

^{242m}Am を用いた超軽量宇宙用原子炉の設計

エネルギー量子制御工学グループ 小池啓基

1.背景 近年、宇宙探査に期待される任務レベルは高まりつつあり、深宇宙においても大電力を安定的に供給できる電源の需要が高まっている。そのような中で、宇宙任務における電源用原子炉(以下、宇宙炉)の設計案が数多く提示されている。しかしながら、歴史上アメリカで飛行試験に成功した宇宙炉は1965年に打ち上げられたSNAP-10Aのみであり、宇宙炉の実用化は、宇宙環境下で実際に運用されている太陽電池やRI電池に比べ、一般に難しいものとなっている。長期的に見て十分な基盤をもった宇宙炉の技術開発を行うためには、従来の原子炉概念にとらわれない抜本的な設計検討が必要である。本研究では核的な観点から良好な特性を有する ^{242m}Am 燃料を用いて、高性能な宇宙炉の仕様を提案することが目的である。

2.炉心軽量設計の要請と ^{242m}Am の導入 宇宙炉の設計において第一に求められることは炉心の軽量化である。軽量化とは、必要な燃料の量を低減することと言い換えてもよく、炉物理的観点からは、中性子との相互作用により核分裂を起こしやすい核種を燃料に導入することが賢明である。そこで、本研究では熱中性子のエネルギー領域で全核種中最大の核分裂断面積を有する ^{242m}Am を主燃料に据えて、炉心設計を試みる。 ^{242m}Am はマイナーアクチニドの1種で、 ^{241}Am の(n, γ)反応で得られる ^{242}Am のうち、励起状態にある核異性体である。生成可能な量は現状ではわずかであるが、141年の長半減期を有する利点も併せもつ。

3.設計体系・設計方法 設計する炉心は1種類のピン型燃料が三角配列で束ねられ、その隙間を冷却材または減速材で満たした円柱型炉心とする(図1)。炉心の性能は熱出力1MWで10年間の連続運転が可能なものとする。比較のため、燃料(^{233}U , ^{235}U , ^{239}Pu , ^{242m}Am , ^{245}Cm , 酸化物/窒化物)・減速材(H, D, Be, C)/冷却材(Na, ^7Li , Pb, ^4He)・重金属中の核分裂性核種の

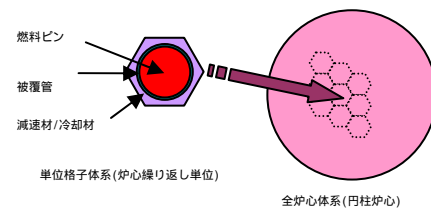


図1 設計体系

割合(100~30wt%)・燃料ピンのピッチをパラメータとし、汎用核計算コードSRACを用いた反復計算により、10年後の実効中性子増倍率 k_{eff} が1.0となるように炉心サイズを決定した(このとき、炉心重量は密度の値から一意的に定まる)。

4.設計結果 設計した各材料体系の最軽量炉心重量を図2に示す。 ^{232}Th , ^{238}U , ^{241}Am のような親核種を装荷せず、核分裂性核種のみを導入するのが、軽量化の観点からは最適である。 ^{242m}Am を用いると、例えば $^{242m}\text{AmO}_2/\text{ZrH}_2$ 体系で炉心重量はわずか31kgとなり、従来の ^{235}U や ^{239}Pu 燃料よりも炉心を飛躍的に軽量設計できる。 ^{245}Cm も ^{242m}Am と同等の性能を有するほか、 ^{233}U も軽量化に有利である。減速材としては軽

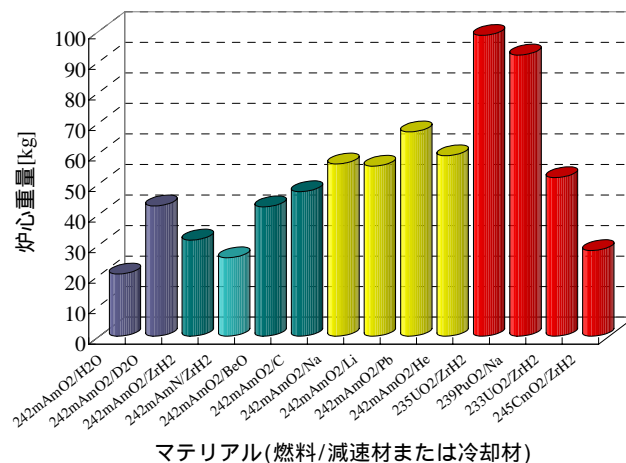


図2 炉心重量比較

元素のHを用いるのが最適である。また、高速群の核分裂性核種の核分裂断面積は熱群のそれよりも小さいため、Na冷却材などを用いた高速炉体系では炉心は重くなる。

5.結論 ^{242m}Am を用いて超軽量の宇宙用原子炉を設計することができた。今後は熱的制限や健全性を考慮したパラメータも設定し、総合的な炉心軽量設計の方法を模索する必要がある。

1) ラマーシュ著、武田充司・仁科浩二郎訳、“原子炉の初等理論(上)”, 吉岡書店(1974)。