

## 移動体通信用 IP バックボーンにおけるモバイル IP の 適用に関する一検討

横田 英俊<sup>†</sup> 廣瀬 功一<sup>†</sup> 前島 治<sup>†</sup>  
井戸上 彰<sup>†</sup> 加藤 聰彦<sup>†</sup>

第3世代移動通信システム IMT-2000 のバックボーンネットワークに IP 技術を利用する検討が積極的に行なわれている。筆者等は、Mobile IP で提案されているマイクロモビリティに関する方式を比較し、大規模な移動体通信ネットワークに適した手法について考察を行なう。さらに IPv4 をベースとした Mobile IP のアーキテクチャモデルについて示し、効率的なルートの最適化および移動端末のデータ転送に関するプロトコル手順について詳細に報告する。

### A Study on Applying Mobile IP to Mobile Backbone Network

HIDETOSHI YOKOTA,<sup>†</sup> KOICHI HIROSE,<sup>†</sup> OSAMU MAESHIMA,<sup>†</sup>  
AKIRA IDOUE<sup>†</sup> and TOSHIHIKO KATO<sup>†</sup>

It has been actively discussed to apply IP technologies to IMT-2000, the third generation mobile systems, in 3GPP or 3GPP2. We compare several Mobile IP proposals for smooth hand-off to realize efficient micro-mobility, and discuss an appropriate method for a large-scale mobile communication network. Further, we present a Mobile IP architecture model based on IPv4 and the procedures for a mobile host to transfer or receive data there, and propose a more efficient route optimization method than currently proposed in IETF.

#### 1. はじめに

第3世代移動通信システム (IMT-2000) では、そのバックボーンネットワークに IP 技術を利用する検討が行なわれている。IP パケット通信の実現方式に関しては、欧州では 3GPP (Third Generation Partnership Project) において GSM (Global System for Mobile Communication) ベースの GPRS (General Packet Radio Service) の拡張を中心に検討が行なわれている。また米国では 3GPP2 (Third Generation Partnership Project 2) において検討が行なわれているが、特に ANSI 配下の TIA (Telecommunication Industry Association) において、図 1 に示すように IETF (Internet Engineering Task Force) で規定されている Mobile IP<sup>1)</sup> を積極的に利用するアーキテクチャの検討が進められている<sup>2)</sup>。

移動体通信ネットワークに Mobile IP を適用する際には以下の問題点を検討する必要がある。

- 高速なマイクロモビリティ

- IPv4/v6 より異なるアーキテクチャモデル

Mobile IP では端末が移動して別のネットワークに接続された場合でも、その IP アドレスを変えずに既存の IP ルーティングでデータを転送してもらうようホームエージェント (HA) やフォールインエージェント (FA) と呼ばれるモビリティエージェントを利用する。移動端末はモビリティエージェントがブロードキャストする Agent Advertisement メッセージにより自分が別のネットワークに移動したことを認識し、自分の位置を HA に知らせてデータを転送してもらうようにする。このために移動端末は移動する毎に Registration Request メッセージを HA に転送し、HA から Registration Reply を受信する登録処理が必要となる。移動端末が高速に移動したり、連続的にデータ転送を行なう状況では、登録処理を行なう前および最中にその移動端末宛に送られて来たデータが移動先に転送されないなど、転送の中断が生じる可能性がある。

もう一つの問題点として、現在広く利用されている IPv4 をベースとして大規模なネットワークを構成する場合には、プライベートアドレスの利用を前提としたアーキテクチャモデルが必要となるが、Mobile

<sup>†</sup> (株)KDD 研究所  
KDD R&D Laboratories, Inc.

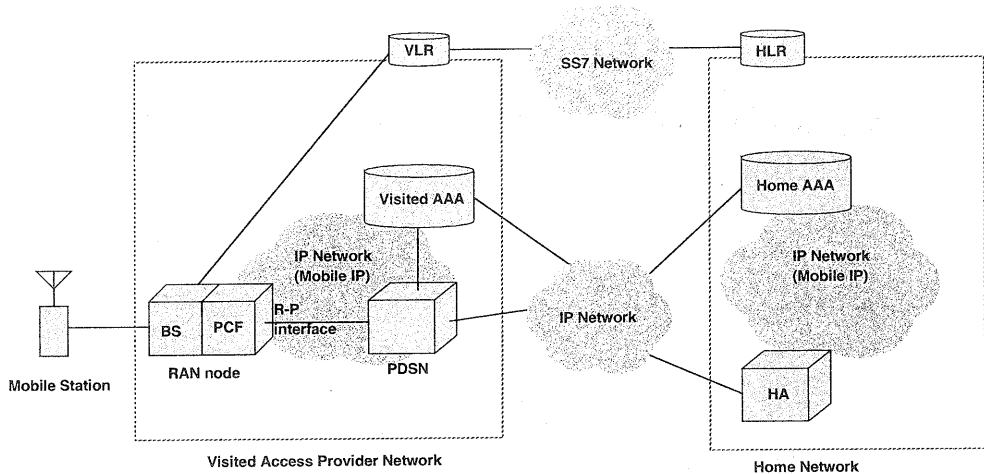


図1 3GPP2におけるIMT-2000アーキテクチャモデル

IP WG においてはこれに関する検討が十分ではない。IPv6 をベースとしたネットワークでは、アドレス割り当てに関する問題は解決されるが、FA を持たないアーキテクチャモデルのため、階層化された高速なマイクロモビリティに関してはドラフトによる検討の段階である。本稿では、2. において、マイクロモビリティを実現するために現在提案されている高速なハンドオフの方式について比較を行ない、大規模な移動体通信用 IP バックボーンに適した方式について検討する。また 3. において、現在ほぼ仕様が完成している IPv4 をベースとして移動体ネットワークを構築する際のアーキテクチャモデルについて考察する。これらの検討結果をもとに 4. において移動端末からの発信および移動端末への着信に関する手順について示し、DNS を利用した効率的なルートの最適化に関する提案を行なう。最後に 5. でまとめを述べる。

## 2. マイクロモビリティに関する手法の検討

IETF の Mobile IP WG では、無線アクセスネットワーク内で移動する際のマイクロモビリティを効率化するために、高速なハンドオフに関する方式がいくつか提案されている。本章ではこれらの方式についての比較を行ない、大規模な移動体通信ネットワークに適用する際に適した方式について検討を行なう。

### 2.1 Cellular IP

Cellular IP<sup>3)</sup> はアクセスネットワーク内でローカルなモビリティを提供するための提案である。移動端末は Mobile IP ではなく独自の機能をサポートする必要がある。

### ○ データの配送

移動端末からのデータは常に Base Station (BS) を経由して上位に位置するゲートウェイ (GW) まで届けられた後に配送される。GW は移動端末の FA として機能し、移動端末の HA に Registration Request (RRQ) を送信する。GW から各移動端末へのルートは移動端末とそれが収容されている基地局の組として Route Cache に保存される。Route Cache を用いてルーティングするため、通常の IP ルーティングは要求されていない。

### ○ 位置管理

各移動端末は定期的またはセル (cellular IP network) を移動する度に Route-update メッセージ (ICMP を利用) を送信し、Route Cache の更新を促す。また移動端末が通常のデータを送ることで Route Cache の更新が行われる。BS 間のハンドオフについては、Route-update の S ビットをセットして複数のバインディングを生成する (Mobile IP の RRQ の S ビットと同様)。ハンドオフが完了したら、S ビットをクリアした Route-update を転送して古いバインディングを消去する。

端末が移動するとすぐに Route-update を送出するため、Agent Advertisement メッセージを受け取ったあとに RRQ を送信する手順に比べてハンドオフのタイミングが早くなる。しかし、移動端末へのデータは必ず GW を通るようルーティングされるため、かならずしも最短とはならない。また、セルラー IP ネットワーク内ではルーティングテーブルのアグリゲーションができない。

## 2.2 HAWAII

Hand-off Aware Wireless Access Internet Infrastructure (HAWAII)<sup>4)</sup>もアクセスネットワーク内でローカルモビリティを提供する。

- データの配送

アクセスネットワークをホームドメインおよび移動先ドメインに分け、ホームドメインにいるときには、Domain Root Router (DRR:ドメイン内の最上位のルータ)から直接配送される。移動先ドメインにいるときには、ホームのDRRから移動先のDRRへデータが転送され、CCOA (Collocated Care-of Address)宛てにトンネルされて配送される。DRRまでは通常のIPルーティングを行うが、それ以下はホストベースのルーティングになる(各ルータは移動端末とそれに転送するためのインターフェースの組を保持する)。このためにもとのBSから新しいBSにパスを設定する手続きを行い、またこれがルートの最適化になっている。

- 位置管理

移動端末はBSにRRQを送信する。BSからDRRまではHAWAIIプロトコルで転送エントリ(Forwarding entry)を作成していく。DRRはBSにACKを返し、その後BSは移動端末にRegistration Reply (RRP)を送信する。

ドメイン内でのデータ転送については、Cellular IPと異なり、階層化されたネットワーク上で最短となるようなパスをたどる。ただし、CCOAを使ってもFAと通信するように移動端末の動作を変更する必要がある。またCellular IPと同様にルーティングテーブルのアグリゲーションはできない。

## 2.3 Regional Registration

Regional Registration<sup>5)</sup>はアクセスネットワーク内において、Gateway Foreign Agent (GFA)、Regional Foreign Agent (RFA)、FAのようにFAを階層化させ、ネットワーク内で移動する場合にはその中で登録を済ましてしまう提案である。これによりGFA内の移動ではHAへの登録が必要無くなりハンドオフが高速化される。また、Route Optimization<sup>6)</sup>を利用することでハンドオフ中にネットワーク上に転送されたデータを出来るだけ移動先に転送することが可能となる。

- データの配送

ルーティングは通常のIPルーティングを用いる。ただし、移動端末がRRQをGFAに向けて転送する過程で、途中のFAはentry listに移動端末

とそれに送るための下位のFAを記録しておく。

- 位置管理

GFAから出される広報メッセージは下位のFAが受け取り、自分のNetwork Access Identifier (NAI)<sup>7)</sup>を追加して、さらに下位のFAに広報していく。移動端末は宛先をGFAとしたRRQをFAに送信する。FAからGFAへはFAのNAIを追加しながらRRQを転送する。GFAが変わらないかぎり、HAにRRQが転送されることはない。

Regional Registrationでは全てのネットワークにおいてMobile IPを利用することを前提とし、通常のIPルーティングを行なうためルーティングテーブルのアグリゲーションが可能である。

## 2.4 各方式の比較

前節で述べた3方式を比較すると、ハンドオフの高速性については機能的にはほとんど差が無い。一方Cellular IPおよびHAWAIIはルーティングに関して、各移動端末毎にネクストホップノードを保持するルーティング方式を取るため、端末の数が増えるとルートのアグリゲーションが出来ず、端末の数だけネクストホップノードを保持する必要がある。したがって、移動端末の数に対するスケラビリティを考慮すると通常のIPルーティングを利用した方が有利であると考えられる。IPによるモビリティを主な手段とする移動体通信網では、ルーティングにかかる資源の面からRegional RegistrationとRoute Optimizationの組合せによる移動管理手法が望ましいと考えられる。

## 3. IPv4によるMobile IPネットワークのアーキテクチャ

IPv4をベースとした移動体ネットワークを構築する場合には、アドレスを出来るだけ有効利用した構成を取る必要がある。このため各アクセスネットワーク内ではプライベートアドレスを利用し、マイクロモビリティを提供するためにGFAを配置する。Mobile IPを適用したIMT-2000ネットワークの構成を図2に示す。PDSN(Packet Data Serving Node)にはグローバルアドレスを持ったGFAが対応し、ドメイン内の移動端末と外部ネットワークのアクセスのためのNAT<sup>8)</sup>およびドメイン名とIPアドレスの参照のためのDNSが置かれる。以下に本ネットワークの構成要素に関する前提条件を示す。

- Regional Registrationを利用する。
- GFAの配下のノードはプライベートアドレスを利用する。

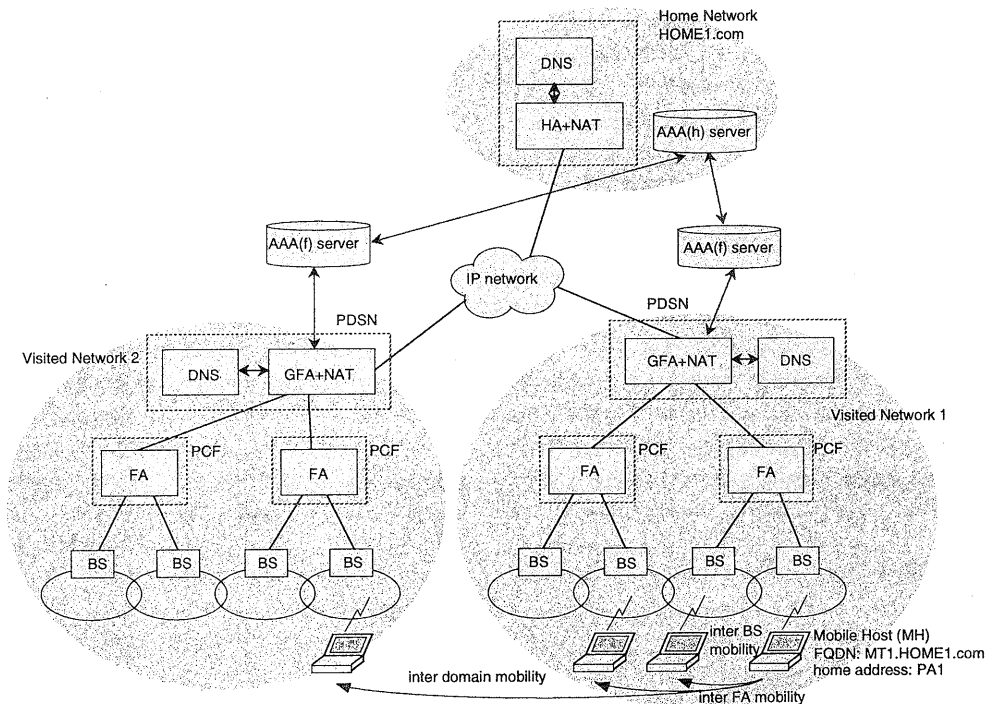


図2 プライベートネットワーク利用した Mobile IP バックボーン の構成

- 端末の指定は FQDN (Fully Qualified Domain Name) で行なう。
- GFA と HA に NAT の機能を持たせる。
- 移動端末のグローバルアドレスはホームネットワークの NAT が割当を行なう。
- 移動端末への着信時には、DNSサーバと HA/GFA を連携させる。

#### 4. Mobile IP を適用した移動体通信用 IP バックボーン

##### 4.1 モビリティ管理

端末が移動先ネットワークに来た時の最初の登録は HA に対して行なう。移動端末は RRQ メッセージ Regional Registration を HA 宛に送出するが、Regional Registration を利用している場合には RRQ は FA の階層にしたがって GFA に渡される。GFA ではローカルの AAA サーバを経由してホームネットワークの AAA サーバに認証を依頼する<sup>9)</sup>。認証が成功するとローカルの AAA サーバを介して GFA に応答が転送される。この後 GFA は RRQ を HA に送信する。HA では端末の登録を行ない、Registration Reply (RRP) メッセージを GFA 宛に送信する。RRP は FA を経由して移動端末に転送される。

以下、マイクロモビリティについて BS 間での移動、FA 間での移動、ドメイン間での移動の場合に分けて述べる。

##### 4.1.1 BS 間の移動

BS 間での移動はレイヤ 2 で行ない、Mobile IP に関するモビリティの変化は無い。旧 BS へ配送されたデータの新 BS への転送はレイヤ 2 の機能に依存する。

##### 4.1.2 FA 間の移動

FA 間で移動する場合のメッセージフローを図 3 に示す。FA 間の移動では GFA が変わらないので端末が送出した RRQ は GFA において RRP が返される。以下にその手順を述べる。

- (1) 移動端末 MH は移動先の BS と接続の確立を行なう。
- (2) MH は新 FA から Agent Advertisement メッセージを受け取る。
- (3) MH は移動先の FA に RRQ を送信する。
- (4) 移動先の FA は GFA に RRQ を転送する。
- (5) GFA は MH の entry list を検索し、エントリが存在していれば RRP を送信するとともに、MH を収容する FA を新しい FA に書き換える。
- (6) FA は BS に RRP を転送する。
- (7) BS は MH に RRP を転送する。

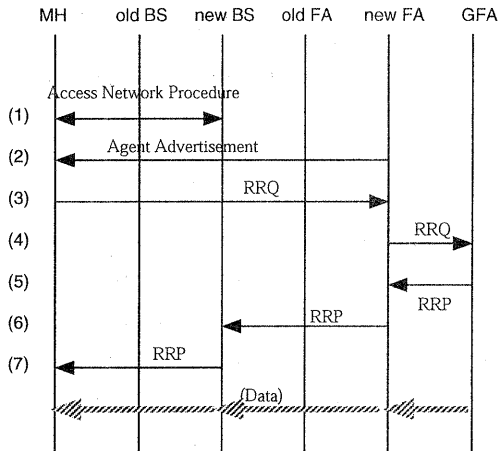


図3 FA間の移動におけるメッセージフロー

#### 4.1.3 ドメイン間の移動

ドメイン間で移動する際のメッセージフローを図4に示す。ドメイン間の移動ではGFAが異なるため、HAへRRQを送信する必要がある。以下にその手順を述べる。

- (1) 移動端末MHは移動先のBSと接続の確立を行なう。
- (2) MHはFAからAgent Advertisementメッセージを受け取る。
- (3) MHは移動先のFAにRRQを送信する。
- (4) 移動先のFAはGFAにRRQを転送する。
- (5) GFAはMHのentry listを検索し、エントリが存在していなければ、ローカルのAAA(f)サーバに認証要求メッセージを転送する。
- (6) AAA(f)サーバはMHのホームネットワークにあるAAA(h)サーバに認証要求メッセージを転送する。
- (7) AAA(h)サーバはMHの認証に成功したら、認証応答メッセージをAAA(f)サーバに送信する。
- (8) AAA(f)サーバはGFAに認証応答メッセージを転送する。
- (9) GFAはRRQをHAに転送する。
- (10) HAはMHのentry listを新しいGFAに書き換え、RRPメッセージを移動先GFAに転送する。
- (11) GFAはRRPを移動先FAに転送する。
- (12) FAはRRPをMHに転送する。

ドメイン間での移動の場合は移動元FAが別のドメインにおり、ドメイン毎にプライベートアドレスを用

いているため、Previous Foreign Agent Notification Extensionメッセージにより移動先FAに移動元のFAのアドレスを伝えてもFA間でのデータのトンネリングはできない(GFA間でのトンネリングは可能である<sup>10)</sup>)。

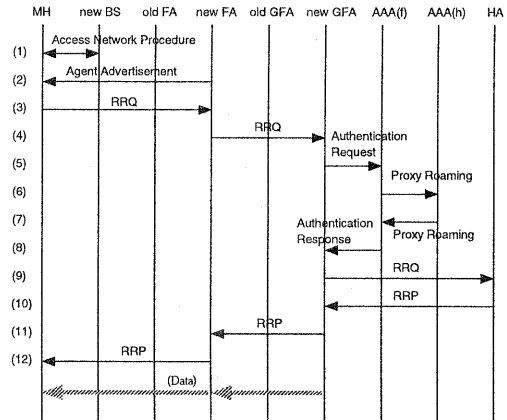


図4 ドメイン間の移動におけるメッセージフロー

#### 4.2 移動端末のから発信手順

移動端末のホームアドレス(プライベートアドレス)とグローバルアドレスとのバインディングは全てHA側のNATが行なう。従って移動端末から通信を開始する場合には、データの送信を契機に訪問先ネットワークのGFAが持つNATがホームネットワークのNATにバインディングの要求を行なう。移動端末からの発信手順とメッセージフローをそれぞれ図5および図6に示す。

- (1) 移動端末MHのはグローバルネットワーク上にあるホストA宛にデータを送信する。
- (2) GFA側のNATはGFAのエントリリストを参照しMHのホームネットワークにあるHA側のNATにMHに対するグローバルアドレスのバインディングを要求する。
- (3) HA側のNATはMHのホームアドレスPA1に対して利用可能なグローバルアドレスGA1をバインドする。
- (4) HA側のNATはGA1をGFA側のNATに返答する。
- (5) GFA側のNATは送信元アドレスPA1をGA1に変換し、外部ネットワークを経由してホストAに配送する。

ホストAがMH側にデータを転送する時には以下の

手順に従う。

- (6) ホスト A は宛先を GA1 として MH にデータを送信する。
- (7) データはホームネットワークに配送され、HA 側の NAT が PA1 に変換する。HA はこのデータを GFA へカプセル化して転送する。
- (8) GFA は entry list を参照し FA に転送する。
- (9) FA は MH へ転送する。

また、ホスト A が Route Optimization をサポートしている場合には、さらに以下の手順でルートの最適化を行なう。HA から見える FA は GFA のみのため、Binding Update メッセージの COA には GFA の IP アドレスを入れる。

- (10) HA はホスト A に対して移動端末 MH に割り当てられたグローバルアドレス GA1 に対する Care-of Address (COA) を GFA のグローバルアドレス FA0 として Binding Update メッセージを送信する。
- (11) ホスト A は MH 宛のデータをカプセル化して GFA へ転送する。
- (12) GFA は (4) で受け取ったバインディング情報を参照して GA1 を PA1 に変換した後、entry list を参照し FA に転送する。
- (13) FA は MH へ転送する。

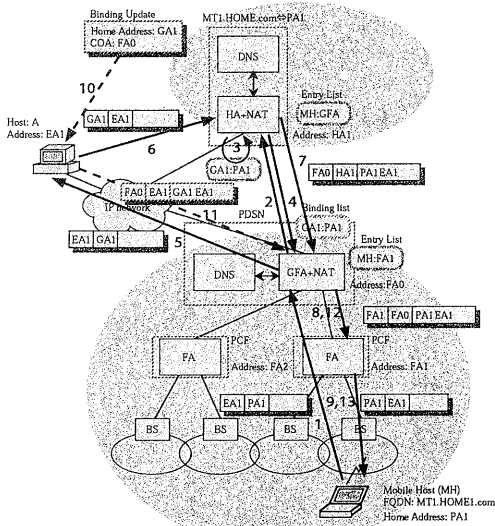


図5 移動端末からの発信

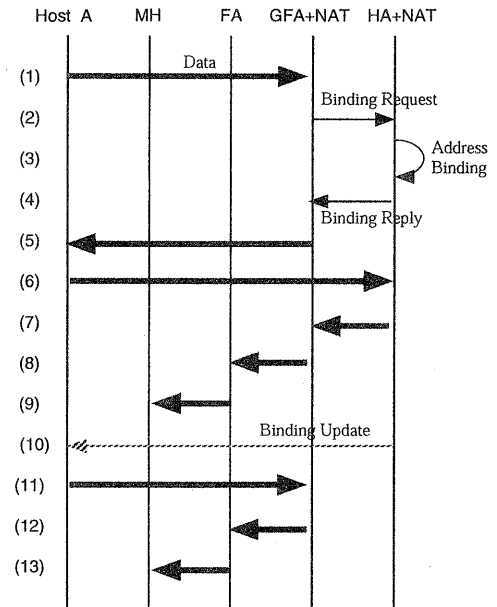


図6 移動端末からの発信する場合のメッセージフロー

### 4.3 移動端末への着信手順

#### 4.3.1 通常の手順

移動端末へ着信させるためには、相手ホストは DNS を利用して移動端末の IP アドレスを取得する。この DNS の query を契機にホームネットワーク側の NAT がプライベートアドレスとグローバルアドレスとのバインディングを行なう。またホームネットワーク側の NAT は、移動端末に関する entry list が存在する場合にはアドレスバインディング情報を移動先ネットワークの NAT に転送する。DNS サーバはバインドされたグローバルアドレスを受け取り、それを相手ホストに回答する。移動端末への着信の手順とメッセージフローをそれぞれ図7および図8に示す。

- (1) ホスト A は DNS サーバに MH の FQDN である MT1.HOME1.com に対する IP アドレスを問い合わせる。
- (2) DNS サーバは外部からの問い合わせに対して、移動端末の PA1 を渡して HA 側の NAT にアドレスのバインディングの要求を送信する。
- (3) NAT は利用可能なグローバルアドレス GA1 を PA1 にバインドする。
- (4) HA は MH のエントリリストが存在する場合には、GFA の NAT にバインディング情報を転送する。
- (5) NAT は GA1 を DNS サーバに返答する。

- (6) DNSサーバはGA1をホストAに返答する。
- (7) ホストAは宛先をGA1としてアクセスする。
- (8) HA側のNATは宛先をPA1に変換した後、HAがGFAへカプセル化して転送する。
- (9) GFAはentry listを参照しFAに転送する。
- (10) FAはMHへ転送する。

移動端末への着信についても4.2.の手順と同様にルートの最適化が可能である。以下にその手順を示す。

- (11) HAはホストAに対して移動端末MHに割り当てられたグローバルアドレスGA1に対するCOAをGFAのグローバルアドレスFA0としてBinding Updateメッセージを送信する。
- (12) ホストAはデータをカプセル化し、GFAへ転送する。
- (13) GFAはentry listを参照しFAに転送する。
- (14) FAはMHへ転送する。

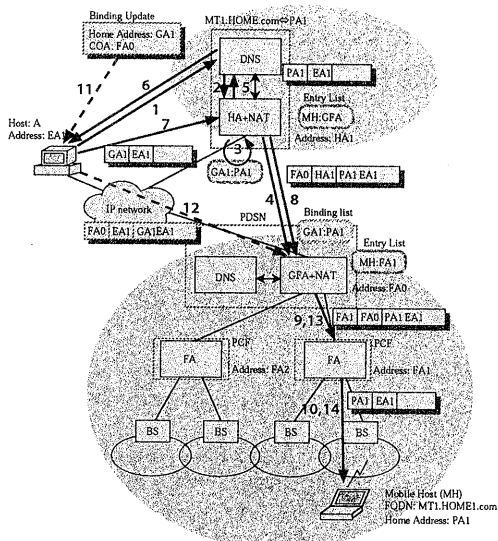


図7 移動端末への着信

#### 4.3.2 DNSとの連携によるルートの最適化

Route Optimizationによりルートの最適化が可能となるが、Binding Updateメッセージが来るまでは、移動端末宛のデータはHAを経由することになる。そこで、DNSのqueryメッセージが来た時に、DNSサーバがHAに移動端末のFA-COAまたはCCOAを返すことで、最初から経路の最適化を行う手法を提案する。アクセス手順とメッセージフローを図9および図10を示す。

- (1) ホストAはDNSサーバにMHのFQDNであ

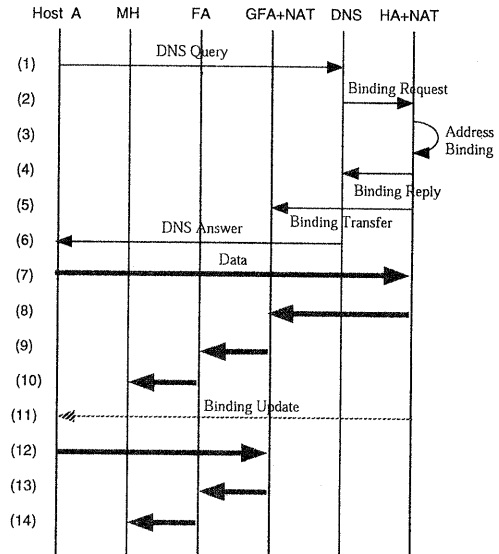


図8 移動端末への着信のメッセージフロー

るMT1.HOME1.comのIPアドレスを問い合わせる。ホストAがRoute Optimizationをサポートしている場合には、COAの問い合わせも行なう。

- (2) DNSサーバはHA側のNATに問い合わせる。
- (3) HA側のNATはMHに対するグローバルアドレスのバインディングを行なう。
- (4) HA側のNATはentry listを検索しMHのentryがある場合には、MHのバインディング情報をGFAのNATに転送する。
- (5) HA側のNATはグローバルアドレスGA1およびCOAのIPアドレスであるFA0をDNSサーバ返す。
- (6) DNSはGA1をホストAのアドレスとして返答する。またCOAの問い合わせに対してはFA0を返す。
- (7) ホストAはRoute Optimizationをサポートしている場合には宛先をFA0として送信データをカプセル化してGFAに転送する。
- (8) GFAはカプセル化されたデータを取り出し宛先アドレスをGA1からPA1に変換し、entry listを参照した後再度カプセル化してFAへ転送する。
- (9) FAはカプセル化されたデータを取り出し、MHへ転送する。

HAはMHの登録時に設定されたlife timeをTTL (Time To Live)の値としてDNSの応答を返し、DNS

サーバはこのTTLまでCOAのIPアドレスをキャッシュするものとする。また、通信相手のホストがRoute Optimizationに対応していない場合にはデータの 캡セル化が出来ないため、COAはA RR(アドレス リソースレコード)に格納せず、Route Optimizationをサポートしているホストのみが利用できるよう、TXT RR等に格納する。これによりRoute Optimizationに対応していないホストは、GA1を宛先にしてデータを送信することが可能となる。

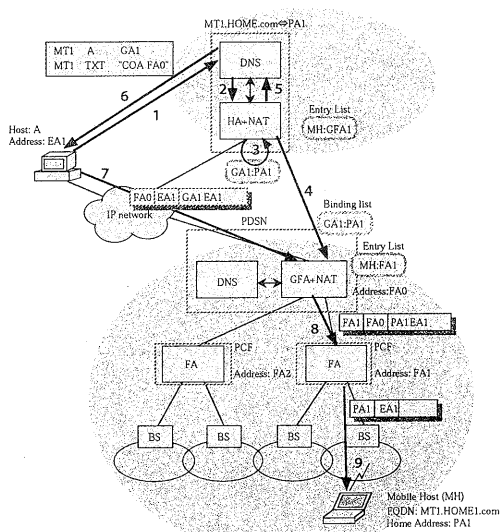


図9 DNSを利用したルートの最適化

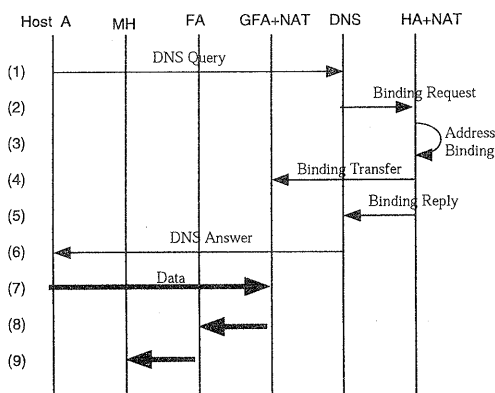


図10 DNSを利用したルートの最適化のメッセージフロー

## 5. おわりに

移動体通信ネットワークにおいて Mobile IP の機能を適用する場合のマイクロモビリティに関する方式の比較検討を行ない、大規模移動体ネットワークにおいては Regional Registration および Route Optimization の組合せが適していることを示した。また IPv4 をベースとした Mobile IP ネットワークにおいて GFA および HA に NAT に機能を持たせたアーキテクチャモデルを示し、さらに FQDN で指定された移動端末の IP アドレスを問い合わせるときに、DNS を利用したルート最適化を行なうことで、Route Optimization よりも効率的なアクセス手法の提案を行なった。日頃御指導頂く KDD 研究所秋葉所長に感謝します。

## 参考文献

- 1) "IP Mobility Support", RFC2002, October 1996.
- 2) 井戸上彰:「次世代移動パケット網のアーキテクチャ」、情報処理, pp. 498-502, 40 巻 5 号, 1999 年 5 月。
- 3) "Cellular IP", draft-ietf-mobileip-cellularip-00, January 2000.
- 4) "IP micro-mobility support using HAWAII", draft-ietf-mobileip-hawaii-01, July 2000.
- 5) "Mobile IP Regional Registration", draft-ietf-mobileip-reg-tunnel-02, March 2000.
- 6) "Route Optimization in Mobile IP", draft-ietf-mobileip-optim-09, February 2000.
- 7) "The Network Access Identifier", RFC2486, January 1999.
- 8) "The IP Network Address Translator (NAT)", RFC1631, May 1994.
- 9) "Proxy Chaining and Policy Implementation in Roaming", RFC2607, June 1999.
- 10) "Hierarchical Mobile IPv4/v6 and Fast Hand-offs", draft-elmalki-soliman-hmipv4v6-00, March 2000.