

低出力長寿命小型電源として応用する直接充電型β電池の出力解析

Electrical power analysis of direct charge β batteries for low power, long life, and small power source.

*笠井 宏哲¹, 竹澤 宏樹¹

¹ 東京都市大学大学院共同原子力専攻

本研究の目的は、放射線電池の一種である直接充電型β電池の性能解析を行い、マイクロ RTG と性能を比較することにより、直接充電β電池 の有用性を定義することである。

キーワード：放射線電池、高電圧低電流

1. 緒言

本研究では放射線電池の一つである直接充電型β電池に着目した。直接充電型β電池は図1のような電位差のある二枚の電極で構成されている。線源は正極側に薄く塗布されている。線源から発生した電子が負極を帯電させると極板間に電場が生じる。この電場の中をβ線が負極に到達した場合、粒子の運動エネルギーが静電エネルギーに変換される。直接充電型β電池は、β粒子を半導体に照射して発電するβ電池と比較して長い寿命が期待されている。本研究ではμWオーダーにおける直接充電型β電池とRTGの利点を考察することを目的としている。今回は直接充電型β電池とRTGの性能評価手法についての検討を行った。

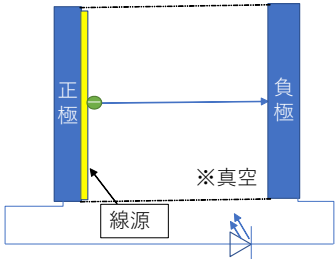


図1 直接充電型β電池の概念図

2. 直接充電型β電池の変換効率

粒子・重イオン輸送計算コードPHITSを用いて、直接充電型β電池の線源内で発生したβ線の正極への輸送計算を行った。極板材料や間隔は先行研究1を参考にした。また、その結果と式(1)を利用し変換効率を求めた。表1に計算条件を示す。

表1 直接充電型β電池の変換効率を求める計算条件

極板間電圧／距離	0・15kV／1.1cm
極板材料／厚み	アルミ／0.5mm
線源／厚み	T／300nm
計算コード	PHITS3.12
maxbch /maxcas	5000/20
境界条件	周期境界条件

変換効率 =
$$\frac{(\text{極板間の電圧} \times \beta \text{線の電荷} \times \text{正極に到達率した} \beta \text{線の数})}{\sum_{i=1}^{\text{発生した全} \beta \text{線の数}} \text{投射時の} \beta \text{線のエネルギー}_i} \quad (1)$$

3. RTGの変換効率

汎用熱流体解析ソフトFemtetを用いてRTG内の熱源ユニットの最高温度を計算し、その値と式(2)を用いて、最大変換効率ηを求める。先行研究²で40mWeのRTGの熱源として使われている1W-RHU(宇宙用RTGに使用されているPuO2を熱源とする熱出力1Wの装置)を例として計算対象に決定し、1W-RHUが室温25℃の空間に浮かんでいる状態を模擬し温度を求めた。熱源がその温度の時、発生した熱がすべて熱電対に流入し最大変換効率で電気に変換されると仮定して出力を求めた。このとき使用した計算条件を表2に示す。

表2 RHUの温度を求める計算条件

熱源/体積	PuO2/0.32cm ³
RHUの体積(1W)	17cm ³
Z T	1.2
表面の輻射率	0.1

$$\eta = \frac{(RHU \text{ 温度} - \text{室温})}{RHU \text{ 温度}} \cdot \frac{\sqrt{1 + ZT} - 1}{\sqrt{1 + ZT} + \frac{\text{室温}}{RHU \text{ 温度}}} \quad (2)$$

4. 結果・考察

直接充電型β電池の最大変換効率は10%であり、この値は先行研究の結果とほぼ同じ値であった。RTGの出力の計算結果は80mWeだった。この値は先行研究の2倍の結果であり、その原因として熱電対以外への熱の流入を無視したことが考えられる。また、RTGの出力密度・比出力は、μWレベルにおいては、直接充電型β電池よりも最大で2桁程度高い結果が得られた。この圧倒的な性能は、RTG性能計算条件が理想的であることに起因している。

今後はワイヤレスセンサーネットワークなど利用先を想定したうえで電池の構成として考慮すべき要素を決定し、現実的な計算条件を用いてRTGと直接充電型β電池の出力性能の大小関係が逆転する可能性を見極める。

参考文献

[1] G. Yakubova, “Nuclear Batteries with Tritium and Promethium-147 Radioactive Sources,” Dissertation, University of Illinois at Urbana-Champaign, 2010.
[2] Bass, J; Hiller, N; Jovanovic, V; Elsner, N: "MultiMission Capable, High g Load m W RPS: Final Report", HZ-Z Report No. 6100, May 2007

*Hiroaki Kasai¹ and Hiroki Takezawa¹

¹Tokyo City Univ.