

ホワイトペーパー

# インテルの 32nm プロセス技術の概要

**インテルは第二世代 High-k+ メタルゲート・トランジスターを使用した 32nm プロセス技術を導入しました。このプロセス技術は、開発コード名「Nehalem」と呼ばれていたインテル® マイクロアーキテクチャー インテル® Core™ i7 プロセッサの製品化にも大きく貢献した 45nm プロセス技術がベースになっています。**

インテルは、High-k+ メタルゲート・トランジスターを使用して大成功したテクノロジーである、45nm プロセス技術に基づいた開発を進めており、第二世代 High-k+ メタルゲート・トランジスターを使用した 32nm プロセス技術の立ち上げが近づきつつあります。この新しいプロセス技術は、インテル® マイクロアーキテクチャー Nehalem の 32nm 版である、開発コード名「Westmere」ベースのプロセッサの製造に使用される予定です。Westmere ベースの製品は、モバイル、デスクトップ、サーバーなど複数のセグメントにまたがって計画されています。インテルは、実際に動作する 32nm プロセッサを実証した初のメーカーであり、2 年ごとに新しい世代の先進的なプロセス技術とプロセッサ・マイクロアーキテクチャーを市場に投入する、「Tick-Tock」モデルとして知られる新製品のイノベーションを順調なペースで進めています。

**32nm の意義を理解するために、まず、45nm プロセス技術と High-k+ メタルゲート・トランジスターについて振り返ってみましょう。**

32nm プロセス技術の意義については、2007 年に導入された 45nm プロセス技術を振り返ることによって、より深く理解することができます。45nm 世代のインテル内部でのプロセス名は「P1266」と呼ばれています。これは画期的な成功を収めた、高性能なインテル® マイクロアーキテクチャー Nehalem を実現可能にしたプロセスです。P1266 プロセスは、High-k+ メタルゲート・トランジスターを導入した初のプロセスであり、リーク電流を低減しながら、より高性能なトランジスターを実現したという点で、テクノロジー上の大躍進でした。インテルは、P1266 プロセス技術の導入時に、意義深い 45nm テクノロジーの迅速な立ち上げを約束しました。その後、インテルはこの約束を守り続けており、現在、High-k+ メタルゲート・トランジスターでの 45nm 製品の生産を行う唯一のメーカーとなっています。

実際、45nm 製品の生産立ち上げは、インテルの歴史上でも最も迅速に行われました。45nm プロセッサの量産は、65nm プロセス技術の初年度の量産と比べて 2 倍の速さで立ち上がりしました。現在、45nm 製品は複数のコンピューティング分野向けに製造されています。シングルコアのインテル® Atom™ プロセッサ、デュアルコアのインテル® Core™ 2 Duo プロセッサ、4 つのコアを持つインテル® Core™ i7 プロセッサ、さらには 6 つのコアを持つインテル® Xeon® プロセッサのすべてが、現在、45nm プロセスで製造されています。

**第二世代 High-k+ メタルゲート・トランジスターを使用した 32nm プロセス技術で、さらに大きな飛躍を遂げるインテル**

32nm プロセス技術の基盤は、第二世代 High-k+ メタルゲート・トランジスターです。この第二世代の技術が、第一世代の High-k+ メタルゲート・トランジスターから向上した点は多数あります。ゲート長を 30nm まで縮めたうえで、High-k 誘導体の等価酸化膜厚を 45nm の 1.0nm から、32nm プロセスでは 0.9nm にまで薄くしました。トランジスターのゲートピッチは 2 年ごとに 0.7 倍に縮小し続けており、32nm プロセスでは業界で最も狭いゲートピッチを実現します。

また、32nm テクノロジーは、インテルの 45nm プロセス技術で使われて高い実績のある、ベーシック・リプレースメント・メタルゲート・プロセス・フローを使用しています。これらの改良は、LSI のサイズを縮小し、なおかつトランジスターの性能を向上させるために必要不可欠なものです。第二世代の High-k+ メタルゲート・トランジスターを使用した 32nm プロセス技術により、設計者は LSI のサイズと性能の両方を同時に最適化することができます。

酸化層の薄膜化とゲート長の短縮により、22% を超えるトランジスタの性能向上が可能になります。このトランジスタは、業界で報告されている中で最も高い駆動電流を、最も狭いゲートピッチで実現しています。リーク電流についても、45nm の NMOS トランジスタの 5 分の 1 以下、45nm の PMOS トランジスタの 10 分の 1 以下に減少しています。これらの組み合わせで、より小型でより優れた性能と電力特性を持つ回路の設計が可能になりました。32nm テクノロジーには、トランジスタの性能を向上させる第四世代の歪みシリコン技術も採用され、インテルはこれらの技術によってトランジスタの性能を大幅に性能を向上させることができました。

### 32nm SRAM テストチップでプロセスの有効性とムーアの法則の継続を実証

2007 年 9 月に初めて明らかにされた 32nm SRAM テストチップは、32nm プロセスの開発が順調であることを示したばかりでなく、ムーアの法則が引き続き有効であることも証明しました。32nm に移行することで、インテルはセルサイズを 45nm プロセス技術の 0.346 $\mu\text{m}^2$  から、0.171 $\mu\text{m}^2$  にまで縮小できました。

これまでのプロセス技術の実装を振り返ると、インテルは 2 年ごとにトランジスタの面積を 50% に縮小すること（つまり、トランジスタの密度を 2 倍にすること）に成功し続けてきました。テストチップの複雑さとその規模も、このプロセス技術の開発の順調なことを物語っています。このテストチップは、大規模（19 億個を超えるトランジスタ）、高集積（291Mbit）、高速（4GHz で動作）であり、32nm プロセッサの生産に向けて、プロセスの歩留まり、性能、信頼性のすべてを向上させるための優れた足がかりとなりました。

### 32nm の歩留りカーブは、インテル史上、最も迅速に量産に到達した 45nm のものと同等に

インテルは、45nm P1266 プロセスで達成した、立ち上げ速度と歩留まりを誇りに思っています。45nm テクノロジーは、革命的な機能を持ち、業界でも最先端のテクノロジーであったにもかかわらず、ごく短期間で欠陥を減らすことに成功しました。現在、45nm P1266 プロセスは、インテルの歴代のプロセスの中で最も高い歩留まりを示しています。

そして、32nm プロセスの歩留りは、立ち上げが大成功したその 45nm プロセスに匹敵するレベルか、さらにそれを超えようとするレベルまで到達しています。現在、欠陥密度の低減は期待どおり 45nm から 2 年遅れとなっており、インテルでは 2009 年第 4 四半期の量産に間に合うように低欠陥率・高歩留りを達成できるものと考えています。

インテルは今後 2 年間で、プロセッサのラインナップを 32nm に移行させるために 4 つの工場を稼働させる予定です。32nm 製品の需要を満たすために、オレゴンでは D1D が現在すでに稼働しており、オレゴンの D1C も 2009 年第 4 四半期には稼働する予定です。2010 年には、さらにアリゾナのファブ 32 とニューメキシコのファブ 11X という、2 つの製造施設を追加することになっています。

### 第二世代 High-k+ メタルゲート・トランジスタを使用した 32nm プロセス技術により、世界最高水準のプロセッサとコンピューティング製品が実現

32nm プロセス技術が初めて採用されるプロセッサ・ファミリーは、開発コード名「Westmere」です。このプロセッサ（大きな成功を収めたインテル® マイクロアーキテクチャー Nehalem の 32nm 版）は、さまざまなコンピューティング分野で幅広く利用可能になる予定です。この「革新、そして縮小 (innovate, then shrink)」という戦略は、インテルの Tick-Tock 開発モデルとして知られています。プロセッサのアーキテクチャーおよびデザイン面で大きな革新を遂げた開発コード名 Nehalem ベースの製品 (Tock) は、当時すでに量産ベースにあった 45nm プロセス技術に載せて投入されました。したがって、次は、既存のマイクロアーキテクチャーをより小型、より高速、より低電力な 32nm プロセスに縮小した、開発コード名 Westmere ベースのプロセッサ (Tick) が、これに続くことになります (2009 年第 4 四半期量産開始予定)。

Westmere ベースのプロセッサにより、インテル® マイクロアーキテクチャー Nehalem がメインストリームのクライアント PC に搭載されることとなります。Westmere ベースのプロセッサを搭載したクライアント PC では、より優れた性能 (45nm のインテル® Core™ マイクロアーキテクチャー・ファミリーとの比較) と、より小さなプロセッサ・コアが実現するほか、プロセッサにグラフィックス機能を統合したマルチチップ・パッケージ (MCP) を導入することも可能になります。

### 32nm プロセスおよび製品開発は極めて順調で、デスクトップ PC およびモバイル PC 向けの 32nm プロセッサ製品の立ち上げも前倒して進行予定

Westmere をベースにしたインテルのプロセッサは、32nm プロセスの製造ラインの立ち上げに合わせて、順次、モバイル PC、デスクトップ PC、およびサーバーの各分野へと投入されていく予定です。クライアント PC 向けのロードマップでは、ハイエンドのデスクトップ・コンピューティング分野のニーズを満たすために、4 基のコアで、8 つのソフトウェア・スレッドをサポートする、45nm ベースのインテル® Core™ i7 プロセッサと、インテル® Core™ i7 Extreme プロセッサの後に、32nm 版の開発コード名 Gulftown が続いています。高性能およびメインストリーム・デスクトップ PC の分野では、45nm の開発コード名 Lynnfield (4 コア / 8 スレッド) の後に、32nm の開発コード名 Clarkdale (2 コア / 4 スレッド) が投入される予定です。この Clarkdale プロセッサにはグラフィックス機能も統合されます。

モバイル PC に関しては、Mobile Extreme セグメントが開発コード名 Clarksfield (4 コア / 8 スレッド) で 45nm プロセス技術にとどまる一方で、高性能およびメインストリーム分野では、2009 年第 4 四半期での製品化を目指している、32nm の開発コード名 Arrandale (2 コア / 4 スレッド) へと移行していきます。

主要なインテル® Xeon® サーバー分野では、すべての製品が 32nm プロセス技術に移行する計画です。「エントリー」セグメント向けには、デスクトップ PC でのリリースと同期して、開発コード名 Clarksdale プロセッサをサポートする予定です。「スケールアウト」セグメント (インテル® Xeon® プロセッサ 5000 系) は、将来的には 45nm Nehalem-EP から 32nm Westmere ベースのプロセッサに移行します。「スケールアップ」セグメント (インテル® Xeon® プロセッサ 7000 系) も、将来的には 45nm Nehalem-EX から 32nm Westmere ベースのプロセッサに移行します。

### メインストリーム・クライアント PC の大幅な構成の変更: 高度な集積化による性能向上と低消費電力化

クライアント PC 向けの 32nm プロセッサは、単に性能の上限を押し上げ、ダイサイズを小型化するだけではありません。メインストリーム・クライアント PC 向けのプラットフォームである Clarkdale と Arrandale では、新しいプロセッサの登場とともに、大幅にチップ構成が変更されることとなります。

現在、メインストリーム PC の内部は、3 チップ・ソリューションによって構成されています。まず、1 つ目のチップはプロセッサです。2 つめのチップは GMCH (グラフィックス・メモリー・コントローラー・ハブ) と呼ばれ、統合グラフィックス、メモリー・コントローラー、ディスプレイ、およびインテル® vPro™ テクノロジーを支えるマネジメント・エンジンを含んでいます。そして 3 つ目のチップは主に I/O 機能を制御する ICH (I/O コントローラー・ハブ) です。

Westmere ベースのプロセッサを搭載する PC では、統合グラフィックスとメモリー・コントローラーは、マルチチップ・パッケージのプロセッサ内部に置かれることになりました。グラフィックスとメモリー・コントローラーは、1 つの 45nm チップとして作られ、32nm プロセッサ・コア・ダイとともに 1 つのパッケージ内に実装されます。この移動に伴い、2 つ目のチップにはインテル® vPro™ テクノロジー用のマネジメント・エンジン、I/O コントローラー、およびディスプレイ機能が搭載されます。今後登場する 45nm および 32nm ベースのプロセッサのためのこの新しいチップは、インテル® 5 シリーズ・チップセットと呼ばれることになっています。

### 単なる Nehalem の小型化ではない、新しい命令が追加された 32nm Westmere

Tick-Tock 製造モデルでの「Tick」の目的は、既存のプロセッサ・マイクロアーキテクチャーを、より小さなプロセッサ・コア・サイズに移行させることです。通常、ダイを新しいプロセスで縮小する場合には、プロセッサに改良を加えることは (皆無ではないにせよ) ほとんどありません。

Westmere ベースのプロセッサではこのルールが破られ、新しいマイクロコード命令が追加されるほか、電力管理機能を向上させるための新しいハードウェア機能も追加されます。

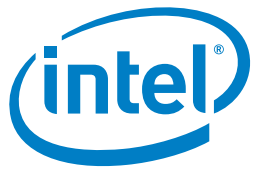
Westmere ベースのプロセッサには、暗号化と復号化アルゴリズムを高速化するための新しい命令セットが導入されます。追加される 6 つの新しい Advanced Encryption Standard (AES) 命令には、企業コンピューティングでのさまざまな用途が見つかることになるでしょう。例えば、AES を利用したソフトウェアによって、ハードウェア処理によるディスク全体の暗号化も可能になります。

## 第二世代 High-k+ メタルゲート・トランジスターを使用した 32nm プロセス時代の幕開け

インテルは、大成功したインテル® マイクロアーキテクチャー Nehalem の 32nm 版である、開発コード名「Westmere」ファミリーのプロセッサによって、コンピュータ業界に 32nm 時代をもたらす準備を着々と進めています。量産は、2009 年第 4 四半期に開始される見込みです。32nm プロセス技術は、より高速でより低消費電力を実現する第二世代 High-k+ メタルゲート・トランジスターの先駆けであり、今後もムーアの法則に基づいて、さらなる高性能・低電力のプロセッサを実現していくことになるでしょう。

Westmere ベースの最初の製品は、クライアント PC 分野に投入され、これにはデスクトップ PC 向けの Clarkdale およびモバイル PC 向けの Arrandale の 2 コア /4 スレッド製品が予定されています。その後、サーバー製品では、Nehalem-EX 製品および Nehalem-EP 製品が強化される予定です。これらの新製品は、同じサーマル・エンベロープ内で、より高い性能を実現し、電力管理機能を向上させ、さらに暗号化と復号化を高速化するための新しい命令を提供しています。

インテルの 32nm プロセス技術は、2009 年第 4 四半期の量産に向けて着々と準備が進んでいます。



本資料に記載されているすべての製品、プラットフォーム、日付、および数値は、現在の予想に基づくものであり、予告なく変更されることがあります。

すべてのデータは技術データシートの比較、もしくは実際のハードウェアまたはシミュレーターを使用した計測値に基づくものです。

Intel、インテル、Intel ロゴ、Intel Atom、Intel Core、Intel vPro、Xeon は、アメリカ合衆国およびその他の国における Intel Corporation の商標です。

\* その他の社名、製品名などは、一般に各社の表示、商標または登録商標です。

インテル株式会社

〒100-0005 東京都千代田区丸の内3-1-1

<http://www.intel.co.jp/>

©2009 Intel Corporation. 無断での引用、転載を禁じます。  
2009年6月

322177-001JA  
JPN/0906/PDF/SE/DO/TO