



ホワイトペーパー

モバイル機器における マルチコア CPU のメリット

目次

概要.....	3
マルチプロセッシングの必要性.....	3
対称型マルチプロセッシング (SMP).....	4
NVIDIA Tegra 2 : 世界で初めてデュアルコア CPU を搭載したモバイル・プロセッサー...	7
デュアルコア ARM Cortex-A9 アーキテクチャー.....	7
Tegra 2 における対称型マルチプロセッシングのメリット.....	9
高速なウェブページのロード.....	9
低消費電力と高いパフォーマンス/消費電力	12
質の高いゲームプレイ.....	14
応答がすばやいユーザー・インターフェースと高速マルチタスク.....	18
まとめ.....	21
文書履歴.....	22

概要

求められるパフォーマンスがどんどん増えてゆく問題と、シングルコア・プロセッサの消費電力が指数関数的に上昇してゆく問題に対処するため、デスクトップ用の CPU は、5 年前、プロセッサのアーキテクチャーをマルチコアに移行しました。複数のコアを使うと、シングルコアのプロセッサよりも少ない消費電力で高い処理速度が得られるからです。

モバイル・プロセッサも、今、パフォーマンスと消費電力について同様の課題を突きつけられています。モバイル機器の使い方が PC と同じようになってきており、PC と同等の機能が求められるようになりました。それにもかかわらず、バッテリー寿命は少なくとも従来どおり、できればさらなる長寿命化が求められます。HD ビデオの再生、ビデオやオーディオのストリーミング、マルチタスク、ウェブの閲覧、3D ゲーム、3D インターフェースなどがモバイルにも求められるようになった結果、今まで使われてきたシングルコアのモバイル・プロセッサでは対応が難しくなったのです。

これ以上、パフォーマンスを高め、同時にバッテリー寿命を延ばすためには、モバイル機器もマルチコア CPU へ移行する必要があります。

マルチプロセッシングの必要性

モバイル機器は、ウェブの閲覧やビデオの再生、ゲーム、SMS メッセージ、位置情報サービスなど、さまざまな用途に使われます。高速なモバイルネットワークや Wi-Fi の普及をうけ、今までは PC が行われていた、高いパフォーマンスを必要とするタスクにもモバイル機器が使われるようになってきました。次世代のスマートフォン（いわゆる「スーパーフォン」）やタブレットは、今後、高画質な 1080p 動画の再生、Adobe® Flash®を使用したオンライン・ゲーム、Flash による高画質動画のストリーミング、リッチなビジュアルを持つゲーム、ビデオ編集、複数 HD ビデオのダウンロード、エンコード、アップロードの同時処理、リアルタイム HD テレビ会議などにも使われるようになるでしょう。

今までのモバイル・プロセッサは、このように高性能を必要とする使い方に適した設計となっていない。複数のアプリケーションを同時に走らせたり、ゲームやテレビ会議、ビデオ編集など、高いパフォーマンスを必要とするアプリケーションを走らせたりすると、シングルコアの CPU ではとたんに処理が遅くなります。この CPU のパフォーマンスを高めるため、今まで以上に小型で高速な半導体プロセスを使う、コアの動作周波数や動作電圧を高める、コアを大きくする、オンダイのキャッシュを大きくするなど、さまざまな手法が開発されました。

CPU コアやキャッシュのサイズを大きくするとパフォーマンスは上がりますが、その効果には限界があり、発熱や放熱の関係からある程度以上、コアやキャッシュのサイズを大きくすることはできません。また、動作周波数や動作電圧を高めると、半導体というものの原理から消費電力が指数関数的に増えてしまいます。周波数や電圧によってパフォーマンスを高めることに成功しても、この方法では、バッテリー寿命が大幅に短くなってしまいます。消費電力の大きなプロセッサは冷却ソリューションが大きくなり、機器が大型化してしまうという問題もあります。つまり、モバイル機器に要求されるパフォーマンスが増え続ける状況に対し、プロセッサの動作周波数を高めるという方法で長期的に対処することはできないのです。

モバイル機器に強く求められているパフォーマンス向上と小型化を実現するためには、対称型マ

ルチプロセッシングやヘテロジニアス・マルチコアなど、新しいコンピューティングテクノロジーを採用する必要があります。NVIDIA Tegra は世界最先端のモバイル・プロセッサとして基礎から設計しなおした製品です。ヘテロジニアス・マルチコア SoC（システム・オン・チップ）アーキテクチャーで ARM Cortex-A9 CPU コアをふたつ搭載しているほか、オーディオ、ビデオ、グラフィックスなど、各種の特定用途コアを搭載しています。特定用途コアは汎用処理用のコアと比べてトランジスタ数が少なくてすむほか、動作周波数も低く、オーディオ、ビデオ、グラフィックスなどの処理において、低い消費電力で高いパフォーマンスを実現することができます。

対称型マルチプロセッシング（SMP）

モバイル・プロセッサに対称型マルチプロセッシング・テクノロジーを採用すると、高いパフォーマンスが得られるだけでなく、モバイルに適した消費電力バジェットの範囲で高いピーク性能に対応できるようになります。SMP によるマルチコア・アーキテクチャーには、以下のような特長があります。

- まったく同一の CPU コア、複数でアーキテクチャーが構成されている
- すべてのコアがひとつのシステム・メモリーを共有しており、ひとつのオペレーティングシステムでコントロールされる
- 各 CPU はそれぞれ異なる作業負荷を独立して処理することが可能であるほか、必要に応じて、作業負荷を他の CPU と分配して処理することも可能

SMP をサポートしたデュアルコア CPU が携帯電話に搭載されていたとしましょう。たとえばナビゲーションとストリーミングオーディオのアプリケーションが同時に走っている場合、片方の CPU でナビゲーションを処理し、もう片方でストリーミングオーディオを処理するといったことが可能になります。アプリケーションがひとつでも、マルチスレッドなら複数 CPU を活用することができます。両方の CPU にスレッドを割りあてて同時並行に処理が行えるため、ふたつの CPU に負荷を分散させてすばやく処理できるようになるのです。負荷をふたつのコアに分散できれば、一つひとつのコアは処理速度を落としても高いパフォーマンスが得られますし、そうすれば消費電力を抑えることもできます（周波数を落とすと必要電圧も低下します。そのとき、消費電力は電圧の 2 乗で低下します）。

図 1 は、インターネットでよく見かけるタイプのウェブページです。ActiveX と JavaScript によるメニューがあるほか、Flash 動画がふたつと Flash アニメーションがひとつ、埋め込まれています。シングルコア CPU の場合、ActiveX/JavaScript コンテンツの処理、Flash プレーヤーによる再生、埋め込まれたビデオのデコードまで、すべてをひとつのコアで行わなければなりません。それだけではありません。Twitter®のストリームや音声アプリケーション、ナビゲーションなどもバックグラウンドで処理する必要があります。このようにマルチタスク条件が厳しくなるとプロセッサは最高の周波数と電圧で動作することになり、消費電力も大きくなってしまいます。

デュアルコア CPU 搭載のモバイル・プロセッサであれば、ふたつのコアに対し、エレメントごとに処理を割り振ることができます。たとえば、片方のコアでバックグラウンドのシステム・タスクと Flash 動画ひとつの処理を行い、もう片方で ActiveX コンテンツ、Flash アニメーション、Flash 動画ひとつの処理を行うという具合です。

NVIDIA Tegra 2 には専用 ULP GeForce GPU が集積されており、Flash 関連の処理は大半を GPU に任せて CPU の負荷を軽減することが可能です。こうすると、Flash 関連のパフォーマンスが向上すると同時に、ふたつの CPU コアが処理しなければならない負荷が減るわけです。詳しくは、Tegra 2 の ULP GeForce GPU アーキテクチャーについて詳しく説明したホワイトペーパーをご覧ください。

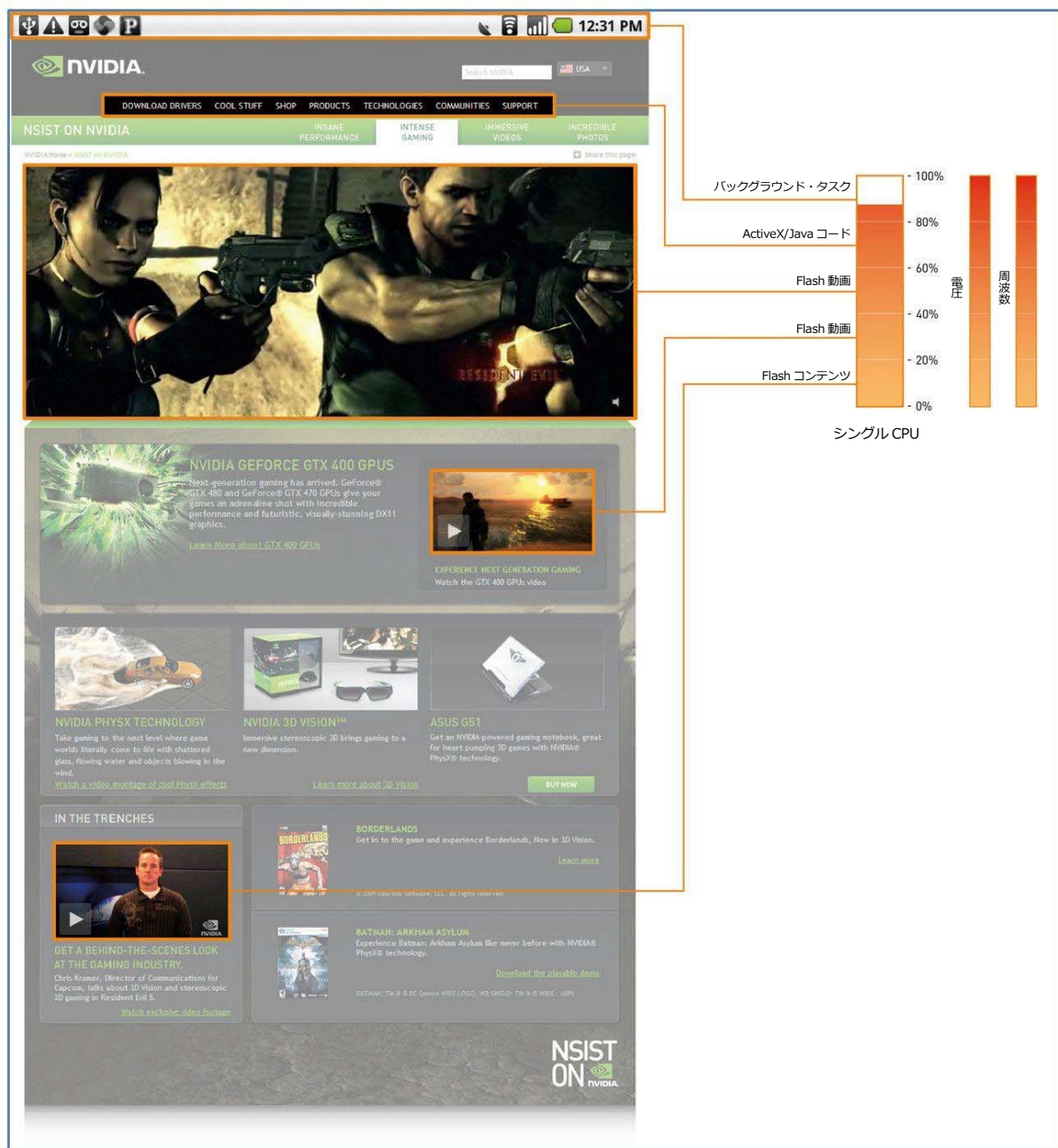


図 1. シングルコア CPU 搭載のモバイル機器でウェブを閲覧したときの CPU 利用状況

図 2 は、同じページの閲覧処理をふたつのコアに分散した場合です。処理が分散されるためどちらのコアもフル稼働する必要はなく、周波数も電圧も低いレベルとなります。半導体デバイスの消費電力は周波数には比例、電圧は 2 乗に比例しますから、これは、大幅な消費電力の削減になります。このように SMP 対応デュアルコア CPU を持つモバイル・プロセッサは、シングルコア CPU のモバイル・プロセッサよりも電力効率が上がる人が多いのです。

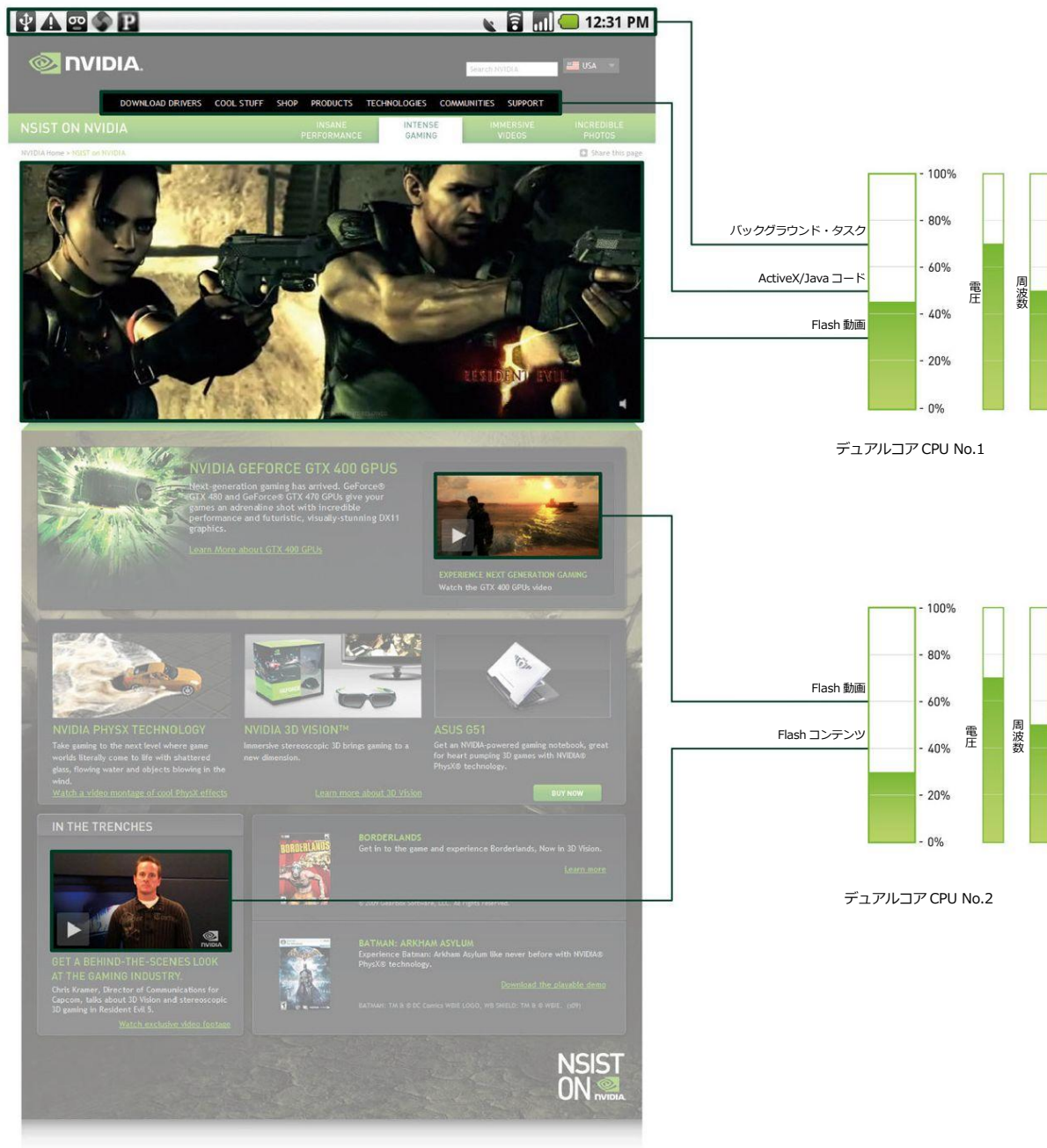


図 2.デュアルコア CPU 搭載のモバイル機器でウェブを閲覧したときの CPU 利用状況

NVIDIA Tegra 2 : 世界で初めてデュアルコア CPU を搭載した

モバイル・プロセッサ

NVIDIA Tegra は、モバイル・プロセッサとして世界で初めて、デュアルコア CPU を搭載しました。搭載されたデュアルコア CPU は、ARM® Cortex-A9 MPCore を極限まで最適化したものです。この結果、既存のモバイル・プロセッサに対して 2 倍近いパフォーマンスが得られるようになりました。最適化された ARM コアには対称型マルチプロセッシング、アウトオブオーダー実行、優れた分岐予測などの機能があり、ウェブページをすばやくロードし、さっとレンダリングして表示したり、ユーザーとのやりとりをスムーズに行ったりすることができます。

デュアルコア ARM Cortex-A9 アーキテクチャー

Cortex-A9 MPCore プロセッサは ARMv7 命令セット・アーキテクチャーを採用し、アウトオブオーダー実行を行う高効率の 8 段パイプラインを中心とした設計になっています。Cortex-A9 MPCore プロセッサは旧世代の ARM CPU よりもパフォーマンスが高いにもかかわらず、消費電力バジェットはモバイル機器に要求される範囲に収まります。ARM Cortex-A9 アーキテクチャーは旧世代の ARM Cortex-A8™プロセッサが進化したもので、以下のようにさまざまなパフォーマンスが改善されています。

- スペキュレーティブ・アウトオブオーダー実行をサポートし、長さをダイナミックに変えられる 8 段パイプラインを搭載しました。命令の実行順番をダイナミックに変えることが可能となり、命令レイテンシやリソースの衝突によるストールを避けてパフォーマンスを高めることができます。旧世代の Cortex-A8 プロセッサはインオーダー・パイプラインだったため、分岐やキャッシュのミスによるペナルティーが避けられませんでした。
- スペキュレーティブな分岐予測で分岐によるペナルティーが避けられます。
- デュアルコアの対称型マルチプロセッシング (SMP) 構成となっており、ふたつのコアが独立に動作したり、必要に応じてロックステップとしてピーク性能を発揮したりすることができます。アイドル時には、消費電力をほぼゼロまで落とすこともできます。
- コアごとに 32KB の命令キャッシュと 32KB のデータ・キャッシュが用意されています。共通 L2 キャッシュは 1MB です。L2 キャッシュが 1MB あるため、ブラウザー・メモリー全体をキャッシュに展開可能で、ウェブをサクサクと閲覧できるようになります。
- CPU コアは 1 ギガヘルツでの動作に最適化されています。もっと高い動作周波数を使うことも可能です。スヌープ・コントロール・ユニットはふたつのコアで共通としてコア間の一貫性を確保しています。また、ふたつのコアで共有する 1MB の L2 キャッシュも、ひとつのスヌープ・コントロール・ユニットで管理します。

CPU コアはいずれも、電圧と周波数をダイナミックにスケーリングする複雑でインテリジェントなアルゴリズムで管理します。このアルゴリズムはハードウェアとソフトウェアのレベルで実装されており、可能なかぎり消費電力を抑えつつ、要求されたパフォーマンスを提供できる最適な電圧

と周波数で両方のコアが動作するようになっていきます。このアルゴリズムは、モバイル機器のユーザースペースを詳しく調べて NVIDIA が開発したもので、すべてのコアが最高の効率で動作し、必要なピーク性能を満足するだけでなく、システムがアイドルとなった場合には超低消費電力モードにとどまれるようになっていきます。

デュアルコア Cortex-A9 マイクロプロセッサのブロックダイアグラムを図 3 に示します。

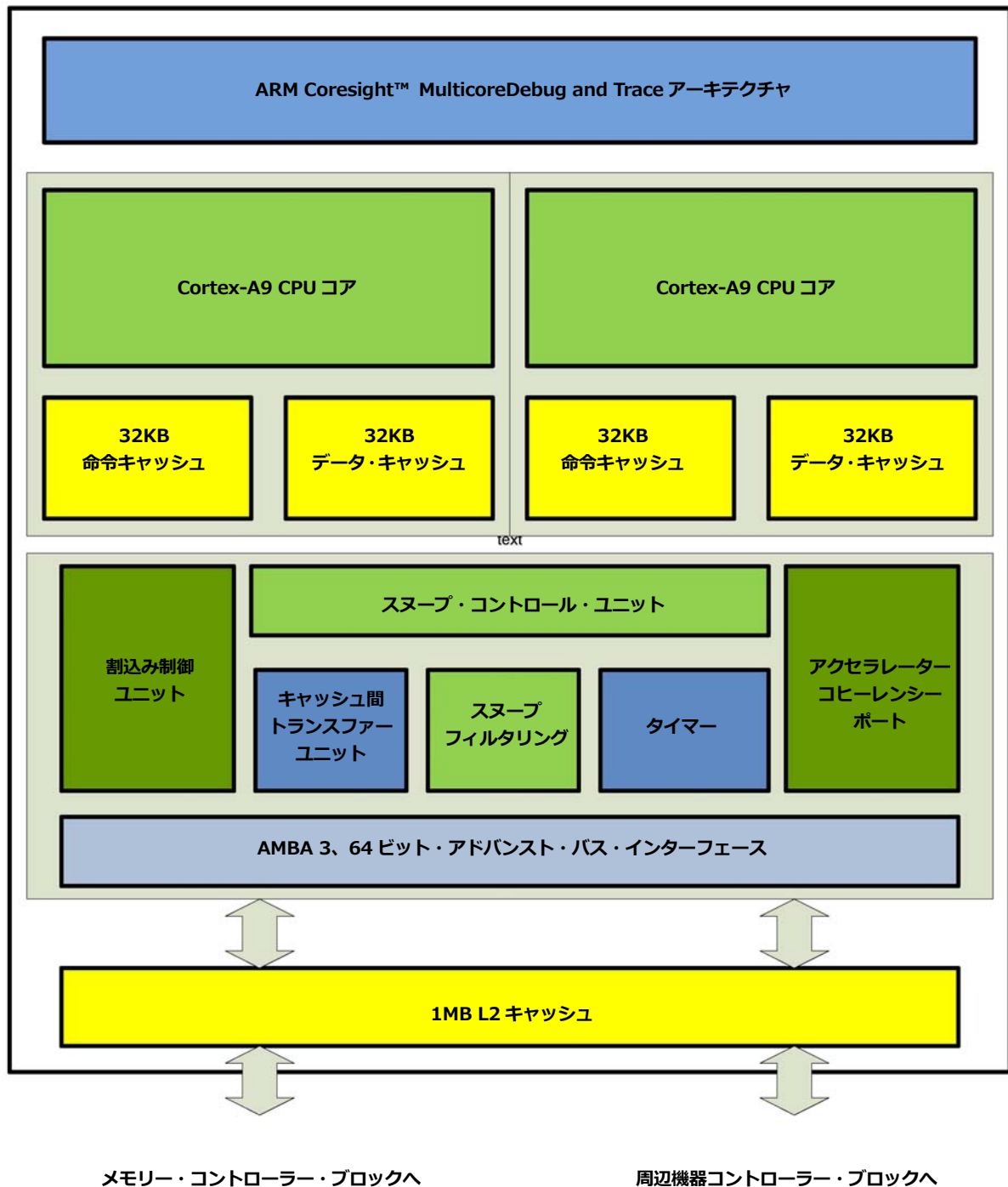


図 3. デュアルコア ARM Cortex-A9 MPCore の実装

Tegra 2 における対称型マルチプロセッシングのメリット

Tegra 2 における対称型マルチプロセッシングは低消費電力で高いパフォーマンスを提供する以外にも、以下のように、モバイルのさまざまなユースケースでメリットがはっきりと感じられます。

- 高速なウェブページのロード
- 低消費電力と高いパフォーマンス/消費電力
- コンソール型のモバイル・ゲームにおいてゲームプレイの質が高い
- UI（ユーザー・インターフェース）の応答が速くてスムーズ
- マルチタスクの処理が速い

高速なウェブページのロード

SMP 対応マルチコア CPU を搭載したモバイル機器なら、超高速のデスクトップ PC に近いウェブ閲覧体験が可能です。シングルスレッドのシングルプロセスでブラウザを動かす時代は終わりました。Google Chrome®や Mozilla Firefox®など、最近のブラウザはみなマルチスレッド対応になっており、複数のプロセスを同時に発行することができます。Chrome の場合、タブごとに別プロセスとなっていますし、スレッドの管理はプロセスごとに行われます。プロセスもスレッドも大幅な並列化が行われているのです。



図 4. マルチスレッド対応ブラウザでは、両方のコアに複数のタスクが割り当てられます

SMP 対応デュアルコア CPU を搭載した NVIDIA Tegra 2 では、これらのプロセスを別々の CPU コアに割り当てることができるため、ウェブページのレンダリングもページのロードも競合製品よりもずっと速く行うことが可能です。

幅広く普及しているブラウザで JavaScript ベンチマークを走らせて検証したところ、NVIDIA

Tegra 2 は、シングルコア CPU の競合ソリューションより、実行時間もページのレンダリング時間も大幅に短いことが確認されました。マルチスレッドの JavaScript ベンチマークである Moonbat では、デュアルコア Cortex-A9 をベースとした Tegra は、シングルコア Cortex-A9 をベースとした Tegra に対して約 1.7 倍、その他のシングルコア CPU ベースのモバイル・プロセッサに対しては 2.5 倍近くもの速度となりました。また、CPU パフォーマンスのベンチマークとして有名な Coremark では、NVIDIA Tegra のデュアルコア Cortex-A9 のパフォーマンスがシングルコア Cortex-A9 の倍であることが確認されました。

NVIDIA Tegra 2 に搭載されたデュアルコア CPU でパフォーマンスが大きく改善されることは、ARM Technology Conference 2010 で行われた公開デモンストレーションでも示されました。デモビデオで ARM は、デュアルコア Cortex-A9 ベースの Tegra 2 プロセッサは、ウェブページのロード時間がシングルコア Cortex-A9 プロセッサの半分以下になると語りました¹。

以下に示すベンチマークの結果を見れば、デュアルコア Cortex-A9 ベースの NVIDIA Tegra プロセッサは実行速度が同等のシングルコア Cortex-A9 バージョンの 1.5 倍から 2 倍、ARM Cortex-A8 ベースのアプリケーション・プロセッサに対しては 1.7 倍から 2.4 倍以上であることがわかります。

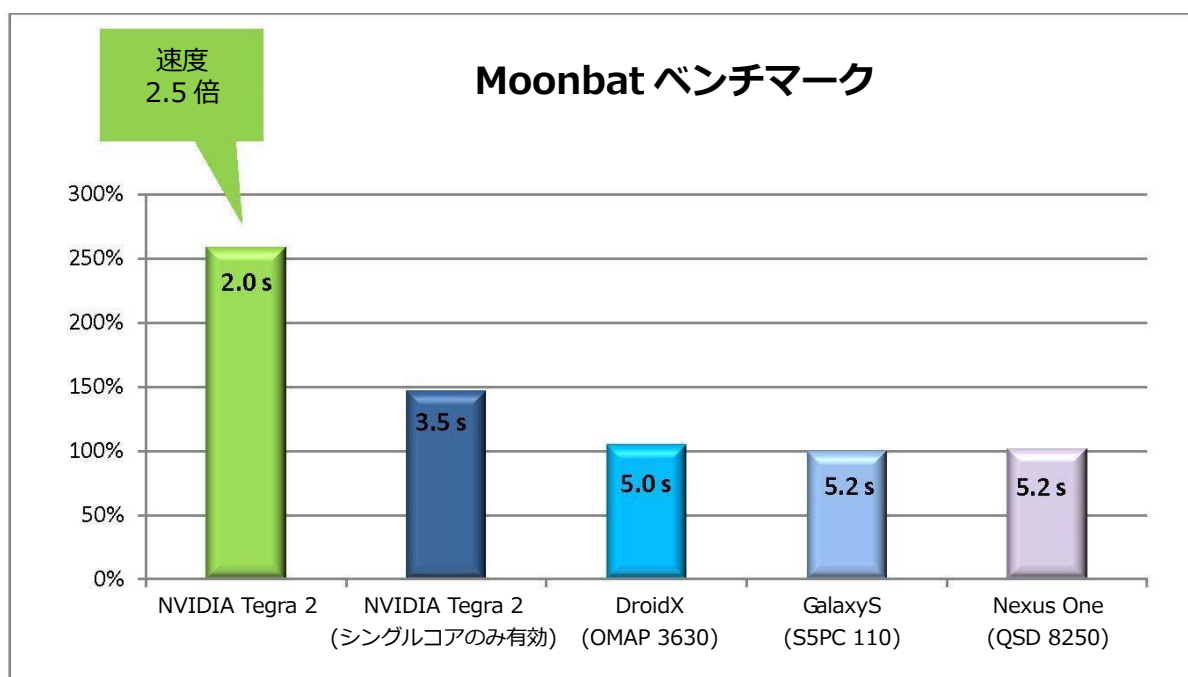


図 5. Moonbat JavaScript ベンチマークにおけるデュアルコア A9 のパフォーマンス² (数字が小さいほど優秀)

¹ <http://armdevices.net/2010/11/13/nvidia-tegra2-arm-Cortex-A9-dual-core-performance-for-wwweb-browsing/>

² Android OS : 2.2、ウェブブラウザ : Firefox

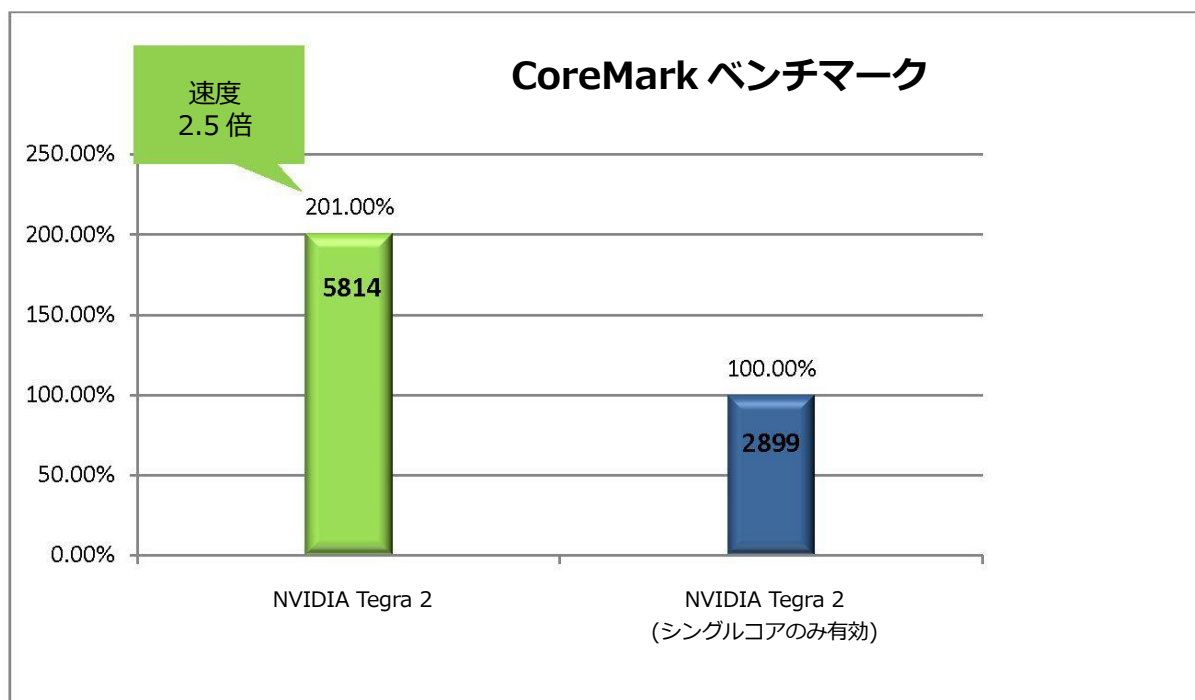


図 6. Coremark CPUベンチマークにおけるNVIDIA Tegraのパフォーマンス³ (数字が大きいほど優秀)

Web 2.0 テクノロジーが普及した結果、最近のウェブページに含まれるのは、リソースへのシンプルなリンクだけではなくになりました。さまざまなスクリプトが含まれていて、それらを実行してパースし、他のリソースへのリンクを取得してダウンロードしなければページが作れなかったりするのです。そのため、ブラウザ側も複数のスクリプトを平行に処理できるようになるとともに、サーバへの接続も複数と同時に設定して数多くのリソースを平行にダウンロードできるようになりました。CPU コアがひとつしかない機器でスクリプトが組み込まれたページを表示しようとすると、CPU がそのスクリプトの処理にかかりっきりになってしまい、その処理が終わるまで、ページ全体のパースや他のスクリプトの実行、複数接続の初期化、追加リソースのダウンロードなどが行えなくなってしまう。複数のスクリプトが組み込まれているウェブページの場合、スクリプトのロードのみが行われ、最近のブラウザが接続に関して持つ並列性が活用できなくなってしまう。

SMP 環境では、この状況が大幅に改善されます。Chrome、Safari、Android Web Browser などのウェブブラウザでは、オープンソースのブラウザ・レイアウト・エンジン、Webkit が使われています。この Webkit には、ウェブコンテンツをウィンドウに表示するクラスやさまざまなブラウザ機能を実装するクラスが用意されています。最新の Webkit コードは SMP に対応しており、NVIDIA Tegra などの SMP 対応プロセッサでは、メインパーサーがスクリプトの処理にかかった場合、ふたつの処理コアを使って複数のパーサーを同時起動することができます。起動されたミニパーサーがページの残りの部分を推測でパースし、他のリソースをサーバから平行接続でダウンロードしてきたりするわけです。

³ デュアルコア : CoreMark 1.0 : 5814.305896 / GCC4 4.4.1 (Sourcery G++ Lite 2010q1-202) -O3
 -mcpu=cortex-aa8 -funroll-loops -falign-loops=8 -fgcse-sm -fno-tree-vectorize -marm / H Heap / 2:PThreads
 シングルコア : CoreMark 1.0 : 2899.759693 / GCC4 4.4.1 (Sourcery G++ Lite 2010q1-202) -O3 -mcpu=cortex-a88
 -funroll-loops -falign-loops=8 -fgcse-sm -fno-tree-vectorize -marm / H Heap / 2:PThreads

非 SMP プロセッサはすべてを順番に処理するしかないのでこのような形を取ることはできず、メインのスクリプトが処理を終えるまで、ミニパーサーを実行できません。このような理由で、SMP 対応のモバイル・プロセッサではページのロードが速くなるわけです。次の図は人気のウェブサイトで平均したロード時間を示したのですが、これを見ると、デュアルコア Cortex-A9 ベースの Tegra では、同等の実行速度を持つシングルコア Cortex-A9 バージョンに対して、ロード速度が 50%も向上していることがわかります。

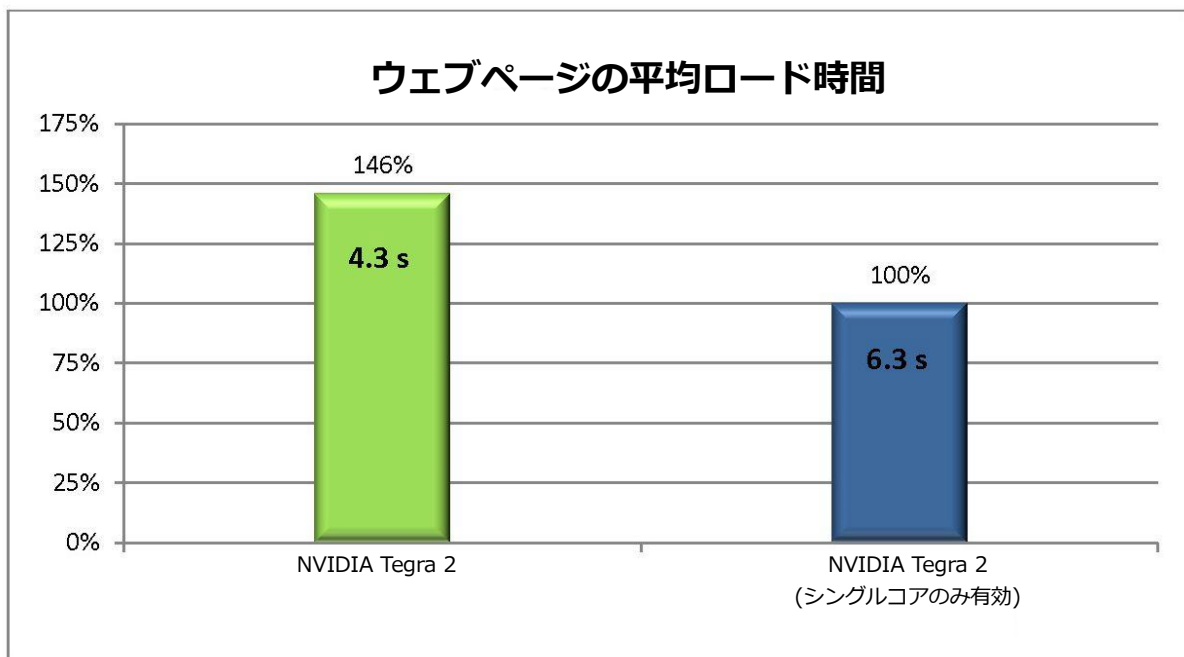


図 7. デュアルコアTegraプロセッサによるウェブページの平均ロード速度のスピードアップ⁴

SMP 対応デュアルコアを搭載したモバイル・プロセッサは、現在、NVIDIA Tegra だけであり、それはつまり、モバイル機器におけるウェブ閲覧体験をもっともサクサクと、もっともリッチに楽しめるのは NVIDIA Tegra だということになります。

低消費電力と高いパフォーマンス/消費電力

よくある誤解が、デュアルコア CPU アーキテクチャーの NVIDIA Tegra はシングルコア CPU ソリューションより消費電力が多く、バッテリー寿命が大幅に短くなるというものです。現実には逆で、SMP とインテリジェントな電力管理アルゴリズムによって Tegra ソリューションの電力効率は高く、消費電力あたりのパフォーマンスはシングルコアのプロセッサよりも高くなります。マルチタスク環境で求められるピーク性能を満足しようとする、シングルコア CPU はデュアルコア CPU よりも高いクロック周波数と電圧で動作するだけでなく、タスクが完了するまで長い時間稼働することになります。NVIDIA Tegra に実装されている Cortex-A9 デュアルコア CPU は、以下の理由から、競合するソリューションよりも電力効率が高く、消費電力あたりのパフォーマンスが高くな

⁴ オフラインのウェブサーバで Webkit ブラウザーと Android 2.2 を解像度 800x480 で使用した場合のデータ、10 点を平均

ります。

- NVIDIA Tegra では、SMP テクノロジーによってタスク負荷をふたつの処理コアに分散させるため、一つひとつのコアがフル負荷にならず、処理能力やスピードという意味において限界で動作せずに済みます。この場合、システム・レベルの電力管理ロジックにより、コアは両方とも動作周波数も電圧も低くおさえられます。つまり、消費電力を大幅に抑えることができるのです。
- 並列性が高いタスクの場合、NVIDIA Tegra なら負荷をふたつの CPU コアに分散し、シングルコア CPU ソリューションよりもずっと短時間で処理を完了することができます。つまり、NVIDIA Tegra のデュアルコア CPU ならタスクをすばやく終了して低消費電力モードとして電力の消費を抑えられるのに対し、シングルコアのプロセッサは長時間、消費電力の多いアクティブ状態を保つことになります。
- 負荷が低くてシングルコアの処理能力で十分な場合、片方のコアをオフにし、消費電力をシングルコア CPU とほぼ同じレベルまで落とすことができます。

シングルコア CPU でウェブを閲覧する場合について考えてみましょう。ウェブページに複数のスクリプトとストリーミングによる Flash 動画コンテンツ、スクリプトによる画像があると、シングルコア CPU はピーク性能を出す必要があり、そのピーク性能を出すため、動作電圧も動作周波数も最大値となります。このとき、シングルコア CPU で消費される電力を「P」としましょう。また、CPU の動作電圧は 1.1V、動作周波数は 1GHz だとしましょう。

同じタスクを、NVIDIA Tegra アーキテクチャー採用のデュアルコア Cortex-A9 CPU で行ったらどうなるでしょうか。対称型マルチプロセッシングにより、ウェブ閲覧のタスクはふたつの Cortex-A9 コアに分散されます。つまり、どちらのコアも利用率は 50%程度ですみます。このように負荷を分散すると、いずれのコアも動作電圧と動作周波数を下げることができます。各コアにかかる負荷が半分になるということは、シングルコア CPU の半分程度の周波数でいいということであり、これは同時に動作電圧が低くてもいいことになります。このとき、コアはふたつとも、動作周波数が 550MHz、動作電圧が 0.8V だったとしましょう。

コアにおける消費電力は動作周波数に比例するとともに、動作電圧の 2 乗に比例します。このように電圧に対して消費電力が指数関数的に増加するため、同じ作業負荷の場合、デュアルコア CPU のほうがシングルコア CPU よりも消費電力が少なくなるのです。以下の図を見れば、同じタスクを処理する場合、デュアルコアの Cortex-A9 CPU はシングルコアの Cortex-A9 の 60%しか電力を消費しないことがわかります。

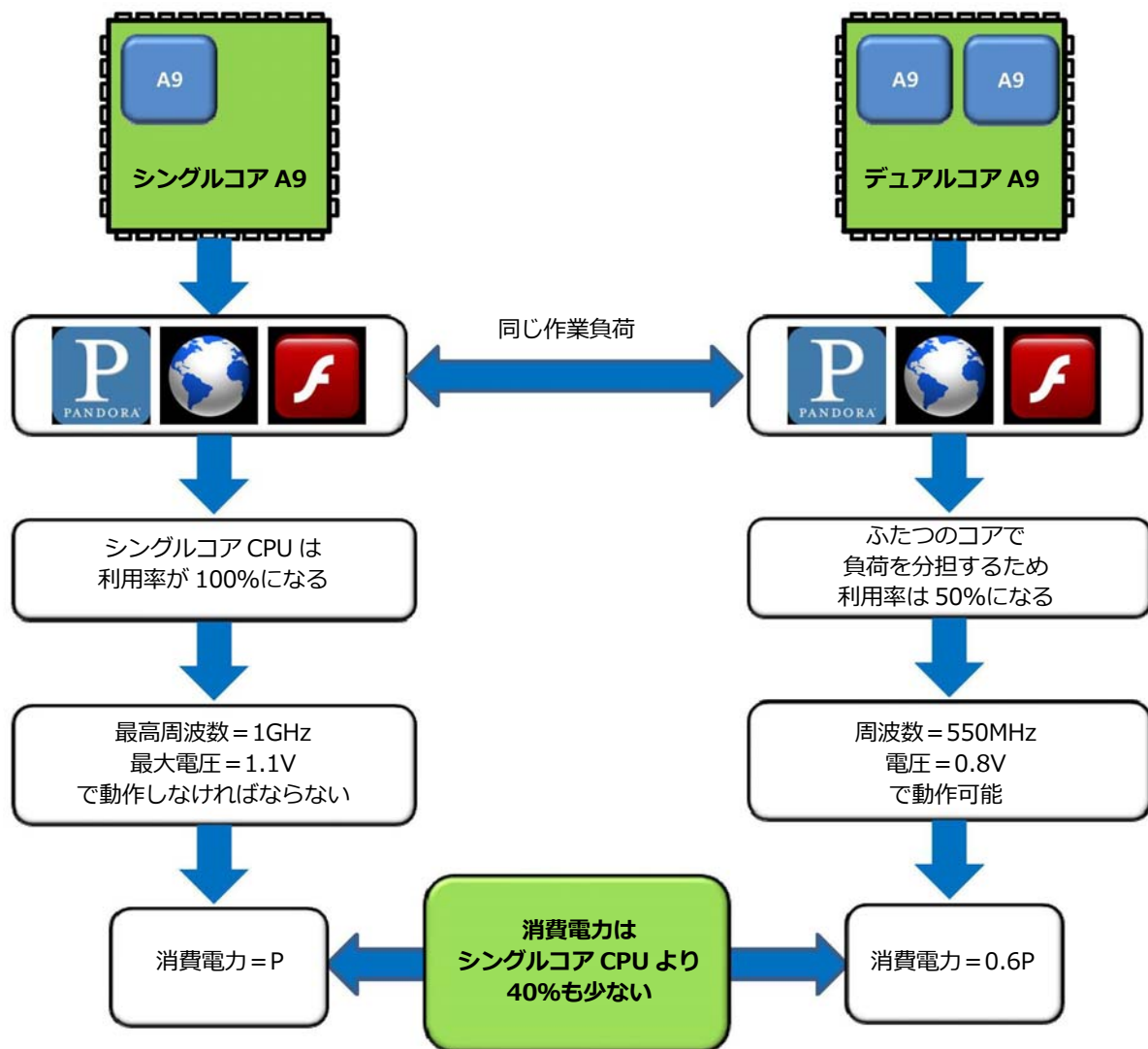


図 8. 電圧と周波数のスケーリング効果によるデュアルコア CPU のメリット

質の高いゲームプレイ

マルチコアSMPアーキテクチャーの恩恵を受けるのは、ウェブを閲覧する場合だけではなく、最近はモバイル・ゲームの利用が急速に伸びており、最近行われた市場調査では、スマートフォンでゲームを楽しむユーザーの数が2009年から2010年で60%増加したとのデータも得られています⁵。また、モバイル機器のゲームもシンプルな2Dから複雑な3Dレンダリングを採用したものへと進化しました。PCやコンソールでしか楽しめなかった、リッチなビジュアルを持つ魅力的なゲームがモバイル機器でも楽しめるようになりつつあるのです。

最近のコンソールとPCは、すべて、SMPテクノロジーをサポートしたマルチコアチップを搭載

5

www.comscore.com/Press_Events/Press_Releases/2010/4/Smartphone_Adoption_Shifting_Dynamics_of_U.S._Mobile_Gaming_Market

しており、コンソールや PC のゲームはほとんどが、ハードウェアが持つマルチコア機能と SMP 機能を活用するようにコーディングされています。ゲーム・エンジンはほとんどがマルチスレッドに対応していますし、最近では、スレッド数を増やしてジョブの「サイズ」を小さくするタスクプロセッシング・モデルへと移行するゲーム・エンジンが増えています。このように、最近のゲーム・プラットフォームは多数のスレッドをサポートするようになっており、このトレンドは今後も強まることこそあれ、消えることはありません。

モバイル・ゲームの利用が増え、同時にモバイル機器におけるゲームに大きな成長が見込めることから、今まで PC やコンソールのゲームを開発してきた企業が人気のコンソール・ゲームや PC ゲームをモバイル機器へポーティングしたりモバイル用として開発したりする動きが活発化しています。PC ゲームもコンソール・ゲームもほとんどがマルチコアのハードウェアに最適化されていますから、最高のゲーム体験をするためには、モバイル機器も、SMP 対応のマルチコアとすべきです。

「Tegra はデュアルコア CPU を搭載していますから、片方のコアを使って 2500 レベルもの AI をバックグラウンド処理し、完璧にスムーズな仕上がりとすることができます。」

– Wardrum Software 社トーマス・ウィリアムソン氏

NVIDIA Tegra は、SMP 対応のデュアルコア CPU を搭載しているだけでなく、コンソール・クラスの超低消費電力 (ULP) GeForce™ GPU も搭載した唯一のモバイル・プロセッサです。Tegra プロセッサに搭載されている GPU は、デスクトップ用 GeForce GPU とよく似たアーキテクチャーとなっており、そのため、SMP 対応のデスクトップ CPU とデスクトップ用 GPU アーキテクチャーで開発されたゲームを簡単に NVIDIA Tegra へとポーティングし、Tegra 搭載のモバイル機器ですばらしいゲーム体験を提供することができます。表 1 は、主なゲーム・エンジンと各エンジンが使用するスレッドの数です。

ゲーム/エンジン	スレッド数
Unreal Engine 3	4+
Id Tech 5	6+
Frostbite	14
Civilization 5	12
Mafia 2	4
Crysis	8
Uncharted 2	8
Killzone 2	8+

表 1. マルチスレッドのゲームとエンジン

Unreal Engine 3.0 は人気のマルチスレッド・エンジンで、レンダー、オーディオ、トランスコ

ード、衝突、透過などの機能に個別のスレッドを割りあてます。SMP 対応の OS はこのスレッドを複数の CPU に割り振り、パフォーマンスのボトルネックを解消するので、スムーズなゲームが楽しめるわけです。Unreal Engine 3.0 を使用したゲームで実験してみたところ、Tegra プロセッサで 2 個目の CPU コアと SMP 機能をオンにすると、ゲームの処理が 70% 近くも高速となりました。



図 9. Dungeon Defender は NVIDIA Tegra プロセッサのコアを両方とも活用

Id Tech 5 はマルチスレッドのゲーム・エンジンで、『Doom 4』や『Rage』などのゲームに採用されています。このエンジンでは、従来型のスレッド 2 本がゲームの基本的な処理とレンダリングに割りあてられます。このほか、ネットワークやディスクへのアクセス、オーディオなどに非同期的スレッドが複数、生成されます。その他の機能は個別の「ジョブ」としてコーディングされますが、このジョブもマルチコア CPU では並列実行が可能です。またこのエンジンは、コアの数に合わせてスケーリングできるアーキテクチャーとなっており、利用できるコアの数に応じて「ジョブ」クラスを追加したり取りのぞいたりすることができます。ジョブ・クラスが定義されているのは、衝突検出、アニメーション・ブレンド、障害物回避、バーチャル・テクスチャリング、モデル・ディテール生成などのタスクです。

Frostbite も、ジョブ・ベースの並列性を実現しているゲーム・エンジンです。このエンジンは、人気シリーズの『Battlefield: Bad Company』などで使われています。このエンジンも、ハードウェア・プラットフォームが提供してくれるかぎり、何本でもスレッドを使えます。ゲームの基本タスクとレンダーは GPU で処理し、システム関連の作業はジョブに分割して実行します。ひとつのジョブは 15000 行から 20 万行の C++ コードとなることが多く、ジョブの平均サイズは 25000 行となります。ジョブは、一部、相互依存があるものもありますが、大半は独立しています。ゲー

ムフレームひとつは 200 から 300 のジョブで構築され、このジョブが、利用できるハードウェア・コアに実行エンジンによって分配されるわけです。



図 10. ジョブ・レベルで並列化するマルチスレッドの Frostbite ゲーム・エンジン

次の図は、実際にゲームをプレイしているとき、各コアにジョブがどう割り振られているのかをキャプチャーしたものです。Frostbite エンジンが起動したジョブの種類ごとに異なる色となっています。このデータは、Frostbite Timing View ソフトウェアを使い、クアッドコア CPU と 2 個の GPU を AFR モードで使用する PC システムで収集したものです。この図を見ると、このゲーム・エンジンでは、利用可能なコアを効率的に活用してタスクの処理を行っていることがわかります。言い換えると、このゲーム・エンジンは、NVIDIA Tegra に搭載された CPU コア 2 個と ULP GeForce GPU コアを有効に活用し、コンソールに匹敵するゲーム体験が提供できるわけです。

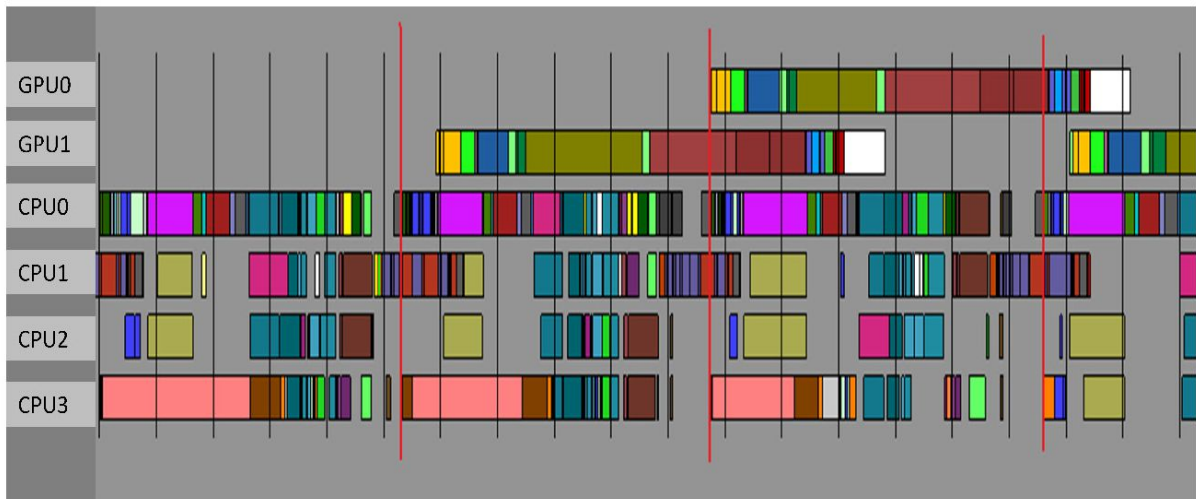


図 11. Frostbite ゲーム・エンジンによるタスク・レベルの並列化

スマートフォンやタブレット、ポータブル・メディアプレーヤーなどのモバイル機器でゲームを楽しむ人が急速に増えています。モバイル・ゲームの市場規模は、世界全体で 2010 年には 56 億ドル、2014 年には 114 億ドルになると見込まれています⁶。モバイル・ゲームのユーザーは、米国だけでも、2010 年から 2014 年で 50% 近くも増え、2014 年には 1 億人に達すると見られています⁷。高い処理能力と高解像度ディスプレイ、大型スクリーン、インターネットへの高速アクセスといった特長を持つスマートフォンとタブレットの普及が進んでいることから、モバイル・ゲームは今後ますます注目され、普及してゆくものと思われます。今までコンソールやPCのゲームを開発していた企業もこの流れを無視することはできず、近い将来、コンソールやPCで人気を博したゲームを携帯電話やタブレットにポータリングするようになるでしょう。

コンソール・ゲームや PC ゲームはほとんどがマルチコアのハードウェアを前提に開発されているため、モバイル・プロセッサも、マルチコア・アーキテクチャーと SMP をサポートしているものでなければ高いパフォーマンスを得ることができません。また、マルチスレッドのゲーム・エンジンをポータリングする場合、PC やコンソールと同じようなマルチコア CPU と GPU を持つモバイル・プロセッサのほうがポータリングしやすくなります。NVIDIA Tegra モバイル・プロセッサは SMP 対応のデュアルコア CPU と ULP GeForce クラスの GPU の両方を搭載しています。つまり、NVIDIA Tegra をベースとしたモバイル機器は、ゲームプレイ体験が優れているだけではなく、コンソールや PC のようなゲームの選択肢も広がるのです。

応答がすばやいユーザー・インターフェースと高速マルチタスク

このほか、デュアルコア CPU が持つ SMP 機能のメリットがはっきり感じられるものとして、ユーザーが機器を操作した際の応答性があります。メニューやボタン、タッチイベントを通じてユーザーがモバイル機器を操作した場合、レイテンシが大きな問題となります。イベントを処理してユーザーの操作に反応するのに時間を要すると、応答の遅れとなり、機器がとても使いづらくなって

⁶ <http://www.gartner.com/it/page.jsp?id=1370213>

⁷ <http://www.mobilemarketer.com/cmss/news/research/7096.html>

しまいます。

応答性が悪くなる要因はいろいろと考えられます。たとえば CPU の占有、メモリー帯域幅の不足、ドライバー・スタックの最適化不足など、いずれも、ユーザーの操作に対する応答を遅らせる可能性があります。特にスマートフォンは複数のアプリケーションが走っていることが多く、問題が起きやすいと言えます。たとえば最近、ウェブブラウザーとストリーミング音楽、電子メール同期、ソーシャル・ネットワーク同期、ニュースフィードなどのアプリケーションがモバイル機器で同時に走ることも珍しくなくなりました。このようにマルチタスクで条件が厳しくなると、シングルコア CPU は利用率が上限に達し、ユーザー操作に関連するタスクをすぐに処理できなくなり、応答性がはっきり落ちるほどの遅延が発生したりします。

SMP 対応の OS では、CPU に対する負荷の状況とタスク/アクティビティの優先順位に基づき、作業負荷を適切な CPU コアへと動的に割りあてることができます。そのため、SMP 対応のデュアルコア環境では、ひとつの CPU コアにストリーミング音楽とバックグラウンド同期といったタスクを割りあて、もう片方をユーザー操作やウェブ閲覧など、レイテンシが問題となるタスクの処理に割りあててなどが行えます。

よくある使い方として、グラフィックス・インテンシブなゲームを遊びながら、Pandora®といった人気のアプリケーションでストリーミングされた音楽を楽しみ、かつ、インターネットからコンテンツのダウンロードも行うという場合について考えてみましょう。これら 3 種類のタスクはいずれもすぐに処理する必要がありますし、CPU の処理能力をかなり必要とします。そのためシングルコア CPU の場合、動作が目に見えて遅くなったり、処理がスムーズに行えなくなったりします。特にゲームはパフォーマンス・インテンシブで、CPU 処理能力のかかなりの部分を使う必要があります。そこにファイルのダウンロードやストリーミング音楽などのリアルタイム・タスクを追加すると、そちらも CPU による処理が必要となり、シングルコア CPU では、ゲームで必要となるパフォーマンスを提供できなくなってしまいます。

これが SMP 機能を持つデュアルコア CPU なら、片方の CPU コアをゲーム・タスクに割りあて、もう片方の CPU コアでストリーミング音楽とファイル・ダウンロードを処理するといったことが可能になります。つまり、ゲームにはコアひとつ分の処理能力がすべて使えるわけで、すばらしいゲーム体験を得ることができます。以下の図は、前述のマルチタスク条件の場合、SMP 機能とコア追加によってゲーム（『Quake』および『Dungeon Defender』）の FPS（フレーム/秒）がどの程度改善するかを示したものです。音楽の再生とファイルのダウンロードを第 2 のコアへと割りあてられるデュアルコア Cortex-A9 による Tegra では、シングルコア A9 による Tegra に対して 60% から 100% も高い FPS が得られることがわかります。

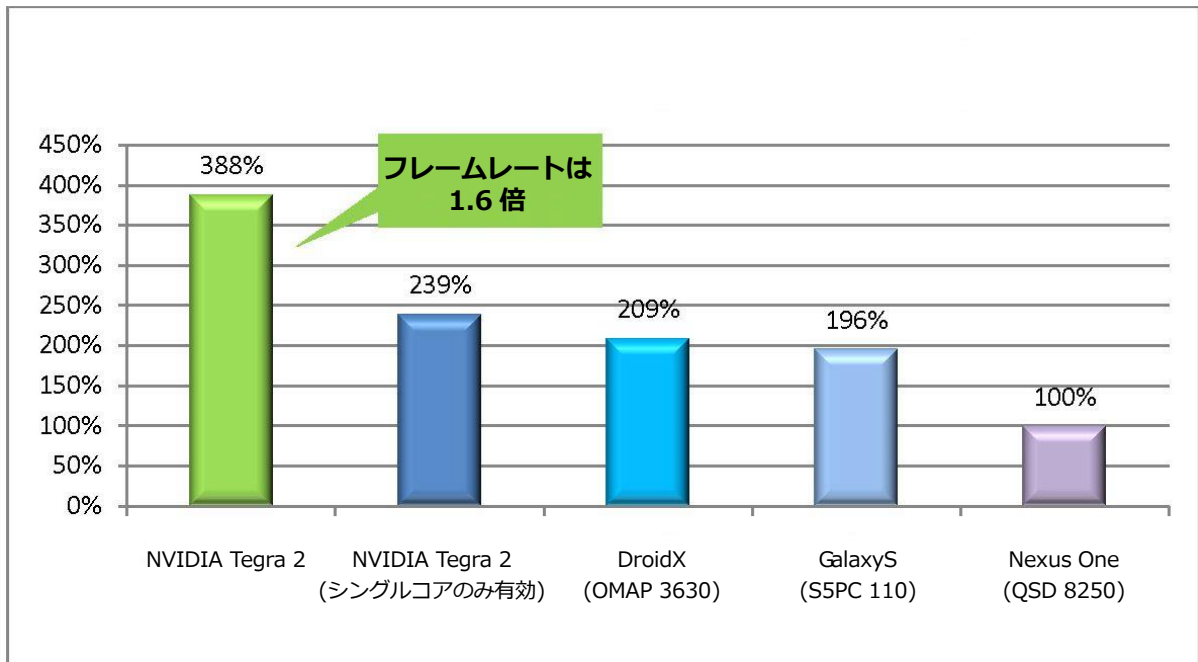


図 12. QuakeゲームにおけるFPSの改善 – マルチタスク条件でデュアルコアA9 採用による⁸

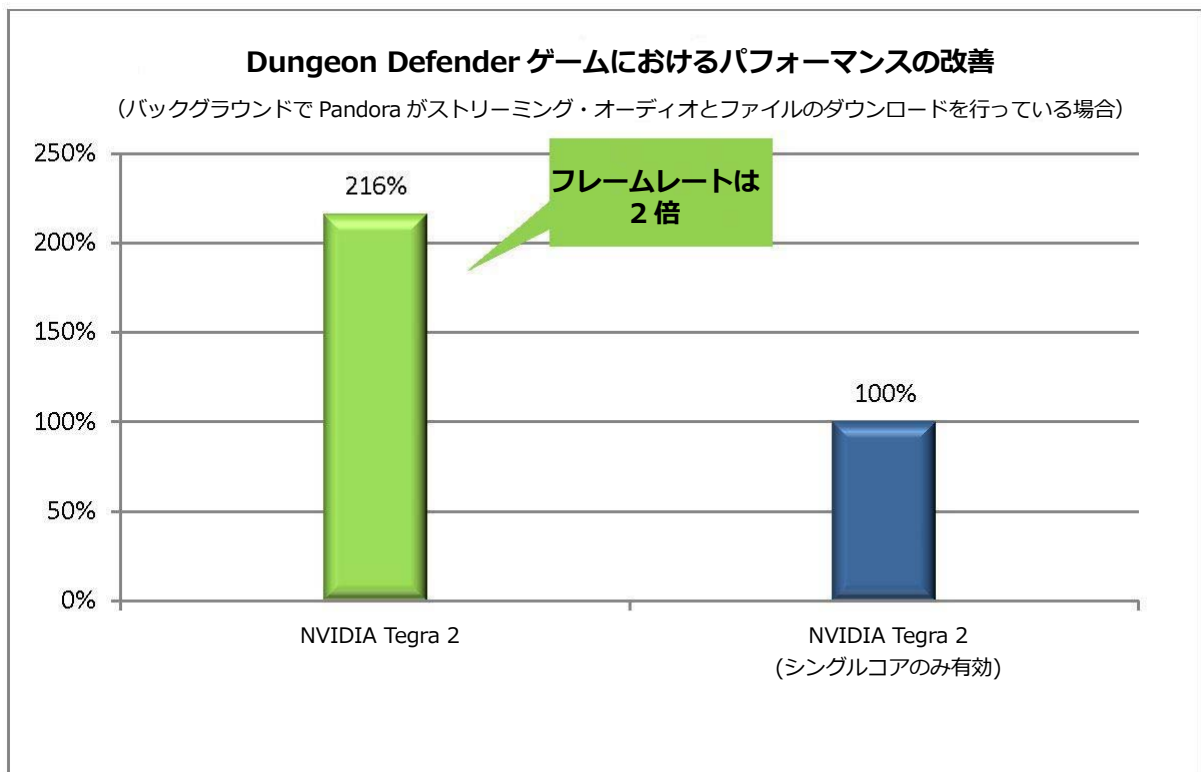


図 13. Dungeon DefenderゲームにおけるFPSの改善 – マルチタスク条件でデュアルコアA9 採用による⁹

⁸解像度 800x480、Android 2.2、Pandora で音楽のライブ・ストリーミング、USB 経由でファイル・ダウンロード

⁹解像度 800x480、Android 2.2、Pandora で音楽のライブ・ストリーミング、USB 経由でファイル・ダウンロード

まとめ

何十年もの間、PC のプロセッサは基本的にシングルコア・アーキテクチャーで、CPU メーカーは、動作周波数とコア・サイズを増加することと、製造プロセスの微細化によってチップ面積あたりのトランジスタ実装数を増加することによってパフォーマンスを高めてきました。しかし、これ以上、周波数を高め、コア・サイズを大きくすると消費電力が指数関数的に増え、発熱が大きくなりすぎる状況となってしまいました。このプロセッサによる消費電力を抑えつつ、高いパフォーマンスを実現する方法として開発されたのが、マルチコア CPU アーキテクチャーです。最新のパソコンはデスクトップもノートブックもデュアルコアかクアッドコアのプロセッサを搭載しており、シングルコアの時代よりも消費電力がかなり大幅に抑えられています。しかし、マルチコア・アーキテクチャーのメリットは、スマートフォンやタブレットなどのモバイル機器のほうが大きいはずです。バッテリーの長寿命化という大きな恩恵が得られるからです。2011 年にはデュアルコア・プロセッサが標準になるでしょうし、そのあとにはクアッドコアの時代が来るはずです。

モバイル用のアプリケーション・プロセッサは、今、デスクトップ PC やノートブック PC の CPU が数年前に直面していたのと同じパフォーマンスと消費電力の問題に悩まされています。HD ビデオの再生、ストリーミング・ビデオ、3D ゲーム、3D インターフェースなど要求の厳しいアプリケーションがモバイルでも使われるようになっており、現在使われているシングルコアのモバイル・プロセッサでは処理能力の限界に達しようとしています。今後、モバイルで求められる消費電力バジェットの範囲でパフォーマンスを高めてゆくためには、モバイル・プロセッサもマルチコアへと移行する必要があります。Android、Windows® CE、Symbian などのモバイル用オペレーティングシステムはすでにマルチコア環境に対応していますし、ハードウェアが持つ複数の処理コアを効率的に活用する機能も用意されています。また、広く普及しているウェブブラウザや PC ゲームの多くはマルチスレッドに対応していることから、これらをマルチコア CPU ベースのモバイル・プロセッサへとポーティングすればユーザーにはっきりとわかる違いを得ることができます。

NVIDIA Tegra は対称型マルチプロセッシングを活用し、すばらしいウェブ閲覧体験と応答性の高いユーザー・インターフェース、効果的なマルチタスク、長寿命のバッテリーといった改善を実現できるように設計されています。

文書履歴

注記

解説、見解、NVIDIA のデザイン仕様、リファレンスボード、ファイル、図面、診断、リスト、その他のドキュメントなど、本ホワイトペーパーで提供する情報は(以下、集合的あるいは個別に「マテリアル」と呼称します)、すべて、「現状のまま」を条件に提供するものです。NVIDIA は、本マテリアルについて、明示的、暗示的、法定的を含む保証を一切行わず、また、権利の不侵害、商品性、および特定目的への適合性に関するあらゆる黙示保証を明示的に放棄するものとします。

記載された情報の正確性、信頼性には万全を期しておりますが、これらの情報の使用の結果として、もしくはこれらの情報の使用に起因して第三者の特許またはその他の権利の侵害が発生しても、NVIDIA Corporation は一切の責任を負わないものとします。暗示的に、もしくは NVIDIA Corporation が所有する特許または特許権に基づき、付与されるライセンスは一切ありません。本書に記載の仕様は予告なしに変更されることがあります。本書は、過去に提供されたすべての情報よりも優先されます。NVIDIA Corporation の製品は、NVIDIA Corporation の明示的な書面による許可なくしては、生命維持装置の重要な部品として使用することはできません。

商標について

NVIDIA、NVIDIA ロゴ、CUDA、FERMI、GeForce は、米国およびその他の国における NVIDIA Corporation の商標または登録商標です。その他の会社名および製品名は、各社の登録商標または商標です。

Copyright

© 2010 NVIDIA Corporation. All rights reserved.