

## 加熱金属平板に衝突する GAP 単一液滴の着火特性

## Ignition characteristics of a single GAP droplet colliding with a heated flat metal board

伊藤朗<sup>1</sup>, 〇柳沼高太<sup>1</sup>, 桑原卓雄<sup>2</sup>Ro Ito<sup>1</sup>, \*Kouta Yaginuma<sup>1</sup>, Takuo Kuwahara<sup>2</sup>

Abstract: It is necessary to know how to ignite Glycidyl Azide Polymer (GAP) for applying it to the next generation monopropellant. This study tests the hypothesis of a relationship between the Weber Number (We) and the Plate Contact Time (PCT) of GAP when we change the speed of a single GAP droplet colliding to a heated flat metal board. We have come to the conclusion that the transformation of the droplet shape is one of the parameters of the PCT and that an extreme value of the Weber Number which has the same value as the minimum PCT exists.

## 1. 背景

人工衛星や探査機などの宇宙機では、軌道投入、姿勢制御においてスラスタが使用されている。特に姿勢制御などの厳しい動作が求められる場合、スラスタは短時間に多数回の着火を行う。そのため、酸化剤を必要としない一液性推進薬を用いることで構造を単純化し、トラブルに対する信頼性を向上させている<sup>[1]</sup>。

この一液性スラスタの推進薬として使われているのがヒドラジンである。触媒で容易に分解し、比推力も大きいという利点から長年用いられてきた。しかし、ヒドラジンは毒性と腐食性が非常に強いので、取扱いには危険が伴う。我々は、毒性が弱く、取り扱いが容易な次世代一液性推進薬として GAP(グリシジルアジ化ポリマー)に着目した。GAP はヒドラジンより比推力が大きく、自己熱分解性を有している<sup>[2]</sup>。

GAP を一液性スラスタの推進薬として用いる場合、加熱した金属平板に GAP を噴霧し、熱分解で発生するガスによって推力を発生させようと考えている。その際、インジェクターから噴霧される推進薬の速度は 7~60[m/s]になる<sup>[1]</sup>。GAP 液滴がこのような速度で金属平板に衝突すると、衝突速度によって液滴の変形に違いが生じ、平板からの熱の流入量に変化することで着火までの時間にも影響すると考えた。この着火とは、急激な熱分解による爆発(以下 M.E. : Micro Explosion)が起こることとする。しかし、M.E.の発生時刻または終了時刻がどこであるのかということ定義するのは難しいと思われる。よって、液滴の変形が影響する平板からの熱の流入量だけに注目しようと考え、液滴が平板と接している時間、平板接触時間を定義することにした。

本研究では、GAP 液滴の衝突速度と平板接触時間の関係を調べた。そして、GAP 単一液滴を加熱金属平板に衝突させ、そのときの平板接触時間を速度の関数であるウェーバー数で評価した。

## 2. 実験装置及び実験方法

実験装置と実験条件を Figure 1, Table 1 に示す。

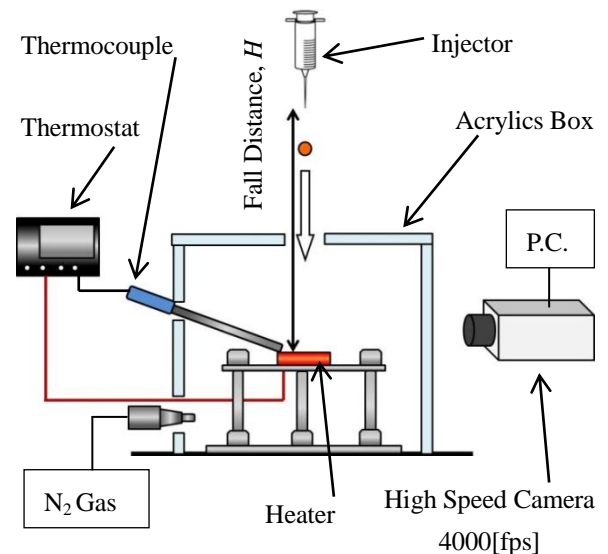


Figure 1. Experimental Apparatus

Table 1. Experimental Conditions

Ambient Atmosphere	Nitrogen
Ambient Pressure	Atmospheric Pressure
Plate Temperature, $T_p$ [K]	623
Initial Radius of Droplet, $d$ [mm]	2.4~3.4
Fall Distance, $H$ [mm]	10, 40, 160, 400

1 : 日大理工・学部・航宇 2 : 日大理工・教員・航宇

アクリルボックスの鉛直上からインジェクターで GAP 単一液滴を加熱金属平板に落下させる。取得画像から平板に衝突する直前の液滴径(初期液滴径)  $d$  [mm], 落下速度  $v$  [m/s], 平板接触時間  $\tau$  [ms] を測定した。

初期液滴径  $d$  は 4 方向( $0^\circ$ ,  $45^\circ$ ,  $90^\circ$ ,  $135^\circ$ )について測定し, 平均したものをを用いた。加熱金属平板はセラミックヒーターで加熱したステンレス平板(SUS430)を用いた。測定回数は, 値のばらつきが収束すると考えられる回数とし, 各落下高さ 10 回, 合計 40 回とした。

一般的に, 液滴と平板の衝突において, 液滴の挙動はウェーバー数が支配的なパラメータになることが知られている。ウェーバー数は液滴の慣性力と表面張力の比であり, 次式で定義される。

$$We = \frac{\rho d v^2}{\sigma} \quad (1)$$

$\rho$  は液滴密度,  $d$  は初期液滴径,  $v$  は衝突速度,  $\sigma$  は液滴表面張力である<sup>[3]</sup>。液滴の衝突速度は, GAP を噴霧したときのウェーバー数である 127~9360[-](液滴径 100[ $\mu\text{m}$ ])の範囲を模擬できること, かつ再現性が確保できる自由落下で得られる範囲とし, 0.4~3[m/s]とした。また, 衝突直後のウェーバー数を考えているため, 密度と表面張力の温度依存性は小さいとし, 20[ $^\circ\text{C}$ ]での一定値( $\rho = 1.3 \times 10^3$  [kg/m<sup>3</sup>],  $\sigma = 50 \times 10^{-3}$  [N/m])とした。そして,  $v$  が 2 乗,  $d$  が 1 乗で効いてくるため, 初期液滴径のばらつきは小さいと考え, ウェーバー数は各 10 回毎の算術平均を用いた。

### 3. 実験結果及び考察

Figure 2 には, 平板温度が 623[K]のときのウェーバー数と平板接触時間の関係を示す。ウェーバー数が大きいほど平板接触時間のばらつきが大きくなるが, 平板接触時間は長くなる傾向が見てとれる。しかし,  $We=63$  においては  $We=13$  よりも平板接触時間が短い傾向にあり, 上記の傾向とは異なっている。

液滴が変形した増減率(衝突前と比べて衝突後では, 液滴の水平方向直径, 鉛直方向直径において, それぞれ何%増減したか)と平板接触時間の関係を Figure 3 に示す。  $We=13, 63$  は  $We=242, 788$  よりも変形の増減率が大きい傾向にある。そして, 全体で見ると変形の増減率が大きいほど平板接触時間も短くなっている。一般的に, ウェーバー数の大小に関わらず, 衝突による変形は起きる<sup>[3]</sup>。しかし, 本実験ではウェーバー数が大きいと変形が小さくなった。つまり, ウェーバー数(衝突速度)が液滴の変形に影響を及ぼしており, その変形の影響を平板接触時間も受けていると言うことがで

きる。また,  $We=13$  よりも  $We=63$  で平板接触時間が短くなった傾向になったことについては, Figure 3 からわかるように液滴が変形した増減率が他のウェーバー数と比べて一番大きい傾向にあったからだと思われる。変形が大きかったために平板からの熱の流入量も一番大きくなり, 平板接触時間が短くなったと考えられる。よって, 平板接触時間を最小にするウェーバー数が極値として存在する(極値ウェーバー数)。

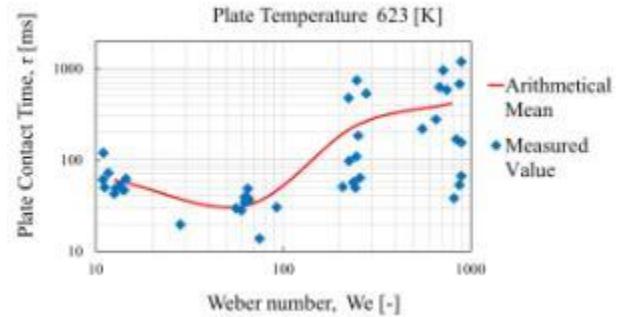


Figure 2. Relationship between Weber number and Plate Contact Time

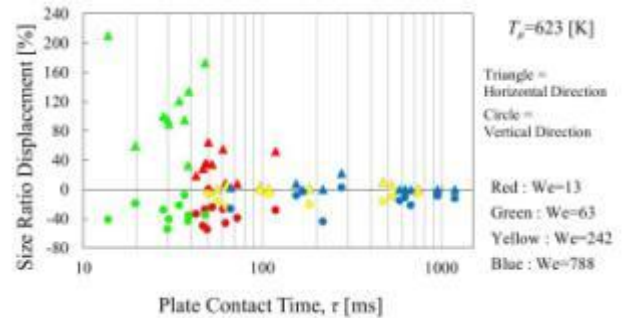


Figure 3. Relationship between Size Rate Displacement and Plate Contact Time

### 4. 結論

・平板接触時間は, ウェーバー数が影響する液滴の変形をパラメータの一つとしている。また, GAP 液滴の平板接触時間を最小にする極値ウェーバー数が存在する。

### 5. 参考文献

- [1] ジョージ・P. サットン, 「ロケット推進工学」, 山海堂, pp.204-206, pp.228-229, p.320, 1995.
- [2] 久保田浪之介他, 「プロペラントハンドブック」, 社団法人火薬学会, pp.299-310, 2005.
- [3] 藤本仁他, 「表面粗さの異なる加熱金属平面に衝突する微小液滴の変形挙動特性」, 社団法人日本鉄鋼協会 鉄と鋼, Vol.82, No.12, pp.12-16, 1996.