深宇宙探査向けα粒子推進エンジンの設計領域検討と簡易推力評価

Study of Design Domain and Simplified Thrust Evaluation of Alpha Particle Propulsion Engine for Deep Space Exploration

*矢口 陽樹、長谷川 京吾、櫻井 祐希、高木 直行

東京都市大学

深宇宙探査向けの高速推進法の一方式として α 放出核種を用いた粒子推進エンジンがある。本目的に適した RI の選定、生成法、そしてこれを用いた粒子エンジンの推力とその応用について検討した。

キーワード： α粒子、Ac-227、人工衛星、推進システム

1. 緒言

深宇宙探査には太陽光に依存しない電源、熱源の他、高速移動のための推進方法が必要となる。本検討では原子力技術を用いたボイジャー1 号を短期間で追い越すことを目標とし、展開した帆の面から放射される α 粒子の反作用により推力を得る α 粒子推進エンジンの概念設計と、推力評価を行った。

2. 推進原理

崩壊に伴い α 粒子は等方に放出される。片側に α 粒子を吸収する母材層を設けることで、その反対方向への推力を得ることができる(図 1)。放出される α 粒子の速度は光速の 5%程度であり、これは化学ロケットの推進剤速度の約 3,000 倍、プラズマエンジンの約 300 倍と大きい。しかし α 粒子一つの質量は軽く、十分な推力を得るには放出される α 粒子の数(総質量)を増やすことが重要となる。

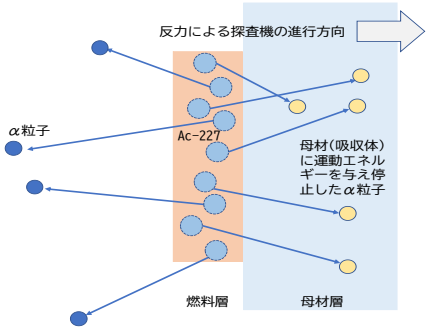

図 1　α 粒子推進エンジンの概念図

3. α 粒子推進エンジンの概念設計

深宇宙探査に適した線源の条件として、1)ミッションに適切な長さの半減期を有すること、2)子孫核種がより短い半減期にて連続 α 崩壊を起こすこと、3)入手が容易であることの 3 点が挙げられる。これらに対し本エンジンの線源としては、1)半減期 21.7 年、2)5 回の連続 α 崩壊を起こす、3)軽水炉を用いて Ra-226 から生成可能、である Ac-227 を選定した。

放射線挙動計算コード PHITS ver3.21 を用いて、α 粒子推進エンジンの推力評価を行い、推力最大化に適した帆サイズと Ac-227 膜厚さを求めた。膜厚さを変化させた際の宇宙空間へ放出される α 粒子スペクトル（図 2）から α 粒子のエネルギーと個数を求め、運動量保存則により推力を算出した。最終的な α 粒子推進エンジンの適切な仕様として、母材帆は一辺 43.50m、厚さ 50μm、Ac-227 膜厚さは 0.1μm と設定した。

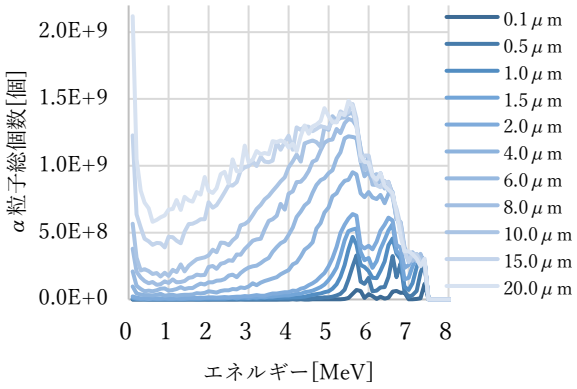

図 2　Ac-227 膜厚さと
放出 α 粒子エネルギースペクトル

4. 探査機速度の評価

電源や通信機器等を搭載した探査機の総重量を 50kg、ボイジャーの実績から初速は 39.9 km/sec に設定した。前節で定めた仕様での推力と速度を求めた。推力は打ち上げ時に約 0.72mN、30 年後には Ac-227 の自然減衰により 0.3mN まで減少する。20AU（天文単位）程度飛行すると、粒子推進力が太陽の弱まった重力を上回り、減速から加速に転じる。29.5 年後にはボイジャー1 号を追い越す結果を得た。

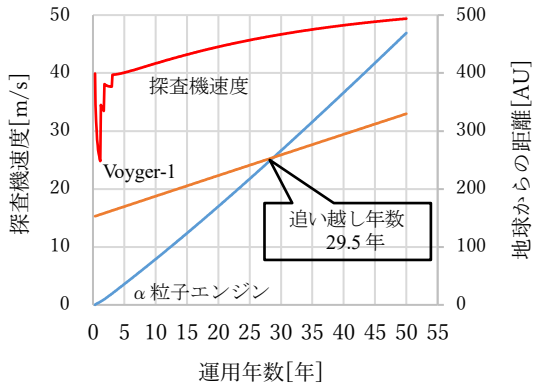

図 3　運用年数と探査機速度

5. 結言

深宇宙探査向けの Ac-227 を用いた α 粒子推進エンジンの仕様を明らかにし、推力や航行速度の評価を行った。

参考文献

[1] Wenwu Zhang, wt.al. " Revisiting alpha decay-based near-light-speed particle propulsion" Applied Radiation and Isotopes 114(2016)
[2] 櫻井祐希、橋本ゆうき、矢口陽樹、長谷川京吾、松前信伍、根本雄作、三枝　翻，2021，「解析書」，衛星設計コンテストホームページ，（2021 取得，http://www.satcon.jp/archive/list29.php　）

*H. Yaguchi, K. Hasegawa, Y. Sakurai, N. Takaki
Tokyo City University