

# NTMobile におけるリレーサーバの提案と評価

123430030 土井 敏樹  
渡邊研究室

## 1. はじめに

近年、公衆無線網や小型端末の普及によって、自由に通信を開始できる通信接続性と、移動しながら通信を継続できる移動透過性が求められている。我々は、通信接続性と移動透過性を同時に実現する技術として NTMobile (Network Traversal with Mobility) [1] を提案している。NTMobile では、アプリケーションに対して重複しない仮想 IP アドレスを提供し、実際の通信は実 IP アドレスでトンネル通信を行うことにより、上記機能を実現している。

NTMobile では、あらゆるケースにおいて通信接続性を確実に実現するため、通信パケットの中継を行う RS(Relay Server) が存在する。RS は、これまで装置の定義は行われていたが、細かい仕様検討や実装は行われていなかった。本稿では、RS を機能別に 2 つの種類に分類し、それぞれ仕様や動作の検討を行った。また、決定した仕様を基に実装と評価を行った。

## 2. NTMobile

図 1 に NTMobile の概要を示す。NTMobile には、NTMobile の機能を実装したエンド端末 (NTM 端末)、NTM 端末の情報管理やトンネル経路の指示を行う DC(Direction Coordinator)、エンドエンドの通信が行えない時にパケットを中継する RS が存在する。

NTM 端末は DC から重複しない仮想 IP アドレスを与えられ、アプリケーションは、割り当てられた仮想 IP アドレスを自身のアドレスとして認識する。アプリケーションが作成した仮想 IP に基づくパケットは実 IP アドレスでカプセル化され、実ネットワークへ送信される。DC は、通信開始時に NTM 端末が存在するネットワークトポロジよりトンネル通信経路を決定し、NTM 端末へ到達する。NTM 端末は指示に従ってトンネルを構築し、通信を開始する。基本的にエンド端末同士は直接通信を行うが、直接通信が行えない場合は RS 経由の通信経路となる。RS は、異なる NAT 配下どうしの通信や、NTMobile を実装していな

い一般端末との通信で利用される。NTM 端末が別ネットワークにハンドオーバーしても、仮想 IP アドレスは移動によって変化しないため、通信を継続することができる。

## 3. NTMobile におけるリレーサーバ

本章では、各 RS の用途と動作を示す。なお、RS の設置場所はグローバルネットワーク上のどこでもよく、複数設置が可能である。DC はトンネル構築時に複数の RS から通信負荷や通信経路を指標として最適な RS を選択できる。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)、NTMobile を実装していない一般端末を GN(General Node) とし、GN を管理する DNS サーバを  $DNS_{GN}$  とする。また、NTM 端末 X の実 IP アドレスと仮想 IP アドレスをそれぞれ  $RIP_X$ 、 $VIP_X$  とし、アドレス情報を管理している DC を  $DC_X$  とする。

### 3.1 トンネル切替型 RS(RS-S)

MN と CN が異なる NAT 配下に存在する時、MN と CN は NAT 越え問題によりエンドエンドで通信を行うことが出来ない。

この場合、MN と CN は RS-S との間でトンネル構築を行う。RS-S は、MN から受信したカプセル化パケットの外側 IP ヘッダのアドレスを変換し、MN と RS-S 間のトンネルから RS-S と CN 間のトンネルへとトンネルを切り替える。このように RS-S がエンド端末間のパケットを中継することにより、異なる NAT 配下の NTM 端末が通信することができる。NTM 端末がネットワークを切り替えた場合、RS-S との間でトンネルを再構築する。この時、RS-S が必要であれば RS-S を再選択でき、直接通信が可能であれば経路最適化を行い直接通信に切り替えることができる。

### 3.2 アドレス変換型 RS(RS-N)

NTM 端末と GN が通信を行う時、NTMobile を用いた通信を行えないため、NTM 端末が移動すると通信を継続できない。この場合、RS-N は GN に代わってパケットのカプセル化や暗号化など NTMobile の処理を代行する。NTM 端末が移動した場合は、RS-N との間でトンネルを再構築する。また、一般端末は通信相手を RS-N と認識するため、NTM 端末が移動しても通信を継続できる。

図 2 に、RS-N を経由した通信における通信シーケンスを示す。MN は CN の名前解決を行う DNS クエリをトリガーとして、 $DC_{MN}$  に NTM Direction Request を送信し、GN の名前解決とトンネル構築を依頼する。 $DC_{MN}$  は  $DNS_{GN}$  の NS レコード取得後、 $DNS_{GN}$  に対して TXT レコードの問合せを行う。DC には DC であることが示す分のような TXT レコードが記録されているため、TXT レコード問合せの応答より  $DC_{MN}$  は通信相手は GN であると判断する。その後、 $DC_{MN}$  は NTM Relay Direction によって RS-N にパケットの中継を指示し、NTM Route Direction によって MN に通信経路を指示する。MN は RS-N との間で NTM Tunnel Request/Response の交換をすることにより、MN と RS-N 間でトンネルが構築される。NTM 端末がネットワークを切り替えた場合、RS-N との間でトンネルを再構築する。

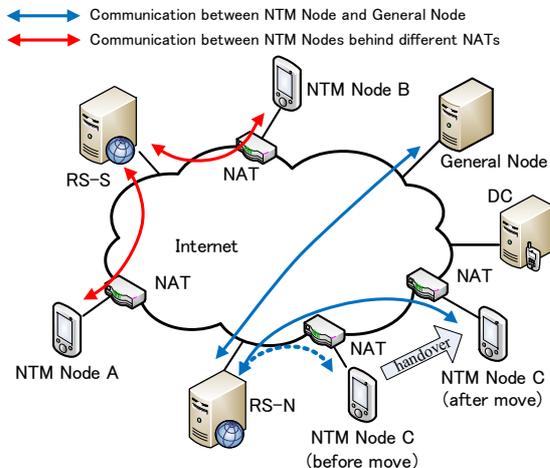


図 1: NTMobile の概要

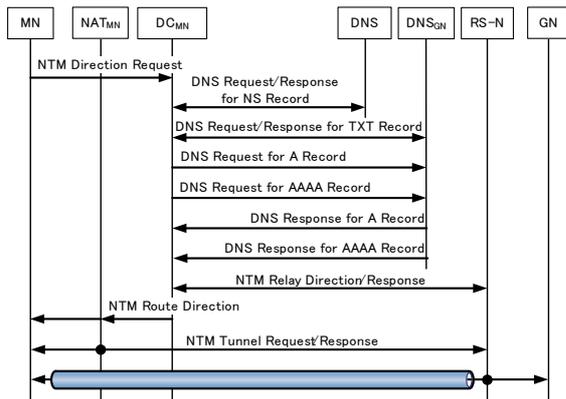


図 2: トンネル構築ネゴシエーション

## 4. 実装

### 4.1 実装方針

RS は、ユーザ空間とカーネル空間に実装を行う。RS-S と RS-N は実運用上のコストを考慮し、デーモン/カーネルともに、1つの装置として統合するように設計を行う。DC は、ネゴシエーション時に RS の種類を判断し RS に通知することで、1 台の装置で RS-S と RS-N の双方の機能を実現することを可能とする。また、RS-N では Netfilter の仕組みを用いたアドレス変換を行う。

### 4.2 NTM Mobile デーモン

RS のデーモンは、DC および NTM 端末との間でトンネル構築を行う。NTM Relay Direction/NTM Tunnel Request 受信時には、中継に必要な情報をカーネル空間に実装されている Relay Table に登録する。また、NTM Relay Direction により通知される RS の種類を NTM Mobile カーネルモジュールへと通知する。カーネルモジュールは、通知された RS の種類を基に RS の挙動を確定する。

### 4.3 NTM Mobile カーネルモジュール

RS のカーネルモジュールは、Relay Table の内容に従って通信パケットの中継及びカプセル化/デカプセル化等パケットに対する操作を行う。通信パケット受信時には、パケットのカプセル化/デカプセル化、暗号化/復号を行い、加えて以下に示す Netfilter を用いた NAT 処理を行う。

### 4.4 Netfilter を用いたアドレス変換

図 3 に RS-N のカーネルモジュールにおけるアドレス変換と Netfilter の処理フローを示す。MN から受信したパケットは、PRE\_ROUTING にてフックし、カーネルモジュールへと渡す。パケットのデカプセル化後、宛先を Relay Table から取得した  $RIP_{GN}$  にアドレス変換し、LOCAL\_OUT へと戻す。その後、POST\_ROUTING にてフックし、送信元 IP アドレス/ポート番号を変換し、GN へ送信する。MN から GN へ向けての最初のパケットが通過した時、 $RIP_{RS-N}$  と  $VIP_{MN}$  を関連付ける NAT テーブルが生成される。

GN から受信したパケットは、PRE\_ROUTING にて NAT テーブルを参照して宛先を  $VIP_{MN}$  に変換し、LOCAL\_OUT へ渡す。LOCAL\_OUT ではアドレス変換処理とカプセル化を行い、LOCAL\_OUT にてパケットを Netfilter のチェーンに戻す。その後、MN へ送信する。

## 5. 評価

Linux PC に RS の機能を実装し、動作検証を行った。また、RS のスループットの測定を行った。

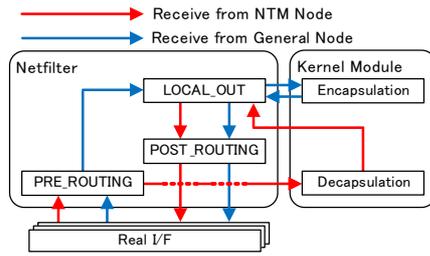


図 3: Netfilter と NTM Mobile カーネルモジュール

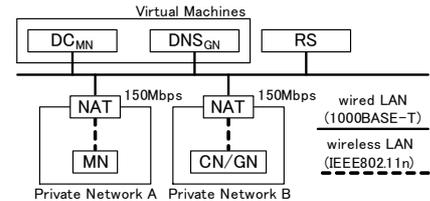


図 4: 測定ネットワーク構成

表 1: スループット測定結果 [Mbps]

	End to End(General)	End to End(NTMobile)	via RS-S	via RS-N
暗号化なし	45.46	43.25	43.24	43.65
暗号化あり	-	38.48	38.57	41.28
暗号化による低下率	-	11.03%	10.80%	5.43%

### 5.1 測定環境

図 4 に測定ネットワーク構成を示す。1 台の実機 PC 上に DC と DNS サーバを仮想マシンとして構築し、同一プライベートネットワークへと有線接続した。RS は、プライベートネットワークへと有線接続した。また、ルータを 2 台プライベートネットワークへと接続し NAT として動作させ、ポートフォワードの設定を行った。NTM 端末の機能は Android OS を搭載した端末に実装し、異なる NAT 配下に無線接続した。また、測定パターンは NTM Mobile を用いないエンドエンド通信、NTM Mobile を用いたエンドエンド通信、RS-S/RS-N を経由した通信の 4 パターンである。

### 5.2 スループット測定結果

スループット測定結果を表 1 に示す。NTM Mobile を用いたエンドエンド通信と RS 経由の通信を比べるとスループットの低下は殆ど無く、RS が行うカプセル化/デカプセル化処理や暗号化/復号処理が端末間のスループットに大きな影響を与えないことが分かった。これは、無線部分がスループットのネックとなっているためと考えられる。

## 6. まとめ

本稿では、NTM Mobile における RS を RS-S と RS-N の 2 つのタイプに分類し、動作や仕様の検討を行い、実装・評価を行った。RS-S と RS-N の機能を統合し、1 台の装置で 2 つの機能を切り替えることが可能となった。また、RS 経由の通信におけるスループットの評価を行い、RS の処理がスループットに大きな影響を与えないことが分かった。

今後は、RS の選択手法の検討を進めていく予定である。

### 参考文献

- [1] 鈴木秀和, 上酔尾一真, 水谷智大, 西尾拓也, 内藤克浩, 渡邊 晃: NTM Mobile における通信接続性の確立手法と実装, 情報処理学会論文誌, Vol. 54, No. 1, pp. 367-379 (2013).

# NTMobileにおける リレーサーバの提案と評価

---

名城大学大学院 理工学研究科 情報工学専攻  
渡邊研究室 123430030

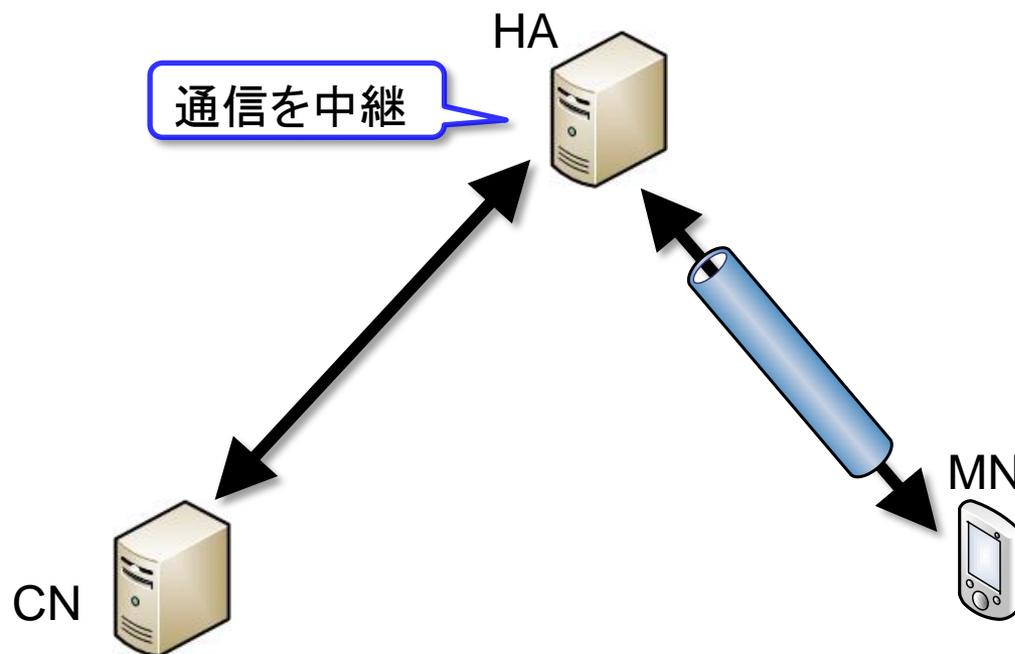
土井敏樹

- 移動しながら通信をしたいという要求
  - 公衆無線網や小型端末(スマートフォンなど)の普及
- 移動透過性技術の必要性
  - IPネットワークでは接続場所が変わるとIPアドレスが変化
  - 端末が移動すると通信が途切れてしまう
  - 携帯通信網トラフィック量増大によるWi-Fiへのトラフィック迂回
- NAT越え技術の必要性
  - IPネットワークではNATの利用が一般的
  - NATの外側から内側にアクセスを開始できない

NAT: Network Address Translation

- Mobile IPv4

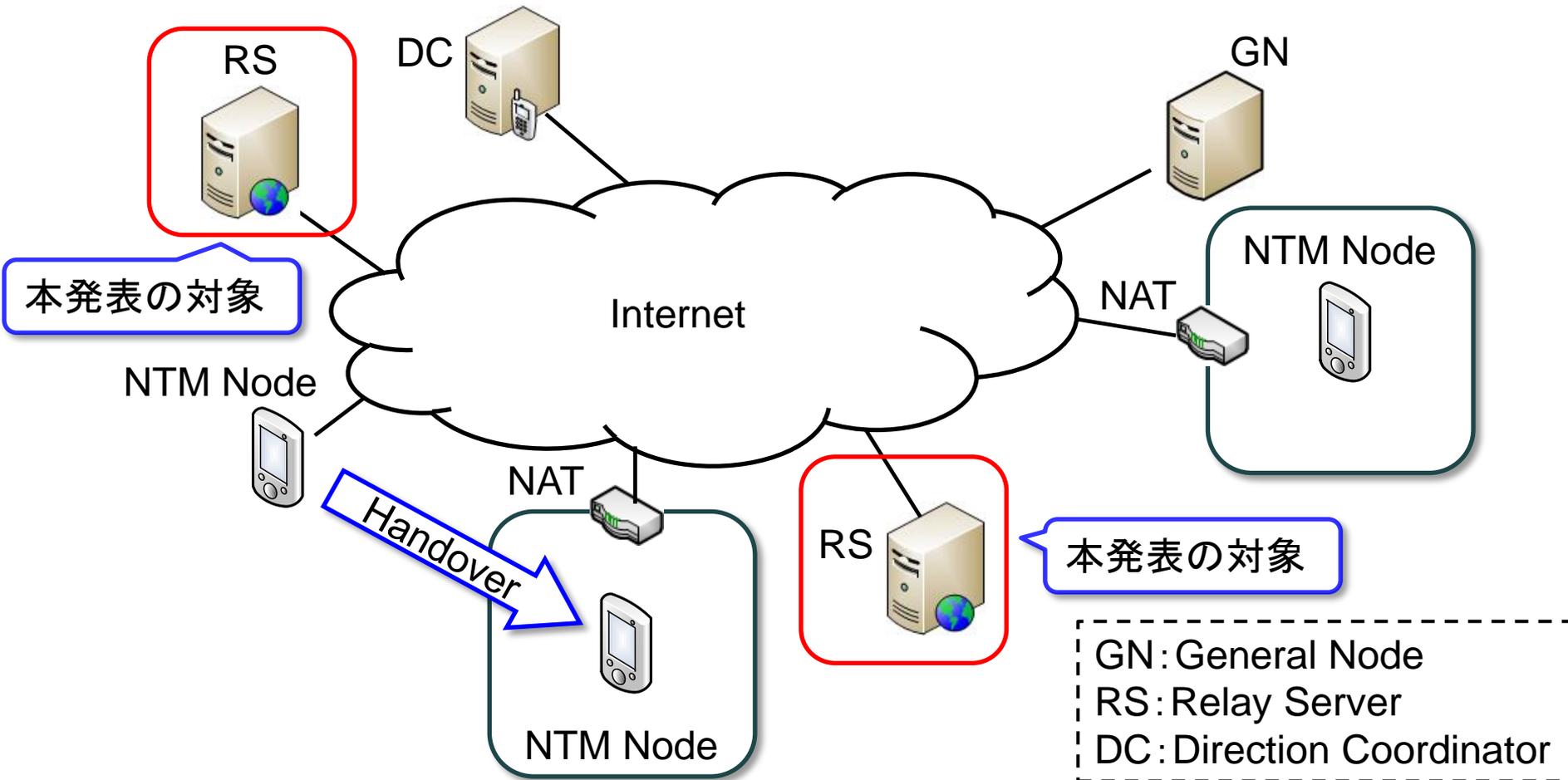
- IPv4環境において移動透過性を実現
- HAを経由することでCNに対してMNの移動を隠蔽
- 課題
  - HAの設置場所がホームネットワークに限定されるため経路が冗長
  - HAの分散配置は検討されているが詳細は未検討, 一点障害問題



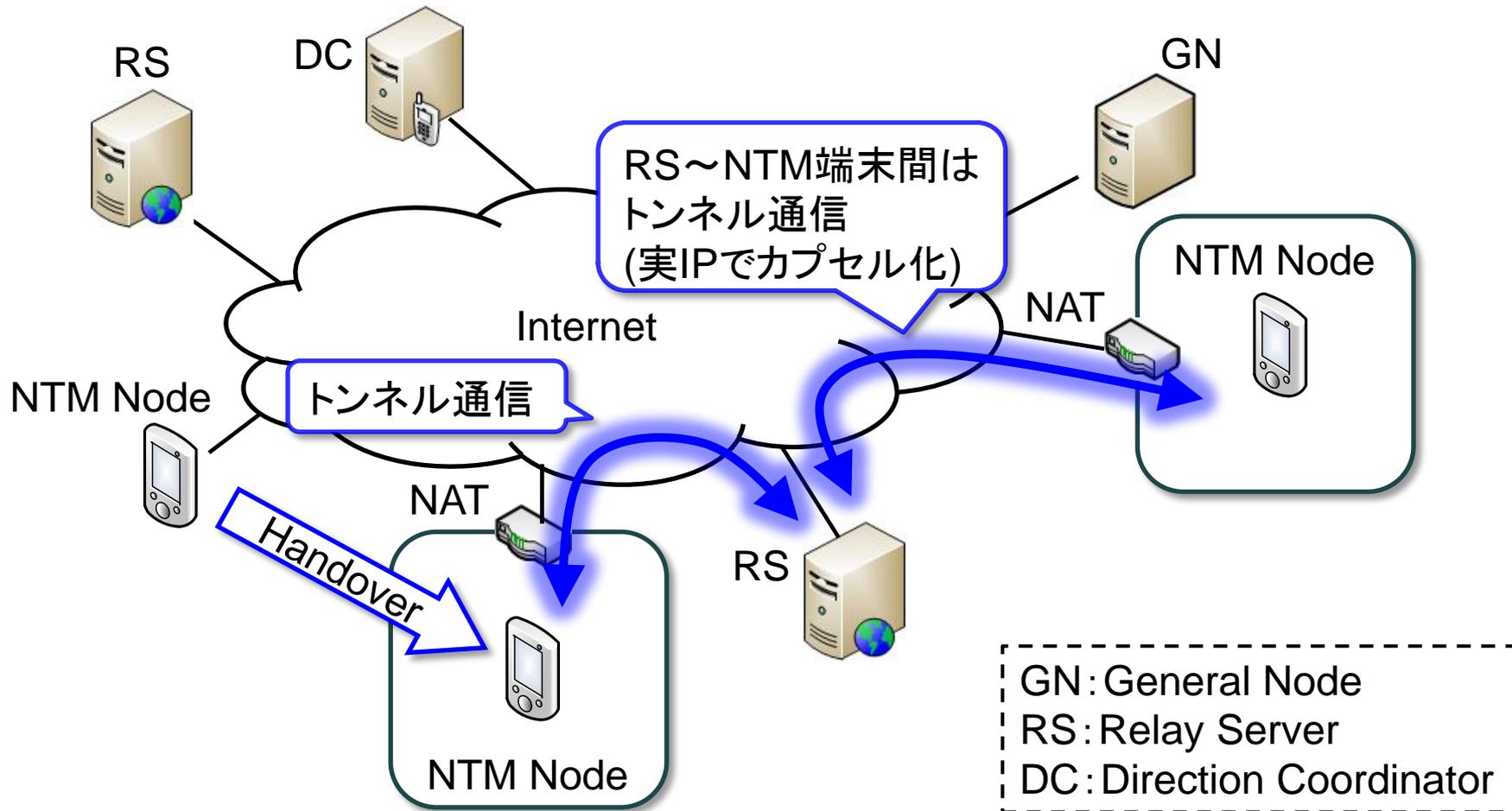
MN: 移動端末  
CN: 通信相手端末  
HA: Home Agent



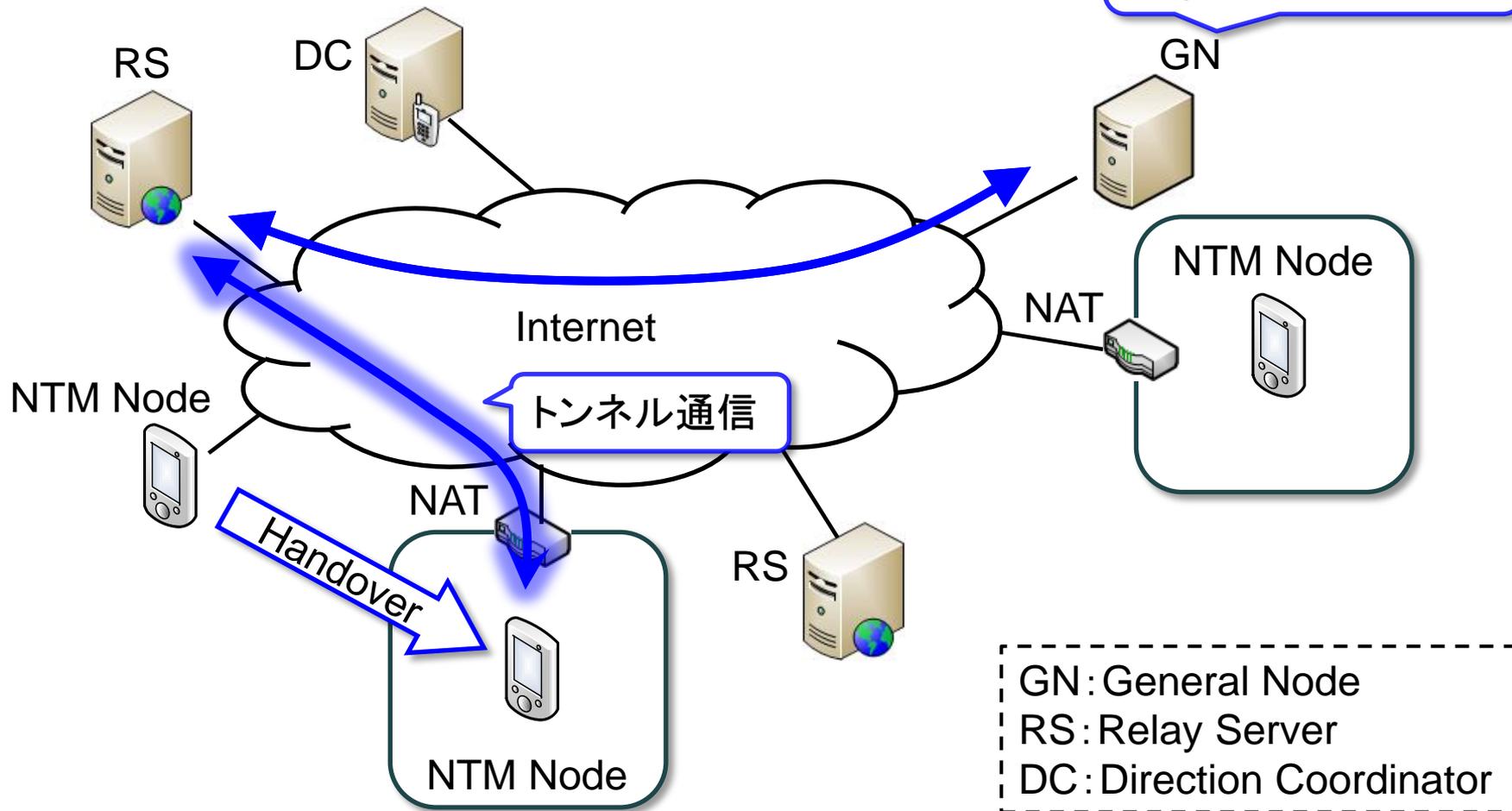
- NTMobile(Network Traversal with Mobility)
  - 移動透過性とNAT越えを同時に実現する技術



- NTMobile(Network Traversal with Mobility)
  - 移動透過性とNAT越えを同時に実現する技術



- NTMobile(Network Traversal with Mobility)
  - 移動透過性とNAT越えを同時に実現する技術

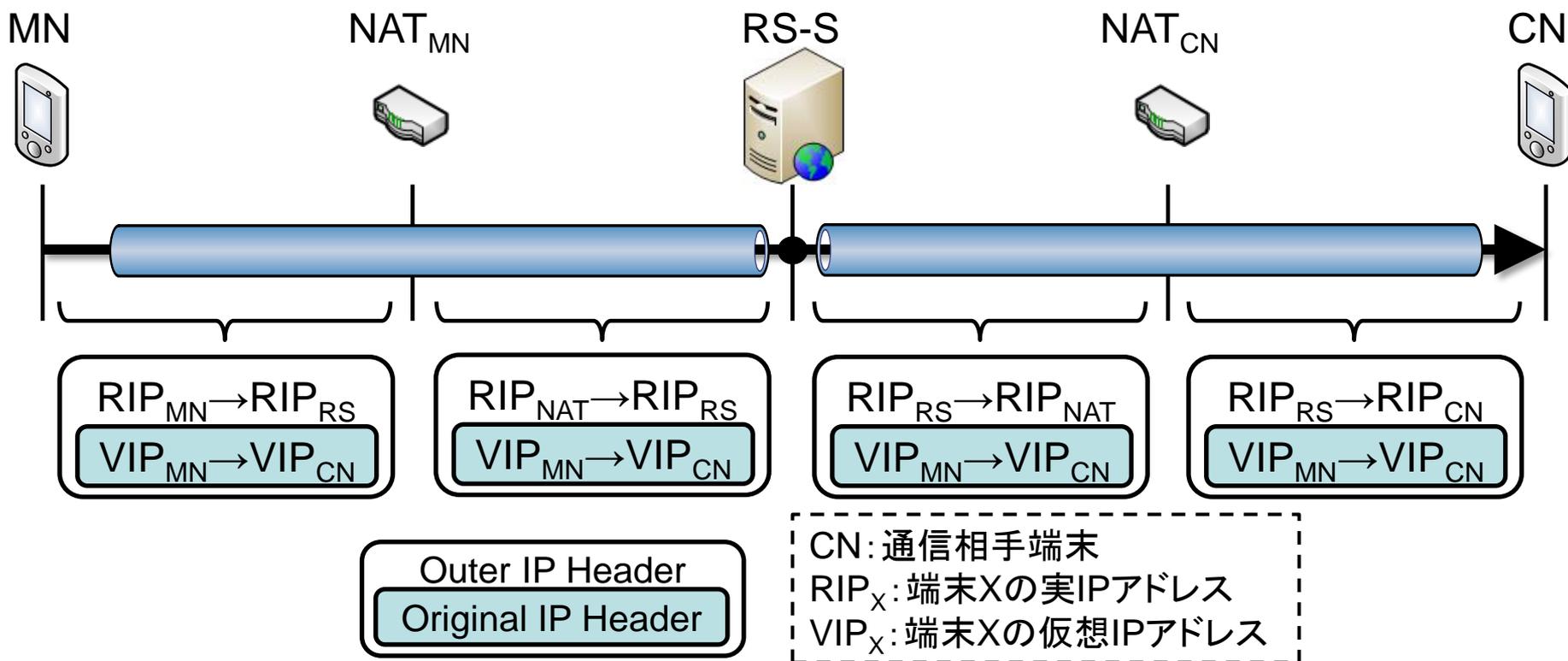


- RS(Relay Server)
  - 特定の条件下においてパケットを中継するサーバ
    - 異なるNAT配下のNTM端末が通信したい場合
    - 通信相手端末がGNで, MNが移動しながら通信をしたい場合に利用
- グローバルネットワーク上に設置し, 分散配置が可能
  - 通信経路等を考慮したRSの選択が可能
- これまでRSの装置の定義は行われていたが詳細は未検討
  - 実装も特定の条件下で動作するのみ

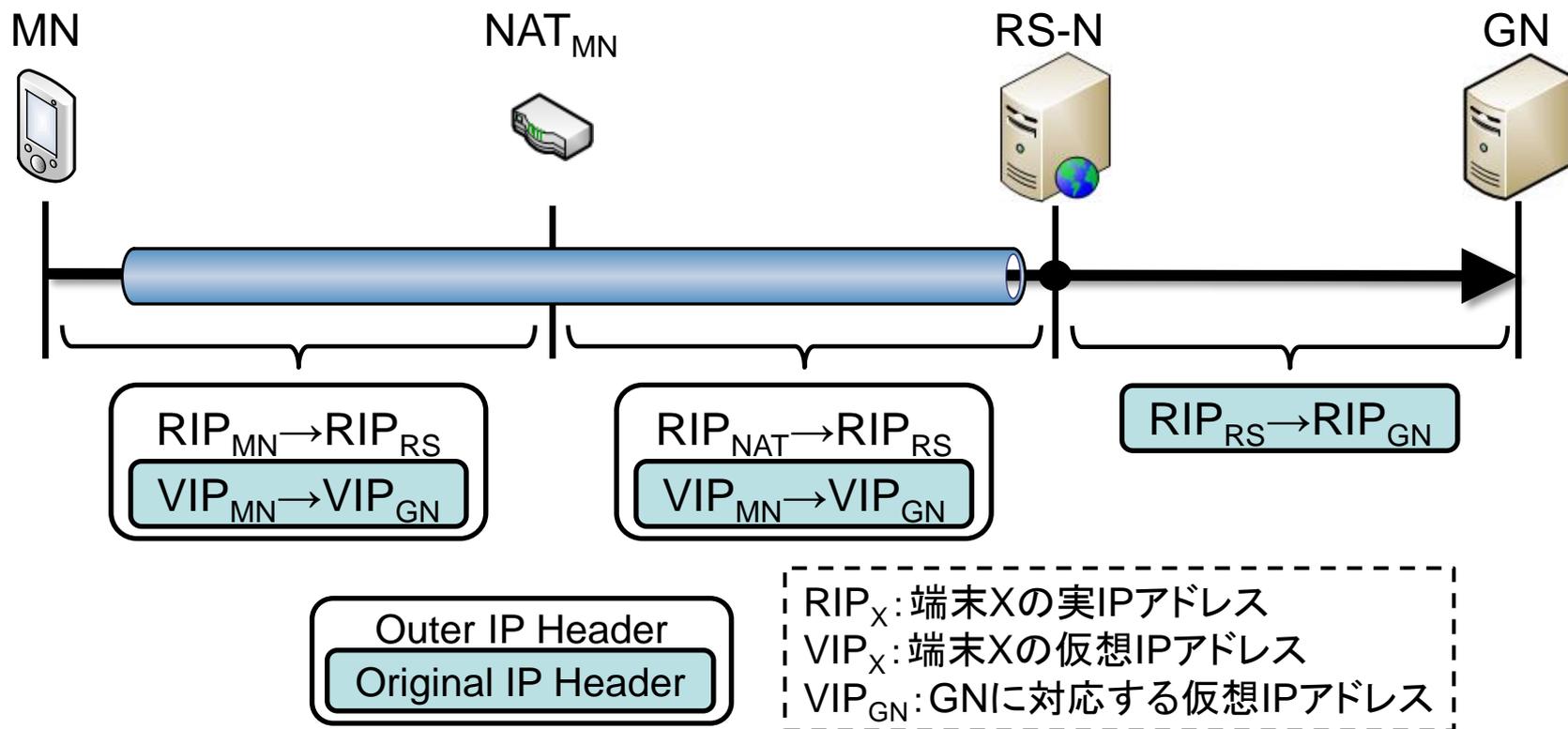
## 本研究の目的

RSの動作や仕様の検討を行って実装し, 動作検証・評価を行う

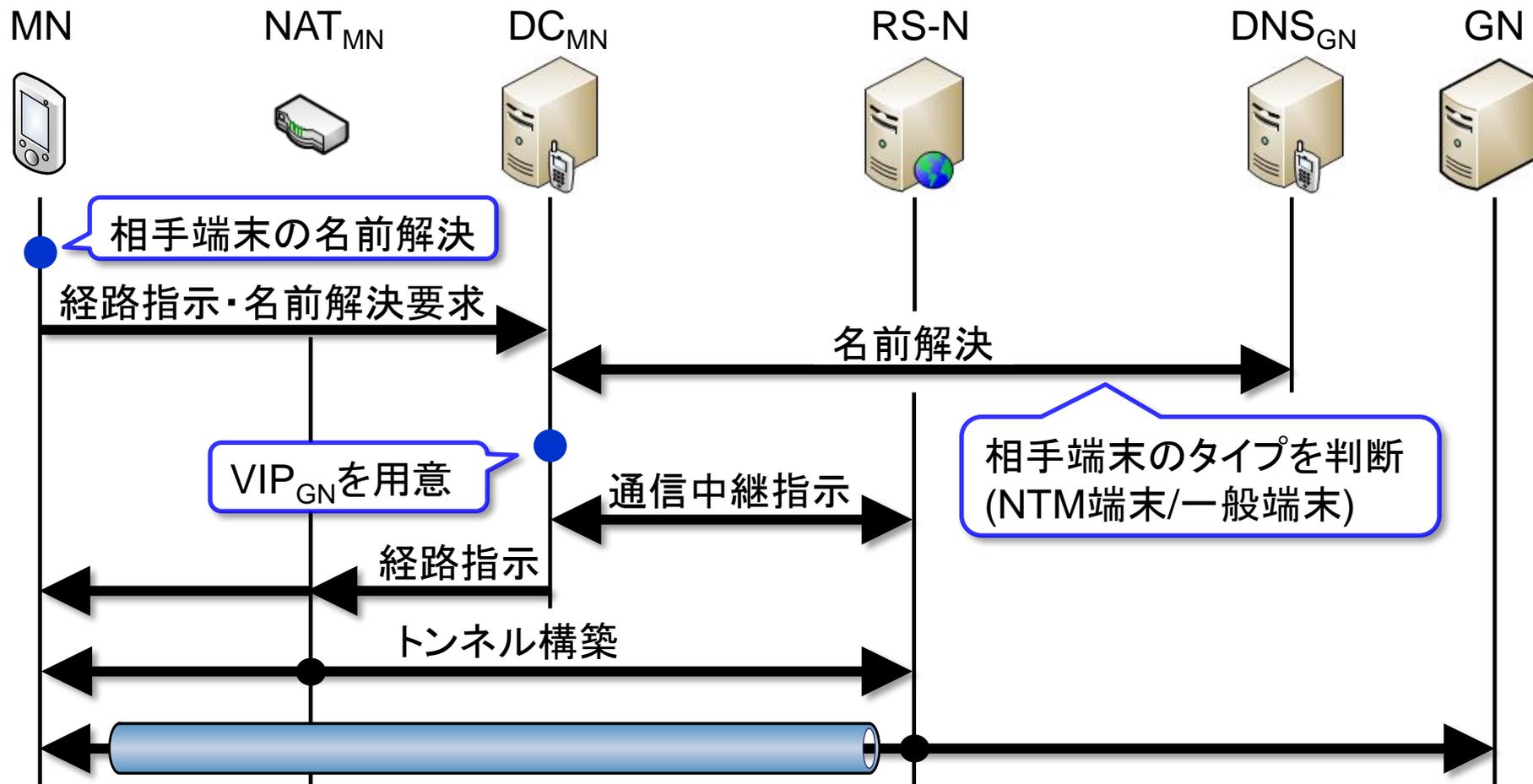
- トンネル切替型RS(RS-S: Relay Server type Switch)
  - 異なるNAT配下に存在するNTM端末が通信したい場合に利用
- MN~RS-S間, RS-S~CN間でトンネルを構築
  - 直接通信できる場合はエンドエンド通信に経路最適化可能



- アドレス変換型RS(RS-N: Relay Server type NAT)
  - 通信相手端末がGNで, MNが移動しながら通信をしたい場合に利用
- MN~RS-N間でトンネルを構築
  - GNは通信相手をRS-Nと認識する



- 相手端末の名前解決をトリガーとしてトンネル構築を行う
- $DC_{MN}$  は名前解決後, 一般端末に対応するVIP( $VIP_{GN}$ )を用意

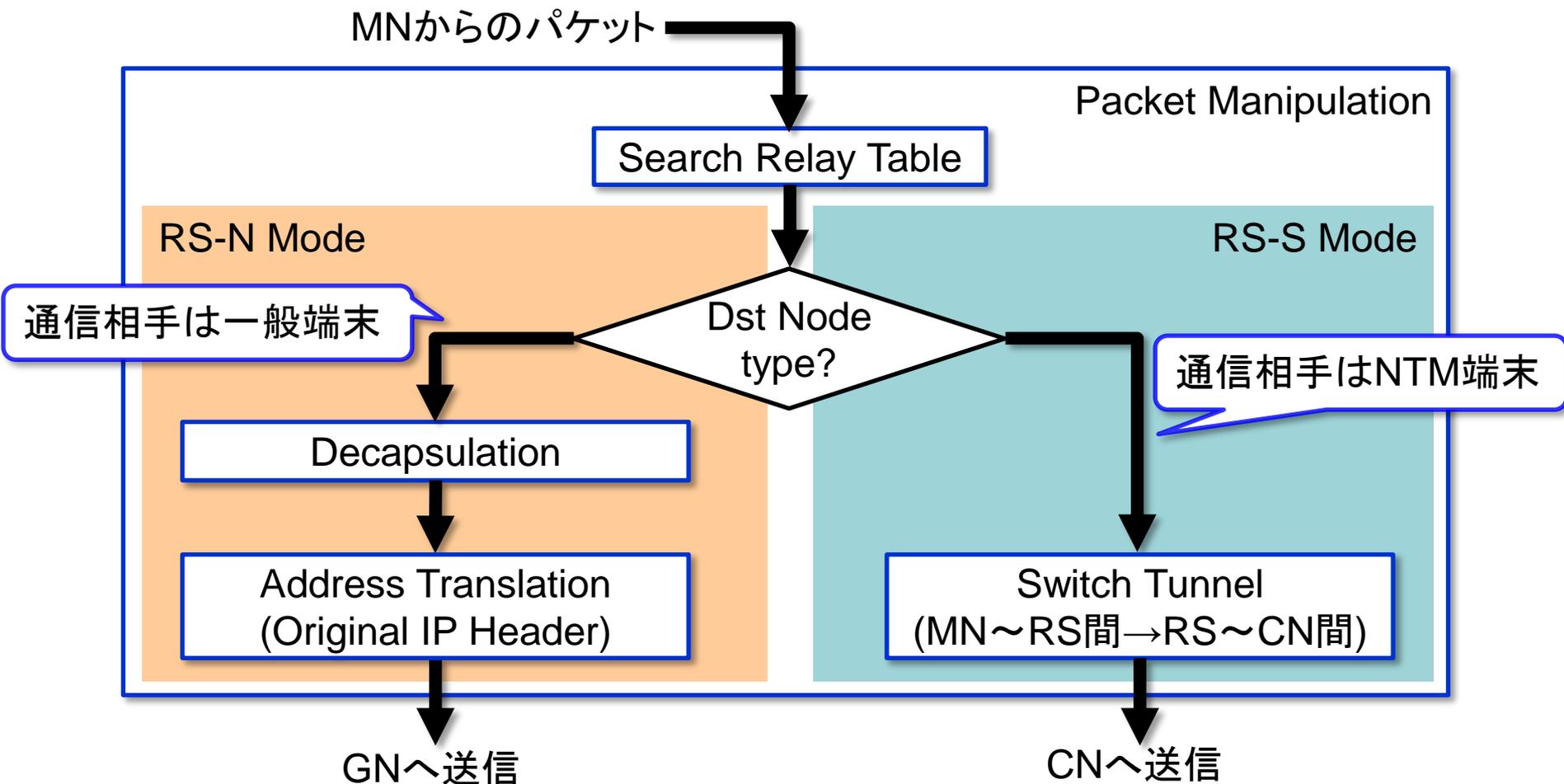


- RS-NにおけるNetfilterを利用したアドレス変換
  - Netfilter: Linuxに組み込まれているパケットフィルタリングの仕組み
  - RS-Nのパケット送信時に送信元ポートを自動選択できる
  - ペイロードにIPアドレスを含むプロトコルに対応できる
    - NetfilterのモジュールがALGの働きをしてペイロード内のIPアドレスを変換
  - パケットのフックにも用いる
- RS-SとRS-Nの統合
  - 統合すれば1端末でRS-S/RS-Nを実現できる
  - 別の実装とするよりもネットワークに設置するRSの台数が少なくて済む

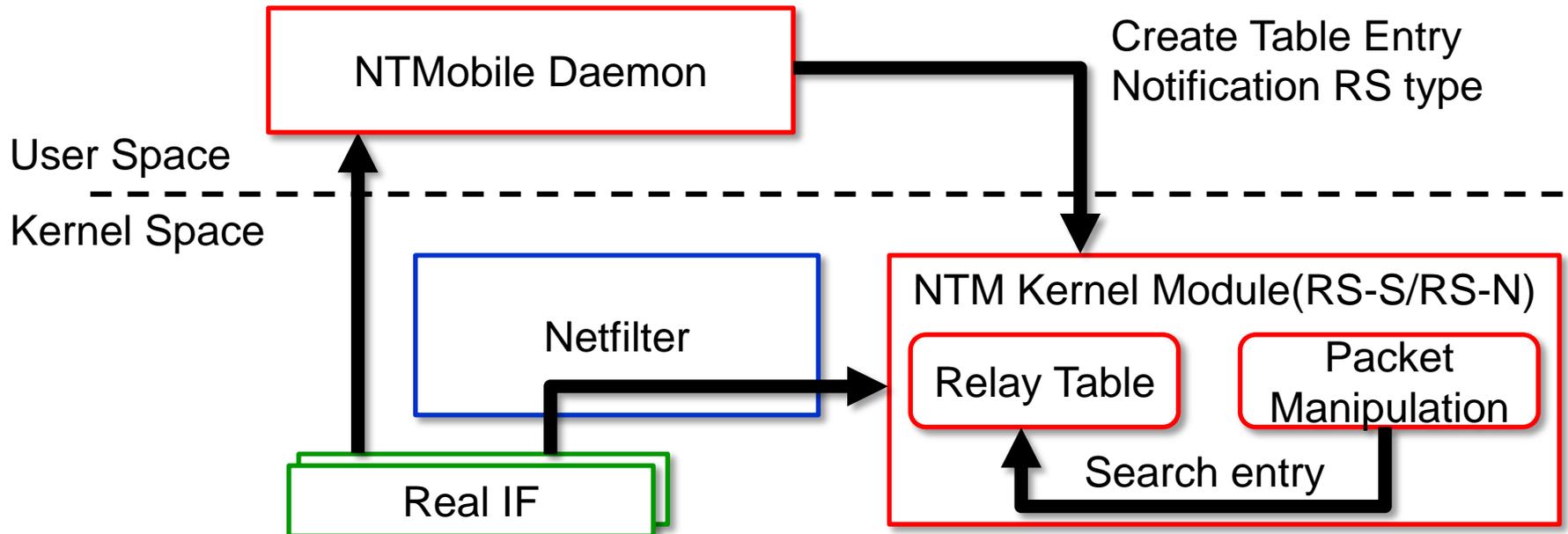
RS-SとRS-Nは1台の装置に統合する形態で設計を行う

ALG: Application Level Gateway

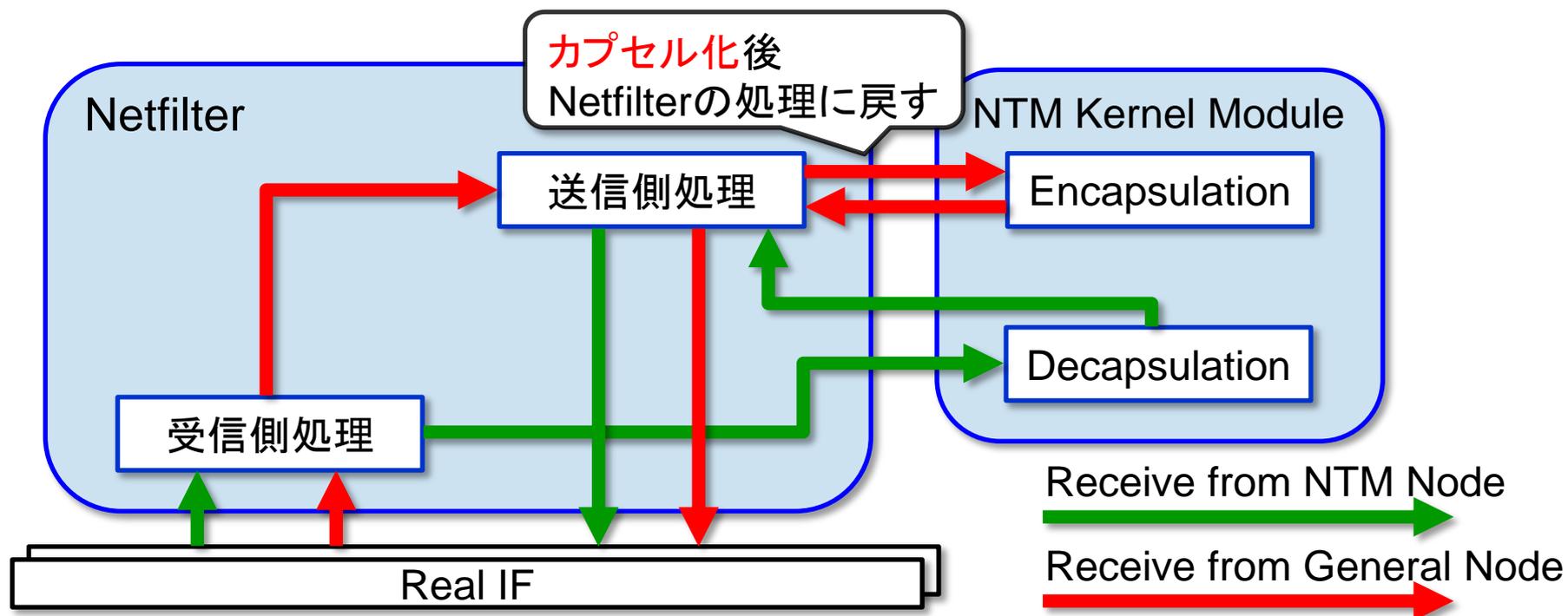
- RSはNTM端末からのパケットを受信するとRelay Tableを検索
  - 相手端末がNTM端末か一般端末かを調べる



- NTMobileデーモン
  - 制御メッセージの受信/送信処理
  - 転送に必要な情報やRSのタイプをカーネルモジュールに通知
- NTMobileカーネルモジュール(NTM端末/RS-S/RS-N共通)
  - Netfilterでパケットをフックしアドレス変換やカプセル化/デカプセル化
  - 転送に用いる情報を記録するRelay Tableを持つ



- Netfilterの送信/受信側処理とカーネルモジュールが連携
- MNからのパケット受信時
  - デカプセル化モジュールで宛先NAT, 送信側処理で送信元NAT
- GNからのパケット受信時
  - 受信側処理で宛先NAT, カプセル化モジュールで送信元NAT

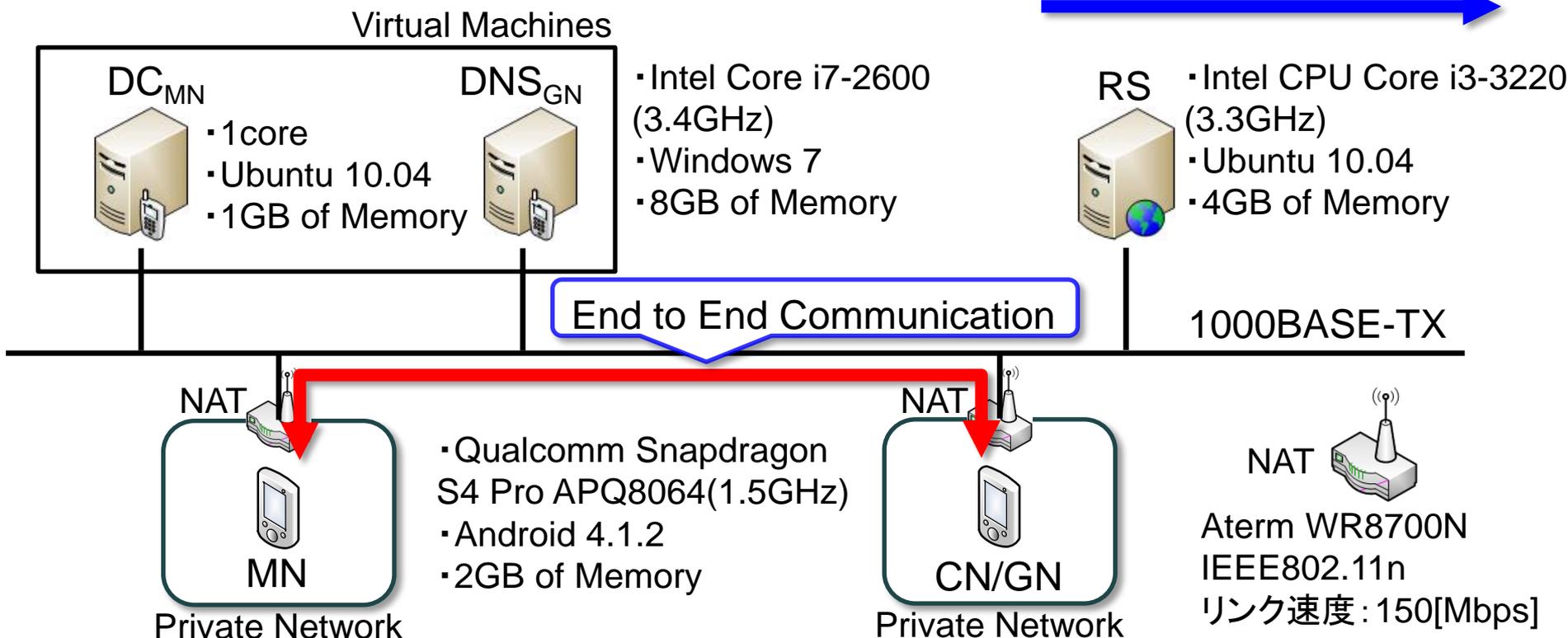


- 目的: RSの動作検証とスループット低下率の評価
  - DC, RSはLinux PCに実装
  - $DC_{MN}$ と $DNS_{GN}$ は仮想マシンで構成
- 測定経路は4パターン

General Communication



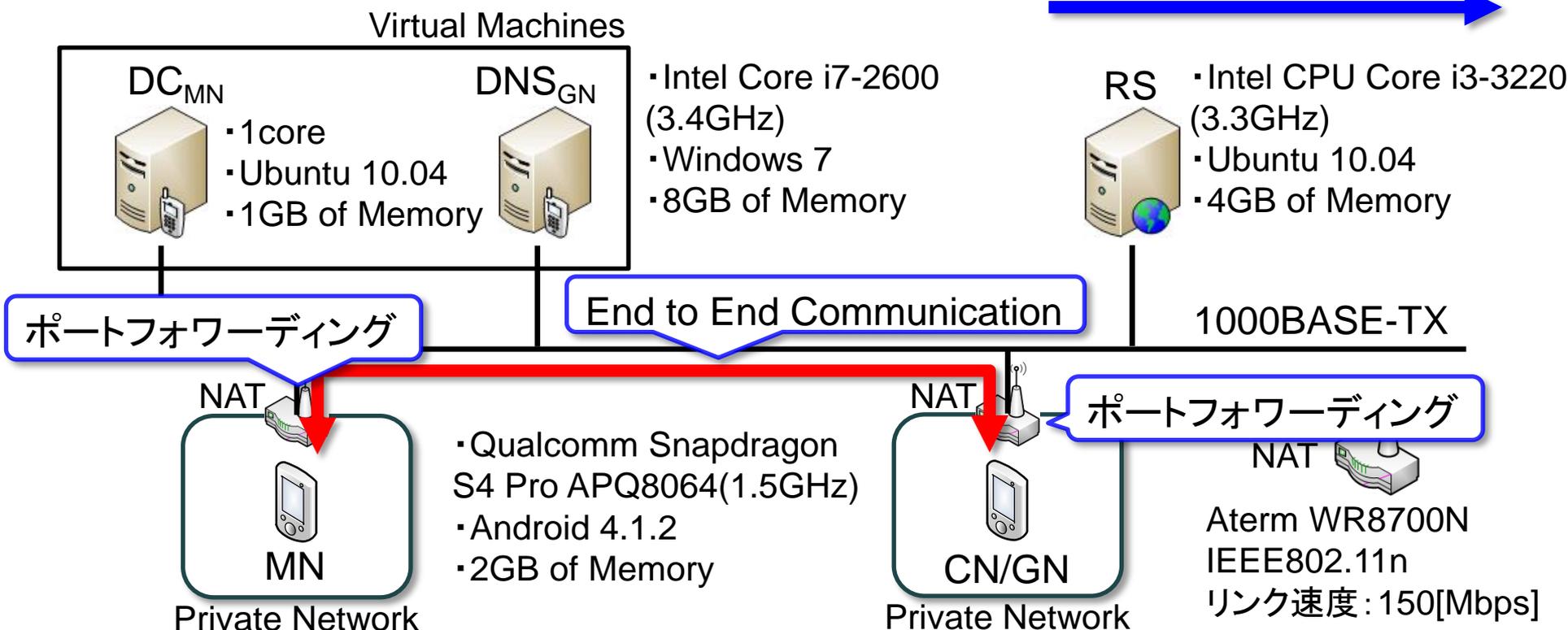
NTMobile Communication



- 目的: RSの動作検証とスループット低下率の評価
  - DC, RSはLinux PCに実装
  - $DC_{MN}$ と $DNS_{GN}$ は仮想マシンで構成
- 測定経路は4パターン

General Communication  

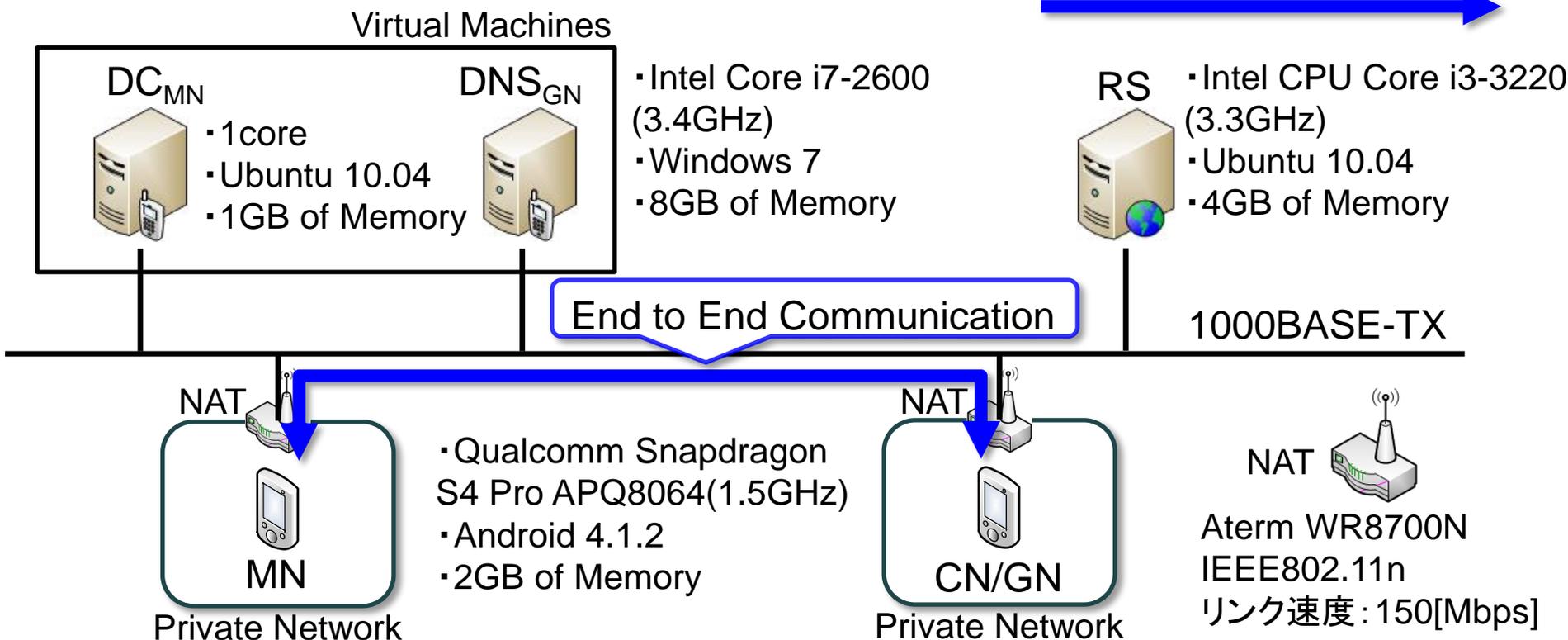

NTMobile Communication  

- 目的: RSの動作検証とスループット低下率の評価
  - DC, RSはLinux PCに実装
  - $DC_{MN}$ と $DNS_{GN}$ は仮想マシンで構成
- 測定経路は4パターン

General Communication  

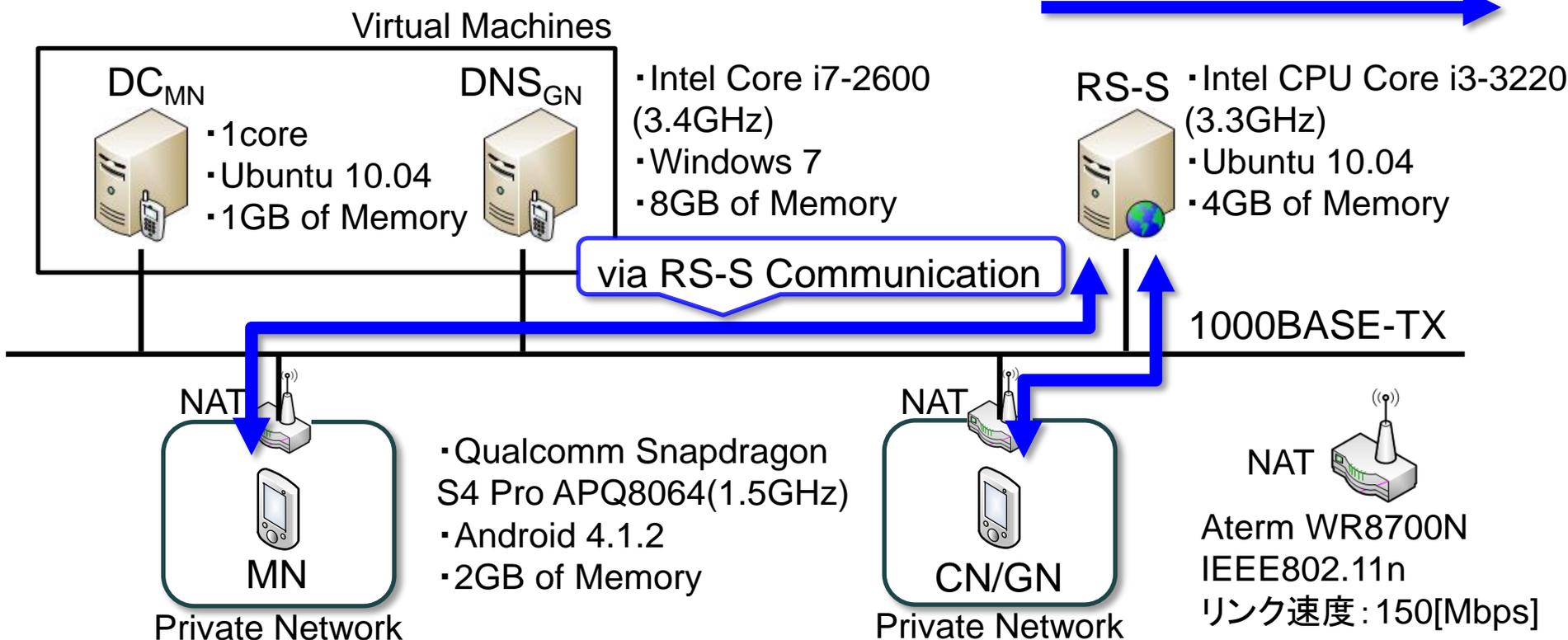

NTMobile Communication  

- 目的: RSの動作検証とスループット低下率の評価
  - DC, RSはLinux PCに実装
  - $DC_{MN}$ と $DNS_{GN}$ は仮想マシンで構成
- 測定経路は4パターン

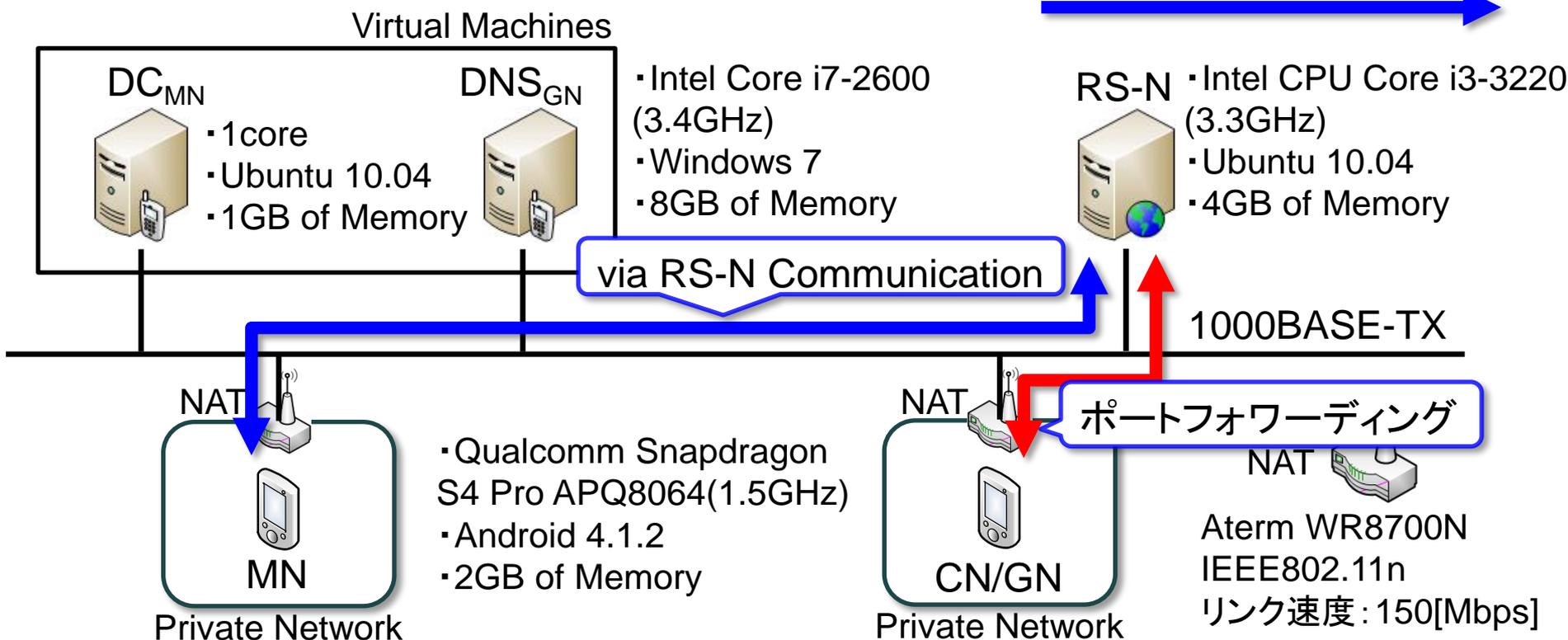
General Communication  


NTMobile Communication  

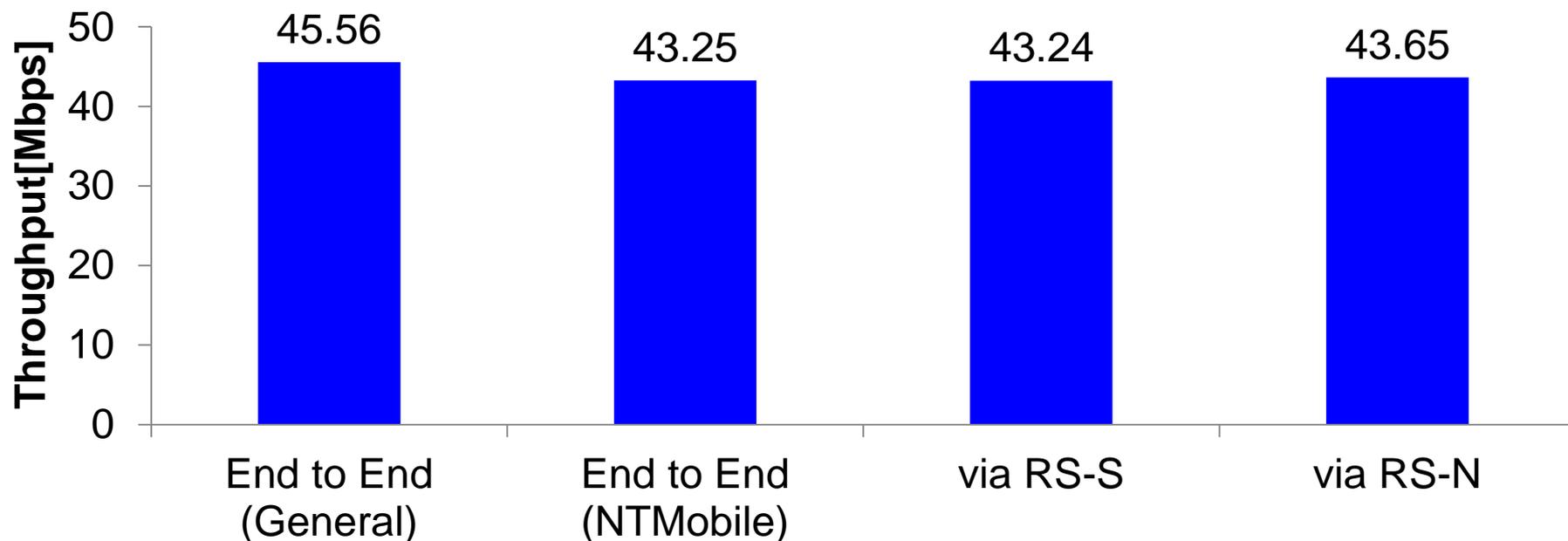



- 目的: RSの動作検証とスループット低下率の評価
  - DC, RSはLinux PCに実装
  - $DC_{MN}$ と $DNS_{GN}$ は仮想マシンで構成
- 測定経路は4パターン

General Communication  
NTMobile Communication

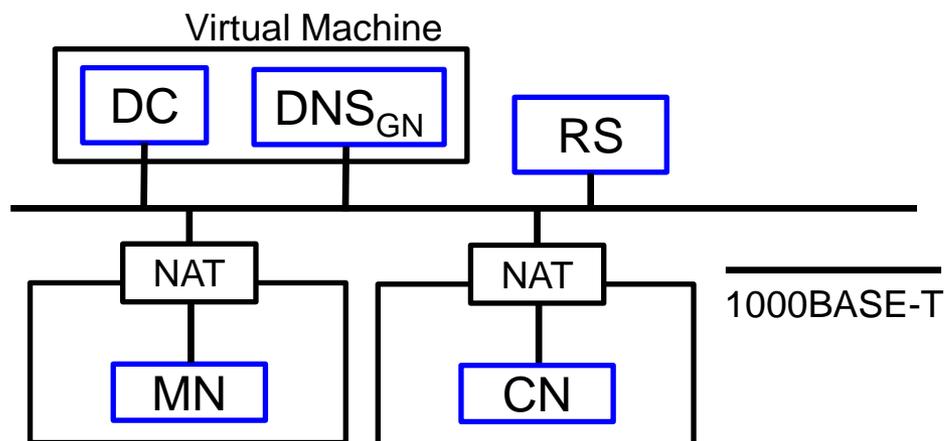


- エンドエンド通信とRS経由通信のスループット低下率を測定
  - iperfを用いたTCP通信を行い, MN~CN/GN間のスループットを測定
- RS経由の通信のスループット低下率は**5%程度**
  - NTMobileのヘッダオーバーヘッドと同程度
  - NTM端末がRS経由の通信を行ってもスループットには大きく影響しない



- NTMobileの概要と動作
  - 仮想IPアドレスとUDPTunnelを使った通信
  - 移動透過性とNAT越えを同時に実現する技術
- RSの概要と動作
  - RS-S:NTM端末が異なるNAT配下に存在する場合に利用
  - RS-N:一般端末に対して移動通信を行いたい場合に利用
- RSの実装と評価
  - RSの実装設計を行い, Linux PCに実装
    - RS-SとRS-Nを1台の装置で実現
  - エンドエンド通信とRS経由の通信におけるスループット評価
- 今後の予定
  - RSの分散配置, 選択手法の検討
  - RSの転送性能の評価

- 同一リンク上にプライベートネットワークを2つ構築
- 接続は全て1000BASE-Tによる有線接続
- iperfを用いたTCP通信を10秒行い, 15回の平均を算出



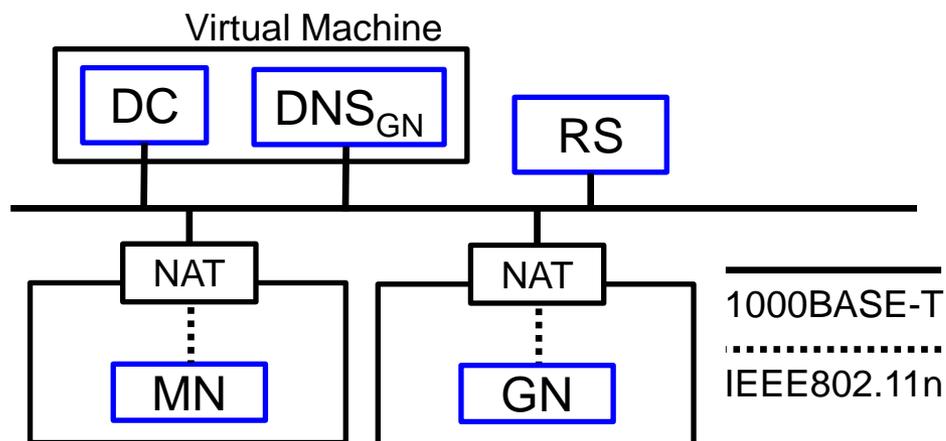
測定を行った4パターン

- NTMobile未実装のエンドエンド通信
  - NATにポートマッピングの設定
- NTMobileを利用した通信
  - エンドエンド通信(経路最適化後)
  - RS-S経由(異なるNAT配下のMN/CN)
  - RS-N経由(MNと一般端末との通信)

スループット測定結果[Mbps]

	NTMobile未実装	エンドエンド	RS-S経由	RS-N経由
暗号化なし	895	675	472	440
暗号化あり	-	367	373	379
暗号化による低下率	-	45.67%	21.02%	14.04%

- 同一リンク上にプライベートネットワークを2つ構築
- Android端末はIEEE802.11nにおける無線接続
- iperfを用いたTCP通信を10秒行い, 15回の平均を算出



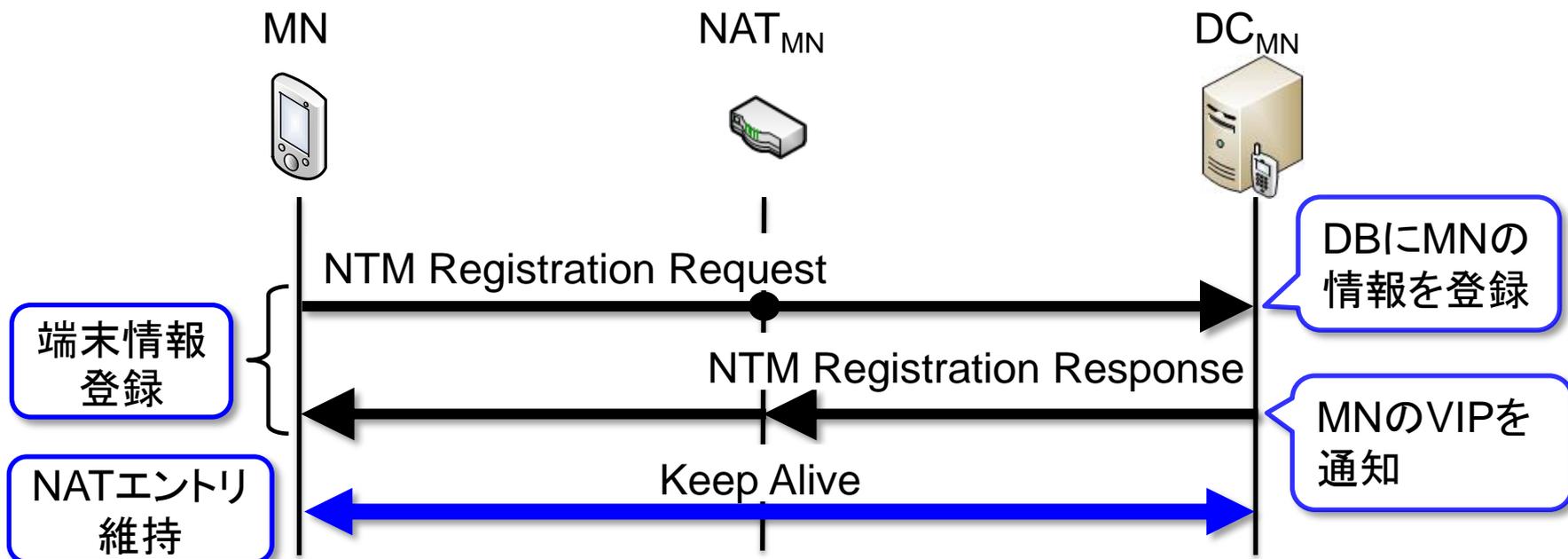
測定を行った4パターン

- NTMobile未実装のエンドエンド通信
  - NATにポートマッピングの設定
- NTMobileを利用した通信
  - エンドエンド通信(経路最適化後)
  - RS-S経由(異なるNAT配下のMN/CN)
  - RS-N経由(MNと一般端末との通信)

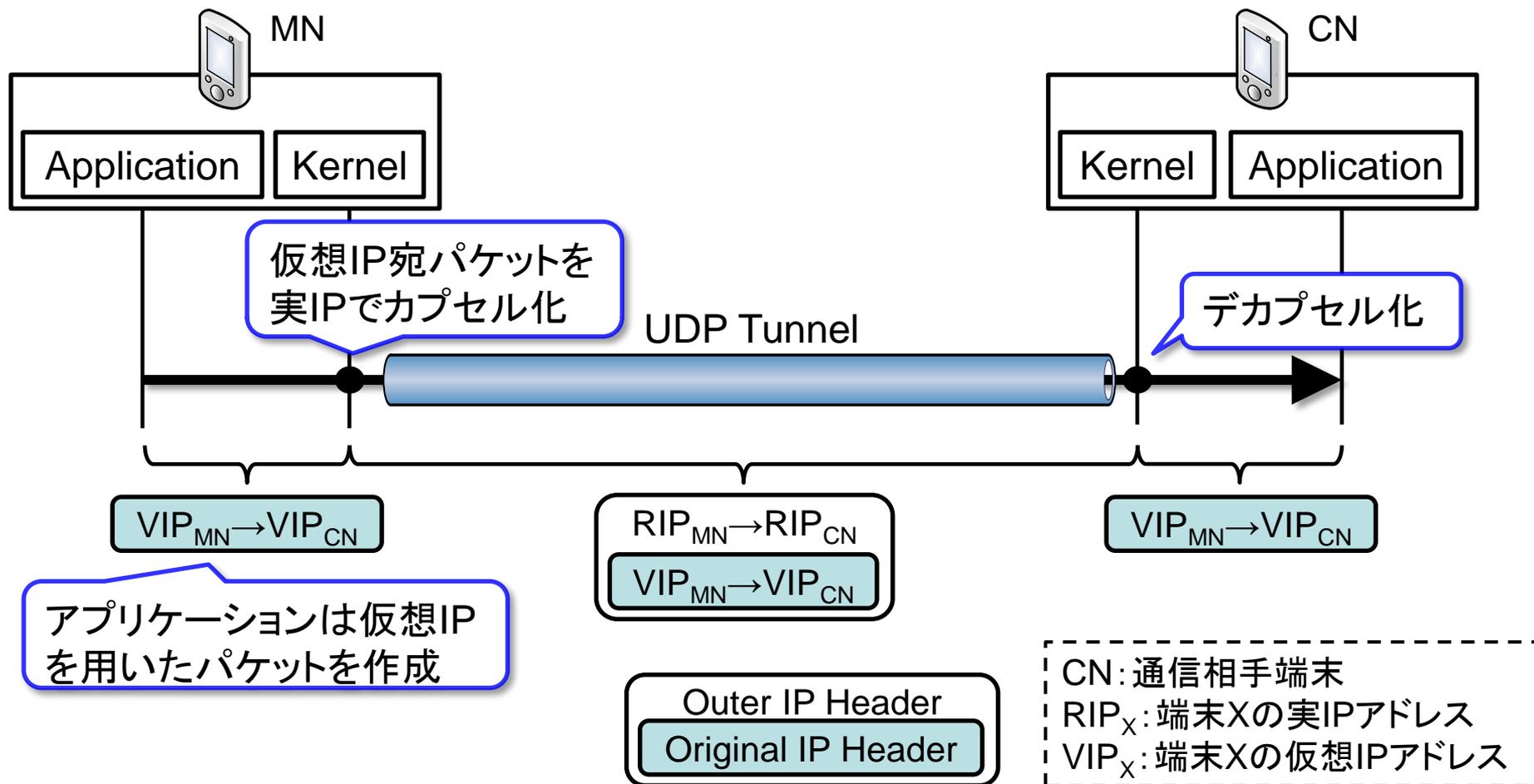
スループット測定結果[Mbps]

	NTMobile未実装	エンドエンド	RS-S経由	RS-N経由
暗号化なし	45.46	43.25	43.24	43.65
暗号化あり	-	38.48	38.57	41.28
暗号化による低下率	-	11.03%	10.80%	5.43%

- 登録処理
  - NTM端末の起動時にDCに対して行う
  - 自身の位置情報を登録
- Keep Alive
  - 登録終了後MN~DC<sub>MN</sub>間で定期的にメッセージのやり取りを行う
  - 制御メッセージ用の通信経路を確保

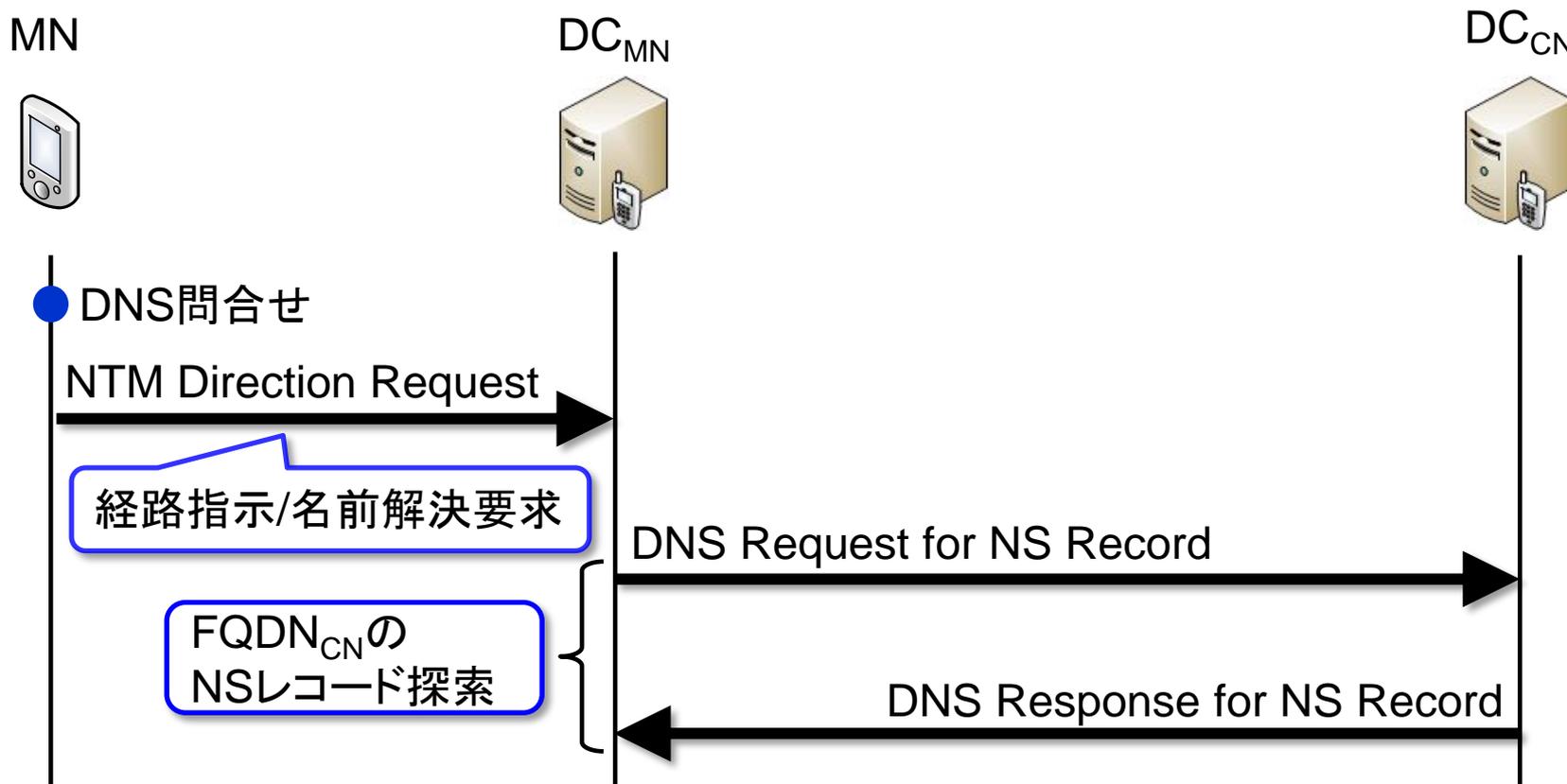


- アプリケーションは仮想IPアドレスを用いて通信
- カーネルではカプセル化/デカプセル化を行う



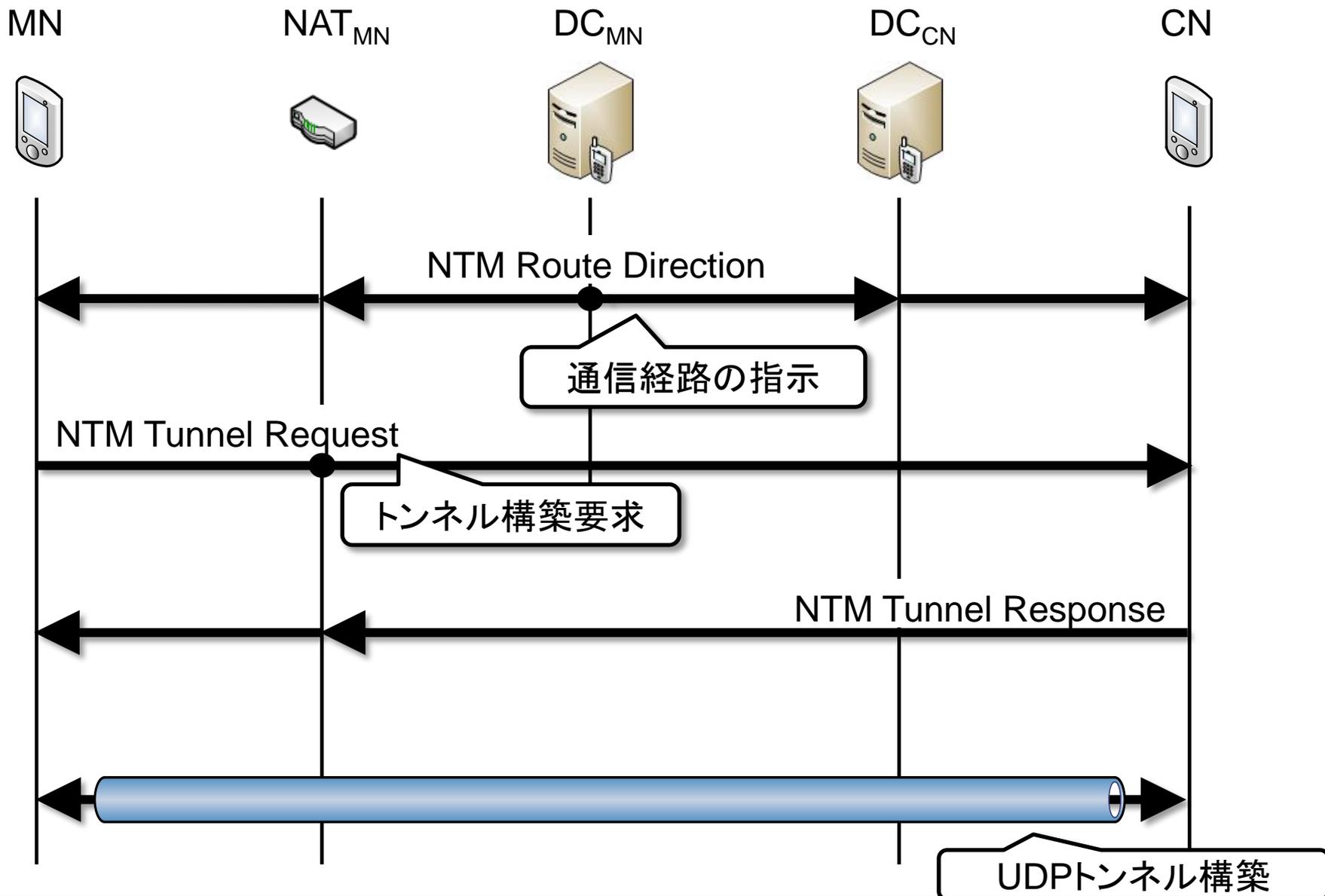
- DNS問合せをトリガーとして動作開始
  - MNが $DC_{MN}$ に経路指示と名前解決を要求
- NSレコードを利用して $DC_{CN}$ を探索

MN: 通信開始側NTM端末  
CN: 通信相手側NTM端末



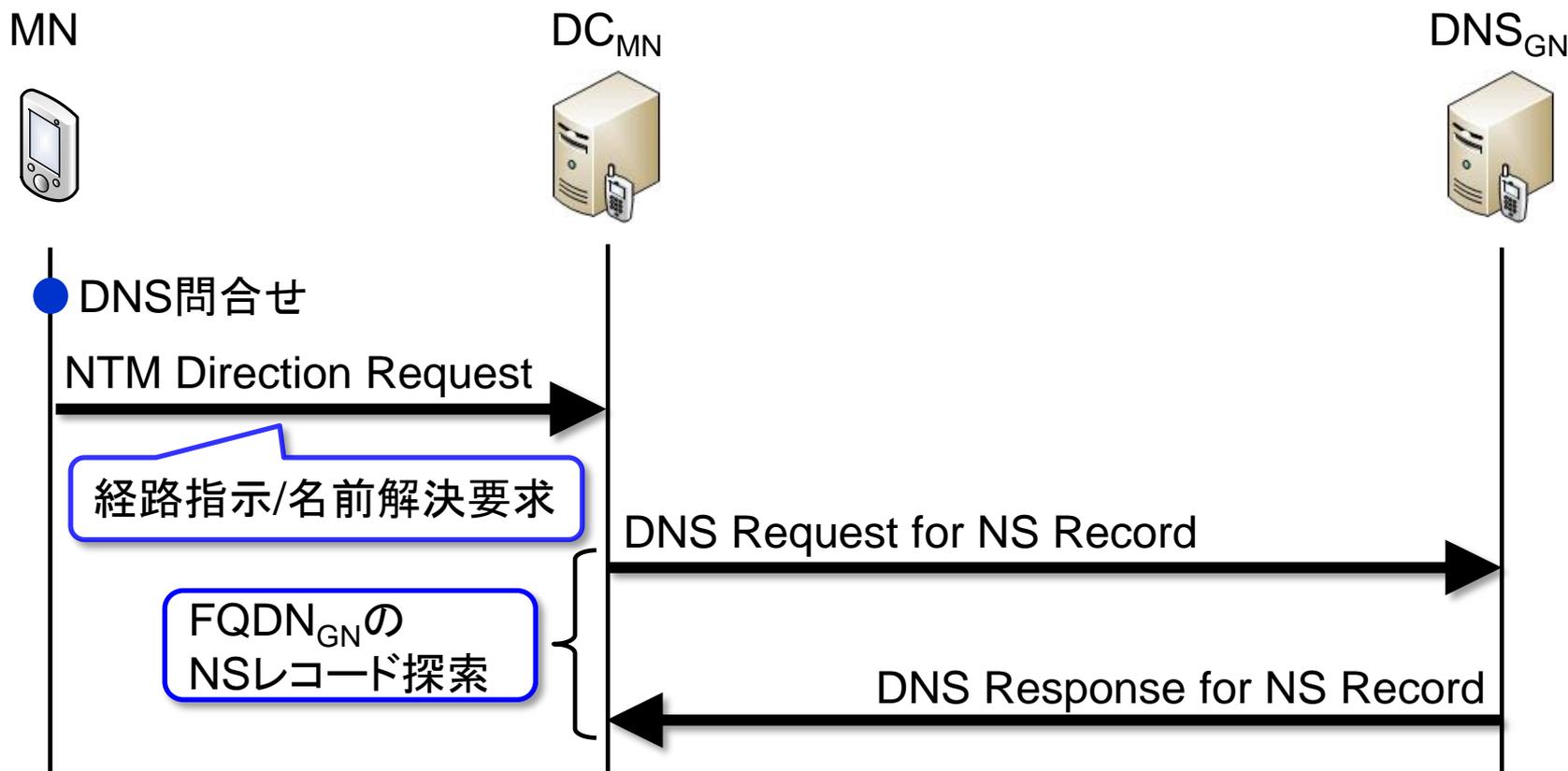


# トンネル構築シーケンス(直接通信)

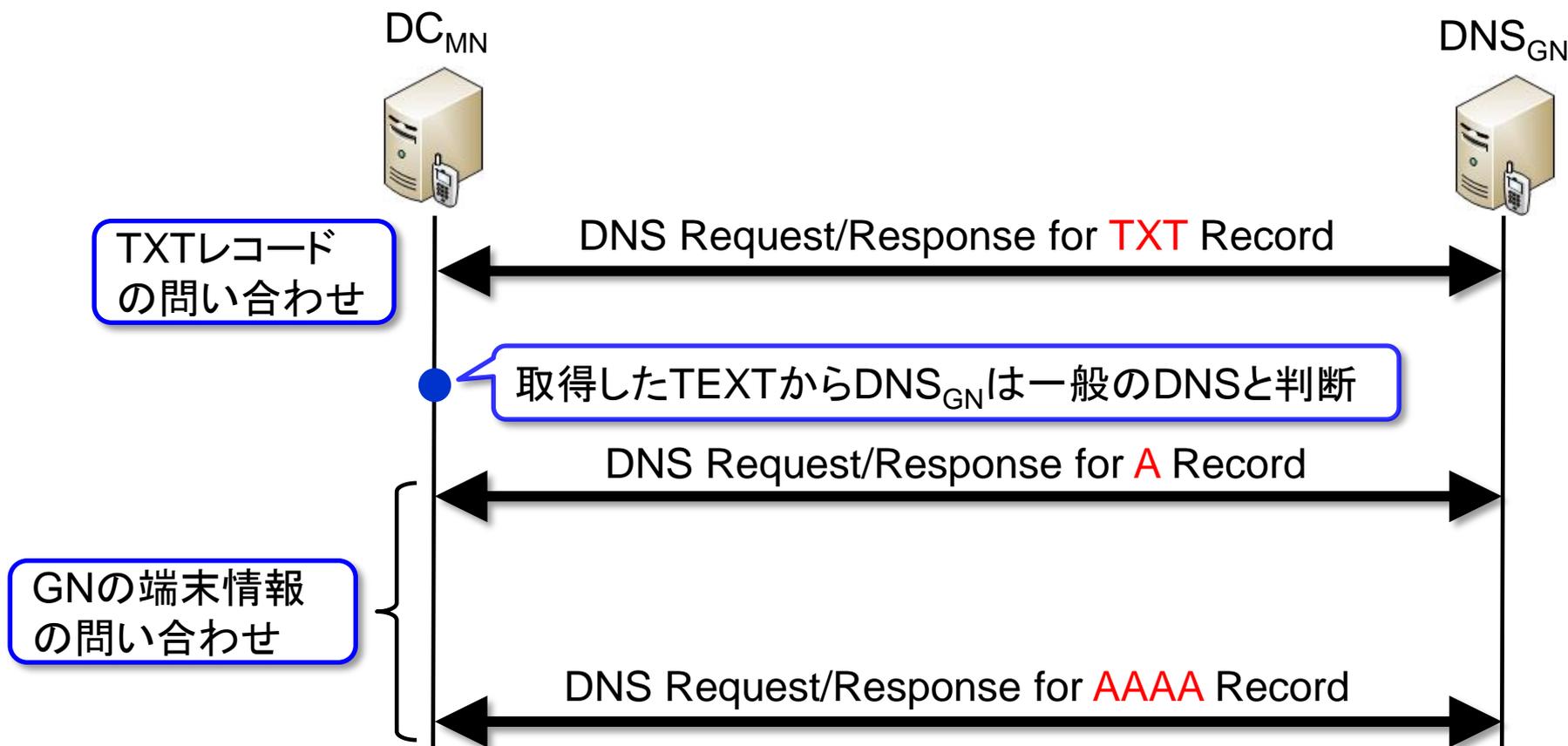


- DNS問合せをトリガーとして動作開始
  - MNが $DC_{MN}$ に経路指示と名前解決を要求
- NSレコードを利用して $DNS_{GN}$ を探索

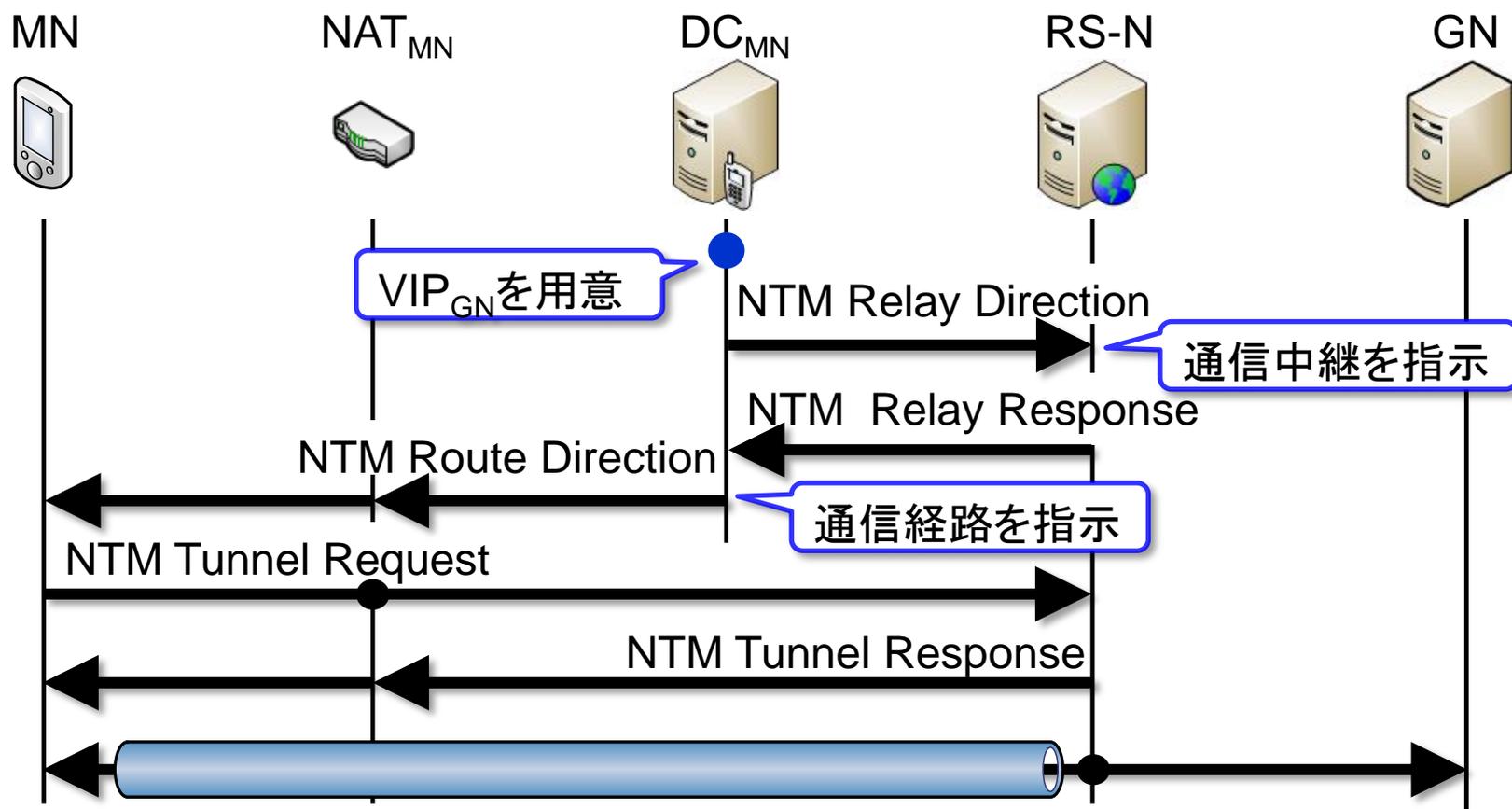
GN: 通信相手の一般端末  
 $DNS_{GN}$ : GNを管理するDNSサーバ



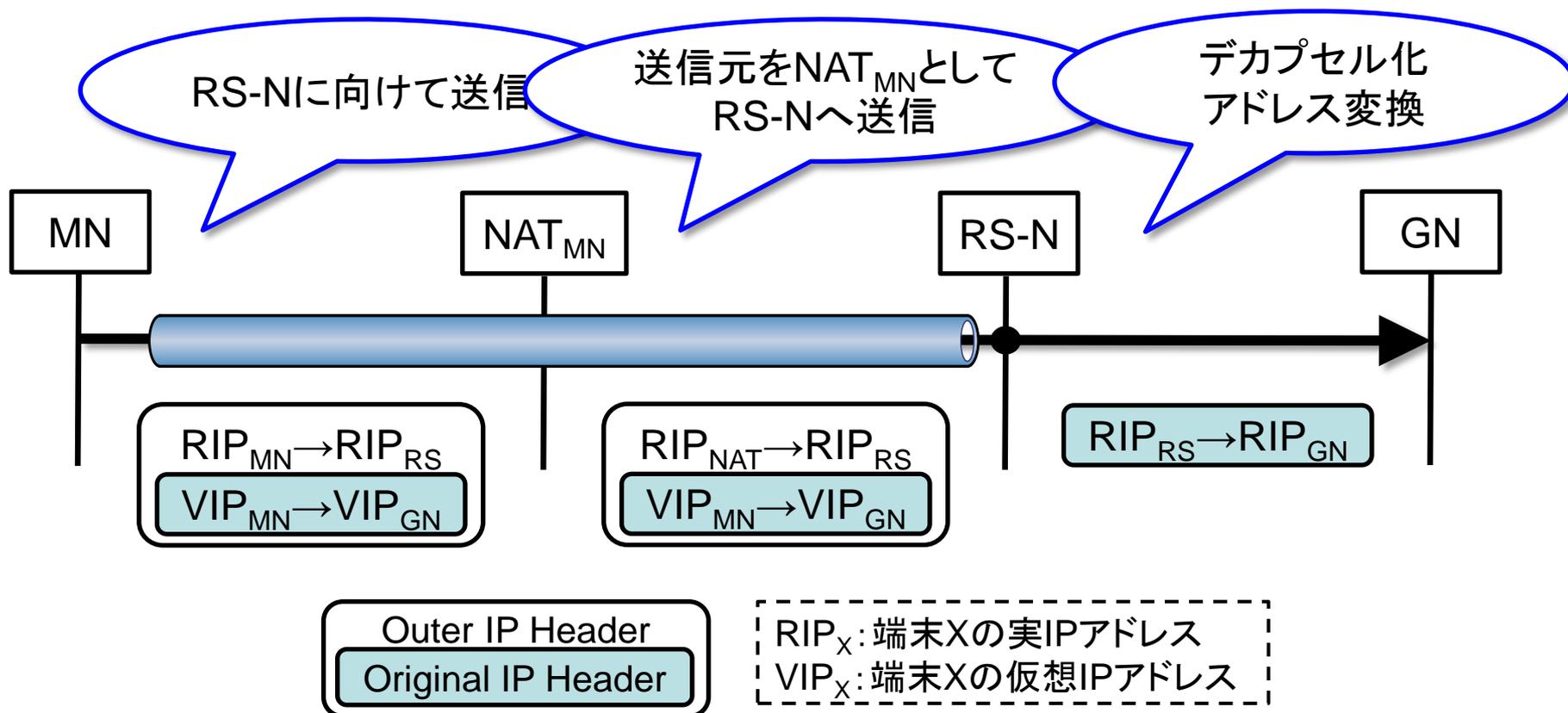
- 相手端末を管理するDNSがNTMobileに対応しているか判断
  - DCか一般のDNSサーバを判断
- 直接A/AAAAレコードの問合せ



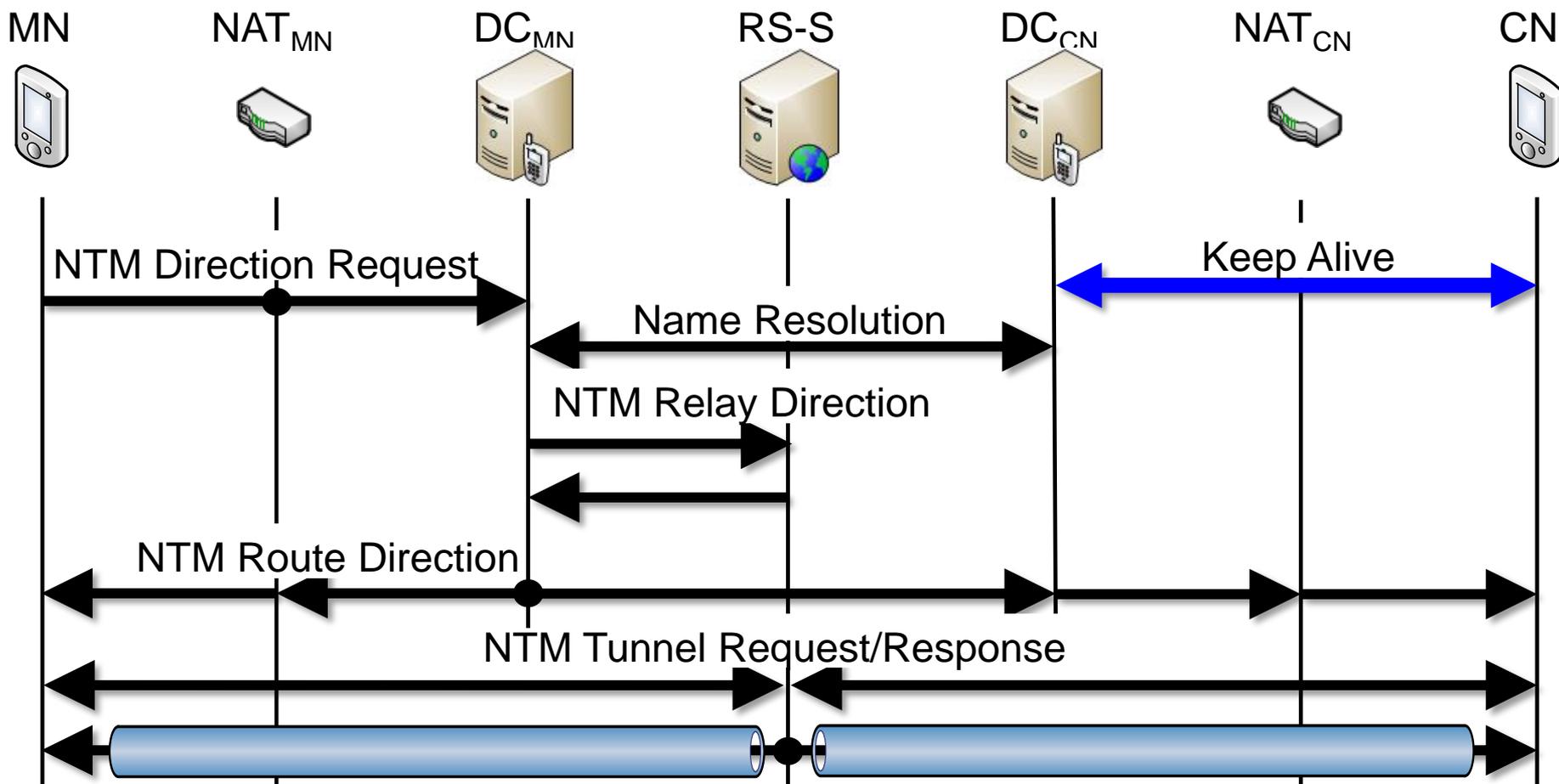
- 一般端末に対応する仮想IPアドレス( $VIP_{GN}$ )
  - DCに割り振られているアドレス空間の範囲から選択, MNとRS-Nに通知
  - MNは $VIP_{GN}$ を通信相手の仮想IPアドレスとして認識



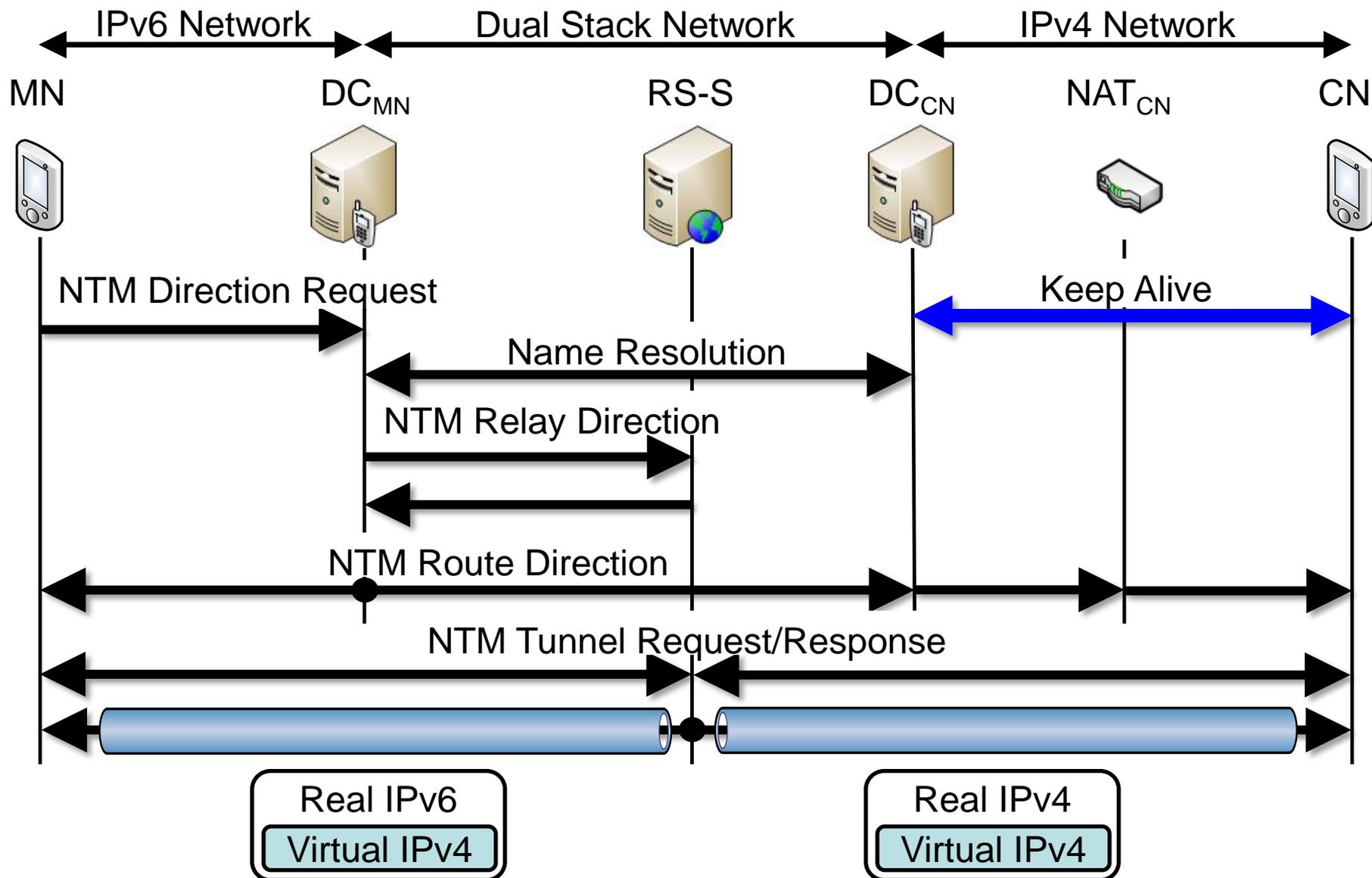
- MN~RS-N間, RS-N~GN間のパケットの様子
- RS-Nはパケットをカプセル化/デカプセル化+アドレス変換
  - GNは通信相手をRS-Nと認識



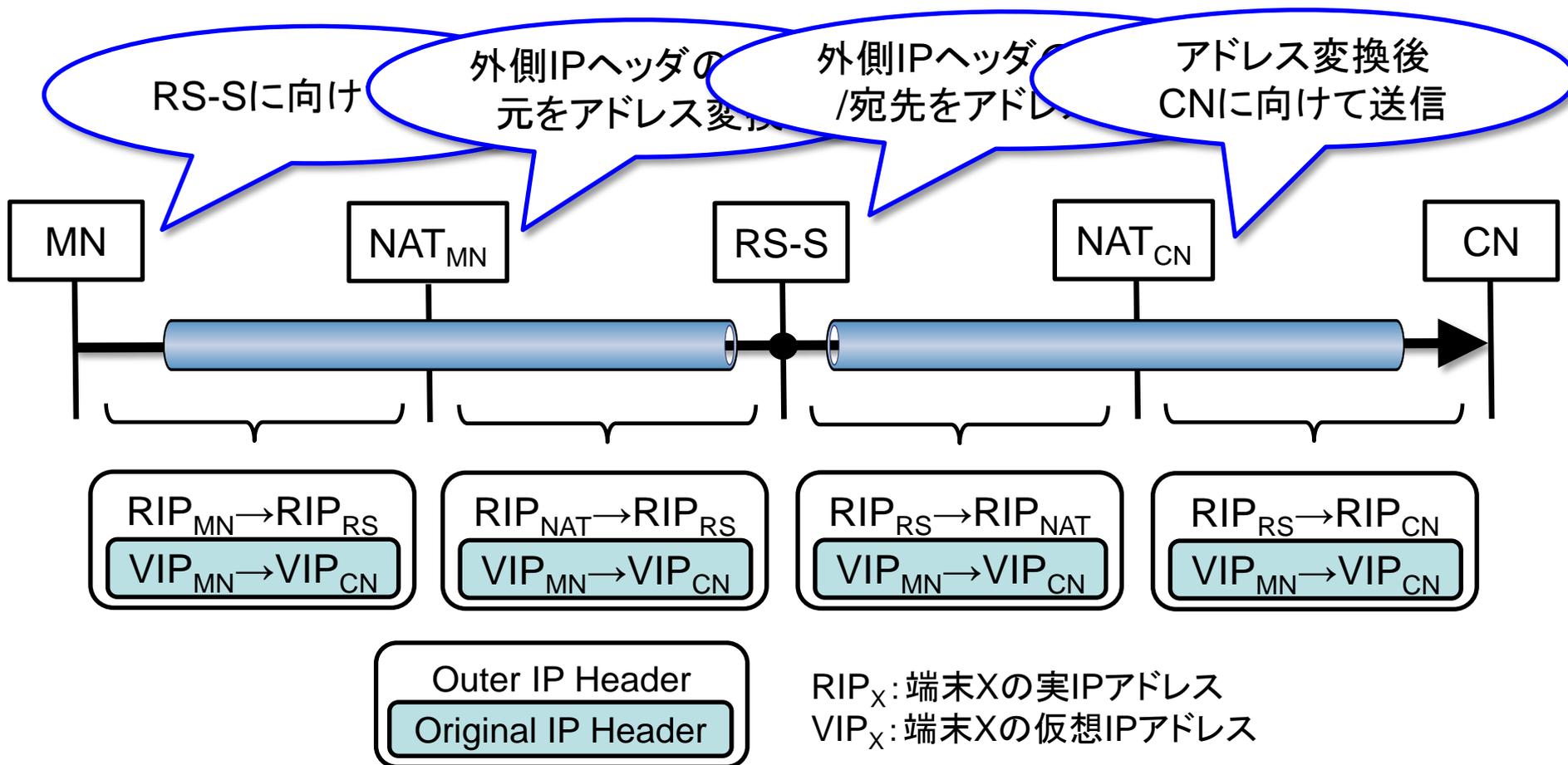
- $DC_{CN} \sim CN$ 間はKeep AliveでNATエントリを保持
- $MN \sim RS-S$ ,  $RS-S \sim CN$ 間でトンネルを構築



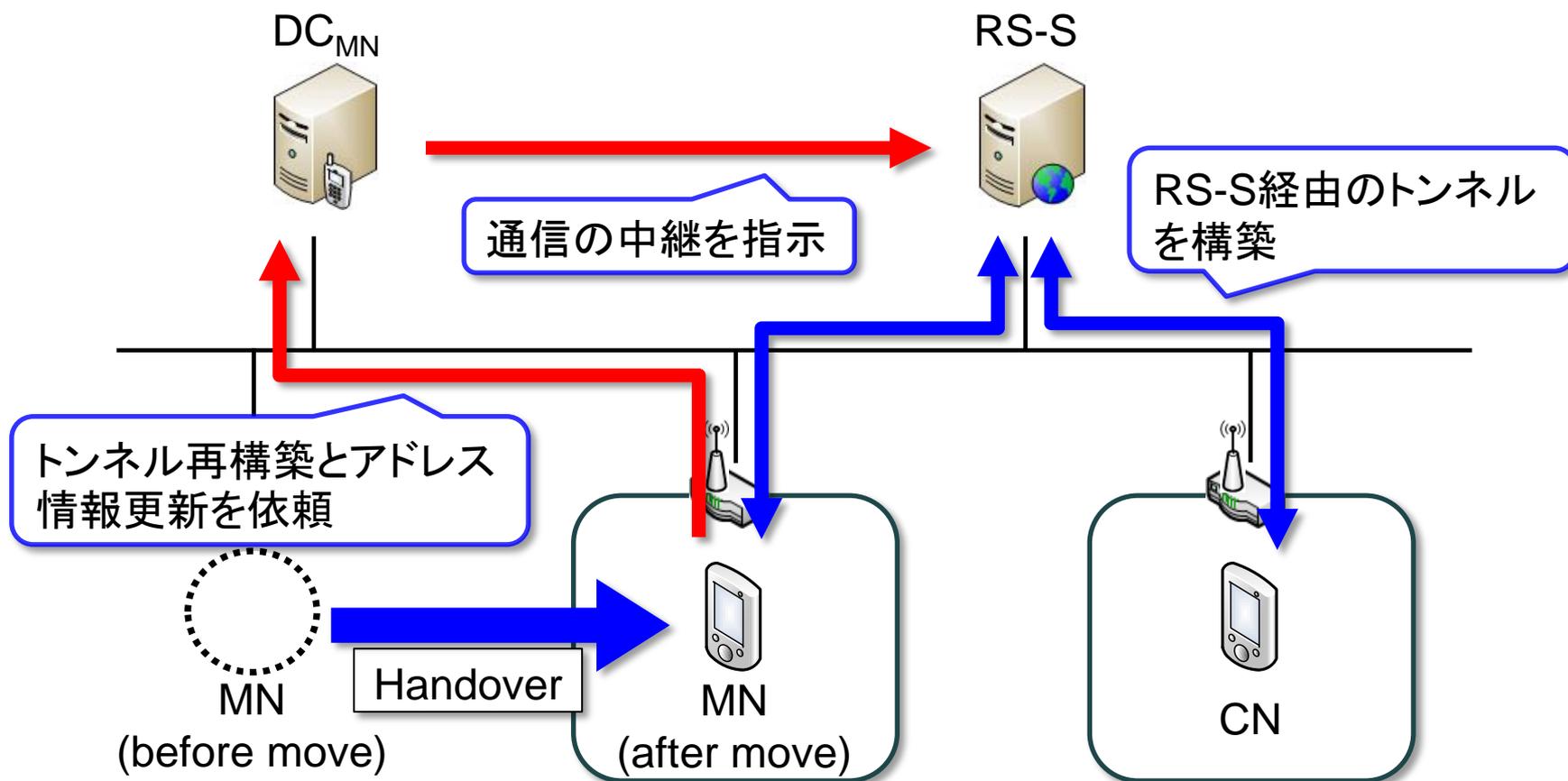
# トンネル構築シーケンス(IPv4/IPv6間)



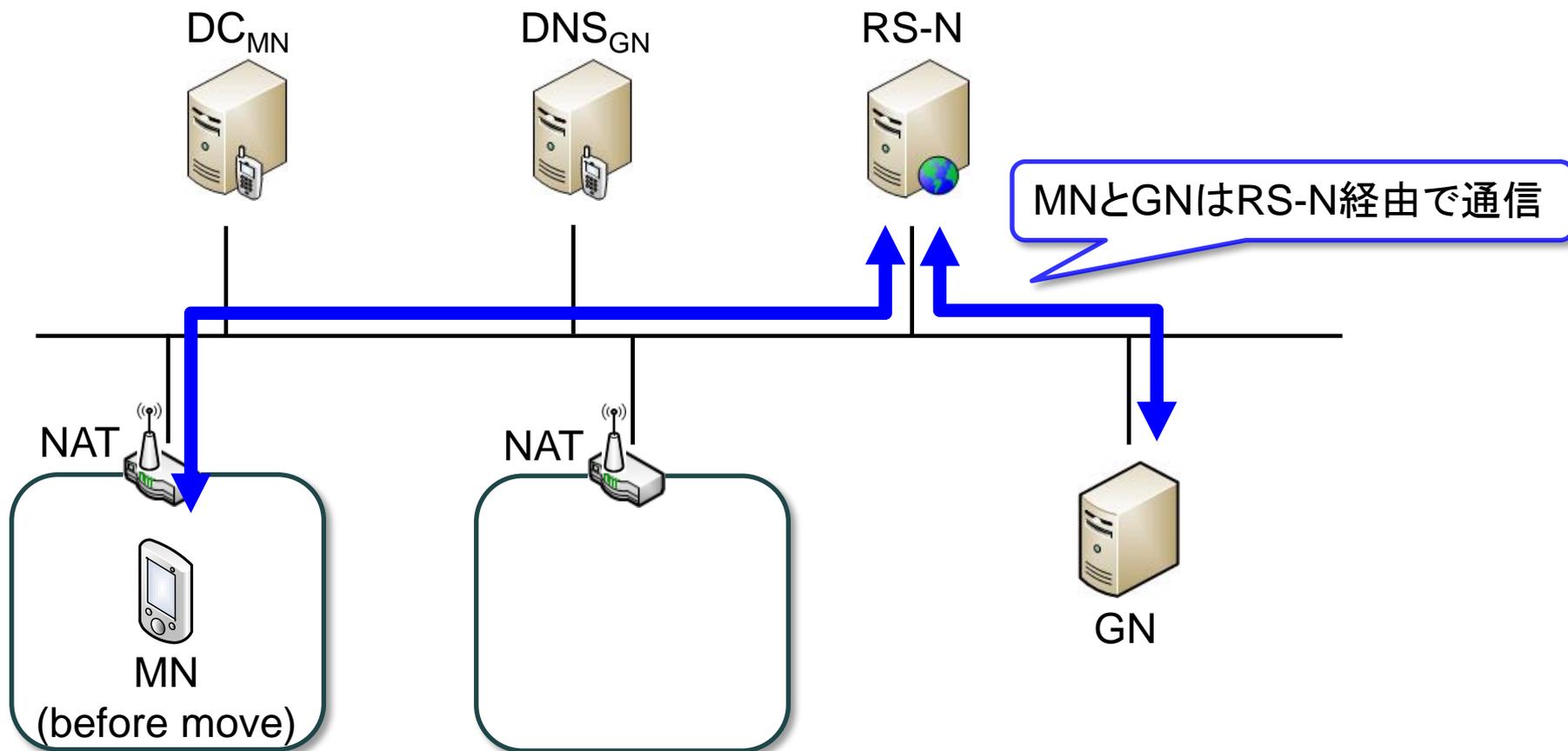
- MN~RS-S間, RS-S~CN間のパケットの様子
- RS-SはIPv4同士の通信の場合アドレス変換のみ



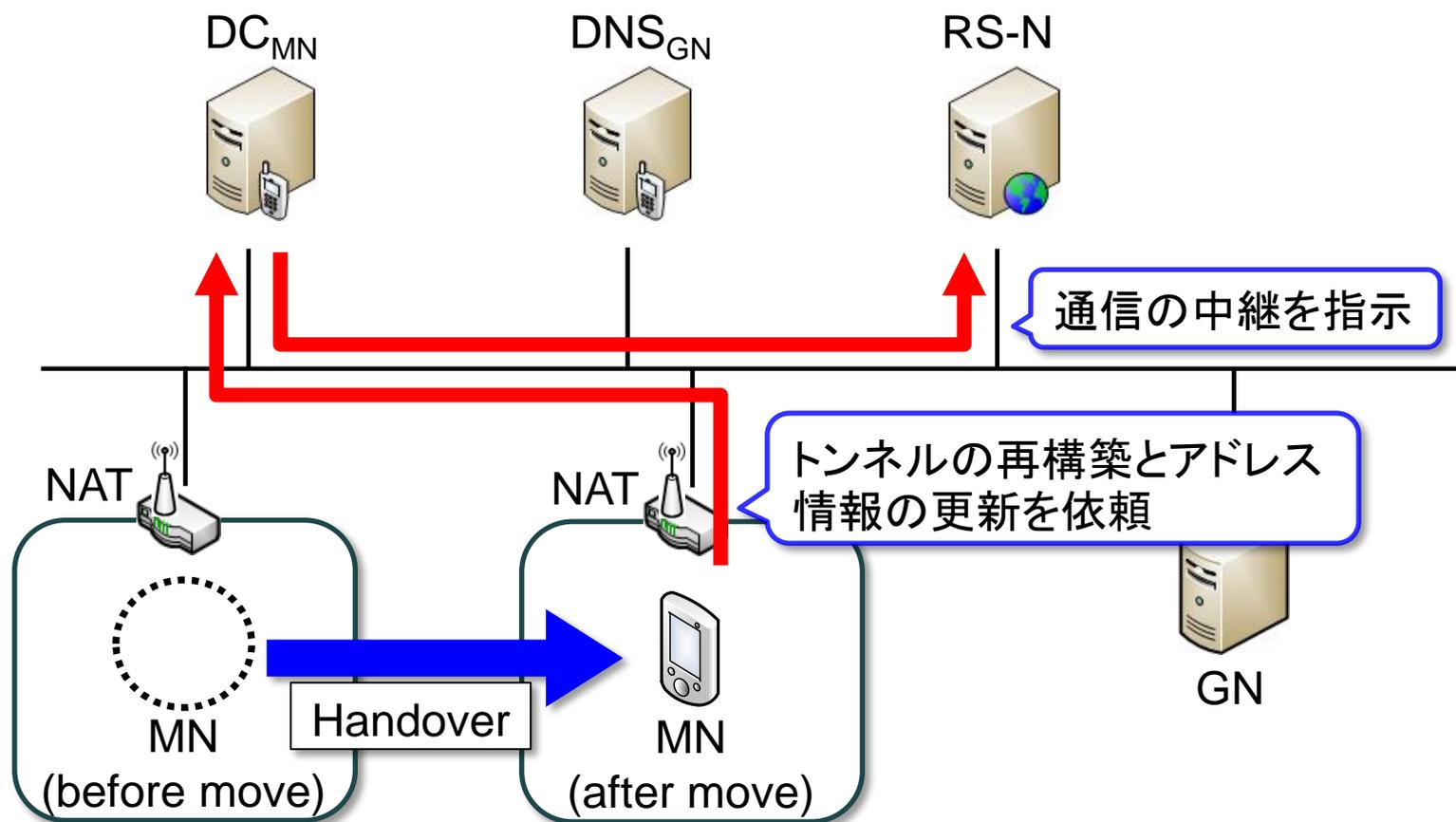
- エンドエンド通信中にMNがNAT配下にハンドオーバー
  - $DC_{MN}$ に対してアドレス情報更新とトンネル再構築を依頼
- MN~RS-S, RS-S~CN間でトンネル構築



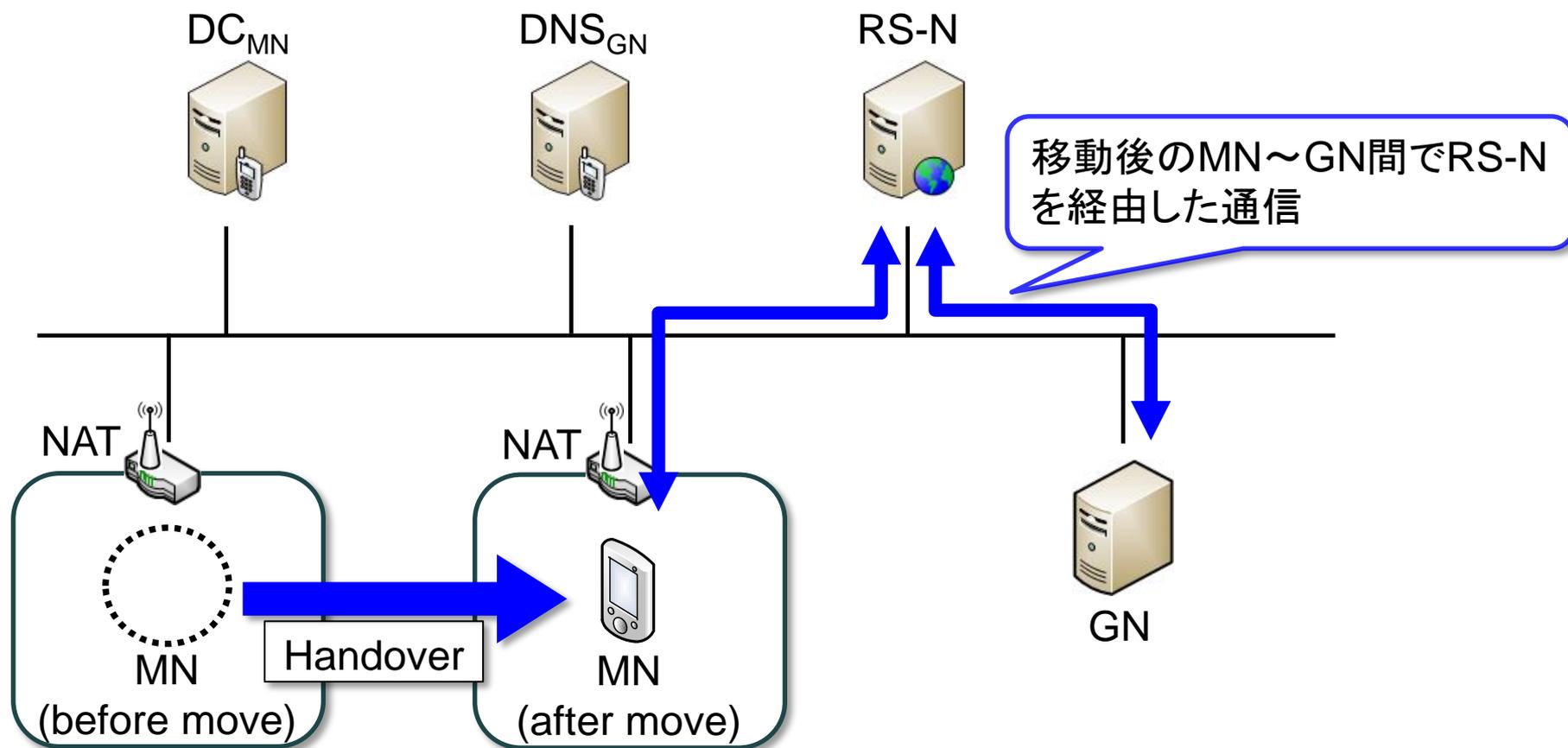
- MNが異なるNAT配下にハンドオーバー
  - $DC_{MN}$ に対してアドレス情報更新とトンネル再構築を依頼
- MN~RS-N間でトンネル再構築



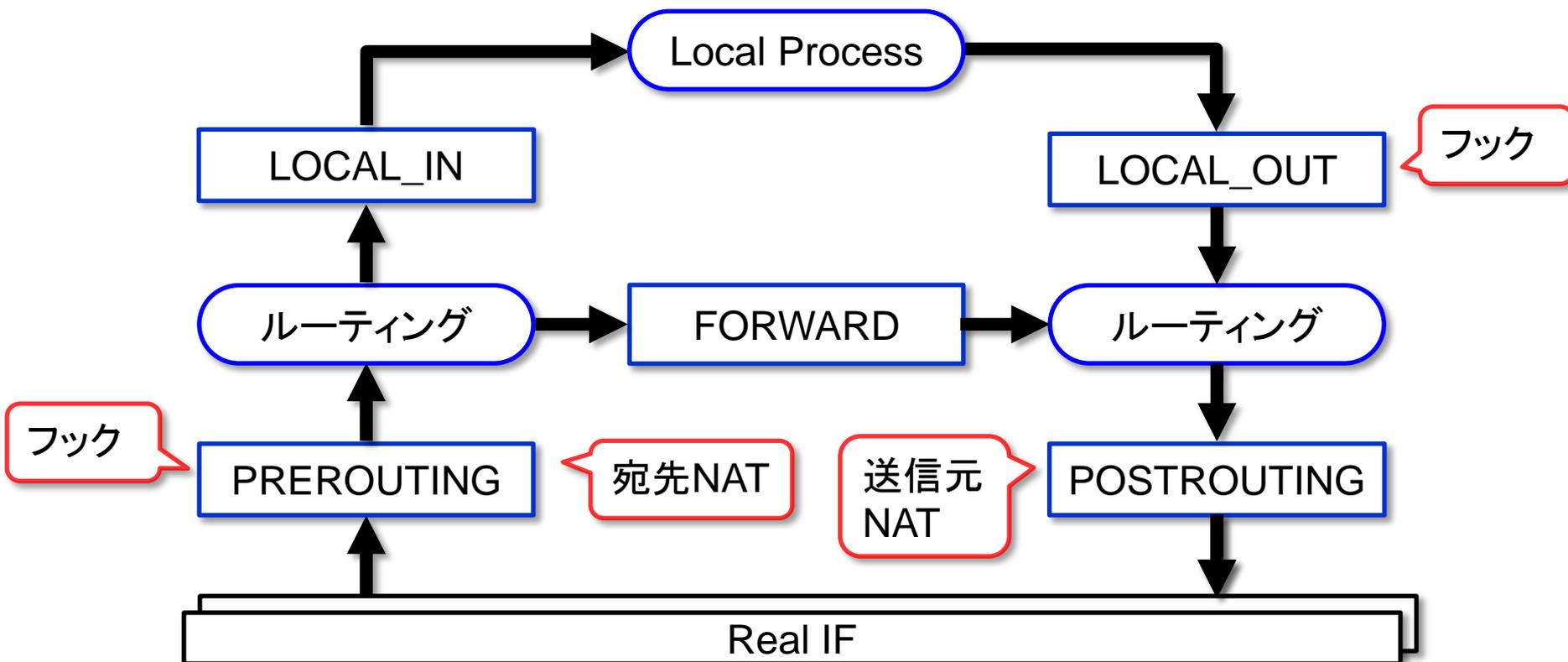
- MNが異なるNAT配下にハンドオーバー
  - $DC_{MN}$ に対してアドレス情報更新とトンネル再構築を依頼
- MN~RS-N間でトンネル再構築



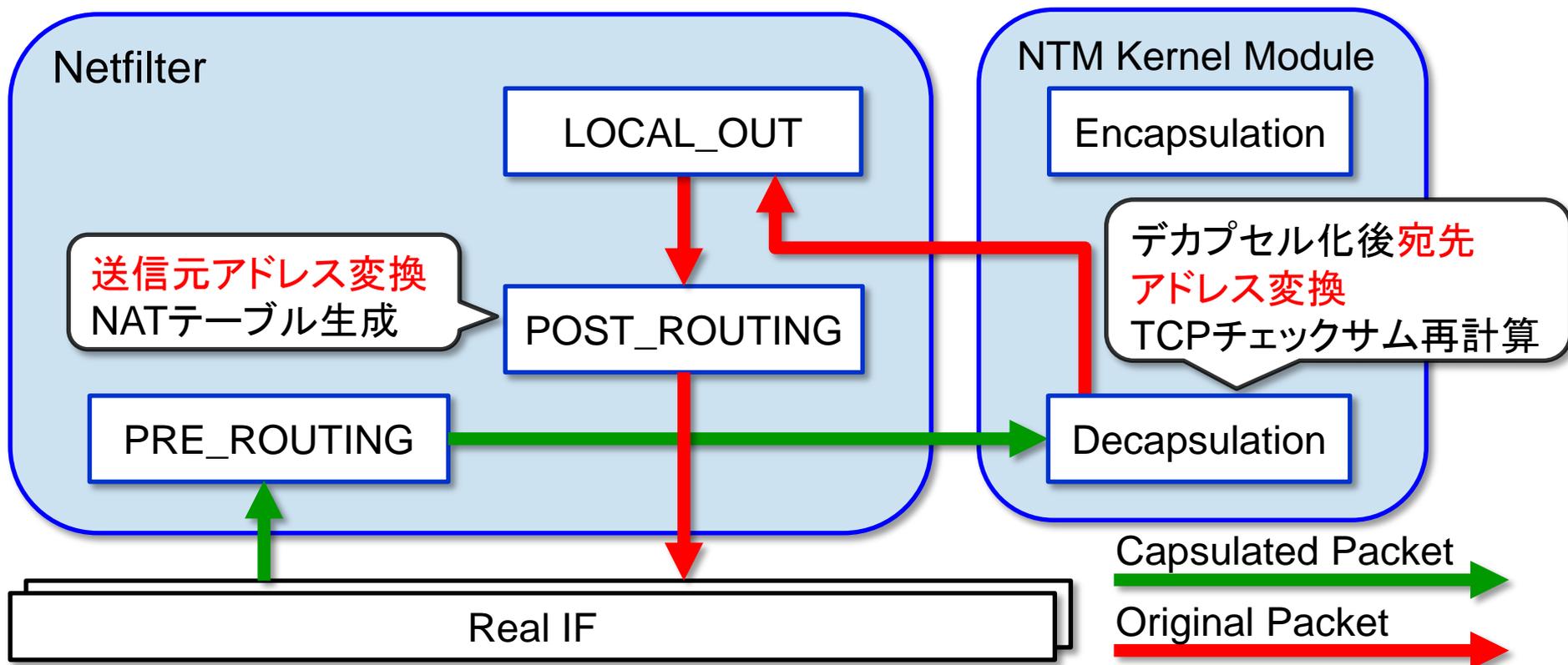
- MNが異なるNAT配下にハンドオーバー
  - $DC_{MN}$ に対してアドレス情報更新とトンネル再構築を依頼
- MN~RS-N間でトンネル再構築



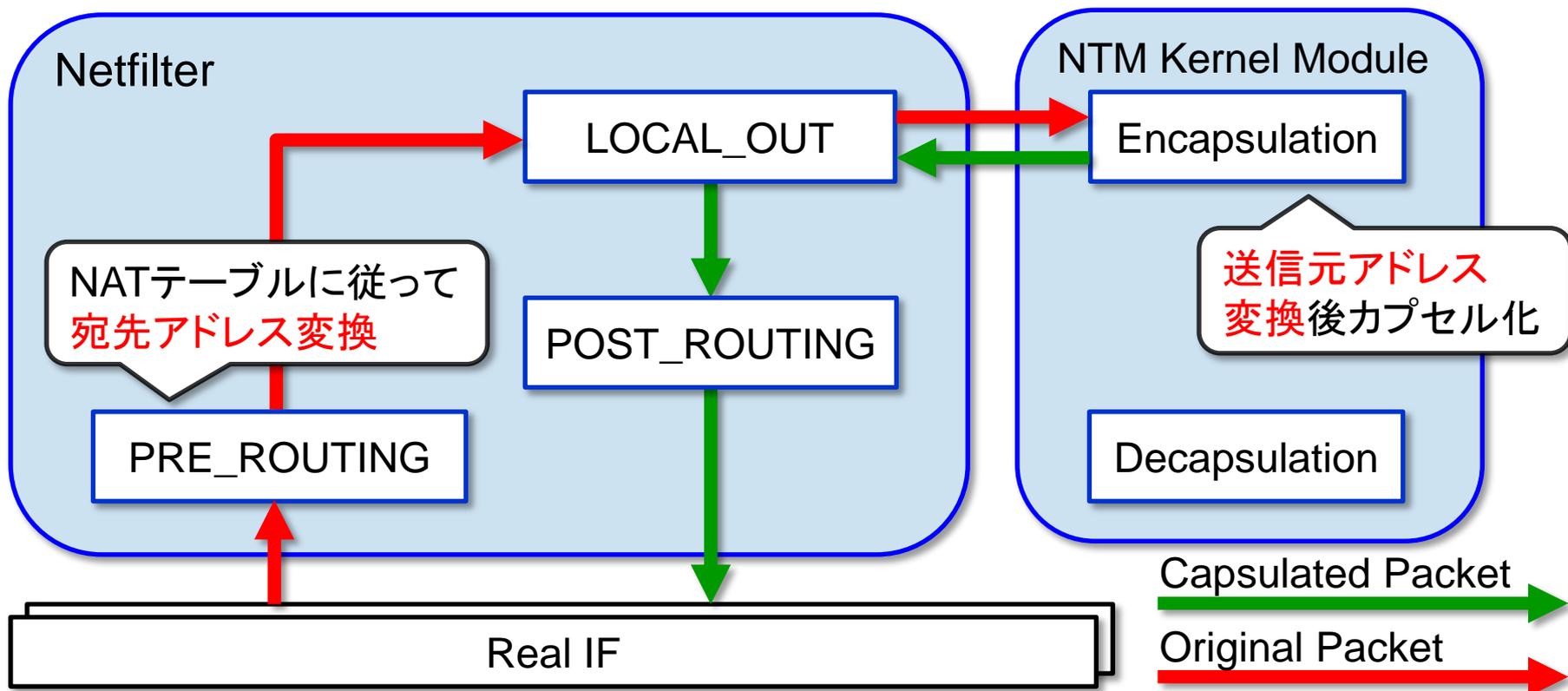
- 複数のチェーンで構成
  - チェイン: パケットを操作するルールの一覧
  - 各チェーンでルールにマッチするか調べ、次のチェーンへ渡す
  - **PREROUTING**と**LOCAL\_OUT**でフックし、NTMobileの処理を行う



- 宛先アドレス変換時にTCPチェックサムを再計算
  - Netfilterのチェックサム再計算時に宛先NATが考慮されていないため
- POST\_ROUTINGにアドレス変換のルールを設定
  - 送信元が仮想IPアドレスのパケットを送信元NAT



- 送信時に作られたNATテーブルに従ってDNAT
- LOCAL\_OUTで宛先が仮想IPアドレスであるとフック
  - 送信元NATしてカプセル化した後LOCAL\_OUTに戻す



- LIN6(Location Independent Networking for IPv6)
  - IPv6アドレスをノード識別子と位置指示子の2種類に分離
  - ノード識別子とIPアドレスの対応を位置管理装置で管理
  - 課題点
    - アドレス空間が半分になるためアドレス利用効率が低下
    - アドレス空間不足であるためIPv4に適用が困難
- MAT(Mobile Support Architecture for Technologies)
  - ノード識別子と位置指示子の2つのアドレスを定義
  - 両者の対応関係を管理装置で管理し、両者の間でアドレス変換
  - 課題点
    - NATを跨る移動を想定していないため適用範囲が狭い

	MIPv4	MIPv6	DSMIP	LIN6	MAT	UPMT	NTM
特殊な装置の存在	○	○	○	○	○	○	○
中継装置の分散配置	○	○	×	△ <sup>*1</sup>	-	△ <sup>*2</sup>	○
一般端末との通信	○	○	○	○	△ <sup>*3</sup>	○	○
NAT越え	○	-	○	-	×	○	○
IPv4/IPv6混在対応	×	×	○	×	×	×	○
経路最適化	×	○	△ <sup>*4</sup>	-	-	○	○

\*1: MAをプロキシとして拡張した場合の分散配置は不明

\*2: 予定なのか実現できているかどうかは不明

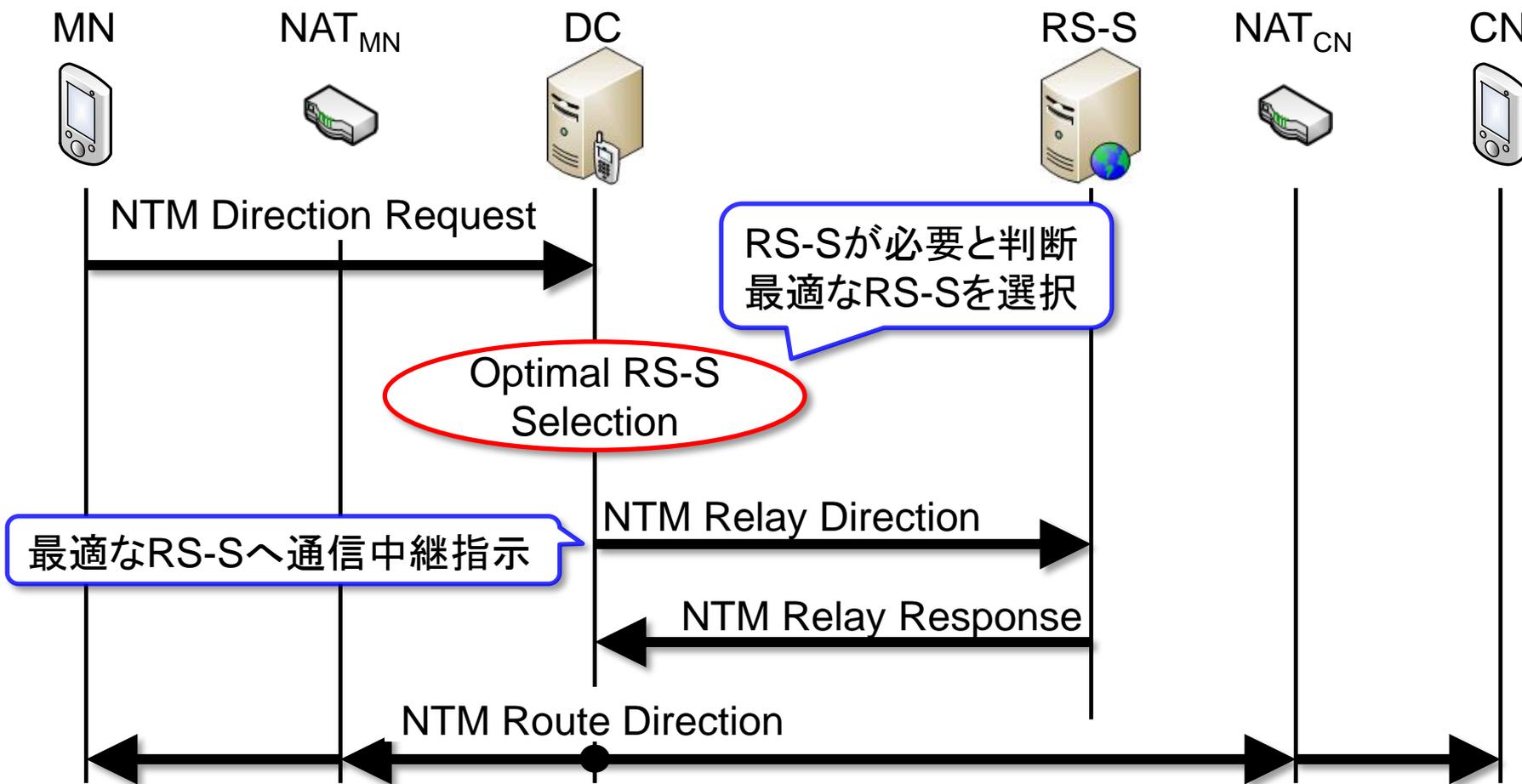
\*3: モバイルルータを導入する必要がある

\*4: IPv4環境では不可

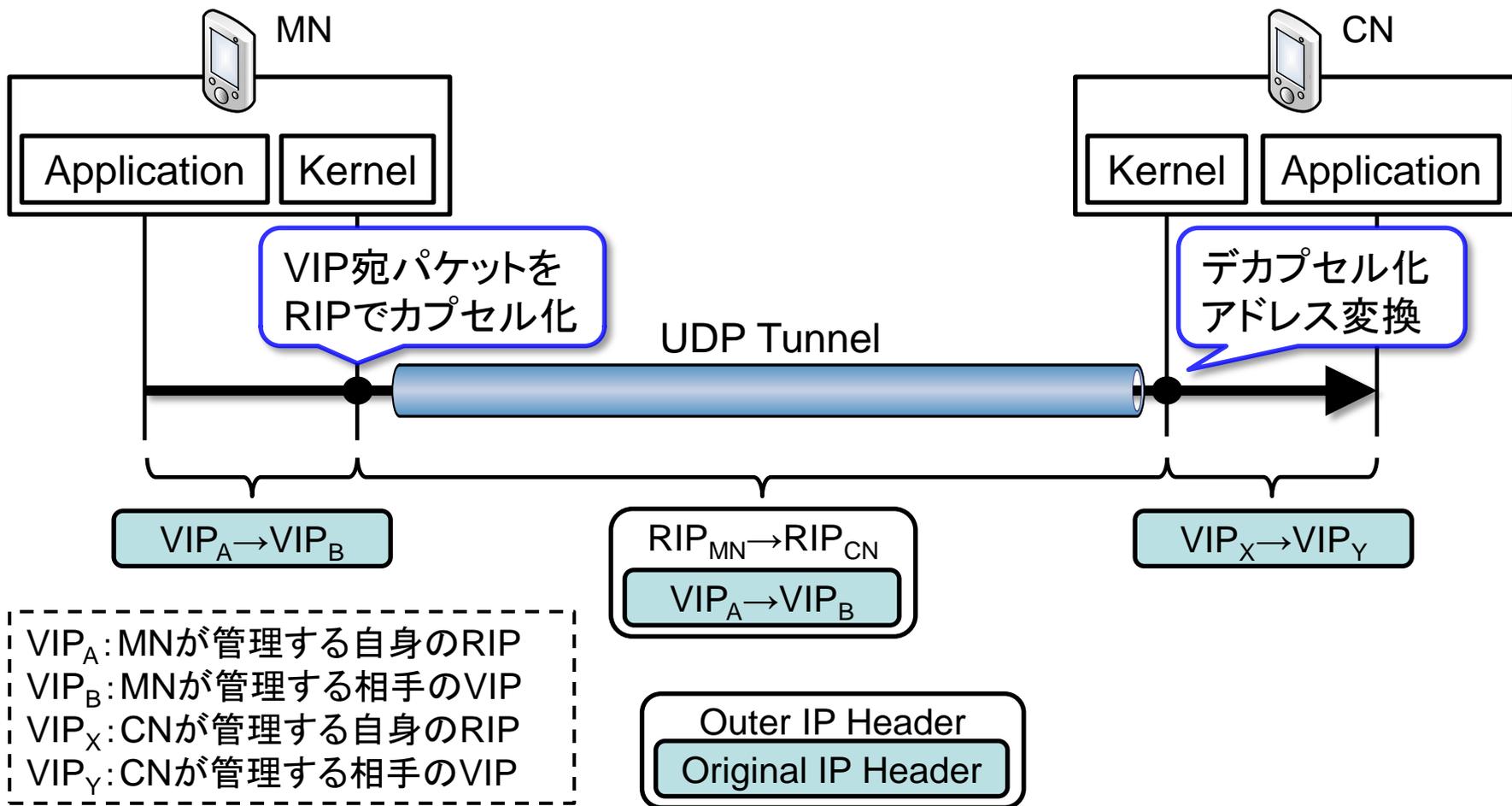
- RSが転送に必要な情報を保持するテーブル
- RS-Nを利用する場合のRelay Tableのエントリ一覧
  - NTM端末が一般端末と通信を行う場合

属性名	登録タイミング	内容	備考
Path ID	Relay Direction	$PID_{MN-CN}$	端末間の経路を示すPath ID
Temp Key	Relay Direction	$Key_{MN-RS}$	トンネル構築用一時鍵(MN-RS間)
Virtual IP(MN)	Relay Direction	$VIP_{MN}$	MNの仮想IPアドレス
Real IP(GN)	Relay Direction	$RIP_{GN}$	一般端末の実IPアドレス
Virtual IP(GN)	Relay Direction	$VIP_{GN}$	一般端末に対応する仮想IPアドレス
Common Key	Tunnel Request	$KEY_{MN-RS}$	トンネル通信用共通鍵(MN-RS間)
Tunnel IP	Tunnel Request	$RIP_{NAT\_MN}$	配下ノードに到達するIPアドレス
Tunnel Port	Tunnel Request	$Port_{NAT\_MN}$	配下ノードに到達するポート番号

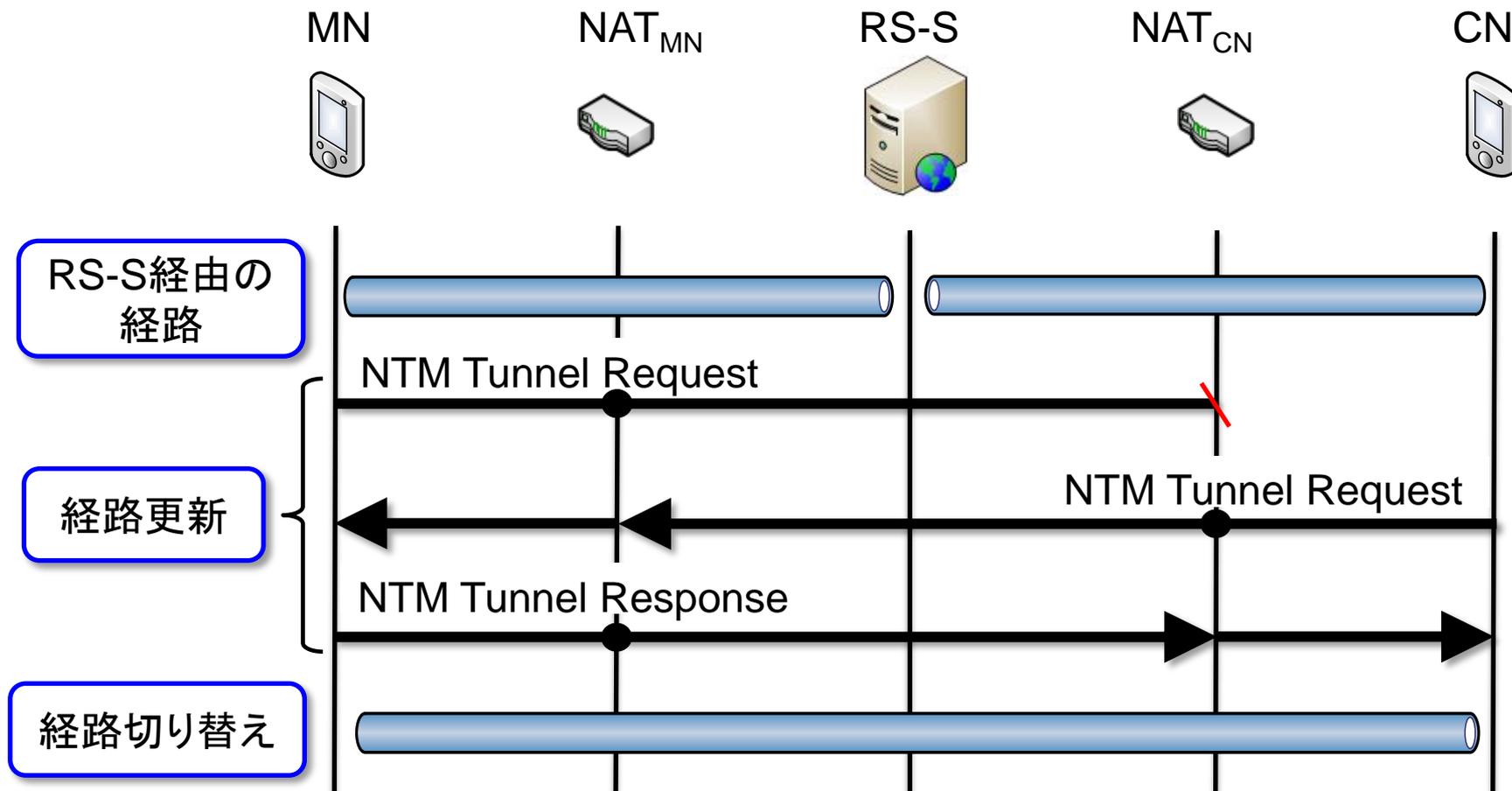
- MN~RS間のホップ数を調査, ホップ数が最小となるRSを選択
- 端末情報登録処理と平行してホップ数調査を行う



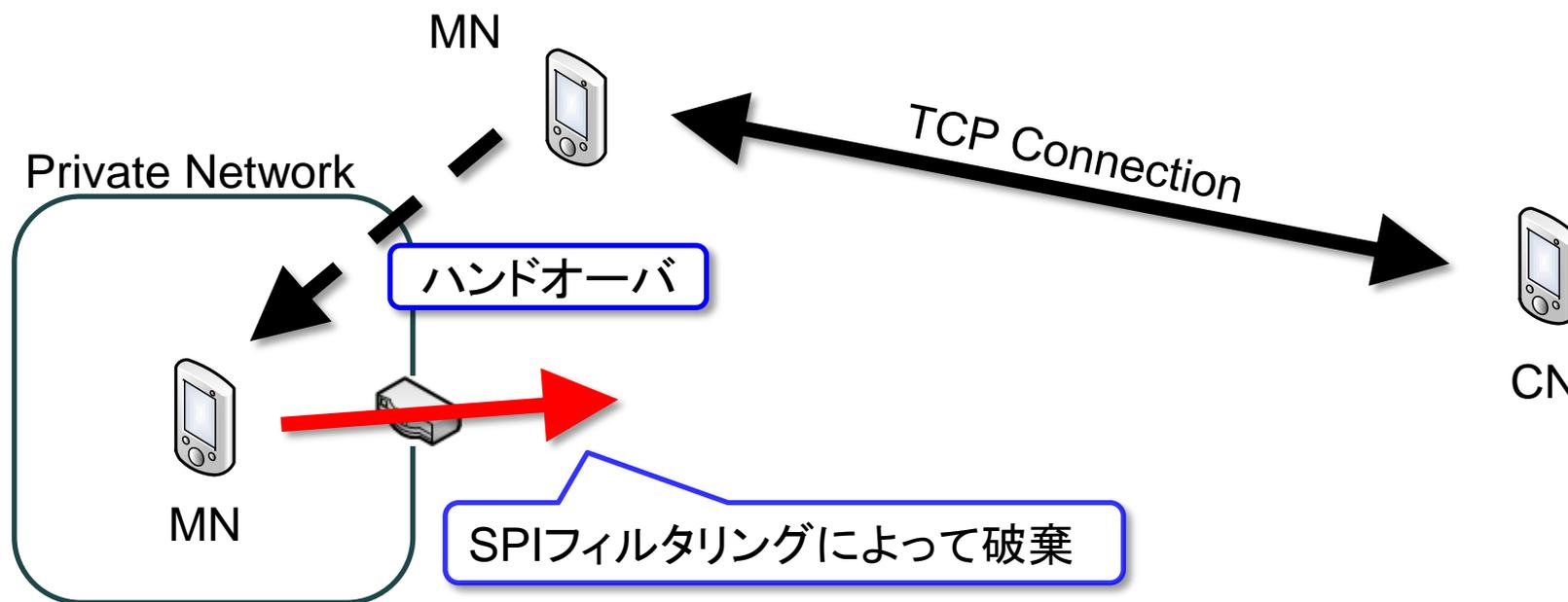
- MN/CNはVIPを自律的に生成, 自身と相手のVIPとして認識
- CNは端末間の経路を示すPathIDをキーにVIPを検索



- 冗長な経路から最短経路に経路を最適化する
- MNとCNがパケットを投げ合う



- パケットフィルタリング技術
- 多くのNATルータに実装されている
- TCP通信の場合, シーケンス番号などの整合性によってパケットが破棄される可能性がある



- アドレス変換型RS(RS-N: Relay Server type NAT)
  - 通信相手端末がGNで, MNが移動しながら通信をしたい場合に利用
- MN~RS-N間でトンネルを構築
  - MN~GN間の通信はRS-Nを経由
  - MNが移動した場合はMN~RS-N間のトンネルを再構築
  - GNは通信相手をRS-Nと認識することで通信を継続できる

