

光・量子飛躍フラッグシッププログラム (Q-LEAP)
Quantum Leap Flagship Program

量子計測・センシング

Quantum Metrology and Sensing

Q-LEAP

量子計測・センシング領域

Quantum Metrology and Sensing

概要 / Overview

量子効果を活用し、従来技術を凌駕する精度・感度により、生命・医療、省エネ等の様々な分野でこれまでなかった応用を実現

Development of quantum sensors based on quantum mechanical effects, surpassing the existing technologies in precision and sensitivity for innovative applications in various fields including life and medicine as well as energy conservation

プログラムディレクター(PD)挨拶 / Message from Program Director



荒川 泰彦

東京大学 ナノ量子情報エレクトロニクス研究機構特任教授

近年、量子力学的効果の活用により、従来技術を凌駕する感度や空間分解能を得る量子計測・センシングの研究開発が進んでいます。その計測対象は、磁場、電場、温度、光、慣性力(加速度・角速度等)など多岐にわたっており、また、その計測手法も多様といえます。本プログラムは、このような量子計測・センシングの研究開発を統合的に推進することにより、量子計測・センシング分野におけるイノベーション創出をはかります。

固体量子センサの開発を進めるFlagshipプロジェクトにおいては、基礎研究から社会実装まで見据えた応用研究まで行うことにより、センサ技術の革新とそれを通じた社会貢献を目指します。また、7件の基礎基盤研究は、それぞれが学術的価値

の高い研究を推進することを使命としますが、あわせてFlagshipプロジェクトとの連携により、社会的価値の創造につながる成果の達成も期待しています。

Yasuhiko ARAKAWA

Specially Appointed Professor, Institute for Nano Quantum Information Electronics, The University of Tokyo

Contemporary research into the quantum mechanical effect provides a rich foundation for advances in quantum metrology and sensing, enabling the development of technologies characterized by a sensitivity and spatial resolution superior to those of conventional technologies. Such research can support diverse measurement methods applicable to a wide range of phenomena including magnetic fields, electric fields, temperature, light, and inertial force (acceleration, angular velocity, etc.). The promotion of research into quantum metrology and sensing technologies thus has significant capacity to support development and innovation.

The current program will comprise seven basic and fundamental quantum metrology and sensing technology studies, each intended to promote valuable academic research of the highest quality with socially valuable results. The flagship project aims to develop innovative solid quantum sensors, by conducting applied research that ranges from preliminary investigation through development to social implementation, with a view to creating technology that will genuinely contribute value to society.

アドバイザーボードメンバー(AM) / Advisory Board Members

PD	荒川 泰彦	東京大学 ナノ量子情報エレクトロニクス研究機構特任教授
SPD	石内 秀美	元先端ナノプロセス基盤開発センター(EIDEC)代表取締役社長
AM	上田 正仁	東京大学大学院理学系研究科教授
AM	香取 秀俊	東京大学大学院工学系研究科教授
AM	小坂 英男	横浜国立大学大学院工学研究院教授
AM	佐藤 隆博	科学技術振興機構研究開発戦略センターフェロー
AM	瀬藤 光利	浜松医科大学細胞分子解剖学講座教授
AM	中村 祐一	NEC主席技術主幹
AM	平川 一彦	東京大学生産技術研究所教授
AM	平山 祥郎	東北大学先端スピントロニクス研究開発センター長・総長特命教授
AM	山田 真治	日立製作所研究開発グループ技師長

※ PD: プログラムディレクター SPD: サブプログラムディレクター AM: アドバイザーボードメンバー (アドバイザーボードは文部科学省が設置)

PD	Yasuhiko ARAKAWA	Specially Appointed Professor, Institute for Nano Quantum Information Electronics, The University of Tokyo
SPD	Hidemi ISHIUCHI	Former CEO, Evolving Nano-process Infrastructure Development Center (EIDEC)
AM	Masahito UEDA	Professor, Department of Physics, The University of Tokyo
AM	Hidetoshi KATORI	Professor, Department of Applied Physics, Graduate School of Engineering, The University of Tokyo
AM	Hideo KOSAKA	Professor, Faculty of Engineering Division of Intelligent Systems Engineering, Yokohama National University
AM	Takahiro SATO	Fellow, Center for Research and Development Strategy, JST
AM	Mitsutoshi SETOU	Professor, Cellular & Molecular Anatomy, Hamamatsu University School of Medicine
AM	Yuichi NAKAMURA	Executive Professional, NEC Corp.
AM	Kazuhiko HIRAKAWA	Professor, Institute of Industrial Science, University of Tokyo
AM	Yoshiro HIRAYAMA	Professor, Tohoku University Director, Center for Science and Innovation in Spintronics (Core Research Cluster)
AM	Shinji YAMADA	Corporate Chief Engineer, Research & Development Group, Hitachi, Ltd.

※ PD: Program Director, SPD: Sub Program Director, AM: Advisory Board Member (The advisory boards have been set up by the MEXT.)

体制図 / Structure

ガバニングボード(GB)
Governing Board (GB)

プログラムディレクター(PD)
Program Director (PD)

アドバイザリーボード(AB)
Advisory Board (AB)

Flagshipプロジェクト / Flagship Project

固体量子センサの高度制御による革新的センサシステムの創出 / Development of innovative sensor systems by highly sophisticated control of solid quantum sensors

HQ(東京工業大学)
HQ (Tokyo Institute of Technology)

研究代表者:
東京工業大学 波多野 睦子 教授

Representative Researcher:
Mutsuko HATANO, Professor,
Tokyo Institute of Technology

研究開発マネジメント責任者:
東京工業大学 酒井 忠司 特任教授

R&D Manager:
Tadashi SAKAI, Sp. Appt Prof.,
Tokyo Institute of Technology

研究・産学連携本部

Tokyo Institute of Technology
Office of Research and Innovation

量子スピントロニクスグループ
Quantum Spintronics Gr.

京都大学 水落 憲和 教授
Norikazu MIZUOCHI,
Prof., Kyoto Univ.

センサシステムグループ
Sensor System Gr.

東京工業大学 岩崎 孝之 准教授
Takayuki IWASAKI,
Assoc. Prof., Tokyo Tech

神経細胞計測グループ
Neuron Measurement Gr.

日立製作所 高口 雅成 主管研究員
Masanari KOGUCHI,
Chief Researcher, Hitachi

材料・デバイスグループ
Material & Device Gr.

産業技術総合研究所
加藤 宙光 上級主任研究員
Hiromitsu KATO,
Chief Sr. Researcher, AIST

生体計測グループ
Bio-sensing Gr.

東京大学 関野 正樹 教授
Masaki SEKINO, Prof., UTokyo

電池モニターグループ
Battery Monitor Gr.

矢崎総業 井上 敬介 部長
Keisuke INOUE, Manager, YAZAKI

量子生命基盤グループ
Quantum Life Gr.

量子科学技術研究開発機構
大島 武 センター長
Takeshi OHSHIMA, Director, QST

脳磁モニタリンググループ
Magnetoencephalography Gr.

デンソー 小山 和博 担当課長
Kazuhiro OYAMA,
Project Manager, DENSO

高圧合成素材グループ
High Pressure Synthetic Materials Gr.

住友電気工業 寺本 三記 グループ長
Minoru TERAMOTO, Manager,
Sumitomo Electric Industries, Ltd.

基礎基盤研究 / Basic Research

高感度重力勾配センサによる地震早期
アラート手法の確立
Establishment of a high-sensitivity gravity
gradient sensor-based early earthquake
alert method

東京大学 安東 正樹 准教授
Masaki ANDO, Assoc. Prof., UTokyo

光子数識別量子ナノフォトニクスの創成
Creation of quantum nanophotonics for
photon number identification

東北大学 枝松 圭一 教授
Keiichi EDAMATSU, Prof., Tohoku Univ.

2重に量子雑音を圧搾した量子原子
磁力計の開発
Development of quantum atomic
magnetometer with dual quantum
noise squeezing

学習院大学 柴田 康介 助教
Kosuke SHIBATA,
Assistant Prof., Gakushuin Univ.

複雑分子系としての光合成機能の解明に
向けた多次元量子もつれ分光技術の開発
Development of spectroscopic techniques based
on cutting-edge quantum optics toward elucidating
functions of complex molecular systems

電気通信大学 清水 亮介 教授
Ryosuke SHIMIZU, Prof., UEC

量子もつれ光子対を利用した量子計測
デバイスの研究
Research on quantum sensing devices
using quantum entangled photons

京都大学 竹内 繁樹 教授
Shigeki TAKEUCHI, Prof., Kyoto Univ.

量子センシング高感度化への
複合欠陥材料科学
Material science of complex defects for
highly-sensitive quantum sensors

物質・材料研究機構 寺地 徳之 主席研究員
Tokuyuki TERAJI, Chief Researcher, NIMS

次世代高性能量子慣性センサーの開発
Development of Next-Generation
Advanced QI Sensors

電気通信大学 中川 賢一 教授
Kenichi NAKAGAWA, Prof., UEC

文科省 Q-LEAP プログラム概要

Overview of the MEXT Q-LEAP Program

概要 / Overview

本プログラムは、経済・社会的な重要課題に対し、量子科学技術(光・量子技術)を駆使した非連続的な解決(Quantum leap)を目指す研究開発プログラムです。プログラムディレクター(PD)の研究開発マネジメントのもと、右図の3つの技術領域で、それぞれネットワーク型研究拠点を形成し、技術領域毎にFlagshipプロジェクトと基礎基盤研究を実施します。

This program is of research and development aiming to achieve "Quantum Leap", saltatory solutions for crucial, economic and social problems through taking full advantage of quantum science technologies (optical and quantum technologies). In each of the three selected technical fields shown on the right, flagship projects and basic researches are conducted under the management of research and development by a program director (PD) with construction of networked research hubs.

実施期間 / Program Period

平成30年度～令和9年度 FY 2018 – 2027

運営体制 / Management Structure

Q-LEAPの着実な推進を図るため外部有識者により構成されるガバニングボードを文部科学省が設置します。また、文部科学省が任命したPDが、担当技術領域全体の運営総括責任者として、研究開発の全般的なマネジメントを行います。さらにPDによる担当技術領域の研究開発マネジメント活動への助言、補佐を行うため、外部有識者等により構成されるアドバイザリーボードを技術領域毎に設置します。

MEXT (The Ministry of Education, Culture, Sports, Science and Technology) sets up a governing board (GB) consisting of external experts, to ensure steady advancement of the whole Q-LEAP program. A program director (PD) is appointed by MEXT for each technical field and conducts the overall management of the research and development in the assigned field with advice and support from advisory board members (AM).

量子情報処理

(主に量子シミュレータ・量子コンピュータ)
Quantum information processing
(mainly quantum simulator and quantum computer)

量子計測
センシング
Quantum metrology
and sensing

次世代レーザー
Next-generation laser

人材育成プログラム
Human resources development program

Q-LEAPプログラムにおける
三つの技術領域と人材育成プログラム
Three technical fields and human resources
development program in Q-LEAP program

Flagshipプロジェクト/Flagship Project

固体量子センサの 高度制御による革新的 センサシステムの創出



Development of innovative sensor systems
by highly sophisticated control of solid quantum sensors

研究代表者 / Representative Researcher

東京工業大学工学院電気電子系 波多野 睦子 教授

Mutsuko HATANO, Professor, Department of Electrical and Electronic Engineering, Tokyo Institute of Technology

共同研究機関 / Joint Research Institutions

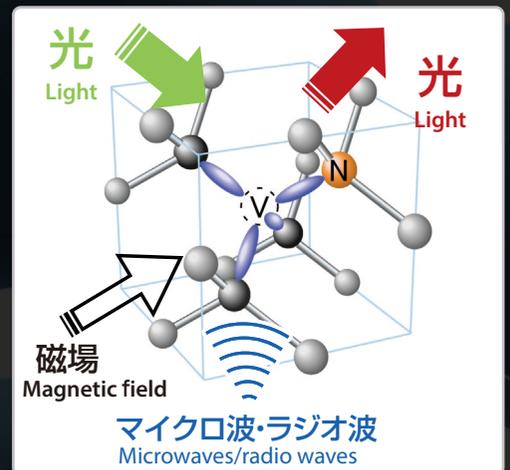
京都大学、東京大学、産業技術総合研究所、量子科学技術研究開発機構、デンソー、日立製作所、矢崎総業など

Kyoto University, University of Tokyo, AIST, QST, DENSO, Hitachi, YAZAKI CORPORATION, etc.

概要 / Overview

固体量子センサの応用から物理まで一貫通貫した研究開発を実施する「固体量子センサ協創拠点」を構築。室温・大気中でも優れたスピンコヒーレンス性を持ち、量子状態の初期化と読み出しを光で行えるというダイヤモンドNVセンタ(窒素-空孔対)を活用した量子計測・センシングデバイスのプロトタイプを開発し、社会実装を目指す。

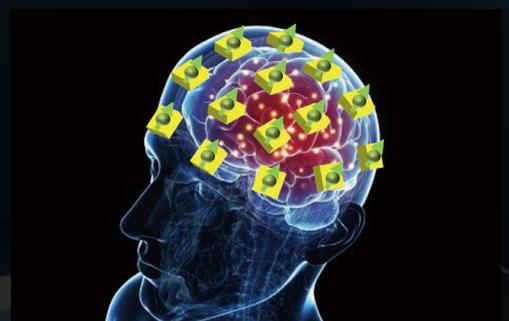
Building a "co-creative center for solid-state quantum sensor" to conduct collaborative R&D seamlessly from physics to applications of innovative solid quantum sensor systems. Developing prototypes of quantum sensors by utilizing diamond NV center (nitrogen-vacancy pair), whose spin coherence is excellent even at room temperature in the atmosphere and whose quantum states can be initialized and read out by light.



ダイヤモンドNVセンタ
Diamond NV center

研究開発目標 / Goals of Research and Development

- 高い感度と高い空間分解能を持つ脳磁計測システムに関するプロトタイプの開発
- 電池やパワーデバイスの電流・温度をモニタリングするシステムに関するプロトタイプの開発
- Development of prototypes for magnetoencephalography (MEG) with high sensitivity and high spatial resolution
- Development of prototypes for systems monitoring the current and the temperature in batteries and power devices



脳磁計測 (イメージ)
MEG (Image)

マイルストーン / Milestones

■ 脳磁計測システム

4~5年目 感度5pT, 神経組織の磁気計測, 小動物の脳磁計測
10年目 感度10fT, ヒトの脳磁計測

■ 電池・パワーデバイスのモニタリングシステム

4~5年目 電池やパワーデバイス内部への量子センサ実装, 電流・温度の同時計測
10年目 電流・温度をダイナミカルに計測する小型プロトタイプ

■ MEG system

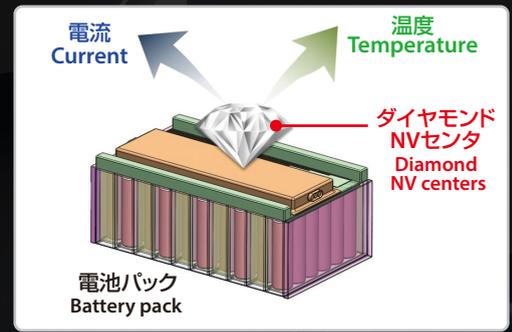
4th to 5th year: Sensitivity of 5 pT; Magnetic imaging of nerve issues, and MEG of small animals

10th year: Sensitivity of 10 fT; Measurement of human MEG

■ Monitoring systems of batteries and power devices

4th to 5th year: Implementation of quantum sensors inside batteries and power devices, Simultaneous measurement of current and temperature

10th year: Small prototypes for dynamic measurement of current and temperature



電池/パワーデバイスモニタリング(イメージ)
Battery & power-device monitoring (Image)

出口戦略 / Exit Strategies

固体量子センサの材料・デバイス開発やセンサを用いた製品システム開発に関心の高い企業によるコンソーシアムを形成。各社の共通基盤技術として共同開発を行う協調領域と、個別のニーズ・アプリケーションに応じた競争領域を区別した開発連携により効率的でスムーズな社会実装を目指す。

Form a consortium of corporations that have interest in the development of materials and devices for solid quantum sensors and the development of systems employing such sensors. Aim at efficient and smooth social implementation by collaborative development that distinguishes between the cooperative area for joint development of basic technologies common to the member companies and the competitive area according to the individual applications and needs.

研究基盤の強化・次世代人材の育成 /

Reinforcement of Research Base and Training of Next Generation Human Resources

■ 若手リーダーに牽引させ、10年間で各分野の世界第一人者へ育成

■ 優秀な博士後期学生を研究員として雇用し、次世代の若手リーダーを育成

■ 協創拠点による人材の流動性・異分野融合の加速によって新規学際領域でのポジションを形成

■ 産官学連携によってポストドク・博士学生のキャリアパスを形成

■ 固体量子センサの理論からシステムまで俯瞰できる人材を育成

■ Allows young leaders to promote these activities so that they can become world leaders of each area in the 10 years

■ Hiring of competent doctoral students as researchers, to nurture young leaders in next generation

■ Promotion of fluidity of human resources and fusion of different fields at the co-development hub to formulate positions in new interdisciplinary fields

■ Formulate career paths for postdocs and doctoral students through industry-government-academia collaboration

■ Cultivation of human resources who comprehend solid quantum sensors from fundamental theories to overall systems

基礎基盤研究 / Basic Research

高感度重力勾配センサによる 地震早期アラート手法の確立

Establishment of a high-sensitivity gravity gradient sensor-based early earthquake alert method

概要 / Overview

大規模地震の断層破壊時の重力場変化を高感度重力勾配計ネットワークで検知し、社会に対して早期にアラートを流すシステムを構築

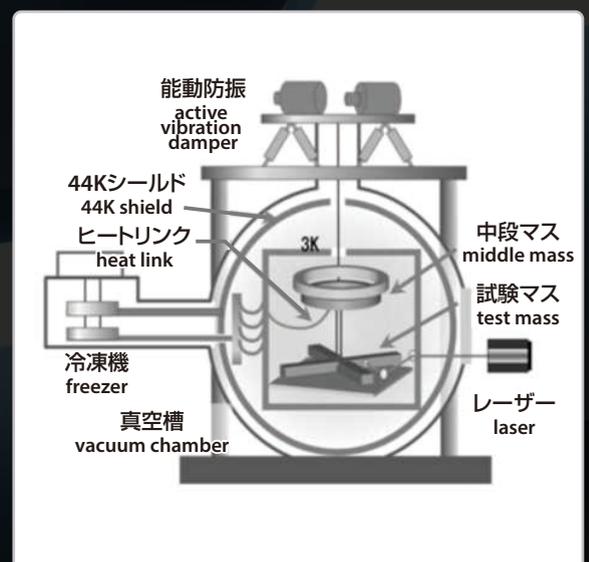
Construct a system that sends an early alarm to the society by detecting changes in the gravitational field during fault ruptures in large earthquakes via a network of high-sensitivity gravity gradient meters.

Flagshipプロジェクトとの相補的・相乗的効果

Complementing and synergy effects with the Flagship project:

ねじれ振り子型センサの発展により、量子計測・センシングのプラットフォームに貢献

Contribute to the quantum metrology and sensing platform by the development of torsion pendulum sensors



低温ねじれ振り子型重力勾配計
Low-temp torsion pendulum gravity gradient meter

基礎基盤研究 / Basic Research

光子数識別量子 ナノフォトニクス創成

Creation of quantum nanophotonics for
photon number identification

概要 / Overview

光子状態が確定かつ高い量子干渉性を有する量子光源と、極めて高い精度・量子効率で光子数を識別し検出する光子数識別検出器を開発し、光子の量子性を駆使した量子計測を高度化

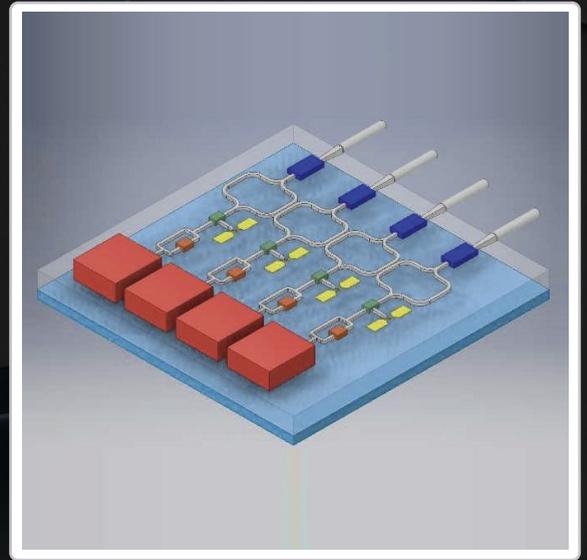
Develop a photon number identification detector that identifies and detects the photon number using a quantum light source with a certain photon state and a high quantum coherence as well as very high precision and quantum efficiency, and performs advance quantum measurement using the quantum nature of photons.

Flagshipプロジェクトとの相補的・相乗的効果

Complementing and synergy effects with the Flagship project:

量子光源・検出技術の高度化により、光子を用いた量子計測・センシングの発展に貢献

Contribute to the development of quantum metrology and sensing using photons by an advancement of quantum light source and detection techniques.



光子数識別検出器と量子光回路の集積化
Photon number detector and quantum optical circuit

基礎基盤研究 / Basic Research

2重に量子雑音を圧搾した量子原子 磁力計の開発

Development of quantum atomic magnetometer with dual
quantum noise squeezing

概要 / Overview

ボース・アインシュタイン凝縮体を用いた磁力計において、原子スピン量子雑音と光量子雑音の圧搾を同時に達成し、従来の限界を上回る磁場感度を実現

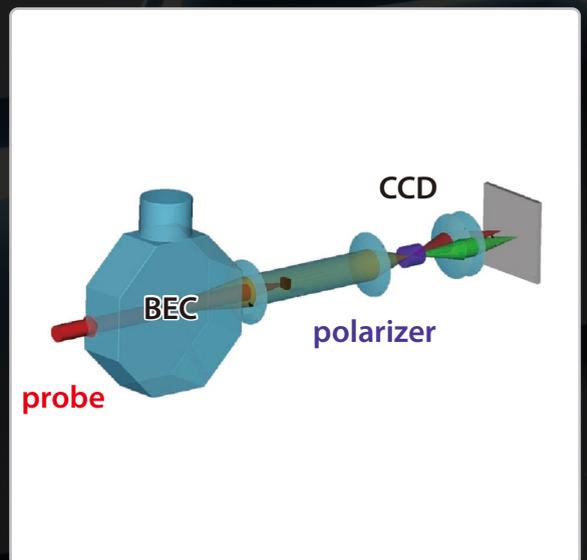
Achieve simultaneous compression of atomic spin quantum noise and optic quantum noise, and thus obtain a sensitivity for magnetic field that exceeds previous limits in a magnetometer using a Bose-Einstein condensate.

Flagshipプロジェクトとの相補的・相乗的効果

Complementing and synergy effects with the Flagship project:

量子磁気センサに関する基礎的知見により、固体量子センサの性能向上に貢献

Contribute to an improvement of the performance of solid quantum sensors through fundamental knowledge of quantum magnetic sensors.



ボース・アインシュタイン凝縮体空間磁力計の模式図
Schematics of Bose-Einstein condensate spatial magnetometer

基礎基盤研究 / Basic Research

複雑分子系としての光合成機能の解明に 向けた多次元量子もつれ分光技術の開発

Development of spectroscopic techniques based on cutting-edge quantum
optics toward elucidating functions of complex molecular systems

概要 / Overview

2つの光子間の時間-周波数領域における量子もつれの情報を抽出する二次元量子分光法の提案と原理実証を行うとともに、光合成など有用な複雑分子系の物理機能を解明

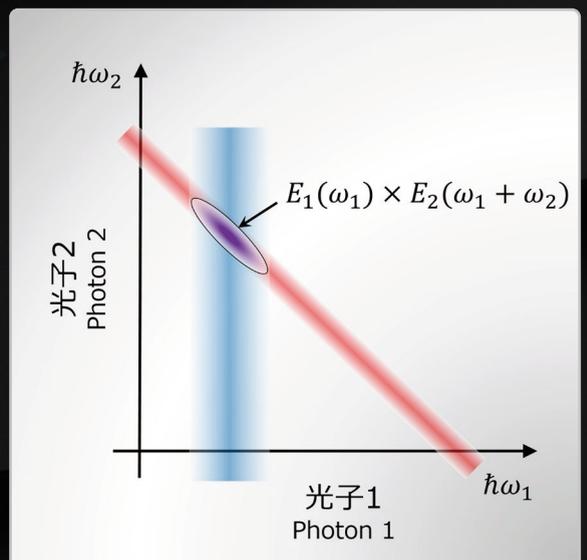
Propose and demonstrate principles of 2D quantum spectroscopy, which extracts quantum correlations of photons in time-frequency domain and reveals the physical function of complex molecular systems, e.g. photosynthesis.

Flagshipプロジェクトとの相補的・相乗的効果

Complementing and synergy effects with the Flagship project:

新しい量子計測技術である二次元量子分光法を実証し、量子計測・センシングのプラットフォームに貢献

Demonstrate the new quantum measurement technique of 2D quantum spectroscopy and contribute to the quantum metrology and sensing platform.



二次元量子分光の原理
Principles of 2D quantum spectroscopy

基礎基盤研究 / Basic Research

量子もつれ光子対を利用した量子計測デバイスの研究

Research on quantum sensing devices using quantum entangled photons

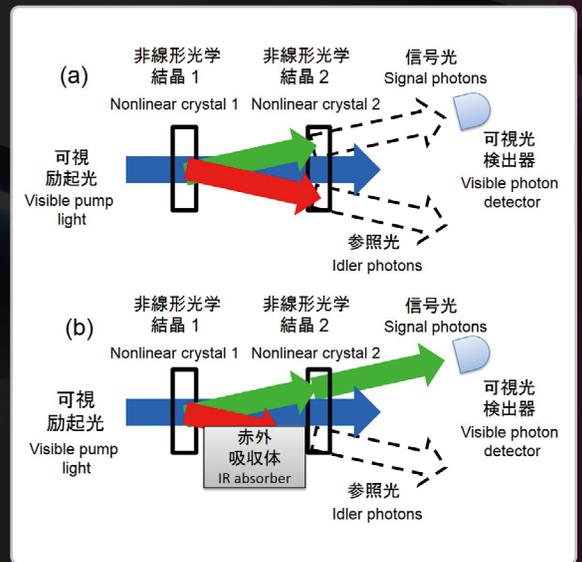
概要 / Overview

周波数相関をもつ量子もつれ光子対を利用した量子計測デバイスを開発。特に、量子もつれ光を用いた赤外量子吸収分光装置の開発を実施し、可視光検出器による高感度赤外吸収分光測定を実現
Develops quantum sensing devices using frequency-correlated quantum entangled photons. In particular, the realization of high-sensitivity infrared absorption spectrometers just using visible light detectors based on the infrared quantum absorption spectroscopy using quantum entangled light.

Flagshipプロジェクトとの相補的・相乗的効果

Complementing and synergy effects with the Flagship project:

量子もつれ光を用いた新しいセンサ技術の開発により、量子計測・センシングのプラットフォームに貢献
Development of new sensor technologies using quantum entangled light to make a contribution to platforms of quantum metrology and sensing.



赤外量子吸収分光のイメージ
Image of infrared quantum absorption spectroscopy

基礎基盤研究 / Basic Research

量子センシング高感度化への複合欠陥材料科学

Material science of complex defects for highly-sensitive quantum sensors

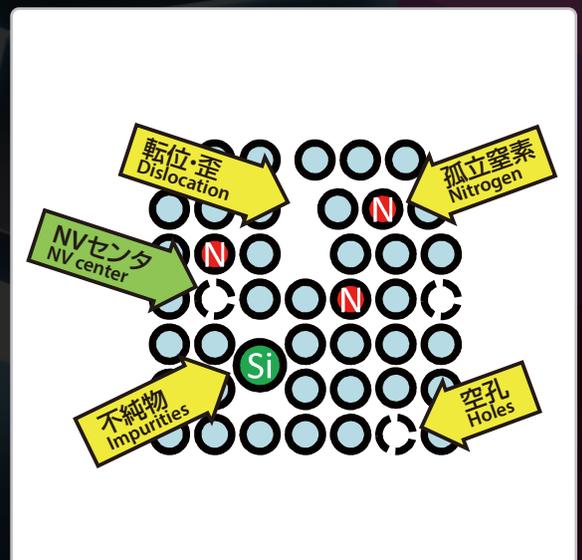
概要 / Overview

量子センシングに資するダイヤモンド単結晶作製法の開拓及び、複合欠陥を高濃度・高品質に形成するための欠陥形成学理を構築し、磁気感度の高いダイヤモンドNVセンタを作製
Development of single-crystal diamond growth technology that contribute to quantum sensing, building of defect formation scientific principle for high-density high-quality complex defects, and creation of diamond NV centers with high-magnetic sensitivity.

Flagshipプロジェクトとの相補的・相乗的効果

Complementing and synergy effects with the Flagship project:

高度な結晶成長・評価技術を駆使してダイヤモンドNVセンタの高性能化を行い、固体量子センサの作製技術を向上
Advanced crystal growth and evaluation technologies are implemented to obtain high-quality diamond NV centers and improve the fabrication technologies of solid quantum sensors.



高品質NVセンタ形成を阻害する欠陥
Defects which disturb formation of high-quality NV centers

基礎基盤研究 / Basic Research

次世代高性能量子慣性センサーの開発

Development of Next-Generation Advanced QI Sensors

概要 / Overview

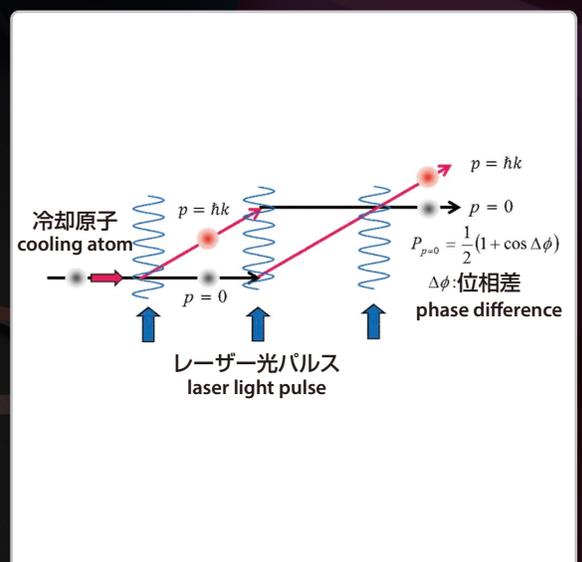
原子の運動状態や量子状態の高度な制御技術を用いて原子干渉計の検出感度大きく向上するための基盤技術を開発し、既存の量子慣性センサーの装置の大幅な小型化を実現
Develop a basic technology to significantly improve detection of kinetic and quantum states of atoms by using an atomic interferometer with advanced control technology, and achieve significant miniaturization of existing QI sensor devices.

Develop a basic technology to significantly improve detection of kinetic and quantum states of atoms by using an atomic interferometer with advanced control technology, and achieve significant miniaturization of existing QI sensor devices.

Flagshipプロジェクトとの相補的・相乗的効果

Complementing and synergy effects with the Flagship project:

量子慣性センサの高感度化に関する知見により、量子計測・センシングのプラットフォームに貢献
Contribute to the quantum metrology and sensing platform by acquiring knowledge on improving the sensitivity of quantized inertia sensors.



光パルス型原子干渉計
Light pulse-based atomic interferometer

お問い合わせ先

CONTACT

Q-LEAP 量子計測・センシング HQ

東京工業大学

〒152-8550 東京都目黒区大岡山2-12-1(NE-27)

TEL : 03-5734-2329 FAX : 03-5734-2376

E-mail : hq.contact@qleap.titech.ac.jp

Q-LEAP Quantum Metrology and Sensing HQ

Tokyo Institute of Technology

NE-27, 2-12-1 Ookayama, Meguro-ku, Tokyo, 152-8550 Japan

TEL : +81-3-5734-2329 FAX : +81-3-5734-2376

E-mail : hq.contact@qleap.titech.ac.jp