

核エネルギーから電気への直接変換に関わる基礎研究
(1) 核分裂電池炉の臨界特性

Fundamental study of direct nuclear energy conversion to electricity

(1) Criticality characteristics of fission electric cell reactor

*竹澤 宏樹¹

¹ 東京都市大学 工学部 原子力安全工学科

核分裂電池炉は、タービン・発電機を使用せずに核エネルギーから電気へ直接変換する技術である。本研究は、先行研究を踏まえて低濃縮ウランを用いた核分裂電池炉の臨界特性を検討し、燃料装荷量の増加策、小型化対策、変換効率改善策などが必要であることを明らかにした。

キーワード：核エネルギー直接変換、核電直接変換、核分裂電池、小型炉、直流高電圧、直流送電

1. 緒言

軽水炉の新規建設は、建設遅延、投資回収リスクの大きさなどを理由として停滞している。このため、これらの課題を解決しうる小型炉の開発が求められている。本研究では、核エネルギーから電気へ直接変換する核分裂電池炉に着目する。直接変換の原理は、核分裂片（平均電荷約 $+20e$ ）が有する運動エネルギー（平均 80 MeV）から静電ポテンシャルへの変換（図 1）に基づいており、誘導起電力に基づく MHD 発電とは異なる。本原理は 1960 年代に実証されており¹、得られる直流電圧は最大数 MV オーダーである。応用として宇宙用推進源、直流送電などが想定されている。変換効率 η_c はカルノー効率に制限されない。従って、通常の原子炉よりも高い変換効率を達成し得るが、コーティング型燃料の使用、2 次電子の発生などが原因となり、実験的に報告されている効率は約 10% である。その他、核分裂電池炉は（1）低温設計が可能、（2）一部の核分裂生成物を燃料から分離しながら運転するため、変換効率が従来の原子炉と同等であれば再処理の負担を軽減し得る、などの特徴を持つ。先行研究による核分裂電池炉の概念設計では、20 MWe、 η_c : 13 %、燃料寿命 2 年の性能を達成するために、高濃縮 UO_2 燃料と巨大な円柱状炉心（直径・高さともに約 15 m、反射体なし）が必要となる課題が示された。そこで本研究では、同炉心を参照炉心として、低濃縮化した場合の臨界特性を明らかにすることを目的とした。

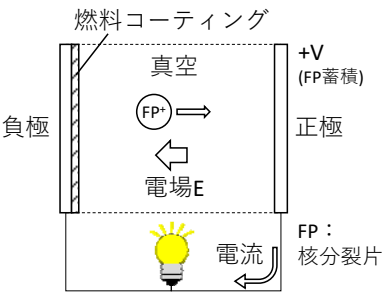


図 1：直接変換原理

2. 方法

核分裂電池の仕様を表 1 に示す。電池は正負両極からなる二重円環形状である。電極半径比（ R_c/R_a 、 c : 負極、 a : 正極）は、絶縁耐力 2 MV/cm を想定し、変換効率の観点から最適化されている。表 1 の核分裂電池を六角格子状に配列し、直径・高さともに約 15 m の裸炉心を組んだ。負極の内側と電池間には重水が満たされている。臨界・燃焼解析には連続エネルギー中性子輸送モンテカルロ計算コード MVP2.0・MVP-BURN と、核データライブラリー JENDL-4.0 を使用した。

表 1：核分裂電池の仕様

	先行研究	本研究
燃料	56% UO_2	20%金属U
燃料厚み	1 μ m	0.7 μ m
減速材（冷却材）	重水	←
電極半径比(R_c/R_a)	0.25(1/4)	0.4(0.68/1.7)
変換効率	13 %	12 %

3. 結果・考察・結言

低濃縮ウランを用いた場合でも、先行研究と同様に臨界炉心を設計できることを確認した。一方、参照炉心と同出力（20 MWe）に対する燃料寿命は、燃料装荷量と変換効率の低下を反映して約 6 割に短縮される。このため、燃料装荷量の増加策及び炉心の小型化対策（例：多重燃料コーティング型核分裂電池、反射体設置、低漏洩設計）、変換効率改善策（例：ヘテロ燃料コーティング型核分裂電池、エアロゾル燃料などの使用）を講じる必要がある。これらと合わせて、今後は熱設計・プラントシステム概念設計を進める。

参考文献

[1] W. F. Krieve, JPL Fission-Electric Cell Experiment, JPL technical report No. 32-981 (1966)

*Hiroki Takezawa¹

¹Department of Nuclear Safety Engineering, Tokyo City University.