

# GENERATION OF SLOW POSITRON BEAMS USING A SUPERCONDUCTING ACCELERATOR

B. E. O'Rourke<sup>#A)</sup>, N. Hayashizaki<sup>B)</sup>, A. Kinomura<sup>A)</sup>, R. Kuroda<sup>A)</sup>, E. Minehara<sup>C)</sup>,  
N. Oshima<sup>A)</sup>, T. Ohdaira<sup>A)</sup>, R. Suzuki<sup>A)</sup>

<sup>A)</sup> National Institute of Advanced Industrial Science and Technology (AIST),  
1-1-1 Umezono, Tsukuba, Ibaraki 305 8568

<sup>B)</sup> Research Laboratory for Nuclear Reactors, Tokyo Institute of Technology,  
2-12-1, Ookayama, Meguro-ku, Tokyo 152-8550

<sup>C)</sup> The Wakasa Wan Energy Research Centre  
64-52-1 Nagatani, Tsuruga, Fukui 941-0821

## Abstract

We describe the current status and future plans for the project to develop a dedicated superconducting accelerator for slow positron production at AIST. One accelerator module has been installed at ASIT and is presently undergoing commissioning. An electron gun and beamline are in development. The electron energy of the superconducting accelerator will be significantly lower than the 70 MeV currently available from the existing ASIT LINAC. Reducing the beam energy lowers the positron production efficiency however Monte-Carlo simulations suggest we reasonable intensities can be obtained provided the beam current is sufficiently high. At present the positron beam produced by the LINAC must be chopped and pulsed in order to produce the short pulses (< 200 ps) required for positron lifetime spectroscopy. We have investigated the possibility of increasing the positron transport efficiency when the positrons are produced using a superconducting accelerator operating at high frequency with short electron pulses

## 超伝導加速器を用いる低速陽電子ビーム発生法の開発

### 1. はじめに

産業技術総合研究所（産総研）では高強度低速陽電子ビームを用いて先端材料・新機能材料等の空隙評価や表面分析を進めている。陽電子は物質中で電子と出会うと、 $\gamma$ 線を放出して消滅する性質をもつ。その消滅時の陽電子寿命や $\gamma$ 線エネルギーのドップラー拡がり、極微小欠陥のサイズ（原子～nmサイズ）や濃度（ $10^{-5} \sim 10^{-7}$ ）に依存し、この原理を利用した陽電子消滅分光は、試料中の欠陥等を非破壊的に評価する最も有効な手法である。

産総研では、電子線形加速器を利用して発生した高強度低速陽電子ビームを20年以上前から利用してきた[1, 2]。近年陽電子ビームをマイクロビーム化することにより陽電子プローブマイクロアナライザの実用化に成功した[3]。最近、低速陽電子ビームによる材料評価の依頼件数が増加しており、測定速度を上げる必要性がでてきた。このため、陽電子ビーム強度を増強する必要があり、陽電子発生専用超伝導加速器の開発を開始した[4]。

### 2. 超伝導加速器

日本原子力研究開発機構の自由電子レーザー施設[5]で使用されていた超伝導加速空洞2台を譲り受け

た（図1）。空洞はニオブ製の5セル構造、共振周波数は499.8 MHz、長さ1.5 m、平均電界5 MV/mである。シングル・パスでおよそ7.5 MeVの加速が可能である。昨年そのうちの1台の冷却・真空試験を終え、産総研の加速器室に搬入した（図2）。

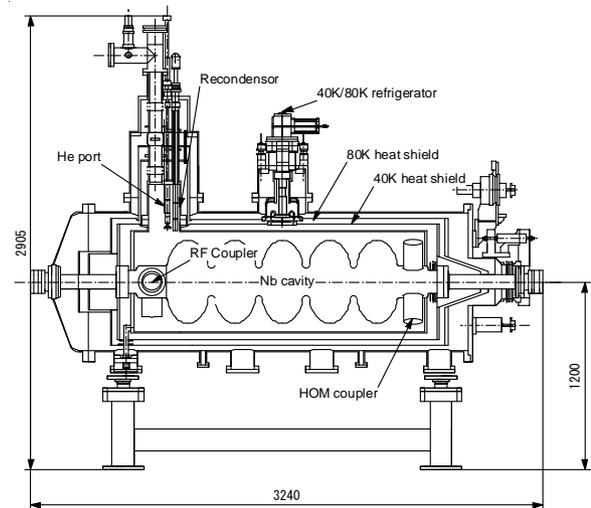


図1: 陽電子発生専用超伝導加速器 (単位: mm)

### 3. 低速陽電子発生

高エネルギー電子ビームをターゲットに入射すると陽電子が発生される。ターゲットはコンバーターと呼ばれている。コンバーターから発生される陽電子のエネルギー分布は~MeV 以上であるが、減速材

(モデレーター) を通して数 eV 程度に単色化することができる。産総研ではモデレータにタングステン薄膜(50 μm)を用いている。

陽電子発生効率は入射電子エネルギーに依存する。現在の常電導加速器のエネルギー(70 MeV)に対して次世代の超伝導加速器の予想エネルギーが低いため(< 15 MeV)陽電子発生効率の減少が見込まれる。

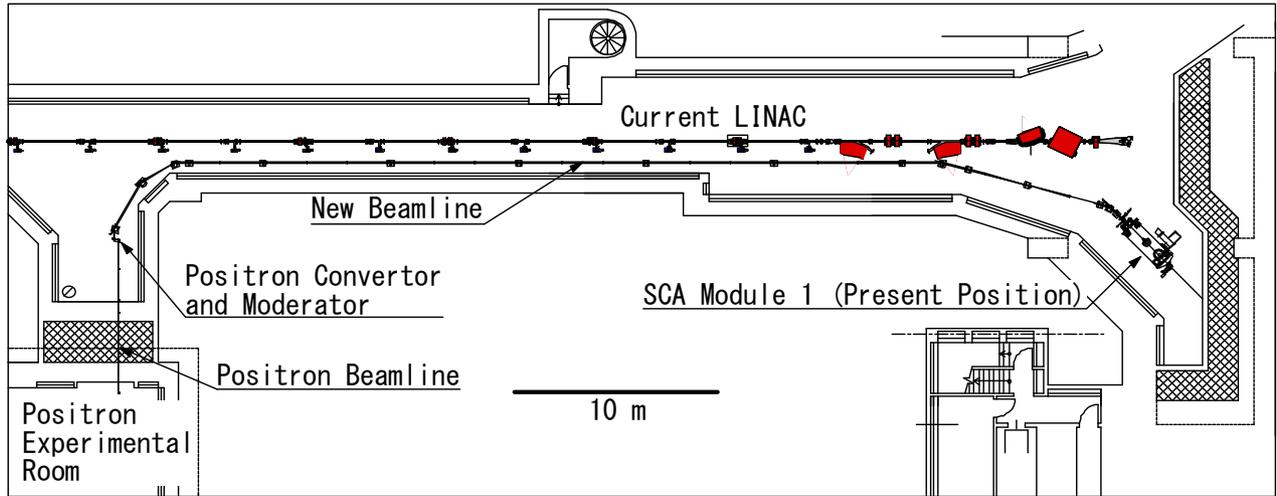


図 2 : 産総研・加速器室に設置された超伝導加速器と設置予定の電子ビームライン

低速陽電子ビーム強度を求めるためにモンテカルロ・シミュレーション計算を行った[6]。シミュレーション結果と実験値との比較から、低速陽電子発生効率( $\gamma$ )の電子エネルギー( $E$ )依存性は以下の式で与えられることが明らかとなった。

$$\gamma = 2.8 \times 10^{-9} [(E - 3)^{1.35} - 1.43] \quad (1)$$

次世代超伝導加速器( $E = 10, 15 \text{ MeV}$ )を用いても、電子ビームの電流が高ければ( $I = 300, 120 \mu\text{A}$ )現在と同様の低速陽電子ビーム強度( $5 \times 10^7 \text{ e}^+/\text{s}$ )が得られる

と予想される。

### 4. 低速陽電子発生

超伝導加速器を用いることで陽電子の生成周波数を高くでき、陽電子ビームの輸送効率を改善できる。現在の常電導リニアックの電子パルスは幅 1 マイクロ秒程度で周波数 100 Hz である。陽電子ビームも同じ時間構造のパルスビームとして生成される、リニアストレージ部でパルス幅を一旦伸ばし、チョッパと RFバンチャーによって陽電子寿命測定

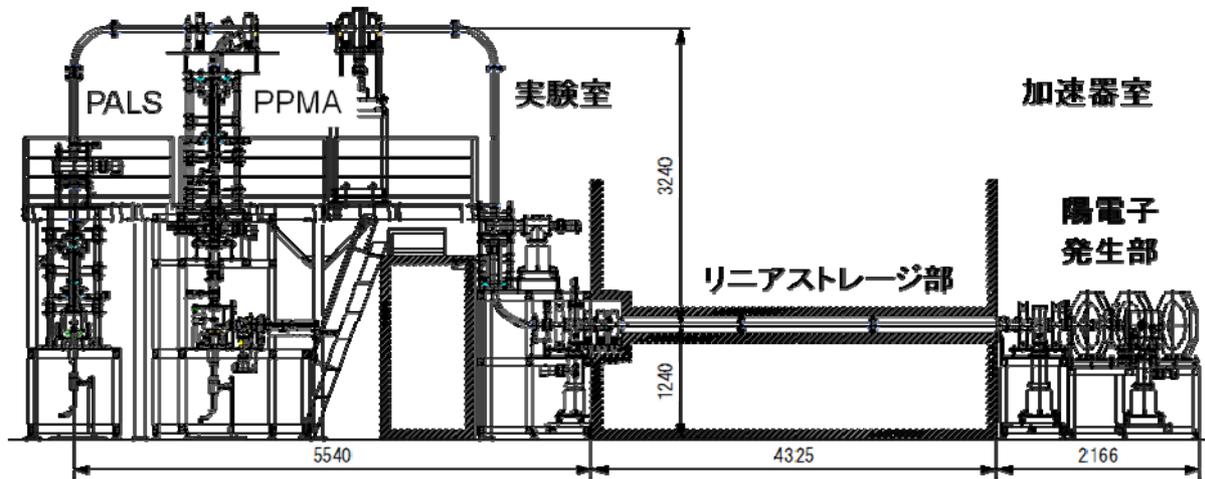


図 3 : 新陽電子ビームラインの設計図 (単位 : mm)

に必要な短パルス (~100 ps) 構造を造る。しかし、超伝導加速器の場合、電子パルスの幅は短く周波数は高いので、陽電子用のリニアストレージと x ホッパは不要になると期待できる。

昨年度末、産総研に新たな陽電子ビームラインを建設した(図3)。陽電子源には、既存の常電導リニアックと次世代の超伝導加速器の両方を用いる計画である。新陽電子ビームラインのRFバンチャーの共振周波数は超伝導加速器と同期をとれるよう 125 MHz とした。

陽電子発生部からRFバンチャーまでの距離はおおよそ  $L = 18 \text{ m}$  であり、磁場でビームを輸送する。

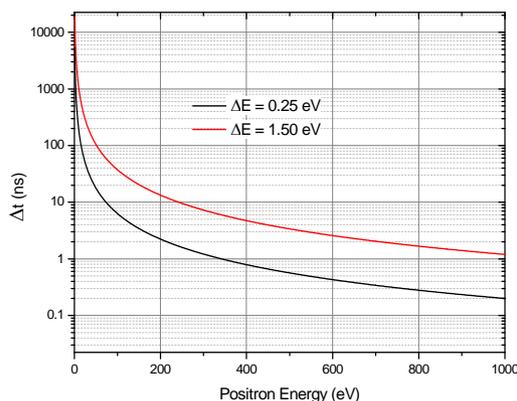


図 4 : 陽電子パルス時間幅 ( $\Delta t$ ) の輸送エネルギーとエネルギー分布の依存性。輸送距離 ( $L$ ) = 18m

陽電子パルスのエネルギー分布 ( $\Delta E$ ) と輸送エネルギー ( $E$ ) が与えられると、RFバンチャー部でのパルス時間幅の増加 ( $\Delta t$ ) は以下の式で求まる。

$$\Delta t = L \sqrt{\frac{m_e}{2e}} \frac{\Delta E}{E^{3/2}} \quad (2)$$

ここで  $m_e$  と  $e$  はそれぞれ電子の質量と電荷である。輸送エネルギー  $E$  を高くすれば  $\Delta t$  を小さく抑えることができる(図4)。 $\Delta t$  が 4 ns 以下であれば、チョッパーを用いずにRFバンチャーだけで、陽電子パルス幅を数百ピコ秒程度にまで圧縮することができ都合である。例えば図4から、 $\Delta E = 1.5 \text{ eV}$  では  $E = 400 \text{ eV}$  程度でビーム輸送すると都合がよいことがわかる。

## 5. まとめ

産総研では低速陽電子ビーム強度を高め計測時間を短縮化するために、陽電子発生専用超伝導加速器の開発を開始した。現在のリニアックより電子ビームの加速エネルギーは低くなるため陽電子発生効率も低くなるが、ビーム電流を数百マイクロアンペアまで増加することで現在並みの陽電子ビーム強度が得られることが、モンテカルロ・シミュレーションで示された。

超伝導加速器の場合、陽電子ビームラインにリニアストレージ部やチョッパーを使わずバンチャーだけを用いて陽電子寿命測定分析を行うことができると期待される。このため陽電子ビーム輸送効率が現在の約 10% から約 100% まで改善する可能性がある。

## 参考文献

- [1] T. Akahane et al., App. Phys. Lett. A **51** 146 (1990)
- [2] R. Suzuki, T. Ohdaira, and T. Mikado, Rad. Phys. Chem. **58** 603 (2000)
- [3] N. Oshima et al., App. Phys. Lett. **94** 194104 (2009)
- [4] B. E. O'Rourke et al., J. Phys. Conf. Series. **262** 012043 (2011)
- [5] E. J. Minehara, et al., Nucl. Instrum. and Meth. in Phys. Res. A, **331** 182 (1993)
- [6] B. E. O'Rourke et al., Rev. Sci. Instrum. **82** 063302 (2011)