

# 移動体通信におけるコネクションを維持した通信方式の研究

竹内 元規 渡邊 晃

近年、無線 LAN の普及により自由に移動しながらネットワークに接続するというニーズが広がっている。しかし、インターネットに接続中の端末が移動すると通信中のコネクションが切断されてしまう。この問題を解決する技術として移動透過性を実現する Mobile IP があるが、通信経路の冗長やホームエージェントによる一点障害が指摘されている。本研究では、移動端末がネットワークを移動し IP アドレスが変化した場合でも、通信中のコネクションを維持させるために両端末においてアドレス変換処理を行うことで、通信経路の冗長が無く、特殊なネットワーク機器を使用せずに通信を継続させる方式を提案する。

## Researches on mobile communication system maintaining the same connection communication

Motoki Takeuchi AKIRA WATANABE

The needs of connecting with a network have spread moving freely by the spread of wireless LAN in recent years. However, movement of the terminal under connection with the Internet will cut the connection under communication. There is Mobile IP which realizes move permeability as technology which solves this problem. However, the problems that communication course becomes redundant and one-point obstacle by the home agent are pointed out. In this research, even when a move terminal moves in a network and an IP address changes, the connection under communication is maintained by it being alike and performing address translation processing in the end of both ends. The system which makes communication continue by this method, without there being no redundant of a communication course and using special network apparatus is proposed.

## 1 研究背景

近年、インターネットの普及により、モバイル端末もインターネットに接続するという利用形態が広がっている。今後、無線ネットワーク環境の広がりが予想され、自由に移動しながらネットワークに接続し、移動を行っても、通信を継続できることが要求されている。

しかし、インターネットでは、電話網で当たり前のようを実現している移動しながらの通信を簡単に実現することができない。

TCP/IP では、ノードを識別する IP アドレス自体に位置の情報を含んでいるため、ネットワークの移動前後で移動ノードに異なる IP アドレスを設定する必要がある。

現在は、DHCP(Dynamic Host Configuration Protocol)[9]が普及しており、移動ノードがネットワークを移動した際には、ネットワーク毎に異なる IP アドレスを自動的に取得することが可能である。これにより、移動ノードに対して、可搬性を提供することが可能である。だが、ネットワークの移動前後で、移動ノードの IP アドレスが変化してしまうため、その移動ノードは他のノードから認識できなくなってしまう。また、TCP コネクションは、通信を行って

る両端末の IP アドレスとポート番号の組によって識別されているため、移動前に確立していたコネクションも移動後には切断されてしまう。

したがって、移動ノードがネットワークの移動により IP アドレスが変化した場合でも通信を開始・継続できるようにする仕組みが必要である。

移動しながら通信を継続させるための研究は、これまでにいくつか行われている。代表的なものとして、Mobile IP[1-5]、LIN6[8]、VIP[7]などがあげられる。

IETF (Internet Engineering Task Force)では、IP 層で移動透過性を保証するプロトコルとして Mobile IP が提案されている。

Mobile IP では、通信相手に通知する IP アドレスは一定のまま変化しないので、移動ノードに対して、いつでも通信を開始することが可能である。

移動ノードを管理するホームエージェント(以下 HA)と呼ばれるノードが導入され、移動ノード宛のパケットを HA が受信し、移動ノードへ転送することで届けられる。移動ノードから通信相手ノードへの通信は直接届けられる。このようにして、移動しながらの通信を行うことができるが。

しかし、通信経路の冗長や HA による一点障

害などの問題点が指摘されている。また、Mobile IPv6[6]では、通信する両端末間での通信を行えるようになったが、それでも通信開始時にはHAを経由することになり、HAが必須であることにはかわりない。

今後はネットワークの特徴を最大限に活かせるP2P(Peer-to-Peer)通信の要求がますます増加すると考えられるが、Mobile IPにおける課題は、P2P通信普及の大きな阻害要因となってしまう。また、HAを導入するための敷居が高いことも上げられる。Mobile IPは普及していないのが現状である。

また、無線ネットワーク環境では、移動ノードに無線LANカードを組み込むことで、自由に移動しながらネットワークに接続することが可能である。移動ノードが広範囲を移動する場合は無線エリアの切り替えが必要となる。

ここで、無線環境でのネットワーク移動とは異なるネットワーク間に属する無線エリアへの移動のことである。同じネットワーク内に属する無線エリアの移動では、IPアドレスを変更する必要が無いため、電話網のように移動しながらの通信が可能である。

ネットワーク移動をおこなうと、IPアドレスを取得しなおす必要があり、通信経路が変化してしまうため、連続性のある通信を行っていると、パケットロスにより通信の瞬断が起きてしまう。この通信中断時間をできるだけ、小さくすることも必要となる。

本稿では、移動端末がネットワークを移動しIPアドレスが変化した場合でも、通信中のコネクションを維持させるために両端末においてアドレス変換処理を行うことで、通信経路の冗長が無く、特殊なネットワーク機器を使用せずに通信を継続させる方式を提案する。まず、Mobile IPの概要とその問題点を述べる。その後、提案方式における通信方式を説明し、そのメリットと有効性について評価し、今後の課題について述べる。

## 2 Mobile IP

### 2.1 概要

Mobile IPでは、移動ノードはホームアドレスと気付アドレスの二つのIPアドレスをもつ。

ホームアドレスは、ノード識別子であり、移動によって変化することなく、同じアドレスを使い続ける。通信相手ノードは、移動ノードのホームアドレスを知っているだけでよく、移動

ノードと通信する場合には、ホームアドレス宛にパケットを送信する。

気付アドレスは、移動ノードが移動先のネットワークで割り当てられるアドレスであり、これは移動ノードのインターネットでの接続位置を示す。したがって、移動ノードがネットワークを移動すると気付アドレスは変化する。

移動ノードのネットワーク間移動をサポートするために、ホームアドレスの属するネットワーク内にHAを設置する。

HAは、移動ノードのホームアドレスと気付アドレスの対応付けを行い、ホームアドレス宛のパケットを受信し、移動ノードへ転送する。

### 2.2 動作シナリオ

Mobile IPの動作は、HAへの登録、データ通信に分けられ、これらの動作について述べる。

#### 2.2.1 HAへの登録

移動ノードが別のネットワークへ移動した場合、移動先のネットワークで気付アドレスを取得する。その後、新しく取得した気付アドレスをHAへ登録する。

HAへの登録は、UDPパケットを用いた、登録要求と登録応答の二つのメッセージ交換で行われる。まず、移動ノードは登録処理を始めるために、登録要求メッセージをHAへ送信する。登録要求メッセージには、Mobile IP独自の認証方式による認証データが含まれている。このメッセージを受信したHAは、認証データをチェックし、正当な登録要求であると判断すると、移動ノードのホームアドレスと気付アドレスの対応付けを更新する。そして、HAは移動ノードへ登録応答メッセージを返送し、登録が成功したか否かを伝える。

#### 2.2.2 データ通信

Mobile IPによるデータ通信を図1に示す。

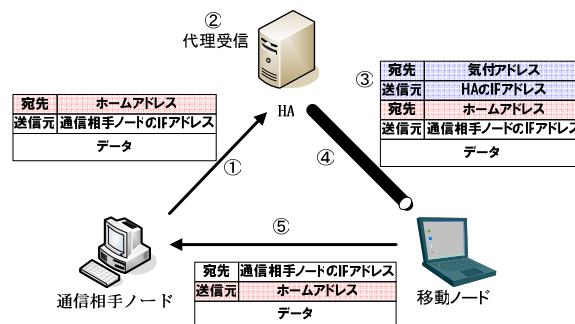


図1 Mobile IPの通信  
Fig.1 communication of Mobile IP

通信相手ノードから移動ノードへパケットを送信する場合は、宛先をホームアドレスとして送信する(①)。ホームアドレス宛のパケットは、HAにより受信される(②)。HAは、このパケットに対し更にIPヘッダでカプセル化することによって移動ノードへパケットを転送する(③)(④)。

移動ノードから通信相手ノードへのパケットは直接送られる(⑤)。また、このとき送信元アドレスは、ホームアドレスとなっている。これは、コネクションが両端末のIPアドレスとポート番号の組によって管理されているため、気付アドレスを送信元とすると別の通信として認識されてしまうためである。

通信相手ノードからパケットはHAを経由させ、移動ノードに転送することで、移動ノードが移動した場合でも通信を継続させることが可能となる。

## 2.3 Mobile IP の問題点

Mobile IP の問題点はまず、図1に示すように、移動ノード宛のパケットは必ずHAを経由するルーティングであるため、通信が冗長な三角経路を通ることになる。したがって、HAの経路とパケットのカプセル化によるオーバーヘッドが発生し通信効率が低下する。さらに、1つの移動ノードに対して複数のHAを設置することができないため、HAが故障した場合には、一点障害となってしまう。

また、移動ノードから通信相手ノードへパケットを送信する場合、送信元アドレスとして、気付アドレスではなく、ホームアドレスが使用されている。このとき、送信元アドレスは、移動ノードのインターネット内での位置を正しく表していないことになる。途中のルータでは、このパケットは攻撃のために送信元アドレスを偽っているパケットと区別がつかないため、移動ノードが送信したパケットも攻撃と見なして、破棄してしまう可能性がある。

最後に、HAの設置が必須となるが、これを導入するための敷居が高いために、普及が進んでいないのが現状である。

## 3 提案方式

### 3.1 設計目標

本提案では、IPアドレスの変化に影響されことなく常時P2P通信が可能な環境を提供することを目的とする。

提案方式の検討に当たっては、次のことを目標とした。

- 既存環境への影響を最小限に留める
- 移動による通信の瞬断時間をできるだけ、小さくする

Mobile IPでは、移動透過性をサポートするHAなどの特殊な機器を必要としているため、導入するための敷居が高くなる。そこで、提案方式では、通信する両端末自身の通信ソフトウェアの拡張と既存環境の応用機能を利用する程度とし、実際の環境に適用しやすくする。また、ネットワーク移動時に起こる、パケットロスをできるだけ回避できるように、移動中の通信も考慮する。

### 3.2 アプローチ

IPアドレスの変化にかかわらず、通信を可能にするためには、通信開始時において相手のIPアドレスを知る方法(初期IPアドレスの解決と呼ぶ)と、通信中にIPアドレスが変わった場合に通信を継続できる方法(継続IPアドレスの解決と呼ぶ)の2つを解決する必要がある。

初期IPアドレスの解決には、ホスト名とIPアドレスの関係を動的に管理するダイナミックDNS(以下DDNS)[10]という技術が既に実用になっており、これを採用する。

移動ノードのIPアドレスは、ネットワークを移動する度に変化してしまうが、ノードのホスト名を頻繁に変更することは一般的に無い。したがって、図2のように、ネットワークを移動し、DHCPにより新しいIPアドレスを取得後、移動ノードがDDNSを用いてホスト名に対応するIPアドレスを更新(①)すれば、移動ノードと通信するノードは、従来通りにホスト名に対応するIPアドレスをDNSから取得することで移動端末の持つIPアドレスを知ることができる(②)。これにより、移動ノードのホスト名さえ知っていれば、移動ノードがどのネットワークに移動していたとしても、移動ノードに対して通信を開始することが可能である(③)。

しかし、この方法だけでは継続IPアドレスの解決にならない。これは、実際の通信が始まってしまうとDNSは参照されず、同じIPアドレスを使い続けるためである。

そこで、本提案方式では初期IPアドレス解決にはDDNSを採用し、継続IPアドレス解決にはエンド端末間で独自のプロトコルを定義し、移動時に通知を行い、移動後も通信を継続できるようにする。

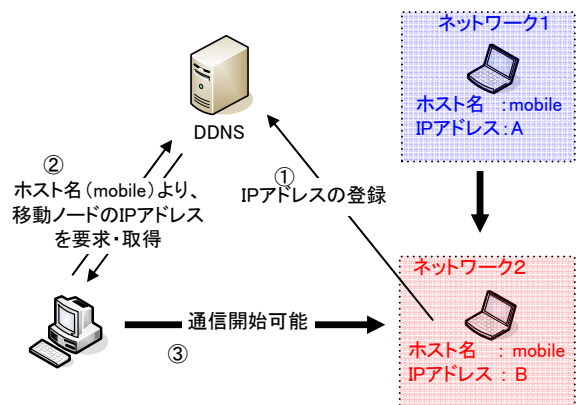


図 2 DDNS を使用した初期 IP アドレスの解決  
Fig.2 Solution of the initial IP address which used DDNS

### 3.3 継続 IP アドレスの解決

通信中にノードがネットワーク移動によって IP アドレスが変化場合でも通信を維持するためには、移動前と移動前で通信の対応付けを行うための情報（移動情報とよぶ）が必要になる。移動情報には次のものが含まれる

- ・ 移動前の両端末の IP アドレス
- ・ 移動ノードの移動先 IP アドレス
- ・ 移動前に確立されている全 TCP コネクションのポート番号の対

これらの情報を通知するために、従来から我々が研究を続けてきた動的処理解決プロトコル (Dynamic Process Resolution Protocol; 以下 DPRP と略す) [12]を拡張したものを使用する。ここで、DPRP とは柔軟なセキュア通信グループを実現する手段として考案されたプロトコルで、通信に先立ちエンド端末と中継装置が情報交換し、通信に必要となる動作テーブルを自動生成するプロトコルである。この拡張 DPRP を、図 3 のように移動ノード IP アドレスが変化した直後に移動ノードより実行し、通信相手の認証を行いながら、移動情報を通知しあう。

通知後は両端末において、移動情報を元に新旧 IP アドレスの関係を表す通信テーブルが作成される。

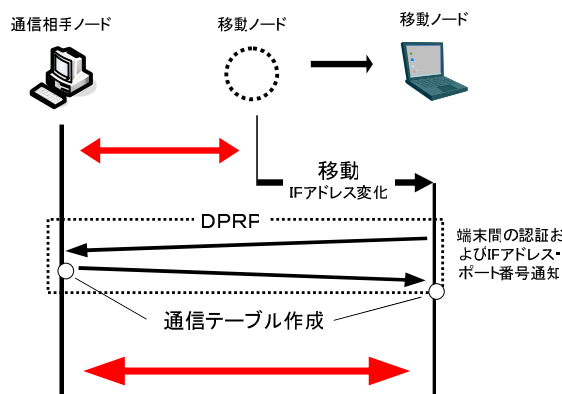


図 3 移動情報の通知  
Fig.3 The notice of move information

このように移動情報を通知した後は、通信テーブルに従い全送受信パケットに対し、IP 層にて IP アドレスの書き換え処理を行う。

アドレス変換は、図 4 のように移動ノードが移動前から行っている通信において両端末で行われ、パケット受信時には通信開始時のコネクション識別子となるようにアドレス変換を行い、送信時には、正しくルーティングされるように、現在両端末の持つアドレスとなるようにアドレス変換を行う。これにより、移動による IP アドレスの変化を TCP や上位層プロトコルに対して感知させないため、移動後もコネクションを維持させることが可能となる。

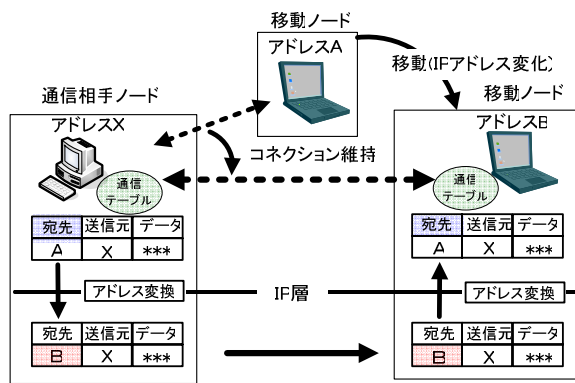


図 4 アドレス変換の例  
Fig.4 The example of address translation

一方、別の端末が移動ノードの旧 IP アドレスを使用して通信を行った場合、パケットの送信元・宛先 IP アドレスが同じになってしまう場合が発生する。この対策として、移動ノードの旧 IP アドレスを使用したパケットを受信時にポート番号の書き換え処理を追加することによってコネクション識別子が重なることを

回避する。

### 3.2.1 移動時のパケットロス回避

継続 IP アドレスの解決により、コネクションを維持した通信を行うことが可能であるが、移動ノードがネットワークを移動した際には、DHCP による IP アドレスの取得、移動情報の通知などオーバーヘッドによりパケットロスが発生してしまう。パケットロスが発生した場合、TCP の再送制御に頼ることになるが通信効率の低下を招いてしまう。この問題を解決するために、ネットワーク移動時に図 5 のようにマルチホーム的な接続を行う。

無線環境で実際の通信では、ネットワークを移動するまでには、無線エリアの重なりにより、両方向通信ができる状態を経て、新しいネットワークに完全に移動するという過程が生じる。提案方式では、この両方向通信ができる状態を利用し、移動前の IP アドレスと移動後の IP アドレスを両方持つことでパケットの損失減らすことができる。

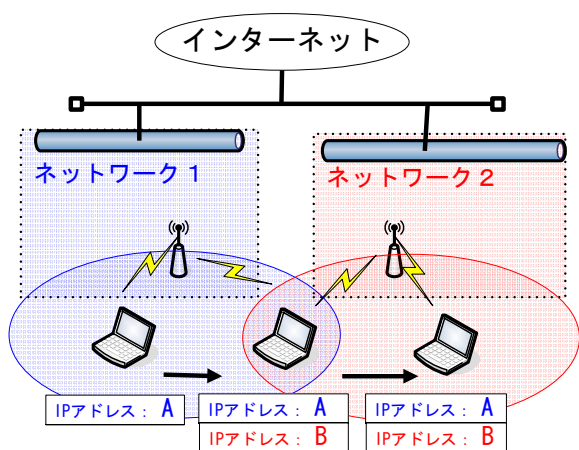


図 5 移動時のアドレスモデル

Fig.5 The address model at the time of movement

### 3.3 提案方式の特徴

提案方式の特徴を以下に示す

- ・ 通信開始時には、DDNS を使用する
- ・ ネットワーク層において、パケットのアドレス変換を行うことで、TCP/IP プロトコルスイートを含む上位ソフトウェアに相手端末の IP アドレスが変化したことには気づかない。コネクションを切ることなく通信を継続できる

## 4 実装

前章で説明した通信方式を TCP/IP プロトコルスイートに関する情報の多い FreeBSD への実装を行う。

この通信方式を実装したノードでは、IP 層にて図 6 で示した機能を追加する。

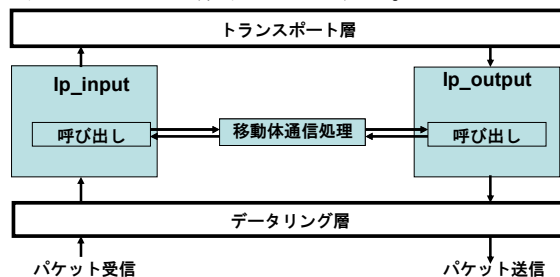


図 6 IP 層での処理

Fig.6 Processing in IP layer

データリンク層から渡された受信パケットは、IP 入力処理内で呼び出された移動体通信処理モジュールにより通信テーブルを参照することでアドレス変換が行われ、上位層へ渡渡される。また、上位層から渡される送信パケットにおいても IP 出力処理内で移動体通信処理モジュールによってアドレス変換され下位層へ渡す。

トランスポート層ヘッダのチェックサムは IP アドレスを含めて計算されるため、IP アドレス変換によって矛盾が生じないようにチェックサムの再計算の処理も行う。

初期 IP アドレスの解決に使用する DDNS は、頻繁に移動するノードを考慮し、登録内容の有効期限を短く設定したものを利用する。

ネットワーク移動時に、複数の IP アドレスを持つ通信方法では、IP エイリアスを動的に作成する方法を検討している。

## 5 評価

本提案方式は、初期 IP アドレスの解決に DDNS を採用するが、DDNS は一般に使用されている DNS の延長であり導入の敷居は低い。

継続 IP アドレスの解決に DPRP を採用、IP 層によりアドレス変換を行うことで、TCP や上位層のソフトウェアを一切変更せず、通信を継続することができる。また、ネットワーク移動時には、移動前と移動後の IP アドレスを持つことで途切れの無い通信を行う。



Mobile IP と比べ、通信経路の冗長が無く、HAのような特殊なネットワーク機器をしないため、既存環境への適用が容易である。

## 6 むすび

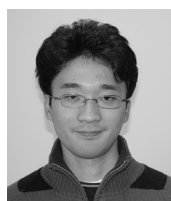
本稿では、移動端末がネットワークを移動し IP アドレスが変化した場合でも、通信中のコネクションを維持させるための手法を提案した。今後は、提案システムを実装して有効性を確認する。また、IPv6 についてもこの手法の適用を検討する。

### 参考文献

- [1] Perkins,C. : IP Mobility Support for IPv4 , RFC3344,IETF,Aug.2002
- [2] Perkins,C. : IP Encapsulation within IP", RFC 2003, October 1996
- [3] Calhoun,P. and Perkins,C : Mobile IP Network AddressIdentifier Extension, RFC 2794, March 2000.
- [4] C. Perkins, P. Calhoun : Mobile IP Challenge/Response Extensions. RFC 3012.November 2000.
- [5] G. Montenegro :Reverse Tunneling for Mobile IP, revised RFC3024, Jan. 2001.
- [6] Johson,D.B. and Perkins,C. : IP Mobility Support int IPv6 , Internet-draft , TETF , Nov.2002
- [7] F,Teraoka,k. Uehara, H. Sunahara , J. Mu-rai ,VIP:A protocol providing host mobility CACM , vol.37 no.8 pp.67-75 , August 1994
- [8] Ishiyama , M.,Kunishi,M., Uehara,K. , Esaki.H, and Teraoka .F , : LINA : A New Approach to Mobbity Support in Wide Area Networks , IEICE Trans. Commun. , Vol.E84-B , No.8 , PP.2076-2086 (2001)
- [9] R. Droms , "Dynamic Host Configuration Protocol", RFC2131, March 1997.
- [10] Vixie (Ed.), P., Thomson, S., Rekhter, Y. and J. Bound , : "Dynamic Updates in the Domain Name System", RFC 2136, April 1997.
- [11] 楯岡孝道 : DNS による IP 移動透過性の実現,情報処理学会論文誌 , Vol.44 , No.06 , June,2003
- [12] 渡邊晃,井手口哲夫,笹瀬巖 : イントラネット閉域通信グループの物理的位置透過性

を可能にする動的処理解決プロトコルの提案,電子情報通信論文誌 , Vol.J84-D1 , No.3 , pp.269-284 , March.2001

- [13] 寺岡文男:インターネットにけるモバイル通信プロトコルの標準化動向 , 電子情報通信学会論文誌 , Vol.J84-B, No.10, PP.1746-1754(2000)
- [14] 鈴木秀和, 渡邊晃, “動的処理解決プロトコル DPRP の改良の検討”, 情報処理学会第 66 回全国大会 講演論文集 3-479, March 2004.
- [15] Alex C. snoeren and Hari Balakrishnan , “An End -to-End Approach to Host Mobility” MIT Laboratory for Computer Science Cambridge MA 02139 , 6<sup>th</sup> ACM/IEEE International Conference on Mobile Computing and Networking , August 2000



竹内 元規 (渡邊研究室 B4)

2004 年名城大学工学部情報科学科卒業予定。同年、同大学院理工学研究科情報科学専攻修士課程進学予定。ソフトウェア同好会部員。情報処理学会学生会員。



渡邊 晃 (教授)

1974 年慶応大学電気工学科卒業。1976 年同大学院修士課程修了。同年三菱電機 (株) 入社。以来、同社情報技術総合研究所にて LAN, ネットワークセキュリティ等の研究開発に従事。新エネルギー・産業技術総合開発機構 (NEDO) を経て、現在、名城大学工学部教授。情報処理学会会員。電子情報通信学会会員。

### DDNS を利用した初期 IP アドレスの解決

DDNS とは移動体が移動し、IP アドレスの変更があったときにその変更をダイナミックに管理する機能を持った DNS であり、すでに実用になっている。

従来 DNS のデータベースは人手で静的に設定されていた。これは組織内のノード変化が稀で、更新頻度が少なかったためである。しかし DHCP (Dynamic Host Configuration Protocol) などにより更新頻度が高まり、DDNS による動的更新が開発された。DDNS は DNS サーバへ要求メッセージに UPDATA 要求を追加することで実現されている。UPDATA 要求メッセージには、レコード操作要求が複数記述でき、1つの要求は1つのトランザクションとしてアトミックに実行される。これにより、レコードの削除と追加をアトミックに行うような操作が可能である。

#### 利点

DDNS を導入することで、移動ノードのホスト名さえ知っていれば、移動ノードがどのネットワークに移動していたとしても、移動ノードに対して通信を開始することが可能である。また、DDNS ならばすべてのアプリケーションレイヤで処理できることもあり、比較的簡単に導入可能である。すでに BIND などのフリーソフトを始め、Windows2000 などの商用 OS でも DDNS の機能は組み込まれている。

#### 課題

頻繁に移動が起きると更新内容が通信相手に伝わらない可能性がある。DNS からの応答メッセージには秒単位の有効期限 (TTL) が付加されており、問合せ側は結果をその時間だけキャッシュしておくことができる。これは DNS 階層を辿る際に、すでに得た結果を効果的に再利用するための機能である。移動透過性を実現するような場合には有効期限を短く設定するが、それでもキャッシュの有効期限内にノードが移動すると、キャッシュ内の IP アドレスが利用されてしまい、通信に失敗する。

さらに DDNS で登録されたレコードは明示的に消去するまでは DNS 上に残るため、移動ノードがレコードの消去を怠ると古いレコードが残ったままになる。このように古いレコードが残った状態で IP アドレスが他ノードによって再利用されると、誤ったノードに接続されることになる。

### DPRP の動作処理シーケンス

DPRP の動作処理シーケンスを図 8 に示す。

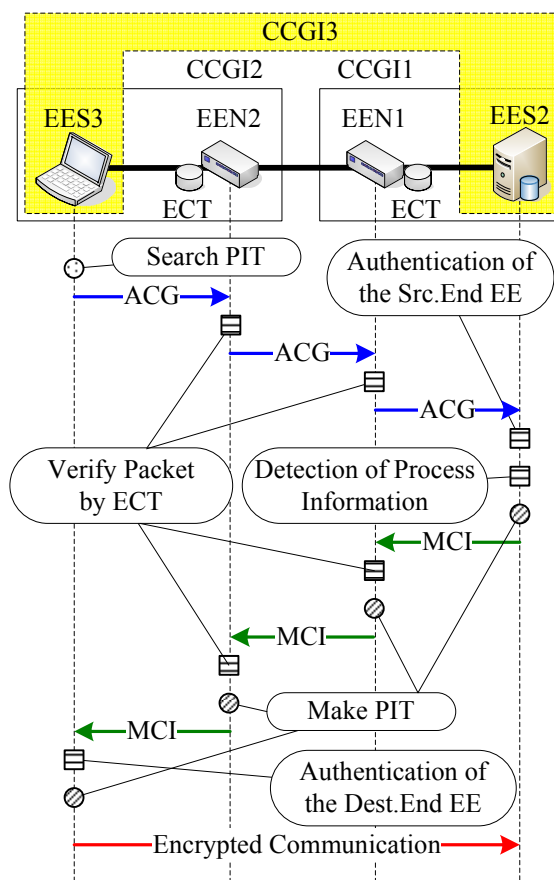


図 7 DPRP の動作処理シーケンス

DPRP が実行されると ACG パケットが送信される。このパケットは暗号鍵を使用した認証処理を行い、通信相手端末の DPRP モジュールに到達することで動作処理情報を決定することができる。決定した動作処理情報を元に、MCI パケットを送り返す。各中継装置がこの MCI パケットを受信することで、動作処理情報を自動的に生成する。以後、この情報に基づいて端末間にて暗号通信が行われる。

