

1. 研究課題・受託者・研究開発期間・研究開発予算

◆研究開発課題名 継続的進化を可能とする B5G IoT SoC及びIoTソリューション構築プラットフォームの研究開発

◆受託者

シャープ株式会社、シャープセミコンダクターイノベーション株式会社、国立大学法人東京大学、国立大学法人東京科学大学、日本無線株式会社

◆研究開発期間 令和3年度～令和7年度 (5年間)

◆研究開発予算(契約額) 令和3年度から令和6年度までの総額8,064百万円(令和6年度1,719百万円)

2. 研究開発の目標

継続的な進化に対応可能な、カスタマイズ性の高いB5G IoT端末向けSoCの研究開発を行い、端末と基地局を総合して機能改変を行う事が出来る開発環境として、B5G SDR-PF (B5G Software Defined Radio-Platform)を構築する。

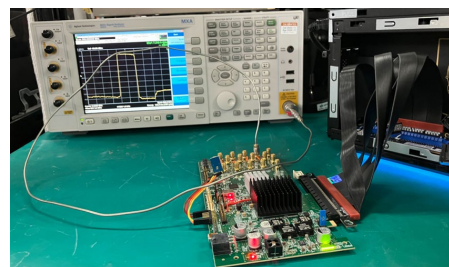
ベースバンド処理SoC、60GHz帯ミリ波対応のCMOS RFチップのチップセットを国内設計で開発し、B5G IoTに必要なセキュリティの高度化と低消費電力化をマイクロコントローラベースのSoCで実現する事で、国際競争力の高いB5G IoT端末の実用化フェーズに繋げる。

3. 研究開発の成果

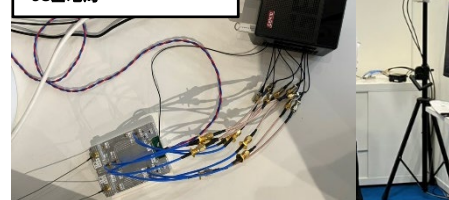
研究開発項目1:究極のカスタマイズ性を実現するB5G IoT向け B5G SDR-PFの研究開発

研究開発項目1-a) B5G IoT SoC向けB5G SDR-PFの構築

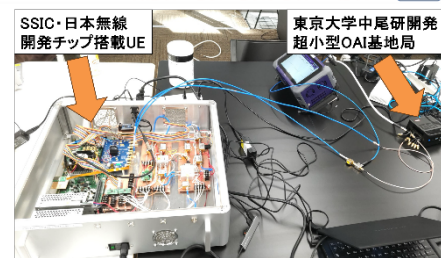
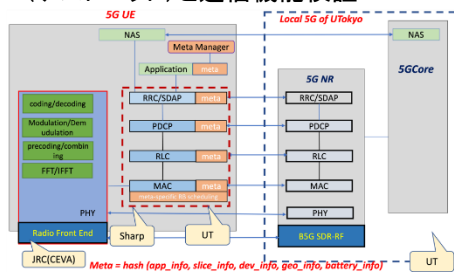
◆ 継続進化可能なSDRボードシステム (B5G SDR-PF) の構築



M.2超小型SDRボード搭載
5G基地局



◆ 継続進化可能なSDR開発環境 (テストベッド)と通信機能検証



UEの通信モジュールを含めて「継続的に進化可能」なエンドツーエンド・ソフトウェア・モバイルシステムが存在せず、新たな機能を迅速に実装し展開する「迅速展開性」の競争力に欠けるという課題がある。新たな機能をシームレスにSoC、あるいはSoC + FPGA等に追加実装可能とするSDRボードシステム (B5G SDR PF)を構築する。

◆ 継続進化可能なSDRボードシステム (B5G SDR-PF) の構築

- ✓ 新たに設計したカスタマイズSDRボードの試作および検証を実施した。
- ✓ 上記検証を通してSDRボードの改良に向けた設計検討を進めた。
- ✓ 新たなRFFEモジュール試作に向けた設計・開発を実施し、動作確認まで完了した。

◆ 継続進化可能なSDR開発環境(テストベッド)構築と通信機能検証

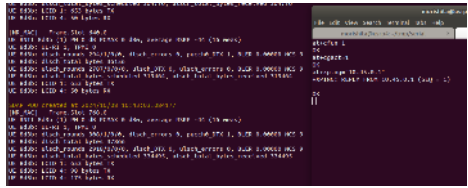
- ✓ 昨年度試作した改良版であるM.2タイプの超小型SDRボードを利用した超小型基地局試作を実施し、屋外対応化に向けた構造設計を開始した。
- ✓ 試作した上記小型基地局とSSIC様開発チップを搭載したUEとの接続検証を行い、Pingによる疎通確認が完了した。
- ✓ OAIテストベッド上での提案するFPGAオフローディング方式によるLDPC・Polar符号化の高速化および省電力化方式の検討を進めた。

3. 研究開発の成果

研究開発項目1:究極のカスタマイズ性を実現するB5G IoT向け B5G SDR-PFの研究開発

研究開発項目1-b) B5G IoT SoC 向け B5G SDR-PF のソフトウェアアーキテクチャの研究開発

B5G IoT SoC向け端末の接続性向上検討



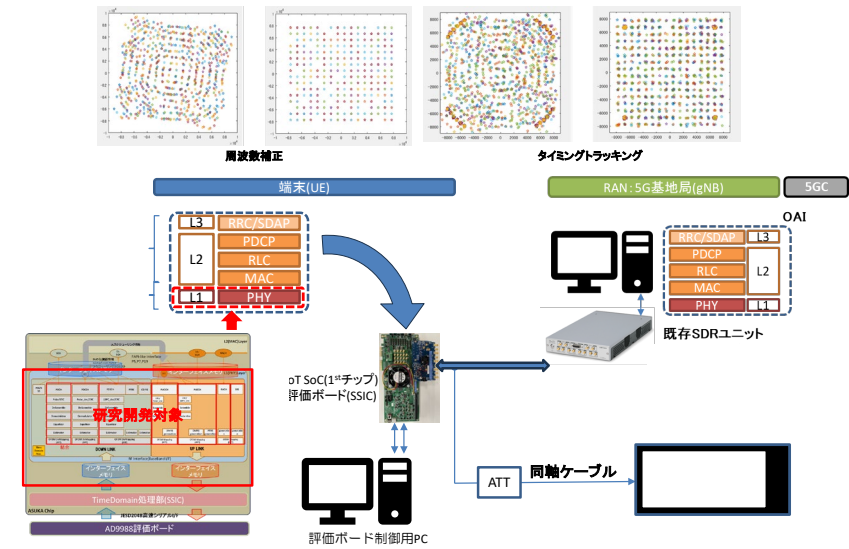
MetaDataデコード検証結果

研究開発項目1-b) 端末

B5G IoT SoC向けに最適化した独自設計端末用ソフトウェアの実証と普及に向けて以下の研究開発、検証を実施した。

- SDR-PF上で動作するソフトウェアの接続性向上のため、OAI基地局、Callbox Advanced、Keysight UXM、O-RAN対応RUとの接続検証を実施。
- 5Gベースバンド処理に加え、RF F/E制御を実装。シールドボックス内において無線接続が可能となった。ASUKA-SDRPF-BOXはテストハウスであるDSPR社で技術適合試験を実施、証明書を取得。
- 実証実験に向けて研究開発項目1-a)との接続検証を実施。Ping疎通検証にて、ユーザーデータの送受信を確認。プロトコルのペイロードにMetaDataを載せるカスタマイズの仕組みを実装。研究開発項目1-a)と組み合わせる事によりカスタマイズ可能な環境を構築。
- 作成したSDR-PFを用いてユーザがカスタマイズ実施するためのSDK環境の仕様作成。

研究開発項目1-c) DSP ソフトウェア無線の L1 層ソフトウェア研究開発



B5G IoT SoC搭載端末と5G基地局接続評価環境

B5G IoT SoC(1stチップ)搭載評価ボード(SSIC社製)に各種ハードウェアアクセラレータ処理、パイプライン処理、マルチタスク処理に対応したL1ソフトウェアおよびL2/L3インターフェイスソフトウェア、RFインターフェイスソフトウェアを実装し、総合的な所望機能、性能および基地局プラットフォームとの接続性を検証した。

- オープンソースコードソフトウェア(OAI)を活用した基地局との接続評価を実施し、同期確立、安定なデータ通信、所望性能が得られることを検証した。
- B5G IoT SoCアーキテクチャに最適な2x2MIMOを実装した。CSI-RSにおけるDLチャネルの受信品質を示すCQI(Channel Quality Indicator)の算出は、ニューラルネットワークを活用した。
- 各処理の最適化による演算速度向上や、性能向上(周波数補正、タイミングラッキング等)を実施した。

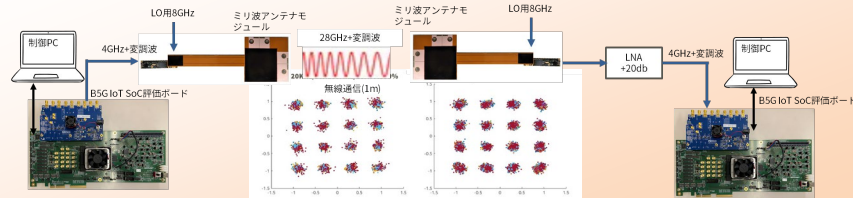
SSIC: シャープセミコンダクターイノベーション株式会社

3. 研究開発の成果

研究開発項目2: 国産 B5G IoT SoCの研究開発研究、開発項目3: B5G IoT SoCのセキュリティ向上

研究開発項目2-a) マイクロコントローラ・ベースのB5G IoT SoCの研究開発

ミリ波モジュールとの接続実験

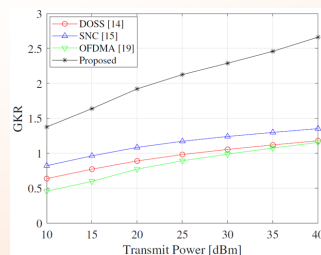


B5G IoT SoCの2ndチップ開発及び実証実験を目的とした無線端末の開発を通じて、マイクロコントローラ・ベースのB5G IoT SoCの研究開発を行った。

- 5G/6G無線処理におけるAI/ML応用に向けて、NPUを搭載したB5G IoT SoC 2ndチップの開発を開始(25年度6月テープアウト予定)。
- 研究開発項目4-a)で開発されたミリ波アンテナモジュール(28GHz)との接続実験を実施。FR2(SCS=60KHz/120KHz、BW=100MHz)のデータの送受信を用い、コンスタレーションを確認。EVMが3GPPの仕様(16QAM時12.5%以下)を満たしていることを確認した。

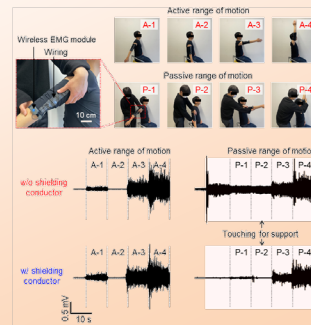
研究開発項目3-a) B5G IoT SoCのローカルB5G新機能(カスタムセキュリティ高度化と低消費電力化)の研究開発

カスタムセキュリティ高度化



従来法とのグループ鍵容量の比較

次世代ウェアラブルスーツ



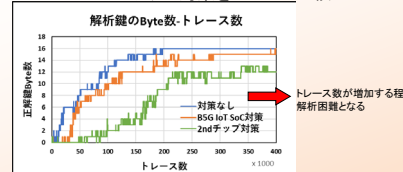
B5Gが対象とする多様なワイヤレスアプリケーションに応じて、適切にセキュリティレベルを変更できることが重要である。また、ウェアラブルデバイスの発展に伴い、生体信号や行動などの多様な情報を簡便に計測できるようになりつつあるが、その低消費電力化が求められている。

- 伝搬路に基づく鍵共有において、グループ端末間での効率的な鍵共有への展開を目指し、NOMAを用いたグループ鍵共有アルゴリズムを提案し、理論解析・数値シミュレーションを通しその基礎的な有効性を検証した。
- 全身型テキスタイルにおいて、伸縮性シールド配線技術を初めて確立することで、追加の増幅・計測回路での消費電力を最小化しつつ、全身からの筋電・心電を計測できるスマートテキスタイルを開発した。

研究開発項目3-b) B5G IoT SoCのハードウェアセキュリティ高度化とカスタムセキュリティ実装の研究開発

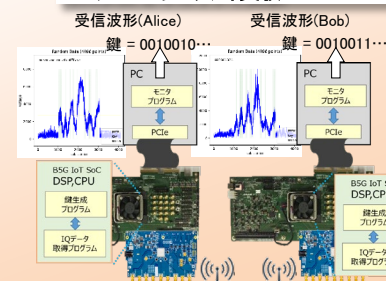
サイドチャネル攻撃(電磁波解析攻撃)

B5G IoT SoCと2ndチップ対策をFPGAで比較



解析に必要なトレース数が増加し、耐タンパ性向上

カスタムセキュリティ実験



カスタムセキュリティ実装では、B5G IoT SoCを用いた物理層鍵共有実験に取り組んだ。セキュリティ高度化では、攻撃対策回路、各種センサーによる耐タンパ性の向上を確認した。

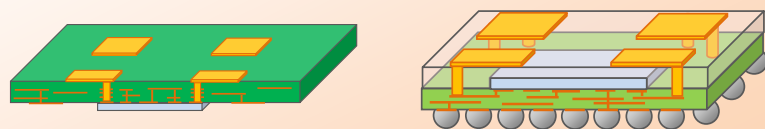
- B5G IoT SoCのDSPを用いたカスタムセキュリティ実験環境を立ち上げ、B5G IoT SoC同士で通信し、鍵生成実験を行った。
- FPGAに実装した耐タンパAESに電磁波解析攻撃を行い、B5G IoT SoCに実装した回路と比較、耐タンパ性向上を確認した。本耐タンパ回路は実チップ上での評価のため、2ndチップへ実装した。

3. 研究開発の成果

研究開発項目4: B5G IoT SoC向けRF技術の研究開発

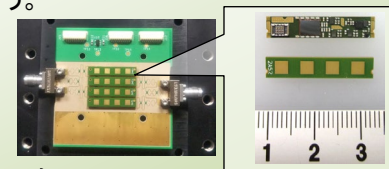
研究開発項目4-a) ミリ波帯IC/アンテナ/パッケージ一体設計技術の研究開発

- ミリ波帯小型アンテナモジュールの研究開発
- 60GHz帯までの周波数帯で、省電力(低損失)なフェーズドアレイアンテナモジュールを実現

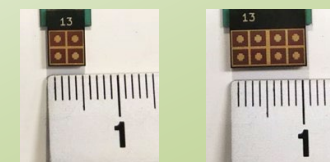


- 本研究開発項目では、Beyond 5GでIoT端末に求められる省電力(低損失)ミリ波帯アンテナモジュールの研究開発を行う。

- 28GHz 小型フェーズドアレイ
4アンテナモジュールを複数用いた
16アンテナモジュールを試作し、
動作を確認した。搭載RFICの改善設計も行った。



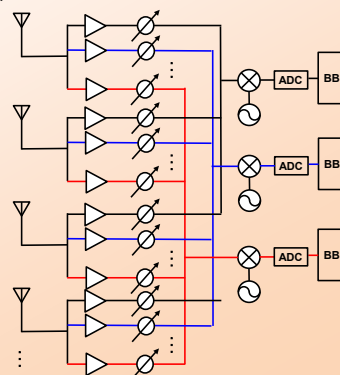
- 60GHz小型フェーズドアレイ
アンテナモジュールを試作した。



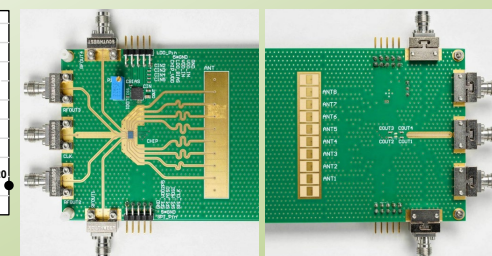
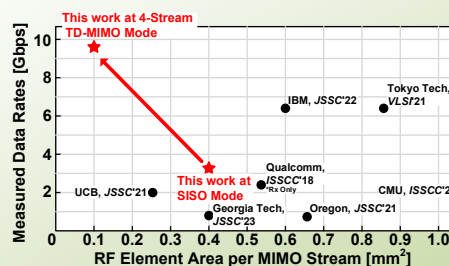
- 関連特許出願 国内5件 / 外国5件

研究開発項目4-b) ミリ波帯省面積低消費電力フェーズドアレイICの研究開発

- Beyond 5Gで必要となるミリ波帯フェーズドアレイ無線機の研究開発
- 高データレート、低コスト、低消費電力の実現
- 28GHz帯にあわせ、さらなる広帯域が利用可能な60GHz帯ミリ波無線通信をCMOS集積回路技術で実現
- 省面積・低コストなMIMO無線機を実現



- 本研究開発項目では、Beyond 5Gで必要となる高データレートかつ、省電力・低コストなミリ波帯フェーズドアレイ無線機の研究開発を行う。
- 提案方式の28GHz帯時分割4x4MIMO受信機を65nm CMOSで試作し、5G NR標準準拠の4x4 MIMO無線通信を世界で初めて実証し、面積比で1/8の効率、データレートで4倍の性能改善を達成した。



4. 特許出願、論文発表等、及びトピックス

国内出願	外国出願	研究論文	その他研究発表	標準化提案・採択	プレスリリース 報道	展示会	受賞・表彰 成果の実施・その他
21 (8)	14 (7)	9 (5)	131 (44)	0 (0)	7 (4)	9 (5)	0 (0)

※成果数は累計件数、()内は当該年度の件数です。

(1)プレスリリース

2024/7/11 「6Gに向けた高面積効率・低消費電力のミリ波帯 MIMOフェーズドアレイ受信機を開発」 東京科学大学
2025/2/15 「Beyond 5Gに向けた新型デジタル送信機CMOS ICを開発」 東京科学大学

(2)展示会

2024/6/27 「Development of Customizable SoC and SDR in the Beyond5G era」 シャープ/シャープセミコンダクターイノベーション、東京大学
2024/9/24 Zebu-EP1で加速！「Beyond 5G IoT SoC検証」 シャープセミコンダクターイノベーション
2024/10/15 CEATEC2024 NICTブース出展 シャープセミコンダクターイノベーション
2025/3/3 Mobile World Congress 2025 Japan Pavilion 出典 シャープセミコンダクターイノベーション、東京大学

5. 今後の研究開発計画

2025年度は実施計画の最終年度であり、最終目標達成に向けた取り組みを推進する。これまでに試作したベースバンドSoCテストチップと連携して動作し、さらなる機能拡張を可能にする2nd SoCチップを試作する。それらを搭載した端末想定評価ボードで、B5G SDR-PFプロトコルスタック（L1/L2/L3層のソフトウェア）での機能改変も含めた無線通信動作を実証する。基地局用に試作してきた、機能改変機能を有するSDRカードの改良も引き続き行い、端末想定評価ボードと無線通信動作を実証する。B5Gで想定される新たなユースケースの研究開発として、新規セキュリティ機能（暗号鍵生成）、通信機能を有するウェアラブルデバイスの改良とともに、B5G SDR-PFへ適用して動作を実証する。RF技術開発に関しては、これまで28GHz帯で基本コンセプトを実証してきた時分割MIMOについては改良、派生技術展開を進めるとともに、小型の送受信アンテナモジュール化を行う。60GHz帯では、これまで検討してきた高効率PAを搭載したICとアンテナ基板の一体設計により、目標のEIRPを実証する。また、時分割MIMO技術の60GHz帯への適用検討を行う。また2025年度も引き続きB5G SDR-PFを用いた実証実験を実施する。フィールドでの実験に向けて必要な評価や手続きを経て、ベースバンドSoCテストチップを搭載した端末（UE）と、同じく試作したSDRボードを搭載したローカル5G基地局（gNB）を組み合わせた通信機能評価を、自治体等の協力も得て推進する。