

卒業論文 2025 年度（令和 7 年度）

# sXGP-5G：次世代モバイルコア研究への参 入障壁低減のための実験環境の提案

慶應義塾大学 総合政策学部

山口 泰平

卒業論文要旨 - 2025 年度（令和 7 年度）

sXGP-5G：次世代モバイルコア研究への参入障壁低減のための実験環境の提案

キーワード:

1. モバイルシステム 2. sXGP

慶應義塾大学 総合政策学部  
山口 泰平

Abstract of Bachelor's Thesis - Academic Year 2024

sXGP-5G:Proposal of flexible 5G network construction method for next-generation mobile network development

Keywords :

1. Delay/Disruption Tolerant Network 2. Contact Graph Routing

Keio University Bachelor of Arts in Policy Management

Taihei Yamaguchi

# 目次

<b>第1章 序論</b>	<b>1</b>
1.1 背景	1
1.2 問題意識と課題	1
1.3 研究目的	1
1.4 本論文の貢献	1
1.5 論文構成	2
<b>第2章 基礎知識と課題整理</b>	<b>3</b>
2.1 sXGP と 4G/5G の概要	4
2.1.1 sXGP の位置づけ (免許不要・TD-LTE 互換)	4
2.1.2 4G RAN (UE・eNB) と EPC/5GC の要素	4
2.1.3 5GC のアーキテクチャ (AMF/SMF/UPF 等)	4
2.2 RAN-コア間インターワーキングの基礎	4
2.2.1 制御面 (S1-AP vs. NG-AP)	4
2.2.2 ユーザ面 (GTP-U 互換性とパススルー/変換)	4
2.2.3 ID/コンテキスト管理 (NAS, IMSI/SUPI 等)	4
2.3 モバイルシステム全体での課題感	4
2.3.1 研究環境のコストとライセンス (免許・機器費用)	4
2.3.2 相互接続性・ベンダ依存の壁	4
2.3.3 運用・再現性とオープンテストベッドの不足	4
2.3.4 セキュリティ・計測基盤の一般化の難しさ	4
2.4 本研究が対象とする課題の定義	4
2.4.1 研究者・学生が手軽に再現できる環境の要件	4
2.4.2 sXGP × 5GC 接続の技術的論点の範囲	4
2.4.3 評価指標と成功基準の設定	4
<b>第3章 関連研究と事例</b>	<b>5</b>
3.1 オープンソース 5GC とテストベッド	5

3.1.1	Open5GS / free5GC / srsRAN 5G	5
3.1.2	商用テストベッド・教育用環境	5
3.2	LTE eNB と 5GC の相互接続に関する標準化	5
3.2.1	ng-eNB の位置づけ (3GPP 23.501 等)	5
3.2.2	EPS/5GS 間インターワーキング (N26, 移動性)	5
3.3	プロトコル変換・ゲートウェイの先行事例	5
3.3.1	S1AP – NGAP 変換のアプローチ	5
3.3.2	GTP-U の TEID 管理とパススルー	5
3.4	sXGP の研究利用事例	5
3.4.1	学術・企業での実験報告	5
3.4.2	運用制約と利点	5
<b>第 4 章</b>	<b>提案手法：sXGP-5G コンバータ</b>	<b>6</b>
4.1	要求仕様と設計方針	6
4.1.1	ユースケースと非機能要件 (再現性・低コスト・安全性)	6
4.1.2	対象範囲 (制御/ユーザ面、認証、セッション管理)	6
4.2	アーキテクチャ設計	6
4.2.1	制御面：S1AP – NGAP 変換の設計案	6
4.2.2	ユーザ面：GTP-U 転送・TEID 管理	6
4.2.3	認証・登録 (NAS メッセージ処理の方針)	6
4.2.4	コンテキスト管理とタイムアウト	6
4.3	実装方針と部品選定	6
4.3.1	ソフトウェア構成 (言語・ライブラリ・依存)	6
4.3.2	ネットワーク構成 (VLAN/VRF/NAT の要否)	6
4.3.3	監視・計測 (メトリクス、トレース)	6
4.4	制約と想定される限界	6
4.4.1	規格差分による制限	6
4.4.2	性能上のボトルネックと回避策	6
<b>第 5 章</b>	<b>実験環境と方法</b>	<b>7</b>
5.1	実験環境	7
5.1.1	ハードウェア構成 (UE/eNB/sXGP 基地局/サーバ)	7
5.1.2	ソフトウェア構成 (5GC, コンバータ, OS)	7
5.1.3	ネットワークトポロジと IP アドレッシング	7

5.2	実験シナリオ	7
5.2.1	基本接続（登録・PDUセッション確立）	7
5.2.2	データ転送（スループット・遅延）	7
5.2.3	ハンドオーバー相当の扱い（必要に応じて）	7
5.3	計測方法と指標	7
5.3.1	成功判定基準と再現手順	7
5.3.2	メトリクス（接続成功率、遅延、スループット、CPU/メモリ）	7
5.3.3	ロギング・パケットキャプチャの取得方法	7
<b>第6章</b>	<b>評価</b>	<b>8</b>
6.1	結果	8
6.1.1	機能検証の結果（登録・PDUセッション）	8
6.1.2	性能測定の結果（遅延・スループット）	8
6.1.3	リソース使用率・スケーラビリティ	8
6.2	考察	8
6.2.1	提案手法の有効性と限界	8
6.2.2	関連研究との比較と位置づけ	8
6.2.3	実運用への適用可能性	8
<b>第7章</b>	<b>結論と展望</b>	<b>9</b>
7.1	本研究のまとめ	9
7.2	今後の課題	9
	<b>付録</b>	<b>12</b>

# 图 目 次

# 表 目 次



# 第1章 序論

## 1.1 背景

5G の研究・実験には専用周波数や高価な RAN 機器が必要になることが多く、参入障壁が高い。本研究は、免許不要帯で運用可能な sXGP (TD-LTE 互換) を eNB として活用し、4G RAN (UE・eNB) と 5G Core (5GC) を接続するコンバータを提案することで、手軽な 5G 実験環境を実現する。

## 1.2 問題意識と課題

モバイルシステム全体での課題（装置コスト、無線免許、相互接続性、運用・再現性、セキュリティ・計測基盤の不足）を整理し、特に RAN とコア間のインターワーキングが研究のボトルネックである点を指摘する。

## 1.3 研究目的

- sXGP ベースの 4G RAN と 5GC を接続するコンバータの設計・実装方針を示す。
- 小規模・低コストで再現可能な 5G 実験環境の構築方法を提示する。
- 基本機能・性能の評価を通じて有用性と限界を明らかにする。

## 1.4 本論文の貢献

- sXGP を用いた免許不要・低コストな 5G 研究環境の実現可能性を実証。
- 4G RAN と 5GC の信令・ユーザ面の相互接続に関する設計指針を整理。
- 実験プロファイル（トポロジ、計測項目、再現手順）の提示。

## 1.5 論文構成

本論文は以下の構成である。第 2 章で基礎知識と課題整理、第 3 章で関連研究と事例、第 4 章で提案手法、第 5 章で実験環境と方法、第 6 章で評価、第 7 章で結論と今後の課題を述べる。

## 第2章 基礎知識と課題整理

## 2.1 sXGP と 4G/5G の概要

### 2.1.1 sXGP の位置づけ（免許不要・TD-LTE 互換）

### 2.1.2 4G RAN（UE・eNB）と EPC/5GC の要素

### 2.1.3 5GC のアーキテクチャ（AMF/SMF/UPF 等）

## 2.2 RAN-コア間インターワーキングの基礎

### 2.2.1 制御面（S1-AP vs. NG-AP）

### 2.2.2 ユーザ面（GTP-U 互換性とパススルー/変換）

### 2.2.3 ID/コンテキスト管理（NAS, IMSI/SUPI 等）

## 2.3 モバイルシステム全体での課題感

### 2.3.1 研究環境のコストとライセンス（免許・機器費用）

### 2.3.2 相互接続性・ベンダ依存の壁

### 2.3.3 運用・再現性とオープンテストベッドの不足

### 2.3.4 セキュリティ・計測基盤の一般化の難しさ

## 2.4 本研究が対象とする課題の定義

### 2.4.1 研究者・学生が手軽に再現できる環境の要件

### 2.4.2 sXGP × 5GC 接続の技術的論点の範囲

### 2.4.3 評価指標と成功基準の設定

## 第3章 関連研究と事例

### 3.1 オープンソース 5GC とテストベッド

#### 3.1.1 Open5GS / free5GC / srsRAN 5G

#### 3.1.2 商用テストベッド・教育用環境

### 3.2 LTE eNB と 5GC の相互接続に関する標準化

#### 3.2.1 ng-eNB の位置づけ (3GPP 23.501 等)

#### 3.2.2 EPS/5GS 間インターワーキング (N26, 移動性)

### 3.3 プロトコル変換・ゲートウェイの先行事例

#### 3.3.1 S1AP - NGAP 変換のアプローチ

#### 3.3.2 GTP-U の TEID 管理とパススルー

### 3.4 sXGP の研究利用事例

#### 3.4.1 学術・企業での実験報告

#### 3.4.2 運用制約と利点

## 第4章 提案手法：sXGP-5G コンバータ

### 4.1 要求仕様と設計方針

4.1.1 ユースケースと非機能要件（再現性・低コスト・安全性）

4.1.2 対象範囲（制御/ユーザ面、認証、セッション管理）

### 4.2 アーキテクチャ設計

4.2.1 制御面：S1AP – NGAP 変換の設計案

4.2.2 ユーザ面：GTP-U 転送・TEID 管理

4.2.3 認証・登録（NAS メッセージ処理の方針）

4.2.4 コンテキスト管理とタイムアウト

### 4.3 実装方針と部品選定

4.3.1 ソフトウェア構成（言語・ライブラリ・依存）

4.3.2 ネットワーク構成（VLAN/VRF/NAT の要否）

4.3.3 監視・計測（メトリクス、トレース）

### 4.4 制約と想定される限界

4.4.1 規格差分による制限

4.4.2 性能上のボトルネックと回避策

## 第5章 実験環境と方法

### 5.1 実験環境

5.1.1 ハードウェア構成 (UE/eNB/sXGP 基地局/サーバ)

5.1.2 ソフトウェア構成 (5GC, コンバータ, OS)

5.1.3 ネットワークトポロジとIPアドレッシング

### 5.2 実験シナリオ

5.2.1 基本接続 (登録・PDUセッション確立)

5.2.2 データ転送 (スループット・遅延)

5.2.3 ハンドオーバー相当の扱い (必要に応じて)

### 5.3 計測方法と指標

5.3.1 成功判定基準と再現手順

5.3.2 メトリクス (接続成功率、遅延、スループット、CPU/メモリ)

5.3.3 ロギング・パケットキャプチャの取得方法

## 第6章 評価

### 6.1 結果

#### 6.1.1 機能検証の結果（登録・PDUセッション）

#### 6.1.2 性能測定の結果（遅延・スループット）

#### 6.1.3 リソース使用率・スケーラビリティ

### 6.2 考察

#### 6.2.1 提案手法の有効性と限界

#### 6.2.2 関連研究との比較と位置づけ

#### 6.2.3 実運用への適用可能性



## 第7章 結論と展望

### 7.1 本研究のまとめ

### 7.2 今後の課題

## 謝辭

## 参考文献

## 付録

---

---