

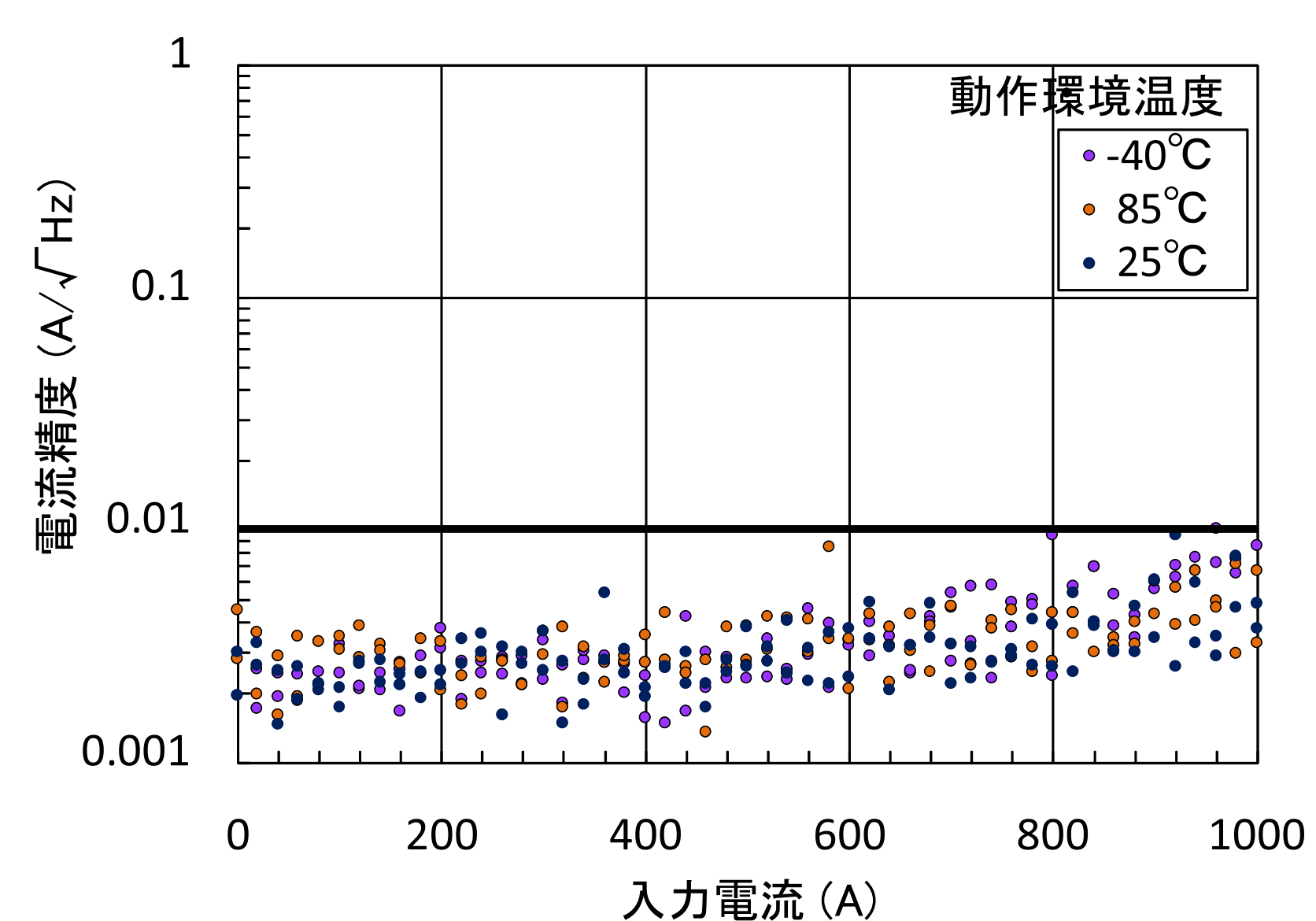
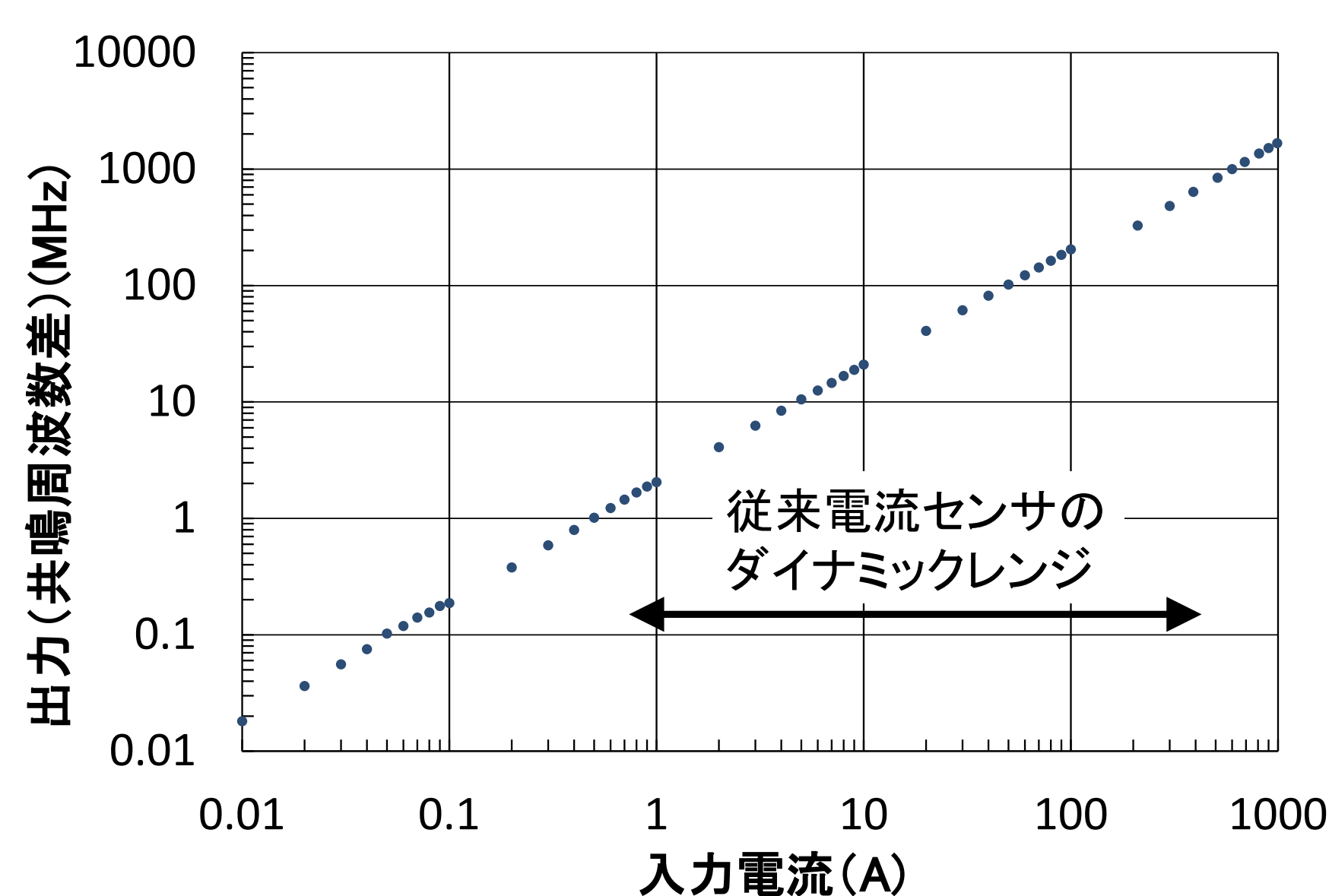
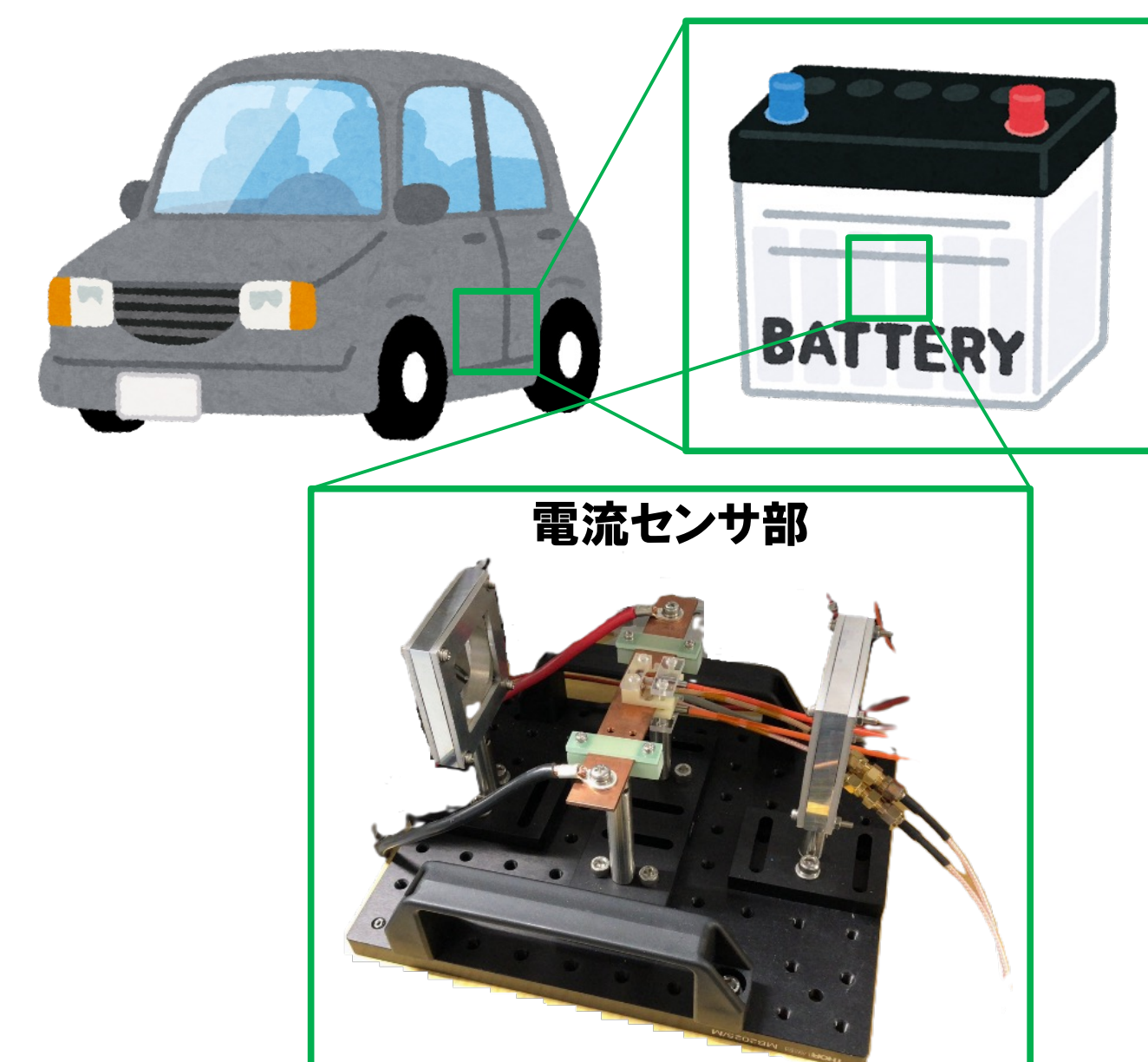
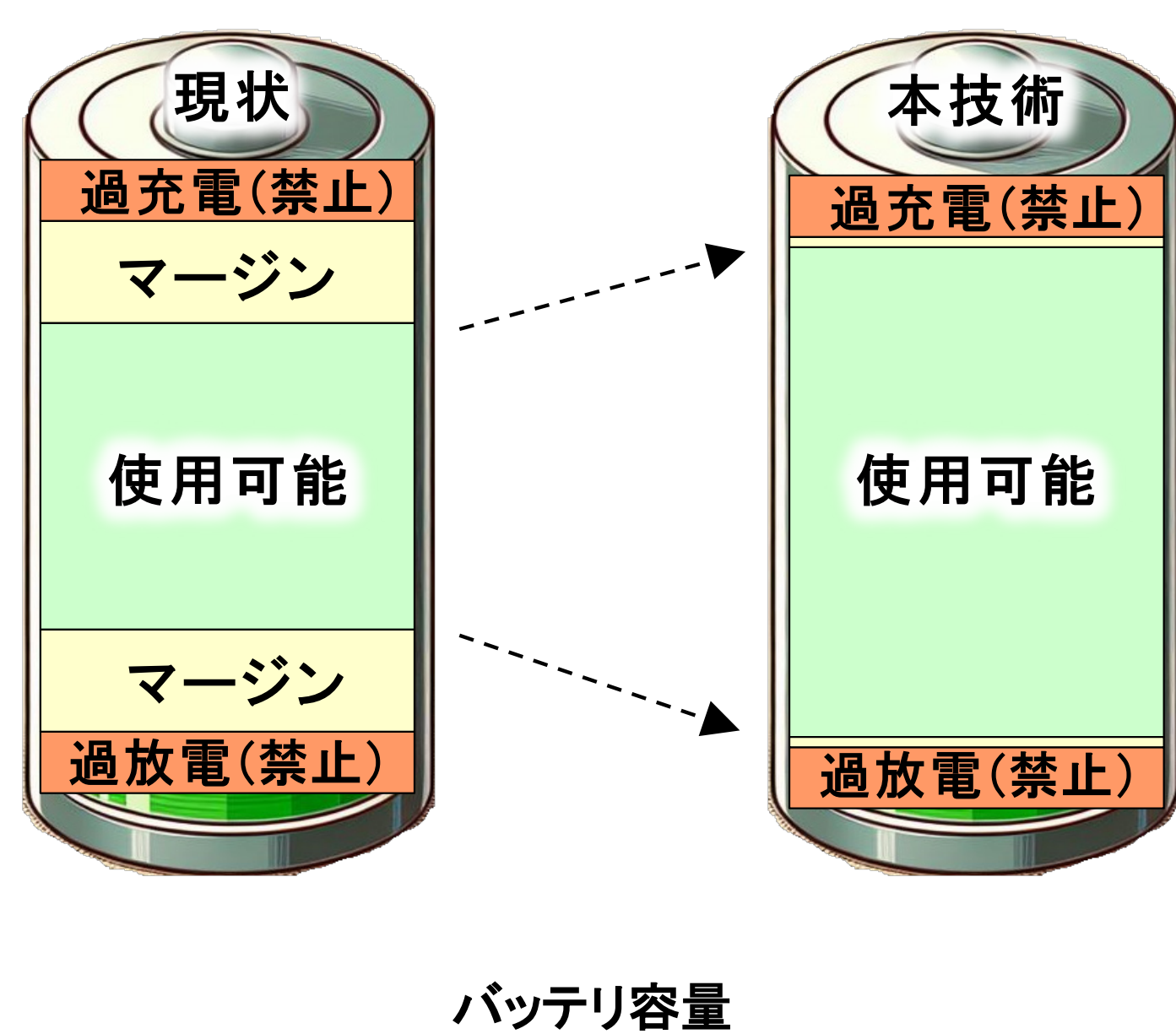
# EVバッテリー用超高精度ダイヤモンド 電流センサ [Q-LEAP Flagship]

Ultra-high-precision battery sensor realized with diamond NV center

東京工業大学工学院電気電子系 教授

研究代表者 **波多野 睦子**

hq@qleap.titech.ac.jp



ダイヤモンド量子センサは磁気センサとして磁場がゼロから非常に高い磁場まで広い範囲で線形に動作します。この性質を利用して10mA以下から1000Aまでの広い電流範囲を全域にわたって10mA以下の誤差で計測することに成功しました。これは現在電気自動車に搭載されている標準的なバッテリーの電流センサの精度(1A)に比べて100倍の高精度になります。本技術によって電気自動車などに使用されるバッテリーの充放電電流を高精度で測定できるようになるため、車の電費の世界的な測定条件であるWLTC走行パターンにおける電池の充電状態を表すSOC推定誤差を1%以下に抑えることができます。これにより現状10%程度設けているバッテリーのマージンを低減し、同じ電池容量での航続距離延伸(10%)、または同じ航続距離での電池容量削減(10%)が期待されます。

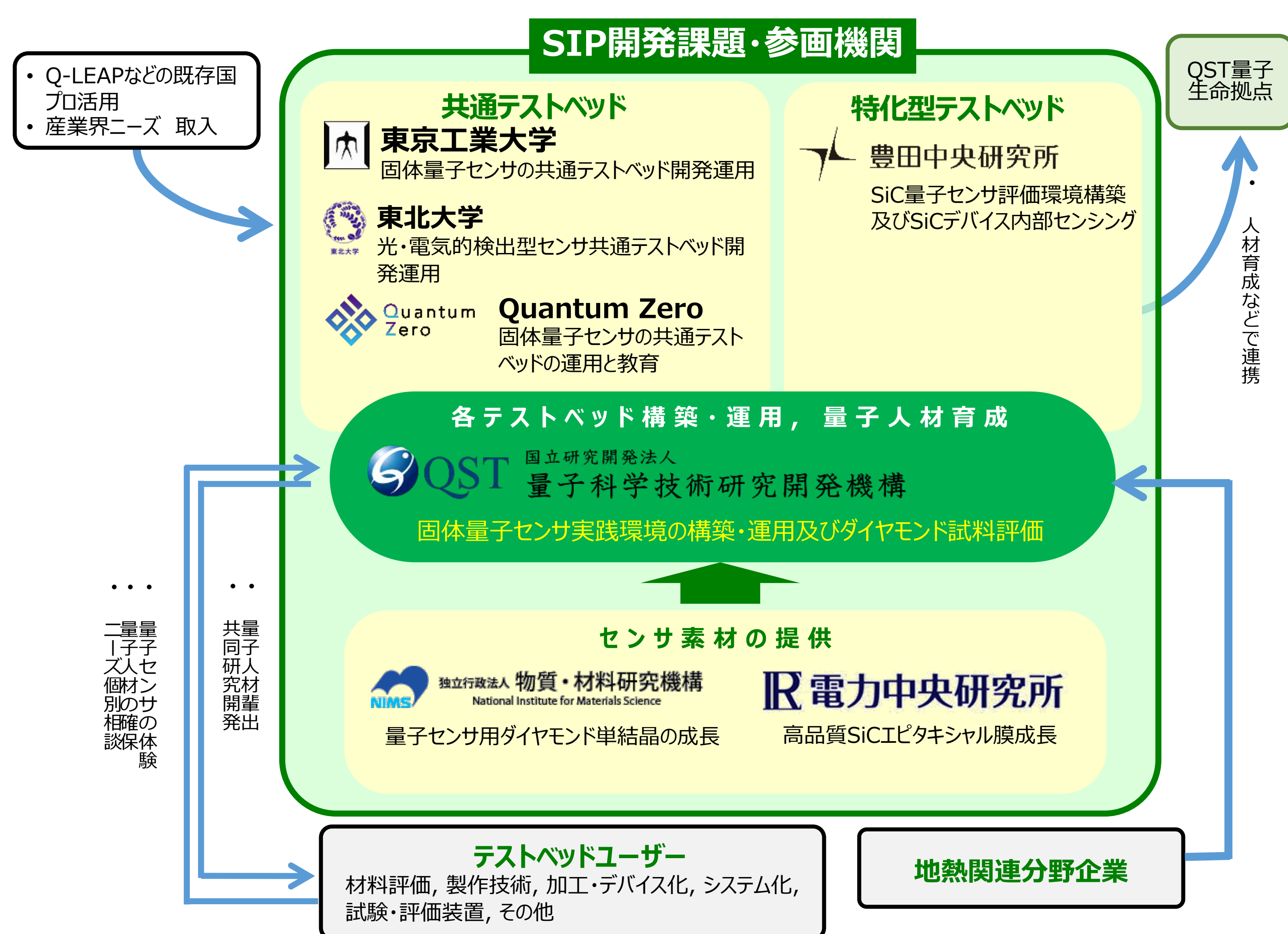
# 固体量子センサの社会実装促進 に向けた実践環境の構築

Developing evaluation systems to promote social implementation of solid-state quantum sensors

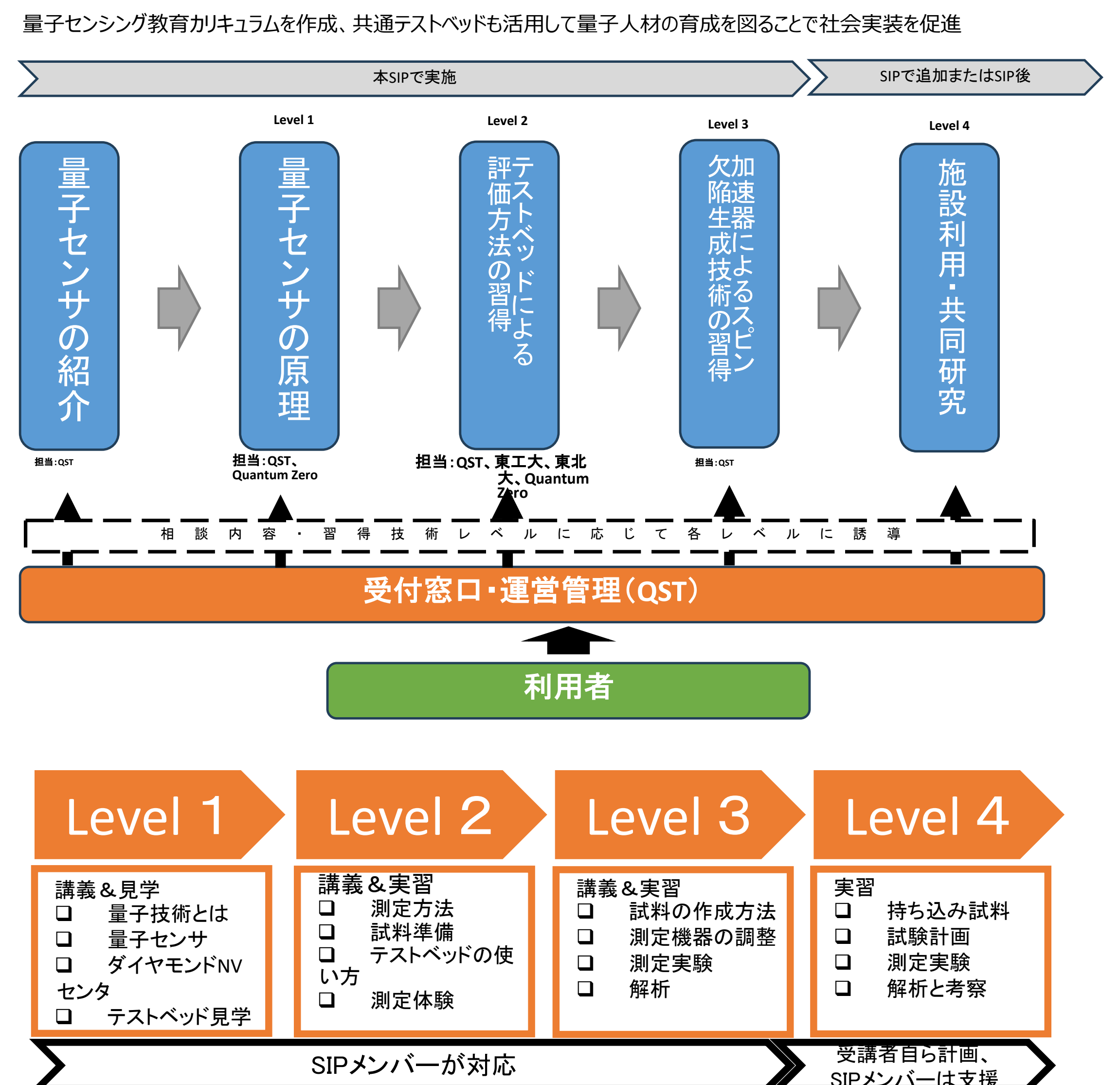
量子技術基盤研究部門 高崎量子応用研究所 量子機能創製研究センター

センター長 大島 武 ohshima.takeshi@qst.go.jp

## 実施体制



## 量子技術教育



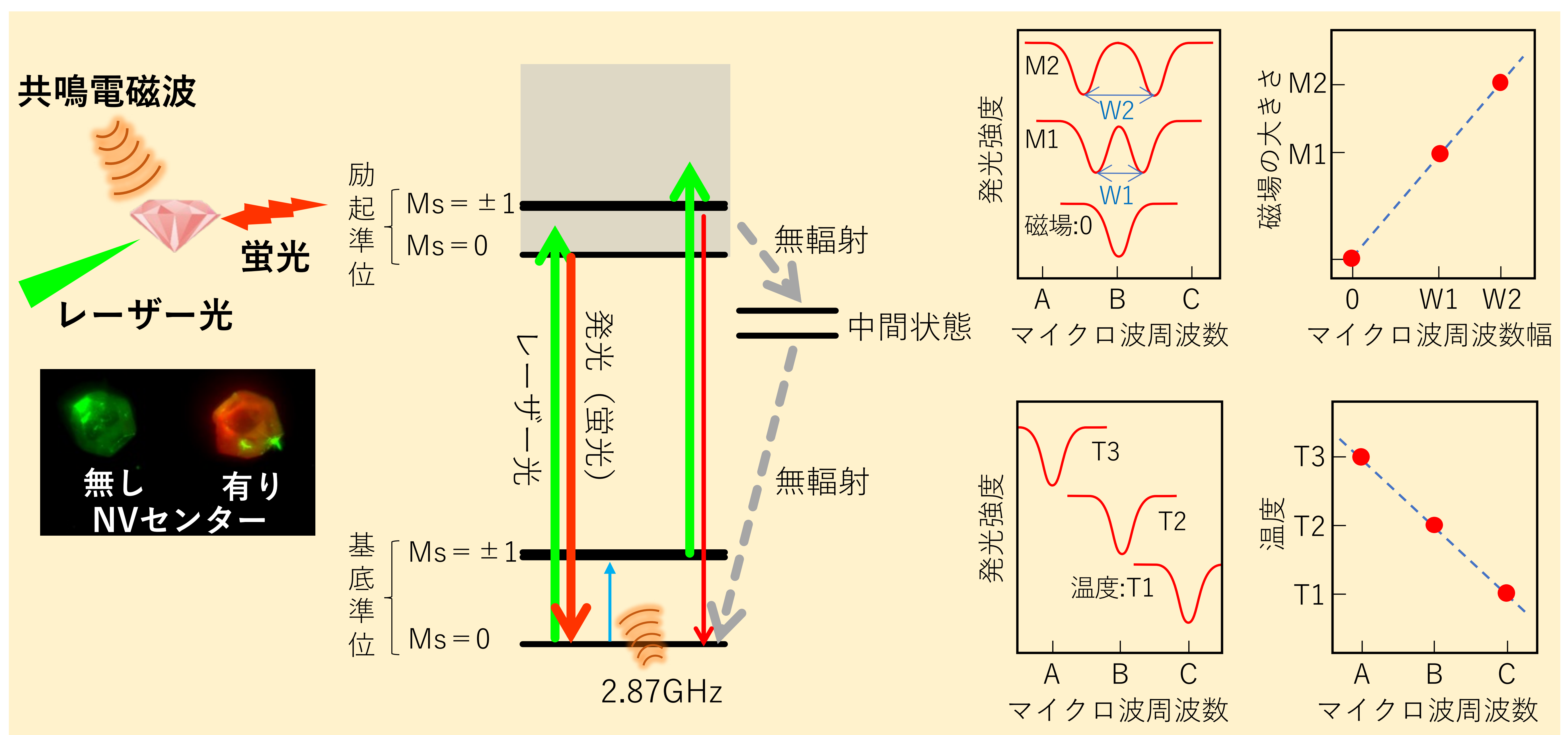
QSTでは、ダイヤモンド窒素-空孔 (NV) センターといった固体量子センサの社会実装を促進するため、固体量子センサに関する基本性能を確認・評価できる「共通テストベッド」を整備し、共通テストベッドでの実習も含む基本的な量子技術教育を提供します。加えて、目に見える量子センシングの応用を示すことで社会実装の促進を目的に、固体量子センサの特長を活かした特定の目的を持った「特化型テストベッド」も構築します。具体的には、パワーエレクトロニクス応用が進む炭化ケイ素 (SiC) に着目し、SiCデバイスの健全性診断技術開発に向けた、シリコン空孔 (VSi) 量子センサによるSiCデバイス内部を直接観察可能な「特化型テストベッド」を整備します。また、固体量子センサの特徴である高温にも適用可能な点を考慮して、ダイヤモンドNVセンターによる地熱探査用センサを開発します。これらの事業は、SIP第3期「先進的量子技術基盤の社会課題への応用促進」にて実施しています

# 量子センサの測定原理

Measurement principle of quantum sensors

量子技術基盤研究部門 高崎量子応用研究所 量子機能創製研究センター

上席研究員 山崎 雄一 yamazaki.yuichi@qst.go.jp



ワイドバンドギャップ半導体であるダイヤモンドや炭化ケイ素(SiC)中のスピン欠陥(光学的にスピン状態を操作・読み出し可能な点または複合欠陥の呼称)は量子センサとして機能することが知られています。量子センサの測定原理は光検出磁気共鳴法(Optically Detected Magnetic Resonance, ODMR)です。ダイヤモンド窒素-空孔複合欠陥(NVセンター)中の電子は、磁気量子数 $M_s=0, \pm 1$ の3つのスピン状態を形成します。この $M_s$ によって、光励起した後の発光確率が変わります。ここで、 $M_s=0$ と $\pm 1$ の準位のエネルギー差( $\Delta E$ )に相当する共鳴電磁波(ゼロ磁場で2870MHz)を照射すると、 $M_s$ が変わり(スピン状態操作)、その結果を発光強度の変化として読み取ることができます。 $\Delta E$ は磁場、温度や圧力などのわずかな変化にも敏感に反応して変わります。そのため、共鳴周波数(発光強度が変化する周波数)から、様々な物理量を精密に算出することができます。

# 生体ナノ量子センサの 産業・医療への活用

Innovative Uses of Nanoscale Quantum Biosensors in Industry and Medicine

量子生命科学研究所

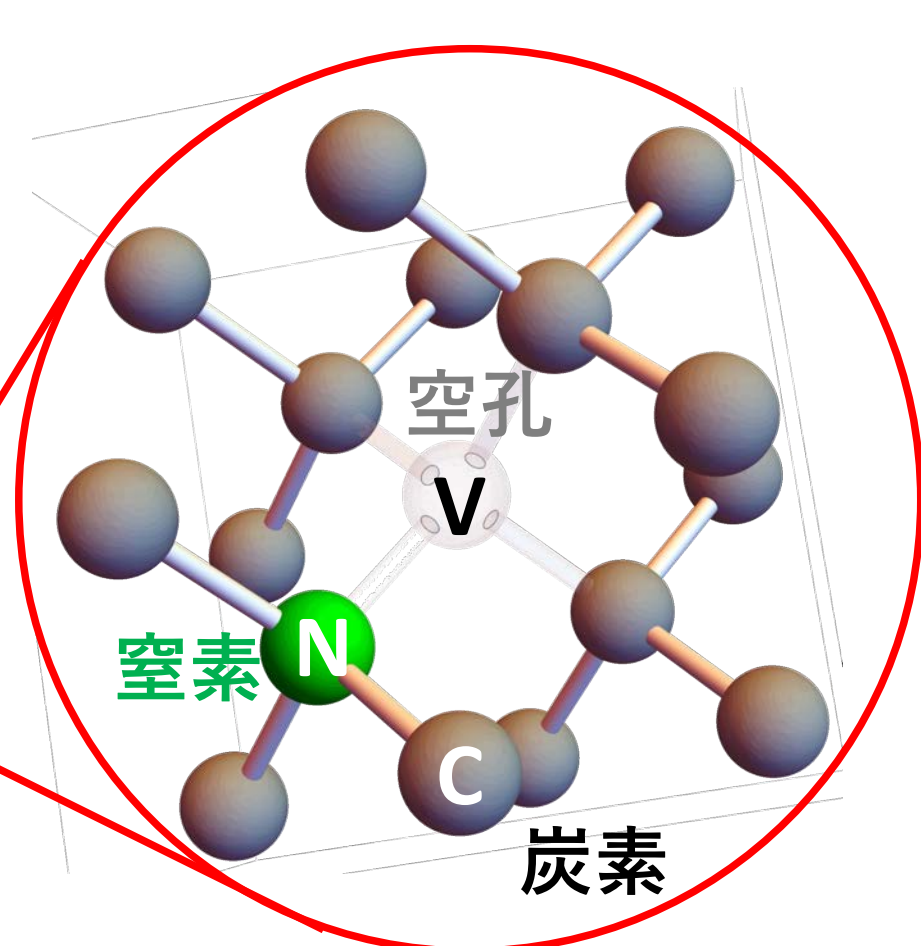
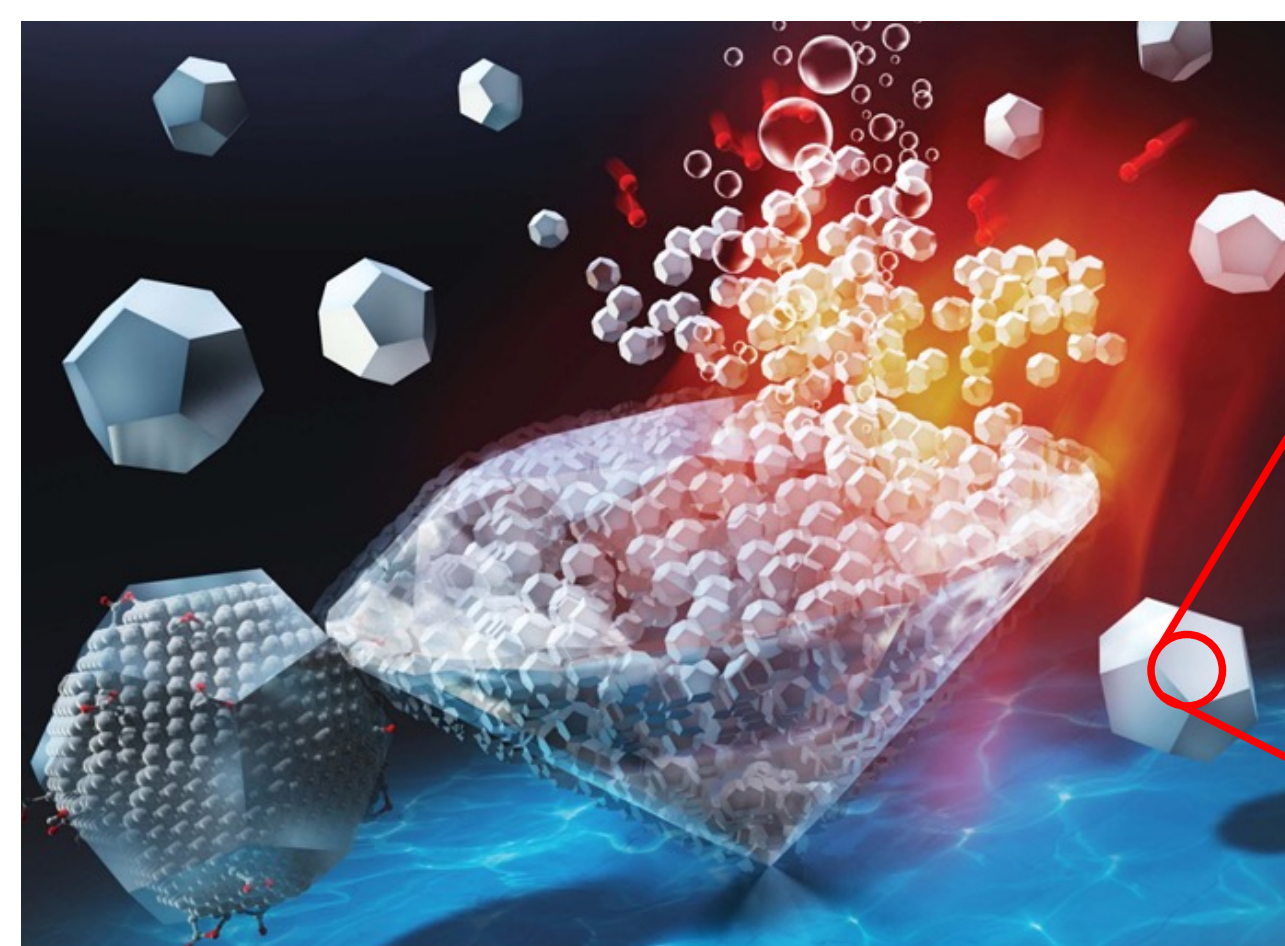
次世代量子センサーチーム

チームリーダー **五十嵐 龍治** igarashi.ryuji@qst.go.jp

量子免疫学チーム

チームリーダー **村上 正晃**、主任研究員 **田中 勇希** tanaka.yuki@qst.go.jp

## ナノダイヤモンドを用いた量子センサ



**ナノダイヤモンド**  
(ダイヤモンドの微粒子)

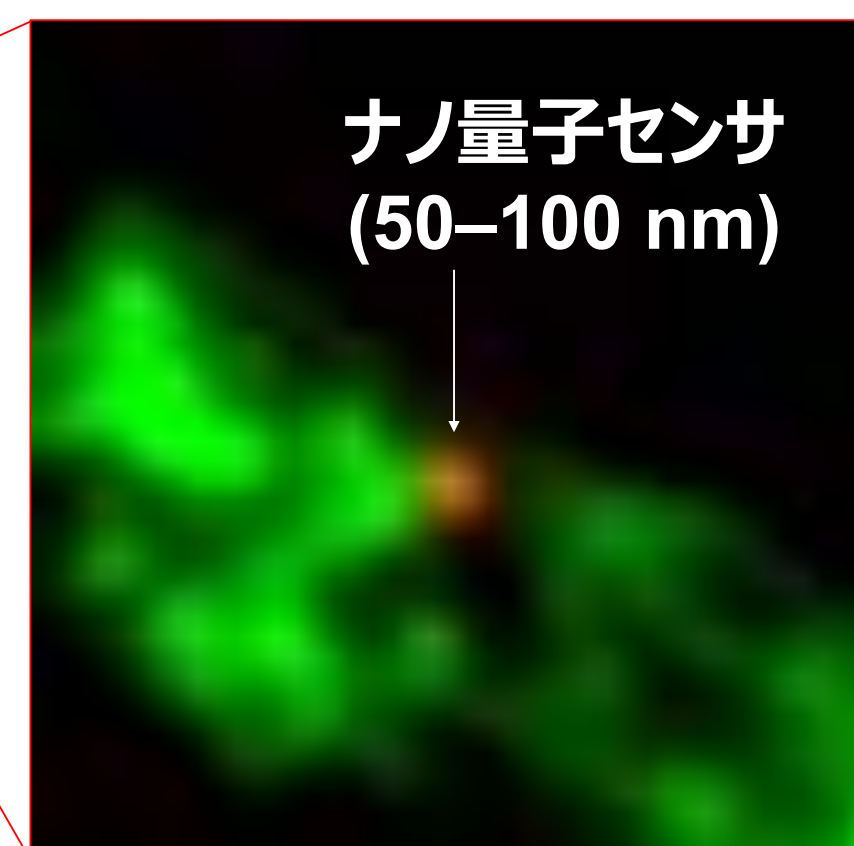
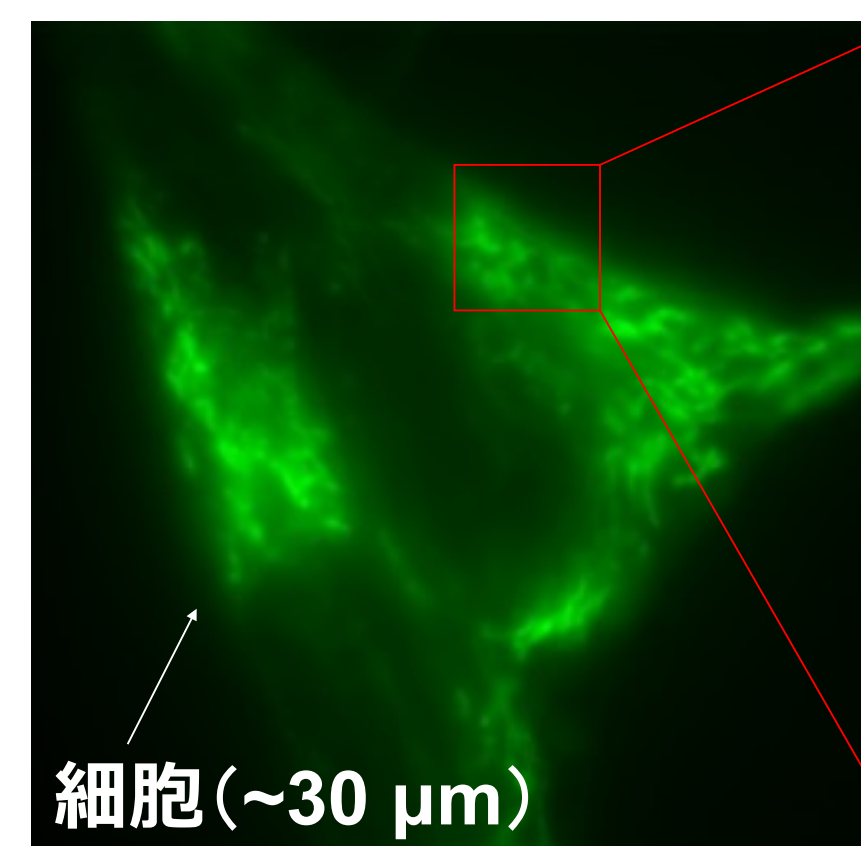
**NVセンター**  
(蛍光格子欠陥)

NVセンターの量子センシングで極微小・極微量を計測

### QSTの量子センサ「生体ナノ量子センサ」は？

<b>ナノサイズ</b>	直径5 nm (世界最小)
<b>超高感度</b>	世界最高濃度のNVセンター
<b>高分散性</b>	水溶液中・生理条件下で安定分散
<b>化学修飾</b>	生体分子を自在に修飾可能

## 生体・細胞内ナノ環境の計測

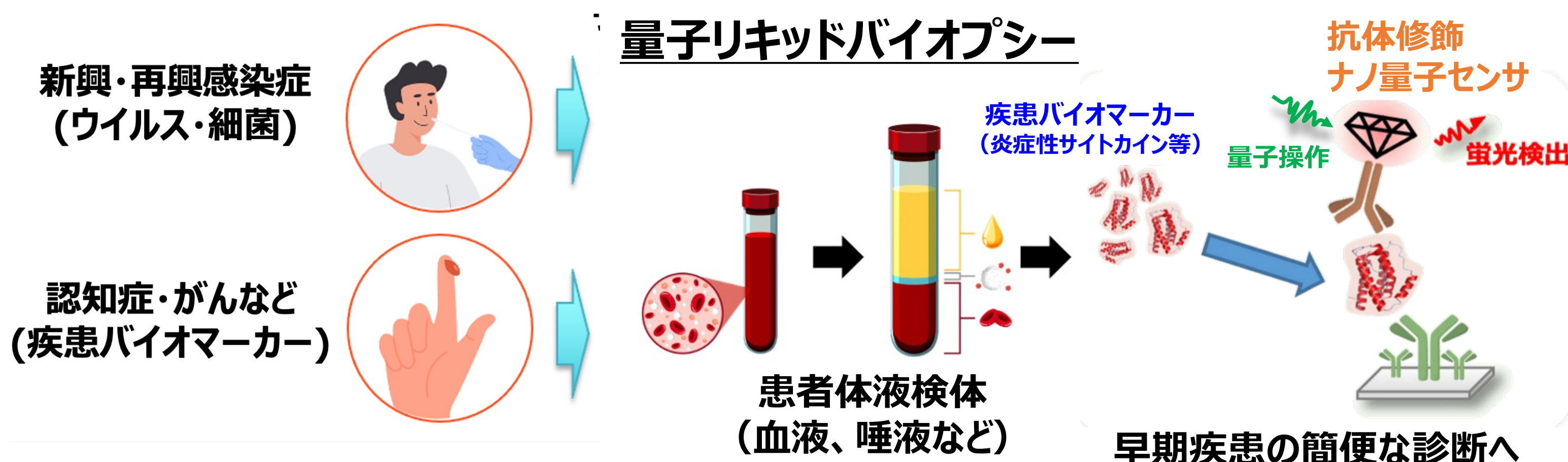


生体内や細胞内の局所をナノダイヤモンドで標識

- 温度
- 電場・磁場
- ラジカル
- pH
- タンパク質構造
- バイオマーカー分子
- ⋮

NVセンターでナノ環境を計測

## 超高感度リキッドバイオプシー



量子センサーは、ダイヤモンド結晶中に形成した格子欠陥「NVセンター」の量子的な性質（コヒーレンス、重ね合わせ、量子もつれなど）を利用する超高感度のセンサー技術である。QSTでは、ナノダイヤモンドを量子センサーとして用いる「生体ナノ量子センサー」技術を開発し、細胞内局所の磁場、温度、pH、活性酸素量など多様なパラメータの計測、あるいは血液中のバイオマーカー分子の検出など、生命計測で必要となる極微小領域や極微量分子の高精度の計測を実現してきた。本技術により、細胞の薬剤応答や病態の定量理解、ELISAを用いた体液診断の高感度化などを進めている。今後、早期疾患や未病状態の発見、再生医療の効率化、製造における非破壊的品質検査など、バイオ産業を中心として広汎なイノベーションをもたらすと期待されている。

# ナノ量子センサによる 生命科学の革新

Nano-Quantum Sensors for Life Science Innovations

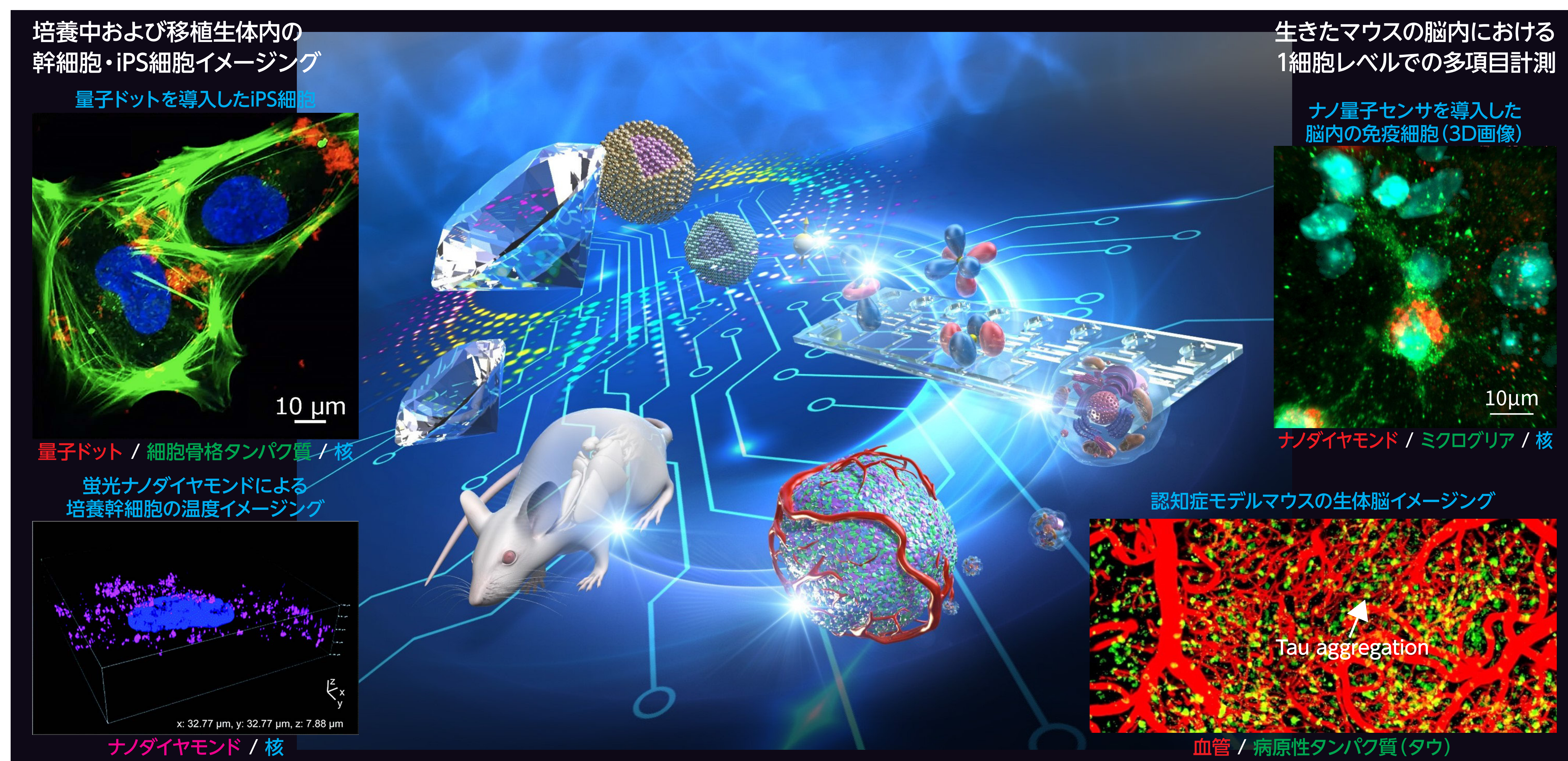
量子生命科学研究所

量子再生医工学研究チーム

チームリーダー **湯川 博** yukawa.hiroshi@qst.go.jp

量子神経マッピング制御チーム

チームリーダー **田桑 弘之** takuwa.hiroyuki@qst.go.jp



バイオイメージング技術は、基礎生物学研究から臨床応用まで広く用いられます。近年その新たなツールとして、量子ドット・蛍光性ナノダイヤモンドなどの「ナノ量子センサ」が注目されています。高い安定性とナノメートル単位の微小サイズを特徴とし、単一分子・細胞内微小構造など「マイクロレベルの観察」から、生体内の長期的な「マクロ観察」など、幅広い応用が期待されます。

量子再生医工学研究チームでは、この技術を再生医工学への応用を進めています。幹細胞や再生細胞の細胞状態計測の新たな指標とし、移植前の品質管理への応用や、移植後の生体内環境（組織・臓器）において計測・診断するための技術創製を目指します。

量子神経マッピング制御チームでは、ナノ量子センサを生きた動物の脳内外の細胞に導入して多項目の生命情報を取得する技術を開発し、脳疾患機序の研究に応用しています。またこの技術は、同一細胞から数か月間の繰り返し計測が可能です。診断・治療薬開発への展開が期待されます。

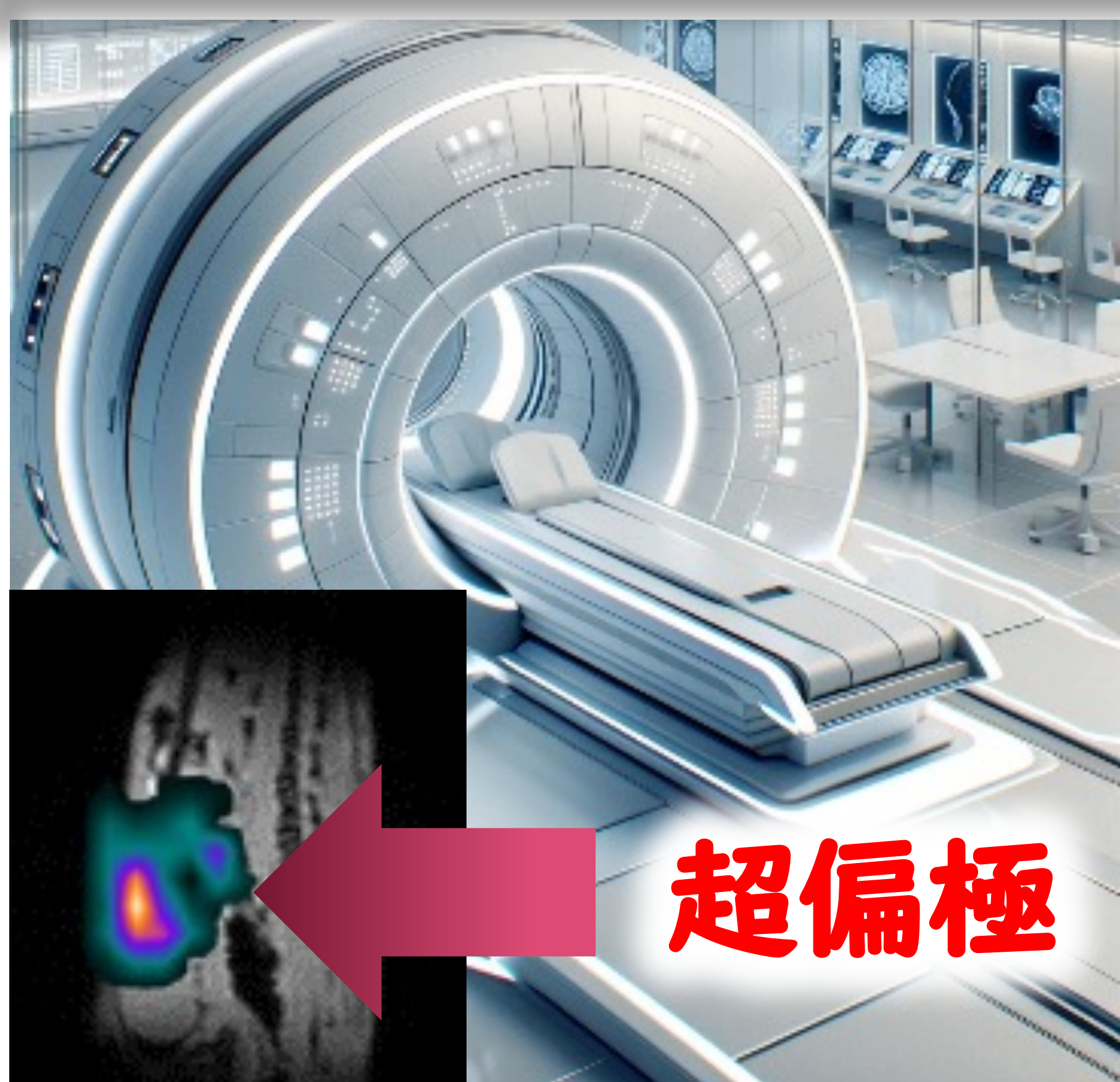
# 国産新技術による 超高感度MRI

Domestically developed hyperpolarized magnetic resonance imaging system

量子生命科学研究所 量子超偏極MRI研究チーム

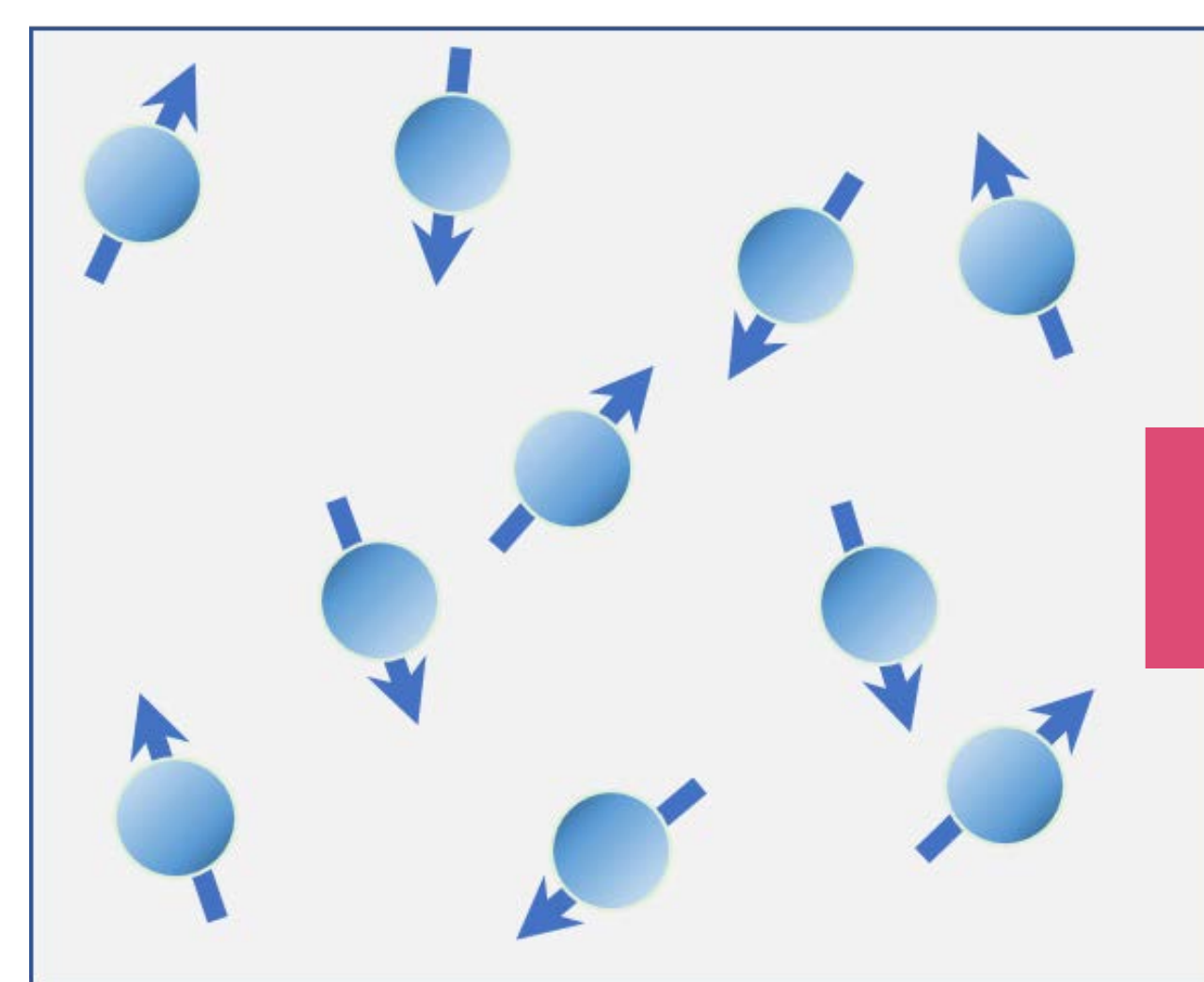
サブリーダー 高草木 洋一 takakusagi.yoichi@qst.go.jp

## 超高感度 次世代MRI



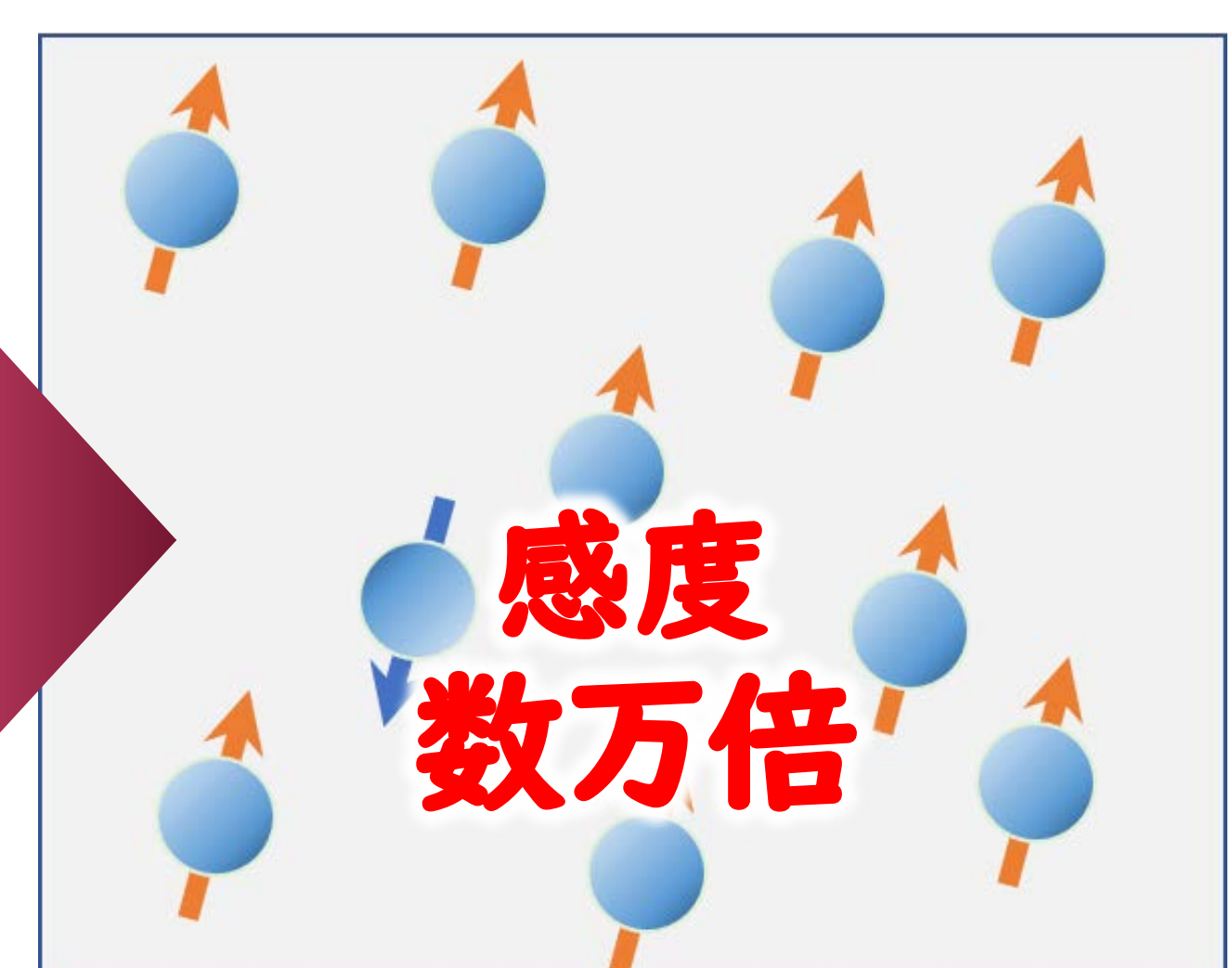
生体内の代謝マップ撮像による  
抗がん剤の治療効果判定など

## 従来のMRI



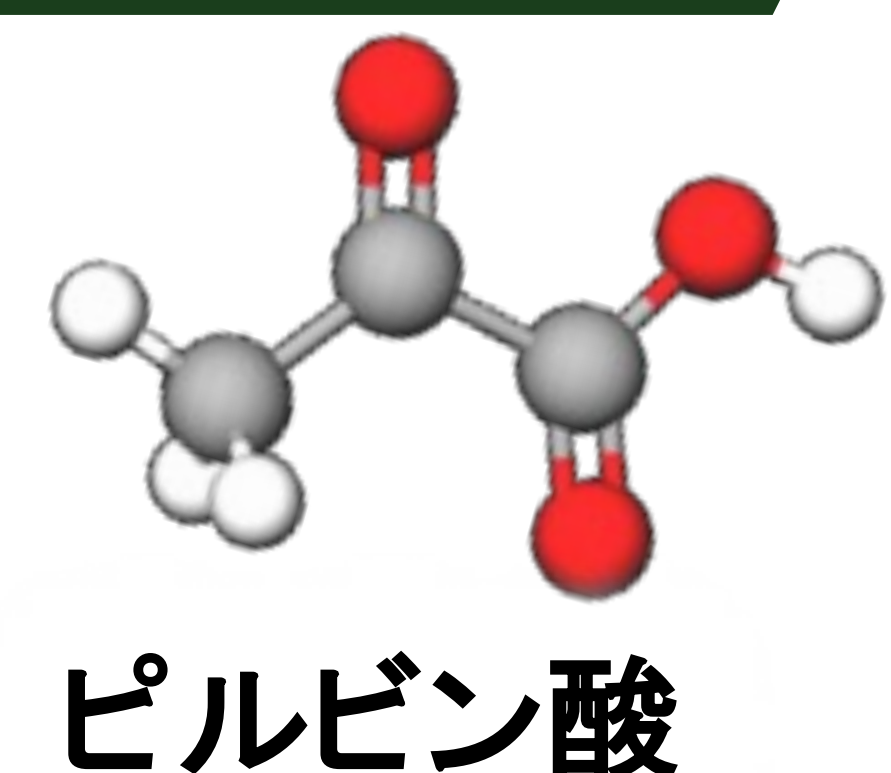
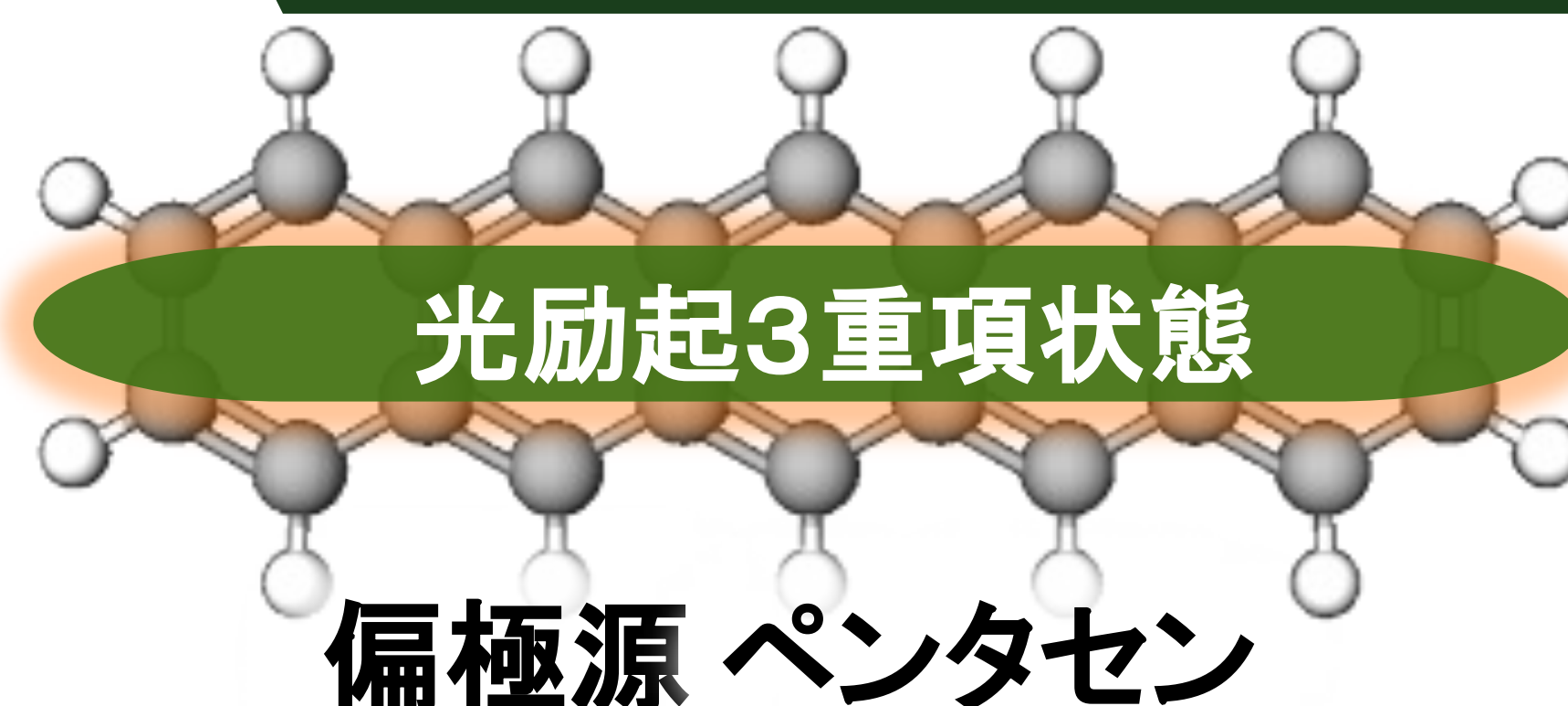
スピン方向がバラバラ

## 超偏極MRI



スピン方向を整列

## トリプレット超偏極法



医療画像診断装置MRIを超高感度化する国産技術を開発しています。

レーザー光、マイクロ波、磁場を組み合わせる特殊な制御を行うことで、トリプレット超偏極法を実現します。これにより、既存のMRIシグナルを1万倍以上に高感度化することができます。

本法はペンタセンという有機分子を種として、その分子内に光励起3重項という量子状態を作り、それを分子プローブに作用させ、高感度化します。

超偏極法には極低温(液体ヘリウム)を用いる別の方法がありますが、それと比較して、電気代のみで済むため、ランニングコストが圧倒的に安く、強い価格競争力があります。

応用として、体内のピルビン酸の代謝速度を測定することで、抗がん剤治療の効果判定を行うことなどが挙げられます。

# 量子構造解析・分子シミュレーションによる 創薬・バイオ生産の革新

Innovation in Drug Discovery and Bioproduction by Quantum Structure Analysis and Molecular Simulation

量子生命科学研究所

構造生物学研究チーム

チームリーダー **玉田 太郎** tamada.taro@qst.go.jp

生体分子シミュレーション研究チーム

チームリーダー **河野 秀俊** kono.hidetoshi@qst.go.jp

	<sup>1</sup> H	<sup>2</sup> H(D)	<sup>12</sup> C	<sup>14</sup> N	<sup>16</sup> O	<sup>32</sup> S
中性子	○	●	●	●	●	●
	-0.32	1.00	(1)	1.98	0.76	0.18
X線	●	●	●	●	●	●
	0.03	0.03	(1)	1.36	1.78	7.11

中性子: 原子核と直接相互作用  
⇒水素原子・同位体効果(H/D)の観察が容易

放射光X線と中性子から決定したタンパク質の立体構造:  
白丸が水素(H/D)原子

ドッキングシミュレーション

研究用原子炉JRR-3に設置したQSTの実験装置を高度化:  
分子量10万を超える生体分子の中性子解析を可能に

赤:水素原子(H)  
緑:重水素原子(D)  
ピンク:電子密度

立体構造にもとづいたシミュレーションによって、機能発現メカニズムの理解と機能の改変、高度化、安定化など合理的設計を可能に

タンパク質などの生体高分子は、大きいものでは数百万を超える原子が特定の形を形成し、同時に、ダイナックにその形を変化させることで、その分子固有の機能を発揮します。私たちのグループでは、複数の量子技術(放射光X線/中性子回折・散乱など)を組み合わせることで、従来法で困難であった水素原子を含む生体高分子の全構成原子の構造情報を明らかにしてきました。

また、これまで不可能であった大型の生体高分子の中性子構造解析を可能とする装置の高度化を実現しました。得られた高精度の構造情報を量子化学計算や分子シミュレーションにより、生体高分子がもつ巧みな機能を高精度かつシームレスに理解するとともに、合理的に構造の安定化や機能の向上の分子設計が可能となります。本技術開発により、従来よりも高効率かつ高精度な創薬やバイオ生産の実現を目指しています。

# 量子メカニズムを解明して 新しい抗酸化物質を開発

Development of novel antioxidants based on quantum mechanisms

量子生命科学研究所 量子レドックス化学研究チーム

チームリーダー 中西 郁夫

nakanishi.ikuo@qst.go.jp

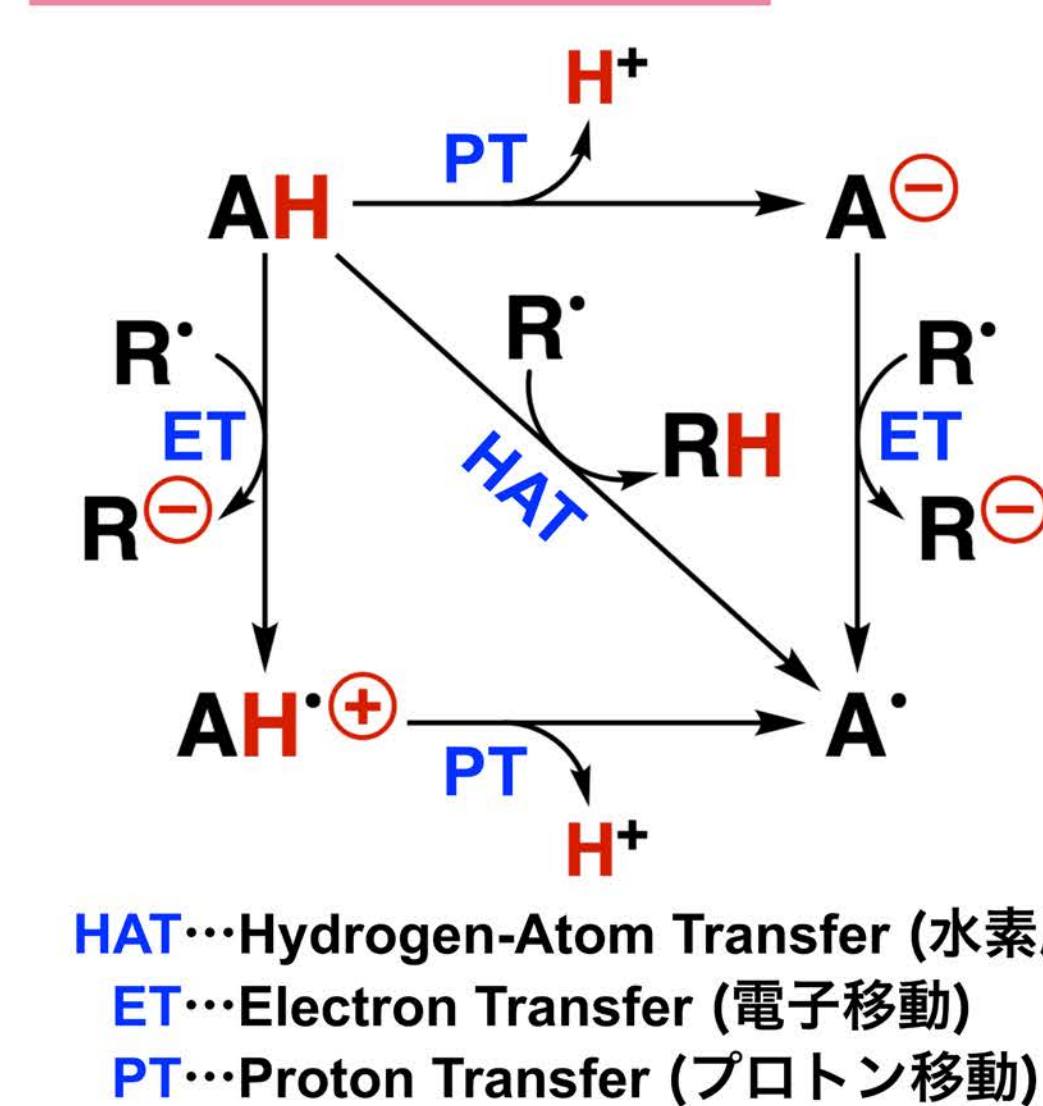
抗酸化物質の作用メカニズムを分子・量子レベルで解明

メカニズムに基づき活性の高い新しい抗酸化物質を開発

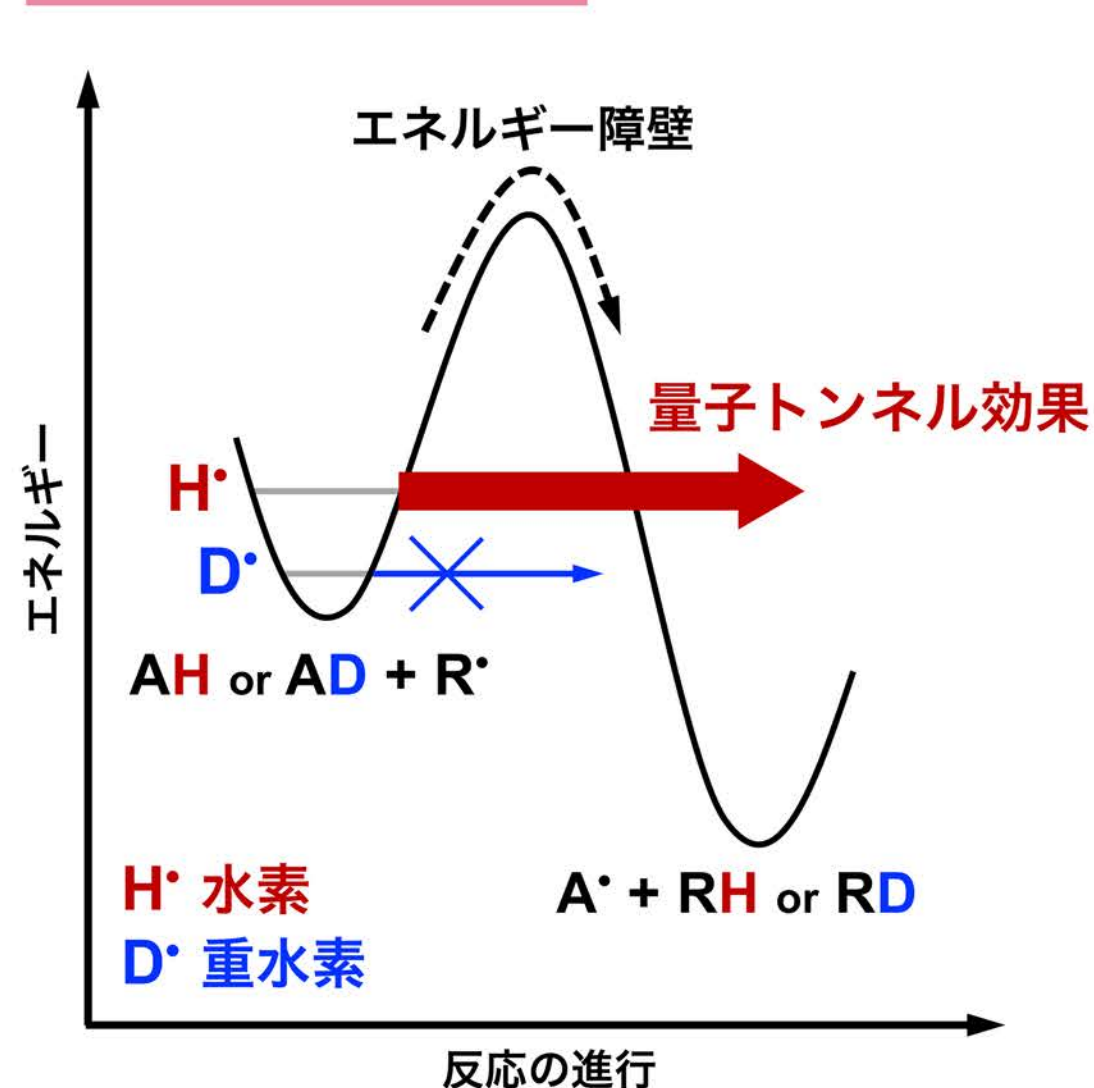
共同研究 昭和大学薬学部 福原 潔 教授



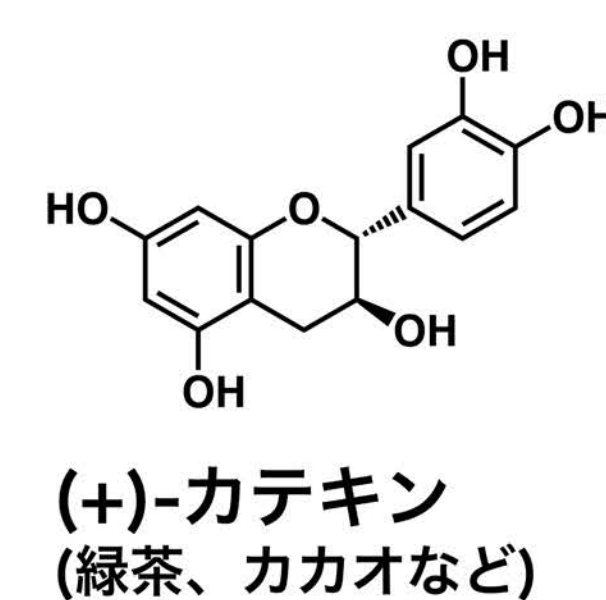
水素移動反応メカニズム



量子トンネル効果

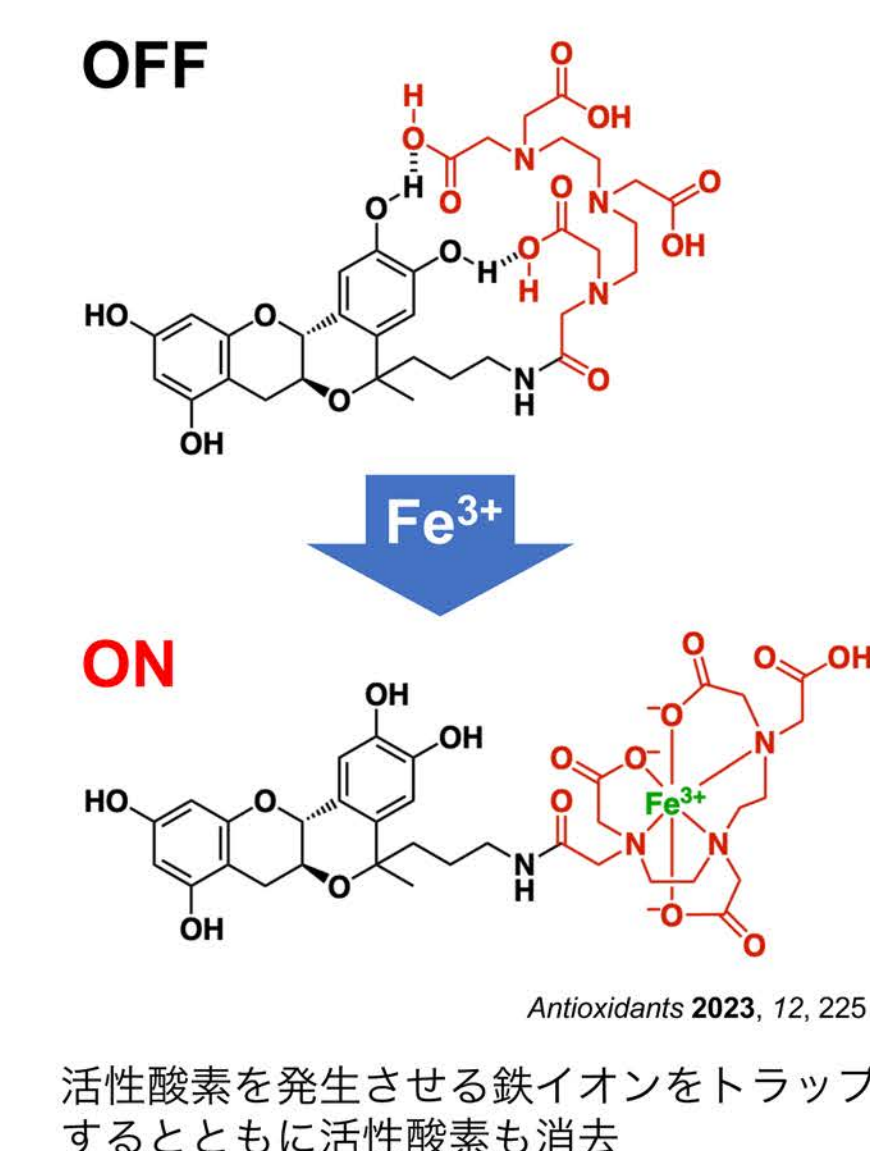


抗酸化物質の開発例

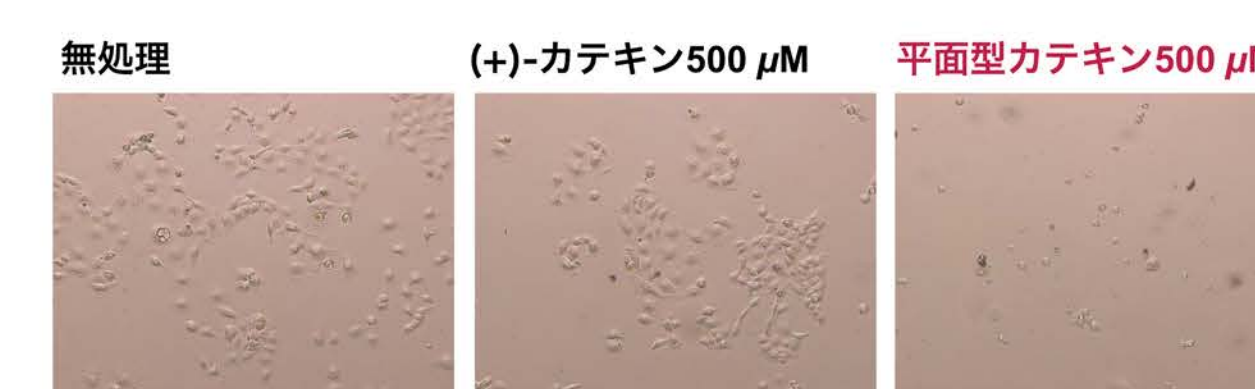


RSC Adv. 2018, 8, 10158  
J. Am. Chem. Soc. 2002, 124, 5952

鉄イオンで活性がオンになる  
平面型カテキン

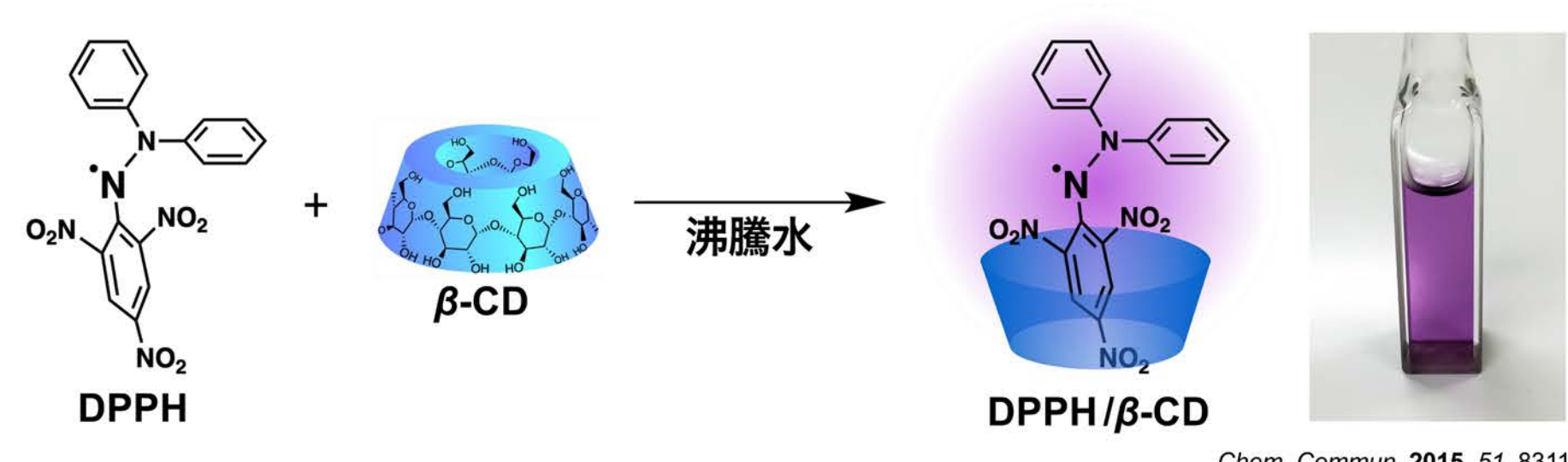


平面型カテキンのがん細胞殺傷作用



カテキンばく露24時間後の胃がん細胞  
がん細胞の増殖に必要とされる活性酸素を消去

活性酸素モデルDPPHの水溶化に成功



呼吸の副産物である活性酸素が生体内で過剰に発生すると、がんや心疾患、脳血管疾患などの生活習慣病を引き起こすといわれています。また、紫外線による皮膚のしわや放射線障害も活性酸素が原因であることが知られています。植物に含まれる抗酸化物質は活性酸素の消去活性を示すことから生活習慣病予防への応用が期待されていますが、活性が弱いことが問題点となっています。私たちは活性酸素のモデル化合物(ラジカル)を用い、天然抗酸化物質の作用メカニズムを分子レベル、さらには量子レベルで解明し、天然物よりも活性の高い新しい抗酸化物質の開発に成功してきました。新型抗酸化物質は人生100年時代の健康寿命延伸に大きく貢献できると考えられ、化粧品や医薬品、サプリメントへの応用を目指しています。