

月面基地建設の為の月資源からの酸素とセメント製造、セメントペーストの流動性予測及び月コンクリート迅速評価の基礎的研究

小松隆一(山口大), 吉崎泉(JAXA), 朝倉悦郎, 江上誠一, 中村俊彦, 山下牧生(宇部三菱セメント研究所) 小澤良太郎, 塚本勝男(東北大)

Fundamental researches concerning cement production and oxygen extraction using lunar regolith, flow properties of cement paste and fast evaluation of cement and concrete structures using in-situ observation for the construction of lunar base

Ryuichi Komatsu¹, Izumi Yoshizaki², Etsuro Asakura³, Seiichi Egami³, Toshihiko Nakamura³, Makio Yamashita³, Ryotaro Ozawa⁴ and Katsuro Tsukamoto⁴

Yamaguchi University, ²JAXA, ³Ube-Mitsubishi Cement Research Institute, ⁴Tohoku University, Corresponding e-mail: r-komats@yamaguchi-u.ac.jp

Abstract: The purpose of our WG is to find the simple and easy alumina cement manufacturing process on the moon with the regolith which is rich in alumina on the surface of the lunar, to investigate the possibility of extraction of oxygen from lunar regolith. Furthermore, we also investigate to develop the in-situ observation technology to measure minute dimensions change such as the hydration of the cement precisely and in a short time. Based on these results, we can help the establishment of the building technology of the concrete structure on the surface of the lunar.

Key words; regolith, C12A7, oxygen, laser interference, alkali-silica reaction

1. はじめに

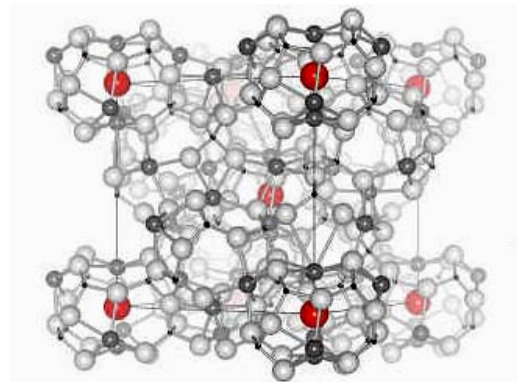
月面に構造物を建設する場合、建設資材の大部分は月にある材料を用いる必要がある。またこれら月資源からの酸素抽出法の検討も重要である。本WGは、今まで月の材料を用いた簡便なセメント製造方法の検討をおこない、また地球と比べ重力が6分の1の月面で固まらないコンクリート(フレッシュコンクリート)の製造開始時から硬化するまでの流動性状の予測及び月面でのコンクリート構造物建設では、長期間の試験等が困難であるので、セメントの水和等に伴う寸法変化を精密かつ短時間で測定する技術も開発する必要があり、位相シフト干渉による“その場”観察法も検討した。

本報告では今までの検討結果から、月レゴリス組成から生成した $\text{Ca}_{12}\text{Al}_{14}\text{O}_{33}$ (C_{12}A_7)からの酸素発生の可能性の検討及びコンクリート分野での重要な問題点であるアルカリ骨材反応(骨材とセメント溶液との反応による膨張クラック発生)について、位相シフト干渉による“その場”観察法について報告する。

2. 月レゴリス組成から生成した $\text{Ca}_{12}\text{Al}_{14}\text{O}_{33}$ (C_{12}A_7)からの酸素発生可能性

Caに富む月の岩石として月の高地に広く存在する斜長岩とこの斜長岩起源レゴリス(regolith)が月でのセメント材料として注目され、このレゴリス組成の加熱残渣組成から上記 C_{12}A_7 相が容易に生成される。この C_{12}A_7 は、球状のフレームワークを持ち、そのケージの中に酸素イオンが包接された構造を持ち、この材料を融解すると酸素ガスを発生することが報告されている1) (H. Hosono et al., Inorg. Chem., 26(1987)1192)。

この相の結晶構造を図-1に示す。



(● : O^{2-} イオン)

Fig.1 Crystal structure of C_{12}A_7 .

この相を作製し、窒素中及び真空中で加熱融解を行った。図-2にDTS-TG(窒素中)を示す。

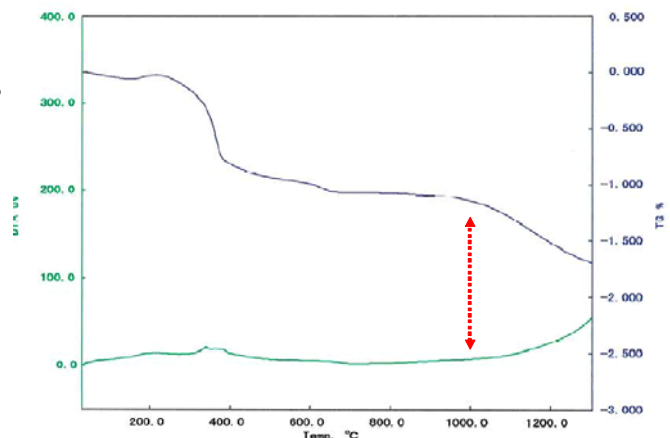


Fig.2 DTA-TG Result of C_{12}A_7 .

図-2から1000℃以上で重量の減少が生じることが判った。また真空中での融解実験では、融解すると泡が発生した。この泡は酸素であると考えられる1)。

融解前後での重量減少は約1%であり、結晶構造中のゲージ中の酸素をすべて取り去ると1.2%になるので、ある程度は符合していると考えられる。またこの実験では真空中での加熱でもゲージ中の酸素は融点近くまで保持されていることが推定され、有望な酸素発生材としての可能性を示すことが判った。

1回の融解ではC 1 2 A 7 2.7kgからは酸素が32gしか出来ず、効率は1.2%程度である(月レゴリスの組成から計算すると0.6%, イルメナイトからの酸素発生では0.5%)が、今後結晶融解析出を利用し、複数回での酸素発生を検討する。何回も酸素が抽出できれば効率は増大する。2%の効率になれば大きなインパクトがある。

2. 位相シフト法によるセメント擬似溶液と骨材の初期反応過程の観察

コンクリートの膨張クラックの原因の一つであるアルカリ骨材反応は、コンクリート構造物の強度を劣化させる大きな問題である。しかし従来の反応性骨材の試験方法は半年を要していた。さらに月の岩石は多くは地球のそれと比べ急冷状態にあるので、アルカリ骨材反応の骨材側の反応物である火山ガラスを多く含むと推定されるので、地球上及び月面でもアルカリ骨材反応岩石の迅速判定法の開発は必要になると予想される。

本試験では、高さ方向に高分解能な精度を持つ位相シフト干渉計を用いた。また、試料には実際にコンクリートに使用されている輝石安山岩を用い、溶液にはセメント擬似溶液として0.2M NaOH, 0.3 KOH(Ca 10ppm混合)の混合溶液を使用した。今回は初期過程を見るために4日間の実験を行った。なお今回は輝石安山岩中の輝石、斜長石、および石基部分についての反応挙動を測定している。

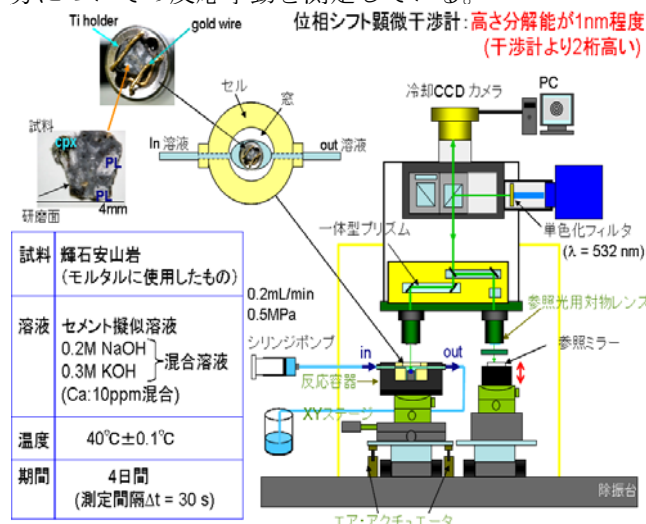


Fig.3 Schematic diagram of interference microscope

and experimental conditions.

図-4に測定の結果を示した。反応挙動としては石基部分が 10^{-3} nm/secで反応、班晶である斜長石、輝石は 10^{-5} nm/secのオーダーで反応していることがわかった。つまり、火山ガラスが含まれている石基部分の方が反応性が大きくなっていることがわかった。また、班晶および石基は何度も溶解、何らかの生成物の形成を繰り返していることが実験から明らかになった。それは、反応によって形成された斜長石のエッチピットの周辺に生成物が沈殿している様子からも確認できる。

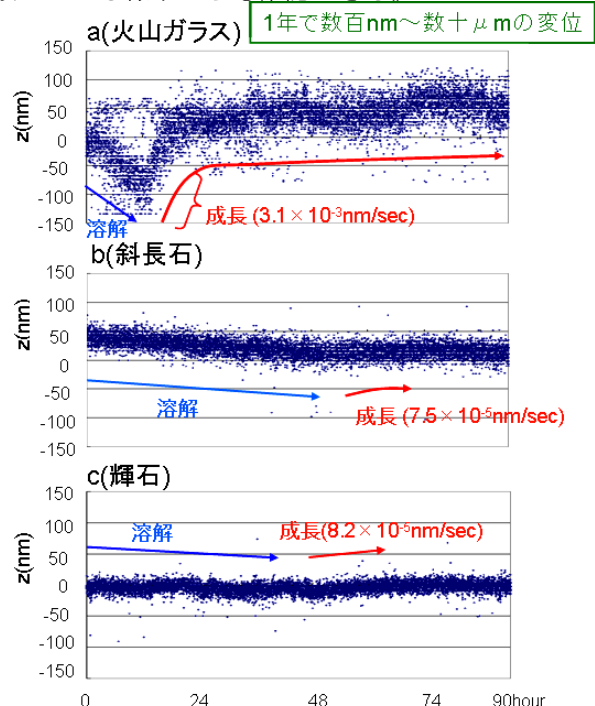


Fig.4 Measurement results of some minerals.

また、測定後の試料をAFM, SEM観察を行った。その結果、輝石と斜長石の観察から鉱物表面に沈殿物が形成していることがわかった。また、表面を詳細に観察すると表面が反応前に比べラフになっていることがわかった。石基部分については反応はさらに顕著に確認できた。石基のSEM観察からはクリストバライトと考えられる部分と火山ガラスの部分において反応が大きく起こって別のものが形成している様子が観察できた。

しかし、生成物がサブミクロン以下であるためにEDS組成分析を正確に行うことはできなかった。ただし、もとの鉱物には含まれていない溶液から来たと考えられる組成(Kなど)を生成物は持っていたので元の鉱物とは異なるものが形成している可能性が高い。

これらの結果により、アルカリ骨材反応が骨材の表面反応(溶解再沈殿反応)である可能性があることがわかった。

今後は、試料や条件を変えた実験を行い、干渉

法測定の有意性を挙げていき、アルカリ骨材反応のメカニズムに迫っていくことが課題である。

Reference

[1]H. Hosono et al., Inorg. Chem., 26(1987)1192.

4. まとめ

月レゴリスからのC12A7の結晶構造中に存在するゆるく内接している酸素原子の抽出を検討し、真空中の活でも酸素発生が可能であると推定された。またコンクリートのクラックをもたらすアルカリ骨材反応について反応初期過程を位相シフト干渉計で始めて検討し、長期試験でなく短時間での反応岩石を判定できる可能性を示した。今後はさらに研究を推進し、有意義な実験データを蓄積したい。