

Lunar Solar Power Generation, “The LUNA RING”, Initiative and Technology¹

Tetsuji Yoshida¹, Hideki Kanayama¹ (CSP-Japan Inc.*)

Sumio Mukoyama², Wataru Yamamoto², Hiroshi Kanamori², Shigeru Aoki² (Shimizu Corporation)

¹27th Floor, Fukoku Mutual Life Insurance Building, 2-2-2 Uchisaiwai-cho, Chiyoda-ku, Tokyo, 100-0011 Japan

²1-2-3 Shibaura, Minato-ku, Tokyo, 105-8007 Japan

Abstract

Shimizu Corporation produced a new initiative in space, “Lunar Solar Power Generation; The LUNA RING”, realizing permanent human presence on the Earth overcoming energy and environmental issues simultaneously. Achieving a dramatic energy paradigm shift to supply unlimited clean solar energy from the moon to the world on the Earth equally, “The LUNA RING” makes it reality to abandon completely the use of coal, natural gas and oil.

A belt of solar cells around the lunar equator generates electric power continuously and the power is transmitted to the Earth from the nearside of the moon using microwave and laser beam. The power is received and converted electricity at the facilities on the ground and on the sea, to supply electricity directly and produce hydrogen from the sea water. Sufficient energy from the moon provides energy for food production and water supply to the world, and ceases the use of fossil fuel resources decreasing generation of carbon dioxide, the cause of global warming.

Realizing The LUNA RING, advanced space technologies such as Space Solar Power Systems (SSPS), lunar exploration and lunar resources utilization, are integral to build up the huge power transmission system. Moreover, robotics for the construction on the lunar surface is important to avoid exposure to radiation to the human on the moon. Legislation aspects to develop the lunar surface and to supply energy through space are major issues for the initiative. Forecasting advanced technologies on Space Power System and lunar exploration, researchers and engineers in Shimizu Corp Group created the initiative based on the experience of their lunar construction research for these 20 years.

*CSP-Japan Inc.; a space business consulting company, one of the subsidiaries of Shimizu Corporation

未来構想「月太陽発電ルナリング」と技術*

○吉田哲二, 金山秀樹 (シー・エス・ピー・ジャパン株式会社)
向山澄夫, 山本亘, 金森洋史, 青木滋 (清水建設株式会社)

1. はじめに

月太陽発電「ルナリング」は、人類が必要とする全エネルギーを月面太陽電池で発電し地球に伝送するという未来構想である(図1)。地球環境に負担をかけずにクリーンエネルギーを全世界に等しく潤沢に供給し、未来人類のエネルギー確保におけるパラダイムシフトを実現する構想である。¹⁾



図1 ルナリングを設置した月(想像図)

この構想では、月面から地上へエネルギーを伝送する遠距離伝送や月資源の利用が実現することを想定している。「ルナリング」は宇宙太陽発電システム(SSPS)の究極の将来像であり、世界が一致協力して実施する人類初の壮大な宇宙プロジェクトである。

2. なぜ月か

2.1. 衛星としての月

月は自然に存在する衛星である。ロケットを使って人工的に作り出す必要がない。軌道や姿勢が安定しており、広大な面積(月面)を使うことができる。多様で手つかずの資源も眠っている。軌道は高いが地球から直視できるほどの大きな衛星で、利用・運用に掛かる費用はゼロ、という特性がある。

2.2. 月資源

「月は地球から別れて衛星になった」という説があるくらい月の鉱物組成や元素は地球に似ている。アポロ計画で米国の宇宙飛行士が持ち帰った月の砂や鉱物の分析²⁾から裏付けられている(図2)。地上で製造可能な素材・材料は月でも製造が可能ということになるが、大気がないため揮発性の強い元素は少ない。月に飛来する隕石は地球のように大気で焼失しないため、特定の元素をもつ岩石が固まって存

在すると考えられる。ただし、水がないため溶解・析出のプロセスによる鉱床などの構成は期待できない。月の海と呼ばれる溶岩地域には熱や流動により元素が析出した部分があるかもしれない。月資源の詳細は、今後の月探査に期待するところが大きい。

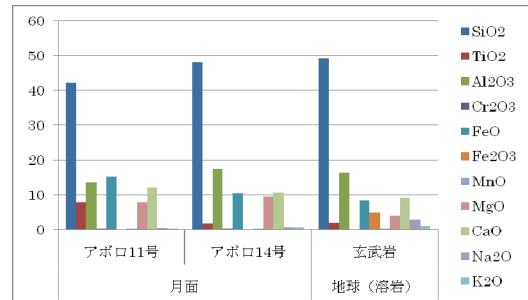


図2 月の化学組成(%) (Lunar Sourcebook²⁾など)

2.3. 太陽光の受光環境

月の赤道に位置する地域は太陽からのエネルギー照射密度が高く、雲が存在しないため安定したエネルギー照射が確保できる。月の自転軸の傾きは軌道傾斜角を考慮しても地球の30%程度であるため、月赤道付近の太陽エネルギーの季節変動は地球より少ない。したがって太陽光エネルギーを利用する施設の建設には月の赤道地域が最も有利と言える。

2.4. 月面利用の可能性

月面は国や個人の土地所有が認められていないため、国際的な協力のもとに、人類共通の目的であれば広大な施設建設が可能と考えられる。地球の赤道では領土・領海や航路が入り混じり実現は非常に困難である。

3. 月太陽発電システムの構成

本構想では、月の赤道に沿って月面を一周する太陽電池(ソーラーベルト)を設置する。月面は地球に比べ起伏が大きく整地も困難であるため、太陽電池の設置には起伏の激しいクレータの淵付近などは避け平坦な場所を選び建設する(図3)。

月を周回するソーラーベルトでは24時間絶えることなく発電を行う。月の自転により発電する場所は移動するが、地球へのエネルギー伝送施設は月の表側、すなわち地球指向面にのみ設置することになる。したがって各所で発電された電力は月面の送電ケー

注*第12回 SPS シンポジウム, 京都大学にて2009年11月13, 14日開催

ブルによって月の表側のエネルギー伝送施設まで送られる。月面送電ケーブルには、超電動素材などを用い損失の少ない大電力送電を想定した。

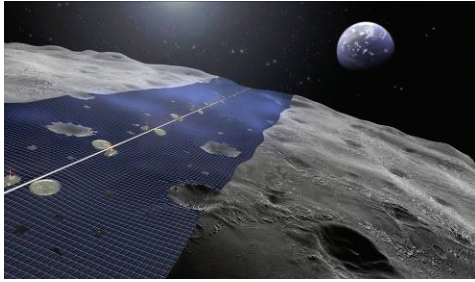


図3 月面の太陽電池「ソーラーベルト」

月からのマイクロ波伝送では地上との距離が静止軌道の10倍程度あるため、送受電アンテナの規模も約10倍になると予測される。マイクロ波の周波数を20GHzとするなど、アンテナなどの小型化も想定した。地上のレクテナ（マイクロ波エネルギー変換アンテナ）のサイズは土地の確保に限度が想定されるため、広大な土地が利用できる月面の送電側アンテナのサイズを拡大した（図4）。

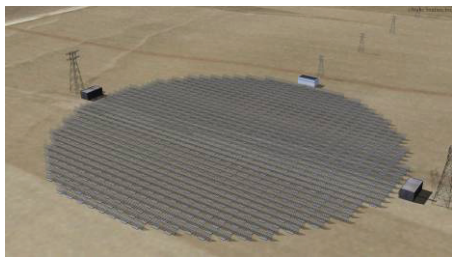


図4 レクテナ構想の例 (Marfic Studios, Inc.³⁾)

レーザー光エネルギー伝送では固体レーザーを想定した。ソーラーベルトからの電力でレーザービームを作り、月の表側の伝送施設から地球に向けて発射する。

マイクロ波を電力に変換するレクテナはレーザー光に比べ大気中の水分の影響を受けにくいいため、緯度の高い地域まで設置が可能である。都市周辺で電力網に接続し電力供給するばかりでなく、余剰電力で水を電気分解して水素を製造しエネルギーを備蓄する。水素製造は地球から月が見えない時間帯のためのエネルギー蓄積手段でもある（図5）。

本構想が目指す水素社会では全ての燃料が水素となるため大規模な水素製造を想定した。地球の赤道付近の海上にレーザー集光施設を設け、海水を脱塩し電気分解により水素を製造する（図6）。洋上設置施設まで遠距離の光伝送となるため、大気中の「揺らぎ」を考慮し、長径約1000mの大型の楕円形受光施設とした。凹面状に設けた可動反射鏡により、月からのレーザー光を中央に設置した光電変換素子に集める。レーザー光を効率よく集めることと海洋上での汚染を避けるために反射鏡の上部にフレネルレンズとハーフミラーを組み合わせた天蓋を設ける。この施設にはレーザー光ばかりでなく、昼間の太陽光も入ってくるため光電変換素子は二つのエネルギー供給源をもつことになる。高温となる光電変換素子は冷却され、その過程で得られる高温の冷媒を用いて従来技術である熱発電も行う。また、淡水化した海水は水素燃料製造ばかりでなくそのまま水として

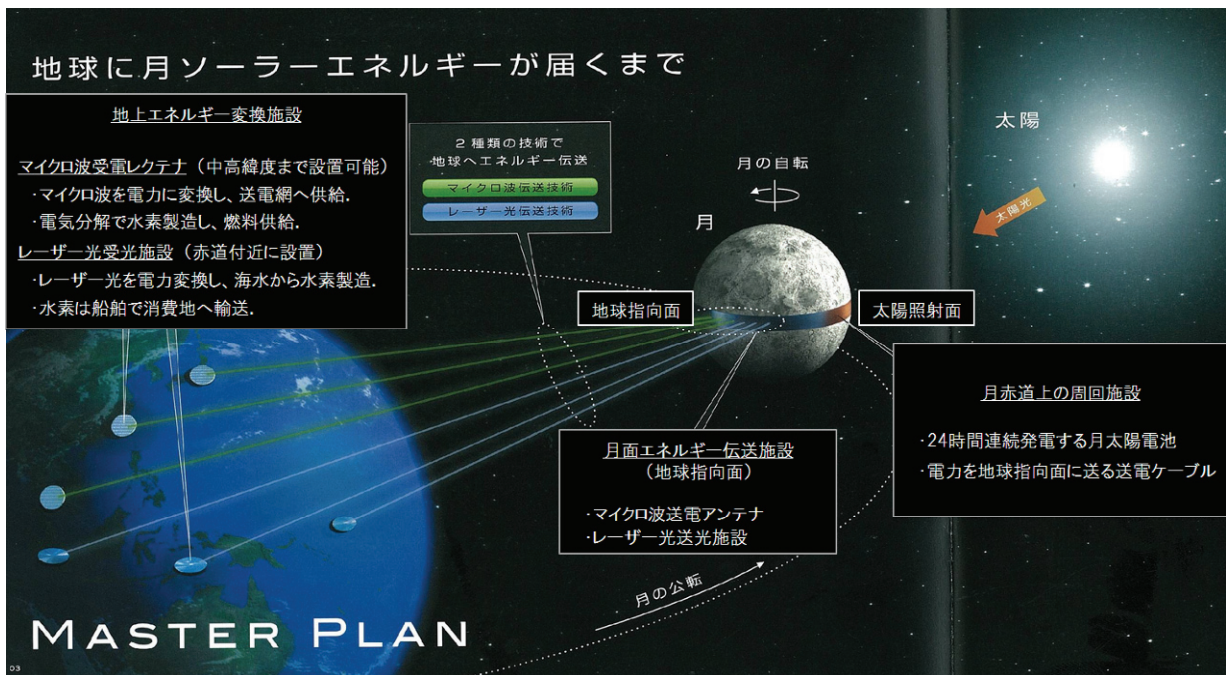


図5 月からのエネルギー伝送模式図²⁾

基幹となる構成要素である太陽電池や金属材料，土木建造物用建材などは月面で製造可能と思われる。現在までにガラス，金属，水などの製造の可能性は確認されている。

施設工事は，自動化・ロボット化する（図 10）。建設機械を月へ輸送し，ごく少数の人間が交代で短期間の月面滞在をしながら工事を進める。放射線遮蔽や高断熱材料が月面で実現されない限り工事のために大規模な有人施設は用意できそうにない。



図 10 月資源採取ロボット

月面での建設は，ほとんどが地上からの遠隔操縦や遠隔管理で行われる。通信系が完備されることにより，地上の運用基地からは 24 時間連続で工事実施が可能となる。

6. SSPS からルナリングへ

1968 年の米国ピーター・グレイザー博士の提唱による宇宙太陽発電（Space Solar Power, SSP）から始まり，構想提案（図 11）やマイクロ波エネルギー伝送技術，ソーラーセルなど国や企業による研究開発が精力的に進められている。現在，基礎的な技術ベースの確立から宇宙実証レベルまで，要素技術とシステム開発の両面で日本全体の技術力を集結して進められようとしている。⁵⁾

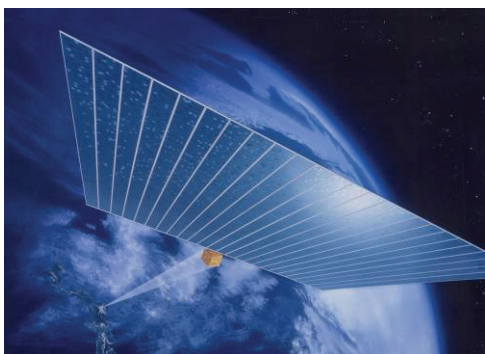


図 11 宇宙太陽発電衛星の構想例

一方，月面探査は 1969 年の米国アポロ計画による人類の月面着陸から始まり，21 世紀初頭からの月火

星探査へ向っている。我が国では「かぐや」による月周回探査の実施，有人月面拠点の検討がなされている。2009 年，米国の月探査機による月の極域探での水成分の存在が確認されるなど，月面や月資源の利用に向けた探査は着実に進められている。

清水建設は宇宙ホテルに代表される軌道上の大型建造物ばかりでなく，1987 年から月資源利用に関する技術開発を進めてきた。本構想に強い関連性のある月資源からの水・酸素製造や建材製造に用いる月の模擬土壌（シミュラント）の開発（図 12），宇宙ロボット技術などの月関連技術の研究を進めている。⁷⁾



図 12 月の模擬砂（シミュラント FJS-1）

7. おわりに

清水建設が 20 年以上にわたって育ててきた月開発構想や建設に関する技術研究と，SSPS ならびに月探査に関する国内外の動きを統合し，世界人類が目指すべきひとつの未来構想として「ルナリング」をまとめた。人類の宇宙への進出により地上生活に安定と豊かさをもたらされる未来社会の実現のために夢ある宇宙建設に向けた研究開発に役立てられこと，ならびに多くの人が月と SSPS を知ることにより人類の明るい未来を確信することを期待したい。

参考文献

- 1) 清水建設パンフレット：クリーンエネルギーイノベーション「月太陽発電 LUNA RING」，2009，<http://www.shimz.co.jp/theme/dream/lunaring.html>
- 2) Lunar Sourcebook : A User's Guide to the Moon, Cambridge University Press, 1991
- 3) Space Solar Power Images (Marfic Studios, Inc.), <http://www.nss.org/settlement/ssp/mafic.htm>
- 4) International Energy Agency : World Energy Outlook 2008 Edition, 2009
- 5) 森雅裕,他” JAXA における SSPS 実現性検討”，第 51 回宇宙科学技術連合講演会講演集，2007
- 6) 清水建設宇宙開発室：「月へ，ふたたび - 月に仕事場をつくる」，1999,オーム社