

先端国際共同研究推進事業
2023 年度採択

Top 研究者のための ASPIRE
通信分野

2023 年度～2024 年度
年次報告書 公開版

研究課題名	マルチフィジックス ICT システムデザイン
日本側研究代表者	川西哲也 早稲田大学 教授
相手側研究代表者	Thomas Kürner ブラウンシュバイク工科大学 教授
研究期間	2024 年 2 月 1 日～2029 年 3 月 31 日

1. 研究成果の概要

① 研究構想にかかる成果

<実施したこと>

劣悪な気象条件下でも高い安定性を維持する伝送システムの実現を目指し、測定環境の整備および基本的なモデル構築を開始した。具体的には、テラヘルツ通信で使用する周波数範囲として 500GHz 程度までを対象としたが、今年度は特に 300GHz 帯に注力した。

次に、マルチフィジックス解析に必要となる実環境でのデータ取得を目的として、環境整備を進めた。具体的には、早稲田大学内に設置された連続運転可能な 300GHz 帯無線伝送装置を国内外から利用できるように装置の整備を行った。さらに、個々のテラヘルツ無線回線が断となる状況においてもネットワーク全体としての信頼性を確保する手法や、高利得アンテナを対象に、制御された環境において人為的に与えられる振動の放射パターンへの影響を近傍界計測から推定する手法の開発に着手した。

また、マルチモードファイバ伝送については、無線システムで使用されている信号処理手法を応用し、劣悪な環境下でも 100Gbps の伝送を実現することを目指した。さらに、マルチモード光ファイバの振動環境下におけるモード雑音・モード変換による出射光分布を、ファイバ出射面の近傍界および遠方界で観測し、エンサークルドフラックスとして評価する手法の開発と評価を進めた。加えて、温度や機械振動の影響に対する特性解析や、マルチフィジックス的なモデル化を推進した。

<得られた成果>

屋外設置テラヘルツ通信装置は降水量、温度、風速などの影響を受けるが、これらの影響を個別に評価するための、基本特性評価や装置の改善を実施した。これまでほとんど行われていなかったテラヘルツ無線装置の温度特性評価や温度安定化を実施した結果、測定精度の向上が実現した。

また、マルチモード光ファイバの振動時におけるモード変化について、車載通信イーサネット規格化団体である OPEN Alliance TC7(Multi-gigabit optical ethernet)内の Requirements for Test Houses subgroup および日本国内の車載ネットワーク技術標準団体 JASPAR 内の次世代高速 LAN ワーキンググループ光物理層サブチームへ提出・報告し、光ハーネス・テストハウスに関する試験仕様の策定に寄与した。

② 国際ネットワーク構築・拡大に関する成果

<実施したこと>

日本側チームのキックオフとなる連絡会議を実施し、その後、対面およびオンラインによる会議や打合せを重ね、国際ネットワーク構築に向けた意見交換や企画の検討を進めた。

ドイツとの連携に関しては、ブラウンシュバイク工科大学を訪問し、THz 通信のシミュレーションシステムの空間光通信への適用可能性について議論を行った。さらに、ベルリンで開催された国際会議に参加し、THz および光通信に関する最新の情報収集を行うとともに、フラウンホーファーHHI 研究所を訪問して連携の可能性について協議した。また、オーストラリアで開催されたミリ波・テラヘルツ波関連のフラッグシップ国際会議の一つに出席し、ブラウンシュバイク工科大学の研究者と、いくつかのテーマに関する共同研究の可能性について議論を行った。

その他、Springer 社より“Handbook of Radio and Optical Networks Convergence”を出版した。本書は、拠点代表者の編集のもと、日本側および海外側チームの多数の研究者が執筆を担当し、共同研究の成果や本研究課題の提案に至るまでの活動をまとめたものである。本書の成果発信の一環として、3 月には海外側チームのメンバーや各国の専門家を招聘し、当該テーマに関するシンポジウム(*)を開催した。

(*)シンポジウム「無線および光ネットワークの融合：実用化への期待と課題」

<https://aspire.w.waseda.jp/ja/304/>

学会参加のために訪米した機会を活用し、北米との連携強化を図った。Rod Waterhouse 博士 (Octane Wireless) を訪問して意見交換を行った。また、南カリフォルニア大学の Alan Willner 教授とは、

空間光通信における大気揺らぎの影響について議論を行い、共同研究を開始することとなった。

さらに、国際会議への出席に合わせて英国アストン大学を訪問し、協力関係の構築について議論を行ったほか、ベトナムで開催された IEC TC103 の標準化会議に参加し、標準化に関する議論を進めた。

<得られた成果>

ブラウンシュバイク工科大学の研究者である Bo Kum Jung 氏との 2 度にわたる打ち合わせを通じ、ゲリラ豪雨時の回線稼働率向上を可能にするネットワーク構成の検討を、連携して実施することが決まった。

Springer Handbook の編纂作業は ASPIRE プロジェクトの開始以前から進められていたが、セクションエディタの多くが ASPIRE プロジェクト関係者であったことから、プロジェクト開始後に作業が加速し、ようやく出版にこぎつけたものである。本書の編纂作業と、それに関連するシンポジウムの開催を通じて、今後の国際共同研究のベースとなる強固な人的ネットワークを構築することができた。これは、Handbook の編纂作業そのものが国際頭脳循環に貢献することを示している。

シンポジウムのパネルディスカッションでは、無線および光ネットワーク融合技術の社会実装に向けた多角的な課題が議論され、今後の技術開発において国際的な協力が不可欠であることが確認された。また、パネリストの豊富な経験を基に、学生や若手研究者に対する期待や、研究やキャリアにおける貴重なアドバイスが共有された。

共同研究を視野に入れている南カリフォルニア大学との共同実験では、空間光通信にける空気の乱流の影響に関する基礎データを得ることができた。

③ 国際頭脳循環の促進に資する若手研究者の人材育成に関する成果

<実施したこと>

早稲田大学、岐阜大学、名古屋工科大学の研究者および学生（計 10 名）がドイツのブラウンシュバイク工科大学とシュツットガルト大学を訪問した。この訪問では、両国の大学院生が研究活動の内容をプレゼンテーションし、緊密なディスカッションが行われ、共同研究の進め方についても協議を行った。若手研究者交流を通じて、日本側の学生にも大きな刺激が与えられ、研究への意欲向上が見られた。その後、PTB（ドイツ国立計量研究所）を訪問し、今後の連携について議論を深めた。

また、ブラウンシュバイク工科大学の博士課程学生が早稲田大学に短期滞在し、若手研究者（助手）や大学院生との意見交換を実施した。来年度には、この学生が早稲田大学のリサーチ・フェローとして 3 か月間滞在し、共同研究を進める予定である。

シンポジウムに招聘した海外側チームのメンバーや各国の専門家は、日本側チームの各機関（早稲田大学、千葉工業大学、岐阜大学、名古屋工業大学、NICT）を訪問し、各機関の学生や若手研究者に対してプレゼンテーションや議論を行い、最新の研究動向や技術課題について直接意見を交わし、異なる研究文化や手法に触れる機会を提供した。

<得られた成果>

ドイツを訪問した学生のうち、博士課程進学を予定している 1 名は、シュツットガルト大学のテラヘルツ帯デバイス評価技術に深く感銘を受け、長期滞在を強く希望するようになった。他の学生も自身の修士論文の内容をレター論文として発表し、国内外から参照できる形で出版したいという意欲を持つに至った。

シンポジウムの開催は、各国の研究者と学生、若手研究者が交流し、専門的な知見を共有するとともに、参加者の国際的な視野を広げる貴重な機会となった。シンポジウム後、千葉工業大学で実施した招聘者向けの見学会では、テラヘルツ電波伝搬評価設備の動態展示を行い、参加者に具体的な研究内容への理解を促すとともに、2025 年度以降の共同研究に関する具体的な議論を行った。特に、同大学に滞在予定のブラウンシュバイク工科大学の博士課程学生との共同研究に関する詳細な議論は、若手研究者に対して国際的な研究協力の具体的な形を示し、国際的な研究活動への積極的な参画を後押しした。

2. 研究実施体制

研究テーマ	中心となる研究者氏名	所属機関 役職名
研究テーマ1	川西 哲也	早稲田大学 教授
	枚田 明彦	千葉工業大学 教授
	Fabian Thome	ブラウンホーファー 研究員
	Thomas Kürner	ブラウンシュバイク工科大学 教授
	Guillaume Ducournau	リール大学 教授
研究テーマ2	久武 信太郎	岐阜大学 教授
	Thomas Kürner	ブラウンシュバイク工科大学 教授
研究テーマ3	菅野 敦史	名古屋工業大学 教授
	赤羽 浩一	情報通信研究機構 室長
	Ingmar Kallfass	シュツットガルト大学 教授

3. 代表的な業績（原著論文、プレスリリース、表彰など）

■プレスリリース

- ・ 屋外設置型 IEEE802.15.3d テラヘルツ通信装置の開発に成功（2024 年 3 月 4 日）
<https://www.waseda.jp/inst/research/news/76745>
- ・ テラヘルツ帯に対応した無線通信システムを試作し、95GHz 帯を用いた長距離・大容量伝送に成功（2025 年 3 月 11 日）
<https://www.waseda.jp/inst/research/news/80033>

■原著論文

- ・ THz Communications and the Demonstration in the ThoR-Backhaul Link, Thomas Kürner, Ralf-Peter Braun, Guillaume Ducournau, Uwe Hellrung, Akihiko Hirata, Shintaro Hisatake, Laurenz John, Bo Kum Jung, Ingmar Kallfass, Tetsuya Kawanishi, Keitarou Kondou, Yigal Leiba, Bruce Napier, Ran Timar, Alexandre Renau, Peter Schlegel, Pascal Szriftgiser, Axel Tessmann, and Dominik Wrana, IEEE Transactions on Terahertz Science and Technology, vol. 14, no. 5, pp. 554-567, Sept. 2024"
- ・ Yaofeng Yi, Toshimasa Umezawa, Kouichi Akahane, Tetsuya Kawanishi, "Thermal Study for High-Photocurrent Photodetector in Non-Saturation Region Using Thin Substrate, Thin Absorber, and Flip-Chip Bonding Process," IEEE Access, vol. 12, pp. 56414-56421, 2024
- ・ 吉野理玖,朝倉義秀,吉田利哉,大塚新,金谷智彦,チャカロタイジエドヴィスノブ,実野邦久,川西哲也,「ミリ波・テラヘルツ波における散乱測定システム及び確率汎関数法による理論解析」,電子情報通信学会論文誌 C Vol.J107-C No.12 pp.366-373 ©一般社団法人電子情報通信学会 2024

■書籍

- ・ Handbook of Radio and Optical Networks Convergence ISBN-13 978-9819722815

■受賞

- ・ 第 69 回前島密賞受賞（2024 年 4 月 11 日 梅沢 俊匡 他 4 名）

- ・ 電子情報通信学会エレクトロニクスソサイエティ エレクトロニクスソサイエティ賞（2024 年 9 月 26 日 菅野 敦史 他 3 名）
- ・ IEEE CAMA2024 論文賞受賞（IEEE AP-S Industrial Engineering Paper Award on Antenna Measurements and Applications）（2024 年 10 月 11 日 梅沢 俊匡 他 4 名）
- ・ 2024 年度早稲田大学リサーチアワード（独創的研究推進）受賞（2025 年 3 月 19 日 川西 哲也 他 5 名）