

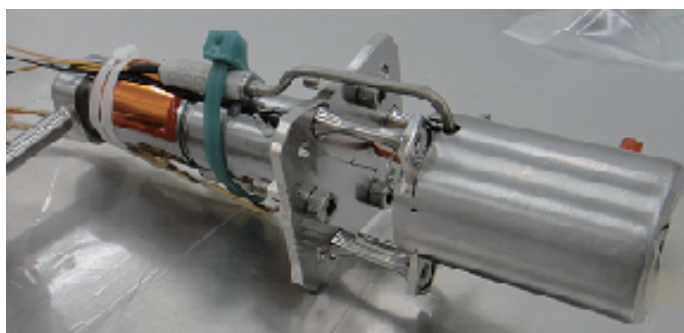
衛星の姿勢・軌道制御装置の 長寿命化技術

世界最高レベルの寿命と低コスト化を 同時に達成した 1N スラスタ

旧世代 1N スラスタの問題点（短寿命、噴射モード制約、消費電力大、高価格・長納期）を大幅に改良し、世界 TOP レベルの寿命と信頼性、そして商業ベースの価格と納期を有する 1N スラスタの開発に成功した。

株式会社 IHI エアロスペース
基盤技術部

池田 博英



長寿命高信頼性 1N スラスタ



月周回観測衛星「かぐや」概要
©JAXA

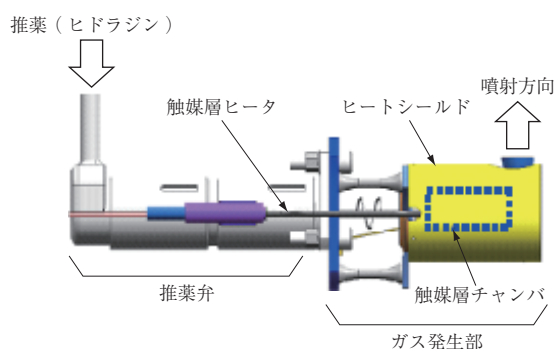
衛星用 1N スラスタとは

衛星用 1N スラスタとは、人工衛星に複数台搭載され、衛星の姿勢制御や軌道制御に使われる小型（推力が 1N）の推進器である。推薬のヒドラジンを触媒分解して高温ガスを発生することで推力を出す装置であり、推薬を供給する推薬弁、ガス発生部、熱制御機器（ヒータ、温度センサ類）から構成される。

このスラスタへの要求を市場別に見ると、日本国内では主に国策衛星へ採用されるため、高い信頼性が必要である。一方、商業分野では欧米を中心に大きな市場があり、低コストで納期の短いスラスタが求められている。そのようななかで、近年の衛星大型化と運用長期化に伴い、スラスタに対してより長寿命で運用末期の性能劣化が小さいことの要求が強まっている。

開発の経緯

株式会社 IHI エアロスペース（IA）が開発した旧世代の 1N スラスタは過去 30 年間にわたり、国内衛星 14 機に合計 186 台が搭載されている。日本で初めて本格的な月面観測を行った月周回衛星「かぐや」にも 8 台が搭載され、主に衛星姿勢制御運用を行い、2009 年の運用終了まで正常に作動した。しかしながら、旧世代の 1N スラスタは、これまでに大きな不具合はなかったものの、幾つかの軌道上トラブルが発生しており、逐次、設計の部分見直しで対応してきた。開発・運用から 30 年経過していることもあり、抜本的な設計対策が必要な状況となっている。さらに近年になって衛星への信頼性や低価格化と納期短縮などの要求がますます厳しくなるなかで、特に商業分野での



長寿命高信頼性 1N スラスタの概要

海外進出が困難な状況にあった。

このような背景のもとで、独立行政法人宇宙航空研究開発機構 (JAXA) から 1N スラスタの設計改良の基礎研究業務を受託し、試作スラスタによる運用制約の改善や長寿命化のための設計対策効果の確認を約 2 年間にわたり行った。その研究成果を受け、JAXA は寿命性能改善と信頼性向上による国策衛星の確実な運用を、メーカーである IA は設計改善による低コスト・短納期化による商業分野への進出を、それぞれの最終目的として、本格的な開発に移行すること決まった。2009 年度から、日本の宇宙産業の基盤維持と産業振興を推進する JAXA 産業連携センターからの協力を受け、高信頼性・長寿命な新 1N スラスタの開発を、3 年間の共同研究で取り組むこととなり、開発目的とスケジュールが設定された。

開発目標と設計改善のポイント

新型 1N スラスタ開発目標仕様を以下に示す。

- ① 長寿命化：以下の累積負荷量以上
 - ・ 累積パルス数 85 万パルス
 - ・ 発生全推力 (累積インパルス) 20 万 N・s (ニュートン・秒)
 - ・ 推進消費換算重量 約 100 kg
- ② 広範囲な噴射特性：噴射モードの制約なし
- ③ 省電力化：触媒層ヒータ電力の低減
- ④ 低コストと短納期化

①は旧世代 1N スラスタではおよそ 6 万 N・s で寿命を迎えて規定の推力を発生できなくなっていたため、従来の 3 倍以上の長寿命化によって海外製長寿命スラスタの実績をも凌駕する^{りょうが}という厳しい目標を設定した。

②については、従来よりも広範囲な供給圧力でパルス運用 (噴射時間が短いパルスの推力を連続的に発生し、衛星の姿勢制御を行う) での噴射試験を行い、運用上の制約がないことで信頼性をより高めることを目指した。

③の省電力化は、高温となるチャンバの断熱性を良くし、触媒層チャンバの予加熱を行うヒータ電力の低減を図る方針とした。

④の低コスト化には、開発初期段階で VE (Value Engineering) 手法を取り入れ、高コストな部品や工程を中心に改善対策を行うことで、効率的にコスト低減策を創出する方針とした。さらに低コスト化設計に伴い、構造や組立方式を簡素化し製造納期の短縮も同時に達成することを狙った。

以下に本製品の主要改善ポイントを示す。

(1) 推進噴射形式の選定

噴射方式を工夫することで、推進供給と停止に伴う急激な加熱と放熱を繰り返す際に触媒が受ける熱負荷を緩和し、触媒の損耗を抑えて長寿命化が図れる。基礎研究の段階で幾つもの噴射方式での燃焼試験を行い、最適と考えられる噴射方式を選定した。

(2) 触媒層チャンバの容量増大

触媒充てん量を適正化し、長寿命化を図った。チャンバ内径については噴射流との関連も配慮した上で設定した。

(3) チャンバ支持部断熱方式の変更

推進を触媒反応分解するチャンバの保温を向上し、同時に約 900℃ に達する発生ガスからの推進弁への熱の逆流を大幅に抑制するように支持構造の変更を行い、予加熱に必要なヒータ電力の低減を図った。

(4) チューブ排熱機構の変更

小推力のスラスタは、運用方法によっては推進供給配管が推進との反応熱の影響で高温化し、熱的チョーク (供給閉止) に陥ることがある。設計を抜本的に見直し、旧世代 1N スラスタでは不足していたチューブからの排熱能力を向上させることで、軌道上で想定される最も厳しい運用条件のもとでもチョーク発生を防止できる仕様への変更を行った。

これらの設計改善の採用に当たっては、構造の簡素化や部品組立時のアクセス性改善も行うことで低コスト化と組立工程の短縮化が可能となった。

開発試験結果と主要成果概要

実質約 2 年半の開発期間で、基本設計審査, EM (Engineering Model) による寿命試験, 詳細設計審査, PM (Prototype Model) による認定試験, 最後に認定試験後審査を実施し, 開発は成功裏に完了した。現時点で、衛星搭載が可能な実用化レベルに到達したと評価を受けている。認定試験フェーズでは総累計 17 台の PM を用いて、衛星姿勢制御を模擬した複合噴射モード噴射試験と、寿命特性の予測式の策定を目指した単一噴射モード噴射試験によって寿命性能確認を行った。これらの試験によって、一液スラスタ（本機のように一種類の推進剤によるスラスタ、主に小型で姿勢制御などに用いられる）の開発としては、過去に例を見ない多台数かつ多種類の噴射モードによる寿命性能データを取得することができた。

最終的に開発目標枠（累積インパルス 20 万 N・s と累積 85 万パルス）を上回り、旧世代 1N スラスタおよび海外製スラスタの寿命実績を上回る累積噴射量を達成した。寿命の指標となる触媒残留量も旧世代 1N スラスタに対して大幅に改善し、寿命による性能低下の目標も達成することができた。長寿命高信頼性 1N と旧世代 1N、海外製 1N スラスタとの主要仕様の比較から、寿命特性以外の推進性能、必要電力、コスト面でも海外製 1N スラスタを凌駕するという開発目標

を達成できたことがわかる。

これまでの開発成果をまとめると、

(1) スラスタ基本性能仕様

PM, EM を含む複数台の基本性能データから、性能分散を考慮した仕様を確定した。

(2) 機械環境（振動、衝撃）耐性

認定試験において、ランダム振動条件として海外衛星環境要求をほぼ包絡する振動と衝撃に耐えることを試験と解析によって確認した。

(3) 必要電力の開発仕様との整合性

熱真空試験と熱モデル解析との比較検証によって、衛星メーカーとの熱インタフェース調整に必要な熱モデルを構築した。

(4) 寿命性能予測モデル

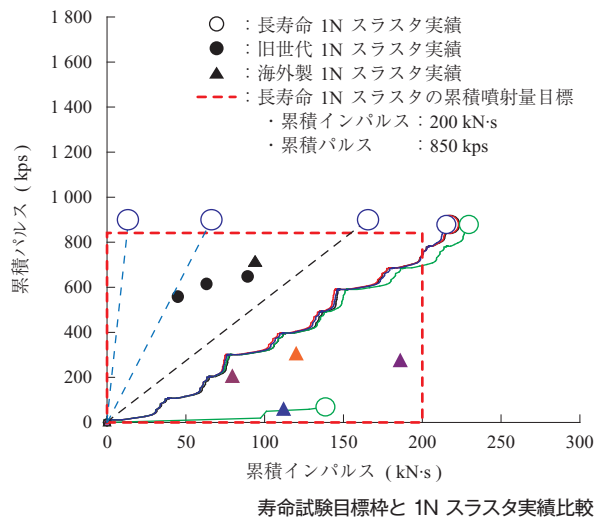
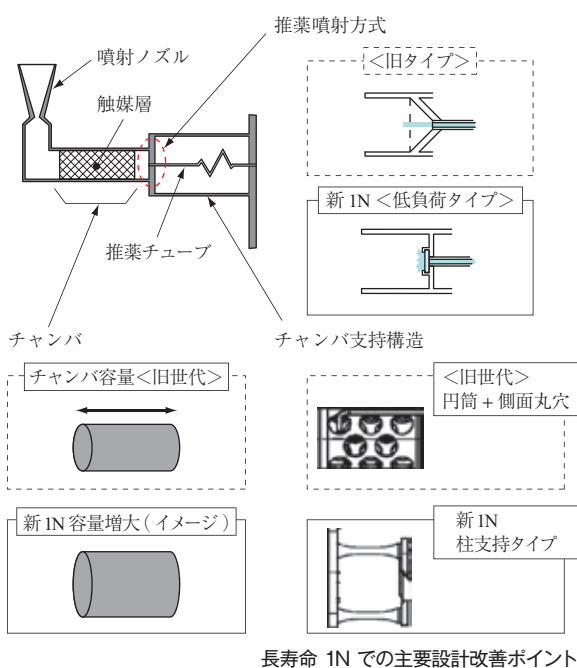
スラスタの寿命は噴射モードによって大きく異なることが明らかになっており、噴射モードのスラスタ寿命に対する影響について定量的なデータを取得した。それらのデータから、衛星運用条件に対しての性能劣化の予測手法を策定した。

(5) 代替オプションの適合性

スラスタとしての重要な機能を担う推進剤については、採用した米国製以外にも欧州製品の代替部品について性能確認試験を行い、その適合性を確認した。

軌道上実証と海外拡販に向けて

開発を完了した長寿命高信頼性 1N スラスタは、軌道上での実証を行うことで国内外の衛星メーカーが安

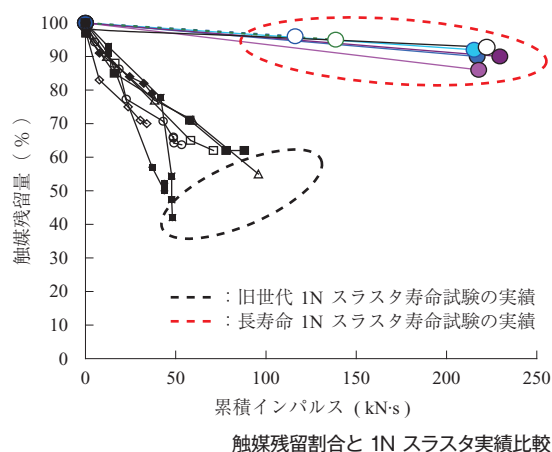


心して採用することが可能となる。JAXA が開発中の超低高度衛星技術試験機 (SLATS : Super Low Altitude Test Satellite) へ 4 台のスラスタを搭載することが正式決定し、現在、フライト品の製造・試験を行っている。SLATS は 2013 年以降に H- II A ロケットでの打上げを計画中であり、2012 年中にフライト完成品を納入する予定である。

一方で、商業衛星に搭載可能な低コスト・短納期のスラスタは海外衛星メーカーからの需要が見込めるため、海外拡販のためのプロジェクトを 2010 年に立ち上げた。IA では既に軌道投入用の二液式スラスタを米国向けに輸出している実績があり、累積販売台数は 100 台を超えている。一方、一液式スラスタについては、海外商業市場での競争力を有する製品ラインアップ (本 1N スラスタと別途社内開発の 4N スラスタ) が整備されつつあることから、海外衛星メーカーへの IA 衛星関連製品を積極的に紹介している。

2011 年から、主に欧州の衛星メーカーから幾つもの商業衛星向け RFP (Request for Proposal) を受けている状況であるが、これは技術的には評価され、受注が近いことを意味するが、厳しいコストと納期要求にも応えるべく日々改善を続けている。IA の高い技術が

評価され、本 1N スラスタが海外衛星に搭載される日も遠くないことが期待される。



JAXA 実験衛星 SLATS 概要 ©JAXA

評価項目	単位	海外製 1N スラスタ	IA 製旧世代 1N クラスタ	長寿命高信頼性 1N クラスタ	備考
連続推力	N	0.94	0.95	1.06	$P_i = 2.41$ (MPa) ノミナル
連続比推力	s	216 以上	210 以上	222 以上	$P_i = 2.41$ (MPa) ミニマム
重量	kg	0.33 以下	0.43 以下	0.40 以下	ハーネス類含む
消費電力	W	3.9	6.0	3.0 以下	触媒層ヒータでの比較
フライト実績	-	商業衛星多数	国内通信・観測衛星多数 (14 衛星)	JAXA 実験衛星 (SLATS) FY2013 以降予定	-
寿命 (累積インパルス)	N·s	186 000 (性能低下 20% 以下)	98 848 (性能低下 30% 以上)	230 208 (性能低下 20% 以下)	試験実績値
寿命 (累積パルス)	パルス	275 028 (性能低下 20% 以下)	994 907 (性能低下 30% 以上)	880 691 (性能低下 20% 以下)	試験実績値
価格	-	0.8	1	0.6 ~ 0.8	旧世代 1N の国内販売価格を 1 とした相対比較
納期	月	12	18	10	最短納期

1N スラスタ仕様比較

問い合わせ先

株式会社 IHI エアロスペース

新事業推進室

電話 (0274) 62 - 7606

URL : www.ihico.jp/ia