

# 調和ある多様性の創造



# QST NEWS LETTER

## ▶ Special feature.01

### 第1期中長期計画7年間の集大成を

令和4年年頭挨拶

## ▶▶ Special feature.02

前人未踏の頂を目指せ!

核融合炉材料研究のカギを握る  
加速器の開発に迫る

## ▶▶▶ Special feature.03

世界トップクラスの  
軟X線放射光施設の実現へ

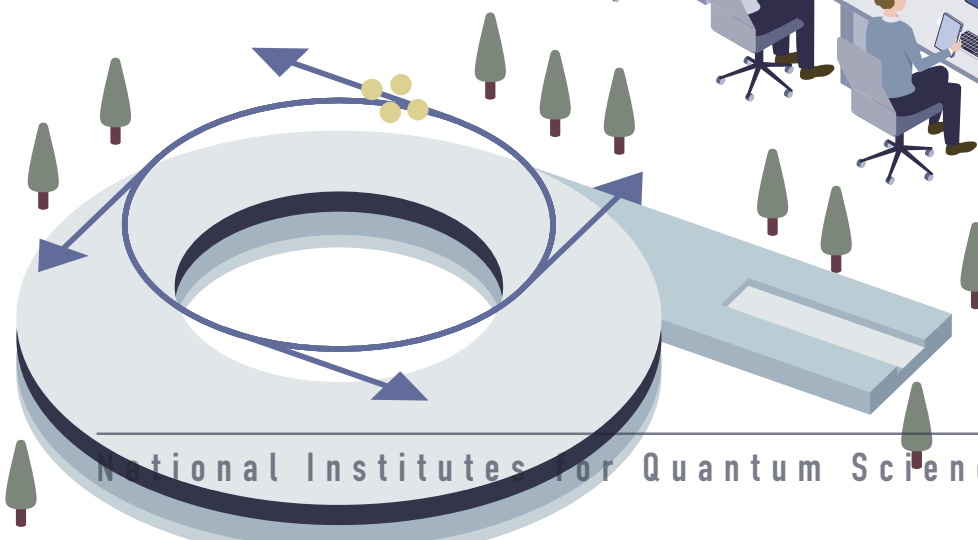
心臓部の加速器の開発は  
まもなく据え付けフェーズへ移行



2022

JANUARY

NO.19



# 第1期中長期計画 7年間の集大成を



明けましておめでとうございます。

第1期中長期計画の最終年度の年が始まりました。2016年4月1日に発足したQSTは、研究開発の新たな展開や新たに担うことになった役割に応じて中長期計画を変更しながら、同計画に沿って多くの成果を創出してきました。「量子」という言葉も社会に浸透してきたと思います。その状況を踏まえ、昨年10月にはQSTのブランディング戦略の一環として「量子」を前面に打ち出すために、QSTの英語名を「National Institutes for Quantum Science and Technology」に変更するとともに、「核融合エネルギー部門」を「量子エネルギー部門」に名称変更しました。3部門ともに「量子」が頭についています。2022年度で第1期中長期計画期間が終了し、QSTの研究開発は一区切りとなります。今年は、QST初代理事長として、第1期中長期計画7年間の集大成を形にするとともに、その成果を次のQSTにつなげていくという強い思いを持って新年を迎えました。

昨年9月に新型コロナウイルス感染症に係る緊急事態宣言が解除され、ワクチン接種が進んだことによりその後も感染者数は低く抑えられています。QSTでは、千葉地区での職域接種やQST病院での回復期患者の受け入れなど、国や県の新型コロナウイルス感染症対策へ協力してきました。今後の感染動向は、新たな変異株も確認されるなど予測困難な状況ですが、ワクチン接種率90%を目指していかなければなりません。第6波への警戒を緩めずに、引き続き高齢者などを中心に追加ワクチン接種の推進や、マスクの正しい着用などの基本的な感染防止対策をしっかりと行う必要があります。その上で、社会経済活動の正常化に向けた取り組みを着実に進めていく必要があると思います。QSTでは、職員からの意見を取り入れつつ、新型コロナウイルス感染症対策をきっかけに導入したテレワークを引き続き有効に活用するとともに、クラウド化や事務手続きの電子化、実験装置のDX化等をさらに進め、未来志向で働き方改革を積極的に推進していきます。

## カーボンニュートラル への挑戦



量子エネルギー部門

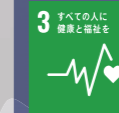
新型コロナウイルス感染症をはじめ人類活動に起因した地球規模の様々な課題が浮き彫りになっている現代において、世界的にSDGsが注目を集め、カーボンニュートラルへの意識が高まっています。日本政府も2050年カーボンニュートラルを目標に掲げ、様々な取り組みを開始しています。地球環境に優しい新エネルギー源の開発は人類にとって喫緊の課題です。脱炭素社会に向けては水素が注目されています。水素には色がついており、太陽光発電などのCO<sub>2</sub>を排出しない1次エネルギーで水から作られる水素はグリーン、化石燃料から作られる水素のうち、副産物のCO<sub>2</sub>を回収するものはブルーと呼ばれています。これらは2次エネルギーとしての水素の利用であり、決して新たなエネルギーを生み出すのではなく、いわば1次エネルギーを蓄える蓄電池のようなものです。一方、1次エネルギーとして水素を利用し、エネルギーを新たに生み出すのが、重水素と三重水素の核融合反応によりCO<sub>2</sub>を発生させずにエネルギーを取り出す水素融合、すなわち核融合です。色をつけるとするとオレンジでしょうか。水素融合（核融合）発電については、昨年11月にイギリスで開催された第26回気候変動枠組条約締約国会議（COP26）で初めて議論されるとともに、閣議決定された「コロナ克服・新時代開拓のための経済対策」に明記されるなど、早期実現への期待が高まっています。昨年より、燃料が水素同位体であることを明示するために「水素融合」を率先して使用しています。この「水素融合」という言葉を社会に浸透させていきたいと考えています。

那珂研究所において2020年3月に完成したJT-60SAは、2020年11月にすべてのコイルが超伝導状態になったことを確認するなど順調に統合試験運転を進めていました。しかしながら、昨年3月に超伝導コイルへ電流を供給する電路に耐電圧不良箇所が発見され、統合試験運転を中断してその対策を慎重に行ってきました。今年は統合試験運転を再開し、ファーストプラズマ達成を目指します。ITER計画については、建設地のフランスで装置本体の組み立てが進んでいます。那珂研が製作した超伝導トロイダル磁場コイルと韓国の真空容器セクターを組み合わせたサブアセンブリが完成し、装置基礎部分に設置する作業が進んでいます。那珂研では引き続き残りの超伝導トロイダル磁場コイルの製作を進めるとともに、ITERのファーストプラズマ達成後に必要となるダイバータ等の製作を本格的に開始します。ダイバータの中核部品であるタングステンモノブロックの量産ラインも、QSTが委託した日本企業により昨年10月に山形県酒田市に整備され量産がスタートしました。六ヶ所研究所では、発電の鍵となるブランケットを開発するためのブランケット工学試験棟が昨年完成しました。今後、ITERでの試験に向けてブランケットの研究開発を加速していきます。

水素融合エネルギー開発は最終的に発電という社会実装をして初めて評価されるという側面を持っています。その観点からは、JT-60SAやITERの成果を、発電実証を行う次段階の原型炉開発につなげていくことが極めて重要です。昨年10月には、原型炉開発を戦略的に実施するための司令塔の役割を担う原型炉推進戦略室を部門の下に設置しました。同室を司令塔として、那珂研と六ヶ所研が有機的に連携し、部門一体となってオールジャパンで原型炉開発を推進する体制を構築し、第2期中長期計画につなげていきます。

森林資源からはじまり、水車や風車などの自然エネルギー、家畜や人力などの代謝エネルギーなど、不安定なほほりアルタイムの太陽エネルギー利用から、数億年にわたり太陽エネルギーが蓄積された化石燃料という非常に安定した太陽エネルギーへの大革命が起こり、それにより技術革新が爆発的に生じました。エネルギー史の大きな流れは、太陽からの離別を意味しており、太陽に依存しない安全で持続可能な水素融合エネルギーに行き着きます。すなわち太陽からの独立です。地球規模のエネルギー・環境問題の解決に向けて、そして宇宙時代を見据えて、QSTは水素融合エネルギーの早期実現を目指していきます。

## がん死ゼロ健康長寿社会 実現への挑戦



量子生命・医学部門

昨年4月に、第2期中長期計画を見据えて千葉地区をさらに発展すべく、組織改編を実施しました。「量子医学・医療部門」と「量子生命科学領域」を統合して、「量子生命・医学部門」とし、その下に量子生命科学研究所、量子医科学研究所、放射線医学研究所、QST病院の4つの組織を設置しました。千葉地区が一体となって、効果的・効率的に研究開発を進める体制を構築しました。

今や人生100年時代と言われています。しかし、平均寿命は現在84歳ですが、健康寿命は73歳であり、この差は約10年あります。これからは、命を救いつつ、QOL（生活の質）を損なわない治療がますます重要となります。量子医科学研究所では、「がん死ゼロ健康長寿社会」を目指して、QOLを高く維持できる小型・高性能な次世代重粒子線がん治療装置「量子メス」の研究開発を進めてきました。昨年は、民間企業との要素技術開発のフェーズから、それを実証するフェーズへ移行し、第4世代量子メスの詳細設計を進めました。また、HIMACを用いたマルチイオンによる臨床試験も開始しました。今年は2026年からの治療開始を目指して、民間企業と連携して第4世代量子メス実証機の整備に着手します。量子メスを設置するための建屋「量子メス棟」の建設工事も開始します。レーザー加速も取り入れた第5世代量子メスも2026年以降、早期の実現を目指します。一日も早く量子メスを世界中に普及させ、「がん死ゼロ健康長寿社会」が実現できるよう研究開発を進めていきます。

重粒子線がん治療と同時に、転移したがんにも有効な標的アイソトープ治療（TRT）の研究も進めています。TRTはがんに集まりやすい物質に放射性同位元素を結合させた化合物を投与して、体内からがん細胞を殺す方法です。体外からは重粒子線がん治療で、体内からはTRTにより、原発がんのみならず転移がんも治療してがん死ゼロを目指しています。国内初の国産TRT製剤として<sup>64</sup>Cu ATSMを開発し、国立がん研究センターで臨床試験を進めています。今年は、試験を継続するとともに、社会実装を意識して製剤製造に関するQST発ベンチャーの立ち上げ準備支援を進めていきます。殺傷能力が高いα線核種に関しても、昨年整備したトレーラーハウス型の移動式TRT施設（MCAT: Mobile Controlled Area for Targeted Alpha-Therapy）の機能評価を進めるとともに、<sup>225</sup>Ac標識TRT製剤や<sup>211</sup>At MABGの臨床試験に向けた取り組みを進めていきます。

健康長寿社会に向けては、がんとともに認知症を克服する必要があります。量医研では、PETやMRIをはじめとする量子イメージング技術を用いて、認知症などの精神・神経疾患の脳病態を明らかにし、診断・治療法の開発につなげる研究に取り組んでいます。認知症において脳内に蓄積するタウタンパク質を高精度に可視化するPET検査薬の臨床試験を継続して進めるとともに、PETを用いて7種の脳移行性アミノ酸からなる組成物による神経炎症抑制効果の評価を進めていきます。また、認知症の早期発見を目指して、血液とPET画像の相互参照によるバイオマーカー開発の拠点MABBを立ち上げました。この拠点が国内に多数存在する臨床施設、PET施設と緊密に連携することにより、血液検体や画像データをいち早く収集し、今後の認知症超早期診断法の確立や治療薬の臨床試験で日本の基幹ネットワークになることを目指していきます。さらに、疾患で障害を受けた脳の神経回路を正常化するための「DREADD（ドレッド）」技術の開発も継続して行っていきます。

「がん死ゼロ健康長寿社会」に向けて、これらの研究開発を統合して治療と診断を同時に行うセラノスティクスを構築し、QST病院で社会実装することを目指し、第2期中長期計画につなげていきます。

## 人類究極の問い「生命とは何か」への挑戦

3 すべての人に健康と福祉を  
9 産業と技術革新の基盤をつくろう

量子生命・医学部門

QST が開拓してきた研究領域である量子生命科学については、2020年に国の研究開発プログラム「光・量子飛躍フラッグシッププログラム(Q-LEAP)」に提案した「量子生命技術の創製と医学・生命科学の革新」が採択され、さらに、国が掲げる「量子技術イノベーション戦略」を担う8拠点の一つ「量子生命」拠点が千葉地区が指定されました。拠点形成推進のために昨年2月に量子生命科学研究所を設立しました。同センターでは、量子技術と生命科学の融合によるイノベーションが生まれる場として、国内外から研究者・技術者を結集し、企業とも連携して成果の産業化・事業化を推進しています。量子ナノセンサや超高感度MRIなどの技術を活用して、次世代の診断・治療技術の開発、新規薬剤の効率的開発、再生医療の向上、生物機能を模倣した高機能材料の創出など、医療や環境分野での技術革新につなげ、様々な社会課題の解決と健康長寿社会の実現を目指しています。今年6月には、研究開発の中心となる「量子生命棟」が完成予定です。量子生命科学研究所は量子技術と生命科学の融合により新たな価値を創造する「量子生命科学研究所」の発展と国際的なハブ形成に向けて取り組んでいきます。最終的には、量子論・量子力学を基盤とした視点から生命全般の根本原理を解明し、人類究極の問い「生命とは何か」の答えにたどり着けるように、量子技術による計測技術の高度化及び体内の量子効果や生物機能の作用機序の解明に関する研究開発などを進展させ、第2期中長期計画につなげていきます。

## 安全・安心社会の実現への挑戦

11 誰も取り残されるまちづくりを

量子生命・医学部門

放射線医学研究所では、被ばくの影響やリスクを科学的に評価するとともに、その基盤となる放射線影響・防護研究を推進し、人々の安全・安心な生活を支えています。放医研は、原子力規制委員会より国内5つの高度被ばく医療専門機関の中心的・先導的役割を担う「基幹高度被ばく医療支援センター」に指定されており、平常時の備えや人材育成、緊急被ばく医療支援チームREMATの編成、緊急時の専門家派遣と患者受け入れなど、被ばく医療に係る機能を維持しています。東京オリンピック・パラリンピック開催時も国や東京都への技術支援を行いました。昨年、内部被ばく線量評価分野をさらに強化するべく、世界最高水準の機器を備える高度被ばく医療線量評価棟が完成しました。また、多職種若手人材を新規に採用し、実地での業務を通じて、原子力災害医療の将来を担う専門家の育成を開始しました。さらに、昨年はQST国際シンポジウムとして「緊急時放射線モニタリング及び原子力災害医療」を開催し、東日本大震災より10年を迎え、各国の放射線事故・原子力災害に備えた緊急時対応体制と準備に関する最新情報、知見を交換し、関連する問題についての議論を国際的に深めました。今後も、長期的視点に立ち、外部機関とも連携してオールジャパンで、「放射線事故」や「原子力災害」などに備えていきます。

放医研では、放射線影響研究や被ばくした場合の治療法についても、研究を進展させています。幹細胞の治療応用に向けて、ヒト臍帯血由来赤芽球を用いたiPS細胞樹立法を発見し、従来と比べてゲノム変異を劇的に減らすことに世界で初めて成功しました。今後は、障害組織のレドックスに注目した診断治療や局所放射線障害を対象に

した細胞・動物モデルによる再生医療等の放射線影響研究を防護研究と統合的に進め、第2期中長期計画につなげていきます。

## Society 5.0の具現化への挑戦

9 産業と技術革新の基盤をつくろう

量子ビーム科学部門

サイバー空間とフィジカル空間を高度に融合させたシステムにより、経済発展と社会的課題の解決を両立する、人間中心の社会であるSociety 5.0の具現化には、大容量・高速・低電力のデバイスが必要です。高崎量子応用研究所では、量子ビーム科学を基軸とした革新的量子機能材料・デバイス等の創製に関する研究開発を進めています。その中核が、スピンフォトンデバイス材料の開発です。従来のエレクトロニクスでは電子の「ある」「なし」を情報処理に用いますが、スピンフォトンでは電子のスピン「上向き」「下向き」もデジタル情報として扱えるようにするとともに、光で情報操作することで飛躍的に高い処理速度を持ち、かつ、エネルギー消費が少ないデバイスを実現します。膨大な情報をデータとして瞬時に記録、処理して活用することを可能とし、私たちがこれまでに経験したことがない情報通信の世界の扉を開くことを目指して、電子スピンを自在に操作するための新しい量子機能材料の開発を進めていきます。さらに、光とスピンの情報交換を実現する技術を応用して、量子ビットの研究開発を進めていきます。量子ビットは量子コンピューターや量子通信などにも用いられ、多量子ビット化技術が重要となります。代表的な量子ビットが、ダイヤモンド中の窒素不純物とその隣にできた空孔で形成されるNVセンターです。NVセンターの作製では、窒素を含む有機化合物をイオン化してダイヤモンドに打ち込むことで3量子ビット形成を実現しました。この技術はさらなる多量子ビット化の可能性を秘めており、作製技術の高度化を進め、室温で使える超並列計算が可能な量子コンピューターや量子通信の実現に貢献していきます。

関西光科学研究所では、世界最高性能の高強度レーザーを開発し、それをを用いることで初めて可能となる超高強度場科学の研究に取り組んでいます。超高強度場科学とは、高強度レーザーでしか創り出すことのできない超高強度場における相対論的現象の解明や、極短パルスのレーザーを使った超高速現象の観察、物質の制御などの極限状態における最先端科学であり、関西研では当該研究を通して科学の未踏分野を開拓していきます。さらに、この極限の科学から生まれた高強度レーザー技術を医療や産業に役立てていきます。その具体例が、量子メスの主要技術であるレーザーイオン加速技術です。第5世代量子メスの実現に向けて、このような技術の進歩を積み重ねていきます。

QSTは一般財団法人光科学イノベーションセンター(代表機関)、宮城県、仙台市、東北大学、一般社団法人東北経済連合会という地域や産業界のパートナーと連携して次世代放射光施設の整備を進めています。次世代放射光施設とは、従来施設よりも高い光源性能を持つコンパクトな加速器が作り出す強力な光を使った、世界最高水準の分析機能を持つ巨大な顕微鏡のようなものです。2020年4月にパートナー側による基本建屋の建設が東北大学青葉山新キャンパス(仙台市青葉区)にて始まりました。昨年7月には、次世代放射光施設整備開発センターを仙台地区に移設し、12月にはQSTが製作した機器の設置を開始しました。次世代放射光施設の特徴は、軽元素を感度良く観察できる高輝度な軟X線領域の放射光を使用する点です。物質の構造解析だけでなく、物質の機能に影響を与える電子状態の可視化が可能で、触媒化学や生命科学などの学術研究から、磁性・スピントロニクス材料、機能性高分子材料の開発といった産業利用まで、広範な分野での利用が期待されています。2023年度の完成を目指して、加速器やビームライン等の製作を進めていきます。運転開始後に実施する研究開発についても議論を深めていきます。

多様な量子ビーム科学を基軸として、Society 5.0具現化に必要な革新的量子機能材料等の開発を進め、第2期中長期計画につなげていきます。



## 「調和ある多様性の創造」への挑戦

我々国立研究開発法人の使命は、専門分野の探求のみにとどまらず、地球規模の社会課題の解決に向けたソリューションを示すことです。そのためには、人文・社会科学系の専門家などとの連携を図るなど、より広い視点で社会が抱える具体的課題を捉え、それを解決するための取り組みを推進する必要があります。先日のCOP26の様子を見て、様々な考えの国がある中で、世界規模の問題を解決する難しさあらためて認識しました。世界が協調して問題解決に取り組むためには、多様性の壁を乗り越え、対立を融和に変えるとともに、異文化理解や尊重を醸し出すことができる「人類共通言語」である科学技術の役割はますます大きくなっていくと思います。まさにQSTの理念である「調和ある多様性の創造」を体現していく必要があると思います。そのための挑戦をQSTは続けます。

## 「夢は叶えるためにある」

この言葉を胸に、職員の一一人が目の前の目標に向かって挑戦して欲しいと思います。

新しい年がQSTにとって集大成の年となり、次へのステージにつながるように成果を創出していきたく思います。皆様にとっても素晴らしい年でありますよう祈念いたします。

量子科学技術研究開発機構 理事長  
平野俊夫

## ▶▶ Special feature.02

前人未踏の頂を目指せ!

# 核融合炉材料研究の力を握る 加速器の開発に迫る

核融合炉では、核融合反応によって生み出される非常に高いエネルギーを持つ中性子を、炉内の機器で受け止めて熱エネルギーに変換して発電を行います。そのため、高いエネルギーを持つ中性子を受けても壊れない材料の研究が欠かせません。

現在、核融合反応時に発生する中性子と同等のエネルギーを持つ中性子を大量に作り出し、材料研究を行うための、「国際核融合材料照射施設 (IFMIF)」の研究開発を、日欧が協力して進めています。日本では、IFMIF 用加速器のプロトタイプ試験を QST 主導のもとで進めています。

今回は、世界最高出力のビームを生み出す加速器の開発に迫ります。



六ヶ所研究所  
IFMIF 加速器施設開発グループ  
グループリーダー  
近藤 恵太郎

## 核融合炉の実現の力を握る 材料の研究

核融合炉内で生じた高いエネルギーを持つ中性子を受け止める機器は、これまで人類が経験したことが無いほどの過酷な照射環境により、材料の強度が劣化する、あるいは寿命が短くなる可能性があります。核融合発電を実現するためには、中性子にさらされる機器が、どのような影響を受けるのかを明らかにし、高いエネルギーに十分耐えられる材料で核融合炉を作らなければなりません。

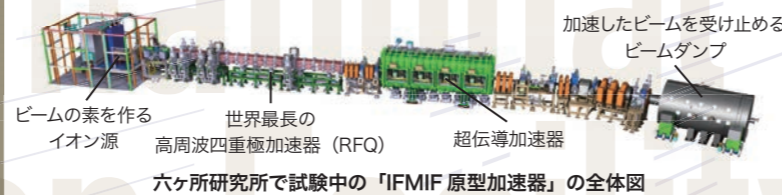
フランスで建設が進んでいる ITER (国際熱核融合実験炉) では、核融合発電に必要な規模の高性能なプラズマの実証を行います。そして ITER の成果を踏まえて、核融合反応から熱エネルギーを取り出して発電の実証を行う原型炉の建設に進みますが、原型炉建設の前には、材料への影響を評価できるよう、将来の原型炉と同じ環境を模擬的に作り出して機器の耐久性を実証することが不可欠です。そのために研究開発を進めているのが、国際核融合材料照射施設 (International Fusion Materials Irradiation Facility)、通称「IFMIF」です。

IFMIF は、加速した重陽子 (陽子 1 個と中性子 1 個が結合した原子核) をリチウムに衝突させることで、核融合炉で生じると同等のエネルギーを持つ中性子を作り出し、材料試験を行う施設です。重陽子加速には、今までこの世に存在しない世界最高性能の加速器が必要ですが、誰も作ったことがなく、作ったところで狙った通りに動くかどうかはわかりません。まずはプロトタイプを作ってみて、設計通りに動くか、目標の性能が出るか、安定に動くか、などを検証するために、QST の六ヶ所研究所では欧州の機関と共同で IFMIF の「原型加速器」の研究開発を行っています。

## これまでの 100 倍のパワーを実現する 六ヶ所研究所の加速器が革新をもたらす

2019 年 7 月に QST 主導の下、日欧合同チームは、開発した高周波四重極線形加速器 (RFQ) を用いて、世界最高強度の重陽子加速を成功させました。世界的に見てもこの規模の実例はなく、世界最大電流の重水素イオンを生成する入射器や、世界最長の RFQ、RFQ としては世界最大のパワーを注入する高周波加速器システムを、手探りしながら新たに開発することで実現できた成果です。電流 × エネルギー = 加速した重陽子ビーム (運動する方向の揃った重水素イオンの塊) のパワーとなるのですが、我々が達成したビームの電流は 125 ミリアンペア、エネルギーは 500 万電子ボルト。この時のビーム加速時間は 1/1000 秒という極々短い時間ですが、それまでの世界記録の約 7 倍のパワーに達しました。

IFMIF の原型加速器としての最終目標は、125 ミリアンペア、900 万電子ボルトのビームを生み出し、それを定常状態 (ビームが出続けた状態) で維持することです。これが可能になれば、現存している高性能な RFQ の約 100 倍のパワーを持ったビームを実現できます。物理学において 2 ケタ違う結果が得られるということは、拓ける世界が一変することを意味します。100 年かかると諦めていた実験が 1 年でできるかもしれない、それくらいの革新的な違いです。核融合の材料研究を大きく進展させるのはもちろんのこと、高エネルギー中性子を有効利用して、医療や農業、工業の分野などへの産業応用も期待されています。

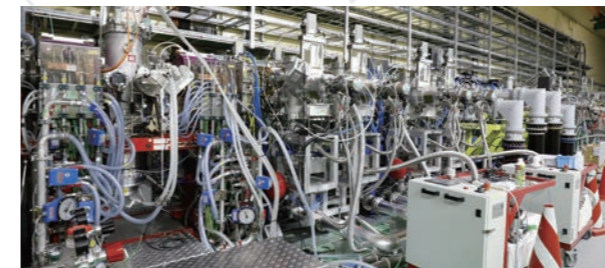


## 2025 年の定常運転とその先を目指して

現在は、開発した RFQ でできるだけ長い時間ビームを維持する、今年、2022 年の 7 月まで行われる試験に向けて準備をしています。RFQ に加速用の高周波のエネルギーを安定して入れられるかが最初の課題です。これまでは瞬間のパワーは大きいとはいえ、わずか 1/1000 秒のビームなので、仮に何かトラブルがあっても大事には至らない領域でした。しかし、24 時間の定常運転に近づけば近づくほど、とてつもなく巨大なパワーを扱うことになり、大きなリスクと常に隣り合わせとなるので、試験であっても知識や技術をきちんと蓄えた上で臨まなければなりません。昨年 7 月に行った実験を踏まえて 8、9、10 月は不眠不休でシミュレーションを行い、11 月からの実験再開に備えました。今年の試験に向けた解析は十分できたと思います。

この試験の後は、900 万電子ボルトのエネルギーまでビームを加速し、さらに中性子の発生量を高めるために RFQ に接続する超伝導加速器の組み立てを行い、2022 年の年末頃には組み立てを完了する計画です。2023 年には運転を開始して 2025 年までに最終目標である定常運転を達成したいと考えています。

IFMIF の原型加速器は、日欧の協定に基づき活動で、最終目標を達成できればそこで一旦区切りとなり、運転の安定化や装置の高性能化を目指す新しい段階に入ります。それと並行して、QST は、原型加速器が設計通りに性能を出すことを実証したのち、その成果を利用して日本独自の核融合中性子源をここ六ヶ所研究所に作り、原型炉に向けた材料の試験を進めていく計画を立てています。



▲日欧共同で製作・試験を進める高周波四重極加速器 (RFQ)

## 着実に一歩ずつ正しい道を行くしかない トラブルを乗り越えて今がある

原型加速器の最終目標に対して、現在地はまだ二合目あたりと考えています。世界最高性能の加速器という空前の装置を作ることは、登る山の大きさもわからない中で道なき道を進むような感覚で、とにかく着実に一歩ずつ目の前の正しいと思う道を進んでいくしかありませんでした。装置を構成する機器 1 つ 1 つを作り上げることで、だんだんと装置の全体像や性能を出すためのポイントをつかめるようになってきた感覚は、何万ピースもあるジグソーパズルを作り上げていく感覚に似ているかもしれません。現在、ようやく山頂が見え、現在地がわかったと感じています。

原型加速器の機器の中で、六ヶ所研究所で最初に動かしたのは、加速するビームを作り出すイオン源というフランスの研究機関が製作した装置ですが、試験当初、シミュレーション通りの結果が出ませんでした。考えられる要因をひとつひとつ潰しましたが、結果が改善しないため、根本的な原因を探るため、イオン源を分解して調べることになりました。部品をすべて三次元計測機がある工場に持っていき、1 個ずつすべて寸法を測り直してみた結果、ゴム製製品の微小なつぶれが複数重なって生じた 0.5 mm ほどの寸法の僅かなズレが原因となっていて、設計通りの性能が出なかったことが判明しました。これを改善して組み立てた装置で再度試験を行ったところ、シミュレーションで予測されたとおりの高品質なビームが得られました。フランスの研究機関が製作した装置を日本で分解するというのは作業が大変なだけでなく、その決断自体が大きなものでしたが、設計者でさえも気付かなかったことが分かった点は非常に重要で、装置の構造に対する理解を深めるきっかけにもなりました。今では製作したフランスの機関の技術者がいなくても、六ヶ所研究所の技術者があつという間に分解してメンテナンスまでこなしてしまいます。



▲六ヶ所研究所には欧州のメンバーの一部が駐在しています。

## メンバーは日本：欧州=50：50 で構成 日本人が調整役として貢献することも

欧州と共同で進める IFMIF 原型加速器の開発は、日本側がメンバーの約半数を占めており、国際プロジェクトでは珍しい構成です。また、複数の参加者が責任を分担して開発を進める ITER のようなプロジェクトに対し、原型加速器開発では QST と欧州の 2 つの実施機関が対等な立場で主導してプロジェクトを推進している点も日本として見ると特異な点です。

欧州の研究者は、言うべきことははっきり言います。それゆえにプロジェクトメンバーの欧州の研究者同士で意見がぶつかることもよくありますが、あくまでお互いの意見をぶつけているだけで、共通の目標に進もうとしている点はみな同じです。欧州の人たちからすると、日本人は自分の主張をあまりしない印象があるかもしれませんが、建設的に物事を進めようという想いを持っているのだと私は思います。そうした私たち日本人が調整役として間に入ることで上手くまとまったことが幾度となくあり、原型加速器開発のプロジェクトチームはいい形で機能をしていると感じます。

原型加速器プロジェクトの六ヶ所研究所のメンバーは、若いながらに海外での研究開発の経験を持つ人が非常に多いです。英語を含めた外国人とのコミュニケーションを苦にせず、むしろ好きだという人、国際プロジェクトで仕事すること、新しい装置を動かすことに魅力を感じている人が活躍しています。私はグループリーダーだからといって出しゃばり過ぎずに、そうした日本のメンバーと欧州のメンバーがそれぞれの能力を十分に発揮できるようにサポートすることが役割だと思っています。

## コロナ禍でも、共に装置を動かすことは 絶対に諦めない

新型コロナウイルスが蔓延する前は日欧間の往来は活発でしたが、コロナ禍ではリモートでの対応を余儀なくされました。以前は欧州研究機関のメンバーが来日し、一緒に装置の調整を行うことが普通でしたが、海外との往来が制限されるようになった現在、装置を運転して試験を進めていくためには、六ヶ所研究所にいるメンバーで対応するしかありません。

2021 年の 7 月に新しく作ったビームラインに初めてビームを通した時は、web 会議で欧州側のサポートを受けながら試験を行いました。欧州のメンバーが逐一指示を出すわけではありませんでしたが、何かあった時には装置を手掛けた仲間からチャットでアドバイスが来る、という安心感があるだけでも、初めて自分たちで装置を動かす現場のスタッフにとっては非常に大きな心の支えになりました。現在も、web 会議でデータを見ながら欧州のメンバーから「この配線をつなぎ変えて」などの助言をもらって調整を行うことがありますが、そのような方法はやはり効率は悪いです。それでも様々なツールを使って、うまくコミュニケーションが取れる方法を模索しながら共に前に進んでいます。

原型加速器はずっと欧州のメンバーと一緒に作ってきた装置で、日欧一丸となって動かしていくんだ、そこは絶対に諦めない! という姿勢で困難な状況を乗り越えてきました。これからも必ず困難に直面することでしょう。それでも決して諦めることなく、頼もしい仲間たちと共に、世界最高性能の加速器という誰も辿り着いたことのない山頂を目指して一歩ずつ歩みを進めていきます。

## 軟 X 線で機能の解析が可能になれば 材料開発は大きく変わる

放射光として利用される X 線は、エネルギーの高い（波長の短い）硬 X 線と、エネルギーの低い（波長の長い）軟 X 線の 2 種類に大きく分けることができます。硬 X 線は物質を透過する力が高いため、その性質を利用して、物質内部の構造を分析できます。一方、軟 X 線は物質を透過する力が低いため、物質表面の測定・観察に適しており、近年、世界のサイエンスの潮流は、硬 X 線での構造解析に加えて、軟 X 線を用いた「機能」の解析へと向かっています。

物質の機能を解析できるとどんなことが可能になるのでしょうか？例えば材料開発を例にとると、その開発の多くの場合、配合する素材や分量を変えて、サンプルを作っては試験をする、ということを繰り返して、狙った機能を持つ素材に近づけていきます。非常に時間とコストがかかる方法ですが、軟 X 線を用いれば、この 2 つを大きく削減できる可能性が高く、材料開発への参入のハードルをグッと下げることができそうです。

材料の機能には材料の中の電子の動きや分布が大きく関わっています。従って、つくったサンプルの中の電子を直接見ることができれば、電子の動きや分布の情報を元に、狙った機能が期待できるかどうか、という選別をすることが可能になります。作ったサンプル全てを試験するという、現在の材料開発における選別の概念を方法とともに一変させる可能性を秘めています。さらに長期的に見れば、軟 X 線を使った機能解析のデータを積み重ねることで、狙った機能を得るためには、その機能に関与する電子がどのような状況になっていけば良いか、という予測ができるようになり、そのために必要な原子の配置や分子の位置をデータから決めていく材料開発も夢でなくなり、材料開発だけ

ではなく、燃料電池、創薬、触媒などの開発にも大きな期待が寄せられています。

では、燃料電池、創薬、触媒などの開発にも大きな期待が寄せられています。

## 世界の先頭集団で勝負するための “次世代放射光施設”

物質の構造に加えて機能を解析するために必要な、とても明るい（高輝度の）軟 X 線を作り出すことが技術的に可能になり、2000 年代以降、世界各国で高輝度の軟 X 線放射光施設の整備が進み、新材料の開発などに利用されるようになりました。残念なことに、日本では整備が進んでおらず、軟 X 線を利用した研究開発において諸外国に後れを取る状況になりつつあります。この状況を一気に逆転するため、2024 年の利用開始を目指して次世代放射光施設（軟 X 線向け高輝度 3GeV 級放射光源）の整備を進めています。

次世代放射光施設は、国内に存在する放射光施設の約 100 倍の輝度を持ち、さらに、国内の既存の軟 X 線向けの放射光施設では作ることができない高コヒーレント光という位相（光の波）が揃った光を作り出せます。高輝度な高コヒーレント光を使ってサンプルを分析することで、これまででは見ることができなかった物質表面の不規則な構造を浮かび上がらせることができるようになります。身の回りには不規則な構造を持つ物質や素材が圧倒的に多く、このような最先端の放射光を利用することで研究開発の応用範囲が格段に広がります。

日本には SPring-8 という硬 X 線領域を得意とする世界トップレベルの放射光施設があります。軟 X 線領域を得意とする次世代放射光施設は、物質の構造解析が得意な SPring-8 と相補的な役割を果たすことから、日本の放射光科学のプラットフォームを形成することで、産業利用のニーズに応え、日本の国際競争力を飛躍的に高める戦略の力を握る施設なのです。

# Special feature.03 世界トップクラスの 軟 X 線放射光施設の実現へ

## 心臓部の加速器の開発はまもなく据え付けフェーズへ移行

空撮写真提供：一般財団法人光科学イノベーションセンター



# NISHIMORI NOBUYUKI

次世代放射光施設整備  
開発センター  
加速器グループ  
グループリーダー  
西森 信行

### 目指すのは高性能かつコンパクトな放射光施設 カギは施設の心臓である加速器

放射光の性能はその元となる電子を加速する加速器の性能で決まります。放射光施設では、光の速さまで加速した直進する電子の向きを、偏向電磁石の磁力で変えることを繰り返して巨大な円形の蓄積リングの中で周回させて、電子が磁石の作用で進む方向を変える時に放出する放射光を取り出します。放射光施設の加速器は、放射光を取り出すことに加えて、放射光を取り出すことで電子が失うエネルギーを電子に供給することで再加速し、加速するだけでなく周回する電子を安定に維持する役割も持ち、さらに高輝度で高コヒーレントな光を作る性能も必要となります。このように、加速器は放射光施設の心臓部なのです。

次世代放射光施設は、世界最高性能の軟 X 線の放射光の実現を目指す一方で、蓄積リングの周長は約 350m、直径約 110m と、諸外国の軟 X 線放射光施設と比較してコンパクトな設計とすることで建設コストも抑制しています。心臓部である加速器の高性能化と小型化を両立するカギを握るのが、加速器に使用する電磁石です。

### 数ミクロン単位の電磁石の配置精度が 放射光の質を決める

電子が偏向電磁石通過時に放射光を放出すると、周回している電子ビームサイズと角度の広がりやエミッタンスという指標を増やす方向に作用が働きます。この作用をいかに小さくし、ポイント光源から方向の揃った高輝度放射光を取り出すことが出来るかが課題です。私たちは電子ビームの低エミッタンス化のために偏向電磁石の数を増やすアプローチを採っていますが、蓄積リングの小型化との両立には非常に高い技術が必要です。

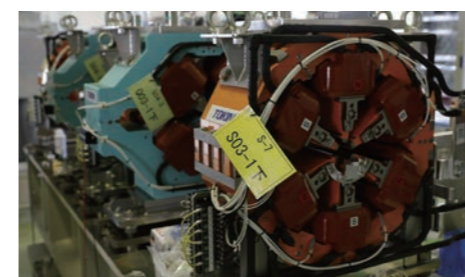
次世代放射光施設では、100m 進む間に偏向電磁石を 18 個、周長約 350m では 64 個の偏向電磁石を蓄積リングに配置します。これは、100m あたりに 6 個の偏向電磁石で電子のエミッタンスを制御する SPring-8 の約 3 倍の密度です。この密度の高い偏向電磁石同士の間、電子ビームを収束させる多極電磁石を配置することにより、電子ビームのエミッタンスを SPring-8 の半分以下に抑制します。周長の短い蓄積リングの限られた空間に磁力が強い多極電磁石を詰め込む必要があるため、電磁石の設置で要求される位置精度は、他の放射光施設の比ではないほど高くなります。蓄積リングを形成する電磁石を、周長約 350m の中で 0.05mm 以下の誤差内（東京～仙台間の距離で考えると 5cm 以下）に収まるように精密に配置する必要があり、現在は、新しく開発した手法に基づいて、実際に電磁石を数ミクロンの精度で並べていく試験を行っています。電子が通る蓄積リング内の空間に、電子の軌道に見立てたワイヤーを通して電磁石に磁場をかけ、ワイヤーから出る信号を見て位置を合わせていきます。

次世代放射光施設は仙台に建設中ですが、そこに組み込む加速器の開発は兵庫県播磨にある SPring-8 で行っています。開発に携わった者とは別の作業者が据え付けを行うため、作業者が替わっても精度よく正確に据え付けられる方法について、ひとつずつ丁寧に検証を重ねています。

光の速さまで加速した電子から取り出す光は、放射光と呼ばれ、太陽の 10 億倍もの明るさを持ちます。ナノレベルでの物質の構造解析に利用できる放射光は、材料開発の分野では産業界による利用も盛んです。近年では、物質の構造だけではなく、「機能」までも解析することで、材料開発にとどまらず、環境や医療分野など、世界の放射光を使用した研究開発は新たな展開を見せ始めています。

そのような中で、日本の産業界を押し上げる基盤として期待されているのが、官・民・地域が一体となって仙台に整備を進めている“次世代放射光施設”です。QST は施設の整備・運用を進める「官」の代表として、放射光を使った研究と放射光の技術開発を行ってきた知見を基に、施設の根幹を成す加速器とビームライン（一部）の開発を担っています。

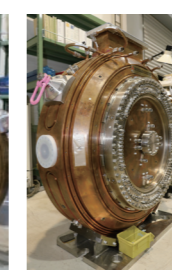
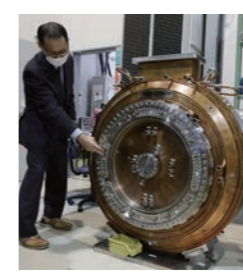
今回は放射光施設の心臓部となる加速器の開発と施設の整備の状況をお伝えします。



複数の磁石が集まった中央のスペースは直径約 40mm。ここに電子が通る真空容器（幅 30mm、高さ 16mm）が入る。



蓄積リングの中で電子の追加速を行う加速空間。施設でのビームラインのスペースを確保するために、SPring-8 で使用されているものと同じ厚みで、約 2 倍の空洞電圧を実現し、使用個数を減らしました。



### 2024 年の運転開始に向け、整備は順調に進む

次世代放射光施設は国だけでなく、施設を設置する地域が一体となって整備を行う「官民地域パートナーシップ」という新しい仕組みで整備を進めています。QST は、SPring-8 の管理運営を行う理化学研究所や高輝度光科学研究センターなど、放射光施設に精通する組織の協力を得ながら次世代放射光施設のプロジェクトに取り組んでいます。施設の整備は、2019 年から磁石や真空容器等の発注・製作をスタートし、2021 年 12 月からは基本建屋内に機器の搬入・設置を開始しました。2022 年 3 月から約 1 年かけて加速器を並べ、2023 年の 2 月頃に装置の試験を開始し、2023 年 7 月には加速器の試運転を始める予定です。そこから 6 か月ほどかけて調整し、2023 年 12 月には最初の放射光を発生、2024 年の本格運用開始を目指しています。新型コロナウイルスの影響により建物の建設が少し遅れましたが、全体としてはスケジュール通りに進んでいます。

### 緻密なスケジュール管理を遂行し 建設費用を当初の約半分に削減することに成功

日本各地で作られた機器を仙台まで輸送し、次世代放射光施設に搬入するのですが、機器の保管場所は限られているため、搬入工程は QST で時間割りを作って管理しています。据え付け日から、搬入・製造・発注の工程を逆算し、納品時に渋滞しないようにトラック 1 台に至るまで綿密な計画を立て管理しています。大きな施設を整備する場合、通常、こうした管理は多くの部品の製造や据付等を一手に引き受けられる企業が行いますが、実際にこのような管理をできる企業は多くはありません。

また、次世代放射光施設の整備では、各機器の製作等の発注を 100 数十に分けて競争入札することで、建設コストを抑え、限られた予算の中で世界トップレベルの放射光施設の実現を目指しています。細かな話で言えば、建設現場の仮設トイレの仕様まで決めていきます。加速器やその設置手法の開発、検証の他にこうした全体の進行管理まで行うことはとても大変ですが、プロジェクトの成功を常に念頭に置き、様々な準備をできるだけ周到に行うようにしています。

### プロジェクトを通じて若い人材を育て オールジャパンで臨む

SPring-8 を作ってから 20 年以上が経ち、日本で大型放射光施設の加速器の製作は行われていません。SPring-8 を整備した人たちが次世代放射光プロジェクトのリーダーになっているのですが、彼らの次の代に加速器を開発できる人材は多くありません。このプロジェクトを通じて、放射光施設の核となる加速器の研究開発の次代を担う若い人材を育て、私たちが持っているノウハウを伝えていくことも重要なミッションの一つです。SPring-8 の技術を応用する部分もありますが、今までにない技術を取り入れて加速器を開発していく中で、プロジェクトのメンバーから出てくる色々なアイデアや、初めての経験の蓄積が、将来の新たな加速器開発の基盤となるかもしれません。また、次世代放射光施設のプロジェクトは官民地域パートナーシップのもとで QST が国の主体となって進めていますが、国内の様々な加速器施設の専門家に協力をいただくなど、次世代放射光施設はまさに「オールジャパン」のプロジェクトと言えます。日本の期待を背負ったこのプロジェクトを成功に導き、そして放射光の研究開発の想いと技術も次の世代へとつないでいきたいと思っています。

## 核融合エネルギー 研究開発の最前線の様子を お伝えしました！



▶イーターに組み込まれる機器の開発を行う  
研究者たちによるパネルディスカッション。

11月3日～7日、「サイエンスアゴラ2021」がオンラインで開催され、QSTは「ここまでできた！核融合エネルギー実現への道～イーター建設の現場から～」と題して、南フランスで進むイーター建設現場のバーチャルツアーと、機器開発に取り組む若手研究者たちによるパネル討論を那珂研究所から配信しました。核融合エネルギー研究開発の壮大なスケール感と最前線の現場の様子と共に、未来のエネルギーの実現を担う日本の若き研究者たちの熱い想いをお伝えできたと思います。



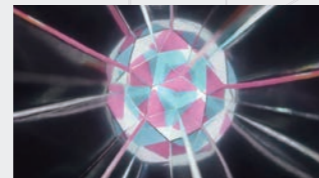
▶バーチャルツアーではフランスの駐在員から  
建設現場の様子もお伝えしました。

## 子どもたちに三角万華鏡を 作っていただきました！

11月6日～7日、科学技術館（東京都千代田区）にて開催された「青少年のための科学の祭典 全国大会」に出展しました。本イベントは新型コロナウイルス感染拡大防止のために来場人数を制限して実施されました。QSTのブースでは、ミラーペーパーを使って三角万華鏡の工作体験を行い、複数の鏡が組み合わさると見え方はどう変わるか、を子どもたちに観察していただきました。普段見慣れている鏡を利用した不思議な見え方を体験した子どもたちからは驚きの声が上がリ、光の性質に興味を持つきっかけを提供することができました。



▶自分で作った三角万華鏡でいろいろなもの  
観察していただきました。



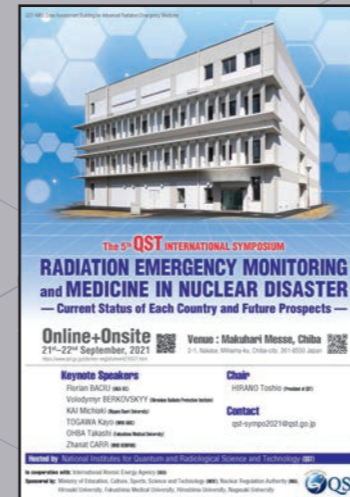
▶三角万華鏡を覗くと  
不思議な模様が  
見えました。

サイエンスアゴラの  
アーカイブ動画を配信中です。  
ぜひご覧ください！



## 第5回 QST 国際シンポジウム開催レポート

RADIATION EMERGENCY MONITORING AND MEDICINE IN NUCLEAR DISASTER  
— Current Status of Each Country and Future Prospects —



2021年9月21日～22日の2日間にわたって、第5回QST国際シンポジウムを、「原子力災害における世界の緊急時モニタリング及び被ばく医療の現状と将来展望」と題して開催しました。国内外の有識者を招くため、新型コロナウイルスの感染拡大防止を考慮してフルオンライン形式とし、幕張メッセから進行配信しました。海外講演者は時差を考慮して事前録画された講演を配信しましたが、一部の方にはセッションごとの討論にライブ参加頂きました。フィリピン、インドネシア、タイ、マレーシア、中国、台湾等の海外17カ国・地域からの参加者93名を含む総勢205名の参加を頂き、「原子力/放射線緊急時の環境/個人モニタリングと被ばく医療」に関して講演と討議が行われたので概要を報告します。

セッション1では、海外から国際原子力機関、フランス放射線防護・原子力安全研究所、米国放射線緊急時支援センター/研修施設、国内から原子力規制庁と内閣府の専門家が講演し、東京電力福島第一原子力発電所事故（福島原発事故）後の各施設や国の体制について、講演と討議が行われました。

セッション2では、海外は韓国原子力研究所、ドイツ連邦放射線防護庁、ウクライナ放射線医学研究所から、国内は日本原子力研究開発機構、福島県立医科大学から講演者を招き、環境放射線モニタリングと個人モニタリング及び、福島原発事故時と現在の状況について、QSTの

演者も加わり講演と討議が行われました。

セッション3では、海外は世界保健機関の国際がん研究機関、国内は日本文理大学、広島大学、福島県立医科大学、弘前大学、長崎大学から講演者を招き、緊急被ばく医療と包括的な健康リスク管理に関して、福島原発事故当時の対応やその後の取り組みについて、講演と討議が行われました。



▶幕張メッセでのライブ配信の様子

セッション4では、海外は世界保健機関、国内は福島県立医科大学から講演者を招き、被ばく医療分野における連携協力に関して、QSTの演者も加わり講演と討議が行われました。そして、放射線医学研究所のアジアにおけるリーダーシップも期待されました。

シンポジウムを通じて、福島原発事故を経験しての喫緊の課題として、緊急時モニタリングとリスク管理の迅速化・透明化等の充実、多職種専門人材の育成・確保と、そのための国内外の連携強化の必要性が関係機関に共有されました。

## 7種のアミノ酸が脳を守り、認知症の進行を抑えることを発見！

～脳の炎症性変化を防ぎ、神経細胞死による脳萎縮を抑制～

記憶力だけでなく注意力や実行力、物事を同時に行うという能力も認知機能です。認知機能の低下では、脳の神経細胞死が起きているため、いかに早期から対応できるかということが重要になります。

量子生命・医学部門量子医学研究所脳機能イメージング研究部の樋口真人部長、高堂裕平主幹研究員らは、味の素株式会社との共同研究で、7種の必須アミノ酸の摂取による脳機能維持・改善に関する研究を進めています。

脳は神経細胞同士が連絡するシナプスという部分で神経伝達物質をやり取りすることで機能を発揮しています。必須アミノ酸は、脳の神経伝達物質の「素」となっていることから、脳機能維持・改善に動く可能性があります。

樋口部長らは、先行研究で、7種の必須アミノ酸（ロイシン、フェニルアラニン、リジン、イソロイシン、ヒスチジン、バリン、トリプトファン）を特定の割合で組み合わせた Amino LP7 が、加齢に伴う認知機能の低下を抑えることを発見しました。そこで、異常なタウタンパク質が脳の中に蓄積し、脳内での炎症による神経細胞死で脳の萎縮が起こる認知症病態のモデルマウスを用いて、Amino LP7 投与効果を調べたところ、脳の萎縮を防げることが分かり、顕微鏡による脳の解析や、脳内の遺伝子発現の網羅的解析により、Amino LP7 が脳の炎症性変化を減少させ、シナプスの障害も防いでいることを見出しました。

この研究は、世界で初めて、栄養と脳機能・脳病態は密接な関係にあることを実証するとともに、特定のアミノ酸の組み合わせが認知症病態から脳を守り、認知症を予防し進行を遅らせる効果を発揮していることを示しました。

今回の研究成果と、Amino LP7 は認知障害がない高齢者の認知機能を高めるという先行研究から、樋口部長らは、Amino LP7 の認知症に対する有効性を検証する臨床研究を開始しています。



## ▶ Pick Up Technology

QSTの理念である「調和ある多様性の創造」。その思いが創りあげた未来を想像し、イラストにしてみました。そんな未来のテクノロジーを実現する為に研究を進めているQSTの技術の一部をご紹介します。

### ⚡ 地上に太陽が！ 核融合発電

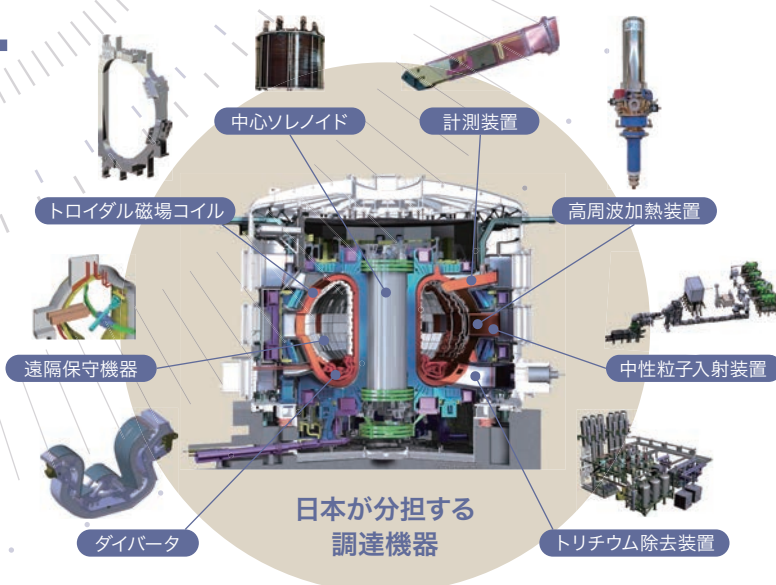
太陽が輝き続けるエネルギーを生み出す核融合反応。未来のわたしたちの暮らしでは、この太陽と同じエネルギーを使って発電した電力を使用しているでしょう。発電の過程でCO<sub>2</sub>を排出せず、燃料が海水中に豊富に存在している核融合エネルギーは、安全性が高く、自然状況に左右されることのない、地球環境にやさしい人類究極のエネルギー源です。



## ▶▶▶ エネルギーを取り出すための実証試験炉の建設が進んでいます

# ITER PROJECT

核融合反応から発電に必要なエネルギーを取り出せるかを実証するための実験炉である「ITER」の炉本体の建設がフランスではじまりました。QSTが主導して製作した日本のトロイダル磁場コイルや高周波加熱装置をはじめ、ITERプロジェクトに参加する世界7極でつくられた機器が続々とフランスへ輸送されています。核融合反応を起こすためのITERでのプラズマの生成は、2025年を予定しています。



\\ご寄附のお願い\\  
QSTの活動を  
ご支援ください



### ▶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>

(オンラインでもご寄付いただけます)



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 NEWS LETTER No.19 令和4年1月

企画 国立研究開発法人 量子科学技術研究開発機構 経営企画部広報課  
発行 〒263-8555 千葉県千葉市稲毛区穴川4-9-1

Tel : 043-206-3026(直通) Email : info@qst.go.jp

Facebook: QST.Japan Twitter: @QST\_Japan Instagram: qst\_japan 制作: 株式会社キタジマ