V302a XRISM 衛星搭載 Resolve 用超流動ヘリウム排気系の軌道上性能

石川久美, 山口和馬, 江副祐一郎 (都立大), M.J. Dipirro, P.J. Shirron (NASA), 吉田誠至 (住友重機械), 藤本龍一 (JAXA 宇宙研), 石崎欣尚 (都立大)

2023年9月に打ち上げられた XRISM 衛星搭載 Resolve は、50 mK で動作する X 線マイクロカロリメータであり、冷媒として超流動の液体ヘリウムを用いる。約 30L という限られた液体ヘリウムを軌道上で 3 年以上もたせるため、ヘリウムタンクへの侵入熱は約 1 mW 以下に抑えられ、定常状態におけるヘリウム排気量は約 30 $\mu\text{g/s}$ になる。このわずかなガスを無重力下で液相と分離しつつ、液体ヘリウムの寿命に大きな影響を及ぼす、超流動ヘリウムが配管の壁を伝わってフィルムフローとして流出する量を $<2 \mu\text{g/s}$ に抑える機構を持つ必要がある。

我々は Resolve 用超流動ヘリウム排気システムを設計、開発した。超流動ヘリウムの相分離にはポーラスプラグという熱機械効果を用いて液相と気相を分離するデバイスを用いた。フィルムフロー抑制には微細配管、熱交換器、ナイフエッジデバイスの 3 つを用いた。原子レベルに鋭いエッジの表面張力を利用してフィルムフローを抑制するナイフエッジデバイスは、我々自身が JAXA 宇宙研のクリーンルームでインハウス製作した。基本的なデザインは「ひとみ」衛星搭載の SXS に使用したものと同じだが、地上試験を経て若干のデザイン変更をした。我々は打ち上げ後の温度データから、超流動ヘリウム排気システムが適切に動作していることを確認した。打ち上げ後 1 年間の温度データと地上試験に基づいて構築した流量モデルを用いて、定常状態での超流動ヘリウムの排気量を 27~30 $\mu\text{g/s}$ と推定した。これは、打ち上げ初期に予想された侵入熱量とほぼ一致している。積算流量から液体ヘリウムの寿命を推定した結果、約 6 年程度と見積もられ、断熱消磁冷凍機サイクルを用いた寿命推定の結果と一致した。どちらの手法を用いても目標液体ヘリウム寿命の 3 年を満たすと予想される。