

ホワイトペーパー

FUJITSU PRIMERGY サーバ

XEON E5-2600/4600 (SANDY BRIDGE-EP)

搭載システムのメモリパフォーマンス

Xeon E5-2600/4600 (Sandy Bridge-EP) 搭載 PRIMERGY モデルは、QuickPath インターコネクト (QPI) のメモリアーキテクチャーの拡張で、パフォーマンスが目覚しく向上します。これは 2 世代のシステムで証明されています。このホワイトペーパーでは、変更されたアーキテクチャーのパラメーターについて説明し、それが商用アプリケーションのパフォーマンスに与える影響を数量化します。

バージョン

1.2

2012-12-07



目次

ドキュメントの履歴	2
はじめに	3
メモリアーキテクチャー	4
DIMM スロット	4
DIMM タイプ	5
メモリ周波数の定義	7
BIOS パラメーター	9
パフォーマンスを考慮したメモリ構成	10
パフォーマンスモード構成	10
独立モード構成	13
対称型メモリ構成	13
メモリパフォーマンスに対する定量的影響	14
測定ツール	14
メモリチャネルへのインターリーブ	15
メモリ周波数	16
メモリランクへのインターリーブ	16
リモートメモリへのアクセス	17
冗長性を考慮した際のメモリパフォーマンス	18
関連資料	19
お問い合わせ先	19

ドキュメントの履歴

バージョン 1.0 (2012 年 3 月 23 日)

初版

バージョン 1.1 (2012 年 9 月 7 日)

Xeon E5-4600 搭載 PRIMERGY RX500 S7 の考慮事項

バージョン 1.2 (2012 年 12 月 7 日)

メモリ周波数の定義の章での説明追加

はじめに

デュアルソケット PRIMERGY サーバの現行世代には、Intel Xeon E5-2600 (Sandy Bridge-EP) プロセッサが搭載され、技術および科学アプリケーションで、パフォーマンスに最大 70 % と 120 % の向上があります。こうしたパフォーマンスの向上は、プロセッサあたり最大 8 つのコアを搭載した新しいマイクロアーキテクチャ、メモリシステムの向上、「オンチップ」 PCIe を介した新しい I/O 接続によるものです。Xeon 5600 (Westmere-EP) を搭載した先行世代の 32nm (ナノメートル) 製造プロセスが採用されています。

さらに、近い関係にある Intel Xeon E5-4600 (Sandy Bridge-EP) プロセッサシリーズは、同じ世代の 4 台のプロセッサへの拡張が可能です。それに基づく新しい PRIMERGY RX500 S7 は、Xeon E7-4800 (Westmere-EX) 搭載の 4 ソケットサーバ PRIMERGY RX600 S6 [関連資料 6] を補完するものです。

先行世代の Nehalem-EP と Westmere-EP のメモリアーキテクチャーで実証済みの主要機能が維持されています。プロセッサには、オンチップメモリコントローラが搭載されており、各プロセッサはそれぞれに割り当てられているメモリモジュールのグループを制御します。このローカルメモリアクセスのパフォーマンスは、非常に優れています。このプロセッサは、片方向シリアル QPI (QuickPath インターコネクト) リンク経由でメモリの内容を隣接プロセッサに提供し、同時に隣接プロセッサにメモリの内容を要求します。リモートアクセスのパフォーマンスは、さほど高くありません。ローカルメモリとリモートメモリアクセスを区別するこのアーキテクチャーは、NUMA (Non-Uniform Memory Access : 非均等型メモリアクセス) タイプのアーキテクチャーです。

プロセッサの演算処理パフォーマンスの向上に対応するために、メモリアーキテクチャーのパラメーターが調整されています。プロセッサあたりのメモリチャネルは 4 つあります (前世代では 3 つ)。最大メモリ周波数は、1333 MHz から 1600 MHz に増えています。デュアルソケット PRIMERGY モデルの場合は、プロセッサは 1 つではなく 2 つの QPI リンクペアに接続されます。最大 QPI 周波数は、6.4 GT/s (ギガトランスファー/秒) ではなく 8.0 GT/s になります。2009 年 3 月に Xeon 5500 (Nehalem-EP) 搭載システムに QPI アーキテクチャーを導入して以来、このパラメータが調整されたのははじめてです。その結果、最も基本的なメモリパフォーマンスの指標であるメモリ帯域幅が、デュアルソケットサーバで 40 GB/s から 80 GB/s と 2 倍になりました。

可能な限り強力なシステムを構成するためには、メモリアーキテクチャーに関する基本的な知識が必要です。このホワイトペーパーでは、この基本情報を提供します。ここでは、次の点を取り上げます。

- NUMA アーキテクチャーであるため、すべてのプロセッサのメモリを可能な限り同等の構成にする必要があります。これは、各プロセッサが原則としてそのローカルメモリ上で動作するためです。
- メモリアクセスを並列化し、さらに高速化するために、物理アドレス空間の隣接する領域をメモリシステムの複数のコンポーネントに分散させます。これは技術用語でインターリーブと呼ばれます。インターリーブは 2 つの次元で行われます。まず、プロセッサあたり 4 つのメモリチャネルが横方向に存在します。各プロセッサ上の PRIMERGY コンフィギュレータを同じタイプの 4 枚 1 組の DIMM (Dual Inline Memory Module : デュアルインラインメモリモジュール) による「パフォーマンスモード」構成にすることで、この方向への最適なインターリーブを実現しています。また、個々のメモリチャネルの中でもインターリーブを実現しています。このための決定的なメモリリソースが、いわゆるランク数です。ランク数は、DIMM の下位構造で、ここに DRAM (Dynamic Random Access Memory : ダイナミックランダムアクセスメモリ) チップのグループが統合されています。個々のメモリアクセスでは、常にこのようなグループを参照します。
- パフォーマンスに影響を与えるメモリ周波数は、プロセッサのタイプ、DIMM のタイプと数によって、1600 MHz、1333 MHz、1066 MHz があります。また、消費電力を削減するために BIOS 設定によって周波数を 800 MHz に下げることができます。メモリ容量が非常に大きい場合、メモリモジュールを低電圧、低消費電力モードに設定すると、メモリ周波数が制限されます。そのため、パフォーマンス、容量、消費電力の 3 点を相互に調整する必要があります。

このホワイトペーパーでは、影響を与える要因を取り上げ、数量化しています。数量化には、STREAM と SPECint_rate_base2006 のベンチマークを使用します。STREAM でメモリ帯域幅を測定します。SPECint_rate_base2006 は、商用アプリケーションのパフォーマンスのモデルとして使用されます。

測定結果では、プロセッサのパフォーマンスごとの影響をパーセンテージで示します。構成プロセッサモデルが強力であるほど、本書で取り上げているメモリ構成の問題について十分に考慮する必要があります。

ミラーリングやランクスペアリングなど、冗長性を考慮する場合のメモリパフォーマンスについては、本書の最後にまとめています。

メモリアーキテクチャー

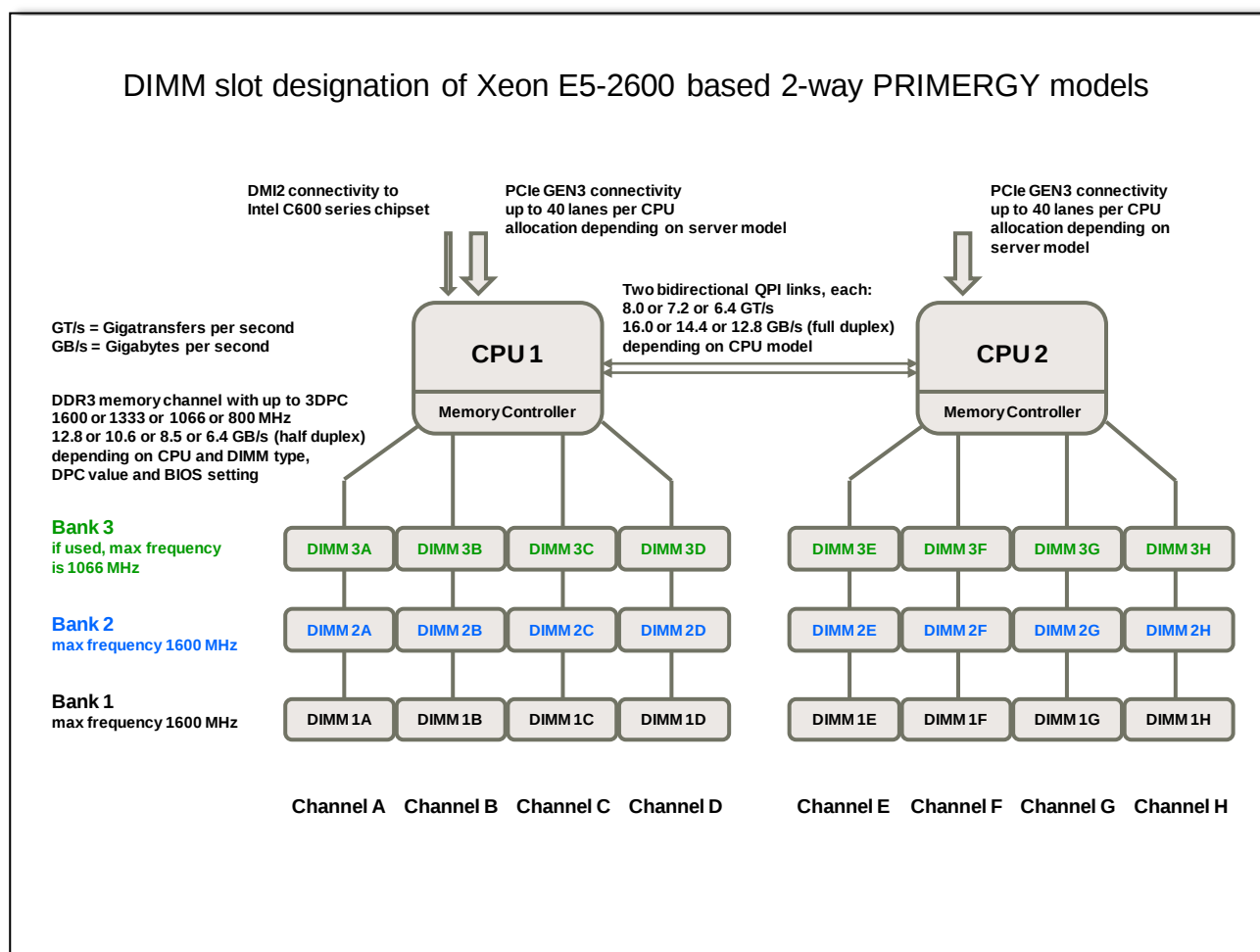
ここでは、4 部構成でメモリシステムの概要を説明します。まずブロック図で、利用可能な DIMM スロットの配置を説明します。2 つ目のセクションでは、使用可能な DIMM タイプを示します。続く 3 つ目のセクションでは、有効なメモリ周波数への影響について説明します。最後のセクションでは、メモリシステムに影響を与える BIOS パラメーターについて説明します。

DIMM スロット

次の図は、メモリシステムの構造を示します。1 つ目の図は、デュアルソケット PRIMERGY モデルに関するもので、個々のメモリリソースの説明と帯域幅の詳細を示しています。2 つ目の図は、PRIMERGY RX500 S7 に関するものです。分かりやすくするために詳細は省かれていますが、デュアルソケットモデルの場合と同様です。

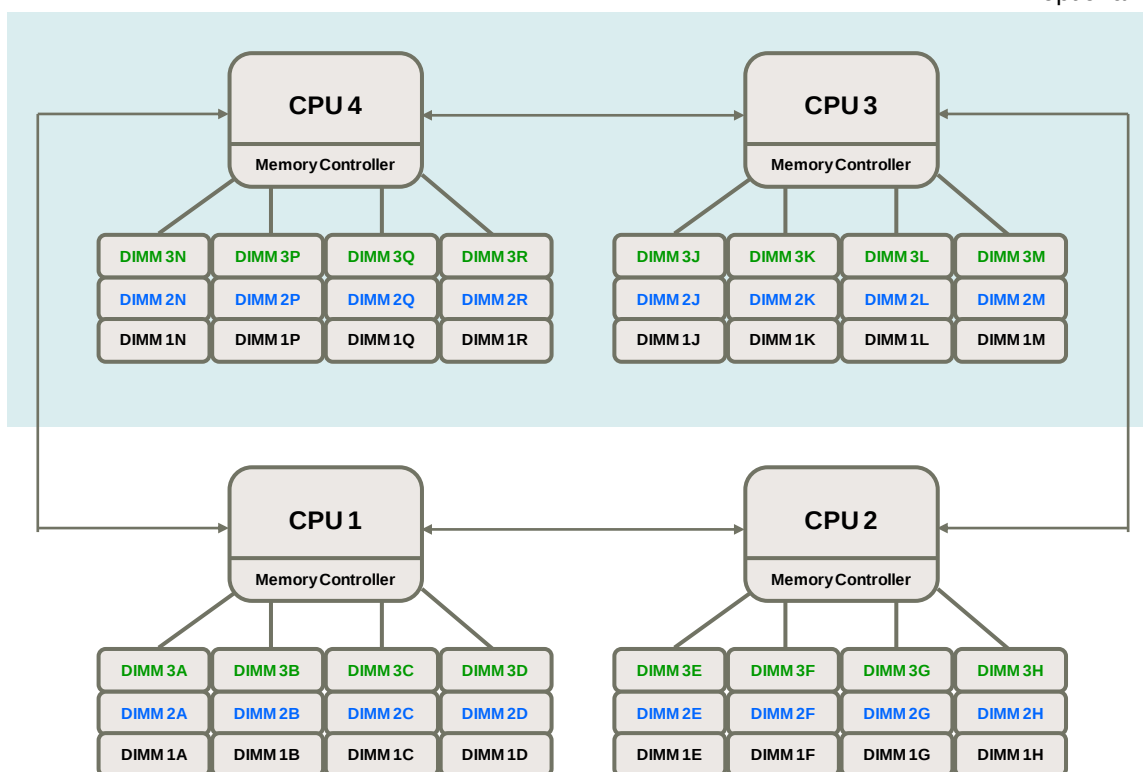
すべての Xeon E5-2600/4600 搭載の PRIMERGY サーバには、プロセッサあたり 12 本の DIMM スロットがあります。

1 つのプロセッサには、常に 4 つのメモリチャネルが存在します。チャネルあたりの DIMM 数が変わると、メモリ周波数に変化が生じ、さらにはメモリパフォーマンスに影響を与えます。この値は、DPC（チャネルあたりの DIMM 数）と呼ばれます。以降、この用語を使用します。チャネルの構成が異なる場合、発生する最大 DPC 値は、メモリ構成が周波数に与える影響の決定的な要因になります。



DIMM slot designation of Xeon E5-4600 based PRIMERGY RX500 S7

optional



以降では、「メモリバンク」という用語も使用します。図では、複数のチャンネルに分配されている 4 つの DIMM のグループが、1 つのバンクを形成しています。図中の色（黒、青、緑）は、サーバのメインボード上で、構成エラーを防ぐためにバンクに付けられたカラーマークに対応します。プロセッサあたりの利用可能なスロット経由で DIMM を分配する場合、バンク 1 から順に割り当てることにより、チャンネル全体で最適なインターリーブが得られます。インターリーブは、メモリパフォーマンスに影響を与える主要な要因です。

DIMM スロットを使用するためには、対応するプロセッサを搭載する必要があります。最大構成がない場合、空のプロセッサソケットに割り当てられたスロットは使用できません。

DIMM タイプ

メモリ構成にあたっては、次の表に示す DIMM 数が考慮されます。DIMM には、*unbuffered* (UDIMM)、*Registered* (RDIMM)、*load reduced* (LRDIMM) があります。この 3 つの DIMM タイプを組み合わせた構成はできません。表の最後の列は、DIMM が PRIMERGY RX500 S7 でも使用できるかどうかを示します。UDIMM は構造がシンプルのため、最大容量は RDIMM より小さいです。よりシンプルなデザインによって、アクセス遅延とエネルギー消費量が小さくなるというメリットがありますが、3DPC 構成ができないという制限もあります。

RDIMM では、メモリコントローラーの制御コマンドが、DIMM 上の独自のコンポーネントにあるレジスター内でバッファーされます（これが名前の由来です）。これにより、メモリチャンネルの制限が解放され、UDIMM では不可能な 3DPC が可能になります。

どの DIMM タイプでも、データは 64 ビット単位で転送されます。これが、DDR3-SDRAM メモリテクノロジーの特徴です。64 ビットの帯域幅のメモリ領域は、DRAM チップのグループから DIMM 上に設定されます。この個々のチップが 4 ビットまたは 8 ビットを受け持ちます（タイプ名のコード x4 または x8 を参照

してください)。このようなチップグループをランクと呼びます。表に示すように、1 ランク、2 ランク、または 4 ランクの DIMM タイプがあります。メモリチャネルあたりの利用可能なランク数は、パフォーマンスに一定の影響を及ぼします。これについては後述します。

DIMM の x4 または x8 構造は、エラー（修正できるものと修正できないものを含めて）の検出度に影響します。このため、表内の 4GB 2Rx8 PC3L-12800R RDIMM は他の使用可能な RDIMM（すべて x4）と一緒にできません。

DIMM タイプ (JEDEC/System Architect)	制御	最大周波数 (MHz)	電圧	ランク 数	容量	GB あたりの 相対価格	RX500 S7
2GB 1Rx8 PC3L-12800E 2GB (1x2GB) 1Rx8 L DDR3-1600 U ECC	Unbuffered	1600	1.5/ 1.35	1	2 GB	1.5	
4GB 2Rx8 PC3L-12800E 4GB (1x4GB) 2Rx8 L DDR3-1600 U ECC	Unbuffered	1600	1.5/ 1.35	2	4 GB	1.1	
4GB 1Rx4 PC3L-10600R 4GB (1x4GB) 1Rx4 L DDR3-1333 R ECC	Registered	1333	1.5/ 1.35	1	4 GB	1.3	
4GB 1Rx4 PC3L-12800R 4GB (1x4GB) 1Rx4 L DDR3-1600 R ECC	Registered	1600	1.5/ 1.35	1	4 GB	1.4	x
4GB 2Rx8 PC3L-12800R 4GB (1x4GB) 2Rx8 L DDR3-1600 R ECC	Registered	1600	1.5/ 1.35	2	4 GB	1.4	x
8GB 2Rx4 PC3L-10600R 8GB (1x8GB) 2Rx4 L DDR3-1333 R ECC	Registered	1333	1.5/ 1.35	2	8 GB	1.0	
8GB 2Rx4 PC3L-12800R 8GB (1x8GB) 2Rx4 L DDR3-1600 R ECC	Registered	1600	1.5/ 1.35	2	8 GB	1.2	x
16GB 2Rx4 PC3L-12800R 16GB (1x16GB) 2Rx4 L DDR3-1600 R ECC	Registered	1600	1.5/ 1.35	2	16 GB	1.3	x
16GB 4Rx4 PC3L-10600L 16GB (1x16GB) 4Rx4 L DDR3-1333 LR ECC	load reduced	1333	1.5/ 1.35	4	16 GB	1.5	x
32GB 4Rx4 PC3L-10600L 32GB (1x32GB) 4Rx4 L DDR3-1333 LR ECC	load reduced	1333	1.5/ 1.35	4	32 GB	3.5	x

大型メモリ容量は 4 ランク DIMM のメリットです。LRDIMM が従来の 4 ランク RDIMM に代わってはじめで導入されました。これまでは、メモリチャネルごとのサポートが最大 8 ランクであるために 2DPC に制限されていました。LRDIMMS では、制御コマンドとは別に、データ自体も DIMM 上のコンポーネントにバッファされます。さらに、この DIMM タイプの「ランク乗算」機能により、いくつかの物理ランクを仮想ランクにマップできます。したがって、メモリコントローラーは仮想ランクを監視するだけです。この機能は LRDIMM での 3DPC 構成の場合に使用されます。4 ランク モジュールの 3DPC 構成は、最大メモリ容量がかなり増えて、Xeon E5-2600/4600 搭載の革新的なサーバ世代です。

UDIMM、RDIMM または LRDIMM のうち、どのタイプグループが望ましいかは、通常、必要なメモリ容量によって決まります。周波数とランク数のパフォーマンスへの影響は、3 タイプどれも同じです。こうした影響は、タイプとは関係がありません。タイプごとにパフォーマンスに影響が出ることもあります。非常に小さいため、たいいていの場合は無視できます。タイプごとの影響として、ここで例を 3 つ挙げておきます。ただし、大きな影響ではないため、システムによる定量的評価には表れません。

- DIMM にコンポーネントを追加したために、DIMM タイプ UDIMM、RDIMM および LRDIMM の複雑さが増し、アクセス遅延がわずかに数ナノ秒ほど長くなります。
- UDIMM の場合、メモリチャネルの負荷が高くなるにつれ、いわゆる 2N 周波数での 2DPC 構成が必要になります。DIMM に対するアドレスコマンドは、メモリチャネルのすべての 2 次クロックでのみ可能であるためです。これにより、最大メモリ帯域幅が数パーセント減少します。しかし、アプリケーションのパフォーマンスに対する効果は望めません。

- ランク乗算は LRDIMM での 3DPC 構成の場合、DIMM での 3DPC 構成と比べて、5 %以下の最大メモリ帯域幅の減少とアプリケーションパフォーマンスの低下があります。

現行のすべての DIMM タイプは、1.5 V または低消費電力の 1.35 V で動作します。ただし、1.35 V での動作は 3DPC 構成ではできず、メモリ周波数、さらにはメモリパフォーマンスの低下につながる可能性があります。次のセクションでは、メモリ周波数について取り上げ、こうした相互関係にスポットを当てます。

特定の構成の有効な周波数は、一連の影響に左右されます。DIMM タイプの表内の最大周波数は、こうした有効な周波数の上限を表しているにすぎません。

表の最後から 2 番目の列には、相対的な価格差を示します。それぞれの価格は、2012 年 9 月現在の PRIMERGY RX300 S7 の料金表を使用しています。ここでは 8 GB の Registered PC3L-10600R DIMM を基準とし（1 として強調表示）、GB あたりの価格比を示します。DDR3-SDRAM メモリモジュールの導入以降、相対価格の状況は絶えず変化しています。現時点で、1333 MHz RDIMMS のコストはやや低下しています。新しい LRDIMM は高価です。

PRIMERGY モデルによっては、一部の DIMM タイプを利用できない場合があります。常に最新のシステム構成図を参照してください。また、販売地域によっても、利用できない DIMM タイプがあります。

メモリ周波数の定義

メモリの周波数には、1600、1333、1066 または 800 MHz の 4 種類があります。システムに電源が入ると、周波数が BIOS によって定義され、プロセッサごとではなくシステムごとに適用されます。まず、定義上、構成プロセッサモデルが非常に重要になります。Xeon E5-2600/4600 モデルは 3 つのクラスに分かれ、メモリ周波数の上限は次の表のようになります。

CPU タイプ	最大メモリ周波数 [MHz]	QPI (GT/s)	Xeon E5-2600 モデル	Xeon E5-4600 モデル
Advanced	1600	8.0	E5-2690, E5-2680, E5-2670, E5-2665, E5-2660, E5-2650, E5-2650L, E5-2667, E5-2643, E5-2637	E5-4650, E5-4640, E5-4650L
Standard	1333	7.2	E5-2640, E5-2630, E5-2620, E5-2630L	E5-4620, E5-4610, E5-4617
Basic	1066	6.4	E5-2609, E5-2603	E5-4607, E5-4603

DIMM タイプおよびメモリ構成の DPC 値によっても、周波数が制限されます。プロセッサタイプ、DIMM タイプ、および DPC 値はメモリ周波数に大きな影響を及ぼします。これを BIOS で無効にすることはできません。ただし、BIOS パラメーター「DDR Performance」により、パフォーマンスと消費電力を調整することはできます。パフォーマンスを選択した場合、有効なメモリ周波数は次の表のようになります。PRIMERGY RX500 S7 の UDIMM と 1333 MHz RDIMM の列は、ここでは関係ありません。

DDR Performance = Performance optimized (デフォルト設定) 灰色セル : 1.5V – 無色セル : 1.35V												
	UDIMM 1600 MHz			RDIMM 1600 MHz			RDIMM 1333 MHz			LRDIMM 1333 MHz		
CPU タイプ	1DPC	2DPC	3DPC	1DPC	2DPC	3DPC	1DPC	2DPC	3DPC	1DPC	2DPC	3DPC
Advanced	1333 ¹	1333	該当 せず	1600	1600	1066	1333	1333	1066	1333	1333	1066
Standard	1333	1333	該当 せず	1333	1333	1066	1333	1333	1066	1333	1333	1066
Basic	1066	1066	該当 せず	1066	1066	1066	1066	1066	1066	1066	1066	1066

¹ 1600 MHz (特別リリースの場合)

次の表は、低消費電力、1.35 V の「低電圧」での動作を優先する場合に有効です。ただし、1.35 V での動作は、1DPC および 2DPC の構成のみで可能なことを忘れないでください。

DDR Performance = Low-voltage optimized 灰色セル : 1.5V – 無色セル : 1.35V												
	UDIMM 1600 MHz			RDIMM 1600 MHz			RDIMM 1333 MHz			LRDIMM 1333 MHz		
CPU タイプ	1DPC	2DPC	3DPC	1DPC	2DPC	3DPC	1DPC	2DPC	3DPC	1DPC	2DPC	3DPC
Advanced	1066 ¹	1066	該当 せず	1333	1333	1066	1333	1333	1066	1066	1066	1066
Standard	1066	1066	該当 せず	1333	1333	1066	1333	1333	1066	1066	1066	1066
Basic	1066	1066	該当 せず	1066	1066	1066	1066	1066	1066	1066	1066	1066

¹ 1333 MHz (特別リリースの場合)

メモリパフォーマンスは、次の 3 つ目の構成で最も低くなります。

DDR Performance = Energy optimized 灰色セル : 1.5V – 無色セル : 1.35V												
	UDIMM 1600 MHz			RDIMM 1600 MHz			RDIMM 1333 MHz			LRDIMM 1333 MHz		
CPU タイプ	1DPC	2DPC	3DPC	1DPC	2DPC	3DPC	1DPC	2DPC	3DPC	1DPC	2DPC	3DPC
Advanced	800	800	該当 せず	800	800	800	800	800	800	800	800	800
Standard	800	800	該当 せず	800	800	800	800	800	800	800	800	800
Basic	800	800	該当 せず	800	800	800	800	800	800	800	800	800

機能の説明は、その多くがメモリ周波数に関連しています。アプリケーションパフォーマンスに対するメモリ速度の影響に関する数値を後で示します。その後に、この結果について説明します。低電圧に最適化する設定が、多くの実稼働アプリケーションにおいて最も効率的である必要があります。パフォーマンスに最適化する設定では、実現可能なパフォーマンスの向上が 1~2 % と、慎重に測定しないと検証できないほどわずかであるためです。低電圧での動作は、低消費電力という点では大きな決定的要因ですが、メモリ周波数

はそれほど低下しません。そのため、電力に最適化する設定はそれほど魅力的ではありません。メモリパフォーマンスが確実に低下する一方で、1.35 V での動作による消費電力の削減に加えてさらに消費電力を削減できるかどうかは確実ではないからです。

BIOS パラメーター

BIOS の [Advanced / Memory] に、次の 4 つのパラメーターを使用したメモリ構成に関するサブメニューがあります。

- Memory Mode : Independent / Mirroring / Sparing
- NUMA : enabled / disabled
- DDR Performance : Low-voltage optimized / Energy optimized / Performance optimized
- Patrol Scrub : enabled / disabled

4 つ目のパラメーターは、RAS (Reliability, Availability and Serviceability : 信頼性、可用性およびサービス可能性) 機能の重要な一部であり、修正可能なメモリエラーの修復に継続して使用されています。デフォルト設定は、[enabled] です。

3 つ目のパラメーター *DDR Performance* については、すでに前のセクションで詳しく説明しました。

物理アドレス空間をローカルメモリのセグメントから構築するか、またオペレーティングシステムに構造を通知するかを NUMA パラメーターで定義します。デフォルト設定は [enabled] で、明確な理由がない限り変更しないでください。PRIMERGY RX500 S7 の NUMA を無効にするデメリットは、デュアルソケットサーバの場合よりも重大です。そのため、このシステムにはこのパラメーターがありません。

1 つ目のパラメーターは、冗長性機能に関連しています。該当機能をオプションとして購入され、これらの機能が要求された場合、工場で適切なデフォルト設定が行われます。それ以外の場合、パラメーターは [independent] (冗長性なし) に設定されます。これらの機能がシステムパフォーマンスに与える影響に関する数値を後で示します。冗長性を考慮する場合のパフォーマンスと、最大限の実質メモリ容量に対する冗長性の効果は、Xeon 5600 搭載の旧システムと比較して大幅に向上しました。

パフォーマンスを考慮したメモリ構成

ここで説明する 3 つのメモリ構成は、PRIMERGY コンフィギュレータの用語に基づいています。1 つ目の構成は、理想的な方法でメモリシステムのトポロジーを利用し、最高のメモリパフォーマンスを提供する場合に適用します。コンフィギュレータは、これをパフォーマンスモード構成として参照します。

パフォーマンスモード構成

このモードでの構成は、同タイプの 4 枚 1 組の DIMM によるバンク単位で構成されており、プロセッサの 4 つのメモリチャネルがすべて同等に扱われます。メモリアクセスは、メモリシステムのこれらのリソースに均等に分散されます。技術的に言えば、メモリチャネル経由で最適な 4-WAY インターリーブが実現します。

さらにすべてのプロセッサが理想的に構成されているということを前提とすると、2-WAY PRIMERGY サーバのパフォーマンスモードには異なるメモリ容量が 16、PRIMERGY RX500 S7 には 14 あることとなります。この違いは、PRIMERGY RX500 S7 は UDIMM をサポートしていないので、2 GB サイズの DIMM タイプがないために生じます。2-WAY サーバでは、この容量は 16 ~ 768 GB の範囲で該当します。PRIMERGY RX500 S7 では、64 ~ 1536 GB の範囲です。この範囲の上限は、最大構成でもあります。

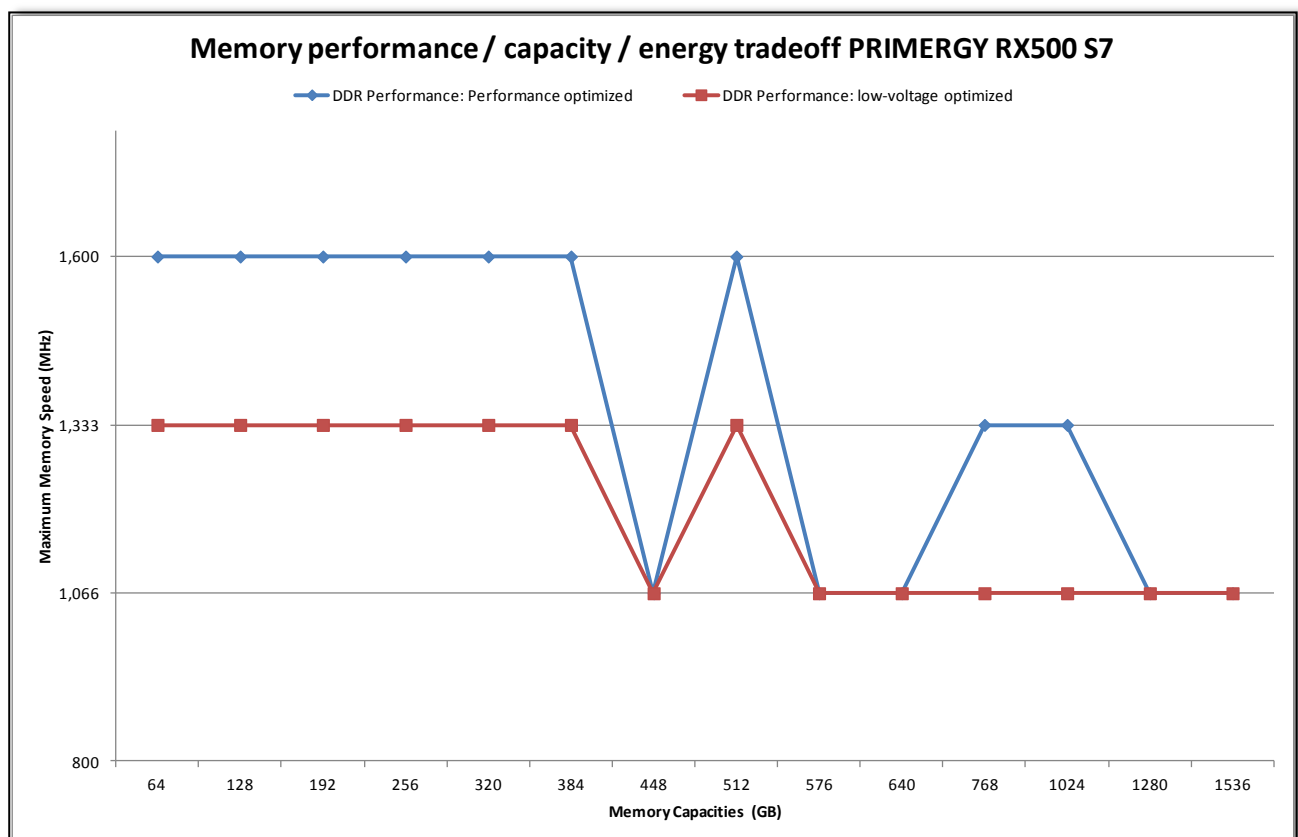
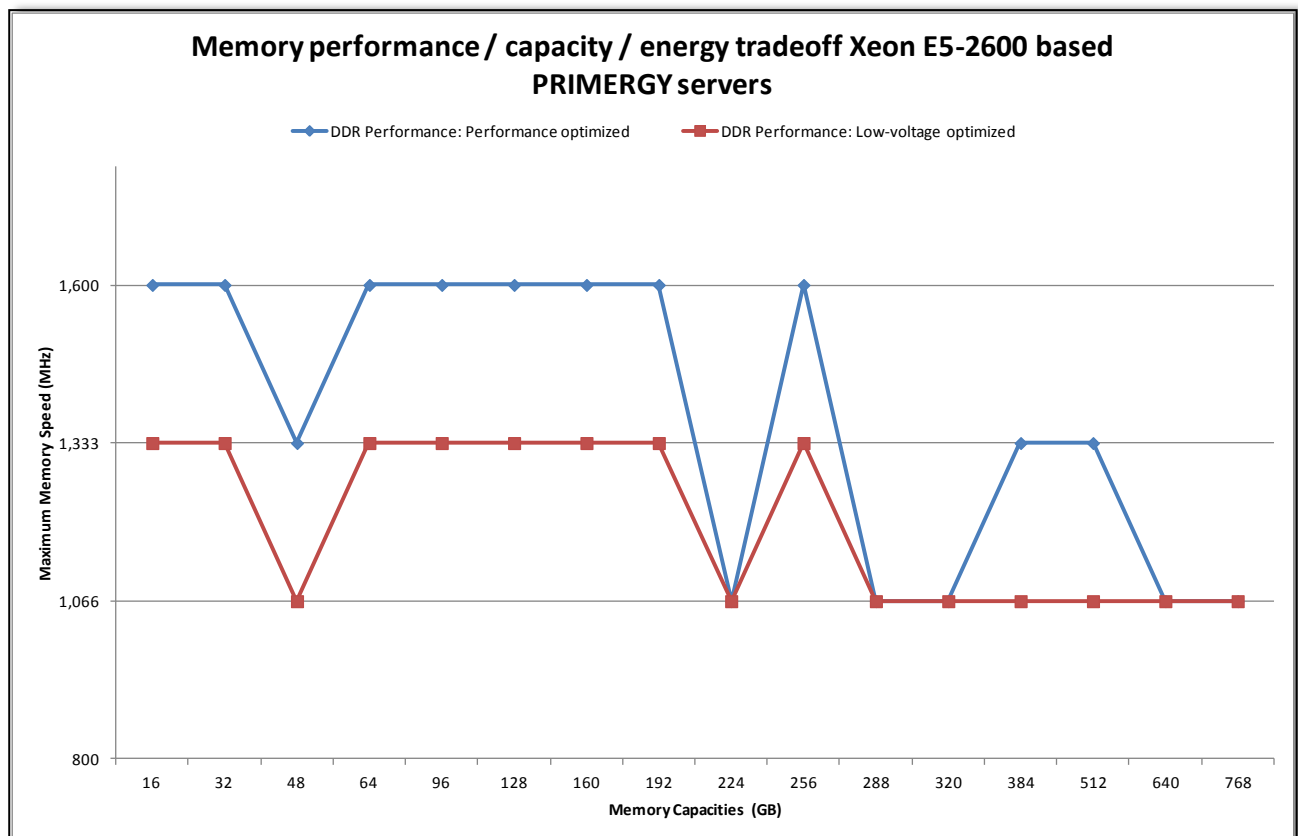
以下の 2 つの表に、これらのメモリ構成をリストします。この表は容量に関してはすべて網羅していますが、適合する DIMM タイプをすべて記載しているわけではありません。例えば、コスト面で不利なオプションは省略しています。

Xeon E5-2600 搭載サーバのパフォーマンスモード構成								
1 CPU システム	2 CPU システム	DIMM タイプ	DIMM 容 量 GB バ ンク 1	DIMM 容 量 GB バ ンク 2	DIMM 容 量 GB バ ンク 3	DPC 値	最大 MHz Performance optimized	最大 MHz Low-voltage optimized
8 GB	16 GB	UDIMM	2			1	1600	1333
16 GB	32 GB	UDIMM	4			1	1600	1333
		RDIMM	4			1	1600	1333
24 GB	48 GB	UDIMM	4	2		2	1333	1066
32 GB	64 GB	UDIMM	4	4		2	1333	1066
		RDIMM	8			1	1600	1333
48 GB	96 GB	RDIMM	8	4		2	1600	1333
64 GB	128 GB	RDIMM	8	8		2	1600	1333
		RDIMM	16			1	1600	1333
80 GB	160 GB	RDIMM	8	8	4	3	1066	1066
		RDIMM	16	4		2	1600	1333
96 GB	192 GB	RDIMM	8	8	8	3	1066	1066
		RDIMM	16	8		2	1600	1333
112 GB	224 GB	RDIMM	16	8	4	3	1066	1066
128 GB	256 GB	RDIMM	16	16		2	1600	1333
		LRDIMM	16	16		2	1333	1066
144 GB	288 GB	RDIMM	16	16	4	3	1066	1066
160 GB	320 GB	RDIMM	16	16	8	3	1066	1066
192 GB	384 GB	RDIMM	16	16	16	3	1066	1066
		LRDIMM	32	16		2	1333	1066
256 GB	512 GB	LRDIMM	32	32		2	1333	1066
320 GB	640 GB	LRDIMM	32	32	16	3	1066	1066
384 GB	768 GB	LRDIMM	32	32	32	3	1066	1066

PRIMERGY RX500 S7 のパフォーマンスモード構成								
2 CPU システム	4 CPU システム	DIMM タイプ	DIMM 容 量 GB バ ンク 1	DIMM 容 量 GB バ ンク 2	DIMM 容 量 GB バ ンク 3	DPC 値	最大 MHz Performance optimized	最大 MHz Low-voltage optimized
32 GB	64 GB	RDIMM	4			1	1600	1333
64 GB	128 GB	RDIMM	8			1	1600	1333
96 GB	192 GB	RDIMM	8	4		2	1600	1333
128 GB	256 GB	RDIMM	8	8		2	1600	1333
		RDIMM	16			1	1600	1333
160 GB	320 GB	RDIMM	8	8	4	3	1066	1066
		RDIMM	16	4		2	1600	1333
192 GB	384 GB	RDIMM	8	8	8	3	1066	1066
		RDIMM	16	8		2	1600	1333
224 GB	448 GB	RDIMM	16	8	4	3	1066	1066
256 GB	512 GB	RDIMM	16	16		2	1600	1333
		LRDIMM	16	16		2	1333	1066
288 GB	576 GB	RDIMM	16	16	4	3	1066	1066
320 GB	640 GB	RDIMM	16	16	8	3	1066	1066
384 GB	768 GB	RDIMM	16	16	16	3	1066	1066
		LRDIMM	32	16		2	1333	1066
512 GB	1024 GB	LRDIMM	32	32		2	1333	1066
640 GB	1280 GB	LRDIMM	32	32	16	3	1066	1066
768 GB	1536 GB	LRDIMM	32	32	32	3	1066	1066

表には、主に従来からの 2 のべき乗（8、16、32、64、128 GB など）のメモリサイズが含まれています。新しいシステム世代のプロセッサあたりのメモリチャネルが 3 つから 4 つに増えた結果、これらのメモリサイズにはパフォーマンスで小さなデメリットがあるという先行世代の特徴は、またしても打ち消されました。このデメリットは、これらのメモリサイズでは、3 つのメモリチャネル全体で最適なインターリーブを得ることはできないという事実に起因していました。

次の図は、メモリ容量、低消費電力、最大限のメモリパフォーマンスのメリットとデメリットをメモリ周波数ごとにまとめたものです。この図から、容量と低消費電力のために、メモリパフォーマンスがある程度犠牲になることがわかります。ただし、メモリ周波数のアクセシビリティは、構成するプロセッサのタイプによって左右されることも忘れないでください。



独立モード構成

これには、パフォーマンスモードや冗長モードには含まれない構成がすべて含まれます。

- UDIMM、RDIMM と LRDIMM、
- タイプ x4 と x8 の RDIMM

を混在させることはできないというルールを除けば、特に制限はありません。

プロセッサあたりの DIMM が 4 つ未満の構成、つまりパフォーマンスモード構成に必要な最小数未満の構成にも特に注意する必要があります。メモリ容量が非常に小さいというだけでなく、さらなる電力の削減を考慮して、このように構成される場合があります。低消費電力は、単に 1.35 V の動作や特定のメモリ構成の周波数の低減だけでなく、DIMM 数を最小限に抑えることでも実現します。以下に示すのは、4 つ未満のメモリチャネルの構成がシステムパフォーマンスに与える影響についての定量評価です。これにより、1-WAY インターリーブは推奨できません。プロセッサあたりの DIMM がわずか 1 つの構成に相当します。一方 2-WAY と 3-WAY の場合、これはプロセッサあたりの DIMM がそれぞれ 2 つと 3 つに相当しますが、パフォーマンスと消費電力に関して、バランスの取れた結果が得られる可能性があります。

対称型メモリ構成

最後のこのセクションでは、すべてのプロセッサのメモリを可能な限り同等に構成し、BIOS の *NUMA = enabled* のデフォルト設定を確たる理由なく変更するべきではないということに再度焦点を当てます。このように考慮されるのは、システムの QPI を実装したマイクロアーキテクチャーのみです。

工場でのプレインストールでは、このような状況が当然考慮されています。要求されたメモリモジュールは、プロセッサ全体に可能な限り均等に分散されます。

こうした手法と、関連するオペレーティングシステムによって、ローカルのハイパフォーマンスメモリで可能な限りアプリケーションを実行する前提条件が整備されます。プロセッサコアのメモリアクセスは、通常、各プロセッサに直接割り当てられた DIMM モジュールに対して行われます。これにどのようなパフォーマンス上のメリットがあるのかを見積もるため、2-WAY サーバのメモリが対称型に構成されているものの、BIOS オプションが *NUMA = disabled* に設定されている場合の測定結果を以下のリストに示します。統計上、各 2 次メモリアクセスは、リモートメモリに対して行われます。アプリケーションが 100 % リモートメモリによって実行される非対称型メモリ構成、または片側メモリ構成では、50 %/50 % の場合の 2 倍パフォーマンスが低下するものとして見積もる必要があります。

メモリパフォーマンスに対する定量的影響

メモリシステムの機能とその定性的情報を説明した後は、メモリ構成に関係するパフォーマンスの向上と低下について説明します。その準備として、最初のセクションでは、メモリパフォーマンスの特徴を表すための使用する 2 つのベンチマークについて説明します。

その後、すでに説明した特徴であるメモリチャネルのインターリーブ、メモリ周波数、およびランクのインターリーブについて、その影響の大きさの順に説明します。最後に、NUMA = disabled で、冗長性を考慮する場合のメモリパフォーマンスについて測定します。

定量的テストは、プロセッサクラスの Advanced（アドバンスド）、Standard（スタンダード）、Basic（ベーシック）のそれぞれに対して個別に実施しました。測定は、Linux オペレーティングシステムの 2 つのプロセッサを搭載した PRIMERGY RX200 S7 で行われました。プロセッサクラス Advanced（アドバンスド）には Xeon E5-2670 プロセッサを、Standard（スタンダード）には Xeon E5-2630 を、Basic（ベーシック）には Xeon E5-2603 を、それぞれ使用しました。PRIMERGY RX500 S7 についての同様の一連の測定では、定量的な関係はデュアルソケットサーバに等しく、変動は 3 % でした。このため、以下の表には PRIMERGY RX200 S7 の結果だけを示しています。

この表は、相対的なパフォーマンスを示しています。理想的なメモリ条件下での STREAM および SPECint_rate_base2006 のベンチマークの絶対測定値は通常、以下の表で 1.0 の値に相当しますが、Xeon E5-2600/4600 搭載 PRIMERGY サーバの個別のパフォーマンスレポートに記載されています。

このテストから得られた 1 つの重要な結果を、最初に明らかにしておきましょう。使用するプロセッサモデルが強力であるほど、パフォーマンスへの影響が顕著になり、構成の詳細をより慎重に検討する必要があります。Advanced（アドバンスド）クラスの最も強力で高価なプロセッサについて不可欠な考慮事項も、Basic（ベーシック）クラスについては、多くの場合無視できます。

測定ツール

測定は、STREAM および SPECint_rate_base2006 ベンチマークを使用して行いました。

STREAM ベンチマーク

STREAM ベンチマーク（開発者：John McCalpin 氏）[関連資料 3] は、メモリのスループットを測定するツールです。このベンチマークは、double 型データの大規模な配列でコピーおよび算術演算を実行して、Copy、Scale、Add、Triad の 4 種類のアクセスの結果を提供します。Copy 以外のアクセスタイプには、算術演算が含まれています。結果は、常に GB/s 単位のスループットで示されます。一般に、Triad の値が最もよく引用されます。以降、STREAM のベンチマークの測定値は、Triad アクセスでの値であり、単位は GB/s です。

STREAM は、サーバのメモリ帯域幅を測定するための業界標準で、シンプルな方法を使用してメモリシステムに大規模な負荷を与えることができます。特にこのベンチマークは、複雑な構成でのメモリパフォーマンスに対する影響を調査する場合に適しています。STREAM は、構成によるメモリへの影響とそれによって生じるパフォーマンスへの影響（低下または向上）を示します。後述する STREAM ベンチマークに関する値は、パフォーマンスへの影響度を示しています。

アプリケーションのパフォーマンスに対するメモリの影響は、各アクセスの遅延時間とアプリケーションが必要とする帯域幅に区別されます。メモリ帯域幅が増加すると遅延時間は増加するため、両者は関連しています。並列メモリアクセスによって遅延時間が相殺される度合いは、アプリケーションや、コンパイラによって作成されたマシンコードの質にも依存します。このため、すべてのアプリケーションシナリオでの一般的な予測を立てることは非常に困難です。

SPECint_rate_base2006

SPECint_rate_base2006 ベンチマークは、商用アプリケーションパフォーマンスのモデルとして追加されました。これは、Standard Performance Evaluation Corporation（SPEC）の SPECcpu2006 [関連資料 4] の一部です。SPECcpu2006 は、システムのプロセッサ、メモリおよびコンパイラを評価するための業界標準です。大量の測定結果が公開され、販売プロジェクトおよび技術調査に使用されているため、サーバ分野で最も重要なベンチマークとなっています。

SPECcpu2006 は、大量の整数演算および浮動小数点演算を使用する独立した 2 つのテストセットで構成されています。整数演算部分は商用アプリケーションに相当し、12 種類のベンチマークから構成されます。浮動小数点演算部分は科学アプリケーションに相当し、17 種類のベンチマークで構成されます。いずれの場合も、ベンチマークの実行結果は、個々の結果の幾何平均です。

さらに、それぞれのテストセットには、単体実行時の処理性能を評価する速度測定と、並行処理の性能を評価するスループット測定があります。多数のプロセッサコアとハードウェアスレッドを持つサーバにとっては、後者が重要です。

また、測定の種類により、コンパイラに許可される最適化が異なります。ピーク値の測定では、各ベンチマークを個別に最適化できますが、ベース値の測定では、コンパイラフラグがすべてのベンチマークで同一である必要があり、特定の最適化は許可されません。

以上が SPECint_rate_base2006 の概要です。PRIMERGY サーバでは商用アプリケーションの使用が主流であるため、整数演算を使用するテストセットである SPECint_rate_base2006 でスループットを測定しました。

本来のルールに準拠した測定では 3 回の実行が必要であり、各ベンチマークに対して平均の結果が評価されます。しかし、ここで説明している技術調査では、このルールに準拠していません。効率化のために、測定は 1 回にしています。

メモリチャネルへのインターリーブ

メモリチャネルへのインターリーブとは、最初の 64 バイト（「キャッシュラインサイズ」と呼ばれるプロセッサの観点でのメモリアクセスの単位）は最初のチャネルに、2 番目の 64 バイトは 2 番目のチャネルにというように、プロセッサ単位で 4 つのチャネルを交互に利用するように物理アドレス領域を設定する方法です。メモリアクセスは、局所性原理により主に隣接するメモリ領域に行われ、結果としてすべてのチャネルに分散されます。このようなパフォーマンスの向上は、並列化によるものです。

次の表は、パフォーマンスモードでのメモリ構成によって実現される理想的な 4-WAY インターリーブを行わない場合のパフォーマンスの低下を示しています。この表では、すでに取り上げた、プロセッサが強力になるほどパフォーマンスへの影響が顕著になるという事実が明確に示されています。

2-WAY および 3-WAY インターリーブのパフォーマンスの低下が穏やかなのは、それなりの理由があります。必要となるメモリ容量が少ないか、または低消費電力のために DIMM 数が最小限に抑えられるためです。1-WAY インターリーブは推奨できません。これは厳密に言うとインターリーブではなく、分類上そのようにと呼ばれているだけです。この場合、プロセッサとメモリシステムの潜在的なパフォーマンスのバランスが取れていません。

SPECint_rate_base2006 に関する評価は、商用アプリケーションのパフォーマンスに関するものです。STREAM で示されているように、メモリ帯域幅の関係は、特に HPC（High-Performance Computing：高性能コンピューティング）環境では、特定のアプリケーション領域において除外できない極端なケースとして理解する必要があります。また、SPECint_rate_base2006 の 12 の個別ベンチマークの中の 1 つ（libquantum）に、STREAM とほぼ同様の動作があります。ただしこうした動作は、ほとんどの商用のワークロードでは見られません。STREAM および SPECint_rate_base2006 に関する解釈の質は、このセクションで取り上げているパフォーマンス面だけでなく、以降のすべてのセクションにも当てはまります。

ベンチマーク	プロセッサタイプ	4-way	3-way	2-way	1-way
STREAM	Advanced	1.00	0.81	0.57	0.29
	Standard	1.00	0.80	0.55	0.28
	Basic	1.00	0.87	0.64	0.33
SPECint_rate_base2006	Advanced	1.00	0.97	0.91	0.74
	Standard	1.00	0.98	0.93	0.79
	Basic	1.00	0.99	0.98	0.89

独立モードのメモリ構成の場合、各メモリチャネルで部分的に利用可能な容量（チャネルあたりの GB）を区別することができます。ここに挙げている例は、異なるサイズの DIMM による構成または同サイズの 5 つ以上の DIMM による構成です。さらに、メモリチャネルの切り替えによって、単一プロセッサのローカ

ルアドレス空間セグメントを設定することはできません。切り替えは常に「均等に」行われます。この問題は、物理アドレス空間を異なるインターリーブのいくつかのセグメントに分割することで解決されます。既存の DIMM をグループ化することにより、可能なかぎり高いインターリーブでセグメントが生成されます。プロセッサあたりの構成が以下の場合、

2-1-1-1

最初のメモリチャンネルに 2 つの DIMM があり、他の 3 つのそれぞれに 1 つです。これをたとえば以下のように分割します。

1-1-1-1 (グループ 1、4-WAY インターリーブ、メモリの 80 %、パフォーマンスが良い)
1 (グループ 2、1-WAY インターリーブ、メモリの 20 %、パフォーマンスが悪い)

アプリケーションのメモリパフォーマンスは、アプリケーションにメモリが提供されるセグメントによって異なる可能性があります。性能を重視するアプリケーションの場合、この現象は、メモリチャンネルあたりの異なる部分容量を回避する理由になり得ます。

メモリ周波数

有効なメモリ周波数への影響は、これまでのセクションで詳しく説明しています。省電力 (BIOS パラメータ *DDR Performance* によって制御) と大型メモリ (3DPC 構成、最大 1333 MHz の LRDIMMS を使用) が原因で、有効な周波数がプロセッサタイプによってサポートできるレベルより低くなる場合があります。

次の表は、相互の影響を調整する際に役立ちます。この数値は、一連のすべての測定に共通の最小メモリ周波数 (800 MHz) を参照しています。これには、理想的な場合の数値を参照するという通常のルールが当てはまりません。

BIOS の設定が *DDR Performance = Energy optimized* に変更された場合のみ、800 MHz の周波数になります。ただし、*DDR Performance = Low-voltage optimized* よりもさらに消費電力を削減できる可能性は非常に低くなっています。そのため、800 MHz のメモリ周波数はお勧めできません。 [*Low-voltage optimized*] に設定すると、メモリ周波数が 1333 または 1066 MHz になります。

メモリ周波数の低下がメモリ容量に関係している場合、万全を期すために 1 つの問題について説明する必要があります。例えば、I/O 速度など、メモリ容量はアプリケーションのパフォーマンスに対して暗黙の影響を及ぼします。こういった影響は、当然ながらこのセクションで基にしているテストでは考慮していません。表で比較すると、メモリ周波数の違いだけがパフォーマンスに影響を及ぼしています。

ベンチマーク	プロセッサタイプ	1600 MHz	1333 MHz	1066 MHz	800 MHz
STREAM	Advanced	1.82	1.59	1.31	1.00
	Standard		1.57	1.30	1.00
	Basic			1.18	1.00
SPECint_rate_base2006	Advanced	1.15	1.13	1.07	1.00
	Standard		1.09	1.05	1.00
	Basic			1.02	1.00

メモリランクへのインターリーブ

物理アドレス空間のセットアップ時にメモリリソースを切り替える方法は、メモリチャンネルでのインターリーブからチャンネルのランクでのインターリーブまで継続できます。

ランクインターリーブは、アドレスビットを経由して直接制御されます。3-WAY ケースの確立のためにチャンネルインターリーブで実行されるビット演算は行われません。この理由から、2 のべき乗でのインターリーブのみが問題となります。つまり、2-WAY、4-WAY または 8-WAY のランクインターリーブのみが存在します。メモリチャンネルでの奇数のランク数は、常に 1-WAY インターリーブとなりますが、これは分類上

そのように呼ばれているだけです。1-WAY の場合、ランクは次のランクに変更される前にすべて利用されます。

ランクインターリーブの粒度は、チャンネルでのインターリーブより大きくなります。チャンネルでのインターリーブは 64 バイトキャッシュラインサイズに使用されています。ランクインターリーブは、オペレーティングシステムの 4 KB ページサイズに向かい、DRAM メモリの物理特性に関係します。メモリセルは、大まかに言って 2 つの次元で行われます。行（ページとも呼ばれる）が開かれ、列項目が読み取られます。ページが開いている間、より大幅に低いレイテンシで他の列の値を読み取ることもできます。さらに大まかなランクインターリーブは、この機能に最適化されます。

メモリチャンネルあたりのランク数は、構成の DIMM タイプおよび DPC 値に従います。

この表は、4-WAY インターリーブに関するものです。このケースは、PRIMERGY サーバの最も標準的なベンチマークによるものです。大型 RDIMM の 2DPC 構成は、通常、メモリ容量とパフォーマンスが最適なバランスになります。8-WAY インターリーブは、LRDIMM での 2DPC 構成でのみ可能ですが、4-WAY インターリーブと比較しても測定可能な向上が見られないため、省略しています。

2-WAY および 4-WAY ランクインターリーブは、非常に優れたメモリパフォーマンスを実現します。最終的なパフォーマンスを考えた場合、4-WAY インターリーブにのみわずかなメリットがありますが、通常は無視できる程度です。ただし、1-WAY のケースは、単一ランク 2 GB UDIMM または 4 GB RDIMM の 1DPC 構成時に発生します。この場合のパフォーマンスの低下については十分考慮してください。パフォーマンスを重視するアプリケーションの場合、こうしたケースは避ける必要があります。

Xeon E5-2600/4600 プロセッサのメモリコントローラーは、メモリチャンネルあたり最大で 8 つのランクをサポートします。LRDIMM での 3DPC 構成の場合、この DIMM タイプの「ランク乗算」機能により、12 の物理ランクを減らして 6 つの仮想ランクにできます。メモリコントローラーがその仮想ランクを制御して、ランクインターリーブが行われます。

ベンチマーク	プロセッサタイプ	4-way	2-way	1-way
STREAM	Advanced	1.00	0.98	0.89
	Standard	1.00	0.99	0.91
	Basic	1.00	0.99	0.92
SPECint_rate_base2006	Advanced	1.00	0.99	0.96
	Standard	1.00	0.99	0.97
	Basic	1.00	1.00	0.99

リモートメモリへのアクセス

前述の STREAM および SPECint_rate_base2006 ベンチマークを使ったテストでは、ローカルメモリのみが対象になっていました（プロセッサが自身のメモリチャンネルの DIMM モジュールにアクセスする）。隣接するプロセッサのモジュールはまったくアクセスされないか、まれに QPI リンクを経由してアクセスされるのみです。実際のアプリケーションにおいて、オペレーティングシステムやシステムソフトウェアの NUMA サポートによってアクセスできるメモリの大半がローカルメモリである限り、この状況は代表的なものであると言えます。

次の表は、プロセッサあたりの最大メモリ周波数を下回る RDIMM での 4-WAY ランクインターリーブパフォーマンスモードという理想的なメモリ構成でありながら、BIOS 設定が NUMA = disabled に設定されている場合の影響を示しています。各 2 次メモリアクセスがリモート DIMM、つまり隣接プロセッサに割り当てられた DIMM に対して行われ、データが QPI リンク経由で迂回する必要があるために、パフォーマンスの低下が発生します。

この表はデュアルソケットの PRIMERGY サーバのみに適用されます。PRIMERGY RX500 S7 では、NUMA サポートを無効にできません。NUMA が無効なための損失は、デュアルソケットサーバの場合より大きくなります。それは、リモートメモリへの統計的なアクセス比率が 75 %と、50 %に比較して大きいからです。また、3 番目のプロセッサがリモートアクセスのブローカーの役割をするような状況になる可能性があるためです。PRIMERGY RX500 S7 では、各プロセッサが直接つながっているのは、隣接する 3 つのプロセッサのうち 2 つだけです。

ベンチマーク	プロセッサタイプ	NUMA = enabled	NUMA = disabled
STREAM	Advanced	1.00	0.68
	Standard	1.00	0.74
	Basic	1.00	0.81
SPECint_rate_base2006	Advanced	1.00	0.91
	Standard	1.00	0.93
	Basic	1.00	0.95

NUMA = disabled では、プロセッサの詳細メッシュ切り替えによって物理アドレス空間を設定しています。この切り替えは、両プロセッサが同一のメモリ容量であることを前提にしています。こうした一般的な状態が存在しない場合、アドレス空間はソケット間インターリーブが許可される主要部分と、プロセッサ - ローカルの残りの部分に分割されます。

システムソフトウェアまたはシステム関連ソフトウェアで NUMA がサポートされていないか、または十分でないため、NUMA = disabled に関する測定は、設定が推奨される例外的なケースとして、狭い範囲で実施しました。上記の測定はすべて、大部分あるいはすべてのアクセスがリモートメモリに対して行われる場合の影響を見積もる場合に役立ちます。プロセッサがメモリなしで構成されている場合、またはプロセッサあたりに構成されたメモリ容量が大幅に異なる場合に、こうしたケースが発生する可能性があります。ローカルアクセスと比較したパフォーマンスの低下は、表に示した低下分の最大 2 倍になることがあります。

冗長性を考慮した際のメモリパフォーマンス

Xeon E5-2600/4600 搭載 PRIMERGY サーバには、冗長オプションが 2 つあります。ミラーリングの場合、プロセッサの 4 つのすべてのメモリチャンネルが構成されますが、2 つのチャンネルが他の 2 つのチャンネルをミラーリングします。オペレーティングシステムは、実際に構成されているメモリの 50 % を利用できます。スペアリング、厳密に言うところランクスペアリングの場合、メモリチャンネルあたり 1 つのランクは未使用で、DRAM チップの障害によってアクティブランクが失敗するケースに備えて予約されています。オペレーティングシステムが利用できる実質メモリ容量は、この場合 DIMM タイプおよび DPC 値によって異なります。次の表では、それぞれのケースで最大メモリ周波数を下回る RDIMM での 4-WAY ランクインターリーブパフォーマンスモードという理想的なメモリ構成でありながら、冗長オプションが有効化されている場合の影響を示しています。

ベンチマーク	プロセッサタイプ	冗長性なし	ランクスペアリング	ミラーリング
STREAM	Advanced	1.00	0.89	0.77
	Standard	1.00	0.91	0.77
	Basic	1.00	0.92	0.84
SPECint_rate_base2006	Advanced	1.00	0.96	0.96
	Standard	1.00	0.97	0.97
	Basic	1.00	0.99	0.99

前述の「メモリランクへのインターリーブ」で示したとおり、スペアリングの列は、1-WAY ランクインターリーブと同じです。これは、予約ランクは常に奇数のアクティブランク数になるためです。一方、上の「メモリチャンネルへのインターリーブ」のセクションで示したように、ミラーリング列は 2-WAY インターリーブと同じではありません。これは、ミラーの半分が両方とも読み取りアクセスに利用されるためです。Xeon 5600 搭載の先行世代 [関連資料 5] の該当テスト結果との比較では、冗長性機能の効率が明らかに向上したことを示しています。

関連資料

[L1] PRIMERGY システム<http://primergy.com/>**[L2] PRIMERGY のパフォーマンス**<http://www.fujitsu.com/fts/products/computing/servers/primergy/benchmarks/>**[L3] STREAM ベンチマーク**<http://www.cs.virginia.edu/stream/>**[L4] ベンチマークの概要 SPECcpu2006**<http://docs.ts.fujitsu.com/dl.aspx?id=00b0bf10-8f75-435f-bb9b-3eceb5ce0157>**[L5] Xeon 5600 (Westmere-EP) 搭載システムのメモリパフォーマンス**<http://docs.ts.fujitsu.com/dl.aspx?id=e88beb76-a61b-4fad-8081-9f941d12476b>**[L6] Xeon E7-8800/4800/2800 (WESTMERE-EX) 搭載システムのメモリパフォーマンス**<http://docs.ts.fujitsu.com/dl.aspx?id=e943109a-eeba-42b3-82a1-927b01ae319a>**[L7] 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>

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。

2012-12-07 WW JA

Copyright © Fujitsu Technology Solutions 2012