

第 1 7 号科学衛星 (LUNAR - A) の打上げについて

平成 10 年 6 月 10 日
文部省宇宙科学研究所

1. 概 要

月面にペネトレータを貫入させ、搭載した地震計及び熱流計を用いて月の内部構造を探ること、又、月周回軌道から月面の光学撮影を行うことを目的とする第 1 7 号科学衛星 L U N A R - A は、平成 1 0 年度中に M - V - 2 号機による打上げを予定していた。

しかし、ペネトレータ搭載電池について万全の方策を講じ、ペネトレータの信頼性を一層高めるため、打上げを延期することとした。

2. 理 由

L U N A R - A については、平成 9 年 5 月に、ペネトレータの母船からの分離機構部の改修のため打上げ時期を平成 1 0 年度に変更することが宇宙開発委員会から了承されている。

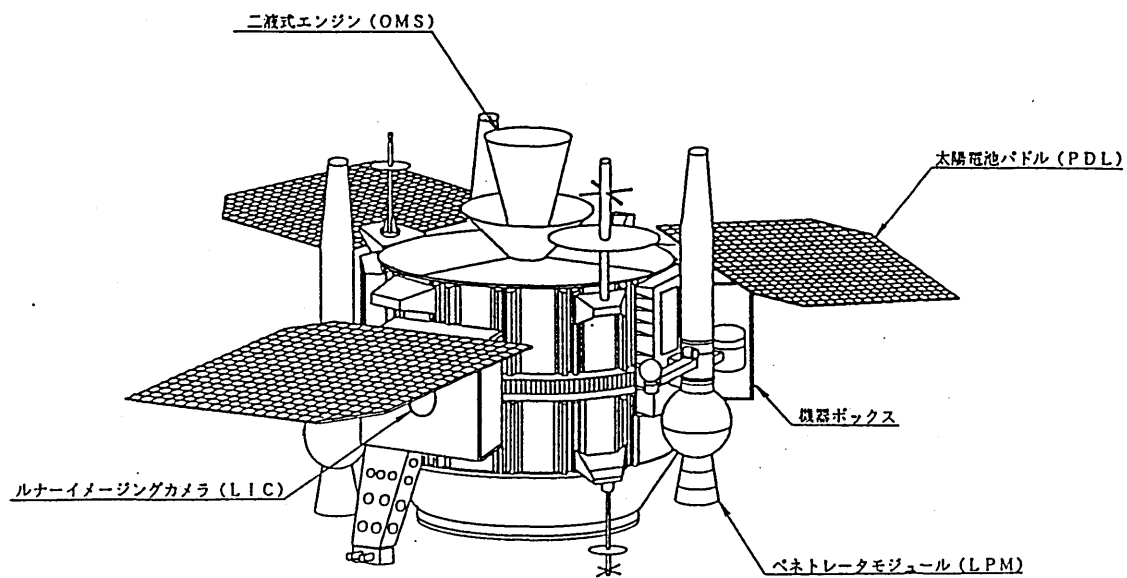
分離機構部及び火工品に関しては予定通り改修を終了し問題は解決されたが、平成 9 年 3 月実施のペネトレータ貫入実験で発生した搭載電池の液漏れに関しては、その対策を行い、信頼性の確認及び確保を図るため、ペネトレータシステム全体の貫入試験を行う必要がある。

3. 今後のスケジュール

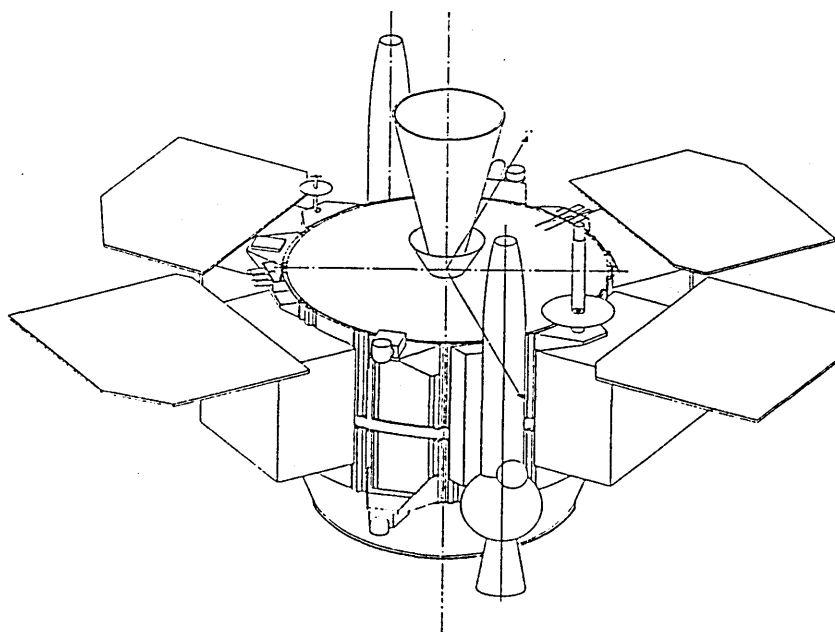
電池液漏れ対策とその確認に要する時間を検討した結果、現時点では、平成 1 1 年度に打上げること为目标に進めていくこととしている。

4. 備 考

なお、平成 1 0 年度冬期以降打上げの場合、月到着約 6 ヶ月後に日陰があり、既設計・製作の母船システムでは電力的にこの日陰を乗り切れない。この点について検討した結果、ペネトレータ数を 3 本から 2 本に減らし、母船に 1 次電池を搭載することにより日陰を乗り切れること、又、ペネトレータ数を減らしても科学観測の意義が確保されとの結論に達し、衛星システムを改修することとしている。



(a) 変更前

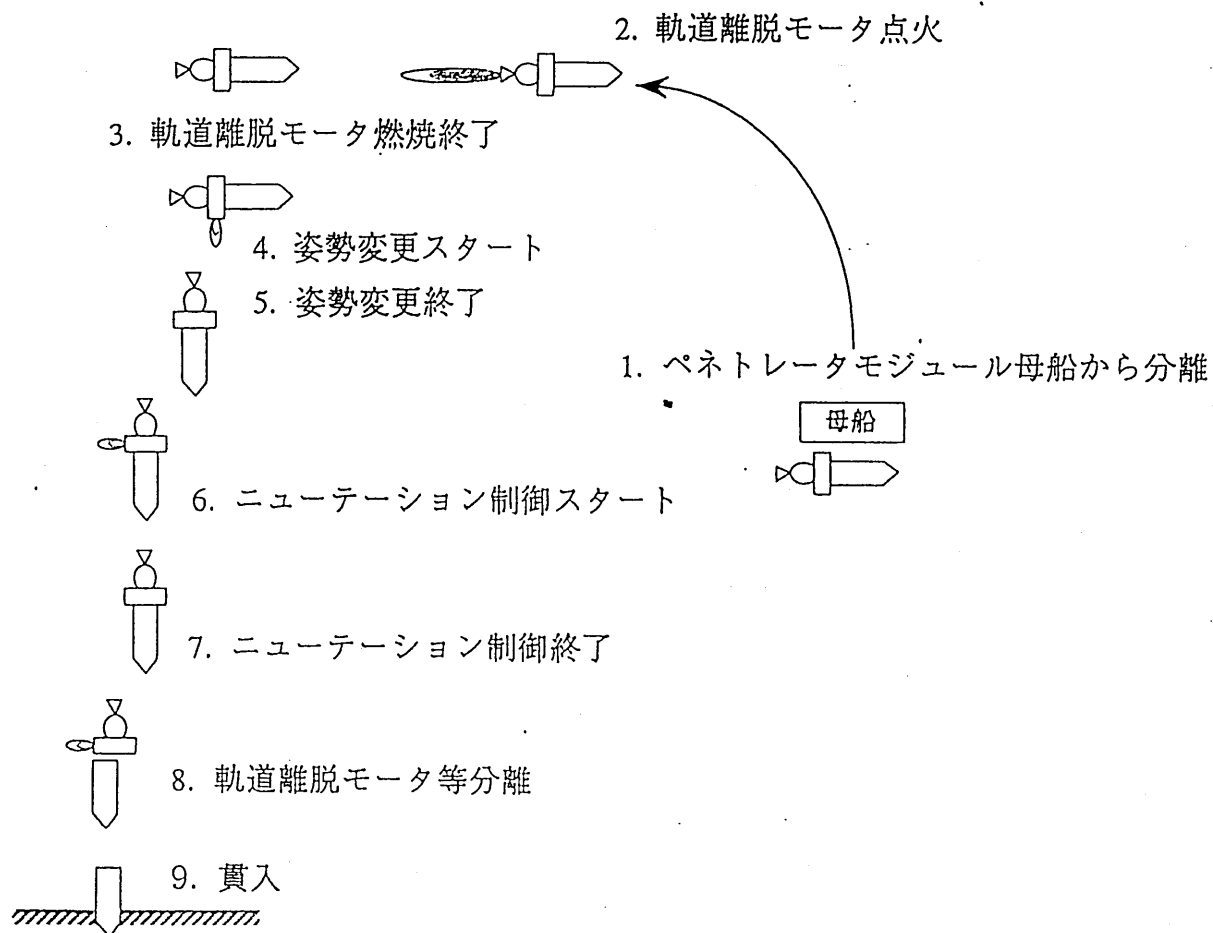
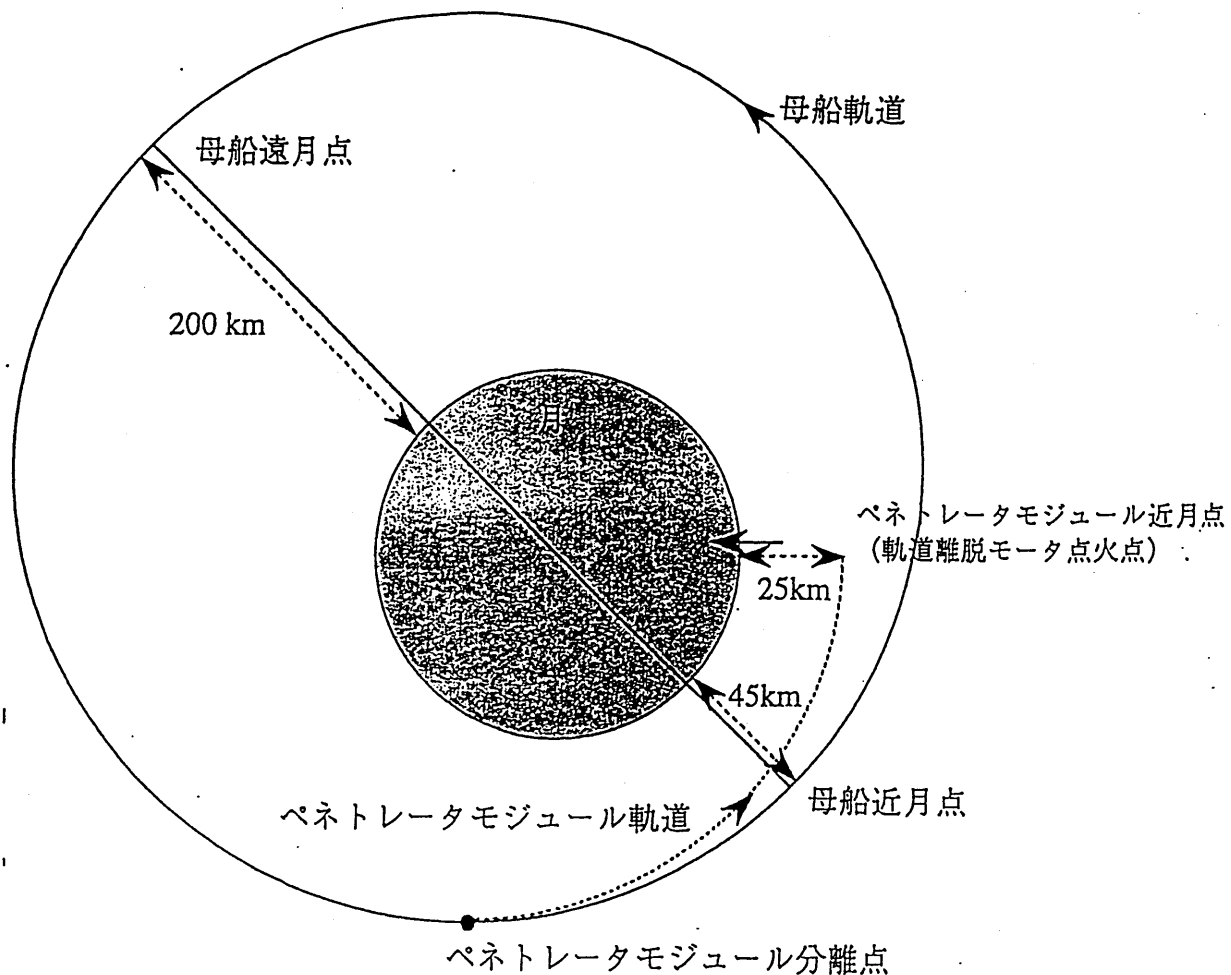


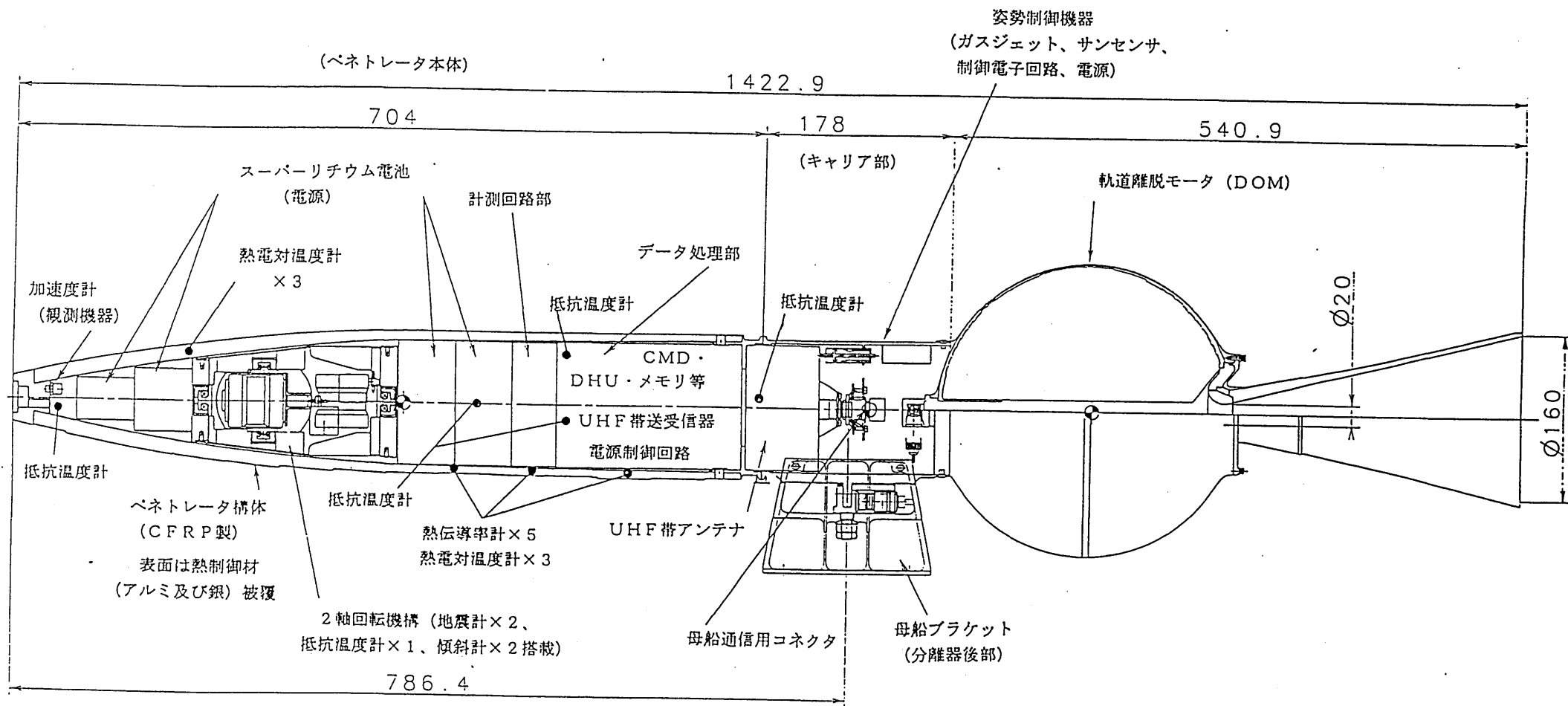
(b) 変更後

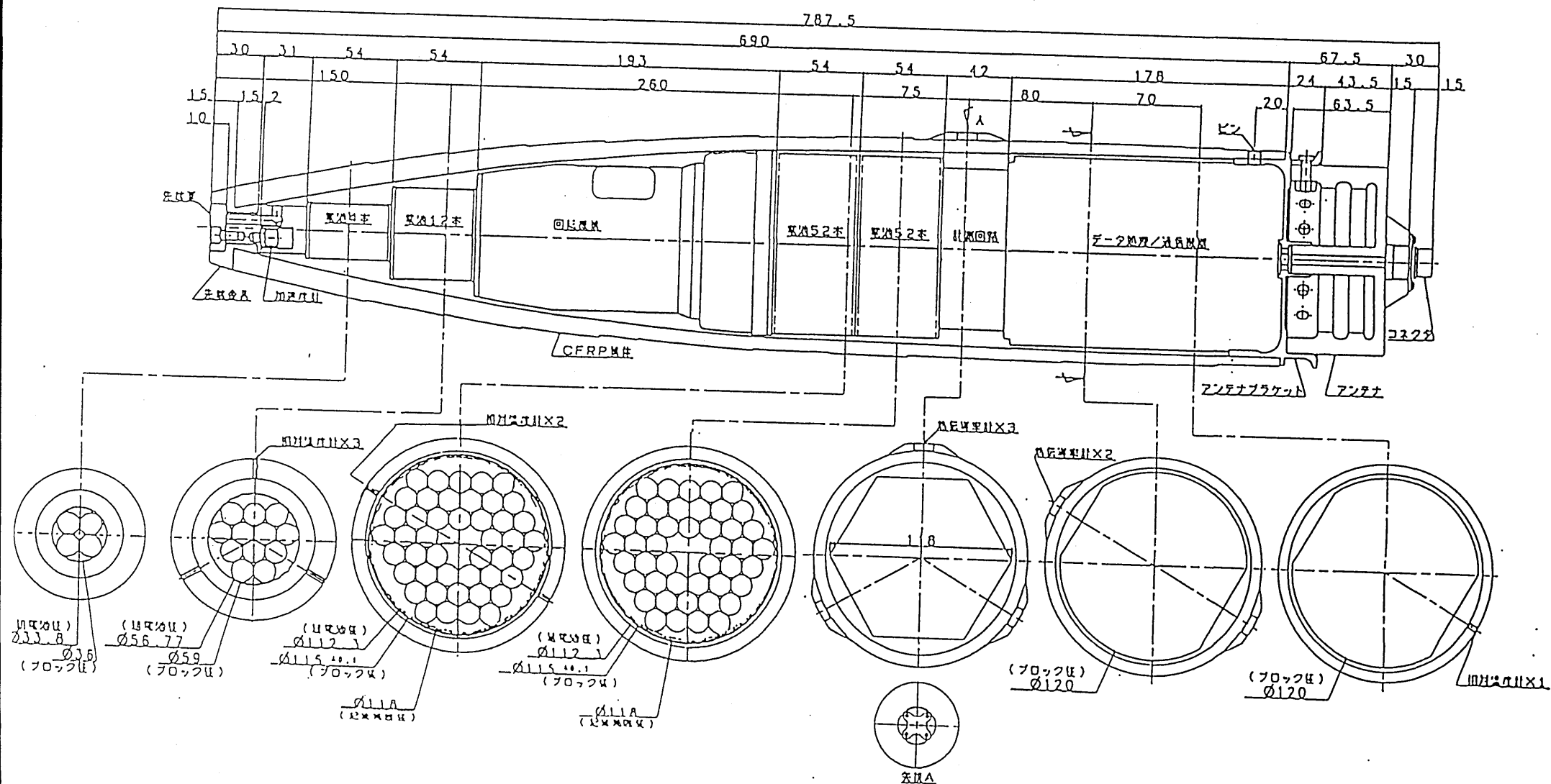
LUNAR-A 概形図

日陰条件

1999年	1, 2月期	打上げ	
1999年	7月頃	月到着	
2000年	1月	日陰	250 分
	7月		330 分
2001年	1月		198 分
	7月		160 分
2003年	5月		194 分







LUNAR-A計画の変更にもない期待される成果の変化

1. 期待される成果の概要

LUNAR-A計画ではペネトレータという月惑星の内部構造を解明する新しい惑星探査方法の実証という工学的意義の他に、科学的にもこのアポロ計画では得られなかった様々な新しい情報が得られる。とくに月の中心核のサイズについてのデータと月の裏側の地殻構造に関するデータは全く新しい結果をもたらす。また月を周回する母船に搭載される撮像カメラでは、月の赤道近傍領域についてこれまでの月探査では得られなかったような高分解能、高画質のイメージが得られ、月の地質について新しい知見が得られる。ここではLUNAR-A計画で期待される科学的成果を列挙し、月の科学全般からみたこの探査計画の意義をまとめる。

(1) 月の裏側での地震活動

月の裏側の地殻は約40億年前までに形成されたと考えられており、その後のマグマ噴出などで作られたマスコンのような大きな重力異常領域は発見されていない。このような地域では（地球における安定地塊のように）一般的には地震活動は低くなっていると思われるが、はたしてそうになっているかどうか。そもそも月の地震活動度が何によって支配されているのか。このような疑問に対して月の裏側での地震活動度を知ることが第一に必要なことであり、LUNAR-A計画で得られる月の裏側での観測結果がこういった基本的な疑問に答えるデータを与えることになる。

(2) 月の裏側の地殻構造

月の裏側の地殻は表側のそれと比べて2倍以上厚い可能性もあるほか、月の歴史の初期における激しい隕石衝突時代に受けた破碎、混合の跡を深部まで残している可能性もある。LUNAR-Aの観測は裏側における1点観測ではあるが、地震学的な色々な手法でこの地殻の構造の様相を明らかにできる。月の裏側の地殻の物理的状態の把握は、将来の月ミッション、セレーネ計画で明らかにされる裏側の地殻の化学的データを解釈する上で基礎データとなる。これらのデータは月の初期史の全体像を明らかにするための必須のデータを提供するものと言える。

(3) マントルの平均的構造

月の裏側に設置される月震計は、震源から下方にむかい中心核を通り抜けるP波だけではなく、震源から斜め上方に進み、表面で反射したのちマントルを伝搬するP波（pP波、PP波）も観測する。これらのフェーズは震源の反対側では大きな振幅になることが予想される。この波の到達時刻はマントルの平均的なP波速度で決まっていると考えて良いので、この波を観測することによりマントルの平均的速度を決定できる。マントルの平均的P波速度の決定は月のマントル物質の平均的な鉱物組成の推定を可能にする。マントルの平均的鉱物組成は、地殻の進化、マントルの進化を明らかにする上できわめて重要なデータであると同時に、セレーネ計画のリモートセンシングによる地殻の鉱物・化学組成を解釈に重要な役割を果たすことになる。

(4) 月中心核のサイズ

月の中心核の大きさを決める問題はLUNAR-A計画の中心的課題である。さいわいペネトレータ

を月の裏側に設置することにより、2点の観測でも月の中心核のサイズを決めるための重要なデータが得られる見通しがついている。LUNAR-A計画による観測では、中心核による地震波Focussing効果を観測する方法、Shadow Zoneの領域を観測する方法、震央距離の大きな観測点での走時の決定による方法などにより、中心核の半径を ± 50 kmの精度で決められる。この3つの方法はベネトレータが月の表側と裏側にあるという利点を生かしたものであり、月震の波形データを取得することが必ずしも必須ではない点は注目に値する。これらの方法の適用のためには、月震テーブルとして送信されてくる月震のエッセンスデータで十分である。

おそらく上の3つの方法を組み合わせることによって、実質的にはさらに精度の高い結果が得られる。中心核のサイズが ± 50 kmの精度で決められる事は、月全体における親鉄性元素存在度を推定する上で決定的に重要なデータになる。図1は中心核が形成されるときに、月を作った原料物質の中に含まれていた親鉄性元素がどのようにマントルと中心核に分配されるかを示したものである。珪酸塩と金属鉄とが化学平衡を保ちながら中心核が形成されれば、親鉄性元素は一般に金属鉄に取り込まれやすいので、これらの元素の大部分は中心核に入り、マントルにはわずかしかな残らない。したがってもし月に中心核があれば、月のマントルや表面の岩石に見られる親鉄性元素存在度の不足は自然に説明できることになる。すなわち親鉄性元素に乏しいという性質は月の原料物質の特徴ではなくなる。図1に示すように、もし中心核の半径が450 km以上あれば、月全体の親鉄性元素存在度は始源的隕石と同等であって良い。これは現在ひろく信じられている「月は全体として親鉄性元素

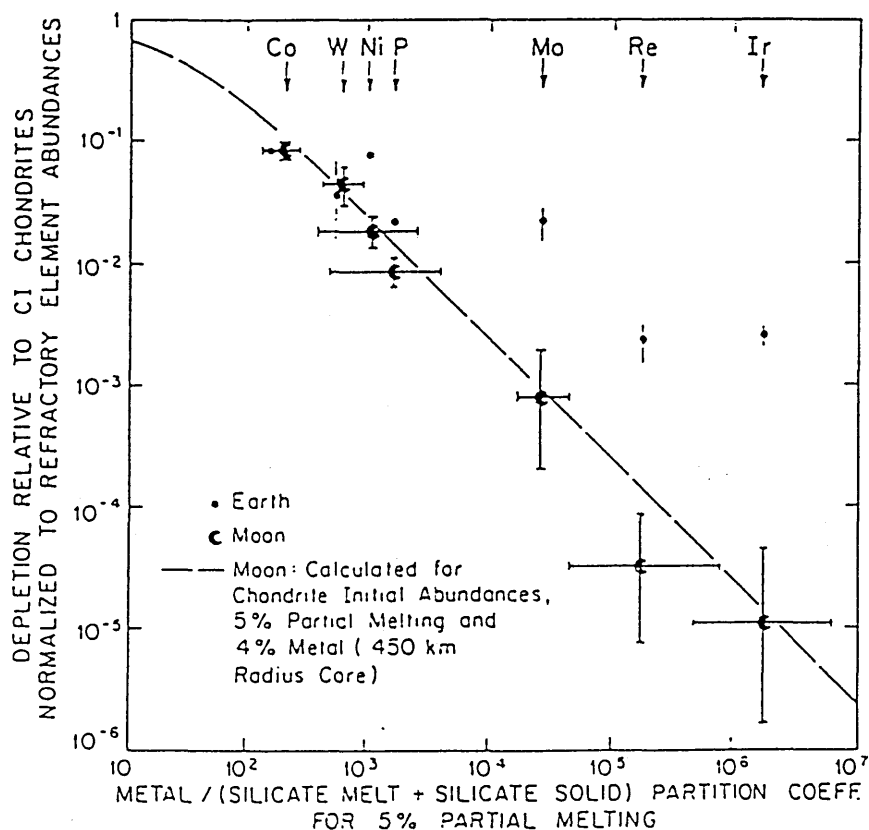


図1. 月岩石の親鉄性元素存在度と分配係数の関係。理論曲線はマントルが5%部分熔融して、中心核の半径が450 kmとしたときに期待される地殻物質内の存在度を示したものである。

に欠けている」という神話を崩すものであり、月の起源説の有力な考えである巨大衝突分裂説に重大な反証を与えることになる。この意味で月の中心核サイズについての新しいデータは月の起源と進化を考える上で極めて重要な情報を与えるものである。

(4) 月熱流量の決定

LUNAR-A計画ではペネトレータを使って月の裏側の高地を含む2地点で熱流量を決めることができる。これによりアポロ計画で得られた2地点での観測データと組み合わせて、月全体の熱バジェットをこれまでよりはるかに精度よく推定できるようになる。月の熱流量データは月の内部の熱的状态を知る上での基礎になるばかりではなく、月内部の熱源の源であるK, U, Thなどの月全体における放射性発熱元素の存在度を推定する重要なデータである。U, Thは難揮発性元素の代表であり、これらの存在度は月の起源と密接な関係があると信じられている。これまでは月表面の岩石にはこれらの難揮発性元素が多いこと、アポロの熱流量値の高いことから月全体としてもこれらの元素は富んでおり、このことは月の高温起源を示すものと思われる。しかしアポロ計画で得られた2地点の熱流量値はそれぞれ大きく異なっており、平均値に大きな意味を持たせるわけにはいかない。また表面の岩石にこれらの元素が多いのは、これらの元素のイオン半径が大きいためであり、地殻の分化にともなう必然的な効果であったとも言えるものである。したがって我々は月全体としての難揮発性元素の存在度が地球や始源的隕石と比べ多いのか少ないのかという基本的問題にはまだ答えられていない。LUNAR-A計画の熱流量計測はこのような意味で月の起源を明らかにする重要なデータを提供するとともに、月の化学組成の解明ともつながっており、セレーネ計画の観測とつながるものである。

(5) 月の撮像

アポロ計画では多くの写真が撮られ、クレメンタイン衛星では月全体の画像が得られた。しかしアポロ計画で得られた高分解能(60m以上の分解能)写真は地域的に限られており、一方クレメンタイン衛星による画像は太陽位相角が高いために地形の起伏が極めて不明瞭であり、地質学的調査には適さない。これらと比べLUNAR-A計画における撮像はモノクロ画像ではあるものの、画像分解能は約20mであり、太陽位相角が低いときに撮像するので微小な地形の起伏が捉えられるところがユニークな点である。画像の得られる領域は月の緯度 ± 27 度以内の領域に限られるものの、月のテクトニクスや進化過程を研究する上できわめて多くのデータが得られることが期待されている。これらのデータはまた将来のセレーネ計画の基礎データとして利用されることになる。

2. 当初計画との違い

LUNAR-A計画は当初予定していたものから、ペネトレータの本数、観測時間、母船-ペネトレータ間の通信リンクの低下などにおいて変更を加えようとしている。観測時間と通信リンクの縮小はLUNAR-A計画全体で得られる総データ量の削減を意味するが、それが必ずしも直接的に科学的成果に影響を与えるわけではない。これまでに述べてきたように現状の観測計画によっても、当初計画の主要目的であった中心核のサイズを決めるという課題にたいして十分な成果を期待できる。

ペネトレータの本数の削減は科学的成果としては量的というよりは本質的な違いを生む。これらの違いについて表1にまとめた。3機のペネトレータによる観測と2機のペネトレータによる観測の本

質的な違いは、震源決定能力の差にある。3地点での観測データがあれば、それだけで震源の位置を決めることが可能であるが、2点観測では原理的に不可能ではないが、実際的にはきわめて困難である。LUNAR-A計画では当初から3機のペネトレータにおいてもLUNAR-A単独での震源決定は難しいので、アポロ計画で得られた深発月震の特徴を利用することを考えていたが、現状のLUNAR-A計画ではそれが補助的な手段ではなくなっていると言う点が違っている。このために比較的大きな浅い月震データを利用してマンツルの構造を深るといふような研究は現状では難しい。しかし、この表でみるように、現状のLUNAR-A計画は計画段階でねらっていた主要な科学目標にたいしては大きな変更を加えずに、アポロ計画について最初の月内部構造探査として多くの新規性と科学的重要性の高い観測が行われると言つてよいであろう。

表7-1. LUNAR-A計画段階と現在得られると期待される地震学的成果の違い

観測項目		計画段階	現在
地震活動度	表側	アポロ着陸点近傍以外の活動度の推定可	アポロの結果の検証
	裏側	裏側での活動度の推定が可	裏側での活動度の推定が可 (マスコンの無い領域、古い地殻における地震活動度)
地殻の物理特性		アポロ以外の2地点の観測 表側、裏側地殻の散乱特性、物理特性が得られる(表側の高地と裏側の高地の比較が可)	アポロ以外の1地点の観測、 裏側地殻の散乱特性、物理特性が得られる。
月震震源決定		LUNAR-A計測値のみで決定が可	アポロの波形類似性、発震時の潮汐相関からの推定により、アポロ地震計測で得られた深発月震が主となる
マンツル構造		大構造の推定が可	マンツルのみを通るパスが少ないためにマンツルの構造決定は困難であるが、平均的構造については推定が可
中心核サイズ		中心核サイズの信頼性の高い推定が可	±50 kmより高い精度で中心核サイズの推定が可

3. 将来の月・惑星探査との関連

LUNAR-A計画は月の内部構造探査を主目標にした世界初のミッションである。これまですでに述べてきたように、LUNAR-A計画は月の内部構造を明らかにすることが月の起源や進化を理解するたも基礎になるといふ考えから提案されたものである。この考えは月だけではなく、全ての地球型惑星、氷衛星に通づるものである。リモートセンシングで得られる表面についての情報が、惑星内部についての情報と組み合わせられて初めて我々は惑星や衛星の真の姿を理解できる。これは表面に現れて

いる地形、岩石、元素組成など全てのものが惑星内部の構造と運動に支配されているためである。また惑星全体を構成する物質についての特徴（例えば惑星全体の揮発性元素存在度、難揮発性元素存在度、親鉄性元素存在度など）を明らかにするためには、惑星内部の構造と物質を理解しておくことが必須であるのは言うまでもない。

この意味でLUNAR-A計画で開発されたペネトレータは惑星内部構造探査にとって大きな意味をもつ。小型で耐衝撃性の高い計測機器としてペネトレータは将来の惑星探査においてネットワークを作るためのきわめて有効な手段を提供する。

LUNAR-A計画の次のわが国の月探査は月全面の元素、鉱物組成、地形などをさぐるセレーネ計画である。これらのデータの解釈においてもLUNAR-A計画で得られる内部構造についてのデータは重要なものになる。またセレーネ以降のミッションとしてさらに月内部の構造の詳細を探査するミッションなども考えられている。このような月探査の将来計画立案においても、LUNAR-A計画の成果は基本的なデータを提供すると言って良いであろう。

宇宙ステーション組立スケジュール Rev. D (1998年5月30日 SSCB)

	期日	フライト番号	打ち上げ要素
	98.11	1A/R	基本機能モジュール (FGB)
	98.12	2A	ノード1
	99.04	1R	サービスモジュール (SM)
	99.05	2A.1	補給艙装フライト
	99.06	3A	Z1トラス (若田飛行士)
(搭乗員3名常時滞在可能) →	99.07	2R	ソユーズ
	99.08	4A	P6トラス、太陽電池/パネル
	99.10	5A	米国実験棟
	99.12	6A	米国実験棟用ラック、カナダマニピュレータ
(フェーズ2完了) →	00.01	7A	エアロック
	00.03	4R	ドッキング室1 (DC1)
	00.03	7A.1*	補給艙装フライト
	00.04	UF1	実験ラック
	00.06	8A	S0トラス
	00.08	UF2	実験ラック、システムラック
	00.10	9A	S1トラス
	01.01	9A.1	科学電力プラットフォーム (SPP)
	01.02	11A	P1トラス
	01.04	3R*	汎用ドッキングモジュール (UDM)
	01.05	12A	P3/4トラス、太陽電池/パネル
	01.05	5R*	ドッキング室2 (DC2)
	01.06	12A.1	P5トラス
	01.06	13A	S3/4トラス、太陽電池/パネル
	01.09	10A	ノード2
	01.10	1J/A*	JEM補給部与圧区、SPP太陽電池/パネル、SMマニピュレータ
	02.01	1J	JEM与圧部、JEMマニピュレータ
	02.02	9R*	ドッキング保管モジュール (DSM)
	02.02	UF3	実験ラック (生命科学グローブボックス等)
	02.05	UF4	カナダ特殊目的マニピュレータ、 曝露ペイロード輸送パレット
	02.06	2J/A	JEM曝露部、JEM補給部曝露区
	02.08	14A	SPP太陽電池/パネル、SMマニピュレータ、キーホル
	02.08	8R*	ロシア研究モジュール#1 (RM-1)
	02.09	UF5	実験ラック
	02.10	20A	ノード3、生命維持システムラック
	02.11	10R*	ロシア研究モジュール#2 (RM-2)
	02.11	17A*	ノード3システムラック
	03.02	1E*	欧州実験棟
(搭乗員6名常時滞在可能) →	03.03	18A	搭乗員帰還機#1
	03.06	19A	S5トラス、保管ラック
	03.07	15A	S6トラス、太陽電池/パネル
	03.09	UF6	実験ラック
	03.11	UF7	生命科学実験施設 (セントリフュージ)
	04.01	16A	米国居住棟

(注1) Rev.Dの12A.1は、新たに追加されたフライト。

(注2) *は、積載品等について1998年9月を目途に調整される予定。

国際宇宙ステーション概観図

米国／日本／欧州／カナダ側

ロシア側

