

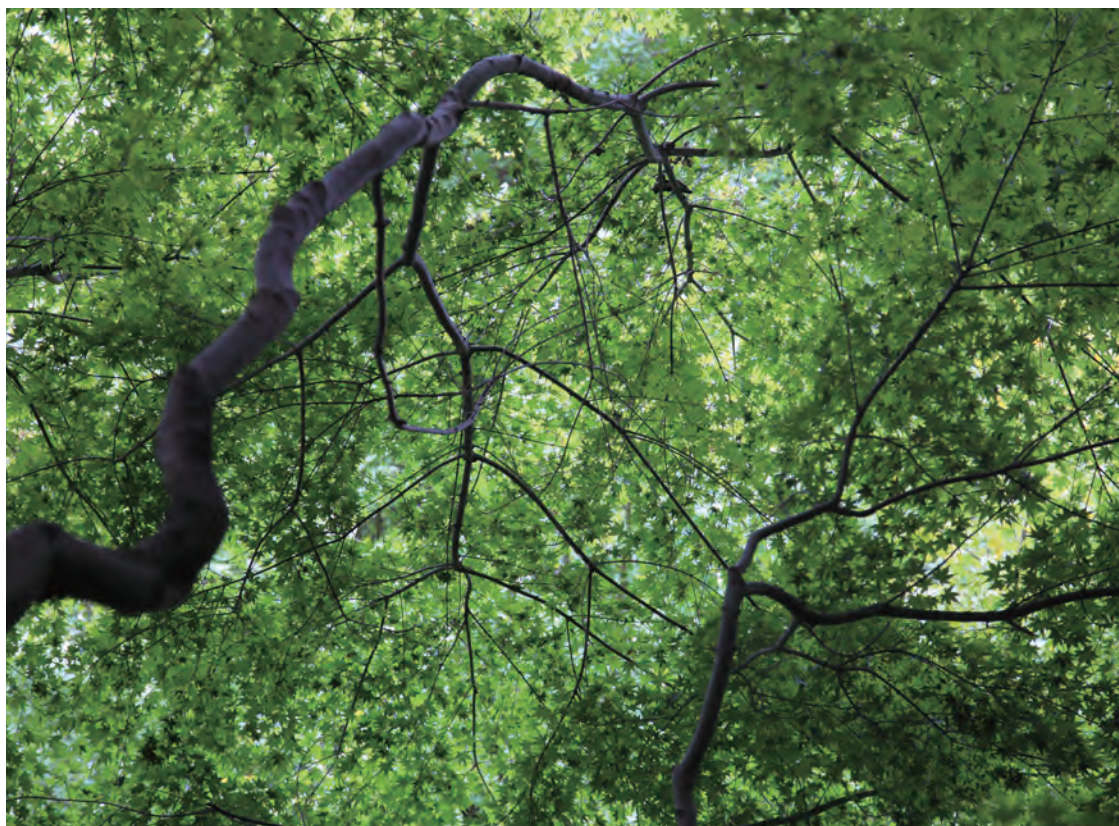


Photo Yasuhiro Kirano

Index

核医学における「セラノスティクス」 ～一人ひとりに最適な医療の実現をめざして～日本メジフィジックス株式会社	1
ガラスバッジサービスの進化を目指して 4	6
日本保健物理学会 第53回研究発表会 開催のご案内	11
2020年 製薬放射線研修会 (第22回製薬放射線コンファレンス総会)	11
〔コラム〕 17th Column 【前立腺がんの過剰診断と定位放射線治療】.....中川 恵一	12
〔放射線道場の喫茶室〕 第3回 占領時のRI輸入	13
〔新刊紹介〕 「放射線物理学」.....	14
図説 量子ビーム・放射線利用 ー第7回 消えて役立つ陽電子ー	15
〔サービス部門からのお願い〕 ガラスバッジの「休止」処理について.....	19

核医学における「セラノスティクス」 ～一人ひとりに最適な医療の実現をめざして～

日本メジフィジックス株式会社

1. はじめに

皆様は、『セラノスティクス』をご存知でしょうか？『セラノスティクス (Theranostics)』とは、治療(Therapeutics)と診断(Diagnostics)を融合させた造語で、抗体等を同一の基本構造として診断薬と治療薬に応用し、診断と治療をより密接な関係で行う概念です。

治療を行うには、何らかの診断が必要となります。医師は、問診を始め、血液検査、検尿、検便などの検体検査、心電図や超音波検査といった生理機能検査など、種々の検査を必要に応じ組み合わせて診断を行います。そして、その診断結果に基づき医師は治療法を選択しますが、疾患の状態は一人ひとり異なるため、多くの治療法の中からその患者さんに最適な治療法を選択することが重要です。これは個別化医療と呼ばれ、診断と治療が融合した『セラノスティクス』も個別化医療を実現する手法の一つと考えられています。特にがん治療においては、診断と治療がより密接な関係であればあるほど治療の奏効率¹は高くなることが期待されるため、近年、『セラノスティクス』は世界で大変注目度が増しているがん治療法の一つです。

核医学の分野においても、放射線の特徴を活かした『セラノスティクス』に関わる研究論文数は年々増加しています。これは、核医学分野が放射性医薬品によるがんや中枢領域の疾患の診断（分子イメージングなど）に用いられることに留まらず、放射線を用いたがんの治療がすでに行われている分野であり、『セラノスティクス』を早期に実現できると期待されているためです。

2. 放射線の特徴

放射線は健康診断等で使われているエックス線以外にも色々な種類があり、アルファ線(α 線)、ベータ線(β 線)、ガンマ線(γ 線)と呼ばれるものがあります(図1)。放射線

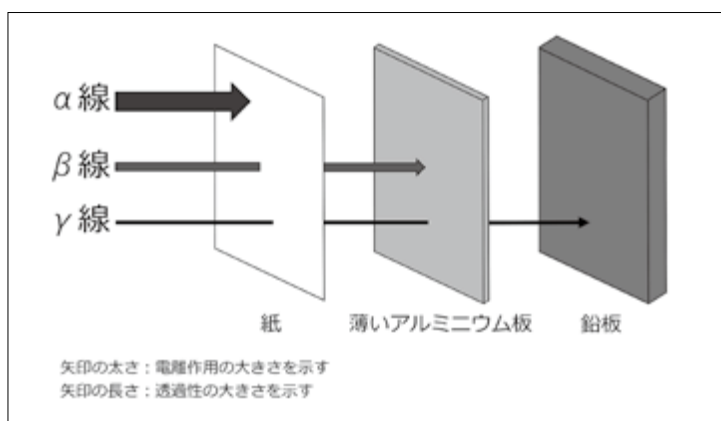


図1 放射線の特徴模式図

1 あるがん治療法を患者に用いた際、その治療を実施した後にがん細胞が縮小もしくは消滅した患者の割合で、治療法の評価の基準として用いられる。

には物質を通り抜ける性質（透過性）があり、放射線の種類やエネルギーによって通り抜けるものの厚さが異なります。 γ 線はエックス線と同様にエネルギーが大きく、透過性が高いため、鉛やコンクリートでないと遮断できません。このことから、放射性核種（ラジオアイソトープ、RI）を有する薬剤を体内に投与し、画像診断を行う検査においては、 γ 線を放出するRIが用いられています。

一方で、 α 線は陽子2個と中性子2個によって構成されているため正の電荷を帯びており、周囲の元素から電子を引き離す強い電離作用を持っています。そのため、がん細胞のDNAを直接切断することによる強い殺細胞効果があります。放射線の透過性の強さによる影響範囲が大きい γ 線と比べて、 α 線の影響範囲は小さいため、 α 線を放出するRIを標的とするがんの病巣に集積させた場合、病巣周辺の正常細胞への影響は限定的なものとなるため、効果的にがん細胞を死滅させることができます。

3. 分子イメージング

『セラノスティクス』を実現する非常に魅力的な技術として、RIを用いた分子イメージング技術と呼ばれるものがあります。分子イメージングは、生体内で起こる様々な生命現象を分子レベルで捉えて画像化するもので、そこから診断に役立つ情報を得る技術となります。分子イメージング技術は様々なモダリティで活用されていますが、その中でもRIを利用するSPECT²及びPET³と呼ばれている核医学検査は、全国に広く普及しています。これらの検査では、患者さんの静脈に放射性の薬剤を投与するなどして、薬剤が臓器に集まる場所や量、集積するまでの時間や集積の形状を専用のカメラで体外から撮像し、生体

内の情報をリアルタイムに画像として捉えることができます。患者さんは放射性薬剤が体内の標的部位に集まるまで安静にした後、ベッドに30分ほど横になって撮像を行うことで、患者さんに身体的な負担を加えることなく、その患者さんの体内で何が起きているのか、どの臓器で問題が生じているのか、それによりどの程度の障害が生じているのか、といった血流や代謝などの機能的な情報が画像や数値として得られます。これは、同じ画像診断であるCT検査やMRI検査が主として臓器や組織の形状の変化（病変の有無や形状の大小）を画像化しているのと大きく異なる点となります。また、核医学検査で使用される放射性薬剤は半減期（放射エネルギーが半分になる時間）が数分から長いものでも数日程度と極めて短いものが使用されており、体内に投与する量もごく微量です。加えて生体の排泄機能（利尿作用など）により体外に排泄されることから、検査後短時間で消失し、放射線の影響は心配ないとされています。

4. 放射線治療

放射線治療には、体の外部から高エネルギーの電子線やX線をがん組織に照射し、がん細胞を死滅させる外部照射と呼ばれる治療法と、放射性同位元素をがん組織やその周囲の組織に直接挿入（小線源治療）、もしくは、非密封の放射性同位元素を経口薬や静脈注射によって体内に投与（RI内用療法）し、放射線を内部から照射して、がん細胞を死滅させる内部照射と呼ばれる治療法があります。例えば、前立腺がんの小線源治療では、RIであるヨウ素125（¹²⁵I）を封入した直径約1mm、長さ約5mmのカプセル（図2）を前立腺内に50～100個程度埋め込み、前立腺がんの治療を行います。¹²⁵Iからは数mmしか放射線が届

2 単一光子放射断層撮影（Single Photon Emission Computed Tomography）単光子放出核種を利用する検査方法。

3 陽電子断層撮影（Positron Emission Tomography）陽電子放出核種を利用する検査方法。

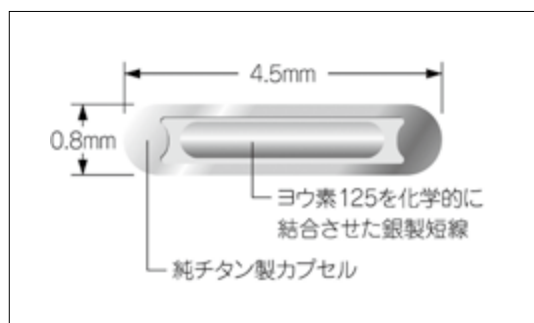


図2 前立腺がんの小線源治療法に用いられる線源

かないため、前立腺の周辺にある直腸などの臓器への放射線量を最小限にしながら、前立腺がんに対して十分な量の放射線を照射することができます。また、RI内用療法として、本邦で承認されているものとして、甲状腺がんの放射性ヨウ素内用療法があります。甲状腺細胞はヨウ素を取り込み、それを原料としてホルモンを合成します。甲状腺のがん細胞も似た性質を持つため、RIであるヨウ素 ^{131}I が入ったカプセルを経口摂取することで、甲状腺のがん細胞に ^{131}I を集積させることができ、がん細胞に放射線を照射することができます。

5. RIを用いた治療薬と診断薬の融合

これまでの、RIを用いた診断と治療について、それぞれで述べてまいりましたが、ここからは診断と治療を同じ機序で診療することについて述べさせていただきます。

薬剤を用いて疾患を治療するには、薬剤を疾患の原因となる臓器や部位などの標的に効率よく届ける必要があります。標的特異性が高い薬剤としては、抗体医薬品がよく知られています。

抗体は抗原と結合することで効力を発揮しますが、抗原を認識する部位は、抗体の一部（可変領域）であると言われています。このことから、抗体の抗原結合能に影響しない部分に、診断用には γ 線を放出するRIを、治療用には α 線を放出するRIを標識すれば、標的部位への高い特異性を維持した、かつ、同じ機序で標的に集まる診断薬と治療薬が生まれます。これらを使った治療方法の概念を図3に示します。

がんの治療候補となる患者さんに対して、まずはRI診断薬を投与し、画像診断の結果を得ます。これにより、RI診断薬が集積する患者さんと集積しない患者さんを確認することができます。次にRI診断薬が集積した患者さんに対してRI治療薬を投与します。標的部位、すなわち、がんへの集積機序は同じであることから、極めて高い確率で、効率的にRI治療薬をがん細胞に集めることができ、奏効率の高い治療方法となることが期待されます。また、治療後には、診断時と同じRI診断薬を患者さんに投与すると、RI治療薬によってがん細胞が殺傷されたかどうかを画像で視覚的に確認できるため、治療効果の判定にもRI診断薬を用いることができます。一方で、RI診断薬が集積しない患者さんに



図3 RIを用いたセラノスティックスの概念図

は、RI治療薬を投与しても治療効果が期待できないことが治療薬を投与しなくても判明するため、治療薬を無駄に投与する必要がなくなります。

このように診断と治療の機序を同じくする『セラノスティクス』概念は、治療薬の効果そのものに留まらず、治療効果が期待されない患者さんへの投薬を回避でき、別の治療法をより早く提案できうる点や、投薬回避による患者さんの経済的負担軽減とともに医療経済への利点にも繋がる点などでも優れた概念となり得ます。

『セラノスティクス』の具体的な成果として、 α 線を放出する ^{225}Ac を用いたPSMA-617という化合物を転移性前立腺がんに投与したところ、全身に転移していたがん細胞が消滅し、前立腺がんの血液マーカーであるPSA値⁴も著しく低値になることがKratochwil Cらにより2016年に報告されました(図4)。

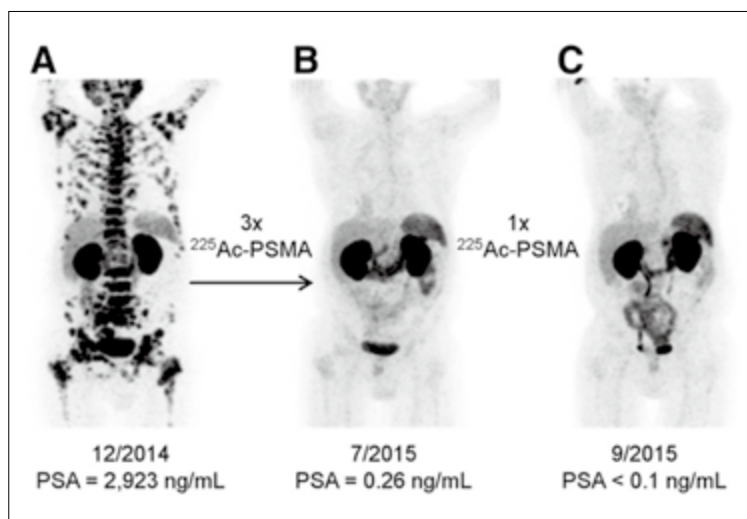


図4 前立腺がん特異的膜抗原(Prostate Specific Membrane Antigen;PSMA)に特異的に結合する化合物を、診断用の放射性核種である ^{68}Ga で標識した化合物を用いて撮像された画像⁵

図4は、前立腺がん特異的膜抗原(Prostate Specific Membrane Antigen:PSMA)に特異的に結合する化合物を、診断用の放射性核種である ^{68}Ga で標識した化合物を用いて撮像された画像となり、治療においては ^{68}Ga を ^{225}Ac に置き換え実施したものとなります。全身に分布している黒い点は、骨などに認められるがんの転移巣で、 ^{225}Ac -PSMA-617を投与することで、全身に転移していたがん細胞が画像上では確認できなくなっており、PSA値も著しく低値になっています。

6. 創薬拠点の整備

このようにがん治療への新たな方向性の一つとして、RIを用いた『セラノスティクス』は大変注目されており、『セラノスティクス』に利用する α 線を放出するRI製造の研究開発が世界各国で行われています。特に、医療

で利用するのに適度な長さの半減期を有している ^{225}Ac (半減期:10日)が注目を集めています。が、 ^{225}Ac を大量かつ安定的に医薬品原料として供給するには、まだまだ製法上の課題があり、世界各国で ^{225}Ac を安定的に供給できる体制を確立すべく製造法の研究開発がなされています。

日本においても『セラノスティクス』や ^{225}Ac 製造の研究開発を加速させています。日本メジフィジックス株式会社では、国立研究開発法人日本医療研究開発機構(AMED)

4 前立腺特異抗原(Prostate Specific Antigen)の略。前立腺がんや前立腺肥大などで血清中の濃度が上昇する。

5 Kratochwil C et al., J Nucl Med. 2016 57:1941-1944.

6 2019年第22回原子力委員会定例会議 配布資料(1) 一部改編

7 CiCLE: AMEDが推進する事業の一つで、革新的な医薬品・医療機器等の創出に向けて、政府出資を活用し、産学官が連携して取り組む研究開発を支援し、またその環境の整備を促進するもの。(AMEDのホームページから)

	Th-229/Ac-225 ジェネレータ	Th-232 核破砕	Ra-226 中性子付加	Ra-226 光核反応	Ra-226 核変換
	$^{235}\text{U} \xrightarrow{(160\text{ k a})} ^{229}\text{Th} \xrightarrow{(7.5\text{ k a})} ^{225}\text{Ac}$ $^{225}\text{Ra} \xrightarrow{(15\text{ d})} ^{225}\text{Ac}$	$^{232}\text{Th}(\text{p, spall}) ^{225}\text{Ac}$	$^{226}\text{Ra}(3\text{n}, 2\beta) ^{229}\text{Th}$ $\rightarrow ^{225}\text{Ra} \rightarrow ^{225}\text{Ac}$ $^{228}\text{Ra}(\text{n}, \gamma) ^{229}\text{Ra}$ $\rightarrow ^{229}\text{Th}^*$	$^{226}\text{Ra}(\gamma, \text{n}) ^{225}\text{Ra}$ $\rightarrow ^{225}\text{Ac}$	$^{226}\text{Ra}(\text{p}, 2\text{n}) ^{225}\text{Ac}$
機器	Th-229 保存溶液 天然製法	大型加速器 (100 MeV+)	原子炉	直線加速器など	小型加速器 (<25 MeV)
実施 施設	 ORNL	 Tri-Lab, NorthStar	 ORNL	 ANL, NIOWAVE	 JRC, ZAG, DKFZ
	 JRC	 TRIUMF	 IPPE	 TRIUMF	 SCK-CEN
	 IPPE	 INR	 CNL		 CNEA/IAEA
					 NPI
					 KIRAMS
					 NIRS-QST*
収率	800 mCi/a ORNL 250 mCi/a JRC 800 mCi/a IPPE	200 mCi/d @5 g/cm ² , 100 μA	20 mCi as $^{229}\text{Th}/6$ cycle irradi. @20mCi- ^{226}Ra	64 μCi/2800 Gy linac	0.5 mCi/μAh, 25 MeV @thick target
不純物	^{229}Th , 5E-6 uCi/mCi-Ac ^{225}Ra , <5 nCi/mCi-Ac/ 5 min detection	^{227}Th (18 d) 620% ^{225}Ra (15 d) 7% ^{227}Ra (42 m) 20% ^{227}Ac (22 y) 0.002%	^{228}Th (1.9 y) x3000 ^{227}Ac (22 y) x50	n/a	^{226}Ac (29 h) _{1.7%} $\rightarrow$ ^{226}Ra ^{224}Ac (3 h)

* NIRS-QST: 量子科学技術研究開発機構 放射線医学総合研究所

図 5 ^{225}Ac 製造法の研究進捗状況⁶



図 6 CRADLE棟

の平成29年度「医療研究開発革新基盤創成事業 (CiCLE⁷)」(第2回)に採択された研究課題「セラノスティクス概念を具現化するための創薬拠点整備を伴う、抗体等標識治療薬(アルファ線)とコンパニオン診断薬の開発」の実現に向け、2019年9月10日、千葉県袖ケ浦市に新たな創薬拠点(CRADLE棟)を竣工いたしました。CRADLEとは、Consortium for Radiolabeled Drug Leadershipの略で、日本語では「ゆりかご」を意味します。文字どお

りCRADLE棟をオープンイノベーションの拠点として、研究機関やアカデミア、診断薬及び治療薬メーカーがコンソーシアムを形成し、 ^{225}Ac などのRI製造や『セラノスティクス』となる医薬品の研究開発に取り組んでいます。『セラノスティクス』を実現する!との共通目標のもとチーム一丸となり、日本発/世界初の薬を一日も早く患者さんに提供できればと思っています。

7. 結びに

放射性核種、すなわち、放射線を発する1つの原子の特性故に、他の技術ではできないことが核医学では解決できる、という課題がまだまだあるものと思います。今回は、『セラノスティクス』という新たに注目されている概念のお話をさせていただきましたが、今後も核医学がより多くの社会の課題を解決し、さらに広く認知されることを期待しています。

ガラスバッジサービスの進化を目指して 4

FBNews2019年9月号(No.513)、2019年12月号(No.516)および2020年1月号(No.517)でご紹介しておりましたとおり、より良いガラスバッジサービスを目指して、2020年1月よりガラスバッジサービスのシステム変更を実施いたしました。

今回は、ガラスバッジWebサービス(Web上で変更等のお手続きができるサービス)で、お客様からよくあるご質問とその回答をご紹介します。

1. ガラスバッジWebサービスのよくあるご質問

Q1. ガラスバッジWebサービスを新たに利用したいです。申込み方法を教えてください。

A1. ガラスバッジWebサービスは弊社ホームページ (<https://www.c-technol.co.jp/>) からお申込みいただけます。

ガラスバッジに同封されている「お届けのご案内」に記載されております帳票番号、ガラスバッジの発送ID、お持ちのメールアドレスをご入力いただきお申込みください。

それ以外のお申込み方法をご希望のお客様は、ガラスバッジ担当地区営業課までお問合せください。

ガラスバッジWebサービスご利用申込み画面

①マークにカーソルを合わせると「お届けのご案内」と「ガラスバッジ」の見本が表示され、帳票番号と発送IDの記載箇所をご確認できます。

Q2. ガラスバッジWebサービスへのログイン方法を教えてください。

A2. ログイン方法は次頁をご参照ください。

ガラスバッジWebサービスへのログイン方法

- ①弊社ホームページ (<https://www.c-technol.co.jp/>) の“ガラスバッジWebサービス”をクリックしてください。



- ②以下の画面が表示されます。“ガラスバッジWebサービスログイン”をクリックしてください。



- ③ID（ご登録のメールアドレス）とパスワードを入力するログイン画面が表示されます。

以前よりガラスバッジWebサービスをご利用のお客様は、既存のIDとパスワードで引き続きご利用いただけます。

新規でお申込みいただきましたお客様はIDと、弊社からご登録いただいたメールアドレスへお送りした暫定パスワードを入力してログインしてください。ログイン後パスワード設定画面から本パスワードへ変更をお願いいたします。

Q3. Internet Explorer11でガラスバッジWebサービスを利用したいのですが、「ブラウザが対応していません」と表示されます。

A3. 互換表示設定がされている可能性があります。互換表示設定を解除してください。

ガラスバッジWebサービスは、Google Chromeでのご利用を推奨しております。Google Chromeをお持ちのお客様はそちらでご利用ください。

Internet Explorer11互換表示設定 解除方法

- ①Internet Explorer11のツールから互換表示設定をクリックしてください。

- ②互換表示に追加したWebサイトに表示されている「c-technol.co.jp」を削除。

「イントラネットサイトを互換表示で表示する」のレ点チェックを外してください。



③「閉じる」ボタンをクリックして終了です。

再度Internet Explorer11を立ち上げて、ログインをお願いします。



Q4. パスワードを忘れてしまいました。

A4. ログイン画面右下の「パスワードを忘れた方はこちら」から、パスワードを再発行できます。

ID（ご登録のメールアドレス）へ暫定パスワードを送信いたします。そのパスワードを使用してログインし、本パスワードを再設定してください。

Q5. ガラスバッジWebサービスの取扱説明書はありますか？

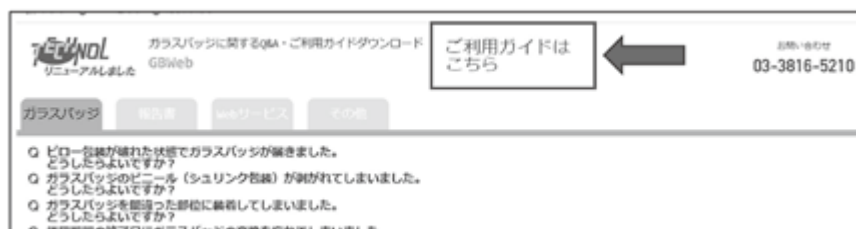
A5. ガラスバッジWebサービスから「ガラスバッジWebサービスご利用ガイド」をダウンロードできます。

ガラスバッジWebサービスご利用ガイド ダウンロード方法

①ガラスバッジWebサービスにログインし、メニュー画面にある「ガラスバッジに関するQ&A・ご利用ガイドダウンロード」のタブをクリックしてください。



②ガラスバッジに関するQ&Aのページ上部のリンク「ご利用ガイドはこちら」をクリックし、ダウンロードしてください。



Q6. ガラスバッジWebサービスで処理した内容を確認できますか？

A6. 「ご使用者・ご使用線量計の登録・変更履歴照会」機能からご確認いただけます。

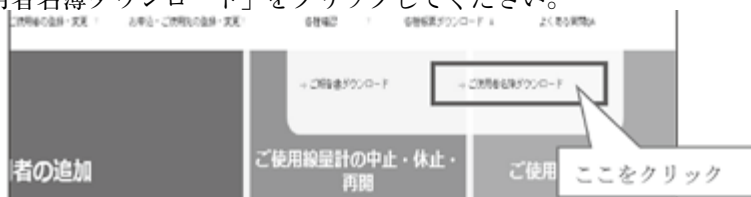
なお、登録・変更した処理内容、処理操作期間など、条件を絞り込んで検索できます。

Q7. ガラスバッジ使用者やガラスバッジWebサービスで中止・休止などの処理した人の名簿は、ダウンロードできますか？

A7. ご使用者名簿ダウンロード機能から、PDFとCSVデータでダウンロード可能です。

ご使用者名簿 ダウンロード方法

①ガラスバッジWebサービスにログインし、メニュー画面にある「各種帳票ダウンロード」から、「ご使用者名簿ダウンロード」をクリックしてください。



②ご使用者名簿ダウンロード画面が表示されます。「ご使用者名簿」にチェックを入れてください。



③「対象期間指定条件」で指定条件と期間を選択します。

選択しましたら、画面下部の「PDF」または「CSV」を選択してダウンロードしてください。

【条件】

ご使用日：指定された年月日に登録されているすべてのご使用者の一覧

ご使用年度：指定された使用年度に登録されているすべてのご使用者の一覧

変更期間：指定された期間内に「追加」「中止」「休止」「再開」処理されたすべてのご使用者の一覧

継続開始日：指定された継続開始日の期間に登録されているすべてのご使用者の一覧



*ご使用者名簿ダウンロード方法は、「ガラスバッジWebサービスご利用ガイド」にも記載しております。

Q8. ガラスバッジを間違えて登録（変更）してしまいました。どうしたら修正できますか？

A8. 至急、ガラスバッジ担当地区営業課または線量計測事業本部までお問合せください。

2. ガラスバッジWebサービスの各種お知らせについて

メインメニュー下部の「お知らせ」画面で、ガラスバッジWebサービスの新機能配信、ガラスバッジ発送、システムメンテナンスによる一時停止などをお知らせいたします。ぜひご覧ください。



メインメニュー下部の「お知らせ」画面

3. ガラスバッジサービスおよびガラスバッジWebサービスに関するお問合せ先

ガラスバッジサービスやガラスバッジWebサービスについて、ご不明な点がございましたら、ガラスバッジ担当地区営業課または線量計測事業本部までお問合せください。

ガラスバッジ担当地区営業課 お問合せ先

ガラスバッジ担当地区	電話/FAX	担当都道府県
仙台地区	TEL：022-727-9571 FAX：022-727-9574	北海道 青森県 岩手県 宮城県 秋田県 山形県 福島県
東京地区	TEL：03-3816-5210 FAX：03-5803-4890	茨城県 栃木県 群馬県 埼玉県 千葉県 東京都 神奈川県 新潟県 山梨県 長野県
名古屋地区	TEL：052-220-6720 FAX：052-220-6721	富山県 石川県 福井県 岐阜県 静岡県 愛知県 三重県
大阪地区	TEL：06-6369-1565 FAX：06-6368-2057	滋賀県 京都府 大阪府 兵庫県 奈良県 和歌山県 鳥取県 島根県 岡山県 広島県 山口県 徳島県 香川県 愛媛県 高知県
福岡地区	TEL：092-262-2233 FAX：092-282-1256	福岡県 佐賀県 長崎県 熊本県 大分県 宮崎県 鹿児島県 沖縄県

線量計測事業本部 お問合せ先：TEL：03-3816-5210 FAX：03-5803-4890

弊社は「放射線の安全利用技術を基礎に人と地球の“安心”を創造する。」の企業理念のもとガラスバッジサービスをより充実した利便性の高いものに変更し放射線業務従事者の方々の個人放射線被ばく線量測定を実施し安心と安全に寄与していきたいと考えております。今後とも更なるサービス向上に努めてまいりますので、引き続きご愛顧賜りますようお願い申し上げます。

日本保健物理学会 第53回研究発表会 開催のご案内

大会長 山西 弘城 (近畿大学原子力研究所)

～Web開催に変更～

第53回研究発表会は、大阪にて開催すべく準備を進めておりましたが、昨今の新型コロナウイルスの影響を考慮し、オンサイト会議を取りやめWebにおいて大会を開催とすることで準備を進めております。奮ってご参加くださいますようお願い申し上げます。

- ◆開催期間：令和2年6月29日～6月30日（シンポジウムライブ講演・討論）
- ◆参加費：未定（学会員に限り、聴講・閲覧のみの参加は無料の予定）
- ◆お問い合わせ：

日本保健物理学会第53回研究発表会 事務局

近畿大学原子力研究所 内 e-mail：jhps53@jhps.or.jp

詳しくはホームページをご覧ください <http://www.jhps.or.jp/jhps53/index.html>

2020年 製薬放射線研修会・見学会中止のお知らせ

平素はPRC活動にご支援・ご協力を賜り、誠にありがとうございます。

さて、6月11、12日の見学会・研修会開催に向け、準備を進めて参りましたが、この度政府より、新型コロナウイルス感染症の急速な拡大を受けての緊急事態宣言が7都府県に出されました。期間は5月6日までとなっております。

行政の基本方針を踏まえ安全確保の観点で開催延期を模索しましたが、現時点では再開の見通しが立てられず、残念ではありますが見学会・研修会を中止することを決定いたしました。

ご参加をご検討いただいていた皆様にはご迷惑をおかけすることとなり誠に申し訳ございません。何卒ご理解のほどよろしくお願い申し上げます。

なお、総会につきましては、WEB等を利用した開催を計画しております。詳細につきましては別途お知らせさせていただく予定です。よろしくお願いいたします。

令和2年4月10日

製薬放射線コンファレンス

世話人代表 大河原賢一



中川 恵一

東京大学医学部附属病院

前立腺がんの過剰診断と定位放射線治療

がん検診の目的はがんによる死亡を減らすことであって、早期発見そのものではありません。韓国や福島での「甲状腺検診」は見つけないでも良い「無実」の甲状腺がんの発見を増やすだけで、プラスよりマイナスの方が上まわると思います。

高齢男性に多い前立腺がんでも、この「過剰診断」が問題となります。

国立がん研究センターの発表によると、がん全体の5年生存率は66.1%でした。臓器別では、前立腺がんが98.6%で最も高く、膵臓がんは9.6%と最低でした。

前立腺がんについては、ステージ1からステージ3まで、いずれの5年生存率も100%でした。10年生存率も全体で95.7%に達します。不治の病どころか、ほとんど「不死の病」に近いと言えるでしょう。

わずかな例外を除くと、前立腺がんて命を落とすことはまれですから、早期発見が無駄になる場合が多くなります。

実際、PSA検査による前立腺がんの検診の利益と不利益は以下のように見積もられています。

受診者1,000人中、検診により前立腺がん死亡を回避できるのは1人。一方、受診者1,000人中、30～40人に治療により勃起障害や排尿障害が発生。2人に重篤な心血管障害が発生。1人に肺や下肢に重篤な血栓が発生。1,000人中0.3人が治療の合併症により死亡。

過剰な治療を避けるため、早期で、タチの悪くない前立腺がんに対しては、「監視療法」が国際的な「標準治療」として確立しています。「療法」という名前がついていますが、実際に

は治療は行わず、慎重に経過を観察します。3～6カ月ごとの直腸からの触診とPSA検査、および1～3年ごとの前立腺生検を行い、病状悪化の兆しがないければ、そのまま監視を続けます。最近は生検を避けて、MRI検査で代用することもあります。

欧米での大規模な研究でも、監視療法を採用した場合の10年生存率は、手術や放射線治療と差がないことが分かっています。

ただし、前立腺がんによる死亡がゼロではないのもたしかです。本当に治療が必要な患者を選別できる検査法が望まれます。

なお、治療を要する前立腺がんに対しては、欧米では、手術より放射線治療が選択されます。とくに、大量の放射線量をがん病巣に集中させて数回の治療で手術なみの効果を得る「定位放射線治療」に注目が集まっています。

定位放射線治療は「ガンマナイフ」から出発しました。半円球状に配列された約200個のコバルト60線源から出る細いビームを一点に集束させて、たった一回の治療で、非常に高い線量を脳内の病巣に集中させることができます。

日本では、1990年、第1号機が東大病院に導入され、3,000人以上を治療しました。開頭こそしないものの、金属製のフレームを頭部に固定することで0.5mm以下の極めて高い精度で病変だけを狙い撃ちすることが可能です。

患部の固定の難しさやがん病巣の移動の問題なども克服し、前立腺がんもこの治療の対象となってきました。東大病院の放射線治療部門では、局所の進行度を問わず前立腺がんを5回の照射で治療しています。一回の照射時間は90秒程度にすぎません。

従来は40回近い通院が必要でしたから、定位照射によるメリットは計り知れません。

放射線道場の喫茶室
第3回

占領時のRI輸入
鴻 知己



陽子を原子核内での結合エネルギー程度を超えるまで加速できるサイクロトロンはE. ローレンス（1905－1958）が、1930年に着想して1932年に作り上げ、1934年に特許を得たものである。1935年にノーベル賞（物理）が与えられた。

世界で2番目にサイクロトロンをつくったのは日本の仁科芳雄（1890－1951）で、1937年（昭和12年）のことであった。仁科はその後（戦時中の1943年＝昭和18年）世界最大のサイクロトロンを作り上げた。

1945年8月に日本は降伏し、GHQ（連合軍総司令部）は9月に、核兵器の開発に繋がるものとして、稼働中のこのサイクロトロン2機を破壊して東京湾に沈め、サイクロトロンの再建も禁止した。

仁科は、それまで、この2台の加速器を使って、種類や量は限られるが、何がしかのRIをつくり研究者に供給をしていた。放射性同位体（RI）は放射線源として、特にtracer（追跡子）として化学反応や生体反応の機序探索の研究手段を支えるものとして、これから威力を発揮できると思われていたので、この時期の“RI生成手段”の喪失は、学界にとって大変な衝撃であった。

日本はレントゲンの新光線発見の報に接するや直ちに追試に成功しており、放射線に係る研究では1945年の敗戦に至るまで世界の先進国であり続けたといってよいのである。

1947年になって米大統領トルーマンは、原

爆開発の副産物とも言えるRI製造技術を使って、RIの販売を始めることを宣言した。

仁科は、GHQにサイクロトロンの破壊に抗議し再建を願い出たが受け入れられなかったこともあり、そのRI購入を強く望んだ。しかし、戦勝国と敗戦国という関係では全く無理な願望であった。日本にはオカネ（米ドル）がなく、それに換える物品もなく、米政府がいくら認めたとしても“売買”そのものが成り立たないのである。

しかし、仁科の超人的な粘りが遂に功を奏し、1947年11月に米政府は日本宛の輸出を認めた。総理府に科学技術行政協議会（STAC）が設置されるなど準備が進み、1950年4月10日に第1号のRIが仁科宛に送られてきた。それはオークリッジ（ORNL）の原子炉でつくられた“錫照射試料1単位”（1unit：Al製カプセルに収められた照射試料1個を意味する）でRIの主体はSb-125であった。代金支払いにはアメリカ哲学学会（APS）から寄贈された600ドルが充てられた。1950年には対日復興支援基金から4,000ドルの割り当てを受け、輸入はその後継続的に行われるようになった。輸入にはGHQの許可が必要だった。残高95ドルとなった1951年にRI輸入は民営事業とすることになり、日本放射性同位元素協會（現在の日本アイソトープ協会の前身）がつくられた。初代会長は仁科が務めたが仁科が1月に逝去したので後を茅誠司東大教授（物理：後東大総長）が引き継いだ。

新刊紹介



放射線物理学

編 著 榮 武二、遠藤 真広
 監 修 日本医学物理学会
 定 価 6,650円+税
 書 籍コード ISBN978-4-902590-86-9
 2019年6月30日 初版第1刷発行

放射線治療が高度化する中、医学物理学への関心が高まっているが、その基礎となる学問は“放射線物理学”である。本書は、日本医学物理学会が医学物理学教科書シリーズとして刊行している中の1つであり、医学物理学の観点から“放射線物理学”を体系的に解説している点に特徴がある。医学物理学を学ぶ大学院生を主なターゲットとし、基礎的な知識を教授するだけ

けでなく、医学物理学の研究につながることを意識して執筆されている点も興味深い。また、医学物理学に関連する分野に携わる研究者や医療技術者にとっては、これまでに得た知識や技術を整理するためのガイドブックとして利用できるように執筆されている。

本書の構成は、以下の通りである。

- ・ 第1章：原子核の構造と原子核反応
- ・ 第2章：原子の構造
- ・ 第3章：放射線の発生
- ・ 第4章：荷電粒子の加速原理
- ・ 第5章：荷電粒子と物質との相互作用
- ・ 第6章：光子と物質の相互作用
- ・ 第7章：中性子と物質との相互作用
- ・ 第8章：波動
- ・ 付 録：基礎物理学の法則

“放射線物理学”と名の付く書籍では、多くの数式（公式）が羅列されている。本書においても多くの数式（公式）が羅列されているが、読み進めていくと数式（公式）が持つ意味を理解できる書き方になっているような印象を受ける。また、図と文章がリンクするレイアウトであり、ページをいったりきたりする煩わしさをほとんど感じることがない。このような細やかな気配りは、教科書を利用する側にとって大きなメリットである。本書は、医学物理学に関わる全ての人にとって“放射線物理学”を体系的に学ぶための教科書として最適な1冊である。

（順天堂大学 佐藤 英介）

図説 量子ビーム・放射線利用

－第7回 消えて役立つ陽電子－

大洗研究所 特別研究員 岡田 漱平

1. はじめに — 陽電子の自己犠牲 —

前回は、物質表面での陽電子の反射を利用した構造解析技術を紹介した。実は、これは陽電子分光^{1) - 3)}のごく一部に過ぎない。陽電子には電子と対になって消滅し、そのかわりに γ 線(消滅 γ 線)が放出されるという非常に際立った特徴がある。これを利用した分析技術は数多くある。今回はその原理を紹介する。

よく考えると、物質の性質や機能は電子が決めているので、電子の状態を知ることが物質を理解する決め手になる。その電子に出逢うと陽電子は消滅してしまう(死んじゃう)わけだが、消滅 γ 線が(その遺志を継いで)

電子の持っていた情報を教えてくれるのである。では、まずどのような消滅のプロセスがあるか見てみよう(図1)。

比較的単純なプロセスとしては、自由電子との消滅①と原子に束縛された電子(主に最外殻電子)との消滅②がある。また、原子の抜けた孔(原子空孔)に捕捉されたり化学種と結合するなど一種の準安定な束縛状態を経由して消滅③することもある。

さらに、束縛状態の極端な例として、原子から電子を引き抜き、対になって水素原子に似た束縛状態をつくることもあり、これをポジトロニウム(Ps)と呼んでいる。電子と陽電子のスピンの向きが反対の場合をパラポジトロニウム(p-Ps)と言い、真空中の寿命は125psと短いので対を形成している同士で消滅④する(自己消滅という)。スピンが同じ向きの場合はオルソポジトロニウム(o-Ps)と言い、真空中では142 nsという長い寿命を持つが、長過ぎるためか、周囲の電子を引き抜いて(浮気して)数ns程度で消滅⑤する場合が多い(ピックオフ消滅という)。物質中でのo-Psの自己消滅⑥は稀である。以上の記号①～⑥は本編を通して用いる。

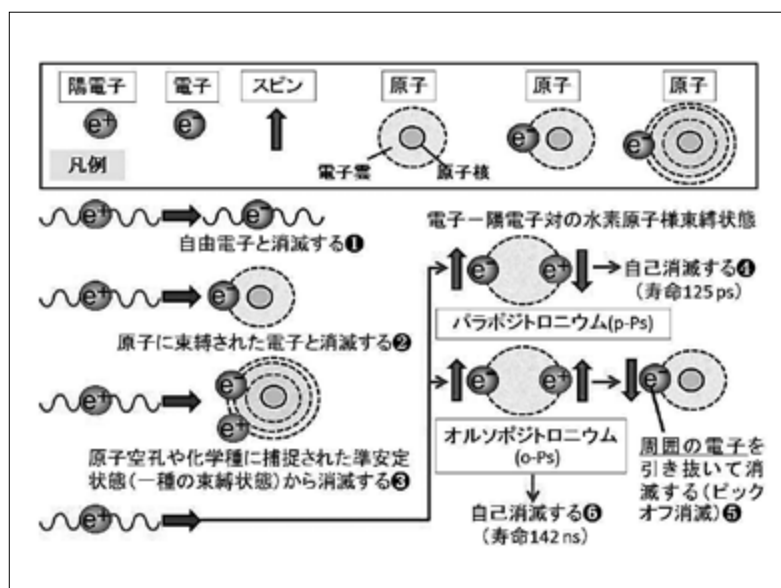


図1 さまざまな陽電子消滅のプロセス

2. 電子の動きを観る

「物性論は電子論である」と言っても過言ではない。金属や半導体の性質を調べ、新しい材料を開発する上で、伝導に関係している電子の運動量やエネルギーを知ることは不可欠である。原子や分子のイオン化ポテンシャル（最外殻電子の運動量・エネルギー）も重要な量である。

陽電子を用いれば、図1の①あるいは②のプロセスによってこれが可能になる。その原理を説明するために、最も確率の高い消滅

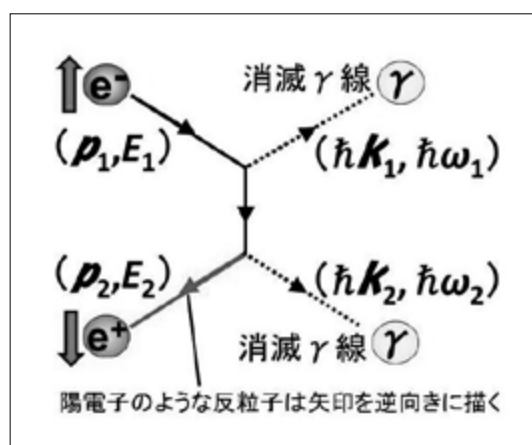


図2 2光子消滅のファインマン図形

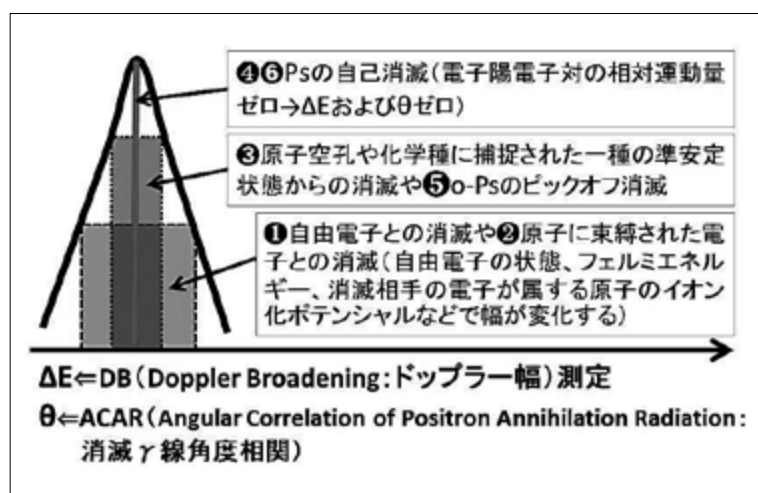


図3 ドップラー幅 ΔE あるいは θ （2本の消滅 γ 線の放出方向の180°からのずれ）のスペクトル

パターンである2光子消滅（電子と陽電子のスピンの向きが逆のときに起こる）のファインマン図形を図2に示す。

図中の $(\mathbf{p}, E)$ などの表記は（3次元の運動量ベクトル、エネルギー）を表す。陽電子や電子のエネルギーには静止エネルギー m_0c^2 （511keV）も含まれる。消滅の前後で運動量とエネルギーは保存されるので、

$$(\mathbf{p}_1, E_1) + (\mathbf{p}_2, E_2) = (\hbar \mathbf{k}_1, \hbar \omega_1) + (\hbar \mathbf{k}_2, \hbar \omega_2)$$

が成り立つ。この保存則から次のことが導かれる。

- ・いま消滅対の運動量 $(\mathbf{p}_1 + \mathbf{p}_2)$ がゼロであれば、2本の γ 線は、それぞれ m_0c^2 （511keV）のエネルギーを持って正反対の方向に放出される。
- ・そうでない場合は、電子の $\mathbf{p}_1$ の大きさを反映して（陽電子はだいたい熱エネルギー程度に減速されてから消滅するので $\mathbf{p}_2$ は $\mathbf{p}_1$ に対して十分に小さい）、 γ 線のエネルギーは m_0c^2 （511keV）から ΔE （数keV～数10keV）だけずれ（これをドップラー幅と呼ぶ）、放出方向も180°から θ （0.5°程度）だけずれる。

半導体検出器を用いた γ 線エネルギースペ

クトル測定や、対向した一対の位置敏感検出器を用いた角度相関測定によって、 ΔE や θ を反映した図3のようなスペクトルが得られる。

このスペクトルの広い成分から伝導電子や最外殻電子の運動量・エネルギーの情報①②が得られる。最も狭い成分はPsの自己消滅④⑥によるものである（強く束縛された対の $\mathbf{p}_1 + \mathbf{p}_2$ はゼロだから）。軽く束縛された対の消滅③⑤は上記2つの中間の幅を与える。

3. 電子の持っているスピンを観る

近年、電子のスピンを制御して材料に新しい機能を持たせようというスピントロニクスが注目されている。特に、材料表面の電子群がどちらの向きにスピンを揃えているのかあるいはないのかという情報は重要である。

QST高崎研の河裾らはスピン偏極した陽電子ビームを開発し「スピン偏極陽電子分光」とでも言うべき新分野を開拓している⁴⁾。

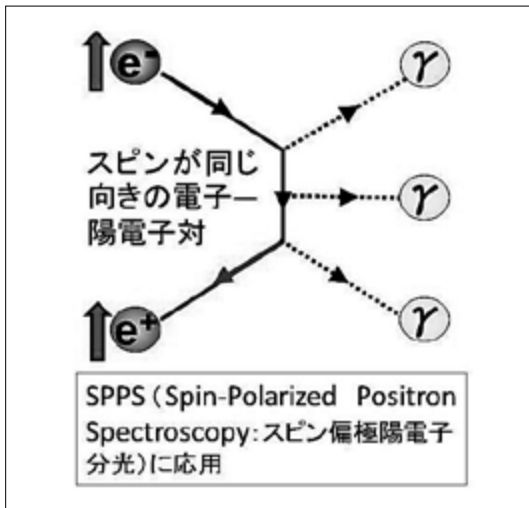


図4 3光子消滅のファインマン図形

この原理をごく簡単に言うと、図2に示した2光子消滅は電子と陽電子のスピンの向きが逆向きのときに起こるが、これ以外に図4に示すような3光子消滅というパターンもあり、これは電子と陽電子のスピンの向きが同じ向きのときに起こることを利用している。

陽電子のスピンを揃えて表面に入射したとき、2光子消滅が検出

されれば、表面の電子のスピンは陽電子とは逆向きであることがわかり、3光子消滅が検出されればその逆であることになる。材料表面の電子のスピンの状態を知ることは、スピントロニクスにとって最重要の課題のひとつであるため、この新手法の進展が期待されている。

4. 電子がないところを観る

図5に示すような原子空孔（結晶格子から原子が抜けた孔）はしばしば「欠陥」と呼ばれる。原子炉材料の金属が中性子照射によって劣化するの欠陥ができるせいである。しかし、欠陥は悪者ばかりではない。半導体をはじめとした機能材料はむしろ欠陥があるからこそ機能を発揮すると言える。

陽電子は、この欠陥に敏感であるため、材料の劣化の原因追究などに使われるとともに、半導体などの分析に威力を発揮する。

そのわけは、陽電子自身が原子空孔を探り出して入り込んだり、その中でPsを形成したりするためである。この時、陽電子の寿命は数ナノ秒程度に延び、その程度は欠陥のサ

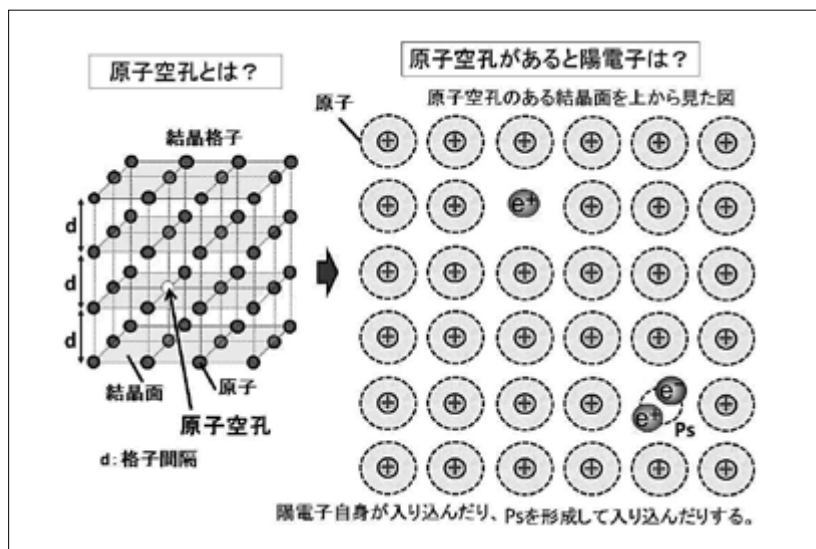


図5 原子空孔と陽電子のふりまい

イズ（ナノメートルより小さいものから大きいものまで）や種類によるので、欠陥の分析が可能になる。

陽電子の寿命の分布のイメージを図6に示す。寿命の測定は、物質に入射した信号（スタート）を、加速器のパルス、薄膜を通過した時の二次電子、アイソトープから陽電子とほぼ同時に放出される γ 線などから取り、消滅 γ 線をストップ信号として、その間の時間を時間-波高変換器で計測することによって行う。

この寿命測定を、先に述べた ΔE あるいは θ の測定と同時に行って相関を調べると、欠陥などに関して、より精緻な知見が得られる（図3と図6参照）。

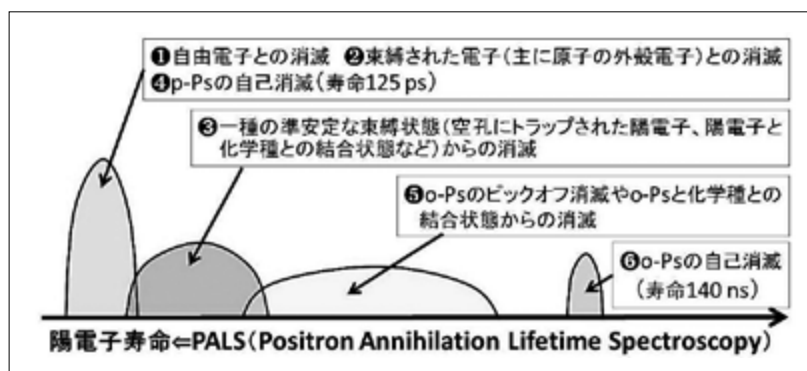


図6 陽電子寿命の分布のイメージ

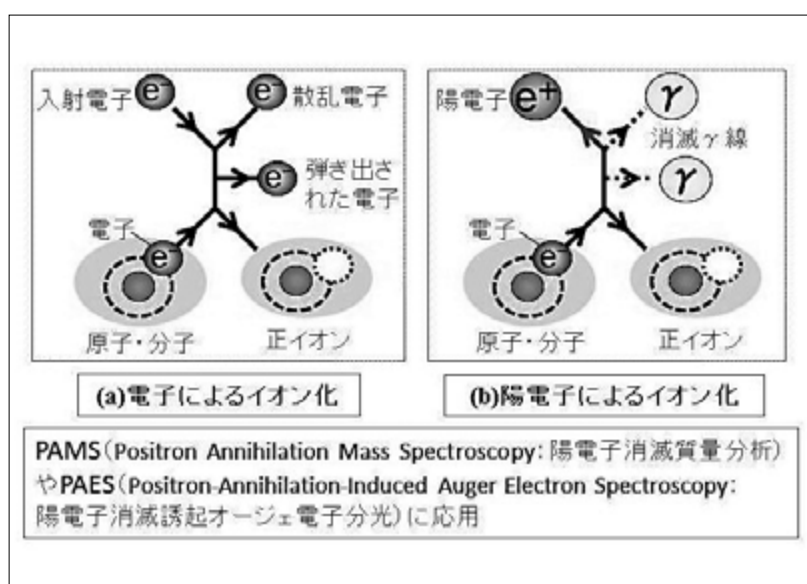


図7 電子によるイオン化と陽電子によるイオン化の違い

5. 電子をソッと消す

質量分析法では、未知物質に電子を照射して原子・分子をイオン化し、このイオンの質量を分析することによって正体を突き止めている。電子の衝撃でイオン化を行うため、分解生成物のイオンも混じってしまうという難点がある。

陽電子を用いれば、図7に示すように、原子・分子の最外殻電子を「ソッと消し」てイオン化することが可能である。また、図からわかるように、このとき同時に消滅 γ 線も放

出されるのでプラスアルファの情報も得られる。このような利点は、オージェ電子分光など他のいろいろな分析法にも応用できる。

参考文献

- 1) 岡田漱平・金沢育三：応用物理 Vol.59, No.7 (1990)
- 2) 岡田漱平：放射線化学.50 (1990)
- 3) 岡田漱平：放射線と産業, No.137 (2014)
- 4) A. Miyashita et. al. :Phys. Rev. B97, 195405 (2018)

サービス部門からのお願い

ガラスバッジの「休止」処理について

平素より弊社のガラスバッジサービスをご利用くださいます。誠にありがとうございます。

ガラスバッジを一定の期間だけ使用しないときは「休止」処理をいたします。休止期間の終了日をお知らせください。「ガラスバッジWebサービス」からもお手続きが可能です。(https://www.c-technol.co.jp/)

「ご使用者変更連絡票」にてご連絡いただく際は下記をご参照ください。「ご使用者変更連絡票」は弊社ホームページからダウンロードが可能です。

なお、休止期間が長期の場合や終了日が未定のときは「中止」にてご依頼ください。

● 1回のご使用期間のみ休止される場合は、「今回のみ」を○で囲ってください。

処理区分	お客様コード	整理番号	個人コード	使用者名	性別	生年月日 (西暦)	職 種	型式	装着 部位	変更年月日 (西暦)	ラベル 印字方向	備考(ラベルの色、 職員コードなど)
追加・変更 中止(休止) 名義変更	123-4567-890	006		フリガナ チヨダ ハナコ 千代田 花子	男 女	年 月 日			頭・胸 腹・手 ()	20 20 年 5 月 1 日 (今回のみ) から	横 縦 R	

● 連続してご使用を休止される場合は、備考欄に終了日をご記入ください。

追加・変更 中止(休止) 名義変更	123-4567-890	005		フリガナ チヨダ タロウ 千代田 太郎	男 女	年 月 日			頭・胸 腹・手 ()	20 20 年 5 月 1 日 (今回のみ) から	横 縦 R	2020/7/31迄
-------------------------	--------------	-----	--	------------------------	--------	----------	--	--	-------------------	---------------------------------	-------------	------------

編集後記

- 最近はずいぶん増えて、何という祝日か覚えきれないのですが、今年も大型連休となりました。工場勤務の身としてはガラスバッジ測定がメインで暦のまま休めないこともあり、調整が難しいところです。
- 放射性医薬品メーカー大手の日本メジフィジックス様には、がん治療の分野で注目が集まっている「セラノスティクス」という治療法の解説と、その創業拠点のご紹介をしていただきました。がんの診断と治療に同じような特異性を持つ放射性医薬品を使うことで効率的に治療が可能になるそうで一日も早い供給が望まれるところです。
- 2020年1月より弊社のガラスバッジサービスシステムが変更になり、3回にわたってその概要をご説明してきました。今回はガラスバッジWebサービスを中心にお客様からいただいたご質問にお答えする形で内容をご紹介します。セキュリティの関係でお

手を煩わせる部分もあるかと思いますが、内容を是非ご覧いただき、有効にご利用いただければ幸いです。

- 中川恵一先生のコラムでは、過剰診断というキーワードが執筆時に世界中で問題となっている新型コロナウイルス対策の対応と一瞬オーバーラップしました。この号がお手元に届く頃には沈静化・終息していることを強く願っています。コラム占領時のRI輸入ではアンチモン125が輸入されたことが紹介されていますが、このRIは後の放射化学発展の一助にもなったそうです。新刊紹介では、医学物理学に係わる方のガイドブックとなるべく1冊をご紹介します。
- 弊社岡田特別研究員の技術解説も残り1回の連載を残すのみとなりました。電子の動きを観察することによって半導体の分析などに利用されているそうです。最終回の解説もお楽しみにお待ちください。

(岩井 淳)

FBNews No.521

発行日/2020年5月1日

発行人/細田敏和

編集委員/新田浩 小口靖弘 中村尚司 金子正人 加藤和明 青山伸 河村弘

谷口和史 岩井淳 高橋英典 中本由季 廣田盛一 四方田章裕

発行所/株式会社千代田テクノ

所在地/〒113-8681 東京都文京区湯島1-7-12 千代田御茶の水ビル

電話/03-3816-5210 FAX/03-5803-4890

http://www.c-technol.co.jp/

印刷/株式会社テクノサポートシステム

— 禁無断転載 — 定価400円(本体364円)