

国立研究開発法人

量子科学技術研究開発機構（量研）

高崎量子応用研究所

第43号

高崎研だより



役立つ科学

1 個のイオンを制御して最先端のセンサーに挑む

日本/世界見聞録

美しい街並み プラハ

My favorite

レンズに映る静と動のスター

放射性同位元素の医療利用

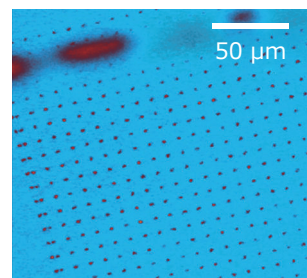
診断に利用される放射性同位元素



Q1. なぜイオンの制御がセンサーの開発に関係するのですか？

これまでにない高精度なセンサーの開発に、現在ダイヤモンドが注目されています。ダイヤモンドは炭素の結晶ですが、結晶中に不純物として窒素 (N) が存在すると、その隣りの原子が 1 個抜けた状態 (空孔: V と表す) ができることがあり、この N イオンと V のペアを NV センターと呼びます。NV センターは光を吸収すると、ある時間経過した後光を放出しますが、周りの温度、磁場、電場などのわずかな変化に応じてその放出する光の強さが変わるため、次世代の高感度センサーとして注目されています。

この NV センターが 10 ナノメートル (1/100,000 ミリメートル) ぐらいの距離に複数存在すると、NV センター同士が干渉する「量子もつれ」の状態をつくりだすことができ、量子コンピューターや量子通信への応用が期待されます。私たちはこの NV センターをつくるため、注入器と呼ばれる装置で N イオンを制御して高純度のダイヤモンドに注入する研究を行っています。この方法は他と比べ、超小型のセンサーの量産に有利な技術です。



ダイヤモンドへの N イオン注入で作られた NV センター

Q2. これまではイオンを制御することはできなかったのですか？

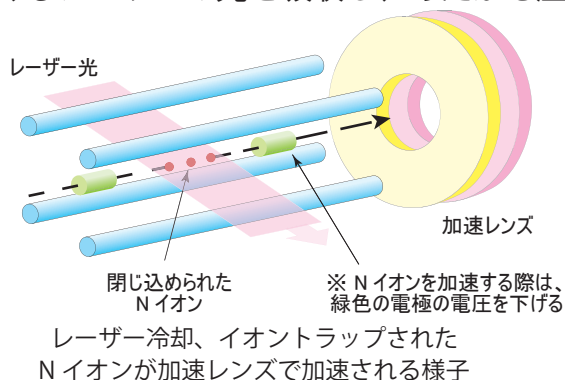
これまでもイオン 1 個 1 個を注入することはできましたが、その精度は 1 マイクロメートル (1/1,000 ミリメートル) 程度です。現在、注入器を用いて N イオン 1 個 1 個を 10 ナノメートルの高精度で注入できる技術の開発を行っています。

Q3. どのようにして、イオンをナノメートルのオーダーで制御するのですか？

最初に、大きなエネルギーを原子に与えて電子を飛び出させ、N イオンをつくります。できたばかりのイオンは激しく動いており、そのままダイヤモンドに注入すると位置がばらついてしまいます。そこで、私たちは「レーザー冷却」と「イオントラップ」という特殊な方法を用いています。

レーザー冷却は、激しく動いているイオンにレーザーを照射して減速させる方法です。N イオンが吸収できるレーザーの光より少し波長の長い光を照射すると、動いている N イオンは自分に向かってくるレーザーの光を吸収し、あたかも圧力を感じているかのように減速します。イオントラップは

減速した N イオンを電場や磁場で空間に閉じ込める方法です。レーザー冷却とイオントラップで N イオンを数マイクロメートルの範囲に閉じ込めた後、イオンを 1 個ずつ取り出して、加速レンズで集束しながら加速してダイヤモンドに注入します。レーザー冷却、イオントラップ及び加速レンズを組み合わせることで、はじめて N イオンを 10 ナノメートルの精度で制御することが可能となります。



Q4. 世界の動向と高崎研における今後の研究について教えてください。

レーザー冷却とイオントラップを用いた N イオンの精密注入は、ドイツのグループが先行していて、最近 NV センターの形成に成功したとの発表がありました。目標としている 10 ナノメートルの精度には達していません。世界的に NV センターの研究開発競争が激化している中、私たちは世界をリードできるイオン注入技術の開発を推進していきます。

2019年8月、チェコ共和国プラハで行われた陽電子ビーム技術国際会議に参加しました。私はヨーロッパの歴史に特に興味はなく、プラハがどんなところか良く知りませんでした。まさかこんなにいいところだったとは！

まず、街並みが非常に美しい。どこを見ても絵画のよう。石畳の道路に、風情ある建物が整然と並び、夜には美しく整えられた証明が花を添えます。おとぎの国と称されるのも無理はありません。観光客まで上品。会議場は、観光地カレル橋やプラハ城のすぐ近くという好立地(?)。主催者が連れて行ってくれた夜のプラハ城見学ツアーは美的センスの違いとうものをまざまざと見せつけられました。世界一美しいスタバがあるぐらいですから。



カレル橋とプラハ街並み

街の中心は橋を渡った旧市街地で、歩いて15分ほど。路地裏まで美しい街並みを歩くだけでも楽しい。プラハは歴史ある音楽の街で、そちらに詳しい人は無数にある劇場、博物館、美術館などを巡るだけでも感涙ものでしょう。残念ながら私にはその素養はありませんが、代わりに技術博物館に興奮しました。実はチェコはかなりの工業国。大量のクルマ・バイクはもとより、なぜか超充実の印刷機コーナー、日本ではまず見かけない鉱山コーナーなど非常に興味深い。街中を走るクルマはドイツ製高級車が非常に多いですが、チェコの国産車「スコダ」も負けていません。VWグループの一員なので中身はアウディと同じ。高品質で格好いい。またこれが、美しい街並みに映えるんですよ。BMWに乗った亜麻色の髪の女性が石畳を運転する姿はまるでCMのワンシーンのようでした。本当に何から何まで美しい。プラハ、とってもいいぞ。また、行きたいです！

先端機能材料研究部 前川 雅樹

My favorite

レンズに映る静と動のスター

少し背伸びをして念願だった一眼レフを購入したのは、1年前のこと。小学生の頃から天体観測が大好きで、カメラを購入してからは星景写真を撮りに出かけることが趣味となりました。今年の夏には、日本一星空が綺麗な村として認定された長野県の阿智村へ行ってきました。阿智村へ行くのは2度目であり、1度目は運悪く台風にあたり、星空どころか身を守ることに必死でしたが、今回は運良く一時的に晴れ、観測することができました。さすが日本一の星空に認定されただけあり、星が近く感じられ、肉眼でも天の川を見ることができました。満点の星空とまではいきませんでした。リベンジを果たせて良かったと思います。



長野県阿智村の星空

近隣のおすすめしたい星空スポットは、奥日光です。奥日光の戦場ヶ原で見た星空は360度見渡すことができ、今まで見た星空の中で一番感動しました。これから星空が派手な冬の季節となるので、少し遠出をして星景写真を撮りにいきたいと思っています。

また、家にいることが多くなった近頃は、家で飼っているハムスターの写真の撮ることも趣味となっています。星景写真や風景と違い、動きが早いので一瞬を撮るなかなか良いトレーニングとなっています。日常の他にも、季節ごとのイベントに合わせた小物と一緒に撮影することが多く、これからクリスマス、お正月とイベントがあるので、今年はどうのようにして撮影しようかと今から楽しみです。



紅葉とハムスター (名前:らいむ)

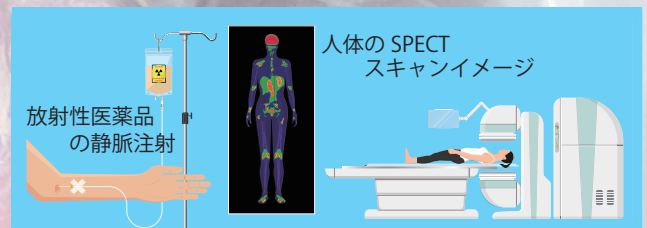
maro (ペンネーム)

東海量子ビーム応用研究センター 橋本 和幸

今回は、放射性同位元素(RI)を利用した病気の診断の話です。RIを結合させた化合物(放射性医薬品)を患者さんに投与した後、その体内分布を RI から放出されるガンマ線を測定し、解析装置で画像化することにより、臓器や病巣などの状態を知ることができます。ここで重要なことは、RI を結合させた化合物は、診断を必要とする臓器や病巣に集まりやすい特徴を持っているということです。

放出されるガンマ線のエネルギーや特性の違いによって、測定・解析するのに適した装置が開発され、主に2種類の診断技術が使われています。一つは1種類のガンマ線を放出するRIを用い、そのガンマ線をガンマカメラで検出しコンピュータによる画像解析により診断する方法であり、スペクト(SPECT: Single Photon Emission Computed Iomography)と呼ばれています。

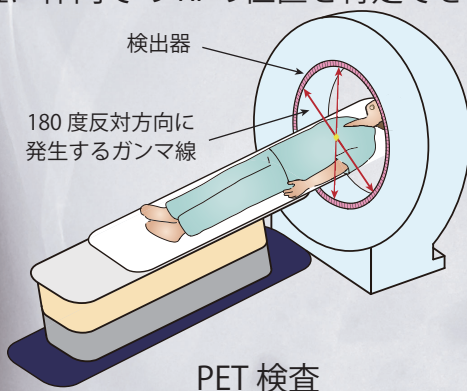
SPECT 検査に用いられる代表的な RI は、テクネチウム-99m (^{99m}Tc : 半減期 6 時間) であり、世界的に最も多く医療に利用され、日本国内では年間 60 ～ 70 万回の ^{99m}Tc を用いた検査が行われています。 ^{99m}Tc が幅広く利用されている理由として、1) 放出するガンマ線のエネルギーが、ガンマカメラで効率よく検出できること、2) 数多くの化合物と結合できるため、いろいろな臓器(骨、心臓、脳、腫瘍、肺など)の診断が可能であること、3) 入手しやすいこと、などがあげられます。



SPECT 検査

もう一つは、陽電子(電子の反粒子)を放出するRIを用い、その陽電子が消滅(周囲の電子と反応)するときに、180度反対方向に発生する2本の511キロエレクトロンボルト(keV: ガンマ線のエネルギーを表す単位)のガンマ線を検出・解析して診断する方法であり、英語の頭文字をとってペット(PET: Positron Emission Iomography)と呼ばれています。PETカメラは、検出器が360度リング状に配置され、反対方向に放出される2本のガンマ線を同時に測定することができるため、より正確に体内でのRIの位置を特定でき、解像度の高い画像を得ることができます。

PET 検査で使用される代表的な RI は、フッ素-18 (^{18}F : 半減期 110 分) や炭素-11 (^{11}C : 半減期 20 分) 等の短半減期 RI が用いられます。 ^{18}F をブドウ糖に類似した化合物に結合させた放射性医薬品 (^{18}F -FDG) は、糖の代謝を観察することができるので、脳や心筋の動き、活発に活動するがん組織を明瞭に画像化でき、近年盛んに使用されています。次回最終回は、RI による病気の治療について話をします。



PET 検査

Qメッセージ

今月号で何度か出現する「陽電子」は電子の反粒子で、質量は電子と同じですが、帯びている電気は正反対のプラスとなっています。陽電子は電子と出会うとお互いに結合して消滅しますが、そのときガンマ線と呼ばれる光が発生します。消滅前後ではエネルギーだけでなく運動量も保存されるので、2本のガンマ線が反対方向に放出されます。物質(質量)が消滅して光(エネルギー)になるって不思議だけどすごく面白い。そんな科学の面白さを次代を担う子供達に是非伝えていければと思います。

(高崎研所長 伊藤久義)