

(様式2)

2022年度 公益財団法人火薬工業技術奨励会研究助成金受給者 概要報告用紙

|     |                    |
|-----|--------------------|
| 対象者 | 個人<br>グループ<br>研究機関 |
|-----|--------------------|

|      |                                  |
|------|----------------------------------|
| 記載事項 | ※印欄に記入する。<br>書き切れない時は補足紙…A4判…使用可 |
|------|----------------------------------|

|                        |
|------------------------|
| 提出期限<br>2023年<br>5月31日 |
|------------------------|

※1 受給者

①研究機関名・個人又はグループ名  
室蘭工業大学 湊 亮二郎

②所在地又は現住所  
北海道室蘭市水元町27-1

③電話  
0143-46-5378

④Eメールアドレス  
r-minato@mmm.muroran-it.ac.jp

※2 研究計画

①件名(テーマその他)  
ニトロメタン推進剤の液体微粒化に関する研究

②費用

イ. 申請額 100万円(間接経費10万円含む)

ロ. 受給額 100万円

### ※3 研究報告

#### ①経 過

本研究は、ロケットエンジン等でニトロメタンを推進剤に用いることを想定して、ニトロメタンの噴射試験を行って、噴霧の液滴微粒化を計測した。

図1と2に本試験で用いた噴射器のCADモデルと試験装置概観を示す。噴射プレートは二重構造になっているが、これはニトロメタンの微粒化促進のため、プレート間に金属メッシュが設置できる構造にしている。ニトロメタンは爆発の可能性もあるため、室蘭工業大学航空宇宙機システム研究センター白老エンジン実験場で試験を行い、装置は遠隔操作で行った。液滴を撮影する高速度カメラには Phantom 社製の T3610 を使用し、光源にはユーテック社製の LED 照明を使用した。また、計測系として流量は KEYENCE 社の FD-Q シリーズを使用し、圧力と熱電対のデータと合わせて EDX-10 を用いて計測を行った。

試験条件は、噴射孔のメッシュ間隔を 1.0mm、0.5mm、0.3mm の 3 条件と、メッシュ無し条件の計 4 条件を行った。またタンク加圧圧力は 0.2MPaG、0.4MPaG、0.6MPaG として試験を行った。

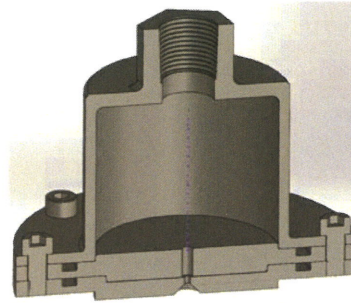


図1 ニトロメタン噴射器の  
CAD 図

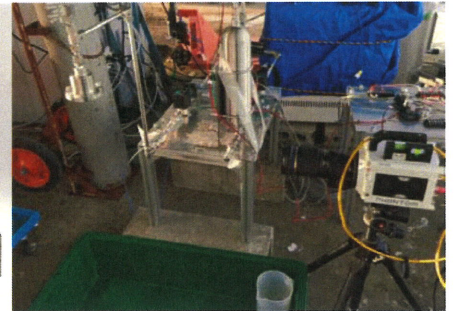


図2 ニトロメタン噴霧試験装置  
概観

#### ②結 論

図3に噴霧試験で得られた0.3mmメッシュ、加圧圧力0.4MPaG及び0.6MPaGにおける高速度ビデオカメラによる噴霧画像を示す。今回、液滴形状の噴霧が観察されたのは、最もメッシュ間隔が細かい0.3mmメッシュを用いてタンク圧力が0.6MPaGの時のみであった。それ以外では、噴霧に液柱が観察された。現在、噴霧中の液滴の粒径分布の評価を試みており、近い将来論文投稿を計画している。

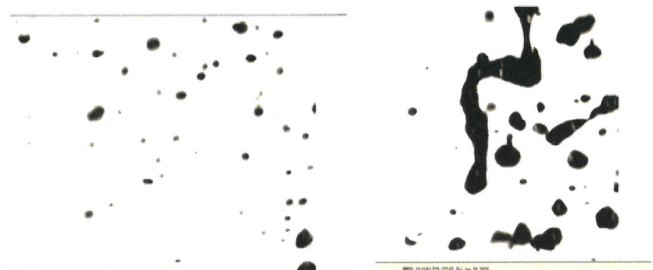


図3 0.3mmメッシュ加圧圧力0.6MPaG時(左)と0.4MPaG時(右)の噴霧画像

#### ③ 所要 費用

|       |                                |
|-------|--------------------------------|
| 人件費   | 0円                             |
| 購入材料費 | 18万円                           |
| 旅費    | 0円                             |
| その他   | 72万円 (高速度ビデオカメラレンタル費用, サポート費用) |

送付先： 〒106-0041 東京都港区麻布台 2-3-22 一乗寺ビル 3 階 A

公益財団法人 火薬工業技術奨励会事務局 (Tel 03-5575-6605)

(Fax 03-5575-6607)

E-mail : j-kayaku@j-kayaku.jp

| 受 | No. | 年月日       | 初 | 継 | 正式報告 |
|---|-----|-----------|---|---|------|
| 付 | 1   | 2023.5.15 |   |   |      |

No.1

(様式2)

2022年度 公益財団法人火薬工業技術奨励会研究助成金受給者 概要報告用紙

|     |                    |
|-----|--------------------|
| 対象者 | 個人<br>グループ<br>研究機関 |
|-----|--------------------|

|      |                                   |
|------|-----------------------------------|
| 記載事項 | ※印欄に記入する。<br>書き切れない時は補足紙…A4判…使用も可 |
|------|-----------------------------------|

|                        |
|------------------------|
| 提出期限<br>2023年<br>5月31日 |
|------------------------|

※1 受給者

①研究機関名・個人又はグループ名

松井 康平 (代表者)  
北川 幸樹 (共同研究者)

九州工業大学 工学研究院 宇宙システム工学研究系

②所在地又は現住所

福岡県北九州市戸畑区仙水町1-1 九州工業大学戸畑キャンパス

③電 話

093-884-3169

④Eメールアドレス

matsui.kohei437@mail.kyutech.jp

※2 研究計画

①件名(テーマその他)

火薬のレーザ着火に関わる物理過程の実験的評価

②費用

イ. 申請額 1,000,000

ロ. 受給額 1,000,000

### ※3 研究報告

#### ① 経 過

固体ロケットモータのレーザ点火システムを適切に設計するためには火薬のレーザ着火現象を解明する必要がある。火薬のレーザ着火過程を明らかにするために、物理現象がどのような過程を経て発生するか定量的に評価することを目的として研究を実施した。

火薬は径3.2 mm, 高さ2.0 mm, 重量30 mgの円柱型ボロン/硝酸カリウムを用いた。レーザは波長440 nm, 最大出力2.5 Wの半導体レーザを用いた。着火実験において、レーザ照射から着火に至る過程を高速度カメラによって撮影した結果、図1に示すように、着火する以前に火薬表面からガスが発生することが観測された。図2のようにガス発生時の画像からレーザ照射開始時のグレースケール画像の差分をとることで、ガスの発生を定量的に評価する画像解析手法を構築した。差分画像を2値化することでガスが発生する時間を取得した。ガスが発生した時間とレーザ照射パワーの関係を図3に示す。また、発生したガスによるレーザの吸収が着火現象に影響することが考えられるため、レーザに対するガスの流れ方向が異なるように、火薬の配置とレーザ照射の方向を変えて着火実験を行い、着火遅れを取得した。図4はレーザ照射方向を水平方向にした場合の画像である。図5にレーザ照射方向が重力の方向と、水平方向の場合における着火遅れを示す。水平方向の場合、着火遅れが遅くなる傾向が得られ、これはガスがレーザを吸収し、熱を拡散していると考えられる。ガスの発生が着火に影響していることが明らかになった。今後は発生ガスの影響を定量的に評価するために、実験回数を増やすとともに、ガスのレーザ吸収による着火遅れの影響をモデル化することを検討する。

#### ② 結 論

火薬のレーザ着火過程を明らかにするために、高速度カメラを使用したボロン/硝酸カリウム火薬の実験システムを構築し、着火実験を行った。着火に至るまでにガスが発生することが明らかとなり、そのガスの発生時間を定量的に取得する手法を構築した。またガスの発生が着火に影響を及ぼすことが明らかになった。

#### ③ 所要 費用

|       |          |
|-------|----------|
| 人件費   | 0円       |
| 購入材料費 | 819,980円 |
| 旅費    | 68,020円  |
| その他   | 112,000円 |

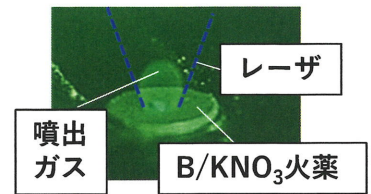


図1. レーザ照射によるガス発生の様子

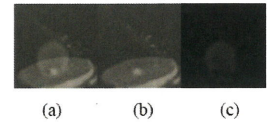


図2. 画像処理による発生ガスの可視化。(a) ガスが発生している画像 (b) レーザ照射開始時の画像, (c) (a)と(b)の差分画像

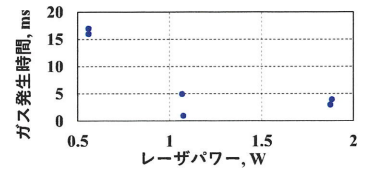


図3. ガスが発生した時間とレーザパワーの関係

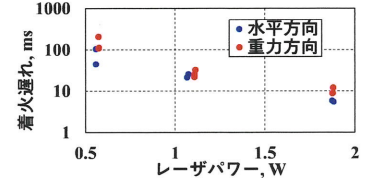


図5. レーザ縦向き照射, 横向き照射による違い

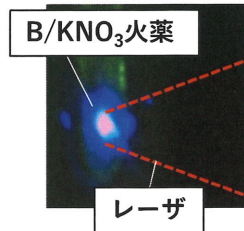


図4. 水平方向にレーザ照射した様子

送付先： 〒106-0041 東京都港区麻布台 2-3-22 一乗寺ビル 3 階 A

公益財団法人 火薬工業技術奨励会事務局 (Tel 03-5575-6605)

(Fax 03-5575-6607)

E-mail : j-kayaku@j-kayaku.jp

| 受 | No. | 年月日        | 初 | 継 | 正式報告 |
|---|-----|------------|---|---|------|
| 付 | 2   | 2023, 5.31 |   |   |      |

(様式2)

2022年度 公益財団法人火薬工業技術奨励会研究助成金受給者 概要報告用紙

|     |                    |
|-----|--------------------|
| 対象者 | 個人<br>グループ<br>研究機関 |
|-----|--------------------|

|      |                                   |
|------|-----------------------------------|
| 記載事項 | ※印欄に記入する。<br>書き切れない時は補足紙…A4判…使用も可 |
|------|-----------------------------------|

|                        |
|------------------------|
| 提出期限<br>2023年<br>5月31日 |
|------------------------|

## ※1 受給者

## ①研究機関名・個人又はグループ名

横浜国立大学 大学院工学研究院・北村 圭一

## ②所在地又は現住所

〒240-8501神奈川県横浜市保土ヶ谷区 常盤台79-5

## ③電話

045-339-3876

## ④Eメールアドレス

kitamura@ynu.ac.jp

## ※2 研究計画

## ①件名(テーマその他)

爆発, 爆轟の精密シミュレーションに向けた移動衝撃波の数値計算法確立(その2)

## ②費用

イ. 申請額 100万円

ロ. 受給額 100万円

### ※3 研究報告

#### ① 経 過

本研究では画像処理における特徴面検出『Canny法』を応用した衝撃波検知法『CEDRIC (Canny-Edge-Detection / Rankine-hugoniot-Conditions unified shock sensor)』(Fujimoto-Kawasaki-Kitamura, JCP2019)を流体計算手法に積極的に採り入れ、垂直移動衝撃波や斜め衝撃波を数値振動無しに捕獲する事を目的とする。ただし研究の初期段階として、画像処理と親和性の高い「直交格子」に限定して議論を進める。

(その1)では、衝撃波を圧力エッジとみなし、これと格子線のなす角に応じて数値粘性を制御する新しい数値流束関数C-SLAU2およびC-AUSM+up2を提案した。しかしその効果は限定的であった。そこで今回の(その2)では、エッジ角に応じて「空間精度のみ」を制御する事を考えた。具体的には、空間1次精度および2次精度の両方のセル境界値を一旦求めておき、それらをエッジ角に基づき混合した。つまり画像検知された衝撃波角を制限関数として利用した。

ベースとなる手法は申請者らが提案し、車内燃焼解析ソフトHINOCAにも使用されている『SLAU2』(Kitamura-Shima, JCP2013)である。SLAU2は静止衝撃波に対しては堅牢である事が示されており、既に国内外で広く使われている。今回構築した新しい手法『CL-SLAU2』および『CL-AUSM+up2』を移動衝撃波(図1)の数値計算に適用し、その補足性能を評価した。

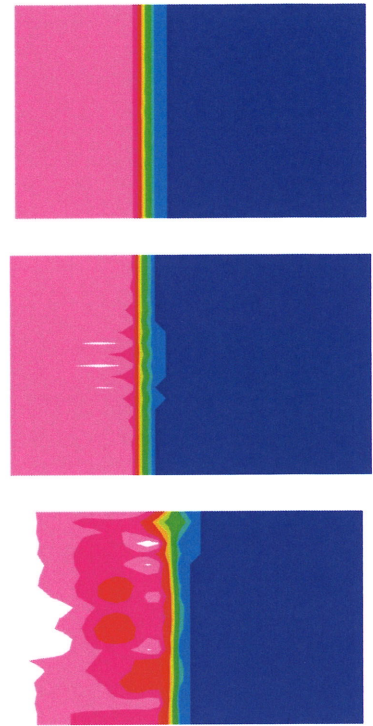


図1 CL-SLAU2 (上) . CL-AUSM+up2 (中) , および従来法 Roe (E-Fix) (下) による移動衝撃波の計算結果

#### ② 結 論

画像処理の特徴面検出 (Canny法) を応用し、衝撃波と計算格子線のなす角に応じた

(その1) 数値流束の数値粘性制御

(その2) 空間精度1次/2次混合による数値粘性制御

を提案した。数値実験の結果、移動垂直衝撃波に対しては(その1)の方が効果的である事が示唆された。ただし現時点で行なった数値実験はパラメタが限られており、より広範な調査を行なえば結果は変わり得る。今後はそのような幅広いマッハ数域の調査に加え、定常衝撃波、粘性の影響等を調べる予定である。

#### ③ 所要 費用

|       |                |
|-------|----------------|
| 人件費   | 20千円           |
| 購入材料費 | 30万円 (専用計算機など) |
| 旅費    | 20千円           |
| その他   | 30万円           |

送付先： 〒106-0041 東京都港区麻布台 2-3-22 一乗寺ビル 3階 A

公益財団法人 火薬工業技術奨励会事務局 (Tel 03-5575-6605)

(Fax 03-5575-6607)

E-mail : j-kayaku@j-kayaku.jp

| 受 | No. | 年 月 日    | 初 | 継 | 正 式 報 告 |
|---|-----|----------|---|---|---------|
| 付 | 3   | 2023.6.1 |   |   |         |

(様式2)

## 2022年度 公益財団法人火薬工業技術奨励会研究助成金受給者 概要報告用紙

|     |                    |
|-----|--------------------|
| 対象者 | 個人<br>グループ<br>研究機関 |
|-----|--------------------|

|      |                                   |
|------|-----------------------------------|
| 記載事項 | ※印欄に記入する。<br>書き切れない時は補足紙…A4判…使用も可 |
|------|-----------------------------------|

|      |                |
|------|----------------|
| 提出期限 | 2023年<br>5月31日 |
|------|----------------|

|  |       |        |       |        |       |
|--|-------|--------|-------|--------|-------|
| <p>※1 受給者</p> <p>①研究機関名・個人又はグループ名<br/>福岡大学工学部化学システム工学科プロセスシステム工学研究室<br/>松永浩貴（代表）</p> <p>②所在地又は現住所<br/>福岡市城南区七隈8-19-1</p> <p>③電話<br/>092-871-6631(内線6448)</p> <p>④Eメールアドレス<br/>hmatsunaga@fukuoka-u.ac.jp</p>   |       |        |       |        |       |
| <p>※2 研究計画</p> <p>①件名（テーマその他）<br/>小型連続反応器を用いた高エネルギー物質合成の条件最適化</p> <p>②費用</p> <table style="width: 100%; border: none;"> <tr> <td style="width: 60%; text-align: right;">イ. 申請額</td> <td style="text-align: right;">100万円</td> </tr> <tr> <td style="width: 60%; text-align: right;">ロ. 受給額</td> <td style="text-align: right;">100万円</td> </tr> </table> |       | イ. 申請額 | 100万円 | ロ. 受給額 | 100万円 |
| イ. 申請額   | 100万円 |        |       |        |       |
| ロ. 受給額   | 100万円 |        |       |        |       |

## ※3 研究報告

## ① 経 過

高エネルギー物質は次世代ロケット推進剤として期待される一方、実用化に向けたネックは合成コスト（設備コスト、反応危険性）の高さである。申請者は、高エネルギー物質アンモニウムジニトラミド(ADN)の連続合成をターゲットとした。これまでの研究で、3Dプリンタ、樹脂チューブで構成した小型反応器において、ADN合成において最も危険性が高いスルファミン酸カリウムのニトロ化プロセスの連続化に成功した。そこで本研究では、ADNの量産化に向けてニトロ化反応を高収率で行うことができる条件を見出すことを目的とした。

試作した反応器の1つを図1に示す。3Dプリンタで印刷した120 mm×120 mmの透明樹脂製の型に内径2 mmのフッ素樹脂チューブを取り付けてペルチェ冷却ユニット上に設置し、硫酸にスルファミン酸カリウム粉末を加えスターラーで拡散させた溶液および発煙硝酸をチューブポンプにより反応器へ送液して合流、反応させるものである。

まず、合流前の発煙硝酸の冷却[図1, (A)]挙動について流体解析プログラムOpenFORM®を用いてシミュレーションし、冷却に必要な流路長を求められるようになった。

次に、反応部[図1, (B)]の距離が異なる反応器を試作し、反応挙動や収率に及ぼす(B)の距離（滞留時間）の影響を検討した。また、冷却プレートの温度は-30.4~-2.3°Cとし、反応温度の影響も合わせて評価した。合流直後（距離25 mm）および反応器出口（距離1020 mm）における溶液1~2 gを採取してKOH水溶液で中和および希釈し、紫外分光分析の吸光度に基づき収率を求めたところ、合流直後では温度によらず約24%であった。一方で、距離1020 mmでの収率は温度が低いほど高くなったが、合流直後に比べると低い結果となった。合流直後にHDNの合成が完結し、流路内でHDNの分解が進行した可能性がある。出口における液滴形成時に混合および反応が進行した可能性があるため、反応停止の方法についての検討の余地があるが、小型フロート型反応器を用いることでHDNを短時間かつ連続的に合成が可能であることが示唆された。

以上の成果は、2022年度火薬学会秋季研究発表会<sup>1)</sup>にて報告するに至った。

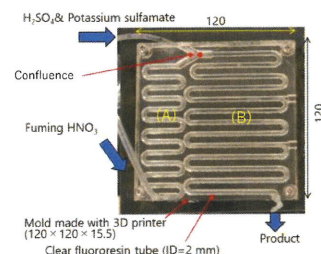


図1 試作した反応器<sup>1)</sup>

- 1) 松永浩貴ほか、小型連続反応器を用いたジニトラミド酸合成における反応条件検討、火薬学会2022年度秋季研究発表会、熊本、No.16 (2022)

## ② 結 論

小型連続反応器を用いたHDN合成において、流路長さ（滞留時間）や反応温度といった条件が及ぼす影響について整理された。今後は高濃度のスルファミン酸カリウムを一様に送液する手法の検討、反応条件のさらなる改善による収率の向上を目指すとともにニトロ化以降のADN合成プロセスについての連続化手法を構築していく。

## ③ 所要 費用

|       |      |
|-------|------|
| 人件費   | 0円   |
| 購入材料費 | 65万円 |
| 旅費    | 25万円 |
| その他   | 10万円 |

送付先： 〒106-0041 東京都港区麻布台 2-3-22 一乗寺ビル 3階 A

公益財団法人 火薬工業技術奨励会事務局 (Tel 03-5575-6605)

(Fax 03-5575-6607)

E-mail : j-kayaku@j-kayaku.jp

| 受 | No. | 年月日      | 初 | 継 | 正式報告 |
|---|-----|----------|---|---|------|
| 付 | 4   | 2023.6.2 |   |   |      |