

「IoT 社会実現のための革新的センシング技術開発」

事業原簿【公開】

担当部	国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構 材料・ナノテクノロジー部
-----	---

概 要

プロジェクト用語集

I.	事業の位置付け・必要性について	I - 1
1.	事業の背景・目的・位置付け	I - 1
1.1	事業の背景	I - 1
1.2	事業の目的	I - 4
1.3	事業の位置付け	I - 5
2.	NEDO の関与の必要性・制度への適合性	I - 9
2.1	NEDO が関与することの意義	I - 9
2.2	実施の効果（費用対効果）	I - 9
II.	研究開発マネジメントについて	II - 1
1.	事業の目標	II - 1
1.1	事業の目的	II - 1
1.2	アウトプット目標	II - 1
1.3	アウトカム目標	II - 1
1.4	アウトカム目標達成に向けての取り組み	II - 1
2.	事業の計画内容	II - 2
2.1	研究開発の内容	II - 2
2.2	研究開発の計画	II - 4
2.3	研究開発の実施体制	II - 7
3.	研究開発の運営管理	II - 8
3.1	研究開発の進捗把握・管理	II - 8
3.2	ステージゲート審査	II - 9
4.	研究開発成果の事業化・実用化に向けたマネジメントの妥当性	II - 9
4.1	知的財産権等に関する戦略	II - 9
5.	情勢変化への対応	II - 11
6.	評価に関する事項	II - 12
III.	研究開発成果について	III - 1
1.	事業全体の成果	III - 1
2.	研究開発項目毎の成果	III - 2
IV.	成果の実用化・事業化に向けた取組及び見通しについて	IV - 1
1.	本プロジェクトにおける「実用化・事業化」の定義	IV - 1
2.	実用化に向けた戦略	IV - 1
3.	実用化に向けた具体的取り組み	IV - 1
4.	実用化の見通し	IV - 1
5.	波及効果	IV - 1

- 別添 1 研究開発項目①革新的センシング技術開発
「血中成分の非侵襲連続超高感度計測デバイス及び行動変容促進システムの研究開発」
株式会社タニタ、公立大学法人富山県立大学、国立大学法人電気通信大学、一般財団法人マイクロマシンセンター
- 別添 2 研究開発項目①革新的センシング技術開発
「薄膜ナノ増強蛍光による経皮ガス成分の超高感度バイオ計測端末の開発」
東京医科歯科大学、技術研究組合 NMEMS 技術研究機構
- 別添 3 研究開発項目①革新的センシング技術開発
「1分で感染リスクを検知可能なウイルスゲートキーパーの研究開発」
国立研究開発法人産業技術総合研究所、コニカミノルタ株式会社、ワイエイシイホールディングス株式会社（株式会社ワイエイシイダステック）、国立大学法人埼玉大学
- 別添 4 研究開発項目①革新的センシング技術開発
「次世代公共インフラ実現へ向けた高密度センサ配置による微小量信号計測技術の研究開発」
国立大学法人大阪大学、国立大学法人神戸大学、東電設計株式会社、東電タウンプランニング株式会社
- 別添 5 研究開発項目①革新的センシング技術開発
「極限環境の液体管理を IoT 化する革新的粘性センサの開発」
国立研究開発法人産業技術総合研究所、ヤマシンフィルタ株式会社
- 別添 6 研究開発項目①革新的センシング技術開発
「高速・高 SNR 撮像素子による流体濃度分布その場計測デバイスの開発」
国立大学法人東北大学、アストロデザイン株式会社、株式会社フジキン
- 別添 7 研究開発項目①革新的センシング技術開発
「波長掃引中赤外レーザによる次世代火山ガス防災技術の研究開発」
浜松ホトニクス株式会社、国立研究開発法人産業技術総合研究所
- 別添 8 研究開発項目①革新的センシング技術開発
「高真空ウェハレベルパッケージングを適用した MEMS センサーの研究開発」
国立大学法人東北大学、ソニーセミコンダクタマニュファクチャリング株式会社
- 別添 9 研究開発項目①革新的センシング技術開発
「大気中電子放出イオン化による IMS 呼気分析システムの研究開発」
シャープ株式会社、株式会社ダイナコム、国立大学法人奈良女子大学、国立研究開発法人理化学研究所、国立大学法人鳥取大学
- 別添 10 研究開発項目②革新的センシング基盤技術開発
「超微小量センシング信頼性評価技術開発」
国立研究開発法人産業技術総合研究所
- 別添 11 研究開発項目②革新的センシング基盤技術開発／超微小ノイズ評価技術開発
「量子現象に基づくトレーサビリティが確保されたワイヤレス機器校正ネッ

トワークの研究開発」

国立大学法人大阪大学、国立大学法人神戸大学、国立研究開発法人産業技術
総合研究所

(添付資料)

- ・特許論文等リスト

概要

		最終更新日	2022年8月10日
プロジェクト名	IoT 社会実現のための革新的センシング技術開発	プロジェクト番号	P19005
担当推進部/ PM、担当者	材料・ナノテクノロジー部 PM 氏名 春山博司 (2022年7月～現在) 材料・ナノテクノロジー部 PM 氏名 大石嘉彦 (2021年4月～2022年6月) 材料・ナノテクノロジー部 PM 氏名 北川和也 (2019年5月～2021年3月) 材料・ナノテクノロジー部 担当者氏名 木原且裕 (2019年10月～現在) 材料・ナノテクノロジー部 担当者氏名 中島徹人 (2020年4月～現在) 材料・ナノテクノロジー部 担当者氏名 北野正道 (2020年6月～2021年1月) 材料・ナノテクノロジー部 担当者氏名 今泉光博 (2019年5月～2020年4月)		
0. 事業の概要	<p>顕在化する様々な社会課題の早期解決と新産業の創出を両立する Society 5.0 の実現に向けて、日本が強みを有する最先端の材料技術やナノテクノロジー、バイオテクノロジーを利用して、既存の IoT 技術では実現困難な超微量の検出や過酷環境下での動作、非接触・非破壊での測定等を可能とする革新的センシングデバイスを世界に先駆けて開発する。併せて、革新的センシングデバイスの信頼性向上に寄与する基盤技術を開発する。また、これら技術を核として、これまで世の中に分散し眠っていた現場の豊富なリアルデータを一気に収集・分析・活用可能とするシステムを新たに構築し、家庭等における手軽な疾病予兆検知や病原体発生状況の早期把握、インフラ設備の遠隔監視、産業機器の故障予知等、個別のニーズにきめ細かく、リアルタイムで対応できる革新的な製品・サービスの創出を目指す。</p>		
I. 事業の位置付け・必要性について	<p>【事業の必要性】 近年、情報通信技術の急激な進化によりネットワーク化が進み、従来は個別に機能していた「もの」がサイバー空間を利活用してシステム化され、さらには、分野の異なる個別のシステム同士が連携協調することにより、自律化・自動化の範囲が広がり、社会の至るところで新たな価値が生み出されている。これら Internet of Things (以下、「IoT」という。) 化の動きは、生産・流通・販売、交通、健康・医療、金融、公共サービス等の幅広い産業構造の変革や人々の働き方・ライフスタイルの変化を引き起こし、国民にとって豊かで質の高い生活の実現の原動力になると予見されている。</p> <p>一方で、我が国においては、人口減少や少子高齢化、エネルギー・資源の制約等により、医療・介護費の増大、地域の人手不足や移動弱者の増加、インフラ維持管理や産業保安の負担増等の様々な社会課題が顕在化している。そのため、サイバー空間（仮想空間）とフィジカル空間（現実空間）を高度に融合させる革新的なセンシング技術を導入することによって、人やあらゆる「もの」からの豊富なリアルデータで現状を精緻に見える化し、社会課題の早期解決と新たな価値創造を実現することが期待されている。</p> <p>【政策的位置づけ】 「第5期科学技術基本計画」（2016年1月22日閣議決定）において、将来的に目指すべき未来社会「Society 5.0」として、また、その実現に向けた「未来投資戦略2018」（2018年6月15日閣議決定）において、IoT等によるデジタル革命として重要性が謳われており、同様のことが経済産業省の政策「Connected Industries」でも提唱されている。</p> <p>【技術戦略上の位置づけ】 本プロジェクトは、「次世代IoT社会に向けたナノテクノロジー・材料分野の技術戦略」で必要とされる技術開発の大部分を担う。</p> <p>【NEDOが関与する意義】 国が実現を目指す未来社会「Society5.0」において、サイバー空間とフィジカル空間を高度に融合させる革新的センシング技術は極めて重要であり、人やあらゆるものからの豊富なリアルデータ取得で課題を精緻に見える化し、社会課題の早期解決と新たな価値創造を実現することが期待されている。</p> <p>本プロジェクトの目的達成には、既存技術では実現困難な超微量の検出や極限環境下でも動作可能とするなど、従来の延長線上に無い画期的な技術を核とした非連続な研究開発が必要である。材料工学や機械工学、電子工学等の異分野融合が不可欠で、民間企業等が単独で実現することは難しく、国主導で民間企業・大学・国研等が有する優れた技術・知見・ノウハウを集約して産学官が一体となって開発を加速させることが必要である。</p> <p>また、信頼性評価技術等の基盤技術については、国民経済的には大きな便益がありながらも、研究開発成果が直接的に市場性と結び付かない公共性の高い開発であり、評価技術等の標準化も検討し得ることから、国が積極的に関与すべきといえる。</p>		

II. 研究開発マネジメントについて

事業の目標

本プロジェクトでは、顕在化する様々な社会課題の早期解決と新産業の創出を両立する Society 5.0 の実現に向けて、日本が強みを有する最先端の材料技術やナノテクノロジー、バイオテクノロジーを利用して、既存の IoT 技術では実現困難な超微量の検出や過酷環境下での動作、非接触・非破壊での測定等を可能とする革新的センシングデバイスを世界に先駆けて開発する。併せて、革新的センシングデバイスの信頼性向上に寄与する基盤技術を開発する。

これら技術を核として、これまで世の中に分散し眠っていた現場の豊富なリアルデータを一気に収集・分析・活用可能とするシステムを新たに構築し、家庭等における手軽な疾病予兆検知や病原体発生状況の早期把握、インフラ設備の遠隔監視、産業機器の故障予知等、個別のニーズにきめ細かく、リアルタイムで対応できる革新的な製品・サービスの創出を目指す。

■研究開発項目①「革新的センシング技術開発」

顕在化する様々な社会課題の早期解決と新産業の創出を両立する Society 5.0 の実現に向けて、日本が強みを有する最先端の材料技術やナノテクノロジー、バイオテクノロジーを利用した、これまでにない革新的センシング技術の中核として、信号増幅やノイズ低減に関する材料・回路技術、得られた信号から有用な情報を取り出す解析技術と併せてデバイスの開発に取り組む。

【中間目標（フェーズ A 終了時点）】

従来の測定限界を超えて 1/1,000 以下の超微量を検出可能とする、これまで十分に測定し得なかった高温・高圧環境下等での動作を可能とする、又は超高精度な計測・分析装置等の従来技術と同等の性能を有しつつも体積比 1/100 以下の小型化を可能とするなどの革新的な検出素子技術や信号増幅・ノイズ低減・解析技術等の要素技術を確立する。

【最終目標（フェーズ B 終了時点）】

想定ユーザーを巻き込んだ実使用環境下での試作デバイスの技術実証・評価をもとに、革新的センシングデバイスの実用性を実証する。

■研究開発項目②「革新的センシング基盤技術開発」

超微量の検出技術に係る研究開発項目①の各研究開発テーマと連携して、微小音圧や微量濃度等の測定技術、標準物質の開発等、デバイスの検出素子に到達・反応する測定対象の量や得られる信号等を正確かつ精密に計測するための評価技術の開発や評価環境の構築を行う。

また、高精度な超微小ノイズ評価技術の開発と、幅広い開発者・ユーザーが利用可能な汎用型の超微小ノイズ評価機器・システムの開発を行い、両者のトレーサビリティを確保する。

・超微量センシング信頼性評価技術開発

【中間目標（2021 年度）】

微小音圧や微量濃度等の測定技術の開発、標準物質の開発等をもとにデバイスの評価を行い、超微量センシングデバイスに対する信頼性評価技術の確立の見通しを得る。

【最終目標（2023 年度）】

超微量センシングデバイスの検出素子に到達・反応する測定対象の量や得られる信号等を正確かつ精密に計測するための信頼性評価技術を確立し、その実用性を実証する。

・超微小ノイズ評価技術開発

【中間目標（2022 年度）】

高精度な超微小ノイズ評価技術の開発と、幅広い開発者・ユーザーが利用可能な汎用型の超微小ノイズ評価機器・システムの開発を行い、両者のトレーサビリティを確保しつつ、それぞれの技術確立の見通しを得る。

【最終目標（2024 年度）】

トレーサビリティが十分に確保された、高精度な超微小ノイズ評価技術及び汎用型の超微小ノイズ評価機器・システムを確立し、幅広い開発者・ユーザーを巻き込みながらその実用性を実証する。

事業の計画内容	実施事項	2019fy	2020fy	2021fy	2022fy	2023fy	2024fy
	研究開発項目①						
研究開発項目②							
開発予算 (会計・勘定別に事業費の実績額を記載 (単位：百万円))	会計・勘定	2019fy	2020fy	2021fy	2022fy	総額	
	総予算額 (一般会計)	282	991	819	639	2732	
	(委託)	282	991	819	539	2632	
	(助成) ：助成率 1/2 (大企業) 2/3 (中小・ベンチャー)	-	-	-	100	100	
契約種類： ○をつける 委託 (○) 助成 (○) 負担率 ()							
開発体制	経産省担当原課	産業技術環境局 研究開発課 プロジェクト室					
	プロジェクトリーダー	-					
	委託先 (*委託先が管理法人の場合は参加企業数及び参加企業名も記載) 助成先	<p>研究開発項目①</p> <ul style="list-style-type: none"> ・タニタ、富山県立大学、電気通信大学、マイクロマシンセンター ・東京医科歯科大学、NMEMS 技術研究機構 ・産業技術総合研究所、コニカミノルタ、ワイエイシイダステック、埼玉大学 ・大阪大学、神戸大学、東電設計、東電タウンプランニング ・産業技術総合研究所、ヤマシンフィルタ ・東北大学、アストロデザイン、フジキン ・浜松ホトニクス、産業技術総合研究所 ・東北大学、ソニーセミコンダクタマニュファクチャリング ・シャープ、ダイナコム、奈良女子大学、理化学研究所、鳥取大学 <p>研究開発項目②</p> <ul style="list-style-type: none"> ・産業技術総合研究所 ・大阪大学、神戸大学、産業技術総合研究所 					
情勢変化への対応	<p>【2020年度追加公募の実施】</p> <p>プロジェクト開始当初(2019年度)、超微量センシングに分野を限定したため、想定していた採択テーマ数を下回った。しかしセンサの重要性の高まりにより、2020年度では本PJの追加公募を実施し、分野限定を外すとともに、センシング対象を拡充した。</p> <p>【コロナ禍での状況下での対応】</p> <p>2020年度新型コロナウイルスが世界的パンデミックを引き起こし、その検出のニーズが高まったことから、研究開発項目①の「1分で感染リスクを検知可能なウイルスゲートキーパーの研究開発」テーマについて、期中に加速予算を配賦し、開発当初の検知対象ウイルスであるインフルエンザウイルス、ノロウイルスに加え、「新型コロナウイルス」を新たな対象に加え、早期実用化を目指し、全体開発の促進を進めた。</p>						

評価に関する事項	事前評価	2018年7月実施 担当部 材料・ナノテクノロジー部 (拡充) 2019年7月実施 担当部 材料・ナノテクノロジー部			
	中間評価	2022年9月実施 担当部 材料・ナノテクノロジー部			
	事後評価	-			
Ⅲ. 研究開発成果について	◎ 大きく上回って達成、○達成、△達成見込み、×未達				
	研究開発項目①「革新的センシング技術開発」 (1) 血中成分の非侵襲連続超高感度計測デバイス及び行動変容促進システムの研究開発 [実施体制：株式会社タニタ、公立大学法人富山県立大学、国立大学法人電気通信大学、一般財団法人マイクロマシンセンター]				
	研究開発項目	中間目標	研究開発成果	達成度	今後の課題と解決方針
	①試作モジュールを用いたウェアラブルデバイスの開発	1) センサモジュール評価用光学ファントム標準器の開発	1) Ge 基板上に成膜した各濃度における吸収を反映する標準器を開発完了。	○	-
		2) センサ仕様決定	2) 人工膜を用い、非侵襲で生体成分計測するために必要なセンサ仕様を決定完了。	○	-
		3) デバイス設計・開発	3) 各機関で開発したセンサを搭載できる光学系を開発。また、押し圧調整治具を開発。	○	-
	②-(1)遠赤外光ディテクタの研究開発	1) 20 mg/dL 分解能の血糖を計測するための 1mPa 分解能の音響センサ	1) 試作センサによる血糖計測、10 μPa 以下の分解能で音響センサの実現	○	-
		2) ファントムを用いた血糖変化計測	2) ファントムを用いて 60～200mg/dL 濃度の血糖変化計測を 20mg/dL の分解能で実現	○	-
	②-(2)中赤外光ディテクタの研究開発	1) 検出波長長波長化：3～4μm	1) 4 μm までの中赤外検出完了	○	-
		2) 検出効率の増大と暗電流ノイズ抑制 S/N104 達成	2) 現状性能の外挿により、S/N10 ⁴ の高 S/N の達成を確認	○	-
3) 血中成分検出の確認		3) 標準器の透過検証、疑似血液（イントラリポス）の濃度変化検証完了	○	-	

③-(1) 遠赤外光ディテクタの構造試作	光音響効果検出可能な数mm ² サイズの超高感度遠赤外光ディテクタの製造プロセス設計及び試作を、産業技術総合研究所つくば東事業所所有の8インチMEMS試作ラインを借用し、実施し工程表を策定する。	8インチウェハを用い、反りの少ない高感度ピエゾ抵抗型片持梁デバイスと共鳴器デバイスの試作を完了し、その2つのデバイスの一体型試作を完了。工程フローシートとして纏める。	○	-
③-(2) 中赤外光ディテクタの構造試作の研究開発	デバイス背面光入射構造プラズモニックフォトディテクタ(波長帯:3~4μm)の製造プロセス設計を完了し、産業技術総合研究所つくば東事業所所有の8インチMEMS試作ラインを借用し、実施し工程表を策定する。	高感度化に向けた背面照射と低障壁化を実現したシリサイドショットキー電極ナノアレイ構造の製造プロセス設計を完了し、再現性の高いデバイス試作を完了。工程フローシートとして纏める。	○	-

(2) 薄膜ナノ増強蛍光による経皮ガス成分の超高感度バイオ計測端末の開発
 [実施体制: 国立大学法人東京医科歯科大学、技術研究組合 NMEMS 技術研究機構]

研究開発項目	中間目標	成果	達成度	今後の課題と解決方針
①-a ナノ光学系の設計及び作製、評価	ナノ構造による蛍光出力の増幅効果をもたらす「ナノ光学系」を作製し、小型化と感度向上を同時に達成	ナノ光学系: ・ナノ光学系によるNADH溶液測定の初期検討を完了 ・ナノ構造体の設計・作製・評価を行った	△	【今後の課題】 ナノ構造による蛍光増強効果の最大化 【解決方針】 ナノ構造の最適化
①-b1 気液バイオ反応系の設計、及び材料の選定	・酵素反応系、酵素固定化膜の改良により、超高感度な計測が可能な実験系の構築 ・ナノ光学系の効果と併せて従来(7ppb)の1/100の極低濃度(10pptレベル)の計測を達成	・酵素反応系及び固定化法の選定を完了 ・光学系の選定、フローセル構造の最適化にて従来の「光ファイバ」系で定量下限500pptを達成	△	【今後の課題】 さらなる高感度化による10pptレベルのアセトンガス計測 【解決方針】 ナノ光学系との融合による高感度化の達成
①-b1 気液バイオ反応系の設計、及び材料の選定(追加配賦)	・マイクロ流路・マイクロポンプによる皮膚ガス・溶液の送液構造の実現 ※具体的には、気液マイクロ流路に入手可能なマイクロポンプによる数μLの溶液を±10%以内の流量変動で安定供給を実現	・GA架橋加熱乾燥法による酵素固定化膜を試作、100ppbのアセトンガスへの応答を確認、最適化条件の検討 ・酵素膜成膜用として微量微圧塗布装置を選定(膜厚バラツキ3.9%)	△	【今後の課題】 酵素膜の量産化プロセスの確立

	①-b2 気液マイクロ流路の設計と開発	<ul style="list-style-type: none"> ・マイクロ流路・マイクロポンプによる皮膚ガス・溶液の送液構造の実現 ※具体的には、気液マイクロ流路に入手可能なマイクロポンプによる数μLの溶液を±10%以内の流量変動で安定供給を実現 	<ul style="list-style-type: none"> ・試作済みマイクロ流路と電気浸透流ポンプ(E0ポンプ)を用いたNADH溶液の送液構造を構築 (微小流量の安定送液を確認) 	○	【今後の課題】 光学系との一体プロセスの検討
	②簡易型の極低濃度ガス発生・評価系の構築	<ul style="list-style-type: none"> ・簡易型の極低濃度ガス発生装置にて生成した10pptレベルのアセトンガスを濃縮ガス生成装置とアセトンガス用のバイオスニファを用いた評価実験系を用いて評価 	<ul style="list-style-type: none"> ・簡易型の極低濃度ガス発生装置により、ベースガス濃度に対して100倍以上(125倍)の希釈を実現 	○	【今後の課題】 希釈による極低濃度ガス発生には、物質吸着などの物理物性的、ガス流量制御の精度的な限界がある 【解決方針】 ガス分子の吸着を極限まで低下させた配管内コーティング法の開発、高精度な流量コントローラーの利用。今回は追加配分にてパーミエーションチューブ法を採用したガス発生装置を導入
	②極低濃度ガス発生・評価系の構築 (追加配賦)	<ul style="list-style-type: none"> ・高精度・極低濃度ガス発生装置にて生成した10pptレベルのアセトンガスの濃度の信頼性を、同じ実験系を用いて発生ガス精度を算出。精度としては10pptレベルのガスとして±5%を達成 ・清浄な気相環境下で、開発したセンサを用いて「被験者の皮膚ガス計測(ドラフト内)」を実施し、その有用性を評価 	<ul style="list-style-type: none"> ・アセトンガス濃度：60ppt、精度±5%を確認(世界初) ・光ファイバ型アセトンガスセンサを用いて経皮アセトンガス計測を清浄環境にて実施中 	○	【今後の課題】 60ppt未満の標準ガスアセトン発生の精度検証。清浄な気相環境での生体ガス計測実験 【解決方針】 生体ガス計測にはナノ光学系の実装による高感度化が必須。60ppt未満の標準ガスアセトン生成精度の検証は現在進行中

	③超高感度バイオ計測端末の原理モデル（動作モデル）の作製	・経皮アセトンガスセンサモジュールを1000 cm ³ （従来比1/10）以下のサイズで実現	・光ファイバプローブを用いた光学系搭載のアセトンガスセンサモジュールを試作。光学系を除き999 cm ³ で構築 ・EOポンプによる設計流速でのNADH溶液の安定送液を確認 ・MEMS集積（マイクロ流路とナノ光学系の融合）に基づく試作機を設計	○	【今後の課題】 商品化に向けたさらなる小型化
--	------------------------------	---	--	---	---------------------------

（3）1分で感染リスクを検知可能なウイルスゲートキーパーの研究開発

[実施体制：国立研究開発法人産業技術総合研究所、コニカミノルタ株式会社、株式会社ワイエシイダステック、国立大学法人埼玉大学]

研究開発項目	中間目標	成果	達成度	今後の課題と解決方針
①-1 センシング機構の研究開発	制御用ソフトウェアと、解析ソフトウェアを搭載し、検出から解析まで行うことができるデスクトップ型試作機を完成させる。この試作機を用いて、唾液や手のひら拭い液を模擬したサンプル中に添加した10コピー/μlのノロ、インフルエンザ、新型コロナウイルスの1分検出を実現する。	全自動測定を行う試作機が完成。マイクロウエルとAIE試薬を用いたウイルス1分検出プロトコルが完成。マイクロウエルと磁気微粒子と酵素試薬を用いたウイルスの超高感度1 aM 検出プロトコルが完成。	○	-
①-2 高齢者施設導入用システムの研究開発	「①-1」で開発した試作機に、高齢者施設用ユーザーインタフェース部、混合部、洗浄部を組み込み、自動化プロセス機能を有した試作機の動作確認を完了する。	唾液検体採取/抽出具の高齢者施設向けの改良および自動化プロセス機能を備えた試作機による動作試験が完了。	○	-
①-3 食品工場導入用システムの研究開発	「①-1」で開発した試作機に、食品工場用ユーザーインタフェース部、混合部、洗浄部を組み込み、自動化プロセス機能を有した試作機の動作確認を完了する。	食品工場用ユーザーインタフェースの仕様確定と設計が完了。	△	コロナ禍の影響で食品事業者へのヒアリングに遅れが生じていた。コロナ禍に対する社会情勢は改善。開発済試作機の要素部品を活用して効率的に製作を進める。

	②-1 制御用ソフトウェアの研究開発	「①-1」で開発された試作機に、制御用ソフトウェアをインストールして正常動作を確認する。	フェーズ A 試作機用の制御ソフトの製作及び動作確認が完了。	○	-
	②-2 解析ソフトウェアの研究開発	「①-1」で開発された試作機に、解析ソフトウェアを実装する。	フェーズ A 試作機用の解析ソフトの製作及び動作確認が完了。	○	-
	③-1 センサチップの研究開発	「①-1」で開発された試作機に、ユーザビリティ性のある交換可能なチップを搭載する。	ディスプレイ化した流路型センサチップ、及びセンサチップ自動装填機構が完成。	○	-
	③-2 AIE 検出試薬の研究開発	「①-1」で開発された試作機での1分検出実現に資するAIE 検出試薬を提供する。	インフルエンザ検出用、ノロウイルス検出用、及び新型コロナウイルス検出用の新規AIE 試薬の作製が完了。 mg オーダーの試薬供給体制を確立。	○	-
	③-3 検査試薬キットの研究開発	「①-1」で開発された試作機に、1分検出実現に資する検査試薬キットを搭載する。	ユーザビリティを考慮した試薬ボトルの試作品の作製及び装置への実装が完了。	○	-
	④ 検出プロトコルの研究開発	「①-1」で開発された試作機での1分検出実現に資する検出プロトコルを確立する。	マイクロウエルとAIE 試薬を用いた、インフルエンザ、ノロ、新型コロナウイルスの1分検出プロトコルが完成。 マイクロウエルと磁気微粒子と酵素試薬を用いた、インフルエンザ、ノロ、新型コロナウイルスの超高感度1 aM 検出プロトコルが完成。 生物発光試薬の候補物質選定が完了。	○	-
<p>(4) 次世代公共インフラ実現へ向けた高密度センサ配置による微小量信号計測技術の研究開発 [実施体制：国立大学法人大阪大学、国立大学法人神戸大学、東電設計株式会社、東電タウンランニング株式会社]</p>					
	研究開発項目	中間目標	成果	達成度	今後の課題と解決方針

<p>①シート型超微小物理量センサシステムの研究開発 (国立大学法人 大阪大学)</p>	<p>(a) 検出精度：電柱上部 3m 周辺 20m 範囲の検知 (b) 検知加速度：1～10 m/s²@1Hz-30Hz (c) x, y, z の各軸間のカップリング誤差 (10%以内)</p>	<p>検出精度は高さ 4.5m 距離 15m 以内の範囲で振動検出を確認。検出加速度、各軸間のカップリング誤差は産業技術総合研究所における試験にて目標達成済み。</p>	○	<ul style="list-style-type: none"> 検出感度の検討における加振条件の定量的設定 土砂災害対応に向けた検出周波数の検討 クラウド通信仕様の検討
<p>②微小信号処理システムとそのネットワーク化の研究開発 (国立大学法人 神戸大学)</p>	<p>(a) 20m 距離において信号対雑音比 5dB を実現 (従来比 10dB 以上の感度向上を達成) (b) センサから地表面と交通量の情報取得 (c) 消費電力 10W。20m 範囲をカバーする複数電柱ネットワークによる地表面と交通量の情報取得。</p>	<p>20m 距離の低ノイズ音圧取得と消費電力 10W を達成。複数電柱による交通量情報精度向上を確認。</p>	○	<p>交通量情報精度向上のための機械学習アルゴリズム改良と専用ハードウェア実装を実施予定</p>
<p>③自然災害の情報アルゴリズムの研究開発 (東電設計株式会社)</p>	<p>(a) 災害事象ごとに評価アルゴリズムを統合したシステム基本設計の終了 (b) 上記基本設計に基づき、一連の動作確認が出来るシステムの試作</p>	<p>地震・土砂災害など、各災害事象の評価アルゴリズムを開発。アルゴリズム単体の動作を確認。</p>	○	<p>防災科学技術研究所で実施予定の実験結果を反映した土砂災害のアルゴリズムの改良を行う。</p>
<p>④ユーザーインターフェースの研究開発 (東電タウンプランニング株式会社)</p>	<p>(a) 想定ユーザーのニーズに対応した災害時及び平常時の情報を表示できるソフトウェアの試作 (b) シート型マルチセンサの電柱への設置方法に関する基本設計の終了</p>	<p>表示ソフトウェア作成について実証実験結果から伝達可能な情報 (人・もの等) を整理し、平常時および災害時の利用シーンの検討・実施。センサを電柱へ設置するにあたり規制や条件の整理を行い、電柱現況のサンプル調査、センサ設置イメージの検討・実施。</p>	○	<p>2021 年秋に実施予定のフィールド実験を再評価し、検証結果をモックアップ版へ作成予定。電柱所有者、道路管理者との協議を行える基本設計を実施。センサモックアップを基に電柱所有者との初期協議。</p>
<p>(5) 極限環境の液体管理を IoT 化する革新的粘性センサの開発 [実施体制：国立研究開発法人産業技術総合研究所、ヤマシンプィルタ株式会社]</p>				
<p>研究開発項目</p>	<p>中間目標</p>	<p>成果</p>	<p>達成度</p>	<p>今後の課題と解決方針</p>
<p>①粘性センサの原理の革新的高度化</p>	<p>【非ニュートン性、粘弾性の測定が可能な革新的粘性センサの原理の実証】 ・ニュートン流体の粘度測定：測定精度 3%</p>	<p>3.5mm 角超小型 MEMS 粘性センサ Ver.1 と駆動回路の開発を実現し、ニュートン流体を約 3%の精度で測定することに成功した</p>	○	<p>粘性センサ構造の厚さを最適化することで、最終目標の測定精度 1%に向上させる。</p>

		<ul style="list-style-type: none"> ・非ニュートン性測定：ずり速度 1～50s⁻¹、ずり応力 0.01Pa～1Pa ・粘弾性測定：周波数 0.1Hz～50Hz ・ずり応力の測定の数値目標：5% ・粘弾性測定の位相角の分解能：3° ・振動、圧力、温度の影響の基礎検証実験 	粘性センサ超小型化により共振周波数 $\omega_0=10\text{kHz}$ を実現することで、非ニュートン性測定的前提となる三角波駆動条件下で振動体の変位を三角波にすることに成功した。	△ (2022年9月達成予定)	高粘度の液中で、5次の項 ω_0 かつ高次の奇数項 $\neq \omega_0$ を満たすような最適駆動条件を探索することで、中間目標を達成する。
②粘性センサの積層パッケージ化による高度化		【厚み 100 μm 以下、チップサイズ 5mm 角以下の微小な粘性センサとホルダー管体の開発】 <ul style="list-style-type: none"> ・粘性センサの改良と施策を複数回行う 	MEMS 粘性センサ ver.1 を試作、評価し、変位センサのノイズ源である引き出し配線部を短くした粘性センサ ver.2 を試作し、MEMS 寄生容量由来のノイズを大幅に低減した。さらに、電極にグラウンドシールド構造を施した粘性センサ ver.3 を試作し、オイルの寄生容量由来のノイズを低減した。	○	配線パターンの修正点を反映した粘性センサ ver.4 を試作することで、建機オイルフィルタ内部で所定の性能を達成する。
		<ul style="list-style-type: none"> ・サイズ目標：5mm 角 	SU-8 樹脂による流路形成及び PDMS との接合法を開発することで、3.5mm 角の超小型粘性センサ・マイクロポンプチップスケールパッケージング技術の開発に成功した。	△ (2022年9月達成予定)	液体入れ替え用のポンプをパワーがある圧電セラミックスタクチュエータ式に置き換えると共に流路構造の圧損を低減することで、オイルの入れ替えを実現する。
		<ul style="list-style-type: none"> ・隔壁間無線給電の電力目標：100mW 	磁界結合無線給電・データ通信用送受信コイル・回路基板一体化モジュールを開発し、フィルタ管内のマイコン内部データ (64bit) を隔壁間無線給電により読み出すことに成功した。	△ (2022年9月達成予定)	フィルタ内部の給電能力を元に、内部に設置する二次電池の容量を適切に設定することで、粘性センサシステム全体の駆動に必要な 550mW の給電を実現する。

③粘性センサの動作試験とIoTデバイス化	【建機を模擬した環境での実証試験】 ・建機を用いた試験を継続する	試作した MEMS 粘性センサ Ver. 2 を建機測定用治具に取り付け、MEMS 粘性センサで建機中のオイルの粘性を測定する一連の動作を実証した。	△ (2022年9月達成予定)	MEMS 粘性センサと周辺回路、及び隔壁間無線給電回路を一体化した基板とコイルをフィルタに内蔵することで、建機のオイルフィルタ内部のオイル粘性測定の実証を実現する。
	・建機の基幹システムへの接続方法の設計と、ICT サービスのプロトタイプモデルを試作する	基幹システムへの接続方法として YMO システムを開発した	△ (2022年9月達成予定)	上記動作実証試験を通じて、プロトタイプモデルを完成させる。
(6) 高速・高 SNR 撮像素子による流体濃度分布その場計測デバイスの開発 [実施体制：国立大学法人東北大学、アストロデザイン株式会社、株式会社フジキン]				
研究開発項目	中間目標	成果	達成度	今後の課題と解決方針
①高速・高 SNR 撮像素子の開発	画素数 1 万超・SNR70dB 超・撮像速度 1,000 枚/秒のグローバルシャッター CMOS イメージセンサ	画素数 19600 のイメージセンサの設計・試作を完了し、最高 SNR70dB, 1000 枚/秒のグローバルシャッター動作を達成	○	【今後の課題】 フェーズ B に取り組む予定の多画素化へ向けた技術開発
②小型分光イメージングデバイスの開発	小型分光イメージングデバイスのプロトタイプ	半導体製造チャンバーに取り付け可能とする光学インターフェイスに対応したイメージングモジュールを構築。開発イメージセンサと同期して駆動する光源モジュールを開発し、その動作を確認した。	△ (2023年2月達成予定)	【今後の課題】 イメージングモジュールと光源モジュールの高速同期動作の確認と動作の実証 【解決方針】 トリガ信号取り込みを行う。

③製造装置内流体濃度分布計測の実証	半導体製造装置内ガス・薬液濃度分布可視化実証	イメージングモジュールを試験チャンバーに取り付けて簡易的な撮像が行えることを確認した。また、真空チャンバーにプラズマシステムを搭載して、エッチング装置やCVD装置を模したプラズマを形成できるようにした。ガス濃度を変更して取得した画像データから検量線を取得し、取得された二次元画像から二次元のガス濃度分布を可視化するためのデータ解析フローを構築した。また、プラズマ形成に資する高真空系の制御、計測機器を構築。	△ (2023年2月達成予定)	【今後の課題】 3次元ガス濃度分布の可視化アルゴリズム確立。 薬液濃度分布可視化実証 【解決方針】 3次元空間の濃度分布可視化向け座標割り付け検討。 薬液層システムの構築。
-------------------	------------------------	---	--------------------	---

(7) 波長掃引中赤外レーザによる次世代火山ガス防災技術の研究開発
[実施体制：浜松ホトニクス株式会社、国立研究開発法人産業技術総合研究所]

研究開発項目	中間目標	成果	達成度	今後の課題と解決方針
①-1. 7~8 μ m帯の波長掃引パルスQCLモジュール光源の開発	波長7.2~8.2 μ mで波長掃引が可能、かつ容積が従来品比の約2万分の1である30cm ³ 以下の波長掃引パルスQCL光源の開発。70℃以上の最高動作周囲温度の達成。駆動回路を集積化させた光源モジュールの開発。	波長7.2~8.2 μ mの波長掃引、指先サイズ5cm ³ の波長掃引パルスQCL光源の開発、チップレベルで70℃の動作温度を達成。試作デバイスを用いて連続動作試験を開始。駆動回路を集積化させた光源モジュールの試作を完了。	△ 2022年12月達成見込み 達成事項・未達事項は左に記載 世界最小の小型化を実現	【今後の課題】 掃引波長の波長ドリフト。駆動回路のジッタが大きくS/Nを阻害。 【解決方針】 バーンインで波長ドリフトが収束するかを検証中。また、項目①-3と連携し計測後に波長を補正する方法を検討中。駆動回路は対策版の2次試作を実施する。

	<p>①-2. 裏面入射型・低 FOV 赤外受光素子の開発</p>	<p>低 FOV レンズの集積化を行い視野角を従来品の 1/10(10 度)に狭角化、波長 7~8μm 帯に受光感度ピークを持つ量子型光検出素子の開発。従来品から 85%以上の感度の向上(3.2mA/W 以上)、従来品の温度特性 1.2%/$^{\circ}$Cからの向上(0.9%/$^{\circ}$C以下)。</p>	<p>低 FOV レンズの集積および 10 度の視野角、受光感度 7~8μm の量子型光検出素子の開発は達成。感度は約 500mA/W と目標値を大幅に上回り達成。温度特性は、1.9%/$^{\circ}$Cと目標未達だが、目標を上回る受光感度が得られた素子設計がシステム全体には好適と判断。気密パッケージの開発にも成功。</p>	<p>△ 2023 年 1 月達成見込み 達成事項・未達事項は左に記載</p>	<p>【今後の課題】素子の個体差が差動増幅に与える悪影響。 【解決方針】項目①-3 と連携し、差動検出に適用して影響を調査し、検出回路の構成を含めて改善する。</p>
	<p>①-3. 受光モジュールの開発および計測アルゴリズムに対する最適化の検討</p>	<p>応答速度 10ns(応答帯域 DC~35MHz)のプリアンプおよび差動検出型のバランス検出回路を統合した受光モジュールの開発。項目②と連携し、計測アルゴリズムの最適化を実施。</p>	<p>プリアンプの応答速度は 30ns で目標未達。応答速度を早くすると、差動処理後のノイズ残渣が大きくなるのが判明。これ以上の広帯域化は、システム全体の性能向上に寄与しないと判断している。</p>	<p>△ 2023 年 2 月達成見込み 達成事項・未達事項は左に記載</p>	<p>【今後の課題】出力信号に重畳する外来ノイズ。計測アルゴリズムに対する最適化の検討が未了。 【解決方針】外来ノイズはフィルタにより除去。計測アルゴリズムは、項目②向けの評価機を準備中。連携課題を抽出し最適化を実施。</p>
	<p>②-1. 波長掃引パルス QCL モジュールを用いた低ノイズ計測手法の研究</p>	<p>光源由来の光学ノイズを 1/20 以下に低減できる計測手法、火山ガスと中赤外光との相互作用長を伸長する多重反射デバイス(ガスアンテナ)の開発。SO₂あるいは H₂S ガス相当の代替ガスにおいて、検出感度 0.1ppm の計測手法の実現を目指す。</p>	<p>ガスアンテナ開発により多重反射光学系をコンパクトに収め感度を高めた。差分検出構造の評価も進め、ノイズを 1/10 以下に低減できることも確認している。これにより検出感度 0.5ppm 程度が達成できている。</p>	<p>△ 2023 年 2 月達成見込み 達成事項・未達事項は左に記載</p>	<p>【今後の課題】個別要素の評価は行えているが、統合による評価が課題 【解決方針】システム構築により統合システムとしてのボトルネックが明確になるため、これを推し進める。</p>
	<p>②-2. 次世代赤外分光装置及びモニタリングシステムの開発</p>	<p>過酷環境下においてメンテナンスフリーで 24 ヶ月の無人運転に資する検出感度 0.10ppm の次世代赤外分光装置のプロトタイプを作製する。</p>	<p>火山環境に適合させやすいメンテナンスフリー構造を複数開発し、試験した。通信の低電力化も進め、24 か月通信に支障はないことを確認。システム化を進めており、プロトタイプ作製中である。</p>	<p>△ 2023 年 3 月達成見込み 達成事項は左に記載、未達事項はプロ</p>	<p>【今後の課題】②-1 同様に、統合化評価を行うことが課題。 【解決方針】統合システムとして個別要素の接続性、親和性について改良を進める。</p>

			トタイプ の作 製	
<p>(8) 高真空ウェハレベルパッケージングを適用した MEMS センサーの研究開発 [実施体制：国立大学法人東北大学、ソニーセミコンダクタマニュファクチャリング株式会社]</p>				
研究開発項目	中間目標	成果	達成度	今後の課題と解決方針
①基本プロセスの実証	1 Pa 以下の封止圧力を実現すること 高真空セラミック／缶パッケージと比べて1/100以下の体積に小型化すること	内部にデバイスがない試料で10 Pa以下の封止圧力を確認。 内部にデバイスがある試料を完成させ、超小型パッケージの形態を確認。 4インチプロセスを完了したものの、内部に封止したデバイスの動作は確認できていない。問題の把握と解決を急いでいる。	△ 2023年2月達成見込み	パッケージ内部に封止したデバイスが動作しない原因を調べ、その結果に基づき、プロセス要素技術とデバイス設計を修正し、ウェハレベルパッケージングプロセスをやり直す。この問題のブレークスルーにほとんどのリソースを投入する。
②SMSによるMEMSセンサーの研究	1° /h以下のバイアス安定性を実現すること	モードマッチ方式のジャイロの試作、評価を実施。モードマッチを実証。	△ 2023年2月達成見込み	研究項目①が難航しているため、そこから研究課題②は切り離し、デバイス単独で1° /h以下のバイアス安定性を実現する。
③温度補償技術の研究	Siへの高濃度ドーピングによる温度補償技術の実証	Siへの高濃度ドーピングによる温度補償をシミュレーションで実証し、それに基づきテストデバイスの試作が完了。	△ 2023年2月達成見込み	基礎研究を計画通りに行う。
<p>(9) 大気中電子放出イオン化によるIMS呼吸分析システムの研究開発 [実施体制：シャープ株式会社、株式会社ダイナコム、国立大学法人奈良女子大学、国立研究開発法人理化学研究所、国立大学法人鳥取大学]</p>				
研究開発項目	中間目標	成果	達成度	今後の課題と解決方針
①-1. 電子放出イオン化技術とIMSガス分析装置開発(シャープ)	電子放出イオン化IMSの装置性能向上：検出限界1ppb ダイナコム社が開発する信号処理技術と融合：検出限界100ppt	・IMS改良機を製作し奈良女子大に設置完。 ・酢酸にて目標検出感度0.5ppbを達成。 ・UIソフトを作成しIMS改良機に搭載完。	△ 2023年3月達成見込み	ターゲットの疾病とバイオマーカーが未確定のため、連携機関と協力して最優先で進める。

①-2. IMS 高度利用のためのインフォマティクス技術開発 (ダイナコム)	電子放出イオン化IMS から得られた検出信号に対する信号処理技術開発：SN比 10 倍以上改善	各種 VOC のスペクトルデータを格納するためのデータベースを構築した。 データ同化アルゴリズムを用いて、誤差調整パラメータの推定を行った。	△ 2023 年 3 月達成見込み	データベースを奈良女子大学に設置し、登録と解析処理の連携を進める。パラメータ推定についてはデータを増やして精度を向上する。
②-1. 希薄ガス分子のサイズ・反応性の理論的・実験的研究とデータベース構築 (奈良女子大学)	疾病と相関する呼吸分子の IMS 多成分検知：10 種類以上	IMS 試作改良機を用いて、疾病と相関する試料ガス 6 種類を IMS 分析し、分子成分を検知した。 濃度の異なる 2 成分系の混合ガスのスペクトルのデータベース化。	△ 2023 年 3 月達成見込み	実際の動物の呼吸から得られた分子と、合計 10 種類以上について、IMS 試作改良機で IMS の多成分検知を確認する。
②-2. イオン源の評価とイオン化挙動の解明 (理化学研究所)	大気中電子放出(AEE)素子の改良呼吸分析用 IMS のドープメント選択	SPring-8 のビームラインで AEE 素子に高輝度 X 線ビームを照射し、元素の空間分布や物性を分析。 ドープメント候補物質を選定・基礎実験完了。	△ 2023 年 3 月達成見込み	AEE 素子のサブミクロン領域での Si と Ag の分布を観察し、素子性能向上に向けた改良方針を決定する。
③-1. 呼吸サンプリング用マイクロ予備濃縮器の開発 (鳥取大学)	マイクロ予備濃縮器と IMS を用いた 100ppt ガスサンプルの検出	マイクロ予備濃縮器と IMS を用いて 1 ppb ガスの濃縮と検出を実現。	△ 2023 年 3 月達成見込み	マイクロ予備濃縮器と IMS と用いて ppt オーダーの標準ガス検出を図る。
③-2. 呼吸分析法の犬猫の各種疾患診断への応用 (鳥取大学)	犬猫の呼吸成分と各種疾患の相関説明	健康な犬の呼吸分析を実施し、レファレンス用データベースを作成。	△ 2023 年 3 月達成見込み	疾患を有する犬の呼吸分析を実施し、疾患と呼吸分析データの相互関係を解析する。

研究開発項目②「革新的センシング基盤技術開発」

(10) 超微量センシング信頼性評価技術開発

[実施体制：国立研究開発法人産業技術総合研究所]

項目	中間目標	研究開発成果	達成度	今後の課題と解決方針
研究項目①：非侵襲血中成分計測に係る信頼性評価技術開発 ①-1：ピエゾ抵抗型音響センサに係る信頼性評価技術の開発	水中 10-100 kHz の微小音圧検出能力および体温付近における特性変化の評価システムを構築。 大気圧下 1 kHz-10 kHz で 1 mPa 以下の圧力測定	水温調節(10℃-50℃)で水中における 15k-100 kHz の評価システムを構築。 目標範囲を超える 10 Hz-20 kHz において、大気圧下で 1 mPa 以下の圧力分解能を達成	◎ 目標を超える 10Hz からの評価が可能となった。また 10 Hz 時の感度も 10 μPa と世界最高性能。	【今後の課題】 水中では 10 kHz の信頼性が低い保証できる 15 kHz からとしている。 【解決方針】 10 kHz での校正を進めることによって解決可能。2023 年 3 月達成見込み

	<p>①-2: 中赤外センサに係る信頼性評価技術の開発</p>	<p>グルコース溶液を用い、自己血糖測定器の規格20%の差を検出</p>	<p>正常な血糖範囲となる100-200 mg/dLのグルコース溶液を用い、自己血糖測定器の規格20%の差を検出する評価システムを構築</p>	<p>◎ 高精度 FT-IR の微弱精度 OD4.3 に対し、OD8 と大幅に微弱対応可能。また測定時間も20 ms からと高精度 FT-IR の50倍高速現象に対応可能。</p>	<p>【今後の課題】 センサ開発チーム側が測定系をATR法に定めたため、これに対応する。 【解決方針】 我々センサ評価チームでもATR法を導入し、ファントム等による評価技術を確立する。</p>	
	<p>研究項目②: 生体ガス成分計測に係る信頼性評価技術開発 ②-1: 生体ガス標準物質の調製法と濃度検証法の開発</p>	<p>相対湿度がほぼ100%である空気で希釈したVOC標準ガス発生装置について、センサデバイス開発側の要請に対応すべく、今回の加速により従来の目標を引き上げて、数100 ppt濃度レベルの標準ガスを発生できるものを開発する。また、今回の加速によって、発生させる標準ガスの発生濃度安定に要する時間の短縮を図る。</p>	<p>任意に湿度にできるVOC標準ガス発生装置を開発した。センサ開発側が要望したアセトン標準ガスについて取り組み、加湿を行っても、十分実用的な時間内に1 μmol/mol から sub nmol/mol の範囲で信頼性のある標準ガスが発生できることを確認した。</p>	<p>○</p>	<p>中間目標に対する課題はない。 【今後の課題】 アセトン以外の対象成分に対する濃度信頼性や共存物質による妨害の程度を評価するために、VOCを複数種混合する標準ガスを調製できることが必要。 【解決方針】 2021年度までに開発した標準ガス発生装置を拡張し、複数のVOC成分を混合できる標準ガス発生装置を開発する。</p>	

	<p>研究項目②：生体ガス成分計測に係る信頼性評価技術開発 ②-2：標準ガス調製装置による生体ガスセンサの合理的な評価法の開発</p>	<p>【2021年度末達成目標】 標準ガス調製装置を用いた生体ガスセンサの合理的な評価法を開発し、信頼性評価を実現させる見通しを得る。</p>	<p>標準ガス調製装置を用いた生体ガスセンサの合理的な評価法を開発した。信頼性評価を実現させる見通しを得た。 特に、窒素、酸素、アセトン等のガスを混合して、ガスセンサ評価のための標準ガスを調整する装置を整備した。標準ガス調製装置を用いて、ガスセンサの評価を実施することにより、標準ガス調整の課題点を抽出し検討した。また、ガスセンサの評価における課題点を抽出し検討した。</p>	○	<p>中間目標に対する課題はない。 今後、【2023年度末達成目標】の達成に向けて、加湿器付き多種混合VOC標準ガス発生装置等を用いて、連携先ガスセンサを評価すると共に、市販ガスセンサとの応答特性の比較評価を行う。また、合理的・客観的に評価するためのプロトコルを確立する。</p>
	<p>研究項目③：ウイルスゲートキーパーに係る信頼性評価技術開発 ③-1：ウイルス精密分離精製技術の開発</p>	<p>標準的なウイルスの精密分離精製手法を確立する。</p>	<p>2段階超遠心法によるウイルス精製法を確立し、手順書を作成した。</p>	○	<p>【今後の課題】 精確なウイルス個数濃度を得るための、より高純度なウイルス精製が必要 【解決方針】 クロマトグラフィー等による精製プロセスを検討予定</p>
	<p>③-2：微量ウイルスRNA定量法および微量ウイルスたんぱく質定量法の開発</p>	<p>ウイルスRNAおよびたんぱく質の精確な定量によりウイルス粒子の個数評価を可能にする見通しを得る。</p>	<p>ウイルスの定量に適切なセグメントを選定し、デジタルPCRによるウイルスRNAの測定条件を確立した。抗ウイルスたんぱく質抗体の選定を行い、デジタルELISAでの測定に使用可能であることを確認した。</p>	○	<p>【今後の課題】 精製ウイルスへの値付けにおける前処理法や測定条件の最適化 【解決方針】 同一試料を複数の方法で測定することにより、測定結果の妥当性を検証予定</p>

<p>研究項目④：微小振動計測に係る信頼性評価技術開発</p>	<p>1-100 Hzにおいて従来の100倍程度性能が向上した高精度・高確度な低周波振動測定装置を開発し、微小な振動変位を検証する見通しを得る。</p>	<p>1-100 Hzの水平方向で現行の1/100の印加加速度において、測定不確かさを維持したまま振動センサを評価可能とした。鉛直方向に対しても低周波振動測定装置を開発した。</p>	<p>◎ 水平方向において、下限1 Hzを大幅に下回る0.1 Hz以下の低周波数まで評価可能にした。デジタル出力型振動センサの評価も可能にした。</p>	<p>【今後の課題】 環境条件を維持した状態で、振動センサの応答性能評価 【解決方針】 温湿度制御機器と分離可能な温湿度槽と組み合わせた振動評価装置を開発して、振動センサを評価</p>																														
<p>(11) 超微小ノイズ評価技術開発／量子現象に基づくトレーサビリティが確保されたワイヤレス機器校正ネットワークの研究開発 [実施体制：国立大学法人大阪大学、国立大学法人神戸大学、国立研究開発法人産業技術総]</p>																																		
<p>(開発項目①) ワイヤレス機器校正ネットワーク向けの小型の標準信号源の開発</p>	<table border="1"> <thead> <tr> <th>項目</th> <th>中間目標</th> <th>研究開発成果</th> <th>達成度</th> <th>今後の課題と解決方針</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td></td> <td>ジョセフソン効果を用いた小型標準器のプロトタイプを作製</td> <td>プロトタイプ2号機成。④の交流生成機能も実装し、目標の交流発生にも成功した。また大きさも想定よりも小型化することに成功した。</td> <td>◎</td> <td rowspan="7">2022年度時点ではほぼすべての目標を達成しており、目標を超えた課題として、コンパクトな装置を実現したい。その実現に向けては、実用化に向けた小型化や「バグ出し」が必要。</td> </tr> <tr> <td></td> <td>プロトタイプ出力電圧分解能(30 μV)</td> <td>30 μVの発生達成</td> <td>○</td> </tr> <tr> <td></td> <td>プロトタイプと一次標準器との物理的接続による電圧計測精度(4 mV ± 10 nV)</td> <td>4 mV ± 10 nVの電圧計測精度達成</td> <td>○</td> </tr> <tr> <td></td> <td>交流電圧発生の実現(振幅2.8 mV、100 Hz)</td> <td>交流電圧発生の実現(振幅2.8 mV、100 Hz)</td> <td>○</td> </tr> <tr> <td></td> <td>室温型の微小標準電圧発生器の出力電圧値(1 mV以下)</td> <td>7.2 Vのツェナー電圧出力を0.1 μV/Vの精度で確認、低電圧化検討中</td> <td>○</td> </tr> <tr> <td></td> <td>量子電圧雑音源のための高温超伝導体を用いたジョセフソン接合アレー(パワースペクトル密度: 1 nV/√("Hz"))以上)</td> <td>プロセスの最適化中</td> <td>△</td> </tr> </tbody> </table>	項目	中間目標	研究開発成果	達成度	今後の課題と解決方針		ジョセフソン効果を用いた小型標準器のプロトタイプを作製	プロトタイプ2号機成。④の交流生成機能も実装し、目標の交流発生にも成功した。また大きさも想定よりも小型化することに成功した。	◎	2022年度時点ではほぼすべての目標を達成しており、目標を超えた課題として、コンパクトな装置を実現したい。その実現に向けては、実用化に向けた小型化や「バグ出し」が必要。		プロトタイプ出力電圧分解能(30 μV)	30 μVの発生達成	○		プロトタイプと一次標準器との物理的接続による電圧計測精度(4 mV ± 10 nV)	4 mV ± 10 nVの電圧計測精度達成	○		交流電圧発生の実現(振幅2.8 mV、100 Hz)	交流電圧発生の実現(振幅2.8 mV、100 Hz)	○		室温型の微小標準電圧発生器の出力電圧値(1 mV以下)	7.2 Vのツェナー電圧出力を0.1 μV/Vの精度で確認、低電圧化検討中	○		量子電圧雑音源のための高温超伝導体を用いたジョセフソン接合アレー(パワースペクトル密度: 1 nV/√("Hz"))以上)	プロセスの最適化中	△			
項目	中間目標	研究開発成果	達成度	今後の課題と解決方針																														
	ジョセフソン効果を用いた小型標準器のプロトタイプを作製	プロトタイプ2号機成。④の交流生成機能も実装し、目標の交流発生にも成功した。また大きさも想定よりも小型化することに成功した。	◎	2022年度時点ではほぼすべての目標を達成しており、目標を超えた課題として、コンパクトな装置を実現したい。その実現に向けては、実用化に向けた小型化や「バグ出し」が必要。																														
	プロトタイプ出力電圧分解能(30 μV)	30 μVの発生達成	○																															
	プロトタイプと一次標準器との物理的接続による電圧計測精度(4 mV ± 10 nV)	4 mV ± 10 nVの電圧計測精度達成	○																															
	交流電圧発生の実現(振幅2.8 mV、100 Hz)	交流電圧発生の実現(振幅2.8 mV、100 Hz)	○																															
	室温型の微小標準電圧発生器の出力電圧値(1 mV以下)	7.2 Vのツェナー電圧出力を0.1 μV/Vの精度で確認、低電圧化検討中	○																															
	量子電圧雑音源のための高温超伝導体を用いたジョセフソン接合アレー(パワースペクトル密度: 1 nV/√("Hz"))以上)	プロセスの最適化中	△																															

		小型冷凍機 (例：スターリング冷凍機など、最低到達温度 40 K など)の動作検討	スターリング冷凍機の 40 K 動作確認	○	
(開発項目②)IoT デバイス校正用の汎用型センサ評価機の回路設計・機器開発	標準器に接続されない汎用型センサ評価機の直流電圧出力精度 (1 mV ± 200 nV)	一次標準器を用いて校正 (安定性評価) を行い約 5.17 mV に対して標準偏差 (1 σ) 0.4 nV を達成した。		○	サンプリング校正スキームの確立を見据えた装置設計が今後の課題であるが、すでに回路シミュレーションを組み合わせた装置のばらつき評価に着手しており、目標達成の見込みが高い。
(開発項目③)外部環境変化に対して電気特性変化を示さない超安定・高抵抗素子の開発	抵抗値温度係数が ±50 ppm/°C、抵抗値範囲 ±0.3 %、カテゴリ温度範囲 0 °C ~ 50 °C の精密抵抗の開発	抵抗値温度係数が ±10 ppm/°C、抵抗値範囲 ±0.12 %、カテゴリ温度範囲 0 °C ~ 85 °C の精密抵抗の開発 (試作段階)		○	量産可能な微細加工法の開発が今後の課題であるが、フォトリソとプラズマエッチングの導入により確実に目標達成を行うことができる見込みが立っている。
(開発項目④)ワイヤレス校正実現に向けた汎用型センサ評価機のばらつきや経時変化等の評価	標準器に接続されない汎用型センサ評価機の直流電圧出力精度 (1 mV ± 200 nV)	4 台のセンサ評価機で精度ばらつきが大きいことを確認。4 台中 2 台で複数の汎用型センサ評価機の直流電圧出力精度が 1mV ± 200nV を満たすことを確認。4 台のセンサ評価機は固有の入出力特性パラメータ特徴量を持つことを確認。		○	異種金属接合による熱起電力や温度管理を徹底することによる精度ばらつきの低減。入出力特性の「経時変化」の測定と、それを考慮した汎用型センサ評価機の実出力精度推定アルゴリズムの構築が今後お課題であるが、数十台規模によるセンサ評価機の入出力特性の測定。様々の測定器とのインタフェースの検討を行うことにより目標を達成できる見込みである。

	(開発項目⑤)ブロックチェーン技術を用いたワイヤレス機器校正ネットワークのセキュリティー技術の開発	汎用型センサ評価機とサーバにブロックチェーン技術を実装し、その動作実証を行う	上記④固有の入出力特性パラメータ特徴量から汎用型センサ評価機固有 ID 取得方法を検討。汎用型センサ評価機とラズベリーパイを UART 有線接続した端末とサーバを LAN 接続することでブロックチェーンによる管理システムを構築。	○	現状汎用センサ評価機台数を数十台規模に拡張し、大規模な汎用センサ評価機群に対応可能な固有 ID 生成アルゴリズムに対応することが今後の課題であるが、数十台規模によるセンサ評価機の評価および頑健固有 ID 生成アルゴリズムの構築することによって目標を達成できる見込みである。
	投稿論文	18 件			
	特 許	39 件			
	その他の外部発表 (プレス発表等)	119 件			
IV. 実用化に向けた取組及び見通しについて	1. 研究開発項目①「革新的センシング技術開発」(助成事業に移行)				
	(1) 血中成分の非侵襲連続超高感度計測デバイス及び行動変容促進システムの研究開発				
	実用化に向けた戦略	研究機関向け計測装置による試験を実施。結果を反映し、より小型な計測装置を開発。また、試験結果を基に行動変容システムの開発を進め、計測装置上市時にサービスとして展開できるようにする。さらに、小型化を進め、最終的にはウェアラブル型計測装置を開発し、ヘルスケアサービスの充実を図る。			
	実用化に向けた具体的取組	助成事業期間に計測装置の開発を行う。助成事業終了後も試験を継続する。装置の小型化を進め、計測装置の上市に合わせ、行動変容システムの開発を進める。最終的にはウェアラブル型の上市を目指す。			
成果の実用化の見通し	少子高齢化に伴い医療費や社会福祉費の増加、これによる財政の逼迫が問題となっている。このように歳入の減少と医療費の増加による財政の破綻の可能性は以前から指摘されており、問題を解消するために政府の方針として医療費の削減を進めようとしている。医療費の削減は、未病の段階で疾病の予兆を発見し、自己解決することで疾病に至らせないことが肝要である。本プロジェクトでは、食事による血液中成分の変化をモニタリングするデバイスの開発を行うことで疾病を引き起こす原因の一つである生活習慣病の予防に役立てることができ、且つ計測するだけでなく、計測した結果から生活習慣の改善に繋がるサービスを提供することができる。				
	(3) 1 分で感染リスクを検知可能なウイルスゲートキーパーの研究開発				
実用化に向けた戦略	新型コロナ、インフルエンザ、ノロウイルスなどの感染症の発生を抑えたい施設(例えば高齢者施設、食品工場など)をターゲットに、入口で職員・訪問者のウイルス有無のスクリーニングを迅速にできる装置を設置する事で、施設内のウイルスによる感染リスクを最小化する「ウイルスゲートキーパー」という、全く新しいサービスを提供する。そのために、本事業終了時点で、AIE 試薬などの高速反応試薬にマイクロエルアレイを融合させた高速かつ高感度のデジタルバイオ測定技術を確立し、それを施設での使用を想定した誰もが扱える全自動測定を行う試作機に搭載させ、試作機で臨床検体からのウイルス 1 分検出の検証およびターゲット施設における装置の操作性に関する検証をする。この試作機の成果を元に、製品				

		化に向けた装置、消耗品などの開発、生産と販売の準備を進めていく。
	実用化に向けた具体的取組	迅速かつ高感度な検出に必要な検出プロトコルと試薬開発を産業技術総合研究所および埼玉大学が推進。 各ターゲット市場に向けた全自動装置を開発、高齢者施設向けの装置をコニカミノルタ株式会社が市場展開、食品工場向けの装置をワイエイシイホールディングス株式会社（2019年～2021年：株式会社ワイエイシイダステック）が市場展開していく。
	成果の実用化の見通し	新型コロナウイルス感染拡大以降、施設内の感染防止に対する意識は高くなっており、特にハイリスク者が多い高齢者施設、食の安全を担う食品工場においては言うまでもない。そして日本における高齢者人口は2025年には総人口の30%超に達する見通しであり、今後もそれに伴い高齢者施設も増加すると予想される。また食品工場においても食の安全という観点で感染チェック結果の迅速性を望む企業が増えてきている。 施設入口で迅速にスクリーニングできるウイルスゲートキーパーは、高感度かつ迅速性を特長とし、高感度な従来技術のPCR法では増幅反応だけで理論的限界でも5分以上かかり、更に前処理に数10分を要し、使用シーンも医療現場と研究施設のみに限定されていた。ウイルスゲートキーパーは高感度でありながら前処理含めて数分程度で検出でき、施設入口という一般が使用するシーンを想定しており、従来技術のPCR法等と比較して迅速性と簡便性において大きな優位性がある。
2. 研究開発項目②「革新的センシング基盤技術開発」		
(10) 超微小量センシング信頼性評価技術開発		
	実用化に向けた戦略	<ul style="list-style-type: none"> ・研究項目①： 非侵襲血中成分計測に係る信頼性評価技術開発 産総研が依頼試験・技術コンサルティングの形で、圧力センサメーカーに対してセンサ信頼性試験のサービスを提供する。また、製造ラインにおいて、センサメーカー自身での校正も可能となるように、ある1点またはごく少数の点での基準圧力発生器を提供する。 ・研究項目②： 生体ガス成分計測に係る信頼性評価技術開発 産総研が依頼試験・技術コンサルティングの形で、センサメーカーに対してセンサ信頼性試験のサービスを提供する。 ・研究項目③： ウイルスゲートキーパーに係る信頼性評価技術開発 ウイルスセンサの比較評価基準を開発・提供することにより、ウイルスセンサの信頼性を相互比較できるような環境を創出し、高評価機器の市場普及プロモーションに繋げる。 ・研究項目④： 微小振動計測に係る信頼性評価技術開発 国内には多くの老朽化した橋梁やトンネルなどあるが、それらのモニタリングには安価なMEMSタイプのデジタル出力型振動センサが普及していくと予想される。その一方で、高層ビルなどのような大災害につながるような大型構造物には信頼性の確保された比較的高価なデジタル出力型振動センサの普及が進んでいくことが想定される。短期的には産総研の技術コンサルティングで振動センサの評価対応を行い、長期的にはデジタル出力型振動センサの校正技術を外部の校正事業所へ技術移転することが望ましいと考えている。

	<p>実用化に向けた具体的取組</p>	<p>産総研の制度を利用した技術コンサルティング：</p> <ul style="list-style-type: none"> ・振動センサ精密評価として、広帯域レンジ 10 Hz-100 kHz におよぶ評価を提供する。また、赤外センサ精密評価として、高濃度光学フィルター開発メーカーに分光感度特性の性能評価を提供する。 ・センサのメーカーやユーザ向けサービスとして、センサ性能評価を行うために産総研が有償で提供するウイルス標準試料の使用方法やデータのとり方、まとめ方等について、手順書として取りまとめるとともに、技術指導できるようにする。 ・開発した微小量 RNA 定量技術および微小量たんぱく質定量技術は他の仕様（濃度、溶媒組成、容量等）を有するウイルス試料の測定への転用が可能である。そのため、メーカー個別のウイルス標準試料への値付けを弊所の技術コンサルティングサービスにより提供できるようにする。 ・産総研の技術コンサルティングは制度上既に立ち上がっているため、産業界に対して微小振動を用いた振動センサの評価を行うことは現状可能であることから、技術コンサルティングを通じて産業界における実用化は進めている。大学や研究機関で開発された振動センサに対しても、微小振動信頼性評価技術や耐環境性試験評価を提供していくことで、実用化のすそ野を広げる。 <p>産総研の制度を利用した試料提供：</p> <ul style="list-style-type: none"> ・開発したウイルス標準試料および VLP 標準試料を研究成果物として登録し、希望する計測器メーカー等に有償で提供予定である。また、これらの試料はいずれも弊所のガイドラインに基づき安全なものを提供できるようにする。 <p>産総研計量標準普及センターの制度を利用した依頼試験（校正証明書付）：</p> <ul style="list-style-type: none"> ・本 NEDO プロジェクトの成果である、信頼性のある加湿可能な VOC 標準ガス発生装置とそれを用いた合理的な信頼性評価プロトコルを基盤として、2025 年度を目指して産総研 NMIJ において VOC センサ校正を NMIJ 依頼試験として立ち上げる。 <p>企業への技術移転：</p> <ul style="list-style-type: none"> ・高精度な音圧センサの開発メーカーに対して、希望の音圧を与えられる小型試験装置の販売を行うため、計測評価メーカーに対する小型試験装置の技術供与を行う。 ・センサ開発側の現場でセンサ信頼性評価ができるように、本プロジェクトで開発した標準ガス調製装置を一体型装置にする設計を検討する。 <p>国際標準規格への提案：</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ウイルス標準試料を用いたウイルスセンサの信頼性評価の項目について、国際標準規格 (Medical laboratories – Guidance for Emerging Technology Applications for Medical Laboratories) へ盛り込み、ISO TC/212 (Clinical laboratory) での提案を予定している。当該国際標準規格は、臨床検査室などの医療検査現場に先端新興機器が導入される場合の取り扱いに関するガイダンス文書を想定している。開発中の当該国際標準規格が ISO として出版されれば、臨床検査室で用いられるセンサ技術については、信頼性評価が行われたものが採用されやすくなり、他のセンシングデバイスとの差別化をすることが可能になると思われる。IVD として薬事承認を得る場合においては、審査過程で信頼性評価は必須であることから、本事業で実施するウイルス粒子検出センサデバイスの信頼性評価は、臨床検査分野への展開に極めて有効であると考ええる。 	
--	---------------------	---	--

	<p>成果の実用化の見通し</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・研究項目①： 非侵襲血中成分計測に係る信頼性評価技術開発 MEMS 振動センサの普及と共に、高精度への要求が高まっている。開発技術はこのニーズに適合するものであり、量も多く必要とされる MEMS 振動センサの製造時性能チェックとしてコストパフォーマンスも良い技術提供ができると考えている。 ・研究項目②： 生体ガス成分計測に係る信頼性評価技術開発 生体ガスセンサ信頼性評価では、目的成分濃度が少なくとも sub nmol/mol レベルでの評価が必要であり、また、共存成分による妨害を評価するためには、水蒸気や多様な VOC を任意の濃度で混合された標準ガスが必要である。現状このような標準ガスは無く、本プロジェクトで開発した標準ガス発生装置は生体ガスセンサ信頼性評価に必要不可欠である。発生した標準ガス濃度は、トレーサビリティが確保されており、計量計測の観点においても信頼性が確保された標準ガスによりセンサ信頼性評価を行うことができる。 ・研究項目③： ウイルスゲートキーパーに係る信頼性評価技術開発 本プロジェクトは開始当初からセンサ開発チーム（産総研）と培養ウイルス & ウイルス精製品を共有して各々の研究開発を実施しており、また定期的な進捗報告会を合同で実施し、必要な条件等についても打ち合わせしながら進めていることから、ウイルス標準試料の仕様や使い勝手についてはセンサ側の要望を満たすような形での開発が行えているものと考えている。また、新型コロナウイルス感染拡大を受けて、世の中の的には様々なウイルス標準が開発・販売されるような状況となったものの、ウイルスセンサの校正や信頼性評価を目的とし、かつウイルスの粒子濃度を正確に評価した標準は、我々の知る限り報告がなく、十分な優位性を有しているものと考えている。 ・研究項目④： 微小振動計測に係る信頼性評価技術開発 昨今のインフラ老朽化診断のため、民間企業では低ノイズデジタル出力型振動センサの開発を進めており、技術コンサルティングを通じて、実用化をすでに支援している。市場やユーザーニーズについては、関係企業へヒアリングを行うことで、インフラモニタリング用振動センサに求められる仕様条件などを整理した。また、近年建築界は高層ビルの被災判定に資する振動センサの信頼性評価を求めており、共同研究者を通じて、その枠組みについて議論を行っている。 	
	<p>(11) 超微小ノイズ評価技術開発（量子現象に基づくトレーサビリティが確保されたワイヤレス機器校正ネットワークの研究開発）</p>		
	<p>実用化に向けた戦略</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・2022 年度にサンプリング校正の方法論を確立し、その内容を用いて現在の電気校正制度との整合を図ると共に、NITE との意見交換を通じて NITE の認証(ASNITE 認定)の取得に向けた開発を行う。 ・2023 年度以降は、サンプリング校正をベースとした製品の開発を進めると共に、ワイヤレス校正によって各汎用型センサ評価機の経時変化等を校正・補正するアルゴリズムを構築する。 ・上記の動きを踏まえ、必要な資金調達を行いながら 2024 年度に新会社の設立を行う。 	
	<p>実用化に向けた具体的取組</p>	<p>2022 年度にサンプリング校正スキームを開発し、2023 年度以降はワイヤレス校正及び NITE の認証を取得すべく研究開発を行うと共に、装置性能の追い込みを行う。2024 年度を目途に新会社を設立し、開発した汎用型センサ評価機等の事業化に向けた資金調達を開始する予定。</p>	
<p>V. 基本計画に関する事項</p>	<p>作成時期</p>	<p>2019 年 2 月 作成</p>	
	<p>変更履歴</p>	<p>2020 年 2 月 改訂 プロジェクト名称の変更、研究開発の実施機関の延長及び研究開発内容の拡充等に伴う改訂 2021 年 6 月 改訂 PM 変更に伴う改訂</p>	

プロジェクト用語集

研究開発項目①

1. 「血中成分の非侵襲連続超高感度計測デバイス及び行動変容促進システムの研究開発」

【株式会社タニタ、公立大学法人富山県立大学、国立大学法人電気通信大学、一般財団法人マイクロマシンセンター】

用語	用語・略号の説明
非侵襲	生体へ障害を与えず、あるいは、直接触れることなく測定を行うこと
ファントム	生体を模した人工物。生体の光学的特性等を再現したもの（例、光学フィルタ等）。
標準器	生体の光学的特性等を数値化し、再現した光学フィルタ
人工膜	角質とほぼ同じ成分で構成されている人工の膜。
未病	発病には至らないものの健康な状態から離れつつある状態。自覚症状はなくても検査で異常がみられる場合と、自覚症状があっても検査では異常がない場合がある。
ピエゾ抵抗素子	ひずんだ際に抵抗率・抵抗値が大きく変化する材料。微小な力・圧力を計測することが可能。
光音響効果	光エネルギーを吸収した物質が熱を放出し、その熱による体積膨張により圧力波（音波）を発生する現象。この音波を計測することで物質の濃度を計測することができる。
ヘルムホルツ共鳴器	容器の内部の空気がばねの役割を果たし、共鳴することで特定の周波数の音波のみが容器内部に伝わる共鳴器。
表面プラズモン共鳴	金属表面の自由電子振動が入射した電磁場によって生じ、入射電磁場（光）を効率よく吸収する現象。ナノ構造を設けることで効率的に励起できる。
ショットキー障壁	金属とシリコンの界面に生じる、エネルギーの壁。表面プラズモン共鳴で光エネルギーを受けて励起された電子を、電流に変換する機能を有する。
RCWA 法	Rigorous Coupled Wave Analysis の略称。ナノ構造の光学応答を計算するシミュレーション方法のひとつ。
ATR 法	Attenuated Total Reflection の略。プリズムに光を導入し、プリズム底面で全反射を生じると、底面から染み出す光電場が生じる。その電場を用いて、液体などの測定対象物体の検査を行う方法。
ピエゾ抵抗型カンチレ	カンチレバー構造の固定端近傍に、変位を検知するピエゾ抵抗を

バー	配置したカンチレバー
チャンネルストッパー	光電流のリーク電流成分を低減するために、受光部の周辺に設ける不純物拡散層の領域

2. 「薄膜ナノ増強蛍光による経皮ガス成分の超高感度バイオ計測端末の開発」

【国立大学法人東京医科歯科大学、技術研究組合 NMEMS 技術研究機構】

用語	用語・略号の説明
揮発性バイオマーカー	血液由来の揮発性のガス成分において、疾患の有無や生体の代謝状態を示す目安となる生理学的な指標のことです。
薄膜ナノ増強蛍光	本プロジェクトで開発を目指している、ナノオーダーの薄膜構造体により蛍光の励起と集光効率を改善し、蛍光信号を増幅する技術です。
経皮ガス成分	血液中の揮発性化学成分（volatile organic components, VOCs）の一部が、皮膚表面より放出される生体ガスです。この経皮ガスには疾病や代謝に基づく成分も含まれ、ウェアラブル装置にて非侵襲で連続的に、その極微量の経皮ガス成分を高感度に計測することで、血中成分濃度を非侵襲にモニタリングし、疾病や代謝の簡便な評価が可能と考えられます。
超高感度バイオ計測	本プロジェクトの計測技術である、酵素を認識素子とし、ガス成分に対する選択性に優れたバイオ蛍光式ガスセンサ（バイオスニファ）を用いた計測方法です。
ppt	parts per trillion の頭文字をとったもので、1兆分のいくらかであるかという割合を示す数値です。1/10 ¹² （1兆分の1）

3. 「1分で感染リスクを検知可能なウイルスゲートキーパーの研究開発」

【国立研究開発法人産業技術総合研究所、コニカミノルタ株式会社、ワイエイシイホールディングス株式会社（株式会社ワイエイシイダステック）、国立大学法人埼玉大学】

用語	用語・略号の説明
AIE 試薬	AIEは凝集誘起発光（Aggregation-induced emission）の略。試薬分子の運動がウイルスへの結合等により制限されたとき、蛍光を発する試薬のこと。
aM （アトモラー）	モル濃度の単位。1 aM = 10^{-18} mol/L。
fM （フェムトモラー）	モル濃度の単位。1 fM = 10^{-15} mol/L。
PCR	Polymerase chain reaction（ポリメラーゼ連鎖反応）の略。核酸を熱サイクルで増幅させて検出する方法。
イムノクロマトグラフィ	紙などで作られた流路に検体と検出試薬の混合液を染み込ませ、着色ラインの出現を観察することで標的物質の有無を検出する方法。
検出プロトコル	検出を行うための一連の測定条件および手順。
酵素試薬	生化学反応の触媒となるタンパク質。バイオ物質検出において、発色や蛍光を生じさせるための標識として用いられる。
磁気微粒子	直径数十ナノメートル～数ミクロンの、磁場に応答する粒子。抗体等を表面に修飾する機能化を通じて、特定の標的物質を捕捉する。
コピー/ μ l	定量PCR法で測定される、核酸濃度の単位。ウイルス濃度を表す指標としてしばしば用いられる。
生物発光試薬	ホタルなどの生物でよく知られている化学発光の原理（ルシフェリン-ルシフェラーゼ反応など）を利用して、標的の検出を行う試薬。
マイクロウエル	一辺数ミクロン～数十ミクロンの微小な穴。標的物質と試薬を封入することで、微小反応容器として用いられる。

4. 「次世代公共インフラ実現へ向けた高密度センサ配置による微小量信号計測技術の研究開発」

【東電設計株式会社、東電タウンプランニング株式会社、国立大学法人大阪大学、国立大学法人神戸大学】

用語	用語・略号の説明
bit	情報理論、コンピューティング、デジタル通信における情報の基本単位で二進数の1桁のこと。1ビットの情報は一般的に0もしくは1として表されるが、真/偽 (True/False)、yes/no、+/-、on/offなどの他の表現も可能である。
Bornitz 式	振動源から発生する地盤振動の減衰を表す式
dB	ある物理量を基準となる量との比の常用対数によって表したものの。音の強さ、音圧レベル、電力比や電気機器の利得等を表すことが多い。振動センサでは1 V _{rms} を基準量とする電圧のレベル表現 (0 dBV = 1 V) としている。
FPGA	field-programmable gate array の略。設計者が論理回路の構成をプログラムできるゲート (論理回路) を集積したデバイス。バグ修正が現場で可能な点、開発・製造期間が短くて済む点などが利点である。
MEMS センサ	MEMS は Micro Electro Mechanical Systems の略称で一般的にはミクロンレベル構造を持つデバイスで可動部を有することが特徴である。ここでは MEMS 技術で作製した振動センサを意味し、振動により電極間が変化することに伴う静電容量変化を検出する原理に基づくセンサを示す。
Raspberry Pi	1枚の回路基板上にコンピューターとして最低限の機能を持たせたシングルボードコンピューター。ARM系 SoC (System-on-a-Chip) を内蔵し、メインメモリ、USBポート、映像出力、音声出力、汎用I/O (GPIO)などを備える。標準のオペレーティングシステム (OS) はLinuxだがモデルによってはWindows 10 IoT CoreやRISC OSも利用できる。
RMS	Root Mean Square の略語で、「二乗平均平方根」のこと。時間的に変化する信号の大きさを評価する目的で、物理学や電気工学などの分野で用いられる。
圧電効果	物質に圧力を加えると、圧力に比例した分極 (表面電荷) が現れる現象。これを利用して機械的な振動に伴う変位を電気に変換することができる。逆に電界を印加することで変位を起こすこともできる。振動センサの他、ライターの点火やアクチュエータの駆動、超音波の発生ができる。

アルゴリズム	ある特定の問題を解く手順を、単純な計算や操作の組み合わせとして明確に定義したもの
腕金	うでがね。電柱が電線や変圧器等を支えるための金属製部品のこと。
オシロスコープ	電圧の時間経過に対する変動を測り、グラフ化して波形として画面に表示して観測する測定器のこと。サンプリング周波数を調整することで直流（0Hz）から高周波の信号を表示することができる。
カップリング誤差	測定したい任意の方向から発生する信号とそれに直交する方向からの信号の比。例えば、振動センサで Z 軸方向が検出軸の場合、X 軸や Y 軸からの加速度に対してどの程度出力が変動するかを相対的に示したもの。他軸感度（Cross-axis sensitivity）、縦感度/横感度などとも表現される。
機械学習	データを分析する方法の 1 つで、データから、「機械」（コンピュータ）が自動で「学習」し、データの背景にあるルールやパターンを発見する方法。
再現率、適合率	混同行列を考えたとき、正解が正例のもののうち、どれだけ正例と予測できたか表すものが再現率、正例と予測したものうち、どれだけ正解だったかを表すものが適合率。
サーボ型加速度計	振動センサの一種。振り子位置検出器が取り付けられていて、振り子の位置変位を検出しているため、DC 加速度まで測定できるのが大きな特徴だが、100Hz 程度までしか計測できない。
サンプリング周波数(サンプリング間隔)	1 秒間に標本をとる（データを取得する）頻度のこと単位は一般的に Hz が使用される。数値が大きいほど処理回数多く、高音質となるがその代わりデータ量も増える。もしくは取得するデータとデータの時間間隔を示す。
信号対雑音比(SNR)	信号（signal）と雑音（noise）の比。この値が大きいほど信号の品質や機材の性能がよい。単位はデシベル（dB）。
数理モデル	一般的には時間変化する現象の計測可能な主要な指標の動きを模倣する、微分方程式などの「数学の言葉で記述した系」のことを指す。
超音波ビームフォーミング	超音波を特定の方向に向けて送信、または特定の方向から受信する技術。単体のアンテナでは一般的に信号は全方位に放射されるが、ビームフォーミングを利用することでそのアンテナの指向性を制御することができる。特定の方向に電波を集中的に送信することにより、高品質な信号をより確実に届け、そのエリアの他の送受信機との干渉を避けられる点がメリット。
チャージアンプ	入力される電荷量に比例した電圧信号を出力する電荷-電圧変換装置。入力電流の積分値に比例した電圧出力を生成することから

	電流積分器とも呼ばれる。圧電センサ、フォトダイオードの他、CCD 撮像素子の読み出し回路にも使用されている。
等価周期速度応答	地震動の水平 2 成分ベクトル和による減衰定数 5%の 1.2~1.5 秒の平均弾性速度応答のこと。建物被害率との相関性が高いことから、地震動の建物に対する破壊力指標として提唱されている。
法尻	のりじり。切土や盛り土で作られた斜面で地面に近い一番下の部分を指す。なお斜面部分を法面、頂点の肩部分を法肩と呼ぶ。
表面波	媒質の表面または 2 つの媒質の境界面に沿って伝わる波。表面から内部へ離れるとともに、振幅は急激に減少する。弾性体の表面を伝わるレイリー波やラブ波がある。
フーリエスペクトル	時間に対して変動する信号情報を周波数の分布に変換することをフーリエ変換と呼び、その結果を横軸に周波数、縦軸に信号強度として可視化したグラフをフーリエスペクトルと呼ぶ。
冪乗式	「べきじょう」とは a の n 乗の計算のように、同じ数字を何回も乗算(掛け算)で掛け合わせる。冪は常用漢字表に含まれない漢字なので「冪乗」ではなく「累乗」を使用することが一般化しているが、厳密には「冪乗」という時には、「 a の n 乗の指数 n が自然数・整数ではない実数・複素数でも良い」という数学的な定義の意味がある。
バックホウ	建設機械の一種でショベル(バケット)をオペレータ側向きに取り付けたもののこと。
有限要素法	構造物を複数の有限個の要素に分割して数値解析を行うこと。これにより厳密解を算出することが困難な対象でも近似解を求めることができ、高い汎用性をもつ。

5. 「極限環境の液体管理を IoT 化する革新的粘性センサの開発」

【国立研究開発法人産業技術総合研究所、ヤマシンフィルタ株式会社】

用語	用語・略号の説明
MEMS	Micro Electro-Mechanical Systems の略。主にシリコン半導体加工技術を用いた微細な機械構造を有するセンサー等のデバイスのこと。
粘性	液体中で物体を動かしたとき、速度に比例する抵抗感を生じる物性。本プロジェクトではニュートン性と非ニュートン性、粘弾性を含めた物性の総称として用いている。
粘度	並行に置かれた 2 枚の単位面積の平面の間に液体を挟み、一方の板を横ずれの方向に一定速度でずらしたときに、液体に生じた速度勾配(ずり速度)と、液体から面が受ける面方向の抵抗力(ずり応力)の関係の比例定数。単位は Pa s。
ずり速度	「粘度」の項の 2 枚の平板の速度差を板の距離で割った商。この状況では液体空間の速度勾配と一致する。単位は s^{-1} 。
ずり応力	単位面積の面に働く面方向(横方向)の力。単位は Pa。圧力の単位と同じだが圧力は面に垂直な方向の力。
ニュートン流体	ずり速度とずり応力の関係が、きれいな比例関係になる流体、空気や低分子量の液体などが該当する。
非ニュートン流体	ずり速度とずり応力の関係が、非線形になる流体。分子量の高い液体など、分子構造が複雑な液体は非ニュートン流体となることが多い。産業上で用いられる液体の 8 割は厳密には非ニュートン流体ともいわれる。
粘弾性	レオロジーともいう。粘性とともに弾性も示す物質の物性。プリンや餅がイメージしやすい。分子量が非常に大きい溶質を含む溶液を高周波で振動させると分子間の運動量のやり取り(粘性)より相対位置を保とうとする影響が大きくなり、主に弾性を示すようになる。
圧電薄膜	チタン酸ジルコン酸亜鉛 (PZT) などの薄膜で、薄膜の上下面に電極を貼り、厚み方向に電圧をかけると変形が生じる。また、逆に変形を与えると電極に電荷が発生する。
建機の油圧システム	油圧ポンプをエンジンで駆動して、油圧作動油に高圧を発生させ、油圧シリンダーや油圧モータに導き、バックホウや履帯の運動を実現している。エンジンが履帯を直接駆動しているのでは無い。

6. 「高速・高 SNR 撮像素子による流体濃度分布その場計測デバイスの開発」

【国立大学法人東北大学、アストロデザイン株式会社、株式会社フジキン】

用語	用語・略号の説明
ALD	Atomic layer deposition (原子層堆積法) プリカーサーと反応種を交互に供給することで、1 原子層毎に薄膜を堆積する方法
CVD	Chemical vapor deposition (化学気相成長) 原料ガスを供給し基板表面或いは近傍での化学反応により薄膜を堆積する方法
EtherCAT 通信	Ethernet control automation technology の略。機能要件や認証手順等が規定・管理されているオープンな産業用イーサネット。
GigEvision	高性能産業用カメラ用に用いられているインターフェース規格
SNR	Signal to noise ratio (信号対雑音比)
グローバルシャッター	固体撮像素子の電子シャッターの種類の一つであり、全画素同時に露光期間が設けられる。

7. 「波長掃引中赤外レーザによる次世代火山ガス防災技術の研究開発」

【浜松ホトニクス株式会社、国立研究開発法人産業技術総合研究所】

用語	用語・略号の説明
FOV	Field Of View の略。実際に観察されている物体面での範囲。実視野とも呼ぶ。
FTIR	Fourier Transform Infrared Spectroscopy の略。赤外分光法の一つでフーリエ変換赤外線分光法。
InAsSb	インジウム(In), ヒ素(As), アンチモン(Sb)からなる化合物半導体の名称で赤外線に感度を持つ光センサの材料。
MEMS	Micro Electro Mechanical Systems の略。機械要素部品、センサ、アクチュエータ、電子回路を一つのシリコン基板等の上に微細加工技術によって集積化したデバイス。
ppm	parts per million の頭文字で百万分率で 100 万分のいくらかであるかという割合を示す単位
QCL	Quantum Cascade Laser の略。量子カスケードレーザで中赤外領域の発振波長をもつ半導体レーザ。
暗電流	光センサにおいて光を照射しない時にも流れている微弱電流。ノイズの要因となる。
オープンパス方式	赤外線投光部と受光部間の中に作られた光路（パス）中を横切る大気汚染物質などのガスを測定する検出方式
回折格子	格子状のパターンによる回折を利用して干渉縞を作るために使用される光学素子。グレーティングとも呼ばれる。
外部共振器	通常の空間出力タイプのゲインチップ（AR コーティング半導体レーザ）の外部に回折格子（もしくは回折格子とミラー）が設置されているレーザ。
ガスアンテナ	複数枚の鏡を向い合せで設置しその間でレーザを多重反射させる光学部品。光路長の増大と装置大型化の抑制ができる。
共振周波数	MEMS ミラー等において、共振を利用して駆動するときの周波数。高速動作が可能だがミラーの光学的振れ角の高精度な制御はできない。
差動検出	2つの光センサを逆位相で接続するなどしてコモンモードノイズ

	を除去することで、変化分だけを計測する検出方法。
電気化学式センサ	センサに分子などが付着した時の化学反応を電流と電圧に変換（電気化学反応）を利用したセンサ。
トモグラフィー	断層撮影、又は断層撮影法。3次元情報を2次元に投影した影絵。
波長掃引	レーザの発振波長を繰り返し連続的に変化させ掃引すること。
バランス回路	差動検出を実現する2つの光センサのバランス調整機能を持つ回路。
バーンイン	電子機器などの「慣らし運転」。実際の使用環境や使用法と同じように稼働させてみて、内部の部品や接合部などの物理的な特性を安定させるために行われる。
光起電力素子	光を照射することで起電力が発生する現象を利用した光センサ
並列抵抗	受光素子の抵抗値
ペルチェ素子	ペルチェ効果を用いた板状の半導体熱電素子の一種。ある方向に直流電流を流すと、素子の上面で吸熱し下面で発熱する。
リニアモード	MEMSミラー等において、印可電流等で光学的振れ角などの制御を行う動作モード。
量子井戸構造	電子の移動方向が束縛された状態（量子効果）を形成する nm オーダーの半導体薄膜の多層構造。
裏面入射型	基板側から光を入射させる構造の光センサ。電極による入射光の遮光がなく効率が良い。

8. 「高真空ウェハレベルパッケージングを適用した MEMS センサーの研究開発」

【国立大学法人東北大学、ソニーセミコンダクタマニュファクチャリング株式会社】

用語	用語・略号の説明
SCK	ソニーセミコンダクタマニュファクチャリングの略称。Sony Semiconductor Kyushu が由来。
SMS	Silicon Migration Seal。本プロジェクトの発案技術で、シリコンを高温水素環境でリフローさせ、サブミクロン径のリリースホールを塞ぐこと。
バイアス安定性	レートジャイロでは、検出可能な最小角速度を意味する。
ウェハ流動	設計した工程（プロセス）に沿って、1 ステップずつウェハを加工処理していくこと。
ウェハレベルパッケージング	MEMS 構造体がウェハ上に形成されている状態で、それに蓋（キャップ）をすること。MEMS の信頼性、性能、コストなどを決める鍵である。代表的な方法はキャップウェハの接合である。これに対して、MEMS をウェハから切り出し、1 つ 1 つセラミックパッケージや缶パッケージに入れることをチップレベルパッケージングと言う。
プロセスインテグレーション	リソグラフィ、エッチング、成膜、接合などの各加工技術を一気通貫して行い、目的のデバイスが完成するように、工程（プロセス）を組み立てること。工程上必要なマスク設計の調整・最適化も含む。半導体・MEMS 製造で最も重要かつリソースを要する開発である。

9. 「大気中電子放出イオン化による IMS 呼気分析システムの研究開発」

【シャープ株式会社、株式会社ダイナコム、国立大学法人奈良女子大学、国立研究開発法人理化学研究所、国立大学法人鳥取大学】

用語	用語・略号の説明
IMS	Ion Mobility Spectrometry：イオン化されたガス分子を空気等の大気圧ガスが充填されたセル内を静電場に沿って移動させることで、その移動度に応じて分離・分析する。
VOC	Volatile Organic Compounds：揮発性有機化合物 揮発性を有し、大気中で気体状となる有機化合物の総称。トルエン、キシレン、酢酸エチルなど多種多様な物質が含まれる。
SHASH 分布	\sinh - $\operatorname{arcsinh}$ 分布関数：双曲線関数による分布関数。ガウス分布とは異なり、左右非対称な分布関数を表現できる。
XAFS 解析	X-ray Absorption Fine Structure：X線吸収微細構造解析 X線照射により、内殻電子の励起に起因して得られる吸収スペクトルであり、着目元素ごとの情報を得ることができる。
AEE 素子	atmospheric electron emission 素子。大気中電子放出素子。
放射線源	IMS のイオン化に用いるものとして、Ni-63, Am-241, H-3 等
衝突断面積	イオンとイオンが通過する領域の中性ガスとの相互作用に対する有効面積。静電場中のイオン移動で衝突断面積に応じてイオンを分離するものが IMS である。移動度の理論計算に用いられる。
ドーパント	ドリフトガス中または試料ガス中に微量添加することで、IMS 検知を向上させる。アンモニア等のドーパントは、RIP 分子種を交換させ、標的物質のイオン化状態を検知に有利になるようにする。

研究開発項目②

10. 「超微量センシング信頼性評価技術開発」

【国立研究開発法人産業技術総合研究所】

用語	用語・略号の説明
拡散管法	細長い管と液溜め部分で構成された拡散管を用いた標準ガス発生法。液溜めにある揮発性物質が気化し、細い管を通して徐々に拡散管から出ていく。これを既知流量の希釈ガスで希釈することにより、標準ガスが得られる。
質量比混合法	ボンベ中に目的成分と希釈ガスを入れて混合することにより標準ガスを調製する方法であり、最も高精度で信頼性の高い調製手法である。目的成分と希釈ガスの充てん量を、それぞれ高精度の天秤で秤量することにより、調製した標準ガスの濃度が求められる。ISO 6142-1 は、質量比混合法についての ISO 規格文書。
流量比混合法	標準ガスを連続的にオンラインで調製する方法の一つ。拡散管法等で調製した標準ガスをマスフローコントローラで一定流量をながし、そこに別のマスフローコントローラで流量を制御した希釈ガスを混合することにより、標準ガスを調製する。
VOC	揮発性有機化合物 (Volatile Organic Compound) の略称。アセトン・エタノール・酢酸など常温では液体であるが、気化しやすい有機化合物の総称である。生体ガス診断マーカー物質や排ガス中の汚染物質などが含まれる。
mol/mol	濃度（物質質量分率）を表す SI 単位。一般的によく用いられる ppb、ppm は、nmol/mol、 μ mol/mol に相当する。また %mol は cmol/mol に相当する。
SnO ₂ ナノシート	産総研が過去の研究で開発した酸化スズベースの材料で、ナノサイズのシート型の構造を持つ。比表面積が高いため半導体式ガスセンサの材料に好適。
ZnO ナノベルト	産総研が本研究で開発した酸化亜鉛材料で、ナノサイズのベルト型の構造を持つ。比表面積が高いため半導体式ガスセンサの材料に好適。
パーミエーションチューブ法	対象成分を封入した樹脂製のチューブ（パーミエーションチューブ）から、徐々に対象成分が樹脂を浸透（パーミエート）して出てくることを利用して標準ガスを調製する方法。
パーミエータ	パーミエーションチューブを用いて所定濃度のガスを作製する装置。
半導体式ガスセンサ	半導体特性を持つ金属酸化物を検知部位とするガスセンサ。有機ガスによるその抵抗変化をセンシングナルとして用いることが多い。TGS2602（フィガロ技研株式会社製）などがある。

超遠心法	ウイルス溶液を高速で遠心し、遠心力場に置かれたウイルス分子とその他のたんぱく質分子等を分離精製するのに使用。
デジタル PCR	微小区画内に分配された溶液を PCR することにより、目的遺伝子の絶対定量が行えるとされている方法。
デジタル ELISA	微小区画内に分配された溶液を抗原抗体反応 (ELISA) により、目的たんぱく質の高感度定量が行えるとされている方法。
HA 試験	赤血球の凝集反応を観察することで、対象となるウイルスの感染価を迅速かつ簡単に定量できる方法。
TCID50	ウェルプレートの各ウェルに付着させた培養細胞に対して、ウイルス希釈液を接種させることで、対象となるウイルスの感染価を迅速かつ簡単に定量できる方法。
ウェスタンブロット	ゲル電気泳動後、たんぱく質をメンブレンに転写し、抗体を用いて特定のたんぱく質を検出する方法。
RT-q PCR	RNA を DNA に変換する逆転写反応 (RT; Reverse Transcription) と定量 PCR 反応 (qPCR; quantitative PCR) を組み合わせて特定のターゲット遺伝子を増幅・検出する方法。
UPLC	超高速液体クロマトグラフィー (Ultra-Performance Liquid Chromatography) の略
NMIJ	計量標準総合センター (National Metrology Institute of Japan)。日本の国家計量研。産総研の7領域のうちの一つ。
セグメント	ウイルスの染色体のこと。
サンドイッチ抗体	抗原抗体反応において、反応の特異性を高めるため、同一の抗原を認識する認識部位の違う2つの抗体の組み合わせのこと。
VLP	ウイルス様粒子 (Virus-like Particle)。ウイルスと同じ外観を持つが、内部に DNA や RNA を持たない粒子。
LC/MS	高速液体クロマトグラフィー質量分析法 (Liquid Chromatography/Mass Spectrometry)。分離能力に優れた LC に定性能力に優れた MS を組み合わせることで、溶出した成分の分子量や構造情報を求めたり、様々な夾雑成分が含まれるような試料においても目的の成分のみを特異的に定量することができる。
HPLC	高速液体クロマトグラフィー (High Performance Liquid Chromatography) の略。
技術コンサルティングサービス	産総研の連携メニューの一つ。産総研が研究開発で培った技術力を生かした企業の事業化サポートメニュー。本コンサルティングにおいては発明等の知財が発生しないことが条件となっており、スピーディーなサービス提供が特徴。
IVD	体外診断薬医薬品 (In Vitro Diagnosis) の略。病気や感染症の存在の検出や患者の健康状態の把握のために、生体内のバイオ

	<p>マーカを検出するためのキットまたは検査装置のこと。</p>
<p>低周波振動国際比較 CCAUV. V-K3</p>	<p>国家計量標準機関が開発した物理量の信頼性を国際的に評価・確保するための持ち回り試験比較を意味する。その持ち回り試験比較では、測定値と測定不確かさを比較し合い、測定不確かさの範囲内で国際同等性が確保されているかを検証する。</p>
<p>JQA</p>	<p>一般財団法人日本品質保証機構（JQA）は、日本からの輸出品が所定の品質を満たしているかを第三者の公正な立場から検査・試験する。</p>
<p>包括的核実験禁止条約 機関（CTBTO）</p>	<p>包括的核実験禁止条約は、宇宙空間、大気圏内、水中、地下を含むあらゆる空間での核兵器の核実験による爆発、その他の核爆発を禁止する条約であり、それを管理する機関である。</p>

11. 「量子現象に基づくトレーサビリティが確保されたワイヤレス機器校正ネットワークの研究開発」

【国立研究開発法人産業技術総合研究所、国立大学法人大阪大学、国立大学法人神戸大学】

用語	用語・略号の説明
ワイヤレス機器校正ネットワーク	wifi等の無線通信を用いて各汎用型センサ評価機の電気特性の変化を抽出し、その結果に対して統計的な処理を行うことで汎用型センサ評価機に校正結果を付与すること。
校正	計器または測定系の示す値、若しくは実量器又は標準物質の表示値と、標準によって実現される値との間の関係を確定する一連の作業。
トレーサビリティ	不確かさがすべて表記された切れ目のない比較の連鎖によって、決められた基準に結びつけられ得る測定結果又は標準の値の性質。基準は通常、国家標準又は国際標準である。
サンプリング校正	ある特定のロット中（今の場合汎用型センサ評価機のロット）の一定数のみ直接校正を行い、他は統計的に処理し校正値を付与すること。
一次標準器	産業技術総合研究所が管理している、計量法で定められた直流電圧の国家計量標準（特定標準器、ジョセフソン効果直流電圧標準）
二次標準器	一次標準器とのトレーサビリティが確保された電圧標準を指す。
ブロックチェーン技術	情報通信ネットワーク上にある端末同士を直接接続して、取引記録を暗号化して分散的に処理・記録するデータベースの一種
ジョセフソン効果	弱く結合した2つの超伝導体の間に、超伝導電子対のトンネル効果によって超伝導電流が流れる現象。
スターリング冷凍機	蓄冷器を介して高温部（圧縮部）と低温部（膨張部）が配置され、圧縮ピストンと膨張ピストンは90度の位相を保ちつつ駆動される冷凍機を指す。
シャピロステップ	ジョセフソン素子にマイクロ波を照射することによって発現するステップ状の電流-電圧特性を指す。

I. 事業の位置付け・必要性について

1. 事業の背景・目的・位置付け

1.1 事業の背景

近年、情報通信技術の急激な進化によりネットワーク化が進み、従来は個別に機能していた「もの」がサイバー空間を利活用してシステム化され、さらには、分野の異なる個別のシステム同士が連携協調することにより、自律化・自動化の範囲が広がり、社会の至るところで新たな価値が生み出されている。これら Internet of Things（以下、「IoT」という。）化の動きは、生産・流通・販売、交通、健康・医療、金融、公共サービス等の幅広い産業構造の変革や人々の働き方・ライフスタイルの変化を引き起こし、国民にとって豊かで質の高い生活の実現の原動力になると予見されている（図1-1）。

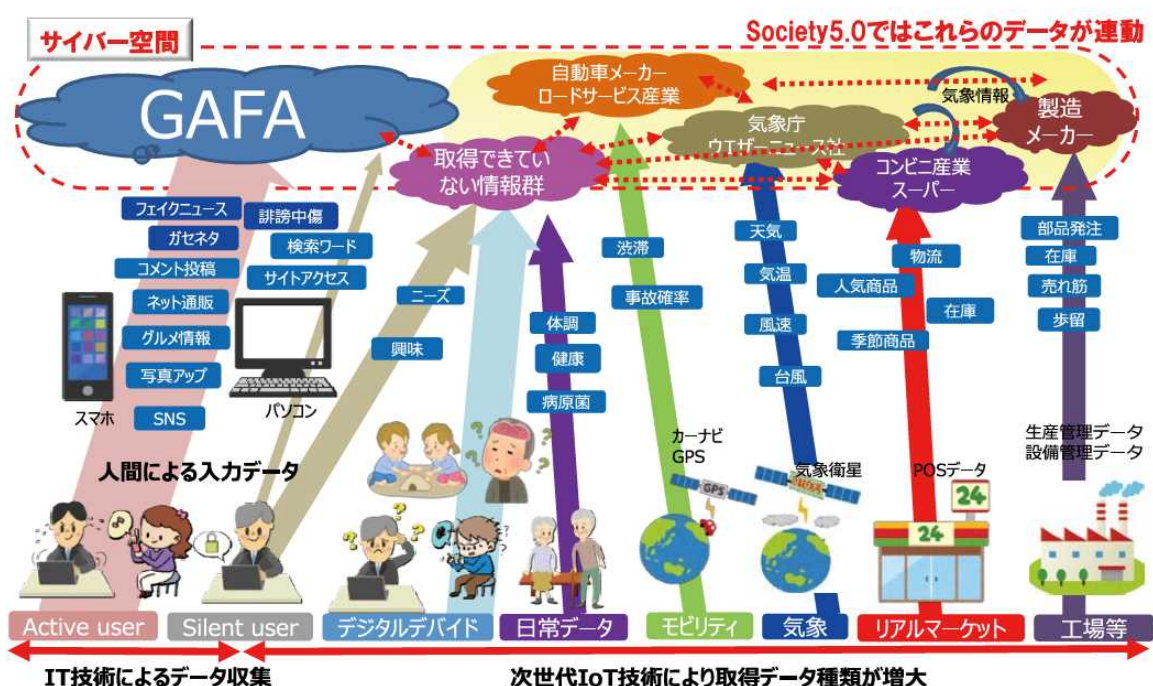


図1-1 現在におけるフィジカル空間からのデータの流れの例

出所：TSC Foresight Vol. 102 (NEDO)

一方で、我が国においては、人口減少や少子高齢化（図1-2）、エネルギー・資源の制約等により、医療・介護費の増大（図1-3）、地域の人手不足や移動弱者の増加、インフラ維持管理や産業保安の負担増等の様々な社会課題が顕在化している。そのため、サイバー空間（仮想空間）とフィジカル空間（現実空間）を高度に融合させる革新的なセンシング技術を導入することによって、人やあらゆる「もの」からの豊富なリアルデータで現状を精緻に見える化し、社会課題の早期解決と新たな価値創造を実現することが期待されている。

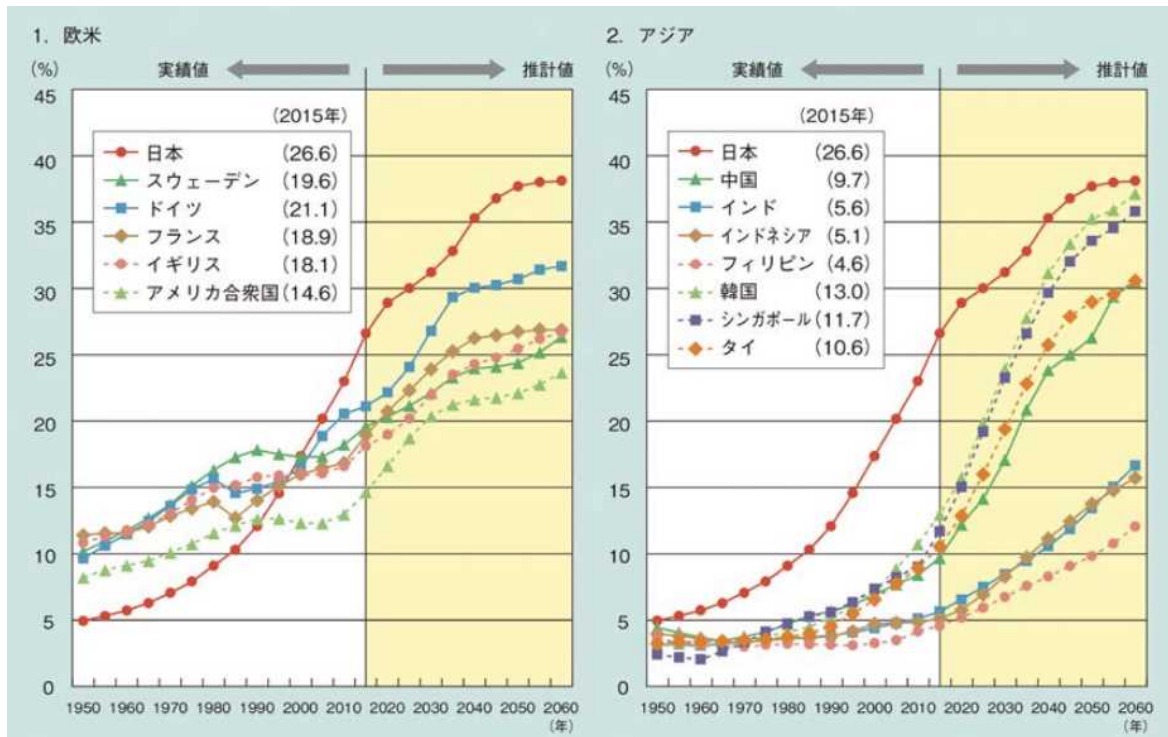


図1-2 世界の高齢化率推移

出所：令和元年伴高齢社会白書（内閣府）

https://www8.cao.go.jp/kourei/whitepaper/w-2019/zenbun/pdf/lsls_02.pdf

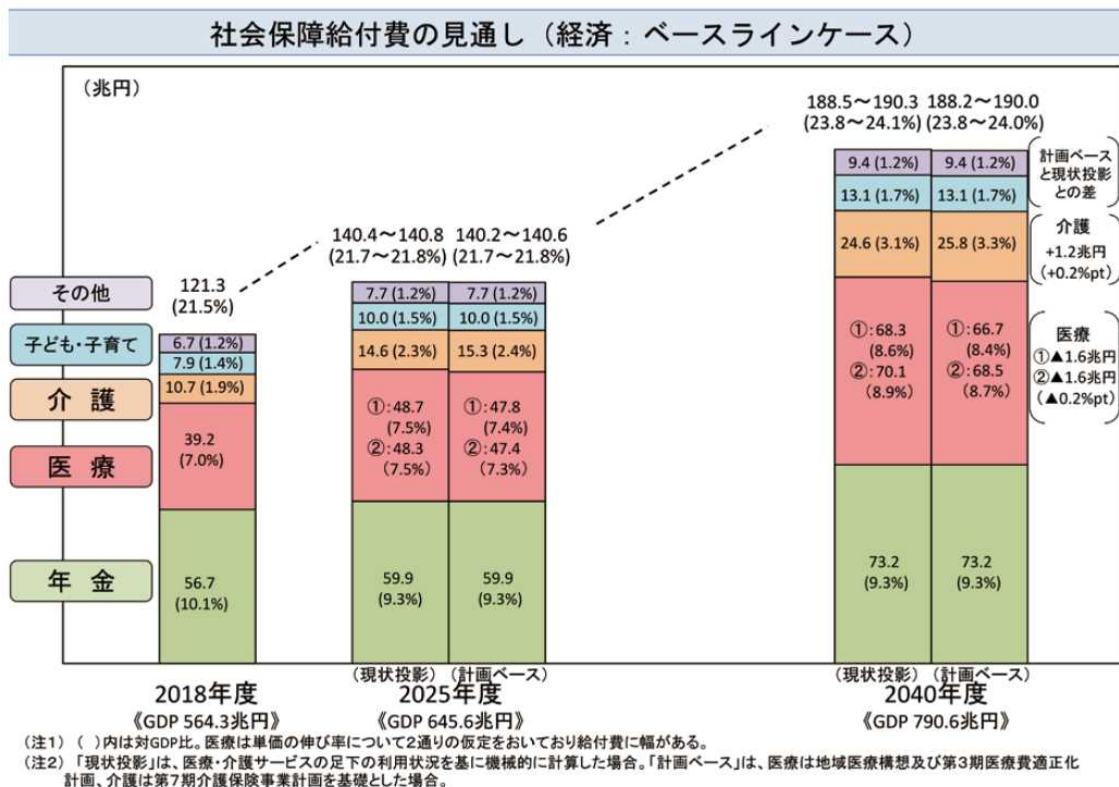


図1-3 日本の社会保障給付費の内訳と見通し

出所：2040年を見据えた社会保障の将来見通し（内閣官房・内閣府・財務省・厚

生労働省、2019)

<https://www.mhlw.go.jp/file/06-Seisakujouhou-12600000-Seisakutoukatsukan/0000207399.pdf>

図1-4に世界のセンサ市場規模の年推移予測を示す。センサ市場は、2022年で約7.7兆円、2030年で約12兆円の市場が見込まれる。特にIoT用センサは2016年時点ではセンサ全体の約1割程度であったが、2022年で4割近くに上昇しており、その後の伸びは、IoT市場に牽引されてセンサの市場が大きく伸びていくものと推測される。一方、IoT/CPS (Cyber Physical System) の市場全体に目を向けると、システム (ハードウェア) からソフトウェアの販売ビジネス、データを活用したサービス、ソリューションビジネス等へ市場がより大きく広がり、2030年には約400兆円の巨大な市場 (2017年の約2倍) が形成されると見込まれており (※朴尚洙「2017年はIoT 元年」、2030年の世界市場規模は404兆円に倍増へ。MONOist. 2017-12-20.)、今後の産業競争力向上のためにはサービスまで見据えた技術開発戦略を考える事が必要となる。

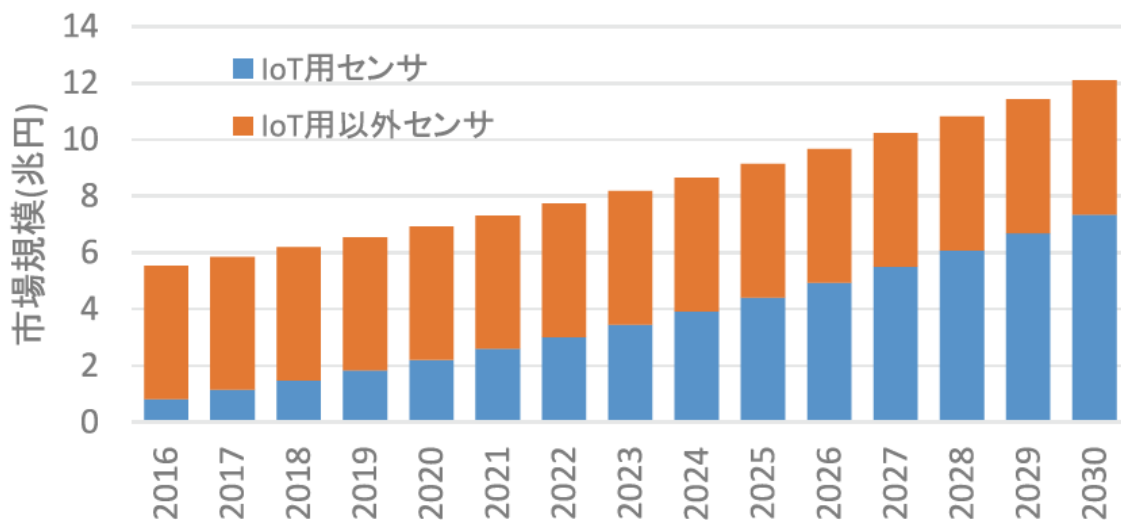


図1-4 世界のセンサ市場規模年推移予測

出所：TSC Foresight Vol. 102 (NEDO)

図1-5にセンサ (非IoTセンサも含む) の日本のシェアを示す。日本のシェアは37%と極めて高い。日本の高シェアは、「設計技術力」に加えて「材料技術や高度なプロセス技術」が重要な要素になるためと考えられる。

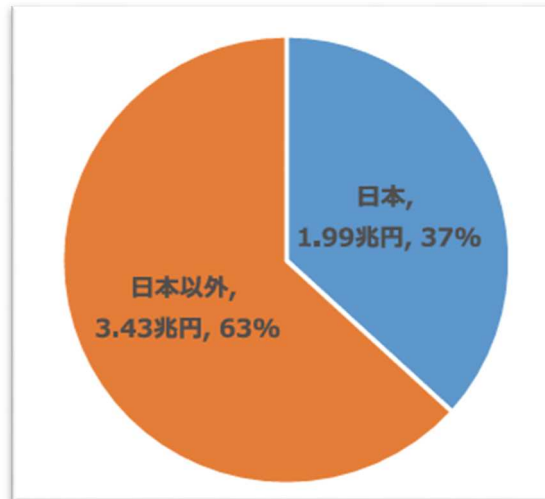


図1-5 センサの日本シェア (2017年)
出所：TSC Foresight Vol. 102 (NEDO)

1.2 事業の目的

本プロジェクトでは、顕在化する様々な社会課題の早期解決と新産業の創出を両立するSociety 5.0の実現に向けて、日本が強みを有する最先端の材料技術やナノテクノロジー、バイオテクノロジーを利用して、既存のIoT技術では実現困難な超微量の検出や過酷環境下での動作、非接触・非破壊での測定等を可能とする革新的センシングデバイスを世界に先駆けて開発する(図1-6)。併せて、革新的センシングデバイスの信頼性向上に寄与する基盤技術を開発する。

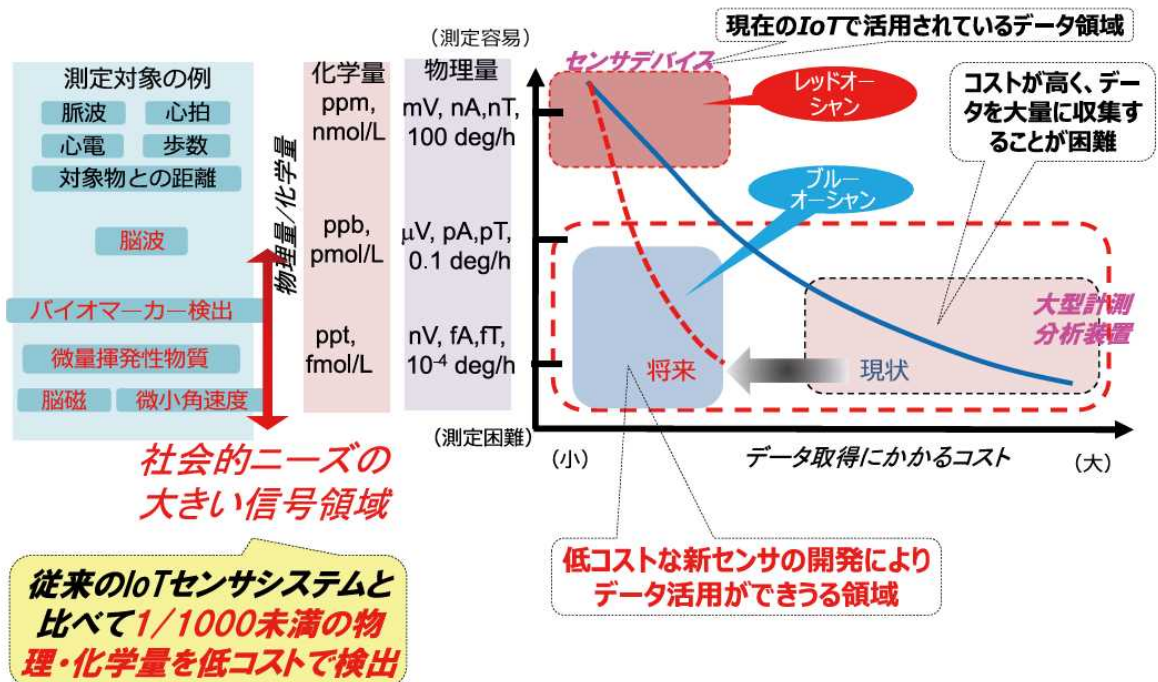


図1-6 超微量センシングでの検出対象となる物理量・化学量とコストの関係
出所：TSC Foresight Vol. 102 (NEDO)

これら技術を核として、これまで世の中に分散し眠っていた現場の豊富なリアルデータを一気に収集・分析・活用可能とするシステムを新たに構築し、家庭等における手軽な疾病予兆検知や病原体発生状況の早期把握、インフラ設備の遠隔監視、産業機器の故障予知等、個別のニーズにきめ細かく、リアルタイムで対応できる革新的な製品・サービスの創出を目指す（図1-7）。

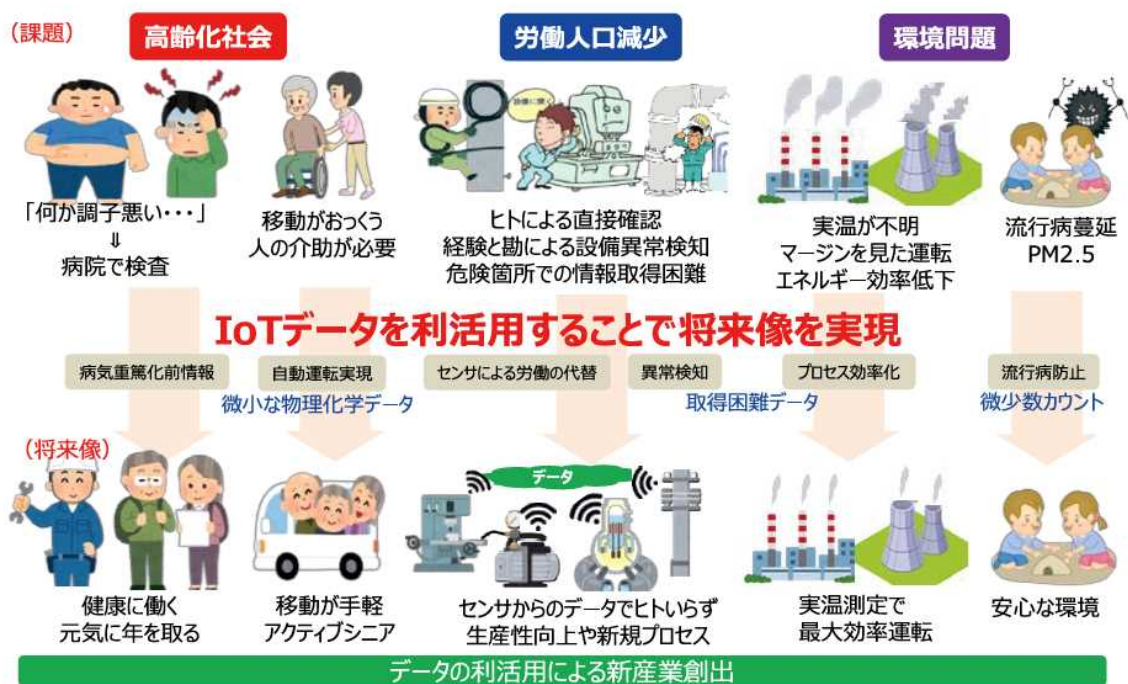


図1-7 社会課題の現状とデータ利活用による実現したい将来像のイメージ
出所：TSC Foresight Vol. 102 (NEDO)

1.3 事業の位置付け

1.3.1 政策的重要性

2016年1月22日に閣議決定された「第5期科学技術基本計画」において、将来的に目指すべき未来社会「Society 5.0」として（図1-8）、また、その実現に向けた「未来投資戦略2018」（2018年6月15日閣議決定）において、IoT等によるデジタル革命として重要性が謳われており（図1-9）、同様のことが経済産業省の政策「Connected Industries」でも提唱されている。



図1-8 これまでの情報社会(4.0)とSociety5.0の違い

出所：内閣府 (https://www8.cao.go.jp/cstp/society5_0/)



図1-9 未来投資戦略2018概要

出典：内閣官房HP (<https://www.cas.go.jp/jp/seisaku/seicho/kettei.html>)

1.3.2 我が国の状況

2018年度より内閣府の「戦略的イノベーション創造プログラム（SIP）第2期／フィジカル空間デジタルデータ処理基盤」において、専門的なIT人材でなくとも容易にサイバー空間とフィジカル空間を連携させることができるエッジに重点をおいたプラットフォームの開発等が行われている。

また、同じく2018年度より内閣府の「戦略的イノベーション創造プログラム（SIP）第2期／ビッグデータ・AIを活用したサイバー空間基盤技術」において、人とAIの協働に資する高度に洗練されたヒューマン・インタラクション基盤技術や分野間データ連携基盤技術、AI間連携基盤技術の開発が行われている。

このように、サイバー空間とフィジカル空間を高度に融合させる取組がSIPを中心に行われているが、高精度なリアルデータの取得を可能とするセンシング技術の開発については、山積する社会課題に鑑みるとその取組は未だ十分とは言えず、更なる取組の強化が求められている。

1.3.3 世界の取組状況

センサ研究開発投資に関する海外の政府動向を図1-10に、各国のセンサ開発動向を図1-11に示す。


米国では、20省庁が参加する省庁横断の国家イニシアティブ「National Nanotechnology Initiative」の中で「Nanotechnology for Sensors and Sensors for Nanotechnology」としてセンサに関するナノテクノロジーの重要性が謳われ、多額の研究開発投資が行われている。


欧州では、科学技術・イノベーション政策である「Horizon 2020」の枠組みの中でデジタル化やスマート化を強く進める政策目標が掲げられ、「Future & Emerging Technologies」や「Leadership in Enabling and Industrial Technologies」としてマイクロエレクトロニクス・ナノエレクトロニクスの分野の強化が図られるなど、ベルギーのIMECやフランスのLETI等の研究拠点も活用しながら精力的にセンサ開発が推進されている。


中国では国が多額の研究開発投資を行っているが、センサ開発に繋がるようなプロジェクトは見当たらなかった。IoTに関する研究開発投資は、スマートシティの安全保障やサイバーセキュリティなどへの投資が多い模様である。

この他、シンガポール科学技術研究庁（A*STAR）が「Pico-IoT for a Smart Nation」と称して、デバイスの小型化によって消費電力を極限まで小さくする技術開発を推進するなど、世界各国でセンサ開発が積極的に行われている。

○政府の取組（センサ関係）

-  **NSI（ナノテクノロジー指定構想：NNI内プログラム）の5課題に約3億ドル/年、5課題中の一つ「センサのためのナノテク」（単純計算で約60億円/年）に投資**
- ✓ **SmartCity Initiativeの空気汚染センサ開発に5億円/年**

-  **Horizon2020/センサ関連プロジェクト（各々/約3年）**
- EU-SENSE：€340万、MOLOKO(Plasmon)：€550万
- TAG sensor:€140万、IoSense (Flexible)：€1460万
- FINESSE（生体光ファイバセンシング）：€390万
- Sulflogger（H2Sガスセンサ）：€150万
- ⇒総額40億円
- （その他PULSe、I3DS、ULISSES、PROTEUS,REDFINCH等）
- ⇒全部合わせるとHorizonで約20億円/年くらいか？
- ✓ **Innovate UK、センサ×IoT関連の研究に総額約£210万（3億円/19テーマ）**
- ✓ **ドイツIndustrie4.0のProsense（AIシステムとインテリジェントセンサに基づいた生産管理の実現）に総額€308万（4.3億円）**
- ✓ **フランスANR、センサ×IoT関連の研究に総額約€450万（6.3億円/8テーマ）**

-  **IoTとスマートシティの安全保障キーテクノロジー研究**
- ✓ 請負機関：中国科学技術大学、期間：4年
- ✓ 政府予算：2180万元（3.4億円）サイバーセキュリティ中心で、センサに関するプロジェクトは見当たらず

○代表的な企業の取組（センサ活用システム）

<大手企業（主に米国）>

- GE社（航空機エンジン製造）**
航空エンジンモニタリングサービス
スマート工場（工場内に1万以上のセンサ設置）
- Progressive社（保険大手）**
ドライバーモニタリングによる保険料最適化
- Google社**
スマートハウス用IoTデバイス
- Apple社**
ウェアラブルデバイス健康管理アプリ
- Ralph Lauren（大手アパレル）**
バイオセンサ付シャツ（生体データ管理）
- ATT&T、IBM**
音響センサによる水道管モニタリング
- Joy Global社（採掘用重機製造）**
7,000のセンサ/ネットワーク化による自立採掘システム
- John Deere社（農業機械大手）**
農地の環境モニタリング
- UPS社（物流大手）**
配送車にセンサ搭載、配送ルート最適化


-  **K-ICT戦略・IoTセンサ発展計画の策定**
- ・IoTセキュリティセンター創設
- 20億ウォン（2億円）@2015年

図1-10 センサ研究開発投資に関する海外の政府動向と企業の動き
 出典：TSC Foresight Vol. 102（NEDO）

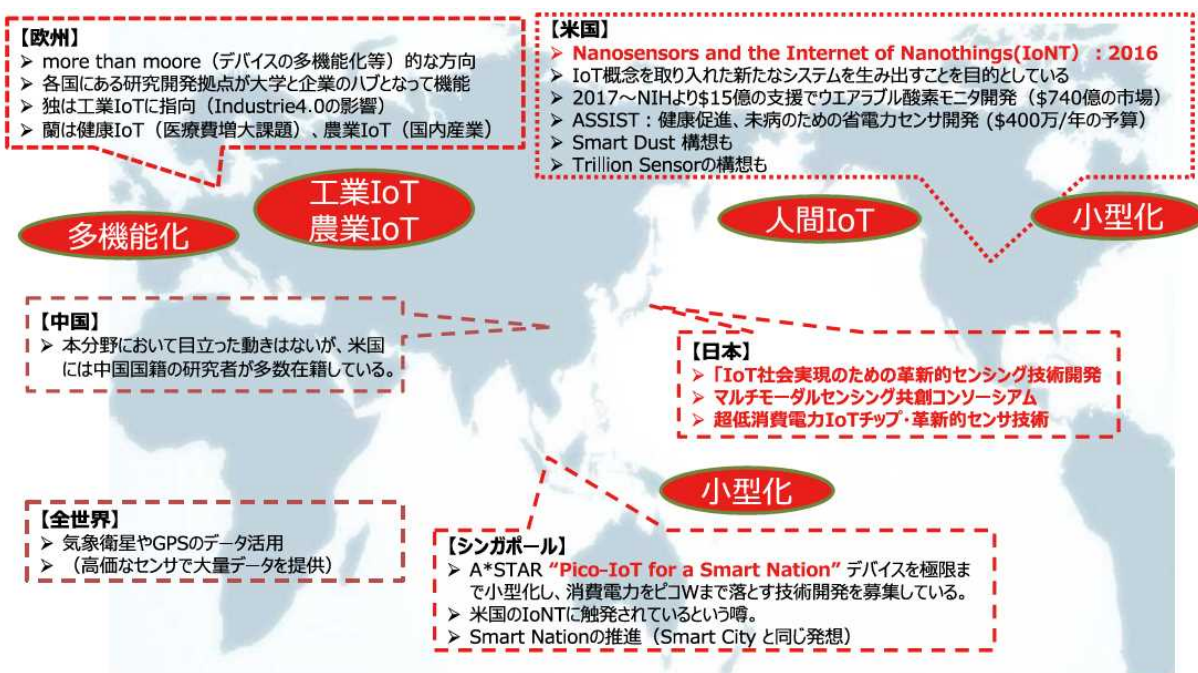


図1-11 各国のセンサ開発動向
 出典：TSC Foresight Vol. 102

2. NEDOの関与の必要性・制度への適合性

2.1 NEDOが関与することの意義

国が実現を目指す未来社会「Society5.0」において、サイバー空間とフィジカル空間を高度に融合させる革新的センシング技術は極めて重要である。人やあらゆるモノからの豊富なリアルデータ取得で課題を精緻に見える化し、社会課題の早期解決と新たな価値創造を実現することが期待されている。

本プロジェクトの目的達成には、既存技術では困難な超微量の検出や極限環境下でも動作可能とするなど、従来の延長線上に無い画期的な技術を核とした非連続な研究開発が必要である。材料工学や機械工学、電子工学等の異分野融合が不可欠で、民間企業等が単独で実現することは難しく、国主導で民間企業・大学・国研等が有する優れた技術・知見・ノウハウを集約して産学官が一体となって開発を加速させることが必要であり、NEDOプロジェクトとしての実施が妥当である。

信頼性評価技術等の基盤技術については、国民経済的には大きな便益がありながらも、研究開発成果が直接的に市場性と結び付かない公共性の高い開発であり、評価技術等の基準・標準化も検討し得ることから、国が積極的に関与すべきと考えられる。

2.2 実施の効果（費用対効果）

本プロジェクトは事業期間6年間、事業規模約37億円の計画で進められている。NEDO技術戦略研究センター（TSC）にて本事業のターゲットである取得困難なセンシングによるIoTシステム分野を健康分野、モビリティ分野、インフラ分野、産業分野に特定し、2030年の世界市場における日本のシェアを37%として日本の獲得市場規模を算出し、本事業によるセンサ市場拡大効果を15%と仮定して、市場創出効果を約2000億円と試算した。本事業の総額は約37億円を予定しているため、国の投資による費用対効果は大きいと考えられる。

(1) 事業費用の総額

37億円（2019年～2024年）

※2019～2021年度は執行額、2022年度は契約額、2023、2024年度は契約見込み額より総額を算出

(2) 2030年での市場創出効果

約2000億円

II. 研究開発マネジメントについて

1. 事業の目標

1.1 事業の目的

本プロジェクトでは、顕在化する様々な社会課題の早期解決と新産業の創出を両立する Society 5.0 の実現に向けて、日本が強みを有する最先端の材料技術やナノテクノロジー、バイオテクノロジーを利用して、既存の IoT 技術では実現困難な超微量の検出や過酷環境下での動作、非接触・非破壊での測定等を可能とする革新的センシングデバイスを世界に先駆けて開発する。併せて、革新的センシングデバイスの信頼性向上に寄与する基盤技術を開発する。

これら技術を核として、これまで世の中に分散し眠っていた現場の豊富なリアルデータを一気に収集・分析・活用可能とするシステムを新たに構築し、家庭等における手軽な疾病予兆検知や病原体発生状況の早期把握、インフラ設備の遠隔監視、産業機器の故障予知等、個別のニーズにきめ細かく、リアルタイムで対応できる革新的な製品・サービスの創出を目指す。

1.2 アウトプット目標

本プロジェクトを通じて、超微量の検出や過酷環境下での動作、非接触・非破壊での測定等を可能とするための革新的センシングデバイスの要素技術を確立し、試作デバイスの作製・動作検証を行い、想定ユーザーを巻き込んだ実使用環境下での技術実証・評価等をもとにデバイスの実用性を実証する。

併せて、超微量を正確かつ精密に測定できているか検証するための信頼性評価技術や、材料・回路等における超微小ノイズの定量評価技術といった革新的センシングデバイスの信頼性向上に寄与する基盤技術を確立する。

1.3 アウトカム目標

本プロジェクトで開発する革新的センシングデバイスに関して、プロジェクト終了後 5 年以内の実用化率 25% 以上の達成を目指す。

また、革新的センシングデバイスやその基盤技術を核として、これまでにない新たな製品・サービスを創出し、2030 年度に約 2,000 億円の新規市場形成に資する。

1.4 アウトカム目標達成に向けての取り組み

国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構（以下、「NEDO」という。）は、開発するデバイスの円滑な社会実装を推進するため、研究開発実施者と連携してユーザーに広く受け入れられる製品・サービスを検討する。また、必要に応じて、標準化や規制見直しに向けた取組も検討する。

加えて、本プロジェクトで開発した成果を広く社会に普及させるために、展示会やシンポジウム等を通じた成果発信を積極的に行う。

2. 事業の計画内容

2.1 研究開発の内容

上記目標を達成するために、本プロジェクトでは、以下の2つ研究開発項目について、研究開発を実施する。

研究開発項目①「革新的センシング技術開発」

研究開発項目②「革新的センシング基盤技術開発」

(1) 研究開発項目①「革新的センシング技術開発」

(研究開発の必要性)

医療・介護費の増大、地域の人手不足や移動弱者の増加、インフラ維持管理や産業保安の負担増等の顕在化する社会課題の早期解決に向けて、家庭等における手軽な疾病予兆検知や病原体発生状況の早期把握、インフラ設備の遠隔監視、産業機器の故障予知等を可能とする新たな製品・サービスの創出が期待されている。

これらを実現するためには、リアルデータで現状を精緻に見える化することが重要となるが、既存のIoT技術では計測できない領域が未だ数多く存在しており、これまで計測が極めて困難とされた超微量の検出や過酷環境下での動作、非接触・非破壊での測定等を可能とする革新的センシング技術の開発が今後益々重要となる。その際、IoT技術として様々な現場で実際に使用可能なものとするためには、小型・軽量、省エネルギーかつ低コストで安定的に検出可能であることが求められる。

(具体的研究内容)

顕在化する様々な社会課題の早期解決と新産業の創出を両立する Society 5.0 の実現に向けて、日本が強みを有する最先端の材料技術やナノテクノロジー、バイオテクノロジーを利用した、これまでにない革新的センシング技術の中核として、信号増幅やノイズ低減に関する材料・回路技術、得られた信号から有用な情報を取り出す解析技術と併せてデバイスの開発に取り組む。

具体的には、各研究開発テーマ開始3年目までの【フェーズA：要素技術開発】においては、材料特性を最大限引き出すためのナノメートルスケールでの界面制御や構造制御、生物機能と微細加工の融合等による検出素子技術の開発、検出素子を介して伝達される信号の増幅・ノイズ低減・解析技術の開発を行う。なお、必要に応じてデバイスの安定化・多機能化等に資する周辺技術の開発についても取り組む。

また、各研究開発テーマ開始4年目以降の2年間の【フェーズB：技術実証・評価】においては、フェーズAで開発された要素技術をもとに、想定ユーザーを巻き込んだ実使用環境下での試作デバイスの技術実証・評価とデバイスの最適化検討、実用化に向けた量産技術の検討等を行う。

具体的な実施に当たっては公募の結果を踏まえ、図2-2に示す研究テーマにて推進する。

【中間目標（フェーズA終了時点）】

従来の測定限界を超えて 1/1,000 以下の超微量を検出可能とする、これまで十分に測定し得なかった高温・高圧環境下等での動作を可能とする、又は超高精度な計測・分析装置等の従来技術と同等の性能を有しつつも体積比 1/100 以下の小型化を可能とするなどの革新的な検出素子技術や信号増幅・ノイズ低減・解析技術等の要素技術を確立する。

【最終目標（フェーズ B 終了時点）】

想定ユーザーを巻き込んだ実使用環境下での試作デバイスの技術実証・評価をもとに、革新的センシングデバイスの実用性を実証する。

上記の目標を基本としつつ、デバイスの原理・特性や応用分野によって検出限界や環境耐性、小型化等の目標が大きく異なることから、具体的な目標は研究開発テーマ毎において定める。個別の目標については、Ⅲ章に示す。

(2) 研究開発項目②「革新的センシング基盤技術開発」

（研究開発の必要性）

本プロジェクトで開発を行う革新的センシングデバイスのうち超微量の検出技術については、極めて僅かな物理量・化学量等を測定対象とするため、検出素子に到達・反応する測定対象の量や得られた信号等をノイズに左右されずに正確かつ精密に計測し、応答するデバイスの信頼性を正當に評価することが非常に困難となる。しかも、これらデバイスを世界に先駆けて開発することとなるため、高度に専門的な計測・分析技術の知見をもとに、新たに高精度な評価技術の開発や評価環境の構築を行う必要が生じる。

また、革新的センシングデバイスにおいては、材料・プロセス・回路・デバイス等の各開発段階や製品使用時に生じるノイズがデバイスの性能・信頼性に大きく影響を与える。一方で、僅かなノイズを正しく評価し有用な情報を取得するためには、高価で大型な計測・分析装置を用いた専用の評価環境を構築する必要があり、多くの開発者・ユーザーにとって抜本的なノイズ低減対策や簡便な性能検査・校正が困難な状況が生まれている。

こうした状況を打破し、開発成果の速やかな社会実装を実現するためには、デバイス開発と一体となって信頼性向上に寄与する基盤技術の開発に取り組むことが非常に重要となる。その際、標準化も視野に入れながら開発することにより、社会実装をより強力に後押しすることが可能となる。

（具体的研究内容）

超微量の検出技術に係る研究開発項目①の各研究開発テーマと連携して、微小音圧や微量濃度等の測定技術、標準物質の開発等、デバイスの検出素子に到達・反応する測定対象の量や得られる信号等を正確かつ精密に計測するための評価技術の開発や評価環境の構築を行う。

また、高精度な超微小ノイズ評価技術の開発と、幅広い開発者・ユーザーが利用可

能な汎用型の超微小ノイズ評価機器・システムの開発を行い、両者のトレーサビリティを確保する。

なお、本項目で開発する技術については、必要に応じて標準化を検討する。

● 超微量センシング信頼性評価技術開発

【中間目標（2021年度）】

微小音圧や微量濃度等の測定技術の開発、標準物質の開発等をもとにデバイスの評価を行い、超微量センシングデバイスに対する信頼性評価技術の確立の見通しを得る。

【最終目標（2023年度）】

超微量センシングデバイスの検出素子に到達・反応する測定対象の量や得られる信号等を正確かつ精密に計測するための信頼性評価技術を確立し、その実用性を実証する。

● 超微小ノイズ評価技術開発

【中間目標（2022年度）】

高精度な超微小ノイズ評価技術の開発と、幅広い開発者・ユーザーが利用可能な汎用型の超微小ノイズ評価機器・システムの開発を行い、両者のトレーサビリティを確保しつつ、それぞれの技術確立の見通しを得る。

【最終目標（2024年度）】

トレーサビリティが十分に確保された、高精度な超微小ノイズ評価技術及び汎用型の超微小ノイズ評価機器・システムを確立し、幅広い開発者・ユーザーを巻き込みながらその実用性を実証する。

2.2 研究開発の計画

全体の研究開発スケジュールを図 2-1 に示す。研究開発項目①の各研究開発テーマ開始3年目までの【フェーズ A：要素技術開発】は、実用化まで長期間を要するハイリスクな基盤的技術に対して、産学官の複数事業者が互いのノウハウ等を持ちより協調して実施する研究開発であり、委託事業として実施する。また、各研究開発テーマ開始4年目以降の2年間の【フェーズ B：技術実証・評価】は、実用化に向けて企業の積極的な関与により推進されるべき研究開発であり、助成事業として実施する

(NEDO 負担率：大企業 1/2 助成、中堅・中小・ベンチャー企業 2/3 助成)。

研究開発項目②は、革新的センシングデバイスに対する基盤技術を開発するもので、国民経済的には大きな便益がありながらも、研究開発成果が直接的に市場性と結び付かない公共性の高い事業であり、委託事業として実施する。

また、対象となる研究開発予算を表 2-1 に示す。

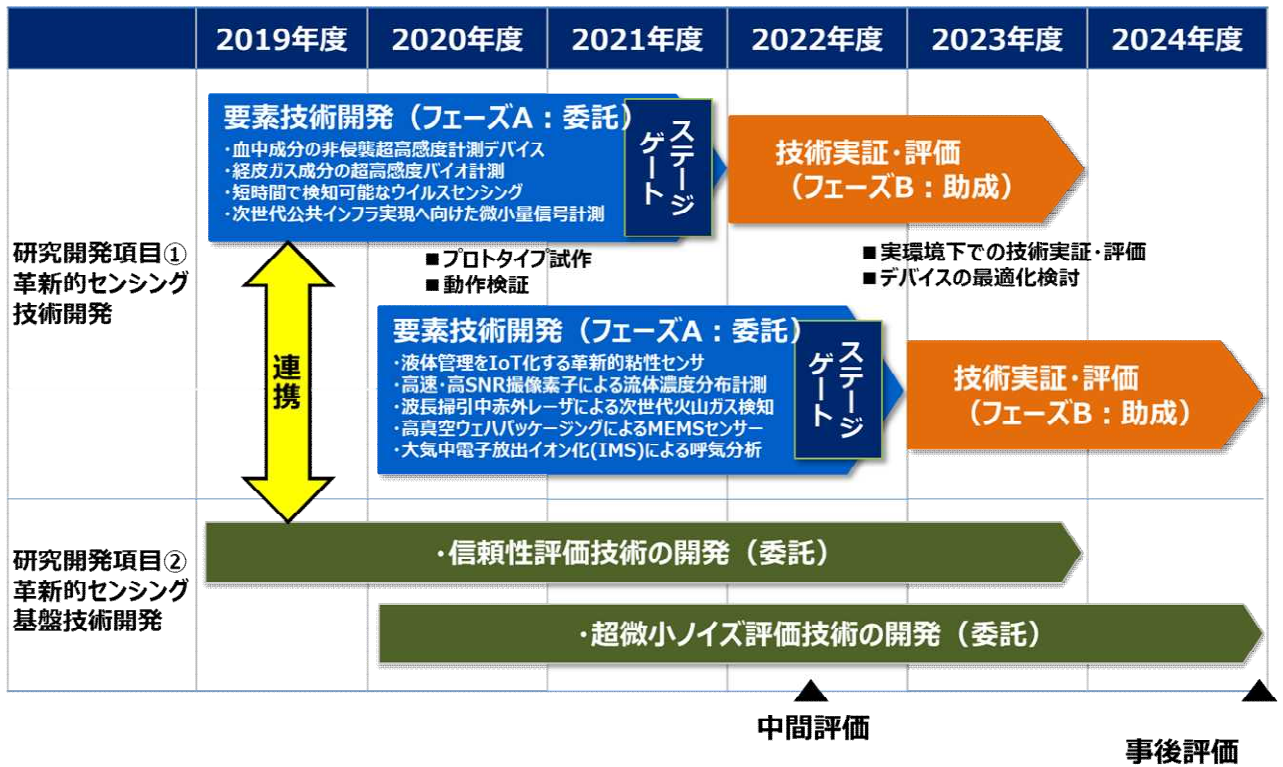


図 2-1 研究開発スケジュール

表 2-1 研究開発予算（単位：百万円）

管理番号	研究開発テーマ名	2019 (実績)	2020 (実績)	2021 (実績)	2022 (契約)	2023	2024	合計
研究開発項目①	A1	血中成分の非侵襲連続超高感度計測デバイス及び行動変容促進システムの研究開発	83	96	84	50	-	313
	A2	薄膜ナノ増強蛍光による経皮ガス成分の超高感度バイオ計測端末の開発	50	89	29	-	-	168
	A3	1分で感染リスクを検知可能なウイルスゲートキーパーの研究開発	45	168	105	50	-	368
	A4	次世代公共インフラ実現へ向けた高密度センサ配置による微量信号計測技術の研究開発	73	90	55	-	-	219
	A5	極限環境の液体管理を	-	48	49	49	-	147

		IoT化する革新的粘性センサの開発							
	A6	高速・高SNR撮像素子による流体濃度分布その場計測デバイスの開発	-	49	48	58			155
	A7	波長掃引中赤外レーザーによる次世代火山ガス防災技術の研究開発	-	50	50	50			150
	A8	高真空ウェハレベルパッケージングを適用したMEMSセンサーの研究開発	-	45	70	50			164
	A9	大気中電子放出イオン化によるIMS呼気分析システムの研究開発	-	50	62	50			162
研究開発項目②	C1	超微量センシング信頼性評価技術開発	31	235	189	212			668
	C2	量子現象に基づくトレーサビリティが確保されたワイヤレス機器校正ネットワークの研究開発	-	70	78	70			218
合計			282	991	819	639			2732

2022年度は事業原簿作成時の契約額

2.3 研究開発の実施体制

プロジェクトマネージャー（以下、「PM」という。）に NEDO 材料・ナノテクノロジー部 大石 嘉彦を任命して、プロジェクトの進行全体を企画・管理し、そのプロジェクトに求められる技術的成果及び政策的効果を最大化させた。

本研究開発は、2019年度及び2020年度にそれぞれNEDOが公募によって企業、大学等の研究機関から委託先を選定し、研究体制を構築して開始したものである。結果として、2019年度は、研究開発項目①で4件、研究開発項目②で1件、2020年度は、研究開発項目①で5件、研究開発項目②で1件採択した。研究開発の実施体制を図2-2に示す。



図 2-2 「IoT 社会実現のための革新的センシング技術開発」実施体制

3. 研究開発の運営管理

3.1 研究開発の進捗把握・管理

研究開発全体の管理・執行に責任を有する NEDO は、経済産業省及び各実施者と密接な関係を維持しつつ、本事業の目的及び目標に照らして適切な運営管理を実施した。具体的には、技術推進委員会やステージゲート審査委員会における外部有識者の意見を運営管理に反映させる他、各プロジェクトの進捗報告会等への参加により進捗の確認及び管理を行った。また、コロナ禍の状況に応じて、リモートなどハイブリッド開催で進捗報告会等を実施した。研究管理に活用している会議体一覧を表 2-2 に示す。

表 2-2 研究管理に活用している会議体一覧

会議名	主なメンバー	目的・対象	頻度	主催者
技術推進委員会	・外部有識者 ・NEDO(PM) ・実施者	・各プロジェクトの研究開発進捗の把握を行い、方向性、目標達成の見通し等を議論。アドバイスの実施。 ・全テーマ	1回 / 年	NEDO
進捗報告会	・実施者 ・NEDO(PM)	・進捗報告確認 ・各テーマ	1回 / 1～3ヶ月	実施者
ステージゲート審査委員会	・外部有識者 ・NEDO(PM) ・実施者	・全事業期間の中間審査として研究開発進捗や計画等を評価し、研究継続の妥当性を見極めを実施。 ・研究開発項目①	委託期間 3年目	NEDO
知財運営委員会	知財運営委員会 規定メンバー	・特許出願・対外発表に関する報告、承認。	随時	実施者

●技術推進委員会における外部有識者委員

元セコム株式会社 顧問 小松崎 常夫 氏
 早稲田大学 リサーチイノベーションセンター 教授 一村 信吾 氏
 一般社団法人次世代センサ協議会 会長 / 国立大学法人東京工業大学 名誉教授
 小林 彬 氏
 国立大学法人東京大学 名誉教授 桜井 貴康 氏
 兵庫県立大学 大学院工学研究科 電子情報工学専攻 教授 前中 一介 氏
 国立研究開発法人情報通信研究機構 Beyond 5G 研究開発推進ユニット
 寶迫 巖 氏
 株式会社ミライズテクノロジーズ センサ開発部 部長 和戸 弘幸 氏

●ステージゲート審査委員会における外部有識者委員

(2019年度採択テーマ対象、2021年度実施)

学校法人五島育英会 東京都市大学 総合研究所 教授 / キヤノンメディカルシステムズ株式会社 先端研究所 所長 藤田 博之 氏
 株式会社経営共創基盤 (IGPI) 共同経営者 (パートナー) マネージングディレク

ター 川上 登福 氏

国立研究開発法人国立循環器病研究センター オープンイノベーションセンター
産学連携シニアコーディネーター 湯元 昇 氏

パナソニック（株） テクノロジー本部 上席主幹 吉岡 俊彦 氏

株式会社 ベイシスコンサルティング 研究開発室 チーフリサーチャー

阿部 雅人 氏

3.2 ステージゲート審査

ステージゲート審査は、フェーズ A（委託）からフェーズ B（助成）への移行に際し、全事業期間の中間審査として研究開発の進捗や計画等を適時に評価し、研究継続の妥当性を見極め、研究開発を効率的に推進することを目的として実施した。2019 年度より開始した研究開発項目①のテーマ 4 件を対象に、外部有識者による書面審査、ステージゲート審査（2021 年 11 月 2 日、2021 年 12 月 20 日）を行い、結果として 2 件を通過候補として選定した。

4. 研究開発成果の事業化・実用化に向けたマネジメントの妥当性

本事業における実用化、事業化は、以下のように定義する。

「実用化」とは、当該研究開発に係る試作品、サービス等の社会的利用（顧客への提供等）が開始されることをいう。

「事業化」とは、当該研究開発に係る商品、製品、サービス等の販売や利用により、企業活動（売り上げ等）に貢献することをいう。

4.1 知的財産権等に関する戦略

NEDO における知財マネジメント基本方針を基に、以下に示す「テーマ間の連携」に関する事項を記載し、「IoT 社会実現のための革新的センシング技術開発」における知財マネジメント基本方針を策定し、適用した。

記載事項)

(8) 知的財産権の実施許諾

③テーマ間の連携

研究開発の成果の最大化を目的として、本プロジェクトで取り組むテーマ間で連携を行う場合の研究開発活動及びその成果の事業化に関する知的財産の取扱いについて、合意書の作成等を通じてテーマ参加者間で合意形成を行い、プロジェクトの円滑な遂行及びその成果の円滑な事業化に協力するものとする。

本知財方針に基づき、各テーマの委託先間にて知財の取り扱いに関する合意書（知財合意書）を作成した。合意書では、知財運営委員会、知財の帰属、秘密保持、テーマ内の実施許諾等を規定し、各テーマの事業化・実用化に向けた出口戦略を構築・実現する体制を構築するとともに、知財に係るルールを整備した。また、各テーマ間の委託先からなり、研究開発の成果についての権利化、秘匿化、

公表等の方針決定、実施許諾に関する調整等を行うための「知財運営委員会」を整備した。

図 2-3 に本事業の研究体制における知財合意書の作成状況を示す。研究開発項目①及び②（信頼性評価技術開発）は、デバイス開発とその根幹を成す基盤技術の開発という相互補完的な関係にある研究開発テーマであるため、基本計画で研究開発テーマ間の連携を必須としている。そのため、上記知財方針の「テーマ間の連携」に基づき、2019 年度に採択した研究開発項目①の各テーマ 4 件と研究開発項目②の信頼性評価技術（産総研）との間でそれぞれ知財合意書を作成し、知財に係る体制、ルール構築を行った。尚、2020 年度に採択した研究開発項目①の各テーマは予算の制約により、研究開発項目②（信頼性評価技術開発）との連携はない。

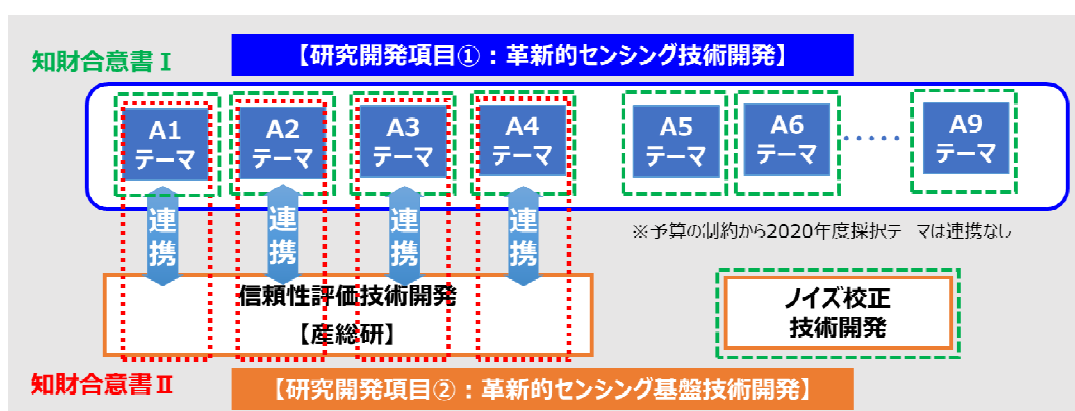


図 2-3 研究体制における知財合意書の作成状況

知財合意書 I：各テーマの委託先間で合意、作製

知財合意書 II：2019 年度採択、研究開発項目①の各デバイス開発テーマと研究開発項目②信頼性評価技術開発との間で合意、作成

【FIOT コンソーシアム「センシング評価診断技術コンサルタント事務局」設置】

プロジェクトの成果活用を推進するため、実施者である産総研センシングシステム研究センターは、センサメーカーやユーザーに対し、研究開発項目②「超微量センシング信頼性評価技術開発」に参画する研究者が保有する評価・診断技術を産総研技術コンサルティング制度の形で提供する窓口として、同センターが主催する FIOT コンソーシアム（会長 鎌田俊英 産総研センシングシステム研究センター長）内に 2020 年 8 月、「センシング評価診断技術コンサルタント事務局」を設置した。問い合わせ内容に応じて産総研のイノベーションコーディネータが適切な研究者を紹介し、技術相談を経たのち、各社が各々で所望する仕様で評価・診断技術コンサルティングサービスを提供する仕組みとなっている。事務局では、事前の技術相談で得られるニーズや想定されるセンサ使用環境を情報として蓄積しており、今後開発していく信頼性評価技術の仕様検討にも活用することができる。また、事務局では、業界団体（日本分析機器工業会（JAIMA）など）との懇談会やセンサ・計測関連の展示会（Smart Sensing, JASIS, Nano

tech など) において、開発した評価・診断技術の紹介を行っており、センサの高付加価値化や市場競争力向上に資する高信頼な評価・診断技術の活用をセンサメーカー・ユーザ、分析機器メーカーに促す活動を実施している。

5. 情勢変化への対応

- ・2020年度の研究開発項目①および②の追加公募の実施

プロジェクト開始当初(2019年度)、超微量センシングに分野を限定したため、想定していた採択テーマ数を下回った。しかし、センサの重要性の高まりにより2020年度では、本PJの拡充のため追加公募を実施した。

2019年度では、健康・モビリティ・インフラの分野を対象に既存の超高精度計測・分析装置以外では検出できないような超微小な物理量・化学量(図2-4)を、小型・軽量、省エネルギーでありながら低コストで安定的に検出できる技術(超微量センシング技術)を世界に先駆けて開発することを目指し公募した。

2020年度では、2019年度の公募から分野の限定をなくし、超微量のセンシングに加え、過酷環境下での動作、非接触・非破壊での測定、超小型化・超軽量等を可能とする革新的センシング技術(図2-5)の確立を目指し公募を行い、図2-2(2.3 研究開発の実施体制)に示す通り、研究開発項目①で5件、研究開発項目②で1件採択し研究を開始した。

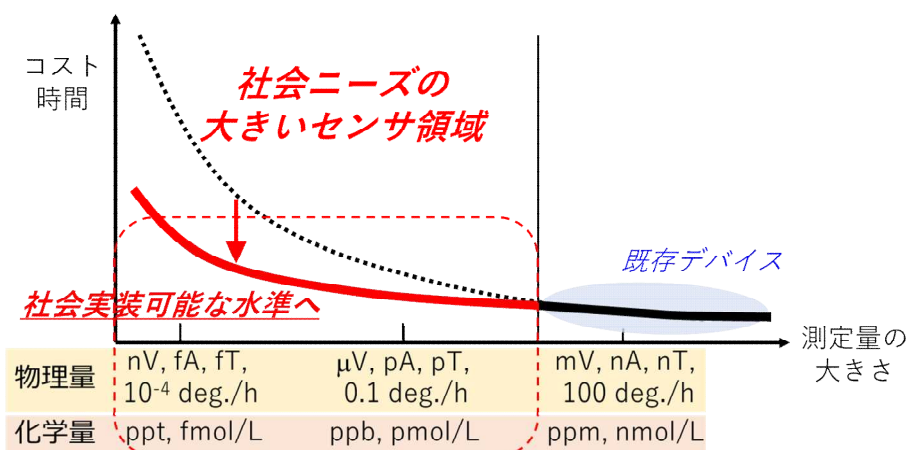


図2-4 超微量センシングでの検出対象となる物理量・化学量とコストの関係



図2-5 革新的センシング技術開発の範囲

・ コロナ禍の状況下での対応

2020年度新型コロナウイルスが世界的パンデミックを引き起こし、その検出のニーズが高まった。この情勢を受け、研究開発項目①の「1分で感染リスクを検知可能なウイルスゲートキーパーの研究開発」テーマについて、期中に加速予算を配賦し、開発当初の検知対象ウイルスであるインフルエンザウイルス、ノロウイルスに加え、「新型コロナウイルス」を新たな対象に加え、早期実用化を目指し、全体開発の促進に努めた。

6. 評価に関する事項

NEDOは、(1)事業の位置付け・必要性、(2)研究開発マネジメント、(3)研究開発成果、(4)成果の実用化に向けた取組及び見通しの4つの評価項目について、外部有識者による中間評価及び事後評価を実施する。

中間評価は2022年度に実施し、最終年度に事後評価を実施する。なお、中間評価等の結果を踏まえ必要に応じプロジェクトの加速・縮小・中止等の見直しを迅速に行う。評価の時期については、当該研究開発に係る技術動向、政策動向や当該研究開発の進捗状況に応じて、前倒しする等、適宜見直すものとする。

III. 研究開発成果について

1. 事業全体の成果

研究開発項目①革新的センシング技術開発（2019年採択テーマ）のうち、助成事業へ移行したテーマは、実用化へ向けて進捗は順調であり、研究開発項目①革新的センシング技術開発（2020年採択テーマ）と研究開発項目②革新的センシング基盤技術開発も進捗は概ね順調に進んでいる。

研究開発項目① 革新的センシング技術開発（2019年度開始）

開発テーマ	中間目標（代表例）	成果と達成度	備考
【A1,B1】血中成分の非侵襲連続超高感度計測デバイス及び行動変容促進システムの研究開発	<ul style="list-style-type: none"> センサ・モジュール評価用光学ファントム標準器の開発、デバイス設計・開発 10mPa分解能の光音響センサの実現 	<ul style="list-style-type: none"> 光学ファントム標準器の開発済み、センサ仕様決定、試作機を開発 10μPa分解能の光音響センサの実現 	○
【A2】薄膜ナノ増強蛍光による経皮ガス成分の超高感度バイオ計測端末の開発	<ul style="list-style-type: none"> アセトンガス用の超高感度ガス計測デバイスと極低濃度ガス発生・評価系を作製 デバイス評価を行うことで、小型ウェアラブル計測端末の動作モデルの構築を行う。 	<ul style="list-style-type: none"> 極低濃度ガス発生・評価系にてアセトンガス濃度：60 ppt、精度±5%を確認(世界初) センサモジュールを試作、光学系を除き999 cm³で構築 	○
【A3,B3】1分で感染リスクを検知可能なウイルスゲートキーパーの研究開発	<ul style="list-style-type: none"> 検出から解析まで行うことができる試作機を完成させる。 試作機での1分検出実現に資する検出プロトコルを確立 	<ul style="list-style-type: none"> 全自動測定を行う試作機が完成 マイクロツールとATE試験を用いた、インフルエンザ、ノロ、新型コロナウイルスの1分検出プロトコルが完成 	○
【A4】次世代公共インフラ実現へ向けた高密度センサ配置による微小量信号計測技術の研究開発	<ul style="list-style-type: none"> シート型超微小物理量センサシステムの研究開発 	<ul style="list-style-type: none"> 検出精度は、 振動センサについて、高さ4.5m距離15m以内の範囲で振動検出を確認 差分センサについて、各軸間のカップリング誤差目達成 	○

◎ 大きく上回って達成、○達成、△達成見込み（中間）／一部達成（事後）、×未達

研究開発項目① 革新的センシング技術開発（2020年度開始）

開発テーマ	中間目標（代表例）	成果と達成度	備考
【A5】極限環境の液体管理をIoT化する革新的粘性センサの開発	<ul style="list-style-type: none"> 非ニュートン性、粘弾性の測定が可能な革新的粘性センサの原理の実証 建機を模擬した環境での実証試験 	<ul style="list-style-type: none"> ニュートン流体を約3%の精度で測定することに成功 建機の基幹システムへの接続方法の設計、ICTサービスのプロトタイプモデル試作 	△（2022年12月達成見込み）
【A6】高速・高SNR撮像素子による流体濃度分布その場計測デバイスの開発	<ul style="list-style-type: none"> 高速・高SNR撮像素子の開発(1万画素撮像素子) 製造装置内流体濃度分布計測の実証 	<ul style="list-style-type: none"> 画素数19600のイメージセンサの設計・試作を完了 吸光・発光撮像、およびプラズマ撮像が行えることを確認 	△（2023年2月達成見込み）
【A7】波長掃引中赤外レーザによる次世代火山ガス防災技術の研究開発	<ul style="list-style-type: none"> 波長7～8μm帯の波長掃引パルスQCLモジュール光源、高温環境下でも十分な受光感度を有する赤外受光素子、高速応答な差動検出型の受光モジュールを開発 	<ul style="list-style-type: none"> 世界最小の波長掃引パルスQCLを開発し、1次モジュールに搭載し連続動作試験中。 赤外受光素子を開発し、差動検出モジュールに搭載し最適化の検討中。 	△（2023年2月達成見込み）
【A8】高真空ウェハレベルパッケージングを適用したMEMSセンサーの研究開発	<ul style="list-style-type: none"> 基本プロセスの実証 1 Pa以下の封止圧力を実現すること 高真空セラミック/缶パッケージと比べて1/100以下の体積に小型化 	<ul style="list-style-type: none"> 内部にデバイスがない試料で10 Pa以下の封止圧力を確認 内部にデバイスがある試料を完成させ、超小型パッケージの形態を確認 	△（2023年3月達成見込み）
【A9】大気中電子放出イオン化によるIMS呼吸分析システムの研究開発	<ul style="list-style-type: none"> IMS分析装置（検出感度改善：目標1ppb） 呼吸分子のIMS多成分検出：10種類以上 マイクロ予備濃縮器をIMSに接続し、100pptガスの検出 	<ul style="list-style-type: none"> 酢酸にて目標検出感度0.5ppbを前倒しに達成 6種類の分子成分を検出 マイクロ予備濃縮器とIMSを用いて1ppbガスの濃縮と検出 	△（2023年3月達成見込み）

◎ 大きく上回って達成、○達成、△達成見込み（中間）

研究開発項目② 革新的センシング基盤技術開発

開発テーマ	中間目標(代表例)	成果と達成度	
【C1】超微量センシング信頼性評価技術開発	<ul style="list-style-type: none"> ● 1 kHz-10 kHzにおいて、大気圧下で1 mPa以下の圧力を放射圧により負荷するシステムの構築 	<ul style="list-style-type: none"> ● 目標範囲を超える10 Hz-20 kHzにおいて、大気圧下で1 mPa以下の圧力分解能が達成できていることを実証 	○
	<ul style="list-style-type: none"> ● 相対湿度ほぼ100%である空気希釈したppb濃度レベルのVOC標準ガス発生装置を開発 	<ul style="list-style-type: none"> ● 露点約35℃の空気を調製 ● ppb濃度レベルのVOC（アセトン）標準ガスの発生を確認 	
	<ul style="list-style-type: none"> ● 標準的なウイルスの精密分離精製手法を確立し、ウイルスRNAおよびたんぱく質の精確な定量によりウイルス粒子の個数評価を可能にする見通しを得る。 	<ul style="list-style-type: none"> ● 2段階超遠心法によるウイルス精製法を確立 ● ドロップレット型デジタルPCRを新規導入し、ウイルスRNAの測定条件を確立 	
	<ul style="list-style-type: none"> ● 1-100 Hzにおいて従来の100倍程度性能が向上した高精度・高確度な低周波振動測定装置を開発し、微小な振動変位を検証する見通しを得る。 	<ul style="list-style-type: none"> ● 防振装置の導入とレーザー干渉計の改良により、1-100 Hzにおけるレーザー干渉式振動測定装置のノイズレベルを1/100以下に低減 	
【C2】量子現象に基づくトレーサビリティが確保されたワイヤレス機器校正ネットワークの研究開発	<ul style="list-style-type: none"> ● ジョセフソン効果を用いた小型標準器のプロトタイプを作製 ● 汎用型センサ評価機の直流電圧計測精度 (1 mV ± 50 nV) 	<ul style="list-style-type: none"> ● プロトタイプ2号機作製 ● 一次標準器を用いて校正（安定性評価）を行い、約5.17mVに対して標準偏差 (1σ) 0.4nV達成 	○

◎ 大きく上回って達成、○達成、△達成見込み（中間）

2. 研究開発項目毎の成果

各研究開発項目の成果の詳細は、別添1～11に示す。

IV. 成果の実用化に向けた取組及び見通しについて

1. 本プロジェクトにおける「実用化・事業化」の定義

本事業における実用化・事業化を以下に定義する。

「実用化」とは、当該研究開発に係る試作品、サービス等の社会的利用(顧客への提供等)が開始されることをいう。

「事業化」とは、当該研究開発に係る商品、製品、サービス等の販売や利用により、企業活動(売り上げ等)に貢献することをいう。

2. 成果の実用化・事業化に向けた戦略

各研究開発テーマの実用化に向けた戦略は、別添1～11に示す。

3. 成果の実用化・事業化に向けた具体的取り組み

各研究開発テーマの実用化に向けた取り組みは、別添1～11に示す。

4. 成果の実用化・事業化の見通し

各研究開発テーマの実用化・事業化の見通しは、別添1～11に示す。

5. 波及効果

各研究開発テーマの波及効果は、別添1～11に示す。

別添 1

研究開発項目①

血中成分の非侵襲連続超高感度計測デバイス及び行動変容促進システムの研究開発

公立大学法人 富山県立大学

国立大学法人 電気通信大学

株式会社タニタ

一般財団法人マイクロマシンセンター

3.2 研究開発項目毎の成果及び実用化





(1) 背景と目的

近年、生活習慣病（肥満、糖尿病など）は増加の一途を辿っており、医療費の増大が大きな問題となっている。生活習慣病は、食習慣や運動習慣などが起因で発症し、自覚症状がほとんどないため、気づいたときには重度の状態になっていることが多い。そこで生活習慣病を予知可能なウェアラブルデバイス（非侵襲常時血中成分高感度計測装置）として、体外から光学的に血中成分を常時計測するセンサを実現することを目的とする。このセンサを活用し、特に食後高血糖などをリアルタイムに長時間計測したデータを収集する（IoT、クラウド）ことで、行動変容を促進するシステムを提供することを想定する。

(2) 位置づけ、目標値

社会課題が顕在化する健康分野を対象に分析装置でしか検出できないような超微量を型・軽量・低消費電力かつ低コストで検出可能な技術として、血糖・脂質が特異的に吸収する遠・中赤外領域の光を、検出限界が市販品の 1/1000 以下の超高感度遠・中赤外光ディテクタを研究開発し、非侵襲血中成分センサを実現する。また、このセンサを活用し、特に食後高血糖などをリアルタイムに長時間計測したデータを収集する（IoT、クラウド）ことで、行動変容を促進するシステムを提供することを想定する。表 1 に示すように、現状ではこれらを実現できる機器は世の中になのが現状である。

表 1 健康モニタ機器のベンチマーク

機器名	血糖	脂質	侵襲性	簡便性
Abbot社 フリースタイル リブレ	○	×	× 生化学式 (酵素)	△ ウェアラブル 
E3 Enterprise 社caboc	○	×	○ 光学式 (代謝熱)	△ 非ウェアラブル 
フォト サイエンス社 CLE-110	○	○	○ 光学式 (赤外分光)	× 大型・高価 
本開発	○	○	○ 光学式	○ ウェアラブル
NTT研究所で 研究中	(○)	×	○ 光学式 (近赤外PAS)	非ウェアラブル 

これらを踏まえて、以下を研究開発の目標とした。

①2021 年度（フェーズ A 終了点）の中間目標と根拠

非侵襲に血中成分を検出するため、血糖や脂質の小型ディテクタの高精度化（検出限界を従来の 1/1000）の原理検証を進め、センサ仕様とそのための構造を明確化する。血中成分を精度よく計測できるセンサ及び統合的なデバイス設計を完了、試作機を作製完了する。

（目標設定根拠）非侵襲な血中成分の連続計測にはディテクタの高精度化とウェアラブル化が不可欠で、フェーズ B 移行への必要要件。

特に、遠・中赤外ディテクタの検出性能に関してそれぞれ図1、図2の通りとした。

**従来検出限界の 10^{-5} 倍強度の音波を検出
超高精度光音響(PAS)センサ
(=検出限界 $10\mu\text{Pa}$)**

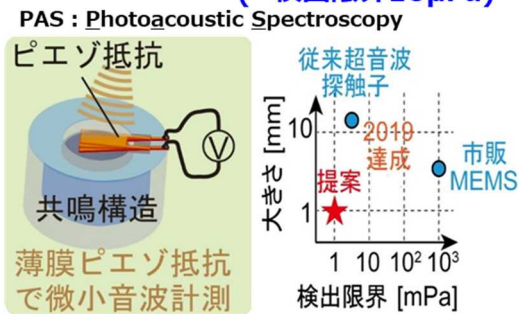


図1 遠赤外ディテクタの検出性能

**従来検出限界の 10^{-3} 倍強度の光を検出
超高精度シリコンフォトディテクタ
(=検出限界 $10\text{pW}/\text{mm}^2$)**

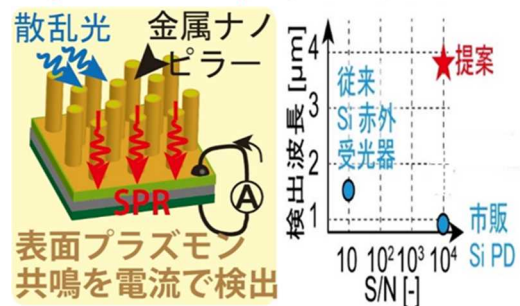


図2 中赤外ディテクタ検出性能

②2023 年度 (フェーズ B 終了時点) の最終目標と根拠

小型化・低消費電力化により検証デバイスを試作、評価を実施し、エビデンスを取得、最終的な製品仕様を固める。また、上記エビデンスを元に行動変容を促進するためのシステムのプロトタイプを構築する。

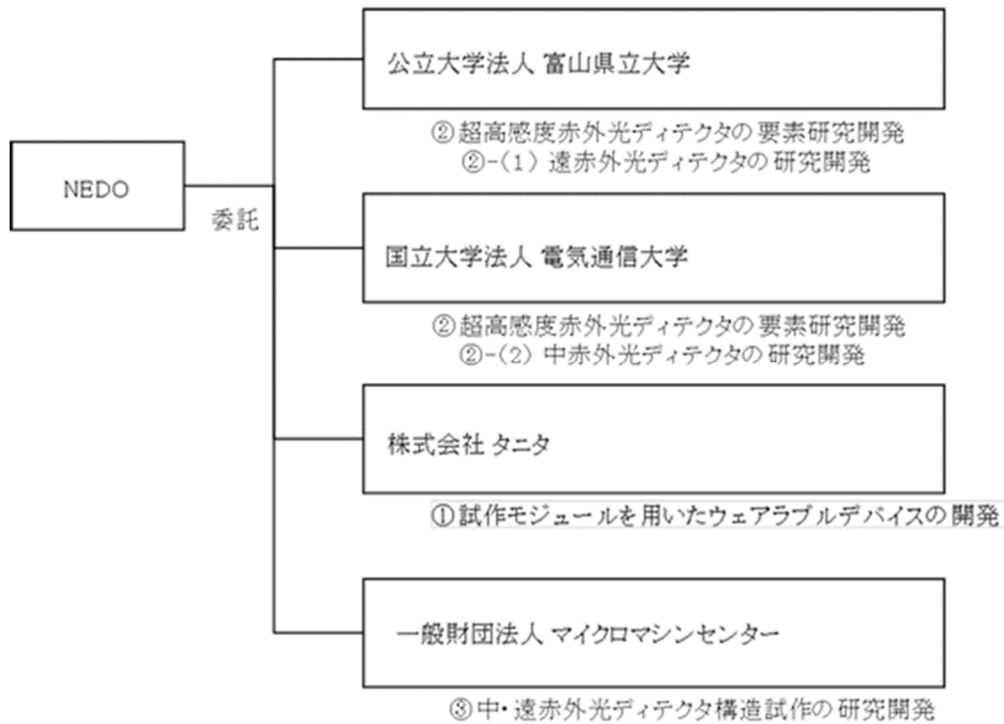
(目標設定根拠) 日常での「行動変容の促進システム」構築に不可欠な要素として生活習慣を数値化するためのエビデンスデータが必要。そのために検証デバイスによる評価を設定した。

(3) 全体計画

2019 年度より着手し要素技術による目標とした高感度ディテクタの基本性能及びデモンストレーション可能な試作機を開発を実施。その成果に基づき昨年度 11 月にステージゲート審査を通過、本年度より助成事業として実用化に向けたディテクタ、検証デバイスとシステム開発を実施予定。

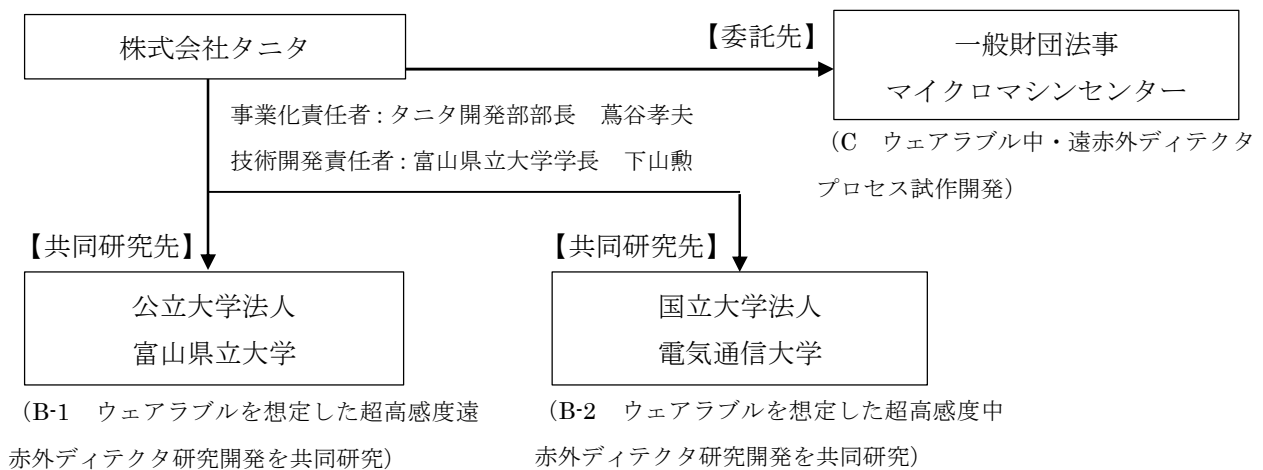
(4) 実施体制

本研究開発は、公立大学法人富山県立大学、国立大学法人電気通信大学、株式会社タニタ、一般財団法人マイクロマシンセンターの4機関の共同研究として進めている。図(4)-1に2019～2021年度委託事業（フェーズA）、図(4)-2に助成事業（フェーズB）の実施体制図を示す。



図(4)-1 委託事業実施体制図

【助成先】



図(4)-2 助成事業実施体制図

(5) 運営管理

本研究開発の目的・目標達成に向けて研究開発の円滑な推進を図るため、進捗管理・調整、技術的課題の検討・対策、知財の有効的な取得ならびにその成果展開等を目的として、技術推進研究会

を設置、原則、月1回実施した。研究開発責任者のもと、各研究者がそれまでの進捗を報告し、中間目標やテーマ終了時目標の達成に向けたそれぞれの研究の進捗や方向性の把握、修正、など研究の進め方についての改善の指示や研究者間の調整を行った。本来の趣旨から対面実施を原則としていたが、2020年度後半からオンラインでおこなった。開催実績を表(5)-1、実際の開催風景を図(5)-1に示す。

毎回研究員全員の出席と適時オブザーバーとしてNEDO材料ナノテクノロジー部の参加が得られ、研究開発責任者の指摘やメンバとの活発な意見交換を行い、課題の取り組み修正や優先順位の整理など研究効率の向上が図られ、その結果として各研究項目の目標達成につながり、ステージゲート合格を実現した。

表(5)-1 技術推進研究会 開催実績

	開催日時	開催場所	参加者数
2019年度 第1回	6月5日(水)	MMC 会議室	13名
第2回	7月17日(水)	AIST 東事業所 NMEMS 棟会議室	16名
第3回	8月21日(水)	オンライン	13名
第4回	9月20日(金)	タニタ会議室	16名
第5回	10月11日(金)	MMC 会議室	15名
第6回	11月15日(金)	オンライン	14名
第7回	12月13日(金)	富山県立大会議室	16名
第8回	1月10日(金)	MMC 会議室	15名
第9回	2月21日(金)	オンライン	12名
2020年度 第1回	4月10日(金)	オンライン	14名
第2回	5月15日(金)	オンライン	14名
第3回	6月12日(金)	オンライン	14名
第4回	7月13日(月)	オンライン	19名
第5回	9月11日(金)	オンライン	14名
第6回	10月9日(金)	オンライン	18名
第7回	11月13日(金)	MMC 会議室	17名
第8回	12月18日(金)	オンライン	14名
第9回	1月22日(金)	オンライン	16名
第10回	2月19日(金)	オンライン	16名
第11回	3月26日(金)	オンライン	12名
2021年度 第1回	4月16日(金)	オンライン	17名
第2回	5月14日(金)	オンライン	16名
第3回	6月18日(金)	オンライン	16名
第4回	7月16日(金)	オンライン	14名
第5回	8月20日(金)	オンライン	11名
第6回	9月13日(金)	オンライン	14名

第7回	10月15日(金)	タニタ会議室	13名
第8回	11月19日(金)	オンライン	16名
第9回	12月17日(金)	オンライン	17名
第10回	1月21日(金)	オンライン	14名
第11回	2月18日(金)	オンライン	12名
第12回	3月18日(金)	オンライン	

MMC：一般財団法人マイクロマシンセンター



図(5)-1 技術推進研究会開催風景

2022年度からの助成事業でも毎月の研究会を実施する。各研究者がそれまでの進捗を報告し、フェーズBの中間目標やテーマ終了時目標の達成に向けたそれぞれの研究の進捗や方向性の把握、修正等、研究の進め方についての改善や研究者間の調整を行うことで、成果の最大化を図る。

(6) 実施の効果

非侵襲計測に必要なと考えられる仕様の決定及び、決定した仕様を満たすセンサの開発が行われ、デモンストレーション可能な計測器を試作でき、十分な成果が得られ、助成事業に移行することができた。

(7) 研究開発成果

(7.1) 中間目標の達成度

実施計画書のテーマ毎に最終目標と研究成果(達成内容)および達成度、要因分析を下記表のように記載する。

研究開発項目	中間目標	研究開発成果	達成度	今後の課題と解決方針
--------	------	--------	-----	------------

①試作モジュールを用いたウェアラブルデバイスの開発	1) センサモジュール評価用光学ファントム標準器の開発	1) Ge 基板上に成膜した各濃度における吸収を反映する標準器を開発完了。	○	
	2) センサ仕様決定	2) 人工膜を用い、非侵襲で生体成分計測するために必要なセンサ仕様を決定完了。	○	
	3) デバイス設計・開発	3) 各機関で開発したセンサを搭載できる光学系を開発。また、押し圧調整治具を開発。	○	
②-(1)遠赤外光ディテクタの研究開発	1) 20 mg/dL 分解能の血糖を計測するための 1mPa 分解能の音響センサ	1) 試作センサによる血糖計測、10 μ Pa 以下の分解能で音響センサの実現	○	
	2) ファントムを用いた血糖変化計測	2) ファントムを用いて 60~200mg/dL 濃度の血糖変化計測を 20mg/dL の分解能で実現	○	
②-(2)中赤外光ディテクタの研究開発	1) 検出波長長波長化：3~4 μ m	1) 4 μ m までの中赤外検出完了	○	
	2) 検出効率の増大と暗電流ノイズ抑制 S/N10 ⁴ 達成	2) 現状性能の外挿により、S/N10 ⁴ の高 S/N の達成を確認	○	
	3) 血中成分検出の確認	3) 標準器の透過検証、疑似血液（イントラリポス）の濃度変化検証完了	○	
③-(1) 遠赤外光ディテクタの構造試作	光音響効果検出可能な数 mm ² サイズの超高感度遠赤外光ディテクタの製造プロセス設計及び試作を、産業技術総合研究所つくば東事業所所有の 8 インチ MEMS 試作ラインを借用し、実施し工程表を策定する。	8 インチウェハを用い、反りの少ない高感度ピエゾ抵抗型片持梁デバイスと共鳴器デバイスの試作を完了し、その 2 つのデバイスの一体型試作を完了。工程フローシートとして纏める。	○	
③-(2) 中赤外光ディテクタの構造試作の研究開発	デバイス背面光入射構造プラズモニックフォトディテクタ（波長帯：3~4 μ m）の製造プロセス設計を完了し、産業技術総合研究所つくば東事業所所有の 8 インチ MEMS 試作ラインを借用し、実施し工程表を策定する。	高感度化に向けた背面照射と低障壁化を実現したシリサイドショットキー電極ナノアレイ構造の製造プロセス設計を完了し、再現性の高いデバイス試作を完了。工程フローシートとして纏める。	○	

◎：大きく上回って達成（特筆した成果を記載）

○：達成（成果を記載）

△：概ね達成（成果と未達ともに記載）

×：未達（未達理由について記載）

(7.2) 研究開発の成果と意義

① 試作モジュールを用いたウェアラブルデバイスの開発

①-① 目標

血中成分を非侵襲に計測するデバイス構築に向け、模擬皮膚等を用いたファントム：以下生体ファントムを用いて標準評価試料（標準器）の仕様を決定し、標準器（光学フィルタを用いたファントム：光学ファントム）の作製を行う。模擬皮膚、人工膜、模擬血液による試作モジュールの基礎的な評価を実施する。各機関で開発したセンサを搭載できる高額計を開発し、評価を行う。モジュールの評価結果を解析し、センサ（遠赤外光ディテクタ、中赤外光ディテクタ）の仕様を決定し、全体的なデバイス設計を行い、デモンストレーションが可能な試作機を作製する。

①-② センサモジュール評価用光学ファントム標準器の開発

模擬皮膚として培養皮膚細胞を用いて細胞液中に含まれるグルコース及び中性脂質の濃度変化について FT-IR ATR 測定を行い、その結果を元に更に単純な系として人工膜であるコラーゲンビドリゲルと模擬血液の組合せによる評価を行い、光及び光音響特性に影響しない点を削ぎ、簡略化することで光学ファントムに必要な仕様を決定した。決定した仕様を元に Ge 基板上に各成分の各濃度における吸収を反映した光学ファントム標準器（図①-1）を開発した。

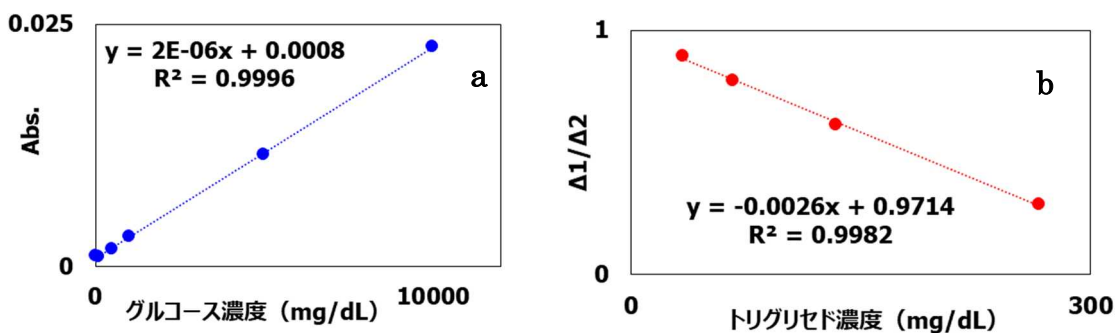


図①-1 開発した光学ファントム標準器

(a グルコース用、b 中性脂質（トリグリセリド）用)

①-③ センサ仕様の決定

グルコース及び中性脂質（トリグリセリド）について FT-IR ATR 測定を行い、また培養皮膚細胞の FT-IR ATR 測定から皮膚による吸収を予測し、測定対象の測定波長を決定した。また、コラーゲンビドリゲルを用いて各濃度における吸収を FT-IR ATR 測定によって算出し、グルコース、中性脂質

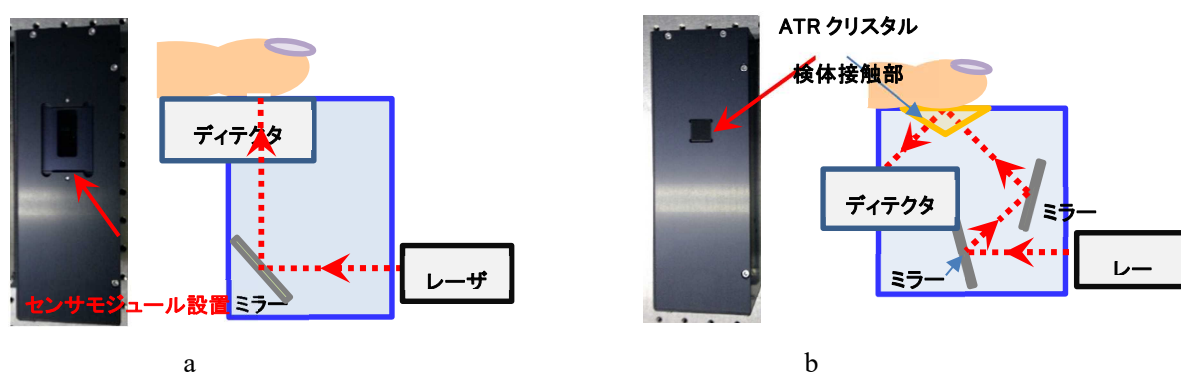


図①-2 各成分による検量線 (a グルコース、b 中性脂質(トリグリセリド))

それぞれの検量線を作成し（図①-2）、非侵襲で生体成分を計測するために必要なセンサ仕様を決定した。なお中性脂質の検量線は水の吸収帯に被るため、前後の吸光度と測定対象の吸光度の差分の比を取って検量線としたところ、良好な相関性を示したことから、これを採用した。

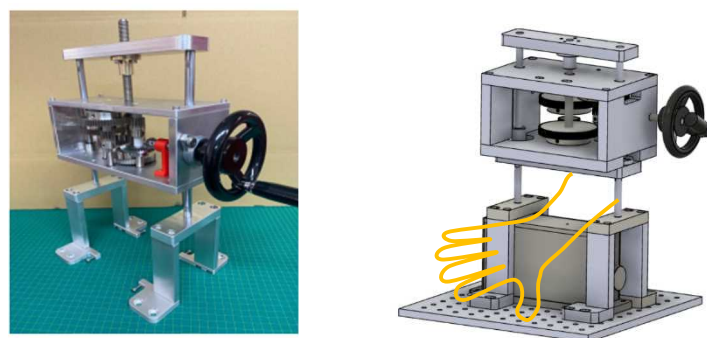
①-4) デバイス設計・開発

各機関で開発したセンサを搭載できる光学系を開発した（図①-3）。グルコース計測は直接光を検体に当てられるような光学系として設計し、中性脂質計測では、ATR クリスタルを配置し、FT-IR ATR 測定と同様の光学系とした。各センサを設置し、コラーゲンビドリゲルによる評価を開始し、センサ応答を確認した。



図①-3 開発した光学系 (a グルコース用、b 中性脂質 (トリグリセリド) 用)

また、実検体を押し当てる際の圧力調整を行うための治具を開発（図①-4）し、ヒト実検体を評価するための準備が完了した。



図①-4 押し圧調整治具

①-5) まとめと成果の意義

ヒト実検体を計測するために必要なセンサの感度等を明確にすることができ、センサを評価するための光学標準器を提示することができた。各機関によるセンサ開発において、標準器を用いることでヒト実検体を測定するために必要と考えられる感度を達成することができた。また、各機関で開発中のセンサを組み込んだ実検体を測定するためのデモ機を開発することができた（光源からセンサまでの光学系の開発、実検体を押し当てる際の圧力調整を行う治具の開発、光学系で使用するためのバンドパスフィルタ等の開発、研究機関の評価系と同じ評価系の構築）。さらに、センサ

の評価ではヒト検体に近いファントム（コラーゲンビドリゲル）を用いた評価系を確立し、各研究機関と共有化することができた。この成果は、これまで生体中のグルコース及び、中性脂質を非侵襲に計測し、且つウェアラブル化が可能な大きさのセンサを開発することが困難であったことから、その課題を解決できる見込みが立った事の意義は極めて大きい。

② 超高感度赤外光ディテクタの要素研究開発

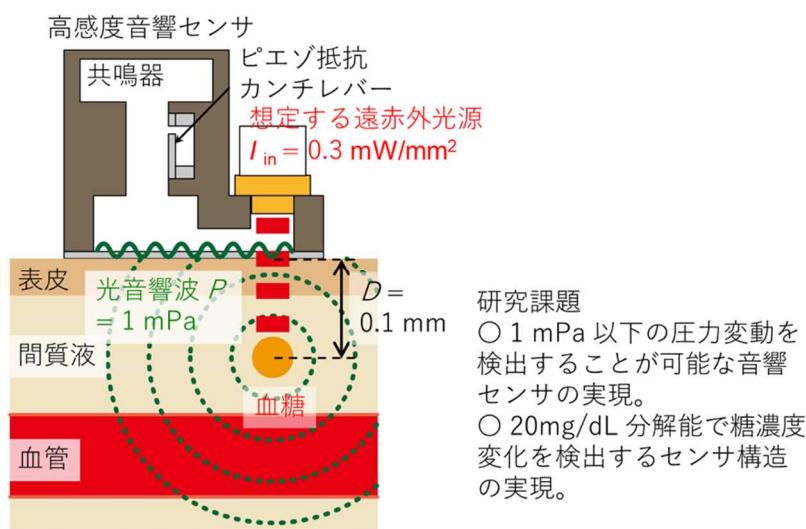
②-(1) 遠赤外光ディテクタの研究開発

②-(1)-(1) 目標

血糖（グルコース）は遠赤外領域で強い光吸収を示すことが知られている。この波長帯で機能する超高感度遠赤外光ディテクタとして、物質が光を吸収した際に生じる光音響波を計測することが可能な高感度音響センサの研究開発を進め、この音響センサを用いた超高感度遠赤外ディテクタを用いて健康モニタリングに必要となる 20 mg/dL のグルコース濃度変化を非接触に計測することが可能なディテクタを実現することを目標とした。

②-(1)-(2) 遠赤外ディテクタの概念図

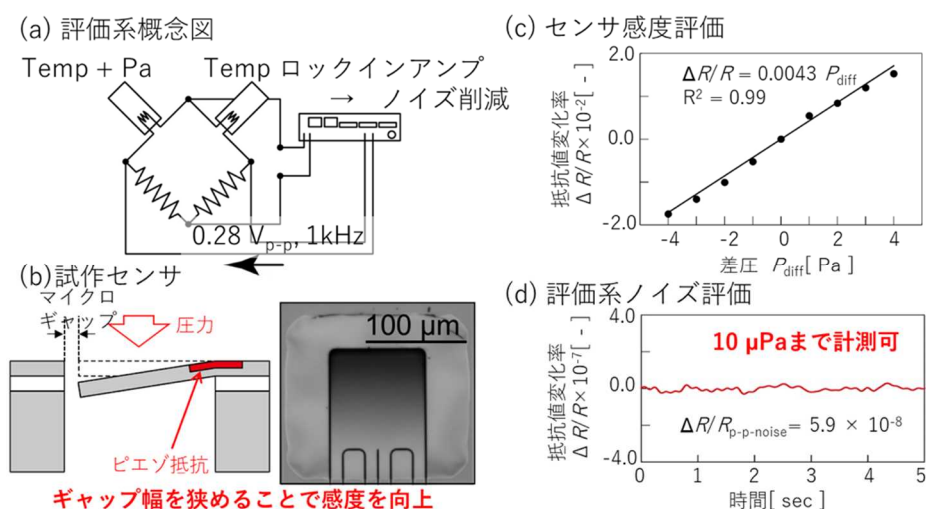
本研究では、 20 mg/dL 分解能の血糖の濃度変化を検出可能な遠赤外ディテクタを実現するため、光音響法を用いた血糖の計測系を提案した。提案する光音響法を用いた遠赤外ディテクタの概念図を図②-(1)-1に示す。このディテクタでは、人の健康状態を把握するために必要な 80 mg/dL 以上のレンジで、 20 mg/dL 分解能の血糖濃度変化が生じた際に発生する光音響波の強度を理論的に解析し、 20 mg/dL の濃度変化をとらえるためには 1 mPa 以下の音波を計測することが可能な音響センサ素子が必要となることを確認した。またディテクタを身に着けることを想定し、 1 mm 以下のサイズが必要となることを確認した。これらの理論的な検証結果をもとに、本研究目標を達成するため、 1 mm 以下のサイズで 1 mPa 以下の音波をとらえることが可能な超高感度音響センサが必要となることを確認した。



図②-(1)-1 遠赤外光ディテクタの研究開発取り組み概要

②-(1)-(3) 超高感度音響センサの試作・評価

理論的な検証をもとに、設計・試作した超高感度音響センサを図②-(1)-2に示す。センサチップの試作はMMC MNOIC チームにて行い、シリコンピエゾ抵抗を利用した片持ち梁状構造を実現した。このセンサに対して差圧を加えた時の抵抗値変化率を計測し、感度を算出した結果は図②-(1)-2(c)に示す。この結果が示す通り、センサの感度は、 0.0043 Pa^{-1} であった。またロックインアンプを通して本研究で利用した計測系の最小ノイズ成分を計測したところ、ノイズ大きさは $5.9 \times 10^{-8} [-]$ となることがわかり、センサ感度と比較すると $10 \mu\text{Pa}$ までの圧力差を検出できることを確認した。

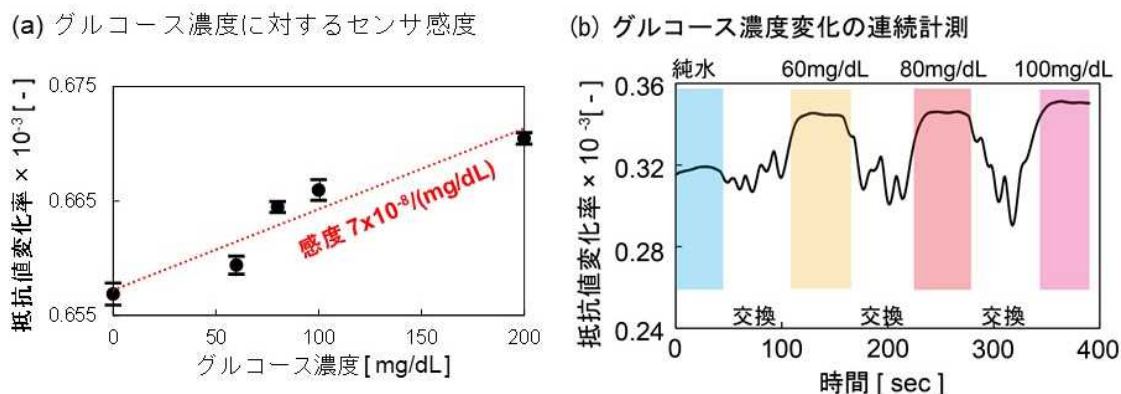


図②-(1)-2 超高感度音響センサの性能評価

②-(1)-(4) 光音響効果を用いた遠赤外ディテクタの試作・評価

超高感度音響センサ素子を利用し、光音響波を計測するセンサ構造を試作した。試作したセンサでは、光源として QCL を用いたレーザー発振器を利用して計測対象に遠赤外光を照射し、計測対象で生じた振動を計測した。この振動によって発生した圧力変化を音響センサで計測することで、発生した光音響波の強度を計測することが可能となる。

試作した光音響センサを用いて、濃度 60、80、100、200 mg/dL 濃度のグルコース溶液に対して遠赤外光を照射したときに発生した光音響波を計測した結果を図②-(1)-3に示す。この計測結果から、試作した光音響センサを用いることで、グルコース溶液の濃度を検出下限 60 mg/dL、分解能 20 mg/dL で計測できることを確認した。この計測最小値、分解能は、人の血糖を計測・評価し、健康状態を把握するために必要十分な数値であり、現在、市販されている医療機器と同程度の性能を有していることから、人の健康状態を把握し、常時モニタリングするために十分な性能を発揮できることが期待できる。この高感度遠赤外光音響センサ構造に関しては、提案する非侵襲血圧センサの基幹技術・構造として知財申請を行った。



図②-(1)-3 試作光音響波計測センサを用いた濃度計測

3-②-(1)-(5) まとめと成果の意義

本研究項目では、音響センサの超高感度化によって血糖に対して遠赤外光を照射した際に発生する微小音波をとらえることが可能な超高感度赤外ディテクタを提案・実現することによって、当初目標通り、**20mg/dL** 分解能でグルコースの濃度変化を非接触に計測することが可能な超高感度遠赤外ディテクタを実現した。試作したディテクタを用いてグルコース溶液の濃度変化を実測した結果から、提案・試作したディテクタが人の健康状態を非侵襲に計測・モニタリングするためのウェアラブルセンサを実現するための要素を確立できたことを示した。

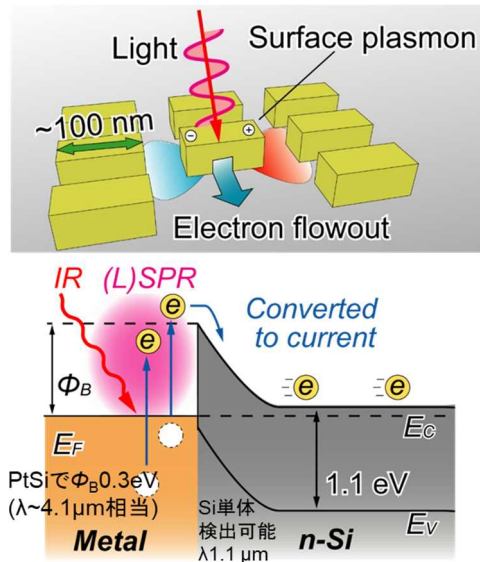
②-(2) 中赤外光ディテクタの研究開発

②-(2)-(1) 目標

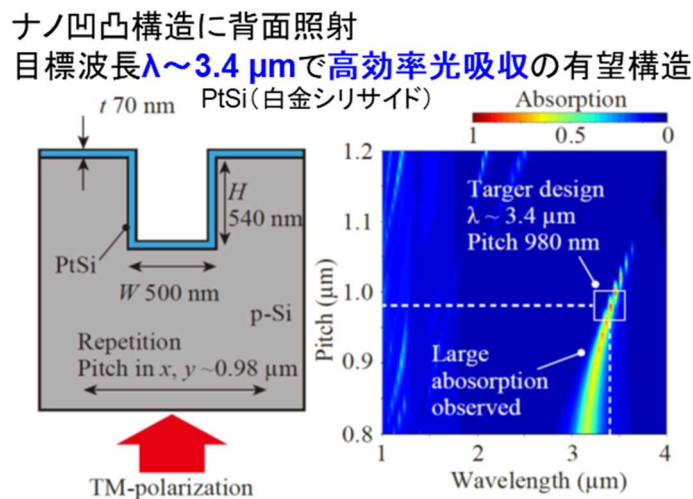
脂肪分の代表的な成分の一つであるコレステロールは中赤外光を特異的に吸収する。そこで本提案では、中赤外光（波長 3~4 μm ）を広範囲に照射し、範囲内のコレステロール密度の平均を算出することで血中コレステロール濃度変化を検出可能とするシリコン製のプラズモニクフォトディテクタの研究開発を行った。デバイス背面からの光入射とショットキーの低障壁化、障壁面積の低下による低ノイズ化、そして検出回路による高 S/N 化の検証を行う。従来のショットキー型赤外線検出器は、室温帯では波長 1.5 μm 程度にとどまり、S/N も低かった（S/N 10 程度）。本課題で、背面照射、障壁低下、及び暗電流を低減させることにより、S/N 10⁴の達成を目標とした。さらに、検出波長を 3~4 μm への長波長化を目標とした。また、取り組み途上で複数波長に対する応答検証をすることが中赤外の血中成分検出において必須とわかったので、複数波長に対する応答感度の詳細評価についても評価を進めることとした。

②-(2)-(2) 中赤外光ディテクタの概念図

中赤外光ディテクタの概要図を図②-(2)-1 及び図②-(2)-2 に示す。中赤外光をシリコン製のデバイスで検出するために、まずプラズモニクアンテナ構造により、入射した中赤外光を効率よく吸収する構成をとった。さらに、吸収した光エネルギーを電流として計測するために、金属とシリコンの界面に形成されるショットキー障壁を利用した。光エネルギーにより生じた表面プラズモン共鳴により、金属中の自由電子が励起される。その自由電子が障壁を乗り越えることにより、電流が発生するので、それを計測することで光検出を行う。



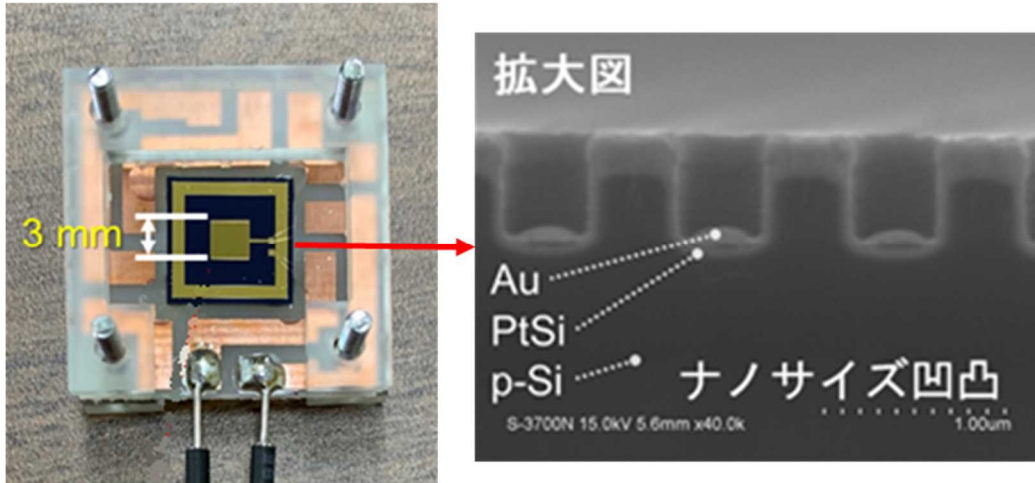
図②-(2)-1 中赤外光ディテクタの研究開発取り組み概要



図②-(2)-2 中赤外光ディテクタの研究開発取り組み概要

②-(2)-(3) 中赤外光ディテクタの試作・評価

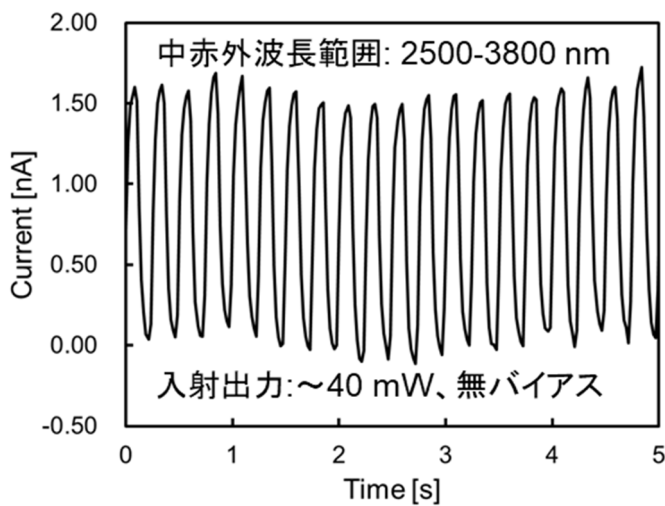
センサを高感度化するために、デバイス背面からの光入射とショットキーの低障壁化、障壁面積の低下による低ノイズ化、そして検出回路による高 S/N 化の検証を行った。ショットキーの低障壁化を実現するために、P 型シリコン基板上に PtSi（白金シリサイド）を成膜し、0.3 eV 程度の低ショットキー障壁を実現した。これにより、ターゲット波長域を原理的には計測可能となる。さらに、光の吸収と光電変換の効率を高めるために、PtSi/p-Si 界面にナノサイズの凹凸構造を形成し、光吸収効率向上を図った。Rigorous-Coupled Wave Analysis（RCWA）法による解析結果は図②-(2)-2 に示した。このナノ凹凸構造に対して、シリコン側から光を入射することにより、高い効率で PtSi/p-Si 界面に吸収された光が、その場にあるショットキー障壁で電流に変換されるので、光電変換の効率を高めることができることがわかった。また、センサ面積の低下により暗電流ノイズが低下することを別途確認した。試作したデバイスを図②-(2)-3 に示す。



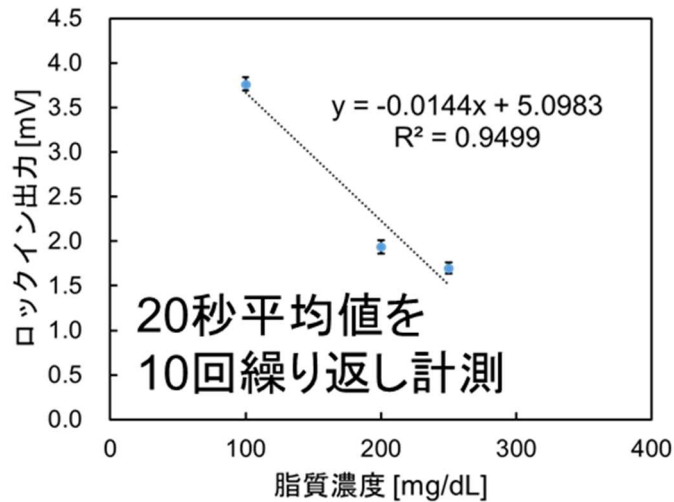
図②-(2)-3 試作中赤外ディテクタの構造

②-(2)-(4) 中赤外光ディテクタの光検出性能、及び、血中成分検出評価

中赤外光照射の結果から、試作したデバイスにより中赤外光の検出が可能であることがわかった。図②-(2)-4 にレーザを ON/OFF した時の応答を示す。これらの結果、従来のショットキー型赤外線検出器は、室温帯では波長 $1.5 \mu\text{m}$ 程度にとどまり、S/N も低かった (S/N 10 程度) が、検出回路を組み合わせた本成果により、S/N 10^4 の達成が可能であることがわかった。この開発した中赤外光ディテクタを利用することにより、脂質溶液の濃度を、分散水溶液からの透過強度から判別可能であることがわかった。一例として、図②-(2)-5 に標準器を用いた際の応答を示す。



図②-(2)-4 試作中赤外ディテクタの光応答



図②-(2)-5 脂質応答を模擬した標準器の設定脂質濃度と光応答出力の関係

②-(2)-(5) まとめと成果の意義

以上により、研究開始時点に設定した目標を、本研究開発により達成できたと言える。実用化に向けて、今後はセンサの S/N のさらなる向上、及び、ドリフトなどの長期間にわたる出力安定性の評価を進めていく予定である。

Si 製で中赤外領域に感度を持ち、かつ、室温で動作可能な光ディテクタを実現 Si 単体では赤外線に対する感度は有しないが、低障壁ショットキーを Si 上に形成することで、CMOS プロセスとコンパクトな方法で中赤外感度を実現することに成功した。さらに、表面プラズモン共鳴を活用した光吸収構造を形成することにより検出効率を上げ、室温での測定が可能となった。これまでに、シリコン製で安価に実現可能な中赤外線を検出できる量子型ディテクタを実現することは難しく、広く波及効果のある技術開発ができたといえ、十分な研究開発の意義を得られた。

③中・遠赤外光ディテクタ構造試作研究開発

③-(1) 遠赤外光ディテクタ構造試作

③-(1)-(1) 目標

光音響効果検出可能な数 mm^2 サイズの超高感度遠赤外光ディテクタの製造プロセス設計及び試作を、産業技術総合研究所つくば東事業所所有の 8 インチ MEMS 試作ラインを借用し、試作を実施し工程表を策定する。

③-(1)-(2) 概要

1 次試作として、カンチレバーの高感度化設計に基づいた超極薄レバーにマッチした反りの少ない高感度ピエゾ抵抗形成試作を実施した。具体的には、抵抗体 TEG マスク設計及び試作、評価を実施した。

2 次試作では、共鳴による増幅率が従来デバイスの 10 倍程度となる超狭ギャップカンチレバーの特性にダメージの無い、共鳴 Si 構造体の一体化技術を中心に、気中共鳴 Si 構造一体化技術を検討し、一体化接合に関する試作、評価を実施した。

3次試作として、Si 共鳴器の最適化とウェアラブルデバイス搭載した気中 Si 構造一体型ピエゾ抵抗カンチレバー試作を実施し、想定されるヒトを対象とした評価に対応できるよう国内初の 8 インチ MEMS 試作プロセスを用いた遠赤外光ディテクタの加工工程表を作ることにより加工法を確立した。また、ファントム計測系評価用途に全工程を通した試作、評価を実施した。

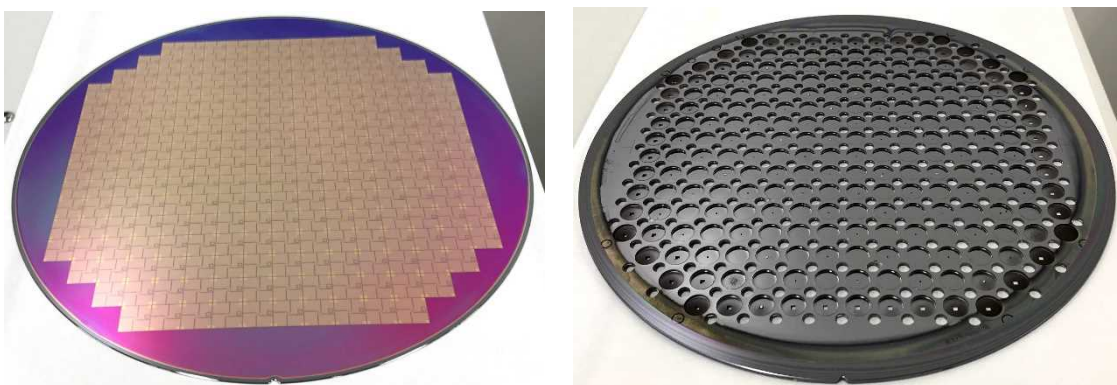
③-(1)-(3) 内容

超高感度遠赤外光ディテクタのセンサ部となる高感度ピエゾ抵抗カンチレバーと音響効果を拡大する共鳴構造の試作開発を進めた。

高感度化のために、カンチレバーのばね定数を低減した Si 厚が 80nm と薄いカンチレバーを形成し、90%以上の高歩留りで形成できることを確認した。一方その際、レバー端部において数 μm 以上のカンチレバーの反りが発生した。反りは、3次元的なカンチレバーの構造体との間のギャップの拡大につながり、音響エネルギーのロスを生じる。そのため、そりを低減するために原因を調査し、基材の SOI 基板の加工条件による残留応力であることが分かった。そこで極低速度で酸化膜を成膜し、そりを低減する加工法を開発した。さらに、高感度化をめざし 80nm Si 厚から 50nm に薄化したカンチレバーの開発を行い、形状歩留りは 90%以上で加工できることを確認した。

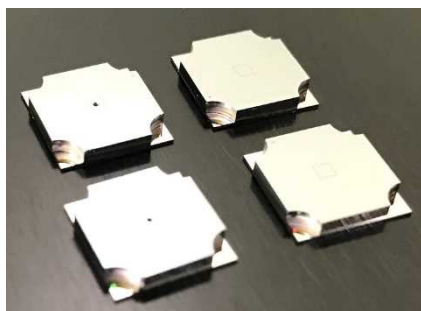
一般的なピエゾ抵抗センサの課題として温度による抵抗値の変化による、温度ドリフト現象がある。この温度抵抗による変動は、レファレンス抵抗によるブリッジ回路を形成することにより回避低減されるが、この現象をさらに改善するには、ピエゾ抵抗の温度変化を小さくすることが、重要である。一方、ピエゾ抵抗の温度変化は、不純物濃度に依存して、最小となるところがあることが知られている。そこで、ピエゾ抵抗の不純物濃度を高精度に調整し、TCR 特性が 100ppm/K 以下である濃度領域、加工条件を見出すことが出来た。

音響センサは共鳴器をつけることにより、より高感度センサとなる。そこで、Si 深掘り加工法と基板レベルの接合加工法を駆使して、富山県立大で設計された Si 共鳴構造体を加工し、カンチレバーセンサと基板レベルで一体化する加工法の開発を行った。図③-(1)-1、2 に、8 インチウェハレベルで試作した超高感度カンチレバーデバイス(左)と 共鳴器(右)と一体化デバイスの外観写真を示す



図③-(1)-1

8 インチウェハレベルで試作した
超高感度カンチレバーデバイス(左)と 共鳴器



図③-(1)-2

共鳴器を一体化した、
超高感度カンチレバーデバイス

③-(1)-(4) まとめと成果の意義

光音響効果検出可能な数 mm^2 以下のサイズの超高感度遠赤外光ディテクタの製造プロセス設計及び試作を、産業技術総合研究所つくば東事業所所有の8インチMEMS試作ラインを借用し実施し、工程表を策定した。

中赤外ディテクタ向けセンサは、様々なセンサに応用可能な超高感度ピエゾカンチレバーであり、その実用化に向けた加工技術開発した。またその過程で、ナノ構造の脆弱な構造体を有するウエハのハンドリング、加工処理技術を獲得した。

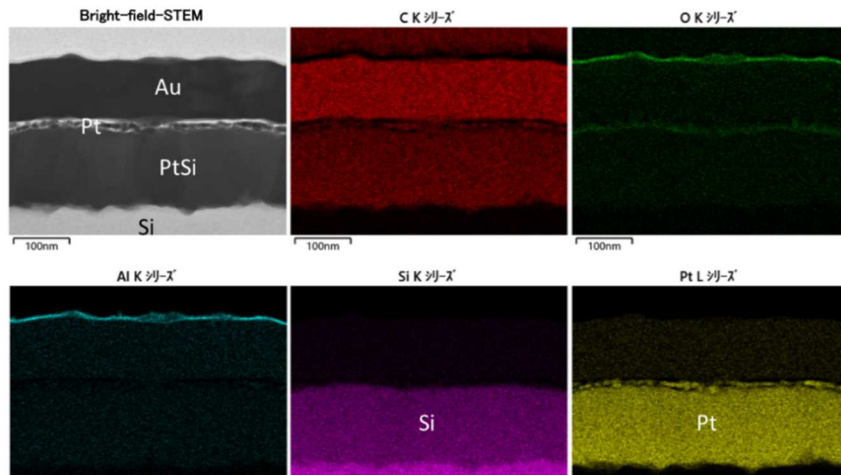
③-(2) 中赤外光ディテクタ構造試作

③-(2)-(1) 目標

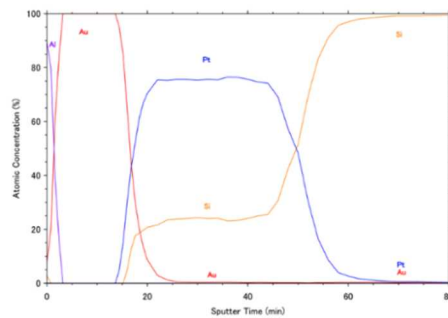
目標デバイス背面光入射構造プラズモニクシリコンフォトディテクタ（波長帯：3~4 μm ）の製造プロセス設計を産業技術総合研究所つくば東事業所にある8インチMEMS試作ラインを用いて実施し、加工工程表を策定する。

③-(2)-(2) 高感度化に向けた要素検討

中赤外光ディテクタの課題である高感度化に向けて低ショットキー障壁高さの実現のために界面構造の作製技術の最適化に取り組んだ。金属薄膜が形成されたSi基板を熱処理することによりシリサイドを形成し、その断面構造解析とショットキーダイオードの電気特性を評価することにより所望の界面形成を検証した。シリサイド化する金属はTiやMoなども検討した結果、Ptを選択した。Ptを薄くスパッタ成膜した後に窒素雰囲気中の熱処理を実施してPtがシリサイド化することを確認した。実際にシリサイド化した界面を断面TEM解析（図③-(2)-1）とXPSによる深さ方向分析（図③-(2)-2）により確認した。

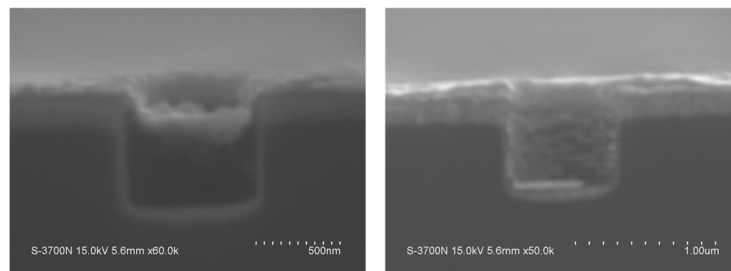


図③-(2)-1 断面 TEM による解析結果

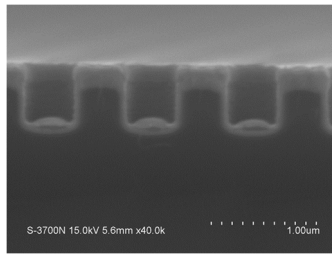


図③-(2)-2 XPS による深さ方向解析

次に表面プラズモン共鳴にて電流を検出するためにはナノホール構造の側壁および底面にシリサイド化を形成する必要がありスパッタ条件を検討した。圧力を高くして成膜レートを下げることによってナノホールに沿って Pt が形成出来ることがわかり、表面形成と同様にシリサイド化出来ることがわかった。しかし電極材料となる Au スパッタは断面 SEM 観察による図③-(2)-3 のようにナノホール構造内に形成されにくいことがわかった。この問題を解決するためにさらに Au スパッタ条件を更に検討し、極低成膜レートに変更する事で図③-(2)-4 のようにナノホール構造内に形成されることを見出した。

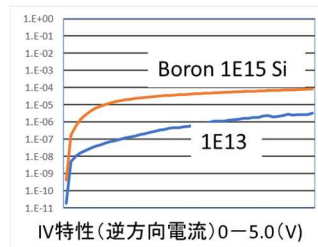


図③-(2)-3 Au がホール内に形成されていない断面 SEM 画像



図③-(2)-4 側壁底部に Au が形成された断面 SEM 画像

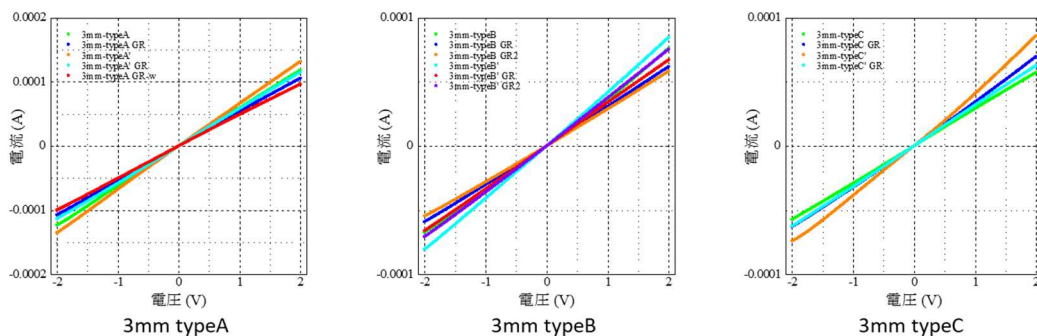
次に Si 基板の不純物濃度による実効的なショットキー障壁高さの変調効果を調べるために基板濃度の異なる基板を用意して Pt シリサイド化実験を行い、不純物濃度と電気的特性の相関を検討した。図③-(2)-5 に示すように基板濃度が低い高抵抗基板のほうが逆方向電流は低くなっており、不純物濃度が低い Si 基板を使用することで暗電流を低減出来ることがわかった。試作に使用する Si 基板の不純物濃度は更に低いものを調達して実施することとした。



図③-(2)-5 基板濃度の違いによる逆方向電流特性

③-(2)-(3) デバイス試作と評価

要素検討事項を踏まえて電気通信大学の研究成果に基づいたデバイス背面光入射構造プラズモニクシリコンフォトディテクタのプロセス設計を行った。要素検討デバイス試作の結果も考慮して 10×10mm サイズは維持し、シリサイドショットキー電極ナノアレイデバイスを作製した。基板コンタクト部や電極取り出しパッドの配置を考慮したプロセスフローを検討し、シリサイドメタル形成手法などを改善することで再現性よくデバイス作製出来るプロセス開発を行った。Pt シリサイド厚を制御することで低ショットキー障壁高さを実現させた。さらに暗電流特性を改善するために基板コンタクトとシリサイドショットキー電極ナノアレイ構造の間に n 層となるガードリング構造を形成し、ガードリング形成の有無による電流低下を図③-(2)-6 に示すように確認した。



図③-(2)-6 ガードリング形成有無による電気特性評価比較

③-(2)-(4) まとめと成果の意義

デバイス背面光入射構造プラズモニックシリコンフォトディテクタ（波長帯：3～4 μm）の製造プロセス設計を産業技術総合研究所つくば東事業所にある8インチMEMS試作ラインを用いて実施した。高感度化に向けた要素検討を実施し、シリサイドショットキー電極ナノアレイ構造と高濃度Si基板の使用により室温でも光応答特性が得られるデバイスを作製することができ、電通大菅先生にお渡しすることが出来た。加工工程表を策定し、検討開発したプロセスフローによるデバイス開発は複数回試作を進めてもほぼ同じ特性が得られており、再現性が高いことも確認した。

本研究開発でサブミクロンのサイズの微小構造体加工技術を獲得するとともに、その過程で、他デバイスへも応用可能なショットキーダイオードの低暗電流構造、微小領域に選択的なメタル成膜技術等を獲得した。

(8) 成果の最終目標の達成可能性

研究開発項目	最終目標 (2023年度)	達成見通し
A 検証デバイス及び行動変容を促すためのシステム開発	助成期間に開発する計測器によるウェアラブル化に向けたセンサ仕様の決定、今後の開発計画の策定。	試作器を基に卓上型測定装置を開発し、試験を行うため、目標達成は可能。
B-1 ウェアラブルを想定した超高感度遠赤外ディテクタ研究開発	人・標準器と安定して接触し、音響波を計測するシステムの実現	基礎原理、小型化の検討は完了しており、目標達成可能
B-2 ウェアラブルを想定した超高感度中赤外光ディテクタ研究開発	ウェアラブルへの適用検証可能なサイズへの遠赤外光ディテクタの小型化	光源の小型化と検出光学系の小型化により実現をはかる
C-1 ウェアラブル遠赤外（波長帯：約10 μm）ディテクタプロセス試作開発	気中共鳴Si構造一体型ピエゾ抵抗型片持ち梁ディテクタの基準試作を完了し、試作品を関係部署への提供を環遂。	より特性が安定化したピエゾ片持ち梁実現のための加工基準を定め、繰り返し試作を実施することにより達成
C-2 ウェアラブル中赤外（波長帯：3～4 μm）ディテクタプロセス試作開発	シリサイドショットキー電極ナノホールアレイ構造ディテクタの基準試作を完了し、試作品を関係部署への提供を環遂。	ディテクタ特性をさらに改善するとともに、加工基準をさだめ、繰り返し試作を実施することにより達成

(9) 成果の普及

2019年度から2021年度の委託事業において、学会発表、講演等の成果の普及を積極的に行った。

表 論文、外部発表等の件数（内訳） 【2022年3月末現在】

年度	論文		その他外部発表				受賞実績
	査読付き	その他	学会発表・講演	新聞・雑誌等への掲載	展示会への出展	その他	
2019		1	6	2	4		
2020	1		5	1	2		
2021	3		8	1	3		
合計	4	1	19	4	9		

本研究開発概要と成果を情報発信するために、2020年度（2020年12月9～11日、@東京ビッグサイト西ホール）および2021年度（2022年1月26～28日、@東京ビッグサイト東ホール）に開催されたNanotech展NEDOブースに出展した。また、Nanotech展同時開催で行われたMEMSセンシング&ネットワークシステム展のシンポジウムに、研究開発概要と成果の講演を実施した。2019年度（2020年1月29日）は研究開発責任者下山勲富山県立大学学長が、2020年度（2020年12月10日）はコロナウィルスの影響を踏まえ研究員である菅電気通信大学准教授が代理で、2021年度（2022年1月27日）は同様な影響から研究員である菅電気通信大学准教授と葛谷タニタ開発部長が代理で講演を行なった。

(10) 知的財産権などの確保に向けた取り組み

各機関により特許知財の積極的出願を実施。特に基本特許の取得に注力した。

表 特許の件数（内訳） 【2022年3月末現在】

年度	特許出願		
	国内	外国	PCT
2019	0	0	0
2020	0	0	0
2021	5	0	0
PJ期間 合計	5	0	0

4. 事業化・実用化に向けた取組及び見通し

(1) 実用化に向けた戦略

研究機関向け計測装置による試験を実施。結果を反映し、より小型な計測装置を開発。また、試験結果を基に行動変容システムの開発を進め、計測装置上市時にサービスとして展開できるようにする。さらに、小型化を進め、最終的にはウェアラブル型計測装置を開発し、ヘルスケアサービスの充実を図る。

(2) 実用化に向けた具体的取組

助成事業期間に計測装置の開発を行う。助成事業終了後も試験を継続する。装置の小型化を進め、計測装置の上市に合わせ、行動変容システムの開発を進める。最終的にはウェアラブル型の上市を目指す。

(3) 成果の実用化の見通し

少子高齢化に伴い医療費や社会福祉費の増加、これによる財政の逼迫が問題となっている。このように歳入の減少と医療費の増加による財政の破綻の可能性は以前から指摘されており、問題を解消するために政府の方針として医療費の削減を進めようとしている。医療費の削減は、未病の段階で疾病の予兆を発見し、自己解決することで疾病に至らせないことが肝要である。本プロジェクトでは、食事による血液中成分の変化をモニタリングするデバイスの開発を行うことで疾病を引き起こす原因の一つである生活習慣病の予防に役立てることができ、且つ計測するだけでなく、計測した結果から生活習慣の改善に繋がるサービスを提供することができる。

(4) 波及効果

これまでに非侵襲での血中成分モニタリングデバイスは存在しておらず、食事による影響を明確に提示できるものが存在しなかったが、これらの情報を取得することにより、未病の状態をいち早く把握することが可能となる。未病状態の把握は、ユーザー個人の行動変容によって健康な状態に戻ることができるため、医療費の削減、健康寿命の増進につなげることができ、大きなメリットとなる。

別添 2

研究開発項目①

薄膜ナノ増強蛍光による経皮ガス成分の超高感度バイオ計測端末の開発

国立大学法人東京医科歯科大学

技術研究組合 NMEMS 技術研究機構

3.2 研究開発項目毎の成果及び実用化

(1) 背景と目的

癌のみならず、生体からは疾病や代謝に伴う揮発性化学成分が発生し、疾患部位や血液にて濃度が増加するとともに、その極少量が生体ガス（呼気、皮膚ガス）として体外に放出されている。これら成分には、すでに発生メカニズムが解明され、疾病や代謝との関係が明らかなものも多く、疾病検査や早期診断に有効な揮発性バイオマーカーであり、非侵襲に評価することにより新たな健康 IoT 社会を構築することが熱望されている。

薄膜ナノ増強蛍光と気相バイオセンシング技術を融合した超高感度ガス計測デバイスを開発し、通信機能を有する IoT 小型ウェアラブル計測端末とすることで、血液から皮膚表面に透過拡散する極低濃度の揮発性ガス成分の高感度かつ連続的な IoT 計測を実現することを目的とする。

(2) 位置づけ、目標値

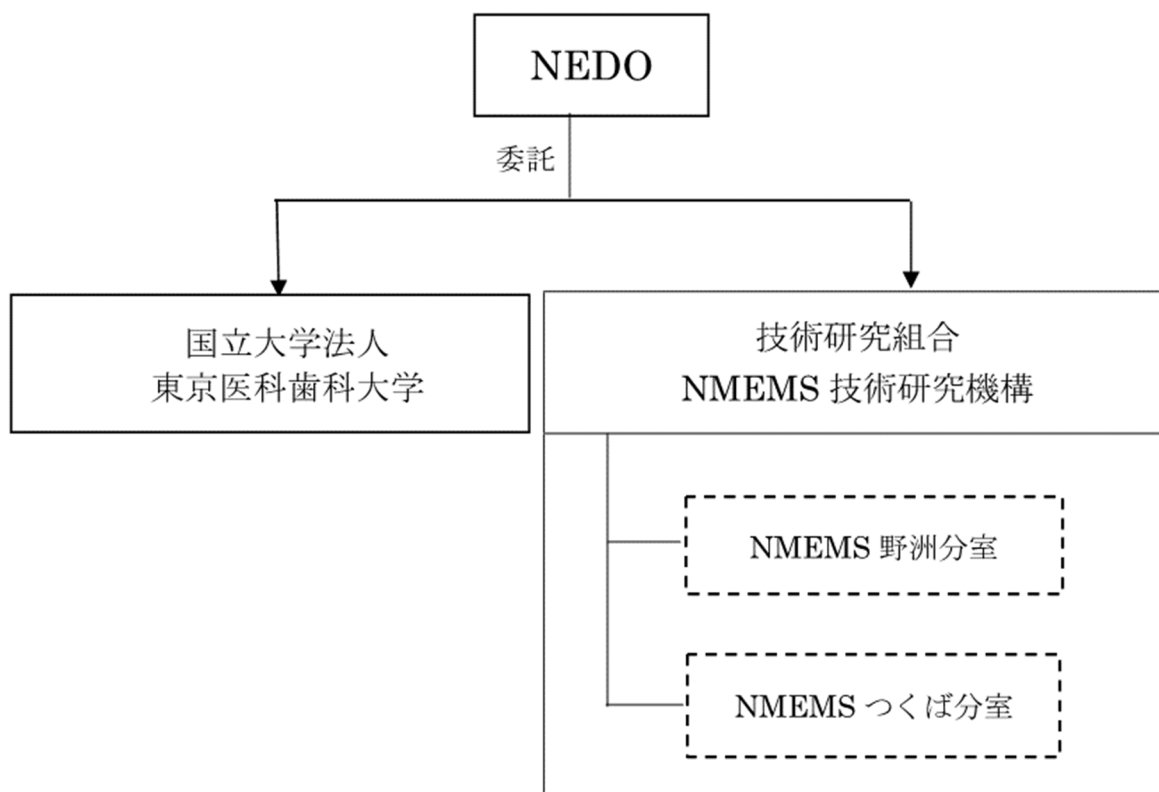
本プロジェクトでは、経皮ガス成分の超高感度バイオ計測端末を開発するため、①アセトンガス用の超高感度ガス計測デバイスと②極低濃度ガス発生・評価系を作製し、デバイス評価を行うことで、③小型ウェアラブル計測端末の動作モデルの構築を行う。①アセトンガス用の超高感度ガス計測デバイスとして、①a.蛍光出力増幅のための「ナノ光学系（薄膜ナノ光学構造）」を設計・構築する。また選択的な連続計測を実現するために、①b.気相成分をバイオ蛍光に誘導する「気液バイオ反応系」を、蛍光出力に誘導する酵素反応、酵素固定化膜用の最適材料、そして気液マイクロ流路の設計・開発を行い、両者（①a と b）を融合することで、①超高感度ガス計測デバイスを構築する。またデバイス性能の校正及び評価について、開発する超高感度ガス計測デバイスの性能を評価するための②極低濃度ガス発生・評価系を構築する。そして②極低濃度ガス発生・評価系を用いて、①超高感度ガス計測デバイスの性能を評価する。小型かつ装着性に対して、③では小型ウェアラブル計測端末の動作モデルの構築を行う。また、本動作モデル（サイズ：1000 cm³以下）の開発を基に、実用化に向けた課題と対策を抽出する。

(3) 全体計画

事業項目	2019年度				2020年度				2021年度				
	第1 四半期	第2 四半期	第3 四半期	第4 四半期	第1 四半期	第2 四半期	第3 四半期	第4 四半期	第1 四半期	第2 四半期	第3 四半期	第4 四半期	
<p>①皮膚アセトン用超高感度ガス計測デバイスの開発</p> <p>a. 蛍光出力増幅のための「ナノ光学系」の設計及び作製、評価(担当:東京医科歯科大学、NMEMS つくば分室)</p> <p>b-1.気液バイオ反応系の設計、及び材料の選定(担当:東京医科歯科大学、NMEMS 野洲分室)</p> <p>b-2.気液マイクロ流路の設計と開発(担当:NMEMS 野洲分室)</p> <p>②極低濃度ガス発生・評価系の構築(担当:東京医科歯科大学)</p> <p>③超高感度バイオ計測端末の原理モデル(動作モデル)の作製(担当:NMEMS 野洲分室・つくば分室)</p>													
		光学素子の選定			ナノ光学系構築と特性評価								
		二重同心円グレーティング			グリップの設計と作製								
		酵素反応系の検討			酵素固定化膜の検討				超高感度な実験系の構築				
						酵素固定化膜の安定化のためのプロセス設計							
									安定性評価の実施				
						流路・酵素固定化膜の一体化プロセス設計							
									プロセスの改善				
			マイクロ流路の設計										
					流路最適化設計検討			マイクロポンプ導入による送液構造の実現					
					酵素メンブレンと流路最適化(高感度化)								
	極低濃度ガス発生装置の構築				極低濃度ガス発生装置の評価系の構築								
					高精度・極低濃度ガス発生装置の開発・構築		高精度・極低濃度ガス発生装置の評価						
					清浄な気相環境の構築			被験者の皮膚ガス計測					
					センサ端末構造設計								
								センサ端末試作評価					
								超小型モジュール概略設計					

(4) 実施体制

本研究開発は、国立大学法人東京医科歯科大学と技術研究組合 NMEMS 技術研究機構の共同研究として進めた。下図に実施体制図を示す。



(5) 運営管理

目的・目標達成に向け、プロジェクトの円滑な推進を図るため、プロジェクト全体の進捗管理と各テーマとの相互関連が見える形での整理・調整、技術的課題の検討・対策、世界的な研究開発動向に照らして常時評価・ベンチマークの実施、産業化に向けた環境整備、取得データの有効活用等を目的として、研究開発責任者（国立大学法人東京医科歯科大学 三林浩二）の下、テーマリーダー、実用化・事業化責任者、必要に応じて NEDO（オブザーバー参加）から成る、「超高感度バイオ計測端末開発プロジェクト推進連絡会」を月 1 回開催した。

(6) 実施の効果

超高感度な経皮ガス計測を通して、代謝・疾病に関わる体内の揮発性成分を非侵襲に情報化する近未来の健康長寿のためのバイオ IoT 社会の実現に貢献することが可能になる。

(7) 研究開発成果

(7.1) 中間目標の達成度

実施計画書の研究項目毎に目標と研究成果（達成内容）及び達成度、今後の課題と解決方針を下記表のように記載する。

研究開発項目	中間目標	成果	達成度	今後の課題と解決方針
①-a ナノ光学系の設計及び作製、評価	ナノ構造による蛍光出力の増幅効果をもたらす「ナノ光学系」を作製し、小型化と感度向上を同時に達成	ナノ光学系： ・ナノ光学系によるNADH 溶液測定の初期検討を完了 ・ナノ構造体の設計・作製・評価を行った	△	【今後の課題】 ナノ構造による蛍光増強効果の最大化 【解決方針】 ナノ構造の最適化
①-b1 気液バイオ反応系の設計、及び材料の選定	・酵素反応系、酵素固定化膜の改良により、超高感度な計測が可能な実験系の構築 ・ナノ光学系の効果と併せて従来（7 ppb）の 1/100 の極低濃度（10 ppt レベル）の計測を達成	・酵素反応系及び固定化法の選定を完了 ・光学系の選定、フローセル構造の最適化にて従来の「光ファイバ」系で定量下限 500 ppt を達成	△	【今後の課題】 さらなる高感度化による 10ppt レベルのアセトンガス計測 【解決方針】 ナノ光学系との融合による高感度化の達成
①-b1 気液バイオ反応系の設計、及び材料の選定 (追加配賦)	・マイクロ流路・マイクロポンプによる皮膚ガス・溶液の送液構造の実現 ※具体的には、気液マイクロ流路に入手可能なマイクロポンプによる数 μL の溶液を±10%以内の流量変動で安定供給を実現	・GA 架橋加熱乾燥法による酵素固定化膜を試作、100ppb のアセトンガスへの応答を確認、最適化条件の検討 ・酵素膜成膜用として微量微圧塗布装置を選定（膜厚バラツキ 3.9%）	△	【今後の課題】 酵素膜の量産化プロセスの確立
①-b2 気液マイクロ流路の設計と開発	・マイクロ流路・マイクロポンプによる皮膚ガス・溶液の送液構造の実現	・試作済みマイクロ流路と電気浸透流ポンプ(E0 ポンプ)を用	○	【今後の課題】 光学系との一体プロセスの検討

	<p>※具体的には、気液マイクロ流路に入手可能なマイクロポンプによる数 μL の溶液を $\pm 10\%$ 以内の流量変動で安定供給を実現</p>	<p>いた NADH 溶液の送液構造を構築 (微小流量の安定送液を確認)</p>		
<p>②簡易型の極低濃度ガス発生・評価系の構築</p>	<p>・簡易型の極低濃度ガス発生装置にて生成した 10 ppt レベルのアセトンガスを濃縮ガス生成装置とアセトンガス用のバイオスニファを用いた評価実験系を用いて評価</p>	<p>・簡易型の極低濃度ガス発生装置により、ベースガス濃度に対して 100 倍以上 (125 倍) の希釈を実現</p>	○	<p>【今後の課題】 希釈による極低濃度ガス発生には、物質吸着などの物理物性的、ガス流量制御の精度的な限界がある</p> <p>【解決方針】 ガス分子の吸着を極限まで低下させた配管内コーティング法の開発、高精度な流量コントローラーの利用。今回は追加配分にてパーミエーションチューブ法を採用したガス発生装置を導入</p>
<p>②極低濃度ガス発生・評価系の構築 (追加配賦)</p>	<p>・高精度・極低濃度ガス発生装置にて生成した 10ppt レベルのアセトンガスの濃度の信頼性を、同じ実験系を用いて発生ガス精度を算出。精度としては 10ppt レベルのガスとして $\pm 5\%$ を達成</p> <p>・清浄な気相環境下で、開発したセンサを用いて「被験者の皮膚ガス計測 (ドラフト内)」を実施</p>	<p>・アセトンガス濃度：60 ppt、精度 $\pm 5\%$ を確認 (世界初)</p> <p>・光ファイバ型アセトンガスセンサを用いて経皮アセトンガス計測を清浄環境にて実施中</p>	○	<p>【今後の課題】 60 ppt 未満の標準ガスアセトン発生の精度検証。清浄な気相環境での生体ガス計測実験</p> <p>【解決方針】 生体ガス計測にはナノ光学系の実装による高感度化が必須。60 ppt 未満の標準ガスアセトン生成精度の検証は現在進行中</p>

	し、その有用性を評価			
③超高感度バイオ計測端末の原理モデル（動作モデル）の作製	・経皮アセトンガスセンサモジュールを1000 cm ³ （従来比1/10）以下のサイズで実現	・光ファイバプローブを用いた光学系搭載のアセトンガスセンサモジュールを試作。光学系を除き999 cm ³ で構築 ・EOポンプによる設計流速でのNADH溶液の安定送液を確認 ・MEMS集積（マイクロ流路とナノ光学系の融合）に基づく試作機を設計	○	【今後の課題】 商品化に向けたさらなる小型化

(7.2) 研究開発の成果と意義

経皮ガス成分の超高感度バイオ計測端末を開発するため、①アセトンガス用の超高感度ガス計測デバイスと、②極低濃度ガス発生・評価系を作製し、デバイス評価を行うことで、③小型ウェアラブル計測端末の動作モデルの構築を行った。

①アセトンガス用の超高感度ガス計測デバイスでは、蛍光出力増幅のためのナノ光学系について、さらにナノ構造体を含めたナノ光学系を改良し、感度向上とサイズの小型化の検討を進めた。そして、揮発性成分の酵素固定化膜への拡散、試薬濃度、緩衝溶液のpHの最適化を行い、対象物質の超高感度な計測が可能な実験系の構築を行った。また、気液マイクロ流路において、高感度アセトンセンシングのために必要なバッファ溶液の安定供給を実現した。

②極低濃度ガス発生・評価系では、2021年3月に極低濃度ガス発生装置を導入。極低濃度標準アセトンガスの信頼性評価を行い、超高感度アセトンガスセンサの評価環境を構築した。またこれらの装置を用いて、清浄な気相環境での経皮放出アセトンガス計測の実験系を構築した。

③小型ウェアラブル計測端末の動作モデルの構築では、光ファイバプローブを用いた光学系搭載のアセトンガスセンサモジュールを試作した。そして、EOポンプによるNADH溶液の安定供給を原理モデル上で動作確認した。

(8) 成果の最終目標の達成可能性

本プロジェクトは2021年9月30日付けで終了した。理由は、技術研究組合NMEMS技術研究機構（以下、NMEMS）の組合員である参画企業の社内体制変更により、NEDO委託契約

が早期終了となったため。よって、本プロジェクトでのフェーズ A 継続及びフェーズ B への展開を断念した。

(9) 成果の普及

表 論文、外部発表等の件数（内訳） 【2021年9月末】

年度	論文		その他外部発表				受賞実績
	査読付き	その他	学会発表・講演	新聞・雑誌等への掲載	展示会への出展	その他	
2019	0	0	4	1	2	0	0
2020	0	0	1	1	1	0	0
2021	0	0	0	1	0	0	0
合計	0	0	5	3	3	0	0

(10) 知的財産権などの確保に向けた取り組み
特になし。

4. 事業化・実用化に向けた取組及び見通し

(8)に記載の通り、本プロジェクトは2021年9月30日付けで終了した。理由は、技術研究組合 NMEMS 技術研究機構（以下、NMEMS）の組合員である参画企業の社内体制変更により、NEDO 委託契約が早期終了となったため。よって、本プロジェクトでのフェーズ A 継続及びフェーズ B への展開を断念した。ただし、フェーズ A の研究については、2021年10月1日以降、自主的に NEDO との業務委託契約書の内容に沿った形で研究開発を完遂する。

また、東京医科歯科大学では、多様な領域において本事業にて得られた技術と知見をもとに、医療・健康科学、福祉などを含めた、高感度・高選択的なガス計測技術の研究開発を展開し、今後の実用化に向け取り組む。

別添 3

研究開発項目①

1分で感染リスクを検知可能なウイルスゲートキーパーの研究開発

国立研究開発法人産業技術総合研究所

コニカミノルタ株式会社

ワイエイシイホールディングス株式会社

(株式会社ワイエイシイダステック)

国立大学法人埼玉大学

3.2 研究開発項目毎の成果及び実用化

(1) 背景と目的

現在、ウイルス感染症は大きな社会問題となっている。ウイルス感染症による人及び産業への影響の度合いはウイルス毎に異なるが、特にインフルエンザウイルス及びノロウイルスによる健康被害及び経済的な被害が大きいことは周知の通りである。また、2019年12月頃に中国武漢市を中心に発生したとされる新型コロナウイルス感染症は、全世界に大きな被害をもたらし、未だ収束の目途は立っていない。本研究開発では、特にこの3つのウイルス感染症に注目し、その感染拡大を阻止し、ひいては感染そのものを完全に征圧することを目標に、ウイルスを保有している可能性のある人が施設内に入らないようにするためのウイルスゲートキーパー（門番）の開発を行う。

(2) 位置づけ、目標値

我々の市場調査により、当初想定していた高齢者施設、食品工場におけるインフルエンザウイルス、ノロウイルスの持ち込み防止以外に、新型コロナウイルスに対し、劇場、競技会場、公共施設、宿泊施設、飲食店などの施設でもウイルスゲートキーパーの導入が期待されていることが判明している。

ウイルスゲートキーパーを実現するために、施設入口のその場でチェックすることが可能な短時間検出技術、発症前の感染者のウイルス保有も検出できる aM(アトモラー： 10^{-18} M)レベルの高感度検出技術、および施設入口で煩わしい操作なく扱える検出工程の自動化技術を開発し、融合させ、事業化を目指す。

現在のウイルス検出装置の水準は、図1に示すベンチマークのような状況となっている。我々の調査において、ウイルスゲートキーパーとして求められる性能としては検出時間が1分から3分程度、検出感度が10aMから1fM（フェムトモラー： 10^{-15} M）程度であり、現行の検出装置及び検査キットでは要求を満たすものがない。さらに、施設入口で実施可能な簡便さについては、簡易検査キットでさえも煩わしい手技が必要となっており、十分なものが存在しない状況にある。

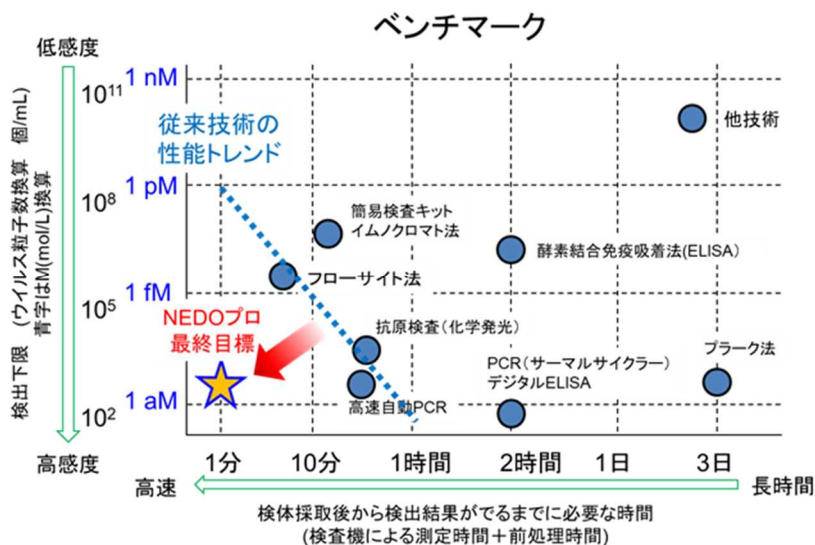


図1 ウイルス検出技術のベンチマーク

ウイルスゲートキーパーに必要な簡便性、迅速性、および高感度性に対し、以下の性能要件を設定し、中間目標、最終目標を以下の表に示す。

性能1：検査は非侵襲的かつ簡便で誰もが扱えるようにするために、新型コロナ、インフルエンザ検査は綿棒などで採取した唾液、ノロウイルス検査は手の平や作業場の表面からスワブにより採取した拭い液を検体とし、ユーザーはそれをセットするだけで専門手技を必要とせず、検査工程が自動化されたユーザビリティの高い装置を開発する。

性能2：感染しているが症状が出ない不顕性感染者、未発症感染者の施設への出入りを防ぐために、10 コピー/μL～1000 コピー/μL(分子数換算で 10aM～1fM)の高い検出感度を有する装置を開発する。

性能3：施設入口で利用者に不便を感じさせないために、1 測定 1 分程度の短時間で完了できる検査装置を開発する。

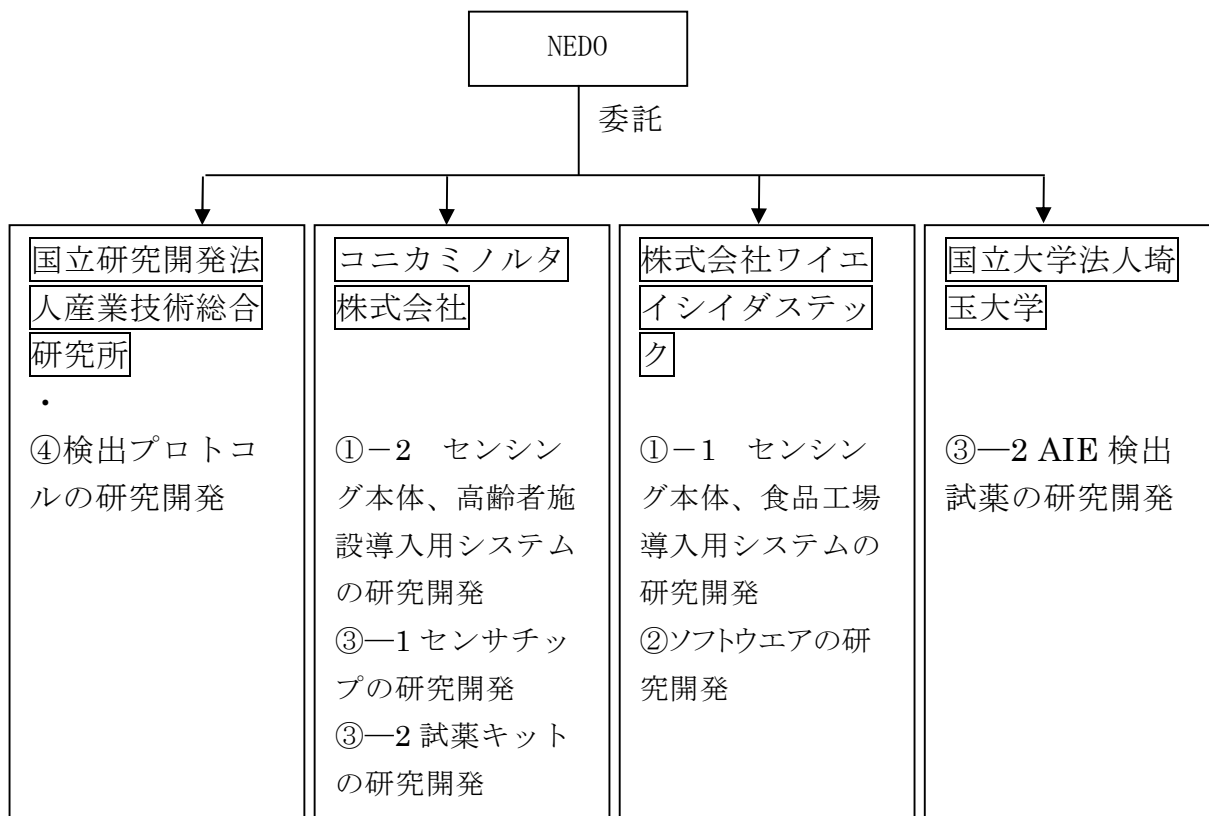
性能4：検査結果を装置同士で共有し、施設安全さらには地域の安全を把握できるようにするために、装置内及びクラウド上で検査結果を蓄積、解析できる機能を備え、装置同士で相互にその結果を共有できるシステムを開発する。

<p>中間目標 (2021 年度終了時点)</p>	<p>開発した装置、ソフトウェア、試薬キットを用いて： インフル・新型コロナ→1 分で唾液中 10 コピー/μl (10aM 相当)の検出 ノロウイルス →1 分で拭い液中 10 コピー/μl (10aM 相当)の検出</p>
<p>最終目標 (2023 年度終了時点)</p>	<p>想定導入先環境下での実証試験。 インフル・新型コロナ→1 分で唾液中 10 コピー/μl (10aM 相当)の検出 ノロウイルス →1 分で拭い液中 10 コピー/μl (10aM 相当)の検出 市場導入を念頭に置いた試作機を完成。</p>

(3) 全体計画

研究開発項目	2019年度	2020年度	2021年度	2022年度	2023年度
① センシングシステム本体の研究開発 ①-1 センシング機構の開発	試作モデル作製			中間 目標	最終 目標
	試作プロト作製	検証用プロト作製		試作機作製	
①-2 高齢者施設 導入用システム		自動化プロト作製・動作確認		フェーズBプロト機の評価	
	仕様検討	試作1号機の作製		フェーズB試作機作製	
①-3 食品工場導入用システム		試作2号機の作製・動作確認		フェーズB試作機の評価	
				※解析ソフト、消耗品 を装置に搭載 フェーズB試作機、プロト機用	
② ソフトウェアの研究開発 -1 制御ソフト -2 解析ソフト	制御、解析ソフトの開発	試作機用の制御、解析ソフトの開発			
				フェーズB試作機、プロト機用 センサチップ開発	
③ 消耗品の研究開発 ③-1 センサチップの研究開発	センサチップ開発	試作機、プロト機用 センサチップ開発		※試薬を 装置に搭載 AIE試薬改良	
				試薬安定製造法開発	
③-2 AIE検出試薬の研究開発	インフル用AIE試薬開発	ノロ用AIE試薬開発		フェーズB試作機、プロト機用 試薬キット開発	
		新型コロナ用AIE試薬開発		※プロトコルを 装置に搭載 プロトコル改良	
③-3 試薬キットの研究開発	試薬キット開発	試作機、プロト機用 試薬キット開発		プロトコル 検出評価	
④ 検出プロトコルの研究開発	インフル検出プロトコル開発	ノロ検出プロトコル 開発			
		新型コロナ検出プロトコル開発			

(4) 実施体制



(5) 運営管理

本プロジェクトの計画、進捗状況を確認するために、NEDO と参画機関による年 6 回程度の進捗会議を実施した。また、参画機関間での迅速な情報共有と必要に応じた議論を行うために、毎週 1 回の定例ウェブミーティングを実施した。更に、案件が生じた都度、知財運営委員会を開催し、知財出願に関する合意形成を行った。

(6) 実施の効果

本プロジェクトは NEDO より、2019 年度～2021 年度の委託事業期間に 322.5 百万円の委託費を受けた。また、2022 年度～2023 年度の助成事業期間に 100 百万円の助成費を受ける予定である。合計で 422.5 百万円の委託・助成に対し、ウイルスゲートキーパー販売開始から 5 年目で 8,000 百万円を超える売上を見込んでいる。

(7) 研究開発成果

(7.1) 中間目標の達成度

研究開発項目	中間目標	成果	達成度	今後の課題と解決方針
①-1 センシング機構の研究開発	制御用ソフトウェアと、解析ソフトウェアを搭載し、検出から解析まで行うことができるデスクトップ型試作機を完成させる。この試作機を用いて、唾液や手のひら拭い液を模擬したサンプル中に添加した10コピー/μlのノロ、インフルエンザ、新型コロナウイルスの1分検出を実現する。	全自動測定を行う試作機が完成。 マイクロウエルとAIE試薬を用いたウイルス1分検出プロトコルが完成。 マイクロウエルと磁気微粒子と酵素試薬を用いたウイルスの超高感度1 aM検出プロトコルが完成。	○	
①-2 高齢者施設導入用システムの研究開発	「①-1」で開発した試作機に、高齢者施設用ユーザーインターフェース部、混合部、洗浄部を組み込み、自動化プロセス機能を有した試作機の動作確認を完了する。	唾液検体採取/抽出具の高齢者施設向けの改良および自動化プロセス機能を備えた試作機による動作試験が完了。	○	
①-3 食品工場導入用システムの研究開発	「①-1」で開発した試作機に、食品工場用ユーザーインターフェース部、混合部、洗浄部を組み込み、自動化プロセス機能を有した試作機の動作確認を完了する。	食品工場用ユーザーインターフェースの仕様確定と設計が完了。	△	コロナ禍の影響で食品事業者へのヒアリングに遅れが生じていた。コロナ禍に対する社会情勢は改善。開発済試作機の要素部品を活用して効率的に製作を進める。

②-1 制御用ソフトウェアの研究開発	「①-1」で開発された試作機に、制御用ソフトウェアをインストールして正常動作を確認する。	フェーズ A 試作機用の制御ソフトの製作及び動作確認が完了。	○	
②-2 解析ソフトウェアの研究開発	「①-1」で開発された試作機に、解析ソフトウェアを実装する。	フェーズ A 試作機用の解析ソフトの製作及び動作確認が完了。	○	
③-1 センサチップの研究開発	「①-1」で開発された試作機に、ユーザビリティのある交換可能なチップを搭載する。	ディスプレイ化された流路型センサチップ、及びセンサチップ自動装填機構が完成。	○	
③-2 AIE 検出試薬の研究開発	「①-1」で開発された試作機での 1 分検出実現に資する AIE 検出試薬を提供する。	インフルエンザ検出用、ノロウイルス検出用、及び新型コロナウイルス検出用の新規 AIE 試薬の作製が完了。 mg オーダーの試薬供給体制を確立。	○	
③-3 検査試薬キットの研究開発	「①-1」で開発された試作機に、1 分検出実現に資する検査試薬キットを搭載する。	ユーザビリティを考慮した試薬ボトルの試作品の作製及び装置への実装が完了。	○	
④ 検出プロトコルの研究開発	「①-1」で開発された試作機での 1 分検出実現に資する検出プロトコルを確立する。	マイクロエルと AIE 試薬を用いた、インフルエンザ、ノロ、新型コロナウイルスの 1 分検出プロトコルが完成。 マイクロエルと磁気微粒子と酵素試薬を用いた、インフルエンザ、ノロ、新型コロナウイルスの超高感度 1 aM 検出プロトコルが完成。 生物発光試薬の候補物質選定が完了。	○	

- ◎：大きく上回って達成（特筆した成果を記載）
- ：達成（成果を記載）
- △：概ね達成（成果と未達ともに記載）
- ×：未達（未達理由について記載）

(7.2) 研究開発の成果と意義

- ・マイクロウエルを用いた検出プロトコルで、【1分で100 aMの検出（AIE試薬）】並びに【30分で0.16 aMの検出（磁気微粒子+酵素試薬）】のウイルス検出を達成
- ・最新の報告では、新型コロナウイルスの感染リスクを検知するために必要な検出下限は100コピー/ μ L（100 aM相当）であることから、開発したプロトコルは必要な検出性能を満足 [Oba 他、Keio J. Med. (2021)]
- ・現状のPCR検査、定量抗原検査、簡易抗原検査などの性能と比較して、ウイルス感染拡大防止用のウイルスゲートキーパーとして十分な性能が得られた。



* 磁気微粒子+酵素試薬+マイクロウエル(検出感度: 10^2 コピー/mL、測定時間: 30分): 標準的なPCRより10倍高感度で測定時間1/2以下
 ...スクリーニング検査より高精度な精密検査への展開が見込まれる

(8) 成果の最終目標の達成可能性

研究開発項目毎の最終目標の達成見通しを以下に記載する。

研究開発項目	最終目標 (2023年度)	達成見通し
①-1 高齢者施設導入用システムの研究開発	高齢者施設などの小規模施設の入口に設置し、職員などの一般の方が使える簡便さを備えた試作機を完成させる。量産化に向けた装置仕様と構成を確定する。	フェーズA 試作機で既に全自動測定機構が実装できており、使いやすさやインターフェース等の改良を進めることで目標達成できる見通し。
①-2 食品工場導入用システムの研究開発	食品工場などの中規模施設の入口に設置し、従業員や関係者が使える簡便さを備えた試作機を完成させる。量産化に向けた装	フェーズA 試作機で既に全自動測定機構が実装できており、使いやすさやインターフェース等の

	置仕様と構成のほか、販売価格などの販売計画を確定する。	改良を進めることで目標達成できる見通し。
②-1 解析ソフトウェアの研究開発	量産化に向けたソフトウェア仕様、ユーザーインタフェースを完成させる。	ソフトウェアの基本構成はフェーズAで開発済みであり、インタフェース等の改良を進めることで目標達成できる見通し。
②-2 ネットワーク化に向けたソフトウェアの研究開発	クラウドシステムから、中規模施設用フェーズB試作機及び小規模施設用フェーズB試作2号機に紐づけされた管理用端末（パソコン、スマートフォンなど）にリスク情報が配信される仕組みを完成させる。	フェーズAで開発したソフトウェアをベースに、現在種々のサービスが展開されているクラウドシステムを適切に活用しながら開発を進めることで、目標達成できる見通し。
③-1 センサチップの研究開発	ウエルへの測定液導入性やウエル封止性が向上した流路型センサチップと複数検体同時測定が可能なセンサチップを改良したチップを①-1「高齢者施設導入用システムの研究開発」のフェーズB試作機2号機、①-2「食品工場導入用システムの研究開発」のフェーズB試作機にそれぞれ搭載する。樹脂化センサチップの実装を完了させる。	ディスプレイ化のための樹脂製のマイクロウエルチップは試作済みであり、10ミクロンサイズのウエルが樹脂上に形成できることを既に確認している。使いやすさの改良や開発した試作機に適合させるための調整を進めることで、目標達成できる見通し。
③-2 検査試薬キットの研究開発	①-1「高齢者施設導入用システムの研究開発」、①-2「食品工場導入用システムの研究開発」のそれぞれの顧客が取扱い可能な試薬キットを実現。①-1「高齢者施設導入用システムの研究開発」のフェーズB試作機2号機、①-2「食品工場導入用システムの研究開発」のフェーズB試作機への試薬キットの実装を完了する。	性能検証に必要となる試薬キットはフェーズAで開発済みであり、フェーズBの検出試薬開発および検出プロトコル開発の結果を反映させるための試薬ボトル容量や試薬滴下機構などに係る調整を加えていくことで、目標達成できる見通し。
④-1 AIE 検出試薬の研究開発	各AIE試薬を製品として売り出せるように準備を進め、量産化	フェーズAで1mgオーダーのAIE試薬合成方法は確立済みで、大量合成法の目処は立っている。量

	を実施可能なメーカーの目途を付ける。	産化できるメーカーの探索も開始しており、目標達成できる見通し。
④-2 検出プロトコルの研究開発	①「センシングシステム本体の研究開発」で開発された小規模施設用フェーズB試作2号機及び中規模設備用フェーズB試作機での1分検出プロトコルを完成させる。	ベースとなる1分検出プロトコルはフェーズAで開発済みであり、誤検知低減や実サンプル測定、試作機への実装に向けた改良を加えていくことで、目標達成できる見通し。
⑤-1 新型コロナ、インフルエンザウイルス検出の実証試験	小規模施設用フェーズB試作2号機で、実際の施設を想定した環境下で、新型コロナウイルス、インフルエンザの1分検出を実証する。	想定実施先および不活化ウイルス試料は手配済。①～④の開発を進めることで、目標達成できる見通し。
⑤-2 新型コロナ、ノロウイルス検出の実証試験	中規模設備用フェーズB試作機で、実際の施設を想定した環境下で、新型コロナウイルス、ノロウイルスの1分検出を実証する。	想定実施先および不活化ウイルス試料は手配済。①～④の開発を進めることで、目標達成できる見通し。

(9) 成果の普及

論文、研究発表、講演等の研究開発成果の普及状況について以下に記載する。

表 論文、外部発表等の件数（内訳） 【2022年6月末現在】

年度	論文		その他外部発表				受賞実績
	査読付き	その他	学会発表・講演	新聞・雑誌等への掲載	展示会への出展	その他	
2019	0	0	1	1	1	0	0
2020	0	0	2	0	0	0	0
2021	0	0	5	0	3	0	0
2022	1	0	0	1	0	1	0
合計	1	0	8	2	4	1	0

(10) 知的財産権などの確保に向けた取り組み

研究開発の成果の実用化にあたりスムーズに進めるために、国内および外国出願を実施した。特許出願に際し、出願前に共同研究機関で構成した知財委員会において内容を審議した。特許出願件数を以下に示す。

表 特許の件数（内訳） 【2022年6月末現在】

年度	特許出願		
	国内	外国	PCT
2019	1	0	0
2020	3	0	1
2021	2	2	1
2022	0	0	0
PJ期間 合計	6	2	2

4. 事業化・実用化に向けた取組及び見通し

(1) 実用化に向けた戦略

新型コロナ、インフルエンザ、ノロウイルスなどの感染症の発生を抑えたい施設（例えば高齢者施設、食品工場など）をターゲットに、入口で職員・訪問者のウイルス有無のスクリーニングを迅速にできる装置を設置する事で、施設内のウイルスによる感染リスクを最小化する「ウイルスゲートキーパー」のという、全く新しいサービスを提供する。そのために、本事業終了時点で、AIE 試薬などの高速反応試薬にマイクロウェルアレイを融合させた高速かつ高感度のデジタルバイオ測定技術を確立し、それを施設での使用を想定した誰もが扱える全自動測定を行う試作機に搭載させ、試作機で臨床検体からのウイルス1分検出の検証およびターゲット施設における装置の操作性に関する検証をする。この試作機の成果を元に、製品化に向けた装置、消耗品などの開発、生産と販売の準備を進めていく。

(2) 実用化に向けた具体的取組

迅速かつ高感度な検出に必要な検出プロトコルと試薬開発を産業技術総合研究所および埼玉大学が推進。

各ターゲット市場に向けた全自動装置を開発、高齢者施設向けの装置をコニカミノルタ株式会社が市場展開、食品工場向けの装置をワイエイシイホールディングス株式会社（2019年～2021年：株式会社ワイエイシイダステック）が市場展開していく。

(3) 成果の実用化の見通し

新型コロナウイルス感染拡大以降、施設内の感染防止に対する意識は高くなっており、特にハイリスク者が多い高齢者施設、食の安全を担う食品工場においては言うまでもない。そして日本における高齢者人口は2025年には総人口の30%超に達する見通しであり、今後もそれに伴い高齢者施設も増加すると予想される。また食品工場においても食の安全という観点で感染チェック結果の迅速性を望む企業が増えてきている。

施設入口で迅速にスクリーニングできるウイルスゲートキーパーは、高感度かつ迅速性を特長とし、高感度な従来技術のPCR法では増幅反応だけで理論的限界でも5分以上かかり、更に前処理に数10分を要し、使用シーンも医療現場と研究施設のみに限定されていた。ウイルスゲートキーパーは高感度でありながら前処理含めて数分程度で検出でき、施設入口という一般が使用するシーンを想定しており、従来技術のPCR法等と比較して迅速性と簡便性において大きな優位性がある。

別添 4

研究開発項目①

次世代公共インフラ実現へ向けた高密度センサ配置
による微小量信号計測技術の研究開発

国立大学法人大阪大学

国立大学法人神戸大学

東電設計株式会社、

東電タウンプランニング株式会社

3.2 研究開発項目毎の成果及び実用化

(1) 背景と目的

近年、日本では地震・豪雨等の自然災害が頻発し、発生が予測されている南海トラフ地震や首都直下地震など甚大災害のリスクも日増しに高まりつつある。科学技術が進歩した現代においても、毎年多くの被害や犠牲者を出している。これは耐震補強や防潮堤といったハード対策だけでは、防災・減災に限界がある事を端的に表しており、科学技術を活用した新たな街づくりが求められている。

本事業では、地震や土砂災害を観測する振動シート型センサ及び周辺状況の変化を定量的に観測可能な差分モニタから構成される「シート型マルチセンサシステム」を開発し、社会インフラである電柱等へ展開する。本研究開発を通じて「電柱をインフラとした超高密度の街情報観測網」を構築し、災害時には被災状況、避難経路の通行障害等、平常時にはヒトやクルマの流れ、路面状況等、地域に密着したキメ細かな情報を住民、自治体、公益事業者等へ提供し、安全・安心な未来社会の実現に貢献する。



図 3.2-1 研究開発のイメージ図

(2) 位置づけ、目標値

最初に本事業の対象となる市場・競合製品、技術について記載する。

現在、防災情報サービスは主に企業向けに提供しているものがいくつか存在する（表 3.2-1）。しかし、そのサービスは、独自のセンサ情報に基づいているわけではなく、主に気象庁等の外部情報を整理して、表示しているものが多い。本事業は、地域のきめ細かな情報を収集して、住民や自治体に防災情報を提供することから、既存の情報提供ビジネスとは本質的に異なっており、そのサービス価値から多くの顧客を獲得できると考える。

表 3.2-1 防災情報サービスの一例

サービス名称	概要	情報	料金	
			初期費用	月額
レスキューWeb (株式会社 レスキューナウ) https://rescueweb.rescuenow.co.jp/	法人向け危機管理情報サービス	自然災害情報、鉄道・フライト情報、健康安全情報、安心安全情報、ライフライン情報、新型インフルエンザ情報、避難情報、被害状況サマリ、NHKニュース 他	5 ID 100,000円～	5 ID 44,000円～ (ID追加 5 ID単位 24,000円)
防災情報提供サービス (国際航業株式会社) http://biz.kkc.co.jp/software/dp/bousai/	BCP支援ツール	<事前情報> ゆれやすさ、活断層、浸水危険度、土砂災害危険度、液状化の可能性、標高 <警戒情報> 降水量、土砂災害危険度、浸水害・洪水危険度 <発生情報> 地震、特別警戒発令、災害状況写真	-	1 ID 50,000円～
セコム災害情報サービス (セコムトラストシステムズ株式会社) https://www.secomtrust.net/service/ekakusin/saigajouhou.html	災害情報サービス	緊急地震速報 地震・火山・津波 警報・注意報	50,000円	10,000円 1名・1情報ごとに+100円
豪雨警戒情報提供システム (株式会社 ユニメーションシステム) https://www.unimation.co.jp/	豪雨警戒情報提供システム	<ul style="list-style-type: none"> ■豪雨警戒情報提供(装置・メール) ■2段階の豪雨警戒情報 ■降雨状況の情報 <ul style="list-style-type: none"> ・現在値一覧表示、過去の降雨情報閲覧 ・地図表示(降雨レベル・装置警報状態) ・60分前からの推移グラフ ■装置の定期定期的な死活確認(1日1回) ■装置ごとのセンサー観測情報による警戒情報 	1ID 50,000円	1ヶ所 30,000円

競合サービスと比較し、本事業では「データの密度」、ならびに「プライバシーへの配慮」で優位性があると考えている。

既存技術の防災情報の提供サービスは、気象庁などの公的機関から提供される広域な情報をもとにした情報配信を行っている。気象庁などの公的機関のデータは、本事業で対象としているデータの密度と比較して、著しく小さい。人流データについても、既存技術は、通信キャリア会社がGPSや基地局の情報をもとに100-500mメッシュでの情報を提供している場合や、GPSの情報については、部分的に不足しているデータを一部見なしデータとして評価されて、提供されている。本事業で対象としているセンシング密度は、概ね60m間隔という高密度センシングのため、ピンポイントでの実データが提供可能となり、競合サービスに対して大きな優位性があると言える。

また、本事業で活用予定の差分センサは、超音波を用いた人流観測のため、特定の誰かを判定することはなく、プライバシーの観点からも優れていると言える。人の行動を観測する際に、カメラがもっとも有効的であり、しばしばシステム会社や地方自治体が共同で実証試験を行っている。

しかし、カメラを活用する場合、必ずプライバシー問題が発生する。この課題に対し、本事業では低コストかつプライバシーの問題が発生しないという大きな優位性があると言える。

競合技術と比較し、技術的な優位性について以下に記載する。

- 振動センサの検出周波数帯域の優位性（センサの特性と社会ニーズとのマッチング）

本プロジェクトにおいて開発する振動センサの検出周波数帯は、0.1Hz から 1000Hz を目標としている。これは土砂災害の検知等に求められる、100 Hz 以上の帯域における振動情報を検知するためである。本プロジェクトで採用する圧電型振動センサは原理的に高周波振動の検出を得意とする。一方、片持ち梁構造を採用する MEMS センサは原理的に低周波数帯に強く高周波数帯に弱い。従って地震から土砂災害まで広範囲な事象を検出対象とする低周波数側の 0.1 Hz から新たに設定する 1000 Hz までの周波数 4 桁に渡る広いダイナミックレンジの振動検出は、MEMS 型振動センサでは困難であり、本プロジェクトにおいて開発する圧電型振動センサを用いることで達成できる。

- 差分センサの優位性（センサの特性と社会ニーズとのマッチング）

インフラモニタリングのためのセンサとして、以下表に示すようにカメラは有能であり、すでに多くのカメラが防犯カメラとして設置されている。しかしプライバシーの問題からカメラの設置に根強い反対もある。センサとして他に、ミリ波や超音波等が挙げられるが、ミリ波は直進性が強く、認識距離は長いが、認識角の広い領域での分解能は確保できない。

超音波センサは低コスト・低電力であることが特長である。ミリ波と 40kHz 超音波は波長が同程度あるが、電波と音であるためキャリア周波数が大きく違い、音の低周波性が超音波に低消費電力性と低コストをもたらす。研究開発中の超音波センサは指向性の半値幅が 55 度で、20m 先までの物体識別が可能である。広範囲のモニタリングのためには、プライバシーを考慮した次世代の社会インフラ構築が課題となるが、超音波による差分センサはプライバシーを侵害しない、低コスト・低消費電力デバイスであると言える。

表 3.2-2 防災情報サービスの一例

	認識精度	認識距離	認識角	電力	コスト	プライバシー
カメラ	◎	○	◎	○	○	×
ミリ波	×	◎	×	×	×	◎
超音波	×⇒○	×⇒○	○	◎	◎	◎

続いて本事業の目標値について記載する。

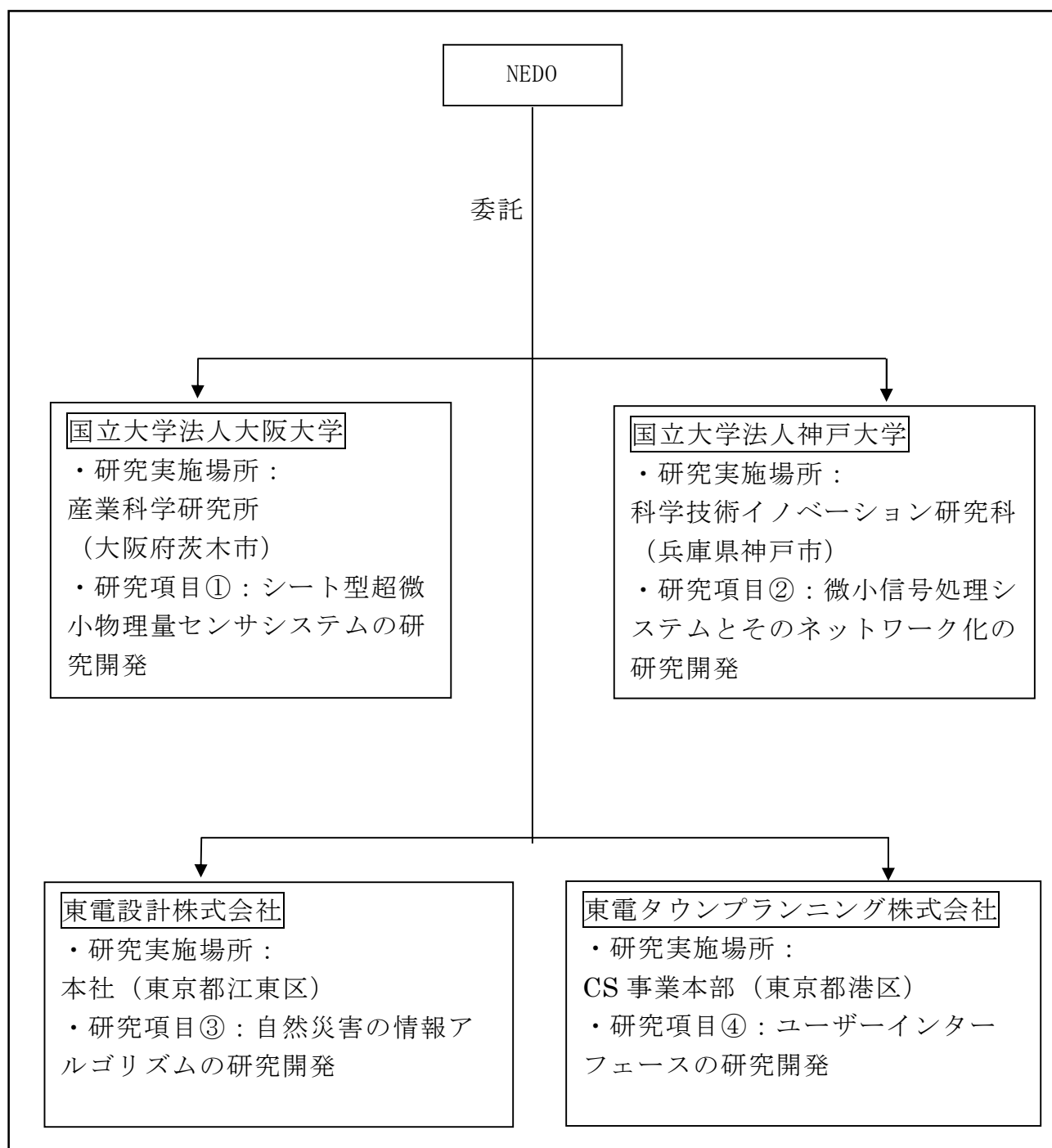
研究開発項目	中間目標	根拠
①高感度振動センサ材料の最適化とデバイス開発	<ul style="list-style-type: none"> 検出精度：電柱上部 3m 周辺 20m 範囲の検知 検知加速度：1~10 m/s²@ 1Hz-30Hz x, y, z の各軸間のカップリング誤差（10%以内） 	<ul style="list-style-type: none"> 最終目標であるフェーズ B の数値目標に対し、その 60-70%を目標に設定した。 精度は電柱間平均距離である 30m の半分以上の距離を、高さは目標 5m の目標 60%とした。加速度は震度 1 の加速度約 1gal(=0.01m/s²)、および 3.11 東北地方太平洋沖地震で記録されたマグニチュード 9 の最大加速度 3000gal(=30m/s²) を目標とした。カップリング誤差は市販 MEMS センサの性能を参考にした。
②微小信号処理システムとそのネットワーク化の研究開発	<ul style="list-style-type: none"> 20m 距離において信号対雑音比 5dB を実現（従来比 10dB 以上の感度向上を達成） センサから地表面と交通量の情報取得 消費電力 10W。20m 範囲をカバーする複数電柱ネットワークによる地表面と交通量の情報取得。 	<ul style="list-style-type: none"> 電柱間平均距離である 30m の半分以上の距離を目標とした。これにより電柱間のいずれの場所においても交通種別推定が可能となる。 差分センサ単体で、最も廉価な定額契約量である 10W を電力消費の目標とした。 電柱間の情報を集約し、離れた場所となる中間位置での精度向上を試みた。
③自然災害の情報アルゴリズムの研究開発	<ul style="list-style-type: none"> 各災害事象ごとに評価アルゴリズムを統合したシステム基本設計の終了 上記基本設計に基づき、一連の動作確認が出来るシステムの試作 	<p>最終目標であるクラウドシステム開発の試作を行うために、提供情報を具体化するアルゴリズムの成立性について検討するため。</p>
④ユーザーインターフェースの研究開発	<ul style="list-style-type: none"> 想定ユーザーのニーズに対応した災害時及び平常時の情報を表示できるソフトウェアの試作 シート型マルチセンサの電柱への設置方法に関する基本設計の終了 	<p>マルチセンサシステムの実環境下で要求される耐久性等の現場検証や生産方法を検討するため。</p>

研究開発項目	最終目標	根拠
①自然災害情報クラウドシステムの開発 (a) 指標化アルゴリズムのエッジノード実装 (b) 災害情報クラウドシステムプロトタイプ開発	<ul style="list-style-type: none"> 地震、土砂災害、周辺被害における評価指標アルゴリズムを実装したエッジノードの開発 エッジノードより取得した指標化データと地理情報より空間分析を実行し可視化データとして配信するクラウドシステムプロトタイプを構築する。 	事業実施にあたっては、エンドユーザーニーズをシステム試行しながら反映していく必要があり、ユーザーニーズを吸い上げるためのプロトタイプが必要であるから。
②マルチセンサシステムの開発 (a) マルチセンサデバイスのパッケージ化の試作 (b) 電柱への設置方法の検討・開発 (c) マルチセンサシステムの開発・評価	<ul style="list-style-type: none"> マルチセンサシステムの小型化 (30*30*30cm 以下) ・軽量化 (5 kg) を目指し開発 電柱へのマルチセンサシステムの設置方法確立による仕様開発 システム結合評価 	電柱への実装にあたっては、電力設備のほか通信設備など既に共架されている設備や電柱そのものの強度に影響・支障を及ぼすことができないため、小型化・軽量化に加え電柱所有者の許可条件を満たす必要があるから。
③シート型超微小物理量センサシステムの研究開発 (a) 高感度振動センサの最適化とデバイス開発 (b) 通信インフラの整備とシステム構築	<ul style="list-style-type: none"> 検出精度：震度 1 を電柱上部 5m で検知。検知加速度：0.01 ~ 30 m/s² @ 0.1Hz-1000Hz 。x, y, z の各軸間のカップリング誤差 (数%以内) 数十 kbps 以上の通信速度を有する通信インフラ構築 	<ul style="list-style-type: none"> 精度の電柱高さは実装目標位置とした。加速度は震度 1 から 3.11 東北地方太平洋沖地震で記録されたマグニチュード 9 の最大加速度 3000gal (=30m/s²) を目標とした。カップリング誤差は市販 MEMS センサの性能と同等とした。 土砂災害の検知ニーズに対応するため高周波の対象を 1000Hz まで拡大した。 振動 (最大 10kbps) 、差分 (数十 kbps 以上) 、ソフトウェアアップデート (数十 kbps 以上) に必要とされる通信速度を設定した。
④差分センサシステムの高性能化 (a) 差分センサ高精度化 (b) 差分センサ低消費電力化	<ul style="list-style-type: none"> 差分センサ高精度化：機械学習による交通種別推定精度 90%以上 差分センサ低消費電力化：信号処理・機械学習部を含め、差分センサシステム全体で 10W 以下 	<ul style="list-style-type: none"> 実用的な交通量推定・人流推定に足る、推定精度 90%を目標とする。 差分センサシステム全体の消費電力として、最も廉価な定額契約量である 10W 以下に抑えることに目途をつける。

(3) 全体計画

事業項目	2019年度				2020年度				2021年度				
	第1 四半期	第2 四半期	第3 四半期	第4 四半期	第1 四半期	第2 四半期	第3 四半期	第4 四半期	第1 四半期	第2 四半期	第3 四半期	第4 四半期	
① シート型超微小物理量センサシステムの研究開発 (大阪大学関谷研究室) 実施項目 1: 高感度振動センサ材料の最適化とデバイス開発 2: 振動情報に関する信号処理を行うエッジノード開発 3: システム統合化と信号精度の検証、システムの最適化				エレクトロスピニング装置の導入				アクティブ除振台の導入				環境試験外注	デバイスシステムの最適化
				振動センサの試作・評価									デバイスシステムの最適化
				エッジノードの試作				ソフトウェア開発					デバイスシステムの最適化
				デバイスシステムの試作				性能検証					信号処理アルゴリズムの信頼性検証
② 微小信号処理システムとそのネットワーク化の研究開発 (神戸大学川口研究室) 実施項目 1: 差分モニタシステムの試作 2: 差分モニタ機械学習方式の検討 3: センサネットワーク通信制御手法の研究開発								エッジノード試作外注				デバイスシステムの最適化	
				差分モニタの試作				性能検証					フィールド試
								振動センサとの連動確認					低消費電力化
③ 自然災害の情報アルゴリズムの研究開発 (東電設計(株)) 実施項目 1: 地震災害における評価指標とアルゴリズムに関する検討 2: 土砂災害における評価指標とアルゴリズムに関する検討 3: 建物周辺被害における評価指標とアルゴリズムに関する検討								機械学習の検討					
													振動・差分情報の融合
④ ユーザーインターフェースの研究開発 (東電タウンプランニング(株)) 実施項目 1: 災害時及び平常時に必要なデータ・情報のヒアリング調査・分析 2: シート型マルチセンサの電柱への設置方法の検討 3: ユーザーインターフェースの基本構想の検討													

(4) 実施体制



(5) 運営管理

プロジェクトの円滑な運営のために、全体会議を適宜実施して、プロジェクトメンバー間の情報共有を図ってきた。新型コロナウイルス感染症が拡大してきたときは、リモート会議も活用し、メンバー間のコミュニケーションが円滑にいくように配慮してきた。

プロジェクト実施中は実験の機会も複数あり、全メンバーの参加のもと、協力し合うことで一体感が生まれ、それが、より良い研究成果の源にもなっている。

本プロジェクトでは、着手前から自治体との連携を図っており、プロジェクト実施中も複数の自治体の防災関係者のニーズヒアリングを積極的に実施してきた。そのなかで、土砂災害のニーズが多くあり、このニーズに応えるため、防災科学技術研究所との共同研究を行うことができた。この共同研究では、土砂災害検知に関する研究成果が複数得られ、特許を4件出願した。

(6) 実施の効果

事業開始後、5年経過までの売上・支出・収益について以下に記載する。

売上については、防災サービス提供とデータ販売からなる。支出については、電柱に設置するセンサ・センサ設置費用・クラウドの費用となる。センサ1機あたりの価格と設置費用を合わせ、5～10万円と想定した場合の値となっている。センサは60mにつき1本設置する。よって、10km²あたりに2900本設置する。

表 3.2-3 事業開始後5カ年の売上・支出・収益

カ年	売上	支出	収益
1年目	190百万円	203百万円	-13百万円
2年目	380百万円	406百万円	-26百万円
3年目	1330百万円	1218百万円	112百万円
4年目	3480百万円	2233百万円	1247百万円
5年目	12310百万円	4060百万円	8250百万円

(7) 研究開発成果

(7.1) 中間目標の達成度

研究開発項目	中間目標	成果	達成度	今後の課題と解決方針
①シート型超微小物理量センサシステムの研究開発 (国立大学法人 大阪大学)	(a) 検出精度：電柱上部 3m 周辺 20m 範囲の検知 (b) 検知加速度：1~10 m/s ² @ 1Hz-30Hz (c) x, y, z の各軸間のカップリング誤差 (10%以内)	検出精度は高さ4.5m 距離15m以内の範囲で振動検出を確認。検出加速度、各軸間のカップリング誤差は産業技術総合研究所における試験にて目標達成済み。	○	<ul style="list-style-type: none"> 検出感度の検討における加振条件の定量的設定 土砂災害対応に向けた検出周波数の検討 クラウド通信仕様の検討
②微小信号処理システムとそのネットワーク化の研究開発 (国立大学法人 神戸大学)	(a) 20m 距離において信号対雑音比 5dB を実現 (従来比 10dB 以上の感度向上を達成) (b) センサから地表面と交通量の情報取得 (c) 消費電力 10W。20m 範囲をカバーする複数電柱ネットワークによる地表面と交通量の情報取得。	20m距離の低ノイズ音圧取得と消費電力10Wを達成。複数電柱による交通量情報精度向上を確認。	○	交通量情報精度向上のための機械学習アルゴリズム改良と専用ハードウェア実装を実施予定
③自然災害の情報アルゴリズムの研究開発 (東電設計株式会社)	(a) 災害事象ごとに評価アルゴリズムを統合したシステム基本設計の終了 (b) 上記基本設計に基づき、一連の動作確認が出来るシステムの試作	地震・土砂災害など、各災害事象の評価アルゴリズムを開発。アルゴリズム単体の動作を確認。	○	防災科学技術研究所で実施予定の実験結果を反映した土砂災害のアルゴリズムの改良を行う。

<p>④ユーザーインターフェースの研究開発 (東電タウンプランニング株式会社)</p>	<p>(a) 想定ユーザーのニーズに対応した災害時及び平常時の情報を表示できるソフトウェアの試作</p> <p>(b) シート型マルチセンサの電柱への設置方法に関する基本設計の終了</p>	<p>表示ソフトウェア作成について実証実験結果から伝達可能な情報（人・もの等）を整理し、平常時および災害時の利用シーンの検討・実施。</p> <p>センサを電柱へ設置するにあたり規制や条件の整理を行い、電柱現況のサンプル調査、センサ設置イメージの検討・実施。</p>	<p>○ 2021年秋に実施予定のフィールド実験を再評価し、検証結果をモックアップ版へ作成予定。</p> <p>電柱所有者、道路管理者との協議を行える基本設計を実施。センサモックアップを基に電柱所有者との初期協議。</p>
---	--	---	---

(7.2) 研究開発の成果と意義

近年、日本では地震・豪雨等の自然災害が頻発し、発生が予測されている南海トラフ地震や首都直下地震など甚大災害のリスクも日増しに高まりつつある。科学技術が進歩した現代においても、毎年多くの被害や犠牲者を出している。これは耐震補強や防潮堤といったハード対策だけでは、防災・減災に限界がある事を端的に表しており、科学技術を活用した新たな街づくりが求められている。

防災に対するソフト対策として、現在主に活用されているのは、TV・ラジオ等のメディアとスマートフォン等の携帯端末から配信される情報である。ただし、これらの配信される情報はエリアが広域となっており、ピンポイントな地点の情報ではない。それにともない、配信情報を自分事と認識せず、避難行動の遅れなどが発生する。

配信される情報が広域、つまり情報が低密度である理由は「観測拠点の不足」が挙げられる。低密度の観測データから地域ごとに平均化された情報を得ているのが現状であり、今まさに自分のいるこの場所が安全なのか？という情報をリアルタイムに得ることは難しいのが実情である。

災害はいつでも、どこでも、想定外の場所でも発生する可能性があることから、観測拠点が増えることで高密度の観測データを得ることに着目した。本事業は、「電柱」等をプラットフォームとして活用することで、広域かつ多数の情報をリアルタイムに獲得することが可能となり、社会インフラを活用したIoT事業を展開する。

なお、マルチセンサ設置の対象とした「電柱」は、市街地・住宅地だけではなく山間地でも電力供給先に応じて道路沿いにも設置されており、一般的に電柱として使用されているコンクリート柱は、過去から将来に亘っても材質・構造に大きな変化をすることはなく、かつ一定の規格・基準に基づき設置されていることから、広範囲へのマルチセンサの設置を考慮すると優位性があると判断した。

上記事業において、「防災情報サービス」と「新たな付加価値を付けた情報サービス」の二つを提供する想定である。

最初に「防災情報サービス」について記載する。

昨今、日本では災害の発生リスクが高まり、防災に関する情報のニーズも高まっている。しかし、被災状況などを検知する既存技術のセンサや監視カメラは非常に高価であるため、それらをそのまま多数展開して事業化することは困難である。また、データ容量による通信負荷の増大やプライバシーの問題も障壁となる。今回、研究開発する「マルチセンサ」は多種多様な物理量を計測でき、安価、高感度、通信負荷の低減、プライバシーの保護及び設置容易性を同時に実現する画期的な技術である。

続いて「新たな付加価値を付けた情報サービス」について記載する。

事業拡大に伴い、データを観測するポイントが増えることを見込んでいる。将来的に、データを面的に得られるようになったタイミングで、本サービスの開始する想定である。振動センサと差分センサの2つをもとに、防災情報サービスで提供する「人流」や「災害検知」、「被害状況・想定」のほかに、「気象」や「風速」などを将来的に提供することを見込んでいる。気象情報については、雨雲レーダーなどによる降雨予測ではなく、実際にその観測ポイントで雨が降っているかといった実データが提供可能な見込みである。現在検討中の風速についても、揺れやす

さや建物倒壊度と同様にきめ細かい面的情報を与えることで、地域住民をはじめとして、企業や自治体に対して様々なメリットをもたらすものと考えている。

これら事業を実現するための各研究開発について、詳細な成果を以降に記載する。

①シート型超微小物理量センサシステムの研究開発（大阪大学）

大阪大学では振動センサの研究開発を担当し、以下の3つの数値目標を設定した。

- (a) 検出精度：電柱上部 3 m 周辺 20 m 範囲の検知
- (b) 検知加速度：1~10 m/s²@1 Hz-30 Hz
- (c) x,y,z の各軸間のカップリング誤差（10%以内）

各数値目標に対する達成率として(a)は評価方法に課題があったため 90%とした。一方で(b)および(c)は 100%を実現した。これらの結果から、本学の研究開発においては数値目標を概ね達成することができた。

(a) 検出精度：電柱上部 3 m 周辺 20 m 範囲の検知

本研究では有機高分子からなる圧電性フィルムを用いて振動センサを開発した。はじめに圧電フィルムにかかる歪を有限要素法でシミュレーションすることで、高い感度と低いカップリング誤差を実現するための台座デザインの検討を行った。XYZ の 3 方向から伝搬する振動を sin 波形として印加した結果、フィルムを貼付ける台座デザインに応じて、圧電フィルムにかかる歪の空間分布は様々に変化することが明らかとなった。最終的に図 3.2-2 に示す構造の空間分布（左図）の赤いエリアに電極を配置することで、フィルム面外方向に対応する Z 方向の振動を効率良く検知でき、かつ面内方向である X、Y 方向の振動を感知しないセンサを作製できることが明らかとなった。

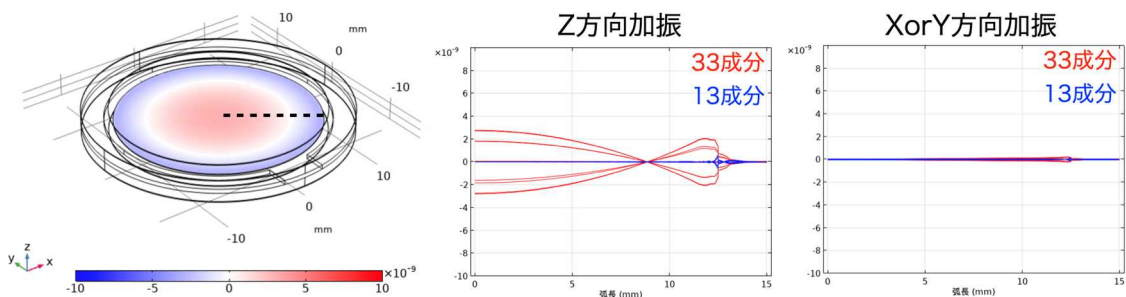


図 3.2-2 （左）Z 方向加振時に圧電フィルムにかかる歪の空間分布図と（右）空間分布図の点線位置にかかる歪のグラフ。Z および XorY 方向に加振した際にかかる 33 成分と 13 成分の結果を示す。

開発した振動センサと市販 MEMS センサ（IMV,VP-8013）を電柱上（地上高さ 4.5 m の位置）に設置し、電柱から距離 10,15,20 m 離れた位置の地面を、10 秒に 1 回の頻度で掛矢を人力により打撃したときに観測した結果を図 3.2-3 に示す。距離 15 m までは地面打撃に対応するパルス状の電圧波形を、開発センサと MEMS センサの両センサにおいてほぼ同時刻に検出することができた。従って開発センサは電柱を中心として距離 15 m までの範囲において地面の振動を検知できることが明らかとなった。一方で距離 20 m においては両センサにおいてパルスが観測できなかった。これは人力による地面打撃では十分な加振力を与えられないことを示しており、評価の条件として加振方法や加振力を定義する必要性が明らかとなった。

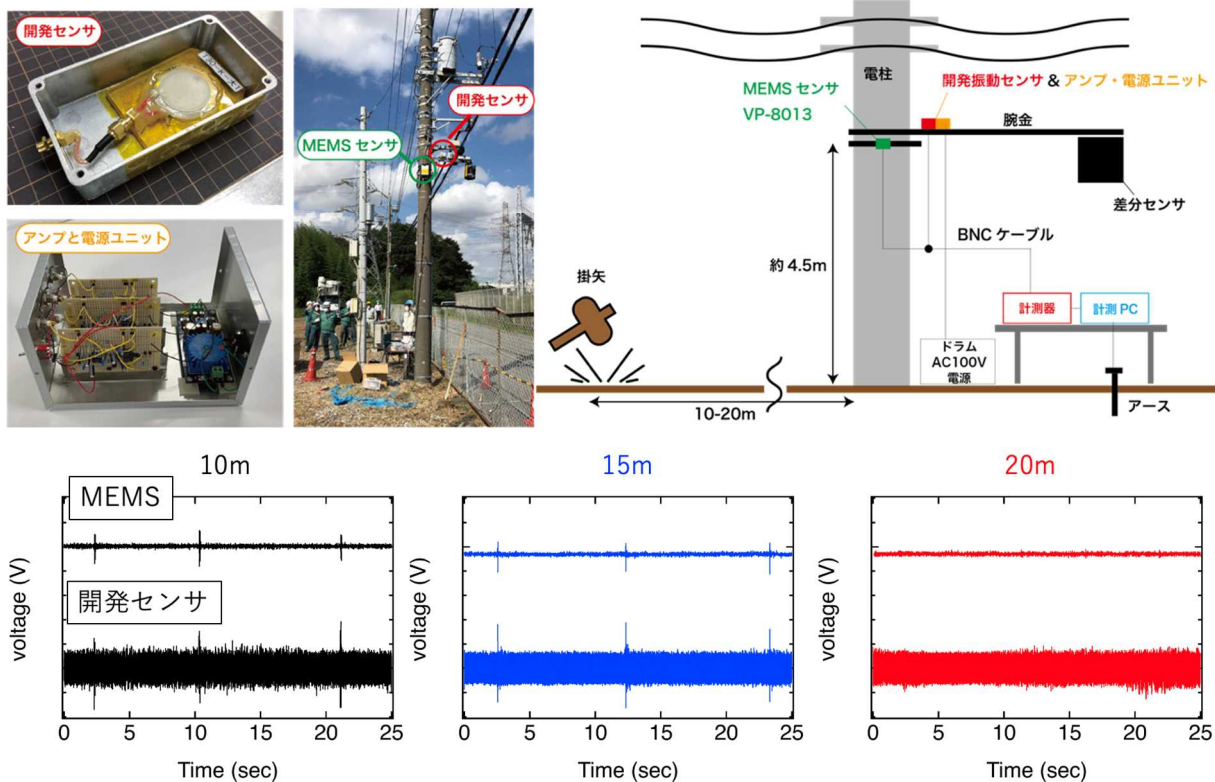


図 3.2-3 開発した振動センサ、アンプ、電源ユニットの写真、及び電柱設置における配置と地面打撃に対する電圧応答。いずれも地面法線方向における検出結果を示す。

- (b) 検知加速度 : $1 \sim 10 \text{ m/s}^2 @ 1\text{Hz} \sim 30\text{Hz}$ および
- (c) x, y, z の各軸間のカップリング誤差 (10%以内)

開発した振動センサの特性評価を図 3.2-4 に示す計測環境で行った。計測は大学研究室と横断プロジェクトのパートナーである産業技術総合研究所（以下 AIST）にて実施した。研究室では図 3.2-4(a) に示す IMV 製加振器を用いた計測環境にて 5 Hz から 1000 Hz までの周波数領域を、AIST では図 3.2-4(b) に示す計測配置で 0.1 Hz から 300 Hz の周波数領域において評価を行った。各周波数に対応する正弦波を $1 \sim 10 \text{ m/s}^2$ の加速度で振動センサを加振した。信号はチャージアンプを介して電圧変換と増幅を行い、市販のオシロスコープにてサンプリング周波数 20 kHz、15-16 bit の電圧解像度で計測した。

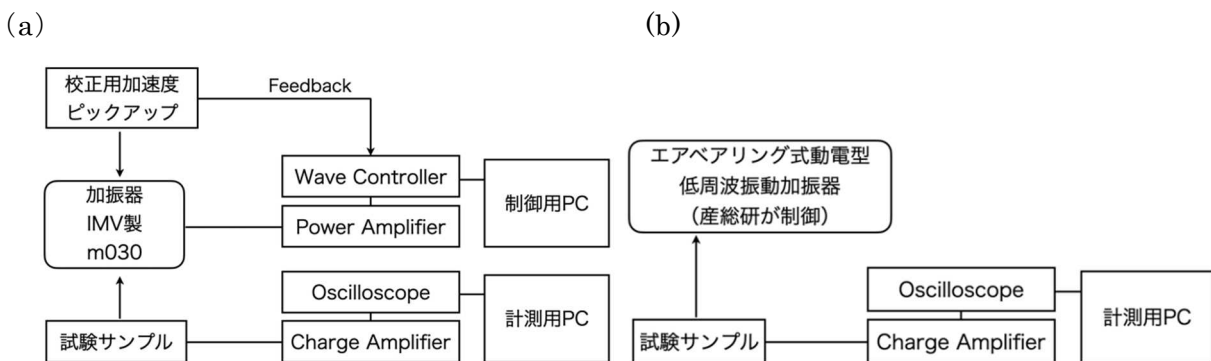


図 3.2-4 (a) 研究室における振動計測環境。加振周波数 5 Hz 以上にて試験を行った。(b) 産業技術総合研究所における試験環境。加振周波数 0.1 Hz から試験を行った。

検知加速度とカップリング誤差（周波数依存性）について、AIST のエアベアリング式動電型低周波数振動加振器を用いて評価した。開発した振動センサは、検出軸である Z 軸において周波数 1 Hz-300 Hz、加振力 0.1 m/s² から 10 m/s² において線形性があることが明らかとなった（図 3.2-5）。また、周波数 0.3 Hz から 100 Hz において加速度 1 m/s² で加振したところ、Z 方向に対して非検出方向である X 方向の信号強度が約 30 dB の差があり、Z 方向に対して X 方向の感度は約 3%以内に抑制されていることが明らかとなった（図 3.2-6）。

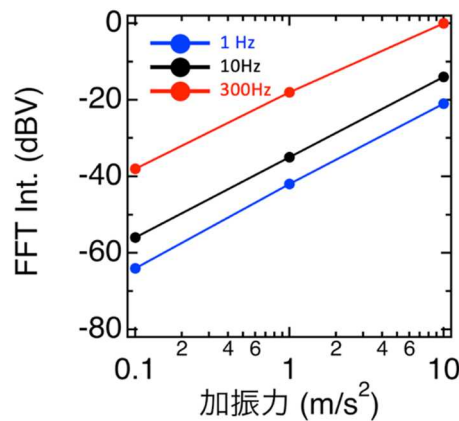


図 3.2-5 (左) 振動センサの出力直線性。(右) 振動センサの周波数特性。

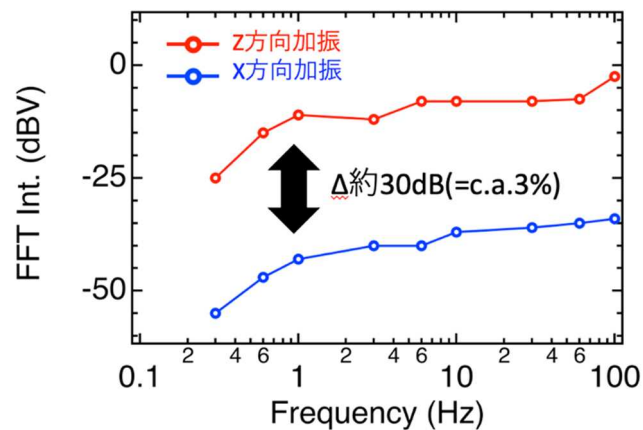


図 3.2-6 振動センサの周波数特性とカップリング誤差。

本研究開発の意義は、検出精度、加速度、カップリング誤差に優れた振動センサの開発に成功したことに加え、従来センサにない特徴として低省電力化（原理上センサ素子の待機電力 0W）及び単純な作製プロセスによる低コスト化により、実用的な防災減災インフラ構築に資することである。

②微小信号処理システムとそのネットワーク化の研究開発（神戸大学）

神戸大学は

②微小信号処理システムとそのネットワーク化の研究開発

における 3 つの研究開発目標：

- (a) 20m 距離において信号対雑音比 5dB を実現（従来比 10dB 以上の感度向上を達成）
- (b) センサから地表面と交通量の情報取得
- (c) 消費電力 10W、20m 範囲をカバーする複数電柱ネットワークによる地表面と交通量の情報取得

を担当した。

以下にそれぞれの達成状況を述べる。

(a) 20m 距離において信号対雑音比 5dB を実現（従来比 10dB 以上の感度向上を達成）

ノイズ環境化における信号対雑音比の測定および位置精度の評価をした。

2020 年度、12.5m 距離での超音波ビームフォーミングによる物体検出は屋外ノイズ環境下としては世界初の距離であり、国際会議で発表を行った（図 3.2-7）。

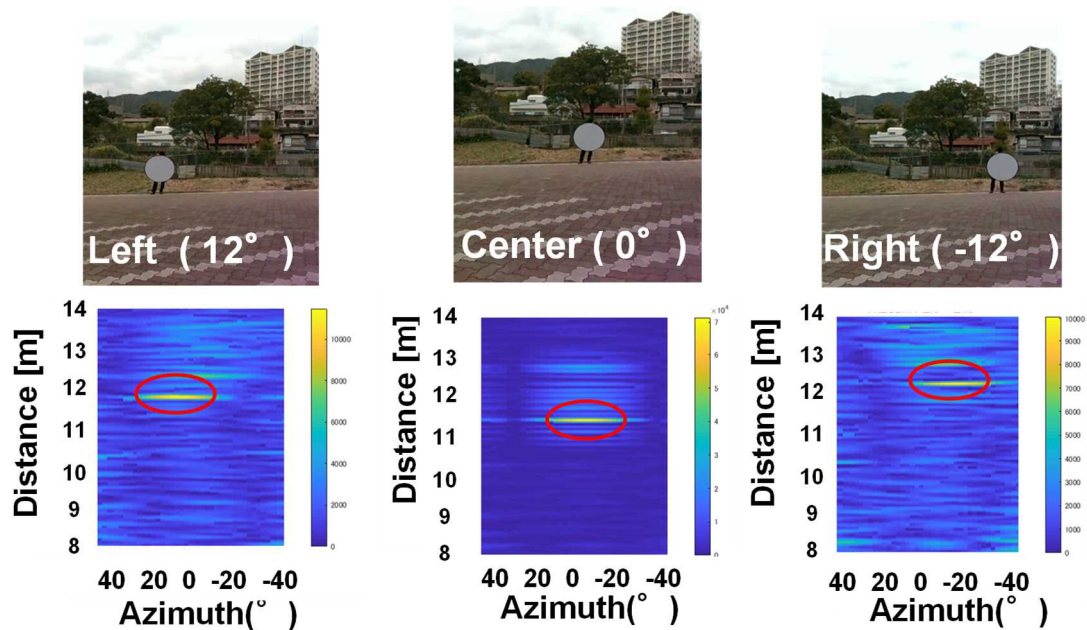


図 3.2-7 屋外 12.5m におけるビームフォーミングによる物体検出

現在は 23m 以上の距離を達成しており、平均電柱間隔 30m の半分以上の距離を達成した。具体的には屋外 23m 距離の円板の存在を 5.2dB の信号対雑音比(SNR)で検出し、フェーズ A 開発目標を達成した（図 3.2-8）。

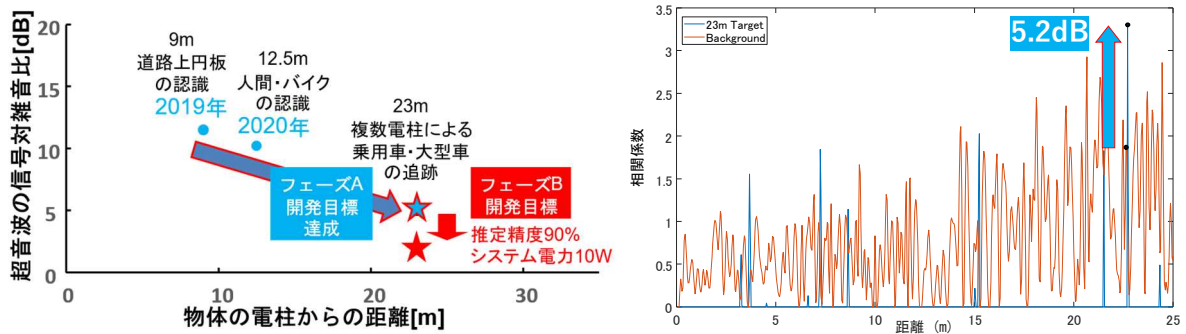


図 3.2-8 左：電柱からの距離と信号対雑音比、右：23mにおいて5.2dBを達成

(b) センサから地表面と交通量の情報取得

電柱直下の地表面までの距離を高精度で推定できることを確認した。図 3.2-9 のような地表面をモデル化した 1 次元距離推定の実験において 12.5m 距離で信号対雑音比 10.2dB、位置精度 99% ($\pm 5\text{cm}$) を達成した。世界初と考えている。これにより電柱直下の浸水深さ、土砂積層の程度、瓦礫の厚みなどを 5cm の確度で測定することが可能であることが示された。

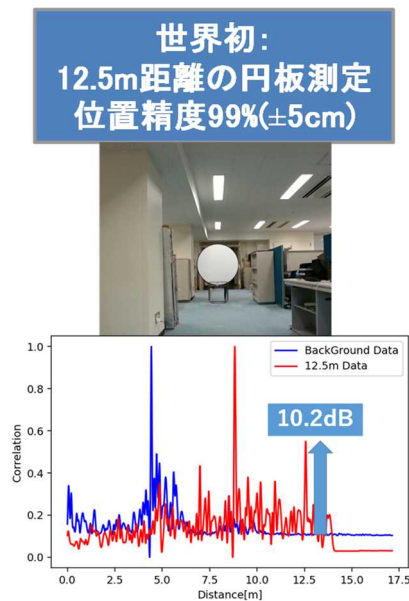


図 3.2-9 12.5m 距離で信号対雑音比 10.2dB、位置精度 99% ($\pm 5\text{cm}$) を達成

また機械学習により地表面上の物体の認識を行った。

図 3.2-10 左のように神戸大学キャンパス内に電柱と足場を設置し、実験を行った。12.5m 先の道路上にある円板・人間・バイク・ダンボール箱の交通種別の推論を機械学習により行った (図 3.2-10 右)。4 種を混在させた場合、再現率 87%、適合率 94%であった。

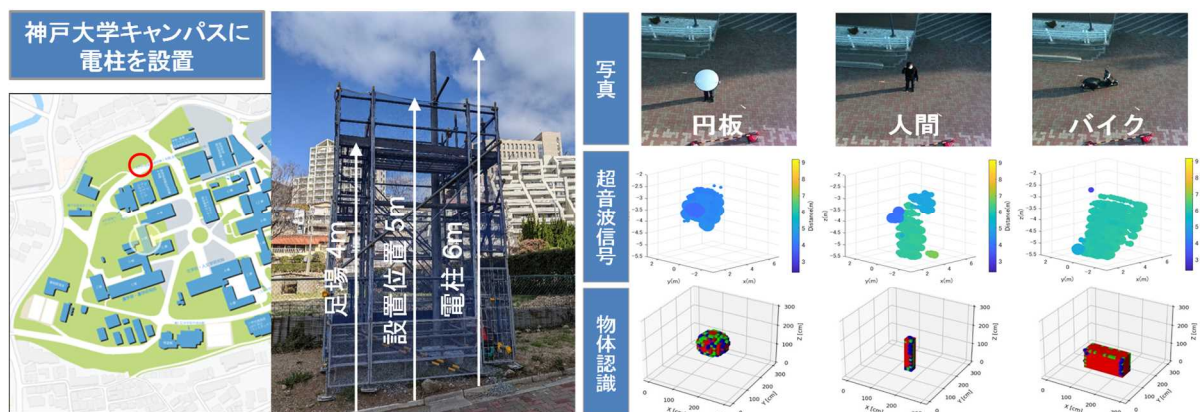


図 3.2-10 左：神戸大学キャンパス内に設置した電柱、右：円板・人間・バイクの推論例

(c) 消費電力 10W、20m 範囲をカバーする複数電柱ネットワークによる地表面と交通量の情報取得

差分センサシステムの消費電力の測定と複数電柱ネットワークの協調動作を確認した。差分センサを超音波マイク・スピーカ、信号取得用 FPGA、Raspberry Pi を図 3.2-11 左のシート型差分センサとして実装し、図 3.2-11 右のように流山実験場にて 30m 離れた 2 本の電柱にそれぞれ設置した。電柱間の中間部の乗用車・大型車を、センサ単体では 55%の精度で追跡するが、両方のセンサ情報を融合すると 68%に精度が向上する。センサ単体、両方のセンサを用いた場合のいずれも、乗用車に対する適合率、大型車に対する再現率が低い結果となり、大型車を小型車と誤認する確率が高い。これは振動センサの情報を加えれば、振動の大きい大型車を精度良く推定できる可能性を示しており、振動センサ情報を融合したものと言える。消費電力については、問題となっていた超音波スピーカ部アンプの高効率化を達成し、差分センサとして 4W に抑えた。



図 3.2-11 左：差分センサ、右：流山実験

本研究開発の意義として、カメラとは異なり、プライバシーを侵害しない超音波により 10m 先の人間や 20m 先の乗用車の認識が可能であることを示したことが挙げられる。また超音波システムは 4W の低消費電力である。電柱に設置可能な実用性があると同時に、屋内プライベート空間へも応用可能である。

③自然災害の情報アルゴリズムの研究開発（東電設計株式会社）

(a) 地震災害における評価指標とアルゴリズムに関する検討

(a)-1 地震動記録の収録及び分析

市内の電柱及び周辺地盤に地震計（写真 3.2-1）を設置して、表 3.2-3 の通り実地震記録を収録し、分析を行った。計測した地震記録の一例を図 3.2-12 に示す。



写真 3.2-1 地盤に設置した地震計

表 3.2-3 収録した地震一覧

年	月	日	時	分	秒	緯度(°)	経度(°)	深さ(km)	Mj	震央地名
2020	01	14	04	53	49.27	36.078	139.884	45.6	4.8	SW IBARAKI PREF
2020	01	21	19	17	54.57	36.427	140.648	53.3	4.2	NORTHERN IBARAKI PREF
2020	02	01	02	07	47.51	35.969	140.064	62.6	5.3	SOUTHERN IBARAKI PREF
2020	02	17	12	40	50.67	35.992	140.208	40.4	4.4	SOUTHERN IBARAKI PREF
2020	04	12	00	44	48.09	36.199	139.960	53.3	5.0	SW IBARAKI PREF
2020	04	26	09	49	10.55	36.133	140.081	65.7	4.8	SW IBARAKI PREF
2020	05	04	22	07	49.72	35.731	140.610	48.4	5.6	NEAR CHOSHI CITY
2020	05	06	01	57	07.58	35.632	140.079	67.8	5.0	CENTRAL CHIBA PREF
2020	05	11	08	58	33.92	36.387	141.040	46.9	5.8	E OFF IBARAKI PREF
2020	06	25	04	47	44.41	35.553	141.113	36.1	6.1	NEAR CHOSHI CITY
2020	07	09	06	05	29.39	36.064	139.844	44.9	4.7	SW IBARAKI PREF
2020	10	28	15	58	31.15	35.806	140.114	68.8	4.4	NORTHERN CHIBA PREF
2020	11	22	19	05	53.98	36.591	141.101	44.6	5.7	E OFF IBARAKI PREF
2021	02	13	23	07	50.51	37.729	141.698	55.4	7.3	E OFF FUKUSHIMA PREF
2021	03	16	04	56	18.15	36.154	139.818	53.9	4.9	SW IBARAKI PREF
2021	03	20	18	09	44.83	38.468	141.628	59.5	6.9	KINKAZAN REGION
2021	10	07	22	41	23.05	35.591	140.103	75.0	5.9	CENTRAL CHIBA PREF
2021	10	28	09	55	29.35	36.064	139.909	45.4	4.5	SW IBARAKI PREF
2021	11	01	06	14	46.40	36.462	140.613	56.8	5.3	NORTHERN IBARAKI PREF
2021	12	02	01	58	38.83	36.217	139.990	64.6	5.1	SW IBARAKI PREF
2021	12	03	06	37	48.56	35.554	138.990	19.3	4.8	EASTERN YAMANASHI PREF
2021	12	12	12	30	58.70	36.135	139.853	50.5	5.0	SW IBARAKI PREF
2021	12	16	17	02	44.96	35.819	139.927	51.4	3.5	NORTHERN CHIBA PREF
2022	01	05	21	34	16.47	36.144	140.033	48.8	3.8	SW IBARAKI PREF
2022	01	18	22	50	18.16	36.846	140.627	8.2	4.0	NORTHERN IBARAKI PREF

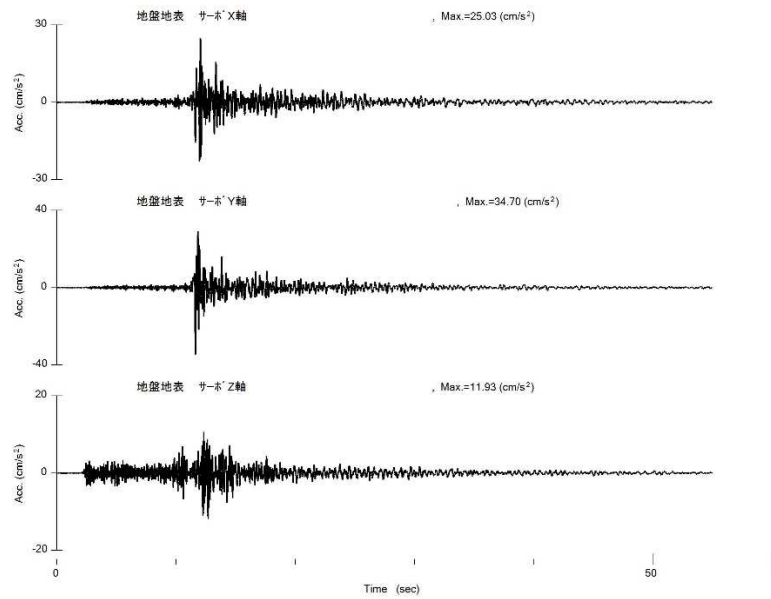


図 3.2-12 地盤で計測した地震記録の時刻歴

(a)-2 評価指標とアルゴリズムの検討

地震観測記録および風振動記録の分析結果（例えば、図 3.2-13）に基づいて、電柱振動から地表の揺れの強さおよび風速を推定する予測モデルを構築した。

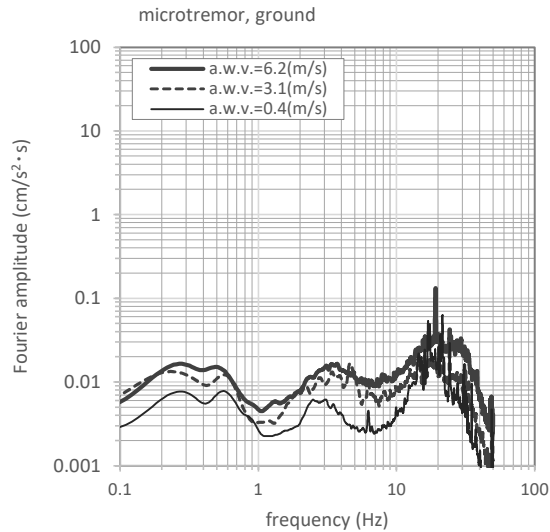


図 3.2-13 風速別地盤振動のフーリエスペクトル

(b) 土砂災害における評価指標とアルゴリズムに関する検討

人的被害が大きくなる傾向にある谷の出口や扇状地に造られた住宅地の上流部で生じる土石流、あるいはすでに街中を流下している土石流に対して地盤振動を検知することにより、ハザードの状況把握やアラート発信の契機として活かせるのではないかと考え検討を実施した。本来、土砂流動の実測記録を用いた検討を行うべきであるが、現実にも実記録を得ることは容易ではないため、実験により土砂流動を生じさせた。

(b)-1 土砂流動実験および地盤振動計測の概要

土砂流動実験は、防災科学技術研究所大型降雨実験施設内の斜面（写真 3.2-2）を用いて行った。バックホウのバケットに収納した土砂＝玉石（写真 3.2-3）を斜面頂部に設けた囲い枠内に落下させ、玉石が斜面上を転動する際に生じる地盤振動を複数のサーボ型加速度計（以下、計測器と称す）を用いて計測するものである。斜面高さ約 4.3m、斜面長さ約 13m で、斜面傾斜角は約 19.3°である。

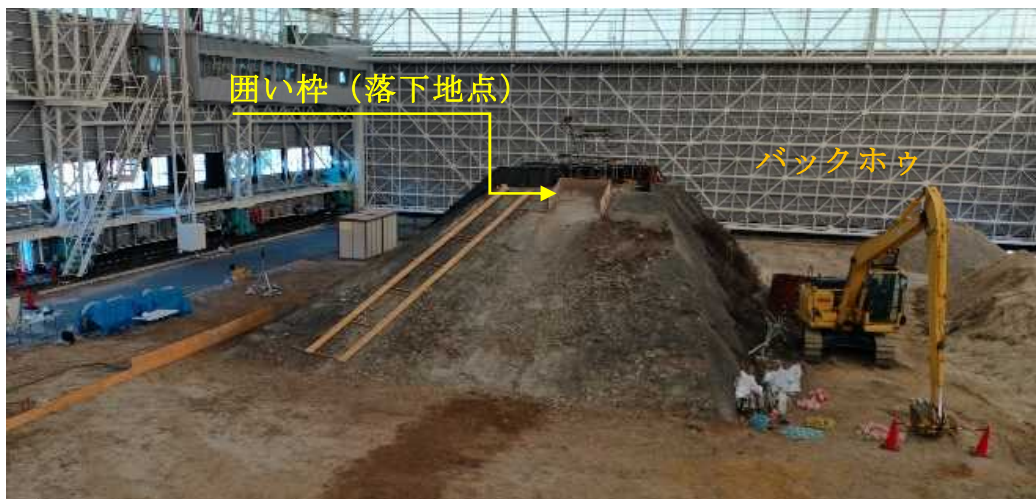


写真 3.2-2 土砂流動実験に用いた斜面（防災科学技術研究所）



写真 3.2-3 バックホウ・バケット内の玉石の一例（直径 10~20cm）

計測器の配置を図 3.2-14 に示す。計測器 No.4、6、7、8 についてはそれぞれ地表から 30cm 深さに埋設し、同一線上（センターライン：C.L.）に配置している。計測器 No.1、2、3、5 は C.L.から 9.73m 離れた線上（サイドライン：S.L.）で地表に設置している。各計測器で玉石の

流下方向 x 、その直交方向 y 、鉛直方向 z の加速度時刻歴を収録した。地盤振動データのサンプルリング間隔は 1/1000 秒である。

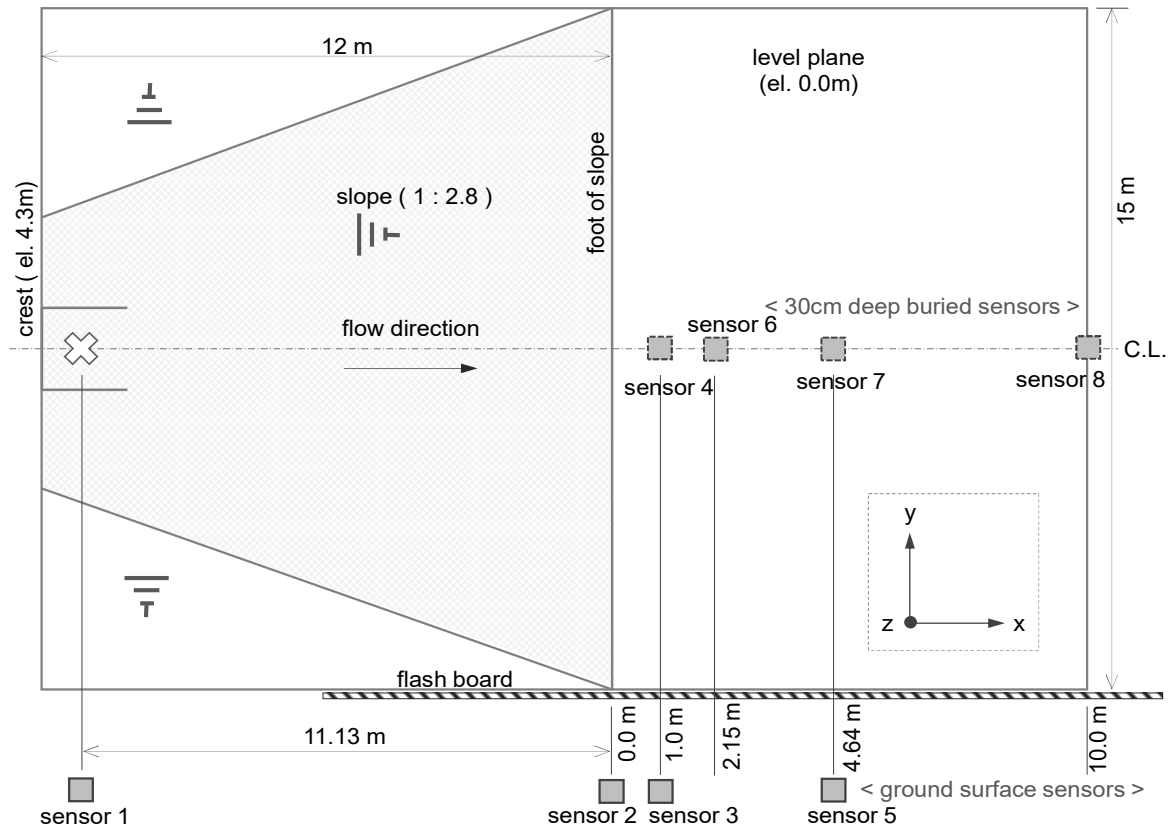
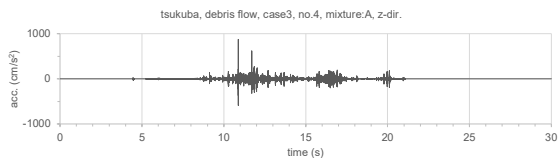


図 3.2-14 計測器の配置

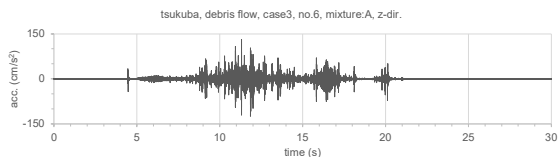
(b)-2 地盤振動特性の分析

平面地盤部のセンターライン (C.L.) の深さ 30cm 位置に埋設した計測器による収録記録の一例を図 3.2-15 に示す。ここでは、上下成分 (z 方向) を示している。図 3.2-15(4)の「a」で示した区間は主に土砂落下振動の波群、「b」区間は土砂流動による振動の波群である。図より、法尻に近い位置では振幅の大きいパルスが発生していることが分かる。一方、法尻から 10m 離れるとパルスは見られない。

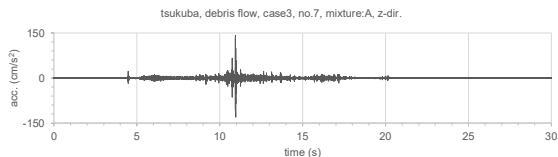
次に、加速度フーリエスペクトルの例を図 3.2-16 に示す。図は C.L. の法尻から 2.15m に設置した地中埋設計測器 6 の結果である。なお、各フーリエスペクトルにはバンド幅 2Hz の Parzen window で平滑化処理を施している。同一実験を 3 回実施した加速度記録を周波数領域で比較すると良く一致しており、実験の再現性が高いことを示している。



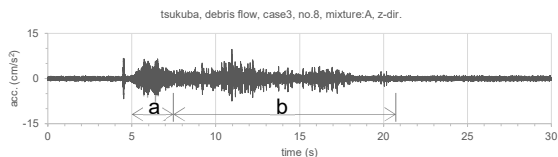
(1) 計測器 4 (法尻から 1.0m)



(2) 計測器 6 (法尻から 2.15m)



(3) 計測器 7 (法尻から 4.64m)



(4) 計測器 8 (法尻から 10.0m)

図 3.2-15 C.L. の加速度時刻歴波形の例 (z 方向)

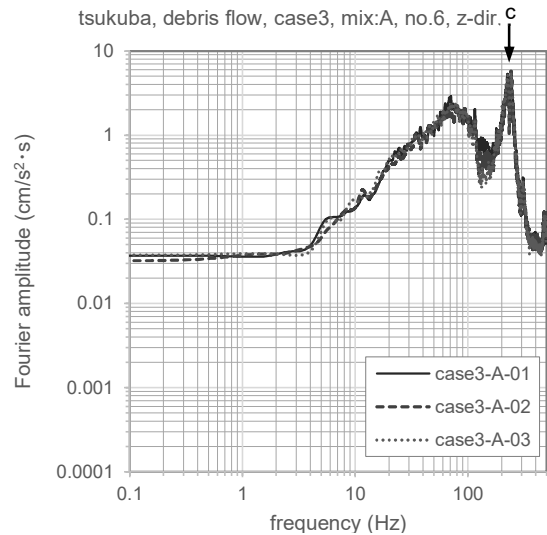
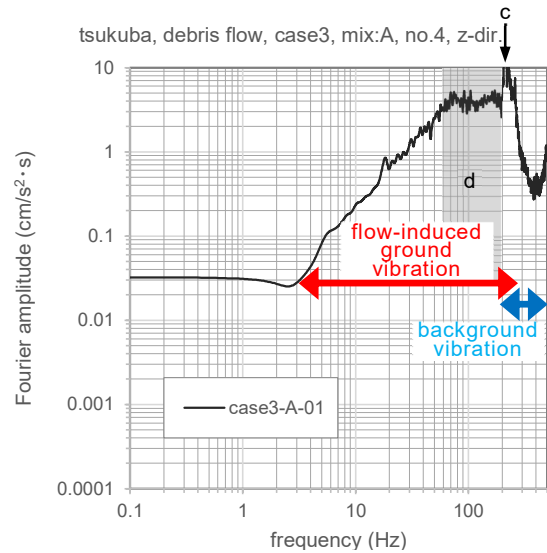
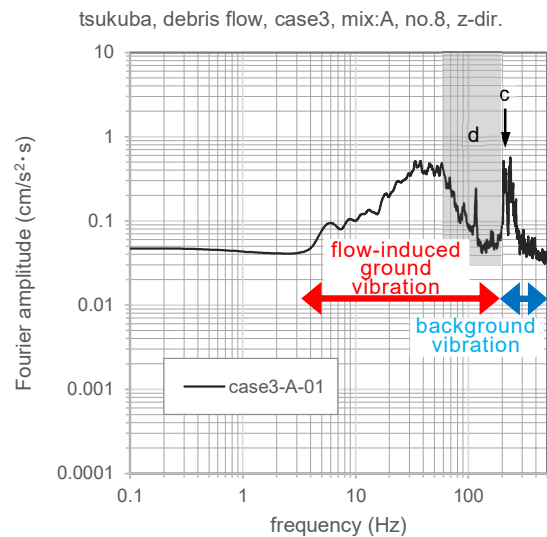


図 3.2-16 計測器 6 のフーリエスペクトル (z 方向)



(1) 計測器 4 (法尻から 1.0m)



(2) 計測器 8 (法尻から 10.0m)

図 3.2-17 C.L. の加速度時刻歴波形の例 (z 方向)

図 3.2-16 および図 3.2.17 に示したフーリエスペクトルの中で 200Hz 付近に見られるピーク (記号「c」で表示) は土砂を落下させるために使用しているバックホーのエンジンに起因する背景振動である。法尻近傍の計測記録では土砂振動の一部がバックホーによる背景振動と重複しているが、遠方の計測記録では両者は分離している。ここで、法面近傍の記録に見られる高周波成分 (記号「d」で表示した領域) は、主として図 3.2-15 に見られるパルスによるものと考えられ

る。この高周波パルスについては、別途実施した試験により、玉石相互および玉石と斜面上の砂礫、モルタル等との衝突によって発生することが確認された。土砂振動のピーク周波数は、40Hz程度～200Hz程度と広範囲に分布しており、法尻直近では高周波成分を多く含み、遠方になるに従ってピーク周波数が低下する様子が窺える。

図 3.2-18 には加速度時刻歴から算定した rms 振幅の距離減衰特性を示す。ここで、rms 算定に必要な継続時間は、時刻歴波形の累積パワーが 5～95%の区間とした。図中の丸印は観測値を、実線は Bornitz 式、破線は冪乗式による回帰結果を表している。観測値は 3 回実施した結果を記している。Bornitz 式は、伝播する波動を実体波とした場合と、表面波とした場合の 2 種類を示している。いずれの結果も観測記録と良く対応している。図より、伝播距離に従って振幅が減衰する様子が確認できる。

以上の通り、土石流が発生している極近傍では 100Hz 超の高周波パルスが発生しているものの、遠ざかるに従い高周波成分が減衰し、比較的低周波数の地盤振動として伝播することが分かった。

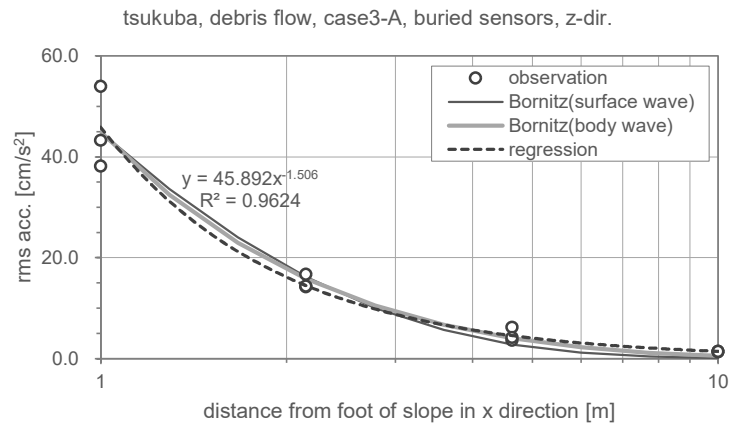


図 3.2-18 rms 振幅の距離減衰特性 (z 方向)

(b)-3 土砂流動の検知

斜面の土砂流動に起因する地盤振動の特徴として、計測器近傍では高周波パルスが含まれること、遠ざかると比較的低周波数の地盤振動となることが確認された。そこで、計測位置の近傍に生じている土砂移動に対しては、パルス信号を用いた検知アルゴリズムを開発した。計測位置から離れた位置に生じている土石流に対しては、高周波数成分の距離減衰によって現れるスペクトル形状を利用した検知アルゴリズムを開発した。また、地震発生に伴う地盤振動による誤検知を回避する方法についても検証した。

(c) 建物周辺被害における評価指標とアルゴリズムに関する検討

(c)-1 評価指標の選定

ヒアリング調査の分析によって得られた自治体ニーズ等に基づいて、「低層住宅全壊率」を評価指標として選定した。

(c)-2 評価指標の定量化

「低層住宅全壊率」との対応が良い修正計測震度の評価式（境他 2002）を選定した。

低層住宅全壊率修正被害関数（修正岡田・高井(1999)式）は、図 3.2-19 の通り震度Ⅶの定義である家屋倒壊率 30%を条件として正規分布の平均値を被害関数（回帰式）から修正して、次式の通り得られる（境他 2002）。

$$F(I_M) = \Phi(-12.03 + 1.77 \cdot I_M) \text{ 式(1)}$$

ここで、 I_M ：修正計測震度、 $\Phi(\cdot)$ ：標準正規分布の累積確率、である。

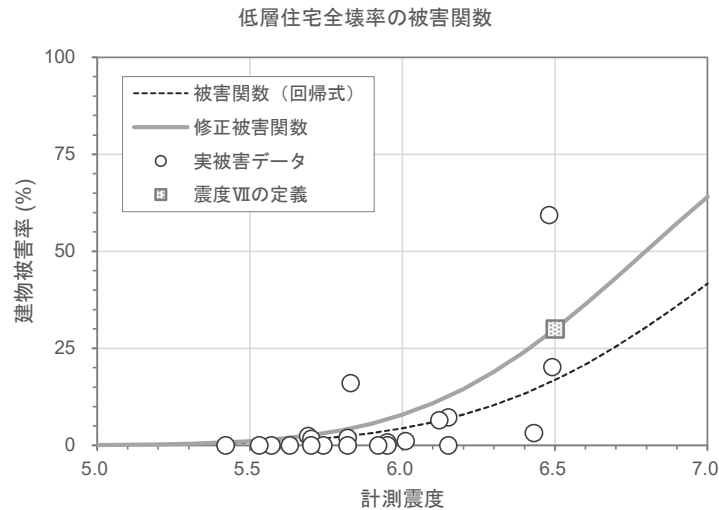


図 3.2-19 低層住宅被害率の被害関数と実被害データおよび震度Ⅶ定義との関係

等価周期速度応答（周期：1.0～2.0 秒の平均値）を指標とした修正計測震度は以下の通り得られる。

$$I_{V1} = 1.00 + 2.17 \cdot \log_{10}(V_1) \text{ 式(2)}$$

ここで、 V_1 ：周期：1.0～2.0 秒の等価周期速度応答（cm/s）

一方、等価周期速度応答（周期：0.1～1.0 秒の平均値）による修正計測震度は次式の通りである。

$$I_{V2} = 2.02 + 1.92 \cdot \log_{10}(V_2) \text{ 式(3)}$$

ここで、 V_2 周期：0.1～1.0 秒の等価周期速度応答（cm/s）

修正計測震度（ I_M ）算定のアルゴリズムは、式(2)および式(3)を用いて以下の通りである。

a) $I_{V1} \geq 5.5$ の場合(case 1)

$$I_M = I_{V1}$$

b) $I_{V1} < 5.5 \wedge I_{V2} < 5.5$ の場合(case 2)

$$I_M = I_{V2}$$

c) $I_{V1} < 5.5 \wedge I_{V2} \geq 5.5$ の場合(case 3)

$$I_M = \frac{1}{2}(I_{V1} + I_{V2})$$

式(4)

式(4)の修正計測震度を修正被害関数である式(1)に代入して、低層住宅全壊率が得られる。

(c)-3 アルゴリズムの検討

修正計測震度は地表の等価周期速度応答によって求められる。そこで、電柱で観測したデータに基づいた検討を実施し、地表の等価周期速度応答を求めるためのアルゴリズムを構築した。構築したアルゴリズムを用いてあるサイト直下の模擬地震（Mj7.3）に対する低層住宅全壊率の予測を行った結果の一例を図 3.2-20 に示す。

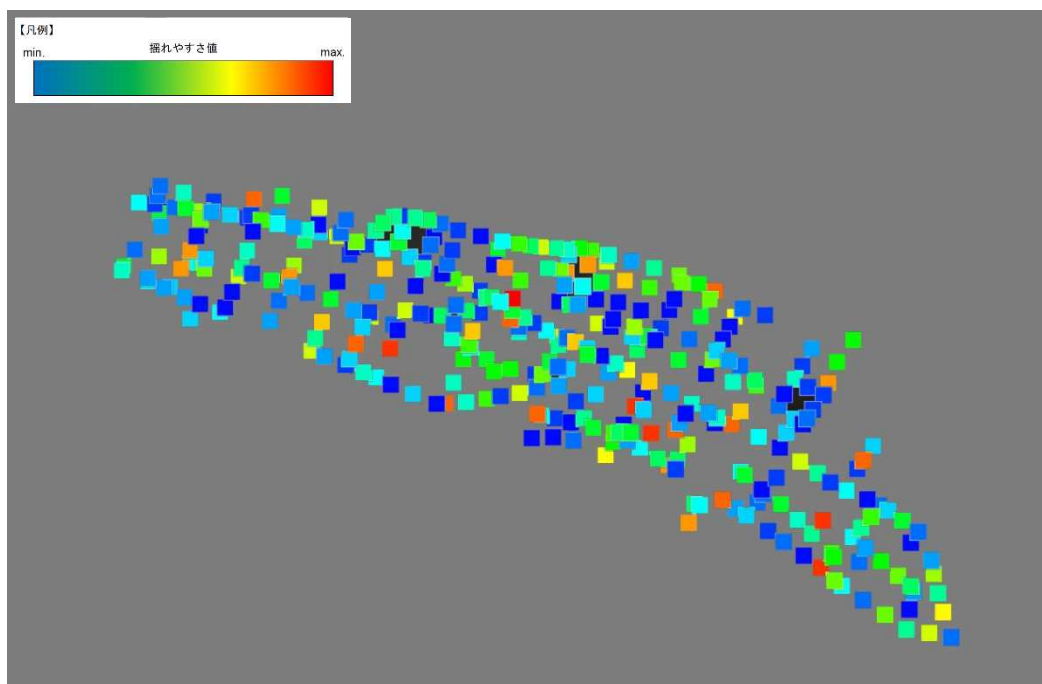


図 3.2-20 模擬地震による低層住宅全壊率予測値の空間分布図例

本研究開発の意義として、今後は電柱利用に限らず、防災に対して多面的に本評価アルゴリズムを展開することが可能である。

④ユーザーインターフェースの研究開発（東電タウンプランニング株式会社）

(a) 災害時及び平常時に必要なデータ・情報のヒアリング調査・分析

(a)-1 自治体ニーズを研究開発へ反映

本研究開発では研究初期の段階から自治体へのニーズヒアリングを実施した。

災害時に対するニーズ割合としては、道路の浸水深（85%）の次に土砂災害の発生状況・予兆（45%）が高いことがわかった。土砂災害の検知について研究開発することの優位性を明らかにすることができた。

また、平常時に対するニーズ割合では、特に人流、交通量（53%）が共にニーズが高いことがわかった。

ただし、プライバシーの観点から、カメラ設置に対する住民からの抵抗が強いこともわかった。本研究で開発する差分センサは、プライバシーの観点からも人流・交通量の評価に適用可能であり、将来の社会課題を解決できる可能性があることを認識することができた。

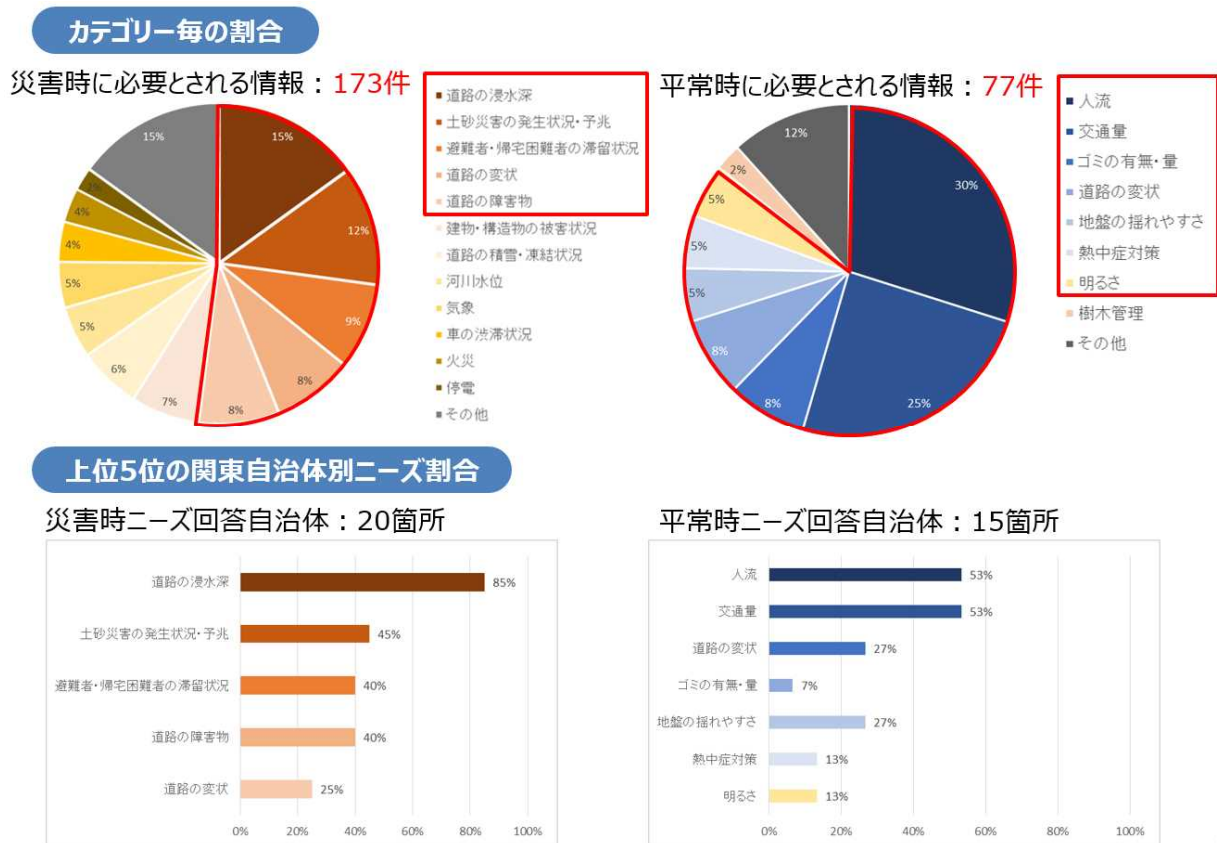


図 3.2-21 関東圏自治体（20自治体）ヒアリング調査の災害時及び平常時ニーズ回答内訳

(a)-2 防災情報に求められる情報の整理

防災情報は、自治体の他に社会インフラ企業や住民を想定することから、社会インフラ企業及び災害経験のある住民の方にもヒアリング調査を実施し、災害発生時に求められる情報を以下のとおり整理した。

表 3.2-4 災害に関する情報ニーズ

ユーザ	なぜ必要か	どのような情報が必要か
自治体	【復旧のため】 ・被害状況把握のため ・対応の優先順位付けのため ・避難および救助活動のための二次被害への備え ・管理している施設・構造物への対策のため(点検の優先順位付け)	・災害の発生検知(いつ、どこで) ・地震の揺れが強い場所 ・家屋の倒壊 ・道路障害(道が通れるのか) ・道路の浸水 ・避難民の滞留や避難所の状況
インフラ企業	・管理している施設・構造物への対策のため(点検の優先順位付け)	・災害の発生検知(いつ、どこで) ・管理している構造物直近の地震の揺れ具合 ・管理している構造物の損害
住民	【避難のため】	・家屋の倒壊 ・道路障害(道が通れるのか) ・避難所の空き具合

<参考>声の一例

【住民・自治体の声】

- ・土砂災害は、直前・直後であっても発生情報が欲しい
- ・主要道路に限らず、裏道でも人流・車流混雑度が欲しい
- ・避難所周辺状況、帰宅困難者を含む避難者の動きを把握して、避難所運営に活用したい
- ・浸水個所を特定したい

【社会インフラ企業の声】

- ・自社観測網は、コスト的に保守ができないため他者から情報を購入したい
- ・事前に設備のウィークポイントを把握して、事前計画に反映させたい
- ・リアルタイムの状況把握により被災確認、緊急点検優先度と対応決定に活用したい

(b) シート型マルチセンサの電柱への設置方法の検討

(b)-1 シート型マルチセンサの電柱への設置方法について整理

シート型マルチセンサを電柱に設置するにあたり関わる法令や規制などを整理し、設置候補位置を検討するとともに、電柱の運用面の観点から踏まえた設置方法の基本方針を検討した結果、腕金方式と巻き付け方式の2方式(図 3.2-22)の方向性を検討した。

両方式ともに電柱所有者等との設置については協議が必要になり、腕金方式は点設備共架に則り協議が進められる。一方、巻き付け方式は前例のない設置方法であるため、比較的ハードルが高い方法であることが確認された。

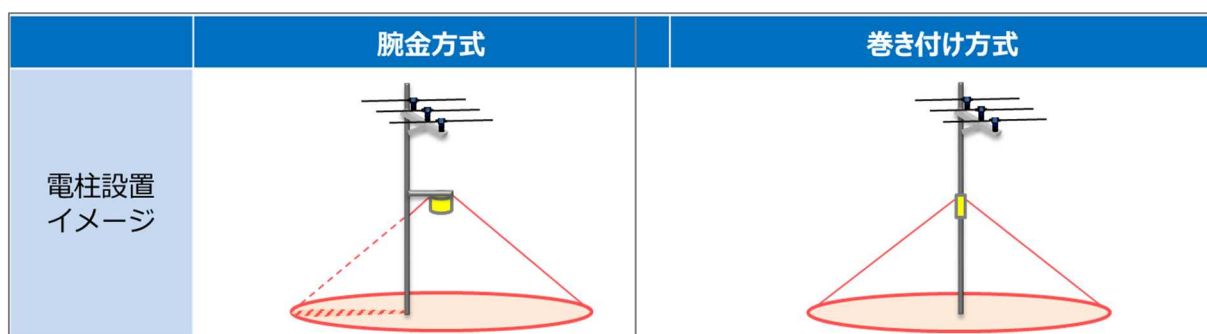


図 3.2-22 シート型マルチセンサ設置方式の方向性

(b)-2 シート型マルチセンサの電柱への設置方法の検討

2方式の方向性について規制及び設備構築運用の観点を加味し、差分センサ、振動センサを同一筐体化した際のモックアップイメージを検討し、電柱所有者及び道路管理者との協議を行える基本設計を実施した。

(c) ユーザーインターフェースの基本構想の検討

(c)-1 電柱からセンシング可能な範囲の平面図を作成

特定エリアを指定し、既設電柱を配点した。その後、センサ設置を想定し、現場調査により電柱へのセンサ取り付け可否調査結果を反映のうえ、センシング範囲（電柱を中心に最大 30m）を重ね合わせることで、電柱を活用したセンシング範囲イメージ図を作成し可視化した。

(c)-2 事象図の作成

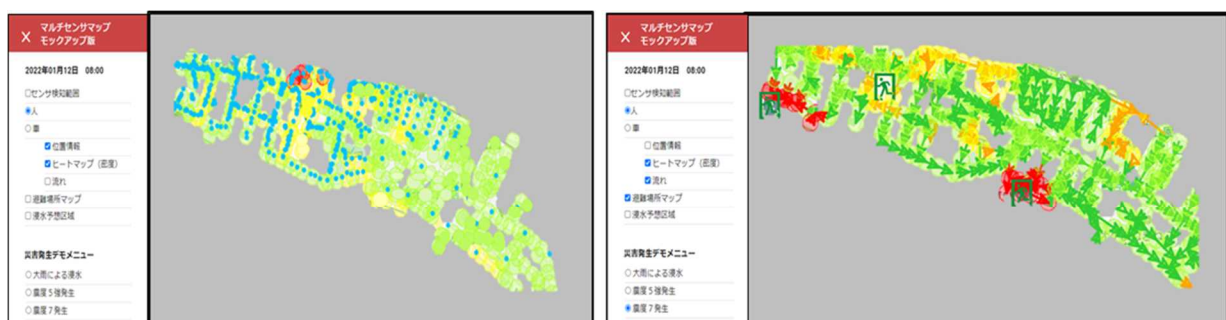
センシング範囲から把握できる可能性のある事象（洪水、浸水、道路障害、建造物の倒壊、土砂災害、人や車の流れ・混雑状況など）の発生状況について、リアルタイム及び事象経過をわかりやすく伝える事象図を作成した。また、特定エリア（水害マップ）を重ね合わせて電柱からのセンシングされた状況を地図上に可視化させ、平常時及び災害時の人流などの情報の表示イメージ図を作成した。

これら事象図は、利用イメージを想定した自治体等へのヒアリング調査でニーズ等の具体的な聞き取りに活用した。

(c)-3 想定ユーザーのニーズに対応した平常時及び災害時の情報を表示できる表示ソフトウェアの試作

表示ソフトウェアのモックアップ版の作成にあたっては、短期実証試験結果から伝達情報（人・車等）を体系的に整理し、平常時及び災害時の利用シーンを検討し試作した。また、災害時の被災状況、避難経路の通行障害や避難者の人の流れなどを想定し情報をマッピングにより可視化した。一例を図 3.2-23 に示す。

このモックアップ版の試作により、想定ユーザーが得られる情報をイメージすることができるため、ユーザーインターフェース設計において、より具体的なヒアリング調査に繋げることができた。また、将来の企業化に向けた、センサからの伝達情報（人・車等）の市場性についてユーザー要求ニーズ調査を実施・整理した。



平常時

震度7発生時

図 3.2-23 ヒートマップ（人の密度）状況の可視化例

本研究開発の意義として、今後は事業化に向けたニーズ調査において想定ユーザーが得られる情報をイメージすることで、具体的なヒアリング調査に繋げることが可能である。

(8) 成果の最終目標の達成可能性

2022年3月31日委託事業終了に伴い記載なし。

(9) 成果の普及

表 3.2-5 論文、外部発表等の件数（内訳） 【2022年3月末現在】

年度	論文		その他外部発表				受賞実績
	査読付き	その他	学会発表・講演	新聞・雑誌等への掲載	展示会への出展	その他	
2019							
2020	1		3		1		
2021			3		1		
合計	1		6		2		

(10) 知的財産権などの確保に向けた取り組み

表 3.2-6 特許の件数（内訳） 【2022年3月末現在】

年度	特許出願		
	国内	外国	PCT
2019	0	0	0
2020	0	0	0
2021	4	0	0
PJ期間 合計	4	0	0

4. 事業化・実用化に向けた取組及び見通し

(1) 実用化に向けた戦略

事業の展開にあたっては、まず「防災情報サービス」の早期展開を目標とし、デバイス・システム製作会社と連携を図り、スポット的なエリアを対象とした試行に着手することを考えている。

(2) 実用化に向けた具体的取組

	2021年 度	2022年 度	2023年 度	2024年 度	2025年 度	2026年 度	2027年 度	2028年 度
製品設計		▲マルチセンサ基本設計完了						
		デバイス・システム製作会社とのアライアンス			▲プロジェクト終了			
生産と設置		▲サンプル出荷開始						
試験運用			スポット的なエリアにおける試					
改良検討					◇続行／中断を判断			

予想される重大な障害：

製品設計段階：特になし

設備投資段階：デバイス、システムの製作会社との提携不調

生産段階：デバイス・システム会社の生産能力や品質

販売段階：電柱への実装による法的な制約、地元自治体との連携不調

(3) 成果の実用化の見通し

・ 防災情報サービス

防災情報サービスでは、サービスの提供先として住民、自治体及び社会インフラ企業を想定している。各ユーザーからの防災に関するニーズを以下に記載する。

表 4-1 防災に関するユーザーニーズ

ユーザ	なぜ必要か	どのような情報が必要か
自治体	【復旧のため】 ・被害状況把握のため ・対応の優先順位付けのため ・避難および救助活動のための二次被害への備え ・管理している施設・構造物への対策のため(点検の優先順位付け)	・災害の発生検知(いつ、どこで) ・地震の揺れが強い場所 ・家屋の倒壊 ・道路障害(道が通れるのか) ・道路の浸水 ・避難民の滞留や避難所の状況
インフラ企業	【復旧のため】 ・被害状況把握のため ・対応の優先順位付けのため ・避難および救助活動のための二次被害への備え ・管理している施設・構造物への対策のため(点検の優先順位付け)	・災害の発生検知(いつ、どこで) ・管理している構造物直近の地震の揺れ具合 ・管理している構造物の損害
住民	【避難のため】	・家屋の倒壊 ・道路障害(道が通れるのか) ・避難所の空き具合

(4) 波及効果

本事業の開始当初は、防災情報サービスのみを提供する。本サービスでは、ユーザーが希望するポイントにセンサを設置し、その観測ポイントで得られる情報をユーザーへ提供する。事業拡大に伴い、この観測ポイントが増えることを見込んでいる。

別添 5

研究開発項目①

極限環境の液体管理を IoT 化する革新的粘性センサ
の開発

国立研究開発法人産業技術総合研究所

ヤマシンフィルタ株式会社

3.2 研究開発項目毎の成果及び実用化

(1) 背景と目的

我が国の産業分野では、IoT化が進展しつつあるものの、液体の品質を管理するためのセンサについては、センサ化自体が十分になされていなかった。とりわけ、建機分野では図1のように他分野に先行してIoT化が充実していたにもかかわらず、油圧作動油やエンジンオイルなどの劣化状態のモニタリングの用途には適したセンサがなく、IoT化の進展が滞っていた。そのため、途上国での故障率の増大などの問題につながっていた。そこで、本研究開発では、建機用の液体管理に用いることができ、非ニュートン性や粘弾性も測定可能な粘性センサを開発し、建機のIoT化の課題を解決し、建機用フィルタの劣化を検出して交換をオンラインで提案するICTサービスの構築を目的とする。

建機のオイル劣化検出を目的として、産業技術総合研究所で開発を進めてきたMEMS粘性センサを元に、非ニュートン性や粘弾性も測定可能な超小型MEMS粘性センサを開発する（研究項目①粘性センサの測定原理の革新的高度化）。超小型MEMS粘性センサを建機フィルタ内に搭載する際には、設置環境が大きな温度分布や激しい流動、高圧な極限的な環境にさらされる。そこで、超小型MEMS粘性センサと共にMEMSポンプを積層パッケージにより一体化した革新的粘性センサを開発することで、温度分布を緩和し、流れのない穏やかな空間での測定を実現する。また、液体空間へのセンサ実装に必要な不可欠な隔壁間無線給電・通信を開発することで、大気空間と液体空間をつなぐ電線とシールを排除する（研究項目②粘性センサの積層パッケージ化による高度化）。

上記の革新的粘性センサは、図3.2.1のように建機のオイルフィルタ内部に設置され、オイルの劣化と、フィルタの性能を常時モニタリングする。本研究開発ではそれらの情報を分析して、オイルやフィルタの交換タイミングをユーザーに伝達したり、機械の稼働状態をアドバイスしたりするIoT-ICTサービスのプロトタイプを開発し、さらに実際の建機に搭載した実証試験を行う（研究項目③粘性センサの動作試験とIoTデバイス化）。

本研究で開発する革新的粘性センサは、粘性センサを液体中に設置する際に問題となる共通課題を克服するものであり、自動車用塗装ロボットの塗料や、NC加工機の切削油、冷媒の潤滑油などの液体管理に活用できることから、幅広い産業への事業展開が見込まれる。

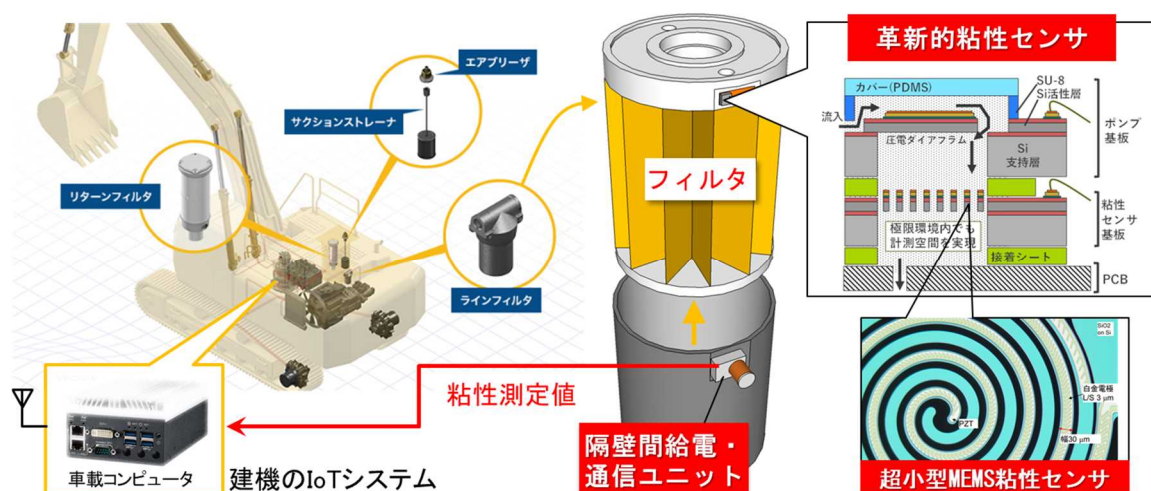


図 3.2.1 本研究で開発する建機オイルフィルタ内蔵革新的粘性センサ

(2) 位置づけ、目標値

事業者のうち、産業技術総合研究所は研究項目①「粘性センサの原理の革新的高度化」、②「粘性センサの積層パッケージ化による高度化」を担当する。ヤマシンフィルタ株式会社は研究項目③「粘性センサの動作試験と IoT デバイス化」を担当する。2020 年度には、初期のモデルの設計とプロトタイプ一号機の完成を目指して各種のテストを行い、2021 年度からは改良版を製作するサイクルを複数回繰り返すことで、段階的にセンサシステムの完成を目指す。2022 年度末のフェーズ A および全体期間終了時点の全体目標は以下の通り。

【2022 年度末 達成目標】

- ・非ニュートン性、粘弾性の測定が可能な革新的粘性センサの原理の実証。
- ・厚み 100 μm 以下、チップサイズ 5 mm 角以下の微小な粘性センサとホルダー筐体の開発。
- ・建機を模擬した環境での実証試験。

【2024 年度末 達成目標（予定）】

- ・非ニュートン性、粘弾性を持つ液体の粘性を 1 %以下の不確かさで測定できる高精度性。
- ・チップサイズを 2 mm 角以下にサイズダウンし内蔵ポンプと隔壁間給電を開発する。
- ・建機の実機に搭載して行う実証試験と IoT システムと ICT サービスのプロトタイプを構築。

研究項目①「粘性センサの原理の革新的高度化」では、うずまき状振動子の粘性センサを開発の基礎として、新原理の導入とセンササイズのスケールダウンによって非ニュートン性、粘弾性の測定のために必要な共振周波数の高周波化と高感度化を同時に実現する。粘性センサの測定性能の向上を進め、ずり速度 1~50 s^{-1} 、ずり応力 0.01 Pa~1 Pa の範囲での非ニュートン性測定と、周波数 0.1 Hz~50 Hz の範囲での粘弾性測定を実現することを目標とする。ずり応力の測定精度の目標を 5 %に設定する。粘弾性測定における位相角の分解能を 3 °に設定する。また、振動、高圧、高温の条件について、上記の粘性センサの性能に与える影響を、振動試験装置、高圧・高温試験装置を用いて実験的に検証する。

研究項目②「粘性センサの積層パッケージ化による高度化」では、粘性センサ本体、粘性センサのカバー、ポンプ、流路等を備えたモジュールを積層し、チップレベルで一体的なセンサシステムを構築するとともに、隔壁間無線給電の開発を行う。粘性センサの改良と試作を複数回繰り返し、チップサイズ 5mm 以下を目標とする。また、隔壁間無線給電の電力伝送として 100mW を目標とする。

研究項目③「粘性センサの動作試験と IoT デバイス化」では、開発した革新的粘性センサを建機に搭載して実証試験を行うと共に、建機の基幹システムへの接続方法の設計と、ICT サービスのプロトタイプモデルを試作する。

本研究で開発する革新的粘性センサの位置づけとして、既存の粘性センサとの性能比較を図 3.2.2 に示す。

技術名称	原理	サイズ	非ニュートン	粘弾性	極限環境	実用レベル・価格
FPS (クローネ)	水晶振動子の減衰	5mm	ずり速度過大×	×	×	市販・20万円
Vismart (Vectron)	表面弾性波の減衰	10mm	ずり速度過大×	×	×	市販150万円
カンチレバ式 (Goodwinら)	片持ち梁振動の減衰	1mm	ずり速度過大×	×	×	研究段階・なし
本Pjの粘性センサ	並行平板式	2mm	○	○	◎	チップ:数百円 システム:1万円

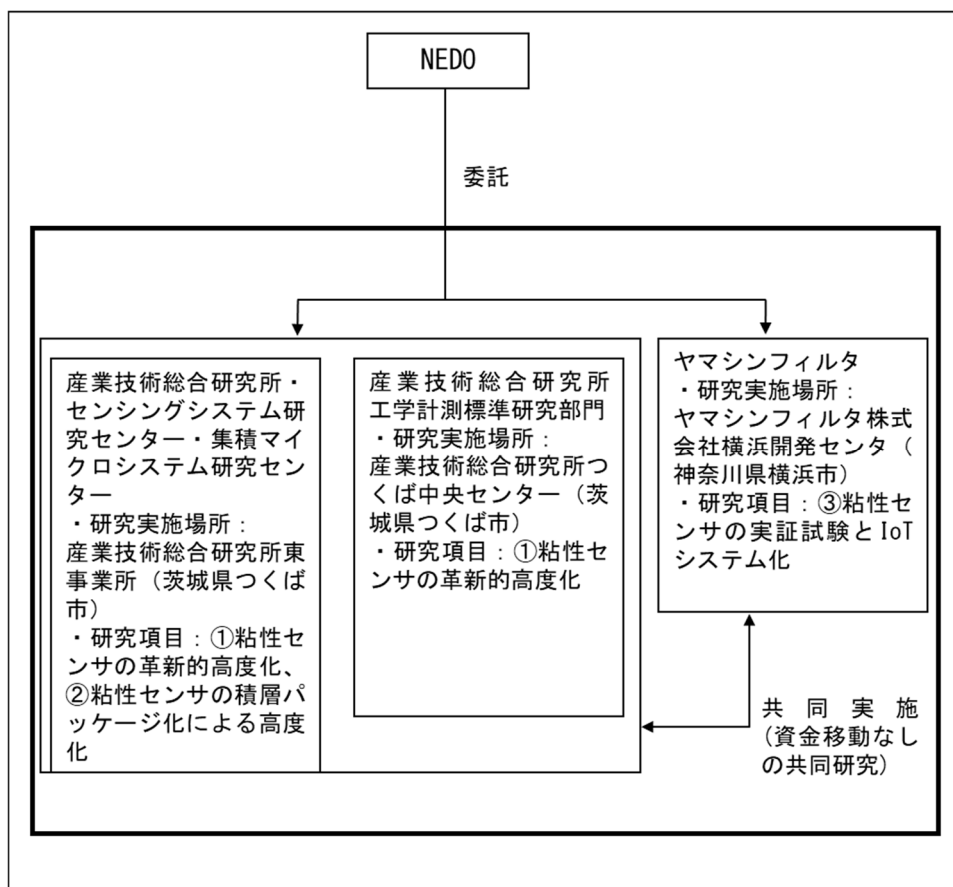
図 3.2.2 革新的粘性センサの位置づけ

(3) 全体計画

2020年度は従来試作した粘性センサを用いながら測定原理の革新的高度化に関する実験を行いつつ、今回開発のMEMS粘性センサ、MEMSポンプを試作すると共に、無線給電システムの基本原理を考案する。また、建機での実証試験の準備を行う。2021年度はMEMS粘性センサとMEMSポンプを積層した革新的MEMS粘性センサのプロトタイプを試作し、無線給電システムとの一体化に着手する。また、プロトタイプを建機に搭載した実証試験を開始し、平行して建機内でもIoTシステムを設計する。2022年度は各要素技術を統合した革新的MEMS粘性センサの最終試作を行い、無線給電システムと一体化して建機のフィルタに内蔵する。これを建機に取り付け、建機フィルタ内部での革新的MEMS粘性センサの動作を実証する。

研究項目 (研究担当機関)	フェーズA			フェーズB	
	2020年度	2021年度	2022年度	2023年度	2024年度
①測定原理の革新的高度化(産総研)					
NN計測理論の構築	非ニュートン流体測定理論構築	ずり速度限界の拡大			
設計	粘性センサ設計	不確かさ等評価・改良			
②積層パッケージ化による高度化(産総研)					
粘性センサの作製	プロトタイプ試作①	プロトタイプ試作②	最終試作	一体化デバイス試作	商業生産方法と製品パッケージの設計・検証
ポンプ積層パッケージ	積層構造設計とポンプ仕様策定	センサ・ポンプ積層構造試作	最終試作		
無線給電システム	基礎原理の考案・実証実験	給電コイル構造の小型化と高効率化			
③実証試験とIoTシステム					
建機での実証試験	試験用建機の購入とセンサ組込準備	プロトタイプセンサの設置試験・耐久試験	製品化仕様の策定		
IoTシステムの構築		建機内でのIoT設計	IoTサービスの構築		

(4) 実施体制



(5) 運営管理

産業技術総合研究所、ヤマシンフィルタ、NEDO 担当者が参加する研究会を月に一回実施し、進捗を確認している。また、知財検討のため知財委員会を適宜開催している。年に一度の外部有識者による技術推進委員会を開催している。

(6) 実施の効果

現時点における販売計画 (年間売上、出荷予定数、単価) は下記の通りとなる。

FILTER SAVER™販売計画

●K社向け

	67期 (2021年度)	68期 (2022年度)	69期 (2023年度)	70期 (2024年度)	71期 (2025年度)	72期 (2026年度)
年間売上	-	-	-	¥1,800,000	¥1,800,000	¥1,800,000
出荷予定数	-	-	-	300	300	300
単価	-	-	-	¥6,000	¥6,000	¥6,000

●H社向け

	67期 (2021年度)	68期 (2022年度)	69期 (2023年度)	70期 (2024年度)	71期 (2025年度)	72期 (2026年度)
年間売上	-	-	-	-	¥25,000,000	¥50,000,000
出荷予定数	-	-	-	-	5,000	10,000
単価	-	-	-	-	¥5,000	¥5,000

(7) 研究開発成果

(7.1) 中間目標の達成度

研究項目	研究項目毎の2022年度中間目標	成果	達成度	今後の課題
①粘性センサの原理の革新的高度化	<ul style="list-style-type: none"> 非ニュートン性、粘弾性の測定が可能な革新的粘性センサの原理の実証 ニュートン流体の粘度測定:測定精度3% 非ニュートン性測定:ずり速度1~50 s⁻¹、ずり応力0.01 Pa~1 Pa 粘弾性測定:周波数0.1 Hz~50 Hz ずり応力の測定の数値目標:5% 粘弾性測定の位相角の分解能:3° 振動、圧力、温度の影響の基礎検証実験 	<ul style="list-style-type: none"> 3.5mm角超小型MEMS粘性センサVer.1と駆動回路の開発を実現し、ニュートン流体を約3%の精度で測定することに成功した 粘性センサ超小型化により共振周波数$\omega_0=10\text{kHz}$を実現することで、非ニュートン性測定の前提となる三角波駆動条件下で振動体の変位を三角波にすることに成功した。 	<p>○</p> <p>△</p>	<ul style="list-style-type: none"> 粘性センサ構造の厚さを最適化することで、最終目標の測定精度1%に向上させる。 高粘度の液中で、5次の項ω_0かつ高次の奇数項ω_0を満たすような最適駆動条件を探索することで、中間目標を達成する。
②粘性センサの積層パッケージ化による高度化	<ul style="list-style-type: none"> 厚み100 μm以下、チップサイズ5mm角以下の微小な粘性センサとホルダー筐体の開発 粘性センサの改良と試作を複数回行う サイズ目標:5mm角 隔壁間無線給電の電力目標:100 mW 	<ul style="list-style-type: none"> MEMS粘性センサver.1を試作、評価し、変位センサのノイズ源である引き出し配線部を短くした粘性センサver.2を試作し、MEMS寄生容量由来のノイズを大幅に低減した。さらに、電極にグラウンドシールド構造を施した粘性センサver.3を試作し、オイルの寄生容量由来のノイズを低減した。 SU-8樹脂による流路形成及びPDMSとの接合法を開発することで、3.5mm角の超小型粘性センサ・マイクロポンプチップスケールパッケージング技術の開発に成功した。 磁界結合無線給電・データ通信用送受信コイル・回路基板一体化モジュールを開発し、フィルタ管内のマイコン内部データ(64bit)を隔壁間無線給電により読み出すことに成功した。 	<p>○</p> <p>△</p> <p>△</p>	<ul style="list-style-type: none"> 配線パターンの修正点を反映した粘性センサver.4を試作することで、建機オイルフィルタ内部で所定の性能を達成する。 液体入れ替え用のポンプをパワーがある圧電セラミックスアクチュエータ式に置き換えると共に流路構造の圧損を低減することで、オイルの入れ替えを実現する。 フィルタ内部の給電能力を元に、内部に設置する二次電池の容量を適切に設定することで、粘性センサシステム全体の駆動に必要な550mWの給電を実現する。
③粘性センサの動作試験とIoTデバイス化	<ul style="list-style-type: none"> 建機を模擬した環境での実証試験 建機を用いた試験を継続する 建機の基幹システムへの接続方法の設計と、ICTサービスのプロトタイプモデルを試作する 	<ul style="list-style-type: none"> 試作したMEMS粘性センサVer.2を建機測定用治具に取り付け、MEMS粘性センサで建機中のオイルの粘性を測定する一連の動作を実証した。 基幹システムへの接続方法としてYMOシステムを開発した 	<p>△</p> <p>△</p>	<ul style="list-style-type: none"> MEMS粘性センサと周辺回路、及び隔壁間無線給電回路を一体化した基板とコイルをフィルタに内蔵することで、建機のオイルフィルタ内部のオイル粘性測定の動作実証を実現する。 上記動作実証試験を通じて、プロトタイプモデルを完成させる。

(7.2) 研究開発の成果と意義

研究項目①粘性センサの原理の革新的高度化において、2020年度試作の3.5mm角超小型粘性センサ1号機の評価を行い、振動体、感力体変位センサに振動体駆動電圧のノイズが入ることが見いだした。振動体・感力体変位センサの等価回路シミュレーションにより、ノイズ源がアクチュエータ上部電極からセンサ上部電極への漏れ込みであることを明らかにした。そこで、FIB加工により配線を短縮した2号機を試作して評価した結果、MEMS寄生容量由来のノイズを大幅に低減することに成功した。超小型粘性センサの振動体のアクチュエータ駆動回路と、振動体・構造体の変位検出アンプからなる低ノイズ化センサヘッド基板を開発した。この基板に2号機を実装して基本特性の評価を行い、ニュートン流体を約3%の精度で測定することに成功した(図3.2.3)。

この精度は良く普及しているB型回転粘度計の精度と同等であり、超小型の粘性センサでも計測器レベルの精度で測定が可能になったという点は意義深い。本研究開発において、建機の油圧作動油の劣化に伴う粘度の変化が新油の粘度と比較して10-20%上昇するという結果が得られている。この変化を粘性センサで検出する場合、測定精度が最終目標の1%であれば、上記の粘度変化を1%の精度で識別して劣化を診断することが可能となる。これにより油圧作動油を数か月単位で定期的に入れ替える現状に比べて、交換を状況に応じて行えるようになり平均して1年単位での入れ替えとなり、異常がある場合は早い段階での入れ替えが行えるよう

になり、建機のメンテナンスコストが大幅な低減につながる。このような実用的な観点からも今回の MEMS 粘性センサが 3%の精度で測定が行えるようになったことに大きな意義があると言える。

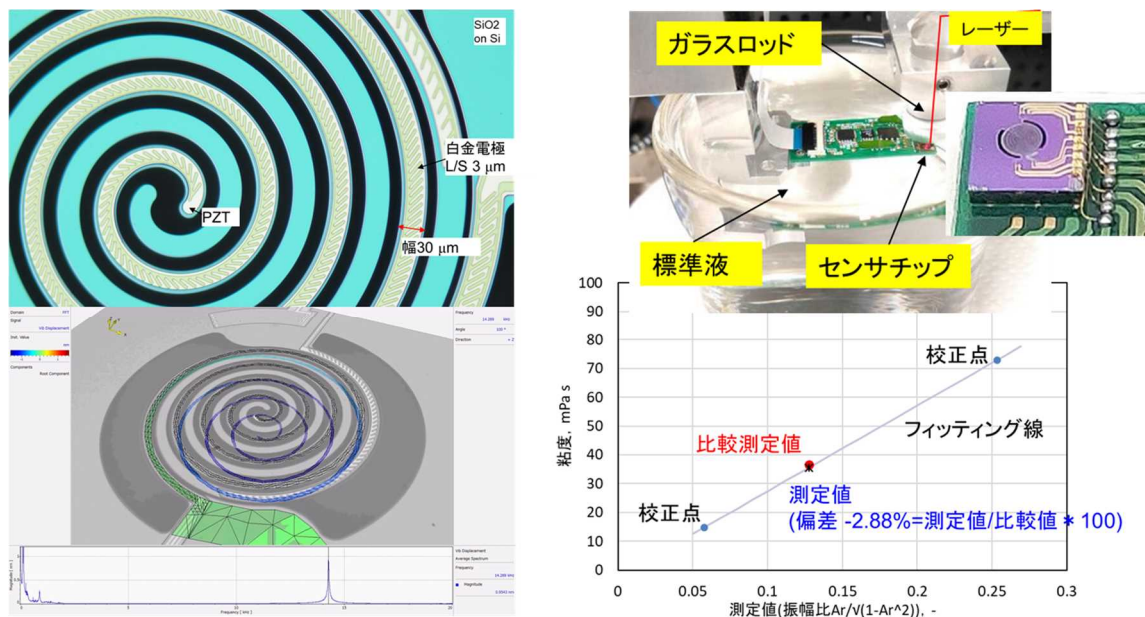


図 3.2.3 試作した MEMS 粘性センサと低ノイズ化センサヘッド基板に実装して標準液により標準液中で評価している状況

研究項目②粘性センサの積層パッケージ化による高度化において、ポンプの流路を SU-8 樹脂で形成することで、ポンプの大変位化と 100 μ m 深さ流路を両立すると共に、接着剤による PDM カバー基板との接合を実現することで、3.5mm 角の超小型粘性センサ・マイクロポンプチップスケールパッケージング技術の開発に成功した。

粘性センサ回路システムの隔壁間無線給電・データ通信について、磁界結合無線給電・データ通信用送受信コイル・回路基板一体化モジュールを開発した。具体的にはフィルタ外部の送信モジュールで生成した交流電力を金属を挟んだコイル同士で送受信し、フィルタ内部で受電した電力を整流・安定化電源回路で直流化してマイコンやセンサの電源とする。フィルタ内部からのデータは変調して結合コイルで外部に送信する。隔壁間無線給電及びデータ通信モジュールの動作確認として、フィルタ管内のマイコン内部データを隔壁間無線給電 (2mW, 100bps) により読み出すことに成功した (図 3.2.4)。このモジュールによるフィルタ内部への給電能力を検討し、フィルタ内部に 10mm 角程度の二次電池を内蔵することで、フィルタ内部の超小型粘性センサシステムの駆動からデータ読み出しまでに必要な電力を供給可能であることを試算した。以上のようにして開発した超小型粘性センサ搭載ヘッド基板モジュールと、無線受電・データ送信用コイル・回路基板一体化モジュール当すべてのユニットをフィルタ内部に組み込めるようにした、粘性センサシステム内蔵オイルフィルタのプロトタイプを前倒して試作した (図 3.2.5)。

フィルタ缶のような金属容器内部に給電、さらにデータを無線で読み出すことは通常の通信周波数帯 (400MHz, 920MHz, 2.4GHz など) では困難であり、本研究開発開始時の懸念事項でもあった。しかしながら今回、低周波数の磁界結合方式を採用することでオイルフィルタ内部

の粘性センサシステムに給電、さらにデータを読み出すことが可能となった。これにより、本研究開発で測定対象としている建機の油圧作動油モニタリングシステムを、建機側に大幅なシステム変更なく通常の運用範囲であるオイルフィルタの交換だけで導入できることになり、成果の普及が容易になるという点で意義があると言える。さらに、金属容器内部に給電、データ読み出しをしたいニーズは多様な機械装置にあり、本研究開発成果の適用範囲拡大にもつながるといっても意義があると言える。

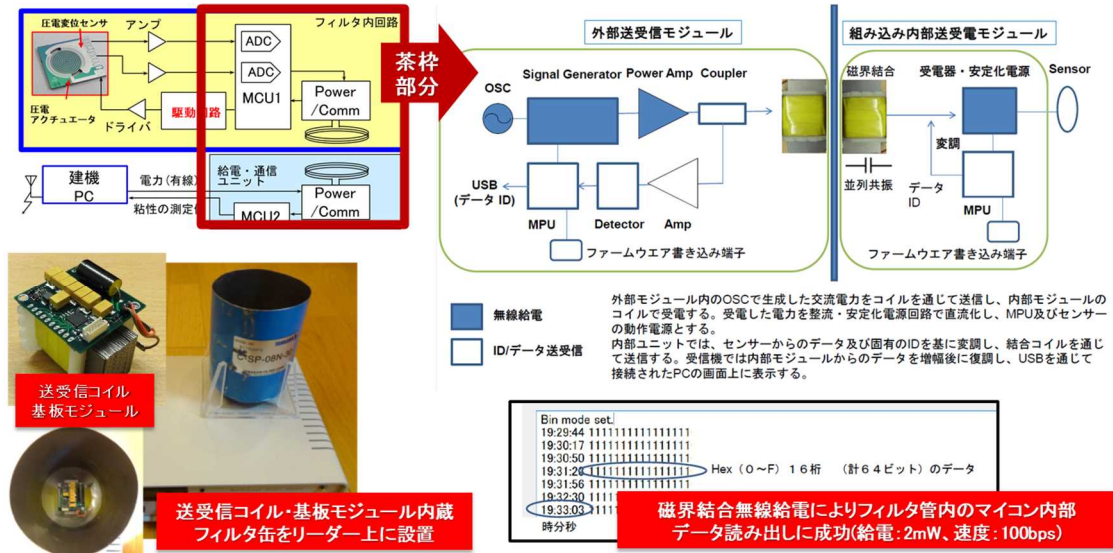


図 3.2.4 試作した磁界結合無線給電・データ通信用送受信コイル・回路基板一体化モジュールによるフィルタ管内情報の読み出し実験

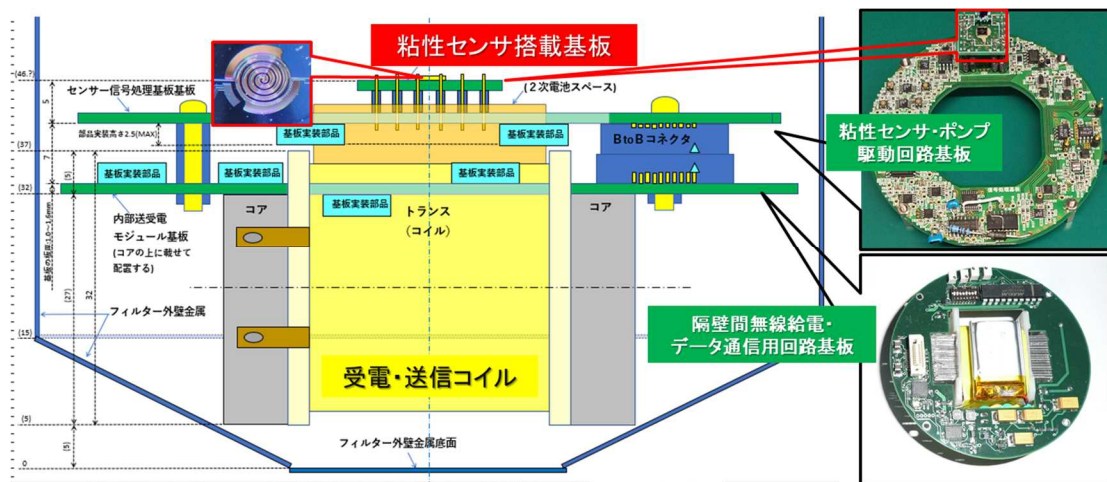


図 3.2.5 粘性センサシステム内蔵オイルフィルタのプロトタイプ

研究項目③粘性センサの動作試験とIoTデバイス化について、粘性センサの動作試験とIoTデバイス化に関する研究開発として、今年度開発の超小型粘性センサを建機測定用器具に取り付け、オイルタンクの金属管体をアースすることで、粘性センサで建機中のオイルの粘性を測

定する一連の動作を実証した。建機のオイルの実測値 136mPa・s に対して、粘性センサより測定した粘度は 82.5 mPa・s であったが、オーダーとしては問題ない精度で建機中でも測定できることが実証されたことは、実証現場における測定が問題なく行えることを示したという点で意義があると言える。基幹システムへの接続方法として YMO システムの基本仕様を策定した(図 3.2.5)。

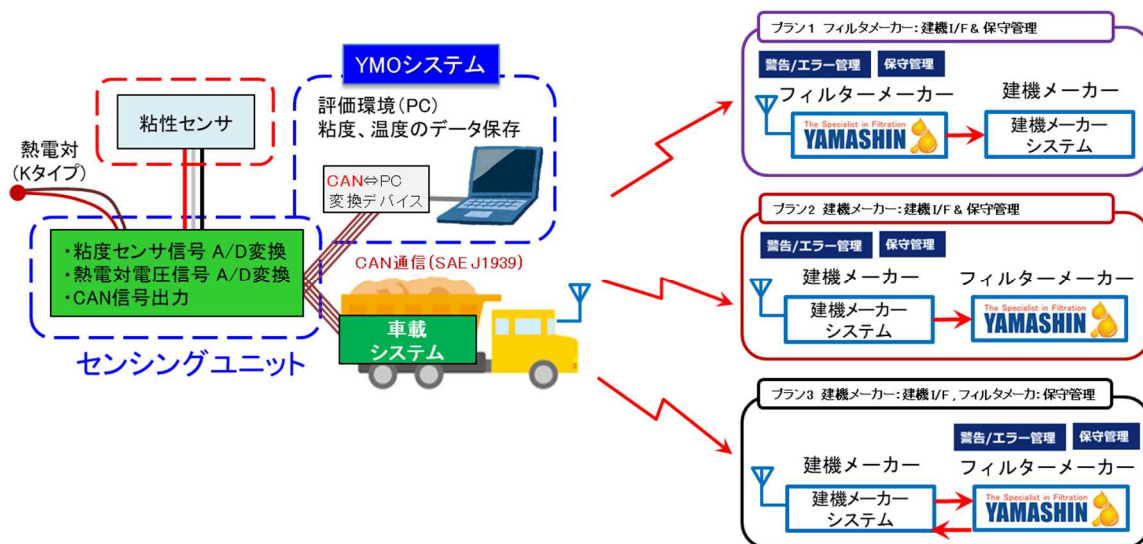


図 3.2.6 建機の車載システムに粘性センサ及び他のセンシングユニットを接続するための Yamashin Monitoring system for Oil (YMO システム) の全体像

(8) 成果の最終目標の達成可能性

研究開発項目	最終目標 (2024 年度)	達成見通し
①粘性センサ原理の革新的高度化	建機オイルの粘性を 1 %以下の不確かさで測定できる高精度性を確保 ・ ずり速度範囲 100s ⁻¹ まで拡張(上位目標を 1000s ⁻¹ とする) ・ ずり応力 測定精度 1%以下	2021 年度末の時点で 3%の精度を達成しており、MEMS 粘性センサの構造最適化により 1%を達成できる可能性は高い。
②粘性センサの積層パッケージによる高度化	チップサイズを 2 mm 角以下にサイズダウンし内蔵ポンプと隔壁間給電開発 ・ チップサイズ 2mm 角以下 ・ 厚み 100 μm 以下 ・ 積層パッケージにポンプを内蔵 ・ 隔壁間給電システムの実証	2022 年度当初の時点で粘性センサ、ポンプ、隔壁間給電の基本部分が開発されている。粘性センサの渦巻きは直径 1mm 程度であることから、チップサイズを 3.5mm 角から 2mm 角にするには、配線の短縮、電極パッド配置の最適化で実現可能であり、目標を達成できる可能性は高い。ただし流路の圧損が予想以上に高

		く、パッケージサイズは2mm角よりも大きくなる可能性がある。しかしながら、フィルタ内部には十分なスペースがあり許容範囲である。
③粘性センサの動作試験とIoTデバイス化	建機の実機に搭載して行う実証試験と、IoTシステムとICTサービスのプロトタイプを構築 <ul style="list-style-type: none"> ・建機の実機への搭載試験 ・建機のIoTシステムに接続し、劣化情報からユーザーへメンテナンス情報を提案するサービスを構築 	ヤマシンフィルタですでに開発を進めているシステムに粘性センサを組み込むことにより、既存システムを活用できることから、目標を達成できる可能性は高い。

(9) 成果の普及

表 論文、外部発表等の件数（内訳） 【2022年3月末現在】

年度	論文		その他外部発表				受賞実績
	査読付き	その他	学会発表・講演	新聞・雑誌等への掲載	展示会への出展	その他	
2020	0	0	0	0	0	0	0
2021	0	0	1	0	0	0	0
合計	0	0	1	0	0	0	0

(10) 知的財産権などの確保に向けた取り組み

産業技術総合研究所はMEMS粘性センサの基本構造であるうずまき状振動子の構造を上位請求項とし、MEMSポンプとのパッケージング、隔壁間無線給電に関する事項を続く請求項までを包含した特許を2022年度前半までに出願。ヤマシンフィルタはフィルタの圧力や温度をセンシングするシステムの既存特許を元に、今回の粘性センサを追加することでフィルタ内の液体劣化状態を測定できるフィルタに関する特許を2022年度前半までに出願。

表 特許の件数（内訳） 【2022年3月末現在】

年度	特許出願		
	国内	外国	PCT
2020	0	0	0
2021	0	0	0
PJ期間 合計	0	0	0

4. 事業化・実用化に向けた取組及び見通し

(1) 実用化に向けた戦略

主要建機メーカーの電子製品に関する規格の調査を進め、確認試験環境を整え規格に基づき試験を行い改修を行う。また、実機への搭載部位、形状の設計を進める。劣化オイルを試験的に作り評価を行い、劣化オイルの判断基準を探し出す。

(2) 実用化に向けた具体的取組

取組者はヤマシンフィルタ設計部担当者（3名を予定）とし具体的な取組として、2023年度粘度センサをメーカーの電子製品に関する規格に基づき試験を行い、規格を満足できるように改修を行う。4か月ごとに進捗確認を行う。2024年度前期には量産化に向けた設計を進め、後期には量産型手配、検査治具、組立設備の準備、を行い3か月ごとに進捗確認を行う。2022年度にてオイル劣化加速用試験機を制作し、2023年度～2024年度には劣化オイルを試験的に製作し評価を行い、劣化オイルの判断基準を探し出す。また、2022年度に実際に建設機器を使用しているメーカーと契約し実機より使用しているオイルを定期的に分けて頂き評価を行い4か月ごとに進捗確認を行う。

(3) 成果の実用化の見通し

粘度センサ、差圧センサ、フィルタ識別機能を搭載した商品化を計画している。現市場ではこのような商品は無い。本品にてオイルの情報、フィルタの情報を収集し情報を通信を使用し一括管理することにより交換時期、メンテナンス時期等を把握し的確なメンテナンスを行なえる。

(4) 波及効果

経済効果、社会的効果油圧機器においてオイル、フィルタの管理を行うことにより油圧機器の常態を正常に保つことにつながり、末端ユーザは安心して油圧機器を使用することができる。また、現状では使用可能なオイル、フィルタを時間にて交換しているが状況を把握することでオイル、フィルタを規定まで使用できるようになり資源の有効活用につながる。逆に劣化が早く進む場合他の部品（ポンプ）を破損する前にメンテナンスを行い交換部品を少なくすることによりし廃棄物削減し資源を有効活用できる。現時点では建設機器のオイル測定用に開発を進めているが、産業機器（プレス機等）、電力関係の発電機、風力発電機に拡販できると考えられる。

別添 6

研究開発項目①

高速・高 SNR 撮像素子による流体濃度分布その場計測デバイスの開発

国立大学法人東北大学

アストロデザイン株式会社、

株式会社フジキン

3.2 研究開発項目毎の成果及び実用化

(1) 背景と目的

高齢化・人口減少が続く我が国の経済を持続的に成長させるには、多品種・変動量で高付加価値な生産に資するものづくり産業や農業・畜産業等の労働生産性の向上が喫緊の課題となっている。中でも、予期せぬ被害・損失の発生を抑える、製造装置や工場インフラの早期異常検出や、農作物の生理障害の早期検出技術等の創出は重要な課題である。上記の課題を解決すると共に高付加価値生産を可能とするスマートマニュファクチャリング、スマート農業の早期実現が望まれている。これらの分野では、次世代 IoT 技術として、動きのあるガス・液体微量濃度の二次元・三次元分布を高速・非破壊・非侵襲にその場で可視化できるセンシングデバイスが必要とされている。

近年の IoT 技術を用いたものづくりの事例として、半導体集積回路製造工場においては、成膜・エッチング・洗浄装置等のプロセス中の情報、すなわち温度、半導体処理チャンバー内圧力、投入電力、各供給ガス流量等の様々なデータを 0.01 秒～1 秒程度の間隔で、数百台にものぼる工場内の全ての装置から収集している。そしてこれらのビッグデータ解析によりプロセス・装置状態に異常が起きていないか、歩留まりとの因果関係がどの因子にあるか等、大規模なデータ収集と AI を活用した解析による歩留まり向上を図るスマートファクトリー化に向けた取組が行われている。しかしながら、微細化が進んだ半導体集積回路においては原子層レベルの成膜・エッチング均一性制御が必要であるにも関わらず、実際にプロセス反応が生じる肝心な半導体製造装置内の直接的なプロセスパラメータであるガス濃度分布や薬液濃度分布についてはリアルタイムで計測できるデバイスがなく、供給ガスや薬液の流量、温度とチャンバー内圧力といった間接的なパラメータを計測・制御するに留まっている。

また、農業・畜産業では、野菜・果物の品質の見える化、細菌感染症の非破壊検査等、生育・出荷の現場において可能な限り全量検査をリアルタイムで行うことが望まれているが、計測デバイスの速度と精度が足りずに実現できていない状況である。環境・ヘルスケア分野においても、ガス漏れ検知、工場排液や河川に含まれる人体に有害な微量物質の可視化や、血流・血液成分の非侵襲モニタリング等、ガス・液体の濃度分布を高速に分析器並みの高い精度でその場で計測できる IoT センシングデバイスの創出が望まれている。

そこで、本研究開発ではこれまでにない高速・高 SNR（信号対雑音比）性能を両立し、様々な物質の発光・吸光特性波長を捉えることのできる紫外-可視-近赤外光帯域に高い感度を有する CMOS イメージセンサを基盤とした、ガス・液体の微量な濃度分布を非破壊・非侵襲で可視化できる実用的なその場計測デバイスの実現を目指す。

(2) 位置づけ、目標値

ガス・液体の微量な濃度分布を非破壊・非侵襲で可視化できる実用的なその場計測デバイスの実現に向けて、他に類を見ない特性を両立する高速・高 SNR 撮像素子の開発、小型分光イメージングデバイスの開発や製造装置内流体濃度分布計測の実証に取り組んでいる。2022 年度末及び 2024 年度末における全体目標は以下の通りとしている。

【2022 年度末達成目標】

- ・画素数 1 万超・SNR70dB 超・撮像速度 1,000 枚/秒のグローバルシャッタ CMOS イメージセンサ
- ・小型分光イメージングデバイスのプロトタイプ
- ・半導体製造装置内ガス・薬液濃度分布可視化実証

【2024 年度末達成目標（予定）】

- ・製造装置プロセス中の遅延 1msec、ppm オーダーのリアルタイムガス・薬液濃度分布精度計測およびデータ解析の実証
- ・画素数 100 万超・SNR70B 超の CMOS イメージセンサ
- ・小型イメージングモジュールを用いた果実・牛乳状態モニタリング、環境汚染物質検出、非侵襲血糖値モニタリング等への水平展開原理検証

上記に掲げた最終目標性能が達成できれば、次世代IoT向けの製品として他に類を見ない機能が提供できる。

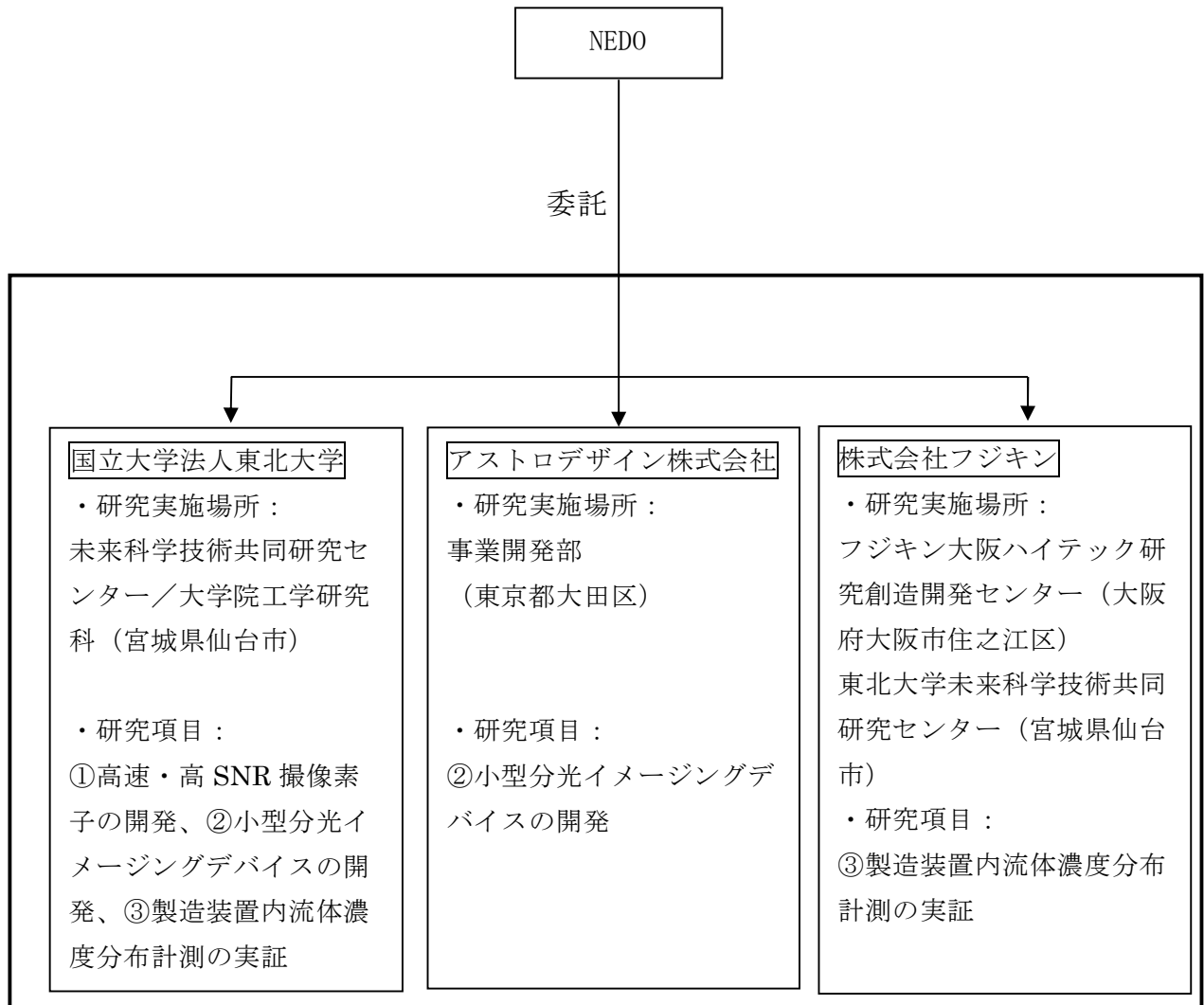
(3) 全体計画

以下の線表で示す全体計画を進めている。

事業項目	2020年度				2021年度				2022年度			
	第1 四半 期	第2 四半 期	第3 四半 期	第4 四半 期	第1 四半 期	第2 四半 期	第3 四半 期	第4 四半 期	第1 四半 期	第2 四半 期	第3 四半 期	第4 四半 期
①高速・高SNR撮像素子の開発												
①-1 1万画素撮像素子	プロトタイプ撮像素子開				性能最適化				3次元積層型要素技術開			
①-2 多画素化要素技術												
②小型分光イメージングデバイスの開発	プロトタイプ設				カメラモジュール構築				高汎用性モジュール開			
②-1カメラモジュール開発	紫外LEDモジュール				イメージセンサ同期光				薬液濃度分布計測用光			
②-2 分光モジュール					複数波長光源							
③製造装置内流体濃度分布計測の実証	真空チャンバー構築				実証実験・プラズマシステム構				ガス・薬液濃度分布可視化実			
③-1 イメージングの実証	制御システム構築				データ解析フロー構				多分野応用開発			
③-2. データ解析手法構築									3次元流体濃度分布解析開			

(4) 実施体制

フェーズ A においては以下の体制で開発を実施している。



(5) 運営管理

以下のような運営管理体制として以下の様に進めている。

- ・各テーマについて毎週 1 回の進捗確認会議を実施。
- ・開発全体の会議を 1.5～2 カ月に 1 回のペースで実施。
- ・情報共有は Google Drive を用いて開発実施者と共有。

(6) 実施の効果

実施した研究開発の成果により、後述するように半導体製造用リアルタイム濃度分布計測システム、およびヘルスケア、農産物、食品加工等の多分野向けの高解像度・小型イメージングモジュールの製品化を予定している。

半導体製造用リアルタイム濃度分布計測システムについては、2029 年に 16 億円の売り上げを想定している。

(7) 研究開発成果

(7.1) 中間目標の達成度

研究開発成果として以下の達成度となっている。

研究開発項目	中間目標	成果	達成度	今後の課題と解決方針
①高速・高 SNR 撮像素子の開発	画素数 1 万超・SNR70dB 超・撮像速度 1,000 枚/秒のグローバルシャッタ CMOS イメージセンサ	画素数 19600 のイメージセンサの設計・試作を完了し、最高 SNR70dB, 1000 枚/秒のグローバルシャッタ動作を達成	○	【今後の課題】 フェーズ B に取り組む予定の多画素化へ向けた技術開発
②小型分光イメージングデバイスの開発	小型分光イメージングデバイスのプロトタイプ	半導体製造チャンバーに取り付け可能とする光学インターフェイスに対応したイメージングモジュールを構築。 開発イメージセンサと同期して駆動する光源モジュールを開発し、その動作を確認した。	△ 2023 年 2 月	【今後の課題】 イメージングモジュールと光源モジュールの高速同期動作の確認と動作の実証 【解決方針】 トリガ信号取り込みを行う。
③製造装置内流体濃度分布計測の実証	半導体製造装置内ガス・薬液濃度分布可視化実証	イメージングモジュールを試験チャンバーに取り付けて簡易的な撮像が行えることを確認した。また、真空チャンバーにプラズマシステムを搭載して、エッチング装置や CVD 装置を模したプラ	△ 2023 年 2 月	【今後の課題】 3 次元ガス濃度分布の可視化アルゴリズム確立。 薬液濃度分布可視化実証 【解決方針】 3 次元空間の濃度分布可視化向け座標割り付け検討。 薬液層システムの構築。

		<p>ズマを形成できるようにした。 ガス濃度を変更して取得した画像データから検量線を取得し、取得された二次元画像から二次元のガス濃度分布を可視化するためのデータ解析フローを構築した。また、プラズマ形成に資する高真空系の制御、計測機器を構築。</p>		
--	--	--	--	--

(7.2) 研究開発の成果と意義

多品種・変動量で高付加価値な生産に資するものづくり産業や農業・畜産業等の労働生産性の向上のためにスマートマニュファクチャリング、スマート農業の早期実現が望まれている。これらの分野では、次世代 IoT 技術として、動きのあるガス・液体微量濃度の二次元・三次元分布を高速・非破壊・非侵襲にその場で可視化できるセンシングデバイスが必要とされている。我々は、これまでにない高速・高 SNR（信号対雑音比）性能を両立し、様々な物質の発光・吸光特性波長を捉えることのできる紫外-可視-近赤外光帯域に高い感度を有する CMOS イメージセンサを基盤とした、ガス・液体の微量な濃度分布を非破壊・非侵襲で可視化できる実用的なその場計測デバイスを開発している。

【研究項目①：高速・高 SNR 撮像素子の開発】（担当：東北大学）

本研究項目では、1000 枚/秒の高速フレームレート・70dB 超の高 SNR を有するグローバルシャッタ CMOS イメージセンサの開発を推進している。

①-1 1万画素撮像素子（担当：東北大学）

多段横型オーバーフロー蓄積容量と画素内信号保持メモリを有するプロトタイプイメージセンサの性能最適化を行い、画素サイズ $22.4\mu\text{m}$ 角、画素数 $140^{\text{H}} \times 140^{\text{V}}$ (19600) の CMOS イメージセンサとして、飽和電子数 27.8Me^- 、最高 SNR70dB、1000 枚/秒のグローバルシャッタ動作を実証した。また、グローバルシャッタ型の CMOS イメージセンサにおいて偽信号として認識され得る画素内信号保持ノードへの光電荷の漏れこみによる寄生光感度について、高感度信号に対して -145dB と良好な特性を得た。図 1 に 1000/秒の撮像例と、他の撮像素子との性能比較をまとめる。以上、撮像素子としてはフェーズ A で掲げている目標を達成した。

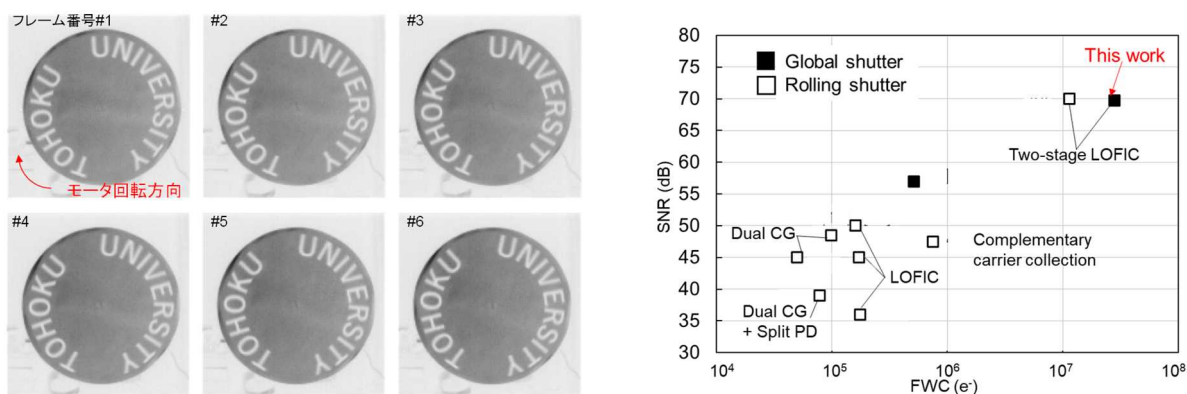


図 1 1,000 枚/秒で撮像した約 540rpm で回転するモーターの撮像例（左）と他の撮像素子との特性比較

【研究項目②：小型分光イメージングデバイスの開発】（主担当：アストロデザイン、副担当：東北大学）

本研究項目では、研究項目①で開発する撮像素子を用いた IoT 向け小型カメラモジュール及び分光モジュールを開発し、その場計測デバイスのプロトタイプ構築を推進している。

②-1 カメラモジュール開発（担当：アストロデザイン）

研究項目①で開発した撮像素子を搭載し、半導体製造チャンバーに取り付け可能とする光学インターフェイスに対応したイメージングモジュールと EtherCAT 通信に対応した制御システムを構築した。また、本開発撮像素子の今後の多画素化を念頭においた、汎用高速画像インターフェイスとして、10Gbps の GigEvision の実装開発に着手した。図 2 に構築したカメラモジュールの外観写真を示す。カメラモジュールのサイズは W124mm×D210mm×H105mm であり、撮像素子の出力信号に対応した 3 対の差動信号 ADC を搭載している。レンズマウントには C マウントを採用している。構築したカメラを用いて良好な撮像が出来ることを確認した。

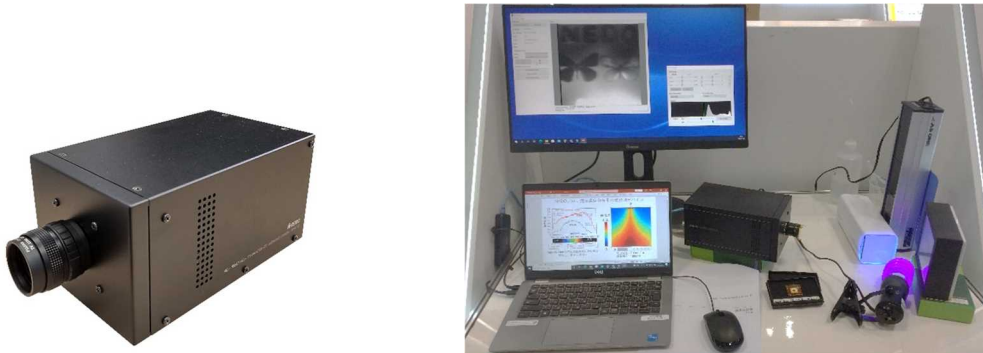


図 2. 構築したカメラモジュール写真（左）と撮像デモの様子（右）。

②-2 分光モジュール（担当：東北大学）

開発したプロトタイプ撮像素子と同期して駆動する光源モジュールを開発し、その動作を確認した。半導体製造チャンバー内のガス濃度分布可視化を念頭においた、3次元解析用の光源として、405nm の LED を用いた光源モジュールとテレセントリックレンズを用いた並行光学系を構築し、安定動作を確認した。また、先端の半導体製造において高誘電率絶縁膜等を形成する Atomic layer deposition（ALD）成膜装置等に用いられる有機金属ガスの可視化を念頭においた、発光波長 265nm、280nm の LED を用いた多波長紫外光源を構築し、時分割での発光切替動作を確認した。さらに、プラズマ発光の撮像を行うために、Ar および O₂ プラズマの発光スペクトルに対応した複数のバンドパスフィルターを調達し、波長選択して撮像を行えるようにした。

【研究項目③：製造装置内流体濃度分布計測の実証】（主担当：フジキン、副担当：東北大学）

研究項目②で開発するその場計測デバイスプロトタイプを用いて半導体プロセスチャンバー試験機を用いた真空チャンバー内ガス濃度分布及びその動きの可視化実証を推進している。

③-1 イメージングの実証（担当：フジキン）

光源モジュール及びイメージングモジュールを試験チャンバーに取り付けて吸光・発光撮像が行えることを確認した。また、真空チャンバーにプラズマシステムを搭載して、エッチング装置や CVD 装置を模したプラズマを形成できるようにした。図 3 に構築した試験チャンバーシステム及びプラズマ着火時のチャンバー写真を示す。

③-2 データ解析手法構築（担当：東北大学）

ガス濃度を変更して取得した画像データから検量線を取得し、取得された二次元画像から二次元のガス濃度分布を可視化するためのデータ解析フローを構築した。また、プラズマ形成に

資する高真空系の制御、計測機器を構築した。構築したシステムを用いて、発光波長 405nm の LED 光源とテレセントリックレンズを用いた並行光学系により、1000 枚／秒の撮像速度でノズルから噴き出す NO₂ ガス濃度分布の吸光イメージング結果を図 4 に示す。分光強度の空間的ばらつきを抑えた光学系、吸光のない状態の 2 次元光源分布を予め撮像素子で撮像し吸光度の算定に用いること、そして開発した撮像素子の最大の特徴である高 SNR 撮像を行うことで高速・高精度な吸光イメージングが行えることを実証した。さらに、3 軸の撮像を行い、3 次元ガス濃度分布の可視化を行うための解析手法と座標割り付けの開発に着手すると共に、3 次元画像可視化のためのソフトウェアを導入した。

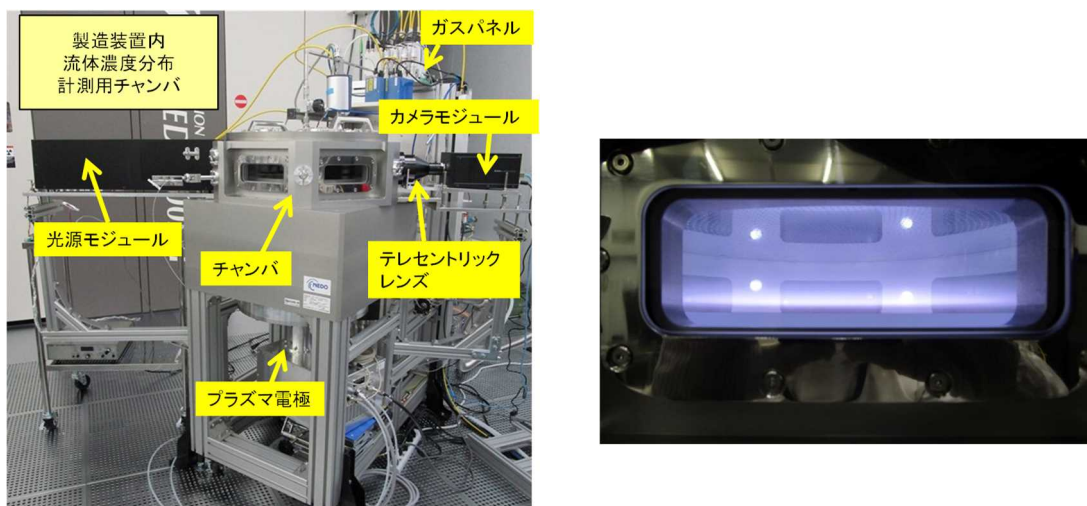


図 3. 構築した半導体プロセスチャンバー試験機（左）とプラズマ着火時のチャンバー写真（右）。

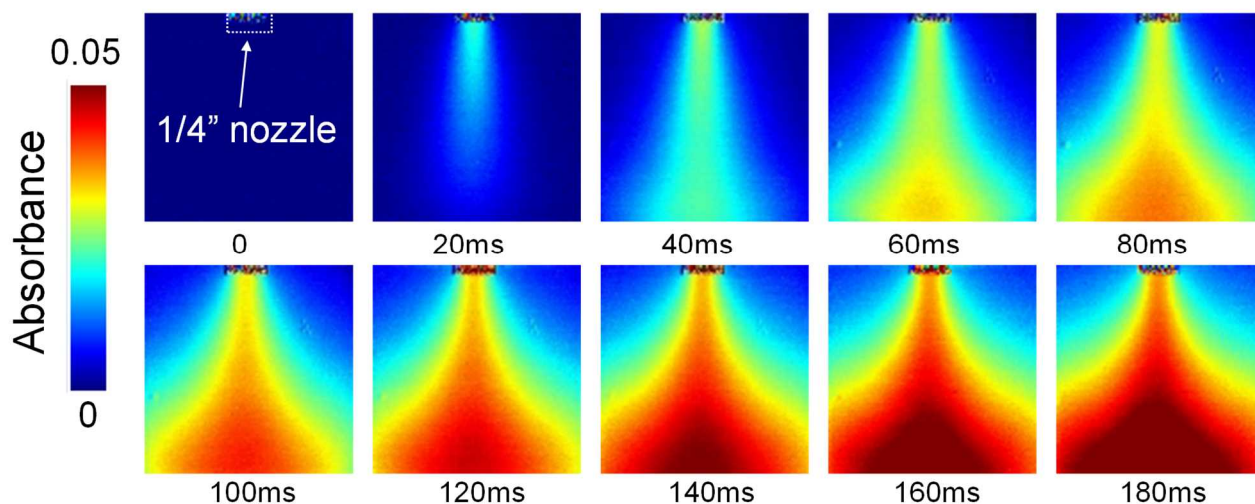


図 4. 1/4 インチ配管ノズルから 133Pa の真空チャンバー内に噴き出す NO₂ ガス濃度分布の可視化結果。1000 枚／秒で 100%Ar から 100%NO₂ へのガス切り替え時を撮像。ガスがノズルから吹出ステージ上で水平方向に広がる様子が明瞭に撮像出来ている。画像から濃度分布の移動速度は 7.4mm/ms であると抽出出来た。

(8) 成果の最終目標の達成可能性

以下の様に概ね最終目標を達成可能な見込みである。

研究開発項目	最終目標 (2024年度)	達成見通し
製造プロセスリアルタイム流体濃度分布計測およびデータ解析の実証	製造装置プロセス中の遅延 1msec、ppm オーダーのリアルタイムガス・薬液濃度分布精度計測およびデータ解析の実証	達成の見通しを得ている
高解像度・小型イメージングモジュールの開発と多分野展開	画素数 100 万超・SNR70B 超の CMOS イメージセンサ	3次元積層化技術の導入による達成の見込みを得ている
高解像度・小型イメージングモジュールの開発と多分野展開	小型イメージングモジュールを用いた果実・牛乳状態モニタリング、環境汚染物質検出、非侵襲血糖値モニタリング等への水平展開原理検証	水平展開原理実証の見込みを得ている

(9) 成果の普及

以下の様に成果の普及に対する取り組みを行っている。

表 論文、外部発表等の件数（内訳） 【2022年3月末現在】

年度	論文		その他外部発表				受賞実績
	査読付き	その他	学会発表・講演	新聞・雑誌等への掲載	展示会への出展	その他	
2020	0	0	6	0	0	0	0
2021	1	1	5	0	0	0	2
2022		0	0	0	1	0	0
合計	1	1	11	0	1	0	2

(10) 知的財産権などの確保に向けた取り組み

今後イメージセンサ、3次元可視化、光学モジュールに関する出願を行っていく予定である。

表 特許の件数（内訳） 【2022年3月末現在】

年度	特許出願		
	国内	外国	PCT
2020	0	0	0
2021	0	0	0
2022	0	0	0
PJ期間 合計	0	0	0

4. 事業化・実用化に向けた取組及び見通し

(1) 実用化に向けた戦略

本研究成果の主たるターゲットは半導体製造用リアルタイム濃度分布計測システムとヘルスケア、農産物、食品加工等の多分野向けの高解像度・小型イメージングモジュールである。半導体産業は今後も大きく成長が期待される産業であり、我が国だけでなく、米、欧、韓、台、中等でも最重要産業と位置付けられている。また、ヘルスケアや食の分野も今後ますます発展が期待できる分野である

半導体製造用リアルタイム濃度分布計測システムにおいては、本プロジェクトにおいて試験チャンバー内のガスノズルからのガスの噴き出し状況や、プラズマ着火時の発光状態を観察できることを確認している。

半導体製造用リアルタイム濃度分布計測システムの販売先はエンドユーザーである半導体デバイスメーカーと半導体製造装置メーカーであるが、実用化には半導体製造装置メーカーとの協業が不可欠である。よって、実用化に向けて、まずは半導体製造装置メーカー、特に短時間でガス切り替えが行われる ALD (Atomic Layer Deposition) 装置と複数の薬液が用いられるウェハ洗浄装置をターゲット分野とし、国内半導体製造装置メーカーとの協業についてコンタクトを始めている。

半導体産業では製品採用に至るまでに各種実験データ、顧客でのデモ評価、さらには半導体産業特有のクリーン化対策等々が要求されるが、近年特に顧客でのデモ評価の前に実機と同等レベルでの事前評価を要求されることが多くなっている。本研究では半導体工場と同等レベルのクリーンルームおよび各種製造装置を有する東北大学にて各種ガス、各種薬品を用いた評価が可能であるため、フェーズ B の段階において半導体製造装置メーカーとの協業による東北大学での事前評価を実施し、最終的な顧客でのデモ評価に可能な限り早く移行する計画である。

高解像度・小型イメージングモジュールにおいては当初計画の半導体製造用の小型イメージングモジュール用のプロトタイプを開発し、上記の通り実証試験を行っているところである。

イメージングモジュールとしては高 SNR (70dB)、広色域 (UV から IR)、高速 (1000fps) という優れた特徴を兼ね揃えたオンリーワンの製品であることが確認できており、この性能により既存のカメラでは撮影が容易ではない大きな明暗差環境下、微弱な輝度変化、複数の波長域での撮影、高速撮影など既存カメラでは対応が困難な分野での実用化を目指している。当初はヘルスケア、農産物、食品加工等、既存カメラでは満足いくセンシングができておらず、かつ将来において利用拡大が見込める分野をターゲットとして事業を展開する。

多分野に応用可能な製品となるためイメージングモジュールとしては、光学フィルターや分岐光学系等の光学ブロックをオプションで実装できる構造とし、多くの用途に対応できるオプションも合わせて開発し、汎用の高性能カメラとして製品シリーズ化を進める。また、光学系オプションだけではなく可視化手法や処理ソフト等も重要であるため、エンドユーザー層に合わせた販売戦略を行う。ノウハウを持っている顧客には直接提供、特定分野に強いシステムインテグレータへの提供、重点ターゲットには自らがシステムインテグレータとなる等である。

(2) 実用化に向けた具体的取組

フジキンが半導体製造プロセス用途として

製品 A. 気体濃度その場測定ユニット (ALD など先端プロセス装置向け)

製品 B. 液体濃度その場測定ユニット（ウエハ洗浄装置向け）

製品 C. 簡易版測定ユニット（プロセスガス流路向けなど）

アストロデザインがその他分野向けとして

製品 D. 食品・薬品外観検査装置用イメージングモジュール

製品 E. 農業分野用イメージングモジュール

製品 F. ヘルスケア用イメージングモジュール

を計画している

製品 A, B, C については、フェーズ A において、ユーザ評価にかなり近いレベルでの評価が出来ており、フェーズ B において半導体製造装置メーカーとの協業による評価に取り組む予定である。製品 D, E, F については、イメージングモジュールの基本特性結果が得られたため、これからユーザ候補への具体的個別用途のヒアリングを開始したところであり、フェーズ B においてプロトタイプによる実証データ取得を行う予定である。

(3) 成果の実用化の見通し

半導体製造プロセスにおいてはデバイスの高性能化、高機能化の要求にこたえるために、各種ガスを多用する成膜、エッチングプロセスの重要性が高まっており、特に高速にガスを切り替える ALD プロセスが多用されている。しかしながら現状では製造プロセス中のチャンバ内のガス濃度は計測できず、ガス毎の供給流量及びチャンバ圧力を計測しているのみであり、ガスの切り替え状態を把握できていないのが現状である。

本計測システムはこれまで出来なかった半導体製造装置内のガス濃度分布を 1 ミリ秒オーダーで計測できるシステムであり、これまで得られていなかったプロセス中の製造装置内の状況を明らかにするものであり、計測データの価値が非常に高く、製造プロセス中のあらゆるデータをリアルタイムで計測し、製造プロセスの安定性、歩留まり向上を目指すユーザニーズと良く合致している。

また、これまでのヒアリング結果より、チャンバー内だけでなく、チャンバー上流の供給系およびチャンバー下流の排気系での濃度計測もニーズがあることが分かってきている。これらの要求にこたえるために、画素数を拡大するだけでなく、画素数を絞ってより小型化したシステム等のラインアップも検討をしている。

競合技術としては小型四重極質量分析装置により装置内のガス濃度計測が行われたことがあるが、濃度分布は計測できず、サンプリング速度、計測精度等の課題により量産工場ではほとんど採用されていない。

半導体以外の多分野用途のイメージングモジュールとしても高 SNR(70dB)、広色域(UV から IR)、高速(1000fps)という優れた特徴を兼ね揃えたオンリーワンの製品であることが確認できしており、既存品における課題に対してのソリューションとして展開するので市場ニーズ、競合に対する性能面での優位性は高い。コストについては生産数量にも依存するため現状では明確な数字では示せないが、ユーザサイドで求められる価値と価格のバランスで実売価格を設定していく予定である。

量産化に向けては東北大学が担当していたチップ製造について

- ・ CMOS イメージセンサチップ設計：設計ベンダ
- ・ ウェーハ製造：ラピスセミコンダクタ株式会社

の協力を得て製品版のチップ設計・製造を行う予定である。また、

- ・イメージングモジュール：アストロデザイン株式会社
- ・計測システム：株式会社フジキン

といった体制で確立できる見通しである。

また、光学フィルター等のオプション品の製造については実績のある光学機器の協力会社へ外注予定であり特に問題ないと考えている。

国内、海外の半導体プロセス装置のうちビッグデータ解析等によって生産管理を必須とする最先端プロセスの割合を20%とし、目標販売価格を100万円/システムすると、国内市場は2029年時点で18億円、海外市場は108億と予想され、このうち13%の導入実績獲得を想定している。

(4) 波及効果

半導体用途において製造チャンバー内のガスあるいは薬液の濃度分布計測を考えていたが、装置メーカーとの意見交換を通じてチャンバー上流および下流での高精度、高速濃度計測の必要があることが分かった。具体的にはチャンバー上流の供給系と下流の排気、排液系において本技術を用いた計測システムを組み込むことによりガス、薬液の切り替わり、残存状態の分布を計測することでプロセスのタクトタイムの短縮化につながる可能性があり、当初の想定であった最先端プロセス以外の装置への展開も検討を進めている。

別添 7

研究開発項目①

波長掃引中赤外レーザーによる次世代火山ガス防災技術の研究開発

浜松ホトニクス株式会社

国立研究開発法人産業技術総合研究所

3.2 研究開発項目毎の成果及び実用化

(1) 背景と目的

日本には 111 の活火山が存在し、世界でも有数の火山大国である。そのため、活火山については、気象庁や大学、その他の研究機関による監視、観測が行われており、特に、火山防災のために監視・観測体制の充実等が必要として火山噴火予知連絡会により選定された 50 ほどの活火山については、気象庁が 24 時間体制で常時監視を行っている。火山観測には、地質調査、火口等のモニタリング計測などが挙げられるが、重要なものの一つとして火山ガス計測が挙げられる。火山ガスは、地下のマグマに溶けている揮発性成分が圧力低下などによって発泡し、水蒸気 (H₂O)、二酸化硫黄 (SO₂)、硫化水素 (H₂S)、二酸化炭素 (CO₂)、フッ化水素 (HF)、塩化水素 (HCl)、水素 (H₂)、窒素 (N₂)、一酸化炭素 (CO)、メタン (CH₄) などとなって地表に放出されるものである。これら火山ガスに含まれる成分のうち、SO₂、H₂S、CO₂、HF、HCl、CO は有毒ガスであり、これまで多くの場所で人命に関わる事故を引き起こしているため、行政や自治体で様々な対策が行われている。一例として、草津白根山では 1976 年の H₂S ガス死亡事故を契機に、地方自治体が火山ガス放出地域に自動警報装置を設置し、内蔵の H₂S センサが一定以上の濃度を検知するとスピーカーで危険を知らせるシステムを導入している。また阿蘇山でも SO₂ ガス事故が続いたことから自動監視システムを設置し、濃度が一定値を超えると観光客を火口付近に立ち入らせないように対策している。また、火山ガスは多くの活火山で常時噴出しており、それぞれの火山で、噴出している場所や状況によって含まれる成分と濃度が異なるため、噴出場所や組成、放出量の変化を観察することで火山噴火予知に繋がるという期待も持たれ、これまで様々な取り組みが行われている。その一つとして、戦略的イノベーション創造プログラム (SIP) 第 1 期「レジリエントな防災・減災機能の強化」(2014 年度～2018 年度) が挙げられる。本事業ではテーマの一つとして火山ガス等のリアルタイムモニタリング技術の開発を行い、「二酸化硫黄観測装置」「火山ガス多成分組成観測装置」等を開発し、現在は桜島、霧島硫黄山でモニタリングを実施している。さらに社会構造の変革に対応した技術革新を戦略的に取り入れた新産業革命の推進 (Society 5.0) の重要性を背景に、防災・減災分野においてもビッグデータなどの活用によりハザードリスクを定量的に把握し、被災の可能性のある地域を迅速かつ的確に予想することが求められている。その中で火山監視・防災の現場等の過酷環境下においてもリアルタイムで災害情報を提供できる強靱な監視インフラの重要性が一層増している。現在、SIP 第 2 期「国家レジリエンス (防災・減災) の強化」(2018 年度～2022 年度) では、ビッグデータを活用した災害時の社会動態把握や、衛星等を活用した被害状況の観測・分析・解析を、防災活動に資するよう迅速に行える技術として「避難・緊急活動支援統合システム」の開発を実施しているが、その中で火山降灰等シミュレーション広域被害予測技術開発についても、被災状況解析・予測の一部として取り組まれている。また、文部科学省「次世代火山研究・人材育成総合プロジェクト」(2016 年度～2025 年度) では、「先端的な火山観測技術の開発」「火山噴火の予測技術の開発」「火山災害対策技術の開発」を三本柱として進めるとともに、これら新しい観測技術による観測データと既存の観測機器による観測データを一元的に共有するシステムの開発についても取り組まれている。

火山の噴火の際は、数か月前から火山性のガス濃度が通常より高くなることが知られており、火山活動のモニタリング及び防災の観点からガスのモニタリングは重要とされている。現在は、火山ガスのうち SO₂ 及び H₂S を電気化学式センサによるオンサイト計測で確認している状況で、作動特性の信頼性が低く、センサ寿命が低いという欠点があり、火山ガス等の過酷環境下において長期間にわたって正常な濃度検知を行うことが非常に困難となっている。

そこで、本研究開発では、火山ガス組成の空間分布変化を広範囲かつ高精度にリアルタイム計測することを可能とする高機能な火山ガスモニタリングシステムの実現を目指す。

(2) 位置づけ、目標値

このような背景を持つ火山防災分野において、火山ガスのセンシングについては、現在は SO₂ および H₂S の検出を電気化学式センサによるオンサイト計測により行っている。しかしながら電気化学式センサは、安価であるものの作動特性の信頼性が低く、センサ寿命が短いという欠点がある。またセンサの検知極がサンプルガスに暴露されてないと動作しないため暴露負荷に脆弱であり、特に火山ガスなどの過酷環境下においては長期間にわたる正常な濃度検知ができないという化学センサ固有の致命的な欠点がある。そのため火山ガス計測などの屋外での連続計測では、2~3ヶ月の頻度で分析装置を回収し、センサ交換、校正点検などの定期的なメンテナンスを行うことが不可避となっており、研究現場や自治体等では、メンテナンスフリー（特にキャリブレーションフリー）なセンサの実現が強く求められている。

一方、ガスの光吸収（吸光度）を利用した分光分析法では、光センサ単体としての寿命は数年となっているため、ガス計測装置としての信頼性は高い。ただし、吸光度を利用した SO₂ や H₂S の計測は、一般的には太陽光からの紫外線を利用した受動的な計測が行われているが、当然ながら計測は日中野外に制限され、また自然光の紫外線は気候条件により変動するため安定性や精度に欠ける。レーザ等の能動的な光源を用いることで24時間の無人連続運転が可能となるなどこれらの諸問題を回避することができるが、その半面、能動的な光源を用いることで分析装置の消費電力が増大し、装置の動力バッテリーやソーラーパネルの大容量化が必要となってしまうため、火山ガス計測など、過酷環境下でのオンサイト計測では用いるにはハードルが高い。これらの既存技術に対し本研究開発では、まずフェーズ A にて、現在用いられている電気化学式センサに代わり、波長掃引パルス QCL を光源と、InAsSb 光起電力素子を受光素子とした中赤外受発光のサブシステム（次世代赤外分光計）の開発を行う。それとともに、そこから伝達される信号の増幅、ノイズ低減、得られた信号から有用な情報を引き出す解析技術の開発も同時に行う。さらにキャリブレーションの自動化などの周辺技術を行い、これらを通じて従来品を大きく上回る高感度かつメンテナンスが容易、更に高い耐久性を有する次世代赤外分光装置を実現する。次にフェーズ B にて、火山ガス組成マッピング技術の開発及び実証評価を実施する。具体的には、フェーズ A で開発した超高性能火山ガス検出装置をフィールド上に複数個配置し、それらをネットワークで管理し、データ収集を行う。また、得られたデータを AI 等で解析し装置側にフィードバックすることで、より効果的に火山の活動状態を観察することを可能とするアルゴリズムの開発も並行して行う。これにより、火山ガス組成の空間分布変化を広範囲かつ高精度にリアルタイム計測することを可能とする高機能な火山ガスモニタリングシステムを実現する。具体的には各研究開発項目別に以下に示す目標を設定し研究開発に取り組む。

研究項目①「レーザを光源とした次世代赤外分析計の開発」

【中間目標】波長掃引パルス QCL モジュール光源の開発においては、波長 $7.2\mu\text{m}\sim 8.2\mu\text{m}$ で波長掃引が可能、かつ容積が従来品比の約 2 万分の 1 である 30cm^3 以下である波長掃引パルス QCL 光源を開発し、 70°C 以上の最高動作温度を達成する。また、駆動回路を集積化させた光源モジュールを開発する。赤外受光素子の開発においては、裏面入射型の開発を行い従来品から $1.2\%/^\circ\text{C}$ (85%) 以上の温度特性向上を達成し、視野角を従来品の $1/10$ (10 度) の狭角化を実現する。また、波長 $7\sim 8\mu\text{m}$ 帯に受光感度を持つ赤外線検出素子を試作し従来品から 85% の感度向上を達成する。受光モジュールの開発および計測アルゴリズムの検討においては、応答速度 10ns (応答帯域 $\text{DC}\sim 35\text{MHz}$) を実現するプリアンプを開発するとともに、応答帯域 35MHz の差動検出型のバランス検出モジュールの開発を行い、項目②と連携した差分吸収法に適用し計測アルゴリズムの最適化を実施する。

【根拠】波長 $7.2\mu\text{m}\sim 8.2\mu\text{m}$ には H_2S および SO_2 の基本振動に由来する強い吸収が存在するため、本波長帯の光源は 0.1ppm の高感度なガス計測を可能とする。また、高温動作が可能な光源の開発、高温環境下でも感度低下の小さい温度特性に優れた受光素子の開発は、高温環境下となる本研究開発で推進する火山ガス計測のフィールドでの実証評価のために不可欠な開発要素である。光源部および受光部のモジュール化は、装置構成をモジュラリティ化することによって、高メンテナンス性を実現できる。また、本研究開発終了後の事業展開においても、多様なガス種に対応できるプラットフォームとして活用できる上でも好適である。

研究項目②「ノイズ低減・解析技術の開発」

【中間目標】波長掃引パルス QCL モジュールを用いた低ノイズ計測手法の研究においては、 SO_2 あるいは H_2S ガス相当の吸収において、検出感度 0.1ppm の実現を目指す。次世代赤外分光装置およびモニタリングシステムの開発においては、メンテナンスフリーで 24 ヶ月の無人運転を実現できるスペックを実現する。ただし、開発期間を考慮すると、研究期間中に 24 ヶ月の期間を取ることは困難であるため、粉体散布・降雨等のシミュレーション環境における実現を行う。

【根拠】 SO_2 ガスについては、安全性の観点から 0.1ppm を超えないことが求められており、これを目標設定値とする。技術的にも、比較的安定したレーザを用いた光路長 76m の変調分光の検出限界が 0.14ppm とされており、本開発で小型化を行う波長掃引パルス QCL モジュール光源ではパルス光という圧倒的に不利な条件において、同等の検出限界を目指す測定法の開発は目標として妥当と考えられる。装置開発環境においては有毒な SO_2 、 H_2S ガスを準備しておくのは困難であるため、同程度の吸収をもつ代替物によって装置開発を行う。装置検証においては実環境でのテストを行い、装置開発環境と同等の性能が出ることをチェックすることで代替物の妥当性も検証可能である。また、次世代赤外分光装置およびモニタリングシステムの開発においては、目標値を 24 ヶ月としているが、24 ヶ月以上の期間については、電力として使用する太陽光パネルおよびバッテリーのうち、バッテリーの化学劣化による交換時期となるため、これ以上の長期についての必要性が低いと考えられる。

研究項目③-1「火山モニタリングシステムの構築及び高度化検討」

【最終目標（予定）】フェーズ A で開発した次世代赤外分光装置を用いて火山モニタリングシステムを構築し、火山ガスの流動動態を把握できる火山マッピングの実用性の確立につなげる。また、項目③-2 と連携し、レーザビームを遠隔に放射して広範エリアのガス計測を実現するオープンパス方式の開発および有意性を検討する。さらに本研究開発で得られた開発要素を元に火山ガス以外への用途展開に向けた事業性の確立を行う。

【根拠】本事業で開発される次世代赤外分析装置の実証評価を行うことにより、産業技術総合研究所 活断層・火山研究部門がすでに実施している従来の観察データとの相関を検証し、新規測定方法の有用性を検証することができる。多点計測による 2 次元的な計測方法（火山マッピング）は、従来法にはない測定方法であるため、その有効性を評価する必要があると考えている。また、レーザビーム遠隔放射によるオープンパス方式の広範エリアのガス計測技術は、本事業で開発される次世代赤外分析装置の光学的なインターフェースや計測アルゴリズムを改良することで派生させることが可能であると考えている。光源が波長掃引パルス QCL となることで、従来技術のオープンパス FTIR の問題点である光源の輝度不足が飛躍的に改善されるため、本研究開発で得られる開発要素の適用先を拡大させる取り組みとして、適切であると考えられる。

研究項目③-2「火山ガス計測における IoT 情報集約に関する研究」

【最終目標（予定）】フェーズ A で開発した次世代赤外分光装置を中心に、比較的広いエリアでのデータ取得手法の開発を行う。定点観測を拡張して、ガスの流れを観測する技術へと発展させ、1.6m/s 以上のガスの流れがあればこれを検知できる技術開発を行う。流れの検知には、2 箇所以上（2D 配置では 3 箇所）の遠隔点での常時モニタリングが必要となり、装置インターフェースおよびデータ取得間隔が重要となる。このため、研究開発③-1 と密接に連携した開発を行う。また、エリア検出においては、トモグラフィーの原理を利用した火口 2 次元マッピング等への発展も検討する。

【根拠】ガスの流れとして 1.6m/s 以上の流れ検出を行うが、これは風力が最も弱い条件でも検出できることを目指したものであり、自然環境での検出目標として妥当と考えられる。

研究項目③-3「火山周辺における技術実証及び評価」

【最終目標（予定）】項目 a) では、開発されたモニタリングシステムを用いて、火山ガス放出源近傍において火山ガス組成の空間的分布およびその時間変動の連続観測を実施することにより、放出源毎の火山ガス組成の推定および組成の時間変動を把握する手法を開発する。特に複数の位置からレーザ光源を配置した多点観測を実施し、トモグラフィーによる火山ガス組成の空間分布の解析を行う。項目 b) では、同じく開発したモニタリングシステムを用い、広範囲で詳細な火山ガス成分濃度の空間分布を把握するとともに、連続観測により火山ガスの流動を解析し、高濃度発生を事前に把握することを目指す。特に、広範なエリアをオープンパスで走査することにより、火山ガス成分濃度の詳細な 3 次元空間分布の把握を目標とする。

【根拠】現行の火山ガス多成分組成観測装置や観光客向けの火山ガス警報システムは、装置の置かれている場所に流下してきた火山ガスの組成や成分濃度を測定するものであり、それらの空間分布を得ることはできない。しかし、火山ガス組成・成分濃度のモニタリングには、異

なる組成を持つ放出源を網羅的に観測することや、人体に影響のある高濃度火山ガスの発生を事前に把握し、観光客が退避する時間的余裕を持って警報を発することが求められている。

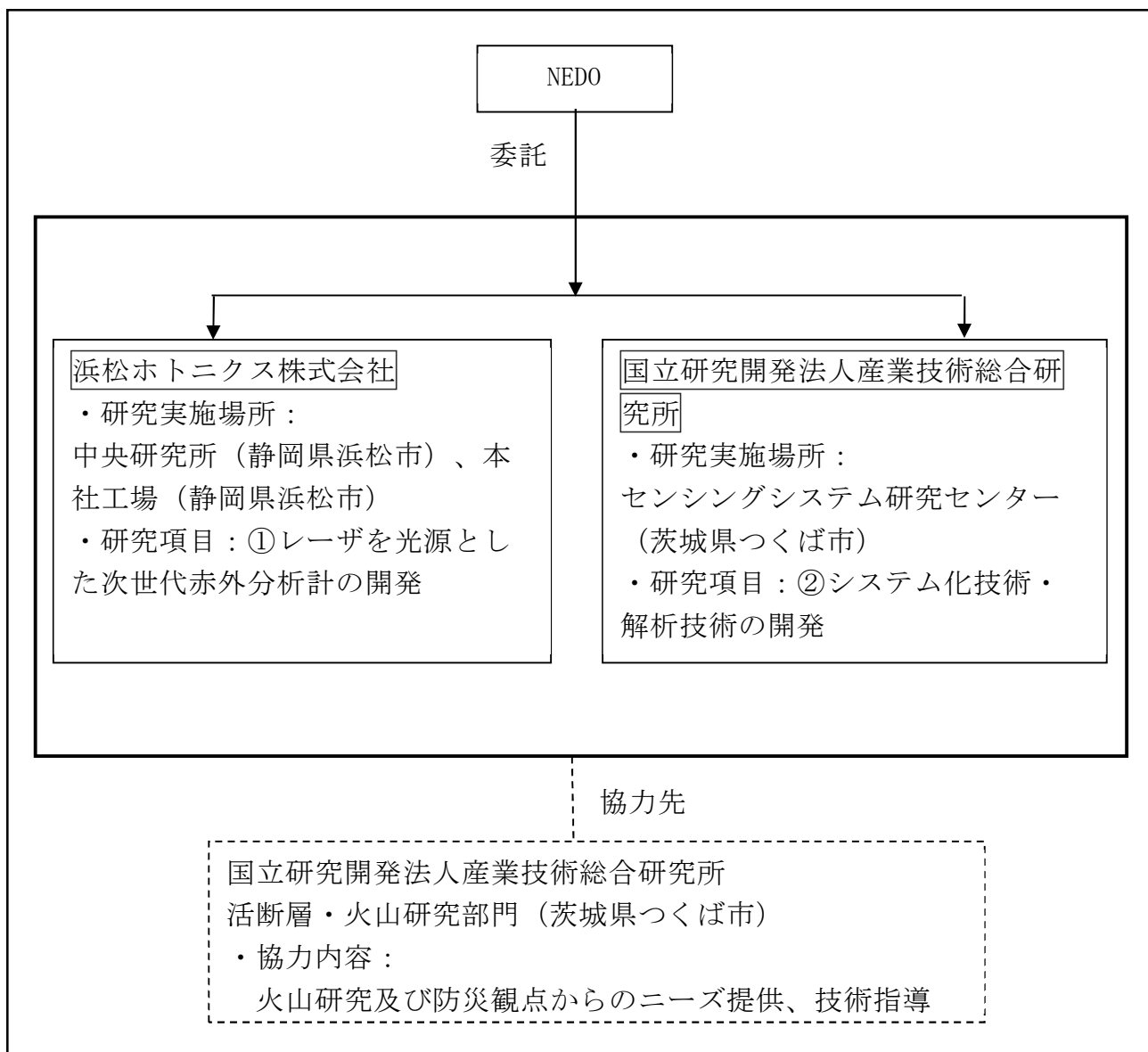
本研究で開発するシステムでは、広範なエリアをオープンパス方式で走査することが可能となるため、複数システムでの同時観測を実施し、取得データのトモグラフィーを用いることで、火山ガス組成・成分濃度の空間分布を得ることができる。この操作を連続的に実施することで、空間分布の時間変動を把握し、火山ガスの流動解析を行う。

実証実験の対象とする火山は、項目 a)では、異なる火山ガス組成をもつ火山ガス放出源が開発システムの走査可能な範囲に複数点在している状況にあり、項目 b)では、観光客が滞在可能なエリアに高濃度火山ガスが流下する状況にあり、どちらの実証実験も実施可能である。

(3) 全体計画

事業項目	2020年度				2021年度				2022年度			
	第1 四半 期	第2 四半 期	第3 四半 期	第4 四半 期	第1 四半 期	第2 四半 期	第3 四半 期	第4 四半 期	第1 四半 期	第2 四半 期	第3 四半 期	第4 四半 期
<p>① レーザを光源とした次世代赤外分析計の開発 (浜ホト)</p> <p>①-1. 7~8μm 帯の波長掃引パルス QCL モジュール光源の開発</p> <p>①-2. 裏面入射型・低 FOV 赤外受光素子の開発</p> <p>①-3. 受光モジュールの開発および計測アルゴリズムに対する最適化の検討</p>												
	QCLチップ開発・MEMS回折格子開発								改良			
	QCL光源モジュールの開発								最適化			
	裏面入射型・受光素子試作・改良											
	光源モジュール設計・試作・組立技術・レンズ集積化・											
	差動検出 バランス回路試作				受光モジュール試作・改良				計測アルゴリズム に対する最適化の検討			
<p>② システム化技術・解析技術の開発 (産総研)</p> <p>②-1. 波長掃引パルス QCL モジュールを用いた低ノイズ計測手法の研究</p> <p>②-2. 次世代赤外分光装置及びモニタリングシステムの開発</p>												
	システム最適化・ガスアンテナ開発・センシングモジュール・ノイズ低減											
	洗浄構造設計・試作・シミュレーション・環境試験											

(4) 実施体制



(5) 運営管理

進捗管理および課題共有を目的として、NEDO 担当者を交えて実施者である浜松ホトニクス株式会社と産業技術総合研究所の研究員で進捗報告会を隔月で開催している。また、各実施機関においては、技術報告会等を毎月開催し各項目の進捗管理や技術的な議論を行っている。知的財産や外部成果発表に関しては、知財運営委員会を設置し特許出願や論文・学会発表などの管理を実施している。

(6) 実施の効果

各項目の要素技術の開発に成功した他段階で積極的なアウトリーチを実施したが、これまでのところ火山防災に直接結びつく問い合わせなどを得るには至っていない。ユーザおよび用途が限定的であることが一因であると考えている。本研究開発で開発を推進している要素技術開発は、汎用の赤外分析に展開可能であるため、地球温暖化やカーボンフリーなど社会生活全般に影響を与えるアプリケーションの開拓を実施することで、研究開発投資に見合った市場性の高いマーケットをターゲットに据えることができると考えている。

(7) 研究開発成果

(7.1) 中間目標の達成度

研究開発項目	中間目標	成果	達成度	今後の課題と解決方針
①-1. 7~8 μ m帯の波長掃引パルス QCL モジュール光源の開発	波長7.2~8.2 μ mで波長掃引が可能、かつ容積が従来品比の約2万分の1である30cm ³ 以下の波長掃引パルスQCL光源の開発。70℃以上の最高動作周囲温度の達成。駆動回路を集積化させた光源モジュールの開発。	波長7.2~8.2 μ mの波長掃引、指先サイズ5 cm ³ の波長掃引パルス QCL 光源の開発、チップレベルで70℃の動作温度を達成。試作デバイスを用いて連続動作試験を開始。駆動回路を集積化させた光源モジュールの試作を完了。	△ 2022年12月達成見込み 達成事項・未達事項は左に記載 世界最小の小型化を実現	【今後の課題】 掃引波長の波長ドリフト。駆動回路のジッタが大きくS/Nを阻害。 【解決方針】 バーンインで波長ドリフトが収束するかを検証中。また、項目①-3と連携し計測後に波長を補正する方法を検討中。駆動回路は対策版の2次試作を実施する。
①-2. 裏面入射型・低FOV赤外受光素子の開発	低FOVレンズの集積化を行い視野角を従来品の1/10(10度)に狭角化、波長7~8 μ m帯に受光感度ピークを持つ量子型光検出素子の開発。従来品から85%以上の感度の向上(3.2mA/W以上)、従来品の温度特性1.2%/℃からの向上(0.9%/℃以下)。	低FOVレンズの集積および10度の視野角、受光感度7~8 μ mの量子型光検出素子の開発は達成。感度は約500mA/Wと目標値を大幅に上回り達成。温度特性は、1.9%/℃と目標未達だが、目標を上回る受光感度が得られた素子設計がシステム全体には好適と判断。気密パッケージの開発にも成功。	△ 2023年1月達成見込み 達成事項・未達事項は左に記載	【今後の課題】 素子の個体差が差動増幅に与える悪影響。 【解決方針】 項目①-3と連携し、差動検出に適用して影響を調査し、検出回路の構成を含めて改善する。

<p>①-3. 受光モジュールの開発および計測アルゴリズムに対する最適化の検討</p>	<p>応答速度 10ns (応答帯域 DC~35MHz) のプリアンプおよび差動検出型のバランス検出回路を統合した受光モジュールの開発。項目②と連携し、計測アルゴリズムの最適化を実施。</p>	<p>プリアンプの応答速度は 30ns で目標未満。応答速度を早くすると、差動処理後のノイズ残渣が大きくなることが判明。これ以上の広帯域化は、システム全体の性能向上に寄与しないと判断している。</p>	<p>△ 2023年2月 達成見込み</p> <p>達成事項・未達事項は左に記載</p>	<p>【今後の課題】 出力信号に重畳する外来ノイズ。計測アルゴリズムに対する最適化の検討が未了。</p> <p>【解決方針】 外来ノイズはフィルタにより除去。計測アルゴリズムは、項目②向けの評価機を準備中。連携し課題を抽出し最適化を実施。</p>
<p>②-1. 波長掃引パルス QCL モジュールを用いた低ノイズ計測手法の研究</p>	<p>光源由来の光学ノイズを 1/20 以下に低減できる計測手法、火山ガスと中赤外光との相互作用長を伸長する多重反射デバイス（ガスアンテナ）の開発。SO₂あるいはH₂Sガス相当の代替ガスにおいて、検出感度 0.1ppm の計測手法の実現を目指す。</p>	<p>ガスアンテナ開発により多重反射光学系をコンパクトに収め感度を高めた。差分検出構造の評価も進め、ノイズを 1/10 以下に低減できることも確認している。これにより検出感度 0.5ppm 程度が達成できている。</p>	<p>△ 2023年2月 達成見込み</p> <p>達成事項・未達事項は左に記載</p>	<p>【今後の課題】 個別要素の評価は行っているが、統合による評価が課題。</p> <p>【解決方針】 システム構築により統合システムとしてのボトルネックが明確になるため、これを推し進める。</p>
<p>②-2. 次世代赤外分光装置及びモニタリングシステムの開発</p>	<p>過酷環境下においてメンテナンスフリーで 24 ヶ月の無人運転に資する検出感度 0.10ppm の次世代赤外分光装置のプロトタイプを作製する。</p>	<p>火山環境に適合させやすいメンテナンスフリー構造を複数開発し、試験した。通信の低電力化も進め、24 か月通信に支障はないことを確認。システム化を進めており、プロトタイプ作製中である。</p>	<p>△ 2023年3月 達成見込み</p> <p>達成事項は左に記載、未達事項はプロトタイプの作製</p>	<p>【今後の課題】 ②-1 同様に、統合化評価を行うことが課題。</p> <p>【解決方針】 統合システムとして個別要素の接続性、親和性について改良を進める。</p>

(7.2) 研究開発の成果と意義

①-1. 7~8 μm 帯の波長掃引パルス QCL モジュール光源の開発

7~8 μm 帯の波長掃引パルス QCL モジュール光源の開発を行った。QCL チップおよび MEMS 回折格子の設計試作を行い、小容量パッケージで外部共振器を構成する実装技術の開発を行った。QCL チップに関しては、7~8 μm 帯の波長帯域が得られるような量子カスケード構造の設計を行い、7.2 μm ~8.2 μm の波長掃引を達成した (図 1)。

MEMS 回折格子については、1kHz を超える共振周波数で動作するノンリニアモード型の MEMS 回折格子と、電氣的に傾斜角を制御できるリニアモード型の MEMS 回折格子の試作を行った (図 2)。小容量パッケージへの精密実装を実現するために、MEMS 回折格子と磁石の位置関係を最適化してブロック化し、開発した光源用デバイス実装装置を用いて精密実装を行い、容積 5

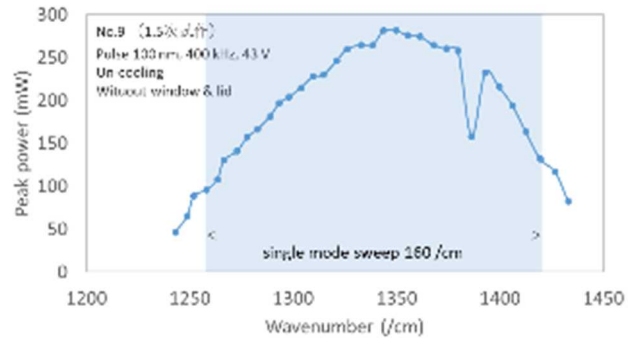


図 1 波長掃引 QCL の波長掃引域

cm^3 の世界最小の波長掃引パルス QCL を実現した (図 3)。初期試作では、70°C の高温動作時には十分な光出力が得られない課題があったが、QCL チップの温度特性の向上および高出力のための改良を行い、およそ 1.4 倍の高出力化と温度特性の向上 (図 4) を確認した。また、24 ヶ月無人運転に向けた性能および長期信頼性の課題を抽出するために、小容量パッケージに実装した波長掃引量子カスケードレーザの長期駆動試験を開始した。現在 200 時間が経過しており、無故障で試験継続中である (図 5)。引き続き試験を継続し、長期間動作に問題がないかの検証を進める。今回試作した波長掃引パルス QCL で得られた課題として、項目①-3 で述べる掃引波長のドリフトが上げられる。一定期間のバーンインを行うことでドリフトは収束することが分かっているが、根本的な解決には至っていない。今後、項目①-3 と連携し掃引波長の安定化、あるいは計測後に何らかの方法で波長ドリフトを校正する仕組みを考案してゆく。駆動回路を集積したモジュール

光源に関しては、駆動回路の 1 次試作を行った (図 6)。基本的な動作は確認できたもののジッタが大きく計測時の S/N を阻害することが分かった。2 次試作として、小型化および回路の基準周波数をデジタル化する設計変更等を行い、現在基本的な特性を評価中である。

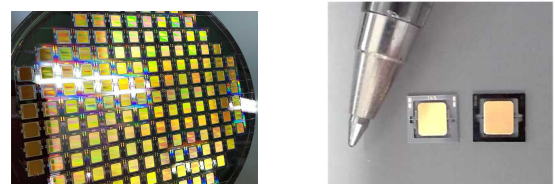


図 2 MEMS 回折格子

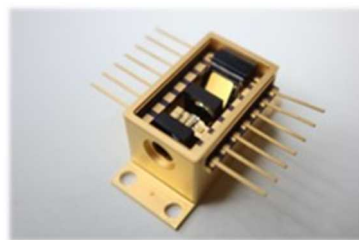


図 3 小容量パッケージ型波長掃引 QCL

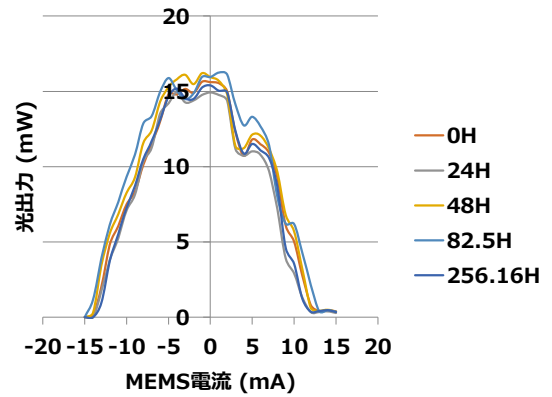
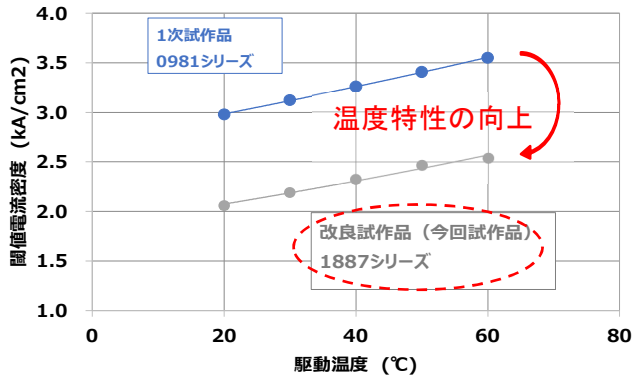


図4 高温動作に向けた QCL の温度特性の向上 図5 MEMS 電流-光出力経時変化特性



図6 モジュール光源 駆動回路の試作

①-2. 裏面入射型・低 FOV 赤外受光素子の開発

裏面入射型で低 FOV の $7\ \mu\text{m}\sim 8\ \mu\text{m}$ 帯にピーク感度を持つ赤外受光素子の試作設計を行った。InAsSb 量子井戸構造の組成比および膜厚を調整し、ピーク感度 $7\ \mu\text{m}\sim 8\ \mu\text{m}$ 帯を達成した(図7)。また、開発した受光用デバイス集積化装置を用いて低 FOV レンズの実装試作を行い、10度以下の FOV を達成した(図8)。受光感度の向上のために、受光サイズおよび光線追跡のシミュレーションによる集光状態の最適化を行った。受光サイズは、受光面積が小さいほど並列抵抗 (Rsh) は大きくなりノイズも小さくなる受光感度の向上に有利であることから $\phi 50\ \mu\text{m}$ とした。また、パッケージである TO-8 のキャップの窓材選定および金属シェルへの半田接合の検

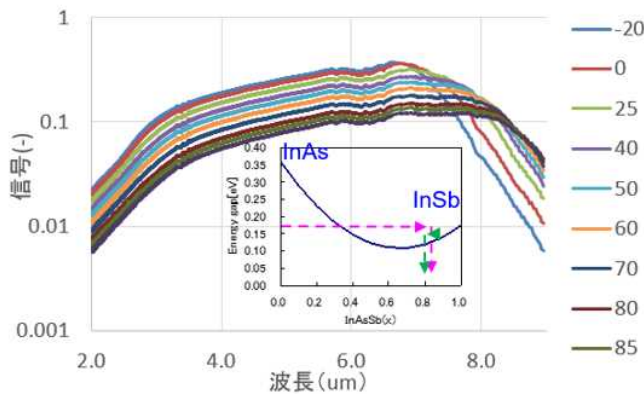


図7 裏面入射型 InAsSb 素子の分光感度特性

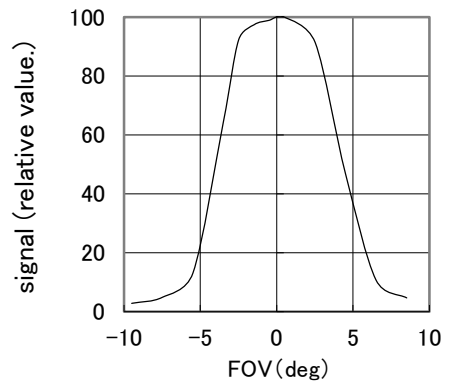


図8 低 FOV 実装試作

証を行った。Ge では材質同士の熱膨張係数の違いによるクラックの発生がないことを確認した。以上の検討により、受光面 $\phi 50 \mu\text{m}$ の Ge 窓板の検出器のデバイス作製を行った。得られた電気的光学的な特性を表 1 に示す。

素子 No.	受光感度 Res	並列抵抗 Rsh	比検出能力 $D^*(\lambda p)$
No. 1	570 mA/W	19.5 Ω	1.85E+09 $\text{cm} \cdot \text{Hz}^{1/2}/\text{W}$
No. 2	460 mA/W	19.3 Ω	1.50E+09 $\text{cm} \cdot \text{Hz}^{1/2}/\text{W}$
No. 3	510 mA/W	19.1 Ω	1.64E+09 $\text{cm} \cdot \text{Hz}^{1/2}/\text{W}$

表 1 試作した InAsSb 素子の電気的光学的特性

受光感度に関しては、レンズを付けることによって見かけ上の受光面積が大きくなった効果を得ることができ、目標値 (3.2 mA/W 以上) の 100 倍以上の受光感度を得ることができた。分光特性に関しても、目標とする波長帯の 7~8 μm がカットオフ波長に影響しない範囲に納めることができた (図 9)。一方、温度特性の向上に関しては、1.9%/ $^{\circ}\text{C}$ となり目標とする 0.9%/ $^{\circ}\text{C}$ 以下を達成することはできなかった。他方

システムとしては、使用環境温度が 70 $^{\circ}\text{C}$ であっても 0 $^{\circ}\text{C}$ 付近での InAsSb 検出素子の動作温度が実現できるよう、十分に大きな温度差 (ΔT) が得られるペルチェ素子を選定しているため、今回得られた大きな受光感度を有する素子設計の方がシステム全体には最適となると考えている。

また前述のように、パッケージの

キャップ窓材を無機シールで気密封止することにも成功しており、検出素子を 0 $^{\circ}\text{C}$ で動作温度させても結露が発生しないようなパッケージ設計を行っている。従って、温度特性の向上に関しては、引き続きウエハの Sb 組成や受光素子形状の影響を確認し改善方法の検討を行うが、システム全体の最適化を考慮して優先度を下げる予定である。また、項目①-3 で開発を推進している差動検出では、使用する 2 つの検出器の特性にバラツキがあると、その個体差を差動増幅してしまうことが懸念される。今回試作した素子を差動検出に適用し、素子の個体差が差動増幅に与える影響を検証する予定である。

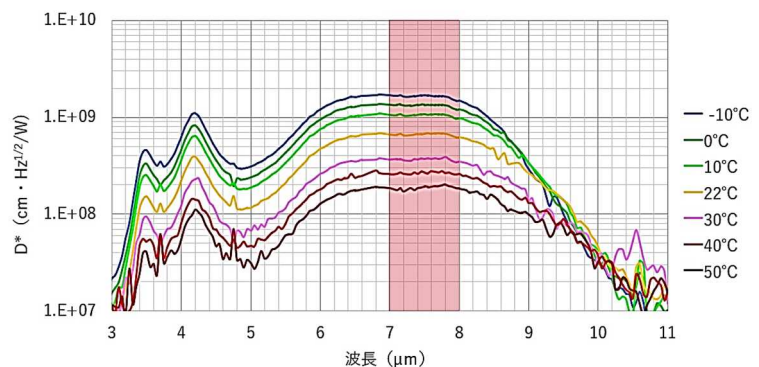


図 9 分光特性の温度依存性

①-3. 受光モジュールの開発および計測アルゴリズムに対する最適化の検討

差動検出型受光モジュールの開発および差動検出による計測アルゴリズムに対する最適化の検討を行った。受光モジュールの開発に関しては、プリアンプを内蔵した差動検出型受光モジュールを試作した (図 10)。InAsSb 検出器を 2 個実装し、信号読出回路を搭載した構成とした。片側の InAsSb センサに分析対象のガス透過光を、もう片側の InAsSb センサにガスを透過させない

光を入射させることで、ガス透過による光の減衰のみが出力として得られる。また、差動検出構成とすることで、不要信号成分である暗電流成分も、その大半がキャンセルすることができる。

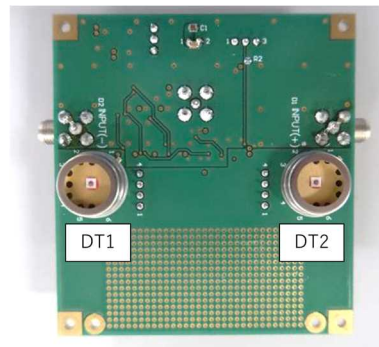


図 10 試作した差動検出受光モジュール

試作した差動検出受光モジュールの動作を確認するため、図 11 に示すような光学系を構築し評価を行った。QCL 光源モジュールのパルス光を分割し、差動検出受光モジュールに入射させたところ、図 12 グラフに示すような出力が得られたため、差動検出動作ができていることが確認できた。また、この出力波形から QCL のパルス光立ち上がり時間である約 30 ns を表現できていることがわかり、センサ、プリアンプともに十分な応答速度を有していることが確認できた。

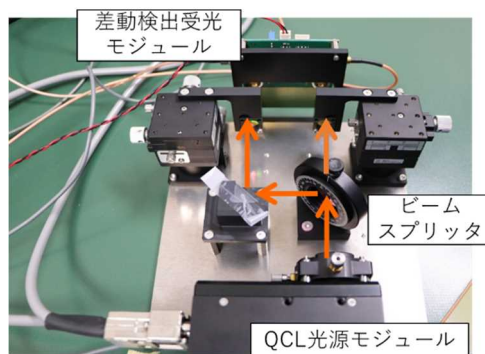


図 11 差動検出動作確認用の光学系

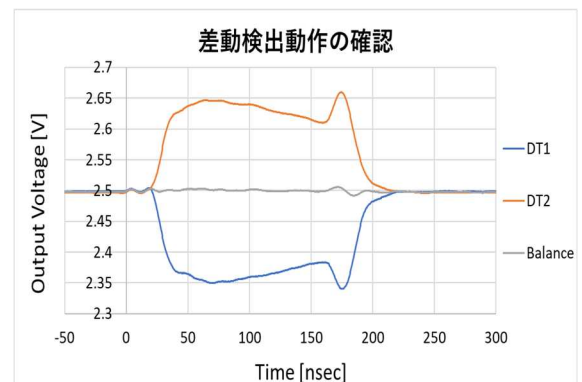


図 12 受光モジュール出力例

開発した差動検出受光モジュールの課題として、出力信号に重畳するノイズが大きいことが挙げられる。このノイズは、センサ起因のノイズもあるが、外部より入力する電圧起因のものが支配的であることがわかっている。従って、回路基板の入力部に適切にノイズフィルタ部品を配することでノイズが低減できる。そこで、現在 1 次試作の差動検出受光モジュールの改良試作を進めている。この改良試作により、約 10 mVpp あったノイズが約 3 mVpp 程度まで低減できる見込みである。今後、この改良試作した受光モジュールを用いて評価を進めていく予定である。

計測アルゴリズムに対する最適化に関しては、安全性の理由で対象とする SO₂ および H₂S のサンプルガスの入手が困難であることから、7 μm～8 μm 帯に吸収を持つ亜酸化窒素 (N₂O) を用いた代替検証を行った。結果を図 13 に示す。受光モジュールの受光感度のドリフトは観察されなかったが、光源とした波長掃引パルス QCL に起因する波長軸のドリフトが観察される結果となった。光源側の掃引波長の安定化、あるいは計測後に何らかの方法で波長ドリフトを校正する

仕組みが必要であることが分かった。今後、本項目においては、光学干渉計を用いて計測後に波長ドリフトを逐次校正する方法について検討してゆく予定である。

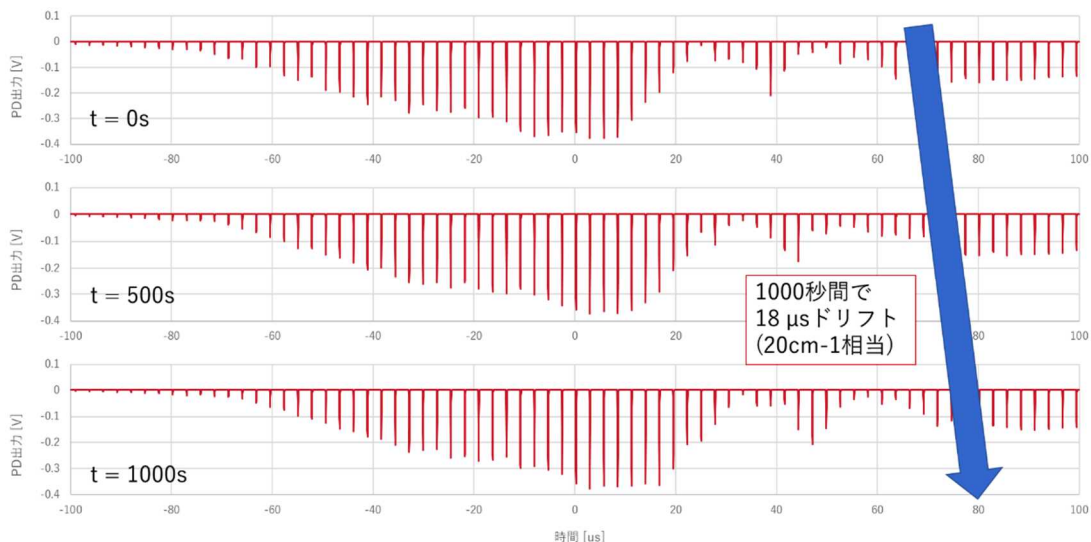


図13 感度ドリフトの評価結果

②-1. 波長掃引パルス QCL モジュールを用いた低ノイズ計測手法の研究

感度の良い計測を行うためには、信号の強度をできる限り高く保つことが求められる。このため、計測光とガスとの相互作用距離を長くすることが必要となるが、実環境下においては波長掃引パルス QCL モジュール光源から、十分に遠方の場所に検出器を置く必要がある。その場合には機器の光学的調整や扱いが煩雑となる問題があるため、同様の効果を得られるような多重反射デバイス「ガスアンテナ」を開発することで、取り扱いしやすいセンシングモジュール化を行った。



図14 開発したガスアンテナ

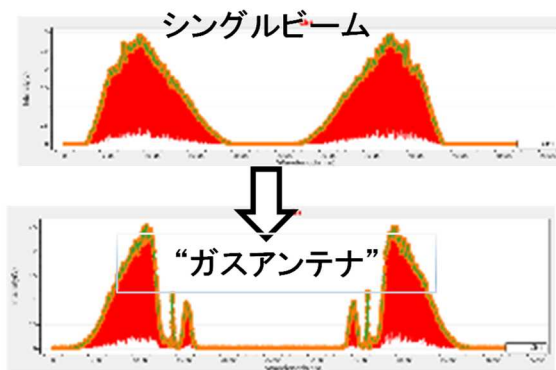


図15 感度向上の検証実験

図14に示す通り、10 cm長のミラー2枚を向かい合わせて20 cm離して配置することで60回反射を実現した。これは光路長12 mに相当し、感度が向上する。図15は、検証実験としてフロンガスを検出したものであるが、ガスアンテナを使用しない場合に比べて、大幅な感度向上が得られる

ことを確認した。単にレーザービームを用いると、QCLの場合は距離が5 m程度でビーム広がりによる光強度低下が生じて、MC T検出器を用いても信号を取得しにくくなる。このため、レンズ系によるビーム成型を行い、12 mmの光路長でも信号検出可能となるようにした。ガス濃度の定量観測のため、実験環境の構築をおこなった。図16に示すように、アルミフレームとアクリルによって実験装置全体を覆い、内部の装置をグローブで操作することとした。このグローブボックス全体にガス循環のためのファンを4か所に設置して全体が一様濃度のガスで満たされるようにした。

このグローブボックス環境においてエタノールを気化させて、開発システムにおけるガス濃度の依存性を計測した。図16右において、横軸はエタノール濃度、縦軸は開発システムの透過率になっているが、低濃度においても感度が高く計測できていることが分かる。

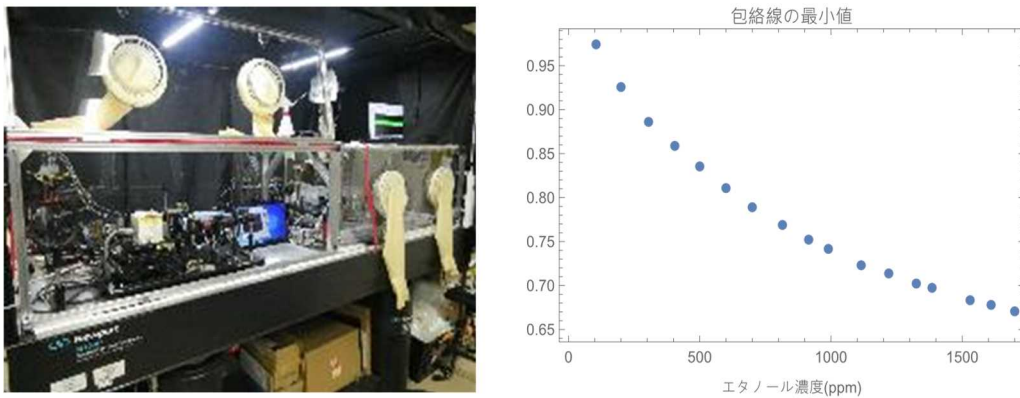


図16 ガス定量のためのグローブボックス環境とエタノールガスの濃度定量結果

②-2. 次世代赤外分光装置及びモニタリングシステムの開発

システム化において、外部環境を前提とした光学システム構築について開発を行ってきた。特に懸念されるのは大気による赤外光計測領域に与える影響である。このため、野外実験を通じて、装置性能の向上を図っている。

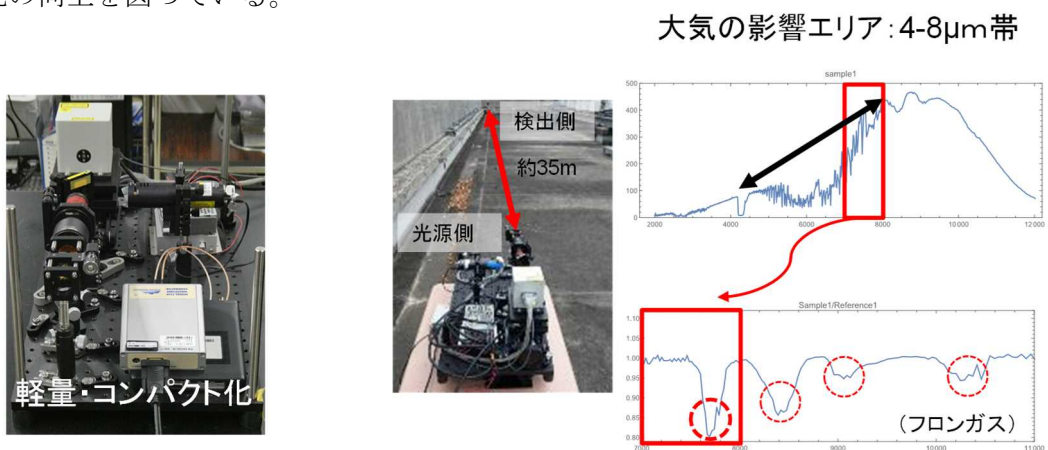


図17 (左)軽量コンパクト化 (中)野外実験の様子 (右)フロンガスの吸収

QCLのレーザ光を数十メートル飛ばしても、検出可能となるような光学系の開発を行った。それと同時に煩雑となる電源・コントローラー等の周辺機器もコンパクト化した（図17左）。それを用いて野外実験への適応を進めている。

図17中に示すように建物屋上において、光源システム及び検出器を約35m離れた場所に設置した。この光路中でフロンガスを照射したとき、フロンガスによる光吸収が観測され、大気の窓以外の赤外線領域のガス測定への影響を明らかにした（図17右）。さらに、火山灰のフィルタリング性能を検証するため、火山灰環境の構築を行った。



図18 火山灰環境の構築

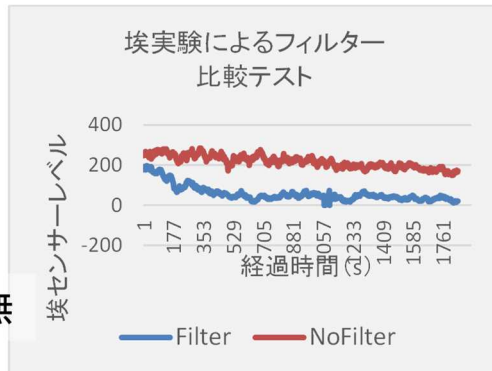


図19 システムに用いるフィルタ性能の検証結果

図18に示すように、閉鎖空間において火山灰が舞う環境を準備し、中に埃センサを設置して開発システムへの影響を検討した。検証の結果、フィルタによる違いや空気の取り込み方法によってフィルタリング性能が変化することが判明し、これらを基にして本体構造の概要を定めた。また、計測データを極力省電力にて遠隔へ送信する手法について検討を行った。消費電力を低減するため、非通信時は通信機器をディープスリープさせることが望ましいが、これではタイマが働かないため送信・受信の同期に問題が生じることが判明した。通常スリープではタイマが働くが、消費電力上、太陽光パネルによる長期運用が困難となるため、機器間の同期アルゴリズムを開発することによりディープスリープとタイマ同期とを両立させた。これをプロトタイプ試験機に組み込み、消費電力は10倍程度改善し、太陽光パネルのみによる運用可能であることを確認した。

(8) 成果の最終目標の達成可能性

研究開発項目	最終目標 (2024 年度)	達成見通し
③-1. 火山モニタリングシステムの構築及び高度化検討	フェーズ A で開発した次世代赤外分光装置を用いて火山モニタリングシステムを構築し、火山ガスの流動動態を把握できる火山マッピングの実用性の確立につなげる。また、項目③-2 と連携し、レーザビームを遠隔に放射して広範エリアのガス計測を実現するオープンパス方式の開発および有意性を検討する。さらに本研究開発で得られた開発要素を元に火山ガス以外への用途展開に向けた事業性の確立を行う。	フェーズ A の目標を達成することにより、火山モニタリングシステムの構築は可能となり、火山マッピングの実用性の確立、オープンパス方式の開発および有意性ならびに火山ガス以外の用途展開の検討は可能となる見通しである。
③-2. 火山ガス計測におけるIoT情報集約に関する研究	フェーズ A で開発した次世代赤外分光装置を中心に、比較的広いエリアでのデータ取得手法の開発を行う。定点観測を拡張して、ガスの流れを観測する技術へと発展させ、1.6m/s以上のガスの流れがあればこれを検知できる技術開発を行う。流れの検知には、2箇所以上(2D 配置では 3 箇所)の遠隔点での常時モニタリングが必要となり、装置インターフェースおよびデータ取得間隔が重要となる。このため、研究開発③-1 と密接に連携した開発を行う。また、エリア検出においては、トモグラフィーの原理を利用した火口 2 次元マッピング等への発展も検討する。	フェーズ A の目標を達成することにより、定点観測を拡張した比較的広いエリアでのデータ取得手法の開発、トモグラフィーの原理を利用した火口 2 次元マッピング等への発展の検討は可能となる見通しである。
③-3. 火山周辺における技術実証及び評価	項目 a)では、開発されたモニタリングシステムを用いて、火山ガス放出源近傍において火山ガス組成の空間的分布およびその時間変動の連続観測を実施することにより、放出源毎の火山ガス組成の推定および組成の時間変動を把握する手法を開発する。特に複数の位置からレーザ光源を配置した多点観測を実施し、トモグラフィーによる火山ガス組成の空間分布の解析を行う。項目 b)では、同じく開発したモニタリングシステムを用い、広範囲で詳細な火山ガス成分濃度の空間分布を把握	フェーズ A の目標を達成することにより、放出源毎の火山ガス組成の推定および組成の時間変動を把握する手法を開発、火山ガス成分濃度の詳細な 3 次元空間分布を把握することは可能となる見通しである。

	するとともに、連続観測により火山ガスの流動を解析し、高濃度発生を事前に把握することを目指す。特に、広範なエリアをオープンパスで走査することにより、火山ガス成分濃度の詳細な 3 次元空間分布の把握を目標とする。	
--	--	--

(9) 成果の普及

表 論文、外部発表等の件数（内訳） 【2022年3月末現在】

年度	論文		その他外部発表				受賞実績
	査読付き	その他	学会発表・講演	新聞・雑誌等への掲載	展示会への出展	その他	
2019							
2020	0	0	0	0	0	0	0
2021	0	0	3	1	3	2	1
合計	0	0	3	1	3	2	1

(10) 知的財産権などの確保に向けた取り組み

新規性・進歩性のある波長掃引 QCL デバイスの基本特許の出願を行った。今後は、波長掃引 QCL を光源とした次世代赤外分析計として計測プロトコルなどのシステム特許群の充実を図る。プロジェクト終了後に用途の多角化を行い、各用途のシステム要件を満たすようにシステム特許群の強化を行う予定である。

表 特許の件数（内訳） 【2022年3月末現在】

年度	特許出願		
	国内	外国	PCT
2019			
2020	5	0	0
2021	1	10	0
PJ 期間 合計	6	10	0

4. 事業化・実用化に向けた取組及び見通し

(1) 実用化に向けた戦略

火山ガスモニタリング用途の赤外分析装置の製品化については、プロジェクト期間中から製造部門と連携して実用化を進め、プロジェクト終了後1年目までに製品化を行い、2年目には販売を開始する計画である。火山ガス以外の用途に関しては、プロジェクト期間中からポテンシャルユーザや分析機器メーカー等を通じて、実現可能性や市場規模などの調査を行う。事業性が見込まれる用途について、プロジェクト終了後2年目までに製品化を行う計画である。また、プロジェクト終了後3年目には、そでまでに得られたユーザからのフィードバックを元に、より実用に即した製品への設計変更、量産体制の強化によるコストダウンの取り組み、および製品ラインアップの展開拡充を計画している。これらの事業開発、製造開発は、基本的に浜松ホトニクス株式会社の各事業拠点および関連会社にて実施する計画である。

浜松ホトニクス株式会社では、拡大が期待される赤外光応用市場に向け化合物半導体光素子の生産能力を強化するため、40億円を投じた化合物材料センタが2017年11月に竣工、2018年4月に稼働している。生産能力は2インチウエハ換算で月産2000枚、センサの供給能力としては月産100-500万個に相当するため、本プロジェクトの製造拠点としては十分な体制が整っている。販売体制においては、欧米中を拠点にグローバルな海外現地法人による直販体制を構築しているため、製品化後の顧客管理やマーケティング体制も十分に整っている。

(2) 実用化に向けた具体的取組

次世代赤外分光装置、および基幹コンポーネントとなるモジュール製品は、自社での製品化および、国内外の分析装置メーカーへの OEM 供給を想定している。当面の用途としては、前述のように火山ガスのモニタリングを計画しており、火山研究や観測を行っている大学官公庁や、火山ガスの被災リスクに晒されている自治体やホテルなどの観光業、また、災害時に防災作業を行う警察消防や自衛隊、工事事業者、災害ボランティア法人などが需要者となることを想定している。また前述のように、火山ガス計測のみならず、ユーザの用途に合わせた多種多様なアプリケーション開拓を進めてゆく。例えば、ガス漏洩のための保守点検が義務付けられているプラント事業者や地下ピット作業を行う工事業者、あるいは現在、国を挙げての取り組みが行われている情報通信技術(ICT)を活用したスマート農業に事業参入を計画している事業者等をユーザとして想定している。また、システムインテグレーター企業等と連携して、火山モニタリングシステムを構築し、ユーザに提供することも想定している。

	2025 年度	2026 年度	2027 年度	2028 年度	2029 年度
火山ガスモニタリング 赤外分析装置の開発	製品開発	ユーザ評価			
		販売			
		中断延期判断			
その他ガス分析用途 への展開	市場調査	製品開発	ユーザ評価		
			販売	ラインアップ拡充	
		中断延期判断			
量産体制構築	量産体制整備	生産開始	▲3千台/月	▲6千台/月	▲1.5万台/月

(3) 成果の実用化の見通し

本プロジェクトの研究開発成果については、当面は H₂S と SO₂ の火山ガスの検出を想定して、本研究開発で開発を推進する波長掃引パルス QCL 光源モジュール、赤外受光モジュール、計測システムなどの基幹コンポーネント、およびそれらを取り込んだ次世代赤外分光装置についての実用化を行う予定である。これら製品は、自社で製品化してゆくことを想定している。また、火山ガスのモニタリングについては、システムインテグレーター企業等と連携してモニタリングシステムを構築し、ユーザに提供することも想定している。

現状でも、火山ガス計測システムはいくつかの活火山で設置されているが、ガスの発生自体は検知できてもその空間的、時間的な動態を予測することが困難であるため、危険が迫る前に温泉施設利用者や観光客、あるいは工事従事者等に警告を発することは出来ておらず、これらの施設管理者、工事事業者などには火山ガスのより詳しい状況を知りたいという強いニーズがある。そのため火山ガスモニタリングシステムの提供先としては、火山噴火予知連絡会により監視・観測体制の充実が必要とみなされた 50 ほどの活火山を主な対象として、自治体やホテルなどの観光業、また、災害時に防災作業を行う警察消防や自衛隊、工事事業者、災害ボランティア法人などを想定している。装置の設置数はユーザのニーズに応じてフレキシブルに対応するが、1つの火山に対して最大で 50 式程度の配置を想定している。

また、本プロジェクトで推進する火山ガス計測のフィールド実証を経て、装置の堅牢性や耐久性は十分に高めることができると考えられ、火山ガス計測のみならず、信頼性や動作環境の点でこれまで現場適用が困難であった過酷環境などへの適用障壁を格段に下げることができると考えている。本研究開発の事業者である浜松ホトニクス株式会社は、世界で唯一、赤外領域の受光と発光素子の研究、開発、および生産能力を有しており、生産能力拡大のための投資も継続的に行っている。よって、本研究開発プロジェクトで開発を推進する、波長掃引パルス QCL 光源モジュール、赤外受光モジュール、計測システムなどの基幹コンポーネント、およびそれらを取り込んだ次世代赤外分光装置の製造販売は、当社がこれまで培ってきた独自の製造技術を用いて事業として成功することができると考えている。本研究開発プロジェクトの実用化においては、中赤外領域における受発光素子という自社が保有する強み（コアコンピタンス）の整合を図ることで、新規事業に匹敵するサービスや製品を生み出すことができる。

(4) 波及効果

本プロジェクトで開発する次世代赤外分光装置の構成においては、光源部、受光部、計測システム部をモジュール化する構成にて進めることから、製品化後には、ユーザの用途に合わせた多種多様なアプリケーションへの事業展開が可能となる。例えば、人体に対して極めて毒性の強い H₂S ガスには、石油化学プラント工場や下水道などの地下ピット作業における安全面から常時計測のニーズがあり、本プロジェクトで推進する多点計測による空間分布のモニタリング技術を適用することが十分に可能である。また、環境分野で問題となっている、CO₂ の 300 倍の温室効果を持つ N₂O（亜酸化窒素）の排出監視にも適用することも十分に可能である。地球大気全体の N₂O 濃度は、CO₂ と同様に経年的に増加していることが確認されており、その放出起源は人為的活動が 40%を占めると言われている。すでに主要国の政策においては、N₂O の発生源である化学肥料の削減や家畜の管理など、CO₂ 以外の地球温暖化効果ガス

の削減対策について言及され、窒素管理に関する国際プロジェクトも進行しており、排出の地理的な同定や大気循環機構の解明が求められているものの、N₂Oの放出源とされている耕地や湖沼・河川のような広範なエリアを一網打尽に計測する手法ははまだ確立されていない。それに対しても、本プロジェクトで推進する空間分布のモニタリング技術を適用することが十分に可能である。このように、本プロジェクトの研究成果は、これまでレーザを光源とした計測装置があまり用いられていなかった用途や分野への適用を、飛躍的に促進することが可能となる。また、本プロジェクトで開発を推進する次世代赤外分光装置の構成においては、光源部、受光部、計測システム部をモジュール化することで、メンテナンス時の交換作業などを迅速に行うことが可能となり、装置のオペレーションコストやダウンタイムの低減に寄与できるものと考えている。

別添 8

研究開発項目①

高真空ウェハレベルパッケージングを適用した
MEMS センサーの研究開発

国立大学法人東北大学

ソニーセミコンダクタマニュファクチャリング
株式会社

3.2 研究開発項目毎の成果及び実用化

(1) 背景と目的

ジャイロセンサー、タイミング共振子、赤外線センサーなど、IoT 用途でセンサーが広く大量に使われるためには低コストかつ小型であることが必須であり、その上で高性能が求められる。そのためには高真空封止できるウェハレベルパッケージングが必要である。

本研究開発では、これまで困難であったレベルの高真空度を実現する新しい封止技術「Silicon Migration Seal (SMS)」によるウェハレベルパッケージング技術を開発し、ジャイロセンサー等の MEMS センサーに適用することを目的としている。さらにはソニーセミコンダクタマニュファクチャリング (SCK) と共同で SMS を量産技術として立ち上げ、わが国独自のウェハレベル真空パッケージング生産技術とすることを目的としている。

(2) 位置づけ、目標値

研究開発を行うウェハレベルパッケージング技術「Silicon Migration Seal (SMS)」について従来技術との比較を表 3.2.1.1-1 に示した。SMS は大量枚数のバッチ処理が可能で、プロセス装置のクリーニングもほぼ不要であることから競合技術である Epi Seal と比較して量産適用性やプロセスコスト（生産性）の点で優位性がある。研究開発における目標値（中間目標値/最終目標値）としては下記を設定している。これらの目標値は SMS を適用した MEMS ジャイロセンサの性能は大型の光ファイバージャイロを凌駕しつつコストは従来の MEMS ジャイロスコープ並みを実現可能な目標値とした（図 3.2.1.1-1 参考）。

【中間目標（2022 年度末）】

①基本プロセスの実証

- ・ 封止圧力として 1 Pa 以下を実現
- ・ 高真空セラミックパッケージ/缶パッケージと比べて 1/100 以下の体積に小形化

②SMS による MEMS センサーの研究

- ・ $1^{\circ}/h$ 以下のバイアス安定性を実現

③温度補償技術の研究

- ・ Si への高濃度ドーピングによる温度補償技術の実証

【最終目標（2024 年度末）】

①基本プロセスの実証（東北大学/SCK）

- ・ 8 インチウェハで歩留りとして 80%以上を実現すること

②SMS による MEMS センサーの研究

- ・ $0.1^{\circ}/h$ 以下のバイアス安定性を実現すること

③温度補償技術の研究

- ・ MEMS センサーの温度補償を実証すること

研究開発した SMS 技術はソニーセミコンダクタマニュファクチャリング (SCK) の MEMS ファンドリに技術移転し、量産できるようにする。

表 3.2.1.1-1 MSM と競合技術との比較

	SMS (本技術)	Epi Seal (競合技術)	その他のウェハレベル パッケージング技術
手法	高温水素アニールに よってシリコンを流動 させ、リリースホール を閉塞。その後、水素 を拡散、排出。	エピポリ Si を堆積し、 リリースホールを閉 塞。その後、水素を拡 散排出。	真空中でキャップウェ ハを接合。固相金属接 合や共晶接合を利用。
プロセス温 度	1000~1100℃	1000~1100℃	350~450℃
封止真空度	≦1 Pa (目標値) 封止圧力制御が可能。	≦1 Pa 封止圧制御は不可能。	100 Pa 程度 汎用慣性センサー向 き。
プロセスコ スト	低 水素アニール炉でバッ チ処理。装置のクリー ニングはほぼ不要。	高 エピタキシャルリアク ターで枚葉処理。装置 のクリーニングが頻繁 に必要。	中 ウェハボンダーで枚葉 処理。
高性能ジャ イロセン サーへの適 合性	○	△	×

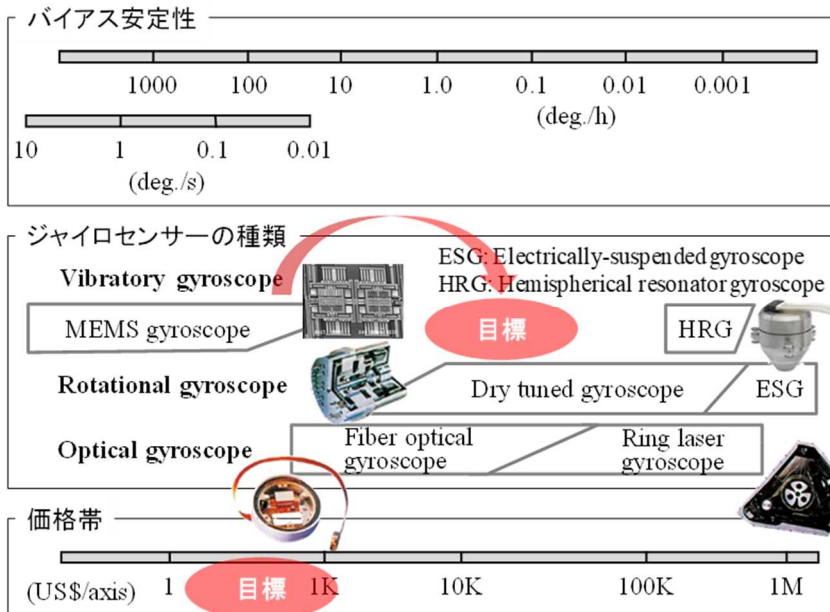


図 3.2.1.1-1 ジャイロセンサーの種類と性能および価格帯

(3) 全体計画

本研究開発では、SMS による高真空ウェハレベルパッケージング技術を開発し、産業応用可能とする。2020 年度～2022 年度の期間（フェーズ A）で小径の 4 インチまたは 6 インチウェハを用いて技術実証を行い、2023 年度～2024 年度（フェーズ B）で 8 インチウェハにスケールアップして、SMS 技術を SCK の MEMS ファンドリにインストールする。また、フェーズ B において 8 インチウェハ用水素アニール装置を開発し、実用化開発と量産に利用できるようにする。同時に、フェーズ A で SMS を用いた MEMS センサーの基本技術を実証し、フェーズ B で顧客企業に技術移転して、将来的に SCK での量産を目指す。

具体的には、以下①～③の研究項目を表 3. 2. 1. 1-2 に沿って研究開発に取り組む。

- ①基本プロセスの実証
- ②SMS による MEMS センサーの研究
- ③温度補償技術の研究

表 3. 2. 1. 1-2 研究開発計画

事業項目	2020 年度				2021 年度				2022 年度			
	第 1 四半期	第 2 四半期	第 3 四半期	第 4 四半期	第 1 四半期	第 2 四半期	第 3 四半期	第 4 四半期	第 1 四半期	第 2 四半期	第 3 四半期	第 4 四半期
①基本プロセスの実証 ・4 インチウェハを用いた基本プロセスの実証 ・6 インチウェハを用いた基本プロセスの実証 ・SMS 開発プラットフォーム (SMS-PF) の構築			4 インチウェハを用いた基本プロセスの実証 部材手配, 環境整備, 設計	封止実験, 配線取り出し構造の開発 共振子設計	共振子の SMS プロセス開発			水素アニール装置導入 標準レジピ化	SMS 開発プラットフォーム プロセス要素開発		トータルプロセス開発	
②SMS による MEMS センサーの研究				技術移転 (東北大→SCK) ライン実験計画策定/調整				共振子の SMS プロセス開発 (水素アニール装置の活用)				
③温度補償技術の研究					試作, 評価			SMS を適用したジャイロセンサーの試作 (水素アニール装置の活用), 評価				
								温度補償技術の基礎研究				
					設計, 部材手配		基礎研究				センサーへの適用, 試作 (水素アニール装置の活用), 評価	

(4) 実施体制

研究開発の体制を下図に示した。

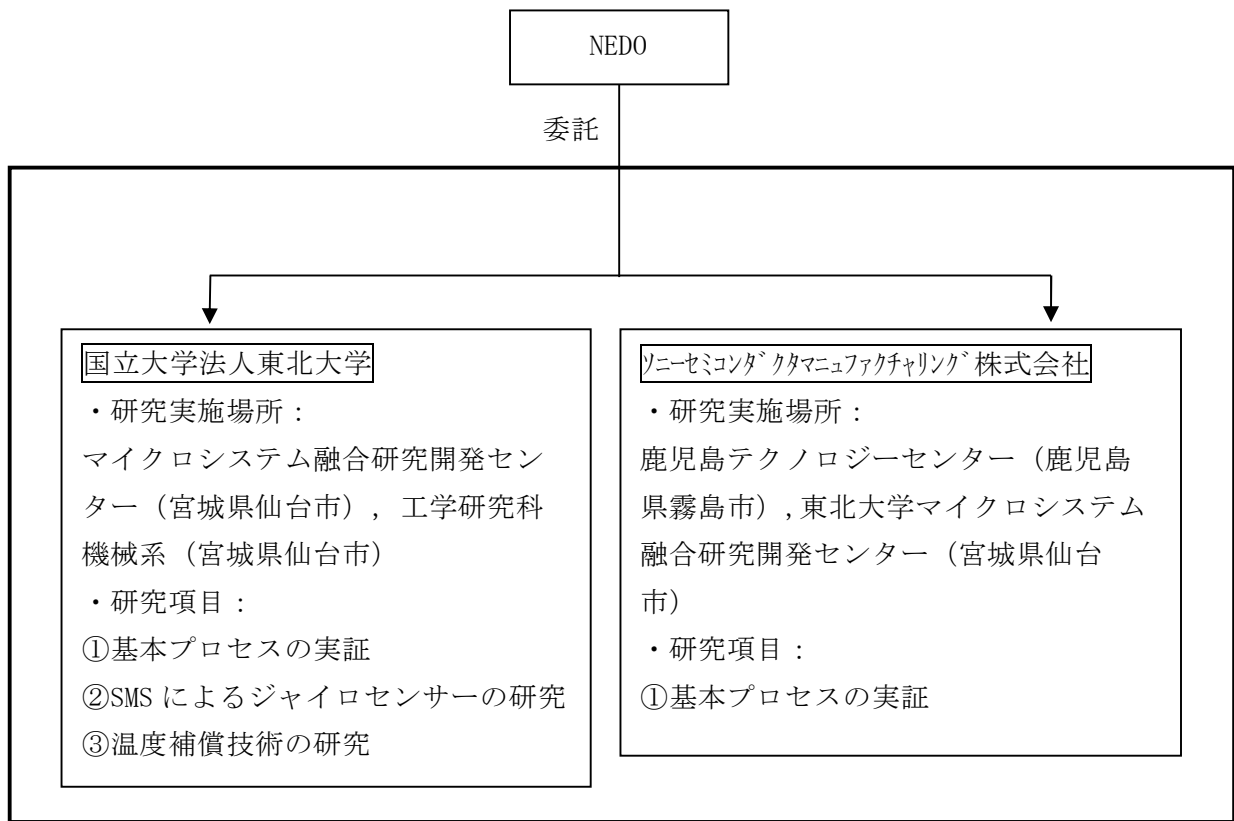


図 3.2.1.1-2 研究開発の体制

(5) 運営管理

研究開発の初期においては東北大での開発が主体になるため、SCK より技術者を東北大に派遣して、東北大研究開発チームメンバーとして研究開発を行い、開発成果の SCK への技術移転を効率的に行った。また 2 週間に 1 回の割合で東北大/SCK メンバー全員参加の研究進捗ミーティングを行い、抜け漏れの無い情報共有や全員参加型の課題解決を行った。

(6) 実施の効果

高精度 MEMS ジャイロスコープは、VR ヘッドセットの位置トラッキングを安価な機器で実現できるようになる。これにより VR システムの普及を推し進め、我が国が得意とするコンテンツビジネスを発展普及可能とする。普及した VR システムは大量のデータを集める「IoT ハブ」となりデータ活用ビジネスも生み出し、働き方改革、労働人口減少への対応、医療・介護費の削減、社会弱者のインクルーシブネス改善につながる。本研究開発はこうした喫緊の社会課題の解決に貢献するものである。

(7) 研究開発成果

(7.1) 中間目標の達成度

従来、MEMS のウェハレベル真空パッケージングの封止圧は、ゲッター無しで 1 kPa 程度、ゲッター有り数十 Pa 程度であったのに対し、本プロジェクトでは、新しい技術 SMS (Silicon Migration Seal) によって 1 Pa 以下を目指す。

SMS は、サブミクロン径のリリースホールを高温水素環境中で起こるシリコンのリフローによって閉塞し、内部に閉じ込められた水素をパッケージを通して拡散排出する技術である。SMS によって封止圧が 10 Pa 以下に下がることを、シリコンダイヤフラム試料を用いて確認した。なお、シリコンダイヤフラムを用いた封止圧評価では、約 10 Pa が検出限界であり、1 Pa に到達しているかどうかは不明である。この実験結果は、SMS の原理が成立することを示す重要な成果である。

SMS によるウェハレベルパッケージングプロセスの開発、すなわち研究項目①「基本プロセスの実証」が、本プロジェクトの中心である。MEMS ジャイロの基本要素であり、かつ 1 Pa 以下の封止圧評価に利用できる MEMS 共振子を設計し、これを超小型パッケージ (高真空セラミック/缶パッケージと比べて 1/100 以下) に封止するプロセスを開発している。プロセスの要素技術、具体的には、デバイス形状加工、サブミクロン径のリリースホール加工、ウェハ接合、蒸気フッ酸リリースエッチング、SMS、電気コンタクト形成のレシピ開発を行い、これらをインテグレーションして全体プロセスを構築した。4 インチウェハを用いて、プロセス全体を通したウェハ流動を数回実施し、MEMS 共振子がウェハレベルパッケージングされた試料を得た。このダイサイズは 3×3×0.5 mm であり、一般的なセラミックパッケージ、たとえば、15 mm×15 mm×2 mm と比べて約 1/100 の体積である。また、6 インチウェハを用いて、上述のプロセスの要素技術を開発し、プロセスインテグレーションを開始した。

2つのMEMS ジャイロ、具体的にはクアッドマスジャイロとリングジャイロの設計を行い、目標達成に必要なモードマッチング (2 軸の共振周波数の一致) を確認した。リングジャイロは、(100)シリコンの結晶異方性のため、既存の設計ではモードマッチしないが、今回、モードマッチする構造を設計し、これを FEM と試作で確認した。

表 3.2.1.1-3 中間目標の達成度

研究開発項目	中間目標	成果	達成度	今後の課題と解決方針
①基本プロセスの実証	1 Pa 以下の封止圧を実現すること 高真空セラミック/缶パッケージと比べて 1/100 以下の体積に小型化すること	内部にデバイスがない試料で 10 Pa 以下の封止圧力を確認。 内部にデバイスがある試料を完成させ、超小型パッ	△ 2023 年 2 月達成見込み	パッケージ内部に封止したデバイスが動作しない原因を調べ、その結果に基づき、プロセス要素技術とデ

		<p>ケージの形態を確認。</p> <p>4インチプロセスを完了したものの、内部に封止したデバイスの動作は確認できていない。問題の把握と解決を急いでいる。</p>		<p>バイス設計を修正し、ウェハレベルパッケージングプロセスをやり直す。この問題のブレークスルーにほとんどのリソースを投入する。</p>
②SMSによるMEMSセンサーの研究	1° /h以下のバイアス安定性を実現すること	モードマッチ方式のジャイロの試作、評価を実施。モードマッチを実証。	△ 2023年2月達成見込み	研究項目①が難航しているため、そこから研究課題②は切り離し、デバイス単独で1° /h以下のバイアス安定性を実現する。
③温度補償技術の研究	Siへの高濃度ドーピングによる温度補償技術の実証	Siへの高濃度ドーピングによる温度補償をシミュレーションで実証し、それに基づきテストデバイスの試作が完了。	△ 2023年2月達成見込み	基礎研究を計画通りに行う。

研究開発項目③については、ドーピングによって、シリコンの弾性率の温度特性が変化する現象を用いて、MEMS共振子の温度特性を制御する技術を研究している。MEMS共振子の温度特性の制御法として、正の弾性率温度係数を有するSiO₂を用いる方法もあるが、本プロジェクトで開発しているSMSによるウェハレベルパッケージングには適用できない（SiO₂は蒸気フッ酸でエッチングされるため）。文献データに基づき、ドーピングによる周波数温度特性をシミュレーションする方法を構築した。また、最も代表的なMEMS構造で、かつkHz帯のクロック共振子としても重要な片持ち梁共振子を温度補正する方法を見出した。また、試作した共振子の温度特性を真空チャンバー内で評価するセットアップを構築した。

(7.2) 研究開発の成果と意義

シリコンダイヤフラム試料を用いて SMS の原理確認のための実験を行い、まず、その原理が成立することを確認した。この成果によって、今後、実際のプロセスで起こる様々な問題をエンジニアリングによって解決すれば、目的とするウェハレベルパッケージング技術を完成させ、目標達成への自信を得た。

SMS によるウェハレベルパッケージングのプロセス開発を進め、プロセス要素であるデバイス形状加工、サブミクロン径のリリースホール加工、ウェハ接合、蒸気フッ酸リリースエッチング、SMS、電気コンタクト形成のレシピ開発を行った。これらプロセス要素の開発は、最初、4 インチウェハを用いて東北大学の研究施設で行い、続いて 6 インチウェハを用いて SCK の量産ラインでも行った。また、開発したプロセスレシピを用いて、4 インチウェハでのプロセスインテグレーションを行い、ウェハ流動を完遂し、封止した MEMS 共振子の動作は未確認であるものの、外観上は完成した試料を得た。

さらに、完成した試料に対して、赤外線透過観察、電氣的計測、パッケージング開封による破壊検査などを行い、また、およびテスト試料による実験・分析も行って、MEMS 共振子が動作しない原因を究明した。その結果、問題はスティッキングであると特定するとともに、それが発生するステップと状況を把握した。これをフィードバックしたプロセスを構築し、ウェハ流動する。

(8) 成果の最終目標の達成可能性

現在、4 インチウェハを用いてプロセス流動を行っており、順次、対策を施したウェハが完成する計画である。また、今年度中には 6 インチウェハを用いてプロセスインテグレーションを完了する。現在、デバイスが動作しない問題をかかえているものの、フェーズ A は計画通り進めていっている。この技術をファウンドリで提供する際には、8 インチウェハが主体になると考えられるため、最終的に歩留まり 80%以上を実現することは必須である。ただし、8 インチウェハでの歩留まり向上の開発には多大なリソースが必要なため、今回、4 インチウェハの流動でも経験しているように、想定できない課題の発生によっては、時間がかかる可能性がある。

SMS によるウェハレベルパッケージングプロセスが完成するまでは、その開発と MEMS ジャイロの開発とを切り分けて行う。研究項目①に本プロジェクトのリソースを集中的に投下しているが、その間、研究項目②を停滞させるのではなく、本プロジェクトのリソースをあまり使わずに、ウェハレベルパッケージングしない MEMS ジャイロを用いてバイアス安定性向上の研究を行っている。SMS によるウェハレベルパッケージングプロセスが完成すれば、本プロジェクトのリソースを投入して、MEMS ジャイロをパッケージングするつもりである。このような形で、研究代表者らの研究室にて MEMS ジャイロに必要な諸技術を高めてきており、研究項目②の最終目標の達成見通しは高いと考えている。

SMS によってシリコン表面のドーピング濃度が変化する現象を発見した。これは興味深い現象であるが、ドーピングによる温度補正に影響する。今後、この影響を研究し、シミュレーションによって予測し、この影響を織り込んで温度補正を行うことを目指す必要がある。SMS によるシリコン表面のドーピング濃度変化が、リピータビリティのある現象、あるいは制御可能な現象であれば、以上のことは可能であると考えられる。まだ前述の仮定に対するデータは

得られていないので、研究項目③の最終目標を達成できるというエビデンスはないが、達成見通しは高いと考えている。

表 3.2.1.1-4 最終目標の達成可能性

研究開発項目	最終目標 (2024 年度)	達成見通し
① 基本プロセスの実証	8 インチウェハで歩留りとして 80%以上を実現すること	2024 年度末での達成見通しは現時点では議論できない。事業化に目標達成は必須であるが、時間がかかる可能性がある。
②SMS による MEMS センサーの研究	0.1° /h 以下のバイアス安定性を実現すること	高い (50%以上)
② 温度補償技術の研究	MEMS センサーの温度補償を実証すること	高い (50%以上)

(9) 成果の普及

MEMS ダイアフラム試料を用いて、SMS の原理確認を行った成果は、学術的にも技術的にも重要であると考えており、MEMS 分野で最も重要な国内会議（センサーシンポジウム 2022）、および MEMS 分野のフラッグシップ国際会議（IEEE MEMS 2022）で報告した。後者は採択率が 40%程度の高水準の国際会議であり、この成果の重要性や新規性が MEMS コミュニティで認められたと考えられる。この成果は、今後、ジャーナル論文としても発表する予定である。

表 3.2.1.1-5 論文、外部発表等の件数（内訳） 【2022 年 3 月末現在】

年度	論文		その他外部発表				受賞実績
	査読付き	その他	学会発表・講演	新聞・雑誌等への掲載	展示会への出展	その他	
2019							
2020			1				
2021	0		4				
合計	0		5				

(10) 知的財産権などの確保に向けた取り組み

SMS の基本特許は東北大学において PCT 出願済みである。基本プロセスの実証ステージにおいてはプロセスノウハウの獲得を重視し、特許出願は意識的におこなっていない。

表 3.2.1.1-6 特許の件数（内訳） 【2022 年 3 月末現在】

年度	特許出願		
	国内	外国	P C T
2019	0	0	0
2020	0	0	0
2021	0	0	0
PJ 期間 合計	0	0	0

4. 事業化・実用化に向けた取組及び見通し

(1) 実用化に向けた戦略

SCK の MEMS 受託サービスにおいて本研究開発によって実用化される SMS をプロセスラインナップとして整備し、顧客製品への展開を図る。

SCK の MEMS 受託サービスでは顧客の MEMS 設計情報をもとに、MEMS ウェハの製造を行い、顧客へ供給しているが、そのプロセスラインナップが MEMS デバイスの性能あるいは生産実現性に直結している。しかしながらあらかじめすべての MEMS プロセスを準備することはできず、MEMS 受託事業では顧客のニーズを予測してプロセスを準備することになる。そのなかで真空封止技術は顧客からの要求の多いプロセスであり、汎用性の高いプロセスとなる。

本研究開発プロジェクトで開発する SMS は高真空の実現あるいは真空度の制御の可能性がある技術であり、本技術をプロセスラインナップにそろえることでジャイロセンサ、加速度センサ、赤外線センサ、発振器など、実現可能な MEMS デバイスが増え、またそれぞれの MEMS デバイスにおいて高真空度達成による Q 値上昇や熱感度 UP 等、様々な性能の UP、あるいは真空度の制御による安定性向上、ダンピングファクタのコントロール等に大きく寄与することが期待される。

(2) 実用化に向けた具体的取組

本開発技術についてはプロジェクト内で試作品の流動を行い、プロセスの確立を行う。2020 年度—2022 年度の期間ではこれまでに SCK の 6in 生産ラインにて SMS プロセスの重要要素技術である微小孔の封止とウェハ接合について立ち上げが完了している。現在、ジャイロセンサに見立てた振動子封止テストデバイスを流動中である。

2023 年度—2024 年度の期間では SCK 6in ラインでの立ち上げで得られた知見を用いて SCK 8in ラインへの移植を行う。

研究開発プロジェクト期間終了後は顧客からの要求に従い、顧客要求構造にてトータルのプロセス開発・流動をおよそ 1 年かけて行う。この時本プロジェクトで開発した工程はバラつき等生産上の特性を評価する。その他の SCK 保有プロセスについて SCK 鹿児島 TEC 内で試作、プ

ロセス開発・評価を行う。最終的なデバイス評価は顧客側にて行い、その評価結果を入手、フィードバックを行う。

その後顧客プロセスおよびビジネス確定にあわせ、本プロジェクトで開発された新規プロセス向け装置の投資・購入を検討する。装置導入後、SCK 内での生産を確立、生産・販売を開始する。

実用化・事業化については顧客ビジネスによるところが大きいですが、既存顧客への適用では事業化可能性が高いと考えられる。また、新規顧客についても、顧客の開発状況に応じ、適宜東北大学マイクロシステム融合研究開発センターを利用することで、試作から量産までスムーズな立ち上げを目指す。

(3) 成果の実用化の見通し

SCK で既に展開する MEMS 受託事業において本プロジェクトで実現する封止技術は上述のように大きな市場と今後の成長が見込まれている。

実際に現在受託中の案件でも封止技術のより高レベルでの要求は多く、本プロジェクトの技術が直接適用可能と思われるものも存在する。

特に本技術で注目されるのは高真空での封止もさることながら封止真空度の制御性も大きな競争力となると考えられる。通常の真空封止ではより高真空を目指すことに主眼が置かれており、真空度の制御を目的とするものは皆無である。しかしながら加速度センサなど、デバイスの種類によっては単に高真空とするだけでは不十分であり、ある程度真空度を下げることで、ダンピングを惹起させ、センサの応答を上げる必要がある。このように、所望の真空度を得ることでデバイスの設計自由度を上げることができる。本手法ではこの真空度の制御についても考慮されており、他の真空封止技術と比べ大きな競争力を期待できる。

実際にこれらに適用するためには技術確立後、各デバイス毎に必要な構造を確認、プロセスフローの見直しなどの調整が必要となる。具体的には本手法では 1000℃を超える高温処理が必要となるためこれらへの対策が必須となる。この対策として材料やプロセスフローを見直し、高温に耐える材料への変更や低温材料をより後段でのプロセスへ移動させることなどを検討することで課題を解決することができる。

(4) 波及効果

今回特に追加加速予算で東北大学マイクロシステム融合研究開発センター内に立ち上げている SMS 開発プラットフォームは SCK 単体ではカバーすることが困難な、研究開発段階での試作をカバーするもので、広く国内の構想レベルのデバイスの実現可能性を実証し、SCK として受託可能な実用化可能性の裏付けを持つデバイスにまで引き上げ、死の谷をこえる橋となる仕組みと言える。このプラットフォームでプロセス上の実現性を高めたデバイスを本プロジェクトで SCK が獲得する SMS プロセスを含むプロセスラインナップに引き継ぐことでデバイス開発側からはアイデアから生産までシームレスな仕組みが出来上がる。また、SCK 側としても顧客獲得のすそ野を東北大学マイクロシステム融合研究開発センターに広げることでより多くの潜在顧客とつながることが可能となる。さらに、SMS プロセスにおいてあらかじめ試作コインランドリ・SMS プラットフォームにおいて技術的課題を解決しておくことにより、生産まで短期間でスムーズな移行を見込むことができる。

別添 9

研究開発項目①

大気中電子放出イオン化による I M S 呼気分析システムの研究開発

シャープ株式会社

株式会社ダイナコム

国立大学法人奈良国立大学機構奈良女子大学

国立研究開発法人理化学研究所

国立大学法人鳥取大学

3.2 研究開発項目毎の成果及び実用化

(1) 背景と目的

人口減少や少子高齢化等により、医療費増大や医療従事者の不足が大きな社会課題となっている中で、様々な疾病を早期発見・早期治療するという大きな社会ニーズから、様々なセンサーが研究開発されている。中でも呼気分析は、非侵襲で安全・簡便なサンプリングというメリットから、2000年代から研究が活発化し、2014年には呼気成分872種類が報告されている。しかしながら、国内で社会実装されている呼気分析装置は、飲酒検知用のエタノールセンサーや、喘息治療管理のためのNO計測器などごく僅かであり、特定のガス物質検知に特化したセンサーである。呼気中の様々な低分子ガス成分が、様々な疾病と関連していることが報告されていることから、多成分のガス分析装置が、呼気分析には必要である。また、検出したい呼気成分の大部分はppmからsub ppbの濃度レベルで、ときにはpptレベルの超低濃度であることから、ガス検知の技術的なハードルは非常に高い。従って、その分析技術は質量分析やガスクロマトグラフィーが中心となり、分析装置の価格が数千万円と高額、分析時間も数十分を要し、装置も大型となるため、社会に普及困難という課題を有している。さらに治療を目的とする医療機器とした場合は、臨床研究によるエビデンス取得に莫大なコストと時間を要することも、実用化の大きな障害となっている。

このような背景に鑑み、我々は既存の分析装置では検出困難なppbからpptレベルの超低濃度の呼気成分をリアルタイムで分析し、かつ社会実装可能な小型・軽量・低コスト・省エネルギーで実現する装置の開発を目的とする。さらに多数の装置をネットワークで接続し、データ収集とデータベースの蓄積を行うことにより、より高度な分析を行うIoTサービスシステムの開発を目的とする。

(2) 位置づけ、目標値

〔位置づけ〕

従来の多成分ガス分析装置では困難であった小型・低価格・高感度・リアルタイムを全て両立するIMS (Ion Mobility Spectrometry) 検知器を開発する。IMSは、小型・高性能・リアルタイムで多成分のガス検知が可能であることから、海外では人命に関わる毒ガス検知として軍用途などで実用化されている。しかしながら、ガスのイオン化部に放射線源が用いられていたことが民生分野への応用の大きな障害となっていた。

そこで本研究では、まずシャープ(株)が独自開発した大気中電子放出デバイスを用いて、従来IMSのイオン化の課題を解決し、普及型の革新的IMSガス分析装置の開発を行う。

次に、確実に社会実装する開発戦略として、人用の医療機器ではなく、動物病院に設置するペット用の呼気分析装置から開発を行う。国内におけるペットは犬猫だけで年間延べ6,200万頭が動物病院を訪れており、家族の一員として扱われるかけがえのない存在である。一方で、犬の死因の1位はがん、猫はがんと腎臓病であり、早期発見が困難であることから、その潜在市場は非常に大きいものといえる。このニーズの大きさ・検査機会の多さ・市場の大きさと、人用の医療機器のような膨大な臨床研究を必要としないことから、ペット用の呼気分析装置の開発で早期に確実に実用化を行う。

そして IoT 化して社会実装する中で、データ蓄積を行いながら膨大なスペクトルデータを分析する技術をレベルアップしていく。様々な疾病に関わる超微量の原因物質をセンシング・DB 化し、人やペットの健康に関わるサービスを提供することで、人々が健康な社会を実現することを目的とする。

〔目標値〕

本研究開発では、大気中電子放出デバイスがガスイオン化部に応用することで、普及型の革新的 IMS (Ion Mobility Spectrometry) ガス分析装置を開発し、動物 (犬猫) の呼気成分と各種疾患との相関関係を確認する。

2022 年度末 (フェーズ A 終了時点) 及び 2024 年度末 (フェーズ B 終了時点) における全体目標は以下の通りとする。

【2022 年度末 (フェーズ A 終了時点) 達成目標】

大気中電子放出イオン化技術開発とイオン化に関わる各種原理解明、及び情報処理技術の融合により、小型・高感度・迅速・多成分検知可能な IMS 技術を開発する。試作した IMS を用いて、各種ガスのデータベースを構築するとともに、動物の呼気成分と各種疾患との相関関係を確認する。

【2024 年度 (フェーズ B 終了時点) 達成目標 (予定)】

IMS の最適化による更なる高感度化と、量産技術開発、各種ガスデータベースの増強を行う。また動物の呼気成分と各種疾患との相関データベースの増強を行う。そして IoT 化による呼気分析サービスを開発・実証を行う。

(3) 全体計画

事業項目	2020年度				2021年度				2022年度			
	第1 四半 期	第2 四半 期	第3 四半 期	第4 四半 期	第1 四半 期	第2 四半 期	第3 四半 期	第4 四半 期	第1 四半 期	第2 四半 期	第3 四半 期	第4 四半 期
①-1. 電子放出イオン化IMS装置開発												
1) IMS装置開発	原理検証機				UIソフト				改良機			
2) 電子放出イオン化開発	正負イオン化技術開発				イオン化効率UP				実証実験機			
3) 感度と安定性向上	流路と電界の最適化				湿度等の外乱安定化							
①-2. インフォマティクス技術開発	SHASH分布関数による成分分離				データベースと解析支援システムを構築				AI処理による疾患判別			
1) IMS信号処理系開発					配位の影響予測				モデルプロトタイプ構築			
2) データベース構築												
3) ドリフトタイム予測技術												
②-1. 希薄ガス分子のサイズ・反応性の理論的・実験的決定とDB構築	気化装置				6種類の化合物				動物から得られた分子			
1) 気化装置の設計試作	アセトン				2成分系の実験と解析							
2) スペクトルデータの構築・予測理論構築	酢酸											
②-2. イオン源の評価とイオン化挙動の解明	測定準備				静的放射光測定				動的放射光測定			
1) 放射光測定	IMS基礎データ採取				ドーナントイオン化IMS開発				分子帰属の解明			
2) ドーナントイオン化技術開発と分子帰属の解明												
③-1. 呼気サンプリングマイクロ予備濃縮器開発	設計				試作				改良			
1) マイクロ予備濃縮器および筐体の開発	サンプリング実験				ガス分析				呼気分析			
2) 犬猫の呼気分析					正常な犬猫の呼気分析							
③-2. 呼気分析の犬猫各種疾患診断への応用					深呼吸時と浅呼吸時の比較							
1) サンプリング方法確立									各種疾患と呼気成分の相関分析			
2) 正常な犬猫呼気分析												
3) 各種疾患を有する犬猫の呼気分析												

(4) 実施体制

【研究項目①：大気中電子放出イオン化 IMS ガス分析技術の研究開発】

①-1. 電子放出イオン化 IMS 装置開発

シャープ株式会社

①-2. IMS 高度利用のためのインフォマティクス技術開発

株式会社ダイナコム

【研究項目②：ガス分子イオン化挙動の原理解明に関する研究開発】

②-1. 希薄ガス分子のサイズ・反応性の理論的・実験的決定とデータベース構築

国立大学法人奈良女子大学

②-2. イオン源の評価とイオン化挙動の解明

国立研究開発法人理化学研究所

【研究項目③：IMS の高性能化技術開発及び動物の各種疾患診断への応用】

③-1. 呼気サンプリング用マイクロ予備濃縮器の開発

③-2. 呼気分析法の犬猫の各種疾患診断への応用

国立大学法人鳥取大学

(5) 運営管理

連携研究機関 5 者（シャープ、ダイナコム、奈良女子大学、理化学研究所、鳥取大学）で、定期進捗連絡会を毎月開催し、各機関による進捗報告、情報共有、課題解決に向けた議論等を実施している。この会議には、隔月で NEDO プロジェクト担当が参加し、情報共有を行っている。コロナ禍の影響により 2022 年 3 月末までで、会議は Web 会議が 19 回、対面での会議が 1 回となっている。

知財運営委員会は、電子メールによる会議または Web 会議としているが、学会発表や特許出願の届出毎に確実に実施している。

(6) 実施の効果

検出限界向上という IMS の基本技術開発だけでなく、ガス吸着・湿度変化・ガス種による変動、夾雑物質からの分離技術などの呼気分析を実用化する上で必要な装置の課題を解決していく。

(7) 研究開発成果

(7.1) 中間目標の達成度

研究開発項目	中間目標	成果	達成度	今後の課題と解決方針
①-1. 電子放出イオン化技術と IMS ガス分析装置開発 (シャープ)	電子放出イオン化 IMS の装置性能向上：検出限界 1ppb ダイナコム社が開発する信号処理技術と融合：検出限界 100 ppt	・ IMS 改良機を作製し奈良女子大に設置完。 ・ 酢酸にて目標検出感度 0.5ppb を達成。 ・ UI ソフトを作成し IMS 改良機に搭載完。	△ 検出限界 1ppb を 1 年前倒しで達成した。信号処理技術融合は未達。	ターゲットの疾病とバイオマーカーが未確定のため、連携機関と協力して最優先で進める。
①-2. IMS 高度利用のためのインフォマティクス技術開発 (ダイナコム)	電子放出イオン化 IMS から得られた検出信号に対する信号処理技術開発：SN 比 10 倍以上改善	各種 VOC のスペクトルデータを格納するためのデータベースを構築した。 データ同化アルゴリズムを用いて、誤差調整パラメータの推定を行った。	△ データベースは構築完了。SN 比改善は、必要なスライス推定法を開発した。	データベースを奈良女子大学に設置し、登録と解析処理の連携を進める。パラメータ推定についてはデータを増やして精度を向上する。
②-1. 希薄ガス分子のサイズ・反応性の理論的・実験的研究とデータベース構築 (奈良女子大学)	疾病と相関する呼気分子の IMS 多成分検知：10 種類以上	IMS 試作改良機を用いて、疾病と相関する試料ガス 6 種類を IMS 分析し、分子成分を検知した。 濃度の異なる 2 成分系の混合ガスのスペクトルのデータベース化。	△ 高温加熱可能なシステムを構築した。	実際の動物の呼気から得られた分子と、合計 10 種類以上について、IMS 試作改良機で IMS の多成分検知を確認する。
②-2. イオン源の評価とイオン化挙動の解明 (理化学研究所)	大気中電子放出 (AEE) 素子の改良 呼気分析用 IMS のドーパント選択	SPring-8 のビームラインで AEE 素子に高輝度 X 線ビームを照射し、元素の空間分布や物性を分析。 ドーパント候補物質を選定・基礎実験完。	△ Si と Ag の化学形態別分布が観察できた。ドーパント未使用計測に決定した。	AEE 素子のサブミクロン領域での Si と Ag の分布を観察し、素子性能向上に向けた改良方針を決定する。
③-1. 呼気サンプリング用マイクロ予備濃縮器の開発 (鳥取大学)	マイクロ予備濃縮器と IMS を用いた 100ppt ガスサンプルの検出	マイクロ予備濃縮器と IMS を用いて 1 ppb ガスの濃縮と検出を実現。	△ ppb オーダーの酢酸ガスの	マイクロ予備濃縮器と IMS と用いて ppt オーダーの標

			濃縮と検出を達成した。	準ガス検出を図る。
③-2. 呼気分析法の犬猫の各種疾患診断への応用 (鳥取大学)	犬猫の呼気成分と各種疾患の相関説明	健康な犬の呼気分析を実施し、レファレンスデータベースを作成。	△ 呼気捕獲法を決定し、健康な犬の呼気分析ができた。	疾患を有する犬の呼気分析を実施し、疾患と呼気分析データの相互関係を解析する。

(目標に対する達成度の自己評価です。表形式にしてください。◎○△×の意味は下記の通り。理由も「達成度」箇所に簡潔に記載、詳細は(8)に記載する)

◎：大きく上回って達成(特筆した成果を記載)

○：達成(成果を記載)

△：概ね達成(成果と未達ともに記載)

×：未達(未達理由について記載)

(7.2) 研究開発の成果と意義

①-1. 電子放出イオン化 IMS 装置開発

(担当：シャープ株式会社)

- シャープが独自開発した大気中電子放出デバイスをガスのイオン化部に搭載した IMS ガス分析装置について、改良機的设计・試作を行った(図1)。昨年度試作した IMS 原理検証機からの主な改善点は、ガス流路・流速の変更によるイオン化効率改善、加熱機構によるガス吸着対策、イオン電流検知回路改良によるノイズ低減などである。また、温度センサーや圧力センサーを内蔵し、シミュレーションやデータ同化に活用可能とした。この IMS 改良機は、連携機関である奈良女子大学にも設置を完了した。
- UI ソフトの導入で時系列データの解析が容易となり、特に湿度を変化させた呼気データを解析する上で有効である事を確認した。
- 希薄ガス作製システムは、高温用 MFC を導入して改良することで吸着性を有するガスのリフレッシュ性能を向上し、より低濃度ガスの評価を可能とした。このシステムで酢酸希薄ガスを作製し、IMS 改良機の性能評価を行った結果、0.5ppb の酢酸希薄ガス波形を検知し、2021 年度目標の 5ppb および 2022 年度目標の 1ppb を達成できた。また検量線による検出限界を評価では、0.1ppb を達成した。0.5ppb 酢酸ガスの作製精度は、パーミエーター内のディフュージョンチューブを秤量して確認した。



図1. IMS 改良機外観

①-2. IMS 高度利用のためのインフォマティクス技術開発

(担当：株式会社ダイナコム)

- 各種 VOC (Volatile Organic Compounds) のスペクトルデータを格納・検索・表示するためのデータベースを構築した。(図 2)

データベースには、化合物情報、IMS で計測したサンプル情報およびスペクトルデータ、MOBCAL から予測されるピークの推定位置、等が格納できる。

今後、疾患サンプルのデータを格納して、次年度以降の疾患予測に役立てていく。

IMS スペクトルデータの波形分離にスパース推定アルゴリズムを導入した。(図 3)

また、当初は正規分布を波形の基底関数としていたが、波形の形状を調整できる SHASH 分布関数を導入して波形分離を行った。これにより、±0.06ms のピークのずれがあれば波形分離を行える目途が付いた。(図 4)

スパース推定、SHASH 分布については形状などを調整するパラメータが存在するが、データ同化アルゴリズムの一つである粒子フィルタを用いて、予測精度が上げられるようパラメータの推定を行った。

- また、水が配位した際の立体構造データを含めて MOBCAL の予測値と実測値を補正するパラメータの推定を行った。

なお、MOBCAL の実行とパラメータの推定には追加で導入した GPU マシンを用い、プログラムの高速化(0.27~0.65 倍)とあわせて処理時間を 1/2 以下に短縮させた。

The screenshot shows the IMS database interface. At the top, there are navigation links: IMSデータベース, ホーム, サンプル検索, IMS計測結果検索, 化合物検索, 予測結果検索, リンク. Below this is the heading 'IMSデータベースへようこそ' followed by four search icons: サンプル検索, IMS計測結果検索, 化合物検索, and 予測結果検索. The main content area is titled '化合物詳細' and shows details for 'Acetic acid'. It includes fields for 化合物名 (Acetic acid), SMILES (CC(=O)O), 分子量 (59.044), and 電荷 (-1.0). There is a section for 立体構造 (3D structure) with two sub-sections: 'タイプ' and '構造', each showing a ball-and-stick model of the molecule. At the bottom, there is a small note: '©2018. 国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構 (NEDO) の助成事業の結果得られたものです'.

図 2. データベースの表示例

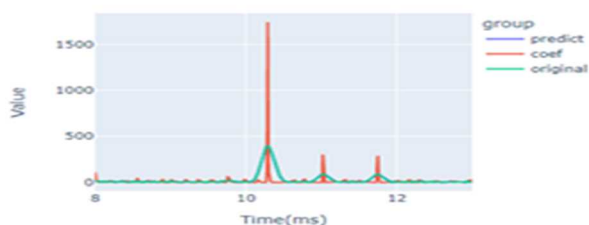


図 3. 波形分離へのスパース推定の導入

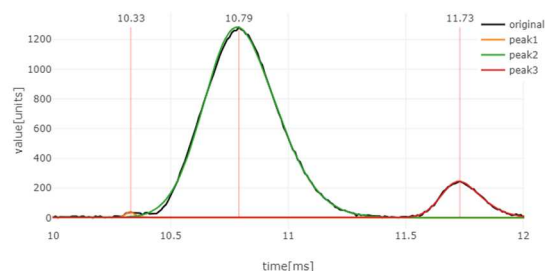


図 4. SHASH 分布関数を用いた波形分離

②-1. 希薄ガス分子のサイズ・反応性の理論的・実験的決定とデータベース構築

(担当：奈良女子大学)

- 人の肺がんとその相関が報告されているブタン、アセトン、酢酸、プロピオン酸、肝臓病と相関するアンモニア、腎不全と相関するトリエチルアミンおよびトリメチルアミンの 7 種類、およびジアセチルとギ酸について、IMS 試作改良機を用いたイオン移動度スペクトル分析を行い、スペクトル分離を確認し、データベース化を行った。
- 各イオンの衝突断面積 (理論値) およびドリフト電圧、ドリフト長、ドリフトガス密度が

ら、各イオンのドリフト時間を理論的に算出した。ドリフト時間の理論計算値と実験値はよい一致を示し、スペクトルから分子の分離・推定を70%以上の確率で実証した。

- 高性能計算機により、試料ガスにおける相対湿度に依存した水和イオンの推定を高速化した。
- 2成分系の混合ガスとして酢酸とプロピオン酸を検討し、IMS スペクトルの分離を確認した(図5)。濃度が異なる多成分系における挙動についても分離可能であることを確認した。2成分系の実験的および理論的データベースを構築した。高温加熱可能な多成分ガス実験装置を用いて混合ガスの測定の迅速化に成功した。
- 大気中電子放出により生成したイオンの質量分析を行い、イオン化過程の推定を行った。

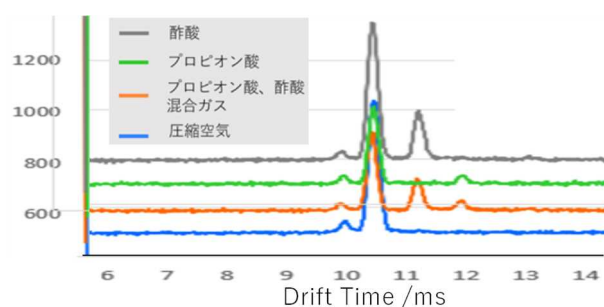


図5. 2成分混合ガスのIMSスペクトルのピーク分離

②-2. イオン源の評価とイオン化挙動の解明

(担当：理化学研究所)

- SPring-8の2つのビームライン(BL)に大気中電子放出素子(AEE素子)を持ち込み、試料台にマウントし高輝度X線ビームを照射し、AEE素子中の元素の空間分布、物性を解析した。1つ目は、硬X線BLのBL36XUにおいて素子内の銀ナノ粒子中の銀原子をX線吸収微細構造(XAFS)解析し、マクロレベル(0.018 mm²)で未使用素子と通電後の素子との比較で銀の価数に変化がなく還元銀であることを確認した。(図6) 2つ目は、軟X線BLのBL17SUにおいて素子中のシリコーン樹脂内のケイ素を軟X線吸収分光分析し、通電後の素子では素子土台の窒化ケイ素および未変性のシリコーンに加えて、銀凝集部位と考慮される領域において、化学形態の異なるケイ素が観察された。素子改良に向けさらに微小領域での分析を行うこととした。
- 標的試料ガスと混合するドーパントについては、候補物質を調査・選定し、IMS基礎実験を実施した。アンモニアドーパントによるアセトンの移動度の変化を確認したが、時間軸変化などの課題も判明した。

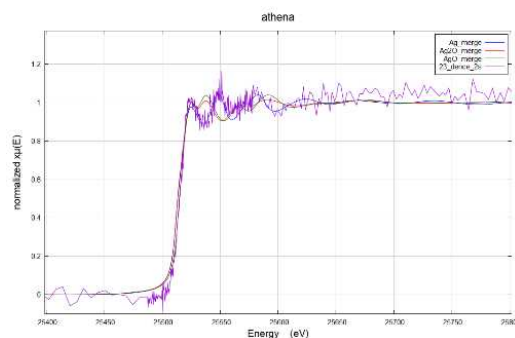


図6. AEE素子中のナノ銀のXAFS波形

③-1. 呼気サンプリング用マイクロ予備濃縮器の開発

(担当：鳥取大学)

- マイクロ予備濃縮器をIMSに接続し、酢酸ガスの濃縮とガス検出実験を行い、ガスが濃縮されていることが確認でき、IMSに応用するためのマイクロ予備濃縮器の改良ができていると判断した。(図7)

- ・ 正常な犬の呼気ガスをサンプリングする筐体（特許出願済）に、マイクロ予備濃縮器を取り付けサンプリングした呼気を GC/MS でガス成分分析を行い性能評価した。その結果、個体差、呼気捕獲方法（捕獲時犬の状態：覚醒時または麻酔時）と捕獲時間、マイクロ予備濃縮器の設置角度依存性が明確化でき、実用化に向けた実験条件が決まった。



図 7. マイクロ予備濃縮器の濃縮確認

③-2. 呼気分析法の犬猫の各種疾患診断への応用

（担当：鳥取大学）

- ・ スパイロメーターおよび呼気ガスアナライザーを導入し、動物の呼吸状態（深呼吸なのか浅呼吸なのか）の解析を実施した。スパイロメーターに関しては、マスクおよび気管チューブと接続し、小型犬から大型犬まで覚醒時および全身麻酔下で測定可能な 1 回換気量、分時換気量の測定手法を確立した。これは、今後症例において採取する呼気ガスサンプルの質の評価に有用であると考えられる。
- ・ 正常な動物における VOC ガス成分のデータベースを作成すべく、健康な犬の呼気成分分析を行い、VOC ガス成分の候補リストを作成した。その結果、全身麻酔下で気管チューブから得られたマススペクトルと覚醒時にマスクから得られたマススペクトルはおおむね同様であった。加えて、実験犬であるビーグルと症例の柴犬、ラブラドルレトリバー、Mix 犬において呼気ガスのマススペクトルを比較したところ、犬種による明らかな違いは認められず、犬の年齢が生体内産生物質のスペクトルに影響している可能性が示唆された。

(8) 成果の最終目標の達成可能性

研究開発項目	最終目標 (2024 年度)	達成見通し
④-1. 呼気分析装置の量産検討と IoT データ蓄積 (シャープ)	<ul style="list-style-type: none"> ・ 検出限界：10 ppt ・ IoT 化による呼気分析サービスの実証 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 検出限界はダイナコムとの技術融合で達成見込み ・ 呼気分析サービスは動物病院の協力で実証見込み

④-2. 呼気分析 DB の AI 処理と診断システムの 実証 (ダイナコム)	・呼気成分と各種疾患との 関連の臨床 DB 構築	疾患サンプルの呼気 データを格納して、 臨床 DB 構築見込み
---	-----------------------------	---------------------------------------

(9) 成果の普及

表 論文、外部発表等の件数（内訳） 【2022年3月末現在】

年度	論文		その他外部発表				受賞実績
	査読 付き	その他	学会発 表・講演	新聞・雑 誌等への 掲載	展示会へ の出展	その他	
2020	0	0	0	0	0	0	0
2021	0	0	3	0	2	0	0
2022							
合計	0	0	3	0	2	0	0

(10) 知的財産権などの確保に向けた取り組み

表 特許の件数（内訳） 【2022年3月末現在】

年度	特許出願		
	国内	外国	PCT
2020	0	0	0
2021	3	0	0
2022			
PJ 期間 合計	3	0	0

4. 事業化・実用化に向けた取組及び見通し

(1) 実用化に向けた戦略

研究成果として開発される大気中電子放出イオン化 IMS ガス分析装置は、①ppm から ppt レベルの超微量ガスを検知可能、②小型・低価格・放射線源レスの民生用、③スペクトル出力より多成分ガスの成分分析が可能、④検知時間約 5 秒というリアルタイム性、⑤ガス濃度の定量評価も可能などの特長を有することから、多種多様な用途展開が可能である。この IMS ガス分析装置をコア技術として、健康分野で将来大きな社会貢献が見込まれる呼気分析サービス事業を行う。確実に社会実装する開発戦略として、動物病院に設置するペット用の呼気分析装置から開発を行い、次に人のヘルスケア用途へと事業拡大していく戦略とする。

動物病院に設置する呼気分析システム／サービスの概要は、下図のとおりである。

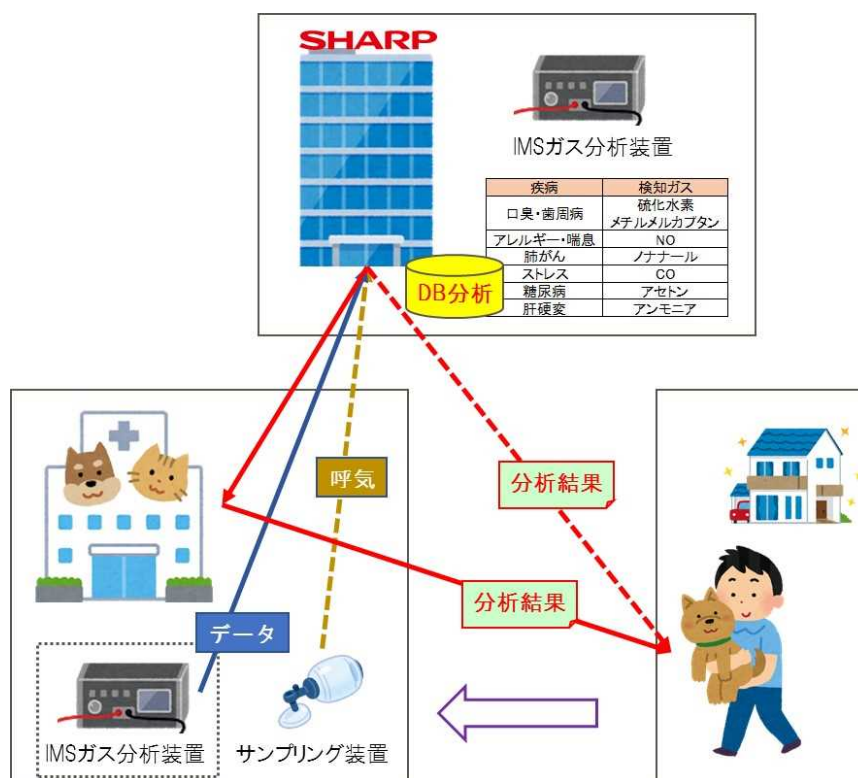


図 8. 呼気分析システム／サービスの概要

(2) 実用化に向けた具体的取組

プロジェクトで開発した IMS ガス分析装置と、動物の呼気分析の実証結果をベースに、動物の呼気検査システムの製品化と IoT 化によるサービス事業を行う。

(3) 成果の実用化の見通し

まず本提案の呼気分析装置は、大気中電子放出という革新的な独自技術をコア技術とし、従来 IMS の放射線源という課題を解決・差別化するものである。また大気中におけるガスイオンの移動度というシンプルな物理現象を測定原理とするもので、既存のガス分析装置や他の国

ロで開発されているセンサーとは原理を異にするため差別化でき、競争力があると考えている。

次に呼気分析サービスをはじめとするニオイサービス事業は、単なるセンサーのモノ売りではなく、IoT化してデータベースを構築し、複雑かつ膨大な解析を行うことでお客様にサービスを提供するものである。シャープ（株）においては、既にIoT技術による様々なサービス事業を展開していることから、その実績を活用することで競争力のあるシステムを開発できると考えている。

(4) 波及効果

IMS 呼気分析システムは、確実に社会実装する開発戦略として、まず動物病院に設置するペット用の呼気分析装置の開発から始める。国内におけるペットの飼育頭数は、2018年のペットフード協会の統計によると犬が890万頭、猫が965万頭、計1,855万頭である。また世界に目を向ければ、10人に一人が犬を飼っているという報告もある。すなわち、世界的には犬だけで6億頭が飼われていることになる。動物病院へ行く回数は、犬が4.36回/年、猫が2.37回/年であることから、犬猫だけで年間延べ6,200万頭が動物病院を訪れている。ペットに対する1か月あたりの支出総額約1万円から算出した数字や、矢野経済研究所の調査結果などから、ペット関連の国内市場規模は1.5~2兆円と見込まれる。ペットは、家族の一員として大切に扱われており、単に癒し効果を与えるだけでなく、例えば子供の心身の成長に好影響を与える、家族のコミュニケーションを増加させる、高齢者の孤独感を和らげるなど、飼い主の心身の健康維持に大きな影響を与えるかけがえのない存在である。一方で、犬の死因の1位はがん、猫はがんと腎臓病であり、早期発見が困難であることから、そのニーズと潜在市場は非常に大きいものといえる。このニーズの大きさ・検査機会の多さ・市場の大きさと、人間の医療機器のような膨大な臨床研究が必要ないことから、早期に確実に実用化を行う。そしてIoT化して社会実装する中で、データ蓄積を行いながら膨大なスペクトルデータを分析する技術をレベルアップし、呼気分析サービス事業を創出していく。

次に、この動物病院での呼気分析システムの技術蓄積と実績をベースとして、様々な医療機関や企業との連携を行うことで人間のヘルスケア用途の呼気分析システム・サービスに応用展開する。今回のコロナウイルスによる新型肺炎のような事態は、数年に一度発生する可能性がある。肺炎の原因は多くの場合、細菌又はウイルスである。細菌、ウイルスは増殖するために個体内で代謝が起こる。その際には必ずVOCを含む様々な産生物が放出される可能性が高い。そのため、将来的には肺炎の原因菌あるいはウイルスを本装置で検出できる可能性がある。今後、医療崩壊を招かないためにも、全国に普及した呼気分析装置とIoT分析サービスによって、ファーストスクリーニング検査が容易にできれば大きな社会貢献となる。

最後に、臨床研究等に時間を要するが、医療機器まで応用できれば、健康分野において大きな社会貢献となることは言うまでもない。現在、日本の医療費は約43兆円に上り（H29年度、厚生労働省統計）、また平均年齢の上昇により今後も医療費が増加していくことが予測されている。IoT化した呼気分析システムを実現することで、疾病の早期発見・早期治療を行い、健康寿命を延ばすことができ、その結果として医療費を削減できるため、大きな経済効果と社会貢献を実現するものである。

呼気分析に限定せず、普及型ガス分析装置およびニオイセンサーとしての応用を考えると、その潜在的な社会ニーズが非常に大きいことは、内閣府の革新的研究開発推進プログラム（IMPACT）やJST戦略的創造研究推進事業のCRESTにおいて嗅覚センサーの研究開発が進められていることから明らかである。IMSは、海外において軍事用途中心で研究開発された歴史的経緯から、我が国は技術的に海外に大きく後れを取っており、研究開発もあまり進んでいない。放射線源イオン化というIMSの課題を世界に先駆けて克服できれば、高性能の普及型ガス分析装置／ニオイセンサーとして、IMSは爆発的に発展・普及することが期待される。国産の独自技術で普及型IMSガス分析装置／ニオイセンサーを開発し、IoT化による新規ニオイサービス産業を創出することで、世界をリードし大きな経済効果が期待できる。

別添 10

研究開発項目②

超微小量センシング信頼性評価技術開発

国立研究開発法人産業技術総合研究所

3.2 研究開発項目毎の成果及び実用化

(1) 背景と目的

近年、情報通信技術の急激な進化によりネットワーク化が進み、従来は個別に機能していた「もの」がサイバー空間を利活用してシステム化され、さらには、分野の異なる個別のシステム同士が連携協調することにより、自律化・自動化の範囲が広がり、社会の至るところで新たな価値が生み出されている。これら Internet of Things (IoT) 化の動きは、生産・流通・販売、交通、健康・医療、金融、公共サービス等の幅広い産業構造の変革や人々の働き方・ライフスタイルの変化を引き起こし、国民にとって豊かで質の高い生活の実現の原動力になると予見されている。

一方で、我が国においては、人口減少や少子高齢化、エネルギー・資源の制約等により、医療・介護費の増大、地域の人手不足や移動弱者の増加、インフラ維持管理や産業保安の負担増等の様々な社会課題が顕在化している。そのため、サイバー空間（仮想空間）とフィジカル空間（現実空間）を高度に融合させる革新的なセンシング技術を導入することによって、人やあらゆる「もの」からの豊富なリアルデータで現状を精緻に見える化し、社会課題の早期解決と新たな価値創造を実現することが期待されている。

本プロジェクトでは、顕在化する様々な社会課題の早期解決と新産業の創出を両立する Society 5.0 の実現に向けて、日本が強みを有する最先端の材料技術やナノテクノロジー、バイオテクノロジーを利用して、既存の IoT 技術では実現困難な超微量の検出や過酷環境下での動作、非接触・非破壊での測定等を可能とする革新的センシングデバイスを世界に先駆けて開発する。併せて、革新的センシングデバイスの信頼性向上に寄与する基盤技術を開発する。

(2) 位置づけ、目標値

当研究開発項目では、研究開発項目①「革新的センシング技術開発」で実施の A1, A2, A3, A4 で開発される各種物理量のセンシング性能に対して、計測の信頼性評価技術、および想定される実用環境でのセンシング信頼性評価手法の開発および設備整備を実施する。以下に示す研究項目①～④の目標値は、基本的には研究開発項目①の A1～A4 の各々で開発されるセンシング技術が目標とする感度等に対して信頼性評価を実施できるように設定している。

研究項目①：非侵襲血中成分計測に係る信頼性評価技術開発

位置付け： A1 で開発実施中の非侵襲血中成分計測技術の信頼性評価を可能とする技術開発

中間目標値(2021年度末)：血中成分の非侵襲連続超高感度計測デバイスのために開発されるピエゾ抵抗型音響センサ、の水中における 10 kHz～100 kHz の微小音圧検出能力、及び体温で使用される場合のセンサの特性変化の評価技術を開発する。また、1 kHz-100 kHz の周波数帯域において 1 mPa 以下の圧力を安定的に与えられる超微小圧負荷システム実現の見通しを得る。中赤外・遠赤外線センサに対する信頼性評価技術においては、血糖測定の標準試料としてグルコース溶液を用い、自己血糖計測器の規格 20%の差が検出可能な評価技術を開発する。

最終目標値(2023年度末)：血中成分の非侵襲連続超高感度計測デバイスのために開発されるピエゾ抵抗型音響センサの、水中における 10 kHz～100 kHz の微小音圧検出能力、及び体温で使用される場合のセンサの特性変化の評価を実施する。また、1 kHz-100 kHz の周波数帯域で、放射圧による 1 mPa 以下の圧力変化発生が可能であることを示す。中赤外・遠赤外線セ

ンサに対しては、人体ファントム（主として皮膚）下における溶液試料を用いた信頼性評価を実施する。なお、自己血糖計測器の国際標準規格(IEEE)および日本標準規格(JIS)で規定されている測定精度 20%の差が測定できることをセンサ許容範囲とする。

目標設定根拠：音圧センサを人体に密着させて使うことを想定した水中での音圧検出能力は、密度や音速が大きく異なる空中とは異なると思われるためである。また、水中用音圧センサである hidroホン の感度には温度依存性があることが知られている。そのため体温で使用することが想定される、この度の音圧センサにおいても、常温と体温における音圧検出能力やセンサの共振周波数の変化を確認する必要があるため、目標設定は妥当である。また、現在の圧力校正器の分解能は 1 Pa 程度であり、1000 倍に分解能を上げることは、超微量センシング技術開発で開発されるような超微小圧を検出するセンサの信頼性評価を可能すると想定できるので妥当である。さらに、現在の簡易血糖測定は、自己血糖計測器を用いて行われている。IEEE および JIS では、測定精度 20%が規定されており、薬事承認においてもこれを満たさないものは認められていないので、目標設定は妥当である。

研究項目②：生体ガス成分計測に係る信頼性評価技術開発

位置付け：A2 で開発実施中の生体ガス成分計測技術の信頼性評価を可能とする技術開発

中間目標値(2021 年度末)：相対湿度がほぼ 100%である空気希釈した ppb 濃度レベルの VOC 標準ガス発生装置を開発し、それを用いて信頼性評価を実現させる見通しを得る。

最終目標値(2023 年度末)：人体に装着したときの環境を模擬できるシステムを構築する。2021 年度までに開発した標準ガス発生装置からの標準ガスと人体装着模擬環境システムを用いて、温度・相対湿度・振動等の環境が変化したときの経皮ガスセンサの正確さや値のばらつきへの影響を定量化する手法を示すことで信頼性評価技術とする。また、センサの使用目的に応じた測定値の許容範囲を提示する。

目標設定根拠：極低濃度かつ湿度がほぼ 100%である標準ガス発生装置とそれを検証する測定手法が、本研究課題である経皮ガスセンサの評価の中核的技術であり、この開発の達成が最終的な目標を達成できるかどうかを見通すための重要な点であるため、上記のように標準ガス発生法と検証法の確立を中間目標とし、最終目標を標準ガス発生法と模擬環境装置を使ったセンサの定量的な評価とした。

研究項目③：ウイルスゲートキーパーに係る信頼性評価技術開発

位置付け：A3 で開発実施中のウイルスゲートキーパーの信頼性評価を可能とする技術開発

中間目標値(2021 年度末)：ウイルスの RNA およびたんぱく質を精確に定量する手法によりウイルス粒子の個数の評価を行う見通しを得る。

最終目標値(2023 年度末)：当該超微量センシングデバイスの信頼性評価として、当該デバイスを実用適用した場合に検出可能なウイルス粒子濃度帯を明らかにする。また、本研究で開発されるウイルス精製法、およびウイルス定量法に関する手順書を作成する。

目標設定根拠：当該超微量センシングデバイスの実用性を証明するためには、同デバイスがどの程度の濃度のウイルスを検出できるのかを確定する必要がある。そのため、ウイルスの精製方法および精製されたウイルスから得られた核酸やたんぱく質を精確に測定する技術の見通しを立てることを中間目標に設定した。また、それら技術により作製したウイルス核

酸やウイルスたんぱく質の量が既知の溶液を用いて、当該超微量センシングデバイスの感度を評価することを最終目標とした。

研究項目④：微小振動計測に係る信頼性評価技術開発

位置付け： A4 で開発実施中の微小振動計測技術の信頼性評価を可能とする技術開発

中間目標値(2021年度末)： 1 Hz から 100 Hz の周波数帯において、レーザ干渉計が有するノイズレベルを低減させ、微小振動の計測が可能な低周波振動測定装置を開発することで、微小振動測定用のシート型振動センサに対する長期信頼性評価技術の確立に見通しをつける。

最終目標値(2023年度末)： 実環境において微小振動測定用のシート型振動センサの長期信頼性を評価するため、振動センサの繰り返し試験用モジュールを用意するなどして、振動センサの感度の長期安定性や環境に起因する感度変化などを項目ごとに評価し、振動センサの長期耐環境性試験に関する手法を開発し、その手順書を作成する。また、インフラモニタリングセンサとしての測定値の許容範囲を提示し、その実用性を実証する。

目標設定根拠： インフラ構造物などの振動状態を高密度振動センサ配置からモニタするためにも、微小振動を測定可能な低周波振動測定装置の開発と微小振動を長期的に測定する振動センサの評価技術は重要である。実環境において微小振動を測定する振動センサの長期信頼性を評価するため、経時的もしくは環境的な要因であるかなど、要因ごとの切り分けおよびその評価が不可欠である。

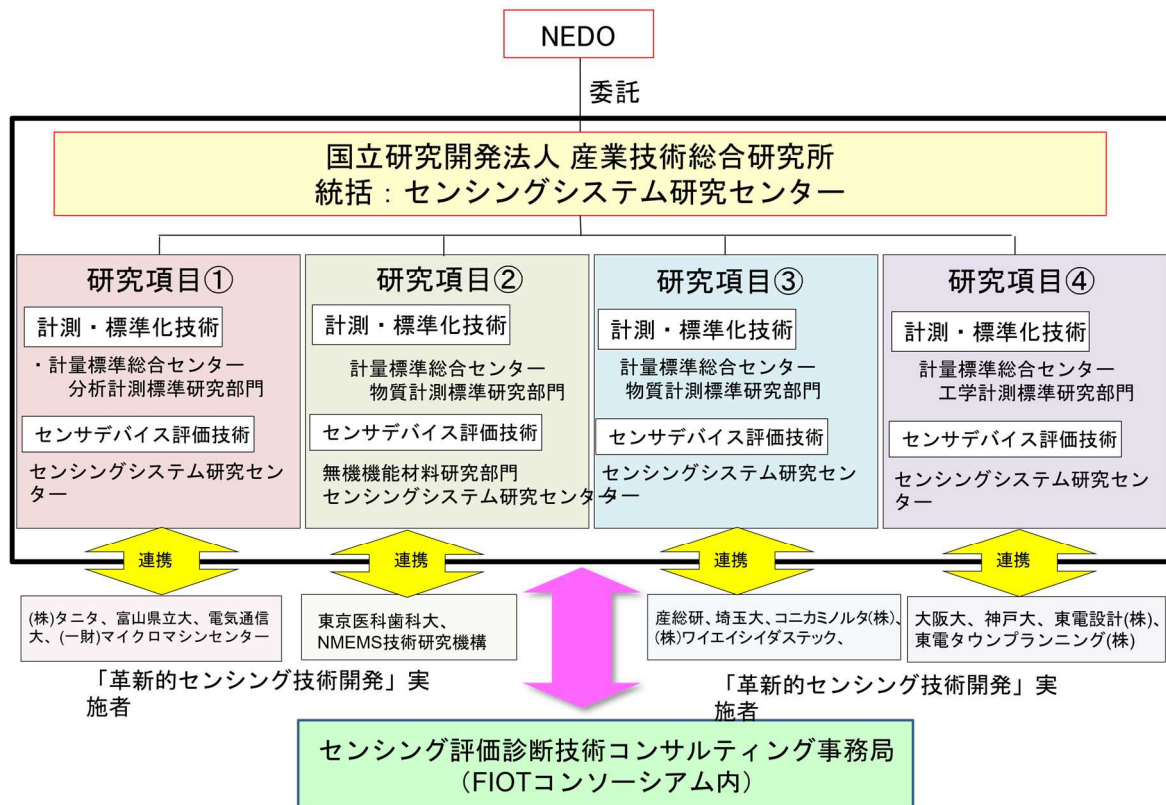
(3) 全体計画

研究項目毎に評価技術開発及び評価環境整備を実施する。基本的には、2019年度から2021年度の間基準評価環境の整備や標準計測技術、標準物質の開発を実施し、2022年度から2023年度の間センサの実用環境での信頼性評価が可能となるような環境整備および評価技術開発を実施する。

研究項目	2019年度	2020年度	2021年度	2022年度	2023年度
【研究項目①関連】 ①-1.ピエゾ抵抗型音響センサの信頼性評価に関する研究開発		高感度音響評価技術		血中成分センシング評価技術	
		高感度赤外線検出評価技術			
①-2.中赤外・遠赤外線センサ信頼性評価技術の開発		基準評価環境整備	実用評価環境整備		
			検出器性能評価		センサ性能評価
【研究項目②関連】 ②-1.生体ガス標準物質の調製法と濃度検証法に関する研究開発		標準ガス製造技術		生体ガスセンシング評価技術	
			ガス濃度評価技術		
②-2.標準ガス調整装置による生体ガスセンサの合理的な評価法の開発		基準評価環境整備	実用評価環境整備		
			検出器性能評価		センサ性能評価
【研究項目③関連】 ③-1.ウイルス精密分離精製技術の開発		分離精製技術		高速ウイルスセンシング評価技術	
			標準ウイルス製造技術		
③-2.微小量ウイルスRNAおよび微小量ウイルスたんぱく質定量法の開発		基準評価環境整備	実用評価環境整備		
			検出器性能評価		センサ性能評価
【研究項目④関連】 微小振動計測信頼性評価技術の研究開発		標準振動評価技術		地面振動検出評価技術	
		基準評価環境整備			
			検出器性能評価		センサ性能評価

(4) 実施体制

「革新的センシング基盤技術開発／超微小量センシング信頼性評価技術開発」の実施体制は以下の図の通りである。



(5) 運営管理

- ・各研究開発項目における研究進捗や予算執行の管理、課題抽出、技術推進委員会資料の作成、NEDO とのコミュニケーション、「超微小量センシング技術開発」実施者との連携サポートを行う研究統括、計測機器業界との連携や各計測技術に対して助言を行うテーマ横断的計測アドバイザーを配置し、4つの研究開発項目別に実施されている本プロジェクトの円滑な遂行に努めている。
- ・各研究項目内で1～1.5か月に1回程度の頻度で参加研究員が進捗報告を実施している。
- ・1.5か月に1回程度の頻度で研究統括が、各研究開発項目の班長、テーマ横断的計測アドバイザー、研究代表者が参加する進捗報告・情報共有の会議を企画運営および進行し、全体の進捗管理、問題点の抽出、研究開発項目間での情報共有、連携状況の把握を行っている。なお、研究開発の進捗状況や連携状況に関する情報を共有し、的確なアドバイスを得るため、NEDOの本事業PMやプロジェクト担当者がオブザーバ参加している。
- ・開発途中で見つかる問題点を解決するため、各研究開発項目間での計測技術の意見交換会を実施している。
- ・毎年度末に技術推進委員会にて、外部委員の知見を得ることにより、実施内容をブラッシュアップしている。

- ・センサ開発プロジェクトの研究体と連携して、理想環境・実用環境での信頼性評価に資する評価技術の仕様を策定し、併せてセンサ開発プロジェクトで開発しているセンサを開発した評価装置で評価したり、開発した標準物質を提供している。
- ・知財が発生しそう場合には知財検討会を開催している。

(6) 実施の効果

年間1兆個の大規模センサネットワークを使用する社会” Trillion Sensors Universe”の構想が発案されて以来、センサを活かした社会システムの構築に向け、センサヘッドやセンサシステム開発が加速している。一般社団法人電子情報技術産業協会（JEITA）の調査では、2017年のセンサの出荷数量は300億個、出荷額は約2兆円に迫っており、日本企業のシェアは4～5割程度で、2025年までに出荷数量・出荷額は共に年平均約10%の増加が見込まれている。本プロジェクトで対象としている、光センサ、音波センサ、化学（バイオ）センサ、振動（加速度）センサのうち、とりわけ、光センサは世界のセンサ出荷額の70%を日本企業が占めており、我が国は現在のところ優位に立っている。音波や振動センサは30～40%が日本企業のシェアで欧米との競争が激しく、化学センサは、日本企業のシェアが14%程度にとどまっている。各センサは、MEMS技術などの導入で小型化や低価格化が進行しているが、技術のグローバル化や価格競争が激しくなった場合、我が国の競争力の低下が懸念される。従って、我が国の技術力を活かす超微量検出可能なセンサ開発は必須であり、唯一無二なセンサや高付加価値性で勝負できるセンサの創出が期待される。（2015年 JEITA 電子情報産業の世界生産見通し；日本政策投資銀行 今月のトピックス No. 247-10）

センサの社会普及には、センサの測定信頼性を保証できる校正技術の存在が欠かせない。未上市のセンサの少なくとも10%以上は、校正技術の存在により市場に普及させることが可能になる。我が国には計量法に基づき、産総研の持つ国家計量標準に準じた校正ができる事業者を登録する制度（JCSS）が整備されている。（独）製品評価技術基盤機構によれば、JCSS校正証明書発行件数は過去10年間で年々増加し、2018年度は約57万件にのぼる。これは、IoT化の流れでセンサが搭載された機器数が増えていることもその一因であろう。一方、センサ感度の大幅な向上や、計測原理が従来と異なる場合、現状の校正技術だけでは信頼性を担保できなくなる可能性が高い。本プロジェクトは、微量センシング技術の開発側と信頼性評価技術の開発側が連携を取りながら同時並行で開発を進められるシステムとなっている。従って、新規のセンサ校正技術や標準物質、標準的な計測プロトコル等をセンサ事業者や校正事業者に迅速に移転・配布することが可能となり、センサの実用化・事業化がスムーズになるものと考えられる。また、今後のセンサは、1つの物理量計測のみならず、物理量と紐づけされた事象を見える化するツールとして社会に浸透していくものと考えられる。本プロジェクトでは、センサ用途に合わせた計測値の許容範囲の提示も実施することになっており、センサの信頼性を担保しながらセンサ利用の幅を広げることに貢献するものである。従って、本プロジェクトの実施は今後の日本企業のセンサ世界市場におけるシェアを高める一助となるものと考えられる。

(7) 研究開発成果

(7.1) 中間目標の達成度

各研究項目における 2021 年度末の中間目標とその達成度、および今後の課題と解決方針について下の表に示す。

研究開発項目	中間目標	成果	達成度	今後の課題と解決方針
研究項目①:非侵襲血中成分計測に係る信頼性評価技術開発 ①-1: ピエゾ抵抗型音響センサに係る信頼性評価技術の開発	水中 10-100 kHz の微小音圧検出能力および体温付近における特性変化の評価システムを構築。 大気圧下 1 kHz-10 kHz で 1 mPa 以下の圧力測定	水温調節(10 °C-50 °C)で水中における 15k-100 kHz の評価システムを構築。 目標範囲を超える 10 Hz-20 kHz において、大気圧下で 1 mPa 以下の圧力分解能を達成	◎ 目標を超える 10Hz からの評価が可能となった。また 10 Hz 時の感度も 10 μ Pa と世界最高性能。	【今後の課題】 水中では 10 kHz の信頼性が低いため保証できる 15 kHz からとしている。 【解決方針】 10 kHz での校正を進めることによって解決可能。2023 年 3 月達成見込み
①-2: 中赤外センサに係る信頼性評価技術の開発	グルコース溶液を用い、自己血糖測定器の規格 20%の差を検出	正常な血糖範囲となる 100-200 mg/dL のグルコース溶液を用い、自己血糖測定器の規格 20%の差を検出する評価システムを構築	◎ 高精度 FT-IR の微弱精度 OD4.3 に対し、OD8 と大幅に微弱対応可能。また測定時間も 20 ms からと高精度 FT-IR の 50 倍高速現象に対応可能。	【今後の課題】 センサ開発チーム側が測定系を ATR 法に定めたため、これに対応する。 【解決方針】 我々センサ評価チームでも ATR 法を導入し、ファントム等による評価技術を確立する。
研究項目②:生体ガス成分計測に係る信頼性評価技術開発 ②-1: 生体ガス標準物質の調製法と濃度検証法の開発	相対湿度がほぼ 100%である空気希釈した VOC 標準ガス発生装置について、センサデバイス開発側の要請に対応すべく、今回の加速により従来の目標を引き上げて、数 100 ppt 濃度レベルの標準ガスを発生できるも	任意に湿度にできる VOC 標準ガス発生装置を開発した。センサ開発側が要望したアセトン標準ガスについて取り組み、加湿を行っても、十分実用的な時間内に 1 μ mol/mol から sub nmol/mol の範囲で信頼性のある標準ガ	○	中間目標に対する課題はない。 【今後の課題】 アセトン以外の対象成分に対する濃度信頼性や共存物質による妨害の程度を評価するために、VOC を複数種混合する標準ガスを調製できることが必要。

	のを開発する。また、今回の加速によって、発生させる標準ガスの発生濃度安定に要する時間の短縮を図る。	スが発生できることを確認した。		【解決方針】 2021年度までに開発した標準ガス発生装置を拡張し、複数のVOC成分を混合できる標準ガス発生装置を開発する。
研究項目②: 生体ガス成分計測に係る信頼性評価技術開発 ②-2: 標準ガス調製装置による生体ガスセンサの合理的な評価法の開発	【2021年度末達成目標】 標準ガス調製装置を用いた生体ガスセンサの合理的な評価法を開発し、信頼性評価を実現させる見通しを得る。	標準ガス調製装置を用いた生体ガスセンサの合理的な評価法を開発した。信頼性評価を実現させる見通しを得た。 特に、窒素、酸素、アセトン等のガスを混合して、ガスセンサ評価のための標準ガスを調整する装置を整備した。標準ガス調製装置を用いて、ガスセンサの評価を実施することにより、標準ガス調整の課題点を抽出し検討した。また、ガスセンサの評価における課題点を抽出し検討した。	○	中間目標に対する課題はない。 今後、 【2023年度末達成目標】 の達成に向けて、加湿器付き多種混合VOC標準ガス発生装置等を用いて、連携先ガスセンサを評価すると共に、市販ガスセンサとの応答特性の比較評価を行う。また、合理的・客観的に評価するためのプロトコルを確立する。
研究項目③: ウイルスゲートキーパーに係る信頼性評価技術開発 ③-1: ウイルス精密分離精製技術の開発	標準的なウイルスの精密分離精製手法を確立する。	2段階超遠心法によるウイルス精製法を確立し、手順書を作成した。	○	【今後の課題】 精確なウイルス個数濃度を得るための、より高純度なウイルス精製が必要 【解決方針】 クロマトグラフィー等による精製プロセスを検討予定
③-2: 微量ウイルスRNA定量法および	ウイルスRNAおよびたんぱく質の精確な定量によりウイルス粒	ウイルスの定量に適切なセグメントを選定し、デジタルPCRに	○	【今後の課題】 精製ウイルスへの値付けにおける前処理

微量ウイルスたんぱく質定量法の開発	子の個数評価を可能にする見通しを得る。	よるウイルス RNA の測定条件を確立した。抗ウイルスたんぱく質抗体の選定を行い、デジタル ELISA での測定に使用可能であることを確認した。		法や測定条件の最適化 【解決方針】 同一試料を複数の方法で測定することにより、測定結果の妥当性を検証予定
研究項目④:微小振動計測に係る信頼性評価技術開発	1-100 Hz において従来の 100 倍程度性能が向上した高精度・高確度な低周波振動測定装置を開発し、微小な振動変位を検証する見通しを得る。	1-100 Hz の水平方向で現行の 1/100 の印加加速度において、測定不確かさを維持したまま振動センサを評価可能とした。鉛直方向に対しても低周波振動測定装置を開発した。	◎ 水平方向において、下限 1 Hz を大幅に下回る 0.1 Hz 以下の低周波数まで評価可能にした。デジタル出力型振動センサの評価も可能にした。	【今後の課題】 環境条件を維持した状態で、振動センサの応答性能評価 【解決方針】 温湿度制御機器と分離可能な温湿度槽と組み合わせた振動評価装置を開発して、振動センサを評価

(7.2) 研究開発の成果と意義

研究項目①: 非侵襲血中成分計測に係る信頼性評価技術開発

水中におけるピエゾ抵抗型音響センサの評価技術に関する研究開発では、水槽と音源であるランジュバン型振動子から構成される定在波音場発生機構を試作する。10 kHz～100 kHz の微小音圧を人体に近い水中で評価する技術開発を行い、2次元音場の計測システムを開発する。センサ評価には周波数特性評価が必要であるが、低～高い周波数でのノイズ源評価を行う必要がある。より低周波での評価は音波の波長が長くなることに起因し、水中での微弱量評価は難しいため、10 Hz～10 kHz について大気中での評価システムを構築する。大気中における計測域で評価を行い、音圧分解能を 1 mPa 以下目標とする。また、中赤外光を直接検出する赤外センサについて微弱光評価可能なシステム開発を行う。QCL を光源とした計測手法の確立によって、従来の熱光源を用いた FT-IR 法では到達が困難となる高感度測定を目指す。

①-1: ピエゾ抵抗型音響センサに係る信頼性評価技術の開発

【2021 年度末達成目標】:

ピエゾ抵抗型音響センサの評価技術に関する研究開発では、水中における 10 kHz～100 kHz の微小音圧検出能力の評価技術を開発する。圧力評価用超微小圧負荷技術の開発では、1 kHz-100 kHz の周波数帯域において 1 mPa 以下の圧力を安定的に与えられる超微小圧負荷システム実現の見通しを得る。

【2021 年度末実績】：

人体で発生する光音響効果を評価するため音響センサに対する評価システムを構築した。10 kHz～100 kHz の微小音圧を人体に近い水中で評価する技術開発を行い、音場の計測システムを開発した。



図 3.2.7.2.①-1 左:水槽内に設置された音源とハイドロホン、右:音波の送受信実験装置

感度測定中の定在波音場を安定させる条件を検討するため、次の1～3を試みることによって、周波数域ごとのノイズ要因の特定と、その低減効果を調査した。

条件(1): 超音波によるキャビテーションの発生を抑えるため脱気水を使用

条件(2): 音源の発熱を抑えるため、音源の駆動信号を連続正弦波からトーンバースト波(一定の周期で信号の ON と OFF が繰り返される正弦波)に変更

条件(3): 測定時間の短縮(前回は音場分布を確認しながらの感度測定であった)

比較校正には、測定域内で低周波から高周波となる、25.3 kHz、39.6 kHz、108.8 kHz において、測定感度の繰り返し測定を行った。まず、(1)、(2)、(3) のそれぞれの効果を増す確認する。つぎに、この3つの条件を組み合わせ、(1)+(2)、(1)+(3)、(2)+(3)、(1)+(2)+(3) の条件で6回ずつ感度測定を行って、ばらつきを確認した。

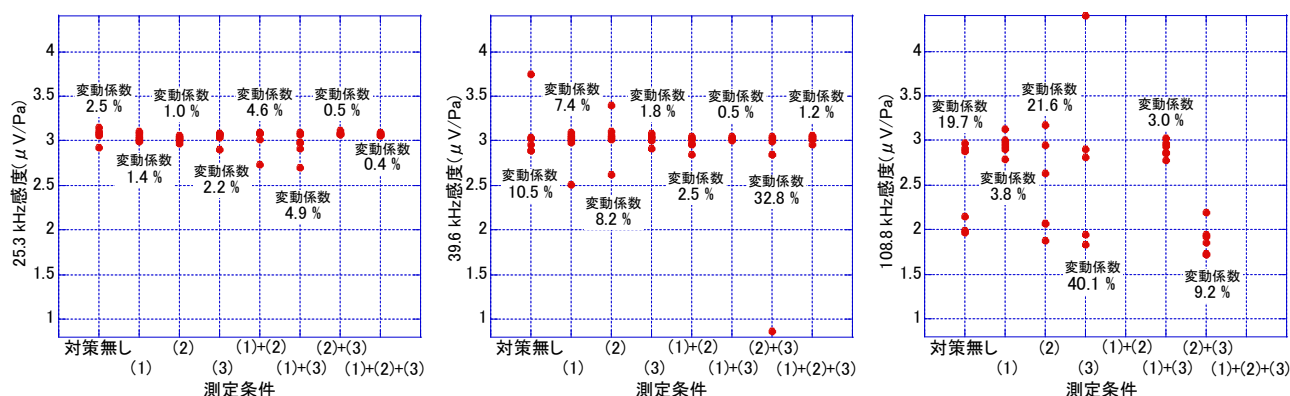


図 3.2.7.2.①-2 各周波数における測定ばらつきと、ばらつき低減効果の検証実験結果(測定周波数: 25.3 kHz, 39.6 kHz, 108.8 kHz)

このとき、条件(2)のトーンバースト波のデューティ比は20%とし、周期100ms(音波照射20ms、オフ80ms)での断続照射を行い、音源から発生する熱の効果を評価した。また、条件(3)については、通常1～3時間程度必要となる測定手順を、20～30分程度に簡略化して、時間変動の対策とした。この結果、25.3kHz に対しては(3)の効果が高く、39.6kHz に対しては(2)の効果、108.8kHz に対しては(1)の効果があると考えられる。

より低周波での評価は音波の波長が長くなることに起因し、水中での微弱量評価は難しいため、10Hz～10kHz について大気中での評価システムを構築した。

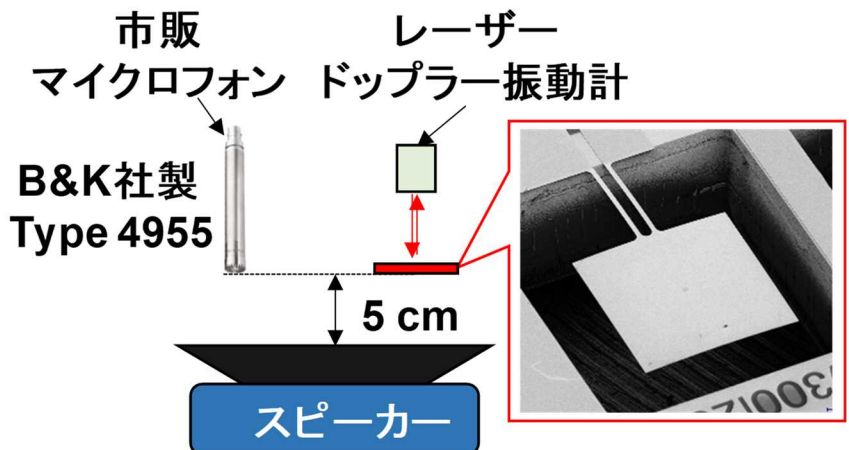


図 3.2.7.2.①-3 大気中における音圧評価システム

この結果、計測域全体にわたって、音圧分解能 1mPa での評価を行えることを確認した。特に 10Hz 低周波領域では、10 μ Pa に到達し、世界最高性能の音圧分解能となる。従来技術でもセンサ面積を広くすることで分解能を向上することは可能であるが、本評価法では単位面積あたりで評価しても、世界最高性能となる。

①-2: 中赤外センサに係る信頼性評価技術の開発

【2021 年度末達成目標】 :

血糖測定の標準試料としてグルコース溶液を用い、自己血糖計測器の規格 20%の差が検出可能な評価技術を開発する。

【2021 年度末実績】 :

前年度までに開発した QCL による高感度測定アルゴリズムをベースとして、血管から散乱光として発せられる中赤外光を直接検出する赤外センサについて微弱光評価可能なシステム開発を行った。

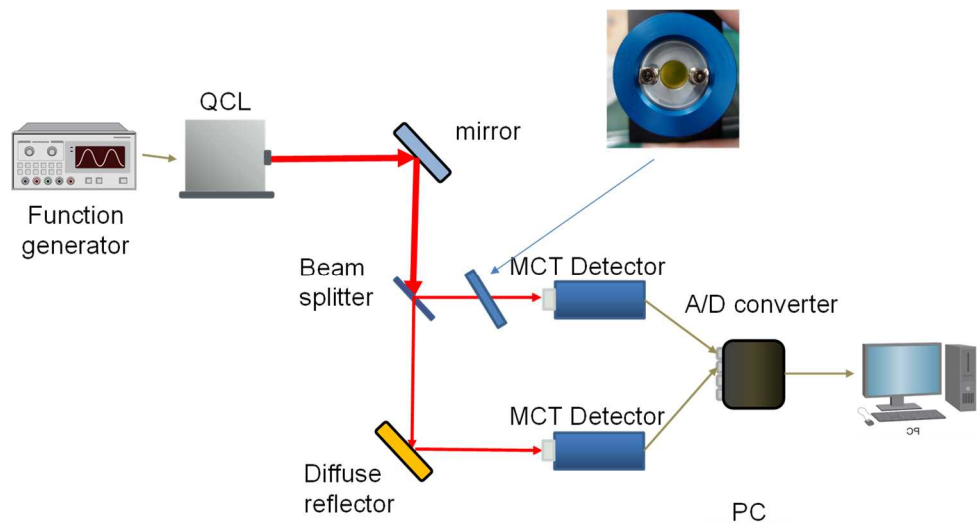


図 3.2.7.2.①-4 2検出器を用いて感度補正機能をもたせた微弱光評価システム

測定試料は厚さ 0.2 mm の溶液セルを用いた。赤外領域における水の吸光度係数は 10 を超えており、0.1 mm ごとに 3 桁以上光量が低下する。このため、従来の FT-IR 法では 0.2 mm 厚さの水を透過できず、2 分積算しても測定不可能であった。これに対して、本システムでは、100 mg/dL から 20 mg/dL ほどのスペクトルを判別できている。従来法の FT-IR では高感度測定においても OD4.3 程度となるのに対して、開発手法は OD8 に対応できることを確認した。これは人体や水のように赤外で強い減衰が生じる試料に対しても高精度で測定可能であるという意義がある。

研究項目②： 生体ガス成分計測に係る信頼性評価技術開発

超微量の生体ガスを検出するセンサの信頼性を評価するために、生体ガスと同様な組成を持つ疑似生体ガスの標準物質（標準ガス）調製技術、標準ガスの濃度検証技術、および生体ガスセンサの合理的な信頼性評価技術を開発する。相対湿度がほぼ 100% でかつ目的成分濃度を精確に調製することが技術課題だが、乾燥した標準ガスを、恒温水槽を通して相対湿度ほぼ 100% の空気と混合し数 100 ppt～数 100 ppb の微量な標準ガスを短時間に調製する標準ガス発生装置を開発する。本事業で開発する標準ガス発生装置から所望のタイミングで標準ガスを生体ガスセンサのガス検知部に正しく導入できる信頼性評価システムを開発する。

②-1： 生体ガス標準物質の調製法と濃度検証法の開発

【2021 年度末達成目標】：

相対湿度がほぼ 100% である空気希釈した VOC 標準ガス発生装置について、センサデバイス開発側の要請に対応すべく、今回の加速により従来の目標を引き上げて、数 100 ppt 濃度レベルの標準ガスを発生できるものを開発する。また、今回の加速によって、発生させる標準ガスの発生濃度安定に要する時間の短縮を図る。

【2021 年度末実績】

経皮ガス等の生体ガスは、多様な揮発性有機化合物（VOC）と相対湿度でほぼ 100% の水蒸気を含んでいる。生体ガスセンサは、水蒸気によりセンサ感度に変化し定量性が損なわれることが予測されるが、既存の標準ガスは水蒸気を含まないドライな標準ガスしかなかった。そのため、水蒸気共存する実際の生体ガスでは正しく濃度を測定できないことが予想され、実試料と同様な組成を持つ標準ガスによりセンサの濃度信頼性を評価することが望まれていた。本プロジェクトではこの信頼性評価を行うために、加湿機構を備えた sub ppb レベルまでの低濃度のアセトンが発生できる標準ガス発生器を開発した。アセトンは糖尿病のバイオマーカーであり、経皮ガスセンサの主要対象物質であるため、アセトン標準ガスについて開発を行った。

本プロジェクトで、任意の水蒸気を添加することができ、また拡散管法と流量比混合法を組み合わせることにより ppm～sub ppb の極低濃度の範囲のアセトン標準ガスを発生することができる標準ガス発生装置を開発した（図 3.2.7.2.②-1）。拡散管法と流量比混合法を組み合わせているため、拡散管を追加することにより多様な成分を含む標準ガスを発生することができる。アセトン以外のバイオマーカー成分にも対応できるし、また妨害成分による影響の評価も可能であり、今後多様な生体ガスセンサに展開できることが期待される。成果の詳細は以下のとおりである。

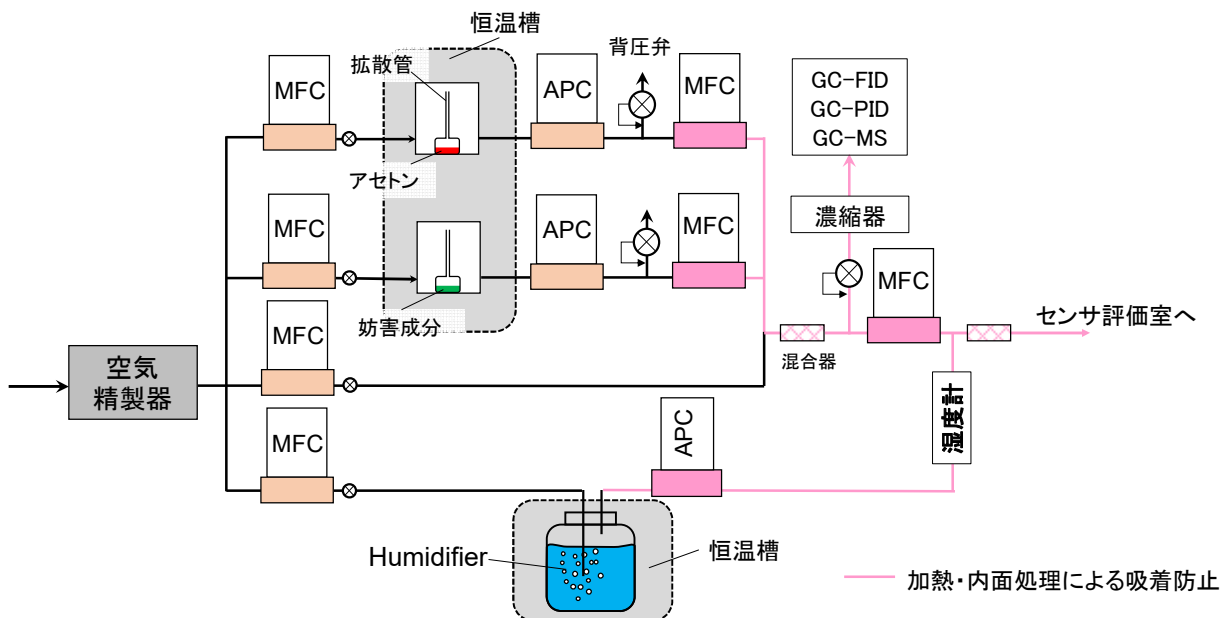


図 3.2.7.2.②-1 拡散管法と流量比混合法を用いた標準ガス発生装置。桃色で示した配管やマスフローコントローラ（MFC）・自動圧力制御器（APC）は、VOC や水が流路内面に吸着することを防ぐため加熱・内面処理を施してある。

・加湿装置の開発：

体温程度で相対湿度が 100%Rh となる加湿装置を開発した。図 3.2.7.2.②-1 に示すように加湿した空気は希釈ガスとして使用するが、希釈率を変えるためにこの加湿空気の流量は変化する。流量が変化しても発生する加湿空気の相対湿度が一定になるような加湿装置を開発した。

加湿用のタンクに水を入れ、そこに精製された乾燥空気をバブリングすることで加湿している。発生する加湿空気の湿度を一定にするために、加湿用タンクを恒温水槽にいれ温度を一定にしてある。流量を変化させるとタンク内の圧力が変化し、発生する加湿空気の湿度が変化してしまうことを避けるために、加湿タンクの出口に自動圧力制御器（APC）を導入して、加湿内タンクの圧力を一定にしている。また、加湿器の下流の配管で水蒸気が吸着・液化することを防ぐために、加熱をしている。発生した水蒸気濃度を図 3.2.7.2.②-2 に示す。図では絶対濃度で表記しているが、約 58000 $\mu\text{mol/mol}$ は 36 °C（体温）での相対湿度 100%Rh に相当する。図からわかるように 1 L/min から 10 L/min 程度まで流量を変化させても、水蒸気濃度の変動は 1%以下であり、流量を変化させても十分に一定濃度で加湿できることが確認された。

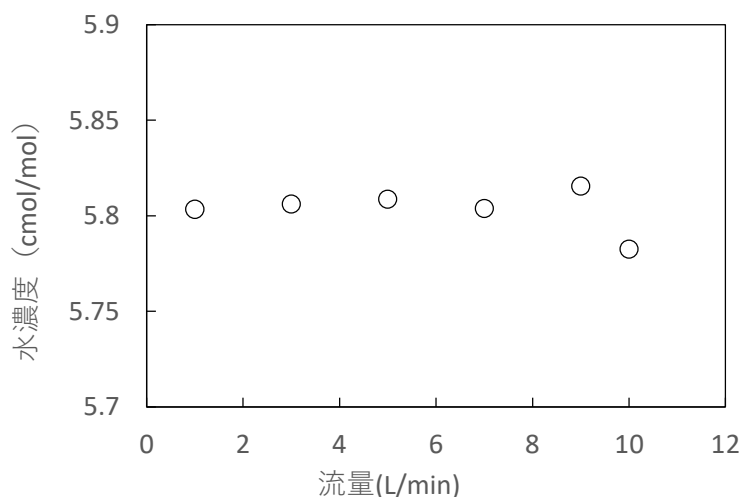


図 3.2.7.2.②-2 流量を変化させたときの水濃度。約 58000 $\mu\text{mol/mol}$ が相対湿度 100 %Rh (36 °Cにおいて) に相当する。縦軸の 1 目盛りは、おおよそ相対湿度 1 %Rh に相当する。

・拡散管法により発生するアセトン標準ガスの濃度の検証：

拡散管の重量変化から求められる濃度と、ISO 6142-1 に従った質量比混合法により高圧ガス容器を用いて調製した標準ガスから求めた濃度が一致することを確認し、開発した標準ガス発生装置により調製されるアセトン標準ガスの信頼性を確認した。

拡散管法では、拡散管から一定量徐々にアセトンが揮散することを利用して標準ガスを発生している。揮散すると拡散管中のアセトンが減少し、重量が減る。その重量変化量から発生する標準ガス濃度を求めた。質量比混合法では、アセトンと希釈ガスをボンベに充てんして標準ガスを調製し

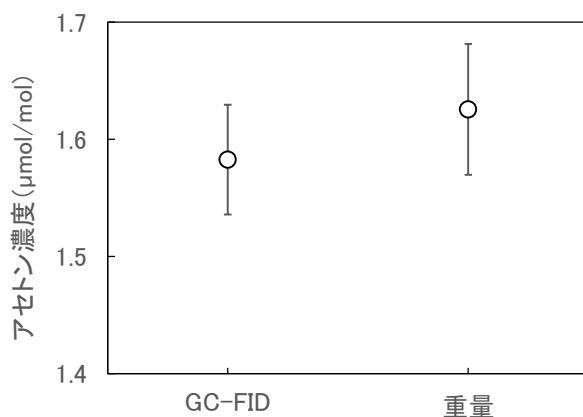


図 3.2.7.2.②-3 拡散管法により調製したアセトン標準ガスの濃度の検証

た。充填したアセトンと希釈ガスをそれぞれ正確に秤量することにより、ボンベに充填したそれぞれの量を求め、そこから標準ガス濃度を計算した。その結果を図 3.2.7.2.②-3 に示す。

拡散管法による標準ガス濃度を、質量比混合法による標準ガスと比較することにより、拡散管法で発生する濃度を検証した。数%の不確かさの範囲で両者は一致し、拡散管法による標準ガスの濃度が問題ないことを確認した。

・加湿されたアセトン標準ガスの検証：

標準ガスに水蒸気が含まれるため、配管などの流路内面へアセトンが吸着し、発生する標準ガス濃度が減少してしまうことが懸念された。前節で検証した拡散管法によるアセトン標準ガスを用いて、ドライなアセトン標準ガスと加湿されたアセトン標準ガスを比較することにより、加湿されたアセトン標準ガスの濃度を検証した。その結果、加湿の有無に関わらず、目標のアセトン標準ガスを調製できることが確認された。

②-2：標準ガス調製装置による生体ガスセンサの合理的な評価法の開発

【2021 年度末達成目標】標準ガス調製装置を用いた生体ガスセンサの合理的な評価法を開発し、信頼性評価を実現させる見通しを得る。

【2021 年度末実績】標準ガス調製装置を用いた生体ガスセンサの合理的な評価法を開発し、信頼性評価を実現させる見通しを得た。特に、窒素、酸素、アセトン等のガスを混合して、ガスセンサ評価のための標準ガスを調整する装置を整備した。標準ガス調製装置を用いて、ガスセンサの評価を実施することにより、標準ガス調整の課題点を抽出し検討した。また、ガスセンサの評価における課題点を抽出し検討した。具体的には、標準ガスの切り替えに伴うガスセンサ信号の変化の計測等を実施するとともに、信号変化率の計測、応答速度の計測が実施可能であること等を確認できた。これらにより、信頼性評価の実現に向けた見通しを得た。

さらに詳細を以下に記載する。

・現有の一般的なセンサ評価可能な装置を用いた課題点の抽出

ガスセンサの評価方法は、予めセンサ試料室にガスセンサを搭載し、大気と同じく窒素:酸素=4:1のキャリアガスを常にセンサ試料室にフローする。一時的に、計測対象の有機ガスをキャリアガスに混合させてセンサ試料室にフローする。このときのセンサのシグナルの変化量が有機ガスに対するセンサ応答になる。経皮ガスセンサの評価を想定して、市販のガスフロー装置と市場で入手可能なアセトン標準ガスボンベ（～0.1 ppm）を用いて課題点の抽出を行った。最大の懸念点は、有機ガス濃度が低下するとガス流路の壁面に有機ガス分子が吸着する影響が無視できなくなる点である。この影響を見極めるため、市販のガスフロー装置を用いてアセトン標準ガスボンベのガスを希釈したガスをサンプリングしてガスクロマトグラフィー質量分析計(GC/MS)で測定した。具体的には、作製したアセトンガスを 1L の Polyvinylidene Difluoride (PVDF) ガスバッグに採取し、固相マイクロ抽出 (SPME) ファイバーをこのガスに暴露させてアセトンを吸着させ、これを GC/MS で測定した。図 3.2.7.2.②-5 は、希釈割合から求めた計算上のアセトン濃度と GC/MS スペクトル強度の関係である。この結果より、5 ppb 以上は、計算上のアセトン濃度と GC/MS スペクトル強度は比例関係にあることから、市販のガスフロー装置およびアセトン標準ガスボンベで条件を最適化することで 5 ppb 以上の濃度の再現性は確保することができた。5 ppb 未満は GC/MS スペクトル強度が比例関

係から外れており、アセトン分子の吸着が無視できないことを示す。この結果より、少なくとも 5 ppb 未満のアセトン評価を正しく行うには、アセトンガスの調製法と濃度検証法により正確な濃度のガスを供給できるシステムが必要である。

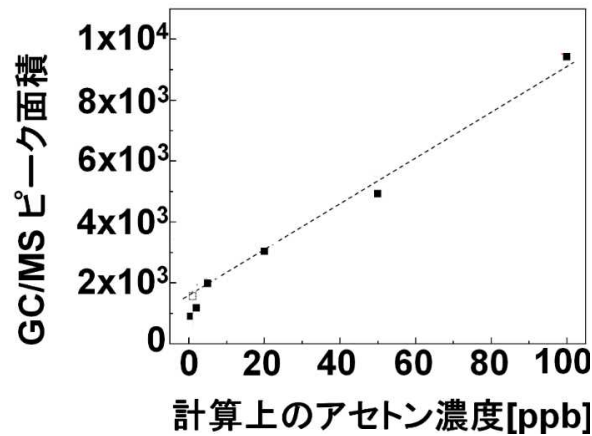


図 3.2.7.2.②-5 市販のガスフロー装置で作製したアセトンガスの希釈割合から求めた計算上のアセトン濃度と GC/MS スペクトル強度の関係

・ 模擬経皮ガスセンサ専用試料室の設計・開発

経皮ガスセンサは、計測時は遮光下で行う必要があり、かつ、測定対象ガス流量は 200 mL/min 以下である必要がある。また、想定する使用環境下は皮膚直上であることから、雰囲気温度は体温近傍である。これを踏まえて、評価システムにおける専用試料室は恒温槽として、体温である 37°C 下での測定を安定に行うことを可能にした。

・ 評価システムの設計・開発

経皮ガス標準物質の調製法と濃度検証法に関する研究開発で得られた成果をガスセンサ評価に応用するために、蒸気発生ユニットと低濃度ガス生成装置を順次導入した。何れも経皮ガス標準物質の調製法と濃度検証法に関する研究開発において開発した装置に準ずるものであり、蒸気発生ユニットにおいては加湿条件、低濃度ガス生成装置においては低濃度アセトンガス等のガス製造条件を用いることができる。これらの装置に、前記専用試料室を組み合わせることで、加湿条件下における低濃度ガスに対するガスセンサの評価を可能にした（図 3.2.7.2.②-9）。有機ガスの発生源は、その場でガスを発生させることのできるパーミュータとしており、この発生源に投入するパーミューションチューブの変更によってアセトン以外の有機ガスにも対応できる。



図 3.2.7.2.②-9 導入した蒸気発生ユニット（右下の装置が該当）、低濃度ガス生成装置（中央左のガス配管等一式が該当）、および、専用試料室（右上の装置が該当）

・ 評価システムによる経皮ガスセンサ評価

東京医科歯科大学との連携により、試料室内で測定対象ガスを暴露し、かつ、ベンチマークセンサによる測定対象ガスの同時計測を可能にするための専用のフローセルの設計を行い、専用試料室の完全遮光を行うための遮光方法の検討および遮光度の測定を行った。

* 補正予算で購入した資産での加速内容と実績

・ 濃縮器・光イオン化検出器付きガスクロマトグラフの購入

拡散管法等で発生した中間標準ガスの濃度や配管内面への吸着防止効果の評価を行うために、濃縮器付き光イオン化検出器付きガスクロマトグラフ及び内面を吸着不活化処理した配管を購入した。中間標準ガスの濃度評価を、当初の予定よりも不確かさを小さくする形で行うことができた。また、配管内面の不活化処理の有無についての評価を行い、処理の有用性を確認できた。

研究項目③： ウイルスゲートキーパーに係る信頼性評価技術開発

ウイルスの RNA およびたんぱく質を精確に定量する標準手法を開発し、ウイルス粒子の個数の評価を可能にする。微量のウイルス定量を行うには、まず、ウイルスを精密に分離精製し、測定妥当性評価を行う参照試料等の測定試料中のウイルス個数を把握することが重要である。既存のウイルス精製技術やゲノム解析・定量技術を応用し再現性の高いウイルスの分離精製技術を開発する。また、ウイルス粒子の個数評価を可能にするため、DNA 定量法として確立しているデジタル PCR 法を応用し、分離精製されたウイルスの RNA を精確に定量する手法を開発する。さらに、デジタル ELISA 法による微量ウイルスたんぱく質定量法を開発し、ウイルス RNA での定量と比較することで、各測定技術の相互互換性を確認し、実用性のある信頼性評価技術に近づける。

③-1: ウイルス精密分離精製技術の開発

【2021 年度末達成目標】

ウイルスの RNA およびたんぱく質を精確に定量する手法により、ウイルス粒子の個数の評価を行う見通しを得るために、ウイルス粒子を高精度かつ完全性を保つように精製する技術を確認させる。また、2020 年度加速予算で導入した卓上超遠心機用ローター等で精製されたウイルスが、凝集せず分散された状態で精製されていることを、同じく 2020 年度加速予算で導入された原子間力顕微鏡により確認する。

【2021 年度末実績】

ウイルスの精密分離精製手法開発については、既存のウイルス精製技術を応用・改良した 2 段階超遠心法により、ウイルスの感染力・たんぱく質機能・ゲノムの完全性が保持されたウイルスを大量に培養・精製する技術を開発し、手順書としてまとめた。併せて、HA 試験や TCID₅₀、ウェスタンブロット、RT-qPCR、UPLC などの方法にもとづく精製ウイルス試料の品質評価法の確立を行い、こちらについても手順書に追記した。また、上記の手順により得られたウイルス精製品についてはセンサ開発チームへの提供を行い、センサー開発側での使用にも支障がないことを確認した。

③-2: 微量ウイルス RNA 及び微量ウイルスたんぱく質定量法の開発

【2021 年度末達成目標】：

ウイルス粒子の個数の評価を行う見通しを得るために、ウイルスに含まれる微量の RNA およびたんぱく質を測定対象とし、デジタル PCR 法、デジタル ELISA 法などの定量評価技術を確認する。

【2021 年度末実績】：

微量ウイルス RNA 定量法の開発においては、微量核酸の絶対定量法として注目を集めているデジタル PCR 法に着目し、逆転写～PCR における反応効率の最適化を行うことで、微量 RNA を高感度かつ高精度に定量するための方法の開発に取り組んだ。開発した方法については、NMIJ・RNA 認証標準物質による測定条件の最適化や、日米英 3 か国による共同測定を実施することにより、aM レベルの濃度域での定量技術の妥当性を確認した。また、文献等をもとにウイルス定量に適切な 2 つのセグメントを選定し、合成したウイルスセグメント RNA の複数個所を定量することで、互いの値が十分に一致することを確認した。

微量ウイルスたんぱく質定量法の開発においては、極低濃度領域において目的のたんぱく質を特異的に定量可能なデジタル ELISA に着目し、抗体の非特異的反応抑制やサンドイッチ抗体のラベリング反応制御を行うことにより、微量たんぱく質を高感度かつ高精度に定量するための方法の開発に取り組んだ。開発した方法については、NMIJ・たんぱく質認証標準物質を用いた検証により、数 aM～数 fM の濃度域の定

量において十分な直線性が得られることを確認した。また、ウイルスを構成するウイルスたんぱく質を検出可能なノンラベル抗体ペアを選定し、デジタルELISAの系においても fM レベルの濃度域において直線性の良い定量が行えることを確認した。

以上のことから、RNA やたんぱく質を指標に、目標とする aM レベルのウイルス粒子の個数濃度を定量する見通しが得られた。

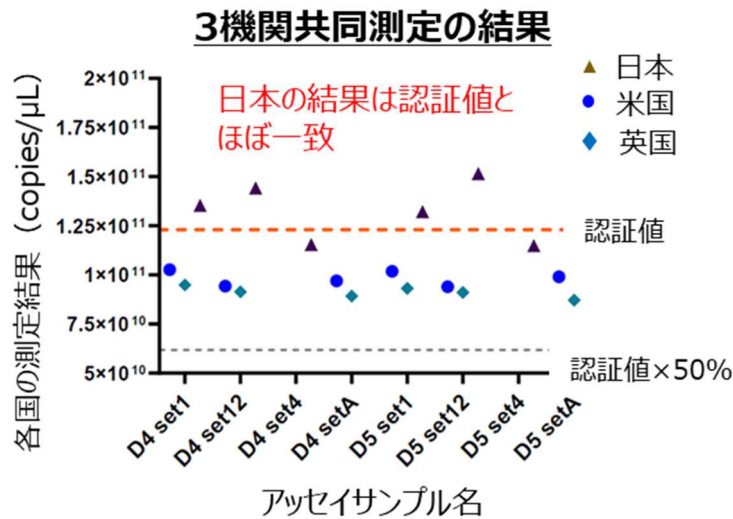


図 3.2.7.2.③-1
日米英3カ国共同測定によるデジタル PCR の妥当性評価結果

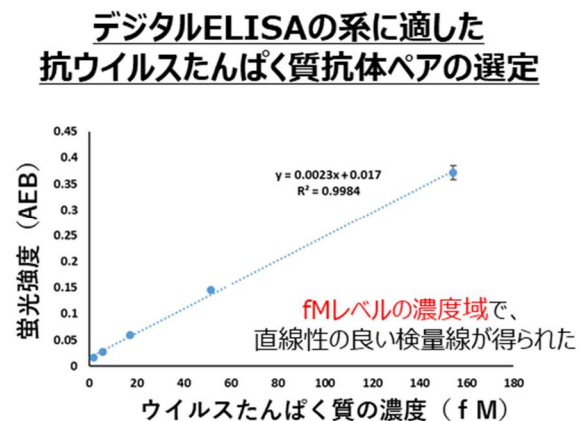
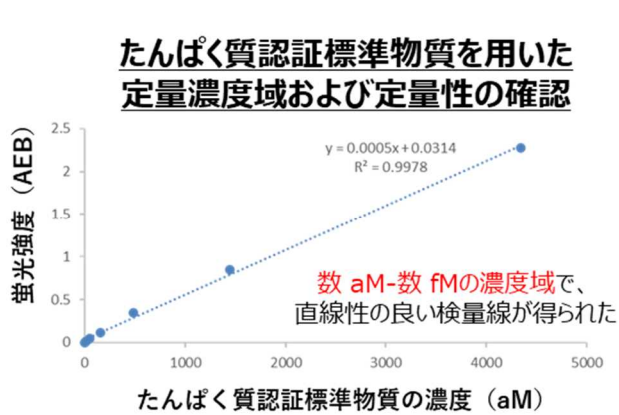


図 3.2.7.2.③-2
たんぱく質認証標準物質およびウイルスたんぱく質を用いたデジタル ELISA の定量性評価

*補正予算で購入した資産での加速内容と実績

2020 年度補正予算により、研究項目③-1 において、以下 2 点を追加資産として購入した。

(1) 原子間力顕微鏡改造一式

液中または固定基板表面でのウイルスの形状やサイズの評価を可能にするため、既存の原子間力顕微鏡の改造を行った。本装置の改造により、ウイルス形状・サイズを計測し、ウイルス精製条件へのフィードバックを実施し、より精確なウイルスたんぱく質・核酸定量評価が可能になった。

(2) 卓上超遠心機用ロータ

より精密なウイルス精製を可能とする二段階精製を実施するため、二段階目のスイングロータを追加購入した。二段階超遠心精製を実施することにより、ウイルスの精製法をより高度化し、微量ウイルス RNA および微量ウイルスたんぱく質定量を行うにあたっての不純物の影響を効果的に低減することが可能になった。

研究項目④： 微小振動計測に係る信頼性評価技術開発

空間的に離れた位置からの地盤振動測定を行うシート型等の超微小振動検出センサについて、レーザ干渉計の高性能防振化や振動加振器の加振性能向上等に関する改良を行い、計測信頼性評価を可能にする振動評価装置を開発する。

【2021 年度末達成目標】：

1 Hz から 100 Hz の周波数帯において、レーザ干渉計が有するノイズレベルを低減させ、微小振動の計測が可能な低周波振動測定装置を開発することで、微小振動測定用のシート型振動センサに対する長期信頼性評価技術の確立に見通しをつける。

【2021 年度末実績】：

ターゲットとするインフラモニタリングで求められる周波数は、0.1 Hz から 100 Hz である。2021 年度末達成目標では 1 Hz の下限であるが、横浜ランドマークタワーや東京スカイツリーのような大型構造物の固有振動数は 0.1 Hz 近傍であるだけでなく、エレベータを検査する振動センサに関しては、0.05 Hz までの信頼性評価が求められる。産業界との意見交換では、インフラモニタリング用振動センサには 0.1 Hz までの計測信頼性が求められていることから、目標を拡大して、0.1 Hz から 100 Hz の微小振動に対する低周波振動測定装置の開発とした。

インフラモニタリングには、低価格化だけでなく、昨今高性能化が進む MEMS タイプの低ノイズ振動センサの普及が見込まれる。それらのノイズレベルは、マイクロガルのオーダーもしくはそれ以下にある。その一方で、微小振動や低周波振動を用いて、高感度な振動センサを評価することは、地面振動を絶縁して不動点を形成することが難しいため、地球重力や電氣的な方法でその感度が評価されているのが現状であり、ミリガルオーダーでさえ実加振で高精度に評価を行うことは不可

能であった。それを解決するため、我々が保有する世界最高性能（ベンチマーク：低周波振動国際比較 CCAUV.V-K3 において、14 か国中最小の測定不確かさで国際同等性を確保）のレーザ干渉式振動測定装置において、高精度に振動センサの信頼性評価を行うためには、加速度のノイズレベルをサブミリガルからマイクロガルまで低減することが必要である。

上述の目標を達成するために、大まかに 2 点の開発項目「地面振動の低減」と「レーザ干渉計の低ノイズ化」を掲げた。光学実験等では地面振動を低減するために、エアパッシブ式除振台が用いられるが、固有振動数が数 Hz である。しかしながら、数 Hz は地面振動が支配的な周波数帯であるため、本研究では超低周波数に固有振動数をもつ除振台を導入する。レーザ干渉計の低ノイズ化には、現行のホモダイン式からヘテロダイン式へ変更する。本振動測定装置におけるレーザ干渉計は、He-Ne レーザ光源を有しており、その波長（632.8 nm）を長さの基準として使用している。ホモダイン式では正弦波加振の変位に応じて、半波長毎にレーザ光は干渉を起こし、その光強度を計測している。（図 3.2.7.2.④-1 を参照）光強度計測はロバストでないため、これを光周波数に基づいて変位計測を行うヘテロダイン式へ置き換えて、さらに独自アルゴリズムを搭載した FPGA 位相計を組み合わせて、長時間計測を可能とする。これらにより、1 Hz から 100 Hz の周波数帯において、従来の 100 倍程度性能が向上した振動測定装置の開発を目標とした。インフラモニタリング用振動センサは水平方向の振動だけでなく、鉛直方向の振動も計測することから、鉛直方向の振動測定装置も開発する。

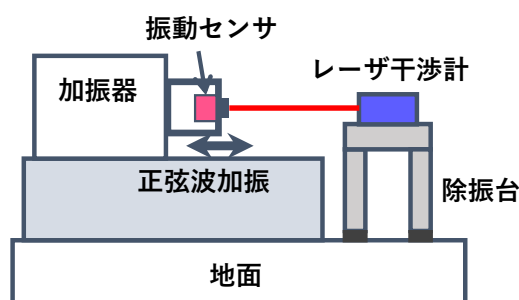


図 3.2.7.2.④-1 振動測定装置の模式図

水平方向の振動測定装置については以下のように研究開発を実施した。地面振動を低減するために、約 0.2 Hz に固有振動数をもつ防振台をレーザ干渉計と組み合わせることで、地面振動を大幅に低減した（図 3.2.7.2.④-2 を参照）。通常、このような超低周波数帯に固有振動数をもってくるためには、十メートル以上のサイズを必要とするが、コンパクトなスペースで構成した。レーザ干渉計はホモダイン式であったので、直交する二位相の光干渉信号を測定していたが、正弦波加振の際のわずかな運動乱れが光干渉信号の強度に影響を与えやすいことから、80 MHz のキャリア周波数をもつヘテロダイン式へ置き換えた。通常は数百 MHz のサンプリング周波数を最低でも必要とするので、データ量の関係から測定時間は数 ms に限定されるため、低周波数帯の測定は行えなかつ

た。これには独自アルゴリズムを搭載したデジタル位相計を組み合わせ対応し、長時間計測を可能とした。

- 保有する振動測定装置に対して
 - 防振台の導入（地面振動低減）
 - レーザ干渉計の低雑音化
 - 1 $\mu\text{G}/\text{rtHz}$ の振動ノイズを達成
 - 1 mGで高精度に振動センサを評価可能

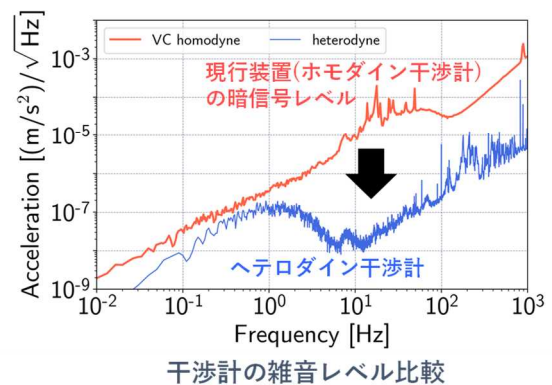
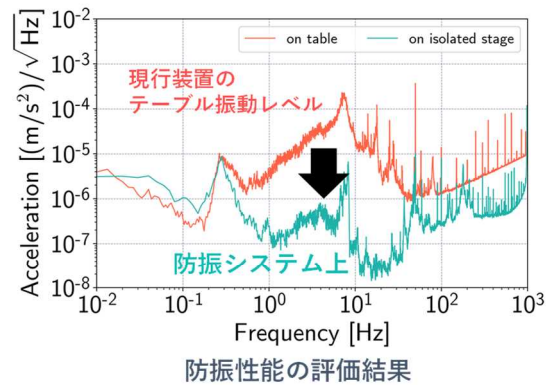
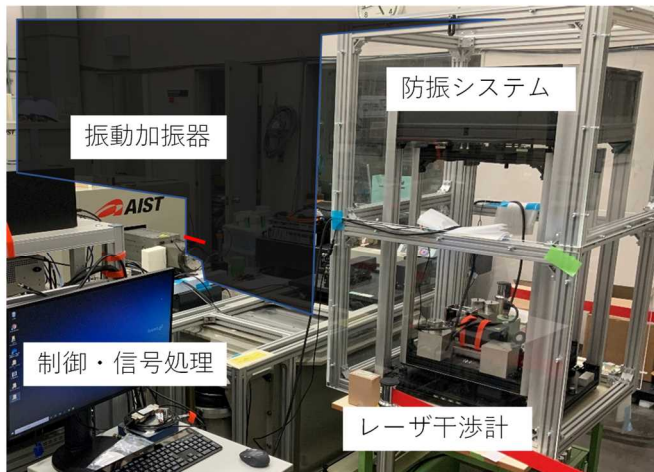


図 3.2.7.2.④-2 水平振動測定装置の外観とノイズレベル

さらに、図 3.2.7.2.④-3 に示す通り、鉛直方向に対しても低加速度ノイズをもつエアベアリングタイプの振動測定装置を構築した。防振台上にあるレーザ干渉計のレーザビームを振動加振器へ高精度に打ち下ろすため、折り返し鏡を自動ステージで動かし、振動加振器テーブル上の測定位置を変えることができる。防振機能の低下を防ぐために、重心位置が移動しないようカウンターウェイトも同時に動かす機構になっているだけでなく、空気のわずかな揺らぎによって作用するレーザ干渉計の振動を低減するために風防も取り付けた。これらの開発により、ミリガルオーダの微小振動を用いて目標と比較していた 1 Hz を上回る広範囲な周波数範囲で振動センサの評価を可能にただけ

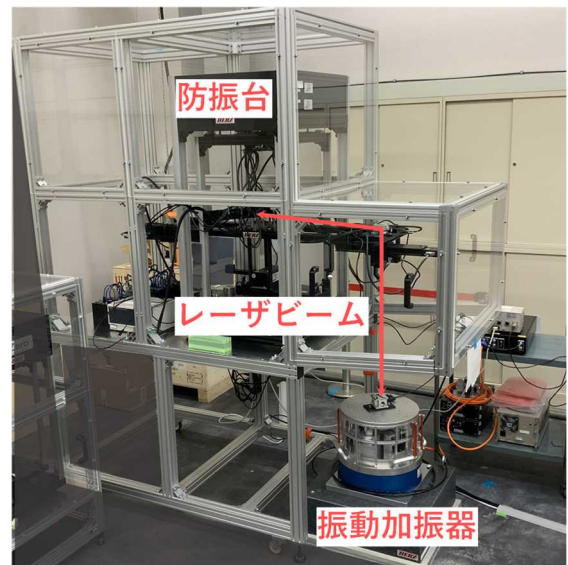


図 3.2.7.2.④-3 鉛直振動測定装置の概観

でなく、近年利用が拡大している MEMS タイプの低ノイズデジタル出力型振動センサの評価も可能にした。デジタル出力型振動センサは、アナログ出力型と異なり、多少取り扱いが煩雑な面もあるが、MEMS 技術によりコストダウンが見込まれるだけでなく、信号の劣化がないこと、デジタル

フィルタのような各種設定やメタデータの情報入力も容易なため、インフラ診断技術に不可欠なデバイスである。

・連携先のセンサ評価

大阪大学、東京電力関係企業が開発した3種類のシート型振動センサを産総研で開発したレーザ干渉式振動測定装置を用いて評価した。その結果、目標とする1 Hzから100 Hzまででなく、0.1 Hzの周波数まで当該振動センサの応答性能を確認した。

(8) 成果の最終目標の達成可能性（実施計画を詳しく）

研究項目①：非侵襲血中成分計測に係る信頼性評価技術開発

①—1 ピエゾ抵抗型音響センサに係る信頼性評価技術の開発

光音響効果によって血管内で発生する10 kHz～100 kHzの微小音圧を計測するピエゾ抵抗型音響センサ、および血管から散乱光として発せられる3-4 μm程度および9-10 μm程度の赤外光を検出する赤外センサに対応可能な計測信頼性評価技術を開発する。ピエゾ抵抗型音響センサに対しては、人体と音響学的な物性が同等な水中でセンサを評価するシステムを構築する。超微小圧を発生させる手法として、電磁放射を受ける物体表面に働く放射圧（光圧）を利用する技術を開発する。2022年度及び2023年度の実施内容を下記に示す。

<2022年度実施内容>

開発中の血中成分計測デバイスでは、波長10 μmの赤外光がグルコースに吸収されて発生する音波(PAS)をピエゾ抵抗型音響センサで検出して、血糖値を計測する。水中における音響センサの評価技術に関する研究開発では、非侵襲型のセンシングにとっては難易度の高い血糖値の20%変動に対応するPASの音圧変動の、体温における音響センサによる検出を評価するシステムを構築する。

圧力評価用超微小圧負荷技術の開発では、前年度から取り組む1 kHz-10kHzの周波数領域で1 mPa以下の圧力を発生できる条件をレーザ照射を含めて最適化を検討するとともに、計測手法の応用展開に向けた技術の実装を検討する。微小圧発生及び印可による、センサシステム出力の相関を検討するとともに、技術の社会実装に向けて利用シーンを想定した応用展開を検討する。

<2023年度実施内容>

水中におけるピエゾ抵抗型音響センサの評価技術に関する研究開発では、新たに開発されたピエゾ抵抗型音響センサの評価を実施し、開発者にフィードバックする。また、広く産業展開が想定できる10 kHz - 100 kHzのハイドロホン（音圧測定に用いる水中用マイクロホン）感度の評価システムに拡張する。

1 kHz-100kHzの周波数領域で作製したMEMS音響センサシステムの計測環境に対する信頼性向上に資する検討を行う。外環境との安定性を調べるために、本来の目的である人間の活動範囲で温度や湿度を変化させ、補償を行うことでより安定した実環境評価システムの確立を行う。

①—2 中赤外センサに係る信頼性評価技術の開発

赤外センサに対しては、人体を光計測する際に支配的となる光散乱の影響を受けない光吸収計測技術を利用し、血中成分量に対するセンサ応答量を正確に計測することにより、検出感度と検出ノイズの統計的信頼区間から、実用システムにおけるセンサ信頼性評価を行う。2022年度及び2023年度の実施内容を下記に示す。

<2022年度実施内容>

波長 3-4 μm を含む中赤外線の評価は、脂質による光吸収を対象としていることを考慮して、イントラリピッドを用いた人体ファントムにおける試料調製と、その 20%変動を検出可能な評価システムを構築する。脂質計測には、グルコースに対する自己血糖測定器のような医学的な基準はないが、非侵襲型のセンシングにとっては難易度の高い 20%変動を検出すればユーザー評価は十分であると考えられる。これを用いて新開発センサ評価を行い、その結果をセンサ開発者にフィードバックする。

<2023年度実施内容>

開発システムは高価かつ据え置き型で可搬性には欠けるため、持ち込み評価を基本としている。どのセンサも均一の感度レベルであればよいが、一般に赤外センサは個体間ばらつきが大きい。このため、センサメーカーやセンサ開発研究者に提供可能な安価・小型の評価システムを検討する。前年度までに開発したシステムとの比較評価を行う。試料測定まで考慮すると ATR 等の試料プローブ部分が必要となるが、センサ評価としては例えば脂質 20%変動が検知できる雑音等価電量 (NEP) を評価する。

研究項目②：生体ガス成分計測に係る信頼性評価技術開発

②-1：生体ガス標準物質の調製法と濃度検証法の開発

<2022年実施内容>

様々な目的で様々な生体ガス測定用センサデバイスが使用されている。本VOC標準ガス発生装置で発生する標準ガスもそれに対応する必要がある。前年度までに開発した標準ガス発生器の特徴を生かし、目的成分については100 pptレベル、相対湿度100%、その他共存成分を含む疑似生体組成の標準ガスを発生させる。アセトンと酢酸がバイオマーカーとして注目されているので、特にこの2つに注力して混合標準ガスが発生できるように条件を検討すると共に、濃縮器を組み込んだ測定器で発生濃度を検証する。

<2023年実施内容>

前年度に引き続き濃度検証法の開発を行う。特に吸着性が高いガス種（酢酸等）の濃度検証法の開発や時間応答性を評価する。装置可搬化についての技術的課題や設計の検討をする。

②-2：標準ガス調製装置による生体ガスセンサの合理的な評価法の開発

<2022年実施内容>

連携先のセンサを主対象としたセンサ評価装置系を構築する。具体的には、センサ開発側がバイオマーカーとして期待しているアセトン等の生体ガス対象成分について、加湿装置を導入したセンサ評価システムを用いて、連携先ガスセンサの応答特性を評価する。吸着等によりセンサ評価チャンバ内の標準ガス濃度が変化しないようにする。

<2023年実施内容>

2022年度に②-1で開発する多種混合標準ガス発生装置をセンサ評価システムに導入して、連携先のセンサの応答特性（定量限界や直線性、時間応答性、試料の湿度・共存成分・周囲温度等の感度への影響等）を評価する。また、連携先のセンサと市販生体ガスセンサを比較評価し、合理的・客観的に評価できる装置系・プロトコルを開発する。

研究項目③： ウイルスゲートキーパーに係る信頼性評価技術開発

③-2 微小量ウイルス RNA 及び微小量ウイルスたんぱく質定量法の開発

本研究開発項目では、ウイルス個数濃度が精確に付与されたウイルス標準試料を開発するため、精密に分離されたウイルスに含まれる、極わずかなウイルス RNA 及びウイルスたんぱく質を精確に定量する手法の開発を行う。2021年度までに、デジタル PCR については合成ウイルスセグメント RNA を試料とした検討を、デジタル ELISA については組み換えウイルスたんぱく質を試料とした検討を実施し、それぞれの定量下限から aM レベルでのウイルス定量に用いることができるであろう見通しを得た。そのため、後半の2年間においては、各々の方法を精製ウイルス試料に適用し、前処理法の確立を含めた測定系の構築を行う。また構築した測定系を利用した標準試料への値付けを行う。上記を包含して、2022年度及び2023年度の実施内容を下記に示す。

<2022年実施内容>

2021年度までに確立した条件をもとに、同一の精製ウイルス試料あるいは精製VLP試料に対して、デジタルPCR、デジタルELISAを用いた複数の測定系による定量を行い、精確なコピー数濃度あるいは個数濃度の決定法を検討する。

<2023年実施内容>

確定した仕様（容器、濃度域、溶媒組成等）を有する不活性化精製ウイルス標準試料および精製VLP標準試料に対し、デジタルPCRやデジタルELISA等により精確な定量値を付与する。同時にデジタルPCR装置については多波長検出系への改良を行い、より効率的な濃度決定法についても検討する。また、センサ開発チームと連携し、精製不活性化ウイルス標準試料および精製VLP標準試料を用いたセンサの分析性能に関する評価手順を確立する予定である。

③-3 不活性化ウイルス標準試料の作製技術開発

本研究開発項目では、ウイルス標準としての取り扱いの容易性やユーザーの利便性を向上させる目的で、2021年度までに確立したウイルスの培養・精製法をベースに、センサの信頼性評価に使用可能で、かつ感染性を持たない不活性化ウイルス標準試料の作製に取り組む。

<2022年実施内容>

ウイルスの不活性化法について、UV照射や熱処理、pH処理、薬剤処理等について検討を行い、ウイルスの不活性化法を確立する。また、不活性化ウイルス試料やVLP試料については、必要に応じてHPLCによる分取などのより高度な精製を行った後、2022年度導入予定の高分解能質量分析装置を用いたLC/MS分析のほか、PCRやELISA等の方法による純度評価や対象の完全性評価、および均質性試験法や安定性試験法の検討及び確立を行う。また、センサ開発側との協議を行いつつ、ウイルス標準試料としての仕様（容器、濃度域、溶媒組成等）についても実験的に検証を行い、条件を選定する。

<2023年実施内容>

前年度に確立した測定法を用いて、確定した仕様（容器、濃度域、溶媒組成等）を有する不活性化精製ウイルス試料および精製VLP試料の均質性、安定性の評価を行う。また、本研究で開発される不活性化精製

ウイルス試料、精製 VLP 試料の調製法に関する手順書の作成および定量値が付与されたウイルス標準試料、VLP 標準試料について研究成果物としての提供を検討する。

研究項目④：微小振動計測に係る信頼性評価技術開発

インフラモニタリングを行う微小振動を高精度に計測可能な振動センサを評価する上で、重要な項目として、温度のような環境因子に対する感度変化や振動センサから得られる加速度から変位を正確に算出できるか等がある。高層ビルの高層階では、長周期地震においては数 m の変形が起こるため、変形率の危険水域に達してくることから安全安心の観点からも重要になってくる。そのためには、まず第一にインフラモニタリング用振動センサの耐環境性能を評価することが重要であるので、温湿度を制御可能な実環境評価装置と低周波三軸振動加振器を組み合わせることにより、振動センサの周波数応答を 0.1 Hz から 100 Hz で 1% の精度で評価することを目標としている。さらに、振動センサの実使用の観点から大被災地震を想定する三次元振動や野外における振動センサの性能評価や劣化状態も併せて検証する。評価対象である振動センサの選定は終了しており、低周波三軸振動加振器や実環境評価装置の手配は順調であるため、最終目標の達成に向けて概ね順調な見通しである。上記を包含して、2022 年度及び 2023 年度の実施内容を下記に示す。

<2022 年度実施内容>

0.1 Hz から 100 Hz におけるインフラモニタリングに資する振動センサを評価するために、微小振動から大被災をもたらす地震動（約 19.6 m/s^2 ）までの幅広いダイナミックレンジをもつ 3 軸振動にかかる設計・検討を行い、所望の検討事項を満足する 3 軸振動発生装置を構築する。超高層ビルや大型の橋梁では、その固有振動数は 0.1 Hz 近傍であり、振動センサの開発メーカーなどに対するヒアリング・要望においても 0.1 Hz までの要求が強いことから、下限を 1 Hz から 0.1 Hz へ拡張する。振動センサの実環境における応答性能を実施するために、温湿度槽と制御コントローラを分離した実環境評価装置を製作して、振動センサの応答性能の温度評価を行うための見通しを得る。開発メーカーからのヒアリングや国内各地における気候条件などから、温度は $-20 \text{ }^\circ\text{C}$ から $60 \text{ }^\circ\text{C}$ において評価条件とする。また、振動センサの実環境評価を行うために、野外における振動センサの評価の実施に着手する。

<2023 年度実施内容>

3 軸方向の振動を高精度にモニター可能な振動測定を導入して、振動センサの応答性能について野外と実験室内で比較・検討する。そして、得られた両者の評価結果から、振動センサの応答性能における環境依存パラメータを項目ごと（温度を代表とする）に整理する。また、インフラモニタリングに必要とされる振動センサの耐温度環境性試験に関する実用性を評価する。0.1 Hz から 100 Hz における振動センサの応答性能を 1% の精度で評価することを開発目標とする。

2023 年度末の各研究項目における最終目標とその達成見通しは以下の通りである。

研究開発項目	最終目標 (2023 年度)	達成見通し
研究項目①：非侵襲 血中成分計測に係る 信頼性評価技術開発 ①-1： ピエゾ抵抗型音響セ ンサに係る信頼性評 価技術の開発	水中 10 kHz-100 kHz の 微小音圧検出および 1 kHz-100 kHz で、放射 圧による 1 mPa 以下の 圧力発生	達成可能 水中では低周波側の評価が難しいが、本研究で用い る水槽とは別で、海外研究機関の有する水槽等で低 周波の校正を行うことで、本研究においても評価可能 となる。 放射圧は線形性があり、1点校正することで微量に 外挿することができるため、測定システムが実現でき れば可能となる。
①-2：中赤外センサ に係る信頼性評価技 術の開発	中赤外センサは人体 ファントムが評価でき るシステム開発。測定 精度 20%。	達成可能 脂質試料はイントラリピッド等を用いて調整可能 であり、これまで透過計測において達成した測定 精度を ATR システムで転用・実現できれば、達成 可能となる。
研究項目②：生体ガス 成分計測に係る信頼性 評価技術開発 ②-1：生体ガス標準 物質の調製法と濃度検 証法の開発	多様な生体ガスや多様 な目的成分に対応可能 であり、数 100 ppt 濃度 レベルに対応でき、短時 間で濃度を変えられ、複 数種の共存成分を含む VOC 標準ガス発生装置 を整備する。	達成可能 拡散管などの標準ガス発生ラインを追加することによ り、多様な成分を含む標準ガスを発生可能であると思 われる。また、数 100ppt レベルまでアセトンを測定で きているので、他の VOC についても十分に測定可能 である。
研究項目②：生体ガス 成分計測に係る信頼性 評価技術開発 ②-2：標準ガス調製 装置による生体ガスセ ンサの合理的な評価法 の開発	②-1 で開発する加湿器付 き多種混合 VOC 標準ガス 発生装置を導入して、セン サ応答特性を評価する装 置系を開発する。連携先 ガスセンサを評価すると共 に、市販ガスセンサとの応 答特性の比較評価を行 う。合理的・客観的に評価 するためのプロトコルを確 立する。	達成可能 2022 年 4 月に、②-1 で開発した加湿器付き多種混 合 VOC 標準ガス発生装置を導入した。 本装置にセンサチャンバー等を組み合わせて、セン サ応答特性を評価する装置系を開発する。 また、連携先ガスセンサおよび市販ガスセンサ等につ いて、応答特性の比較評価を行う。ガスセンサ評価の 知見をもとに、2023 年度に、合理的・客観的に評価 するためのプロトコルを確立する。
研究項目③：ウイルス ゲートキーパーに係る 信頼性評価技術開発	当該超微量センシン グデバイスの信頼性評 価として、当該デバイ スを実用適用した場合	達成可能 本プロジェクトで確立した定量技術を用いて、ウ イルス標準試料に対して精確なウイルス個数濃度 を付与し、それらを用いてセンサ開発チームと連

<p>③-2: 微量ウイルス RNA 及び微量ウイルスたんぱく質定量法の開発</p>	<p>の分析性能評価を行い、検出可能なウイルス粒子濃度帯を明らかにする。また、本研究で開発されるウイルス精製法、およびウイルス定量法に関する手順書を作成する。</p>	<p>携しながらセンサの分析性能(感度、精度等)に関する評価手順を確立する予定である。センサ開発チームとは開始当初から培養ウイルス&ウイルス精製品を共有しており、ウイルス標準試料の仕様や使い勝手について、センサ側の要望を満たすような形での開発を行う。</p>
<p>③-3: 不活性化ウイルス標準試料の作製技術開発</p>	<p>本研究で開発される、定量値が付与されたウイルス標準試料、ウイルス VLP 標準試料について研究成果物としてセンサ開発関係者に提供し、センサの分析性能評価に活用できるようにする。</p>	<p>達成可能 ウイルス標準試料としての仕様(容器、濃度域、溶媒組成等)のほか、これまで我々が他の標準物質開発で培ってきた知見をもとに、ウイルス標準の均質性や安定性についても評価を行い、弊所のガイドラインに基づき安全なものを提供する。</p>
<p>研究項目④: 振動センサの耐温度環境性試験に関する実用性評価</p>	<p>0.1 Hz から 100 Hz における振動センサの応答性能を 1 %の精度で評価する。振動センサの耐温度環境性試験に関する手法を開発し、その手順書を提示する。</p>	<p>達成可能 温度に対する振動センサの応答性能を評価するため、温湿度槽と制御コントローラを分離した実環境評価装置を製作し、それを低周波三軸振動加振器と組み合わせることで、実加振を与えながら、振動センサを高精度に評価可能な機構を開発する。また、振動センサの室内評価だけでなく、野外暴露も同時並行して実施することで、実用的な振動センサの耐温度環境性試験に関する手法を開発する。</p>

(9) 成果の普及

表 論文、外部発表等の件数（内訳） 【2022年3月末現在】

年度	論文		その他外部発表				受賞実績
	査読付き	その他	学会発表・講演	新聞・雑誌等への掲載	展示会への出展	その他	
2019	0		0	0	0		0
2020	3		3	0	0		0
2021	6		21	1	3	1	1
合計	9		24	1	3	1	1

4. 事業化・実用化に向けた取組及び見通し

(1) 実用化に向けた戦略

研究項目①：非侵襲血中成分計測に係る信頼性評価技術開発

産総研が依頼試験・技術コンサルティングの形で、圧力センサメーカーに対してセンサ信頼性試験のサービスを提供する。また、製造ラインにおいて、センサメーカー自身での校正も可能となるように、ある1点またはごく少数の点での基準圧力発生器を提供する。

研究項目②：生体ガス成分計測に係る信頼性評価技術開発

産総研が依頼試験・技術コンサルティングの形で、センサメーカーに対してセンサ信頼性試験のサービスを提供する。

研究項目③：ウイルスゲートキーパーに係る信頼性評価技術開発

ウイルスセンサの比較評価基準を開発・提供することにより、ウイルスセンサの信頼性を相互比較できるような環境を創出し、高評価機器の市場普及プロモーションに繋げる。

研究項目④：微小振動計測に係る信頼性評価技術開発

国内には多くの老朽化した橋梁やトンネルなどがあるが、それらのモニタリングには安価なMEMSタイプのデジタル出力型振動センサが普及していくと予想される。その一方で、高層ビルなどのような大災害につながるような大型構造物には信頼性の確保された比較的高価なデジタル出力型振動センサの普及が進んでいくことが想定される。短期的には産総研の技術コンサルティングで振動センサの評価対応を行い、長期的にはデジタル出力型振動センサの校正技術を外部の校正事業所へ技術移転することが望ましいと考えている。

(2) 実用化に向けた具体的取組

産総研の制度を利用した技術コンサルティング：

- ・振動センサ精密評価として、広帯域レンジ10 Hz-100 kHzにおよぶ評価を提供する。また、赤外センサ精密評価として、高濃度光学フィルター開発メーカーに分光感度特性の性能評価を提供する。
- ・センサのメーカーやユーザ向けサービスとして、センサ性能評価を行うために産総研が有償

で提供するウイルス標準試料の使用方法やデータのとり方、まとめ方等について、手順書として取りまとめるとともに、技術指導できるようにする。

- ・開発した微量RNA定量技術および微量たんぱく質定量技術は他の仕様（濃度、溶媒組成、容量等）を有するウイルス試料の測定への転用が可能である。そのため、メーカー個別のウイルス標準試料への値付けを弊所の技術コンサルティングサービスにより提供できるようにする。
- ・産総研の技術コンサルティングは制度上既に立ち上がっているため、産業界に対して微小振動を用いた振動センサの評価を行うことは現状可能であることから、技術コンサルティングを通じて産業界における実用化は進めている。大学や研究機関で開発された振動センサに対しても、微小振動信頼性評価技術や耐環境性試験評価を提供していくことで、実用化のすそ野を広げる。

産総研の制度を利用した試料提供：

- ・開発したウイルス標準試料およびVLP標準試料を研究成果物として登録し、希望する計測器メーカー等に有償で提供予定である。また、これらの試料はいずれも弊所のガイドラインに基づき安全なものを提供できるようにする。

産総研計量標準普及センターの制度を利用した依頼試験（校正証明書付）：

- ・本NEDOプロジェクトの成果である、信頼性のある加湿可能なVOC標準ガス発生装置とそれを用いた合理的な信頼性評価プロトコルを基盤として、2025年度を目指して産総研NMIJにおいてVOCセンサ校正をNMIJ依頼試験として立ち上げる。

企業への技術移転：

- ・高精度な音圧センサの開発メーカーに対して、希望の音圧を与えられる小型試験装置の販売を行うため、計測評価メーカーに対する小型試験装置の技術供与を行う。
- ・センサ開発側の現場でセンサ信頼性評価ができるように、本プロジェクトで開発した標準ガス調製装置を一体型装置にする設計を検討する。

国際標準規格への提案：

・ウイルス標準試料を用いたウイルスセンサの信頼性評価の項目について、国際標準規格（Medical laboratories — Guidance for Emerging Technology Applications for Medical Laboratories）へ盛り込み、ISO TC/212（Clinical laboratory）での提案を予定している。当該国際標準規格は、臨床検査室などの医療検査現場に先端新興機器が導入される場合の取り扱いに関するガイダンス文書を想定している。開発中の当該国際標準規格がISOとして出版されれば、臨床検査室で用いられるセンサ技術については、信頼性評価が行われたものが採用されやすくなり、他のセンシングデバイスとの差別化をすることが可能になると思われる。IVDとして薬事承認を得る場合においては、審査過程で信頼性評価は必須であることから、本事業で実施するウイルス粒子検出センサデバイスの信頼性評価は、臨床検査分野への展開に極めて有効であると考えられる。

(3) 成果の実用化の見通し

研究項目①：非侵襲血中成分計測に係る信頼性評価技術開発

MEMS 振動センサの普及と共に、高精度への要求が高まっている。開発技術はこのニーズに適合するものであり、量も多く必要とされる MEMS 振動センサの製造時性能チェックとしてコストパフォーマンスも良い技術提供ができると考えている。

研究項目②：生体ガス成分計測に係る信頼性評価技術開発

生体ガスセンサ信頼性評価では、目的成分濃度が少なくとも sub nmol/mol レベルでの評価が必要であり、また、共存成分による妨害を評価するためには、水蒸気や多様な VOC を任意の濃度で混合された標準ガスが必要である。現状このような標準ガスは無く、本プロジェクトで開発した標準ガス発生装置は生体ガスセンサ信頼性評価に必要不可欠である。発生した標準ガス濃度は、トレーサビリティが確保されており、計量計測の観点においても信頼性が確保された標準ガスによりセンサ信頼性評価を行うことができる。

研究項目③：ウイルスゲートキーパーに係る信頼性評価技術開発

本プロジェクトは開始当初からセンサ開発チーム（産総研）と培養ウイルス&ウイルス精製品を共有して各々の研究開発を実施しており、また定期的な進捗報告会を合同で実施し、必要な条件等についても打ち合わせしながら進めていることから、ウイルス標準試料の仕様や使い勝手についてはセンサ側の要望を満たすような形での開発が行えているものと考えている。また、新型コロナウイルス感染拡大を受けて、世の中の的には様々なウイルス標準が開発・販売されるような状況となったものの、ウイルスセンサの校正や信頼性評価を目的とし、かつウイルスの粒子濃度を精確に評価した標準は、我々の知る限り報告がなく、十分な優位性を有しているものと考えている。

研究項目④：微小振動計測に係る信頼性評価技術開発

昨今のインフラ老朽化診断のため、民間企業では低ノイズデジタル出力型振動センサの開発を進めており、技術コンサルティングを通じて、実用化をすでに支援している。市場やユーザーニーズについては、関係企業へヒアリングを行うことで、インフラモニタリング用振動センサに求められる仕様条件などを整理した。また、近年建築界は高層ビルの被災判定に資する振動センサの信頼性評価を求めており、共同研究者を通じて、その枠組みについて議論を行っている。

(4) 波及効果

(4.1) 技術的効果

IoT やウェアラブル機器の普及と共に MEMS 振動センサへの高いニーズがある。また、センサの高感度化も進んでいることから、当プロジェクトで開発している微小音圧センシング技術に対する信頼性評価システムへのニーズも今後高まっていくものと考えられる。また、高級イヤホンの登場と共に、小さな振動板で発生する音圧を周波数解析により評価するニーズも高まっている。これまでスピーカーについては、比較的音圧も大きいため計測に困難は生じていないが、イヤホンについては可聴域となる 10 Hz-20 kHz での大気中での計測が有用となり、原音に対する忠実度、色付けを評価する指標とすることができる。人の音感は既存センサでは評価できないほど敏感であると言われており、本研究の高い分解能技術が適用できる。また、人手不足が叫ばれているインフラ構造物管理においては、IoT センサによるインフラモニタリングの導入が急がれており、当プロジェクトで開発しているインフラモニタリング用振動センサの信頼性評価で最も重要な MEMS タイプの低ノイズデジタル出力型振動センサの評価技術は、今後センサ評価・校正

へのニーズが高まるものと考えられる。加えて、包括的核拡散禁止条約機関（CTBTO）や地球物理観測では、遠方における核実験の監視や大規模地震の観測を行うために、世界各地および我が国周辺では多くの広帯域地震計が使われている。これは非常に高感度なため、実加振で信頼性を評価することは通常困難なため、これまでは電氣的な評価で代用されてきた。また、宇宙分野において、人工衛星からの地球観測を行う際に、姿勢制御系や冷凍機からの振動擾乱（ 10^{-4} m/s² から 1 m/s²）を補正する技術が求められる。これらの観測機器に信頼性を与えることに関しては、当該微小振動信頼性評価技術を適用することが可能となる。

新型コロナウイルス感染症に伴うウイルスチェックにおいては、簡易的な検査キットにニーズが高まる一方で、校正された計測装置を用いて、正しいプロトコルのもとで検体の測定を行うことの重要性も再認識されつつある。本プロジェクトで開発しているウイルス標準物質や超微量領域の精確な定量を実施できる設備・プロトコルは、安心安全な社会を維持するうえでのセーフティネットである。

ヘルスケアの分野では、前出の MEMS センサへのニーズの他、近年、呼気や経皮からの生体ガスに含まれる疾患マーカー、疲労時に生産される物質などの検出技術開発が行われており、今後は検出センサデバイスの小型化やウェアラブル化などの開発フェーズに進んでいくものと思われる。実際の生体ガスには水蒸気が含まれている。本プロジェクトで開発している生体ガスセンサ信頼試験装置は、濃度の信頼性が検証された多様な nmol/mol レベルの標準ガスを発生することができるため、多くのガスセンサに対して応答信頼性評価をすることができる。また、共存成分を任意の濃度で混合できるので、水蒸気や VOC などの妨害成分によるセンサ応答性への影響を定量的に評価できる。

ヘルスケア以外にも、工場や自動車中の有害成分測定、室内空気環境測定、飲酒運転対策の呼気中アルコール検出など、非常に多くの場面で使用されているガスセンサの校正は、現状、ほぼすべてが水蒸気を含まないドライな標準ガスで行われている。実際には、水蒸気が存在する環境でセンサが使用される点を考えると、本プロジェクトで開発しているガスセンサ信頼試験装置は、生体ガスセンサのみならず、広くガスセンサ評価に適用できるものである。

(4).2 経済的効果

昨今の新型コロナウイルス感染症拡大に伴い、ウイルス計測デバイスへの関心が急激に高まっている。例えば、PCR に代表される遺伝子検査装置市場規模は、本プロジェクト開始当時の 2019 年では 20 億円程度であったものが、新型コロナウイルス感染症拡大の影響で 2020 年には約 45 億円にまで成長した。また、検査に使用する検査試薬の市場規模も、2020 年には 2019 年のほぼ 2 倍となる約 222 億円にまで成長している。一方、装置市場は今後横ばいの予測ではあるが、検査件数は今後もしばらくは増加傾向が予測されている（富士経済 2021 臨床検査市場 No. 3）。将来的に未知のウイルス感染症が流行する可能性もあるため、遺伝子検査へのニーズは、引き続き高いものと思われる。検査装置は常に精確な計測が求められるが、本プロジェクトで開発するウイルス標準物質やプロトコルは、これらの装置を校正するために必要不可欠であり、今後もこの分野での市場の活況を下支えするものである。

ヘルスケア・健康増進のための機器においては、2019 年には約 1272 億円の市場規模が 2024 年には 2125 億円に拡大すると予測されている。（富士キメラ総研 ウェアラブル／ヘルスケアビジネス総調査 2020）。本プロジェクトでの信頼性評価対象は、非侵襲的にバイタルデータ等を

計測するヘルスケア用途のセンサやウェアラブル化を想定できるセンサが多い。実使用環境において正しく計測できるお墨付きを与える仕組みができれば、センサに付加価値を与えることができ、これらのセンサの普及を後押しできるものである。

(4).3 社会的背景

年間1兆個の大規模センサネットワークを使用する社会 ” Trillion Sensors Universe” の構想が発案されて以来、センサを活かした社会システムの構築に向け、各種センサの開発が盛んとなった。様々な背景がある中で、国内では高齢化率上昇による労働者人口の顕著な減少に伴う安心安全な社会の維持への危機感が、センサネットワークの社会実装に拍車をかけているように見える。さらに、新型コロナウイルス感染症の拡大は作業のリモート化を加速させ、既存センサのマルチモーダル化や超微小量センシング、極限環境でのセンシングなど、革新的な開発も進んだ。一方で、様々なセンサも気軽にインターネットで購入できる便利さの反面、使用目的にそぐわない仕様のセンサを選択してしまったり、センサを適切な環境で使用していないために正しく計測ができなかったり、といったトラブルも少なくない。本プロジェクトで提供するセンサの信頼性評価技術は、センサのメーカーだけでなく、センサ機器とサービスプラットフォームとの組み合わせでビジネス展開する企業のようなセンサユーザにとっても、ビジネスの信頼性を担保する手段として必要不可欠なものであると言えよう。

別添 11

研究開発項目②

量子現象に基づくトレーサビリティが確保されたワイヤレス機器校正ネットワークの研究開発

国立大学法人大阪大学

国立大学法人神戸大学

国立研究開発法人産業技術総合研究所

3.2 研究開発項目毎の成果及び実用化

(1) 背景と目的

近年、様々な場所や機会において実空間から情報（データ）を取得してサービスに繋げるという IoT という概念が社会に浸透しつつあり、IoT によって社会課題の解決を実現しようという機運が社会的に高まりつつある。しかし、実空間は様々なノイズに溢れていることから、センサが実空間から取得する情報（データ）の信頼性を確保することが喫緊の課題となっている。

そこで、本研究開発では、日本の持続的な成長に必要な家庭等での手軽なヘルスケア、未来のモビリティ、インフラ建造物の低コスト管理等の IoT サービスの基盤となる、IoT 機器や計測機器の信頼性を確保するワイヤレス機器校正ネットワークの構築を行う。

(2) 位置づけ、目標値

本研究開発の位置づけについて、既存の電気校正スキームと本研究開発で実現を目指す電気校正スキームの概念図を図 1 に示す。

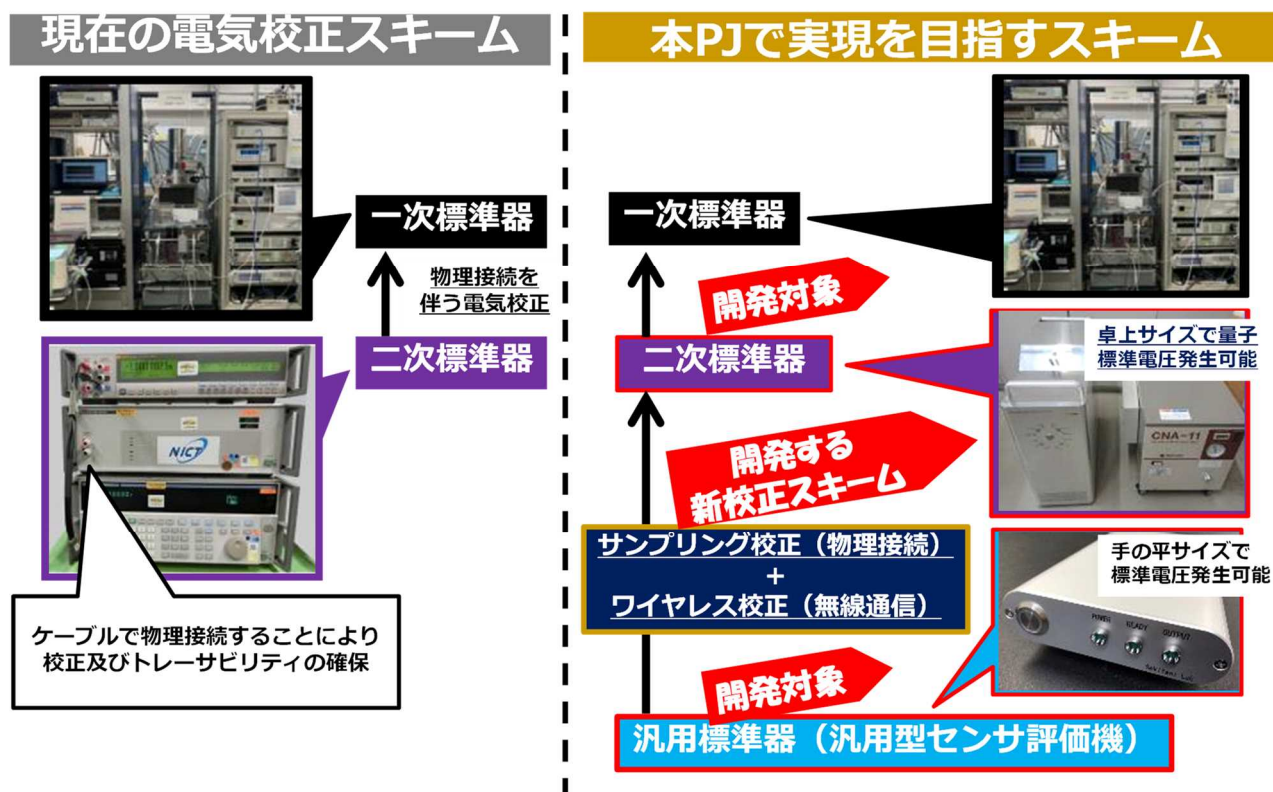


図 1 現在の電気校正スキームと本研究で開発する新しい校正スキームの違い

図 1 の左半分は現在の電気校正スキームを示している。現在の電気校正スキームにおいては、一次標準器と二次標準器をケーブルで物理接続を行うことによって校正及びトレーサビリティの確保を行っている。研究者や電気技師などが日常的に使用するテスターやデジタルマルチメーターの電気校正を行う場合、この二次標準機に校正したい機器を持ち込んで電気校正を行う必要がある。そのため、IoT 社会において今後増加が見込まれる各種センサのように膨大な数のエレクトロニクスを校正し、それらの信頼性を確保するのが困難になると見込まれる。

そこで本研究開発では、図1の右側に示す通り、二次標準器と汎用型標準機（汎用型センサ評価機）を開発する。汎用型センサ評価機は、サンプリング校正とワイヤレス校正を組み合わせることでリアルタイムでの校正が可能なものになるため、現在の電気校正スキームのように被校正対象装置を二次標準器の近くに持って行ってケーブルで接続する手間を省くことができ、社会に広く標準電圧を普及させることが可能となる。

これにより、IoT/DX社会において増加が見込まれるセンサの信頼性の底上げを実現することができる。

以下表1に、研究開発項目毎の目標値とその根拠を示す。

表1 研究開発項目毎の目標とその根拠

研究開発項目	中間目標値 (2022年度)	最終目標値 (2024年度)	根拠
(開発項目①)ワイヤレス機器校正ネットワーク向けの小型の標準電圧源の開発	<ul style="list-style-type: none"> ・ジョセフソン効果を用いた小型標準器のプロトタイプを製作 ・プロトタイプの実出力電圧分解能(30 μV) ・プロトタイプと一次標準器との物理的接続による電圧計測精度(4 mV ± 10 nV) ・交流電圧発生の実現(振幅2.8 mV, 100 Hz) ・室温型の微小標準電圧発生器の実出力電圧値(1 mV以下) ・量子電圧雑音源のための高温超伝導体を用いたジョセフソン接合アレー(パワースペクトル密度: 1 nV/√(Hz))以上) ・小型冷凍機(例: スターリング冷凍機など、最低到達温度40 Kなど)の動作検討 	<ul style="list-style-type: none"> ・二次標準器として使用可能な小型標準器を製作 ・小型標準器のサイズ(19インチ計測ラック程度の筐体に収納可能) ・小型標準器を用いたワイヤレスでの正常動作確認 ・より転移温度の高い超伝導材料(高温超伝導体など)を用いた量子電圧雑音源の検討 	<p>現行の一次標準器で約4 mVに制限されている出力分解能。二次標準器の普及には、出力性能はもとより、安価かつ小型なシステムであることが不可欠である。</p>
(開発項目②)IoTデバイス校正用の汎用型センサ評価機の回路設計・機器開発	汎用型センサ評価機の直流電圧計測精度(1 mV ± 50 nV)	<ul style="list-style-type: none"> ・ワイヤレス機器校正ネットワークを用いた校正後の直流電圧計測精度(1 mV ± 100 nV) ・ワイヤレスでの校正頻度を1回/日 	開発する二次標準器から トレースされた精度の高い標準電圧を出力 できるようにすることで、外部の微小信号検出IoTデバイスの評価及び校正が可能となる。
(開発項目③)外部環境変化に対して電気特性変化を示さない超安定・高抵抗素子の開発	抵抗値温度係数が±50 ppm/°C、抵抗値範囲±0.3%、カテゴリ温度範囲0 °C~50 °Cの精密抵抗の開発	<ul style="list-style-type: none"> ・抵抗値温度係数が±20 ppm/°C、抵抗値範囲±0.1%、カテゴリ温度範囲0 °C~50 °Cの精密抵抗の開発 	開発項目②の 汎用型センサ評価機の性能を実現するために必要なパラメータ
(開発項目④)ワイヤレス校正実現に向けた汎用型センサ評価機のばらつきや経時変化等の評価	標準器に接続されない汎用型センサ評価機の直流電圧出力精度(1 mV ± 200 nV)	<ul style="list-style-type: none"> ・標準器に接続されない汎用型センサ評価機の直流電圧出力精度(1 mV ± 100 nV) ・汎用型センサ評価機と外部デバイスとのインタフェース構築 	人間の心電を測定するデバイスを例にすると、±100 nV程度の精度が要求 される。
(開発項目⑤)ブロックチェーン技術を用いたワイヤレス機器校正ネットワークのセキュリティー技術の開発	汎用型センサ評価機とサーバにブロックチェーン技術を実装し、その動作実証を行う	<ul style="list-style-type: none"> ・汎用型センサ評価機のハードウェア改ざん検出を行う。 	ワイヤレス機器校正ネットワークの セキュリティー確保 のために、ブロックチェーンを用いて汎用型センサ評価機を管理するシステム

研究開発項目①においては、微小な電圧の校正に対応すべく、現在は約4 mVの出力分解能をさらに向上させることによって、様々なアプリケーションに対応可能なシステムを実現することを目指す。研究開発項目②及び③においては、研究開発項目①で実現した量子標準電圧を受けられるハード開発に加え、研究開発項目④で開発するワイヤレス校正スキームの受け皿になる通信技術を備えた装置の開発を行う。さらに、汎用型センサ評価機はインターネットに接続されることが見込まれることから、研究開発項目⑤において、ブロックチェーン技術を用いたセキュリティー技術の開発を行う

(3) 全体計画

図2に研究開発期間における開発計画の全体像を示した。

研究項目 (研究担当機関)	フェーズA			フェーズB	
	2020年度	2021年度	2022年度	2023年度	2024年度
①ワイヤレス機器校正ネットワーク向けの小型の標準信号源の開発 (産業技術総合研究所)					
ジョセフソン効果を用いた小型標準信号系の開発	設計・試作	評価			
室温型の微小標準電圧源の開発	試作機を用いた外部校正		コンセプトの検討	製品化を視野に入れた小型化の検討	
②IoTデバイス校正用の汎用型センサ評価機の回路設計・機器開発 (大阪大学関谷研)					
汎用型センサ評価機の回路設計と機器評価	設計試作		量産試作	製品試作	
③外部環境変化に対して電気特性変化を示さない超安定・高抵抗素子の開発 (大阪大学谷口研)					
超安定・高抵抗素子の開発	作製した基板を用いたばらつき評価	作製した抵抗の実装	抵抗値温度係数の改善	NITEとの連携によるNITE認定の取得に向けた調整	
④ワイヤレス校正実現に向けた汎用型センサ評価機のばらつきや経時変化等の評価 (神戸大学川口研)					
キャリブレーションアルゴリズムの構築	キャリブレーションアルゴリズムの開発		校正精度の統計的推定	推定精度の向上	
⑤ブロックチェーン技術を用いたワイヤレス機器校正機ネットワークのセキュリティー技術の開発 (神戸大学川口研)					
汎用型センサ評価機のセキュリティー技術の開発		アルゴリズム開発	装置へ組み込み	動作実証	製品への組み込み
合計 NEDO負担額 [税込]	70百万円	70百万円	70百万円		

図2 研究開発期間の全体開発計画

研究開発項目①は、トレーサビリティの起点となる量子標準電圧発生装置の小型化を目指す取り組みであり、研究開発項目②、③、④は、研究開発項目①と連携することで、電気の世界標準とのトレーサビリティが確保された標準電圧を発生させる装置を実現することが可能となる。また、2023年度からNITEとの連携によるNITE認定(ASNITE認定)の取得に向けた調整を行う。

(4) 実施体制

図 3 に研究開発の実施体制を示す。

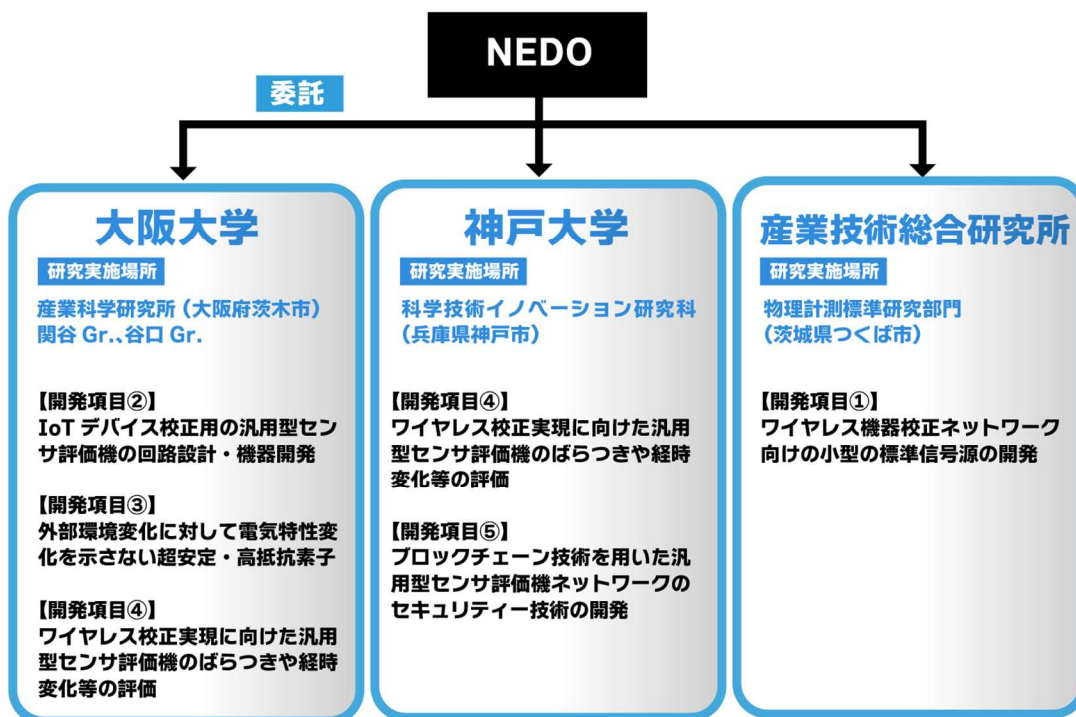


図 3 研究開発体制

本研究開発に参加している産業技術総合研究所 物理計測標準研究部門は、電圧の一次標準器を所有し管理している部門であり、新たな電気校正スキームを開発するために必須の機関が参加している。また大阪大学は、エレクトロニクスの開発に長けた関谷 Gr. 及び電子部品の開発に長けた谷口 Gr. が参加し、神戸大学においてはエレクトロニクスや通信技術、統計処理の専門家である川口 Gr. が参加している。

(5) 運営管理

本研究開発においては、最低でも 3 か月に 1 回の全体会議を行い、チーム間の情報共有を図っている。またそれに加え、展示会のイベントや個別の技術開発のすり合わせについては必要に応じて随時実施している。

(6) 実施の効果

図4に、本研究がIoT社会に与えるインパクトのイメージをまとめた。

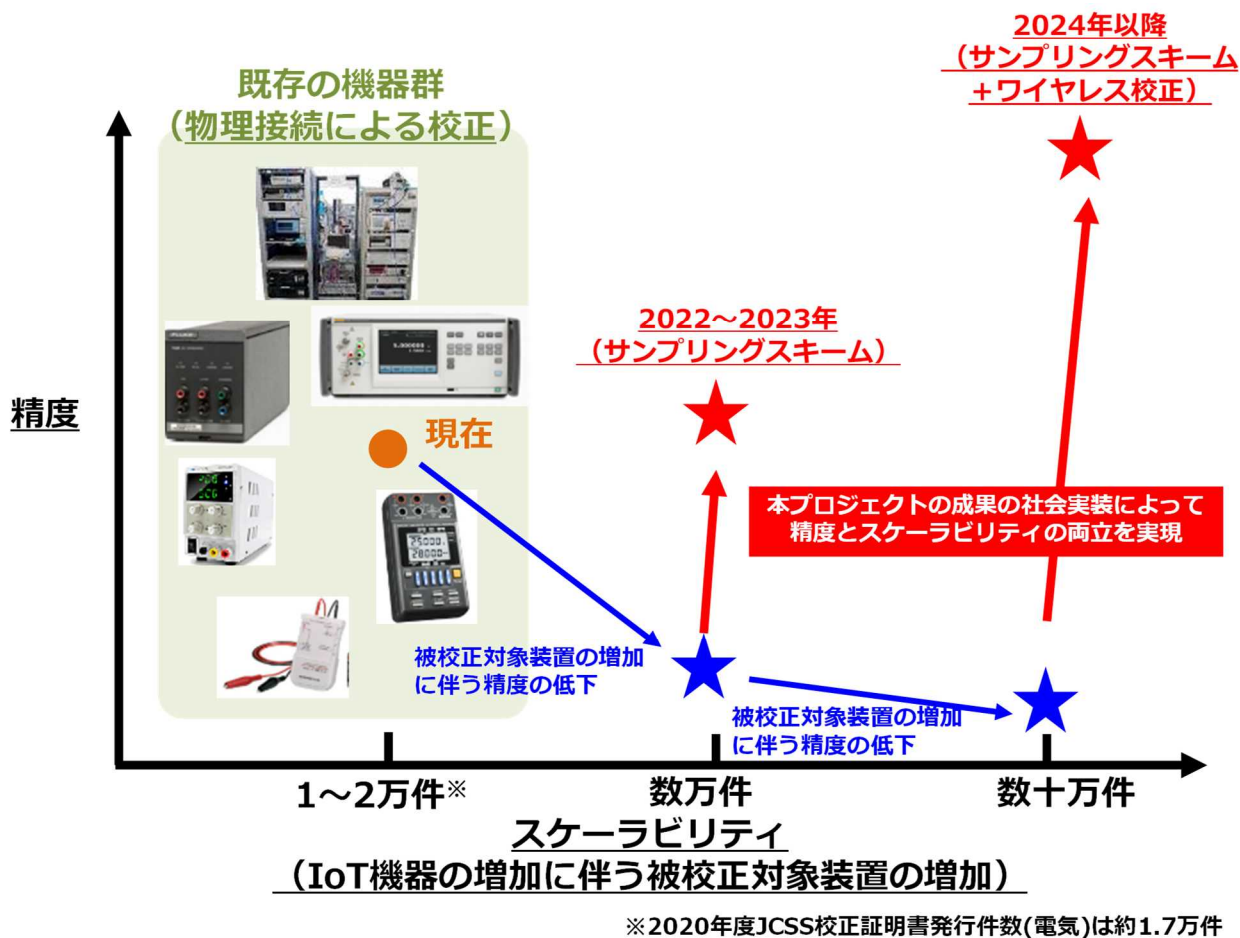


図4 本研究がIoT社会に与えるインパクトのイメージ

現在の電気校正スキームは、図1の左側に示した通り、電気校正を行うためにケーブルを用いた物理接続が必須となっている。そのため、精度は確保されているが、IoT社会の進展に伴う校正対象の数の増加に対応できない。

一方、2022~2023年で開発を進めるサンプリング校正スキームが開発されると、全数台の汎用型センサ評価機の物理的接続を伴う校正を行う必要がなくなるため、校正対象が増加しても校正精度を維持したまま、被校正対象装置の増加に対応可能となる。

さらに、ワイヤレス校正スキームが完成すると、遠隔からの電気校正が可能となるため、リアルタイムでIoT機器の信頼性の確保が可能となる。

(7) 研究開発成果

(7.1) 中間目標の達成度

以下に、研究開発項目毎の中間目標、成果、達成度、今後の課題と解決方針をまとめた。

表2 研究開発項目毎の中間目標、成果、達成度、今後の課題と解決方針

研究開発項目	中間目標	成果	達成度	今後の課題と解決方針
(開発項目①)ワイヤレス機器校正ネットワーク向けの小型の標準信号源の開発	①ジョセフソン効果を用いた小型標準器のプロトタイプを作製 ②プロトタイプ出力電圧分解能 (30 μ V) ③プロトタイプと一次標準器との物理的接続による電圧計測精度 (4 mV \pm 10 nV) ④交流電圧発生の実現 (振幅 2.8 mV、100 Hz) ⑤室温型の微小標準電圧発生器の出力電圧値 (1 mV 以下) ⑥量子電圧雑音源のための高温超伝導体を用いたジョセフソン接合アレー (パワースペクトル密度: 1 nV/ $\sqrt{\text{Hz}}$) 以上) ⑦小型冷凍機 (例: スターリング冷凍機など、最低到達温度 40 K など) の動作検討	①プロトタイプ 2 号機成。 ④の交流生成機能も実装し、目標の交流発生にも成功した。また大きさも想定よりも小型化することに成功した。 ②30 μ V の発生達成 ③4 mV \pm 10 nV の電圧計測精度達成 ④交流電圧発生の実現 (振幅 2.8 mV、100 Hz) ⑤7.2 V のツェナー電圧出力を 0.1 μ V/V の精度で確認、低電圧化検討中 ⑥プロセスの最適化中 ⑦スターリング冷凍機の 40 K 動作確認	①◎ ②○ ③○ ④○ ⑤○ ⑥△ ⑦○	2022 年度時点でほぼすべての目標を達成しており、目標を超えた課題として、コンパクトな装置を実現したい。その実現に向けては、実用化に向けた小型化や「バグ出し」が必要。
(開発項目②)IoT デバイス校正用の汎用型センサ評価機の回路設計・機器開発	標準器に接続されない汎用型センサ評価機の直流電圧出力精度 (1 mV \pm 200 nV)	一次標準器を用いて校正 (安定性評価) を行い約 5.17 mV に対して標準偏差 (1 σ)0.4 nV を達成した。	○	サンプリング校正スキームの確立を見据えた装置設計が今後の課題であるが、すでに回路シミュレーションを組み合わせた装置のばらつき評価に着手しており、目標達成の見込みが高い。
(開発項目③)外部環境変化に対して電気特性変化を示	抵抗値温度係数が ± 50 ppm/ $^{\circ}$ C、抵抗値範囲 $\pm 0.3\%$ 、カテゴリー温度範囲 0 $^{\circ}$ C ~ 50 $^{\circ}$ C の精密抵抗の開発	抵抗値温度係数が ± 10 ppm/ $^{\circ}$ C、抵抗値範囲 $\pm 0.12\%$ 、カテゴリー温度範囲 0 $^{\circ}$ C ~ 85 $^{\circ}$ C の精密抵抗の開発 (試作段階)	○	量産可能な微細加工法の開発が今後の課題であるが、フォトリソとプラズマエッチングの導入により確実に目標達成

さない超安定・高抵抗素子の開発				を行うことができる見込みが立っている。
(開発項目④)ワイヤレス校正実現に向けた汎用型センサ評価機のばらつきや経時変化等の評価	標準器に接続されない汎用型センサ評価機の直流電圧出力精度 (1 mV ± 200 nV)	4台のセンサ評価機で精度ばらつきが大きいことを確認。4台中2台で複数の汎用型センサ評価機の直流電圧出力精度が1mV±200nVを満たすことを確認。4台のセンサ評価機は固有の入出力特性パラメータ特徴量を持つことを確認。	○	異種金属接合による熱起電力や温度管理を徹底することによる精度ばらつきの低減。入出力特性の「経時変化」の測定と、それを考慮した汎用型センサ評価機の出力精度推定アルゴリズムの構築が今後お課題であるが、数十台規模によるセンサ評価機の入出力特性の測定。様々の測定器とのインタフェースの検討を行うことにより目標を達成できる見込みである。
(開発項目⑤)ブロックチェーン技術を用いたワイヤレス機器校正ネットワークのセキュリティ技術の開発	汎用型センサ評価機とサーバにブロックチェーン技術を実装し、その動作実証を行う	上記④固有の入出力特性パラメータ特徴量から汎用型センサ評価機固有 ID 取得方法を検討。汎用型センサ評価機とラズベリーパイをUART有線接続した端末とサーバをLAN接続することでブロックチェーンによる管理システムを構築。	○	現状汎用センサ評価機台数を数十台規模に拡張し、大規模な汎用センサ評価機群に対応可能な固有 ID 生成アルゴリズムに対応することが今後の課題であるが、数十台規模によるセンサ評価機の評価および頑健固有 ID 生成アルゴリズムの構築することによって目標を達成できる見込みである。

◎：大きく上回って達成（特筆した成果を記載）

○：達成（成果を記載）

△：概ね達成（成果と未達ともに記載）

×：未達（未達理由について記載）

(7.2) 研究開発の成果と意義

以下に、各研究開発項目の成果と意義を記載する。

<研究開発項目①：ワイヤレス機器校正ネットワーク向けの小型の標準信号源の開発>

①ジョセフソン効果を用いた小型標準器のプロトタイプを製作

→ 国家標準と同じ原理の量子効果を利用したドリフトフリー（経年・環境により変化しない）かつ小型な二次標準器の実現可能性を示し、センサネットワークのトレーサビリティ構築における基盤技術の一つを確立した。

②プロトタイプの実出力電圧分解能の実現（30 μ V）

→ センサが要求する微小電圧に対応可能な出力レベルを実現した。

③プロトタイプと一次標準器との物理的接続による直流電圧計測精度の実現（4 mV \pm 10 nV）

→ 試作したプロトタイプの高い精度を実証した。

④プロトタイプによる交流電圧発生の実現（振幅 2.8 mV、100 Hz）

→ 従来技術の課題（電圧精度、コストなど）を克服し、交流信号の発生に成功した。これにより広範で精度の高いトレーサビリティ確保の発展可能性を示した。

⑤室温型の微小標準電圧発生器の実出力電圧値（1 mV 以下）

→ 7.2 V のツェナー電圧出力を 0.1 μ V/V の精度で確認が終了した。目標の低電圧化のための分圧器の詳細な設計を進めている。2022 年度末までに目標は達成可能である。

⑥量子電圧雑音源のための高温超伝導体を用いたジョセフソン接合アレーの設計・試作検討（パワースペクトル密度：1 nV/ $\sqrt{\text{Hz}}$ ）以上）

→ ジョセフソン素子の試作・評価を繰り返し、シャピローステップの発現に成功した。

⑦小型冷凍機（例：スターリング冷凍機など、最低到達温度 40 K など）の動作検討

→ 高温超伝導体用の冷凍機の動作検証に成功した。

<研究開発項目②：IoT デバイス校正用の汎用型センサ評価機の回路設計・機器開発>

開発項目②は、本研究開発の肝であるサンプリング校正スキームおよびワイヤレス校正スキームのハード面の受け皿である汎用型センサ評価機の設計である。長期安定性、温度係数の最小化を実現した小型かつ安価な汎用型センサ評価機を実現に対して、サンプリング校正及びワイヤレス校正のハード面の受け皿となる汎用型センサ評価機の基本性能を確認できた。

<研究開発項目③：外部環境変化に対して電気特性変化を示さない超安定・高抵抗素子の開発>

最も大きな外部環境要因である温度変化に対して高い安定性を持つ抵抗素子は、汎用型センサの内部抵抗として必須の素子である。表面実装可能な抵抗素子は汎用型センサ評価機の実用化を大きく前進させた。今後、多くのユースケースを考えると、高磁場や高湿度などの外部環境変化に対する評価を実施する。

<研究開発項目④：ワイヤレス校正実現に向けた汎用型センサ評価機のばらつきや経時変化>

DAC 出力 $V=a \cdot D_{in}$ と ADC 出力 $D_{out}=b \cdot V$ から $a \cdot b=D_{out}/D_{in}$ が推定できることを示した。この係数 $a \cdot b$ は実測値と一致し、短時間ではばらつきは小さく、汎用型センサ評価機の直流電圧出力精度を $1\text{mV} \pm 200 \text{ nV}$ 以内に抑えることができることを確認した。健常な成人の心電図では、心拍成分の R 波が 1 mV 程度の振幅を持つものに対して、母体腹壁越しに計測した胎児

心電図では数 μV 程度の振幅しか持たないが、 $\pm 100\text{ nV}$ 程度の精度があれば胎児心電図の測定が十分に可能となる。ただ本当に必要なのは長時間のばらつきまで考慮した係数 a の推定である。パラメータ a が正しくなければ校正出力は正しい値とはならない。今後は、観測可能な $a \cdot b$ から a を「経時変化」まで考慮して推定することが重要である。

<研究開発項目⑤：ブロックチェーン技術を用いたワイヤレス機器校正ネットワークのセキュリティ技術の開発>

汎用型センサ評価機の管理システムの動作実証を行った。上記研究開発項目④の汎用センサ評価機固有の入出力特性パラメータ特徴量をハッシュ値とすることで、ブロックチェーンを構築している。これにより汎用型センサ評価機のADC・DACなどのデータコンバータなどのハードウェアが改ざんされることを防止し、出荷時に性能が裏付けされたものが市場にそのままの状態で使用されていることを保証する。また測定器と「正規」汎用型センサ評価機との接続性の確認（偽の汎用センサ評価機との接続の排除）・センサ評価機の故障検知などに有効な技術となる。現状汎用型センサ評価機は数台規模であるため、ハッシュ値は原始的に汎用型センサ評価機入出力特性の傾き・切片・分散によっているが、大規模複雑な場合には機械学習による固有ID生成アルゴリズムが必要であると考えられる。

(8) 成果の最終目標の達成可能性

以下に、研究開発項目毎の最終目標と達成の見通しを記載する。

表3 研究開発項目毎の最終目標と達成見通し

研究開発項目	最終目標 (2024年度)	達成見通し
(開発項目①)ワイヤレス機器校正ネットワーク向けの小型の標準信号源の開発	<ul style="list-style-type: none"> ・二次標準器として使用可能な小型標準器を作製 ・小型標準器のサイズ (19インチ計測ラック程度の筐体に収納可能) ・小型標準器を用いたワイヤレスでの正常動作確認 ・より転移温度の高い超伝導材料(高温超伝導体など)を用いた量子電圧雑音源の検討 	2022年度時点でほぼすべての目標を達成しており、目標を超えた課題として、コンパクトな装置を実現したい。その実現に向けては、実用化に向けた小型化や「バグ出し」が必要。
(開発項目②)IoTデバイス校正用の汎用型センサ評価機の回路設計・機器開発	<ul style="list-style-type: none"> ・ワイヤレス機器校正ネットワークを用いた校正後の直流電圧計測精度(1 mV \pm 100 nV) ・ワイヤレスでの校正頻度を1回/日 	サンプリング校正スキームの確立を見据えた装置設計が今後の課題であるが、すでに回路シミュレーションを組み合わせた装置のばらつき評価に着手しており、目標達成の見込みが高い。

(開発項目③)外部環境変化に対して電気特性変化を示さない超安定・高抵抗素子の開発	・抵抗値温度係数が±20 ppm/°C、抵抗値範囲±0.1 %、カテゴリー温度範囲0 °C~50 °Cの精密抵抗の開発	量産可能な微細加工法の開発が今後の課題であるが、フォトリソとプラズマエッチングの導入により確実に目標達成を行うことができる見込みが立っている。
(開発項目④)ワイヤレス校正実現に向けた汎用型センサ評価機のばらつきや経時変化等の評価	・標準器に接続されない汎用型センサ評価機の直流電圧出力精度 (1 mV ± 100 nV) ・汎用型センサ評価機と外部デバイスとのインタフェース構築	異種金属接合による熱起電力や温度管理を徹底することによる精度ばらつきの低減。入出力特性の「経時変化」の測定と、それを考慮した汎用型センサ評価機の出力精度推定アルゴリズムの構築が今後お課題であるが、数十台規模によるセンサ評価機の入出力特性の測定。様々の測定器とのインタフェースの検討を行うことにより目標を達成できる見込みである。
(開発項目⑤)ブロックチェーン技術を用いたワイヤレス機器校正ネットワークのセキュリティ技術の開発	・汎用型センサ評価機のハードウェア改ざん検出を行う。	現状汎用センサ評価機台数を数十台規模に拡張し、大規模な汎用センサ評価機群に対応可能な固有 ID 生成アルゴリズムに対応することが今後の課題であるが、数十台規模によるセンサ評価機の評価および頑健固有 ID 生成アルゴリズムの構築することによって目標を達成できる見込みである。

いずれに研究開発項目においても、残りの開発期間で最終目標を達成できる見込みが立っている。

(9) 成果の普及

表 4 論文、外部発表等の件数 (内訳) 【2022 年 3 月末現在】

年度	論文		その他外部発表				受賞実績
	査読付き	その他	学会発表・講演	新聞・雑誌等への掲載	展示会への出展	その他	
2020	0	0	0	0	0	0	0
2021	0	0	1	0	1	0	0
合計	0	0	1	0	1	0	0

(10) 知的財産権などの確保に向けた取り組み

- 2021 年度は、開発項目②で開発している汎用型センサ評価機のハード部分の特許出願を行った。

- 2022年度は、サンプリング校正スキームに係る特許出願を行うと同時に、サンプリング校正スキームについてASNITE認定の取得に向けた意見交換を実施する。
- 2023年度以降は、ワイヤレス校正スキームの実証試験を行い、早期の特許出願を実現する。

表5 特許の件数（内訳） 【2022年3月末現在】

年度	特許出願		
	国内	外国	PCT
2020	0	0	0
2021	1	0	0
PJ期間 合計	1	0	0

4. 事業化・実用化に向けた取組及び見通し

(1) 実用化に向けた戦略

- 2022年度にサンプリング校正の方法論を確立し、その内容を用いて現在の電気校正制度との整合を図ると共に、NITEとの意見交換を通じてNITEの認証(ASNITE認定)の取得に向けた開発を行う。
- 2023年度以降は、サンプリング校正をベースとした製品の開発を進めると共に、ワイヤレス校正によって各汎用型センサ評価機の経時変化等を校正・補正するアルゴリズムを構築する。
- 上記の動きを踏まえ、必要な資金調達を行いながら2024年度に新会社の設立を行う。

(2) 実用化に向けた具体的取組

以下図5に、実用化までのロードマップを示した。

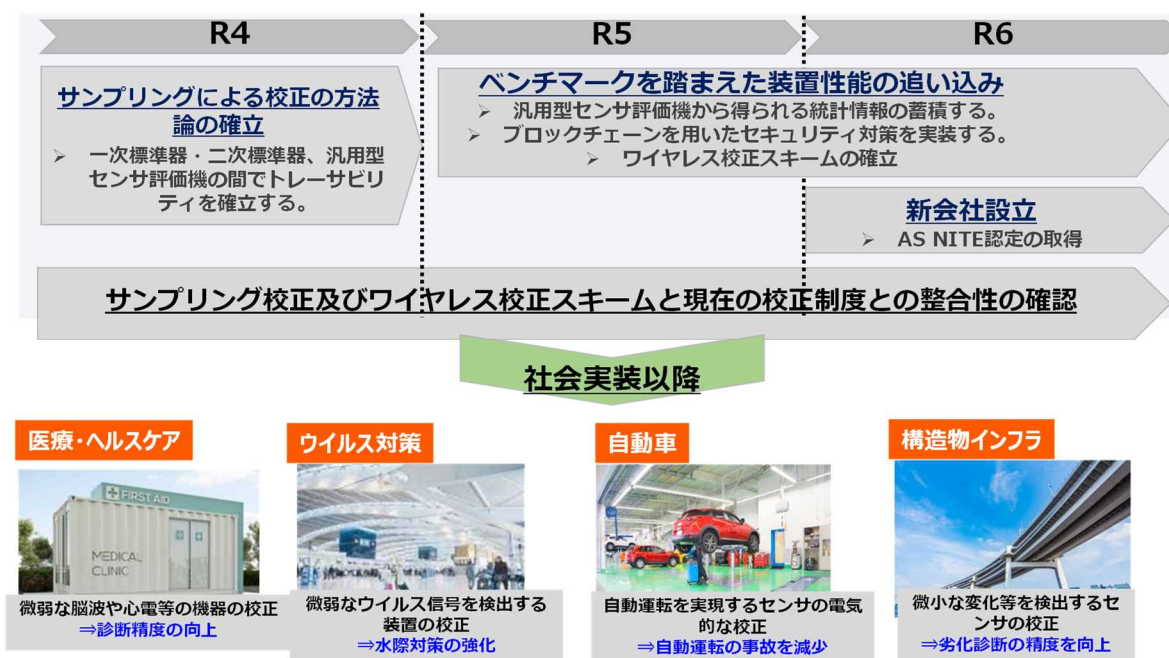


図5 実用化までのロードマップ

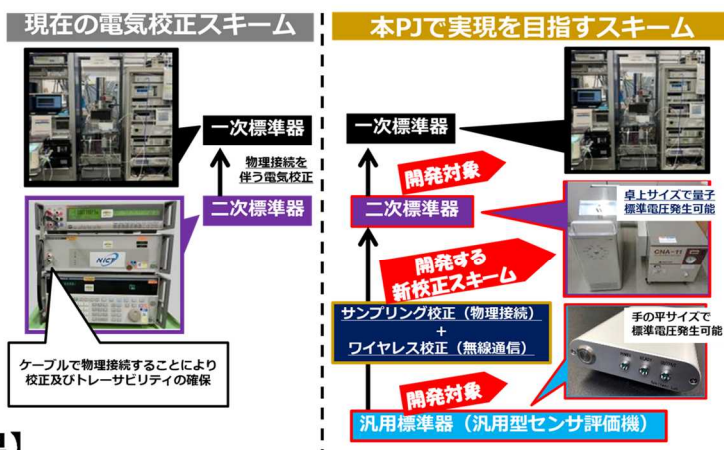
2022年度にサンプリング校正スキームを開発し、2023年度以降はワイヤレス校正及びNITEの認証を取得すべく研究開発を行うと共に、装置性能の追い込みを行う。2024年度を目途に新会社を設立し、開発した汎用型センサ評価機等の事業化に向けた資金調達を開始する予定。

(3) 成果の実用化の見通し

以下図6に、実用化に向けた考え方をまとめた。

【競合技術との優位性】

- 本プロジェクトで実現を目指しているサンプリング校正及びワイヤレス校正スキームは、**現在の電気校正スキームと一線を画す技術コンセプト**である。
- これらが実現すると、電気校正の在り方が大きく変わり、IoT/DX社会に対応可能な電気校正スキームが確立する。



【事業化に向けたヒアリング結果】

(某計測機器商社)

汎用型センサ評価機が完成したら是非取り扱わせて頂きたい。今の電気校正では校正結果がリアルタイムで担保されているわけではないので、**ユーザー側としてもどれくらいの頻度で電気校正を依頼するか悩んでいるし、電気校正を依頼するとしばらく装置を預けないといけないので非常に手間がかかっている。**

(某航空機検査メーカー)

飛行機のような非常に精度が求められ、事故が許されないセグメントにおいては各種センサに対してリアルタイムの校正が求められるため、本技術は非常に有用。

図6 共同技術との優位性及び事業化に向けたヒアリング結果まとめ

nanotech等の展示会に参加し、多くのユーザーと意見交換をした結果等を図6にまとめている。本研究開発の成果は、現在の電気校正ではフォローしきれない校正ニーズに対応できる可能性があることを示唆している。

(4) 波及効果

図4に示した通り、2022～2023年で開発を進めるサンプリング校正スキームが開発されると、全数台の汎用型センサ評価機の物理的接続を伴う校正を行う必要なくなるため、校正対象が増加しても校正精度を維持したまま、被校正対象装置の増加に対応可能となる。

さらに、ワイヤレス校正スキームが完成すると、遠隔からの電気校正が可能となるため、リアルタイムでIoT機器の信頼性の確保が可能となる。

(添付資料)

・特許論文等リスト

1. 血中成分の非侵襲連続超高感度計測デバイス及び行動変容促進システムの研究開発

【公立大学法人 富山県立大学、国立大学法人 電気通信大学、株式会社タニタ、一般財団法人マイクロマシンセンター】

表 論文、外部発表等の件数 (内訳) 【2022年3月末現在】

区分 年度	論文		その他外部発表				受賞実績
	査読付き	その他	学会発表・講演	新聞・雑誌等への掲載	展示会への出展	その他	
2019FY	0	1	6	2	4	0	0
2020FY	1	0	5	1	2	0	0
2021FY	3	0	8	1	3	0	0
合計	4	1	19	4	9	0	0

表 特許の件数 (内訳) 【2022年3月末現在】

区分 年度	特許出願		
	国内	外国	PCT 出願*
2019FY	0	0	0
2020FY	0	0	0
2021FY	5	0	0
合計	5	0	0

※Patent Cooperation Treaty :特許協力条約

【特許】

番号	出願者	出願番号	国内外 国 PCT	出願日	状態	名 称	発明者
1	株式会社タニタ	特願 2021-106990	国内	2021.6.28	出願	測定セル	小出哲
2	株式会社タニタ	特願 2021-163655	国内	2021.10.4	出願	中性脂質の測定方法	小出哲、佐藤富男
3	公立大学富山 県立大学	特願 2021-211732	国内	2021.12.24	出願	光音響波測定装置及び、光音響波	下山勲、野田堅太郎、塚越拓哉

						測定システム	
4	公立大学富山 県立大学	特願 2021-211733	国内	2021.12.24	出願	光音響波測定装置、光音響波測定システム、及び、熱型光源	下山勲、野田堅太郎、塚越拓哉
5	電気通信大学	特願 2022-031960	国内	2022.3.2	出願	光検出構造、光検出器及び光検出方法	菅哲朗 , 小林和樹 , 安永竣 , 白石正彦 , 榎隆宏

【論文】

番号	発表者	所属	タイトル	発表誌名、ページ番号	査読	発表年月
1	菅哲朗	電気通信大学	シリコン MEMS プラズモニック構造による光電氣的検出を利用したセンサの展開	応用電子物性分科会誌	無	2019.11.28
2	安永竣 ¹ 、高橋英俊 ² 、高畑智之 ¹ 、下山勲 ³ 、菅哲朗 ⁴	1:東京大学 2:慶応大学 3:富山県立大学 4:電気通信大学	Densely Arrayed Active Antennas Embedded in Vertical Nanoholes for Backside-Illuminated Silicon-Based Broadband Infrared Photodetection	Advanced Materials Interfaces	有	2020.9.17
3	M. Shiraishi ¹ , T. Enoki ¹ , K. Kobayashi ¹ , S. Yasunaga ^{1,2} , Y. Ajiki ¹ and T. Kan ¹	1:電気通信大学 2:東京大学	S/N ratio improvement of a nanocuboid array photodetector based on a Au/n-Si Schottky junction for broadband near-infrared light	Japanese Journal of Applied Physics	有	2021.5.21
4	M. Shiraishi, D. Noda, R. Ohta, T. KAN	電気通信大学	Room-temperature plasmonic mid-infrared photodetector based on PtSi/p-Si low	Applied Optics	有	2022.5 予定
5	Y. Shun, T. KAN	電気通信大学	Plasmonic mid-infrared photodetector with narrow trenches for reconstructive spectroscopy	Optics Express	有	2022.5 予定

【外部発表】

(a) 学会発表・講演

番号	発表者	所属	タイトル	会議名	発表年月
1	小出哲	タニタ	タニタの取り組み 生体情報の利用～バイオセンシング～	東京工科大学バイオ産業概論講義	2019.11.20
2	菅哲朗	電気通信大学	MEMS 技術を用いた赤外光向けセンサ・デバイスの展開	第 28 回日本赤外線学会研究発表会	2019.11.14
3	菅哲朗	電気通信大学	Plasmonics Based Photodetector Devices and Applications	Industry UCB UEC Keio Workshop 2019	2019.12.10
4	小林和樹、菅哲朗	電気通信大学	S/N Improvement of Nano-cuboid Photodetector Using Combination of Small Device Area and Converging Lens	The 33rd IEEE International Conference on Micro Electro Mechanical Systems (MEMS 2020)	2020.1.18-22
5	下山勲	富山県立大学	血中成分の非侵襲連続超高度計測デバイス及び行動変容促進システムの研究開発	MEMS センシングネットワークシステム展併設 SSN 研究会公開シンポジウム	2020.1.29
6	菅哲朗	電気通信大学	IEEE MEMS2020 報告	有機機能材料のリソグラフィ加工コンソーシアム	2020.3.3
7	黒木亮太、菅哲朗	電気通信大学	中赤外光を用いた血中脂質成分の検出技術の研究	日本機械学会 ROBOMECH2020	2020.5.28
8	榎隆宏、菅哲朗	電気通信大学	モスアイ構造を用いた Si 型赤外検出器の高感度化	日本機械学会 ROBOMECH2020	2020.5.28
9	小出哲	タニタ	タニタの取り組み 生体情報の利用～バイオセンシング～	東京工科大学バイオ産業概論講義	2020.11.18
10	菅哲朗	電気通信大学	血中成分の非侵襲連続超高度計測デバイス及び行動変容促進システムの研究開発	MEMS センシングネットワークシステム展併設 SSN 研究会公開シンポジウム	2020.12.10

11	下山 勲	富山県立大学	県立大学 DX 教育研究センターの目標と産学連携	富山県立大学研究協力会	2021.5.21
12	S.Yasunaga ² , T. Kan ¹	1:電気通信大学 2:東京大学	Narrow Trench Plasmonic Mid-Infrared Detector with Distinct Responsivity for Reconstructive Spectroscopy	21st International Conference on Solid-State Sensors, Actuators and Microsystems (Transducers)	2021.6.20
13	塚越拓哉	富山県立大学	人間情報の計測のための MEMS 技術 (1)	大学コンソーシアム富山 ヒューマンセンシング概論	2021.8.26
14	野田堅太郎	富山県立大学	人間情報の計測のための MEMS 技術 (2)	大学コンソーシアム富山 ヒューマンセンシング概論	2021.8.26
15	野田堅太郎	富山県立大学	非侵襲なヘルスケアモニタリングのためのマイクロセンサ	ヘルスケア産業研究会 第一回セミナー	2020.9.10
16	S.Yasunaga ² , T. Kan ¹	1:電気通信大学 2:東京大学	再構成分光法の特徴的な感度特性を有するプラズモニク中赤外ディテクタ	第 38 回「センサ・マイクロマシンと応用システム」シンポジウム	2021.11.9-11
17	Kentaro Noda	Toyama Prefectural University	Far infrared PAS sensor using silicon piezoresistive cantilever for continuous non-invasive blood glucose measurement	IEEE MEMS 2022	2022.1.11
18	菅哲朗 薦谷孝夫	電気通信大学 タニタ	同上	MEMS センシングネットワークシステム展併設プロジェクト成果報告会	2022.1.27
19	小池裕己	富山県立大学	血糖を計測するための光音響センサに関する研究	日本機械学会北陸信越支部 2022 年合同講演会	2022.3.4

(b)新聞・雑誌等への掲載

番号	所属	タイトル	掲載誌名	発表年月
1	富山県立大	血糖値、身体をきずつけずに計測 富山県立大が装置開発に着手	富山新聞	2019.5.15

2	マイクロマシンセンター	“人間の五感を越える革新センシング技術開発が始動”	電波新聞、2020 新年特集号	2020.1.4
3	電気通信大・富山県立大	シリコンで赤外線受光器	富山新聞、北日本新聞	2020.9.18
4	電気通信大学 東京大学	超小型・軽量・高性能なプラズモニック赤外センサの開発に成功	日刊産業新聞	2021.12.23

(c)展示会への出展

番号	所属	タイトル	展示会等	発表年月
1	塚越拓哉・野田堅太郎（富山県立大学）	人の五感や健康状態を計測するセンサ技術	北陸技術交流テクノフェア 2019	2019.10.24-25
2	塚越拓哉・野田堅太郎（富山県立大学）	人の五感や健康状態を計測するセンサ技術	富山県ものづくり総合見本市	2019.10.31-11.2
3	富山県立大、電気通信大、タニタ、マイクロマシンセンター	血中成分の非侵襲連続超高感度計測デバイス及び行動変容促進システムの研究開発の概要	MEMS センシング & ネットワークシステム展、MMC ブース	2020.01.29~31
4	塚越拓哉・野田堅太郎（富山県立大学）	富山県立大学-技術発表	MEMS センシング & ネットワークシステム展 2020	2020.01.29~31
5	野田堅太郎（富山県立大学）	高感度 MEMS 音響センサを用いたヘルスケアモニタリング	北陸技術交流テクノフェア	2020.11.1-30
6	富山県立大、電気通信大、タニタ、マイクロマシンセンター	血中成分の非侵襲連続超高感度計測デバイス及び行動変容促進システムの研究開発の概要	国際ナノテクノロジー総合展（nano tech 2021）、NEDO ブース	2020.12.9~11
7	野田堅太郎（富山県立大学）	高感度・小型 MEMS シリコンピエゾ抵抗センサのヘルスケア・機械制御への応用	富山県ものづくり総合見本市	2021.10.28
8	野田堅太郎（富山県立大学）	超高感度ピエゾ抵抗を用いたヘルスケアセンサ	Matching HUB Hokuriku2021	2021.11.11
9	富山県立大、電気通信大、タニタ、マイクロマシンセンター	血中成分の非侵襲連続超高感度計測デバイス及び行動変容促進システムの研究開発の概要	国際ナノテクノロジー総合展（nano tech 2022）、NEDO ブース	2022.1.26~28

2. 薄膜ナノ増強蛍光による経皮ガス成分の超高感度バイオ計測端末の開発

【国立大学法人東京医科歯科大学、技術研究組合 NMEMS 技術研究機構】

表 論文、外部発表等の件数（内訳） 【2021年9月末】

区分 年度	論文		その他外部発表				受賞実績
	査読付き	その他	学会発表・講演	新聞・雑誌等への掲載	展示会への出展	その他	
2019FY	0	0	4	1	2	0	0
2020FY	0	0	1	1	1	0	0
2021FY	0	0	0	1	0	0	0
合計	0	0	5	3	3	0	0

【外部発表】

(a) 学会発表・講演

番号	発表者	所属	タイトル	会議名	発表年月
1	三林浩二	東京医科歯科大学	Biofluorometric gas-imaging system (Sniff-cam) for body volatiles	SEIA' 2019: 5th International Conference on Sensors and Electronic Instrumentation	2019/9/26
2	三林浩二	東京医科歯科大学	バイオ IoT 社会のための次世代ウェアラブル生体センサ	IoT 社会実現のための革新的センシング技術開発シンポジウム	2020/1/15
3	三林浩二	東京医科歯科大学	「薄膜ナノ増強蛍光による経皮ガス成分の超高感度バイオ計測端末の開発」の概要	スマートセンシング&ネットワーク(SSN)研究会公開シンポジウム	2020/1/29
4	當麻浩司	東京医科歯科大学	外耳道経皮ガスのバイオ蛍光連続計測システム	第67回応用物理学会春季学術講演会	2020/3/12
5	三林浩二	東京医科歯科大学	医療・健康を目的とした経皮ガス成分の超高感度バイオ蛍光センシング	MEMS センシング & ネットワークシステム展 研究開発プロジェクト成	2020/12/10

				果報告会	
--	--	--	--	------	--

(b)新聞・雑誌等への掲載

番号	所属	タイトル	掲載誌名	発表年月
1	NMEMS 技術研究機構	「人間の五感を越える革新センシング技術開発が始動」の中で紹介	電波新聞 (p.16)	2020/1/8
2	東京医科歯科大学	経皮ガス計測デバイスを評価可能な清浄環境構築 —世界初、60ppt レベルの標準ガス生成により革新的な生体計測を推進—	プレス発表	2021/3/31
3	東京医科歯科大学	A clean environment that evaluates transcutaneous gas measuring devices constructed in Tokyo Medical and Dental University through a NEDO project The world's first standard gas generation at a level of 60 ppt	JST サイエンス・ジャパンのホームページ	2021/6

(c)その他

番号	所属	タイトル	媒体	発表年月
1	NMEMS 技術研究機構	薄膜ナノ増強蛍光による経皮ガス成分の超高感度バイオ計測端末の開発	センサエキスポジャパン2019 パネル展示	2019/9/11-13
2	NMEMS 技術研究機構	薄膜ナノ増強蛍光による経皮ガス成分の超高感度バイオ計測端末の開発	MEMS センシング & ネットワークシステム展 パネル展示	2020/1/29-31
3	NMEMS 技術研究機構	薄膜ナノ増強蛍光による経皮ガス成分の超高感度バイオ計測端末の開発	Nano tech 2021 展 パネル展示	2020/12/11-13

3. 1分で感染リスクを検知可能なウイルスゲートキーパーの研究開発

【国立研究開発法人産業技術総合研究所、コニカミノルタ株式会社、ワイエイシイホールディングス株式会社(株式会社ワイエイシイダステック)、国立大学法人埼玉大学】

表 論文、外部発表等の件数（内訳） 【2022年6月末現在】

区分 年度	論文		その他外部発表				受賞実績
	査読付き	その他	学会発表・講演	新聞・雑誌等への掲載	展示会への出展	その他	
2019FY	0	0	1	1	1	0	0
2020FY	0	0	2	0	0	0	0
2021FY	0	0	5	0	3	0	0
2022FY	1	0	0	1	0	1	0
合計	1	0	8	2	4	1	0

表 特許の件数（内訳） 【2022年6月末現在】

区分 年度	特許出願		
	国内	外国	PCT 出願*
2019FY	1	0	0
2020FY	3	2	1
2021FY	2	0	1
2022FY	0	0	0
合計	6	2	2

※Patent Cooperation Treaty :特許協力条約

【特許】

番号	出願者	出願番号	国内 外国 PCT	出願日	状態	名称	発明者
1	産業技術総合研究所	特願 2020-55709	国内	2020年 3月26日	公開	磁場と重力を用いる標的物質検出装置及び標的物質検出方法	安浦雅人他
2	コニカミノルタ株式会社	特願 2020-124537	国内	2020年 7月21日	公開	検出装置	伏屋健吾他

3	産業技術総合研究所	PCT/JP2021/001897	PCT	2021年 1月20日	公開	磁場と重力を用いる標的物質検出装置及び標的物質検出方法	安浦雅人他
4	コニカミノルタ株式会社	特願 2021-17420	国内	2021年 2月5日	出願	攪拌容器および攪拌装置	伏屋健吾他
5	産業技術総合研究所	特願 2021-53010	国内	2021年 3月26日	出願	ウエルアレイを用いたウイルス検出方法、ウエルアレイ及び検出装置	藤巻真他
6	コニカミノルタ株式会社	特願 2021-66294	国内	2021年 4月9日	出願	抽出装置および検査システム	伏屋健吾他
7	KONICA MINOLTA, INC.	17350301	外国 (US)	2021年 6月17日	出願	DETECTION DEVICE	Kengo Fushiya et al
8	コニカミノルタ株式会社	特願 2021-165262	国内	2021年 10月7日	出願	試料取出装置および検出システム	伏屋健吾他
9	産業技術総合研究所	PCT/JP2022/009368	PCT	2022年 3月4日	出願	ウエルアレイを用いたウイルス検出方法、ウエルアレイ及び検出装置	藤巻真他
10	KONICA MINOLTA, INC.	17690082	外国 (US)	2022年 3月9日	出願	EXTRACTION DEVICE AND TEST SYSTEM	Kengo Fushiya et al

(Patent Cooperation Treaty: 特許協力条約)

【論文】

番号	発表者	所属	タイトル	発表誌名、ページ番号	査読	発表年月
1	Hiroki Ashiba,	産業技術総合	Quick and ultra-sensitive digital assay of influenza	Analytica Chimica Acta	有	2022年 5月

Masato Yasuura, Takashi Fukuda, Ken Hatano, Makoto Fujimaki	研 究 所、埼 玉大学	virus using sub-picoliter microwells	Vol.1213, p.339926		
--	-------------------	---	-----------------------	--	--

【外部発表】

(a) 学会発表・講演

番号	発表者	所属	タイトル	会議名	発表年月
1	門馬雄彦、小 山哲夫、松下 隆彦、松岡浩 司、幡野健	埼玉大学	蛍光増感型インフルエンザ検 出薬の高感度化	第 46 回有機典型元素化学 討論会	2019 年 12 月
2	芦葉裕樹、安 浦雅人、藤巻 真	産業技術 総合研究 所	MUNANA を用いた免疫ビーズ 上へのウイルス粒子捕捉効率 評価	第 81 回応用物理学会秋季 学術講演会	2020 年 9 月
3	芦葉裕樹、安 浦雅人、藤巻 真	産業技術 総合研究 所	免疫ビーズ上へのウイルス粒 子捕捉効率の理論評価と MUNANA 測定	第 68 回応用物理学会春季 学術講演会	2021 年 3 月
4	H. Ashiba, M. Yasuura, T. Fukuda, M. Fujimaki	産業技術 総合研究 所	Evaluation of virion capturing efficiency of immunobeads based on kinetics and viral enzyme activity	31st Anniversary World Congress on Biosensors	2021 年 7 月
5	藤巻真	産業技術 総合研究 所	ウイルス粒子「見える化」技術	一般社団法人日本オプト メカトロニクス協会 2021-2 デジタル・イメー ジング技術部会	2021 年 10 月
6	安浦雅人、芦 葉裕樹、福田 隆史	産業技術 総合研究 所	qPCR を用いたウイルス検出用 抗体修飾磁性粒子の捕集効率 評価	第 38 回「センサ・マイク ロマシンと応用システム」 シンポジウム	2021 年 11 月
7	藤巻真	産業技術 総合研究 所	近接場光学を用いた高機能バ イオセンシング技術	応用物理学会 薄膜・表面 物理分科会 第 50 回 薄 膜・表面物理 基礎講座	2021 年 11 月
8	福田隆史	産業技術	安心・安全のためのウイルスセ	日本計量機器工業連合会	2022 年

		総合研究 所	ンシング	新技術導入・活用研究会	1月
--	--	-----------	------	-------------	----

(b)新聞・雑誌等への掲載

番号	所属	タイトル	掲載誌名	発表年月
1	産業技術総合研究所	ウイルス検出法開発 「1分で分析」めざす	日本経済新聞	2020年 2月
2	産業技術総合研究所	ウイルス検出を高速化	電気新聞	2022年 5月

(c)その他（同様の形式で表を作成する）

番号	所属	タイトル	発表方法	発表年月
1	産業技術総合研究所	「測定時間1分」と「超高感度」、 2種のウイルス検出法を開発 —感染リスクの“その場検査”実現に期待—	プレス発表	2022年 5月
2	産業技術総合研究所 コニカミノルタ株式会社 株式会社ワイエイシ イダステック 埼玉大学	nano tech 2020 (NEDO ブース展示)	展示会	2020年 1月
3	産業技術総合研究所	第30回日本コンピュータ外科学 会大会（ブース展示）	展示会	2021年 11月
4	産業技術総合研究所 コニカミノルタ株式 会社 株式会社ワイエイシ イダステック 埼玉大学	BioJapan2021 (NEDO ブース展示)	展示会	2021年 10月
5	産業技術総合研究所 コニカミノルタ株式 会社 株式会社ワイエイシ イダステック 埼玉大学	nano tech 2022 (NEDO ブース展示)	展示会	2022年 1月

4. 次世代公共インフラ実現に向けた高密度センサ配置による微小量信号計測技術の研究開発

【国立大学法人大阪大学、国立大学法人神戸大学、東電設計株式会社、東電タウンプランニング株式会社】

表 論文、外部発表等の件数（内訳） 【2022年3月末現在】

区分 年度	論文		その他外部発表				受賞実績
	査読付き	その他	学会発表・講演	新聞・雑誌等への掲載	展示会への出展	その他	
2019FY	0	0	0	0	0	0	0
2020FY	1	0	3	0	1	0	0
2021FY	0	0	3	0	1	0	0
合計	1	0	6	0	2	0	0

表 特許の件数（内訳） 【2022年3月末現在】

区分 年度	特許出願		
	国内	外国	PCT出願※
2019FY	0	0	0
2020FY	0	0	0
2021FY	4	0	0
合計	4	0	0

※Patent Cooperation Treaty :特許協力条約

【特許】

番号	出願者	出願番号	国内外国 PCT	出願日	状態	名称	発明者
1	東電設計株式会社、東電タウンプランニング株式会社、国立研究開発法人防災科学技術	2022-057284	国内	2022.3.30	出願継続中	災害情報取得装置及び災害情報取得システム（システム全体）	瀬下雄一 他

	研究所						
2	東電設計株式会社，東電タウンプランニング株式会社，国立研究開発法人防災科学技術研究所	2022-057285	国内	2022.3.30	出願継続中	災害情報取得装置及び災害情報取得システム（風速算出）	瀬下雄一 他
3	東電設計株式会社，東電タウンプランニング株式会社，国立研究開発法人防災科学技術研究所	2022-057286	国内	2022.3.30	出願継続中	災害情報取得装置及び災害情報取得システム（降雨強度算出）	瀬下雄一 他
4	東電設計株式会社，東電タウンプランニング株式会社，国立研究開発法人防災科学技術研究所	2022-057287	国内	2022.3.30	出願継続中	災害情報取得装置及び災害情報取得システム（土砂災害検出）	瀬下雄一 他

(Patent Cooperation Treaty: 特許協力条約)

【論文】

番号	発表者	所属	タイトル	発表誌名、ページ番号	査読	発表年月
1	ISHII T., Y. Yoshikawa, S. Izumi, and H. Kawaguchi	Kobe University	Subcentimeter Precision Ranging System for Moving Targets with a Doppler-Effect-Compensated Ultrasonic Direct Sequence Spread Spectrum	IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement (TIM), vol. 70, no. 9505008. pp. 1-8	有	2021/1

【外部発表】

(a) 学会発表・講演

番号	発表者	所属	タイトル	会議名	発表年月
1	野田祐樹	大阪大学	コンクリートインフラ構造物ヘルスケアモニタリングに向けた振動センサ開発	COMSOL CONFERENCE 2020, オンライン開催	2020.12.4
2	野田祐樹	大阪大学	有機強誘電体・圧電体の科学からインフラ構造物ヘルスケア応用へ	2020年度第4回PE研究会	2021.03.19
3	ISHII T., Y. Yoshikawa, S. Izumi, and H. Kawaguchi	Kobe University	Doppler shift compensation technique for ultrasonic DSSS ranging system	IEEE International Instrumentation and Measurement Technology Conference (I2MTC)	May 2020
4	Y. Yoshikawa, Y. Yasuda, ISHII T., S. Izumi, and H.	Kobe University	12.5-m Distance Measurement in High-Interference Environment Using Ultrasonic Array Sensors	IEEE International Instrumentation and Measurement Technology	May 2021

	Kawaguchi			Conference (I2MTC)	
5	北爪貴史, 栗田哲史, 酒井直樹, 山野辺慎一	東電設計 株式会社	土砂流動実験による 地盤振動計測の概要 (その1)	日本地すべり学 会 第60回研究発表 会	2021.09.
6	栗田哲史, 北爪貴史, 酒井直樹, 山野辺慎一	東電設計 株式会社	土砂流動実験による 地盤振動計測の概要 (その2)	日本地すべり学 会 第60回研究発表 会	2021.09.

(c)その他 (同様の形式で表を作成する)

番号	所属	タイトル	展示会	発表年月
1	大阪大学、神戸大学、 東電設計株式会社、 東電タウンプランニ ング株式会社	シート型マルチ情報センサ収集シ ステム	nano tech 2021 国際ナノテクノロ ジー総合展・技術 会議	2020/12/9-12/11
2	大阪大学、神戸大学、 東電設計株式会社、 東電タウンプランニ ング株式会社	シート型マルチ情報センサ収集シ ステム	nano tech 2022 国際ナノテクノロ ジー総合展・技術 会議	2022/1/26-1/28

5. 極限環境の液体管理をIoT化する革新的粘性センサの開発

【国立研究開発法人産業技術総合研究所、ヤマシンフィルタ株式会社】

表 論文、外部発表等の件数（内訳） 【2022年3月末現在】

区分 年度	論文		その他外部発表				受賞実績
	査読付き	その他	学会発表・講演	新聞・雑誌等への掲載	展示会への出展	その他	
2020FY	0	0	0	0	0	0	0
2021FY	0	0	1	0	0	0	0
合計	0	0	1	0	0	0	0

【外部発表】

(a) 学会発表・講演

番号	発表者	所属	タイトル	会議名	発表年月
1	山本泰之, 松壮平, 岡本有貴, 一木正聡, 小林健	産業技術総合研究所	PZT 薄膜アクチュエータから PZT 薄膜変位センサへのノイズ伝播の解析	第69回応用物理学会春季学術講演会 (25p-E305-12)	2022.3

6. 高速・高 SNR 撮像素子による流体濃度分布その場計測デバイスの開発

【国立大学法人東北大学、アストロデザイン株式会社、株式会社フジキン】

表 論文、外部発表等の件数（内訳） 【2022年4月末現在】

区分 年度	論文		その他外部発表				受賞実績
	査読付き	その他	学会発表・講演	新聞・雑誌等への掲載	展示会への出展	その他	
2020FY	0	0	6	0	0	0	0
2021FY	1	1	5	0	0	0	2
2022FY	0	0	0	0	1	0	0
合計	1	1	11	0	1	0	2

【論文】

番号	発表者	所属	タイトル	発表誌名、ページ番号	査読	発表年月
1	須川 成利、黒田 理人	東北大学	CMOS イメージセンサの感度・飽和・撮影速度・分光感度帯域性能の追究	映像情報メディア学会誌 75 (6) 729-733	無	2021/11
2	Tetsu Oikawa, Rihito Kuroda, Keigo Takahashi, Yoshinobu Shiba, Yasuyuki Fujihara, Hiroya Shike, Maasa Murata, Chia-Chi Kuo, Yhang Ricardo	東北大学・株式会社フジキン	A 1000fps High SNR Voltage-domain Global Shutter CMOS Image Sensor with Two-stage LOFIC for In-Situ Fluid Concentration Distribution Measurements	2021 International Image Sensor Workshop, pp.258-261	有	2021/09

Sipauba Carvalho da Silva, Tetsuya Goto, Tomoyuki Suwa, Tatsuro Morimoto, Yasuyuki Shirai, Masaaki Nagase, Nobukazu Ikeda, and Shigetoshi Sugawa					
--	--	--	--	--	--

【外部発表】

(a) 学会発表・講演

番号	発表者	所属	タイトル	会議名	発表年月
1	黒田 理人	東北大学	[依頼講演]超高速イメージセンサ、紫外域イメージセンサ技術	JEITA 第4回「新機能イメージングデバイスおよび周辺技術分科会」	2020/10
2	黒田 理人	東北大学	[招待講演]半導体デバイスにおける欠陥評価～イメージセンサ・欠陥・プロセス～	応用物理学会プラズマエレクトロニクス分科会第34回プラズマ新領域研究会	2020/10
3	後藤 哲也	東北大学	[特別講演]半導体製造用成膜プロセスの高性能化に向けた取組み	第32回マイクロエレクトロニクス研究会	2020/11
4	須川 成利	東北大学	[招待講演]CMOS イメージセンサの感度・飽和・撮影速度・分光感度帯域性能の追究	映像情報メディア学会創立70周年記念大会	2020/12
5	後藤 哲也	東北大学	[展望講演]プラズマ成膜技術の将来展望	化学工学会 第51回秋季大会	2020/9

6	須川 成利	東北大学	[招待講演]CMOS イメージセンサの広ダイナミックレンジ・高速・広分光感度性能の追究	電気化学会半導体・集積回路技術シンポジウム	2020/9
7	須川 成利	東北大学	[招待講演]CMOS イメージセンサの感度・ダイナミックレンジ・撮影速度・光波長帯域性能の追究	東北大学 電気・情報 産官学フォーラム 2021	2021/10
8	及川哲 黒田理人 高橋圭吾 志波良信 藤原康行 四家寛也 村田真麻 郭家祺	東北大学・株式会社フジキン	流体濃度分布その場計測へ向けた 1000 fps 高 SNR グローバルシャッタ CMOS イメージセンサ	映像情報メディア学会技術報告・情報センシング研究会	2021/10
9	黒田 理人	東北大学	[招待講演]流体濃度分布その場計測デバイスと高精度近接容量 CMOS イメージセンサ技術	第 194 回 次世代画像ビジョンシステム部会定例会	2021/11
10	黒田 理人	東北大学	[Invited] A High SNR Wide Spectral Response CMOS Image Sensor Technology for Smart Sensing	IEEE The International Symposium on Devices, Circuits and Systems (ISDCS)	2021/03
11	黒田 理人	東北大学	[招待講演]CMOS イメージセンサの最新動向	新化学技術推進協会 電子情報技術部会ナノフォトニクスエレクトロニクス交流会勉強会	2021/09

(c)その他 (受賞)

番号	氏名	所属	受賞名	受賞年月
1	黒田 理人	東北大学	RIEC Award 東北大学研究者賞	2021/02
2	及川 哲	東北大学	2021 IISW BEST STUDENT PAPER AWARD	2021/09
3	東北大学・アストロ	高速・高SNR撮像素子による	nano tech 2022	2022/02

	デザイン株式会社・ 株式会社フジキン	流体濃度分布その場計測デバイ スの開発		
--	-----------------------	------------------------	--	--

7. 波長掃引中赤外レーザーによる次世代火山ガス防災技術の研究開発

【浜松ホトニクス株式会社、国立研究開発法人産業技術総合研究所】

表 論文、外部発表等の件数（内訳） 【2022年3月末現在】

区分 年度	論文		その他外部発表				受賞実績
	査読付き	その他	学会発表・講演	新聞・雑誌等への掲載	展示会への出展	その他	
2020FY	0	0	0	0	0	0	0
2021FY	0	0	3	1	3	2	1
合計	0	0	3	1	3	2	1

表 特許の件数（内訳） 【2022年3月末現在】

区分 年度	特許出願		
	国内	外国	PCT 出願*
2020FY	5	0	0
2021FY	1	10	0
合計	6	10	0

※Patent Cooperation Treaty :特許協力条約

【特許】

番号	出願者	出願番号	国内外 国 PCT	出願日	状態	名 称	発明者
1	浜松ホトニクス株式会社	2021-027525	国内	2021.2.24	出願継続中	外部共振型レーザーモジュール	枝村忠孝 他
2	浜松ホトニクス株式会社	2021-027527	国内	2021.2.24	出願継続中	外部共振型レーザーモジュール	杉山厚志 他
3	浜松ホトニクス株式会社	2021-027507	国内	2021.2.24	出願継続中	外部共振型レーザーモジュール、及び外部共振型レーザーモジュールの製造方法	杉山厚志 他
4	浜松ホトニクス株式会社	2021-027509	国内	2021.2.24	出願継続中	外部共振型レーザーモジュール	杉山厚志 他
5	浜松ホトニクス株式会社	2021-027509	国内	2021.2.24	出願継続中	外部共振型レーザーモジュール	杉山厚志 他

	ス株式会社	27512			続中	モジュール	
6	浜松ホトニクス株式会社	17/672758(US)	外国米	2022.2.16	出願継続中	EXTERNAL RESONANT LASER MODULE AND METHOD OF MANUFACTURING EXTERNAL RESONANT LASER MODULE	杉山厚志 他
7	浜松ホトニクス株式会社	102022104150.6(DE)	外国独	2022.2.22	出願継続中	EXTERNAL RESONANT LASER MODULE AND METHOD OF MANUFACTURING EXTERNAL RESONANT LASER MODULE	杉山厚志 他
8	浜松ホトニクス株式会社	17/672772(US)	外国米	2022.2.16	出願継続中	EXTERNAL RESONANT LASER MODULE	杉山厚志 他
9	浜松ホトニクス株式会社	102022104143.3(DE)	外国独	2022.2.22	出願継続中	EXTERNAL RESONANT LASER MODULE	杉山厚志 他
10	浜松ホトニクス株式会社	17/672768(US)	外国米	2022.2.16	出願継続中	EXTERNAL RESONANT LASER MODULE	杉山厚志 他
11	浜松ホトニクス株式会社	2022-025994	国内	2022.2.22	出願継続中	外部共振型レーザモジュール	杉山厚志 他

12	浜松ホトニクス株式会社	102022 10414 9.2 (DE)	外国 独	2022.2.22	出願継続中	EXTERNAL RESONANT LASER MODULE	杉山厚志 他
13	浜松ホトニクス株式会社	17/675 166 (US)	外国 米	2022.2.18	出願継続中	EXTERNAL RESONANCE -TYPE LASER MODULE	枝村忠孝 他
14	浜松ホトニクス株式会社	102022 10413 9.5 (DE)	外国 独	2022.2.22	出願継続中	EXTERNAL RESONANCE -TYPE LASER MODULE	枝村忠孝 他
15	浜松ホトニクス株式会社	17/675 197 (US)	外国 米	2022.2.18	出願継続中	EXTERNAL RESONANCE -TYPE LASER MODULE	杉山厚志 他
16	浜松ホトニクス株式会社	102022 10414 1.7 (DE)	外国 独	2022.2.22	出願継続中	EXTERNAL RESONANCE -TYPE LASER MODULE	杉山厚志 他

(Patent Cooperation Treaty: 特許協力条約)

【外部発表】

(a) 学会発表・講演

番号	発表者	所属	タイトル	会議名	発表年月
1	秋草直大、杉山厚志、落合隆英、枝村忠孝、古川裕光	浜松ホトニクス株式会社 国立研究開発法人 産業技術総合研究所	MOEMS technology based compact and robust broadband wavelength-swept mid-infrared quantum cascade laser	微小光学国際会議	2021.9
2	杉山厚志、落	浜松ホトニ	超小型波長掃引量子カスケード	マイクロシステム	2021.11

	合隆英、秋草直大、枝村忠孝、古川裕光	クス株式会社 国立研究開発法人 産業技術総合研究所	レーザーの開発	融合研究会	
3	枝村忠孝	浜松ホトニクス株式会社	波長掃引量子カスケードレーザーによる火山ガスの分光分析	応用物理学会 特別Webコラム	2021.12

(b)新聞・雑誌等への掲載

番号	所属	タイトル	掲載誌名	発表年月
1	浜松ホトニクス株式会社	世界最小、指先サイズの波長掃引量子カスケードレーザーを開発	プレスリリース	2021.8

(c)その他

番号	成果区分	成果概要	発表年月
1	受賞実績	微小光学国際会議 The MOC Paper Award	2021.10
2	その他	大阪大学 2022 ナノ理工学セミナー	2021.10
3	展示会への出展	CEATEC JAPAN 技術展示	2021.11
4	展示会への出展	JASIS 2021 技術展示	2021.11
5	展示会への出展	Nanotech JAPAN 技術展示	2022.1
6	その他	光アライアンス（日本工業出版）	2022.3

8. 高真空ウエハレベルパッケージングを適用した MEMS センサーの研究開発

【国立大学法人東北大学、ソニーセミコンダクタマニュファクチャリング株式会社】

表 論文、外部発表等の件数（内訳） 【2022年3月末現在】

区分 年度	論文		その他外部発表				受賞実績
	査読付き	その他	学会発表・講演	新聞・雑誌等への掲載	展示会への出展	その他	
2020FY	0	0	1	0	0	0	0
2021FY	0	0	4	0	0	0	0
合計	0	0	5	0	0	0	0

【外部発表】

(a) 学会発表・講演

番号	発表者	所属	タイトル	会議名	発表年月
1	鈴木大貴 鈴木裕輝夫 小島俊哉 金森義明 田中秀治	東北大学	シリコンマイグレーション効果を用いたウエハレベル高真空パッケージングの封止プロセス技術と配線構造の提案	センサ・マイクロマシンと応用システム」シンポジウム	2020/10/26
2	Gong Tianjiao 鈴木 裕輝夫 田中 秀治	東北大学	サブマイクロホール径 0.4 μm を介したベーパーHFの SiO ₂ 犠牲層エッチング特性	日本機械学会第12回マイクロ・ナノ工学シンポジウム	2021/11/09
3	鈴木大貴 鈴木裕輝夫 金森義明 田中秀治	東北大学	シリコンマイグレーションシール (SMS)における真空封止向上のためのプロセス最適化	日本機械学会第12回マイクロ・ナノ工学シンポジウム	2021/11/10
4	鈴木裕輝夫 本田志弥 鈴木大貴 宮下英俊 田中秀治	東北大学 /SCK	シリコンマイグレーションシール (SMS)低温化のためのリリースホール形状の最適化	センサ・マイクロマシンと応用システム」シンポジウム	2021/11/09
5	Hiroataka Suzuki Yukio Suzuki	東北大学	IMPROVED VACUUM LEVEL OF SILICON-MIGRATION-SEALED	IEEE MEMS	2022/01/10

	Yoshiaki Kanamori Shuji Tanaka		CAVITY BY HYDROGEN DIFFUSION ANNEALING FOR WAFER-LEVEL PACKAGING FOR MEMS		
--	--------------------------------------	--	--	--	--

9. 大気中電子放出イオン化によるIMS呼気分析システムの研究開発

【シャープ株式会社、株式会社ダイナコム、国立大学法人奈良国立大学機構奈良女子大学、国立研究開発法人理化学研究所、国立大学法人鳥取大学】

表 論文、外部発表等の件数（内訳） 【2022年3月末現在】

区分 年度	論文		その他外部発表				受賞実績
	査読付き	その他	学会発表・講演	新聞・雑誌等への掲載	展示会への出展	その他	
2020FY	0	0	0	0	0	0	0
2021FY	0	0	3	0	2	0	0
合計	0	0	3	0	2	0	0

表 特許の件数（内訳） 【2022年3月末現在】

区分 年度	特許出願		
	国内	外国	PCT出願※
2020FY	0	0	0
2021FY	3	0	0
合計	3	0	0

※Patent Cooperation Treaty :特許協力条約

【特許】

番号	出願者	出願番号	国内外 国 PCT	出願日	状態	名称	発明者
1	シャープ (株)	特願 2022-028359	国内	2022/02/25	出願	IMS分析装置	鴻丸翔平、他
2	シャープ (株)	特願 2022-059844	国内	2022/03/31	出願	IMS分析装置 及びIMS分析方法	松尾俊輔、他
3	鳥取大学	特願 2021-190212	国内	2021/11/24	出願	呼気捕獲装置	李相錫、他

(Patent Cooperation Treaty: 特許協力条約)

【外部発表】

(a) 学会発表・講演

番号	発表者	所属	タイトル	会議名	発表年月
1	李相錫	鳥取大学	A MICROPRECONCENTRATOR BASED BREATH ANALYSIS METHOD FOR DISEASE DIAGNOSIS FOR DISEASE DIAGNOSIS	The 5th International Workshop on MEMS and Sensor System 2021 (IWMS 2021)	2021/11/30
2	李相錫	鳥取大学	マイクロ予備濃縮器を用いた 犬の呼気分析	第 69 回応用物理学会 春季学術講演会	2022/03/25
3	竹内孝江	奈良女子 大学	大気圧イオン化イオン移動度 分析法による気相有機イオン の生成過程の研究～微生物由 来揮発性代謝物質および呼気 分析へのアプローチ～	独立行政法人日本学 術振興会 R026 先端 計測技術の将来設計 委員会第 8 回研究会	2022/03/1

(c) その他（同様の形式で表を作成する）

番号	所属	タイトル	イベント・展示会名	発表年月
1	鳥取大学	Micropreconcentrator Based Breath Analysis	IIFES (Innovative Industry Fair for E×E Solutions) 2022	2022/01/26
2	鳥取大学	Micropreconcentrator Based Breath Analysis	SEMICON Japan 2021	2021/12/15

10. 超微小量センシング信頼性評価技術開発

【国立研究開発法人産業技術総合研究所】

表 論文、外部発表等の件数（内訳） 【2022年3月末現在】

区分 年度	論文		その他外部発表				受賞実績
	査読付き	その他	学会発表・講演	新聞・雑誌等への掲載	展示会への出展	その他	
2019FY	0	0	0	0	0	0	0
2020FY	3	0	3	0	0	0	0
2021FY	6	0	21	1	3	1	1
合計	9	0	24	1	3	1	1

【論文】

番号	発表者	所属	タイトル	発表誌名、ページ番号	査読	発表年月
1	Kyusung Kim、崔弼圭、伊藤敏雄、増田佳丈	国立研究開発法人産業技術総合研究所	Catalyst-free Highly Sensitive SnO ₂ Nanosheet Gas Sensors for Parts per Billion-Level Detection of Acetone	ACS Appl. Mater. Interf. 12 (46) 51637-51644	有	2020/11/4
2	下田智文、穀山渉、野里英明	国立研究開発法人産業技術総合研究所	A low-acceleration measurement using anti-vibration table with low-frequency resonance	ACTA IMEKO 9 (5) 369-373	有	2020/12
3	野里英明、穀山渉、下田智文、稲場肇	国立研究開発法人産業技術総合研究所	Calibration of laser Doppler vibrometer and laser interferometers in high-frequency regions using electro-optical modulator	Precis. Eng. 70 135-144	有	2021/2/11
4	Kyusung Kim, 蔡尚佑, 崔弼圭, 伊	国立研究開発法人産業技術	Facile synthesis of ZnO nanobullets by solution plasma without chemical additives	RSC Adv. 2021 11 26785	有	2021/8/5

	藤 敏 雄 , 齋 藤 永 宏 , 増 田 佳 丈	総合研 究所				
5	下田智文、 穀山渉、野 里英明	国立研 究開発 法人産 業技術 総合研 究所	Primary calibration system for digital accelerometers	Metrologia 58 (4) 45002	有	2021/6/24
6	野里英明、 下田智文、 穀山渉	国立研 究開発 法人産 業技術 総合研 究所	DEPENDENCE OF FREQUENCY RESPONSE ON DIFFERENT VELOCITY SENSITIVITIES OF LASER DOPPLER VIBROMETER	Measurement: Sensors 18 100301	有	2021/9/28
7	穀山渉、下 田智文、野 里英明	国立研 究開発 法人産 業技術 総合研 究所	Vibration measurement without the Heydemann correction	Measurement: Sensors 18 100136	有	2021/9/28
8	下田智文、 穀山渉、野 里英明	国立研 究開発 法人産 業技術 総合研 究所	Noise reduction of calibration system for micro-vibration measurement	Measurement: Sensors 18 100138	有	2021/9/22
9	Thanh- Vinh Nguyen、 一木正聡	国立研 究開発 法人産 業技術 総合研 究所	Mask-Type Sensor for Pulse Wave and Respiration Measurements and Eye Blink Detection	Metrologia 21(14) 4895	有	2021/7/19

【外部発表】

(a) 学会発表・講演

番号	発表者	所属	タイトル	会議名	発表年月
1	穀山渉、下田智文、野里英明	国立研究開発法人産業技術総合研究所	デジタル位相計を導入したヘテロダインレーザ干渉計による微小振動計測	2020年度 NMIJ 成果発表会	2021/2/1
2	下田智文、穀山渉、野里英明、草野善照	国立研究開発法人産業技術総合研究所	微小振動計測の信頼性評価に向けた振動校正システムの背景雑音低減	2020年度 NMIJ 成果発表会	2021/2/1
3	野里英明、穀山渉、下田智文、三森弘美	国立研究開発法人産業技術総合研究所	電気光学変調器を用いたレーザドップラ振動計およびレーザ干渉計の周波数応答に関する評価	2020年度 NMIJ 成果発表会	2021/2/1
4	Kyusung Kim、崔弼圭、伊藤敏雄、増田佳丈	国立研究開発法人産業技術総合研究所	多孔性 CuO アセトンガスセンサの感度に与える配位不飽和部位の影響	日本セラミックス協会第 34 回秋季シンポジウム	2021/9/2
5	Kyusung Kim、崔弼圭、伊藤敏雄、増田佳丈	国立研究開発法人産業技術総合研究所	Ultra-highly sensitive SnO ₂ Nanosheet Catalyst-Free Acetone Gas Sensor	Interfinish 2020	2021/9/7
6	増田佳丈、崔弼圭、Kyusung Kim、伊藤敏雄	国立研究開発法人産業技術総合研究所	{101} 面呈示 SnO ₂ の常温結晶化・形態制御とガスセンサへの展開	日本セラミックス協会第 34 回秋季シンポジウム	2021/9/2
7	崔弼圭、増田佳丈	国立研究開発法人産業技術総合研究所	薄膜構造設計及び表面機能層の導入によるセンサ特性改善	日本セラミックス協会第 34 回秋季シンポジウム	2021/9/2

8	渡邊卓朗、李鵬、下坂琢哉	国立研究 開発法人 産業技術 総合研究 所	生体ガス等測定用高湿度 VOC 標準ガス発生装置の開 発	日本分析化学会第 70 年会	2021/9/23
9	増田佳丈、崔弼圭、 Kyusung Kim、伊藤敏 雄	国立研究 開発法人 産業技術 総合研究 所	酸化スズナノシートの常温 結晶化・ファセット制御とガ スセンサ応用	第 69 回化学センサ 研究発表会	2021/9/8
10	増田佳丈、崔弼圭、金奎成、伊藤敏雄	国立研究 開発法人 産業技術 総合研究 所	自己組織化プロセス・低温プ ロセスによるセラミックス ナノ構造体の作製とセンサ 等への展開	第 41 回エレクトロ セラミックス研究討 論会	2021/11/5
11	野里英明、下田智文、穀山渉	国立研究 開発法人 産業技術 総合研究 所	DEPENDENCE OF FREQUENCY RESPONSE ON DIFFERENT VELOCITY SENSITIVITIES OF LASER DOPPLER VIBROMETER	XXIII IMEKO World Congress	2021/8/30
12	穀山渉、下田智文、野里英明	国立研究 開発法人 産業技術 総合研究 所	VIBRATION MEASUREMENT WITHOUT HEYDEMANN CORRECTION	XXIII IMEKO World Congress	2021/8/30
13	下田智文、穀山渉、野里英明	国立研究 開発法人 産業技術 総合研究 所	Noise reduction of calibration system for micro-vibration measurement	XXIII IMEKO World Congress	2021/8/30
14	Thanh-Vinh Nguyen, 加納伸也, 武居淳, 一木正聡	国立研究 開発法人 産業技術 総合研究 所	FORCE SENSOR USING IONIC LIQUID CAPILLARY BRIDGE	The 21st International Conference on Solid-State Sensors, Actuators and Microsystems (Transducers2021)	2021/6/20
15	Thanh-Vinh Nguyen, 加	国立研究 開発法人	A BAND-AID TYPE SENSOR FOR WEARABLE	The 21st International	2021/6/23

	納伸也, 武居淳, 一木正聡	産業技術総合研究所	PHYSIOLOGICAL MONITORING	Conference on Solid-State Sensors, Actuators and Microsystems (Transducers2021)	
16	グェンタン・ヴィン、岡本有貴、一木正聡	国立研究開発法人産業技術総合研究所	MEMS カンチレバーを用いた高性能音響評価技術	第38回「センサ・マイクロマシンと応用システム」シンポジウム	2021/11/10
17	Thanh-Vinh Nguyen, 岡本有貴, 竹下俊弘, 竹井裕介, 岡田浩尚, Khoa Nguyen, Hoang-Phuong Phan, 一木正聡	国立研究開発法人産業技術総合研究所	HIGHLY SENSITIVE LOW-FREQUENCY ACOUSTIC SENSOR USING PIEZORESISTIVE CANTILEVER	The 35th IEEE International Conference on Micro Electro Mechanical Systems (IEEE MEMS 2022)	2022/1/9
18	Kyusung Kim, 崔弼圭, 伊藤敏雄, 増田佳丈	国立研究開発法人産業技術総合研究所	Fabrication of Porous ZnO Nanobelt with Atomic Step for Ultra-sensitive Gas Sensor	日本セラミックス協会 基礎科学討論会 (International Session)	2022/1/9
19	増田佳丈、崔弼圭、Kyusung Kim、伊藤敏雄	国立研究開発法人産業技術総合研究所	Cold Crystallization and Morphology Control of SnO2 Nanosheets, TiO2, and ZnO for Gas Sensors and Chemical Sensors	ICACC 2022	2022/1/24
20	柴山祥枝、大角友希子、加藤愛	国立研究開発法人産業技術総合研究所	タンパク質認証標準物質を用いた超高感度 EILSA システムの定量性評価	日本薬学会第142年会	2022/3/25
21	藤井紳一郎	国立研究開発法人	高分子核酸の不純物分析技術の開発	NMIJ2021 年度成果発表会	2022/1/31

		産業技術 総合研究 所			
22	長谷川丈真	国立研究 開発法人 産業技術 総合研究 所	デジタル ELISA によるウイ ルス高感度測定方法の確立 に向けた抗体のスクリーニ ング	NMIJ2021 年度成果 発表会	2022/1/31
23	渡邊卓朗、李 鵬、下坂琢哉	国立研究 開発法人 産業技術 総合研究 所	Development of a standard gas generation system for analysis of high-humidity bio-derived gases	The 2021 International Chemical Congress of Pacific Basin Societies (Pacifichem 2021)	2021/12/20
24	渡邊卓朗、李 鵬、下坂琢哉	国立研究 開発法人 産業技術 総合研究 所	高湿度 VOC 標準ガス発生装 置の開発	2021 年度 NMIJ 成 果発表会	2022/1/31

(b)新聞・雑誌等への掲載

番号	所属	タイトル	掲載誌名	発表年月
1	国立研究開発法人産 業技術総合研究所	次世代センサ技術と信頼性評価 技術の方向性	一般社団法人日本 計量機器工業連合 会広報誌「はかる」, 38 p.10	2021/7/15

(c)その他（同様の形式で表を作成する）

番号				
1	国立研究開発法人産 業技術総合研究所	超微量センシング信頼性評価 技術	Smart Sensing 2021	2021/10/27-29
2	国立研究開発法人産 業技術総合研究所	超微量センシング信頼性評価 技術	JASIS 2021	2021/11/8-10
3	国立研究開発法人産 業技術総合研究所	超微量センシング信頼性評価 技術	Nano tech 2022	2022/1/26-28
4	国立研究開発法人産 業技術総合研究所	レーザーによるスペクトル取得 高速化プログラム	著作権 登録番号	2021/6/11

			2021PRO-2680	
5	国立研究開発法人産 業技術総合研究所	受賞：発表賞 (Kysung Kim)	日本セラミックス 協会 基礎科学討論 会	2022/1/8-9

11. 量子現象に基づくトレーサビリティが確保されたワイヤレス機器校正ネットワークの研究開発

【国立大学法人大阪大学、国立大学法人神戸大学、国立研究開発法人産業技術総合研究所】

表 論文、外部発表等の件数（内訳） 【2022年3月末現在】

区分 年度	論文		その他外部発表				受賞実績
	査読付き	その他	学会発表・講演	新聞・雑誌等への掲載	展示会への出展	その他	
2020FY	0	0	0	0	0	0	0
2021FY	0	0	1	0	1	0	0
合計	0	0	1	0	1	0	0

表 特許の件数（内訳） 【2022年3月末現在】

区分 年度	特許出願		
	国内	外国	PCT 出願*
2020FY	0	0	0
2021FY	1	0	0
合計	1	0	0

※Patent Cooperation Treaty :特許協力条約

【特許】

番号	出願者	出願番号	国内外 国 PCT	出願日	状態	名 称	発明者
1	国立大学法人 大阪大学	特願 2022-047990	国内	2022/3/24	出願	処理装置及び出力装置 処理装置及び出力装置	鶴田修一、根津俊一、大田裕

(Patent Cooperation Treaty: 特許協力条約)

【外部発表】

(a) 学会発表・講演

番号	発表者	所属	タイトル	会議名	発表年月
1	M. Maruyama, et al	国立研究開発法人 産業技術	Development Of Josephson Voltage Standard Systems Toward	International Symposium on Superconductivity	2021/12

		総合研究 所	Reliability Improvement of IoT Sensors	(ISS 2022)	
--	--	-----------	---	------------	--

(c)その他（同様の形式で表を作成する）

番号	内容	タイトル		発表年月
1	Nanotech2022 への 出展	ワイヤレス機器校正ネットワー クの構築～信頼できる IoT 機器 を社会に展開		2022/1/26~28