



量子科学技術でつくる 私たちの未来

2021-2022



Contents

| | | |
|--------------------|---------------------------|---------------------|
| | 目次 | 1-2 |
| | 巻頭言 | 3 |
| 卓見異見 | 多様な地球市民の自覚を 新型コロナ 未来への啓示 | 2021.10.18 平野俊夫 4 |
| | 安全担保 太陽に依存しない 水素融合エネルギー | 2021.11.22 平野俊夫 5 |
| | 量子メス、世界へ普及目指す がん死ゼロ健康長寿社会 | 2021.12.27 平野俊夫 6 |
| | 生きがいを感じる社会つくる 量子でつながる人とモノ | 2022.1.31 平野俊夫 7 |
| | 量子力学の観点からメス 生命の謎に迫る | 2022.3.7 平野俊夫 8 |
| 序 | 常識凌駕し世界変革「非連続的な課題解決」挑む | 2021.5.20 美土路昭一 9 |
| | “地上の太陽”脱炭素貢献 | 2021.5.27 東島 智 10 |
| 地上に太陽が!! 核融合発電 | 実験炉イーター「人類の夢」実験挑む | 2021.6.3 正木 圭 11 |
| | 巨大超電導コイル 高精度制作 | 2021.6.10 中本美緒 12 |
| | 史上最強のビーム加速 挑戦 | 2021.6.17 小島有志 13 |
| | 太陽作る最強「電子レンジ」 | 2021.6.24 池田亮介 14 |
| | 超高温プラズマレーザーで内部測定 | 2021.7.1 今澤良太 15 |
| | 「ブランケット」熱エネ変換 | 2021.7.8 谷川博康 16 |
| | リチウム 海水・電池から回収 | 2021.7.15 星野 毅 17 |
| | ベリリウム精製 省エネ・脱炭素技術開発 | 2021.7.29 中道 勝 18 |
| | JT-60SA原型炉 経済性高める | 2021.8.5 鈴木隆博 19 |
| | JT-60SA主要機器 高精度で設置 | 2021.8.12 松永 剛 20 |
| | 超伝導コイル 高精度配置 | 2021.8.19 濱田一弥 21 |
| | JT-60SA高機能電源 高精度で制御 | 2021.9.2 島田勝弘 22 |
| | JT-60SAプラズマ効率生成 | 2021.9.9 吉田麻衣子 23 |
| | AIで高速・高精度化 | 2021.9.16 成田絵美 24 |
| | 原型炉実現へ急加速 | 2021.9.23 石井康友 25 |
| | 原型炉設計 条件整う | 2021.10.7 坂本宜照 26 |
| | イーターのプラズマ スパコンで事前予測 | 2021.10.14 松山顕之 27 |
| | 高速中性子耐える材料開発 | 2021.10.21 野澤貴史 28 |
| | 加速器で中性子環境 模擬 | 2021.10.28 近藤恵太郎 29 |
| | スマホは充電要らず | スピノフォニクスで実現 |
| 2次元物質磁気メモリーに応用 | | 2021.11.11 境 誠司 31 |
| 量子センシング ダイアで超高感度 | | 2021.11.18 大島 武 32 |
| リソグラフィ技術 電子回路を超微細化 | | 2021.11.25 山本洋揮 33 |
| レーザーでスマート加工 | | 2021.12.2 乙部智仁 34 |
| 量子メスで 日帰りがん治療 | イオン注入 NVセンサー精密配列 | 2021.12.9 鳴海一雅 35 |
| | 陽電子で電子スピン分析 | 2021.12.16 河裾厚男 36 |
| | 切らずに日帰りがん治療 | 2022.1.13 白井敏之 37 |
| | シンクロトロン加速器 小型化で広く普及 | 2022.1.20 水島康太 38 |
| | 超電導回転ガントリー照射装置 患者の負担軽減 | 2022.1.27 岩田佳之 39 |
| | レーザー駆動でイオン加速 | 2022.2.3 榊 泰直 40 |
| | 正常臓器へのダメージ抑制 イオン組み合わせ | 2022.2.10 稲庭 拓 41 |

量子メスで 日帰りがん治療

標準的アイソトープ治療で からだに負担の少ないがん治療

ロボットによる 音動インジック

高性能な未来のクルマ

人工光合成で 二酸化炭素を削減

量子スマートセルによる 究極の健康管理

ヘルメット型PETで脳の検査

| | | | |
|----------------------|------------|-------|----|
| 重粒子線がん治療 広く適用 | 2022.2.17 | 辻比呂志 | 42 |
| 重粒子線治療専用装置 治療以外にも利用 | 2022.3.3 | 下川卓志 | 43 |
| 重粒子線治療の臨床加速 | 2022.3.10 | 小藤昌志 | 44 |
| 重粒子線で不整脈治療 | 2022.3.17 | 若月 優 | 45 |
| 正常組織 がん化リスク検証 | 2022.3.24 | 今岡達彦 | 46 |
| 「薬」「放射線」兼ねる治療 | 2022.3.31 | 東 達也 | 47 |
| α線源 加速器で製造 | 2022.4.7 | 永津弘太郎 | 48 |
| 中皮腫 治療薬候補を開発 | 2022.4.14 | 辻 厚至 | 49 |
| 放射性治療薬 低酸化腫瘍に高集積 | 2022.4.21 | 吉井幸恵 | 50 |
| 目印分子にアルファ線放出 | 2022.4.28 | 長谷川純崇 | 51 |
| RI標識薬 がんにも局所照射 | 2022.5.12 | 小平 聡 | 52 |
| 希少疾患の根治治療に期待 | 2022.5.19 | 石岡典子 | 53 |
| レーザーでハンマー代替 | 2022.5.26 | 錦野将元 | 54 |
| 高強度レーザー 屋外稼働 | 2022.6.2 | 岡田 大 | 55 |
| レーザー打音検査 進化 | 2022.6.9 | 長谷川登 | 56 |
| 量子ビームで材料開発 | 2022.6.16 | 綿貫 徹 | 57 |
| FCV普及 コストがカギ | 2022.6.23 | 八巻徹也 | 58 |
| 燃料電池 低コスト・高出力 | 2022.6.30 | 吉村公男 | 59 |
| 水素貯蔵を低コスト化 | 2022.7.7 | 齊藤寛之 | 60 |
| 鉄表面の磁気構造解明 | 2022.7.14 | 三井隆也 | 61 |
| 光電子分光を顕微化 | 2022.7.21 | 岩澤英明 | 62 |
| 植物 量子効果 巧みに利用 | 2022.7.28 | 河野秀俊 | 63 |
| たんばく質中の水素原子計測 | 2022.8.4 | 玉田太郎 | 64 |
| エネ輸送たんばく質 作製 | 2022.8.11 | 安達基泰 | 65 |
| 遺伝情報読み出し 解明へ | 2022.8.18 | 河野秀俊 | 66 |
| 軟X線分光技術を開発 | 2022.8.25 | 藤井健太郎 | 67 |
| 究極の細胞健康診断 | 2022.9.1 | 湯川 博 | 68 |
| ナノ量子センサー細胞の異常検知 | 2022.9.8 | 五十嵐龍治 | 69 |
| ナノ量子センサーがん研究の道具に | 2022.9.15 | 今岡達彦 | 70 |
| 「微小炎症」慢性化防ぐ | 2022.9.22 | 村上正晃 | 71 |
| 脳疾患 ナノセンサーで知る | 2022.9.29 | 田桑弘之 | 72 |
| 物理化学的パラメーター 細胞内で同時計測 | 2022.10.6 | 湯川 博 | 73 |
| 異常たんばく質蓄積検出 | 2022.10.13 | 樋口真人 | 74 |
| ヘルメット型PET開発 | 2022.10.20 | 山谷泰賀 | 75 |
| PET薬剤 指標可視化 | 2022.10.27 | 佐原成彦 | 76 |
| 脳画像で認知症AI診断 | 2022.11.3 | 遠藤浩信 | 77 |
| 画像・血液BMを一体化 | 2022.11.10 | 徳田隆彦 | 78 |
| 脳回路の働き点検・修理 | 2022.11.17 | 南本敬史 | 79 |
| 「前向き」な人生サポート | 2022.11.24 | 山田真希子 | 80 |
| PETで脳機能可視化 | 2022.12.1 | 高橋美和子 | 81 |

巻頭言

2016年4月、量子科学技術研究開発機構（以下、QST）は成り立ちの異なる二つの研究機関「放射線医学総合研究所」と「日本原子力研究開発機構の業務の一部」を統合し、『量子科学技術による「調和ある多様性の創造」により、平和で心豊かな人類社会の発展に貢献する』という基本理念の下に発足しました。

QSTは、前身の二法人が有する量子科学技術に基づくリソース・強みを生かして、量子論の観点や量子技術により生命の謎に迫る「量子生命科学」、『がん死ゼロ、認知症ゼロの健康長寿社会の実現』に向けた普及型の小型重粒子線がん治療装置である「量子メスの開発」に加え、「標的アイソトープがん治療」、「認知症PET診断薬・治療薬の開発」、さらには国際プロジェクトとして進めている人類究極のエネルギー源である「水素核融合の研究開発」、超スマート社会の早期実現を目指す「量子機能創製研究」等、基礎科学から医療・エネルギー等の社会課題解決に貢献する最先端の研究開発に取り組んでいます。

上記の研究開発は、公的資金によって賄われており、得られた研究成果は社会全体で共有すべきものです。そして、QSTの「行動規範」の一つとして「広聴広報：国民の声に耳を傾け、広く情報を発信」を定めたように、私達が取組む研究開発と現在・未来の私達の生活との係わりについて広く一般に分かり易く発信・周知することは、私達に課せられた使命の一つと言えます。

こうした私達の考えに対して、日刊工業新聞社の方々にご賛同頂き、

2021年5月「量子科学技術でつくる未来」を主題として、QSTの研究者自らが取り組んでいる研究開発の内容・進捗状況・成果等を述べるコラム記事の連載が開始されました。その連載の最中、日刊工業新聞社から理事長である私にも企画連載「卓見異見」への執筆依頼があり、QSTの社会での役割・重要性等を広く一般に伝えることができる絶好の機会と考え、二つ返事で快諾し、同年10月18日から2022年3月7日までの間、計5回のエッセイを寄稿させて頂きました。

この冊子は、私が寄稿した上記の5回のエッセイと2021年5月20日から2022年12月1日まで毎週木曜日に日刊工業新聞に掲載された計73回のQSTの研究者のコラム記事を取りまとめたものです。

私が寄稿した記事は、グローバルな視点で現在の地球環境・人類がおかれている状況を感染症の歴史から考察した「新型コロナ未来への啓示（第1回）」に始まり、量研が取り組む代表的な4つの研究開発について俯瞰的に述べた「水素核融合エネルギー（第2回）」、「がん死ゼロ健康長寿社会（第3回）」、「量子でつながる人とモノ（第4回）」、そして「生命の謎に迫る（第5回）」です。研究者によるコラム記事は、第1回掲載記事である全体概要を皮切りに「①地上に太陽が!!核融合発電、②スマホは充電要らず、③量子メスで日帰りがん治療、④標的アイソトープ治療でからだに負担の少ないがん治療、⑤ロボットによる全自動インフラ検査、⑥高性能な未来のクルマ、⑦人工光合成で二酸化炭素を削減、⑧量子スマートセルによる究極の健康

管理、⑨ヘルメット型PETで脳の検査」の9つのトピックスで構成されています。これらトピックスの題材は、この冊子の裏表紙となっている「量子科学技術でつくるわたしたちの未来」のイラストからピックアップされました。

これら一連の記事を読んで頂き、QSTの理念、取り組む研究開発の意義や目的、個別の研究テーマの内容・成果等、についてご理解いただくとともに、私達の生活におけるQSTが取り組む研究開発の係わりを認識して頂けるとすれば、これら記事連載を行ってきた甲斐があると考えております。

私はいつも若い人に「夢は叶えるためにある」と言っています。研究者が執筆したコラム記事には、取り組む研究の内容・成果だけでなく、研究に対する夢・思いなども綴られています。この冊子を通じて、研究者の夢・思いの一端にも触れ、QSTの活動に興味を持ち、応援して頂けるとしたら、それはまさに望外の喜びと言えます。

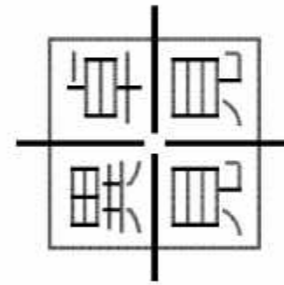
最後に、新聞連載という貴重な機会を与えて頂き、掲載にご尽力頂きました日刊工業新聞の関係者の皆様方、及び執筆・編集に携わったQST関係者の皆様方に心から感謝の意を表したいと思います。

国立研究開発法人
量子科学技術研究開発機構
理事長

平野 俊夫

日刊工業新聞

年月日 22 10 18 ページ 04 NO.



量子科学技術研究
開発機構(QST)理事長
平野 俊夫



ひらの・しげのぶ 1952年(昭和27)大阪府堺市生まれ。1975年京都府立医科大学卒業。1978年京都府立医科大学助教授。1985年京都府立医科大学教授。1991年京都府立医科大学学長。1995年京都府立医科大学学長。1998年京都府立医科大学学長。2001年京都府立医科大学学長。2004年京都府立医科大学学長。2007年京都府立医科大学学長。2010年京都府立医科大学学長。2013年京都府立医科大学学長。2016年京都府立医科大学学長。2019年京都府立医科大学学長。2022年京都府立医科大学学長。

統一に向かう世界

人類の歴史全体を俯瞰すると世界は限りなく統一に向かっている。新型コロナウイルスは改めて、地球は一つ、我々は地球市民であることを教えてくれた。20万年前にアメリカの一角で誕生したホモ・サピエンスは他のホモ属を全滅させて世界を統一した。この統一の波に続き、1万年くらい前に新紀元から農耕時代に入り、定住化と野生動物の家畜化が進んだ。各地で文明が起り、言語、人、習慣、宗教などの多様性ができた。家畜や生活圏内にある小動物や蚊などから天然痘、麻疹、ペス

へのエボラウイルス革命を果す。化石燃料への転換は安定的で柔軟に利用できる画期的なものだった。科学技術は加速度的に発展し、政治・経済的には国境権競争が起き、人類史上初めての世界大戦が回も勃発した。

負の遺産、環境問題

1989年にベルリンの壁が崩壊し、第4の波が始まり、約30年が経過した。人類は多様性ゆえに技術革新をし、多様性ゆえに心豊かな人生を送ってきた。ところが多様性ゆえに対立し、戦争もする。移動手段や情報伝達手段が革新的に進歩し、地球は相対的に狭小化し、世界統一加速の一方で、

新型コロナ 未来への啓示

ト、結核、マラリアのような伝統的感染症が人類に伝播し、感染症の多様性も生まれた。13世紀にはモンゴル帝国により初めてアジアとヨーロッパの文化圏がつながり、第3の波が始まった。大航海時代が始まり、世界が七つの海で繋がり、多様な文明が盛りあった。南米のアステカやインカ帝国に天然痘が持ち込まれ、滅亡した。感染症はだけでなく、生活圏や食文化なども盛り合った。18世紀にアメリカで起こった産業革命とともに第4の波に突入した。人類は、木材や木力など、ほたけアムルタイプの木質エネルギーを適用していたが、何億年もかけて木質エネルギーが蓄積された化石燃料

多様性の爆発や新興感染症爆発の時代を迎えている。第4の波で科学技術が飛躍的に進歩したが、負の遺産として環境問題が出てきた。地球温暖化や自然資源枯渇、プラスチック廃棄物問題、あるいは生物多様性の危機など。伝統的感染症は第4の波で、病原体の養分、ワクチンや抗生物質などの養分によりほぼ克服された。伝統的感染症は家畜や生活圏にあった小動物などから伝播したが、エボラ出血熱、SARS(重症急性呼吸器症候群)や新型コロナウィルス感染症などの新興感染症は野生動物から来た。家畜由来の伝統的感染症はほぼ出尽くした

が、野生動物由来の新興感染症はいくらでも未来の可能性がある。これは環境問題ととらえることもできる。環境破壊を遂げ野生動物と人類社会が接近している。温暖化により森林特有の感染症が世界に広がる可能性もある。感染症は環境破壊が続いている限り限りなく人類を襲う可能性がある。新型コロナは単なる一つの現象に過ぎない。いま人類は第4の波に立っていることを自覚すべき意義がある。

科学は人類共通言語

学問や芸術、スポーツ、科学技術は「人類共通言語」だ。言語や文化、宗教が違っても、人類共通言語により、多様な壁を乗り越えてコミュニケーションがとれる。異文化を理解しお互い尊重し合うことができる。「調和ある多様性の創造」が可能となる。新型コロナも壁々と国境を越えてしまった。多様な壁を越える人類共通言語というところもできる。新型コロナは、我々人類に「もつと仲良くしない、あなた方は『地球市民』ですよ」と言っている。人類共通言語によって「調和ある多様性」を創造し、自分自身の文化を誇りに思いながら協調する「地球市民」としての自覚を持たなければ未来はない。中国のSF作家、劉慈欣の『三体』では、異星文明である三体世界の存在が人類社会を統一へと導いた。人類には、異星文明を持つ画期的な可能性残されていない。新型コロナウィルスは未来への啓示を人類に送っている。(今回はSOMPOホールディングス社長の榎田謙博氏です)

量子でつながる人とモノ

しなければならぬ。SDGsは「誰一人取り残さない」を理念に掲げている。そのためには、年齢・空間・時間・言語などの制約から解放される必要がある。それを可能とするのが、IoT（モノのインターネット）、ビッグデータ（大規模データ）、人工知能（AI）、ロボットなどの技術を応用した先端科学技術。インベシジョン基本計画が目指す「量子社会（サテライト5.0）」だ。

それは、仮想空間と現実空間を高度に融合させ、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。IoTで全ての人がどこでも仮想空間を通じてつながる。共有されたビッグデータはAIで解析され高付加価値な情報へ生まれ変わる。現実空間では情報

と呼ばれる量子状態（量子ビット）を応用し、その向きを反転させることで記憶・処理を行う。さらに情報の入出力に光量子（フォトン）を用いて高速動作を保証する。現在より桁違いに少ない電力で膨大なデータを瞬時に記憶・処理できる。

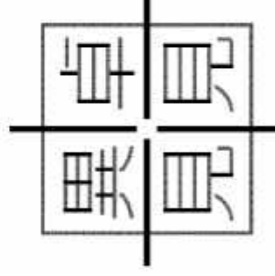
AIで最適対処方

量子機能を活用した超高度の量子センサーと組み合わせれば、健康長寿社会に必要なウェアラブル健康モニタリングデバイス、自動運転・制御用デバイス、橋梁やトンネル等の社会インフラの健全性・経年劣化検知センサーなどが、らの大規模データを仮想空間上で共有することが可能となり、AIの解析による最適対処方法が提案される。

「地球市民」の自覚

新型コロナウイルス感染症が始まり、回目の新年を迎えた。人類は今、環境問題、生物多様性の危機、エネルギー問題や食料問題などに直面している。さらに多様性確保のメダカがなまり、各地で対立や紛争の火種がくすぶっている。人類は第4の波の負の遺産を一身に背負い、第5の波を航海中だ。第5の荒波を乗り切るためにも、国連の持続可能な開発目標（SDGs）を達成するために、も「地球市民」の自覚を持たなければならぬ。調和ある多様性の創造により、異文化理解と尊重を旨と持てる社会を構築

意義にロボットが人の生活をサポートする。ソサエティ5.0実現の基礎となるものが、高速度・大容量・省エネで情報処理を可能とする量子機能だ。現在の情報社会はエレクトロニクス技術により発展してきた。半導体の集積化、高密度化が進められ、高速度データ処理や大容量通信が可能になったが、集積化・高密度化の限界が近づいている。また、従来のエレクトロニクス技術では大規模データ処理に莫大な電力が必要となる。このような問題を克服するのが、量子機能を活用した量子フォトリソグラフィ技術である。量子の流れの代わりに電子と



量子科学技術研究開発機構(QST)理事長 平野 俊夫



ひらの・としお 72年(昭和47)阪大医学部。73年米国立癌研究所(NIH)留学。80年順天大医師助教。84年阪大助教。89年教授。11年総長。15年から現職。20年国立研究開発法人理事長。医学博士。大阪府出身。74歳。

パソコンやスマートフォンなど使われているデジタル信号(ビット)の代わりに量子ビットを計算に用いるのが量子コンピュータであり、現在のコンピュータと比べ約1億倍高い処理能力が期待される。また、サイバー攻撃にも強く、量子通信と統合すれば強固なセキュリティを有する金融、社会保険、統合医療システムなどが構築できる。

管理社会の危険性

このような量子フォトリソグラフィ、量子センサー、量子コンピュータ、量子通信の中核となる量子ビットの代表例がダイヤモンドNVセンターだ。ダイヤモンドNVセンターは、量子ビットを用いて作られており、量子ビット形成技術では我が国が世界を牽引している。QSTはその中核役割を果している。

量子機能をフル活用すればサテライト5.0の実現ももう遠くないが、監視・管理社会になる危険性もある。また、仮想空間と現実空間の区別がなくなり、社会のあり方も人間関係や心の問題に大きな影響が訪れるだろう。

今や、科学技術は社会のあり方のみならず、人類存続の鍵を握っている。ソサエティ5.0を実現するためにも、SDGsを達成するためにも、科学技術は人文・社会科学など幅広い分野と連携し、社会との対話が重要である。地球に優しい社会、多様性を尊重できる社会、そして何より生きがいを感じよう社会への変革の歩を進めなければならない。そして「地球市民」としての自覚が強く求められる。

(今回はSOPPOホールディングス社長の坂田謙悟氏です)

生きがいを感じる社会をつくる

©(株)日刊工業新聞社

生命の謎に迫る

大腸菌を分解しても死ななくなる。部品ごとの繊細な相互作用の情報が欠落しているからだ。つまり、遺伝学的なアプローチだけでは「生命とは何か」に対する答えを得ることはできない。

第4の波で花開いた分子生物学の隣に量子力学が現れた。第5の波は量子生物学が花開くと考えられる。量子生物学の視点で生命と生命科学にアプローチする。量子生物学は生命科学の発展は科学技術の発展に依存する。16世紀末に光学顕微鏡が発明されて細胞が発見され、生命科学は分類学から細胞生物学へとパラダイムシフトした。そして量子顕微鏡や遺伝工学の技術革新で分子生物学が花開き、免疫

量子センサーとして昔のダイヤモンドNVセンターは、生きた細胞の内部の磁場や温度変化などを検知でき、医学・生命科学への応用が期待される。従来の1万倍以上の感度でナノスケールを抽出することも可能だ。QSTが良民地域ハートナレッジで東北に建設中の次世代放射線施設の軟X線顕微鏡放射光や、中性子による最新科学にナノスケールを起す。量子生物学は生命科学だ。生命科学の発展は科学技術の発展に依存する。16世紀末に光学顕微鏡が発明されて細胞が発見され、生命科学は分類学から細胞生物学へとパラダイムシフトした。そして量子顕微鏡や遺伝工学の技術革新で分子生物学が花開き、免疫

分子生物学の限界

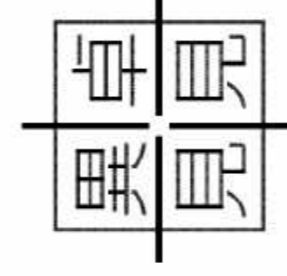
第4の波後半の20世紀、分子生物学が大きく花開いた。デオキシリボ核酸(DNA)二重らせん構造の発見に始まり、DNAに記される遺伝情報はからたんば、遺伝子が作られる仕組みやその発現などが明らかになった。がんやさまざまな病気を引き起こす原因、新型コロナウイルスに対する治療薬やmRNA(メッセンジャーRNA)ワクチンなどが開発され、人類は分子生物学の恩恵を受けている。

ヒトを始めとしたさまざまな生物の遺伝情報ゲノムもすべてに解読され、生物の部品ごとの情報が得られた。しかし、自動車は分解して組み立てると動かない。ヒトや

学、ウイルス学、腫瘍学などの生命科学が飛躍的な発展を遂げた。

量子の目で観る

量子力学に基づいた計測技術を生体科学に応用すれば新しいことが分かるはずだ。量子力学の観点から研究すれば生命の謎に迫れるかもしれない。2016年に量子科学技術研究開発機構(QST)理事長に就任した時にこう考え、ゼロから始めた取り組みが日本における量子生命科学研究領域の開拓だ。研究会を発足して19年には日本生命学会を創設し、21年にQST量子生命科学研究所を創設した。また、国が定めた量子技術イノベーション拠点の一つ、量子生命拠点にQSTは指定された。



量子科学技術研究開発機構(QST)理事長 平野 俊夫



ひらの・としお 72年(昭和47)阪大医学部。73年米国立癌研究所(NIH)留学。80年順天大医師助教。84年阪大助教。89年教授。11年総長。15年から現職。20年国立研究開発法人理事長。医学博士。大阪府出身。74歳。

量子の効率的な伝達には量子効果が関与するようだ。この仕組みを応用すれば、高効率な太陽電池の開発につながる。量子力学の原理で微弱な地磁場を検知して方向を決めているようだ。いわば人工衛星に頼らない地球測位システム(GPS)のさらなる進化。

第5の波乗り越える

放射線によるDNA突然変異や修復機構も量子レベルで研究すれば新しいことが分かるはずだ。放射線障害の治癒薬開発につながるかもしれない。量子論の数学的枠組みや情報科学の力も使えば、意識や生命の謎に迫れるはずだ。

人類の歴史は200万年を経て、永遠の生命を獲得するかもしれない。すでに人類初のサイボークまで登場しようとしている。人生の意味の再定義、心の問題、仮想空間と現実空間の一体化など、さまざまなパラダイムシフトが起ころうとする。地球上のすべての生命は地球で育まれた。その結果として寿命、肉体、心や意識が削られた。

人類は自らの遺伝情報を書き換えて地球生命体から別れを告げ、別次元の生命体、ホモ・サピエンス2.0に転換するかもしれない。永遠の生命、そして太陽から独立した水素融合(核融合)エネルギーを獲得し、宇宙に活動の場を移そうとする。だが、いかなる未来も第5の波を乗り越えなければならず、対立の余地はない。「調和ある多様性の創造」で多様性の発展を促進しなければならぬ。新型ITは人類にあらたな「地球市民」の自覚を求めている。

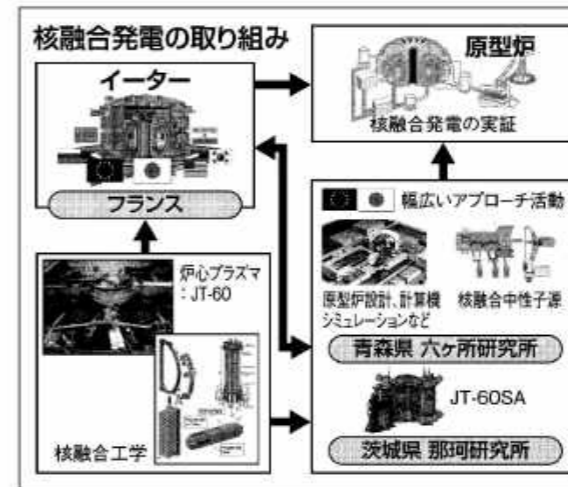
(今回はSOPPOホールディングス社長の坂田謙悟氏です)

©(株)日刊工業新聞社

カーボンニュートラル 全性を有し、実現が期待 (温室効果ガス排出量 されるエネルギー源だ。 質ゼロ) の実現が不可避 核融合は、軽い原子核 とされる2050年ごろ 同士が結合して重い原子 をターゲットに、量子科 核となる反応だ。核融合 学技術研究開発機構(QST)を起すには、正の電荷 (ST)は、太陽が輝く源で による斥力に逆らって原 ある核融合を地上で起こ 子核同士を近づけるため す研究開発にも精力的に 原子核を高エネルギー 取り組む。石炭、石油、1 状態にする必要がある 原子力などの従来エネル ズ。高エネルギー状態の ギー源に比べ、核融合は、 原子核を大量に作るに 燃料が地球に無尽蔵にあ は、原子核と電子がバラ ー、二酸化炭素(CO₂) バラになったプラズマが 排出がなく地球環境に優 適している。地上で起こ しく、高レベル放射性廃 しやすい核融合は、水素 棄物を出さず、反応を容 の同位体である重水素と 易に停止できる優れた安 三重水素(トリチウム)

量子科学技術で つくる未来

核融合発電



核融合発電の取り組み
ITER フランス
原型炉 核融合発電の実証
幅広いアプローチ活動
伊心プラズマ JT-60
核融合中性子源 シミュレーションなど
青森県 六ヶ所研究所
JT-60SA
茨城県 那珂研究所
核融合工学

実現の可能性 科学実証

計画をフランスで進行中 だ。 並行してITERの次 に最初に発電する「原型 炉」を目指し、日欧協力 の幅広いアプローチ活動 を活用して、経済性の確 保に必要なJT-60SA (那珂研究所、茨城県那 珂市)、「原型炉」の要素 技術として、原型炉の設 計と要素開発、計算機シ ミュレーション研究、材 料開発に不可欠な核融合 中性子源の研究開発など (六ヶ所研究所、青森県 六ヶ所村) を実施中だ。 核融合に関する連載で は、研究開発からのスピ ンオフも織り交ぜながら、世界トップレベルの 研究・技術について紹 介したい。(木曜日に掲載)



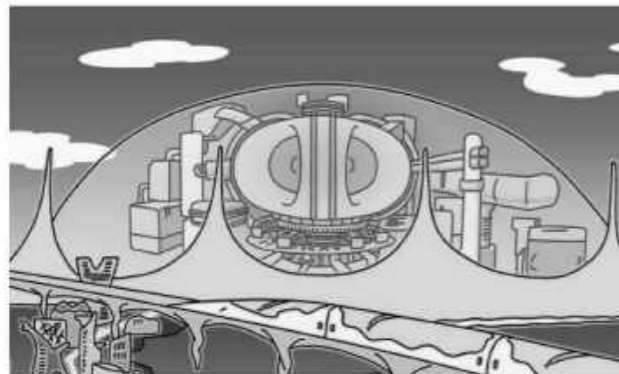
量子科学技術研究開発機構(QST) 核融合エネルギー部門 研究企画部長 東島 智
プラズマ研究、機器開発、プロジェクト管理に 従事。現在、部門における研究開発の企画ととも に、超長期にわたる核融合研究開発を担う次代の 人材育成に腐心。博士(エネルギー科学)。

量子科学技術で つくる未来



私たちは原子や電子、連続的な課題解決」に挑 中性子、あるいは光とい った「量子」を操る国立 研究開発法人だ。超ミク 可能性を秘めているが、 口の世界をつかさどる量 目に見えないものを伝え 子力学を礎とした量子科 するのは難しい。そこで、 学技術は、「これまでの 私たちの研究開発を広く 常識を凌駕し、社会に みやすく説明するため、 変革をもたらす重要な技 取り組みの成果が社会実 術」(文部科学省「量子 科学技術〈光・量子技 装された未来社会のイラ 術〉の新たな推進方策報 ストを作成した。名付け 告書」)。量子科学技術 「量子科学技術でつく 研究開発機構(QST) る私たちの未来」。イラ では、世界最高の研究開 ストには次の九つの未来 発プラットフォームを構 像を描きこんだ。 築し、古典的な科学技術 「地上に太陽が!! 核 手法の限界を超えた「非 融合発電」「量子メスで

常識凌駕し世界変革



核融合発電が実用化された未来。 鮮やかな色彩で描かれたイラスト 全体はQST公式サイト(https:// www.qst.go.jp)に掲載

「量子科学技術による 調和ある多様性の創造に より、平和で心豊かな人 類社会の発展に貢献す る」を理念に掲げるQST にとって、このイラス トは私たちが何を成し遂 げなくてはならないかを 示したミッションステートメントとも言える。そ して、内容の多くは、持

人類社会の発展に貢献

持続可能で強靱な未来の 実現のために地球規模で 直面する課題を解決し、 世界を変革しようといふ 国連の持続可能な開発目 標(SDGs)に重なる ものだ。 QSTは異分野融合領 域の開拓を目指してい る。進行中の研究開発に も、部門や研究所の枠を 超え、QSTの総力を結 集して取り組んでいるも のが多い。そこで、本連 載も組織単位ではなく、 イラストに描いた九つの 「未来」をテーマに、実 現に資するQSTの研究 開発を紹介していくこと にした。 それでは、まずは地上 に太陽を創り出そうとい う、壮大な挑戦の話から。(木曜日に掲載)

量子科学技術研究開発機構(QST) 経営企画部 広報課

美土路 昭一

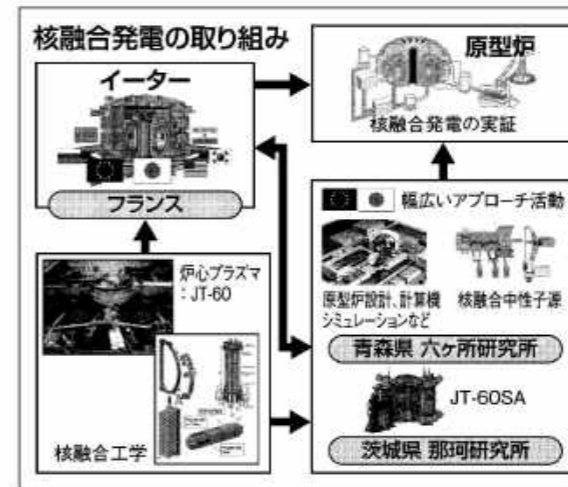
「非連続的な課題解決」挑む

「標的だに負担の少ないがん治 療」「ロボットによる アイソトープ治療でがん 療」「ヘルメット型PE 全自動インフラ検査」 Tで脳の検 「高性能な未来のクル スマートセ 化炭素を削減」。子ど ルによる究 も向けと思っ なかれ。こ 極の健康管 には世界最先端の研究 理「スマ 開発テーマが詰まっ ている。 亦は充電要

カーボンニュートラル 全性を有し、実現が期待 (温室効果ガス排出量 されるエネルギー源だ。 質ゼロ) の実現が不可避 核融合は、軽い原子核 とされる2050年ごろ 同士が結合して重い原子 をターゲットに、量子科 核となる反応だ。核融合 学技術研究開発機構(QST)を起すには、正の電荷 (ST)は、太陽が輝く源で による斥力に逆らって原 ある核融合を地上で起こ 子核同士を近づけるため す研究開発にも精力的に 原子核を高エネルギー 取り組む。石炭、石油、1 状態にする必要がある 原子力などの従来エネル ズ。高エネルギー状態の ギー源に比べ、核融合は、 原子核を大量に作るに 燃料が地球に無尽蔵にあ は、原子核と電子がバラ ー、二酸化炭素(CO₂) バラになったプラズマが 排出がなく地球環境に優 適している。地上で起こ しく、高レベル放射性廃 しやすい核融合は、水素 棄物を出さず、反応を容 の同位体である重水素と 易に停止できる優れた安 三重水素(トリチウム)

量子科学技術で つくる未来

核融合発電



核融合発電の取り組み
ITER フランス
原型炉 核融合発電の実証
幅広いアプローチ活動
伊心プラズマ JT-60
核融合中性子源 シミュレーションなど
青森県 六ヶ所研究所
JT-60SA
茨城県 那珂研究所
核融合工学

実現の可能性 科学実証

計画をフランスで進行中 だ。 並行してITERの次 に最初に発電する「原型 炉」を目指し、日欧協力 の幅広いアプローチ活動 を活用して、経済性の確 保に必要なJT-60SA (那珂研究所、茨城県那 珂市)、「原型炉」の要素 技術として、原型炉の設 計と要素開発、計算機シ ミュレーション研究、材 料開発に不可欠な核融合 中性子源の研究開発など (六ヶ所研究所、青森県 六ヶ所村) を実施中だ。 核融合に関する連載で は、研究開発からのスピ ンオフも織り交ぜながら、世界トップレベルの 研究・技術について紹 介したい。(木曜日に掲載)



量子科学技術研究開発機構(QST) 核融合エネルギー部門 研究企画部長 東島 智
プラズマ研究、機器開発、プロジェクト管理に 従事。現在、部門における研究開発の企画ととも に、超長期にわたる核融合研究開発を担う次代の 人材育成に腐心。博士(エネルギー科学)。

量子科学技術で つくる未来

核融合発電

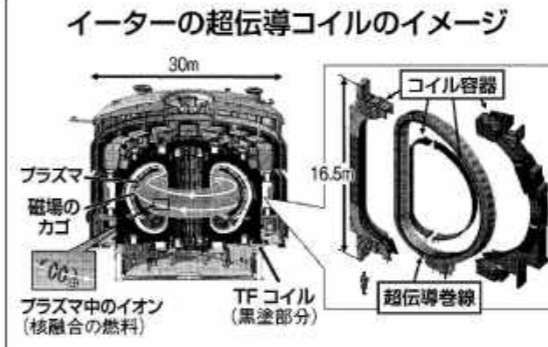


核融合実験炉「ITER」、長時間の運転でも消費電力は十分小さい。日める磁場を作るのが、ト本は、実験8基とスベアロイタル磁場(TF)コ の合計9基のTFコイルイルだ。この主要機器はの調達が担当だ。

高さ16.5m、幅9m、プラズマを構成するイ重さ310tという巨大オンと電子を閉じ込めるな超伝導磁石で、6万 カギは、TFコイルとラ8000タもの大電流を ラズマ自身に流れる電流流し、TFコイル18基を が作る磁場のカゴだ。一放射状に並べたドーナツ つつとつTFコイルの状の空間に発生する磁場 精度が不十分で磁場がい は、11.8と強力だ。びつたと、プラズマの温 絶対温度4K(約26 度が上がらず核融合反応 9度C)で電気抵抗ゼロ は起らない。

となるニオブ・スズ超伝 TFコイルは核融合反 導線を超伝導巻線に用 応の安定な持続の水先案

巨大超伝導コイル 高精度製作



内人として、サトウクジ ら、最小でわずか0.4 分の特殊ステンレス鋼製ラほとに巨大でありなが ら、いかにというベン先の強靱な構造だ。厚板の製作精度の溶接構造を持つコイルが求められる。溶接構造が基たる繊細な機 しくその制御が課題であ 器なのだ。

さらに、 要求精度実現のために 強力な磁場 量子科学技術研究開発機 ゆえTFコ 構(QST) が確立した イル自身が のが、3次元測定機、レ 受ける電磁 1サートラックで溶接 力も強大 中の変形をリアルタイム で、超伝導 計測しつつ、溶接箇所を 巻線を取納 変えたりあらかじめ変形 するコイル させて溶接変形を抑制す 容器は、極 る手法だ。

低温でも強 また超伝導巻線をコイ 度を保てる ル容器内に一体化する時 厚さ約15mm には、磁場の歪が0.0

溶接変形抑制/CAD解析

0.5%以下となる位置へ の超伝導巻線の組み立て が必要だ。そこでQST が着目したのが、製作後 の超伝導巻線とコイル容 器のCADモデルを用い たコンピュータ解析だ。一体化作業中、モニ ターして1mm以下の精 度で超伝導巻線の位置を 調整し、その中心位置を 直径2.6mmの円筒内 に収めるといって極めて高 い要求精度を満足した。

すでに3基が現地南フ ランスに到着し、さらに 完成した4基の海上輸送 を開始しようとしてお り、QSTはまさに「地 上の太陽」を実現する航 海を安全に進める知見を 得たのである。

(木曜日掲載)



量子科学技術研究開発機構(QST) 核融合エネルギー部門 ITERプロジェクト部 超伝導磁石開発グループ 主任技術員 **中本 美緒**

米カリフォルニア大学ロサンゼルス校 (UCLA) 卒。超伝導磁石開発および製作管理に従事。

量子科学技術で つくる未来

核融合発電



核融合発電の実現を目前、南フランスにイター 指して、世界の英知を結 集し、開発を進めている。すでに30年以上にも及 のが核融合実験炉「イ ぶこの壮大なプロジェクトだ。トは、人類が初めてその 世界的にも類を見ない規 制御下で、エネルギー増 幅を進めるこのプロジェ 倍率(高温プラズマ生成 クトは、1985年に米 用いたエネルギーに対 ソ首脳で核融合に関する する核融合による出力エ 国際協力が話し合われた ネルギーの比、これまで のがきつかけだ。

その後、米ソ(後に露 上、50万タもの核融合 日欧の4極で設計を進め エネルギーを発生させる た後、韓中印の3極を加 という、まさに「人類の え、7極政府間で200 夢」を実現させる取り組 6年にイター協定を締 結し、この国際約束の イターの大きさは幅

実験炉「人類の夢」実現挑む



30m、高さ30mであり、 つ精密だ。 構成する機器も超巨大か それゆえに、7極が分 担する機器の製 輸送では、巨大機器の南 作、現地までの陸 フランスまでの輸送方法 ・海・空の輸送、 そのものが高いチャレン 現地での組み立 ジであった。

て、運転のいすれ 組立てでは、ミリ単 をとつても想像を 位の精度が求められる。機 超える困難さに直 器そのもののハンドリン 面する。 グ方法も困難な課題であ

例えば、機器の った。参加極の優れた技 製作では、良好な 術およびイター機構 プラズマ閉じ込め (イタープロジェクト のために10層を超 を実施する主体、国際機 える超巨大機器に 関、を中心とする全世界 的なた巨大チームをランチ 核融合実験炉「イ ームとして機能させるプ ーター」(イメー ジ)イター機構 提供) ロジェクト管理によっ て、これらの課題を克服

製作・輸送・運転 世界が結集

し、精力的に活動中だ。 今後の記事で紹介する が、日本は、イターの 心臓部である超伝導コイ ル9機、外部加熱機器、 プラズマ計測機器、燃料 処理系統、真空容器内機 器とその保守装置など高 い技術力が必須な製作の 担当だ。また、優れた人 材をイター機構に派遣 し、プロジェクト管理、 組み立て作業の中核を担 う。

量子科学技術研究開発 機構(QST)は、日本 のイター実施機関とし て、これらに取り組んで いる。かく言う筆者も、 イター組み立てを支援 する一員として現地に滞 在中である。

(木曜日掲載)



量子科学技術研究開発機構(QST) 那珂核融合研究所 ITERプロジェクト部 ITER連携戦略グループグループリーダー **正木 圭**

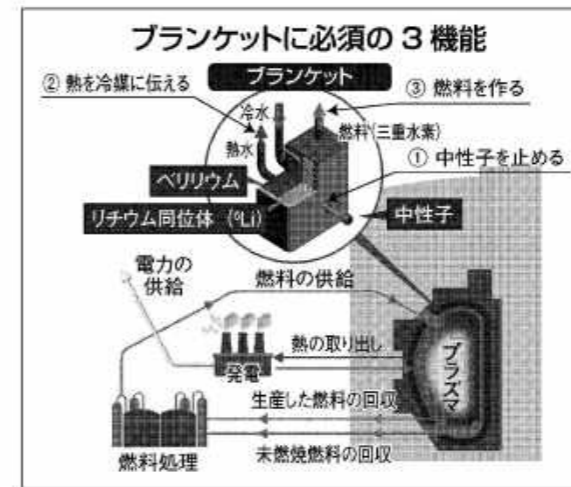
93年入所以来、核融合実験装置JT-60Uの容器内機器の研究開発、さらにはその後継装置であるJT-60SAの設計と組み立てに関わってきた。現在、フランスにてイターの建設に携わっている。

量子科学技術で つくる未来

核融合発電



我々が目指す「地上の中性子を止める」その時太陽」では、超高温プラウ出たきた熱を冷媒に伝えるズマの中で重水素と三重水素、という機能に加え、水素が核融合反応する。③燃料を作るという核融合とで膨大なエネルギーを合炉の性能を決定付ける。得る。発生するエネルギー 3機能が求められる。特1のほとんどは高速で運に③は燃料の三重水素が動する中性子として放出 自然界にほとんど存在しされる。これを受け止 ないので必須の機能だ。め、発電機を回す熱エネ 三重水素は、リチウム同ルギーとして取り出す変 位体(リチウム6)に換器が「ブランケット 核融合反応で発生した中(Blanke)」だ。プラズ 性を当てて作るが、1マを瞬間なく取り囲む様 個の中性子から1個の三子が、熱源を包み込む毛 重水素しかできない。布を想起させることから そこで、1個の中性子から2個の中性子を作る プランケットには、① 中性子増倍材(ベリリウム



も必要だ。日本はプ 実績のある高温高圧水 ランケット容器の材料に ランケットの「冷媒」に (300度C、150気 は、中性子が当たっても 劣化しにくく、長寿命の 放射物ができないよう 成分調整した高クロム耐 熱鋼(低放射化フェライ ト鋼)を採用する。 このブランケットが使 用されるのは、冷媒の高 温高圧、プラズマ閉じ込 め用の強磁場、プラズマ からの熱の流入、および 中性子の照射の影響を同 時に受ける特殊で過酷な 複合環境だ。この環境下 で、3機能を使用期間 (5年以内) 中正常に維 持することは工学的な挑 戦だ。

世界に先駆け試験開始

の炉内に「テストブランケットモジュール(トB M: Test Blanket Module)」を設置して行 う試験は、初の実環境試 験として非常に重要な。 (ここでは、各国が独自のアイデアを詰め込んだ プランケットシステム一 式を備えたミニチュアブ ランケットをイーターに持ち 込み、将来の発電実証を 行う原型炉のブランケッ ト方式の優劣を競い合 う。 日本は、今年6月に完 成したばかりのブランケ ット工学試験棟におい て、イーターを模擬した 熱の流入や高温高圧水の 環境下での安全性や信頼 性を確認する試験を世界 に先駆け開始する。

量子科学技術研究開発機構(QST) 核融合エネルギー部門 谷川 博康
ブランケット研究開発部 次長

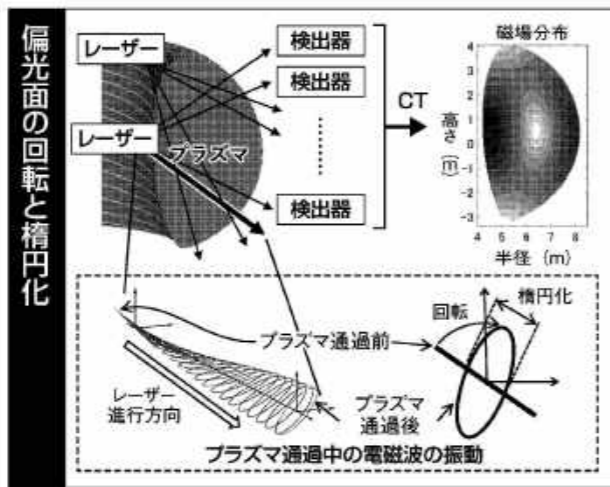
核融合炉構造材料開発に従事。現在、イーターテストブランケットモジュール計画のプロジェクト取りまとめおよび日本代表を務める。

量子科学技術で つくる未来

核融合発電



核融合実験炉イーターしたレーザーをプラズマの1億度Cを超えるプラの周りで測定し、内部のズマを安定維持するに 磁場分布を得るのであ は、内部の磁場構造を正 確に把握する必要がある。光の一種であるレーザー計測器は挿入できな いので、レーザーを使っ として、プラズマ中を通 して非接触で測定し、一 種と磁場中でらせん運動 のコンピュータ断層撮 影(CT)を行う。医療 影(CT)を行う。医療 用のX線CTでは、人体 動面が回転する現象(偏 を通過したX線の強度を 光面の回転)を利用する 人体周りで一周して測定 し、骨の位置などを映像 化する。 プラズマを通過したレ ーザー光は、内部磁場を 一方でプラズマ計測で 全て経験して受光側に伝 は、医療用CTのX線の 代わりレーザーが最適 さはレーザー光の波長に であり、プラズマを通過 依存し、波長約100ナ



超高温 プラズマ レーザーで内部測定 超高温レーザーは100万の測定しやすい回転が生 分の1)の遠赤外線レーザーを用いると、数十度 原理はシンプルに見える

「偏光面の楕円化」利用

超高温レーザーは100万の測定しやすい回転が生 果が出てレーザー光の振 動面が大きく変動してし まうという難課題があっ た。この「偏光面の楕円 化」という現象は、レ ーザー光を進行方向から見ると、振動面が楕円状に見えることからついた名 前だ。偏光面の回転と楕 円化は、相互に影響しな がらプラズマ内で変化 し、長く厄介な未解決問 題だった。 この解決策は意外に も、楕円化を逆手に利用 することになった。磁場 と電子温度の変化に対す る偏光状態の変化がそれ

量子科学技術研究開発機構(QST) 那珂核融合研究所 ITERプロジェクト部 今澤 良太
計測開発グループ 主幹研究員

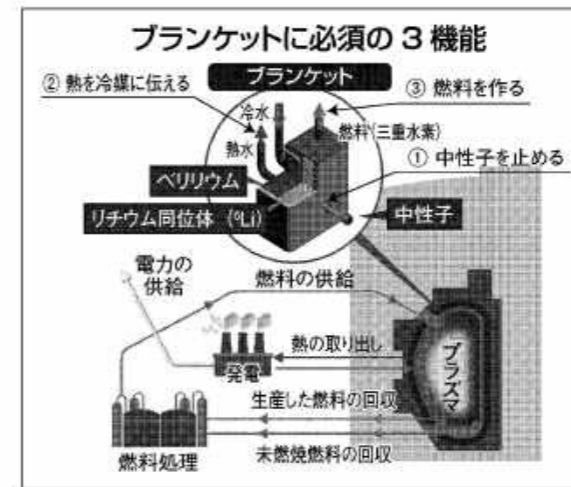
2010年入所以来、イーター用レーザー偏光計の研究開発に一貫して 従事している。ソフトウェアからハードウェア全ての課題に取り組 み、概念設計だった同計測装置を製作可能な成熟度まで引き上げた。

量子科学技術で つくる未来

核融合発電



我々が目指す「地上の中性子を止める」その時太陽」では、超高温プラウ出たきた熱を冷媒に伝えるズマの中で重水素と三重水素、という機能に加え、水素が核融合反応する。③燃料を作るという核融合とで膨大なエネルギーを合炉の性能を決定付ける。得る。発生するエネルギー 3機能が求められる。特1のほとんどは高速で運に③は燃料の三重水素が動する中性子として放出 自然界にほとんど存在しされる。これを受け止 ないので必須の機能だ。め、発電機を回す熱エネ 三重水素は、リチウム同ルギーとして取り出す変 位体(リチウム6)に換器が「ブランケット 核融合反応で発生した中(Blanke)」だ。プラズ 性を当てて作るが、1マを瞬間なく取り囲む様 個の中性子から1個の三子が、熱源を包み込む毛 重水素しかできない。布を想起させることから そこで、1個の中性子から2個の中性子を作る プランケットには、① 中性子増倍材(ベリリウム



も必要だ。日本はプ 実績のある高温高圧水 ランケット容器の材料に ランケットの「冷媒」に (300度C、150気 は、中性子が当たっても 劣化しにくく、長寿命の 放射物ができないよう 成分調整した高クロム耐 熱鋼(低放射化フェライ ト鋼)を採用する。 このブランケットが使 用されるのは、冷媒の高 温高圧、プラズマ閉じ込 め用の強磁場、プラズマ からの熱の流入、および 中性子の照射の影響を同 時に受ける特殊で過酷な 複合環境だ。この環境下 で、3機能を使用期間 (5年以内) 中正常に維 持することは工学的な挑 戦だ。

世界に先駆け試験開始

の炉内に「テストブランケットモジュール(トB M: Test Blanket Module)」を設置して行 う試験は、初の実環境試 験として非常に重要な。 (ここでは、各国が独自のアイデアを詰め込んだ プランケットシステム一 式を備えたミニチュアブ ランケットをイーターに持ち 込み、将来の発電実証を 行う原型炉のブランケッ ト方式の優劣を競い合 う。 日本は、今年6月に完 成したばかりのブランケ ット工学試験棟におい て、イーターを模擬した 熱の流入や高温高圧水の 環境下での安全性や信頼 性を確認する試験を世界 に先駆け開始する。

量子科学技術研究開発機構(QST) 核融合エネルギー部門 谷川 博康
ブランケット研究開発部 次長

核融合炉構造材料開発に従事。現在、イーターテストブランケットモジュール計画のプロジェクト取りまとめおよび日本代表を務める。

核融合炉の燃料である三重水素は、反応で発生した中性子をリチウムに当てることで増殖させる。この増殖の力が、中性子を倍増やす中子増倍率「ベリリウム」原子番号4だ。このレアメタル(希少金属)であるベリリウム、今では身近な金属である。銅に2%程度添加され、緑柱石ともいう。非常に安定であるため、強度がステルス並みになり、スマートフォンが必要で、二酸化炭素ホヤ電気自動車の電子部(CO2)の排出量も多品や第5世代通信(5G)に非常にコストがかかる。通信アンテナに使用する。

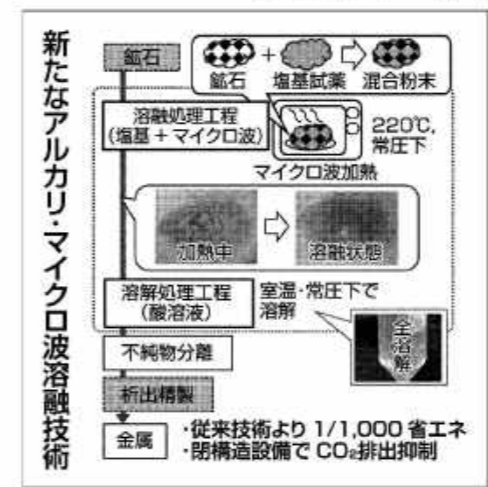
量子科学技術でつくる未来

核融合発電

10

ベリリウム精製 省エネ・脱炭素技術開発

そこで量子科学技術研究開発機構(QST)は、環境性に優れた新技術を開発した。従来技術は、2000度Cに加熱剤を混合し、マイクロ波で加熱することによって、急冷後に酸で溶解するが、開発したアルカリ・マイクロ波溶解技術は、粉末状のベリリウムと溶解を助ける塩基試薬(融剤)を混合し、マイクロ波で加熱することによって、急冷後に酸で溶解する。従来の技術より1/1,000省エネ・閉構造設備でCO2排出抑制



この新精製技術は、国連の持続可能な開発目標(SDGs)達成に貢献できる社会実装が可能な技術として、核融合炉に必要なベリリウムの生産にとどまらず、金属製造産業での幅広い応用が見込め、国の革新的環境イノベーション戦略に示された製造プロセス省エネ化への貢献も期待される。核融合研究のスピンオフなのである。(木曜日に掲載)

難溶性鉍石・多金属団塊に応用

面期的に削減され、主要な処理工程を閉構造の設備で行うためCO2排出も抑制できたのだ。加えて、ベリリウム以外のリチウム、レアアースなど難溶性鉍石や多金属団塊の精製にも適用可能である。



量子科学技術研究開発機構(QST) 核融合エネルギー部門 フランケット 研究開発部 グループリーダー 中道 勝

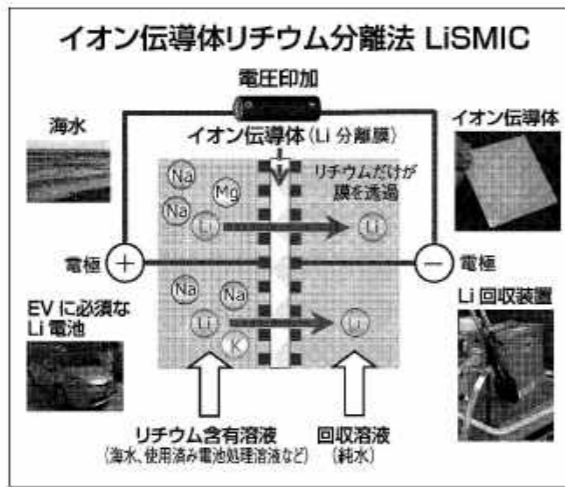
核融合炉工学、材料工学、照射・計装技術が専門で、特にベリリウムという稀(レア)な材料開発を通じて、核融合炉早期実現に向けまい進中。博士(工学)。

量子科学技術でつくる未来

核融合発電

9

核融合炉の燃料の一つであるトリウム濃度の約1000倍(濃度は1000万分の1)に達するが、もう一つのトリウムは自然界にほとんど存在しない。そのため、核融合炉で発生する中性子を炉心近くに置いてトリウムと反応させ、トリウムを自己増殖させる必要がある。陸地でも採取できるトリウムには量的に限りがあるが、豊富に含まれる海水から採取できれば、核融合炉の燃料は実質無尽蔵だ。その両端に電極を密着させ、海水に含まれるリチウムの濃度は、主な塩分で



リチウム海水・電池から回収

LISMICは海水だけでなく、リチウムが含まれるさまざまな溶液に適用可能な点も大きな特徴だ。電気自動車(EV)市場の拡大に伴い、リチウムイオン電池が必要とされる一方、その使用済み電池が廃棄物として今後大量に発生することが予想され、廃電池からリチウムを回収できれば、リチウムのリサイクルが可能だ。廃電池から抽出されたリチウムを含む溶液からの回収速度の向上を目指し、実験を試みた。イオン伝導体表面に吸着するリチウムイオン数を増す

安定調達 リサイクル実現

ことができれば、溶液をアルカリ性にして吸着を阻害する水素イオンを減らし、表面を化学処理してリチウムイオン吸着促進効果を発揮させることで、従来の約200倍にまで回収速度の向上に成功し、産業化への道筋も見えてきた。本技術は、核融合炉の燃料の安定確保を目指しつつ、研究のスピンオフとして、日本におけるリチウム資源リサイクルの実現に貢献し、将来不足するリチウムを安価・安定に調達してEV社会を促進する、画期的な未来社会の基幹技術となり得る。核融合燃料の採取技術は、そのスピンオフでも今ホットだ。(次回は29日に掲載)



量子科学技術研究開発機構(QST) 核融合エネルギー部門 フランケット研究開発部 増殖機能材料開発グループ 上席研究員 星野 毅

博士(工学)。核融合炉燃料の三重水素を製造するために必要なリチウム材料の研究に従事。現在、核融合研究の産業応用のため、EV用電池のためのリチウム資源の安定調達を目指す。

核融合反応を起こす（例えば、フルストロプラズマを閉じ込める強磁場中の新幹線の運動工場は、超伝導コイルに高エネルギーは約2.4MeVの電圧を印加し大電流を流し、世界最大級の電動発生して作る。1億度C以上電機2台(最大回転子重の超高温プラズマは、粒子量:約1100t)に電子や高周波の入射加熱装置をつた回転エネルギーと置に大電力を投入して発生して蓄えた後、合計50万成する。この高電圧・大電力の電力として供給する電流・大電力を安全に発生する大規模な発電システム生させ、高精度制御し、以降、JT-60SAの何らかの異常時には装置を保護するのが、JT-60SAの特徴である超伝導コイル60SAの基幹設備である用電源について述べていこう。

この電源は、超伝導コイルと加熱装置に必要な交流電力は、パワー半導体6・5ギガワット(10億)で構成される交流一直もの大きなエネルギー変換器などの機器計34

量子科学技術で つくる未来

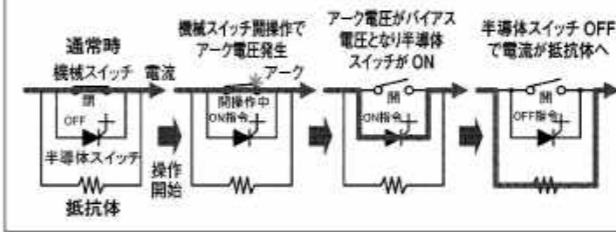
核融合発電

14

JT-60SA 電源設備主要機器



ハイブリッドスイッチ動作模式図



この開発には、2万ボルトの直流大電流を高速に遮断し、大電力用抵抗体に電流を移すという困難な技術課題があった。半導体スイッチの高速電流遮断性能と機械スイッチの低損失性を利用した「直流大電流遮断用ハイブリッドスイッチ」の考案だ。通常時には損失が小さい機械スイッチに電流が流れ、電流遮断時だけ半導体スイッチに電流を移し、電流を高速遮断するアイデアに加え、機械スイッチの接点が開く時にキャップ間で発生するアーク放電による励起電圧を、半導体スイッチを動作させるためのバイアス電圧として使うという画期的な発想が実現へと導いた。

高電圧・大電流・大電力を安全発生

本電源設備は、2018年に完成、20年に調整運転を完了した。JT-60SA実験に向け準備万端だ。



量子科学技術研究開発機構(QST) 核融合エネルギー部門 トカマクシステム技術開発部 JT-60電源・制御開発グループ 上席技術員

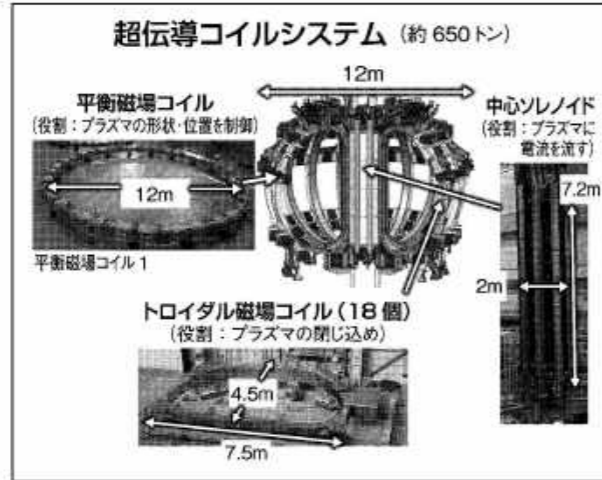
島田 勝弘

00年入所以来、核融合用電源の研究開発に従事。旧装置JT-60の運転終了後は、欧州と協力してJT-60SA電源設備の設計・製作・試験などに従事。

量子科学技術で つくる未来

核融合発電

13



超伝導コイル 高精度配置

超伝導コイルは、ドーナツ中心部に設置してプラズマに流す電流を制御する「中心ソレノイド(CS)」だ。筒状の小空間に高い磁場(最大磁場8.9T)を発生させる必要がある。このコイルの超伝導導体だけは高磁場性能を持つニオブスを使用し、他のコイルはニオブチタン製だ。

高温度 強力磁場で閉じ込め

気接続部は超伝導ではないが、コイル超伝導状態の維持には接続部での発熱を抑える必要がある。接続部は成否を決める重要な技術だ。この困難は超伝導線同士を突き合わせ接合する方式により電気抵抗を最小化した小型接続部を新たに開発し、克服した。



量子科学技術研究開発機構(QST) 那珂核融合研究所 トカマクシステム技術開発部 超伝導極低温機器開発グループ グループリーダー

濱田 一弥

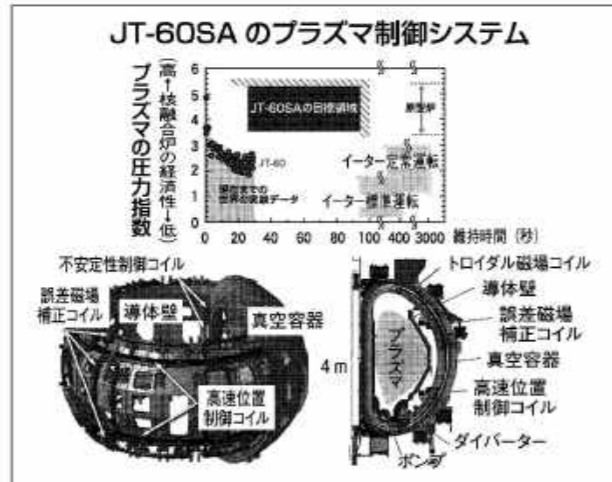
超伝導コイル、超伝導導体、低温構造材料、ヘリウム冷凍システムの研究開発に従事。JT-60SAでは超伝導マグネットと冷凍機システムの運転を統括。

量子科学技術で
つくる未来

核融合発電

15

核融合エネルギーを生み出すプラズマ中を流れるみ出す源である数億度C電流を増加させる(最大の超高温・高圧力プラズマ5・5メガヘクタは10MA・JT-60SAプラズマ0万)。そうしてできマは、外周約25cmのドーナツ型、体積約140立や電磁波を注入して加熱方角と巨大である。このし(最大41℃)、温度・超高温・高圧力で巨大な圧力の高いプラズマを作プラズマをいかに効率良く生成・制御するかが、我々の挑戦である。制御が難しい。プラズマは、真空容器に注入したマを乱す不安定性が発生燃料ガスに放電を起しするからだ。この不安定た後、真空容器壁に当たらないよう、その形状をマ内に生じる圧力分布にわずかに10%程度の誤差を左右され、外部からの加で精度良く制御しながら、さらにはプラズマ中



不安定性制御コイル、トロイダル磁場コイル、真空容器、ダイバーター、高速位置制御コイル、導体壁、誤差磁場補正コイル、ポンプ

JT-60SA プラズマ効率生成

の電流分布の強さとも深く関係するのだ。そこ波を入射・加熱したり、

超高温・高圧力で制御

できない重要な役割だ。この課題に立ち向かうため、前述の加熱システム、高精度の計測システム、プラズマ物理の理解に基づく高度な制御ロジックを統合したプラズマ制御システムを開発した。これらを駆使して複雑に絡み合うプラズマの因果をひもとき、高圧力プラズマを得るのが、プラズマ研究の醍醐味だ。JT-60SAは、超高温・高圧力プラズマの制御という核融合プラズマの最重要課題を、イーターに次ぐ大規模で、イーターより多彩な制御機能を用いて解決に導き、イーターのミッション達成、原型炉の早期実現に貢献する。(木曜日掲載)

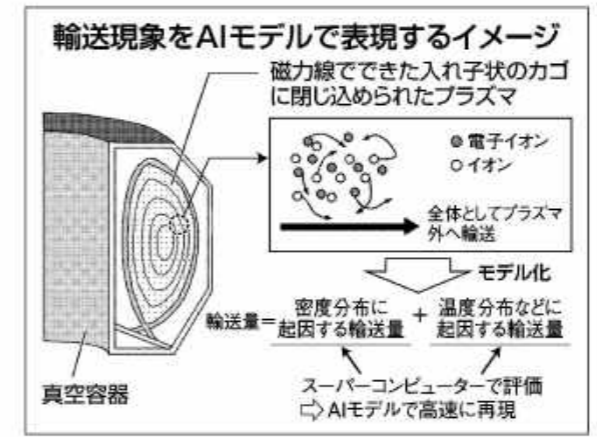
量子科学技術研究開発機構(QST) 那珂核融合研究所 先進プラズマ研究部 先進プラズマ実験グループリーダー 吉田 麻衣子

量子科学技術で
つくる未来

核融合発電

16

核融合炉が生み出すさまざまな物理現象と相互作用するため、それ密度・温度で決まる物理現象を表す数値モデルを連成して矛盾のない性能評価に不可欠だ。く解くことにより、密度巨大なドーナツ状のプラズマ中では、電磁場の影響を最も高精度に扱う計算などを受けて、電荷を算コードでは、五つの独立変数を持つ関数の時間や速さが時々刻々変化する発展を解く計算(第一原理計算)を行い、一つの熱の流れ、すなわちプラズマ中に「輸送」が生じ、密度・温度の分布が高並列計算で数日以上形成される。この輸送の物理機構がわかれば、予測は原理的に可能だ。他の数理モデルとも連成する場合、モデル間で輸送は電磁場の他にも結果のやりとりを数千か



輸送現象をAIモデルで表現するイメージ。磁気線でできた入れ子状のカゴに閉じ込められたプラズマ。電子イオン、陽イオン。全体としてプラズマ外へ輸送。モデル化。密度分布に起因する輸送量 + 温度分布などに起因する輸送量。スーパーコンピュータで評価。AIモデルで高速に再現。真空容器。しかし、これでは出力

AIで高速・高精度化

AIで高速・高精度化。数億回行つたため、第約化版の数理モデルが用一原理計算の利用は事実上不可能であり、その簡それでも密度・温度の予測に数日かかることもあり、予測結果を実験条件にフィードバックするための現実的な要請、数時間以内にはほしい。そこで登場するのが、予測精度を落とさずに計算時間の短縮を実現できるAIの中核技術と言われる機械学習だ。現在では、簡約化された数理モデルの入力である多数の物理量と出力となる輸送量との膨大な数の組み合わせを学習することにより、1万倍程度も高速に入出力の関係を再現するAIモデルが実用化されている。

量子科学技術研究開発機構(QST) 那珂核融合研究所 先進プラズマ研究部 先進プラズマモデリンググループ 主任研究員 成田 絵美

量子科学技術で つくる未来

核融合発電

17

半世紀にわたる核融合発電に向けた世界中の研究開発による最大の成果は、核融合が発電所となるのに必要な炉心規模の知見を得たことだ。この移行判断という日本の原性能と装置規模との関係（「スケールング則」と呼ぶ）に基づき、核融合実験炉ITERは50万kWの熱出力を想定している。初めて本格発電する原型炉も、同スケールング則に基づき構想され、その概念設計段階から、商用電力系統への投入に必要な発電プラントとしての完備性が重要な課題だ。

ITER、JT-60SA、原型炉JA-DEMOの比較

(右図：核融合原型炉サイトのレイアウト)

| 装置名 | ITER | JT-60SA | 原型炉 JA-DEMO |
|---------------|------------------------|----------------------|-------------------------|
| プラズマ電流 I_p | 15.0 MA | 5.5 MA | 12.3 MA |
| トロイダル磁場 B_T | 5.3 T | 2.25 T | 5.94 T |
| 核融合出力 | 0.5 GW ($Q_{95}=10$) | D燃料 (Q_{95} 換算=1) | 1.46 GW ($Q_{95}=17$) |
| 主半径 R_p | 6.2 m | 3.0 m | 8.5 m |
| 小半径 a | 2.0 m | 1.1 m | 2.4 m |
| 非円形度 b/a | 1.7 | 1.87 | 1.65 |

地球環境適合性に優れ、高い安全性を持つことへの高い期待の要因である。地球環境適合性に優れ、高い安全性を持つことへの高い期待の要因である。地球環境適合性に優れ、高い安全性を持つことへの高い期待の要因である。

設計課題克服・競争力強化に必須

活動により、19年に発電出力64万kWの日本の原型炉JA-DEMOの基本概念を明確化した。冒頭に述べたように、原型炉設計は国際競争の様相を呈しつつあり、ITERやJT-60SAといった装置の実験データ解析や高度な制御の先端技術がその競争力の礎だ。例えば、ITERは数百MW/年（ペタは1000兆）もの膨大な実験データを生成すると予想される。そのため、このような大規模データを扱えるスーパーコンピュータなどの整備を含め、総合的な原型炉設計の推進環境が各種課題の克服と研究開発の国際競争力強化に必須といえる。



量子科学技術研究開発機構(QST) 核融合エネルギー部門 核融合炉システム研究開発部 次長 石井 康友

プラズマ理論研究、スパコンセンターの運営を経て、(日欧)国際核融合エネルギー研究センターの日本側運営、原型炉開発の管理などを担当。1日も早い原型炉の実現を目指す。博士(工学)。

原型炉実現へ急加速

原型炉の建設計画は、2050年頃の運転開始に向け、25年頃に工学的設計・実規模技術開発段階への移行、35年頃の建設だ。地球環境適合性に優れ、高い安全性を持つことへの高い期待の要因である。

地球環境適合性に優れ、高い安全性を持つことへの高い期待の要因である。地球環境適合性に優れ、高い安全性を持つことへの高い期待の要因である。

原型炉設計では、広範な研究開発分野を相互に連携させ、統合する必要がある。そのため、ITERとJT-60SAという二つの大型装置における機器製作、組立て、運転、実験から得られる知見を最大限に活用して加速するのが日本の戦略だ。

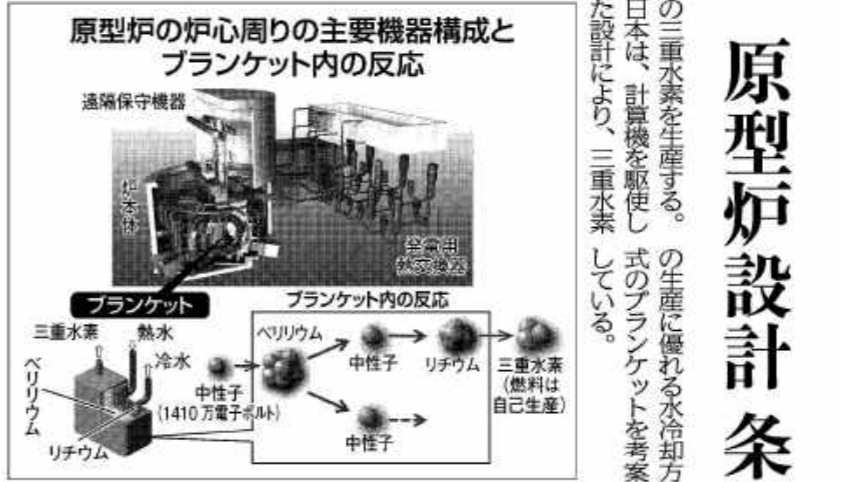
日欧協力で原型炉の共通の技術的課題の検討を進める一方、国内の大学、企業からの参加者で構成される「原型炉設計合同特別チーム」で日本の原型炉概念設計と必要な研究開発を全日本体制で行っている。これらの

量子科学技術で つくる未来

核融合発電

18

核融合発電の実現に、に必要なプラズマ加熱の70%程度を担う計算で、閉じ込め方式が最適であることが確認された。これは、原型炉の設計に必要であるQ17、ヘリウムによる加熱80%程度が整いつつある。難問だったプラズマ性能の向上は、建設中の核融合実験炉ITERで、題は、発生した高速中性子エネルギー増倍率(Q11)を三重水素の生産と同時に出力パワー/入力パワーを三重水素の生産と同時に10以上のプラズマを加熱する「ブランケット」の設計だ。ブランケットでは、1個の中性子素の核融合反応で発生するヘリウムと中性子の反応で高速のヘリウム(352個)を増やした後、リチウム(352個)は反応維持ウームと反応させ1個以上



原型炉実現に向けては、産学の専門家100人以上で構成された設計チームが、ITERの機器製作や発電プラント技術・運転の知見を取り込み、技術的に成立する概念を構築すべく活動している。

設計チームは、プラズマの閉じ込め磁場を発生する超伝導コイルや、高熱粒子束を受ける「ダイバータ」と呼ばれる受熱機器に、ITERの技術を活用する。前述の原型炉のヘリウムによる加熱80%で残る20%は、発電した電力の一部の還流となる外部からの中性粒子

40年代半ばにも発電所稼働

入射などにより加熱する。要のブランケットには、高温高圧水(300度C、150気圧)を流す構造物を採用し、中性子の重照射に一定期間耐える材料を選択した。他の構成機器の検討も経て、核融合出力150万kW(ITERの3倍)、64万kWを発電する原型炉の基本概念が完成した。原型炉本体は、ITERよりも少し大きい外径45m、高さ36m、ブランケットやダイバータの保守・交換時間も産業界の経験に基づき評価し、稼働率70%のめどもついている。

計画が順調に進めば、2040年代半ば頃に核融合発電所が稼働する見通しだ。(木曜日掲載)



量子科学技術研究開発機構(QST) 量子エネルギー部門 核融合炉システム研究開発部 核融合炉システム研究グループグループリーダー 坂本 宜照

JT-60U装置で核融合プラズマの研究に10年間従事した後、原型炉設計の研究に軸足を移した。現在、産学が連携する原型炉設計合同特別チームのリーダーを務める。博士(理学)。

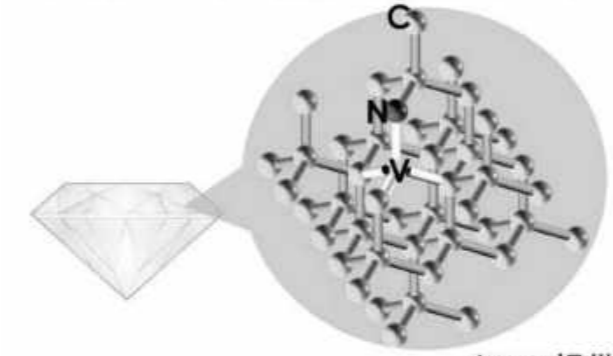
ダイヤモンド。その光ほど小さく、完全な結晶
輝く姿は宝石の中の宝石 中に欠陥が存在すること
ともいえず、多くの人を魅 けが重要なのだ。
了している。このダイヤ この欠陥は、窒素-空
モンドが超高感度なセン 孔(NV)センターと呼
サーとなることを「存知 ばれるもので、本来は炭
であろうか。それが今回 素原子があるべきところ
のテーマ「量子センシン に窒素原子が存在し、そ
グ」である。
ダイヤモンドは炭素原 子が欠損している。NV
子だけで構成され、宝石 センターは赤色に発光す
の価値で言うと不純物を 特徴を持ち、たったひ
含まず、完全な結晶で、 とつNVからの発光で
より大きなものが高価と も検出できる。つまり、
される。一方、量子セン 大きさが100万分の1
シングの観点での価値観 びがという超微少なセン
はまったく異なる。顕微 サイを使って100分の
鏡で見なければいけない 1μmほどの大きさしか

量子科学技術で つくる未来

超省エネ スマ

24

ダイヤモンド中の窒素-空孔(NV)センター



(QST提供)

ない細胞でも局所温度を さらに、NVの数で感度
測ることが可能となる。 は変わる。NVを高濃度
化すれば地磁気の100
万分の1しかない超微弱
磁場も計測可能となり、
心臓や脳のモニタリング
用センサーも期待でき
る。
なぜ、こんなに小さく
高感度なセンサーがつく
れるのか？それは、前回
のスピントロニクスで紹
介した電子のスピンの流
れ(スピン流)の性質が
関係する。電子のスピン
は環境に影響されやす
く、ちょっとしたことで
秩序を乱すため、スピン
流をつくって制御するこ
とは非常に難しい。とこ
ろが、この環境変化に敏
感という特徴は、センサ

NVセンター 結晶中欠陥の発光強度測定

1をつくるには好都合
だ。
NVセンターは電子の
状態により発光強度が変
化する。発光強度を変
化して磁場や温度の変
化を正確にモニターする
超高感度なセンサーが実
現できる。
超微小領域でも超高感
度にセンシングできるこ
うなことは、量子センシ
ングを活用した省エネ・
小型デバイスへの展開も
可能となる。量子科学技
術研究開発機構(QS
T)では、磁性材料メモ
リーの情報(磁化の向
き)を量子センサーで高
効率に読み出す新しい超
低消費電力デバイスを提
案し、開発を進めてい
る。
(木曜日に掲載)

量子科学技術研究開発機構(QST) 量子ビーム科学
部門 高崎量子応用研究所 先端機能材料研究部 部長 **大島 武**



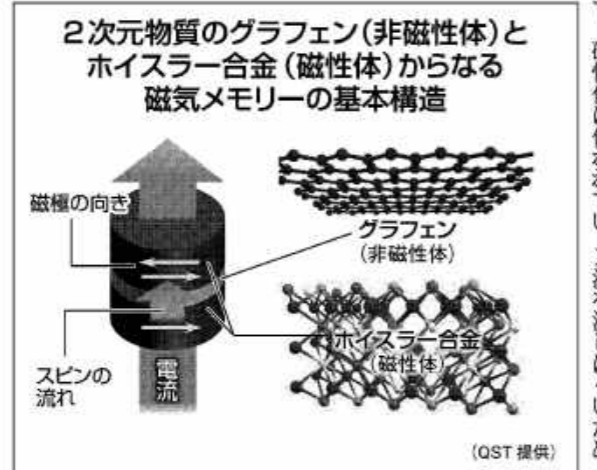
宇宙用の太陽電池や電子デバイスの放射線劣化・誤動作
や、放射線を活用した材料の機能化、例えば、粒子線によ
るダイヤモンドや炭化ケイ素(SiC)中に量子ビットや
量子センサー形成に関する研究に従事。博士(工学)。

量子科学技術で つくる未来

超省エネ スマ

23

今日、IoT(モノの子が持つ)スピンの磁石と
インターネット)の普及 同じように向きを持ち、
に伴い身の周りで消費さ 電流に乗って流れる性質
れるデジタルデータの量 を活用するスピントロニ
は年間数十%の勢いで増 クスという技術が採り入
加している。増え続ける れられており、素材には
莫大な情報を記憶するた 磁石の性質を持つ磁性体
め、より大容量で電力消 が使われ、情報は磁極の
費が少ないメモリーの開 向きとして恒久的に保持
発が必須となる。中で される。書き込みは、厚
も、ハードディスクや磁 さがナノメートル(ナノ
気ランダムアクセスメモ は10億分の1)程度の磁
リー(MRAM)などの 性体と非磁性体を積層し
磁気メモリーは、電源が た構造に電流を流し、電
なくても情報を維持でき 流によって生じたスピン
る不揮発性という特長か の流れ(スピン流)を利
らIoT社会を支える記 用して磁性体の磁極の向
憶デバイスとして期待さ きを変化させる。磁極の
れる。
磁気メモリーには、電 れやすさ(電気抵抗)が



異なるので、電気抵抗を るコバルト鉄合金はスピ
測ることで書き込まれた ン流の生成能力が低く、
情報が読み出せる。 非磁性体に使われている
現在の磁気メモリー 酸化マグネシウムはスピ
で、磁性体に使われてい ン流を流しにくいいため、
情報を書き込みや読み出
しの高効率化や低消費電
力が難しい。
これに対して、量子科
学技術研究開発機構(Q
ST)では、磁性体と非
磁性体の新材料として、
スピン流の生成能力が高
いホイスラー合金とスピ
ン流を流しやすい2次元
物質を磁気メモリーに応
用する研究に取り組んで
いる。2020年には強
磁性を示すホイスラー合
金と2次元物質のグラフ
エンの積層に世界で初め
て成功し、書き込みや読
み出しに要する電力を大
幅に削減し、超低消費電
力化を実現する素子の開
発を進めている。
磁気メモリーに2次元

超低消費電力化へ素子開発

物質を用いることは、ス
ピン流を流しやすいこと
が素子の低消費電力化に
繋がること以外にも大き
なメリットがある。次世
代のIoT技術としてネ
ットワークから端末まで
の情報処理を全て光ペ
ィで行うオールフォトニ
クス・ネットワークが提
唱されている。
この次世代技術は、光
を生かした高速な情報処
理が期待できるが、光は
止められないので難点は
記憶の保持だ。最近、2
次元物質に光を照射する
とスピン流が発生するこ
とが発見された。QST
では、この性質を利用し
た光による書き込みが可
能なオールフォトニクス
・ネットワーク対応の磁
気メモリー開発に着手し
ている。
(木曜日に掲載)

量子科学技術研究開発機構(QST) 量子ビーム科学
部門 高崎量子応用研究所 先端機能材料研究部 プロジェクトリーダー **境 誠司**



2次元物質や新規磁性材料などのスピントロニクス材料
の研究、および、放射光や原子ビームなどの量子ビームを
用いた材料・デバイス評価技術の開発に従事。博士(工学)。

物質に対して反物質が手法となる。量子科学技
あると言いつつ、何やらS 術研究開発機構(QST)
Fの世界と思われれるかも では、陽電子を用いた電
知れない。しかし、これ 子スピン分析技術の世界
は現実のことである。陽 に先駆けて開発してい
電子は電子の反物質で、
質量以外、性質は全て電 陽電子の最大の特徴
子と反対だ。つまり、電 は、電子スピンの観察
子と反対のプラス電荷を を、物質中の特定部位だ
持ちスピンは逆向きに回 け選択的に行えること
転している。
この陽電子を使うと、 つ紹介する。一つ目は、
光や中性子とは全く異な 物質表面の原子一層であ
る方法で物質中の電子の る。エネルギーの低い陽
スピンを捉えることがで 電子で、物質表面の原子
き、次世代の量子スピン 一層にある電子スピンを
トロンクス物質の研究開 捉えることができ、スピ
発において画期的な分析 ントロンクスデバイスで

量子科学技術で つくる未来

超省エネ スマ



物質表面電子スピンエネルギー分析装置 (QST提供)

重要な現象である物質最 期待されるグラフェンな
外層のスピン流や、新し くに適用できる。
いスピン伝導物質として 二つ目は、物質の内部
である。エネルギーの高
い陽電子で、物質奥深く
や二つの物質が接合した
界面にある電子スピンを
捉えることができる。こ
れは、特異な振る舞いを
示す電子スピンを持つト
ポロジカル物質や、デバ
イス応用においてカギと
なる界面に凝縮された電
子スピンの観測に有用で
ある。
三つ目は、物質中の原
子が抜けた孔(原子空孔
と呼ばれる場所)である。
多くの物質には原子空孔
があり、ここに電子スピ
ンが溜まることで磁化す
ることがある。陽電子も
原子空孔に溜まる性質が

陽電子で電子スピン分析

物質中の特定部位だけ観察

あるため、そこにある電
子スピンを直接検出でき
るのである。
このように、陽電子を
使うことで、今まで見え
なかつた電子スピンの新
たな側面が解明できると
期待される。QSTで
は、さまざまなスピント
ロンクス物質中にある電
子スピンを直接捉えるこ
とに成功してきた。た
だ、これまでは電子スピ
ンの動きやすさに関する情
報は得られなかった。写
真は、現在開発している
最新鋭の装置であり、表
面一層にある電子スピン
のエネルギー計測を可能
にするものである。
(木曜日掲載)
*次回は1月13日付に
掲載します

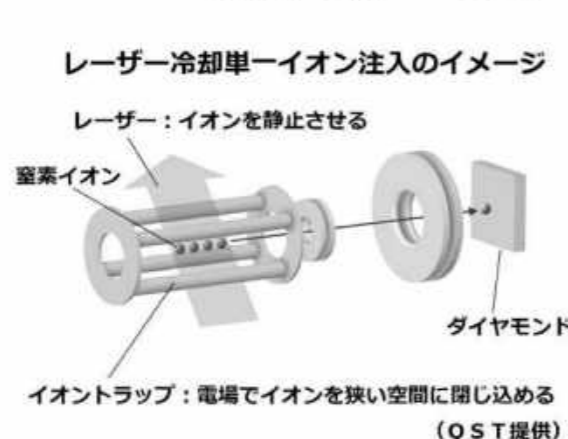
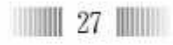
量子科学技術研究開発機構(QST) 量子
ビーム科学部門 高崎量子応用研究所 先端
機能材料研究部 プロジェクトリーダー



陽電子を用いた新しい分析技術の開発と応用に加え
て、陽電子と物質の相互作用に関する基礎研究に従事。

量子科学技術で つくる未来

超省エネ スマ



は、波長124ナノメートルの真
空紫外レーザーが必要だ
が、産業への普及を考え
ると、高額の導入資金を
要することがその妨げと
なりそう。
そこで、導入のハード
ルが低い光源技術を用い
たレーザー冷却法を選択
することにした。共同冷
却と呼ばれる技術だ。共
同冷却では、カルシウム
イオンが既存の半導体レ
ーザーで冷却できること
を利用する。窒素イオン
とカルシウムイオンを同
時にイオントラップに閉
じ込め、カルシウムイオ
ンをレーザー冷却するこ
とで、カルシウムイオン

イオン NV センター 精密配列

レーザー冷却 導入障壁低く

とクーロン相互作用する
窒素イオンも冷却される
という寸法だ。現在、窒
素イオンの冷却の実現を
目指し、カルシウムイオ
ンとの共同冷却の技術開
発を進めている。
このナノメートルの精
度で制御できるイオン注
入技術は、高感度量子セ
ンサーの開発だけでなく、
さまざまな応用が可
能な基盤技術となり得
る。量子センシングを活
用した省エネ・小型デバ
イス開発、すなわち超省
エネスマホの表現にもつ
ながると期待している。
これだけではない。量子
通信に必要な量子中継器
やさらには量子コンピュ
ーターの開発にもつなが
る、正に究極の技術なの
だ。(木曜日掲載)

量子科学技術研究開発機構(QST) 量子
ビーム科学部門 高崎量子応用研究所
先端機能材料研究部 プロジェクトリーダー



イオンビームと固体との相互作用、イオンビームを用いた材料改質
・分析に関する研究に従事。現在、レーザー冷却技術とイオントラ
ップ技術を用いた超精密イオン注入技術の開発を主導。博士(工学)。

物質に対して反物質が手法となる。量子科学技
あると言いつつ、何やらS 術研究開発機構(QST)
Fの世界と思われれるかも では、陽電子を用いた電
知れない。しかし、これ 子スピン分析技術の世界
は現実のことである。陽 に先駆けて開発してい
電子は電子の反物質で、
質量以外、性質は全て電 陽電子の最大の特徴
子と反対だ。つまり、電 は、電子スピンの観察
子と反対のプラス電荷を を、物質中の特定部位だ
持ちスピンは逆向きに回 け選択的に行えること
転している。
この陽電子を使うと、 つ紹介する。一つ目は、
光や中性子とは全く異な 物質表面の原子一層であ
る方法で物質中の電子の る。エネルギーの低い陽
スピンを捉えることがで 電子で、物質表面の原子
き、次世代の量子スピン 一層にある電子スピンを
トロンクス物質の研究開 捉えることができ、スピ
発において画期的な分析 ントロンクスデバイスで

量子科学技術で つくる未来

超省エネ スマ



物質表面電子スピンエネルギー分析装置 (QST提供)

重要な現象である物質最 期待されるグラフェンな
外層のスピン流や、新し くに適用できる。
いスピン伝導物質として 二つ目は、物質の内部
である。エネルギーの高
い陽電子で、物質奥深く
や二つの物質が接合した
界面にある電子スピンを
捉えることができる。こ
れは、特異な振る舞いを
示す電子スピンを持つト
ポロジカル物質や、デバ
イス応用においてカギと
なる界面に凝縮された電
子スピンの観測に有用で
ある。
三つ目は、物質中の原
子が抜けた孔(原子空孔
と呼ばれる場所)である。
多くの物質には原子空孔
があり、ここに電子スピ
ンが溜まることで磁化す
ることがある。陽電子も
原子空孔に溜まる性質が

陽電子で電子スピン分析

物質中の特定部位だけ観察

あるため、そこにある電
子スピンを直接検出でき
るのである。
このように、陽電子を
使うことで、今まで見え
なかつた電子スピンの新
たな側面が解明できると
期待される。QSTで
は、さまざまなスピント
ロンクス物質中にある電
子スピンを直接捉えるこ
とに成功してきた。た
だ、これまでは電子スピ
ンの動きやすさに関する情
報は得られなかった。写
真は、現在開発している
最新鋭の装置であり、表
面一層にある電子スピン
のエネルギー計測を可能
にするものである。
(木曜日掲載)
*次回は1月13日付に
掲載します

量子科学技術研究開発機構(QST) 量子
ビーム科学部門 高崎量子応用研究所 先端
機能材料研究部 プロジェクトリーダー



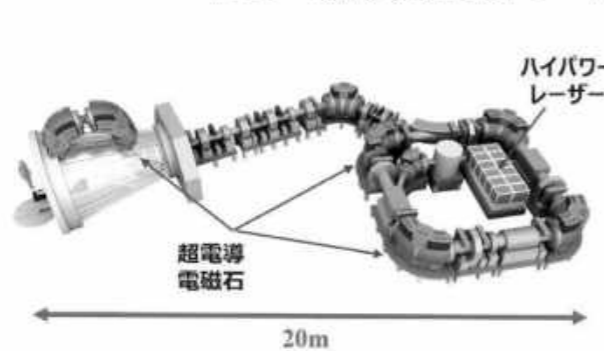
陽電子を用いた新しい分析技術の開発と応用に加え
て、陽電子と物質の相互作用に関する基礎研究に従事。

量子科学技術で つくる未来

量子メス

29

近年、がん治療は大きく体内のがんに照射して死... 量子科学技術研究開発機構(QST)は、重粒... 量子科学技術研究開発機構(QST)は、重粒...



量子科学技術研究開発機構(QST)は、重粒... 量子科学技術研究開発機構(QST)は、重粒...

「健康長寿社会」一翼担う

と組み合わせさせた治療など、さまざまな臨床研究... 量子科学技術研究開発機構(QST)は、重粒...



量子科学技術研究開発機構(QST) 量子生命・医学部門 量子医科学研究所 白井 敏之 物理工学部 部長

加速器・ビーム物理学の基礎的研究に従事した後に、QSTで... 量子科学技術研究開発機構(QST)は、重粒...

切らずに日帰りがん治療

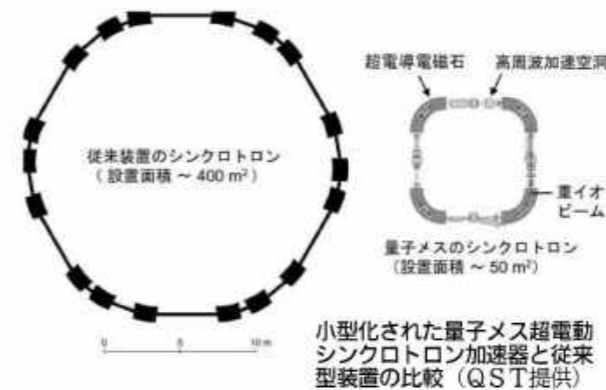
メーカーが重粒子線治療... 量子科学技術研究開発機構(QST)は、重粒...

量子科学技術で つくる未来

量子メス

30

量子科学技術研究開発... 量子科学技術研究開発機構(QST)は、重粒... 量子科学技術研究開発機構(QST)は、重粒...



最新の重粒子線治療装... 量子科学技術研究開発機構(QST)は、重粒... 量子科学技術研究開発機構(QST)は、重粒...

冷凍機のみで超電導維持

院での運用が困難なため、これに頼らない冷却... 量子科学技術研究開発機構(QST)は、重粒...



量子科学技術研究開発機構(QST) 量子生命・医学部門 量子医科学研究所 水島 康太 物理工学部 主任研究員

粒子線治療技術の高度化に向けた加速器・ビームの制... 量子科学技術研究開発機構(QST)は、重粒...

量子科学技術で つくる未来

標的 アイソトープ 治療 42

現在、再発をきたした悪性脳腫瘍に対して、有Cu-64-ATSMの開発効な治療法は確立されて発を行ってきた。本薬がない。このため、新規は、脳腫瘍に限らず、組治療法の開発が強く望ま 織浸透性が高く血流の乏 れている。従来の化学療 しい、他の低酸素化腫瘍 法や放射線治療が効きつ (がん)内にも到達でき らい原因として、腫瘍の る性質を有する。こうし 中では腫瘍細胞が活発に たがん細胞内は酸素濃度 増殖し、血管が乏しくな が低いため、本薬は還元 り、薬剤が届きにくくな され、銅(Cu)の放射 することに加え、放射線治 性核種Cu-64を放出 療の際に必要な酸素とし、これが低酸素化した が腫瘍内部において濃度 が細胞内に蓄積するこ とでがん治療としての効 低下するためである。 とでがん治療としての効 果が高まる。

これに対し量子科学技 果が高まる。 この時、細胞内に高集 術研究開発機構(QST) 積したCu-64は、既存 は、低酸素化した腫瘍に 高集積し、高い治療効果 放射線治療薬(ヨウ素-

放射性治療薬Cu-64-ATSMの開発

日本発放射性治療薬 ⁶⁴Cu-ATSM 低酸素化したがん

第I相医師主導 臨床試験 (STAR-64) を実施中

治療薬 + オージェ電子

従来の放射性 治療薬で使用 がん細胞DNAを 効果的に損傷す る特殊な電子

高い治療効果を発揮

131Iやイットリウム-細胞への殺傷効果がより よびがん細胞自体を効果 的に殺傷できる。 90など)が放出するβ-高いオージェ電子も放出 線だけではなく、高エネして、がん細胞のデオキ ルギーを高所的に付与し シリボ核酸(DNA)お

がん細胞株移植モデルを 用いた非臨床試験でCu-64-ATSMが悪性脳 腫瘍の増殖を効果的に抑 制し、生存率を改善する ことを明らかにしてきた。こうした成果から、 我々は再発悪性脳腫瘍に 対する新治療薬としてC u-64-ATSMが有効 であると考え、現在本薬 のヒトでの安全性を明ら かにする第I相医師主導 臨床試験(STAR-64) を実施中である。

本臨床試験を実施する にあたり、我々はCu-64-ATSMの製剤化、

がん細胞 効果的に殺傷

高品質な治療薬を製造す る体制の確立を行ってき た。本臨床試験は、QSTと国立がん研究センタ ー中央病院と共同で開始 され、現在は治療薬製造 施設として両機関、さら に治療実施機関として 国立がん研究センター 中央病院・神奈川県立が ンセンターが参画し、多 施設体制で実施すること で、治療を加速してい る。本臨床試験は、治療 目的でのCu-64-ATSMを初めてヒトに投与 するファースト・イン・ ヒューマン試験である。

また、日本で開発され た放射性治療薬を国内で 製造・供給し実施する初 めの治験であり、早期 の実用化を目指してい る。

(木曜日に掲載)

量子科学技術研究開発機構(QST) 分子 イメージング診断治療研究部 上席研究員 **吉井 幸恵**

難治性がんの放射性治療薬の研究開発に 15年以上従事しており、新薬をいち早く患 者の皆さんにお届けしたいと願っている。

量子科学技術で つくる未来

標的 アイソトープ 治療 41

量子科学技術研究開発 亡者数は増加の一途をた 機構(QST)は、中皮 腫に対するアルファ(以 下、α)線放出核種を用 いた核医学治療薬候補 の開発に成功し、動物実 験でその抗がん効果を明 らかにした。

中皮腫は、胸膜などに ある中皮から発生する悪 性腫瘍で、80-85%が胸 膜から発生する。中皮腫 の原因のほとんどは、ア スベストばく露である。 スベストばく露である。 2005年のクボタシヨ ックを契機に大きな社会 問題となった。日本国内 における中皮腫による死

腫瘍がほぼ消失する高い治療効果

未結合 NZ-16 腫瘍

²²⁵Ac結合 NZ-16 腫瘍

(QST 提供)

中皮腫 治療薬候補を開発

(以下、²²⁵Ac)を 加速剤で効率よく製造す ることに成功している。 ²²⁵Acは、近年、前

この²²⁵Acを中皮 腫細胞だけに届けるこ とができれば、周囲の正常 細胞を傷つけることな く、がん細胞を殺傷する ことが可能である。そこ で、我々は、中皮腫細胞 の細胞表面に多く存在し ているポドプランニンとい うたんぱく質に結合する 抗体NZ-16(以下、 「NZ-16」という) に、²²⁵Acを結合し たα線核医学治療薬候補 として²²⁵Ac結合NZ-16を開発した。ポド プランニンは中皮腫の中 で悪性度の高い肉腫型に も高発現しているたんぱ く質で治療標的として有

α線核医学の副作用減

望である。

²²⁵Ac結合NZ-16を、中皮腫のモデルマ ウスに1回投与したとこ ろ、腫瘍サイズを縮小さ せ、ほぼ消失する効果が あることを確認した。ま た、生存期間を延長する ことも確認した。一方 で、副作用の指標となる 体重減少や病理所見は認 められなかった。これら の研究成果から、悪性中 皮腫に対して、²²⁵Ac 結合NZ-16によるα 線核医学治療が副作用の 少ない効果的な治療法と なることが期待される。 現在、臨床応用に向けて 関係機関と協力して準備 を進めており、3年後の 臨床試験の実施を目指し ている。

(木曜日に掲載)

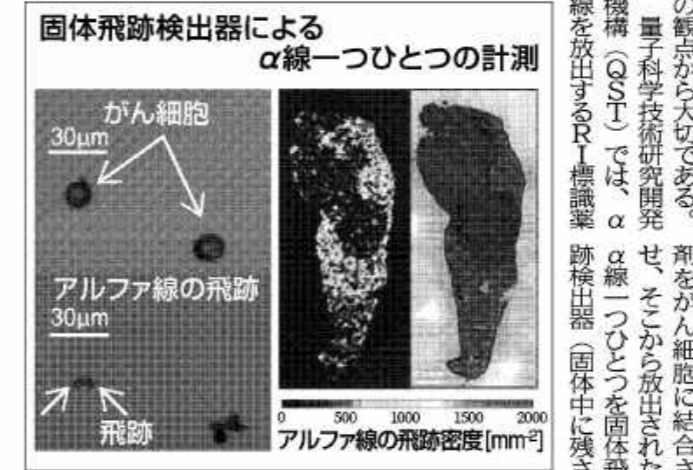
量子科学技術研究開発機構(QST) 量子生命・医学部門 量子医科学研究部 分子イメージング診断治療研究部 核医学 基礎研究グループ グループリーダー **辻 厚至**

非密封放射性同位元素を利用した核医学の診断・治療 の開発研究に従事している。がん治療法のひとつ、抗体 を利用した放射免疫療法の開発研究に注力している。

標的アイソトープ治療が他の治療法にはない他の放射線療法では難特長である。R Iの中でもアルファ線はがんの殺傷効果が高い。固形がんを対象とした外照射の炭素線治療と異なることは、体外と同等程度の治療効果が期待される。がん細胞へ放射線を出す性質があるR Iの集積率や細胞致死放射線同位元素(R I) 死に必要な線量を正確にがんを集めて体内から見積もることは、治療に照射することである。R 必要な投与線量を定量的I と結合した分子標的薬に決定・計画することに(R I 標識薬) が血つながらる。一方で、全身中をめぐって向かう先はR I 標識薬が駆け巡るがん細胞であり、がん細胞から、標的とする限定的に局所照射されるへの線量評価も、副作用



R I 標識薬がんに局所照射



の観点から大切である。剤をがん細胞に結合された放射線が通った跡(飛跡)を顕微鏡で観察する検出器を用いて計測する手法を開発した。細胞を検出器の上のせて照射すると、図左上のがん細胞から放出されたα線が直下の検出器内を通り図右下の飛跡を残す。このように、一つひとつのがん細胞に照射されたα線の個数を調べることで、この手法の確立により、単一細胞レベルでの局所的な線量評価が可能になった。肝臓に転移がんを持つマウスにα線を放出するアスタチン211を結合した抗体薬剤を静脈注射

単一細胞レベルで線量評価

し12時間動態する実験にこの手法を適用した。図右は肝臓の組織切片に対応するα線の分布を表しており、正常組織に比べて圧倒的にがん細胞にα線が集中していることがわかる。アスタチン211標識抗体薬剤のがん細胞への線量集中度が非常に高いことを示しており、動物実験で得られている高い治療効果を裏付けるエビデンスと考えている。

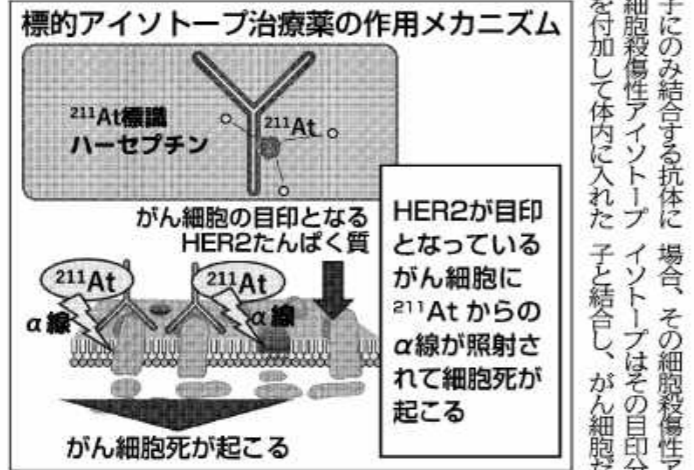


量子科学技術研究開発機構(QST) 放射線医学研究所 計測・線量評価部 放射線計測グループリーダー 小平 聡
放射線計測技術の開発と治療から宇宙にいたるさまざまな計測・線量評価研究に従事。博士(理学)。

国内で2020年にがん線治療である。しかし、んで亡くなった人は約38万人であり、81年以降、がんは死因の1位を占めていることから、がんの治療法の開発は医学分野において大きなテーマであり、活発な研究が行われている。標的アイソトープ治療は細胞殺傷性のアルファ線やベータ線を放出するアイソトープをがん細胞などの患部に送達して、病的細胞を焼き殺す治療法であり、がんの原発巣だけでなく転移や播種した病巣にも効果的な放射



目印分子にアルファ線放出



子にのみ結合する抗体に細胞殺傷性アイソトープを付加して体内に入れた目印分子の一つとしてHER2たんぱく質があげられる。HER2分子はがん細胞の増殖に関与するたんぱく質であり、がん細胞の表面に目印のように発現している。このHER2たんぱく質分子に対する抗体が特定の細胞だけを攻撃する分子標的薬の先駆けとして有名な抗体医薬品のハーセプチンであり、現在、乳がんや胃がんで使われている薬である。量子科学技術研究開発機構(QST)ではこの

がん細胞だけ殺傷

ハーセプチンにアルファ線を放出するアイソトープの一つ、アスタチン211を結合させ、目印分子HER2を発現しているがん細胞だけに、アスタチン211、すなわち、そこから放出されるアルファ線を殺傷することのできるがん細胞だけを殺傷する標的アイソトープ治療薬の開発研究を行っている。本薬品は、動物実験では胃がんの腹腔播種や肝転移に対して顕著な治療効果を示した。懸念される副作用だが、今のところ、治療を行う上で大きな支障となりそうな有害性は確認されていない。近い将来、臨床の舞台に登場することが期待される。



量子科学技術研究開発機構(QST) 量子科学研究所 重粒子線治療研究部 放射線がん生物学研究グループグループリーダー 長谷川 純崇
長崎大医学部卒。医師免許取得後、がんの基礎研究に従事。米カリフォルニア大学ロサンゼルス校やスタンフォード大を経て、独立行政法人放射線医学総合研究所(現QST)に入職。博士(医学)。

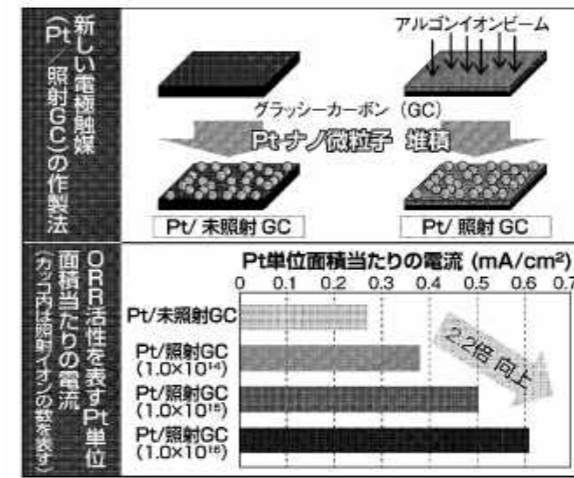
水素エネルギーはカー性能を2倍以上向上させ、ボーン・ニートル表現のことに成功した。切り札の一つだ。水素を現在のORR触媒に使う燃料電池車(FCV)は、Pt微粒子を炭素材料の普及拡大には、搭載するに保持させた「Pt微粒子構造を制御すれば、この課題を克服できると考

減が不可欠であり、そのコストは依然として高カギを握るのがPEFC、FCVの市場普及が酸素極の酸素還元反応 かなか進まない。Pt (ORR) 触媒という材料使用量を削減してコスト削減。量子科学技術研究を低減するには、ORR 開発機構(QST)では、活性と耐久性の向上が量子ビームの一つである 術課題と言われている。イオンビームを照射した 私たちは、Pt微粒子炭素材料に貴金属であると炭素材料との界面で白金(Pt)を保持させ 現するPt-炭素間の相 新手法を開発し、その 相互作用に着目し、炭素材

量子科学技術で つくる未来

未来のクルマ

50



料側からPt微粒子の電 えた。そこでQSTのイ 子構造を制御すれば、こ オン照射研究施設(TI 課題を克服できると考 ARA)を用いて炭素材

その上にPt微粒子を形 成させるという新しい触 媒作製法を試みた。欠陥 構造がPt-炭素相互作用 を強めるのなら、その 量を増やすことでOR R活性は向上するかもしれ ない。長年の蓄積があ る照射効果の知見を基 に、照射するイオン数を 調整し、欠陥構造の量を 変化した。

この予想は的中した。 照射イオン数、すなわち 欠陥構造の増加に伴い、 ORR活性は向上し、欠 陥構造を導入していない 従来触媒と比較して約2 2倍にまで高めること

ORR触媒 白金使用減

ができた。放射光実験と 理論計算により、高活性 のメカニズムがPt微 粒子から炭素材料への電 荷移動に伴う界面相互作 用に起因したPtの酸化 抑制にあることも突き止 めた。

現在、並行して耐久性 に関する研究も行ってお り、ORR活性×耐久性 の指標で10倍の性能向上 を目指している。

同じ炭素からなるダイ ヤモンドでは、原子空孔 のような欠陥構造が量子 センサーに応用されてい る。欠陥構造の持つ局在 性の効果は、Ptを全く 含まないORR触媒の開 発にも活用できるので は、という期待を抱かせ



量子科学技術研究開発機構(QST) 量子ビーム 科学部門 研究企画部長(併任)高崎量子応用 研究所 プロジェクト「先進触媒研究」リーダー 八巻 徹也

専門分野は量子ビーム材料科学。ガンマ線、電子線、イオンビーム、中性子線、放射光X線などを用いて、電極触媒から高分子電解質膜まで広く環境・エネルギー材料の研究に従事。博士(工学)。

未来のクルマでは、地とを発見し、従来必要と 球環境を守るために脱炭 していたレアメタルを使 素化をさまざまな要素か わない新材料の実現の扉 ら進めることが必要だ。 を開いた。この発見は、 そのため、量子科学技術 量子ビームの一つである 研究開発機構(QST)で 放射光X線という強力な 水素貯蔵材料や燃料電 池触媒など、さまざまな 装置・機器の要素となる 界を見ることがもつても 「材料」の開発を、「量子 たらされたものだ。

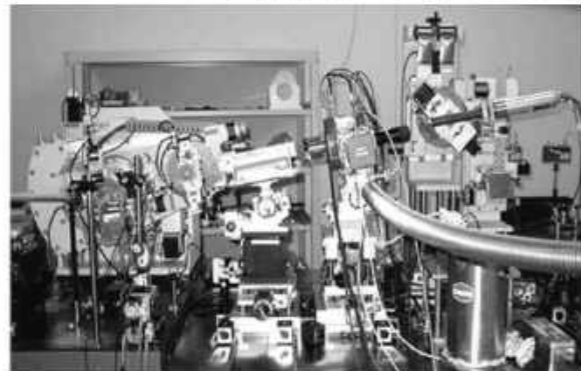
「材料」の開発を、「量子 たらされたものだ。

最近、水素貯蔵材料探 索では、資源豊富な金 属でかつ難水素化金属の 代表でもあるアルミニウ ムと鉄を組み合わせた合 金で水素が蓄えられるこ

量子科学技術で つくる未来

未来のクルマ

49



新発想のもと、イオンビ ーム照射で炭素材料に欠 陥を制御しながら導入す ることで、白金の活性化 向上を実現した。 ガンマ線などの照射に よる放射線 グラフト重 合では、高 強度な高分 子基材の特 性を維持し いたも重要だ。そこで 必要となる高度な制御 機能を付加 情報処理のために、さま ざまな電子・磁気パイ プス開発が行われている。 QSTでは、それらに役 立つ技術として、先端テ ーパイスの機能発現のボイ ントを観察できる新しい 顕微計測法を開発してい る。

放射光X線を用いた顕 微計測法を開発してい る。

量子ビームで材料開発

レアメタル不要 機能向上

微磁気計測法では、最 近、深き方向に原子1層 ことの磁気を観察できる までに至り、多数の膜か らなるデバイスにおいて 性能の決め手となる界面 でも原子層単位で分析で きる未踏の技術領域を開 拓した。

加えて、国内最高輝度 の軟X線のナノビームが 利用できる次世代放射光 施設(愛称:ナノテラ)が 現在建設中だ。電子の 性質を調べるのに適した 軟X線による顕微計測が 可能となり、デバイスの 欠陥付近の電子の性質な どがナノレベル(ナノは 10億分の1)で解明でき ると期待される。この連 載では、以降、これらの 話題を詳しく紹介してい く。(木曜日掲載)



量子科学技術研究開発機構(QST) 量子ビーム科学部門 関西光科学 研究所 放射光科学研究センター長 綿貫 徹

放射光X線を用いた非破壊の微視的観察技術 の開発と、それを用いた物質の中のナノメー トルの世界の現象解明の研究に従事。博士(理学)。

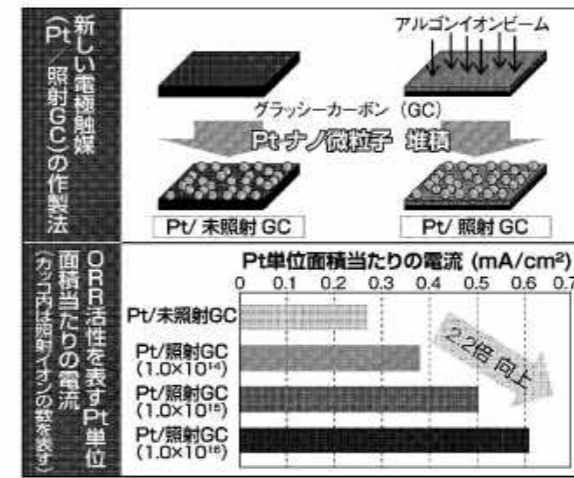
水素エネルギーはカー性能を2倍以上向上させ、ボーン・ニートル表現のことに成功した。切り札の一つだ。水素を現在のORR触媒に使う燃料電池車(FCV)は、Pt微粒子を炭素材料の普及拡大には、搭載するに保持させた「Pt微粒子構造を制御すれば、この課題を克服できると考

減が不可欠であり、そのコストは依然として高カギを握るのがPEFC、FCVの市場普及が酸素極の酸素還元反応 かなか進まない。Pt (ORR) 触媒という材料使用量を削減してコスト削減。量子科学技術研究を低減するには、ORR 開発機構(QST)では、活性と耐久性の向上が量子ビームの一つである 術課題と言われている。イオンビームを照射した 私たちは、Pt微粒子炭素材料に貴金属であると炭素材料との界面で白金(Pt)を保持させ 現するPt-炭素間の相 新手法を開発し、その 相互作用に着目し、炭素材

量子科学技術で つくる未来

未来のクルマ

50



料側からPt微粒子の電 えた。そこでQSTのイ 子構造を制御すれば、こ オン照射研究施設(TI 課題を克服できると考 ARA)を用いて炭素材

その上にPt微粒子を形 成させるという新しい触 媒作製法を試みた。欠陥 構造がPt-炭素相互作用 を強めるのなら、その 量を増やすことでOR R活性は向上するかもしれ ない。長年の蓄積があ る照射効果の知見を基 に、照射するイオン数を 調整し、欠陥構造の量を 変化した。

この予想は的中した。 照射イオン数、すなわち 欠陥構造の増加に伴い、 ORR活性は向上し、欠 陥構造を導入していない 従来触媒と比較して約2 2倍にまで高めること

ORR触媒 白金使用減

ができた。放射光実験と 理論計算により、高活性 のメカニズムがPt微 粒子から炭素材料への電 荷移動に伴う界面相互作 用に起因したPtの酸化 抑制にあることも突き止 めた。

現在、並行して耐久性 に関する研究も行ってお り、ORR活性×耐久性 の指標で10倍の性能向上 を目指している。

同じ炭素からなるダイ ヤモンドでは、原子空孔 のような欠陥構造が量子 センサーに応用されてい る。欠陥構造の持つ局在 性の効果は、Ptを全く 含まないORR触媒の開 発にも活用できるので は、という期待を抱かせ



量子科学技術研究開発機構(QST) 量子ビーム 科学部門 研究企画部長(併任)高崎量子応用 研究所 プロジェクト「先進触媒研究」リーダー 八巻 徹也

専門分野は量子ビーム材料科学。ガンマ線、電子線、イオンビーム、中性子線、放射光X線などを用いて、電極触媒から高分子電解質膜まで広く環境・エネルギー材料の研究に従事。博士(工学)。

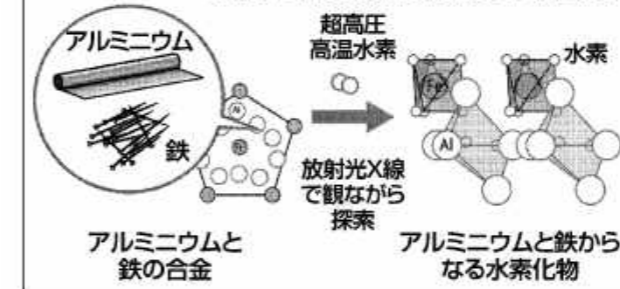
水素社会実現のための... 課題の一つが、気体でかさばる水素の貯蔵の問題... 量子科学技術研究開発機構(QST)では、水素と反応しやすいレアメタルが...

量子科学技術で つくる未来

未来のクルマ

52

アルミニウム鉄合金の水素化前後の結晶構造の模式図



アルミニウムと鉄の合金... アルミニウムと鉄からなる水素化物... その結晶構造は放射光X線を用いて探索された...

吸蔵合金 レアメタル不要に

チタン・鉄合金といった実用材料と同程度の量の水素を蓄えることを示した。現時点ではこの合金に水素を取り込ませるために7万気圧以上の超高压の水素が必要だ...

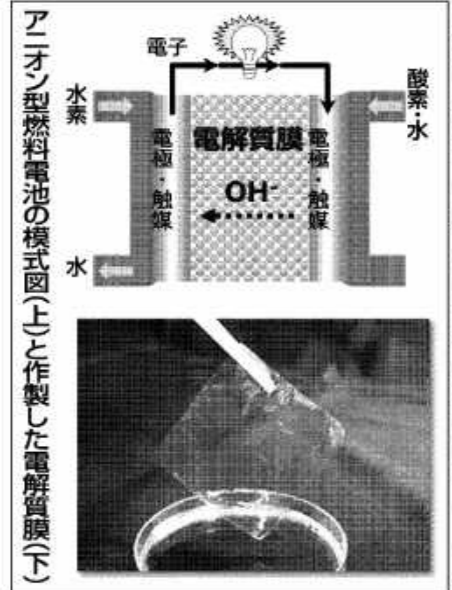
量子科学技術研究開発機構(QST) 量子ビーム科学部門 関西光科学研究所 放射光科学研究センター 高圧・応力科学研究グループリーダー 齋藤 寛之

燃料電池自動車では、水酸化物イオンが電解質膜を通して発電する「アニオン型燃料電池」が用いられ、その核となる材料が燃料電池膜(電解質膜)だ...

量子科学技術で つくる未来

未来のクルマ

51



アニオン型燃料電池の模式図(上)と作製した電解質膜(下)

燃料電池 低コスト・高出力

「アニオン型」電解質膜を開発

これはその原因が膜の過度な膨潤によることを突き止めた。膨潤を抑えられる構造を探索した結果、この新しい化学構造にたどり着いた。新開発の電解質膜では、実証試験への移行に十分な600時間以上のアルカリ耐性を実現し、イオン伝導性もプロトン型の実用電解質膜の約1.6倍に達した...

量子科学技術研究開発機構(QST) 量子ビーム科学部門 高崎量子応用研究所 プロジェクト「高分子機能材料研究」主幹研究員 吉村 公男

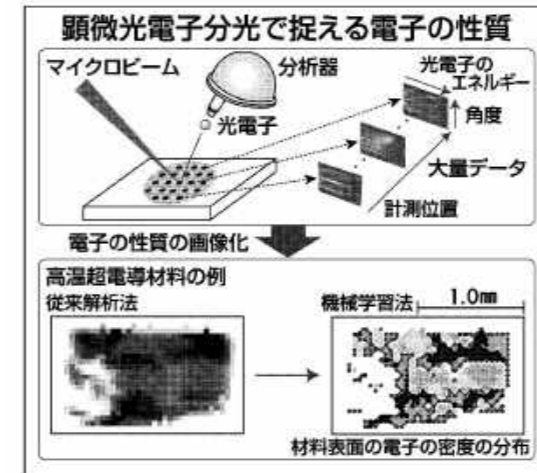
量子科学技術で つくる未来

未来のクルマ



自動運転車などによるイノベーションは、電気や磁気、量子特性を有する電子の性質(電子の密度)に左右される。この電子の性質を高精度で分析できるのは、量子科学技術による。量子科学技術は、量子力学の原理に基づき、物質の性質を原子レベルで理解し、制御する技術である。量子科学技術は、量子力学の原理に基づき、物質の性質を原子レベルで理解し、制御する技術である。量子科学技術は、量子力学の原理に基づき、物質の性質を原子レベルで理解し、制御する技術である。

光電子分光を顕微化



顕微鏡で捉える電子の性質。従来の解析法では大量データから電子の性質を抽出するが、量子科学技術を用いた解析法は、少量データから電子の性質を抽出できる。量子科学技術を用いた解析法は、少量データから電子の性質を抽出できる。量子科学技術を用いた解析法は、少量データから電子の性質を抽出できる。

ナノビームで材料設計・開発

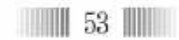
現在の国内最高輝度の軟X線のナノビーム(ナノは10億分の1)が利用できる。量子科学技術を用いた解析法は、少量データから電子の性質を抽出できる。量子科学技術を用いた解析法は、少量データから電子の性質を抽出できる。

量子科学技術研究開発機構(QST) 量子ビーム科学部門 次世代放射光施設整備開発センター 上席研究員(兼任) 量子ビーム科学部門 放射光科学研究センター 岩澤 英明

専門分野は量子ビーム・量子物質科学。放射光やレーザーを用いた実験装置の開発、機械学習を用いた解析手法の開発、高温超伝導体などの量子機能性材料の研究に従事。博士(理学)。

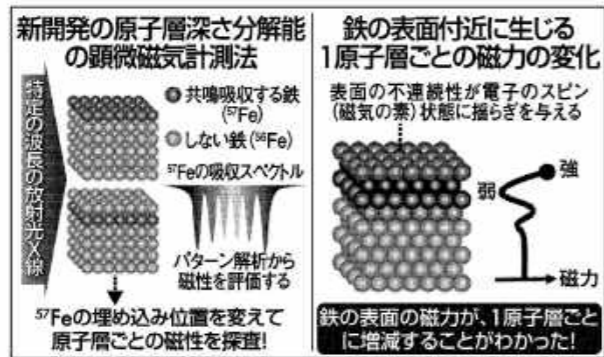
量子科学技術で つくる未来

未来のクルマ



未来の車社会では、人によるスピントロニクスデバイス(AI)が人に代わり目的地までの運転を任せ、駐車場の出入庫まで10億分の1で層状に積み重ねた自動運転を実現している。量子科学技術は、量子力学の原理に基づき、物質の性質を原子レベルで理解し、制御する技術である。

鉄表面の磁気構造解明



鉄の表面付近に生じる1原子層ごとの磁気構造。従来の解析法では大量データから電子の性質を抽出するが、量子科学技術を用いた解析法は、少量データから電子の性質を抽出できる。量子科学技術を用いた解析法は、少量データから電子の性質を抽出できる。

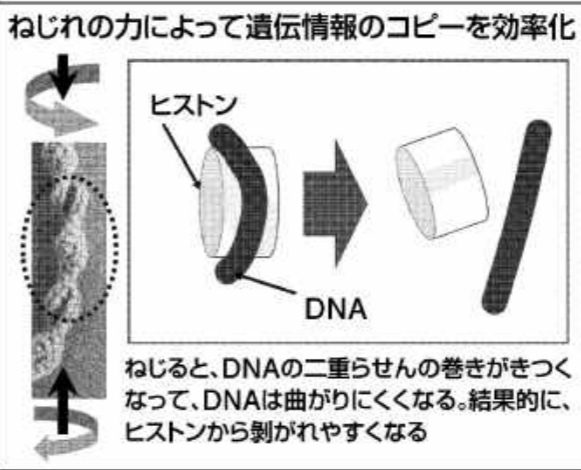
高性能デバイス早期開発へ

量子科学技術を用いた解析法は、少量データから電子の性質を抽出できる。量子科学技術を用いた解析法は、少量データから電子の性質を抽出できる。量子科学技術を用いた解析法は、少量データから電子の性質を抽出できる。

量子科学技術研究開発機構(QST) 量子ビーム科学部門 放射光科学研究センター 三井 隆也 磁性科学研究グループ 上席研究員

専門分野は、メスパワー分光、核共鳴散乱、精密X線光学。放射光を線源とした先進的メスパワー分光法の開発とそれを用いた物質研究に従事。博士(工学)。

私たちヒトのゲノムDNAは、直接数分の一のこの収納状態の詳細な構造を解き明かしてきた。しかし、生物は動いている。細胞の核に収納されている。ヒトの場合、全長約2.5mのDNAのひもがヒストンと呼ばれる



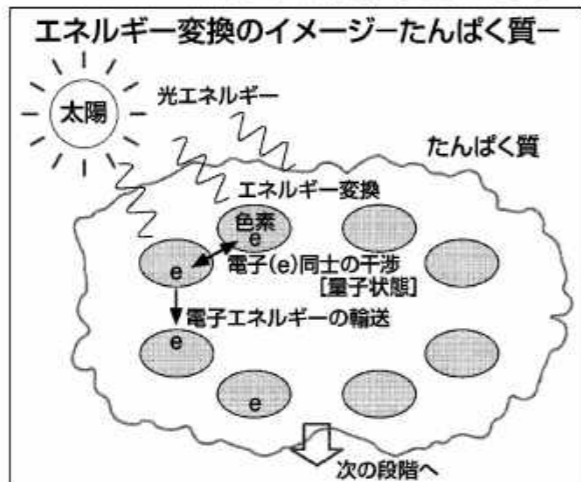
ねじると、DNAの二重らせんの巻きがきつくなって、DNAは曲がりにくくなる。結果的に、ヒストンから剥がれやすくなる。そのRNAの情報にうみ分子によってたんぱく質が合成される。DNAは右巻きの2重らせん構造をしている。この巻き方向自体が、遺伝子の読み出しのされやすさと密接に関係していることが分かってきた。

分子同士の絡み合い着目

報のコピーを容易にしているのだ。このように、DNAの収納のされ方自体に、遺伝情報を読み出しやすくする仕組みが組み込まれている。細胞内のナノスケールの分子の世界は、非常に巧みに作られている。遺伝情報を読み出す仕組みの全貌は、いまだによく分かっていない。このナノの世界で起こる分子同士の絡み合いを調べること、私たちが想像もつかない巧みな仕組みが次々と見つかるだろう。これらの仕組みを巧みに使ったデバイスを開発することができれば、私たちの未来の生活も大きく変わるに違いない。

量子科学技術研究開発機構(QST) 量子生命・医学部門 量子生命科学研究所 プロジェクトディレクター **河野 秀俊**
コンピュータシミュレーションと1分子計測により、DNAとたんぱく質の運動や形、それらの相互作用によって、DNA機能の発現する仕組みを原子・分子のレベルから調べる計算生命科学に専攻。博士(農学)。

光合成の出発点は、太ミノ酸が直鎖状につながったエネルギーを電子によってできているが、実はこのエネルギーに変換するそれだけでは太陽の可視光線である。そこにも光を吸収しない。たんぱく質は、地球の歴史とともに進化してきた巧妙な生物の仕組みがある。吸収して電子のエネルギーに交換している。人類が活動を継続していくために光合成は必須で、数十億年以上の間、地球上に酸素とエネルギー源となる有機物を提供してきている。もちろん、二酸化炭素(CO2)削減にも欠かせない。生物中のたんぱく質が光合成の主役を演じている。配置していることが、たんぱく質は20種類のアミノ酸から構成されている。



エネルギー輸送たんぱく質作製

たんぱく質のエネルギーへの変換秩序正しい巧みな原子の構造をナノサイズで行え、その後のエネルギー輸送を効率化している。たんぱく質のエネルギーへの変換秩序正しい巧みな原子の構造をナノサイズで行え、その後のエネルギー輸送を効率化している。たんぱく質のエネルギーへの変換秩序正しい巧みな原子の構造をナノサイズで行え、その後のエネルギー輸送を効率化している。

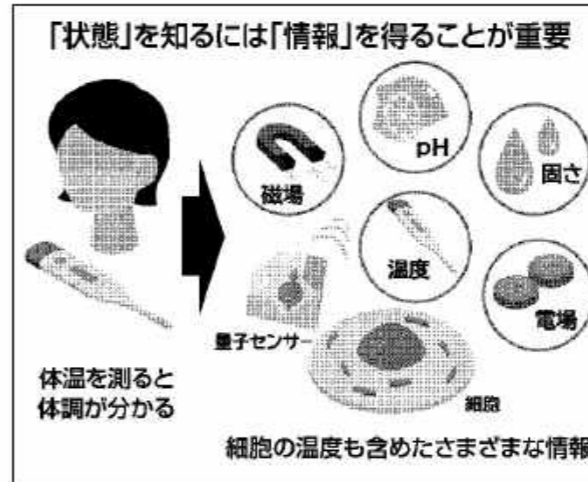
高速な電子の動き計測へ

色素の周りの環境に潜む巧妙さを、高速な電子の動きを計測して明らかにすることが現在の課題だ。私たちが量子科学技術研究開発機構では、光エネルギーを電子のエネルギーに変換・輸送するたんぱく質を人工で作ることに取り組んでいる。さまざまな視点で改変した人工のたんぱく質を作製し、それを最先端の量子計測技術で測定することによって、量子がかわる巧妙な仕組みを深く理解する研究に取り組んでいる。得られる知見は人工光合成に応用され、自然を凌駕する創造的なたんぱく質の設計をも可能にするであろう。

量子科学技術研究開発機構(QST) 量子生命・医学部門 量子生命科学研究所 タンパク質機能解析研究チーム チームリーダー **安達 基泰**
地球の歴史に重ね合わせられる過程を経て進化してきた生物分子の魅力に興味を持っている。近年は、非常に複雑なたんぱく質ならではの量子効果と機能性を追究する研究に従事。博士(農学)。

量子科学技術で つくる未来

量子 スマートセル



2020年初頭から現てもその温度はかなり異在に至るまで世界中がコなるはずだ。体表面の温度ナホに見舞われ、健康度を計測するサーモグラフィ状態を把握するために体温計や体温計を、体温を測る機会が増えた。深部にある臓器や組織にあらゆる場所に体温計が届けることは困難である。設置され、恐らく体温をため、残念ながら各臓器測れない日は皆無である。や組織の温度を計測できない。これは、温度が生命活動にとって極めて重要な生命活動をつかさどる各臓器や組織の診断を進めな情報だからだ。

ただし、生体の全ての臓器や組織を構成する箇所と同じ温度を示す各臓器や組織を構成するところ、そうではないのは細胞だが、厳密にこれには容易に想像が言える。細胞温度もそれる。脇の下に指先では当それぞれ異なっているはず。温度は異なる。恐らだ。究極的には、全身の各臓器や組織において各細胞の温度を計測する

究極の細胞健康診断

ナノ量子センサーで実現へ

ことができれば、生命科 有意義である。では言っ さまざまな病気の原因究明に 学の発展において極めて までもなく、かつ、さま いうち早くつなげることが できると期待される。す なわち、「究極の細胞健康診断の実現」が可能となるわけだ。

これを実現するために は、細胞より非常に小さな温度計(温度センサー)が必要になる。そこで、大きな注目を集めているのが、量子技術を導入したナノサイズのダイヤモンドなどを材料とする生体ナノ量子センサーだ。このセンサーを各臓器や臓器、およびそれらを構成する細胞に送り届けることで、届いた先の温度だけでなく、細胞内の水素イオン指数(pH)、磁場、電場、硬さなどの情報もセンサーから得ることが可能。さらにこれらの情報は、量子技術を巧みに応用することで同時に計測することが可能だ。ここに大きな魅力がある。生体ナノ量子センサーによる「究極の細胞健康診断の実現」は、決して夢物語ではないのだ。

本稿を含め全6回のシリーズで、この非常に魅力的なナノ量子センサーの紹介(第2回)をはじめ、生命科学への応用として、がん(第3回)、免疫・炎症(第4回)、脳疾患(第5回)、再生医療(第6回)における最新の研究状況を紹介する。(木曜日に掲載)



量子科学技術研究開発機構(QST) 量子生命・医学部門 量子生命科学研究所 プロジェクトディレクター 湯川 博

東京大学大学院工学系研究科、名古屋大学大学院医学系研究科を経て現職。クロスアポイントメントにより名古屋大学特任教授。ナノ量子センサーによる再生医学研究に従事。博士(工学、医学)。

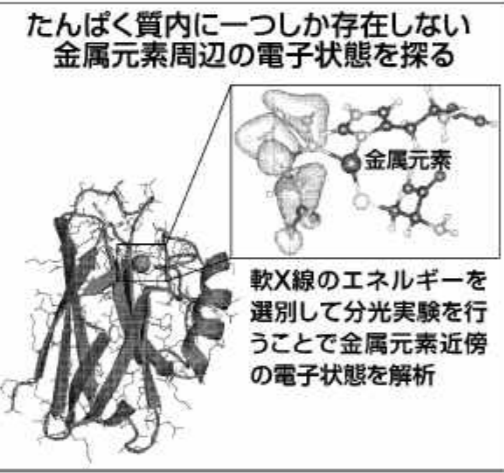
量子科学技術で つくる未来

人工光合成で CO₂削減



物質の多くの性質は物かにすることで、生体内質内の電子の状態によっての化学反応の起こり方て決まる。この電子状態やエネルギー移動の様子を見るには軟X線が最もが明らかになる。こうした強力な光である。現在、た反応メカニズムを理解量子科学技術研究開発機構することが光合成などの構(QST)は、官民地域 生体分子反応を模倣するパートナーシップの下、近道となる。

仙台市の東北大学構内に たんぱく質の分子構造高強度軟X線放射光施設を観測するX線結晶構造「ナノテラス」を建設中。解析やX線小角散乱である。この施設は202 は、波長が1オングスト4年4月に運用開始を予 ローム(100億分の1定しており、QSTはこ)程度のX線を用いることに3本の共用軟X線ヒ)ことが多い。このX線よ1μmラインを整備中だ。りも更に波長が長い(エこの施設を利用して生 ネルギーが低い)領域の体分子の電子状態を明ら 光を軟X線と呼ぶ。



軟X線分光技術を開発

波長が長いと大気中の は著しく減少する。その 分子との強い相互作用に ため軟X線を効率よく利 用するためには、真空状 によって、光源から試料に 照射される間、その強度 状態での照射実験が必要と なる。近年の真空技術や X線窓材料の開発によっ ても可能になっている。 状態での軟X線分光実験 も可能になっている。 放射光施設ではエネル ギーを選別した実験を行 うことができる。電子励 起エネルギーが元素によ って異なることから、軟 X線のエネルギーを選択 した分光を行うことで、 分子中の特定の元素近傍 の構造・電子状態を詳細 に調べることが可能。 例えは、数万个の原子 の集合体であるたんぱく 質分子の中に、たった一

生体分子の電子状態 理解

つか含まれない金属元 素の周りの情報をピック アップして観測すること も可能である。光合成過 程の中で活躍しているた ンぱく質複合体にも金属 元素が含まれ、その過程 の中心的な役割を担うこ とも多い。

このように複雑な分子 の特定元素近傍の電子状 態を局所的に探るのに は、この放射光軟X線分 光が適している。我々は 生体分子の電子状態を理 解するための新たなツィ ルとなる軟X線分光技術 の開発を進め、光合成過 程での化学反応の起こり 方やエネルギー移動の様 子を明らかにすること で、人工光合成などの開 発に役立てたいと考えて いる。(木曜日に掲載)



量子科学技術研究開発機構(QST) 量子生命・医学部門 量子生命科学研究所 電子物性生命科学研究チーム チームリーダー 藤井 健太郎

放射光を用いたDNAやたんぱく質などの生体高分子の分光実験に従事。最近東北大学内に建設中のナノテラスの建設チームに参画して軟X線を用いた生命科学研究を実施。博士(理学)。

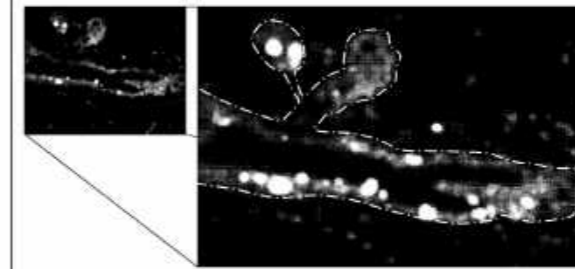
がんは、日本人の半数、生体ナノ量子センサー以上が経験する病気で、は、量子の性質を活用し死因の第1位である。こて生体内の状況を探るこ

量子科学技術で つくる未来

量子 スマートセル



ラットの乳腺に導入した生体ナノ量子センサー



図の白い粒状の点々が生体ナノ量子センサー

そのたのがん細胞の温度やその変化については注目され

細胞温度計測で診断・治療

度C程度であることが分かった。生きていた時は42度C

量子科学技術研究開発機構(QST)量子生命・医学部門 量子生命科学研究所 今岡 達彦

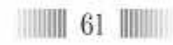


生体ナノ量子センサーを使って、分子・細胞レベルから個体レベルまでの現象に注目して、発がんが起こる仕組みを研究している。

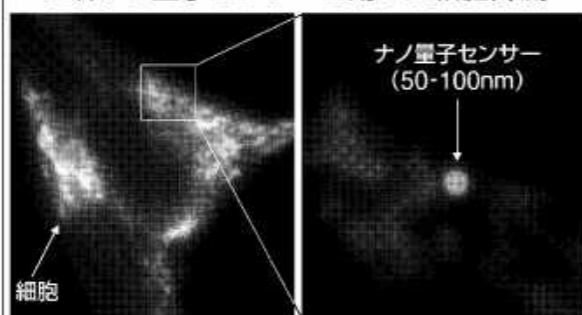
人体を構成する多くのセンサーが必要となる。細胞は数十億(マイク こうした極小のセンサー

量子科学技術で つくる未来

量子 スマートセル



生体ナノ量子センサーを用いた細胞計測



量子効果を利用することで細胞内ナノ環境を高精度計測し、細胞内で起こったわずかな変化や異常を高感度で検出

ナノ量子 センサー 細胞の異常検知

その粒径は最小5ナノとつての5ナノは、人体大きさである。このよう

医療格差なき社会 実現に貢献

と期待されている。また近年では、感染初期のわずかなウイルスな

量子科学技術研究開発機構(QST)量子生命・医学部門 量子生命科学研究所 次世代 五十嵐 龍治



ナノダイヤモンド中の量子効果を細胞計測に活用する新しいナノセンサー技術を学生の頃に着想し、京都大学とQSTにおいてその研究開発を行い現在に至る。

量子科学技術で つくる未来

量子 スマートセル

63

炎症とは熱、発赤、腫... 量子科学技術でつくる未来... 量子スマートセル



「微小炎症」慢性化防ぐ

規の神経-免疫連関であ... 「ゲートウェイ反射」... 量子科学技術研究開発

病気の芽、自動で摘む

機構(QST)ではこの... 量子科学技術研究開発

北海道大学 遺伝子病制御研究所 教授 QST量子生命科学研究所 チームリーダー 村上正晃

現在、慢性炎症病態の制御を目的に... 量子科学技術研究開発

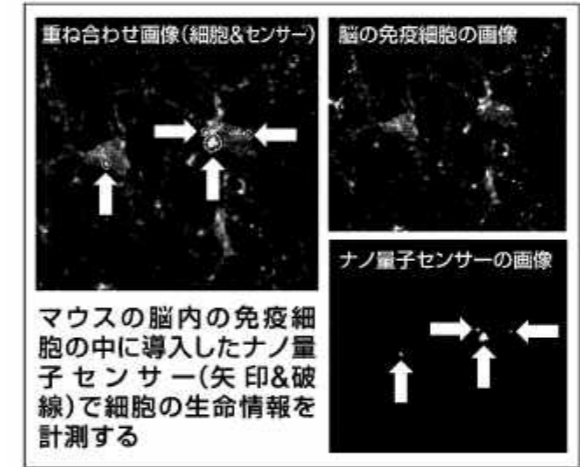


量子科学技術で つくる未来

量子 スマートセル

64

脳は、「見る」「聞く」... 量子科学技術でつくる未来... 量子スマートセル



脳疾患 ナノセンサーで知る

用が進んでおり、主に培... このナノ量子センサー... 量子科学技術研究開発

生きた動物の細胞変化観察

出し、病気に伴う代謝... 量子科学技術研究開発

量子科学技術研究開発機構(QST) 量子生命・医学部門 量子生命科学研究所 量子神経マッピング制御研究チーム 主幹研究員 田桑弘之

ナノ量子センサーなどの新たな生体脳イメージング技術を導入し... 量子科学技術研究開発



アルツハイマー病をば 常なたんぱく質が蓄積す じめとする認知症は、そのことを主因とするの の前段階を含めると罹患 者数は全国で1000万 階から検出できるが、 人を超えると推定され 診断革新において力を する。罹患者が多い理由の 握る。

一つは、有効な治療法が 質病変に結合する薬剤を 確立していないことであ り、早期に発見し治療す 創出し、この薬剤をボジ 戦略が望まれるが、現 トロン断層撮影（PET、Positron Emission Tomography）のイ 量子科学技術研究開発 機構（QST）では、認 知症を早期に診断し、 治療へと導く量子技術の をリードしてきた。

また、脳内の初期病変 多くの認知症は脳内に異 を鋭敏に検出しうる頭部

量子科学技術で つくる未来

認知症の 超早期診断

66

異常たんぱく質蓄積検出

専用PET装置を有用化 人工知能（AI）解析法 析からなる認知症の超早 すると共に、疾患の自動 も手がけ、イメージング 期診断パッケージが近い 診断を可能にする画像の 剤、PET装置、AI解 析を実現すると見込まれ る。

加えてデジタルELISA（Enzyme-linked Immunosorbent Assay）と呼ばれる新技 術や、さらにその先を行 くナノ量子センサーの活 用により、血液などの体 液に含まれる脳由来の異 常たんぱく質を超高感度 に検出し認知症診断に役 立てる手法の開発が、画 像診断法開発と相互促進 的に推進中である。

早期診断・早期治療で 異常たんぱく質蓄積を抑

次世代の認知症診療ワークフロー

デジタル ELISA ナノ量子 センサー 頭部専用 PET 高感度 薬剤 画像AI解析

高齢者 → 体液検査で集団検診 → 陽性者 / 陰性者 → PETで精密検査 → 検査結果に 応じた治療

脳の働き解明「よりよく」生きる

止できたとしても、脳の 働きが健全に営まれな ければ、「より長く」の みならず「よりよく」生 きていくことは難しい。QST は脳の回路の可視化と操 作を可能にする化学遺伝 学という革新的技術を用 いた基礎研究と、その知 見に基づいた臨床研究に より、「よりよく」前向 きに生きるための脳の働 きを解明しアシストする 取り組みも行っている。

このシリーズでは、認 知症の次世代診療実現に 向けた、画期的な診断技 術の開発を紹介する。さ らには病態制御の先を見 据えて、健康を真に享受 できる「こころ」の在り 方を追究する脳科学アプ ローチについても概説す る。（木曜日に掲載）

量子科学技術研究開発機構（QST）量子 脳科学研究部 脳機能イメージング研究部 部長 **樋口 真人**

東北大学医学部卒。老年内科医を経て、米国ペンシルベニア大学、理化学研究所で基礎研究に従事。放射線医学総合研究所（現QST）に赴任し、基礎と臨床をつなぐ脳疾患研究を推進。博士（医学）。

細胞状態を示す細胞内 ーターと非常に密接な関 の温度、水素イオン指数 係をもつと考えられる。 （pH）、磁場、電場、粘 そのため、これらパラメ 度などの物理化学的パラ ーターを細胞内で高精度 メーターは、生体分子の に同時に計測する技術が タイナミクスと反応性を 極めて重要となる。

通じて細胞活動を大きく 筆者が専門としている 変化させる可能性が指摘 再生医療やがん免疫療法 されている。発熱時に免 などの先進医療、および 疫細胞であるマクロファ 細胞の活性が上昇した 発生学、再生医学、免疫 学、死滅したがん細胞の 学などにおいては、これ 粘度が上昇したりするの らパラメーターの影響は この一例と言える。他 計測ができないが故にほ に、細胞分裂、遺伝子発 とんと考慮されていない 現、たんぱく質産生、代 謝活動などについても、 取ると、これまで37度C これら物理化学的パラメ の一定の培養条件下（生

量子科学技術で つくる未来

量子 スマートセル

65

物理化学的パラメーター 細胞内で同時計測

体外で幹細胞や再生細 に評価してきた。しか 胞を培養し、移植と前し、移植先の生体箇所の らず、体温が低いところ もあれば、高いところも ある。特に、第63回の記 事に紹介があったよう に、治療箇所は炎症が起 こっていることが多く、 37度Cより高い場合が想 定される。

我々はナノ量子センサ ー技術を駆使すること で、これらの疑問につい てその一端を解明した。 ナノ量子センサーをあら じめ幹細胞に導入し、 幹細胞内の温度を42度 C、37度C、32度Cにし て実験をしたところ、細 胞内温度に応じた、幹細 胞から産生される再生因

超解像顕微鏡による幹細胞内のナノ量子センサー

幹細胞内にナノ量子センサーを導入することで、細胞状態を示す温度などの物理化学的パラメーターの計測を実現

x: 32.77 μm, y: 32.77 μm, z: 7.88 μm

子の量が大きく変化する 結果が示された。すなわ ち、幹細胞の機能発現に はそれぞれ最適温度があ り、1細胞レベルでの温 度計測が重要であること を明らかにした。

今後はナノ量子センサ ー技術を安全性と計測精 度の面でさらに発展さ せ、生体内に適用するこ とで、移植箇所での温度 計測を実現する計画だ。 また、温度以外の物理化 学的パラメーターの变化 が再生医療やがん免疫療 法の効果に影響をおよぼ すことが懸念されてい る。これらの計測も実現 することで、より最適な 再生医療やがん免疫療法 の実現に貢献できること 期待している。

（木曜日に掲載）

量子科学技術研究開発機構（QST） 量子生命・医学部門 量子生命科学研究所 **湯川 博** プロジェクトディレクター

東京大学大学院工学系研究科、名古屋大学大学院医学系研究科を 経て現職。クロスアポイントメントにより名古屋大学特任教授。ナノ量子センサーによる再生医工学研究に従事。博士（工学、医学）。

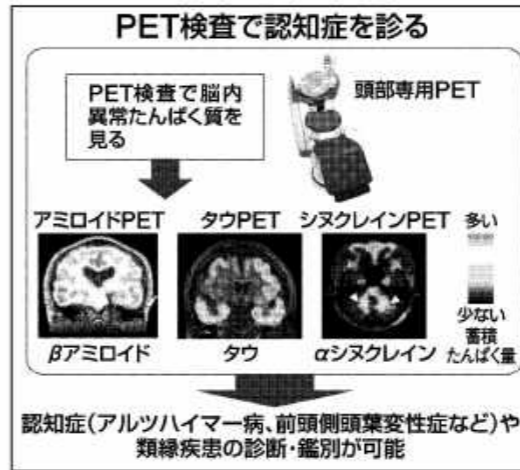
認知症では、神経細胞が機能異常を起し死に
至ることで、物忘れや連
動障害、精神症状など
多彩な症状が現れる。認
知症患者の脳の中では、
特定のたんぱく質が構造
的に異常となり、異常た
んぱく質凝集体を形成す
る。たんぱく質凝集体は
ること正常な機能を喪
失することに加え、異常
たんぱく質凝集体は、凝
集の過程で脳内の神経細
胞にダメージを与え、細
胞死を引き起こすと考え
られている。

アルツハイマー病の指
標となるβアミロイド沈
も、βアミロイド、タウ
着を可視化するPET薬

量子科学技術で つくる未来

認知症の超早期診断

68



PET検査で脳内異常たんぱく質を見る

アミロイドPET タウPET シヌクレインPET 多い 少ない

βアミロイド タウ αシヌクレイン たんぱく質

認知症(アルツハイマー病、前頭側頭葉変性症など)や類縁疾患の診断・鑑別が可能

認知症検査 手軽な時代に

シヌクレイン病変はパー
キンソン病やレビー小体
型認知症で見られる神経
病理像である。βアミロ
イドPET、タウPET
T、αシヌクレインPET
Tが可能となったこと
で、アルツハイマー病、
パーキンソン病、その他
の認知症を画像診断によ
り鑑別できる時代が到来
したと言える。

PETイメージングは
認知症の早期診断だけ
なく治療効果を判定す
る上でも欠かせない技術
である。QSTではPET
薬剤の実用化と低コスト
・高性能PET装置の普
及を精力的に進めてい
る。誰でも気軽に認知症
PET検査を受けられる
世界がもつてきた。来
て

量子科学技術研究開発機構(QST) 量子医科学 佐原 成彦
研究所 脳機能イメージング研究部 上席研究員

東京理科大学工学部卒。東京都精神研、大阪市立大学医学部、米國メーヨークリニック、理化学研究所、フロリダ大学、放射線医学総合研究所(現QST)で認知症基礎研究に従事。認知症モデル動物を用いて診断・治療薬の開発を推進。博士(理学)。



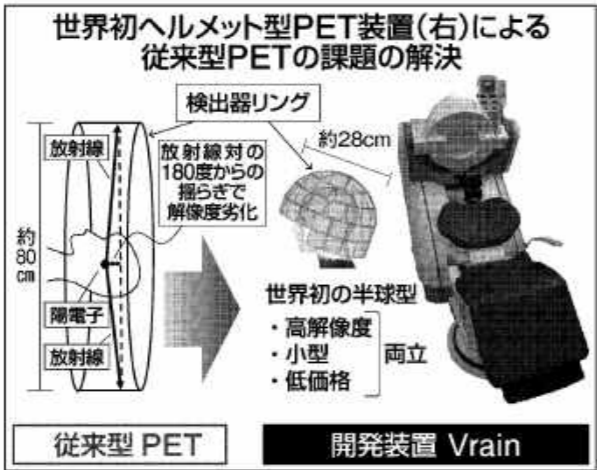
ボジトロン断層撮影の大きさにある。一つ
(PET)は、形の変化の陽電子から2本の放射
が現れる前の機能的な真線がほぼ正反対方向に出
常を、いち早くボジトロる。これがPETを支え
ン(陽電子)を使って画像の物理法則であり、2本
化する。これは、形を画像の放射線を同時に捉えて
化するCTやMRIとは、陽電子の位置を線上に特
全く異なる大きな特徴で定する。しかし、この
あり、いまやPETは「ほぼ」がミンであり、
ん診断に不可欠な検査法 従来の全身用のPET装
となった。一方、認知症に置では、この180度か
おいては、発症機序と関の揺らぎが数、脳の解
連する脳内の異常たんぱ 像度劣化を引き起こす
く質の画像化に強みを発 (図参照)。

揮しているものの、低い。そこで量子科学技術研
解像度が課題であった。究開発機構(QST)で
要因の一つは、放射線は、頭部に特化したPET
を捉える検出器のトネ T装置の開発に取り組ん

量子科学技術で つくる未来

認知症の超早期診断

67



ヘルメット型PET開発

できた。具体的には、検 高レベルにするのはもち
出器自体の性能を世界最 んのこと、検出器リン
にも注力した。その結果
たり着いた頭部用PET
Tの理想形が、世界初と
なるヘルメット型PET
装置である。

ヘルメット型PET装
置は、7年間にわたるア
トックス(東京都港区)
との共同研究を経て、2
022年1月に製品名
「Vrain」として販
売開始に至った。最新
の従来型PET装置でも区
別できないような脳の細
かに神経核までもが、明
瞭に画像化できる優れた
性能を誇る。

半球型は、使用する検
出器の数が従来PET装

脳画像検査の切り札に

置の数分の1で済むた
め、世界最高レベルの性
能でありながらも世界最
小でもあり、高い普及性
を併せ持つ。珍しい座位
型もポイントであり、リ
ビングでソファに座るの
と同じような感覚で、リ
ラックスしてPET検査
を受けてもらえるだろ
う。

実はPET装置の約9
割は輸入であるが、PET
T装置のコア技術の一つ
である光検出器に関して
は、日本製の部品が世界
中のPET装置で使われ
ている。Vrain開発
の成功を支えたのはこの
ような日本の優れた量子
科学技術であり、今後の
より一層の医療への貢献
が期待される。

量子科学技術研究開発機構(QST) 量子 山本 泰賀
医科学研究所 先進核医学基盤研究部 次長

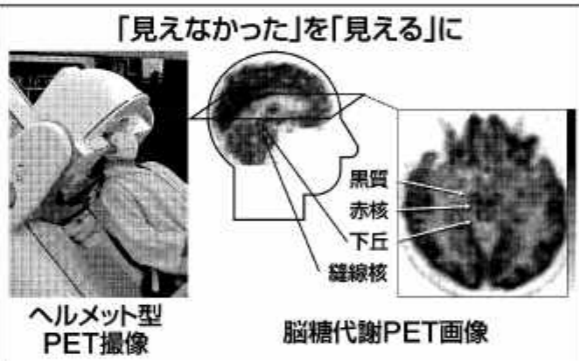
東京工業大学で機械工学や画像工学を学び、それらを未来の医療に役立てる研究開発を推進。本質を捉えた独創的発想を大切に、それを実用化し患者さんに届けることを重視している。博士(工学)。



量子科学技術で
つくる未来
認知症の
超早期診断

73

困っている人を見ると患者さんが困っている症
助けたいと思い、困って 状を代弁するポテンシヤ
いることが分かれれば、何ルを持つ。脳細胞の唯一
とかする手だてを考え のエネルギー源がブドウ
る。しかし、何に困って 糖であることから、ブド
いるのか分からない、 ウ糖類似体を陽電子放出
困っているかどうかも分 核種 (F-18) で結合し
からないと、医療さえ患 た薬剤の脳内分布によ
者さんに届かないことが て、脳機能を可視化する
ある。特に、認知症な ことができ。これまで
ど、高次脳機能に連す の多くの脳研究のおかげ
る病態がある場合、本人 で、脳のどの部位が、ど
自身では症状の説明が難 のような機能を担ってい
しいことが多く、困って るか、さらに、代表的な
いる内容を周囲に伝える 認知症における脳機能低
ことも難しい。
陽電子 (ポジトロン) 断層画像 (PET) は、 た。



PETで脳機能を可視 どの様な症状を抱え、
化できると、患者さんが どの様な経過をたどる 高精度化を目指してき
のか予測で た。

PETで脳機能可視化

最新の成果であるヘル
メット型PETでは、脳
の深いところにある神経
より詳細な 核のブドウ糖代謝の可視
領域を可視 化に成功した。このよう
化で、より 詳細な神経核はドーパミンや
ば、より詳 セロトニンといった神経
細に病態と 細胞の情報伝達に必要な
症状を理解 成分を合成し、多くの脳
できる。患 領域と連絡を取り合い、
者さんの病 ささまざまな機能を調節す
態と症状を る。
的確に捉え 神経核の機能を評価で
ることを目 されば、これまで分から
標に、量子 なかった高次脳機能の真
科学技術研 変にも、より正確にアプ
究開発機構 ローチすることが可能と

認知症患者の困りごと代弁

なる。
また、アルツハイマー
型認知症など神経変性疾
患においても、関連する
異常たんぱく質の蓄積が、
いつ、どの部位で始まる
のかといった、超早期像
を捉えることも可能にな
り、脳機能低下や症状が
出現する前に病態を知
り、治療介入することも
現実のものとなる。
助け合う社会から、さ
らにその先を見据え、さ
まざまな側面から脳機能
を理解し、より良い健康
な暮らしを支えるための
科学技術を目指し、本連
載で綴られてきたよう
に、QSTでは第一線の
研究者が日々、一丸とな
って研究や技術開発にま
い進んでいる。
(木曜日掲載)



量子科学技術研究開発機構 (QST)
量子医科学研究所
先進核医学基盤研究部 主幹研究員

高橋 美和子

2008年に東京大学大学院核医学において、てんかん脳の研究により博士号(医学)を取得、同年より同付属病院助教、14年より講師として核医学診療に従事。18年よりQSTイメージング物理研究グループ主幹研究員として理工学から医学を革新すべく、核医学を中心とした研究に従事している。

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
2023年3月発行
〒263-8555 千葉県千葉市稲毛区穴川4丁目9番1号
TEL 043-206-3026 (広報課) FAX 043-206-4062
E-mail: info@qst.go.jp
URL: https://www.qst.go.jp
制作 有限会社オズクリエイティブルーム



高性能な
未来のクルマ



卓見異見



ヘルメット型
PETで
脳の検査



量子メスで
日帰りがん治療



地上に太陽が!!
核融合発電



人工光合成で
二酸化炭素を
削減



ロボットによる
全自動
インフラ検査



スマホは
充電要らず



量子スマートセル
による究極の
健康管理



標的アイソトープ
治療で
からだに負担の
少ないがん治療