

平成24年度 卒業論文

邦文題目

NTMobileの仮想IPアドレスを  
IPv6に統合するための検討

英文題目

Study of the Integration of Virtual IP addresses  
into IPv6 in NTMobile

情報工学科 渡邊研究室

(学籍番号: 090430061)

永井 秀宗

提出日: 平成25年2月13日

名城大学理工学部



## 内容要旨

無線インターネット環境や小型携帯端末の普及によって、外側の端末から NAT 配下の端末に通信を開始できる NAT 越え技術や、移動しながら通信を継続できる移動透過性が要求されている。そこで我々は、NAT 越え問題の解決と移動透過性を実現する NTMobile (Network Traversal with Mobility) [1] を提案している。アプリケーションは仮想 IP アドレスを用いて仮想的なコネクションを確立する。しかし、仮想 IP アドレスと実 IP アドレスが重複すると正常に動作しないという課題がある。そのため、仮想 IP アドレスとしてユニークな値をとる必要がある。しかし、現在の IP ネットワークにおいて実 IP アドレスと仮想 IP アドレスの重複の回避を考慮すると、仮想 IPv4 アドレスとして利用できるアドレス範囲が大幅に限定されてしまい、NTMobile の汎用性が損なわれるという課題がある。

本稿では、NTMobile の仮想 IP アドレスを IPv6 に統合することで IP アドレスの重複を回避し、NTMobile の汎用性を確保する方法を提案する。

# 目次

第1章	はじめに	1
第2章	NTMobile	2
2.1	NTMobile の概要	2
2.2	NTMobile の動作	3
2.3	NTMobile の課題	4
第3章	提案方式	6
3.1	動作シーケンス	6
3.2	IPv6 に統合する方式の利点	8
3.3	IPv6 に統合する方式の課題	8
第4章	まとめ	9
	謝辞	10
	参考文献	11
	研究業績	12

# 第1章 はじめに

無線インターネット環境の発達や小型携帯端末の普及によって、端末の移動通信に対する需要が高まっている。しかし、IP ネットワークでは、通信端末に割り当てられた IP アドレスを通信識別子として利用しており、端末のネットワークの移動やインタフェースの切り替えを行うと IP アドレスが変化するため、通信を継続することができない。この問題を解決する技術を移動透過性技術と呼ぶ。一方で、IPv4 グローバルアドレスの枯渇問題に対する延命処置として、プライベートアドレスの導入を行っている。しかし、これは短期的な解決策であり、長期的には IPv6 への移行は避けられない。また、現在の IP ネットワークは IPv4 から IPv6 への過渡期であるが、互換性がないため IPv6 の普及が進んでいない。そこで我々は、仮想 IP アドレスとトンネリング技術を用いることにより、IPv4 と IPv6 が混在した環境において移動透過性を実現する NTMobile ( Network Traversal with Mobility ) を提案している。

NTMobile では、NTMobile 対応端末 ( 以後 NTM 端末 ) に実際のネットワークに依存しない仮想 IP アドレスと呼ばれる一意な IP アドレスが割り当てられる。アプリケーションは割り当てられた仮想 IP アドレスを用いて通信を行い、実 IP アドレスによるカプセル化によって実際の通信が行われる。これにより、NTM 端末のネットワークの移動による実 IP アドレスの変化をアプリケーションに対して隠蔽し、通信を継続することが出来る。また、NAT 配下の端末に対するコネクション確立や、NAT を跨った移動を行うことができる。しかし、一般端末の実 IP アドレスと NTM 端末の仮想 IP アドレスが重複する可能性があり、その場合は通信相手を正常に判別できなくなるという課題がある。そのため、仮想 IPv4 アドレスは実 IP アドレスと重複しない一意な値を選ばなければならない。また、実 IP アドレスと仮想 IP アドレスの重複の回避を考慮すると、仮想 IPv4 アドレスとして利用できるアドレス範囲が大幅に限定されてしまう。このため、NTMobile の汎用性が損なわれるという課題がある。

本稿では、NTMobile の仮想 IP アドレスをユニークな IP アドレスを大量に確保できる IPv6 へ統合する。また、IPv4 と IPv6 の混在環境が続くことが考えられるため、IPv4 アプリケーションにも対応できる仕組みを実現する。このようにして NTMobile の汎用性の確保を実現する。

## 第2章 NTMobile

### 2.1 NTMobile の概要

図 2.1 に NTMobile の概要を示す。NTMobile は NTM 端末、DC ( Direction Coordinator ), RS ( Relay Server ) で構成される。DC や RS はグローバルネットワークに設置し、ネットワークの規模に応じて複数台設置による負荷分散を行うことができる。DC は仮想 IP アドレスの割り当てや NTM 端末の位置管理、トンネル構築の指示を行う役割を担っている。また、DC は端末の情報をデータベースで管理する。NTM 端末の情報は Node Information テーブルで管理し、NTM 端末の FQDN、Node ID、仮想 IPv6 アドレス、実 IP アドレス、NAT の外側の実 IP アドレスなどを記録する。これらの端末情報は、NTMobile における経路判断および、トンネル構築に利用する。

RS は、異なる NAT 配下に存在する NTM 端末同士や NTMobile 未実装の一般端末 GN と通信を行う場合、さらには一方が IPv4、もう一方が IPv6 ネットワークに接続している際に中継を行う装置である。また、RS を IPv4/IPv6 デュアルスタックネットワークに設置することにより、IPv4 アドレスを使用する NTM 端末と IPv6 アドレスを使用する NTM 端末間の通信を実現することができる。

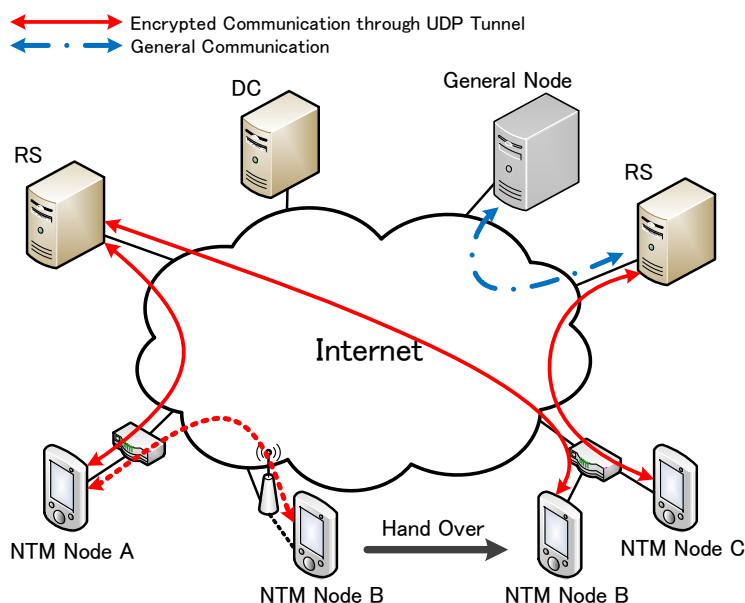


図 2.1 NTMobile の概要

NTM 端末はネットワークから割り当てられた実 IP アドレスと、DC から割り当てられる仮想 IP アドレスの 2 種類を保持する。NTM 端末上のアプリケーションは、仮想 IP アドレスに基づいた通信を行う。NTM 端末間に構築される UDP トンネルを用いて、仮想 IP アドレスに基づくパケットを転送する。

## 2.2 NTMobile の動作

以後の説明では、通信開始側の NTM 端末を MN ( Mobile Node )、通信相手側の NTM 端末を CN ( Correspondent Node )、一般の端末を GN ( General Node ) とする。また、端末 N の FQDN を  $FQDN_N$ 、Node ID を  $NID_N$ 、実 IPv4 アドレスを  $RIP4_N$ 、仮想 IPv4 アドレスを  $VIP4_N$ 、仮想 IPv6 アドレスを  $VIP6_N$ 、端末 N が NAT 配下に接続している場合の NAT の実 IPv4 アドレスを  $RIP4_{NAT_N}$  とし、NTM 端末のアドレス情報を管理している DC を  $DC_N$ 、その実 IPv4 アドレスを  $RIP4_{DC_N}$  とする。端末 N1 と N2 がトンネル通信時に用いる Path ID を  $PID_{N1-N2}$  と表す。Path ID は NTM 端末間の通信を一意に識別するための識別子である。

### 2.2.1 登録処理

NTM 端末は、端末起動時に DC に対して端末情報を登録する。MN は  $FQDN_{MN}$ 、 $NID_{MN}$ 、 $RIP4_{MN}$ 、 $RIP6_{MN}$  などを記載した NTM Registration Request を  $DC_{MN}$  に送信し、 $DC_{MN}$  は Node Information テーブルにその情報を登録する。このとき、NTM Registration Request の IP ヘッダに格納されている送信元 IP アドレスが、メッセージ内の RIP と異なる場合、MN が NAT 配下に存在すると判断し、IP ヘッダの送信元 IP アドレスを  $RIP4_{NAT_{MN}}$  として登録する。その後、応答として  $VIP4_{MN}$ 、 $VIP6_{MN}$  等を含んだ NTM Registration Response を返す。

### 2.2.2 名前解決処理

MN はアプリケーションからの DNS 名前解決処理を検出すると、NTM Direction Request を  $DC_{MN}$  へ送り、名前解決およびトンネル構築指示を依頼する。 $DC_{MN}$  は NTM Direction Request に記載されている  $FQDN_{MN}$  で Node Information テーブルを検索し、MN の端末情報を取得する。CN の端末情報を収集するために、 $DC_{MN}$  は  $FQDN_{CN}$  を載せた NTM Information Request を  $DC_{CN}$  に送信する。 $DC_{CN}$  は、 $FQDN_{CN}$  が示す CN の端末情報を Node Information テーブルから検索し、NTM Information Response に載せて  $DC_{MN}$  へ送り返す。これにより  $DC_{MN}$  は CN の端末情報の取得を完了する。取得した情報を元に 2.2.3 項で説明するトンネル構築処理を行う。その後、DNS 名前解決処理の応答として、CN の仮想 IP アドレスを記載した DNS Response を返す。

### 2.2.3 トンネル構築

DC<sub>MN</sub> は、名前解決処理で収集した情報を元に経路を判断し、経路指示として通信相手のVIP4, VIP6 を含むNTM Route Direction をMN とCN に送信する。その後、CN はNTM Tunnel Request をMN に送信する。その応答として、MN はNTM Tunnel Response を返し、トンネル構築を完了する。

### 2.2.4 トンネル通信

アプリケーションは通信相手として仮想 IP アドレスを認識しているため、生成されたパケットの宛先 IP アドレスには仮想 IP アドレスが記載される。MN は宛先のアドレスになっているVIP4<sub>CN</sub> をキーにトンネルテーブルを検索し、該当エントリに従ってカプセル化および暗号化を行う。カプセル化の際にはIP ヘッダ、UDP ヘッダとNTM ヘッダが付加される。CN はカプセル化されたパケットを受信すると、NTM ヘッダに記載されているPID<sub>MN-CN</sub> をキーにトンネルテーブルを検索し、該当エントリに従ってデカプセル化および復号処理を行う。その後、抽出したアプリケーションパケットを上位アプリケーションへ渡す。

## 2.3 NTMobile の課題

NTM 端末のアプリケーションはDNS Response によって通信相手の仮想 IP アドレスを認識して通信を行う。また、NTMobile は移動透過性を実現する技術であり、NTM 端末がネットワークの移動をすることを想定している。しかし、DNS による名前解決を行わずに直接通信を開始する場合や、GN からNTM 端末に通信開始された場合は実 IP アドレスを用いた通信となるため、NTMobile による移動透過性を提供できない。

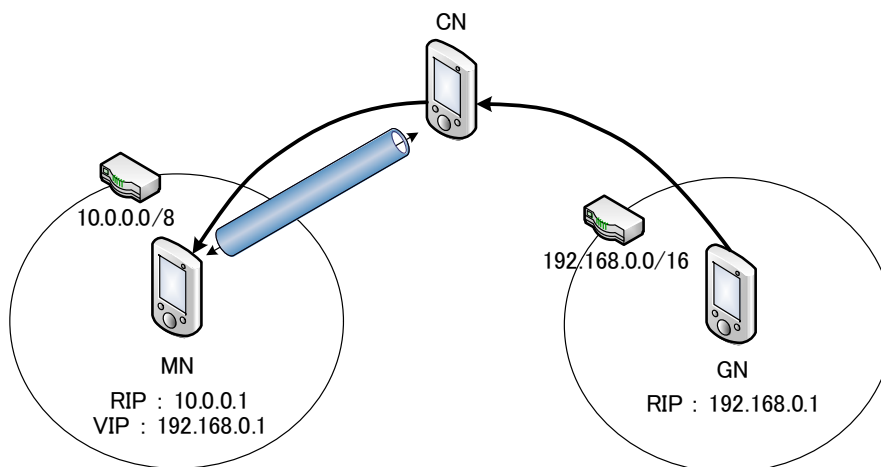


図 2.2 仮想 IP アドレスと実 IP アドレスの重複によるルーティングミス



図 2.2 に MN の仮想 IP アドレスと GN の実 IP アドレスが重複した状態で，GN が CN に対して通信を行った場合の様子を示す．10.0.0.0/8 のアドレス空間にいる MN には仮想 IP アドレスとして 192.168.0.1 が割り当てられている．また，192.168.0.0/16 のアドレス空間にいる GN には実 IP アドレスとして 192.168.0.1 が割り当てられている．CN は通信相手として MN の仮想 IP アドレス 192.168.0.1 を既に認識しているとする．この時，CN が GN からパケットを受信した場合，その返信先である GN の実 IP アドレスを NTMobile の処理の対象と認識してしまい，既に通信を行っている MN へとパケットを転送してしまう．また，CN が GN に対して通信を開始しようとしても，同様の理由で既に通信を行っている MN へとパケットを転送してしまう．このように，一般端末の実 IP アドレスと NTM 端末の仮想 IP アドレスが重複すると，通信相手を正常に判別できなくなる．この問題を考慮すると，仮想 IPv4 アドレスとして利用できるアドレス範囲が大幅に限定されてしまい，NTMobile の汎用性が損なわれるという課題がある．

課題を解決するためには仮想 IPv4 アドレスと実 IPv4 アドレスは重複しない一意な値を選ぶ必要がある．その方法として，仮想 IP アドレス用に IPv4 アドレスを確保することが考えられるが，NTMobile の普及を考慮すると IP アドレスの数が不足してしまう．よって，IPv4 よりも非常に広いアドレス空間を持つ IPv6 から一意な仮想 IP アドレスを確保することが考えられる．

## 第3章 提案方式

ユニークな仮想 IP アドレスを十分に確保することで、仮想 IP アドレスと実 IP アドレスの重複を回避するために、NTMobile における仮想 IP アドレスを IPv6 に統合する方法を提案する。また、IPv4 と IPv6 の混在環境が続くことが考えられるため、IPv4 アプリケーションにも対応できる仕組みも提案する。

### 3.1 動作シーケンス

NTM 端末内部のみで用いられる仮想 IPv4 アドレス専用のアドレス範囲から、MN が自身の仮想 IPv4 アドレスを任意に生成する。また、MN が CN 用の仮想 IPv4 アドレスを仮想 IPv4 アドレス専用のアドレス範囲から重複が無いように任意に生成し、アプリケーションに通信相手として認識させる。CN 側も同様である。この時、MN と CN の IPv4 アプリケーションが互いに認識する仮想 IPv4 アドレスは異なる。しかし、アプリケーションは通信相手を識別さえ出来れば良い。また、NTM 端末内部で生成した仮想 IPv4 アドレスは他の端末に通知されない。このため、仮想 IPv4 アドレスは NTM 端末内部で任意に生成できる。実際の通信では、宛先と送信元の仮想 IPv4 アドレスを必ず仮想 IPv6 アドレスに変換し、実 IP アドレスによるカプセル化を行うことで通信を行う。伴って、DC による NTM Registration Response や NTM Route Direction では仮想 IPv6 アドレスのみを通知する。



図 3.1 登録処理時の仮想 IP アドレスの通知および生成

### 3.1.1 登録処理

図 3.1 に端末登録処理時に行う仮想 IP アドレスの通知および生成を行う様子を示す。MN は、端末起動時に  $DC_{MN}$  に対して端末情報を登録する。MN は NTM Registration Request を  $DC_{MN}$  に送信し、 $DC_{MN}$  は Node Information テーブルにその情報を登録する。 $DC_{MN}$  はその応答として NTM Registration Response を MN に返す。

NTM Registration Response では仮想 IP アドレスとして  $VIP_{6_{MN}}$  のみを通知する。このタイミングで、MN が仮想 IPv4 アドレス専用のアドレス範囲から  $VIP_{4_{MN1}}$  を任意に生成し、仮想インタフェースへ割り当てる。CN 側では  $VIP_{6_{CN}}$  が通知され、CN が  $VIP_{4_{CN1}}$  を任意に生成し、仮想インタフェースへ割り当てる。

### 3.1.2 名前解決処理

図 3.2 に名前解決処理時の通信相手の仮想 IP アドレスの通知および生成を行う様子を示す。MN はアプリケーションからの DNS 名前解決処理を検出すると、 $DC_{MN}$  へ NTM Direction Request を送り、名前解決およびトンネル構築指示を依頼する。 $DC_{MN}$  は名前解決の結果から通信経路を判断し、NTM Route Direction を MN と CN に送信する。

NTM Route Direction では仮想 IP アドレスとして  $VIP_{6_{CN}}$  のみを通知する。このタイミングで、MN が通信相手用に端末内部でユニークになるよう、仮想 IPv4 アドレス専用のアドレス範囲から  $VIP_{4_{CN2}}$  を任意に生成する。そして、 $VIP_{6_{CN}}$  と  $VIP_{4_{CN2}}$  を対応付け、その情報をトンネルテーブルに登録する。MN は DNS 名前解決処理の応答として、CN の仮想 IP アドレスを記載した DNS Response を返す。CN 側では  $VIP_{6_{MN}}$  が通知され、CN が  $VIP_{4_{MN2}}$  を任意に生成する。そして、 $VIP_{6_{MN}}$  と  $VIP_{4_{MN2}}$  を対応付け、その情報をトンネルテーブ

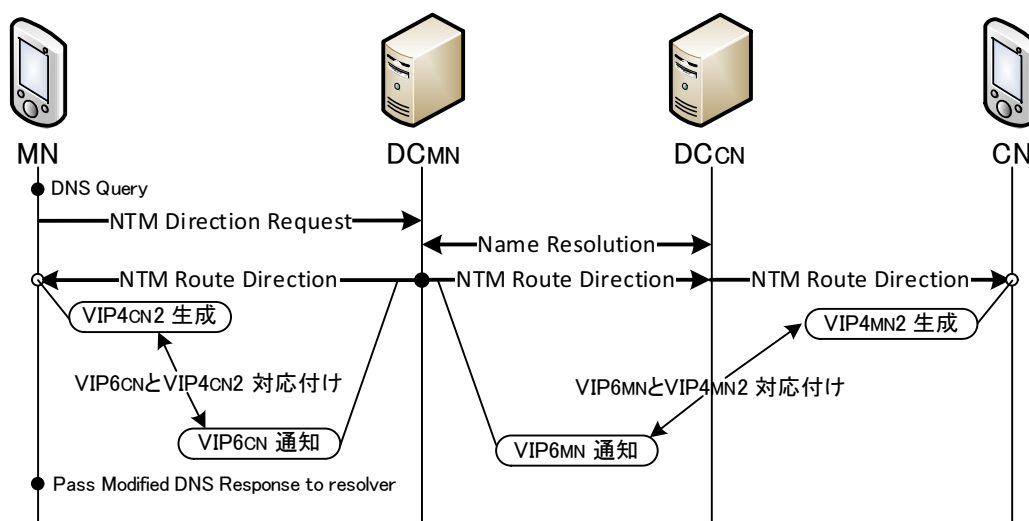


図 3.2 名前解決処理時の仮想 IP アドレスの通知および生成

ルに登録する。CN は DNS 名前解決処理の応答として、MN の仮想 IP アドレスを記載した DNS Response を返す。

### 3.1.3 トンネル通信

IPv4 アプリケーションが通信を行う場合には、MN は宛先のアドレスになっている  $VIP4_{CN2}$  をキーにトンネルテーブルを検索し、該当エントリに従って宛先と送信元の仮想 IPv4 アドレスを仮想 IPv6 アドレスに変換する。その後、カプセル化および暗号化を行い、CN へパケットを送信する。CN はカプセル化されたパケットを受信すると、NTM ヘッダに記載されている  $PID_{MN-CN}$  をキーにトンネルテーブルを検索し、該当エントリに従ってデカプセル化および複合処理を行う。その後、宛先と送信元の仮想 IPv6 アドレスを仮想 IPv4 アドレスに変換し、上位アプリケーションへパケットを渡す。

IPv6 アプリケーションが通信を行う場合には、MN は宛先のアドレスになっている  $VIP6_{CN}$  をキーにトンネルテーブルを検索し、該当エントリに従ってカプセル化および暗号化を行い、CN へパケットを送信する。CN はカプセル化されたパケットを受信すると、NTM ヘッダに記載されている  $PID_{MN-CN}$  をキーにトンネルテーブルを検索し、該当エントリに従ってデカプセル化および複合処理を行う。その後、上位アプリケーションへパケットを渡す。

## 3.2 IPv6 に統合する方式の利点

MN と CN の IPv4 アプリケーションが互いに認識する仮想 IPv4 アドレスは異なる。しかし、アプリケーションは通信相手を識別出来れば良い。また、NTM 端末内部で生成した仮想 IPv4 アドレスは他の端末に通知されない。このため、仮想 IPv4 アドレスは各 NTM 端末内部で任意に生成できる。実際の通信では、仮想 IPv4 アドレスを必ず仮想 IPv6 アドレスに変換する。その後、実 IP アドレスによるカプセル化を行うことによって通信する。よって、仮想 IPv4 アドレスとして利用可能なアドレス範囲が限定されていても NTM Mobile を運用できる。

## 3.3 IPv6 に統合する方式の課題

この方式では、パケットのペイロードに IP アドレスを含む IPv4 アプリケーションには対応出来ないという課題がある。しかし、最近のアプリケーションは IPv4 と IPv6 両方に対応しており、IPv4 を利用せずに IPv6 で通信を行う事で対応できる。また、パケットのペイロードに IP アドレスを含む IPv4 アプリケーションは、現在ごく少数である。そのため、今後 IPv6 に統合する方式を適用しても問題は無い。

## 第4章 まとめ

NTMobile では、実 IP アドレスと仮想 IP アドレスの重複の回避を考慮すると、仮想 IPv4 アドレスとして利用できるアドレス範囲が大幅に限定されてしまうため、NTMobile の汎用性が損なわれるという課題がある。この課題を解決する手法として、NTMobile の仮想 IP アドレスをユニークな IP アドレスが大量に確保できる IPv6 へ統合する提案を行った。また、IPv4 と IPv6 の混在環境を考慮し、IPv4 アプリケーションにも対応できる仕組みを実現した。これにより、仮想 IPv4 アドレスとして利用できるアドレス範囲が大幅に限定されていても、NTMobile を運用できるようになった。

# 謝辞

本研究を遂行するに当たり，多大なる御指導，御鞭撻を受け賜りました，渡邊晃教授に心より感謝致します．

本研究を遂行するに当たり，御意見ならびに御助言を受け賜りました，名城大学 理工学部情報工学科 鈴木秀和助教，三重大学 工学部電気電子工学科 内藤克浩助教に深謝致します．

本研究を遂行するに当たり，数々の有益な御助言や御討論を賜りました，渡邊研究室及び鈴木研究室の諸氏に感謝致します．

## 参考文献

- [1] 鈴木秀和, 上醉尾一真, 水谷智大, 西尾拓也, 内藤克浩, 渡邊晃: NTMobile における通信接続性の確立手法と実装, 情報処理学会論誌, Vol.54, No.1, pp.1-13, (2013).
- [2] 納堂博史, 鈴木秀和, 内藤克浩, 渡邊晃: NTMobile における自律的経路最適化の提案, 情報処理学会論文誌, Vol.54, No.1, pp1-10, (2013).
- [3] 内藤克浩, 上醉尾一真, 西尾拓也, 水谷智大, 鈴木秀和, 渡邊 晃, 森香津夫, 小林英雄: NTMobile における移動透過性の実現と実装, 情報処理学会論文誌, Vol.54, No.1, pp.1-14, (2013).
- [4] 細尾幸宏, 鈴木秀和, 内藤克浩, 旭健作, 渡邊晃: NTMobile における DNS 実装の変更が不要なデータベース型端末情報管理手法の検討, 情報処理学会研究報告, Vol.2012-MBL-64, No.6, pp.1-8, (2012).
- [5] 上醉尾一真, 鈴木秀和, 内藤克浩, 渡邊晃: IPv4/IPv6 混在環境で移動透過性を実現する NTMobile の実装と評価, マルチメディア, 分散, 協調とモバイル (DICOMO2012) シンポジウム論文集, Vol.2012, No.1, pp.1169-1179, (2012).
- [6] 土井敏樹, 鈴木秀和, 内藤克浩, 渡邊晃: NTMobile における RS の検討, DICOMO2012 論文集, pp.1162-1168, (2012).

# 研究業績

## 学術論文

なし

## 研究会・大会等

1. 永井秀宗，鈴木秀和，内藤克浩，渡邊晃，“NTMobile の仮想 IP アドレスを IPv6 に統合するための検討”，平成 24 年度電気関係学会東海支部連合大会論文集，Sep.2012.