディスクよりも数多くサーバに設置できるので、容量とパフォーマンスの違いは、RAID アレイにすることで相対化されます。2.5 インチハードディスクを最大限搭載したサーバの RAID パフォーマンスは、3.5 インチハードディスクを最大限搭載した場合を上回ります。さらに、すべての PRIMERGY サーバにおいて、3.5 インチ SAS ハードディスク構成と同等の合計容量レベルを 2.5 インチハードディスク構成で実現できます。一部のサーバでは、2.5 インチハードディスク構成の合計容量レベルが 3.5 インチハードディスク構成をはるかに上回る例もあります。

以降の 10 個のグラフは、それぞれ、標準負荷プロファイル「ファイルサーバ」、「データベース」、「ファイルコピー」、「ストリーミング」、および「リストア」で、同時リクエスト数（未処理 I/O）の増加に伴って負荷が増大した場合のパフォーマンス値（トランザクション、スループット、および応答時間）を示します。測定したハードディスクは次のとおりです。

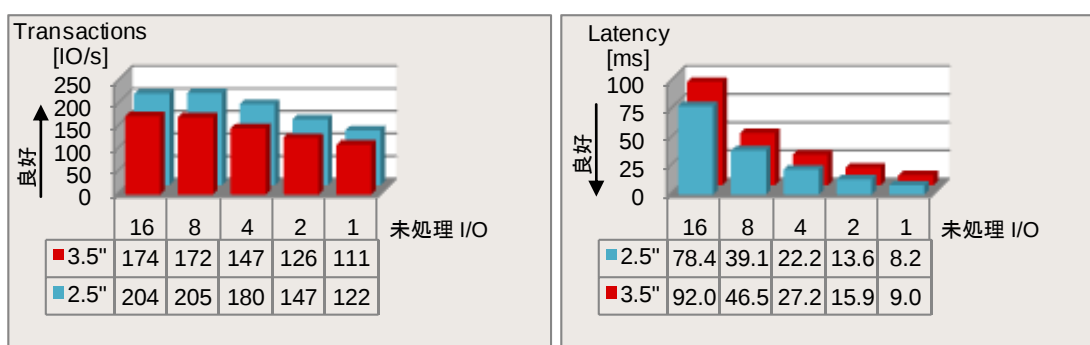
BC HDD SATA 3 Gbit/s 2.5 インチ 7200 rpm 500 GB

BC HDD SATA 3 Gbit/s 3.5 インチ 7200 rpm 500 GB

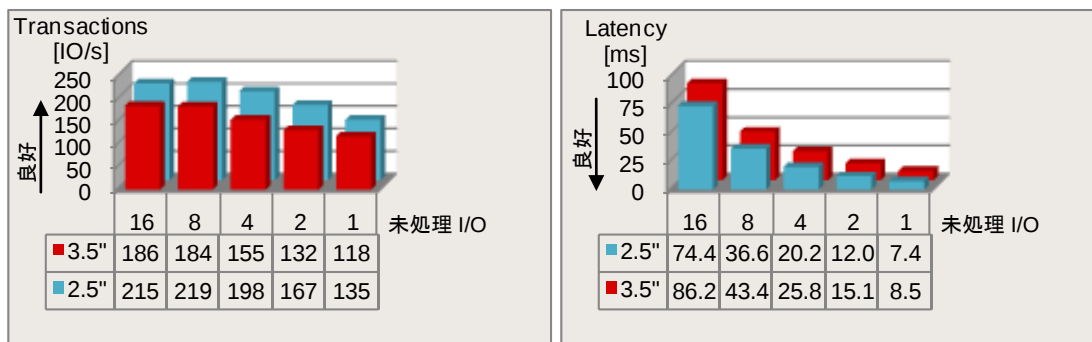
標準負荷プロファイル「データベース」（ランダムアクセス、67 %リード、33 %ライト、8 KB のブロックサイズ）



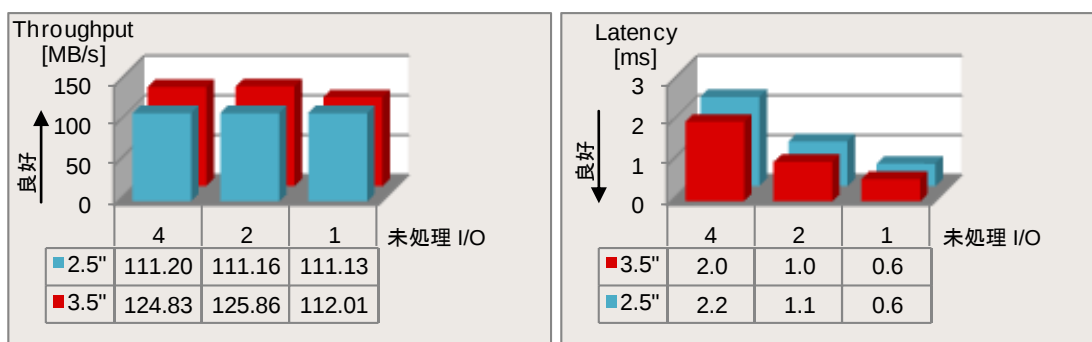
標準負荷プロファイル「ファイルサーバ」（ランダムアクセス、67 %リード、33 %ライト、64 KB のブロックサイズ）



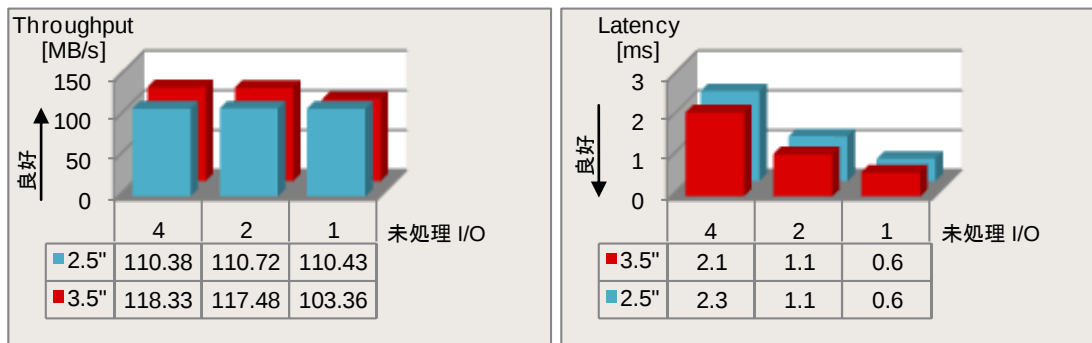
標準負荷プロファイル「ファイルコピー」 (ランダムアクセス、50 %リード、50 %ライト、64 KB のブロックサイズ)



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 のブロックサイズ)



標準負荷プロファイル「リストア」 (シーケンシャルアクセス、100 %ライト、64 KB のブロックサイズ)



標準負荷プロファイルを使用してシーケンシャルアクセスを行った場合に、3.5 インチハードディスクのスループットが 2.5 インチハードディスクを上回るのに対し、標準プロファイルを使用してランダムアクセスを行った場合は、2.5 インチハードディスクが優れたスループットを示します。ただし、この例を一般化することはできません。

回転速度

SSD とは異なり、従来型のハードディスクでは回転するディスクにデータが保存されます。これらのディスクは一定の速度で回転します。回転数は、通常、国際単位系の単位である 1/s ではなく、英単位の rpm (revolutions per minute : 1 分あたりの回転数) で表します。

高パフォーマンスのシナリオでは、SSD、または回転速度が 15000 rpm のハードディスクがサーバ用に使用されます。中間的なパフォーマンスのセグメントでは、10000 rpm または 7200 rpm のハードディスクが使用されます。パフォーマンスの重要度が低い場合、7200 rpm のハードディスクや、さらに回転数の低い 5400 rpm のハードディスクを使用できます。

回転速度が速いほど消費電力も多く、ひいては発熱量も大きくなるので、サーバ内の冷却機構の要件が高くなります。注意が必要なもう 1 つの側面は、回転に伴うハードディスクの振動です。回転数が異なる複数のハードディスクを使用すると、互いに影響し合い不具合を起こす可能性があるため、同一のハードディスクケースに設置するハードディスクはすべて同じタイプにする必要があります。

2 つのハードディスクのうち 1 つの回転速度が 50 %速くても、すべてのパフォーマンス値が 50 %改善されるわけではありません。これにはいくつかの理由があります。まず、タイプの異なる 2 つのハードディスクは、トラックあたりのセクター数が異なる可能性があり、それによって 1 回の回転で処理できるデータ量が左右されるという点があります。現行の 10000 rpm のハードディスクは、現行の 15000 rpm ハードディスクよりも容量が大きいのが一般的です。このような容量の違いにより、通常、高速ディスクの高い回転数による優位性は低くなります。もう 1 つの理由として、ハードディスクアクセスの応答時間は、回転待ち時間だけでなく、ランダムアクセスの「トラック間シーク時間」など、その他の要素も関係するという点が挙げられます。

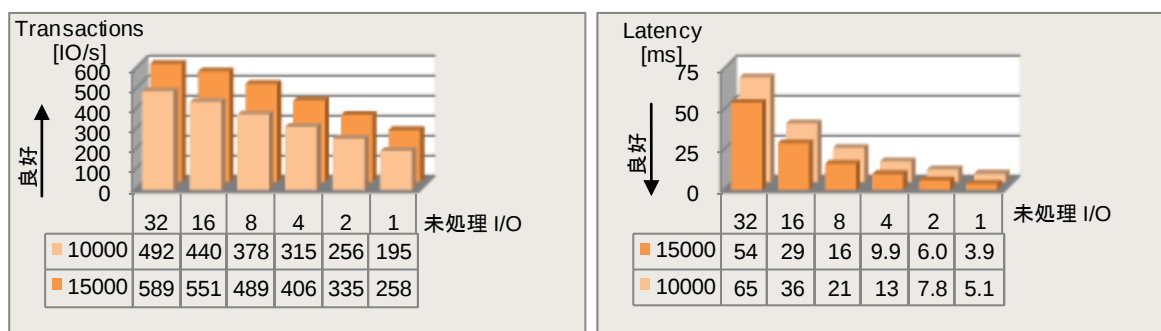
ハードディスクは日々技術的に進化しており、新しい世代の 10000 rpm ハードディスクが、古い世代の 15000 rpm ハードディスクより高速な場合もあります。よって、ハードディスクをより新しい世代のものに交換することでパフォーマンスを改善することができます。

ここでは、回転速度のみ仕様が異なる 2 つのハードディスクタイプを例に、回転数がパフォーマンスに与える影響について説明します。この測定では、ハードディスクキャッシュを有効に設定しました。

BC HDD SAS 6 Gbit/s 2.5 インチ 10000 rpm 146 GB

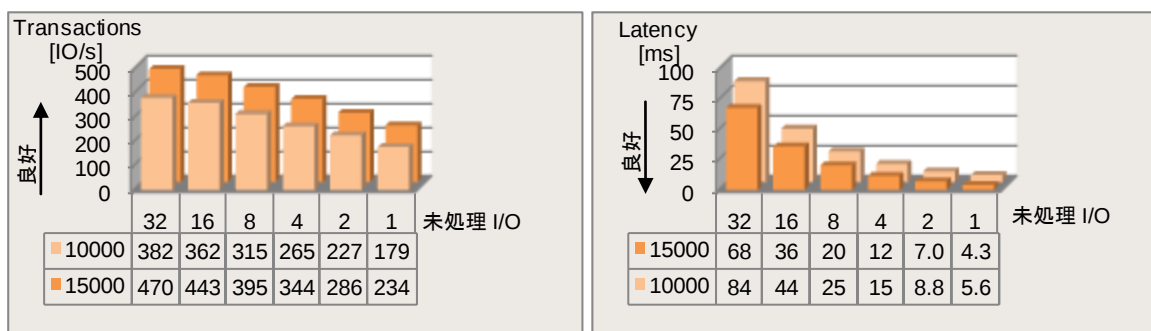
EP HDD SAS 6 Gbit/s 2.5 インチ 15000 rpm 146 GB

標準負荷プロファイル「データベース」 (ランダムアクセス、67 %リード、33 %ライト、8 KB のブロックサイズ)



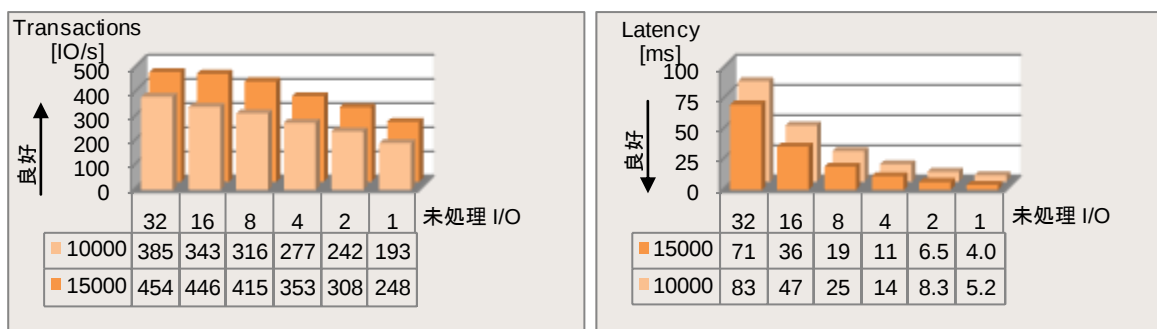
ランダム負荷プロファイル「データベース」では、作業負荷密度が小さい場合 (1 つの未処理 I/O)、回転速度が高速なハードディスクは 32 %のパフォーマンス優位性を示します。この優位性は、負荷密度が高くなると (32 の未処理 I/O)、20 %に減少します。

標準負荷プロファイル「ファイルサーバ」 (ランダムアクセス、67 %リード、33 %ライト、64 KB のブロックサイズ)



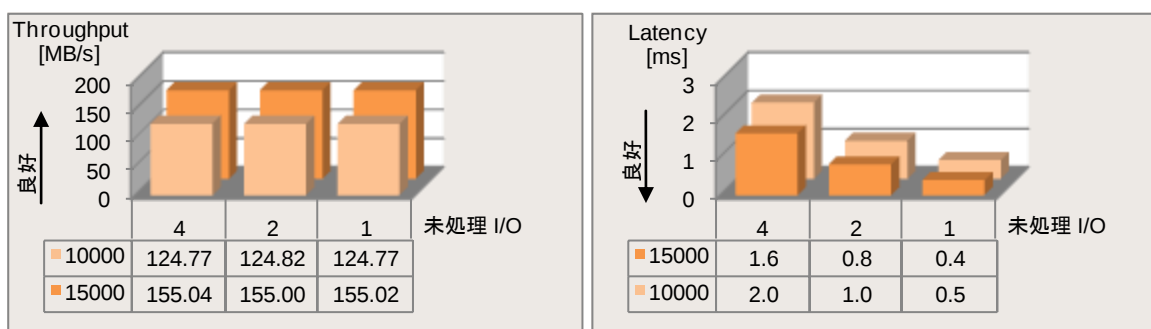
ランダム負荷プロファイル「ファイルサーバ」では、作業負荷密度が小さい場合（1 つの未処理 I/O）、回転速度が高速なハードディスクは 31 %のパフォーマンス優位性を示します。この優位性は、負荷密度が高くなると（32 の未処理 I/O）、23 %に減少します。

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、50 %ライト、64 KB のブロックサイズ)



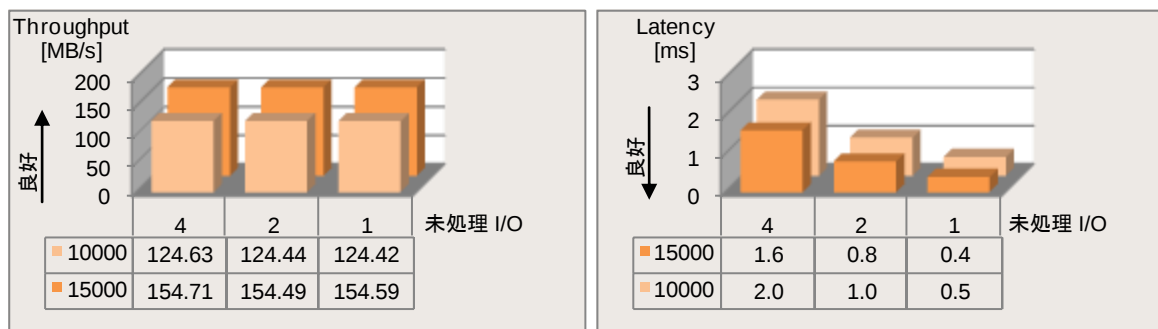
ランダム負荷プロファイル「ファイルコピー」では、作業負荷密度が小さい場合（1 つの未処理 I/O）、回転速度が高速なハードディスクは 28 %のパフォーマンス優位性を示します。この優位性は、負荷密度が高くなると（32 の未処理 I/O）、18 %に減少します。

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 のブロックサイズ)



シーケンシャル負荷プロファイル「ストリーミング」を使用した場合、回転速度が高速なハードディスクは低速なハードディスクに対し、一貫して 24 %のパフォーマンス優位性を示します。

標準負荷プロファイル「リストア」 (シーケンシャルアクセス、100 %ライト、64 KB のブロックサイズ)



シーケンシャル負荷プロファイル「リストア」を使用した場合、回転速度が高速なハードディスクは低速なハードディスクに対し、一貫して 24 % のパフォーマンス優位性を示します。

ランダムアクセス負荷プロファイルではリード/ライトヘッドの位置決めが頻繁に発生するので、それに要する時間はこのプロファイルのパフォーマンスにとって重要です。シーケンシャル負荷プロファイルでは、位置決めに要する時間は、あまり重要な役割を果たしません。この場合重要なのは、回転速度とトラックあたりのセクター数です。そのため、上記の 2 つのシーケンシャル負荷プロファイルでは、パフォーマンスの違いは非常に一貫しています。これに対し、前述の 3 つのランダム負荷プロファイルでは、回転速度が高速なハードディスクの優位性は負荷プロファイルや負荷密度によって異なりますが、全体的には同様の傾向を示しています。

この例が普遍的な妥当性を持つとまでは言えませんが、例外的でないことは確かです。個別の事例では、比較する 2 つのハードディスクタイプの技術的特徴に依存します。

容量

適切なハードディスクを選択する際の主要な基準の 1 つが容量です。2.5 インチ SATA-HDD は最大 1 TB、また 3.5 インチ SATA-HDD は最大 2 TB の容量を備えています。SAS-HDD は、最大 600 GB の容量を備えています。SATA-SSD は現在、64 GB が最大容量です。

以降の 10 個のグラフは、それぞれ、標準負荷プロファイル「ファイルサーバ」、「データベース」、「ファイルコピー」、「ストリーミング」、および「リストア」で、同時リクエスト数（未処理 I/O）の増加に伴って負荷が増大した場合のパフォーマンス値（トランザクション、スループット、および応答時間）を示します。測定したハードディスクは次のとおりです。

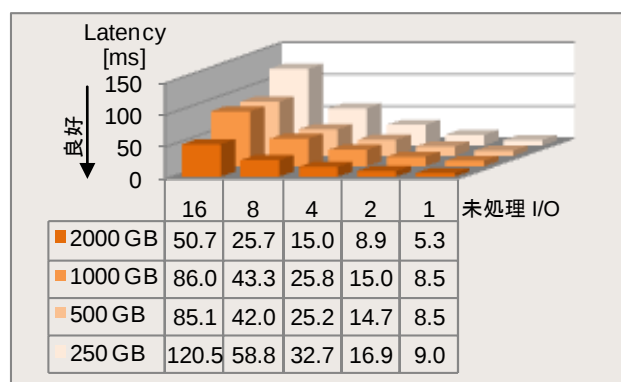
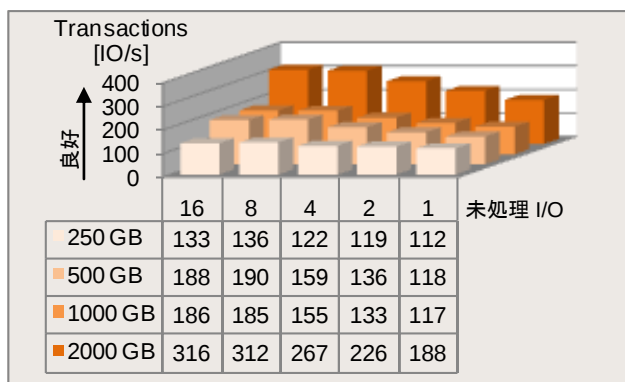
BC HDD SATA 3 Gbit/s 3.5 インチ 7200 rpm 250 GB

BC HDD SATA 3 Gbit/s 3.5 インチ 7200 rpm 500 GB

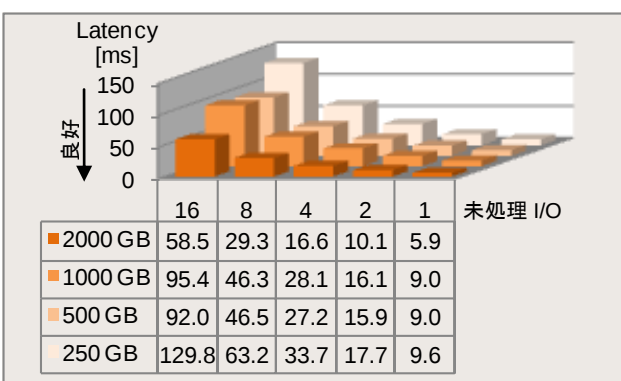
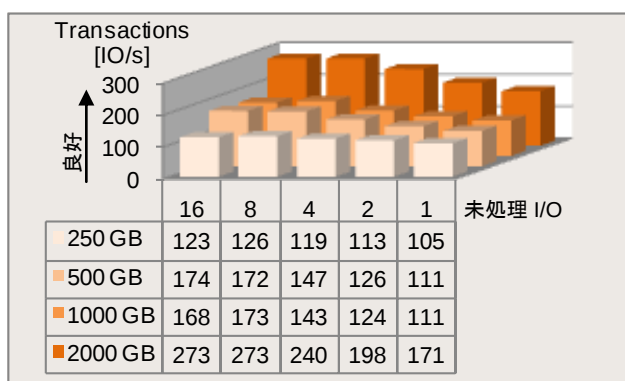
BC HDD SATA 3 Gbit/s 3.5 インチ 7200 rpm 1 TB

BC HDD SATA 3 Gbit/s 3.5 インチ 7200 rpm 2 TB

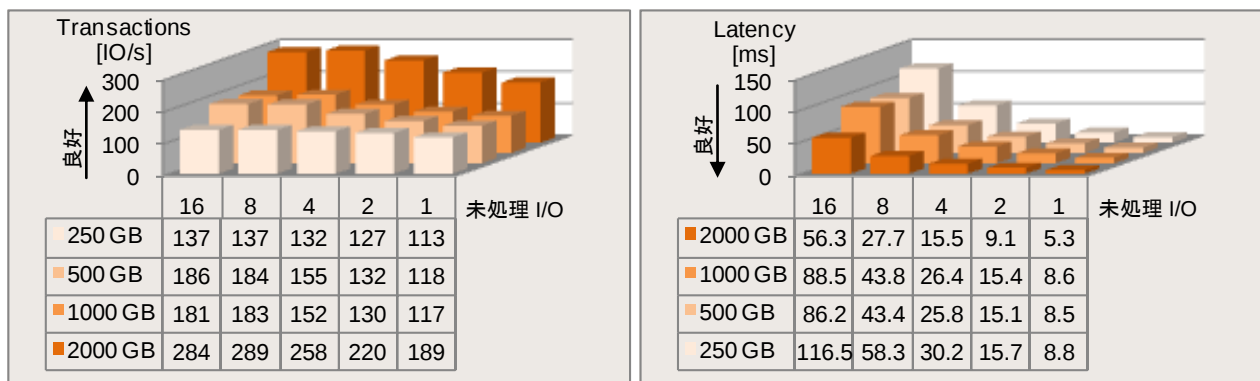
標準負荷プロファイル「データベース」（ランダムアクセス、67 %リード、33 %ライト、8 KB のブロックサイズ）



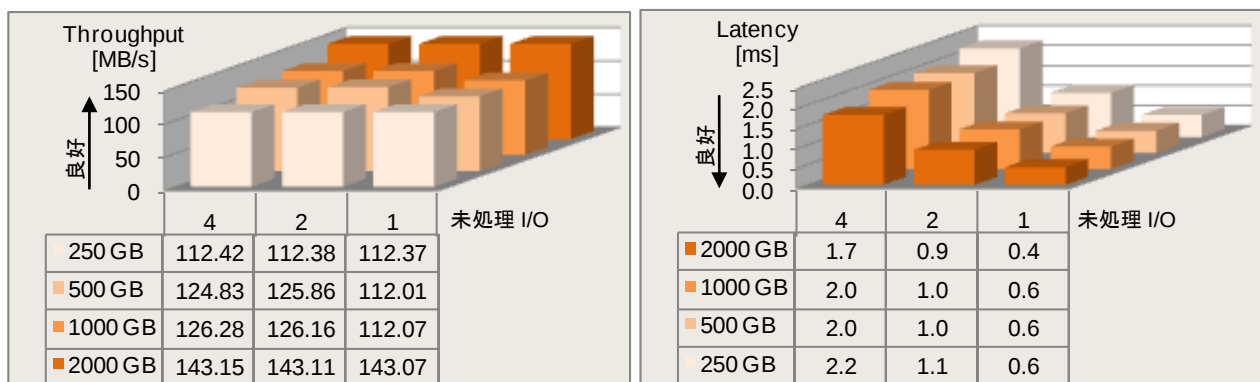
標準負荷プロファイル「ファイルサーバ」（ランダムアクセス、67 %リード、33 %ライト、64 KB のブロックサイズ）



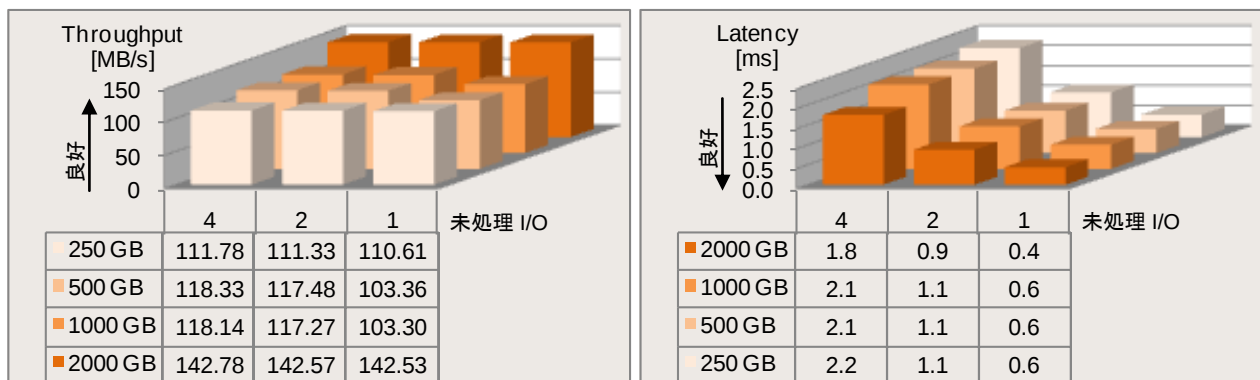
標準負荷プロファイル「ファイルコピー」 (ランダムアクセス、50 %リード、50 %ライト、64 KB のブロックサイズ)



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 のブロックサイズ)



標準負荷プロファイル「リストア」 (シーケンシャルアクセス、100 %ライト、64 KB のブロックサイズ)



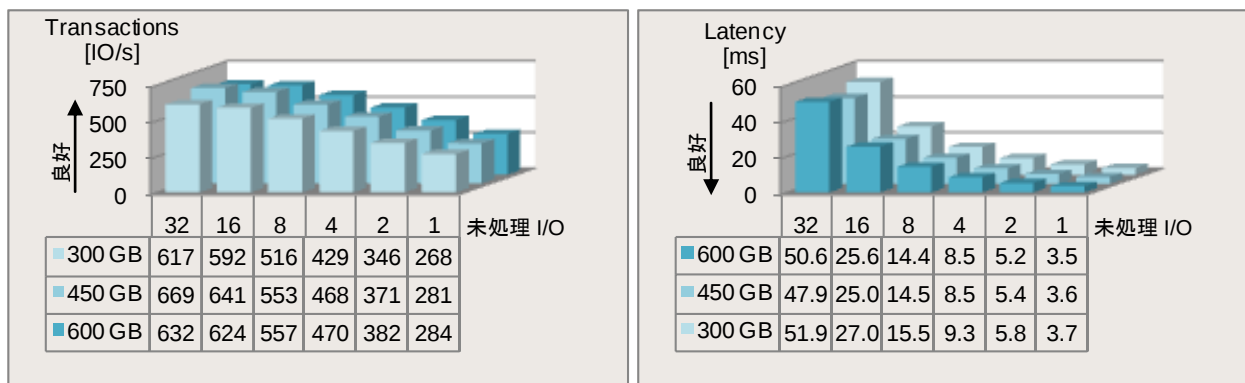
以降の 10 個のグラフは、それぞれ、標準負荷プロファイル「ファイルサーバ」、「データベース」、「ファイルコピー」、「ストリーミング」、および「リストア」で、同時リクエスト数（未処理 I/O）の増加に伴って負荷が増大した場合のパフォーマンス値（トランザクション、スループット、および応答時間）を示します。測定したハードディスクは次のとおりです。

EP HDD SAS 6 Gbit/s 3.5 インチ 15000 rpm 300 GB

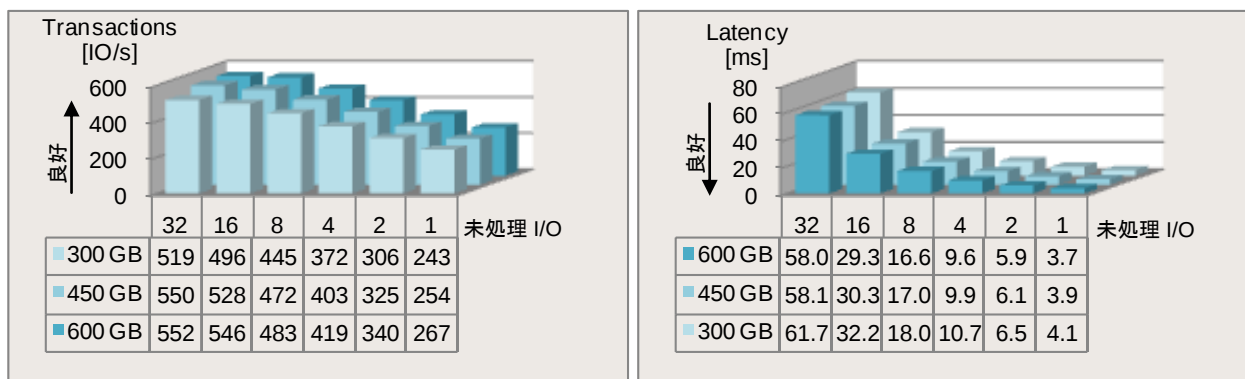
EP HDD SAS 6 Gbit/s 3.5 インチ 15000 rpm 450 GB

EP HDD SAS 6 Gbit/s 3.5 インチ 15000 rpm 600 GB

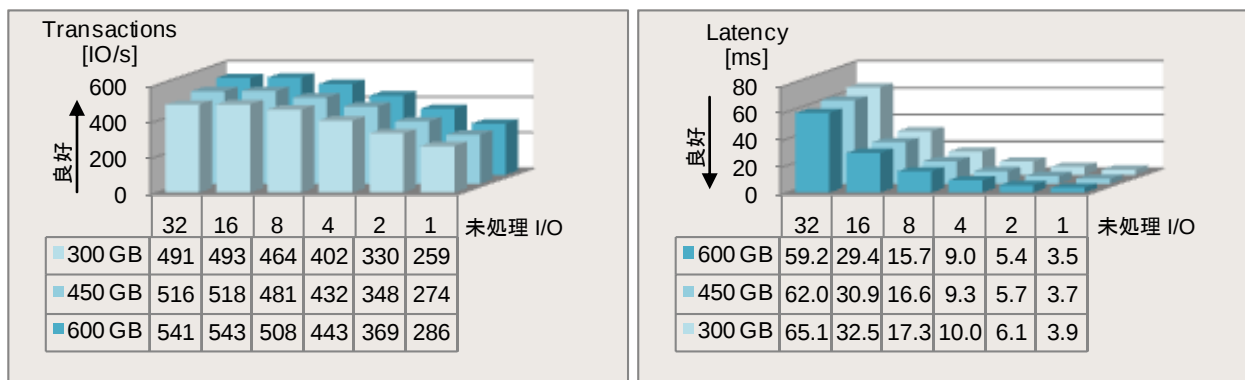
標準負荷プロファイル「データベース」（ランダムアクセス、67 %リード、33 %ライト、8 KB のブロックサイズ）



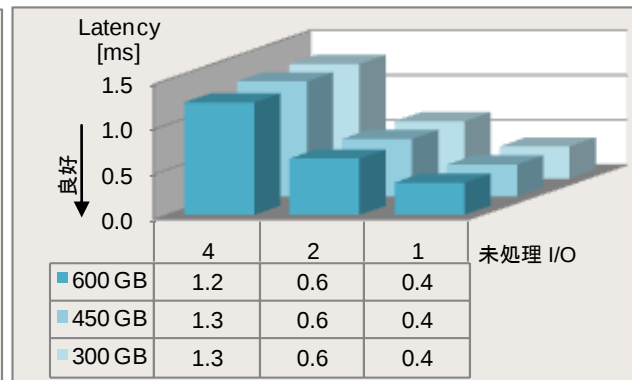
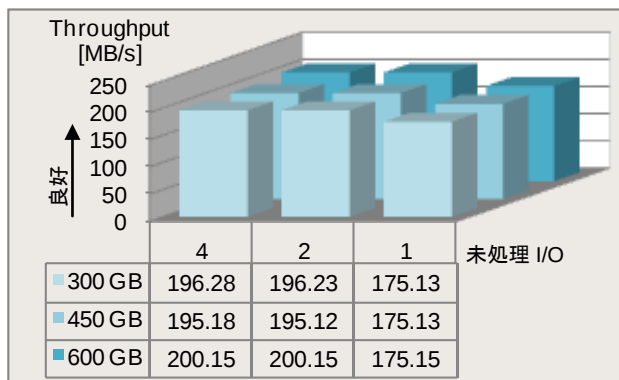
標準負荷プロファイル「ファイルサーバ」（ランダムアクセス、67 %リード、33 %ライト、64 KB のブロックサイズ）



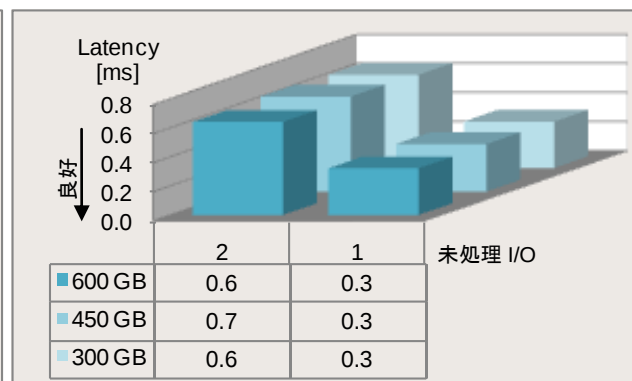
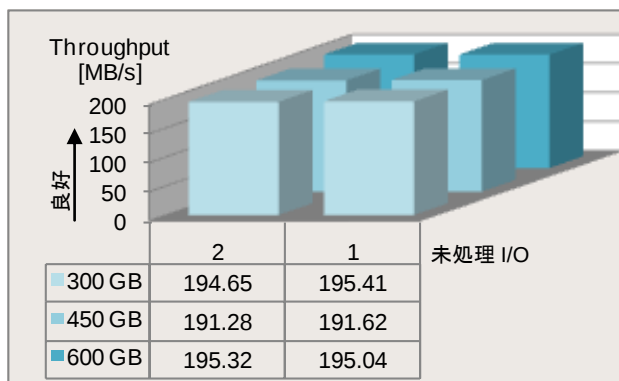
標準負荷プロファイル「ファイルコピー」（ランダムアクセス、50 %リード、50 %ライト、64 KB のブロックサイズ）



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 のブロックサイズ)



標準負荷プロファイル「リストア」 (シーケンシャルアクセス、100 %ライト、64 KB のブロックサイズ)

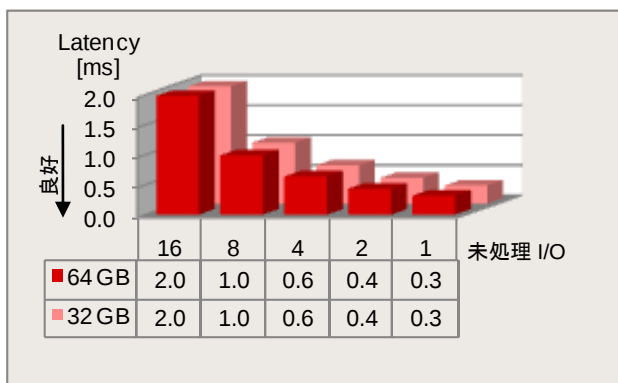
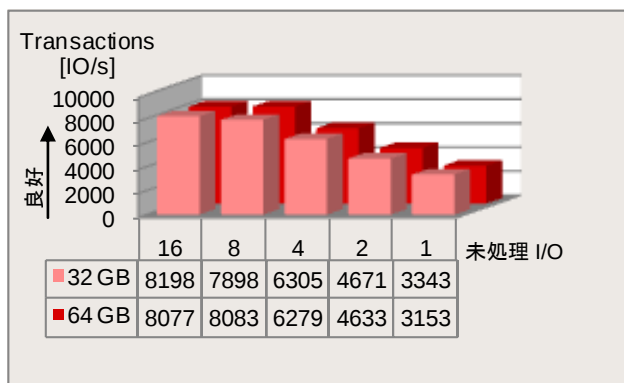


以降の 10 個のグラフは、それぞれ、標準負荷プロファイル「ファイルサーバ」、「データベース」、「ファイルコピー」、「ストリーミング」、および「リストア」で、同時リクエスト数（未処理 I/O）の増加に伴って負荷が増大した場合のパフォーマンス値（トランザクション、スループット、および応答時間）を示します。測定したハードディスクは次のとおりです。

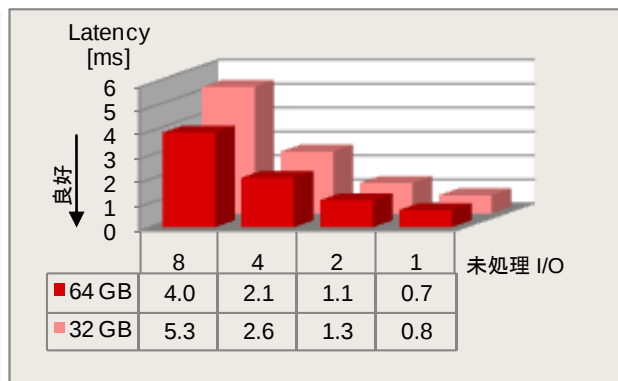
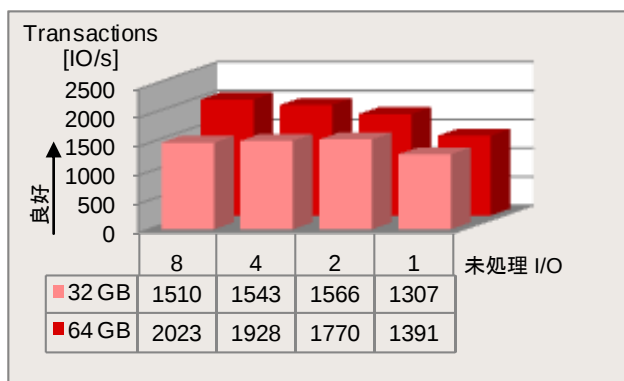
EP SSD SATA 3 Gbit/s 2.5 インチ 32 GB

EP SSD SATA 3 Gbit/s 2.5 インチ 64 GB

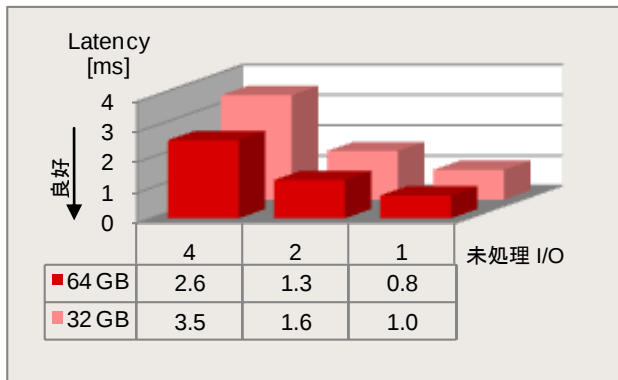
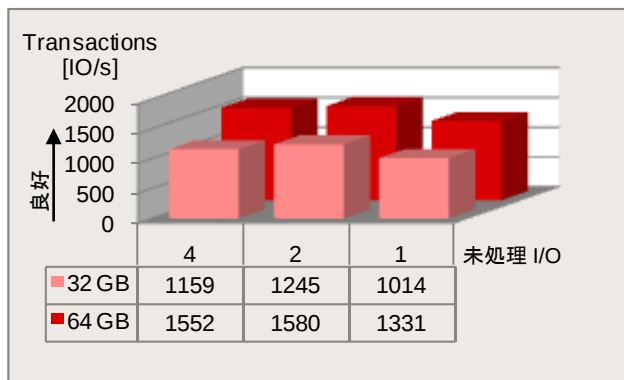
標準負荷プロファイル「データベース」（ランダムアクセス、67 %リード、33 %ライト、8 KB のブロックサイズ）



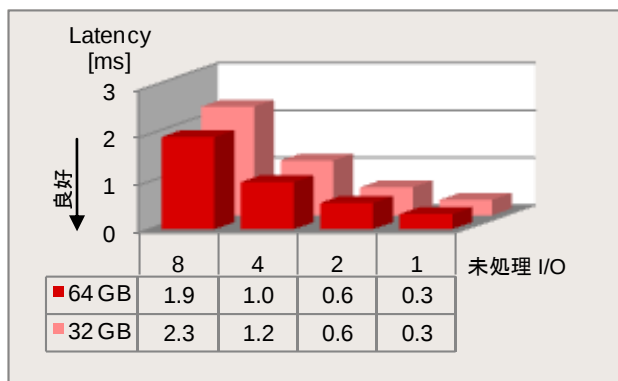
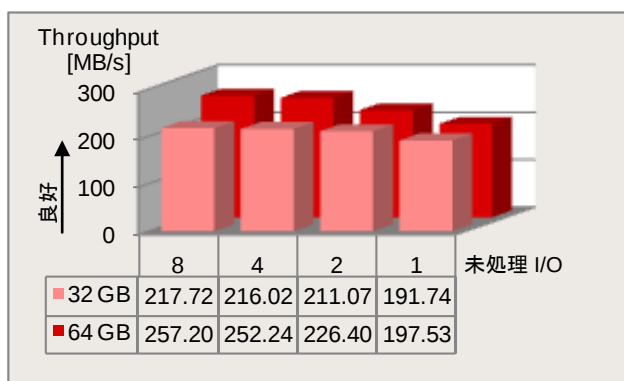
標準負荷プロファイル「ファイルサーバ」（ランダムアクセス、67 %リード、33 %ライト、64 KB のブロックサイズ）



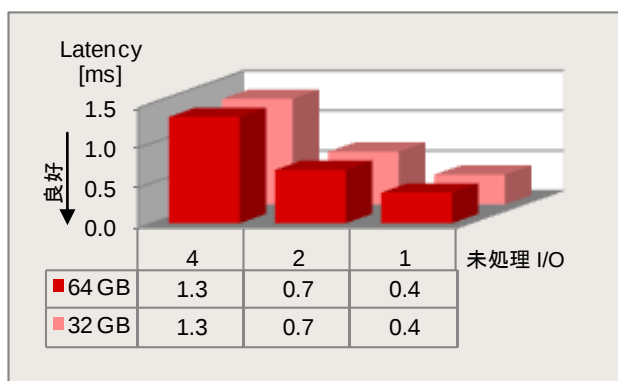
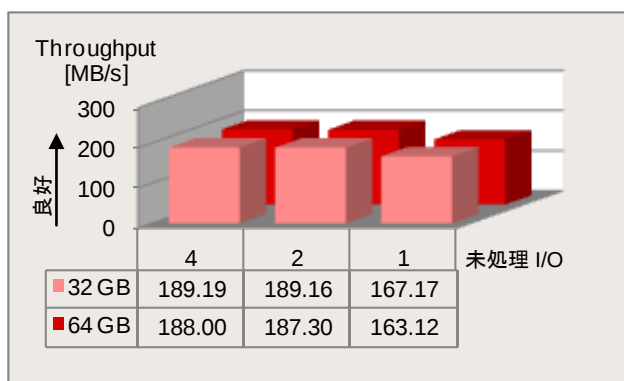
標準負荷プロファイル「ファイルコピー」（ランダムアクセス、50 %リード、50 %ライト、64 KB のブロックサイズ）



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 のブロックサイズ)



標準負荷プロファイル「リストア」 (シーケンシャルアクセス、100 %ライト、64 KB のブロックサイズ)



容量に関する検討の結論

容量のみが異なる 2 つのハードディスクでは、多くの場合、容量の大きいハードディスクがパフォーマンスもいくぶん高くなります。ハードディスクを RAID アレイ構成にするのはセキュリティ上の理由からのみではありません。パフォーマンスの面からも、必要な合計容量を可能な限り多くのハードディスクに分散することが最良の方法です。一般に、容量の小さいハードディスクがパフォーマンスも低いとしても、このことが当てはまります。多数のハードディスクを RAID アレイ構成にすると、容量が小さいためパフォーマンスが低いというデメリットを補う以上のメリットが得られます。

ディスクキャッシュ

SSD を含め、あらゆるハードディスクにはキャッシュが用意されています。

キャッシュにデータを一時保存することで、パフォーマンスに影響を与えます。ライトリクエストは、ハードディスクキャッシュに一時保存されます。リードリクエストはアプリケーションが待機しているためできるだけ速く処理する必要がありますが、ライトリクエストは通常、少し後で処理しても問題ないからです。これは、SSD でも同様です。

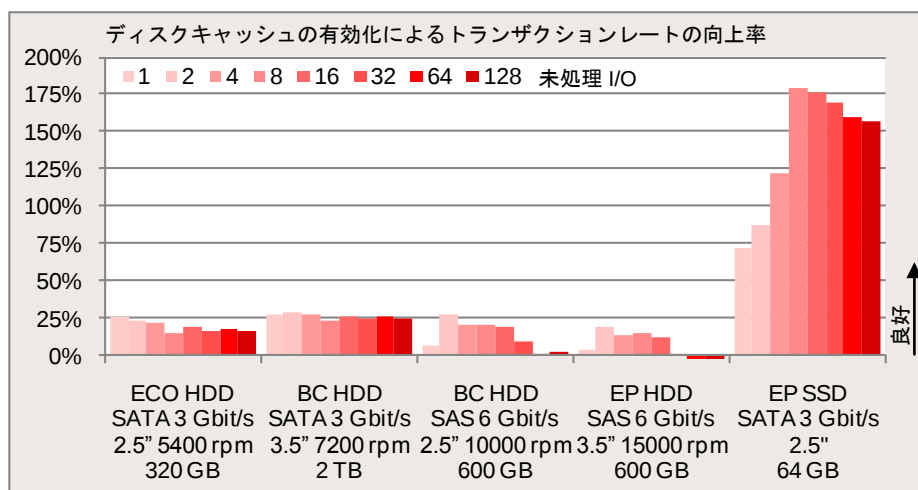
ハードディスクキャッシュは、ディスク I/O パフォーマンスに大きな影響を与えます。残念ながら、多くの場合、この機能は電源障害時の安全上の問題により無効化されています。しかし、ハードディスクメーカーは、ライトパフォーマンスを向上させるという妥当性を理由にこの機能を組み込んでいます。特に SAS ハードディスクに比べて回転が遅い SATA ハードディスクでは、パフォーマンスを向上させるためにディスクキャッシュを有効にすることを推奨します。メインメモリには、I/O アクセス用のはるかに大きなキャッシュがあり、オペレーティングシステムによって管理されています。したがって、電源障害時のデータ損失のリスクは、すでにメインメモリに存在します。データの損失を防止するには、システムに UPS を装備することを推奨します。ハードディスク比較の測定は、それぞれディスクキャッシュあり／なしで実施しました。以降の 5 個のグラフでは、標準負荷プロファイル「ファイルサーバ」、「データベース」、「ファイルコピー」、「ストリーミング」、および「リストア」で、典型的な状態で負荷密度（未処理 I/O）が増大した場合のハードディスクキャッシュの影響を示します。測定したハードディスクは次のとおりです。

ECO	HDD	SATA	3 Gbit/s	2.5 インチ	5400 rpm	320 GB
BC	HDD	SATA	3 Gbit/s	3.5 インチ	7200 rpm	2 TB
BC	HDD	SAS	6 Gbit/s	2.5 インチ	10000 rpm	600 GB
EP	HDD	SAS	6 Gbit/s	3.5 インチ	15000 rpm	600 GB
EP	SSD	SATA	3 Gbit/s	2.5 インチ		64 GB

キャッシュを有効にしたハードディスクにおけるそれぞれのパフォーマンス向上について、キャッシュが無効なハードディスクと比較して示します。スループットの向上は、トランザクションレートの向上に対応しています。また、平均応答時間の短縮は、トランザクションレートの向上に比例しています。測定精度は、約 95 % です。

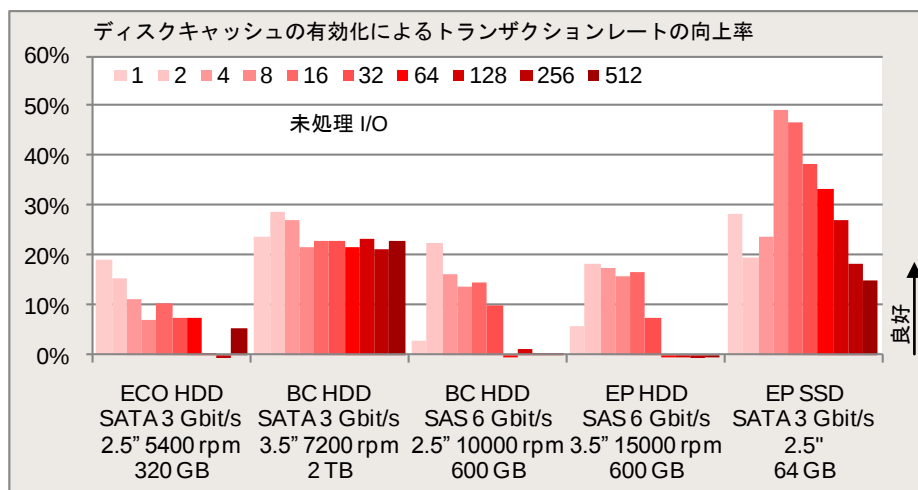
標準負荷プロファイル「データベース」（ランダムアクセス、67 % リード、33 % ライト、8 KB のブロックサイズ）

SATA-HDD でキャッシュを有効にすると、トランザクションレートを 15 %～25 % 改善することができます。SAS-HDD では、パフォーマンスの向上は負荷密度に依存します。中程度の負荷の場合、SATA-HDD のパフォーマンス向上をやや下回ります。負荷が低いまたは非常に高い場合、パフォーマンス向上はほぼ 0 です。最も効果が大きいのは、SATA-SSD でキャッシュを有効にした場合です。トランザクションレートの増加は、最大 175 % に上ります。



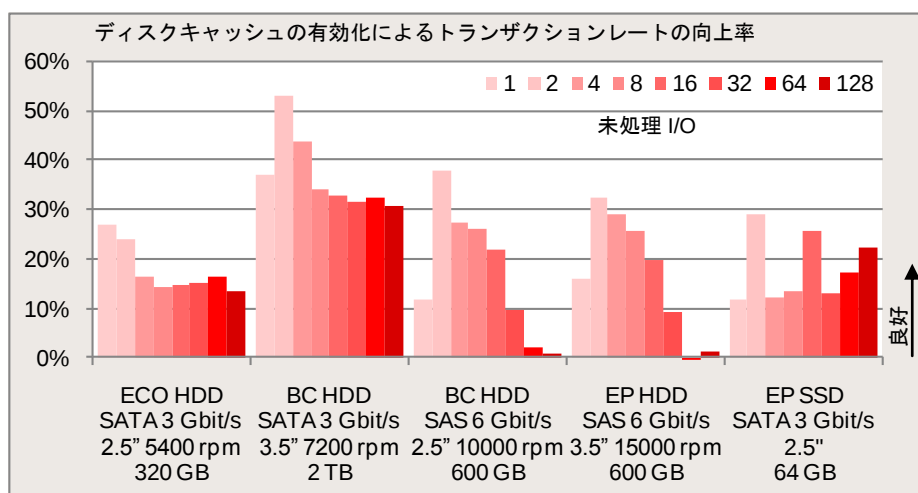
標準負荷プロファイル「ファイルサーバ」 (ランダムアクセス、67 %リード、33 %ライト、64 KB のブロックサイズ)

BC SATA-HDD では、キャッシュを有効にすることで、トランザクションレートを少なくとも 20 %改善できます。SAS-HDD と ECO SATA-HDD では、パフォーマンスの向上は負荷密度に依存します。これは主に 5 %～ 20 %の範囲です。キャッシュが無効な場合も有効な場合と同じパフォーマンスが得られるのは、非常に負荷が大きい場合のみです。最も効果が大いなのは、SATA-SSD でキャッシュを有効にした場合です。トランザクションレートの増加は、最大 50 %に上ります。



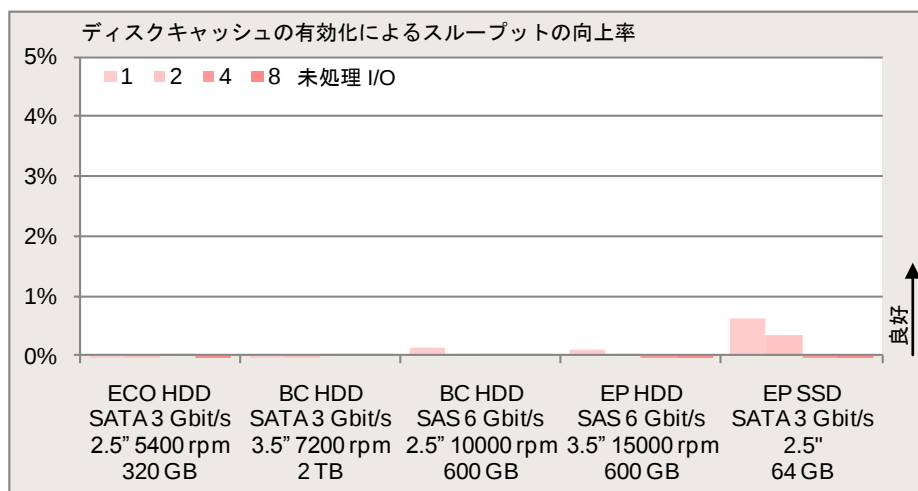
標準負荷プロファイル「ファイルコピー」 (ランダムアクセス、50 %リード、50 %ライト、64 KB のブロックサイズ)

ECO SATA-HDD でキャッシュを有効にすると、トランザクションレートを 13 %～ 27 %改善することができます。BC SATA-HDD のパフォーマンス向上は 31 %～ 53 %です。SAS-HDD では、パフォーマンスの向上は負荷密度に依存します。負荷密度によっては 30 %以上パフォーマンスが向上しますが、非常に負荷が大きい環境ではほぼ 0 に低下します。SATA-SSD のパフォーマンス向上は 12 %～ 29 %です。



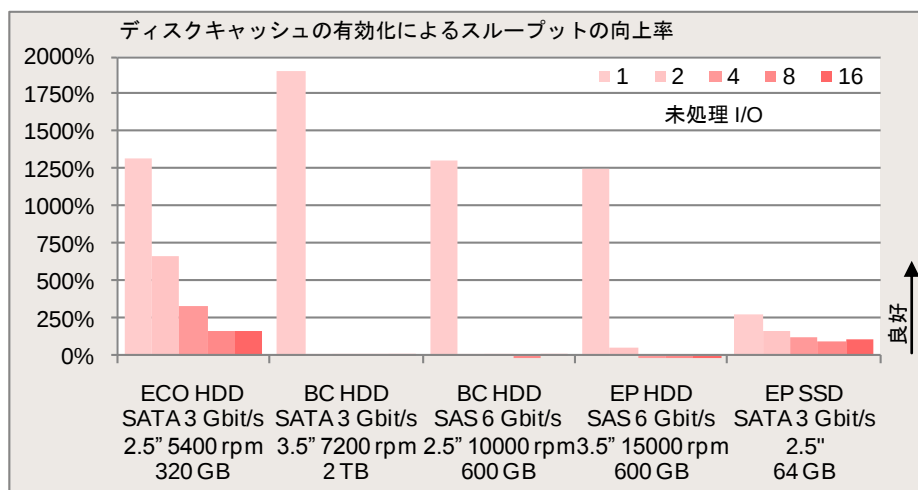
標準負荷プロファイル「ストリーミング」 (シーケンシャルアクセス、100 %リード、64 KB のブロックサイズ)

この場合は、一般に、ハードディスクのキャッシュを使用するメリットはありません。



標準負荷プロファイル「リストア」 (シーケンシャルアクセス、100 %ライト、64 KB のブロックサイズ)

ECO SATA-HDD では、キャッシュを有効にすることで、スループットを 14 倍向上させることができます。高負荷の環境でも、スループットが少なくとも 2 倍になります。その他の HDD では、低負荷の場合、キャッシュを有効にすることでスループットが飛躍的に高まる可能性があります。高負荷の環境では、キャッシュを無効にしても、同様の高いスループットが得られます。SATA-SSD では、キャッシュを有効にすることで、スループットが約 4 倍に向上します。高負荷の環境でも、スループットが少なくとも 2 倍になります。



結論

富士通は、考えられるあらゆるシナリオ（業務時間のみ稼動すれば足りる小さな部門のサーバから高可用性のデータベースサーバまで）に対応するため、PRIMERGY サーバ向けに、さまざまなパフォーマンスと可用性機能を備えた多数のハードディスクを提供しています。3 つのハードディスククラス（エコノミッククラス（ECO）、ビジネスクリティカルクラス（BC）、およびエンタープライズクラス（EP））が定義されており、個々のハードディスクタイプを分類する指針となります。

- エコノミッククラス（ECO）のハードディスクは、最もコスト効率の高い製品です。これらのディスクは、パフォーマンスとフェイルセーフ機構について最高レベルの要件を満たす必要がない場合に選択します。これらは、高いトランザクションレートが予想されず、24 時間 365 日常時稼動する必要がない、重要性の低いアプリケーション領域でのみ使用してください。ECO ハードディスクは、SATA インターフェースを備え、5400 rpm または 7200 rpm の回転速度で作動します。
- ビジネスクリティカルクラス（BC）は、24 時間 365 日の稼動に適し、最高のフェイルセーフ機構の要件を満たします。また、容量が大きいので、GB あたりのコストが最小です。BC ハードディスクには、SATA インターフェースで回転速度が 7200 rpm のタイプと、SAS インターフェースで回転速度が 10000 rpm のタイプがあります。
- エンタープライズクラス（EP）のハードディスクは、最高のパフォーマンスを備えると同時に、最高のセキュリティ要件に対応します。また、負荷の大きな環境で、最高のスループット要件も満たす必要があるシナリオに特化しています。EP ハードディスクには、SAS インターフェースを備えた回転速度 15000 rpm のディスクと、SATA SSD があります。

このような分類のほか、ハードディスクは使用されている技術（HDD または SSD）、インターフェース（SAS または SATA）、形状（2.5 インチまたは 3.5 インチ）および回転速度や容量によっても区別されます。ディスクサブシステムを容量やパフォーマンスについてサイジングする場合、これらの要因がすべて影響を及ぼします。

従来型のハードディスクと比較して、SSD は短いアクセス時間、機械的堅牢性、低ノイズ、および低消費電力の点で優れていますが、今日ではまだ容量が非常に小さく高価です。特に、データベースアプリケーションなどのランダムアクセスでは、SSD は従来型のハードディスクよりもはるかに高いトランザクションレートを実現します。

SAS-HDD は、（SATA-HDD に比べて）回転速度が速いので、アクセス時間を短縮し、高いスループットを得ることができます。また、標準の 6 Gbit/s SAS-2.0 インターフェースは、現時点の SAS-HDD の中で定評があります。SATA-HDD は、SAS-HDD に比べて回転速度が遅いので、アクセス時間が長く、スループットが低くなります。今日でも大部分のハードディスクが、SATA によって 3 Gbit/s インターフェースに接続されています。しかし、SATA-HDD はテラバイト単位の大容量を提供し、非常に低コストです。特に、セカンダリストレージやバックアップシステムでの使用に適しています。

2.5 インチハードディスクを使用すると、1 台のサーバに、より多くのハードディスクを設置できます。これにより、RAID レベルに応じて、RAID でより多くのハードディスクを使用できるので、並行処理を高度化して全体のパフォーマンスを高めることができます。

使用するハードディスクの種類は、必要なパフォーマンスに応じて、回転速度も含めて決定する必要があります。現行の SAS ハードディスク（15000 rpm）は、現行の SAS-HDD（10000 rpm）と比較して、パフォーマンスが 20 %～30 %高くなります。

容量のみが異なる 2 つのハードディスクでは、多くの場合、容量の大きいハードディスクがパフォーマンスもいくぶん高くなります。パフォーマンスの面からも、必要な合計容量を可能な限り多くのハードディスクに分散することが最良の方法です。一般に、容量の小さいハードディスクがパフォーマンスも低いとしても、このことが当てはまります。多数のハードディスクを RAID アレイ構成にすると、容量が小さいためパフォーマンスが低いというデメリットを補う以上のメリットが得られます。

最大のパフォーマンスを確保するため、特に SATA-HDD ではハードディスクキャッシュを有効化することを推奨します。なお、ハードディスクのキャッシュを有効にする場合は、UPS の使用を推奨します。

関連資料

PRIMERGY システム

<http://ts.fujitsu.com/primergy>

PRIMERGY のパフォーマンス

http://ts.fujitsu.com/products/standard_servers/primergy_bov.html

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>

RAID コントローラーのパフォーマンス

<http://docs.ts.fujitsu.com/dl.aspx?id=38e25913-195d-4f59-9efa-adaa2478ad6b>

RAID のパフォーマンス

<http://docs.ts.fujitsu.com/dl.aspx?id=c852cc6b-e5af-46aa-ab60-4a5a154d42a8>

Iometer についての情報

<http://www.iometer.org>

PC サーバ PRIMERGY (プライマジー)

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

お問い合わせ先

富士通テクノロジー・ソリューションズ

Web サイト : <http://ts.fujitsu.com>

PRIMERGY のパフォーマンスとベンチマーク

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

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://ts.fujitsu.com/terms_of_use.html を参照してください。

2011-08-31 WW JA

Copyright © Fujitsu Technology Solutions GmbH 2011