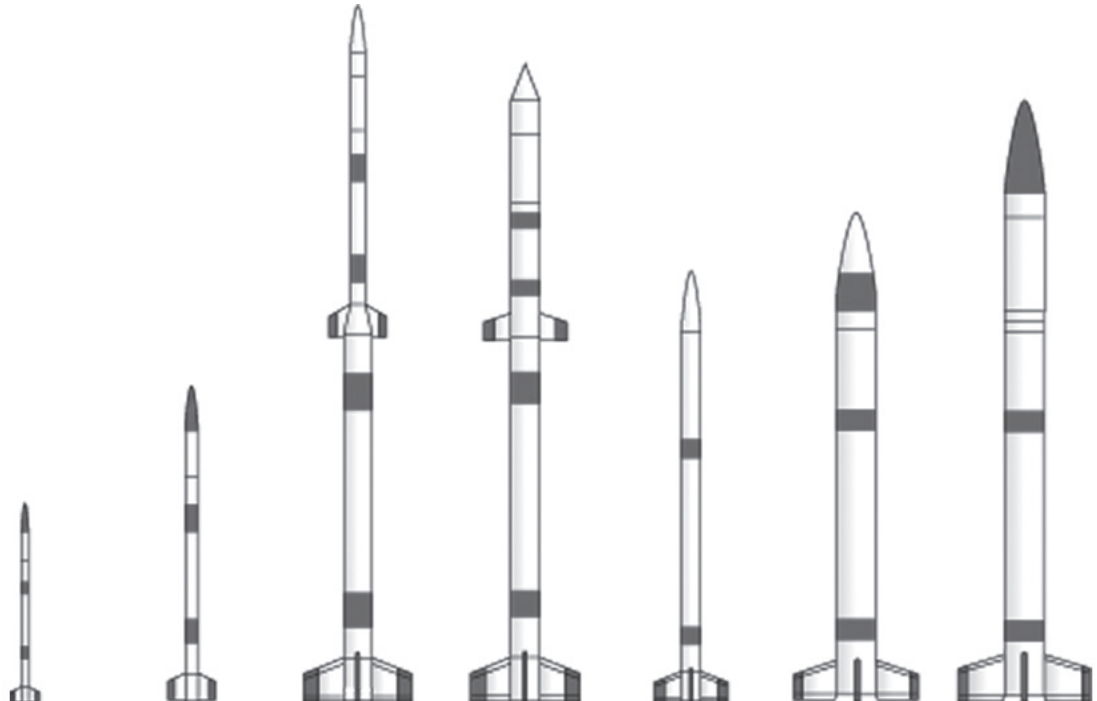


観測ロケット



	MT-135	S-210	K-9M	K-10	S-310	S-520	SS-520
全長	3.3m	5.2m	11.1m	9.8m	7.1m	8.0m	9.65m
直径	0.135m	0.21m	0.42m	0.42m	0.31m	0.52m	0.52m
全備重量	0.07t	0.26t	1.5t	1.78t	0.7t	2.1t	2.6t
ペイロード	2kg	20kg	55kg	132kg	50kg	95/150kg	140kg

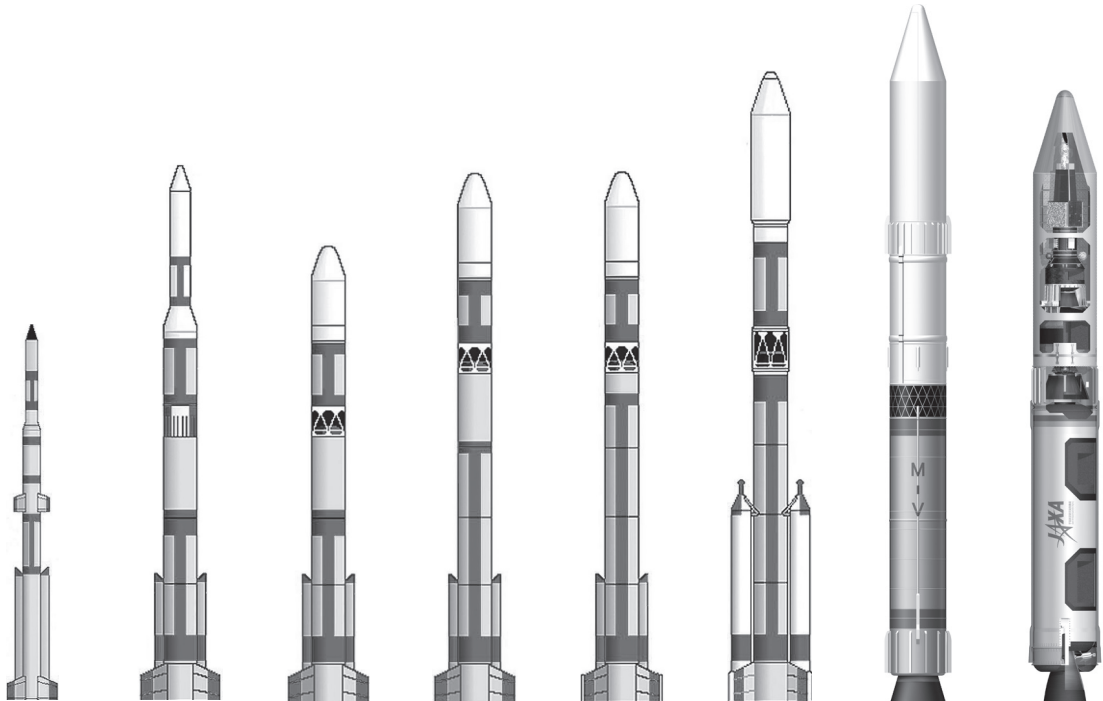
観測ロケットは衛星打上げ用のロケットとは異なり、ロケット自身が宇宙空間を飛びながら落下するまでの間に観測を行なうものです。通常は1段式あるいは2段式構成で、実験終了後、観測装置およびロケットは海上に落下します。

観測機器はロケットの上段の頭胴部と呼ばれる場所に取り付けられ、飛翔中の空力加熱から保護するためにノーズコーンというトンがり帽子のような蓋をかぶせて打上げられます。ロケットは上空のあらかじめ決められた高さでタイマによってノーズコーンを開き、観測機器のアンテナを伸ばしたり、観測のための試料を放出したり、いろいろな作業が設定されたタイマによって進められたのち、目的に応じた観測を行います。観測はロケットが最高高度に達する前から、落下するまでの間に行われます。

気球が到達可能な高度は約50kmまで、多くの人工衛星は高度250km以上を飛んでいますので、両者の間の空間を直接観測できるのは観測ロケットのみということになります。この空間は中間圏や熱圏、電離圏と呼ばれている領域ですが、観測ロケットはこの空間に特異な現象を解明するために打上げられてきました。観測のテーマは全国の大学や研究機関に所属する研究者から提案されたものを評価・選定し決定されます。

宇宙科学研究所の観測ロケットは天体物理学の観測、上層大気の研究、宇宙プラズマ物理学等に貢献し、日本の宇宙科学研究を支えてきました。宇宙科学研究所の工学チームも、姿勢制御システム、再突入技術、回収技術、航法技術等、新しい飛翔体システムを開発しています。また、材料科学やライフ・サイエンスのための微小重力実験の分野でも、観測ロケットが使われています。観測ロケットを使った実験では、計画立案から実験実施まで迅速な対応が可能であり、短期間で実験成果を得ることができるため、将来の人工衛星や惑星探査機などに搭載を予定している新しい観測装置や技術要素の機能や性能の確認試験としても優れた機動性を発揮しています。

衛星打上げロケット



	L-4S	M-4S	M-3C	M-3H	M-3S	M-3SII	M-V	イプシロン
全長	16.5m	23.6m	20.2m	23.8m	23.8m	27.8m	30.7m	24m
直径	0.753m	1.41m	1.41m	1.41m	1.41m	1.41m	2.5m	2.5m
全備重量	9.4t	43.6t	41.6t	48.7t	48.7t	61t	139t	91t
ペイロード	26kg	180kg	195kg	300kg	300kg	770kg	1800kg	1200kg

日本初の人工衛星「おおすみ」は、1970 年、東京大学宇宙航空研究所の L (ラムダ) ロケットによって打上げられました。この成功をもとに科学衛星打上げ用に開発された M (ミュー) ロケットのシリーズは、その後改良を重ね、現在の本格的な惑星探査機打上げ用ロケット M-V (ミュー・ファイブ) に至っています。初代の M-4S は 4 段式で尾翼とスピンによって姿勢の安定を保ち、重力ターンによる軌道投入が行われました。

2 代目の M-3C は 3 段式で 2・3 段目が強化され、2 段目に TVC (推進方向制御) 装置とサイドジェット装置が装備されて軌道突入の精度が格段に向上しました。

その 1 段目を長くして運搬能力を高めたのが M-3H です。これは M-3C と同世代と考えていいでしょう。

3 代目の M-3S では 1 段目に TVC 装置を導入し、軌道精度の向上と打上げ条件の緩和が実現しました。

4 代目の M-3SII は、M-3S の 1 段目以外を新規に開発して性能向上を行ないました。

第 5 世代の M-V では、これらの M ロケットの開発の歴史によって培われてきた技術を集大成し、宇宙科学の要請に応えるべく大幅な大型化を達成しました。M-V ロケットは 4 つの地球周回天文観測衛星と、火星探査機「のぞみ」、小惑星探査機「はやぶさ」を打上げ、全段固体で惑星探査までやり遂げることのできる「世界で最も素晴らしい固体燃料ロケット」として高く評価されましたが、諸般の事情により、2006 年 9 月の M-V-7 号機をもって開発が中止されました。

現在 JAXA では、M-V の後継機となる新型の固体燃料ロケット「イプシロンロケット」を開発しています。イプシロンロケットでは、ロケットの知能化という史上初の試みにより低コスト化・打上げシステムの簡素化を実現します。

L-4S



ラムダロケットはカッパロケットの後継機で、高度 1,000km 以上の内側バン・アレン帯に到達する能力を持つロケットとして 1960 年頃から開発が始まりました。この L-3 の第 2 段と第 3 段を改良し、球形の 4 段目を載せることで軌道への衛星の投入を目指したのが L-4S です。

観測ロケットとは異なり、衛星を軌道に投入するためには精密な誘導が必要になります。しかし政治的な問題から誘導装置の開発が遅れ、L-4S では無誘導での軌道投入を目指すことになりました。そこで考えられたのが次のようなプロセスです。

第 1 段から第 2 段の途中までは空力安定で飛ばし、第 2 段の燃焼中にスピンを掛け、第 3 段の燃焼終了まではスピン安定で飛行する。第 3 段の燃焼終了とほぼ同時にデスピンをかけ、姿勢制御を行なって機体を水平にする。その後再びスピンを掛けて放物線の頂点で第 3 段を切り離し、第 4 段の燃焼を行い衛星を軌道投入をする。これが、ロケット全体の飛行経路は重力に任せ、たった 1 度の姿勢制御で衛星を軌道に投入する「無誘導重力ターン方式」と呼ばれる方式です。

しかし、日本初の人工衛星の打上げまでの道りは平坦なものではありませんでした。1966 年 9 月 26 日の L-4S ロケット 1 号機の打上げは、第 3 段の燃焼中に軌道がずれてデスピンモーターが作動しなかったために軌道投入に失敗しました。続く 1966 年 12 月の 2 号機は第 4 段の不点火、1967 年 4 月の 3 号機は第 3 段の不点火によりいずれも軌道投入に失敗。これを受けて 1969 年 9 月 3 日、最終段の推薬を 60% に減らした上で、テスト機 L-4T として実験が行われました。しかし切り離された第 3 段が残留推力で加速されて第 4 段に追突。ただしこの 2 度にわたって起きた衝突は上段の重心近くで起きたため擾乱が小さく、姿勢制御装置が正常に作動して所定の方角に整定しました。推薬がつまっていればこのときに最初の衛星が誕生していたでしょう。つづいて 9 月 22 日の L-4S ロケット 4 号機の打上げ。この時も残存推力によって第 3 段が第 4 段に衝突しました。

そして記念すべき 1970 年 2 月 11 日、L-4S ロケット 5 号機の打上げ。第 1 段、第 2 段の燃焼は正常に行われました。標準発射角 64 度に対してわずかに低い 62 度での飛行となり、さらに第 3 段ではこれが 61 度となります。しかし姿勢制御は完璧に行われ、最終的な第 4 段の軌道は、飛行角度の変化から当初の予定より離心率の大きい遠地点 5150km、近地点 335km の楕円軌道になりました。日本初の人工衛星の誕生です。衛星は打上げ地である大隅半島にちなみ「おおすみ」と名付けられました。

M-4S



ミューロケットシリーズはもともと、ラムダロケットとほぼ同時期に高度 1 万キロの外部バンアレン帯に到達できるロケットとして立案されました。開発当初より衛星の打上げ用として設計された日本初の衛星打上げ用ロケットです。具体的な計画としては、1962 年に糸川英夫による「5 年後にペイロード 30kg の人工衛星を打上げるためのロケットは如何に」という設問に対する解答として秋葉鏖二郎、長友信人、松尾弘毅によって制作された「人工衛星計画試案」が元になっています

ミューロケットの第一世代である M-4S では、日本初の衛星打上げを成功させた L-4S を引き継ぎ、尾翼による空力安定とスピンモーターによるスピン安定を組み合わせ、全 4 段の無誘導重力ターン方式が採用されています。「人工衛星計画試案」では直径 1.2m とされていましたが、実際には糸川英夫の強い主張により将来的な必要性を見込んで 1 段、2 段が直径 1.4m とされました。

M-1、M-3D の 2 回の飛翔試験を経て、1970 年 9 月に M-4S の初号機打上げが第 1 号科学衛星のプロトタイプ MS-F1 を搭載して行われました。しかし、この時の打上げは制御装置の電磁弁の不具合により機体のスピンの過大になり、4 段目点火以降のシーケンスが作動せず軌道投入に失敗しています。その後の打上げは順調に行われ、1971 年 2 月には試験衛星「たんせい」、1971 年 9 月の 3 号機で日本初の科学衛星「しんせい」の打上げを成功させました。1972 年 8 月の 4 号機では、ランチャーの角度誤差によって当初予定軌道からは外れたものの、電波観測衛星「でんぱ」の軌道投入に成功しています。

この M-4S は L-4S で培った技術を元に、基本設計のすべてと搭載機器のほぼすべてが国内での自主開発で行われ、2 号機以降の連続での成功によりその妥当性と有用性が実証されることになりました。



M-3C



ミューロケットシリーズの開発の初期から搭載できる科学衛星の大型化と軌道精度の向上が求められており、ロケットへの誘導装置の搭載は必然的な要請でした。当初の計画では、M-4Sの第2段、第3段に2次噴射推力方向制御 (TVC) およびサイドジェットを付加して、軌道投入精度を高めたM-4SCを開発し、科学衛星3号および4号が打上げられる予定でした。

しかし、本体の軽量化および推進剤の性能向上、推力方向制御 (TVC) 技術などの誘導装置の開発の成功に伴い3段構成でも十分に要求を満たせると判断され、新たに制御装置を備えた3段構成のロケットとして開発が行われることになりました。これがM-3Cです。

最終的にM-3Cは無誘導の第1段、TVCとサイドジェットを備え、姿勢制御能力を持った改良型モーターを採用した第2段、その上に新開発の大型球形モーターを採用した無誘導の第3段を載せるという構成となりました。誘導装置の搭載によって、軌道投入精度が飛躍的に向上しただけでなく、直径が同じで全長が短くなったにもかかわらず、M-4Sに比べて地球低軌道への打上げ能力が180kgから195kgに向上しています。

M-3Cは誘導制御装置やノーズフェアリング、新型の段間継手、第2段モーターの性能向上、第3段の新型モーターなど新規開発が多かったにもかかわらず、開発は比較的順調に行われました。これは継手や誘導装置などの基礎的な研究がラムダ時代から継続して行われていたことによるものでしょう。

M-3C初号機の打上げは1974年2月です。TVCによる飛行制御の試験と合わせて、地磁気による衛星の姿勢制御技術の実証を目的とした「たんせい2号」の軌道投入に成功しました。続いて1975年9月に科学衛星第3号となる超高層大気観測衛星「たいよう」の打上げにも成功。1976年2月の第3号機ではX線天文衛星「CORSA」の打上げが行われましたが、姿勢制御機構の誤動作により軌道投入に失敗しました。ただこれは制御装置の局所的な不具合であることが分かり、1979年2月に同ロケットにより「CORSA2/はくちょう」の再打上げが行われ、軌道投入に成功しています。

M-3H



M-3C が、搭載できる衛星の重量を減らさずに軌道投入精度を向上させることを開発目標としていたのに対して、その後継である M-3H は衛星重量の増大を目指して開発が行われました。機体の多くの部分は M-3C と共通であり、本質的には同世代のロケットといえます。

第1段が従来の M-10 モーターから1セグメント分延長し、推進薬もこれまでのポリウレタン系からポリブタジエン系に替えた M-13 モーターに改装され、地球低軌道への打上げ能力は M-3C の約 1.5 倍、300kg まで向上しました。また衛星の軌道に関する要求に応えるために最終段にキックモーターが搭載されています。この結果、準極軌道、長楕円軌道への衛星投入が可能になりました。

M-3H は予定された 3 機の衛星すべての軌道投入に成功しました。初号機の打上げは 1977 年、ロケット本体の性能試験に加え、搭載された試験衛星「たんせい 3 号」によりコールドジェットによる姿勢制御実験および沿磁力線姿勢制御実験がおこなわれています。続く 1978 年 2 月に行われた 2 号機ではオーロラ観測衛星「ぎょつこう」が、1978 年 9 月の第 3 号機ではプラズマ圏・磁気圏観測衛星「じきけん」がそれぞれ打上げに成功しました。



M-3S



M-3S では M-3C、M-3H では 2 段目だけに搭載されていた姿勢制御装置が第 1 段にも搭載されました。打上げ可能な重量という点で見れば M-3H と大きな差はありませんが、軌道への投入精度は飛躍的に向上しており、また打上げ条件も緩和されています。日本独自の姿勢制御技術はミューロケットシリーズの計画立案当初から開発が始まり、M-3C、M-3H でさらに磨き上げられてきましたが、その意味では全段に誘導装置が搭載された M-3S はミューシリーズの完成形とも言えるロケットです。

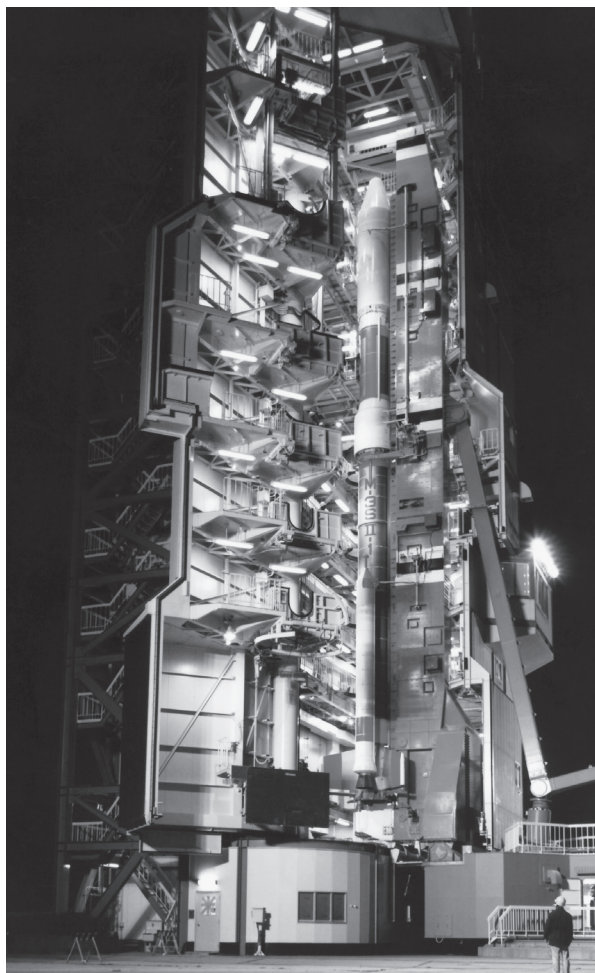
M-3H からの大きな変化は上にも述べたように、第 1 段への姿勢制御系の搭載です。これには第 1 段に TVC (推力方向制御装置) を搭載することによってピッチ・ロール制御をできるようにするだけでなく、ロール制御を行う SMRC (ロール制御用小型モーター) の開発が必要でした。この SMRC は正反対の 2 方向に噴射ノズルを持つ小型のモーターで、持続的に燃焼する噴射ガスを電磁弁で左右の噴射ノズルに振り分けることでロール制御を行う極めて独創的な機構です。この SMRC は M-3S の尾翼部分に搭載されています。

また、M-3S から搭載のタイマーが電気機械式から電子タイマーに置き換えられました。さらに、ちょうどこの時期に内之浦の新整備塔およびランチャが完成したのを受け、これまでの地上点火系を廃し第 1 段から機上タイマーによつての点火に改められています。

M-3S は、1980 年 2 月の試験衛星「たんせい 4 号」、1981 年 2 月の太陽観測衛星「ひのとり」、1983 年 2 月の X 線天文衛星「てんま」、1984 年 2 月の中層大気観測衛星「おおぞら」の 4 機すべての衛星の軌道投入に成功しました。



M-3SII



M-3S IIは1985年に76年ぶりで回帰してきたハレー彗星への接近観測ミッションを行うことを目標に1981年宇宙科学研究所発足の年に開発が始まりました。M-4SからM-3Sに至る段階的な発展を第1期とするならば、このM-3S IIはこれまで培った技術を更に発展させ、ミューロケットの能力を大幅に向上させることを狙った第2期開発計画ともいえるものです。

M-3S IIでは、第1段はM-3Sのものが流用されましたが、補助ブースター、第2段、第3段ともに新規開発されています。また、オプションでキックステージを搭載し、多様なミッションに対応することが可能となりました。打上げ能力は大幅に向上し、地球低軌道に770kgのペイロードを投入出来るだけでなく、当初目的通り惑星間ミッションにも対応できる能力を持っています。

特筆すべき点は、新規開発され大型化された補助ブースターに、ノズルの取り付け角を変更して姿勢制御を行う可動ノズルが採用されていることです。M-3S IIではブースターの切り離しまではこの可動ノズルによってロールの制御が行われ、以後はSMRCによる制御が行われます。これは後にM-Vで主モーターの制御に使用されることになりました。また、本機から姿勢制御系がマイクロプロセッサを使用したデジタル制御に改められています。



1985年1月にわが国初の惑星間ミッションであるハレー彗星探査試験機「さきがけ」、続く8月に「すいせい」の打上げに成功。それまで不可能と思われていた全段固体ロケットによる惑星間ミッションの打上げに初めて成功し内外で高く評価されました。さらに、1987年2月にX線天文衛星「ぎんが」、1989年2月に磁気圏観測衛星「あけぼの」、1990年1月に工学実験衛星「ひてん」、1991年8月に太陽観測衛星「ようこう」、1993年2月にX線天文衛星「あすか」と連続7機の衛星の打上げに成功しています。しかし1995年1月の「EXPRESS」の打上げにおいて第2段燃焼中に予期せぬ震動が発生し当初予定の軌道への投入に失敗しました。

M-V



1989年に「宇宙開発政策大綱」が改訂され、M-3S IIの成果を通じて世界のトップレベルに達した日本の宇宙科学のさらなる推進と、全段固体ロケット技術の最適な維持発展が目標として掲げられました。これを受けて計画されたのがM-Vです。全段が新規開発されており、これまでのミューシリーズから様々な技術を継承しながらも、全く新しいロケットと言えるものとなっています。

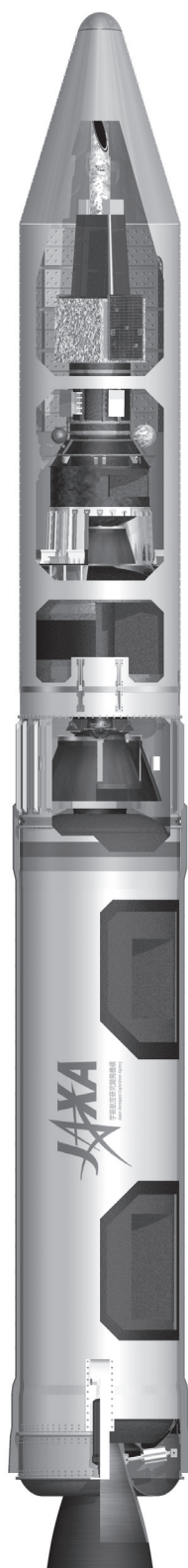
これまでのミューロケットシリーズの直径が1.4mに制限されていたのに対し、M-Vではこの制限が取り払われて直径2.5mと大幅に大型化されました。性能はM-3S IIをはるかに凌駕し、1.8tものペイロードを地球低軌道に投入することができるだけでなく、惑星探査ミッションにも対応できる能力を持つ世界最大級の固体燃料ロケットです。

機体構成としては、第1段、第2段のモーターケースに高張力鋼が、3段目には炭素繊維強化プラスチック(CFRP)が採用されています。姿勢制御系ではM-3S IIの補助ブースターに使われていた可動ノズルが第1段に採用されました。また打上げ能力を向上させるために、第1段の切り離しと第2段のモーター点火を同時におこなうファイア・イン・ザ・ホール点火方式が採用されています。また第3段とキックモーターには新開発となる伸展ノズルが採用されています。

初号機の打上げは1997年2月、電波天文観測衛星「はるか」の軌道投入に成功しました。2号機は計画延期により打上げられませんでした。1998年7月の3号機では日本初の惑星探査機となる火星探査機「のぞみ」の打上げに成功しました。しかし4号機では第1段のノズル破損によりASTRO-Eの打上げに失敗しています。これを受け改良を施した5号機は2003年5月に小惑星探査機「はやぶさ」の打上げに成功。続いて2005年7月にはX線天文衛星「すざく」、2006年2月には赤外線天文衛星「あかり」、2006年9月には太陽観測衛星「ひので」と連続して打上げを成功させています。しかし、諸般の事情により、この2006年9月のM-V-7号機をもって開発が中止されました。



イプシロン



イプシロンロケットは高性能と低コストの両立を目指す新時代の固体燃料ロケットです。1段目には H-IIA ロケット用補助ブースターを活用、一方2段目と3段目には世界最高性能と謳われた M-V ロケットの上段モータを改良して用います。例えば、モータ構造をさらに軽量化するとともに製造プロセスの簡素化も図っています。イプシロンロケットは、我が国が世界に誇る固体ロケット技術の集大成であり、ペンシルから M-V に至るまでの半世紀に蓄積された知恵と技術の全てが込められています。加えて、革新技术と既存技術を有機的に組み合わせることで、信頼性と性能の一層の向上を実現しています。組み立てや点検などの運用が効率的で、高頻度の打上げが可能な次世代の宇宙輸送システムの誕生です。ロケットの打上げをもっと手軽なものにし、宇宙への敷居を下げよう…それがイプシロンロケットの最大の目的なのです。

イプシロンロケットの開発では、これまでの慣性を超えて様々な新しい取り組みを進めていますが、その中でも特筆すべきは打上げシステムの革新です。鍵を握っているのはロケットの知能化で、イプシロンでは搭載機器の点検をロケット自身が自律的に行おうとしています。これにより、世界中のどこにいても、ネットワークにただノートパソコンを接続するだけでロケットの管制が可能となります。このような革新的打上げシステムはモバイル管制と呼ばれ、世界で最もコンパクト、かつ射場に依存しない究極の管制システムです。もちろん世界でも初めての試みであり、未来のロケットのお手本になるものです。既に試作モデルも完成し、その実現もすぐそこまで来ています。