令和4年度研究開発成果概要図（目標・成果と今後の研究計画）

採択番号：03201

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4年度までの総額100百万円（令和4年度56百万円）

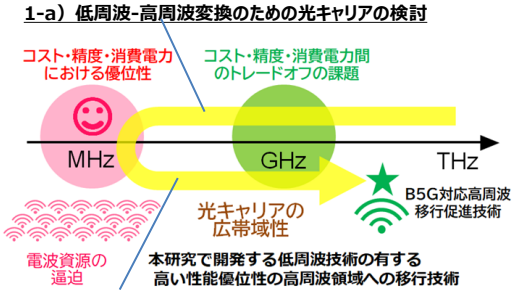
2．研究開発の目標

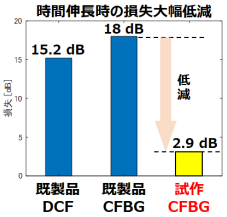
低周波領域の信号を高周波領域に品質を保持したまま移行する低コストな技術を開発し、高い周波数帯において顕在化してきているコスト・精度・消費電力間のトレードオフの課題を日本が優位性を持っている光技術の広帯域特性を活かして解決する技術基盤を確立することを目標としている。

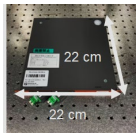
3．研究開発の成果

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

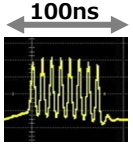
1-a）低周波-高周波変換のための光キャリアの検討







試作デバイス



重畳信号の例

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

メガヘルツ級の低い周波数信号を重畳するための光キャリアとして、サブマイクロ秒長の時変スペクトル光の生成方法が必要。
●カスタム設計したチャープドファイバーブラッググレーティングを試作し、目標である数十ナノ秒以上（約百ナノ秒程度）の時間伸長時変スペクトル光の生成の実現を達成。

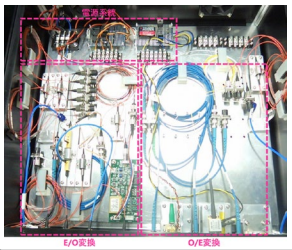
研究開発成果1-b：光キャリア重畳信号の低周波-高周波変換の検討

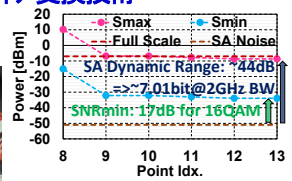
低周波-高周波変換の実現のために、数十ナノ秒以上に時間伸長された光キャリアを数百ピコ秒以下に時間圧縮し、QPSK多値変調信号波形の時間圧縮の確認が必要。
●研究開発項目1-a）で試作したデバイスにより構成される基礎実験を通した実現アプローチの最適化の検討を行い、数百ピコ秒以下への時間圧縮に成功した。
●試作デバイスの低損失性を活かして研究開発項目2におけるメディア変換装置に必要な性能等の最適化を行い、QPSK変調波形の数百ピコ秒程度への時間圧縮を実現。

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

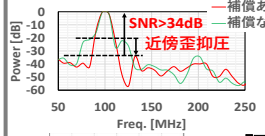
試作メディア変換装置内観



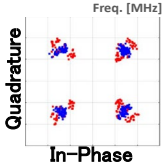


設計・検証結果
7bit程度で検出可能見込み。実機評価では入出力特性設計値に対して高々1.3dB程度の誤差。設計妥当性を確認。

2-b）低い周波数領域における超広帯域波形最適化技術



SNR評価結果
16QAMに十分なSNRを確認



EVM評価結果
（青）補償あり：10.07%
（赤）補償なし：21.03%
16QAM要求（12.5%以下）に対しても性能満足

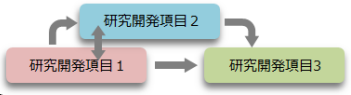
研究開発成果2-a：電波/光/電波メディア変換技術

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～テラヘルツ波に対応したメディア変換装置を試作。レベルダイヤ検討から、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た。また、電気信号の入出力特性は設計値に対し高々1.3dB程度（1bit以下）の誤差となり、設計の妥当性を確認した。

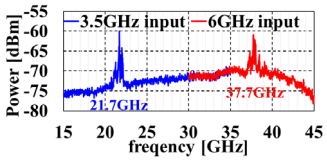
研究開発成果2-b：低い周波数領域における超広帯域波形最適化技術

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。
●調達したFPGAおよび試作歪補償部を用いて、実光源で想定される振幅歪を持つ模擬パルス伸長光源を用いた変調実験を実施。Sin波およびQPSK信号（圧縮前キャリア2.2GHz・帯域幅98MHz　※圧縮後キャリア33GHz・帯域幅1.47GHzを想定）により評価を行い、16QAM信号においても十分な性能であるSNR34dB以上、EVM10.07%を実証した。

研究開発項目3：B5G対応高周波数移行技術



協働実験の様子



ミリ波帯移行信号評価結果

研究開発成果3：B5G対応高周波数移行技術

連携実証に向けて、目標信号品質の実現に必要な補正の内容の検討が必要。
●補正前の信号品質の確認を中心に必要となる補正の仕様についての絞り込みを行い、QPSK程度の信号波形であれば、補正無しでも十分に可能であることを確認した。
●項目1で試作したキーデバイス（CFBG）と項目2で構築した評価系を連接し、ミリ波帯において最大37.7GHzの高周波移行信号の生成に成功した。

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
3 (3)	4 (4)	1 (1)	14 (11)	0 (0)	0 (0)	1 (1)	0 (0)

※成果数は累計件数、( )内は当該年度の件数です。

(1)研究開発マネージメントのための受託者間調整会議を開催 (9回)

プロジェクト関係者間での内部のミーティングとして集中的に進捗状況確認と技術課題の対応を議論。特に、9月の協働実験を通した技術交流を皮切りに年度末の連接実験の課題抽出を行うとともに、個々の研究開発項目でそれぞれ取り組む技術課題を共有した。その結果を年度末の連接実験につなげるとともに、次年度以降のプロジェクトの研究開発計画にフィードバック。また、最新の研究成果を紹介するとともに、成果紹介は守秘義務対象とし、学会ではできない徹底した議論を推進。

(2) 主要コンセプトおよび周辺技術の論文発表等

本プロジェクトの進捗に合わせて、本研究開発課題の主要なコンセプトだけでなく、関連する周辺技術におけるバイプロダクト的なものも含めた論文発表、学会発表を精力的に進めた。時宜的な判断から学会発表を先行した結果、今年度の目標の4件を大きく超えた11件の発表を達成した。論文に関しては、先行した学会発表で得られた知見を考慮した投稿を進めており、目標の2件に対して、掲載1件、投稿済み1件、投稿準備のもの3件となった。また、昨年度に引き続き、テラヘルツシステム応用推進協議会の企画による第二回のシンポジウムにおいて招待講演を行い、研究開発課題実施者間で互いに認識することで、実施者間交流の機会を積極的に利用した。

(3)特許出願状況

本プロジェクトの進捗に合わせて、様々な技術課題への対応策としての特許出願だけでなく、関連する周辺技術におけるバイプロダクト的なものも含めた特許出願が進んだ。今年度の目標の2件を大きく超えた4件の出願を達成した。特許出願支援の審査が非常に厳しい大学においても、その重要性が認められ、産学共創本部の支援を獲得した。

5. 今後の研究開発計画

1-a 設計・試作したデバイス間の連結をはじめその使用方法の工夫により低周波-高周波変換の高機能化・高性能化に資する様々な機能創出が期待され、研究開発項目2-aとの連接実証の状況に応じて、使用方法の工夫に対応した試作デバイスの改良などを進める。

1-b バイディレクショナルな使用を始めとしたその使用方法の工夫により低周波-高周波変換の高機能化・高性能化に資する様々な機能創出が期待され、研究開発項目3のための連携実験における研究開発項目2-aとの接続の最適化の状況に応じて、使用方法の工夫に対応した試作デバイスの改良などを進める。

2-a 電波/光/電波メディア変換技術：2022年度に試作したメディア変換装置の改良評価を実施し、将来的なデバイスの進歩も考慮してサブミリ波帯・テラヘルツ帯で6bit以上の評価・検出が可能である拡張性を示す。

2-b 低い周波数領域における超広帯域波形最適化技術：2022年度に試作したデジタル回路のFPGA実装および評価、また改良評価を完了する。テラヘルツ波200GHzの比帯域5%の10GHz以上の帯域幅へ対応可能とする拡張性を示す。

3 B5G対応高周波数移行技術：2022年度の連接基礎検討を拡張し、16QAM変調信号の高周波移行実験を実施し出力する高周波数信号においてEVM<11.2%の性能を実証する。また、サブミリ波・テラヘルツ帯への高周波移行実験にも挑戦する計画である。