

群馬大学大学院理工学府

電子情報部門 櫻井研究室

■研究テーマ

- フォトンカウンティングCT装置の開発
- コンプトン散乱X線イメージング

■キーワード

X線計測、医用工学、Liイオン電池、磁性体

■産業界の相談に対応できる技術分野

X線計測・評価技術

■主な設備

フォトンカウンティングCT装置



櫻井 浩 教授



鈴木宏輔 助教

連絡先 電子情報部門 櫻井 浩 TEL 0277-30-1714 FAX 0277-30-1707 e-mail sakuraih@gunma-u.ac.jp
電子情報部門 鈴木宏輔 TEL 0277-30-1714 FAX 0277-30-1707 e-mail kosuzuki@gunma-u.ac.jp

研究概要

高エネルギーX線で物質の状態を透かして見る

1. フォトンカウンティングCT装置の開発

X線というレントゲン写真を思い浮かべる方が多いと思います。これはX線の高い透過力を利用して体の内部を見る方法で、体内組織によってX線の「吸収（厳密にはX線強度の減衰）」が異なることを利用しています。従来のX線透過像あるいはX線CT画像はX線の強度情報のみを利用しています。一方、X線は光（電磁波）の一種ですので、特定の波長（エネルギー）を持っています。本研究では、X線強度と波長を計測するフォトンカウンティングCTの開発を行い、尿路結石の種類の判別など物質弁別、高精度体内電子密度分布計測による重粒子線飛行の高精度推定などが可能であることがわかりました。

2. コンプトン散乱X線イメージング

物質にあたったX線は「散乱」もします。「散乱」とは、雪に太陽光があたるときらきらと光るイメージです。X線の散乱の場合、あてたX線と波長の変わ

らないレーラー散乱の他に、波長が長くなるコンプトン散乱があります。コンプトン散乱は、高校の物理の教科書では「1923年米国のコンプトンはアインシュタインの予言した光の粒子性を 実験的に確認した。」と説明され、基礎研究に関連してあまり応用になじまないイメージがあるかもしれませんが、実は「後方散乱X線検査装置」として空港のセキュリティ検査装置などで利用されています。ただし、これらも散乱X線強度の情報しか利用していません。本研究では、コンプトン散乱X線の波長の情報を解析すると、軽元素の組成や化学結合に関する画像化が可能であることがわかってきました。

特徴と強み

X線の強度情報と波長情報を解析する

1. フォトンカウンティングCT装置の開発

医療用に使われているX線CT装置では、様々な波長のX線が発生していますが、X線の波長の区別なく強度を計測しています。フォトンカウンティングCTではX線の波長・強度を同時に計測できる検出器を使うことが特徴です。そのため、物質弁別

が可能になる実効原子番号 (Zeff) や電子密度 (ρe) を計測することができます。さらに、装置校正にC、Mg、Alなど単元素の物質を利用すれば、 $6 < Z_{\text{eff}} < 13$ の範囲 (概ね人体組織に相当) で実効原子番号の測定精度が5%、電子密度の測定精度が1%であることがわかりました (PCT/JP2017/035026)。

2. コンプトン散乱X線イメージング

X線はコンプトン散乱を利用した後方散乱X線検査装置は、X線の波長の区別なく強度を計測しています。本研究では、コンプトン散乱X線の波長の情報を解析し (電子運動量分布の解析) 軽元素の組成や化学結合に関する情報を得ることができることが特徴です。図はリチウムイオン二次電池VL2020の充放電に伴うLiイオン分布の測定例です。このような非破壊の計測することができます (K. Suzuki et al., J. Synchrotron Rad. 24, pp. 1006-1011 (2017), 特開2015-138027)。

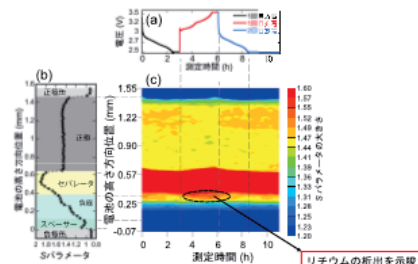


図1 (a) 測定時の充放電曲線です。電池電圧が 3.5V から 2.5V に達する過程が放電過程 (黒線と青線) であり、電池電圧が 2.5V から 3.5V に達する過程が充電過程 (赤線) です。電池の充放電は 2.5 時間かけて行いました。(b) 入射 X 線に対して電池の高さ方向を変えながら測定したコンプトン散乱 X 線スペクトルから得られた S パラメータです。S パラメータの値から、電池の内部構造がわかります。(c) リチウムイオン濃度分布です。分布図の色は、S パラメータの大きさに対応します。

今後の展開

医理工連携とLiイオン2次電池の評価

1. フォトンカウンティングCT装置の開発

群馬大学の特徴である重粒子線治療は大きな

効果をあげていますが、その課題は照射精度のさらなる向上です。体の内部のがん組織のみを狙い撃つために、重粒子線の照射エネルギーを精密に制御し、ブラッグピークとよばれる位置ががんの位置になるように調整します。現在でもX線CT画像情報をもとに高精度に制御されていますが、さらなる高精度化のためには体内の電子密度の分布を精密に調べればよいことがわかっています。フォトンカウンティングCTによって、体内の電子密度の分布更なる高精度測定が可能になると考えられています。また、実効原子番号の体内の分布測定により、尿路結石の種類、痛風と偽痛風の区別、冠状動脈石灰化の物質特定などの診断に利用できる可能性があります。

2. コンプトン散乱X線イメージング

コンプトン散乱X線の波長情報を解析した結果、Liイオン二次電池の金属酸化物正電極では、教科書で考えられている金属イオンの価数変化ではなく、酸素原子の「価数変化」が起きていることを見出しました。一部の研究者の間では気づかれていたようですが、実験的に明確な証拠を示したのは初めてです (K. Suzuki et al., Phys. Rev. Lett. 114, 087401 (2015))。これは、金属イオンの価数変化を前提としていた正極材料の設計に見直しを求めることになるでしょう。さらに、18650リチウムイオン電池と呼ばれる電池では、充放電に伴い内部から劣化していく様子もわかってきました。

X線CTなど高エネルギーX線を利用したイメージングは、その強度情報のみを利用する場合がありますが、波長に関する情報もあわせて調べると物質の組成や化学状態を非破壊で調べることができます。電子材料・電池・人体などX線で調べる研究に興味がありましたら、ご一報いただければ幸いです。