

20-P23

INVESTIGATION ON THE POSITRON FACTORY PROJECT AT JAERI (VII)
 - Analysis and Performance Test of the New Target System -

Hiromi SUNAGA, Sohei OKADA, Hirohisa KANEKO,
 Haruki TAKIZAWA and Keiichi YOTSUMOTO

Takasaki Establishment, Japan Atomic Energy Research Institute
 1233 Watanuki-cho, Takasaki-shi, Gunma-ken, 370-12 Japan

ABSTRACT

JAERI Takasaki has been promoting design studies for the Positron Factory, which aims at production of linac-based intense monoenergetic positron beams of 10^{10} s^{-1} in intensity. We have proposed a new target system which consists of a "self-driven rotating converter" and "multi-channel moderator assemblies" to supply multiple slow positron beams simultaneously. In this report, results of a performance test and a detailed thermal analysis of the converter are described. Contribution of energetic photons to slow positron generation in the moderator assemblies is also demonstrated, compared with that of energetic positrons.

原研におけるポジトロンファクトリー計画の検討 (VII)
 - 新しいターゲットシステムの解析と動作試験 -

1. はじめに

日本原子力研究所高崎研究所では高強度 ($10^{10} \text{ e}^+/\text{sec}$ 以上) のエネルギー可変単色陽電子ビーム発生装置を有し、材料の高度分析技術の開発など、陽電子の特徴を利用した研究を総合的に行うための施設、"ポジトロンファクトリー"を設置する計画を進めている。

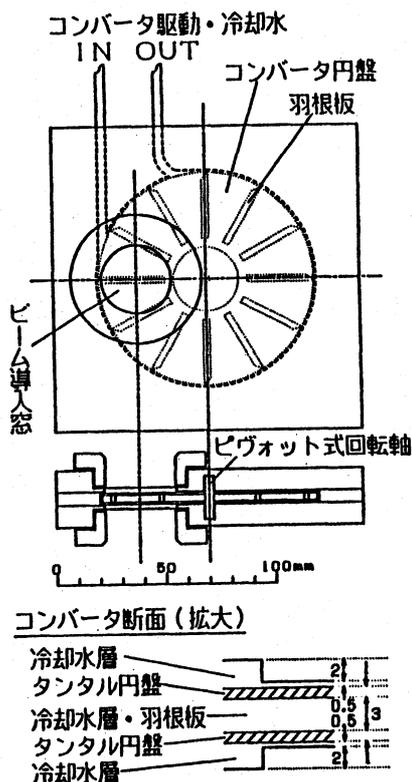
高強度の陽電子発生方法として 100 MeV、100 kW 級の電子リニアックを用いた制動放射と対生成のカスケード過程による方法が最適と考え、今までに電子リニアック本体についての概念設計やターゲットシステム、すなわちコンバータ、モデレータについての検討を進めてきた¹⁾。

今回は前回に引き続き、このターゲットシステムについて実験及び計算により検討を進めた結果について報告する。

2. ターゲットシステム

ターゲットシステムのうち高エネルギー陽電子を発生するコンバータの材質としてタンタルを選ぶと、電子エネルギー 100 MeV の場合の最適厚さは約 8.2mm である。今回は、100 MeV、100 kW の電子ビームをこの厚さのタンタルにそのまま照射すると融解のおそれあることを示し、合計でこの厚さになるように 1 mm 厚程度の円板のタンタルを一定間隔で

配置して、これを冷却水自体の運動エネルギーで回転させる"自走式"回転コンバータを提案した。また、このように分割したコンバータに、100 MeV、100 kW の電子ビームを入



[図1. 水冷・自走式回転コンバータ模型]

射した場合、1 mm厚の円板個々に付与される熱量の最大値は 5.1 kW であることを示し、円板1枚分をとりだした図1に示すような模型を試作して、発熱量にして 1/10 規模の、3 MeV 電子線照射による熱負荷試験を行った結果を報告した。

今回は、この模型の長時間にわたる連続自走試験の結果と、流水中での回転という実使用条件を想定した熱解析の結果を報告する。

低速陽電子を生成するモデレータについては、これまで、低エネルギー陽電子の挙動を追跡するモンテカルロコードSPG²⁾を開発し、既存のコードEGS4³⁾でコンバータからの高エネルギー陽電子放出量を別途計算した結果とあわせて、低速陽電子収量を評価してきた。また、計算結果に基づき、同時に複数のチャンネルから低速陽電子ビームを取り出す方式を提案してきた²⁾。

その後、上記2つのコードを結合し、制動放射や対生成から、陽電子の熱化、拡散、消滅、低速陽電子放出までを一貫して扱える計算システムEGS4-SPG⁴⁾を開発したので、本報ではさらに評価を進めた結果について報告する。

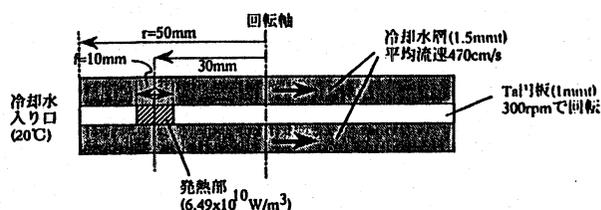
3. 自走式回転コンバータの連続動作試験

ポジトロンファクトリーとして稼働するには陽電子の安定な供給を維持することが基本であり、コンバータについても加熱による故障等を生じることなく常に正常な状態で動作することが必要不可欠である。そこで、上記自走式回転コンバータ模型の回転動作の状況を長期間にわたり観察した。動作条件は前報で述べたのと同様で、冷却水は原研構内の水道水を 9 kg/cm² に加圧して供給し、模型を流れる流量は 59 ml/s (470cm/s)であった。タンタル板の回転の様子は電子線入射部分を塩ビ製透明窓に置き換えて、目視及び光回転計により観察した。タンタル板は約 300 rpm で回転を続けたが、約3ヶ月を経過した時点で回転数の低下及び速度の不安定化が発生し、ついには停止してしまうようになった。原因を調べた結果、冷却水中に含まれる微量のごみが、長時間運転を続けるうちに回転軸付近に付着した結果と判明した。そこで装置を分解して清掃を行うとまた正常の動作を行うことを確認した。また、冷却水自体を潤滑剤としているピヴォット式回転軸及び軸受けには有意な磨耗は見られなかった。以上の結果、実使用条件における冷却水はストレーナ

を通して純水を循環して用いることになるので、今回の自走停止を生じた原因は除去され基本的には長期間連続動作が可能となるという見通しが得られた。

4. 回転コンバータの熱解析

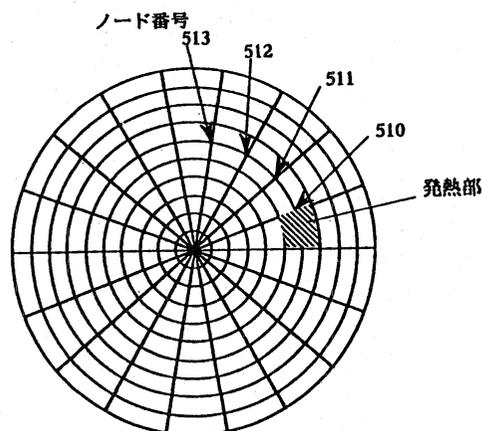
計算条件は図2に断面図を示すように直径100 mm、厚さ1 mmのタンタル円板の両面を厚さ1.5 mm、入り口水温20℃の冷却水が平均流速470 cm/sで流れ、円板は300rpmで回転しているものとした。熱負荷は、回転軸から30 mmの位置に10 mmφのスポット状に与えられるものとした。発熱量は5.1kWとし



〔図2. コンバータの熱解析のための計算条件〕

た。以上の条件は、厚さ 8.2 mm のタンタルを 1 mm² の円板 8 枚と 0.1 mm² の円板 2 枚に分割し、間に厚さ 3 mm の層の冷却水を流した実使用状態のコンバータに 100 MeV、1 mA (100kW) の電子ビームが入射した場合に、発熱が最大になる円板の状況を仮定したものである。熱解析コードとして、有限要素法による汎用熱流体解析プログラムを用いた。

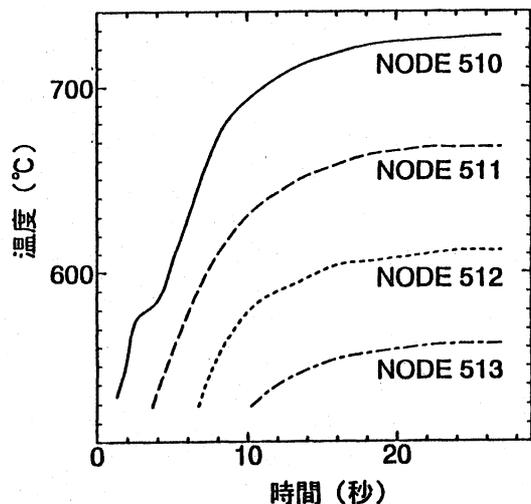
計算ではコンバータ面を図3に示すように



〔図3. コンバータ面の計算上の分割〕

メッシュ状に分割した。計算の結果を図4に示す。ここでは図3で示した区分点の510から513についての温度変化を時間の関数とし

で示す。この結果より、どの点の温度も20～30秒程度で定常状態になることがわかり、また、当然発熱部に近いほど定常状態に達した場合の温度は高いが、タンタルの融点(2996℃)に比べて十分に低いことがわかる。なお、この場合、核沸騰が起こる可能性があり、その状態では熱伝達の効率が良くなるため、ここに示した値より低い値となることが予想される。



〔図4. コンバータの各点の温度変化計算結果〕

5. モデレータアセンブリーからの低速陽電子収率に対する高エネルギー陽電子と光子の寄与の比較

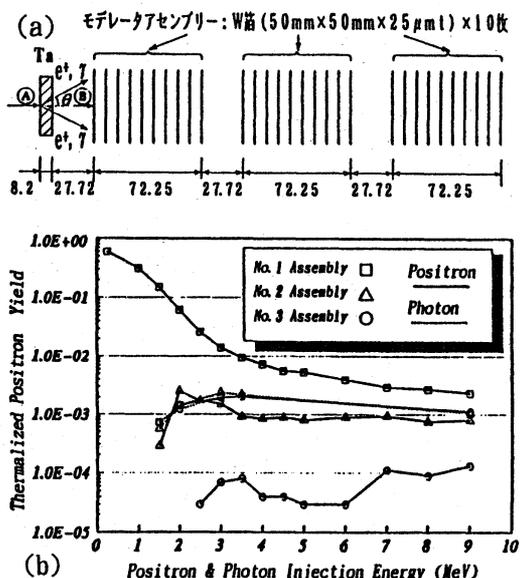
モデレータアセンブリーでの低速陽電子生成に関しては、コンバータで発生した高エネルギー陽電子の熱化、再放出によるものの他に、コンバータで発生した光子のモデレータアセンブリ透過中の電磁カスケード過程により発生する陽電子の寄与も考慮すべきである。そこで、前述したEGS4-SPGを用い、検討を進めた。

図5(a)のような構成のモデレータについての計算結果の一例を同図(b)に示す。ここでは9MeVまでのエネルギーの陽電子及び光子が第1モデレータアセンブリー(コンバータに近い方のアセンブリー)から $\theta=0$ で入射した場合の各アセンブリーにおける熱化陽電子収率(熱化陽電子数/入射粒子数)を計算した(25 μ m厚のタングステンの場合、熱化陽電子のうち約0.5%が低速陽電子として放出される)。その結果、高エネルギー陽電子によるものについてはモデレータアセンブリーが後段になるにしたがって桁違いに

減少していくことがわかる。これは、熱化する確率の高い比較的エネルギーの低い陽電子が第1アセンブリーで使われてしまうのと、散乱によりビームが拡がるためと考えられる。

一方、光子は透過力及び直進性が高いのでモデレータ箔中での対生成と陽電子の減速によって得られる熱化陽電子収率はどのアセンブリーにおいてもほぼ同じよう値となっている。

両者による寄与の比較を行うにはタンタルコンバータからモデレータアセンブリーに入射する高エネルギー陽電子及び光子の粒子数や角度分布を求めて計算する必要があり、目下進行中であるが、光子による寄与が後段のアセンブリーでは有効になる可能性がある。



〔図5. モデレータの構成(a)および9MeVまでの陽電子および光子が $\theta=0$ で第1モデレータアセンブリーに入射した場合の各アセンブリーの熱化陽電子収率のEGS4-SPGによる計算結果(b)〕

参考文献

- 岡田 他：第15回～第18回リニアック技術研究会
- S.Okada and H.Sunaga: Nucl. Instr. Meth. B56/57, 604 (1991)
- W.R.Nelson, H.Hirayama and D.W.O. Rogers: "The EGS4 code system", SLAC report-265(1985)
- 岡田漱平、金子広久：第30回理工学における同位元素研究発表会要旨集(東京、1993年7月) p.99