



G.fastの標準化動向

こんどう よしひろ

近藤 芳展

NTTアドバンステクノロジ

ITU-T SG15はITU-TのSG (Study Group) における最大規模の会合であり、伝送網とインフラ全般の課題を扱うSGとして、ホーム網、光アクセス網、光ケーブル関連、パケット伝送網、OTN (Optical Transport Network) 関連技術などの伝送網技術の標準化を進めています。ここでは、SG15で検討が進められている最新の標準化動向として、メタル系アクセス技術であるG.fastについて紹介します。



ITU-T SG15 (International Telecommunication Union-Telecommunication Standardization Sector Study Group 15) におけるメタル系アクセス技術の標準化を担当する課題4 (Q4) がDSL (Digital Subscriber Line) 関連の標準を検討し始めたのが1998年のことであり、最初のDSL関連の標準としてHDSL (High-bit-rate Digital Subscriber Line) が同年10月に承認、発行されています。このHDSLは2 Mbit/sあるいは1.5 Mbit/sの伝送レートによる専用線サービスをターゲットに開発・標準化されたものです。その後、表1に示すように公衆網向けのインターネットアクセスなどへの利用を主目的としたサービスを提供するADSL (Asymmetric Digital Subscriber Line)、VDSL (Very high speed Digital Subscriber Line)、VDSL (ベクタリ

ング機能付き) といった新しい技術・標準が2010年までの間につくられてきました。これらDSL技術の高速化推進により、日本における高速インターネット需要が牽引され、ADSLに関しては1000万回線以上が導入された一方、ユーザビリティに設置されるVDSLは、日本における光ブロードバンドアクセスの集合住宅での需要を牽引し、400万回線以上が導入されました。

このような背景を持つDSLの最新技術として、ここではG.fastと呼ばれる超高速メタルアクセス技術を紹介します。

はじめに、この標準化プロジェクトは、2010年12月にBroadBand Forum (BBF) からのリエゾンを受け取ったことから始まります。その内容は、キャリアからの要求としてFTTC (Fibre

To The Curb) あるいはFTTdp (Fibre To The final distribution point) 向けの要求条件をWhite Paperにまとめるということと、具体的な標準の作成をITU-Tに対して要請するものでした。この要請を受け、ITU-TではSG15 課題4において詳細検討を開始することが、2011年2月のSG15会合で決定されています。BBFにおいてキャリアが要請した距離250 m程度を対象とした新規G.fast技術の適用領域を図1に示します。この適用領域に対して、上り・下り合わせた伝送速度1 Gbit/sを実現させたいというキャリアからの強い要請が届けられたこととなります。

FTTdpに関するプロジェクトの中では複数の標準化団体が協調・連携して活動を進めています (図2)。前述のとおり、BBFにおける要求条件と

表1 メタル系アクセス技術標準の概観

技術	標準	標準制定年	データレート	適用例
HDSL	G.991.1	1998	2048 kbit/s	1.5~2 Mbit/s専用線サービス (上り・下り対称)
SHDSL	G.991.2	2001	768 kbit/s	一対のペアケーブルによるHDSL技術の提供
ADSL	G.992.1	1999	6Mbit/s/640 kbit/s	インターネットアクセス、マルチメディアサービスへのアクセス、ビデオ配信
ADSL2	G.992.3	2002	8Mbit/s/800 kbit/s	
ADSL2+	G.992.5	2003	16 Mbit/s/800 kbit/s	
VDSL	G.993.1	2004	52 Mbit/s/2.3 Mbit/s	インターネットアクセス、HDTVサービス
VDSL2	G.993.2	2006	100 Mbit/s	VDSL適用領域よりも長い距離 (より多くの加入者) をカバーした、インターネットアクセス、HDTVサービス
VDSL2 vectoring	G.993.5	2010	200 Mbit/s	
G.fast	G.9701	2014	1000 Mbit/s	インターネットアクセス、4KTVサービス

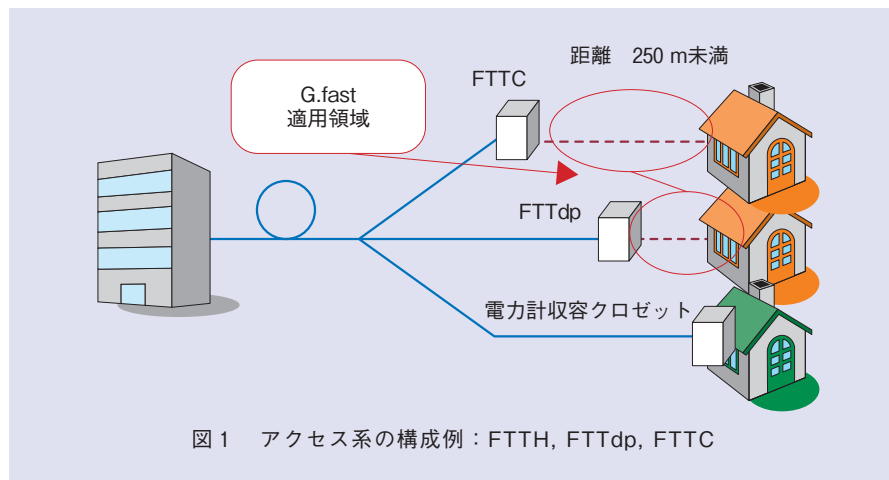


図1 アクセス系の構成例：FTTH, FTTdp, FTTC

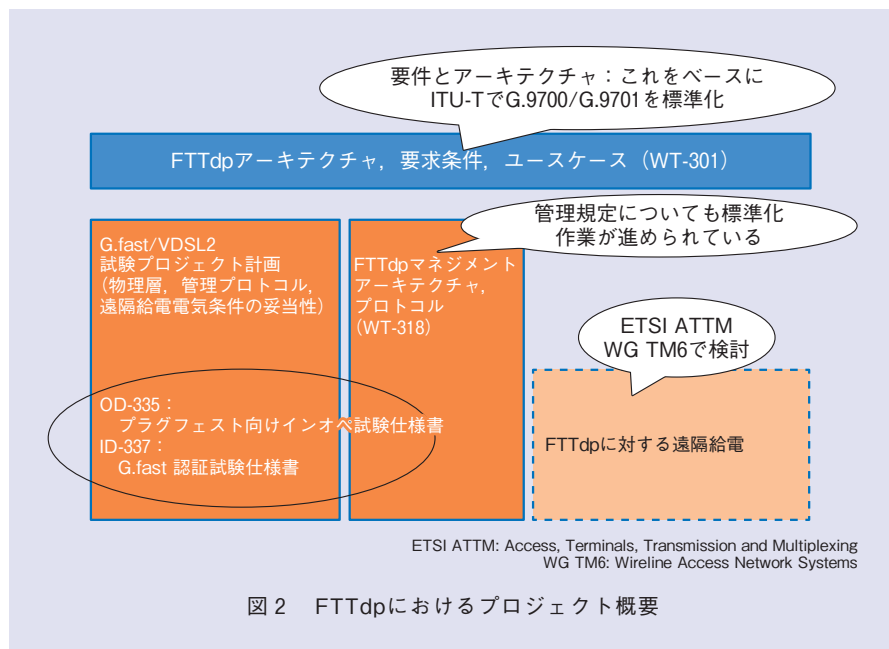


図2 FTTdpにおけるプロジェクト概要

ユースケースの明確化、およびアーキテクチャに関する検討をトリガに、ITU-T SG15において具体的なプロトコル関連規定の検討 (G.fast) が行われると同時に、欧州電気通信標準化機構 (ETSI) における遠隔給電機能の検討に続いて、商用展開に向けたインオベ試験仕様・認証試験仕様の検討がBBFにおいて進められています。

ITU-Tにおける G.fast標準化動向

ここからは具体的にITU-T SG15において検討が進められている技術仕様・標準化状況について説明します。検討開始当初から参加するAT&T, BT, Orange, Swisscomといった主要なキャリアが自分たちの要求条件を

明確にするかたちで標準化をリードしつつ、それら要求条件を満足するための具体的な技術仕様の検討を装置ベンダ・チップベンダが担当するといった構図の中で標準化が進められています。

■G.fastの概要

- ① 既存メタルケーブルを使った加入者端末への超高速アクセスシステムを提供
- ② ファイバ終端点 (ONU) から加入者端末までをカバーする最大伝送速度 1 Gbit/s (上り・下り合計) のシステム
- ③ 周波数およびPSD (電力スペクトル密度) など、法規制に関連するものは、ITU-T標準G.9700で規定
- ④ 物理層規定についてはITU-T標準G.9701として規定
- ⑤ ターゲットとする上り・下り伝送速度 (合計)
 - ・線路長100 m未満で、500～1000 Mbit/s
 - ・線路長200 m時、200 Mbit/s
 - ・線路長250 m時、50 Mbit/s

上記のターゲットを実現するために、G.fastでは以下のような技術仕様を採用しています。

- (1) 上り・下り信号として30 MHzまでを周波数多重するVDSLとは異なり、212 MHzまでの帯域を使った上り・下りTDD多重方式を採用 (初期は、106 MHz程度までを使ったプロファイルのみ)
- (2) 変調方式としては、DSLで使われるOFDM方式を採用
- (3) VDSL2ベースのベクタリング方式 (遠端漏話による干渉を低減



するための機能)からのマイグレーションパスとして位置付けられており、機能的には既存DSL技術を包含

■ベクタリング方式

ここでベクタリング方式について簡単に説明したいと思います。国内においてはベクタリング方式を採用した装置は運用されていませんが、欧米各国においては積極的に商用導入されている方式です。ADSLの場合、最寄りの電話局から数km程度離れた加入者宅に設置されるCPE (Customer Premises Equipment) を対象とした伝送方式でしたが、VDSL2の場合には1 km前後あるいはそれ以下の距離をターゲットにADSLに比べてより高速なサービスを提供するシステムであるため、集合住宅におけるような複数の同じVDSL2サービスを提供する別の回線からの雑音(遠端漏話雑音)の影響をより大きく受けることとなります。この遠端からの漏話雑音の影響を緩和するために規定されたのがベクタリング方式と呼ばれるものであり、1つのベクタリンググループに属する複数回線間で影響を及ぼし合う程度を推定し、その影響をキャンセルする演算(それぞれの回線間における、遠端での漏話雑音の影響する程度に関する情報を使った信号処理)を行うことによりVDSL2送信信号を制御するものです。この方式を用いることにより遠端漏話雑音からの影響を緩和することが可能となり、より高速な伝送サービスを提供することが可能になります。

ここでG.fastに話を戻しますが、図1に示すようにG.fastは線路長数100 mを対象とした伝送方式であり、

VDSL2以上に異なる回線からの遠端漏話雑音の影響を被ることが前提となるものです。このため、VDSL2ではベクタリング機能はオプションの扱いでしたが、G.fastでは必須機能として標準規定されています。VDSL2では数百回線程度をベクタリンググループに定義するようなケースも見られますが、遠端漏話雑音の影響が大きいG.fastの場合では、現状16~24回線程度をベクタリンググループとして定義できるのが最大規模であり、遠端漏話雑音の影響を推定する演算処理がいかに大きな負荷を要しているのかが分かります。ただし、G.fastにとってベクタリング機能は必須機能であることを考えると、より大規模なベクタリング機能の実現に向けた開発が加速されていくものと予想されます。

ベクタリング機能のほか、VDSL2とG.fastに実装される主な特徴・機能についての比較結果を表2に示します。両伝送方式は、変調方式として同じOFDMを採用するだけでなく、同じ誤り訂正方式(FEC)を採用しているものの、G.fastではより高速な伝送速度を実現するための方策としてさまざまな性能改善策を盛り込んだものとなっています。具体的に挙げると以下のとおりです。

- ・ 1 Gbit/s相当の伝送速度の実現に向け、使用周波数帯域の大幅な拡張(106 MHzプロファイルおよび212 MHzプロファイルの採用)
- ・ TDD(時分割伝送)方式を採用することにより、上り速度(集合装置向け)と下り速度(加入者向け)の速度比を設定変更できるようにする機能

- ・ 送信電力を低く抑えること、および省電力モード(新規の省電力状態)を規定することによる低消費電力化

G.fast関連標準は、以下のITU標準から構成されています。

- ・ G.9700 (2014年4月承認, 発行): 周波数関連規定およびPSD(電力スペクトル密度)関連規定など、規制に関係する規定全般
- ・ G.9701 (2014年12月承認, 発行): G.fastに関する物理規定
- ・ G.994.1 改正4 (2014年12月承認, 発行): G.fast向けコードポイントを規定(ハンドシェイク規定)
- ・ G.997.2 (2015年5月承認, 発行): 物理層OAM規定
- ・ G.998.2 改正4 (2015年8月承認, 発行): G.9701向けイーサネットベースのマルチペアボンディング規定

今後に向けて

欧米各国の主要キャリアは、それぞれが持つメタルケーブル配線構成を踏まえ、どのようにG.fast技術を自分たちが持つアクセス網に適用させるかを十分に検討しつつ具体的な実証実験を進めており、それぞれに異なる特色があります。例えば、BT(英)はDPU装置(局側設置装置)をCabinetに配置する(加入者設置装置までの距離が500 m程度)ケースやポール(電柱)に配置する構成を検討しています。一方、Swisscom(スイス)はDPU装置をマンホールに配置(加入者設置装置までの距離が150 m程度)、BellCanada(カナダ)は集合住宅の地下室や壁掛けとしてDPU装置を設置することを検討



表2 G.fastとVDSL2との比較

規定項目	VDSL2	G.fast
Frequency Range (周波数範囲)	30 MHzまで (30aプロファイル)	・ 2-106 MHz ・ 2-212 MHz(予定)
Max Rate (最大伝送速度)	・ 250 Mbit/s (30a), 150 Mbit/s (17a) ・ 実線路では30-80 Mbit/s	・ 1Gbit/s (100 m未満) ・ 500 Mbit/s以上 (100 mの実線路)
Modulation (変調方式)	OFDM	OFDM
Number of carriers (サブキャリア数)	4K	2K (106 MHzプロファイル)
Multiplexing scheme (多重化方式)	FDD	TDD (複数のメタルペア線間で同期)
Symbol time (OFDMシンボル長)	~250 μ s (17 MHzプロファイル)	~20 μ s
Vectoring (ベクタリング方式)	G.993.5に準拠	G.9701準拠 (必須機能)
Tx power (送信出力)	14.5 dBm (プロファイルごとに異なる)	4dBm (8dBm対応のプロファイルを規定する予定)
FEC (符号訂正方式)	RSおよびトレリス符号化	RSおよびトレリス符号化
Downstream/Upstream ratio (上り・下り伝送容量比)	固定比	異なる比率に設定可能 (90:10 ~ 30:70)
Customer self-install (加入者による設定容易さ)	容易ではない (例: 伝送速度の最適化が困難)	容易 (加入者による設定可能)
xDSL Spectral compatibility (xDSL技術間のスペクトル整合性)	17 MHz/30 MHz両プロファイルの混在時に問題あり	新しい周波数帯を使った新規のサービス提供可能
Retrain time (再初期化に要する時間)	長い (30~90秒)	短い (数秒程度)
Rate adaptation (雑音に対する、伝送速度の適応性)	遅い (同時に128サブキャリアまでしか適応せず)	速い (数ミリ秒での適応可能)
Low power mechanisms (省電力化方式)	標準化対応中 (50%程度の省電力化を予定, 長い起動時間)	・ G.fast勧告化当初から検討 ・ 不連続運用モードを規定 ・ 伝送速度に応じた省電力化

しているようです。どのキャリアも2015年以降実験室あるいは小規模な実証実験を進めており、G.fast標準の基本機能の完成に合わせて具体的な商用展開を図るべく準備を進めている状況にあります。このような中、基本機能の完成を実現した今、ITUにおける標準化作業は次のフェーズに移りつつあります。具体的には、機能・性能の改善・向上（送信電力を大きくすることによる伝送距離の拡大、周波数帯域

の拡張など）や新規の適用領域へのG.fastの拡張に向けた検討が進められています。新規適用領域として、これまではメタルケーブル上での伝送を想定した適用例だけが検討されていましたが、2015年末以降の標準化会合の中で同軸線上でのG.fast技術の適用に向けた新規提案も行われているところです。また、もう1つの大きな動きとして注目すべきものは、G.fastを推進するベンダの動きが挙げられます。

IntelやQualcommといった大手ベンダが、これまでG.fast開発を積極的に進めてきたベンダ（いわゆるベンチャー企業）に対して、昨年来、買収あるいは資本投下を行うことにより新規に参入してきています。G.fast標準化の動向だけでなく、欧米諸国におけるキャリアの動向、G.fast開発を積極的に進めているベンダの動向など、今後も注視していく必要があるのではないかと考えています。