NASDA－TMR－950007

宇宙開発事業団技術報告

ＫＩＳＳ&ＨＯＰブースター近未来実証モデル試案

１９９５年3月

宇 宙 開 発 事 業 団

This document is provided by JAXA.

NASDA－TMR－950007

宇宙開発事業団技術報告

NASDA Technical Memorandum

ＫＩＳＳ&ＨＯＰブースター近未来実証モデル試案

KISS & HOP reusable booster near term draft

青木　宏
Aoki, Hiroshi

技術研究本部システム技術研究部未来宇宙システム研究室
Future Space Systems Laboratory, Systems Engineering Department,
Office of Research and Development

宇宙開発事業団
National Space Development Agency of Japan

This document is provided by JAXA.

目　　次

まえがき

将来宇宙輸送系の展望 …… 1

再使用ブースタ近未来実証モデル …… 3

セールスポイント …… 13

検討に用いた前提条件 …… 14

ブースタ用ＬＥ－７作動モードの検討 …… 16

再使用ブースタ開発ステップの検討 …… 19

技術開発要素 …… 21

宇宙輸送系成長のシナリオ（案）…… 23

まとめ …… 29

This document is provided by JAXA.

まえがき

Ｈ－IIロケットの運用も軌道に乗りつつある現在、我が国宇宙輸送系の次ステップを検討すべき時期に至っている。あるいは生き残りの選択肢を真剣に検討する時期と言い直すべきかもしれない。
すべての宇宙活動にとって、高い輸送費用は切実な制約となっており、これをいかに低減できるかが最大の課題となる。輸送費用を現在の１／５に抑えることができれば、新規の輸送需要が喚起されると言ったリポートも見られるが、いきなりこの値を達成するには無理があり、達成に向かって踏み出す方向あるいは、シナリオを設定することが重要と考える。
以上の観点から、再使用型輸送概念の一案を検討した。

This document is provided by JAXA.

将来宇宙輸送系の展望

宇宙活動からの要求に対し、輸送概念の絞り込みを行っていく過程の一例を以下に示した。

・宇宙活動
↓
・輸送系が制約
↓
・制約が緩和されれば、・太陽発電ステーション
・惑星探査
・月資源採取
・小惑星軌道変換・地球衛星化
・火星環境改造
｜とMISSIONは無限
今は、良くとられて空想。悪く取られて大風呂敷。
↓
・最大の制約；地上→LEO(LOW EARTH ORBIT)
(EX.H-II静止36,000km MISSION
高度200kmまでに推進薬の90%を消費)
；回収→HOPEで対応(どちらかと言うとPAYLOAD)
↓
・地上→LEOの・低コスト化
・能率化
・柔軟性
｜が輸送系開発の優先課題
つまり様々なMISSION要求(性能、コスト、打ち上げ時期)に対し、常に"YES"と言える
↓
・・・と忘れてならない技術的発展性(つまり、研究者
技術者
納税者
｜が面白いこと)
↓
・まず、低コスト化に焦点を当てると 1)大量輸送
2)大量生産
3)再使用化
｜が考えられる方法
1) 2)でわが国の即応は困難 それに何より技術的先進性に乏しい
↓
・そこで、再使用化 ；再生・保守が手軽にできれば、能率化・柔軟性も向上
また、将来性も大
米エンジン技術はSSME以降停滞していると考えられた。ところが彼らは、保守の苦労の中、再使用設計のポイント・再使用可否の診断技術などを着々と習得しており、LE-7で肉迫した技術格差が再び拡大している。
↓
・安心して再使用するために信頼性・保全性向上必須＝重くて、かつ低性能
再使用と高性能の二兎を追ったのがスペースシャトル。
その結果、再生コスト高騰→再使用のメリット生かせず
↓

This document is provided by JAXA.

↓

・従って、性能の感度が高い上段に再使用化を適用することは得策でない

↓

・打ち上げブースタ段の再使用化→寿命切れ直前に使い捨てモードの運用可
使い捨てMISSION で償却できれば、複数回
の再使用MISSION のブースタの経費：0

↓

・再生・保守コストおよび時間：低減　がポイント→射場に直接帰還

↓

・有翼飛翔体の水平帰還：困難　（射場にRUNWAY 必要）

↓

・垂直軟着陸の可能性（EX.月着陸船・デルタクリッパ;DC-Xの着地精度φ12m）

↓

・再使用 MISSIONの PAYLOAD を現状のLEO 10ton 程度に固定
既開発ハードウェアを極力使用

↓

・LOX/LH2 ブースタ　再使用のため80-90%POWER で運用
（LE-7：苦労した分　技術的に枯れている）

↓

・LIFT-OFF推力要求から LE-7 最低 3基必要

↓

・垂直軟着陸のため、底面形状は三角形。制御上、辺を長くしたい。
→ 結合構造・剛性：問題

↓

・帰還マヌーバのため、揚力面を装備できないか（検討結果不要）

↓

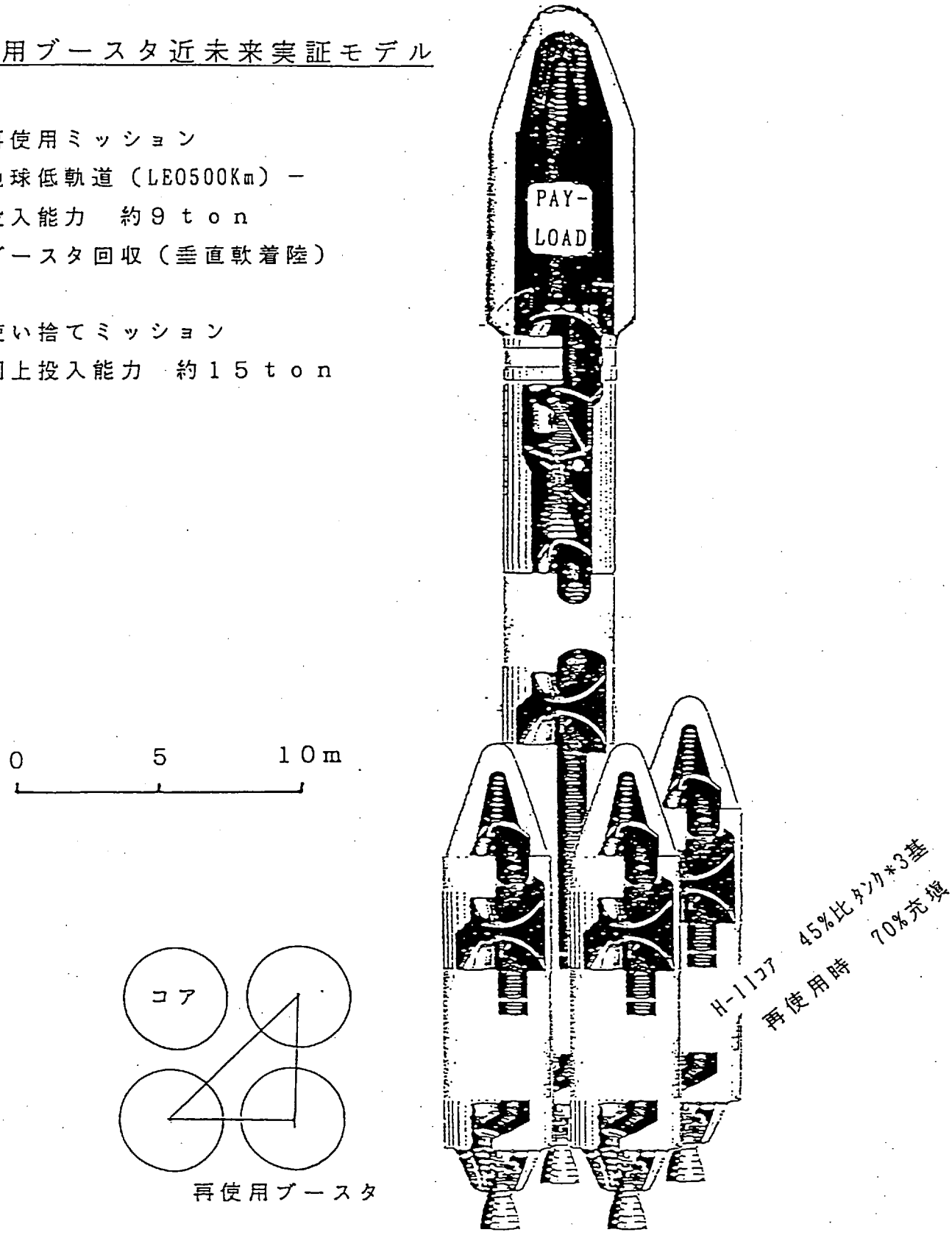
・コア機体の配置：重心位置およびブースタ1基 FAIL時のカバーを考慮して
とりあえず、別紙の通り。

This document is provided by JAXA.

再使用ブースタ近未来実証モデル

・再使用ミッション
　地球低軌道（LEO500Km）－
　投入能力　約９ｔｏｎ
　ブースタ回収（垂直軟着陸）

・使い捨てミッション
　同上投入能力　約１５ｔｏｎ



	再使用モード	使い捨てモード
LEO500Km投入能力	約９ｔｏｎ	約１５ｔｏｎ
全備重量	２２７ｔｏｎ	２６５ｔｏｎ
ﾌﾞｰｽﾀ推力（at SEA）	75tonf　＊ 3基	86tonf　＊ 3基

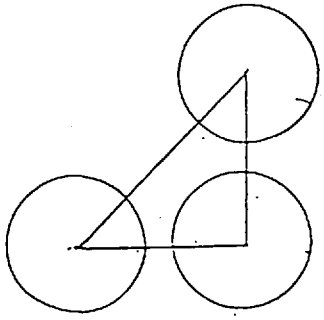
This document is provided by JAXA.

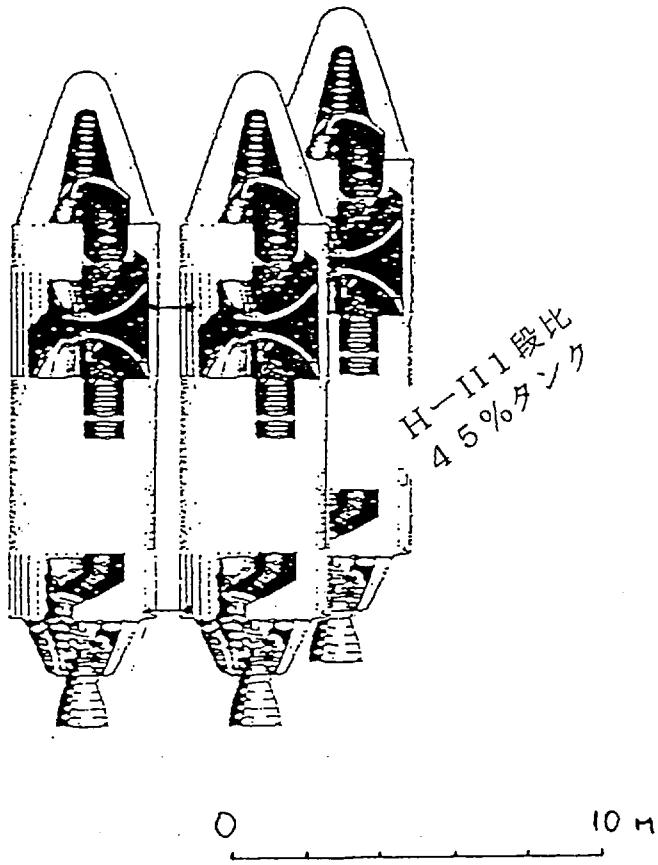
Ｈ－Δ　再使用ブースタ

・軟着陸重量　２７ton以下
　推進薬重量～０（保安距離：短）
・ＬＥ－７expanderﾓｰﾄﾞまたは、
SCｱｲﾄﾞﾙﾓｰﾄﾞで降下
推力要求　０～１５tonf可変
・伸展降着装置
・低速・低高度から帰還
特殊な空力整形・熱防御不要

・再使用ミッションでは、
タンク７０％充填
ＬＥ－７：８５％推力

・使い捨てミッションでは、
タンク１００％充填
ＬＥ－７：１００％推力

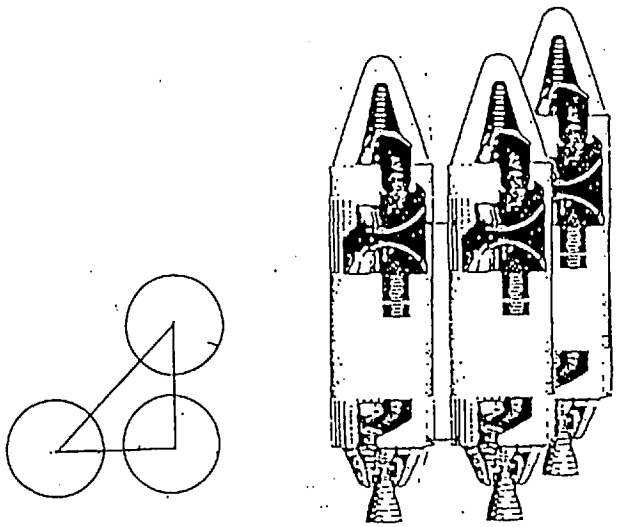




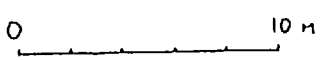
コスト：ＡＶＩＯ含み、１８０億円以下
ＳＲＢ２本で３０億円　→　再使用６回でコストバランス
寿命切れ直前に使い捨てミッション（ＡＶＩＯ、降着装置削除）

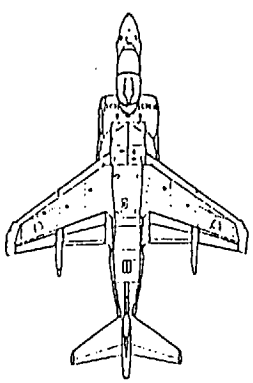
This document is provided by JAXA.

再使用ブースタ



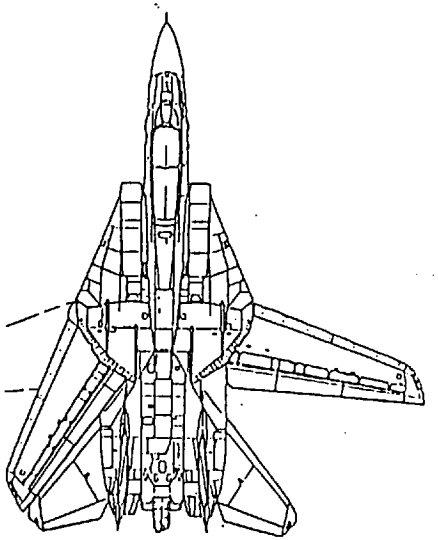
H－II比４５％タンク*３
ドライ重量　２７ton以下（～軟着陸重量）
エンジン推力　LE-7　０～７５tonf*３基





ＡＶ－８Ｂ（垂直離着陸機）

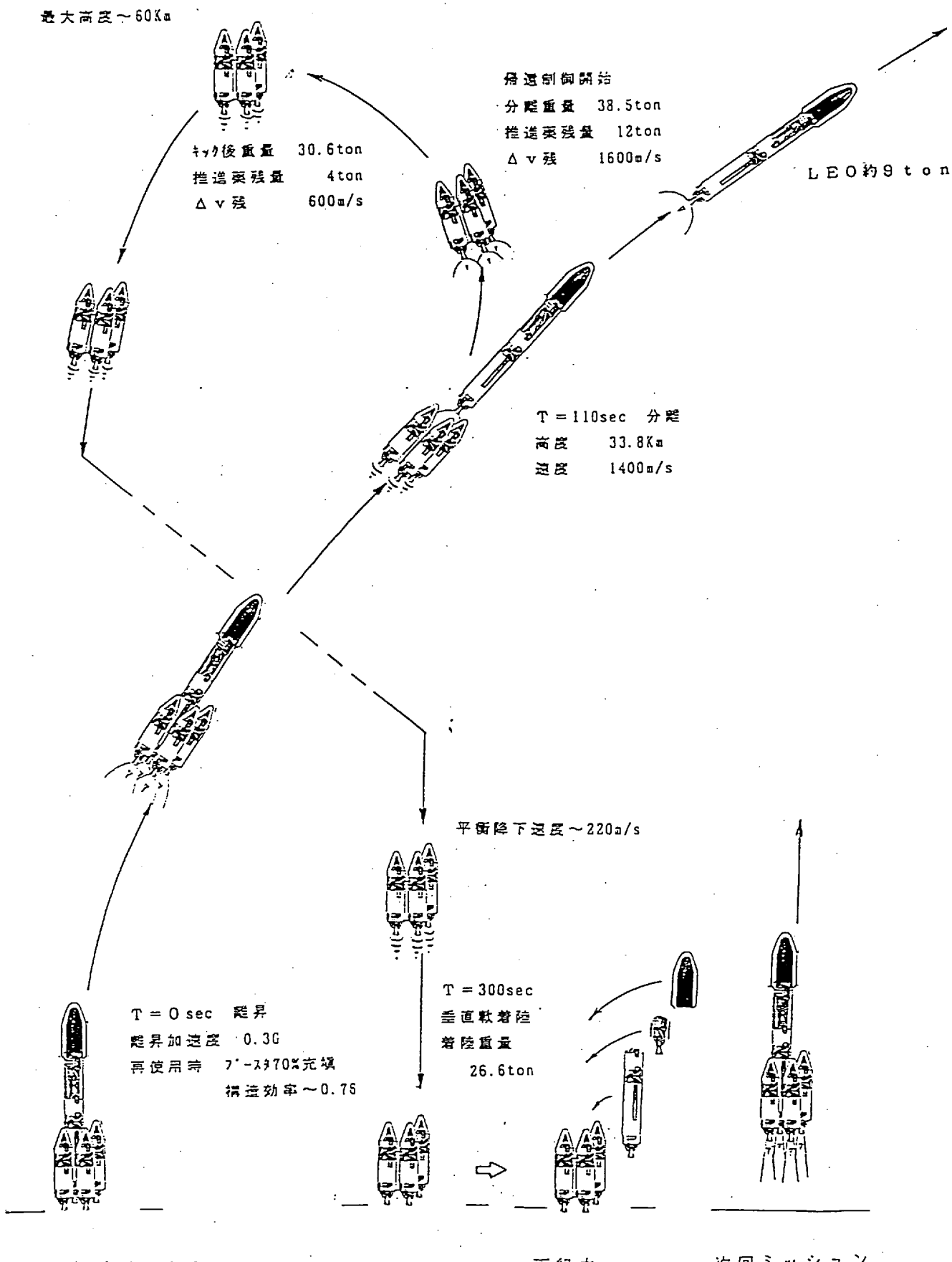
全備重量　8.6ton（VTOL時）
　　14.1ton（STOL時）
エンジン推力　9.8tonf*1基



Ｆ－１４（米／艦載機）

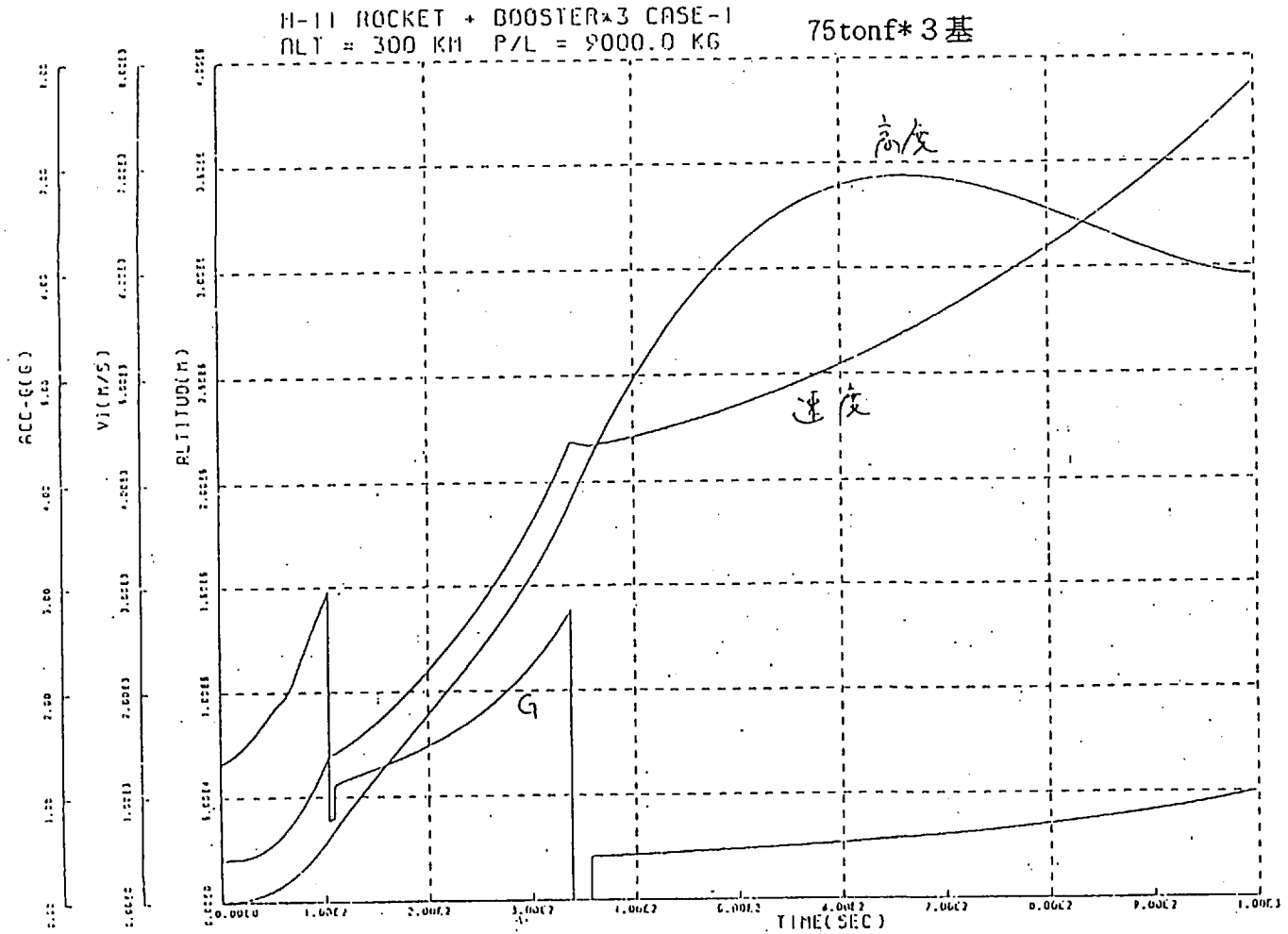
全備重量　31.1ton
洋上回収例

This document is provided by JAXA.



再使用ブースタ飛行概念

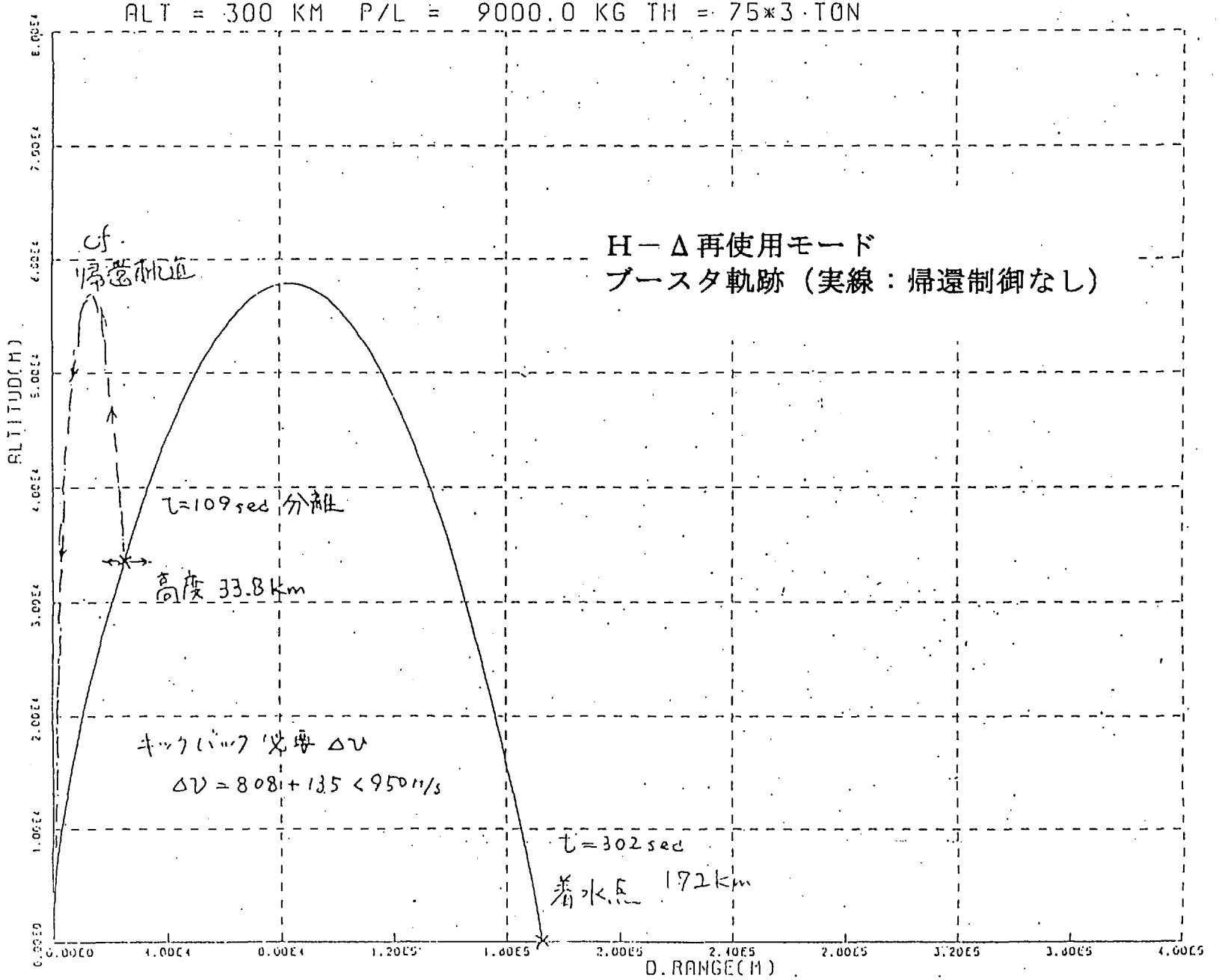
This document is provided by JAXA.



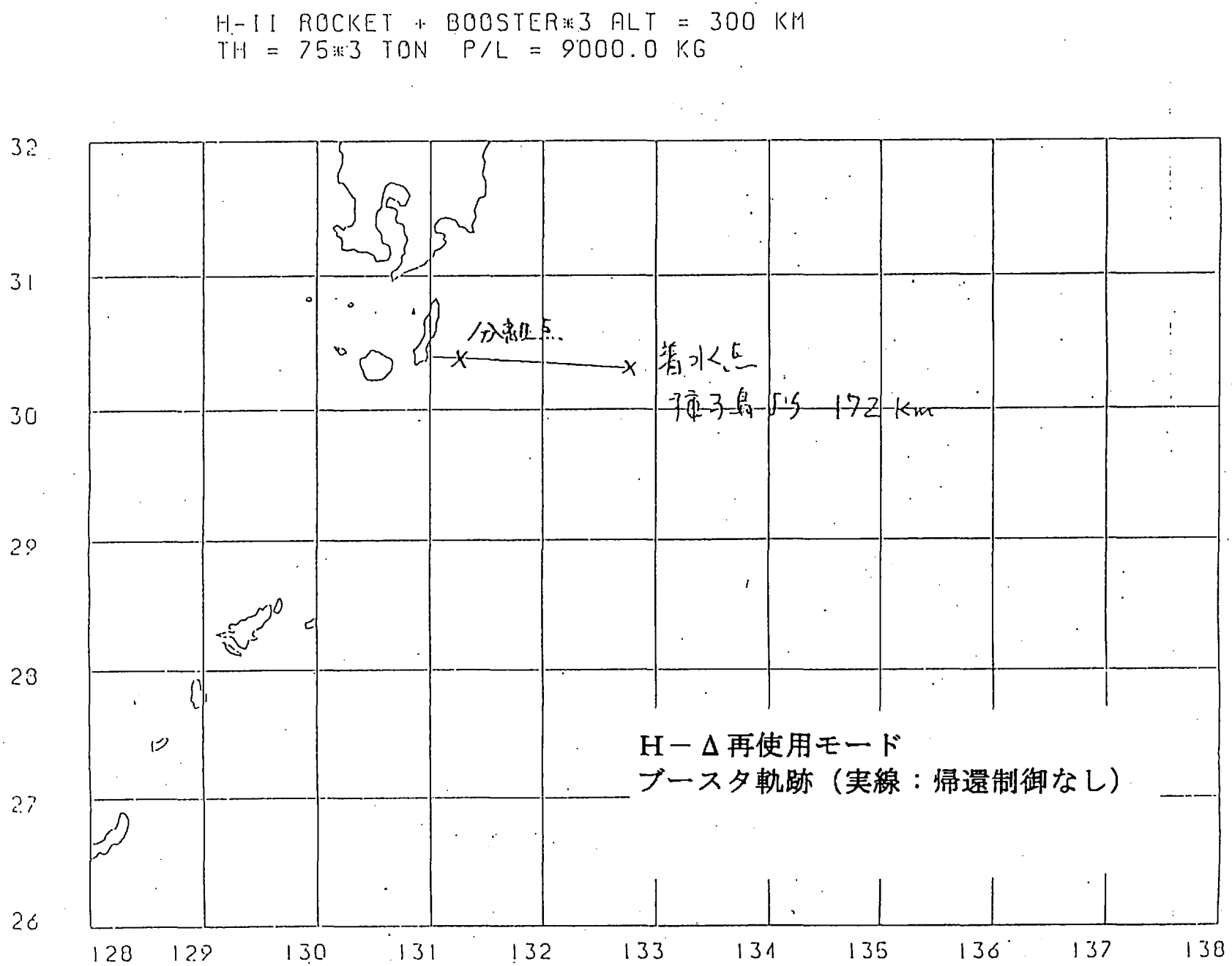
H－Δ再使用モード

LEO300kmに9ton投入可能

This document is provided by JAXA.



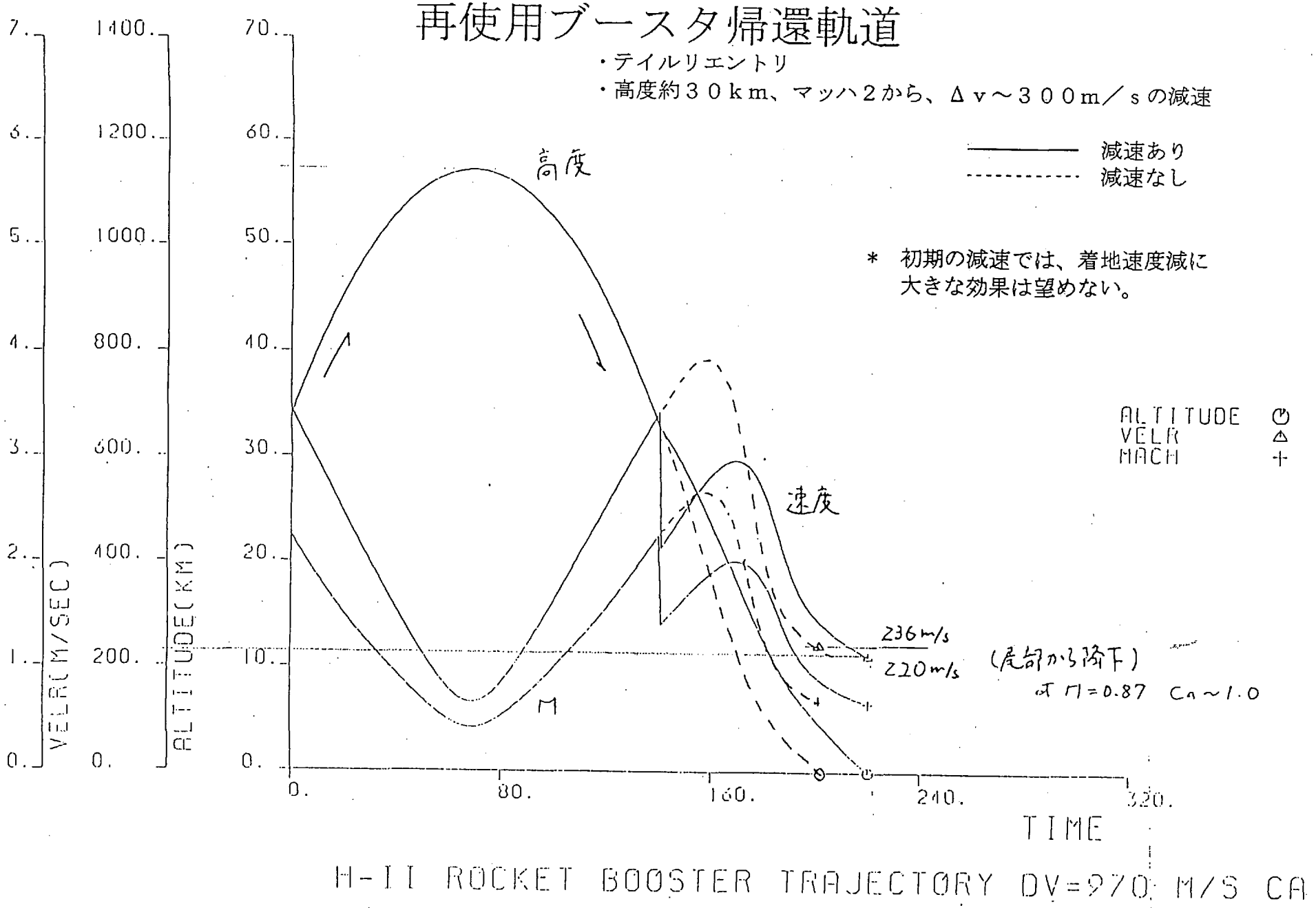
This document is provided by JAXA.



This document is provided by JAXA.

再使用ブースタ帰還軌道

・テイルリエントリ
・高度約３０ｋｍ、マッハ２から、Δｖ～３００ｍ／ｓの減速



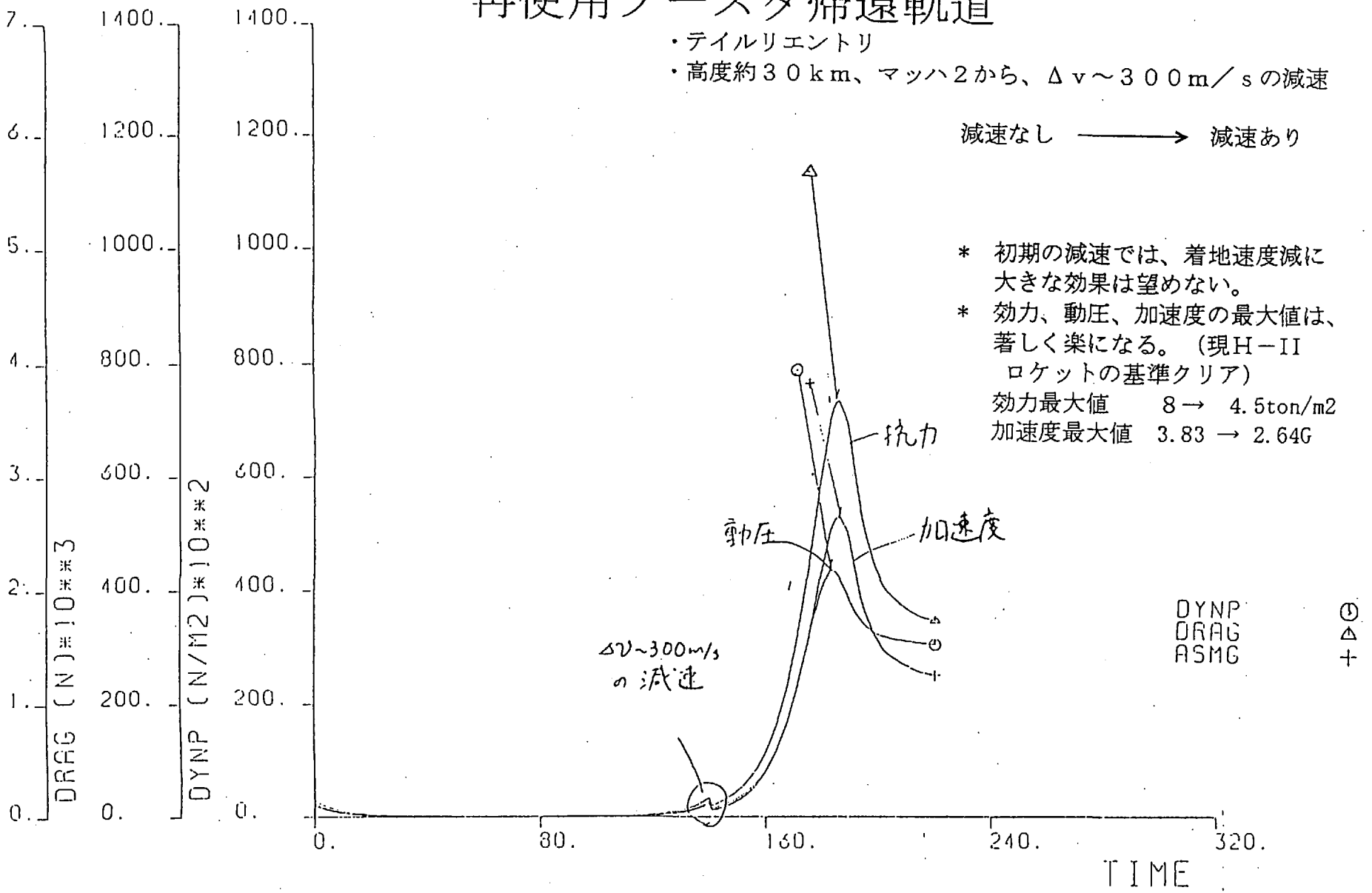
＊ 初期の減速では、着地速度減に大きな効果は望めない。

This document is provided by JAXA.

再使用ブースタ帰還軌道

・テイルリエントリ
・高度約３０ｋｍ、マッハ２から、Δｖ～３００ｍ／ｓの減速

減速なし ⟶ 減速あり

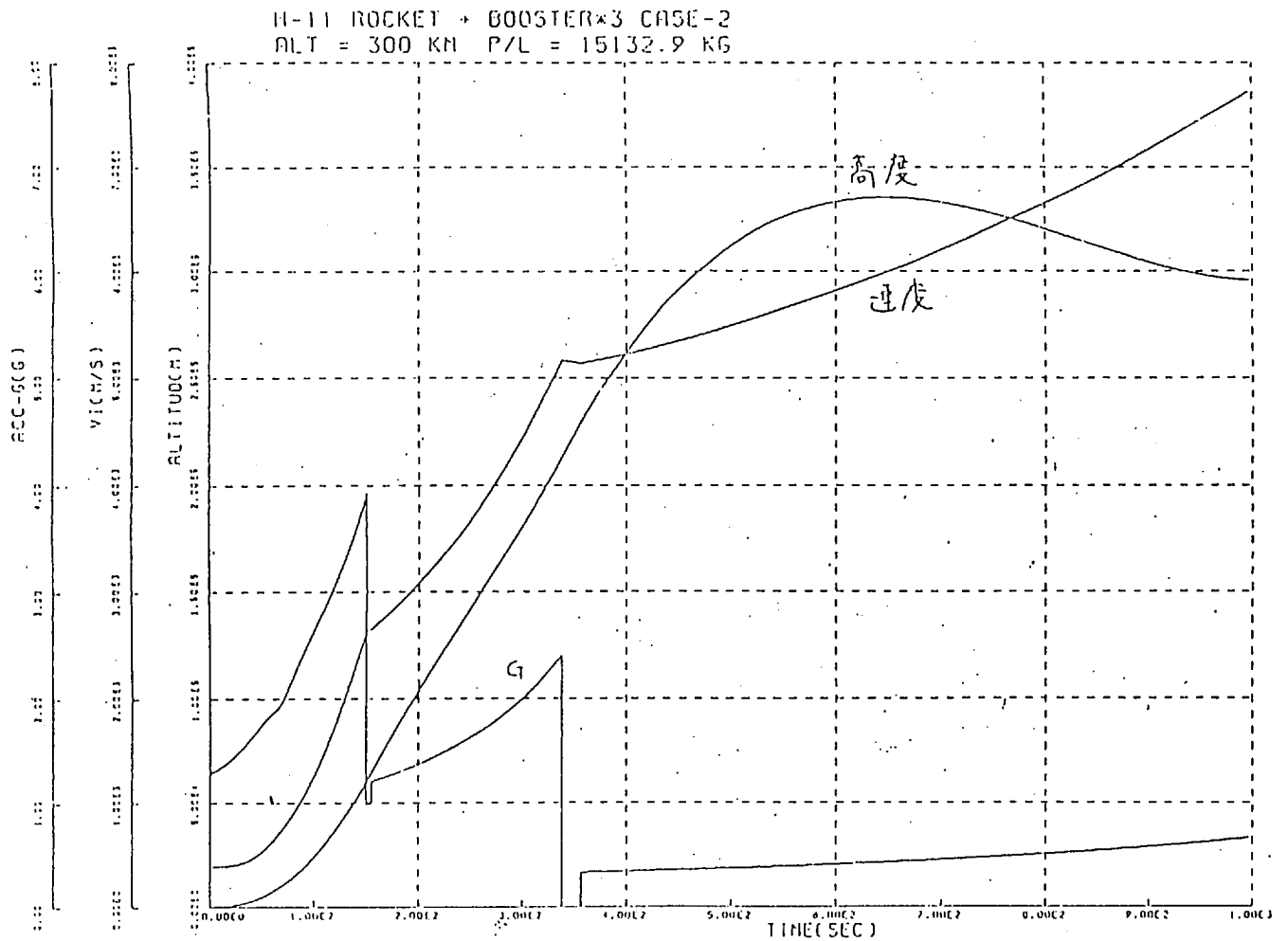


* 初期の減速では、着地速度減に大きな効果は望めない。
* 効力、動圧、加速度の最大値は、著しく楽になる。（現Ｈ－ＩＩロケットの基準クリア）

効力最大値　８→　4.5ton/m2
加速度最大値　3.83 → 2.64G

H-II ROCKET BOOSTER TRAJECTORY DV=970 M/S CA

This document is provided by JAXA.



H－Δ使い捨てモード

LEO300kmに１５＋ton投入可能

ただし、ブースタ分離直前の加速度が４Ｇと高く、エンジンスロットリングの必要あり。

This document is provided by JAXA.

セールスポイント

1）垂直軟着陸：現射場利用の可能性 ｜当面、洋上・浮きドッグ で
安全性を実証、後 射場軟着

2）再使用技術の獲得 技術的発展性・ＳＳＴＯ(SINGLE STAGE TO ORBIT)

3）再使用モード／使い捨てモード 兼用 → 再使用モードで LEO 約10ton
使い捨てモードで LEO 約15ton
ブースタ本数増で成長性大

4）低コスト：再使用MISSION 6回で 現 H-IIとコストバランス

5）現有ハードウェアを極力利用 ｜開発要素 LE-7 再使用化・スロットル
帰還・垂直軟着陸誘導制御
着地点安全管理 他

6）開発の確実さ：当面、使い捨てブースタとして開発
使い捨てMISSION でブースタの洋上垂直軟着水を実証
再使用運用を開始

狙い

・年間２～３機の実用衛星打ち上げ（設計・製作）受注および
年間１機の技術試験衛星開発・打ち上げを確保

・２～３年で再使用ブースタを償却

・再使用と生産機数増の効果により、さらにコストダウン→受注増

・工場生産・打ち上げ作業 年平均化・安定維持可能

・資金余裕を新規開発に振り向ける

This document is provided by JAXA.

検討に用いた前提条件

（１）要求ペイロードは　当面、Ｈ－ＩＩ程度とする。ただし、成長性があり、ＨＯＰＥ搭載可能なこと。また、コストメリットが明かな場合には、これを下回ることも許容する。

（２）既存技術およびハードウェアを極力応用して、システムをまとめる。

（３）生産設備・工場は、現状規模とする。（タンク直径は 4m 以内等）

（４）射場は　種子島現射場改修の範囲内、回収位置は　種子島周辺、最終的には射点近傍と仮定する。ただし、打ち上げ期間に制約はないものとする。

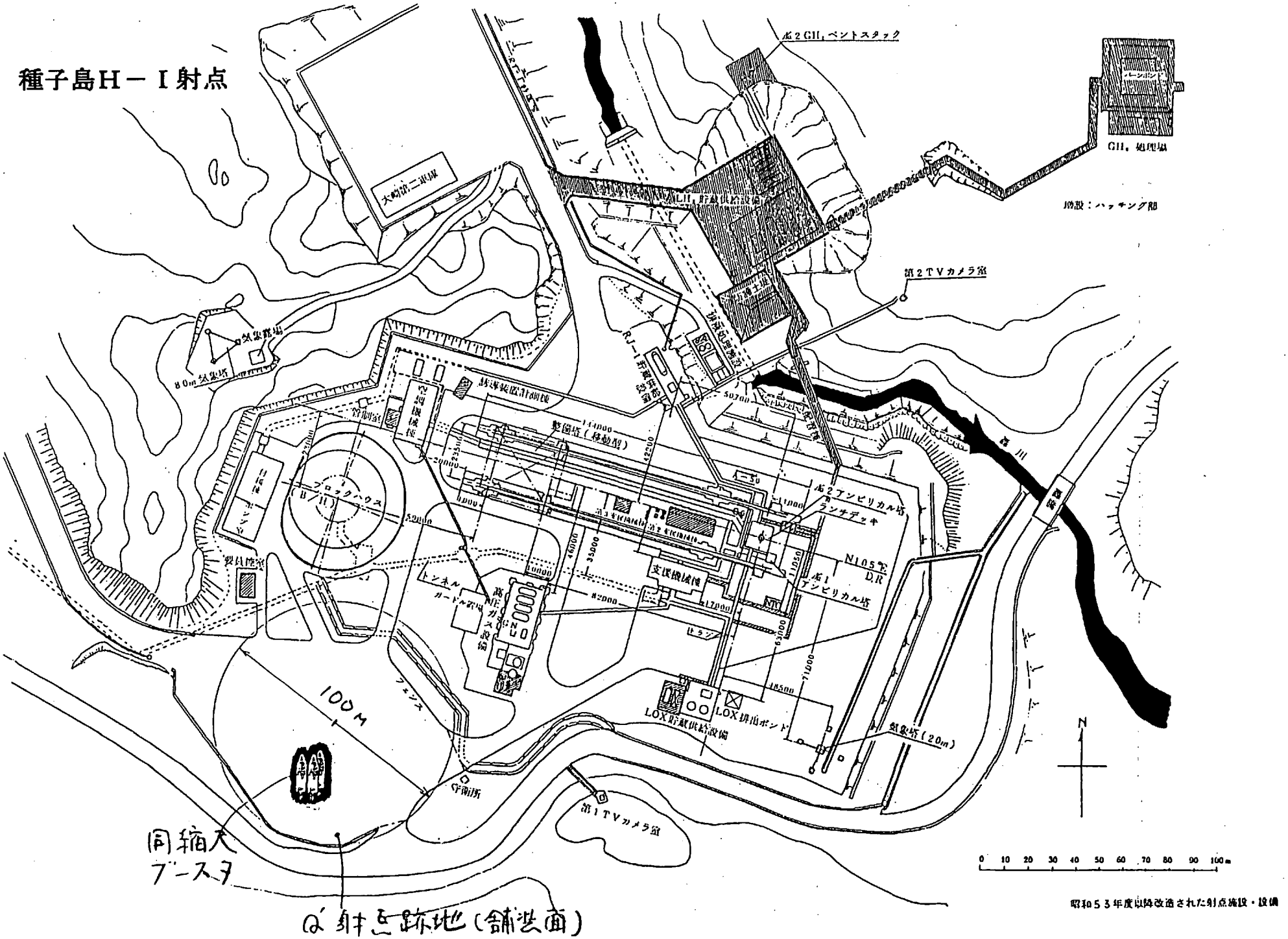
（５）当面、保安距離は考慮しない。

（６）飛行安全については、今後調整。

（７）打ち上げ機コストが、アリアンＩＶの９０億円程度になれば受注が見込まれるものと考え、これをコスト目標とする。

This document is provided by JAXA.

種子島H－Ⅰ射点



昭和53年度以降改造された射点施設・設備

This document is provided by JAXA.

ブースタ用ＬＥ－７作動モードの検討

１）再使用 MISSION

メンテナンス最小で再使用を図るため、離昇時にも 80-90% POWER（海面上推力 約 75tonf ）で使うことを前提とする。

・その結果、全離昇推力は(75*3+86)=311tonfとなる。
・さらに離昇加速度を0.3G 以上とした場合、
・離昇時全備重量は(311/1.3)=239ton以下に抑えねばならない。
・従って、ブースタの許容重量は約 110ton
・帰還用推薬、構造重量他を除き、離昇推進薬充塡率を 0.65 と仮定し、
・離昇用推進薬重量 71.5ton を得る。
・エンジン Isp=445sec,真空中推力 95tonf とすると、
・エンジン燃焼秒時は (445*71.5/3/95)= 約110 秒となる。

分離時には、ブースタエンジンプリバーナの停止あるいは低温燃焼モードでアイドル作動とするが、再着火のリスクを避けるべく、エンジン停止は行わない。

帰還時には、アイドル作動で姿勢を整え、逆噴射により垂直軟着陸する。着陸時には、推進薬はほぼ使い果たしており（TOUCH & GO,KISS & HOP)は取りあえず考慮しない）着陸重量は 25-30ton となる。
垂直軟着陸の実績データはないが、エンジン１基当たり 15tonf の海面上推力が必要となり、かつ 0-15tonf のフルスロットル能力が要求される。

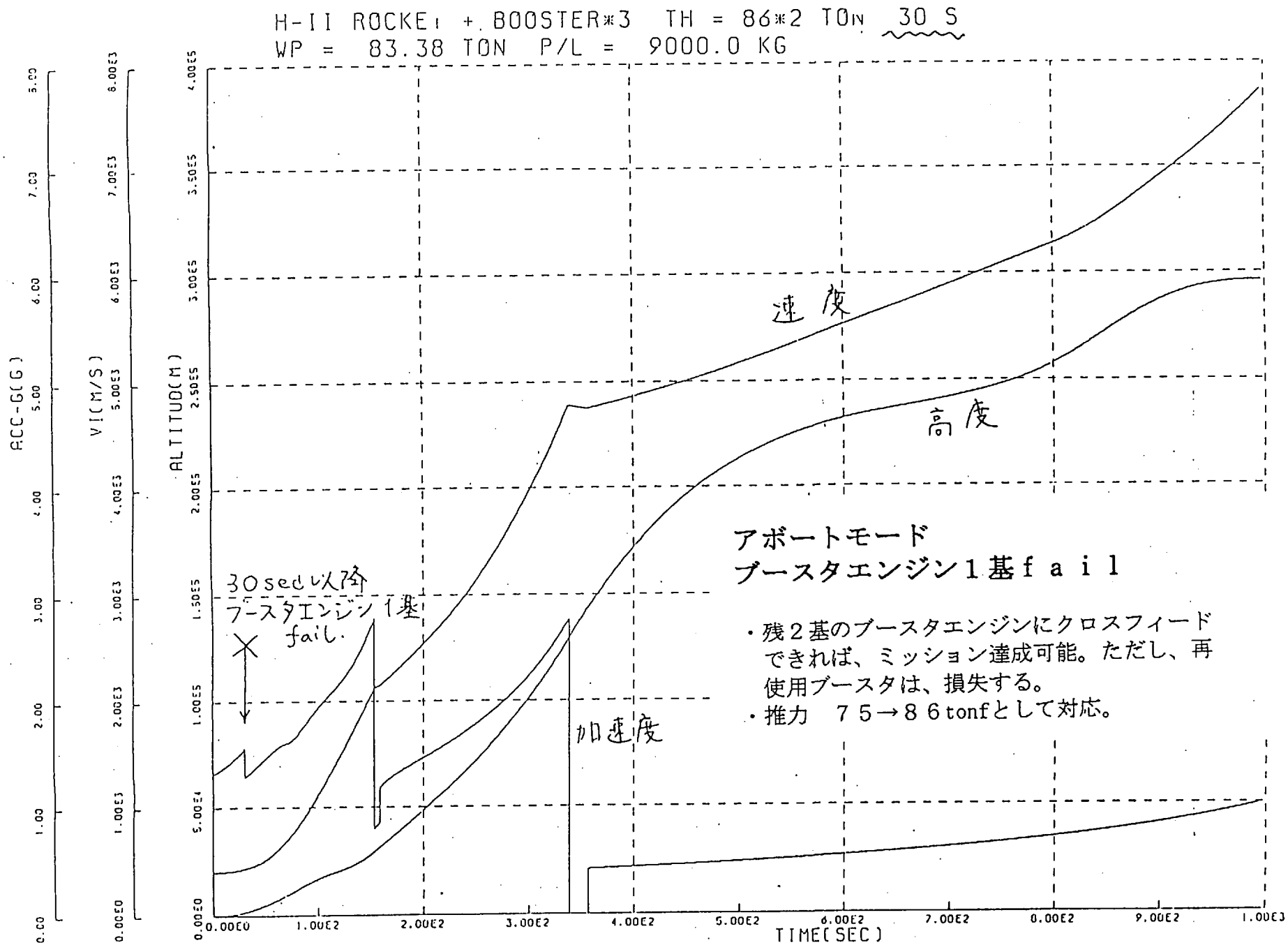
２）再使用 MISSION におけるエンジンFAIL

LIFT-OFF後、50 秒でエンジン１基の推力に相当する 70ton の推薬を消費するため、50 秒－分離までにブースタエンジン１基の機能が失われてもMISSION は達成できる。必要に応じ、推力を 75→86tonf として対応する。ただし、この時 推進薬タンク間の CROSS-FEED が必要となり、また再使用ブースタは損失する。

３）使い捨て MISSION

エンジン推力を 75→86tonf として対応する。
再使用 MISSION と同じ前提で（ただし、降着装置・搭載電子機器他を削除できることを考慮し、推進薬充塡率を 0.85 と仮定）燃焼秒時は、約 155秒となる。

This document is provided by JAXA.



This document is provided by JAXA.

4）寿命要求

6回の再使用 MISSION ＋寿命切れの使い捨て MISSION を考えた場合、寿命要求＞7回の作動・(110*6+155)=815 秒（帰還時の低推力作動秒時を含まず）となり驚くような数字にはならない。ただし、最小の保全で再使用すべく、現エンジンの設計見直しが必要となる。

This document is provided by JAXA.

再使用ブースタ　開発ステップの検討

第１段階：米　デルタクリッパ DC-X　実証試験（BUNNY-HOP '1993 SPRING)の成否をじっくり観察。

第２段階：サブスケールモデルを用いた実証試験（ＮＡＬ角田検討中）
- 要素長寿命化試験
- スロットリング機構検討
- 垂直軟着陸制御則検討
- 分離機構検討・フレーム防御検討
- 高迎え角時の構造強度検討
- 帰還経路検討
- 着地点安全計画検討

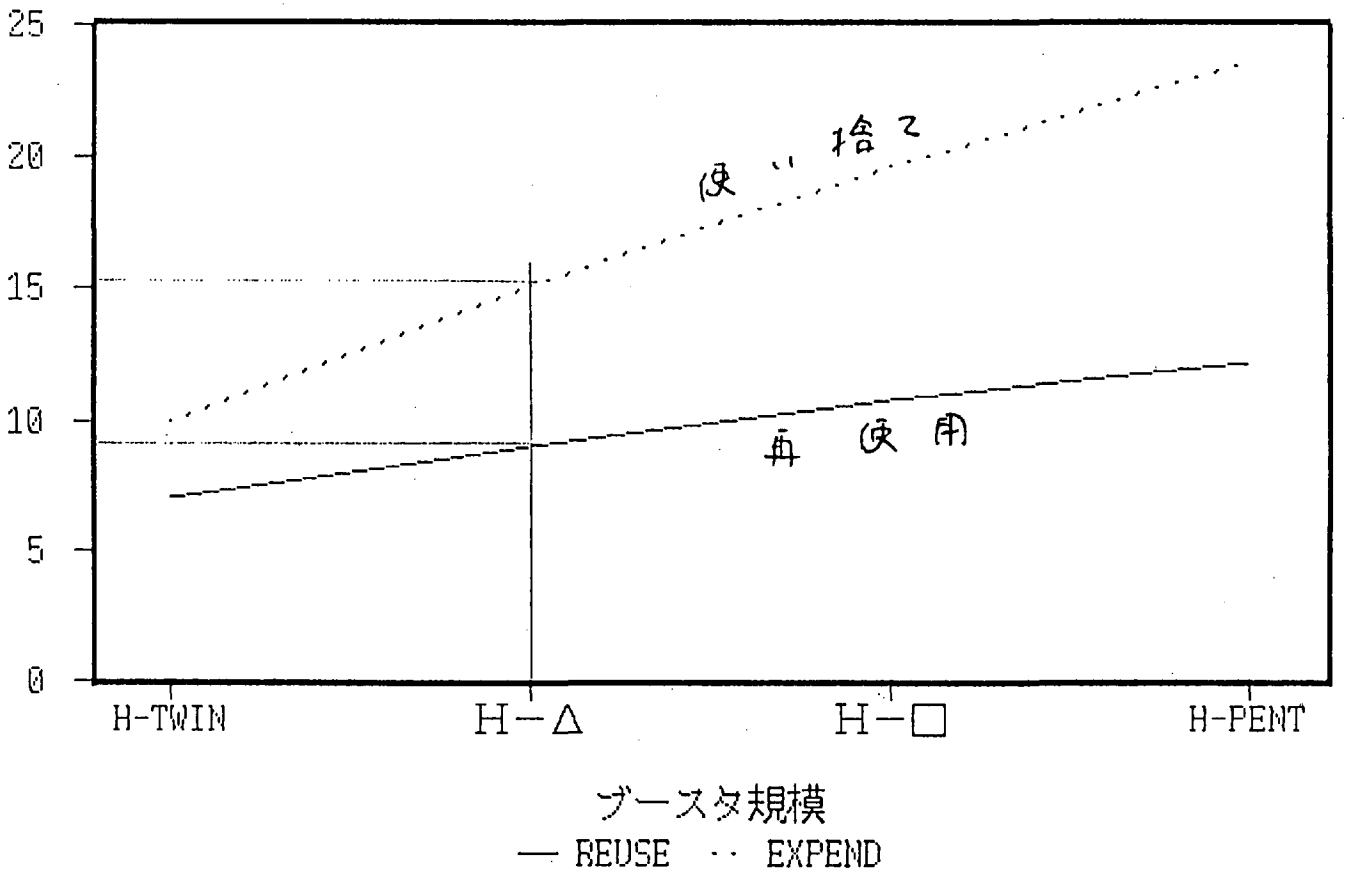
第３段階：Ｈ－ＩＩ増強型として開発、使い捨て MISSION を実証・運用
並行してＬＥ－７エンジン設計見直し・スロットリング実証試験
および寿命実証試験

第４段階：Ｈ－ＩＩ PAYLOAD に余裕がある折りを見計らって　分離後ブースタ軟着水制御実証　（あるいは　　浮きドッグに軟着）

第５段階：再使用 MISSION 運用開始

This document is provided by JAXA.

LEO 投入性能



＊ ＴＡＰＡＢによる計算結果

＊ 現概念では、
ブースタ → コアへの
クロスフィードによる
性能利得はほとんどない。



This document is provided by JAXA.

技術開発要素

今後、検討及び実証を要する技術開発項目を以下に示す。

（１）推進系技術

再使用化に関し、
- ８０－９０％オフデザイン作動の検討
- 設計マージンの見直し
- 回転機械クリアランス、リーク量の見直し
- 性能低下・重量増の評価

スロトリングに関し、
- 噴射圧損調整機構
- 推力調整バルブ設計検討
- Ｅ／Ｇ制御電子機器検討
- ノズル剥離安定化
- ノズル分離機構
- ノズル冷却方法
- 長秒時アイドル作動の可能性
- アイドル作動安定化
- 軟着推力 ～15tonf 作動モードの検討

（２）ブースタ分離技術
- 結合・分離機構
- 分離／反転モータ及び姿勢制御系の検討
- 分離時荷重評価
- 液面制御方法の検討
- コア／ブースタ間クロスフィードの可能性（メリット小か？）

（３）帰還・軟着陸制御技術
- 帰還経路最適化
- 誘導制御方法・軟着陸ポインティング誤差解析
- 空力加熱・推進薬への影響・要すれば断熱手段
- 伸展降着装置　荷重評価→緩衝機構
  重量推定
  使い捨てミッション時の取り外し機構

（４）推力／重心　オフセットの検討
- 打ち上げ時、オフセット許容範囲、ジンバル損失の評価
- 軟着陸時、　同　上
- アボートモードも含め、ブースタ配置の最適化

This document is provided by JAXA.

（５）アボートモードの検討

・打ち上げ時、　エンジン１基 FAIL 時
- ミッション達成条件（ブースタ損失他）
- ブースタ間クロスフィードの可能性
- 必要ジンバル性能

・帰還／軟着時、
- KISS & HOP (=TOUCH & GO)
- エンジン１基 FAIL 時
  - ジンバリングによるアボート
  - 小型固体モータによるアボート
  - ブースタ間クロスフィードの可能性

This document is provided by JAXA.

宇宙輸送系成長のシナリオ（案）　　'92.12.01　AOKI

・前提とした宇宙活動

長期的には、各衛星・惑星に地球生物が進出し、生産活動を行う。
これに伴い、惑星上で消費活動・環境整備が行われる。
米ゴールドラッシュに見られるように、希少資源を産する僻地、孤島をイメージするものである。
往復する人的資源の他、往側では生産設備・機械、輸送機械、生命・環境維持装置、食料等が大量に輸送されるが、環境整備にともない自給自足可能な経済圏・生活圏が形成される。また、復側では、希少資源あるいは、一次加工品が地上向け搬出されることになるが、長期的には、一極集中を避け、地球外生産品（エネルギを含む）は地球外で消費することが原則となるべきである。
以上、新大陸の歴史をイメージするものである。

宇宙ステーションは、地球近傍中継港として、人的教育・訓練の場であると同時に、物資の中継貿易港　かつ市場として機能する。
また、軌道間輸送機　組立・整備・保守また推進薬を備蓄・充塡する機能・設備が整備されなければならない。
整備工場付きガソリンスタンドをイメージするものである。

・宇宙輸送系の展望

以上を仮定すると、地上／ステーション間の物資の移動は、通常惑星間輸送物資に準ずるほか、特に往側で軌道間輸送機材・保守部品・推進薬が占めることになる。

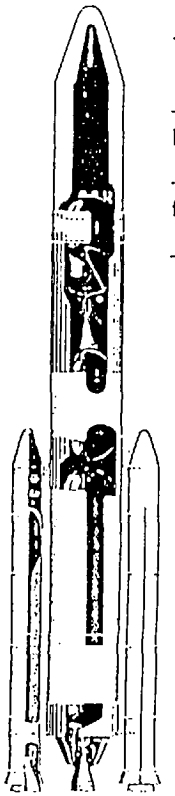
これに対応する輸送系として、一形態で全てに対応できる概念は考えにくく、移動区間また移動物資によってそれぞれ最適化が図られる。現在、１－２ミッション／１打ち上げが主流であるが、今後　マルチミッション／マルチフライトに多様化していく。
例えば、専用フライトで軌道上に推進薬が安価に備蓄してあれば、あらゆる外軌道ミッション用に推進薬の再充塡が可能となり、著しくミッション性能を向上できる。また、結果として　上段は軌道上再使用が可能となり、地上に回収する理由は失われる。従って　ＳＳＴＯの実現を指向することは必須では有り得ない。

以上から、軌道に投入・将来的には再使用され得る上段の回収を避け、旧来　海没・損失していたブースタ・１段機体の地上回収・再使用を指向することを提案するものである。ＳＳＴＯに至る極めて高度な技術は必要とせず、信頼性の確保・保守コストの低減に大きく寄与できる。
また、ステーションを経由して地上に向かう人員及び希少物資の回収には、打ち上げ機を兼用する複雑を避け、回収専用機（例えば、小型ＨＯＰＥ）によることが　効率的と考える。

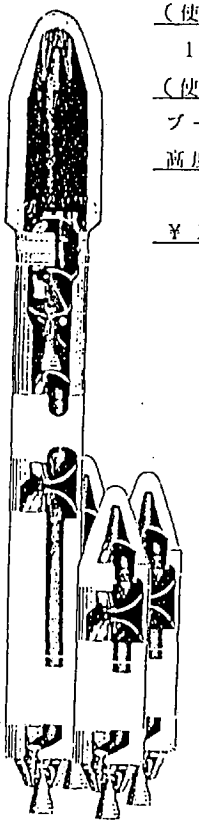
This document is provided by JAXA.

宇宙輸送系（地上＞低軌道）成長のシナリオ

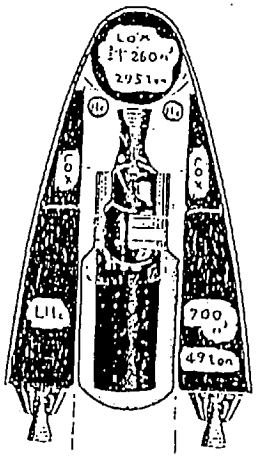
H－ＩＩロケット



全備重量：
２６０ｔｏｎ
ＬＥＯ投入能力：
１０ｔｏｎ
回収・再使用部：
なし
使い捨て部価格：
￥１３０億



２３０ｔｏｎ
（使い捨て時　270ton）
１０ｔｏｎ
（使い捨て時　15ton）
ブースタ段
高度34Km、速度1,400m/sより
￥１００億



１５０ｔｏｎ
１０ｔｏｎ
第１段
高度200Km、速度4,000m/sより
（￥５０～５５億）
上段再使用により使い捨てなし

・ペイロード需要により
サイジング最適化
・大型化により輸送コストは
さらに低下
・上段は地上に回収せず、
軌道上で再利用する
＞再充填・ＯＴＶ化
＞軌道上構造物
＞将来的には天体上構造物

１９９２　　２０００　　２０１０

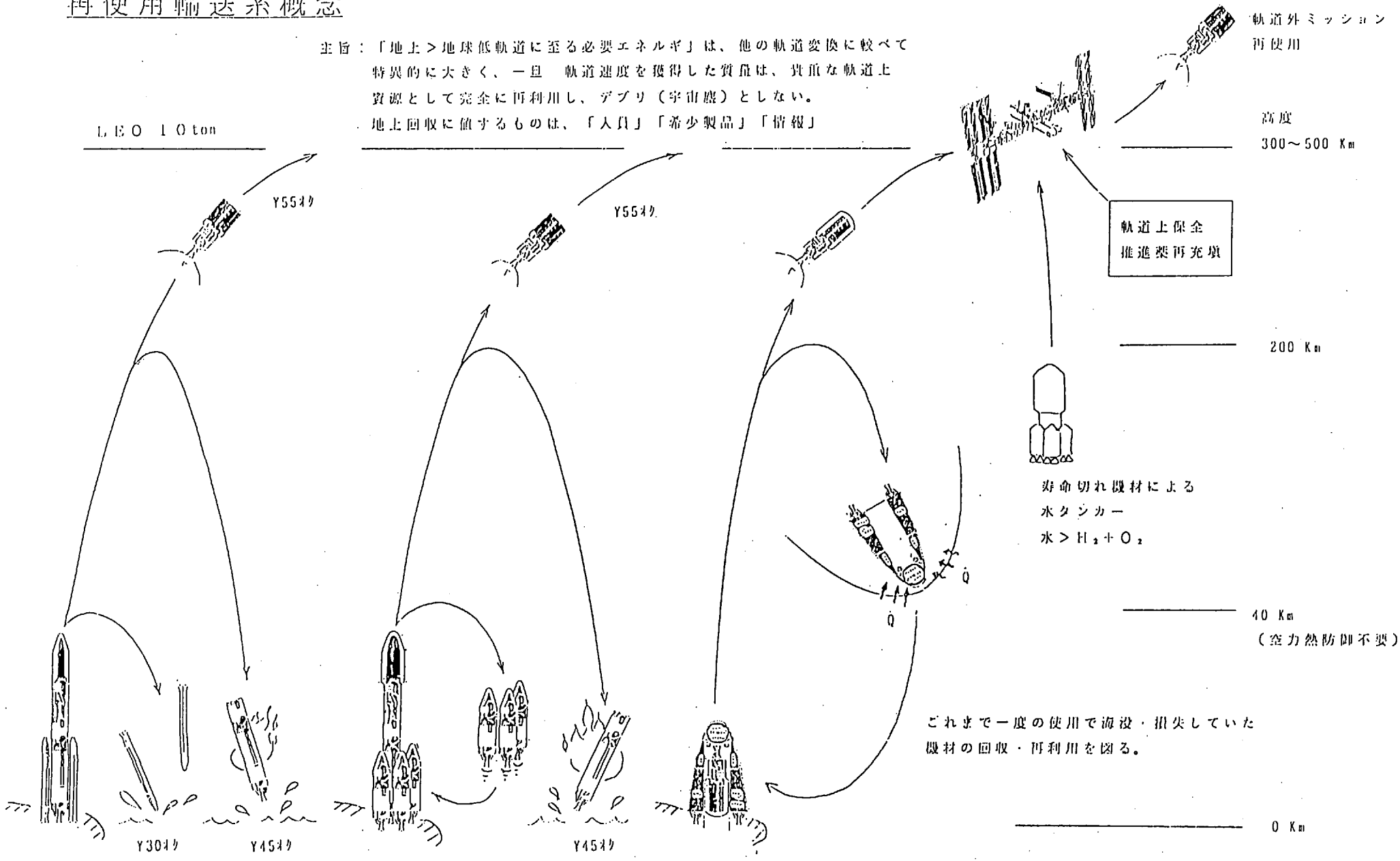
使い捨て機 ／ ブースタ回収・再使用 ／ 第１段回収・再使用（上段軌道上再使用）

0　10　20M

This document is provided by JAXA.

再使用輸送系概念

主旨：「地上＞地球低軌道に至る必要エネルギ」は、他の軌道変換に較べて特異的に大きく、一旦　軌道速度を獲得した質量は、貴重な軌道上資源として完全に再利用し、デブリ（宇宙塵）としない。
地上回収に値するものは、「人員」「希少製品」「情報」



H－II　　近未来機　　将来機

全備重量：　260ton　　230ton　　450ton

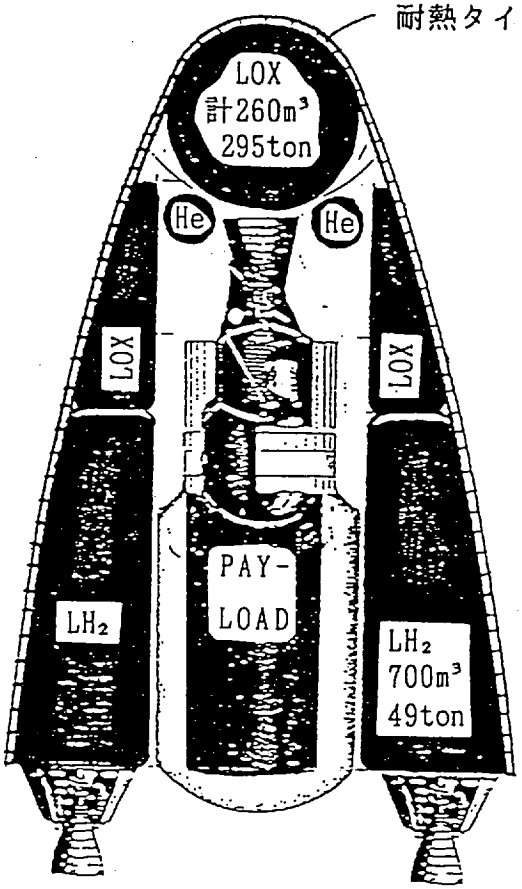
This document is provided by JAXA.

１段完全回収・再使用モデル

・１段エンジン停止後、
反転、上段分離

・１段機体
高度　約250Km
速度　約4,000m/s
より再突入・帰還

・南鳥島周辺で
垂直軟着陸・再使用

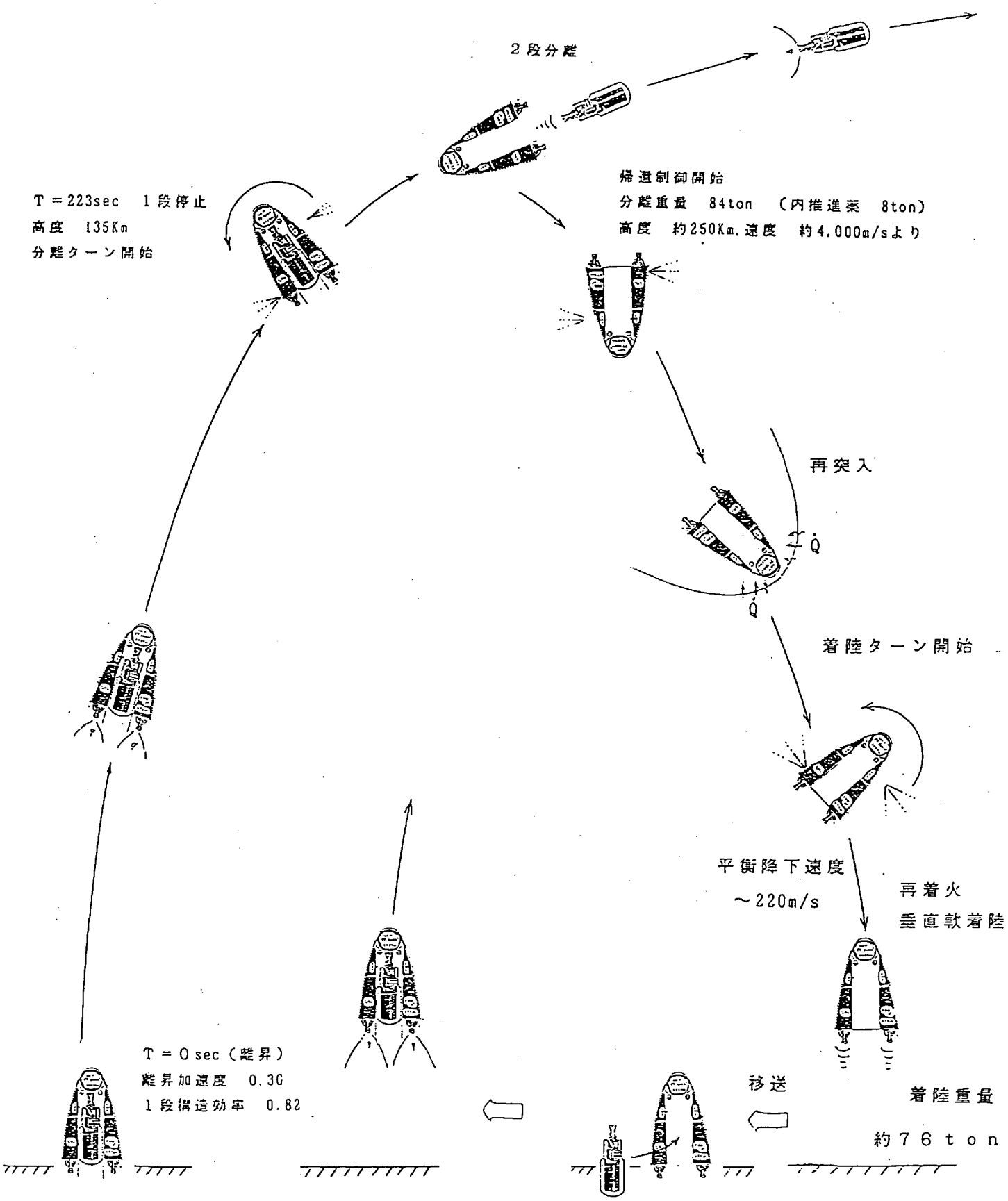


0　5　10m

LOX/LH2ｴﾝｼﾞﾝ
海面上推力　150tonf*4基
または　LE-7　*8基

・全備重量　約４５０ｔｏｎ
・地球低軌道（LEO500Km）投入能力　約１０ｔｏｎ
・使い捨て部：上段機体　約55億円（将来、軌道上で再使用）

This document is provided by JAXA.



１段完全回収・再使用モデル飛行概念

This document is provided by JAXA.

参考

'93 March ~ "Bunny Hop" ex.

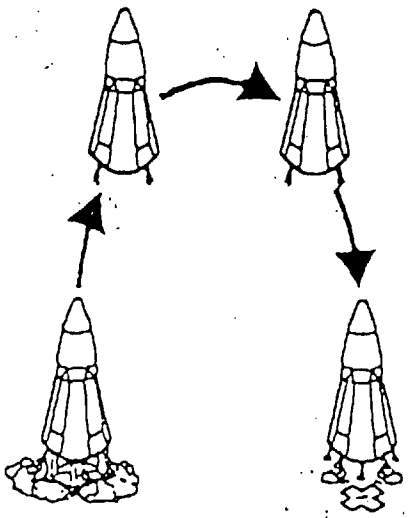
IAF-92-0854

DC-X Flight Tests Support and Validate Delta Clipper SSTO Concept

Flight Series 1
Low-Q Hover Tests

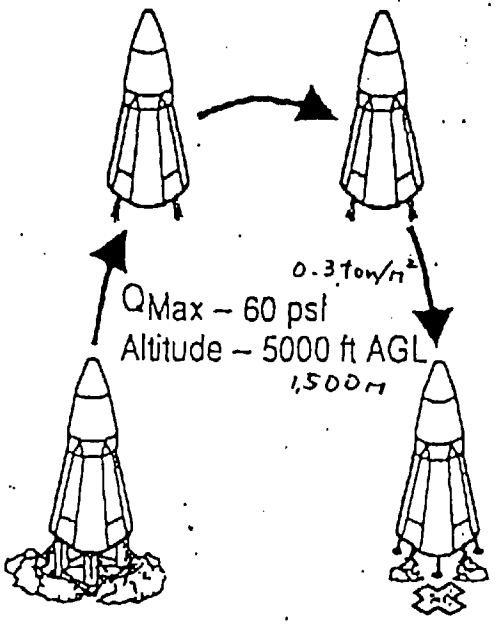
- ☐ Blended control
- ☐ Vertical landing/ground effects
- ☐ Systems performance

Q_{Max} – 10 psf 50kg/m²
Altitude – 600 ft AGL 183m



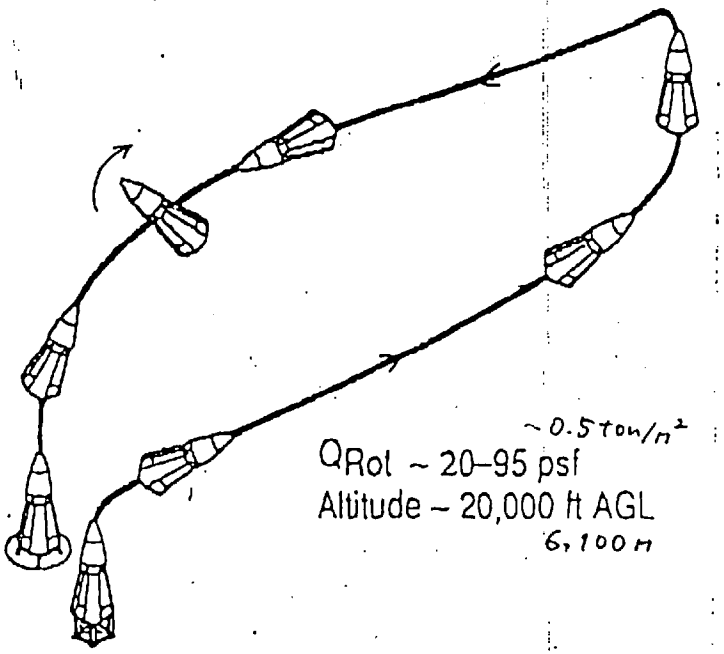
Flight Series 2
High-Q Hover Tests

- ☐ Aero performance verification
  - Power-on drag
- ☐ Expanded performance
- ☐ RTLS demonstration



Flight Series 3
Rotation Maneuver

- ☐ Increase Q at rotation
- ☐ Reacquisition of GPS
- ☐ Propellant management



This document is provided by JAXA.

まとめ

将来の宇宙活動ユーザの多様な要求に応えうる宇宙輸送系のあるべき姿を考察した。地球低軌道に到達する手段の効率向上、低コスト化、運用の柔軟化が鍵となる。これらを実現すべく、「再使用化」を目標に、我が国宇宙輸送系発展シナリオの一案を示した。重量増の性能に対する感度が比較的に低い打ち上げ機下段に「無人・自動化技術」を適用して「回収・再使用化」を図り、段階的にその範囲を拡大していくことが合理的と考える。このシナリオに基づき、既開発Ｈ－IIロケットの構成品を応用した再使用ブースタ概念の一例を示した。
この例に拘わらず、今後我が国宇宙輸送系が生き残っていくためには、独自の技術開発分野を見出し、この部分に開発努力および開発資源を集中していくこと、よって国際間で競争関係／補完関係／多様性の維持を図ることが、唯一の方向であると考えている。

なお、本研究に際して、株式会社ＡＥＳ中島久幸氏には飛行解析の面でご支援を受けた。謝意を表します。

This document is provided by JAXA.

宇宙開発事業団技術報告　NASDA-TMR-950007

発　行　日　　１９９５年３月３１日

編集・発行　　宇宙開発事業団
〒１０５－６０
東京都港区浜松町２丁目４番１号
世界貿易センタービル２２階
TEL　03-5470-4111（代表）

©１９９５　ＮＡＳＤＡ　　無断複写、転載を禁ずる

＜本資料に関するお問い合わせ先＞
宇宙開発事業団調査国際部技術情報課
TEL 03-5470-4276 ～ 4279

This document is provided by JAXA.

NASDA
宇宙開発事業団

This document is provided by JAXA.