

地球外天体における冗長性と耐久性のある電力システムの提案

第21回 君が作る宇宙ミッション SHIOLI 班：

飯塚 凜人（高1）【秋田県立大館鳳鳴高等学校】、菅野 花鈴（高1）【東京都立多摩科学技術高等学校】、
島貫 統（高1）【愛知県立瑞陵高等学校】、森下 美海（高2）【雙葉高等学校】、
孫 翰岳（高3）【筑波大学附属駒場高等学校】、滝澤 光冬（高2）【秋田県立横手高等学校】

要旨

本研究は、人類が宇宙において持続的に生命活動を行う環境の基礎となる電力の安定した供給を実現するために、多様な天体に適用可能かつ冗長性が高く耐久性に優れた電力システムを提案することを目的とした。火山活動及び日照の条件から天体を分類し、現地のエネルギーによって電力需要を満たすことが可能な発電方法を定量評価する方法を確立した。電力需要の変化に対する冗長性および送電網の劣化に対する耐久性を併せ持つ電力システムを提案した。

1. 背景・目的

現在、リンの海洋流出による生物の生育に必要な元素の欠乏や、温室効果ガスの増加による地球温暖化の進行が地球の環境収容力を低下させている。この地球環境収容力の低下に対応するため、地球外天体への居住区の設置が考えられる。そこで、宇宙において人類の生命活動に適した環境を維持するため、種々の生命維持装置の稼働に利用される電力の安定供給に着目した。また、今後、活発化する宇宙開発を見越し、多様な天体に適用できる発電方法を考案したい。

したがって、本研究では人類が宇宙において持続的に生命活動を行うため、天体の特徴を複数の変数から分類することで、汎用性と冗長性、耐久性に優れた電力システムを提案することを目的とした。

2. 方法

2.1 概要

電力システムとは発電所、変電所、送電所、配電線などの制御システム全体の総称である。本研究では、発電と送電網について、天体の火山活動と日照条件によって以下の2つのモデルを提案する（図1）。

A) 火山活動が活発な天体の場合（図1上部）

火山活動を生かし、地熱発電を主軸とした電力システムを提案する。地熱発電は時間帯を問わず、安定して電力を発電することができるため注目した。

B) 火山活動が活発ではないが、太陽光が強い天体の場合（図1下部）

太陽光発電を主軸とした電力システムを提案する。太陽光の照射量が多い地点では太陽光発電が利用できるが、日陰時に備え大規模な蓄電が必要となる。太陽光発電は熱によって劣化する問題があるが、ヒートパイプを用いて太陽光による温度上昇を抑制する。

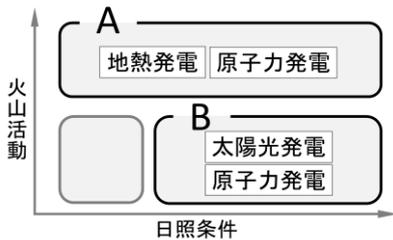


図1 火山活動、日照条件による発電方法の提案

2.2 基本構成

I) 発電

主要な発電方法である地熱発電および太陽光発電に加え、予備として原子力発電を用いることで、多様な天体に対応しつつ冗長性を確保する。

II) 送電網

スマートグリッドを用いて送電網に蓄電システムを組み込む。また、居住区の拡大に対応し、事故時の二次被害を減少させるため、発電所は居住区の遠方に建設する。これらによって電力システム全体の耐久性を高める。

3. 議論

宇宙において人類が生命活動を行うために必要なエネルギーは、通常の生活のためのエネルギーとは他に、過酷な環境から身を守るエネルギーも必要である。一般的な地上の生活から前者を、今までの計画であるISS^[1]やアルテミス計画^[2]での消費エネルギーを参考に後者の値を割り出した。これらの合計値（以下合計値に安全率を乗じた値をE値とおく）をもとに、AとBの場合の線引きについて考察した。

Aを採用するか否かは、地熱発電によってE値を達成できるかによって定める。判断の基準には、地殻熱流量および地温勾配の値を用いる。

冗長性、安定性の向上のために、主要となる発電の他、地球から供給する核燃料を常時備蓄し、有事の際には原子炉を稼働させる。また、耐久性の向上のために、送電網にはスマートグリッドに蓄電システムを組み込み、発電所にかかる負荷を下げる。

I) 発電

地熱発電：対象天体の環境に適した熱媒体を沸点、融点の観点から定める。圧力や熱のハードルが低いバイナリー発電であれば氷火山を含めた火山活動に対応できる。氷火山であっても、300K程度の温度差が発生することが知られている^[3]。

太陽光発電：日陰時にも電力を供給できるよう消費電力よりも大きい出力の発電が必要である。

II) 送電網

他天体居住区は地球と同じく、昼夜など時間帯で電力需要の変化が想定されるため、スマートグリッドに蓄電システムを組み込み電力の供給過多を防ぐ。それによって発電量を電力需要から独立させ、発電設備の消耗を防ぐ。また、長距離送電には直流電流を用いて、電力損失を減らす。低温天体では超伝導を用いることで送電時などの電力損失をさらに下げる。将来的にはマイクロ波レーザーでの送電も考えられる。

4. まとめ

本研究では、発電方法と送電網に着目し、他天体での冗長性と耐久性のある電力システムを提案した。議論の結果、太陽光・火山活動ともに不十分な天体やガス惑星を除く、全ての太陽系天体に適用可能であり、これにより人類の活動圏が大きく広がると考えられる。

参考文献

- [1] NASA, New Solar Arrays to Power NASA's International Space Station Research, <https://www.nasa.gov/feature/new-solar-arrays-to-power-nasa-s-international-space-station-research> (2023年1月16日閲覧)
- [2] NASA, NASA's Artemis Base Camp Concept, <https://blogs.nasa.gov/artemis/2020/10/28/lunar-living-nasas-artemis-base-camp-concept/> (2023年1月18日閲覧)
- [3] Jet Propulsion Laboratory, Powering Saturn's Active Ocean Moon, <https://www.jpl.nasa.gov/news/powering-saturns-active-ocean-moon> (2023年1月16日閲覧)