



月面環境計測

岩手大学 河内正治, 田口長英, 船崎健一

NAO水沢 鶴田誠逸, 田澤誠一, 花田英夫

総合研究大学院大学 河野祐介

NASDA 横山隆明, 金森洋史

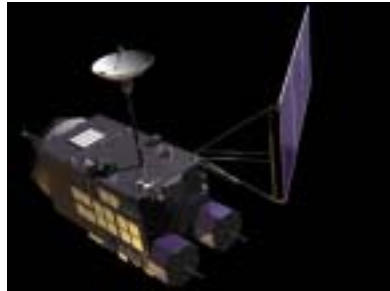
ILOM研究グループ

SELENE-Bシンポジウム

2001年7月17日 宇宙研

背景

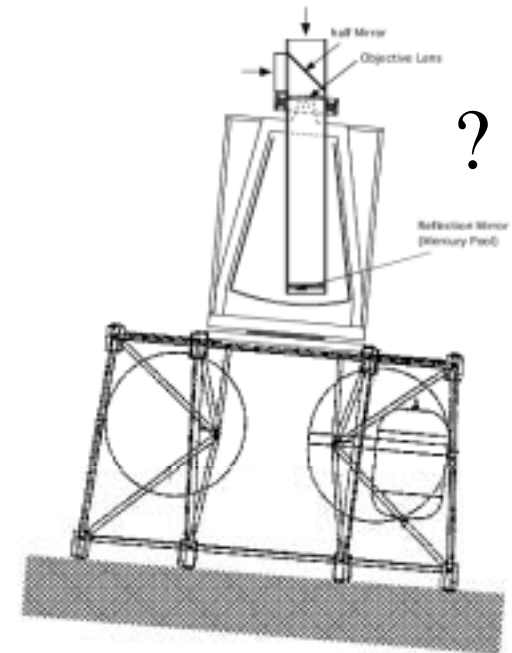
将来の月探査計画（SELENE-2）
として月面に光学望遠鏡を設置
する計画を検討している。



→ SELENE



→ SELENE-B

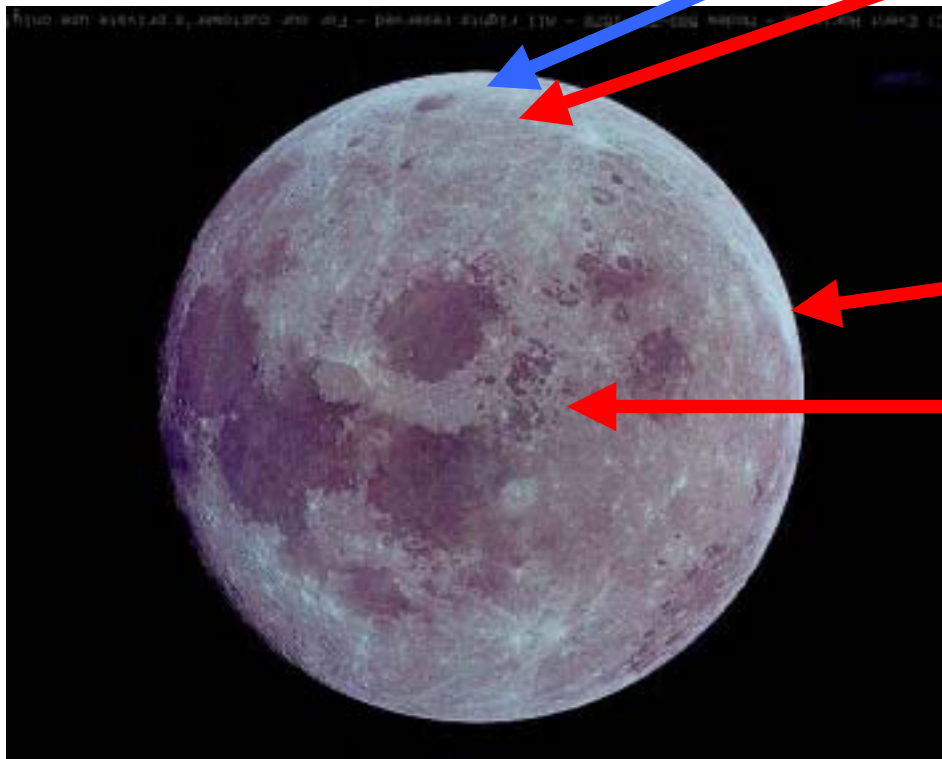


→ SELENE-2

月面の温度環境

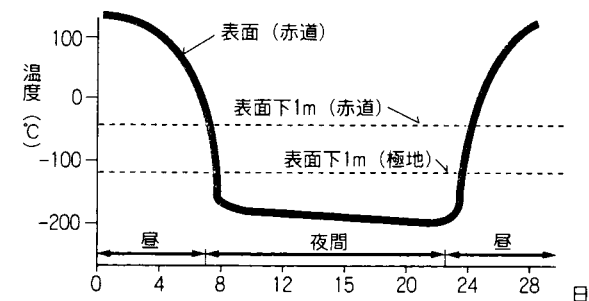
日陰 -233

極付近 -63 ~ -43



北緯20°, -171 ~ 111

赤道 -160 ~ 120

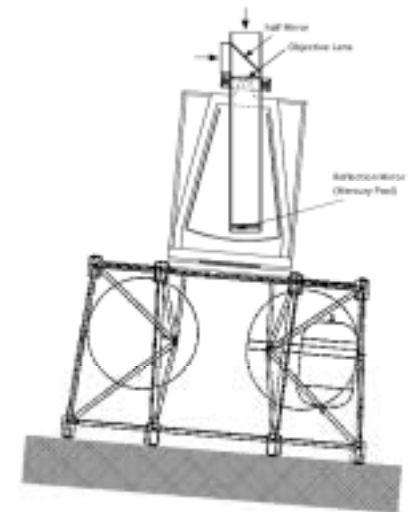


月面の激しい温度環境は、光学望遠鏡の精度を低下させる？

月土壤



月面上の足跡の写真



レゴリス上のランダーは、時間の経過に伴って傾斜する？

レゴリスダスト



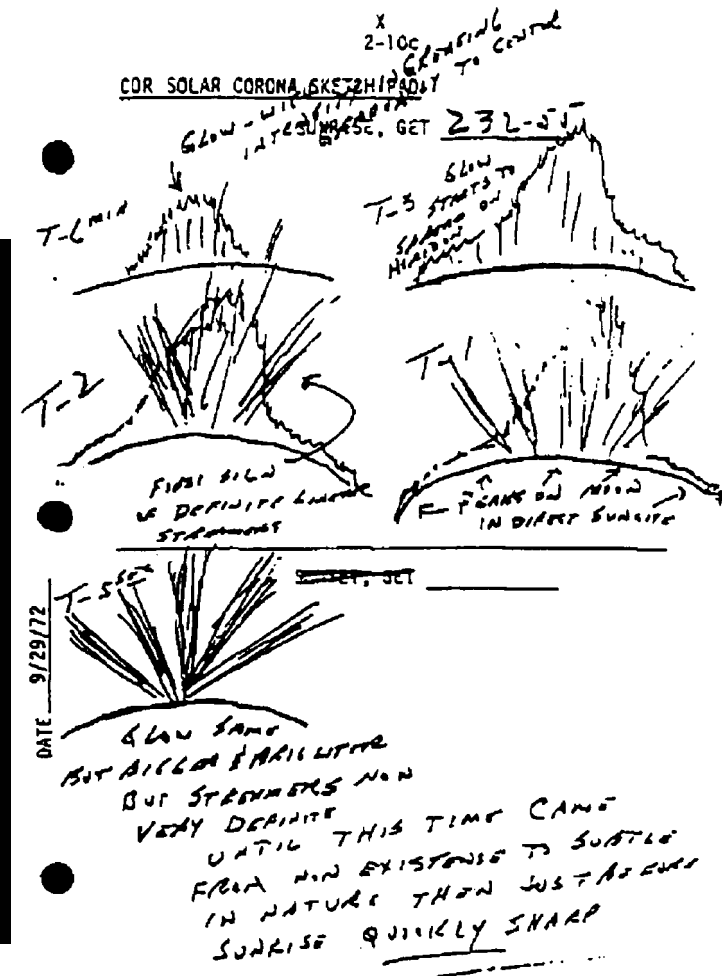
着陸時の噴射によるダストの発生

静電気によるダストの発生

望遠鏡の光学系に影響したり、太陽電池
やラジエターの能力の低下を引き起こす。

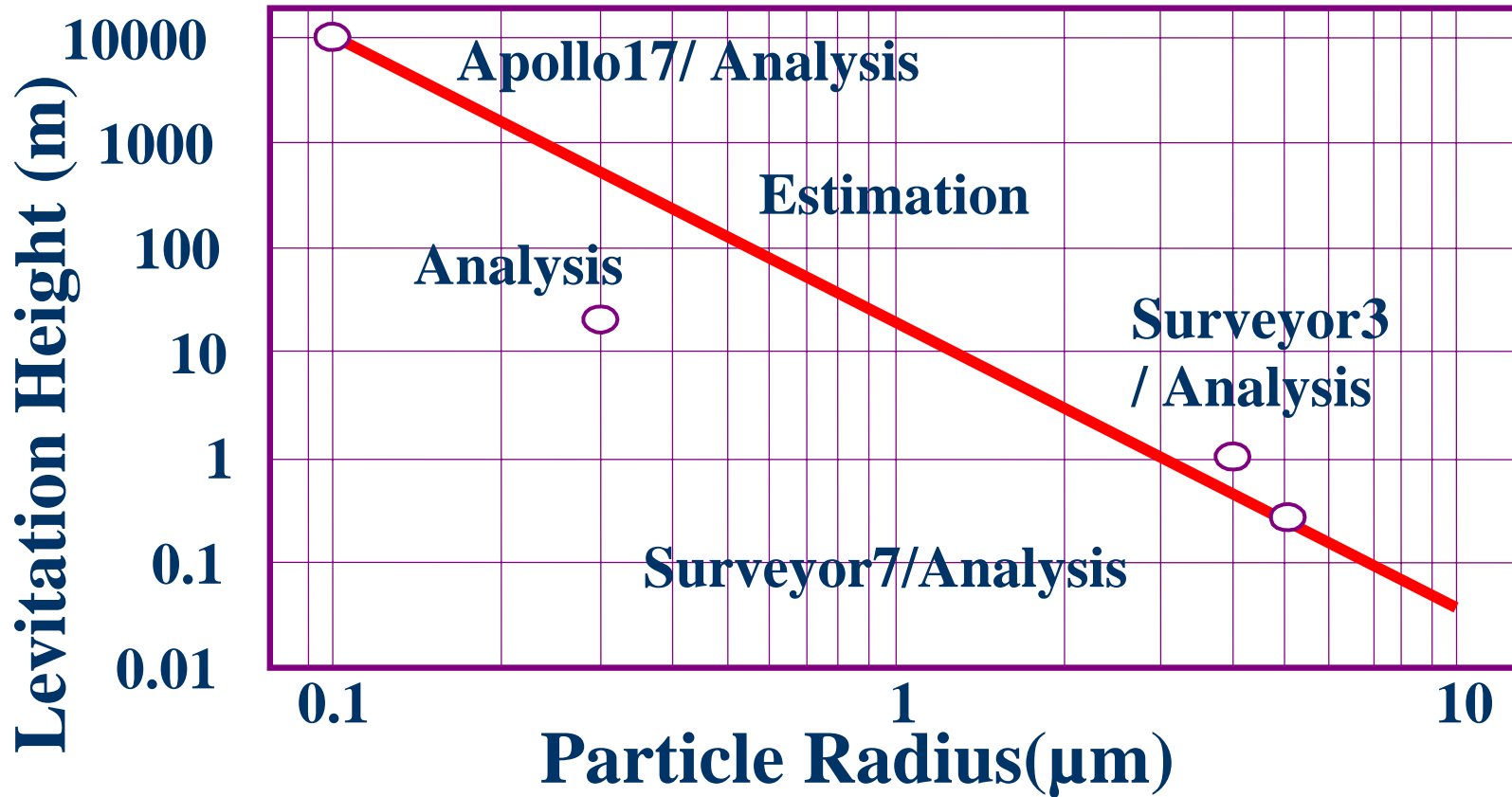
静電浮遊ダスト

日の出直前、日の入り直後に太陽の方向の月の地平線に光り輝くHorizon-Glowが宇宙飛行士によって観測されている。これはレゴリスダストが静電的に浮遊していると考えられている。



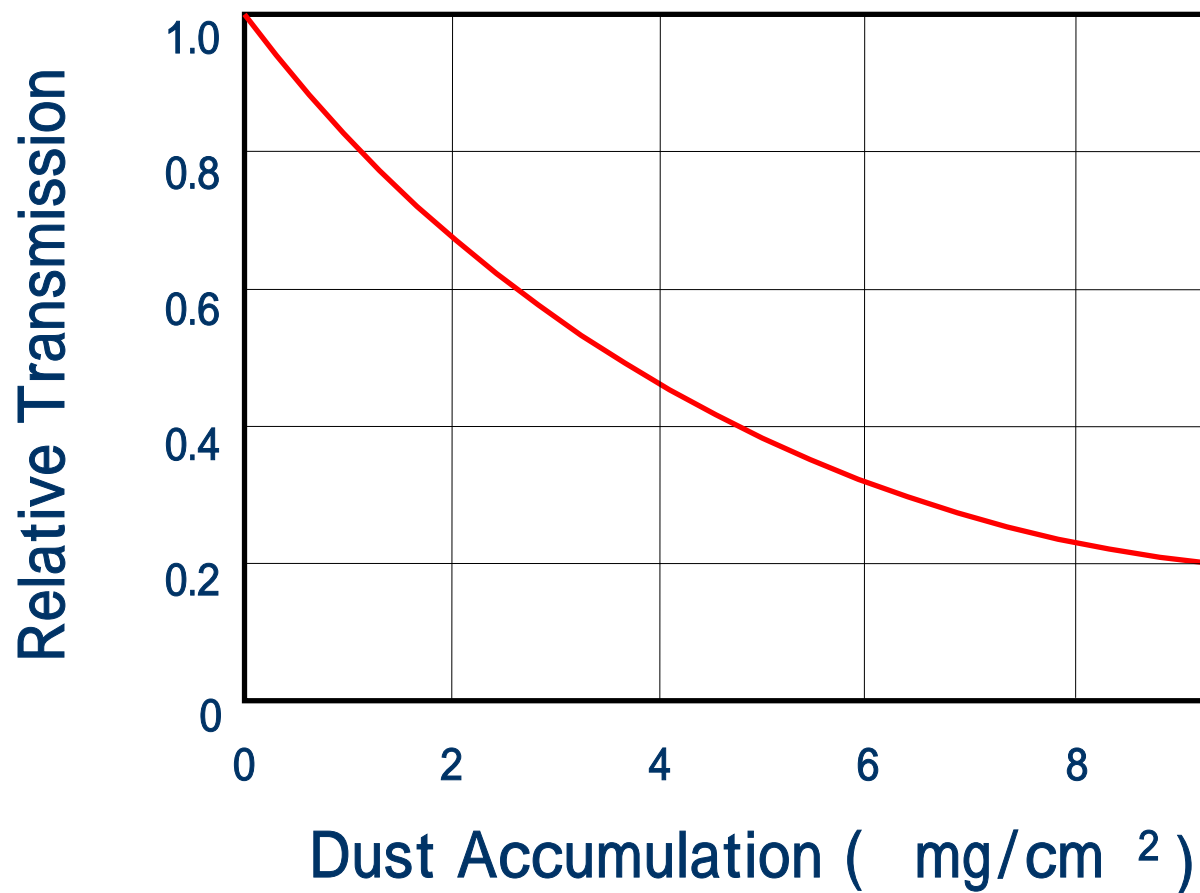
Zook, H. A. ; Mccoy, J. E. (1991) "Large Scale Lunar Horizon Glow and a High altitude Lunar Dust Exosphere", Geophysical Research Letter, vol.18, pp. 2117-2120

静電浮遊ダストの粒径と高さの関係



- Silverberg,E.C.(1975)“Electrostatic dust transport and its consequences for the lunar ranging experiment ”,NASA-CR-142349
- Criswell,D.R.(1972)“Horizon-Glow and The Motion of Lunar Dust ”,Photon and Particle Interactions with Surfaces in Space,pp.545-556
- McDonell,J.A.M.(1979)“Lunar Surface Grain Motion:Electrostatic Charging,Supercharging(electret effects)and Mechanical Bonding ”,COSPAR Space Research XIX,pp.455-458
- Zook,H.A.;Mccoy,J.E.(1991)“Large scale lunar horizon glow and a high altitude lunar dust exosphere ”,Geophysical Research Letter,vol.18,pp.2117-2120
- Murphy,D.L.;Hawley,J.G.(1993)“Lidar detection of levitated lunar dust ”,Proceedings of SPIE vol.1936,pp.182-190
- Murphy,D.L.;Vondrak,R.R.(1993)“Effect of levitated dust on astronomical observations from the lunar surface ”,24th Lunar and Planetary Science Conference,pp.1033-1034

光の透過率とダスト堆積量の関係

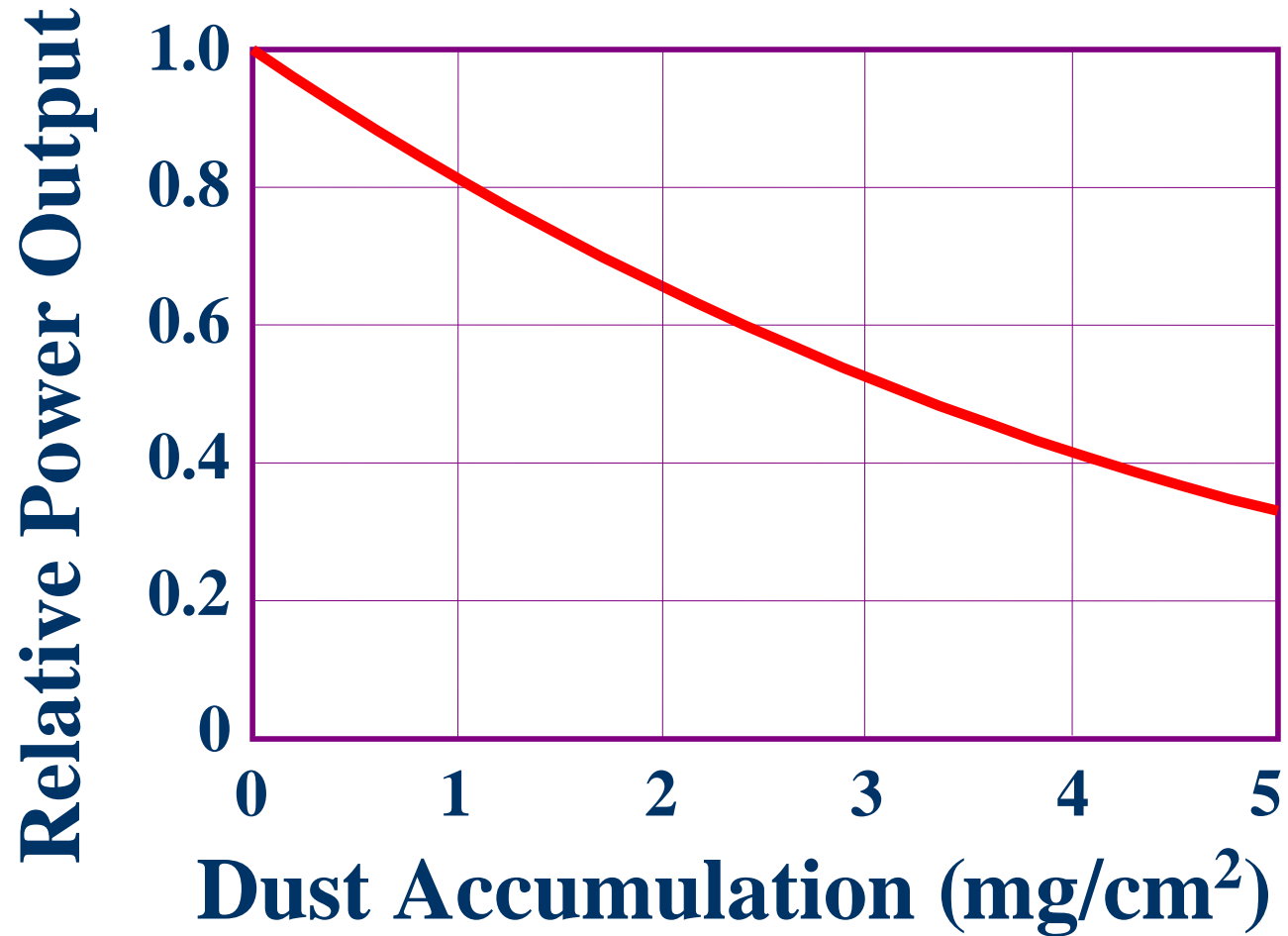


Katzan,C.M.;Brinker,D.J.;Kress,R.(1991)“The effects of lunar dust accumulation on the performance of photovoltaic arrays ”,NAS3-25266

Katzan,C.M.;Edwards,L.J.(1991)“Lunar Dust Transport and Potential Interactions With Power System Components ”,NASA Contract Report,NASA-CR-4404

キセノンランプとレゴリスシミュラントを用いた地上実験の結果

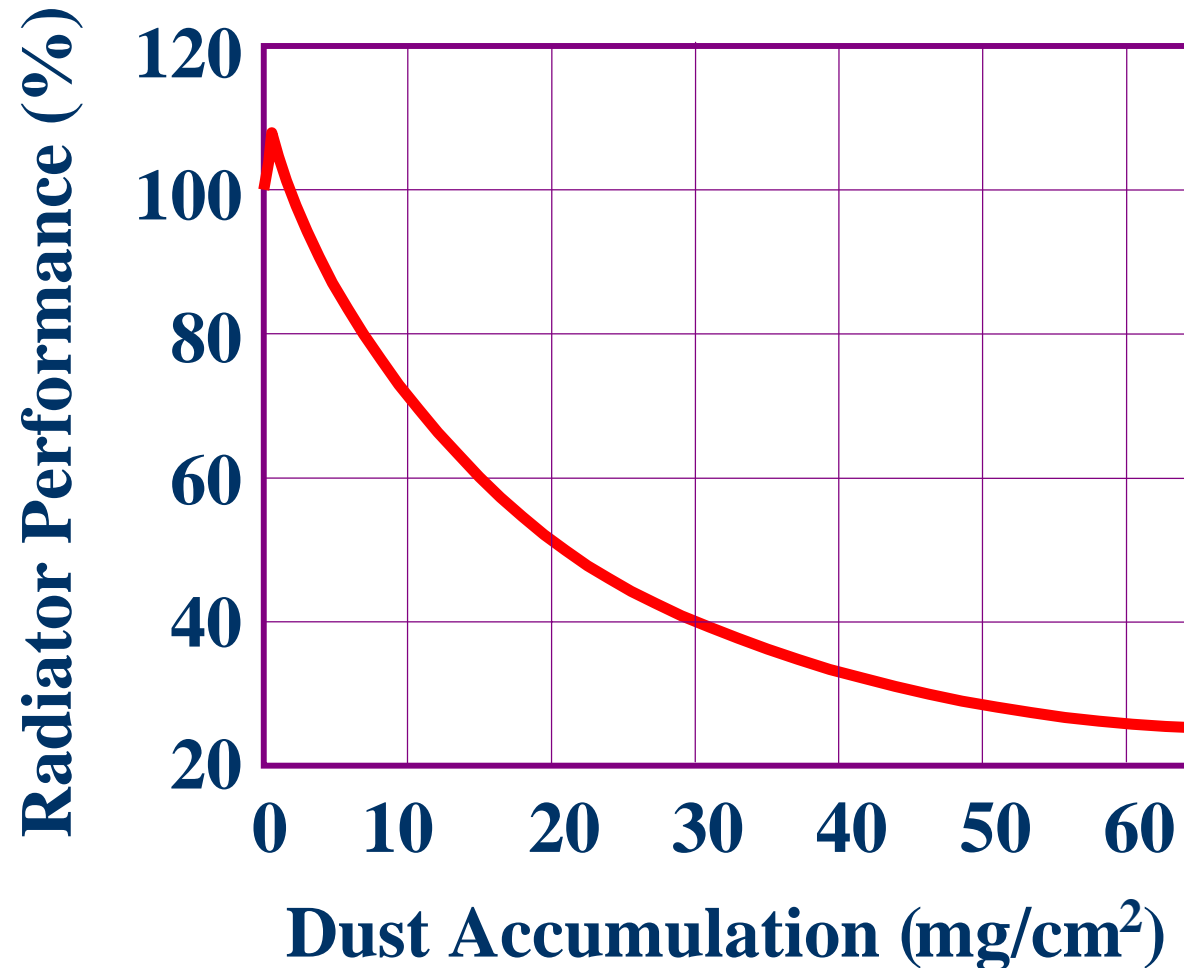
太陽電池の発電量とダスト堆積量の関係



Katzan, C.M.; Brinker, D.J.; Kress, R. (1991) "The effects of lunar dust accumulation on the performance of photovoltaic arrays", NAS3-25266

キセノンランプとレゴリスシミュラントを用いた地上実験の結果

ラジエータの排熱効率とダスト堆積量の関係



Katzan,C.M.;Edwards,L.J.(1991)“Lunar Dust Transport and Potential Interactions With Power System Components”,NASA Contract Report,NASA-CR-4404

シミュレーションによる熱解析結果



ダストによる過去のトラブル例

- ・ 熱制御の不具合

カメラ回路のオーバーヒート(アポロ15)

宇宙船検出器の機器温度上昇, 実験中止(アポロ16)

ローバーのバッテリー温度上昇(アポロ16)

Surface Electrical Properties実験のラジエータ温度上昇(アポロ17)

- ・ 機構部侵入による不具合

カメラフィルム送りの不具合(アポロ15)

カメラフィルタ取り付け部の不具合(アポロ15)

- ・ その他

ダスト付着による汚染(全ミッション)

Cold Cathode Gauge実験の電力供給の遮断(アポロ12)

カメラレンズの頻繁な掃除(アポロ15)

ローバーのリアフェンダ破損(アポロ16)



年間に移動する月土壌の推定量

$3 \times 10^{-2} \text{g}/(\text{cm}^2 \cdot \text{year})$

Criswell,D.R.(1972)“Horizon-Grow and The Motion of Lunar Dust ”,Photon and Particle Interactions with Surfaces in Space,pp.545-556

$4 \times 10^{-5} \text{g}/(\text{cm}^2 \cdot \text{year})$

McCoy,J.E.(1976)“Photometric studies of light scattering above the lunar terminator from Apollo solar corona photography ”,Lunar Science Conference,7th ,1976,pp.1087-1112

$5 \times 10^{-8} \text{g}/(\text{cm}^2 \cdot \text{year})$

Silverberg,E.C.(1975)“Electrostatic dust transport and its consequences for the lunar ranging experiment ”,NASA-CR-142349

解析によって大きなばらつきがあり、信頼性にかける。

一日のうち、どの時期に、どのくらいの量のダストが堆積するかは、月面上で確かめられた事は過去にない。



本ミッションの目的

1. 着陸時舞い上がりダストの堆積度の定量的計測
2. 静電浮遊ダストの堆積量の計測
3. ダストの帯電極性の計測
4. 電気集塵装置を用いた堆積防止装置の動作試験
5. 着陸船内部や外部の温度計測
6. 着陸船の傾斜度の計測

着陸船の温度計測

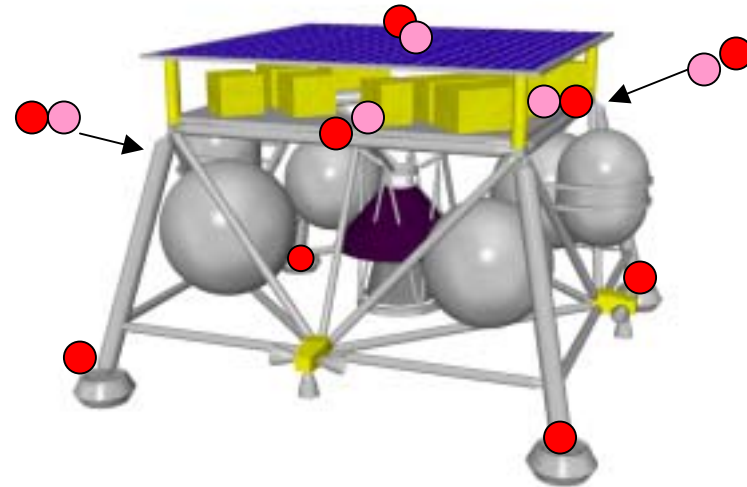
月面の激しい温度環境に対する光学望遠鏡の精度の維持させるため、設計にはランダー内部や外部の温度を知る必要がある。

サーミスター 合計16個

- 内部(上面,側面,底面) 6個
- 外部(上面,側面,底面) 6個
- 着陸脚下部 4個

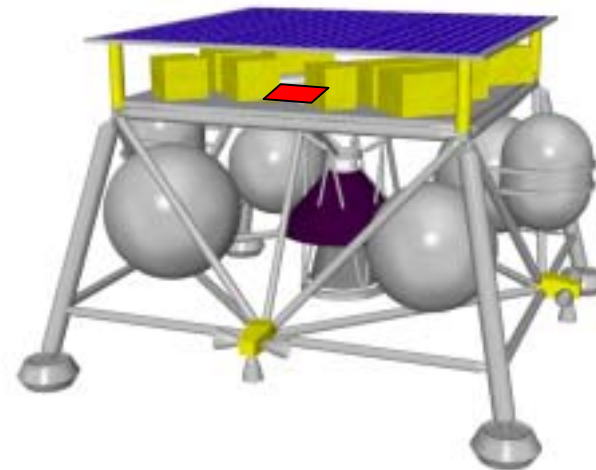
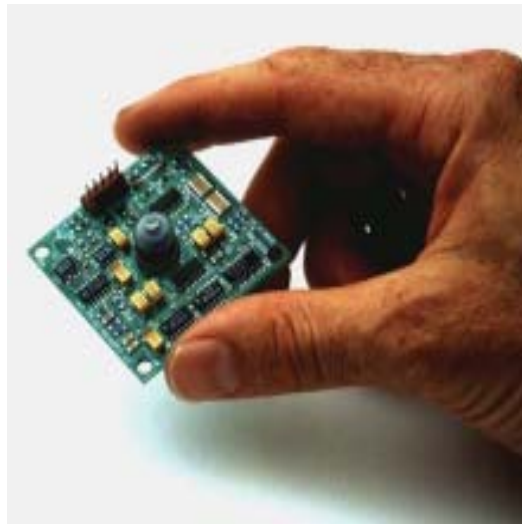


Thermox Thermistor Sensor TX-104-GB
(Lake Shore Cryotronics, Inc.)
0.076mm × 7.9mm long, 7.8mg



着陸船の傾斜計測

レゴリスに着陸脚が埋まり、長期の天文観測に影響を与える。



900 Series Biaxial Clinometers (Applied Geomechanics社製)

Model 900-45 $\pm 50^\circ$ 15g 50.8mm \times 50.8mm



ダストの堆積率の計測

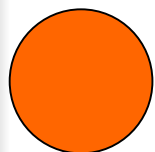
電気的方法—ダストの堆積部分(観測ポート)にくし型電極を配置し、電極間の電気容量の時間依存性を計測する。ダストの堆積量の変化を定性的に計測する。

光学的方法-1. CCDカメラで堆積ダストを直接観測し、マクロな視野でダストの堆積状況を観測する。

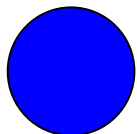
2. CCD顕微鏡によって、堆積したダストを直接観測し、ミクロな視野で堆積量や粒子サイズを定量的に見積もる。

堆積防止装置—電荷を帯びたダストを電場を利用して、ダストの堆積を防止する。なお、電場を利用したDust問題の回避については、次の論文でも提案されている。
Doe, S. ; Burns, O. J. ; Pettit, D. ; Blacic, J. ; Keaton, W. P. (1994) "The Levitation of Lunar Dust via Electrostatic Forces", Space 94, pp.907-915

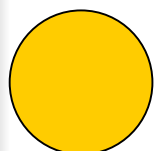
装置の概略図



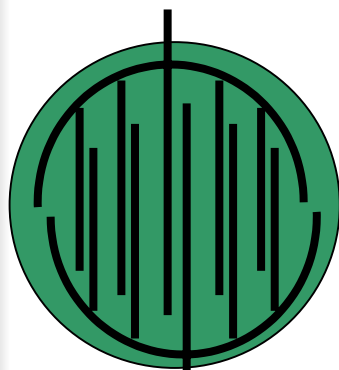
CCDカメラ



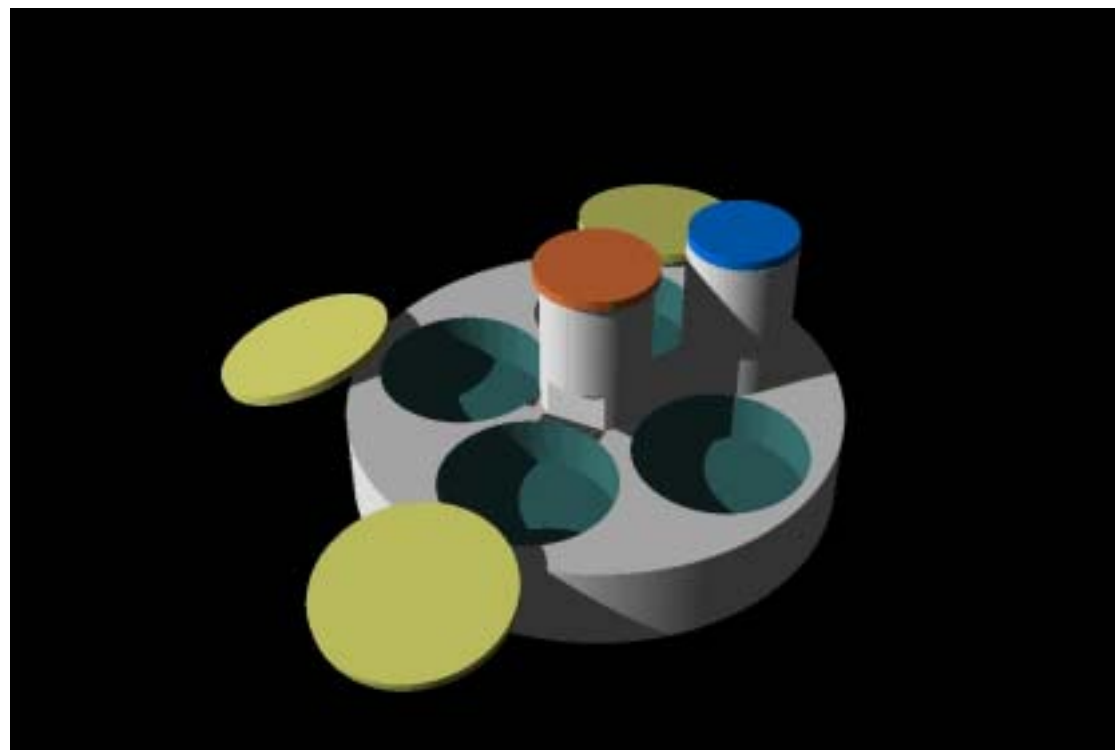
CCD顕微鏡



観測ポート蓋



観測ポートくし型電極(黒色)
高圧電極(緑色)



Port1. 噴射によるダストの堆積状況の観測

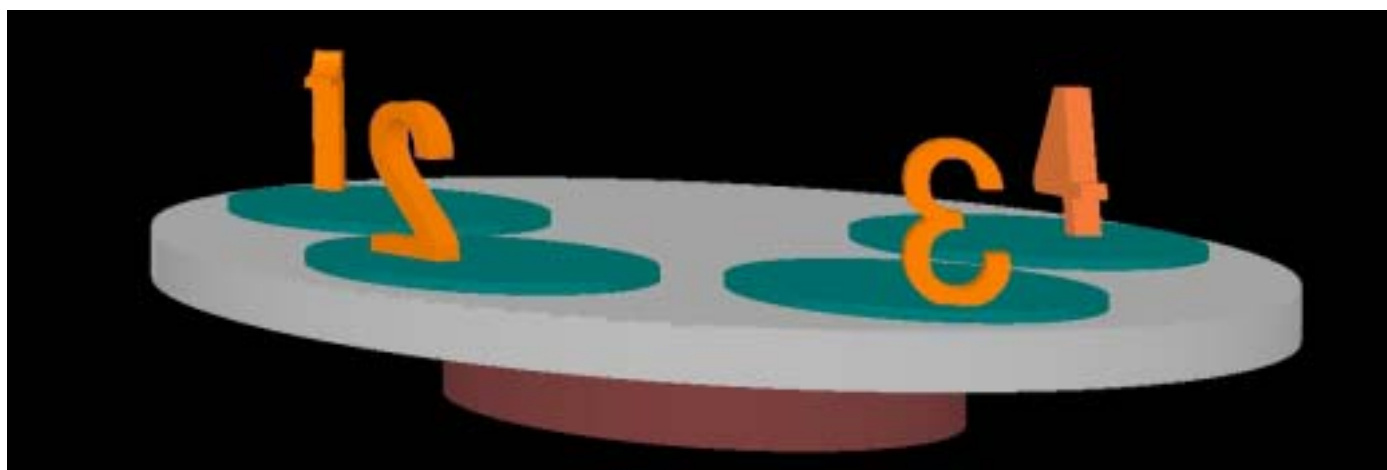
Port2. マイナスに帯電した微粒子の堆積防止
高電圧印加 ポート壁：200V，ポート底：-200V

Port3. 電氣的に中性な微粒子の堆積状況の観測
高電圧印加なし

Port4. プラスに帯電した微粒子の堆積防止
高電圧印加 ポート壁：-200V，ポート底：200V

CCD顕微鏡と回転試料ステージ

顕微鏡



装置リスト

装置名称	型式	寸度(mm) 幅X × 奥行Y × 高さZ	重量 (g)	電力 (VA)	数	合計 重量 (g)	合計 電力 (VA)
ダスト観測装置本体(CFRP)		120 × 100	200	0	1	200	0
5角錐反射鏡(石英ガラス)		30 × 15	9.1	0	1	9.1	0
Thermistor Sensor (Lake Shore Cryotronics, Inc.)	TX-104-GB	0.076 × 7.9	0.0078	<10 ⁻⁶	16	0.125	<10 ⁻⁵
Biaxial Clinometers (Applied Geomechanics, Inc.)	Model 900-45	51 × 51 × 17	15	8mA 12V	1	15	0.096
CCDカメラヘッド(東芝) CCDカメラ制御器	IK-M40	20 × 50 100 × 150 × 80	60 1000	10	1 1	1060	10
CCD素子 顕微鏡本体: (メレスグリオ社) 対物レンズ(× 40) 接眼レンズ(× 20)	04TCF002 04OAS016 04EFF006	20 × 10 50 × 153 23 × 20 23 × 20	10 200 50 50	--	1 1 1 1	310	2
試料ステージ(CFRP)		110 × 2	40	0	1	40	0
計測用エレクトロニクス		30 × 20	100	1	1	100	1
ステッピングモータ		45 × 15	100	0.16A 12V	1	100	1.92

装置総重量 1834g

総合計電力 15W



本ミッションの必要性

■ 技術的意義

1. レゴリス環境の調査は、今後、トラブルなしに光学系、駆動系、太陽電池やラジエータを月面上で利用するために必要不可欠である。
2. 堆積防止装置が有効に動作すれば、ダストに起因するトラブルを回避することができる。
3. ランダー内外の温度および傾斜度の計測も、今後のミッションの設計上、基本データとして取得すべきである。

■ 科学的意義

月面において堆積した浮遊ダストを観測し、これまで地上実験やシミュレーションによって得られているデータ値の直接的な検証を行うことができる。これらの知見からHorizon Glowのメカニズムの解明や、技術的なフィードバックによる今後の月面開発へ貢献が期待できる。

■ 特徴

重量が小さい、低消費電力、シンプルな構造