陽電子は電子の反粒子であり、電子とともに対消滅し、質量エネルギーがガンマ線として放出される。凝集相中ではほとんどの消滅が2 光子放出過程で起こる。この消滅ガンマ線を計測することで行われるのが、陽電子消滅法という分析手法である。ガンマ線を計測することで、いろいろな情報を得ることが出来る。大きく分けるとそのエネルギーと時刻の情報となる。エネルギーは消滅時の陽電子と電子が有する運動量が影響してドップラー効果が起き、これによって、消滅時の電子の運動量が計測できる。主には内殻電子との消滅の場合にドップラー効果が大きくなる。例えば、金属結晶中に陽電子が入射された場合、欠陥が存在しないと陽電子は内殻電子との消滅が比較的多くなる。原子空孔や空孔クラスターが存在すると、陽電子はそこに捕まり、よって、内殻電子との消滅の確率は減ることとなる。一方、時刻の情報は、陽電子入射時刻を知っていれば、消滅ガンマ線の検出時刻との差が、陽電子の寿命となる。Na-22 を用いれば、陽電子放出時に1.27MeV のガンマ線が放出されるので、陽電子消滅寿命の計測が可能となり、現在は半値幅で200 ピコ秒以下の時間分解能が比較的容易に実現できる。この手法では、欠陥のない状態では陽電子と電子の重なりが大きくなり、寿命は短くなり、一方、原子空孔や空孔クラスターが存在し、そこに陽電子が捕まれば、寿命は長くなる。このように、結晶中の空孔などに極めて敏感な手法であり、材料工学分野で重要な手法の一つである。この手法を利用できる分野は非常に広い。 脆化[1]やクラックの進展[2] などに関する研究も行っている。

一方, 絶縁材料中では, 電子と陽電子の結合状態であるポジトロニウムが形成される。ポジトロニウムはサブナノスケールの空隙が存在するとそこに捕まる。最長寿命成分である三重項ポジトロニウム(オルソーポジトロニウム)の寿命は,空隙サイズに依存する消滅寿命を示すため,現在,多くの材料工学分野で利用されている。2000年以前にはその形成強度が空隙の数密度に依存すると考えられ,非常に多くの研究が行われてきたが,その解釈の元ともなっていた低温域における現象の解釈の誤りを指摘[3]した. 絶縁材料における陽電子利用研究で20年ほどの間行われてきた誤った解釈を是正し,世界中の研究者に正しい解釈を示し,受け入れられることとなっている.

陽電子は 1832 年にアンダーソンによって発見された粒子であり、その分析手法は現在も進化を続けており、材料工学研究のための新しい分析手法の開発もあわせて行っている。最近では、室温イオン液体中においてポジトロニウムが作るサブナノメートルの最小のバブルの GHz 領域の振動を捉えることに初めて成功し[4]、微小領域の粘弾性測定などのための新しい分析手法として期待される。また、原子炉内の水化学や生体における放射線影響において重要である短寿命OHラジカルを、オルソーポジトロニウムとのスピン相関のある反応により検出できることが示されており[5]、また、その超微細結合定数の存在状態に伴う変化も捉えられるようになってきており、水中におけるOHラジカルの存在状態に関する研究が可能になると期待される。

- [1] T. Doshida, H. Suzuki, K. Takai, N. Oshima, T. Hirade, Enhanced Lattice Defect Formation Associated with Hydrogen and Hydrogen Embrittlemant under Elastic Stress of a Tempered Martensitic Steel, ISIJ International, vol52, 198-207 (2012) (日本鉄鋼協会澤村論文賞受賞論文, 文部科学省ナノテクノロジープラットフォーム平成25 年度6 大成果賞受賞)
- [2] R. S. Yu, M. Maekawa, Y. Miwa, T. Hirade, A. Nishimura and A. Kawasuso, Positron microscopic analysis of crack failure in stainless steels, physica status solidi (c) Volume 4, Issue 10, September 2007, Pages: 3577-3580
- [3] Tetsuya Hiradea, Frans H.J. Maurer, Morten Eldrup, Positronium formation at low temperatures: the role of trapped electrons, Radiation Physics and Chemistry 58 (2000) 465-471 (日本放射線化学会学術賞受賞)
- [4] Tetsuya Hirade, Positronium bubble oscillation in room temperature ionic liquids, Japanese Journal of Applied Physics Conference Proceedings, 2 (2014) 011003
- [5] Tetsuya Hirade, Age—momentum correlation measurements of positron annihilation in water: Possibility of quantum beats on ortho-positronium reactions, Chemical Physics Letters 480 (2009) 132–135