

次世代ネットワークを支える ネットワーク基盤技術

かさはら ひでき^{†1} にしきど じゅん^{†2}
笠原 英樹 / 錦戸 淳

おだ かずひろ^{†2} おおにし くひろ^{†1}
織田 一弘 / 大西 邦宏

かじやま よしお^{†3}
梶山 義夫

^{†1} NTTサービスインテグレーション基盤研究所

^{†2} NTTネットワークサービスシステム研究所

^{†3} NTTアクセスサービスシステム研究所

次世代ネットワーク（NGN）への適用を目指して研究開発に取り組んでいるネットワーク基盤技術として、転送系・リンク系技術、サーバ基盤技術、エンド・ツー・エンド品質制御技術、およびイーサ系技術について紹介します。

ネットワーク基盤技術の概要

NTTは、従来から培ってきた固定電話網が持つ高品質、信頼性および安定性などの特長と、IPネットワークが持つ多様なサービスへの対応、経済性などの特長を合わせ持つ、次世代ネットワークの実現に取り組んでいます。その構成としては、技術革新やサービスの高度化・多様化に対応できるようレイヤ構造モデルを採用するとともに、次世代ネットワークの標準仕様に適合したアーキテクチャとすることを想定しています。また、さまざまなプレイヤーが多彩なアプリケーションサービスを提供し、さらに他社IPネットワーク等との相互接続性を確保したオープンなネットワークとするためのインタフェースを規定することを目指しています。本稿では、この次世代ネットワークへの適用を目指して、研究所が技術確立に取り組んでいるネットワーク基盤技術を紹介します。

図1は、研究所が取り組んでいるネットワーク基盤技術の全体像を示したものです。ネットワークは、コアネットワーク層とサービス制御層から構成されており、インタフェースとしては、

光アクセスとお客さま端末との間のUNI（User-Network Interface）、他網との間のNNI（Network-Network Interface）、そして、アプリケーションサーバ群とのインタフェースとしてのSNI（Application Server-Network Interface）の3つが想定されています。他網としては、電話網やISPだけでなく、他の次世代ネットワークとのIPベースでの接続も想定しています。

コアネットワーク層の基盤技術とし

ては、光アクセス、サービスエッジ、イーサエッジ、大容量ルータ、他網との接続用ゲートウェイ群、および各種リンクシステムなどの技術に取り組んでおり、サービス制御層については、セッション制御サーバなどのサーバ系の技術に取り組んでいます。

転送系技術

次世代ネットワークの転送系ネットワークは、光アクセスを利用したブ

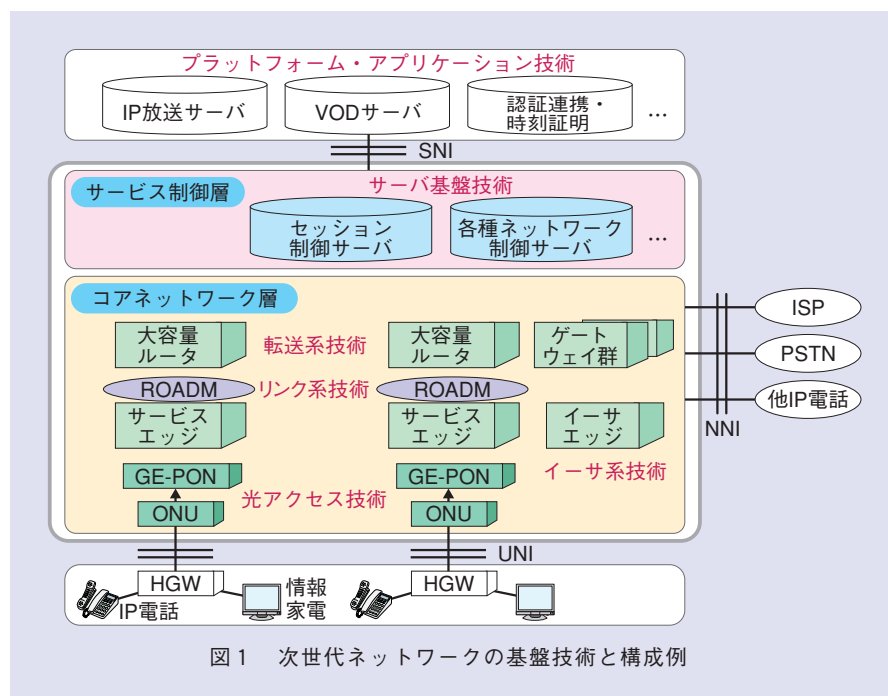


図1 次世代ネットワークの基盤技術と構成例

ロードバンドユーザが数千万加入規模となることを見据えた拡張性、さまざまなアプリケーションサービスをそれぞれの要求品質で提供するための品質制御機能、不正アクセス等を抑止する高いセキュリティが求められるため、次のような技術が重要になると考えています。

① 大規模ネットワークを考慮した階層化によるシンプルなネットワーク構成と、IPv4/v6デュアル体系を具備した拡張性のあるルーチングデザイン

② ネットワーク帯域をセッション単位に管理し、必要な都度リソース割当を行うことによる通信品質制御機能の実現

③ 事業者間接続のためのトポロジ隠蔽機能の実現

転送系ネットワークの主な構成要素としては、大容量コアルータとサービスエッジからなる階層化構成を検討しています。

大容量コアルータについては、今後大量のブロードバンドトラフィックに対応するため、装置内が冗長化されたTbit/s級のものとなると想定されます。この大容量コアルータを、ネットワークとしても冗長化して信頼性を向上させることで、シンプルかつ高信頼な網構成を最小限の階梯で実現する設計法を検討しています。ルーチングについては、IPv4とIPv6で同一の論理構成とルーチング方式をとるデュアル体系を具備し、IPv6の普及を見越した拡張性のあるルーチングデザインを検討しています。また、大規模かつ高信頼なIP放送サービスの実現に向けて、2ルート化によるネットワーク的な冗長化を行い信頼性を向上させる等マルチキャストルーチング方式を検討しています。これにより、増え続けるトラヒッ

クを効率的に収容し、設備コストと運用コストの削減と、大規模ネットワークへの拡張性の両立を目指しています。

さらに、次世代ネットワークではさまざまな要求の通信サービスに対応するため、複数の品質クラスを提供することを想定しており、DiffservなどのIPパケットの転送優先制御を利用する方式を検討しています。品質クラスを規定することにより、パケットロスや遅延時間、遅延ゆらぎ時間に対して要求の厳しいトラフィックを効率的に扱えるようになります。

サービスエッジでは、ネットワークに流入するパケットを、それぞれの通信に応じた通信品質クラスに分類したうえで、通信品質クラスの優先度に応じたパケット転送制御を行いながらネットワーク内に転送します。また、優先度の高い通信品質クラスへの不正アクセスや、想定以上の呼ごとのトラフィックはブロックされます。なお、この通信ごとの通信品質クラスや想定トラフィックについては、各通信品質クラスのトラフィックを管理するセッション制御サーバからサービスエッジに伝えられることを想定しています。このサービスエッジとセッション制御サーバとの連携によるネットワークとしてのエンド・ツー・エンド品質制御の方式については、後述します。なお、他網接続ゲートウェイにも同様の通信品質制御機能を備えることを検討しています。

サービスエッジの不正アクセス対策や他網接続ゲートウェイのトポロジ隠蔽の機能などは、次世代ネットワークのセキュリティ確保にも役立つと考えています。

今後は、さらなる高信頼化、ネットワークの効率化を目指した高速故障復旧技術やトラフィックエンジニアリング技術の適用を検討していきます。

リンク系技術

前述の大容量コアルータやサービスエッジなどを組み合わせて、大規模な次世代ネットワークを実現するためには、これらを結ぶための基幹系光ネットワークの大容量化が必要になります。特に、分散する多数のノードを少対の光ファイバで効率よく接続するような領域では、伝送路トポロジとしては通常リング形が適用されているため、今後の次世代ネットワークのトラフィック需要に対応していくためには大容量で経済的な光リングシステムの開発が必要になると考えています。

このニーズに対応するため、DWDM (Dense Wavelength Division Multiplexing：高密度波長分割多重) 技術により、光ファイバに数十波もの波長を多重可能な大容量光リングシステムであるROADM (Reconfigurable Optical Add/Drop Multiplexer：再構成可能な光アドドロップマルチプレクサ) の開発を行っています。現状では、1つの波長に10 Gbit/sの信号を収容しており、ROADMの総伝送容量としては、サブテラビット（数100 Gbit/s）級システム実現に向けた技術確認が行われており、リング長としては数100 kmに及ぶリング面を構成することが可能です。

ROADMの特長は、小型、高信頼、低損失なROADM光スイッチを内蔵することにより、電気―光変換を行うことなく光信号を波長単位でAdd/Dropすることで、低コスト化を実現している点にあります。

ROADMシステムの構成例を図2に示します。多数のROADMノードがリング状の光ファイバで接続されており、これらのROADMノードがOSS (Operation Support System：運

用支援システム)により監視制御されています。このシステムは、リング内の光パスの一括監視を行うとともに、新たなトラヒック需要が生じた場合に、OSS端末から各ROADMの光スイッチの制御を指示することにより、遠隔からパス開通設定を行うことが可能です。このため、光ファイバの誤抜去・誤接続等による事故の発生防止に大変有効です。このシステムは、複数のリングシステムを一括して監視することもできます。

ROADM光スイッチ部の構成を図3に示します。入力されたWDM信号を

AWG (Arrayed-Waveguide Grating: アレイ導波路回折格子) と呼ばれる合分波器で波長別の光信号に分離した後、それぞれの波長をそのROADMでDropするか、次のROADMに向けてスルーするのか、また、そのROADMで入力された光信号をどの波長に入れて次段のROADMに送るのかを光スイッチの設定により制御します。

今後は、より小型で信頼性に優れた光デバイスの適用性の検討を行いつつ、ROADMのさらなる波長多重度の向上、伝送距離の拡大、OSSの操作性

の向上に取り組んでいきます。

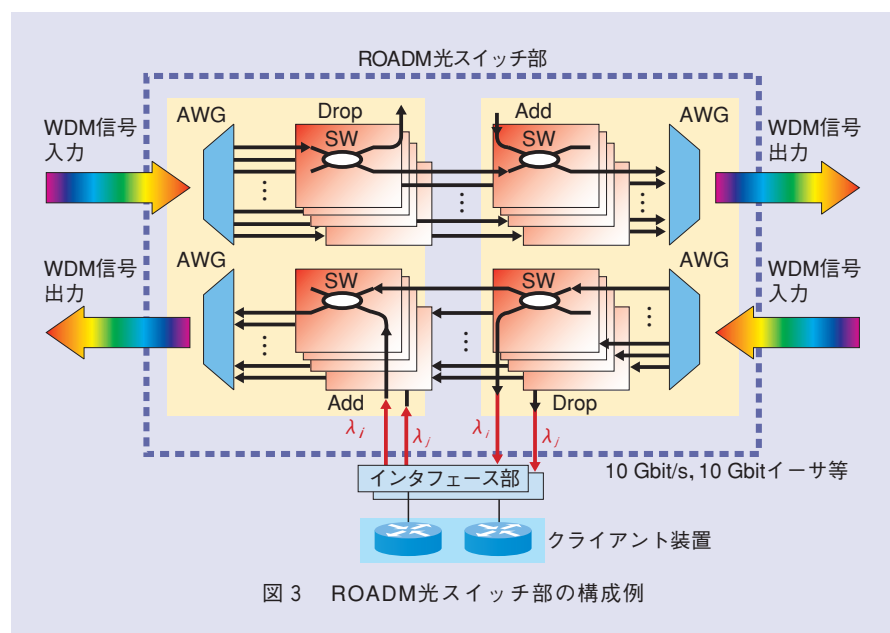
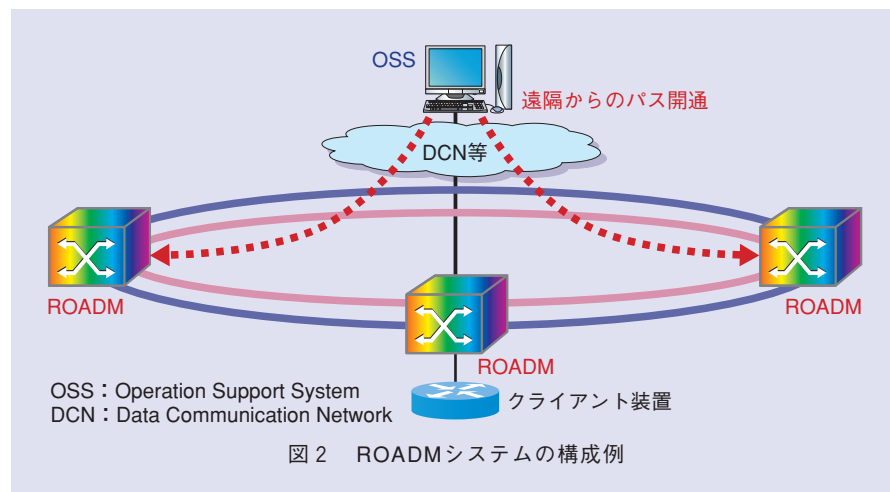
サーバ基盤技術

従来から、ネットワーク内の通信を制御するサーバに対しては、①大規模ネットワークに要求される高い信頼性・可用性、②大幅な設備投資・運用コストの低減、③保守運用機能のさらなる充実、④設備の維持・拡充性の担保、が求められてきました。

次世代ネットワークのセッション制御サーバでは、さまざまなブロードバンドサービスの実現に向けて端末との間の通信制御プロトコル処理が一層、多様化・複雑化する一方で、エンド・ツー・エンド品質制御等の実現のために転送系ネットワーク装置をリアルタイムに制御するなど、ネットワークサービス実現の要としての重要度が益々高まっています。しかも、次世代ネットワークは電話並みの安定性を目指しており、サーバ系システムに対する前述のような処理性能、拡張性、信頼性等に対する要求は非常に厳しいものになってきています。

こうした状況の中で、従来、SIPサーバ等のセッション制御系のサーバにおけるハードウェア、OS、ミドルウェア等のプラットフォームはシステムベンダの独自製品が中心であり、ブラックボックスに起因する供給ベンダ依存性の増大や頻繁な世代交代、安定供給に対する懸念等が課題となっていました。

そこで、次世代ネットワークに向けたセッション制御サーバのプラットフォームについては、前述の要求条件を満足可能なオープンプラットフォームの利用技術の確立に取り組んでいます。具体的には、汎用ハードウェアプラットフォーム技術であるATCA (Advanced Telecommunications Computing Architecture) と、オー



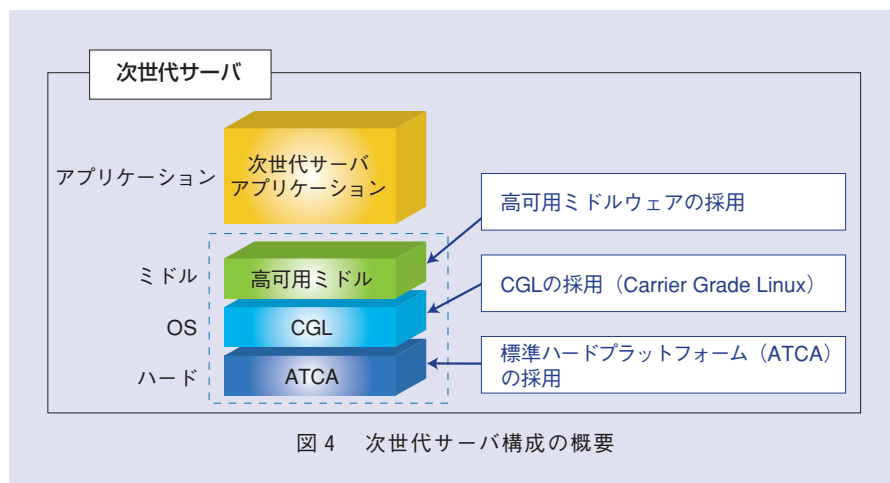


図4 次世代サーバ構成の概要



図5 シェルフの実装例

ペンソースOSであるCGL（Carrier Grade Linux）、および高可用ミドルウェアを適用した次世代サーバプラットフォーム技術の検討を進めています（図4）。

ATCAは、PICMG（PCI Industrial Computer Manufactures Group、主にテレコム向け、コンピュータ向けの高いパフォーマンスを実現するオープンなハードウェア仕様策定のためのコンソーシアム）において規格化された、通信キャリア向けハイパフォーマンスシステムのためのハードウェア標準規格であり、次のメリットを有しています。

- ① グローバルスタンダード仕様に
基づくマルチベンダ供給による価
格低減化、かつ複数ベンダによる
安定した供給体制の構築
- ② 独自機能の実装（モジュールの
追加）等将来的な機能拡張性、
世代間でのボード互換性の向上
- ③ キャリアグレード規格の採用によ
る信頼性や保守・運用性の充実
・電源、FAN等の冗長構成等によ
る高信頼・高可用性の実現
・ブレードごとのHot Swap機能、
前面保守等による保守性の向上
など

ATCA規格に基づくシェルフの実装

例を図5に示します。

一方、CGLは、「Linuxがキャリア環境での使用に耐えうるよう、一般のLinuxにさまざまな機能を付加したOS」であり、オープンソースソフトウェアで構成されています。オープンソースであるために、基本的にライセンスフリーとなり、コスト低減が可能となること、問題発見およびその対処に対し、多くの技術者からのフィードバックにより早期熟成が見込める、などの特長があります。

また、高可用ミドルウェアについては、従来交換機では専用ハードウェアで実現していた系間メモリ同期機能や他系監視機能などをソフトウェアで実現し、さらに、ファイル更新機能やバックアップ機能、再開機能（エスカレーション機能含む）をミドルウェアとして搭載することにより、従来交換機相当の高信頼性と高可用性を実現しています。

これらCGLと高可用ミドルウェアの採用により、通信キャリアに必要な信頼性や可用性、保守運用性等を満たすシステムを目指した検討を進めています。

エンド・ツー・エンド品質制御

次世代ネットワークでは、高品質音

声や高画質映像を利用した双方向（インタラクティブ）通信や、HDTV映像のマルチキャスト配信などのアプリケーションも想定していますが、このような通信に対しては、従来のベストエフォート通信と異なり、通信に必要なネットワークの帯域を割り当てることにより、通信中の転送品質を確保することを考えています。以下では、この通信品質確保の技術概要について述べます。

エンド・ツー・エンド品質制御は、通信に必要なネットワーク帯域を割り付けるための受付制御機能と、通信中のトラフィック監視制御機能の2つの機能から成り立っています（図6）。

通信に必要なネットワーク帯域の割り付け方法としては、通信に必要な帯域を常時固定的に割り付ける静的割り付けと、通信の開始時に、毎回、必要な帯域を割り付ける動的割り当てがあり、通信サービスの利用形態に応じて選択されることになると想定しています。動的割り付け方式では、一時的な混雑などの状況により、通信の開始時に必要なネットワーク帯域が割り付けられない場合は呼損となります。

ネットワークの設計においては、サービスの需要と上述の帯域の割り付け方法を勘案し、特に動的割り付けの通信

サービスにおいては呼損率の品質目標も考慮しながら、ネットワークに必要なリソース設計を行うことになると考えられます。

トラヒック監視制御機能は、帯域が割り当てられた通信に対して、それぞれの通信に対応するパケットの量と品質クラスを監視し、所定の帯域内のトラヒックが正しくネットワーク内に流入するような制御を行います。

以下では、SIPプロトコルを活用したインタラクティブ通信を想定したエンド・ツー・エンド品質制御の動作例を紹介します。SIPを利用しているのは、インタラクティブ通信においては、通信を開始する際の相手端末の呼び出

し、利用するメディア符合化方式選択やネットワーク帯域などについて端末間で情報交換を行うためのプロトコルとしてSIPプロトコルが普及しているためです。

まず、端末は、通信を開始する際に、SIPプロトコルにて、着信先やメディア、必要となるネットワーク帯域などの情報をネットワーク内のセッション制御サーバに伝えます。セッション制御サーバの受付制御機能は、この情報に基づき、ネットワーク内のリソース状況を確認し、端末間に必要なネットワーク帯域を割り付け、端末間でのセッションの確立手順を進めます。また、サービスエッジに対して、受け

付けた通信を識別するための情報や、利用するネットワーク帯域、品質クラスを伝えます。これにより、サービスエッジは以後、この通信に対応するトラフィック監視制御を開始します。通信が終了すると、セッション制御サーバがサービスエッジを制御し、この通信に対する監視制御、パケット転送を停止します。

また一方、端末から通信の要求を受けた時点で通信に必要なリソースが確保できない場合、その旨を端末に応答します。

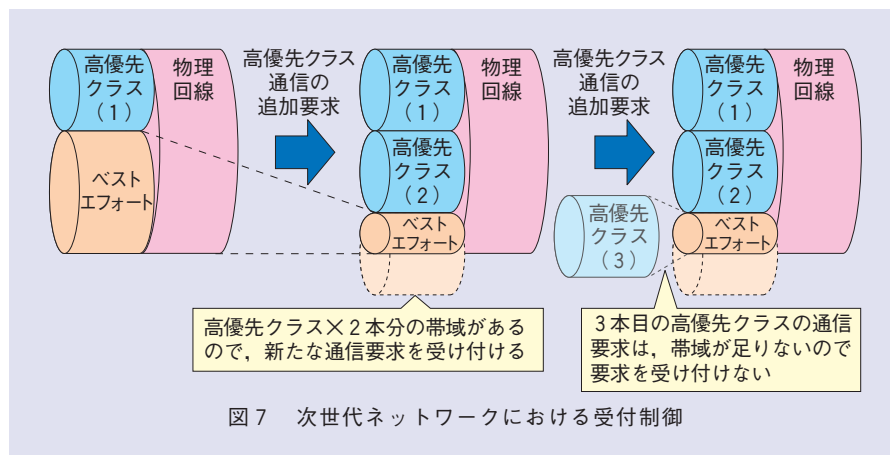
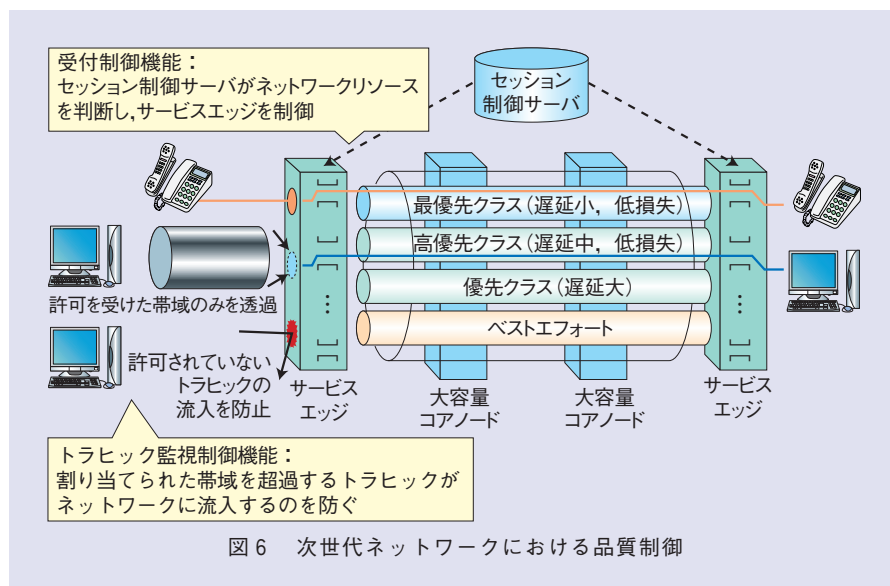
図7は、1つの高優先クラスの通信を行っている最中に、第二、第三の高優先クラスの通信を追加しようとしたときのネットワーク帯域利用の変化のイメージを例示したものです。

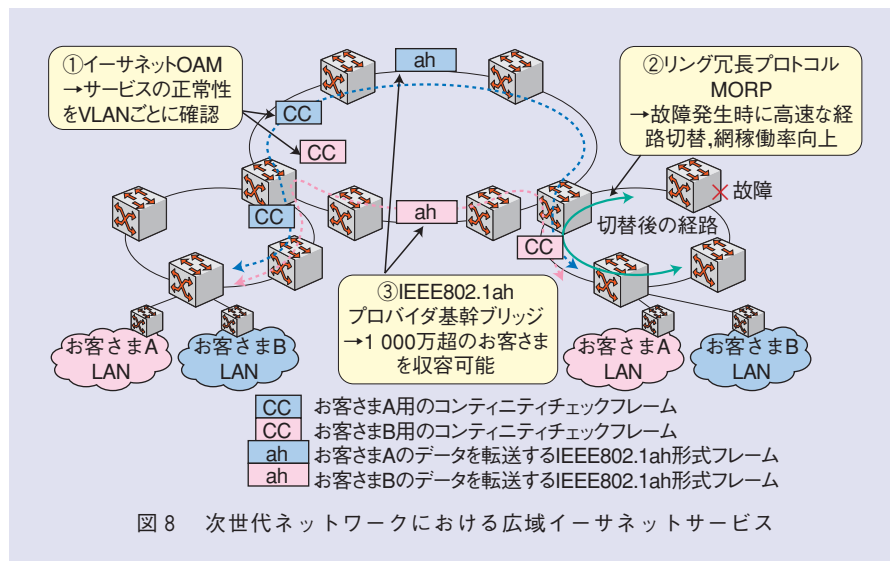
エンド・ツー・エンド品質制御は、次世代ネットワークでチャレンジする新しい技術であり、トラヒック情報の収集方法、ネットワーク設計方法や、通信品質確保に対するニーズやトラヒックの動向等を含め、今後も技術と知見を集め、サービスの発展の自由度とネットワークの効率的利用の両立を図るために、さらなる技術検討を行っていく考えです。

イーサ系技術

企業の拠点間を接続するVPNサービスの1つに広域イーサネットサービスがあります。転送装置として安価なレイヤ2スイッチを利用するため、広帯域なネットワークを安価に提供可能です。しかし、広域イーサネットサービスが普及するにつれ、増大するお客さま数への対応、ネットワーク信頼性の向上といった課題が明らかになってきました。

NTT研究所では、これらの課題を解決する次世代ネットワークの広域イー





サネットサービスの実現に向けて、次の3つの技術を検討しています(図8)。

(1) イーサネットOAM

次世代ネットワークの広域イーサネットサービスに向けて、エンド・ツー・エンドでの保守運用性、およびネットワーク信頼性の向上のため、ITU-T、およびIEEEで標準化作業中のイーサネットOAMの利用を検討しています。

従来のイーサネット技術ではWANサービスに必要とされるネットワークの監視方法が規定されていませんでしたが、イーサネットOAMでは、スイッチ間で定期的に試験フレームを送受信し接続性を確認するコンティニティチェック、IPのピングに相当しスイッチ間の導通を確認するループバック、IPのトレースルートに相当し経路の特定を行うリンクトレースなどの機能を規定しています。イーサネットOAMの試験フレームはVLAN（仮想LAN）単位にスイッチ間で送受信されるため、VLAN単位の故障検出が可能になります。特に、コンティニティチェックはお客さまを収容するスイッチ間で定期的に試験フレームを送受信することで、サービスの正常性を確認する手段として注目されています。

(2) リング冗長プロトコルMORP

故障発生時に、自動的に経路を切り替えることでネットワーク内の故障発生点を迂回し、お客さまのサービス断時間を最小とするため、リング冗長プロトコルMORP（Multiple Open Rings Protocol）による冗長構成技術を検討しています。

従来の経路切り替え技術は、大規模なネットワークに適用すると、故障発生後、復旧時間が数十秒から数分程度必要、経路が定まらず不安定といった問題がありました。MORPでは、隣接するスイッチ間で試験フレームを短い間隔で送受信することで早期に故障検出を行うことが可能になります。また、故障発生点を迂回するための経路切り替えをリング状に接続されたスイッチどうしで自立的に行うことで、自動的に、かつ高速に故障の復旧を行い、サービス断時間を1秒以下に抑さえ、ネットワーク稼働率を向上することができます。

(3) プロバイダ基幹ブリッジ IEEE802.1ah

イーサネットフレームを転送するスイッチや中継の通信回線を、より多くのお客さまで共用可能とするため、大規

模なVLANに対応したIEEE802.1ahの利用を検討しています。

従来の広域イーサネットサービスで用いられたIEEE802.1adでは、お客さまの個別のネットワークを最大でも4,094までしか共用して収容できず、これを超えると別のスイッチや回線が必要でしたが、IEEE802.1ahでは1,000万以上のお客さまのネットワークをスイッチや回線を共用して収容することが可能となります。また、IEEE802.1ah網内ではお客さまのフレームはカプセリングされ、ネットワーク専用の宛先アドレスを参照して転送するため、網内のスイッチで扱うアドレス数が削減され、処理負荷が軽減されます。

今後は、こうした技術の確立を推進するとともに、標準化を積極的に推進していく考えです。



(上段左から) 笠原 英樹 / 戸部 淳 / 織田 一弘

(下段左から) 大西 邦宏 / 梶山 義夫

今後も次世代ネットワークを実現する各種の技術に関する研究開発を進め、NTTグループの事業に貢献していきます。

◆問い合わせ先

NTTサービスインテグレーション基盤研究所
次世代ネットワーク開発推進プロジェクト
TEL 0422-59-7288
FAX 0422-60-6033
E-mail kasahara.hideki@lab.ntt.co.jp