研究計画書

移動する計算機群におけるインターネット接続性の動的共有に関する研究

慶應義塾大学環境情報学部
自署：＿＿＿＿＿＿＿＿
学籍番号 70146135
平成 17 年 4 月 1 日

概要

身の回りでは、さまざまな計算機がインターネットに接続されている。その結果、例えば、複数人で自動車に乗り込んだ際、携帯電話や無線 LAN など、移動する同一空間内に複数のインターネット接続性が存在する状況が生まれている。現状では、計算機はそれぞれの持つ接続手段を用いてインターネットへ接続される。そのため、ある計算機の持つ接続手段が利用不能になった際、付近に接続性が存在するにも関わらず、その計算機はインターネットに接続できなくなる問題がある。本研究では、集団で移動する計算機のインターネット接続性を共有することで、その問題を解決でき、さらに、移動する計算機群のインターネット利用環境を向上できることに着目した。ここでの利用環境の向上とは、移動体通信を行ないながら、より冗長性のある、より広帯域な通信をさす。そのために、本研究では必要なアーキテクチャを提案し、それに基づくシステムを構築する。また、この有用性を示すため、実証実験を行なう。

1 背景

無線でのインターネット接続がいたるところで可能になるにつれて、様々な計算機がインターネットに接続されるようになっている。また、計算機は小型化、高性能化し、持ち運びながら使用することが可能となった。移動中の計算機がインターネットへ接続可能になると、人間のネットワーク利用環境は大きく変化する。例えば、携帯電話や PDA、センサなどはインターネットに接続しながら、人に持ち運ばれる。それらの計算機は、複数のインターネット接続性を持つ集合として、移動する。また、図 1 に示すように、人が自動車などの乗り物に乗り込むことで、移動する計算機の集合はより大きくなる。そのほか、計算機が集団で移動する場面は、電車やバス、飛行機など、身の回りで頻繁に見られる。

移動中にインターネットを利用する場合は通常、無線を用いて行なわれる。そのため、安定性や帯域などが問題となることが多い。移動する計算機群において、通信を行なう計算機の付近には、別の接続手段でインターネットへ接続可能な計算機が存在する。移動中における無線接続の安定性などを向上するため、付近の計算機のインターネット接続手段も利用して、インターネットに接続できることが望ましい。

しかし、現状では、移動する計算機は各自のインターネット接続性をそれぞれ単独で利用しているため、他の計算機と動的に共有し利用できない。計算機は各自の接続性のみを用いてインターネットへ接続するため、その接続性が利用不能になれば、インターネットへ接続できなくなる。現状のまま、様々な計算機をインターネットへ接続していくと、すべての計算機が各自で安定したインターネット接続性を保持する必要がある。

また、携帯電話のインターネット接続料金定額制や、ホットスポット[1]の普及などによって、ユーザが負担するインターネット接続の金銭的コストはますます減少している。接続コストがほとんど無いインターネット接続性や、余剰のインターネット接続性は他の計算機と共有し利用することが望まれる。

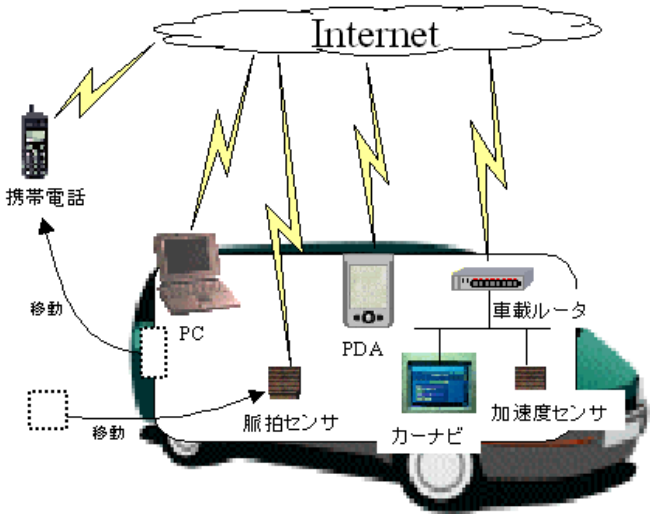

図 1: 移動する計算機群の例

2 研究の目的

本研究は、計算機が集団で移動している際のインターネット利用環境を改善する。本研究で述べるインターネット利用環境の向上とは、移動体通信を行ないながら、より冗長で安定性のある、より広帯域の通信ができることを指す。

本研究では、まず、移動する計算機の集合内に存在するインターネット接続性を動的に共有するモデルを提案する。そして、本研究はそのモデルを実現するために生じる技術的な問題を整理し、解決方法を示す。また、解決方法に基づいたシステムを設計・実装を行ない、その有用性を示すため、実証実験を行なう。

本研究で得られる成果は一般社会に広く公開し、広く普及され、利用されることを目指す。

[1] インターネット接続性提供サービス。NTT コミュニケーションズ (株) の登録商標

3　本研究の実現する世界

現在、持ち運び可能な計算機がインターネットに接続する手段として、無線 LAN、携帯電話、PHS などがある。無線 LAN を用いてインターネットへ接続する計算機は広帯域な通信が可能だが、通信できるエリアが限られている。また、携帯電話を用いたインターネット接続は、通信できるエリアは広域に渡るが、狭帯域となる。本研究によって、移動する計算機群内の計算機が持つインターネット接続性を互いに動的に共有することで、通信の特性を相互に補い合うことが可能となる。

図 2 に本研究によって改善される通信の例を示す。例として、自動車でインターネットを利用する場合を挙げる。図 2 では、車載ルータによってインターネット自動車 [1] 内のビデオカメラ、カーナビ、加速度センサなどが、インターネットへ接続している。車載ルータは IEEE802.11b 準拠の無線 LAN を用いてインターネットへ接続している。そこへ、IEEE802.11g の無線 LAN を持つ PDA と携帯電話が持ち込まれている。本研究の成果によって、それらの計算機の接続性を共有すれば、以下のような快適な通信が実現する。

1. **他の計算機のインターネット接続性も利用した冗長性のある通信**
   例)PC を用いてメールを送信する場合。その車載ルータのインターネット接続が利用不能になった際、その PC は携帯電話のインターネット接続性を利用し、メールを送信できる。

2. **他の計算機のインターネット接続性を利用した広帯域な通信**
   例) インターネットを介してカーナビでサッカーの試合を観戦する場合。この時、カーナビは、車載ルータの 802.11b の無線 LAN と共に、PDA の 802.11g の無線 LAN も用いて通信を行なうことで、帯域を増す。これによって、より高画質なサッカーの試合を楽める。

3. **状況・用途に応じた接続手段を選択可能な通信**
   例) 携帯電話に音楽をダウンロードする場合。この人は、低帯域・高遅延・高コストである携帯電話のインターネット接続性を使う必要はない。PDA の持つ広帯域・低遅延・低コストである無線 LAN のインターネット接続性を用いて、携帯電話へ音楽をダウンロードできる。

4. **移動体通信のサポート**
   移動する計算機群は、一意の識別子を用いて通信を行うことが可能である。これによって、例えば、ビデオカメラは、いつでも世界中のどの計算機からもアクセス可能になる (着信可能性)。また、自宅にいる人がビデオカメラの映像を見る時、自動車が移動していても、映像が途切れない (移動透過性)。

本研究では、移動する計算機の集合が行なう通信を安定的に、広帯域に、接続手段を選択可能にすることで、インターネット利用環境を改善する。移動する計算機の集合とは、例えば、携帯電話や PDA などを携帯する人などが挙げられる。そのほか、自動車は車載ルータを始めとして、カーナビやカメラ・センサ類などの計算機の集合体である。さらに、自動車に乗り込む人の持つ計算機が自動車内の計算機群に加わることによって、集合が大きくなる。そのため、本研究の成果はインターネット自動車に有効に応用できる。

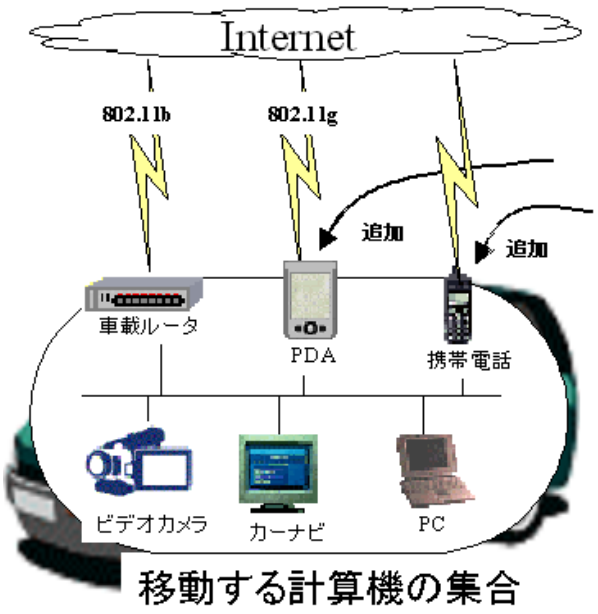

図 2: 移動する計算機群のインターネット接続性を動的に共有する例

本研究によって、インターネット自動車に持ち込まれた計算機が、その接続性をインターネット自動車へ提供することが可能となる。すでに普及しているインターネット接続性をインターネット自動車に供与することで、インターネット自動車の普及を促進する。また、インターネット自動車に安定なインターネット利用環境をもたらす。

4　移動に関連する通信技術

本研究に深く関わる技術として、Mobile IPv6[2] や Network Mobility [3] などの移動体通信技術がある。これらの技術は移動に起因する、継続中のセッションが遮断されたり、通信相手が特定できなくなる問題を解決した。Mobile IPv6 は、PDA や携帯電話など持ち運ばれる計算機に対する通信技術として想定されている。Network Mobility は、自動車など計算機の集合に対する通信技術として想定されている。

以下に、これらの通信技術の概要をまとめる。

4.1　Mobile IPv6

Mobile IPv6 の持つ利点として、一意な識別子を用いて通信を開始できること (着信可能性)、アプリケーションから移動を透過できること (移動透過性)、通信メディアに依存しない通信ができること (メディア非依存性)、がある。これにより、ホストの移動により通信が遮断される問題、移動計算機を特定できない問題が解決した。

4.2　Network Mobility

Network Mobility は Mobile IPv6 を応用した通信技術である。応用技術であるため、Mobile IPv6 が解決した問題は、同様の方法によって解決されている。ただし、Mobile IPv6 は移動するホストでの問題を扱っているのに対し、Network Mobility は移動するネットワークでの問題を扱っている。Network Mobility によって移動に起因した諸問題が解決されているネットワークを移動ネットワークという。

5 Network Mobility の本システムへの応用

5.1 システム要求

本研究では、移動する計算機の集合のインターネット利用環境をターゲットとしている。そのため、同様に、移動する計算機群のインターネット利用環境を扱う技術である Network Mobility が利用できる。Network Mobility は計算機の移動の際の諸問題を解決した。そのため、本研究の成果は、Network Mobility のアーキテクチャを崩すことなく、Network Mobility とともに使用可能でなければならない。

本研究で達成する目的に対するシステム要求は以下のとおりである。

- **移動ネットワーク内のインターネット接続性の動的な共有機能**
- **移動ネットワーク内の計算機に対する移動体支援機能**
  移動ネットワークはネットワークの移動の際に起こる問題を解決している。そのため、本研究の目的を達成する上で、Network Mobility のシステムを保つ必要がある。
- **移動ネットワーク内の計算機に特別な機構を必要としない**
  移動ネットワーク内の計算機は、オフィスなどのように動かないネットワークと同様に通信が行なえるように、システムを設計する。

本研究の目的を達成する上で、Network Mobility の機能を応用できる部分がある。そこで、本章では Network Mobility について解説する。

5.2 Network Mobility の概要

Network Mobility は次世代インターネット環境における移動体通信技術として標準化に向けて IETF[2]で議論されている。以下に用語の説明を記し、図 3 に Network Mobility を用いた移動透過処理の流れを示す。

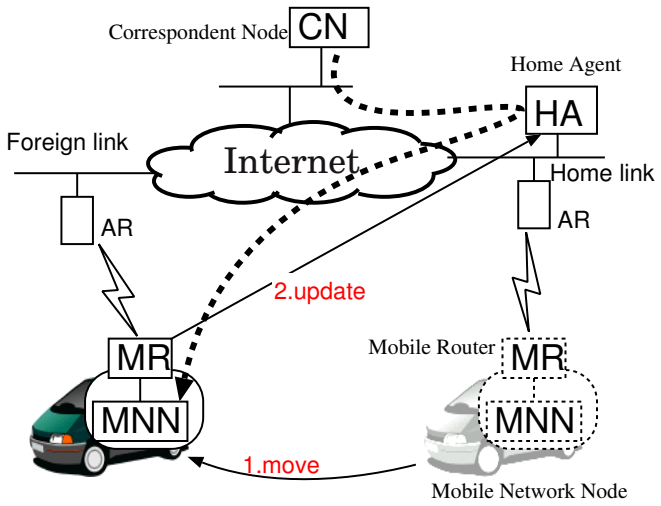

図 3: Network Mobility の移動透過処理

- Mobile Router(MR): 移動ネットワークを提供しているルータ
- Home Agent(HA): 移動ネットワークのインターネット上の位置を把握している計算機
- Mobile Network Node(MNN): 移動ネットワーク内の計算機
- Correspondent Node(CN): 通信相手の計算機
- Care of Address(CoA): 移動先のネットワークで与えられる IP アドレス

Mobile Router(MR) は常に不変のネットワークである、移動ネットワークを Mobile Network Node(MNN) に提供している。MR は異なるリンクへ移動すると移動先のネットワークで取得した Care of Address(CoA) を Home Agent(HA) に通知する。これにより、HA は MR の下にある移動ネットワークのネットワーク上の位置を把握する。その後、その移動ネットワーク宛のパケットを MR に転送することによって移動ネットワークはネットワーク上の移動を実現している。HA はパケット転送を行なう際、パケットにヘッダを加えるトンネルという処理を行なう。トンネルの処理は MR から HA に転送される際にも行なわれる。この HA と MR でのヘッダを脱着する処理は Bi-directional トンネルリングと呼ばれる。

5.3 Network Mobility を用いて目的を達成する際の問題点

現在の Network Mobility の仕様では、本研究で実現したい機能を実現できていない。その問題点を以下に示す。

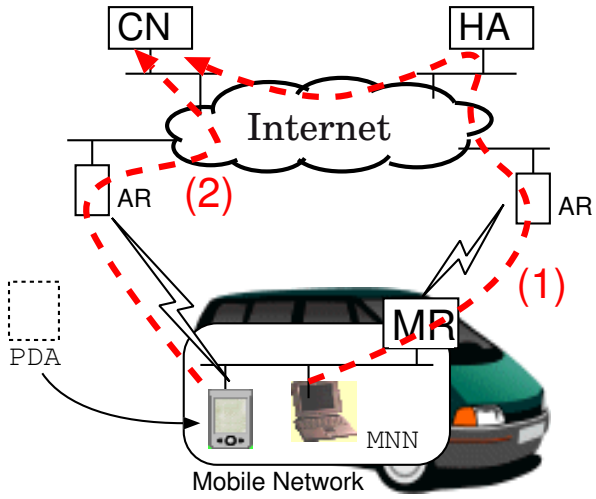

図 4: 現状の Network Mobility における問題

1. **移動ネットワーク内の接続性を共有できない問題**
   移動ネットワークにインターネット接続性をもつノードが持ち込まれた際、移動ネットワークには複数のインターネット接続性が存在する。しかし、現状では図 4 の (1) に示したとおり、MNN は MR 経由の通信以外は行なうことができない。
2. **移動体支援を受けられない問題**
   図 4 の (2) に経路を示したとおり、PDA のインターネット接続性を用いた通信は HA を経由しない。HA を経由しない通信であるため、その通信は Network Mobility による移動体支援が受けることができない。

[2]The Internet Engineering Task Force, インターネット技術の標準化を推進する任意団体。

6　システムの概要

本研究の目的を達成し、システム要求を満たす解決方法として、「移動ネットワークに持ち込まれる計算機を移動ルータとして動的に追加する機構」を提案する。

以下にそのモデルの流れを示す。その際、移動ネットワークに持ち込まれる計算機が、Mobile IPv6 や Network Mobility などによる移動体支援を受けている場合と、受けていない場合に分けて議論する必要がある。ここでは、図 5 に移動ネットワークに持ち込まれる計算機が移動体通信機能を持たない場合についての流れを示す。

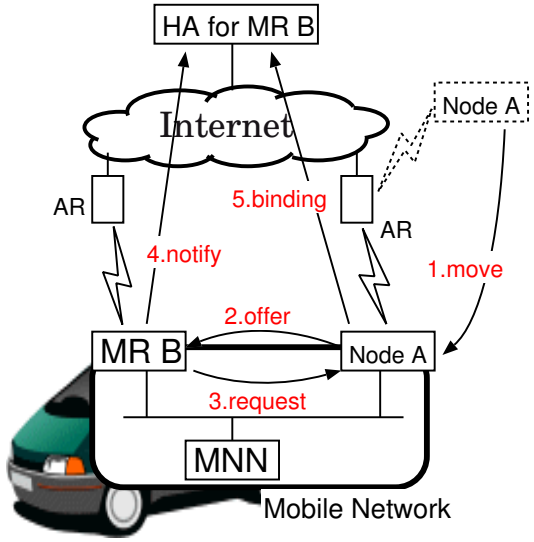

図 5: 計算機を移動ルータとして動的に追加する機構

まず、Node A が移動ネットワークに入る (1)。このノードは移動ルータ機能を内蔵しているが、移動ネットワークに入る前は、その機能が無効となっている。Node A はネットワークに入った時、MR B に対して、移動ネットワークとインターネット接続性を共有できることを伝える (2)。その後、MR B は Node A に対して、移動ネットワークの移動ルータに加わるように要請する (3)。同時に、MR B は HA に対して、Node A が移動ネットワークの移動ルータに加わることを通知する (4)。Node A は HA に対して CoA の通知を行ない、Node A と HA 間に Bi-directional トンネルを確立するための処理に入る (5)。トンネルの処理の後、Node A は無効となっていた移動ルータ機能を有効にする。これらの操作によって、移動ネットワークは 2 つの移動ルータを持つ。また、移動ネットワーク内の計算機は 2 つのインターネット接続手段を得る。

この際に必要となる、移動ネットワークへインターネット接続性を共有できるノードを検索および選択する機構、移動ルータを動的に加える機構、認証に関する機構、そして接続手段の選択機構およびルーティングに関する機構を本研究で構築する。

7　本研究で構築する機構

7.1　移動ネットワークとインターネット接続性を共有するノードを検索する機構

インターネット接続性を共有する計算機を募集する MR は、募集中であることを示すオプションをルータ広告 (RA) に加えて、広告する。計算機がその広告を受け取り、移動ネットワークとインターネット接続性を共有する場合、インターネット接続性を共有できることを MR へ伝える。MR はインターネット接続性を提供できる計算機からの通知を受け取った後、立ち寄りノードに移動ネットワークの MR になることを要求する。これらのプロセスによって MR と立ち寄りノードのネゴシエーションを実現する。

本研究では、このネゴシエーションの機構について検討し、その機構を実装する。

7.2　移動ルータを動的に加える機構

複数の移動ルータを接続手段とするために、HA の拡張が必要となる。本研究では、HA を複数アドレスを登録できるように拡張する。

本研究の提案するモデルでは、移動ルータ機能を無効にしたノードが、移動ネットワークに入った際、その機能を有効にする。そこで、移動ルータ機能を無効にしているノードが移動ネットワークの RA を受け取った際に、その機能を有効にする機構を実現する。

本研究では、移動ルータを動的に加える機構について検討し、その機構を実装する。

7.3　セキュリティ対策

HA の複数のアドレス登録において、任意の移動ルータを登録することはセキュリティ上問題がある。そのため、本研究では、セキュリティに関する機構を構築する。

まず、Home Agent と新規の移動ルータの認証を行なう。Home Agent と新規の移動ルータとの認証は、移動ルータのアドレス登録を行なう前に、あらかじめ、車載の移動ルータが新規の移動ルータの CoA を HA に通知しておくことで、実現させる。Home Agent は通知を受けていない移動ルータからのアドレス登録更新を破棄することで、不正なアドレス登録を回避できる。ノードと MR との認証はあらかじめ交換しておいた鍵によって行なう。

本研究では、セキュリティを考慮して機構を設計し、実装する。

7.4　接続手段の選択機構

一連のプロセスによって新規の移動ルータが加えられた後、移動ネットワークは複数の手段でインターネットへ接続可能である。本研究では、あらかじめ移動ルータに使用可能なインターネット接続性に関するポリシを設定し、どの経路を使用するかという選択は、そのポリシに従って行なう。

この際、本研究では MNN に経路を選択させるような特別な機構を実装するのではなく、移動ルータがポリシを管理する機構を提案し、実装する。

8　関連研究

8.1　Stream Control Transmission Protocol(SCTP)

STCP[4] とは、IP などの信頼性のないプロトコル上で、耐故障性に優れた通信路を提供するトランスポート層のプロトコルである。複数の通信路で一つの通信を行うため、一つの通信路が遮断されても通信が維持できる。ホストの複数ネットワークインターフェイスを前提としている。

8.2　Virtual Router Redundancy Protocol

VRRP[5] とは　ルータの多重化を行なうためのプロトコルである。VRRP に対応した複数のルータを 1

つのグループに所属させ、通常はそのうち１つのルータが通信を行なうが、そのルータが障害を起こした時に同グループに属するルータが自動的に通信を受け継ぐ。立ち寄ったノードが動的に設定されるような機構はない。

8.3 Multiple Gateway in Mobile Network

MGMN[6] は、複数のルータが自身のインターネット接続性の特性を RA のオプションによってネットワークの計算機に伝える機構である。ネットワーク内の計算機は送信元アドレスを選ぶことで、インターネットへの経路を選ぶことができる。移動体支援を受けることはできない。また、この機構が有効になっているネットワーク内では、計算機に特別な実装が必要となる。

8.4 Mobile IPv6 の複数アドレス登録

“Multiple Care-of Address Registration[7]” で、Mobile IPv6 での複数インターフェイスについて提案されている。複数 CoA 登録は本研究に必須であり、参考にする点は多い。

また、“Multiple Network Interfaces Support by Policy-Based Routing on Mobile IPv6[8]” では、Mobile IPv6 の複数ネットワークインターフェイスの選択のための機構として、ポリシによる選択を提案している。この機構は、本研究にとって参考となる点が多い。

9 関連する Network Mobility の Internet draft

9.1 Multihoming

Network Mobility の基本的な仕様は一つの HA、一つの MR、一つの Mobile Network Prefix を想定している。しかし拡張の仕様として、複数の MR、複数の HA、複数の Mobile Network Prefix に関する議論が行なわれている。現在、IETF で利点や問題についてまとめられ、利用について提案がなされている。標準化のための議論も盛んに行なわれている。本研究は、主に multiple MR の議論に関係するため、積極的に議論を行なう必要がある。[9, 10]

9.2 Nested Mobility

Mobile IPv6 や Network Mobility による移動体通信をサポートする計算機が移動ネットワークに接続してきた時、Mobility 技術の重複が起こる。これを nested な状態と呼ぶ。2 重の Bi-directional トンネルによって、MR の HA と MN の HA の両方を経由し、冗長な経路を通る問題である。またこの時、Mobility 技術に必要な 40 バイトのヘッダがスループットを下げる問題もある。現在、IETF でこれらの問題を解決するための提案がなされ、標準化のために議論されている。本研究は、nested になる場合が考えられるため、この問題を考慮する必要がある。[11]

10 これまでの研究活動

私は学部 2 年次より慶應義塾大学・村井研究室 NACM グループに所属し、インターネット自動車プロジェクト [1] や WIDE プロジェクト [12]nautilus6 ワーキンググループに関わった。それらの組織で、インターネット自動車の有用性を一般社会に示すため、実証実験やデモンストレーション展示などの活動を行った。また、インターネット自動車にとって必要不可欠な技術である Network Mobility の仕様の問題発見のため、実験を行った。その他、WIDE プロジェクトが主催する合宿などで、Network Mobility の技術の議論に参加した。

また、海外の研究者と研究成果の交換を行うため、オーストラリアの Monash 大学に 1ヶ月滞在した。

11 政策・メディア研究科に進学を希望する理由

慶應義塾大学大学院 政策・メディア研究科は IPv6 をはじめとする次世代インターネット技術の研究に積極的に取り組んでいる。また、インターネット自動車などの計算機以外のものに IP を組み込む研究も非常に活発に行なわれている。私の研究を行なう上で、これらの研究をしている方々からの意見は非常に有益である。

企業との共同研究をはじめ、インターネット ITS プロジェクトでの大規模実験は、本研究を世に公開するために重要である。また上記の研究から生み出されたものは移動体通信技術を実世界に展開していく際に貢献できると考えている。さらにこれまでの研究活動を通じて知り得た先輩方からの指導は今後も必要不可欠である。

政策・メディア研究科は私の研究を進める上で必要な環境であり、私は政策・メディア研究科への入学を強く希望する。

参考文献

[1] インターネット自動車プロジェクト. http://www.internetits.org/.

[2] D. Johnson, C. Perkins, and J. Arkko. *Mobility Support in IPv6*, June 2003. IETF work in progress.

[3] Vijay Devarapalli, Ryuji Wakikawa, Alexandru Petrescu, and Pascal Thubert. *Network Mobility (NEMO) Basic Support Protocol*, February 2004.

[4] R. Stewart. *Stream Control Transmission Protocol(SCTP)*, October 2000.

[5] Ed R. Hinden. *Virtual Router Redundancy Protocol (VRRP)*, April 2004.

[6] 日野哲志, 湧川隆次, 植原啓介, 村井純. 複数の移動計算機による協調通信機構の設計と実装, 2001.

[7] R Wakikawa. *Multiple Care-of Addresses Registration*, September 2003.

[8] R Wakikawa. *Multiple Network Interfaces Support by Policy-Based Routing on Mobile IPv6*, July 2002.

[9] Chan-Wah Ng, Julien Charbon, and Eun-Kyoung Paik. *Analysis of Multihoming in Network Mobility Support*, February 2004.

[10] Cho Seongho, Na Jongkeun, and Kim Chongkwon. *Threat for Multi-homed Mobile Networks*, February 2004.

[11] P. Thubert and M. Molteni. *IPv6 Reverse Routing Header and its application to Mobile Networks*, February 2004.

[12] WIDE プロジェクト. http://www.wide.ad.jp/.