ネットワークの階層化を用いた移動体通信プロトコルについて

萩野 浩明　原 隆浩　塚本 昌彦　西尾 章治郎

大阪大学大学院 工学研究科 情報システム工学専攻
〒565 吹田市山田丘 2-1
E-mail: {hagino,hara,tuka,nishio}@ise.eng.osaka-u.ac.jp

近年，移動可能な計算機，すなわち移動体の普及に伴い，移動体通信をサポートする技術に対する要求が高まってきている．特に移動体通信において，移動体の位置管理を効率的に行うことが重要な問題の一つと考えられている．そこで本稿では，ネットワークを階層化して位置管理を行うプロトコルを提案する．このプロトコルでは，ネットワークをいくつかのレベルに階層化し，各レベルで独立して移動体の位置管理を行う．階層的に位置管理を行なうことによって，移動体通信に伴うトラヒック量を軽減できる．

1　はじめに

近年のネットワーク技術の発展や端末の小型化，軽量化によって，移動可能なホスト，すなわち移動体を場所や時間を選ばずに利用できる環境が実現されつつある．そのため，移動体通信をサポートする技術に対する要求が高まってきており，これらに関してさまざまな研究が行われている．移動体通信をサポートする上で重要な問題の一つとして，移動透過性 (mobility transparency) が挙げられる．移動透過性とは，ユーザに対して，移動体が移動することを意識させずに通信を行えるようにすることである．

移動透過性を実現するためには，移動体の位置管理を行う必要がある．ここでいう位置管理とは，自由に移動する移動体がどこにいるのかを常に把握しておき，通信時には，宛先の移動体に正確にパケットを送り届けることである．これまでに提案されている移動体通信プロトコルにおいても，移動体の位置管理を行うためにさまざまな手法が用いられている [1, 2, 3, 5, 6, 7, 8, 13]．また，位置管理は，ネットワークの分野だけでなく，データ工学などの分野においても応用が考えられている [9, 12]．これらの位置管理手法に関して，文献 [4] では，移動体の移動頻度や通信頻度などのパラメータが一様であるネットワークにおける評価，比較が行われている．しかし，現実のネットワークでは，場所によって移動体の移動頻度や通信頻度などのパラメータが異なることが一般的である．例えば，学校のキャンパスなどにおいて，学生が携帯端末をもって移動する場合，校舎内では，移動体の移動が頻繁に発生するが，校舎と校舎の間における移動はあまり頻繁に発生しないものと考えられる．このような場合，キャンパス全体をひとつの手法で管理するのではなく，それぞれの校舎において個別に移動体の位置を管理することによって，より効率的な移動体の位置管理を行うことができるものと考えられる．

このような観点から筆者らの研究グループでは，ネットワークを階層化し，それぞれの階層で独立して移動体の位置管理を行うプロトコルの研究を行っており，これまでにネットワークを 2 段階に階層化して位置管理を行うプロトコルを提案し，トラヒック量の観点からその有効性を示している [10, 11]．しかし，ネットワーク規模が大きくなると，ネットワークをいくつかのグループに分け，グループ内およびグループ間の 2 段階で階層的に位置管理を行ったとしても，グループ間で移動体の位置管理や通信頻度などのパラメータにばらつきがあるものと考え

On Mobile Communication Protocols using Network Hierarchies
Hiroaki HAGINO, Takahiro HARA, Masahiko TSUKAMOTO, and Shojiro NISHIO
Department of Information Systems Engineering, Faculty of Engineering, Osaka University

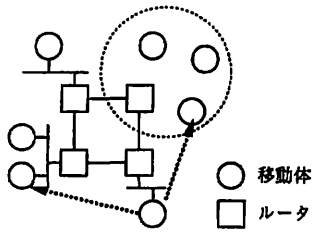


図 1: ネットワークモデル

られる．従って，このような場合には，2段階だけの階層化では十分ではなく，さらにいくつかのグループをまとめて大きなグループを構成し，階層を2段階以上にすれば，より効率的に位置管理を行うことができるものと考えられる．こで本稿では，ネットワークを2段階以上に階層化して移動体の位置管理を行うプロトコルを提案する．

以下では，2章でネットワークの階層化を用いた移動体の位置管理において必要な考え方について説明する．3章では本稿で提案するプロトコルの詳細を示す．最後に4章において本稿のまとめとする．

2 階層化による位置管理の概念

2.1 ネットワークモデル

本稿で議論の対象とするネットワークのモデルを図1に示す．移動体は図中の矢印のように，ネットワーク内のどこへでも移動することができ，有線もしくは無線を用いてルータと通信できる．図中の実線は有線のネットワークを表している．また，破線の円は無線を用いた場合のルータと移動体の通信範囲を示している．

2.2 ネットワークの階層化

本稿で提案する移動体通信プロトコルでは，2.1節で述べたようなネットワークに対して階層化を行い，その階層化に基づいて移動体の位置を管理する．ネットワークは2階層以上のレベルに階層化され，それぞれの階層を，下のレベルからL1エリア，L2エリア，…，と呼ぶ．同じレベルのエリアは互いに交わることはない．また，レベルの異なる二つのエリアは，上位レベルのエリアに下位レベルのエリアが包含されるか，あるいは交わりがないかのいずれかである．

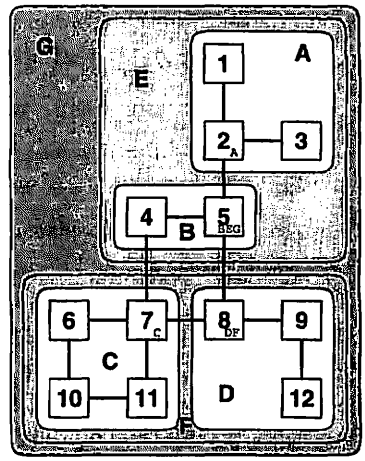


図 2: ネットワーク階層化の例

それぞれのエリアには，代表ルータが一つ存在する．L(n+1)エリアは包含しているLnエリアの代表ルータだけから構成されるエリアであり，L(n+1)エリアの代表ルータはその中から選択される．代表ルータが同レベルの他のエリアとの移動体の位置情報の交換や通信を行うため，代表ルータ以外のルータは自局が属しているエリア外の情報を関知する必要がない．

ネットワークの階層化の例を図2に示す．図中の丸角の四角形はエリアを表しており，太字のアルファベットはエリア名である．また，ルータは四角形で表され，数字はルータ名，ルータ名の右下のアルファベットはそのルータがアルファベットの示すエリアの代表ルータであることを表している．エリアA，B，C，DはL1エリア，エリアE，FはL2エリア，エリアGはL3エリアである．ここで，エリアAの代表ルータをルータ2，エリアBの代表ルータをルータ5，エリアCの代表ルータをルータ7，エリアDの代表ルータをルータ8とすると，エリアE

は論理的にルータ2とルータ5から構成されるエリアであるとみなされる．同様に，エリアFはルータ7とルータ8から成るものと考えられる．また，エリアEの代表ルータをルータ5，エリアFの代表ルータをルータ8とすると，エリアGはルータ5とルータ8から構成される．ルータGの代表ルータをルータ5とする．

2.3 ルータの構成

本プロトコルで用いるルータのモジュール構成を図3に示す．図のように，コネクションレス型ネットワークプロトコルをベースにして階層的に移動体の位置管理を行う，階層的位置管理プロトコルHLMP(Hierarchical Location Management Protocol)と，移動体の位置情報およびエリア構成情報を利用して移動体通信を実現する．エリア構成情報とは，そのルータが関知しているすべてのレベルについて，属しているルータを記したものである．また，それぞれのレベルで，どのルータが代表ルータであるのかも記録しておく．図3におけるエリア構成情報は図2のルータ8のものである．一番下の列は，ルータ8の属するL1エリアであるエリアDがルータ8，9，10から構成され，ルータ8が代表ルータであることを表し，2段目の列はルータ8がエリアCの代表ルータであるルータ7とともにL2エリアのエリアFを構成し，ルータ8がその代表ルータであることを示している．同様に3段目はエリアGがルータ5とルータ8から成り，ルータ5が代表ルータであることを表している．すなわち，各段は下から順にL1，L2，L3エリアを，*印がついているルータが代表ルータであることを表している．

2.4 各レベルに適用する位置管理手法

HLMPでは，階層化したネットワークの各レベルに対して，文献[4]で提案されている移動体位置管理手法を応用したものを適用する．以下で，ネットワークの各レベルに適用可能な5種類の手法について説明する．

BN(Broadcast Notification): L($n+1$)エリアAにこの手法を適用しているとき，そのエリアが含

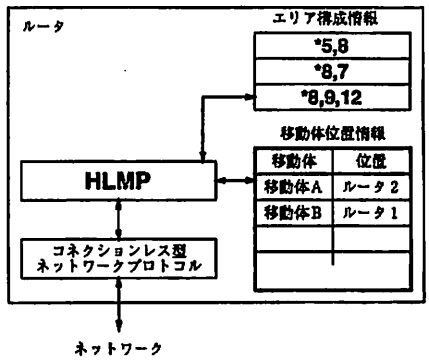


図3: ルータの構成

んでいるLnエリアBからの移動体の移動，もしくはエリアBへの移動が発生すると，エリアBの代表ルータが，エリアAに含まれるすべてのLnエリアの代表ルータに通知する．これによって，移動体がどのLnエリアにいるのかをすべてのLnエリアの代表ルータが知っているので，通信時には移動体がいるエリアに直接パケットをフォワードできる．L1エリアにこの手法を適用しているとき，移動はそのエリアの全てのルータに通知される．

DF(Default Forwarding): この手法を適用したL($n+1$)エリアAにおいて，その中のLnエリアBで，移動体がいなくなるか，もしくは移動してくると，エリアBの代表ルータがエリアAの代表ルータへ通知する．エリアAのルータが移動体宛のデータパケットを受けとると，まずエリアAの代表ルータにフォワードする．代表ルータは自局のもつ位置情報を調べて，もし移動体がエリアA内にいるなら，移動体のいるLnエリアの代表ルータにデータパケットをフォワードする．L1エリアにこの手法を適用しているとき，移動体のルータ間の移動が代表ルータに通知され，通信時には移動体のいるルータにデータパケットがフォワードされる．

DQ(Default Query): この手法における移動通知はDFと同じである．通信時には，代表ルータにデータパケットをフォワードするのではなく，代表

ルータに移動体の位置情報を問合せ，その結果に基づいて通信を行う．

BF(Broadcast Forwarding): この手法では，移動通知を行わない．この手法を適用したエリアでは，データパケットを受けとったルータは，エリアを構成するすべてのルータにそのデータパケットをフォワードする．

BQ(Broadcast Query): この手法でも，移動通知を行わない．通信時にはエリアを構成するすべてのルータに位置情報を問い合わせ，その結果に基づいて通信を行う．

3 階層化による移動体通信プロトコル

3.1 位置管理手法の適用条件

ネットワークの設計者は，それぞれのエリアに対して適用する位置管理手法を設定する．その際，適用する手法とエリアのレベルに応じていくつかの制限が存在する．以下では，2.4節で述べた5種類の位置管理手法についてそれぞれの適用上の制限を示す．

BF, BQ: これらの手法では，移動体の移動を通知しない．そのため，これら2種類のいずれかの手法を適用すると，その上のレベルにおいても，移動体の移動を把握することができなくなる．従って，これら2種類の手法は，最上位のレベルでのみ適用可能である．

BN, DF, DQ: これらの手法では，移動体の移動に伴って，移動元および移動先が通知を行うため，各ルータのもつ位置情報は必ず正しいものである．そのため，これらの手法を用いる場合には制限はない．

3.2 プロトコルの詳細

HLMPでは，ネットワークを静的に階層化し，それぞれのレベルのエリアで使用する位置管理手法を，3.1節で述べた条件に基づいて設定する．以下では，ネットワークの階層化を用いた位置管理を実現するためのプロトコルについて説明する．このプロトコルはIP，OSIのCLNP(ConectionLess-mode Network Protocol)，IPv6において適用可能である．

3.2.1 HLMPパケットの種別

HLMPでは，5種類の位置管理手法を実現するために，以下に示すパケットを使用する．

B_NTF: あるエリアを構成するすべてのルータに移動体の移動を通知するときに用いる．パラメータとして，送信元ルータのアドレス，パケットの配送範囲，移動体の識別子，および送信元ルータが移動体の移動先かそれとも移動元かを示す情報をもつ．

D_NTF: あるエリアの代表ルータに移動体の移動を通知するために用いる．送信元および送信先ルータのアドレス，移動体の識別子と送信元ルータが移動体の移動先かそれとも移動元かを示す情報を含む．

D_ACK: 代表ルータがD_NTFに対するACKとして用いる．パラメータとして，D_NTFと同様のものをもつ．

FWD: ルータが他のルータにデータパケットをフォワードするときに用いる．送信元および送信先ルータのアドレスと宛先の移動体の識別子，通信発信元アドレスを含む．

D_QRY: あるエリアの代表ルータに移動体の位置を問い合わせるために使用する．送信元および送信先ルータのアドレスと，位置を知りたい移動体の識別子を含む．

B_FWD: あるエリアを構成する全てのルータにデータパケットをフォワードするときに使用する．送信元ルータのアドレスとパケットの配送範囲，宛先の移動体の識別子，通信発信元のアドレスを含む．

表 1: 5 種類の位置管理手法において用いるパケットの組合せ

位置管理手法	移動通知	通信時
BN	B_NTF	FWD
DF	D_NTF	FWD
DQ	D_NTF	D_QRY, QRY_ANS, FWD
BF	なし	B_FWD
BQ	なし	B_QRY, FWD

B_QRY: あるエリアを構成するすべてのルータに移動体の位置を問い合わせるために使用する．送信元ルータのアドレスとパケットの配送範囲，位置を知りたい移動体の識別子を含む．

QRY_ANS: ルータが D_QRY や B_QRY に応答するときに用いる．パラメータとして送信元および送信先ルータのアドレス，移動体の識別子と位置情報をもつ．

5 種類の位置管理手法は，上記のパケットを組み合わせて実現される．表 1に，それぞれの手法において用いるパケットの組合せを示す．

3.2.2 ルータの動作

移動体の移動発生時と通信発生時におけるルータの動作を説明する．以下では，ネットワークは 2 段階以上に階層化されており，各エリアにおける位置管理手法は，3.1節で述べた条件に基づいて設定されるものとする．また，通信時などにパケットを中継したすべてのルータが移動体の位置情報をキャッシュすることによって通信効率が向上する可能性もある [7, 8] が，その場合，キャッシュされた情報の信頼度などの問題が発生するため，ここでは位置情報のキャッシュはないものと考える．

移動発生時の動作: 移動体が移動すると，まず移動元のルータと移動先のルータが動作する．それぞれのルータが属する L1 エリアにおける位置管理手法に基づいて，移動の通知が行われる．L1 エリアには，3.1節で述べた理由から BN, DF, DQ のいずれかが適用される．いずれの手法を適用した場合にも，移動元ルータと移動先ルータの両者が通知を行う．BN が適用されている L1 エリアでは，移動先もしくは移動元のルータからエリア内のすべてのルータに B_NTF を用いて移動を通知する．B_NTF を受けとった代表ルータ以外のルータは自局のもつ位置情報を書き換える．また，DF もしくは DQ が適用されている L1 エリアでは，移動先もしくは移動元のルータが代表ルータに D_NTF を用いて移動を通知する．このとき，いずれの場合においても代表ルータは移動通知を受信するため，代表ルータは自局の担当するエリア内における位置情報を把握できる．

移動通知を受けとった Ln エリアの代表ルータでは，移動通知の送信元ルータアドレスと自局のもつエリア構成情報および移動体の位置情報から，どのレベルのエリアにおける移動通知であり，移動体がどのレベルのエリア間を移動したのかを判別する．代表ルータは移動の発生した全てのレベルで，適用している位置管理手法に基づいて通知等を行う．

通信発生時の動作: 移動体宛のデータパケットを受けとったルータは，以下の手順で動作する．

1. 自局のもつ位置情報に宛先の移動体の位置情報が含まれている場合はそれに従ってデータを FWD を用いてフォワードする．
2. その移動体の位置情報をもっていない場合は，自局のもつエリア構成情報での最上位のエリア

における位置管理手法に基づいて通信する．

手順2では，自局のもつエリア構成情報での最上位のエリアにおいてBNもしくはDFを用いている場合，最上位のエリアの代表ルータにFWDを使用してデータパケットをフォワードする．BFを用いている場合，最上位のエリアにおけるすべてのルータに，B_FWDを用いてデータパケットをフォワードする．BQを用いているときは，自局のもつエリア構成情報での最上位におけるすべてのルータにB_QRYによって移動体の位置情報を問い合わせ，その結果送り返されてきたQRY_ANSに基づいてFWDを用いてデータパケットをフォワードする．DQを用いている場合は，まず最上位のエリアの代表ルータにD_QRYを使用して移動体の位置情報を問い合わせる．D_QRYを受けとったルータは，送信元アドレスと自局のもつエリア構成情報から，問合せがどのレベルのエリア内のルータからであるかを判断する．もし，移動体の位置が同じエリアのルータであるならば，QRY_ANSを用いて，その情報を返送する．それ以外の場合は移動体の位置情報として自局のアドレスを指定してQRY_ANSを返送する．QRY_ANSを受信したルータはその情報に基づいてFWDでデータパケットをフォワードする．

3.2.3 動作例

図2のネットワークを用いて，HLMPの動作例を示す．代表ルータの設定を2.2節で例示したものとすると，各ルータのもつエリア構成情報は図4のようになる．エリアA，C，EでBN，エリアB，D，F，GではDFを用いているものとする．

今，移動体がルータ12からルータ11へ，さらにルータ4へ移動する場合を考える．まず，ルータ11へ移動したときの動作を説明する．

ルータ11の動作: エリアCはBNを用いているため，B_NTFによってエリア内に移動体の存在を通知する．

ルータ7の動作: ルータ11からのB_NTFを受けとると，自局のもつエリア構成情報とB_NTFの送信元アドレスから，L1における移動通知であることを判別する．自局のもつ位置情報には移動した移動体の情報が含まれていないので，エリアCの外から移動してきたことがわかる．そこでルータ7はL1エリア間で移動が発生したことをD_NTFを用いてルータ8に通知する．

ルータ8の動作: ルータ8は，移動体の存在を示すルータ7からのD_NTFと，移動体がいなくなったことを示すルータ12からのD_NTFを受けとる．ルータ12の動作はルータ11と同様である．ルータ8はエリア構成情報と位置情報から移動体がエリアDからエリアCに移動したものと判断する．つまり，移動体がエリアFの中で移動したことがわかるので，ルータ8は他のルータに移動通知を行わない．

次に，移動体がルータ11からルータ4に移動したときを考える．

ルータ4の動作: エリアBではDFを用いているため，ルータ4はD_NTFによってルータ5に移動体の存在を通知する．

ルータ8の動作: ルータ8には，前述のルータ11への移動時の場合と同様に，移動体がいなくなったことが，ルータ11からルータ7を経由して通知される．ルータ8は，移動体の存在を伝える通知が届かないことから，移動体がエリアFからいなくなったものと判断し，エリアGの代表ルータであるルータ5に通知する．

ルータ5の動作: ルータ5はルータ4からのD_NTFを受けとると，エリア構成情報とD_NTFおよび位置情報から移動体がエリアBに現れたことを判別する．エリアEではBNを用いているので，移動体がエリアBに現れたことを，B_NTFを用いてルータ2に通知する．さらにエリアFからエリアEに移動したことも分かるが，エリアGではDFを用いており，自局がエリアGの代表ルータであるので，通知の必要はない．

ここで，移動体がルータ4にいる状態で，ルータ3が移動体宛のデータパケットを受信したとき，以

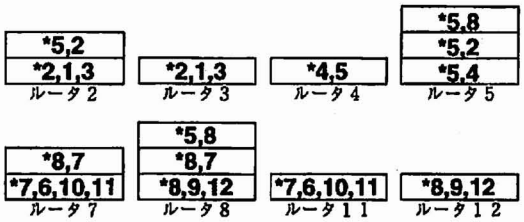


図 4: エリア構成情報

下のようにして通信が行われる．

1. ルータ3のもつ位置情報には移動体の位置が含まれていない．そのため，ルータ3は自局のもつエリア構成情報の最上位レベルであるエリアAの代表ルータ2にデータパケットをフォワードする．

2. ルータ2は自局のもつ位置情報に従って，データパケットをルータ5にフォワードする．

3. ルータ5は自局のもつ位置情報に従って，データパケットをルータ4にフォワードする．

4. ルータ4は移動体にデータパケットをフォワードする．

3.2.4 考察

本節では，ネットワークの階層化，各エリアにおける手法選択および代表ルータの選択についての指針について考察する．

まず，ネットワークの階層化と各階層における手法選択の指針について考察する．筆者らの研究グループでは文献 [10] において，2段階の階層化を行ったときの，上位層，下位層に適用する位置管理手法のいくつかの組合せについて，評価を行っている．その結果，階層的位置管理によって，移動体通信に伴うトラヒック量を低減できることが示されている．特に，移動体が頻繁に行き来する部分をひとつのエリアにすれば，頻繁な移動に伴う移動通知の広がりをそのエリア内に抑えることができるため，トラヒック量を低減できる．また，2段階の階層化では，L1エリアとL2エリアの規模の差が大きいときはL2エリアに適用する手法としてDF，DQが有効であり，規模の差が小さいときにはBNが有効であることが示されている．これらの結果から，本稿で提案しているプロトコルにおいても，ネットワーク全体と比べて移動の頻繁な Ln エリアをまとめて $L(n+1)$ エリアとし，$L(n+1)$ エリアと Ln エリアの規模の差が大きいときはDF，もしくはDQを，小さいときはBNを適用すれば，トラヒック量の低減が期待できる．また，文献 [4] の評価結果より，移動体の移動が少ないエリアでは，BNが有効であり，逆に移動が頻繁な場合はBF，BQが，どちらでもない場合には，DF，DQが有効となる．

次に，代表ルータの選択指針について考察する．本稿で提案したプロトコルによる移動体通信では，各エリアにおける代表ルータの選択方法によってトラヒック量が大きく変化する．ネットワーク全体において移動体の移動頻度が通信頻度より大きい場合，頻繁に行き来のあるエリアとの距離が最も小さいルータを選択すれば，移動通知に伴うトラヒック量の低減が期待できる．また，移動頻度より通信頻度が大きい場合は，通信のやりとりの多いエリアとの距離が最も小さいルータを選択すれば通信に伴うトラヒック量を低減できるものと考えられる．

4 おわりに

本稿では，ネットワークを階層化し，各階層において独立に移動体の位置管理を行うプロトコルを提案した．各階層で位置管理に用いる手法として，従

来の位置管理手法を応用したBN，DF，DQ，BF，BQの5種類を定義した．また，これらの手法を実現するために必要なパケットを定義し，プロトコルの動作例を示した．提案したプロトコルを用いることによって，移動体通信に伴うトラヒック量を低減することができるものと考えられる．なお，本プロトコルはIP，OSIのCLNP，IPv6などにおいて適用可能である．

本プロトコルを実現するための技術課題として，位置情報のキャッシュの導入，ルータ故障時の処理，階層化の最適条件や，最適な手法選択のための判断基準について考える必要がある．今後はこれらの技術課題に対する検討とプロトコルの実装，評価を行なう予定である．さらに，移動頻度などの時間変化に伴うネットワークの動的な階層化も検討している．

謝辞 本研究の一部は，文部省科学研究費補助金重点領域研究(1)「高度データベース」(課題番号08244103)によるものである．ここに記して，深謝の意を表す．

参考文献

[1] Carlberg, K.G.: "A Routing Architecture That Supports Mobile End Systems," *Proc. IEEE MILCOM*, pp.159–164, 1992.

[2] Ioannidis, J., Duchamp, D., and Maguire Jr., G.Q.: "IP-based Protocols for Mobile Internetworking," *Proc. ACM-SIGCOMM*, pp.235–245, 1991.

[3] Perkins, C.E. and Bhagwat, P.: "A Mobile Networking System Based on Internet Protocol," *IEEE Personal Communications*, Vol.1, No.1, pp.32–41, 1994.

[4] Kadobayashi, R. and Tsukamoto, M.: "Traffic-based Performance Comparison of Mobile Support Strategies," ACM-Baltzer Mobile Networks and Nomadic Applicatons (NOMAD): *Topical Journal on Mobility of Sytems, Users, Data and Computing*, Vol.1, No.1, 1996 (to appear).

[5] 門林理恵子, 塚本昌彦: "移動体通信のための適応的ルーティング方式," 情報処理学会論文誌, Vol.37, No.5, pp770–778, May 1996.

[6] Tanaka, R. and Tsukamoto, M.: "A CLNP-based Protocol for Mobile End Systems within an Area," *Proc. IEEE International Conference on Network Protocols*, pp.64–72, 1993.

[7] Teraoka, F., Yokote, Y., and Tokoro, M.: "A Network Architecture Providing Host Migration Trasparency," *Proc. ACM-SIGCOMM*, pp.209–220, 1991.

[8] 塚本昌彦, 門林理恵子: "CLNPネットワークにおける広域移動体通信プロトコル," 情報処理学会論文誌, Vol.36, No.8, pp.2001–2018, 1995.

[9] 成田藤智, 村瀬亨, 塚本昌彦, 西尾章治郎: "移動型データベースのためのビューの実現におけるECAルール配送機構について," 電子情報通信学会技術研究報告 DE96-66, 1996(掲載予定).

[10] 萩野浩明, 塚本昌彦, 西尾章治郎: "モーバイルコンピューティングのための階層的位置管理手法について," 情報処理学会研究報告 DBS109-48, pp.287–292, 1996.

[11] 萩野浩明, 塚本昌彦, 西尾章治郎: "ネットワークの動的階層化による移動体通信プロトコル," 第53回情報処理学会全国大会講演論文集 3, pp.333–334, 1996.

[12] 原隆浩, 春本要, 塚本昌彦, 西尾章治郎: "ATM環境内で移動するデータベースの位置管理について," 情報処理学会研究報告 DBS109-19, pp.111–116, 1996.

[13] Wada, H., Yozawa, T., Ohnishi, T., and Tanaka, Y.: "Mobile Computing Environment Based on Internet Packet Forwarding," *Proc. Winter USENIX*, pp.503–517, 1993.