

プロシージャ型処理を用いた ステートレスな5Gコアネットワークの実現

NS 研究会@名古屋工業大学

† 渡邊 大記, † 島 慶一, † 長谷川 知也, † 村田 達郎, † 金谷 知明, † 平井 亮次,
† 西野 泰貴, † 明石 邦夫, † 山本 成一, † 飯村 卓司, † 関谷 勇司, † 堀場 勝広

† SoftBank Corp., † 東京大学

背景: 社会インフラとしてのモバイルシステム

- **大量のユーザを常時接続するシステム**

- 1000万オーダーの端末の収容
 - ・ 平常時にも大量の C-plane 信号が発生する高負荷なシステム

- **障害の影響が大きい**

- しばしば発生する大規模障害（信号増による輻輳、システムダウン）

**なぜ障害の影響範囲が大きくなるのかの解明
ならびに
スケーラブルでロバストなモバイルシステムが求められる**

3GPP 5GS Ref. Architecture^[1]

● UE/RAN/CN から構成

- CN は NF をマイクロサービスとした分散システム
 - ・ NF による 5GS の機能分解
- UE は必ず1つの AMF の配下
 - ・ **基地局-AMF 間は常に SCTP 接続を維持**

UE: User Equipment

RAN: Radio Access Network

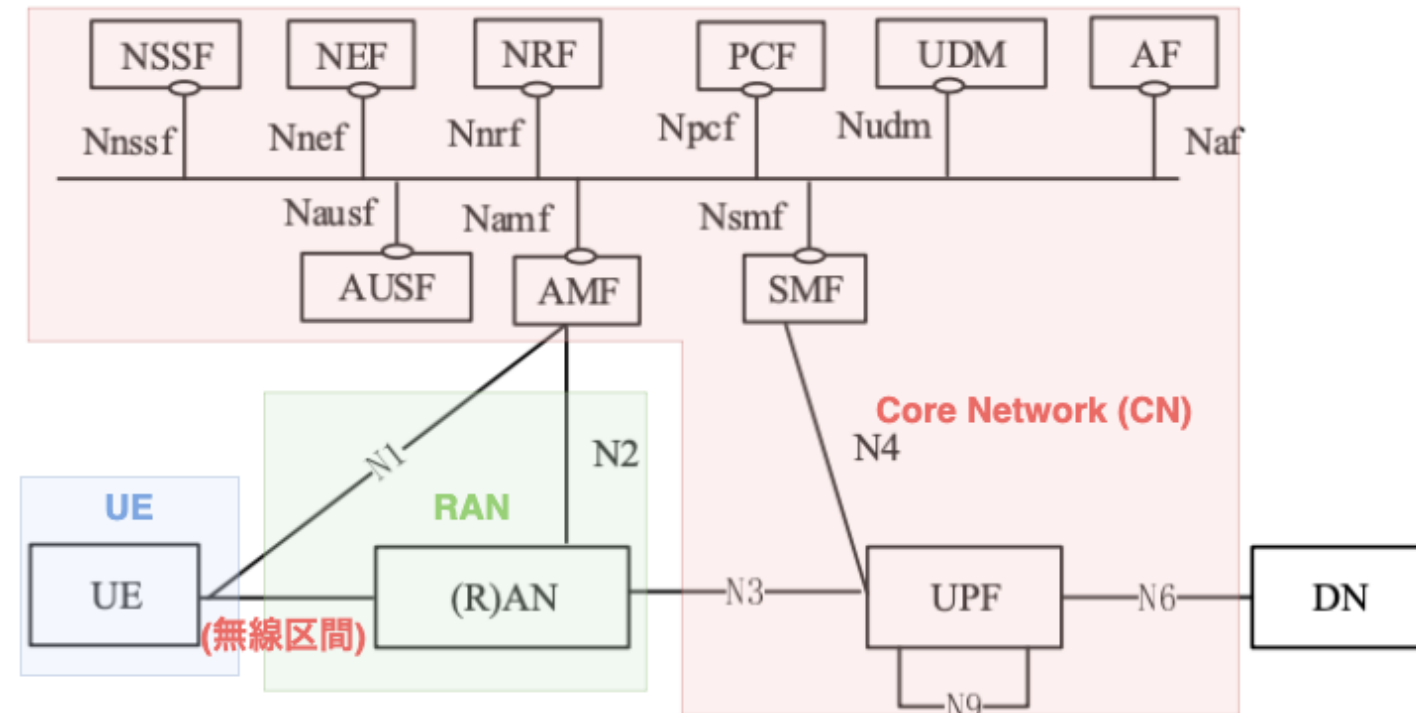
NF: Network Function

CN: Core Network

AMF: Access and Mobility management Function

SMF: Session Management Function

UPF: User Plane Function



[1]. 3GPP, **System architecture for the 5G System (5GS). Technical Specification (TS) 23.501**

3GPP CN の Registration プロシージャ

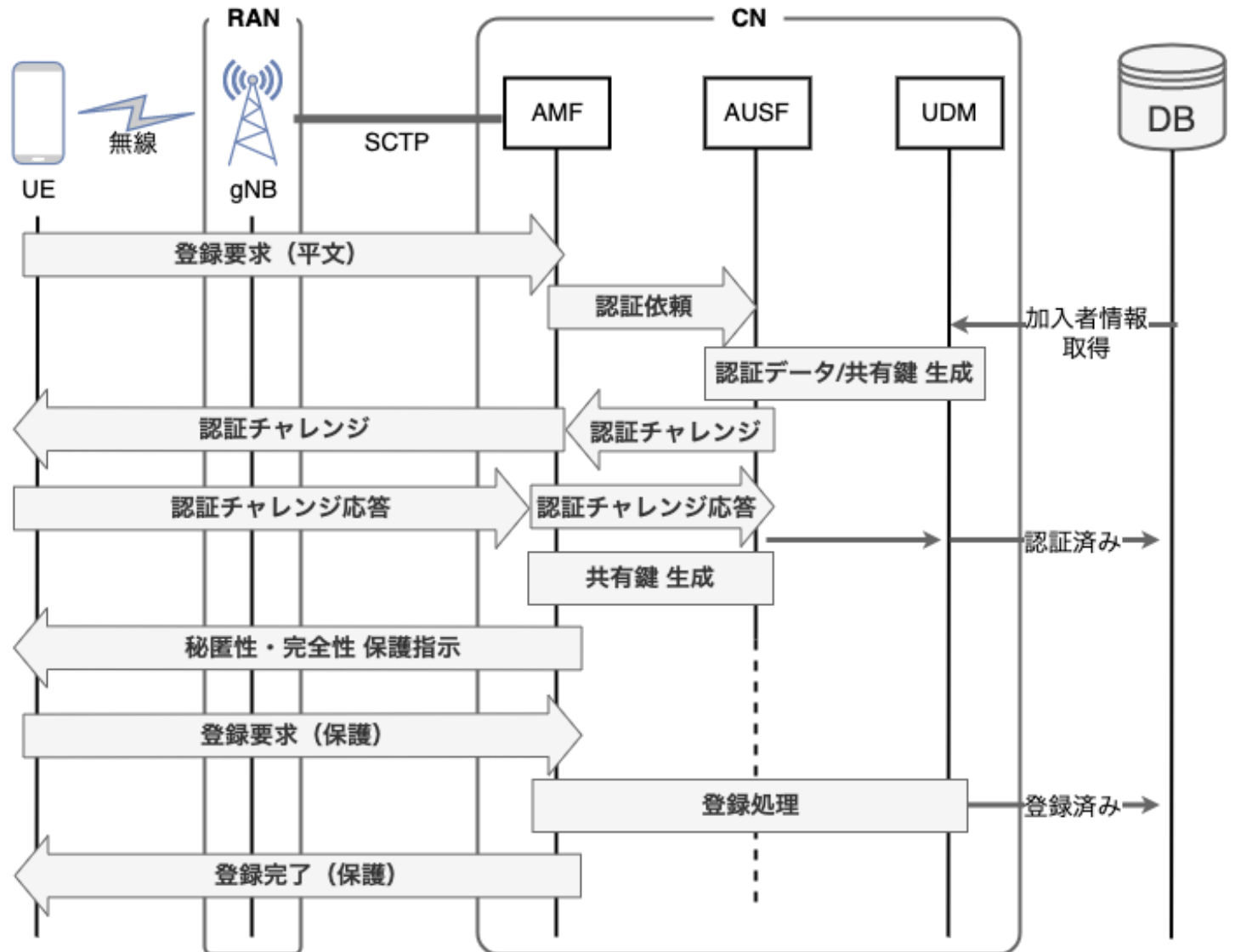
UE : CN と 3 往復のメッセージパッシング

CN : メッセージを受信→NF間メッセージング

往復(1) 登録要求~認証チャレンジ

往復(2) 認証チャレンジ応答~保護指示

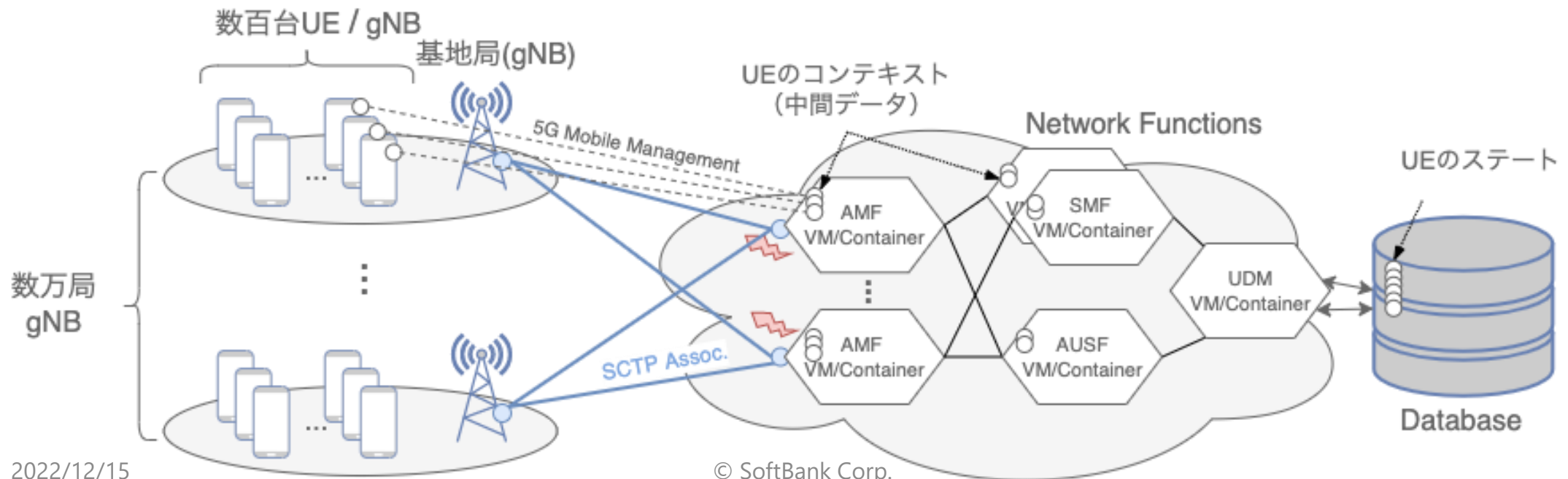
往復(3) 登録要求~登録完了



Ref. arch. に基づくプロシージャの実現

- 各 NF が1つの UE のコンテキスト（中間データ）を分散保持
- 1つの NF が多数の UE を収容するモデル
 - UE/RAN と CN の通信は AMF を経由

NF: Network Function
UE: User Equipment
RAN: Radio Access Network



“NF” に由来するアーキテクチャ・運用上の課題

- **1つの NF の責任範囲が広い**

- ある AMF インスタンスで処理がひっ迫すると配下の全 UE に影響が及ぶ
- NF の更新等で大量のコンテキストのマイグレーションなどが発生する

- **各 NF インスタンス上のコンテキストの整合性保持**

- 1プロセスは複数 NF にまたがるトランザクションとみなせる
 - ・ NF上のコンテキストに複数のプロセスからアクセスがある（各 NF 上で排他制御が必要）

**NF は多数 UE を収容して高負荷 & 複数 NF 間の整合性の維持が必要
機能更新やメンテナンスをしたいが オペレーションしづらいジレンマ**

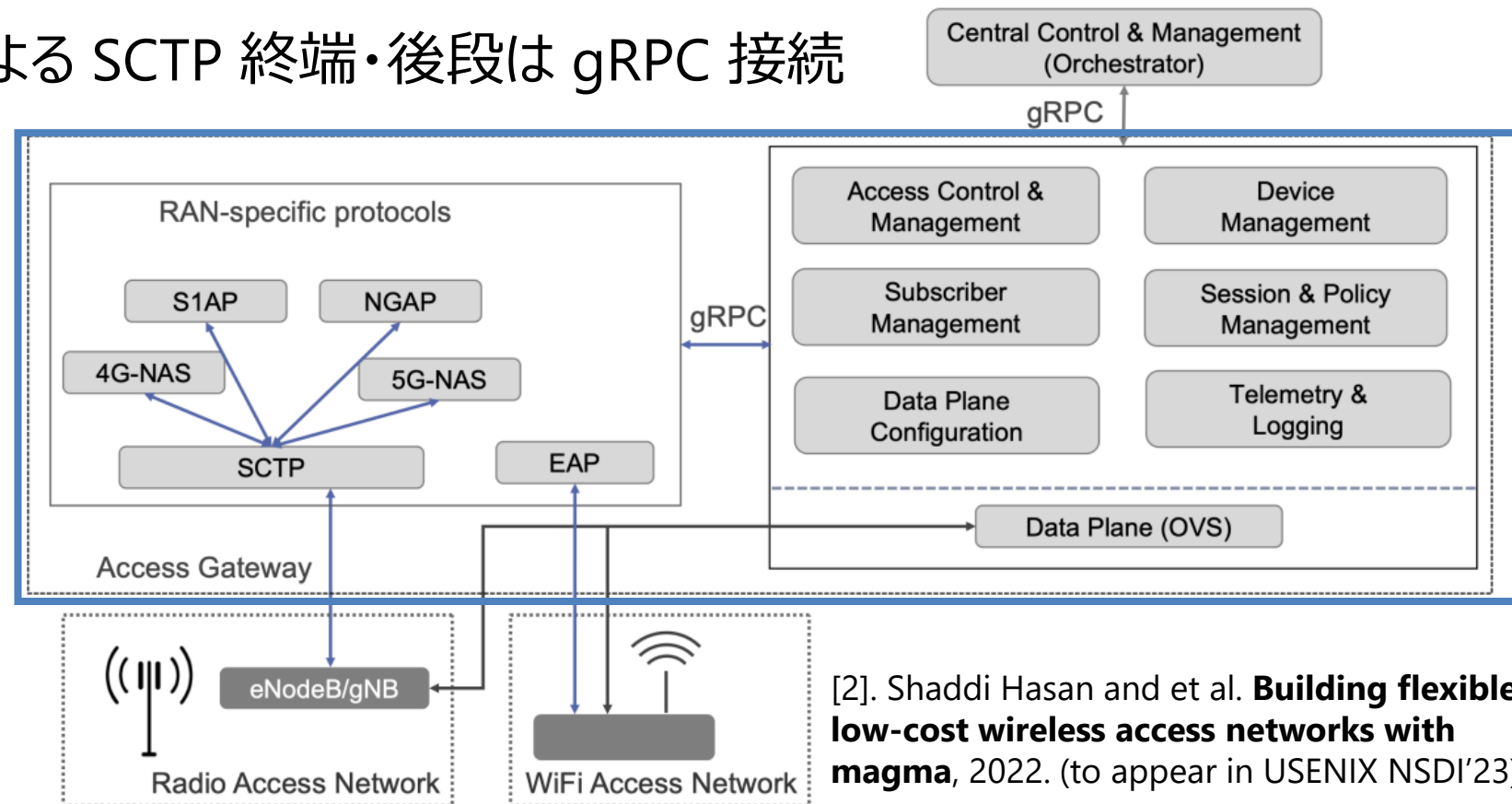
先行研究：Magma^[2]

- 過疎地に低コストに接続性を提供する CN

- Access Gateway による SCTP 終端・後段は gRPC 接続

- 基地局ごとに設置

UE：CN と 3 往復のメッセージパッシング



[2]. Shaddi Hasan and et al. **Building flexible, low-cost wireless access networks with magma**, 2022. (to appear in USENIX NSDI'23)

先行研究：Magma^[2]

● 過疎地に低コストに接続性を提供する CN

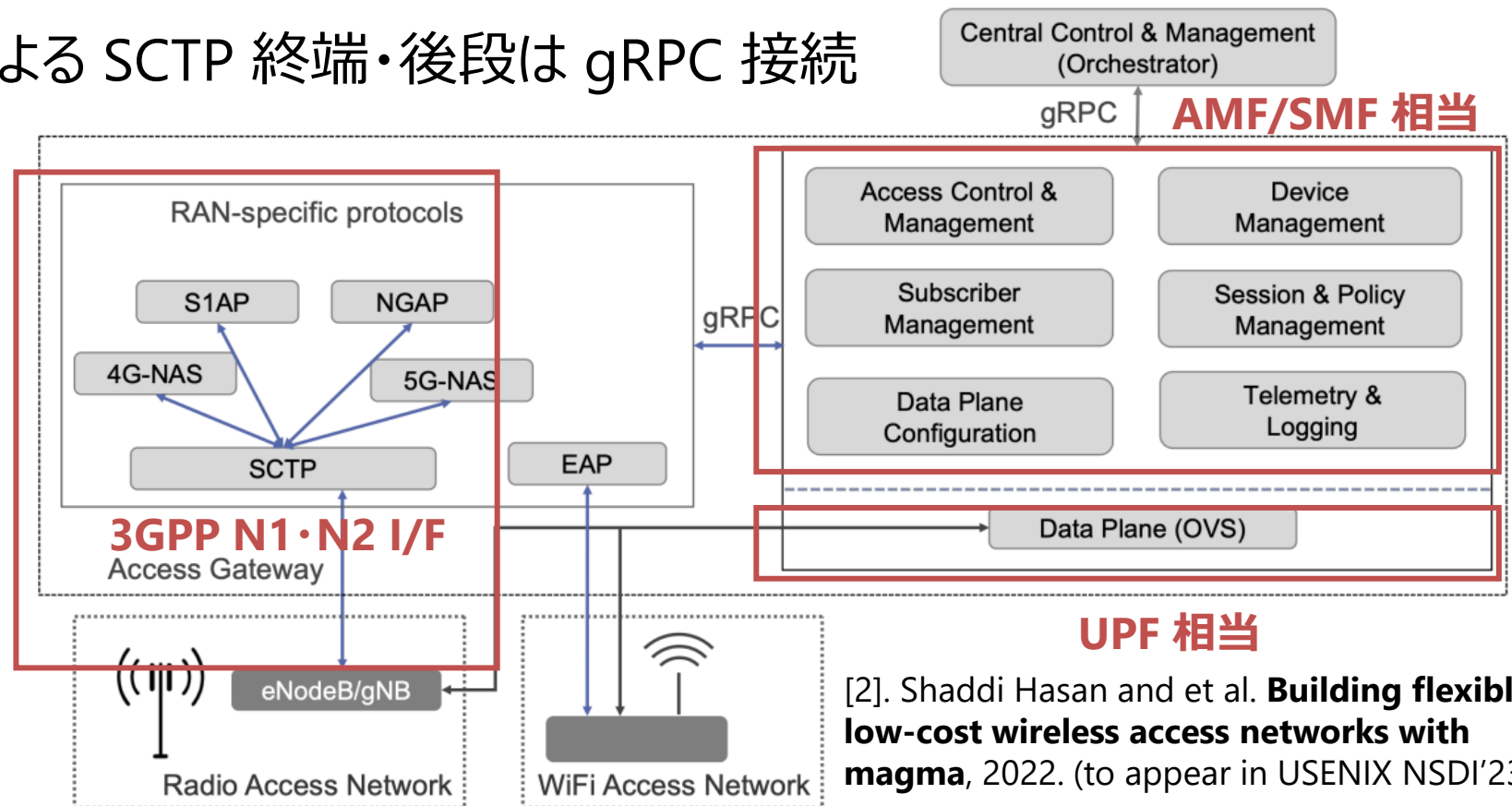
- Access Gateway による SCTP 終端・後段は gRPC 接続

- 基地局ごとに設置

UE：CN と 3 往復のメッセージパッシング

N1・N2 のみ 3GPP 標準 I/F 準拠
その他は独自 I/F (gRPC) を採用

基地局ごとに AMF/SMF/UPF “相当”
がある分散 CN な設計思想



[2]. Shaddi Hasan and et al. **Building flexible, low-cost wireless access networks with magma**, 2022. (to appear in USENIX NSDI'23)

Mobile Core Network の位置づけ・整理

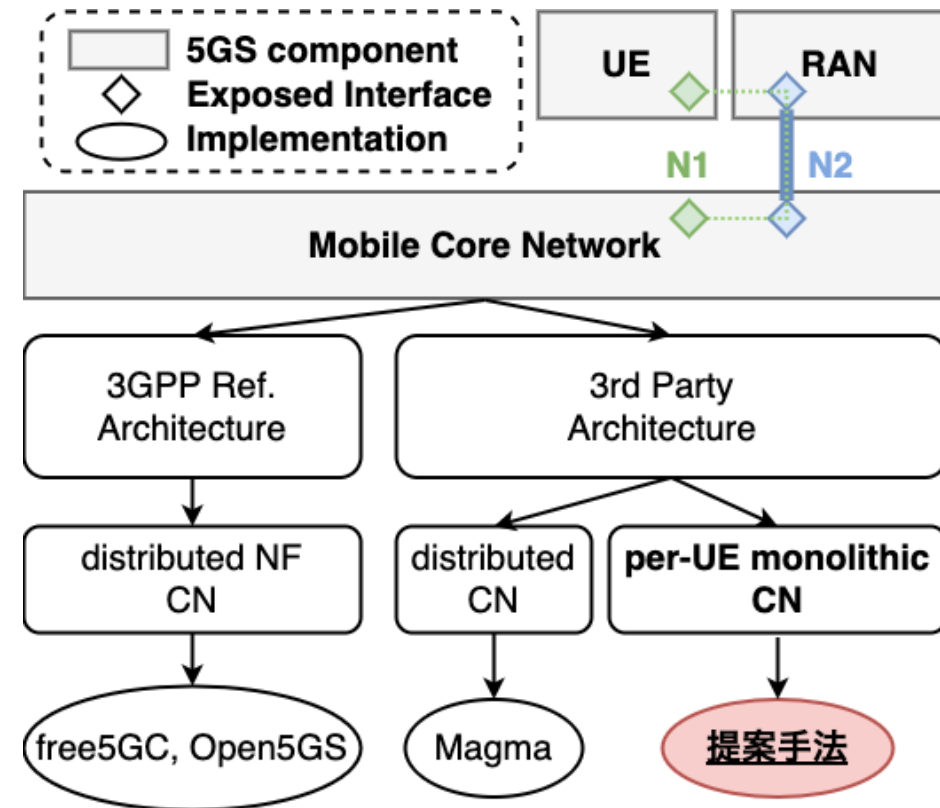
● UE・RAN に N1・N2 I/F を公開する制御システム

○ NF は CN 機能提供に必須ではない (Magma)

- Magma AGW: RAN と後段処理を分離
- 同時にマルチベンダ構成の利点も破棄
- AGW が多数 UE を収容する：影響範囲が広い

● 提案: UE ごとに機能提供する CN

- 各 CN 機能は UE の状態を保持しない
 - 状態は外出しする DB に集約



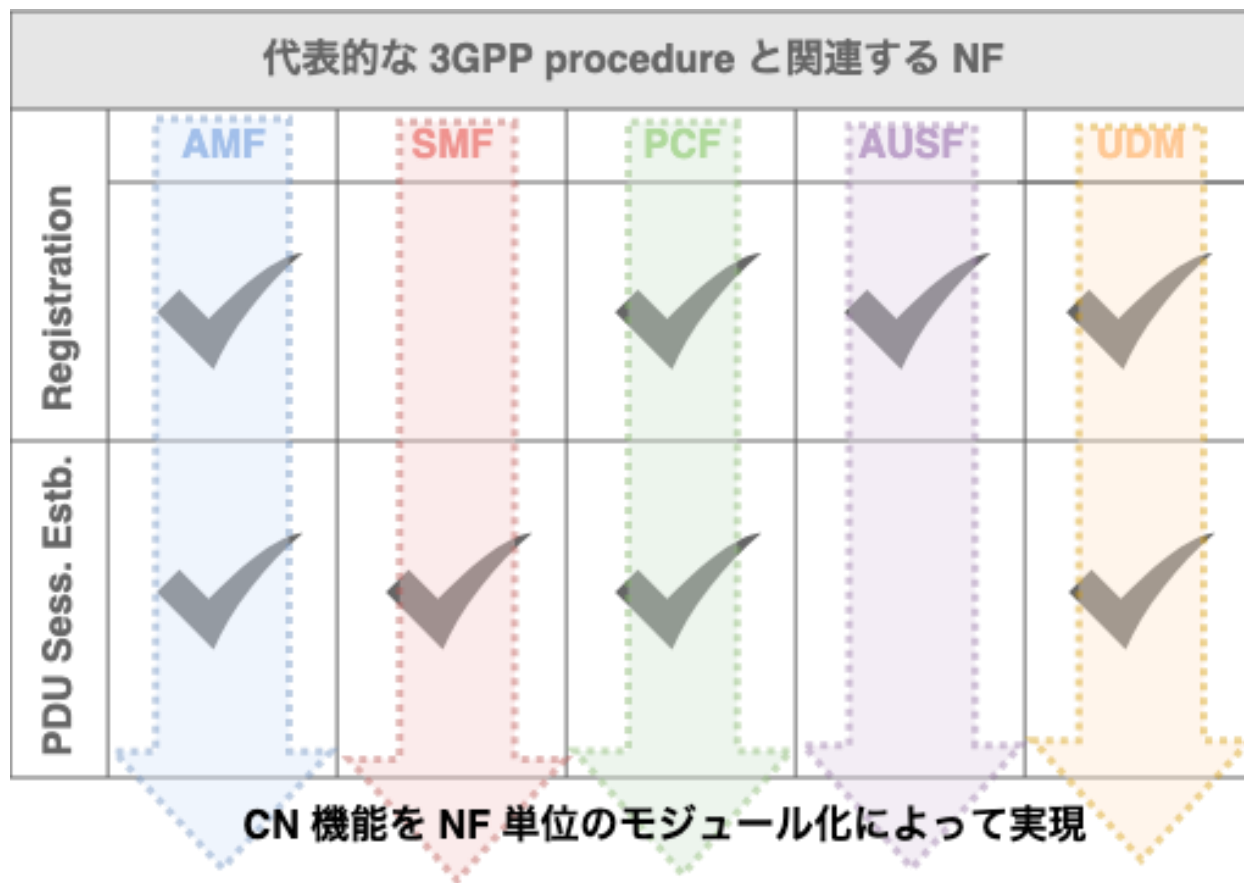
CN 機能の分割方法の見直し

- 例: 2つの機能（プロシージャ）実現のために必要な処理群

| 代表的な 3GPP procedure と関連する NF | | | | | |
|------------------------------|-----|-----|-----|------|-----|
| | AMF | SMF | PCF | AUSF | UDM |
| Registration | ✓ | | ✓ | ✓ | ✓ |
| PDU Sess. Estb. | ✓ | ✓ | ✓ | | ✓ |

NF による CN 機能の分割（従来手法）

- 必要なモジュールは NF ソフトウェア



プロシージャによる CN 機能の分割（提案手法）

- 必要なモジュールは各プロシージャを実現するソフトウェア

| 代表的な 3GPP procedure と関連する NF | | | | | |
|------------------------------|-----|-----|-----|------|-----|
| | AMF | SMF | PCF | AUSF | UDM |
| Registration | ✓ | | ✓ | ✓ | ✓ |
| PDU Sess. Estb. | ✓ | ✓ | ✓ | | ✓ |

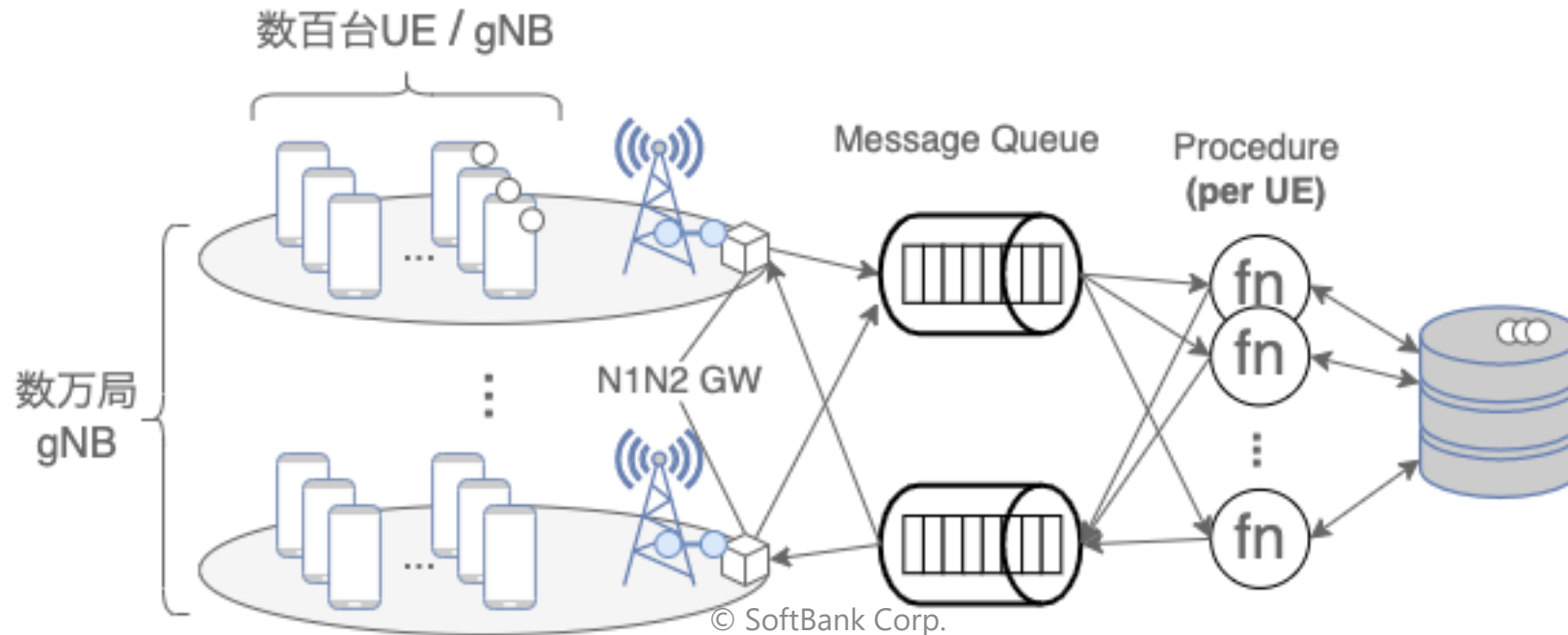
多数の UE を収容する
ソフトウェアが不要

CN 機能をプロシージャ単位の
モジュール化によって実現

Procedure 型 5GC (Proc5GC)

• 5G のプロシージャごとにソフトウェアを実装・提供

- UE のリクエストごとに、ステートレスに、リアクティブにプロセスを起動・実行・終了
 - UE のコンテキストやステートはすべて外部ストレージ (DB; Database) に保存
 - **UE/RAN 視点 : 各巨大な NF が1つずつ (仮想的に) 存在すると “みなせる”**



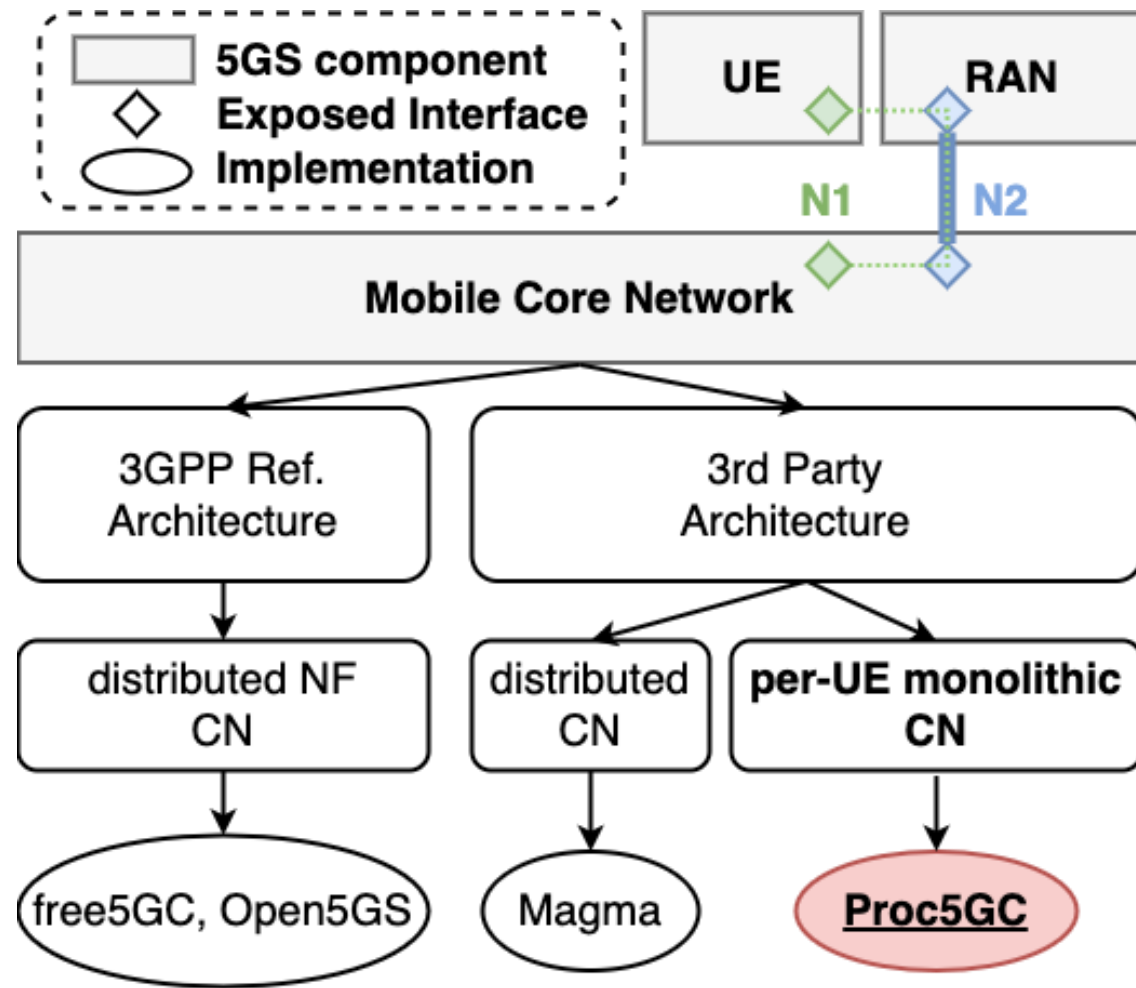
位置づけ (再掲)

- **3GPP 5GC**

- 利点: マルチベンダ構成が容易
- 欠点: 1UEに関するコンテキストの分散管理

- **Proc5GC**

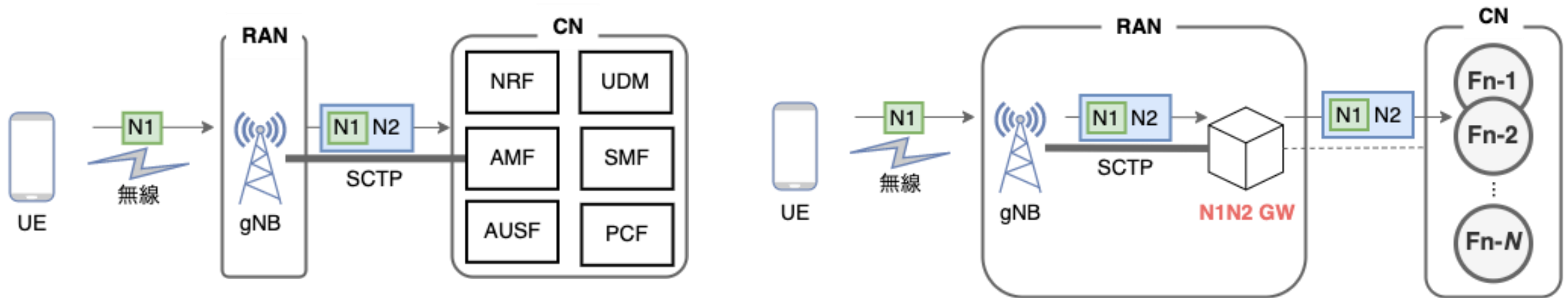
- 利点: 1UEに関するコンテキストが集中管理
- 欠点: マルチベンダ構成が困難



多数 UE を収容するプロセス・コンテキストを分散管理するプロセスの維持が不要

gNB-CN 間の SCTP/N2 終端点の分離

- **AMF に代わり gNB と SCTP 接続する N1N2 GW を導入**
 - gNB は SCTP 接続（ステートフル）の維持が必要
 - SCTP と N2 の終端点を分離することで CN 機能が N1/N2 をステートレスに処理可
 - Magma AGW と類似



従来手法 : 3GPP Ref. Architecture
(AMF が SCTP 終端)

提案手法 : Proc5GC Architecture
(N1N2 GW が SCTP 終端)

Proc5GC の Registration プロシージャ

CN 機能は N2 msg に含まれる
AMF-UE-NGAP-ID を起点に UE を特定

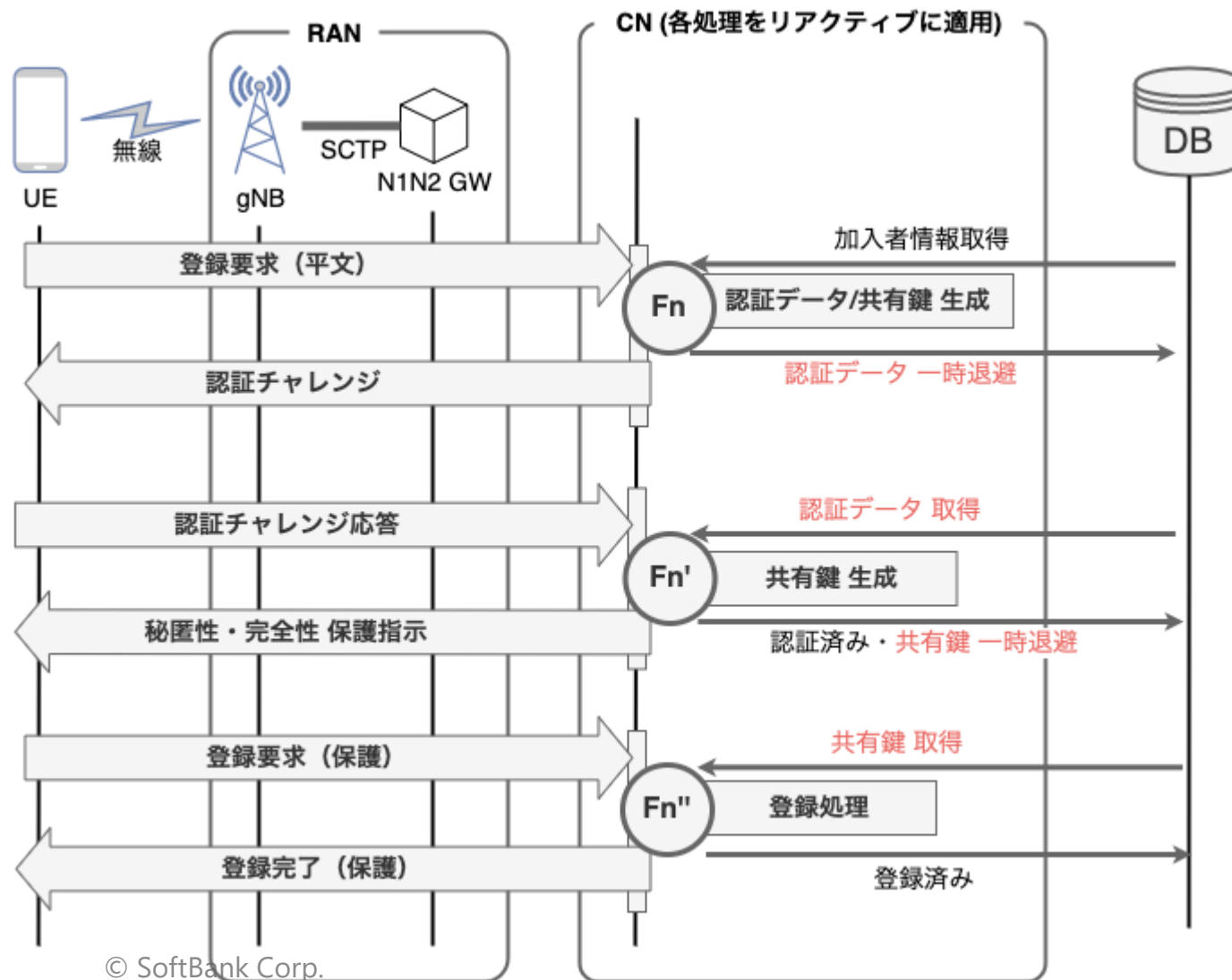
DB 内で AMF-UE-NGAP-ID と
加入者番号を関連付け

往復(1) 登録要求~認証チャレンジ

往復(2) 認証チャレンジ応答~保護指示

往復(3) 登録要求~登録完了

Registration には
3つのプロシージャソフトウェアが必要

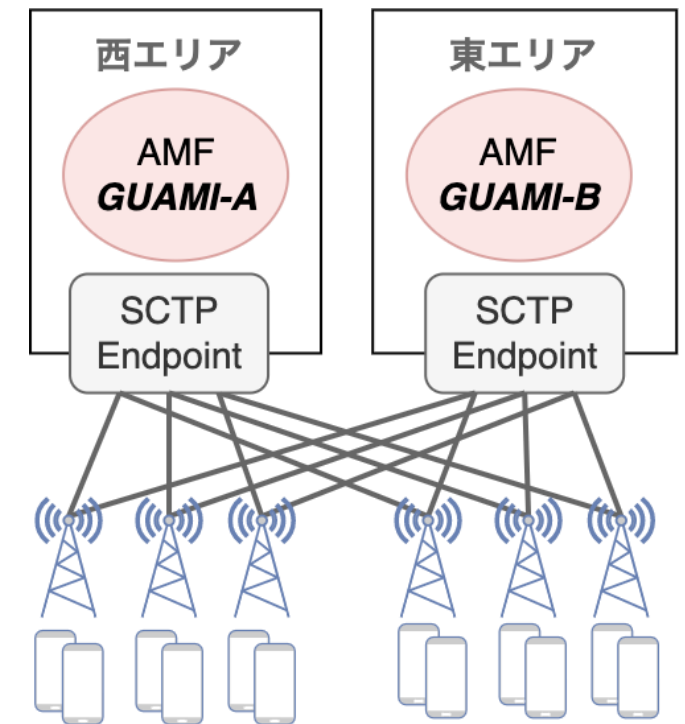


AMF 相当の冗長化 (1/2)

GUAMI (Global Unique AMF Identifier)

● 3GPP 5GC : AMF のソフトウェア化 x 複数インスタンス化

- UE 視点: 障害・メンテナンス等で AMF が切り替わる (GUAMI が変わる)
 - 対象 UE と AMF間に C-plane の信号が発生
 - 新旧 AMF 間にも C-plane 信号が発生
 - C-plane のピークが発生する



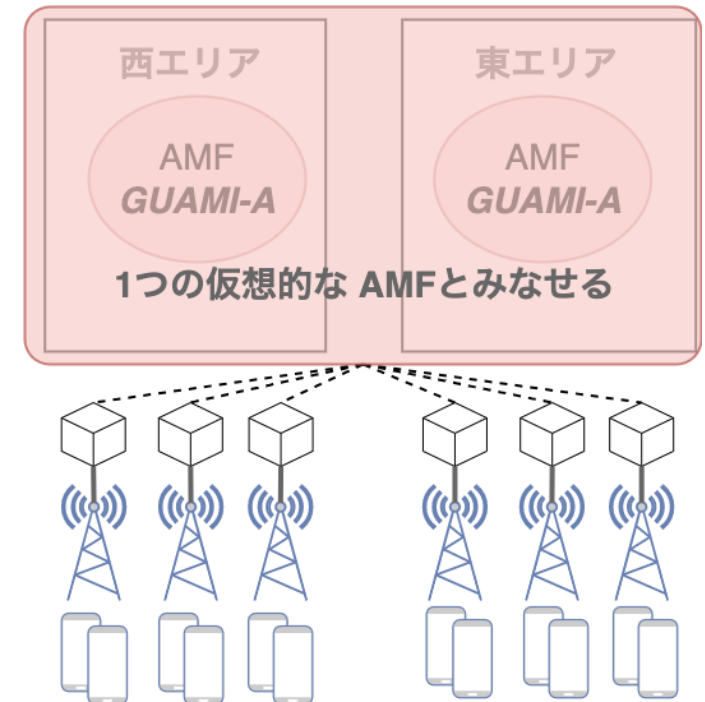
(a) 3GPP 5GC

AMF 相当の冗長化 (2/2)

GUAMI (Global Unique AMF Identifier)

- Proc5GC : AMF インスタンスが**1つ存在するとみなせること**

- UE 視点: AMF の切り替わりが存在しない
 - 共通の GUAMI を持つ AMF 相当処理が存在するのみ
 - AMF の切り替わりが存在しない (GUAMI が変わらない)

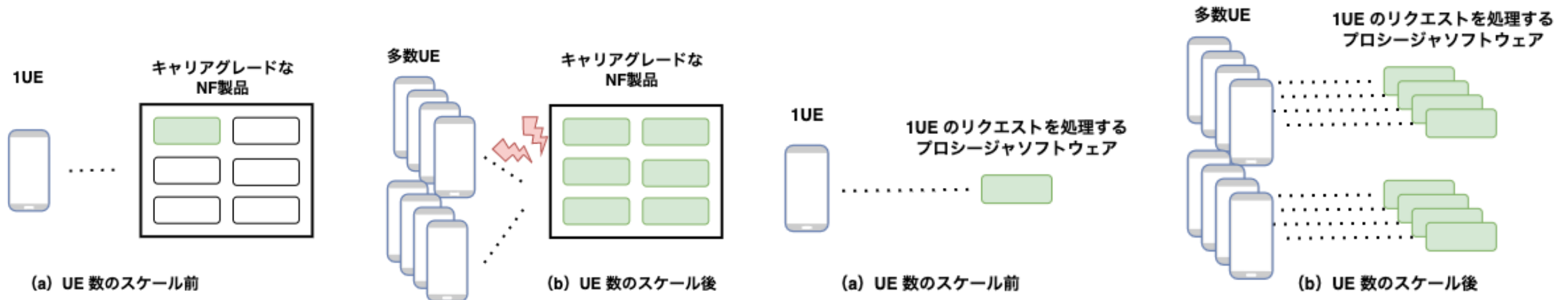


(b) Proc5GC

汎用計算機基盤（クラウド）との親和性

● WEBアプリケーションのバックエンドのような構成

- 1 リクエスト分のステートレスな処理 + DB
- CN の性能限界が NF のソフトウェアのキャパシティから計算基盤キャパシティに変化
 - マルチベンダ構成にすると NF ごとに計算機クラスタが分かれることがしばしばある



従来手法 : 3GPP Ref. Architecture
多数の UE を収容する NF を用意

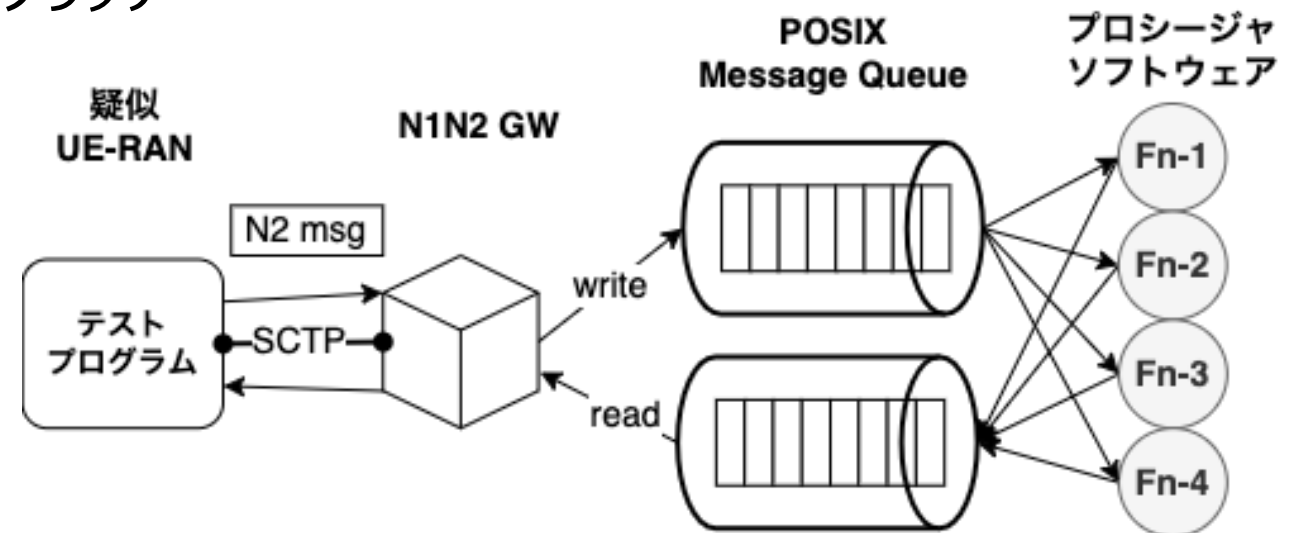
提案手法 : Proc5GC Architecture
1req-1proc 処理のペアを多数用意

Proof-of-Concept (PoC) 実装

• Linux ホスト上で Proc5GC の最小構成を実装

- 疑似 UE-RAN、プロシージャ : free5GC^[3] を流用
 - 基地局-AMF 間に発生する仮想通信路確立処理 (NGSetup プロシージャ) を実装
 - **N1N2 GW による SCTP/N2 終端分離を証明**
- N1N2 GW : Go 言語によるフルスクラッチ
- MQ : POSIX Message Queue

[3]. free5GC.org, free5gc 3.2.1,
<https://github.com/free5gc/free5gc>



今後の展望

- **データ通信のための最低限のプロシージャの実装**
 - (Initial) Registration と PDU Session Establishment
- **既存の NF ベースの 5GC との性能比較**
 - 同じソースコードを元に行っている free5GC が比較対象
 - Registration の応答遅延、同時に処理可能な Registration リクエストの並列数
- **クラウドサービスを利用したサーバレスな CN 実現**
 - 大規模な UE 数を想定したテスト
- **ソースコードを OSS として公開**