

# Network-Based Mobility Management に基づく 移動ネットワークプロトコルの提案

有田 哲也<sup>†2</sup> 寺岡 文男<sup>†1</sup>

ノードの集合であるネットワークがインターネット内を移動するネットワークモビリティが注目を集めている。我々は、ネットワークモビリティを使用した大容量通信可能な列車インターネットの研究の過程で、ハンドオーバー直後の無線リンクの品質がハンドオーバー時間に大きな影響を与えることが分かった。この課題を解決するために、本稿は Network-based Local Mobility Management に基づいた移動ネットワークプロトコルを提案した。本提案手法が有効であることを確認するために、無線リンクの品質を変化させたときの NEMO Basic Support と提案手法のハンドオーバー時間を比較した。その結果、提案手法が有効に動作することが確認できた。

## A Proposal of Network Mobility Protocol based on Network-based Mobility Management

TETSUYA ARITA<sup>†4</sup> and FUMIO TERAOKA<sup>†3</sup>

In recent years, Network Mobility becomes one of popular topics of research, which a network consisted of some nodes moves in the Internet. We develop Broadband Communication system for the High-speed Train with Network Mobility Support Protocol. immediately after handover, the infrared link has a bad case. So signaling messages in NEMO BS occurred loss. it badly affect handovers. We propose and design a new Network Mobility Protocol, which is based on Network-based Local Mobility Management. To compare our proposal with NEMO BS from a viewpoint as handover latency, we have an experiment on the same condition with High-speed Train. As a result, it is confirmed that the proposed method works effectively.

### 1. はじめに

近年、列車や航空機などの乗客にインターネットの接続サービスを提供することができる Network mobility に関する注目が高まっている。我々は赤外線通信装置を用いた大容量通信可能な列車インターネットに関する研究を行っており、リンク層情報を利用した高速ハンドオーバー方式を提案している<sup>1)</sup> また、モビリティサポートプロトコルには Network Mobility Basic Support Protocol<sup>2)</sup> を利用しており、列車内の乗客へ Global IPv6 インターネット接続を提供する。この研究の有用性を実証するために、2010年1月に130 km/h で走行する列車を用いた通信実験を行った。実験の結果、ハンドオーバー直後に赤外線リンクの状態が不安定になり、NEMO BS のシグナリングメッセージが損失する可能性が判明した。そのため、ハンドオーバーに要する時間が秒単位で増加する結果となった。また、NEMO BS は既知の問題点として、データ配送時の冗長経路の問題や移動ネットワークが階層化した際のトンネリングによるヘッダオーバーヘッドの問題を持つ。

そこで、本論文では有線ネットワーク側でシグナリングを実行することができる Network-based Local Mobility Management に基づいた移動ネットワークプロトコルを提案する。また、提案したプロトコルが無線リンクの状態に関わらず一定の時間でハンドオーバー可能であることを予備実験で確認する。

### 2. 関連研究

本章では、NEMO BS について説明する。その後、有線ネットワーク側でシグナリングメッセージを交換する Proxy Mobile IPv6 (PMIPv6)<sup>3)</sup> と PMIPv6 を移動ネットワークに対応できるよう改良した NEMO-enabled PMIPv6 (N-PMIPv6)<sup>4)</sup> について紹介する。

#### 2.1 NEMO Basic Support Protocol

NEMO BS は移動ネットワークに移動透過性を提供するプロトコルであり、Mobile IPv6<sup>5)</sup> を拡張したプロトコルである。図1は NEMO BS を使用したネットワークを表している。移動ネットワークのデフォルトルータである Mobile Router (MR) は Home Address (HoA) と Care-of Address (CoA) と呼ばれる2つのIPアドレスを持っている。HoA は移動によ

<sup>†1</sup> 慶應義塾大学理工学部

<sup>†2</sup> 慶應義塾大学大学院理工学研究科

<sup>†3</sup> Keio University

<sup>†4</sup> Graduate School of Keio University

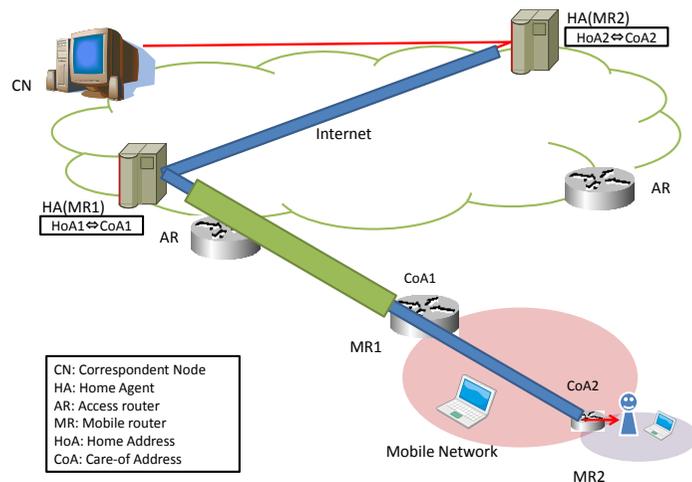


図 1 NEMO BS の概要

で変化しない IP アドレスであり, CoA は移動先のネットワークで一時的に割り当てられる IP アドレスである. NEMO BS は Home Agent (HA) と呼ばれるエンティティにおいて, この 2 つの IP アドレスの対応関係を管理することによって, 移動ネットワークに移動透過性を提供している.

NEMO BS は既にいくつかの問題点が指摘されている. 図 1 のように, NEMO BS は必ず HA を経由した冗長経路での通信となる. また, 移動ネットワークが階層化した場合, 階層の深さに応じた数の HA を経由するため, この問題はさらに深刻になる. また階層化したネットワークの場合, トネリングによってヘッダオーバーヘッドが増加することも問題となっている.

図 2 は NEMO BS のハンドオーバー時のメッセージシーケンスを表している. 図 2 のように, MR は Binding Update (BU) や Binding Acknowledge (BA) といったシグナリングメッセージを HA と交換し, 位置情報を更新している. しかし, ハンドオーバー直後の無線リンクの状態が不安定な場合, MR と AR の間でやり取りされるシグナリングメッセージが損失する可能性がある. シグナリングメッセージが損失した場合, MR や HA はタイムアウトが生じるまで待機するため, ハンドオーバーが完了するまでに秒単位の時間を要するこ

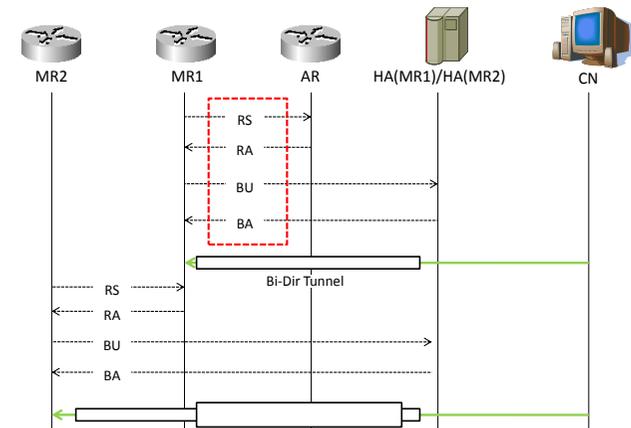


図 2 NEMO BS の概要

ととなる.

## 2.2 Proxy Mobile IPv6

PMIPv6 は IETF によって標準化された Network-based Local Mobility Management Protocol のひとつである. PMIPv6 の概要を図 3 の (1) に示す.

PMIPv6 によって移動を管理されているアクセスネットワークを Proxy Mobile IPv6 Domain (PMIPv6 ドメイン) と呼び, 移動ホストである Mobile Node (MN) は PMIPv6 ドメイン内で移動透過性が保証される.

図 3 の (1) で示されるように, PMIPv6 ドメインには Local Mobility Anchor (LMA) と Mobile Access Gateway (MAG) が設置される. MIPv6 や NEMO BS は MN, MR に対して移動に関わらず一意なアドレスである HoA と移動先ネットワークで割り当てられる CoA の対応関係を保持することによって移動透過性を提供している. しかし, PMIPv6 は MN にアドレスではなく Home Network Prefix (HNP) と呼ばれるプレフィックスを割り当てる. MN は HNP から HoA を生成し, 移動先のネットワークにおいても常に同じ HoA を使用し続けることで移動透過性が提供される.

LMA は MN の移動を支援するルータであり, MN の位置情報を Binding Cache Entry

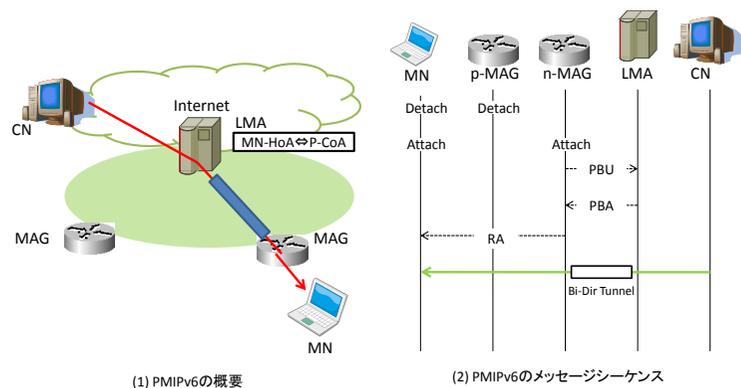


図 3 PMIPv6 の概要とメッセージシーケンス

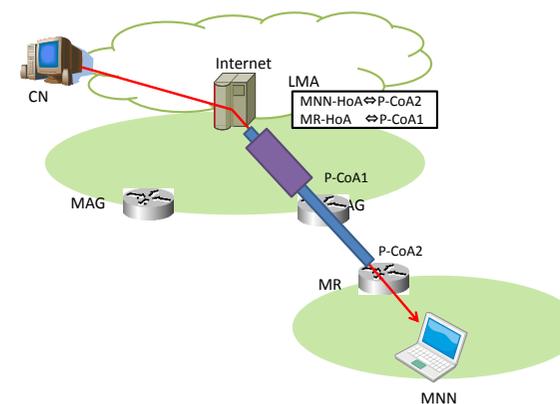


図 4 N-PMIPv6 の概要

(BC) と呼ばれるテーブルに保持する。また、LMA は MN のトポロジ的アンカーポイントに位置するため、MN 宛でのパケットは全て LMA を通過する。一方、MAG はアクセスネットワークの最端に位置し、MN のデフォルトルータとして機能する。PMIPv6 ドメイン内の全ての MAG は同じリンクローカルアドレスを使用することで、MN のホームリンクをエミュレートする。MAG は MN の Identifier (MN-ID) を用いることで MN の移動を追跡し、MN の代りにシグナリングを実行する。また MAG も MN に関する情報を Binding Update List Entry (BUL) に保持する。

図 3 の (2) は PMIPv6 のハンドオーバー時のメッセージシーケンスを示している。MN が p-MAG から n-MAG へハンドオーバーした場合、n-MAG は MN の移動を検知し、MN の代りにハンドオーバー処理を行う。n-MAG は LMA に Proxy Binding Update (PBU) を送信する。LMA は PBU を受信すると、PBU に含まれる MN-ID から MN に関連する BC を更新する。その後、Proxy Binding Acknowledgment (PBA) を n-MAG に送信する。PMIPv6 の場合、ハンドオーバー直後の無線リンクが不安定な状態であったとしても、有線側ネットワークでシグナリングを実行するため、NEMO BS に比べシグナリングメッセージが損失する可能性は低い。

PMIPv6 は上記のようにホスト単体の移動を支援するが、移動ネットワークの移動を支援しない。

### 2.3 NEMO-enabled PMIPv6

PMIPv6 を NEMO に拡張する、NEMO と同時に使用するという提案は今までに何度かなされている<sup>6)</sup>。しかし、MR と MAG 間を移動した際の移動透過性の提供などが問題となってきた。

NEMO-enabled PMIPv6 (N-PMIPv6) は移動ネットワークをサポートできるように PMIPv6 を拡張したものである。図 4 は N-PMIPv6 の概要を表している。N-PMIPv6 を構成するエンティティは、LMA、MAG、MR、Mobile Network Node (MNN) である。従来の LMA や MAG だけでなく、MR が MAG のように振る舞うことによって PMIPv6 ドメインを拡張する。MR は接続する MNN の移動を支援する。

N-PMIPv6 における移動ネットワーク内の MNN へのパケット配送は次のように行われる。パケットを受信した LMA は MNN へパケットを配送するために BC を再帰的に lookup する。まず、LMA は MNN が直接接続する MR を取得し、MR へのトンネリングする。さらに LMA は固定 MAG に到達するまで再帰的に lookup を続ける。LMA が固定 MAG を

取得すると MAG へトンネリングしてパケットを配送する．さらに，MAG で受信されたパケットは MR までのトンネルを通して MNN に到達する．

N-PMIPv6 は上記のように移動ネットワークの移動を支援することが可能となった．しかし，移動ネットワークが階層化する場合，再帰的なトンネリングによってヘッダオーバーヘッドが増大するという問題を抱える．

### 3. Proxy Network Mobility Protocol

本章では，前章で述べた既存のモビリティサポートプロトコルの問題点を考慮した Proxy Network Mobility Protocol (PNEMO) を提案する．

#### 3.1 概要

図 5 は PNEMO の概要を示している．PNEMO は PMIPv6 や N-PMIPv6 と同じように Network-based Local Mobility Management Protocol に基づいており，ネットワーク側がホスト単体や移動ネットワークの移動を支援する．このため，PNEMO は従来の NEMO BS が抱えていた課題を解決する次の特徴を持つ．

- 最適経路の通信が可能
- 有線側ネットワークでシグナリングを実行することが可能

PNEMO を構成するエンティティは LMA，MAG，MR と MR や MNN のプロファイルを管理する Policy Server (PS) の 4 つである．Policy Server は MR，MNN のプロファイルを保持する．ここでいうプロファイルは LMA のアドレス (LMAA) やノードのタイプなどの情報である．PNEMO では移動ネットワークの移動をサポートするために MNN が接続する MR の情報を BC，BUL に保持できるように LMA，MAG を拡張する．LMA は MR や MNN の Identifier を用いて PS からプロファイルを取得し，HNP や Mobile Network Prefix (MNP) の割り当てを行う．MAG もプロファイルの情報をを用いて PS に問い合わせを行い，指定された LMA へシグナリング処理を行う．MR は MAG と同じリンクローカルアドレスを使用することで，MNN のホームリンクをエミュレートする．これによって，MNN は MAG と MR の間を自由に移動することが可能となる．

次に移動ネットワーク内へパケットを配送する手順を次に示す．LMA は受信したパケットを移動ネットワーク内の MNN へ配送するために，BC を lookup して MNN の接続する MAG を取得する．LMA はトンネリングして MAG へパケットを配送する．MAG はパケットを受信すると BUL を参照し，MNN が接続する MR を取得する．取得した MR へパケットをフォワーディングすることで移動ネットワークへパケットを配送することが可能

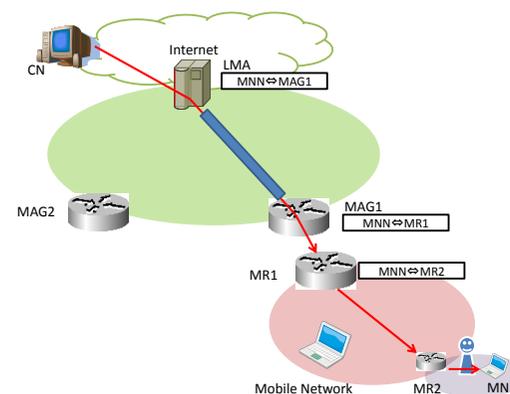


図 5 PNEMO の概要

となる．

図 6 はハンドオーバー時のメッセージシーケンスを表している．移動ネットワークが p-MAG から n-MAG へハンドオーバーするとき，n-MAG が MR へ Router Advertisement (RA) を送信しているが，MR は既にアドレスを設定済みであるため，RA の有無にかかわらず通信を再開することが可能である．つまり，図 6 が示すように PNEMO はハンドオーバー直後の無線リンクが不安定な状態であっても，有線側ネットワークでシグナリングを実行するため，NEMO のように大幅にハンドオーバー時間が増加することはない．

#### 3.2 階層化ネットワークへの対応

次に階層化した移動ネットワークへパケットを配送する手順を示す．PNEMO では階層化したネットワークへ移動透過性を提供するために 6 つの新しいメッセージを定義した．図 5 で示すように移動ネットワークが階層化した場合について説明する．図 7 は移動ネットワークが階層化したときのシグナリングを示している．MR1 に MR2 が接続した場合，次のようなシグナリングを実行する．

- (1) MR2 は Router Solicitation (RS) を MR1 へ送信する．
- (2) RS を受信した MR1 は Nested Binding Update (NBU) を MAG へ送信する．
- (3) MAG は NBU に含まれる MR の Identifier (MR-ID) を取得し，PS に Profile Re-

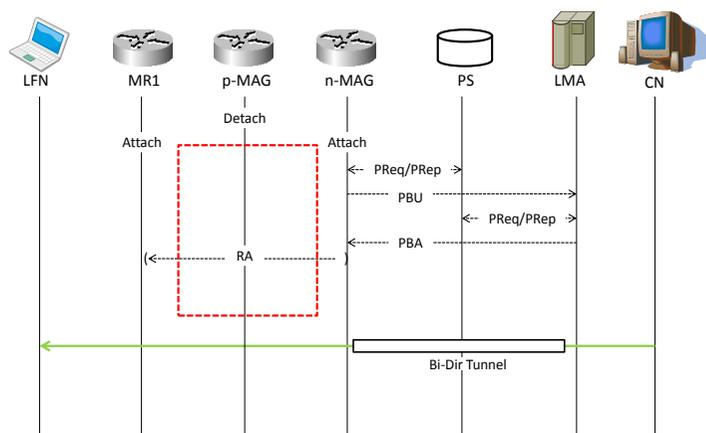


図 6 PNEMO のメッセージシーケンス

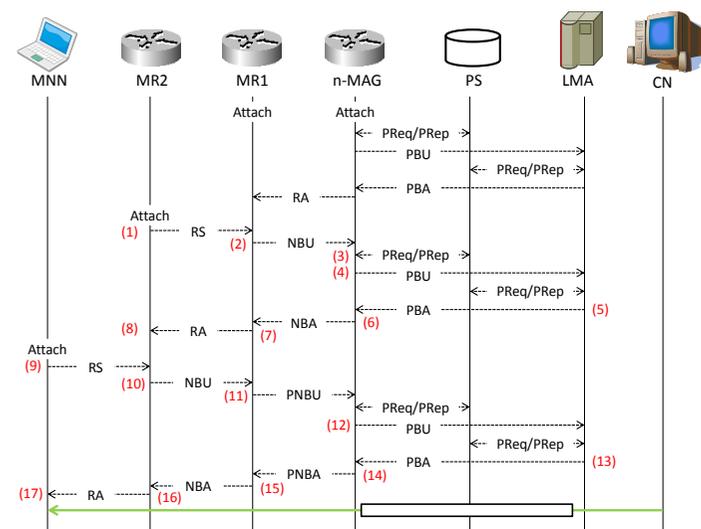


図 7 ネットワーク階層化時のメッセージシーケンス

quest (PReq) を送信して MR2 のプロフィールを要求し、Profile Reply (PRep) を受信することで、MR2 の情報を得る。

- (4) MAG は BUL に MR2 の最上位 MR が MR1 であることを登録し、LMA へ PBU を送信する。
- (5) PBU を受信した LMA は、PS からプロフィールを取得した後、BC に MR2 の情報を登録し、PBA を MAG に送信する。
- (6) PBA を受信した MAG は Nested Binding Acknowledgement (NBA) を MR1 に送信する。
- (7) MR1 は NEMO State Table と呼ばれるテーブル内に MR2 の情報を登録し、MR2 へ Router Advertisement (RA) を送信する。
- (8) RA を受信した MR2 は RA に含まれる HNP から HoA を生成し、通信が可能となる。さらに MR2 に MNN が接続した場合のシグナリングについて、次に示す。
- (9) MNN は RS を MR2 に送信する。
- (10) MR2 は NBU を MR1 に送信する。
- (11) MR1 は MNN と MR2 の binding を NEMO State Table に登録し、Proxy Nested

Binding Update (NPBU) を MAG に送信する。

- (12) MAG はプロフィールを交換後、BUL に MNN の情報と MNN の最上位 MR が MR1 であることを登録する。その後、PBU を LMA に送信する。
- (13) LMA は BC に MNN の情報を登録した後に PBA を MAG に送信する。
- (14) MAG は Proxy Nested Binding Acknowledgement (PNBA) を MR1 に送信する。
- (15) MR1 は NBA を MR2 へ送信する。
- (16) MR2 は NBA を受信すると、NEMO State Table に MNN と HNP の対応関係を登録する。その後 RA を MNN に送信する。
- (17) RA を受信した MNN は HoA を生成し、通信が可能となる。

上記のように、シグナリングを実行する。

次に MNN へパケットを配送する場合を考える。パケットを受信した LMA は BC から MNN の MAG を取得し、LMA と MAG を端点とするトンネルを確立してパケットを配送する。次に MAG は BUL から MNN の最上位 MR として MR1 を取得し、パケットをフォワーディングする。MR1 は自身の NEMO State Table を参照し、MR2 へパケットをフォ

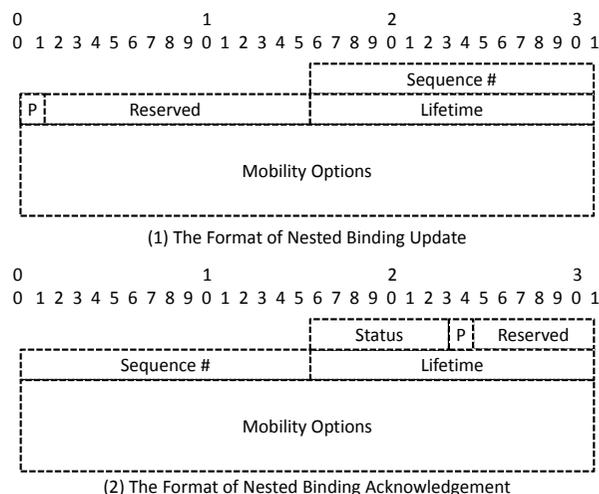


図 8 メッセージフォーマット

ワーディングする。MR2 で同様に処理し、MNN へパケットが配送される。

以上のように、PNEMO は LMA と MAG の間でのみトンネリングする。そのため、移動ネットワークの階層の深さに関係なく、トンネリングオーバーヘッドは常に一定に抑えることができるという特徴を持つ。

### 3.3 メッセージフォーマット

本節では、PNEMO を設計する上で新しく定義したシグナリングメッセージについて示す。図 8 は NBU, NBA のメッセージフォーマットを表している。NBU, NBA とともに P フラグを立てることにより、PNBU, PNBA として扱われる。

MNN が最上位の MR に接続したとき、MR は階層化したことを MAG へ伝えるために NBU を送信する。このとき MR は NBU に Upper-MR Identifier option を付ける。NBU を受信した MAG は Upper-MR Identifier option から MR-ID とリンク層アドレスを取得し、MNN との対応関係を BUL に保持する。

MNN が最上位 MR ではない MR に接続したとき、MR は上位 MR へ NBU を送信する。上位 MR は NBU を受信すると、NBU の Upper-MR Identifier option の MR-ID, リンク層アドレスを NEMO State Table に登録する。その後、MAG に到達するまで再帰的

に PNBU をさらに上位の MR へと送信する。PNBU を送信する MR は MNN の ID を Mobile Node Identifier option に入れ、自身の MR-ID とリンク層アドレスを Upper-MR Identifier option に入れる。

MR が上位 MR や MAG から PNBA を受信した場合、MR は自身の持つ NEMO State Table を MNN の MN-ID で検索し、PNBA の Home Network Prefix option に含まれる HNP や MNP を登録する。

NBA を受信した MR は、PNBA を受信したときの処理を実行した後、NBA の Home Network Prefix option より割り当てられた HNP を取得し、RA として MNN に広告する。

上記のように、階層化した移動ネットワークは NBU, NBA を用いることで PMIPv6 ドメイン内の LMA や MAG に登録し、階層化されたネットワークへの移動透過性を保証する。

## 4. 予備実験

本章では、PNEMO を実装する前に予備実験を行い、PNEMO が無線リンクが不安定な状況において、有効に動作することを確認した。

図 9 に示したネットワークを構築した。予備実験では列車を用いた通信実験時の無線リンクの状態を無線環境エミュレータ<sup>7)</sup>でエミュレートし、NEMO と PNEMO のハンドオーバに必要な時間を比較した。

予備実験は UDP 上に擬似シグナリングメッセージを作成し、NodeA と NodeB 間で交換した。列車を用いた通信実験のログから、ハンドオーバ直後に無線リンクが不安定になった状態 (BAD1, BAD2) とハンドオーバ直後も比較的安定していた状態 (GOOD1, GOOD2), またパケットロスのない理想的なリンク状態 (NO PACKET LOSS) の 5 種類の無線リンク状態を用意した。それぞれのリンク状態について 10 回ずつ測定し、平均値を取得した。

図 10 の (1), (2) に予備実験の結果を示す。横軸はやり取りするシグナリングメッセージを表す。図 10 の (1) は PNEMO の結果を、図 10 の (2) は NEMO BS の結果を表している。NEMO BS の場合、BAD1, BAD2 において通信再開までに 1 秒から 2 秒の時間を要している。PNEMO の場合も BAD1, BAD2 において RA を受信するまで 1 秒近い時間を必要としている。しかし、PNEMO の場合、MAG が PBA を受信した時点で通信が再開するため、BAD1, BAD2 においても NO PACKET LOSS に近い時間で通信再開が可能となっていることが分かる。したがって、予備実験より PNEMO がハンドオーバ直後の無線リンクの状態に関わらず、高速に安定したハンドオーバが可能であることが確認できた。

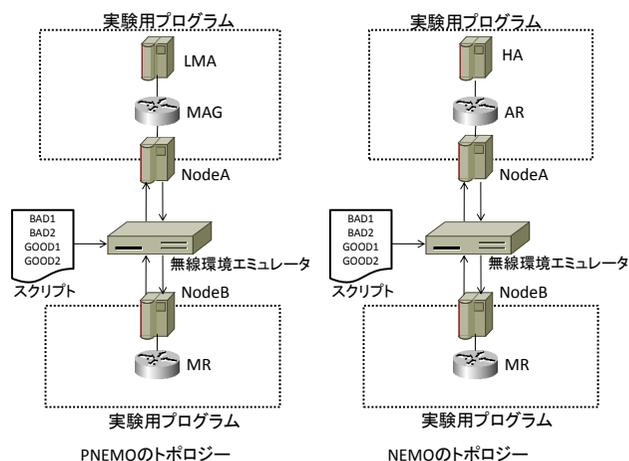


図 9 実験トポロジー

## 5. おわりに

本論文では Network-based Local Mobility Management に基づく移動ネットワークプロトコルである Proxy Network Mobility Protocol (PNEMO) を提案した。PNEMO を用いることで、最適経路での通信、トンネリングによるヘッダオーバーヘッドの抑制が可能となる。また、ハンドオーバー直後の無線リンクが不安定な状態における NEMO BS と PNEMO のハンドオーバー時間についての予備実験を実行し、比較した。その結果、PNEMO は無線リンクの状態に関わらず、一定時間での通信再開が可能であることが確認できた。

今後、我々は本提案手法を Linux 上に実装し、ハンドオーバー時の動作確認や移動ネットワークの階層化した場合の動作確認を行う予定である。

最後に、本提案手法と類似の手法である Network Mobility Support in PMIPv6 Network (N-NEMO)<sup>8)</sup> が提案されていることを紹介させていただく。

## 参考文献

- 1) Arita Tetsuya and Teraoka Fumio. A Fast Handover Mechanism Using Cross-Layer Collaboration for Mobile Networks in High-Speed Trains. In *The third AsiaFI Winter School*, Feb. 2010.
- 2) V. Devarapalli, R. Wakikawa, A. Petrescu, and P. Thubert. Network Mobility

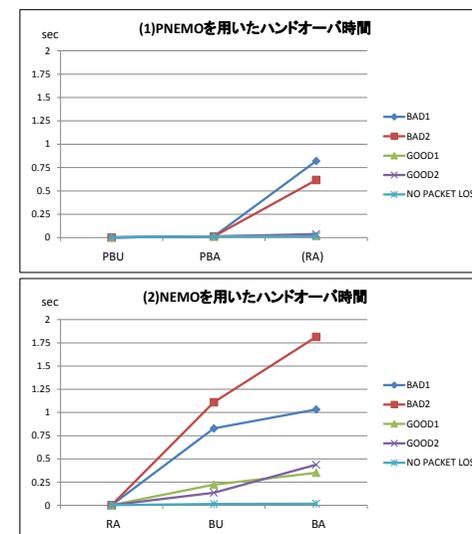


図 10 実験結果

(NEMO) Basic Support Protocol. RFC3963, *IETF*, Jan. 2005.

- 3) S.Gundavelli, K.Leung, V.Devarapalli, K.Chowdfury, and B.Patil. Proxy Mobile IPv6. RFC5213, *IETF*, Jun. 2008.
- 4) Ignacio Soto, CarlosJ. Bernardos, Maria Calderon, Albert Banchs, and Arturo Azcorra. Nemo-enabled localized mobility support for internet access in automotive scenarios. *Comm. Mag.*, Vol.47, No.5, pp. 152-159, 2009.
- 5) D.Johnson, C.Perkins, and J.Arkko. Mobility Support in IPv6. RFC3775, *IETF*, Jun. 2004.
- 6) C.J. Bernardos, M.Calderon, and I.Soto. PMIPv6 and Network Mobility Problem Statement. Internet-Draft draft-bernardos-netext-pmipv6-nemo-ps-01, Internet Engineering Task Force, October 2009. Informational.
- 7) 神谷弘樹, 渋井理恵, 寺岡文男. IP モビリティ実験のための無線環境エミュレータの試作. 情報処理学会 マルチメディア通信と分散処理 研究報告 No.118, pp. 19-24, June 2004.
- 8) Zhiwei Yan, Sidong Zhang, Huachun Zhou, Hongke Zhang, and Ilsun You. Network mobility support in pmipv6 network. In *IWCMC '10: Proceedings of the 6th International Wireless Communications and Mobile Computing Conference*, pp. 890-894, New York, NY, USA, 2010. ACM.