

電波技術協会報

2022 11
No.349

フォルン
Future
Of
Radio
Network
FORN



オルタナティブICT
特集：早稲田大学理工学術院

連載記事ほか

Reeg

Radio Engineering & Electronics Association

電波技術協会報 F^{オルン}ORN

Future Of Radio Network

2022 11
No.349

オルタナティブICT
特集：早稲田大学理工学術院

- 2 早稲田大学国際情報通信研究センター(GITI)の紹介
早稲田大学 嶋本 薫
- 4 多角的な通信技術研究及びその応用システム
早稲田大学 嶋本 薫
- 8 360度カメラと深層学習を活用した歩行者レーダーマッピングシステム
早稲田大学 村山 知輝 金井 謙治 孫 鶴鳴 甲藤 二郎
- 12 テラヘルツ通信の最前線
早稲田大学 川西 哲也
- 16 情報通信ネットワークの基盤となる光通信技術の進化
早稲田大学 森田 逸郎
- 20 構造制約付き最適化と機械学習
早稲田大学 笠井 裕之
- 24 ヒトゲノムデータの活用を促進する秘密計算技術
早稲田大学 清水 佳奈
- 28 Beyond 5Gに向けた無線要素技術間連携に関する取り組み
早稲田大学 前原 文明

re:marks!

- 32 非地上系ネットワークを作る新たな通信技術
国立研究開発法人情報通信研究機構 辻 宏之

Close-up

- 36 衛星伝搬の壺 <2>
電気通信大学名誉教授 唐沢 好男
- 40 SOMETHING NEW
企画プロデューサー 新山 賢治

放送歴史 / 通信史書

- 44 テレビ放送、あっという間に70年 <6>
株式会社テレビ朝日 福田 俊男

デジタルな法律相談ちゃんねる

- 48 見えない給与
弁護士 杉本 隼与

各界だより

- 50 総務省、REEA ほか

【表紙の写真】

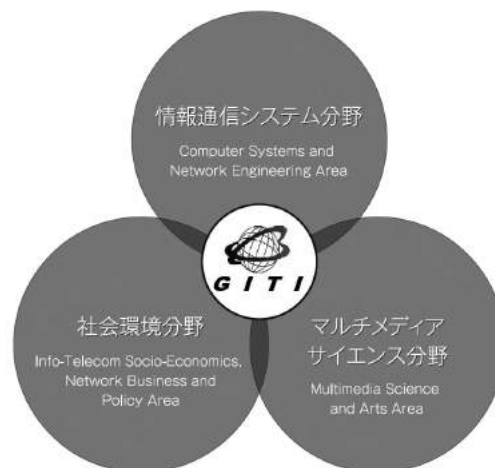
左：早稲田キャンパスの大隈銅像(写真内左)と大隈記念講堂(写真内右)
右上：電波伝搬特性測定用短波帯アンテナを西早稲田キャンパス理工学術院
66号館屋上に設置する様子(写真中央左手に新宿高層ビル群を望む)
右下：留学生と研究する電波暗室でのUAV実験の模様
(掲載協力・画像資料提供：早稲田大学、同大学理工学術院嶋本研究室)

早稲田大学 国際情報通信研究センター(GITI)の紹介

GITI : Global Information and Telecommunication Institute

～ 情報通信分野研究のアジアの中核を目指す ～

GITI は早稲田大学理工の富永英義先生、KDDI 研究所所長の浦野義頼氏、ATR 所長の寺島信義氏、東京大学田中良明先生、NTT 松本充司氏らによって 1998 年に早稲田大学内に設立された常設の研究機関である。2000 年には私学としては珍しい独立大学院である国際情報通信研究科 (GITS : Global Information and Telecommunication Studies) を連携大学院として発足させ、更に新たに多くの研究員、教員が参加した。本稿では GITI のこれまでの経緯や、活動を述べ、今後の展開の展望を示す。



GITI 発足時の基本コンセプト

早稲田大学
基幹理工学部情報通信学科 教授
国際情報通信研究センター 所長
嶋本 薫

早稲田大学国際情報通信研究センター（以下 GITI）は情報通信分野を広く横断的に研究を行う常設の研究機関として発足され、当初より国際展開と関連分野の融合を目指すことを命題に設立された。また、総務省を始めとする多くの政府機関、研究機関との連携も模索し、海外大学、海外研究機関との連携など多くの研究プロジェクトを先導してきた。また、海外からも多くの研究者、教員が参加し早稲田大学と他大学との連携として数多くの合同ワークショップを開催している。また、イベントとしては GITI フォーラムを毎年開催しており、そこでは各分野の第一人者が登壇し、テーマに沿った講演、パネル討論等を行ってきた。現在は早稲田大学の専任教員 30 名、招聘研究員等の研究員 50 名程度の組織として日々研究を行っている。本稿では国際連携とフォーラムを中心にその活動の一端を紹介する。

国際連携

GITI では情報通信分野のもつ国際的な特徴である国際標準に着目し関連の研究者、教員などに参加頂き多くの研究成果を上げている。通信分野の国連機関である ITU の元事務総局長である内海善雄氏を客員教授で迎えたほか、動画像圧縮の分野では世界的な権

威であるイタリアのレオナルド キャリリオーネ氏を教授で迎え入れ GITI での研究活動、更には関連大学院である GITS における教育活動を行った。通信分野における国際標準が大変重要であるという認識から、ITU に働きかけ世界で初めて大学として ITU との包括協定を締結し情報交換や寄書等の活動を円滑に可能な環境を構築した。また、海外大学との連携としては中国 北京大学、清華大学、韓国 漢陽大学等との交換講義、合同研究発表などを行う他、チリ、ベトナム、タイなどの大学とも遠隔講義を通じて国際貢献を行ってきた。GITS では多くの留学生を受けて教育を行っておりその数は約 60 か国、修士課程で 800 人、博士課程で 80 名近くの学生が在籍しており、修士課程では日本人学生との比率はほぼ同等であった。講義は主として英語であり、日本語を学ばなくても修了できる大学院として多くの留学生が受験している。

GITI フォーラム

GITI では年に一度フォーラムを開催し、設定されたテーマに従った内外の第一人者に登壇を依頼し、その後討論会を行った。具体的な事例としてこの 2 年のテーマと登壇者を以下に示す。（敬称略）

❖ 2021 年テーマ「宇宙通信新時代」

「宇宙通信の国際動向と日本の戦略」
藤野克（総務省大臣官房審議官）
「超小型衛星の潮流と宇宙通信技術への期待」
中須賀真一（東京大学工学系研究科教授）
「宇宙利用の動向と展望 -Space Port などの取り組み-」
山崎直子（元 JAXA 宇宙飛行士）
「光衛星通信新時代」
豊嶋守生（NICT ワイヤレス研究センター長）
「はやぶさ 2 の深宇宙通信とこれから」
戸田知朗（宇宙科学研究所宇宙機応用工学准教授）
「宇宙エレベータ構想及びその応用通信システムの展望」
大野修一（宇宙エレベータ協会 会長）

❖ 2022 年テーマ「ICT 国際戦略の展望」

「日本の ICT 国際戦略」
山内智生（総務省大臣官房審議官）
「ICT 分野における特許国際戦略」
高野洋（特許庁審査長）
「NTT 研究グループにおける国際戦略」
川添雄彦（NTT 副社長）
「KDDI における国際技術戦略と標準化活動」
小西聡（KDDI 先端技術研究所所長）
「中国国内における ICT 国際戦略」
Zhisheng Niu（清華大学教授）
「intel の国際技術戦略」
庄納崇（インテル業務執行役員）
「HUAWEI の国際戦略」
郭宇（華為技術日本部長）



GITIForum2022 の模様（2022 年 6 月 4 日開催）

このようにいずれも該当分野の第一人者に登壇を頂いており、内外からも多くの参加者を得るほか、電子情報通信学会誌にもその模様が掲載されるなど多くの注目を集めている。今後もタイムリーな話題で ICT 分野の振興に繋がる企画を行いたいと考えている。

* GITI の HP にてフォーラムの模様を現在動画配信中（2022 年 12 月 31 日まで）

GITI の今後の展望

このように GITI は早稲田大学における常設の研究機関として多くの国際連携、関連研究推進を行ってきた。関連大学院である GITS は理工学部の再編に伴い新たに設立された基幹理工学部情報通信学科にマージされ現在も活動を続けている。GITI の現在は情報通信学科の教員を中心に学内の他学部、他学科の教員など 30 名近い専任教員が参加し、更に総務省を始めとした省庁、他大学、企業、通信業者など多くの研究者が招聘研究員として名を連ね、その数は 30 名を超えている。このように ICT に関係する教員、研究者が集う GITI では多くの委託研究、共同研究を受託し、社会に貢献するほか、人材育成などの観点からも専門的、学際的の両面から幅広く人材を育てている。今後の GITI の展望としては、引き続きはフォーラムや研究プロジェクトを推進することを基盤とし、更に国際連携を強化するために新たに GITW（Global Information and Telecommunication Workshop）を創設する。これはこれまでに培った海外大学との関係を集約しワークショップを GITI が主催し開催するものである。

中国清華大学、国立台湾大学をはじめとするアジアの大学から欧米まで 20 校あまりの大学が参加し、各大学の研究成果を 2022 年 12 月に発表する。そこでは学生の研究成果発表、教員、学生間での交流、更には国際連携研究プロジェクトの模索を一同に行うもので、今からその成果が期待できる。今後はこの GITW を中心に大学の国際連携の輪が広がることに期待が高まっているが、そこでは多くの GITS の卒業生が母国に戻り大学教員としてこのワークショップに参加することを表明しており、GITI、GITS のこれまでの成果が既に現れている。今後は情報通信分野研究のアジアの核としてその地位を確立するための方策を多角的に考えていきたい。



多角的な通信技術研究及びその応用システム

～ 嶋本研究室研究紹介 ～

早稲田大学基幹理工学部情報通信学科、国際情報通信研究センター嶋本研究室では無線通信方式を中心に数多くの分野の研究が行われている。無線通信研究で培った技術の応用として光無線通信から、超音波通信まで多様なメディアに対するアプローチと応用範囲としてもバイタルセンシングやV2X (Vehicle to Everything) さらにはRFIDなど波及分野も広い。本稿ではそれら多岐に渡る研究分野の一部を紹介する。

早稲田大学
基幹理工学部情報通信学科 教授
国際情報通信研究センター 所長
嶋本 薫



< 多元アクセス方式に関する研究 >

嶋本研究室ではこれまでに多くの多元アクセス方式を提案しており、例えばランダムアクセス方式の持つ即時性と割り当て方式の持つ信頼性を融合させる方式としてFAWAC (Fixed Assignment based Window Access with Capture) 方式を提案している。データ発生時刻のタイミングが予め各局に設定されたウィンドウ内であれば割り当てられたスロットを用い、ウィンドウ外であればランダムアクセスを行う方式であり、全く性格の異なる2方式の融合度合いをウィンドウ値一つによって調整可能な方式である。

更に電力軸を組み合わせることで低遅延かつ高いスループットが得られ、両方式のハイブリッド方式ではそれまで得られなかった優れた特性が得られている。

また更に電力軸を用いたアクセス方式としてPDMA (Power level Division Multiple Access) 方式を提案しており、NOMA (Non Orthogonal Multiple Access) 等で用いられるSIC (Successive Interference Cancellation) を併用することで更なるスループットの向上が得られる。

電力割り当てをサイクリックに各局に割り当てることで公平性の問題を解消し、高いスループットを実現する手法を提案し、更に各適用システムに応じた電力割り当て法手法を提案している。

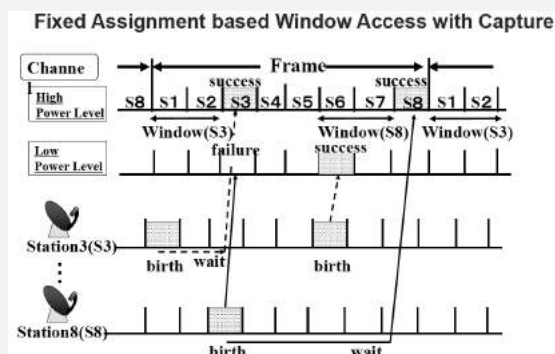


図1 FAWAC方式のアクセス概念図

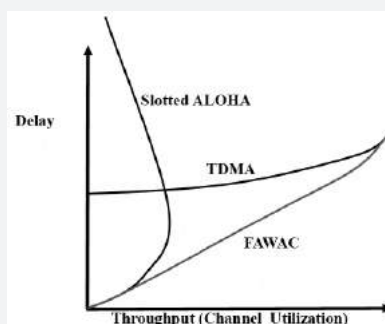


図2 FAWAC方式と他方式の性能評価

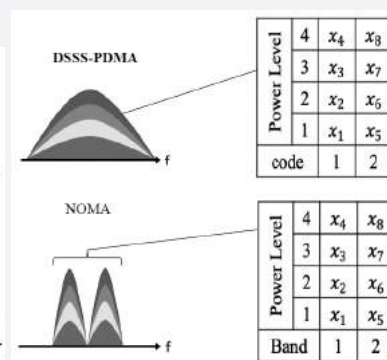


図3 PDMA方式の電力割り当て例

＜バイタルセンシングに関する研究＞

研究室では超音波から無線、光信号を用いた各種バイタルのセンシング方法を研究している。これまでの成果として非接触での血中酸素濃度、脈波、血圧、血糖値の推定に成功してる。

血糖値は潜在的にも多くの罹患患者が存在し糖尿病の早期発見や患者の行動変容につながる重要な指標であるが、現状では指等の穿孔による血液取得によるものが主流であるため負担が大きいのが課題である。中赤外光を用いた血糖値の推定では各種 AI 学習方式での推定を試み高い精度での血糖値推定が可能であることを確認している。また、血圧に関しても電波を用いた推定を行っており、携帯端末からの信号を用いて無意識のうちに血圧の取得を行うことが目標であり、現在は 2.4GHz の信号を用いて、高い精度での血圧推定に成功してる。

これらの成果を元にスマホ依存症やストレスの把握などの検討を現在鋭意行っている。

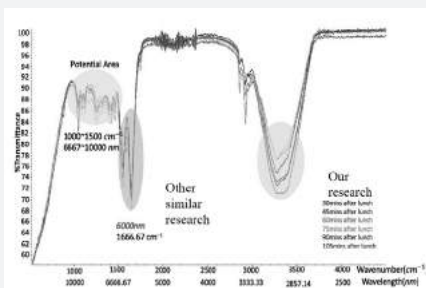


図 4 中赤外領域の血糖値の吸収の違い

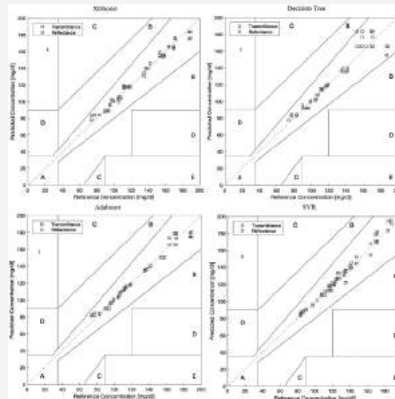


図 5 血糖値推定の学習方式の違いによる推定評価

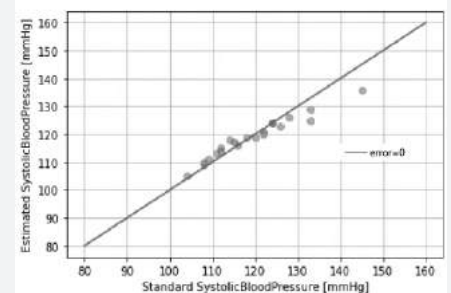


図 6 AI を用いた 2.4GHz 信号での血圧推定結果

＜航空宇宙通信に関する研究＞

2000 年に大樹町で HAPS (High Altitude Platform System) を想定した仰角別の電波伝搬実験を行って以来、非常時用通信や UAV を用いた広域センシング方式、航空機間アドホックネットワーク、低軌道衛星を用いた通信網、光衛星間通信など数多くの研究を行ってる。HAPS 通信を想定し、ビル等の遮蔽を正確に表現する伝搬モデルを構築し都市規模別の通信特性を取得した。航空機間通信を用いたグローバル通信網システムから UAV を用いた非常時通信システムなど数多くのシステムをモデル化し、それぞれに適した通信方式を提案してきた。

更には衛星を用いた車両・信号機を中継とした次世代 6G システムなどに関して検討を行っている。

応用研究としてテラヘルツでの HAPS 通信や OTFS (Orthogonal Time Frequency and Space) 方式を取り入れたシステムなど多岐に渡る。研究室ではこれまでのアクセス方式に関する取り組みと、光無線など多メディアを組み合わせたシステム構築を多角的に検討しており、現在では宇宙エレベータを用いたグローバルシステムや Space IOT に関する検討を手掛けている。

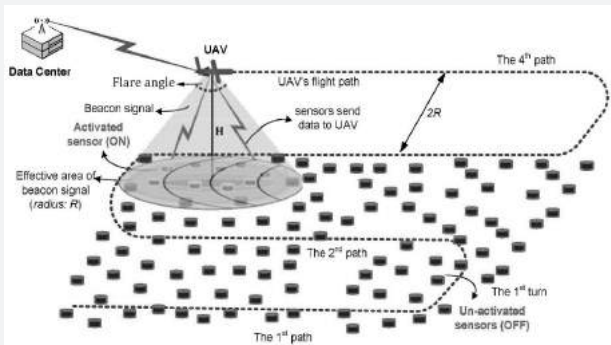


図 7 UAV を用いた広域センシングシステム

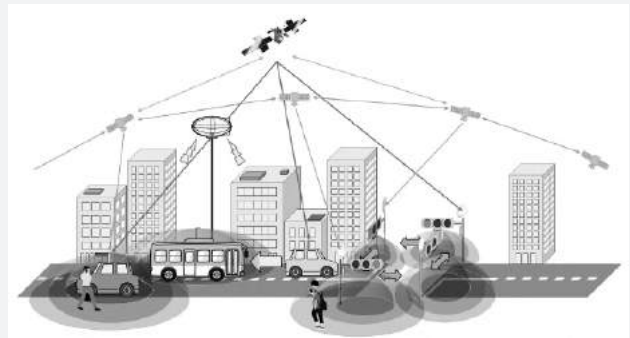


図 8 衛星信号を車両・信号機で中継したシステム

＜ V2X に関する研究 ＞

車車間通信を中心に多くの研究を行っており、テーマとしては隊列走行時のアクセス方式や信号送信車両推定方式など多岐に渡る。将来的には信号機のない交差点の実現を目指して研究を行っていく。

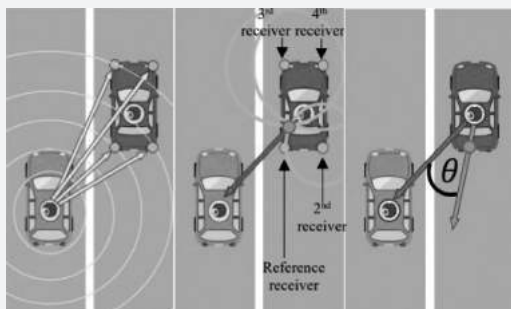


図 9 信号送信車両推定方式のモデル図

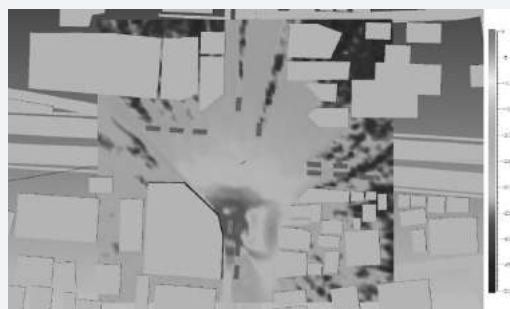


図 10 車両中継基地局からの電波伝搬の様子 (28GHz)

＜ ロボット内、車両内通信に関する研究 ＞

ロボット関連技術の急速な進歩により、人型ロボットの実用展開は非常に早いものと思われる。研究室ではロボット内の信号線（ハーネス）を全て無線化することで、軽量化や動きの柔軟性に優れた通信環境を提供することを目指している。対抗となるのは有線通信であるため超多チャンネルと時間軸でのダイバーシチ構成の方式を提案し超低遅延かつ信頼性の高い通信方式を構築した。更にロボット内の伝搬状況を正確にシミュレートし、ロボット内無線通信に適した周波数、方式を検討した。

更には車両内での無線化の検討と、光ファイバ化に関する検討も行っており、これは光ファイバでの信号の伝送と光電力伝送を組み合わせた取り組みで同様の取り組みは以前、BS アンテナから宅内に引き込む際 4K 放送など高い IF 周波数が同軸ケーブルでの高い減衰を受けることから光ファイバ化を導入し、室外アンテナ ODU (Out Door Unit) に対する給電を同じファイバで逆方向に重畳する方式を提案したことがあり、その手法を車両内通信に適用した。

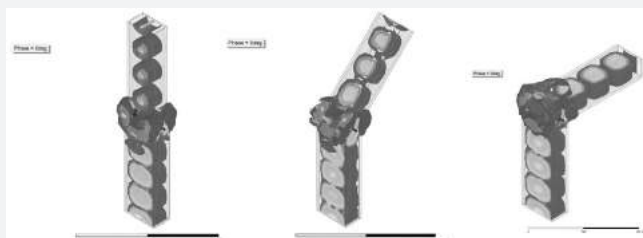


図 11 ロボット内電波伝搬のシミュレーション

＜ 次世代型 RFID 用通信 ＞

カーボンナノチューブを用いた塗布型の次世代 RFID システムの開発を行っており、そこでは同時に対数のタグを読み取るための多元アクセス方式の検討を行っている。またその応用として食品等すべてのバーコードがタグに置き換わることを想定し、例えば冷蔵庫内の食品を庫内のリーダーが RFID 通信で一瞬で把握し消費期限切れなどの懸念が無くなるシステムを提案している。

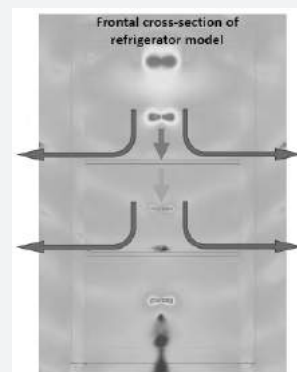


図 12 RFID 信号の冷蔵庫内での伝搬

＜ FT8 利用したグローバルな電離層状況把握 ＞

短波帯の通信は現状では船、航空機などの通信と国際的な通信に限定されるが、直接的に電波が到来するため、広域通信でありながら中継不要であり伝搬遅延が小さくブロックチェーンなどへの適応が期待されている。研究室ではその伝搬の様子をレイトレーシング*1で再現し、位相制御によるフェージングの軽減化方式を提案している。また、伝搬状況のよりグローバルで、リアルタイムでの把握を行うため、FT8（新デジタル通信モード）と呼ばれる国際的な短波帯でのデータ通信に着目し、そのユーザーに作成したアプリケーションを配布し、短波帯での通信状況を広く全世界からインターネット経由で集め、リアルタイムでの全地球規模での電離層状況把握を行うことを計画している。

今後はこのような得られたグローバルな電離層活動状況を広く世界に公開し社会に還元していく予定である。

*1 電波を光に見立てて直接波や反射と回折のパスを近似したものである

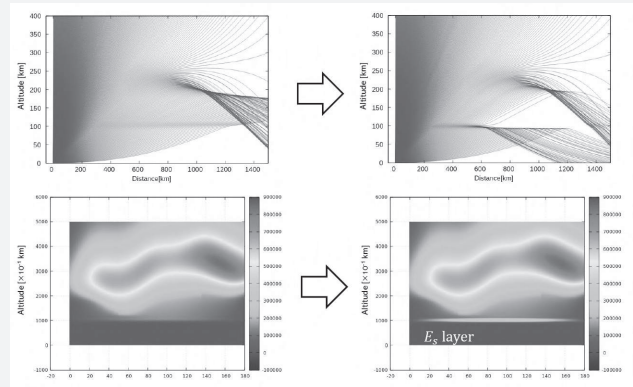


図 13 電離層反射パス及び電離層電子密度の推定

＜参考文献＞

- [1]Chaoyi Yang, Junlong Wang, Zhenni Pan, and Shigeru Shimamoto, " Delay-Doppler Frequency Domain-Aided Superimposing Pilot OTFS Channel Estimation Based on Deep Learning" , Chaoyi Yang, Junlong Wang, Zhenni Pan, and Shigeru Shimamoto, IEEE VTC 2022-fall, London, Sep.,2022
- [2]Megumi Saito, Takashi Koshimizu, Zhenni Pan, Jiang Liu, Hayato Nakazawa, and Shigeru Shimamoto, "Energy Borrowing Transmission Scheme Based on D2D Communication for 5G Networks" , IEEE Access , December 2021
- [3]Junlong Wang, Chaoyi Yang, Zhenni Pan, Shigeru Shimamoto "Optimization on OTFS Modulation Channel Estimation Path Employing CNN-based Self-Adjustment Model," 2022 IEEE ICC , 2022, pp. 951-956
- [4]Gentarō Konishi, Megumi Saito, Shigeru Shimamoto, Shinji Horii, Seiichiro Murase, "ALOHA-SIC-based RFID System Assisted by the Internal Structure of Smart Refrigerators," in the 16th IEEE RFID 2022, May, 2022
- [5]A. Hossain; Z. Pan; M. Saito; J. Liu; S. Shimamoto, "Robotic Inner Signal Propagation and Random Access over Hybrid Access Scheme" , International Journal of Computer Networks and Communications, vol. 12, no. 4, pp. 71-89, July, 2020
- [6]Liu Jiang, Shigeru SHIMAMOTO, "Non-invasive Blood Glucose Measurement with Mid-infrared Signal by Machine Learning Schemes" IEEE Globecom 2022, to be appear.



基幹理工学部情報通信学科情報理工・情報通信専攻 嶋本研究室

嶋本研究室は現在嶋本薫（教授、代表）、劉江（准教授）、PAN ZHENNI（講師）、齋藤恵（講師）、吉井一駿（助手）の職員と数名の招聘研究員、研究助手をスタッフに、内外から 40 名程度の学生と共に研究活動に励んでいる。海外からの留学生、職員の比率が高く研究ゼミなどでも半数近くが英語で発表し、日本人学生でも自発的に英語で発表するものも少なくないなど国際色が豊かな研究室といえる。学会発表等も海外の国際会議、国際ジャーナルへの投稿が多くその影響からか、世界中から学生が集まる状況になっている。国や多くの企業からの委託研究、共同研究を行っており、現在も多くのプロジェクトが推進中である。

<https://www.shimamotolab.sci.waseda.ac.jp/>
<https://www.facebook.com/groups/442314825816762>



鴨川のセミナーハウスで行われた夏のゼミ合宿の集合写真
（筆者前 2 列目左（2019 年夏季撮影））