

## 深宇宙探査向け $\alpha$ 粒子推進エンジンの概念検討

### Conceptual Study of an Alpha Particle Propulsion Engine for Deep Space Exploration

\*矢口 陽樹、山崎 颯馬、長谷川 京吾、松前 信伍、櫻井 祐希、

根本 雄作、橋本 ゆうき、三枝 翻、高木 直行

東京都市大学

深宇宙探査のための高速移動に必要な推進法の一方式として $\alpha$ 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：**  $\alpha$  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エンジンが必要となる。当研究室では原子力技術の宇宙応用として、原子力電池(RTG)、コンプトン電池、宇宙電源用小型原子炉、核熱推進エンジン等の研究を行っており、本報告では $\alpha$ 粒子推進エンジンの仕様とその推進力の簡易評価を行った。

#### 2. $\alpha$ 粒子推進エンジンの原理と $\alpha$ 線源

$\alpha$ 粒子推進法については、半世紀以上前から原理やその応用についていくつかの研究例がある。崩壊に伴い放出される $\alpha$ 核の速度は光速の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<sup>[1]</sup>、十分な推力を得るには放出される $\alpha$ 粒子の数(総重量)を増やすことが重要となる。

探査期間に適した長さの半減期を有する重核種の一つである Ac-227 (半減期 21.8 年) は、1 回の $\beta$ 崩壊後、より短い半減期にて 5 回の $\alpha$ 崩壊を行い Pb-207 で安定化する。その全ての $\alpha$ 粒子のエネルギーを推進力に活用できるとは限らないが、連続 $\alpha$ 崩壊は本目的に好ましい特性であるため、ここでは粒子推進用 RI として Ac-227 を選定した。

Ac-227 は Ra-226 (半減期 1600 年) を原子炉で中性子照射することにより生成可能である。原子炉での Ra-226 の照射は、がん治療 ( $\alpha$ 内用療法) 向けの Ac-225 生成目的にも検討が行われており<sup>[2]</sup>、その副産物として Ac-227 が大量に生成されるため(高速実験炉常陽の場合、60 日照射で 0.5Ci/g-Ra)、生成された Ac 同位体の無駄の無い活用ともなる。Ra-226 は宇宙と医学への両目的に重要な原料核種と言える。

#### 3. 推進力と航行速度の解析

粒子推進エンジンの基礎解析として、粒子・重イオン挙動解析コード PHITS (Particle and Heavy Ion Transport code System) を用い、Ac-227 金属薄膜をポリイミド樹脂薄膜母材に塗布した際の $\alpha$ 粒子挙動を調べた。一边 1cm、10 $\mu$ m 厚の Ac-227 膜を一边 2cm、50 $\mu$ m 厚の母材に塗布した場合、50 $\mu$ m の母材を貫通して進行方向へ放出される(推進を阻害する) $\alpha$ 粒子数は、後方放出 $\alpha$ 粒子数の 1/100 以下に抑制できる結果を得た。

一边が 43.5m の正方形の母材帆に 10 $\mu$ m 厚の Ac-227 薄膜を塗布した場合、Ac-227 の総量は約 1.9kg であり、反跳粒子の放出も考慮した概略計算によると、得られる推力は 1.2mN 程度となる。

地球から最も遠方に到達した探査機であるボイジャー1号は、打ち上げから 44 年を経た 2021 年末時点で 230 億 km を航行している。粒子推進エンジン(帆)を含む本探査機の総重量を 50kg、初速を 17km/sec と想定すると、約 23 年でこの距離を飛行できる可能性がある。なおこの母材帆は太陽光圧を受けるため、本エンジンは $\alpha$ 核と光子による二種類の推力で探査機を加速することとなる。JAXA が 2010 年に実施した 14m 四方の帆を持つソーラーセイル実証機 IKAROS の試験では、地球近傍で 1.12mN の推力を得たことが報告されている。太陽光圧は太陽から離れるにつれ距離の逆 2 乗で減少するが、この太陽光圧も考慮すると、粒子エンジンを積んだ小型探査機は、40 年以上遅れた打ち上げでも数十年の飛行期間でボイジャー1号を追い越し、地球から最遠に到達する人工物となる可能性がある。

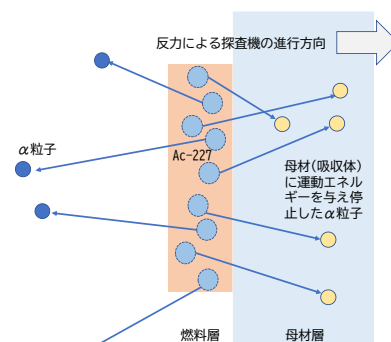


図1 粒子推進エンジンの原理

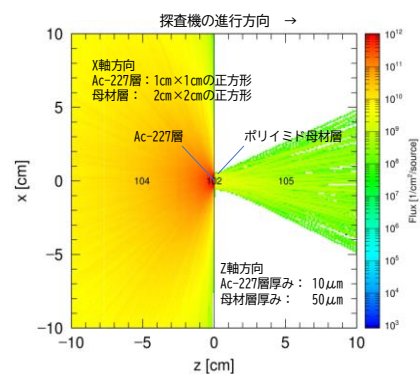


図2 Ac-227線源からの $\alpha$ 粒子フラックス

**参考文献** [1] Wenwu Zhang, et al. "Revisiting alpha decay-based near-light-speed particle propulsion" Applied Radiation and Isotopes 114(2016) [2] 川本、高木、「原子力工学技術に基づく $\alpha$ 内用療法向け線源の大量供給方策の検討(2) Ac-225の生成法」、第59回日本核医学会学術総会@松山(2019)

\*H. Yaguchi, S. Yamazaki, K. Hasegawa, S. Matsumae, Y. Sakurai, Y. Nemoto, Y. Hashimoto, H. Saegusa, N. Takaki Tokyo City University