

アルミ - 水反応の衛星推進系へ適用（室蘭工業大学航空宇宙機システム研究センター年次報告書2017）

著者	今村 卓哉, 貝瀬 柚子, 今井 良二, 杉岡 正敏, 東野 和幸
雑誌名	室蘭工業大学航空宇宙機システム研究センター年次報告書
巻	2017
ページ	36-42
発行年	2018-09
URL	http://hdl.handle.net/10258/00009862

アルミ-水反応の衛星推進系への適用

○今村 卓哉（航空宇宙総合工学コース 博士前期2年）

貝瀬 柚子（航空宇宙システム工学コース 学部4年）

今井 良二（航空宇宙システム工学ユニット 教授）

杉岡 正敏（航空宇宙機システム研究センター 名誉教授）

東野 和幸（航空宇宙機システム研究センター 特任教授）

1. 背景

現在、宇宙機推進システムの燃料として主にヒドラジンが使用されている。ヒドラジンは高比推力で着火性に優れた燃料であるが毒性を有するため、現在、代替燃料を用いた推進システムの開発が進められている。航空宇宙機システム研究センターでは、アルミと水の反応から得られる水素を宇宙機推進システムに適用する研究をこれまでに実施してきた。本システムではアルミタンクから取り出したアルミと水タンクから取り出した水を反応器で混合して高圧水素製造反応を起こし、水素をスラスタに供給する構成としている。本システムでの反応物である水およびアルミ、反応生成物の水素および水酸化アルミはいずれも毒性を有さないため、次世代の推進系への適用が有望である。

昨年度までに、(1)微小重力環境下におけるアクリル樹脂製[1]および金属製[2]水タンク液体捕捉機構の考案、検証、(2)微小重力環境下における反応槽内部の流動挙動の検討[1]、(3)水素製造循環における酸化アルミニウムの窒化の実証、を実施してきた。上記に引き続き本年度は、(1)アルミ合金粉末搬送機の試作および微小重力環境下での検証、(2)メカニカルアロイングによるアルミ-水反応高速化に関する検討、を実施した。本報では本年度の研究成果についてまとめた。

2. 内容

2-1. アルミ合金粉末搬送機の試作および微小重力環境下での検証

2-1-1. はじめに

本章では、Al/水反応推進系の構成要素の一つであるアルミ合金粉末搬送機の考案、試作、短時間微小重力環境下での搬送特性の検証結果について述べる。なお、短時間微小重力実験は(株)植松電機が所有する微小重力実験塔「COSMOTORRE」を利用した。

2-1-2. 実験装置

微小重力環境下でのアルミ合金粉末の搬送方法として、スクリーコンベア方式を選定した。本方式のメリットを以下に記す。

- (1)構造が単純で輸送量も安定しており、運転及び保守が容易であるため信頼性が高い。
- (2)密閉構造にやすく、粉塵の飛散防止が容易である。

図1に本研究で検討したアルミ合金粉末搬送装置を示す。

本装置では、粉末投入エリアに粉末試料を投入し、輸送エリアにおいてスクリーをモーターで回転させ試料を輸送、粉末貯蔵容器に輸送された試料を貯蔵した。微小重力下では、粉末投入エリアにおいて重力による試料の投入ができないため、ピストンで押し込む仕組みとした。ケー

シングには内部の可視化するために、透明の排水管用のパイプ及び継手(呼び径 30, 内径 31 mm)を使用した。スクリーウの仕様を以下に示す。

- ・外径 : 30 mm
- ・厚さ : 3 mm
- ・軸径 : 10 mm
- ・長さ : 90 mm
- ・ピッチ : 15 mm
- ・回転数 : 200 rpm

スクリーウ先端には、厚さ 1 mm のフェルトシールを貼り付け、ケーシング内壁との隙間をシールした。これは、試料の粒径が小さくなるとスクリーウとケーシング内壁の隙間から試料が流れ出し、試料充填時の初期状態が実験条件毎に異なることを防ぐためである。

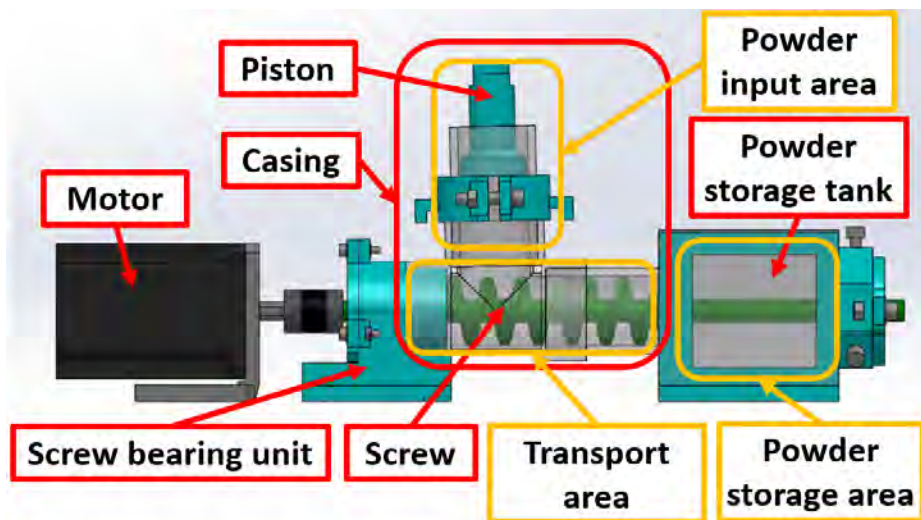


図 1 アルミ合金粉末搬送検証モデル

図 2 に短時間微小重力実験用カプセルに搭載した実験供試体および電源系の搭載状況を示す。供試体および各種計測機器、実験機器は木製の円盤状プレートに配置させた。アルミ合金粉末搬送検証モデルおよび画像取得装置(デジタルビデオカメラ)を同一のプレートに配置し、光源は、上部に搭載したプレートの底部に配置した(図 2 (a))。また、モーターおよび駆動用のインバータ電源、モーター用ドライバを同一プレートに配置した(図 2 (b))。インバータへ供給する電源は、12VDC のゲル状バッテリーを用いた。本バッテリーは、カプセル最下段に配置した。

2-1-3. 実験条件

実験条件を表 1 に示す。表に示した条件で、微小重力実験と地上重力実験を行い比較した。充填率については、50%は粉末投入エリア直下の輸送エリアに試料が 50%程度充填させている状態、100%は粉末充填エリアまで一杯に充填し、ピストンで押し込んでいる状態を意味する。実機で使用する Al 粉末の粒径は 150~50 μm であることに対し、それよりも大きい粒径の試料を使用しているのは、粒子の個別の挙動を詳細に観察することを狙ったためである。

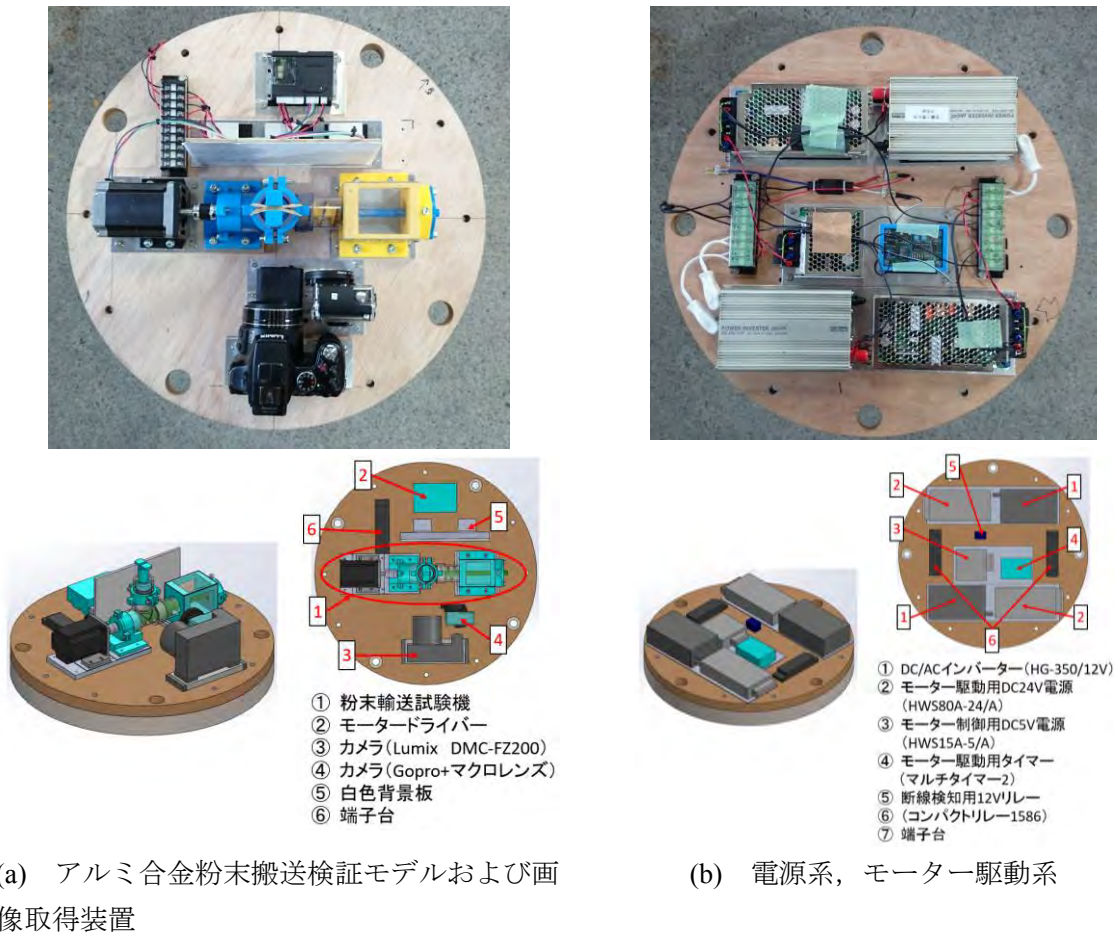


図2 短時間微小重力実験用カプセルおよび実験機器の搭載状況

表1 実験条件

Experimental conditions	Filling rate	Powder sample	Particle size	Powder shap
No.1	50%	Bullets for model guns	6mm	Sphere
No.2	50%	Glass beads A	710~500 μ m	Sphere
No.3	50%	Glass beads B	150~125 μ m	Sphere
No.4	50%	Aluminum powder	500~150 μ m	Needle, Spindle
No.5	100%	Glass beads B	150~125 μ m	Sphere
No.6	100%	Aluminum powder	500~150 μ m	Needle, Spindle

2-1-4. 実験結果

充填率 50%における実験結果について述べる。図3に条件 No.1の実験結果を示す。図より、地上重力下では、重力が存在しているため試料はスクリー下部に溜まった状態で輸送され、微小重力下では、ケーシング内壁に沿って試料が拡がった状態で輸送されることが分かった。微小重力環境下では粉末試料に作用する力はスクリーの回転による遠心力が支配的となり、試料はスクリー軸付近から周方向に排出され、ケーシング内壁に押し付けられているためと考えられる。この粉末挙動は、条件 No.3 と条件 No.4 においても同様であった。つまり、粒径が小さく、また粒形状が異なっても輸送中の粉末の挙動に大きな差異はないと言える。以上の結果から、

微小重力の場合，輸送中の粉体はケーシング内壁に沿って一様に存在するため，スクリー先端とケーシング内壁との隙間で噛み込みが起りやすくなると考えられる．加えて実使用の場合，微細な Al 粉末（150～50 μm ）を使用するため摩擦により発火し粉塵爆発を起こしてしまう危険性が増加すると考えられる．よって，スクリーとケーシング内壁の隙間のシーリングは必須であると考えられる．

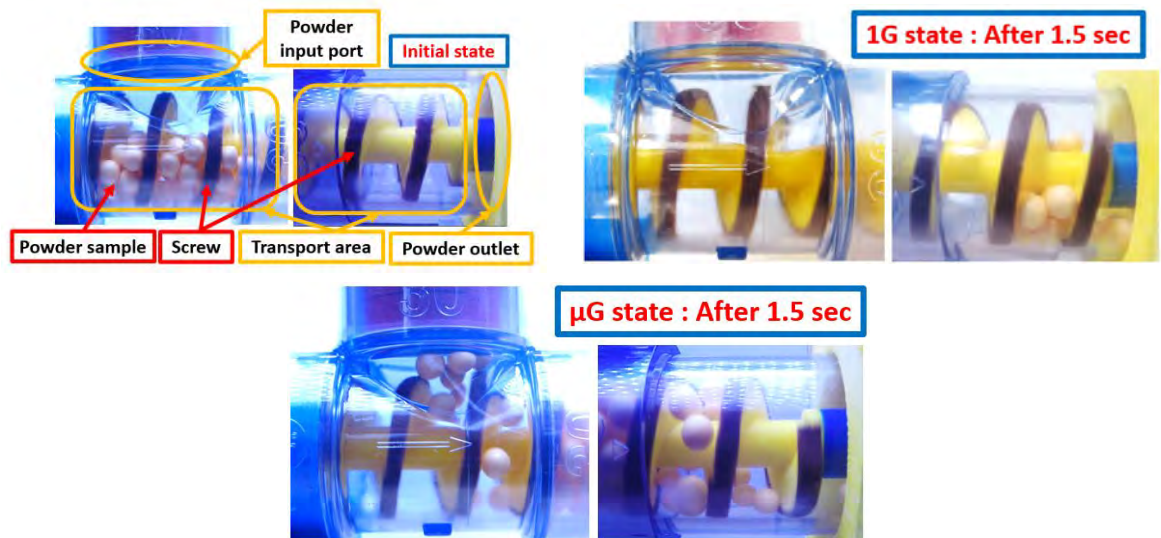


図3 実験条件1における試料挙動の可視化結果
 (粉末充填率 50%，試料：モデルガン用弾丸（直径 ϕ 6 mm）

図4に条件 No.5の実験結果を示す．図より，地上重力下及び微小重力下ともに，試料が輸送されていることがわかった．また，地上重力下及び微小重力下ともに充填率 50%の場合と比べて，充填率 100%の場合は試料が常に供給されているため，輸送されている試料の密度は高くなっていたが，輸送中の挙動については大きな差異はなかった．

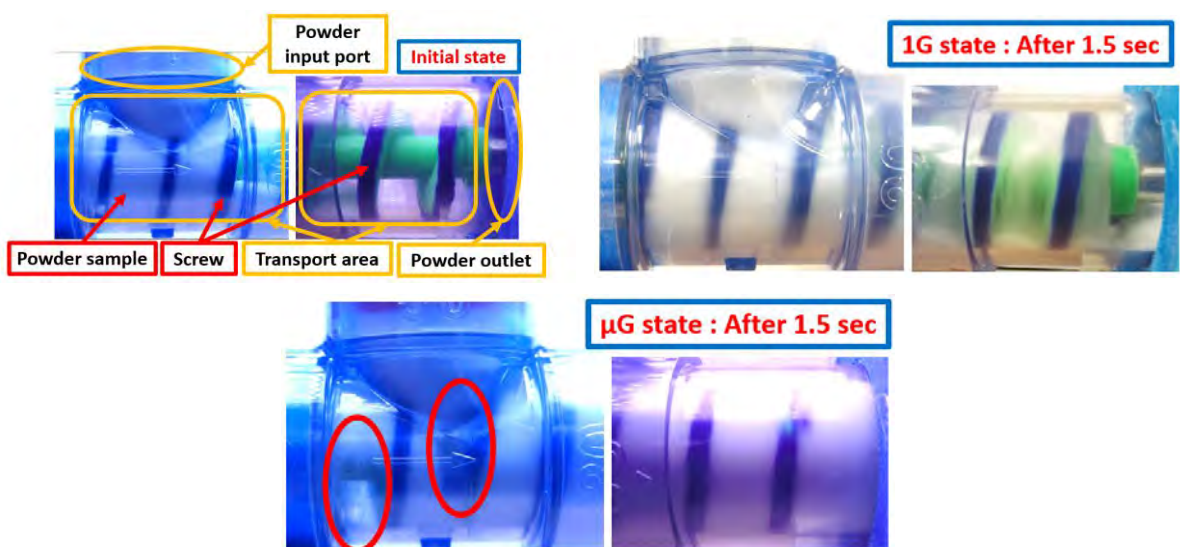


図4 実験条件5における試料挙動の可視化結果
 (粉末充填率 100%，試料：ガラスビーズ（直径 ϕ 150-125 μm ）

ただし微小重力下では、図中の赤枠の部分に空間が形成されており、地上重力下よりも輸送効率が低下する可能性がある。試料に Al 粉末を使用した条件 No.6 の実験結果では、条件 No.5 とほとんど同等の挙動を示した。以上の結果から、粒径及び粒形状が異なっても粉末挙動に大差はないことが示された。よって、実機で使用する Al 粉末で、直径の大きい粒子 (150~125 μm) においても同様に輸送できると考えられる。

以上より、スクリーコンベアは Al/水反応推進系における Al 粉末供給機構に適用可能である見通しが示された。

2-2. メカニカルアロイングによるアルミ-水反応高速化に関する検討[3]

2-2-1. はじめに

本研究では Al/水反応を用いた水素製造の効率向上および Al 合金粉末製造の効率化を目的とし、水素製造効率の高いメカニカルアロイング (MA) を用いた Al 合金粉末の製造、これによる水素製造実証を実施した。

2-2-2. メカニカルアロイング (MA)

MA はボールミルの力学的エネルギーを用いて金属粉末を粉砕混合し、機械的に合金化する方法である。この手法は常温での合金化が可能であるなどの利点があり、新しい省エネルギー合金化プロセスとして注目されている。本研究では MA に遊星回転ポットミル (株式会社伊藤製作所：型式 LP-1) を用いた。試薬と少量のエタノールを容器に投入し、アルゴンガス雰囲気中で破碎し、Al 合金粉末を製造した。エタノールは合金粉末の凝集防止のために添加した。表 2 に MA の条件を示す。

表 2 メカニカルアロイング(MA)の条件

	Al-30%Sn	Al-30%Zn	Al-40%Sn-10%Bi
Al質量[g]	14	10.5	10
試薬質量[g]	6	4.5	8(Sn)
	—	—	2(Bi)
粉碎時間[h]	20, 40		
粉碎速度[rpm]	250		
粉碎ボール数[個]	30		
粉碎ボール径[mm]	ϕ 10		

2-2-3. 水素製造実証

水素製造はオートクレーブ (オーエムラボテック株式会社：型式 MMJ-100) を用いた。ヒーターで加熱しながら Al 合金粉末と蒸留水の混合物を攪拌棒で攪拌し、発生した水素を水上置換法で捕捉した。なお、反応性が高いと予想された試料については、ヒーターによる加熱および攪拌はせずに予備実験としてガラス製反応容器を用いた実験を行った。実験の条件を表 3 に示す。

表 3 水素製造実証実験条件

合金組成	Al-30%Zn		Al-30%Sn	
メカニカルアロイング時間[h]	20	40	20	40
実験温度[°C]	60			
実験時間[min]	360		210	
試料質量[g]	5		1	
試料粒径[μm]	試薬粒径以下			
蒸留水体積[ml]	80			
攪拌速度[rpm]	1350			

図 5 に Al-30wt%Zn を用いた実験の結果を示す。製造手法ごとに比較すると、Al-30wt%Zn と Al-30wt%Sn 共に MA を 40 時間実施した試料が最も水素製造効率の向上が見られた。理由として長時間 MA を実施すると獲得粒径が減少し、水との接触面積が増加したことが挙げられる。組成ごとに比較すると、Al-30wt%Zn を用いた場合には Al-30wt%Sn よりも水素製造効率の向上が見られた。

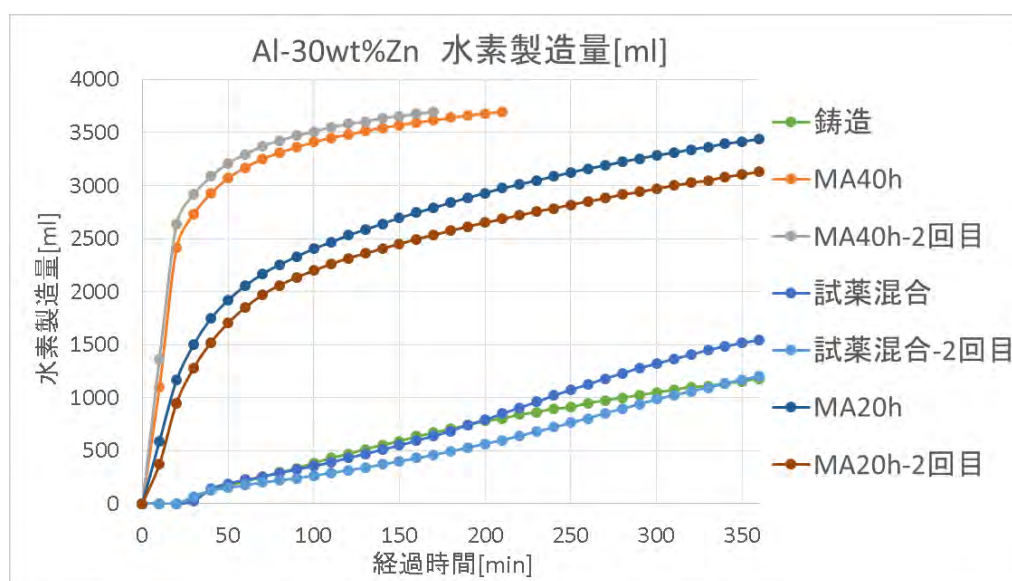


図 5 MA により生成したアルミ合金粉末による水素製造量の時間変化

参考文献

- [1] Ryoji Imai, Takura Imamura, Masatoshi Sugioka, Kazuyuki Higashino, Research on Liquid Management Technology in Water Tank and Reactor for Propulsion System with Hydrogen Production System Utilizing Aluminum and Water Reaction, Microgravity Science and Technology, Vol.29, No.9, pp.475-484, 2017, <https://doi.org/10.1007/s12217-017-9566-5>.
- [2] Takuya Imamura, Masatoshi Sugioka, Kazuyuki Higashino, Ryoji IMAI, Study on Liquid Management Technology in Water Tank for Propulsion System Utilizing Aluminum and Water Reaction (Improvement of Liquid Acquisition Performance by Hydrophilic Coating in Metallic Tank), International Journal of Microgravity Science and Application, Vol.35, No.1, pp35103-1-6, 2018, DOI:10.15011//jasma.35.350103.

[3] 今井良二, 今村卓哉, 貝瀬柚子, 杉岡正敏, 東野和幸, アルミ水高圧水素製造反応の宇宙推進システムおよびCO₂フリー水素製造プラントへの適用に関する研究, 「第15回HASTIC 学術技術講演会」兼「第27回短時間無重力利用に関する講演会」, 札幌, 2018.