

**PRELIMINARY INVESTIGATION ON THE TARGET SYSTEM OF A HIGH-POWER ELECTRON LINAC  
FOR POSITRON FACTORY**

Sohei OKADA and Hiromi SUNAGA

Takasaki Radiation Chemistry Research Establishment, Japan Atomic Energy Research  
Institute, Watanuki, Takasaki, Gunma-ken 370-12, Japan

**ABSTRACT**

The JAERI has been drafting a construction plan of 'Positron Factory', which aims at the production of intense energy-tunable monoenergetic positron beams with a 100kW-class high-power electron linac and the all-round utilization of the positron beams. One of the most important subjects to be investigated in this project is on the target system ( $e^-/e^+$  converter & high-energy  $e^+$ /slow  $e^+$  moderator) of the linac.

In this report are presented the results of preliminary investigations on the optimization of the electron beam energy and the target geometry, the heat removal system of the converter and the confinement of the activated air.

**ポジトロンファクトリー用高出力電子リニアックのターゲット系に関する予備的検討**

**1. はじめに**

原研では、100kW級の高出力電子リニアックを用いた高強度エネルギー可変単色陽電子ビームの発生と、その総合的利用を目指すポジトロンファクトリー計画の検討が進められている。本報告では、この計画の最も重要な検討課題の一つであるリニアックのターゲット系（電子/陽電子コンバータおよび高エネルギー陽電子/低速陽電子モデレータ）に関し、電子ビームエネルギーとターゲットジオメトリの最適化、コンバータの熱除去、および放射化空気の内じ込めについての予備的検討結果を述べる。

**2. 電子ビームエネルギーとターゲット・ジオメトリの最適化**

種々の研究機関の実験データをもとに、リニアックからTaコンバータに入射する電子ビームのエネルギー  $E$  (MeV) と、モデレータから発生する低速陽電子の発生効率  $\eta$  との関係を求めたものを図1に示す。各研究機関でモデレータのジオメトリなどに若干の違いはあるが、機械的に数式化すると、

$$\eta = 4.7 \times 10^{-10} (E/E_c)^{2.9} \quad (1)$$

となる。ここで  $E_c$  はTaの臨界エネルギー (7.8 MeV) である。この式によれば、 $E=200$  MeVの時は、 $E=100$  MeVの場合に比べて効率が7.5倍になる。これが本当だとすると、リニアックのビーム出力を一定とした場合、ビームエネルギーを高くしてビーム電流を下げた方が得策ということになる。

一方、EGS4を用いた平山<sup>1)</sup>の計算によれば、コンバータからの陽電子の発生効率は、 $E=100$  MeV~250 MeVの範

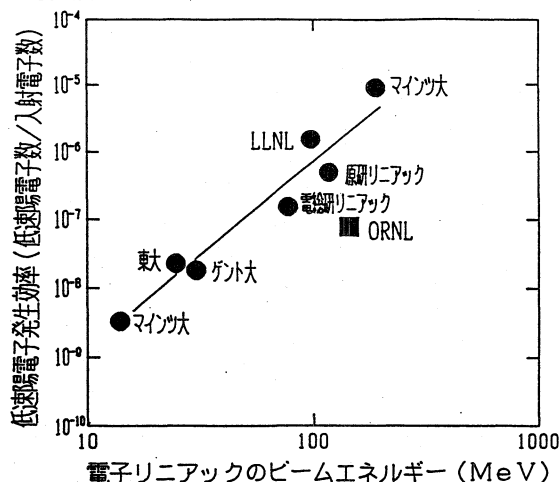


図1 電子リニアックのビームエネルギーと低速陽電子発生効率との関係。ORNLのデータは、ターゲットの方式が他とは異なるので、直線回帰からは除外。

図では大体ビーム出力に比例している（但し200MeV以上では増加の割合が減少する）。この場合、ターゲットから発生する陽電子数が、ターゲットに導かれて減速に関与する陽電子数と比例するとすれば、ターゲットの低速陽電子発生効率はターゲットのビーム出力に比例することになり、ターゲットと電流の関係をどうとるかは、ターゲットの製作のしやすさや施設の広さ、放射化の問題などに帰着することになる。

上に述べた2種類のターゲットがともに正しいとした場合、これを説明できるのは、ターゲットでの二次的な反応である。すなわち、ターゲットから発生する高速陽電子（そして電子およびガンマ線も）が、ターゲットでさらに制動放射・対生成のターゲット過程を起こすことである。実際、ターゲットとしては厚さ25μm程度のW箔を複数枚並べたものがよく使われているので、この可能性は十分にある。

ところで、厚さ25μmのW箔というのは、陽電子のターゲットとして見た場合には厚すぎる。W中での陽電子の拡散距離（熱化した陽電子が消滅するまでに拡散して進む距離）は135nm程度<sup>2)</sup>なので、たまたまW箔の表面近くで熱化した陽電子だけが再放出され、大部分はターゲット内で消滅してしまう。

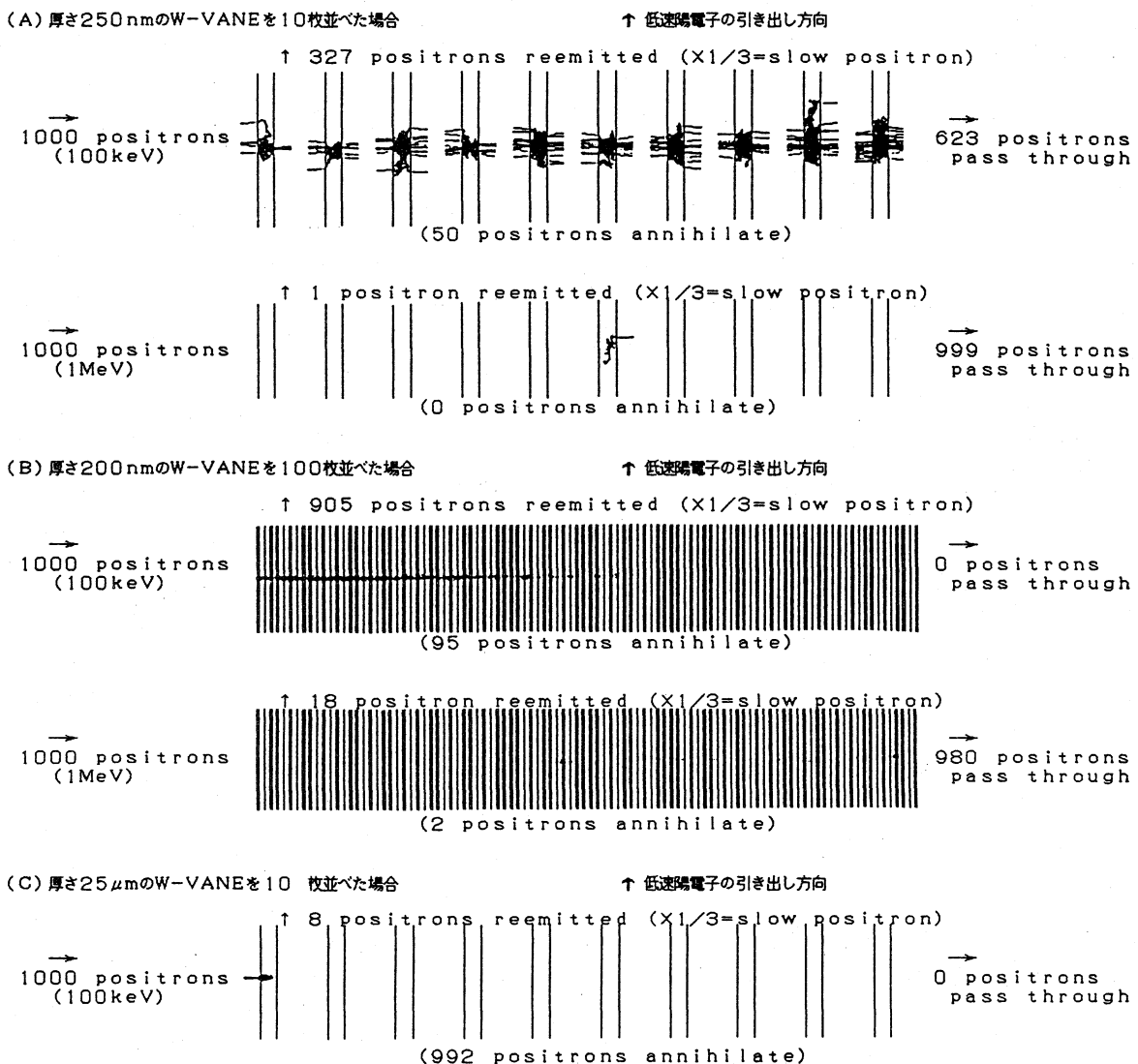


図2 VANE（羽根板）状タングステン・モデレータにおける陽電子の挙動のモンテカルロ・シミュレーション。VANEの間の間隙は、実際にはもっと大きくとるが、表示の都合上このようにした。

金沢<sup>3)</sup>は、もっと薄い箔を多数枚並べて、箔の両面から再放出される陽電子を電場で箔表面と平行の方向に引き出し、効率を向上させることを示唆している。そこで、この可能性を検討すべく、新たに開発した計算コード<sup>4)</sup>でモンテカルロシミュレーションを行った。その結果を図2に示す。箔(図中の短冊)表面にほぼ垂直に飛び出している線が再放出陽電子を表す。実際に低速陽電子として取り出せるのは、このうち約1/3で、残りはポジトリウムやポジトリウムイオンとして放出されたり、表面陽電子として表面にトラップされる。拡散距離と同オーダーの厚さの箔を用いた場合、全エネルギー箔を透過してしまわない陽電子に対して、明らかに効率は桁違いに向上することが分かった。箔と箔との間隙は、低速陽電子の引き出し電場が入り込まなければならないので、あまり縮めることはできないが(かと言って、間隙を大きくとって、かつ箔を沢山並べすぎると低速陽電子のビーム径が大きくなりすぎる)、この制限の範囲内でできるだけ多数の箔を並べれば、コンバータから放出される陽電子のうちの高速成分も有効に低速陽電子に変換することができる。

厚い箔を多数枚並べて、箔での二次的なカスケード過程による効率向上を狙うか、そのうち1枚分の厚さでもいいから、薄い箔に分割して消滅を減らし効率向上を狙うか、あるいはこれらをうまく組み合わせるか、更に詳細に検討してコンバータの最適ビームエネルギーを決める必要がある。

### 3. コンバータの熱除去

100kW級のコンバータの場合、ターゲットの熱除去が大きな問題となる。我々は、 $e^-/e^+$ コンバータの一案として、図3に示すようなガス冷却式回転型多重層ターゲットの採用を検討している。この方式では、コンバータとして厚さ0.2mm程度のTa円板を一定の空隙をあけて積層にし、これを回転させる。冷媒としては、熱除去能の面で水が最も優れていることは言うまでもないが、ここではヘリウムガスを用いることを考えている。

この方式の特徴としては、  
 a)コンバータが一定の空隙を有する多重層となっているため冷却を行い易い、  
 b)ガス冷却のため電子線のエネルギーの大部分はTaに吸収されることによりX線の発生量は多く、従って陽電子の発生量も多くなることが期待できる、  
 c)ヘリウムガスの使用により、水冷却の場合問題となっている酸化腐食が避けられる、  
 d)放射化の問題が少ない、  
 などが挙げられる。

電子エネルギーが100MeV程度の場合、Taコンバータの最適厚さは10mm前後<sup>1,5)</sup>なので、Ta円板は0.2mm厚×50枚とし、各円板の空隙は1.8mmとした。但し、空隙を大きくとりすぎるとコンバータ全体の厚さが大きくなりすぎ、発生する陽電子ビームの広がりが大きくなってしまいうので、これらのデimeンジョンについて

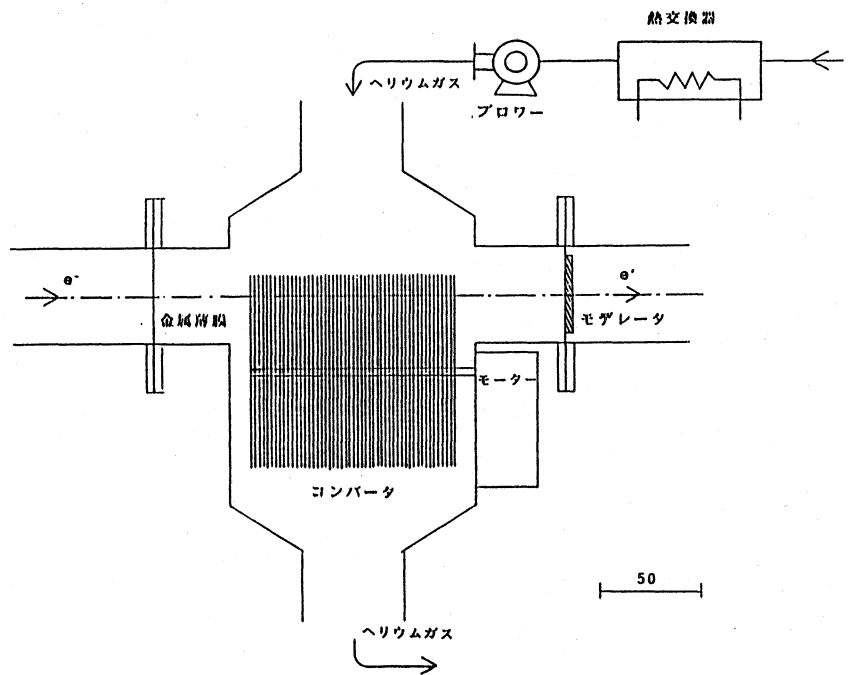


図3 ガス冷却式回転型多重層コンバータの概念図

は今後さらに検討が必要である。このターゲット全体のエネルギー吸収量は約25kWと見積もられる。リウムが循環するものとし、液体窒素を用いた熱交換器により冷却を行い、パイプによりターゲットに導くことを考えている。

今後、この方式について、実験により特性を明らかにしていく予定である。

#### 4. 放射化空気の閉じ込め

100kWの電子リニアックをフルパワーで運転した場合、ターゲットまわりの空気の放射化は相当なものになる。最も多く発生する $N^{13}$ を考えると、200 $m^3$ 程度の照射室で照射中に0.1回/hの換気を行うとすると、排気中の許容濃度を十分に希釈するためには、 $8.5 \times 10^6 m^3/h$ 程度の新鮮空気が必要となる。これは非現実的なので、照射中は換気を止めて、冷却後換気を開始することになる。しかし、照射室に気密扉を用いても、貫通パイプ等を通しての換気エア（照射中も換気を行う）への漏れは妨げられない。そこで我々は、図4に示すような局所遮蔽付き気密室でターゲット周辺を囲い込み、高濃度の放射化空気はここに閉じ込めるとともに、気密室外の照射室内空気の放射化を1/100程度に低減することを考えている。これにより、照射室まわりの遮蔽の負荷も軽くなることが同時に期待できる。

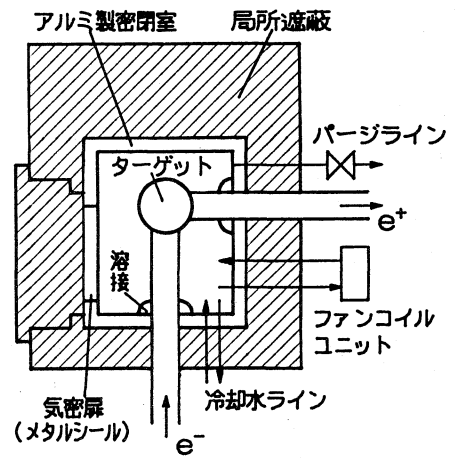


図4 ターゲット周辺局所遮蔽付き密閉室の構造

今、密閉室(C)、照射室(R)、周辺換気エア(A)の定常放射能をそれぞれ $A_c, A_r, A_a$  (Bq)、CおよびRでの放射能生成速度をそれぞれ $\alpha_c, \alpha_r (= \alpha_c/100)$  (Bq/h)、 $N^{13}$ の崩壊定数を $\lambda$  (1/h)、Aの換気回数を $X_a$  (回/h)、CからRおよびRからAへの漏れをそれぞれ $Y_c, Y_r$  (回/h)、C、R、Aの容積をそれぞれ $V_c (=1), V_r (=200), V_a (=1000)$  ( $m^3$ )とすれば、

$$\begin{aligned}
 A_c &= D1/D, \quad A_r = D2/D, \quad A_a = D3/D; \\
 D &= \mu \nu \xi - SQ\mu - UP\xi, \quad D1 = \alpha_c(\nu \xi - SQ) + \alpha_r U \xi, \quad D2 = \alpha_r \mu \xi + \alpha_c P \xi, \\
 D3 &= \alpha_r Q \mu + \alpha_c P Q, \quad P = Y_c, \quad Q = Y_r, \quad U = (V_c/V_r)Y_c, \quad S = (V_r/V_a)Y_r, \\
 \mu &= \lambda + Y_c, \quad \nu = \lambda + Y_r + (V_c/V_r)Y_c, \quad \xi = \lambda + X_a + (V_r/V_a)Y_r
 \end{aligned} \tag{2}$$

となる。この式を用いて、周辺エアの換気回数を0.5回/h、照射室から周辺エアへの漏れを1%回/h、ターゲット補正からの漏れなども勘案して密閉室から照射室への漏れを、安全を見て0.1%回/hとすれば、10,000 $m^3/h$ の新鮮空気の混合で、排気中濃度を許容濃度の1/10以下に抑えることができることが分かる。

#### 5. おわりに

ホジトロフアクトリーに関しては、放射線高度利用研究委員会・ホジトロフアクトリー研究計画専門部会のワーキンググループを中心に、以上述べた検討課題をはじめとして、種々の具体的検討が進められている。ここに、これらのメンバーの方々に感謝の意を表します。

#### 文献

- 1) 平山英夫, 私信
- 2) A. Vehanen et. al., Appl. Phys. A32, 163(1983)
- 3) 金沢育三, 私信
- 4) 岡田漱平, 未発表
- 5) R. H. Howell et. al., Appl. Phys. Lett. 40, 751(1982)