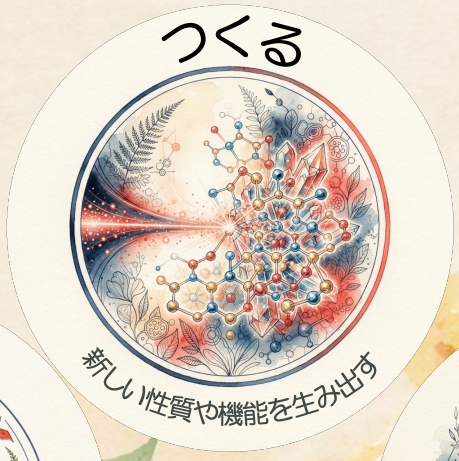
先進ビーム利用施設部

量子ビームで、
未来の材料と技術を生み出す

量子（量子技術＆量子ビーム技術）を使って、
見えないものをみる、新しい機能をつくる

宇宙、量子技術、健康、
エネルギー、農業へ貢献







国立研究開発法人量子科学技術研究開発機構
高崎量子技術基盤研究所 先進ビーム利用施設部

量子ビーム（イオン・電子・ガンマ）が変える未来

量子ビームは、加速器などを使って粒子の向きや速さをそろえ、細く束ねた流れです。材料や生き物に当てることで、原子の並びや化学結合を変えたり、内部の元素や損傷を調べたりできます。高崎研では、研究目的に合わせてイオンビーム、電子線、ガンマ線を使い分け、材料・デバイス・生命科学の研究に活用しています。

量子技術

量子センサーは、結晶の中にある原子レベルの小さな欠陥を利用して、ごく小さな温度・磁場・電流の変化を捉える技術です。SiCやダイヤモンドの狙った位置に欠陥をつくり、動作中の電子部品の内部を直接測ることで、劣化や異常の早期発見、性能向上、長寿命化につなげます。

宇　宙

宇宙空間では、陽子や重いイオン、電子などが人工衛星の半導体に入り込み、誤作動や性能低下を引き起こすことがあります。地上で部品へ量子ビームを照射し、どの条件で変化が起こるかを調べることで、衛星・探査機に使う部品の選定や耐放射線設計を支えます。

健康・医療

放射線が水の中で起こす化学反応を利用し、熱や架橋剤を使わずにタンパク質同士をつないでゲルをつくります。柔らかさや表面の微細形状を調整し、細胞が体内に近い環境で育つ培養基材として、薬効評価、機能性食品、再生医療の研究につなげます。

農　業

植物の種子、芽、培養組織などへイオンビームやガンマ線を照射し、遺伝情報に多様な変化のきっかけを与えます。多数の個体を育て、病気、高温、乾燥などに強いものや、品質・生産性に優れた候補を選び、新品種や有用微生物の開発を支えます。

エネルギー

フュージョンエネルギーの実現には、高温や強い放射線に耐える材料が必要です。複数のイオンを同時に照射して複雑な損傷を模擬したり、ガンマ線で機器や絶縁材料を評価したりすることで、長期間、安全に使える材料の選定と改良を支えます。

見えなかった半導体内部を量子で測る

SiCパワー半導体は、省エネ性能が高く、高い電圧や温度でも使えるため、鉄道、電気自動車、電力機器などで利用が広がっています。より安全に長く使うには、動作中の内部で温度や電流がどう変化するかを知る必要があります。

課　題

SiC内部の「シリコン空孔」は量子センサーとして働きますが、従来法では高温ほど温度信号が弱くなり、50℃を超える領域の測定が困難でした。
このため、実用環境で重要となる高温領域の温度計測が実現できていませんでした。

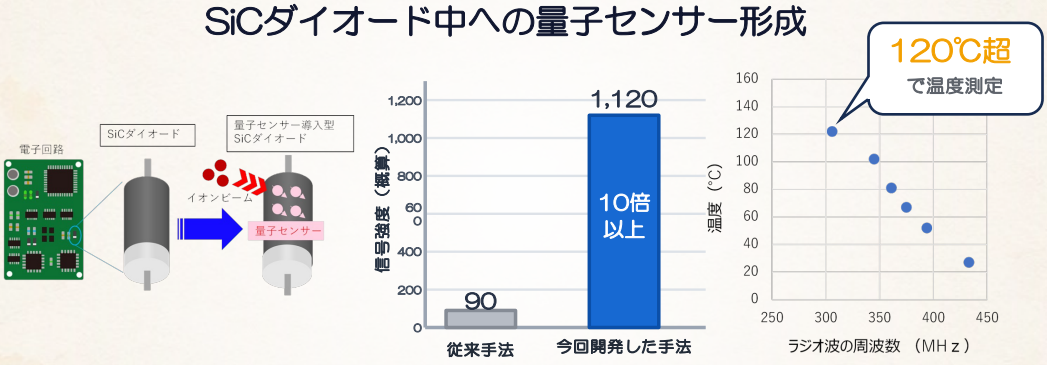
イオンビームによる加工技術

直径約1 μmのイオンビームを狙った位置へ照射し、シリコン原子を弾き出して空孔を形成します。さらに量子状態の操作を工夫し、微弱な温度情報を読み出しやすくしました。その結果、信号強度を10倍以上向上させ、120℃を超える高温領域での温度計測を実現しました。

成　果

温度信号は従来法の10倍以上。これまで難しかった120℃を超える温度測定を実証しました。市販SiCデバイスの動作保証温度175℃まで測れる可能性も示されています。高温動作時のデバイス内部状態を直接評価できる道が開かれました。

SiCダイオード中への量子センサー形成



出典：QSTプレスリリース「シリコンカーバイド（SiC）量子センサーの高感度化を実現！」 https://www.qst.go.jp/site/press/20230906.html

持続可能な社会の実現への貢献

SiC量子センサーを用いた高感度な温度計測技術が大きく進展し、これまで困難であった120℃を超える高温領域での計測が可能となった。これにより、次世代パワー半導体内部の温度や電流の状態をより正確に把握できるようになり、デバイスの信頼性向上や品質管理の高度化、異常検知による安全性向上が期待されます。さらに、省エネルギー化を支える電力変換機器や社会インフラへの応用を通じて、持続可能な社会の実現への貢献が期待されます。

体の中に近い環境をつくる

筋肉の中でも「遅筋」は、姿勢や日常動作を支える重要な組織です。この遅筋が病気や運動不足などによって衰えると、生活の質（QOL）の低下につながります。

筋肉の衰えを予防・改善する薬剤や機能性食品、治療法の開発には、遅筋の特徴を持つ培養筋肉が必要です。そこで私たちは、「遅筋」培養筋肉を育てるため、放射線を利用して、体の中の環境に近いタンパク質ゲルを開発しました。

課　題

一般的な培養皿はプラスチックでできており、非常に硬く、表面も平らです。一方、体の中の細胞は、タンパク質を主成分としたゲルに囲まれ、柔らかく、細かな構造を感じながら成長しています。培養した筋肉細胞が遅筋の特徴を獲得するには、体の中に近い「柔らかさ」と「形状」を模倣したタンパク質ゲルが必要です。

電子・ガンマ線による放射線加工技術

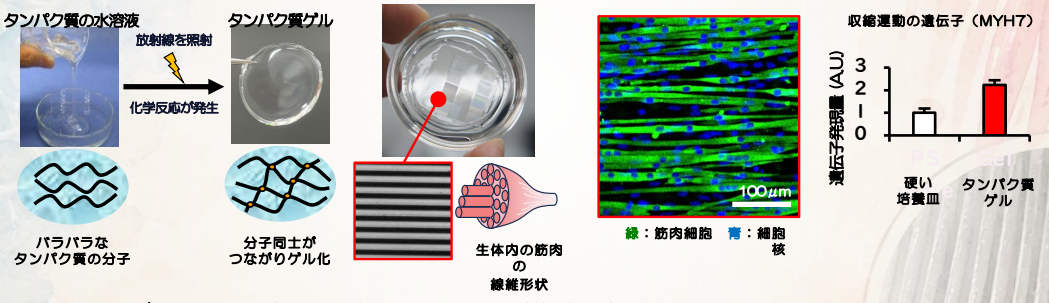
薬剤を用いる従来技術では、加工時にタンパク質が変化し、本来の機能を発揮できなくなるという問題がありました。そこでQSTでは、放射線が引き起こす化学反応を活用することで、タンパク質の機能を損なわずに加工し、ゲル化する技術を開発しました。

成　果

放射線の照射量などを調整すると、ゲルの柔らかさを精密に制御することができます。また、型を使用することで、ゲル表面にμm（マイクロメートル、mmの1000分の1）単位の微細形状を加工することもできます。この技術を応用し、筋肉の柔らかさや構造を模倣したタンパク質ゲルを開発しました。

筋肉の柔らかさと凹凸形状を模倣したタンパク質ゲルを開発

筋肉の柔らかさと形状を模倣したゲルで遅筋の特性を持つ整列した培養筋肉の作製に成功



出典：QSTプレスリリース「日常動作や持久的活動に重要な「遅筋」培養筋肉の作製に成功」

薬剤や治療法などの研究に貢献

筋肉に近い柔らかさと微細形状を持つゲルを開発し、遅筋の特徴を持つ整列した培養筋肉の作製に成功しました。この「遅筋」培養筋肉は、筋肉の衰え（フレイル）を予防・改善するための薬剤や機能性食品、治療法などを研究するための新しいモデルとして、さまざまな研究への活用が期待されます。

現在、筋肉以外の組織や臓器に合わせたタンパク質ゲルの開発も進めています。開発したゲルの上で、より人間に近い培養組織・臓器ができれば、人体の仕組みの解明や、病気の予防や治療方法の開発に向けた効果的な研究開発にもつながります。

３つの量子ビームを目的で使い分ける

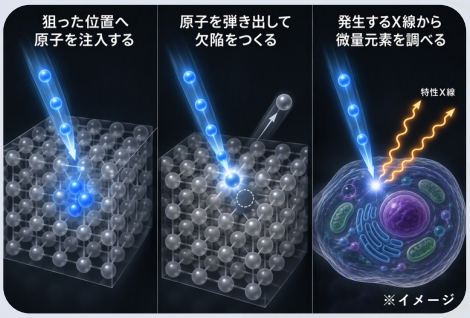
量子ビームは一種類ではありません。イオンと電子は電荷を持つ粒子、ガンマ線は高いエネルギーを持つ光です。粒子の重さ、物質中での進み方、エネルギーの渡し方が異なるため、「どこを狙うか」「どれほど深く届けるか」「試料全体を均一に処理するか」によって、最適なビームと照射条件を選びます。

点

イオンビーム

狙った場所へ

原子から電子を取り去った粒子で、電子や光子より重く、物質中の限られた深さで大きなエネルギーを与えます。ビームを約1μmまで絞れば、狙った位置へ原子を注入する、原子を弾き出して欠陥をつくる、発生するX線から微量元素を調べることができます。

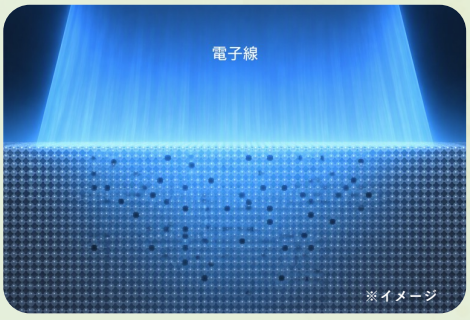


面

電子線

広い範囲へ

軽い電子は物質中を進みながら広い範囲へエネルギーを渡します。照射量を細かく制御し、ダイヤモンド中へ空孔を高密度に形成する、高分子の結合を切る・つなぐ、材料の耐久性を評価するなど、均一性と処理効率が必要な研究に適しています。



奥

ガンマ線

大きなものの奥へ

電荷を持たない高エネルギーの光で、厚い材料や大きな試料の奥まで届きやすいことが特長です。大型部品や装置を照射室へ持ち込み、材料全体へ均一に作用させるほか、低い線量率で長期影響を、高い線量率で短時間変化を調べることができます。



高崎研では３つの量子ビームを同じ場所活用し「変える → 調べる → 次の実験」の流れをつなぎます

TIARA：狙った場所へイオンを届ける



4台の加速器だからできる

水素のように軽いイオンから金のように重いイオンまで、研究に必要な種類とエネルギーはさまざま。TIARAでは、サイクロトロン、タンデム加速器、シングルエンド加速器、イオン注入装置という得意分野の異なる4台を使い分け、多数の照射・分析ラインから研究の目的に合う組み合わせを選びます。

研究の目的に合わせる３つの技術

1 細く絞る

ビームを約1μmまで細くし、位置を制御しながら走査します。SiCやダイヤモンドの狙った場所へ量子センサーとなる欠陥を形成するほか、細胞や植物組織から発生するX線を測り、元素がどこに集まっているかを可視化します。

2 広く均一に当てる

磁場などでビームを走査し、折り紙ほどの面積へ均一に照射します。半導体ウェハ、薄膜、高分子、植物試料など、広さのある試料へ同じ条件で作用させ、照射位置によるばらつきを抑えた材料改質や比較試験を行います。

3 複数を同時に当てる

3台の加速器から異なるイオンを一つの試料へ同時に入射する「トリプルビーム照射」が可能です。複数種類の粒子が材料へ与える損傷や、核変換で生じるヘリウム・水素の影響を組み合わせ、核融合炉などの複雑な放射線環境を模擬します。

全国の大学・企業にも開かれた「イオンビーム総合拠点」

人工衛星用半導体、核融合材料、量子材料、品種改良、微量元素分析など、基礎研究から産業利用まで幅広い課題を支えています。

電子・ガンマ線：広くつくる・奥まで届ける

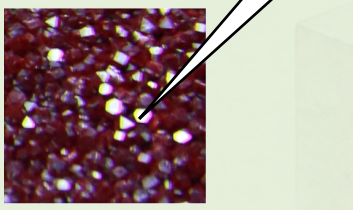
量子ビーム実験では、試料の材質・寸法・数量、照射したい範囲、必要な温度や雰囲気、測りたい変化によって条件が変わります。
研究者と技術者が目的を共有し、ビーム種、エネルギー、照射量、線量率、試料配置、計測方法を組み立て、安全な照射と次の実験までを一体で支えます。

電子線照射施設

電子のシャワーを、広い範囲へ効率よく







電子線の強さを細かく調整し、照射中の材料特性や試料温度をその場で測定できます。試料を加熱・冷却し、周囲を空気、窒素、真空などの条件に変えることで、製造工程や実使用環境に近い状態を再現し、材料の反応、劣化、機能発現を時間を追って調べます。

量子材料へ

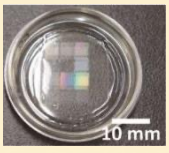
窒素を含むダイヤモンドへ電子線を照射して炭素原子を弾き出し、熱処理と組み合わせてNVセンターを形成します。広い面積へ均一に多数の空孔をつくれるため、量子センサー材料の高濃度化・安定生産を支えます。

ガンマ線照射施設

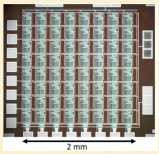
大きなエネルギーを持つ光を、物の奥まで届ける







生態模倣ゲル培養基材



耐放射線センサー

広い照射室では、様々な材料を実際の使用状況に近い形で試験できます。長期間にわたる放射線の影響を調べたり、短期間で加速的に変化を再現したりすることが可能です。また、試料の温度や周囲の環境を調整しながら、材料の変化や劣化の様子を詳しく調べることができます。

医療・宇宙・エネルギーへ

宇宙用電子機器や核融合機器の耐放射線性評価に加え、水溶液中の反応を利用した生体模倣ゲル培養基材の作製にも用います。材料評価と材料創製の両面から、宇宙、エネルギー、医療・バイオの研究を支えます。

多様な研究を量子ビーム技術で支える

量子ビーム実験では、試料の材質・寸法・数量、照射したい範囲、必要な温度や雰囲気、測りたい変化によって条件が変わります。
研究者と技術者が目的を共有し、ビーム種、エネルギー、照射量、線量率、試料配置、計測方法を組み立て、安全な照射と次の実験までを一体で支えます。

1 相談

目的、試料、知りたいことを整理

2 条件設計

ビーム、強さ、温度、環境を検討

3 照射・計測

施設を安全に運転し、変化を追う

4 次の実験へ

結果を見て、よりよい条件を探す

高崎研の大型照射施設は、全国の大学や企業にも開かれた共通の研究の場です。基礎研究、新材料、将来の製品に関わる課題まで量子ビームを使った研究開発を支えています。

研究と自然がつながる場所 自然豊かな高崎研で、次の研究を支えます



施設紹介

利用相談

国立研究開発法人量子科学技術研究開発機構
高崎量子技術基盤研究所 先進ビーム利用施設部

発行：2026年10月