



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59号

# 高崎研だより

 役立つ科学 

スピン偏極陽電子による表面スピン解析

 My favorite 

愛車紹介

 日本/世界見聞録 

多様性の国、インド

 研究装置紹介 

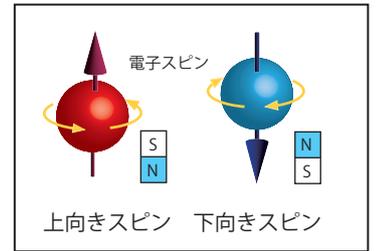
マイクロフォーカス X 線 CT 装置



Q1. スピンとは何ですか？

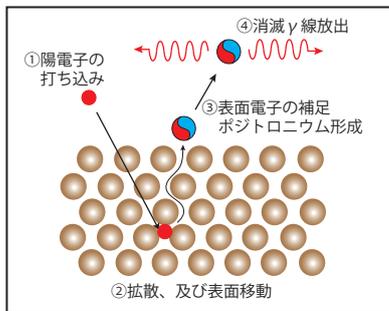
現在、社会のデジタル化（DX）やメタバースなどの仮想空間技術を支える情報処理機器の普及により電力消費が増大しており、低消費電力技術の開発が急務となっています。そこで期待されているのがスピントロニクスです。電流を流してデバイスを動作させるエレクトロニクスに代わる技術で、電子の持つスピンの状態（向き）だけを伝播させて、電流を極力使用せずに情報処理を行うことが可能です。スピンの向きを調べれば、物質がどのような磁性体であるかを知ることができます。

スピントロニクスデバイスを作製するには、電子のスピンの振る舞いを正しく調べる必要があります。特に、物質表面は不思議で面白い電子の振る舞いが予想されており、新しいスピントロニクスデバイスの開発につながると期待されています。



電子のスピンと磁性

Q2. スピン偏極陽電子と表面スピンについて、教えてください

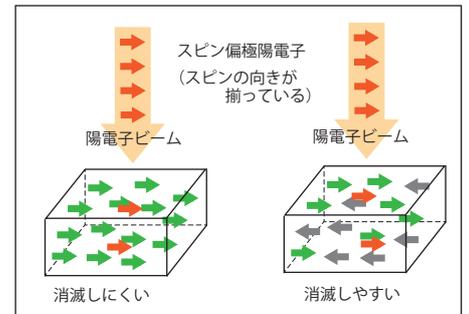


ポジトロニウムの生成

陽電子とはプラスの電荷を持った電子で、私たちがよく耳にする電子と出会うとお互いに消滅して消滅 $\gamma$ 線を放出します。面白いことに、この陽電子は物質の最表面にうっすらと浮いた電子と反応するときのみポジトロニウムという物質を生成してから消滅します。

ポジトロニウムを生成してから消滅 $\gamma$ 線を放出するまでの時間は、直接対消滅で放出される $\gamma$ 線に比べ時間がかかるので、この時間差を利用してポジトロニウムから放出された消滅 $\gamma$ 線を測定すれば、最表面にうっすらと浮いた電子だけを選別することができます。

さらに、このポジトロニウム自身の寿命は、陽電子と電子のスピンの向きが逆平行の場合は 125 ps なのですが、平行の場合は 142 ns とおよそ 1,000 倍遅いといった特徴があります。このポジトロニウムの寿命の違い（対消滅のしやすさの違い）を利用して、物質表面の電子のスピンの向きを知ることができます。すなわち、右図のように、事前にスピンの向きを揃えておいた陽電子（スピン偏極陽電子）を物質に打ち込んで、消滅 $\gamma$ 線が発生する時間を計測することで、電子のスピンの向きを調べることができます。



スピン偏極陽電子を利用した電子スピンの検出

Q3. 最新の研究成果について、教えてください

スピンの向きが揃っている鉄などは強磁性体と呼ばれ、磁石によくくっつきます。これまでもポジトロニウムを測定して磁性体の表面スピン偏極率を調べてきましたが、得られた結果は磁性体そのものの偏極率よりずっと小さい結果となり、その理由がはっきりしていませんでした。そこで、ポジトロニウムの放出速度を測定して、対消滅前の電子のエネルギーを調べたところ、物質最表面の電子はそのエネルギーによって偏極率が大きく変化していることを突き止めました。

Q4. 今後、この研究はどのように展開していくのでしょうか

ポジトロニウムを利用することで、既存の手法に比べはるかに高い精度で表面電子だけを抽出して測定することができるようになり、物質最表面で繰り広げられる新しい物性の解明に役立てたいと考えています。

私の愛車は、FIAT500 anniversario という日本で 2018 年に発売された限定車です。現在販売されている FIAT500 は、先代の Nuova500 生誕 50 周年にあたる 2007 年に本国イタリアでデビューし、その 10 年後の 2017 年、生誕 60 周年記念モデルとして FIAT500 anniversario が本国でデビューしました（日本デビューは 1 年後）。長きにわたり販売されている理由として、内外装のデザインが秀逸であることは勿論ですが、メーカー側の販売戦略も一因であります。その戦略とは、デビュー以降定期的に限定車を販売し続けているという点です。限定車の総数は既に 100 種を超えているようです。

ひょんなことから 2017 年に FIAT500 anniversario が本国デビューしたことを知り、一目ぼれしてしまった私は、この日本未発表のモデルが日本デビューしたら絶対に手に入れてやる！と心に決め、



anniversario と Nuova500(左上)



anniversario の内装

それからこまめに情報収集を行うようになり、無事念願が叶いました。そのため、所有感もひとしおで、とても大事にしています（所有して 5 年目を迎えるのですが、走行距離がまだ一万キロにも達していません・・・）。

FIAT500（通称：チンク）乗りは全般的にそうらしいですが、この車を街中で見かけると妙な親近感を覚えます。こういった点も魅力の一つです。

アニベル君（ペンネーム）

## 日本/世界見聞録

## 多様性の国、インド

2022 年 11 月 JSPS 二国間交流事業に基づく相互交流の一環として、共同研究先であるデリー大学及び IUAC (Inter-University Accelerator Centre) を訪問し、共同研究内容について打ち合わせを行うとともに、インド有数の加速器施設の見学や加速器を利用した材料科学研究について議論しました。

デリーに到着したときは、コロナ禍ようやく相手国を訪問することができたことと安堵していたのですが、「インドはハプニングの国である」と自称するとおり、様々な事情で毎度のように変更されるスケジュールに振り回されることになりました。それでも、滞在期間を毎日楽しく過ごせたのは、デリー大学の Rath 教授や学生の手厚いサポート、及びインドの人々のホスピタリティのおかげであったと思います。

インド（デリー）のことを一言で語るのは難しいと思います。決して洗練されているとは言えない街並みのオールドデリーでは、活気に満ちた人込みで身動きが取れないほどであった一方、郊外に位置する巨大なショッピングセンターは日本でのそれと大差なく、ニューデリーの中心に位置するロディーガーデンでは、早朝から散歩やヨガで汗を流しつつ、売り歩きのチャ



オールドデリーの一角  
チャンドニーチョーク



世界遺産のフマユーン廟

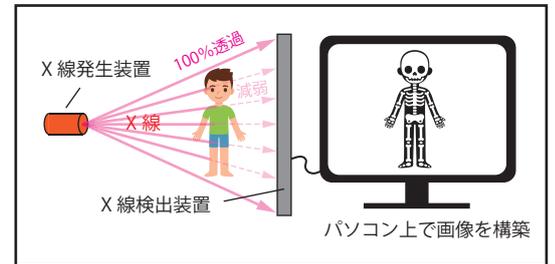
イを優雅に楽しむ人々が多く見られました。多種多様な宗教施設と美しい世界遺産、美味しくないわけがないインド料理と実はレベルの高いビールとワイン、クレイジーとしか言いようがない交通事情（でも神聖な生き物である牛は最優先）、商売っ気が強すぎて交渉が面倒な小売店やオートリキシャ（三輪タクシー）等々、多様な魅力と個性であふれているのがインドという国なのでしょう。

佐藤 真一郎（量子機能創製研究センター）

## 【原理と特徴】

骨や歯などの状態を映したレントゲン写真を見たことがある方は多いと思います。これらは、X 線 CT (X-ray Computed Tomography) 装置を用いて撮影しています。サッカーなどでケガした場合、目に見えない足の骨折を映し出せるため、診断には欠かせない優れたものです。

撮像原理は、透過作用を持つ X 線（紫外線より波長の短い電磁波）を物体に照射します。X 線が物体を透過する際に、密度が高くて厚みのある部分は減弱が大きく、空気や衣類など密度の低い部分では減弱が小さくなります。物体を透過した際に示すこの異なる減弱の性質を利用して内部の状態（密度や厚みなど）を推測することができます。



X 線 CT の撮像原理

医療用の X 線 CT 装置では、人体に対して X 線発生源と検出装置を 360 度回転させて得られたデータ（物体の影絵のように、減弱した X 線が映し出された 2 次元画像群）をコンピューター解析することにより、高精細で立体的な画像を得ることができます。これによって、外から肉眼では見えない内部の断面画像を見ることができます。

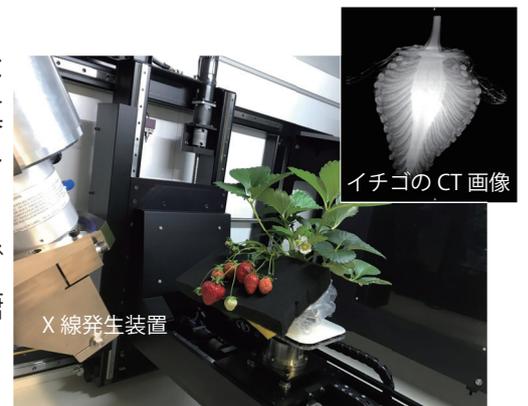


マイクロフォーカス X 線 CT 装置

この X 線 CT 装置と同じ原理で高密度な物体の微細な領域まで観察できるのが、マイクロフォーカス X 線 CT 装置です（左の写真）。本装置の場合、医療用と異なり被写体を少しずつ回転させて連続撮像する仕様になっています。名前の通り、マイクロフォーカス X 線源を搭載しているため、物体の複雑な内部構造に対しても数  $10\mu\text{m}$  の高精細な画像を得ることができ、電子部品や精密機器の内部における微細な欠陥の検出も可能です。

## 【植物研究への応用例】

私たちはこの装置を使って、果実や茎といった植物の様々な器官の中身の状態や構造の仕組みを観察しています。右の写真は、イチゴの果実を 360 度回転させながら X 線を照射し、画像データを収集している様子です。得られた数 100 枚の画像をパソコンで処理すると、写真のように果実の内部構造を覗くことができます。一本一本の細い糸のようなものは、イチゴが果実に糖やミネラルを運ぶ通り道です。



イチゴの撮像の様子

こうした構造を解析することで、例えばイチゴをより大きくて甘くするための農業技術の開発に役立てています。

## Q メッセージ

第 66 回日本学生科学賞が決定し、スマート盲導杖「みちしる兵衛」を開発した群馬県立高崎高等学校の高田悠希君が内閣総理大臣賞を受賞しました。「みちしる兵衛」は、前年の「QST 高崎サイエンスフェスタ 2021」高校生発表の部で最優秀賞を受賞しています。日本代表として世界に挑戦する高田君を応援するとともに、豊かな感性、柔軟な発想力を持つ子供たちの道しるべとなるよう、私たち QST の研究者も人を育む活動に取り組んで参ります。（放射線生物応用研究部長 石岡 典子）