



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42号

高崎研だより

役立つ科学 電池の低コスト化を目指して ～炭素の構造を制御する～

日本/世界見聞録 コロナ禍のドイツ ～生活編～

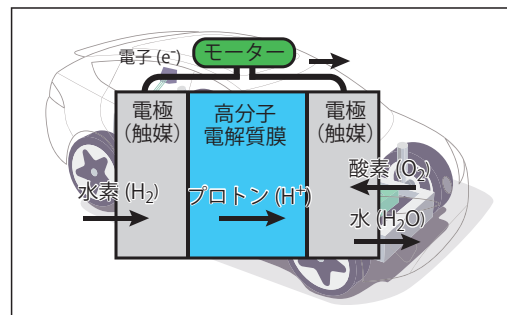
My favorite アインシュタインに思う

放射性同位元素の医療利用 医療に利用される放射性同位元素



Q1. どのような電池の低コスト化を進めているのですか？

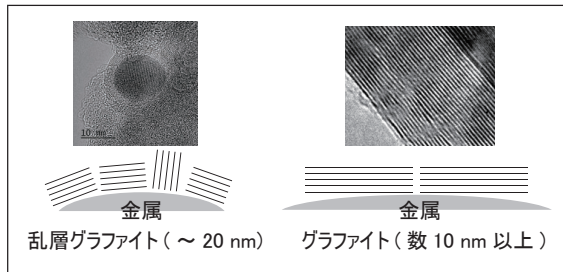
現在、販売されている燃料電池自動車は、水素から作った電気でモーターを回して走ります。走行時は二酸化炭素を全く排出しないので、非常に環境にやさしい自動車ですが、販売価格が高く、なかなか普及していません。燃料電池自動車を普及させるためには製造コストを下げる必要がありますが、最もコストの高い部品が燃料電池です。燃料電池は、水素 (H_2) ガスからプロトン (H^+) を作る電極と、プロトンを通す電解質膜、プロトンと酸素 (O_2) ガスを反応させる電極で構成されます。プロトンと酸素を効率的に反応させるため、電極には触媒が使われています。触媒とは、自身は化学的に変化することなく、反応を促進する働きをもつもので、燃料電池自動車向けには白金 / 炭素触媒が使用されています。白金は希少かつ非常に高価であるので、白金を使わない燃料電池の研究開発が盛んに行われています。



固体高分子燃料電池の構造

Q2. どのようにして白金のいない燃料電池を製造するのですか？

白金を全く使用しない炭素触媒は群馬大学尾崎教授らによって開発されました。この触媒は、窒素原子を取り込んだ層状のグラファイト結晶構造をもつ材料です。グラファイトは炭素が六角形に平面状に整列した層が積み重なった構造を持ち、鉛筆の芯などに使われています。このグラファイトが触媒として性能を発揮するには、窒素が取り込まれていること、グラファイトが乱層構造をもつことが必要とされています。乱層グラファイトとは、グラファイトの層が乱れたもので、高性能な炭素触媒の開発に不可欠な材料です。



乱層グラファイトと通常のグラファイトの構造

従来の乱層グラファイトは、グラファイトの原料と鉄やニッケルを含む金属化合物を混合したものを 800 ~ 1000°C で加熱して製造していました。金属化合物は、熱処理中に金属粒子に変化し、乱層グラファイト構造の形成を助ける働きがあります。これまでの研究で、乱層グラファイト構造を効率的に形成するには、金属粒子の大きさを 20 nm 程度まで小さくすることが分かりました。そこで、より小さな金属粒子を導入するため、乱層グラファイト原料へ鉄イオンを注入することを考えました。

Q3. 乱層グラファイト原料へどのようにして鉄イオンを注入するのですか？

高崎研にあるイオン注入器という装置を用いて、鉄原子をイオン化してグラファイト原料に照射した後、800°C で熱処理して、得られた材料中の鉄粒子の大きさとグラファイトの構造を調べます。照射するイオンの数によって鉄粒子の大きさを 5 ~ 30 nm の範囲で制御でき、乱層グラファイト構造を多く含む材料が得られます。

Q4. 今後この研究はどのように展開していく予定ですか？

今後は、窒素を含むグラファイト原料にこの方法を適用して、小さな鉄粒子の導入が触媒性能に及ぼす影響を明らかにしていく予定です。高性能な炭素触媒を開発し、燃料電池自動車の低コスト化の実現に貢献したいと考えています。

2021年5月末までは外出規制があり、アパート、スーパー、大学の3か所を往復する日々でした。その頃は、南ドイツの郷土料理に挑戦していました。おかげでクネーデル（ジャガイモ、パン入りの団子）、ケーゼスパッツレ（バターとチーズを使ったドイツ風パスタ）、シュニッツェル（カツレツ）を習得できました。6月に規制解除され、レストランで“本物”を食することができました。入店には陰性証明を示す必要がありました。抗原迅速検査が至る所（街頭に簡易テントが沢山ある）で無料にて受けられた点は素晴らしいと思いました。受付して検査した後30分程度で、オンラインで結果を受け取れます。



お手製ケーゼスパッツレ

ワクチン接種（2週間後）によって活動の自由度があがったので、夏季休暇を利用して名城巡りをしてきました。ドイツ鉄道やバス等の公共交通機関は医療マスク、ホテルではワクチン接種証明、レストランや観光地の施設では、ワクチン接種証明・医療マスク・専用アプリでのチェックイン・チェックアウトが求められました。シンデレラ城のモデルと言われるノイシュバンシュタイン城は、例年の

感染者が400万人を超えたドイツ
(筆者とノイシュバンシュタイン城)

10%以下の入場者数に制限しているようで、事前のオンラインチケット争奪戦を勝ち抜くことが難しい反面、混雑した場所が苦手な私には快適な旅となりました。この旅で感じたことは、スマホ+専用アプリは、旅行（ひいては生活）になくはならないものということでした。ドイツでも日本と同じように紙媒体での証明書があるものの、カードサイズならいざ知らず、原紙を常に携帯することは極めて現実的でなく、ドイツらしい合理的な仕組みだと感じました。

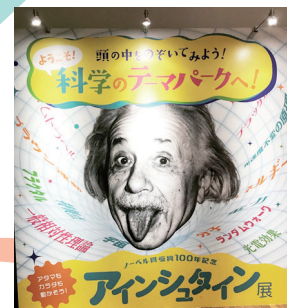
先端機能材料研究部 小野田 忍

My favorite

アインシュタインに思う

20世紀最高の物理学者とも評されるアルベルト＝アインシュタイン（1879～1955年）は、空間・時間・質量・エネルギーなど多岐にわたる物理的概念について、筆舌に尽くし難いほどの業績を残している。そのアインシュタインがノーベル物理学賞を受賞してから、本年はちょうど100周年にあたり、世界各地で多くの記念行事が開催されている。

日本では、大型書店での量子論フェアなど、記念イベント・講演会その他、“アインシュタイン展”なる展示会も開催されている。身近で起きる現象をアインシュタインの科学理論で理解、体験できる仕組みが設けられており、ユニークな視点で理論の概略を掴むことができる。アインシュタインの日本滞在記録や平和運動への言及もあり、コンパクトで良質な展示という印象であった。2022年以降に福岡・鳥取にも巡回する予定である。



アインシュタイン展のポスター

近年、量子コンピューターや量子暗号など、量子科学技術に関するニュースがよく見られるようになった。この量子力学・量子論の礎を築いた一人としてアインシュタインを外すことはできない。100年以上前にアインシュタインら多くの物理学者が切り拓いた“量子”の歴史、そして彼らの生き様を追っていくことは非常に楽しく、“量子”の世界にふれるいい機会となるだろう。“量子”の名を冠する我々の研究所も“量子”をしっかりと見つめ直していくにはいい機会である、と私は思う。

“The important thing is not to stop questioning.” - 大切なのは疑問を持ち続けることだ -

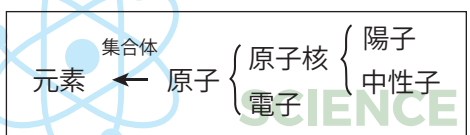
Albert Einstein

EPR Paradox (ペンネーム)

放射性同位元素の医療利用 医療に利用される放射性同位元素

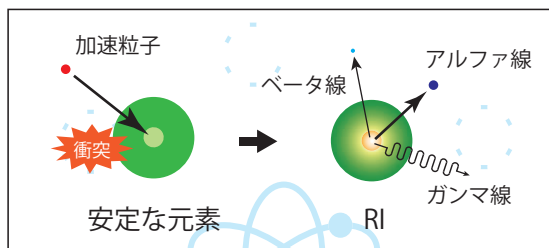
東海量子ビーム応用研究センター 橋本 和幸

今回から3回の予定で、放射性同位元素(ラジオアイソトープ:RI)の医療利用について紹介します。まず、RIとは何でしょうか？ 私たちの身の回りにあるすべての物質は、原子でできています。この原子は、+(プラス)原子核と-(マイナス)の電子で構成され、さらに原子核は+の「陽子」と中性である「中性子」からできており、原子の種類は陽子の数と中性子の数によって決まります。例えば、私たちの体を構成する主要な元素である炭素原子には、陽子が6個、中性子が6個あります。陽子の数が同じであれば同じ化学的性質をもつため、この集合体を元素と呼びますが、陽子の数が同じで中性子の数が異なるものがあります。これを同位元素(同位体、アイソトープ)と呼びます。同位元素の中には不安定で、陽子や中性子が崩壊しながら放射線を放出してより安定な原子核に変わるものがあります。これが、「放射性同位元素(RI)」です。



元素とは

RIは自然界に存在するものもありますが、医療に利用されるRIはすべて人工的に製造されています。装置を用いて加速させた陽子や中性子等の粒子を安定な元素の原子核に衝突させ、RIを製造するのですが、衝突させる粒子の種類や速度(エネルギー)、衝突される元素の種類などによって製造できるRIが異なります。



RIの製造法

RIは放射線を放出しながら他の原子核に変わっていくため、その原子の数は時間とともに減少します。原子の数がはじめの半分になるまでの時間を半減期といいます。半減期は、1秒以下のものから数十億年以上といったものまでさまざま、RIによって決まっています。医療への応用を考えると、半減期が短すぎるRIは目的の部位に到達する前に無くなってしまいますし、逆に長すぎると

診断・治療が終了した後も放射線を放出しつづけ、余分な被ばくにつながります。このため、数時間～数日程度の半減期をもつRIが医療に用いられます。

放射線には、アルファ線、ベータ線、ガンマ線等の種類があり、物質中での透過性に違いがあります。例えば、体内中にRIが存在する場合、アルファ線は数十マイクロン、ベータ線は数mm～数cmで止まるため、持っているエネルギーをその範囲に存在する細胞に与えて殺傷します。このため、がん細胞の周辺にRIを集めることができれば、がん治療に応用可能です。一方、ガンマ線は透過力が強いので、体内を通り抜けて体外でそのガンマ線を測定することが可能であり、体内のどこにRIが存在するのか、画像診断を行うことができます。このようにRIの半減期や、放射線をうまく利用することにより、RIを医療に応用することができます。次回以降、詳しく紹介します。

Qメッセージ

四半世紀も前になるが、Humboldt リサーチフェローとしてドイツ南部のErlangen 大学に滞在し半導体研究に取り組んだ。当時、師事したG.Pensl教授は当該分野の世界的権威で、学界のみならず産業界からもひっきりなしに研究者・技術者が訪れた。世界をリードする研究者がいると、そこを核として人的ネットワークが構築・拡幅され、研究が加速されて優れた成果が数多く産出される。高崎研でも世界的リーダー輩出等による量子科学技術分野の中核拠点形成を目指し、人材育成・研究環境整備等に引き続き注力していきたい。

(高崎研所長 伊藤久義)



オリンピック開催により、本年の「スポーツの日」は10月11日から7月23日に移動になりました。しかし、カレンダー製造時期の関係から10月の暦は11日が赤くなっています。食欲の秋、紅葉の秋・・・このまま11日は祝日してもらえないでしょうか！？