


ciena | Essentials

キャリア・イーサネット

Cienaの
Essentials
シリーズ：
情報
に精通する

ジョン・ホーキンス (John Hawkins)
アール・フォルス (Earl Follis) 共著

エッセンシャル・ガイド/キャリア・イーサネット・ネットワーク
イーサネット・サービスがもたらす通信事業者と
エンドユーザーのメリット



キャリア・イーサネット

ジョン・ホーキンス (John Hawkins)
アール・フォルス (Earl Follis) 共著

出版者からの謝辞

本書を発行できたことを大変誇りに思っています。ご意見などありましたら、expertbooks@ciena.comまでお寄せください。
本書の発行に協力していただいた方々(敬称略):

編集、シニア・プロジェクト編集者:
エリン・マローン(Erin Malone)

レイアウトとグラフィック:
スーザン・マクリード(Susan MacLeod)

編集者:
ナンシー・シックスミス(Nancy Sixsmith)
ウィル・マククリーン(Wil McLean)

キャリア・イーサネット・ネットワーク
発行
Ciena
7035 Ridge Rd.
Hanover, MD 21076

Copyright © 2016 by Ciena Corporation. All Rights Reserved.

本書のいかなる部分も、Ciena Corporationの書面による許可がない限り、複写、記録、スキャンを含むいかなる電子的または機械的な方法または形式でも、複製、情報検索システムに保存、転送することを禁じます。許可に関する情報については、Ciena Experts Books 7035 Ridge Rd Hanover, MD 21076に書面でお問い合わせください。

商標：Ciena、すべてのCienaロゴ、その他の関連する商標とロゴは、米国およびその他の国におけるCiena Corporationの商標または登録商標であり、書面による許可なく使用することを禁じます。

責任の制限および保証に関する免責事項：出版者と著者は、本書の内容の正確性または完全性に関して一切の表明または保証を行わず、特に特定目的への適合性の保証を含む、一切の保証を行いません。販売促進資料により、保証が生じたり延長されたりすることはありません。ここに含まれる助言および戦略は、状況によっては不適切な場合があります。本書は、出版者が法律、経理、またはその他の専門サービスの提供に従事しないという理解のもとで販売されます。専門的な支援が必要な場合は、適切な専門家にサービスを依頼してください。出版者および著者のいずれも、これにより発生した損害に対して一切の責任を負いません。本書で特定の組織またはWebサイトを引用したり詳細情報を情報源として取り上げたりしていることをもって、著者または出版者が当該の組織またはWebサイトが提供する情報またはその推奨事項を推薦していることを意味するものではありません。さらに、本書に掲載されているインターネット・ウェブサイトは、本書の執筆中または公開後に変更または削除される場合があることに留意してください。

制作：米国

目次

要旨	6
イーサネットの歴史	7
LANを超えたイーサネットの広がり	8
イーサネットとIPの関係	10
イーサネット・テクノロジー入門	11
イーサネット共同加入線	11
CSMA/CDからスイッチド・イーサネットへ	13
ブリッジ機能	14
仮想LAN	16
LANでのイーサネットの競争上の優位性	17
MEF、そしてキャリア・イーサネットの登場	18
MEFの作業目標	18
キャリア・イーサネットの特性と価値提案	19
MEF標準とサービスの構造	21
キャリア・イーサネットの主要な技術要素	23
カプセル化とトランスポートの手法	23
SONET/SDH/OTN	23
MPLS	24
MPLS-TP/PBB/PBB-TE	24
運用、管理、保守機能	26
サービス品質	31
あらゆるスケールへの対応	33

キャリア・イーサネット・アプリケーションと使用事例	33
Ether銀行：金融/銀行エンタープライズ	34
BioEtherヘルスケア：病院/診療所マルチサイト・エンタープライズ	40
Ether州立大学：拡大するマルチサイトの教育機関	48
キャリア・イーサネットの将来	54
関連のイーサネット開発	55
厳密なタイミング配信	55
Power over Ethernet.....	56
Software-Defined Networks (SDN)とネットワーク機能仮想化 (Network Functions Virtualization、NFV)	56
用語集/略語	59



要旨

イーサネットは数十年にわたり活用されており、優れたローカル・エリア・ネットワーク (LAN) テクノロジーの代表としての地位を築いています。イーサネット・テクノロジーのユビキタス性と普及度の高さにより、イーサネット機器の価格は低下し続けており、その経済的な利点と市場への浸透度は今後も長年に渡って変わらないと考えられます。キャリア・イーサネット (CE) は、イーサネットのユビキタス性、普及度の高さ、そして経済的な利点を土台に、柔軟なフレームワーク、汎用的なフレーム・フォーマット、シンプルな設計、優れた運用・管理・保守 (OAM) 機能をもたらし、エンタープライズと通信事業者の両方に最適な高パフォーマンスのネットワークを実現します

イーサネットのビット・レートは向上し続けており、これまで新しいレートが定義されるごとにビット・レートは10倍に増加しています。ギガビット・イーサネット (GbE) インターフェイスはPCやサーバーに幅広く導入されており、LANバックボーンで10Gb/sのビット・レートを提供しています。数百Gb/sに及ぶビット・レートと規格の拡張はMEFと電気電子技術者協会 (IEEE) で開発が続けられており、イーサネットの成長に低下の兆しは見られません。CEはイーサネットに基づくので、他のワイド・エリア・ネットワーク (WAN) プロトコル・タイプとの変換は必要ありません。WANテクノロジーの1つとしては、CEは非同期転送モード (ATM)、同期光ネットワーク (SONET)、フレーム・リレーなどのレガシーのテクノロジーに比べて安価で高速です。CEにより、通信事業者とエンタープライズは管理機能を強化すると同時に、今後数年にわたり通信の高速化をサポートするロード・マップを策定できます。

本書では、CEがどのようにイーサネット標準から生まれたかなどのCEの歴史、従来のイーサネットとの違い、MEFによるCEの成熟、CEの価値提案、CE環境におけるSoftware-Defined Networking (SDN) とNetwork Functions Virtualization (NFV) への進化について解説します。本書では、イーサネットがサービス・プロバイダーやエンタープライズにより運用される大規模ネットワークに対応する堅牢でスケーラブルなソリューションにどのように進化したかについて説明します。CEソリューションの導入を検討する状況と時を見極めるには、いくつかの使用事例が役立ちます。すべての疑問に答える書物はありませんが、本書はCEの歴史、現状、将来について啓発する役割を果たします。

本書では次について説明します。

- イーサネットがどのように進化したか
- イーサネット・ネットワーキングの基礎
- イーサネットの競争上の優位性
- イーサネットと光ネットワーク・テクノロジーの統合
- MEFとそのCEに関する現在の役割
- CEが通信事業者、ネットワーク事業者、企業のお客様にとって価値の高い発展力のある選択肢である理由
- CEの未来

イーサネットの歴史

「イーサネット (Ethernet)」という用語は、かつて地球上の「虚空」を充たし、さらに磁気波を運ぶと信じられていた神話上の媒質を指すラテン語「*aether* (エーテル)」に由来します。この用語は、Bob Metcalfe (ボブ・メトカーフ) 氏により書かれた博士論文と、Xeroxパロアルト研究センター (PRAC) に従事していた同氏がフェロー研究員のDavid Boggs (デビッド・ボグス)、Butler Lampson (バトラー・ランプソン)、Chuck Thacker (チャック・サッカー) の各氏と共に1970年代初期に申請した特許の中で作られた用語です。

最新のネットワークでは、極めて重要なデータへの広帯域かつ高速のアクセスが、ローカル、リモート、さらにはクラウドベース環境でも実現します。イーサネットは、LANで最も広く利用されているネットワーク・テクノロジーであり、世界の企業LANの大半がイーサネットで運用されています。しかし、1980年代から1990年代初頭にかけては競合する多くのLANテクノロジーとして、ARCNET、StarLAN、ファイバー分散型データ・インターフェイス (FDDI、初期の光ファイバーベースのLANリングベース・テクノロジー)、トークン・バス、トークンリングなどが存在していました。1990年代中期までに、イーサネットはLANの通信プロトコルの大半を占めるまでに普及しましたが、この背景にはインターネット・プロトコル (IP) ネットワークとのネイティブ互換性、プラグアンドプレイのシンプルさ、(比較的) 低コストであることがあります。

元来のLANを中心とした定義では、イーサネットは同じ基本エリア (通常は1つの建物内) に存在する機器を接続するテクノロジーと見なされました。相互接続される機器数は少なく、機器同士の距離は比較的近い距離でした (プロトコル自体の最大伝送距離は100mに制限されていました)。

LANを超えたイーサネットの広がり

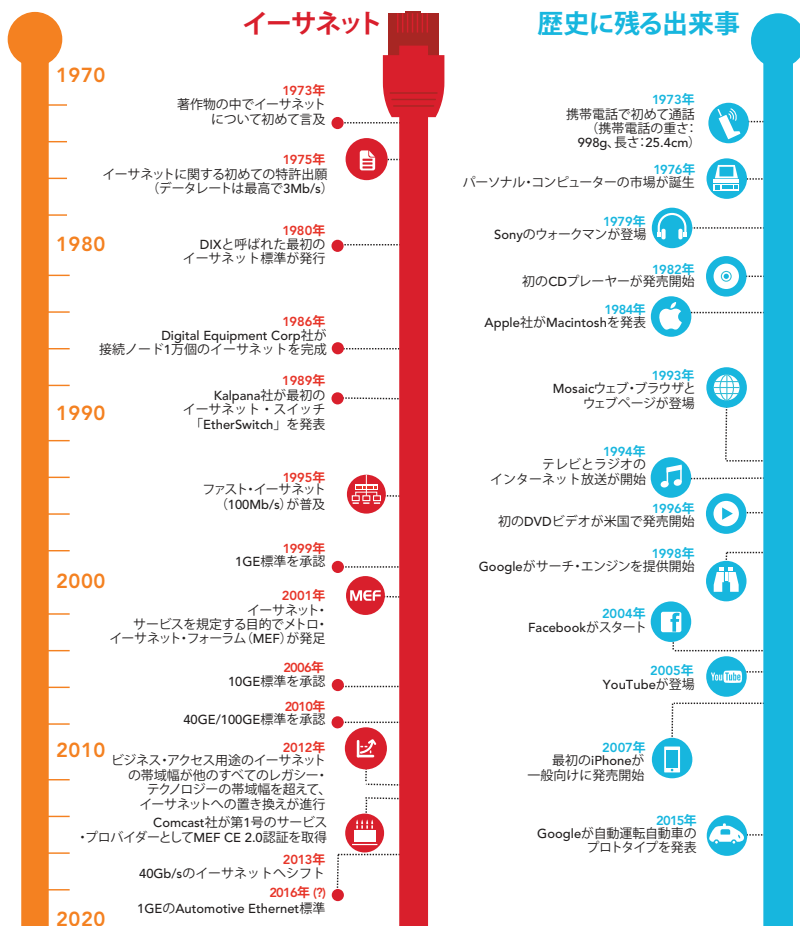
インターネットの拡大にともない、イーサネットは元来の目的だった建物1棟、短距離の用途を超える役割を果たすようになりました。数百から数千に及ぶコンピューター、サーバー、プリンター、関連機器が存在するキャンパス全体で、イーサネット接続の回線が引かれました。最近ではWiFiネットワーク（「ワイヤレス・イーサネット」とも呼ばれる）がごく普通になっています。元来想定されていた相互接続の機器の台数や機器同士の距離は、大幅に拡大しています。仮想LAN（VLAN）や高速パニング・ツリー・プロトコル（SPT）の追加など、最新機能への適応性があるイーサネットは、このような要求の拡大を受けて進化するのに最適なポジションと絶好のタイミングにありました。というのも、費用対効果が高い上に高性能なネットワーク・テクノロジーとして、その適応性が実証されたからです。

このように成長するイーサネットの「孤島」をより長距離で相互接続するために、他のプロトコルが開発されました。X.25、ISDN、フレーム・リレー、ATMなどのデータ通信プロトコルが、さらに長距離の接続を可能にする技術として考案され、通信事業者によってサービスが提供されました。2000年代初頭には、イーサネット・プロトコルを拡張してワイド・エリア・ネットワーク（WAN）接続を可能にする自然な流れとしてキャリア・イーサネットが登場しました。その名称が示すように、通信事業者（キャリア）はCEを歓迎しました。とういのも、CEにより、他の通信事業者（ホールセール）やエンドユーザー（小売）にさまざまなネットワーク・サービスを販売できるようになるからです。これらのサービスには、モバイル・バックホール、ビジネス・サービス、データセンター相互接続などが含まれます。一方で、CEは通信事業者だけのものではありません。エンドカスタマーにアクセスを提供するあらゆるネットワーク事業者にとって、CEは高機能なソリューションになります。本書では、ネットワーク・テクノロジーとしてCEが築いた地位、近代的なネットワーク環境でCEベースのネットワークに移行するメリットについて解説します。図1には、イーサネットの発展と、光ネットワーク・テクノロジーやその他の画期的なテクノロジーのいくつかが時系列に示されています。

電子メール、Webブラウジング、音声、ビデオ・トラフィックなどの帯域消費型アプリケーションが急増し続けるのにもない、LANやWANの高速化に弾みが付きましました。最近では、ストレージ仮想化、クラウド・コンピューティングなどの新しいテクノロジーにより、ネットワーク事業者やエンタープライズ・カスタマーの帯域要件が増大しています。ユーザー（特にビジネス・ユーザー）のクラウドへの依存度がさらに高まるにつれて、社会にとってネットワークの重要度は高まるばかりで、データセンターへのアクセスに利用されるパブリック・インターネットはハイブリッド（パブリックとプライベート）のインフラストラクチャに置き換わっています。

イーサネットの歴史

イーサネットでの技術革新と他の主要な技術の年表



出典: MEF, Wikipedia, Heavy Reading, TIME, Business Insider, CBS News, ノースカロライナ大学, Bright Hub, Tech Hive, Vertical Systems Group

図1: イーサネットの歴史

このような傾向はすぐに衰える様子はなく、高まり続ける帯域への需要は今後も続くと考えられます。繰り返しますが、イーサネットはこのような差し迫ったニーズに対応する重要なソリューションとして進化してきました。

イーサネットとIPの関係

言うまでもなく、インターネットの世界では多くのアプリケーションがIPベースです。このようなアプリケーション（電子メール・アプリケーションなど）がネットワークの要求を発信すると、要求を発信したステーションのプロトコル・スタックで一連のデータ処理が直ちに行われます。これらのアプリケーションは独自のプロトコルを使用してインターネット上の遠方にあるホストとの間で情報交換を調整しますが（SMTP、FTP、HTTPなど）、IPはネットワーク・レイヤー（レイヤー3と呼ばれる）として広く使用され、他のピアや周辺機器などと通信します。図2に示されるOSIモデルには各レイヤーがスタックで示されています。

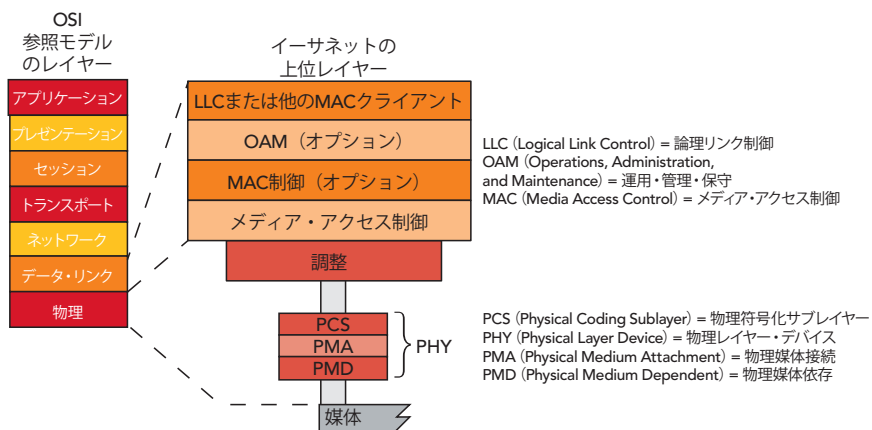


図2: OSIスタックとイーサネット・モデル・レイヤー

なおイーサネットはレイヤー1（物理（PHY）レイヤー）とレイヤー2（メディア・アクセス制御（MAC）レイヤー）の両方に属します。PHYコンポーネントは、10BASE-T（ツイストペア銅線で10Mb/s）または10GBASE-LR（長距離光ファイバーで10Gb/s）など、イーサネットのさまざまな物理的な実装を定義します。これらの物理的な実装は、IEEE仕様に数十種類あるデータ・レートやメディア・タイプごとに定義されます。レイヤー2のプロトコルとしては、イーサネットは、（レイヤー3で）クライアントと呼ばれるIPの「サーバー・レイヤー」と考えられます。イーサネットは上の階層であるIPレイヤーから要求を受け取り、IPレイヤーに応答を返します。このようにイーサネットとIPは連携して機能します。

この関係はイーサネットからCEへの移行にも一定の役割を果たしています。CEサービスが利用可能になったことで、IPデータをフレーム・リレーやATMなどのレガシーのテレコム・サービスにマッピングする複雑さを回避でき、CEサービスの

発展はイーサネットの継続的な開発とさらに密接に連動するようになりました。本書では、MEFの役割について詳述する中で、この概念をより総合的に検討します。

イーサネット・テクノロジー入門

ここで改めて「イーサネットとは何なのか」という疑問が沸いても不思議ではありません。その答えは、多面的です。根本的には、イーサネットはデータ通信のためのある種の物理媒体、つまりPHY（ツイストペア銅線、同軸、光ファイバー、ワイヤレス・スペクトルなど）を使用しやすくするネットワーキング・プロトコルです。このプロトコルは、IEEE LAN/Metropolitan Area Network Standards Committee、いわゆるIEEE 802委員会により発行される一連の標準に取り込まれています。この委員会は一連の標準を拡張し、最新のネットワーキング・アプリケーションでイーサネット利用を普及させるために作業を継続しています。

現在使用されている基本のイーサネット・フレームはEthernet IIとして知られています。図3には、イーサネット・フレームがヘッダ（送信先アドレス（DA）、送信元アドレス（SA）、プロトコル・タイプ）、ユーザー・データまたはペイロード、フレーム・チェック・シーケンスまたは巡回冗長検査（CRC）からどのように構成されるかが示されています。

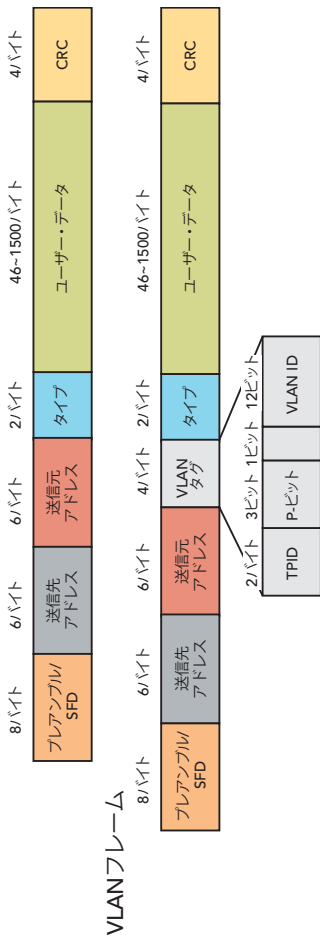
イーサネットのヘッダには6バイトのDA（意図するパケット受信者）、6バイトのSA（パケットを送信した機器）、2バイトのプロトコル・タイプ・フィールドが含まれます。CRCは長さ4バイトで、すべてのスイッチでチェックされ、不正なフレームや破損したフレームは廃棄されます。802.3標準に従い、イーサネット・フレームの長さは必ず64バイト以上になり、ペイロードは必ず長さ46バイト以上になります。実際のユーザー・データが46バイトより短い場合、PHYは最小サイズまでパケットをパディングします。イーサネット・パケットの最長は1,518バイトで、最大ユーザー・データ・ペイロードは1,500バイトです。後に登場した「ジャンボ」フレームでは最大9,000バイトまでフレームが拡大され、ファイル転送やビデオ・リンクなど特定タイプの大容量のトラフィック・フローを高速化します。

イーサネット共同加入線

初期のイーサネットを、50年前に一般的だった共同加入の電話回線として考えてみます。この場合、何軒かの家が1つの電話回線を共有し、一度に一人だけがその電話回線で通話できます。人口が少なく一軒ごとに別の電話回線を引くのが非常に高額だった田舎では、共同加入の電話回線が合理的な方法でした。共同加入の電話を使用するには、発信者が最初に受話器を取りダイヤル音を聞かま

図3: イーサネット・フレーム形式

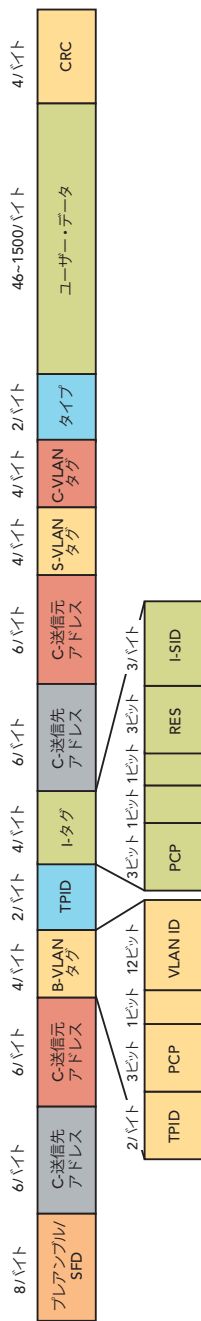
基本的なイーサネット・フレーム



Q-in-Qフレーム



MAC-in-MACフレーム



す。ダイヤル音が聞こえないとき、または他者の話し声が聞こえたら、受話器を置いて電話回線が空くまで待ちます。発信者が、他者が通話中かどうかを確かめずに通話を始めると、すでに通話中の会話と衝突することになります。発信者は、他者が通話している最中とわかれば、その他者の通話が終わるまで待ってから新たな通話を始めます。

初期のイーサネットも同様の仕組みでした。ネットワーク機器は、まずデータ送信を試み、そのネットワーク・セグメントで他の通信と衝突するかを確かめます。もし衝突が検出されると、送信側は自動で1~2ミリ秒のランダムな期間待機し、もう一度データ送信のためにネットワークを利用できるかどうかチェックします。このネットワーク・アクセスのスキームは搬送波感知多重アクセス/衝突検出 (CSMA/CD) と呼ばれており、次に詳細を説明します。

- **搬送波感知**とは、イーサネット回線をリスニングしてネットワーク・トラフィックにギャップがないか調べ、誰かがネットワークで「話中」でないかを確かめることを意味します。
- **多重アクセス**とは、多数のイーサネット機器が同じ物理ネットワーク回線でリスニングしデータ転送できますが、複数の対話が同時に行われないように各機器が順番を守る必要があることを意味します。
- **衝突検出**とは、前の通信者が通信を終えないうちに別の送信者がデータ転送を始め、送信者があとから前の通信者の存在を検出することを意味します。これにより、送信者は前の対話が終わることができるよう自分の通信を停止します。

CSMA/CDからスイッチド・イーサネットへ

CSMA/CDは、リンクとノード数が少ない状況であれば、ネットワーク・アクセスのスキームとして十分に機能します。しかし、CSMA/CDネットワークにさらに多くの機器が加わるか、機器同士の物理的な距離がさらに離れると、CSMA/CDは効果的なネットワーク・アクセスのメカニズムではなくなります。データ転送を同時に試みる機器の数が多すぎるとネットワーク・アクセスの競合が発生します。各機器がデータを転送しようとするすると衝突を検出し、ランダムなミリ秒間待機し、データ転送を再び試みることになります。ネットワークの拡大にともない、この種の競合はネットワークのレイテンシーにつながります。同様に、機器同士の距離が長くなるとリンクでのレイテンシーが恒常的な衝突と待機時間の原因になり、スループットを低下させレイテンシーを増やします。このような問題が、最新のスイッチド・イーサネット・ネットワークの誕生のきっかけになりました。より新しいモデル

では、機器をイーサネット・スイッチのポートに接続する独自のネットワーク・セグメントが機器ごとにあり、このポートでは必要に応じてフレームをキューイングするバッファを使用するので、衝突とそれにとまなうレイテンシーの問題を解消できます。これにより、前述の共同加入の電話に例えるなら、送信機器間をつなぐ専用回線と、末端パーティを独立させ回線が空いているときそれらに接続する電話交換機によって、最新式の電話回線にアップグレードされたこととなります。

同様にスイッチド・イーサネット・ネットワークでは、機器が接続されるスイッチド・ネットワーク・セグメントが他の機器によって使用中になることがないので、衝突の問題がなくなります。各機器はイーサネット・スイッチの個別のポートに接続され、各ポートには1台の機器のみが取り付けられます。イーサネットLAN上の全機器が衝突を回避するためにリスニングするのではなく、イーサネット・スイッチがそのスイッチに接続された全機器のトラフィックの交通整理を行い、そのスイッチにある機器との間で全トラフィックの統合を処理します。スイッチは接続された機器ごとのMACアドレスと、その機器がどのポートに接続されているかを認識します。ある機器が同じスイッチ上で別の機器と通信する場合、スイッチはその2台の接続を確立し、その通信が割り込みなく行われるようにします。同じスイッチに接続されていないMACアドレス宛のネットワーク・トラフィックをスイッチが認識すると、そのトラフィックは、スイッチのアップリンク・ポート（スイッチをデータセンターの別のスイッチに接続するか、または別のネットワークにWANリンクで接続しているルーターに接続する）経由でルーティングされます。

ブリッジ機能

ブリッジングは、1つまたは複数のネットワーク・セグメントが1つの集約ネットワークに接続される場合に行われます。IEEE 802.1d標準に基づくブリッジングとルーティングの違いは、ルーティングが完全に個別のネットワーク同士を接続してトラフィックをルーティングするのに対し、ブリッジングは1つの統合されたMACレイヤー・ネットワークを形成する点にあります。最もよくあるブリッジングの例は、イーサネット・スイッチに見られます。スイッチは、どの送信元MACアドレスがどの物理スイッチ・ポート上にあるかを学習し、その後は転送テーブルにあるアドレスに基づいてトラフィックを転送します。スイッチでDAが不明な場合、データはそのスイッチの全ポートにフラッディングされます。この概念はいわゆるマルチポート・ブリッジングで、最新のイーサネット・ネットワーク・スイッチの基本となります。次の各項目は、CEの最も重要なブリッジングの概念である5項目を詳しく述べています。それはラーニング、フォワーディング、フィルタリング、フラッディング、STPです。

- **ラーニング:** スイッチがSAと各SAが確認された対応するポート番号を監視するとき、ラーニングが行われます。スイッチのソフトウェア内でSA/ポート番号の相関が形成されると、そのマッピングが今後の参照用に転送テーブルに保存されます(転送情報ベース(FIB)とも呼ばれます)。特定のアドレスのポートがスイッチ上で変更される場合に備えて、スイッチはトラフィックがスイッチを流れるたびに常に転送テーブルを更新します。FIBのアドレス・エントリは、指定された期間にMACアドレスを送信元とするパケットがない場合に「エージ・アウト」(削除)され、テーブルが大きくなりすぎないようにします。
- **フォワーディング:** フォワーディングでは、イーサネット・スイッチは着信するイーサネット・フレームのDAをFIBでルックアップし、そのフレームをそのアドレスに対応するポートに送信します。フォワーディングは、イーサネット・スイッチングの基礎となり、ポート別のネットワーク・セグメント化を可能にして、スイッチ上のポート間での高速スループットをサポートします。
- **フィルタリング:** イーサネット・スイッチが、同じポートにある送信元と送信先の機器を示すパケットを認識すると、フィルタリングが行われ、トラフィックをその送信元セグメントに戻すのを回避します。同じポート上にあるすべてのクライアントは、そのポート上のMACアドレスとの間を行き来する全トラフィックを認識するので、フォワーディングは必要ありません。フィルタリングは、そのようなパケットや他の不正なパケット、部分パケットを破棄します。
- **フラディング:** スイッチが不明なDA (FIBにそのDAのアドレス・エントリがない)をともなうパケットを認識すると、スイッチはそのパケットをスイッチ上の全ポート(発信元ポートを除く)に送信し、そのネットワーク・トラフィックを目的の受信者に届けようとしています。フラディングが発生する他の状況には、ブロードキャスト・パケット(仕様として1つのパケットが全ポートに配信される)とマルチキャスト・パケット(1つのパケットがFIBに存在しない1つまたは複数のDA宛てに送信される)を使用する場合があります。

- **スパンニング・ツリー・プロトコル(STP)**：STPはブリッジ・ネットワークのループを防ぐために導入されました。ループは、2つのネットワーク・ノード間に複数のアクティブなネットワーク・パスがある場合に生じます。このような冗長性は、フレームが無限に循環する原因になり、ブリッジング機能が完全に機能停止に陥らないまでも、飽和状態になります。STPは、このような循環が起こらないように冗長パスの1つを「ブロック」します。ネットワークの耐障害性を考慮し、STPは一次パスに障害があるときにブロックされたパスを自動で再び有効にすることにより、冗長パスがバックアップ・パスの役割を担えるようにします。しかし最初のSTPは非効率的で、「再統合」するのに数十秒から場合により数百秒の時間がかかりました。最近では、このプロセスを高速化するようにラピッドSTPやマルチプルSTPが定義されています。

仮想LAN

ネットワークの拡大にともない、物理スイッチを仮想スイッチに分割してフラグディングの効果を制限しSTP機能を簡素化することが望ましくなりました。4バイトのVLANタグ(定義元の802.1Q標準にちなみQタグとも呼ばれる)がイーサネット・ヘッダに挿入されました。2バイトは、フレームがQタグ付きフレームになったことを識別し、残りのバイトは最大8つのサービス・クラスの定義(3ビット、いわゆるプライオリティ・コード・ポイント(PCP)ビット)と、4092 VLAN(12ビット、いわゆるVLAN ID)に使われます。フレームが「廃棄可能」な場合(廃棄可能表示(DEI))は、最後の1ビットが(稀に)使われます。

ここで興味深いのは4094 VLANで、これはスイッチが備える、不明なDAをとともなうトラフィックのフォワーディングとフラグディングの機能を、所定のVLAN IDで特定されるポートのみに制限します。これにより、データのブロードキャストが必要なく、単に帯域やネットワーク・リソースを消費する(いわゆる「ブロードキャスト・ストーム」)だけの場合に、エンドポイントへの不必要なデータ・ブロードキャストを制限できます。802.1標準の後続エディションでは、独自のVLAN IDとP-ビットとともにVLANの2番目のレイヤーとして使用するように2番目のQ-タグが定義されました。このアプローチはQ-in-Qと呼ばれ(図2を参照)、通信事業者の間でよく使われるようになりました。通信事業者は、プロバイダーVLAN ID(PVIDまたは「外部タグ」)を使用してインフラストラクチャ上で個別の顧客またはサービスを特定しながら、エンドユーザーに「カスタマー」VLAN ID(CVIDまたは「内部タグ」)の定義を許可することができます。その後、IEEE 802.1ah標準(いわゆるプロバイダー・バックボーン・ブリッジ(PBB))により新たなMACヘッダーをフレームに追

加できるようになりました(図2を参照)。拡張性がほぼ無制限になり、大規模なイーサネット・ネットワークの柔軟性が最高レベルに達しました。さらに、PBBによってサービス・プロバイダー・ネットワークと顧客のネットワークを明確に区別できます。これは両者に専用のMACアドレスのセット(とそれに関連するFIB)があるためです。イーサネット・フレームがイーサネット・ユーザー・ネットワーク・インターフェイス(UNI)に到着すると、サービス・プロバイダーのMACアドレスが顧客のイーサネット・フレームに追加されます。次にサービス・プロバイダーのネットワーク・スイッチがこのMACアドレスをFIBと照合し、フォワーディング、フィルタリング、ラーニングなどが通常通りに行われます。プロバイダー・ネットワークのエッジにあるスイッチをPBB対応にするだけでよいので、これはもう1つの長所となります。ネットワーク・コアのスイッチは標準のMACヘッダー(この場合サービス・プロバイダー・ヘッダー)でスイッチングを行うので、IEEE 802.1イーサネット・スイッチであれば十分です。

LANでのイーサネットの競争上の優位性

イーサネット機器の主な利点の1つは、大半のネットワーキング機器と相性がよいことです。組み込みの機能性により、異なる種類のイーサネット(2種類のPHYデータ・レートなど)を相互接続した場合に、イーサネットは利用可能な最も効果的な機能を駆使して最大限のパフォーマンスを発揮しようとしています。特別なネゴシエーションと検知のプロセスにより、異なるハードウェア構成やプロトコル・フォーマットの間で共通点が探し出されます。イーサネットは、ネットワークの相互運用性の観点から、「プラグアンドプレイ」機能に対する高い評価を確立しています。

イーサネットが早くから採用されたもう1つの要因には、競合テクノロジーと比べて低コストであるという点があります。プロトコルのシンプルさや日常的な管理の容易さによって、世界中のIT部門で普及が進み、これが当初トークン・リング、トークン・バス、FDDIなどのテクノロジーとの間で繰り広げられた「プロトコル戦争」の勝利に結び付きました。パーソナル・コンピューター業界が活気づき始めると、独自仕様ではないソリューションとしてイーサネットの時代が到来しました。これは、いわゆるイーサネットの「好循環」にも結び付いています。イーサネットの普及は、機器メーカーやPCメーカーがチップセット、モジュール、カード類を増産する機運も高めました。生産量の増加にともない、研究開発費や製造の初期コストが数百万に及ぶユニット数量により軽減され、ユニットあたりのコストは低下しました。価格が下がるとイーサネットの採用はさらに進み、家庭向け、データセンター向け、マルチテナント用途などに広がりました。

MEF、そしてキャリア・イーサネットの登場

MEF¹は2001年にネットワーク業界ベンダー各社の連携により発足され、その目標はエンタープライズLANの接続に使用される、光ベースのメトロポリタン・キャリアCE向けを主とする一連の標準を新たに策定することでした。MEFの作業範囲は（当初のメトロ・ネットワークをはるかに越えて）全世界に対応するように年々発展していますが、回線速度の上昇や新たな機能の追加にともない、MEFはCE標準の策定と改訂に積極的に取り組み続けています。またMEFは、標準への適合性を保証できるように、CE製品やサービス向けの認証プログラムも提供しています。さらに、ネットワークの専門技術者が各自の知識やスキルを高めてCE製品やサービスをサポートできるように、技術者向けの認定プログラムも実施しています。

MEFの作業目標

MEFの使命は、「キャリアクラス・イーサネットのネットワークやサービスの世界的な普及を促進すること」です。MEFは、4つの作業目標により使命を遂行しており、これらは次の4つの常設委員会によって管理されています。

- **技術委員会:** CEサービス、アーキテクチャの技術仕様や導入プロセスを策定し、CEハードウェアとソフトウェアの相互運用性を確保します。MEF技術委員会は、CEの相互運用性や導入に関連する50を超える仕様を策定、管理し続けています。これら仕様の多くは、MEFによるCE仕様や標準の継続的な見直しにより、第2、第3の改訂版が発行されています。
- **認定委員会:** CE関連のハードウェア、ソフトウェア、サービス、ネットワークの専門技術者向けに認定プログラムを開発しています。MEF認定委員会では、MEF技術委員会により策定された機器やサービスの仕様に基づくCEテスト・スイートを管理しています。
- **サービス運営委員会:** CEサービスを購入、販売、提供、管理する標準化されたプロセスを策定しています。MEFサービス運営委員会は、このような重要な作業タスクを実現するため2013年に設立されました。

¹旧称では「Metro Ethernet Forum = メトロ・イーサネット・フォーラム」と呼ばれ、現在はメトロを超えたグローバルな役割を反映して単に「MEF」と呼ばれます。

- **マーケティング委員会**：CE使用事例の研究、マーケティング資料、音声ビデオ・クリップ、MEFの目標を明確にアピールするホワイトペーパーなどの開発によって、関係者の教育とMEFの認知度の向上に努めています。MEFマーケティング委員会は、CE仕様やMEF業務に関係する団体の啓発に役立つ、CEウェブセミナー、ビデオ、会議などを企画しています。

キャリア・イーサネットの特性と価値提案

MEFが初期に達成した大きな成果の1つに、イーサネットのサービスや特性を記述する場合に使用される用語を収集し、正式に定義したことがあります。例えば、「キャリア」や「キャリアクラス」のイーサネットとは何か、または何をもたらすかの定義は、サービス品質、信頼性などの観点によってさまざまでした。図4には、CEの5つの特性を表す典型的な図が示されています。

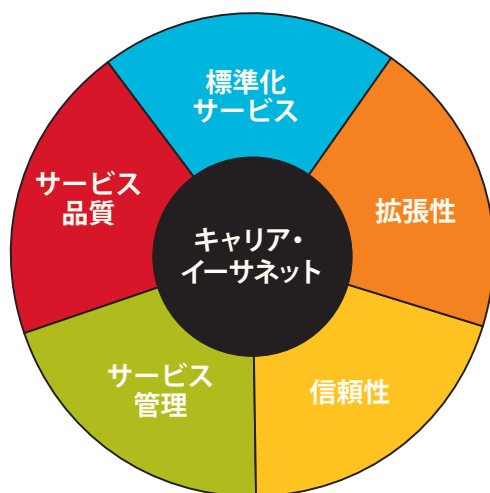


図4：キャリア・イーサネットの5つの属性

- **標準化サービス**: サービスを予測的に繰り返し使用できるようにする標準ベースのソリューションの必要性。MEFのサービスは、回線レートやエンコーディング、パケット・サイズなどの物理的な細部を定義する場合などに、IEEE標準に依存しています。
- **拡張性**: 非常に広範な(LANを超えた)距離や高いデータ・レートでさまざまな利用目的(ビジネス、家庭向け、モバイル)に使用できるサービスが技術的に実行可能になりつつある中で、そのようなサービスをサポートする機能。
- **信頼性**: 障害を検出してそこから回復する機能や、最も厳しい可用性の要件を満たす機能などの、ネットワーク機能(業界で確立している回復時間の指標は50ms)。
- **サービス品質**: サービス・レベル・アグリーメント(SLA)を履行するために必要なパフォーマンス・メトリックにおいて、幅広い選択肢が実現します(音声、ビデオ、データ、モバイル・サービスに適するオプションなど)。
- **サービス管理**: インフラストラクチャを可視化し、サービスを展開し、問題のある領域を診断し、日常的なネットワーク管理を実行する機能。

CEサービスを表す基本的な用語の他に、実際のサービス定義(MEF 6仕様に収録)やそれらの特性(MEF 10仕様に収録)により、サービスごとの名称やそのサービスがどのような挙動となるかが細部まで明確化されています。MEFはこれまでのあらゆる活動を、特定の実装方法については規定せず、ベンダーや通信事業者に任せるように、慎重に行ってきました。MEFの主な役割は、CEサービスがどのように行われるかに関する業界の合意や、サービスの構築、導入、そして最終的には購入/販売に必要な特性を明確に示すことです。MEF認定は、MEFサービスを採用するリスクを減らし、テレコム・サービス分野でその統一的な利用を促すことを目的としています。

CEの採用を促す要素には、統合ネットワークの導入によるキャリア・ネットワークのコスト削減効果があり、これによりビジネス、家庭向け、ワイヤレス・トラフィックを統合し規模の経済による効果を得られます。またエンタープライズや他のネットワーク事業者は、CEがキャリア・ネットワークの統合をサポートするのと同じ方法で、企業ネットワークの統合によって大幅な節約を実現できます。

MEF標準とサービスの構造

MEFイーサネット・サービス・モデル(図5)は、各種のCEサービスの組み立てに使用される一連のビルディング・ブロックを定義します。例えば、UNIはその特性(固有ID、物理レイヤーのタイプなど)とともに正式に定義されています。またイーサネット仮想接続(EVC)についても、そのVLANタグ保持、クラス・オブ・サービス(CoS)保持、各種の性能特性などの特性とともに定義されています。2つのUNIをEVCにより接続すると、E-Lineサービス・タイプが形成されます。このような方法で各種ビルディング・ブロックを活用することで、サービス・プロバイダーは、標準化された一貫性のある命名法によってバイヤーと販売者に一様に理解されやすい、豊富なCEサービスを構築することができます。

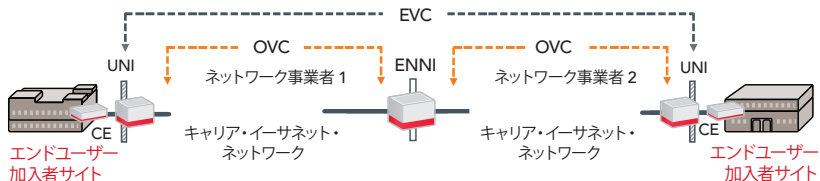








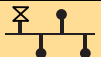





図5: MEFサービス・モデル

MEF文書も、ネットワーク事業者とサービス・プロバイダーで異なります。ネットワーク事業者はCEネットワークを運営してサービスを他の事業者に販売しますが、サービス・プロバイダーはサービスをエンドユーザーに販売します。前者はホールセール事業者、後者は小売業者とも呼ばれます。EVCと対照的な通信事業者仮想接続(OVC)の正式な定義は、外部ネットワーク間インタフェース(ENNI)を定義するMEF 26.1と、OVCを定義するMEF 51に取り込まれています。これらの新たなビルディング・ブロックにより、CEメニューから創造的で柔軟なサービスを提供できるようになります(図6)。

	サービス・タイプ	ポートベース・サービス	VLAN対応サービス
EVCサービス	E-Line P2P EVC	イーサネット専用線  (EPL)	イーサネット・バーチャル・プライベート・ライン  (EVPL)
	E-LAN MP2MP EVC	イーサネット専用LAN  (EP-LAN)	イーサネット仮想プライベートLAN  (EVP-LAN)
	E-Tree RMP EVC	イーサネット専用ツリー  (EP-Tree)	イーサネット仮想プライベート・ツリー  (EVP-Tree)
OVCサービス	E-Access	Access EPL  Access E-Line 1つのUNIと1つのENNIをともなうP2P OVC	Access EVPL  Access E-Line 1つのUNIと1つのENNIをともなうP2P OVC
		 UNI (複数) と1つのENNIをともなうMP2MP OVC	 ENNI (複数) と1つのUNIをともなうMP2MP OVC
	E-Transit	Access E-Line 2つのENNIをともなうP2P OVC 	Access E-LAN ENNI (複数) をともなうMP2MP OVC 

EVC: Ethernet Virtual Connection =
イーサネット仮想接続
OVC: Operator Virtual Connection =
通信事業者仮想接続
P2P: Point-to-Point = ポイントツーポイント

MP2MP: Multipoint-to-Multipoint =
マルチポイントツーマルチポイント
RMP: Rooted MultiPoint =
ルーテッド・マルチポイント

EPL: Ethernet Private Line =
イーサネット専用線
EVPL: Ethernet Virtual Private Line =
イーサネット・バーチャル・プライベート・ライン

図6: MEFサービス・タイプ

一方で、MEFの活動の究極的なメリットは、その認定プログラムに関係します。CEの機器とサービスの両方で、数百ものテスト・ケースを利用する第三者機関の技術評価によって、各種仕様に適合していることが認定されます。自社サービスの認定を得ることにより、プロバイダーは、例えば標準に準拠したサービスの提供に対する真剣なコミットメントや、そのコミットメントへの意思を中立機関に実証するなど、いくつかの目標を実現できます。顧客がエンドユーザーか別の事業者かを問わず、認定済みサービスを購入または販売する場合には、込み入った1対1の契約交渉が必要なくなります。

認定は、事業者間の提案依頼書 (RFP) で必須条件でない場合でも求められる傾向が高まっています。長期的な経費 (あらゆる「特注」またはカスタムのサービスによる経費) の回避や市場投入までの時間の面で、認定には大きな利点があります。バイヤーと販売者は、業界で認められたMEFのサービス定義と関連の特性に基づいて要件を迅速に特定できるので、ビジネスを迅速、効率的に進めることができます。

サービス・レベルの認定を獲得するカギの1つは、サービス・レベルで使用されるのと同じテスト手続きにより認定を得た機器を使用しているシステム・プロバイダーと連携することです。そのような連携はMEFも奨励しており、業界で急速に一般化しています。

キャリア・イーサネットの主要な技術要素

キャリア・イーサネットは一連のサービスに進化しており、前述の5つの主要な特性を達成するためにさまざまな技術要素に依存しています。これらの特性は特定の実装を定義するものではありませんが、その特性のいくつかをここで検討します。

カプセル化とトランスポートの手法

イーサネット・サービス (E-LineまたはE-LAN) を特定のインフラストラクチャ上 (例えばSONET/SDN、オプティカル・トランスポート・ネットワーキング (OTN)、MPLS) で伝送するために、イーサネット・フレームをさまざまなトランスポート・インフラストラクチャ・タイプにカプセル化する多くの手法があります。これにより、イーサネット・ユーザー・データとヘッダーをインフラストラクチャ固有のプロトコル・データ・ユニットに適合させることができます。イーサネット・フレームは、ネットワーク・インフラストラクチャを横断すると、カプセル化を解除され本来の形式で送信先に配信されます。

SONET/SDH/OTN

SONET/SDHやOTNなどのレイヤー1プロトコルは、キャリア・インフラストラクチャとして幅広く普及してきたため、多くの通信事業者ネットワークでCEサービスをトランスポートするために使われています。汎用フレーミング手順 (GFP) などの手法を使用して、イーサネットや他のクライアント・プロトコルをそれらの同期トランスポート・インフラストラクチャにマッピングできます。OTNは、さまざまなイーサネット回線レートに適した特定のオプティカル・データ・ユニット (ODU) タイプを定義しているため、それらのタイプを透過的にトランスポートできます。このようなアプローチにより、これらの複数のインフラストラクチャ全体で、イーサネット・サービスをビデオ、音声、ファイバー・チャンネル (FC) などのネイティブ・サービスと多重化することができ、同時にイーサネット・サービスの大幅な拡大に直面しても「フォークリフト・アップグレード」を回避できます。またこのアプローチでは、基盤となるレイヤー1プロトコルによって提供される50ms以下のレストレーションによって、イーサネット・サービスを完全に保護することができます。

MPLS

マルチプロトコル・ラベル・スイッチング (MPLS) は、パケットベースのトラフィックをコア・ルーター間で伝送するために、コア・ネットワークで幅広く導入されています。MPLSは、IPで必要なアドレス・ルックアップの手続きを大幅に簡素化し、TDMトランスポート・リンクからパケットベース・リンクへの移行を速めました。さらにMPLSは、レイヤー2ネットワークまたはレイヤー3ルーテッド・ネットワークのエミュレーション (L2VPN、L3VPN) によってイーサネット・フレームをトランスポートするためにも使用されました。MPLSでは迅速なレストレーション時間、マルチサービス多重化、効率的な帯域エンジニアリングが可能になることから、このトランスポート方法は急速に普及しました。一部のネットワーク事業者はMPLS「クラウド」を各自のネットワークのエッジまで拡張しようとしていましたが、プロトコルの複雑さや特定の管理ツールの欠如 (後述の「OAM」項を参照) が大きな課題になることを認識し始めています。

MPLS-TP/PBB/PBB-TE

最近考案されたMPLS-トランスポート・プロトコル (MPLS-TP) は、MPLS構造の一部を簡素化し、日常のネットワーク管理に必要な管理ツールを作成することを目的としています。それらには、接続検証、障害モニタリング、インバンド制御/管理などの機能が含まれます。

前述のように、QinQやPBBの手法ではネットワーク事業者とエンドユーザーがそれぞれ扱う領域を分けることができました。これらの手法はブリッジ機能を簡素化し、ブロードキャスト・ストームやネットワーク障害の影響を抑制します。一方で、主要なネットワーク事業者が使用するトランスポート・システムの基本的な特性では、パケットが通過するネットワーク内の適切なパスの選択が関係してきます。多くの場合、コネクション型のルーティングが好まれますが、それは特に大規模なネットワークでは、安定した予測可能な動作を示すからです。プロバイダバックボーン・ブリッジ - トランスポート・エンジニアリング (PBB-TE) とMPLS-TPには、不明トラフィックのフラッディングとSTPの概念を不要にするメカニズムがあります (これはセキュリティや拡張性の観点から問題があります)。代わりに、FIBテーブルが集中管理または制御エンティティによって明示的に設定されます。このため、ネットワーク事業者は事前に決めた既定のパスを作成し、完全に予測可能なネットワークの動作を得ることができます。これらのプロトコルには、サービスのプロビジョニングという別の利点もあり、過去数十年にわたりトランスポート・ネットワークで行われてきたSONET/SDHのプロビジョニングと同様にサービスをプロビジョニングできます。SONET/SDHで慣れ親しんだ運用モデルはサービス・プロバイダーにとって大きな利点となり、ネットワーク使用率を最大化して、ピ

ットあたりの伝送コストを最小化できます。さらに、設定ミスやフレームのリークを最小化してネットワークの狭い範囲に局所化できるので、セキュリティも向上します。

耐障害性を高めるアプローチ

前述のように、STPはイーサネット・ネットワークでブリッジ・ループを防ぐように設計されました。このようなループがあると、フレームが無限に転送され続け、基本的なイーサネット・フラッディングと学習アルゴリズムで完全な混乱状態に陥る原因になります。またSTPでは、ネットワーク内の予備のリンクがリンク障害時の自動バックアップ・リンクになります。これは理論的には機能しますが、そのアルゴリズムではこのような障害が発生したときの「コンバージェンス」に時間がかかる傾向があります(スパンニング・ツリーの大きさに応じて数十秒から数分)。この結果、トラフィックのドロップやサービス品質(QoS)の低下につながります。これに代わる方法としてIEEEにより考案されたのが、ラピッド・スパンニング・ツリーやマルチプル・スパンニング・ツリーです。これらによりコンバージェンス時間は短縮しましたが、従来のSONET/SDHネットワークで維持されていた50ms以下のレストレーションという事実上の期待値には達していません。

耐障害性のもう1つの代替手法はリンク・アグリゲーション・プロトコル(LACP、IEEE 802.3ad)を活用する方法です。複数ポートで並列して複数のイーサネット物理メディアを使用することでリンクの冗長性と可用性を高めます。LACPでは、単一接続として管理されている機器間の高速な接続、論理的な接続内の個々のリンク間でのロード・シェアリングとロード・バランシングなどが可能になります。リンクのいずれかで障害が生じると、残りの健全なリンクによる部分的な接続が行われます(ただし全体的な帯域容量は削減されます)。しかし、LACPのフェイルオーバー時間が1秒以下になり得たとしても、一般的なトランスポート・ネットワーク運営者が期待する従来の50ms以下の基準には達しません。

いくつかのアプローチでは、このようなイーサネット・サービスの保護が可能です。1つは前述のように、イーサネット・フレームをSONET/SDHまたはOTNフレームにマッピングする方法です。イーサネット・プロトコル・データ・ユニット(PDU)をクライアント・フレームとして適切なSONET/SDH/OTNフレーム構造にマッピングし、このTDMインフラストラクチャ上で透過的に伝送できます。SONET/SDH/OTNプロトコルに本来備わっている基盤となる(レイヤー1)保護メカニズムでは、障害発生時に50ms以下の保護が可能になります。

PBB-TEやMPLS-TPなどのコネクション型プロトコルでは、コネクション型のトンネルを1つ以上の保護トンネル(やはりコネクション型)によってバックアップできます。プライマリー・トンネルからバックアップ・トンネルへのフェイルオーバーは、接続喪失の発生を示す「ハートビート」の欠落によって通知できます(後述のIEEE 802.1 agに関する説明を参照のこと)。このフェイルオーバーは、トランスポート・オペレーターが期待する規定の50msを下回ります。

他にもITU-T G.8032を使用するアプローチがあり、リングベースの接続と保護が可能になります。これも独自のアプローチによってループを回避するので、ループ回避についてSTPに依存することはありません。リングベースのトポロジが特にメトロポリタン・ネットワークのシナリオで普及していることもあり、G.8032はイーサネット・リング保護テクノロジーとしてシンプルで費用対効果の高いスケラブルなソリューションです。G.8032は、SONET/SDHグレードの耐障害性を妥当なコストで可能にする、迅速なサービス・レストレーションを提供します。またG.8032テクノロジーによりサービス・プロバイダーはネットワークの将来的な拡張に対応でき、設備投資の面で大きなメリットを得られます。G.8032テクノロジーには次の機能があります。

- リング、サブリング、これらの間の複数接続など、アクセス、メトロ、コア・ネットワークの各セグメントで柔軟な導入モデルをサポートします。
- あらゆるサービスやリング上を伝送されるサービス・タイプに対して、確実性の高い50ms以下のサービス・レストレーションをサポートします。
- サービス・プロバイダーのSLAニーズに対応します(耐障害性、パフォーマンス耐性、プロテクション耐性など)。
- MPLS、MPLS-TP、VPLS、PBB-TE、PBBなど既存のネットワーキング・ソリューションと相互接続します。
- 複数のサービス・タイプ(E-LINE、E-TREE、E-LANなど)や主なアプリケーションを効率的にサポートします。
- 効率的なリソース帯域使用をサポートします。
- 強制スイッチや切り戻し禁止(Do-Not Revert)を含む従来のトランスポート実行手順をサポートします。

運用、管理、保守機能

運用、管理、保守(OAM)機能は、レガシーのTDMベース・サービスの特徴的な機能ですが、最新のネットワークではCEに置き換わりつつあります。このため、適切な機能とサービス・パフォーマンスに対する可視性と保証を可能にするOAM機能に相当する機能として、イーサネットOAMが必要になります。これらは、CEのサービス管理特性を確実に提供するための重要な要素です。イーサネット・サービスがWANを横断する範囲は数百から数千キロメートルに及ぶことから、これらの機能は特に重要になっています。

豊富な機能を備えたOAMツールキットがイーサネット・プロトコル標準に加わり、障害やパフォーマンスの管理ツールを利用できるOAM機能が提供されていますが、このようなツールは当初のLANテクノロジーには含まれていませんでした。表1には、重要な新規OAM機能が示されています。

OAM標準	標準化団体	説明
802.1ag Connectivity Fault Management	IEEE	接続性確認、ループバック、リンク・トレースの各プロトコルを指定し、ネットワーク障害の検出、特定、分離に対応します。これらはエンドユーザー、サービス・プロバイダーまたは事業者に対応するさまざまな保守ドメインに適用できます。接続性確認メッセージ(CCM)を使用して、ネットワークの定義されたポイント間(エンドポイント間または中間ポイント間)の障害を検出できません。同様にループバック・メッセージ(LBM)を使用して、特定の保守ポイントに到達できること、リンク・トレース・メッセージ(LTM)が障害発生場所を分離できることを確認できます。

OAM標準	標準化団体	説明
イーサネットベース・ネットワークでのY.1731 OAM機能とメカニズム	ITU-T	802.1agとほぼ同一の障害管理機能をサポートしますが、フレーム損失率 (FLR)、フレーム遅延(一般的にはレイテンシー)、フレーム遅延変動 (FDV、一般的にはジッター) などのパフォーマンス・モニタリングのツールが加わっています。これらは顧客SLAを検証し、VoIP、ビデオ配信、データセンター相互接続などの高パフォーマンス・サービスをサポートする上で重要なメトリックです。
802.1ah Ethernet in the First Mile	IEEE	イーサネット・アクセス・リンクのモニタリングやトラブルシューティングを行うメカニズムを定義します。特に、ディスカバリー、リモート障害表示、ローカル・ループバック、状態とパフォーマンスのモニタリングなど各種のツールを定義します。ほとんどのツールは「Dying Gasp」と呼ばれる特定の機能と関連しており、それによって、ノードが電力喪失などの修復不能な局所障害の影響を受けていることを示すメッセージをアップストリームに即座に送信できます。

OAM標準	標準化団体	説明
RFC 2544/Y.1564で規定されたイーサネット・サービスのアクティベーション・テスト方法	IETF/ITU-T	両方の標準とも、イーサネット固有のテスト方法を規定し、サービスの設定時に主なサービス属性の検証を可能にします(サービスの「出生証明」と呼ばれます)。これらの標準は仮想テスト・ジェネレーター/リフレクター機能を規定し、SLAで重要となるスループット、レイテンシー、ジッター、帯域プロファイルの測定を可能にします。ジェネレーター機能はネットワークに送られるテストパターンを生成し、リフレクター機能はループバックを形成して双方向の測定を可能にします。これらの標準は似ていますが、Y.1564は改善されたより新しい標準で、最新の機器に広く採用されています。これらの機能はネットワーク・エレメントに組み込む(「スキン内」)か、または現地で利用する専用の(通常は携帯型)テスト機器に組み込むことができます。

表1: 現在の高機能なキャリア・イーサネットOAM「ツール・キット」(次ページに続く)

OAM標準	標準化団体	説明
RFC 4379、6371、6428 (およびその他)ラ ベル・スイッチド・パス (LSP) Ping/TR、さらに MPLSベース・トランス ポート用のOAMフレー ムワーク	IETF	このシリーズのRFCはMPLS固有の OAM機能を策定し、MPLSレベルで の接続の検証を可能にします(パス 障害またはラベル不整合の検出、分 離など)。MPLS-TPはこれらの機能 を採用し、パスのモニタリング、障害 の特定、重大な事象が発生した場合 のネットワーク管理システム(NMS) のアラートを可能にしました。
RFC 5357双方向アク ティブ測定プロトコル (TWAMP)	IETF	TCP/IPでの双方向パフォーマンス 測定、従来のPing/traceroute機能 で利用できる手法より正確なタイ ムスタンプ手法を可能にします。 TWAMPでは、パケット損失、レイテ ンシー、ジッター、重複、順不同な どのシナリオを測定できます。

表1: 現在の高機能なキャリア・イーサネットOAM「ツール・キット」

OAM標準	標準化団体	説明
IEEE 802.1AB Link Layer Discovery Protocol (LLDP)	IEEE	イーサネット・ネットワーク上にあるネットワーク機器のIDと機能を検出する機能を実行します。検出できる情報には、ノード名、ポート名/デスクリプション、VLAN名、管理IPアドレス、その他のサポートされるシステム機能が含まれます。次にネットワークとエレメントの管理システムは、その情報を引き出して対応できるように機器に照会します。

サービス品質

理想的な状況では、サービスの動作を説明するだけで十分です。課題が生じるのは、ネットワークにストレスがかかるときの、例えばトラフィック負荷がインフラストラクチャのさまざまな部分を圧迫するときなどです。ネットワークは過剰なトラフィック負荷にどのように反応し、エンドユーザーとのSLA契約を維持できるでしょうか。ネットワークの設計がこのような状況に対処できるものでなければ、トラフィックのドロップや大幅な遅延が生じます。

従来のイーサネットのホップバイホップの動作は、確実性の欠如につながります。つまり、サービス・プロバイダーはフレームがネットワーク上をどのように伝送されるか把握できない場合、トラフィックの輻輳がネットワークにどのように影響するかを予測できません。CE 環境では、QoSとトラフィック・エンジニアリングの手法(コネクション型のイーサネットで実現する手法など)によってトラフィック・ストリームに優先順位を付けることで、SLAパラメータをネットワーク全体で確実に維持できます。

これにより、認定情報レート(CIR)、フレーム損失、遅延、遅延変動の目標に基づくエンドツーエンドのパフォーマンスが実現します。ネットワークで輻輳が発生すると、送信先へのパケット転送のスケジューリングが可能になるまで、イーサネット・スイッチはパケットをキューに保管する必要が生じます。さまざまな手法とアプ

ローチによってどのフレームを優先するかを決められますが、大半のアプローチではいくつかのポリシー(トラフィック・タイプやSLAなど)に基づいてフレームを分類する必要があります。各タイプのトラフィックは個別のキューに保管され、そのキューは加重ラウンドロビン、ランダム初期廃棄、加重フェア・キューイングなどのスケジューリング「基準」に基づいて、適切な出力ポートにスケジューリングされます。

これにより、サービス・プロバイダーはビジネスや家庭向けの統合ネットワーク上で音声、ビデオ、データの要件に対応できます。QoSレベルの階層を作成することで、サービスとアプリケーション・レベルの両方のニーズに適切にリソースを提供できます。例えば、エンドツーエンドの遅延や帯域容量などのアプリケーション・ニーズに基づき、特定の顧客のサービス範囲内で(E-Lineなど)、音声、ビデオ、HTTPトラフィックを適切に区別して処理できます(図7)。

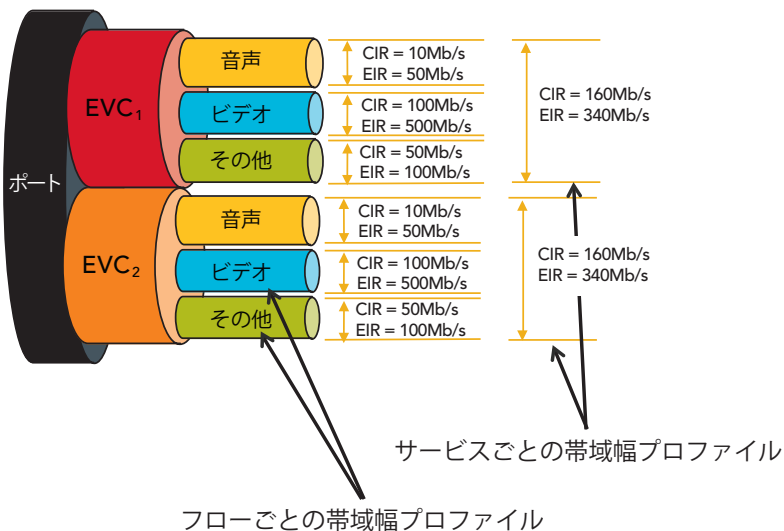


図7: イーサネット・サービスの帯域幅プロファイル

コネクション型イーサネットを使用して、フレームが通るネットワーク全体のパスを指定できるので、サービス・プロバイダーは各自のネットワークでトラフィック・エンジニアリング(または帯域やキュー・リソースの予約)を行うことができます。MPLS-TPとPBB-TEは「ハードQoS」を実現し、ネットワーク容量のオーバープロビジョニングを避けながら帯域予約とカスタマーSLAに適合します。

あらゆるスケールへの対応

これらのさまざまなツールや手法により、CEプロバイダーは効率的で耐障害性を備えた管理可能な堅牢なインフラストラクチャを構築できます。しかしそのインフラストラクチャには、長距離にわたり数千のサービス・インスタンスに拡張する能力があるでしょうか。また帯域容量が増え続ける中でネットワークはそれに対応できるでしょうか。

プロトコル・レベルでの拡張性の問題のほとんどをQinQ、PBB、階層的なQoS、コネクション型イーサネットなどの手法で対応してきました。CEには(多くの事例に見られる)アドレス空間の制限による影響はなく、最新の半導体技術を使用した場合、制約的な要素はほとんどありません。CPU能力を消費する機能(テーブル・ルックアップ、アドレス変換)は制約的な要素になり得ますが、最近の拡張性の制約は実行手順や人為的な要素に関係しており、それらはCEサービスの迅速な導入を妨げる原因にもなります。この問題に対して新世代のネットワークが現れており、この新世代のネットワークでは、自動化、スクリプト処理、ソフトウェアベースのインテリジェントなポリシーを使用してサービス・アクティベーションや継続的な運用を行います。ゼロタッチ・プロビジョニングなどの手法により、数千台のスイッチとそれぞれに関連するサービスを短期間に導入できるので、高コストなトラックロール(出張サービス)で現地スタッフを手配する必要がありません。この手順では、スイッチが電源投入時にネットワークで自己認識し、最新の設定とサービス属性を安全なサーバーからダウンロードし、オンラインに接続する作業が数秒で行われます。

SDNがCEネットワークで可能なサービス・オプションに加わり、最新のクラウドベース・アプリケーションの動的な特性に適するオンデマンドのサービスやサービス・レベルが実現しました。これらの自動化とクリエイティブなサービス構成の例には、オンデマンドの帯域、経路最適化、ネットワークの「デフラグメンテーション」があります。それぞれがサービス・プロバイダーの運用上の顕著な問題を回避し、将来的なネットワーク拡張の妨げとなる要素を取り除きます。

キャリア・イーサネット・アプリケーションと使用事例

例えば市場で伸び続けるCEの採用は、CEの成功を如実に物語っています。ここではフィクションによる一般的なビジネス事例をいくつかで紹介します。提案されているCEベースのソリューションも、単に例として示されています。

Ether銀行：金融/銀行エンタープライズ

ビジネスの設定：

Ether銀行は、2つのプライベート・データセンターと増え続ける銀行支店を広範囲の都市圏で運営しています。Ether銀行は、データを交換し、顧客記録の複製イメージをアクティブ/アクティブのデータベース・アプリケーションで維持するために、メインとセカンダリーのデータセンター間に大規模な接続を必要としています。また支店レベルでデータセンターにアクセスする必要もあり、データセンターには日常の銀行業務を管理するアプリケーション・サーバーも格納されています。

図8：Ether銀行の状況分析

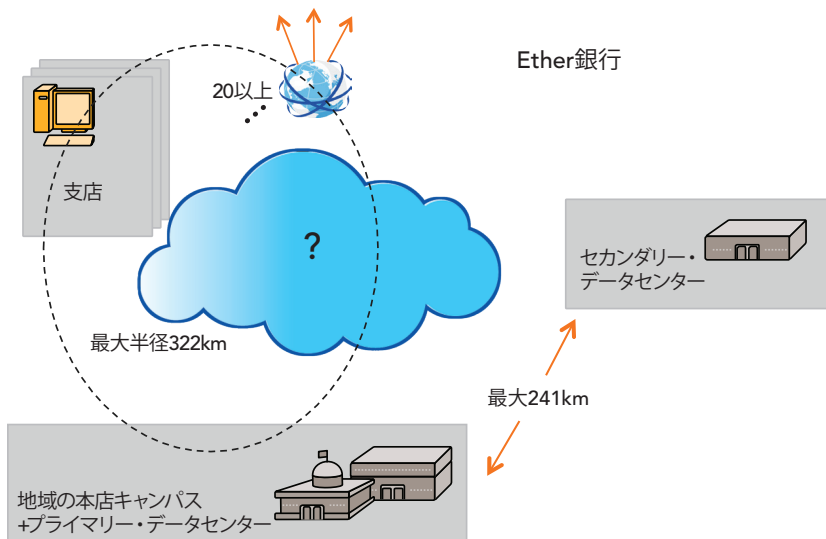


表2には、Ether銀行のITディレクターの懸念が示されています。

要件	詳細
物理アクセス/ ロケーション	<ul style="list-style-type: none"> ● 本店キャンパスには最大500名の従業員数が勤務 ● 20の地域に分散した支店(本店から最大半径322km) ● 本店キャンパスにある集中データ処理センター(プライマリー・データセンター)と、本店から最大80km離れた冗長ミラーリング・サイト(セカンダリー・データセンター) ● T3/SDHインフラストラクチャによる現在の接続はコスト面の制約から150Mb/s未満
アプリケーション・サポート	<ul style="list-style-type: none"> ● リアルタイムの金融トランザクション/レポート作成のためのデータ・アクセス(日常的な高速バンキング・トランザクション、連邦準備銀行への外部ハンドオフ、月次/四半期レポートでの使用)、低遅延のデータ転送を必要とするアプリケーション ● 銀行顧客向け口座アクセス・アプリケーション用のサードパーティのWebホスティング・インフラストラクチャ ● ビデオ会議や遠距離学習アプリケーションの全支店でのサポートなど、ビデオを多用する行内の人事/トレーニング・ネットワーク ● 運営/バックオフィスのセキュアなインフラストラクチャ(ファイル交換、行内レポート)

要件	詳細
セキュリティ	<ul style="list-style-type: none"> ● すべての金融機関に共通することですが、ユーザーと企業の財務データのセキュリティは優先度の高い課題です。主な考慮点には次があります。 <ul style="list-style-type: none"> ○ 財務/ユーザーのデータや資産の損失/盗難 ○ 行内での損失/盗難からの保護 ○ 意図的または偶発的なデータ・アクセス中断
潜在的な成長	<ul style="list-style-type: none"> ● 歴史的に買収が盛んな事業なので、支店とデベロッパ・サイトの増強が見込まれる

表2: Ether銀行のITディレクターの懸念事項

Ether銀行には、要求の厳しいアプリケーションを意欲的に活用する環境をサポートする高度なネットワークが必要です。しかし同行のIT部門は小規模で、いつも予算の制約の中で運営し、手間をかけない運営が最優先されています。このようなシナリオでは、CEサービスとマネージド・サービス (VoIPサポート、ファイアウォール保守、メール・サーバーのサポートなど) が大きな利益をもたらします。というのも、IT部門が、社内ですべての大きな負担になっている多くの機能をアウトソーシングしやすくなるからです。この例では、支店、本店 (およびプライマリー・データセンター)、セカンダリー・データセンターをオンラインに維持し年中無休で稼働できるようにするネットワーク接続サービスに焦点を当てます。

言うまでもなく、最も重要な考慮点はサービス可用性です。この例では、必要とされる物理的なローケーションの (すべてではなくとも) 大半をサポートできるプロバイダーが少なくとも1つ存在していると仮定します。常に該当するとは限りませんが、実際のシナリオではレガシーのサービス (TDMベース) や、DSLまたはHFCベースのサービスを活用する選択肢もあります。しかし、選択肢となり得るすべてのサービスについて本書では扱いません。CEサービスは、あらゆる物理メディアまたはトランスポート・テクノロジーについて定義されています。

表3には、バイヤーの主な考慮事項が示されています。

バイヤーの考慮事項	重要度 (1~5、低~高)	推奨の根拠
帯域幅	4	<ul style="list-style-type: none"> 支店でのビデオ・アプリケーション利用の増加にともない、100~200Mb/sの支店接続が求められるようになります。 本店とオフサイトのデータセンター間でのデータベース同期は、使用されるデータセットのサイズに応じます(5Gb/sを前提)。 アプリケーション開発とテストによって、1Gb/s超の必要性が高まる可能性があります。
パフォーマンス/ QoS	5	<ul style="list-style-type: none"> 支店の接続には、マルチサービス(データベース相互接続からベストエフォートの支店インターネット・アクセスに及ぶ)と、個別のトラフィック・タイプごとにマルチQoSのサポートが必要になります(セキュリティ)。 リアルタイムのデータベース・アプリケーションでは、レイテンシーが極めて重要です。

表3: バイヤーの主な考慮事項(次ページに続く)

バイヤーの考慮事項	重要度 (1~5、低~高)	推奨の根拠
信頼性	4	<ul style="list-style-type: none"> • 本店とセカンダリー・データセンター間のメイン・リンクは、完全に保護されたリンクで複数の経路を持つ必要があります。 • 支店の接続はリンク保護により信頼性を高める必要がある一方、コストも考慮する必要があります。重要なアプリケーションはレガシーのTDMサービスにより保護できます。
伝送距離/可用性	3	<ul style="list-style-type: none"> • サービスはすべての物理ロケーションで必要です。支店には銅線アクセスを利用できますが、今後の成長(帯域と物理ロケーションの両面で)を見込んでファイバーまたはワイヤレスのラスト・ワンマイル・アクセスが望ましいと考えられます。
セキュリティ、ガバナンス、法令順守	5	<ul style="list-style-type: none"> • エンドユーザー・レベルとアプリケーション・レベルのセキュリティは重要ですが、ネットワークにトラフィック分離のレイヤーを用意することで、攻撃、機密データの損失、不正な侵入(内部者または外部者)を最小限に抑えることができます。

バイヤーの考慮事項	重要度 (1～5、低～高)	推奨の根拠
コスト	3	<ul style="list-style-type: none"> コストは常に検討課題ですが、Ether銀行はコストよりもパフォーマンスと信頼性を重視する傾向があります。
運用の容易さ	3	<ul style="list-style-type: none"> Ether銀行は、IT部門化するのではなく、信頼できる便利な金融サービスをカスタマーに提供したいと考えています。

表3: バイヤーの主な考慮事項

Ether銀行は、複数のCEサービス・オプションから最適なものを自由に選択できます。この事例でEther銀行は、10Gb/sリンクでプライマリーとセカンダリーのデータセンターを接続する、イーサネット専用線(EPL)ソリューションを選びました(図9参照)。データセンター間で行うデータ交換の重要性や、銀行の拡大計画に対するネットワークの将来の保証を考慮した結果でした。完全に保護された複数経路のサービスが推奨されます。

支店は、E-Treeサービスを通じて20Mb/sのCIRと200Mb/sの超過情報レート(EIR)のEVCにより本店のルーターに接続されます。サポートされるアプリケーション(インターネット・アクセスからビデオ会議や重要な銀行データベース・アクセスに及ぶ)に応じて、4つまでのCoSマッピングを利用できます。重要度の低いアプリケーションにはそれほど高品質でないCoS EVCを選ぶことで、ネットワークの経費を抑えられます。

Ether銀行は、500Mb/sのCIRと1GbEのEIRに設定されたE-Lineバーチャル・プライベート・ライン(EVPL)サービスを選択し、本店にある企業ファイアウォール/ルーターをインターネットと銀行指定のISPに接続しました。支店と本店からのインターネット・トラフィックはこのリンクを経由し、銀行が外部のプロバイダーに手配したいいくつかのマネージド・サービスを利用します(メール・サーバーやVoIPサービスなど)。これらはいずれもエンタープライズ内部でVLANによって分離し、必要に応じてサービス・プロバイダーが個別のEVCにマッピングできます。

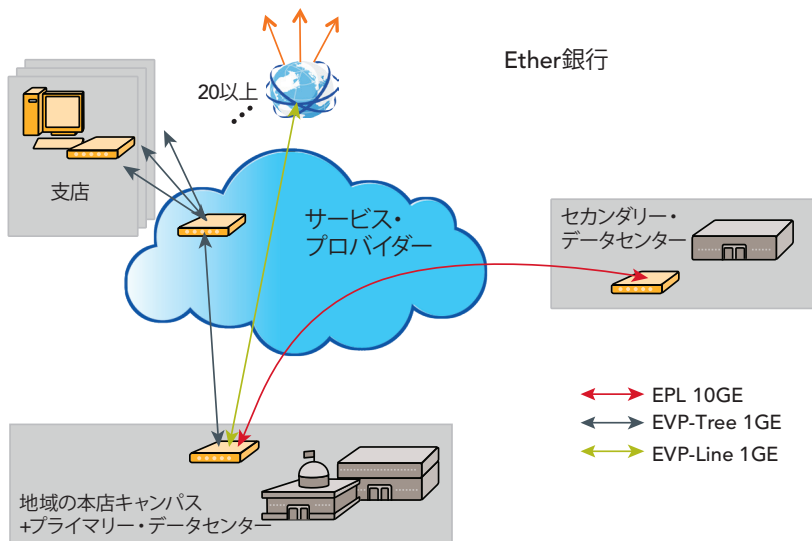


図9: Ether銀行向けの提案ソリューション

Ether銀行の最後の検討事項は、マネージド・サービス・プロバイダーによって提供される、仮想機能が接続サービスにバンドルされたネットワーク・サービスの利用を増やすことです。例えば、本店でEther銀行のIT部門が運用するファイアウォールはマネージド・ネットワーク・サービスに容易に組み込むことができ、追加のライセンスやそれに伴う日々の運用、定期的なアップグレード、ライセンスなどの関連経費を回避できます。このコスト節約のアプローチは効率的な高パフォーマンスのCEネットワークによって促され、最新のアプリケーションを利用するためにネットワークのアップグレードを1年おきに行うなどの必要がなくなります。また、さまざまなロケーションへの動的な帯域幅割り当ては、予測可能で定期的な広帯域の需要（毎晩のバックアップや四半期ごとの全社員ビデオ会議など）をカバーするためによく使われるアプローチです。

BioEtherヘルスケア: 病院/診療所マルチサイト・エンタープライズ

BioEtherヘルスケアは広域に分散したエリアにサービスを提供する地方のヘルスケア・サービス・プロバイダーです。2名から4名ずつの医師により小都市とその近隣地域にサービスを提供する10の診療施設と、数十名の医師により人口が集中する地域にサービスを提供する2つの病院施設を運営しています。サービスエ

リアはメインの病院から数百キロに広がっており、メインの病院同士は240キロ離れています (図10参照)。

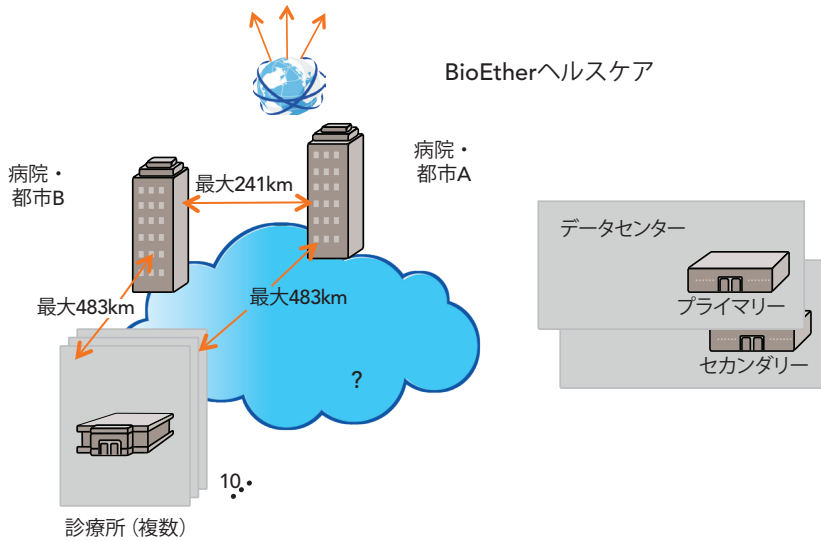


図10: BioEtherヘルスケアの状況分析

BioEtherのIT部門の従業員は4名で、PC/ソフトウェア/プリンターの管理からITアプリケーションの調達までの日常的な業務を行っています。専用の医療機器のサポートは、サプライヤーとサービス契約を結んでいます。利用しているクラウドベース・アプリケーションは、医療データ記録管理 (患者記録を含む)、請求システム、病院/診療所管理 (調達など)、ユニファイド・コミュニケーション (VoIP、電子メール、ビデオ会議)、法令順守のアプリケーションなどです。これらのアプリケーションはプライベート・クラウドにホスティングされ、2つの冗長なデータセンター施設でサードパーティが代行して運用しています。

さらに、各診療所はメインの病院への広帯域接続を利用して、高解像度の画像/スキャン・データの相互交換や専門分野の医療スタッフによるリアルタイムの診療を行っています。表4には、BioEtherの要件がまとめられています。

要件	詳細
物理アクセス/ロケーション	<ul style="list-style-type: none"> ● 2つの大規模な病院では24時間365日の医療態勢で250名の従業員と30名の医師/専門家が従事しています。 ● サービスエリアに分散する10の診療所には、それぞれ2～4名の医師、10名のサポート・スタッフ(看護師、事務など)が従事します。 平日の午前7時から午後5時まで診療を行います。 ● 現在の診療所の接続はTDMインフラストラクチャを利用し、10Mb/s未満に制限されています。 ● 診療所間の接続の優先度は低いとみなされています。 ● 優先度が高いのは、サードパーティにより運営されているクラウドベースのデータセンターへの高信頼性接続です。
アプリケーション・サポート	<ul style="list-style-type: none"> ● 大半のアプリケーションは外部のサードパーティ・プロバイダーにアウトソーシングされ、プロバイダーは患者記録の保守、調達、請求、バックオフィス・システムなどに利用される幅広いヘルスケア管理システムをホスティングしています。 いずれも帯域要件は異なりますが(それぞれ100Mb/s未満)、高い信頼性とセキュリティが求められます。 ● 内部の人事/トレーニング・ネットワークは、診療所と病院間で日中に多用されるビデオの要件に対応できなければなりません。 ● 運営/バックオフィスには、セキュアなインフラストラクチャが必要です(ファイル交換、内部レポートなど)。

要件	詳細
セキュリティ	<ul style="list-style-type: none"> ● 他の医療機関と同様に、患者データのセキュリティは優先度の高い事項です。主な考慮点には次があります。 <ul style="list-style-type: none"> ○ 財務/ユーザーのデータや資産の損失/盗難 ○ 法令順守 ○ パートナー企業（診断ラボ、保険会社など）とのデータ交換 ○ 意図的または偶発的なデータ・アクセス中断
潜在的な成長	<ul style="list-style-type: none"> ● 人口が集中する2か所の地域ではある程度の成長がありますが、郊外のサービスエリアでは成長は横ばいです。

表4: BioEtherの要件

BioEtherの重要な要件には2項目があり、それらは診療所と病院間での信頼できる高パフォーマンス・アクセスと、クラウド・サービス・プロバイダーが保存している患者の診療データのデータ・セキュリティです。病院までの信頼できる接続は極めて重要と言えます。そのような接続を確立できないと、専門医が救命診療のために数時間かけて移動する必要が生じるからです。

アプリケーションのホスティングやサポートをアウトソーシングする状況からも判るように、IT部門は手薄なので複雑なネットワーク環境を管理する能力には限界があります。このため、通信事業者のマネージド・サービスに大きな関心が寄せられています。

地方特有の接続要件を考えると、サービス可用性に関する前述の前提は必ずしも実用的でなく、サービスエリアの異なる部分で複数の事業者と契約して望ましい接続を確保する必要があるとも考えられます。BioEtherは、診療所の状況によっては、レガシーのTDMベース・サービスをDSLベースやHFCベースのサービスとともに利用する必要があるかもしれません。

表5には、バイヤーの考慮事項が示されています。

バイヤーの考慮事項	重要度 (1~5、低~高)	推奨の根拠
帯域幅	5	<ul style="list-style-type: none"> 診療所と病院間でのビデオ交換は、質の高い医療を提供する上で欠かせません。このため、このリンクはおおよそ100Mb/sの帯域幅に対応する必要があります。 診療所が病院との間で大容量の画像/スキャン・データを高速に(数時間でなく数秒の速さで)交換できることが重要になります。これらのファイルは数GBのサイズになる場合もあるので、1Gb/sの容量が推奨されます。

バイヤーの 考慮事項	重要度 (1~5、低~高)	推奨の根拠
帯域幅	5	<ul style="list-style-type: none"> • 病院とクラウド・サービス・プロバイダーのデータセンター間の接続にはそれほど広帯域は必要ありませんが、診療所が同じリンクによって(病院経由で)アクセスを行うことを考慮する必要があります。
パフォーマンス/QoS	3	<ul style="list-style-type: none"> • 診療所の接続にはマルチサービス(トレーニング/診療用の高解像度ビデオからユニファイド・コミュニケーションやベストエフォートのインターネット・アクセスに及ぶ)のサポートが必要になります。個別のトラフィック・タイプに対するマルチQoSサポート(セキュリティ)が必要になります。 • レイテンシーはビデオやスキャン/画像データの交換で重要になります。
信頼性	5	<ul style="list-style-type: none"> • 病院との接続は救命の重要な要素になるので、デュアル接続(1对各病院)を考慮する必要があります。 • ホスティングされたアプリケーションの重要度はそれほど高くありませんが、病院システム全体が機能するために重要な要素です。

表5: バイヤーの主な考慮事項(次ページに続く)

バイヤーの考慮事項	重要度 (1~5、低~高)	推奨の根拠
伝送距離/可用性	4	<ul style="list-style-type: none"> サービスはすべての物理ロケーションで必要です。地方のサービスエリアの特性を考慮すると、診療所は利用可能なあらゆる物理接続を利用する必要があります。他の例のように、ファイバーまたはワイヤレスのラスト・ワンマイルのアクセスが推奨されます。
セキュリティ、ガバナンス、法令順守	5	<ul style="list-style-type: none"> 法令順守は、あらゆるヘルスケア・アプリケーションで主要な考慮事項です。 外部からの侵入/中断に対するデータ・セキュリティと保護は非常に重要です。
コスト	3	<ul style="list-style-type: none"> コストは常に検討課題ですが、BioEtherにはパフォーマンスと信頼性をより重視する傾向があります。
運用の容易さ	5	<ul style="list-style-type: none"> ITリソースの制約から、同組織はホスティングやネットワーク機能の多くをなるべくアウトソーシングしようとしています。

表5: バイヤーの主な考慮事項

BioEtherヘルスケアは、複数のCEサービス・オプションから最適なものを自由に選択できます。1つのアプローチはEVPLサービスを活用し、ハブアンドスポークのトポロジィで各診療所から両方の病院にマルチQoSのアプリケーション・マッピングを行う方法です（なお、ネットワーク事業者はリングベースのトポロジィを（利用可能であれば）活用してこの冗長接続を提供できますが、クライアントに対してほぼ透過的な実装方法になります）。100Mb/sのCIRと1Gb/sのEIRは、前述の大容量ファイル交換を含む各種のアプリケーションに対応する上で十分と考えられます（図11）。

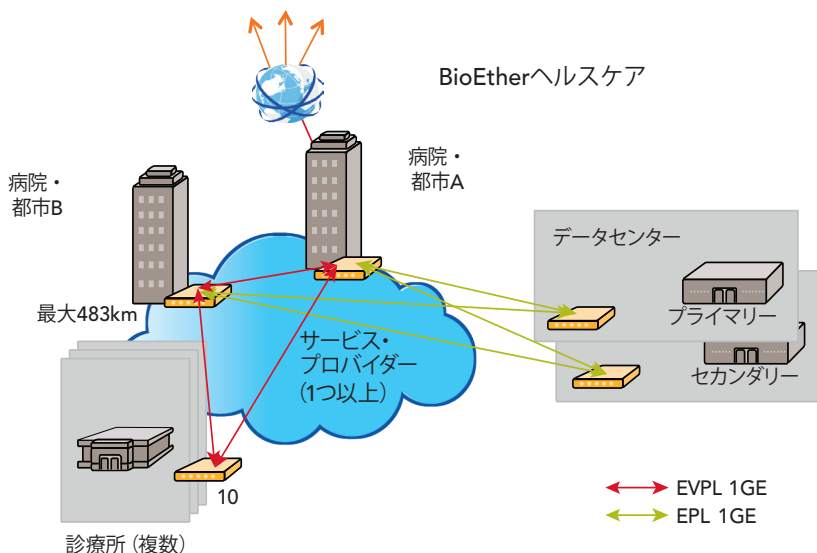


図11: BioEtherヘルスケアの推奨されるソリューション

または、E-Treeサービスは診療所と病院間の通信で実行可能な代替方法になり得ますが、1社のネットワーク事業者がすべて(または大半)の診療所にサービスを提供する必要があるでしょう。この方法が実行可能かどうかは、事業者のサービスエリアによって左右されます。E-TreeとE-Accessサービスの組み合わせ(E-NNIインターフェイスをまたいで2社の事業者でラスト・ワンマイル接続に対応)が可能な場合もありますが、やはりサービスエリアに応じます。コストとサービス可用性を詳細に検討すると、おそらくこの選択になります。

比較的低いレベルのQoSサービス・タイプの場合(インターネット・アクセス、一部のホスティングされたアプリケーション)、個別の診療所をインターネットまたはクラウドでホスティングされたアプリケーションに直接接続すれば(診療所をメインの病院を通じてルーティングするより)費用対効果が高くなります。この選択肢はコスト効率に優れていますが、病院への単一接続によって日常的に管理する方が簡単です。

病院とクラウド・サービス・プロバイダーのロケーションとの接続は、病院と診療所の両方で日常的な運用に欠かせない重要なリンクになります。このため、完全に保護されたデュアル1Gb/s(おそらくLACPまたはリングベースのG.8032経由)が推奨されます。特に言及されていませんが、2つの病院間の接続も重要と考えられ、この場合マルチQoSをサポートする約1Gb/sのEVPLが妥当な手法です(図10)。

Ether州立大学:拡大するマルチサイトの教育機関

Ether州立大学は、主要都市全体にキャンパスが分散する大学システムとして成長しています。4つのサテライト施設(1棟または2棟の建物があ、20名ほどの職員が数百名の学生に対応)と1つの大規模なキャンパス(数十棟の建物があ、数百名の職員が数千名の学生に対応)には、州全体に及ぶ大学の教育/研究コンソーシアムへの接続が必要です(図12参照)。

クラウドでホスティングされるアプリケーションには各種インフラストラクチャ・システム(職員/学生の記録、入学手続き、財務、調達、研究用のデータベース、職員ファイルのストレージ、アプリケーション・ホスティングなど)が含まれます。各種の高性能コンピューティング・プロジェクトは、近隣都市にある大学システムの大規模なスーパーコンピューター・ラボラトリーを経由してアクセスされます。

サテライト拠点とメイン・キャンパス間でのビデオ講習は、日中と夜間の両プログラムで拡大しつつある分野です。学生はローカル・サテライト施設の1つでメイン・キャンパスからライブで配信される授業を受講するか、クラウドでホスティングされる学習ソリューションからタイム・ディレイ方式でストリーミングして聴講することもできます。

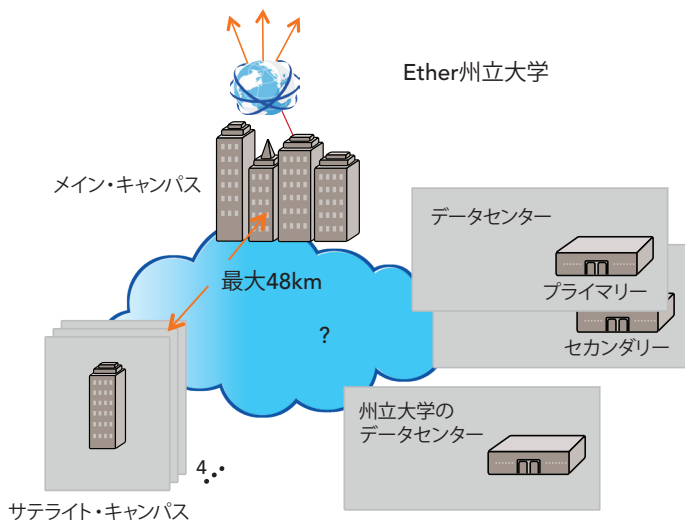


図12: Ether州立大学の状況分析

教室、図書館、ラボなどの学習エリアから学生がインターネットにアクセスし、デバイス(その多くがモバイル機器)を使用してファイル共有やビデオ・アプリケーションを実行する機会が増えているため、現在のインフラストラクチャに対する要求が高まっています。これらはキャンパス全体のWiFiインフラストラクチャでサポートされています。

表6には、Ether州立大学の要件がまとめられています。

要件	詳細
物理アクセス/ロケーション	<ul style="list-style-type: none"> ● 1つの広大なキャンパス環境が、複数の建物、ラボ、図書館、さらに大規模なWiFiベースのアクセス・インフラストラクチャをサポートします。数百名の職員と数千名の学生が、日常的にシステムを利用します。 ● 4か所のサテライト教育センターでは、遠隔地の全日制と定時制の学生に授業を実施します。すべてのサテライトはメイン・キャンパスから48km以内にあり、それぞれが数名ほどのローカルの管理職員と派遣教員をサポートしますが、ほとんどの講習はメイン・キャンパスからリモートで行われます。このような講習は多くの場合メイン・キャンパスから複数のサテライト施設にブロードキャストされます。サテライト同士に接続が必要になるのはごく稀です。 ● 近隣都市にある大学のデータセンター(160km以内)への信頼性の高い接続は優先的に扱われます。これは研究プロジェクトが広帯域、低遅延の接続を必要とする傾向があるからです。この場所は、メイン・キャンパスとサテライトにサービスを提供するネットワーク事業者のサービスエリア外にあります。複数の事業者を利用してエンドツーエンド・サービスを構成する必要があります。

要件	詳細
アプリケーション・サポート	<ul style="list-style-type: none"> ● 遠距離学習は、メイン・キャンパスとサテライト・キャンパス間の接続を必要とする主要なアプリケーションです。大学ではライブとオンデマンド両方の講習を実施しており、講習は遠距離学習を専門とするサードパーティが運営するパブリック・クラウドのデータセンターに保存されます。 ● ほとんどのアプリケーションもサードパーティのプロバイダーにアウトソーシングしており、プロバイダーは各種の学生記録、電子メール、VoIP、大学の管理機能、一般的なファイル保存、サーバーなどをホスティングします。学生や教職員のモバイル機器によるインターネット・アクセス需要の増大にともない、大学ネットワークの負荷も高まっています。
セキュリティ	<ul style="list-style-type: none"> ● 一部のアプリケーションでは、セキュアなデータ処理が重要になります。主な考慮点には次があります。 <ul style="list-style-type: none"> ○ 学生のデータや資産の損失/盗難 ○ 悪意の有無に関わらず、大学のインフラストラクチャにハッキングする試み ○ 意図的または偶発的なデータ・アクセス中断
潜在的な成長	<ul style="list-style-type: none"> ● 大学は現在の地域とそれ以外の地域でプログラムを常に拡大しています（提唱される国際的なサテライト・キャンパスを含む）。

表6: Ether州立大学に必要な特性

導入の考慮事項:

Ether州立大学の主な要件は、遠距離学習アプリケーションの効率的なビデオ配信と、研究プロジェクト関連のデータセンターへの信頼できる接続です。遠距離学習はライブまたはタイム・ディレイ方式で実施されます。

大学のIT部門は十分な規模ですが、そのほとんどの対応が、各種キャンパスの物理インフラストラクチャの保守と、学生、教職員、管理、研究スタッフの日常のさまざまな要件に向けられています。大学は、サービス管理をアウトソーシングして、IT予算を低く抑え、予測可能な支出額にしたいと考えています。[注:このようなネットワークでは「自前で構築」するアプローチの検討も選択できましたが、ここでは、「ネットワークをアウトソーシングする」アプローチを選択します。いずれもCEで選択でき実現可能です。]

イーサネット・サービスは、大都市圏全体とそれ以外の地域にわたって複数のプロバイダーから提供されます。表7には、バイヤーの考慮事項が示されています。

バイヤーの考慮事項	重要度 (1~5、低~高)	推奨の根拠
帯域幅	4	<ul style="list-style-type: none">• サテライトとメイン・キャンパス間のビデオ交換は、遠距離学習を実施する上で重要です。このリンクは、ライブの双方向対話と一方向のビデオ・ストリーミング伝送に対応していなければなりません。このため、このリンクは約100Mb/sの帯域幅に対応する必要があります。• メイン・キャンパスと州立大学のシステム・データセンターとの帯域幅は研究のために重要であり、10Gb/sの接続性が要求されます。• 学生と職員のインターネット・アクセス要求の増大にともない、1Gb/s以上のトラフィックへの対応が必要になります。

バイヤーの 考慮事項	重要度 (1~5、低~高)	推奨の根拠
パフォーマンス/ QoS	3	<ul style="list-style-type: none"> • 個別のトラフィック・タイプに対するマルチQoSサポートは、講習ビデオ・アプリケーションの品質を最大限に高めるために重要と考えられます(例えばインターネットからビデオをストリーミング聴講する学生と比較した場合など)。 • 帯域幅とレイテンシーは、州立大学のシステム・データセンターでホスティングされる遠距離学習ビデオ・アプリケーションと研究アプリケーションの両方に重要です。
信頼性	3	<ul style="list-style-type: none"> • 遠距離学習や大学のアプリケーションへのアクセスが中断すると不便であり、その結果ユーザーの不満が高まります。 • 研究アプリケーションの通信における中断は、大学と州全体の大学システムの両方に大きな損失となります。
伝送距離/可 用性	2	<ul style="list-style-type: none"> • さまざまなプロバイダーにより大都市圏のサービスエリアが十分にサポートされていれば、伝送距離や可用性は問題にならないはずです。
セキュリティ、ガ バナンス、法令 順守	4	<ul style="list-style-type: none"> • 外部からの侵入/中断に対するデータ・セキュリティと保護は重要です。

バイヤーの考慮事項	重要度 (1~5、低~高)	推奨の根拠
コスト	3	<ul style="list-style-type: none"> 大学は、クラウドベースのアプリケーションを可能な限りアウトソーシングしたいと考えています。
運用の容易さ	3	<ul style="list-style-type: none"> 大学の管理部門は、選択できる限り、なるべく多くのホスティングとネットワーク機能アウトソーシングしようとしています。

表7: バイヤーの主な考慮事項

選択されたソリューション: 関連するサイトの数が少なくアプリケーションの柔軟性が必要なことから、ここではポートベースのE-LANソリューションが適すると考えられます。おそらく州立大学のデータセンターは個別のEPL、EVPL、またはE-LAN接続によってサービス・プロバイダーのデータセンターに接続されるので、クラウド・データセンターはコンテンツ入出力のファイアウォールとしても機能します。IT部門は手間のかかる業務のアウトソーシングに積極的なので、プロバイダーは暗号化、ファイアウォール、WAN最適化などを含むNetwork-as-a-Serviceソリューションも提供できます。

将来を見据えてこのネットワークを設計するのが賢明でしょう。学生が生成するWiFiやモバイルベースのビデオ・コンテンツなどはネットワークのライフサイクル内に増大することが予想されます。(学生が生成する負荷とは別に)学内のトラフィックに対応するため、個別のQoSが適用されたGE接続を使用する必要があります。このソリューションでは、サテライト・キャンパスごとに個別の1GEサービスが導入されます。州立大学のデータセンターでも、格納するアプリケーション・データは増大することが予想されます。これらのデータは大学内の研究部門にとって極めて重要なので、多様な部門間での共有を考慮して10GEリンクが推奨されます(図13参照)。

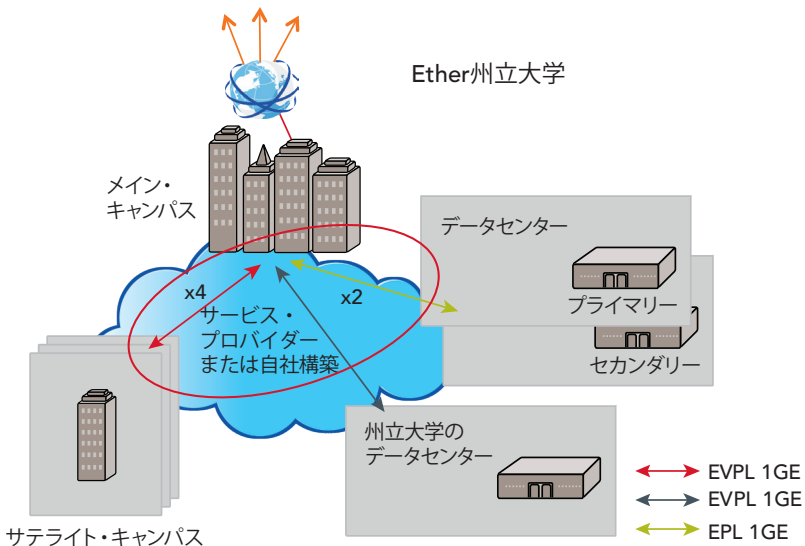


図13: Ether州立大学の推奨されるソリューション

プロバイダーにリングベースのソリューション(プロバイダーの物理的なインフラストラクチャやトポロジーに依存)があれば、障害時の迅速なレストレーションやファイバー容量をさまざまなサイト同士で動的に共有できるという点で、G.8032 共有ソリューションが大きなメリットをもたらします。エンタープライズはこのような実装方法を重視しないかもしれませんが、インフラストラクチャとトポロジーの各タイプの柔軟性の例としてあげられます。

キャリア・イーサネットの将来

すでに、IEEEはデータセンター、エンタープライズ、ネットワーク事業者環境のニーズをサポートする将来のデータ・レートに取り組んでいます。ビデオベースやクラウド・ホスティングによるアプリケーションの利用が増え続けており、それらのアプリケーションのサポートを求める市場ニーズに促されるデータ・レートの向上がIEEEのロードマップに含まれています。図14は、イーサネット・アライアンス(IEEE標準化作業の主なサポーター)が想定する展望が示されています。複数の「従来とは異なる」レートが想定されます(従来のEthernetのように10倍でない)。これらは特定のシナリオとコスト・ポイントを対象としており、データセンターやエンタープライズのシナリオでの利用の増加により加速されます。

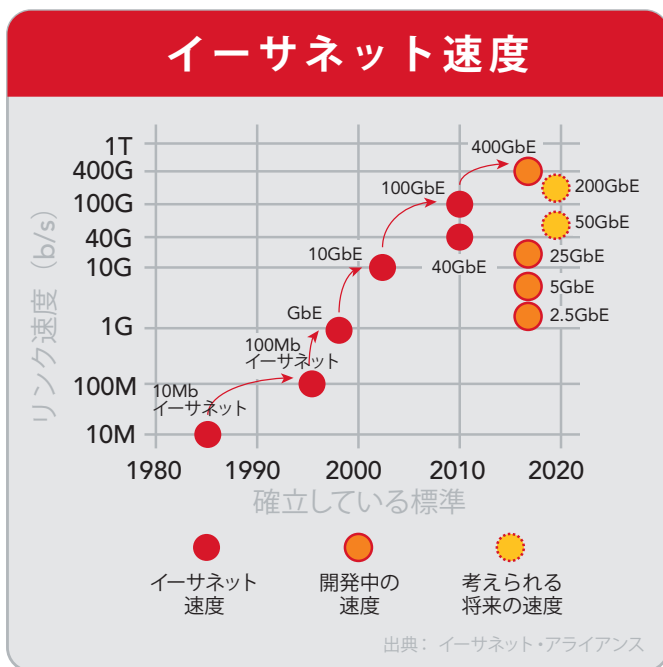


図14: イーサネット・アライアンスから見たイーサネット・ロードマップ

関連のイーサネット開発

本書ではCEの発展に絞って解説しましたが、重要な点として、イーサネットは音声ビデオから産業、軍事アプリケーションまで多様な分野を対象に進化していることがあげられます。多くの場合これらのアプリケーションにはプロトコルの変更は含まれませんが、ベースとなる標準により提供される基本的なネットワーク接続以外に、特定の機能が加わります。エンタープライズやサービス・プロバイダーには、2つのイーサネット拡張機能である、厳密なタイミング配信とPower over Ethernetがとくに有用です。

厳密なタイミング配信

2Gから3Gモバイル・ネットワークへの移行に始まり、CEは基地局を携帯電話交換局に接続するための普及が進む発展性のあるアプローチになりました。以前のバックホール・テクノロジーは接続と厳密なタイミング基準の両方を基地局にも提供し、基地局はその情報を使用して基地局間の通話ハンドオフや通話間のスペクトル調整などの主要な機能を同期しました。例えば、SONET/SDHは過去に広

く普及したバックホール・テクノロジーでした。その理由はSONET/SDHは同期プロトコルであり、非常に適切なタイミング情報を基地局に渡し、基地局の同期を行っていたからです。

しかしバックホールのイーサネット(非同期パケット・テクノロジー)への移行にともない、同期情報は他の方法で配布される必要が生じました。一部の地域ではGPS装置が使用されましたが、コストがかかるため、ネットワーク事業者は他の方法を模索していました。同期イーサネット(SyncE)は国際電気通信連合の電気通信標準化局(ITU-T)のプロトコルで、イーサネットの物理レイヤーのクロッキングを使用して周波数同期を可能にします。位相とTime-of-Dayが必要になるより新しい4Gネットワークでは、Precision Timing Protocol(IEEE 1588v2)を使用できます。実際、アプリケーションとネットワーク事業者の好みによっては、GPS、SyncE、1588v2の組み合わせが採用されることは珍しくありません。

Power over Ethernet

イーサネット・ケーブルを使用して周辺機器(プリンター、スキャナーなど)に電力を供給する方法は消費者環境で始まりましたが、エンタープライズ/キャリア・ネットワークでもすぐに採用されました。電力とデータが同じケーブルで伝送されるので、カメラ、無線機などに類する機器の(高額な)専用電源が不要になります。一般にPoE+と呼ばれるIEEE 802.3atでは、最大25Wの電力を100mの距離まで供給します。

Software-Defined Networks(SDN)とネットワーク機能仮想化(Network Functions Virtualization, NFV)

SDNの登場を契機に、特にデータセンターの分野でネットワークの運用方法が再考されました。ネットワーク事業者が提唱したのは、ネットワークをより効率的な費用対効果の高い方法で運用するための、新しい集中制御メカニズム(以前はSTPなどの分散コントロール・プレーンで実行された方法)です。OpenFlowなどのプロトコルでは、これらの集中的なアルゴリズムによって最適と見なされるアルゴリズムに基づいて、ルーターやスイッチ内の転送テーブルをプログラムできます。NETCONFインターフェイス・プロトコルとの組み合わせで使用されるYANGなどのモデリング言語により、ネットワーク内のハードウェアやソフトウェア・エンティティへのオープンなインターフェイスを作成できるので、アプリケーションはそれらを直ぐに監視および/または制御できます。これにより、今後数年で市場を変革する可能性を秘めた革新的なレベルにネットワークを進化させることができます。

またNFVの概念では、以前の「アプライアンス」ベースのアプリケーション（ルーター、ファイアウォール、ロードバランサーなど）をソフトウェアで（または「仮想的に」）実装しデータセンターに導入できるので、ハードウェアのコストや関連の導入コスト、継続的な保守コストを節約できます。企業と通信事業者の両者が、経費節約だけでなく、近い将来にかつてないレベルの革新を実現するためにSDNとNFVを活用しようとしています。

用語集/略語

ATM:	Asynchronous Transfer Mode = 非同期転送モード
b/s:	ビット/秒
CE:	Carrier Ethernet = キャリア・イーサネット
CEN:	Carrier Ethernet Network = キャリア・イーサネット・ネットワーク。MEF サービスをサポートするネットワーク
CCM:	Continuity Check Message = 接続性確認メッセージ
CIR:	Committed Information Rate = 認定情報レート
CoS:	Class of Service = クラス・オブ・サービス
CRC:	Cyclical Redundancy Check = 巡回冗長チェック
CSMA/CD:	Carrier sense, multiple access/collision detection = 搬送波感知多重アクセス/衝突検出
DA:	Destination Address = 送信先アドレス
DEI:	Discard Eligibility Indicator = 廃棄可能表示
EIR:	Excess Information Rate = 超過情報レート
EVPL:	Ethernet Virtual Private Line service = イーサネット・バーチャル・プライベートライン・サービス
EMS:	Element Management System = エレメント管理システム
ENNI:	External Network-to-Network Interface = 外部ネットワーク間インターフェイス
EPL:	Ethernet Private Line = イーサネット専用線
EVC:	Ethernet Virtual Connection = イーサネット仮想接続
FC:	Fibre Channel = ファイバーチャネル
FDV:	Frame Delay Variation = フレーム遅延変動(いわゆる「ジッター」)
FIB:	Forwarding Information Base = 転送情報ベース
FLR:	Frame Loss Ratio = フレーム損失率
G.709:	オプティカル・トランスポート・ネットワーク用インターフェイスのITU-T 推奨仕様
GbE:	Gigabit Ethernet = ギガビット・イーサネット(10GbE = 10ギガビット・イーサネット、100GbE = 100ギガビット・イーサネット)
Gb/s:	ギガビット/秒
GFP:	Generic Framing Procedure = 汎用フレーミング手順
IEEE:	Institute of Electrical and Electronics Engineers = (米国)電気電子技術者協会
IETF:	Internet Engineering Task Force = インターネット技術タスクフォース
IP:	Internet Protocol = インターネット・プロトコル
ITU-T:	International Telecommunications Union – Telecommunication Standardization Bureau = 国際電気通信連合 – 電気通信標準化局
LACP:	Link Aggregation Protocol = リンク・アグリゲーション・プロトコル
LAN:	Local Area Network = ローカル・エリア・ネットワーク
LBM:	Loopback Message = ループバック・メッセージ
LSP:	Label Switched Path = ラベル・スイッチド・パス
LTM:	Linked Trace Message = リンク・トレース・メッセージ

MAC:	Media Access Control = メディア・アクセス制御
MAN:	Metropolitan Area Network = 都市圏ネットワーク
Mb/s:	Megabits per second = メガビット/秒
MEF:	以前の「Metro Ethernet Forum = メトロ・イーサネット・フォーラム」。現在は単に「MEF」と呼ばれ、キャリア・イーサネットのトレンドを生み、サービス仕様を策定した組織。
MPLS:	Multi-Protocol Label Switching = マルチプロトコル・ラベル・スイッチング
NFV:	Network Functions Virtualization = ネットワーク機能仮想化
NMS:	Network Management System = ネットワーク管理システム
OAM:	Operations, Administration, and Maintenance = 運用・管理・保守
OC-n:	Optical Carrier Level n = 光キャリア・レベルn (1、3、12、48、192、768)
ODU:	Optical Data Unit = オプティカル・データ・ユニット
事業者:	キャリア・イーサネット・ネットワークを運用する事業体。
ODU:	Optical Data Unit = オプティカル・データ・ユニット
OTN:	Optical Transport Networking = オプティカル・トランスポート・ネットワークング (G.709参照)
OVC:	Operator Virtual Connection = 通信事業者仮想接続
P2P:	Point-to-Point = ポイントツーポイント
PBB:	Provider Backbone Bridging = プロバイダー・バックボーン・ブリッジ
PCP:	Priority Code Point = プライオリティ・コード・ポイント
PDU:	Protocol Data Unit = プロトコル・データ・ユニット
PHY:	Physical = 物理
QoS:	Quality of service = サービス品質
RFC:	Request for Comment = コメント要求。IETFによる標準認定。
RFP:	Request for Proposal = 提案依頼書
SA:	Source Address = 送信元アドレス
SDH:	Synchronous Digital Hierarchy = 同期デジタル階層
SDN:	Software-Defined Network
サービス	
プロバイダー:	エンドツーエンドのサービスをエンドユーザーに提供。ネットワーク事業者に限定されない。
SLA:	Service-Level Agreement = サービス・レベル・アグリーメント
SONET:	Synchronous Optical Network = 同期光ネットワーク
STP:	Spanning Tree Protocol = スパニング・ツリー・プロトコル
Tb/s:	Terabits per second = テラビット/秒
TDM:	Time-Division Multiplexing = 時分割多重化
TWAMP:	Two Way Active Measurement Protocol = 双方向アクティブ測定プロトコル
UNI:	User Network Interface = ユーザー・ネットワーク・インターフェイス
VLAN:	Virtual Local Area Network = 仮想LAN
VoIP:	Voice over IP = ボイス・オーバーIP
WAN:	Wide Area Network = ワイド・エリア・ネットワーク



ジョン・ホーキンス (John Hawkins)

製品&テクニカル・マーケティング
担当シニア・アドバイザー

ジョン・ホーキンスはCienaの製品&テクニカル・マーケティング担当シニア・アドバイザーとして、Cienaのパケット・ネットワーク製品ラインをサポートしています。2009年にCienaに入社後、事業開発や製品管理部門に在籍しました。またパケット・スイッチ・モジュールのCiena E-Suiteシリーズの事業開発と販促の責任者も務めました。ネットワーク業界の会議や標準開発に積極的に参加し、現在MEFの認定委員会の共同議長を務めています。

Cienaに入社する前は、Nortel社でキャリア・イーサネット製品管理の責任者を務めました。担当したプロジェクトには、Nortelの光イーサネット・ポートフォリオにおける数々の革新的なテクノロジー・ビルディング・ブロックがあります。GE社でIC設計者としてキャリアを開始し、後に航空機部門で製品マネージャーを務めました。

25年を超える技術分野での経験を活かしてMEFへ数多くの貢献を行い、業界のコメンテーターとしても活躍しています。ノースカロライナ州立大学で電気工学の理学士(BSEE)、南メソジスト大学で電気通信の科学修士、デューク大学でMBAを取得しています。



「キャリア・イーサネットは、エンタープライズ、官公庁、ネットワーク事業者、サービス・プロバイダーがネットワークを構築する方法を根本的に変えました。このガイドは、テクノロジーとしてのキャリア・イーサネットだけでなく、業界でこの技術が今までどれほど発展し最終的にどこへ向かうかについての優れた入門書となっています。」

ナン・チェン (Nan Chen)

MEFプレジデント

ビジネスのクラウド・サービスへの依存が高まるのにもない、ネットワークはエンタープライズの重要な基軸になり、データセンターへのアクセスにおけるパブリックなインターネットへの依存はハイブリッド（パブリックとプライベート）インフラストラクチャに置き換わりました。増え続ける帯域への需要が衰えることなく拡大すると予想される中で、この傾向が下火になる気配はありません。

同時に、イーサネットはこれらの差し迫ったネットワーク要件に対応するように進化しました。2000年代初めに、イーサネット・プロトコルをローカル・エリア・ネットワークからワイド・エリア・ネットワーク接続用に拡張する自然の流れとして、キャリア・イーサネット（CE）が登場しました。キャリア・イーサネットは現在、モバイル・バックホール、ビジネス/データセンター相互接続サービスなどのネットワーク・サービスに欠かせない機能となっており、イーサネット・アクセスをエンドユーザー顧客に提供するあらゆるタイプのネットワーク事業者が多機能ソリューションとして活用しています。

本書では、このコア・ネットワーク・テクノロジーをより深く理解したい読者を対象に、キャリア・イーサネットの入門レベルの概要、さらに将来のCE拡張を左右するSDNやNFVなどの高度な機能に対する洞察を解説しています。

