

## 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: 低コスト・高品質なミリ波・テラヘルツ帯へのB5G対応高周波数移行技術の研究開発
- ◆受託者: (大)大阪大学、三菱電機(株)
- ◆研究開発期間: 令和3年度～令和5年度(3年間)
- ◆研究開発予算(契約額): 令和3年度から令和5年度までの総額135百万円(令和5年度36百万円)

## 2. 研究開発の目標

低周波領域の信号を高周波領域に品質を保持したまま移行する低コストな技術を開発し、高い周波数帯において顕在化してきているコスト・精度・消費電力間のトレードオフの課題を日本が優位性を持っている光技術の広帯域特性を活かして解決する技術基盤を確立することを目標としている。

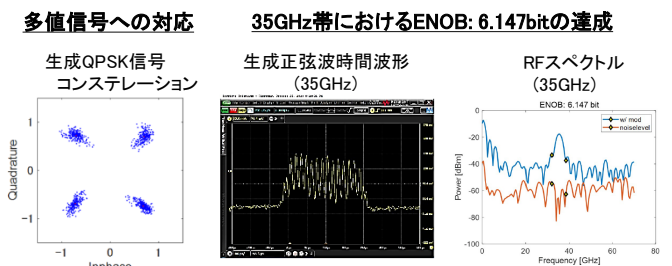
## 3. 研究開発の成果

### 研究開発項目1: 光キャリアの広帯域性を用いた低周波-高周波変換

#### 1-a) 低周波-高周波変換のための光キャリアの検討



#### 1-b) 光キャリア重畳信号の低周波-高周波変換の検討



### 研究開発成果1-a: 低周波-高周波変換のための光キャリアの検討

低周波-高周波変換技術では、サブマイクロ秒の時間伸長光キャリア生成技術が必要。  
●サブマイクロ秒となる150ナノ秒に時間伸長可能なチャープドファイバブラッググレーティングを試作。150ナノ秒長光キャリア実現と同時に、高い信号品質実現に必要な不可欠な挿入損失の低減に対し、従来の半分以下となる3dB程度の低挿入損失を実現した。

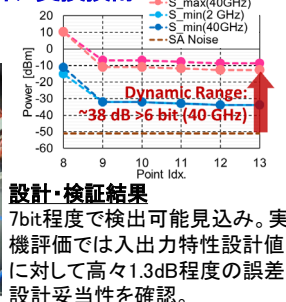
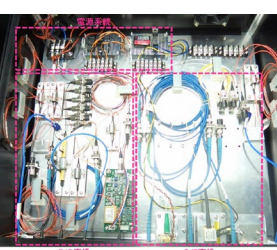
### 研究開発成果1-b: 光キャリア重畳信号の低周波-高周波変換の検討

時間伸長光キャリア上への重畳波形を6bitの精度を維持して時間圧縮する技術が必要。  
●35GHz帯で6bitを超えることに成功し、既存の最高性能の信号発生器と光変調器で得られる信号品質を上回る性能実現の可能性を実験的に確認した。  
●時間圧縮後のバースト信号の連続信号化のための信号アグリゲーション技術や既存の計測技術が対応できない将来的な高周波化に対応する信号モニタリング技術の創出に成功した。

### 研究開発項目2: 電波/光信号処理インタフェース技術

#### 2-a) 電波/光/電波メディア変換技術

##### 試作メディア変換装置内観



#### 2-b) 低い周波数領域における超広帯域波形最適化技術

FPGA回路規模

リソース種	使用率
LUT	12.83%
LUTRAM	2.73%
FF	6.78%
BRAM	14.07%
DSP	2.81%
IO	2.88%
BUFG	2.44%
MMCM	12.50%

評価結果(2倍圧縮時)

キャリア500MHz → 1GHz  
帯域幅100MHz → 200MHz

歪補償無      歪補償有

### 研究開発成果2-a: 電波/光/電波メディア変換技術

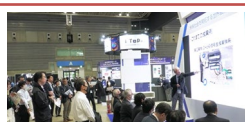
低周波-高周波変換技術の評価では、光/電波信号を高分解能で変換する技術が必要。  
●ミリ波～サブテラヘルツ帯に対応したメディア変換装置を試作。レベルダイヤ検討・測定からミリ波帯信号をおよそ7bitの分解能で検出可能であることを示し、設計の妥当性と将来的な高周波数への拡張性を示した。

### 研究開発成果2-b: 低い周波数領域における超広帯域波形最適化技術

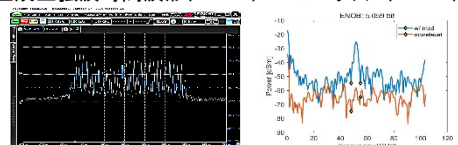
低周波-高周波変換技術の性能向上に向け、光領域における波形圧縮過程で未知の歪を生じる懸念があり、当該歪の特性把握と補償技術の開発が必要。  
●パルス伸長・波形重畳時の振幅方向歪に対するデジタル信号処理による補償方式を考案し、市販FPGAチップに対してリソース占有率14.07%以下での小規模実装を実現した。  
●FPGAを用いた実証実験では、キャリア周波数500MHz、帯域幅100MHz(比帯域20%)のOFDM-16QAMの2倍圧縮信号に対して、明らかな品質改善効果が得られた。

### 研究開発項目3: B5G対応高周波数移行技術

広報活動: Edge+2023の展示会でのセミナー発表の様子



#### 生成正弦波時間波形(52GHz) RFスペクトル(52GHz)



### 研究開発成果3: B5G対応高周波数移行技術

最終目標を達成するために研究開発項目1および研究開発項目2の成果の接続が必要。  
●NICTのテストベッドでの接続基礎実験を行い、52GHzで既存装置の性能を上回った。  
●1GHzのsin波形の歪補償実験で、歪成分の8.7dB程度の抑圧する歪補償効果を実証。  
●一連の成果を種々の展示会において紹介することで広報活動を行った。

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	プレスリリース 報道	展示会	受賞・表彰
3 (0)	5 (1)	1 (0)	21 (7)	0 (0)	0 (0)	2 (1)	1 (1)

※成果数は累計件数、( )内は当該年度の件数です。

(1) 広報活動として各種展示会に出展(OECC/PSC 2022展示会、Edge+2023展示会セミナー講演)  
 当初計画に挙げていなかった展示会出展について、国際会議OECC/PSC 2022(2022年7月3日～6日、於富山国際会議場)にて、本研究開発課題に関する展示を行い、本研究課題の研究内容およびその現在までの成果について関連分野のみならず周辺分野の研究者に広く公知した。本研究課題への期待や関連の研究開発動向国内外についての情報を得た。また、さらに最終年度の進捗も含めたより社会実装を意識した広報活動として、NICT5G社会実装プロジェクトの取り組みに協力する形で、Edge+2023展示会(2023年11月15日～17日、於パシフィコ横浜)においてセミナー講演を行った。

(2) 優先的な国際特許出願  
 当初の研究計画では、国内特許出願を予定していたが、内外の状況を鑑みた上で、将来的な研究課題のタイムリーな産業化の視点からも国際特許出願を優先し、新規2件の出願を行った。また、既に国内特許出願、PCT出願済みの本研究課題の基本特許となる案件に関しても、米国国内移行を完了した。合計5件の外国出願を行った。

(3) 密な受託者間調整会議を軸とした実のある連携  
 委託研究機関を通して、計画していた1回/四半期に対して合計10回を上回る大幅に密な濃度での受託者間調整会議を実施してきた。この受託者間調整会議だけでなく、企業側の実験施設において大学側のシステムを接続しての基礎実験を実施するなど、それぞれの技術の相互理解にも積極的に努めてきた。丁寧な連携関係の構築を通して研究開発項目3の接続基礎検討を進めることで、最終年度にNICTのテストベッドを活用した実験実施も行うことができた。このような密な濃度での受託者間調整会議の成果として、最終目標である連携実証完了につなげることができたと評価している。

5. 研究開発成果の展開・普及等に向けた計画・展望

本研究開発はシーズベースでの技術開発であるために、今後のユースケース検討が重要であると考え。そこで、2021年度より始動した一般課題01401「Beyond 5G通信インフラを高効率に構成するメトロアクセス光技術の研究開発」のようなBeyond-5Gのメトロアクセス領域のシステムを検討する課題との連携も視野に入れ、例えば、より柔軟なRAN構築に資する技術として発展させ、実用化・事業化に向けた検討を継続する。また、このような現実のユースケースを意識した実証なども継続して行い、積極的に本課題に関わる技術に関して学会発表を行う予定である。Beyond-5G時代の無線通信システムでは、高速大容量通信や、電波利用の逼迫により、ミリ波およびさらなる高周波であるテラヘルツ波帯の利用が検討されている。これらの高周波の利用をするためのシステム実現には、容易に、かつ高精度に高周波数を生成する技術が必須となる。本研究開発で取り組む高周波移行技術では、低周波および光デバイスを用いた信号処理により、テラヘルツ帯といったデバイス技術の難易度が高い領域での処理行わず、低コスト・低電力な構成で高精度に高周波信号を生成できる。したがって、Beyond-5G向け基地局で利用が想定されるミリ波帯・テラヘルツ帯の生成技術として期待でき、基地局利用電波の高周波数帯移行を促進・加速することが可能となる。また、関連する研究や学術への貢献として、アナログ/デジタル変換の光化を通じた新たな研究開発への展開に大きく貢献する知見や、高周波化に伴う信号評価技術の新しい方向性を見出ししており、優れたE/O変調器に関する他の委託研究や学術研究の成果との連携も期待される。