

現地資源からの建設資材の 製造システム

Production system of construction materials
from in-situ resources



佐藤久夫(三菱マテリアル(株))

木村勇氣(北海道大学)

小松隆一(山口大学)

畑中菜穂子(有人宇宙システム(株))

村本知哉(株)IHI)

岡利春(株)IHIエアロスペース)

石川洋二(株)大林組)

Hisao Satoh (Mitsubishi Materials Corporation)

Yuki Kimura (Hokkaido University)

Ryuichi Komatsu (Yamaguchi University)

Naoko Hatanaka (Japan Manned Space Systems Corporation)

Tomoya Muramoto (IHI Corporation)

Toshiharu Oka (IHI Aerospace CO., LTD.)

Yoji Ishikawa (Obayashi Corporation)

研究の背景

NASA: 2030年代半ばに有人火星探査を計画

JAXA: 2025年に月に有人基地建設を計画⇒月面基地の研究が活発化

月に行く目的

- ・活動領域を拡大するための拠点
- ・科学的探査、観測を行うための拠点
- ・資源開発(ヘリウム3)

月面環境

- ・温度が両極端(最高:110℃最低:-170℃)
- ・超高真空(10^{-5} Pa)
- ・重力が地球の1/6

長期間安全に生活するために
月面基地が必要

問題点

運搬コスト(1kgあたり10万ドル)が莫大

出典 畑中菜穂子 ルナ・コンクリート—月の砂から生まれる建設材料(2006年)

月面にある材料を使うことが重要



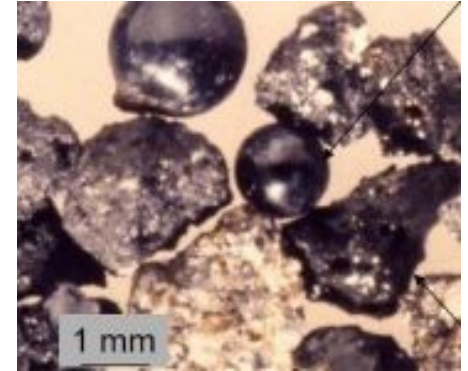
研究目的

月表層にある土壌＝レゴリス

(微小天体・隕石の衝突によって生成した月面を覆っているガラス片、粉末)

特徴

粒径 10~数100 μm (平均的な大きさ65 μm ~70 μm 以下)
平均厚み5メートル(最大厚み30メートル)覆っている
非晶質(ガラス)を約60%含む



既往の研究

レゴリスから固化体作製法(コンクリート、焼結体、ガラス等)

加熱装置の運搬、組み立て、運転コスト
を考慮しなければならない。

研究の目的

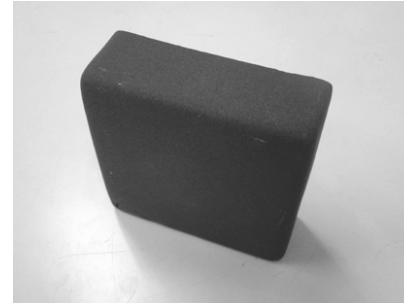
ジオポリマーの原料物質を地球表層の土壌やレゴリスから抽出し、その固化体を製造するプロセス、ならびに現地資源から焼結材を迅速製造・利用するプロセスにおける必要エネルギー(W/(ton/day))を導出する。

研究対象

焼結材、ジオポリマー(GP)の2種類の建設資材

●焼結材製造工程

原料の投入⇒加熱(700～900℃)⇒ブロック完成



●ジオポリマー製造工程(従来式)

原料の投入⇒加熱(700～900℃)⇒フィラー(結合剤)取り出し

⇒原料(砂・骨材)添加・混練⇒養生(50～150℃)⇒ブロック完成



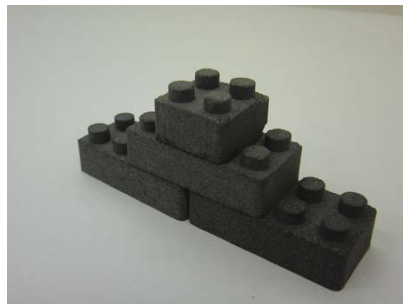
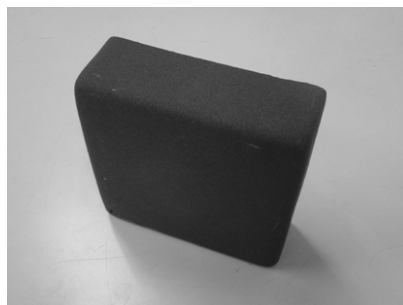
原料	建設資材の用途
レゴリス・シミュラント/玄武岩粉碎物	月面基地
粘土(ベントナイトなど)	発展途上国レンガ
シラス(火山灰)	一般建設用
スラグ廃材	
スラッジ(浄水汚泥)	

効率的な焼結材(レンガ)製造手法の研究

1. 焼結材とは？

粉体を型枠に入れ、ソリダスもしくはサブソリダスで固化させる手法。
レゴリスシミュラントでは地上のコンクリートと同強度のブロックが製造可能(2013年: JAXA星野氏、若林氏、吉原氏、JAMSS畑中)。

- メリット: 水を使うコンクリートに比べ工程が簡単。高強度。現地材料のみで製造可能。
- デメリット: 高温処理が必要。
厚いブロックでは時間がかかる。



● 実験
最低温度 T_m 、 $T_m + 50$ 度で焼結実験

● SINDA解析
焼結中のブロック内や
炉内の温度分布解析

2. 研究目的

- 製造の最低温度(エネルギー)の測定
 - DSC測定
 - MELTS解析
- 焼結時間が最適なブロック厚の算出

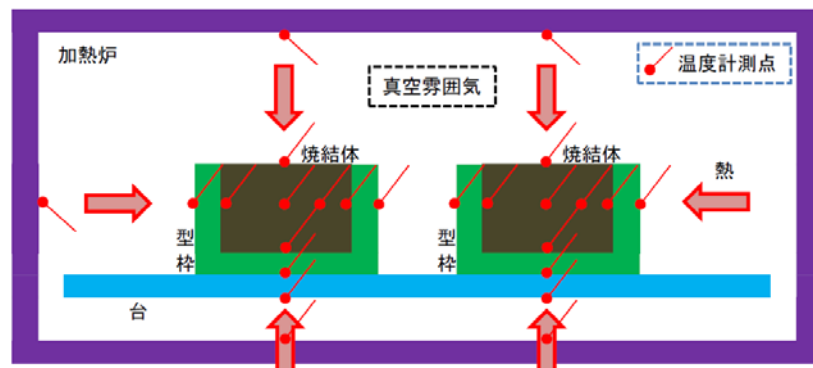


図1 熱解析モデル、実験での温度計測点

効率的なジオポリマー製造手法の研究

1. ジオポリマーとは？

古代ローマセメントとして知られる人工岩石系建設材料。水ガラスとフィラーと呼ばれる結合剤を使用し、脱水重合によって固結する。耐酸アルカリ性、耐熱性に優れ、長寿命。ジオポリマーの構造は化学組成に依存し、強度も変わる(Davidovits, 1988)。

- **メリット:** 製造工程におけるCO₂排出が少なく、環境にやさしい。高強度で、様々な形状の材料が製造可能。固化後に水を回収できる。
- **デメリット:** 水を必要とし、水ガラス(Na₂SiO₃·9H₂O)を使う。焼結材に比べ、工程が複雑。



2. 研究目的

- 従来のジオポリマーの固化工程を簡易にする、新しいジオポリマー製造手法を開発する。
- 製造の最低**温度**(エネルギー)の測定



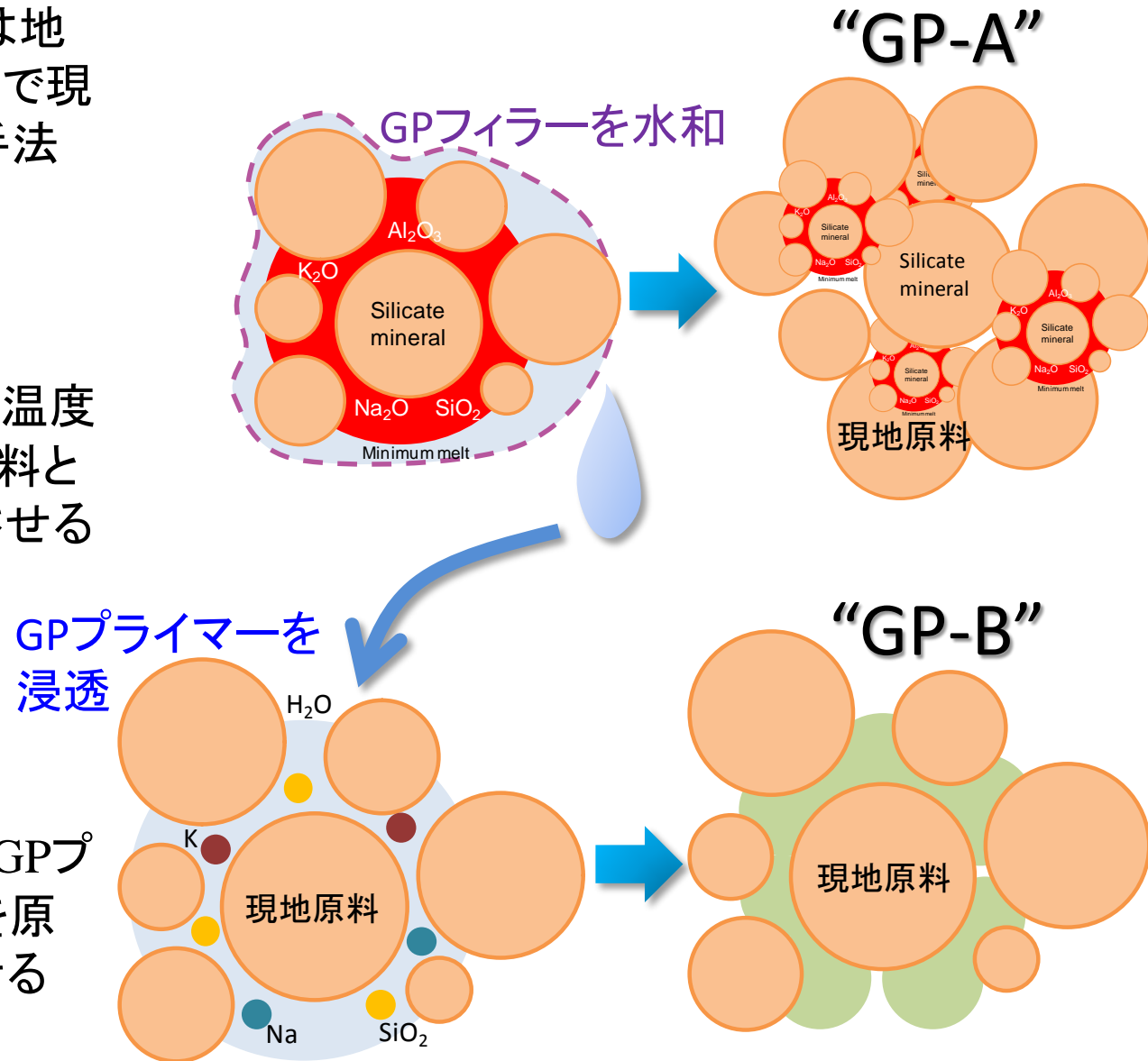
コンクリートとジオポリマーの酸浸漬実験(鉄道総研報告:より抜粋)



ジオポリマーの混練工程
西松建設HP:より抜粋

地産地消型ジオポリマーの開発

- 従来の水ガラス添加法は地産地消ではない。水だけで現地原料を固化させる新手法を開発する。
- GPフィラーを最適な焼成温度で現地原料から作り、原料と混ぜて水和させて固化させる (GP-A)。
- GPフィラーを溶脱させてGPプライマーを抽出し、これを原料に浸透させて固化させる (GP-B)。



必要な水の量(1トン固化体の製造)

製造物と原材料	重量(トン/日)	情報
GP固化体	1.00	達成目標値
GPフィラー、プライマー	0.20	$\text{Na}_2\text{SiO}_3 \cdot 9\text{H}_2\text{O}$ として20 wt.%混合
GP固化に必要なナトリウム	0.03	$0.2 \times 2\text{Na}/\text{Na}_2\text{SiO}_3 \cdot 9\text{H}_2\text{O}$
GP固化に必要なシリカ	0.04	$0.2 \times \text{SiO}_2/\text{Na}_2\text{SiO}_3 \cdot 9\text{H}_2\text{O}$
GP固化に必要な水	0.11	$0.2 \times 9\text{H}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{SiO}_3 \cdot 9\text{H}_2\text{O}$
GP固化後に回収可能な水	0.05	$\text{Na}_2\text{SiO}_3 \cdot 9\text{H}_2\text{O}$ から $\text{Na}_2\text{SiO}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ に脱水したとして
ナトリウム源としての現地の土壌	7.30	月面レゴリス($\text{Na}_2\text{O} = 0.6 \text{ wt.}\%$)として

従来の手法では、1トンのGP固化体に要する水は110 kg。

GP固化後、水は回収可能(GPの脱水挙動に依存)。

ブロック系建設資材・固化体のメリット

- **高強度、高耐久性**

鉄道の枕木として使用できる(オーストラリア)



- **放射性廃棄物の安定化**

汚染土壌のセシウムやヨウ素を閉じ込めて安定化かつ減容



宮本(2015, 原子力学会秋の大会)

- **自律的な構造物が建設可能**



今後の発展に向けて

今年度の研究テーマ

- 材料研究



製造に必要な温度、時間、エネルギー等を算出。



- ブロックの設計・施工・建設手法の研究



- 加熱手法の研究



炉のコンセプト検討、熱効率などの検討を踏まえた、実用的な製造エネルギーの導出

もし来年度以降も
研究が続けば・・・
3テーマをさらに発展

廃材を固化・安定化させる新しいジオポリマー

スラグ

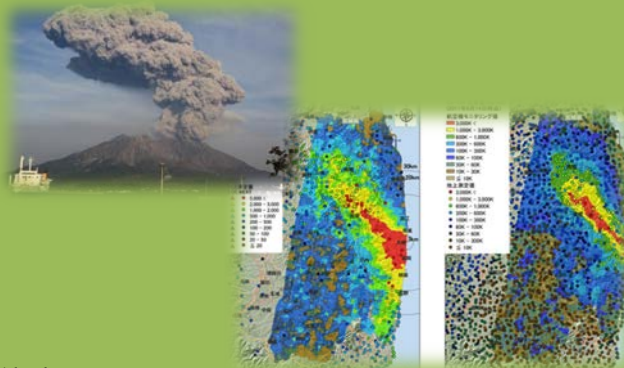


http://www.mmc.co.jp/naoshima/products/copper_slag.html

火山灰や汚染土壌



<http://www.mech.tohoku.ac.jp/sena/series29/vol12/vol2-1.html>



<http://www.imart.co.jp/fukushima-genpatu-houshasen-eikyuu-old25.9.26.html>

石炭灰



<http://www.kyudensangyo.co.jp/corporation/recycle/>

汚泥



<http://www.kenmori.biz/dry%20explanation.htm>

製品化を目指します。

低エネルギーGP



H₂O

水は回収可能

廃ゼオライト



http://www.chuden.co.jp/corpo/publicity/press2004/1027_3.html

ブロックの設計や施工の研究 <今後の発展>

- 舗装ブロック

砂地やぬかるみを整地しなくても、舗装に使用できるインターロッキング・ブロック



- ドームやアーチ構造物
モルタルのような接着剤や鉄骨無し
で組立てられる構造物



おわり

ご清聴ありがとうございました。