

国立研究開発法人 量子科学技術研究開発機構

調和ある多様性の創造

QST

NEWS LETTER

2022
No. 21

National Institutes for
Quantum
Science and
Technology

未来を創る

Special feature 1

未来を創る「知」の拠点 量子機能創製研究センター

- 01 インTRODakシヨN
- プロジェクトが創る未来
- 03 プロジェクトインタビュー

Special feature 2

世界初! マルチイオン源の開発に成功 次世代重粒子線がん治療装置「量子メス」実現近づく

- 05 QST×住友重機械工業
共同記者発表会レポート
- 07 研究者インタビュー
- 09 News & Press release

Create
a
Sustainable
Future

未来を創る「知」の拠点



日本が目指す未来社会の姿「Society 5.0」では、サイバー空間の拡大やデータ量・通信量の飛躍的な増加が予想されます。この未来社会の実現を目指し、QSTは量子ビーム科学部門 高崎量子応用研究所に量子機能創製研究センターを発足させました(4月1日)。

日本や世界の新材料開発のキーテクノロジー・量子科学技術の「知」をセンターに集約し、未来創りの研究を始めています。



量子機能創製研究センター
大島 武 センター長
OHSHIMA Takeshi



QSTが世界を先導する

マテリアル × 量子ビーム基盤技術 = 量子科学技術

量子科学技術・・・量子のふるまいや影響に関する科学とそれを応用する技術

mission

世界で起きているパラダイムシフト^{※1}の中で、日本は2030年の目指すべき社会像として「Society 5.0」や「データ駆動型社会」を世界に先駆けて掲げました。この目指す未来社会実現のカギを握る重要な技術が量子科学技術です。

今、量子科学技術は未来を創る技術として、アメリカや中国、欧州などが巨額の予算を投入し、熾烈な開発競争を繰り広げています。そのような背景の中、わが国も研究の加速化、産業競争力強化等のために量子科学技術研究の体制強化^{※2}を進めてきました。量子機能創製研究センターは日本の量子科学技術研究の最重要拠点としての役割を担っています。

project

センターが置かれた高崎量子応用研究所^{※3}の強みを活かした7つのプロジェクトが進められています。量子ビームを活用することで量子材料を機能化して量子センシングという応用に向かって推進するプロジェクト、新規量子欠陥の探索を担うプロジェクト、スピノフォニクスといったQSTが提案する新しい概念を実現するために必要な材料やデバイス開発を推進するプロジェクト、光とスピンを高度に制御する基盤研究のプロジェクト。これらの研究を理論面から支えるプロジェクトです。そして、レーザーや電場・磁場を駆使することでトラップした冷却イオンを量子ビットへ応用するプロジェクト、将来の量子デバイスの開発では避けて通れない材料の微細化技術を進めるプロジェクトです。

▶プロジェクト関連記事 P3-4



Open innovation

QSTは国内外の研究機関や大学、企業とこれまでも共同研究に取り組んできました。センターは、さらにオープンに「知」を集約し、広い視野で研究を加速させ、成果を社会実装につなげることを強く意識しています。プロジェクトは単独で動くのではなく、7つのプロジェクトのそれぞれの強みを活かした協働がシナジーを生み、イノベーションが創りだされる場になることを期待しています。

Open innovationとは

オープンイノベーションとは、組織内部のイノベーションを促進するために、意図的かつ積極的に内部と外部の技術やアイデアなどの資源の流入流出を活用し、その結果組織内で創出したイノベーションを組織外に展開する市場機会を増やすことです。(2003年米ハーバード大学経営大学院の教員ヘンリー・チェスブロウが発表した概念^{※4})

Message

量子科学技術は未来への飛躍をもたらす技術で、情報セキュリティや環境問題をはじめとする困難な課題解決に大きく貢献できます。一方で、その実現には、原理実証から応用まで全ての部分で技術開発が必要な挑戦的な研究分野です。私たちは、量子科学を真の使える技術にするための研究を強く推進しています。

量子科学は研究することがたくさんある分野です。世界を変える量子科学技術研究のメンバーとして多くの研究者や研究者を目指す方が参加することを期待しています。



※1 パラダイムシフト (paradigm shift) とは、認識や思想、社会全体の価値観などが非連続的・劇的に変化すること。

※2 「量子技術イノベーション戦略(令和2年1月)」

※3 QSTの量子ビーム科学研究の中核拠点。イオン照射研究施設(TIARA)、ガンマ線照射施設及び電子線照射施設などがある。

※4 「Open Innovation -The New Imperative for Creating and Profiting from Technology」

DX化が進む未来社会を創る 量子科学技術 × イノベーション

「実験・観測」と「理論」の2つの融合

量子機能創製研究センターでは未来社会の研究拠点として、7つのプロジェクトが始動しています。センターは、QSTだけでなく、クロスアポイント制度による大学、公的研究機関等との人的交流、産業界との連携を活性化する産業協創ラボの設置等を通じて、量子技術で革新的なイノベーションとなる研究を進めています。

7つのプロジェクトのうち、3つのプロジェクトで研究を推進する3人の研究者に「プロジェクトが創る未来」について伺いました。

Open innovation

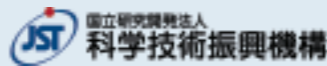
プロジェクト

希土類量子デバイスプロジェクト × 創発的支援事業



佐藤 真一郎 主幹研究員
SATO Shinichiro

希土類量子デバイス
プロジェクトチーフ



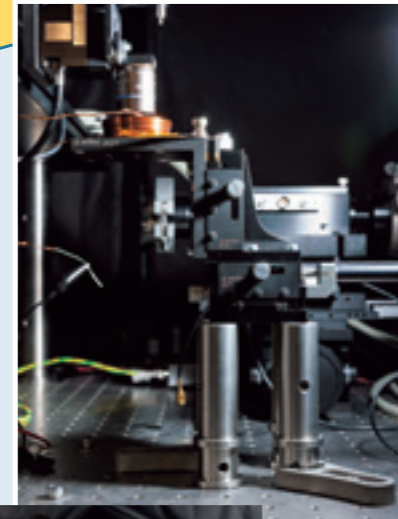
国立研究開発法人
科学技術振興機構 (JST)
創発的研究支援事業



「単一光子源」※1は、量子通信や量子コンピュータの実用・発展には欠かせないもので、通信の信号生成を担うデバイスです。社会実装されれば、原理的に盗聴が不可能となる安全な通信技術の実現に貢献します。また、量子コンピュータをスマートフォンのように誰もが気軽に使える時代が到来するかもしれません。



JSTの創発的支援事業で採択された研究テーマ「ランタノイド・ナノフォトニクス量子デバイス」を遂行するのが本プロジェクトの目的です。窒化ガリウム (GaN) などの材料で構成した電子デバイスの内部に希土類 (ランタノイド) 原子を1個だけ添加し、電流や電圧で希土類からの光子の発生を制御できれば、極めて実用性の高い単一光子源となります。そして、希土類の発光をより高度に制御するため、フォトニック結晶※2という構造を形成し、複数の単一光子源を半導体上で組み合わせることで、オンチップ量子もつれ光源の実現を目指します。また、希土類原子を単一光子源としてではなく、量子センサーとして利用するための研究も同時に進めていきます。



自作の光検出磁気共鳴装置

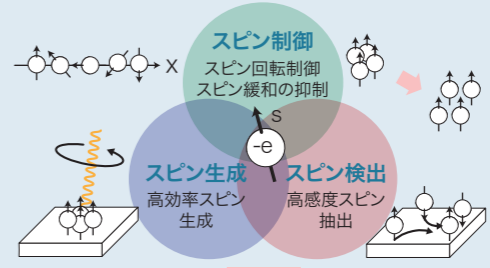


Message

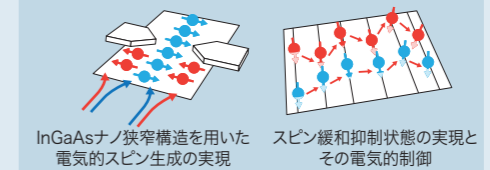
量子科学技術は、これまでの基礎的な研究の積み重ねが今まさに実用に向かおうとしている過渡期にあり、量子科学技術の実用化によって大きな社会変革がもたらされることもそう遠くない未来かもしれません。とはいえ、実用化に向けての課題が山積していることも事実で、今一度基礎に立ち返ることも重要であり、新たな物質・材料を用いた新たな手法が現れる可能性も大いにありえます。私にとっては、それこそが量子科学技術の面白さであり、基礎と応用の両方をバランス良く見据え、世間がもっと驚くような「量子機能」を「創製」すべく、研究を進めていきたいと思っています。

別々に用いられてきた電荷とスピンを融合

スピントロニクス※4
新しい動作原理に基づく高速処理+不揮発性+省電力化



半導体におけるスピン軌道相互作用を利用



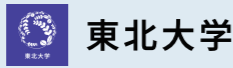
プロジェクトメンバーは各分野においてプロフェッショナルで、いわゆる精鋭集団です。QSTでなければできないスピン欠陥生成技術や新規材料創製に関する知見などが既に蓄積されており、大学で培った研究との掛け合わせによってイノベーションが生まれるように思います。量子科学の面白さは、量子世界を自分の手で精密に制御できる達成感とそこから生まれる全く新しい原理や機能に遭遇できる喜びだと思います。私たちは量子科学で新たな技術や機能を創製し、未来社会に貢献できるように研究に邁進していきたいと思っています。

光スピン量子制御プロジェクト × 東北大学



好田 誠 首席研究員
KOHIDA Makoto

光スピン量子制御
プロジェクトリーダー



東北大学
大学院工学研究科
知能デバイス材料学専攻 教授 好田研究室

IoT・AI時代の幕開けにより自動運転やスマートシティなど膨大な情報量を毎日利用する社会が到来します。持続的に膨大な情報量を低消費電力で、超高速に処理できるのが電子スピン波を用いる並列計算です。0と1のデジタル信号処理とは質的に全く異なる量子・スピン技術で、DX化が進む未来社会を支えます。



スピン軌道相互作用 (右図) は、電子スピン※3が電界中を高速に運動することにより、電界を磁界に変換する相対論的な効果です。この効果を利用し、まるでワルツを踊るかのように電子スピン集団を一斉制御する、ソリストのように電子スピン一個の量子状態を精密制御する研究を進めています。研究成果の社会実装に向けた課題として、電子スピンは一度ある方向に向けて情報を記録させても、時間が経つとバラバラになり情報が消失する「スピン緩和」が避けられないことがあります。本プロジェクトにおいてもスピン情報を長く保持することは極めて重要で、東北大で進めてきたスピンを安定化できる技術「永久スピン旋回状態」とこのプロジェクトで進めるスピン量子状態制御を融合させた新たな展開が期待できると考えています。

東北大学 好田研究室



量子材料理論プロジェクト × 東京工業大学



松下 雄一郎
MATSUSHITA Yu-ichiro

量子材料理論
プロジェクトチーフ



東京工業大学
物質・情報卓越教育院
特任准教授 松下研究室

量子材料理論プロジェクトで研究開発している量子科学技術には、量子コンピュータや量子センサー、量子通信・量子インターネットなど人類社会にとって不可欠なインフラ技術に大きく関係するものが多く含まれます。日本の安全・安心な社会づくりへの貢献、より小型化され、高機能化されたデバイスの実現として、皆様の暮らしに関わっていくものと思います。



このプロジェクトでは、理論シミュレーションから新規量子デバイス・量子材料の探索と解析を行っています。プロジェクトの1つの重要な役割は、ゲート方式量子コンピュータ※5上で動くアルゴリズムの開発です。従来型の (古典) コンピュータ上で動くアルゴリズムがそのまま量子コンピュータ上で動作する訳ではありません。量子コンピュータの性能を最大限に引き出すためにも、量子コンピュータ上で動作するアルゴリズムの開発が必要で、これは重要な研究課題です。

これまで、東京工業大学において材料計算「理論」の構築を進めてきました。一方で、本センターでは理論と実験の強力な連携・コラボレーションの環境が整えられており、理論と実験の連携こそが新センターの魅力の1つだと考えています。実験から得られるリアルなデータは、東京工業大学で進める「理論」の構築にとっても有益なフィードバックになり、大学の学生たちを大いに刺激することでしょう。

CEOという視点

世界中で量子科学技術の研究開発競争がなされている中で、一企業で対抗することに限界があることは明らかです。オープンイノベーションを意識し、積極的に情報公開と技術提供を行うことによって、全プロジェクトの活性化につながり、巡り巡って企業の量子ビジネス化にも大きなメリットをもたらすと考えます。

株式会社Quemix
代表取締役CEO



量子科学技術は未来社会のインフラ基盤です。インフラを「量子」を使ってゼロから作り直すというその社会的インパクトの大きさは容易に想像がつくと思います。QSTはこれまでの独自技術の世界的な優位性から、インフラ基盤構築に大きな強みを持っています。このようなプロジェクトに関われる機会は、なかなか経験できるものではないので、とてもワクワクしています。最先端技術分野には素晴らしい才能が集まり、思わぬ人との出会いやチャンスに溢れています。この研究の先に、どのような未来が描けるのか、自分の研究がどのように社会に貢献できるのか、楽しみながら研究開発をしています。

※1 一度に1個の光子 (単一光子) のみを発生する光子源。単一光子に書き込んだ量子情報は、コピーできないので量子暗号通信・量子情報処理に欠かせない基本デバイス。
※2 屈折率が光の波長と同程度の周期で、周期的に変調された構造のことで、光を閉じ込めたり、特定の方向へ輸送したりすることができる。
※3 電子の自転に由来して電子が示す磁石の性質をスピンという。電子のスピンには上向き

と下向きの二つの状態があり、スピントロニクスでは、例えば、スピンの上向きを0、下向きを1のデジタル情報として演算や記憶を行う。
※4 電子のスピンの上向き (上向き / 下向き) をデジタル情報の0と1のように扱い、これを制御したり識別したりすることで情報の処理を行う技術です。電子の電荷に加えてスピンを情報処理に用いることで、今日の情報技術が直面する電力消費の急増などの問題を克服

することができる技術として注目されている。
※5 「量子重ね合わせ」や「量子もつれ」といった量子力学の現象を利用して並列計算を実現するコンピュータ。量子コンピュータは問題を解く方法の違いにより、量子ゲート方式と量子アニーリング方式の大きく2つに分類される。量子ゲート方式は、量子状態にある素子の振る舞いや組み合わせで計算回路を作り、問題を解く。グーグルやIBM、リグジティ・

コンピューティングやIonQなどのスタートアップがハードウェアの開発を進めている。量子アニーリング方式は、組み合わせ最適化問題を解くことに特化。商用化で先行するD-Wave Systemsのハードウェア、日本ではNECが2023年までの実用化を発表している。

プロジェクトが創る未来

世界初!マルチイオン源の開発に成功 次世代重粒子線がん治療装置「量子メス」実現近づく



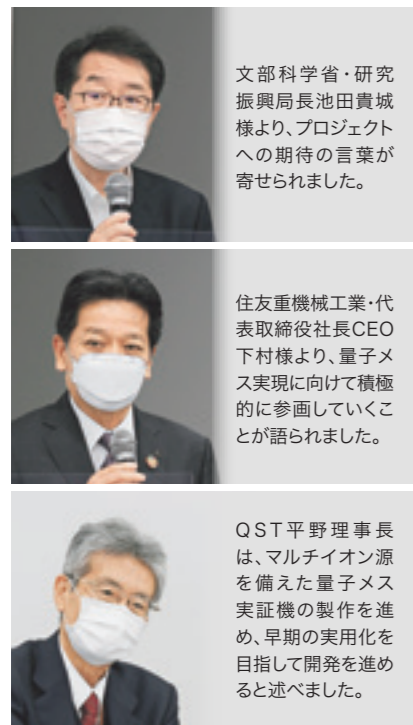
共同記者発表

2022年5月23日 量子科学技術研究開発機構 × 住友重機械工業株式会社

国立研究開発法人量子科学技術研究開発機構(以下、QST)と産学官連携のパートナー企業である住友重機械工業株式会社(以下、住友重機械)は、より高度な重粒子線がん治療を可能とするマルチイオン源の開発に世界で初めて成功しました。このマルチイオン源は次世代重粒子線がん治療装置「量子メス」を構成する主要装置の一つで、量子メス開発プロジェクトと併せて報道機関に発表されました。

発表会の内容をダイジェストでご紹介します。

写真左から: QST 山田 滋 QST病院長、白井敏之 量子メスプロジェクトマネージャー、平野俊夫 理事長/住友重機械工業 下村真司 代表取締役社長CEO、富永浩之 産業機事業部長、橋正則 医療・先端機器統括部 治療機責任者



文部科学省・研究振興局長池田貴城様より、プロジェクトへの期待の言葉が寄せられました。

住友重機械工業・代表取締役社長CEO下村様より、量子メス実現に向けて積極的に参画していくことが語られました。

QST平野理事長は、マルチイオン源を備えた量子メス実証機の製作を進め、早期の実用化を目指して開発を進めると述べました。

■量子メス開発プロジェクト

重粒子線がん治療をさらに発展させるためにQSTが取り組んでいるのが、次世代重粒子線がん治療装置(量子メス)の開発です。重粒子線は一般的に用いられる放射線のX線、陽子線に比較すると、患部への集中度が高く、患部付近で強い臨床効果を発揮する優れた性質を持っており、深部のがんでも切らずにピンポイントで治療することが可能です。

第3世代までの重粒子線がん治療装置は、装置が巨大で導入には高額なため、重粒子線がん治療装置の普及を阻んでいました。そのため、2017年か

ら、画期的な小型化と治療の短期化に向けた高性能化を目指す量子メス開発プロジェクトが、2026年の社会実装を目指して段階的に進められています。現在、量子メスは、第4世代、第5世代の研究と実証が並行して行われており、第4世代では超伝導技術やマルチイオン技術を用いて、第1世代(HIMAC)の6分の1程度の装置の小型化と複数のイオン照射による高度ながん治療を目指します。第5世代では第1世代の40分の1程度のさらなる装置の小型化をレーザー駆動イオン加速技術と小型超伝導回転ガントリーといった新しい技術で実現しようとしています。(図1)

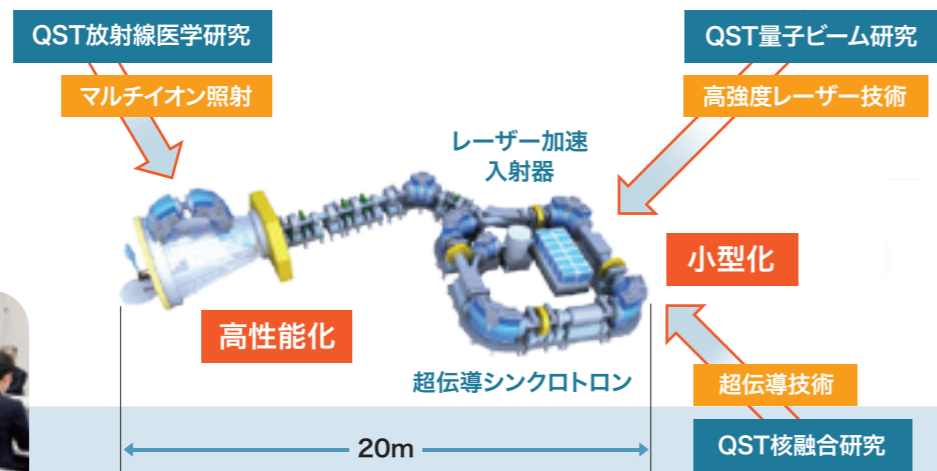
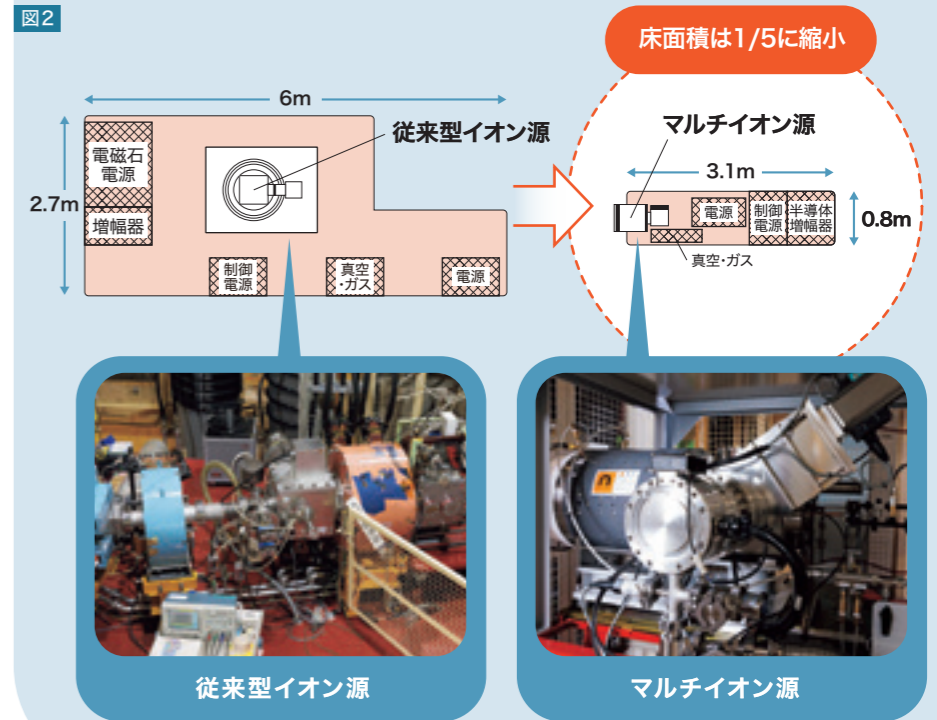


図1 第5世代量子メス普及機イメージ

■世界初の非常に小型なマルチイオン源

QSTと住友重機械の協働で、世界初の非常に小型なイオン源(3.1m×0.8m)を開発することができました。永久磁石を用いることにより、小型化だけでなく省電力化もでき、半導体のマイクロ波増幅器という装置を採用することで、維持費の削減やメンテナンスフリー化も可能となりました。(図2)また、患者さんごとに場所や状態が異なるがん照射する複数のイオンを高速に切り替えるために、ガスパルス法という世界初の新たな方式を開発しました。

これまで世界的にがん治療に用いられてきた放射線は一般的にはX線と陽子線、それから炭素線です。現在、重粒子線治療では、炭素線が使われていますが、今後は、ヘリウム、炭素、酸素、ネオンから、がんの状態に合わせて最適なイオンの重粒子線を選択することができます。炭素は陽子よりも非常に強い生物効果を持った放射線で、酸素、ネオンと、質量が重くなるごとに効果は強くなります。腫瘍の中で悪性度が高い部位には重いイオン、正常組織に近い部位には軽いイオンとがんの状態に合わせてイオンを使い分けるのがマルチイオン治療の大きな特徴です。(図3)



■第4世代実証機から普及機開発へ

QSTは量子メスの早期実用化を目指して開発を進めており、マルチイオン源を備えた量子メス実証機を設置するための「量子メス棟」の建設を2023年より開始します。

量子メス実証機は3つのパーツから構成され、開発に成功したマルチイオン源、光のスピードの10%近くまで加速する小型線形加速器(HIMACより移設、住友重機械共同開発)、超伝導シンクロトロンという新しく開発した装置(東芝エネルギーシステムズ共同開発)からなります。完成後は既存の治療室にイオンビームを供給し、治療計画通りの照射ができるような様々な試験、調整を行い、なるべく早期にマルチイオン治療の臨床研究に入ります。得られた臨床実績をもとに、QSTと製作に関わるメーカーを通じ、第4世代の普及機開発へと進める計画です。

■第5世代を実現するレーザー駆動イオン加速

第4世代機の建設と並行して、第5世代量子メス実現に向けたレーザー駆動イオン加速の研究を、関西光科学研究所にプラットフォームを作り、QSTと住友重機械の共同で進めています。この第5世代は、超伝導シンクロトロンの中にレーザー加速入射器が入った形になる設計で、非常に小型化された装置になります。

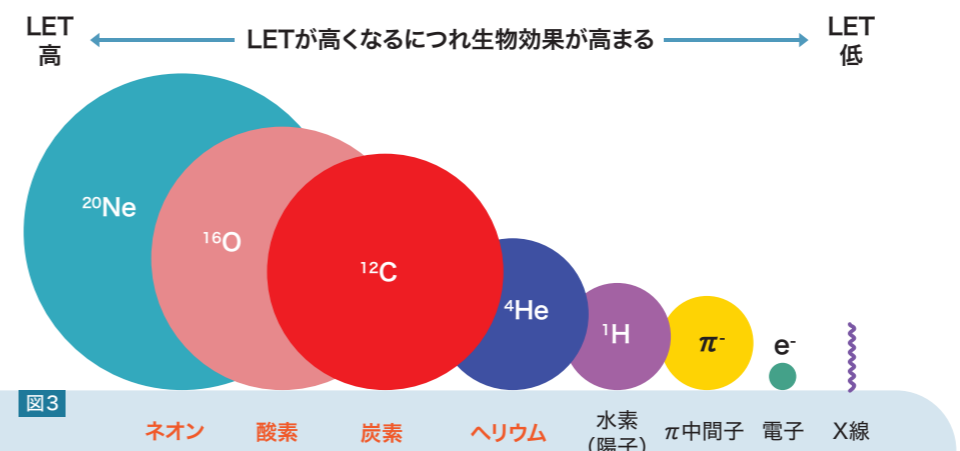


図3

TOPICS

新たに5疾患が保険収載

2016年の骨軟部腫瘍(骨肉腫)を皮切り保険収載も始まり、2018年には頭頸部、前立腺がん、そしてQSTが主導し、公益社団法人日本放射線腫瘍学会(JASTRO)と協働した結果、2022年4月には膵臓がんや肝臓がんなどの新たに5疾患が公的医療保険の対象となりました。QSTで治療している約7割が保険の対象になりました。QSTは重粒子線がん治療を1万4,000名を超える患者に行っています。

世界トップの日本

現在、全世界で炭素線治療装置15施設が稼働しており、うち7施設が国内にあります。また、海外で建設中の5施設すべてが日本製の装置であり、わが国発の技術として強い優位性があります。今後も、輸出が見込まれる一方、国際的なシェア争いの激化も予想され、日本の優位性・競争力を強化するためにも低コスト化・高度化が必須とされます。

量子メスを構成するマルチイオン源・レーザー駆動イオン加速に関わる
2人の研究者に研究についてお話を伺いました。

技術

Technology

世界初!マルチイオン照射を実現する マルチイオン源の技術

■ マルチイオン照射のための4種のイオンの生成と高速切り替え

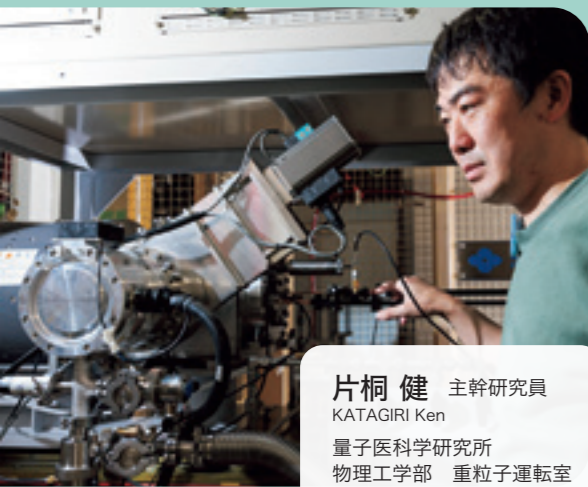
マルチイオン照射のために、マルチイオン源は4種のイオンを生成し、かつそれらイオンを切り替える必要があります。加えて、患者さんを治療台の上で待たせる時間を短縮するために、マルチイオン源のイオン切り替え時間は可能な限り短くする必要があります。患者さんに必要となる他の待ち時間も加味して、まずはその切り替え時間を1分以内に収めることを目標にしました。この目標の実現のために、イオン種ごとに4種のイオン源を並列に用いるのではなく、1台のイオン源でイオンの元となるガスを素早く入れ替えて4種のイオンを供給する技術を開発しました。

■ 4種の多価イオンを生成・切り替えし、大きさは既存イオン源の1/5に

これまでの普及型の重粒子線施設で用いられるイオン源では、酸素(O⁶⁺)、ネオン(Ne⁷⁺)等の多価イオン*を必要な量だけ生成するのは困難でした。マルチイオン源は、これらの多価イオンを十分な量だけ得られるように、HIMACで開発実績のあるイオン源をベースにして住友重機械と共に開発しました。

半導体マイクロ波増幅機や永久磁石を採用したことで、電磁石電源や冷却設備などが不要になり、画期的な小型化・省電力化・メンテナンスフリーを実現しました。(図2)

*多価イオン 多くの電子を剥ぎ取られたイオンの総称



片桐 健 主幹研究員
KATAGIRI Ken
量子医学研究所
物理工学部 重粒子運転室

現在、マルチイオン源の試験運転を進めています。これと並行して、より良い性能を得るためのR&Dも進めています。一例として、目標1分以内としたイオン切り替え時間のさらなる短縮化を目指して、下流の加速器であるシンクロトロンへのイオン供給周期(最短で10秒)の間にイオン切り替えを完了させる、新たな技術の開発に現在取り組んでいます。



榎 泰直 上席研究員
SAKAKI Hironao
関西光科学研究所
光量子科学研究部
高強度レーザー科学研究グループ

兼務で九州大学連携大学院に研究室を持っています。私は、SPRING-8、J-PARCと大型加速器プロジェクトの立ち上げに関わってきました。研究室の学生たちには、共同研究に取り組むメーカーの方々と新しい装置をゼロから作るという経験を学生時代から積み、大きなプロジェクトで活躍する人材に育ててほしいです。

量子メス早期実現に向けた実証実験へ レーザー駆動イオン加速技術

■ 入射器システム完成までの課題

レーザー駆動イオン加速という現象は、2000年ごろに発見された物理メカニズムで、そこから様々な基礎研究が進められてきました。この現象にて陽子という軽い元素を加速することを中心に研究が進められてきましたが、量子メスでは陽子より重い元素の炭素を加速する必要があります。しかし、(i)炭素を効率的に加速するにはどうすれば良いのか?という基礎研究および、(ii)加速された(レーザー駆動イオンに特徴的なピーク電流が高くエネルギーがそろっていない)ビームを下流の超伝導シンクロトロンが要求するビーム特性で入射するにはどうすれば良いのか?という、入射器システムをつくりあげるために解決すべき課題には明確な答えがありません。我々は、これらの未解決部分を明確にし、早急にシステム化していかねばなりません。炭素ビームの高効率な発生については、まだ不明確な部分はあるものの、これまでに関西光科学研究所で培われてきた技術にて答えが出始めています。(図1)

■ 実証機の早期実現に向けて

一方で、(ii)加速されたビームを量子メス・シンクロトロンに入射するためのシステム構築に関しては、実際に電磁石を使ったビーム輸送システムを構築して早期の実証実験をしなければなりません。そのような中、国内の加速器施設の電子ビーム用電磁石装置が役目を終えたという情報を受けましたので、その電子ビーム用装置を炭素ビーム用として再利用できるかを検討しております。性能的には利用可能という見込みが得られていますので、装置を早期に移管していただけるようお願いしています。これが実現すれば実証実験に向けた装置整備の時間を大幅に短縮できます。これらを利用して、住友重機械と共に世界初のレーザー駆動炭素ビーム入射器システムの実証を行っています。



研究者や学生たちに説明する榎上席研究員

量子メス装置の開発には、重粒子線がん治療の最前線の医師による
フィードバックが大きな役割を果たしています。

臨床

Clinical

第4世代量子メス、2026年治療開始に向けて LET最適化試験

■ LET最適化試験

LET(Linear Energy Transfer) *は重粒子線のエネルギーのようなもの。重粒子線治療では治療部位のLETは均一ではなく、LETが低い場所は線量を増やし、LETが高い場所は線量を減らし、治療の強さが均一となるように調整して治療します。最近の研究では、病気の部位ではなるべくLETが高い重粒子線を照射した方が治療結果が良い可能性が示唆されています。現在行っているLET最適化試験では、炭素のみで病気の部位のLETが高くなるように制御を行い、治療の安全性や有効性を検証しています。

■ 期待されるマルチイオンによる治療

小さな腫瘍は炭素のみでもLETの分布を最適化できそうですが、重粒子線治療は、切除できないほどの大きな腫瘍も対象となります。

大きな腫瘍については、炭素のみよりも、ヘリウム、炭素、酸素、ネオンなどのマルチイオンを用いることでより容易に、また高いレベルでLET分布の最適化が可能になります。(図3)マルチイオン源完成でマルチイオンによる治療が可能になることで、根治が難しい症例の治療の可能性が大きくなると期待できます。また、線量集中性が向上することで副作用低減、治療期間の短期化につながると思います。(図4)

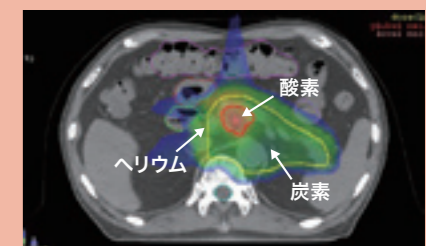


図4 膵臓がん照射領域によるイオンビーム種

- 腫瘍中心は炭素より生物効果(LET)の高い酸素
- 腫瘍部分(漫漶領域)には炭素
- 正常組織近傍には、炭素より生物効果(LET)が低いヘリウム

*LET(Linear Energy Transfer) 放射線が単位長さあたりに平均して失うエネルギー。放射線が細胞核サイズの局所に与えるエネルギー量の違いを表し、線質の違いを表す指標となる。X線は低LET放射線、炭素線は高LET放射線である。LETが高くなるにつれて生物効果が高まり、低LET放射線には抵抗性を示す低酸素がん細胞に対しても殺傷効果が高くなる。

検査だけで治療まで行きつけない重篤な患者さんにとって、QSTは最後の砦だと思っています。

小藤 昌志 医師
KOFUJI Masashi
量子医学研究所
重粒子線治療研究部 部長



期待される 手術不能膵臓がんへの臨床

■ 重粒子線によるがん治療

重粒子線治療は、X線や陽子より重い炭素を用いているため、線量集中性と生物効果の両面において、がん治療に適しています。特に膵臓がん(以下、膵がん)は、放射線の影響を受けやすい消化管に周りを囲まれているため、従来の放射線治療では膵がんを制御するのに十分な高い線量を照射することが困難でした。重粒子線は体内で高線量域を形成し、従来のX線よりもがん病巣に狙いを定めた照射が容易です。その分周囲の正常組織への影響が少なくなります。この特性により、がんに対してより高い線量を安全に照射することが可能で、放射線抵抗性であるがん細胞(腺がんや肉腫、低酸素細胞、がん幹細胞など)にも高い殺細胞効果が期待されています。(図5)

■ 今後は「切除可能境界膵がん」に応用

重粒子線治療は、切除不能膵がんに対する根治的照射以外に、術前の補助療法としても有効性が期待できます。特に切除可能と切除不能の境界にある「切除可能境界膵がん」に対しては、抗がん剤治療よりももう少し術前治療にパワーが必要と思われます。現在のところ、この境界膵がんに対する治療戦略は明確とはなっていません。そこで我々の重粒子線を術前照射として使用し、手術成績を向上させる新しい臨床研究を計画しています。この計画が進めば、さらに多くの膵がん患者さんを治療することができます。

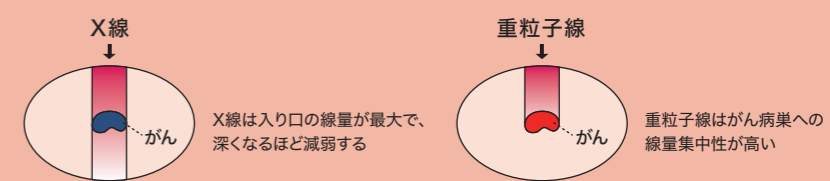


図5 X線と重粒子線の線量分布の比較

重粒子線治療で長期生存、あるいは根治に導くことができたとき、喜びを感じます。

篠藤 誠 医師
SHINOTO Makoto
量子医学研究所
重粒子線治療研究部
骨盤部腫瘍臨床研究グループ
グループリーダー



01

2022年4月1日 グローバル拠点開設

未来PET創造研究ユニット

PETはもっと進化し、もっと身近に。



山谷 泰賀 ユニットリーダー
YAMAYA Taiga
未来PET創造研究ユニット

PET[®]は、投与した検査薬から出てくる放射線をセンシングして、病気の根源に迫る画像診断法です。日本では、センサーなど要素技術開発は盛んですが、PET装置の大半は輸入に頼っており、開発した要素技術を実用化し、臨床に届けるための産学連携の歯車は必ずしもうまくは回っていません。

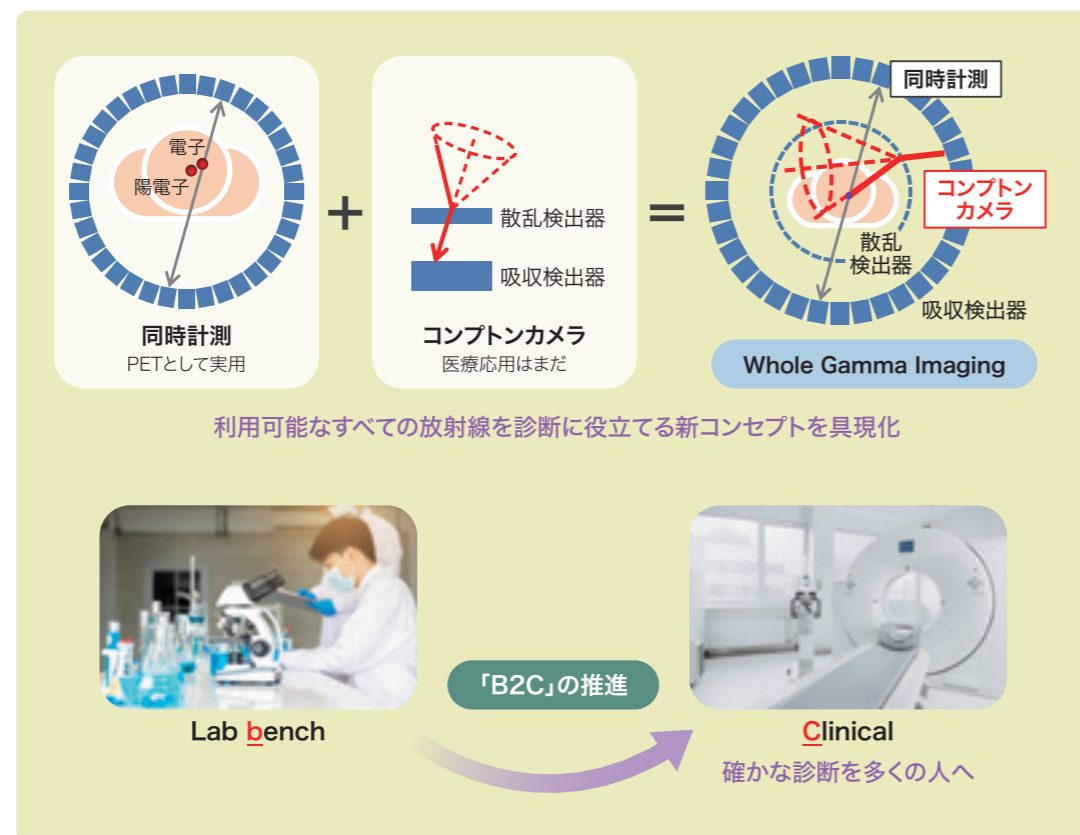
この状況を打破すべく、量子科学技術研究開発機構では、中谷医工計測技術振興財団から「長期大型研究助成」を受け、「未来PET創造研究ユニット」を2022年4月1日に設立しました。未来PET創造研究ユニットは、東北大学 未来科学技術共同研究センター、千葉大学 フロンティア医工学センター、獨協医科大学、さらには海外の研究機関とも連携したグローバル拠点です。

この拠点形成により、物理工学と核医学の両者をカバーする研究プラットフォームを確立し、利用可能なすべての放射線を診断に役立てる独自コンセプトWhole Gamma Imaging (以下、WGI)へのパラダイムシフトを目指します。既存のPETでは、検査薬から出てくる放射線

の大半が検出できていませんが、WGIが実用化すると、これまで見えなかった病気の原因や身体機能の状態が可視化されると期待されます。

革新的な医療機器の開発は、アイデアが斬新なほど難しい課題が多くなり、実用化は長く険しい道になりませんが、実用化しなければ医療の進歩につながりません。未来PET創造研究ユニットでは、革新的技術をラボの試作物で終わらずに本気で臨床に届ける「Bench to Clinical」の標語のもと、WGIの実現を目指して研究開発に取り組むとともに、将来の医工学を支える若手研究者の育成を推進します。

※PET(陽電子断層撮影法 positron emission tomography) がんの診断などに用いられる画像診断法の一つ。CTやMRIとは原理が全く異なり、陽電子を放出する核種で標識した薬剤を注射し、体内から出てくる放射線を体の外で捉え、コンピュータ処理によって画像化する技術。



02

次世代重粒子線がん治療装置「量子メス」実証機製作に着手

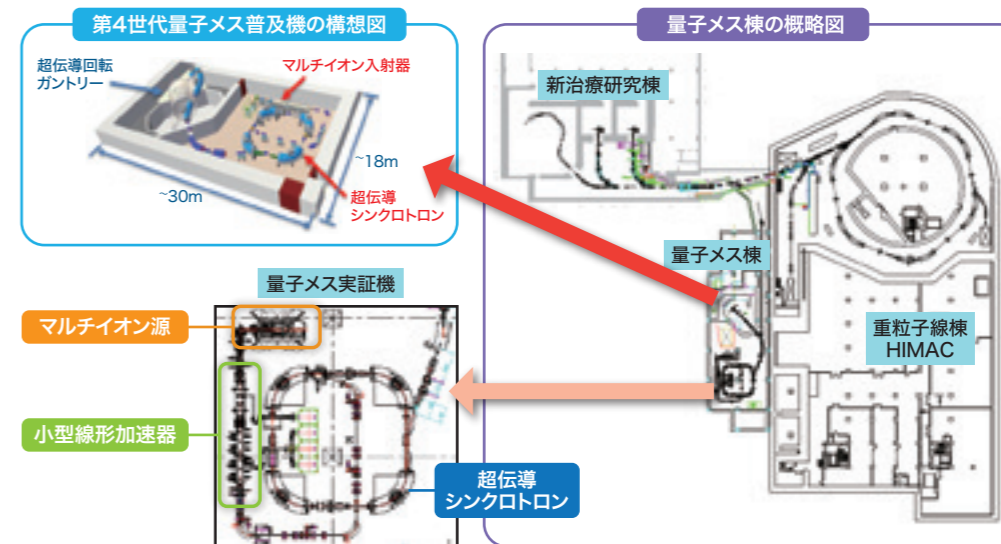
より高度な治療を実現するマルチイオン源の開発に成功



MORE INFO

量子科学技術研究開発機構(以下、QST)と住友重機械工業株式会社は、2016年から次世代重粒子線がん治療装置「量子メス」の要素技術開発を実施してきましたが、今回、現在の炭素イオンビームを用いた重粒子線治療を高度化して、ネオン、酸素、ヘリウムといった複数のイオンによるマルチイオン治療を可能とする、マルチイオン源の開発に世界で初めて成功しました。

QSTは、本成果によって完成したマルチイオン源をHIMACに設置・接続してマルチイオン治療の臨床研究を進めるとともに、マルチイオン源を備えた量子メス実証機を設置するための専用建屋(量子メス棟[仮称])の建設をQST千葉地区において2023年より開始する予定です。QSTは、量子メスの早期の実用化を目指して着実に開発を進めています。



鳥の“帰巣本能”を解明する新たな手掛かりを発見

磁場に応じて機能するタンパク質複合体の性質を明らかに

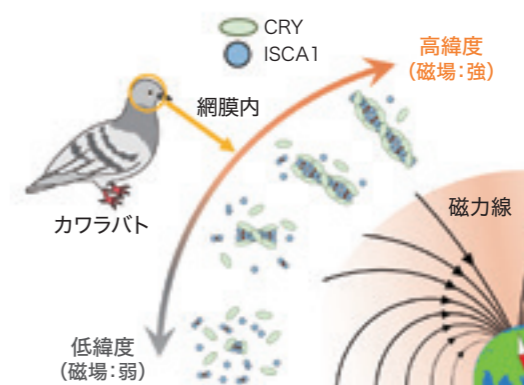
03

量子科学技術研究所 タンパク質機能解析研究チームの新井栄揮上席研究員、清水瑠美主任技術員、安達基泰チームリーダー、群馬大学大学院理工学部の平井光博名誉教授らは、ハトの網膜細胞内に存在するタンパク質ISCA1が、磁場の強度に応じて長さの異なる柱状になる性質を持つこと、その柱状のISCA1が網膜細胞内の別の磁場感知タンパク質CRYと結合し整列することで、磁場情報を方位の情報等に変換していることを明らかにしました。

網膜細胞に存在するCRYとISCA1の複合体形成が、「鳥が視覚的に磁場を見ている」というこれまでの仮説をサポートすると同時に、磁力線の角度と磁場の強さを視覚的に捉える初段階を具現化するものです。本成果は、鳥の“帰巣本能”を解明する新たな手掛かりになると考えられます。

ISCA1とCRYの複合体形成が「磁覚」を持つすべての動物で普遍的なものかどうかは未だに不明です。今後は、「磁覚」を持つ他の動物(ヨーロッパコマドリ、マウスなど)

や「磁覚」の有無自体が不明なヒトなどのISCA1やCRYに対応したタンパク質の性質を明らかにし、生物ごとの「磁覚」の仕組みや磁場の感じ方の違いを分子・量子レベルで解明することで、生き物が持つ「磁覚」の全容に迫りたいと考えています。



MORE INFO

次世代放射光施設 愛称決定！

NanoTerasu

◀次世代放射光施設
についての詳細

完成イメージ(一般財団法人光科学イノベーションセンター)

新しい産学連携の形、「NanoTerasu」

QSTは、「官民地域パートナーシップ」という新しいスキームで、一般財団法人光科学イノベーションセンター(PhoSIC)、宮城県、仙台市、東北経済連合会、東北大学をパートナーに迎え、東北大学青葉山新キャンパスの地に、2023年度中の完成を目指して次世代放射光施設の建設を進めています。この新しいリサーチコンプレックス※に相応しい愛称を公募し、598件の応募作の中から選ばれた愛称を東北大学にて一般公表しました。

東北発の革新的イノベーションに期待

「NanoTerasu(ナノテラス)」という愛称は、次世代放射光施設が研究や観察の対象としている、物質の「ナノ(10億分の1)の世界」を示し、さらに「放射光がナノの世界を明るく照らして観察する強力な光である」という施設の大きな特徴を良く表していることや「覚えやすさ」、そして「日本神話の「天照大御神」(あまてらすおおみかみ)のように、この施設で行われる研究やその成果が、世界の学術や産業にも豊かな実りをもたらして欲しいという願い」も評価されて決定されました。

この「NanoTerasu」隣にはサイエンスパークが整備される予定で、学術研究と産業界の研究開発をつなぎ、この地域から革新的なイノベーションが生まれることが期待されています。



次世代放射光施設の愛称「NanoTerasu」を発表する関係者ら。文部科学副大臣、宮城県知事、仙台市長、東北大学総長、東北経済連合会会長らが出席。愛称選考委員会委員長である永宮正治氏から応募者に感謝状が贈られた。

PICK UP WORD

リサーチコンプレックス

地域において集積している研究機関、企業、大学などがそれぞれの活動を融合させ、世界の注目を集める、異分野融合による最先端の研究開発、成果の事業化、人材育成を一体的・統合的に展開するための複合型イノベーション推進基盤。

JST「世界に誇る地域発研究開発・実証拠点(リサーチコンプレックス)推進プログラム」より

ご寄附のお願い

QSTの活動をご支援ください

オンラインでもご寄附いただけます

《お問い合わせ先》 国立研究開発法人 量子科学技術研究開発機構
イノベーションセンター研究推進課

▶ Tel:043-206-3023(直通)

▶ Email:kifu@qst.go.jp

▶ URL : <https://www.qst.go.jp/site/about-qst/1311.html>

国立研究開発法人

量子科学技術研究開発機構

National Institutes for Quantum Science and Technology

<https://www.qst.go.jp>

QST.Japan



@QST_Japan



qst_japan



QST.Channel