

SELENE 搭載用レーザ高度計 (LALT) の開発

田澤誠一^{A)}、坪川恒也^{A)}、荒木博志^{A)}、野田寛大^{A)}、浅利一善^{A)}、河野宣之^{A)}

^{A)} 国立天文台 RISE 開発室

概要

国立天文台 RISE 開発室を中心に 2006 年度打ち上げに向け月周回衛星 (SELENE) 搭載用レーザ高度計 (LALT: Laser ALTimeter) の開発を行っている。昨年フライトモデルが完成し、単体で性能試験および動作試験を行った。現在は JAXA 筑波宇宙センターにて衛星システムと組み合わせた試験を行っている。本発表では LALT の測定原理、性能、および進捗状況について報告する。

1 はじめに

SELENE (SELEnological and ENgineering Explorer) は 2006 年度打ち上げに向け、宇宙航空研究開発機構 (JAXA) によって進められている計画である。この計画の主な目的は、月の起源と進化の解明のためのデータを取得すること、およびそのための技術開発を行うことである。SELENE は月面上を高度 100km で周回し、極軌道 (軌道傾斜角 90°) で 1 年間運行される予定である。図 1 に SELENE の構成図を、表 1 に搭載機器の一覧を示す。

国立天文台は RISE 開発室を中心に SELENE 計画において JAXA と協力し、月形状と重力分布の全面測定を行う主要観測機器として相対 VLBI 用電波源とレーザ高度計開発を担当しており、リレー衛星搭載用中継器の開発にも協力している。これら 3 つの機器からの観測データを組み合わせることで月全面の高精度重力および地形測定を目指している。

LALT の主要目標は、1) 月の形状の高精度決定、2) 極域を含む月面全領域での地形高度図の作成である。極地域の高精度高度図の作成には、重要な役割を果たす事が期待され、特に 80° 以上の極域のデータを取得するのは SELENE の LALT が初めてである。ミッション 1 年間の計測点間の平均距離は、赤道付近で最大 3km (平均 700m)、極域では最大 300m (平均 100m) 程度になる。

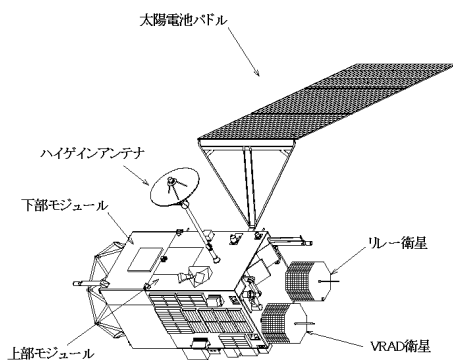


図 1. SELENE の構成図

表 1. SELENE 搭載機器一覧

搭載機器名	略称
蛍光 X 線分光計	XRS
線分光計	GRS
粒子線計測器	CPS
月面撮像 / 分光機器	LISM
月レーダサウンダー	LRS
レーザ高度計	LALT
月磁場観測装置	LMAG
プラズマ観測装置	PACE
プラズマイメージャ	UPI
相対 VLBI 用電波源	VRAD
リレー衛星搭載 / 対向中継器	RSAT
高精細映像取得システム	HDTV

印を国立天文台が開発

2 測定原理、性能

LALT は月周回軌道上を運行する衛星からパルスレーザーを発射し、発射時刻と月面で反射されたリターンパルス到達時刻との差から周回衛星と月面との直線距離を測定する機器である。図 2 に LALT の基本原理を示す。

レーザー発射時刻を t_0 、リターンパルス到達時刻を t_1 とすると、衛星と月面間の直線距離は、 $c(t_1 - t_0) / 2$ で表される。ここで c は光速である。

パルスレーザーには Nd:YAG (Neodymium : Yttrium Aluminum Garnet) レーザを使用している。送信視野 (送信レーザーの拡がり角) は 0.3mrad であるため、周回衛星の高度を 100km とすると月面上ではビーム拡がり径 30m のフットプリントが形成される。受信視野は光軸のズレを考慮し送信視野の 3 倍強である 1mrad としてある。表 2 に LALT の基本仕様を示す。

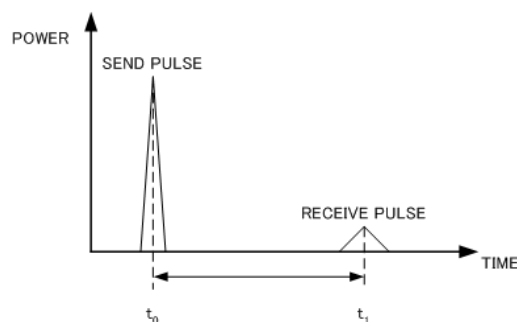


図 2. LALT の基本原理

表 2. LALT 基本仕様

項目	機能、性能	備考
測定波長	1064nm	Nd: YAG
測定距離	50 ~ 150km	
レーザー繰り返し周波数	1Hz	
レーザー出力	100mJ	
レーザーパルス幅	15ns	
送信望遠鏡口径	73mm	
受信望遠鏡口径	100mm	
観測方向	+ Z 方向	常に月面を向くように設置
送信視野	0.3mrad	100km で、フットプリント径 30m
受信視野	1mrad	
レンジ精度	± 5m	100km 測距時

3 LALT の構成

LALT は制御部 (LALT-E)、レーザー送受信部 (LALT-TR) の 2 つのコンポーネントで構成されている。図 3 に LALT-E、図 4 に LALT-TR の外観図を示す。

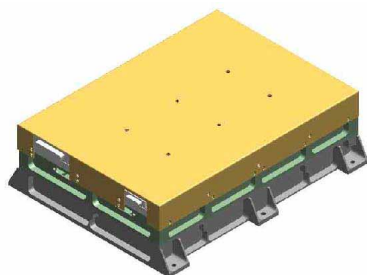


図 3. LALT-E 外観図

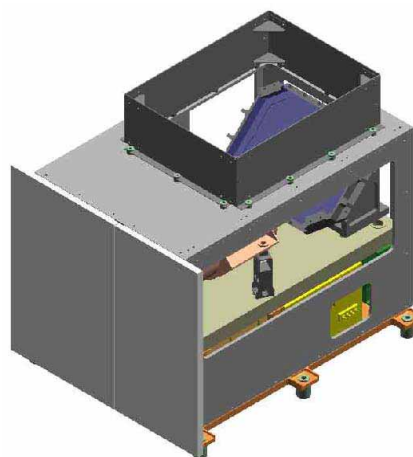


図 4. LALT-TR 外観図

3.1 制御部 (LALT-E)

LALT-E は衛星構体内部に取り付けられ、テレメトリ・コマンド、観測データに関する衛星システム側とのデータ通信と、衛星システムから供給される一次電源から二次電源を生成し、各構成ユニットに所定の電源を供給する役割を持つ。LALT-E は SH-OBC、インタフェース制御部、低圧電源部、計 3 つのユニットで構成されている。表 3 に LALT-E の構成ユニットを示す。

表 3. LALT-E の構成ユニット

ユニット名	機能	備考
SH-OBC (CPU ボード)	<ul style="list-style-type: none"> LALT 全体の制御 衛星データバスからコマンドを受信 衛星データバスにテレメトリを送信 	SELENE 搭載機器の大半がこのボードを個別に搭載 オンボード用プログラムは天文台が開発
インタフェース 制御部	<ul style="list-style-type: none"> SH-OBC が受け取ったコマンドを、制御計数部 (LALT-TR 内) に送信 制御計数部からの観測データ等を SH-OBC に送信 	
低圧電源部	<ul style="list-style-type: none"> 衛星からの一次電圧を二次電圧 (LALT 内部で使用 する電圧) に変換 	一次電圧 30 ~ 50V 二次電圧 +5、±12、+17、+72V

3.2 レーザ送受信部 (LALT-TR)

LALT-TR は衛星構体外部の常に月面を向いている側 (+Z 面側) に取り付けられ、月面にレーザを発射、反射光を受信、光の往復時間から距離を算出し他のデータと共に LALT-E に送出する機能などを持つ。LALT-TR は、ミラー部、望遠鏡部、レーザ発振部、Q スイッチドライバ、レーザダイオードドライバ、高圧電源部、制御計数部、スタートパルス検出部、アナログ信号処理部、計 9 つのユニットで構成されている。表 4 に LALT-TR の構成ユニットを示す。

表 4. LALT-TR の構成ユニット

ユニット名	機能	備考
ミラー部	<ul style="list-style-type: none"> 望遠鏡の光軸を直角に反射 	光軸を月面鉛直方向に向かわせる
望遠鏡部	<ul style="list-style-type: none"> 送光望遠鏡：発射レーザビームの広がりを補正 受光望遠鏡：反射光をアナログ信号処理部に導入 	
レーザ発振部	<ul style="list-style-type: none"> レーザ光を出射 	1064nm (100mJ)
Q スイッチ ドライバ	<ul style="list-style-type: none"> レーザ発振部のポッケルスセルに高圧パルスを印 加 	
レーザダイオード ドライバ	<ul style="list-style-type: none"> レーザ発振部のレーザダイオードを駆動 	
高圧電源部	<ul style="list-style-type: none"> アナログ信号処理部の Si-APD、レーザ発振部に高 圧電源を供給 	
制御計数部	<ul style="list-style-type: none"> 衛星から月面までの距離を算出 インタフェース制御部 (LALT-E 内) からのコマン ドを実行し、LALT-TR 全体の動作を制御 データをインタフェース制御部に送出 	
スタートパルス 検出部	<ul style="list-style-type: none"> 発射光を検知し、スタート信号を制御計数部に送出 	
アナログ信号 処理部	<ul style="list-style-type: none"> 反射光を検知し、ストップ信号を制御計数部に送出 	

4 進捗状況

開発初期に試験用モデル (PM : Prototype Model) を製作して、各種環境試験 (振動、衝撃、熱真空、EMC、測距) やオンボード用プログラムの開発を行い、搭載モデル (FM : Flight Model) の設計に反映させた。また部品レベルでは、耐放射線特性データ取得のために放射線照射試験も行った。LALT-TR の PM では、軽量化と強度確保という相反する条件を満たすため、振動対策に多くの時間を割くことになった。

2003年4月にFMが完成し、屋外測距試験などを行い、LALT単体での動作を確認した。5月から7月にかけて温度試験、磁場試験、EMC試験を行い、最終的にSELENEで定める規格を満足することを確認した。またこの間にオンボード用プログラムのおよびQL(Quick Look)ソフトウェアを開発し、実装、動作の確認を行った。8月からは筑波宇宙センターにおいて衛星システムと組み合わせて単体での動作を確認し、その後全観測機器を組み合わせて総合動作確認試験を行った。図5は筑波宇宙センターにおける単体動作試験時のLALT-TRである。写真ではレーザが発射される開口部に擬似測距ヘッドと呼んでいるカバーが装着されている。擬似測距ヘッドはパルスジェネレータと接続することで擬似リターンパルスを作成する装置であり、同時にレーザが外部に漏れ出すことを防いでいる。この装置を使うことでLALTは試験を安全に進められ、かつLALTの動作確認する上で最も重要である測距データを取得できるようになる。現在は図6の様に実際に衛星を組み立て、観測機器を所定の箇所に組み付けた形で動作試験を行っている。

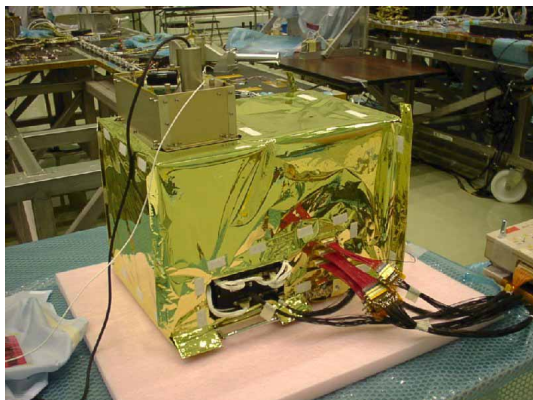


図5. 擬似測距ヘッドを装着したLALT-TR



図6. SELENE 全景

5 まとめ

2006年度打ち上げに向けLALTの開発を進めている。LALTは筑波での試験終了後、メーカーに一旦返却され、数ヶ月の再調整期間を経て、JAXAに納入される予定である。これまでにLALTにおいて数点の不具合事項が見つかり、メーカーにLALTが返却されている間に、これらの不具合事項を改善すると共に、LALTの持つ測定精度をさらに把握するための性能確認試験を行う予定である。地上でできることは全て行ってから、打ち上げに臨みたい。

参考文献

- 1.) 国立天文台 月探査周回衛星研究開発グループ, RISE 計画概念設計書, 1999
- 2.) 坪川恒也 他, SELENE 搭載用レーザ高度計(LALT)の開発(概要), 日本測地学会第100回講演会要旨, 121-122, 2003
- 3.) SELENE Instrument Interface Control Document, LALT, B00-LALT-001-01A2