

材料工学のための陽電子利用研究および開発

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。三重項ポジトロニウム（オルソーポジトロニウム）は、陽電子の寿命と同様に、空隙サイズに依存する消滅寿命を示すため、多くの材料工学分野で利用されている。

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、ポジトロニウムが作る、液体中に形成される最小のサブナノメートルバブルの GHz 領域の振動を捉えることに、初めて成功し[3]、新しい分析手法として期待されている。

[1] T. Doshida, H. Suzuki, K. Takai, N. Oshima, T. Hirade, Enhanced Lattice Defect Formation Associated with Hydrogen and Hydrogen Embrittlement 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 Hirade, Positronium bubble oscillation in room temperature ionic liquids, *Japanese Journal of Applied Physics Conference Proceedings*, 2 (2014) 011003