

## 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 超低雑音信号発生技術に基づく300GHz帯多値無線通信に関する研究開発
- ◆受託者 (大)大阪大学 イムラ アメリカ (大)九州大学 (大)東京大学 (大)北里大学
- ◆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523百万円 (令和4年度417百万円)

## 2. 研究開発の目標

光技術に基づく300GHz帯の超低雑音信号発生技術を基に、光電変換技術ならびに受信技術の高度化を進め、同周波数帯における超多値無線システムを実現する。

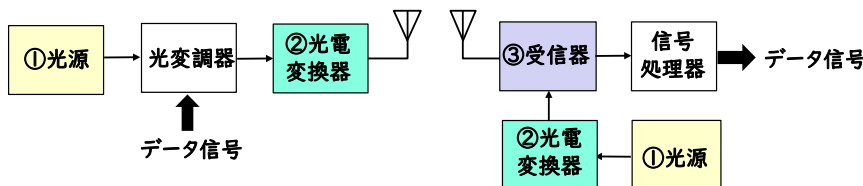
## 3. 研究開発の成果

### 研究開発目標

### 研究開発成果

#### 研究開発項目1 多値通信システム技術の開発(2022年4月～2023年3月)

システム構成と技術開発のターゲット(全光駆動型システム)



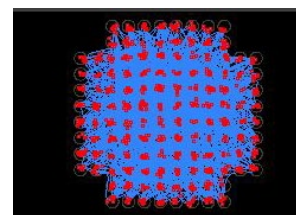
	RF帯域	IF/BB帯域	変調方式	伝送速度 (bit/s)	伝送距離	送信電力	検出方式
2021	30GHz	30GHz ->>20Gbaud	16QAM 32QAM	>80G	<1m	0.05~ 0.1mW (従来PD)	ホモダイン (SBD)
2022	30GHz	30GHz ->>20Gbaud	64QAM 128QAM	>140G	>1m	0.4~ 0.8mW (線形領域)	ヘテロダイン & ホモダイン (FMDB)
2023	40GHz	40GHz ->>25Gbaud	256QAM	>200G	>200m	5~ 10mw	ヘテロダイン または ホモダイン (FMDB)

#### 研究開発項目1-a) 超低雑音送信システム

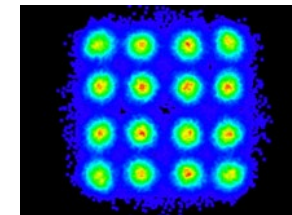
・項目2で開発された光源のプロトタイプとUTC-PDを組み合わせ、多値変調時において、左記の性能を実現するに十分な強度雑音性能の送信システムを開発し、また今後の性能向上に向けた課題を明らかにした。

#### 研究開発項目1-b) 超低雑音送信システム

・ホモダイン受信方式、ヘテロダイン受信方式の双方の受信器を開発しまた、両方式で光LO信号駆動型の受信器の検討を行った。項目2で開発中のブリルアン光源を用いた送信器とヘテロダイン受信器(電気LO駆動型)により、16QAMで140Gbit/s(今年度目標値)を達成した。  
 ・送受信器の双方にブリルアン光源を用いた、世界初の全光駆型の無線通信システムを構築し、80Gbit/sまでの性能を実証した。  
 ・項目4で開発されたFMDB検出器により、OOKで32Gbit/s(従来20Gbit/s)のエラーフリー伝送に成功するなど、大幅な性能向上を実証した。



300GHz帯128QAM (14Gbit/s) の受信コンスタレーション



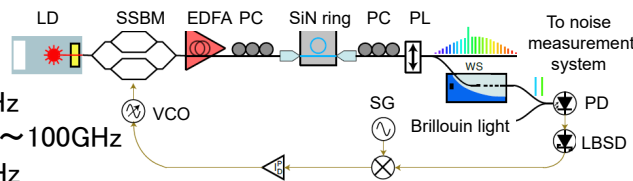
300GHz帯16QAM(140Gbit/s) の受信コンスタレーション

## 研究開発項目2 光源技術の開発(2022年4月~2023年3月)

## 研究開発項目2-a)-② 通信用ラボセットアップ用マイクロ光コム発振器プロトタイプ製作

## &lt;目標スペック&gt;

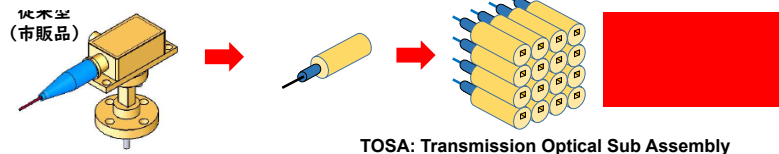
キャリア周波数:300GHz  
周波数可変幅: 100Hz~100GHz  
位相雑音: -110dBc/Hz  
光出力 >100mW  
実験室レベルで使用可能な状態



## 研究開発項目2-a)-③ 周波数可変超低雑音マイクロ光コム発振器の原理実証

274/300GHz帯で動作するマイクロ光コム発振器の設計・製作  
マイクロ光コム発振器素子を単一基板上に集積する要素技術の構築、および試作・評価

## 研究開発項目3 送信フロントエンド技術の開発(2022年4月~2023年3月)



TOSA: Transmission Optical Sub Assembly

## 研究開発項目3-a) 高出力フォトダイオード

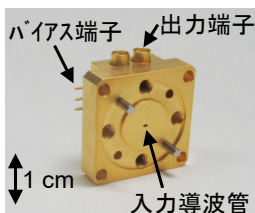
SiC上UTC-PDによりの300GHz帯テラヘルツ波出力1mWを実現。従来型モジュール比1/4の体積の300GHz帯同軸型導波管モジュールを実現。

## 研究開発項目3-b) 広帯域3次元アレー型アンテナ

4×4の3次元アレー型アンテナを実現し、16台のテラヘルツTOSAからの出力を電力合波し、高出力化と共にビームステアリング機能を実現する。

## 研究開発項目4 受信フロントエンド技術の開発(2022年4月~2023年3月)

研究開発項目4-a) 高感度テラヘルツ波検出器  
InP系及びSiC系プロセスを完了させ、素子改良指針の抽出と検出器の特性検証を行う。また試作したモジュールをシステム検討に提供する。さらに、評価系の構築、次期試作の準備、及びI/Q受信器の予備検討も進める。



## 研究開発項目2-a)-② 通信用ラボセットアップ用マイクロ光コム発振器プロトタイプ製作

19インチラックに搭載した可搬型プロトタイプ機を開発した。(下記の性能)ブリルアン発振器を大阪大学での通信実験に投入し、実機評価中。

項目	マイクロ光コム発振器	ブリルアン発振器
キャリア周波数	311GHz	300GHz
周波数可変幅	数MHz	±30GHz
位相雑音	-90dBc/Hz	-120dBc/Hz
出力パワー	100mW	200mW
サイズ等	19インチラック 2台で構成	19インチラック 1台で構成



## 研究開発項目2-a)-③ 周波数可変超低雑音マイクロ光コム発振器の原理実証

274/300GHz帯マイクロ光コム共振器を設計・試作し動作を確認した。  
複数周波数素子を単一基板上に集積するプロセス開発を行った。

## 研究開発項目3-a) 高出力フォトダイオード

UTC-PDをウエハ接合技術を用いてSiC上に作製することに成功した。  
従来型モジュール比1/4の体積の300GHz帯UTC-PD TOSA用同軸型導波管モジュール部材作製を完了した。

## 研究開発項目3-b) 広帯域3次元アレー型アンテナ

広帯域型3次元アレー型アンテナ作製時に、めっきが必要であり、めっき温度が60℃以上である。その為、樹脂製アンテナ構造の熱膨張が大きい  
ため、高温時に破損する問題が顕在化した。この問題を構造の最適化によって解決し、樹脂製導波管内部表面へのめっきができることを確認した。

## 研究開発項目4-a) 高感度テラヘルツ波検出器

検出器モジュールの特性改良に向け、新たに設計・試作・評価を実施した結果、基本波ミキシングにおける中間周波数(IF)の3dB帯域として、従来の結果(26GHz)を大幅に上回る39GHzを達成した。また、システム検討用のモジュール提供も行った。さらに、I/Q受信器の実現に向け、基本要素であるバランス型ミキサの試作も行い、基本動作を確認した。

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
2 (2)	0 (0)	4 (4)	61 (48)	0 (0)	0 (0)	0 (0)	6 (6)

※成果数は累計件数、( )内は当該年度の件数です。

<第1回運営委員会を実施>

本研究開発の目標や進め方等について、外部有識者からの意見や指導を仰ぐことを目的として、ステージゲートまでの成果を踏まえ、第1回運営委員会を大阪大学において開催した。日時:12月23日14時~17時30分(見学会含む)、参加者:外部有識は11名、研究実施者:12名

<Beyond 5G の車社会へのユースケース調査を実施>

目的:モビリティ分野におけるBeyond 5G のユースケースを調査し、研究開発成果の同分野への適用性や有用性を明らかにする。  
狙い:事前の文献調査により、モビリティ分野においては、Beyond 5Gの応用が未だ産業界において広く顕在化しておらず、仮説に留まることが予想されることからV2X/ITS分野の外部有識者を交えたワークショップによる討論ベースの調査を行い、モビリティ分野におけるBeyond 5Gユースケースの創出を狙う。  
期間:12月:企画、1月~2月:調査検討会、3月1日:調査報告会

<招待講演・依頼講演 計14件>

国内外の会議で多くの招待講演、依頼講演を行った。件数:14件(昨年度からの累計22件)

<学生・若手研究者の受賞 計6件>

学生や若手研究者の積極的な研究発表により、国内外から多くの賞(論文賞を含む6件)を受けた。

5. 今後の研究開発計画

300GHz帯を使用し、RF帯域: 30GHz~40GHz、ベースバンド帯域: 15GHz~20GHz、IF帯域(ヘテロダイン方式の場合): 30GHz~40GHzにおいて、変調方式32QAM~256QAMで、シングルチャネルあたりの伝送速度を段階的に増加させ、最終的に200Gbit/sを達成する。さらに、送信電力の増加、受信器(FMBD)の高感度化、アンテナの高利得化を図り、通信距離として200mを達成する。

これらを実現するための要素技術の開発として、送受信システムにおける非線形性の補償、光源の小型化と長期安定化、フォトダイオードの高出力化、同アレーによる電力合成、高利得アンテナのビーム位置決め技術の開発、受信器の小型化(I/Q受信器化)の検討等を進める。