

令和 5 年 6 月 30 日現在

機関番号：20106

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2020～2022

課題番号：20H04178

研究課題名(和文) 無線リレーとPONによって構成される適応的C-RAN

研究課題名(英文) Adaptive C-RAN configuration by combined wireless relay and passive optical network

研究代表者

吉本 直人 (Naoto, Yoshimoto)

公立千歳科学技術大学・理工学部・教授

研究者番号：60619550

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 13,900,000円

研究成果の概要(和文)：提案する適応的C-RANは、多段(マルチホップ)無線リレーによる無線フロントホールネットワークと光アクセス方式PON(Passive Optical Network)によるミッドホールネットワークから構成されている。無線ならびにPONにおける帯域利用効率向上のため、各々において同一チャネル内複数リンク間の干渉抑圧手法を新たに提案しその有効性を実証した。また、動的リソース制御では、エッジAIにおける処理量が增大した場合や、自動車やドローンなど移動可能なRU(Radio Unit)が増大した場合においても、フロントホールの低遅延要求とミッドホールの大容量転送が両立可能であることを示した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究では、来るべき6G時代を想定し適応的C-RANのコンセプトを提案した。具体的には、これまで未検討であった無線フロントホールを実現する転送技術を提案・実証するとともに、PONによって構成されたミッドホールとの接続性も含めて光・無線統合ネットワークの視点で全体の帯域利用効率ならびに動的帯域制御技術を提案・実証した点で独自性および創造性の高い取り組みであり学術的意義は大きい。また、今後はRUにおけるAIを活用した大容量な帯域需要や、自動車やドローンに搭載された移動可能なRUによる帯域需要などが想定され、時空間的な需要変動に応じた適応的なネットワーク配備を実現する本提案技術は社会的意義も大きい。

研究成果の概要(英文)：The proposed adaptive C-RAN consists of a wireless front-haul network using multi-hop wireless relays and a mid-haul network using an optical access system PON (Passive Optical Network). In order to improve bandwidth utilization efficiency in wireless and PON, we proposed new interference suppression methods between multiple links in the same channel and showed its feasibility. In dynamic bandwidth assignment control, even when the amount of processing at the edge AI increases, or when the number of movable RUs (Radio Units) such as automobiles and drones increase, we showed that both the low-delay requirement of the front-haul and the high-capacity transmission of the mid-haul are compatible.

研究分野：情報通信

キーワード：光無線統合ネットワーク PONミッドホール 無線フロントホール 動的帯域制御 干渉抑圧制御 TWDM-PON エッジコンピューティング 光カメラ通信

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属します。

1. 研究開始当初の背景

第5世代移動通信 (5G) サービスの提供開始や IoT (Internet of Things) の普及により、今後モバイルトラフィックは増大を続けていくことが予想されている。学術的には6Gに向けた検討が既に始まるなど、モバイルネットワークの高速化への取り組みが進んでいる。増大するモバイルトラフィックへの課題に対して、これまでトラフィックの変動に追従して再構成する適応的ネットワークが提案されてきた。今後、基地局がより高密度・多数配置されることを考慮すると、トラフィックの時空間的な変動が顕著化し、従来の固定的な基地局展開によるモバイルネットワークでは設備効率悪化やサービス品質低下といった課題が生じてくることが考えられる。トラフィックの時空間変動に効率的に対応可能なネットワークの実現は、社会全体としての環境負荷低減という観点でも重要な課題である。

近年におけるモバイルネットワークではC-RAN (Centralized Radio Access Network)構成が主流であり、基地局機能が CU (Central Unit), DU (Distributed Unit), RU (Radio Unit) に分割配備されている。C-RAN 構成において、CU-DU 間のリンクはミッドホール、DU-RU 間リンクはフロントホールと呼ばれる。ミッドホールは新しい概念であり従来の RAN には該当リンクは存在しなかったが、各リンクに大容量のデータ転送が求められる。そのため、ミッドホールの効率的な構成法の確立は喫緊の課題と言える。一方、フロントホールには高い低遅延性が求められ、要求条件として $\leq 100 \mu s$ のような数百マイクロ秒オーダーの値が規定されている。RU の効率的な高密度配置に向けて、Passive Optical Network (PON)を用いたネットワーク化と、低遅延転送技術の研究が進められてきた。さらにフロントホールの無線化により、コスト低減と柔軟なエリア拡張やルート変更が可能になると期待されている。しかしながら、フロントホールについてはこれまでに様々な構成が提案されている一方で、高い効率性が期待される無線中継(リレー)方式については、まだ十分な検討がなされていなかった。特に、その実現に向けてはリンク間干渉による伝送誤りの低減など無線転送上の課題が多かった。またミッドホールに関しては、PONによるネットワーク化に向けた検討はほとんど行われていなかった。以上から、無線フロントホールおよびネットワーク化されたミッドホールからなる適応的なC-RAN アーキテクチャの確立は、社会的意義の大きい重要な学術的課題であった。

2. 研究の目的

本研究では、6G に向けた適応的 C-RAN のコンセプト確立と実証を目的とする。提案する適応的 C-RAN のコンセプトを図1に示す。多段 (マルチホップ) 無線リレーによるフロントホールネットワークと、PONにより構成されるミッドホールネットワークからなる。さらに自動車やドローンに搭載された移動可能な RU (図 1b) を活用することで、需要変動に応じた適応的なネットワーク配備を実現する。本研究では適応的 C-RAN を実現するための具体的なテーマとして、(A)フロントホールの低遅延要求とミッドホールの大容量転送とを両立可能な、光・無線統合ネットワークの動的リソース制御および、(B)無線フロントホールを実現するためのビームフォーミング等によるトラフィック転送技術の確立を目的とする。

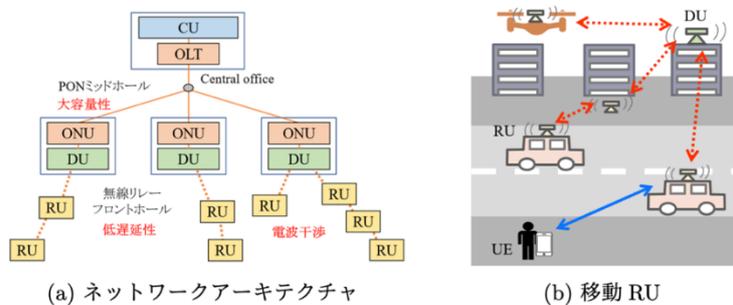


図1 適応的 C-RAN のコンセプト

3. 研究の方法

(1) PON ミッドホールにおける動的リソース制御

1-1. フロントホール/ミッドホールのリンク状態を考慮した動的リソース制御技術の確立

従来の C-RAN において、CU, DU 及び RU の配置が一度決まると、これらは固定局であったため、一定の伝送容量を持つ光リンクを用意するだけで対応が可能だった。しかしながら、移動型 RU と DU のフレキシブルな接続を可能にするためにはフロントホールの構成を適応的に変更する必要がある。本研究では、PON ミッドホールの要求帯域及び頑健性への要求も最適解を求める際の制約条件に考慮した適応的なリソース制御技術の検討を行った。具体的には、PON ミッドホールの帯域に対して、一定以上の接続要求を常時受け付けられるようなリンク設計を行い、遅延の低減化を図った。これらのリソース制御は、DU の移動に合わせて、動的に計算する必要があるため、準最適解を求めるヒューリスティックな解法や直前のリンク状態などの事前情報を活用した機械学習およびカルマンフィルタを用いた最適化手法の適用について検討を行った。

1-2. PON ミッドホールにおける波長利用効率

PON ミッドホールでは、大容量な帯域を提供する必要があるため、波長分割多重型 PON (WDM-PON) の適用が有力である。WDM-PON では、各 ONU および上下リンクに異なる波長を割り当てることで、仮想的に独立した光パスを構築可能である。しかしながら、ONU 数の2倍だけ異波長のレーザが必要となるため、PON の利点である経済性の高さを損なってしまう。そこで、この課題を解決するために、波長リソースの節約が可能な技術の検討を行った。具体的

は、非直交多元接続技術を用いて、光パス間の直交関係を崩し、波長共用を行い、干渉抑圧を実施する技術の検討を行った。さらには、光ファイバ伝送路のチャネル推定が比較的容易なことを利用し、非直交多元接続を行う光パスの数を増大させ、干渉を逐次的に抑圧する手法の検討を行った。

(2) 無線フロントホール

移動型の DU を考慮すると、従来の固定型ネットワークとは異なり、DU-RU 間の接続構成は動的に変化する。無線フロントホールリンクは、RU-ユーザ間とは異なる周波数帯、特に広帯域を利用可能な高周波数帯を用いることが有効である。さらに、100 素子規模のアレーアンテナによる高利得のビーム形成により安定した回線を確立することが重要となる。一方、複数の無線フロントホールリンクが確立された場合のリンク間の干渉の影響については未検討であったため、本研究ではこの解明に着手した。一般的に、同一チャネル干渉抑圧は複数のアンテナを用いて実現することが可能である。事前に伝搬路に関する振幅や位相等の情報 (Channel State Information, CSI) を取得し、これを用いて干渉がキャンセルされるようにアンテナ間での振幅や位相を重みとして与える。しかし、チャネル情報を事前に取得するには、送受信間で既知である参照信号の送信が、通信効率を低下させるオーバーヘッドとなる。また、到来信号ごとに異なる参照信号を用意する点にも物理的な上限がある。

RU から DU への上りリンクでは、適応干渉除去技術として参照信号を必要としないブラインドアダプティブアレー (Blind Adaptive Array, BAA) を用いた手法を応用した。具体的には、希望/干渉信号の電力比 (Signal-to-Interference power Ratio, SIR) や到来波数等によってその効果が異なるため、複数の無線フロントホールリンク構築時における干渉の状況を定量的に把握するとともに、所要の伝送性能(干渉抑圧効果)を満たすための条件(DU アンテナ数, 配置数)の検討を行った。

一方、DU から RU への下りリンクでは、前述の BAA により導出したウェイトを適用することでそれぞれの RU への干渉を除去することができる。このとき、それぞれの DU 及び RU における送信時刻や搬送波周波数は正確に同期している必要がある。特に、RU における同期については無線フロントホールリンクを通して実現する必要がある。そこで、これまで提案してきた PON におけるタイムスタンプを用いた時刻同期手法を応用し、無線通信に特化した同期プロトコルの設計やタイムスタンプの重畳方法の検討を行った。最終的に、コンセプト実証として RU の移動環境における屋外伝送実験を行い、スループット特性や干渉の影響の評価した。

4. 研究成果

(1) PON ミッドホールにおける波長利用効率の向上

PON システムでは、上下リンクで異なる波長を用いる波長分割多重方式(WDM)と各リンクで時分割分割多重方式(TDM)を適用している。この物理層における波長リソースの効率化に関して、仮想的に独立した光パスを形成可能な非直交多重方式の適用性を検討した。対向する上下リンクに関して、同一波長を用いることによって収容効率を2倍に拡大できる「一波長双方向通信方式」では、課題となっていた反射光による干渉を抑圧するアルゴリズムを新たに開発し、その有効性を実証した(図2)。一方、同一方向のリンクに関しては、同一波長を用いることで収容効率を2倍に拡大できる「電力多重型非直交多元接続方式」では、時空間領域等化器に逐次干渉抑圧(Successive interference cancellation)機能を新たに開発し(図3)、原理確認実験を実施した結果、これら2つの技術を組み合わせることによって、波長利用効率を4倍向上できることを示した。

また、更なる波長リソースの効率化を図るため、本提案技術を光メトロネットワークにも拡張し、光アクセスネットワークと融合を図ることによって、波長利用効率率が70%程度の改善可能であることを示した。

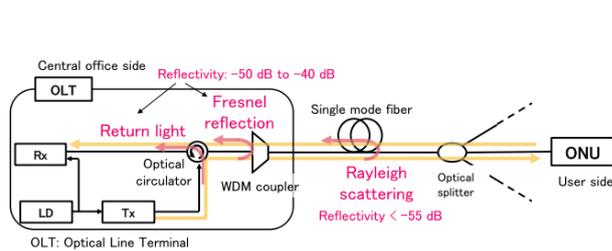


図2 一波長双方向通信方式の概要

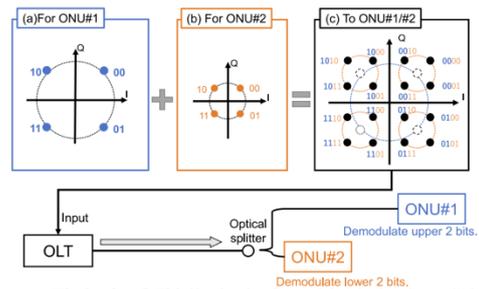


図3 電力多重型非直交多元接続方式の概要

(2) PON ミッドホールにおけるエッジコンピューティング向け動的リソース制御技術

移動型 RU が存在しない場合、検討する PON ミッドホールとして、時間と波長のリソースを同時に活用することが可能な TWDM-PON (Time and Wavelength Division multiplexing PON) を検討対象とした。TWDM-PON に接続された ONU 配下に多数の Web カメラを設置した。この Web カメラによって撮影された映像を、GPU を用いたエッジ AI によって画像の物体検出を行い、この結果を CU に転送する。この構成に対する動的リソース制御技術に関して、画像データを低遅延に CU にバースト到着させるメディアアクセスコントロール (MAC) を有したシステムを提案した(図4)。特に、GPU を用いたエッジ AI による画像の物体検出は、バッチサイズ増大による効率性の向上が指摘される一方で、大量の画像データをバッチ到着させる際には、ネットワーク輻輳による遅延増大が課題となる点に新たに着目した。映像伝送量の削減を目的とし、路側機の固定カメラの背景映像の差分化手法を提案したエラー! 参照元が見つかりません。また、エッジサーバのバッチサイズ増大による計算効率の向上と、リアルタイムでの物体検出を実現す

る低遅延のデータ伝送の両立を目的とした新たな波長帯域割り当てアルゴリズムを提案した(図5). 提案アルゴリズムの性能をシミュレーションによって測定し, 代表的な帯域割り当てアルゴリズムである IPACT と比較した. その結果, 提案手法を用いた場合, IPACT と比較して大幅に遅延を低減可能であることを明らかにした. これは, 提案手法では各 ONU を適切なグループに割り当てることで, エッジサーバでの処理待ち時間を低減可能なためである.

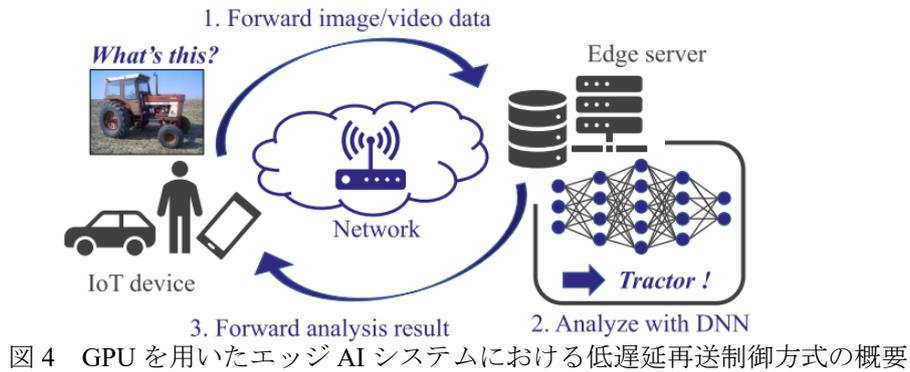


図4 GPUを用いたエッジAIシステムにおける低遅延再送制御方式の概要

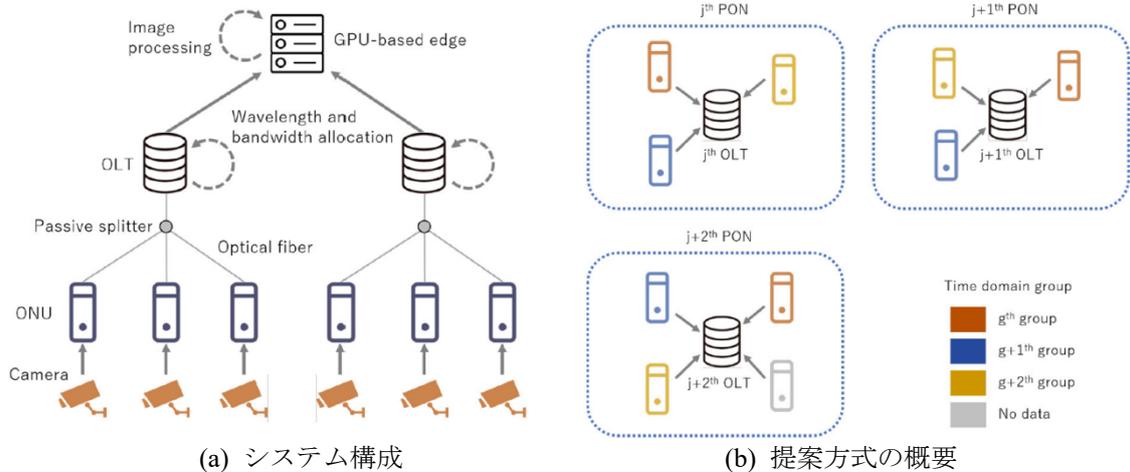


図5 GPUエッジによるPONの低遅延波長帯域割り当て方式の概要

(3) PON ミッドホールにおける移動型RUに対応した動的リソース制御技術

移動型RUが存在する場合のPONミッドホールとして, 前述のTWDM-PONをベースとして, RUとして光ファイバ接続された自律移動ロボットやドローンを用いた実証実験を行い, 時空間的なリソース変動に対しても提案した波長帯域割り当てアルゴリズムの有用性を確認した.

(4) 無線リレー方式のリンク間干渉抑圧技術

無線リレー方式による無線フロントホールを実現するため, 同一チャネルを用いた複数リンク間の干渉抑圧手法について検討を行った. 特長的な点は, オーバーヘッド削減の観点からトレーニング等の既知情報を不要とする適応アルゴリズムによる干渉抑圧手法を選択した. この手法は, 干渉レベルによって適用すべきものが異なることから, 干渉レベルの推定手法として深層学習の応用を提案し, その有効性を確認した. さらに, 干渉レベルに依存することなく適応アルゴリズムを適切に動作可能とする時間領域シンボル拡散(TISS)を提案した(図6). 送信信号に拡散系列を時間方向に重畳し, 受信側において逆拡散することにより干渉信号の統計的性質を改変した. これにより SIR が-10dB以上の領域において良好な干渉抑圧効果を確認した. 加えて, 自律的移動RU向けリンク間干渉除去のためのアダプティブアレー適応干渉除去手法について, Massive MIMO等の適用による性能改善を実現した. 特に移動環境では伝搬路が時間的に変動することから干渉除去性能は劣化する. 最終的にはこの点に着目し, 移動環境における Massive MIMO 伝送手法としてマルチ空間拡張方式(図7)や TISS の有効性検証及び改良を行った. また送受信局ともに多数のアンテナを具備し, 双方に対してビームフォーミングを行うことにより安定的に適応干渉除去が機能することも明らかにした.

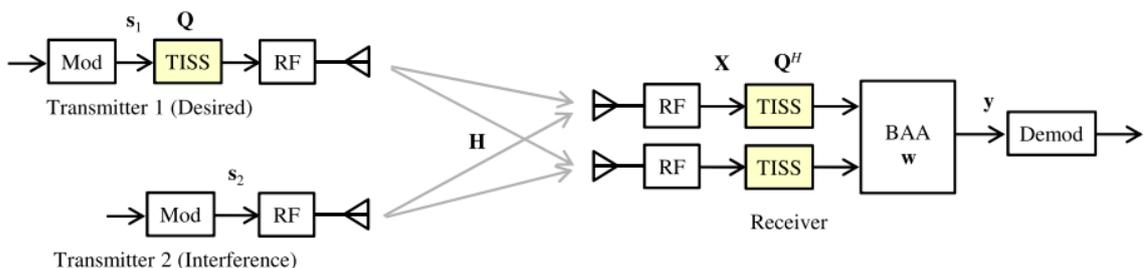
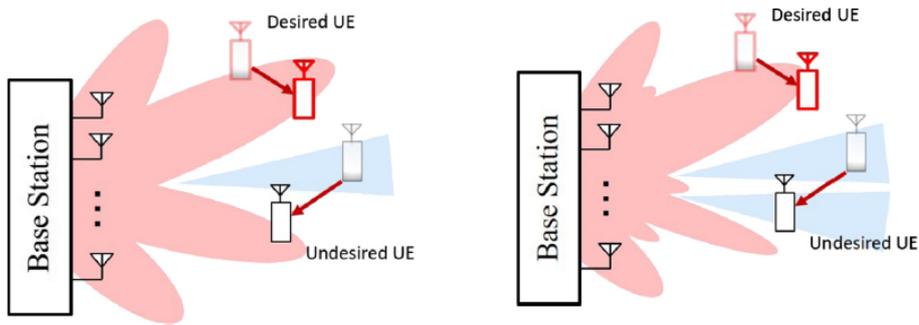


図6 時間領域シンボル拡散を用いた適応干渉除去方式の概要



(a) 従来の空間多重伝送によるビームパターン (b) ノル空間拡張によるビームパターン

図7 移動環境に耐性のある Massive MIMO 伝送手法

(5) 無線フロントホールのカバレッジ拡張に向けた可視光無線通信の適用

無線フロントホールのカバレッジ拡張・高密度化に対して、新たにライセンスフリーで活用が可能で、かつ既存周波数帯との電波干渉の無い可視光無線通信について着目した。今後広範な利用が想定されるドローンに可視光無線通信機能が搭載し、ドローンを移動 RU とした環境下で。これまでの提案方式の実現性を検証した (図 8)。その一つとして、ディスプレイを送信源、光学カメラを受信機とした光カメラ通信において、移動する送信源を追従可能とする 2 次元シンボルフォーマット並びに当該光源の追従アルゴリズムを提案した。受信処理においては、深層学習に基づく画像認識により光源を追従しながら、カメラの撮像パラメータを最適化するとともに誤り訂正符号の改良を行い、高い復号性能を実現した。さらに、色相偏移変調 (Color Shift Keying, CSK) の大容量化に取り組み、カメラ撮像処理の最適化及び深層学習を用いた誤り訂正符号の適用により 512 値 CSK を実現し、世界記録を更新した (図 9)。

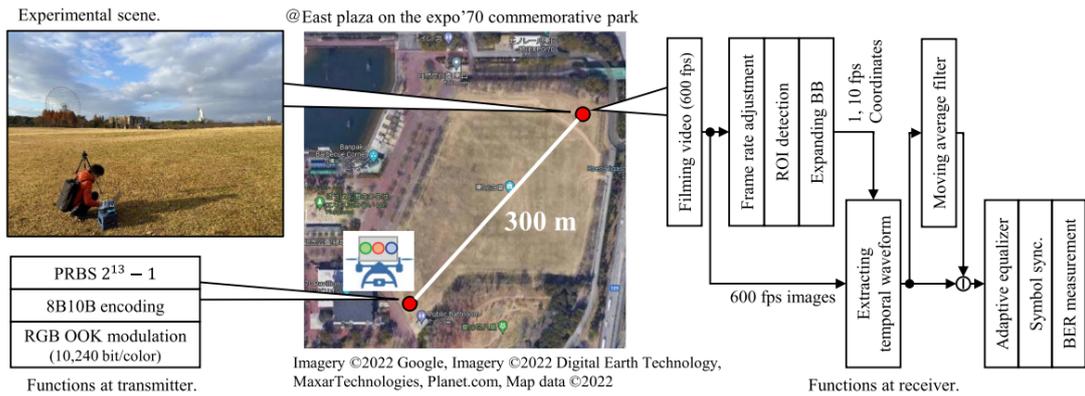


図8 長距離可視光通信実験の概要

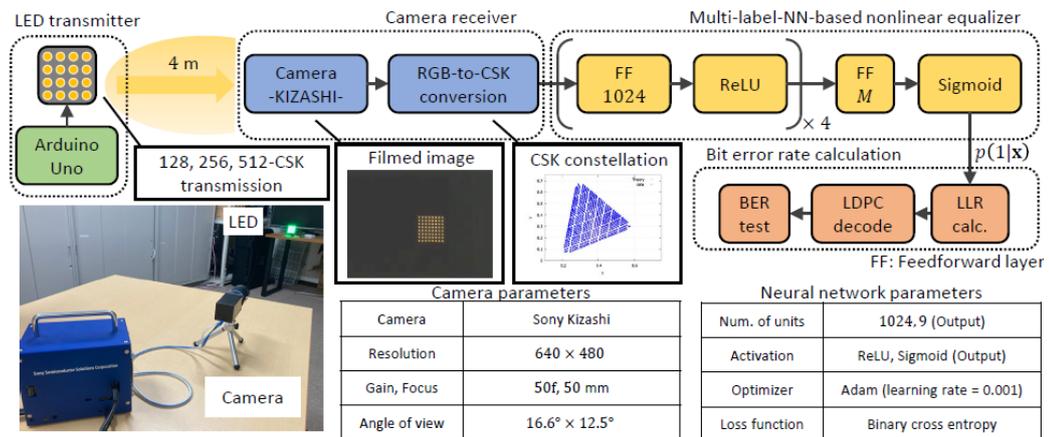


図9 512CSK 伝送実験の概要

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計21件（うち査読付論文 17件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 6件）

1. 著者名 Yu Nakayama, Yukito Onodera, Anh Hoang Ngoc Nguyen, Yuko Hara-Azumi	4. 巻 -
2. 論文標題 Real-Time Resource Allocation in Passive Optical Network for Energy-Efficient Inference at GPU-Based Network Edge	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 IEEE Internet of Things Journal	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 Ryota Tsuji, Daisuke Hisano, Hiroki Takano, Yu Nakayama, Ken Mishina, Akihiro Maruta	4. 巻 vol. 13, no. 3
2. 論文標題 Remotely Pumped All-Optical Wavelength Conversion for WDM-PON-based Access-Metro Convergence	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 IEEE Photonics Journal	6. 最初と最後の頁 pp. 1-10
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1109/JPHOT.2021.3071881	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 K. Suzuoki, D. Hisano, S. Shibita, K. Maruta and A. Maruta	4. 巻 vol. 39, no. 19
2. 論文標題 Nonlinear Quantization for Power-Domain Non-Orthogonal Multiple Access Passive Optical Network	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Journal of Lightwave Technology	6. 最初と最後の頁 pp. 6142-6149
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1109/JLT.2021.3095567	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 Asahi Sueyoshi, Ken Mishina, Daisuke Hisano, Akihiro Maruta	4. 巻 11 巻, 5 号
2. 論文標題 Multi-stage adaptive equalization for all-optical-aggregated 16QAM signal	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 IEICE Communications Express	6. 最初と最後の頁 pp. 183-188
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Daisuke Hisano, Hiroki Takano, Mutsuki Nakahara, Kazuki Maruta, Yu Nakayama, Capacity enhancement on optical camera communication with clock divider-mounted multi-cameras	4. 巻 11 巻, 5 号
2. 論文標題 Capacity enhancement on optical camera communication with clock divider-mounted multi-cameras	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 IEICE Communications Express	6. 最初と最後の頁 pp. 216-221
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1587/comex.2022XBL0019	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 K. Maruta	4. 巻 Vol. 16, Issue 1
2. 論文標題 Imperfect CSI Muting with Time-Domain Thresholding for Cooperative Inter-Cell Interference Cancellation	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 IEEE Systems Journal	6. 最初と最後の頁 pp. 1147-1157
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 H. So, and K. Maruta	4. 巻 Vol. 10
2. 論文標題 Sector Design Using Multiband Antenna with Metamaterial Reflector for Cellular UAV System	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 IEEE Access	6. 最初と最後の頁 pp. 4924-4933
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 S. Kojima, H. He, T. Omura, K. Maruta, C-J. Ahn	4. 巻 Vol. 9
2. 論文標題 Generalized Regression Neural Network based Fast Fading Channel Tracking using Frequency-Domain CSI Smoothing	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 IEEE Access	6. 最初と最後の頁 142425-142436
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 S. Kojima, K. Maruta, Y. Feng, C-J. Ahn, V. Tarokh	4. 巻 Vol. 69, Issue 8
2. 論文標題 CNN based Joint SNR and Doppler Shift Classification using Spectrogram Images for Adaptive Modulation and Coding	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 IEEE Transactions on Communications	6. 最初と最後の頁 pp. 5152-5167
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 N. Funaki, K. Maruta, C-J. Ahn	4. 巻 Vol. 114
2. 論文標題 Dimensionality Reduction of Interference Subspace for Multiuser Massive MIMO Null-Space Expansion	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Digital Signal Processing	6. 最初と最後の頁 103063
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 K. Maruta, K. Senoo, D. Hisano, Y. Nakayama, K. Nishimori	4. 巻 Vol. 9
2. 論文標題 Interference Gaussianization: Time-Domain Inter-Symbol Spreading for Blind Adaptive Array Signal Source Identification	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 IEEE Access	6. 最初と最後の頁 pp.89539-89553
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 H. So, K. Maruta	4. 巻 Vol. 9
2. 論文標題 Directional Antenna with Lightweight Metamaterial Reflector for UAV-Based Networks	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 IEEE Access	6. 最初と最後の頁 pp. 78735-78741
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 N. Funaki, K. Maruta, C-J. Ahn	4. 巻 Vol. 10, Issue 6
2. 論文標題 Mobility-Aware Null-Space Expansion for Multiuser Massive MIMO	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 IEICE Communications Express	6. 最初と最後の頁 pp. 324-330
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 K. Arai, K. Maruta, C-J. Ahn	4. 巻 Vol. 10, Issue 5
2. 論文標題 Prediction-Aided Precoding for Multiuser Massive MIMO Null-Space Expansion	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 IEICE Communications Express	6. 最初と最後の頁 pp. 212-218
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 樋口綾乃, 竹下絵莉奈, 久野大介, 井上文彰, 丸田一輝, 原祐子, 中山悠	4. 巻 vol. 121, no. 333, SeM12021-55
2. 論文標題 6Gに向けた水上フロントホールのための水上ノード再配置法	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 電子情報通信学会技術研究報告	6. 最初と最後の頁 pp. 16-18
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 紫尾田将, 久野大介, 三科健, 丸田章博	4. 巻 vol. 121, no. 113, CS2021-19
2. 論文標題 一波長双方向PONにおける干渉抑圧非対称シンボルレート伝送	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 電子情報通信学会技術研究報告	6. 最初と最後の頁 pp. 17-18
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 鈴置皓介, 久野大介, 三科健, 丸田一輝, 丸田章博	4. 巻 vol. 121, no. 113, CS2021-19
2. 論文標題 上りリンク電力多重非直交多元接続型PONに対する逐次干渉キャンセラの提案	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 電子情報通信学会技術研究報告	6. 最初と最後の頁 pp. 21-24
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 中原睦貴, 久野大介, 西村真衣, 西尾理志, 牛久祥孝, 丸田一輝, 中山悠	4. 巻 vol. 121, no. 319, CS2021-69
2. 論文標題 通信トラヒック削減に向けたエッジコンピューティングにおける画像圧縮再送方式	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 電子情報通信学会技術研究報告	6. 最初と最後の頁 pp. 7-12
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Shibita Sho, Hisano Daisuke, Maruta Kazuki, Nakayama Yu, Mishina Ken, Maruta Akihiro	4. 巻 13
2. 論文標題 Optical Reflection Interference Equalization for Single-Wavelength Bidirectional WDM-PON Transmission System	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 IEEE Photonics Journal	6. 最初と最後の頁 1~15
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/JPHOT.2020.3045049	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Arai Kabuto, Maruta Kazuki, Ahn Chang-Jun	4. 巻 8
2. 論文標題 Uplink Null-Space Expansion for Multiuser Massive MIMO in Time-Varying Channels Under Unknown Interference	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 IEEE Access	6. 最初と最後の頁 224292 ~ 224305
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/ACCESS.2020.3044053	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 K. Shima, S. Kojima, K. Ito, K. Maruta, C-J. Ahn	4. 巻 9
2. 論文標題 Adaptive Subcarrier Grouping for MMSE-SMI Adaptive Array Interference Suppression	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 IEEE Acces	6. 最初と最後の頁 18361 ~ 18372
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/ACCESS.2021.3053989	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

[学会発表] 計34件 (うち招待講演 0件 / うち国際学会 17件)

1. 発表者名 Tadashi Kozuno, Daisuke Hisano, Yu Nakayama, Kazuki Maruta
2. 発表標題 Deep Reinforcement Learning for the Optimization of Autonomous 5G Base Station System
3. 学会等名 ICETC (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Hiroyuki Takano, Daisuke Hisano, Mutsuki Nakahara, Kosuke Suzuoki, Kazuki Maruta, Yukito Onodera, Ryo Yaegashi, Yu Nakayama
2. 発表標題 Visible Light Communication on LED-equipped Drone and Object-Detecting Camera for Post-Disaster Monitoring
3. 学会等名 2021 IEEE 93rd Vehicular Technology Conference (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Kosuke Suzuoki, Daisuke Hisano, Ken Mishina, Kazuki Maruta, Akihiro Maruta
2. 発表標題 Demonstration of Asynchronous Successive Interference Canceller for Uplink NOMA-PON
3. 学会等名 The Optical Fiber Communication Conference & Exposition (OFC2021) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Kosuke Suzuki, Daisuke Hisano, Kazuki Maruta, Yoshiaki Inoue, Yuko Hara-Azumi, Yu Nakayama
2. 発表標題 Space-Time-Domain Adaptive Equalizer Employed Successive Interference Cancellation for Underwater Acoustic Communication
3. 学会等名 IEEE 94th Vehicular Technology Conference (VTC-Fall) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Mutsuki Nakahara, Daisuke Hisano, Mai Nishimura, Yoshitaka Ushiku, Kazuki Maruta, Yu Nakayama
2. 発表標題 Retransmission Edge Computing System Conducting Adaptive Image Compression Based on Image Recognition Accuracy
3. 学会等名 IEEE 94th Vehicular Technology Conference (VTC-Fall) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Sho Shibita, Daisuke Hisano, Ken Mishina, Akihiro Maruta
2. 発表標題 Interference-Suppressed Asymmetric Symbol Rate Transmission Over Single-wavelength Bidirectional PON
3. 学会等名 IEEE Photonics Conference (IPC) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 W. Yuan, K. Maruta, Y. Nakayama, D. Hisano, K. Sakaguchi
2. 発表標題 Image Size Reduction by Road-Side Edge Computing for Wireless Relay Transmission and Object Detection
3. 学会等名 Proc. IEEE Consumer Communications & Networking Conference (CCNC 2022) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 久野大介
2. 発表標題 光カメラ通信の研究動向 -ドローンネットワークを中心に-
3. 学会等名 電子情報通信学会ソサイエティ大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 中原睦貴, 久野大介, 西村真衣, 西尾理志, 丸田一輝, 中山悠, 牛久祥孝
2. 発表標題 画像再送制御によるトラヒック削減手法の実験評価
3. 学会等名 電子情報通信学会ソサイエティ大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 高野宏紀, 久野大介, 中原睦貴, 鈴置皓介, 丸田一輝, 中山悠, 吉本直人
2. 発表標題 長距離可視光カメラ通信におけるRGB多重の実験評価
3. 学会等名 電子情報通信学会ソサイエティ大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 鈴置皓介, 久野大介, 丸田一輝, 井上文彰, 原祐子, 中山悠
2. 発表標題 逐次干渉除去を用いた時空間適応等化器の水中音響通信への応用
3. 学会等名 電子情報通信学会ソサイエティ大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 紫尾田将, 久野大介, 中山悠, 丸田一輝, 三科健, 丸田章博
2. 発表標題 波長スワップ型WDM-PON伝送による干渉抑圧効果の評価
3. 学会等名 電子情報通信学会ソサイエティ大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 桑野茂
2. 発表標題 エッジ端末用発振器のホールドオーバー動作でのネットワークベースの周波数オフセット削減
3. 学会等名 電気学会全国大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Shinnosuke Kondo, Kaori Ota, Erina Takeshita, Naoto Yoshimoto, Yu Nakayama
2. 発表標題 Autonomous Tethered Drone Cell for IoT Connectivity in 6G Communications
3. 学会等名 IEEE 95th Vehicular Technology Conference (VTC-Spring) Worksho on ICA (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Ayano Higuchi, Erina Takeshita, Daisuke Hisano, Yoshiaki Inoue, Kazuki Maruta, Takayuki Nishio, Yuko Hara-Azumi, Yu Nakayama
2. 発表標題 Aquatic Fronthaul for Underwater-Ground Communication in 6G Mobile Communications
3. 学会等名 IEEE 95th Vehicular Technology Conference (VTC-Spring) Workshop on TPoC6G (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Yu Nakayama, Yuko Hara-Azumi, Anh Hoang Ngoc Nguyen, Daisuke Hisano, Yoshiaki Inoue, Takayuki Nishio, Kazuki Maruta
2. 発表標題 Real-Time Routing for WirelessRelay Fronthaul with Vehicle-Mounted Radio Units
3. 学会等名 IEEE 91th VehicularTechnology Conference (VTC2020-Spring) (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Kazuki Maruta, Shun Kojima, Chang-Jun Ahn, Daisuke Hisano, Yu Nakayama
2. 発表標題 Blind SIR Estimation by Convolutional Neural Network Using Visualized IQ Constellation
3. 学会等名 Proc. IEEE 91st Vehicular Technology Conference (VTC2020-Spring) (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Sho Shibita, Daisuke Hisano, Kazuki Maruta, Yu Nakayama, Ken Mishina, Akihiro Maruta
2. 発表標題 Impact of Interference on Wavelength-Swapped WDM-PON System
3. 学会等名 IEICE 2020 International Conference on Emerging Technologies for Communications (ICETC) (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Kosuke Suzuki, Daisuke Hisano, Kazuki Maruta, Akihiro Maruta
2. 発表標題 Numerical Demonstration of Successive Interference Canceller for Uplink Power-Domain NOMA-based Coherent PON System
3. 学会等名 IEICE 2020 International Conference on Emerging Technologies for Communications (ICETC) (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Yu Nakayama, Kazuki Maruta
2. 発表標題 Cell Zooming for Green Mobile Networks with Vehicle-Mounted Radio Units
3. 学会等名 IEEE Global Telecommunications Conference (GLOBECOM) (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Kosuke Suzuki, Daisuke Hisano, Sho Shibita, Kazuki Maruta, Akihiro Maruta
2. 発表標題 Experimental Demonstration of Lloyd-Max Algorithm to Quantization Noise Reduction on a Power domain Non-Orthogonal Multiple Access based Coherent PON
3. 学会等名 European Conference and Exhibition on Optical Communication (ECOC2020) (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Yukito Onodera, Yoshiaki Inoue, Daisuke Hisano, Yu Nakayama
2. 発表標題 Real-Time and Energy-Efficient Inference at GPU-Based Network Edge using PON
3. 学会等名 IEEE Consumer Communications & Networking Conference (CCNC) (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Kazuki Maruta, Daisuke Hisano, Yu Nakayama
2. 発表標題 Fast Beam Tracking Algorithm for Wireless Backhaul in Adaptive Vehicular Cell Networks
3. 学会等名 Proc. The 39th IEEE International Conference on Consumer Electronics (ICCE 2021) (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 辻涼太, 久野大介, 三科健, 丸田章博
2. 発表標題 メトロアクセス融合型ネットワークにおける遠隔制御型全光波長変換器の実験的検討
3. 学会等名 電子情報通信学会 無線通信システム研究会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 丸田 一輝, 小島駿, 久野大介, 中山悠
2. 発表標題 深層学習を用いたSIR推定によるブラインドアダプティブアレー干渉抑圧効果
3. 学会等名 電子情報通信学会 通信システム研究会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 中原睦貴, 久野大介, 西村真衣, 牛久祥孝, 丸田一輝, 中山悠
2. 発表標題 画像認識精度に基づいた再送制御による無線エッジコンピューティングにおけるトラヒック削減手法
3. 学会等名 電子情報通信学会 センサネットワークとモバイルインテリジェンス研究専門委員会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 鈴置皓介, 紫尾田 将, 久野 大介, 丸田 一輝, 丸田章博
2. 発表標題 非線形量子化器を適用した下りリンク電力多重非直交多元接続型PONに関する実験的検討
3. 学会等名 電子情報通信学会 通信方式研究会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 高野宏紀, 久野大介, 野尻洸輝, 中原睦貴, 鈴置皓介, 丸田 一輝, 小野寺幸仁, 八重樫遼, 中山悠, 吉本直人
2. 発表標題 ドローンを用いた可視光カメラ長距離通信におけるフィールド実験
3. 学会等名 電子情報通信学会 フォトニックネットワーク研究会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 紫尾田将, 久野大介, 中山悠, 丸田一輝, 三科健, 丸田章博
2. 発表標題 一波長双方向WDM_PON伝送における反射干渉成分の抑圧技術
3. 学会等名 電子情報通信学会 ソサイエティ大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 小野寺幸仁, 井上文 彰, 久野 大介, 中山悠
2. 発表標題 光ネットワークリソース制御によるGPUエッジでの画像処理の効率化
3. 学会等名 電子情報通信学会ソサイエティ大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 小野寺幸仁, 井上文 彰, 久野 大介, 中山悠
2. 発表標題 GPUエッジでの画像処理効率向上に向けた光ネットワークリソース制御
3. 学会等名 FIT2020 第19回情報科学技術フォーラム
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 丸田一輝, 久野大介, 中山悠
2. 発表標題 車載基地局向け無線バックホールのためのビーム追従法
3. 学会等名 電子情報通信学会 革新的無線通信技術に関する横断型研究会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 高野宏紀, 久野大介, 中原睦貴, 鈴置皓介, 丸田一輝, 小野寺幸仁, 八重樫遼, 中山悠
2. 発表標題 LED搭載ドローンと物体検出カメラ間可視光通信における実験評価
3. 学会等名 電子情報通信学会 総合大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 桑野茂
2. 発表標題 エッジ端末用低コスト発振器のホールドオーバー動作に関する一検討
3. 学会等名 電気学会 全国大会
4. 発表年 2021年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究分担者	桑野 茂 (Kuwano Shigeru) (20761513)	大同大学・情報学部・教授 (33907)	

6. 研究組織（つづき）

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究分担者	丸田 一輝 (Maruta Kazuki) (30801170)	東京理科大学・工学部電気工学科・准教授 (32660)	
研究分担者	久野 大介 (Hisano Daisuke) (40802088)	大阪大学・工学研究科・助教 (14401)	
研究分担者	中山 悠 (Nakayama Yu) (80802058)	東京農工大学・工学（系）研究科（研究院）・准教授 (12605)	

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関