



|                  |                                                                                                                                                  |
|------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Title            | 次世代太陽熱発電のための合金PCMカプセル化技術                                                                                                                         |
| Author(s)        | 深堀, 諒; 能村, 貴宏; 朱, 春宇 他                                                                                                                           |
| Description      | 会議情報 主催: 一般社団法人 日本エネルギー学会 後援: 国立研究開発法人 新エネルギー・産業技術<br>総合開発機構 会議名: 第24回日本エネルギー学会大会 開催地: 北海道 札幌コンベンションセンター<br>開催日: 2015/08/03 - 2015/08/04         |
| Citation         | 日本エネルギー学会大会講演要旨集, 24, 168-169<br><a href="https://doi.org/10.23550/jietaikaioushi.24.0_168">https://doi.org/10.23550/jietaikaioushi.24.0_168</a> |
| Issue Date       | 2015-07-27                                                                                                                                       |
| Doc URL          | <a href="https://hdl.handle.net/2115/77569">https://hdl.handle.net/2115/77569</a>                                                                |
| Type             | conference paper                                                                                                                                 |
| File Information | energy 24 168-169.pdf                                                                                                                            |



## 4-1-3 次世代太陽熱発電のための合金 PCM カプセル化技術

(北海道大学大学院・工学院) ○深堀諒, 能村貴宏, 朱春宇, 盛楠, 沖中憲之, 秋山友宏

### Encapsulation of metallic phase change material (PCM) for advanced concentrating solar power

ORyo FUKAHORI, Takahiro NOMURA, Chunyu ZHU, Nan SHENG, Noriyuki OKINAKA,  
Tomohiro AKIYAMA (Faculty of engineering, Hokkaido University)

#### SUMMARY

This study reports 1) their corrosion effects to ceramic materials, 2) thermal analysis of Al-Si alloys as candidates of high-temperature (over 500 °C) phase change material (PCM), and 3) new encapsulation technique for the PCM. Four Al-Si alloys were selected as the PCM. Engineering ceramics such as  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , AlN,  $\text{Si}_3\text{N}_4$ , SiC, and  $\text{SiO}_2$  were used for corrosion tests. The corrosion tests revealed that  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , AlN, and  $\text{Si}_3\text{N}_4$  shows high corrosion resistance to molten Al-Si alloys, therefore, they were suitable as structural materials for latent heat storage systems (LHS) using Al-Si alloys. Results of thermal analysis shows the ADC12 and Al-25wt%Si were promising PCM due to their large latent heat. Mushroom-like  $\text{Al}_2\text{O}_3$  capsules were applied to the new encapsulation technique. In addition, the prepared PCM capsule showed good durability. These results indicated the feasibility of a high temperature LHS using Al-Si alloys and ceramics.

#### [1] 緒言

現在、集光型太陽熱発電 (Concentrating Solar Power: CSP) を核とする太陽熱利用技術の開発が注目されている。太陽熱は夜間利用が不可能かつ、天候の影響を受ける不安定な熱源である故に、安定的かつ高効率な発電のためには、蓄熱システムの導入が不可欠である。相変化物質 (PCM: Phase Change Material) の固液相変態潜熱で蓄熱する潜熱蓄熱法は、高密度蓄熱可能な点で魅力的である。CSP に適した高温 (300 °C 以上) PCM として熔融塩が一般的だが、その低熱伝導性及び融解時体積膨張率が極めて大きいことが問題である。そこで我々は高温用 PCM として合金の適用を提案している<sup>1)</sup>。合金は熔融塩に比べて熱伝導率が高く、熱膨張率を低く制御可能である。一方、PCM は蓄熱時熔融するためカプセル化技術が必須だが未だ確立されていない。また、熔融した PCM と構造材料との腐食性が深刻な問題である。そこで本研究では、合金系 PCM として Al 基合金に着目し、その蓄熱性能を評価した。次に構造材としてのセラミックス材料との腐食性を調査した。さらに新しい PCM カプセル化法を提案し、カプセルの繰り返し特性を調査した。

#### [2] 実験

##### 1) 腐食試験

PCM 候補材として Al, ADC12, AC9A, Al-25wt%Si (以下 Al-25Si) を選択した。腐食試験対象として  $\text{Al}_2\text{O}_3$ 、 $\text{Si}_3\text{N}_4$ 、SiC、AlN 及び  $\text{SiO}_2$  の試験片 (10 × 10 × 2 mm) を使用した。アルミナ坩堝中に各種 Al 基合金とセラミックス試験片を設置した後 1000 °C、Ar 雰囲気中で 100 h 熔融保持した。セラミックス/合金界面を取り出し SEM-EDS (電子顕微鏡エネルギー分散型 X 線分析) にて界面の元素分析を実施した。

##### 2) Al-Si 合金の潜熱蓄熱特性

Al-Si 合金候補材の潜熱蓄熱特性を測るため、2 °C min<sup>-1</sup> の昇降温速度の条件で DSC (示差走査熱量測定装置) にて熱分析した。

##### 3) カプセル密閉化試験

シェル材は  $\text{Al}_2\text{O}_3$  で Cap と Cup から成るキノコ型カプセルである。PCM には Al-25Si (融点: 573 °C) を用いた。PCM カプセル密閉処理では、①Cup 内に PCM を装填、カプセルの嵌合部に Al 箔 (84×15×0.02 mm) を配置し、Ar 雰囲気下で 800 °C にて 2 h 保持した。この処理で Al 箔の融着による Cap と Cup の密閉を狙った。密閉化処理後、外観を観察した。さらに密閉化カプセルの耐久性調査のため、大気雰囲気

気中にて 100 回の蓄放熱試験を実施した。

### [3] 結果と考察

Fig. 1 は SEM-EDS による Al-Si 合金/ $\text{Al}_2\text{O}_3$  界面の線分析結果を示す。それぞれの合金と  $\text{Al}_2\text{O}_3$  界面は明確に区別できた。即ち  $\text{Al}_2\text{O}_3$  は Al-Si 合金に対し高い腐食耐性を示した。熱力学的観点からも  $\text{Al}_2\text{O}_3$  は極めて安定で Al、Si 等と反応生成物を作りにくい。また AlN および  $\text{Si}_3\text{N}_4$  も高い腐食性を示した一方で、SiC は反応相を形成し、 $\text{SiO}_2$  は激しく腐食されセラミックス内部にまで Al が検出された。

Fig. 2 は熱分析により得た Al-Si 系合金の熱的特性を示す。Al、ADC12、Al-25Si は鋭いピークを示した。ADC12 及び Al-25Si は比較的大きな潜熱を有しており、PCM として有望であった。また、ADC12 は規格化合金のため低コストでの利用が期待できる。

Fig. 3 (a-1, 2, 3) はカプセル化前後の PCM カプセルのマクロ写真である。カプセル密閉処理後のサンプルでは、融解凝固した Al がバンドシールを形成し (Fig. 3 (a-2) 参照)、カプセル内上部には空間が存在した (Fig. 3 (a-3) 参照)。Fig. 3 b) は PCM カプセル密閉メカニズムを示す。昇温により、PCM が融解、膨張し、カプセルを持ち上げる。更に温度上昇すると Al 箔が融解する。この時、Al は表面張力により引き込まれ、嵌合部に担持される。冷却後は Al が先に凝固し密閉が完了し、内部の空間や PCM による体積膨張が最大の時に密閉される。冷却後、内部の空間は負圧であり、蓄熱時の PCM 溶融膨張の際に熱応力によるカプセル破損を防ぐバッファーとして機能すると考えられる。100 回の蓄放熱試験の実施後も、カプセル外観にほとんど変化は無かった。また、PCM の漏出は見られず、作成した PCM カプセルは高い繰り返し耐久性を示した。

### [4] 結言

1)  $\text{Al}_2\text{O}_3$ 、AlN、 $\text{Si}_3\text{N}_4$  は優れた耐腐食性を示した。SiC は大きな腐食は無いが反応相を形成し、 $\text{SiO}_2$  は激しく腐食された。

2) Al-Si 系合金は、従来材と比べても優れた蓄熱性能を有し、PCM として有望である。

3) セラミックスシェルを用いた合金 PCM のカプセル化技術を提案し、繰り返し耐久性に優れた高温 PCM カプセルの開発に成功した。

【引用文献】1) Nomura, T., Zhu, C., Sheng, N., Saito, G., Akiyama, T., Microencapsulation of Metal-based Phase Change Material for High-temperature Thermal Energy Storage. *Scientific report* 5, 9117 (2015)

### 【謝辞】

本研究は JSPS 科研費 15H05567 (若手研究 (A)) の助成を受けたものです。

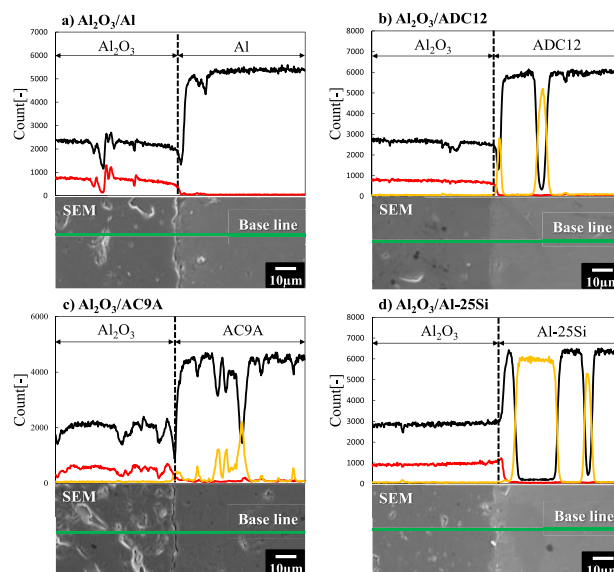


Fig. 1 EDS line analyses carried out by SEM on the interface of a)  $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{Al}$ , b)  $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{ADC12}$ , c)  $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{AC9A}$ , d)  $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{Al-25Si}$  (—Al, —O, —Si).

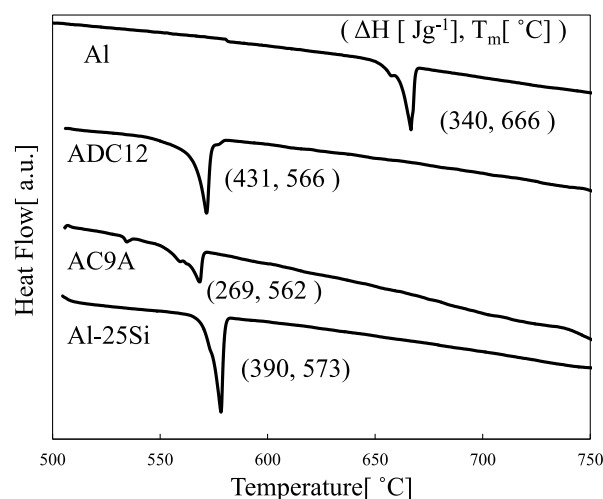


Fig. 2 DSC curves of Al, ADC12, AC9A and Al-25Si.

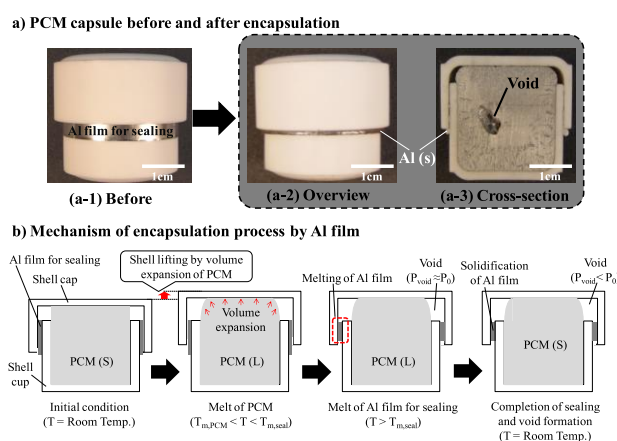


Fig. 3 a) PCM capsule before and after encapsulation and b) schematic of encapsulation mechanism.