

# 宇宙開発 60年史

JAXA 宇宙科学研究所

1955年～2015年

中部博雄  
竹前俊昭  
小野 縁

宇宙輸送系シンポジウム

カプセル帰還

## はじめに

わが国の宇宙開発は1955年のペンシルロケットの水平発射から始まりました。IGY（国際地球観測年）参加を目標に手探りのロケット開発です。無我夢中で実験を繰り返し、失敗の連続でした。その2年後にK-6型が完成し IGY 参加に間に合いました。

観測ロケット開発は続き、L-4S型で衛星打ち上げ技術を習得する事になりました。それはさらなる未知の領域、苦しい試練を克服して1970年に世界初の無誘導方式で世界最小のL-4S-5号機により世界で4番目の人工衛星「おおすみ」が誕生しました。

国産技術にこだわり日本独自の技術を生みだし、衛星打ち上げ用として世界に類を見ない全段固体燃料のM-4S型ロケットが完成しました。このM型ロケットは世界最高性能を誇るM-V型ロケットへと進化しました。

M-V-5号機で打ち上げた「はやぶさ」は、2010年に小惑星「イトカワ」から満身創痍でサンプルを地球に持ち帰りました。また、「あかつき」は金星周回軌道投入失敗から5年後に再挑戦し見事に成功しました。さらに太陽を周回しているソーラセル「イカロス」も世界初の快挙でした。

これらの成果は、あきらめない精神と先人達が多く失敗から学んだ技術を蓄積し、継承してきた結果が成功につながったのです。

今回の講演では時間の関係で全てを紹介できませんが、先人のご苦勞と成果の一端を感じていただければ幸いです。



# 宇宙開発60年史 目次

1. IGY参加に向けた観測ロケットの開発
2. 観測ロケットの性能向上
3. L-4Sによる衛星軌道投入実験
4. 科学衛星の時代:M-4S~M-3Sの開発
5. 探査機の時代:M-3SⅡ~M-Vの開発
6. まとめ

## ■技術開発に“失敗”はない

一つ一つの挑戦と経験を積み上げる過程が存在するだけだ。  
その挑戦は大胆なほど素晴らしい。 (糸川英夫)

# 1. IGY(国際地球観測年)参加に向けた 観測ロケットの開発 1955年～1958年

1955年の海岸は米軍が占有しており、実験場予定地としては 佐渡島と男鹿半島の2カ所しか残っていなかった。そこで 立地条件を考慮して道川海岸が選ばれた。

## ■提案

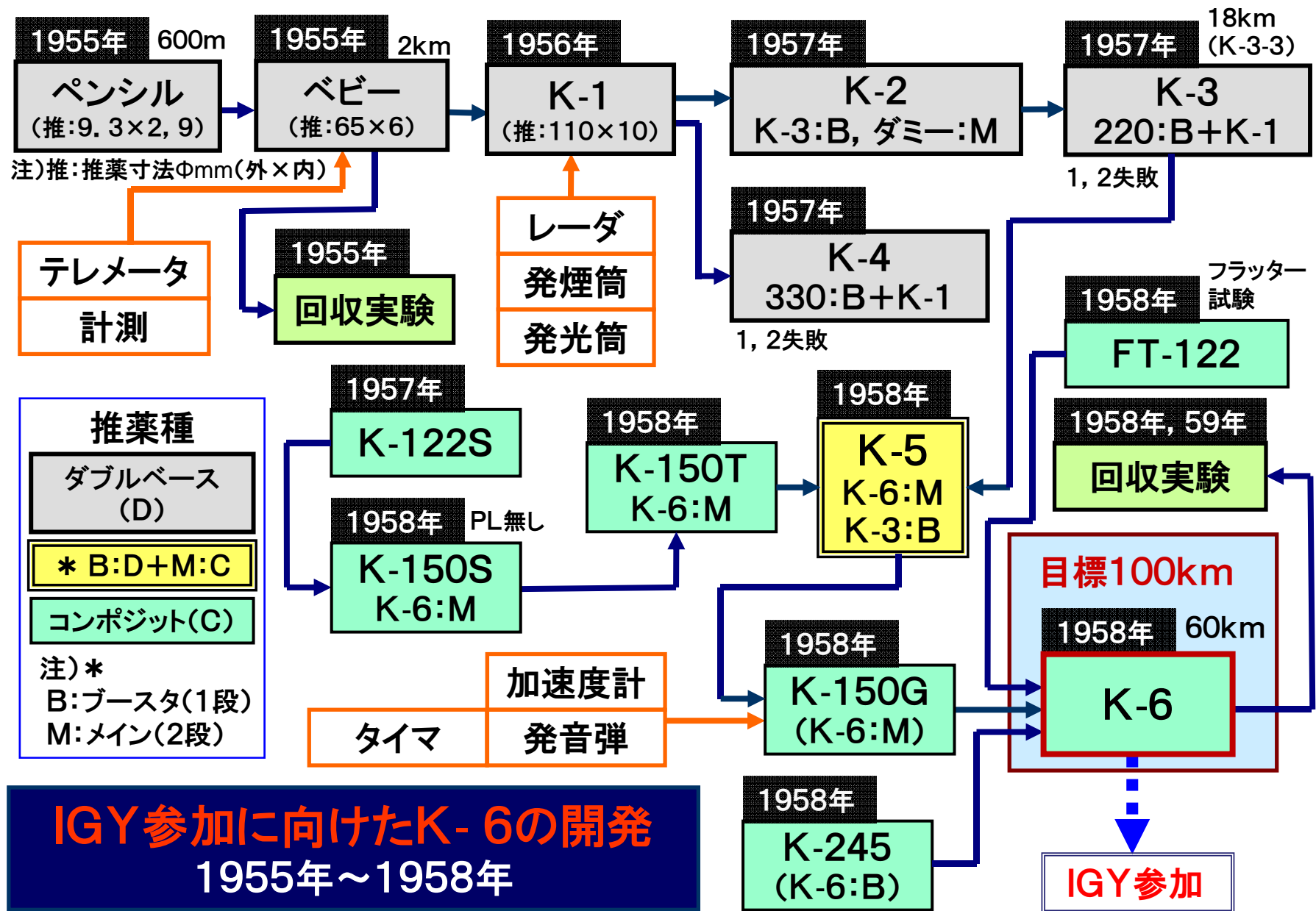
(糸川英夫／「巷談・交談」：日本TV)

経済連会長から呼び出され、「日本の産業は海外の技術を使って発展を続けている。ロケットを買ってあげるから、それを調べてやりなさい」と提案があった。

私は自分たちの力で日本独自のロケット開発をやりますと答えた。

秋田ロケット実験場(1961. 7)





# ペンシル

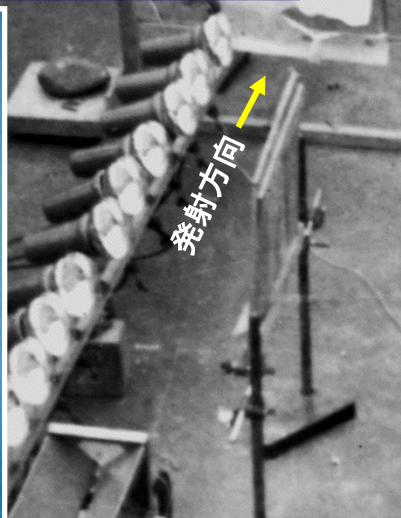
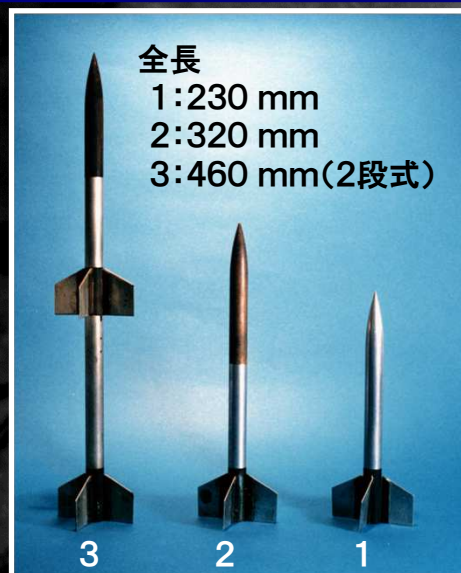
## 水平発射実験

### 1955年4月12～23日

#### ■実験

戦争中の製造機でつくった燃料（ダブルベース）に合わせてペンシルロケットが完成した。

実験は各部の材料、尾翼形状を変えて計34回の水平発射実験を国分寺で実施した。

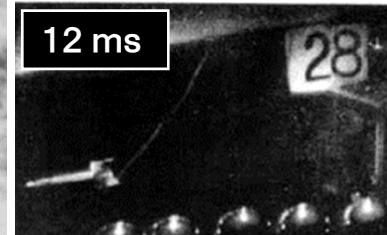
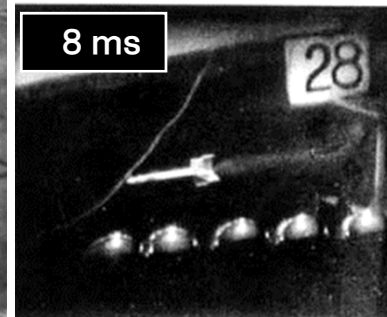
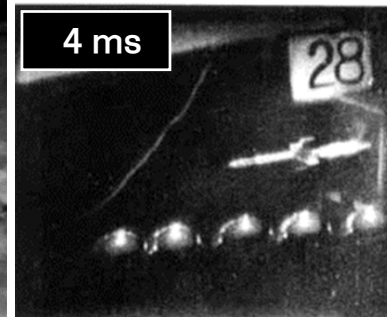
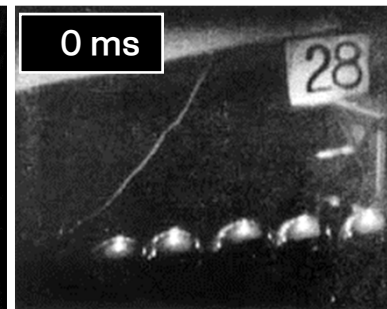


元新中央工業／国分寺



#### ■諸元

全長:230 mm  
外径:18 mm  
全重量:220 g  
ケース材:ジュラルミン  
推進剤:DB(ダブルベース／無煙火薬)  
重量:13 g  
燃焼時間:0.09 sec  
(全面燃焼)  
外径:9.3 mm  
内径:2.9 mm  
全長:120 mm



ハイスピード カメラ映像

# ベビー T-2

## テレメータ機能試験

### 1955年9月19日



高木 昇



戸田康明  
(元富士精密)

#### ■ 飛行時の不具合

事象: メイン不点火。

原因: 遅延イグナイタの不良。

#### ■ 不具合対策

延時イグナイタと点検方法を見直す。



機体の半分地中にめり込んだ頭胴部( ↓ )



糸川英夫

#### ■ 諸元

全長: 1,340 mm

B外径: 80 mm

M外径: 80 mm

全重量: 10 kg

推薬種: DB (外: 65 × 内: 6)

燃焼秒時

B: 0.06 秒

M: 1.6 秒

高度: 約2 km

打ち上げ機数: 13

飛行試験 S: 5

TM 試験 T: 5

回収 試験 R: 3

#### ■ 回収

(生産研究4/57)

メインが点火せず45m先の海岸に落下した。航路を示すための発煙液(四酸化チタン)が筒から噴煙していた。主任の高木教授は危険なので近づけさせなかった。しばらくして、富士精密の戸田さんは、数人とほふくして近づき回収した。



# 128J 燃焼試験

110Φ燃料

1956年2月9, 21日

秋田ロケット実験場

■新たな発見 村田 勉(元日油)  
日本油脂の工場に分解した状態で保管されていた110Φの圧出成型機(推薬製造機)が発見され、K-1～K-5のロケット製造が可能となった。

この設備は、特攻機「桜花」の燃料製造に使われたものです。



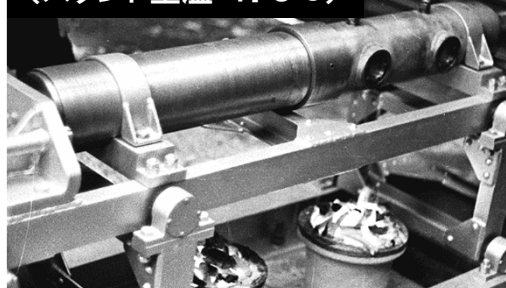
試験前

試験後

ペンシル同様  
穴(▼)が有り

破裂後の推薬と壁に出来た推薬片による穴

(スタンド室温:1.5℃)



炭火でチャンバー加熱中

推薬 3



10kg 推薬セット(2/21)

## ■諸元

外径:155 mm

全長:1,430 mm

推薬種類:DB

外形:110 mm

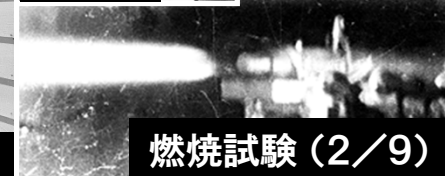
内径:10 mm



推薬 2



推薬 1



燃焼試験 (2/9)

吹雪の中、炭火と温水でチャンバーを25℃まで暖め、その後推薬を装填、実験時に20℃になるように温度管理をした。

## ■実験結果

9日の実験は推薬(ダブルベース/内面燃焼)5 kgを2回実施、共に燃焼は正常で燃焼秒時:約4 秒、着火遅れ:1～2 秒。

21日の実験は推薬10 kgで1回実施、点火スイッチ投入後1秒で着火、その直後に破裂、数ヶ所に推薬片が壁に入り込んだ。



# K-1-2(128J-S-2)

飛行試験

1956年9月28日

## ■飛行時の不具合

事象: 上空で尾翼4枚飛散。

原因: 熱と振動の問題か？

## ■諸元(128J-S)

全長: 2,260 mm

外径: 128 mm

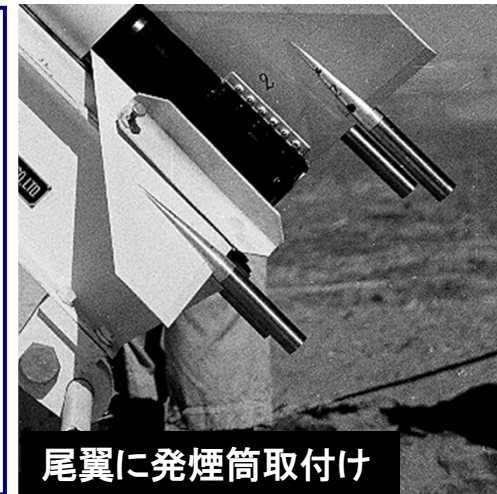
全重量: 37.5 kg

推薬種: DB

推薬量: 15 kg

推薬寸法(mm):  
110φ×1,000

予定高度: 7 km



尾翼に発煙筒取付け



尾翼がもげた  
(ノズル側)

麦畑に落下した機体

地面に刺さった尾翼

## ■不具合対策

発光筒の尾翼取り付けを止め  
尾翼筒周辺に固定する。



垣見恒男

ランチャー乗せ

打ち上げ機数: 7

# K-3-1, 2

## 飛行試験

1957年5月2日  
6月22日

### ■飛行時の不具合

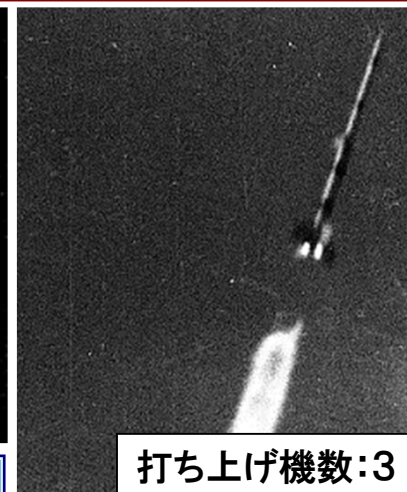
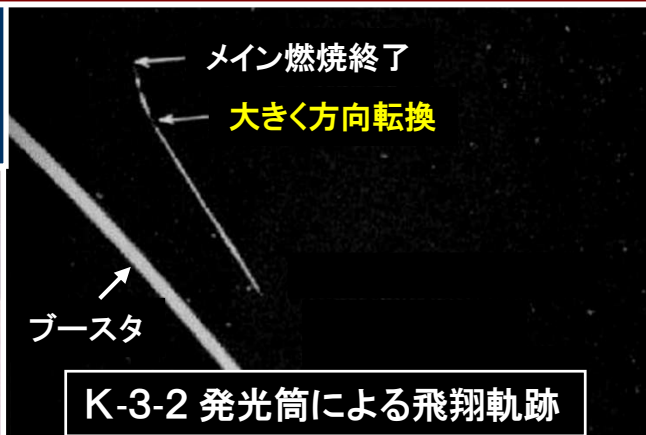
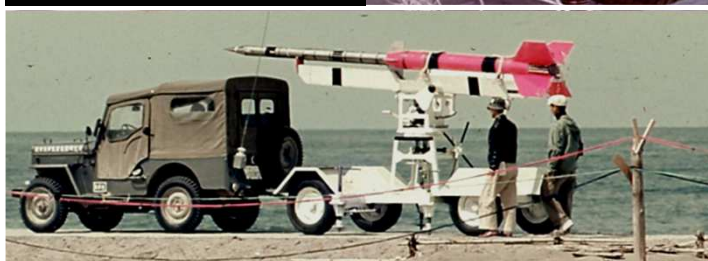
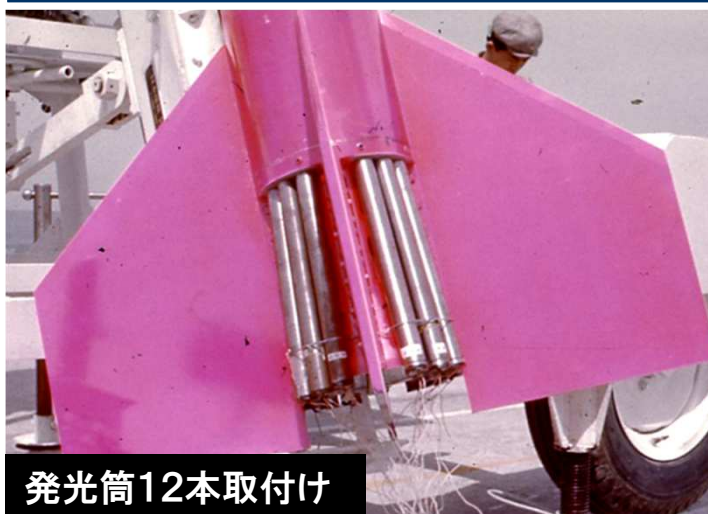
事象: 1号機は異常スピン、その後メインが異常燃焼。

2号機はメイン点火直後、軌道急変。燃焼末期に  
搭載機器の通信途絶える。

原因: 異常振動等で機体破壊か？

### ■不具合対策

振動、衝撃対策を行う。



### ■漁業交渉

初の夜間打ち上げのため  
漁業組合で説明会を行った。  
危険水域で底引き操業は行  
わない。ただし、大漁で操業  
が長引く場合は、打ち上げを  
中止する約束をした。

(ロケット発祥の道川海岸)

### ■諸元

全長: 4,900 mm  
全重量: 170 kg  
B外径: 220 mm  
M外径: 128 mm  
最高高度: 18 km  
(K-3-3)

推進種: DB



# K-4-1, 2

## 飛行試験

### 1957年9月20, 22日

K-4-1 飛行軌跡

メインの不具合で  
発光筒消える

ブースタの軌跡

#### ■諸元

全長:5,864 mm  
全重量:363 kg  
B外径:330 mm  
M外径:128 mm  
推薬種 B, M:DB

#### ■ブースタ推薬 (mm)

外形:110、内径:10、長さ:約500、燃焼  
秒時:4秒の推薬 21本(7本の束×3)装填。

#### ■飛行時の不具合

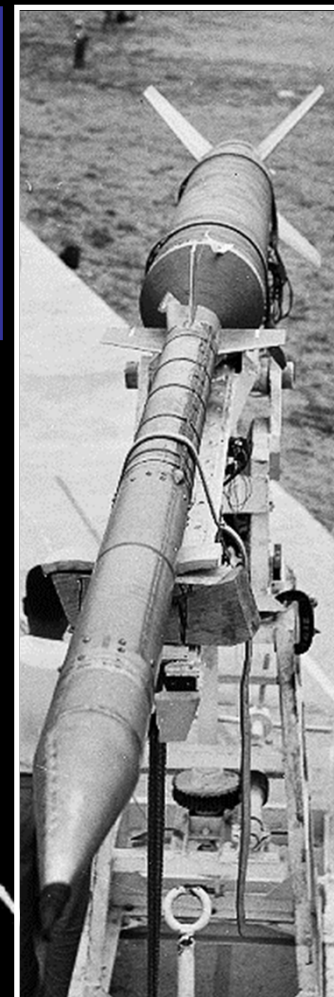
事象:1号機はメイン点火後2.3秒に尾翼破損。

2号機はブースタ点火後X+3.5秒から飛行異常。

原因:21本束ねた推薬か機体に問題。



推薬7本の束



#### ■不具合対策

機体が重く飛行が不安定のため、開発は中止された。

ブースタ  
燃焼終り

#### ■貴重な資料

(永岡忠彦／元日産)

当時は原因が良くわからないままにどんどん作り飛ばしていた頃で、K-4型の失敗は貴重な資料になった。ブースタの加速度を下げ、内面燃焼方式が実現できるコンポジット推薬に変更してK-6型が完成した。以後観測事業を成功させてくれた。

# K-6-1

## 宇宙科学観測

### 1958年6月16日



K-6型

打ち上げ機数:18

#### ■IGY 参加

上空で発音弾を爆発させその圧力伝播を地上で受け上層の気温、風の観測と宇宙線、太陽分光の4項目で4号機から1年遅れてIGYに参加する事が出来た。それ以降観測ロケットは「Sounding Rocket」と呼ばれた。

#### ■飛翔時の不具合

事象:X+21秒、メイン点火後1.5秒(全燃焼秒時8秒)で燃焼は中断した。

原因:推薬温度が低くなっていた。

#### ■不具合対策

保管温度は20~23℃を厳守。



発音弾のせん光観測



発音弾組込み(K-6-3)

#### ■諸元(K-6-9/TW-4)

全長:5,390 mm

全重量:255 kg

B外径:248 mm

M外径:150 mm

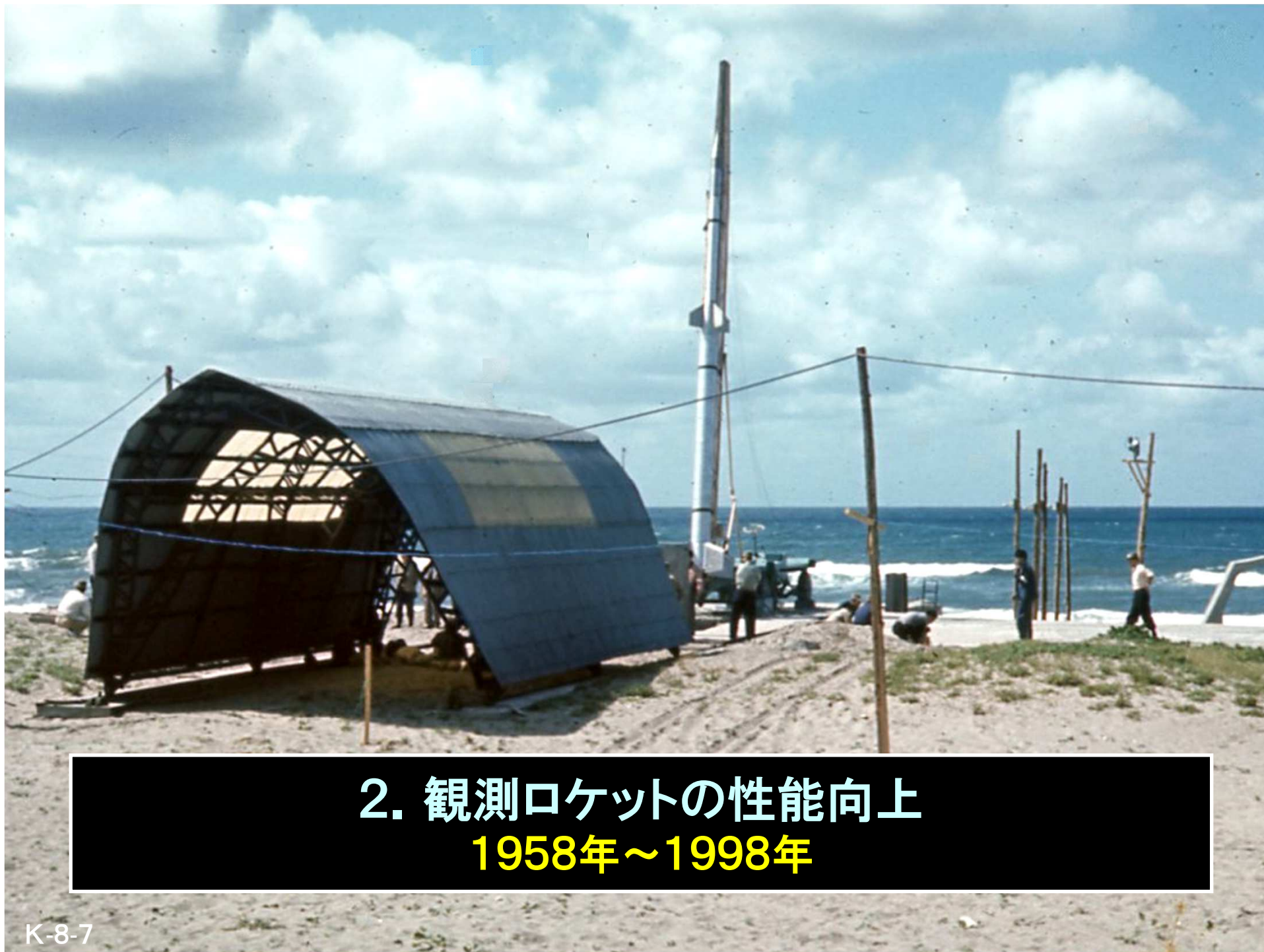
チャンバー材:Al合金

搭載重量:6 kg

最高高度:60 km

推薬種:SP(ポリサルファイド系コンポジット)





## 2. 観測ロケットの性能向上 1958年～1998年

K-8-7



# K-7-1

## K-8型ブースタ試験

### 1959年11月18日



モータ運搬(三輪トラック)

#### ■ 飛翔時の不具合

事象: X+11秒に空中分解。

原因: 加速度が過大で、空力加熱が増え機体を破壊。

#### ■ 不具合対策

ブースタにダミーのメインを付けてK-8D型として飛翔実験を行う。

#### ■ 機体の回収

勝手橋東約200 mに機体(shroud)の一部と射点から東方約500 mの市太郎山から、「おらの畑に丸いのが転がっている」と通報ありチャンバ一部を回収、人的被害は無かった。

(林 紀幸)

#### ■ 飛翔結果

高張力鋼を溶接したK-8型のブースタで上下角80度で打ち上げたが空中分解した。

搭載機器はテレメータ(TM): X+10秒、レーダトランスポンダ(RT): X+105秒まで受信した。



#### ■ 諸元

全長: 6,710 mm

外径: 420 mm

全重量: 1,100 kg

推進種: SP



落下した尾翼筒の一部



**K-8-1**  
宇宙科学観測  
1960年7月11日



点火薬挿入 (K-8-4)



開頭試験

■ 飛翔結果

本格的な観測ロケットで飛翔は正常であった。ただし、RTはX+35.7秒で停止した。



玉木章夫



司令室

斉藤成文



打ち上げ機数:16

■ 諸元

全長:10,013 mm  
全重量:1.473 kg  
B外径:420 mm  
M外径:248 mm  
搭載重量:42 kg  
最高高度:185 km  
推進種B1, B2:SP





## ■ 飛翔結果

水平飛翔距離が600 kmを超え  
ロシア領に落下する可能性があり、  
メインの推薬を減らして3 段式の  
K-9L型を打ち上げた。飛翔は正常  
で高度350kmに達した。



レーダ(4m)アンテナ



## ■ 点火薬

加塩素酸カリ  
とアルミ粉末の  
混合物。

1段目点火薬

Igniter 420

1-2段接手分離部

2-3段接手分離部

2段目点火薬

# K-9L-1

宇宙科学観測

1961年4月1日

## ■ 諸元

全長:12, 509 mm

全重量:1. 566 kg

B1外径:420 mm

B2外径:248 mm

M外径:158 mm

搭載重量

B2:3. 6 kg

B3:7. 7 kg

推薬種

B1, B2:SP, M: ?



# K-8-10

## 電離層の観測

### 1962年5月24日

#### ■打ち上げ時の不具合

事象: 点火直後(X+0.3秒)に爆発した。

原因: 推薬に亀裂、燃焼面積が増加し内圧が急上昇した。

被害: 民家の屋根、壁に軽微な破損、人的被害なし。

#### ■撤退

被害は軽微なものであったが地元のショックは大きく、地元の強い要請で 秋田実験場は閉鎖することになった。

ブースタ下部が破裂、尾翼筒部を残して飛翔し約12秒後、海中に落下

ランチャー先端部が折れる

秋田ロケット実験場



回収された機体



X+31秒: 海中から飛来したメイン ( ↓ )



角度セット

#### ■不具合の成果

- ① ロケットの危険性を再認識し保安に対して見直した。
- ② 品質管理の見直し、信頼性向上に貢献した。
- ③ 爆発時の飛散状態から安全距離の理論に反映した。



# K-8L-1 (原名: K-6S)

宇宙科学観測

1962年8月23日

## ■概要

内之浦の実験場は1年前から工事が始まっていたので K-8-10事故から3か月後には内之浦で打ち上げが可能になった。

K-8LはK-6の改良型で搭載重量は15 kgと小さいが到達高度はK-8に匹敵することからK-8Lと名付けられた。

## ■諸元

全長: 7,300 mm

全重量: 337 kg

B外径: 250 mm

M外径: 160 mm

推進種:

UP(ポリウレタン系  
コンポジット)

最高高度: 175 km

搭載重量: 15 kg

## ■珍事

(生産研究 7/63)

K-8L-1号機のブースタが海上を浮遊しているのを漁船が発見した。



浮遊中の  
ブースタ



回収されたブースタ



打ち上げ機数: 12

# K-9M-1

## 飛翔試験・宇宙科学観測

### 1962年11月25日



#### ■概要

推薬、軽量化のためにモータケースは高張力鋼、分離機構の改良により性能向上が図られ、高度は300kmを達成した。

#### ■不具合対策

新推薬の低温、低圧における着火性の問題でクロージャータリ付けと点火器を見直す。



メイン結合

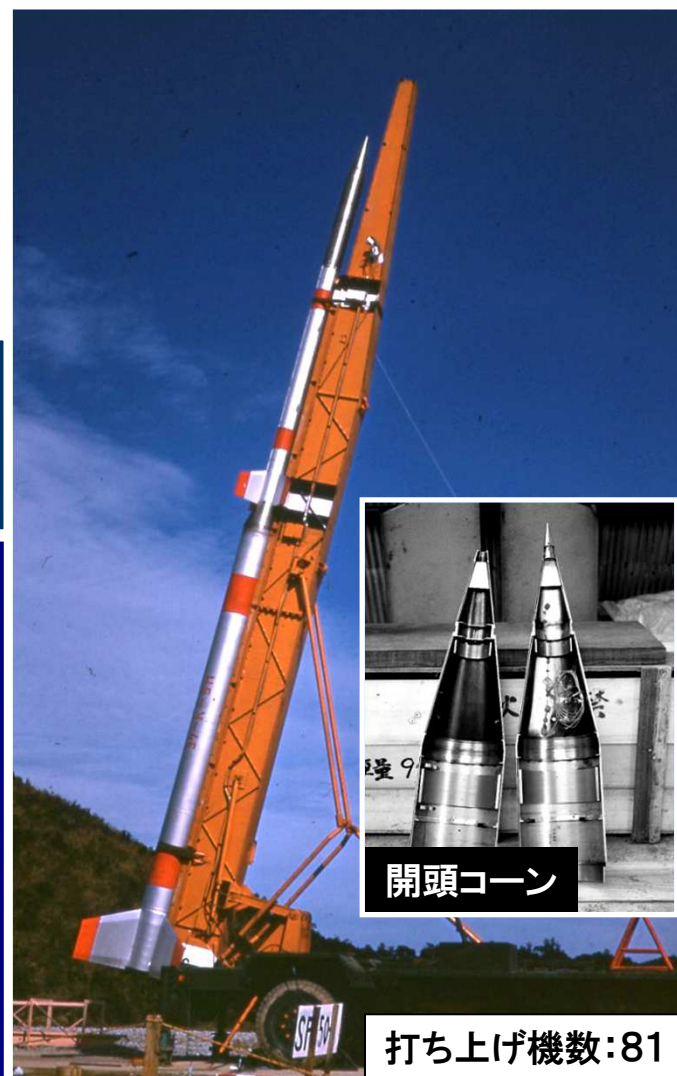
#### ■諸元

全 長:11,174 mm  
全重量:1.44 ton  
B1外径:420 mm  
B2外径:250 mm  
搭載重量: 51kg  
推薬種  
B1:SP(～No44)  
B1:UP(No45～)  
B2:UP

#### ■飛翔時の不具合

事象:メイン点火せず。

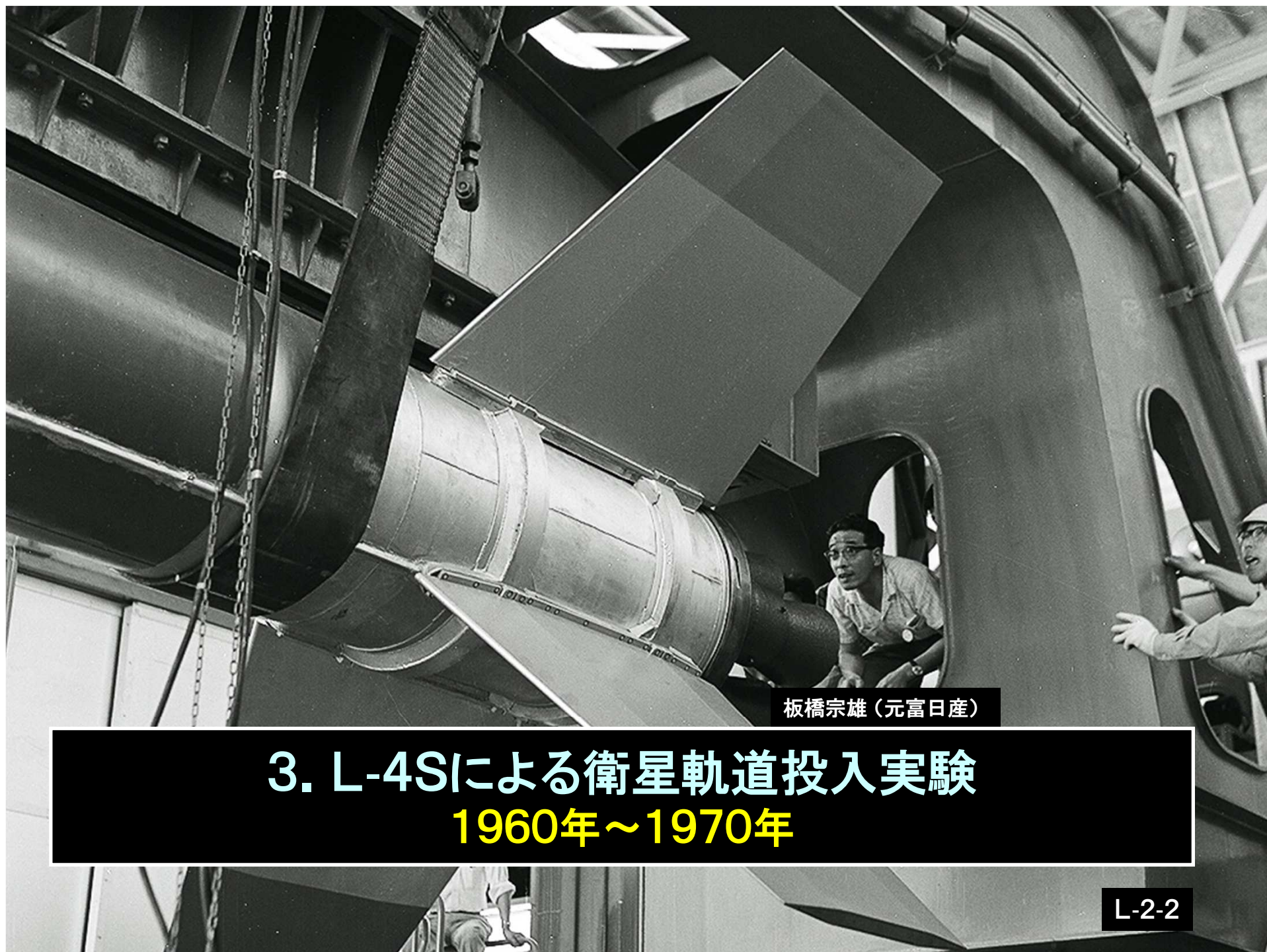
原因:真空対策不足か。



開頭コーン

打ち上げ機数:81



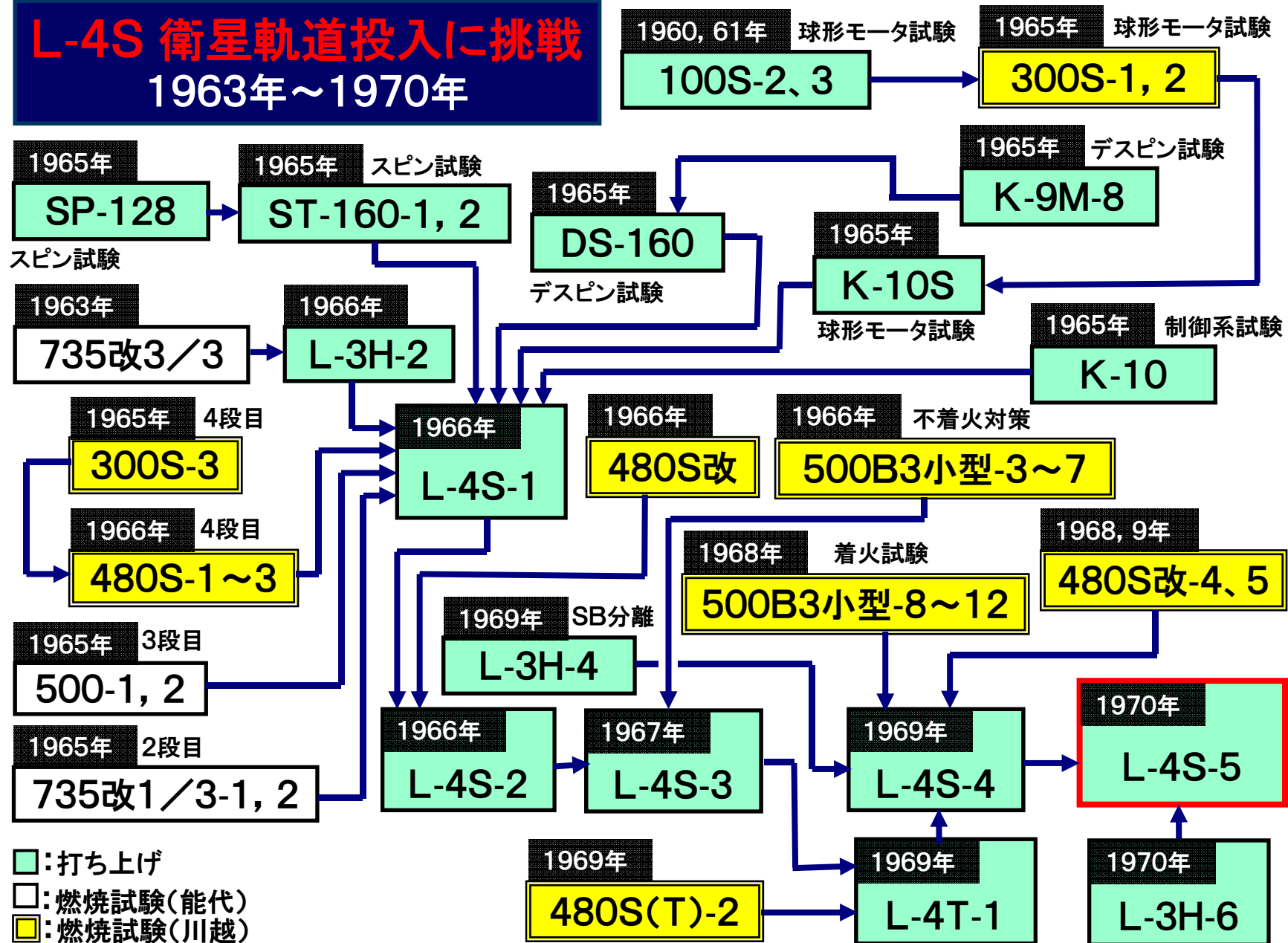


板橋宗雄（元富日産）

### 3. L-4Sによる衛星軌道投入実験 1960年～1970年

L-2-2

# L-4S 衛星軌道投入に挑戦 1963年～1970年





# L-2-1

科学観測・飛翔試験

1963年8月24日

## ■飛翔時の不具合

事象:メイン点火せず。

原因:真空対策が不足していた。

## ■点火器(イグナイター)

和知(元日産)

L-2型のイグナイターは 加塩素酸カリとAl粉末の混合物からなり、この粉末をダンボール筒に入れた簡単なもので、それを複数個 麻ひもに吊るした。燃焼は湿気の影響を受け着火遅れの変動が大きく真空着火には無理があった。

そこで、装薬をケースに収めペレットタイプのイグナイタを苦労して開発した。

## ■諸元(L-2-2)

全長:15,959 mm

全重量:6,268 kg

B外径:735 mm

M外径:420 mm

最高高度:402 km

搭載重量:184 kg

推進種:全段SP

← 18m アンテナ工事

## ■不具合対策

点火器を開発し、L-735 3/3改の燃焼試験でその性能を確認して、L-2-2号機から採用する。



L-2-2



# 婦人会の献身的な協力

工事・接待・売店・調理師免許

1961年～



観測所内道路工事



久木元夫妻

糸川 田中

糸川が道路工事作業中の婦人を激励

撮影：牧工

## ■ 婦人会の協力

田中キミさんのリーダーシップにより、婦人会は立ち上がりました。

### 1. 道路工事(1961年6月～)

農繁期と重なって道路工事は人手不足が深刻、そこで婦人会が率先して工事に加わりました。

### 2. 接待・民宿手配・売店(1962年2月～)

糸川一行の調査団におはぎの差し入れ、起工式の200人分の弁当づくり、実験班のため民宿の手配、実験場に売店を設け、お客の接待等支援を続けました。

### 3. 調理師免許(1962年7月)

本格実験に備えて旅館を増やすよう町民の協力を取りつけ、調理師免許を一斉に関係者を集め取得しました。



田中キミ



橋本雅子

(橋本雅子／元婦人会長)

# **L-3-1**

## 宇宙科学観測

### 1964年7月11日

#### ■実験

バンアレン帯の観測を目的とし開発された3段式で、新推薬の採用によりM-4S型の予備試験にもなっている。

2, 3段に観測機器を搭載している。それにより観測目的により各段に振り分けることができる。



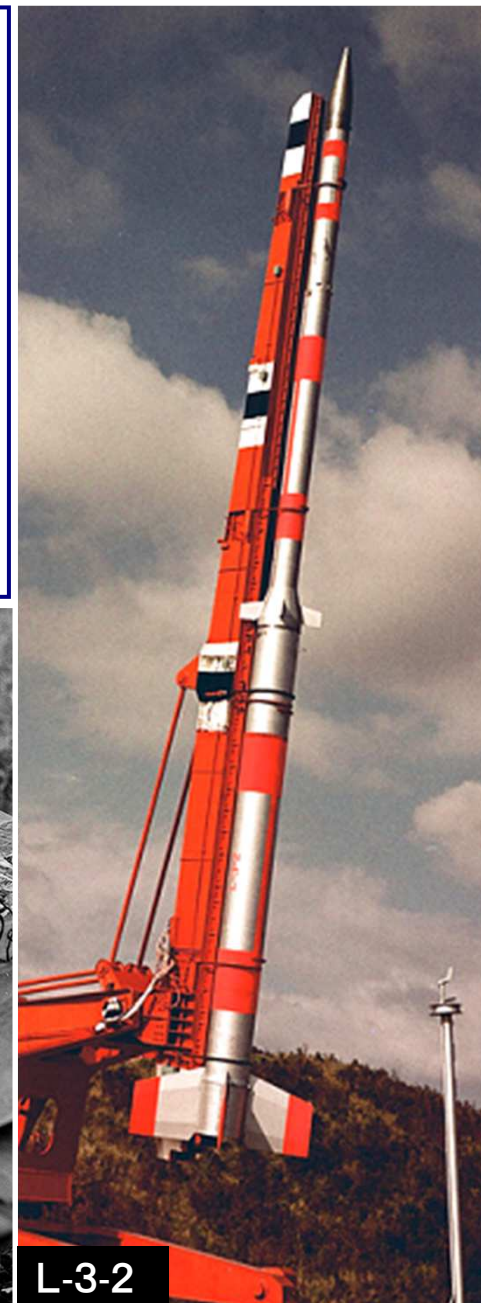
ブースタ移動

#### ■諸元

全長: 15,959 mm  
全重量: 6,268 kg  
B1外径: 735 mm  
B2外径: 420 mm  
M外径: 420 mm  
最高高度: 1,000 km  
載重量 B2PL: 50 kg  
          B3PL: 89 kg  
推薬種: UP(ウレタン系  
          コンポジット)



新イグナイター



L-3-2



# K-9M-4. 5

宇宙科学観測

1964年7月29日, 11月5日

## ■不具合対策

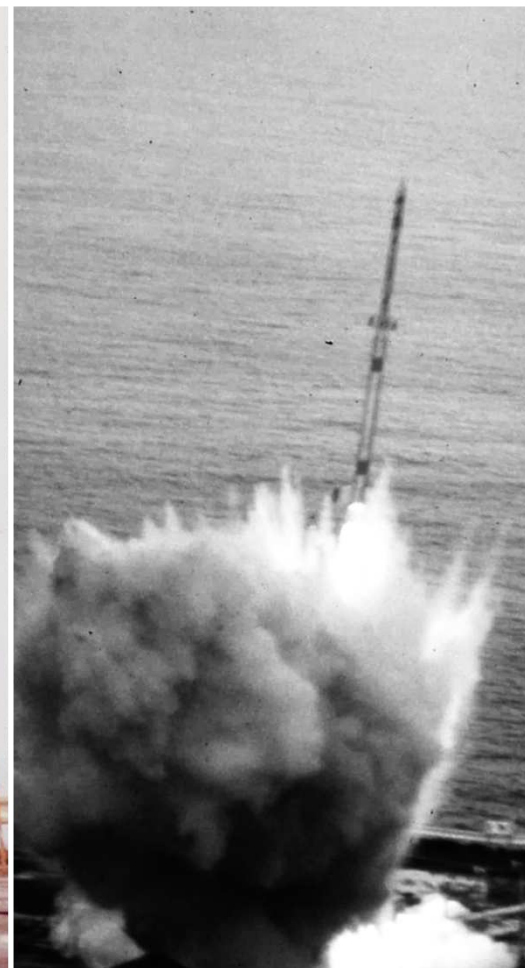
- ① 3, 6～8号機の接手部チャンバー外周にガラス繊維を2 mm厚に巻く。
- ② 9号機以降はチャンバー厚を接手部1 mm、胴部を0.5 mm厚くする。



## ■飛行時の不具合

事象: 両機ともメイン点火後5秒(X+30秒)で燃焼が停止した。

原因: 空力加熱でケース接手のネジ結合部が劣化して前部鏡板が抜ける。



# L-3H-1

宇宙科学観測  
1966年3月5日

## ■L-3H-2諸元

全長:15,959 mm

全重量:6,268 kg

B1, B2外径:735 mm

M外径:420 mm

推薬種:UP(B1、B2)  
:BP(M)

最高高度:1,800 km

搭載重量

B2PL:135 kg

B3PL:96 kg

## ■飛行時の不具合

事象:メインの飛行が不安定。

原因:2段目ノズルスカート内  
壁のベインが早期焼損。

## ■不具合対策

ベイン方式を廃しピンモータ  
を取り付ける。



2段目ブースタノズル部

打ち上げ機数:9



# **L-4S-1**

## 衛星軌道投入試験

### 1966年9月26日



#### ■成果

打ち上げが上手くいかなかったのは「失敗」ではありません。大切な「成果」なんです。この結果を踏まえて次に進んでいくのです。  
(糸川英夫)



#### ■機体の安定

1段目分離後、2段目尾翼の傾きとスピンモータで2.5回転/秒のスピンを与え飛翔安定を図っている。

#### ■飛翔時の不具合

事象:3段目分離異常、姿勢制御装置の故障で軌道投入出来ず。

原因:2-3段分離ナット4個中1個動作せず、姿勢制御装置(CNE)電源不良でデスピンモータ点火せず。

#### ■不具合対策

セパレーションナットの冗長化と4個の分離装置を3個に減らす。CNEの固定方法等を検討する。また、補助ブースタ(SB)を追加し打ち上げ能力を向上させる。

# L-4S-2

衛星軌道投入試験  
1966年12月20日



4段搭載機器組付け



補助ブースタ(SB)の追加



## ■ 飛行時の不具合

事象: スピンが残り4段点火せず。

原因: 1-2段の分離衝撃が過大で 3-4段接手部が外れ  
4段(メイン)点火回線が切れた。

## ■ 不具合対策

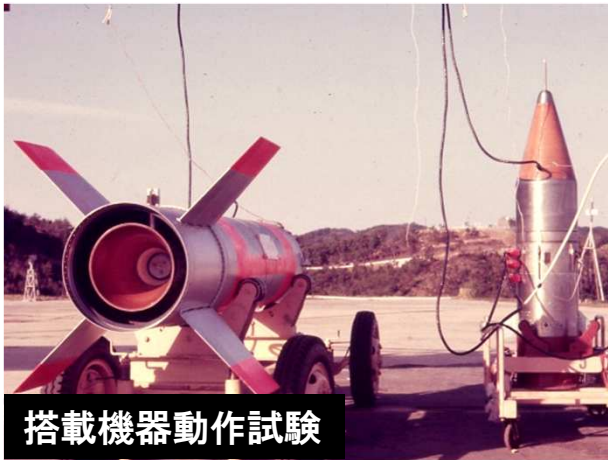
- ① デスピン時の衝撃が大きく 3-4段接手が外れたと推測した。その対策として 3-4段接手部の構造を強くした。
- ② 3段目の残留推力の考慮もあり、分離スプリングを強化した。
- ③ 空力加熱を考慮しデスピンとリスピンモータをノーズフェアリング内に収納する。



# L-4S-3

## 衛星軌道投入試験

### 1967年4月13日



搭載機器動作試験



#### ■ 飛翔時の不具合

- 事象: ① 3段モータ点火せず  
② 3-4段接手外れる。(2号機と同じ)
- 原因: ① 点火薬の着火性に問題あり。  
② 1-2段分離衝撃が過大だった。

#### ■ 不具合対策

- ① 着火特性の良い点火薬に変更  
② 1-2段接手の構造を改良することで切断薬量を削減し、過大衝撃を  
1/2以下に緩和出来た。

#### ■ 漁業問題

種子島実験場建設に端を発した漁業問題で、L-4S-3号機打ち上げ以降 1年5ヶ月間実験が出来なくなった。この間に徹底した不具合原因の究明と対策にあたった。

## ■実験結果

各部の改修を総合的に確認するためメインの推進量を60%充填して実施した。最終段の制御と打ち出しは成功し目的を達成した。

## ■接触(追突)

事象：3-4段分離後、3段目が2回上段に接触(追突)した。

原因：3段目残留推力により加速し追突した。



動作試験準備

# L-4T-1

## 衛星軌道投入模擬試験

### 1969年9月3日



テレメータセンター



CN噴射試験

## ■不具合対策

①第3段に逆噴射ロケットを取付ける。②3-4段分離時間を遅らせる。③上段に加速用小型ロケットを付ける。そこで現実的な対策として②の方策をとり、分離時間を15秒遅らせ、残留推力が十分減衰したところで分離することにした。



# **L-4S-4**

## 衛星軌道投入試験

### 1969年9月22日

#### ■ 飛翔時の不具合

事象: 3段目が衛星部に追突し、整定した姿勢を大きく狂わせた。

原因: 残留推力対策が不適切であった。



#### ■ 不具合対策

第3段モータ前部にレトロモータを取り付ける。スプリングストロークを延ばし分離速度を稼ぐ。その薬量決定には L-3H-6号機で確認する。

#### ■ 経験

失敗のたびに床に記録紙を延ばし、野村先生を始めテレメータ班員と失敗原因を探る作業が繰り返された。深夜に及ぶこともあった。自らの手を汚して得た苦しい経験は Mロケット計画に十分に生かされたのがせめてもの慰めであった。 (林友直)

**K-10C-2**  
M-3C用第2段TVC試験  
1969年9月26日



過酸化水素漏れで激しく反応



メイン点火



ブースタ頭部冷却

撮影:平田

■打ち上げ時の不具合

事象:打ち上げ準備中に姿勢制御燃料の過酸化水素が漏れメインに点火した。

原因:火薬式バルブを開けた際にウォータハンマ現象が起き、メインのノズル付近から過酸化水素が漏れ、火災が発生してメインの推薬に着火した。

■過酸化水素

(秋葉鏢二郎)

ハイブリッドロケットでも過酸化水素を使いました。酸化剤としては魅力的な数値を示すものでしたが漏れたら、衛星でも何でも駄目にしてしまう危険なものでした。

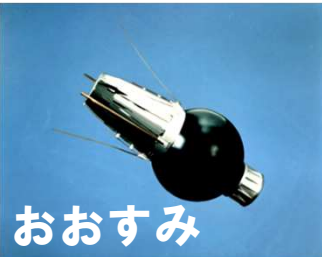


# L-4S-5

## 試験衛星「おおすみ」

### 1970年2月11日

おおすみ



#### ■実験結果

「おおすみ」は近地点 350 km、遠地点 5, 140 kmの軌道に投入された。

#### ■諸元

全長:15, 959 mm  
全重量:6, 268 kg  
B1外径:735 mm  
B2外径:735 mm  
B3外径:504 mm  
SB外径:310 mm  
M外径:480 mm  
衛星重量:9 kg  
ケース材  
B1:HT-140  
SB:クロモリ(2本)  
B2:HT-140  
B3:HT-200  
M:Ti

#### ■推進種

B1:UP  
SB:UP  
B2:UP  
B3:BP  
M:BP



最終段組み付け



実験主任野村民也

もう後がない！  
考えられる事は  
全部やりました。



成功旗行列



L-4S-5 打ち上げ





## 4. 科学衛星の時代:M-4S~M-3S

1965年~1980年







# M-4S-1

## 科学衛星「MS-F1」

### 1970年9月25日

#### ■目的

L-4S-5号機で実証した重力ターン方式で、4段式Mロケットで科学衛星(短波帯太陽電波等の観測)の予定軌道投入を目指す。

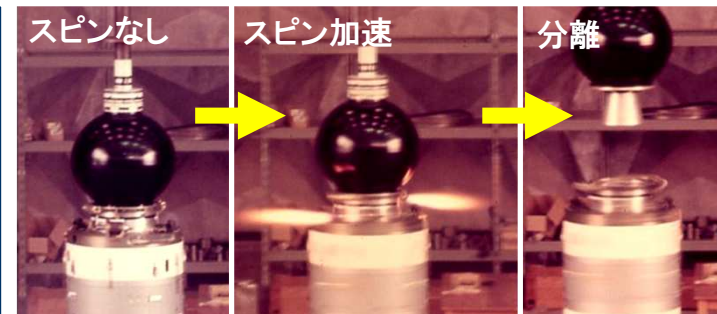
#### ■飛翔時の不具合

事象:4段目に点火せず。

原因:① SJの電磁弁の1つが開放となり スピン数6.5 rpsとなり過大Gが発生した。  
②タイマが故障し、点火信号が送出されなかった。

#### ■不具合対策

- ① 信頼性の高い電磁弁を用い配管をアルミからステンレスに変え耐蝕性を増す。
- ② タイマが高真空中確実に作動するように 気密容器に入れ、点火系配線の1部を2重にする。



最終段制御終了後の分離試験(M組立棟)



**M-4S-3**  
科学観測衛星  
「しんせい」  
1971年9月28日

■目的

電離層、宇宙線、短波  
帯太陽雑音等の観測。



MS-F2



衛星組付け



M管制室 (M-4S-1)

■諸元

全長:23, 568 mm  
全重量:43, 8 ton  
B1外径:1, 410 mm  
B2外径:1, 410 mm  
B3外径:860 mm  
SB外径:310 mm  
M外径:786 mm  
衛星重量:63 kg

# S-310-1

宇宙科学観測(南極仕様)  
1975年1月20日

## ■ 飛行時の不具合

事象: Yodeスピナ作動せず。  
原因: 不明。

## ■ 飛行結果

本機は推力レベルを2段階にした新型モータで尾翼をひねってスピン(2 rps)を発生させ飛行安定性を確保している。飛行は正常で高度192kmに達した。

## ■ 諸元

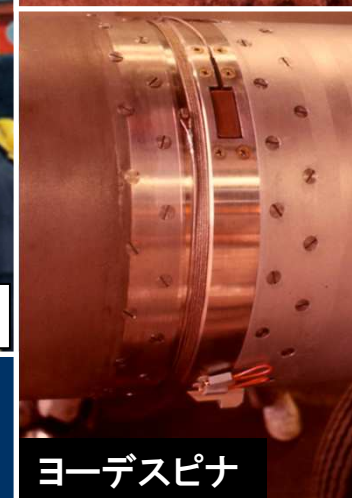
全長: 6,777 mm  
直径: 310 mm  
全重量: 700 kg  
搭載重量: 32 kg  
推薬種: BP



打ち上げ機数: 43

## ■ 不具合対策

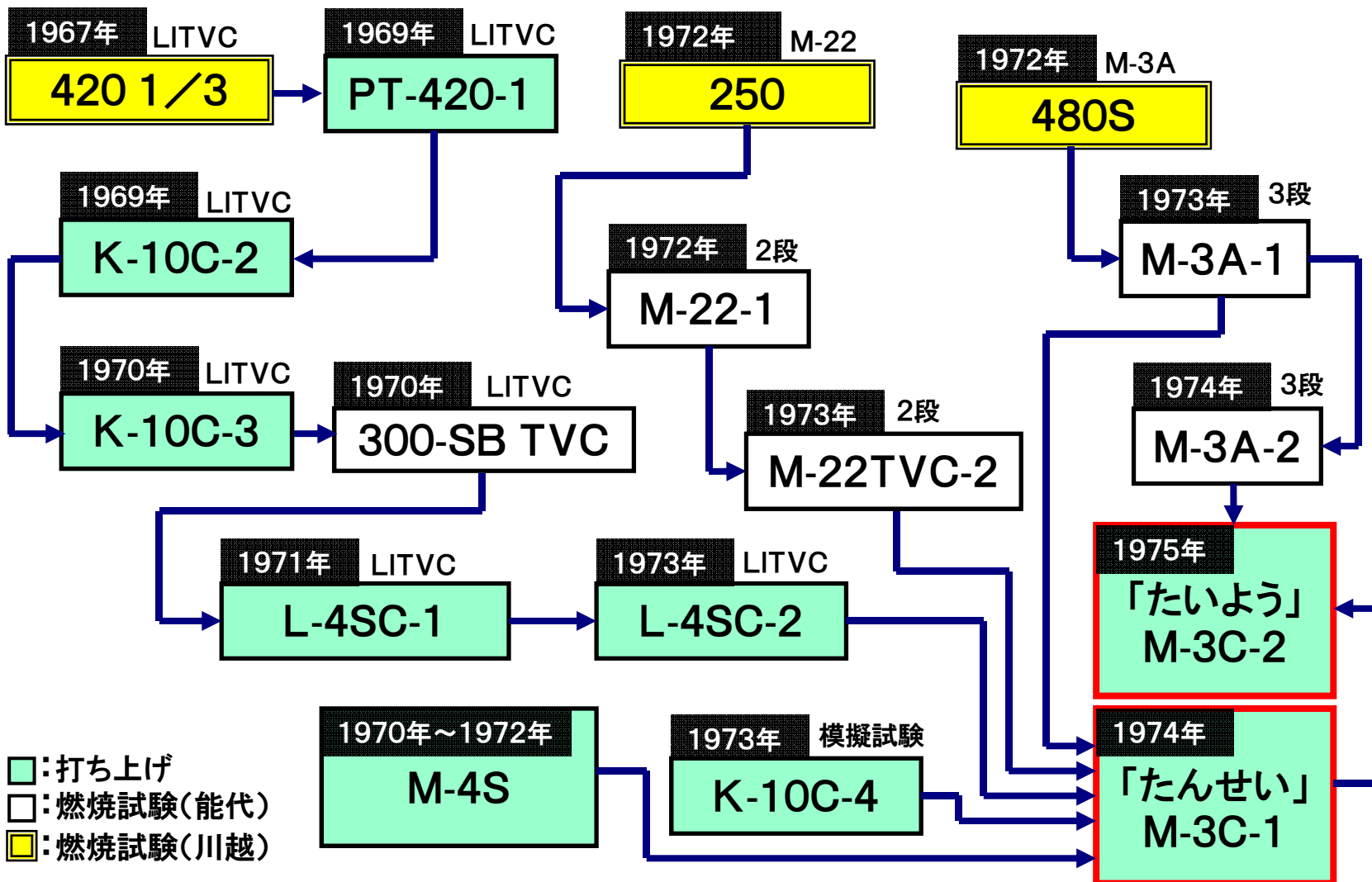
構造、ワイヤー巻付け強さ、点火系等を見直す。



ヨーデスピナ



# M-3Cの開発 1967年～1974年



# M-3C-3

X線天文観測衛星

「CORSA」

1976年2月4日



CNE管制装置



衛星組み付け

## ■CNE(姿勢制御装置)

今回よりスピントーブル型姿勢制御装置から デジタル型姿勢基準装置が2段目と3段目に搭載されている。

## ■不具合対策

- ① コネクタ離脱時は通電しない
- ② END TO ENDの徹底
- ③ 表示、判定にコンピュータの活用
- ④ CNEレジスタを10進法に変更

## ■飛行時の不具合

事象:2段目が水平に飛行した。

原因:2段目と3段目の姿勢制御の基準角が X-3分のコネクタ離脱時に長いケーブルに溜まった電気容量による電気スパイクが発生して入替わる。



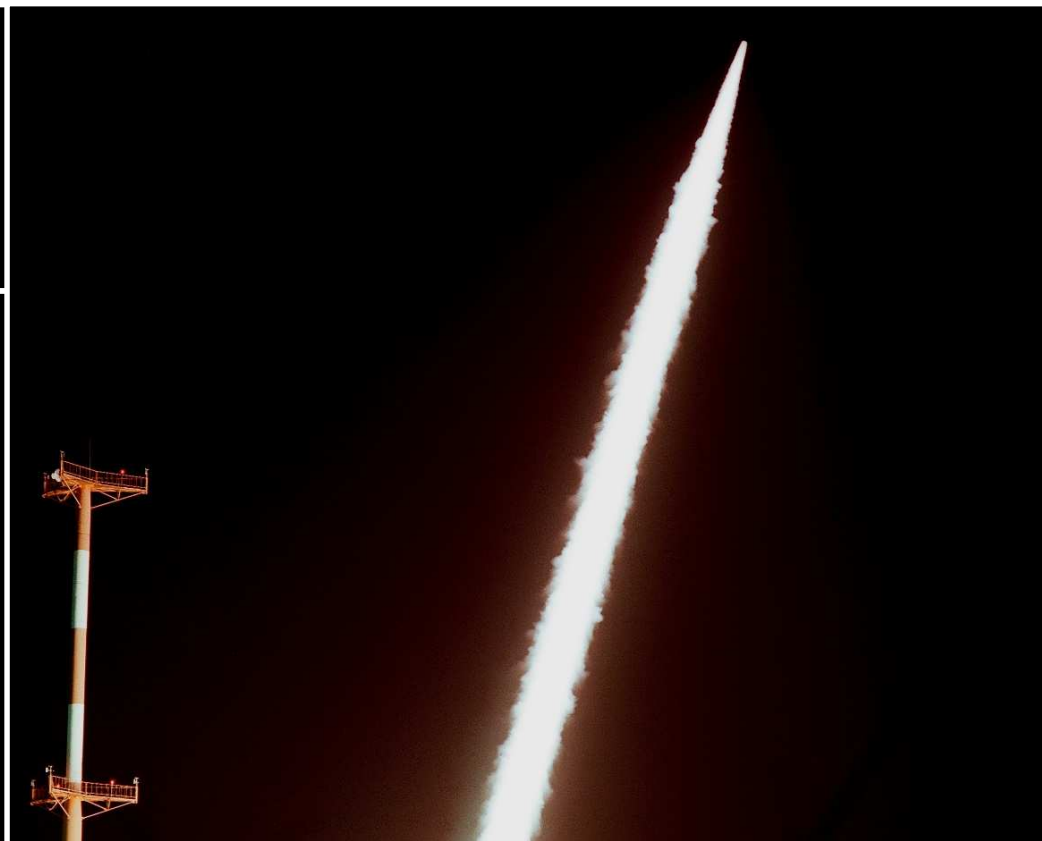
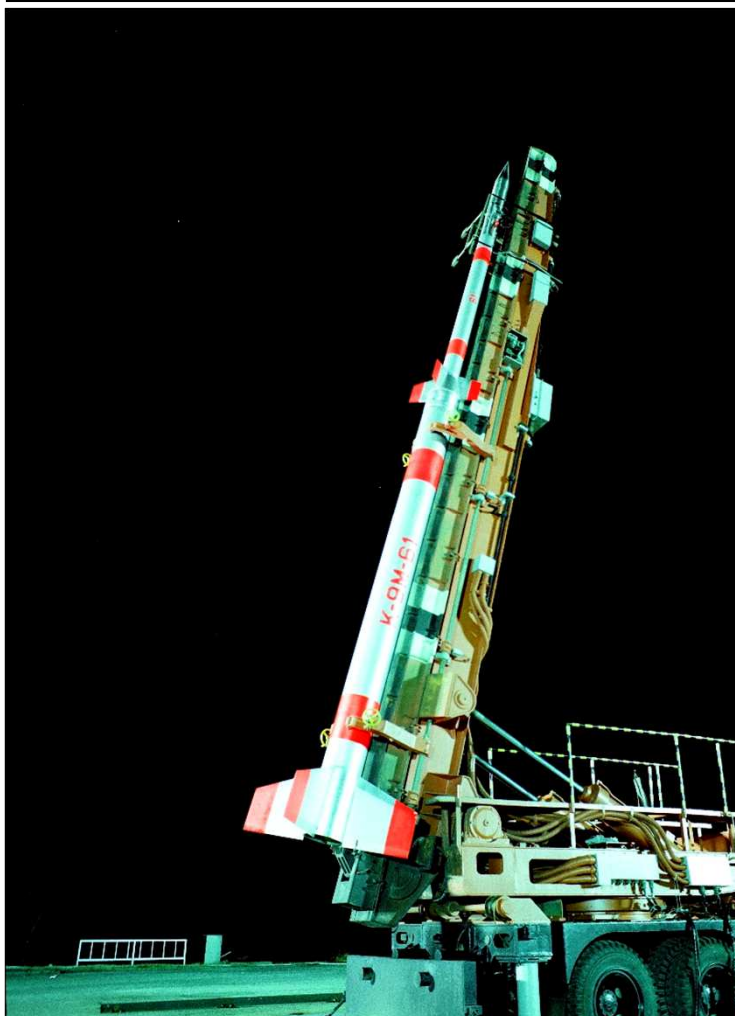
M-3C-3打ち上げ



LITVC動作試験(M-3C-2)



**K-9M-61**  
宇宙科学観測  
1978年1月27日



■ 飛行時の不具合

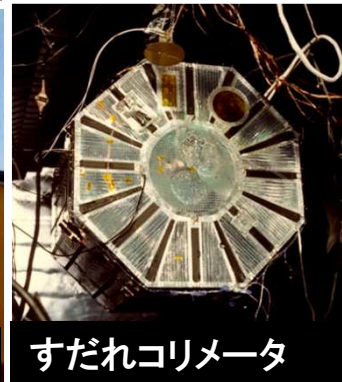
事象: メイン燃焼末期( $X+8.5$ 秒)に推力が無くなる。

原因: イグナイタ又はレス材がノズルに詰まりノズル側鏡板部を破壊した可能性あり。

■ 不具合対策

レス材板厚を3 mmから1mmに変更する。

**M-3C-4**  
X線天文観測衛星  
「はくちょう」  
1979年2月21日



■ 目的

X線天体の広帯域スペクトルと強度変動を観測する。

■ 「はくちょう」

(小田 稔)

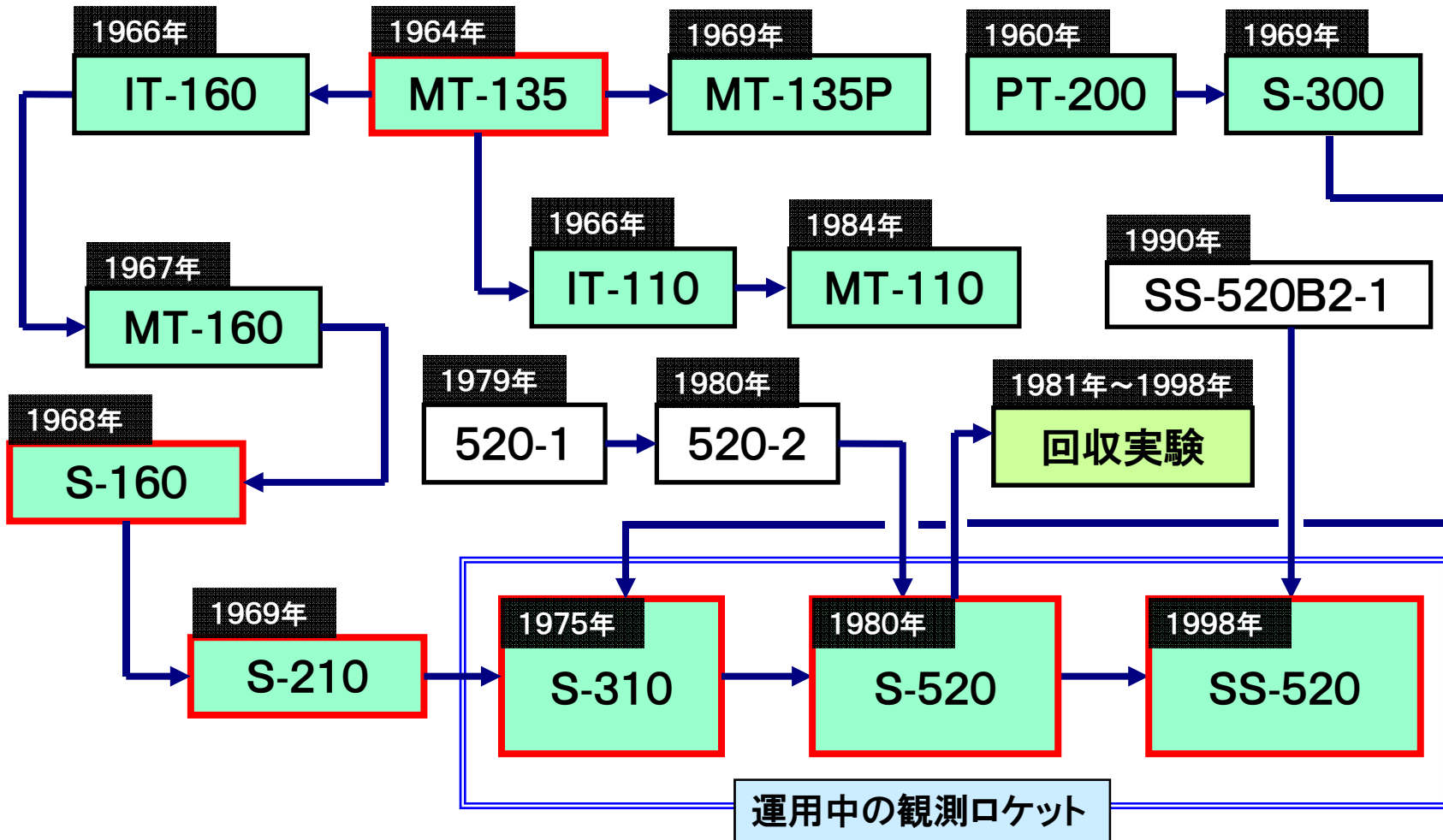
CORSA が失敗した夜からメーカーや外国の友人から、もう1度の声が上がった。ISAS の事務の方と思い出したくないほどの苦しい陳情を続け、メーカーからは儲け抜きと思える異例に安い見積もりを出してきた。皆さんに支えられた「はくちょう」は予定軌道に投入され、すだれコリメータにより同年8月に「中性子星の爆発」を捕らえ大きな成果を上げた。6年後に「はくちょう」は燃えながら観測をつづけ天寿を全うした。



## 観測ロケットの開発 2

### 1967年～1998年

- : 打ち上げ
- : 燃烧試験(能代)
- : 完成した観測ロケット



# **S-310-7**

宇宙科学観測  
**1979年9月15日**

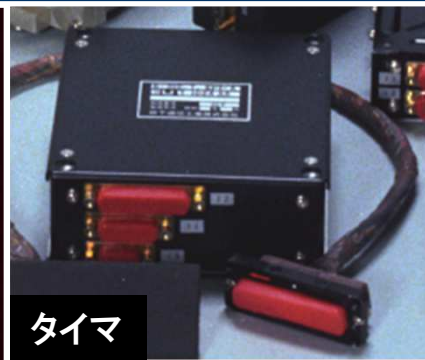
## ■ 飛行時の不具合

事象: 飛行中タイマが停止した。

原因: PIのポッティング処理が不十分で高圧ONして打ち上げ飛行中放電、計装を通じタイマを停止させた。

## ■ 不具合対策と考察

コネクタのポッティングは真空中で脱ぱうし流し込むこと。また 観測ロケットでは高圧電源投入は上空で実施する。1972年の科学衛星「でんぱ」でも同様の不具合があった。不具合情報の共有化が望まれる。





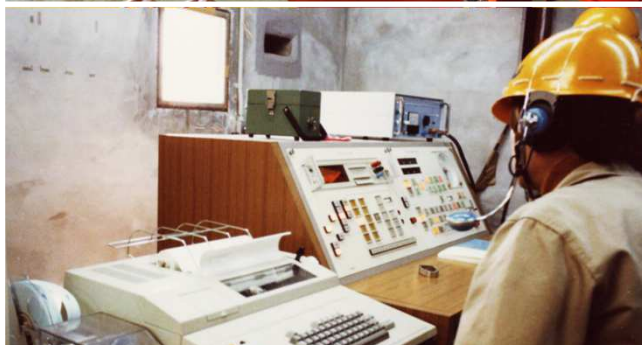
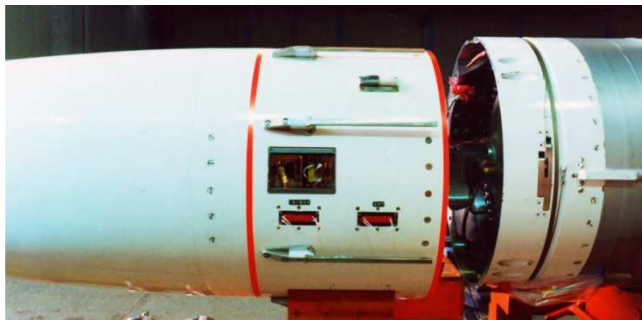
# **S-520-1**

## 宇宙科学観測

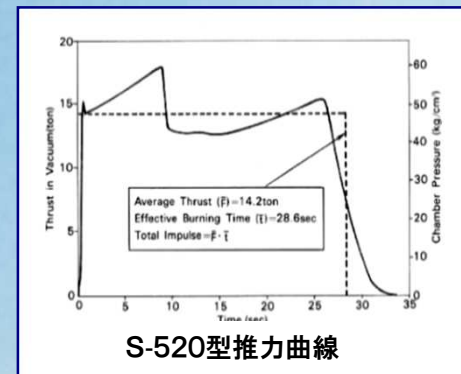
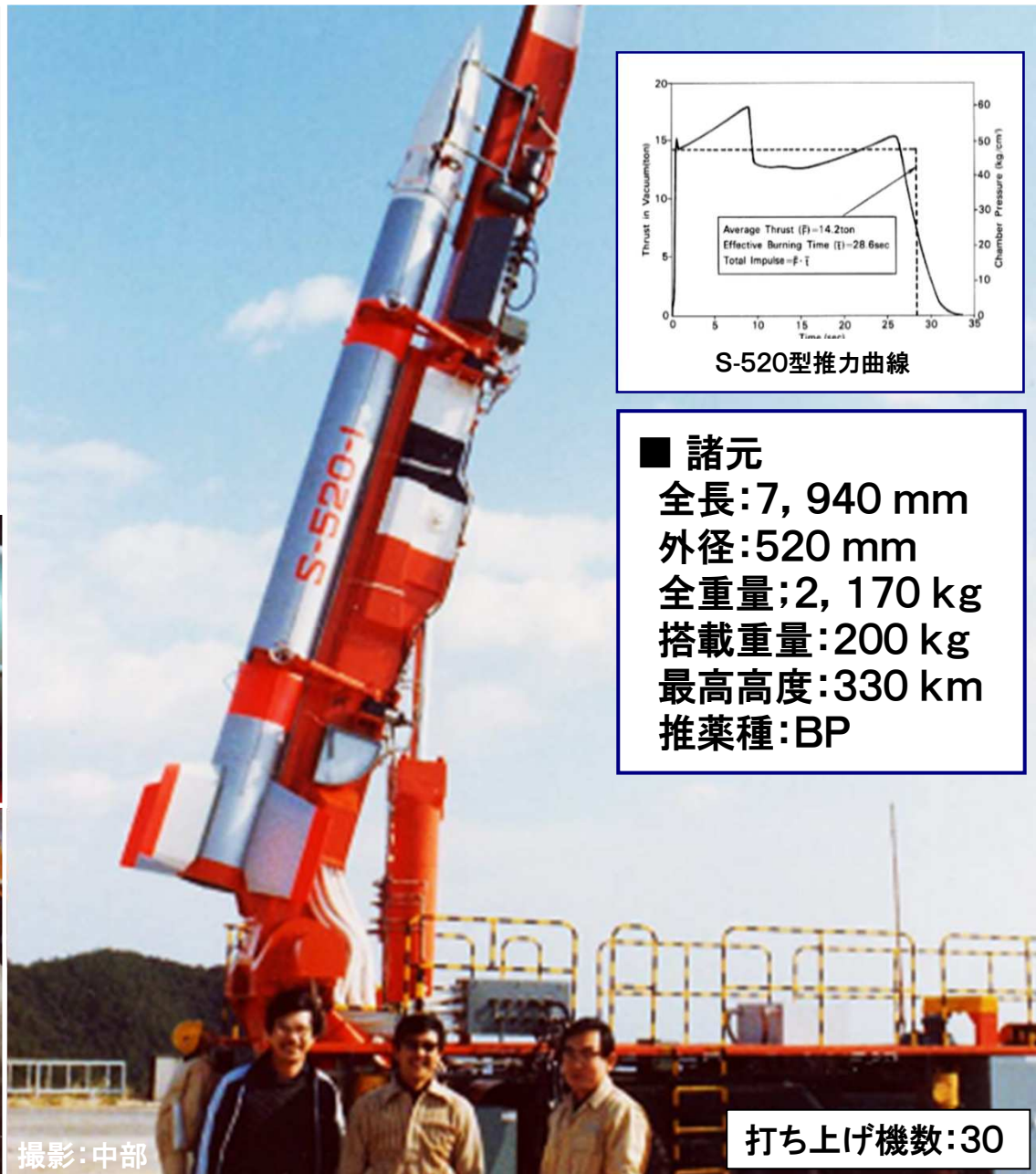
### 1980年1月18日

#### ■特徴

空力加熱と共振燃焼を考慮して、推薬のグレイン形状は二段推力による最適な推力パターンを与えている。



点火タイマ管制室 (KS台地半地下)



#### ■諸元

全長: 7,940 mm  
外径: 520 mm  
全重量: 2,170 kg  
搭載重量: 200 kg  
最高高度: 330 km  
推薬種: BP

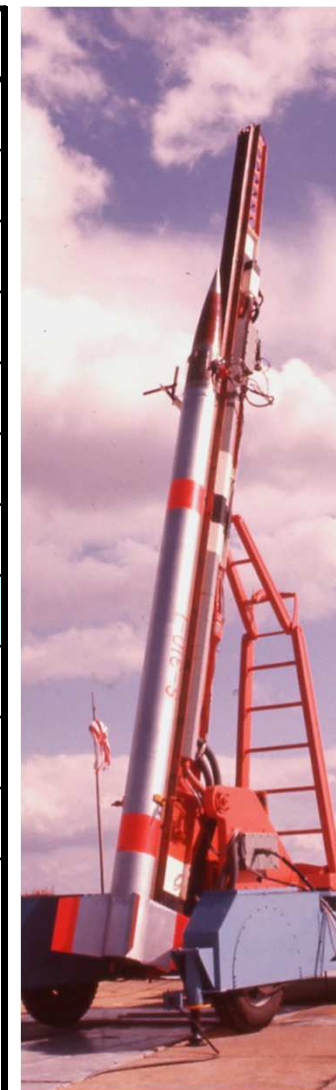
打ち上げ機数: 30

撮影: 中部

## 2. 観測ロケット比較 K-8 & S-310



項 目	K-8型	S-310型
最高高度 (km)	185	190
搭載重量 (kg)	40	60
全 長 (cm)	10,013	6,777
最大径(cm)	248	310
総重量 (kg)	1,473	700
打上げ機数	16	43
失敗機数	2	1
成功率 (%)	81. 3	97. 7
段 数	2	1
推 薬	SP	BP
初号機年月日	1960. 07. 11	1975. 01. 20
不具合内容	<ul style="list-style-type: none"> <li>・開頭せず</li> <li>・点火直後爆発</li> <li>推薬の亀裂</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・タイマ停止</li> <li>PI高圧の干渉</li> </ul>





### 3. 観測ロケット比較 K-9M & S-520



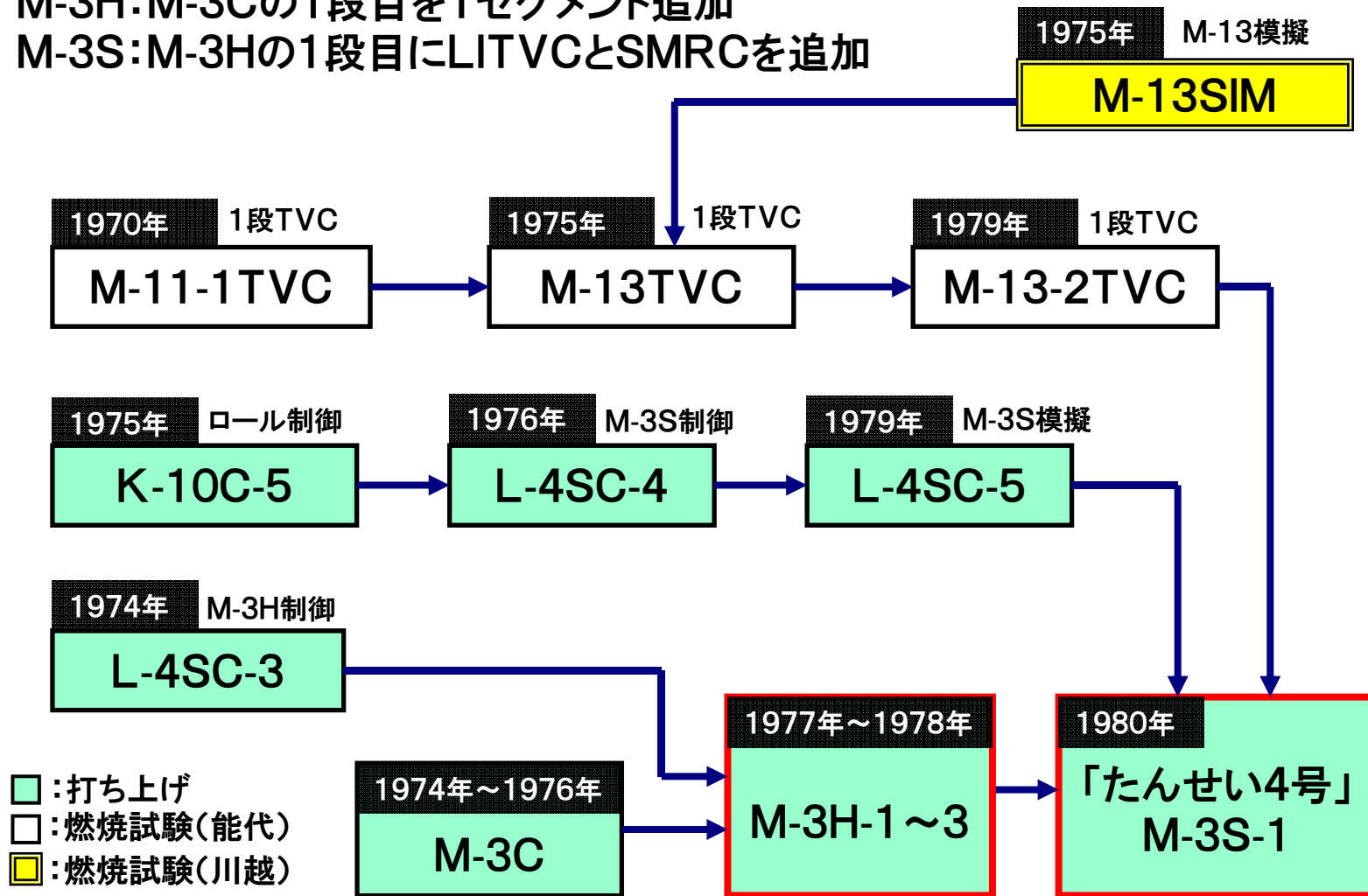
項 目	K-9M型	S-520型
最高高度 (km)	340	330
搭載重量 (kg)	51	200
全 長 (cm)	11,390	7,940
最大径(cm)	420	520
総重量 (kg)	1,440	2,170
打上げ機数	81	30
失敗機数	9	1
成功率 (%)	88. 9	96. 7
段 数	2	1
推 薬	SP, UP(N <sub>o</sub> 45~)	BP
初号機年月日	1962. 11. 02	1980. 01. 18
不具合内容	<ul style="list-style-type: none"> <li>・メイン点火せず</li> <li>・機体破損</li> <li>・タイマ、TM、電源等故障、他</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・尾翼部損傷</li> </ul>



# M-3H, M-3Sの開発 1970年～1980年

M-3H:M-3Cの1段目を1セグメント追加

M-3S:M-3Hの1段目にLITVCとSMRCを追加





**M-3S-2**  
太陽観測衛星  
「ひのとり」  
1981年2月21日



■目的

太陽硬X線 フレアの二次元像、太陽粒子線、  
X線バースト等の観測を行う。



■特徴

1段ブースタにSMRC(尾翼)とLITVCを装備し、衛星軌道投入精度をあげている。

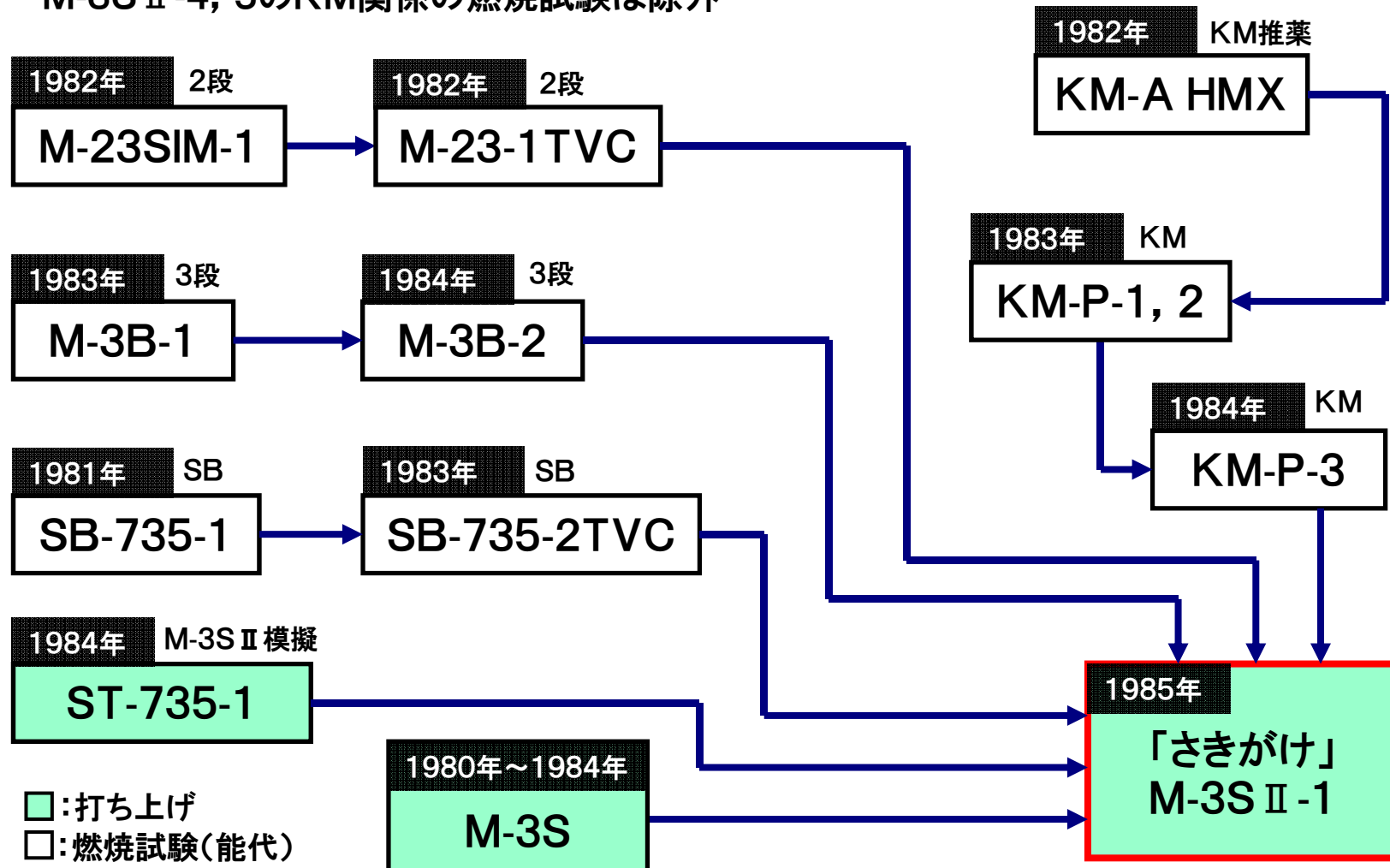


## 5. 探査機の時代:M-3S II ~M-V 1982年~



# M-3S IIの開発 1970年～1985年

M-3S II -4, 5のKM関係の燃焼試験は除外





PLANET-A



秋葉 鐔二郎 実験主任

### ■ 諸元

全長: 27.79 m  
 全重量: 61.7 ton  
 B1外径: 1.41 m  
 B2外径: 1.41 m  
 B3外径: 1.50 m  
 SB外径: 0.31 m  
 衛星重量: 140 kg  
 推進種  
 B1: BP, B2: BP  
 B3: BP, SB: BP

### ■ 共同観測

ヨーロッパ、ロシア、日本、米国の4か国によるハレー彗星の共同観測が行われた。



M-3S II-1

## M-3S II-1, 2

ハレー彗星探査機  
 「さきがけ」「すいせい」  
 1985年1月8日  
 8月19日

### ■ 目的

地球重力圏を脱出して太陽周回軌道に投入しハレー彗星に接近する工学試験と観測。

### ■ 搭載能力と軌道投入精度向上

2, 3段ブースタとSBを増強し、1段目にMN TVC(可動ノズル)を採用している。

### ■ 御神酒

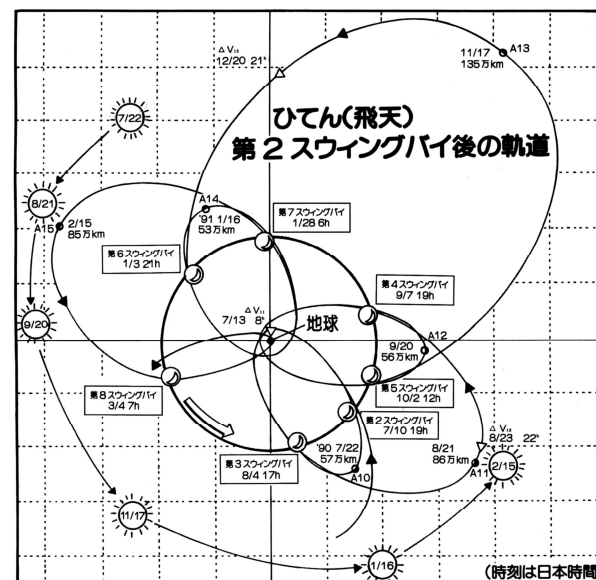
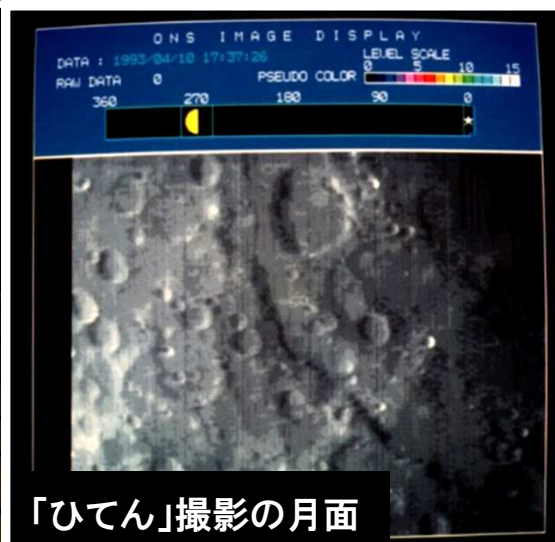
多くの困難を克服してやっと完成した 新型ロケットに供えられた 御神酒。これを見ると、わが国初の惑星間飛行に挑む実験班全員の成功を願う祈りが伝わり、胸が締め付けられる。(伊藤富造)





## A photograph of a rocket launch at night. The rocket is angled upwards, trailing a large, bright plume of fire and smoke. To the right, a tall, illuminated service structure is visible against the dark sky.

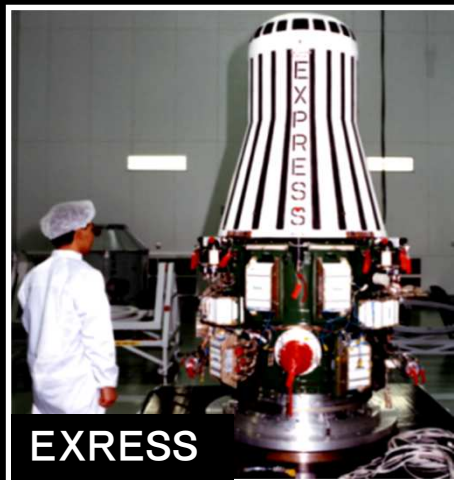
将来の深宇宙航行技術を習得するため月のスイングバイと試験衛星「はごろも」を月周回軌道に投入する。



1990年3月18日、1回目の月スイングバイによる加速に成功。計9回の月スイングバイと地球上空高度約120 kmを通過して大気摩擦により軌道速度を減速させる世界初のエアロブレーキ実験を2回実施した。  
最後は月周回軌道投入後、1993年4月10日月面に衝突させた。

## ■目的

日・独共同で行う微小重力環境利用と衛星  
回収技術を習得する。



EXPRESS



## M-3S II-8

回収型衛星「EXPRESS」

1995年1月15日

## ■飛行時の不具合

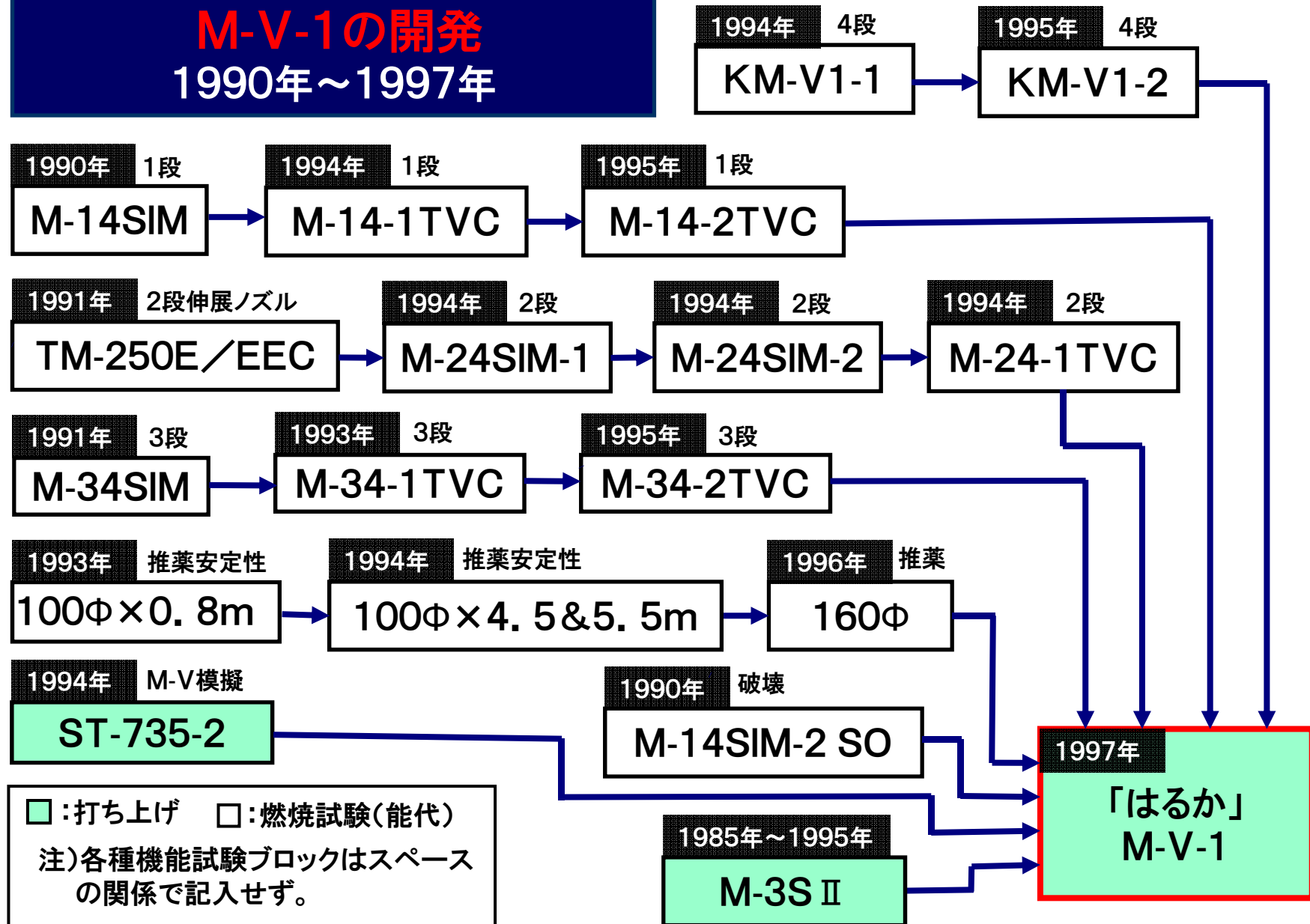
事象：異常振動で 制御用噴射液  
が大量に消耗し枯渇、予定  
軌道投入に失敗した。

原因：衛星重量が 765 kg と従  
来の2 倍以上あり 構造解  
析が不十分であった。



地球 2周後 ギアナに落下

# M-V-1の開発 1990年～1997年



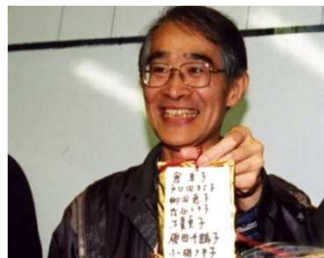


# M-V-1

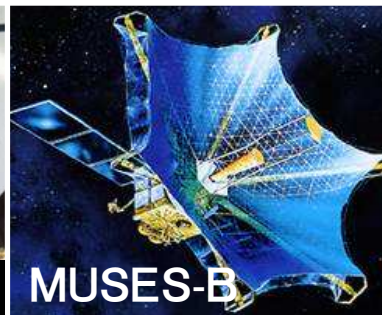
## 電波天文観測衛星

### 「はるか」

## 1997年2月12日



廣澤春任 衛星主任



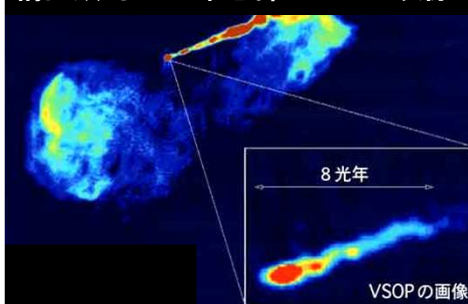
MUSES-B



### ■ 目的

大型アンテナ展開、精密姿勢制御、  
多周波低雑音受信、大容量データ伝  
送、高精度軌道決定 等の工学実験  
およびVLBI(超長基線電波干渉法)  
による電波天文の観測。

楕円銀河M87中心部のVSOP映像



M管制室

**M-V-3**  
火星探査機「のぞみ」  
1998年7月4日



■目的  
火星大気の構造・太陽風と相互作用等の研究。



■飛翔結果  
M-V 開発の遅れで  
予定より2 年後に「のぞみ」は打ち上げられ  
太陽周回軌道に投入された。



■「のぞみ」の不具合

事象:エンジン系トラブルで燃料を  
大量に消費し、火星到着が  
4 年遅れた。  
2003年、エンジンは作動  
せず軌道投入を断念する。  
原因:電源系の不良でエンジンの  
燃料が凍結した。

■「のぞみ」の不具合から得るもの

「のぞみ」は制御系不具合で復旧を試みたが火星周回軌道投入が出来なかった。  
この多くの苦労が「はやぶさ」に反映されて、サンプルを持ち帰る偉業につながった。



**M-V-4**  
X線天文衛星  
「ASTRO-E」  
2000年2月10日



搭載カメラ映像



ノズルの破損 (HS カメラ)

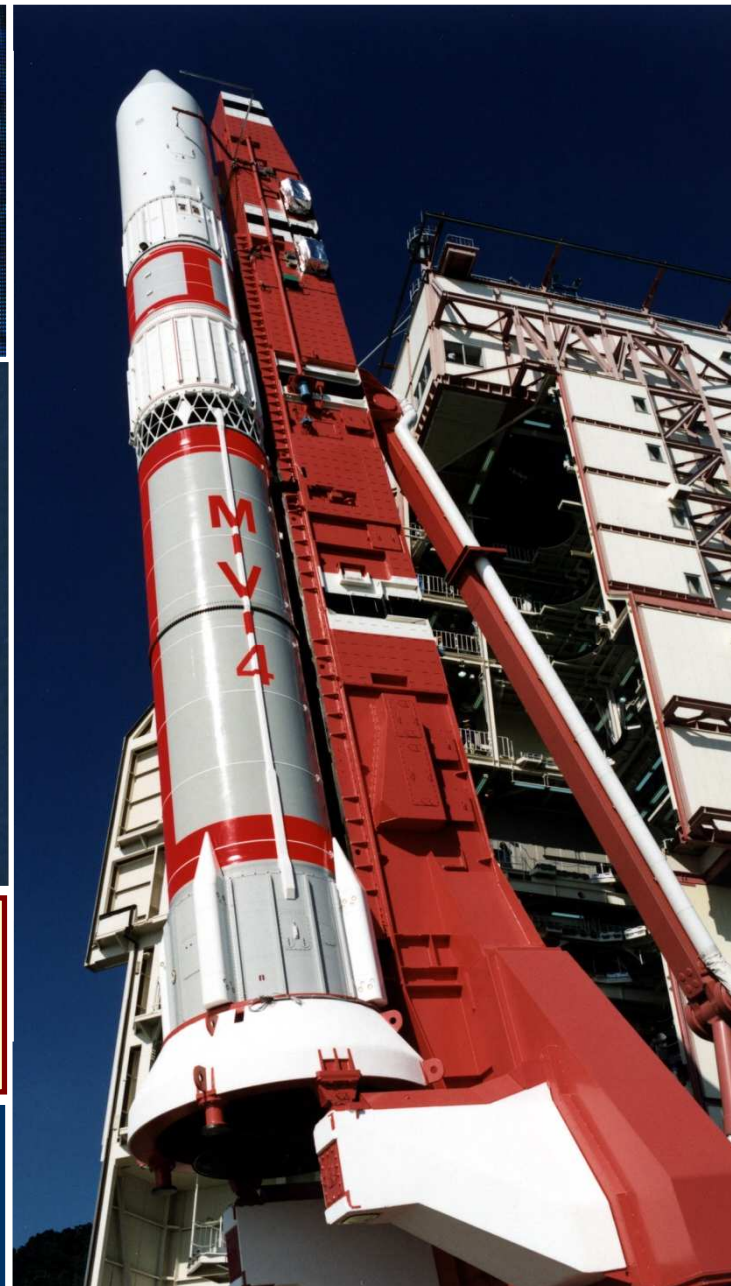
■ **飛行時の不具合**

事象: ノズルグラファイト破損で異常飛翔した。

原因: スロート部の製造過程に問題があった。

■ **不具合対策**

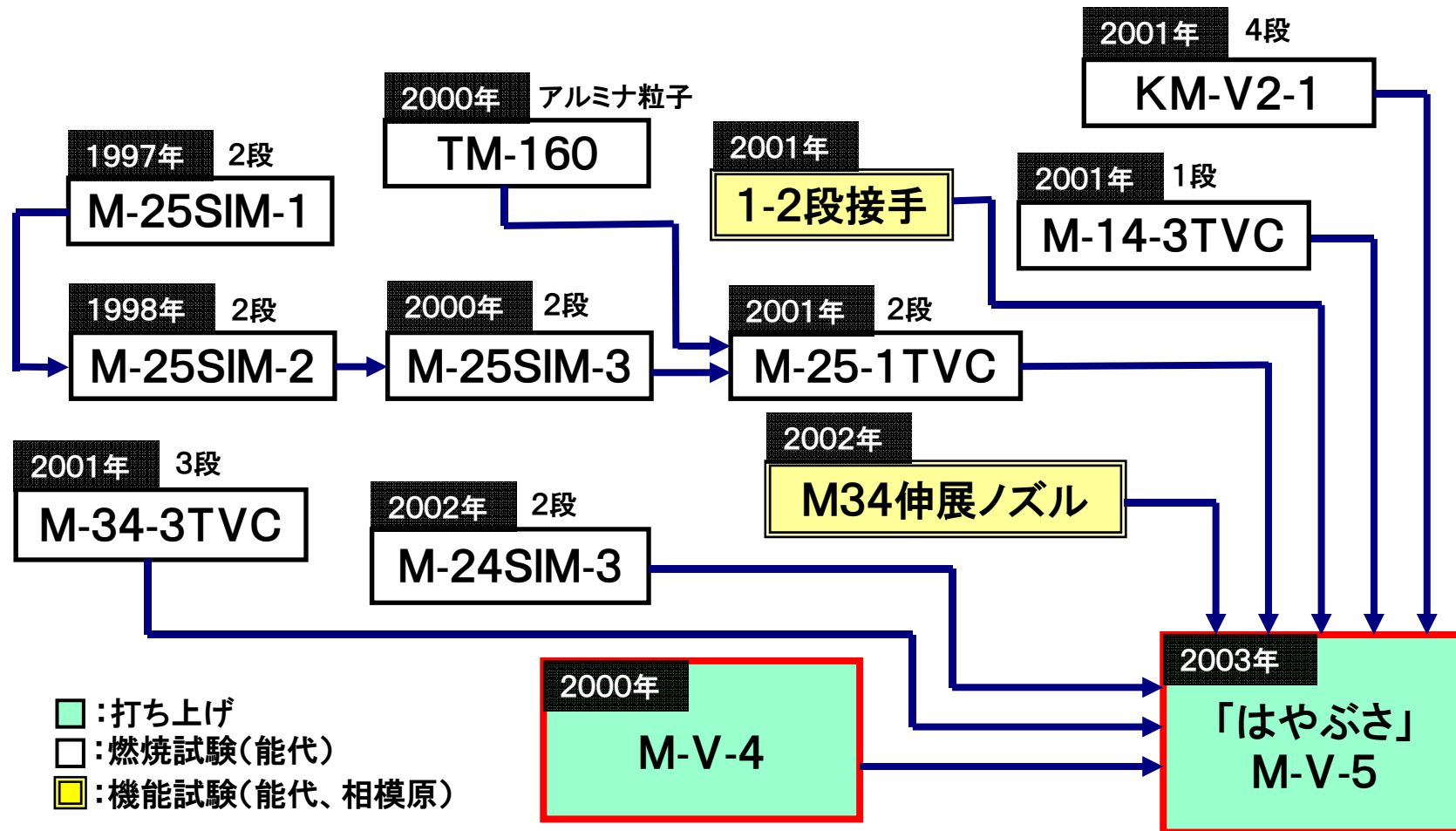
ノズルスロート材を三次元カーボン／カーボン複合(3D-C／C)材に変更する。





# M-V-5の開発 1997年～2003年

2段目モータケースのCFRP化とノズル材をグラファイトから3D-C/Cに、各段の接手等が変更された。(各部門の開発試験ブロックの記述は省く)



**M-V-5**  
小惑星探査機  
「はやぶさ」  
2003年5月9日



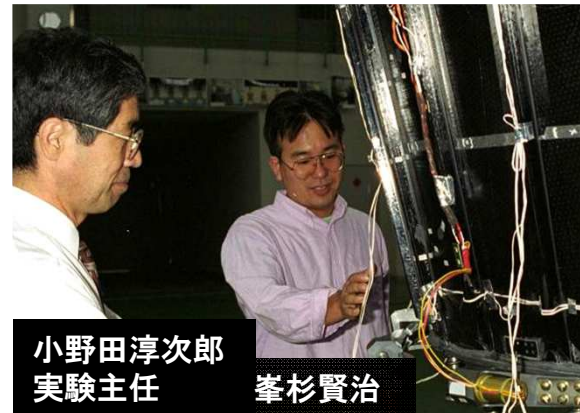
■目的

小惑星の標本を持ち帰るサンプルリターン計画で、それに必要なイオンエンジン、自立航法、再突入等工学技術研究を実施する。

■飛翔結果

ノズルは全て 3D-C/C材、B1以外のチャンバーは CFRP製、3段まで可動ノズル (MNTVC) 装備等の最新技術が盛り込まれた。

飛翔及び制御は正常で「はやぶさ」を予定軌道に投入した。



峯杉賢治



■チームの結末

(小野田淳次郎)

対策と各種試験を含めて3年を要してM-V-5は完成した。打ち上げ11日前、N社のアンテナ切替え器の不具合が発見された。稲谷保安主任からM-V-2のM社製を使う案が出された。M社は状況を即座に理解し各社各自の責任範囲を超えたチームの結末を改めて誇りに思った。

# M-V-7

## 太陽観測衛星「ひので」

### 2006年9月23日

#### ■目的

太陽表面地場ベクトル、場の  
連続測定及びX線コロナ観測。



小杉健郎衛星主任  
(2006. 11. 26 没)



堀 恵一  
地上安全総括

かつてない雷の襲来で設備に大きな被害を受けながら  
打ち上げ作業を進め、M-V-7号機は轟音を残して夜空に  
消えた。

M-1-1（試験機）の打ち上げから40年、日本独自のM  
ロケットは大きな成果を残し有終の美を飾った。



SOLAR-B



「ひので」撮影の太陽



# イフシロン

## 惑星分光観測衛星 「ひさき」

### 2013年9月14日



森田泰弘プロジェクトマネージャ

#### ■目的

1. 惑星分光観測
2. 衛星用電源系技術の実証
3. 衛星設計のモジュール化を実証



#### ■特徴

H-II AのSRB(補助ブースタ)とM-Vの3、4段モータを組み合わせたもので、パソコンによる管制(モバイル管制)により低コストを実現している。今後は性能向上とさらなるコストダウンを目指す。

# イカロス

## ソーラセイル実証機

### 2010年5月21日



チームリーダー  
森 治



ソーラ電力セイル  
膜面ミッション担当  
横田力男



IKAROS  
(小型カメラによる撮影)

#### ■目的

1. 薄い大型セイルを宇宙で展開
2. 薄膜太陽電池による発電
3. ソーラセイルによる加速を実証
4. ソーラセイル航法技術の獲得
5. ダスト及び $\gamma$ 線バーストの観測

#### ■諸元

1. 展開寸法: 14 m  $\times$  14 m
2. 膜厚: 7.5  $\mu$ m (毛髪径: 100  $\mu$ m)
3. 重量: 310 kg / 打上時(セル15 kg)

H-II A-17打ち上げ(種子島発射場)

#### ■宇宙ヨット

「あかつき」と共に打ち上げられた「イカロス」は太陽光の粒子が反射する力を利用して金星を通過後、太陽を周回する「ソーラ・セイル」の成功は世界初の偉業である。



# はやぶさ カプセル帰還 2010年6月13日

## ■帰還

7年間にわたる3億キロの宇宙の旅、多くのトラブルを諦めない「努力」と「信念」、そして「裏技」で切り抜け、世界最小の資料を持ち帰り、世界初の「大きな成果」を成し遂げた。

## ■キャンペーン

(的川泰宣)

ハレー彗星探査で叶わなかったキャンペーンを思い出し、「あなたの名前を火星へ」27万人、小惑星探査の「星の王子様に会いに行きませんか」で世界最大の88万人もの応募があり、ホッとするメッセージの数々、広報は想いを共有したい気持ちから生まれた。やはり宇宙開発が私たちの国とこの星の未来のために何ができるのか、いつも明るく示唆を与えてくれる広報に徹したい。



## ■挑戦

(川口淳一郎)

新しいことに挑戦する時、現時点の技術で「前例が無い」とか、「あそこが無理だ」と出来ない理由を考えるより、「こうすればできる」と考えましょう。



# あかつき

## 金星軌道投入再挑戦

### 2015年12月7日

#### ■再挑戦

主エンジンの故障で軌道投入失敗から5年、世界に類を見ない再挑戦、姿勢制御エンジンで金星周回軌道投入に成功した。



中村正人プロジェクトマネージャ



石井信明プロジェクトエンジニア

#### ■「あかつき」の軌跡

2010年5月21日:H-II A-17号機で「あかつき」打ち上げ

12月7日:軌道投入エンジン(OME)の故障で金星周回軌道投入に失敗

2011年9月7日, 14日:OME のテスト噴射で金星周回軌道投入は困難を確認

2011年11月, 2015年7月:軌道修正(制御エンジン/RCS)各3回軌道修正

12月7日:RCSを4基、20分間噴射して金星周回軌道投入に成功

2016年4月8日:再軌道修正、観測期間を2年から5年に延長

## 6. まとめ

### 1955年 ~ 2015年

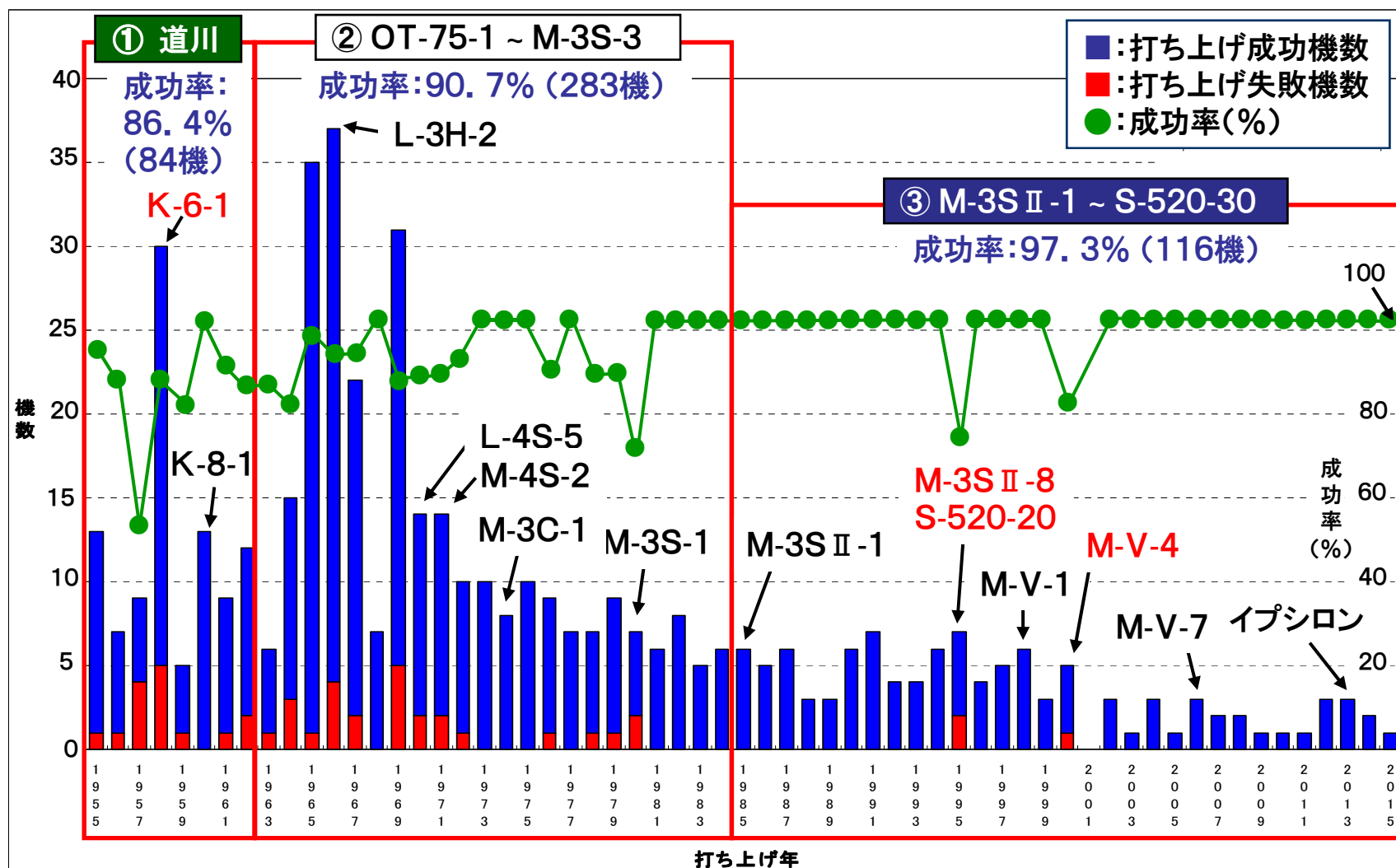
1. ロケット打ち上げ実績
2. ロケット失敗履歴と成果
3. まとめ



# 1. ロケット打ち上げ実績

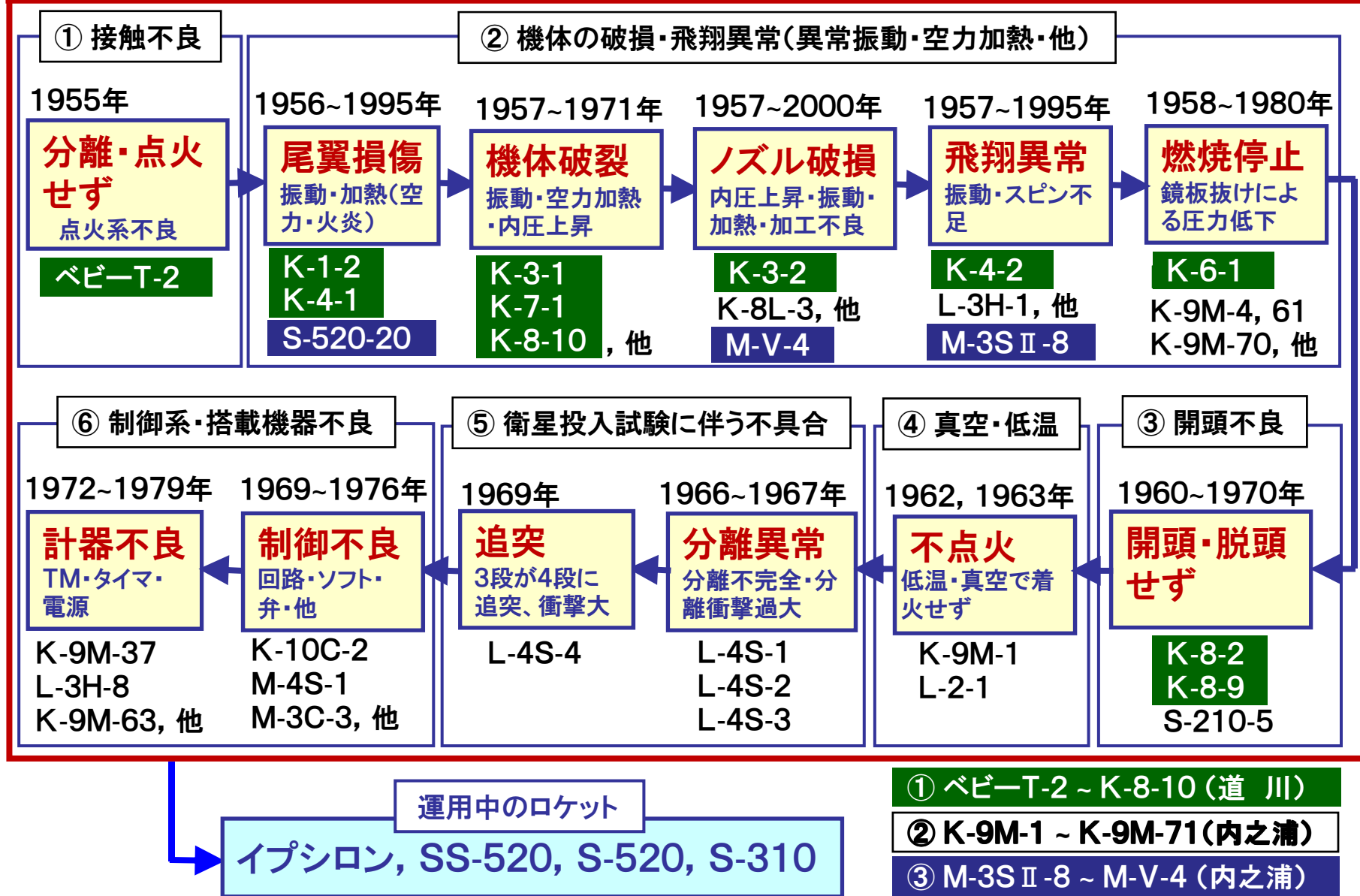
1955年～2015年

打ち上げ機数:483機／ペンシル、小型(研究室)、ロックーン、VP, SL(米国製)、有翼は除外





## 2. ロケット失敗履歴



観測ロケットとMロケットを含めた客観的な比較になっています。打ち上げ失敗対象はロケットと制御系及びテレメータとタイマ(基本計器)の不具合による失敗で衛星、観測系は含みません。

1. 道川の実験(①～③)では、何もないところからの開発で失敗がつづきます。振動と空気加熱、燃焼室内の耐熱設計に苦戦していたようです。開発当初から搭載機器の不調はつづいていました。
2. 内之浦に移りロケットが性能向上し、到達高度が300km以上になると新たな不具合として宇宙環境下の低温で④「不点火」が発生しました。またL-4Sによる衛星打ち上げでは、⑤「分離異常」と「追突」の問題に直面しました。その後不具合の傾向も変わり、⑥「制御系や基本計器の不具合」で失敗する機体が現れてきました。この苦労のおかげでMロケットの開発は順調でした。  
観測ロケットとして長年愛用されたK-9Mは何回かの改造がされています。打ち上げ失敗9件の内、チャンバーの鏡板が抜け燃焼が止まる事例が5件発生したのが特徴的な事例でした。
3. M-3SⅡ以降の打ち上げ失敗は3機でした。その特徴は初号機ではなく、S-520は20号機目、M-3SⅡ型は8号機目、M-V-4は3号機目と打ち上げが続いている中での失敗でした。

これらの失敗経験の上に、機体としては安定した運用中のロケットがあります。



### 3. まとめ

1. 少しでも気になることは後回しにしない。
2. 変更や不具合対策はそれに伴う影響を確認する。
3. 不具合の共有化は必要である。
4. 過去の不具合は見やすく整理しておくこと。
5. ロケットの怖さを知ること。
6. 人の和が実験成功の秘訣。
7. あきらめない精神と冒険心を継承してほしい。



## 参考資料

1. 生産研究／東京大学・生産技術研究所(1955年8月～1964年11月)
2. 観測ロケット飛翔一覧表(改訂版)／東京大学・生産技術研究所・糸川研究室(1962年)
3. 小型ロケットの実験データ／東京大学・生産技術研究所・糸川研究室(1966年)
4. 故玉木章夫先生の業績と実績／東京大学出版社(1974年)
5. 宇宙空間観測30年史／文部省・宇宙科学研究所(1987年)
6. 「軌跡」宇宙空間観測30年記念随想集／文部省・宇宙科学研究所(1987年)
7. ISASニュース／宇宙科学研究所(1981年4月～)
8. 日本宇宙開発物語／三田出版会(斉藤成文／1992年)
9. 日本のロケット／日本放送出版協気合(野本陽代／1993年)
10. 村田 勉インタビュー「戦前のロケット」／聞き手：高野雅弘、的川泰宣、他(1993年)
11. 荻窪ロケットの思い出／荻窪ロケット思い出編集委員会(1997年)
12. ロケット発祥の道川海岸・岩城町史・資料編Ⅱ(今野憲三郎／1998年)
13. JAXAインタビュー／宇宙科学研究所(秋葉鏢二郎・野村民也・松尾弘毅・他／2002年)
14. 観測ロケット実験総括／文部省・宇宙科学研究所(1964年～2003年)
15. 固体ロケットモータ地上燃焼試験実績調査報告／IHIエアロスペース(2004年)
16. ロケット屋さん／ロストブックス(林 紀幸・垣見恒男・松浦晋也・他／2007年)
17. 宇宙空間観測の半世紀／宇宙科学研究所(2010年)
18. 新聞で見る内之浦宇宙空間観測所50年史／牧工、中部博雄(2012年)
19. 内之浦宇宙空間観測所の50年史／宇宙科学研究所(2012年)
20. 私が携わった固体推進薬研究開発の歴史(永岡忠彦：元日産)
21. JAXA, 五代富文, 牧 工等の写真及びコメント、インターネット、その他記録資料  
( 敬称略 )