

PRESENT STATUS OF THE SLOW POSITRON BEAM FACILITY IN AIST

Nagayasu Oshima[#], Brian E. O'Rourke, Atsushi Kinomura, Toshiyuki Ohdaira, Hiroshi Ogawa, Ryoichi Suzuki

National Institute of Advanced Industrial Science and Technology (AIST)

1-1-1 Umezono, Tsukuba, Ibaraki 305-8568 Japan

Abstract

Intense, slow positron beams for advanced material defect characterization and surface analysis are produced at AIST using an electron linear accelerator TELL and a planned superconducting accelerator. At present there are 3 separate positron beamlines in which measuring apparatus including positron annihilation lifetime measurement system (PALS), positron probe microanalyzer and a simultaneous ion beam implantation - positron analysis system. These slow positron based characterization facilities are available to external users through a consortium and the IBEC advanced instrument innovation forum and are currently the basis of more than 10 research projects per year.

産総研陽電子ビーム利用施設の現状

1. はじめに

産業技術総合研究所（産総研）では、電子加速器を用いて発生した高強度低速陽電子ビームを用いて、先端材料の特性を左右する要因である「原子空孔」「分子間空隙」「微小欠陥」等の評価を行っている。また低速陽電子ビームの制御技術の開発・改良を行うことで、新しい材料分析法の実用化研究も実施している。ここでは産総研の低速陽電子ビーム利用施設の現状について述べる。

2. 低速陽電子利用施設の概要

陽電子は、原子空孔の高感度プローブとして知られている。高速の陽電子を減速材を通すことで、低速陽電子ビーム（エネルギー幅数 eV 程度）を生成できる。低速陽電子ビームを用いれば、陽電子を試料の表面近郊に限定的に入射することができるため、先端材料の開発等に利用することができる。産総研では、陽電子の発生に電子加速器を用いている。加速器からの高エネルギー電子ビームを重金属ターゲットに照射して、発生した電磁シャワーに含まれる高速陽電子をタングステン薄膜（減速材）を通して、低速陽電子ビームを得る^[1]。

2.1 陽電子生成用加速器の概要

図 1 に低速陽電子ビーム利用施設全体の概要図を示す。陽電子発生用の加速器には、電子線形加速器(TELL)および超伝導加速器(SCA)を用いる。TELL は 80 年代後半から、陽電子の発生に利用されてきた。一方 SCA は、日本原子力機構の自由電子レーザー施設^[2]から譲り受けたものであり、現在、陽電子発生用にメンテナンス中である。SCA を陽電子発生に用いる利点は、電子ビームのパルス時間構造を、材料分析に必要な低速陽電子ビームのパルス時間構造と同じにすることができるので、低速陽電子ビ-

ーム生成後の利用効率を改善できることである^[3]。これにより、低速陽電子ビームを用いた材料分析のスループットが高くなることが期待される。TELL では~70 MeV まで電子を加速するが、SCA では~10 MeV 以上まで加速の予定である。なお、SCA の加速空洞は Nb 製 5 セル構造で、共振周波数は 500 MHz である。

2.2 低速陽電子ビームラインの概要

現在、産総研には 3 つの低速陽電子ビームラインがある。図 2 には、ビームライン#1 およびビームライン#2 の計測部周辺の写真を、図 3 にはビームライン#3 の計測部周辺の写真を示す。以下に、それぞれの低速陽電子ビームラインの特徴を記す。

低速陽電子ビームライン#1 は、TELL を用いて高強度の低速陽電子ビーム（毎秒 10^7 - 10^8 個）を発生し利用する。1990 年初頭に、リニアックの電子ビームパルスと同期して生成されるパルス状（ 1μ s の時間幅に 10^5 以上の陽電子を含むバースト状）陽電子ビームを、準直流ビームに変換するためのリニアストレージシステムを開発した。これにより、陽電子消滅ガンマ線用検出器のパイルアップを防ぐことが可能となった。また、陽電子寿命測定 (Positron Annihilation Lifetime Spectroscopy: PALS) を高時間分解能で行うために、準直流ビームを短パルス化するシステムを世界に先駆けて開発した^[4]。ビームエネルギーを 1-30 keV まで調整することで、表面から深さ 1 マイクロメートル程度までの陽電子寿命測定を高計数率(10 kcps)で行うことができる。1990 年代後半から 2000 年代にかけて、陽電子消滅誘起オージェ電子分光装置 (PAES: Positron Annihilation Induced Auger Electron Spectroscopy^[5]) やポジトロニウム飛行時間測定システム等の開発を行い、試料表面の不純物や細孔の連結性等の評価・研究を行ってきた。

[#] nagayasu-oshima@aist.go.jp

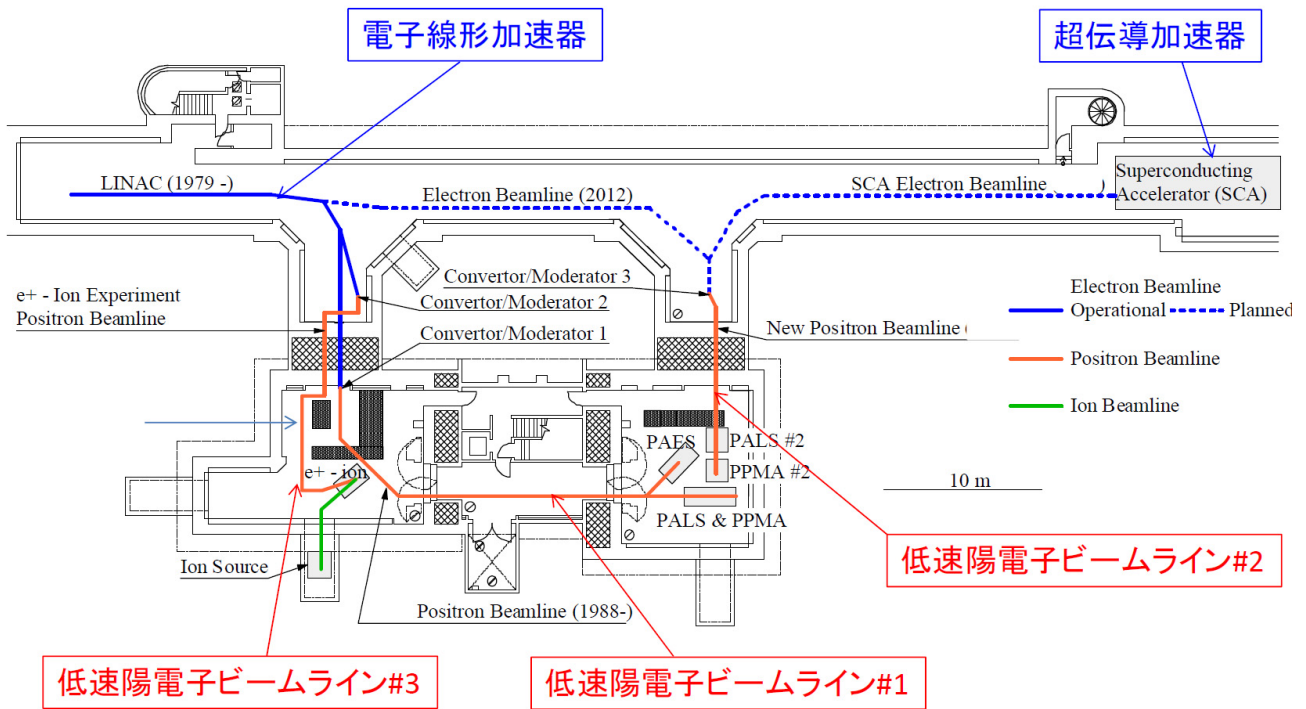


図 1 : 産総研・低速陽電子ビーム利用施設の全体概略図

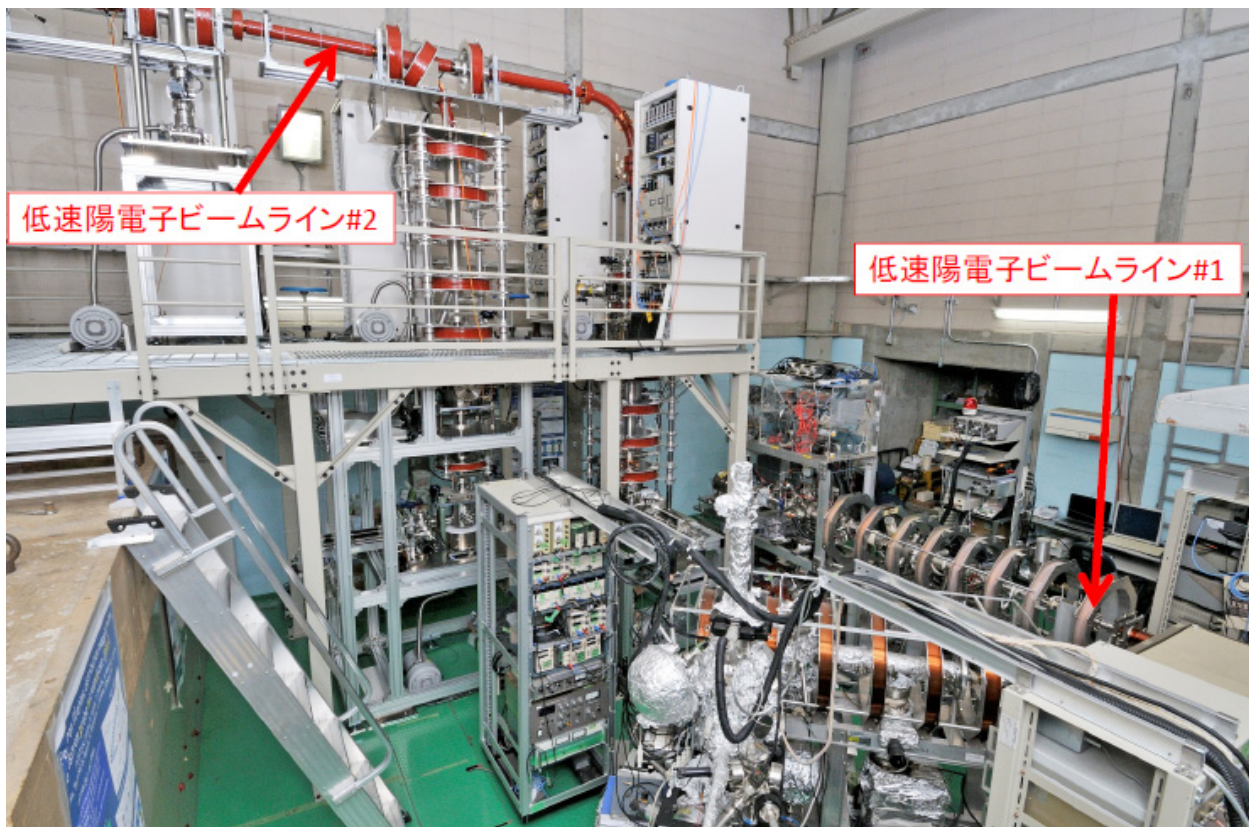


図 2 : 低速陽電子ビームライン#1 および#2 の測定部周辺の景観

また、2008 年には、低速陽電子ビームの輝度増強法を開発し^[6]、これにより陽電子ビームのビーム径は、10 ミリメートルから数十マイクロメートル程度にまで高効率に集束可能となり、走査型陽電子マイクロビーム計測法が実用化された^[7]。この計測装置は、陽電子プローブマイクロアナライザー (Positron Probe Microanalyzer: PPMA) と呼ばれている。また 2012 年になって、陽電子マイクロビームを薄膜真空窓を通して大気中に引き出し“その場”計測する技術を開発した^[8]。この“その場”計測装置は、大気 PPMA (Atmospheric PPMA: A-PPMA) あるいは環境制御 PPMA と呼ばれている。また、再放出陽電子顕微鏡 (Positron Re-emission Microscopy: PRM) の開発も行っている。なお、現在ビームライン#1 では、2 本のポートが利用できる。

低速陽電子ビームライン#2 は 2010 年に構築された。陽電子発生には、TELL および SCA の両方を用いることができる。利用ポートは、PALS および PPMA 用の 2 本がある。

低速陽電子ビームライン#3 は 2011 年に構築された。陽電子発生には、TELL を用いている。利用ポートは 1 本であるが、イオンビーム源とも連結されているため、試料をイオン照射中にも低速陽電子ビーム分析が可能である^[9]。

表 1：低速陽電子ビームラインの特徴

	ビームライン#1	ビームライン#2	ビームライン#3
ポート数	2	2	1
エネルギー	1-30 keV	1-30 keV	1-30 keV
計測装置	PALS PAES PPMA A-PPMA PRM (開発中)	PALS PPMA	PALS イオン・陽電子同時照射装置
主な利用目的	新計測技術開発	公開利用	照射欠陥分析

3. 陽電子ビーム施設の利用体制

産総研では、低速陽電子ビームを用いた先端計測装置を、陽電子ビーム利用材料評価コンソーシアム^[10]・先端機器共用イノベーションプラットフォーム (IBEC)^[11]・ナノテクノロジープラットフォーム^[12]・共同研究等を通して積極的に公開利用しており、年間 10 件以上の研究課題支援が進展中である。

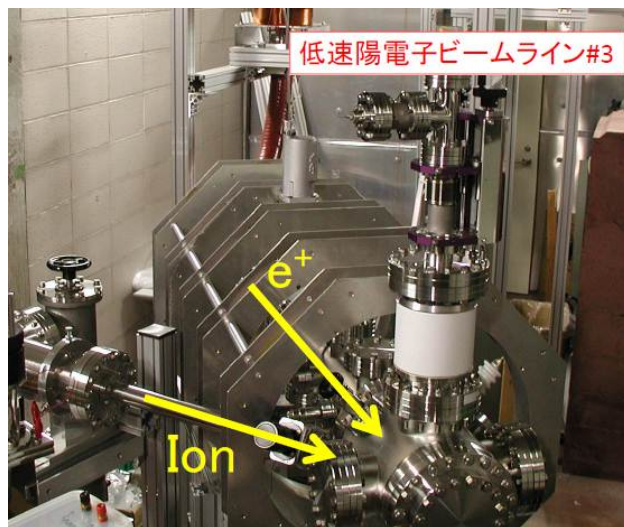


図 3：低速陽電子ビームライン#3 の測定部周辺の景観

参考文献

- [1] B. E. O'Rourke, et al., Rev. Sci. Instrum. **82**, 063302 (2011).
- [2] N. Kikuzawa et al., Nucl. Instrum. Meth. **A331**, 276 (1993).
- [3] B. E. O'Rourke, et al., J. Phys.: Conf. Ser. **262**, 012043 (2011).
- [4] R. Suzuki et al., Jpn. J. Appl. Phys. **30**, L532 (1991).
- [5] T. Ohdaira et al., Appl. Surf. Sci. **116**, 177 (1997).
- [6] N. Oshima et al., J. Appl. Phys. **103**, 094916 (2008).
- [7] N. Oshima et al., Appl. Phys. Lett. **94**, 194104 (2009).
- [8] W. Zhou et al., App. Phys. Lett. **101**, 014102 (2012).
- [9] A. Kinomura et al., Phys. Procedia **35**, 111 (2012).
- [10] http://unit.aist.go.jp/riif/adcg/News/News_jpn.html
- [11] <http://www.open-innovation.jp/ibec/>
- [12] <http://unit.aist.go.jp/riif/ja/nanotech/index.html>