

# ネットワーク設定管理軽減とユーザの自由な移動を支える高可用ネットワーク技術

原井洋明

本稿では、ユーザ視点では、様々な環境で安全にネット接続でき、低遅延で安定したデータ通信速度を得られる、高い利便性と信頼性を実現したネットワークを提供し、管理者視点では、高速で信頼性が高く、運用管理が容易なネットワークを提供するネットワーク実現に向けた研究開発を紹介する。それらの核となる ID・ロケータ分離技術 HIMALIS とロケータ自動設定技術 HANA、さらに、それらの開発を通じた研究成果を紹介する。

## 1 まえがき

現在のネットワークでは (1) 経路表の肥大化に起因した、パケットの宛先検索を高速化するための回路の規模と処理量の増加、経路が安定するまでの時間の増加、(2) 複数のレイヤのネットワークを同時に管理運用することによる管理運用コストの増加、(3) アドレス、名前解決の手動設定による人的ミスに起因する安定性の低下、(4) 移動通信時の遅延の増大や異種プロトコル間の情報の不達、等が問題になっている。例えば、(1) では、インターネットバックボーンのルータの経路表エントリ数は 2014 年に 50 万を超えた。宛先検索に用いられる TCAM (Ternary Content Addressable Memory) はエントリ数に比例して電力を消費するアーキテクチャであり、回路規模の増加は消費電力の増加に繋がる。(2) は広域の IP (Internet Protocol)、イーサネット、MPLS (Multi-Protocol Label Switching)、光ネットワーク、データセンタの OpenFlow など、様々な異なるネットワークの統合管理が進んでいる。(3) 総務省に報告される電気通信サービス事故の 2% 程度は人為的なものに起因する<sup>1)</sup>。(4) Mobile IP や Proxy Mobile IP では、ホストが異なるネットワークに移動しても、データは元の Home Agent や Local Mobility Anchor 等を通るので、ホスト移動後に遅延が増えたり、単一点障害を引き起こしたりすることがある。

本稿では、上記の問題を解決し、

- 利用者メリット：様々な環境で安全にネット接続でき、低遅延かつ、状況に応じた経路の自動選択等により安定したデータ通信速度を得られる、高い利便性と信頼性を実現したネットワークを提供可能にし、
- 管理者メリット：高速で信頼性が高く、運用管理

が容易なネットワークを提供可能にする、ネットワークを実現するために実施している研究開発を紹介する。より具体的には、複数の通信経路を設けるマルチホームネットワーク構成のネットワーク (図 1) を対象として、複数経路の有効利用、異なるネットワーク層プロトコル間の通信サポート、管理の簡素化自動化を図る。通信データの集中による過負荷・機器故障等によるネットワークの通信障害など通常の通信障害、さらには、災害時の復旧も視野に入れる。我々の提案は、情報の識別子である ID とその位置を表すロケータを分離した新しいレイヤ構造のネットワーク HIMALIS (Heterogeneity Inclusion and Mobility Adaptation through Locator ID Separation) により端末の移動や異種プロトコル間通信を容易にし安全性を担保することである。また、ロケータとネームサーバの自動設定技術 HANA (Hierarchical and Automatic Number Allocation) により、信頼性が高く、設定管理を軽減する運用ができるネットワークを提供することである。

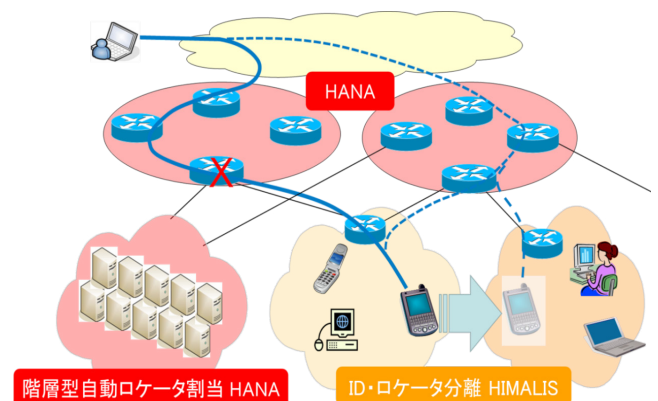


図 1 マルチホーム構成ネットワークを対象とした高利便性、高安全性、高信頼で高運用効率なネットワークの全体像

## 4 新世代ネットワーク基盤技術

我々の研究開発における基本的な考えは、ネットワーク構造と管理をシンプルかつスマートにするものである。そうすることでネットワークの再利用性と拡張性の向上に繋がる。つまり、新たな研究開発において組み込み等で容易に利用できるようになり普及に繋がる、というものである。HIMALISとHANAのソフトウェア設計にあたり、アプリケーション開発者やネットワーク開発者が利用しやすいようシンプルな設計を心掛けた。また、開発したものは、大規模エミュレーション基盤StarBED<sup>3</sup>を用いた大規模検証を行い、また、新世代通信網テストベッドJGN-Xへの実装による広域展開を図り、ソフトウェアの安定性を高めた。

### 2 ID・ロケータ分離とロケータ自動割当て

本節では、我々が取り組んでいる、ID・ロケータ分離機構HIMALISと階層型自動番号割当てHANAの概要を紹介する。HIMALISはホストの移動を容易にし、かつ、通信可能対象を増やすためのユーザ志向の技術である。HANAはネットワーク機器の管理を容易にし、経路制御の収束時間短縮にも貢献するネットワーク志向の技術である。ホストやネットワーク機器の情報は、名前やID、ロケータのマッピング関係を

を保持するレジストリで管理する。さらに、以下の特長を持つ。

ロケータ構造階層化とID・ロケータ分離により、事業者数や機器数が増加しても経路表の増大を防ぎ、経路の収束を早める。

ロケータの決定と設定、ネームレジストリへの登録を自動化し、アクセス認証やレジストリ認証を行うことで、ネットワーク管理者の負担を減らす。

#### 2.1 HIMALIS

HIMALISはホストが異なるネットワークへの移動を安全にサポートするための通信アーキテクチャである<sup>[2]-[4]</sup>。HIMALISネットワークの概要図を図2に示す。HIMALISネットワークは、グローバルなトランジットネットワークとそれに繋がる複数のエッジネットワークから構成される。ホストから見て、HIMALISは以下の特長を持つ。

- 異なるネットワークへホストが移動する前後で、セッション切断なく通信を継続する
- ホストが異なるネットワークへ移動した際に最短経路での通信を可能とする(図3)
- ホストが異なるネットワークへ移動した際に、元のネットワークの故障で通信が停止しない(図3)

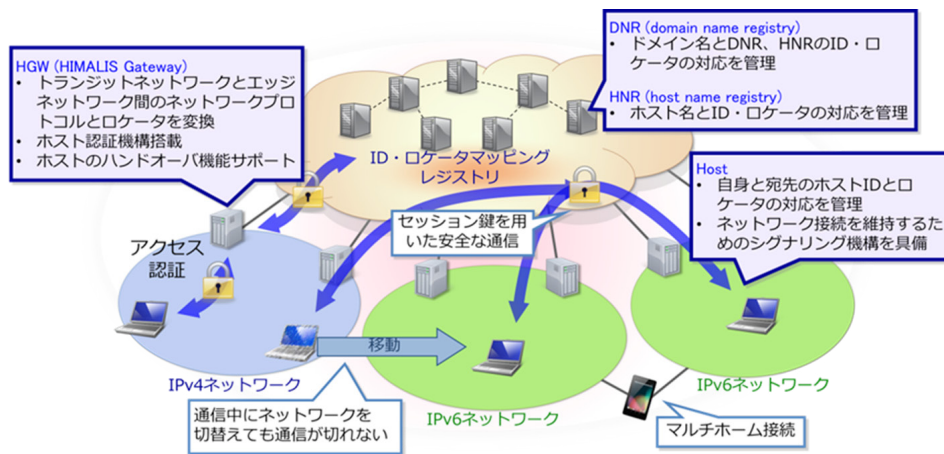
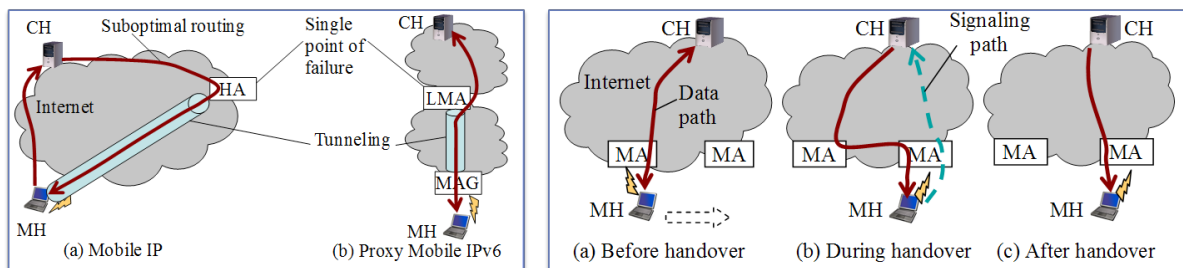


図2 HIMALISの概要と機能



MH (mobile host) CH (correspondent host) HA (home agent)  
LMA (Local mobility anchor) MAG (mobility access gateway) MA (mobility anchor)

図3 既存のモバイル通信方式における遅延増大と単一点障害(左図)とHIMALIS等ID・ロケータ分離による解消(右図)

- 異なるネットワーク層プロトコルを持つホスト同士での通信を可能とする
- 異なるネットワーク層プロトコルのネットワークへ移動しても通信を継続する
- 複数ネットワークへの同時接続をサポートする
- ホスト認証機能を持つ

図2を用い、もう少し説明する。各エッジネットワークがIPv4、IPv6など任意のネットワーク層プロトコルで構成され、プロトコル変換機能を有するHIMALIS Gateway (HGW) を用いてトランジットネットワークに接続する。トランジットネットワーク内は、共通のネットワーク層プロトコルで構築される。各ホストは、グローバルに一意性が保証されたID (ノードID) で識別される。各HGWは、ホストの認証機能を担う認証エージェント及び名前解決機能を担うローカル名前解決サーバを含み(アクセスネットワーク内に分散配置することも可能)、ホストのネットワーク接続や通信開始時の認証を実現している。トランジットネットワーク内は、グローバルにアクセス可能な名前解決サーバのDomain Name Registry (DNR) とHost Name Registry (HNR)がある。これら名前解決サーバは、Domain Name System (DNS)と同様に階層的なドメイン検索の仕組みを持つ。

HIMALISでは、各ホストが一意性の保証されるグローバルホスト名が割り当てられ、名前解決サーバから検索可能になっている。グローバルホスト名は、ホストが所属するドメイン内で一意性が保証されたローカルホスト名とドメイン名を#で繋いで表される(例: host01 #nict.go.jp)。ホストがエッジネットワークに接続する際は、まずネットワーク内のローカルロケータ(LLoc)とHGWと通信するための情報が与えられる。そして、ホストのアクセス認証が成功すると、HGWのグローバルロケータ(GLoc)が通知さ

れる。ホストは、自身のIDとGLocを所属するドメインを管理するHNRへ登録することで、外部のホストから検索可能になる。ホストが相手ホストと通信する際は、通信先ホストのグローバルホスト名をHGWに問い合わせしてID/GLocを解決する。HGWが解決できない場合には、HGWがDNRとHNRへ問い合わせを行う。DNRにドメイン名を問い合わせ、通信相手のID/GLocを管理するHNRのID/GLocを解決する。HNRにローカルホスト名を問い合わせることで、ホストのID/GLocが解決する。

HIMALISはトランスポート層とネットワーク層の間にIdentity層を挿入した構造を持つ。HIMALISのIdentity層を用いた通信手順について図4の例を用いて説明する。ホストAがホストBと通信する場合、上記の名前解決手順に従って、ホストAがホストBのID(ID<sub>B</sub>)とグローバルロケータ(GLoc<sub>2</sub>)を解決する。ホストAは、Identity層の通信開始要求シグナリングをホストBへ送る。ホストBはこの要求に応答する前に、名前解決を利用してホストの認証を行う。HIMALISネットワークでは、トランスポート層以上の通信を行うには、ホストやHGWが持つIDテーブルへ通信するホストの情報を書込む必要がある。IDテーブルへの情報登録は、上記通信開始処理が成功した場合のみ行われるので、通信開始時の安全性が向上している。このようにHIMALISでは、IDテーブルにより、トランジットネットワークとエッジネットワーク間の通信制御、別のHGWへパケット転送、モビリティを可能としている。なお、IDテーブルは通信をしている端末間に関連するものが登録されている。ホストの移動によって変更されたロケータ情報は、HNR、HGWに通知され、ホスト情報が更新される。これにより、現在の通信相手以外のホストが該当ホストに通信を要求した際も通信が可能となる。

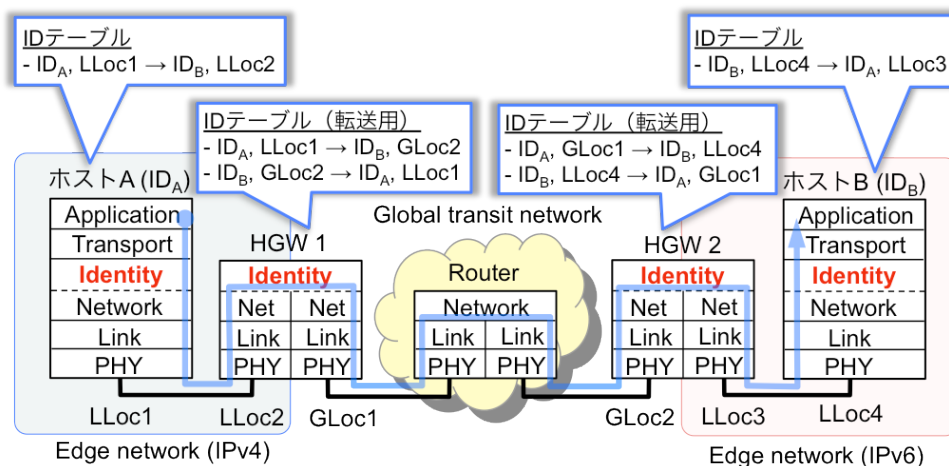
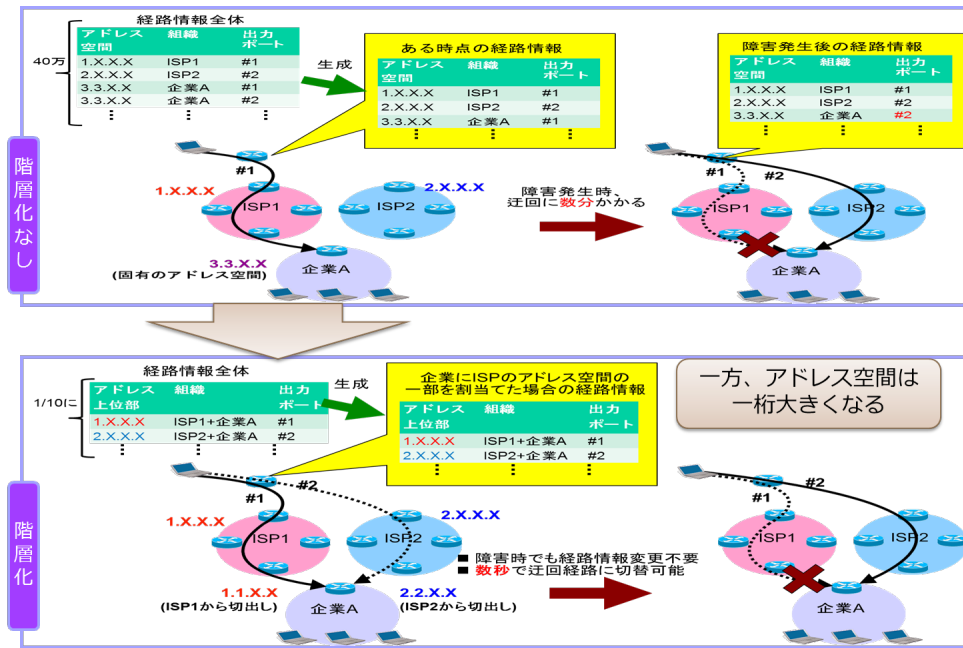


図4 Identity層を用いたHIMALISの通信



## 2.2 HANA

HANAは、ネットワーク内のルータ・スイッチなどロケータ割当てを必要とする全ての機器に対するロケータ割り振りを自動化する技術である<sup>[5][6]</sup>。多段に接続されるネットワークに対し、階層的にロケータを自動割り振りし、複数の上位ネットワークに接続されるネットワークに、複数のロケータを自動割り振りする。HANAは以下の特長を持つ。図5に階層的に複数のロケータを機器に割り当てるメリットを図解する。

- 自動割り振りにより、設定時間を短縮でき、ミス設定から解放される。1,000台のホストから構成されるネットワークでは機器へのロケータ設定の手間を1/100程度にすることができる(図6)<sup>[7]</sup>。
- 複数ロケータの割り振りにより、冗長経路をネイティブに備え、故障や輻輳に強いネットワークを作ることができる。
- 階層的にロケータを割り振ることにより、プロバイダ集約効果を期待できる。具体的には、HANAをバックボーンに適用すると、2015年現在50万を越える経路表(FIB)サイズを数万に減らせる<sup>[8]</sup>。ただし、1つの機器に複数のロケータを割り振るので、ロケータ空間は一桁程度大きくなる。

ルータ・スイッチやホストへのロケータ自動割り振りはHANAサーバが行う。ホストがネットワークに接続すると、リンクローカルマルチキャストを用いて隣接ノードを探し、ピアを構築する。このピアで構成されるネットワークでは、端末の固有の名称(MACアドレスを文字列にしたものやFQDN(Fully

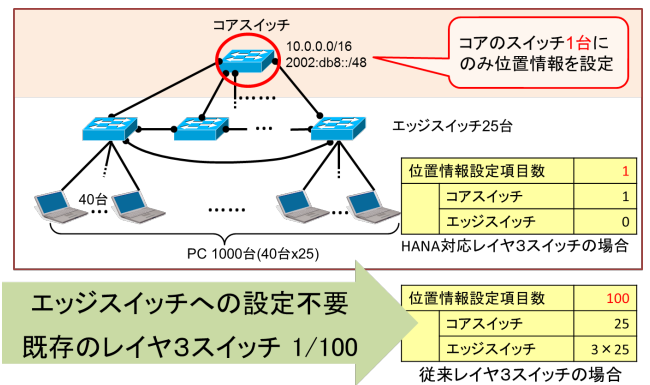
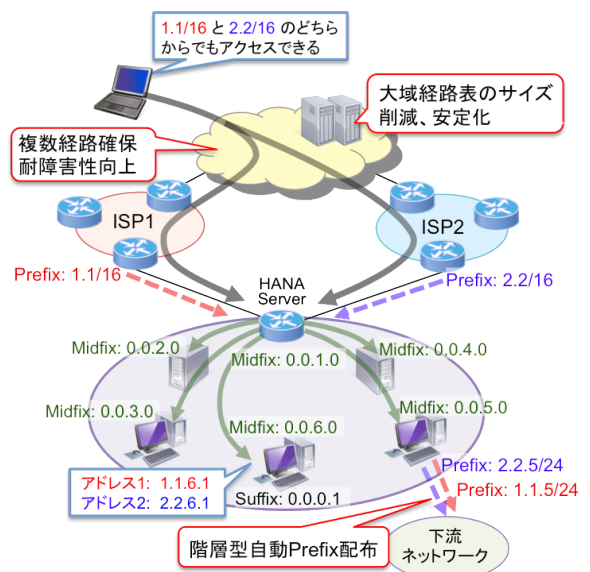


図6 HANAによるロケータ自動割り振り効果



Qualified Domain Name)) を用いてロケータ割り振りに必要なメッセージがやり取りされる。

HANA サーバは階層的に配置でき、多段のロケータ自動割当てを可能とする。HANA では、ロケータは Prefix、Midfix、Suffix の3つの割当て空間に分割され、ホストのロケータは、この3つの空間に割り振られた値の組み合わせで決定する。各空間への値は、次のように独立して割り振られる。

Prefix 空間は、ネットワーク上流から下流へ PrefixInfo メッセージで定期的に広告され、下流のネットワークの機器全体に伝搬される。図7のように複数の上流から異なる Prefix 値が割り振られる場合、端末には複数の Prefix 空間を持つロケータが割り振られることになり、複数経路確保することができる。そして、Midfix 空間は、ネットワーク内に設置される HANA サーバによって各機器に一意的な値が割り振られる。Suffix 空間は、機器自身が値を決定する空間であり、ユーザが任意の値を設定することもできる。

図7の例では、上流の ISP 1 と ISP 2 からそれぞれ 1.1 /16 と 2.2 /16 の Prefix 空間を持つ PrefixInfo メッセージが ISP 3 内に伝搬される。一方、ISP 3 内では、HANA サーバが MidfixOffer メッセージを定期的に広告しており、このメッセージを受け取った端末は、HANA サーバに Midfix 空間割当て要求 (MidfixReq メッセージ) を送信する。HANA サーバが MidfixReq を受け取ると、(上位 17~24-bit の Midfix 空間の中で) 一意の Midfix を MidfixAck メッセージを使って割り振る。Suffix 値 (上位 25~32-bit) は、MidfixReq メッセージに含めて HANA サーバに送ることで、HANA サーバが Midfix を割り振る全ての端末の最新の FQDN とロケータの対応関係を保持することができる。HANA の FQDN・ロケータマップの自動更新機能と DNS を連携させて、ロケータ自動割り振りと DNS レコード更新自動化をすることもできる。

### 3 成果

- HIMALIS の基本ソフトウェアを開発した<sup>[4][9][11]</sup>。TCP/IP のカーネル拡張を施し、ID 層を実装した (図8)。ID 層挿入のオーバーヘッドはあるが、ギガビットイーサネットリンクを用いて構成したネットワークにおいて、ホストの送受信性能及びゲートウェイでの転送性能が、既存の TCP/IP スタックのものとは遜色ないことを確認した (図9)。既存の TCP/IP アプリケーションの HIMALIS 通信基盤上での通信を可能にするミドルウェアを開発した<sup>[12]</sup>。
- セキュリティ対応。HIMALIS において、ホストの ID とロケータの対応付けを端末管理サーバに安全に登録し、かつ、ホストのネットワークアクセス認証を行う統合セキュリティ対応 HIMALIS を設計した<sup>[4]</sup>。通信の信頼性を確保するため、階層型信頼認証構造を用いて、機器情報の登録・削除や、通信相手情報取得を安全にする方式をソフトウェア実装した。HNR をトラストアンカーポイントとして、ホストの情報登録や通信開始時やホストの移動時の安全性を担保する。提案方式により、端末が接続するネットワークを頻繁に変更するネットワーク環境における通信の信頼性確保を可能にした。
- シームレスハンドオーバーと耐障害性。異なるネットワーク層プロトコルを用いたホスト間の通信において、接続するネットワークを切替える実験を行った。複数のネットワークに同時に接続するマルチホーム接続時に、データ損失なく、4秒程度でホストが接続するアクセスネットワークを切替え、通信を継続することに成功した (図10、11)<sup>[10]</sup>。
- HIMALIS プロトコルソフトウェア群をパッケージ化した<sup>[13]</sup>。本パッケージは成果普及のため、プロトコルの詳しい知識がなくても GUI 操作で簡単にインストールができ、かつ、ID 通信の中継

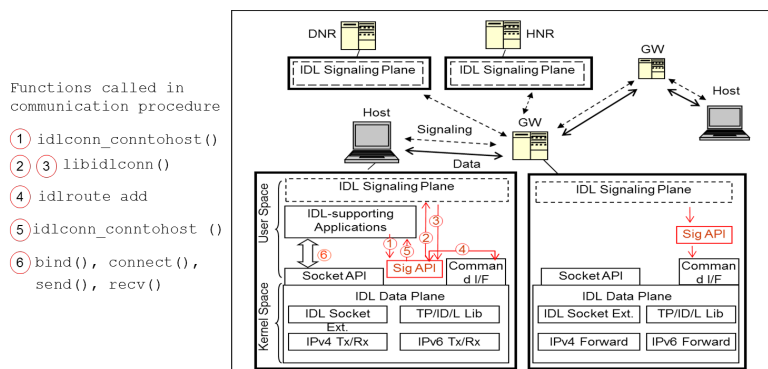


図8 ソフトウェア構成概略

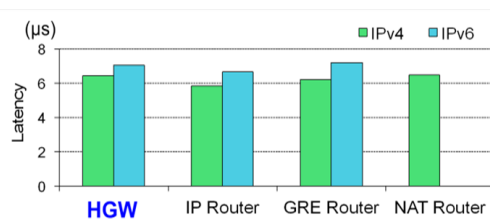


図9 中継ノードでの転送性能

## 4 新世代ネットワーク基盤技術

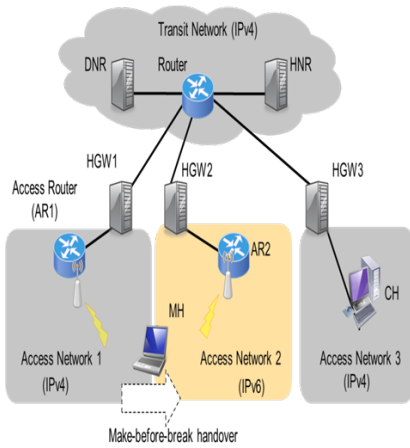


図 10 実験ネットワーク

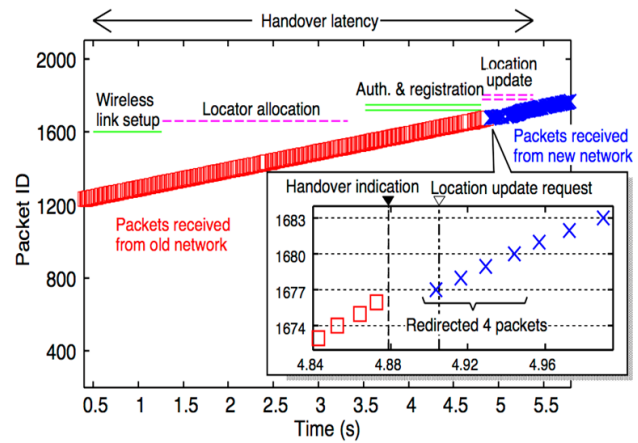


図 11 4秒程度でパケット損失なくアクセス先切替え

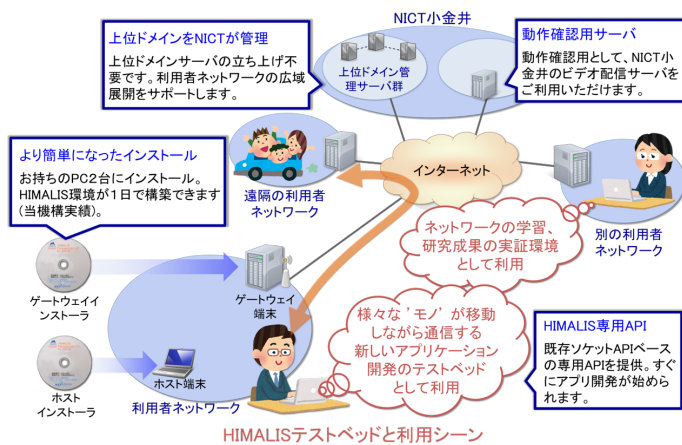


図 12 HIMALIS テストベッドと利用シーン

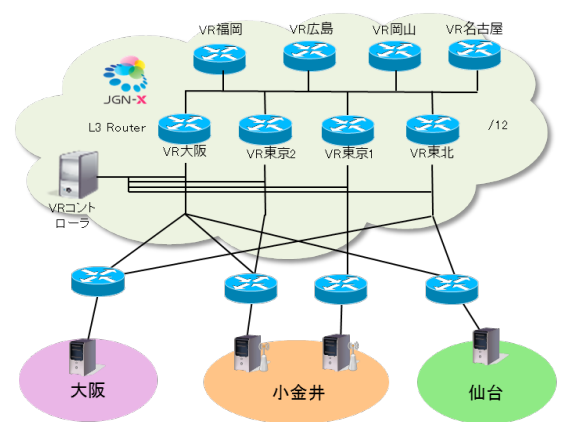


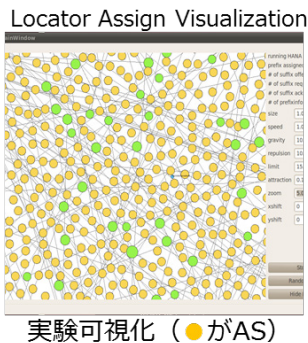
図 13 JGN-Xに構築したHANAマルチホームネットワーク

ノードをインターネットに繋ぐだけでアクセスネットワークを構築できるようになっている。普及の促進のため、NICT内に名前解決サーバ等を整備し、NICT外の研究開発者が自身のネットワークにパッケージをインストールすることにより、インターネット経由でHIMALIS技術を利用できるテストベッド(図12)を構築した<sup>[14]</sup>。

- HIMALISのID通信を実装し、安全で通信が切れにくい移動型無線センサネットワークを構築した。センサは通信オーバーヘッドの少ない6 LowPAN対応で、ネットワークには、IPv4、またはIPv6通信機能のみを有するセンサデータ保存サーバ(シンクサーバ)にセンサのデータを転送できる機構及びセンサが異なるセンサネットワークへ移動しても通信ができ、遠隔地からセンサの設定を変更できる機能を具備し、高い利便性、操作性がある<sup>[15]-[17]</sup>。本特集号7-6を参照。
- 上流で複数のネットワークと接続するマルチホーム型のネットワークを対象とし、階層型自動アドレス割当て機構HANAを提案・適用し、一部の

通信路や機器が機能不全に陥っても別経路で通信ができるネットワークをJGN-X上に構築した(図13)<sup>[18]</sup>。経路制御にはHANAと連携して、高速に、例えば、条件次第だがOSPFよりも100倍以上早く経路制御収束ができるリンクステート型経路制御プロトコルHQLIPを用いている<sup>[19]</sup>。さらに、ネットワーク可視化システムを開発し<sup>[20]</sup>、本ネットワークへ適用し、通信サービスを提供するために不可欠の故障発見を容易にした。また、JGN-Xに構築したネットワークでは、HIMALISや情報共有サーバを有する無線メッシュネットワークNerveNet<sup>[21]</sup>などをアクセスネットワークにし、それらにHANAがアドレス空間を割り当てられるようにした<sup>[22][23]</sup>。

- 大規模エミュレーション環境StarBED<sup>3</sup>を用いて、今のインターネットの1/4規模の10,000ネットワークのHANAエミュレーションを行い、大規模適用できる技術であることを実証した<sup>[5]</sup>。図14に可視化の例を示す。図15にHANAの制御オーバーヘッドの実測値を示す。10,000ネットワーク間



実験可視化 (●がAS)

図 14 10,000AS 実験可視化画面

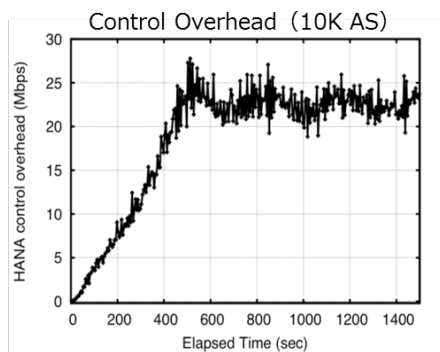


図 15 HANA 制御オーバーヘッド (10000AS 全体で 25Mbps の制御パケット)

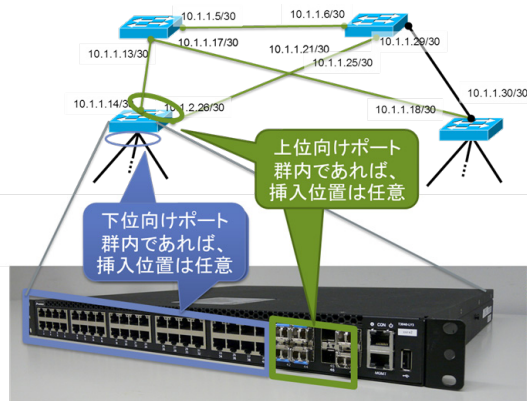


図 16 開発した HANA 対応 L3 スイッチとアドレス割当て例

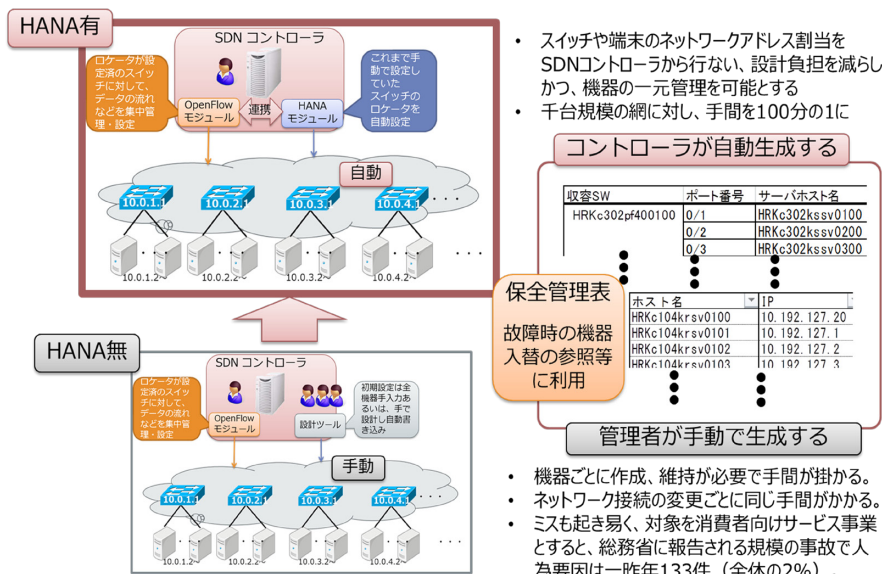


図 17 HANA を SDN と連携させた構内ネットワーク

でおよそ 25 Mbps の制御メッセージが流れている。1 ネットワークあたり数 kbps であり、ネットワークへの影響はほとんどないと言える。現在のインターネット規模である 46,000 ネットワークでの検証を終えている。

- サーバ 1,000 台規模のネットワークでアドレス設定の手間を 1/100 に削減することができる HANA 対応の 1U サイズの 48 ポート × 10 Gbps レイヤ 3 スイッチ (図 16) を開発し<sup>[7][24]</sup>、NICT 内の構内網及び実験網に設置した。運用試験を開始しつつ通常利用における不具合に対してソフトウェアを改修し管理制御の安定化を図っている。
- HANA と SDN を組み合わせることにより、LAN スイッチと端末のアドレス割当てを一元管理し、自動アドレス割当てに加え、ネットワーク保守者が必須としているネットワーク保全用シートを自動生成する機構を開発した<sup>[25]</sup>。これにより保守者の人為ミスをなくし、作業時間を大幅に短

縮しつつ、従来の保全管理も可能な LAN の構築が可能となった (図 17)。

- 名前解決システム DNS/DNR の設置場所変更に伴い IP アドレスのリナンバリング時のキャッシュ効率化手法を提案し DNS に実装した<sup>[26]</sup>。柔軟なネットワーク設計ができ、DNS の管理トラフィックを 20% 削減でき、インターネットトップドメイン (.com や .jp 等) への管理トラフィックが削減される。インターネット全体の安定化に寄与するとともに、単純計算で装置コストも 20% 削減できる。
- ネットワーク構築後にネットワークに接続するホスト数が増え、当初想定した規模を超えるようになる場合であっても、上流の複数のネットワークへアドレス空間の追加を要求し調整する機構 ASAP (Address Space Allocation Planning) を開発した<sup>[27]</sup>。ネットワーク構築に必要な分のアドレス空間をその都度要求すればよく、ネットワーク

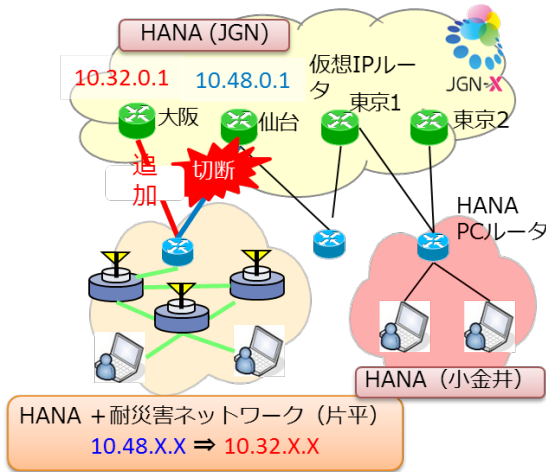


図 18 耐災害 ICT テストベッドと JGN-X を用いた災害時のネットワーク自動構築実験

設計の自由度が増加する。

- 災害時等ネットワーク管理者が不在でも、自動でアドレス割当てを実施しネットワーク復旧を簡易にするための機構として HANA 適用を検討した。HANA と HANA に特化した経路制御を組み合わせることにより、災害時に被災地とバックボーンネットワークのノードとの間での回線の断絶や、ノードの機能不全及び別のノードへの回線の再接続を実施した場合、回線復旧後、おおむね 60 秒で新しい IP アドレスを再配布し、かつ通信が復旧できることを、NICT の耐災害 ICT 研究テストベッドで実証した(図 18)。

#### 4 まとめ

情報の識別子である ID とその位置を表すロケータを分離した新しいレイヤ構造のネットワーク HIMALIS は、端末の移動や異種プロトコル間通信を容易にし、安全性を高めることができる。利用者の通信範囲を広げ通信を安全にすることで、利用者が高い利便性と信頼性を得ることができる。また、ロケータとネームサーバの自動設定技術 HANA とその DNS 連携により、信頼性が高く、運用管理が容易なネットワークを提供することができる。我々はそれらの方式設計、ソフトウェア開発を行い、さらに、JGN-X 等の機器を用い、HIMALIS と HANA を統合したネットワーク構築による機能検証、あるいは、拡張性検証などを実施した。現在、これらの実用化検討、あるいは、これらの基盤を用いるアプリケーション開発者との研究連携を実施している。今後、要素技術やアプリケーション技術の普及を図りたい。

#### 謝辞

本研究は、藤川賢治主任研究員、ベドプラサドカフレ主任研究員、福島裕介研究員、李 睿棟研究員、アブヘナルムクタディル研究員、戸室知二技術員、小針康永技術員、阿部弘彰技術員、田崎 創主任研究員(現 東大)、徐 蘇鋼主任研究員、金 勇研究員(現 東工大)らと実施した。また、研究開発にご協力いただいた関係各位に感謝する。

#### 【参考文献】

- 1 総務省報道資料, “電気通信サービスの事故発生状況(平成 25 年度),” Sept. 1, 2014.
- 2 Ved P. Kafle and Masugi Inoue, “HIMALIS: Heterogeneity inclusion and mobility adaptation through locator ID separation in new generation networks,” IEICE Transactions on Communications, Vol.E93-B No.3, pp.478-489, March 2010.
- 3 Ved P. Kafle, Hideki Otsuki, and Masugi Inoue, “An ID/locator split architecture for future networks,” IEEE Communications Magazine, Vol.48 No.2, pp.138-144, Feb. 2010.
- 4 Ved P. Kafle, Ruidong Li, Daisuke Inoue, and Hiroaki Harai, “Design and Implementation of Security for HIMALIS Architecture of Future Networks,” IEICE Transactions on Information and System 2013, Vol. E96-D, No.2, pp.226-237, Feb. 2013.
- 5 Kenji Fujikawa, Hajime Tazaki, and Hiroaki Harai, “Inter-AS Locator Allocation of Hierarchical Automatic Number Allocation in a 10,000-AS Network,” Proc. SAINT 2012, July 2012.
- 6 Kenji Fujikawa, Hiroaki Harai, and Masataka Ohta, “The Basic Procedures of Hierarchical Automatic Locator Number Allocation Protocol HANA,” Proc. Asia Workshop on Future Internet Technologies (AWFIT 2011), pp.124-131, Oct. 2011.
- 7 NICT 報道発表, “世界初、レイヤ 3 スイッチにネットワーク自動構築技術を実装 ～位置情報の設定項目を 100 分の 1 に削減。作業時間が大幅に短縮～,” <http://www.nict.go.jp/>, June 3, 2014.
- 8 Yang Song, Lixin Gao, and Kenji Fujikawa, “Resilient Routing under Hierarchical Automatic Addressing,” IEEE Globecom 2011, Dec. 2011.
- 9 ベド カフレ, 田崎創, 戸室知二, 小針康永, 原井洋明, “Implementation and Evaluation of ID/Locator Split-based HIMALIS Network Protocol Stack,” 電子情報通信学会技術研究報告 (NS2012-153), Jan. 2013.
- 10 Ved P. Kafle, Yusuke Fukushima, and Hiroaki Harai, “ID/Locator Split-Based Distributed Mobility Management Mechanism,” Springer Wireless Personal Communications, Vol.76, Issue 4, pp.693-712, June 2014.
- 11 V. P. Kafle, Y. Fukushima, and H. Harai, “New Mobility Paradigm with ID/Locator Split in the Future Internet,” IEEE Mobiworlshop 2014 (collocated with IEEE CCNC 2014), pp.365-371, Jan. 2014. (invited)
- 12 福島 裕介, ベド カフレ, 原井 洋明, “既存ソケットアプリケーションを ID ベース通信可能とするミドルウェアの実装と評価,” 電子情報通信学会技術研究報告 (IN2013-85), pp.49-54, Oct. 2013.
- 13 藤川賢治, 福島裕介, ベド カフレ, 原井洋明, “ID・ロケータ分離アーキテクチャ HIMALIS の簡単インストールパッケージソフトウェアの開発,” 電子情報通信学会技術研究報告 (IN2013-206), pp.367-372, March 2014.
- 14 福島 裕介, 藤川 賢治, Ved Prasad Kafle, 阿部 弘彰, 小針 康永, 原井 洋明, “ID・ロケータ分離アーキテクチャ HIMALIS のテストベッドネットワーク構築,” 電子情報通信学会技術研究報告 (IN2014-80), pp.35-40, Oct. 2014.
- 15 Ved P. Kafle, Yusuke Fukushima, and Hiroaki Harai, “Dynamic Mobile Sensor Network Platform for ID-based Communication,” ITU Kaleidoscope 2014, June 2014. [Received Best Paper Award].
- 16 Ved P. Kafle, Yusuke Fukushima, and Hiroaki Harai, “Design and Implementation of Dynamic Mobile Sensor Network Platform for ID-Based Communications,” IEEE Communications Magazine Standards Supplement, Vol.53, No.3, pp.48-57, March 2015.
- 17 福島 裕介, Ved Prasad Kafle, 原井 洋明, “次世代モバイルネットワークにおける M2M のための ID ベース通信,” 電子情報通信学会技術研究報告 (RCS2014-250), pp.177-182, Dec. 2014.



- 18 藤川賢治, 小針康永, 原井洋明, “階層的なロケータ番号自動割振プロトコル HANA による広域ネットワーク及びミニデータセンタの構築,” 電子情報通信学会技術研究報告 (IA2012-1), pp.1-5, June 2012.
- 19 Kenji Fujikawa, Motoyuki Ohmori, and Hiroaki Harai, “Stable Renumbering in Link-State Routing Protocol Network,” IEICE Technical Report (IA2014-44), pp.57-62, Nov. 2014.
- 20 藤川 賢治, 林 経正, 中野 博樹, 福島 裕介, 原井 洋明, “階層的なロケータ番号自動割振プロトコル HANA の監視・可視化システムの設計と実装,” 電子情報通信学会技術研究報告 (ICM2013-25), pp.13-18, Nov. 2013.
- 21 Masugi Inoue, Masaaki Ohnishi, Chao Peng, Ruidong Li, and Yasunori Owada, NerveNet: A Regional Platform Network for Context-Aware Services with Sensors and Actuators, IEICE Transactions on Communications, Vol.E94-B, No.3, pp.618-629, March 2011. (invited)
- 22 福島裕介, 藤川賢治, ベド カフレ, 田崎創, 金勇, 原井洋明, “ID・ロケータ分離アーキテクチャのネットワーク基盤の高可用化設計と実装,” 信学技報 (NS2013-12), pp.7-12, May 2013.
- 23 NICT 報道発表, “世界初、広域ネットワークの自動構築に成功 ～管理が簡単で障害に強い。今後の新世代ネットワークに向けて大きく前進～,” <http://www.nict.go.jp/>, June 7, 2012.
- 24 藤川 賢治, 原井 洋明, “ロケータ番号自動割振プロトコル HANA の L3 スイッチへの実装,” 電子情報通信学会技術研究報告 (NS2014-123), pp.109-114, Oct. 2014.
- 25 藤川 賢治, 原井 洋明, 電子情報通信学会ネットワーク仮想化研究会, July 2015.
- 26 Yong Jin, Kenji Fujikawa, Hiroaki Harai, and Masataka Ohta “Secure Glue A Cache and Zone Transfer Considering Automatic Renumbering,” Proc. of IEEE COMPSAC 2015 (The 39th Annual International Computers, Software & Applications Conference), July 2015.
- 27 S. Xu, K. Fujikawa, and H. Harai, “An Inter-AS Address Space (Re) Allocation Planning Scheme in Hierarchical and Automatic Number Allocation,” IEEE Globecom 2013, Dec. 2013.



**原井洋明** (はらい ひろあき)

光ネットワーク研究所ネットワークアーキテクチャ研究室室長／ネットワーク研究本部ネットワークシステム総合研究室研究マネージャー  
博士(工学)  
ネットワークアーキテクチャ、光ネットワーク