

3D 積層造形を用いたアルミ合金製伝熱フィン一体型蓄熱材容器の造形技術および構造強度・熱特性に関する研究

材料技術課 山本貴文、住岡淳司、石黒智明 ものづくり研究開発センター 氷見清和

国立研究開発法人 宇宙航空研究開発機構 研究開発部門第二研究ユニット 畠中龍太、田中洸輔、杉田寛之

1. 緒言

宇宙空間において、短時間または周期的に厳しい熱環境に曝される場合(地球/火星の大気圏再突入機等)、潜熱を利用した高効率蓄熱技術は熱設計条件を緩和するために重要な技術である。現在使用されている蓄熱材の多くは、固液相変化時の潜熱を利用する相変化蓄熱材(Phase Change Material, PCM)であるが、従来のユニットでは外殻容器・伝熱フィンが総重量の大半を占め、質量効果が低下する等の課題がある。また、再突入機の場合は搭載スペースを確保できないことが多いため、狭いスペースを有効活用できるような形状自由度の高い PCM ユニットが必要とされている。そのため、本研究では金属 3D 積層造形を利用したアルミ合金製容器・伝熱フィン一体型構造による伝熱性能および耐圧性を維持した軽量かつ形状自在な PCM 容器の開発を目指し、微細かつ複雑構造を有する PCM 容器の造形技術の構築と PCM ユニットの構造強度および熱的特性の評価を行った。

2. 実験方法

2.1 容器・伝熱フィン一体型 PCM 容器の設計概念と造形

宇宙用 PCM ユニットの要求仕様/制約条件は適用先によって大きく異なる。本研究では、3D プリンタの特徴である設計のフレキシブル性を活かし、いくつかの代表形状で蓄熱性能、耐圧性能の観点で設計/性能予測手法の事前検証を行った上で、フットプリント面積 50mm×50mm、容器高さ 37mm の単純立方体を外殻容器、またその内部に高密度に伝熱フィンを配置したモデルを基本設計とした。なお、伝熱フィン及び外壁の最小寸法は 0.5mm とし、伝熱フィンの寸法、ピッチおよび構造を変化させ、造形に使用するモデルとした。造形には、EOS 社製 EOSINT M280 を用い、使用した材料粉末は AlSi10Mg(Al-10%Si-0.4%Mg)である。

2.2 PCM ユニットの熱特性評価

伝熱性能評価には、造形された容器に PCM 材(オクタデカン, C18H38)を充填・封止を行った試験体を使用した。試験は使用環境下を模擬した真空チャンバ内で行い、容器側面温度は熱伝対を用いて測定し、容器底部温度および熱流速は熱流速センサを用いて測定を行った。

3. 実験結果および考察

Fig. 1 に造形した PCM 容器の CAD モデル、外観、内部構造(エックス線 CT)の一例を示す。容器内部には、微細な伝熱フィンが高密度・等間隔に並んでおり、3D 積層造形により従来では作製不可能な形状の一体成形を可能にした。なお、作製した PCM 容器は、いずれの供試体も実用に耐える耐圧強度を有していることを確認できている。

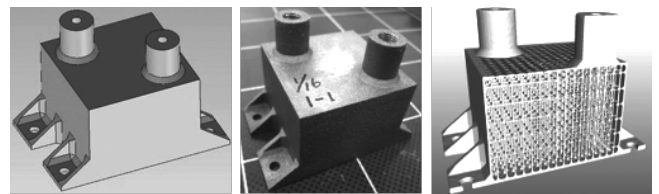


Fig. 1 Example of CAD data, test piece appearance, and X-ray CT result

Fig. 2 に伝熱性能評価の一例(PCM ユニットの底部から 0.6W/cm² ヒータ加熱)を示す。時間経過とともに各所の温度は上昇していき、約 22-23min で内部の PCM 材の融解が完了していることがわかり、蓄熱デバイスとして動作することが確認できている。なお、本試験体の全重量に対する PCM 重量の割合は 53.6%であり、従来ユニットの約 30%から飛躍的な向上(大幅な容器質量の低減)を実現。加えて、伝熱フィン構造により熱的特性を制御できる見通しも得られており、熱制御対象に応じてオンデマンドな製造技術の基盤を構築できている。

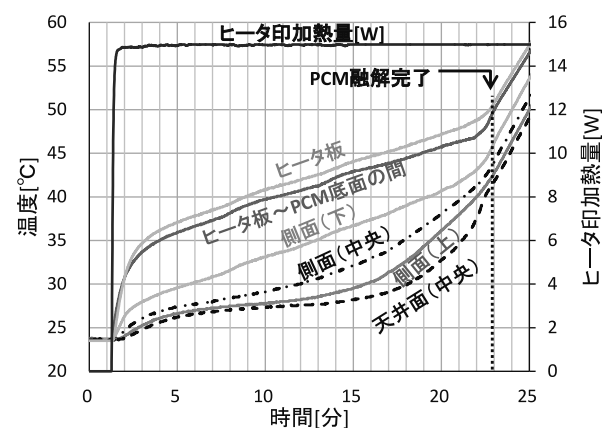


Fig. 2 An example of temperature trend (0.6W/cm²)

参考文献

- 1) R. Hatakenaka, T. Kinjo, H. Sugita, T. Yamamoto and M. Saitoh, "Heat-transfer Characteristics of a Light-weight, Fin-integrated PCM Unit manufactured by Additive Manufacturing", 47th International Conference on Environmental Systems, ICES-2017-346, 2017