NTMobileの開発
-NAT Traversal with Mobile-

インターネットの課題と現状
提案の概要
2010.9.24

名城大学
渡邊

研究背景

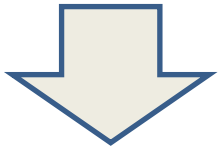
ネットワークのあるべき姿は、自由な通信＋セキュリティ
IPv4には、様々な通信の制約がある
- NAT越え問題
- 移動透過性
- エンドエンドのセキュリティ

IPv6への移行が、思ったように進んでいない

IPv6は普及するのか

Watanabe Lab.

- IPv4が広く普及済みである
- IPv4とIPv6の互換性がない
- IPv6でなければいけないアプリケーションが今のところ存在しない
- IPv4で動作していたアプリケーションがIPv6で動かないことがある
- 2011年にIANAの持つIPv4グローバルアドレスが枯渇する
  - →末端のISPへの影響が出るのは2014年ごろ
  - →アドレス枯渇後の新規ユーザはIPv6アドレスしか取得できなくなる



- IPv6はやむを得ず徐々に導入されていく。
- 旧来のユーザはIPv4のまま残る（積極的に移行する理由がない）
  - ーIPv4で蓄積したノーハウがある
  - ーNATにもよい点がある（アドレスの隠蔽）
- IPv4/v6混在環境が今後長く続く

研究の目的

IPv4における通信の制約を除去する
　NAT越え問題の解決
　通信中の自由な移動
そのうえで、エンドエンドのセキュリティを確保する

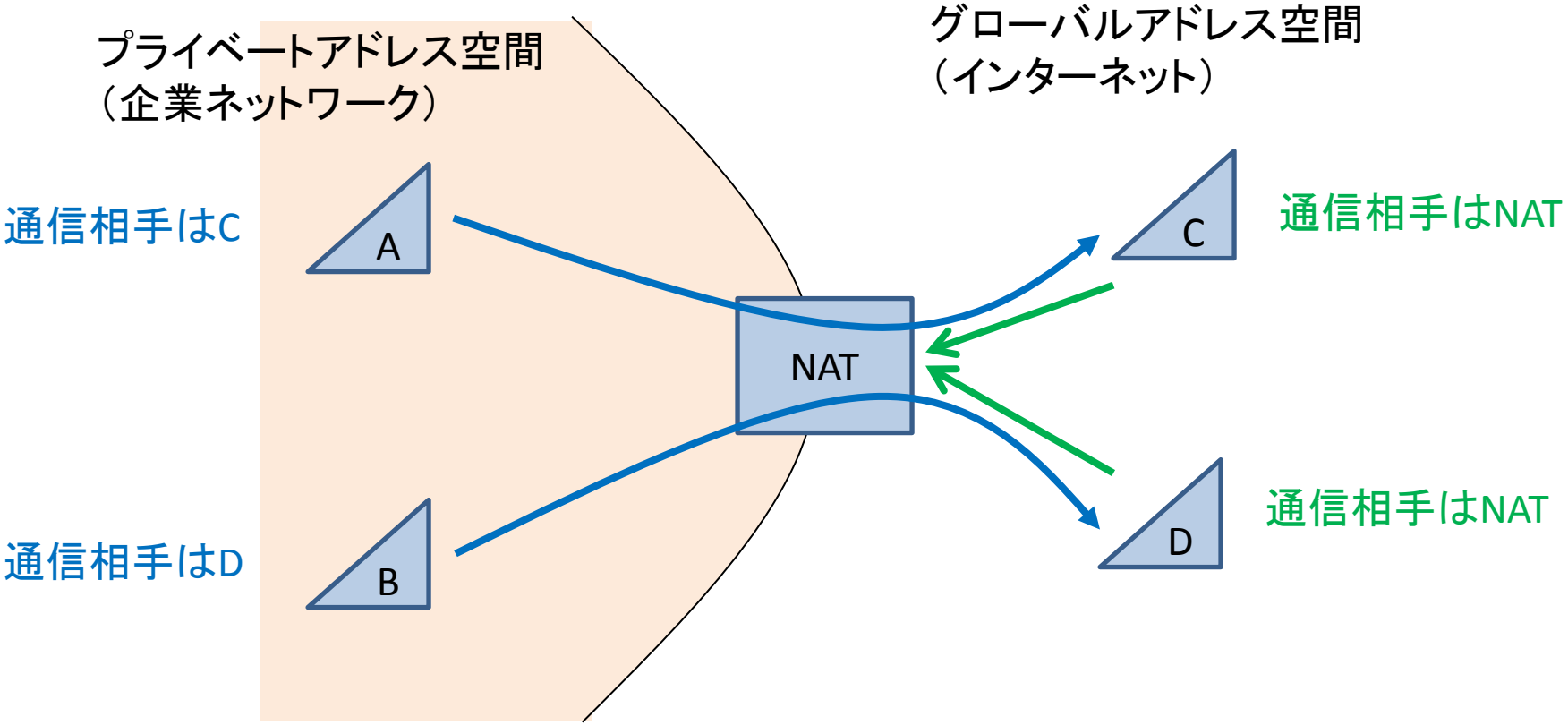
条件：

・現状のネットワーク環境を変えない（ルータ/NATはそのまま）
・スケーラビリティがある
・一般端末との混在が可能　→　段階的な普及
・IPv6との共存に向けた発展性がある
・性能が劣化しない

IPv4の最大の課題：NAT越え問題

Watanabe Lab.

インターネット側（NATの外側）からの通信開始ができない



IPv6になればNATは不要になるという考え
→　NAT越えに関する研究は少ない（特に国内では）

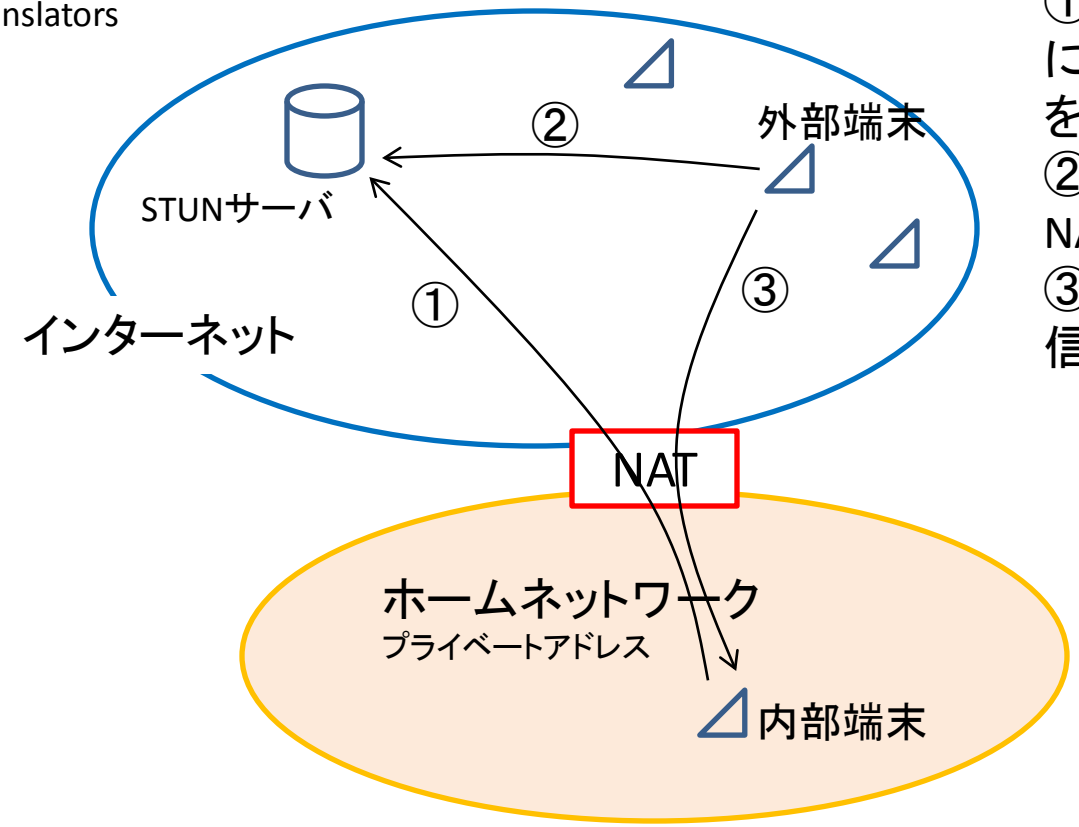
NAT越え技術の例とその課題

既存技術

Watanabe Lab.

STUN (RFC3489)

Simple Traversal of User Datagram Protocol [UDP] through Network Address Translators



①内部端末からSTUNサーバにアクセスしてNATテーブルを生成する
②外部装置がSTUNサーバにNATの情報を問い合わせる
③NATテーブルに合わせて送信する

課題：
- Cone型NATにしか使えない（世の中の7割がCone型NAT）
- TCPが考慮されていない
- 端末の移動が考慮されていない

IPv4の課題2：移動透過性

インターネットでは通信中に移動するのが難しい

・IPアドレスは端末を識別するとともに場所に依存した情報である

移動するとIPアドレスが変わる　→　移動すると通信を継続できない

NATによりアドレス変換される　→　NATを跨る移動はさらに難しい

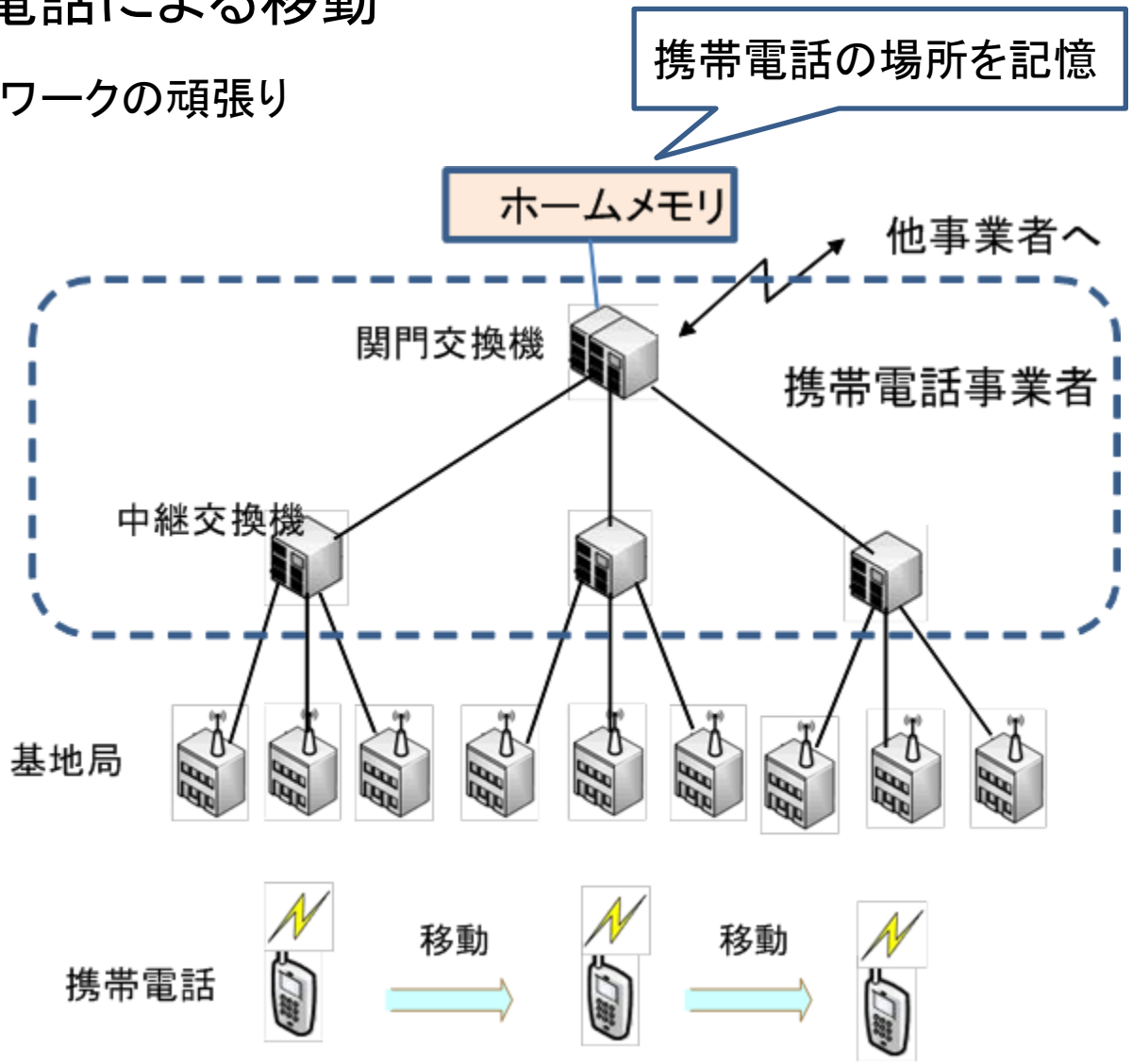
移動透過性に必要となる技術：

・パケットを正しくルーティングできる

・上位ソフトウエアはIPアドレスの変化に気付かない

携帯電話による移動

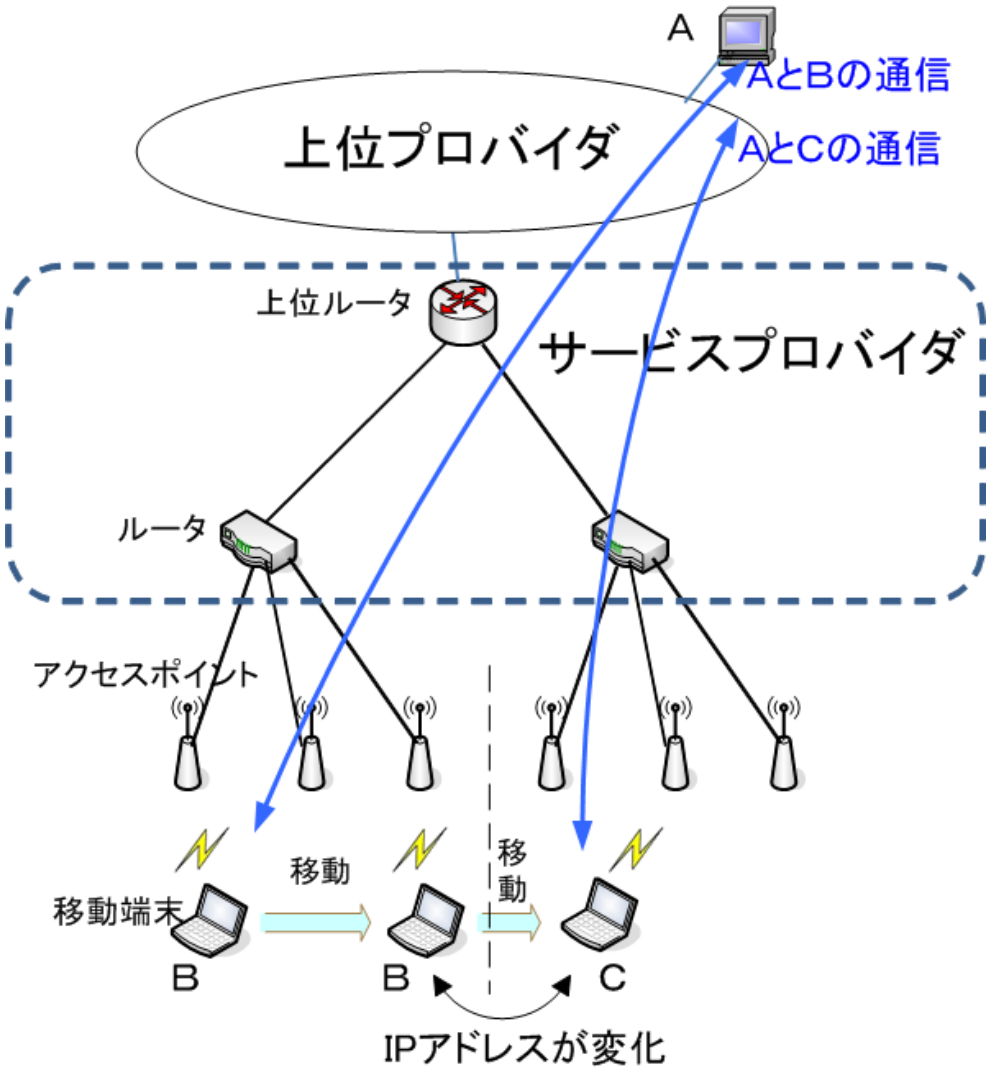
ネットワークの頑張り



移動しても端末のIPアドレスが変わらないようにネットワーク側が頑張る

一方、インターネットでは

ネットワークは何もしてくれない



IPアドレス/ポート番号は通信の識別子

↓

アドレスが異なると違う通信とみなされる

移動透過性に係る研究は将来のIPv6普及を見越して、IPv6に関するものがほとんど（国内、国外とも）

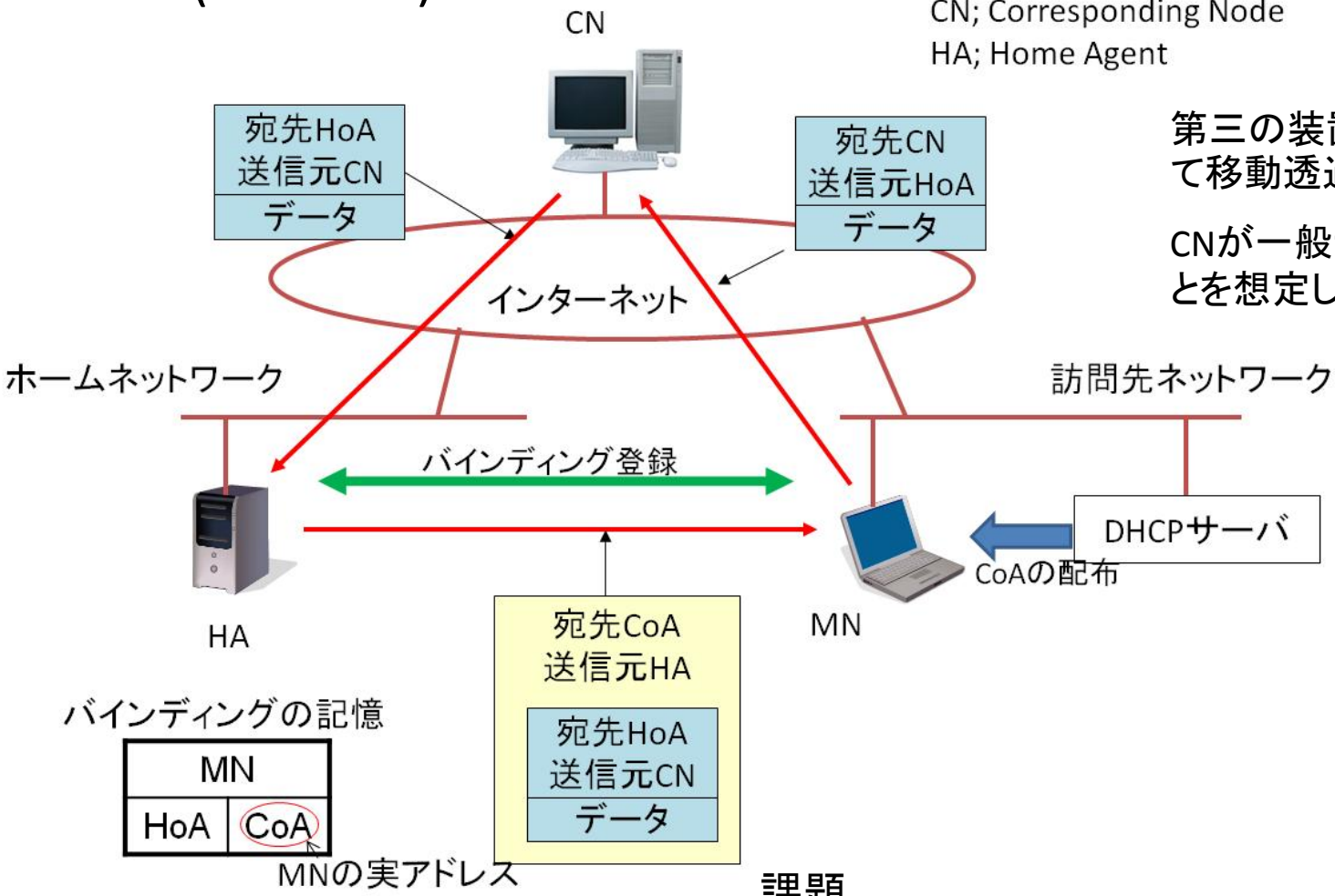
IPv4を想定した既存技術

既存技術

Watanabe Lab.

Mobile IP (RFC2002)

MN; Mobile Node
CN; Corresponding Node
HA; Home Agent



第三の装置の助けを借りて移動透過性を実現

CNが一般サーバであることを想定した技術

課題

・不自然な経路→不正パケットとして廃棄される可能性

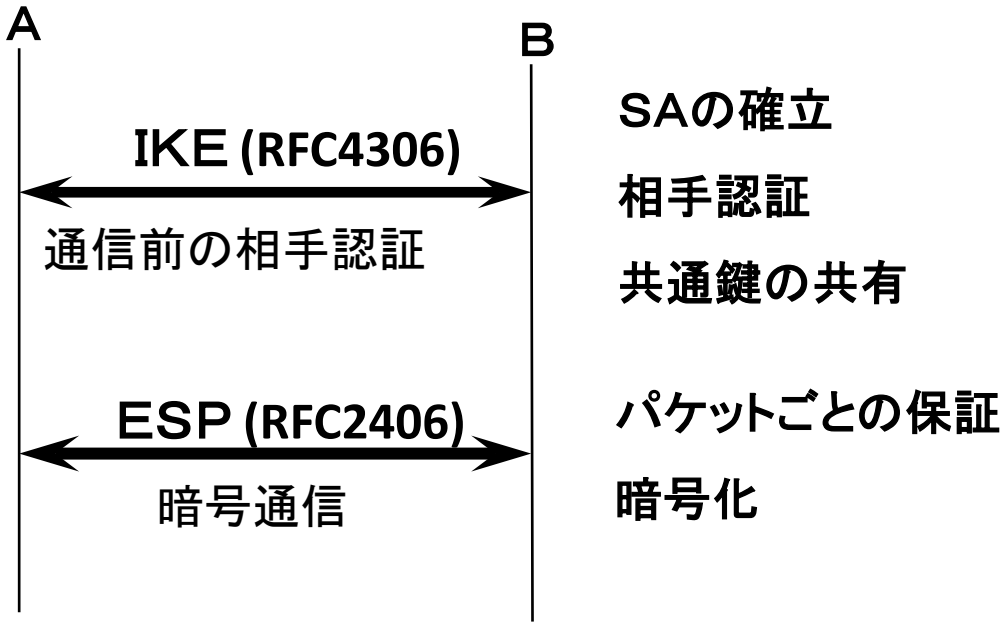
・CNが動く場合は別のHAが必要

IPv4の課題3：エンドエンドの認証と暗号化

セキュリティ確保のための管理負荷が大きい

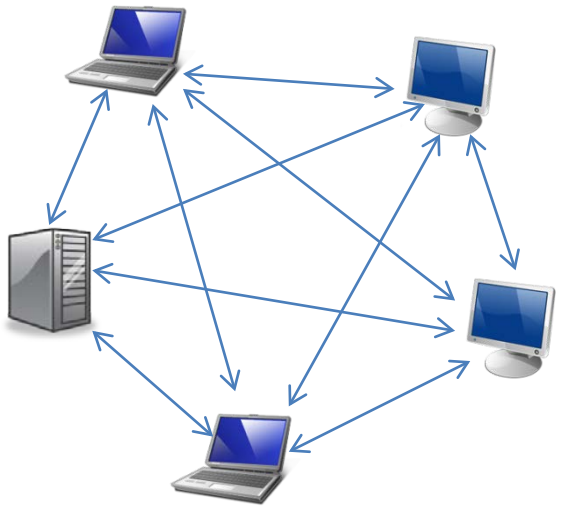
NATを跨る確実なエンドエンドセキュリティ技術がない

（IPsecはNATの存在を考慮していなかった）



IKE（RFC4306）は通信ペアごとに定義する必要がある
閉域通信グループのメンバ数が増えると管理負荷が膨大になる
汎用性を重視しているため、もともと設定項目が多い
端末が移動した場合は再定義が必要となる

IKEによる閉域通信グループの定義



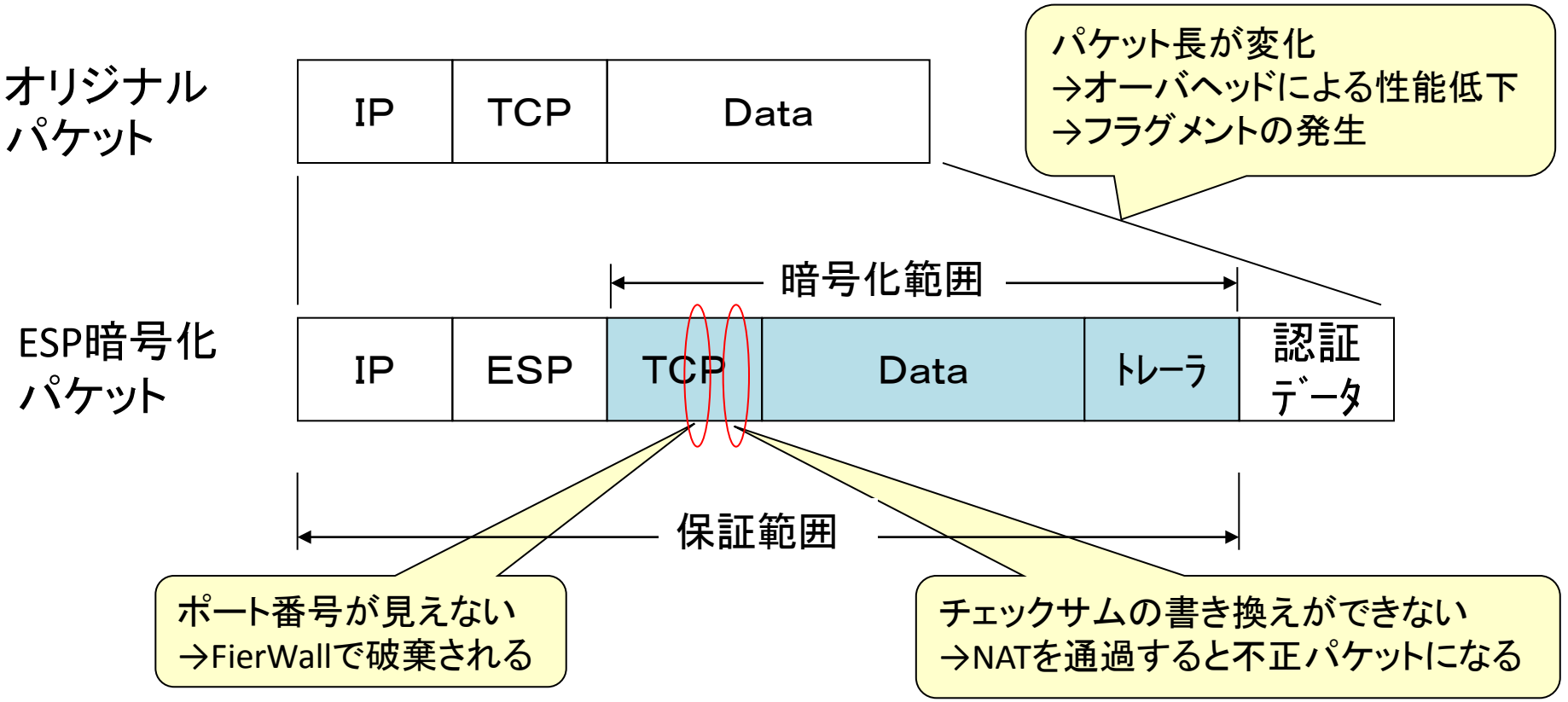
IKEの課題
・メンバ数の二乗分の設定が必要
・汎用性を重視しており、もともと設定数が多い
・アドレスが変わった場合は設定変更が必要

ESP(RFC2406)ではNATを跨る暗号化通信が困難

Watanabe Lab.

既存技術

NATでアドレス変換されると、不正パケットと判断される



NATを跨る暗号化のための方法：UDPトンネル（RFC3948）
IP/UDPヘッダは保証範囲外となる

ベースとなる技術の紹介

NAT越え、移動透過性、セキュリティを同時に満たすネットワークをFPN（ Flexible Private Network）と呼ぶ

FPNを実現するアーキテクチャをGSCIP (Grouping for Secure Communication for IP ; ジースキップ) と呼ぶ

GSCIPを構成する主要プロトコル

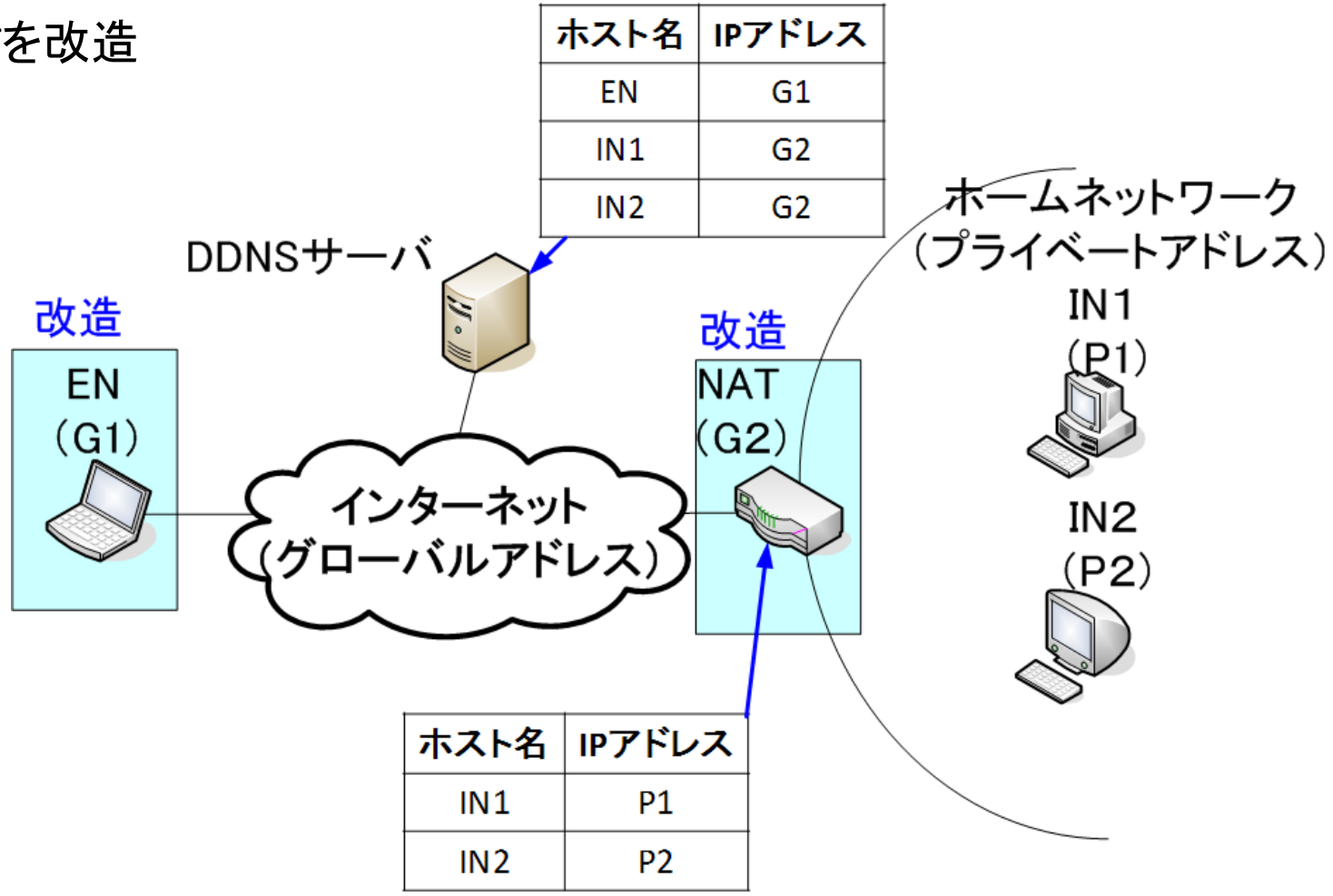
プロトコル名	機能	キーとなる技術
NAT−f	NAT越え	仮想アドレス IP層でのアドレス変換
Mobile PPC	移動透過性	IP層でのアドレス変換
DPRP	グループ認証	アドレスに依存しないグルーピング
PCCOM	暗号化通信	独自のチェックサム演算

NAT越えを実現するNAT-f (NAT-free protocol)

提案済み技術

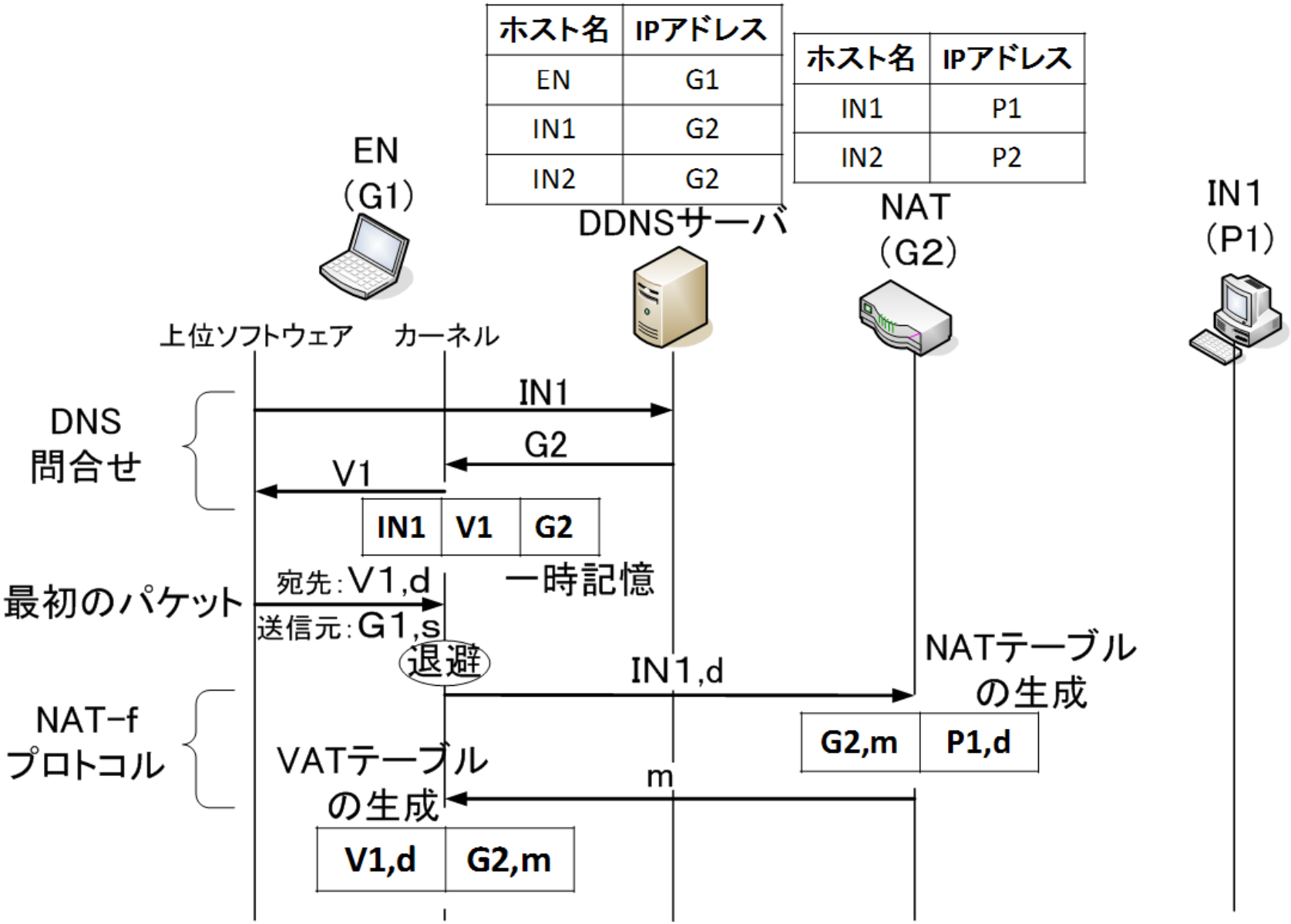
Watanabe Lab.

外部ノードとNATを改造

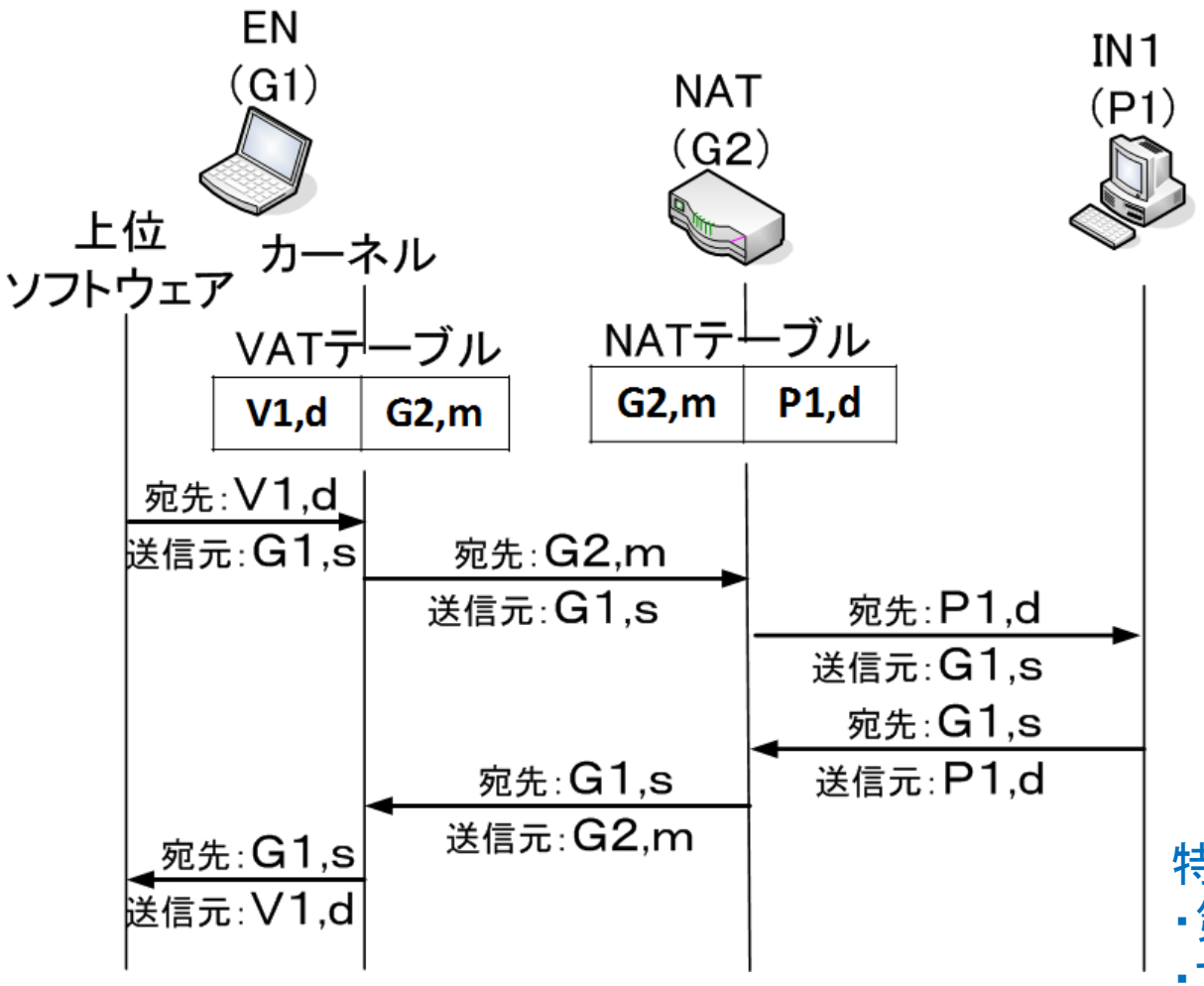


鈴木，宇佐見，渡邊，“外部動的マッピングによりNAT越え通信を実現するNAT-f の提案と実装”
情報処理学会論文誌，Vol.48，No.12，pp.3949-3961，Dec.2007.

通信前のネゴシェーション



通信時のアドレス変換の様子



NATテーブルに合わせてアドレス/ポート変換を行う

特長
- 第三の装置が不要
- アプリケーションに影響がない
- 高スループット
- NATの効用を損なわない

課題
- NATの改造が必要

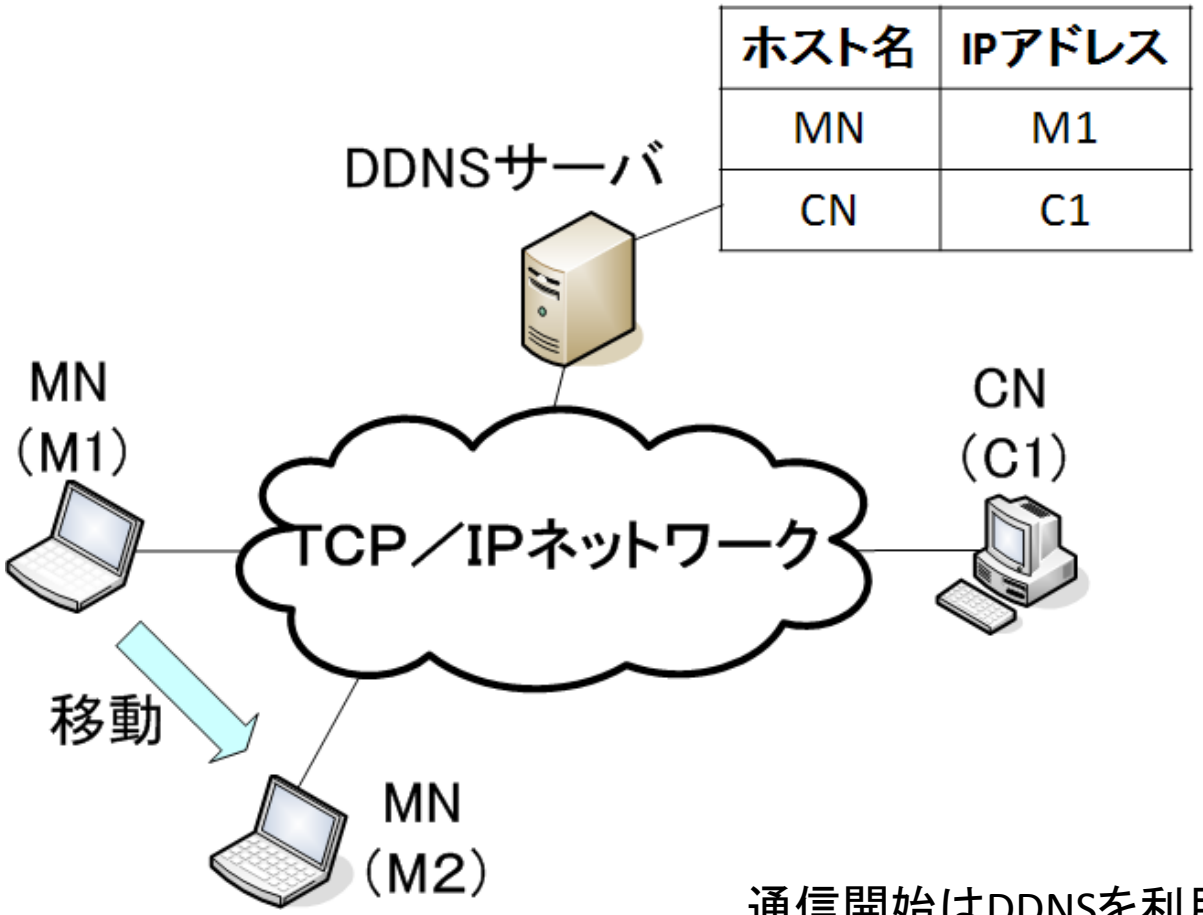
ポイント:
仮想アドレスの技術

移動透過性を実現するMobile PPC (Mobile Peer to Peer Communication)

提案済み技術

Watanabe Lab.

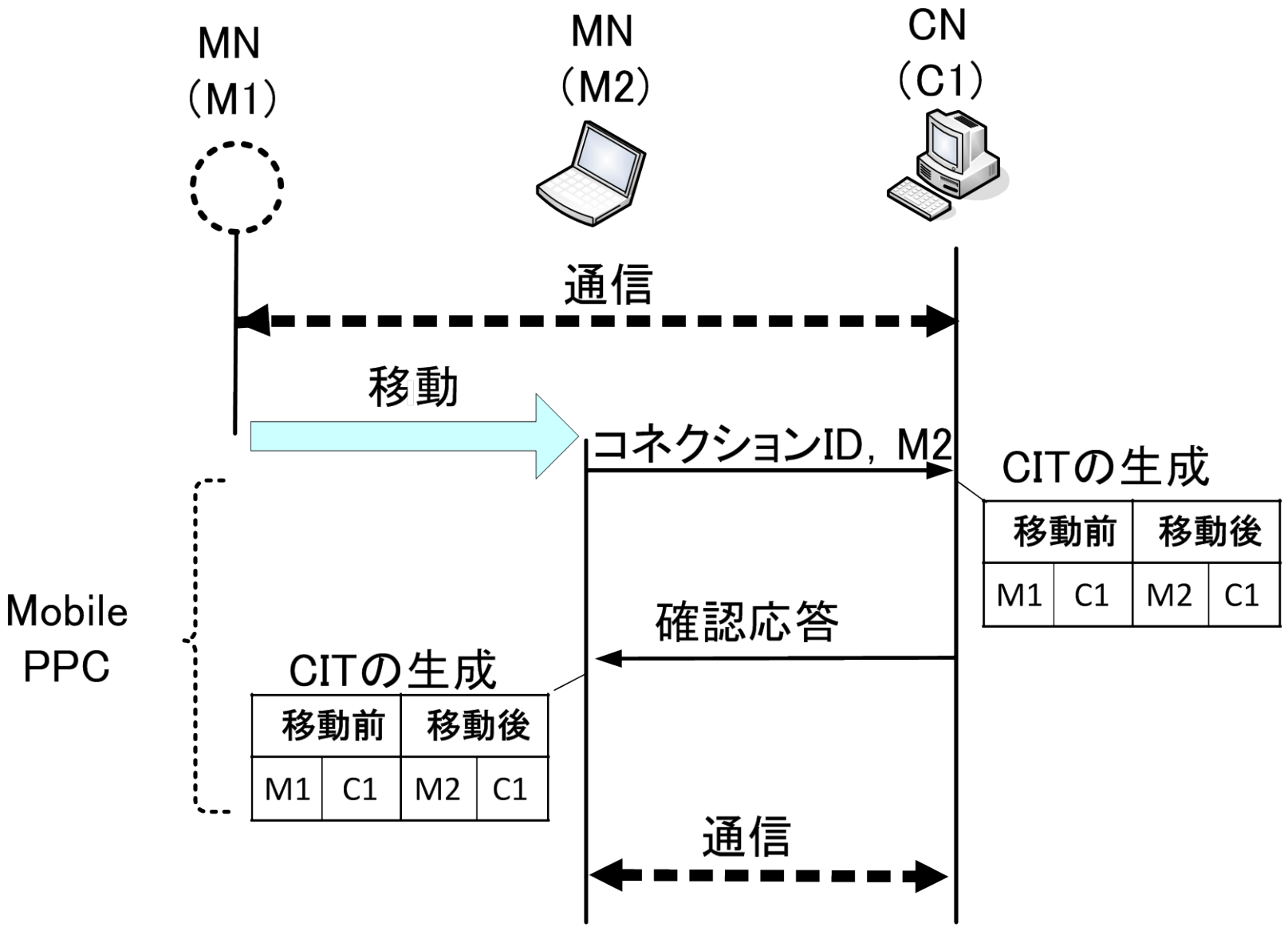
エンドノードを改造



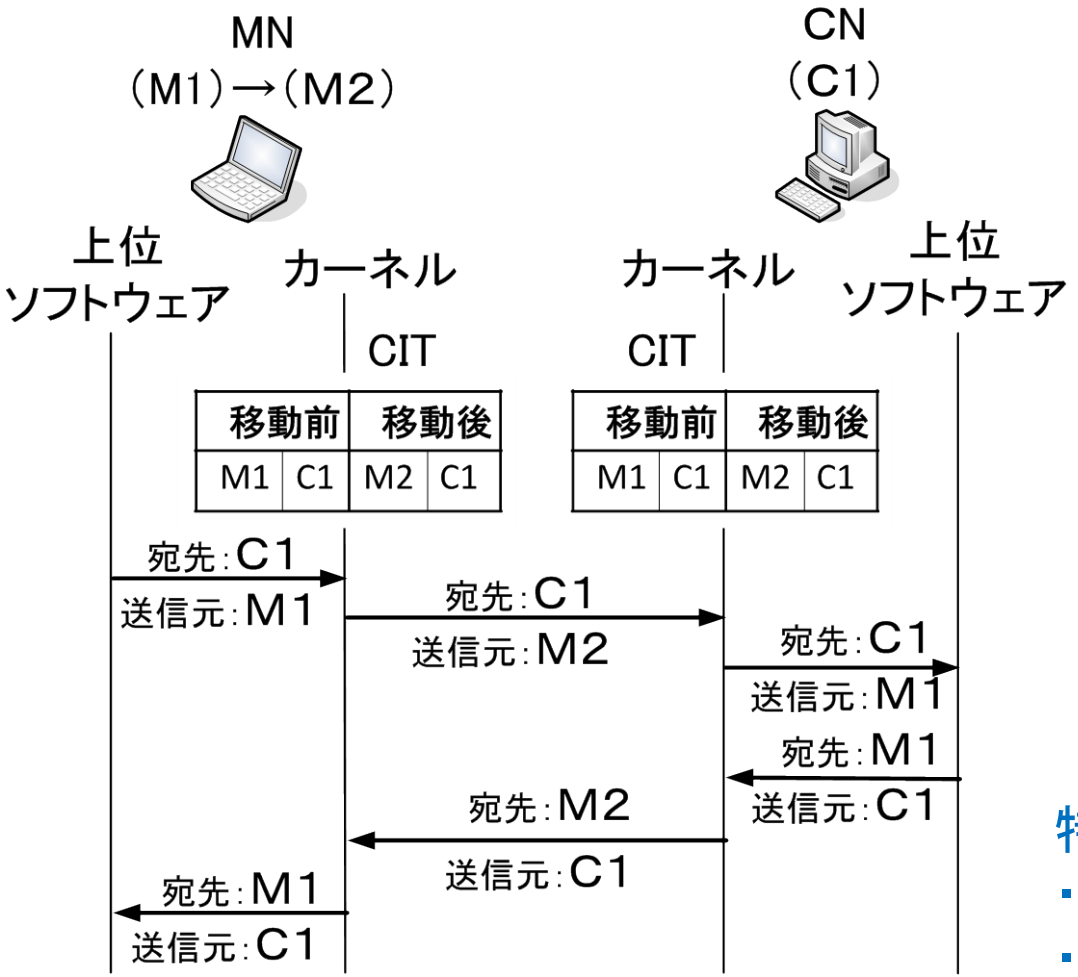
通信開始はDDNSを利用
移動時にMobile PPCを実行

竹内，鈴木，渡邊，“エンドエンドで移動透過性を実現するMobile PPCの提案と実装”
情報処理学会論文誌，Vol.47，No.12，pp.3244−3257，Dec.2006.

移動時のネゴシェーション



通信時のアドレス変換の様子



パケットは正しくルーティングされる
上位ソフトウエアはアドレスの変化に気付かない

ポイント:
IP層でのアドレス変換

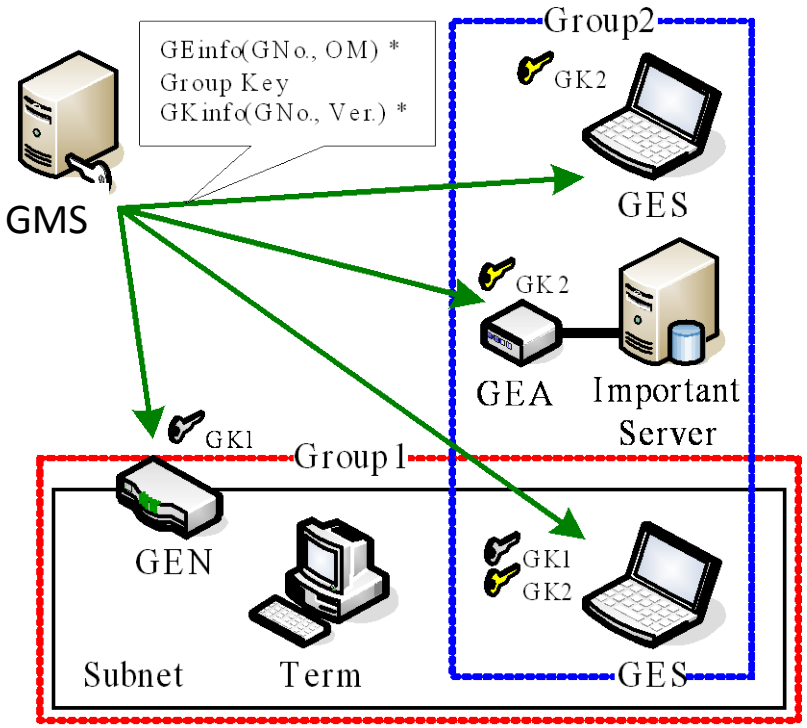
特長
- 余分な装置がない
- アプリケーションに影響がない
- 高スループット
- 既存端末と上位互換

課題
- CN側にも改造が必要

グループ認証を実現するDPRP
(Dynamic Process Resolution Protocol)

Watanabe Lab.

提案済み技術



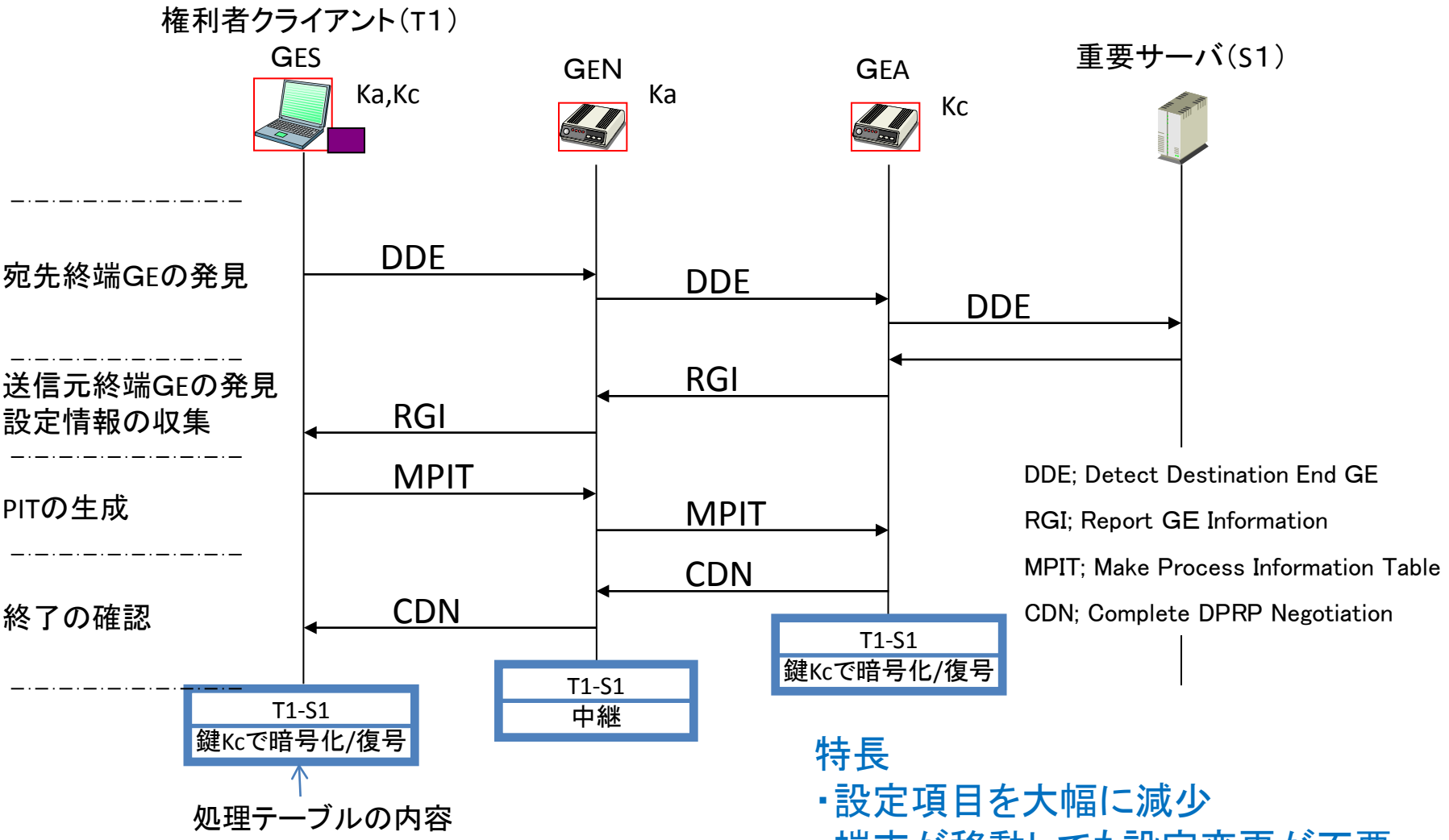
通信グループと暗号鍵を1対1に対応付ける

システム構成を学習する

グループ鍵はGMSからオフラインで配送
GMSとGE間はPKIなど既存の認証のしくみを利用

鈴木 秀和, 渡邊 晃,「フレキシブルプライベートネットワークにおける動的処理解決プロトコルDPRPの実装と評価」, 情報処理学会論文誌, Vol.47, No.11, pp.2976-2991, Nov.2006.

DPRPのシーケンス



ポイント:
グループ認証

特長
・設定項目を大幅に減少
・端末が移動しても設定変更が不要
・個人単位とドメイン単位の混在が可能

課題
・プロトコルが複雑

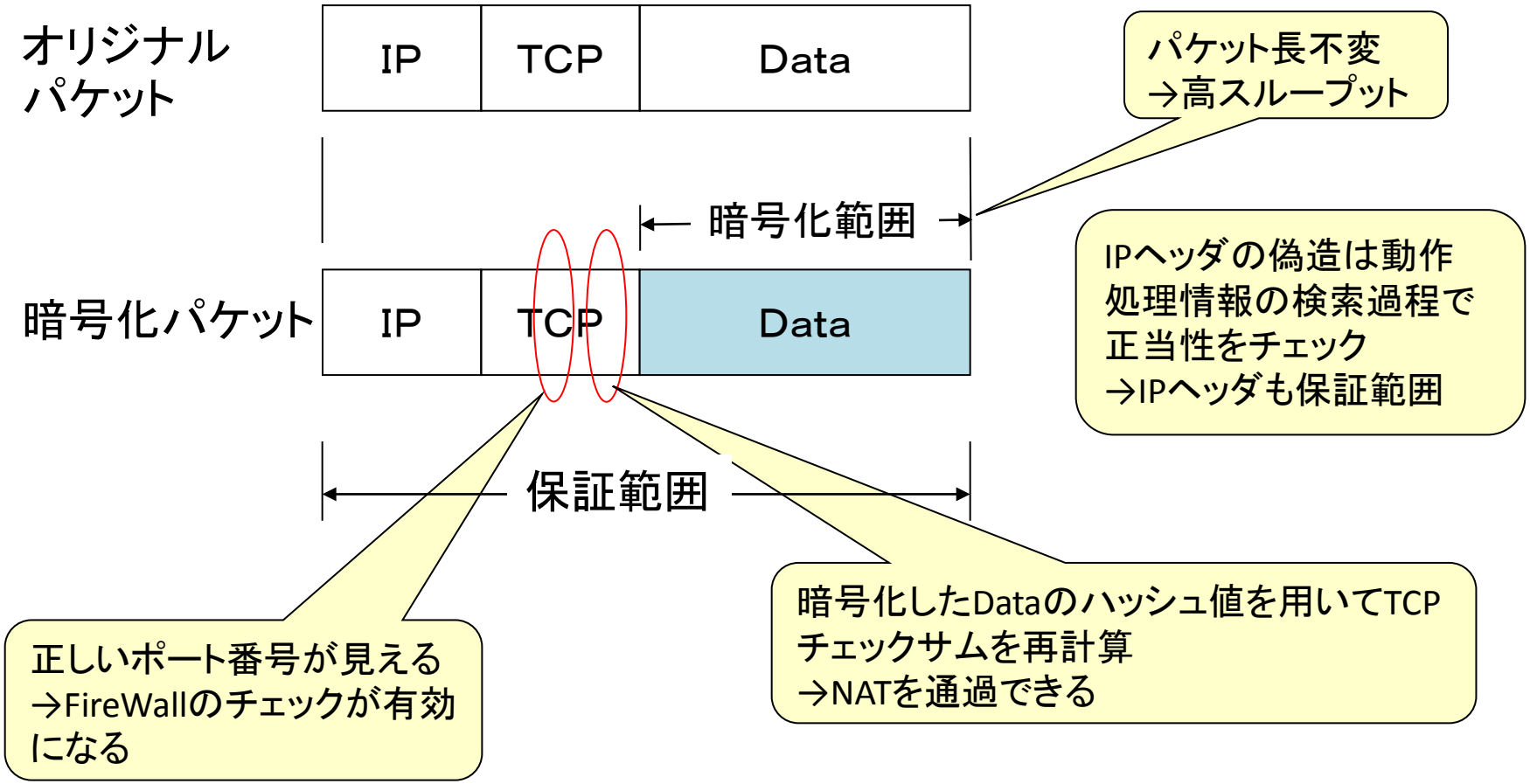
NATを跨る暗号化通信PCCOM

提案済み技術

Watanabe Lab.

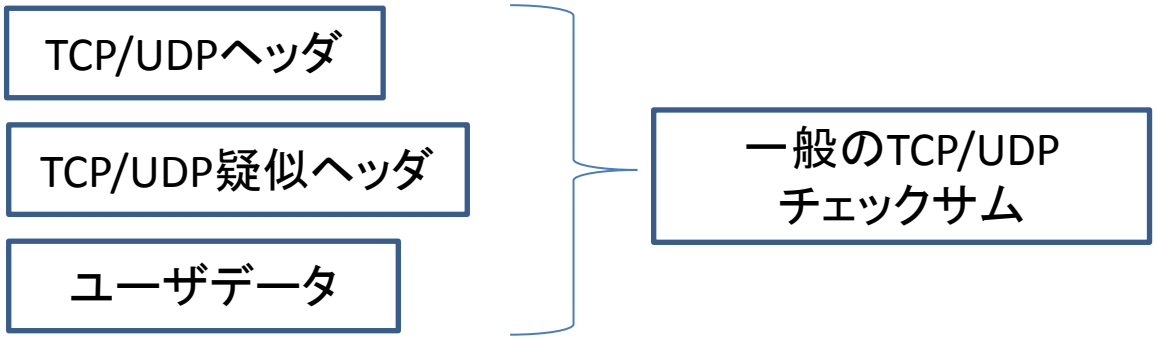
（Practical Cipher COMmunication Protocol）

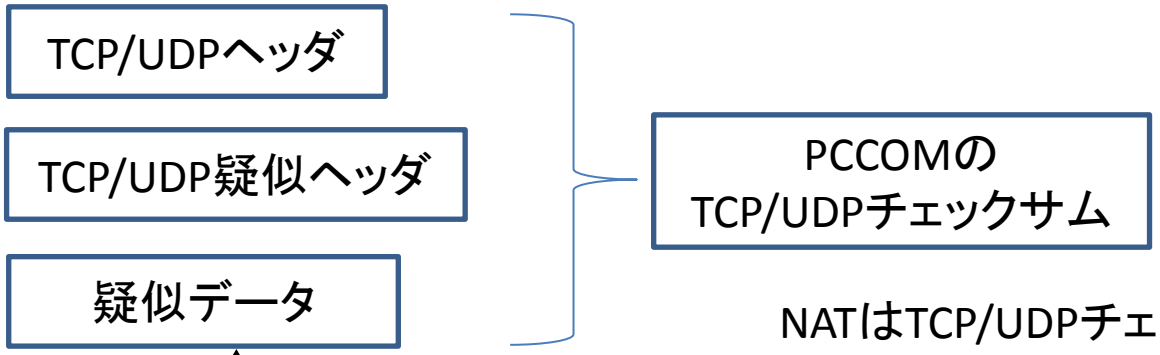
TCPチェックサムを独自の内容に置き換えることによりNATを跨った暗号通信を実現



増田 真也，鈴木 秀和，岡崎 直宣，渡邊 晃，「NATやファイアウォールと共存できる暗号通信方式PCCOMの提案と実装」，情報処理学会論文誌，Vol.47，No.7，pp.2258-2266，Jul.2006.

PCCOMのチェックサム計算方法





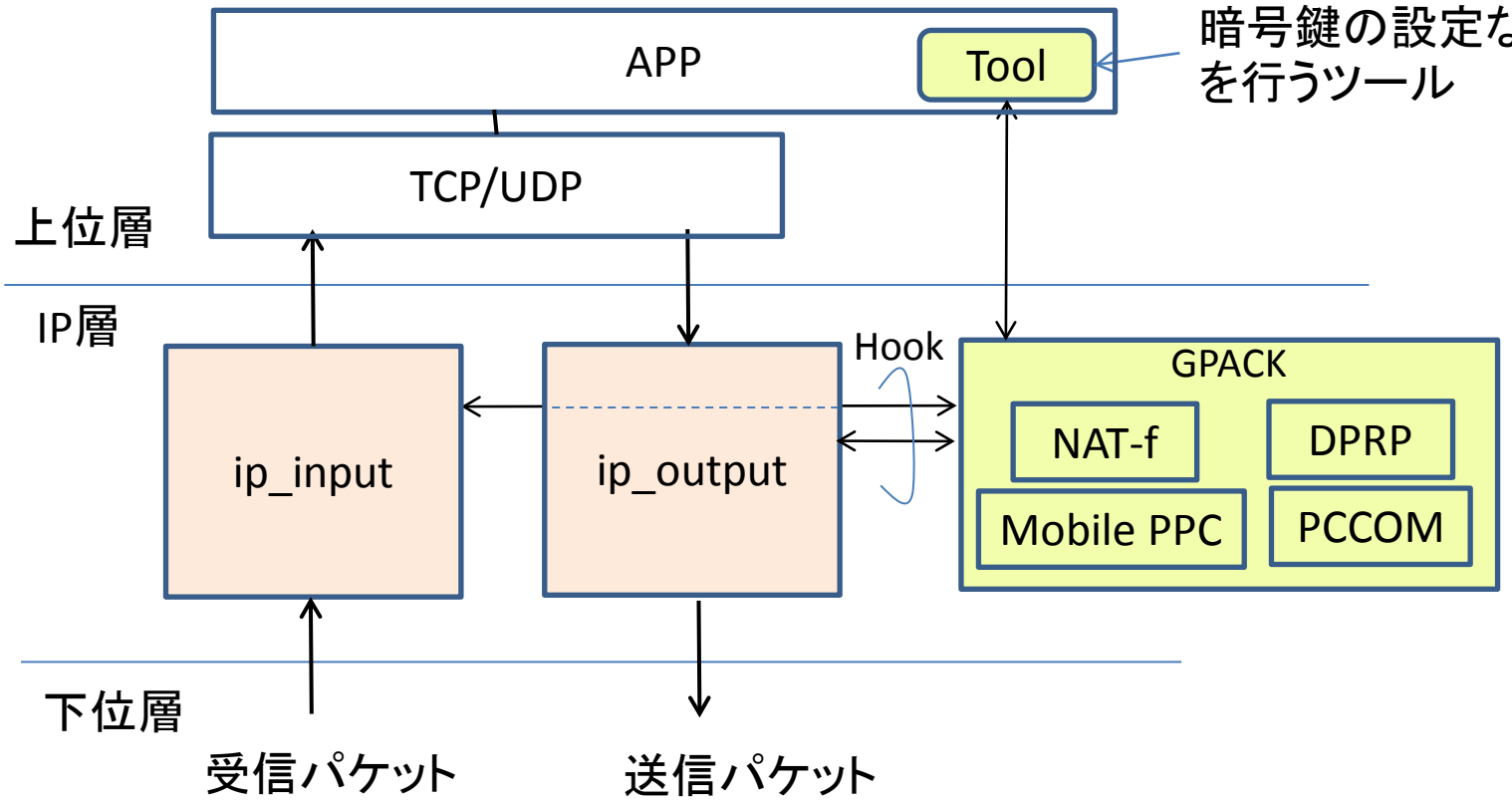
暗号化データと暗号鍵のハッシュ値

NATはTCP/UDPチェックサムをIPアドレス変化の差分で再計算する（RFC1631）

ポイント:
独自のTCPチェックサム演算

特長:
・NATを跨る暗号化
・高スループット

GPACKの実装（Free BSD)



GPACK;　GSCIP Package
IP層のip_input, ip_outputよりGPACKを呼び出し
LINUXへ移植中
カーネルのバージョンアップに伴う変更が頻発

NTMobileの概要

Watanabe Lab.

特長:
・NATの有無にかかわらず自由に通信を開始できる(NAT越え問題の解決)
・NATを跨る移動透過性を実現できる
・エンドエンドのセキュリティを確保できる
・NATを改造しなくてよい
・プライベートアドレスが重複していてもよい
・既存ノードとの互換性がある
・IPv4/IPv6混在ネットワークへの拡張が可能
・移動時にパケットロスが発生しない

システム構成:
・DS (Direction Server)
  DDNS (Dynamic DNS)サーバを改造
  エンドノードのホスト名とホスト・IPアドレス、NAT・IPアドレスの関係を登録
  エンドノードに対する動作指示
・RS (Relay Server)
  DSの一部機能を分離
  特定のケースにおいてデータを中継
  相手端末が一般端末の場合のプロキシサーバ
・移動端末としてはスマートフォンを想定

キーとなる技術

Watanabe Lab.

・IP層でのアドレス変換
　移動時に上位層に対してアドレスの変化を隠蔽する⇒Mobile PPCの技術を流用
　上位層ではアドレスを仮想アドレスで認識する　⇒NAT-fの技術を流用

・グループ認証　⇒DPRPを適用
　通信開始時に相手を認証する

・暗号化技術　⇒PCCOMを適用
　高速暗号化通信

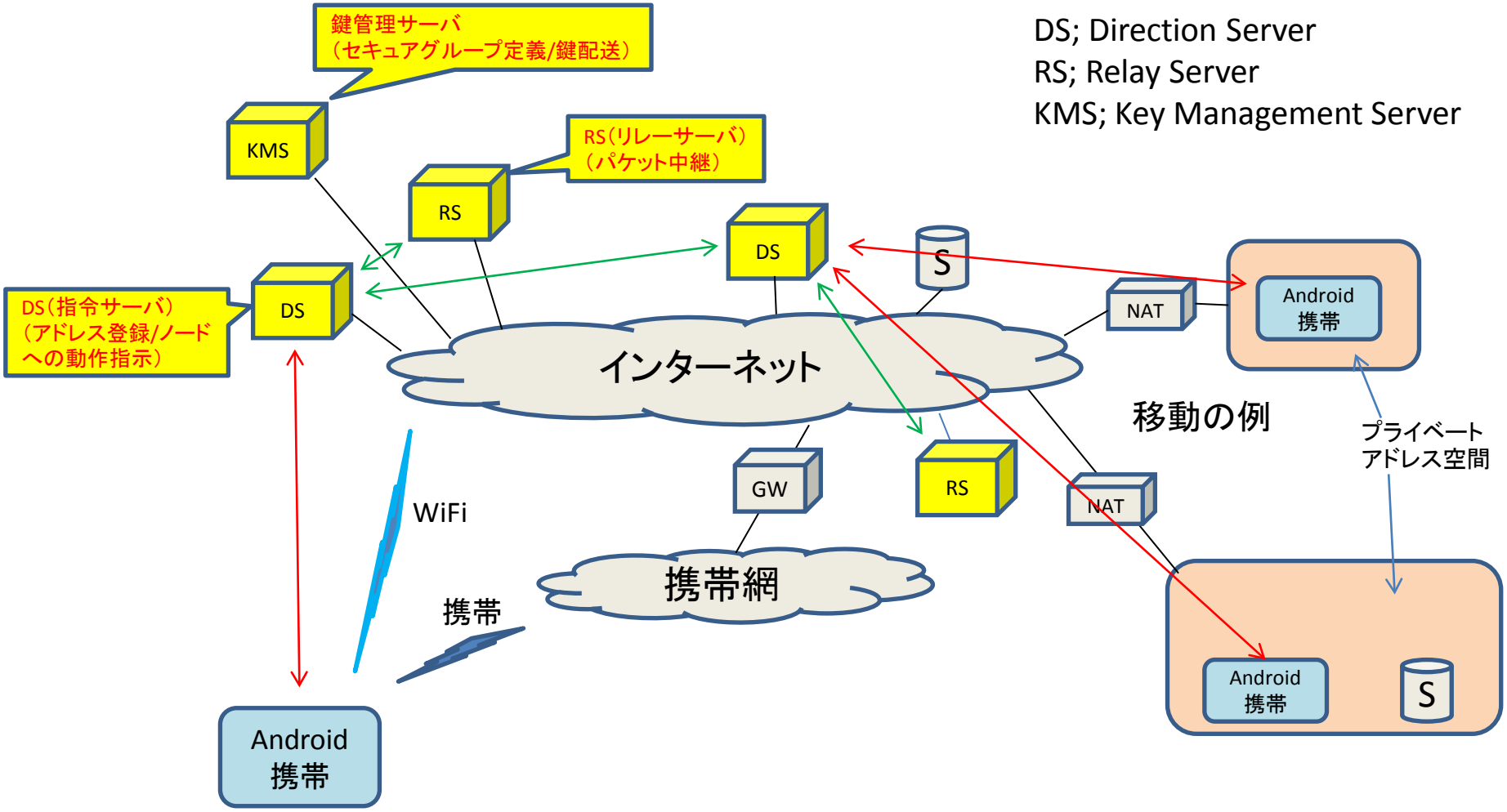
・トンネル転送
　NATのSPIフィルタの回避、およびNATを跨る移動を実現するため、NAT通過時は原則として
　UDPトンネル転送

・DS（Direction Server）
　NATアドレスをDNSリソースレコードとして追加

・KMS (Key Management Server)
　暗号鍵の管理

SPI (Stateful Packet Inspection)：
TCPにおける不正なシーケンスのパケットを破棄する機能
　→移動透過性の実現を困難にしている一つの要因

システム構成



DS; Direction Server
RS; Relay Server
KMS; Key Management Server

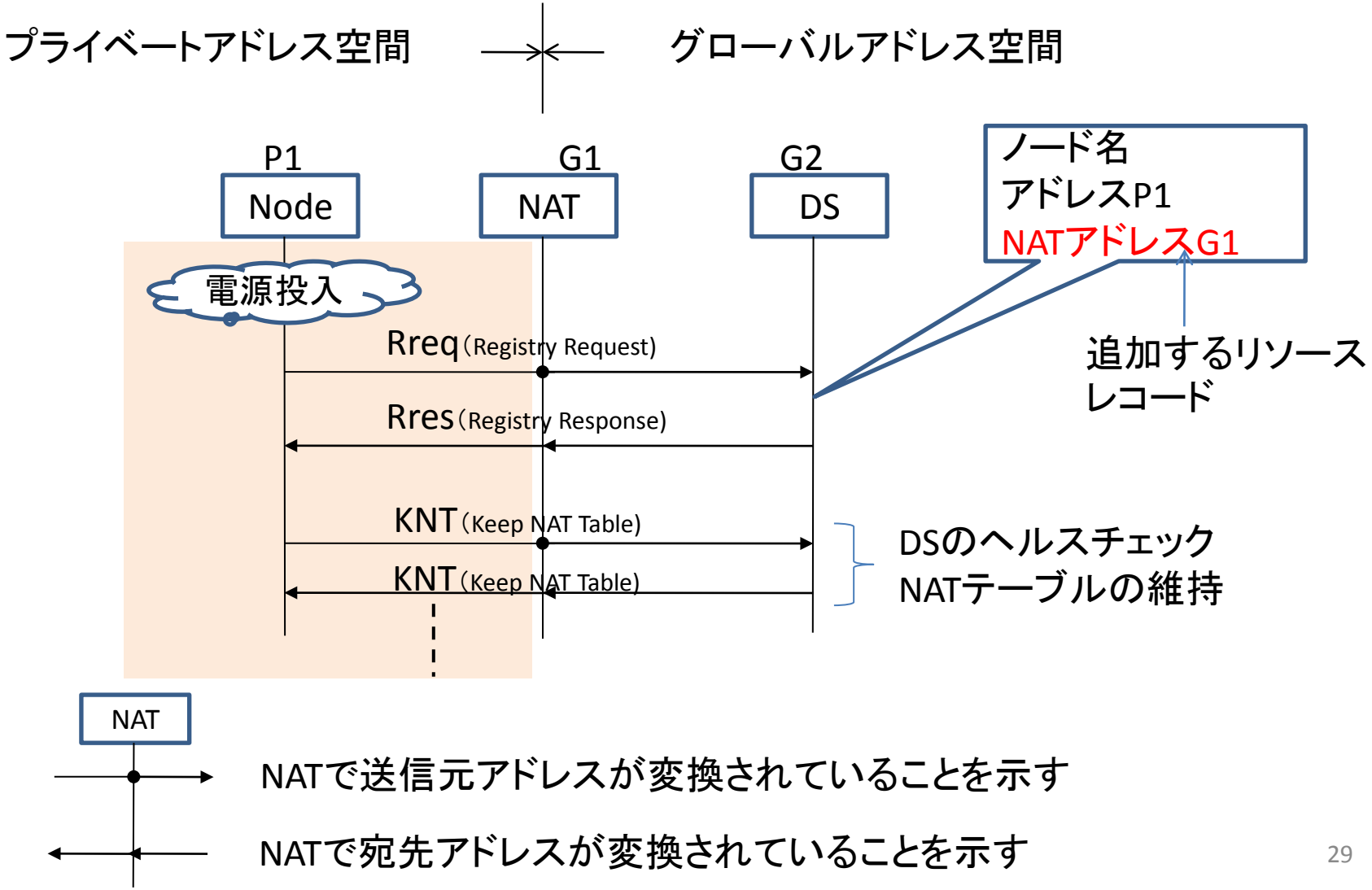
前提


エンドノードとDS間には信頼関係がある


DSどうし、DSとRS間には信頼関係がある

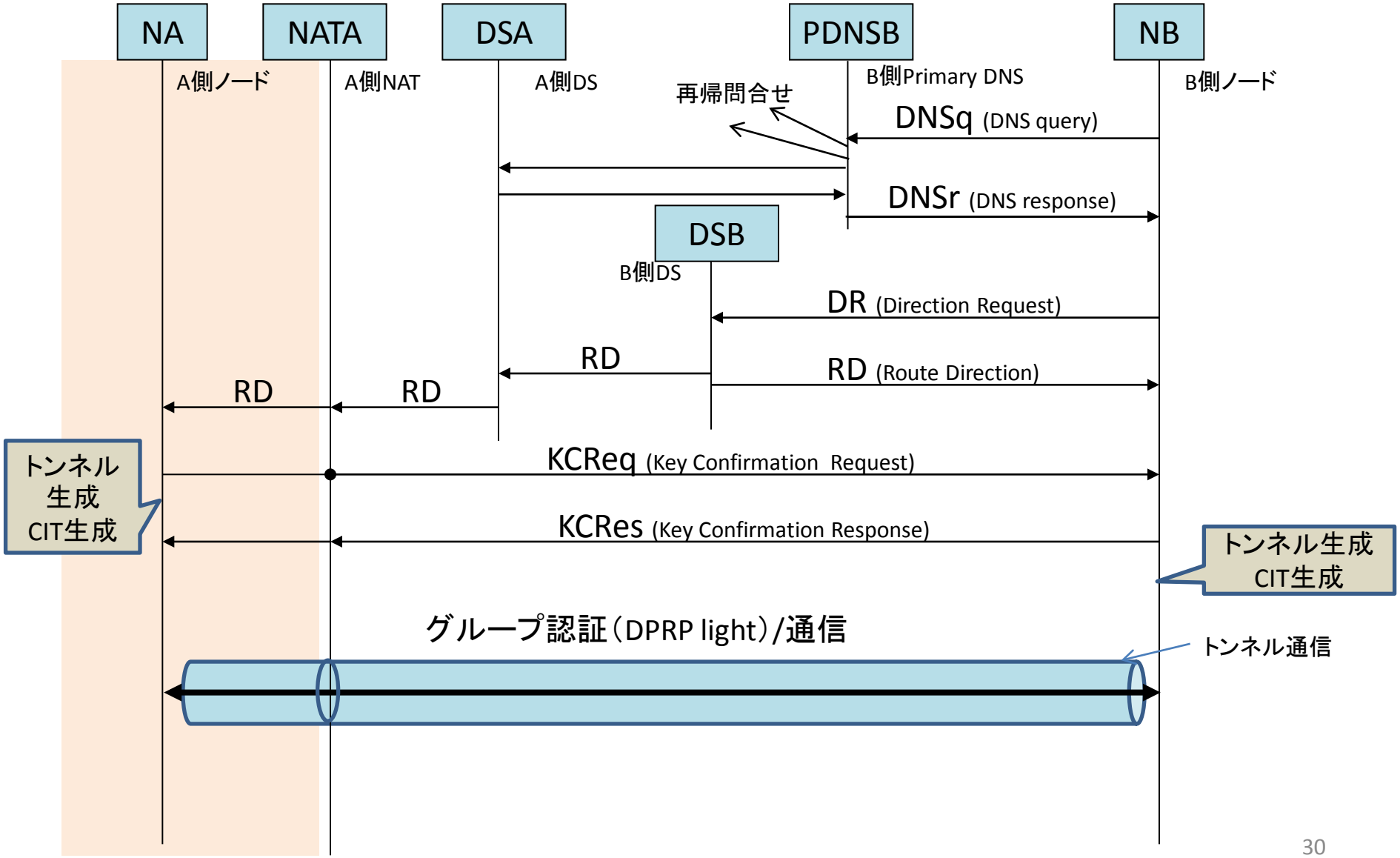
通信前の準備

電源立ち上げ時に、ホスト名とアドレスをDSに登録（Dynamic DNSと同じ）

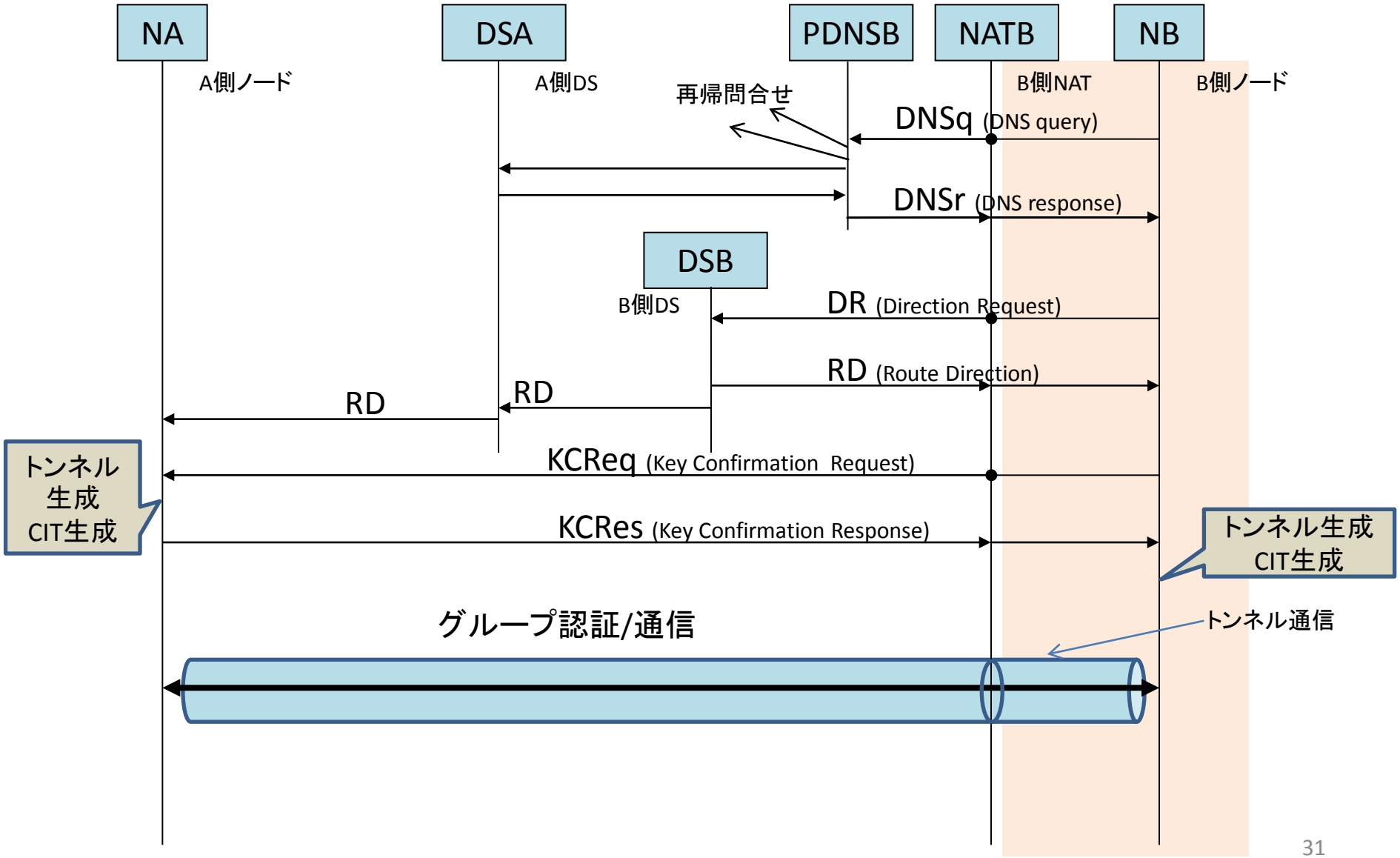


NBから通信を開始する場合

相手ノードNAがNAT配下

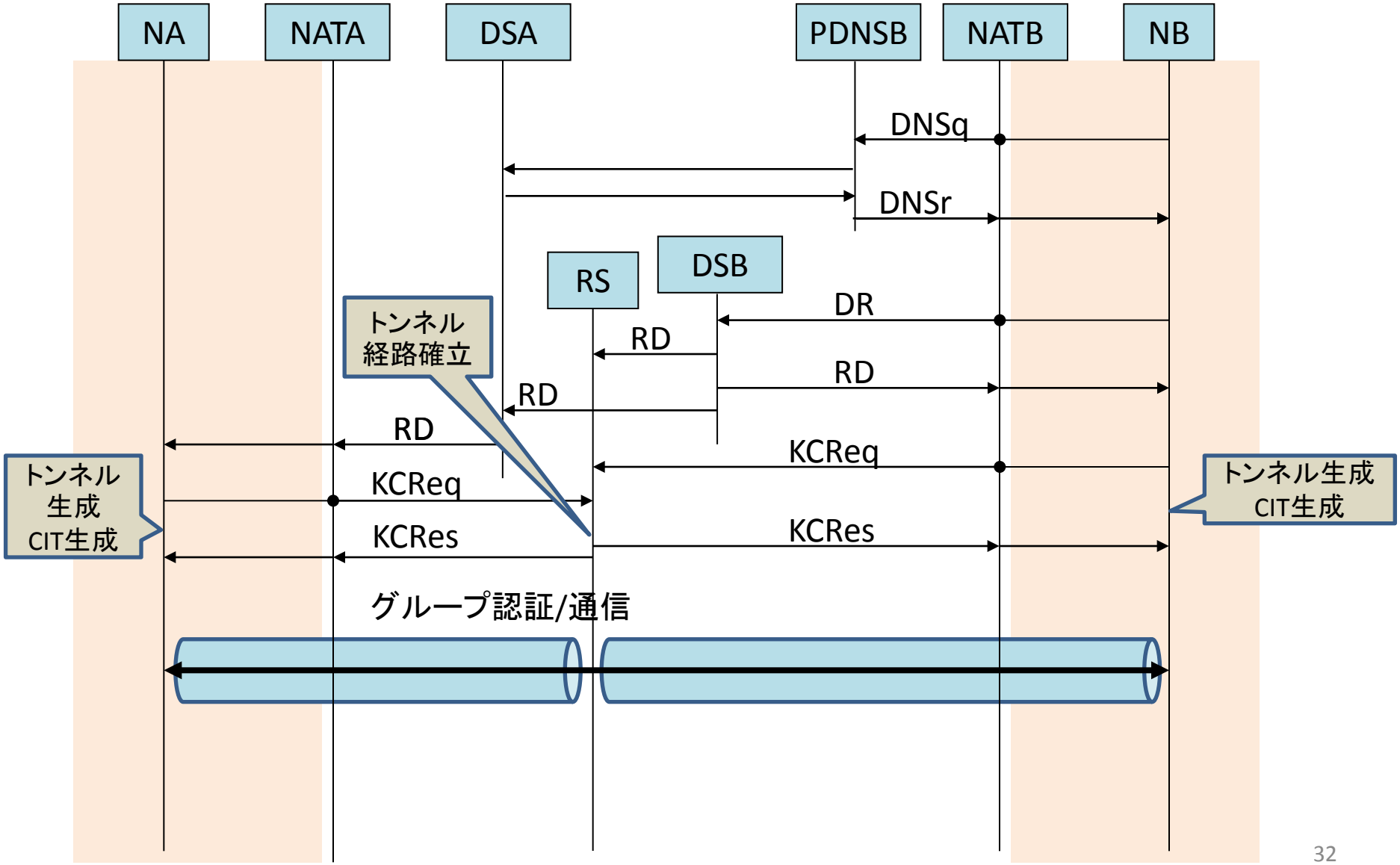


NBがNAT配下

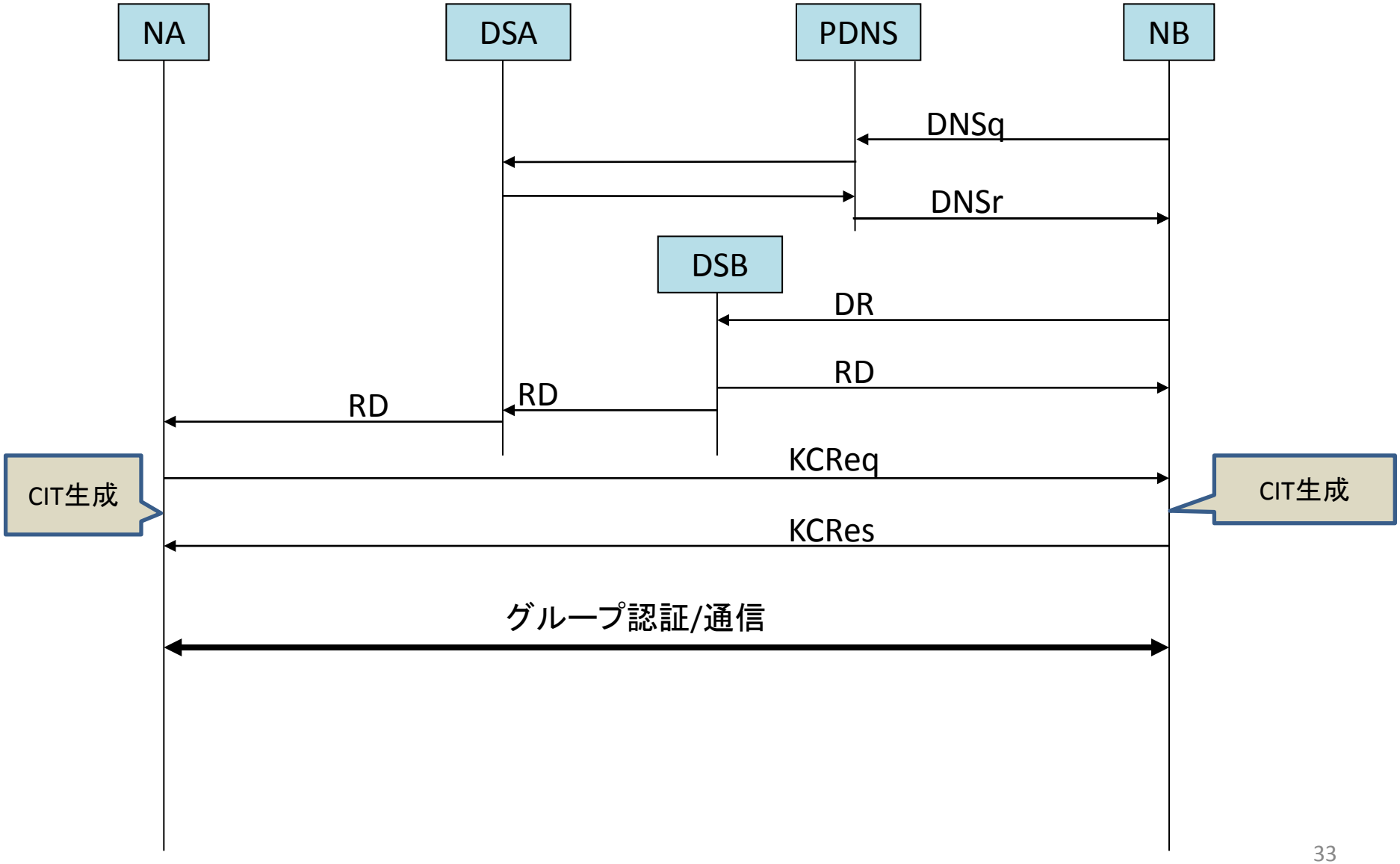

NA
DSA
PDNSB
NATB
NB
A側ノード
A側DS
B側NAT
B側ノード
再帰問合せ
DNSq (DNS query)
DNSr (DNS response)
DSB
B側DS
DR (Direction Request)
RD (Route Direction)
RD
RD
KCReq (Key Confirmation Request)
トンネル
生成
CIT生成
KCRes (Key Confirmation Response)
トンネル生成
CIT生成
グループ認証/通信
トンネル通信

両エンドノードがNAT配下

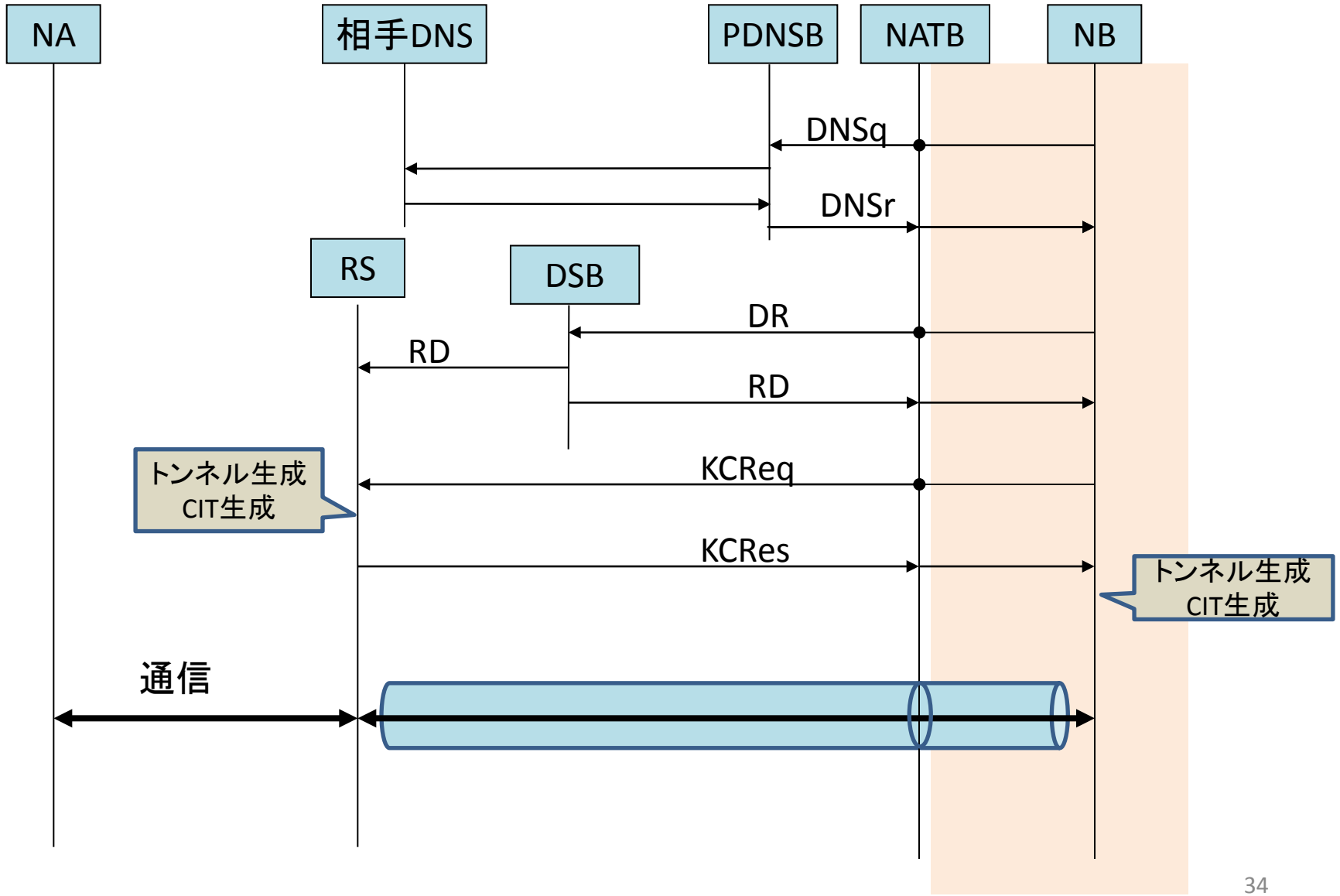
RS; Relay Server



両ノード間にNATがない



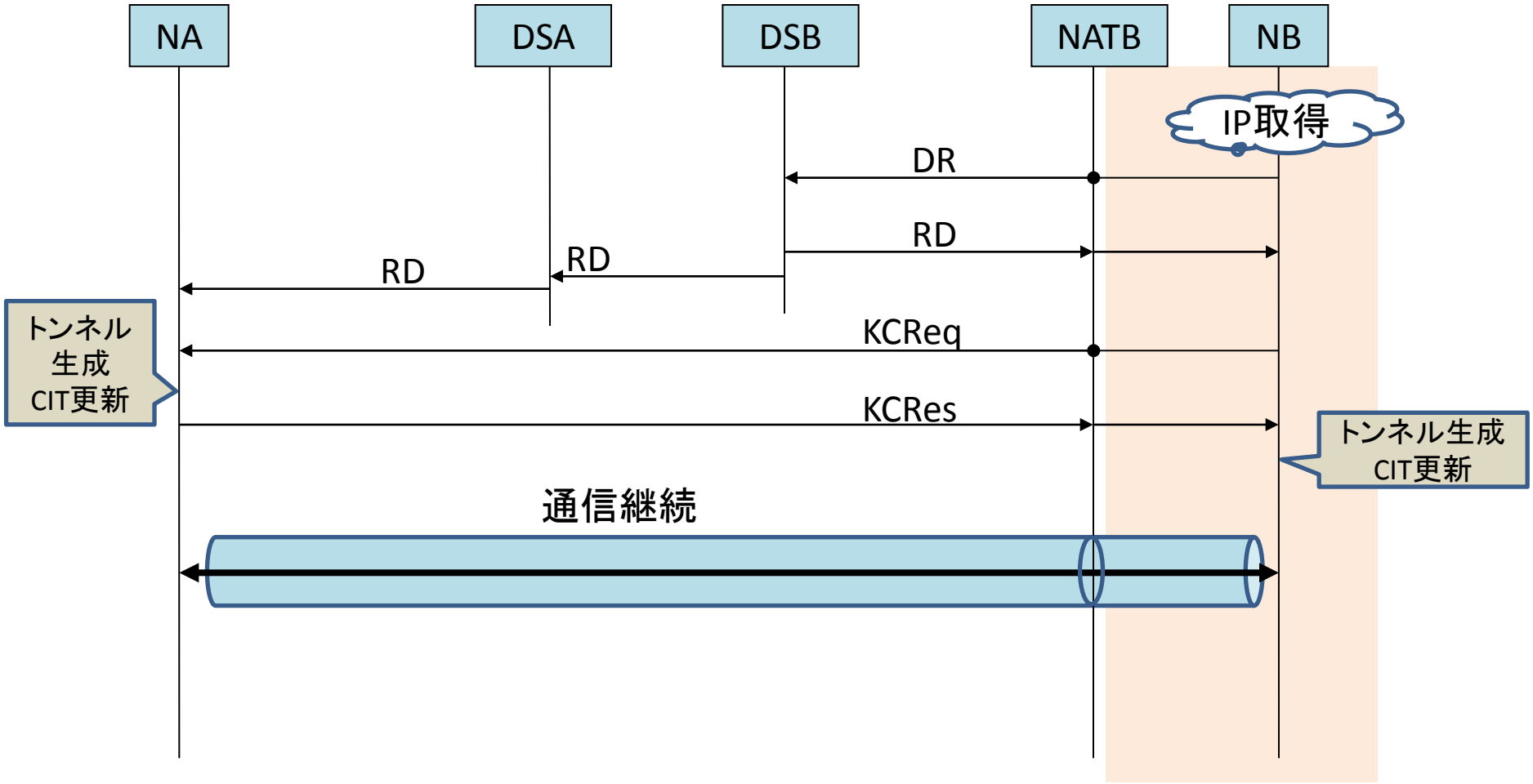
相手ノードNAが一般サーバ（グローバルアドレス）



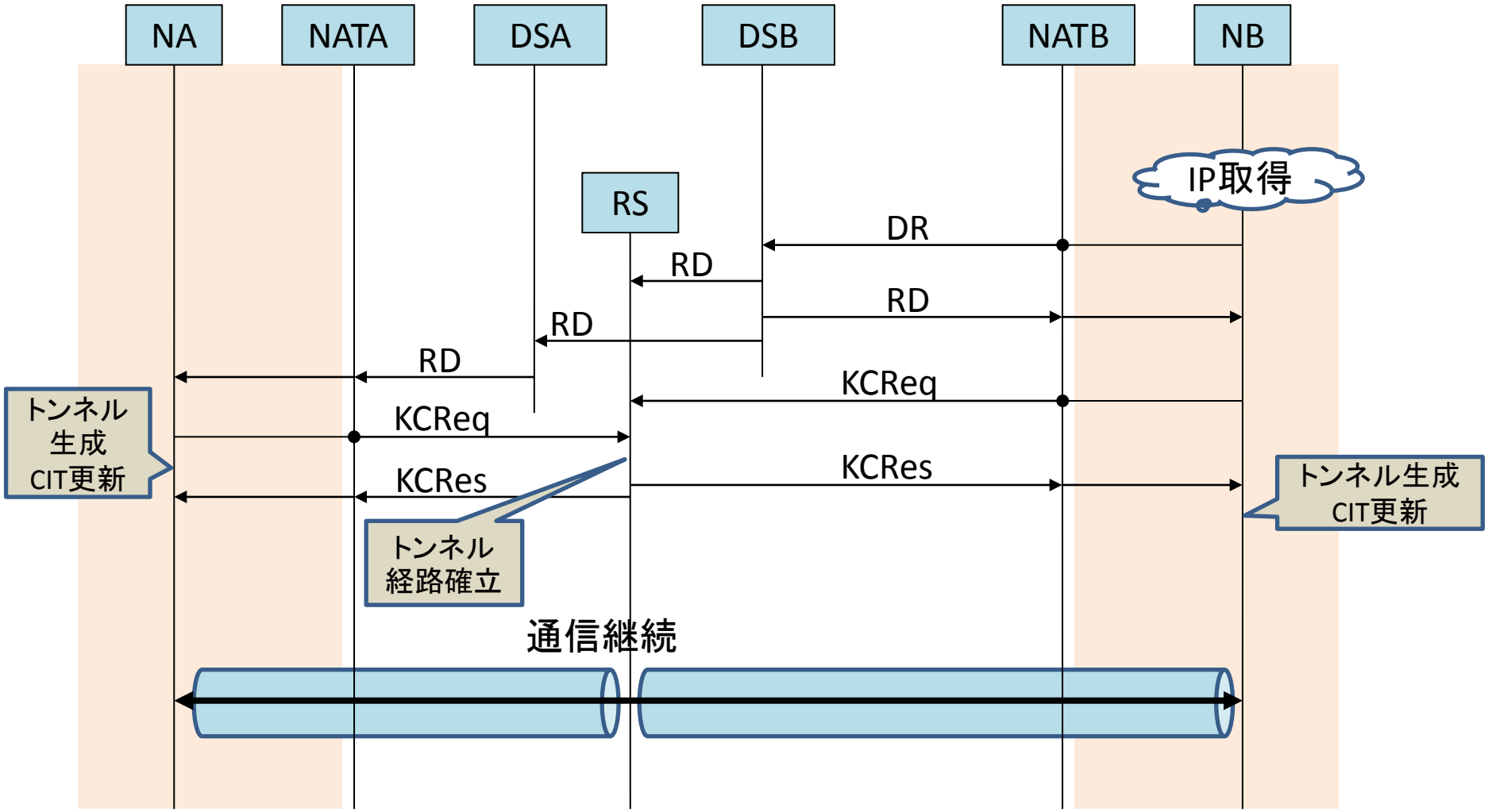
NBが通信中に移動した場合

（DR以降のシーケンスは通信開始と全く同じ）

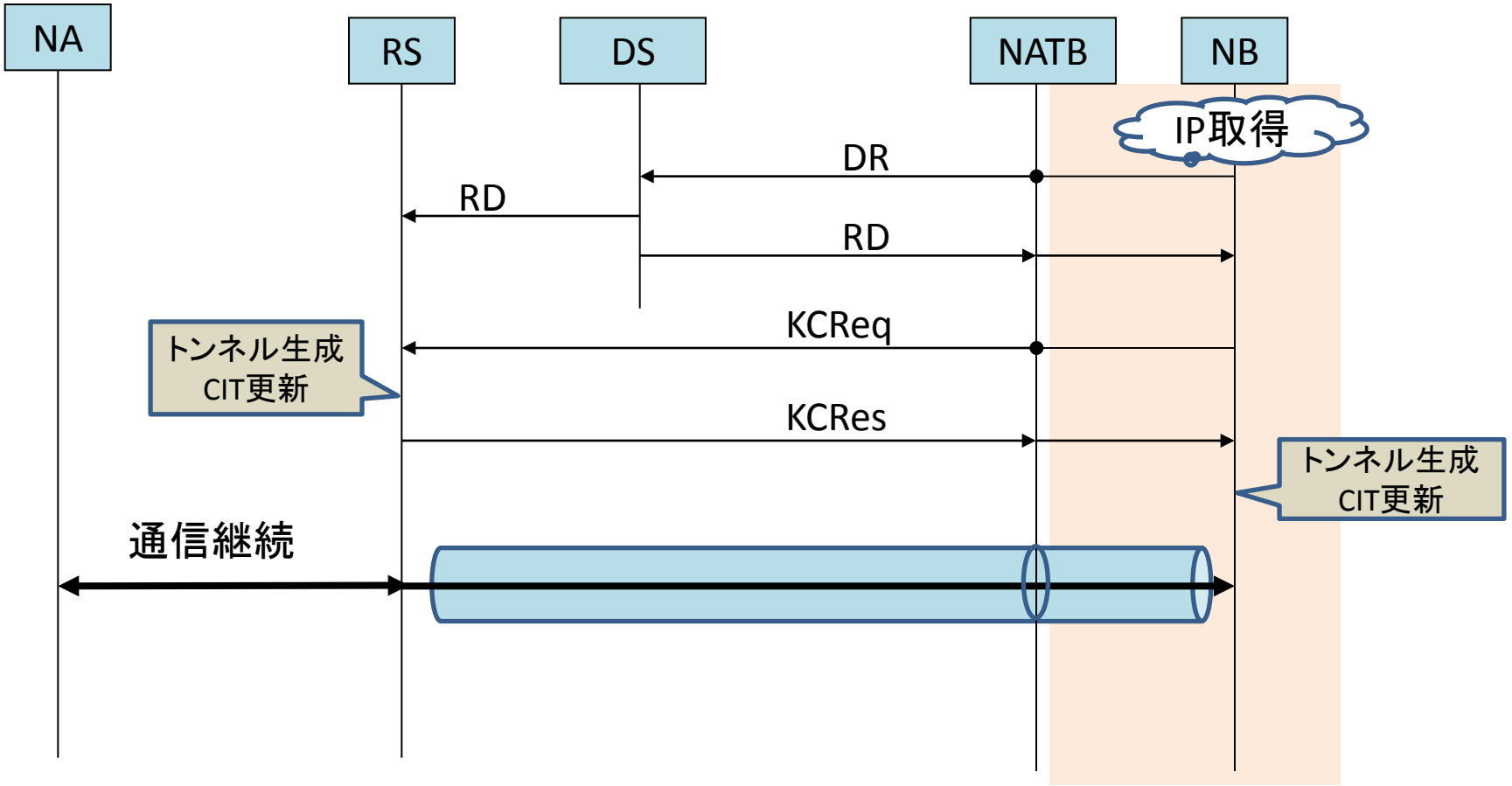
NBがNAT配下に移動



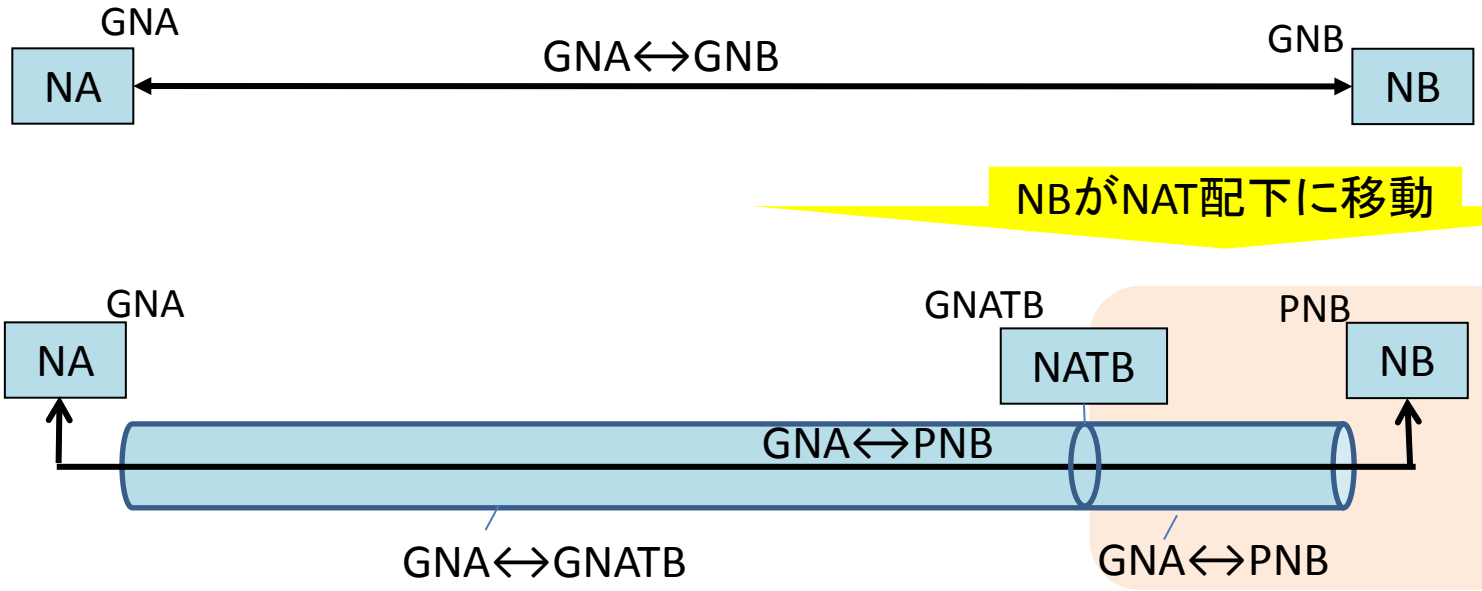
両ノードがNAT配下に移動



相手ノードNAが一般サーバで、NBがNAT配下に移動



アドレスが変化する様子



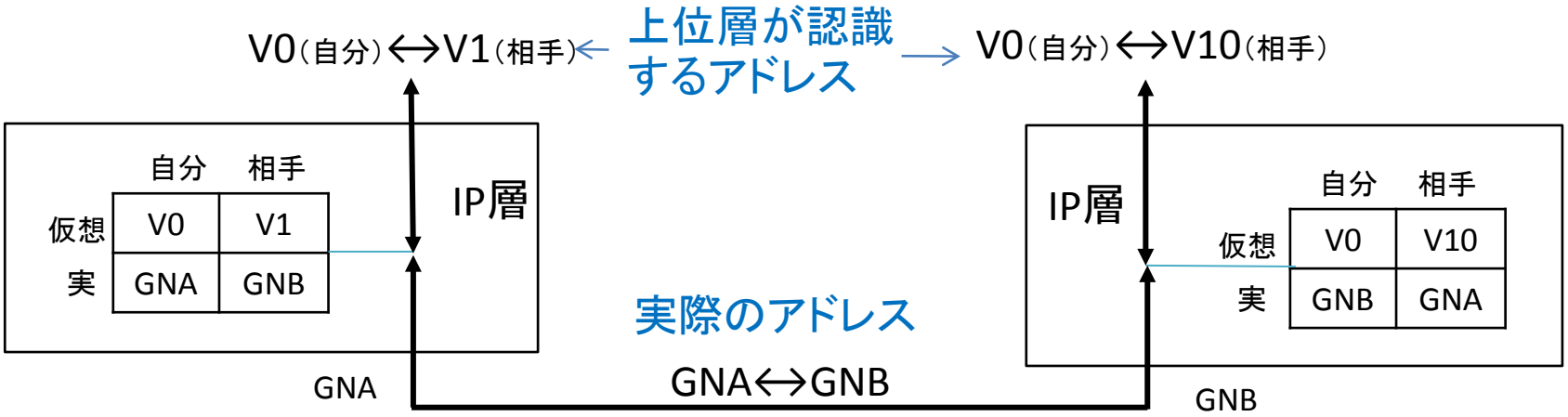
仮想アドレスの導入

上位層： 仮想アドレス（通信識別子とみなす）
下位層： 実アドレス（位置識別子とみなす）

IP層でアドレス変換

仮想アドレスの例
　自分のアドレスはV0 （固定値でよい）
　相手のアドレスはV1, V2, ・・・

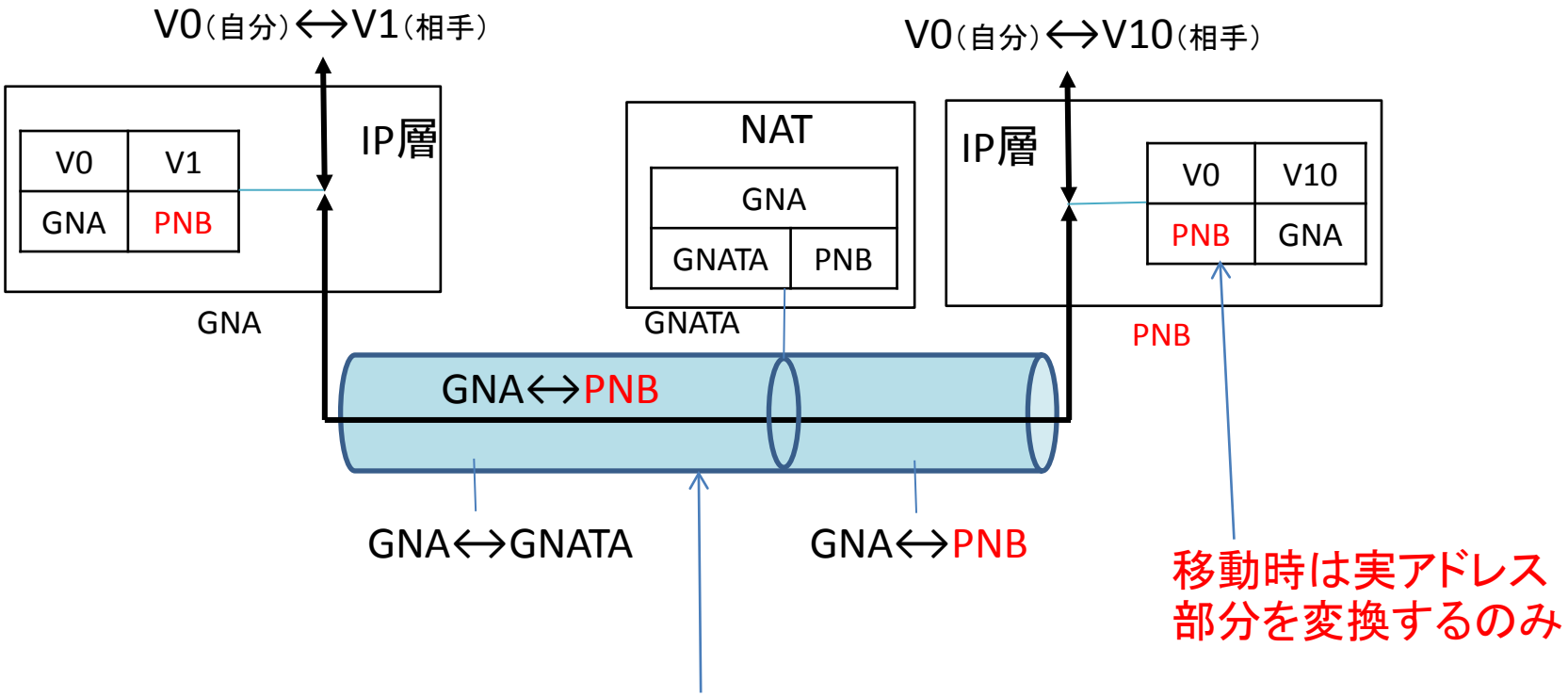
アドレス変換の表現方法
{V0↔V1} ⇔ {GNA↔GNB}



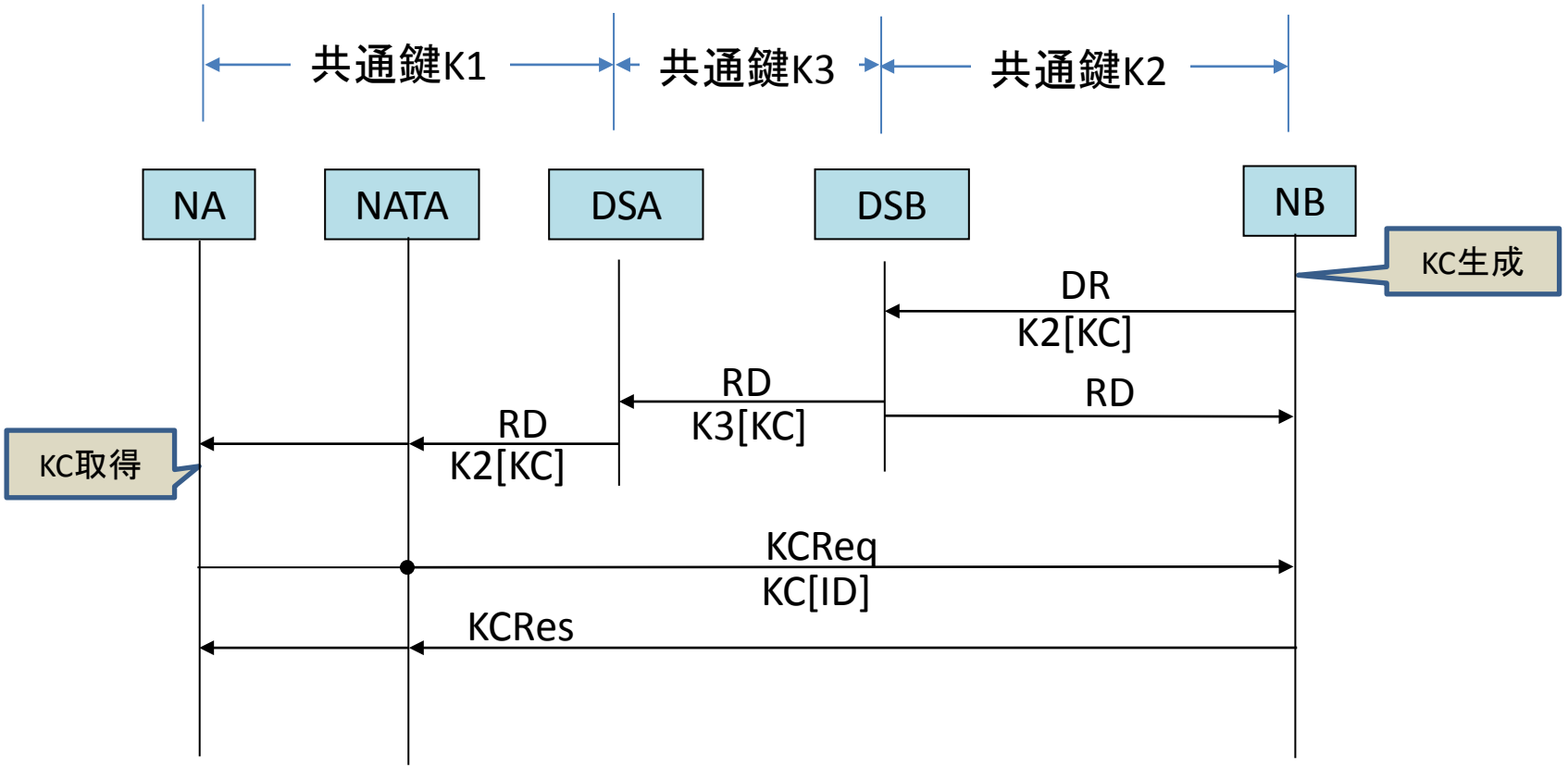
NAT配下の複数の端末を識別できる
上位層では実アドレスの変化を気にしなくてよい
自分と相手のアドレスが同じであってもかまわない
（異なるプライベートアドレス空間の場合）

移動後のアドレス変換

NBがNAT配下に移動してアドレス変化（GNB→PNB）



エンドノード間の鍵共有の方法

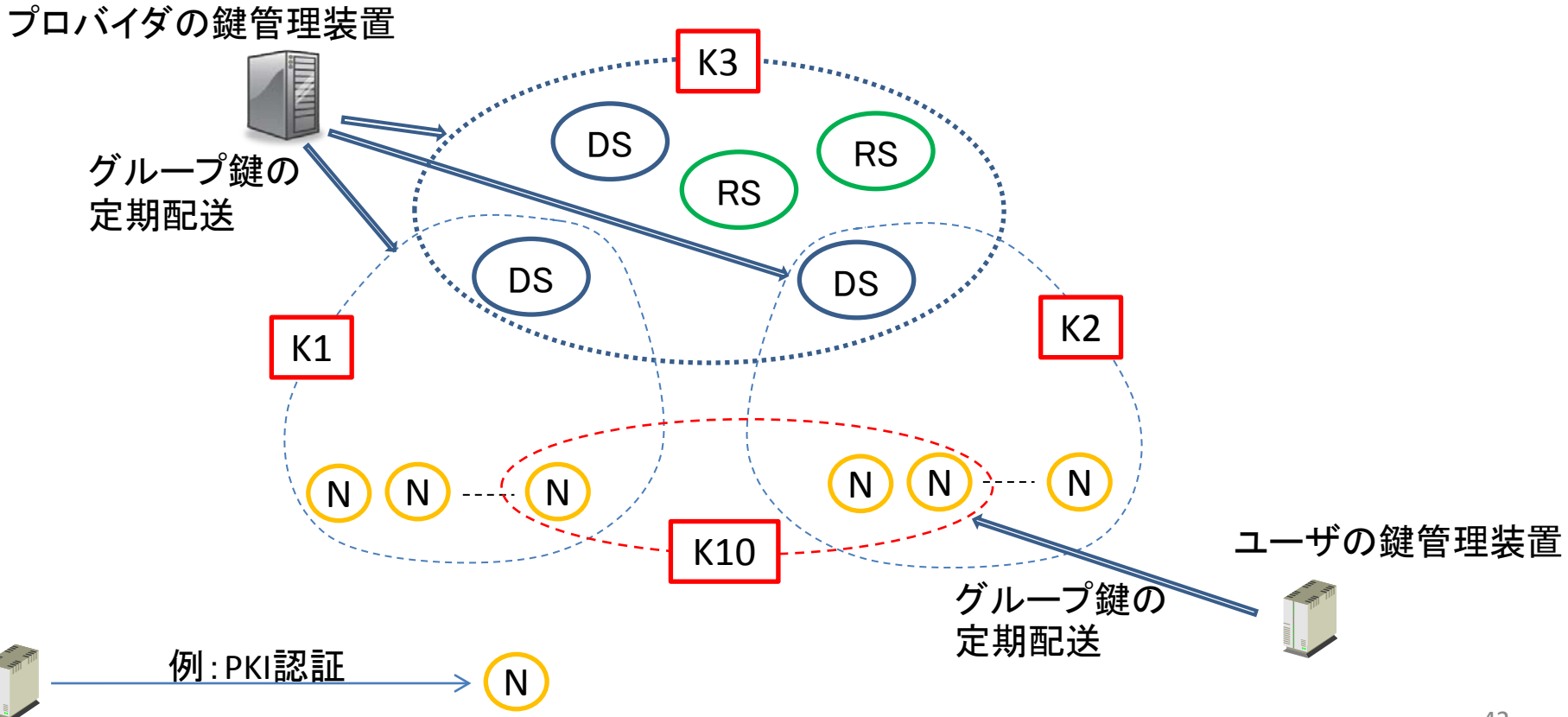


鍵管理

事前共有鍵の設定、更新の考え方

DS-Node間
DSどうし，DS-RS間
} プロバイダ側の管理
NTMobileシーケンス内で認証

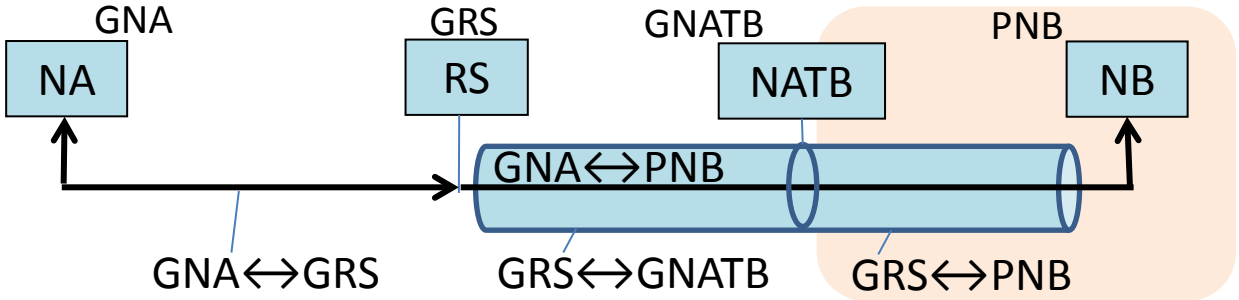
ユーザグループの定義---ユーザ側の管理
DPRPにてグループ認証



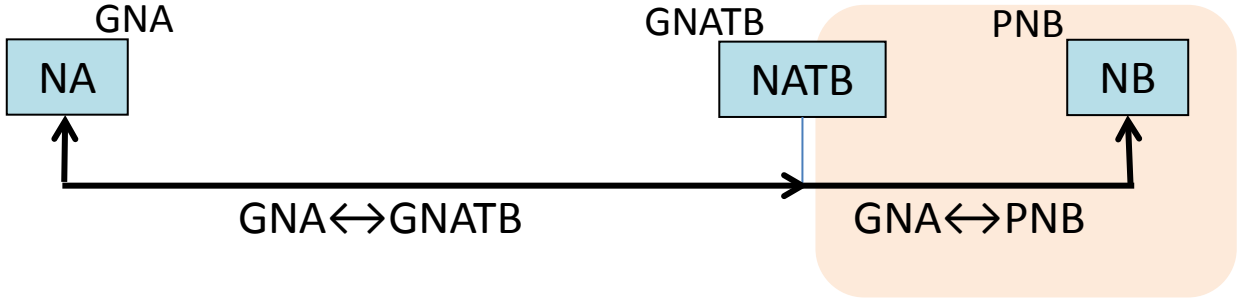
一般サーバとの通信方法

相手ノードが一般サーバの場合、RSがNATの役割を果たす
　NA（一般サーバ）はRSを通信相手とみなす
　NB側から通信を開始し、NBが移動しないことがわかっている場合は直接通信とする

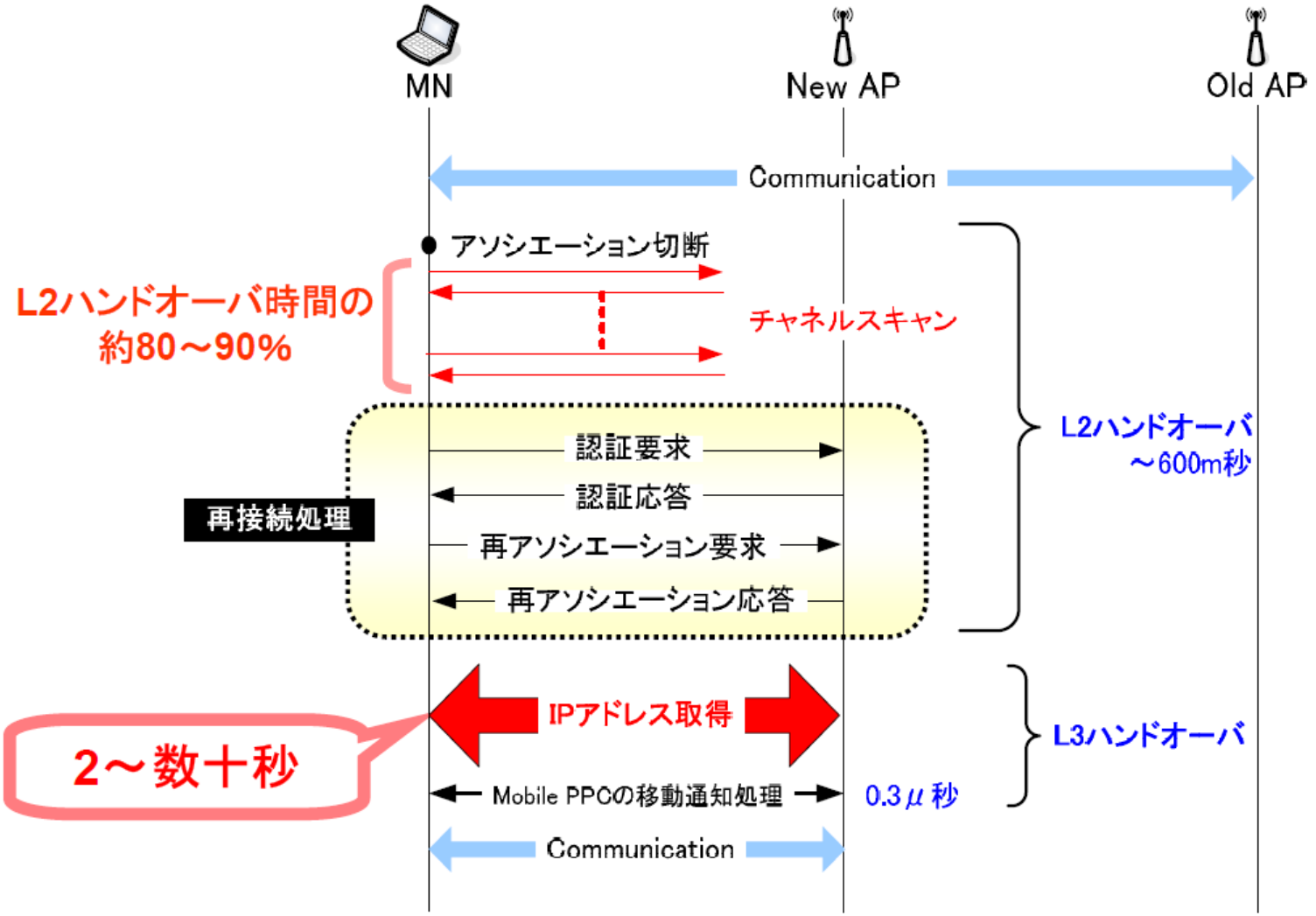
NBが移動する場合



NBが移動しないことがわかっている場合

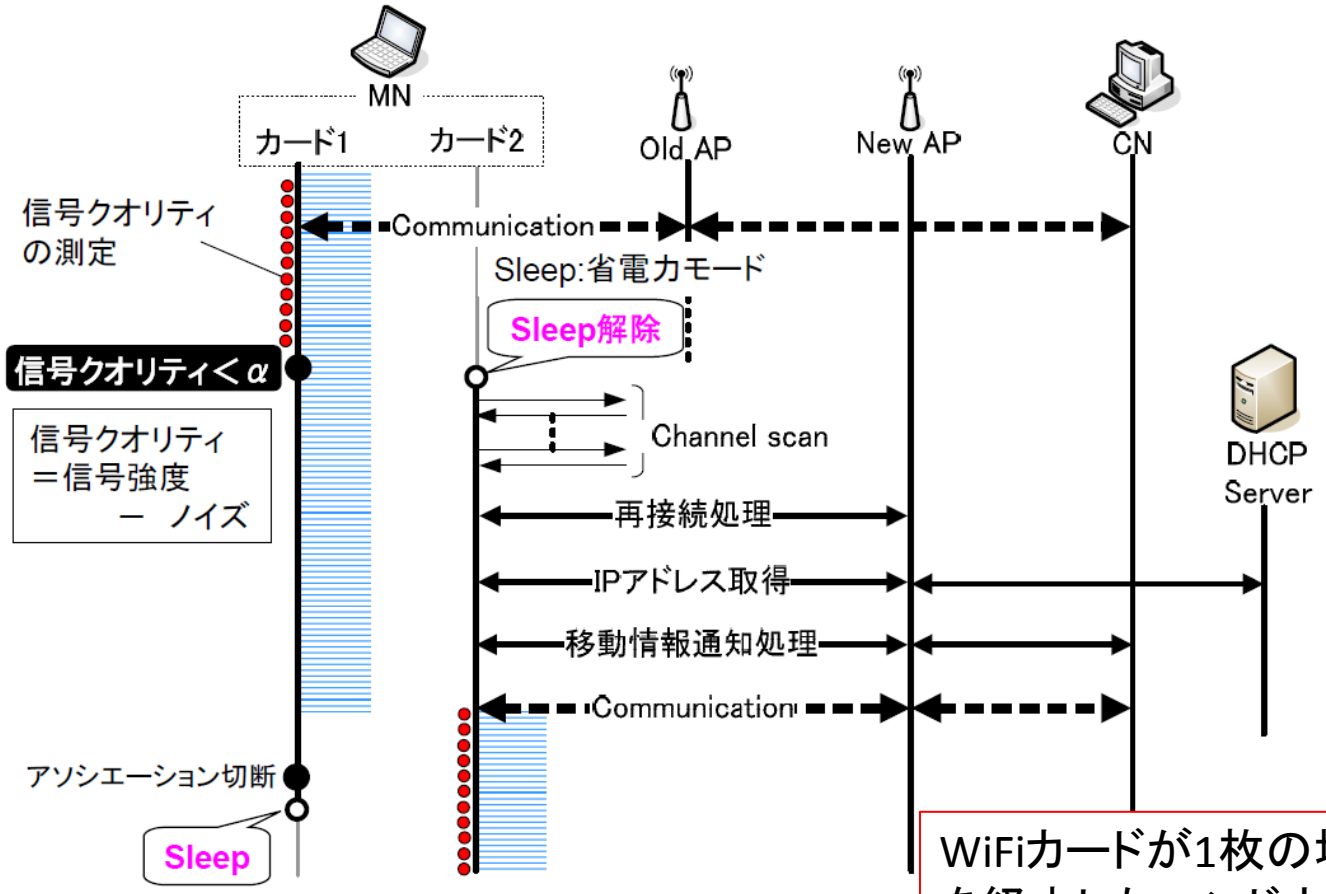


移動時の通信断絶について



解決策：インタフェースカードを2枚使用

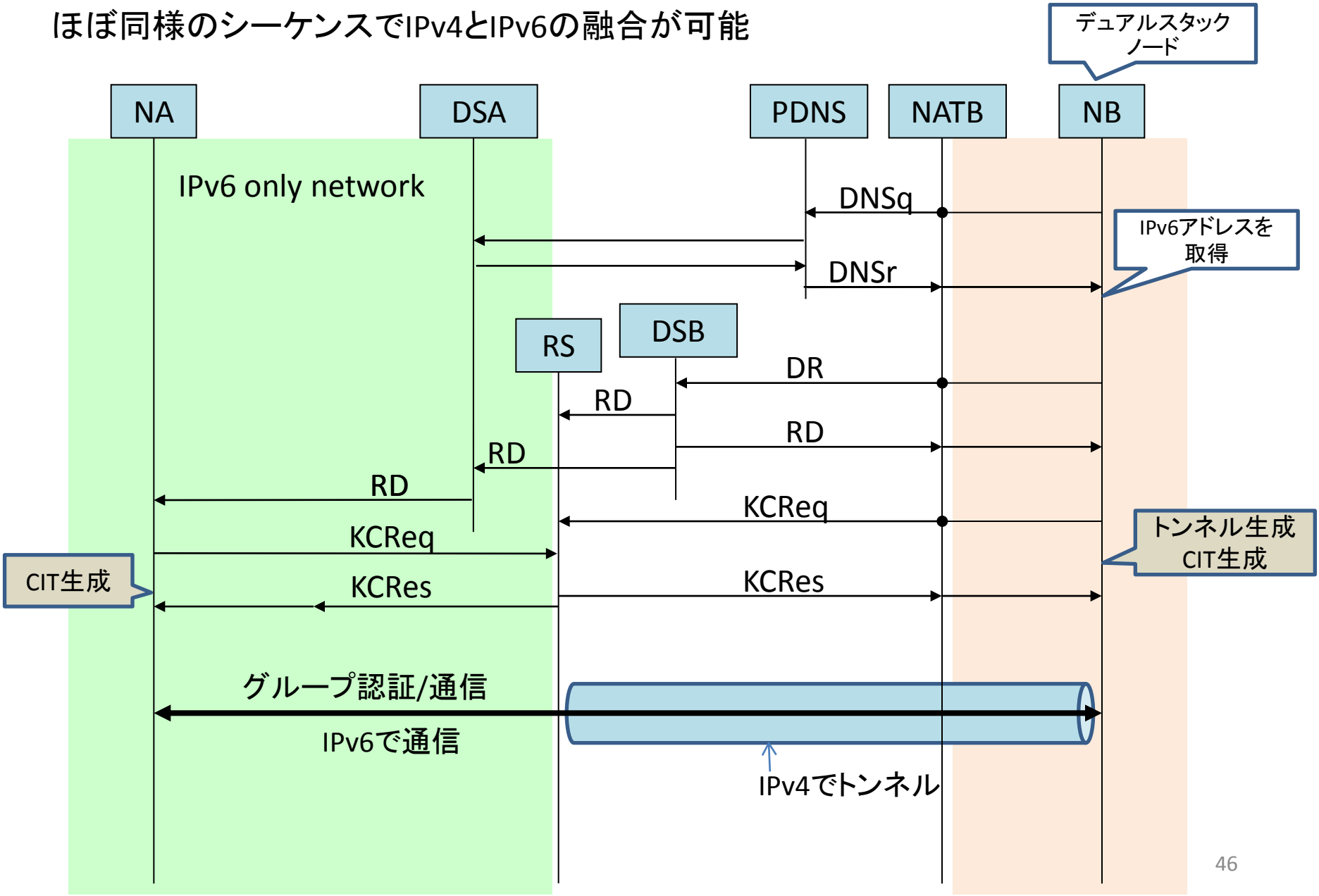
- カード1で通信開始。カード2はスリープモード
- 移動時はカード2によりハンドオーバを実行
- 移動後はカード2で通信



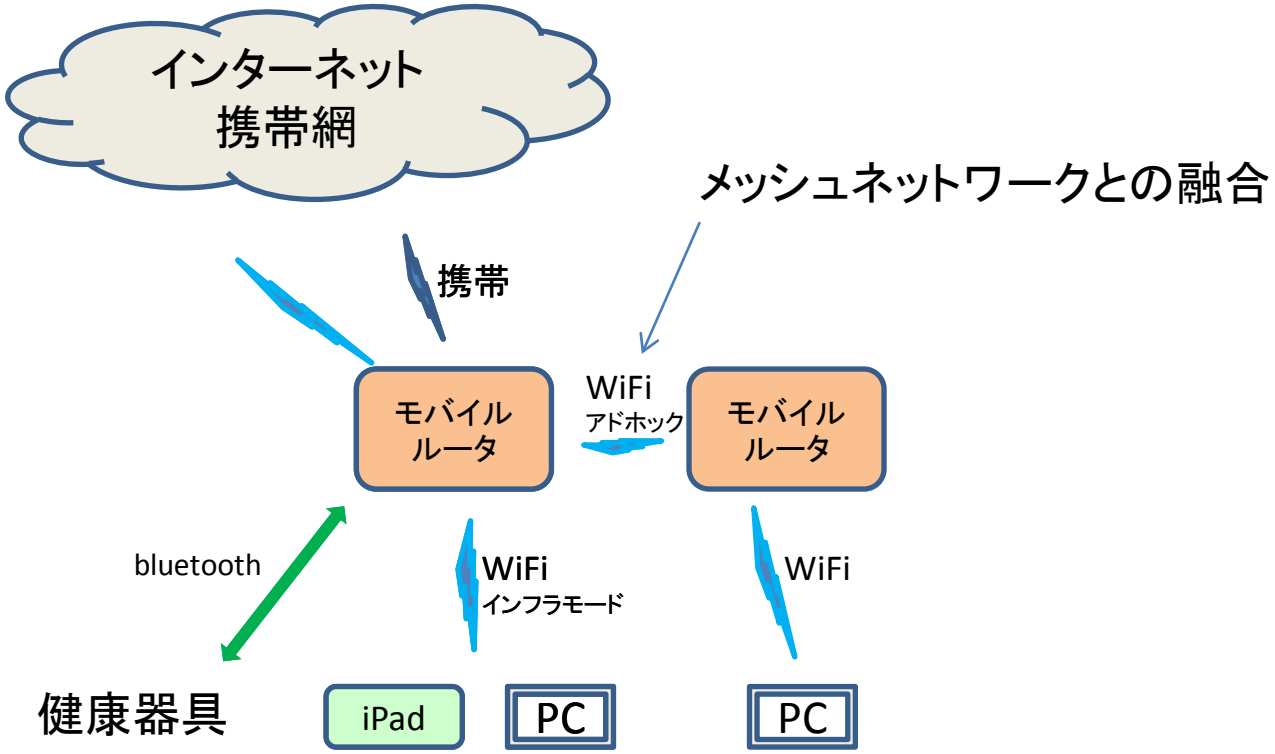
金本綾子，鈴木秀和，渡邊晃，「IPv4移動体通信システムにおけるパケットロスレスハンドオーバの提案」，情報処理学会論文誌，Vol.50，No.1，pp.133−143，Jan.2009.

IPv4/IPv6共存ネットワークへの発展

ほぼ同様のシーケンスでIPv4とIPv6の融合が可能



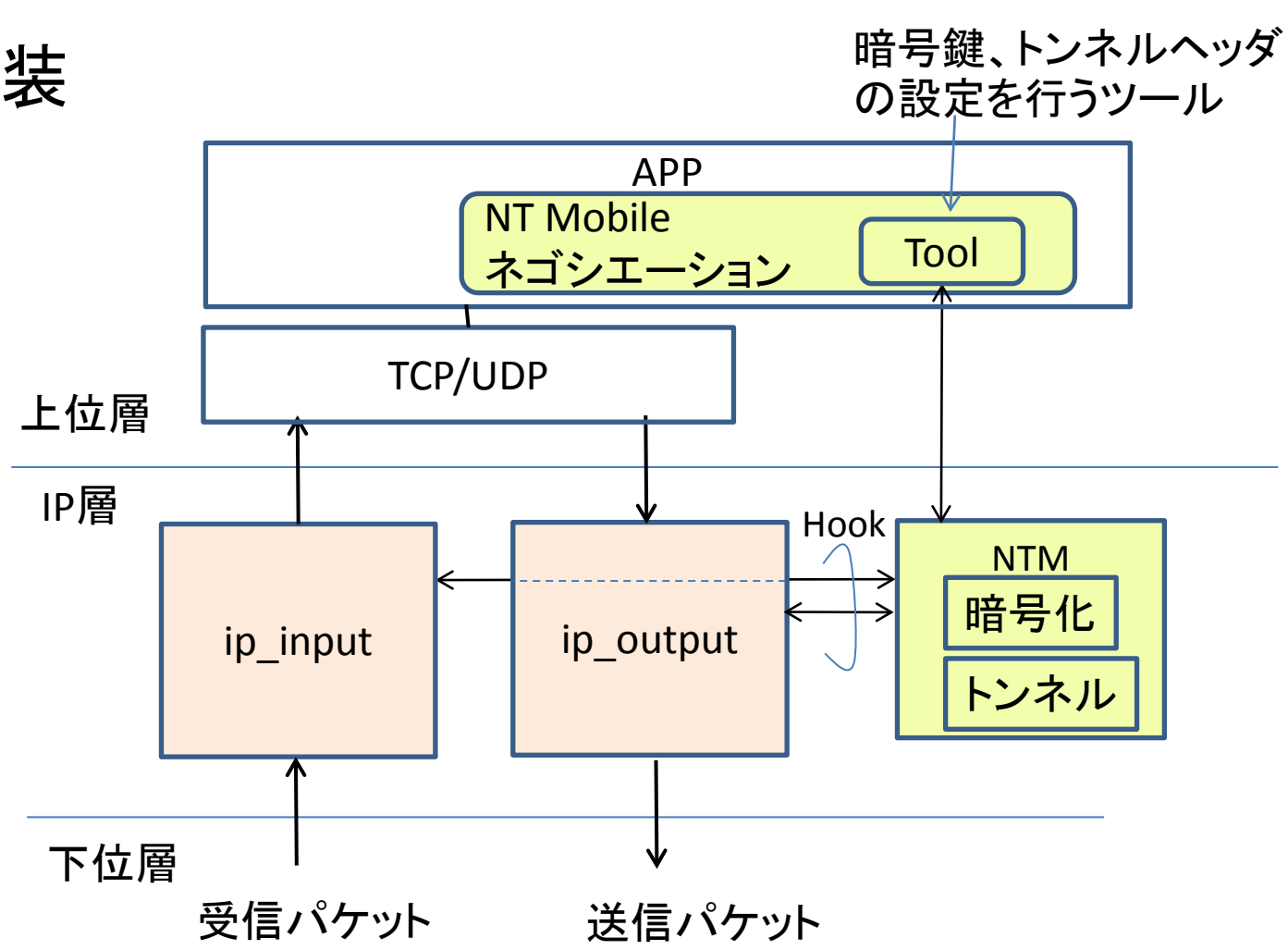
モバイルルータへの発展



かばんにMRを入れてネットワークを持ち歩く

車に搭載して、車車間通信に利用
WiFiが届けばメッシュネットワークで直接車車間通信
届かないときはインターネット/携帯網経由で通信

実装



NT Mobileネゴシエーションはアプリケーションで実現
暗号化とトンネル処理はIP層で実現
既存カーネルの改造はNTMの呼出部分のみ

関連論文一覧:

[1] 竹内 元規, 鈴木 秀和, 渡邊 晃,「エンドエンドで移動透過性を実現するMobile PPCの提案と実装」,
情報処理学会論文誌, Vol.47, No.12, pp.3244-3257, Dec.2006.
[2] 鈴木 秀和, 渡邊 晃,「フレキシブルプライベートネットワークにおける動的処理解決プロトコルDPRPの実装と評価」,
情報処理学会論文誌, Vol.47, No.11, pp.2976-2991, Nov.2006.
[3] 増田 真也, 鈴木 秀和, 岡崎 直宣, 渡邊 晃,「NATやファイアウォールと共存できる暗号通信方式PCCOMの提案と
実装」, 情報処理学会論文誌, Vol.47, No.7, pp.2258-2266, Jul.2006.
[4] 鈴木 秀和, 宇佐見　庄五, 渡邊 晃,「外部動的マッピングによりNAT越え通信を実現するNAT-f の提案と実装」,
情報処理学会論文誌, Vol.48, No.12, pp.3949-3961, Dec.2007.
[5] 鈴木 秀和, 渡邊 晃,「プライベートネットワーク内のノードを通信相手とした移動透過性の実現方式」,
電子情報通信学会論文誌(B), Vol.J92-B, No.1, pp.13, Jan.2009.
[6] 金本 綾子, 鈴木 秀和, 伊藤 将志, 渡邊 晃,「IPv4移動体通信システムにおけるパケットロスレスハンドオーバの
提案」, 情報処理学会論文誌, Vol.50, No.1, pp.133-143, Jan.2009.
[7] 坂本 順一, 鈴木 秀和, 伊藤 将志, 宇佐見　庄五, 渡邊 晃,「プライベートアドレスによるネットワークモビリティを実現
するMobile NPCの提案」, 情報処理学会論文誌, Vol.50, No.10, pp.1-13, Oct.2009.
[8] 瀬下 正樹, 鈴木 秀和, 伊藤 将志, 渡邊 晃,「分割Diffie-Hellman鍵交換による移動ノードの鍵共有方式の提案」,
情報処理学会論文誌, Vol.50, No.7, pp.1725-1734, Jul.2009.
[9] 鈴木秀和, 渡邊晃,「通信グループに基づくサービスの制御が可能なNAT越えシステムの提案」,
情報処理学会論文誌, Vol.51, No.9, pp.1-11, Sep.2010.
[10] 宮崎悠, 鈴木秀和, 渡邊晃,「端末の改造が不要なNAT越え通信NTSSの提案と評価」,
情報処理学会論文誌, Vol.51, No.9, pp.1234-1241, Sep.2010.
[11]伊藤 将志, 鹿間 敏弘, 渡邊 晃,「無線メッシュネットワーク”WAPL ”の提案とシミュレーション評価」,
情報処理学会論文誌, Vol.49, No.6, pp.1859-1871, Jun.2008.