

H-II A ロケット用エンジン (LE-7A, LE-5B) の開発

Development of H-II A Rocket Engine (LE-7A, LE-5B)

名古屋誘導推進システム製作所 岸本健治*1 吉田裕宣*2
長谷川恵一*3

H-II A ロケットは、H-II ロケットの性能、信頼性を維持しつつ打上げコストを半減ないしそれ以下とし、世界の衛星打上げ市場に参入しようとしている。ロケットのコストに占めるエンジンの割合は十数%になるため、このコストダウンは重要である。LE-7 A, LE-5 B エンジンそれぞれ H-II A ロケットの 1 段目と 2 段目のエンジンであるが、この開発状況と、そのコストダウン手法について紹介する。コストダウン手法の採用により、H-II ロケット用の LE-7, LE-5 A に比べて見るからに低コストなことが分かるエンジンに仕上がりにある。

The H-II A rocket is a reduced price version of the H-II rocket, and is intended to join the world satellite launch market. The engine cost is more than 10% of the total launch cost, and is important in cost reduction. The LE-7A is the first stage main engine, and the LE-5B is the second stage engine of the H-II A rocket. This paper describes the development of these engines and how their cost was reduced. These engines were developed as low cost versions of the LE-7 and LE-5A.

1. ま え が き

平成 8 年三菱重工技報 (Vol.33 No. 3) で“改良型 LE-7 エンジンの開発”について報告したが、本報ではその後の試験によって完成見通しが得られた改良型 LE-7 (LE-7A) エンジン、そして改良型 LE-5 A (LE-5 B) エンジン、つまり改良型 H-II (H-II A) ロケットの 1 段目と 2 段目の主エンジンについて報告する。

2. エンジン概要

2.1 LE-7A エンジン

基本的なシステムはそのままにして、LE-7 エンジンに比べエンジン全長を 46 cm 長くし、推力操舵 (ジンバリング) のためのベローズ配管を機体部品とした。そのため、大幅なエンジンギ装の変更が可能となり、大物配管の削除とエンジン頭部の小型化、部品点数削減ができた。また、高コストの要因の一つであったノズルは若干の性能低下を許容し大幅な設計変更をした。表 1 は LE-7 A エンジンの主要目を LE-7 エンジンのそれと比較して示している。また、図 1 は LE-7 と、LE-7 A エンジンの実物写真である。外観から見てもエンジン簡素化は明らかである。

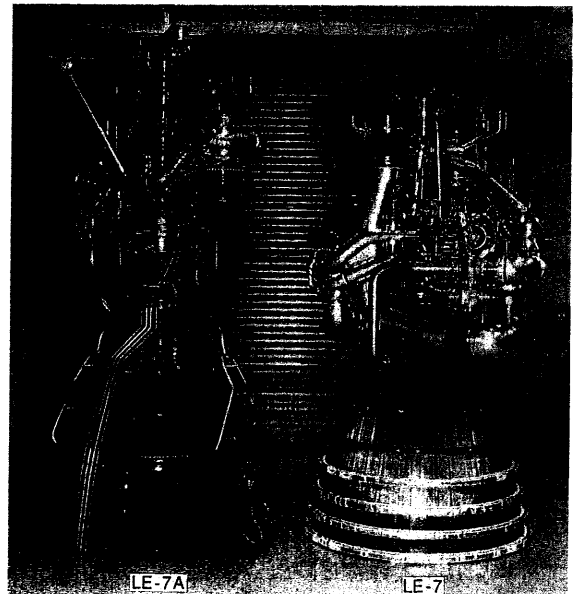


図 1 LE-7, LE-7A エンジンの実物比較
Comparison of LE-7 and LE-7A engine

表 1 LE-7, LE-7A エンジンの主要目
Major characteristics of LE-7 and LE-7A engine

	LE-7	LE-7A
推力 (t)	110	112
混合比	6.0	5.9
比推力 (s)	446	440
膨張比	52	54
燃焼圧力 (kg/cm ²)	130	125
プリバーナ燃焼圧力 (kg/cm ²)	214	219
水素ポンプ回転数 (rpm)	42 200	42 160
水素ポンプ吐出圧力 (kg/cm ²)	275	292
酸素ポンプ回転数 (rpm)	18 100	18 300
酸素ポンプ主吐出圧力 (kg/cm ²)	178	183
酸素ポンプ副吐出圧力 (kg/cm ²)	263	269
最大径 (mm)	2 570	1 815
全長 (mm)	3 243	3 700
重量 (kgf)	1 720	1 832
スロットリング (%)	適用外	72
燃焼時間 (s)	350	400

2.2 LE-5B エンジン

LE-5 A エンジンには、ノズル部の冷却に使った水素をポンプ駆動用のタービングスとして使う (通称 Expander Bleed Cycle) 世界で初めてのエンジンである。元々 2 段用であることから、高真空の宇宙空間用となっており、ノズルも高い膨張比で、ノズルから噴出される燃焼ガスはマッハ数 4.5、圧力 0.03 kg/cm² である。コスト的にはやはりこのノズルが最も高く、次いでターボポンプと燃焼室の順となっていた。LE-5 B エンジンは、エンジン性能の若干の低下を許容し、ノズルの簡素化を図って、タービンの排気水素ガスで冷却する構造とした。しかし、これではタービン駆動用の高温水素が得られなくなるため、燃焼室をチューブのろう付け構造から、高熱負荷に耐える銅溝構造 (LE-7 と同じ) に変更し、この燃焼室の冷却水素をタービン駆動ガスとした。したがって、厳密には LE-5 A エンジンは Nozzle Expander Bleed Cycle,

*1 エンジン・機器部プロジェクト主管

*2 エンジン・機器部次長

*3 エンジン・機器部液体ロケットエンジン設計課長

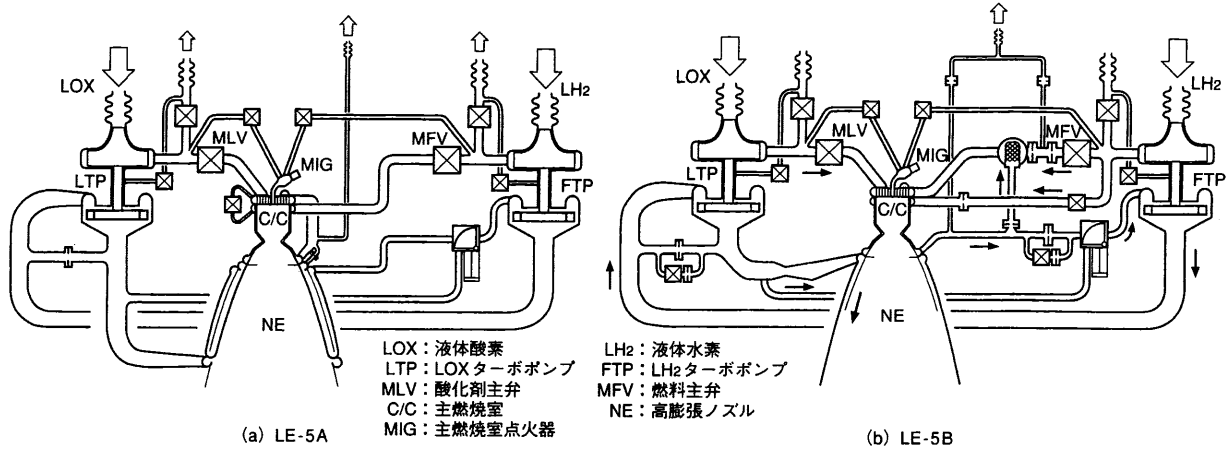


図2 LE-5A, LE-5B エンジンの系統図比較
Comparison of LE-5A and LE-5B engine schematics

表2 LE-5A, LE-5B エンジンの主要目
Major characteristics of LE-5A and LE-5B engine

	LE-5A	LE-5B
推力 (t)	12.4	14
混合比	5.0	5.0
比推力 (s)	453	447
膨張比	130	110
燃焼圧力 (kg/cm ²)	40.6	36.2
水素ポンプ回転数 (rpm)	52 235	51 607
水素ポンプ吐出圧力 (kg/cm ²)	68	70
酸素ポンプ回転数 (rpm)	17 370	17 549
酸素ポンプ主吐出圧力 (kg/cm ²)	60	54
最大径 (mm)	1 625	1 625
全長 (mm)	2 668	2 784
重量 (kgf)	248	269
燃焼時間 (s)	600	600

LE-5 B エンジンは Chamber Expander Bleed Cycle という形式である。図2は LE-5 A と LE-5 B の系統図の比較を示す。結果的には、燃焼室の構造変更は大きなコスト低下にもなった。さらに、この変更は、エンジンの作動点調整試験（領収試験）を高コストの真空模擬試験で行う必要がなくなったという低コスト化ももたらした。表2は LE-5 B エンジンの主要目を LE-5 A エンジンのそれと比較して示している。また、図3は LE-5 A と LE-5 B エンジンの実物比較である。

3. 開発経過と現在の成果

3.1 LE-7A エンジン

平成7年3月より開発が始まり、平成10年2月に実機型エンジン開発試験を終え、最終設計審査CDR (Critical Design Review) を4月に終了した。現在、認定試験供試体を製作中で、平成11年度早々に開発を終了し、平成12年のH-II A ロケット初号機打上げに対応できる見通しである。

この間、噴射器流れ試験、溶接部基礎試験、電気系単体試験、バルブ単体試験を経て、実機型エンジン試験は平成9年2月から平成10年2月まで、1号機が23回2293秒、2号機が同じく23回2024秒の試験に供された。それぞれ4回の最長秒時試験を含んでいる。なお、性能（比推力＝推力/推進流量）は、現在のところノズル冷却調整などが未了で、目標に対し約2秒未達成である。

3.2 LE-5B エンジン

平成7年より開発が始まり、現在まで48回2986秒の試験が行われた。平成10年4月に認定試験中間審査PQR-1 (Post Qualification test Review) が行われ、今後の試験計画を確定した。

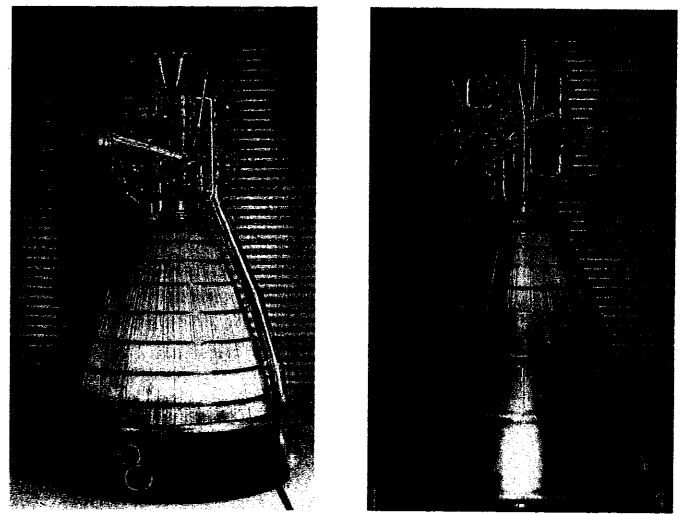


図3 LE-5A, LE-5B エンジンの実物比較
Comparison of LE-5A and LE-5B engine

本年中に残り約27回4400秒の試験を行い、開発完了の見通しである。LE-5 B エンジンはH-II A ロケットに先駆けてH-II ロケット8号機の2段目エンジンとして平成11年度の打上げに使われる予定である。

当初、燃焼室の吸熱量が予測を下回り、性能低下と、低温水素噴射による燃焼振動問題を引起こしたが、燃焼室長さを12cm長くすることでこれらの問題を解決した。さらに、コスト低下を目論んでノズルを米国プラットアンドホイットニー社の新技術（拡散接合）採用に踏切ったが、技術的な問題解決に要する費用の関係で辞退、引続き従来のろう付けで社内製品として完成した。

LE-7A, LE-5 B 共に上記の変更のほか、コストダウンを主眼に、全般的には溶接部の大幅削減に対応する設計変更が行われた。さらに、設計・工作・品証・資材が一体となってアイデアを出し合い、内作分については941件（内81%が設計変更、19%が工法改善）、購入品については248件のアイデアを盛込んだ。

4. むすび

LE-7A, LE-5 B エンジン開発状況について報告した。現時点では、開発完了の見通しが得られた段階ではあるが、今後の確実な試験遂行によって性能・信頼性はもちろん、コストでも国際競争力を有するエンジンとして完成させる所存である。