

## 自己組織化の理論に基づいた月面基地のモジュラー・コーディネーション

## Modular coordination of a lunar base based on the theory of self-assembly

佐藤信治<sup>1</sup>, ○水口峰志<sup>2</sup>\* Shinji Sato<sup>1</sup>, \*Takashi Takashi<sup>2</sup>

In recent years, the demand for lunar development has been growing, mainly in the United States, China, and Europe, under the initiative of private companies and nations, for applications such as tourism and resource extraction. In order to meet this demand, it will soon be necessary to build residential facilities for hundreds of people on the Moon in the future. In space architecture, we will design a modular coordination to build from the initial stage of settlement to the stage of habitation for hundreds of people using similar construction methods.

DLA (diffusion limited aggregation), which is one of the self-organization phenomena found in nature, is adopted as a method of building expansion, and architecture and its design method are proposed to cope with the unknown topography and gravity environment on the Moon.

## 1. はじめに

近年、spaceXをはじめとした民間企業による宇宙開発の気運が高まっている。そうした民間による宇宙空間利用の目的としては、観光や、資源採掘などが挙げられる。こうした民間利用が進むにつれて、月面でも数百人レベルでの居住施設が求められることは容易に予想できる。一方で、1971年のアポロ14号以降、人類は月面に到達しておらず、こうした大規模な月面移住が期待される現状では、数人レベルでの探査から最終的には数百人レベルでの居住に至るまでの長きにわたるフェイズを支える建築が求められる。

この実現のためには、確立されたユニットを地球上から持ち込む手法と、現地での材料を用いて建設する方法(in situ resource utilization)の二種類が考えられている。本設計ではこれらの建築方法の移行に着目し、持ち込みと ISRU の移行を行うモジュールによる建築の設計を行う。

## 2. 計画背景

宇宙建築の研究者の一人である A. Scott Howe は、宇宙建造物の建築方法として、以下の3つの CLASS を挙げている([1])。

## CLASS. I

あらかじめ地上でモジュールを組み上げ、確認試験まで行ったのち、ロケット等に搭載し、現地へ輸送する方法。単一モジュール方式とも呼ばれる。アポロ計画や skylab など、過去の多くの有人宇宙建造物はこれに該当する。

特徴として、この構法は堅牢性の確保が可能であるが、内部循環など設備も完結している為、拡張性には乏しい。

## CLASS. II

コンパクトに収納された構造物を現地に送り、展開させる構法。このほか、複数モジュール結合方式と呼ばれる、CLASS I のように完結した機能を持つモジュールを個別に打ち上げ、現地で結合して一つの宇宙建造物を建築する構法も存在する。

本来輸送できないサイズの構造物を、現地に展開できる点が本構法の特徴といえる。

代表的なものに、インフレーターブル構法(Fig.1)がある。

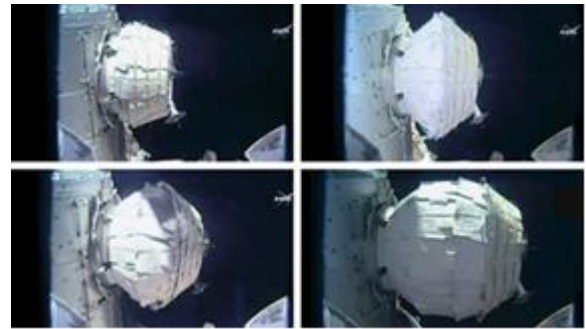


Figure 1 CLASS II(インフレーターブル構法)

## CLASS. III

これには ISRU(in situ resource utilization)などが代表としてあげられる。現地の材料を用いて構造物を建設する構法である。現地の材料の例としては、月面の砂(レゴリス)や、氷などが挙げられる。

これらを建材に用いる利点として、現地へ輸送する物資が 3D プリンタなどの建築機器や建設用のロボットのみで済むうに、ロケットなどでは輸送しきれない大型サイズの構造物を建築できることが挙げられる。

1:日大理工・教員・海建 Department of Oceanic Architecture and Engineering, College of Science and Technology, Nihon University.

2:日大理工・学部・海建 Department of Oceanic Architecture and Engineering, College of Science and Technology, Nihon University.

上記の3つのCLASSは、断絶しているのではなく、以前のCLASSの構造物と現在のCLASSの構造物が併用される状態で移行することが予想されている。(Fig.2)

### Habitation Technology Strategy (Options)



Figure 2 CLASSの移行(出典:[1])

一方で、現状考案されている月面建築の提案では各CLASSの構造物は別々で設計されており、このCLASSの移行を円滑に行う建築の提案はほぼ見受けられない。

本提案では、パネル構造物という統一された建築方法により、CLASS I-CLASS IIIを同様の方法で構築する建築モジュールを提案する。

### 3. 基本計画

モジュールはFig.3のような、正12面体の構造物を想定し、これらが必要な接続を保った状態で、増設される。

緑の部分が他モジュールとの接続口とする。

また、これらは五角形のパネルを組み合わせることで、これらのモジュールは構築される。

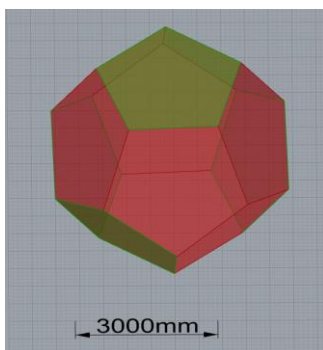


Figure 3 モジュール

モジュールを構築するパネルは、入植初期の段階では地球上で生産されたものが月面へ送られ現地で組み立てられる、CLASS IIのような運用がされる。一方で、

必要な大気や水分の循環装置などは、CLASS Iのように完成されたものが使用される。

入植が進み、大規模な施設が必要になると、Fig.3のモジュールと同様のサイズのパネルが、現地のレゴリスと氷を材料に生産される。これはCLASS IIIの構法といえる。

また、これらの正12面体のモジュールは、Fig.4に示す通り、月面の地形や、重力環境に応じて組み合わせり、増設される。この増設の原理として、自然界にみられる自己組織化を応用する。

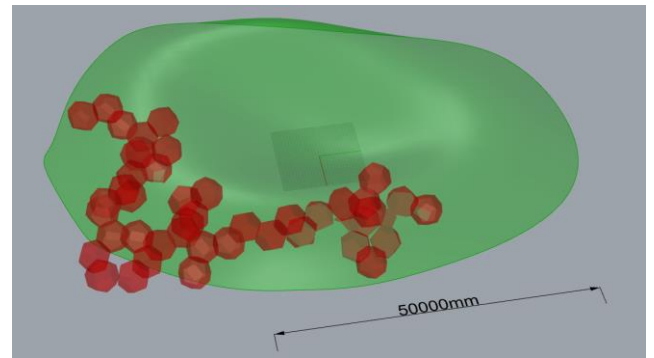


Figure 4 モジュールを50個結合した様子

### 4. 自己組織化のルールと展望

散律速凝集と呼ばれる、粒子が核となり、つながり、クラスタに取り込まれていく自己組織化の自然現象がある。本設計では、モジュールの組み合わせに応用する。



Figure 5 DLA (Diffusion-limited aggregation)

この原理を三次元に展開したものを採用する。具体的には、各モジュールが地形の形状に応じて三次元に結合を繰り返すことで、入植初期から数百人レベルの居住までに対応して増設される建築を設計する。

#### 参考文献

- [1] A. Scott Howe: "Out of This World", AIAA, pp9,2008年
- [2] Bigelow aerospace: "BEAM", Bigelow aerospace, <https://bigelowaerospace.com/pages/beam/>,2021年9月16日確認
- [3] 狼 嘉彰ら: "宇宙ステーション入門", 東京大学出版, pp283,2014年