

AP 系コンポジット推進薬の金属粒子添加による HCl 低減評価  
 HCl reduction by metal particle addition in AP composite propellant

○岩村佳茂<sup>1</sup>, 増田圭衣<sup>1</sup>, 高橋賢一<sup>2</sup>, 桑原卓雄<sup>2</sup>

\*Yoshitaka Iwamura<sup>1</sup>, Kei Masuda<sup>1</sup>, Kenichi Takahashi<sup>2</sup>, Takuo Kuwahara<sup>2</sup>

Utilization of AP composite propellant has a certain problem, which emits hydrogen chloride(HCl) to the atmosphere. From environmental points of view, this issue can't be ignored. It has been figured out that HCl can be reduced depending on what kind of metal particle we add to the propellant. This experiment, we adopted aluminum(Al) and magnalium(Mg-Al) as metal particles. We also did this research by changing a ratio of metal particle in propellant itself. As a result, we obtained that Mg-Al reduced much amount of HCl than Al.

1. 背景

現在、固体推進薬には酸化剤と燃料を混合させたコンポジット推進薬が主に使われている。コンポジット推進薬の酸化剤には酸化能力が高く密度が大きいといった理由から過塩素酸アンモニウム (AP) を用いることが一般的である<sup>[1]</sup>。しかし、過塩素酸アンモニウムは燃焼させると強酸性物質である塩化水素 (HCl) を生成する。HCl が大気中に排出されると酸性雨の原因となり、問題となっている。その解決策の一つとして添加する金属粒子による HCl 低減の効果が期待できる。そこで本研究では添加金属として Al 粒子と Mg-Al 粒子を採用し、HCl 排出量の変化量を評価した。

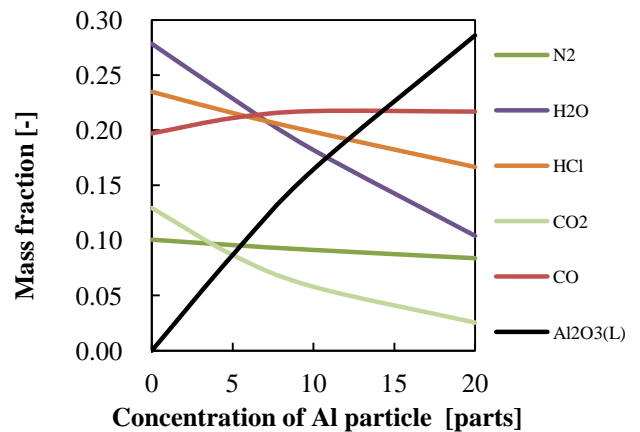


Figure 1. Combustion products of Propellant (Al)

2. 理論計算

2.1 計算条件

酸化剤とバインダの比率を(85/15)に固定した。金属粒子は、添加量 20[parts]と、金属を添加しない場合で HCl 排出量の比較をした。また、20[parts]の 1/2 の 10[parts]、さらにその 1/2 の 5[parts]を添加した。本実験で用いた組成比を Table 1 に示す。

Table 1. Composition of propellant (Parts)

| AP | Oct | Metal Particles (Al, Mg-Al) |
|----|-----|-----------------------------|
| 85 | 15  | 0,5,10,20                   |

2.2 燃焼生成物の組成

化学平衡計算ソフト NASA-CEA<sup>[2]</sup>によって圧力を 1[atm]で計算した。Figure 1 及び Figure 2 に計算から得られた主要生成物を示す。

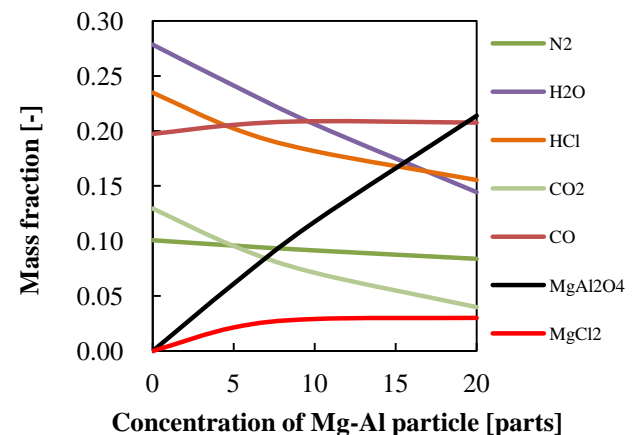


Figure 2. Combustion products of Propellant (Mg-Al)

Figure1 及び Figure2 から排出ガスの 9 割を占める主要生成物中で pH 値を変えうる物質は HCl のみであると考えた。

また、理論計算からも金属を多く添加するにつれ HCl の低減が大きくなることが予想される。

1 : 日大理工・学部・航宇 2 : 日大理工・教員・航宇

### 3. 実験方法, 実験装置

Figure 3 に実験装置を示す. 燃焼器内は 1[atm], 窒素雰囲気にした. 燃焼器内の圧力上昇を防ぐために燃焼器内と燃焼器外部容器の純水で排出ガスを捕集した. HCl の溶解度は極めて高く, 純水が 0[°C] のとき 100[ml] 中 82.31[g] 溶ける<sup>[3]</sup>. そのため燃焼器外部容器の純水を氷水に浸し温度を約 0[°C] に保った. この時, 燃焼器及び燃焼器外部容器側面に付着した HCl も捕集水に取り込んだ. その後, 容器内の捕集水は pH 測定器を用いて pH 値の測定を行い, HCl 排出量も算出した.

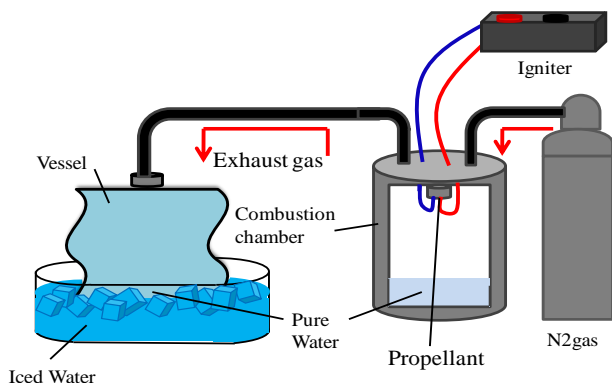


Figure 3. Experimental apparatus

以下に pH 値の計算方法を示す.

HCl の排出質量を  $m$  として, 1[l] の純水中に存在する HCl のモル濃度  $X$  は

$$X = m / M [\text{mol} / \text{l}] \quad (1)$$

ここに,  $M$  は HCl の分子量で  $M=36.5[\text{g}/\text{mol}]$  である.

HCl の価数は 1, 電離度は極めて高くおよそ 1.0 である. 以上を考慮して pH 値の定義式より, 1[l] 中の純水に溶ける HCl の pH 値は以下の式で表される.

$$-\log_{10}[H^+] = -\log_{10}[m / M] \quad (2)$$

### 4. 実験結果・考察

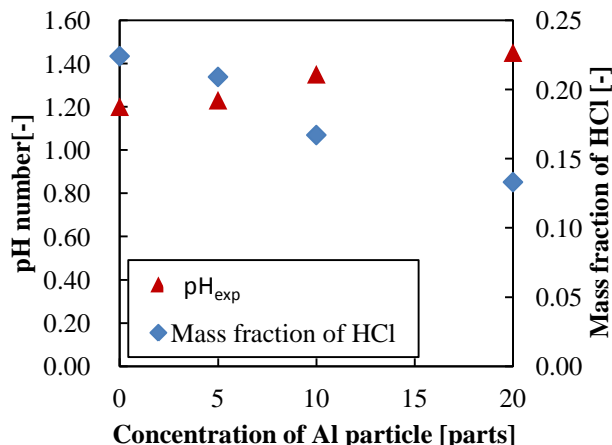


Figure 4. pH and Amount of HCl with Al particles

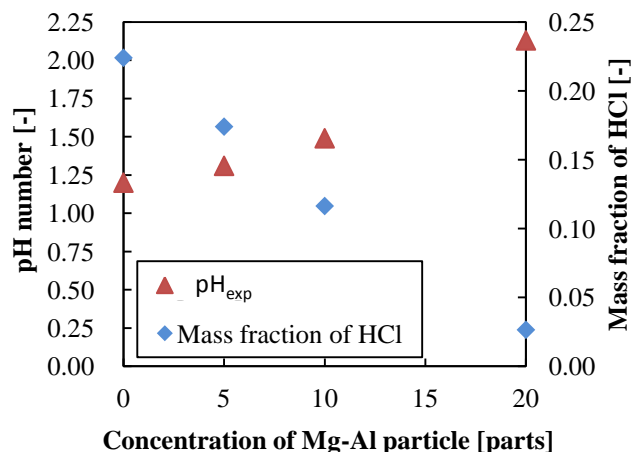


Figure 5. pH and Amount of HCl with Mg-Al particles

Figure 4 及び Figure 5 より Al, Mg-Al ともに金属を多く添加すると HCl 低減量が大きくなった.

ここに, 資料として金属と Cl の化合物生成量の理論計算結果を Table 2 に示す.

Table 2. Compound of Cl-Metal by Mass fraction

|                        | Al                       | Mg-Al                    |
|------------------------|--------------------------|--------------------------|
| Metal particle [parts] | Compound of Cl-Metal [-] | Compound of Cl-Metal [-] |
| 0                      | 0                        | 0                        |
| 5                      | 0.00206                  | 0.0270                   |
| 10                     | 0.00435                  | 0.0396                   |
| 20                     | 0.0173                   | 0.0491                   |

Table 2 を参考に Figure 4 及び Figure 5 の結果を考察すると, 金属により Cl が化合物として固定化され, 金属の添加量が多い程化合物の生成量も多くなったと考えられる. また, Figure 4 と Figure 5 を比較すると, Al より Mg-Al を添加したときの方が HCl の低減量が大きい. これは Table 2 より Mg-Al の方が Al より金属と Cl の化合物生成量が多い為であると考えられる.

### 5. まとめ

- ・金属の添加量を多くすると HCl の低減量は増える.
- ・Al より, Mg-Al を添加した方が HCl 低減量は大きい.

### 6. 参考文献

- [1] 桑原卓雄, ロケットエンジン概論, 産業図書, pp.65-72, pp.88-92, 2009.
- [2] Gordon S. and Mcbrid B.J. NASA RP-1311 (1994).
- [3] 飯泉慎吾, 化学便覧応用編 改訂 3 版, 丸善, p.118, p.181, pp.281-287, 1980.