

耐障害性を重視した 自律分散モバイルシステム

NS 研究会@沖縄コンベンションセンター

† 渡邊 大記, † 島 慶一, † 堀場 勝広

† SoftBank Corp.

背景：社会インフラとしてのモバイルシステム

CN: Core Network
RAN: Radio Access Network

- **正常に稼働し続けることが最重要**
 - 1000万オーダーの加入者が接続する巨大通信システム
- **避けようのない障害の存在**
 - 原因：物理的な設備故障、自然災害（特に日本）
 - 障害発生を前提とすることが必要
- **現在のモバイルシステムは耐障害性に課題あり**
 - CN（制御部）が輻輳に弱い（規模性が低い）
 - RAN-CN の分断に弱い（耐分断性が低い）

背景：社会インフラとしてのモバイルシステム

CN: Core Network

RAN: Radio Access Network

耐障害性を重視したモバイルシステムが重要

- 避けようのない障害の存在

モバイルシステムの性質の整理が必要

その上で耐障害性を設計に組み込むことが必要

- CN (制御部) が輻輳に弱い (規模性が低い)
- RAN-CN の分断に弱い (耐分断性が低い)

モバイルシステムの性質・挙動

UE: User Equipment (端末)

- **音声通話サービスを発端（今はデータ通信も存在）**
 - 誰が、どのくらいの時間、回線を利用していたか？の把握と密接な関係
 - **認証・認可・アカウントング（AAA）**として整理
- **UEが無線基地局を切り替えながら通信を継続**
 - どの基地局からどの基地局へ端末と回線(Session)を引っ越す？の制御
 - **UE/Session Mobility**として整理
- **対向との間にポリシーを適用した通信が存在**
 - 端末がどこに移動しても通信相手との間にポリシーを適用した通信路が発現する
 - **User Plane (U-plane)**として整理

モバイルシステムは

- 音声通話サービスを発端（現在はデータ通信も存在）
 - 誰が、どのくらいの時間、回線を利用していたか？の把握と密接な関係
 - (i). **AAA** によって保証される情報を、
 - (ii). **UE/Sess. Mobility** に応じて共有し合い、
 - どの基地局からどの基地局へ端末と回線を引っ越す？の制御
 - (iii). 結果として **U-plane** が発現する
 - 端末がどこに移動しても接続性が維持される
- という3大要件を持った通信システムだと整理

標準的な 5G System (5GS)

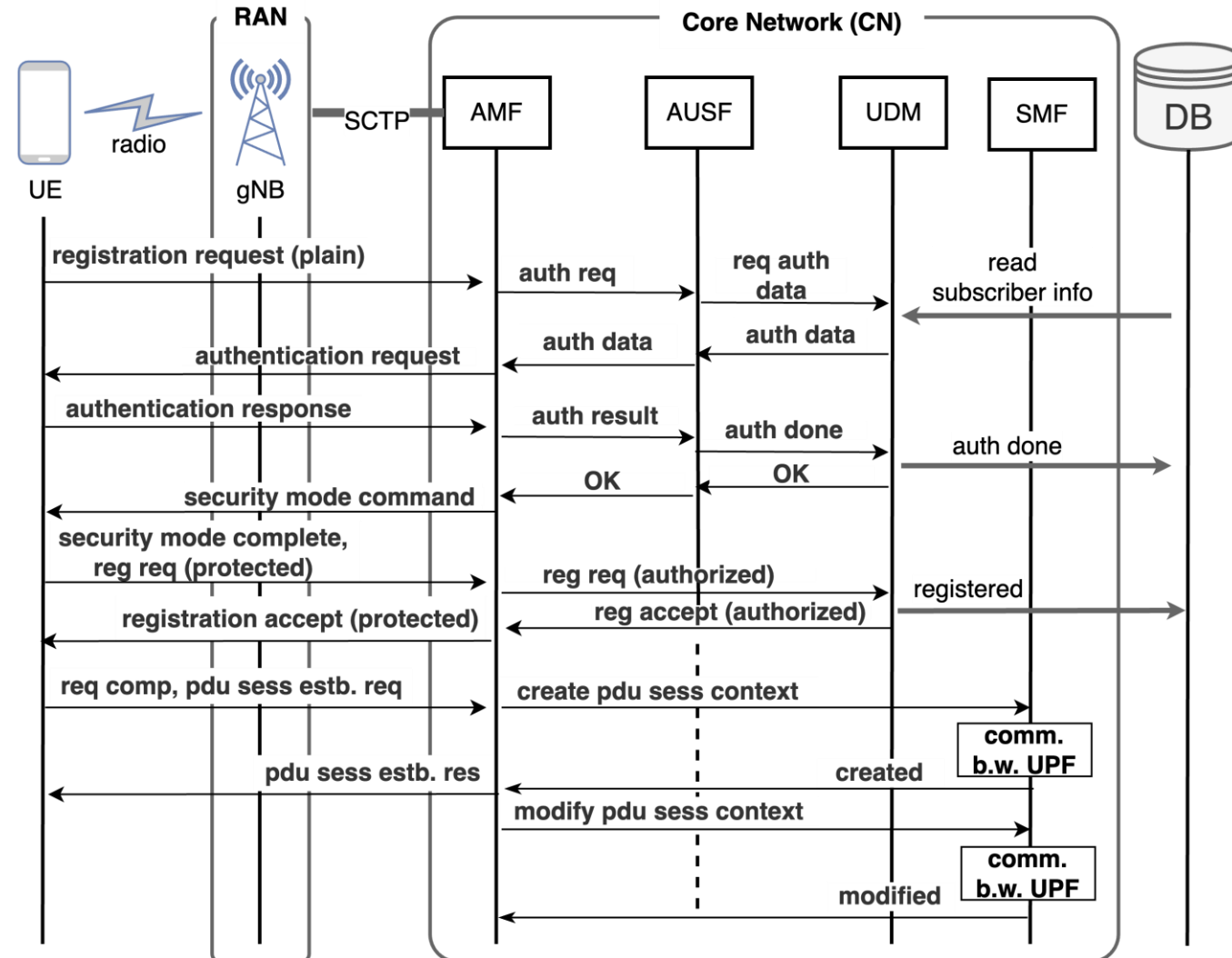
NF: Network Function

- **UE/RAN/CN から構成**

- RAN-CN 間は SCTP 接続
- UE : CN 内では **IMSI** で識別
- CN は NF による
マイクロサービスアーキテクチャ
 - NF の役割ごとに個別管理される
UE Context の整合性が重要

UE の状態を示す揮発性データ

暗号鍵、seq 番号、**認証情報**、**UE IP Addr.**、**無線区間 ID** 等



標準的な 5G System (5GS)

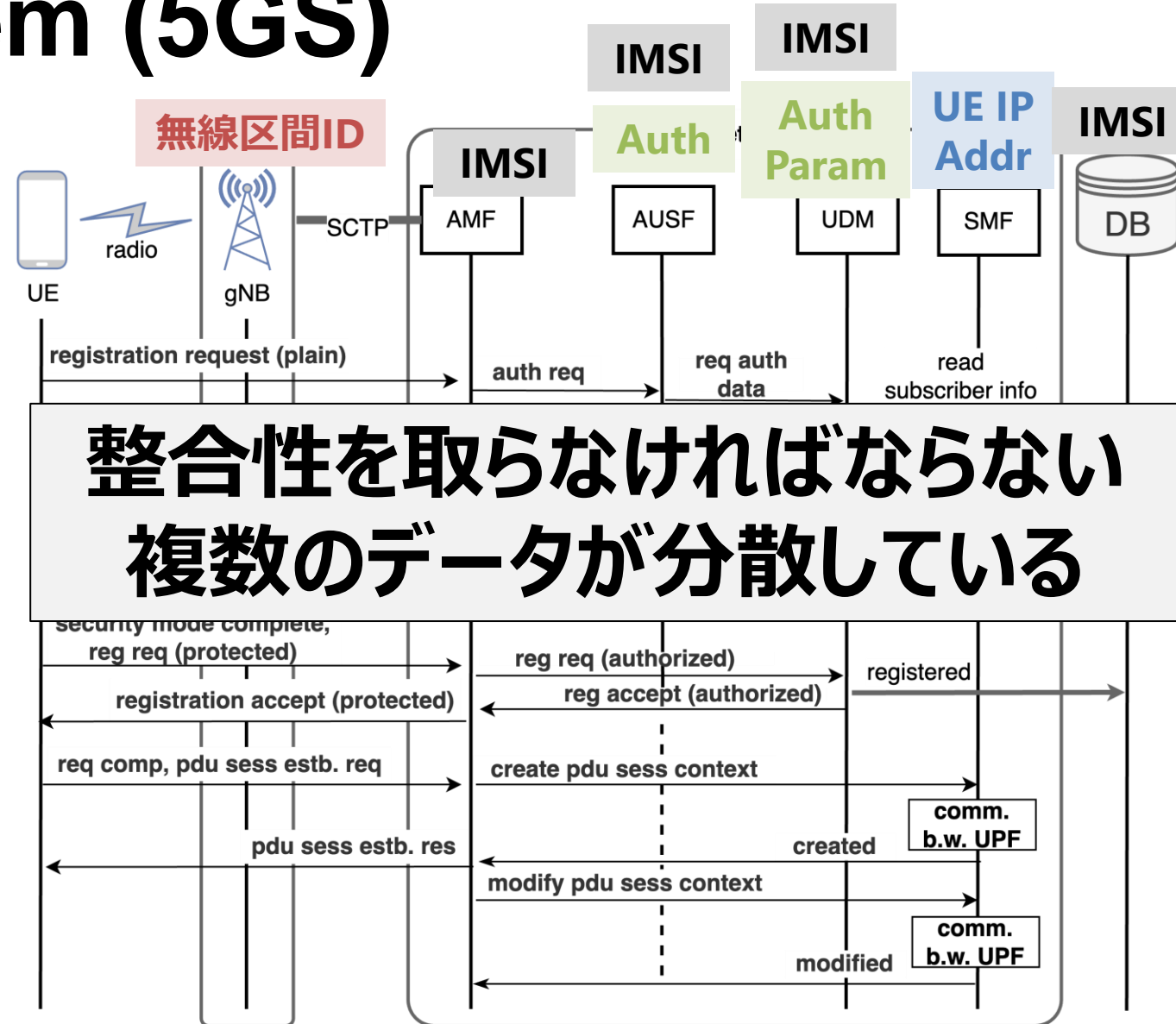
- **UE/RAN/CN から構成**

- RAN-CN 間は SCTP 接続
- UE : CN 内では **IMSI** で識別
- CN は NF による
マイクロサービスアーキテクチャ

- **NF の役割ごとに個別管理される
UE Context の整合性が重要**

UE の状態を示す揮発性データ

暗号鍵、seq 番号、**認証情報**、**UE IP Addr.**、**無線区間 ID** 等



CN が輻輳に弱い (規模性が低い)

1000万台

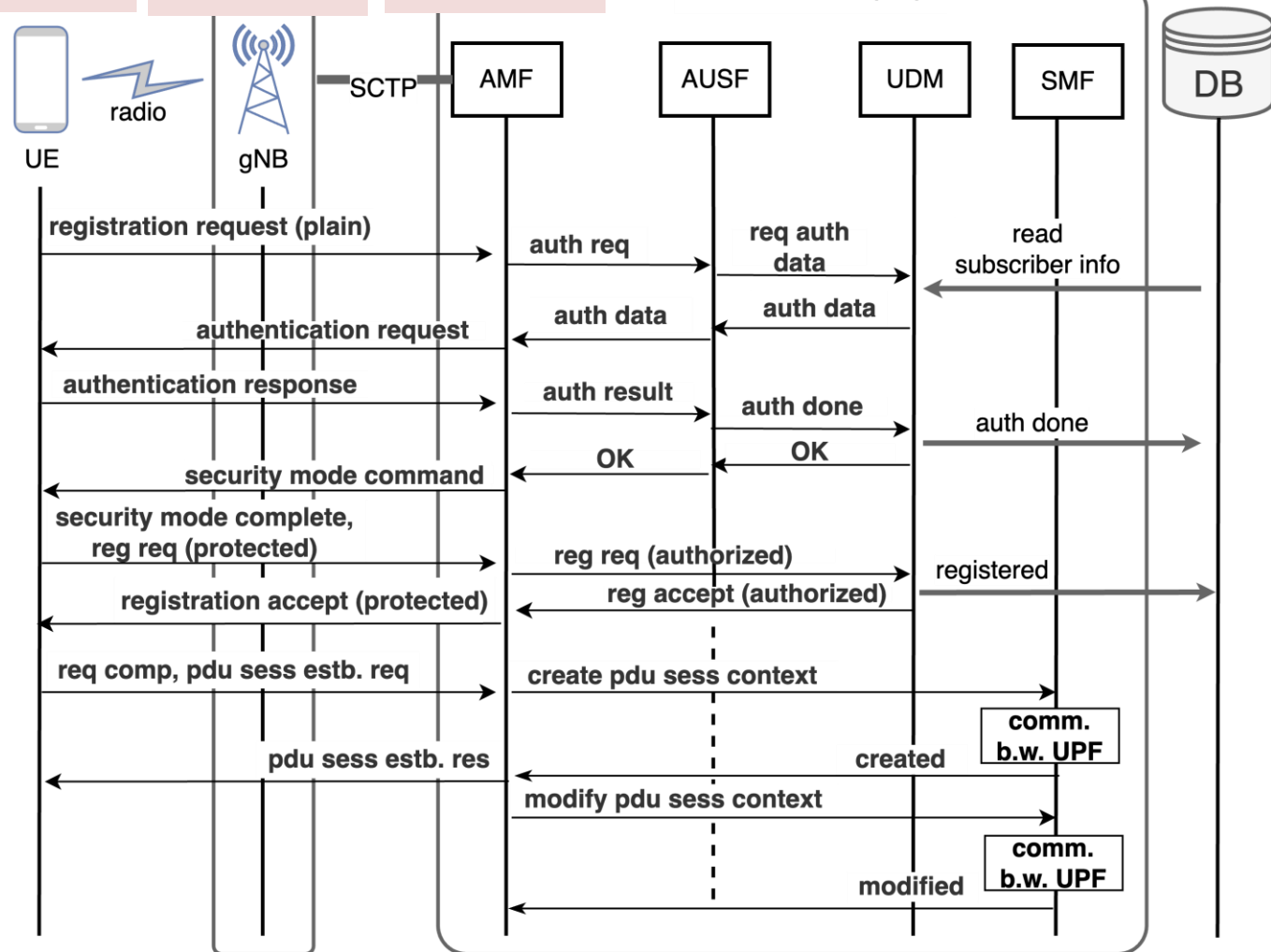
10万局

数ヶ所

Core Network (CN)

- AMF への過集中

- UE(10^7 台) : AMF(<数ヶ所)



CN が輻輳に弱い (規模性が低い)

UE Context の
整合性が重要なため

1000万台

10万局

数か所

Core Network (CN)

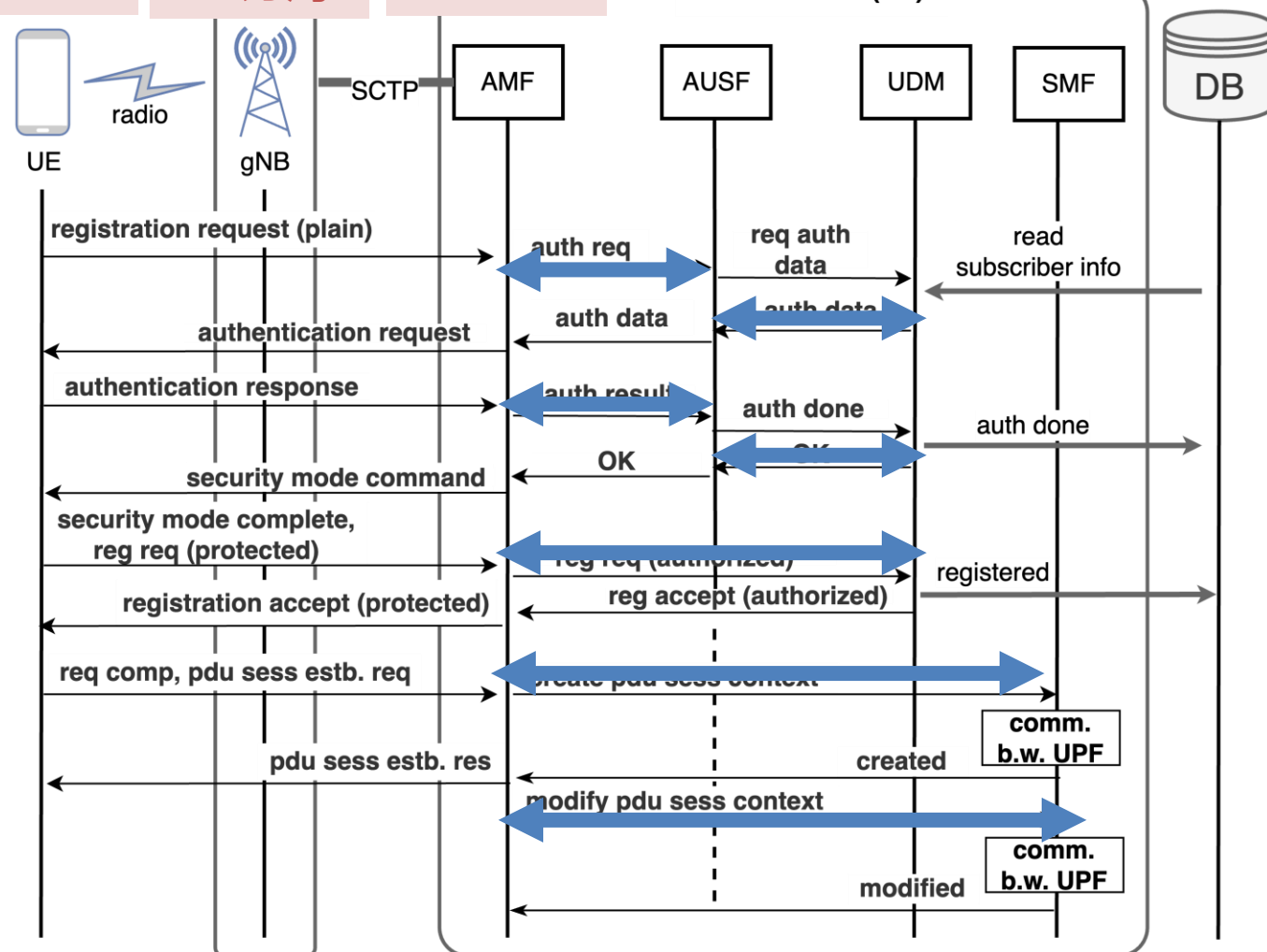
- AMF への過集中

- UE(10⁷台) : AMF(<数ヶ所)

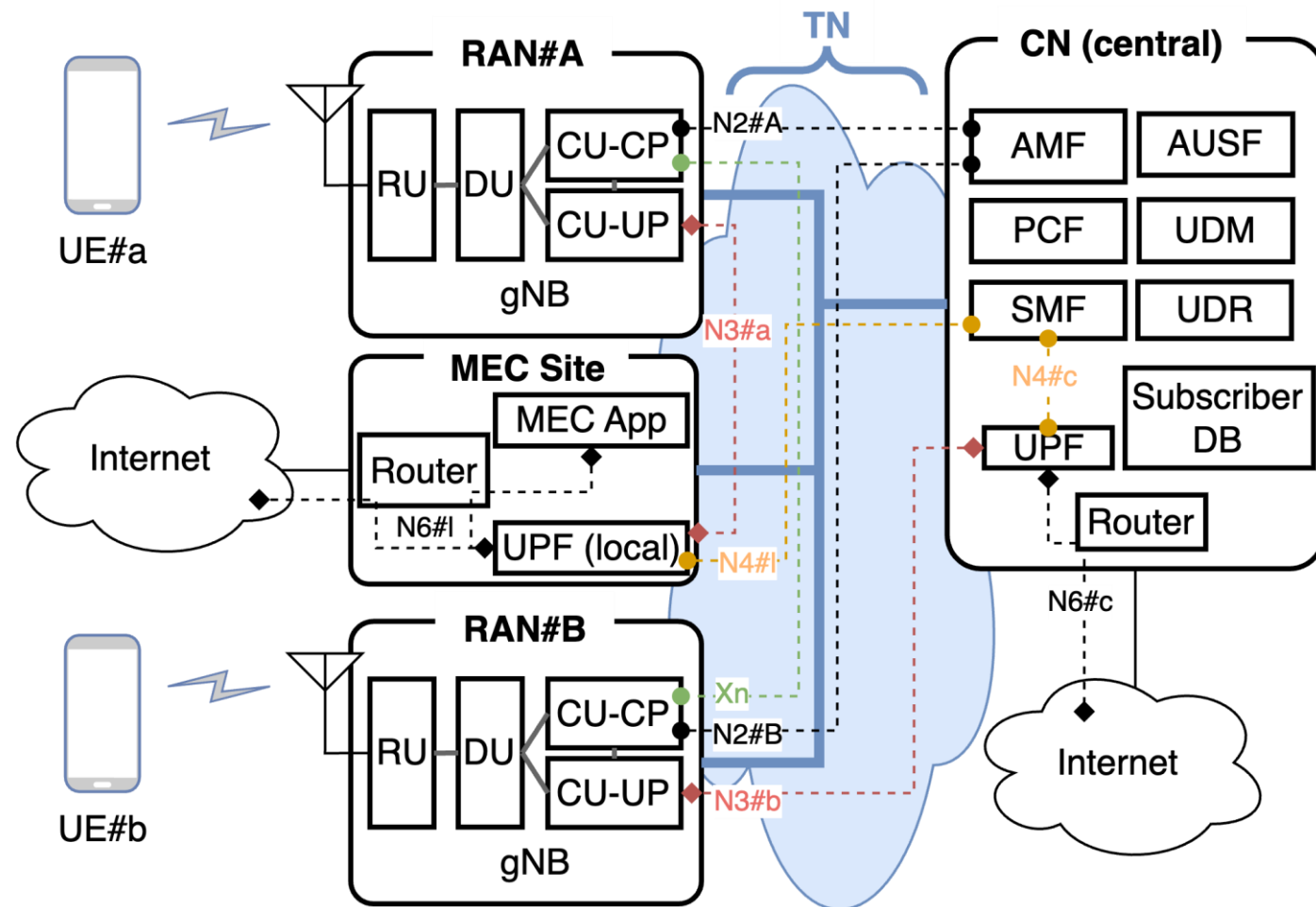
- 1 req 処理するために
複数 NF 間で msg 交換

- 各 NF は req に対して
トランザクション処理
- 失敗時にはロールバック処理

平常時も高コストなメッセージ交換
問題発生時にはさらに輻輳しやすい

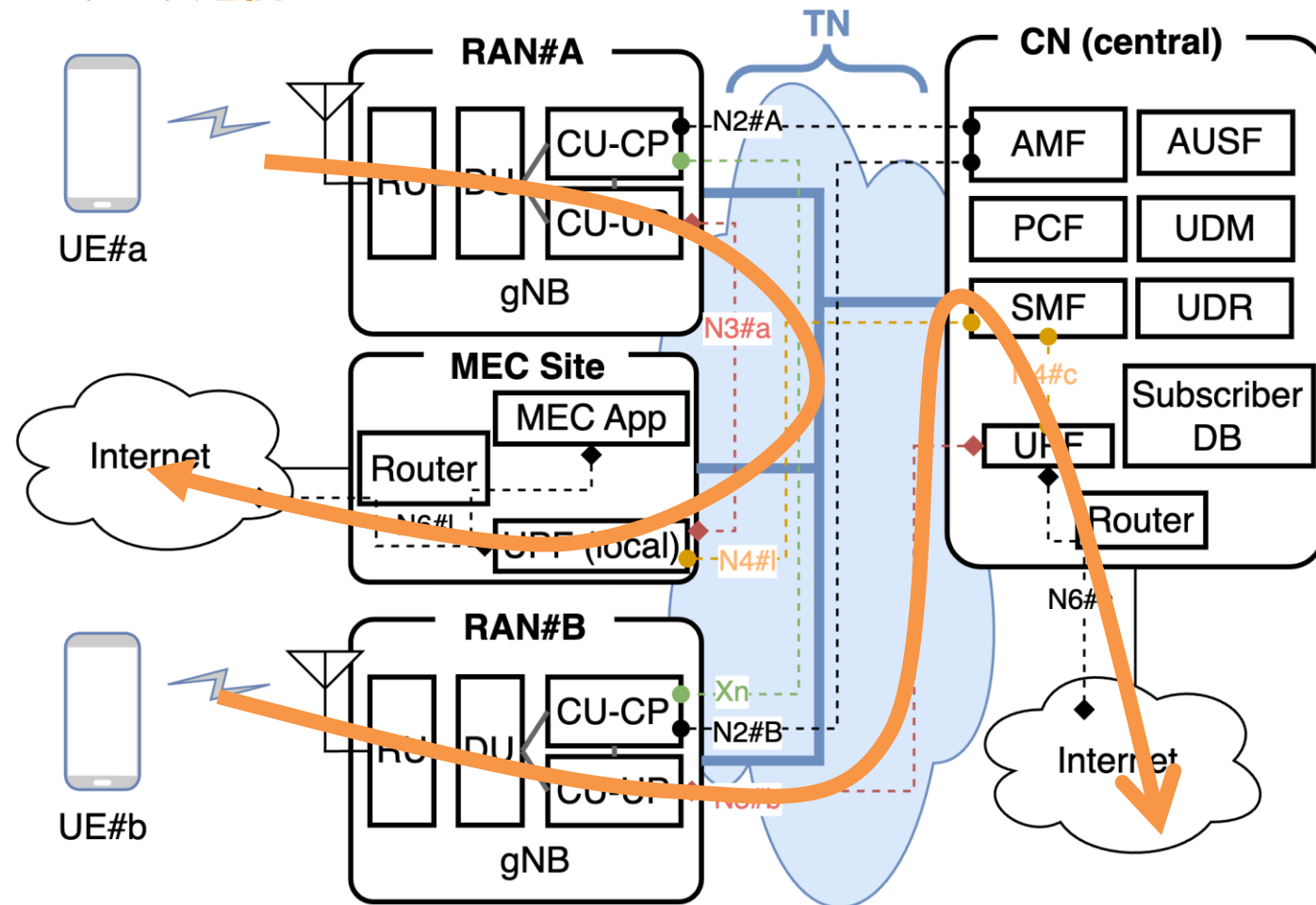


RAN-CN の分断に弱い (耐分断性が低い)



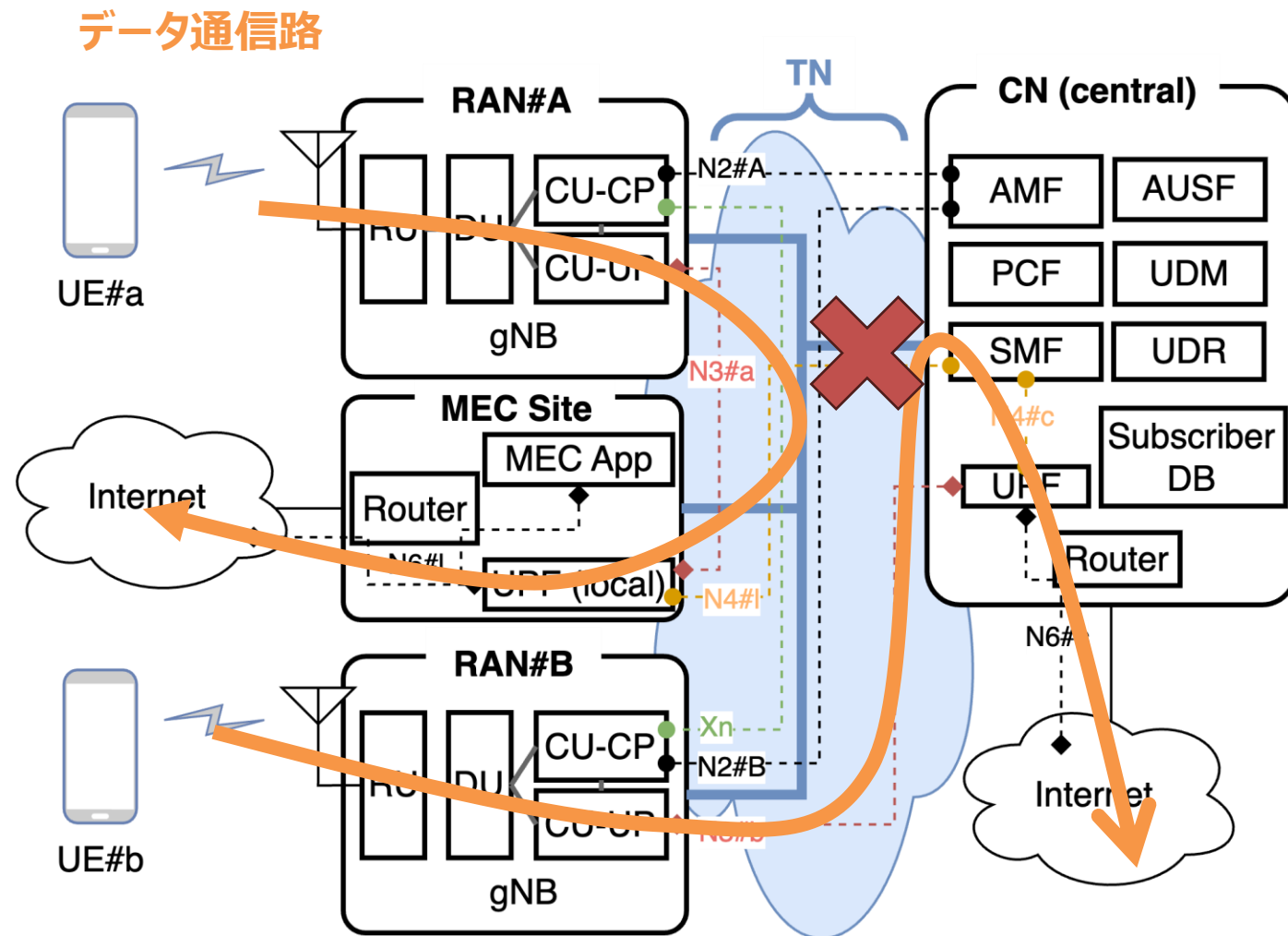
RAN-CN の分断に弱い (耐分断性が低い)

データ通信路



RAN-CN の分断に弱い (耐分断性が低い)

- TN に障害発生
 - 一部 RAN が CN から分断

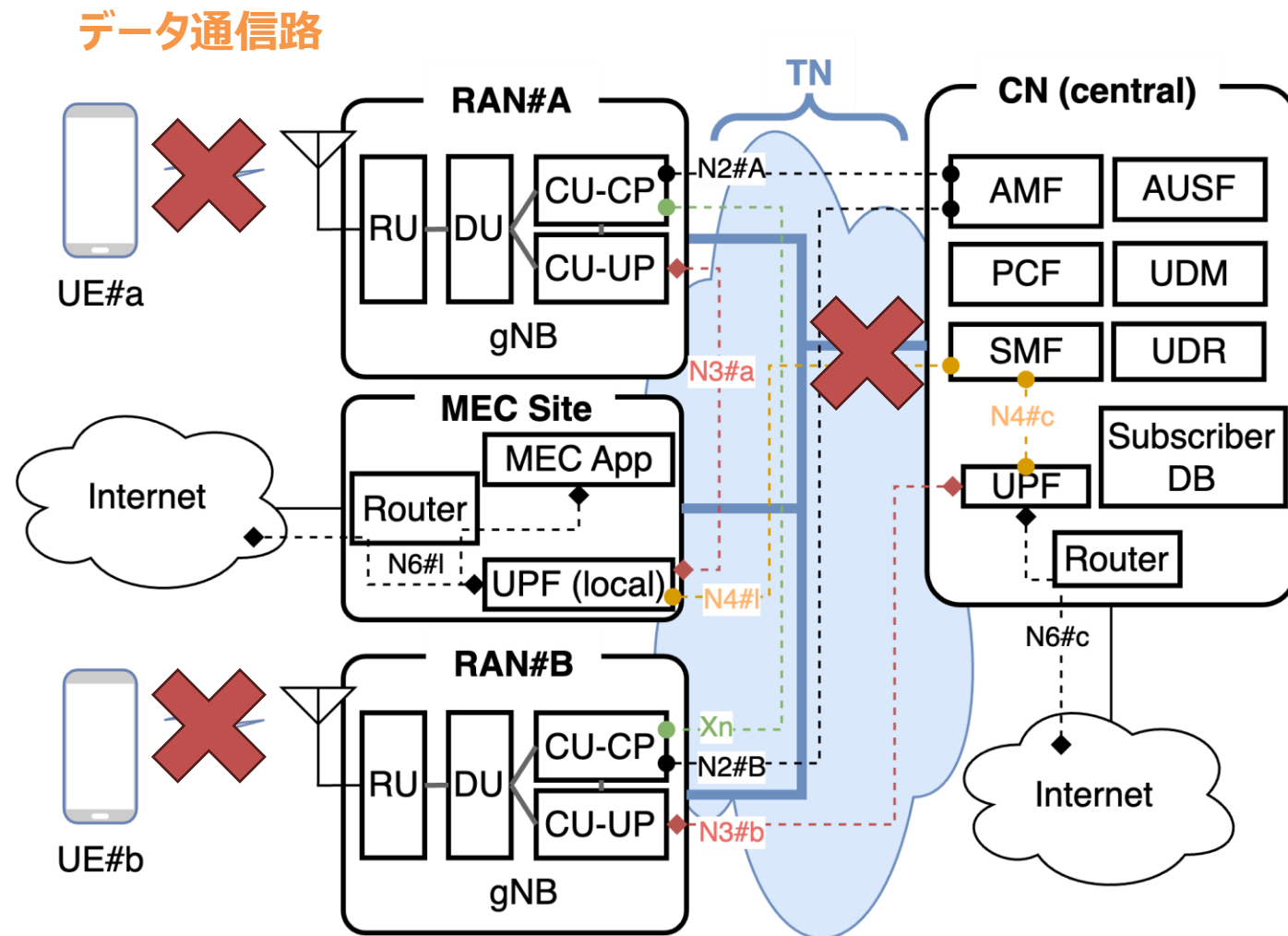


RAN-CN の分断に弱い (耐分断性が低い)

- TN に障害発生
 - 一部 RAN が CN から分断
 - 多くの RAN は無線を停止
 - 結果：UE が通信障害

障害点が UE のデータ通信路に
無関係な場合でも通信障害

分断地域内の通信も移動も不可能



モバイルシステムが抱える 耐障害性 の課題

- **本発表における耐障害性**：「規模性」と「耐分断性」
 - 物理破損や災害由来の障害は起こってしまう
- **耐障害性を備えたモバイルシステムの設計が重要**
 - 規模性がある・・・そもそも輻輳しづらいアーキテクチャ
 - 耐分断性がある・・・部分的な分断が起きても可能な限り通信サービス継続
 - 耐障害性の性質 + モバイルシステム3大要件 を満足する必要あり
 - 耐障害性 + AAA、Mobility、U-plane

比較：通信システムとしてのインターネット

AS: Autonomous System

- **AS による世界最大の通信システム**

- AS 内・AS間の通信に障害が発生してもインターネットは機能する自律分散性
- モバイルシステムと比較して 規模性・耐分断性 に優れる

- **経路制御と TCP/IP に基づく通信モデル**

- 端末の IP Addr. をもとに BGP/IGP による 外部AS-LAN 間の到達性
- 端末の IP Addr. を ARP で解決する LAN 内の端末特定

提案

インターネットのモデルを参考にした
耐障害性を重視した自律分散モバイルシステム

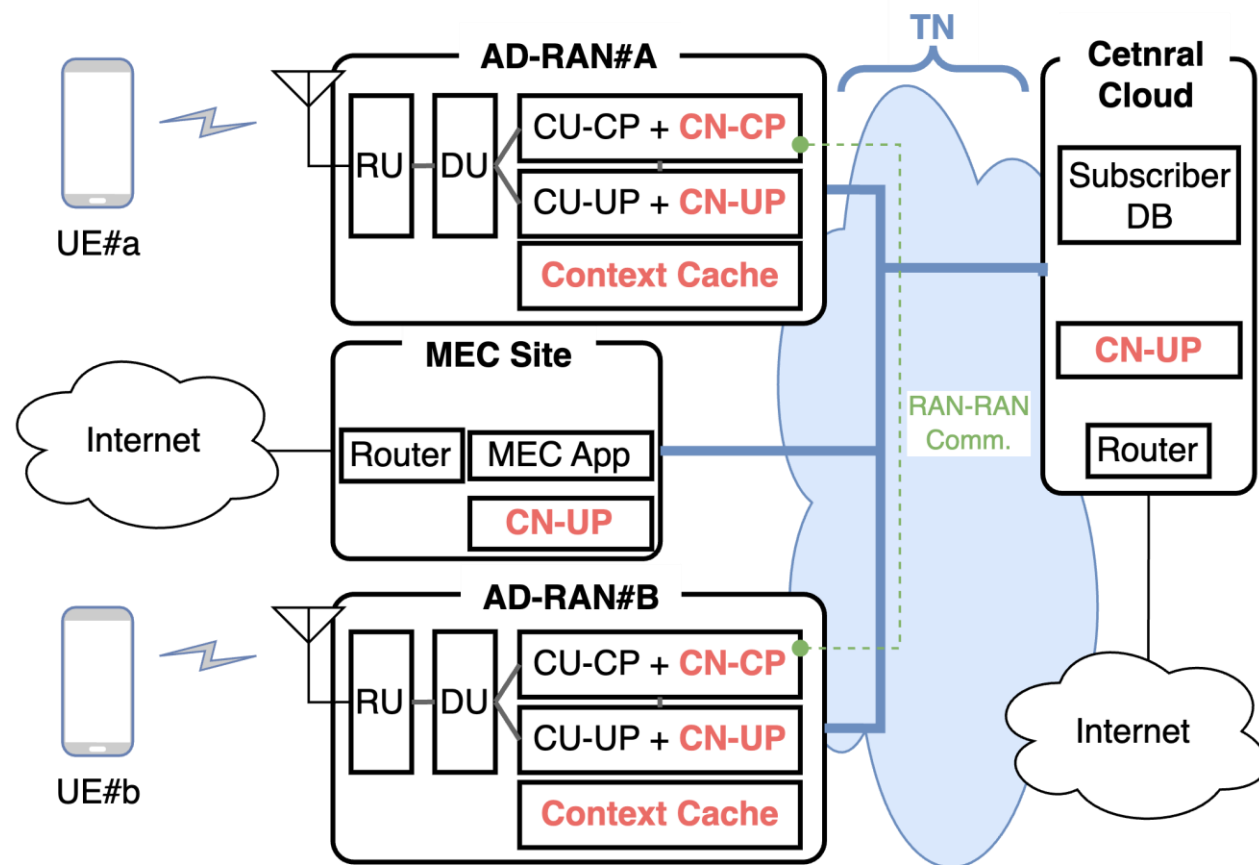
自律分散モバイルシステム (ADMobile)

- RAN に CN 機能を統合

- C-plane に関する RAN Core Convergence

- CN U-plane の配置は問わない
- RAN ごとに UE context 管理
 - 全種類が IMSI に対応づく
 - UE あたりの整合性管理場所が1か所

- 加入者DBのみ中央

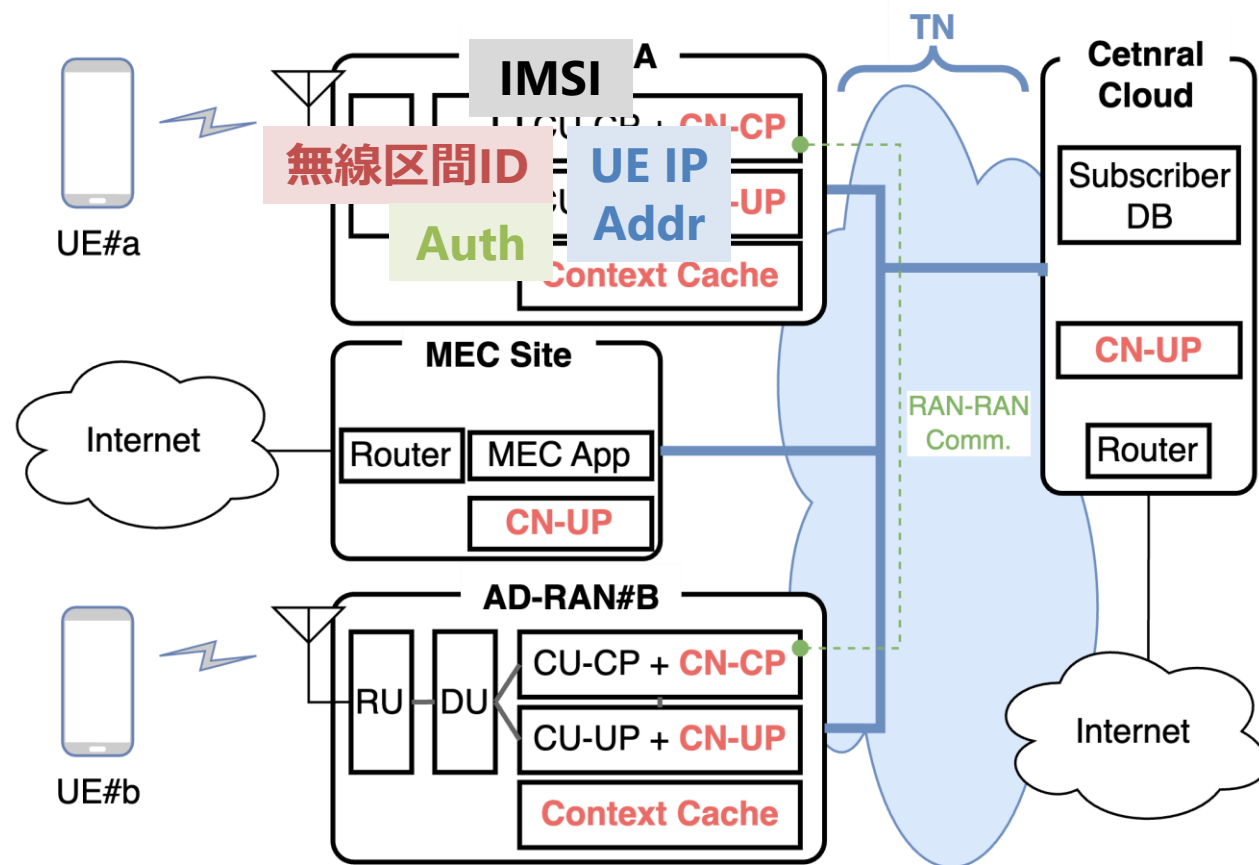


Autonomous Decentralized Mobile System

自律分散モバイルシステム (ADMobile)

- RAN に CN 機能を統合

- C-plane に関する RAN Core Convergence
 - CN U-plane の配置は問わない
- RAN ごとに UE context 管理
 - 全種類が IMSI に対応づく
 - UE あたりの整合性管理場所が1か所
- 加入者DBのみ中央



Autonomous Decentralized Mobile System

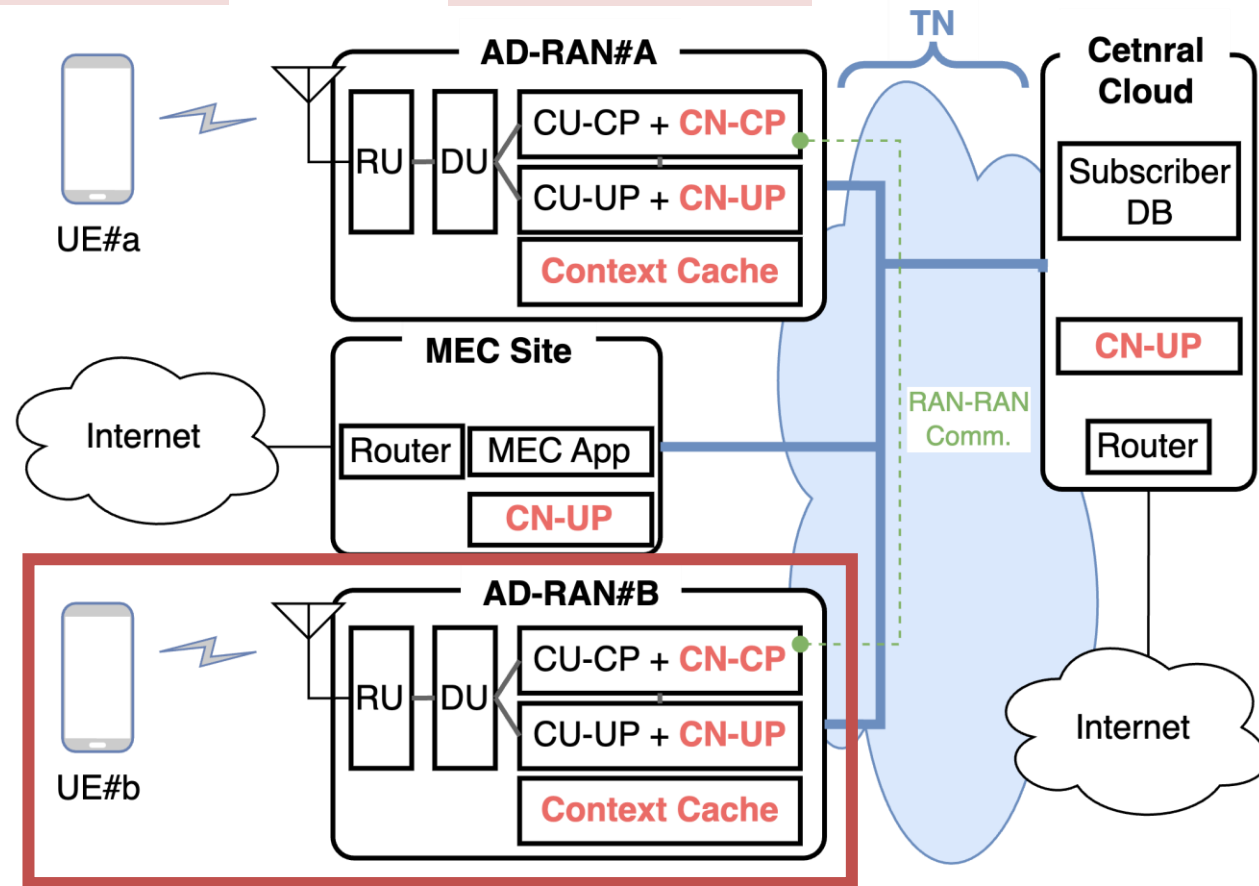
ADMobility の規模性

- **そもそも輻輳しづらい**

- 加入者DBへの問い合わせ以外
各 RAN 内で CN C-plane が完結
- UE Context の整合性管理が
各 RAN で完結
- UE:RAN=100:1 (局所化)

1000万台

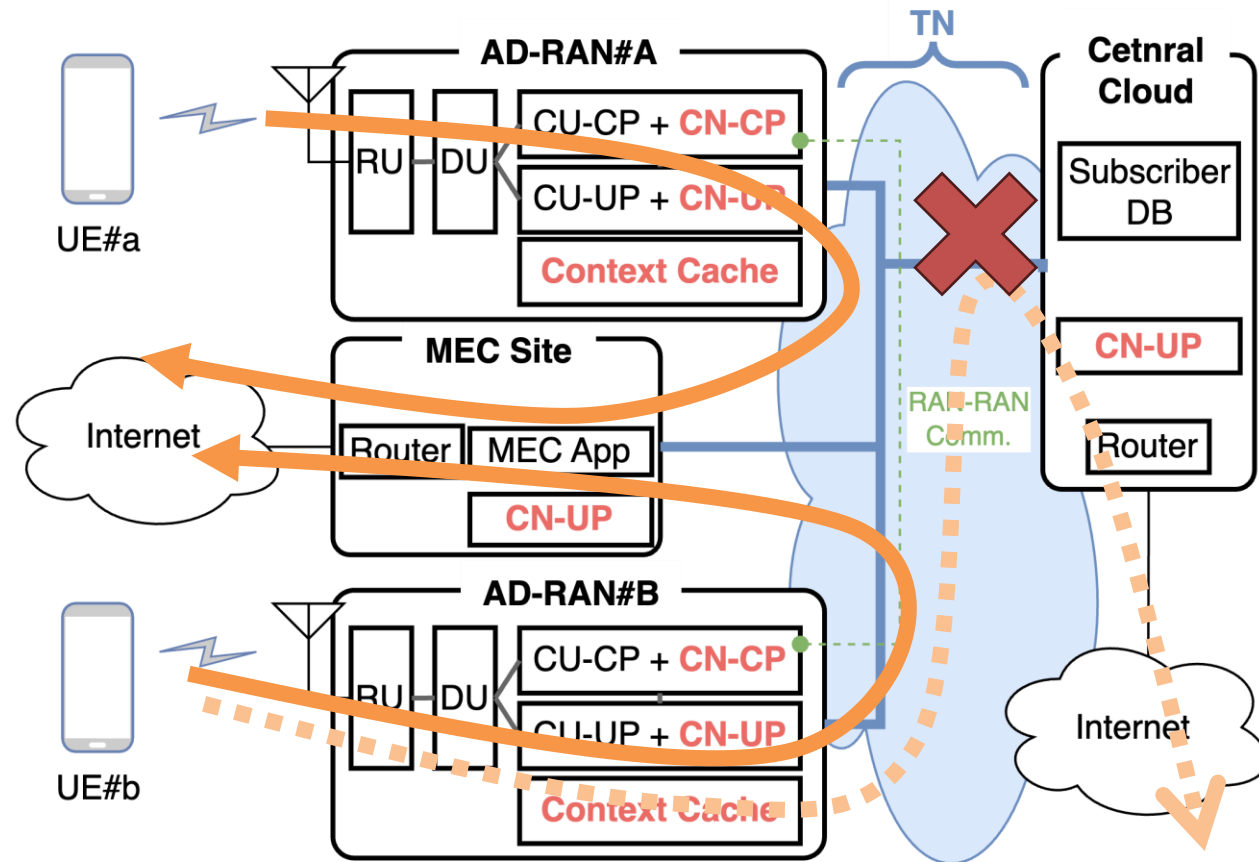
10万局



Autonomous Decentralized Mobile System

ADMobility の耐分断性

- 分断されてもなるべく通信サービスを継続
 - RAN-CN 分断が存在しない
 - ・ 無線を停止しない
 - 分断エリア内の通信可能
 - ・ 分断エリア内の移動も可能
 - RAN 主導で使用する CN U-plane を制御可能
 - ・ 障害点を回避可能
 - ・ その先に IX や Starlink があればインターネットに抜けることも可能

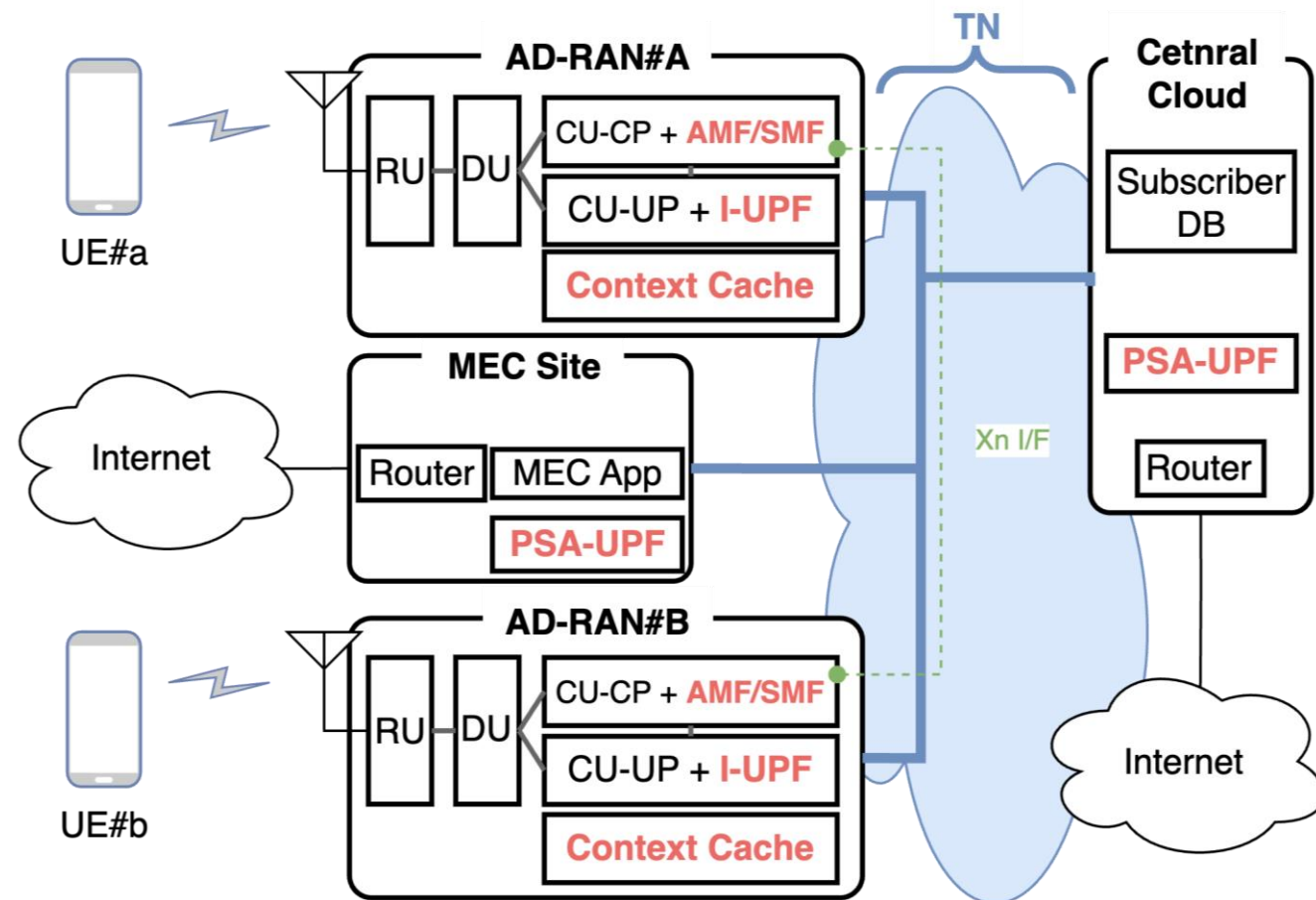


Autonomous Decentralized Mobile System

参考：3GPP 標準な構成要素との対応関係

- **CN C-plane**
 - AMF/SMF など一連の NF
- **CN U-plane**
 - I-UPF、PSA-UPF

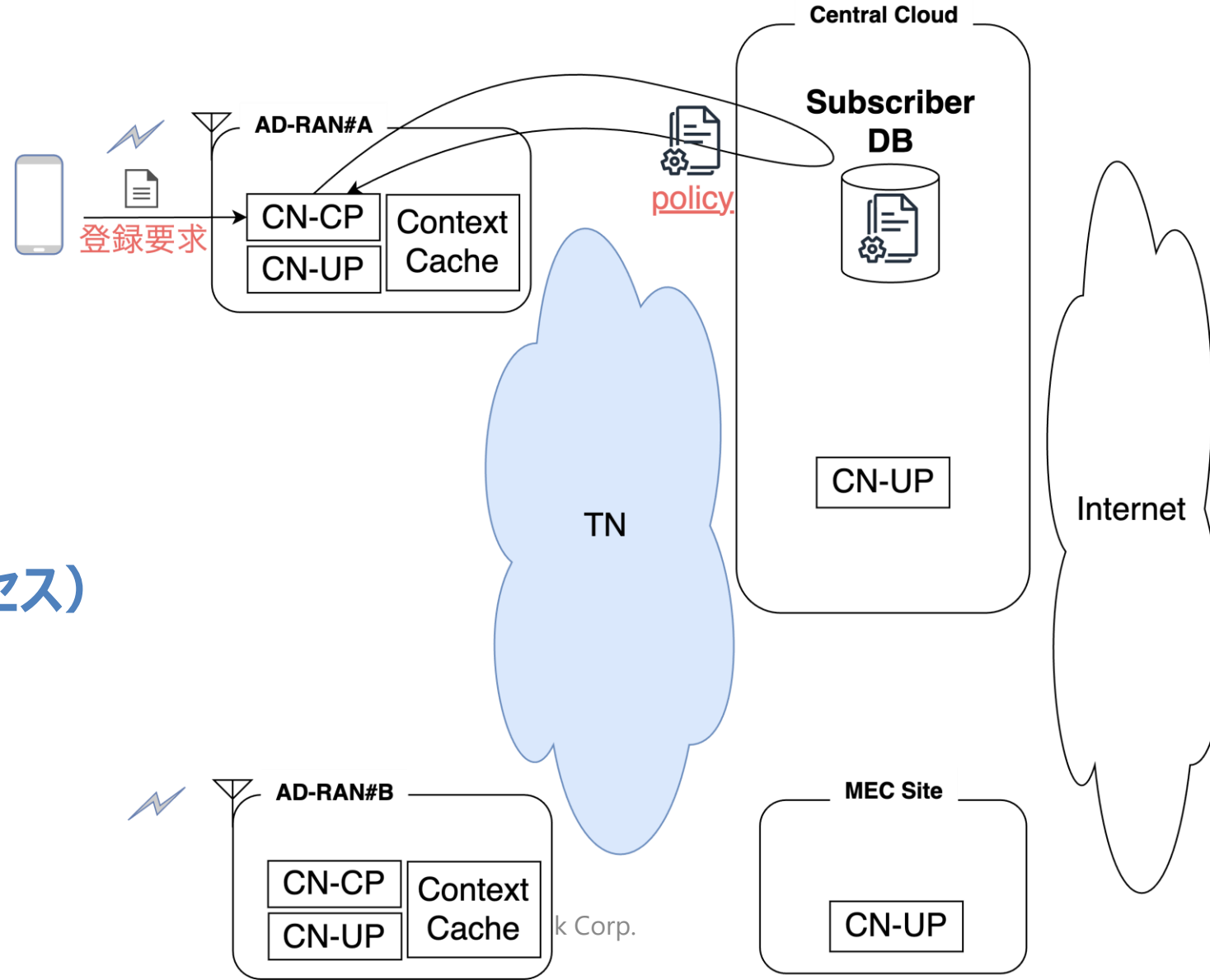
**3GPP 標準の構成要素と
完全に対立するわけではない**



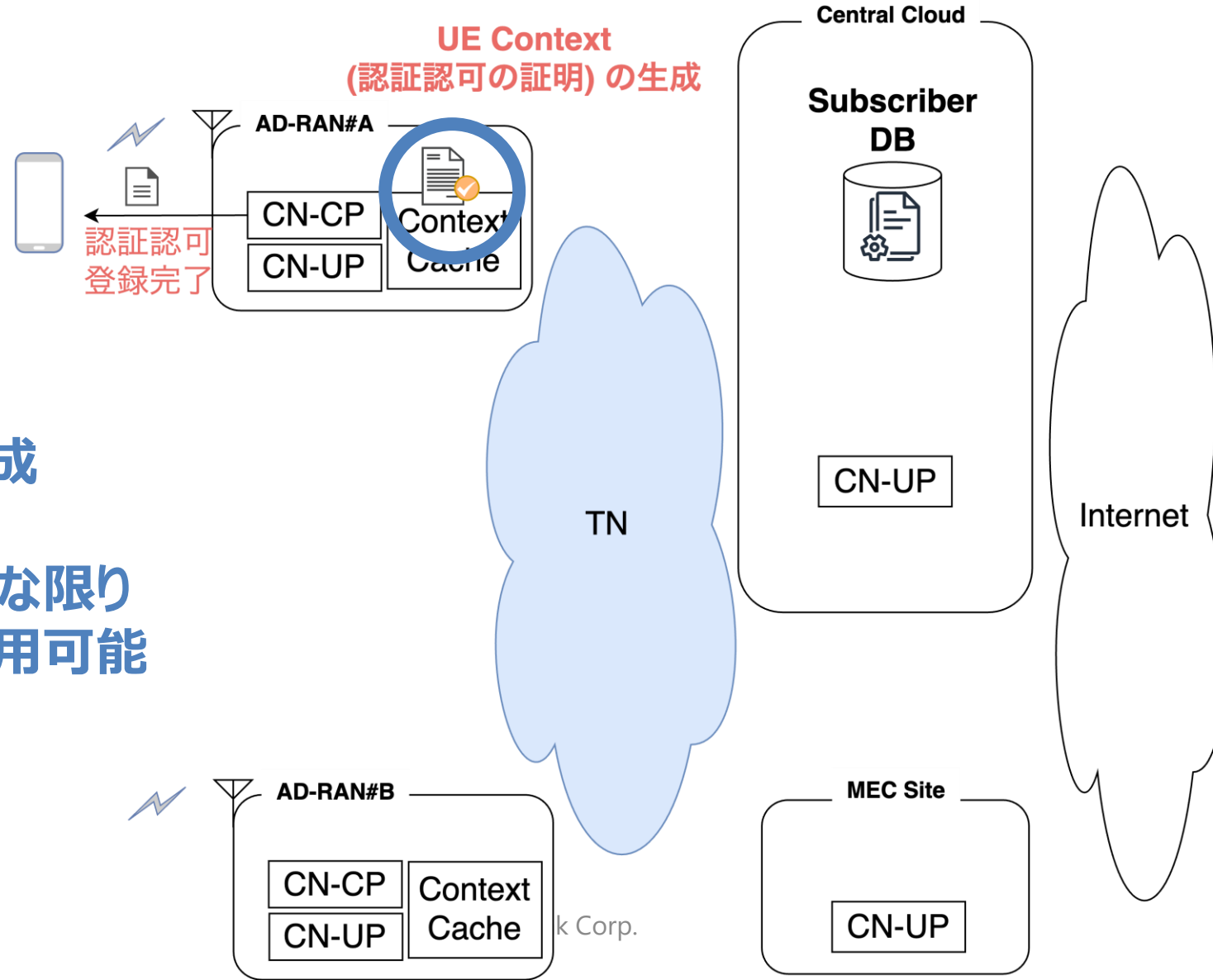
Autonomous Decentralized Mobile System

ADMobilityにおける一連の利用シーケンス

初期登録
初期認証認可
(加入者DBへアクセス)



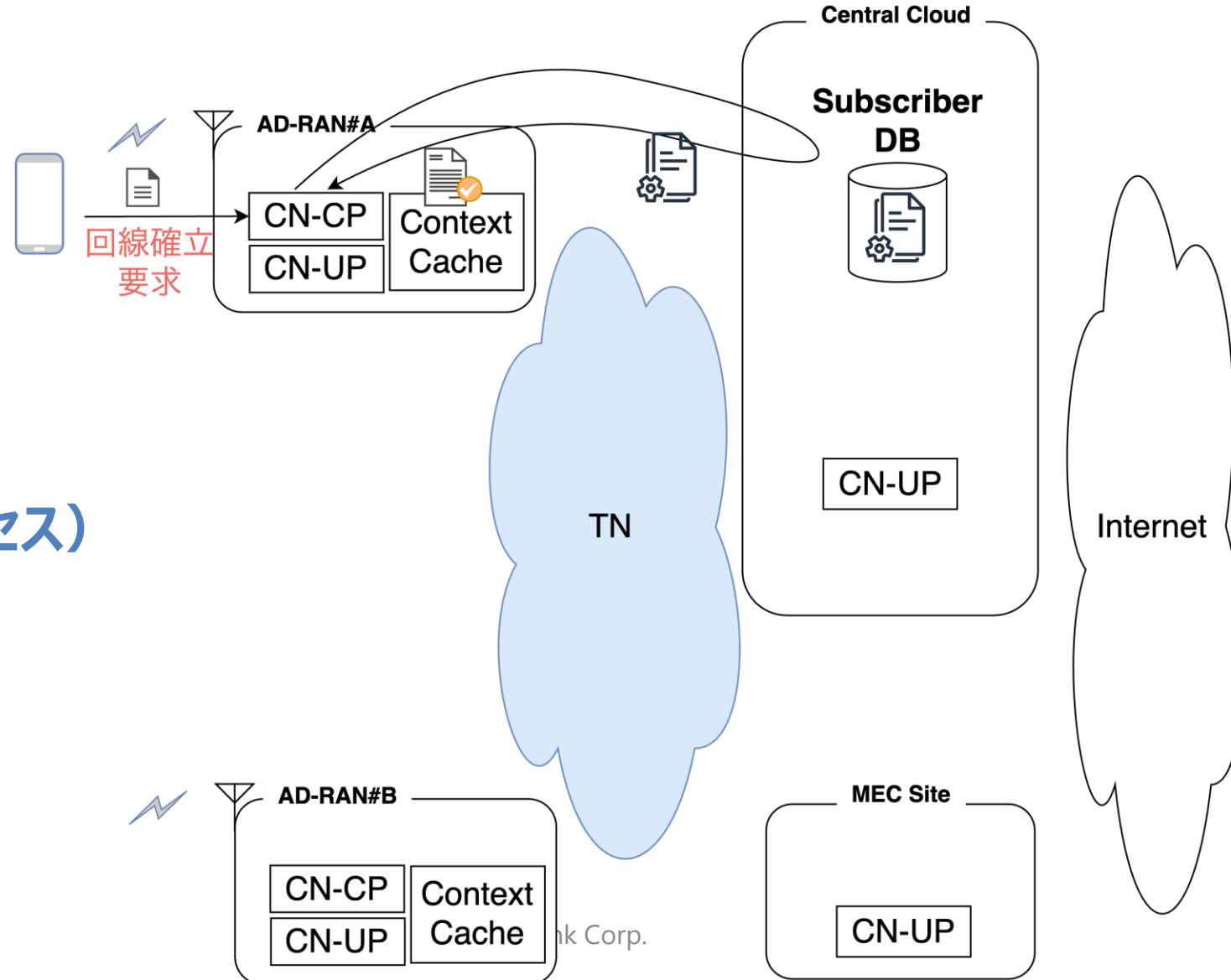
ADMobility における一連の利用シーケンス



UE Context 生成

UE Context が有効な限り
UE は通信サービス利用可能

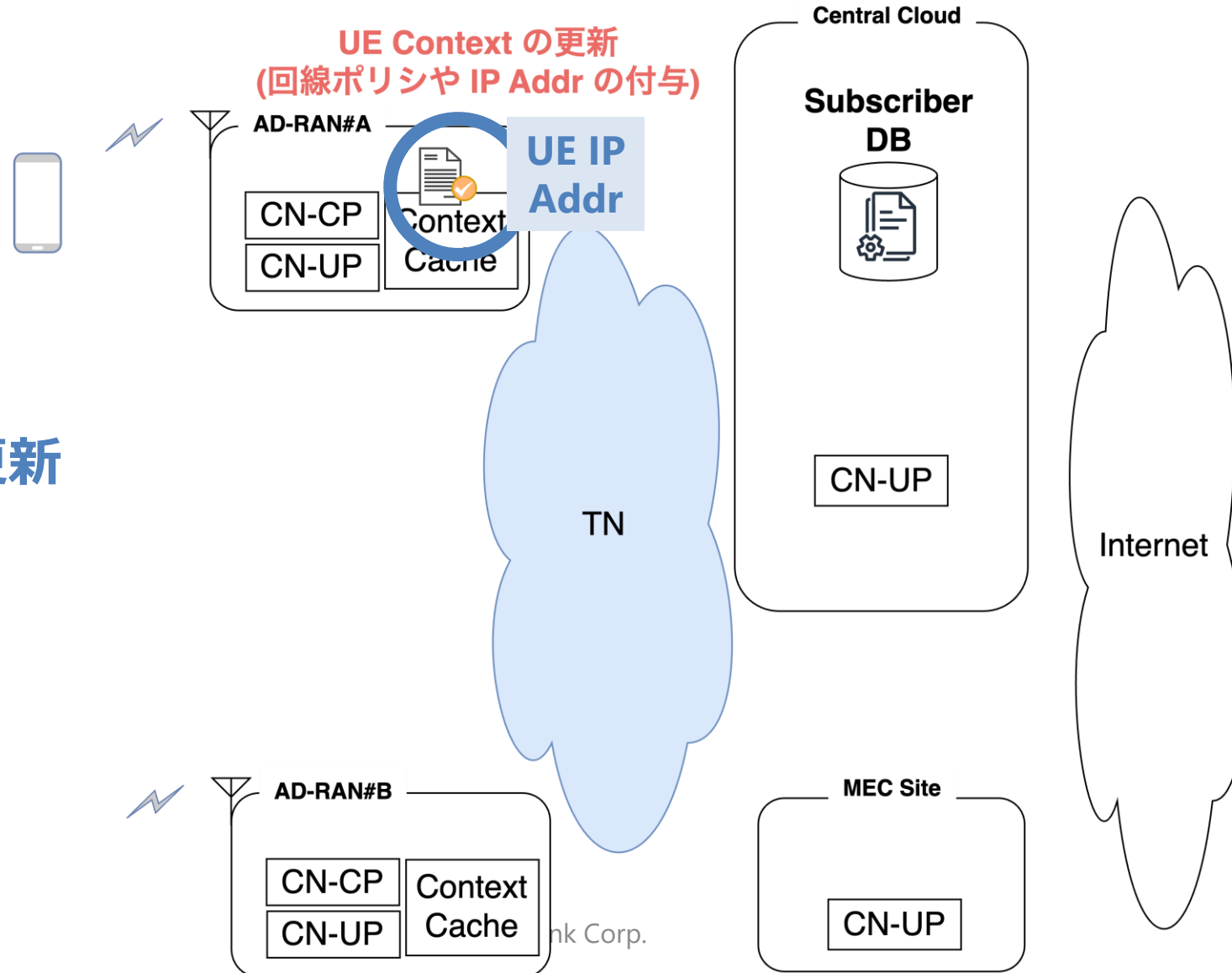
ADMobility における一連の利用シーケンス



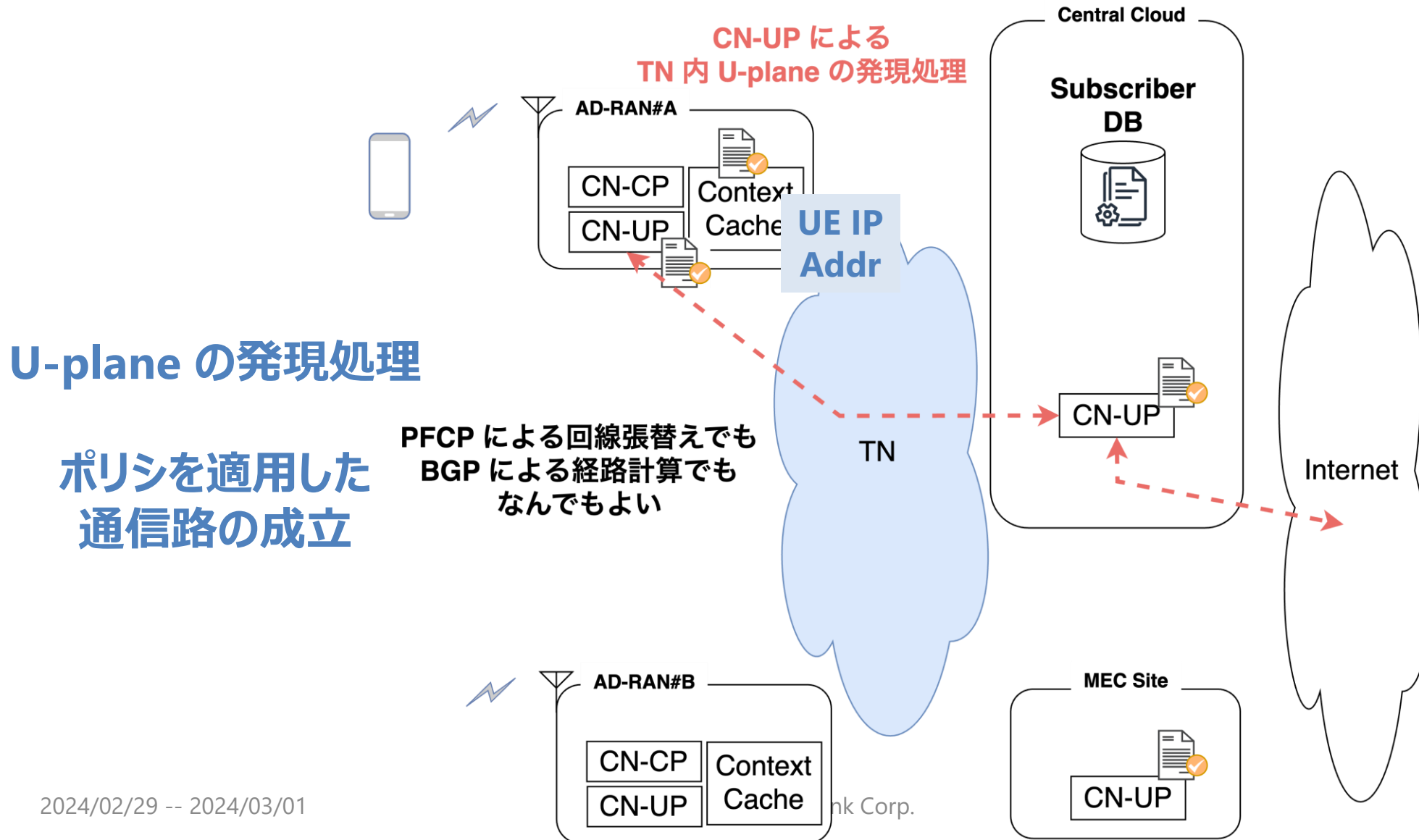
回線確立要求
(加入者DBへアクセス)

ADMobility における一連の利用シーケンス

UE Context の更新

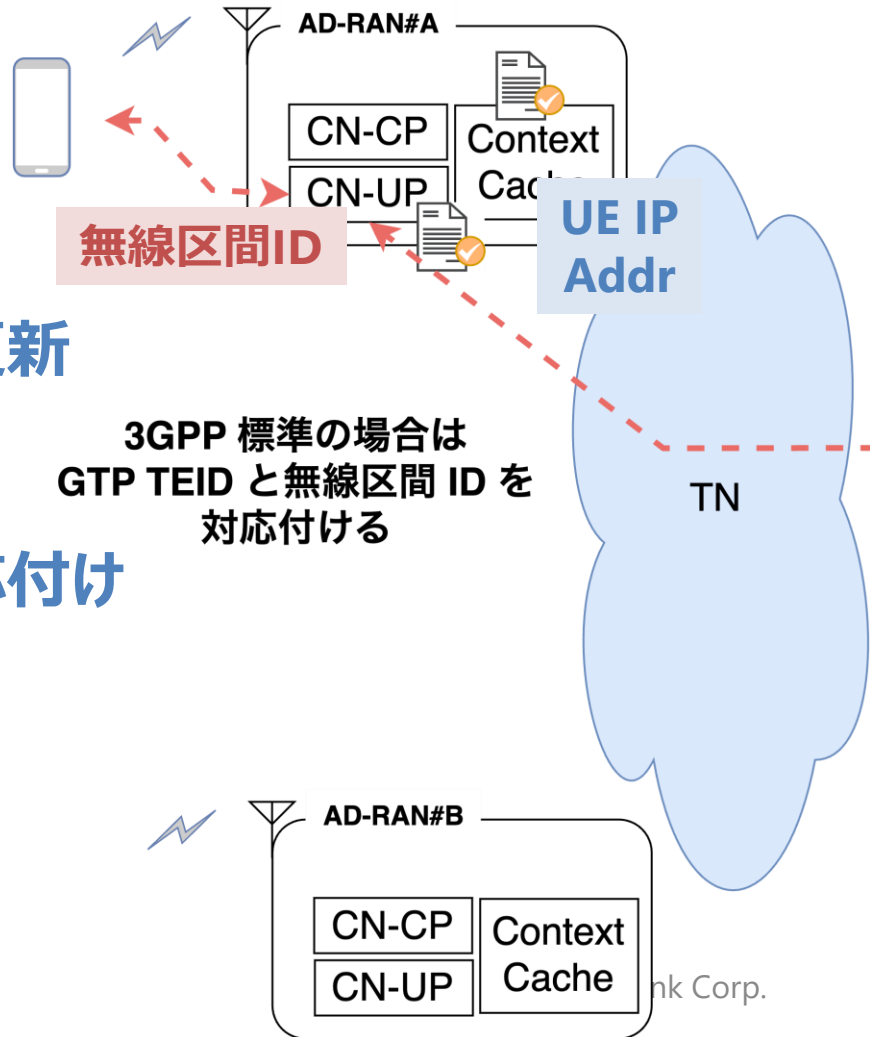


ADM Mobile における一連の利用シーケンス



ADMobility における一連の利用シーケンス

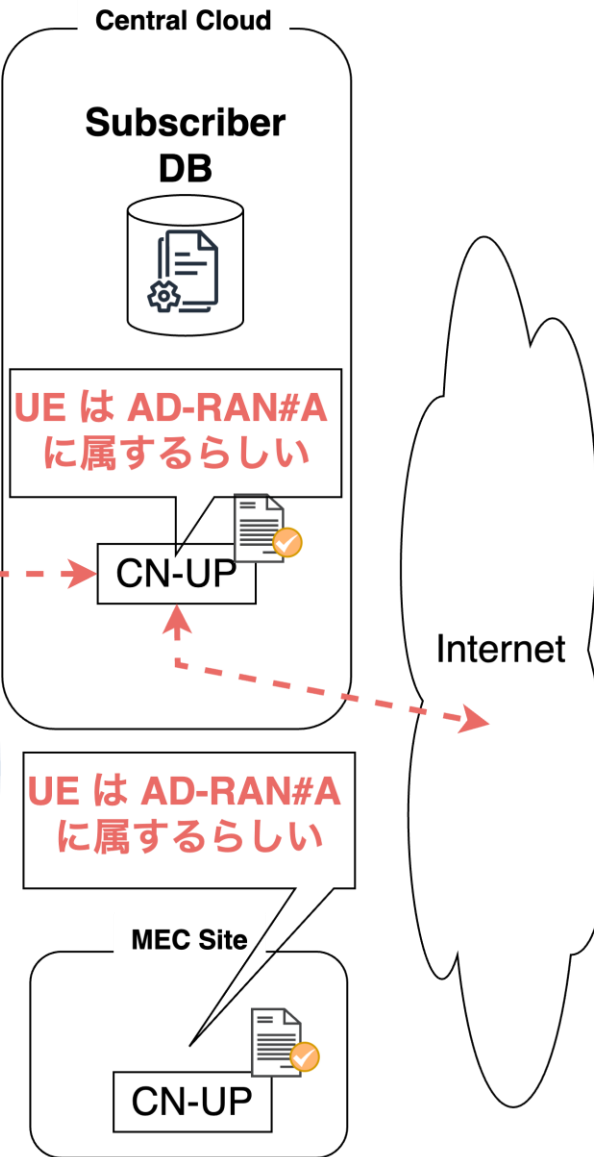
UE Context の更新
(無線区間ID と UE IP Addr の対応付け)



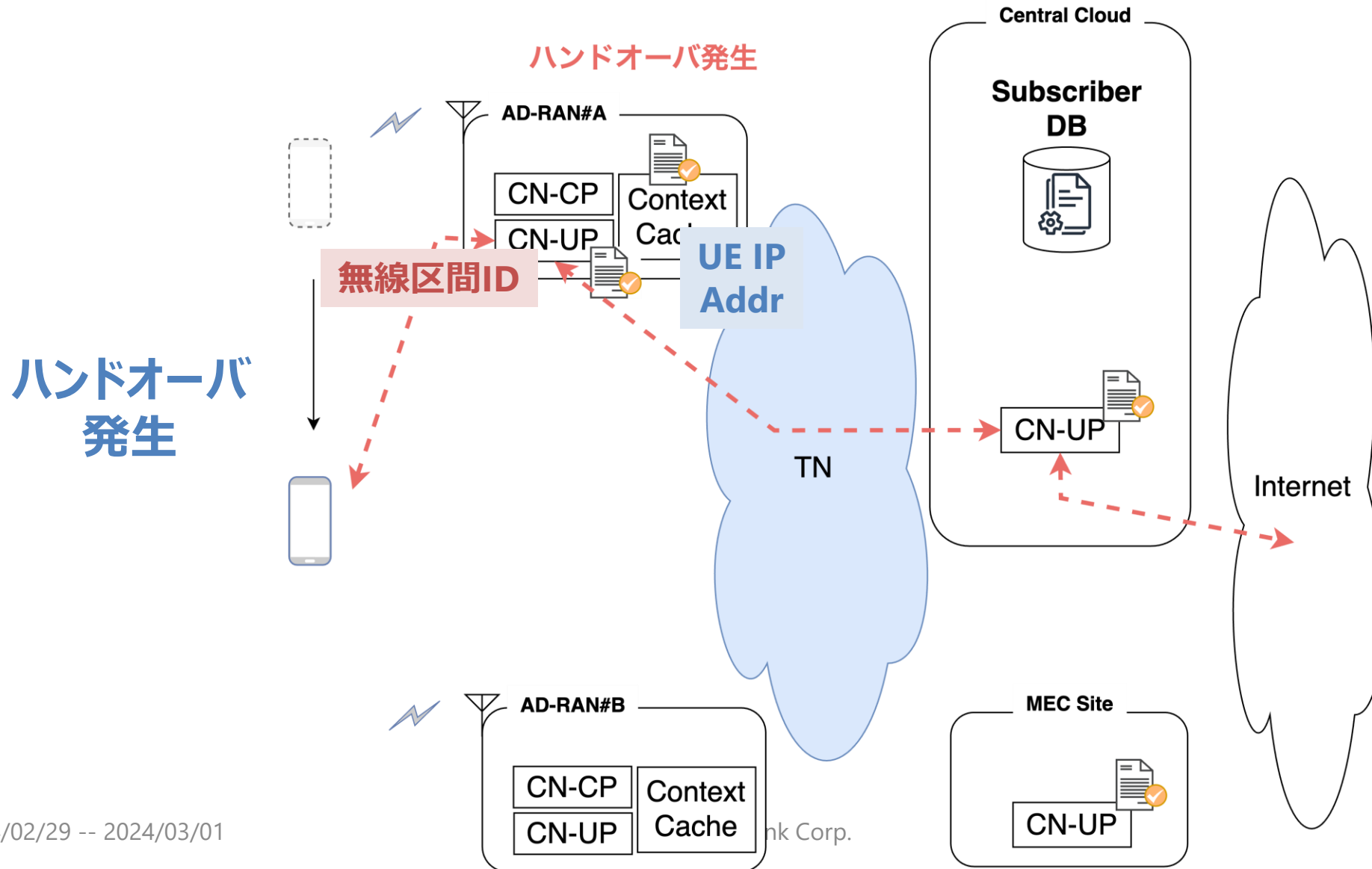
UE Context の更新

無線区間IDと
UE IP Addr の対応付け
(ARP に類似)

3GPP 標準の場合は
GTP TEID と無線区間 ID を
対応付ける



ADMobility における一連の利用シーケンス

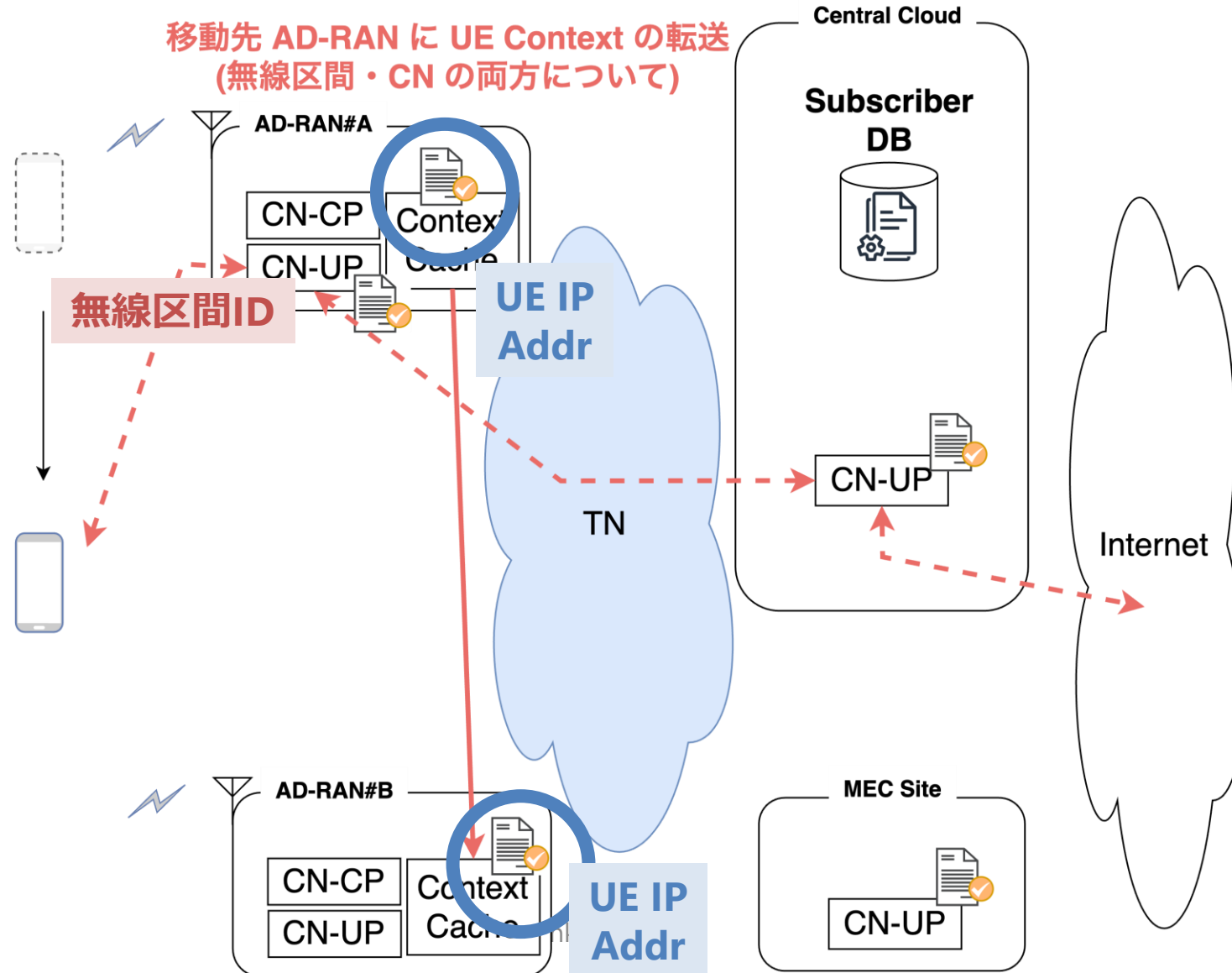


ADMobility における一連の利用シーケンス

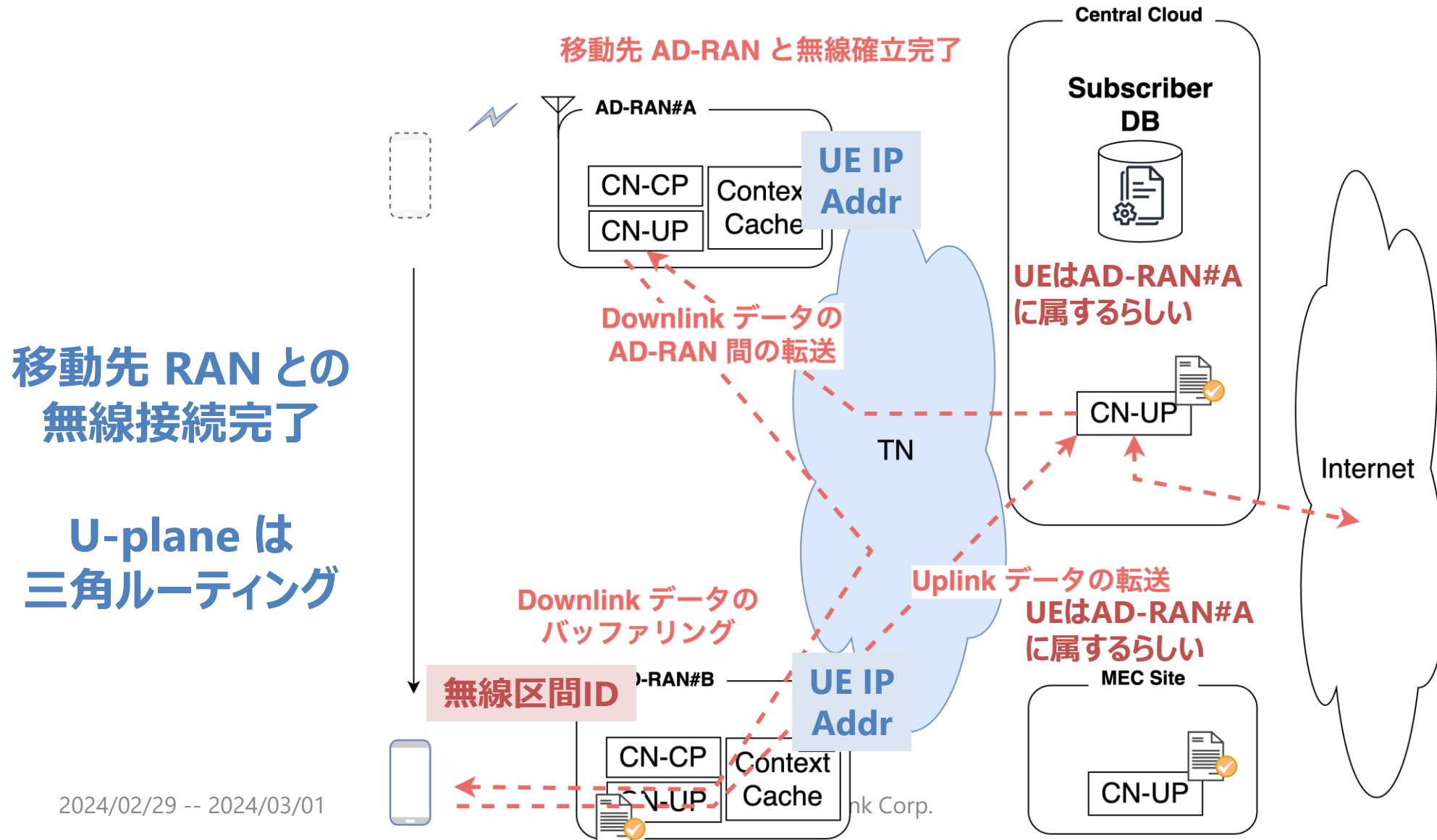
移動先 AD-RAN に UE Context の転送
(無線区間・CN の両方について)

RAN-RAN 間で
UE Context 全種を
転送

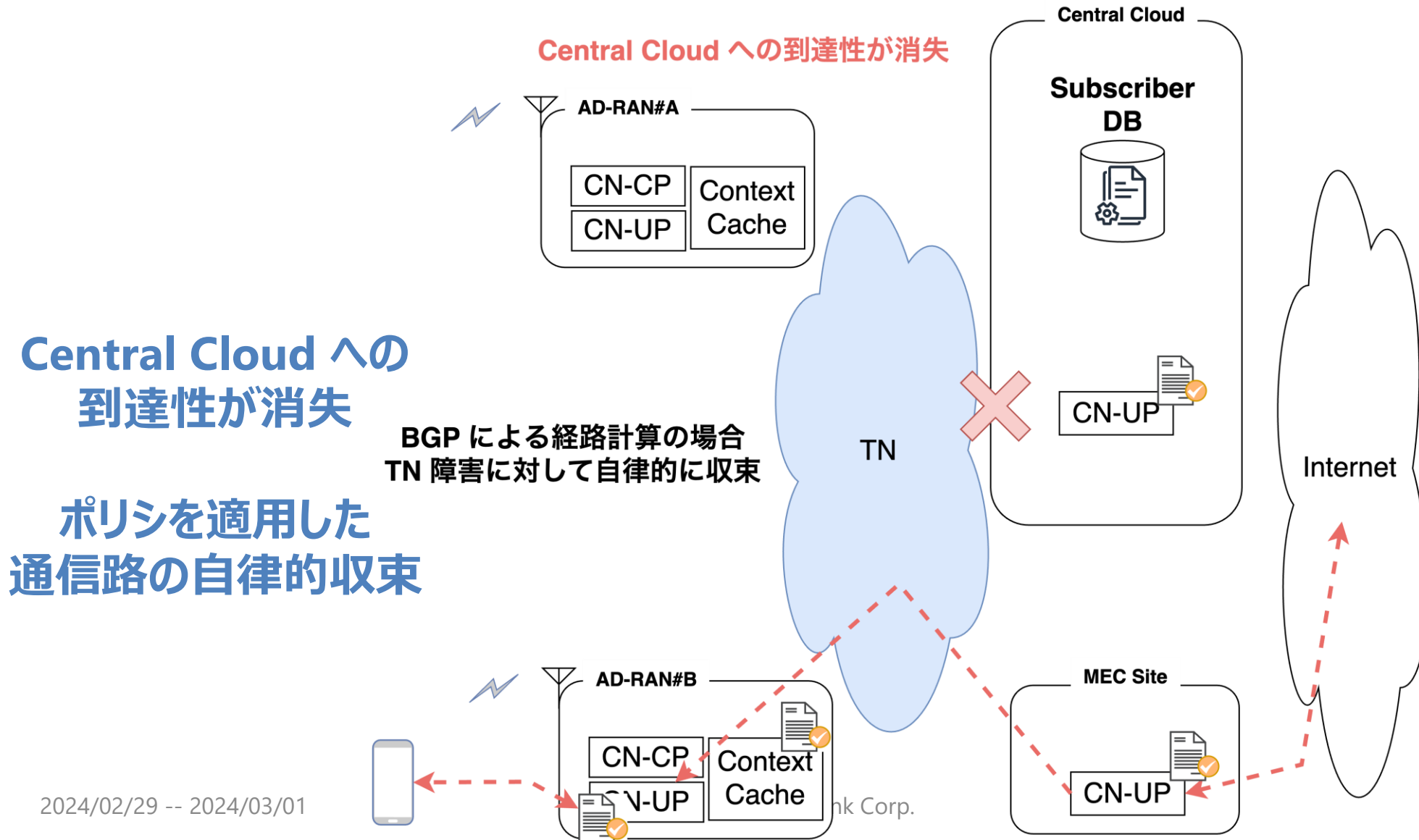
例 : Xn Interface



ADM Mobile における一連の利用シーケンス



ADM Mobile における一連の利用シーケンス



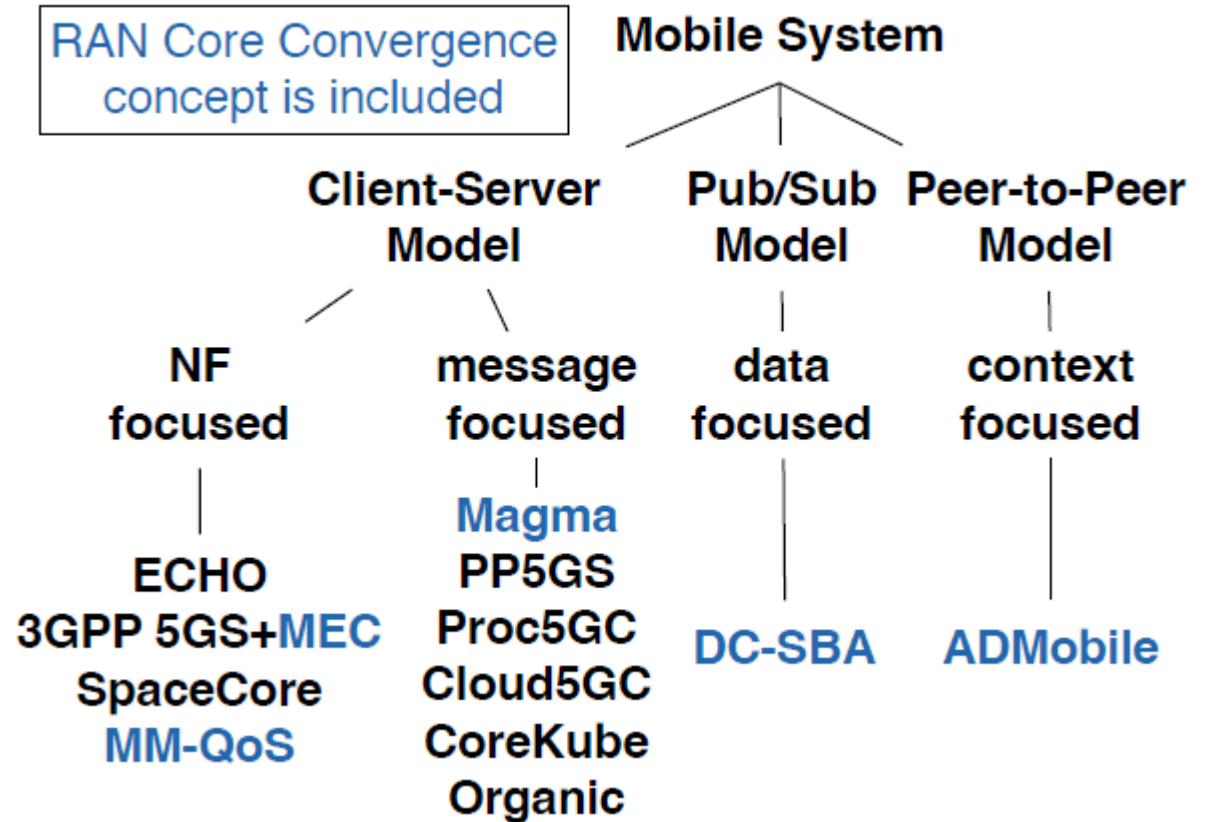
関連研究

● Client-Server 型

- RAN-CN 間接続が存在
 - 耐分断性に課題
 - NF 型は規模性にも課題
- Magma のみ例外
 - ただし現状 大規模な移動管理はスコープ外

● DC-SBA

- C-plane RAN-CN Conv.
 - データ種別に応じて動的に計算場所を制御
 - RAN-CN 分断時に強いわけではない



モバイルシステムの分類

まとめ

- **今のモバイルシステムの耐障害性における2つの課題**
 - 規模性が低い、耐分断性が低い
- **インターネットは世界最大の通信システム**
 - 規模性と耐分断性に優れる（自律分散協調）
- **自律分散モバイルシステムの提案**
 - モバイルシステムの要件の整理：AAA、Mobility、U-plane
 - インターネットのような仕組みで要件を成立させる
- **今後の目標：プロトタイプ実装と規模性・耐分断性の評価**



R&D

SOFTBANK CORP.
RESEARCH INSTITUTE OF
ADVANCED TECHNOLOGY