

地域先進技術研究部門 電気・通信系

2021年度活動サマリー・研究成果・業績リスト

地域先進技術研究部門

(部門長)

松江英明 教授
(電気・通信系担当)

(副部門長)

板橋正章 教授
(機械系担当)

(部門研究員)

(電気・通信系)

市川純章 教授
布 房夫 教授
平谷雄二 教授
杉田 誠 准教授
田邊 造 准教授
山口一弘 講師

(機械系)

今村友彦 准教授
志村 穰 准教授
上矢恭子 講師
伊藤潔洋 助教
須川修身 客員教授
土橋美博 客員研究員

1) 部門活動のサマリー

当部門ではローカル 5G システムの導入に関して、サービスエリア選定のための電波伝搬特性のシミュレーション評価を行い、無線基地局の設置場所やアンテナ利得などの要求条件を明確化しつつ、導入請負業者選定のためのシステム調達に関する仕様検討、システム検討などを行った。さらに要素技術の異なる 4 件の研究テーマに対して、それぞれ個別に究開発を行った。

①ローカル 5G システムの導入検討

デジタルトランスフォーメーション (DX) を推進するための基盤インフラとして期待される第 5 世代移動体通信システム (5G) が昨年より通信事業者によりサービス開始され、そのエリアも徐々に拡張されてきている。それを先取りする形で、本学のキャンパス内にローカル 5G の無線基地局を設置して、最先端の通信技術の検証、改良を行うとともに、5G の特徴である「超高速」「超低遅延」「多数同時接続」の特性を最大限に活かした新サービスの開発に資することにした。

② IoT システムにおけるマルチネットワーク化の研究開発

ローカル 5G：2022 年 5 月から本学にて稼働予定のローカル 5G 基地局およびローカル 5G ネットワークの展開に向けて準備を進めてきた。まず、ローカル 5G で使用される電波規格を用いて電波伝搬シミュレーションを実施し、基地局・アンテナの設置位置を検討した。続いて、基地局のバックボーンにあたるネットワークインフラを検討し、検証を進めた。今後は、5G の特徴である「超高速」「超低遅延」「同時多数接続」を活かしたシステム開発を進め、本学の教育研究環境の強化、地域課題の解決に向けた研究開発活動の強化、オープンラボとしての展開を行い、この地域における知の拠点としての役割を果たしていく。

LPWA：低消費電力・長距離無線伝送が可能である LPWA 方式について、端末の開発、クラウドネットワークの開発を行なった。端末開発では、各通信方式の特徴を活かしたセンシング・通信機能のハードウェア・ソフトウェア実装を行ない、開発したクラウドネットワークへの接続を実現した。クラウドネットワークでは、保守・運用の観点から一元管理化を進め、安価で汎用的、スケーラブルなシステムの実現を目指して開発を進めた。また、今後の主流になると期待されている 5G について、消費電力や通信速度の観点から、IoT システムへの導入について検討を進めた。

③山間部の水源地に設置する浄水装置の稼働状況常時監視システムの開発 III

諏訪圏ものづくり推進機構及び長野県テクノ財団主催とともに『水道水中の耐塩素性病原生物 (クリプトスポリジウム) の除去』をテーマに膜ろ過装置を開発し、現在その実証機の

ランニングテストを行っている。今年度は、電力インフラの乏しい山奥でも独立して稼働できる太陽電池・蓄電・給電システムの構築を目的に、日照量、発電量、充電・放電量などを計測・蓄積するシステムを構築することを目標とし下記3項目を実施した。

- 1 電源制御コントローラ内蔵 CPU による電力計測の改良
- 2 商用電源・太陽電池ハイブリッド給電の分離
- 3 太陽電池・蓄電池による昼間独立電源化改修

④ Zoom を用いた組込システムの実技指導法および教材の研究開発

新型コロナウイルス感染症のため遠隔での実験・実技指導の重要度が増した。従来からリモートワークで用いられていた VPN (Virtual Private Network) は契約や使用料が必要で、学内等限られた範囲の人にしか対応ができなかった。Web 会議サービスの一つとして「Zoom meeting」が知られている (以下 Zoom と略す)。我々は以下に記す理由で遠隔実験や実技指導に Zoom を手段として研究を行ってきた。即ち (1) 日本でのシェアが約 77% と圧倒的に大きい。(2) Zoom はスマホでも使えるので PC を持たない小中高生に対応できる。(3) 共有した画面を遠隔できる「リモート制御」機能が備わっている。実験や実技指導で装置 1 台あたりの人数に限度があり、報告者は経験から 4 人を上限としている。これは対面だけでなく遠隔の場合も当てはまる。2021 年度は Zoom のブレイクアウトルームを用いて多人数対応の遠隔実験の検討を行った。物理学実験 B の「電気計測の基礎」(1 年生科目、1 回あたりの受講者は約 12 人) を遠隔で 5 回実施し、明らかになった遠隔実験の可能性と解決すべき課題とその解決法についてまとめた。

⑤ EPSON デバイスを用いた IoT device の設計と可視化および評価判定システムの開発

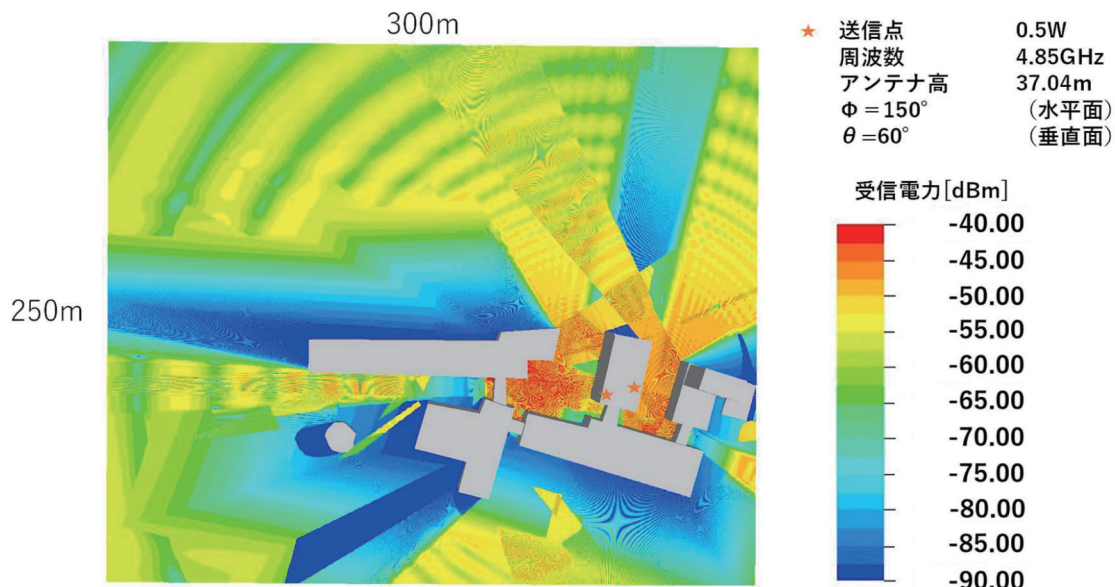
EPSON から提供頂いた振動センサなどが、田邊研独自の IoT device を取り付けられるように設計は衣鉢を実施した後に、田邊研究室が考える IoT 共通プラットフォームに組み込みことで次のことを確認した。東洋精機株式会社に初訪問し、同社の課題が『ドリルのチップング』にあり、チップングの解析と可視化、および予測を目的とした<<研究助成を実施>>することを両社で確認するとともに、同社が製作するマシニングセンタを確認した。また後日、改良された田邊研独自 IoT Device に Epson から提供されたデバイスを取り付けて設置することでデータ収集を可能したのに加え、IoT 共通プラットフォームによるデータ解析および可視化の準備を完了した。

2) 研究開発の成果

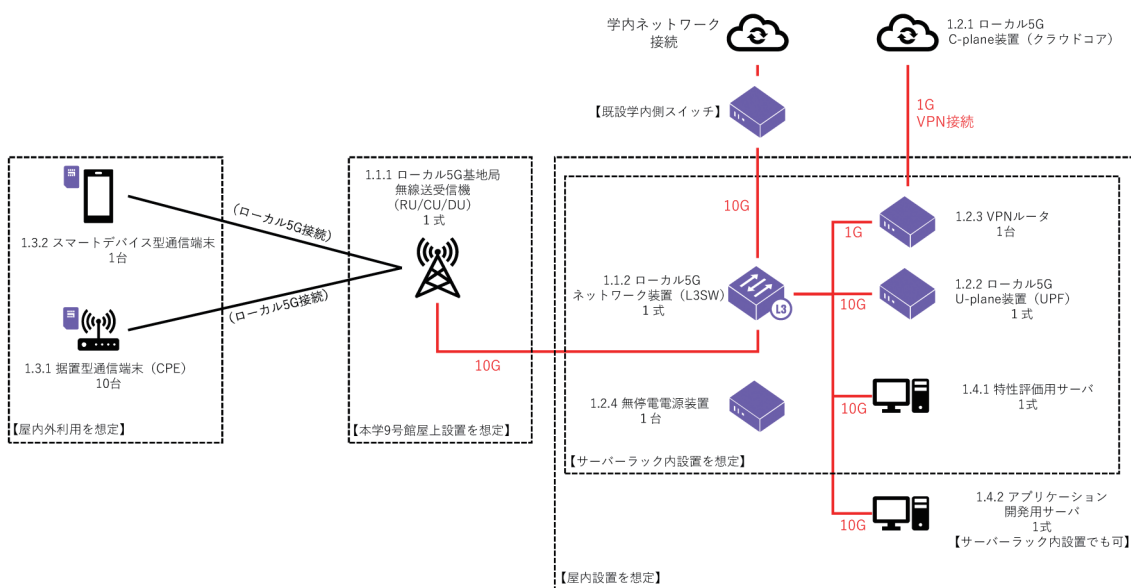
①ローカル 5G システムの導入に関する電波伝搬、伝送特性評価とシステム構成の検討

システムのメンテナンスに優れ、かつ 5G システムの性能も向上できることを目指して、制御信号系統 (C-plane) とデータ信号系統 (U-plane) を 5G システムで統一して扱うスタンドアロン型を採用することとした。図②-1 にシステム構成概略を示す。1 つの無線基地局配下に 10 数台の無線端末を接続可能であり、学内ネットワークを経由してインターネッ

トにも接続可能な構成としている。また、レイトレース法を活用して、無線基地局のアンテナの利得、チルト角などをパラメータにして受信電力特性を評価し、最適な無線基地局の設置場所を検討した結果、9号館屋上に基地局アンテナを設置することとした。(図①-2 参照)



図②-1 受信電力分布のシミュレーション例

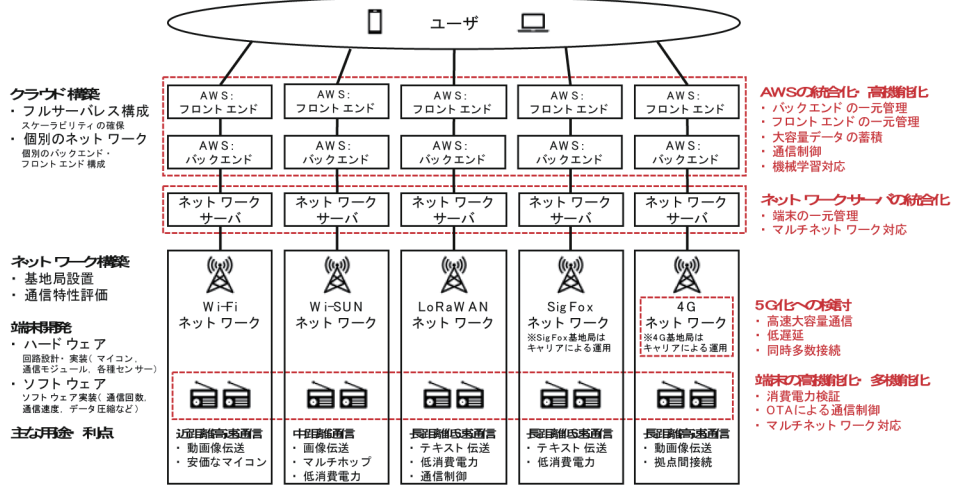


図②-2 ローカル 5G システムの構成

② IoT システムにおけるマルチネットワーク化の研究開発

研究目的・意義：本研究では、IoT 分野で注目されている様々な通信方式を活用し、各種アプリケーションのトラフィックの特性に応じたネットワークの最適化に関して研究を行った。具体的には、①小型端末のハードウェア・ソフトウェア開発、②通信方式ごとの独立したネットワークを統合したクラウドシステム基盤の構築を行なった。

システム構成 (黒字: 2020年度までのシステム構成 赤字: これからの開発目標)



図② システム構成の概要図

申請時における本研究の概要図を図②に示す。これまでの研究では、センシング機能・通信機能を有した小型端末を開発し、開発した端末により取得した情報を LPWA 通信などによりクラウドへと送信し収集した。収集したセンシング情報を解析・可視化するクラウドネットワークを構築することで、いつでもどこでもユーザーが必要な情報をスマートフォンなどで確認・制御できる機能を開発した。農業・介護分野への応用として、温湿度・CO2 などの環境情報の可視化、GPS による位置情報の可視化について基本動作検証を行い、技術課題を探ってきた。本研究では、より広い分野への展開を目指し、多種多様なデータへの対応、消費電力の検証、太陽光などを活用した自立電源駆動化、複数のネットワーク対応化、などによる端末の高機能化・多機能化を目標に実施した。同時に、クラウドネットワークも独立したネットワークごとに運用するのではなく、各ネットワークを統合し、異なるネットワーク間においてもシームレスな接続が可能な端末・ネットワークの実現を目指して進めてきた。さらには、今後一般的に普及していく 5G 化に関しても、IoT システムの無線インフラとして最適なアプリケーション・システムについて検討してきた。

このように、様々なデータを容易に収集できる IoT システムを開発し、データの可視化・解析、AI 技術による予測など、容易にデータの利活用が可能となる。端末からクラウドまで一体となったシステム開発を進め、ユーザーにとって利便性の高いシステムの実現を目指した。

A: 端末の開発: 昨年度までの研究に引き続き、消費電力は高く通信距離は短い (< 100m 程度) もの、安価で大容量の通信が可能な Wi-Fi、画像データ程度の通信速度になるが、消費電力は低く、マルチホップ化も可能で中距離 (< 500m 程度) の伝送が可能な Wi-SUN、LPWA 通信規格でテキストデータ程度であるが長距離 (< 10km) 伝送が可能な LoRaWAN・SigFox、消費電力は Wi-Fi よりは低いが、携帯電話キャリアの通信圏内で使用可能な 4G のそれぞれの通信機能を有するセンサ端末を開発した。各々の通信規格の特徴に合わせ、ドライブレコーダーなどの大容量映像データ、温湿度・GPS などの小容量センシングデータを対象として、後述するクラウドネットワークへと接続し、ネッ

トワークパフォーマンスを評価した（業績 [2-1]、[2-2]、[2-4]）。

B：クラウドネットワークの開発：本研究では、これまで開発してきた個々のネットワークを統合し、ユーザに情報を提供するフロントエンド部分、フロントエンドの裏で動作しているバックエンド部分の一元管理を目指して開発を進めた。また、マルチネットワークな端末にも対応できるよう、ネットワークサーバの統合化も目指した。フロントエンド部は、AWS上に構築することにより、データの可視化を一元的に管理することを可能とした。これにより、通信規格を問わず構築したクラウドネットワークへと接続できる構成が達成されたと考える。バックエンド部分、ネットワークサーバは、AWSにて提供予定であった機能の提供時期延期、また Sigfox 社の API 変更などにより、大容量データ・Sigfox・LoRaWAN 以外は統合することが可能となった（業績 [2-1]）。

C：次世代無線通信規格の検討：現在の主流なスマートフォンで活用されているように、高速・大容量を実現する 4G が日本全国で普及している。4G を発展させ、高速大容量（1Gbps オーバー）、低遅延、同時多数接続を目指す 5G が次第に広まりつつある。今後、この 5G を利用可能なスマートフォンが一般に普及していく中で、IoT システムにおいても組み込み向け製品が普及することが予想される。また、政府の DX 推進の施策により、これまで以上に通信に要求されるデータ容量は増加し、多種多様なデータを集約する IoT システムへの期待は高まると考えられる。この 5G に関して、本学にローカル 5G 基地局を設置する場合の電波伝搬シミュレーションを行い、通信特性について評価を行うとともに、アプリケーションについて検討を行った（業績 [2-3]）。

今後の展望 端末の開発に関しては、引き続き低消費電力化のためのハードウェア設計、ソフトウェア実装を行う必要がある。また、徐々に 5G エリアが展開されつつある状況にあるため、高速・大容量の特徴をもつ Wi-Fi6 と並行して開発を進めていく必要がある。

また、本学におけるローカル 5G 運用に向けて、ネットワークの設計・運用、ローカル 5G に特化した端末の開発、アプリケーションの開発などを進めていく予定である。

③山間部の水源地に設置する浄水装置の稼働状況常時監視システムの開発 III

実施事項 1. 電源制御コントローラ内蔵 CPU による電力計測の改良

電源制御コントローラの全入出力電源に電圧・電流センサを取り付け、電源コントローラ内蔵の消費電力、太陽光の発電量等の計測を行うことを設備した（図 1）。しかし、計測信号のシリアル伝送信号にノイズが混入し正確な信号伝達ができなかった。本年度、調査の結果、電源制御コントローラから発生する雑音が原因と判明し、対策を施した。その結果、正常にデータが取得できるようになった。

対策内容

- 充放電制御基板のノイズ対策：AD コンバータのノイズ対策強化。バッファ回路にローパスフィルターの追加。制御マイコンにシールドケース取り付け。GND、筐体間にバリスタ取り付け
- DCAC インバータ基盤のノイズ対策：昇圧 DCDC コントローラと FET のゲート間のループ回路（ダイオード→コンデンサ→GND→抵抗→FET ゲート）をアースワーク

見直し

- 電流センサの見直し：充放電制御基板内の電流センサの使用を中止筐体外に電流センサを設置。AC 電流センサを非接触型のセンサに変更

実施事項 2. 商用電源・太陽電池ハイブリッド給電の分離

観測システムの電力を太陽電池で賄うことを狙いに、電力供給システムの構成を変更した。従来は、商用電源の補助として太陽電池が使われるようにしていた。

- 商用電源から AC/DC 間に AC リレー (ON/OFF) を設け、電源系統の分離回路の追加。関連して電源制御プログラムの見直しを実施。太陽電池が発電している昼間は商用電源を停止。(図③参照)

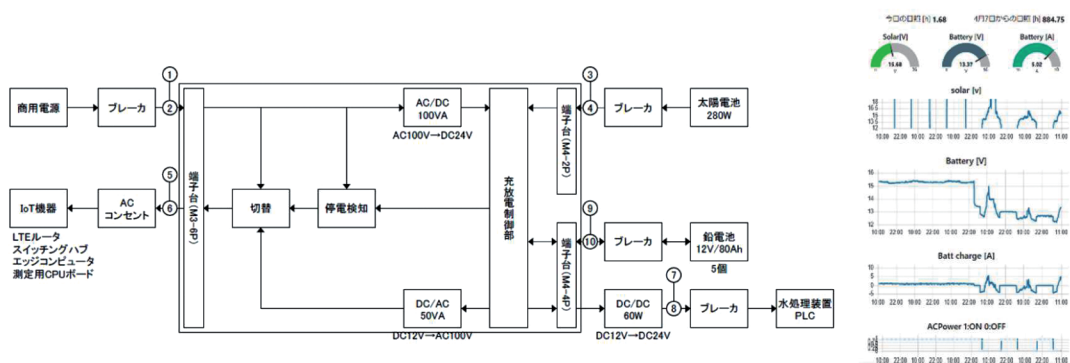
実施事項 3. 太陽電池・蓄電池による昼間独立電源化改修

発電量の計測の確立、電源制御回路の改良により、太陽電池で自立させる検証ができるようになったが、同時に、既設の太陽電池では、現在のセンサーシステムの連続稼働に対して発電量電力不足であることがわかった。これに対して、半日 12 時間だけ太陽電池で稼働し、夜間を含む 12 時間は商用電源で動作する制御プログラムに改変することで、半日分の稼働状態を継続的に実施し、太陽光発電の日変動を含む年間量とシステム消費電力の実際の計測ができるシステムとなった。

まとめ：

- ・電力系の計測では、雑音対策が課題となったが、“電源制御コントローラの雑音対策”および“電力測定用外付け CPU ボード追加”により解決することができた。これにより IoT による電力の可視化が可能となった。
- ・“商用電源・太陽電池ハイブリッド給電の分離”、および“太陽電池・蓄電池による昼間独立電源化改修”により、目的とする自然エネルギー（太陽電池）のみでの独立電源化に向けた実証実験が可能となった。

その他：本実験実施中、2021 年 9 月に高部水源地周辺で発生した大規模な土石流災害により、実証機にアクセスできなくなるアクシデントがあり、進捗に遅延があったことを添えておく。実験施設そのものには被害はなかったことは幸いであった。



図③ 改造後の電力コントローラ計測ポイント図

左：①～⑩が電流・電圧の計測ポイント 右：クラウド上での計測画面の一部

今後の展望：部配水池を事例とした実験になるが、年間を通した太陽光の発電量と観測システムの消費電力を年間通して計測できる体制が整った。現在は、太陽電池の容量不足から、昼間の12時間のみに着目した実験体制であるが、継続的な長期計測実験を行うことで、山間部で商用電源を必要としないシステムのための適正な太陽電池システム的设计指標を得ることができると考えている。今後年間を通した実験から、それらの設計値の目安の算定方法を明らかにしていきたい。

④ Zoom を用いた組込システムの実技指導法および教材の研究開発

1. ブレイクアウトルームを用いた多人数対応の実験システム

図1を用いて実験システムの説明をする。教員は学校の実験室にホスト PC を1台と実験機器が接続された配信用 PC を用意した。座学の時、受講者(学生)は全員ホスト PC に集まって講義を受け、実験のときはブレイクアウトルームに3～4名の学生と配信用 PC を1台割り当てた。受講者は自宅から参加した。今回行った「電気計測の基礎」では、実際には4つのブレイクアウトルームを設けて実験を行った。

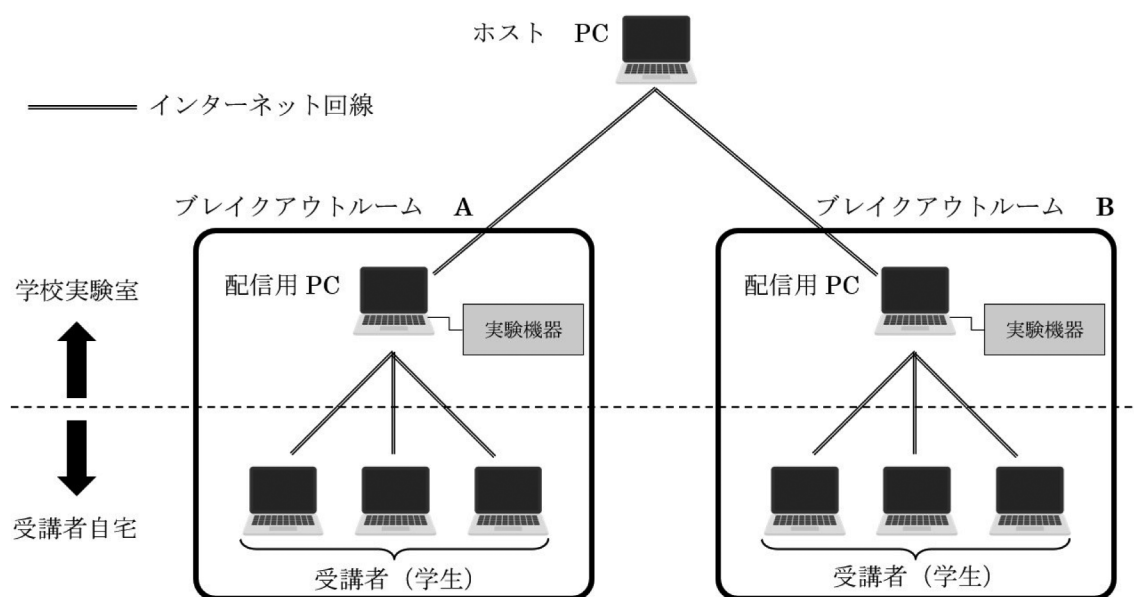


図1 ブレイクアウトルームを用いた実験システム (ブレイクアウトルームがA、Bの2つの場合)

2. オームの法則を遠隔実験するための装置

図2にオームの法則の実験をするため、ブレイクアウトルームごとに配置した装置を示す。(a)は配信用PCと実験機器である。実験機器はプログラマブル電源と2台のテスタ、そしてテスタの表示パネルを実況するためのWebカメラとからなる。プログラマブル電源は電圧設定パネル(図2(b))上のスケールをマウスでクリックするとクリックした位置にドットが示されるとともに電圧が設定されるように作製した。プログラマブル電源の電圧はD/A変換器の出力を用い、その制御にはマイクロコントローラ(Arduino)を用いた。Arduinoを制御する電圧設定パネルはProcessingと呼ばれる言語で作成した。

教員は配信用PCの画面を学生と共有した後に、学生に配信用PCのリモート制御を許可

すると、学生は自分のPCの画面（図2（b））の電圧設定パネルのスケールをクリックすることでプログラマブル電源の電圧を制御できた。また、Zoomは学生間でのリモート制御を自動で許可できる機能があるので、それを使えば教員は最初にリモート制御の許可をするだけで済んだ。

この装置を使って、学生は抵抗に加える電圧を変化させた時に流れる電流のデータを取り、オームの法則を確認する実験を行った。測定回路は予習問題とし、実験前に学生はブレイクアウトルームに分かれて最適な測定回路について議論し、ブレッドボード上への配線（図2（a））は担当教員が行った。

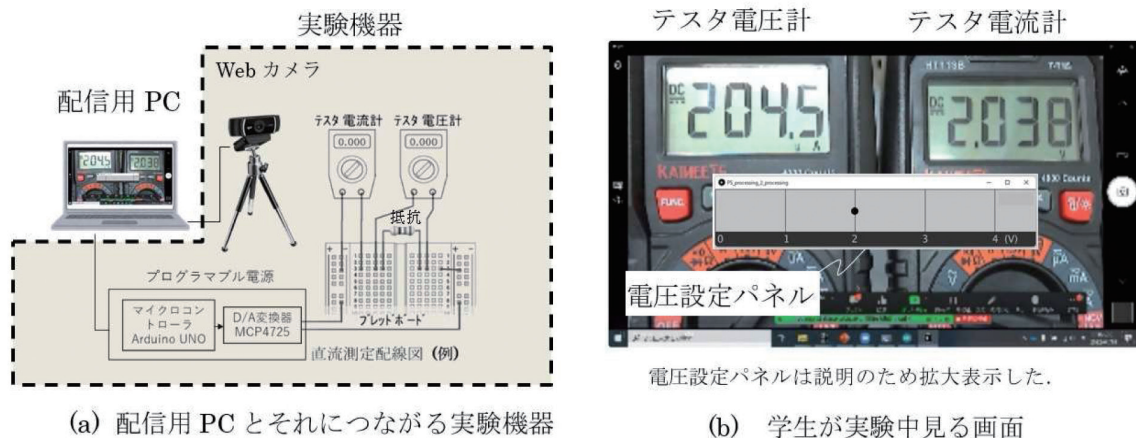


図2 オームの法則を遠隔で実験するための装置

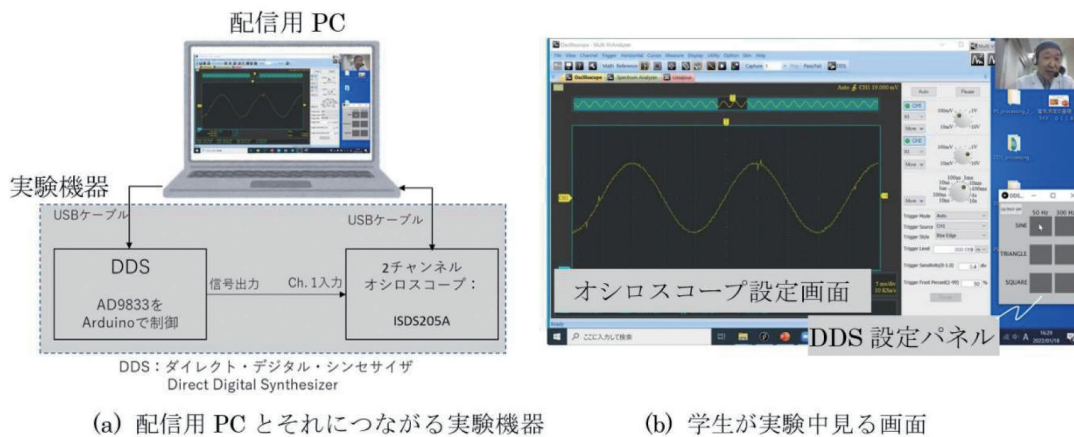


図3 オシロスコプの使い方を遠隔で学ぶための装置

3. オシロスコプの使い方を遠隔で学ぶための装置

図3にオシロスコプの使い方を遠隔で学ぶための装置を示す。(a)はブレイクアウトルームごとに配される配信用PCと実験機器である。実験機器は信号を発生させるためのDDS (Direct Digital Synthesizer) とPCのUSB端子に接続して使用する、いわゆる「USBオシロスコプ」を用いた。DDSはDDS設定パネル（図3（b）、図4）のボタンをマウスでクリックすると、決められた周波数の正弦波、三角波、矩形波が得られるようにした。このパ

ネルも Processing で作成した。

装置の遠隔操作は先に述べた、オームの法則の遠隔実験と全く同じで、図 3 (b) の画面をクリックするだけで、オシロスコープや DDS の設定ができた。この装置を使って、学生は正弦波等の信号をオシロスコープに表示させ、そこから振幅を読み取った。そして教員は同じ信号をテストの交流電圧レンジで測定し、読み取った電圧値を学生に伝えた。学生は両者を比較し、交流の実効値について考察した。信号を変えるごとに学生は、PC 画面をキャプチャすることで波形のみならずオシロスコープの縦軸、横軸の設定等のデータを取得した。

⑤ EPSON デバイスを用いた IoT device の設計と可視化および評価判定システムの開発

初訪問と検討会の概要：東洋精機株式会社に初訪問して、同社の課題が『ドリルのチップング』にあり、チップングの解析と可視化、および予測を目的とした<<研究助成を実施>>することを両社で確認するとともに、同社が製作するマシニングセンタを確認した。

また後日、改良された田邊研独自 IoT Device に Epson から提供されたデバイスを取り付けて設置することで (Step 1) データ収集を可能したのに加え、IoT 共通プラットフォームによる (Step 2 と Step3) データ解析および (Step 4) 可視化の準備を完了した。



田邊研独自 IoT Device

田邊研が考える IoT 共通 プラットフォーム

切削テスト①の概要：田邊研究室独自 IoT Device とプラットフォームを用いてエンドミルチップング検証を実施

[研究成果] エンドミルドリルの加工においては、Y 軸の加速度センサからチップングに特徴的な変化の波形を確認。

[課題] 分解能が足りない可能性について検討。加速度センサだけでなく音解析も試みる。

切削テスト②の概要：加速度センサと音センサによる切削加工実験を実施

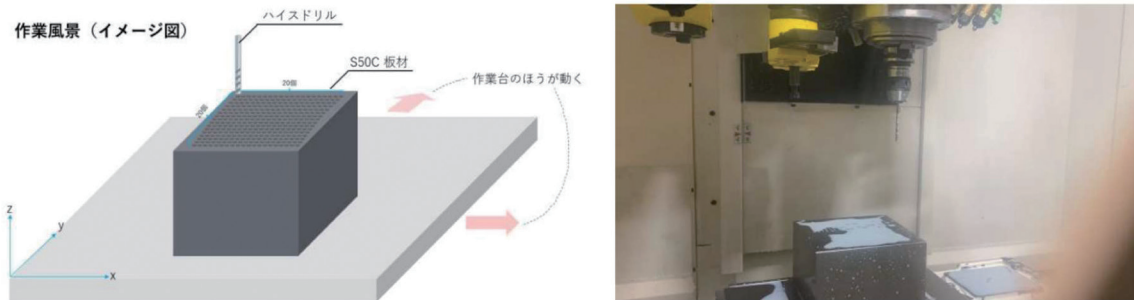
[研究成果] 1. 加速度センサでは、チップングが起こる地点における特徴的な周波数を確認。2. 音センサにおいても加速度センサと同様に特徴的な周波数を確認

[課題] 1. 加速度センサと音センサにおける特徴量から機械学習を用いたチップング予測

の検討。2. 穴あけ加工とタップ加工についても検討を実施したい要望を了承
 切削テスト③の概要：穴あけ加工とタップ加工についての切削加工実験を実施

[研究成果] 音声センサは、穴あけ加工とタップ加工ともにチップングの特徴量を確認

[課題] 加速度センサは、ノイズを拾ってしまい有効なデータを取得できず



まとめ：チップングの特徴量を確認でき、機械学習によるチップング予測プログラムを開発したが、コロナのため最終切削テストは実施することはできなかった。しかしながら、新たなデータで穴あけ加工とタップ加工についての音データの有効性を確認できた。また現在、振動ノイズの究明を進めている。

3) 研究業績リスト

●口頭発表

- (1-2) 浦沢碩規、前田昇吾、山口一弘、松江英明、「学内設置下ローカル 5G システムにおける固有モード SU-MIMO の伝送特性評価」、電子情報通信学会総合大会 B-5-117 p428
- [2-1] 山口、井口、松江, “LoRaWAN/Sigfox を活用した IoT システムの開発とシステム評価”, 2021 年電子情報通信学会ソサイエティ大会, B-6-31 (2021)
- [2-2] 西島, 野々垣, 松江, 山口, 柘植, “見通し内伝搬における Wi-SUN システムの伝送特性評価”, 2021 年度電子情報通信学会信越支部大会, 5A-3 (2021)
- [2-3] 前田昇吾・浦沢碩規・山口一弘・松江英明, “ローカル 5G 無線基地局設置に関する一検討,” 電子情報通信学会技術報告, vol. 121, no. 234, RCS2021-158, pp. 80-85 (2021)
- [2-4] 長瀬 渉・和田祐介・西澤俊也・山口一弘・松江英明, “屋内伝搬環境下 IEEE802.11ax 無線 LAN システムの伝送特性評価,” 電子情報通信学会技術報告, vol. 121, no. 329, RCS2021-232, pp. 201-206 (2022)
- (4-1) 第 69 回応用物理学会春季学術講演会 2022 年 3 月 26 日 (土) 発表
 講演番号 [26p-E307-2] 汎用遠隔会議システムを利用した双方向実験の構築
- (4-2) 第 69 回応用物理学会春季学術講演会 2022 年 3 月 26 日 (土) 発表
 講演番号 [26a-P02-5] 複数の参加者が同時に操作できる (全二重型) 遠隔操作法
- (4-3) 第 82 回応用物理学会秋季学術講演会 2021 年 9 月 21 日 (火) 発表
 講演番号 [21a-P02-3] オンデマンドの遠隔操作を用いた学生実験の構築 (1) AD / DA 変換

(4.4) 第 82 回応用物理学会秋季学術講演会 2021 年 9 月 11 日 (土) 発表

講演番号 [11a-S401-7] 汎用遠隔会議システムを利用した双方向実験の構築

- 5-1. 白鳥祐那, 田邊造 (公立諏訪理大), 秦野克彦 (Kiah), 小原隆弘 (コイシ), 阿部憲一 (Kiah), 原田須恵宏 (国東市役所) “利用者追跡を備えたカレンダー型施設利用状況管理システム”, 望主将基, 藤部虎大, 川口友稀, 田邊造 (公立諏訪理大), 古川利博 (東京理科大), 信越支部大会, 2021 年 9 月.
- 5-2. 若林郁弥, 赤羽勇飛, 田邊造 (公立諏訪理大) “生産ラインの IoT 化による目標未達成サイクル時間の可視化と分析”, 信越支部大会, 2021 年 9 月.
- 5-3. 赤羽勇飛, 若林郁弥, 田邊造 (公立諏訪理大), “生産ライン解析によるロス時間の可視化とその評価”, 信越支部大会, 2021 年 9 月.
- 5-4. 白鳥祐那, 田邊造 (諏訪東京理科大), 秦野克彦 (Kiah), 小原隆弘 (コイシ), 阿部憲一 (Kiah), 原田須恵宏 (国東市役所), “無線マイコン型利用者追跡による施設利用状況管理システム”, 電子情報通信学会・総合大会, 2022 年 3 月発表.
- 5-5. 上條康佑, 赤羽勇飛, 田邊造 (諏訪東京理科大), “IoT 共通プラットフォームを用いたライン式工場の生産状態解析とその可視化”, 電子情報通信学会・総合大会, 2022 年 3 月発表.
- 5-6. 松尾時男, 若林郁弥, 田邊造 (諏訪東京理科大), “アンサンブル学習を用いた不良品予測による作業支援システムの開発”, 電子情報通信学会・総合大会, 2022 年 3 月発表.
- 5-7. 赤羽勇飛, 上條康佑, 田邊造 (諏訪東京理科大) “アンサンブル学習と KDE を用いた生産改善システムによる管理者支援”, 電子情報通信学会・総合大会, 2022 年 3 月発表.

●報道掲載

- (1) 諏訪東京理科大学がローカル 5G の基地局設置へ、信濃毎日新聞、2021 年 10 月 22 日
- (2) 地域の「知」の拠点 役割担う 公立諏訪東京理科大学・ローカル 5G、長野日報、2021 年 12 月 21 日
- (3) 「ローカル 5G 環境の整備と今後の展開について (お知らせ)」メディア報道 10 月 20 日