

# テーマ名：月面情報局

## 1. 概要

2009年10月、日本の月探査機「かぐや」の撮影画像から嵐の大洋のマリウスの丘に地下の溶岩トンネルに通じる縦穴を世界で初めて発見した。月面は、昼夜の急激な温度変化など、非常に過酷な環境にあるが、それらを防ぐための溶岩トンネルは、将来、人類が月面活動をする際の月面基地(地下シェルター)として利用できる可能性が大きい。この点に着目し、私たちの月面情報局もこの付近に設置する。

H-IIA ロケットは約3トンの月着陸船を月面に運搬する能力がある。月面情報局は総重量2トンの月着陸船とし、月面情報を得るための各種観測装置の他、情報を伝送するためのLED可視光通信送受信装置を搭載する。

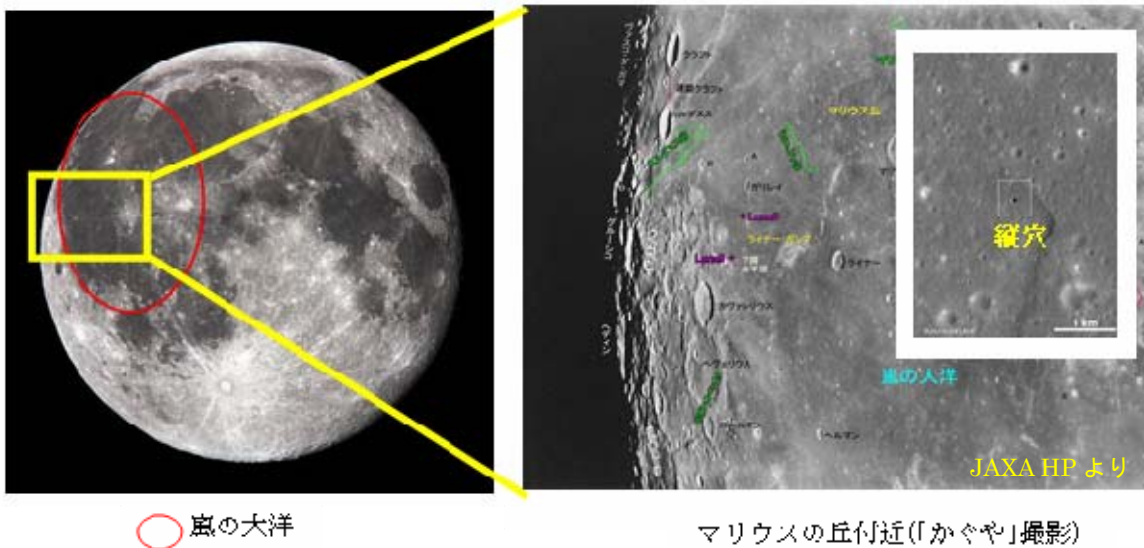


図1 月面情報局の設置場所

## 2. LED可視光通信を行う時間帯

図2は月の満ち欠けとLED可視光通信可能な時間帯を示す。可視光通信を行う条件として、

① 地上が暗い事

② 「月面情報局」が夜である事を満たさなければならない。「月面情報局」の場所は、図の赤丸(LED点灯)或いは青丸(LED消灯)で示す位置になる。二十七日月頃から夜になり、約2週間後の十日余りの月の頃日の出を迎える。三日月の頃は夕方西の空に沈むわずかの時間、月の暗い西側にLEDのライトを見る事が出来る。夕方空高くあがる上弦の月の頃が最も見易い。新月の頃は昼間の月なのでLEDが点灯しても見る事は困難である。従って、LED点灯時間帯はおおよそ

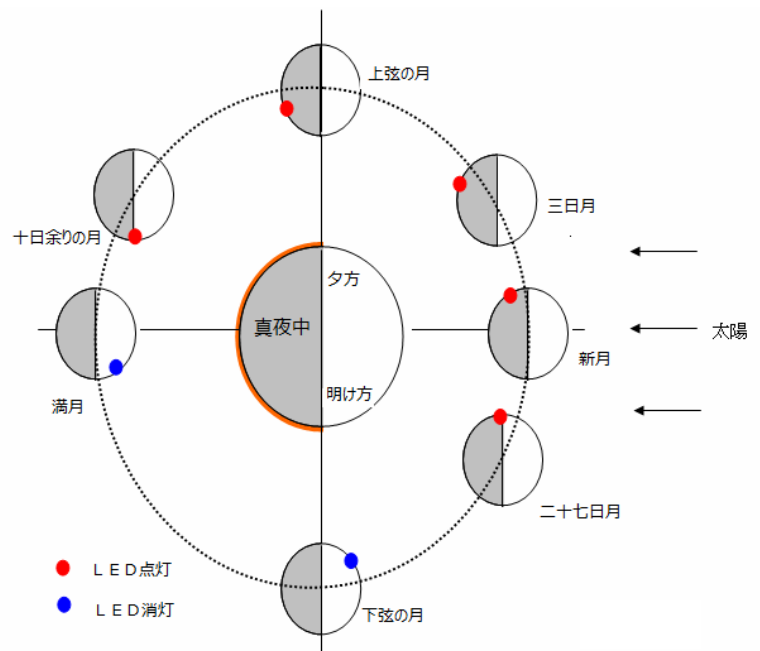


図2 月の満ち欠けとLED可視光通信可能時間帯

① 月齢27~29の24:00~6:00

② 月齢2~10の18:00~24:00

に絞られる。点灯時間は後述するように搭載されているバッテリーの容量により決定される。

### 3. LEDの個数と消費電力

LED1個当たりの消費電力は10Wである。光束は150[lm/W]であるので、1個当たりのLEDは1500[lm]。月からの最大距離40.5万kmでの照射面積を $1.565 \times 10^{14} [m^2]$ と考えると、立体角は $1.565 \times 10^{14} [m] / (40.5 \times 10^3 [m])^2$ となるので

LEDの光度Iは

$$I = 1500 [lm] / (1.565 \times 10^{14} [m] / (40.5 \times 10^3 [m])^2) = 1572125 [cd]$$

となる。月から地球までの距離を40.5万kmとすると、照度Hは、

$$H = 1.4 \times 10^{-14} [W/m^2]$$

地上の望遠鏡の直径を1mとすると、受信電力Pは

$$P = H \cdot A_r$$

$$= 1.4 \times 10^{-14} \times 0.785 = 1.1 \times 10^{-14}$$

ここで最低検出限界 $0.0005 [nWrms]$ とされる(株)アウトスタンディングテクノロジーのLEC-RPを受光素子として使うとLED1個の場合のSN比は

$$S/N_1 = 1.1 \times 10^{-14} / 5.0 \times 10^{-13} = 2.2 \times 10^{-2} = -1.6 [dB]$$

となる。LEDを100個使用すると

$$S/N_{100} = 18.4 [dB]$$

通信時には背景光雑音、大気の影響等があり、これらを総合して $-15 [dB]$ と推定すると、最終的なSN比は $3.4 [dB]$ となり十分な通信が可能となる。

今回の計算では半値角1度として地球全体を照射範囲としているが、より高速な通信を行うためにはこのSN比を上げる必要があり、そのためには半値角を小さくする(例えば照射範囲を地球全体でなく、日本の領域程度に絞る)、月面情報局のLEDの数を増やす、地上側受光望遠鏡の口径を大きくする等の手段が考えられる。

通信回線が確保できるLEDの個数を100個と決定したので、その時の消費電力は1kWとなる。月の夜15日間(360hr)ずっと点灯すると電力量は

$$1kW \times 360 = 360kWh$$

となるが、全てをバッテリーで賄うには電力量が大きすぎるので、点灯時間を夜間の内の5%、つまり360時間の内の18時間のみを点灯する事とする。従って必要な電力量は、18kWhとなる(夜間の平均消費電力に換算すると50Wとなる)。

### 4. LED可視光通信送受信装置

LED発光部は岩崎電気(株)製と同等のパラボラ反射鏡を使用し、半値角1度に集光する。寸法は、直径80mm、高さ40mm、質量70g。これらは960mm×800mmのLED取付け板に図3に示すように並べる。中央には地球からの光(地上からのコマンド信号やメッセージ等)を受信し、且つ、地球の撮影をする光学系を配する。光学系は口径120mm、焦点距離 $f = 960mm$ とし、CCDカメラにて地球全体を撮影する。

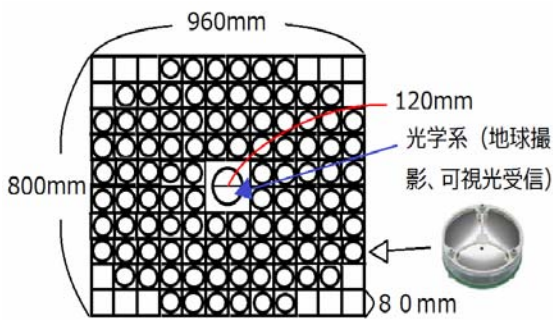
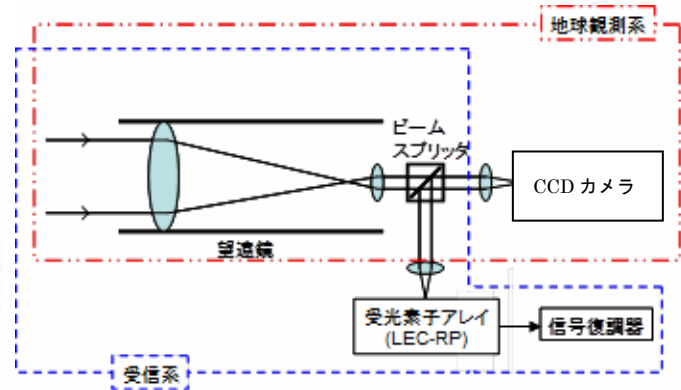


図3 LED 可視光通信送受信装置



※光学系部分詳細

図4 LED 受光と地球撮影カメラ兼

## 5. バッテリ

バッテリーとして、TOSHIBA 製リチウムイオン電池 SCiB を使用(電圧、2.4V、容量 4.2Ah、質量 150g、寸法 62mm×95mm×13mm)。LED を動作させるためには4Vの電圧が必要であるので、リチウムイオン電池を2個直列(4.8V)に接続する。

必要なバッテリーの個数は、LED 点灯に 18kWh の電力量が必要なので

$$18\text{kWh}/(4.2 \times 2.4) = 1,786 \text{ 個 (2 個直列、893 並列)}$$

となる。一般に二次電池の場合、繰り返し回数や放電の深度によりその能力が低下するが、ここでは放電深度を80%とすると、2,232個必要となる(2,240個とし、2個直列、1,120並列)。従って質量は336kgとなる。

夜間の消費電力としては、可視光通信の他に、他の計測・制御機器等の電力も必要である。その平均消費電力を30Wと仮定すると、新たに1,340個のバッテリーが必要になる。

従って、夜間の平均消費電力、必要なバッテリーの個数、質量及び電力量はそれぞれ、80W、3,580個、53kg、28.8kWhとなる(ちなみに日産の電気自動車リーフは24kWhのバッテリーを搭載しているので、ほぼリーフと同程度のバッテリーとなる)。

## 6. 太陽電池

太陽電池として、効率29.9%を有する Spectrolab 社製 Next Triple Junction(XTJ)を使う。

月面上の太陽エネルギーを1370W/m<sup>2</sup>とし、太陽電池の発生する電力は効率を掛けて、410W/m<sup>2</sup>となる。

太陽電池に必要な発生エネルギーは、夜間の運用に必要な電力量の28.8kWh(平均消費電力80W)をバッテリーに充電し、月の昼間の期間に行われる各種観測のための消費電力平均500W(仮定)を行うため、合計580W発生する必要がある。平均太陽入射角45度、総合的な電力伝達効率0.5と仮定すると、発生できる電力は、

$$410 \times \cos(45) \times 0.5 = 145\text{W/m}^2$$

であるため、580W発生するためには、4.0m<sup>2</sup>の面積が必要である。