

平成 21 年 6 月 15 日現在

研究種目：基盤研究（C）
 研究期間：2006～2008
 課題番号：18550084
 研究課題名（和文）PETによる癌診断等の高度化を目指した生体模擬物質中の陽電子挙動の研究
 研究課題名（英文）Study of Positron Property in imitated living materials for advanced use of cancer test by PET
 研究代表者
 平出 哲也（HIRADE TETSUYA）
 日本原子力研究開発機構・原子力基礎工学研究部門・研究主幹
 研究者番号：10343899

研究成果の概要：生体物質中の陽電子挙動を知るには、水中の陽電子挙動が基本であるが、水中の陽電子挙動はあまり研究されていなかった。今回、陽電子と電子が結合したポジトロニウムのうち、比較的長寿命（2ナノ秒程度）を示す三重項オルソーポジトロニウムと、水中のヒドロキシルラジカルとの反応を利用し、従来不可能であった、ヒドロキシルラジカルの直接観測および超微細結合定数の測定が可能となった。今後、癌発症機構研究などに波及すると考えられる。

交付額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2006年度	1,800,000	0	1,800,000
2007年度	600,000	180,000	780,000
2008年度	1,000,000	300,000	1,300,000
年度			
年度			
総計	3,400,000	480,000	3,880,000

研究分野：化学

科研費の分科・細目：複合化学・分析化学

キーワード：状態分析

1. 研究開始当初の背景

世の中で癌診断にPET（陽電子放出断層写真診断）が急速に普及し、実際に体内に陽電子放出核種を注入して診断が行われているが、陽電子が電子と対消滅する際に反対方向に2つ放出されるガンマ線によって、位置の情報だけしか使用されていない。いろいろな材料分野では、陽電子は物質内部の状態分析に用いられているが、そのような情報は全く利用されていない。そこで、生体模擬物質中の陽電子挙動を明らかにし、例えば、癌組織の状態分析に利用できる可能性があった。現状でも、ほとんどが位置情報の取得にしか用いら

れていない陽電子であるが、位置情報により、癌の有無の診断に加え、癌の状態や、他の腫瘍の診断などにも利用できる可能性がある。

2. 研究の目的

陽電子の生体物質中での挙動を明らかにし、例えばPET診断に付加的な状態分析機能などを付加することが主な目的であったが、実際には生体を構成する最も重要な水中の陽電子挙動の研究は少なく、また、水中では陽電子と電子が結合した状態であるポジトロニウム（o-Ps）の寿命の温度依存性が、予想

とは逆の傾向を示す唯一に物質であった。生体物質中の陽電子挙動の解明に先立って、まず、水中の陽電子挙動、特に、異常な温度依存性の解明を行った。

3. 研究の方法

陽電子を物質中に入射するには放射性同位元素である Na-22 を用いた。実際に行った実験手法は陽電子消滅法と呼ばれるものであり、物質中で陽電子が電子と対消滅した際に放出されるガンマ線をシンチレーション検出器や半導体検出器で検出し行う。陽電子消滅法の中で、陽電子消滅寿命測定法 (PAL) および、陽電子消滅ガンマ線エネルギー寿命相関測定法 (AMOC) により行った。用いた試料は、水、重水などを用いたが、それ以外にも、活性種の反応が通常物質中よりも遅いと考えられる、イオン液体も一部、試料として用い、陽電子の反応や挙動について研究を行った。

4. 研究成果

AMOC では陽電子の消滅時刻に依存した消滅ガンマ線のエネルギースペクトルを得ることができる。水中で *o*-Ps の反応が存在することを、まず AMOC 実験で確認していた。*o*-Ps の反応は *o*-Ps 近傍に *o*-Ps 形成と同時に形成されているヒドロキシルラジカルや水和電子などとの反応が考えられる。これらの活性種は対電子を有し、その結果、*o*-Ps とスピン交換反応が起こり、そのスピン交換反応を AMOC で得られた時間分解したエネルギースペクトルから検出することにより、反応の存在を確認した。*o*-Ps がスピン交換して一重項ポジトロニウムであるパラポジトロニウム (*p*-Ps) として消滅すると消滅ガンマ線のエネルギーの広がりが小さくなることから検出できる。しかしながら、ヒドロキシルラジカルと *o*-Ps の反応はスピン交換反応だけではなく、ラジカル反応や電子移動 (酸化) 反応も可能となる。これら反応には電子スピンの依存し、2つの電子スピが一重項でなければ起こらない。ヒドロキシルラジカルと *o*-Ps 中の対電子がジェミニートペアであった場合、そのスピンは時刻ゼロ (入射時刻) では一重項であり、その後、ピコ秒までにヒドロキシルラジカルと *o*-Ps が形成されており、その後は、それぞれの環境で電子は歳差運動している。この歳差運動の周期のずれが一重項と三重項の間の振動を生むが、ヒドロキシルラジカル中のプロトンはスピンの 1/2 であり、その方向を二つあり、ずれの生じた 2つの振動の重ねあわせを観測することとなる。そこにはうねりが現れ、そのうねりによって、時間分解した消滅ガンマ線のエネルギースペクトルの幅が周期性をもって変化することとなり、図 1 のように量子ビートと

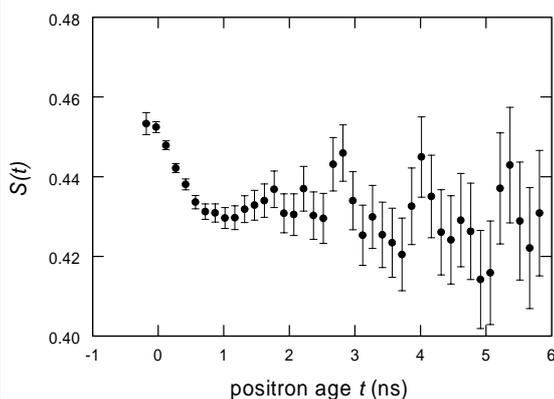


図 1 消滅ガンマ線エネルギー広がりに見られる量子ビート。S(t)が大きいのは広がりが小さいことを意味する。

して観測される。この量子ビートの周期からヒドロキシルラジカルと考えられるラジカルの超微細結合定数が得られる。この周期には温度依存性があり、また、2つの超微細結合定数が現れ、水中には2つの異なる構造が存在している可能性を示している。また、ナノ秒領域のヒドロキシルラジカルを直接観測できるようになったため、ヒドロキシルラジカルの反応を研究することが可能となり、例えば癌の発症機構や原子炉内部での反応などを明らかに出来ると考えられる。これら成果は現在、Chemical Physics Letters に投稿中である。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

〔雑誌論文〕(計 2 件)

Tetsuya Hirade, Positronium formation in room temperature ionic liquids, Materials Science Forum, 607, 232-234, (2009) 査読あり

B. Zgardzinska, T. Hirade, T. Goworek, Positronium formation on trapped electrons in n-heptadecane, CHEMICAL PHYSICS LETTERS 446 (4-6): pp.309-312, (2007) 査読あり

〔学会発表〕(計 6 件)

平出哲也、李政宰、中村剛実、水中におけるオルソーポジトロニウムとスパー内活性種の反応、京大原子炉専門研究会「陽電子科学とその理工学への応用」、平成 20 年 12 月 5 日～6 日、京都大学原子炉実験所 熊取

平出哲也、李政宰、中村剛実、水中の陽電子消滅過程、第 51 回放射線化学討論会、平成 20 年 10 月 15 日～17 日、産業技術総合研究所 つくば

B. Zgardzinska, Tetsuya Hirade, T. Goworek, Diffusion length of positrons and electrons, The 2nd Asia-Pacific Symposium on Radiation Chemistry, 2008/8/29-9/1, Waseda Univ. Tokyo

〔図書〕(計0件)

〔産業財産権〕

出願状況(計1件)

名称：陽電子消滅によるフリーラジカル超微細結合定数測定法

発明者：平出哲也

権利者：日本原子力研究開発機構

種類：特許権

番号：特願 2009-058956

出願年月日：2009/03/12

国内外の別：国内

6. 研究組織

(1) 研究代表者

平出 哲也 (HIRADE TETSUYA)

独立行政法人日本原子力研究開発機構・原子力基礎工学研究部門・研究主幹

研究者番号：10343899

(2) 連携研究者

鈴木 健訓 (SUZUKI TAKENORI)

大学共同利用機関法人高エネルギー加速器研究機構・大強度陽子加速器計画推進部・教授

研究者番号：40162961