

宇宙空間での植生基材の製造に関する研究

(株)大林組 正会員 ○甚野 智子, 田島 孝敏
(株)大林組 正会員 石川 洋二, 川上 好弘
(株)TOWING 西田 亮也, 西田 宏平

1. 目的

近年, 宇宙空間利用の拡大に向けた取り組みが世界各国で行われ, 特に月の資源開発に関する動きが活発で, NASA 宇宙探査計画「アルテミス計画」に欧州と日本が参画を表明した. 我が国では 2021 年に「宇宙開発利用加速化戦略プログラム」が創設され, 各省庁が様々な研究開発を進めている. 月面有人活動を長期継続するには食料自給が重要になるが, 農業資材を地球から運ぶと輸送費が莫大になる. 月の資源を用いた現地での作物栽培が考えられるが, 月の土は良質な土壌のような多孔質でないため, 微生物の生息が難しく植物の栽培に適さない. そこで, 月の模擬砂を原料にして, 保水性と排水性が良好な粒状多孔体の作製を試みた.

2. 多孔体作製の方法

多孔体作製の方法を図 1 に示す. 月模擬砂に炭素粉末を混練・造粒した後, 高温で焼成した. 焼成段階で炭素粉末は燃焼して酸素と結合し二酸化炭素として気化し, その部分が空隙として残る. さらに温度を上げると砂の表面が溶けて焼結して硬い多孔体が形成される.

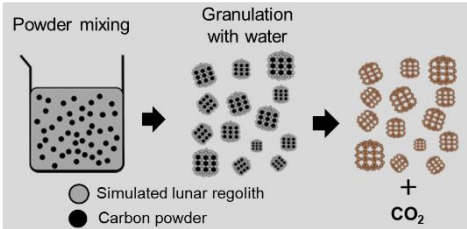


図 1 多孔体作製の方法

3. 使用材料

月の表土 (月レゴリス) は大きく 2 種類あり, 明るい部分(高地)は主に斜長岩, 暗い部分(海)は主に玄武岩で構成されている. 表-1 にアポロ計画で持ち帰った月レゴリス(A11¹⁾A16¹⁾A14¹⁾)と一般的な玄武岩の化学組成を示す. また, 月レゴリスと月模擬砂の粒度分布を図 2 に示す. 月レゴリスの特性を考慮し, 玄武岩(富士山溶岩石)を粉砕して, 月レゴリスの粒子径分布に近似するように粒度調整し, 月模擬砂(写真 1)を作製した.

また, 炭素粉末として, 写真 2 に示す人造黒鉛(粒径 100 μ m, SEC カーボン社製)を用いた.



写真 1 月模擬砂



写真 2 人造黒鉛

表-1 月模擬砂の化学組成

	月レゴリス			玄武岩 ²⁾
	A11 ¹⁾	A16 ¹⁾	A14 ¹⁾	
SiO ₂	42.2	45	48.1	45.8
TiO ₂	7.8	0.5	1.7	2.6
Al ₂ O ₃	13.6	27.3	17.4	14.6
Cr ₂ O ₃	0.3	0.3	0.2	-
FeO	15.3	5.1	10.4	8.7
Fe ₂ O ₃	-	-	-	3.2
MnO	0.2	0.3	0.1	0.2
MgO	7.8	5.7	9.4	9.4
CaO	11.9	15.7	10.7	10.7
Na ₂ O	0.5	0.5	0.7	2.6
K ₂ O	0.2	0.2	0.6	1

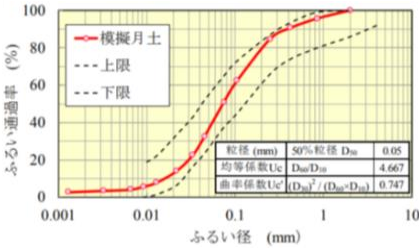


図 2 月模擬砂の粒度分布

4. 実験方法

月模擬砂, 人造黒鉛および少量の水を混合し, パン型造粒機(アズワン社製 PZ-01R)の受け皿に投入した. 受け皿を回転させながら霧吹きで水を添加して, 粒径が直径 5mm 前後になるように造粒した. 粒状物を 105℃で乾燥させた後, 電気炉(いすゞ製作所製, VTDS)で高温焼成した. 実験ケースを表 2 に示す. 人造黒鉛を月模擬土に対し外割で 0~50%添加した.

表 2 実験ケース

月模擬砂(g)	100	100	100	100	100	100	100
人造黒鉛(g)	0	15	30	35	40	45	50
焼成温度	昇温2時間800℃10時間保持 →昇温1時間1100℃1時間保持						

キーワード 月レゴリス, 多孔体, スペーサー材, 黒鉛, 人工土壌

連絡先 〒204-8558 東京都清瀬市下清戸 4-640 株式会社大林組 技術研究所 TEL 042-495-9586

5. 実験結果

5.1 焼成温度

人造黒鉛の完全燃焼温度は約 900℃で、月模擬砂の焼結温度は約 1100℃であった。造粒物を 2 時間で 1100℃まで昇温し 1 時間保持した場合、造粒物中の人造黒鉛付近が一部溶融して均質な焼成物ができなかった。そこで、第一段階として人造黒鉛の燃焼温度手前の 800℃で 10 時間保持し、第二段階として 1100℃まで昇温して 1 時間程度加熱することにより、写真 3 に示すような均等に焼成した多孔体が得られた。



写真 3 焼成多孔体

5.2 粒度分布

多孔体を目開き 0.5~9.5mm の篩で分級した結果(図 3)、植物栽培に適していると考えられる粒径 (1~4.75mm) が 8 割程度得られた。

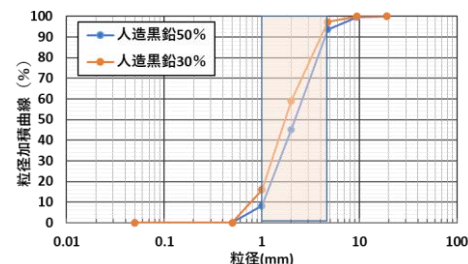


図 3 多孔体の粒度分布

5.3 空隙率と乾燥密度

図 4 に多孔体の人造黒鉛の添加率と空隙率の関係を、図 5 に添加率と乾燥密度の関係を示す。人造黒鉛の添加量が多くなるほど空隙量が増加し、乾燥密度が低下した。図 6 に空隙率と乾燥密度をプロットすると両者に相関が認められた。

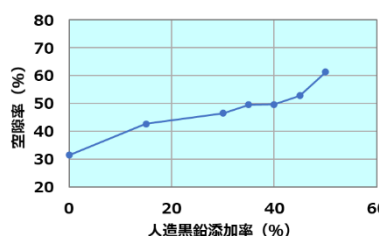


図 4 人造黒鉛量と空隙率の関係

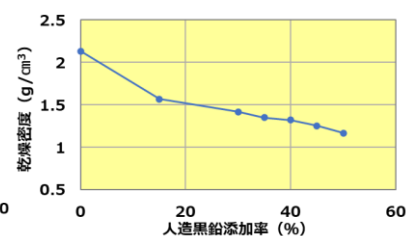


図 5 人造黒鉛量と乾燥密度の関係

5.4 多孔体の内部空隙

多孔体を二分割し、断面を電子顕微鏡で観察した。電顕写真を写真 4 に示す。人造黒鉛は燃焼して燃え残りは見られず、その代わりに 100μm 前後の孔が多数形成されていることがわかった。

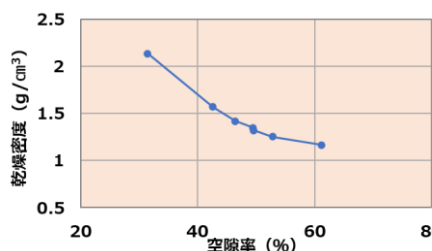


図 6 空隙率と乾燥密度の関係

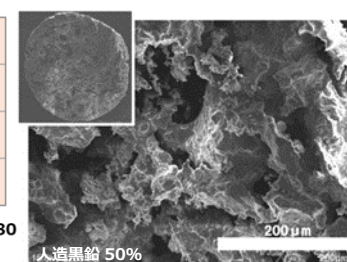


写真 4 多孔体の電子顕微鏡写真

5.5 植物栽培結果

コマツナを用いて植生実験を行った例を写真 5 に示す。月模擬砂そのままでは保水性と排水性が悪く植生に不向きであるが、多孔体を用いた人工土壌ではコマツナが良好に生育した。

月面の重力は地上の 1/6 と小さいため、低重力が水分移動に及ぼす影響を調査する必要があるが、多孔体を用いた栽培は地上の天然土壌で栽培する条件に近い。また、有機性廃棄物を肥料とした閉鎖循環型システムで食料を供給する、月面での持続可能なシステムを構築できると考えられる。



写真 5 多孔体を用いたコマツナ栽培

6. まとめ

月レゴリスを模擬した砂を用いて多孔体を製造し植生実験を行った結果を以下に示す。

- 1) 造粒物の焼成方法として、第一段階で炭素粉末 (人造黒鉛) を完全に燃焼し、第二段階で砂を焼結させることにより、硬く焼結した多孔体できた
- 2) 人造黒鉛の添加量と、空隙率、乾燥密度の間に相関が認められた
- 3) コマツナを用いた植生実験の結果、良好に生育した

出典 1) 金森, 篠田: 月資源からの建設資材の製造に関する基礎検討, 34th ISAS Space Energy Symposium, 6th March, 2015

2) 岩生周一, 木村敏雄: 一般地質学 p. 210, 朝倉書店, 1979. 11