

NTMobileにおけるマルチキャスト機能の実現

130441078 菅沼 良一
渡邊研究室研究室

1. はじめに

モバイル端末や無線インフラの普及により、通信接続性への要求や移動透過性への要求が高まっている。NT-Mobile(Network Traversal with Mobility)は移動透過性と通信接続性を同時に実現した E2E(End to End) 通信基盤である。しかし NTMobile にはマルチキャスト機能が提供されていない。本研究では、NTMobile の特徴を生かしたマルチキャスト機能を実現するため、グループ管理を行う GMS(Group Management Server)を利用した、メッセージをリング状に転送するマルチキャスト機能を提案する。

2. NTM Mobile 概要

NTMobile[1] は、DC(Direction Coordinator), RS(Relay Server), NTM 端末によって構成される。DC は NTM 端末への仮想 IP アドレスの割り当てや、トンネル構築指示を行う。RS は IPv4-IPv6 間通信や、通信を行う NTM 端末が異なる NAT 配下にある場合など、直接通信ができない場合に、パケットの中継を行う。NTM 端末のアプリケーションは仮想 IP アドレスによりセッションを確立する。通信開始時、DC からの指示に従い、NTM 端末間で UDP トンネルを生成する。その後のアプリケーションパケットは実 IP アドレスによってカプセル化される。以上の方法により、NTMobile では NAT の有無や、IPv4 と IPv6 の違いを意識することのない、フラットなネットワークを実現することができる。

3. マルチキャストの実現

提案方式では、ユーザのグルーピングを行なった後、グループメンバをリング状に並べ、パケットを順に転送することによって、マルチキャスト機能を実現する。任意のノードが配送元になることができ、ネットワークラフィックも少ないという特徴がある。

3.1 GMS を用いたグルーピング

GMS のグループ핑は [2] で検討されている。グループ招待者を NTM1, 被招待者を NTM2 とする。NTM1 と NTM2 は通信に先立ち、DC からの指示に従って E2E のトンネル経路を生成する。NTM1 は、トンネルを経由して NTM2 をグループに招待する。次に NTM1 は GSM へ新しいグループメンバ報告を行う。報告を受けた GSM は、メンバ情報を更新するとともに新しいグループ鍵の生成を行い、グループメンバ全員に配布する。これにより、グループメンバ全体でグループ鍵が共有され、NTM 端末のグループ핑が完了する。GMS は表 1 に示すような情報を保持する。

3.2 リング経路の生成方法

マルチキャストを行うにあたり、GMS はグループメンバーがリング状に繋がるよう、経路を決定する。GMS は表 1 のメンバー情報をもとに各グループメンバーを IP アドレス順にソートする。IP アドレス順とする理由は、IP アドレスが近いと物理的に近い場所にグループメンバーが存在する可能性が高いためである。経路生成の手順は以下の通りである。

1. IPv6 アドレスしか持たない端末を抽出する
2. 抽出された端末の IPv6 アドレス順にソートする
3. NAT のグローバル IPv4 アドレスを持つ端末と、グローバル IPv4 アドレスのみを持つ端末を抽出する
4. 抽出したグローバル IPv4 アドレスをソートする
5. 同一 NAT 配下のプライベート IPv4 アドレスを持つ端末を抽出する

- 抽出した端末の IPv4 アドレスをソートする
- 全ての NAT に対して、5, 6 の処理を実行する

表 1: GMS が保持するメンバ情報

①	②	③	④	⑤	⑥
g1	on	cccc		202.232.9.1	192.168.1.2
g1	on	aaaa	2001:db8::aa::~~		
g1	on	bbbb		202.202.1.2	
g1	on	dddd		202.232.9.1	192.168.1.3
g2	off	ffff	2001:db8::bb::~~	202.206.4.4	

①:groupID, ②:login status, ③:FQDN,
④global IPv6address ⑤:global IPv4address,
⑥:private IPv4address

3.3 マルチキャストシーケンス

図1にマルチキャストのシーケンスを示す。NTM1は、グループを代表してマルチキャストの開始をGMSに向けて要求する。マルチキャスト要求を受け取ったGMSは3.2節に従って、グループメンバ間の経路を決定する。図1ではNTM1 → NTM2 → NTM3 → NTM4 → NTM1の順となる。次にGMSは、各グループメンバに次ノードのFQDNを指示する。経路指示を受信したNTM端末は次ノードのFQDNを指示してNTMシグナリングを行い、トンネルを構築する。すべてのNTM端末が同様にしてトンネルを構築する。これらのトンネルは、端末間のKeepAliveによって維持され、任意のNTM端末がマルチキャストの送信元端末となることができる。各NTM端末は次ノードへのKeepAliveとともに、GMSに対してもKeepAliveを実行する。何らかの理由でNTM端末間のKeepAliveが終了してしまった場合には、GMSが再度経路生成を行う。

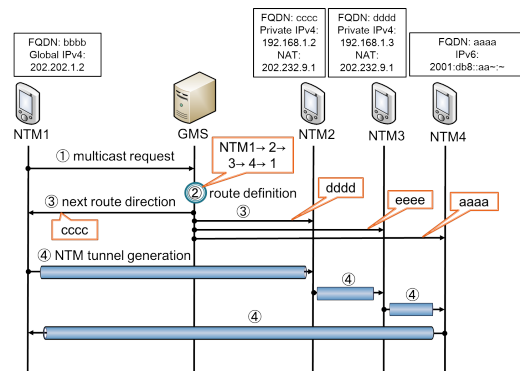


図 1: マルチキャストシーケンス

4. まとめ

本稿では、NTMobile でマルチキャスト機能を実現する方法を提案した。今後は、提案方式のマルチキャストの実装・性能評価及び課題の検討を行っていく。

参考文献

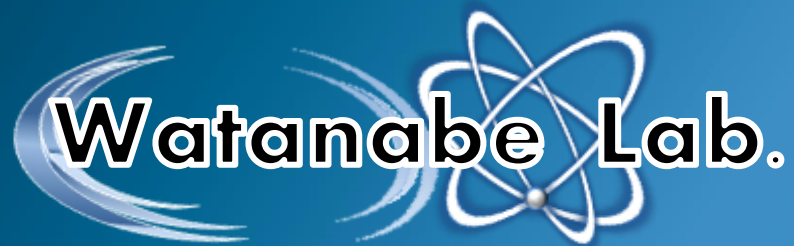
- [1] 上醉尾一真, 他: IPv4/IPv6 混在環境で移動透過性を実現する NTMobile の実装と評価, 情報処理学会論文誌, Vol.54, No.10, pp.2288-2299 (2013).
- [2] 棚田慎也, 他: 暗号技術を用いたセキュアグループコミュニケーションの提案, マルチメディア, 分散, 協調とモバイル (DICOMO2016) シンポジウム 論文集, Vol. 2016, pp. 366-371 (2016).

NTMobile における マルチキャスト機能の実現

菅沼良一[†] 納堂博史[†] 鈴木秀和[†] 内藤克浩^{††} 渡邊晃[†]

[†]名城大学 理工学部

^{††}愛知工業大学 情報科学部



研究背景 (1)

▶ モバイル端末、無線インフラの普及

- 通信接続性の要求

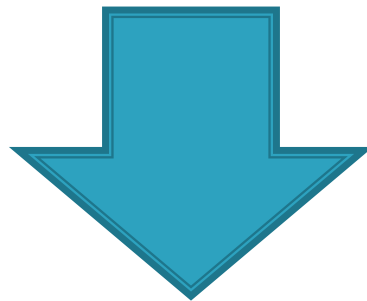
- ▶ IPv4/IPv6の混在環境

NTMobileによって解決

- 現状のIPネットワークは、IPアドレスによって通信を行う
 - ▶ 移動時に伴うネットワークの切り替えによって端末のIPアドレスが変化
 - ・ 移動しながらの通信ができない

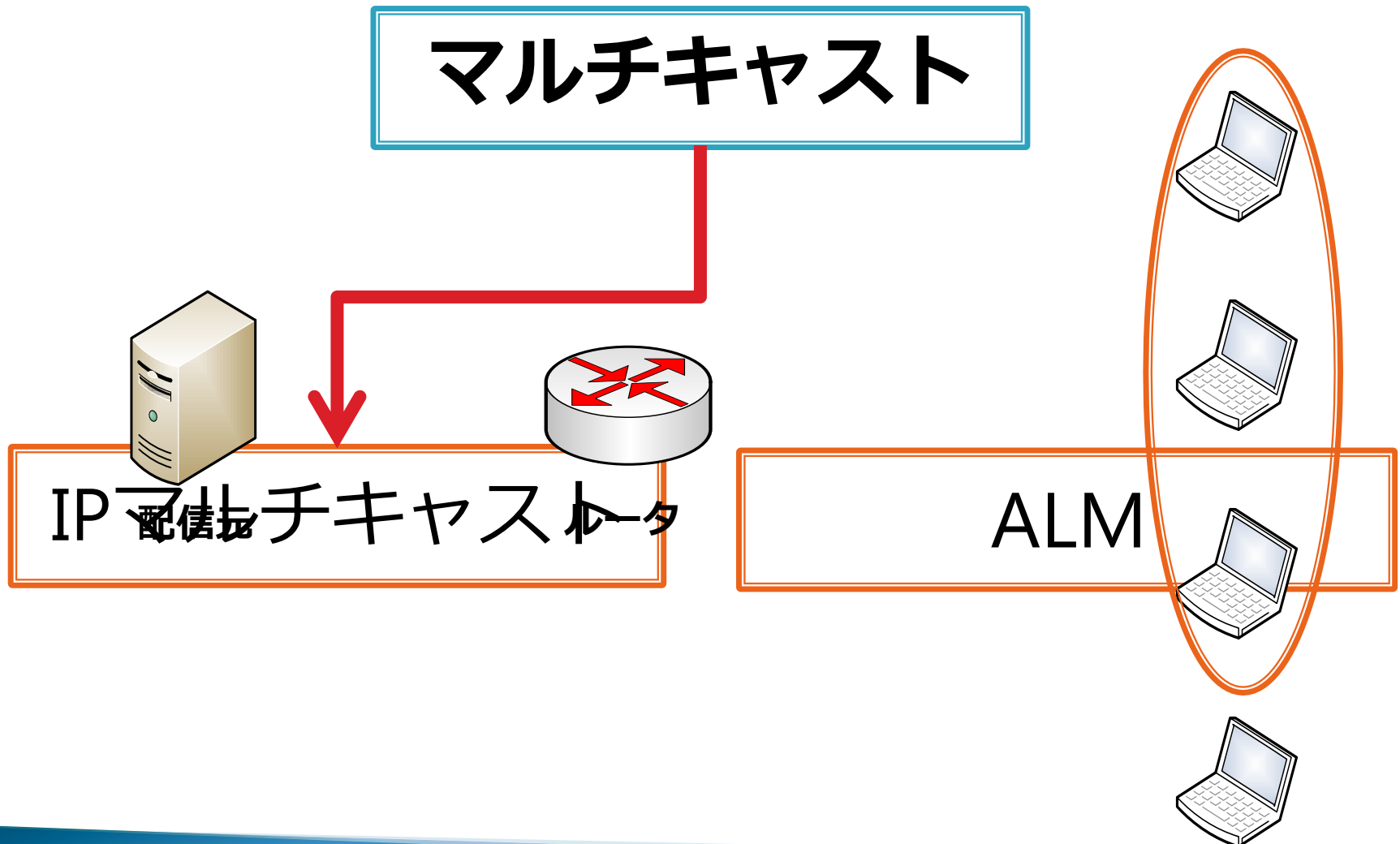
研究背景 (2)

- ▶ 同一の大容量データを複数に送信する機会の増加
 - 効率的なネットワーク資源の利用が急務
 - ▶ ユニキャストでは帯域消費量が大きく非効率



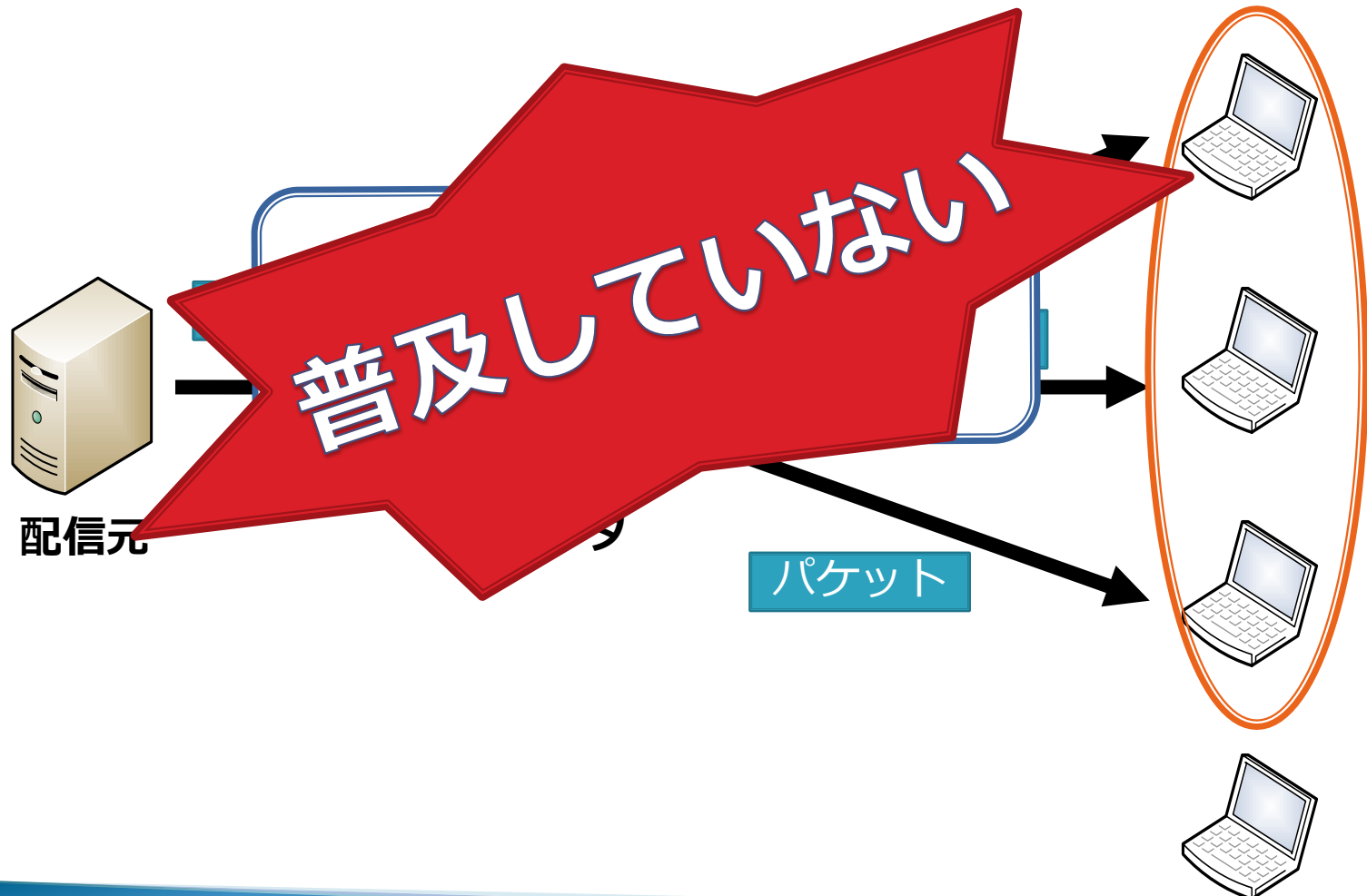
マルチキャストの利用

マルチキャストの種類



マルチキャストの種類

- IPマルチキャスト
 - ルータがパケットを複製, 転送



マルチキャストの種類

- ALM (Application Layer Multicast)

- 配送経路をオーバーレイネットワークで構築

- ユニキャスト

マルチキャスト

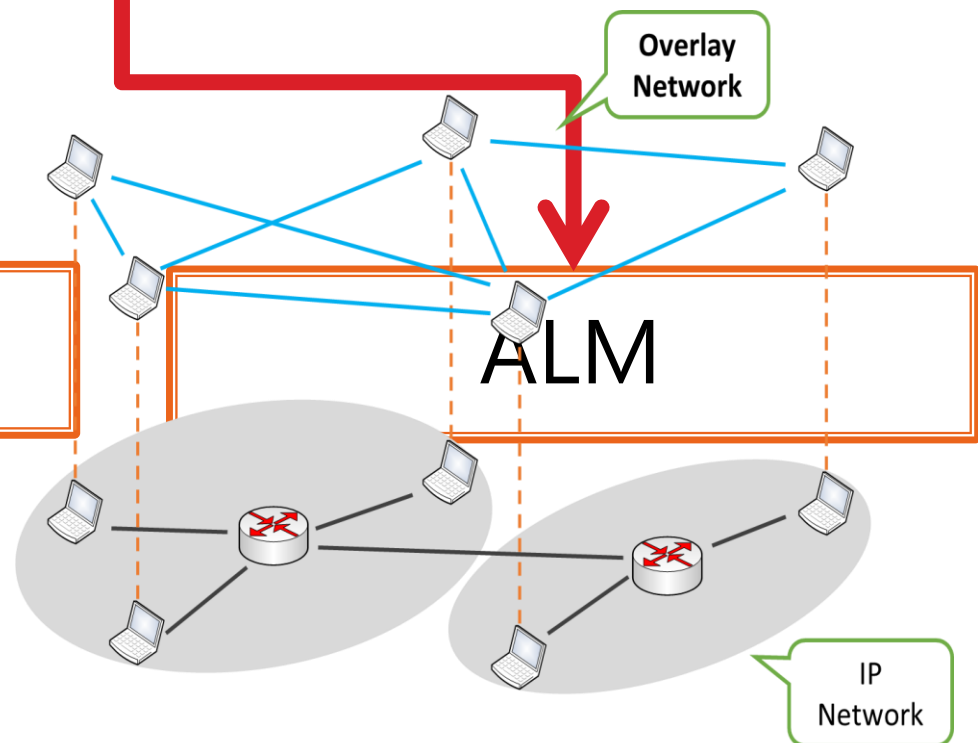
リンク

- 端末がパケットの複製・転送

- ALMの方式

- Narada, ALMI, Chainsaw etc

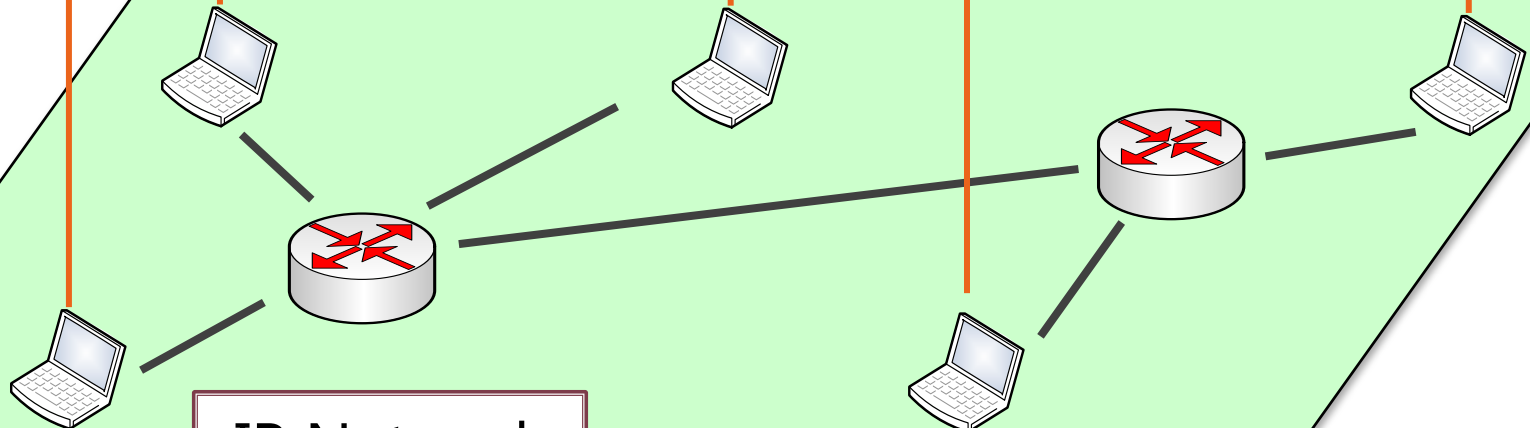
IPマルチキャスト



マルチキャストの種類

- ・ 任意の端末が送信元になることができない
- ・ 物理的経路の考慮がない

送信元



IP Network

研究の目的

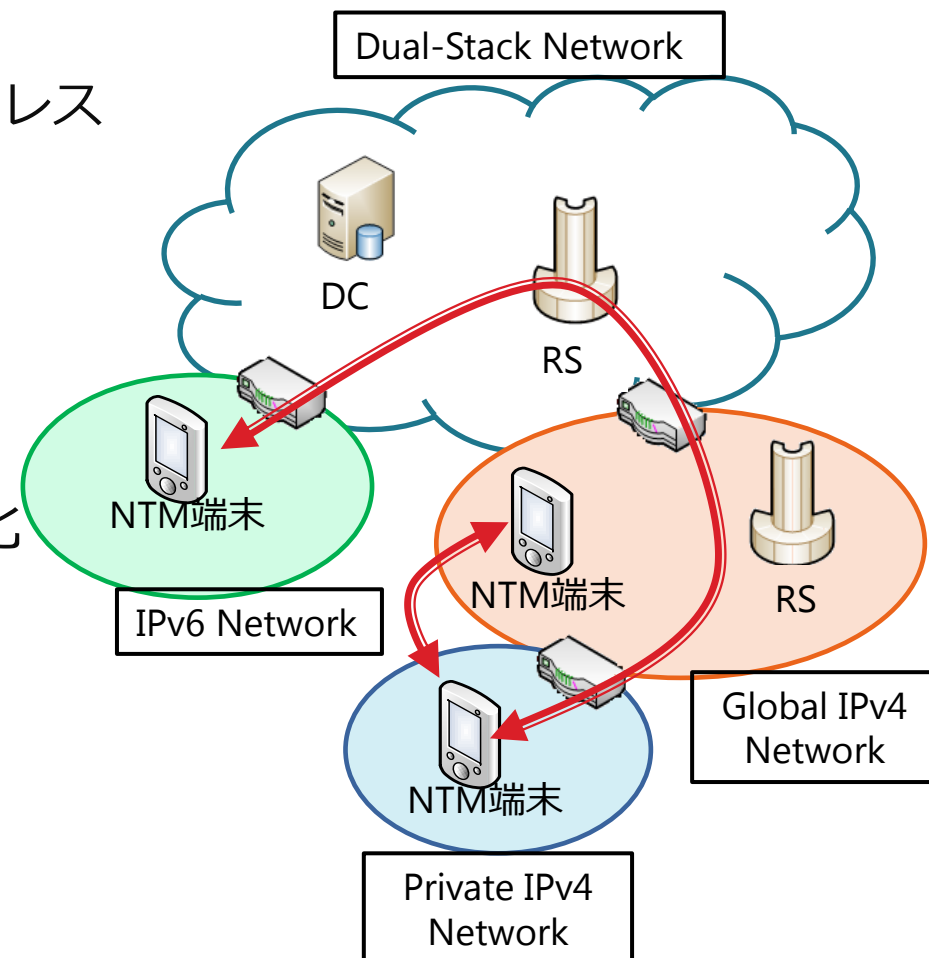
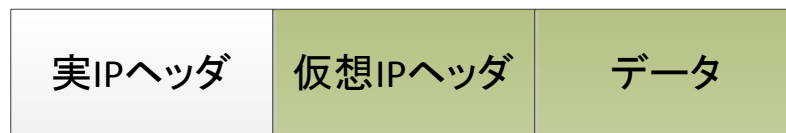
NTMobileを用いた マルチキャストを提案

- ・ プライベート/グローバル空間でのマルチキャスト
- ・ IPv4, IPv6混在環境でのマルチキャスト
- ・ マルチキャストにはALMを使用
- ・ 任意の端末が送信元となることが可能
- ・ 端末間の物理的経路を考慮

NTMobile (Network Traversal with Mobility)

▶ 移動透過性・通信接続性を実現する技術

- 仮想IPアドレスの導入
 - ▶ 端末の位置に依存しないIPアドレス
 - ▶ 仮想IPアドレスを用いてコネクションを確立
- UDPトンネルの利用
 - ▶ 実IPアドレスで仮想IPアドレスをカプセル化



NTMobile (Network Traversal with Mobility)

▶ 移動透過性・通信接続性を実現する技術

● NTM端末

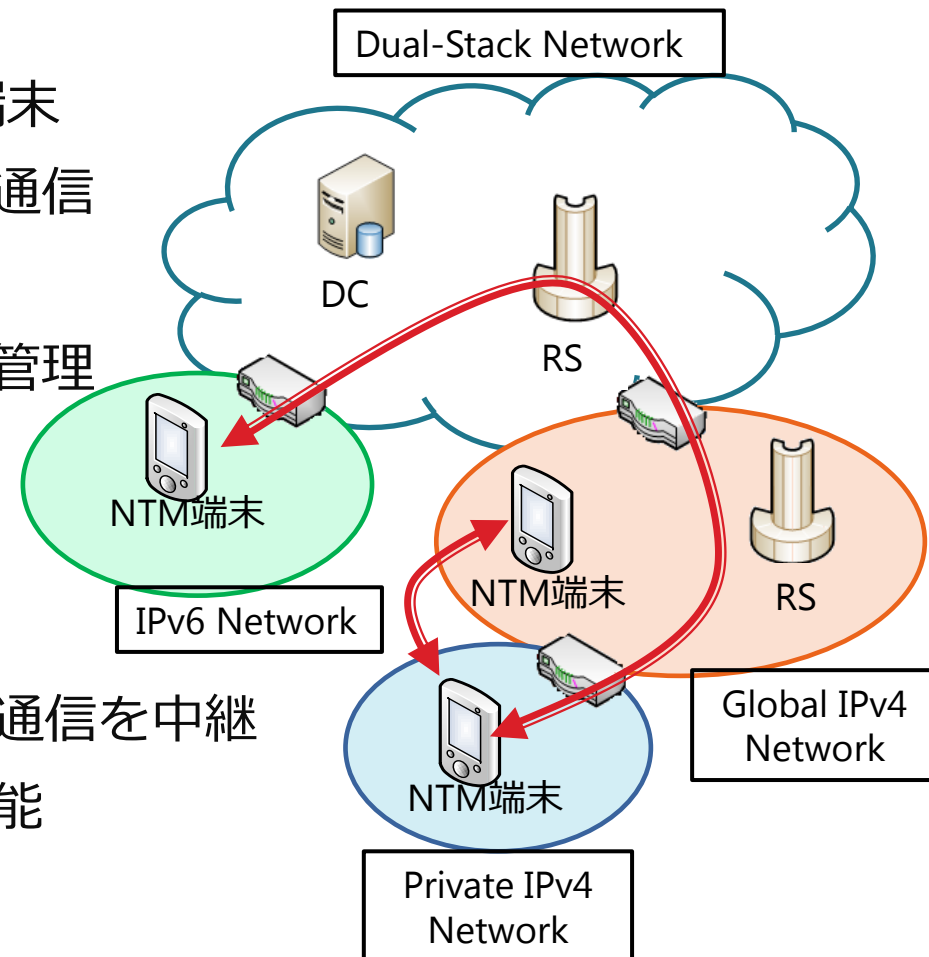
- ▶ NTMobile機能が実装された端末
- ▶ 仮想IPアドレスによって直接通信

● DC(Direction Coordinator)

- ▶ 仮想IPアドレスの割り当て・管理
- ▶ UDPトンネル構築
- ▶ 通信経路指示

● RS(Relay Server)

- ▶ 直接通信できない場合において通信を中継
- ▶ ネットワーク上に分散設置可能



NTMobile (Network Traversal with Mobility)

▶ 移動透過性・通信接続性を実現する技術

● NTM端末

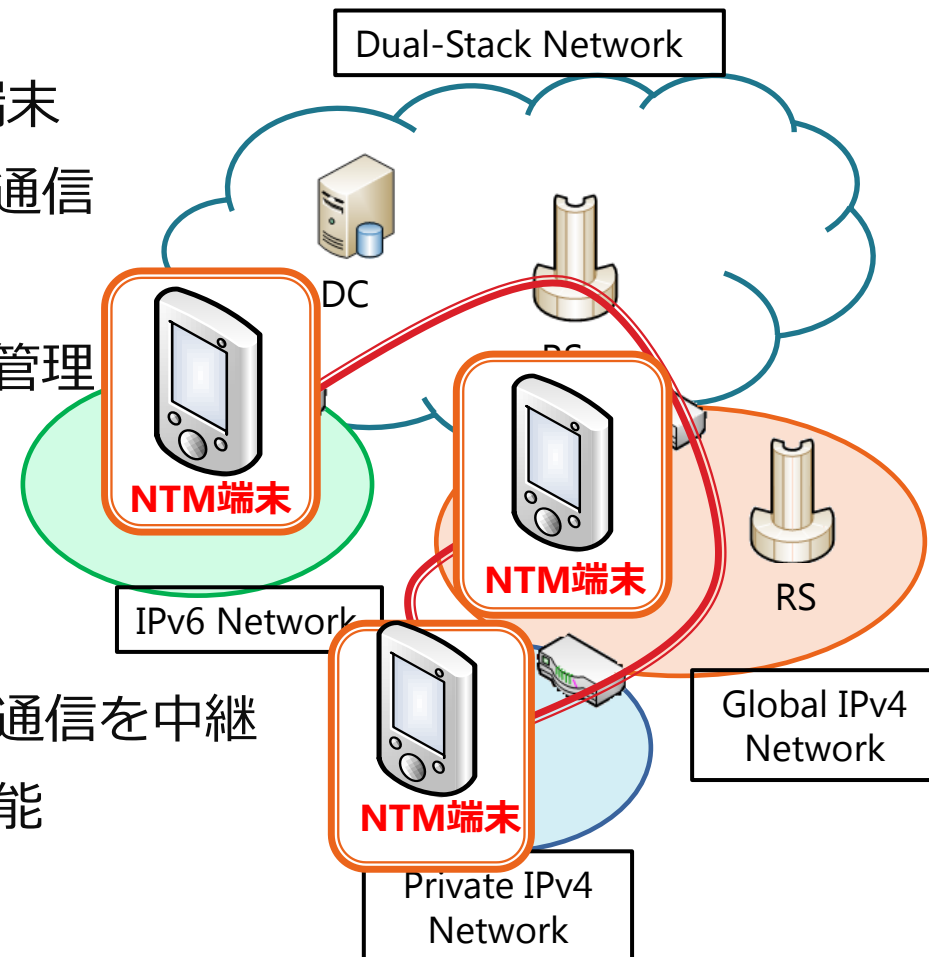
- ▶ NTMobile機能が実装された端末
- ▶ 仮想IPアドレスによって直接通信

● DC(Direction Coordinator)

- ▶ 仮想IPアドレスの割り当て・管理
- ▶ UDPトンネル構築
- ▶ 通信経路指示

● RS(Relay Server)

- ▶ 直接通信できない場合において通信を中継
- ▶ ネットワーク上に分散設置可能



NTMobile (Network Traversal with Mobility)

▶ 移動透過性・通信接続性を実現する技術

● NTM端末

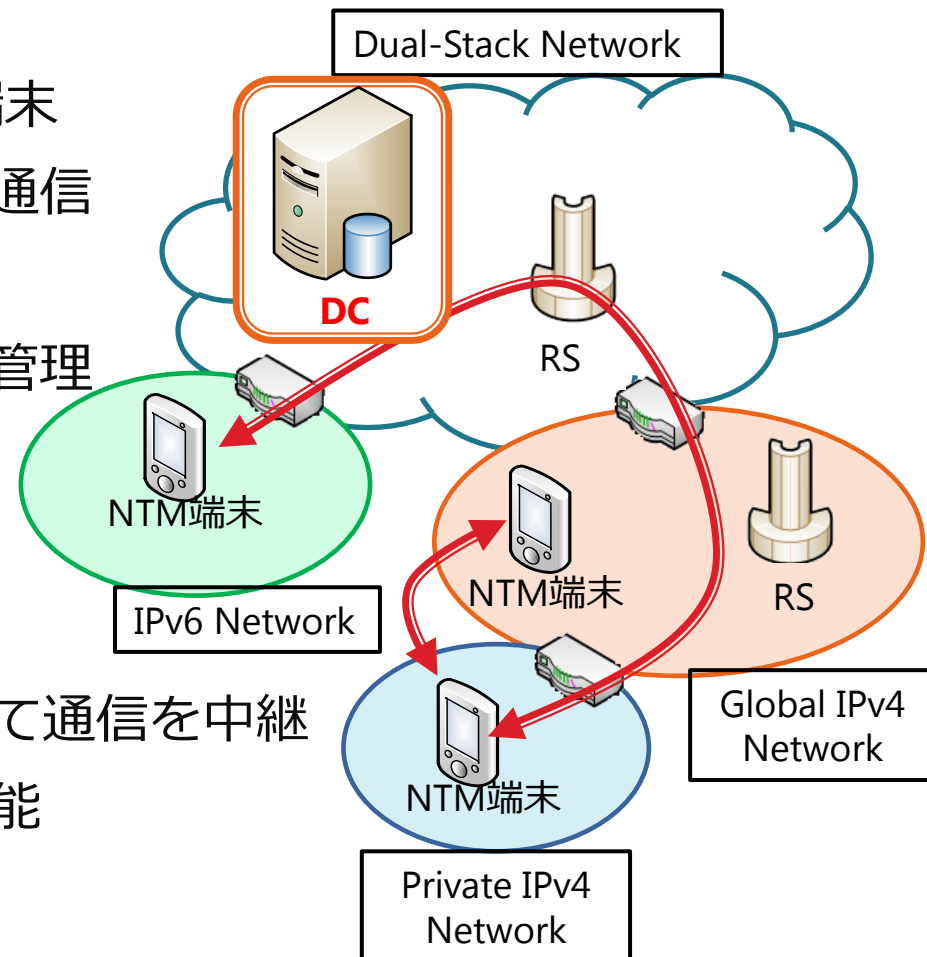
- ▶ NTMobile機能が実装された端末
- ▶ 仮想IPアドレスによって直接通信

● DC(Direction Coordinator)

- ▶ 仮想IPアドレスの割り当て・管理
- ▶ UDPトンネル構築
- ▶ 通信経路指示

● RS(Relay Server)

- ▶ 直接通信できない場合において通信を中継
- ▶ ネットワーク上に分散設置可能



NTMobile (Network Traversal with Mobility)

▶ 移動透過性・通信接続性を実現する技術

● NTM端末

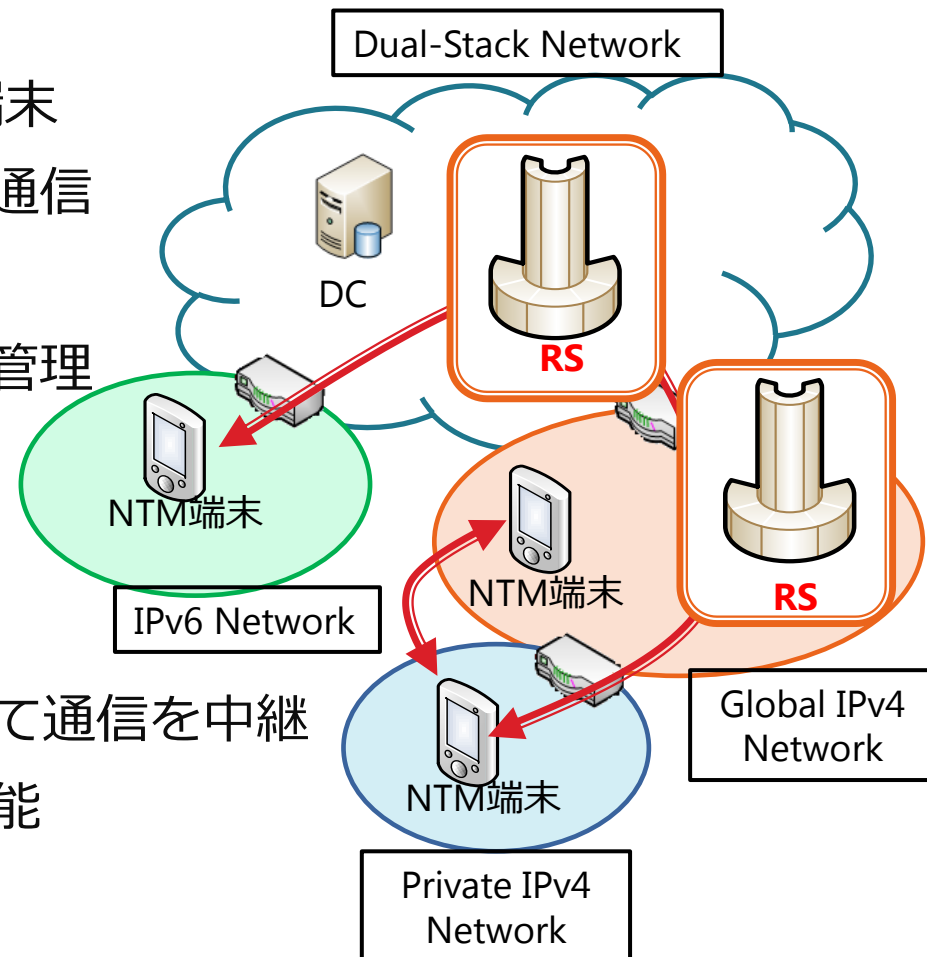
- ▶ NTMobile機能が実装された端末
- ▶ 仮想IPアドレスによって直接通信

● DC(Direction Coordinator)

- ▶ 仮想IPアドレスの割り当て・管理
- ▶ UDPトンネル構築
- ▶ 通信経路指示

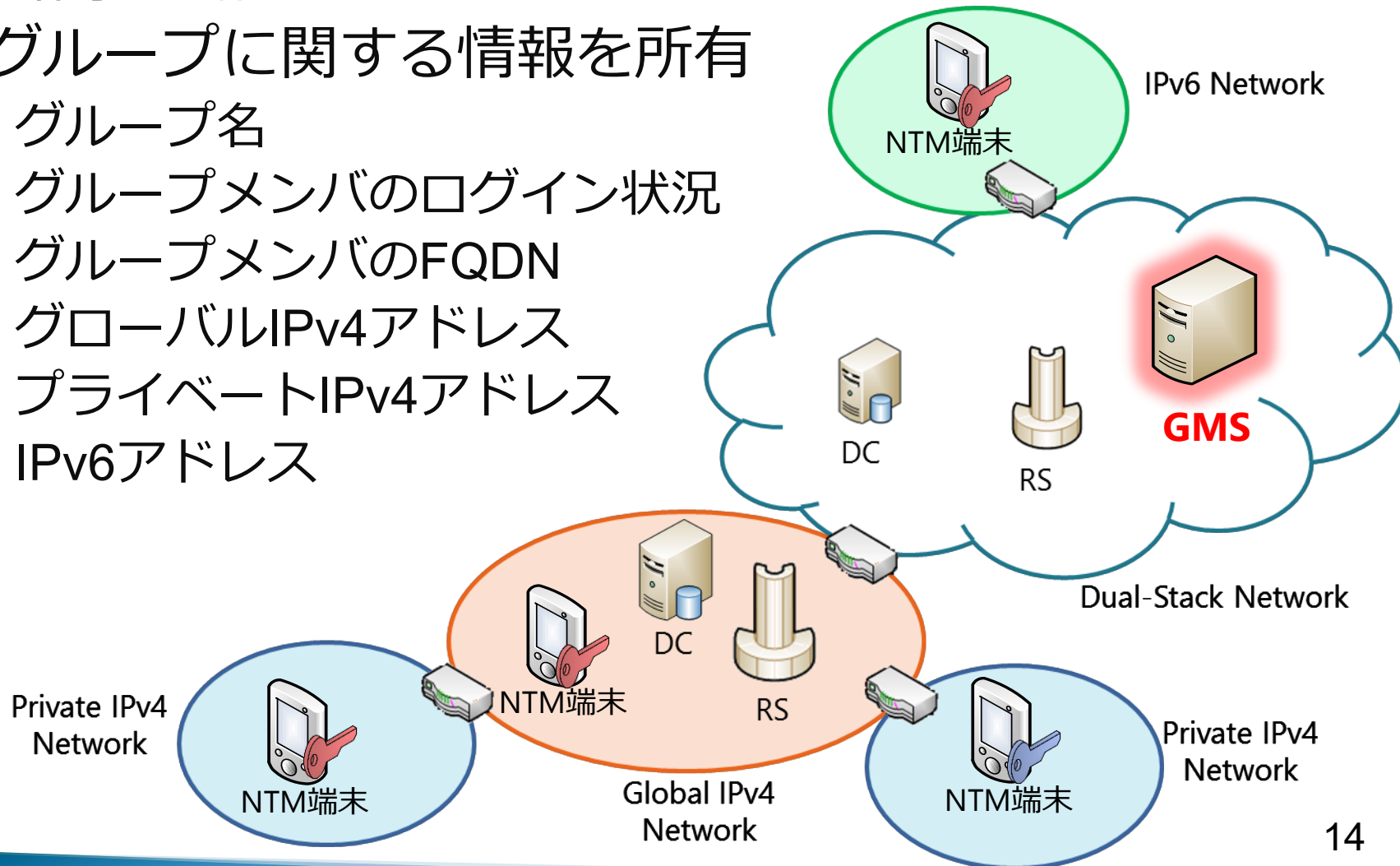
● RS(Relay Server)

- ▶ 直接通信できない場合において通信を中継
- ▶ ネットワーク上に分散設置可能



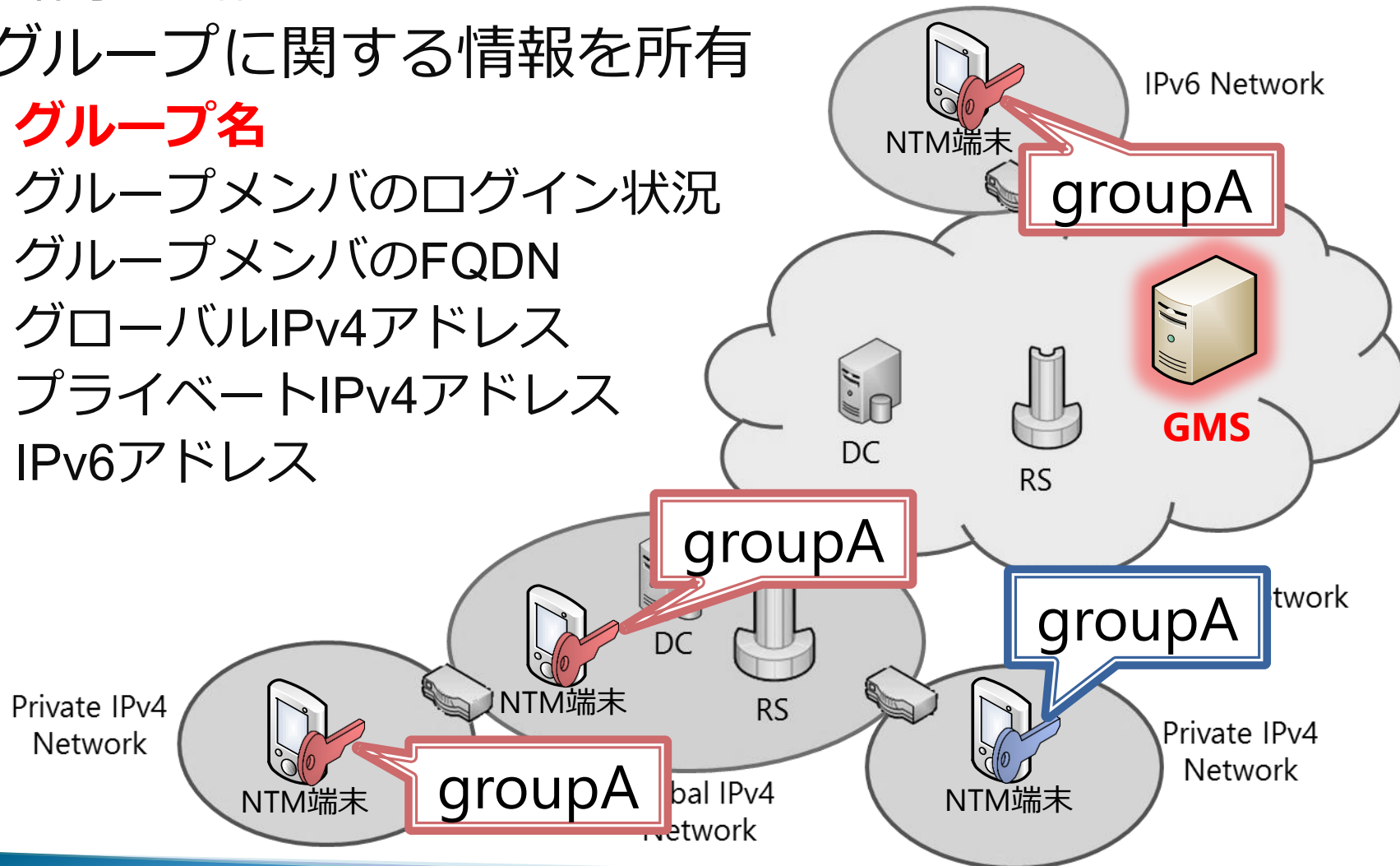
GMS(Group Management Server)

- ▶ グループの作成、管理
 - 暗号鍵の配送
- ▶ グループに関する情報を所有
 - グループ名
 - グループメンバーのログイン状況
 - グループメンバーのFQDN
 - グローバルIPv4アドレス
 - プライベートIPv4アドレス
 - IPv6アドレス



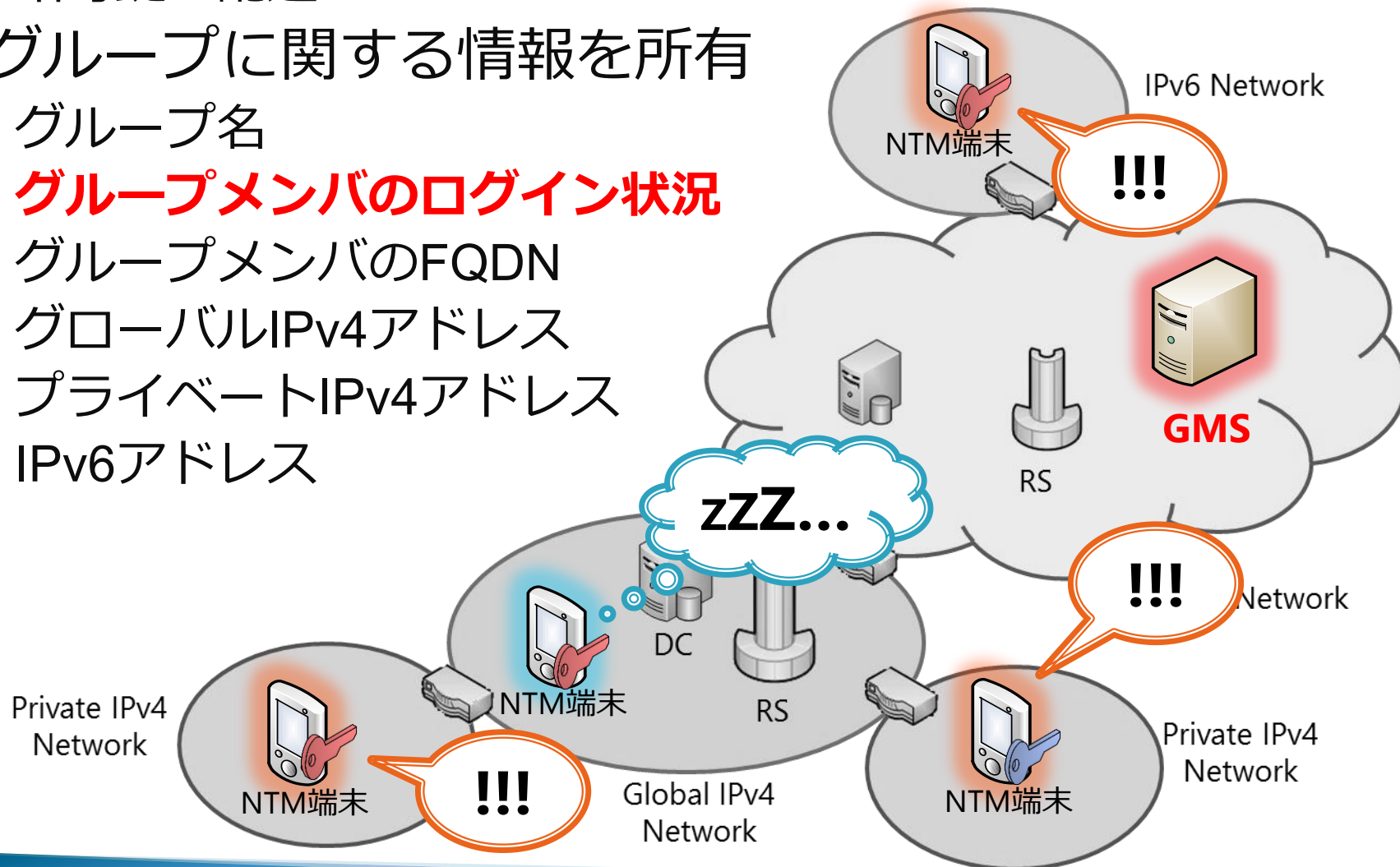
GMS(Group Management Server)

- ▶ グループの作成、管理
 - 暗号鍵の配送
- ▶ グループに関する情報を所有
 - **グループ名**
 - グループメンバーのログイン状況
 - グループメンバーのFQDN
 - グローバルIPv4アドレス
 - プライベートIPv4アドレス
 - IPv6アドレス



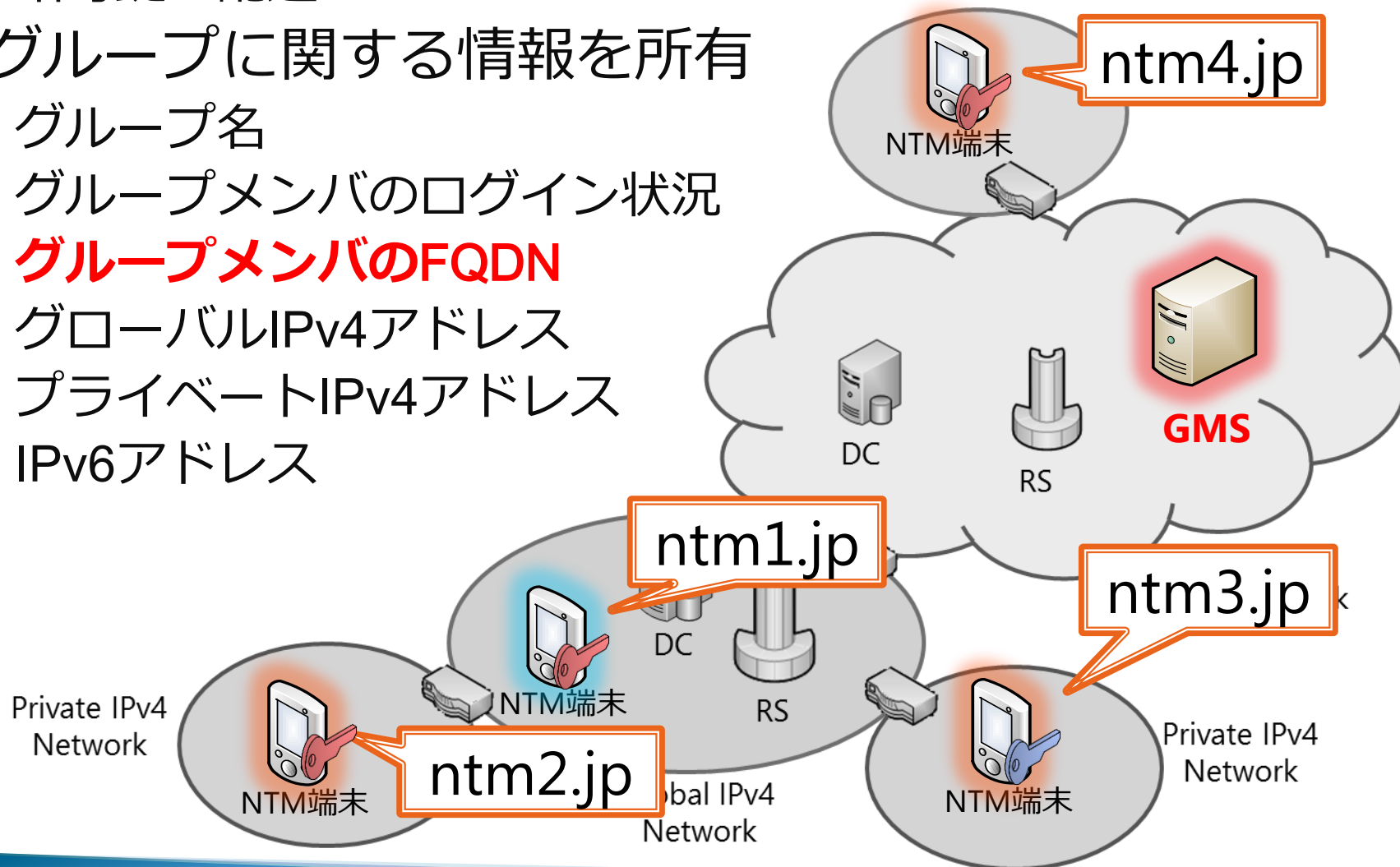
GMS(Group Management Server)

- ▶ グループの作成、管理
 - 暗号鍵の配送
- ▶ グループに関する情報を所有
 - グループ名
 - **グループメンバーのログイン状況**
 - グループメンバーのFQDN
 - グローバルIPv4アドレス
 - プライベートIPv4アドレス
 - IPv6アドレス



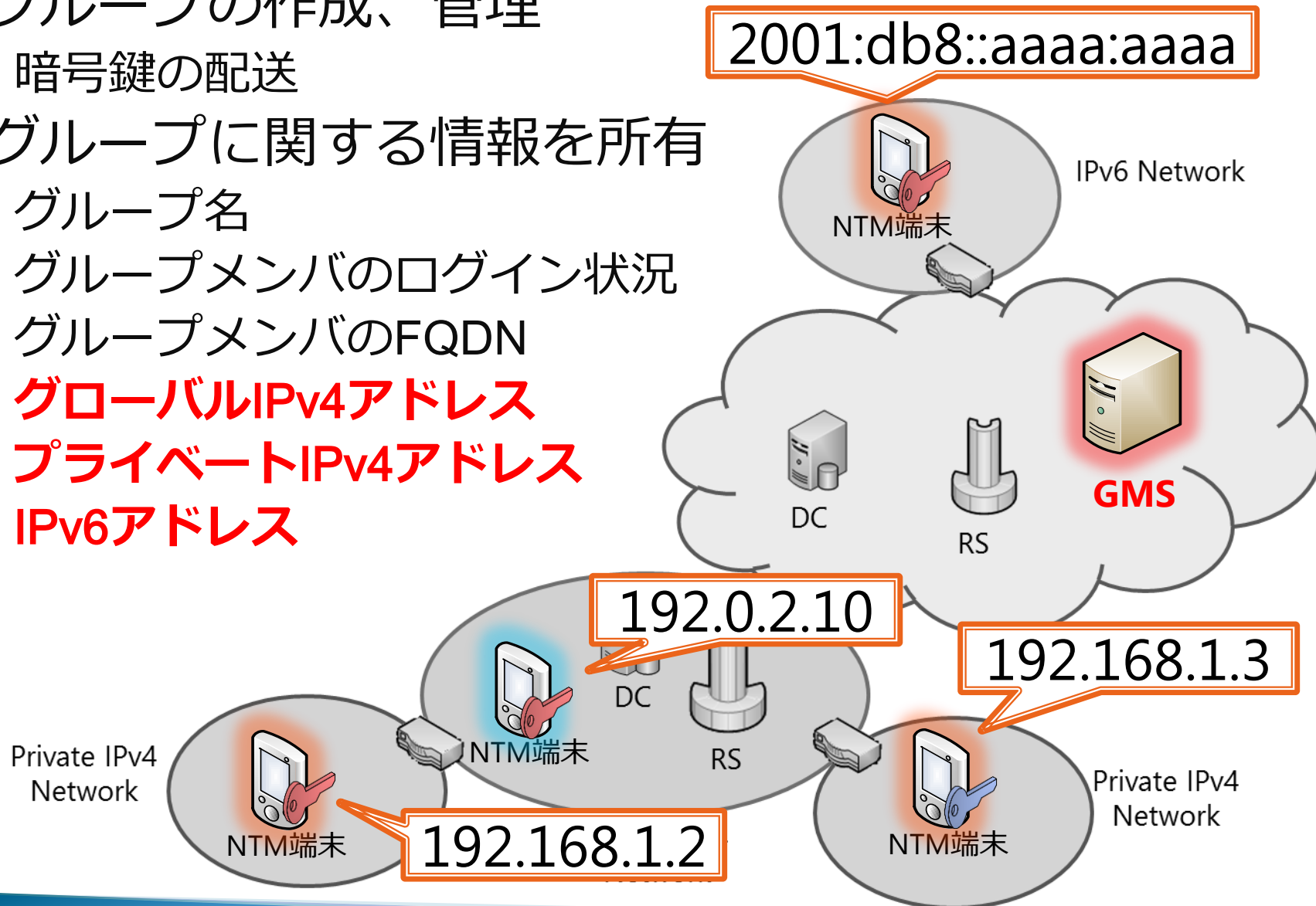
GMS(Group Management Server)

- ▶ グループの作成、管理
 - 暗号鍵の配送
- ▶ グループに関する情報を所有
 - グループ名
 - グループメンバーのログイン状況
 - **グループメンバーのFQDN**
 - グローバルIPv4アドレス
 - プライベートIPv4アドレス
 - IPv6アドレス



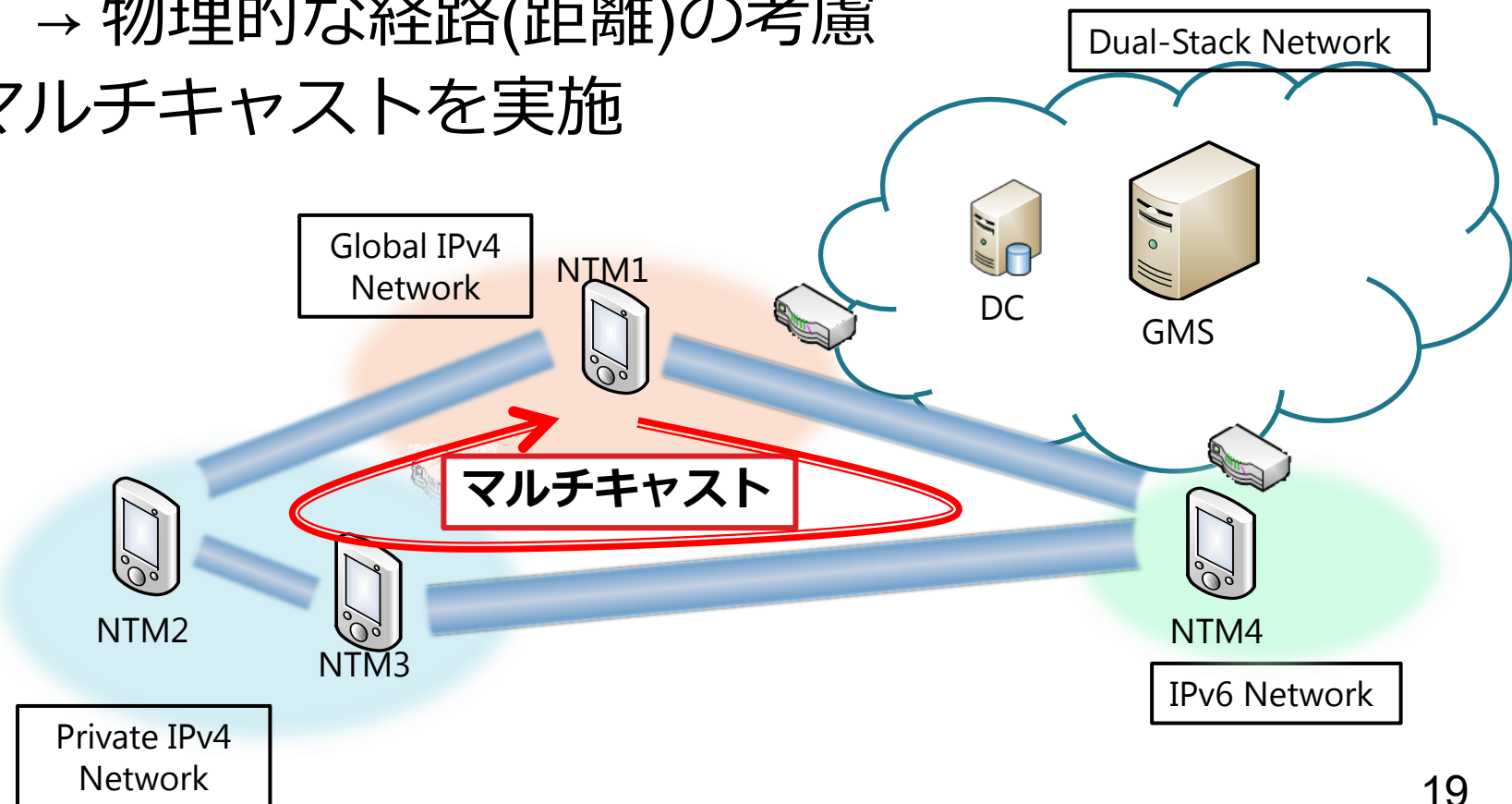
GMS(Group Management Server)

- ▶ グループの作成、管理
 - 暗号鍵の配送
- ▶ グループに関する情報を所有
 - グループ名
 - グループメンバーのログイン状況
 - グループメンバーのFQDN
 - **グローバルIPv4アドレス**
 - **プライベートIPv4アドレス**
 - **IPv6アドレス**



提案方式の概要

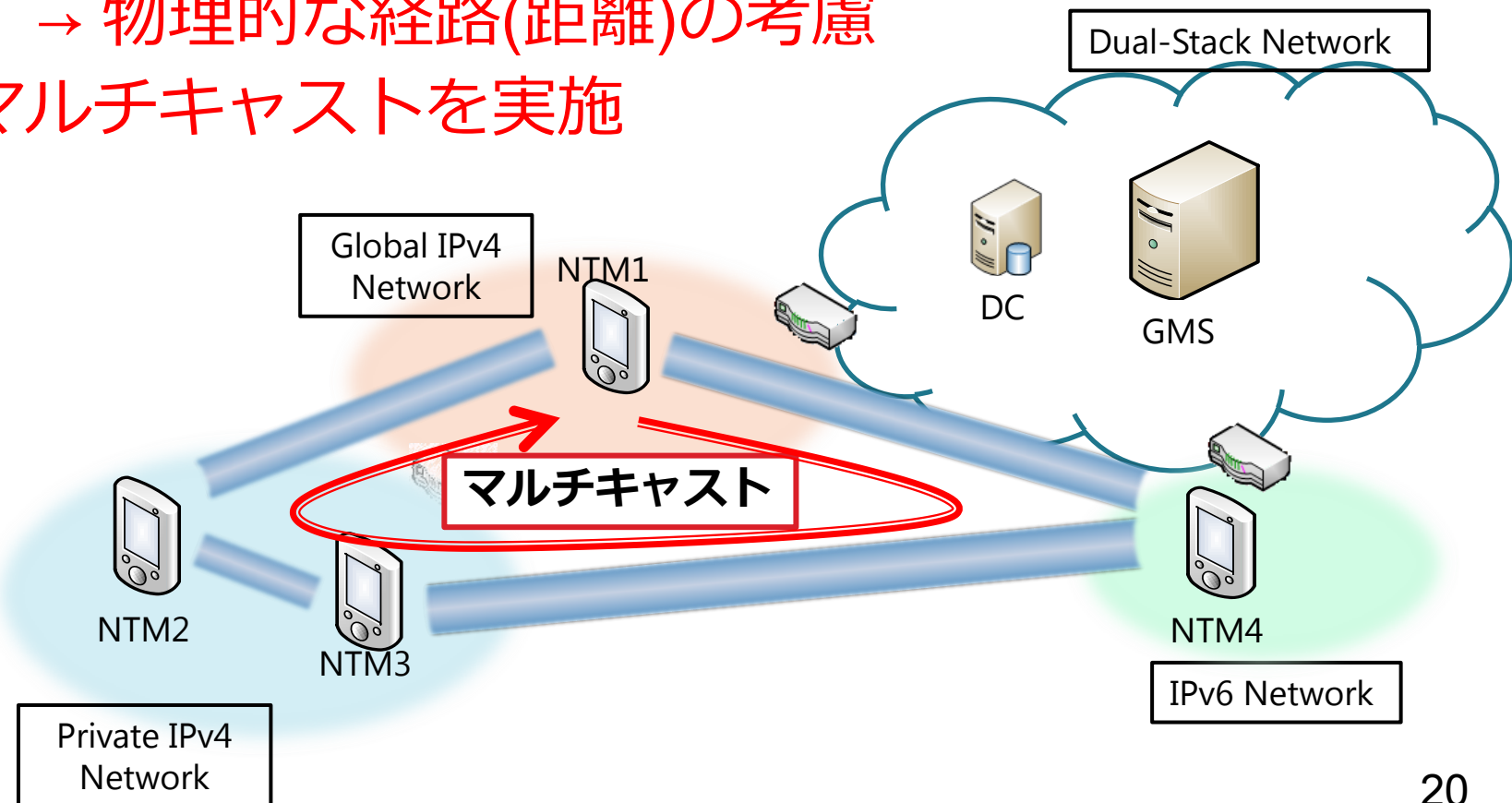
1. GMSを用いたグルーピング
2. GMSによる経路生成
 - ・ IPアドレスを基に生成
 - 物理的な経路(距離)の考慮
3. マルチキャストを実施



提案方式の概要

1. GMSを用いたグルーピング
2. GMSによる経路生成
 - ・ IPアドレスを基に生成
 - 物理的な経路(距離)の考慮
3. マルチキャストを実施

経路生成手順については
次以降のスライドで説明



ネットワーク経路構成



**全端末が送信元
となることが可能**

**経路効率化
伝送時間短縮**

GMSの経路生成

- ▶ IPアドレスに基づきソート
 1. グローバルアドレスに基づきソート
 2. プライベートアドレスに基づきソート
- ▶ グローバル空間のアドレスは上位のリング
- ▶ プライベート空間のアドレスは下位のリング

GMSの経路生成手順

Group ID	Login Status	FQDN	IPv6	Global IPv4	Private IPv4
G1	On	ntm2		203.0.113.1	192.168.1.2
G1	On	ntm4	2001:db8::aaaa:aaaa		
G1	On	ntm1		192.0.2.10	
G1	Off	ntm5	2001:db8::bbbb:bbbb		
G1	On	ntm3		203.0.113.1	192.168.1.3
G2	Off	ntm6	2001:db8::aaaa:bbbb	203.0.113.20	

GMSの経路生成手順①

Group ID	Login Status	FQDN	IPv6	Global IPv4	Private IPv4
G1	On	ntm2		203.0.113.1	192.168.1.2
G1	On	ntm4	2001:db8::aaaa:aaaa		
G1	On	ntm1		192.0.2.10	
G1	Off	ntm5	2001:db8::bbbb:bbbb		
G1	On	ntm3		203.0.113.1	192.168.1.3
G2	Off	ntm6	2001:db8::aaaa:bbbb	203.0.113.20	

Onの端末を抽出

GMSの経路生成手順①

Group ID	Login Status	FQDN	IPv6	Global IPv4	Private IPv4
G1	Off	ntm5	2001:db8::bbbb:bbbb		
G2	Off	ntm6	2001:db8::aaaa:bbb	203.0.113.20	

G1	On	ntm2		203.0.113.1	192.168.1.2
G1	On	ntm4	2001:db8::aaaa:aaaa		
G1	On	ntm1		192.0.2.10	
G1	On	ntm3		203.0.113.1	192.168.1.3

GMSの経路生成手順①

Group ID	Login Status	FQDN	IPv6	Global IPv4	Private IPv4
G1	On	ntm2		203.0.113.1	192.168.1.2
G1	On	ntm4	2001:db8::aaaa:aaaa		
G1	On	ntm1		192.0.2.10	
G1	On	ntm3		203.0.113.1	192.168.1.3

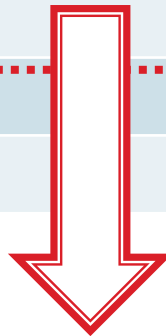
GMSの経路生成手順②

Group ID	Login Status	FQDN	IPv6	Global IPv4	Private IPv4
G1	On	ntm2		203.0.113.1	192.168.1.2
G1	On	ntm4	2001:db8::aaaa:aaaa		
G1	On	ntm1		192.0.2.10	
G1	On	ntm3		203.0.113.1	192.168.1.3

IPv6アドレスのみを
持つ端末を抽出

GMSの経路生成手順②

Group ID	Login Status	FQDN	IPv6	Global IPv4	Private IPv4
G1	On	ntm2		203.0.113.1	192.168.1.2
G1	On	ntm1		192.0.2.10	
G1	On	ntm3		203.0.113.1	192.168.1.3
G1	On	ntm4	2001:db8::aaaa:aaaa		



GMSの経路生成手順②

Group ID	Login Status	FQDN	IPv6	Global IPv4	Private IPv4
G1	On	ntm2		203.0.113.1	192.168.1.2
G1	On	ntm1		192.0.2.10	
G1	On	ntm3		203.0.113.1	192.168.1.3

Group ID	Login Status	FQDN	IPv6	Global IPv4	Private IPv4
G1	On	ntm4	2001:db8::aaaa:aaaa		

GMSの経路生成手順③

Group ID	Login Status	FQDN	IPv6	Global IPv4	Private IPv4
G1	On	ntm2		203.0.113.1	192.168.1.2
G1	On	ntm1		192.0.2.10	
G1	On	ntm3		203.0.113.1	192.168.1.3

Group ID	Login Status	FQDN	IPv6	Global IPv4	Private IPv4
G1	On	ntm4	2001:db8::aaaa:aaaa		

IPv6アドレスをソート

GMSの経路生成手順④

Group ID	Login Status	FQDN	IPv6	Global IPv4	Private IPv4
G1	On	ntm2		203.0.113.1	192.168.1.2
G1	On	ntm1		192.0.2.10	
G1	On	ntm3		203.0.113.1	192.168.1.3

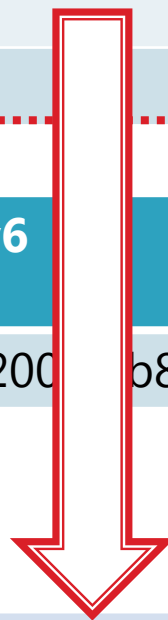
Group ID	Login Status	FQDN	IPv6	Global IPv4	Private IPv4
G1	On	ntm4	2001:db8::aaaa:aaaa		

グローバルIPv4アドレスを抽出

GMSの経路生成手順④

Group ID	Login Status	FQDN	IPv6	Global IPv4	Private IPv4

Group ID	Login Status	FQDN	IPv6	Global IPv4	Private IPv4
G1	On	ntm4	2001:db8::aaaa:aaaa		



G1	On	ntm2		203.0.113.1	192.168.1.2
G1	On	ntm1		192.0.2.10	
G1	On	ntm3		203.0.113.1	192.168.1.3

GMSの経路生成手順④

Group ID	Login Status	FQDN	IPv6	Global IPv4	Private IPv4
G1	On	ntm4	2001:db8::aaaa:aaaa		

Group ID	Login Status	FQDN	IPv6	Global IPv4	Private IPv4
G1	On	ntm2		203.0.113.1	192.168.1.2
G1	On	ntm1		192.0.2.10	
G1	On	ntm3		203.0.113.1	192.168.1.3

GMSの経路生成手順⑤

Group ID	Login Status	FQDN	IPv6	Global IPv4	Private IPv4
G1	On	ntm4	2001:db8::aaaa:aaaa		

Group ID	Login Status	FQDN	IPv6	Global IPv4	Private IPv4
G1	On	ntm2		203.0.113.1	192.168.1.2
G1	On	ntm1		192.0.2.10	
G1	On	ntm3		203.0.113.1	192.168.1.3

グローバルIPv4アドレス
をソート

GMSの経路生成手順⑤

Group ID	Login Status	FQDN	IPv6	Global IPv4	Private IPv4
G1	On	ntm4	2001:db8::aaaa:aaaa		

Group ID	Login Status	FQDN	IPv6	Global IPv4	Private IPv4
G1	On	ntm2		203.0.113.1	192.168.1.2
G1	On	ntm1		192.0.2.10	
G1	On	ntm3		203.0.113.1	192.168.1.3



GMSの経路生成手順⑤

Group ID	Login Status	FQDN	IPv6	Global IPv4	Private IPv4
G1	On	ntm4	2001:db8::aaaa:aaaa		

Group ID	Login Status	FQDN	IPv6	Global IPv4	Private IPv4
G1	On	ntm1		192.0.2.10	
G1	On	ntm2		203.0.113.1	192.168.1.2
G1	On	ntm3		203.0.113.1	192.168.1.3

GMSの経路生成手順⑥

Group ID	Login Status	FQDN	IPv6	Global IPv4	Private IPv4
G1	On	ntm4	2001:db8::aaaa:aaaa		

Group ID	Login Status	FQDN	IPv6	Global IPv4	Private IPv4
G1	On	ntm1		192.0.2.10	
G1	On	ntm2		203.0.113.1	192.168.1.2
G1	On	ntm3		203.0.113.1	192.168.1.3

同一NAT配下の
端末を探索

GMSの経路生成手順⑦, ⑧

Group ID	Login Status	FQDN	IPv6	Global IPv4	Private IPv4
G1	On	ntm4	2001:db8::aaaa:aaaa		

Group ID	Login Status	FQDN	IPv6	Global IPv4	Private IPv4
G1	On	ntm1		192.0.2.10	
G1	On	ntm2		203.0.113.1	192.168.1.2
G1	On	ntm3		203.0.113.1	192.168.1.3

プライベートIPv4アドレス
をソート

GMSの経路生成手順⑨

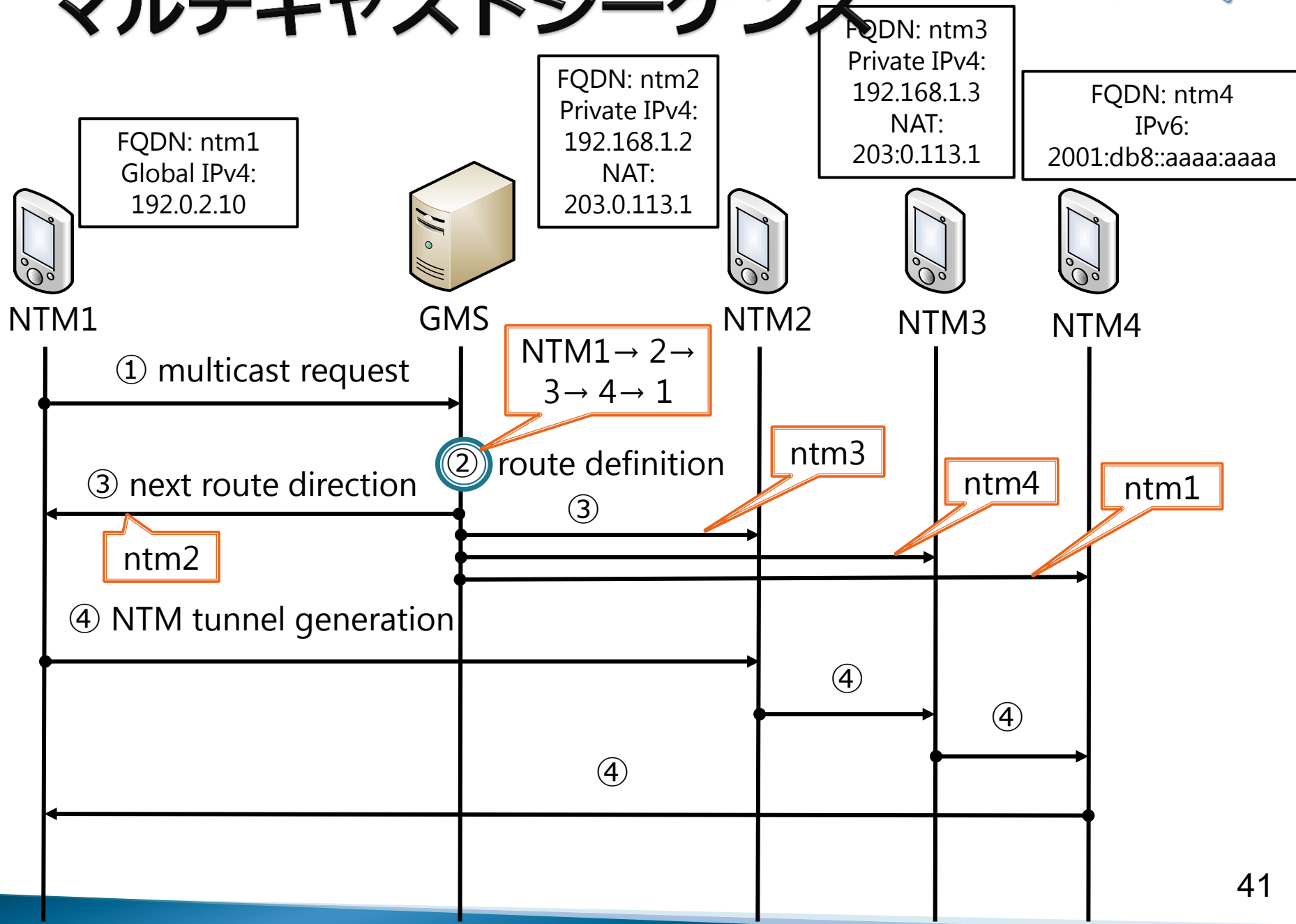
Group ID	Login Status	FQDN	IPv6	Global IPv4	Private IPv4
G1	On	ntm4	2001:db8::aaaa:aaaa		

Group ID	Login Status	FQDN	IPv6	Global IPv4	Private IPv4
G1	On	ntm1		192.0.2.10	
G1	On	ntm2		203.0.113.1	192.168.1.2
G1	On	ntm3		203.0.113.1	192.168.1.3

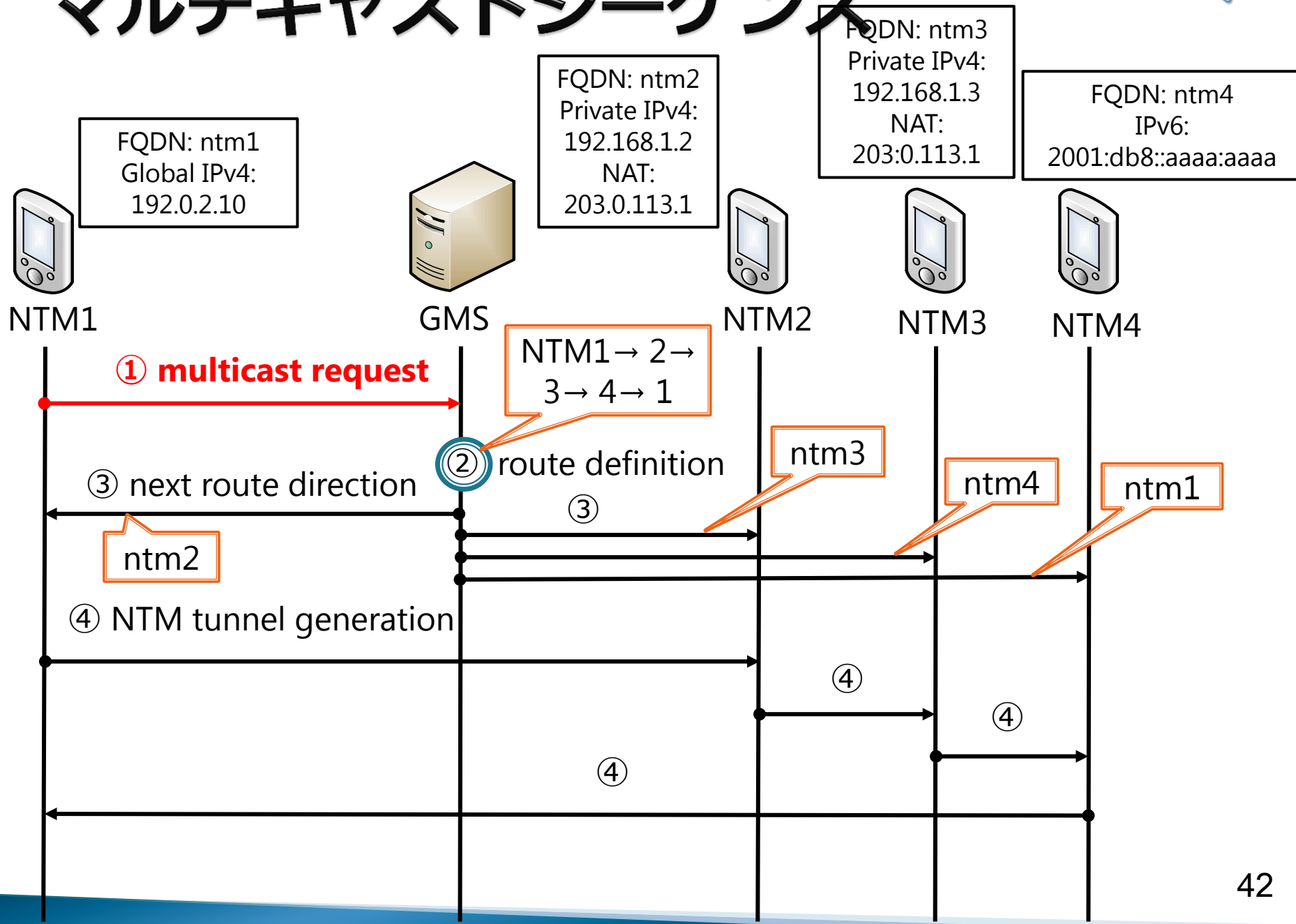
GMSの経路生成手順⑨

Group ID	Login Status	FQDN	IPv6	Global IPv4	Private IPv4
G1	On	ntm1		192.0.2.10	
G1	On	ntm2		203.0.113.1	192.168.1.2
G1	On	ntm3		203.0.113.1	192.168.1.3
G1	On	ntm4	2001:db8::aaaa:aaaa		

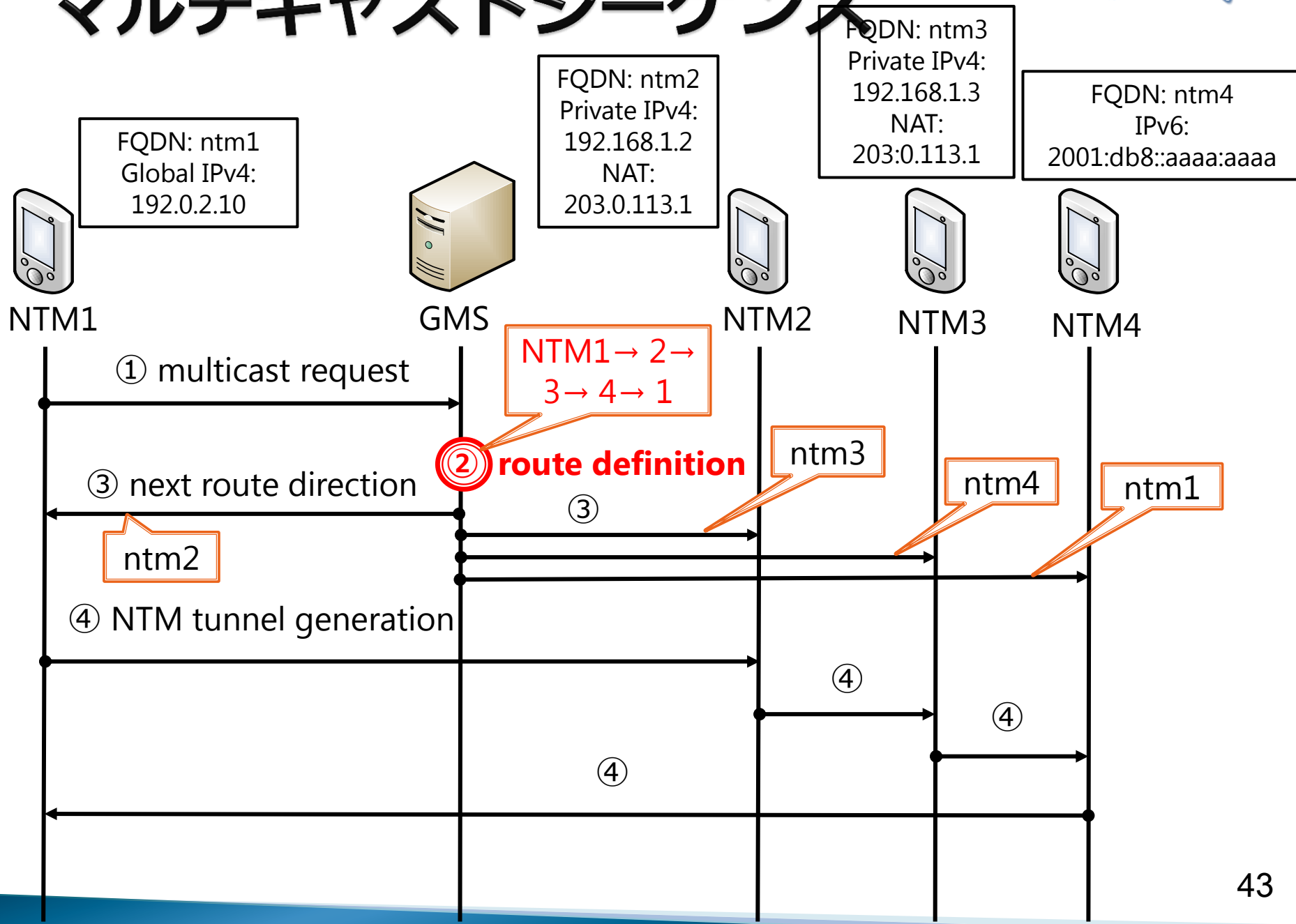
マルチキャストシーケンス



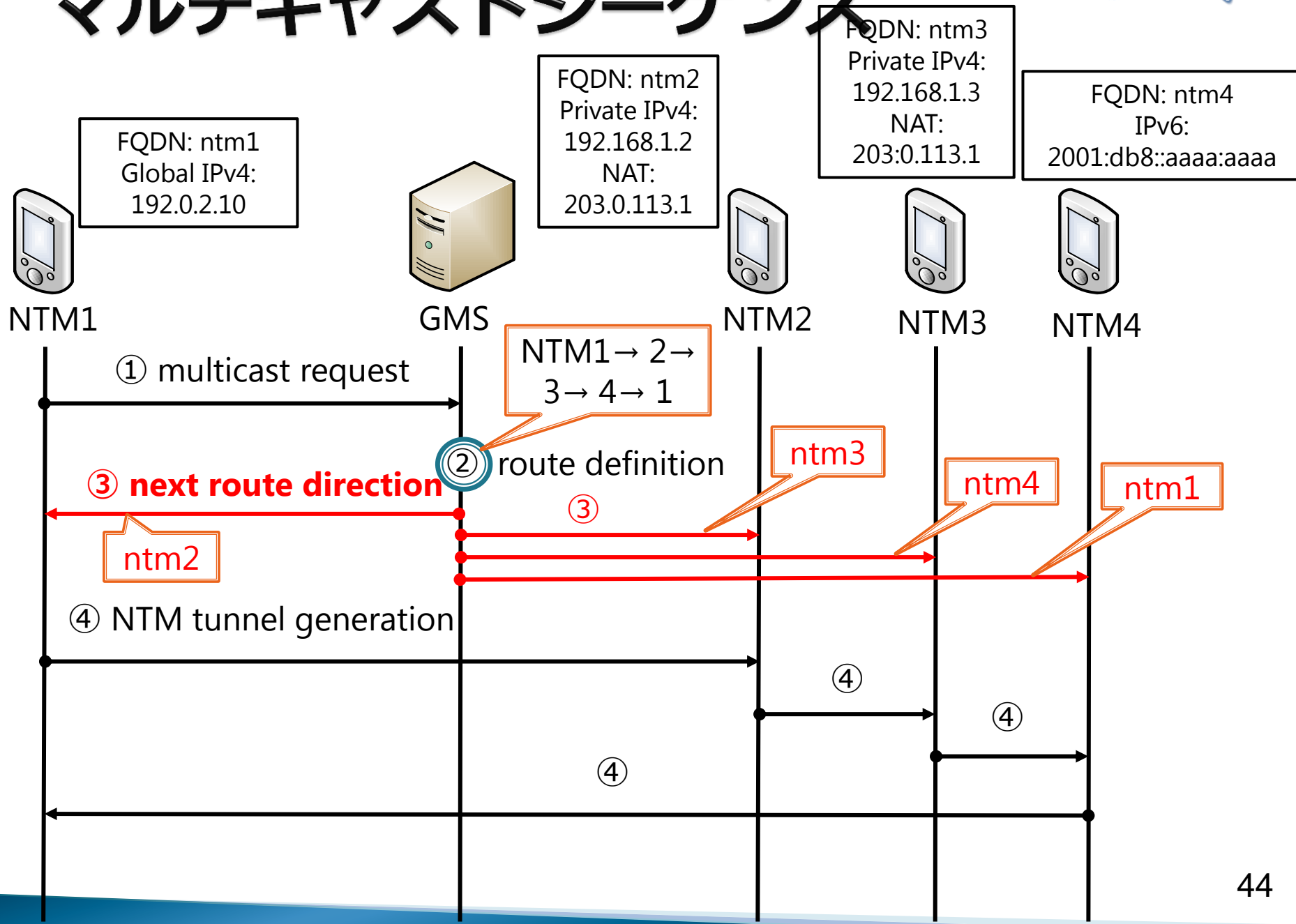
マルチキャストシーケンス



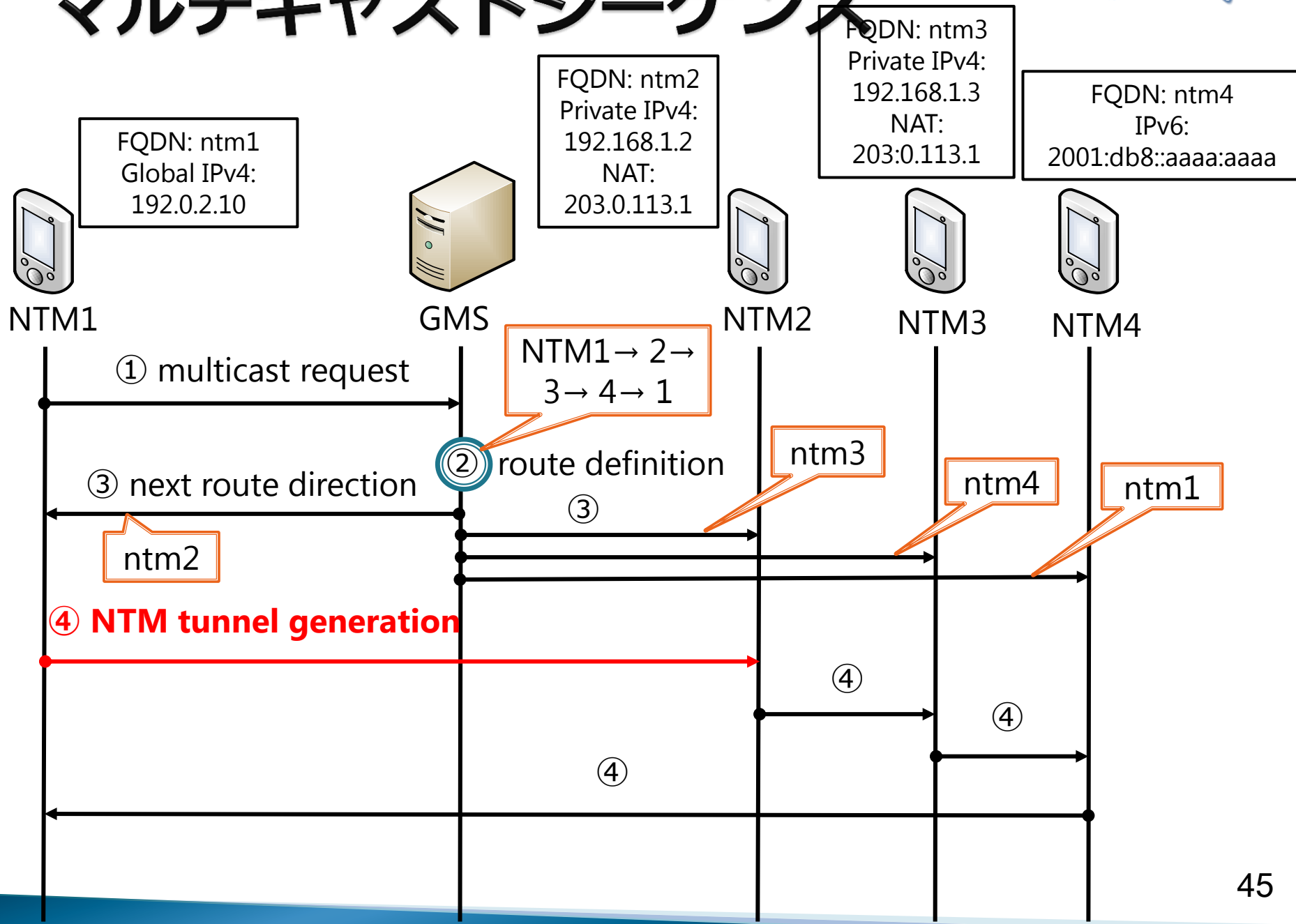
マルチキャストシーケンス



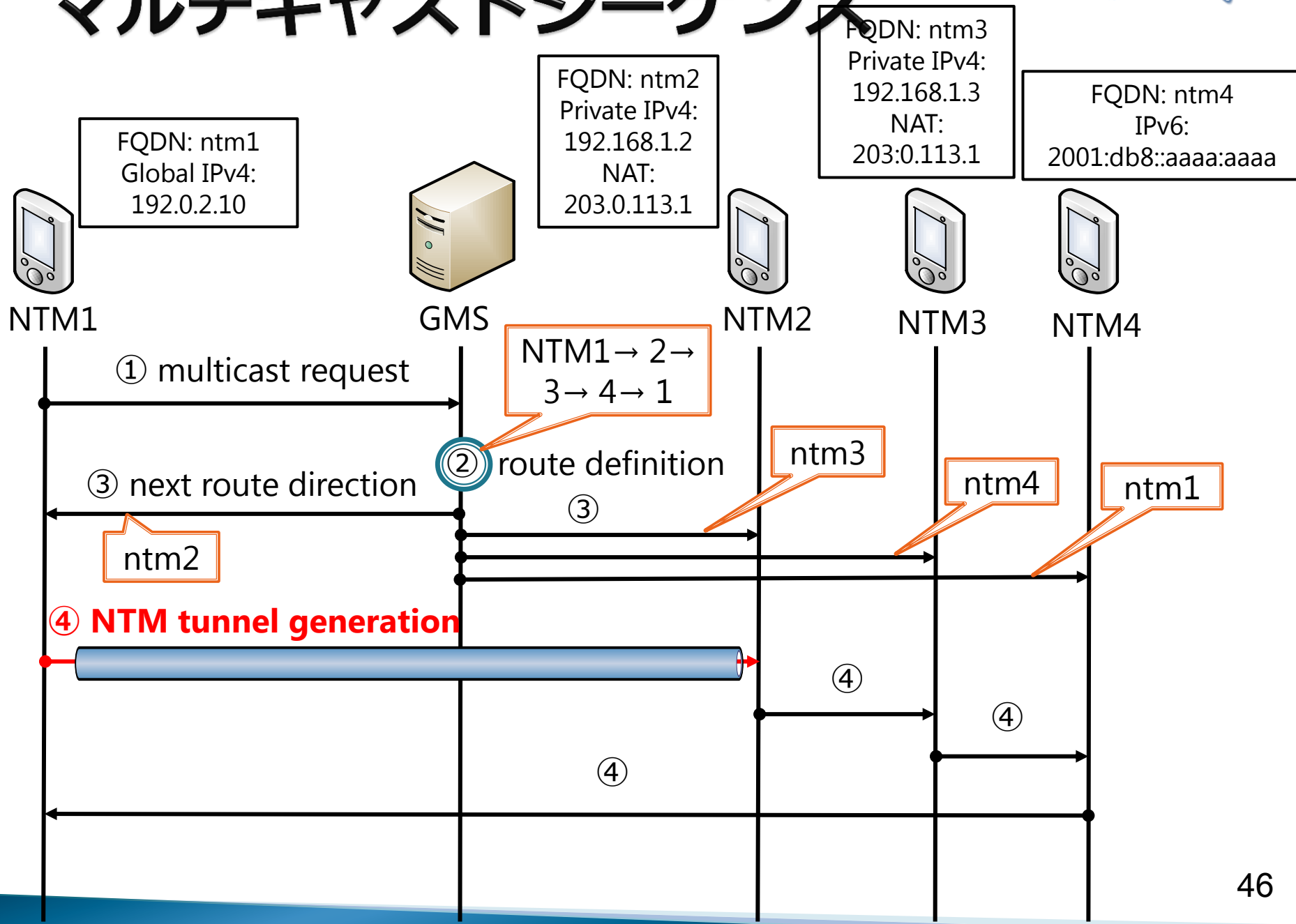
マルチキャストシーケンス



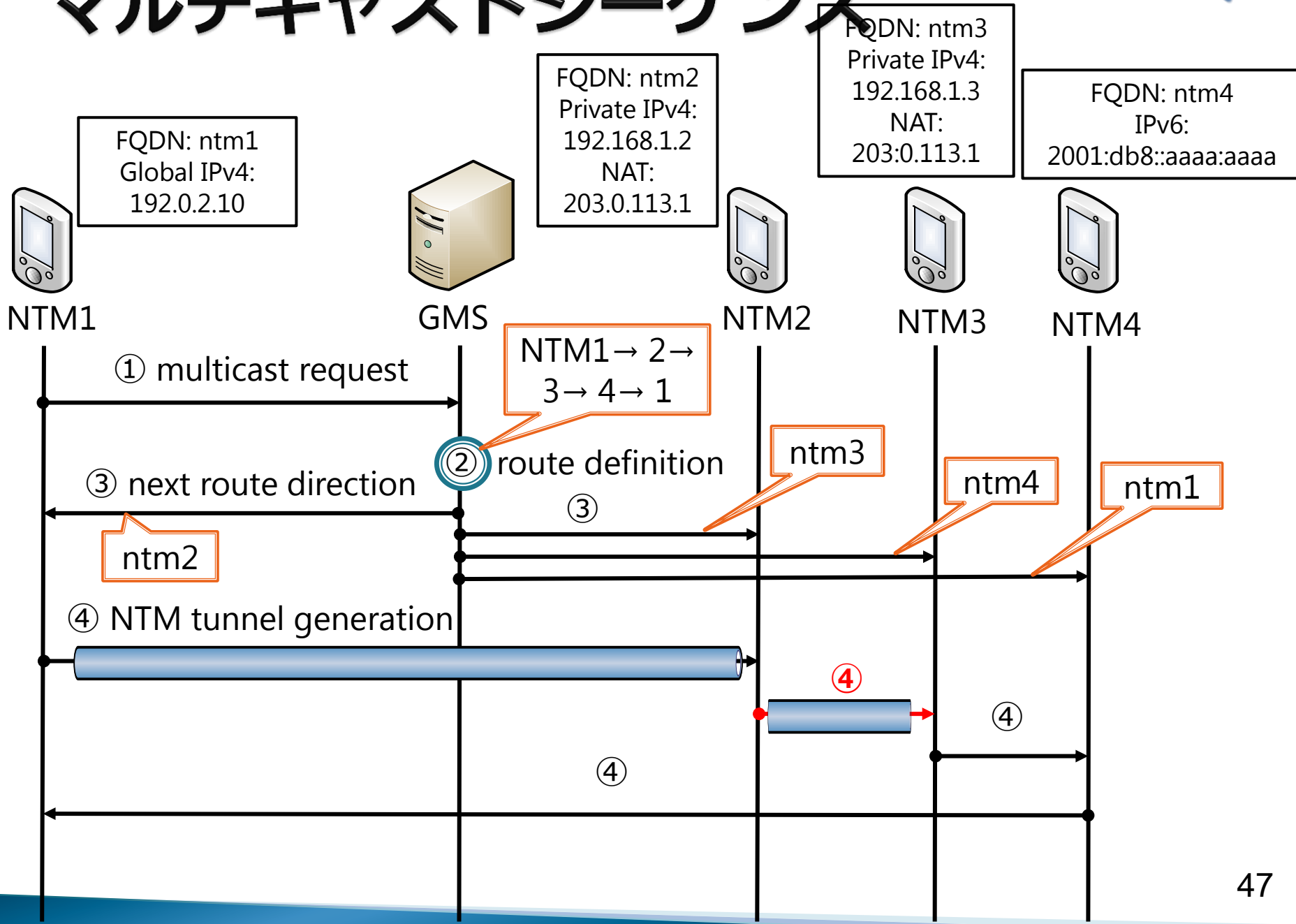
マルチキャストシーケンス



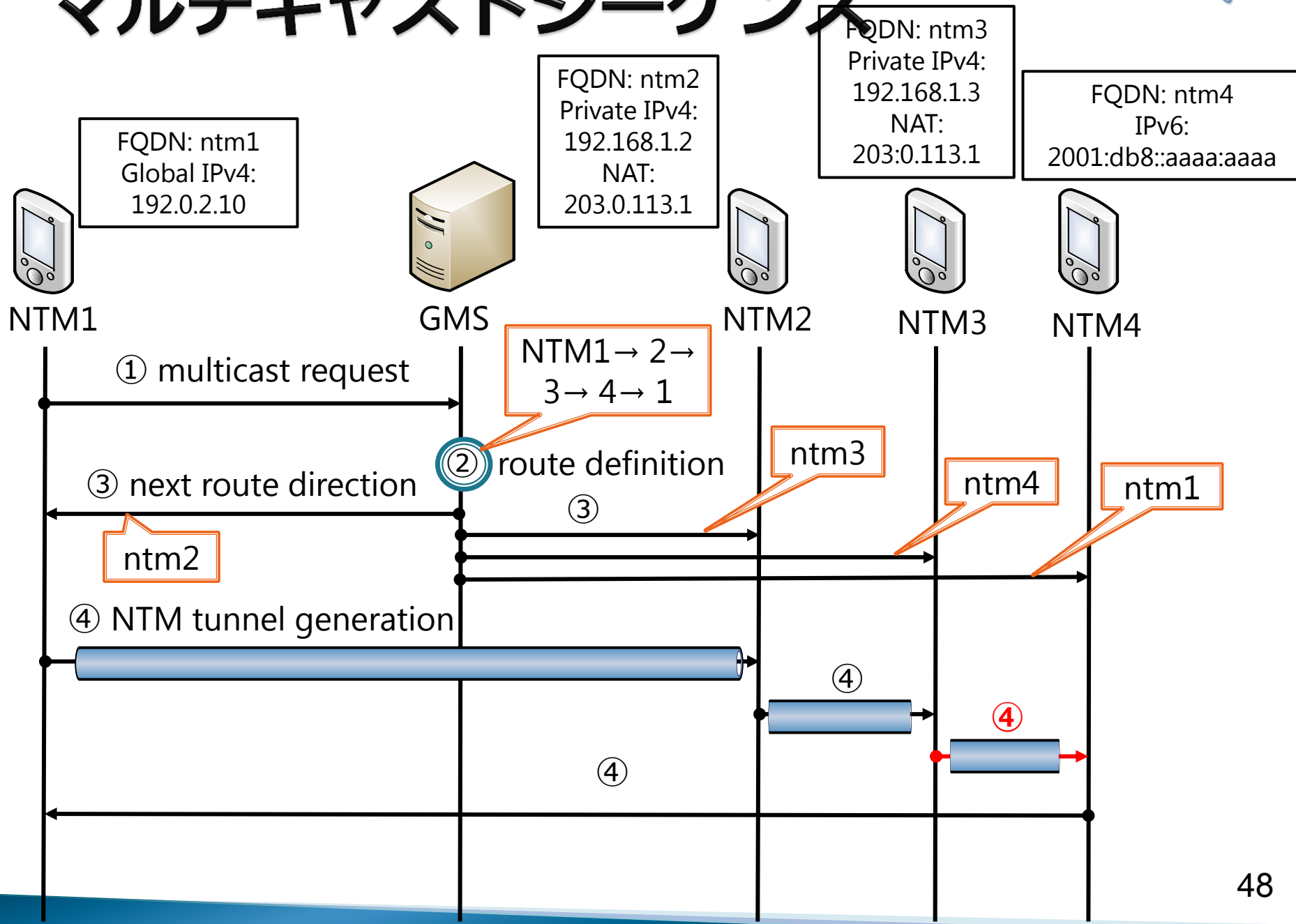
マルチキャストシーケンス



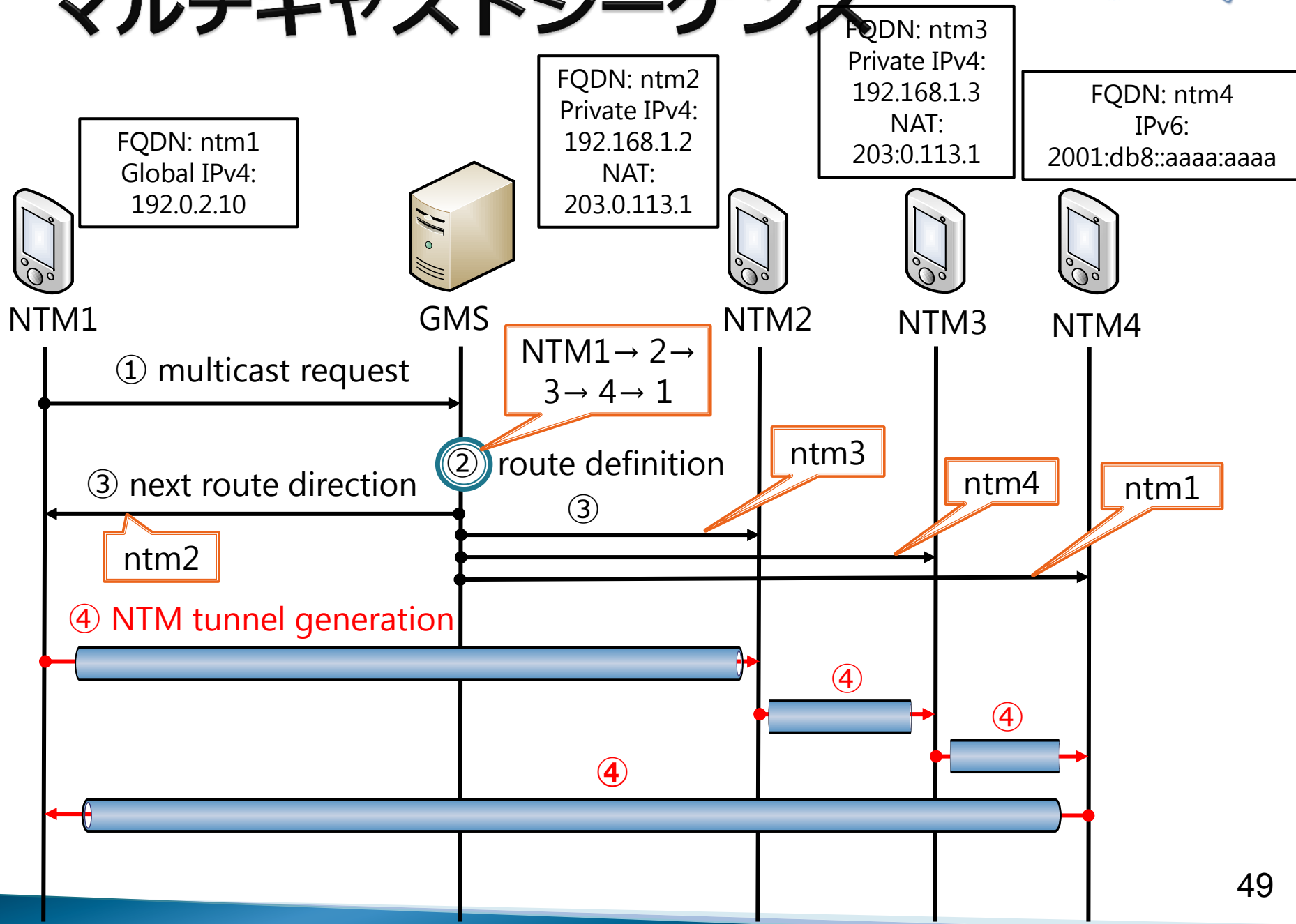
マルチキャストシーケンス



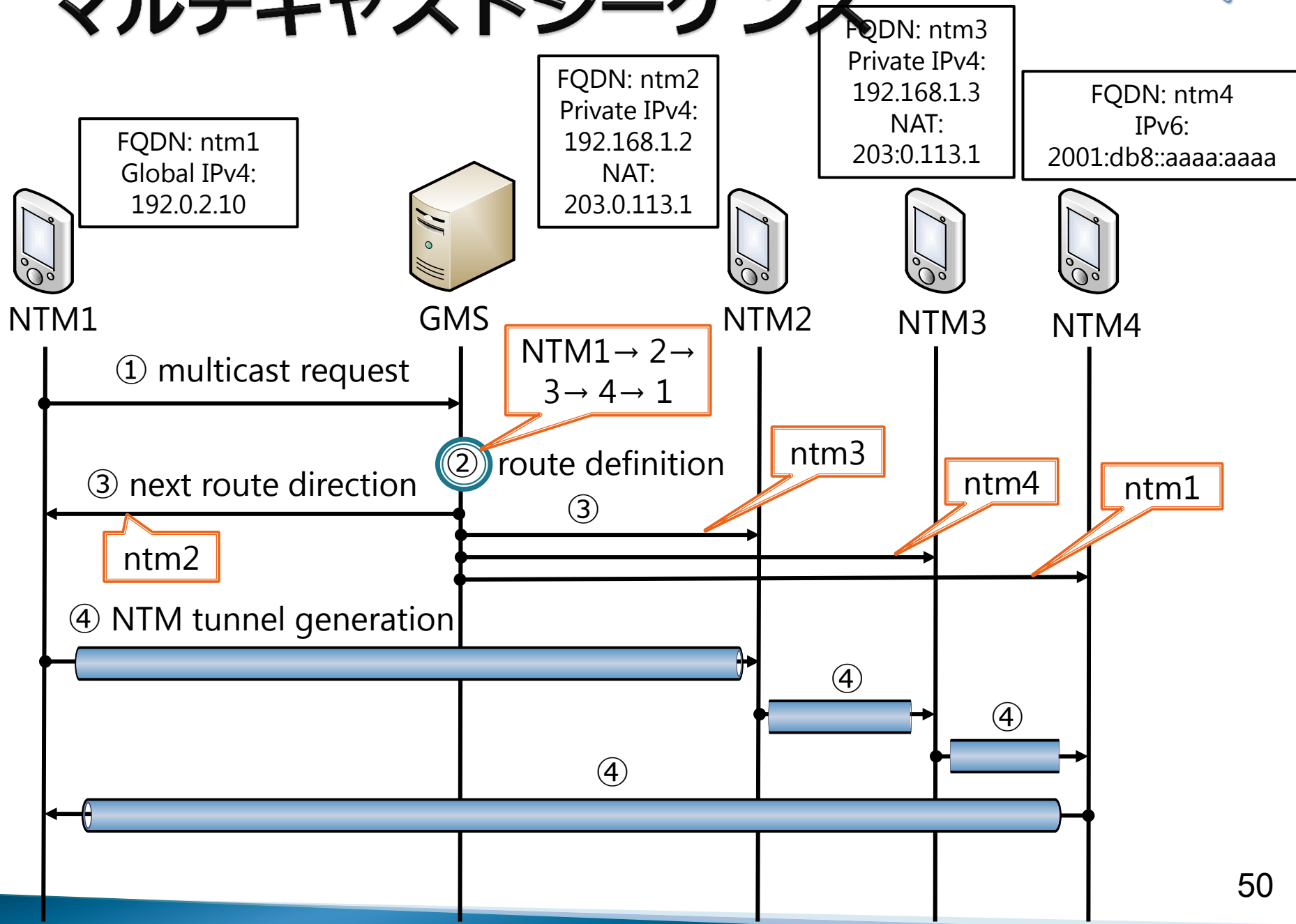
マルチキャストシーケンス



マルチキャストシーケンス



マルチキャストシーケンス



評価と考察

	IPマルチキャスト	既存ALM	提案方式
専用機器	×	○	○
送信元	○	×	○
物理的距離の考慮	○	×	○

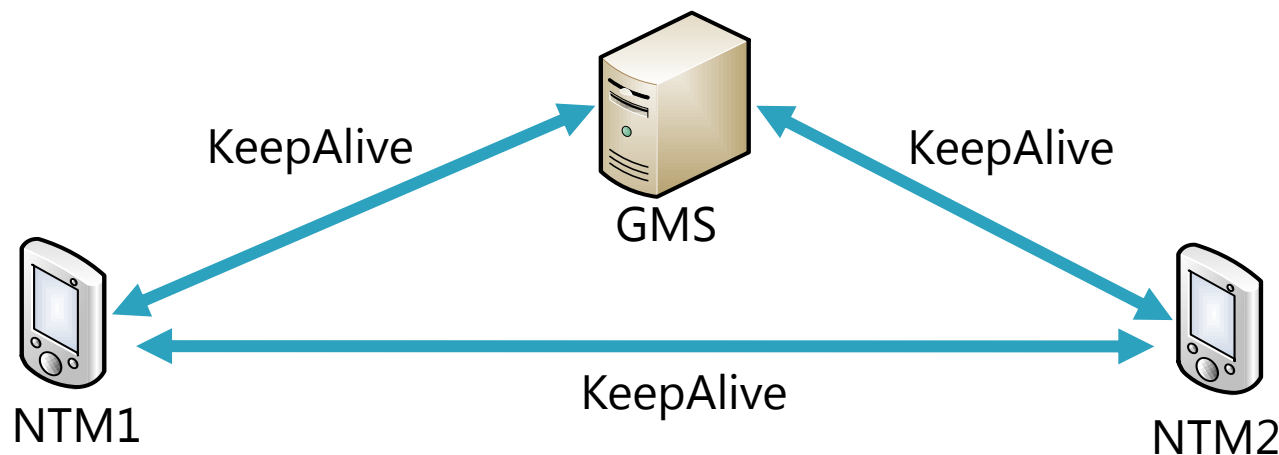
評価と考察

▶ 提案方式の利用法

- チャットサービス
- 音楽,映像共有
 - ▶ サーバー不要
 - ▶ 消費帯域、トラフィックが少ない

今後の課題

- ▶ グループメンバーの無断離脱への対処の検討
 - GMSが離脱を検知し経路再生成
 - ▶ GMS-NTM端末間は、KeepAliveを行う
 - 端末間で離脱を監視、
離脱を検知したNTM端末がGMSへ経路再生成依頼
 - ▶ NTM端末-NTM端末間は、KeepAliveを行う
- ▶ 耐障害性向上についての検討



まとめ

- ▶ NTMobileにマルチキャスト機能の実装を提案
 - NTMobileの利点を持つマルチキャスト
 - ▶ プライベート/グローバル空間で使用可能
 - ▶ IPv4/IPv6混在環境で使用可能
 - リング状経路を使用
 - ▶ 任意の端末が送信元になることが可能
 - ▶ マルチキャスト参加メンバの負荷がほぼ均一
 - リングの階層構造
 - ▶ 物理的に冗長な経路の削減
 - ▶ 伝送時間短縮

付録

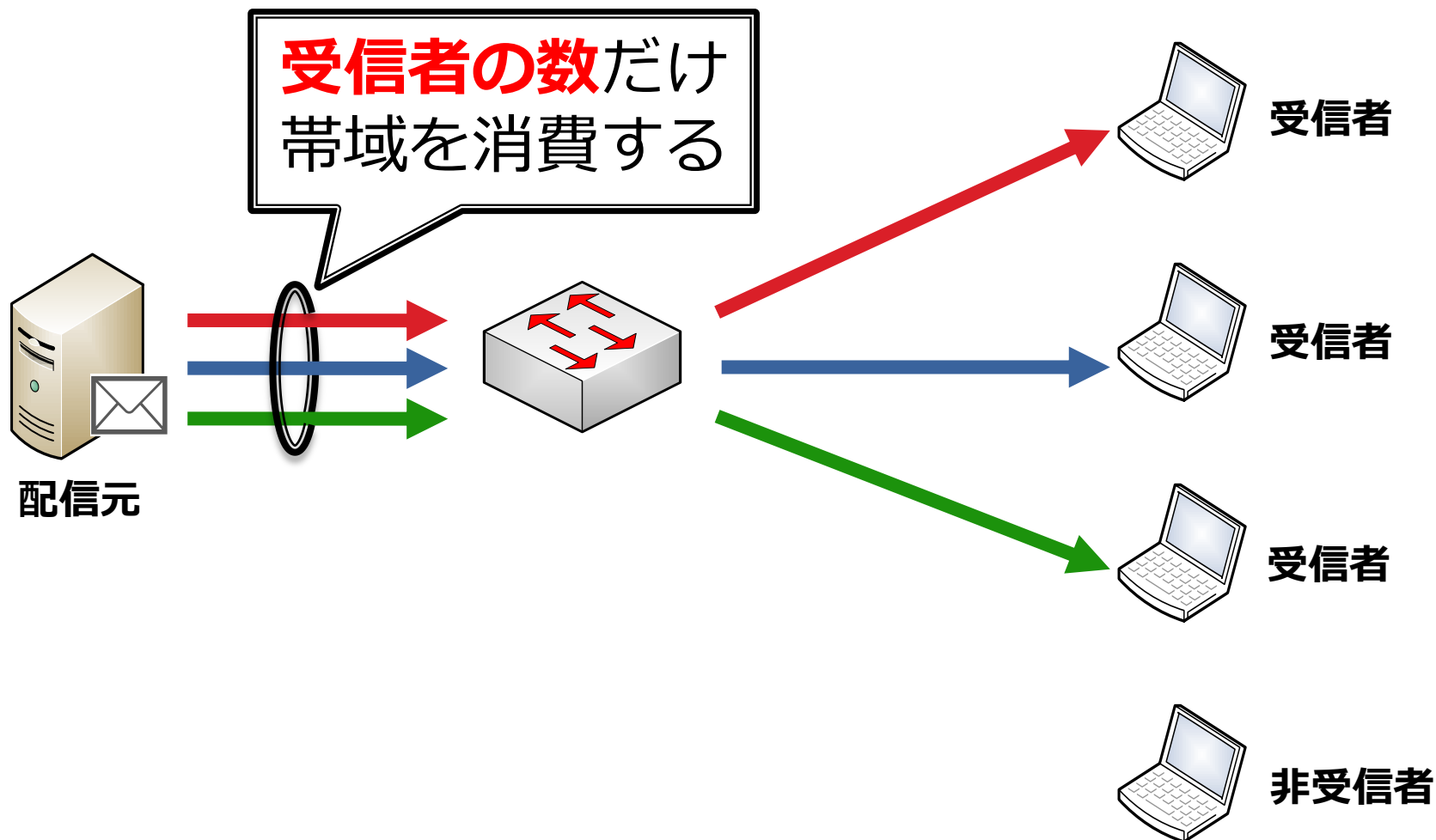


伝送時間

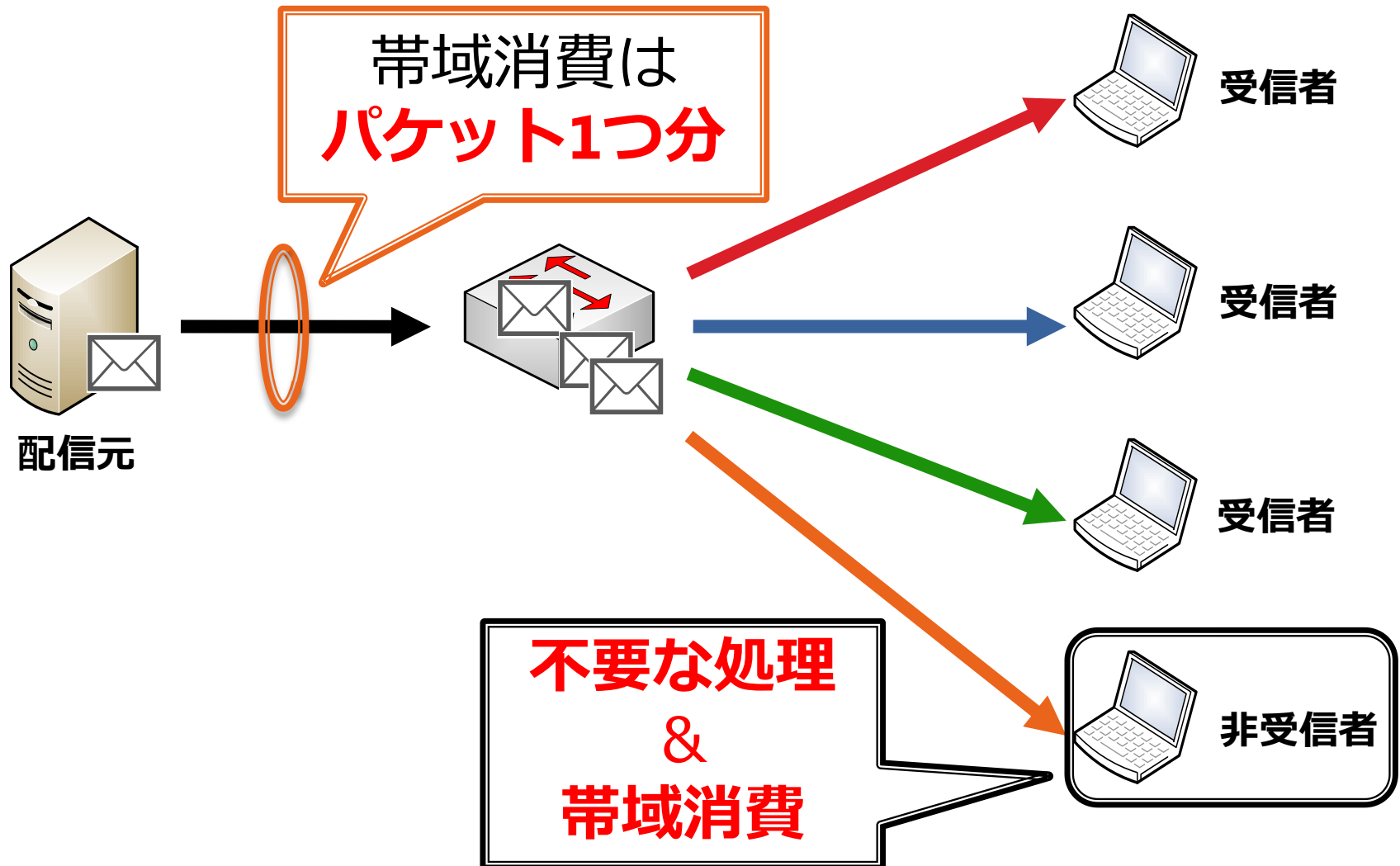
- ▶ 3台のNTM端末を用いて検証
 - 提案方式と、ユニキャスト×3との比較
 - パケットを10回送信した際の、送信時間の平均を算出
 - ▶ 送信元から、全てのNTM端末に、
パケットを送信し終わるまでの時間を計測
 - 2台の端末をブリッジ, 1台をNATで接続
 - ▶ 送信順は、ブリッジ→NAT→ブリッジ

提案方式	ユニキャスト
208.971ms	105.318ms

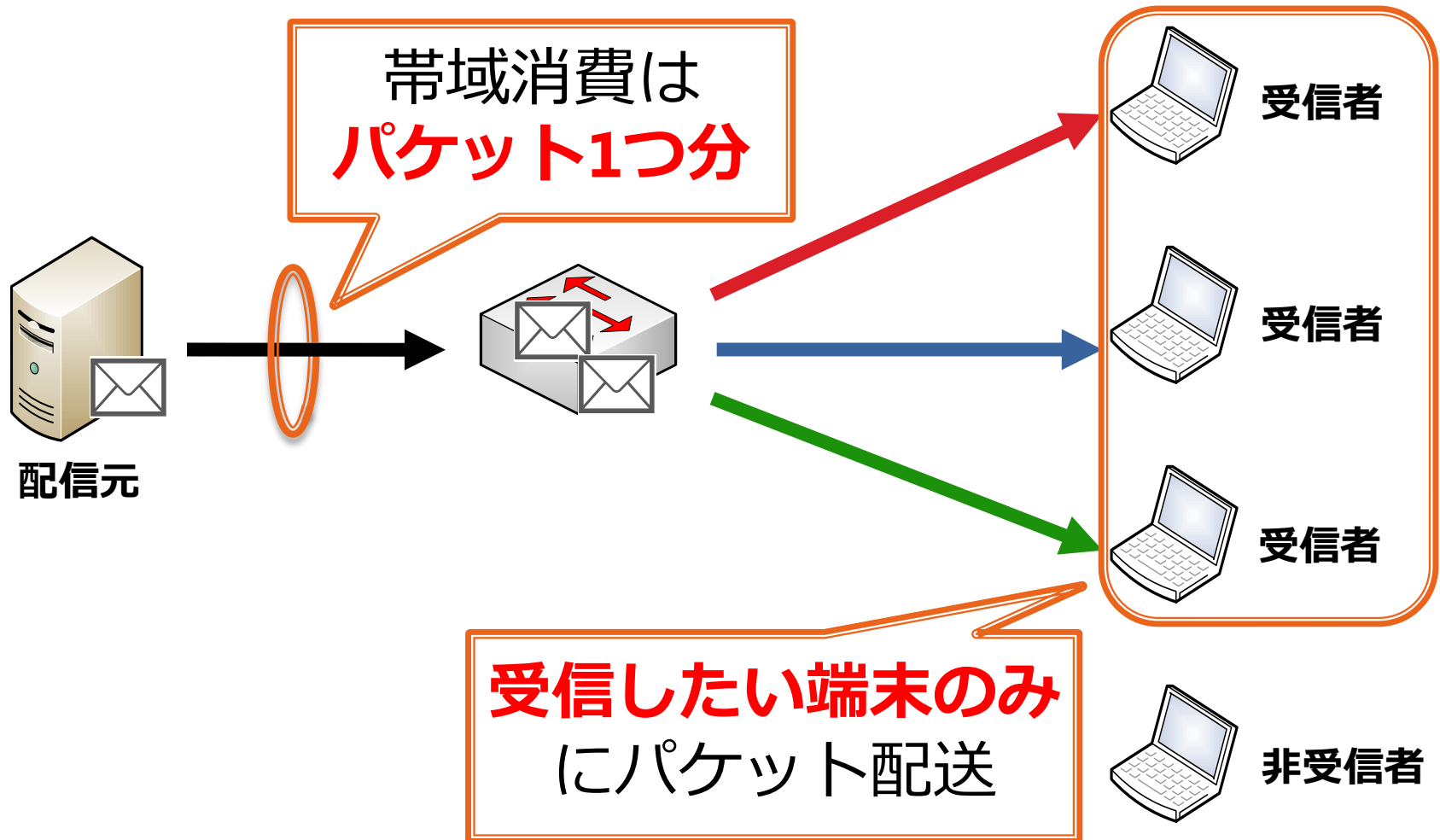
ユニキャスト



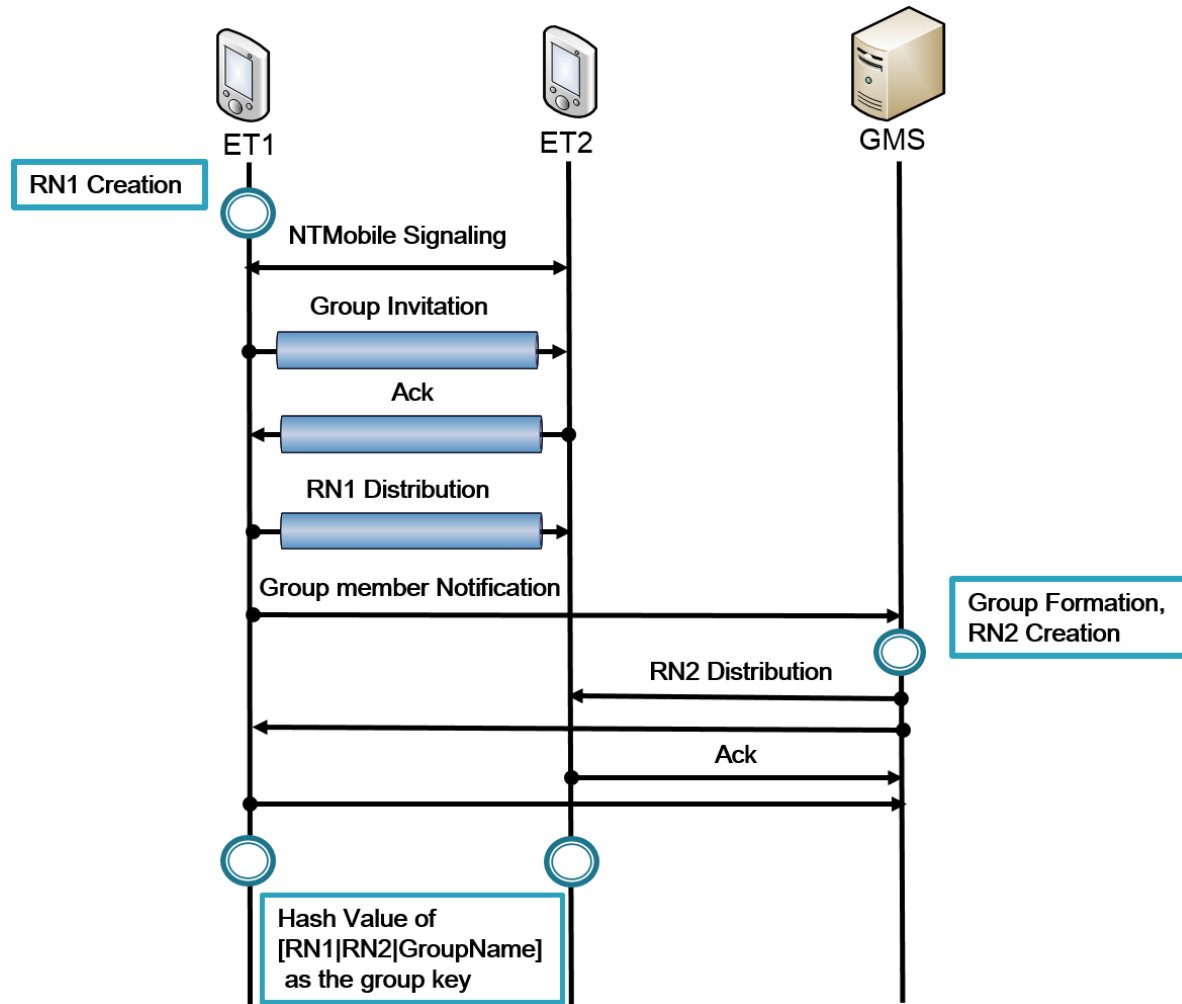
ブロードキャスト



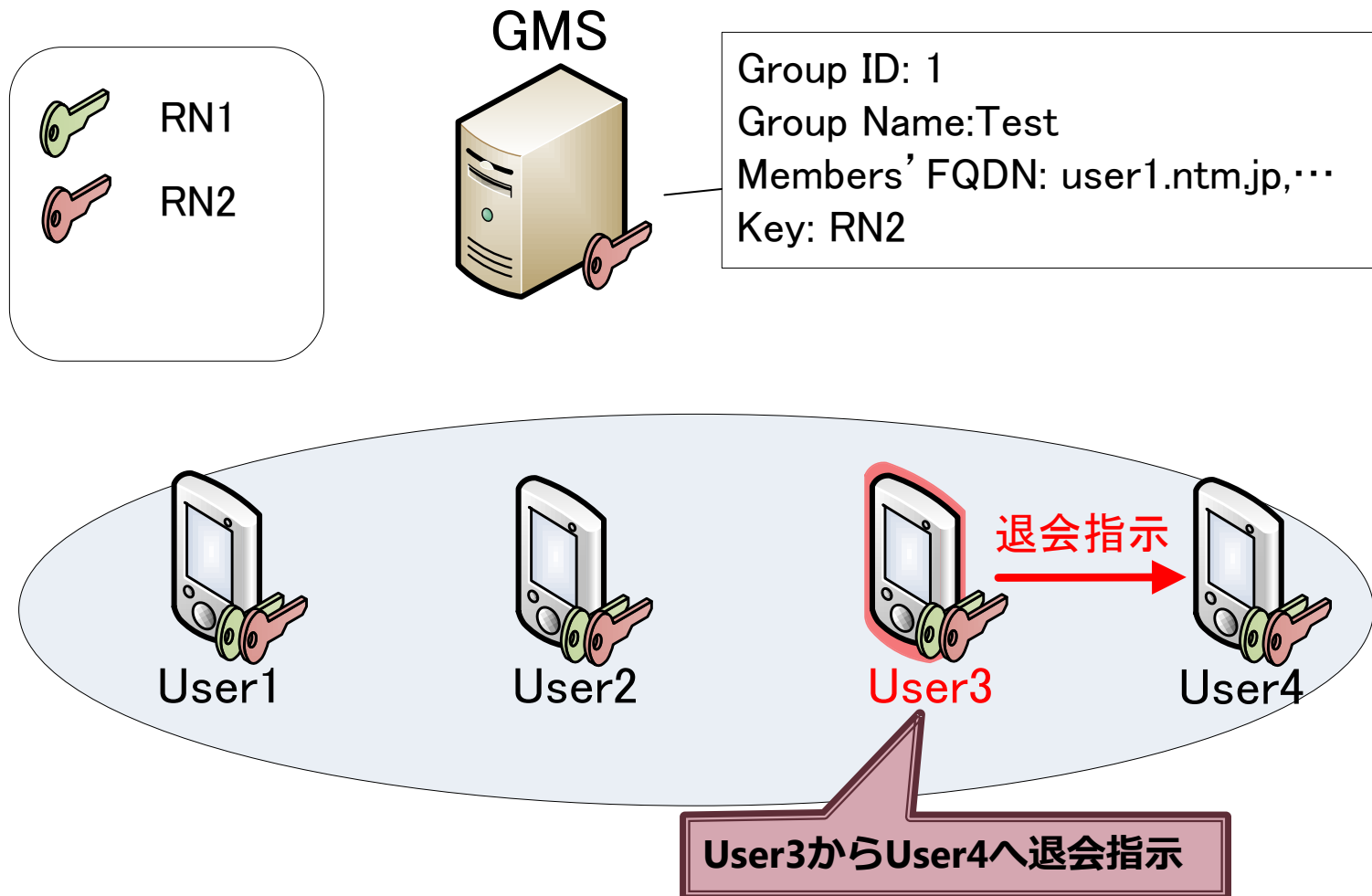
マルチキャスト



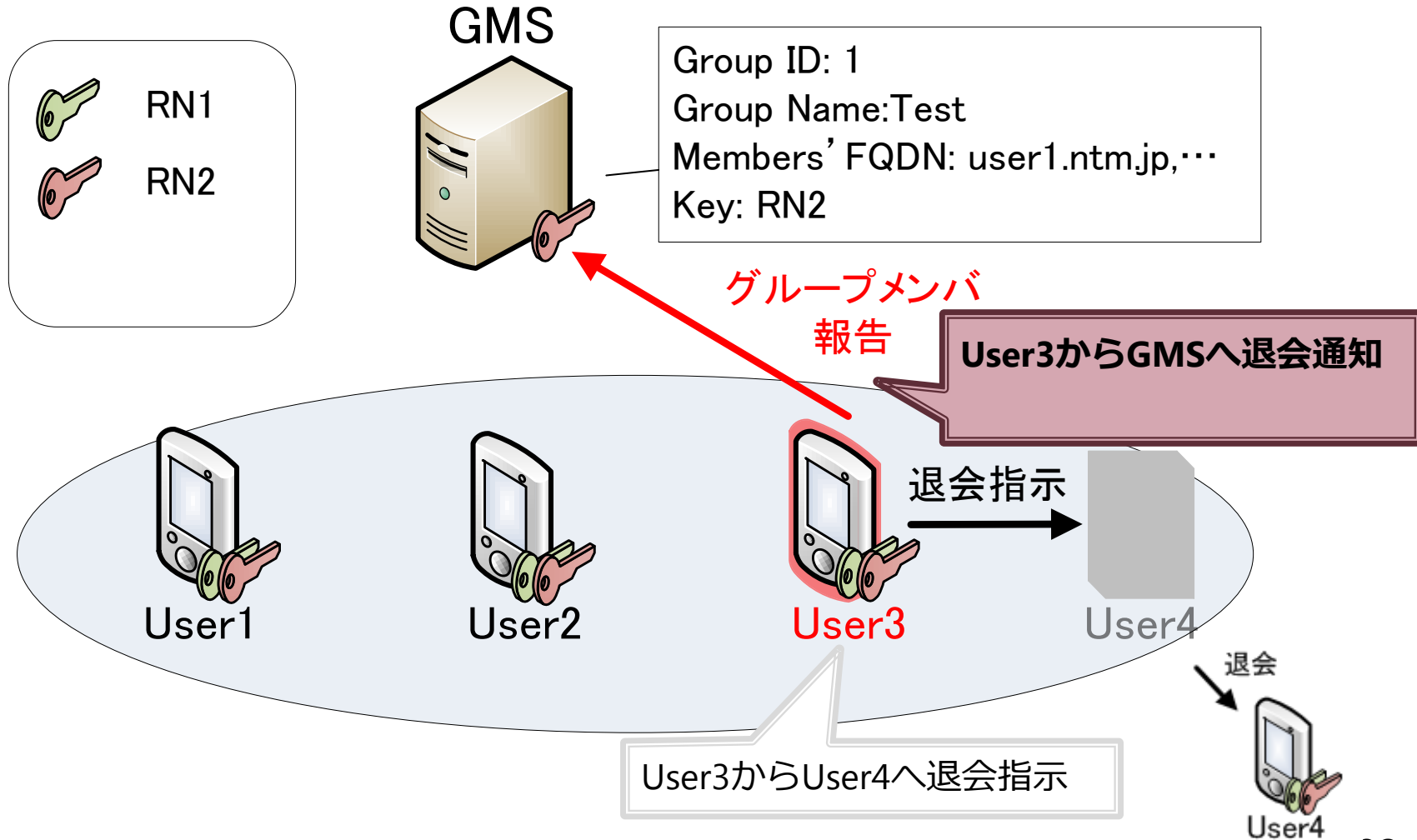
グルーピングシーケンス



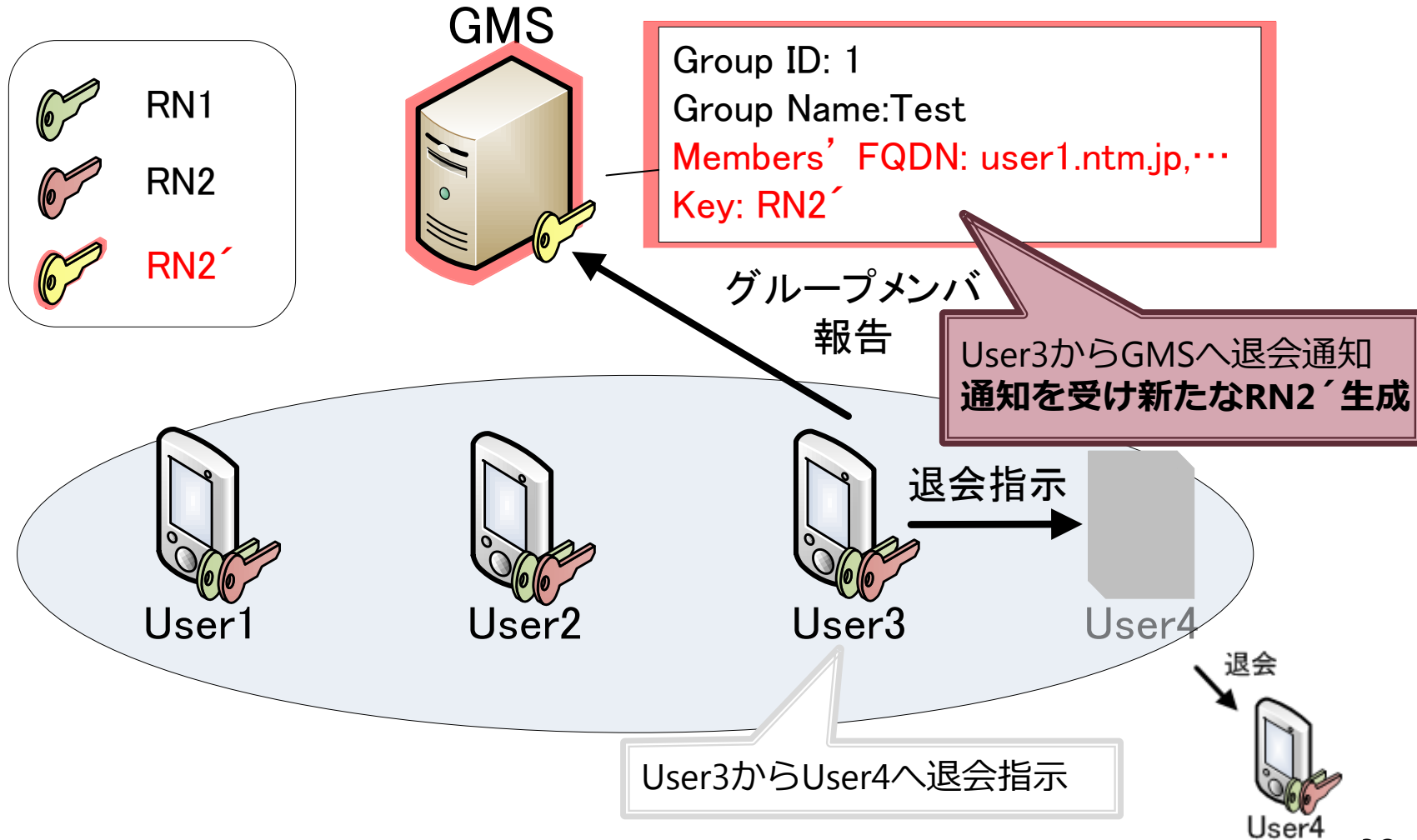
提案方式 -グループ鍵更新処理-



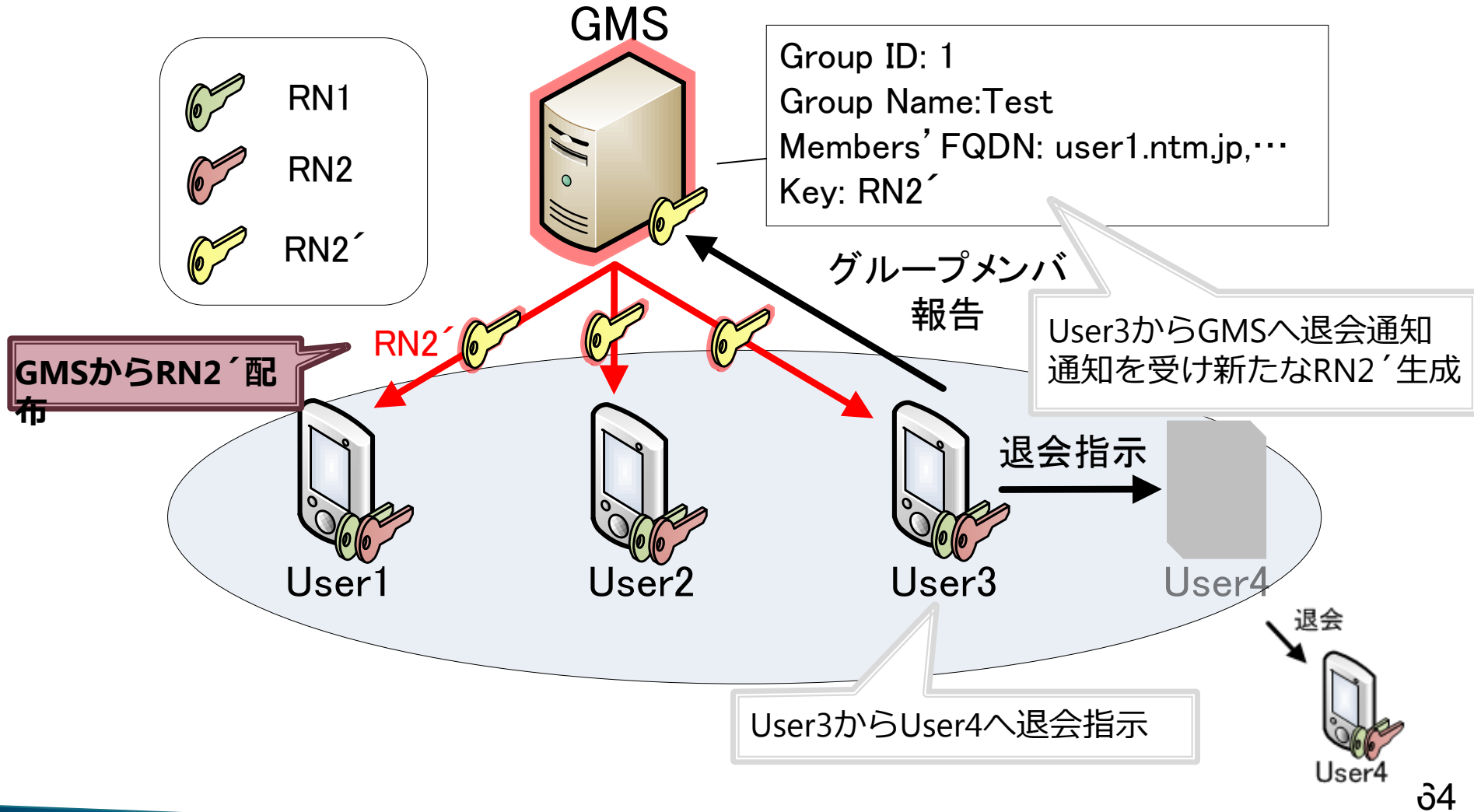
提案方式 -グループ鍵更新処理-



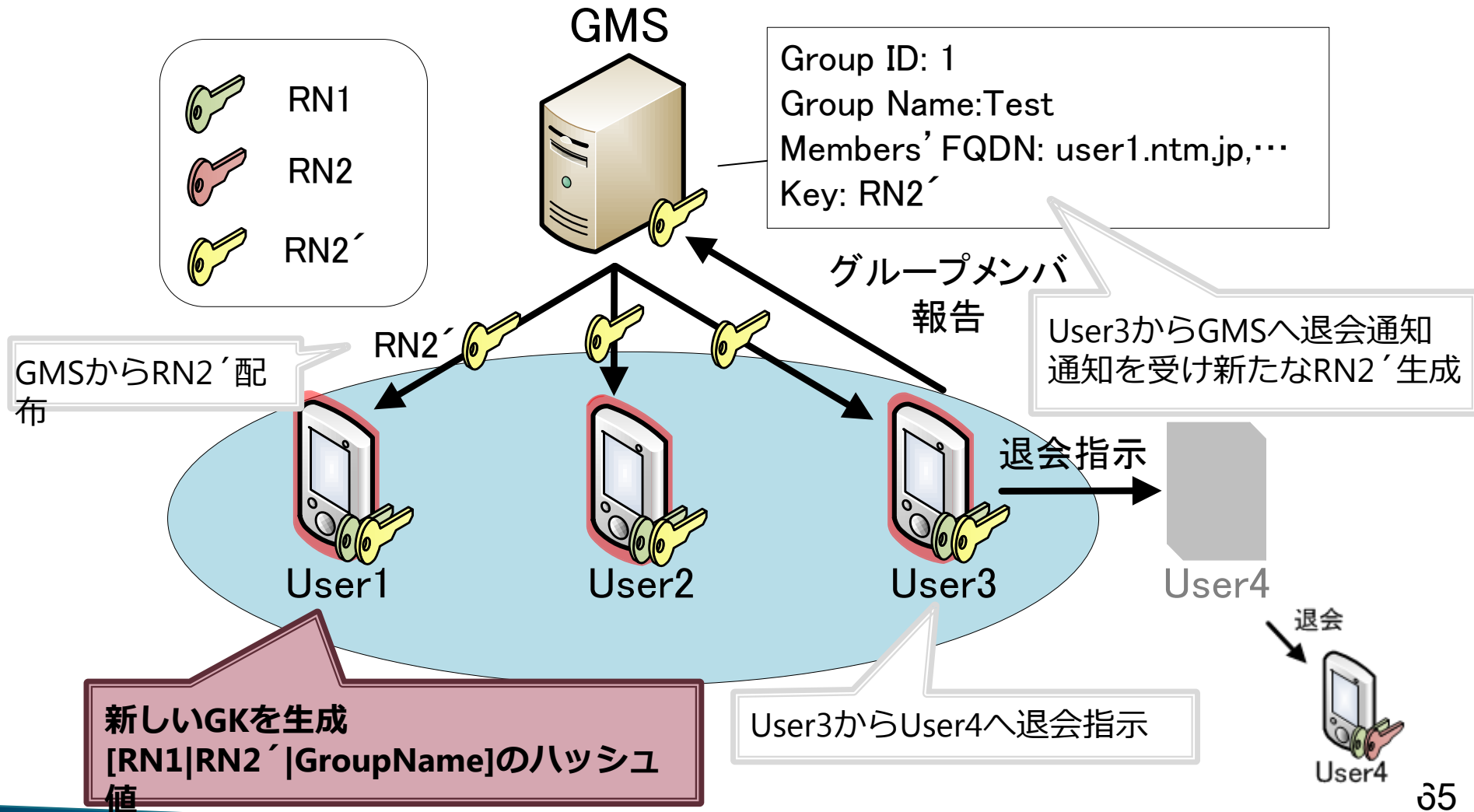
提案方式 -グループ鍵更新処理-



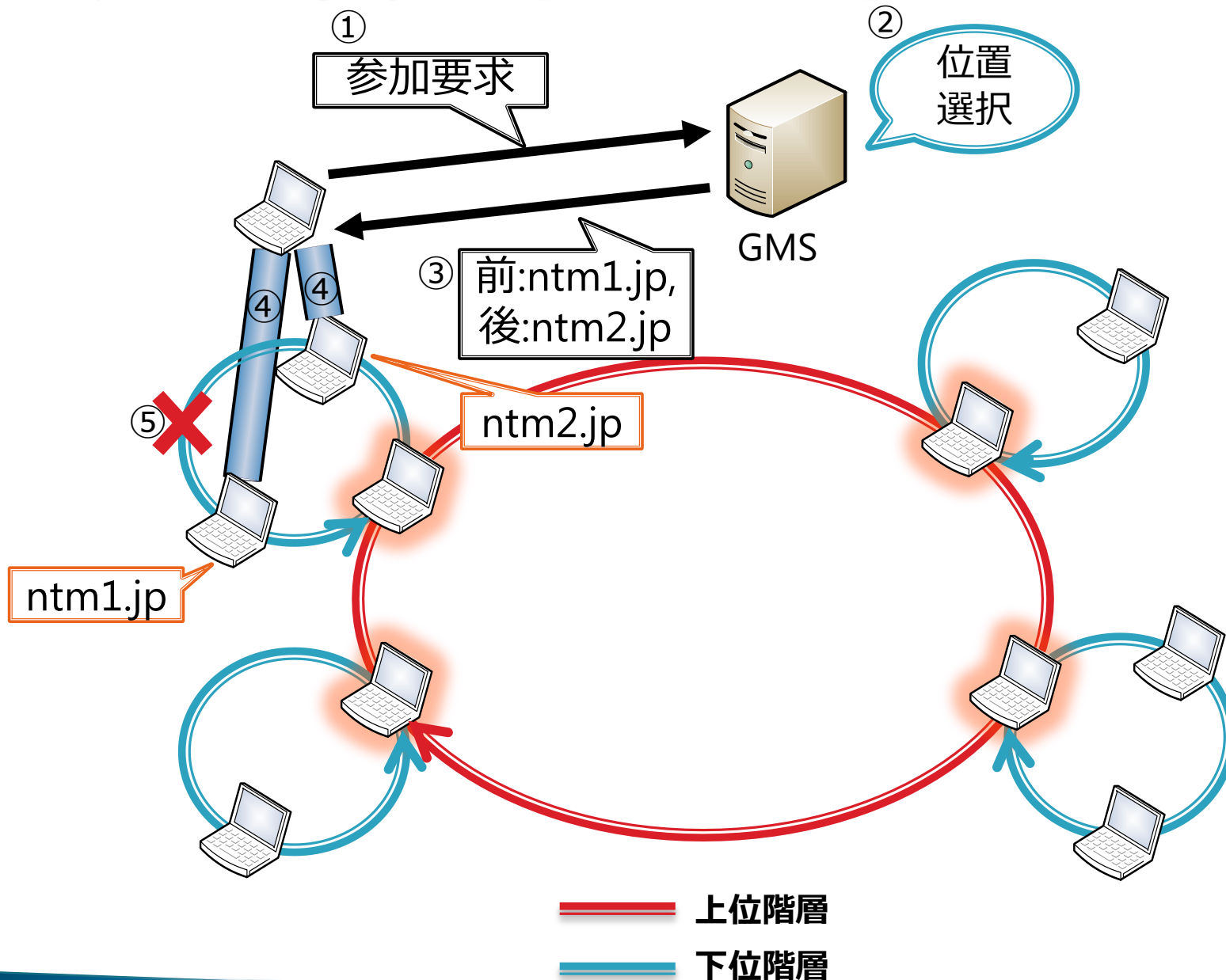
提案方式 -グループ鍵更新処理-



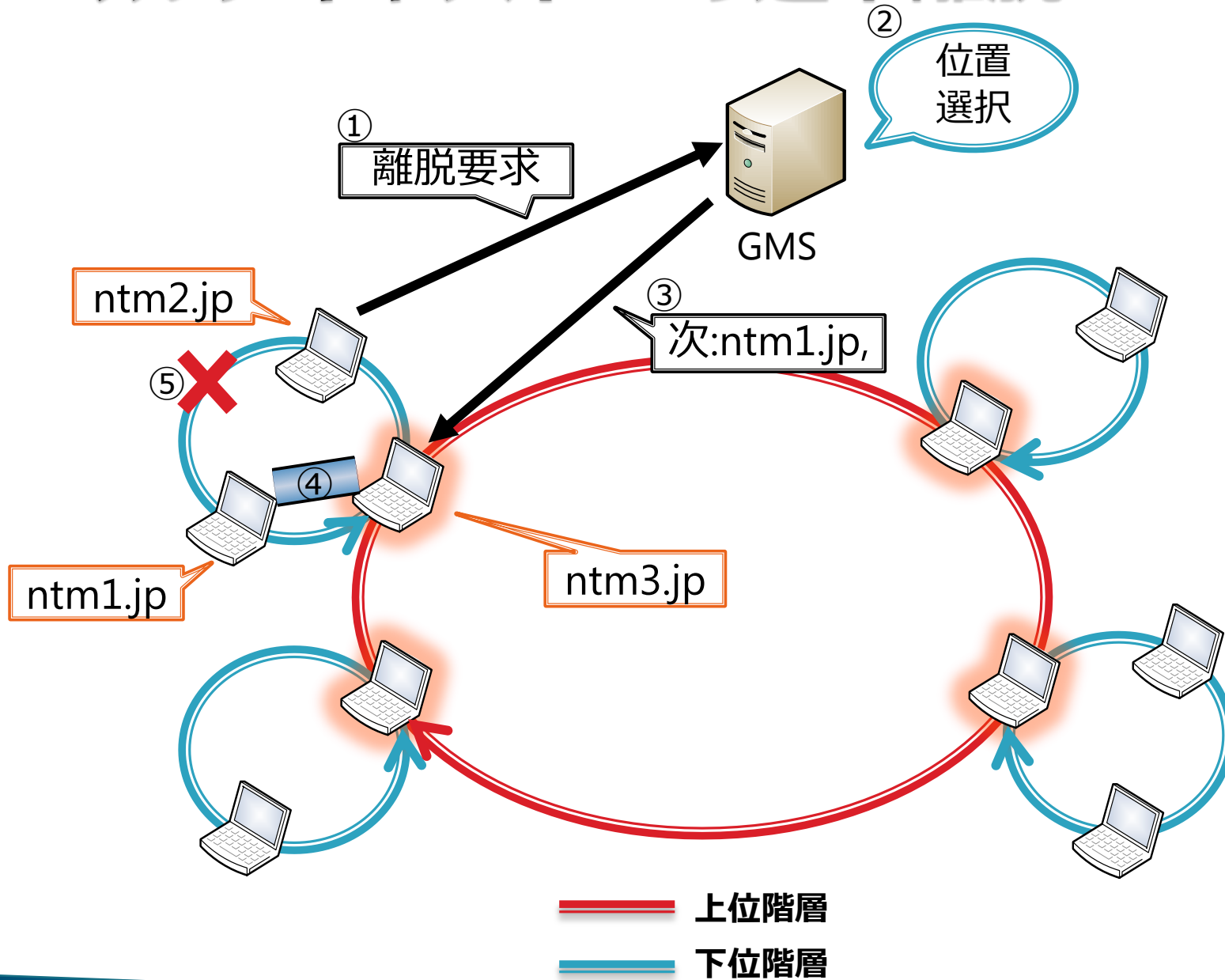
提案方式 -グループ鍵更新処理-



マルチキャストへの途中参加



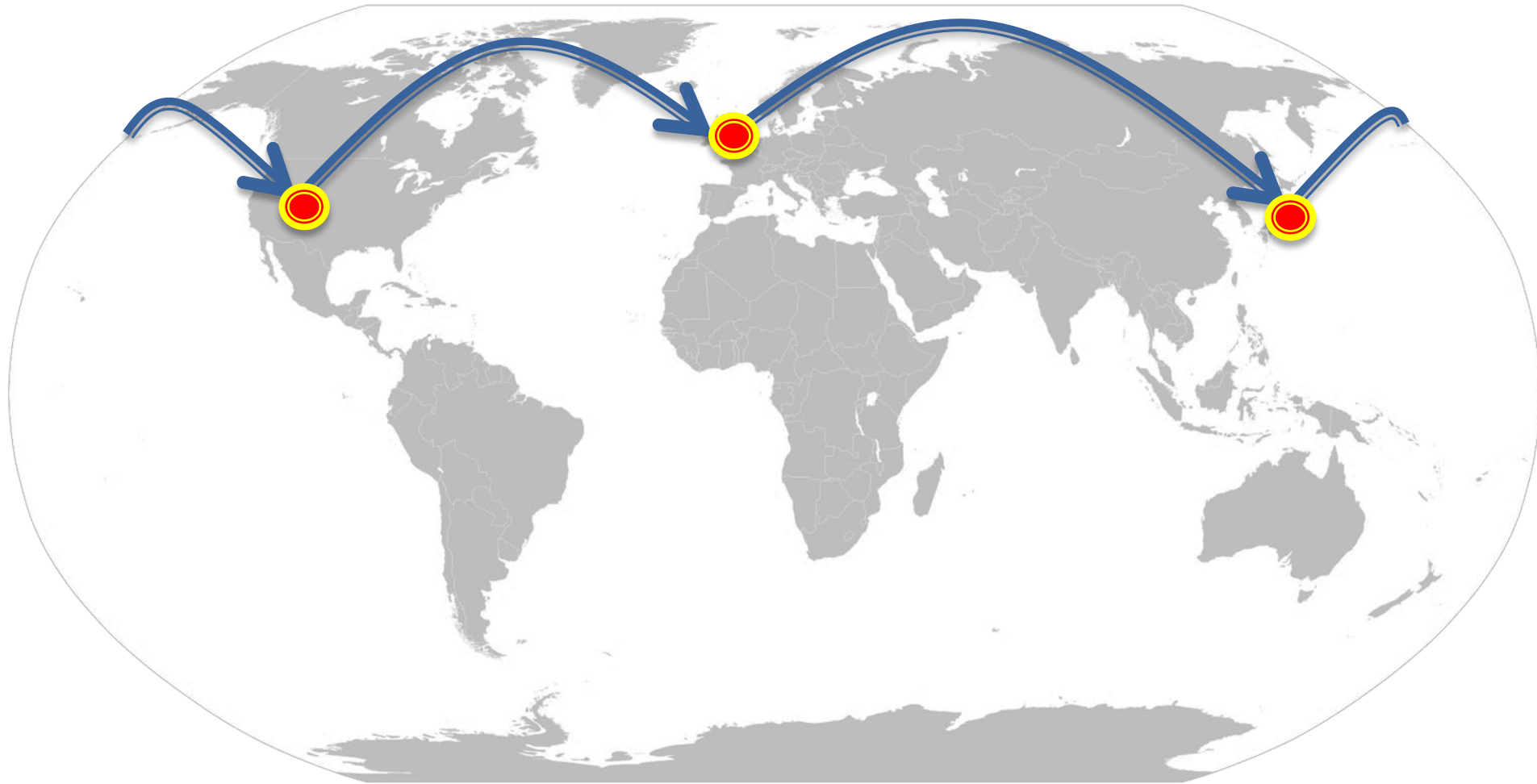
マルチキャストへの途中離脱



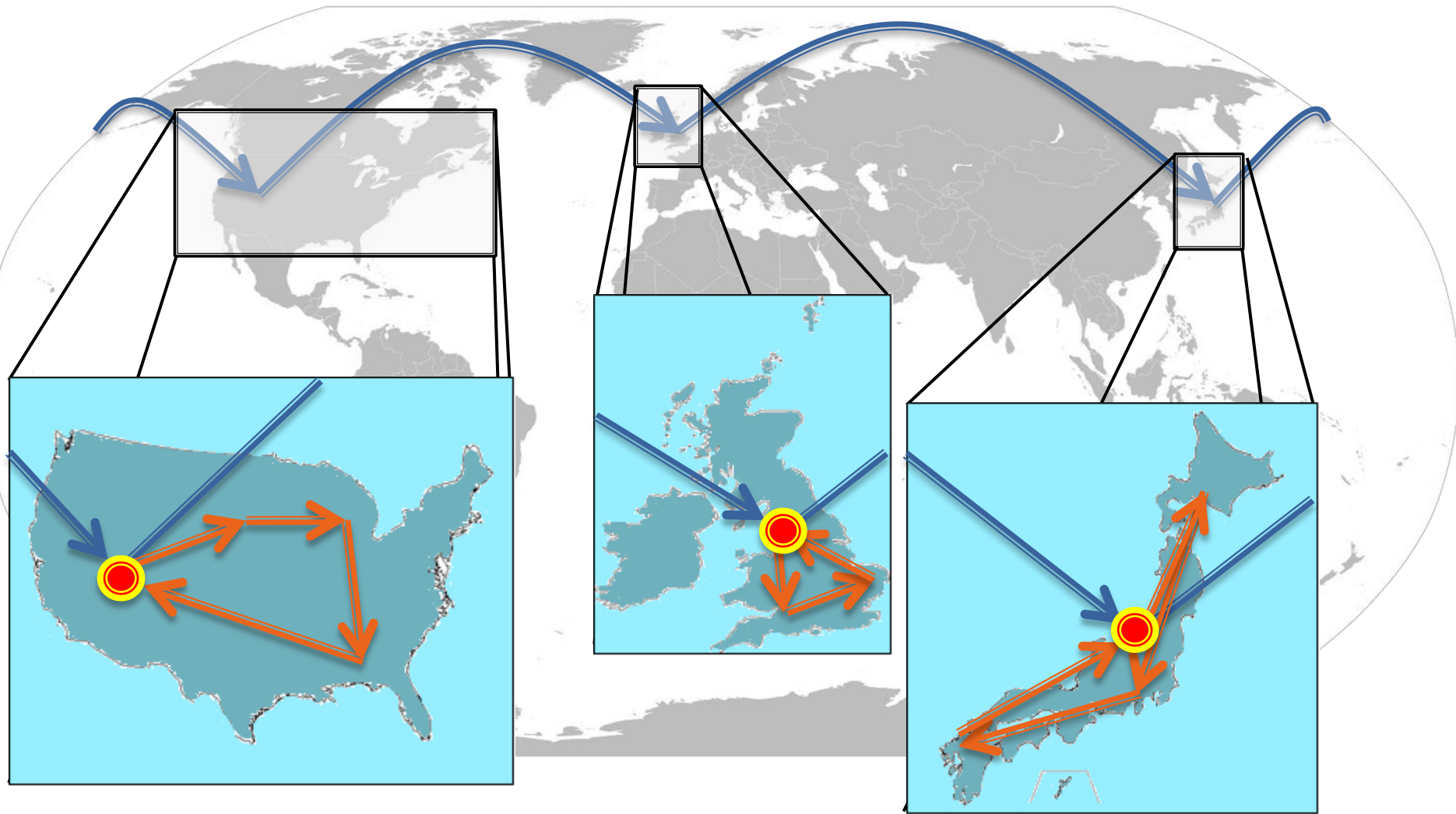
GMSの経路生成

- ▶ IPアドレスから国名取得
 - 国ごとにIPアドレスを基にソート
- ▶ 国ごとにリング作成（リングの階層構造）
 - 国ごとに代表端末をランダムに1つ選択
 - 代表端末は自国と他国のリング双方にパケットを送信
 - ▶ 大陸用のリングと、国ごとのリングに分割

パケット送信時の概略図

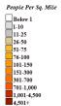


パケット送信時の概略図



GMSの経路生成

- ▶ IPアドレスから国名取得
 - 国ごとに**IPアドレスを基にソート**
- ▶ 国ごとにリング作成（リングの階層構造）
 - 国ごとに代表端末をランダムに1つ選択
 - 代表端末は自国と他国のリング双方にパケットを送信
 - ▶ 大陸用のリングと、国ごとのリングに分割



ロシアの人口分布

Population Density of Russia

