

INVESTIGATION ON THE POSITRON FACTORY PROJECT AT JAERI (VI)

- A Pilot Study of the Self-Driven Rotary Converter for High-Power Beams -

Sohei OKADA, Hiromi SUNAGA, Hirohisa KANEKO, Haruki TAKIZAWA and Keiichi YOTSUMOTO
Takasaki Establishment, JAERI, Japan Atomic Energy Research Institute
1233 Watanuki, Takasaki-shi, Gunma-ken, 370-12

ABSTRACT

We performed computer simulations on the target system (converter and moderator) to produce intense slow positron beams ($>10^{10}/\text{sec}$) by an electron bombardment of 100 to 150 MeV, 100 kW. We concluded from the result that the usual converter would melt down. To avoid this, it is essential to adopt techniques to divide and rotate the converter. Under the strong radiation field, however, there will be limitations to the utilization of a motor and a rotating penetration, due to their degradation. We devised the self-driven rotary converter which rotates by the kinetic energy of the coolant without any penetrations. The feasibility study using a pilot device is demonstrated in this paper.

原研におけるポジトロンファクトリー計画の検討 (VI) - 高出力ビーム用自走式回転コンバータの試作 -

1. はじめに

日本原子力研究所(原研)高崎研究所では、高強度(10^{10} 個/秒以上)のエネルギー可変単色陽電子ビームを発生させ、高度な材料キャラクタリゼーションや基礎物理学・化学・生物学への応用を目指すポジトロンファクトリー計画が検討されている。発生源として電子リニアックを用いる場合、電磁カスケードモンテカルロコードEGS4 [1]等を使って検討した結果、ビームエネルギー100~150MeV, 出力100kW級のものが適しているという結論を得て、そのようなマシンの製作可能性の確認, 計算機制御方式の検討や各構成機器の信頼性評価などを含む概念設計を行ってきた。

あわせてターゲット系(電子/陽電子コンバータおよび陽電子モデレータ)の最適設計を進め、複数のモデレータアセンブリーの配列による多チャンネル単色陽電子ビーム同時取り出し方式[2]などを提案してきた。しかし、このような計画実現のためには、上に述べたような高出力ビームに耐え得るコンバータの開発が必要不可欠である。そこで、コンバータ熱除去方式の検討に着手した。本稿では、予備研究の段階であるが、新しい方式のコンバータモデルの試作等を行ったので報告する。

2. コンバータの発熱量の評価と熱解析

ビームエネルギー100MeV, 平均ビーム電流1mAの電子ビームが、厚さ8.2mmのタンタル製コンバータに入射した場合の発熱量分布をEGS4を用いて評価した

結果を図1に示す。この厚さは、やはりEGS4で計算して求めた陽電子発生のための最適値である。全発熱量は約38kWであった。

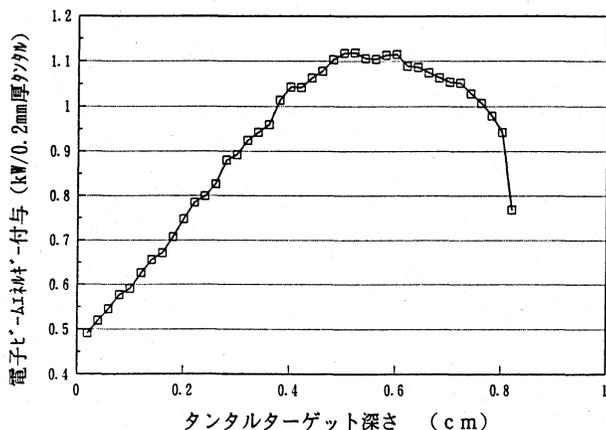


図1 100MeV, 1mA (100kW) の電子ビームがタンタル製コンバータ(厚さ8.2mm:陽電子生成のための最適厚さ)に入射した場合の発熱量分布(EGS4による計算結果)。

この発熱量分布をもとに、コンバータが20°Cの静止冷媒中にあるものとして(コンバータ表面温度を20°Cに固定して)、①ピーク電流667mA, 幅2μsの電子ビームパルスが1個だけ入射した場合、②同じパルスが750ppsの頻度で連続して入射した場合(平均電流1mA)、③1mAの連続ビームが入射した場合、の3通りについて有限要素法による熱解析を行った。発熱はコンバータ断面10mmφの領域に集中しているものとして計算し

た。発熱が最も激しい部分（タンタル内部深さ約6mmの部分）の温度の時間変化に対する計算結果を図2に示す。

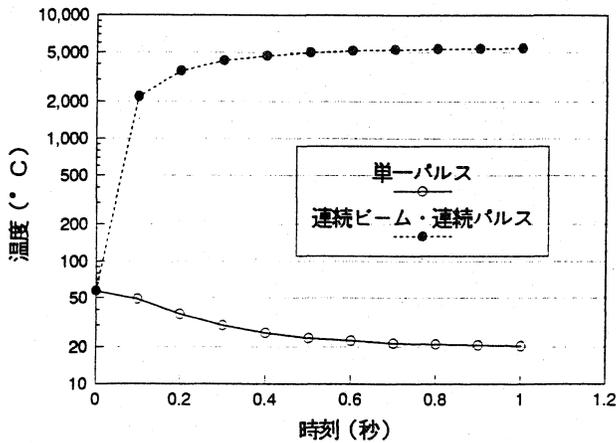


図2 100MeV, 1mA (100kW) の電子ビームがタンタル製コンバータ (厚さ8.2mm) に入射した場合のコンバータ内部の最大温度上昇 (図1の発熱量分布をもとにした有限要素法による計算結果)。ピーク電流667mA, 幅2 μ sのビームパルスが750ppsの頻度で連続して入射した場合 (平均1mA) は鋸の歯状の温度上昇曲線となるが数値的には1mAの連続ビーム入射と同じになる。単一パルスの場合もあわせて示した。コンバータは20°Cの冷媒中にあるものとし、発熱は断面10mm ϕ の領域に集中しているものとして計算した。

ピーク電流667mA, 幅2 μ sのビームパルスが750ppsの頻度で連続して入射した場合 (平均1mA) は、鋸の歯状の温度上昇曲線を描くが、数値的には1mAの連続ビーム入射と同じになった。単一パルスの場合、コンバータの温度上昇は僅かであり、数百ms経過後は熱伝導による熱拡散が顕著になる。しかし、当然予想された結果ではあるが、連続パルスおよび連続ビームが一箇所に入射し続けた場合、コンバータは局部的に融解してしまう。

3. 自走式回転コンバータの試作と熱除去試験

上の結果から明らかなように、100MeV, 100kW級の高出力ビームに対しては、コンバータを数層に分割し、かつ回転させるなどの方策が必要になる。

コンバータを分割し、間に冷媒層を入れると、全体として厚さが大きくなり、結果としてビームの発散が増大して陽電子収率の低下を招く。従って、分割のしかたについては、陽電子発生効率、冷媒挙動と熱除去能、工作上的限界などを考慮して最適化を図る必要がある。詳細な検討は今後の課題として、ここでは、後述する回転機構を考えても工作上無理がないと思われ

る図3のような構成 (8mm厚タンタルを8層に分割し、間に3mm厚冷却水層を入れ、ビーム入射部と出射部はそれぞれ50 μ m厚タンタル窓と2.5mm厚冷却水層とする) に対してEGS4を用いたビーム挙動およびエネルギー付与の計算を行った (図3)。

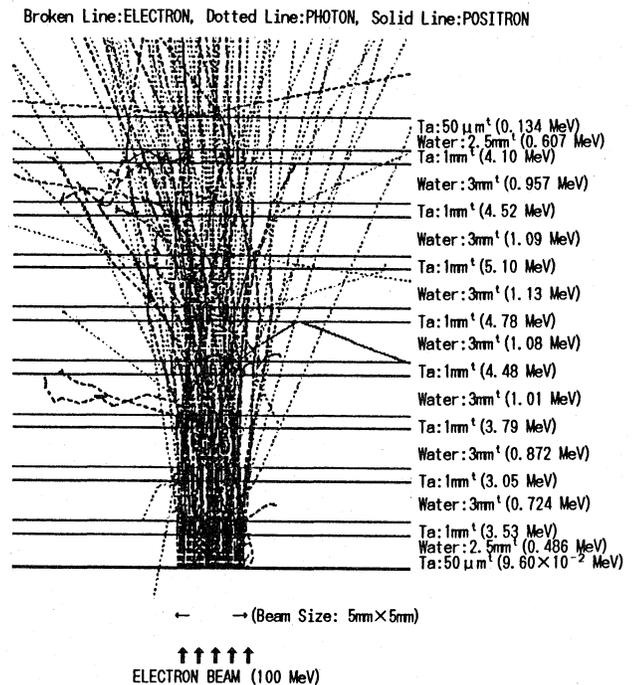


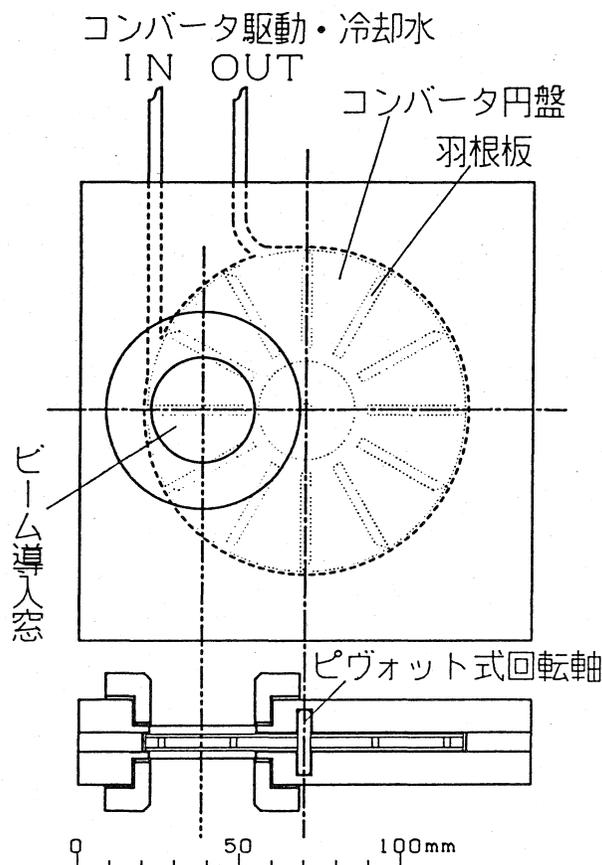
図3 厚さ約8mmのタンタルを分割し、間に冷却水層を入れたコンバータアセンブリーに、100MeVの電子ビーム (ビームサイズ5mm \times 5mm) が入射した場合のビーム挙動および各層へのエネルギー付与 (EGS4による計算の一例)。()内の数値が各層に付与されるエネルギー。100ヒストリーのみを抜き出して描出した。上方に陽電子の発生が見える。

ビームの発散は予想していたほど大きくはなかった。1mm厚タンタル各層には3.5 \sim 5MeVのエネルギーが付与される、すなわち1mAビーム入射の場合、3.5 \sim 5kWの発熱があることがわかった。従って、熱除去の問題は1mm厚さ程度のコンバータ片に発生する5kW程度の熱をいかにして取り除くかという問題に帰着する。

次に回転機構について検討を行った。100MeV, 100kWの電子ビームが厚いタンタルに入射した場合、1m離れた場所での放射線場をおおざっぱに見積ると、ビーム0°方向で10⁸R/h, 90°方向で10⁶R/hとなる。このような強い放射線場では、潤滑材や絶縁材が甚だしく劣化するため、モーターや回転貫通部分の使用は制約される。

そこで、水道のメーターにヒントを得て、図4に示すような、ピヴォット式回転軸・軸受けを持ち、冷媒の運動エネルギーで回転する水車型の自走式回転コ

ンバータを考案し、模型を試作した。



コンバータ断面 (拡大)

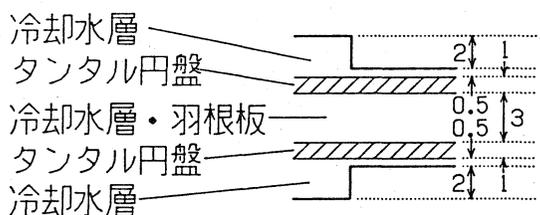


図4 自走式回転コンバータ熱除去試験のための模型。

模型の構成は、図3の構成を部分的に模擬できるように、1mm厚タンタル円盤2枚を3mm離し、間に羽根板12枚を入れて、ここに内径4mmのノズルから、冷却水を噴入するようにした。ただし、ビーム窓には50 μ m厚チタンを用いた。

このような構成においては、熱除去の問題以前に、本当にコンバータ円盤が回転するのか、最も狭いところで厚さが0.5mmしかない境界層に冷却水が回り込むのかということが問題となる。そこでチタン窓のかわ

りに塩ビ製透明窓をつけて観察を行った。

タンタルは重いので通常の水道水の圧力では回転しなかったが、元圧を5kg/cm²まで上げると十分な回転能が得られた。コンバータ駆動・冷却水の流速は59 cc/s (470cm/s) であった。また、冷却水は厚さ0.5mmの層にも支障なく回り込んでいることが確認された。

熱除去試験には、原研高崎の2号電子加速器の電子ビーム (最大3MeV, 25mA) を用いた。ただし、最大ビーム電流25mAというのは、ビームをスキャンして広い照射野に照射する場合の値である。本実験では、このスキャンビームに対して20mm×20mmのスリットをもうけ、模型のビーム入射窓以外にはビームが当たらないようにしたため、最大ビーム電流は215 μ Aであった。

図5に、以上の状況をEGS4によって模擬した計算結果を示す。ビームエネルギーの大半はビーム入射側の1枚目の1mm厚タンタル円盤に集中し、3MeVのうち約2MeVのエネルギーが付与される。すなわち最大ビーム電流215 μ Aの場合は約0.4kWの発熱が見込まれる。従って、図3の100MeV, 100kWビームの場合に対して、本熱除去試験は大体1/10規模の模型実験となっていることがわかる。

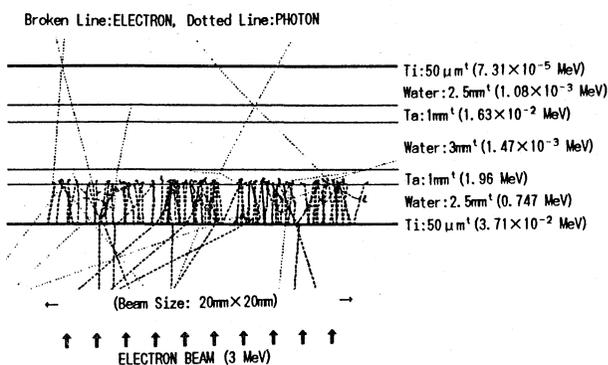


図5 自走式回転コンバータ熱除去試験のための模型 (図4) のチタン製ビーム窓から3MeVの電子ビーム (ビームサイズ20mm×20mm) を入射した場合のビーム挙動およびコンバータ円盤層、冷却水層等へのエネルギー付与 (EGS4による計算結果)。()内の数値が各層に付与されるエネルギー。100ヒストリーのみを抜き出して描出した。

図6に熱除去試験の結果を示す。まだ予備実験段階であり、現在のところ測定できるのは冷却水入口・出口温度のみであるが、これを見る限りでは、安定した熱除去能力のあることがわかる。入口・出口の温度変化は4℃以下であった。EGS4による発熱量評価をもとに熱収支計算を行った結果よりも実際の温度変化

は若干高めになる傾向があるが、理由は現在のところ不明である。

今後、タンタル自身の温度測定が行えるよう、また入射ビーム電流を大きくとれるよう（他の加速器を利用する可能性も含めて）工夫を行い、実験の精度を高めていく予定である。

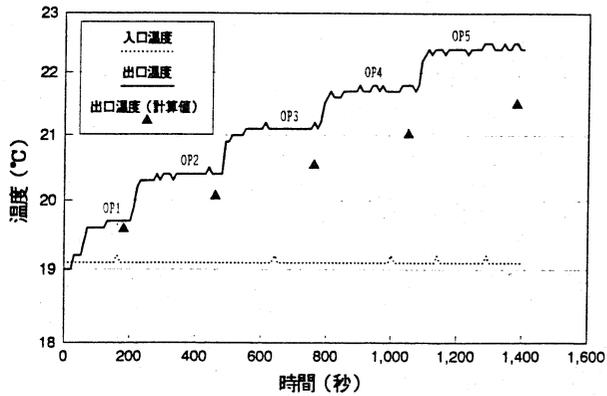


図6 自走式回転コンバータ模型による電子ビーム熱除去予備試験結果。入射ビームエネルギー3MeV、ビームサイズ20mm×20mm。ビーム電流は、

OP1: 43 μ A, OP2: 86 μ A, OP3: 129 μ A,
OP4: 172 μ A, OP5: 215 μ A.

参考文献

- [1]W.R.Nelson, H.Hirayama and D.W.O.Rogers: SLAC-263(1985)
- [2]S.Okada and H.Sunaga: Nucl. Instr. Meth. B56/57, 604(1991)