



# ハイパー・スレッディング・テクノロジー対応 インテル® Pentium® 4 プロセッサ

スレッドレベルの並列化によるデスクトップ・クライアントの向上



コンピュータの頭脳  
インテルのプロセッサ

## 目 次

---

<b>はじめに</b> .....	<b>2</b>
<b>ハイパー・スレッディング・テクノロジーの概要</b> .....	<b>2</b>
ハイパー・スレッディング・テクノロジーとは.....	2
実行リソースの使用率.....	3
<b>デスクトップ・プラットフォームにおけるハイパー・スレッディング・テクノロジー</b> .....	<b>3</b>
プラットフォームの必要条件.....	3
ハイパー・スレッディング・テクノロジーの動作確認.....	3
マルチスレッド・プログラミングと並列化プログラミング・モデル.....	4
ケーススタディ — 株式会社：ペガシス 製品名：TMPGEnc Plus2.5 Ver.2.59.....	5
<b>まとめ</b> .....	<b>8</b>
<b>関連情報</b> .....	<b>9</b>
<b>インテル® ソフトウェア開発ツールのご紹介</b> .....	<b>9</b>
インテル® VTune™ パフォーマンス・アナライザ.....	9
インテル® C++/Fortran コンパイラ.....	9

## はじめに

ハイパー・スレッディング・テクノロジー (HT テクノロジー) はインテル® Xeon™ プロセッサ・ファミリで最初に実装された技術です。この最新マルチスレッディング設計手法をインテル® Pentium® 4 プロセッサ 3.06GHz からデスクトップ・クライアントでも採用することになりました。HT テクノロジー対応 インテル® Pentium® 4 プロセッサはインテル® NetBurst™ マイクロアーキテクチャと共に HT テクノロジーの活用によりデスクトップ・システムにおいて驚異的なコンピューティング体験を実現することが可能です。HT テクノロジーはスレッドレベルの並列化 (TLP) を実現し、プロセッサの実行リソースの使用率を向上させることが可能です。この結果、複数のアプリケーションを同時に実行した場合のパフォーマンスやシステム応答性が高まります。ビジネスユーザにとっての利点はデスクトップ・プラットフォームで必要とされているリッチ・コンテンツの表示、CRM (カスタマー・リレーションシップ・マネージメント) などのクライアント・アプリケーションをフォアグラウンドで起動するだけでなくバックグラウンドではデータの圧縮、ウィルススキャン、暗号処理など膨大なタスクをスムーズに処理することが HT テクノロジー対応インテル® Pentium® 4 プロセッサ上のマルチタスク環境で実現できます。また一般ユーザにとっての利点はデジタルカメラで撮影した写真を DVD に書き込んでいる間に、CPU に大きな負担のかかる PC ゲームを楽しむことができたり、音楽 CD を作成しながら、ホームビデオの編集を高速に行うことができます。こちらの文書ではプロセッサ内での HT テクノロジーの動作と活用方法について説明します。

## ハイパー・スレッディング・テクノロジーの概要

### ハイパー・スレッディング・テクノロジーとは

ハイパー・スレッディング・テクノロジーでは 1 つの物理プロセッサが 2 つの論理プロセッサとして認識されます。アーキテクチャ・ステート (AS) とアドバンスド・プログラマブル・割り込み・コントローラ (APIC) に関しては、それぞれ専用のものが用意されます (図 2)。アーキテクチャ・ステート (AS) とは、汎用レジスタ、コントロール・レジスタやデバッグ・レジスタなどのレジスタを指し、プログラムやスレッドの状態をここに保持します。アドバンスド・プログラマブル割り込みコントローラは、物理プロセッサ ID と論理プロセッサ ID などから構成され、プロセッサの制御と割り込み処理を行っています。一方で、2 つの論理プロセッサはプロセッサ実行リソースを共有します。実行リソースは、ロード、加算、減算などの処理を実行するプロセッサ上のユニットです。これにより、ユーザ・プログラムは従来のプロセッサ (図 1) と同様に論理プロセッサに対してスレッド (プロセス) のスケジューリングを行うことができます。



図 1. 従来のプロセッサ



図 2. HT テクノロジーに対応したプロセッサ

### 実行リソースの使用率

HT テクノロジーが、どのようにリソースの使用率を向上させるかについて説明します。1 サイクルあたり 3 命令を実行する従来のスーパースケーラ<sup>1</sup> プロセッサがあり、1 つのスレッドが実行されているとします (図 3)。水平方向の 3 つのボックスは、ある特定のクロックサイクルにおける 3 つの実行ユニットの稼動状況を示しています。黄色のボックスは実行ユニットが稼動中であることを表します。グレーのボックスの場合、実行ユニットはそのクロックサイクル中はアイドル状態 (例: 分岐予測ミス、キャッシュ・ミス、命令の依存関係のため、待機しているリソースが存在するような場合に発生します。) であることを示しています。例えば、図 3 の 1 番上のブロックは真ん中がグレーですので 1/3 のリソースがアイドル状態で 2/3 は使用中であるといえます。グレーのボックスが多いほど、リソースの使用状況が非効率的です。図 4 は 2 つの異なるスレッド (黄色と緑色でそれぞれのスレッドで稼動中の実行ユニットを表しています。) が同時に実行されている HT テクノロジーの様子を示しています。スレッディングにより、リソースを有効に使用することで、アイドル状態の実効ユニットが少なく効率的です。このように、スレッドが異なるリソースを並列的に (例えば論理プロセッサ 0 では整数演算中心の処理、論理プロセッサ 1 では浮動小数点演算中心の処理) 使用できるようにアプリケーションがマルチスレッド化されていれば実行プログラムのスループットが向上します。

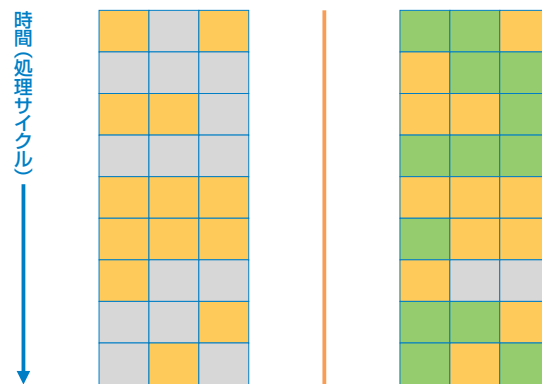


図 3. スーパースケーラ

図 4. HT テクノロジー

## デスクトップ・プラットフォームにおけるハイパー・スレッディング・テクノロジー

### プラットフォームの必要条件

HT テクノロジー<sup>2</sup> を利用するにはハイパー・スレッディング・テクノロジーに対応したインテル® Pentium® 4 プロセッサを搭載したコンピュータ・システム、および同技術に対応したチップセットと BIOS、最適化された OS (Windows\* XP Professional、Windows\* XP Home Edition) が必要です。

### ハイパー・スレッディング・テクノロジーの動作確認

HT テクノロジーは BIOS で使用する [Enabled]、使用しない [Disabled] を選択することが可能です。起動時に BIOS の立ち上げに必要なキー (インテル製マザーボード、インテル® 850E デスクトップ・ボードでは [F2]) を押し、BIOS 画面を表示させます。ここで、Hyper-Threading Technology が [Enabled] になっていることを確認します。次に Windows\* XP を立ち上げ、[Ctrl] + [Alt] + [Delete] などにより Windows タスクマネージャを立ち上げ、[パフォーマンス] タブ上で 2 つの CPU が認識されることを確認します。またデバイスマネージャの [プロセッサ] で論理プロセッサの数を確認することもできます。

<sup>1</sup> プロセッサ内部に複数の演算処理ユニットを用意し、これを並列して動作させることで、複数の命令を同時に実行し、プロセッサの性能向上を図る方法です。

<sup>2</sup> 詳細は <http://www.intel.co.jp/jp/info/hyperthreading/> を参照してください。

### マルチスレッド・プログラミングと並列化プログラミング・モデル

HT テクノロジーのパフォーマンスを引き出すにはマルチスレッド・プログラムの作成を推奨します。マルチスレッド・プログラミングには大きく 3 つの手法があります。(1) マルチスレッド化されたライブラリを使用する方法、(2) プログラミング言語やディレクティブを使用する方法、(3) スレッドを生成する API を用いる方法です。(1) の方法は所望のライブラリさえ入手できれば最も簡単に利用できます。インテルではこのようなライブラリとして科学技術計算用にインテル® 数値演算ライブラリを用意しています。(2) の方法はプログラムに Open\*MP などのディレクティブを挿入して並列化を行う方法です。ディレクティブの指示によりマルチスレッド化するかどうかはコンパイル・オプションにより決定されます。したがって、ソース・プログラムを 1 本にしておくことができます。インテル® C++/Fortran コンパイラはこの (2) の方法をサポートしており、Open\*MP の他自動並列化もサポートしています。(3) の方法は使用する OS によりますが、POSIX のスレッド API などを用いてスレッドを直接制御する方法です。(1) と (2) の方法を用いた場合でも、生成された実行ファイルにはこの (3) の API を用いています。

Windows\* 環境でスレッドを作成するためには次の API を使用します。

```
HANDLE CreateThread(
    LPSECURITY_ATTRIBUTES ThreadAttributes, //セキュリティ記述子
    DWORD StackSize, //初期スタックサイズ
    LPTHREAD_START_ROUTINE StartAddress, //スレッドの機能
    LPVOID Parameter, //スレッドの引数
    DWORD CreationFlags, //作成オプション
    LPDWORD ThreadId //スレッドの識別子
);
```

スレッドを作成すると OS はスレッドごとにタスクを各論理プロセッサにスケジューリングします。これにより、処理時間を要する計算を、分割して行うことができます。仕事の分け方として「データ分割」と「役割分割」という 2 つの並列化プログラミング・モデルがあります。「データ分割」は大規模科学技術計算などによく使われるプログラミング・モデルで、演算する領域を分割してそれぞれのスレッドに割り当て、各スレッドが自分に割り当てられた部分を処理します。このため、各スレッドのタスクとなるプログラムはすべて同じで、演算領域を決める引数のみが異なる形となります。「役割分割」は処理の内容を小さく分割して、分割された異なる処理を各スレッドが独立して行います。このため、スレッドごとにタスク(プログラム)は異なり、スレッド間でデータが流れるような形のプログラムとなります。HT テクノロジーのように、スレッド間で異なる演算リソースを利用したほうが効率の良い技術では、異なるプログラムを同時に実行する「役割分割」が向いているように思われるかもしれませんが、同じプログラムを実行した場合でも、プロセッサの命令レベルではデータのロードなどで待ちが発生している場合もあり、一概にどちらが向いているとはいえません。特にプログラム実行時にクロック当たりの処理命令数が少ない場合は、いずれの並列化プログラミング・モデルを使用しても最大限のパフォーマンスを引き出すことができる可能性があります。

**ケーススタディ — 株式会社：ペガシス 製品名：TMPGEnc Plus2.5 Ver.2.59**

ペガシス社は MPEG-1、MPEG-2 ファイルを作成するエンコーダ・ソフトなど、コンシューマ向けパソコン用ソフトウェアを開発、製造、販売しています。TMPGEnc (Plus2.5 Ver.2.59) が、どのようにスレッドを作成し、効率的にリソースを使用しているか説明します。

**エンコード・アルゴリズム**

エンコード・アルゴリズムについて簡単に説明します。この例「図 5」では AVI ファイルを MPEG ファイルに変換します。ピクチャ(I ピクチャ、B ピクチャ、P ピクチャ)の選択後、1 枚目のフレームは動き検索 → 動き補償 → 離散コサイン変換 → 量子化 → 可変長符号化により圧縮された MPEG が生成されます。逆量子化 → 逆離散コサイン変換の結果は次のフレームの動き補償で参照されます。

ペガシス社ではインテル® VTune™ パフォーマンス・アナライザを使用してパフォーマンスのボトルネックとなるソースコードやソースコードにある特定の関数やインストラクションを解析しました。分析の結果、「動き検索」の部分が一番処理時間がかかることが分かり、その部分を中心にチューニングを行いました。インテル® C++ コンパイラを使用して組み込み関数やプロファイルに基づく最適化<sup>3</sup> (Profile-Guided Optimization (PGO)) を使用しながらインテル® Pentium® 4 プロセッサ向けに最適化を行いました。

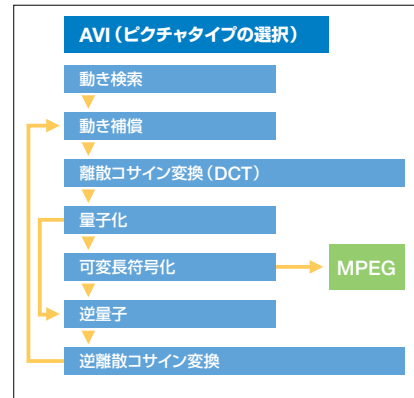


図 5. エンコード・アルゴリズム

**TMPGEnc の環境設定**

TMPGEnc の設定画面 [設定 → 環境設定] でマルチスレッドの設定を行うことが可能です (図 6)。「マルチスレッドの使用」にチェック後、「パイプライン化する」「動き検索をパイプライン化する」「映像を先読みする」の内で少なくとも 1 つ、もしくはすべてにチェックすることでスレッドが生成されます。

「1」は親スレッド (メインスレッド) が動作しています。

「2」はファイルからデータを読み出しているスレッドが動作しています。デフォルト設定では 16MB データが順次読み込まれます。

「3」は動き検索用のスレッドが動作しています。

「4」は動き補償から逆離散コサイン変換までの処理を 1 つのスレッドで行っています。

「5」は HT テクノロジーを「有効 (オン)」にした状態で、一番処理時間がかかる「動き検索」用のスレッドが別途作成されます。計 2 つの「動き検索」用スレッドが動作します。HT テクノロジー「無効 (オフ)」の状態では 1 つのスレッド「3」が動作します。

結果として HT テクノロジー「有効」の状態では最大 5 つのスレッドが動作します。また「無効」にした状態では最大 4 つのスレッドが動作します。

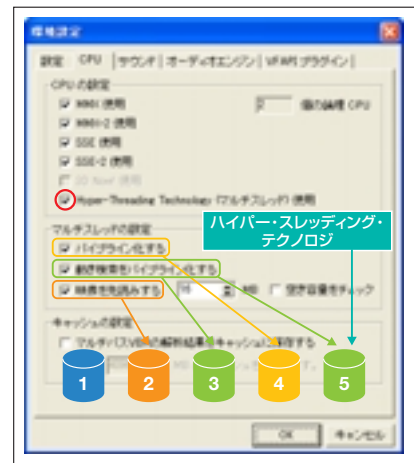


図 6. TMPGEnc マルチスレッドの環境設定

<sup>3</sup> 実際にプログラムを実行し、分岐確率などを調べ (プロファイル) てから、このデータを基に再度プログラムをコンパイルし直して、より高度な最適化を実現することが可能です。

図 7 にアルゴリズムと各スレッドの流れが示してあります。TMPGEnc の設定画面で「映像と音声」を選択した場合、親スレッド(音声)と子スレッド(映像) [黄色の枠]間では「データ分割」が、また子スレッド間では「役割分割」が実装され並列化プログラミング・モデルが使用されています。

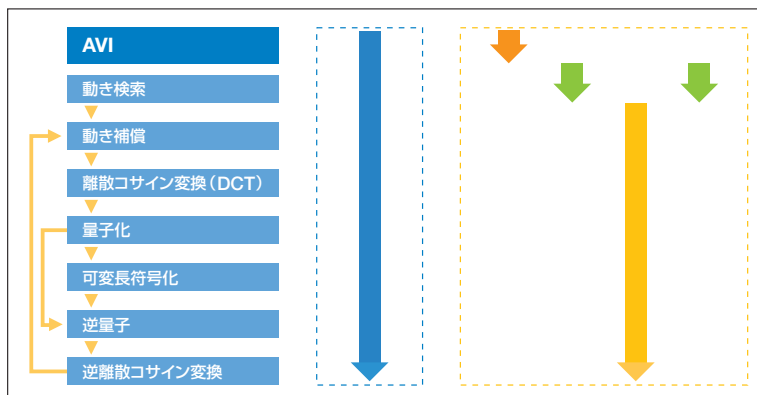


図 7. エンコード・アルゴリズムとマルチスレッド

評価レポート<sup>4</sup>

ペガシス社は TMPGEnc (Plus2.5 Ver 2.59) を使用して HT テクノロジー対応 インテル® Pentium® 4 プロセッサ 3.06GHz 搭載機で HT テクノロジー「有効」と「無効」での性能を比較しました。HT テクノロジー「有効」かつマルチスレッド「ON」の状態では 5 つのスレッドが生成、HT テクノロジー「無効」でマルチスレッド「ON」の状態では 4 つのスレッドが生成されています。(評価時期：2002 年 11 月)

TMPGEnc Plus 2.59							
		AVI (Huffyuv)				MPEG-1	
		352×240		720×480		640×480	
HT テクノロジー	マルチスレッド	CBR	2PASS	CBR	2PASS	CBR	2PASS
有効	ON	0:41	1:21	2:36	4:59	1:51	3:32
	OFF	1:05	1:55	3:34	6:22	2:07	3:54
無効	ON	0:56	1:42	3:25	6:21	2:12	4:12
	OFF	1:01	1:43	3:37	6:26	2:15	4:06
HT テクノロジー 有効 / 無効の比較		136.6%	125.9%	131.4%	127.4%	118.9%	118.9%

<sup>4</sup> 詳細は [http://www.pegasys-inc.com/j\\_main.htm/](http://www.pegasys-inc.com/j_main.htm/) を参照してください。HT テクノロジー「有効」「無効」での比較は [HT テクノロジー 無効] / [マルチスレッド ON] ÷ [HT テクノロジー 有効] / [マルチスレッド ON] です。性能は使用するハードウェアによって異なります。

TMPGEnc Plus 2.59 の設定			
入力ファイル形式	AVI (Huffyuv)	AVI (Huffyuv)	MPEG-1
入力解像度	352×240	720×480	640×480
入力音声ファイル	PCM	PCM	MPEG-1 Layer2
出力ファイル形式	MPEG-2	MPEG-2	MPEG-2
出力解像度	352×240	720×480	640×480
出力音声ファイル	MPEG-1 Layer2	MPEG-1 Layer2	MPEG-1 Layer2
映像ビットレート	3000Kbps	6000Kbps	4000Kbps
音声ビットレート	192Kbps	192Kbps	192Kbps
動き検索精度	動き予測検索	動き予測検索	動き予測検索
出力ストリーム	MPEG-2 PS	MPEG-2 PS	MPEG-2 PS
2PASS VBR のビットレート設定			
解像度	352×240	720×480	640×480
平均	3000Kbps	6000Kbps	4000Kbps
最大	6000Kbps	8000Kbps	8000Kbps
最低	300Kbps	300Kbps	300Kbps

テスト環境	
OS	Microsoft® Windows® XP Professional (英語版)
CPU	インテル® Pentium® 4 プロセッサ 3.06GHz
メモリ	RDRAM PC1066 768MB
マザーボード	インテル® デスクトップ・ボード D850EMV2
ビデオカード	NVIDIA GeForce3 Ti500
HDD	C: MAXTOR 6L080J4
HDD	D: IBM IC35L120AWA07-0

ソースファイルの詳細			
エアロダンシング4* プロモーションムービー (2分18秒)			
Original Game® SEGA-AM2® SEGA-AM2/SEGA2002			
ファイル形式	解像度	ファイル容量	備考
AVI (Huffyuv)	720×480	885MB	
AVI (Huffyuv)	352×240	240MB	
MPEG-1	640×480	21.5MB	※1

※1 <http://www.tmpgenc.net/>にて配布しているサンプルムービーです。

### TMPGEnc の今後の課題は画質重視でリアルタイム・エンコード

[現在弊社ではソフトウェア MPEG-1/2 エンコーダ [TMPGEnc Plus] を開発・販売を行ってまいりましてマイクロソフト、セガ、ソニー、カプコン、コナミなど多くの企業に採用していただいております。<sup>5</sup> 将来はリアルタイム DVD 録画ソフトの開発を計画しています。現在、他社による完全ソフトウェアによる TV 放送の録画機能は処理速度を重視しているため、非リアルタイム・ソフトウェア・エンコーダやハードウェア・エンコーダによる民生の DVD レコーダや HDD レコーダと比較して、画質の面や品質の面で劣っている部分がありました。TMPGEnc の開発方針として処理速度よりも画質を重視しているため、従来の CPU ではリアルタイムで TV 放送を処理することはできませんでした。しかし、HT テクノロジーを使用することにより、将来的にソフトウェアのみで、TV 放送を専用のハードウェアを超える高画質で、リアルタイムに DVD 録画できる見込みが立ちました。ソフトウェアで DVD 録画ができる最大のメリットとしてコスト面が挙げられます。現在自作の DVD-Video を作成する場合は民生の DVD レコーダや PC に専用のハードウェアを追加する必要がありましたが、HT テクノロジーによるエンコード速度向上によりソフトウェアのみで同

<sup>5</sup> ユーザ事例の詳細は <http://www.cri-mw.co.jp/> を参照してください。

様以上の機能を実現できる見込みです。そのため低価格のパソコンでも VHS 感覚で使うことが可能になるかと思えます。またハードウェアでは通常バージョンアップなどは行えませんがソフトウェアの場合ですと、インターネットで最新版をダウンロードすることにより、専用ハードウェアを超える使い勝手で、TV 放送を録画、再生できるようになります。」(ペガシス株式会社 河村保之)

#### ハイパー・スレッディング・テクノロジーの今後の可能性に迫る

「デスクトップ・クライアントは、ハイパー・スレッディング・テクノロジーによる性能向上により、ソフトウェアのみで「映像」と「音声」が従来の家電を超える機能と高品質を皆様にご提供できる見込みです。現在、デスクトップ・クライアントで音楽を楽しむことが当たり前のように、映像の再生、録画が当たり前になることが容易に予想できます。その中でも高画質と高い評価をいただいている TMPGEnc エンコーダ、次世代のリアルタイム DVD 録画ソフトの開発ではさらに性能、機能面の充実を図り世界中の人が楽しめるソフトウェアを開発していきたいと思えます。」(ペガシス株式会社 河村保之)

## まとめ

---

HT テクノロジー対応プロセッサは従来のインテル® NetBurst™ マイクロアーキテクチャに「スレッドレベルの並列化」という概念を導入したものです。今後のプロセッサテクノロジーの方向性を示しています。HT テクノロジーは、マルチタスク環境が普通になりつつある現在のビジネス環境向けに設計されています。複数の作業を同時に行うとき、プロセッサ負荷の高いアプリケーションでもユーザの作業効率を向上させます。またオンライン・ゲームで遊びながらインスタント・メッセージを利用したり、音楽をダウンロードしたり、一度により多くの作業ができるパフォーマンスを提供します。HT テクノロジー対応 インテル® Pentium® 4 プロセッサの利用により、競争上の優位性を確保できます。

## 関連情報

HT テクノロジーの技術詳細は <http://www.intel.co.jp/jp/developer/technology/itj/> を参照してください。

インテル® デベロッパ・サイト内にある日本語技術資料 (マニュアル/アプリケーション・ノート/データシート) は <http://www.intel.co.jp/jp/developer/download/> よりダウンロードすることができます。

## インテル® ソフトウェア開発ツールのご紹介

### インテル® VTune™ パフォーマンス・アナライザ



インテル® VTune™ パフォーマンス・アナライザ 6.1 では、さまざまな方法でコードのパフォーマンス・データを収集して解析できます。カウンタモニタはハードウェア/ソフトウェアのカウンタを表示し、アプリケーション実行中のシステム動作の追跡が可能になっています。さらにソースコードにドリルダウンすると、インテル® チューニング・アシスタントから最適化に役立つアドバイスを得ることができます。また HT テクノロジー対応のインテル® プロセッサ上で実行される複数のスレッドについてもサポートしています。

詳しくは <http://www.intel.co.jp/jp/developer/software/products/> を参照してください。

### インテル® C++/Fortran コンパイラ



インテル® コンパイラは HT テクノロジー対応 インテル® Pentium® 4 プロセッサのストリーミング SIMD 拡張命令 (SSE, SSE2)、インテル® Itanium® プロセッサのソフトウェアによるパイプライン化などに対する高度な最適化機能を提供します。プロファイルに基づく最適化 (PGO) やプロシジャー間の最適化 (IPO) は、アプリケーションのパフォーマンスを高めるのに役立ちます。またインテル® コンパイラは Open\*MP にも対応しており、自動並列化機能を通じてマルチスレッド・プログラミングの開発をサポートします。

詳しくは <http://www.intel.co.jp/jp/developer/software/products/> を参照してください。



HT テクノロジ インテル® Pentium® 4 プロセッサ・ロゴのついたインテル® Pentium® 4 プロセッサ搭載システムは、システムベンダによりハイパー・スレディング・テクノロジーに対応していることを検証済みであることを示しています。性能は、使用するハードウェアやソフトウェアによって異なります。

ハイパー・スレディング・テクノロジーを利用するには、ハイパー・スレディング・テクノロジーに対応したインテル® Pentium® 4 プロセッサを搭載したコンピュータ・システム、および同技術に対応したチップセットと BIOS、OS が必要です。性能は、使用するハードウェアやソフトウェアによって異なります。HT テクノロジに対応したプロセッサの情報等、詳細については <http://www.intel.co.jp/jp/info/hyperthreading/> を参照してください。

## インテル株式会社

〒300-2635 茨城県つくば市東光台5-6  
<http://www.intel.co.jp/>

インテル、Intel、Intel Inside ロゴ、Itanium、Pentium、NetBurst、VTune、Xeon は、アメリカ合衆国およびその他における Intel Corporation またはその子会社の商標または登録商標です。

\* 一般にブランド名または商品名は各社の商標または登録商標です。

© 2003 Intel Corporation. 無断での引用、転載を禁じます。  
2003 年 5 月