

IPv4 と IPv6 を跨る通信方式の検討

山中 寛

Pv4 グローバルアドレスの枯渇により IPv6 への移行が必須となっている。しかし IPv4 と IPv6 の互換性がないため移行は容易ではない。そのため、当分の間は IPv4 と IPv6 が混在したネットワーク環境が続くと考えられる。モバイルコンピューティング環境でも同様に、多くのモバイル端末がインターネットに接続しており、移動しながらでも通信を継続したいという要求が高まっている。しかし、現在の IP ネットワークでは、端末が移動すると IP アドレスが変化して、通信が継続できないという問題がある。そのような課題を解決する機能を移動透過性と呼ぶ。我々はエンド端末だけで移動透過性を実現するプロトコルとして Mobile PPC(Mobile Peer-to-Peer Communication)を提案している。Mobile PPC は IPv4 で実証されており、IPv6 においてもすでにその動作を検証済みである。本稿では IPv4/IPv6 混在環境においても移動透過性を実現する Mobile PPC の拡張方法について検討した。

Examination of communication method to extend ..IPv4 and IPv6..

Hiroshi Yamanaka

The shift to IPv6 is indispensable according to the dryness of Pv4 global address. However, the shift is not easy because it is incompatible of IPv4 and IPv6. Therefore, it will be thought for the time being that the network environment where IPv4 exists together to IPv6 continues. A lot of mobile terminals hook up to the Internet similarly, and the demand that it wants to continue communicating while moving has risen to the mobile computing environment. However, there is a problem that Internet Protocol address changes when the terminal moves, and the communication cannot be continued on a present IP network. The function to solve such a problem is called a migration transparency. We are proposing Mobile PPC(Mobile Peer-to-Peer Communication) as a protocol where the migration transparency is achieved only with the end terminal. Mobile PPC is proven with IPv4, and has already verified the operation in IPv6. The method of enhancing Mobile PPC that achieved the migration transparency was examined in the IPv4/IPv6 coexistence environment in this text.

1. はじめに

モバイル端末や公衆無線環境の普及に伴い、移動しながら通信を行いたいという要求が高まっている。しかし、IP ネットワークにおける移動通信では致命的な課題がある。それは、通信中にネットワークを移動すると IP アドレスが変化するため、通信が継続できないというものである。この課題

を解決するための機能を移動透過性と呼び、様々な方式が検討されている。

一方、IPv4 グローバルアドレスの枯渇により IPv6 が今後必須になるといわれている。しかし、IPv6 は IPv4 との互換性がないため、一挙に移行することは困難で、当分の間 IPv4/IPv6 混在ネットワーク環境が続くと予想されている。そこで、IPv4/IPv6

混在ネットワーク環境においても、移動透過性を実現する通信プロトコルとして Mobile PPC(Mobile Peer to Peer Communication)[1] を提案している。Mobile PPC は、現在 IPv4 での実装・評価を終え、その有効性が証明されており、IPv6 にもそのままの原理が適応可能で検証済みである。本稿では、Mobile PPC の特徴を生かしたまま、IPv4/IPv6 混在ネットワークにおいても移動透過性を実現する方式の検討を行った。今後のネットワーク環境は、IPv4 のみをサポートしている IPv4 ネットワーク、IPv6 のみをサポートしている IPv6 ネットワーク、IPv4/IPv6 両方をサポートしているデュアルスタックネットワークの 3つのネットワークが混在することとなる。本提案では、Mobile PPC と IPv4/IPv6 互換技術を用いることにより、IPv4、IPv6、デュアルスタックネットワーク間を端末が移動した場合でも、上位アプリケーションに対してはアドレス体系の変化とアドレスの変化を隠蔽して、通信を維持することができる方法について検討した。

以降、2 章で既存技術とその課題を述べる。3 章で Mobile PPC 概要を述べる。4 章で提案方式に必要な IPv4/IPv6 互換技術を説明する。5 章で提案方式の原理と各移動パターンの動作を述べ、と 6 章でまとめを述べる。

2. 既存技術

IPv4/IPv6 混在環境において移動透過性を実現する既存技術として Dual Stack Mobile IPv6(以後 DSMIPv6)がある。DSMIPv6 は Mobile IPv4 と Mobile IPv6 を統合したものである。DSMIPv6 のシステム構成を図 1 に示す。ホームエージェント(以下 HA)はデュアルスタックネットワークに設置され、端末の移動管理機能を備えている。図 1 では移動ノード(以下 MN)は IPv6 ネットワークに、通信相手ノード(以下 CN)はデュアルスタックネットワークに存在し、IPv6 で通信を行っている。MN が CN と通信中に IPv4 ネットワークに移動した場合、MN はバインディングアップデートを HA に対して実行する。バインディングアップデートには移動前の IPv6 アドレスと移動後の IPv4 アドレスが含まれており、HA に移動後のアドレスを登録する。以後、デュアルスタックネットワークに置かれた HA を介して HA-MN 間に IPv6-in-IPv4 トンネルを形成することにより、通信を継続する。DSMIPv6 による通信は冗長経路となり、ヘッダオーバーヘッドが発生するなどの課題がある。Mobile IPv6 では冗長経路を解決するために経路最適化という機能が存在したが、DSMIPv6 では必ず HA を介さなければならないためタイムラグができてしまう。

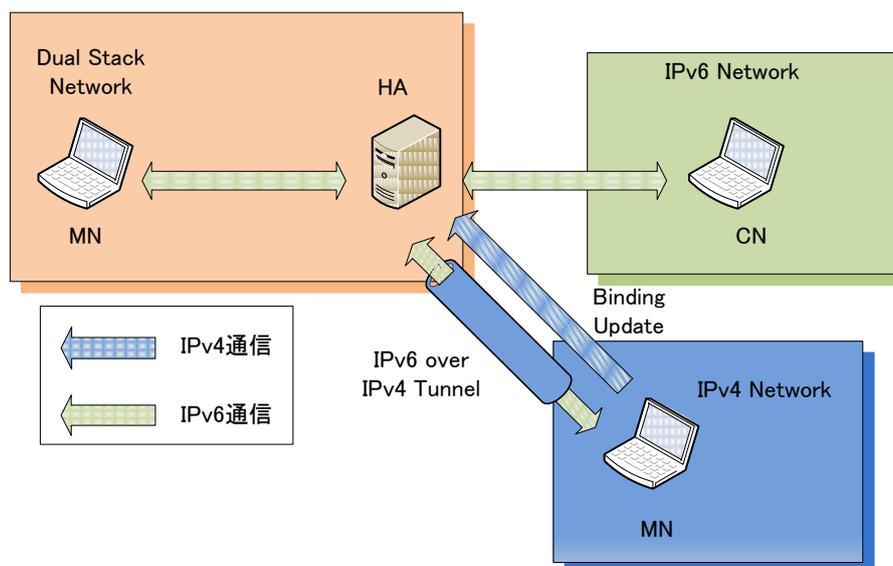


図 1 DSMIPv6 システム構成

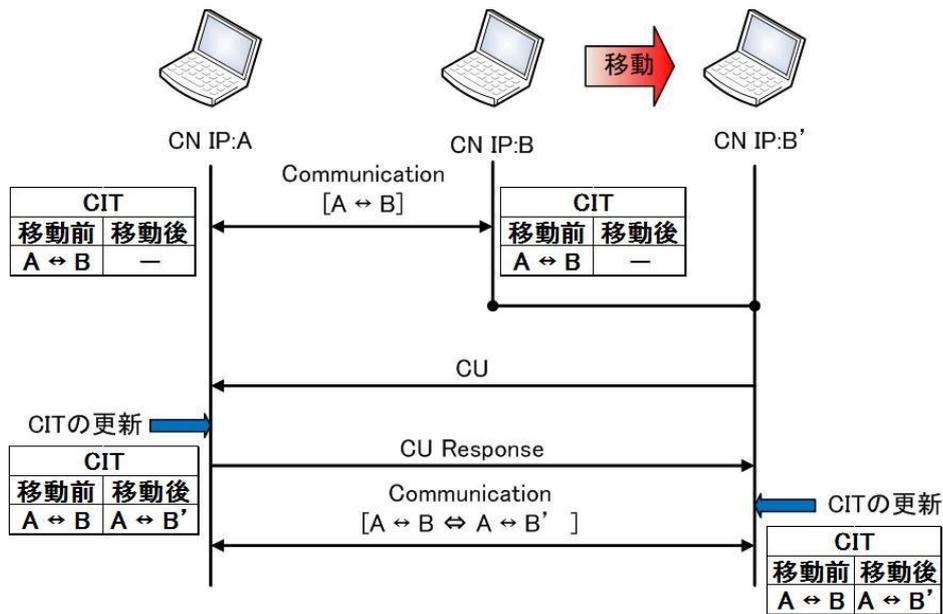


図 2 Mobile PPC シーケンス

3. Mobile PPC の概要

本稿で用いる記号を以下のように定義する。

- A₄; 端末 X の IPv4 アドレス
- B₆; 端末 Y の IPv6 アドレス
- A⇒B; 端末の移動によるアドレス変化
- B→A, A←B; B から A への通信
- A↔B; A と B 間の通信
- A↔B; A から B, または B から A へのアドレス変換

Mobile PPC は、エンド端末だけで移動透過性を実現する通信プロトコルである。通信開始時における通信相手の IP アドレスの解決には DDNS(Dynamic Domain Name System)を使用する。両エンド端末は IP 層に CIT(Connection ID Table)と呼ぶアドレス変換テーブルを保持している。通信中に MN が移動して IP アドレスが変化した場合、移動後の情報をエンド端末間で直接通知しあい、CIT を更新する。その後、CIT に従って全ての通信パケットのアドレス変換を行うことにより、上位ソフトウェアに対して IP アドレスの変化を隠蔽し、移動透過性を実現できる。図 2 に Mobile PPC のシーケンスを示す。通信開始に先立ち、Diffie-Hellman(以下 DH)鍵交換を用いて認証鍵を共有する。この鍵は移動時に交換する移動通知パケットの正当性を保障す

るために使用する。ネゴシエーションにより生成されるテーブルを NIT(Node Information Table)と呼ぶ。NIT には、相手の IP アドレス、認証鍵が記録される。MN 側の NIT には CN の IPv4 アドレス {CN₄} が、CN 側の NIT には MN の IPv4 アドレス {MN₄} が記録される。MN が CN との通信中に移動して、IP アドレスが変化する、CU(CIT UPDATE)Negotiation を開始する。MN は、移動後の IP アドレス {MN₄' } を通知するために CU Request を CN に送信する。CN は CU Request の内容を認証後、自らの CIT を

$$\text{CIT} : \text{CN}_4 \{ \text{MN}_4 \leftrightarrow \text{MN}_4' \} \quad (1)$$

のように更新する。次に、CN は MN に対して CU Response を送信する。MN は CU Response を認証後、(1)と同様に自らの CIT を更新する。以後は、更新された CIT の(1)の内容に従って、全ての通信パケットのアドレス変換を行うことにより、通信を継続することができる。Mobile PPC は IPv4 スタックへの実装と評価を完了しており、同様に IPv6 スタックへの検証も完了し、その有用性が証明されている。しかし、MN が IPv4 と IPv6 ネットワーク間をまたいで移動した場合については、現在のままでは通信を継続することができない。

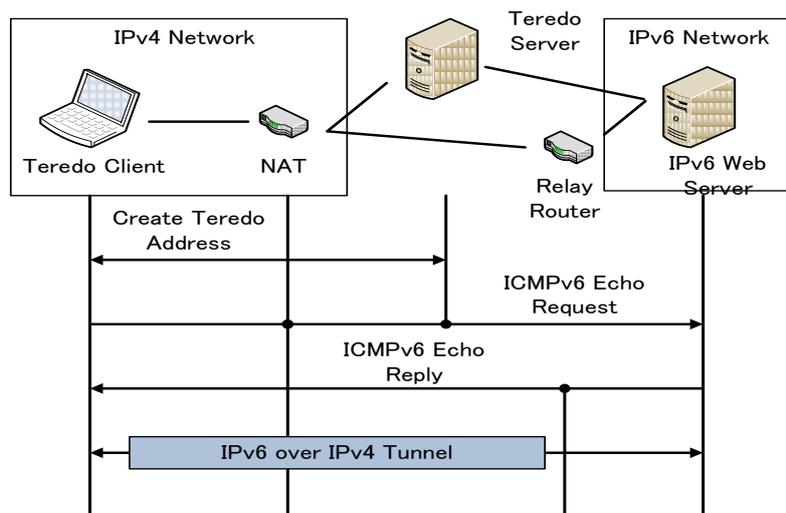


図 3 Teredo シーケンス

4. トンネルシステムの概要

現在 Mobile PPC は IPv4 スタックへの実装と IPv6 スタックへの実装が完了しているが、異種ネットワーク間を移動した場合アドレスだけでなくアドレス体系までも変化してしまうため、現状のままでは通信を継続することができない。そこで Teredo(Tunneling IPv6 over UDP through Network address Translations)を導入することによって差異をなくす方法について検討した。

Teredo は IPv4 を基盤としたネットワークに、IPv6 を普及させる方法の一つとして導入された技術である。以下に本提案と関連の大きい Teredo について説明する。図 3 に Teredo の動作と各機種種の役割を示す。

IPv4 ネットワークの NAT 配下に存在する Teredo クライアント、Teredo のサービスを管理するためにデュアルスタックネットワークに設置する Teredo サーバが必要である。また、IPv4 ネットワークと IPv6 ネットワークの境に設置される Teredo リレールータが複数存在する。まず、Teredo クライアントは Teredo サーバとネゴシエーションを行い、Teredo アドレスを生成する。アドレスの構成内容は、Teredo 専用のプレフィックス、Teredo サーバの IPv4 アドレス、NAT にマッピングされた IPv4 グローバルアドレスとポート番号から IPv6 アドレスが構成される。次に、パケットのカプセル化処理を行う Teredo リレール

タを決定する。Teredo クライアントから通信相手に ICMPv6 エコー要求を送り、往復経路は一番近い Teredo リレールータを洗濯して送信される。この ICMPv6 エコー応答には、経由した Teredo リレールータの IPv4 アドレスが含まれる。以後の通信では Teredo クライアントと Teredo リレールータ間を IPv6 over IPv4 トンネリングすることで IPv6 端末への通信を実現する。UDP によりカプセル化を行っているため、NAT が介在した場合においても、IPv6 通信が可能である利点がある。

5. 検討方式

Teredo を拡張し、IPv4 over IPv6 を可能とする Mobile PPC と拡張 Teredo を融合する。IPv4 で通信開始していた場合は Mobile PPCv4 で、IPv6 で通信開始していた場合は Mobile PPCv6 で移動透過性を実現する。Teredo と大きく異なる点は、IPv6 over IPv4 でカプセル化するだけではなく、逆の IPv4 over IPv6 カプセル化を可能にした点である。IPv4/IPv6 混在環境において、一方のカプセル化だけでは想定する移動パターンに対応しきれないと判断したためである。

以下に IPv4/IPv6 混在環境における移動透過性の実現方法を述べる。混在環境における移動パターンは IPv4 から IPv6 への移行初期に焦点をおく。

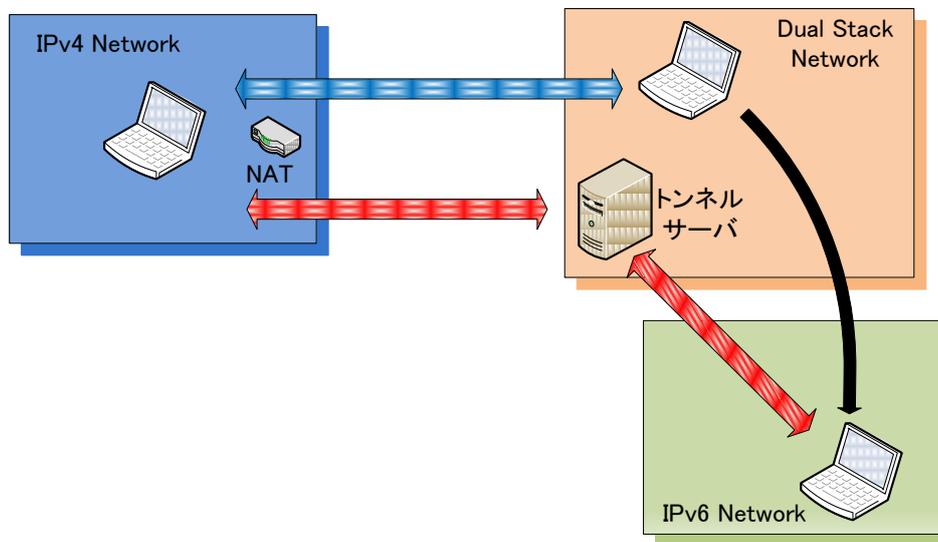


図 4 移動パターン

5.1. 混在環境における移動パターン

図 4 に本稿で想定する移動パターンを示す。

IPv4 から IPv6 への移行期に存在するネットワークは、IPv4 のみに対応した IPv4 ネットワーク、IPv6 のみに対応した IPv6 ネットワーク、および IPv4/IPv6 両方対応したデュアルスタックネットワークの 3 種類である。現在、インターネット上の Web サーバやネットワーク機器、端末はほとんどが IPv4 にしか対応していない。

そのためしばらくは IPv4 ネットワークが当分の間残ると考えられる。今後、構築するネットワークや小規模プロバイダには IPv6 アドレスしか割り当てられない可能性があるため、必然的に IPv6 だけをサポートするネットワークも存在すると考えられる。大手プロバイダや root DNS サーバに関してはすでに IPv4/IPv6 の両方をサポートしている。従って、今後はデュアルスタックネットワークに IPv4 ネットワークや IPv6 ネットワークが個別に接続される形態が多くなると予想される。

そのような想定から、今後の議論では IPv4 ネットワークに存在する CN とデュアルスタックネットワークに存在する MN が IPv4 で通信を開始し、MN が IPv6 ネットワークに移動するパターンを考える。

5.2. 検討方式の概要

本節では、IPv4/IPv6 混在環境において通信を確立するためのトンネルシステムと Mobile PPC を用いた検討方式について述べる。端末はデュアルスタックで Mobile PPC を実装していること、またデュアルスタックネットワークに専用のトンネルサーバを設置しサーバとのネゴシエーションが完了し、すでに MN と CN がトンネルサーバと自端末の IPv4 アドレスと IPv6 アドレスをすでに取得して、MN とトンネルサーバ間で IPv4-in-IPv6 トンネルを張るためのテーブルを生成されていることが前提である。以下、5.2.1 でトンネルシステムの概要について、5.2.2 で混在環境における Mobile PPC の通信について述べる。

5.2.1. トンネルシステム

本提案で導入するトンネルシステムは Teredo のシステムを参考に構築した。

Teredo の特徴としては、IPv4 によるカプセリングにより、IPv4 と IPv6 の差異を吸収する。さらに、UDP によりカプセリングを行っているため、NAT が介在した場合においても、IPv6 通信が可能である点である。この二つの利点を残しつつ、Teredo を拡張し IPv4 over IPv6 でカプセリングするだけでなく、逆の IPv4 over IPv6 カプセリングを可能にすることでより柔軟に様々な移動パターンに対応できるようにする。

5.2.2. Mobile PPC への実装

検討方式における Mobile PPC では以下のような拡張機能が必要である。

(1) IPv4-IPv6 相互カプセル機能

IPv4 を IPv6 で、IPv6 を IPv4 でカプセル化する機能。この相互カプセル化により、IPv4 と IPv6 の差異を吸収する。

(2) Mobile PPC 対応トンネルサーバ

トンネル型 Mobile PPC では、移動端末がトンネルを形成するために中継するサーバが必要となる。基本的な機能は端末から要求された情報を元にテーブルを生成し、送受信パケットのカプセル化とデカプセル化処理を行う。また、この装置は IPv6 トンネルと、IPv4 トンネルの両方を実現する。

本検討システムではデュアルスタックネットワーク上には Mobile PPC 対応のトンネルサーバが必要で、IPv4 と IPv6 アドレス{TS4,TS6}を保持している。本方式におけるトンネルサーバの導入は、IPv4 と IPv6 の互換性を確保するためであり、Mobile PPC にかかわるアドレス変換は行わない。移動による IP アドレスの変化の隠蔽を Mobile PPC の機能で実現し、IPv4 ネットワークと IPv6 ネットワークの経路の確立をトンネルシステムで実現することで、二つの機能を明確に分けて考えることができる。

図 5 にトンネルシステムを用いた Mobile PPC の動作とシーケンスを示す。

端末が保持する IP アドレスや通信開始時のネゴシエーションは前述した Mobile PPC と同様である。MN が IPv4 ネットワ

ークから IPv6 ネットワークへ移動すると、MN はルータ広告(RA)を受信する。RA の受信により、IPv6 ネットワークへの移動を検知すると同時に MN とトンネルサーバ間で IPv4-in-IPv6 トンネルを生成する。トンネルサーバと MN 間では IPv4 通信ができないため、IPv6 トンネルを形成することで通信を可能とする。トンネル形成のためのテーブルとして受信パケットが IPv6 パケット{MN6→TS6}であればデカプセル化を行い、IPv4 パケット{CN4→TS4}であればカプセル化を行うテーブルを作成する。この様にして MN と CN 間のトンネリングを用いた通信経路を確立することができる。

次に、形成した通信経路を用いて MN と CN 間で CU ネゴシエーションを上記の通信経路を用いて実行する。既存の Mobile PPC と違う点は、移動後のアドレスとして MN ではなくトンネルサーバの IPv4 アドレスを通知することである。そのため、MN は CU Request を用いてアドレス変換{MN4⇒TS4}を CN に通知する。CU Request を受信した CN は CIT を以下のように更新する。

CIT : CN4⇄MN4⇄TS4 (2)

CN は CU Request の受信を、CU Response を MN に送信することで、CIT を(2)と同様に更新する。

図 6 に移動完了後の通信におけるパケットの流れを示す。移動後の通信では、MN とトンネルサーバ間ではトンネル転送を行い、MN と CN のエンド端末では CIT にしたがってアドレス変換を行うことで移動透過性を実現することが可能となる。

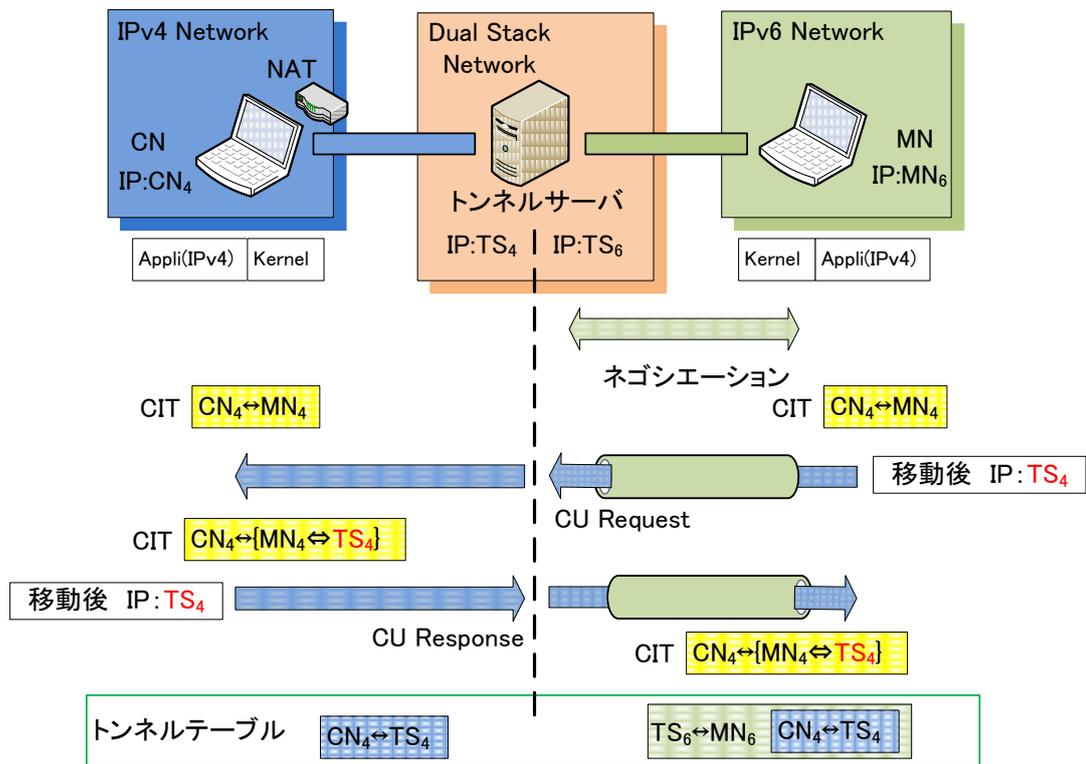


図 5 トンネル型 Mobile PPC のシーケンス

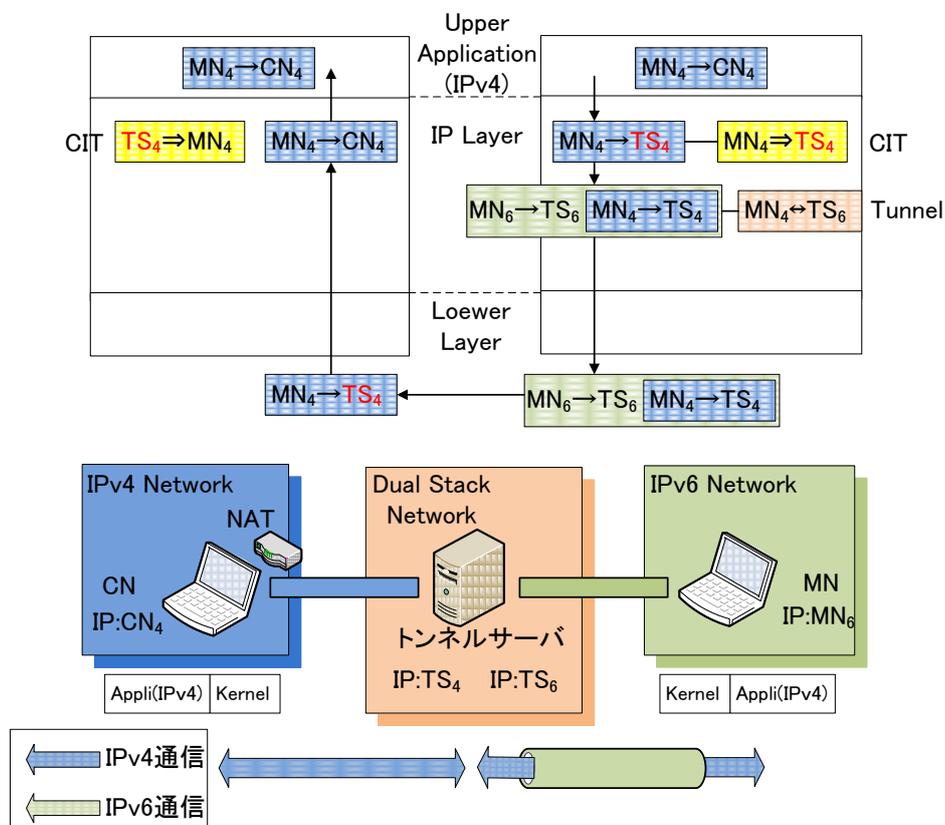


図 6 提案方式によるパケットフロー

6. まとめ

本稿では、IPv4/IPv6 混在環境における移動透過性を実現するため、トンネルシステムを用いた Mobile PPC の拡張法についての動作検討を行った。今回は IPv4 環境から IPv6 環境への移動にのみ焦点を絞ったが、逆のパターンである IPv6 環境から IPv4 環境への移動に関する検討が十分でない。今後逆のパターンについても検討し、今後変化していくネットワーク環境でも柔軟に対応できるシステムについて検討していく。

参考文献

- [1]竹内 元規, 鈴木 秀和, 渡辺 晃: “エンドエンドで移動透過性を実現する Mobile PPC の提案と実装”, 情報処理学会論文誌, Vol.47, No.12, pp.244-3257, Dec.2006.
- [2]寺澤 圭史, 鈴木 秀和, 渡辺 晃: “IPv4/IPv6 混在環境で移動透過性を可能にする Mobile PPC の実現”, マルチメディア, 分散, 協調とモバイル(DICOMO2009) シンポジウム論文集, Vol.2009, No.1, Jul.2009.