

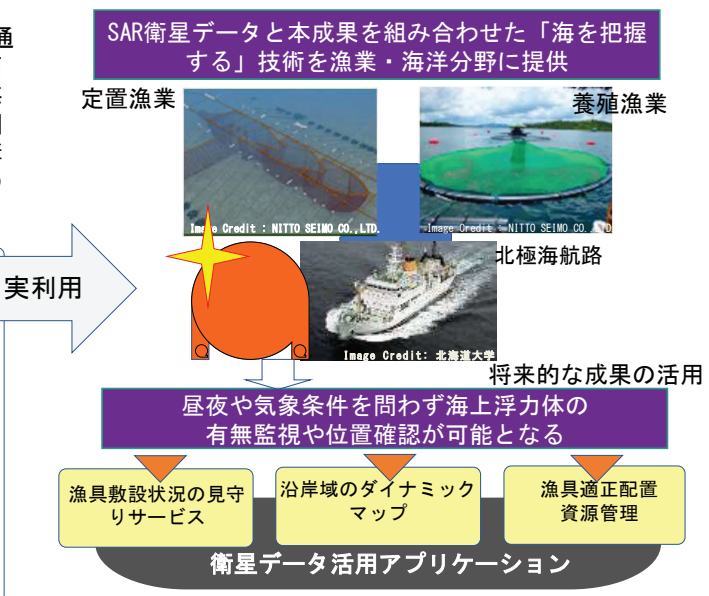
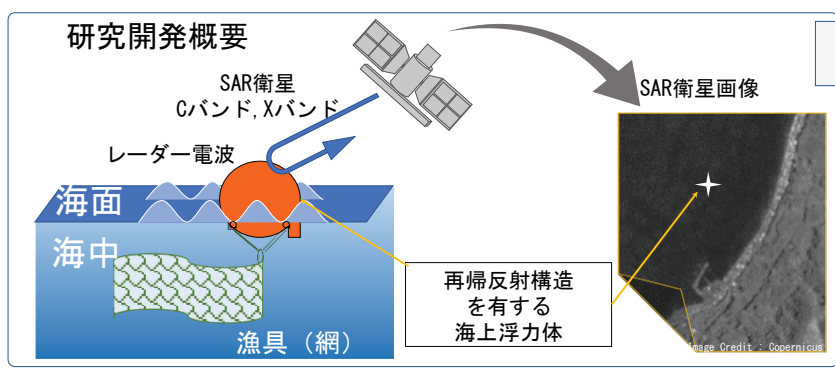
研究開発分野：⑧衛星データ利活用分野（中小企業の要件）

■ 研究開発背景

衛星データは漁業の現場で広く活用されている。学習可能な過去の漁獲情報と、海面の温度や植物プランクトン分布の衛星観測結果を基にした漁場予測サービスは実用化され、燃油消費や探索時間の節減など現場の経済的効率向上に貢献している。近年は、持続可能な漁業の実現が課題となっており、その課題解決において昼夜・気象条件を問わず観測可能な合成開口レーダ（SAR）衛星の活用が期待されている。

■ 研究開発の目的とアプローチ

日本版・小型SAR衛星のコンステレーションが近年実現となる中、上空を通過する衛星に対して効率的にレーダー電波を反射することができれば、海面利用、沿岸漁業活動のモニタリングに大きく貢献する。本研究開発では、海上作業や漁具固定に利用可能でレーダー断面積が大きな浮力体を試作研究開発した。これにより海面利用状況の可視化技術を獲得して定置漁具や海上構造物の見守り・監視等、衛星データを活用した沿岸域のモニタリング事例の創出に取り組んだ。



■ 研究開発の内容及び成果

・ レーダ電波反射浮力体実現

電磁界シミュレーションを用いて、電波を効率的に反射させる材料、設計値を網羅的に検討。3Dプリンティング技術を活用し、誘電体レンズの特徴を有する原理試作（PoC）を製作。

成果
浮力体実現最適なデザイン及び具現化技術を獲得

・ 屋内計測、衛星同期観測実験

大型水槽や宇宙機関の電波試験施設を利用し、試作物の電磁界計測を実施、当初提案で掲げた反射効率（ η ）=0.3を達成。試作物を海上に設置し、SAR衛星との、同期観測実験を実施。浮力体の識別を画像中に確認。

成果
電磁界計測、SAR衛星データで開発技術を実証

・ 社会実装への取り組み

電波反射漁業用浮力体およびSAR画像漁具見守りシステムを特許出願。SAR画像による沿岸漁業モニタリング事例を発表。試作浮力体を展示会に出展、漁業関係者とのヒアリング実施。

成果
試作物及びSAR画像解析事例を用いて現場ニーズ発掘

■ 今後の研究開発成果の展開及び波及効果創出への取り組み

現在では、公的資金による計画的なSAR衛星データ取得（アンカーテナンシー）にあわせて、本研究開発成果の量産試作に向けた屋外の実証実験に取り組んでいる。宇宙利用ビジネス、特に衛星データの利用は、情報技術産業に次ぐ成長市場として期待されており、本研究開発の『衛星から観測できる浮力体』の基礎技術を、宇宙からの漁具見守りや、漁業権行使状況の広域把握などに活用させる。研究代表機関が所在する北海道では「宇宙版シリコンバレー構想」、函館市では「函館国際水産・海洋都市構想」を掲げ、関連産業の振興が図られている。宇宙と海洋とを分野横断する本研究開発成果を用いて、衛星データによる社会課題解決を進め、地域力の創造・地方の再生に貢献する。

浮力体カットモデル（模型） 衛星同期実験試作浮力体

地域力の創造・地方の再生貢献

北海道：「宇宙版シリコンバレー構想」
函館市：「函館国際水産・海洋都市構想」

【概要】

電磁ノイズによって通信機器や電子回路の動作に影響を及ぼす「電磁干渉」(図1a)は、電磁ノイズと通信用電波が同じ周波数成分を持った場合、解決がより困難となる。本研究ではこの課題を解決するため、近年研究代表者らが報告した、同一周波数でも特定の波形(パルス幅)にのみ応答する電磁特性「波形選択性」を有する電磁材料・メタサーフェス(図1b,c)を開拓・応用した。特に本研究開発では周囲の電磁界を乱すことなく、“透明マント”のようにアンテナを隠すことのできる、クロージング技術を新たに導入した(図2)。その結果、同一周波数でも特定のパルス幅の信号のみを選択的に受信し、その他の不要電波からの干渉を抑制することに成功した。本研究開発では波形選択性の基礎メカニズムが新たに考案・解明されただけでなく、応用デバイスとして利用するための新たな道を切り拓くことにも貢献した。なお、本研究では新たに2つの研究開発目標を追加して実施され、研究成果は学術論文7篇(*Nature Communications*誌(IF=17.7)を含む)、国際会議発表2件、国内学会発表1件などで報告された。

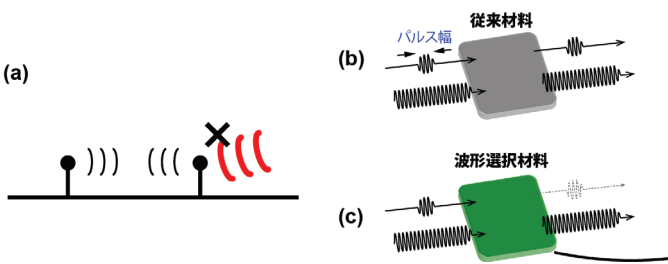


図1. (a)電磁干渉のイメージ. (b)一般的な電磁材料と(c)波形選択性を有する電磁材料.

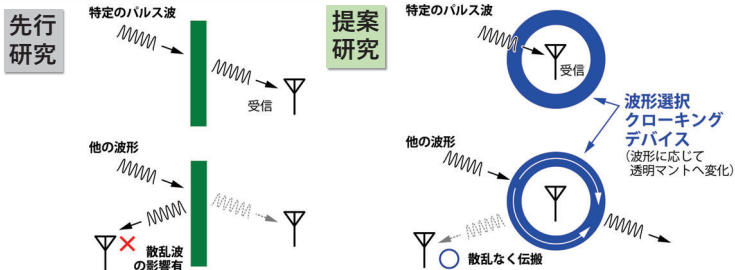


図2. 本研究の狙い. クロージング技術の導入によりパルス幅に応じて電波の伝搬方向を制御.

【1. 基本特性の開拓】

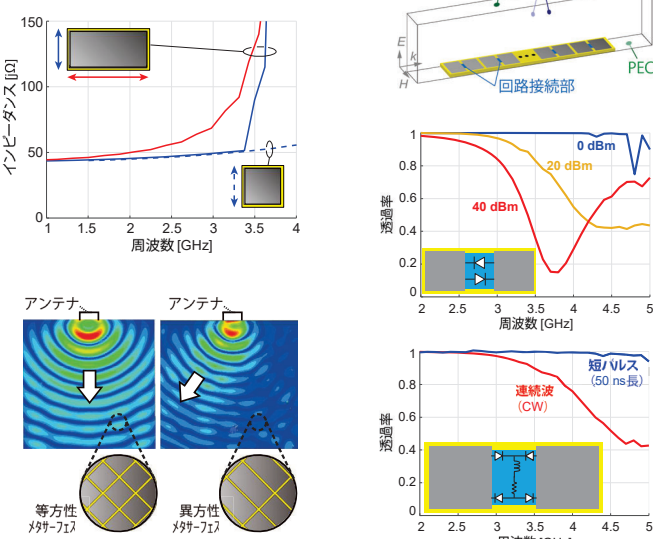


図3. (上)周期セルの金属形状に応じたインピーダンス変化. (下)等方性および異方性インピーダンスによる伝搬方向の制御.

【2. 二次元平面への拡張と高周波数帯への移行】

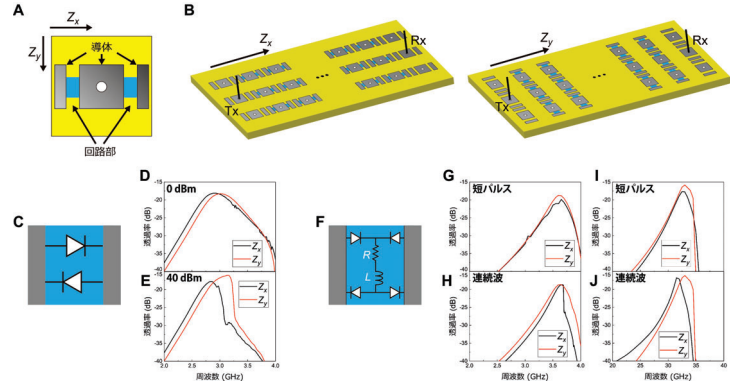


図4. (上)一次元モデル. (中)簡易評価用の非線形モデル. 導体部の接続による影響を評価. (下)パルス幅の変化に対する評価モデル.

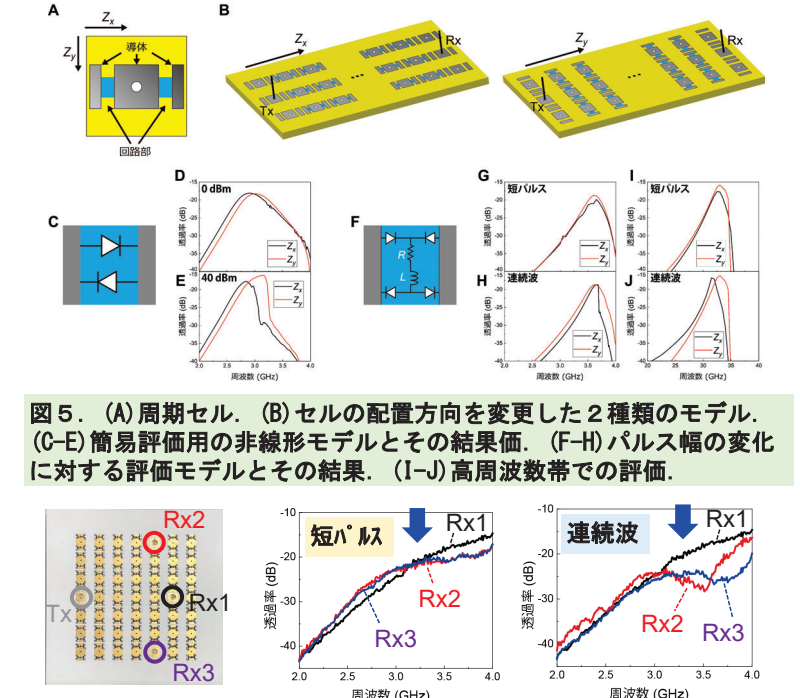


図5. (A)周期セル. (B)セルの配置方向を変更した2種類のモデル. (C-E)簡易評価用の非線形モデルとその結果値. (F-H)パルス幅の変化に対する評価モデルとその結果. (I-J)高周波数帯での評価.

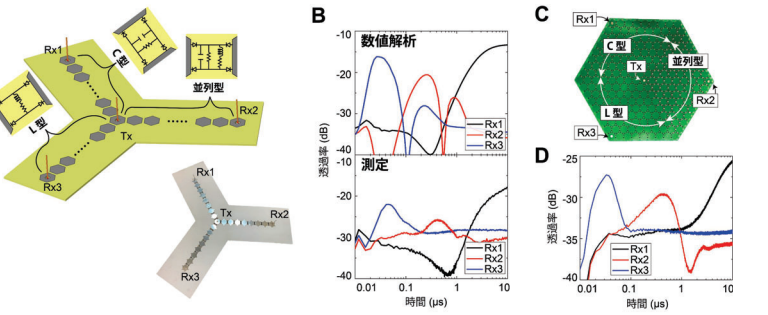


図6. 実証実験試料とその結果.

研究成果

学術論文7篇(*Nature Comm*誌など)、国際会議発表2件、国内学会発表1件、報道発表1件、報道掲載リスト5件

【3. クロージングデバイスの開発】

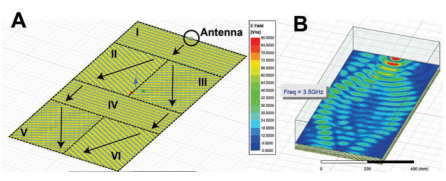


図7. (A)クロージングデバイスモデルと(B)その計算結果.

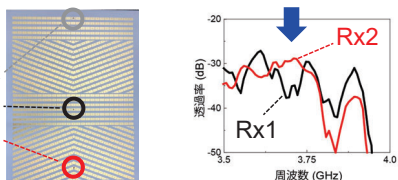
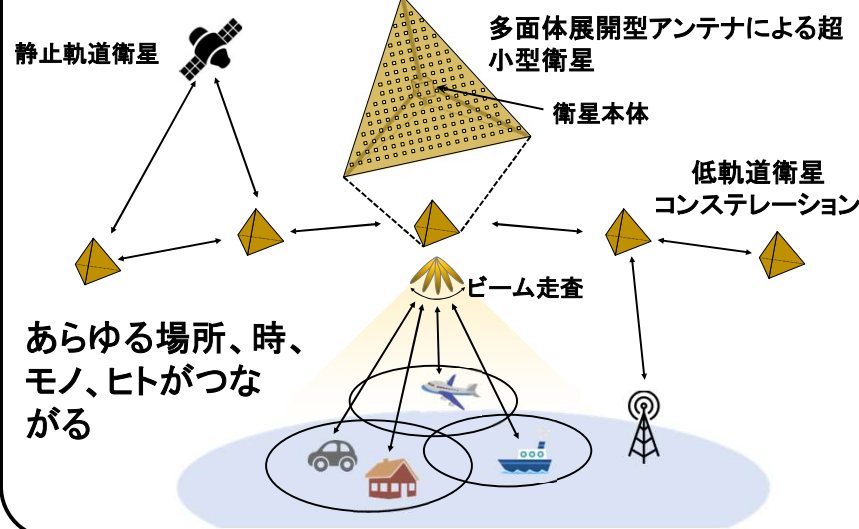


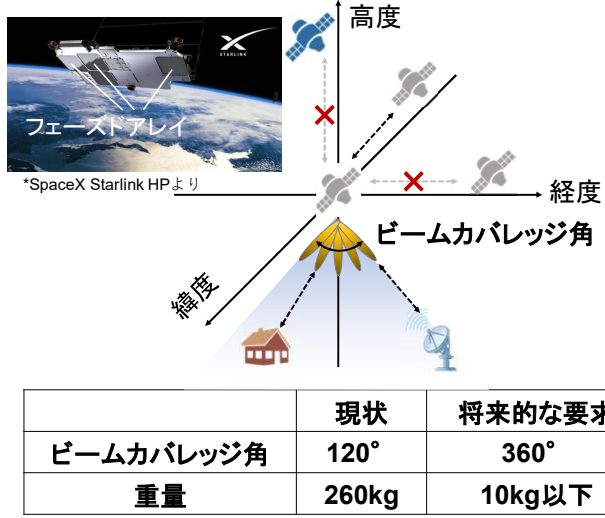
図8. 実証実験試料とその結果.

研究背景

提案する超小型衛星コンステレーション構想



現状の衛星通信の課題



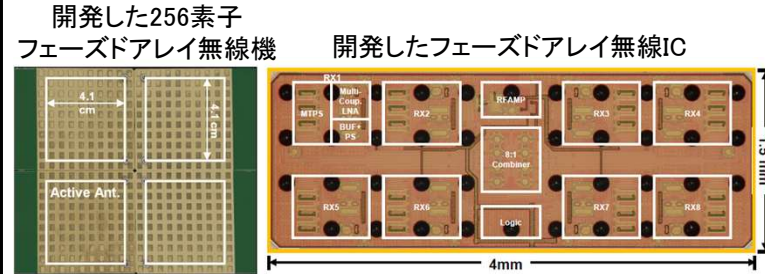
研究内容

超小型衛星用フェーズドアレイ無線機

本研究目標と現状の5G向けフェーズドアレイ無線機の比較

	本研究の目標	Qualcomm社 [1]
無線機サイズ	10cm × 10cm × 0.5cm	N/A
アレイ素子数	256素子	64素子
周波数	26.5 - 29.5GHz	26.5 - 29.5GHz
出力電力	56dBm EIRP	35dBm EIRP
帯域幅	400MHz, 800MHz, 1.6GHz	400MHz
通信速度	上り: 12.8Gbps 下り: 3.2Gbps	上り: 2.4Gbps 下り: 2.4Gbps
ビームフォーミング	±45° / 0.5° step	±45° / 14° step
消費電力 / 1系統	40mW	90mW
放射線シールド	有り	無し
放射線トータルドーズ耐性	100krad	N/A
放射線シングルイベント耐性	30MeV/(mg/cm ²)	N/A

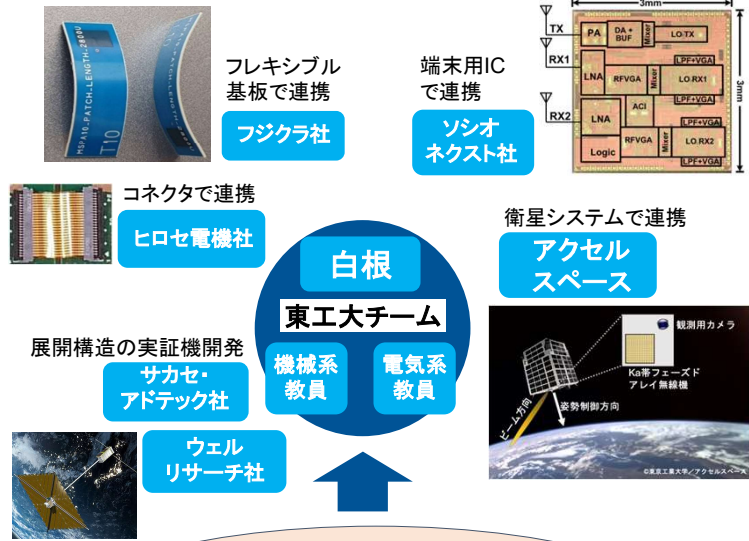
[1] J. Dunworth, et al., ISSCC pp.70-71, Feb. 2018



	本研究	RFIC2021[2]	ISSCC2021[3]	ISSCC20[4]
Process	65nm CMOS	28nm CMOS FD-SOI	65nm CMOS	28nm CMOS
Operation Band	26.7-30.4GHz	24.25-29.5GHz 37-40GHz	17.7-19.2GHz	37-40GHz
NF	3.8dB	4.3-6.4dB	3.2-4.1dB	4.2-4.6
IIP3	-22dBm	-37.8dBm	-17.4dBm	N/A
P _{DC} /Element	3.4mW	17.3mW	74mW	39mW
TID Gain & Phase Degradation	0.06dB/Mrad 0.4°/Mrad	N/A	N/A	N/A

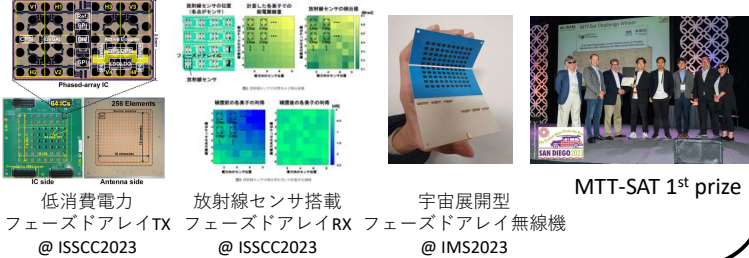
[2] X. Yu et al., IEEE RFIC, pp. 107-110, Jun. 2021.
[3] M. Li et al., ISSCC, vol. 64, pp. 230-232, Feb. 2021.
[4] H.-C. Park et al., ISSCC, pp. 76-78, Apr. 2020.

研究体制



研究成果

査読付き論文3件、査読付き国際学会16件、口頭発表22件、受賞3件、報道発表10件、報道掲載19件 *終了時点





研究課題の概要

本研究開発では、多種多様なIoTデバイスやWeb上等の様々なドメインから得られる複合ビッグデータストリームを動的空間モデルとして学習し、リアルタイムに、予測・要因分析・最適化を行う高度支援技術を開発しました。

研究室HP



研究開発の内容

【社会的／技術的な背景】

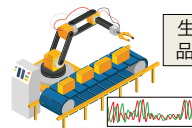
産業・社会へのAI／ビッグデータ技術導入

(新たな需要：リアルタイム支援サービスの実現)

- ・ 製造業、スマート工場技術 (故障予測、要因分析、製造工程最適化)
- ・ モビリティ産業、自動車運転支援技術 (危険予測・走行分析、最適化)

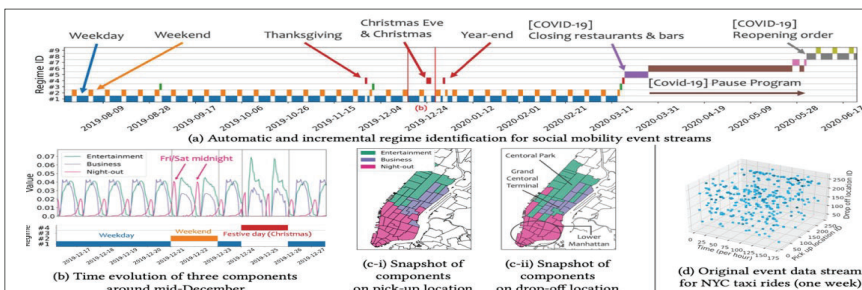
【本研究の目的】

1. 複合ビッグデータストリームを対象とした、**リアルタイム動的空間モデル学習技術**の開発
2. 動的空間モデリング技術に基づく**要因分析・将来予測、リアルタイム最適化技術**の開発

生産性 /
品質向上運転支援 /
事故回避

研究開発成果 (抜粋)

複合ビッグデータストリームの動的空間モデル学習 (WWW 2023)

TheWebConf
(WWW) 2023
採択率19.2%, 365/1900
/IPSJ 山下記念賞受賞

都市部における乗降車ビッグデータ (NYC taxi rides) の特徴抽出
～コロナ前後での走行状況の変化を分析・可視化～



【入力】

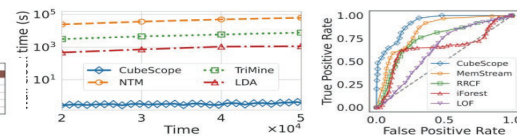
High-order Sparse tensor stream X

【出力】

Latent topics and dynamic trends and segmentation

【特長】

情報圧縮に基づく潜在トレンドの自動抽出
複合イベントデータストリームのリアルタイム
分析 (事前知識等を用いることなく、特徴的な
パターンの自動検出に成功)



リアルタイム最適化に基づく行動支援システムの開発と大規模実証実験

複合IoTビッグデータ解析に基づくリアルタイム最適化

事例：ターボ分子ポンプの故障発生予測

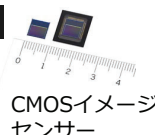
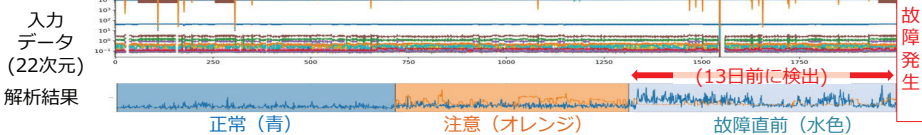
【入力】 高次元時系列データ (設備管理および稼働データ)

【出力】 潜在的動的パターン、異常 (故障) 予知

装置状態を**正常 (青)**、**注意 (オレンジ)**、**故障直前 (水色)** に分類水色のセグメント幅は約13日 (約13日前に**故障の兆候**を検出)

特徴的なパターンやその変化点を時系列に捉え、装置状態を推定

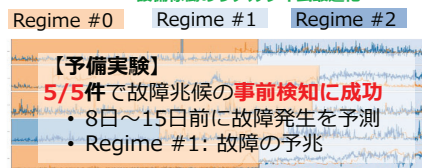
SONY

CMOSイメージ
センサー

SONY共同研究

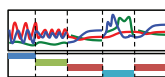
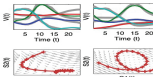
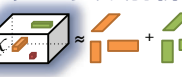
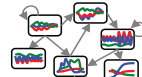
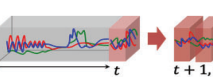


工場の稼働効率の最適化
持続可能な社会実現のための
設備稼働のリアルタイム最適化



【主な研究成果】ACM SIGKDD2020、ACM SIGKDD2022、ACM CIKM2022、WWW2023 (a), (b) 等での発表

- ・ 動的空間モデリングとパラメータ推定手法等の開発 (推定誤差 10% 以下、計算量 $O(1)$ 、30万倍の速度向上達成)
- ・ 令和4年度 総務省 戦略的情報通信研究開発推進事業 成果展開推進賞、令和4年度科学技術分野の文部科学大臣表彰「若手科学者賞」

時系列特徴
自動抽出非線形動的
モデリング非線形
テンソル解析要因分析・
将来予測リアルタイム
解析・将来予測小型エッジ
学習

【研究開発成果の展開】産業分野への社会実装・事業化への取り組み：企業連携・共同研究の実施 (ソニーSCK、住友電気工業/東京電力、オルガノ、SCREEN、ローム、凸版印刷、TOPPAN エッジ、トヨタTTDC/JAXA、小松製作所、富士通研究所等)

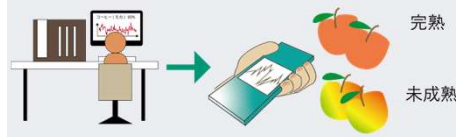
【波及効果創出への取り組み】モビリティ・医療/ヘルスケアAI・大規模インフラ等の異分野への展開：(ロボット・ローバの電力最適化 (宇宙探査/トヨタTTDC, JAXA)、遠隔医療/(阪大病院)産婦人科、脳神経外科、心臓血管外科、消化器外科、歯学科、橋梁老朽化のリアルタイム監視/JST COI-NEXT本格型、パーソナルデータののためのセキュアエッジ AI (JST CREST/代表松原))

においは食品の品質や人間の健康状態など様々な情報を有しており、このようなおいを、小型、低消費電力かつ高精度に識別可能なセンサの実用化は未だなされていない。単一のセンサ素子で特定のカテゴリ内のおい識別を実現すべく、ヒータ加熱に用いる変調信号のパラメータ最適化手法を構築した。また、その有用性を検証するために小型低消費電力なおいセンサシステムを試作し、高精度なおい識別を行った。

背景と目的：小型で低消費電力なおいセンシングの実現を目指して

においがどこでも測れる世界を：

- ・品質確認、好みのにおいか判断
- ・小型、低消費電力化の必要性



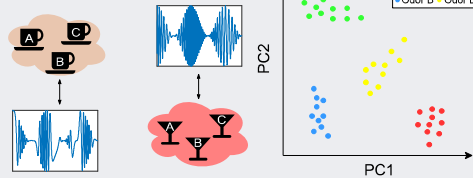
においセンサによる識別：

- ・センサアレイから構成[中本, 2014]
- ・加熱による応答の変化を利用
- ・各センサの出力パターンから作成したデータベクトルで識別[A. Hierlemann et al., 2008]



データに基づくアダプティブなセンシング：

- ・素子数が少ない → あらゆるにおいの識別精度は低下
- ・ヒータ電圧の波形をカテゴリ内での識別精度が良くなるよう最適化することでいろいろなにおいに対応可能



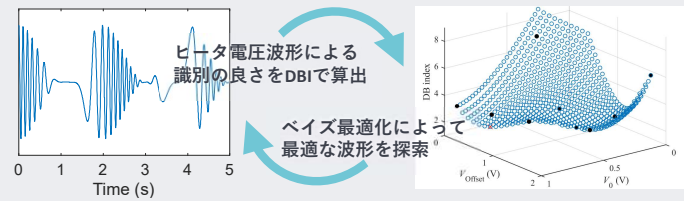
→単一素子でのにおい識別を行うことで小型・低消費電力化を実現したい

ヒータ電圧波形の最適化

ヒータに印加する電圧の振幅（温度）や周波数に応じて選択性が変化[A. Lee et al., 1999]

→ 振幅や周波数のパラメータを最適化（DBIを評価値としたベイズ最適化）

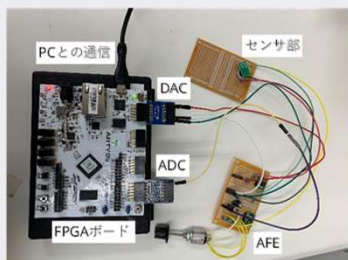
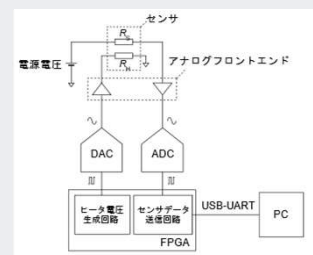
$$V_H = V_0 \left\{ 1 + \cos(2\pi f_1 t + \phi_1) \right\} \cos \left\{ 2\pi f_0 t + \frac{\Delta f}{f_2} \sin(2\pi f_2 t + \phi_2) + \phi_3 \right\} + V_{\text{Offset}}$$



においセンサシステムの試作

FPGA, ADC/DAC, AFEによりおい計測を試作

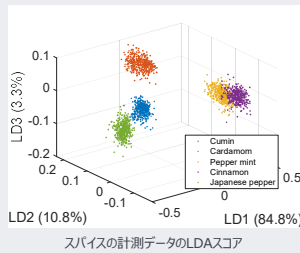
- ・与えられた波形でヒータ加熱とデータ計測処理を行う
- ・波形最適化や可視化はPC側で実行
- ・110×120×100 mm³ 程度に収まるサイズ



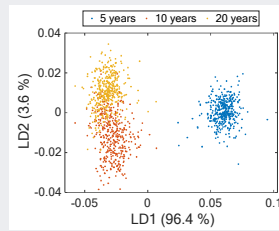
アダプティブなおい識別の実証

異なるカテゴリ(スパイス・コーヒー・日本酒)のにおいに対する識別：

- ・ベイズ最適化によって最適化した入力ヒータ電圧波形を使用
- ・スパイスとコーヒーで90%を超える識別率
- ・日本酒に対しては更に最適化の試行回数を増やすことで改善の見込み



スパイスの計測データのLDAスコア

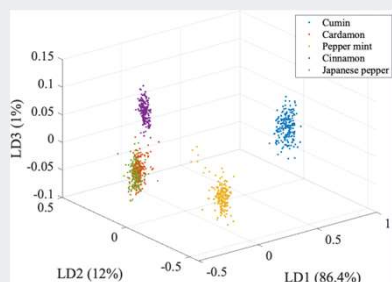
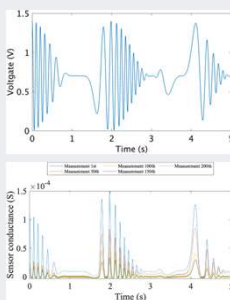


日本酒の計測データのLDAスコア

試作機によるおい識別

5種のスパイスの識別を検証：

- ・雰囲気制御を行わない環境下で計測
- ・LDAにより識別モデル作成
- ・4次元のLDAスコアで97%の識別精度

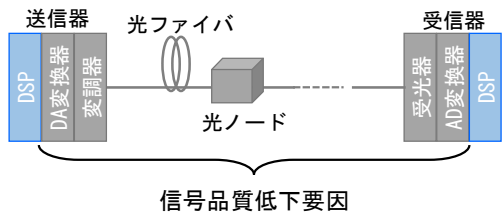


Background

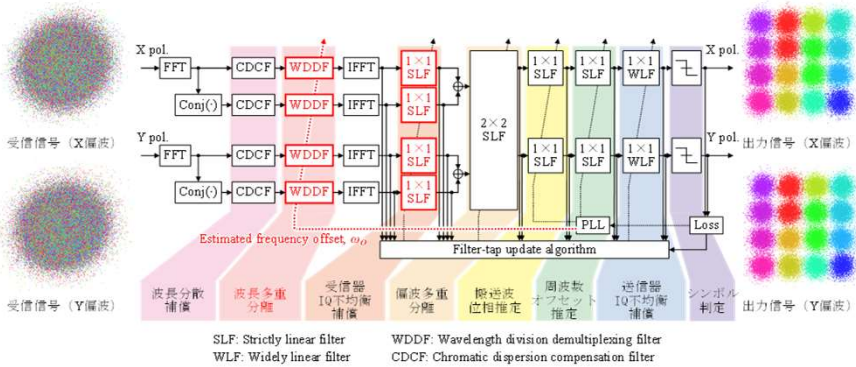
研究開発の概要：高性能かつ低コストデジタルコヒーレント通信技術の確立

デジタルコヒーレント通信とは

- デジタル信号処理とコヒーレント光受信器を活用した通信技術
- 通信品質はデジタル信号処理 (DSP) の性能に強く依存

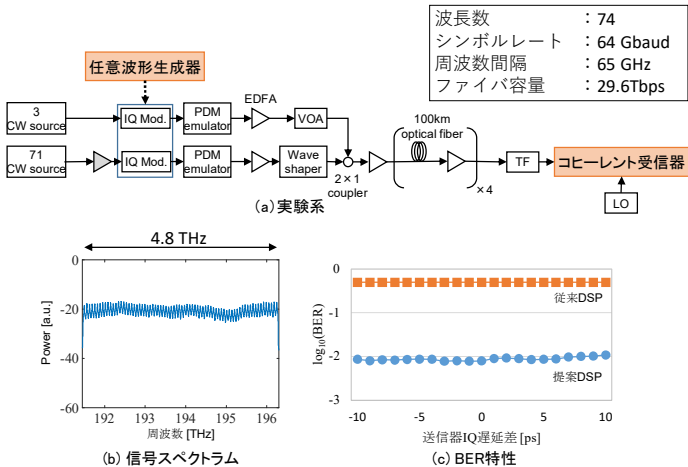


Digital Signal Processing for Long-haul Transmission

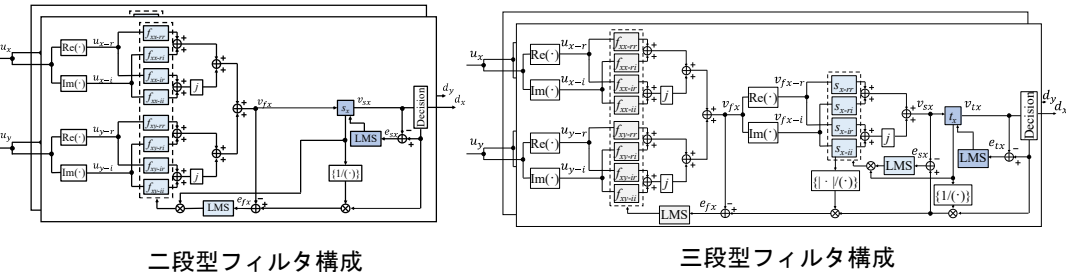


SLF: Strictly linear filter
WLF: Widely linear filter
WDDF: Wavelength division demultiplexing filter
CDCF: Chromatic dispersion compensation filter

各段のフィルタが相互補完的に動作することで理想的な復調性能を実現



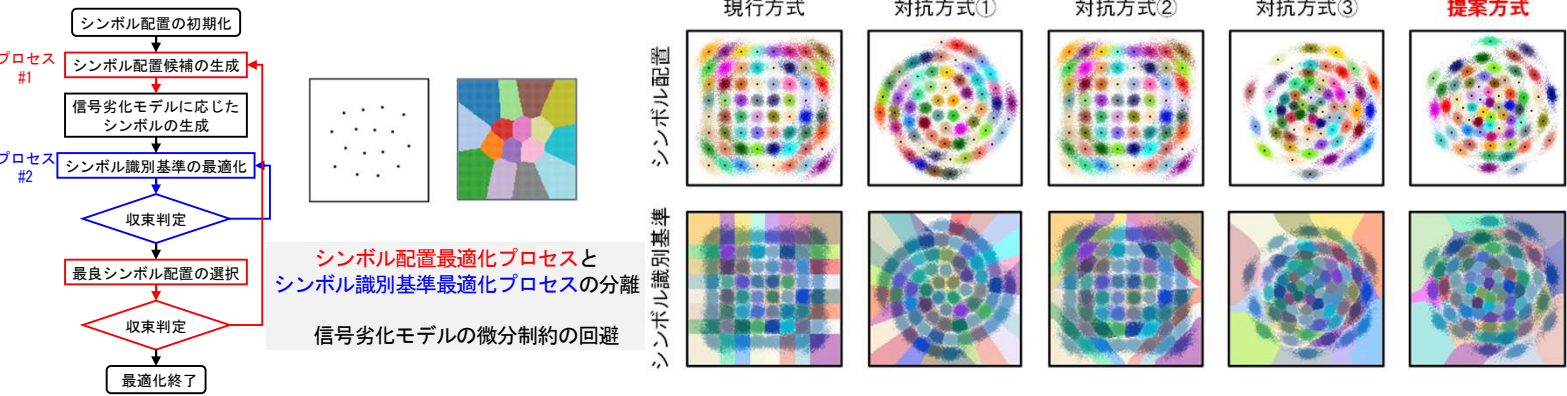
Digital Signal Processing for Short-haul Transmission



	3段型	2段型
乗算数	176	136
機能	- モード分離 - 位相・周波数推定 - 送信器IQ位相不均衡補償 - 送信器IQ利得不均衡補償 - 受信器IQ位相不均衡補償 - 受信器IQ利得不均衡補償	- モード分離 - 位相・周波数推定 - 送信器IQ位相不均衡補償 - 送信器IQ利得不均衡補償

機能を取捨選択することでDSPコストを削減

Joint Optimization of Modulation and Demodulation



Summary

- 長距離用デジタル信号処理：多段型協調フィルタに基づく回路構成を提案 → 理想的な復調性能を実現
- 短距離用デジタル信号処理：機能の取捨選択に基づく回路構成を提案 → 計算負荷の低減を実現
- 変調復調の同時最適化：Loop-in-Loop構造に基づく最適化構造を提案 → 信号劣化の制約なく最適化が可能

研究背景

■ LPWA (Low Power Wide Area)

➢ 免許不要、通信距離：数km、長寿命性の無線センサネットワーク

■ LPWAの課題

1. 狭帯域性と送信時間制限によるスループット制限

2. システム内外の干渉による通信の不安定性

3. 通信性能が固定的で観測対象の早い状態変化に追従できない

■ フレキシブルLPWA

➢ PLIM・環境ダイナミクス活用・無線環境蓄積データベース機能連携

◆ パケットレベルインデックス変調(PLIM)

◆ 環境ダイナミクスを活用したデータ傾向予測

◆ 無線環境蓄積データベース

図. PLIMの例 (周波数チャネル数 $K = 4$, タイムスロット数 $Q = 4$)

環境モニタリングに適切な粒度の情報集約を、高品質で少ない周波数資源利用で実現する新たな無線センサネットワーク

環境ダイナミクス活用型の情報集約制御法

□ センサをクラスタリング・送信周期を制御する機能

✓ クラスタリングによる空間相関判定で適切な送信頻度を制御

✓ 周波数・電力リソースで高効率化を実現

■ クラスタリング

➢ 空間方向の類似性をk-means法で識別し、平均値を導出

➢ クラスタ内で常時通知センサ（ヘッド）と頻度削減センサ（従属）

■ 送信周期制御

■ $N - 1$ 回目で形成されたクラスタを N 回目に集約した情報で評価

■ 各クラスタ内の温度誤差 ($|T_{max} - T_{min}|$) が許容温度誤差内に収まるか否かで各クラスタ自体を評価

➢ 許容温度誤差を上回るクラスタを誤りクラスタとする

➢ 全体のクラスタの内、誤りクラスタの割合が許容割合内に収まるか否かで次の従属センサの送信周期を変更

表1. 結果

図. 統合システムの概要

□ 結果

■ 集約データ数28.8%削減、クラスタ内温度誤差10.7℃抑制（表1）

無線環境に基づく使用可能周波数チャネル割当

■ システム内外の端末数増加に伴い、パケット衝突が増加する恐れ

➢ 端末の使用可能周波数チャネルを動的に割当て衝突を回避

■ 電力観測アルゴリズム

➢ USRPで各周波数チャネルの電力を任意時間 T_{obs} [s]の間観測

➢ 観測後に電力値を格納したファイルをGWへ送信

■ 使用可能周波数チャネル変更

➢ PLIM Serverで受信電力ファイルから使用可能周波数チャネルを決定

✓ 閾値 $P_{threshold}$ 以上となる電力値を占有データとみなす

✓ 過去 T_{obs} [s]において、占有データ数の割合が閾値を上回る周波数チャネルは使用不可能周波数チャネルとする

➢ DLパケットで使用可能周波数チャネル集合 $\mathcal{A}'$ をPLIM端末と共有

図X. 使用可能周波数チャネル更新の流れ

■ 結果

➢ チャネル42 (924.2 [MHz])において干渉信号を発生

➢ 該当チャネルを除いた、使用可能周波数チャネル集合の更新が可能

パケット型インデックス変調 (PLIM: Packet Level Index Modulation)

PLIMの概要

■ パケット送信周期 (フレーム) $T_{frame,i}$ を複数のタイムスロットに分割

■ 各端末は送りたい情報 (PLIMビット) に基づき、タイムスロットと周波数チャネル (インデックス) を選択し送信

■ ゲートウェイ (GW: GateWay) ではパケットを受信したタイムスロットと周波数チャネルを推定し、PLIMビットを復調

➔ Payload の情報に加えて、追加で $B_{plim}(R)$ [bit] の情報伝送が可能

$$B_{plim}(R) = \lfloor \log_2(R) \rfloor$$

R : タイムスロットと周波数チャネルの組み合わせ (リソース) 数

図. PLIMの例 (周波数チャネル数 $K = 4$, タイムスロット数 $Q = 4$)

適応インデックスマッピング (FIM: Flexible Index Mapping)

■ 送信したいビット系列とPLIMインデックス (k, q) を対応付けるインデックスマッパー $\mathcal{F}$ とデマッパー $\mathcal{F}^{-1}$ が必要 ➔ FIMを提案

■ FIMは端末のデバイスアドレスとパケットカウンタを用いることで、端末/パケット毎に異なるインデックスマッピングを実行

■ FIMは使用可能な周波数チャネル数 K_q が変化した場合においても対応可能

クロックドリフト補償

■ タイムスロット検出を行うため、PLIMではGW-端末間の同期が必須

■ LoRaWAN端末はRTCの精度が高くないため、GW-端末間に時刻ズレ (クロックドリフト) が生じ、GWでのタイムスロット推定が困難

✓ クロックドリフトを考慮したタイムスロット推定法を用いて、GW側でのみ処理で同期を実現

統合検証

図. 統合システムの概要

図. 統合システムの動作検証

統合検証結果

■ PLIMによりLoRaWANベイロードに加えて、データを伝送できることを確認

✓ 使用周波数チャネル割当て結果に応じて、適切なインデックスを選択することを確認

■ 送信周期制御によりPLIMにおけるタイムスロット数が変化した場合においても、正しくPLIMビットを伝送できることを確認

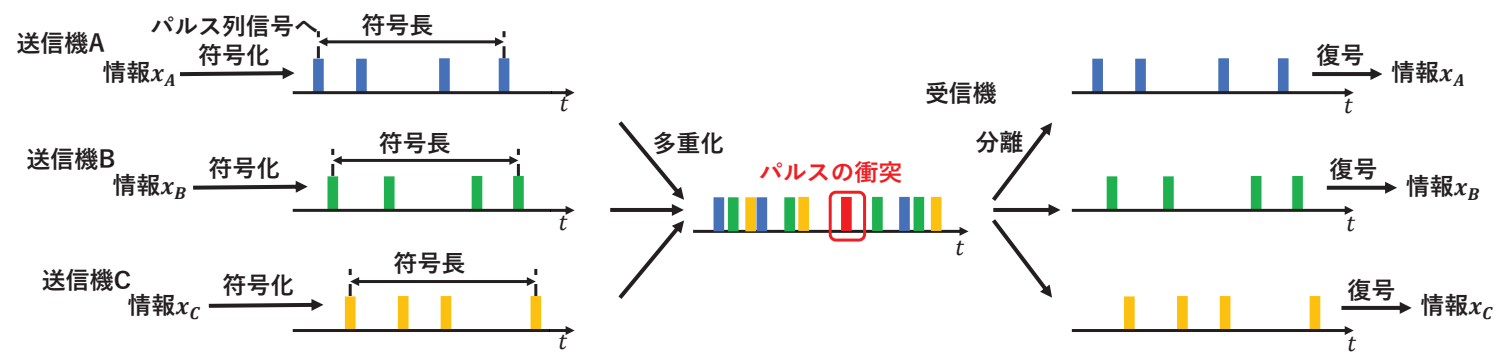
■ 結果

➢ PLIMにより最大約32%伝送容量拡大、チャネル割当て機構により収集精度の安定性向上、送信制御で平均28.8%のデータ削減を実現

研究概要

世界中に数百億台のIoTデバイスが普及するIoT社会の到来に向け、低消費電力、広域サービス、低コストなLPWA技術が期待されています。一方で、一般的な通信方式ではデバイス数が増加すると通信の衝突が多発するため、性能が大きく低下してしまうという問題があります。本研究開発では、疎なパルス列を用いることにより、メッセージが衝突しても正しく受信できる非同期パルス符号多重通信方式（APCMA：Asynchronous Pulse Code Multiple Access）を開発し、送信機1000台の屋外実験、送信機1500台の屋内実験に成功しました。

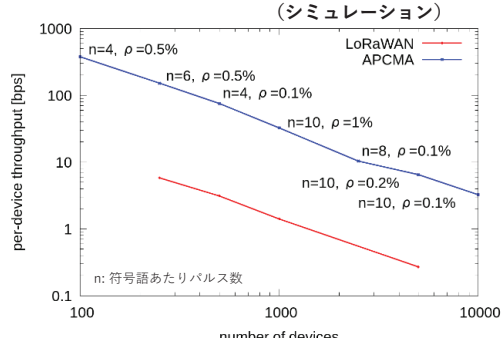
非同期パルス符号多重通信方式APCMA



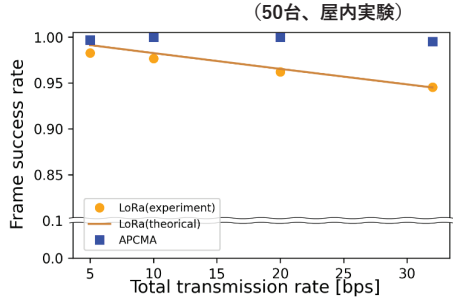
- 特徴
- 少数のパルスからなる符号：符号長は共通であり、符号語間でのパルス位置の重複は両端のみ。 → 低デューティ比、高分離性
 - ランダムアクセス：送信機はキャリアセンス無しに任意のタイミングでメッセージを送信。 → 低消費電力、低コスト
 - 簡易なアルゴリズム：受信パルス列に対して簡単なパターンマッチングによりメッセージを分離。 → 高多重度、高干渉耐性

APCMAの通信性能

LoRaWANよりも高いスループット



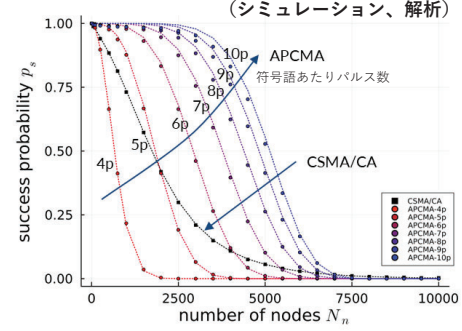
LoRaよりも高い通信成功率



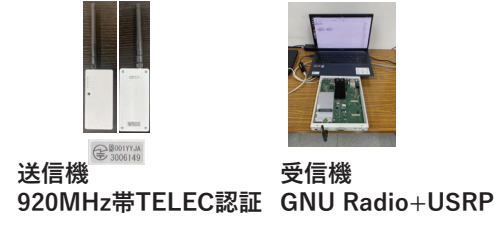
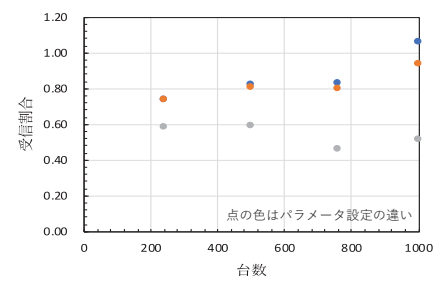
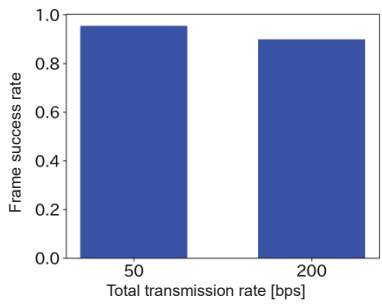
1000台での通信性能 (屋外実験@YRP)



CSMA/CAよりも高い通信成功率

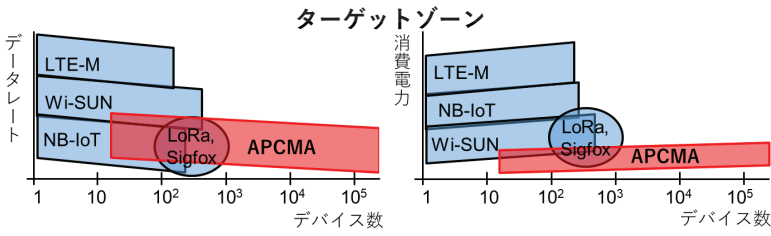


1500台での通信性能 (屋内実験)



応用例・利活用シーン

- 多数のIoTデバイスによる監視
 - メータ監視
 - 大規模集会や医療機関での体調管理
 - 工場での機器管理
 - 農地での育成状態管理
- 構造物や施設のモニタリング
 - モノの追跡
 - バイオ医薬品の温度管理
 - 商品の盗難防止
 - 建設現場での資材管理
- 僻地でのIoT導入
 - 山火事の監視
 - 海洋の水温・潮流モニタリング
 - 魚群管理
 - 農作物の生育状態把握



知的財産情報

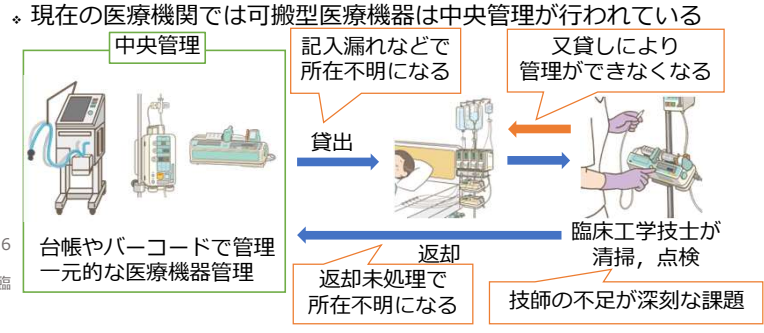
- 通信方法およびネットワークシステム (特許第7236068号)
- 通信プログラム及びパルス符号列の割り当て方法 (特願2023-13137)

医療機器の電波共用と管理コスト削減を目的とした
電源タップ型位置状態最適管理ソリューションの開発
大塚孝信¹, 大山慎太郎², 島孔介¹ ¹名古屋工業大学, ²名古屋大学

本研究開発前の医療機器管理の状況

- 医療機器が多様化しており、管理台数は増加の一途[1]
 - 使用前, 使用中, 使用後および定期点検が必要[2]
 - 病床数が約1000床の大規模病院での管理台数は10,500台
 - 新型コロナウイルスにより医療機器管理の必要性が拡大[3]
 - 医療機器による事故も発生していた
 - 2020年に842件の事故が報告された[4]
 - 機器の電源つけ忘れや回路の接続が外れたことが原因とされている
- [1] 長谷川 聖一, ほか, ME機器管理システム Me-ARCへの切替を経験して, 日農医師 65巻1号 109-113, 2016
[2] 厚生労働省, 医療機器に係る安全管理のための体制確保に係る運用上の留意点について, 2018
[3] 新型コロナウイルスの感染拡大に対する医療機器の保守点検・管理等について(第3報), 公益社団法人日本臨床工学技士会, 2020
[4] 公益財団法人 日本医療機能評価機構, 医療事故情報収集等事業 第64回報告書(2020年10月-12月)

医療機器の中央管理とその課題



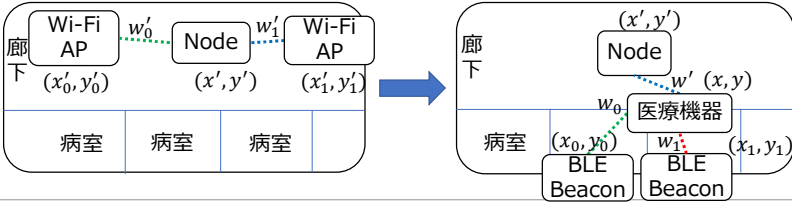
電源タップ型デバイス

- 4ポート型と1ポート型を開発
- 接続機器の位置と稼働状況を推定
- 取得したデータはLoRa通信で集約

病院に既存の通信回線を圧迫せず
空き周波数の有効利活用も推進

モニタリングデバイスの位置推定

- Step1: Wi-Fiアクセスポイント(AP)による測位**
 - スキャンしたWi-Fi APのRSSI_iを重み w'_i に変換
 - Wi-Fi APの位置 (x'_i, y'_i) と重み w'_i に加重重心アルゴリズムを適用
⇒ ノードの位置 (x', y') を求める
 - Step2: BLEビーコンによる測位補正**
 - Wi-Fi APの重みの平均をStep1で求めたノードの重み w' とする
 - ノード情報, ビーコンの位置 (x_i, y_i) , 重み w_i を用いて測位を行う
- ⇒ 現場の測位精度要件に合わせたBLEビーコン数の加減が可能



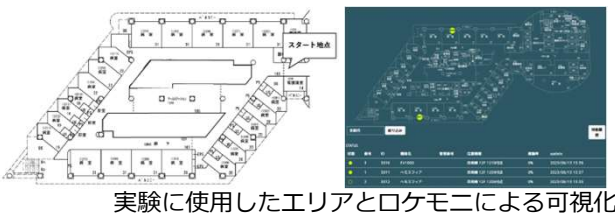
医療機器稼働状況の推定

- 電流値を I , 分散を σ^2 とし、機器ごとに閾値 $\theta_{i1}, \theta_{i2}, \theta_{\sigma1}, \theta_{\sigma2}$ を設定
- 閾値は2週間収集したデータからk-means法により自動で決定
- $$\begin{cases} \theta_{i1} < I \wedge \theta_{\sigma1} < \sigma^2 \Rightarrow \text{稼働中} \\ \theta_{i2} < I \leq \theta_{i1} \wedge \theta_{\sigma2} < \sigma^2 \leq \theta_{\sigma1} \Rightarrow \text{充電中} \\ 0 < I \leq \theta_{i2} \wedge 0 < \sigma^2 \leq \theta_{\sigma2} \Rightarrow \text{未稼働} \end{cases}$$
- 2022年12月1日~12月16日の超音波画像診断装置の稼働状態を既存システムのAPMと比較
- ロケモニの推定精度が高いことを確認 (平均稼働時間に2倍の差)

提案手法		APM	
稼働回数	平均稼働時間	稼働回数	平均稼働時間
39	0:24:31	41	0:49:10

ロケモニを用いた医療機器搜索実験

- 位置可視化により機器搜索時間が短縮されるかを検証
- 実験条件は現場職員からヒアリングをもとに設定
 - 名古屋大学医学部附属病院の1エリアを対象とする
 - 機器3台を配置 (2台が稼働中)、未稼働の1台を搜索
 - 名大病院の臨床工学技士3名の協力により検証
 - 協力者3名はロケモニ有・無それぞれで10回ずつ搜索



実験に使用したエリアとロケモニによる可視化

単位:[秒]	被験者 A	被験者 B	被験者 C	全体
ロケモニなし	119 ± 44	130 ± 45	112 ± 63	120 ± 50
ロケモニあり	77 ± 27	72 ± 12	56 ± 25	69 ± 24
時間短縮率	65%	56%	50%	57%

検証結果: 医療機器搜索時間の50%以上削減に成功

医療機器モニタリングシステム「ロケモニ」普及への取組

- 複数の医療機関においてロケモニを運用しデータ及び現場ニーズを収集
 - 名大病院, 新城市市民病院, 三重大学病院, 神戸大学病院, 琉球大学病院で運用
 - 4口, 1口あわせて200台以上のロケモニデバイスを運用している
- 2023年冬に製品化が完了する見込み
 - 事業化についても、協力機関からのヒアリング結果を反映しサブスクリプションでの社会実装について検討中
- 他製品との連携も進めている
 - 大成建設の危機管理システムT location ME, フクダ電子安全点検システム Maris

医療機器モニタリングシステム「ロケモニ」の今後

- LPWA通信は送信先が固定 ⇒ 通信範囲外 (病院外) は通信ができない
 - 通信手法・送信先を動的に切り替える機能の開発・実証
 - GPS座標を利用して送信先GWの変更やモバイル回線へ切り替え
⇒ ボードレスな通信による広域IoTシステムを構築

今後の開発項目

他医療機関へのリソース融通 送信先変更で融通先病院のLPWAに参加させる

在宅療養への医療機器貸出 モバイル回線への切替で使用状況・異常の有無を送信

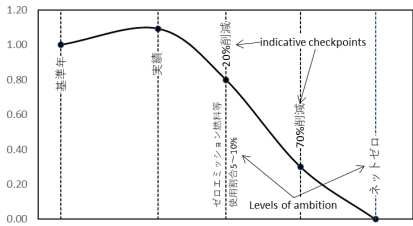
期待できる主な応用例 複数の工場でそれぞれLPWAネットワークを展開する製造業に適用、工場間でのリソース融通により可搬設備の有効利活用も可能に

概要

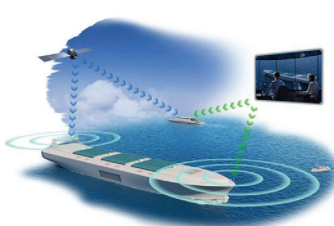
世界中で使用可能な周波数帯を用い、海中での高速・安定な通信を可能とする小型・軽量の海中無線通信システムを開発し、小型センサと組み合わせ、回転するプロペラの異常検知と性能評価を可能とするプロペラ運航モニタリングシステムを提案・開発した。圧電ラインセンサとイメージセンサを組み込んだ海中小型センサモジュールと設計・試作したアンテナシステムを持つ海中無線通信システムを統合したモニタリングシステムにより、炭素繊維強化プラスチック製プロペラの回転中の振動検知と画像取得およびそのデータ伝送に成功した。健全なプロペラから検知された振動は、流体構造連成解析により得られた解析結果とよく一致し、また計測信号からプロペラの損傷検知が可能であることを確認した。脱炭素化・自動化に伴う船舶のさらなる効率性・信頼性の向上に資する画期的な成果が得られた。

背景と目標

- 船舶の脱炭素化・自動化/無人化に伴い、推進系の効率性・信頼性の向上が求められている
- CFRP（炭素繊維強化プラスチック）製プロペラによる効率性の向上、デジタルツインによる信頼性の向上を目指す
- 海中無線技術を用いた船用プロペラのモニタリングシステムの開発
 - 海中無線通信システムおよび周波数共用を実現する海中アンテナシステムの開発
 - 海中小型センサモジュールと異常検知システムの開発
 - 実船試験による検証



国際海運からのGHG排出削減目標



無人運航船の開発（日本財団HPより）

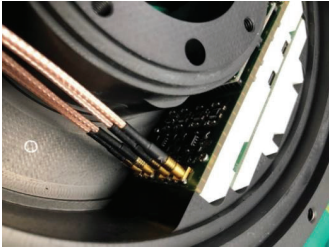


CFRP製プロペラ

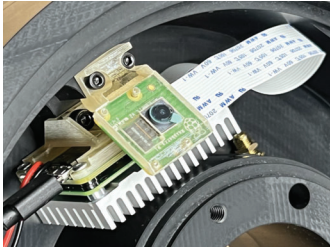


船体構造デジタルツイン

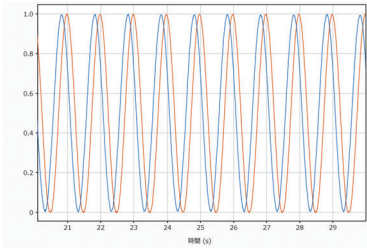
開発内容と結果



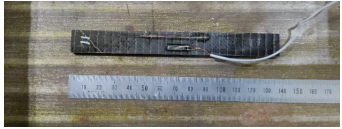
圧電ラインセンサ用基板



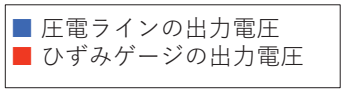
イメージセンサ用基板



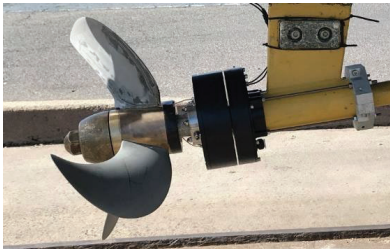
繰り返し荷重試験における圧電ラインセンサの出力



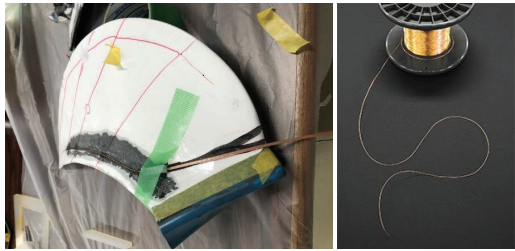
CFRP試験片



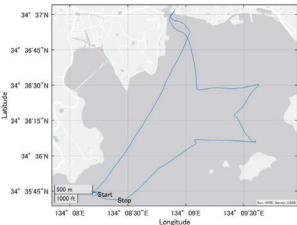
実験に使用した遊漁船



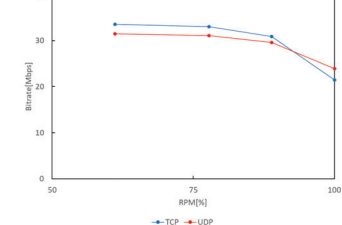
CFRP製プロペラとモニタリングシステム



CFRP製プロペラと圧電ラインセンサ



実験航路（岡山県牛窓沖）



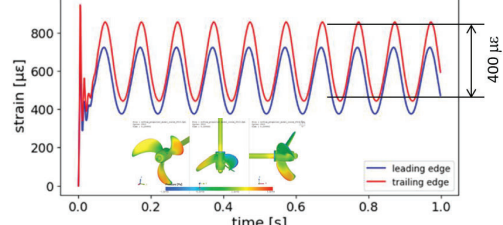
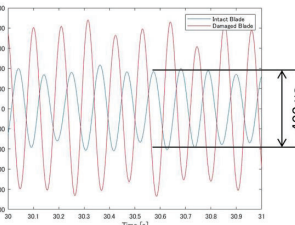
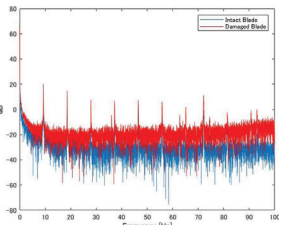
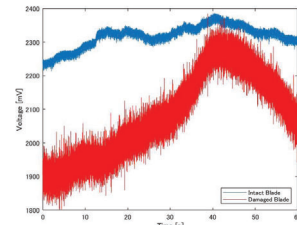
海中無線通信システムの性能



タフトを付けたプロペラ



イメージセンサによる画像取得



圧電ラインセンサの時系列電圧データ（左）、FFT（中）、換算ひずみ（右）

流体構造連成解析の結果

海中無線通信によるプロペラの振動・画像データの伝送・モニタリングに成功！

1. 研究開発の目的

人工呼吸器を含む高度管理医療機器システムを病院内・在宅・学校や仮設環境でも利用できるように、Bluetooth及びWi-Fiに加えて920MHz小電力無線マルチホップネットワークを導入することで、これら無線のそれぞれの特徴を生かした機動的なアラーム通報システムを構築し、920MHz無線の送信デューティサイクル(1時間あたり360秒)という利用条件で、医療分野でのアラーム及びデータを的確に介護者や医療従事者に知らせる機能を現場で検証する。

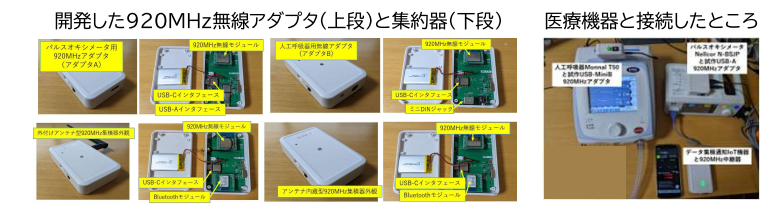
2. 研究開発の内容及び成果

2.1 研究開発目標(アウトカム目標)

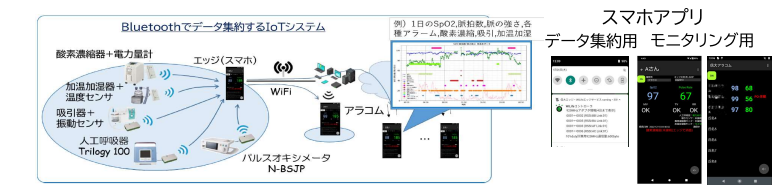
対象項目	患者宅	学校等	病院等
①見守り可能な介護者の行動可能エリア	自宅内80%以上	施設内必要エリアの80%以上	病棟内必要エリアの80%以上
②アラームの最大遅延時間	5秒未満		
③バッテリー駆動での稼働時間	8時間以上		
④同時見守り患者数	1名以上	1名以上	5名以上
⑤アラーム未到達率	1%未満	1%未満	5%未満
⑥統一インタフェース仕様	搭載		
⑦セキュリティ機能	搭載		

2.2 システムの開発

2種類の920MHz無線アダプタ(パルスオキシメータ用アダプタA、人工呼吸器含む汎用アダプタB)と920MHz無線データ集積器を作成した。連続動作時間に合わせたバッテリー容量とそのサイズ、異なる評価場所に合わせた無線モジュールの着脱方式とファームウェア更新方法を採用し、アダプタの小型化を図った。

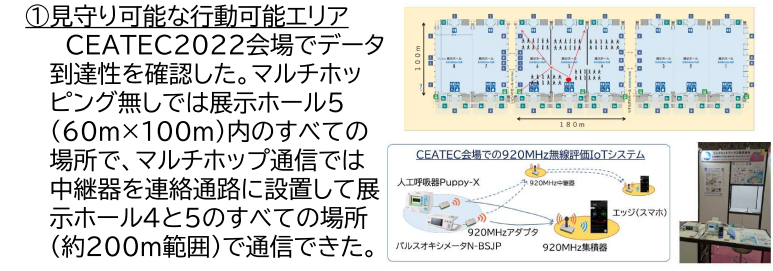


在宅利用向けには、人工呼吸器 Philips Trilogy 100、パルスオキシメータ Nellcor N-BSJP、吸引器などのデータ取り出しインタフェースが異なる医療機器群から、Bluetooth通信でデータをエッジ(スマホ)に集積し、Wi-Fi無線ネットワーク経由でデータを在宅者及び遠隔の関係者に送るシステムを開発し連続運転を実現した。



2.3 システムの評価

2.3.1 想定環境でのテスト用医療機器を利用した実験



⑥統一インタフェース仕様

920MHzアダプタから集積器への送信データサイズと統一インタフェースの定義を行って実装した。データを統一的に扱うIEEE802のデータ形式(TLVフォーマット)で920MHz無線送信ヘッダを含めて60バイトデータとし、データ送信量は医療機器送信データに依存するが、送信周期が異なるデータが混在する機器データも表現できるデータ形式とした。データ送信量は10%程度増えたが、様々なデータを出す医療機器でも送信量増加は少なく抑えられる。機器メンテナンス用データを取り除き30%程度の送信データ効率化を行えた。複数データをまとめて送信すればヘッダ占有割合を下げ通信量を削減できる。

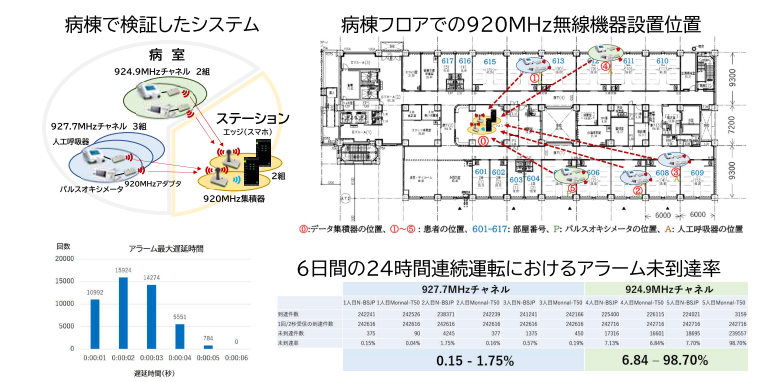
⑦セキュリティ機能

920MHz無線及びBluetoothを跨ってデータ暗号化を行う暗号キー自動生成方式のセキュリティ機能を簡易実装し動作確認した。

2.3.2 実環境での動作検証と評価

(a) 病棟フロアでの動作検証と評価

入院患者5名(パルスオキシメータ N-BSJP 5台、人工呼吸器 Monnal-T50 5台)を対象とし6日分の24時間で連続動作評価した。②アラームの最大遅延時間は、最大5秒未満(ほぼ5秒)の遅延を実現した。患者3名①②③が927.7MHzチャンネル、患者2名④⑤が924.9MHzチャンネルと設定した。①データ集積器への無線そのものの電波未到達率は0.1%以下から8%未満の未到達フレームであった。⑤アラーム未到達率は927.7MHzチャンネル利用では5%未満であったが、924.9MHzチャンネルでは924.1MHz近辺の医療機器ノイズと設置場所の影響から5%を超えていた。また無線ホッピング数1に制限していたため、5人目の人工呼吸器データがほぼ未到達であった。設定等で大幅に改善可能と考えられたが再検証までは実施できなかった。



(b) 学校でのデータ到達性の検証

集約器を看護師待機室(1階)の中庭窓側に配置して、パルスオキシメータを校内で移動させてモニタリング可否を調査した。体育館や校庭以外は、ほぼモニタリングが行えた。

(c) 在宅医療対象者宅でのデータ到達性の検証

山間地域の在宅患者宅に設置したパルスオキシメータをモニタリング可能か調査した。自宅内は問題なく、自宅周囲も見通しが良ければ130m程度までモニタリング可能であった。

3. 今後の研究開発成果の展開等

- (1) 複雑な設定を要さない無線チャンネル自動的割り当て機構の研究開発
- (2) より可搬性を高めたアダプタ小型化設計・制作
- (3) 介護負担軽減等への影響を評価する臨床研究の実施と成果発表
- (4) 太平洋島嶼国ミクロネシア連邦州立病院でデータ到達度を評価した

研究開発の目的

「空間伝送型ワイヤレス電力伝送」を安全に有人エリアにて使用するために、送電ビームを集中できる準ミリ波帯への移行を促進する技術的課題を取り上げて研究開発を行い、ワイヤレス電力伝送が生活空間などでも活用されることを目指す。

現状 電波干渉・人体接近不可の根本原因であるビーム拡散

5.7GHz

提案 高周波化による安全性・共存性・伝送効率の向上

24GHz

有人エリア利用の現在の課題とあるべき姿のイメージ

研究開発の内容及び成果（１）

（１）安全利用に向けた人体・受電器の検出技術の開発

安全な送電に必要な人体と受電器の検出に画像認識を適用し、受電点と人体位置の正確な情報を取得することにより、充電時間の確保と人体への照射回避を両立する技術を開発した。

危険エリア 送電対象周辺に危険エリアを自動設定

アラートフラグ 危険エリア内への人物侵入アラートフラグの出力

送電対象に対する危険エリアの追従

危険エリア内に人物がいない場合アラートを取り下げ

範囲外(緑)

侵入予測(黄)

侵入(赤)

受電マーカ及び人体検出 人体との距離に応じた送電制御

研究開発の内容及び成果（２）

（２）高効率な送電技術の開発

開口サイズ30cm角の焦点ビームの送電アンテナと同10cm角の受電アンテナの構成により、送電距離1mにおいてアンテナ間伝送効率80%以上の計算結果を得た。試作した開口サイズ10cm角のHアンテナ64素子ビームフォーミングアンテナを試作し、電力半値幅7度を達成した。

TX 1000 mm RX

半波長アンテナによる高効率送電の計算モデル

Hアンテナ64素子構成ビームフォーミングアンテナ

研究開発の内容及び成果（３）

（３）高効率・高出力な受電技術の開発

4素子サブアレイと同等の利得且つ、4電力分配器を不要とした放射効率96%のHアンテナと、市販品の整流ダイオードを実装した整流回路から構成するレクテナにより、送電距離2mにおいて4.4WのDC出力を達成した。（送電電力40W）

Rad. Efficiency [1] (13) : 0.96313
Tot. Efficiency [1] (13) : 0.96177

100素子レクテナアレイ

Hアンテナ素子の放射効率 (計算値)

研究開発の内容及び成果（４）

（４）高効率な受電デバイスの開発

市販の通信用の準ミリ波帯整流ダイオードを調査し、予測される24GHz帯の整流効率の検討結果を基に得られた高効率動作に適したダイオードパラメータからダイオードを製作し、整流回路として最大71.2%の変換効率を得た。

試作GaAsダイオードのIV特性

整流回路の負荷特性 (200mW入力)

今後の研究開発成果の展開/波及効果創出への取組み

準ミリ波を含めて有人エリアで使用可能となる第2ステップの制度化提案活動を進める。

大阪・関西万博でスマートフォン充電等への適用を展示し、内外へPRし、用途に応じた送受電機の販売とワイヤレス給電サービスを展開し、便利な社会実現に貢献する。

ワイヤレス電力伝送システム

給電課金システム

インターネット

電子掲示板

スマートスピーカー

携帯・タブレット

パソコン

ヘッドフォン

送電中の人体検知による停波

可搬型ワイヤレス給電装置

有人エリアでのWPTの利用シーン

小型衛星搭載合成開口レーダーのサブメートル級高分解能化についての研究

田中孝治¹, 齋藤宏文², 石村康生², 戸村崇³
¹宇宙航空研究開発機構, ²早稲田大学, ³東工大

研究の概要

近年国内のスタートアップ企業で開始されている小型衛星による合成開口レーダ (SAR) 観測の更なる高性能化を目的に、地上分解能0.5mを目指す要素技術の研究を行った。

小型衛星を用いた合成開口レーダー (SAR) の最近の活用

近年の宇宙開発では、多数の小型衛星からなる衛星群ミッションの台頭が著しい。米国 Planet Labs 社は、100 機以上の小型衛星群からの地上分解能 1-3m の光学観測により、昼間晴天領域の全地球モニタを高い観測頻度で実施している。しかし、光学観測では晴天域の昼間だけの観測となり、グローバルな準リアルタイム情報とはならない。天候と昼夜を問わず高頻度な地表観測を行うためには、マイクロ波合成開口レーダ (Synthetic Aperture Radar, SAR) 搭載の低コストな小型衛星を実現し、多数の小型SAR衛星からなる衛星群ミッションが待望されている。

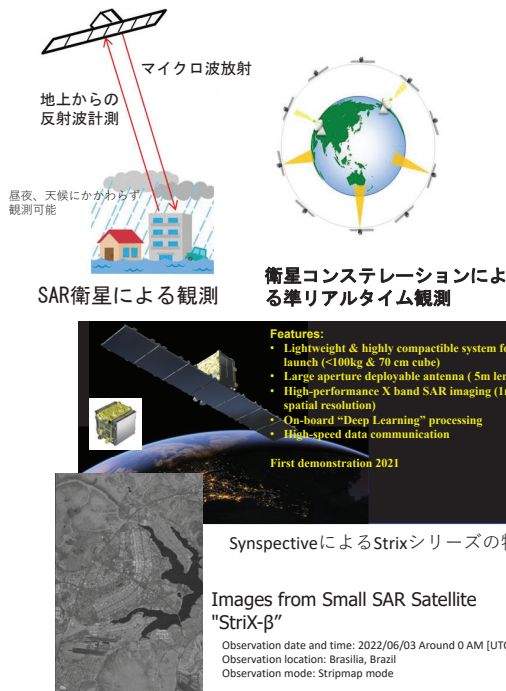
本研究グループは、2013-18 年に地上分解能 1m の小型衛星搭載用SARを開発を行った。そのSARシステムを搭載した小型衛星は、スタートアップの民間会社Synspectiveにより、2021年に初号機が打ち上げられ、現在までに3機のSAR衛星を打ち上げている。

研究課題

本研究では、小型衛星に搭載できるSARについて、サブメートル級の地上分解能と広い観測刈幅を実現する技術に関して下記3つの課題に関する研究開発を行った。

- SARアンテナの全CFRP化
広帯域化と形状安定性に優れたアンテナ
- SAR増幅器の高出力化
レーダー出力の増強
- 高速ダウンリンクのリアルタイム復調
高速データ伝送

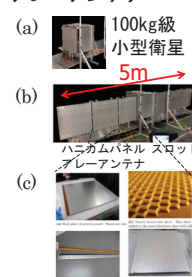
もっと
・はっきり見る。
・細かく見る。
・安定に見る。
・たくさん見る。



SARアンテナの全CFRP化：

レーダ観測用アンテナ全体を炭素繊維強化プラスチック (CFRP) 製にする熱的安定性、特性ばらつき改善、軽量化

地球観測用小型レーダ衛星 (2020.12 打ち上げ)
展開式ハニカムパネルスロットアレーアンテナ



本研究

熱膨張率がアルミの1/10である炭素繊維強化プラスチックCFRP化する。

CFRP製展開式パネルスロットアレーアンテナ

- ・CFRP 2部材で構成。放射部35cmx35cm, 給電部40cm
- ・寸法精度 0.05mm, スキン厚みは加圧硬化工程での特性から0.1-0.2mm精度

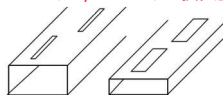


地上高分解能0.5m実現のための広帯域化
一周波数帯域を600MHzに広げる
スロットアレーアンテナの周波数帯域を広げる基本方針

- ① 直列励振数を小さくする。今回は7段。
- ② "スロット共振の鋭さ"を鈍らせる。共振の鋭さを表す Quality Factor Q を下げる。

$$Q = \frac{f_0}{\Delta f} = 2\pi f_{0x}$$

(蓄積エネルギー/エネルギー損失量)



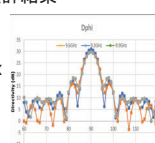
- ・蓄積エネルギーを小さくする⇒導波管の高さを低くする
- ・エネルギー損失量を大きくする⇒スロットの幅を広くする。

CFRP材料に適したアンテナ電気設計

給電部/放射部の2層構造
330mm
34mm
放射導波管 1 4 本 (上層)

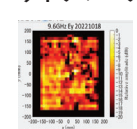
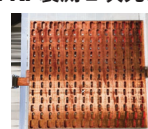
電磁界設計結果

周波数帯域幅 600MHz 達成
方向性利得max 30.8dB
開口利得効率 max 88%



方向性利得の角度分布

CFRP製2次元スロットアレーアンテナの試作と計測



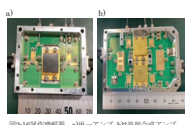
めっき後、組み立てられたアンテナ

CFRP製2次元スロットアレーアンテナの主偏波成分の近傍界振幅分布と位相分布。9.6GHz。

SAR増幅器の高出力化：

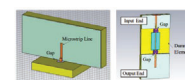
高分解能化、画質向上、広域観測のために送信マイクロ波電力を増強

- ・最新世代の窒化ガリウム(GaN)トランジスタの利用
- ・真空中での高周波放電の解明と抑制

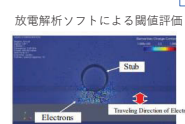


300Wデバイスを用いた高出力アンプモジュールの試作と性能確認

モジュール出力400Wを確認



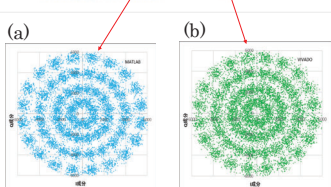
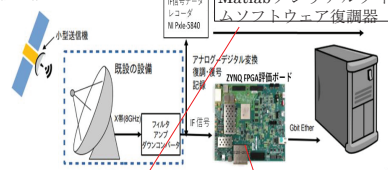
Characteristic of Discharge occurred in the gap



放電解析と実験により、表面コーティングによる放電抑制を確認

高速ダウンリンクのリアルタイム復調

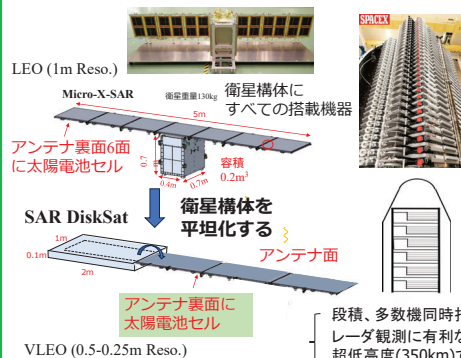
小型衛星搭載のGbps級通信システム。



Rapis-1 衛星からの64APSK信号の復調コンステレーション。(a)従来のMatlab ソフトウェア復調。(b)開発中のFPGAの開発環境での処理結果。

今後の展望：

超低高度軌道でのSAR DiskSatのメガコンステレーションへの応用



日本発の特異な小型SAR衛星技術を発展させて、日本と米国の共同で、超低高度からの高頻度なSAR観測が可能なメガコンステレーションを実現する。

背景

手術の映像データの有用性は以前から認識され、その活用が期待されている(表1)。内視鏡や顕微鏡を用いる手術であれば映像の記録は容易であるが、そのような機材を用いずに外科医が直視下に行う手術において、動画を撮影することは困難である。

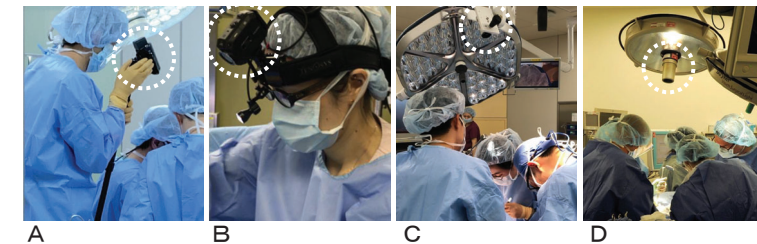


図1 手術を撮影するための代表的なカメラ (梶田ら 月刊新医療 2022)
A) ハンディカム B) ウェアラブルカメラ C) 天井吊り下げ型術野カメラ
D) 無影灯内蔵型術野カメラ

研究代表者は、映像中の術野が外科医の身体等で隠れてしまう課題に対して、術野を照らす无影灯という照明器具に、カメラを多数設置するという解決法を提案した(図2)。さらにピクセルレベルで「術野」を検出し、「術野」が大きく映っている視点を選択することで、映像の切替を自動化した。これによって、世界で初めて手術を死角のない映像として半自動的に記録・表示することを可能とした。

一方で、せっかく死角のない価値のある映像が記録できても、有効に活用されなければ、社会実装には至らない。本研究開発では、多視点撮影で得られた手術映像を対象に、さらなるコンピュータ・ビジョンの技術を適用することで、手術の現場スタッフの映像管理に係る負担を減らすだけでなく、疲れを知らないAIによる「超人的」な監視によって、より安心・安全な医療を提供することを目指した。

多視点手術動画を取り巻く課題へのアプローチ

視点切替の精度向上

動画データを増やし、深層学習技術を導入した(図3)。

視点切替時のブレ

无影灯の移動を検知し、術野の画像特徴を用いてのカメラの自動キャリブレーションを可能とした(図4, 5)。

術野の拡大表示

術野の被注視部を推定し、自動拡大表示を可能とした(図6)。

動画の効率的な視聴

画像から手術工程を識別し、要約動画の自動作成を可能とした。(Kobayashi, et al. CARS 2023)

自由視点映像の作成

Multiple plane images (MPI)や Nerural Radiance fields (NeRF)の技術を適用し、術野の立体映像を生成した。(Masuda et al. DGM4MICCAI 2022)

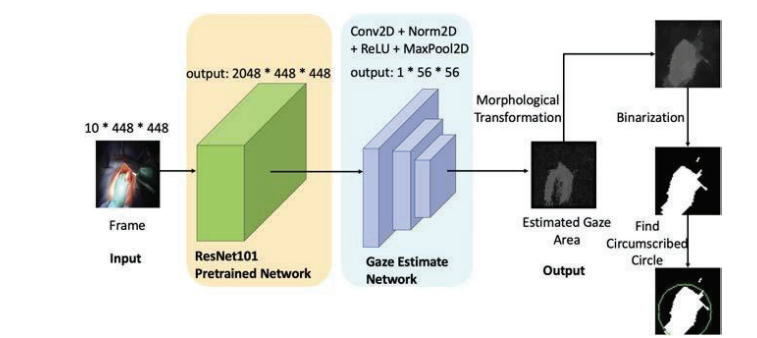


図6 被注視部推定による術野の自動拡大の概要 (Yoshida, et al. JMRR 2021)

手術動画の必要性・目的

術技・治療の研究 専門科・各症例術技研究 学会研究発表 国内外最新術技・治療研究	記録そのもの リスクマネージメント 医療事故・ヒヤリハット対策 コックピットのボイスレコーダー
教育 医学生術技習得 研修医術技習得 看護師術技習得 医師技術向上 最新医療機器解説	情報公開 患者及び家族への手術映像公開 インフォームドコンセント セカンドオピニオン 手術室の透明性向上 優良病院の付加価値サービス

術野の常時モニタリングによる付加価値

研究・教育 外科医の技量評価が可能に 手術工程の解析が可能に 手術工程の再現が可能に	手術支援AIの開発 カメラが常に術野を監視 →進捗管理: 業務効率化 →異常検知: 危険回避
--	--

表1 手術動画の有用性と可能性



図2 マルチカメラ搭載型无影灯 (Kajita, et al. PRSGO 2020)

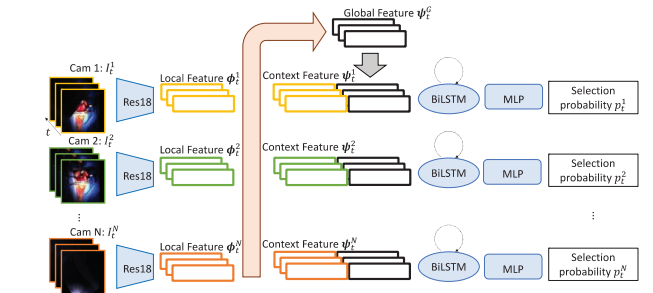


図3 Deep Selectionのアーキテクチャ (Hachiuma, et al. MICCAI 2020)

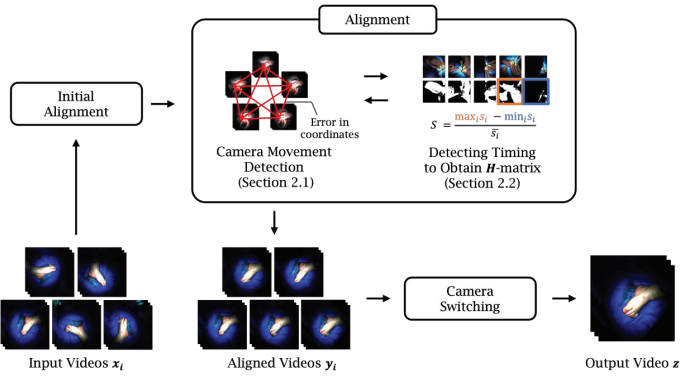


図4 自動カメラキャリブレーションの概要 (Kato, et al. MICCAI 2023)

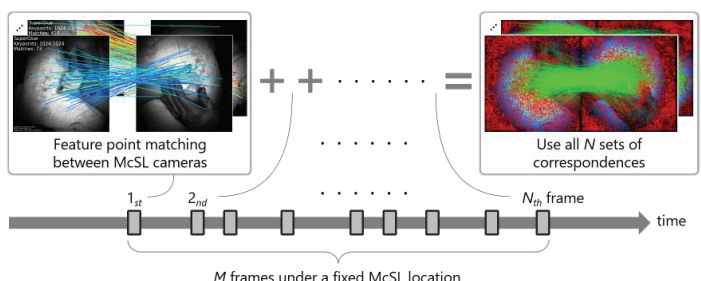


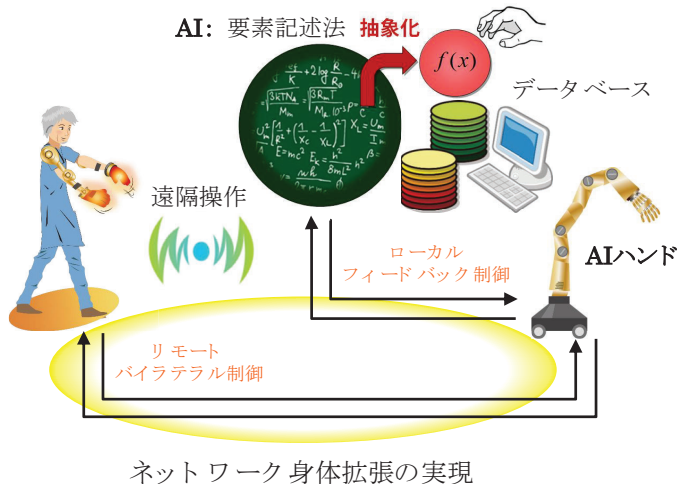
図5 術野の画像特徴点のマッチング (Obayashi, et al. Appl Sci 2023)

1. 研究目的

遠隔操作システムの安定化かつ広帯域化による「ネットワーク身体拡張」を実現し、「スマート医療」・「スマートファクトリー」などICTによる新たな価値の創造や社会システム変革に資する技術を開発する。

2.1. 研究開発の内容

- 器用で繊細な力加減を制御できるロボットハンド
 - ー 遠隔地において人間の動作を代替
 - ・「AIロボットハンド」の開発
 - ・「バイラテラルAI」に基づく安定接触制御の実装
- 機能的電気刺激に基づく身体駆動インタフェース
 - ー 高い操作性と安全面の確保を可能に
 - ・機能的電気刺激による操作インタフェースの開発とバイラテラル制御系の確立
 - ・通信遅延の存在するネットワーク環境下における実験ならびに評価



2.2. 研究開発の成果

～AIハンドインタフェースの開発～

腱駆動アクチュエーションにより、バックドライバビリティ（逆駆動性）の高い動作を実現した「AIロボットハンド」を開発
機能的電気刺激による身体直接駆動を実現
独自の二自由度制御系を開発



～ローカル安定化力制御系の開発～

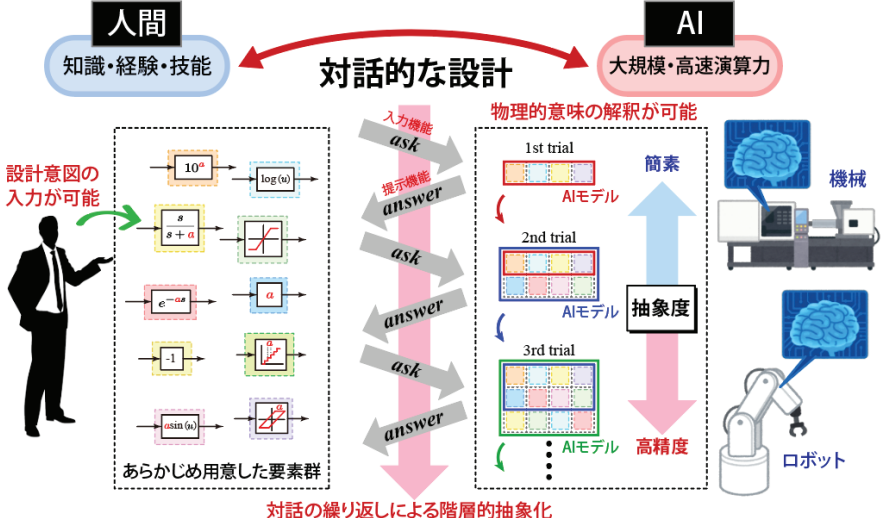
接触環境に応じて自動的にAIが最適な粘性を生成し、衝撃力を緩和した安定接触を実現

～通信遅延補償バイラテラル制御～

ネットワーク系を波動モデルでモデリングし、インピーダンスマッチングを実現

～「バイラテラルAI」の開発～

設計者があらかじめ最適化に用いる要素を設定し、対話的に設計を行う新たなAIを開発



3. 今後の研究開発成果の展開及び波及効果創出への取り組み

「ネットワーク身体拡張」による物理移動を伴わない時間・空間を越えたコミュニケーションのインフラ化
医療・福祉分野やものづくり分野などへ社会実装し広く展開することにより、新産業の勃興の可能性が期待



エキスパートの動作の

- ・データベース化
- ・自動化
- ・ユビキタストレーニング

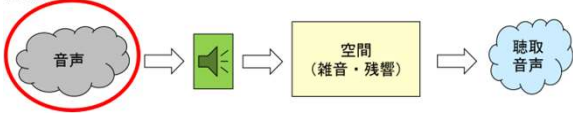
➡

「一石三鳥」の効果が期待
健康・安心社会の実現へ
ものづくりの持続可能化へ

【研究の目的】

- 日本は災害大国
 - 地震も多く、近頃は風雨の被害も多くなっている
 - 何か起こったとき、状況に応じて安全な場所へ適切に避難誘導を行うことは、言うまでもなく、被害を最小にするために重要
→ 音声による避難誘導
- 避難誘導音声のわかりづらい、聞き取りにくいなどの声
 - 地下鉄構内、イベントホールなどの広い建物空間など、雑音・残響が存在する環境では、アナウンス音声の理解度が低下する
- 「正常化の偏見」のために危険性を認識せず避難が遅れる
 - 「音声で呈示される内容が理解できない、注意が向けられない」ならば、音声避難誘導の意味はない
⇒「音声により必要な情報を確実に伝える」ために理解度の高い避難誘導が行える音声呈示システムの提案

【研究の概要】



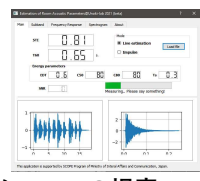
- 考え得る対策
 1. 雑音・残響をできるだけ少なくするように環境を整える
 2. 音響機器の特性をできるだけ良いものにする
 3. 呈示する音声をできるだけ良いものにする (本課題の着目点)
- ヒトの方略をまねる
 1. 音環境のフィードバックによる呈示音声の適応的制御
 - 環境に応じて聞き取りやすくなるように発話を調整する能力
→ 音声の重要な特徴を強調して理解度を最大化
 2. 状況に合わせた言語・パラ言語情報の制御
 - 聴取者に対して注意喚起が行えるように、状況および発話内容に合わせて強弱・緩急などを適応的に付加して話す能力
→ 注意を向けて逃げようとする気を起させる

【研究の成果】

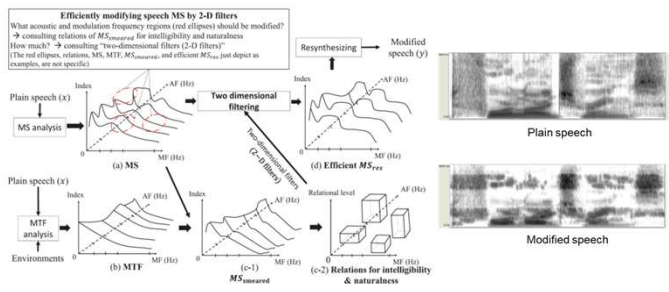
1. 雑音残響に合わせた音声変形

◎状況により時々刻々変化する音環境の把握

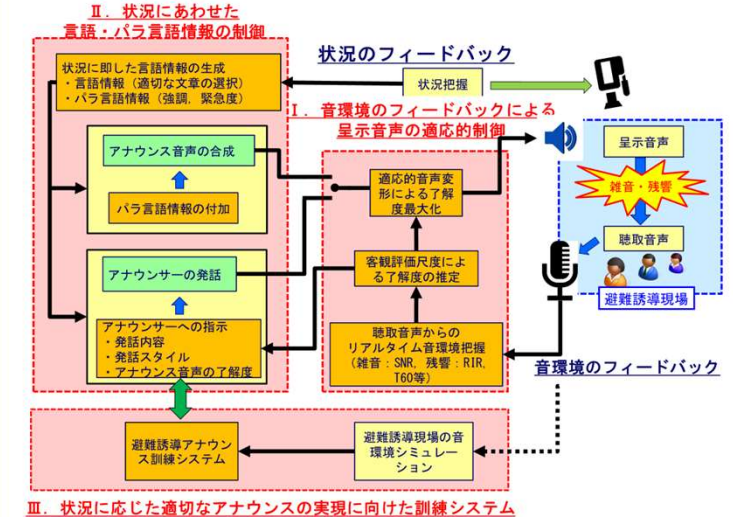
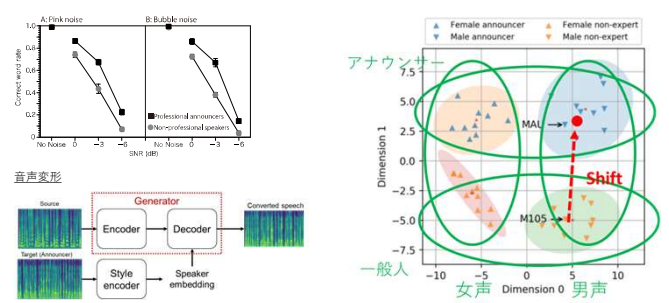
→収録音声からの音環境の予測<デモ>



◎MTFに基づいた音声変形: 変形アルゴリズムMS500の提案

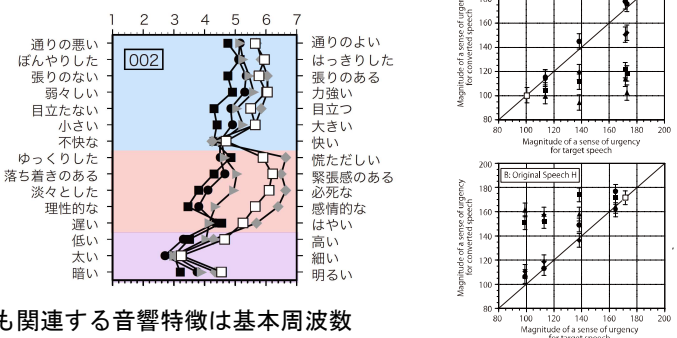


◎アナウンサー音声をまねた音声変形



2. 危険度にあわせて音声変形

■音声素材: 2016年11月22日福島県沖の地震



- 最も関連する音響特徴は基本周波数
- これを操作することにより緊迫感の程度が変化

3. 発話訓練システム

■素人アナウンサーの訓練: 体験&提案型

- 聞き取りにくい自分の声を自ら聞く
- 適切な形容詞による発話スタイルの提案 (フィードバック)

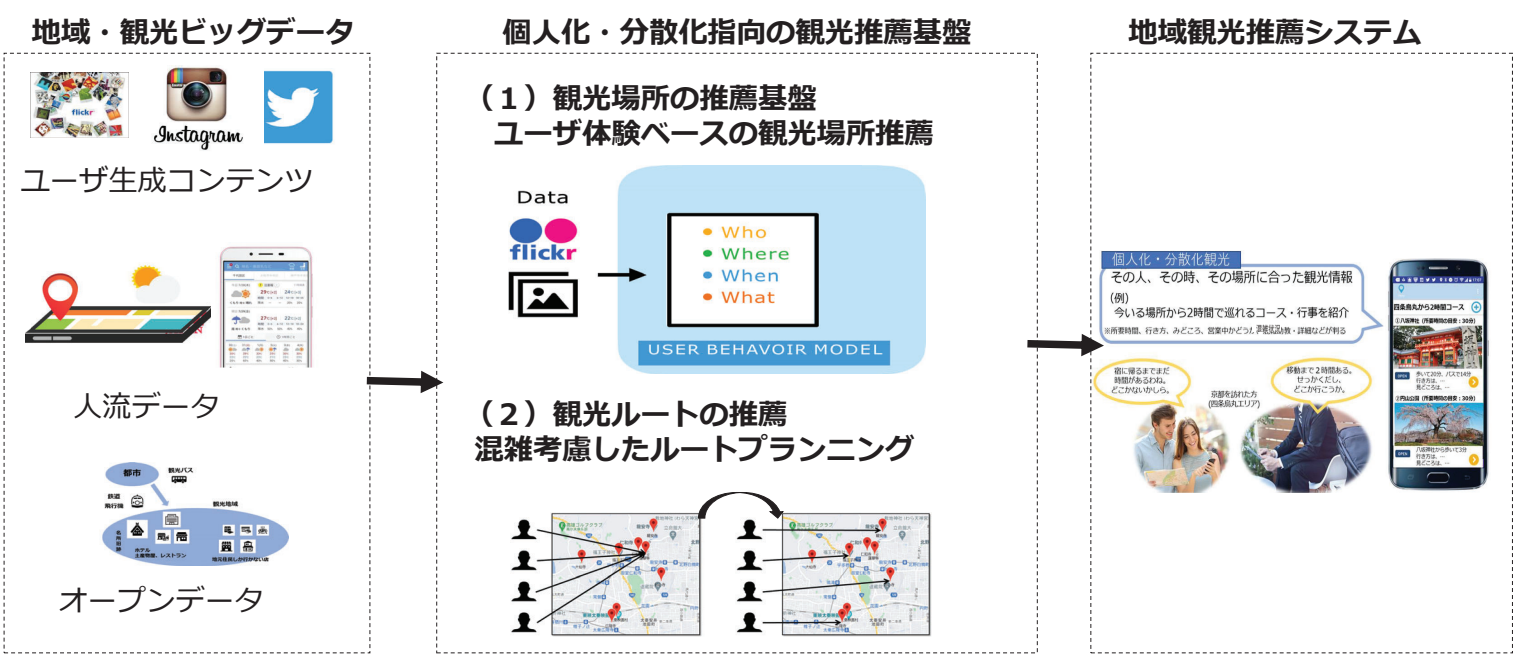


【まとめ&将来展望】

理解度の高い避難誘導が行える音声呈示システムの提案

- (1) 災害現場 (雑音残響に加えてヒトがたくさんいて避難誘導音声がかえり辛い場所) における安全で正確な避難誘導の実現
 - (2) 災害現場の状況に柔軟に適用できる音声呈示システムの実現
- 日本音響学会「日本音響学会非常用屋外拡声システム調査研究委員会」への提言
 - 自治体 (石川県中央都市圏構想) とともに音声アナウンス訓練システムに関する共同研究を行う
-

研究概要：観光の個人化と分散化を促進する観光情報推薦の基盤と地域観光支援システムについて研究開発する。観光客(ユーザー)の満足度向上, および, 地域住民・観光地の負担軽減の双方を両立する社会情報基盤のあり方を明らかにし、持続可能な観光社会の実現に貢献。



研究内容・成果：SNSから得られる“生”のユーザ履歴データおよび行政や地元業者が公開しているオープンデータなどの着地情報を用いて、観光や日常生活におけるユーザの行動をモデリングする。これにより観光客個人の「ミクロ最適」と観光地域の「マクロ最適」を両立する観光場所とルートの推薦基盤を構築する。これらを用いた地域観光情報システムを構築して、ユーザ実験を実施してその有効性と有用性を確認。

京都市内における観光客の人流

観光ビッグデータ基盤：京都市や京都府北部を対象に、SNSデータや軌跡など人流データを収集・整理。

観光場所の推薦基盤：「どこで」「いつ」「なにを」したに着目したユーザ体験ベースのスポット推薦手法を開発し、観光推薦において特に顕著であるコールドスタート問題を克服して従来手法と比べて推薦の精度と公平性を大幅に改善。

観光ルートの推薦基盤：深層強化学習技術を利用した手法を開発し、時間や混雑状況に応じて変化する動的価値関数を導入しながら、分散化を促進する環境税メタファーを提唱して、既存手法より高い混雑緩和効果のあるルート生成に成功。

- ◎観光公害にも、観光崩壊にも強い観光地図！
- ◎ユーザーのユーザーによるユーザーのためのAI観光地図システム！

京都観光地図2.0
<https://kyoto-etrip.com/>

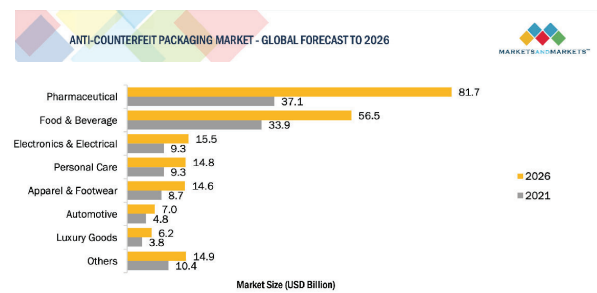
U-KyotoTrip
(スマホアプリ)

ユーザ実験の様子とその結果 (概ね良い評価を得られた)

満足度 (1-5)	件数	割合
1	0	0%
2	2	5%
3	7	17.5%
4	22	55%
5	9	22.5%

偽造品対策市場

偽造品対策市場 約40兆円 年成長率 約12%

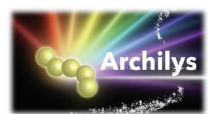


既存の偽造防止技術の課題

RFID・ホログラム・ブロックチェーンの課題

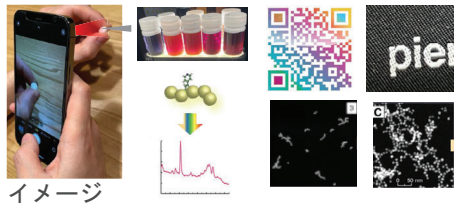


- ・ 微小な製品に直接つけられない
- ・ 中身を偽造品に入れ替えられる
- ・ 構造を読み解かれて模倣される
- ・ 剥がされて再利用される
- ・ 見た目を損なう
- ・ 既存のタグのリスクを防げない

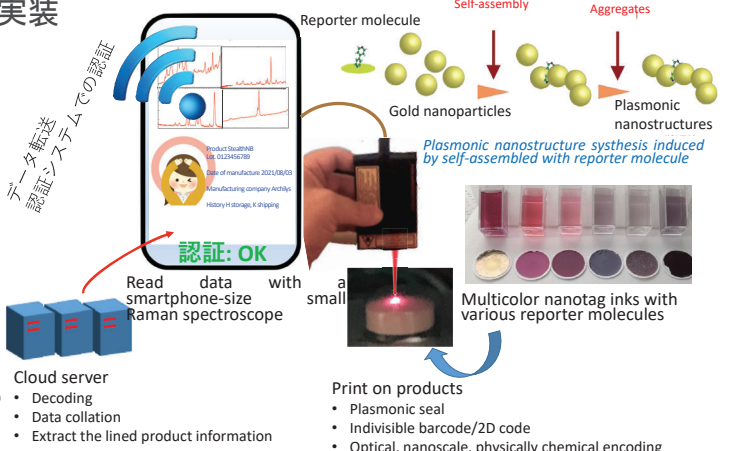


微小製品にタグをひそかに仕込み、瞬時に読み取りたい

プラズモニクナノタグをひそかに実装



- 表面増強ラマン散乱
- ・ 剥がされない
 - ・ 盗まれない
 - ・ 再利用されない
 - ・ 模倣されない
 - ・ 見た目を損わない
 - ・ 微小な製品に適用できる
 - ・ 設備投資が不要である
 - ・ 1製品1円以下と安価である

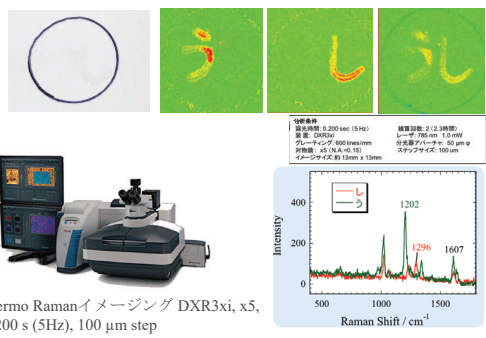


【研究開発成果】

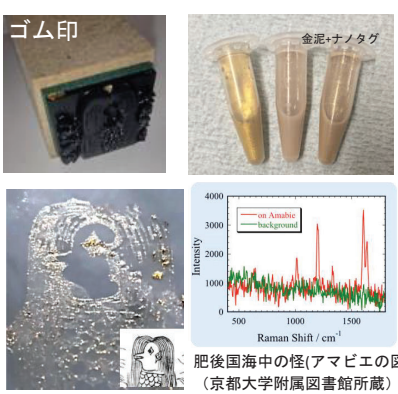
1. T. Fukuoka, T. Yasunaga, K. Namura, M. Suzuki, A. Yamaguchi, Advanced Materials Interfaces (2023) 2300157.
2. 安永峻也, 福岡隆夫, 山口明啓, 小川法子, 山本浩充, 薬学雑誌 **142**, 1255 - 1265 (2022).
3. T. Yasunaga, T. Fukuoka, A. Yamaguchi, N. Ogawa, H. Yamamoto, International Journal of Pharmaceutics, **624** (2022) 121980.
4. T. Fukuoka, Y. Mori, T. Yasunaga, K. Namura, M. Suzuki, and A. Yamaguchi, Scientific Reports **12** (2022) 985.

特許7001248
特願2019-028939 米国特許査定

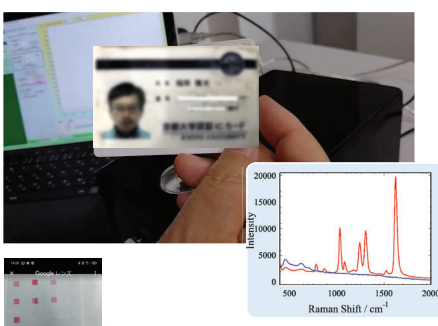
捺印／多色インクを実現



伝統に潜ませる

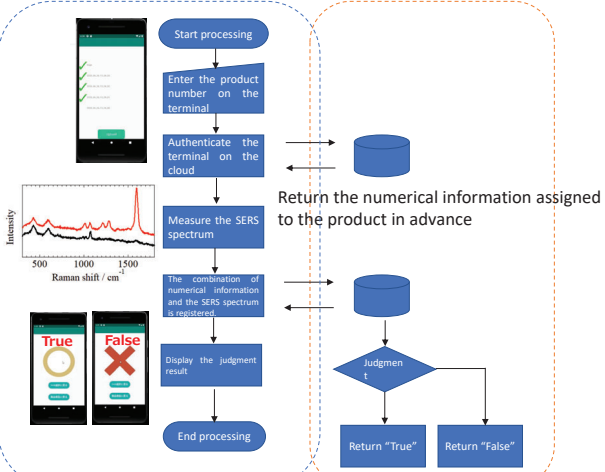


IDカード認証

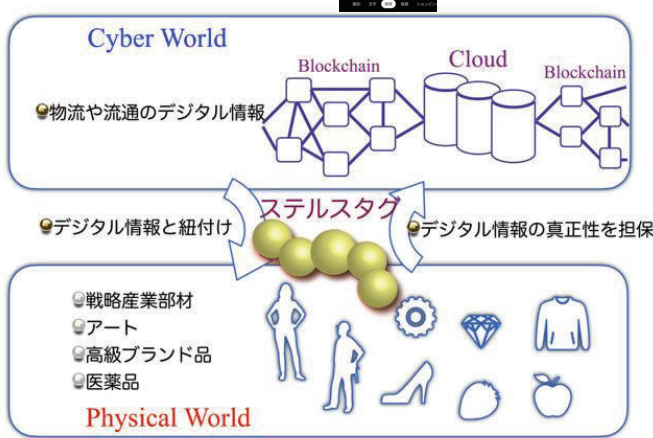


認証システム概略

Terminals (Smartphone, PC, Tablets, etc.) Cloud system



Society 5.0の世界へ



愛知学院大学 薬学部 安永峻也 講師との共同研究で薬剤へのステルスナノビーコンの展開も進めています。ここに共同研究について深く感謝申し上げます。総務省SCOPE研究開発の受託研究によって、研究開発を進めることができました。ご支援を賜りましたこと、深く感謝申し上げます。

プレゼンティズムを予防し地域の看護師が持続して
働きやすい環境づくりをIoTで実現する研究開発

白鳥義宗¹(研究代表), 大山慎太郎¹, 山下暁士¹, 佐藤菊枝¹, 出野義則^{1,2}, 山下佳子¹, 坂本祐二² ¹名古屋大学, ²株式会社ケアコム

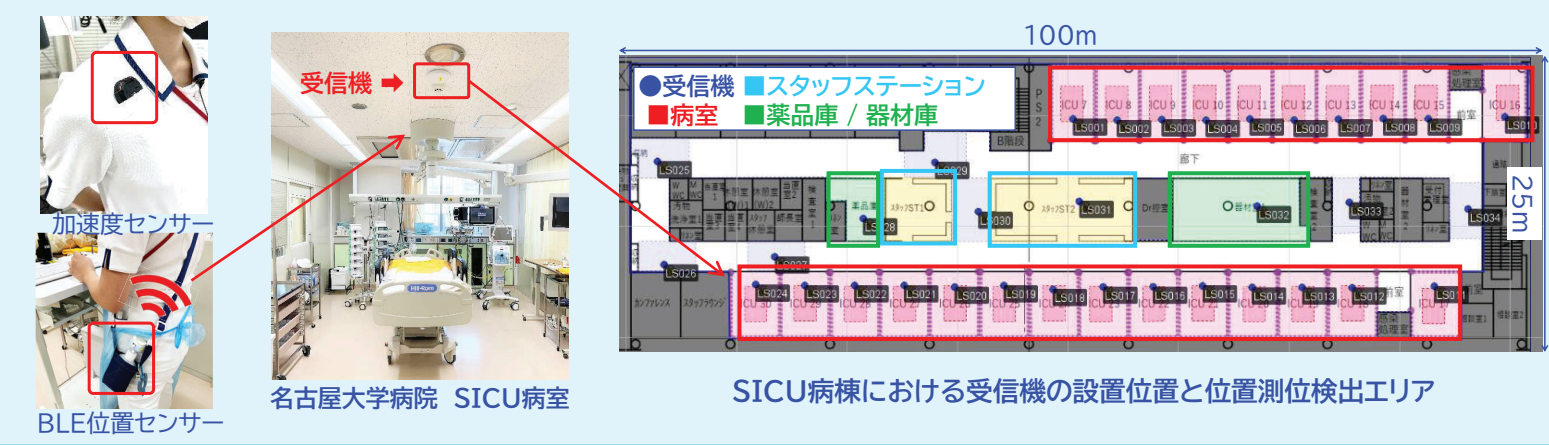
【研究開発の目的】

日本の地域社会における人口減少と医療過疎の進行、及び少子高齢化に伴う看護師の不足と高齢化は、看護師のプレゼンティズム問題を深刻化させている。この状況は心身の問題に起因するパフォーマンスの低下と離職へのリスクを高め、多忙な業務中での早期発見や対策が困難である。この課題を解決するため、IoT技術の活用により看護行動を自動記録し、残業時間の低減、腰・肩・膝の痛み、ストレス、不眠のリスク検出を行い、看護師の業務補助とプレゼンティズム予防を図り、地域社会における持続可能な労働環境の構築を目指す。

【研究開発の内容及び成果】

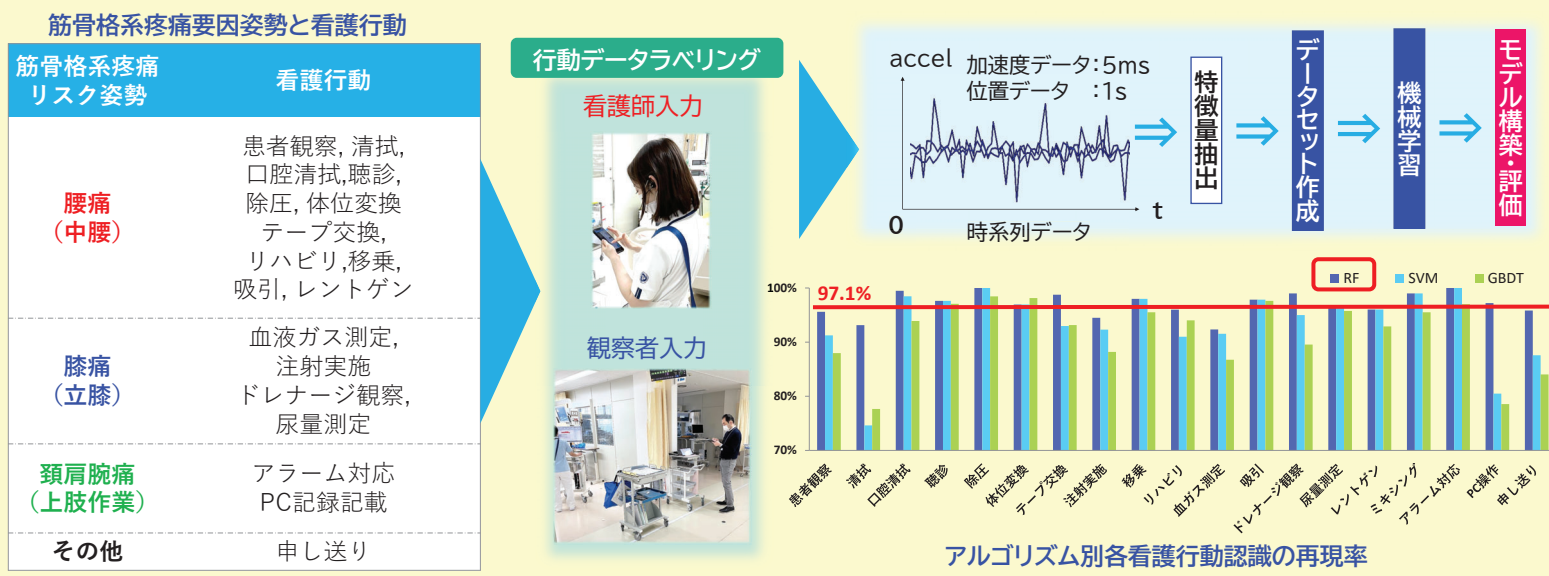
1. IoT環境の構築と看護行動データ取得

名古屋大学医学部附属病院のSICU（外科系集中治療部）病棟に、Bluetooth Low Energy（BLE）を用いたAoA方式高精度位置測位システムを構築し、看護師が位置センサーデバイスと加速度センサーデバイスを装着することで位置情報と加速度データの収集を行った。



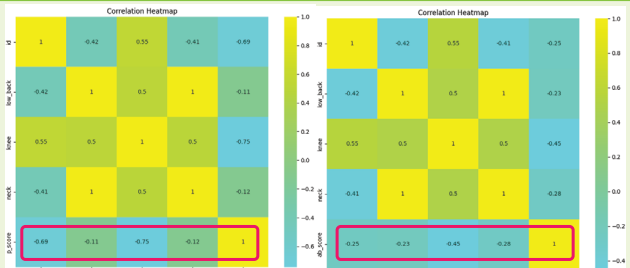
2. 看護行動認識モデル構築

筋骨格系疼痛のリスク要因となる19種類の看護行動を定義し、看護師および観察者による看護行動のデータラベリングを実施した。看護師が装着したデバイスから得たセンシングデータと位置情報に前処理を実施後、決定木ベース、マージン最大化ベース、および勾配ブースティングを用いた機械学習アルゴリズムで看護行動認識モデルを構築し、その性能を評価した。各看護行動の平均再現率は97.1%。



3. 身体的プレゼンティズムリスクの可視化

看護行動の実施時間を分析し、筋骨格系疼痛の発症リスク要因となる身体的プレゼンティズムリスクを可視化した。プレゼンティズムスコアと筋骨格系疼痛との間に相関関係がみられ、特に絶対的プレゼンティズムと膝痛の間には強い負の相関が認められた。さらに、絶対的プレゼンティズムは腰痛、膝痛、頸肩腕痛ともに負の相関を示し、これらの疼痛と身体的負荷の間には明確な関連性があることが明らかとなった。



【今後の研究開発成果の展開】

看護師のプレゼンティズム予防と地域医療の質向上に向けた以下の取り組みを実施予定。

- 身体的負荷の自動モニタリングとフィードバック
 - 製造業労働者の先行研究や整形外科医師の知見を基に、看護師の身体的負荷をリアルタイムでモニタリングし、その結果を効果的にフィードバックする方法を開発。
- 記録記載業務の自動化
 - 看護行動認識モデルを活用し、看護記録を自動化。看護師が患者ケアに集中できるよう業務負担を軽減。
- IoTデバイスの開発と地域社会での看護師の定着促進
 - 身体的負荷をモニタリングするための装着しやすいIoTデバイスを開発し、看護師の負担を軽減と地域医療の持続性を支援。

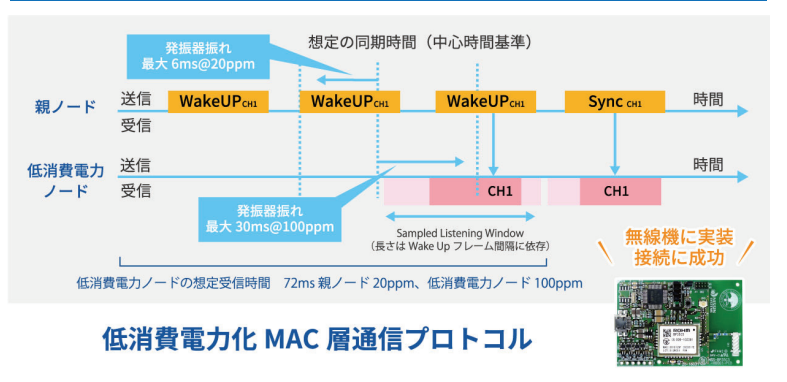
概要 住宅が密集した地域でのIoT機器利用や設置後に地勢が変化する環境や大容量高密度環境においても高い接続率で通信できるマルチホップ無線IoT規格を研究開発、国際標準化するとともに、IoTゲートウェイ機器に搭載しました。センシングデータ取得基盤を開発し、Society 5.0が想定するサービスに展開、社会実装を行いました。

研究成果

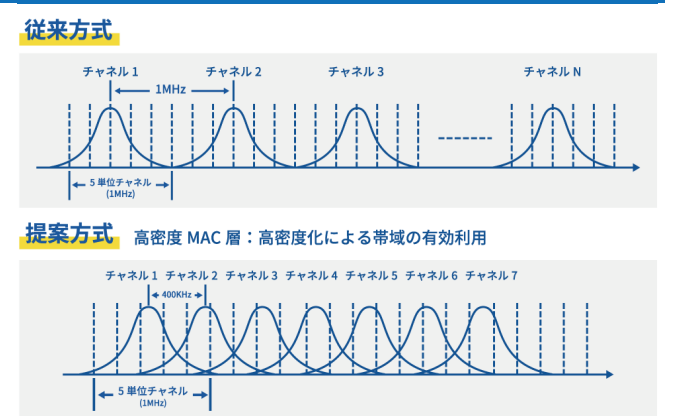
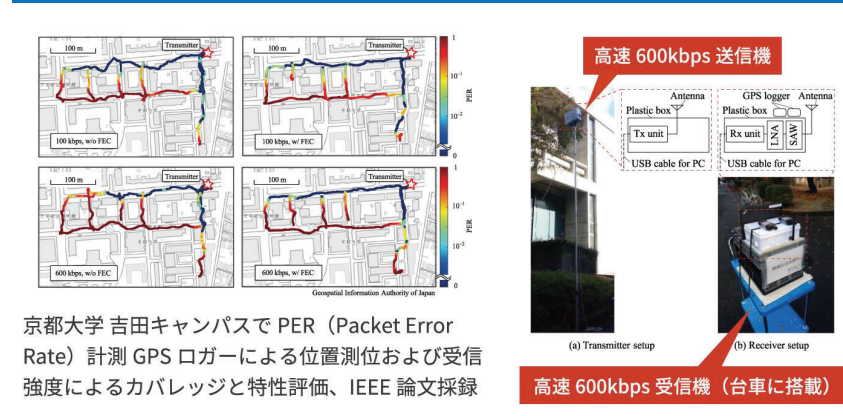
無線機の製品化・大規模高密度実証試験機の開発



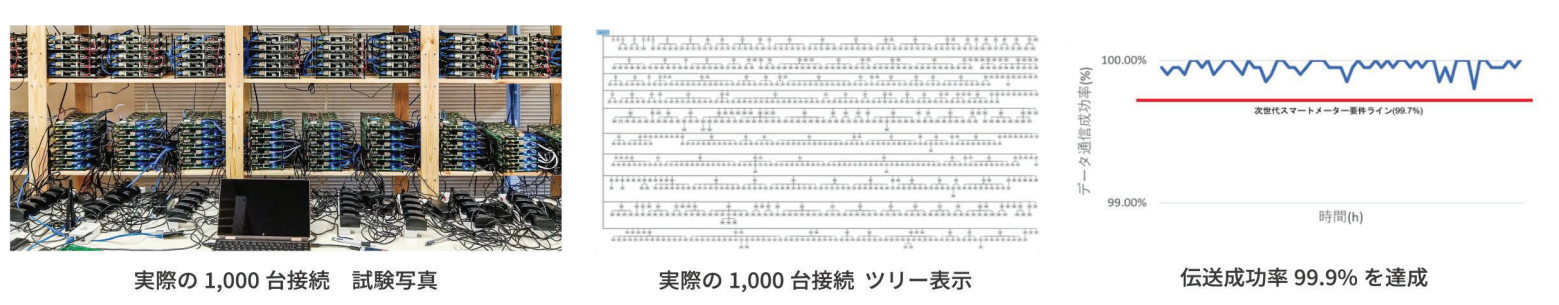
低消費電力化MAC層通信プロトコル国際標準化と接続



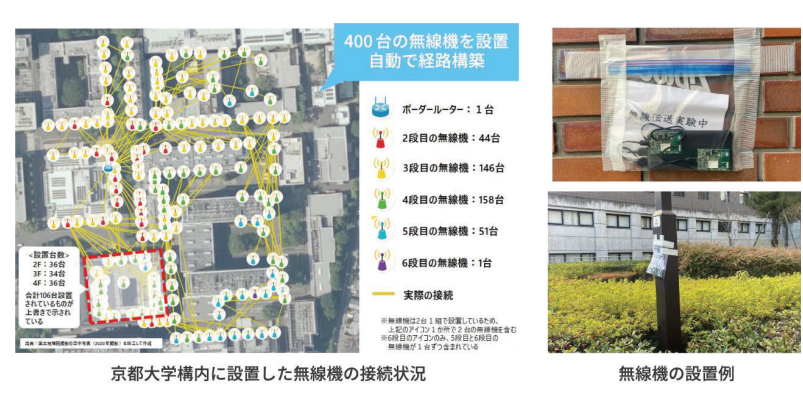
FSK600kbps 高速化・MAC層高密度化 IEEE国際標準化



大規模高密度無線機による 1,000 台接続試験にて伝送成功率 99.9%



スマートメーター・シティ向け大規模フィールド実証



今後の展開

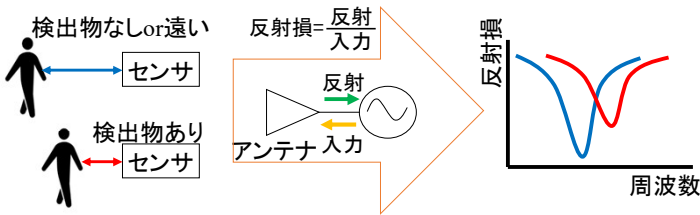


研究の概要

本研究開発では、近接センサーや紙厚センサーとして用いることができる新しいタイプの非接触センサーの開発に成功しました。従来の赤外線センサーは太陽光の、レーザーセンサーは検査対象の表面の粗さの影響を強く受けましたが、開発した電波を用いる方式は、それらの影響を受けにくいという特徴があります。また、検出対象に直接触れずにセンシングを行うため、センサー自身や検出対象の損傷・摩耗による劣化がなく、衛生的であり、移動する物体のセンシングも容易です。この提案方式を用いて、物体の有無を非接触で検知する近接センサーを開発し、アンテナから数cm程度の距離にある人体ファントムの有無を検出することを実証しました。また、非接触で紙厚を検出する紙厚センサーも開発し、100~200 μm程度の厚みの紙を±25 μm程度の精度で検出できることも確認しました。

基本原理

- アンテナ周辺の異物が存在すると、アンテナの入力インピーダンスが変化することを利用するセンシング技術です
- アンテナ入力インピーダンスの測定には微弱な電波を用います。
- 電波は光に比べ、色やざらつき等の検出対象の表面状態の影響を受けにくいという特徴があります
- また、光に比べ透過性が高いため、樹脂筐体の中にセンサを収めることが可能です



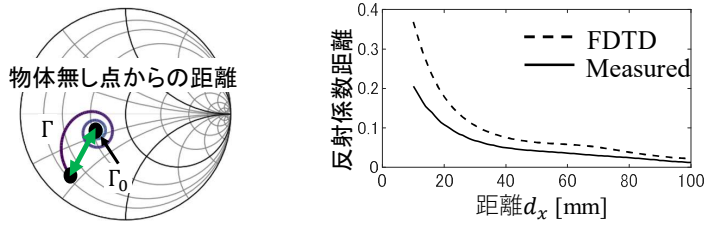
近接センシング技術の開発

- 2.5 GHz程度の周波数の電波を用い、アンテナから数cm~十数cm程度の距離にある人体ファントムの有無を検出できることを実証しました
- 特定の条件では、検出指標値はアンテナ-検出対象物間距離に対して単調に減衰するため簡易的な距離センサとしても使用することができます

検出指標の開発 (K. Shintani, et al. ISAP2022, 長友浩大他 AP2022-110)

反射係数距離 $I = |\Gamma - \Gamma_0|$

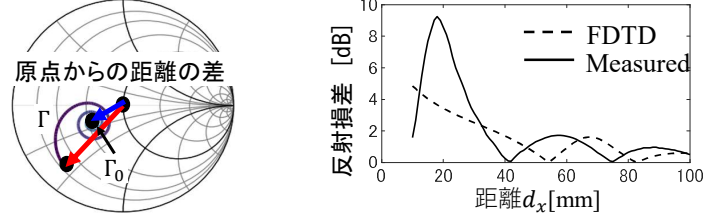
Γ : 検出した複素反射係数, Γ_0 : 物体がない場合の複素反射係数



- 反射係数の大きさと位相を測定
- 距離変化に対して単調減衰 → 物体有無の検出能力が高い 距離検出指標としても有効

反射損差

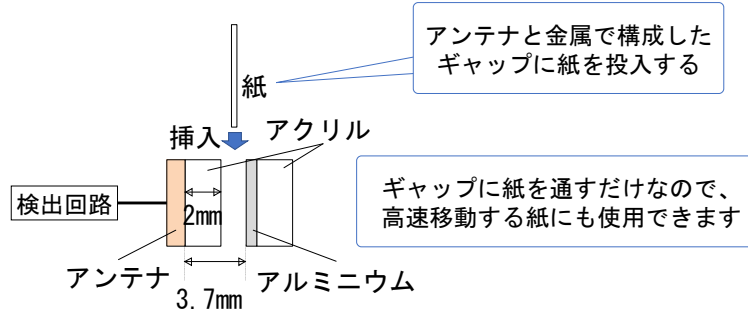
$I = -20 \log|\Gamma|/|\Gamma_0|$



- 反射係数の大きさのみを測定
- 距離変化に対して振動 → 近距離でも物体が検出できない場合がある

紙厚センシング技術の開発

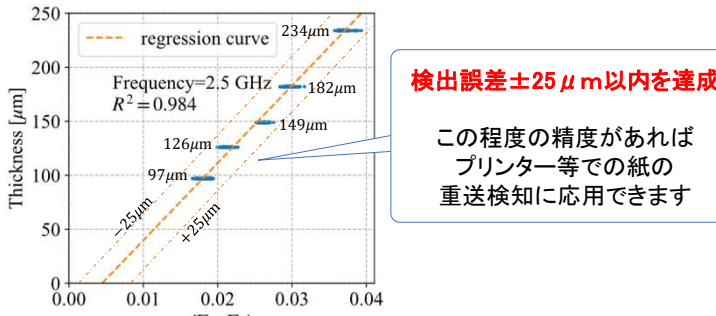
- 100~200 μm程度の厚みを持つ紙に対して、±25 μm程度の精度で紙厚検出することができる技術を開発しました



紙厚の検出式

紙厚 $t = \alpha |\Gamma - \Gamma_0|$

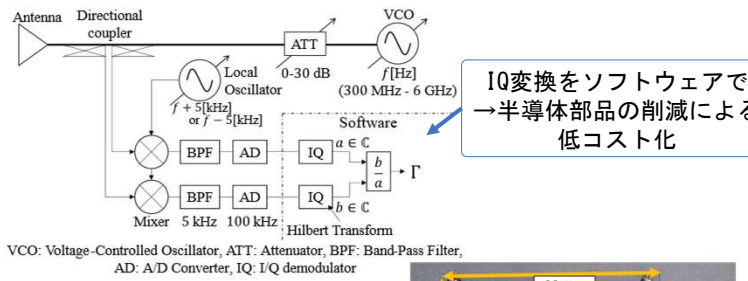
α : 紙無しに対する反射係数距離 事前に実測した変換係数



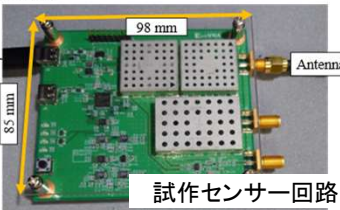
5種類の紙をそれぞれ100枚測定した結果

検出回路の開発 (T. kurihara, et al. PIMRC2022)

- センシング技術の事業化・製品化に向けて、安価なセンシング回路の設計・試作を行いました



- 今後、製品化に向けて、センサー回路の小型化等を進める予定です



試作センサー回路

まとめと今後の課題

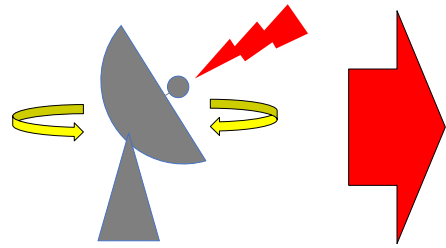
- 本研究開発では、アンテナインピーダンスの変化を利用した、非接触な、~十数cm範囲を対象とした近距離センサーと移動する紙にも使用できる紙厚センサーを開発しました。
- 近接センシング技術・紙厚センシング技術の双方について、事業化に向けてそれぞれ1社、計2社との共同研究を実施しています。

研究開発の概要

全方位走査可能な三次元フェイズド・アレイ・アンテナをレーダーに組み込むことにより、全方位からのエコー波を瞬時に測定可能なレーダーに進化させる。周波数をS、XとKバンドと広い周波数範囲に拡張することにより、広い分野に適応したアンテナを開発し、いろいろな応用に適したレーダーを開発する。

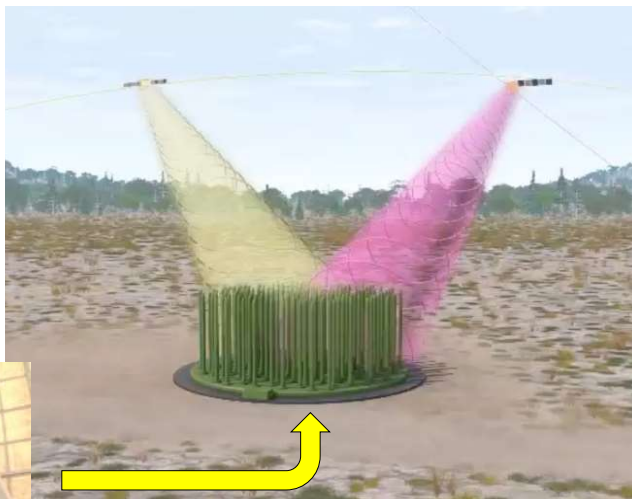
三次元全方位走査フェイズド・アレイ・アンテナ

低速 従来のレーダー



機械式のため低速回転で
時間分解能が悪い

気象フェイズド・アレイ・レーダー



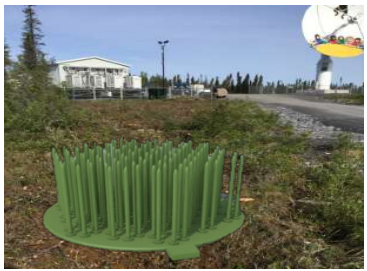
全方位からの信号を同時受信可能な三次元全方位フェイズド・アレイ・アンテナと、2次元的に送信可能なレーダー波送信機の組合せによる超高速レーダーの実現

平面から立体構造に

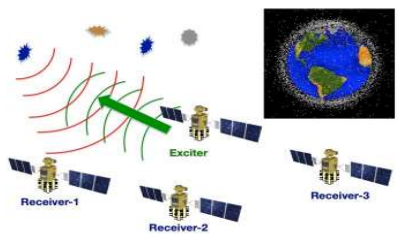
- フェイズド・アレイ・アンテナ
- デジタル・ビーム・フォーミング
- レトロディレクティブ・アンテナ
- 高速データ処理
- 多数の応用の可能性

電子式超高速ビーム走査、パラボラ・アンテナは機械式走査
受信後のデータ解析による複数衛星の同時受信
受信方向に自動的なビーム制御による自動追尾
シングルピクセルイメージングの原理を利用したフェーズドアレイ計測
通信、レーダー、エネルギー送電用などの可動式アンテナの代替

超高速 三次元全方位走査フェイズド・アレイ・レーダー



衛星受信
アンテナを
世界中に
設置
Worldwide
Receiving
Service



宇宙デブリ
衛星観測
K,Vバンド
レーダー

主な技術応用と共同研究先

- 衛星受信・搭載用フェイズド・アレイ・アンテナ カナダNRCan、ヨーロッパ宇宙局、Strachclyde 大学
- 成層圏中継用フェイズド・アレイ・アンテナ カナダColumbiad社
- 可搬型フェイズド・アレイ・アンテナ JAXA宇宙科学研究所



携帯中継用
移動空中
ステーション

電波利活用強靱化に向けた周波数創造技術に関する研究開発
及び人材育成プログラム

浅見徹¹, 坂野寿和¹, 矢野一人¹, 清水聡¹, 横山浩之¹, 長谷川晃朗¹, 岩崎勝利¹, 原田博司²,
¹株式会社国際電気通信基礎技術研究所 ²国立大学法人京都大学

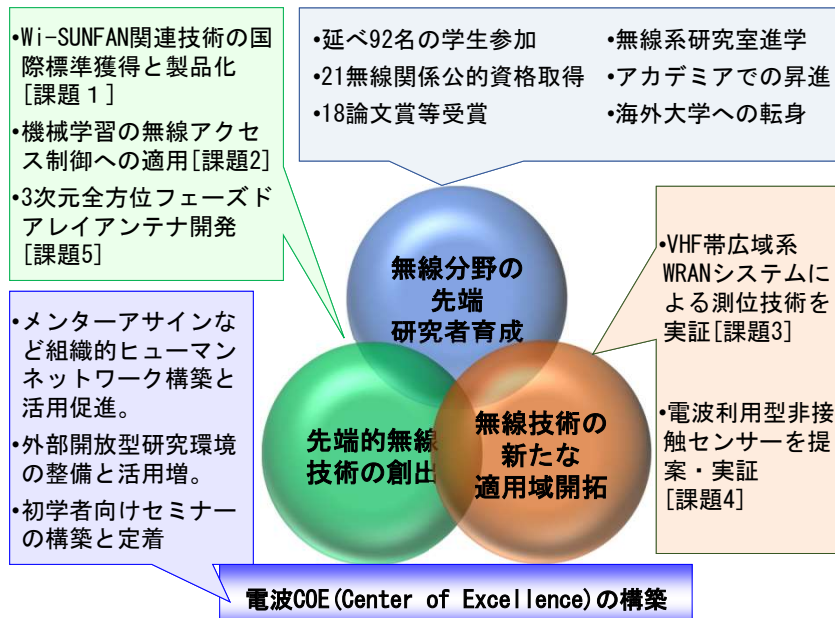
プログラムの概要

株式会社国際電気通信基礎技術研究所（ATR）は、京都大学と共にワイヤレス分野の中核拠点：電波COE（Center of Excellence）を構築し、電波利活用強靱化技術（柔軟でかつ力強い電波利用を支える技術）に関する5つの先端的産学連携研究開発の推進、それを支援する外部開放型研究環境の提供、およびメンターによる研究開発支援を通じて、次代を担うワイヤレス技術の創出・展開、およびセレンディピティ（思わぬものを発見する能力）を持つ意識の高い無線研究者・技術者の育成に取り組みました。

全体構成と実施内容



実施結果と到達点



更なる発展に向けて

電波COEの発展に向け記録動画を公開しています。
ホームページ: <https://w-coe.jp>

#	技術課題名	研究紹介	メッセージ
M	電波COEプログラム全体		
1	Society 5.0 の実現に向けた大規模高密度マルチホップ国際標準無線通信システムの研究開発		
2	冗長検査情報を用いる通信品質要因解析に基づく無線アクセス技術の研究開発		
3	広域系WRANを用いた高能率周波数共用システムの研究開発		
4	電波を用いた新しい近距離センシング技術に関する研究開発		
5	三次元全方位走査フェイズド・アレイ・レーダーの研究開発		
E	外部開放型研究環境の構築・提供		

QRコードを読み込むことで動画にアクセスできます。