

# CLNP ネットワークにおける広域移動体通信プロトコル

塚本 昌彦<sup>†\*</sup> 門林 理恵子<sup>††\*\*</sup>

従来のコンピュータネットワークでは、端末、コンピュータは固定の場所に接続されていたが、ハードウェアの小型化、高性能化にともない、ネットワーク間を移動することが可能となってきた。本論文では、このような移動型の端末をサポートする、つまり、移動体の所在地と独立に通信を行うためのプロトコルについて論ずる。各移動体に対して固定のデフォルトアドレスを与える。移動体は移動するごとにカレントアドレスが変わる。二つのアドレスの組で表される移動体の位置情報に、寿命値パラメタを付与して交換、管理することにより、移動によるパケットの消失数および送信される制御用の PDU 数を削減できることを示す。

## A Protocol for Wide-Area Mobile Communication in CLNP Networks

MASAHIKO TSUKAMOTO<sup>†\*</sup> and RIEKO KADOBAYASHI<sup>††\*\*</sup>

Although, in conventional computer networks, a computer has been considered to be connected to a fixed location, it has been gradually possible to make it move from one location to another location in these networks based on the recent technology for realizing smaller hardware. In this paper, we discuss a protocol to support mobile systems to provide transparent communication facility independent of the locations of systems. Each system has a fixed *default address* which does not change by each migration, and a *current address* which changes by each migration. Pairs of a default address and a current address, along with a *remaining lifetime* parameter, are used for reducing the number of lost PDUs (Protocol Data Units) and the number of control PDUs resulting from ES migration.

### 1. はじめに

ネットワーク技術の進歩にともない、電子メールや分散ファイルシステムなどに見られるように、日常業務などのコンピュータ利用におけるネットワークへの依存度が高まりつつある。一方、ハードウェア技術の進歩によって、ノート型パソコンやラップトップワークステーションなど、より高性能で小型の機器が出現してきた。本論文ではこれらの機器を ES (End System)、移動可能な ES を移動体と呼ぶ。

このような状況にあって、OSI や TCP/IP などの既

存のネットワークプロトコルはこれまで ES の移動を考慮していなかったため、これらのプロトコルでは ES の移動をサポートすることが求められてきている。それに対し TCP/IP 環境においては、Teraoka ら<sup>9)</sup>、Ioannidis ら<sup>3)</sup>、Wada ら<sup>11)</sup> による提案などをベースに、移動体をサポートするためのプロトコルの標準化が進められている。

一方、OSI 環境においては、移動体をサポートするためのプロトコルに関してはこれまであまり議論が行われてこなかった。しかし、CLNP (ConnectionLess-mode Network Protocol)<sup>4)</sup> は OSI のネットワーク層プロトコルであり、最大 20 オクテットの可変長アドレスを扱うという特徴を持ち、アドレスの枯渇問題を抱える IP に代わるネットワークプロトコルの一候補としても注目を受けている<sup>1)</sup> ため、CLNP 上で移動体をサポートするためのプロトコルに関しても議論が必要である。

ここで、CLNP において移動体のサポートを考える上で、IP と CLNP の構造的な違いを考慮する必要がある。すなわち、OSI において、ルーティングドメインはエリアと呼ばれるサブドメインに分割されてお

<sup>†</sup> シャープ株式会社技術本部情報技術研究所  
Information Technology Research Laboratories, Corporate Research and Development Group, Sharp Corporation

<sup>††</sup> シャープ株式会社技術本部ソフトウェア研究所  
Software Research Laboratories, Corporate Research and Development Group, Sharp Corporation

\* 現在、大阪大学工学部情報システム工学科  
Department of Information Systems Engineering, Faculty of Engineering, Osaka University

\*\* 現在、(株)エイ・ティー・アール知能映像通信研究所  
ATR Media Integration & Communication Research Laboratories

り、CLNPでのルーティングプロトコルであるIS-ISプロトコル<sup>9)</sup>によって、エリア内とエリア間のルーティングを分けて階層的なルーティングが行われている。このようなエリアの存在という構造的な違いのもとで、移動体通信において従来IPネットワークで使用されてきた手法を適用するためには、移動やルーティングの際に、エリア内のルーティングとエリア間のルーティングの整合性をどのようにとるか考える必要がある。

本論文では、CLNPにおける移動体通信を可能にするプロトコルを提案する。まず、Teraokaらの導入した考え方をベースとして、デフォルトアドレスと拡散キャッシュ法を使用するプロトコルを提案する。次に、エリア内とエリア間のルーティングの整合性を保つために、移動体の位置情報に付与する寿命値パラメタの新たな使用方法を提案する。Teraokaらの手法では、移動時に無効なキャッシュ情報がネットワークに残らないように、キャッシュ情報を消去するためのPDU (Protocol Data Unit) をブロードキャストするが、本論文で提案する手法では移動時には古いキャッシュ情報を放置する。古いキャッシュ情報を放置しても適切なフォワードが可能となるように寿命値パラメタを設定、使用する。

本論文においてプロトコルを提案するに当たって、将来の大規模なOSIネットワーク環境を想定して、次のような点を考慮する。

**トラヒック：**移動体の位置を管理するためには、通常何らかの情報を交換する必要があるため、余分なトラヒックの発生を伴う。移動が頻繁な場合や、移動体が多数存在する場合には、このようなトラヒックによってネットワークに輻輳をきたすおそれがある。本論文では、オフィス、キャンパス、工場などで、従業員、学生、工業用ロボットなどが小型軽量の移動端末を持ちながら移動したり、工場製品や自動車などがデータ通信機能を備えるような場合を想定し、移動がある程度頻繁な場合における通信トラヒックを抑えることに重点を置く。もちろん、移動が少ない場合にも余分なトラヒックが発生しないことが望ましいと考える。

**スケーラビリティ：**CLNPはIPと比較してネットワークアドレス長が長いので、CLNPドメインにおけるネットワークプロトコルはより大規模のネットワークを念頭において設計する必要がある。そのため、ネットワークスケーラビリティに関しては、IPネットワーク以上に深刻に考える必要がある。例えば、移動体情報の管理にブロードキャストを使用しないなどの点に注意する必要がある。

**制御情報の伝搬遅延：**トラヒックの項目で述べたように、移動体の位置管理を行うためには何らかの制御情報を伝達する必要がある。一方、移動透過な通信を提供する上では、移動時に上位層のコネクションが切断されないことが望まれる<sup>9)</sup>が、そのためには移動時の制御情報の交換が十分迅速に行えなければならない。

**従来システムとの相互接続性：**すでに運用されているOSIネットワーク上で移動体対応を行うプロトコルを動作させるためには、従来システムとの相互接続性が重要である。

**正当性：**移動体あてのPDUは正しく移動体に配送されなければならない。ネットワークの輻輳やシステムの障害などの状況においても、回復できないエラーが起こってはならない。

**ロバスト性：**ネットワークの輻輳やネットワークプロトコルの変化など、ネットワークの状況変化に対して迅速に対応できなければならない。一時的なネットワーク切断やシステムダウンなどの障害時にも障害の波及範囲を抑えることができ、しかも解消時には迅速かつ管理者操作の介入なしに正常動作に復帰できることが必要とされる。

**オーバーヘッド：**移動体は、通信プロトコルのための計算パワーや資源が十分であるとは一般には仮定できないため、移動体に対するプロトコル動作のオーバーヘッドは少ないことが望ましい。一方、IS (Intermediate System) 側としては据え置き型の高性能マシンを前提とし、IS側のオーバーヘッドは本論文ではそれほど重視しない。また、ISの移動は本論文の対象外とする。

**適用範囲：**移動体は、広域ネットワークにおけるあらゆる範囲に移動できることが望ましい。プロトコル上、移動体の移動できる範囲に制限があることは望ましくない。

以下では、まず、2章でCLNPにおけるルーティングの概要を示す。次に、3章では、簡略化したネットワークモデルを用いて、本論文で提案するプロトコルの基本的な考え方を示す。そして、4章でデフォルトアドレスと移動体情報の概念を導入した後、本論文で提案するプロトコルを示す。5章ではプロトコルの評価を行う。最後に6章で、本論文のまとめと今後の課題について述べる。

## 2. CLNPにおけるルーティングの概要

本章では、本論文で前提としているIS-ISプロトコルの動作するCLNPネットワークにおけるルーティングの概要について述べる。

IS-ISプロトコルでは、ルーティングドメインはエ

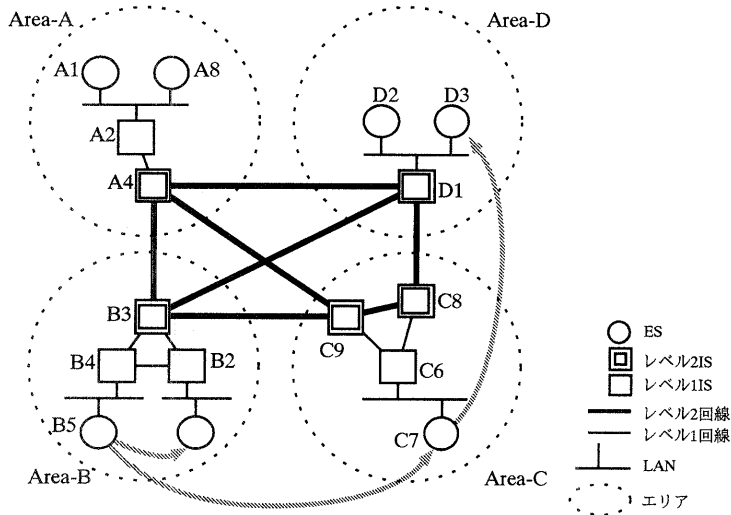


図1 ネットワークドメインの例  
Fig. 1 An example of network domain.

リアと呼ばれるサブドメインに分割され、エリア内はレベル1ルーティング、エリア間はレベル2ルーティングという二階層のルーティングが行われる。アプリケーションが動作し通信の主体となるシステムをESと呼ぶ。エリア内においてルーティング情報を管理し中継を行うシステムのことをレベル1ISと呼ぶ。エリア間におけるルーティング情報を管理し中継を行うシステムのことをレベル2ISと呼ぶ。レベル2ISはレベル1ISの機能も兼ね備える。図1はCLNPを適用するネットワークの一例である。図中、実線円はESを、一重四角はレベル1ISを、二重四角はレベル2ISをそれぞれ表している。細い実線はレベル1回線、太い実線はレベル2回線を表す。点線円はエリアを表す。矢印はESの移動を表す。

ESにはNSAP (Network Service Access Point) アドレスが付与される。NSAPアドレスは、エリアを一意に識別するエリアアドレスと、エリア内でシステムを一意に識別するシステム識別子と、システム内でネットワークユーザを識別するネットワークセクタから構成される。

レベル1ISは、定期的、およびエリア内のネットワークポロジータン変化時に、自局と隣接するレベル1ISとESを、エリア内の他のすべてのISに、レベル1LSP (Link State PDU) を用いてブロードキャストする。レベル2ISは、定期的、およびエリア間のネットワークポロジータン変化時に、自局と隣接するレベル2ISとの接続状態を他のすべてのレベル2ISに、レベル2LSPを用いてブロードキャストする。ISは、デー

タPDUを受信すると、宛先が同一エリア内の場合は、レベル1情報を用いて、その宛先ESの居場所に対して最短経路を選択してフォワードする。ISは宛先が別のエリアの場合は、レベル1ISならばレベル1情報を用いてエリア内の最寄りのレベル2ISにまでフォワードする。レベル2ISならばレベル2情報を用いて宛先エリアと同一エリアに存在する最寄りのレベル2ISにまでフォワードする。フォワードされたPDUは、最後にレベル1情報を用いてその宛先ESの居場所に対してフォワードされる。

### 3. プロトコルの概要

本章では、本論文で提案するプロトコルの基本的な考え方を、例を用いて説明する。理解を容易にするために、簡単化したネットワークモデルを用いる。図2は本章で使用するネットワークモデルを表したものである。エリアは点線で描かれた大きな4つの円で表されている。図中の小円は移動体 $x$ を表す。移動体には、移動体ごとにデフォルトエリアと呼ばれるエリアがあり、移動体あてのパケットは通常デフォルトエリアに送られる。移動体が実際に存在するエリアをカレントエリアと呼ぶ。

**移動体の基本動作1:** 移動体が起動されると、その移動体はデフォルトエリアに対して自局の居場所を表す情報を通知する。 □

図2は、移動体 $x$ が起動され、デフォルトエリアに居場所の通知を行っている様子を表している。これによって、図3に示すように、デフォルトエリアにフォ

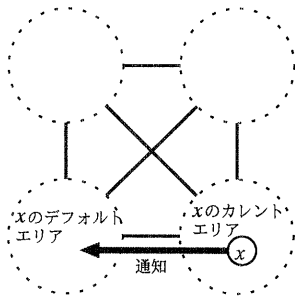


図2 移動体情報の通知 (1)

Fig. 2 Notification of mobile information (1).

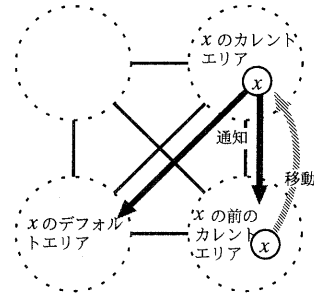
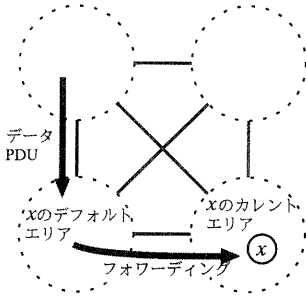
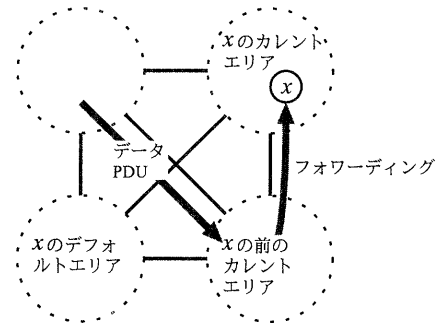


図4 移動体情報の通知 (2)

Fig. 4 Notification of mobile information (2).

図3 PDUのフォワード (1)  
Fig. 3 PDU forwarding (1).図5 PDUのフォワード (2)  
Fig. 5 PDU forwarding (2).

ワードされた移動体  $x$  あてのデータ PDU が、デフォルトエリア内のシステムによってカレントエリアにフォワードされる。

以上のような手法に基づいて移動体をサポートする考え方は多くのアプローチでとられている。また、このような手法のもとで、PDU のフォワーディング経路を最適化するために、Teraoka らが提案した拡散キャッシュ法が有効であると考えられている。拡散キャッシュ法では、移動体のカレントエリア情報を IS 間で交換する際に、中継する IS がこの情報をキャッシュし、そのキャッシュ情報に従って、移動体あての PDU をいったんデフォルトエリアにフォワードすることなく、直接カレントエリアにフォワードすることを可能にする。ここで、移動体がさらに移動すると、IS に保持されているキャッシュ情報が無効になるが、このような古い情報にもとづいて PDU が配送されると、PDU が正しく配送されない可能性がある。このようなことが起こらないように、Teraoka らの手法では移動時に古い情報を消去する PDU をネットワークに対してブロードキャストする。しかし、一般にブロードキャストを使用するのは、ネットワークスケラビリティの観点から好ましくない。そこで本論文で提案する手法では、古い情報をそのまま放置するというアプローチをとり、古い情報が残っても PDU が正しく配送

されるような動作を追加する。

**移動体の基本動作 2:** 移動体は、移動時に、デフォルトエリアに対して、位置情報を通知する。さらに、前のカレントエリアに対しても、位置情報を通知する。□

図 4 は、移動体が図 3 の状態からさらに移動した状態を表している。このとき移動体  $x$  は、デフォルトエリアと前のカレントエリアに対して通知を行っている。その結果、図 5 に示すように、ネットワーク内に古い情報が残されており、前のカレントエリアに  $x$  あてのデータ PDU がフォワードされる可能性がある場合も、前のカレントエリアにおいて PDU を新しい位置情報に従ってフォワードし直すことが可能となる。もちろん、デフォルトエリアに送られてきたデータ PDU も、新しい位置情報を用いて、正しくカレントエリアにフォワードされる。

ここで二つの重要な問題が生ずる。第一の問題は、移動前のカレントエリア内でその移動体あての packets を正しく書き換えられるかどうかという問題である。移動前のカレントエリアに移動体  $x$  の新しい位置情報を通知するため、移動前のカレントエリア内にその移動体の新しい位置情報を保持している IS が存在していることになるが、同一エリア内の他の IS が、 $x$  のデータ PDU をその IS の方へフォワードするよう

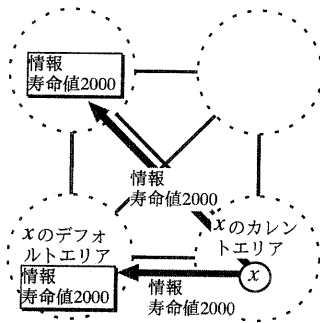


図6 寿命値の設定 (1)

Fig. 6 Remaining lifetime configuration (1).

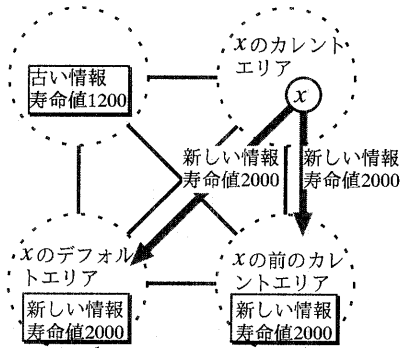


図7 寿命値の設定 (2)

Fig. 7 Remaining lifetime configuration (2).

に、エリア内のルーティングの調整を行う必要がある。

第二の問題は、このようなエリア内のルーティングの調整も含めて、前のカレントエリアのISがいつまでその移動体情報の保持と調整をしなければならないかという点である。移動体が多数存在する場合には保持しなければならない情報が增加するため、なるべく早く移動体の位置情報を保持する必要がなくなることが望ましい。

これらの二つの問題に対し、本論文で提案するプロトコルでは次のような方法によって解決を図る。

**移動体の基本動作 3:** 移動体が発信する情報にはその情報の有効期限を示す寿命値パラメタを付与する。□

移動体が適切な寿命値を付与することにより、ネットワーク内に古い情報が残っている可能性のある期間を明示的に制御することができ、その結果、移動前のカレントエリアにおいてその移動体あてのデータPDUを新しい位置へフォワードしなければならない期間も明示的に制御できる。

例を用いて、寿命値パラメタの使用法を示す。

図6は、先ほどの例の移動前に、移動体が自局の送信する位置情報に寿命値 2000 を付与している。この寿

命値はキャッシングされる際にもキャッシュ情報と一緒に保持され、単位時間ごとに寿命値は1ずつ減らされる。

図7は、先ほどの位置情報が拡散されてから 800 単位時間後に移動体が移動したケースを示す。古い情報に付与されている寿命値は 1200 になっている。移動体は、デフォルトエリアと前のカレントエリアに対して寿命値 2000 を付与した新しい情報を送信することにより、前のカレントエリアにおいては少なくとも 2000 単位時間の間はこの移動体のサポートを行うよう設定が行われる。そして、古い情報に設定されている寿命値はその 2000 単位時間の中に切れ、その情報は消去されるため、少なくとも古い情報が残っている間は前のカレントエリアにおいてフォワードの機能を果たせることを保証できる。

#### 4. プロトコルの詳細

本章では、前章で述べた移動体対応のための基本的な考え方を CLNP ネットワークに適用したプロトコルを示す。

移動体は、常に、デフォルトアドレスとカレントアドレスという 2 種類のアドレスが割り当てられる。移動体  $a$  のデフォルトアドレスを  $d(a)$ 、カレントアドレスを  $c(a)$  と記す。デフォルトアドレスはデフォルトエリアにおいて有効なアドレス、カレントアドレスはカレントエリアにおいて有効なアドレスである。ある時点における移動体  $a$  の隣接 IS を CNIS (Current Neighbor IS) と呼び、 $cIS(a)$  と記す。移動体がエリア間移動を行ったとき、移動前の CNIS のことを PNIS (Previous Neighbor IS) と呼び、 $pIS(a)$  と記す。移動前のカレントアドレスを  $p(a)$  と記す。個々の移動体は、デフォルトエリア内の一つの IS に自システムのデフォルトアドレスを静的に登録しておく。この IS をその移動体の AIS (Administrative IS) と呼び、 $aIS(a)$  と記す。

##### 4.1 移動体情報

移動体の位置に関する情報である移動体情報  $info$  は、次のようなパラメタからなる。

**デフォルトアドレス (DA)**—移動体のデフォルトアドレスを表す。  $d(info)$  と記す。

**カレントアドレス (CA)**—移動体のカレントアドレスを表す。  $c(info)$  と記す。

**寿命値 ( $t$ )**—情報が有効である期間を表す。時間の単位は  $UnitTime$  (プロトコルパラメタ) である。  $t(info)$  と記す。

**シーケンス番号 ( $n$ )**—整数値が含まれる。  $s(info)$  と

記す。

この移動体情報を  $(CA/DA, t, n)$  と記す。IS はこの情報を移動体情報エントリとして保持する。  $aIS(a)$  は常に、  $pIS(a)$  は寿命値がなくなるまで、移動体  $a$  の移動体情報を保持する。それ以外の IS は、自システムの都合により任意の時点で廃棄してもよい。  $aIS(a)$ 、  $pIS(a)$  以外の IS が保持する  $a$  に関する移動体情報エントリをキャッシュとよぶ。

移動体情報は、NPDU (Network PDU) のアドレスフィールドおよびオプションフィールドを用いて運ばれる<sup>10)</sup>。本論文の以下の部分では、このような NPDU を次のように記述する。

NPDU(*src, dst, srcinfo, dstinfo, data*)

*src* は NPDU の送信元フィールドである。 *dst* は NPDU の送信先フィールドである。 *srcinfo* はオプションフィールドであり、送信元に関する移動体情報が格納される。 *dstinfo* はオプションフィールドであり、送信先に関する移動体情報が格納される。 *data* は NPDU のデータフィールドである。フィールド省略時には「-」と記す。NPDU のその他のフィールドは本プロトコルでは関知しない。移動体  $a$  が送信する NPDU の送信元フィールドは  $d(a)$  を設定する。従来型の ES はこのフィールドに設定されたネットワークアドレスで相手システムを識別するため、この設定は従来型の ES との移動透過な通信を行う上で重要である。

プロトコル動作においては、NPDU を次の四つの形態で使用する。

**広域移動通知：**移動体  $a$  から IS  $dst$  へ自局の移動体情報  $info$  を通知するものである。  $dst$  は  $aIS(a)$  あるいは  $pIS(a)$  のいずれかである。NPDU( $c(a), x, info, -, -$ )を使用する。  $x$  は  $dst$  の NET (Network Entity Title) とする。  $dst$  が  $aIS(a)$  の場合は  $d(a)$  としてもよい。  $dst$  が  $pIS(a)$  の場合は  $c(a)$  としてもよい。この動作を W\_MIG\_NTF( $a, dst, info$ ) と記す。

**広域移動確認：**IS  $src$  から移動体  $a$  に W\_MIG\_NTF( $a, src, info$ ) に対する確認を行うものである。  $src$  は  $aIS(a)$  あるいは  $pIS(a)$  のいずれかである。NPDU( $x, c(a), -, info, -$ )を使用する。ここで、  $x$  は  $src$  の NET とする。この動作を W\_MIG\_ACK( $src, a, info$ ) と記す。

**広域 NPDU 転送：**IS  $x$  が移動体  $a$  の移動体情報  $info$  に従って NPDU を  $a$  にフォワードする動作である。もとの NPDU を  $packet = \text{NPDU}(src, dst, srcinfo, dstinfo, data)$  とするとき、NPDU( $src, c(info) srcinfo, info, data$ ) を生成

し、送信する。  $srcinfo$ 、  $dstinfo$  は空であってもよい。この動作を W\_FWD\_NPDU( $x, a, info, packet$ ) と記す。

**広域情報付き NPDU：**移動体  $a$  が  $packet = \text{NPDU}(d(a), dst, -, dstinfo, data)$  を送信する際に、あるいは、IS  $x$  が、移動体  $a$  が送信元の  $packet = \text{NPDU}(d(a), dst, srcinfo, dstinfo, data)$  を送信する際に、自局が保持する  $a$  の移動体情報  $info$  を付与し、NPDU( $d(a), dst, info, dstinfo, data$ ) を生成、送信する。ここで、  $srcinfo$ 、  $dstinfo$  は空であってもよい。この動作を W\_INF\_NPDU( $x, info, packet$ ) と記す。

#### 4.2 ES の動作

**定常時：**移動体  $a$  は、起動時および以前に実行した W\_MIG\_NTF( $a, aIS(a), info$ ) の  $info$  に設定した寿命値以内の時間間隔で、新たな移動体情報  $info'$  を含む W\_MIG\_NTF( $a, aIS(a), info'$ ) を実行する。W\_MIG\_ACK( $aIS(a), a, info'$ ) による確認を受けるまで再送を続ける。  $info'$  の寿命値は個々の移動体ごと、通知ごとに設定可能である。つまり、より頻繁に移動する移動体はより小さい値を設定できる。

**移動時：**移動体  $a$  は移動を検出すると、W\_MIG\_NTF( $a, aIS(a), info$ ) および W\_MIG\_NTF( $a, pIS(a), info$ ) を実行する。ここで、  $info$  は新たな移動体情報である。この動作は、W\_MIG\_ACK( $aIS(a), a, info$ )、W\_MIG\_ACK( $pIS(a), a, info$ ) による確認を受けるまで繰り返す。ただし、移動先がデフォルトエリアの場合は前者の送信はしなくてもよい。

ここで、新しい移動体情報  $info$  は次のように設定する。エリア間移動の時刻を  $T$  とする。移動体が以前に発信した移動体情報  $info'$  のうち、  $c(info') = p(a)$  となるものの集合を  $\mathcal{I}$  とする。  $\iota \in \mathcal{I}$  に対して、  $T_\iota$  を  $\iota$  の発信時刻とする。このとき、任意の  $\iota \in \mathcal{I}$  に対して

$$T + t(info) \times UnitTime \geq T_\iota + t(\iota) \times UnitTime$$

が成立するようにする。この条件により、伝搬遅延が  $t(info)$  および  $t(\iota)$  の値に比べて十分小さいものとしたときに、古い情報に関する完全性、つまり、NPDU が古い情報に基づいて送信あるいはフォワードされてくる可能性があるときには、かならず PNIS がその NPDU をより新しいアドレスにフォワードしてくれるということが保証される。シーケンス番号は適当な方法でインクリメントする。

**移動体情報の拡散：**移動体  $a$  は、NPDU  $packet$  を送信するとき、かわりに W\_INF\_NPDU( $a, info, packet$ ) を実行してもよい。  $info$  は  $a$  の移動体情報である。IS  $x$  は、NPDU  $packet$  をフォワードするとき、

$W\_INF\_NPDU(x, info, packet)$  を実行してもよい。 $info$  は  $x$  が保持する送信元移動体の移動体情報であり、 $NPDU\ packet$  が送信元移動体情報を含んでいる場合には、その情報より新しい情報である。

#### 4.3 IS の動作

**隣接関係の報告**：移動体  $x$  に対し、 $aIS(x)$  および  $cIS(x)$ ,  $pIS(x)$  は、各々、レベル 1 LSP で  $d(x)$ ,  $c(x)$ ,  $p(x)$  との隣接関係を報告する。ただし、自システムには実際には隣接しておらず、しかも、エリア内の別の IS に隣接していることを示すレベル 1 LSP を受信している場合には、自システムとの隣接関係を報告するという虚偽の動作はやめる。

**エントリ管理**：IS における各々のエントリの寿命値は  $UnitTime$  ごとに 1 ずつ減らす。寿命値が 0 になるとエントリを削除する。IS が移動体情報  $info$  を受信したとき、その移動体に関する情報  $info'$  を保持している場合には、シーケンス番号と寿命値パラメタを比較して情報の新旧を判断する。 $n(info) < n(info')$  ならば  $info'$  の方が新しい。 $n(info) > n(info')$  ならば  $info$  の方が新しい。 $n(info) = n(info')$ ,  $t(info), t(info') \neq 0$  のとき、 $t(info) < t(info')$  のとき  $info'$  の方が新しく、 $t(info) > t(info')$  のとき  $info$  の方が新しい。 $n(info) = n(info')$ ,  $t, t'$  のいずれか一方のみが 0 のとき、0 の情報の方が新しい。寿命値 0 のものは無効な情報を消去するために使用し、寿命値が 0 でないものをオーバーライトして広まるようにしている。上記のもの以外についてはどちらが新しいかは定義していない。シーケンス番号  $a, b$  の大小は、(ドメイン内で一貫した)適切な判断条件により比較される。

寿命値と比べて伝搬遅延が無視できないほどの値であるならば、受信した時点ですでに無視できない時間が経過している可能性がある。このような場合は、エントリとして登録する時点で最大伝搬遅延に相当する寿命値を差し引くなどの、ローカルな調整が必要である。

**NPDU のフォワード**：IS  $x$  が、 $packet = NPDU(src, dst, srcinfo, dstinfo, data)$  を受信し ( $srcinfo, dstinfo$  は空であってもよい)、移動体  $dst$  について保持しているエントリ  $info$  より  $dstinfo$  の方が古い場合には  $W\_FWD\_NPDU(x, c(info), info, packet)$  を実行してもよい。 $dstinfo$  の方が新しい場合には、そのままフォワードし、保持しているエントリを更新する。ただし、 $dst = d(srcinfo)$  の場合は広域移動通知であるため、 $W\_FWD\_NPDU(x, c(info), info, packet)$  は実行してはならない。

移動体  $a$  に対して、IS  $x$  が、同一エリア内のアドレ

スを示す  $dst$  を宛先とする  $NPDU\ packet = (src, dst, srcinfo, dstinfo, packet)$  を受信したが、 $dst$  に関する移動体情報を保持しておらず、しかも  $dst$  の所在がエリア内で報告されていない場合は、 $W\_FWD\_NPDU(x, d(info), (c(info)/d(info), 0, s(info)), packet)$  を実行する。ただし、 $x$  が  $aIS(a)$  の場合には  $packet$  は廃棄する。IS  $x$  が  $aIS(a)$  あるいは  $pIS(a)$  であり、 $NPDU(a, dst, srcinfo, -, -)$  を受信した場合には、即座に  $W\_MIG\_ACK(x, a, b, srcinfo)$  を実行する。

## 5. 評価

CLNP 上で ES の移動をサポートするプロトコルとして Carlberg<sup>2)</sup> が提案する手法は、ドメイン間の移動に対してはディレトリ<sup>9)</sup>を使用し、ドメイン内の移動に対しては、既存の IS-IS プロトコルの LSP のフィールドを拡張した PDU をブロードキャストして移動体情報を通知するものである。本章では、まず 5.1 節から 5.8 節において、1 章で述べた本論文の目標と照らして Carlberg の手法と本論文で提案した手法の比較を行う。次に 5.9 節において、VIP との比較を行う。

### 5.1 トラヒック

本節では、トラヒックの解析結果を示したのち、シミュレーションの結果得られるキャッシュの効果を示す。一般にレベル 1 回線の使用よりレベル 2 回線の使用の方が高価であるなど、レベル 2 トラヒックの方がレベル 1 トラヒックよりも重要度が高いと考えられるため、以下では、レベル 2 トラヒックのみを考える。

$C$  をドメイン内のレベル 2 の回線数とする。 $H$  を平均 LAN 間レベル 2 ホップ数

$$H = \sum_{l_1 \in \mathcal{L}} \sum_{l_2 \in \mathcal{L}} d(l_1, l_2) / |\mathcal{L}|^2$$

とする。ここで、 $\mathcal{L}$  は、ルーティングドメイン内で移動体が接続可能な LAN の全体からなる集合とする。

$d(l_1, l_2)$  は LAN  $l_1$  から LAN  $l_2$  へのレベル 2 ホップ数とする。データトラヒックは任意の移動体間でランダムに生じるものとする。移動は任意の  $\mathcal{L}$  の要素間をランダムに行うものとする。データトラヒックと移動は、各々、 $\lambda, \mu$  の指数分布であるものとする。伝搬遅延および LSP の伝送間隔は考慮せず、PDU は即座に転送されるものとする。IS の LSP および移動体の移動通

表 1 PDU ホップ数比較  
Table 1 PDU hop count comparison.

	Carlberg	本手法
移動時	$2C$	$2H$
通信時	$H$	$2H - \alpha$

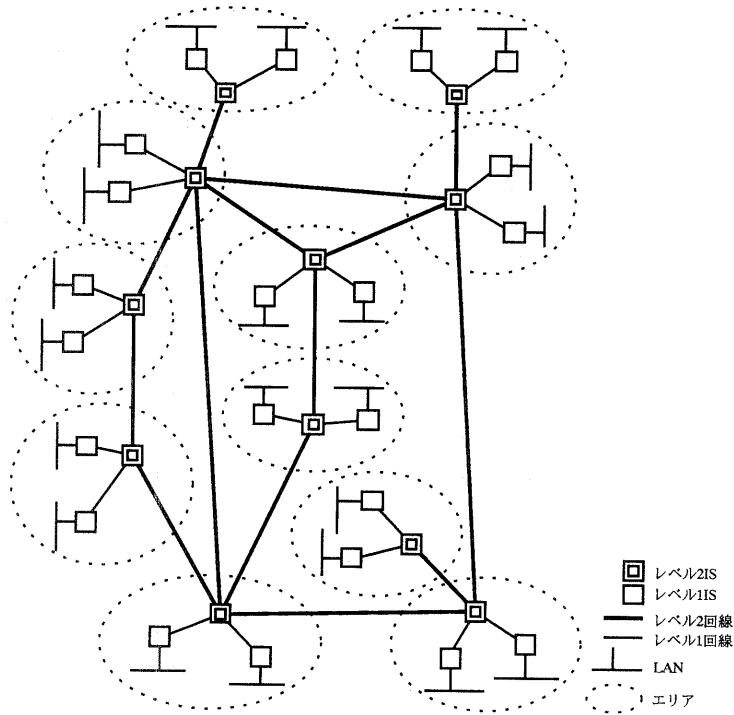


図8 シミュレーションに用いたネットワークドメイン  
Fig. 8 Network domain used in the simulation.

知の生成間隔は60 *UnitTime*、寿命値は130 *UnitTime*、ISのキャッシュ容量は無制限とする。すべてのデータPDUは広域情報つきNPDUとして送信する。

ES移動およびデータ通信の結果生ずる平均PDUホップ数は表1で示される。

$\alpha$  ( $\alpha \leq H$ )はキャッシュ手法の効果であり、この値はネットワークトポロジーとルート選択によって変わる。シミュレーションは、*UnitTime*ごとに個々のIS、ESの動作をシミュレートする方式をとった。ネットワークトポロジーとして図8を使用した。このトポロジーにおいて、現実的なネットワークトポロジーを想定して、レベル2トポロジーとしては、Zaumenらがルーティングアルゴリズムの評価において使用しているLOSNETTOSのトポロジー<sup>12)</sup>を使用し、エリア内トポロジーとしては、1個のレベル2ISを中心として2個のレベル1IS経由で2個のLANを接続している。ESに関しては100個の移動体が22個のLAN間を移動するものとした。AISはレベル1ISを均等に割り当てた。図9は、データ通信頻度 $\lambda$ はすべての移動体に関して100/1000 (PDU/*UnitTime*)に固定し、移動頻度 $\mu$  (0/1000~20/1000, 1/1000おき)を横軸にとった。縦軸は100 *UnitTime*のシミュレーションを100回行

ったときの両手法による制御PDUトラヒック量およびデータトラヒック量として、PDUホップ数の総量を表している。図10は、移動頻度 $\mu$ を10/1000 (回/*UnitTime*)に固定し、データ通信頻度 $\lambda$  (0/1000~200/1000, 10/1000おき)を横軸としたものである。移動頻度、通信頻度としてどの程度の範囲を考慮するかは運用方法に大きく依存するため、本シミュレーションにおいてパラメタを動かす範囲については議論が必要である。OSIネットワークにおけるESの移動通信頻度比を0から0.25の範囲でシミュレーションを行っている文献<sup>8)</sup>もあり、本シミュレーションにおいても同程度の範囲をとっている。これは、例えば次のような状況を考慮したものである。キャンパスの個々の建物が一つのエリアとして設定されており、学生が休み時間の最初と最後に集中して移動し、その時点ではデータ通信の頻度は下がる場合がある。例えば特定の1分間に、学生が平均1回移動し、10人に1人が平均50パケットを送信する場合には、移動通信頻度比は0.2となる。市街地や行楽地、工場などでも類似したケースにおける同程度の移動通信頻度比を上限として考えることができ、この程度の値を上限として考えることは現実性を持つものと考えられる。ただし、数値範囲の妥当性に関しては、今後のOSIの普及と使用形態の想



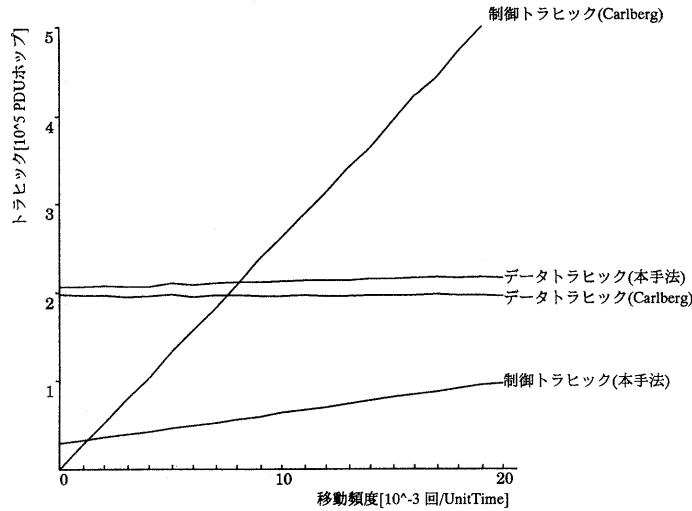


図9 データ通信頻度を固定した制御/データトラヒック比較  
Fig.9 Control/data traffic comparison for fixed data transfer rate.

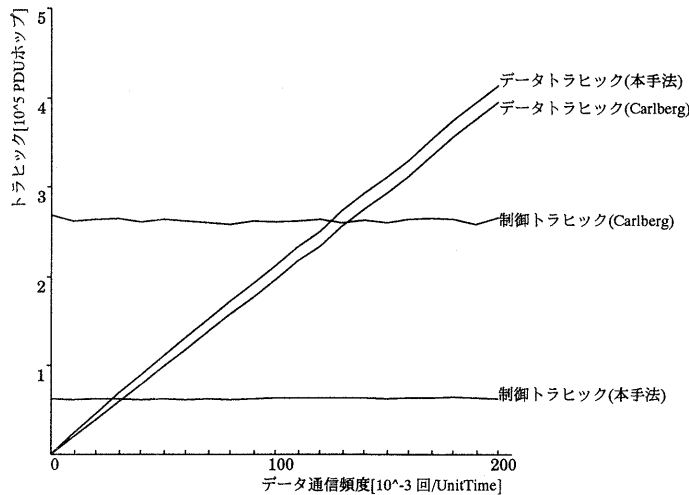


図10 移動頻度を固定した制御/データトラヒック比較  
Fig. 10 Control/data traffic comparison for fixed migration rate.

定に基づくものであるため、実システムによる実験や運用を通じた今後の検討が必要である。

これらのグラフから、本プロトコルによってESの移動頻度が高い時の制御トラヒックが大幅に削減されていることがわかる。また、データトラヒックに関しても両方のグラフにおいて全般的にCarlbergの場合と大差がないことが確かめられ、キャッシュの効果が得られているものと考えられる。

5.2 スケーラビリティ

図11において、二重四角はレベル2 IS、破線による円はエリア、IS間をつなぐ線はリンクを表すものとす

る。このように、一辺に  $n$  個のエリアが並ぶ格子状のドメイントポロジーを仮定する。CLNP ネットワークにおいては、IS-IS プロトコルの使用を通じて、IS 間回線の切断に対応することやトラヒックの分散を実現することが可能であるため、システム間の回線に多重度を持たせるネットワークの設計が一般的であり、このような格子状のトポロジーは、CLNP ネットワークの典型例であると考えられる。さらに、このような格子状のトポロジーは、平面をカバーするもっとも単純なものであるため、ネットワークを地理的に拡大していく場合のネットワークトポロジーの変化を表すモデル

としてふさわしいものと考えられる。この場合、

$$C=2n(n-1), \quad H=\frac{2(n-1)(n+1)}{3n}$$

となる。この値を表1の式に当てはめる(ただし、 $a=0$ 、つまり、キャッシュの効果を見捨てる)と、本プロトコルでのトラヒックの総量は  $n$  のオーダーであるのに対し、Carlberg の手法では  $n^2$  のオーダーになることが確かめられる。ここで、図12は、データ通信頻度、移動頻度を各々100/1000[PDU/UnitTime]、10/1000[回/UnitTime]に固定してネットワーク規模  $n$  を1から15まで変化させた場合のUnitTimeあたりのトラヒック量を示したものである。IS数は  $n^2$ 、ES数は  $10n^2$  としている。これは、ES数はIS数に比例し

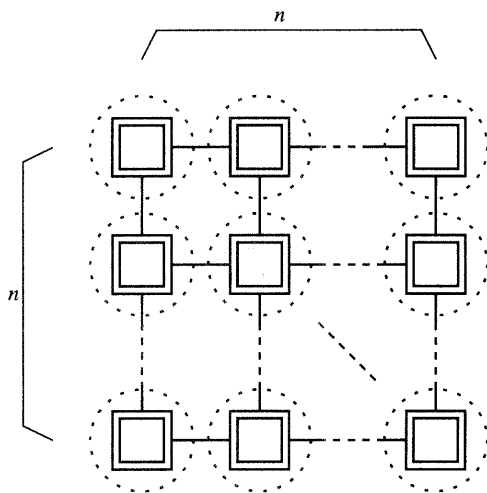


図11 格子状ネットワークポロジ  
Fig. 11  $n$ -Grid network topology.

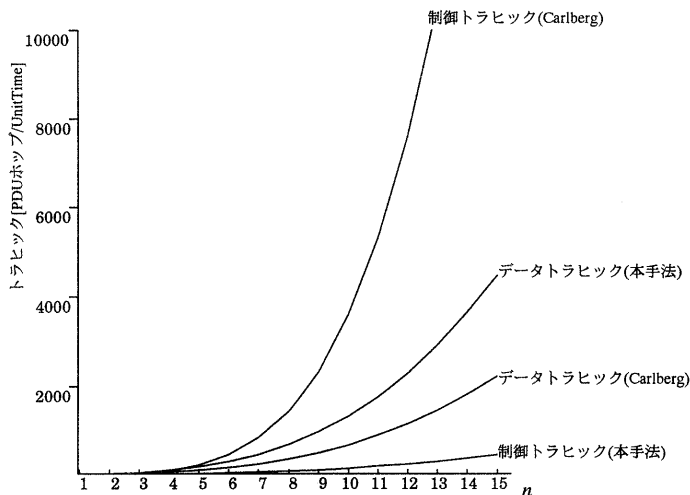


図12 格子状ネットワークポロジにおけるトラヒック比較  
Fig. 12 Traffic comparison for  $n$ -grid network topology.

て増加するものと考えられるが一般的であると考えられるためである。データ通信トラヒックに関しては、キャッシングを利用すれば本手法のトラヒックはさらに減少するものと考えられる。

以上のように、本プロトコルは、ネットワーク規模に対するスケラビリティを有すると考えられる。

### 5.3 制御情報の伝搬遅延

5.1節での議論と同様に、レベル2伝搬遅延は、一般に、レベル1のものより重要であると考えられる。本プロトコルではNPDUを用いるため、LSPと違って、制御情報のレベル2伝搬遅延はLSPの伝搬遅延より小さいものと考えられる。LSPは頻繁な送信によるトラヒックの増加を抑制するために最小送信間隔に制限があるため、移動が頻繁な場合にはLSPはすぐに伝達されるとは限らないためである。

### 5.4 従来システムとの相互接続性

Carlbergの手法においてはすべてのISが移動体用のプロトコルをサポートする必要がある。それに対して本プロトコルにおいてはその必要がない。本論文で使用するオプションフィールドを持つNPDUを従来型のシステムが無視するという前提のもとで、従来型のシステムと相互接続が可能である。従来型のISを徐々に本プロトコルをサポートするISに置き換えていくことにより、より効率よく移動体をサポートすることが可能になる。

### 5.5 正当性

移動体が伝搬遅延より早いスピードで移動し続けることがない場合は、移動体あてのNPDUはループを起さずに正しくその移動体に到達できることが、

PDU フォワーディンググラフ<sup>7)</sup>を構成する方法によって容易に確かめられる。移動体が伝搬遅延より早いスピードで移動し続ける場合にも、移動体が静止した時点で正常な動作が可能となる。

### 5.6 ロバスト性

5.1 節でも述べたとおり、本プロトコルでは集中的な ES の移動に対しても輻輳が起こることが少ない。輻輳が生じたとしても、IS におけるルーティングテーブルを書き換えないので、ルーティング不整合が起こることはない。

### 5.7 オーバヘッド

Carlberg の方法では、すべてのレベル 2 IS はルーティングドメイン内のすべての移動体のエントリを保持しなければならない。IS にとって負荷が重いだけでなく、ドメイン内でサポートできる移動体の数に対する強い制限となる。本プロトコルでは、移動体の AIS は常に、PNIS は一定の期間だけエントリを保持する必要があるが、その他の IS はいつでもエントリを捨ててよい。

本プロトコルによる ES 側のオーバヘッドに関しては、寿命値は常に一定値を使用すればよいため、比較的軽いものと考えられる。

### 5.8 適用範囲

Carlberg の手法において ES は DA 回線をまたぐ移動ができないという ES の移動範囲に関する強い制限がある。それは、移動体に関する情報伝達には LSP を使用しているためである。LSP は、経済的な観点から、公衆網などの DA (Dynamic Assigned) 回線を越えてブロードキャストされない。それに対して、本論文の手法ではこのような制限がない。

### 5.9 VIP との比較

本論文で導入したプロトコルの基本動作およびキャッシュの考え方は VIP をベースとしている。1 章で論じたとおり本論文の手法は、CLNP 環境を前提とし、CLNP で使用されている階層的なルーティングプロトコルとの整合性を考慮して、VIP のキャッシュ手法に改良を加えた。すなわち、VIP は移動時にキャッシュ消去のために無効化パケットのブロードキャストを行うが、本手法では、無効なキャッシュ情報を放置し、移動体情報に付与された寿命値パラメタの残存期間は、古いアドレスを用いたルーティングを考慮する。これによって移動時の制御パケットのブロードキャストを、エリア内、エリア外ともに抑制することができ、その結果、将来の大規模 CLNP ネットワークにも適用できるようにした。

一方、本手法は VIP と比較して、パケットフォワー

ド時に余分なホップを生ずる可能性があるが、5.1 節では例を用いて、十分キャッシュの効果を得られることを示した。この点に関するより厳密な比較については今後の課題である。

## 6. おわりに

本論文では CLNP 環境において移動体をサポートするためのプロトコルを提案した。本論文ではエリア間の移動のサポートを対象としたが、エリア内移動に対しては IS-IS で対応することも可能であるし、別の効率的な手法<sup>7)</sup>を併用して対処することも可能である。

本論文ではプロトコルを設計するにあたって、特に、ES 側の負担が軽くなるようにした。さらに、このプロトコルは従来の CLNP 環境下で動作させることが可能である。

認証の問題に関しては本論文では取り扱っておらず、特にキャッシングに関しては何らかの認証機構が必要である。例えば、他の ES の NSAP アドレスを通知する ES が存在すると、NPDU がその ES へ転送されるといった問題、いわゆるなりすまし問題が生じる。この問題の解決は今後の研究課題である。

移動体プロトコルの記述に関しては、形式的な記法を導入し、正当性などのプロトコルの性質を形式的に議論する必要がある。この点に関しては今後の研究が必要である。

**謝辞** 本研究を進めるにあたって、貴重なご助言を頂いたシャープ(株)千葉徹部長、中村眞主任研究員、宇野裕史係長に感謝致します。また、本稿に対し有益なコメントを頂いた大阪大学西尾章治郎教授ならびに東京電機大学滝沢誠教授に感謝いたします。

## 参考文献

- 1) Callon, R.: TCP and UDP with Bigger Address (TUBA), A Simple Proposal for Internet Addressing and Routing, RFC 1347 (1992).
- 2) Carlberg, K. G.: A Routing Architecture That Supports Mobile End Systems, *Proc. IEEE Military Communications Conf. (MILCOM'92)*, pp. 159-164 (1992).
- 3) Ioannidis, J., Duchamp, D. and Maguire Jr., G. Q.: IP-based Protocols for Mobile Internet-working, *Proc. ACM-SIGCOMM*, pp. 235-245 (1991).
- 4) ISO: 8473 Information Processing Systems—Data Communications—Protocol for Providing the Connectionless-mode Network Service (1988).

- 5) ISO: 10589 Information Technology—Telecommunications and Information Exchange between Systems—Intermediate System to Intermediate System Intra-Domain Routing Information Exchange Protocol for Use in Conjunction with the Protocol for Providing the Connectionless-mode Network Service (ISO 8473) (1992).
- 6) ISO/IEC: 9594-1 Information Technology—Open Systems Interconnection—The Directory—Part 1: Overview of Concepts, Models, and Service (1990).
- 7) Tanaka, R. and Tsukamoto, M.: A CLNP-based Protocol for Mobile End Systems within an Area, *Proc. IEEE Int. Conf. on Network Protocols (ICNP'93)*, pp. 64-71 (1993).
- 8) 田中理恵子, 塚本昌彦: OSI エリア内での移動体通信のためのデフォルトフォワーディングプロトコル, *情報処理学会論文誌*, Vol. 35, No. 11, pp. 2509-2520 (1994).
- 9) Teraoka, F., Yokote, Y. and Tokoro, M.: A Network Architecture Providing Host Migration Transparency, *Proc. ACM-SIGCOMM*, pp. 209-220 (1991).
- 10) 塚本昌彦, 田中理恵子: デフォルトアドレスと寿命値パラメータを用いた広域移動体通信のためのルーティングプロトコル, *情報処理学会研究会報告 DPS 58-3*, pp. 17-24 (1992).
- 11) Wada, H., Yozawa, T., Ohnishi, T. and Tanaka, Y.: Mobile Computing Environment Based on Internet Packet Forwarding, *1993 Winter USENIX*, pp. 503-517 (1993).
- 12) Zaumen, W. T. and Aceves, J. J. G.: Dynamics of Distributed Shortest-Path Routing Algorithms, *Proc. ACM-SIGCOMM*, pp. 31-42 (1991).  
(平成 6 年 7 月 11 日受付)  
(平成 7 年 4 月 14 日採録)



塚本 昌彦 (正会員)

1964 年生. 1987 年京都大学工学部数理工学科卒業. 1989 年同大学院工学研究科修士課程修了. 同年, シャープ(株)入社. 1995 年 3 月より大阪大学工学部情報システム工学科講師, 現在に至る. 移動体通信, ネットワークプロトコル, 知識ベースシステムに興味を持つ. 工学博士. 1990 年本学会研究賞受賞. 電子情報通信学会, 日本ソフトウェア科学会, 人工知能学会, ACM, IEEE 各会員.



門林理恵子 (正会員)

1963 年生. 1985 年大阪大学文学部史学科卒業. ソフトウェア会社勤務を経て, 1990 年シャープ(株)入社. 1994 年 9 月より, (株)エイ・ティ・アール通信システム研究所に外向. 現在, (株)エイ・ティ・アール知能映像通信研究所第 2 研究室に所属し, コミュニケーション支援技術の研究に従事. 電子情報通信学会会員.