

## NBASE-T 2.5G / 5G イーサネット・テクノロジー

### IEEE 802.3bz 規格の基礎

バージョン 2.0

#### 概要

企業ネットワークの大半は、ここ 10 年ほど、アクセス層のスループット向上のニーズを満たすために 1000BASE-T イーサネットに頼ってきました。しかし、このアプリケーションが主要テクノロジーとして存在し続ける時間はなくなりつつあります。

この変化を促進する最も重要な要因は、Wi-Fi の領域に由来します。IEEE 802.11ac Wave 1 (第 1 世代) および Wave 2 (第 2 世代) 規格や BYOD (個人機器の持ち込み) ポリシーの急速な普及が、1000BASE-T イーサネットの 1Gbps スループットの限界を突破しようとしています。これに加え、企業キャンパスで 1Gbps 以上の速度を要求する大量のデータを扱う使用事例 (大学研究、医用画像、CAD/CAM、メディア編集) が増え続けており、息の長かった 1000BASE-T の「終焉」とまではいなくても、「最後の審判」を迎えつつあるように見えます。

今日、世界中のほとんどのインフラで使われている既設カテゴリ 5e/6 ケーブル配線をクライアント・アクセス回線に使用している企業は、ギガビット・イーサネットを超えるスループットを求めるときにその速度限界である 1Gbps の壁に突き当たります。10GBASE-T に必要な新しい Cat 6A ケーブルで建物を改装するのも選択肢の一つですが、それを敷設する組織にとっては、重大な業務の中断を招き、かつ大きなコスト負担となります。この問題への対処法として、既設 Cat 5e/6 ケーブル上で 2.5Gbps および 5Gbps のデータレートを可能にする IEEE 802.3 の修正案である 802.3bz 規格があります。この新規格は現在策定作業中で、2016 年秋頃に完成する予定です。しかし、1Gbps を超える速度を今すぐ求めるユーザーにとっては、この新しい規格を待ちきれません。

IEEE 802.3bz 規格の完成前の 1Gbps 超の速度に対する差し迫った需要に応えるため、NBASE-T Alliance (45 社以上の業界リーダーによって構成されるコンソーシアム) は、IEEE の策定プロセスと並行・協力して、標準化前の仕様および製品の開発に取り組んでいます。NBASE-T の仕様に基づいて、今すぐにも 2.5GBASE-T/5GBASE-T テクノロジーを展開することが可能です。IEEE プロセスの全段階において、NBASE-T Alliance 参加企業の有志が大きな役割を果たしています。

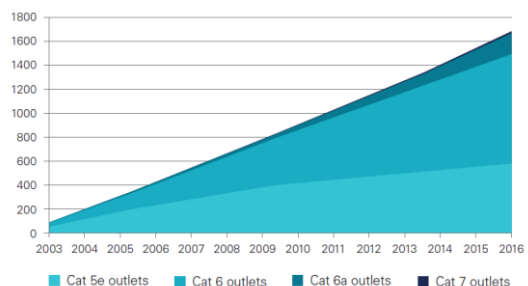
そのため、802.3bz ドラフト規格は、NBASE-T 仕様と同様の基本技術に依存しています。したがって、IEEE 規格の承認後、エンドユーザーはシームレスに移行することができます。

#### ボトルネック

従来技術を活用した既設配線システムでスループットと速度を上げようとすると、多くの場合ボトルネックが顕在化します。企業ネットワークのアクセス・レベルにおいて、このボトルネックは Wi-Fi アクセス・ポイント (AP) またはクライアント端末とスイッチとの間のカテゴリ 5e/6 のツイストペア・ケーブルに存在します。2014 年の段階で、世界の既存の敷設配線を見てみると、企業アクセス・リンクの 90% が Cat 5e または Cat 6 ケーブルを使用しています。そのため、NBASE-T テクノロジー以前は、ケーブルが最長 100m、データ速度が 1Gbps に制限されており、それ以上に高速な 802.11ac Wave 2 対応アクセス・ポイントの有効活用が妨げられていました。

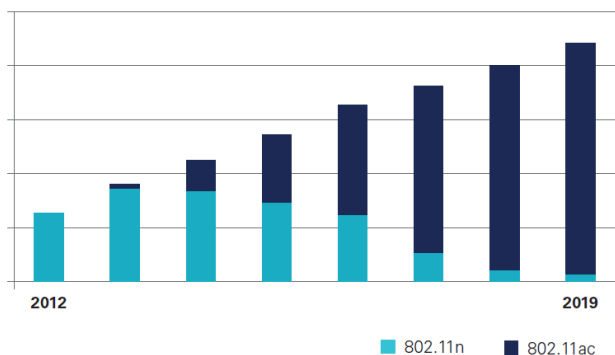
ボトルネックをなくす方法の一つに、ケーブル配線を 10GBASE-T 規格に対応する、より新しい Cat 6A ケーブルに交換する方法があります。ただし、Cat 6A は新規に導入する場合には実現可能な選択肢ではありますが、既設インフラではその可能性に大きな問題が生じます。ケーブル交換は業務に支障をきたすだけでなく、法外な費用がかかります。数百台のアクセス・ポイントごとに新しいケーブルに 200~800 米ドルもかかり、既設のキャンパスを改造するコストはすぐに数十万ドルに達してしまいます。Cat 5e と Cat 6 の膨大な既設配線インフラ (アウトレット数 13 億個) を考えると、Cat 6A が普及するまでにはかなりの時間がかかるでしょう (図 1)。

図 1: カテゴリ別のイーサネット・ケーブルリングのインストール・ベース (アウトレット数 - 100 万単位) [出典: BSRIA]



1Gbps のボトルネック解決への要求は日に日に大きくなりつつあり、極めて差し迫ったものとなっています。2Gbps 802.11ac Wave 1 とそのすぐ後に続く 6.9Gbps Wave 2 の急速な普及は、急成長する無線市場にその影響力をもたらしています。2015 年時点で、企業 AP の 40% が 802.11ac に対応しています。この数値は、2017 年までに 75% までに上昇すると予想されます。さらに、802.11ac Wave 2 が急成長し、2019 年までに Wave 1 のシェアを超える見通しです(図 2)。この主な原動力は、より強力な BYOD Wi-Fi デバイス(最新のスマートフォン、タブレット、ウェアラブル・テクノロジー)の普及ですが、医療、イメージング、メディア、教育、研究などに膨大なデータ通信を行う企業もまた、1Gbps の制約に悩まされているということがあります。

図 2: 企業 AP のシェア図  
出典: Dell'Oro Group の 無線 LAN 5 年予測(2015 年 1 月)



2.5G/5GBASE-T の潜在的な利用範囲は、企業領域を超えて拡大しています。ただし、小規模ネットワークのアップグレードは、タイミング的に緊急性がないものかもしれません。使用事例が増えていけば、ホーム・ネットワークサーバーにも NBASE-T インターフェイスを追加することもありえます。すでにゲーム業界では、そういった製品が発表されています。EPON および DOCSIS を使用したブロードバンドにおいては、データ量の多いメディア・リッチなコンテンツに対する需要が高まる中、比較的早く 1Gbps の壁を突破し始めています。多くの先進的技術の展開と同様、NBASE-T テクノロジーは、より差し迫ったニーズがあり、展開にかかるコストやリソースをより容易に見極めをつけられる企業群の中からその採用が始まるでしょう。それに続いて、ケーブル・サービス・プロバイダーやその他の市場に有機的に広がっていくと考えられます。

### コラボレーションを通じた規格間のギャップを埋める

2014 年、ネットワーク業界のリーダーたちは、イーサネットテクノロジーの市場における主要技術間にギャップを生じさせる数多くの重要なファクターが多数存在する

ことに気づきました。それと同時に、IEEE のイーサネット規格は、25 ギガビット、100 ギガビット、そしてこれよりさらに上へと、焦点を合わせていました。明らかに高まりつつある 1~10 ギガビットの潜在能力を引き出す必要性があったにもかかわらず、標準化団体は 2.5G/5GBASE-T の領域に取り組もうとはしませんでした。確かに 10GBASE-T 規格がすでに存在していたものの、これに伴うケーブル配線のアップグレードは、すでにネットワークインフラが敷設し終えた企業にとって障壁となっていました。

これら業界リーダーは、中間的なイーサネット速度がすぐにでも必要なこと、またそれを実践するための仕様を早急にリリースすることの重要性を知っていました。2014 年後半、すぐにでも製品開発を可能にする新しい規格と仕様を策定するために、企業インフラ分野のさまざまな企業が団結しました。Aquantia、Cisco Systems、Freescale、および Xilinx は、1000BASE-T と 10GBASE-T のイーサネット規格のギャップを埋めることを目的に NBASE-T Alliance を設立しました。同アライアンスの活動は、2.5G/5GBASE-T の仕様および製品の開発、IEEE 802.3 規格の策定に焦点を合わせていました。802.3bz の作業プロセスが始まった同年の秋、アライアンスのメンバー企業の委員が主要コントリビュータとして、全ての段階において継続的に貢献してきました。2015 年後半までに、同アライアンスのメンバーは 45 社以上にも上り、アクセスポイント、イーサネット・スイッチ、ストレージ、コンピューティングのほか、物理層 IC(PHY)、プロセッサ、コネクタ、コントローラー、スイッチ、FPGA、パワー・オーバー・イーサネット (PoE) IC、ケーブル、テスト機器などのコンポーネント技術など、ネットワーク・エコシステム全体を代表する規模になりました。メンバー企業は、NBASE-T の仕様や製品の開発に積極的に携わっているか、ケーブリングやテスト機器などの関連分野に取り組んでいます。

アライアンスの活動とその他の業界の活動のおかげで、IEEE 802.3bz は急速に進展しています。2014 年 10 月から 2015 年 5 月の間に、関心の喚起から始まり、スタンディグループの発足、タスク・フォースによる仕様草案の作成へと、プロセスが急速に進みました。2015 年 5 月には、802.3bz タスク・フォースが、NBASE-T 仕様に沿ったテクニカル・ベースラインを採用しました。2015 年末の時点で、802.3bz の仕様はほぼ完成しており、依然として NBASE-T 仕様に沿ったものになっています。全段階で合意が迅速に形成され、802.3bz タスク・フォースは 2016 年 9 月の完了予定日を選択しました。

2.5GBASE-T および 5GBASE-T イーサネットの規格策定に着手した当初から、マルチベンダーの相互運用性を

可能にすることが、NBASE-T Alliance のすべての取り組みにおいて欠かせないものでした。45 社以上の業界メンバーの支援を受けていることから、802.3bz の技術的な合意およびベースラインの定義・作成において、また標準化前の開発や展開を必要とする組織にとって、NBASE-T Alliance は貴重な資産になっています。

## NBASE-T アライアンスおよび規格

NBASE-T は、新興の 802.3bz 規格に沿った 2.5 および 5 ギガビット・イーサネット PHY 仕様と製品を提供します。これらの取り組みは、標準化前に開発されたソリューションが、いずれ承認がなされる規格が刊行された時に、規格に完全に準拠しているか、またはソフトウェアのアップグレードで簡単に準拠できるようにすることの一点に焦点を合わせています。NBASE-T テクノロジーの主な特徴は、以下の通りです。

- Cat 5e/6 またはそれ以上のケーブル上で全二重 2.5G/5G データレートをサポート (100M/1G/2.5G/5G/10G PHY など、マルチスピード・デバイスで通常サポートされる速度)
- 多様な製品にわたる能力とコストの面で拡張性
- 802.3bz の機能の上位互換であるに加えて、非準拠の既設ケーブルでパフォーマンス問題がある場合のために、「ダウンシフト」機能を追加
- すべてのデータレートにおける、PoE、PoE+、UPoE、および Energy Efficient Ethernet との互換性
- 新しい 2.5G/5G データレートに対応するためのイーサネット・オートネゴシエーション機能の拡張

確立されている 10GBASE-T 規格が、NBASE-T と 802.3bz の両方の技術的土台になっています。2015 年 11 月時点で、これら 3 つの規格の機能の多くが類似していますが、一部異なるものもあります。

特筆すべき重要な機能に、NBASE-T PHY PCS/PMA、オートネゴシエーション、PHY/MAC インターフェイス、およびリンク・セグメントがあります。

### PHY PCS/PMA

NBASE-T 物理コーディング・サブレイヤー (Physical Coding Sublayer: PCS) の仕様は、IEEE 10GBASE-T PCS および物理メディア・アタッチメント (Physical Medium Attachment: PMA) の規格に基づきます。ただし、新しい 2.5Gbps と 5Gbps データレートをサポートするための調整がいくつか必要になります。

- 5Gbps と 2.5Gbps のデータレートに対応するために、クロックがそれぞれ 1/2 と 1/4 になります。

- NBASE-T 用の低密度パリティ検査 (Low Density Parity Check: LDPC) は、2.5G/5Gbps の速度を実現するために、すべてのビットを保護し、パフォーマンスを向上します。
- NBASE-T の仕様は、10GBASE-T で使用される単純な CRC-8 誤り検出ではなく、LDPC 誤り訂正機能を提供します。
- NBASE-T LDPC は、DSQ128 符号化を採用する代わりに、PAM-16 変調を使用して LDPC ビットを送信します。

802.3bz の PCS 層の技術的なベースラインは、NBASE-T の仕様と同一であるため、規格へのシームレスな準拠が保証されます。

### オートネゴシエーション

オートネゴシエーションは、異なるイーサネット規格をベースにしたデバイスがネットワークで共存できるようにします。これにより、互換性のないテクノロジーが原因でネットワークが中断するリスクを軽減できます。802.3bz に先行する IEEE 802.3 の規格は、2.5Gbps と 5Gbps のオートネゴシエーションをサポートしていません。NBASE-T のソリューションは、IEEE 802.3 の 55 節で規定される現行の 10GBASE-T の方式を拡張することで (1 つの違いを除く) オートネゴシエーションを実行します。

NBASE-T のオートネゴシエーションでは、NBASE-T PHY の機能、NBASE-T 5G モード、および NBASE-T 2.5G モードを通知するために、802.3-2012 Annex 28C.6 で定義されるとおり、OUI (組織固有識別子) のタグが付けられたメッセージが使われます。NBASE-T PHY は、Base、Next、および Extended ページを送信します。メッセージ・ページには、IEEE により NBASE-T Alliance に割り当てられた「0xFA073E」の OUI が記載されています。OUI ページの後に、NBASE-T の機能が記載された未フォーマットのメッセージ・ページが続きます。OUI タグ付けメッセージと未フォーマットのメッセージ・ページは、802.3-2012 Annex 28C で規定されるとおり、1 つの Extended メッセージ・ページと 1 つの Extended 未フォーマット・ページ内にカプセル化されます。この仕組みは、802.3bz の動作に関係なく、独立して機能し続けます。

IEEE 802.3bz の承認後、NBASE-T システムのファームウェア・アップグレードを通して新しい規格のオートネゴシエーションがサポートされるようになります。

## PHY/MAC インターフェイス

IEEE 802.3 では、PHY と MAC との間の XGMI (10 Gigabit Media Independent Interface) を物理インターフェイスではなく、論理インターフェイスとして定義しています。802.3bz 規格でも、同様になると考えられます。802.3bz の仕様では、PHY-MAC インターフェイスの物理的な実装方法は業界に委ねています。ベンダー定義の事実上の MII として最も一般的なものが、Cisco Systems の Serial Gigabit MII (SGMII) と Quad Serial Gigabit MII (QSGMII) です。これらのインターフェイスは、単一のシリアライザ/デシリアライザ (SerDes) を介して、複数のデータレートのポートの使用を可能にします。NBASE-T Alliance は、システム展開を加速化させることを目的に、これら仕様に基づいて PHY/MAC インターフェイスの仕様を公開しています。これらは、SerDes 位相ロック・ループ (PLL) の再構成を最小限に抑え、ネットワーク・インターフェイス上でデータレートが変更された時に、より迅速な収束を可能にします。SGMII と QSGMII では、2.5Gbps や 5Gbps のデータレートがサポートされないため、Cisco Systems は NBASE-T 製品の開発向けに USXGMII (Universal Serial XGMII) を定義しました。USXGMII は、10.3125 Gbps で動作する単一の SerDes 上で、100M、1G、2.5G、5G、および 10Gbps の各種データレートをサポートします。コスト最適化のために、100M、1G、2.5G、5G トラフィックをサポートしながら、USXGMII を 5Gbps で動作させることも可能です。

## リンク・セグメント

IEEE 802.3bz で規定されるリンク・セグメントは、2 つのエンドポイント間のケーブルと RJ45 コネクタの終端要件を定義しています。仕様には、リンク帯域幅、挿入損失、リターン・ロス、そしてリンク・セグメントの 4 つのツイストペア間および隣接するケーブル間のクロストーク (つまり、エイリアン・クロストーク) が含まれます。NBASE-T Alliance は、2.5/5 ギガビット・リンク・セグメントの仕様策定に着手し、それを 802.3bz タスク・フォースに提供しました。そして、この重要な作業結果が、802.3bz の仕様に盛り込まれました。NBASE-T のメンバー企業は、2.5GBASE-T と 5GBASE-T を既設のカテゴリ 5e およびカテゴリ 6 ケーブルリングで使用する方法について説明する TIA TR42.7 および ISO/IEC SC25 WG3 テクニカル・レポートの主要な寄稿者にもなっています。

## 差し迫ったニーズへの対応

理想の世界では、製品開発は標準が整ったあとに行うものです。しかしこれが可能でない場合、標準化前と標準化後のギャップを埋める最善のソリューションは、規格が承認された時に、標準化前の暫定的なソリューションが規格に準拠している、あるいはソフトウェアをアップグレードすることで規格に準拠できることを保証できる影響力、動機、そして相互依存関係のある業界リーダーが打ち出す暫定的なソリューションです。2.5GBASE-T と 5GBASE-T の場合、ギャップが存在します。業界リーダーたちは、エコシステム全体にわたって早期の合意の醸成、相互運用性の確保に力を入れ、標準化プロセスを加速させ、標準化前に開発された製品の規格準拠を確実にするための重要な下準備を行っています。

既設インフラ上で 1000BASE-T と 10GBASE-T イーサネットの中間的な速度に対する明白な需要を考えると、2.5/5 ギガビット・イーサネットは、即座に利用でき、現行のネットワーク規格の重要な追補と言えます。NBASE-T Alliance は、このニーズを認識するのに重要な役割を果たしており、実行可能な規格の円滑な採用、また規格の承認後の規格への準拠、あるいはソフトウェア/ファームウェアのアップデートにより規格に準拠できる標準化前の仕様と製品を提供するための信頼できる十分に吟味された土台作りをしてきました。これら取り組みのおかげで、ギガビット・イーサネットの速度限界に制約されてきた企業は、既設のケーブル・インフラ上で、自信を持ってコスト効率良く 2 倍から 5 倍のデータレートを達成できます。

© 2016 NBASE-T Alliance, Inc. All rights reserved.  
無断の使用を禁じます。

NBASE-T™、NBASE-T Alliance<sup>SM</sup>、および本書で使用されているすべての NBASE-T ロゴは、NBASE-T Alliance, Inc. または米国およびその他の国におけるライセンサーの登録商標または未登録商標、サービス・マーク、あるいは認証マークです。All rights reserved. 無断の使用を禁じます。

本書で使用されている他の名称、マーク、およびロゴは、それぞれの所有者の商標またはサービス・マークです。

仕様および本書の内容は予告なく変更されることがあります。