

量子もつれ光を駆使した 革新的赤外吸収分光装置の実現

官民研究開発投資拡大プログラム (PRISM)

「量子技術領域」

令和 4 年度成果

令和 5 年 3 月

文部科学省

資料1 「量子もつれ光を駆使した革新的赤外吸収分光装置の実現」の概要

アドオン額: 119,600千円(文部科学省)

元施策・有/PRISM事業・新規

施策開始時点: 令和4年4月

課題と目標

- (課題) 量子センシングへの産業界からの期待が急激に高まっており、量子赤外分光の早期社会実装を行う必要がある。
- (目標) Q-LEAPで検討してきた量子もつれ光の技術を利用した量子センシング技術を駆使し、赤外吸収分光装置を小型化・高感度化し、社会実装を加速する。

「施策名」の概要

■元施策: Q-LEAP量子計測・センシング技術領域の基礎基盤研究として「量子もつれ光子対を用いた量子計測デバイスの研究」を実施中 (R4年度: 16,194千円)

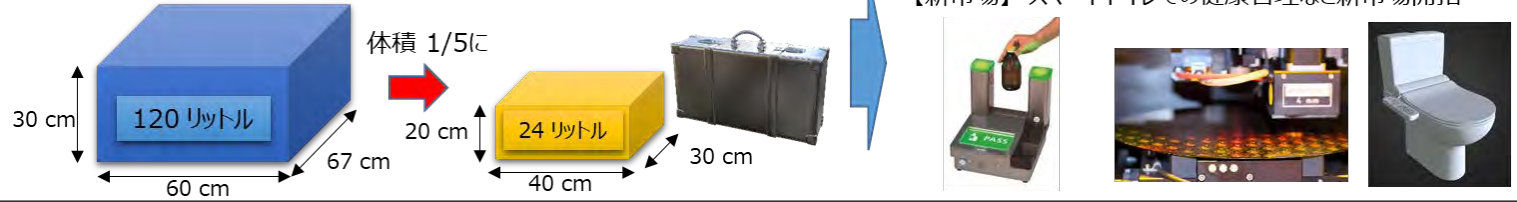
■PRISMで実施する理由: Q-LEAPで基礎研究の目途が立っている量子赤外吸収分光には社会的な期待・関心も大きく、ドイツ・シンガポールなどでの研究の競争も激化している。社会実装にインパクトの高い小型化・安定化と高感度化を実現し、世界にさきがけた社会実装を加速するためPRISMで実施する。

■テーマの全体像: 量子もつれ光を利用した量子センシング技術により、赤外吸収分光装置を小型・高感度化し、社会実装

■【小型化・安定化】
→安定動作をアタッシュケースサイズで実現。装置組み込みも。

■【高感度化】
→従来のハイエンド大型赤外分光装置と同等以上の感度を実現

- ・【安全安心】 高度なセキュリティ検査をオンサイトでも可能に
- ・【産業競争力】 半導体製造・検査装置の高度化・競争力強化
- ・【新市場】 スマートトイレでの健康管理など新市場開拓



出口戦略

(出口戦略) 上記目標は、出口企業からのニーズをヒアリングし設定。光学機器、光センサ、および分析装置の各メーカーとも協力して実施。高感度の赤外分光装置が、小型化でポータブルになることで用途が大幅に拡がり、デバイス製造、製薬、環境モニタリング、セキュリティ、健康・医療など産学の幅広い展開が実現し、化学・生命・医学分野での基礎研究に大きな革新を誘発する。

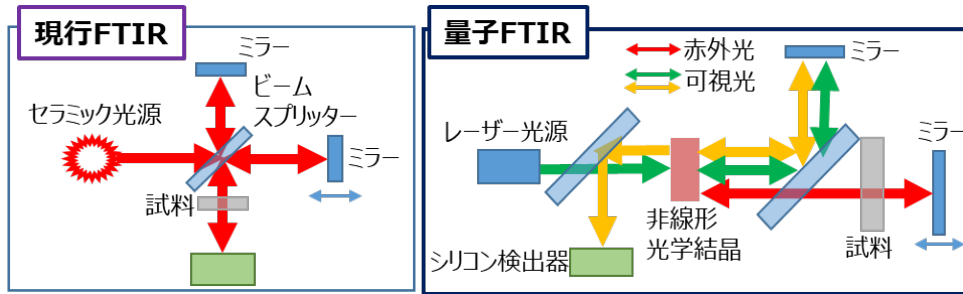
民間研究開発投資誘発効果等

- 民間投資誘発効果: 社会実装に目途が立てば、開発投資の大幅な増額が見込める (5年で10億円以上)
- 民間からの貢献額: 2022年度、61,000千円相当
 - ・ (内訳) 分析機器メーカー 40,000千円
 - ・ (内訳) 装置メーカー 1,000千円

アドオン（文部科学省）：119,600千円
 元施策名：（Q-LEAP「量子もつれ光子対を用いた量子計測デバイスの研究」）161,194千円

【研究開発内容】

- 可視光-赤外線もつれ光子対発生用素子・光源の開発
 - もつれ状態の光子の評価のため検出器の開発
 - ✓ 上方変換による赤外光子検出の研究
 - ✓ 中赤外域での高速超伝導光子検出器の開発
 - もつれ光子対を用いた赤外吸収分光実験系の構築 等
- 量子もつれ光により、可視光光源・検出器でFTIRが可能に**



元施策（Q-LEAP）では、中・遠赤外の量子赤外吸収分光の実証まで

【PRISM】

【小型化・安定化】

- 量子もつれ光源や量子干渉系について、ファイバー化などによる小型化の検討・試作および高度化・改良。
- 不安定要因の解明、要因の除去・制御方法の改良による安定化

【高感度化】

- 励起レーザー光の時間・空間的な光密度増大による量子もつれ光源の大強度化
- 高感度測定に必要な光検出器の検討・試作と改良。

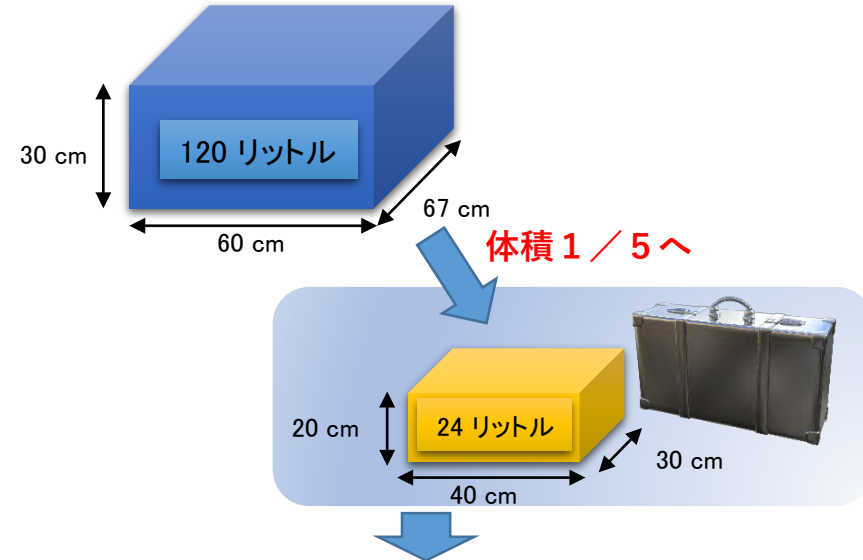
【開発のイメージ】

■【小型化・安定化】

→安定動作をアタッシュケースサイズで実現。装置組み込みも。

■【高感度化】

→従来のハイエンド大型赤外分光装置と同等以上の感度を実現



- 【安全安心】 高度なセキュリティ検査をオンサイトでも可能に
- 【産業競争力】 半導体製造・検査装置の高度化・競争力強化
- 【新市場】 スマートトイレでの健康管理など新市場開拓



資料3 「量子もつれ光を駆使した革新的赤外吸収分光装置の実現」の目標達成状況

施策完了時点：令和5年3月

○施策全体の目標 Q-LEAPでは、量子光学+光学素子技術+光子検出・可視もつれ光検出技術で、可視域の光源・検出器を用いた高感度赤外吸収分光を20 μ mの領域まで構築する。
 PRISMでは、Q-LEAP後に予定していた社会実装への研究を前倒しで実施し、製品化に向けて必須である装置の小型化・安定化および高感度化のための開発を実施する。

事業名等（※個別に目標を設定している場合）	当年度目標	目標の達成状況
①小型化・安定化	量子干渉計の不安定要因解析と、量子もつれ光源・量子干渉計の小型化の検討・設計を実施 ・量子もつれ光源や量子干渉計について、ファイバー化やモノリシック化による小型化の検討、試作および高度化・改良。 ・不安定要因の解明ならびに要因の除去・制御方法の改良による安定化。	<ul style="list-style-type: none"> 温度安定性などを検討し、量子干渉計の光ファイバー化について設計を行った。 量子干渉計の不安定原因として、干渉計内の精密微動ステージにおいて生じる周期的なノイズの問題点を特定、改良に成功した。 高感度CCDカメラにより、量子干渉状況を空間的にモニタリング可能なシステムを構築 →当初の計画通り進行した。
②高感度化	高感度化にむけた、励起レーザー光源および光検出器の実験的検討を実施 ・励起レーザー光の時間・空間的な光密度増大による量子もつれ光源の大強度化 ・高感度測定に必要な光検出器の検討・試作と改良。	<ul style="list-style-type: none"> 励起レーザー光の時間的な光密度増大に関し、パルスレーザー励起の量子赤外分光の分解能に与える影響を理論的に検討した。 その結果、分散型スペクトロメーターを利用する方式において、レーザー光の短パルス化により分解能の劣化の定式化、実験による検証に成功した。 また、我々の開発した量子FTIR法では、レーザー光をタンパルス化した際も分解能の劣化がないことを理論的に発見、実験による検証にも成功した。 パルスレーザー励起による光子対生成増大を確認した。 励起レーザー光の空間的な光密度増大に関し、リッジ導波路型擬似位相整合素子を用いることで、バルク型擬似位相整合素子の600倍の生成効率を確認。 もつれ光の光量増大時の光検出器のノイズ特性の検討と検証も実施。 →当初の計画通り進行した。

①小型化・安定化

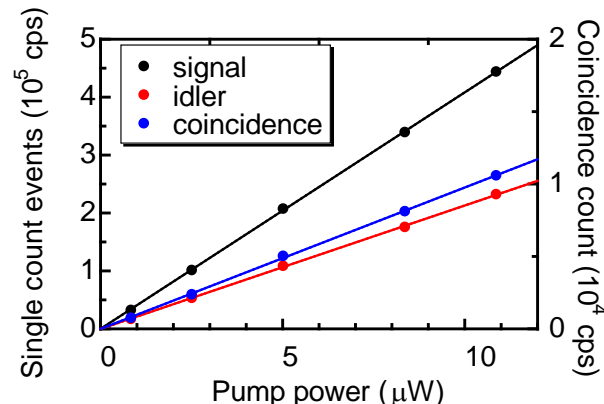
- 量子もつれ光源や量子干渉計の小型化。
- 温度安定性などを検討し、量子干渉計の光ファイバー化について設計を実施。
- 装置の不安定要因の解明・改良による安定化。
- 量子干渉計の不安定原因として、干渉計内の精密微動ステージにおいて生じる周期的なノイズの問題点を特定、改良に成功した。
- 高感度CCDカメラにより、量子干渉状況を空間的にモニタリング可能なシステムを構築、装置の安定化に貢献



量子干渉状況を空間的にモニタリング可能なシステム

②高感度化

- 励起レーザー光の時間的な光密度増大
- 分散型分光器を利用する分散型QIRS方式では、レーザー光の短パルス化により分解能の劣化の理論・実験による検証に成功した。また、我々の開発した量子FTIR (QFTIR) 法では、レーザー光を短パルス化した際も分解能の劣化がないことを理論的に発見、実験による検証にも成功した。さらにパルスレーザー励起による光子対生成増大を確認した。
- 励起レーザー光の空間的な光密度増大
- リッジ導波路型擬似位相整合素子を用いることで、バルク型擬似位相整合素子の600倍の生成効率を確認。また、もつれ光の光量増大時にショットノイズ限界に漸近した信号検出が可能であることを実験的に検証。



リッジ導波路型素子による量子もつれの高効率生成

- 民間からの貢献額：5年で10億円相当
- ①（内訳）分析機器メーカー 3億円
 - ②（内訳）製造装置メーカー 4億円
 - ③（内訳）光学機器メーカー 3億円

当年度当初見込み	当年度実績
①分析機器メーカーの開発費：60,000千円	①同左
②製造装置メーカーの開発費：1,000千円	②同左

○出口戦略 ・ ・ ・ ・ 装置サイズの目標は、出口企業からのニーズをヒアリングし設定。光学機器、光センサ、および分析装置の各メーカーとも協力して実施。高感度の赤外分光装置が、小型化でポータブルになることで用途が大幅に拡がり、デバイス製造、製薬、環境モニタリング、セキュリティ、健康・医療など産学の幅広い展開が実現し、化学・生命・医学分野での基礎研究に大きな革新を誘発する。

当年度当初見込み	当年度実績
<ul style="list-style-type: none"> ・すでに共同研究を開始している分析機器メーカーとは、本年度その活動を軌道に乗せ、次年度も継続できるようにする。 ・興味を持っていただいている製造装置メーカーとは調査、検討を実施し、次年度からの共同研究につなげる。 ・複数の企業と個別に打ち合わせを行い、さらに共同研究につながる企業、テーマを発掘する。 	<ul style="list-style-type: none"> ・分析機器メーカーとの共同研究は順調に進展し、次年度の共同研究の継続を合意した。 ・製造装置メーカーとは、毎月検討会を実施し、具体的なテーマを決定、次年度からの共同研究開始を合意した。 ・月に1，2社と打ち合わせを実施し、次年度から光学機器メーカーと調査・研究フェーズで共同研究に向けた検討を実施することになった。 ・光量子センシングのエコシステム構築を目指し、次年度のコンソーシアムの立ち上げについて議論を開始した。