

(様式2)

2023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
	グループ 研究機関

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

提出期限 2024年 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 横浜国立大学 プロセス安全工学研究室 井上 一樹 (代表者) 熊崎 美枝子 (共同研究者)</p> <p>②所在地又は現住所 神奈川県横浜市保土ヶ谷区常盤台79-7 化工安工棟</p> <p>③電 話 045-339-3982</p> <p>④Eメールアドレス 井上 一樹 : inoue-kazuki-cw@ynu.jp 熊崎 美枝子 : kumasaki@ynu.ac.jp</p>
<p>※2 研究計画</p> <p>①件 名 (テーマその他) 共結晶化による硝酸アンモニウムの相変化・吸湿の改善</p> <p>②費 用</p> <p style="text-align: center;">イ. 申 請 額 100万円</p> <p style="text-align: center;">ロ. 受 給 額 100万円</p>

### ※ 3 研究報告

#### ① 経 過

硝酸アンモニウム(AN)との共結晶候補物質としてカルボン酸類、アゾール類、尿素誘導体等の計24種を選定した。ANと選定した共結晶候補物質を蒸発法、粉碎法等によって共結晶化を行い、X線回折、赤外分光分析及び熱分析により共結晶化が進行したかどうかについて確認した。その結果、ANと4-アミノ-1,2,4-トリアゾール(4ATA)において、回折ピークの変化、赤外吸収スペクトルの変化及び融点の変化が観察され、共結晶化したことが確認できた。蒸発法によりANと4ATAの共結晶(AN-4ATA)の単結晶を作成し、単結晶X線構造解析を行った。詳細は解析中であるものの、比率が1:1の共結晶が生成していることが確認できた。

次に、示差走査熱量測定により、熱挙動の解析を行った。その結果、昇温過程において、ANにあった相転移が生起しないことがわかった(図1)。また、サイクル測定の結果から、3回の昇温及び2回の降温過程において、相転移が生起しないことを確認した。この結果から、共結晶化により相転移の抑制に成功したことが分かった。

密閉圧力容器内で試料を燃焼させた際の圧力履歴から、燃焼挙動を観察した。共結晶とANと4ATAの混合物の燃焼性能を比較することで、共結晶化が燃焼性能に及ぼす影響の評価を試みた。共結晶単独での燃焼させることは困難であったため、ガス発生剤の組成として知られた5-アミノ-1H-テトラゾール/硝酸ストロンチウム混合物に共結晶又は混合物を添加する形で燃焼させた。その結果、同一の添加量において共結晶を添加した試料は混合物を添加した試料よりも高い最大圧力を示した。よって、共結晶化により燃焼性能が向上することが分かった。

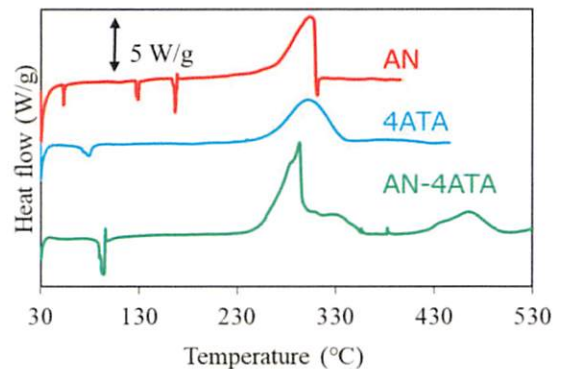


図1 示差走査熱量測定結果

#### ② 結 論

ANと4ATAにおいて、共結晶が生成することを見出した。熱分析の結果、共結晶化によってANにあった相転移が生起しなくなったことが分かった。密閉圧力容器を用いた燃焼挙動の観察の結果、共結晶化することで、ANと4ATAの混合物と比較して燃焼性能が向上することがわかった。

#### ③ 所要 費用

人 件 費	0円
購入材料費	421,396円
旅 費	330,311円
そ の 他	248,293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	1	2024.4.2			

(様式2)

2023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 グループ 研究機関
-----	--------------------

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

提出期限 2024年 5月31日
------------------------

## ※1 受給者

## ①研究機関名・個人又はグループ名

大阪公立大学 大学院工学研究科 航空宇宙海洋系専攻・小川泰一郎

## ②所在地又は現住所

〒599-8531 大阪府堺市中区学園町1-1

## ③電 話

072-254-9237

## ④Eメールアドレス

shinichiro.ogawa@omu.ac.jp

## ※2 研究計画

## ①件名(テーマその他)

直交格子積み上げ法を用いた燃焼に伴う固体燃料壁面後退モデルの開発と  
圧力振動の解明

## 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

従来の解析手法で課題になっていた空間高次精度化や格子生成や可視化などの解析の前・後処理に時間がかかるなどの課題を解決するために、本研究ではこれらの課題を解決できる図1に示すCubeとCellで構成された直交格子積み上げ法 (Building-Cube Method, BCM) を用いた固体燃料ロケット内部流れ場の解析手法の開発を行っている。本年度は、燃烧に伴う固体燃料壁面後退モデルの開発に向けて、はじめに、壁面からの噴射モデルを開発した。開発したモデルを用いて先行研究の実験結果および解析結果と比較検証した結果、本モデルは高い解析精度で固体燃料ロケット内部の流れ場を再現することができていることが明らかとなった。本研究成果については、下記の学術論文に採択されており、近日中に公開予定である。次いで、開発した壁面噴射モデルを用いて、燃烧に伴う壁面移動の影響を調べた。その結果、燃烧に伴う壁面後退のシミュレーション結果では、マッハ数分布や複雑な渦構造の変化 (図2) が観測された。本研究ではインヒビター (inhibitor) を取り付けているモデルで解析を行っており、燃烧に伴うインヒビターの有無がマッハ数の分布に影響を与えることが明らかとなった。さらに、本解析結果から、発生した渦がノズルヘッドに衝突することで圧力振動の発生に影響している可能性があることを明らかにした。本研究成果については、下記の国際学会にて発表を行った。今後の研究計画として、壁面噴射モデルを基に改良している壁面後退モデルの開発については、非定常解析手法の構築及びモデル構築に時間がかかってしまい、現在開発および検証段階であり、今年度中には本研究成果を発表する予定である。

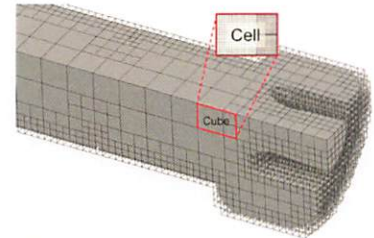


図1 直交格子積み上げ法 (BCM)

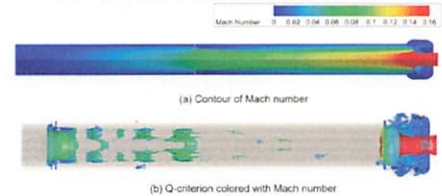


図2 解析結果の一例

#### 学術論文

1. S. Ogawa, and D. Sasaki, "Development of a Radial Injection Flow Model of a Cylinder Simulating a Solid Rocket Motor Geometry using the Building-Cube Method," *Transaction of JSASS*. (Accepted, 2024/05/28)

#### 国際学会発表

2. S. Ogawa, D. Sasaki, and S. Yoshinaga, "Effect of Burning Surface Regression on Internal Flow Field in Solid Rocket Motor," AIAA Paper 2024-0213.

#### ②結 論

従来の解析手法の課題を解決できる直交格子積み上げ法 (BCM) を用いた解析ソルバーを開発し、燃烧に伴う固体燃料壁面が後退した場合の圧力振動への影響を検証するために数値解析を行った。その結果、壁面が後退することでマッハ数分布や複雑な渦構造の変化が観測され、発生した渦がノズルヘッドに衝突することで圧力振動の発生に影響している可能性があることを明らかにした。

#### ③ 所要 費用

人 件 費 : 0円  
 購入材料費 : 666,096円  
 旅 費 : 174,530円  
 そ の 他 : 159,374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	2	2024.5.31			

(様式2)

2023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 グループ 研究機関
-----	--------------------

記載事項

※印欄に記入する。

書き切れない時は補足紙…A4判…使用も可

提出期限 2024年 5月31日
------------------------

## ※1 受給者

## ①研究機関名・個人又はグループ名

東京大学 工学系研究科 航空宇宙工学専攻  
任方思

## ②所在地又は現住所

東京都文京区本郷7-3-1

## ③電話

03-5841-6583

## ④Eメールアドレス

ren-fangsi@g.ecc.u-tokyo.ac.jp

## ※2 研究計画

## ①件名(テーマその他)

高エネルギー密度アルミニウム溶解型エタノール燃料の微小重力環境における  
液滴燃焼挙動に関する研究

## ②費用

## イ. 申請額

100万円(間接経費15万円含む)

## ロ. 受給額

100万円

※3 研究報告

①経 過

本研究は炭化水素燃料のエネルギー密度の向上を期待して、アルミニウム粒子を採用し、アルコール中でアルコキシド反応により溶解させた新燃料を提案した。図1と2に示しているよう、アルミニウム粉末を窒素雰囲気内でアルコール燃料に溶解し、アルコキシド反応を発生させ、生成物をNMR測定で判明した。主要な生成物の成分を用いてアルミニウム溶解型エタノール燃料を生成した(図3)。アルミニウム濃度を振って生成した燃料の状態と粘度などの物性を確認した。添加アルミニウム濃度と化学量論混合気の断熱火炎温度の関係を計算するため、熱物性モデルを作成し、Canteraを使用し断熱火炎温度を計算した。生成したAl-EtOH燃料を使って、落下塔と落下燃烧装置を使用し(図4)、地上と微小重力環境下での単一液滴燃烧実験を行った。Backlit法を用いて単一液滴燃烧過程を撮影し、液滴燃烧過程を観察した。

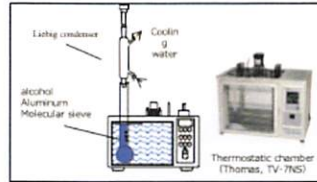


図1 Alの溶解実験装置



図2 アルコール燃料中Alの溶解

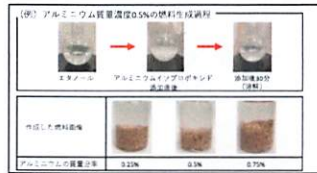


図3 Al-EtOH燃料の生成過程

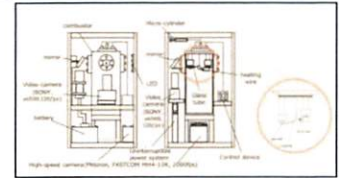


図4 微小重力液滴燃烧実験装置

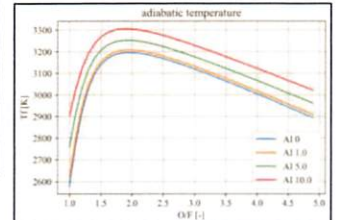


図5 計算で得たAl-EtOH燃料のAl濃度と断熱火炎温度の関係

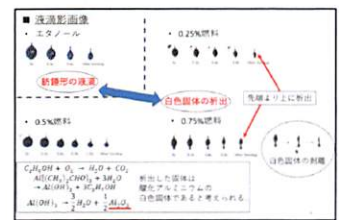


図6 微小重力液滴燃烧実験結果

②結 論

アルミ溶解試験であるミニウムアルコキシドの生成をNMRで確認した。断熱火炎温度計算によりAl-EtOHの添加により断熱火炎温度の上昇を確認できた(図5)。粘度測定を行い、濃度が大きいほど粘度も大きくなったことを確認した。地上と微小重力での単一液滴実験から液滴燃烧挙動を観察し、固体酸化アルミニウムの生成を確認した(図6)。アルミ濃度の上昇により固形物の生成が多くなったが、液滴燃烧速度を遅らせる影響は観察しなかった。今後は数値計算モデルにより固形物生成特性を調査する予定となる。現在はデータを整理中となり、今年度中に論文投稿を計画している。

③ 所要 費用	
人 件 費	0円
購入材料費	75万円
旅 費	5万円
そ の 他	20万円 (学会参加費, 間接経費等)

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 付	No.	年 月 日	初	継	正 式 報 告
	3	2024.5.31			

(様式2)

2023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 グループ 研究機関
-----	--------------------

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

提出期限 2024年 5月31日
------------------------

## ※1 受給者

## ①研究機関名・個人又はグループ名

福岡大学工業無機化学実験室  
代表者 塩田 謙人, 共同研究者 加藤 貴史

## ②所在地又は現住所

〒814-0180 福岡県福岡市城南区七隈8-19-1 福岡大学工学部6号館625

## ③電 話

092-871-6631

## ④Eメールアドレス

k.shiota.of@fukuoka-u.ac.jp

## ※2 研究計画

## ①件 名 (テーマその他)

共融型エネルギーイオン液体の粘性・電気化学特性に及ぼす組成の影響解析

## 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

アンモニウムジニトラミド(ADN)を基剤としたエネルギーイオン液体(EILs)は、イオン液体の特性により熱安定性が高いため、従来の熱的な着火手法では着火困難である。我々は、熱的に安定な EILs に対し、電圧印加により推進剤を分解させ着火させる手法に着目した。現在までに、実験的に着火する組成や印加電圧、電極形状、電極間距離など試験条件の検討を行ってきた。また、ADN とヒドロキシルエチルヒドラジニウム硝酸塩(HEHN)の等モル混合系(ADN/HEHN)である EILs の電圧印加着火に対して、EILs に含有する水分量によって電圧印加から着火に至るまでの時間や消費電力に違いあることを明らかにした。この原因として、水分添加により ADN/HEHN の粘性低下や試料抵抗の低下が考えられたが、ADN/HEHN や HEHN の粘度や導電率などに関する知見はない。

そこで本研究では、ADN/HEHN の粘性および抵抗値に関連する導電率の取得を目的とし、ADN/HEHN と HEHN 単体および試料の水分量を変化させた際の粘度と導電率を測定した。

#### ②結 論

ADN/HEHN と HEHN 単体ともに水分量が増加することで粘度が低下した。含水量が1 wt%以下のADN/HEHNの粘度はせん断速度に関わらず、340 mPa・s程度の値を示した。含水量が1 wt%以下のHEHNの値が510 mPa・s程度であるため、ADNの混合によりHEHNの粘度が

表1 ADN/HEHN, HEHN の含水率と導電率の関係

試料	含水率 [wt%]	導電率[mS・cm <sup>-1</sup> ]	温度[°C]
ADN/	<1	3.18	24.1
HEHN	2.99	4.54	24.0
	<1	1.89	25.2
HEHN	8.55	3.15	25.1
	16.5	14.00	24.3

低下することが明らかになった。既往研究で報告されるADN系イオン液体(モノメチルアミン硝酸塩と尿素が構成成分)の粘度が71 mPa・sであることからADN/HEHNは比較的粘性が高いことが分かった。約3 wt%の水分を含むことでADN/HEHNの粘度は270 mPa・s付近まで低下し、含水量8.55 wt%のHEHNと同程度の粘性を示した。HEHN単体では16.5 wt%水分を含んだ試料では、含水量が多いこともあり、既存のADN系イオン液体よりも低い粘性を示した。表1に各試料の水分量と測定した導電率および測定時の温度をまとめた。有機塩のイオン液体の代表例であるイミダゾリウム系イオン液体のEmim<sup>+</sup> BF<sub>4</sub><sup>-</sup>の導電率は約14 mS・cm<sup>-1</sup>でありその値と比較すると、ADN/HEHNやHEHNの導電率は含水量に関わらず低い傾向にあることが分かった。また、ADNの混合によってHEHNの導電率、水の含有量増加により試料の導電率が向上した。

#### 学会発表

塩田謙人 他, 火薬学会2023年度秋季研究発表会, 35 (2023)

#### ③ 所要 費用

人件費  
 購入材料費 13万円  
 旅費  
 その他 87万円

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	2024.5.31			



(様式2)

2023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 グループ 研究機関
-----	--------------------

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

提出期限 2024年 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・伊里友一郎

## ②所在地又は現住所

横浜市保土ヶ谷区常盤台79-7 化工・安工棟403号

## ③電話

045-339-3992

## ④Eメールアドレス

Izato-yuichiro-tk@ynu.ac.jp

## ※2 研究計画

## ①件名(テーマその他)

電気化学反応場による高エネルギーイオン液体の着火制御

## ②費用

イ. 申請額 1,000千円

ロ. 受給額 1,000千円

### ※3 研究報告

#### ① 経 過

本研究は、電気化学反応場を活用することで高エネルギーイオン液体の着火制御を達成し、これを応用した革新的な宇宙機推進システムの開発を目指したものである。高エネルギーイオン液体の基軸組成として、アンモニウムジニトラミド (ADN) とヒドロキシエチルヒドラジニウム硝酸塩 (HEHN) から構成されるイオン液体 (ADN/HEHN) を選定し、次の研究を実施した。

#### ① 電極材料の着火遅れ時間への影響評価

各種金属材料 (鉄 (Fe)、ニッケル (Ni)、モリブデン (Mo)、タンタル (Ta)、タングステン (W)、白金 (Pt)) をカソード電極として (アノード電極は白金)、電圧印加開始から着火にいたるまでの時間遅れ (着火遅れ時間) を高速度カメラで測定した。その結果、各電極材料を変化させた際の着火遅れ時間の逆数の序列は  $Mo > Fe > W > Pt > Ni > Ta$  であった。この序列を遷移金属元素の d 軌道占有電子数で整理すると、ある電子数で最大を示す山形形状を示した。d 軌道占有電子数は金属表面への分子吸着力に関連するものである。一般に吸着エネルギーに対して触媒活性をプロットすると、ある吸着エネルギー (または相関する電子的因子) を最大値とした山型分布をとることが多く、これはサバティエの原理と呼ばれる。本研究より ADN/HEHN の電解においても同様の原理が成り立つことが示された。

#### ② 流動条件下における着火・燃焼挙動の可視化

3D プリンターを用いて作成した小型燃焼器にシリンジポンプを用いてイオン液体を連続供給するシステムを構築した。このシステムを用いて、小型燃焼器に ADN/HEHN を送液しながら電圧印加を行い、その様子を高速度カメラで計測した。その結果、流動条件下においても推進剤は着火可能であり、条件によっては定常燃焼することが示された。燃焼波構造を解析したところ液相中に無数に気泡が存在しており、気泡生成と消滅が推進剤の液面後退速度に影響を与えるものと考えられる。

#### ② 結 論

電気化学反応場を活用した高エネルギーイオン液体の着火制御の達成に向けて、次の知見を得ることができた。

#### ① 電極材料の着火遅れ時間への影響評価

電圧印加から着火に至るまでの遅れ時間は、電極表面での電解反応に影響を受けることが示された。電極材料を変化させたときの着火遅れ時間の傾向は、サバティエの原理で説明可能である。

#### ② 流動条件下における着火・燃焼挙動の可視化

小型燃焼器にシリンジポンプを用いて高エネルギーイオン液体推進剤を連続供給するシステムを構築し、流動条件下においても推進剤を着火・燃焼可能であることを実証した。

#### ③ 所要 費用

人 件 費	0 円
購入材料費	1,000 千円
旅 費	0 円
そ の 他	0 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	5	2024.6.4			

(様式2)

2023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 グループ 研究機関
-----	--------------------

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

提出期限	2024年 5月31日
------	----------------

## ※1 受給者

- ①研究機関名・個人又はグループ名  
防衛大学校 応用科学群 応用化学科  
(採択時所属：福岡大学工学部化学システム工学科)
- ②所在地又は現住所  
〒239-0811神奈川県横須賀市走水1丁目10-20
- ③電 話  
046-841-3810 (内線3581)
- ④Eメールアドレス  
hmatsunaga@nda.ac.jp

## ※2 研究計画

- ①件 名 (テーマその他)  
高エネルギー物質合成向け小型連続反応システムの構築
- 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

高エネルギー物質は、次世代のロケット推進剤として期待される一方で、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）が高いことである。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にした。これまでの研究で、3Dプリンタ、フッ素樹脂チューブで構成した小型チューブ型反応器において、ADNの合成において最も危険性が高いプロセスであるスルファミン酸カリウムのニトロ化（ジニトラミド酸 HDNの合成）を連続的に行うことに成功した。そこで本研究では、ニトロ化反応のさらなる高収率化を行う条件を見出すことを目的とした。これまでにニトロ化反応に成功した小型チューブ型反応器（図1、ペルチェ冷却ユニットで反応器下部を冷却しながら、原料を内径2 mmのチューブを通して送液して反応させる）を基準として、以下の項目について検討した。

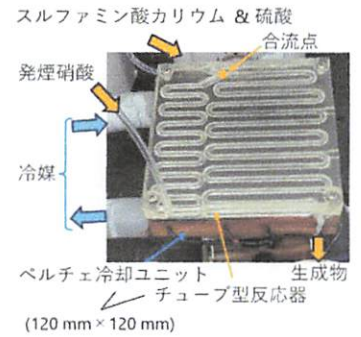


図1 小型チューブ型反応器の例

I. 冷却および混合挙動の解析

流体解析プログラムOpenFORM®を用い、合流点前にチューブ内を進行する原料（発煙硝酸）について、滞留時間と温度変化の関係を求め、実験値との比較から妥当性が検証された。また、反応器の設置角度や原料の流入のさせ方を変化させた場合の挙動を予測して、密度の異なる硝酸と硫酸の混合を改善するための指針を得ることができた。解析の一例を図2に示す。

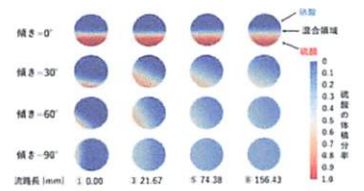


図2 反応器設置角度の影響

II. 原料濃度の影響の検討

硫酸中のスルファミン酸カリウムの量を増加させ、化学両論比に近い濃度での合成を安全に行うための検討を進めた。安全にニトロ化を行うことができる硫酸中のスルファミン酸カリウム量を明らかにするため、ニトロ化に伴う発熱を小スケールで測定するための実験系を構築した。また、スルファミン酸カリウムを多く含む硫酸（スラリー状）を反応器に輸送するための流路やポンプを選定し、それらを用いた実験を開始した。

②結 論

小型のチューブ型反応器を用いたスルファミン酸カリウムのニトロ化（HDNの合成）における種々の条件の影響を評価し、それを基にした実験系の構築を行った。今後は構築された実験系を用いた評価を行うことによって、HDNやADNを高収率かつ安全に得ることができる条件の確立を目指す。

③ 所要 費用  
 人 件 費  
 購入材料費  
 旅 費  
 そ の 他

0円  
 40万円  
 10万円  
 50万円

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 付	No.	年 月 日	初	継	正 式 報 告
	6	2024.6.10			

(様式2)

2023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 グループ 研究機関
-----	--------------------

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

提出期限	2024年 5月31日
------	----------------

## ※1 受給者

## ①研究機関名・個人又はグループ名

東北大学大学院工学研究科 航空宇宙工学専攻・高橋 聖幸

## ②所在地又は現住所

宮城県仙台市青葉区荒巻字青葉6-6-01

## ③電 話

022-795-3864

## ④Eメールアドレス

masayuki.takahashi.c8@tohoku.ac.jp

## ※2 研究計画

## ①件 名 (テーマその他)

ビーム誘起爆轟現象のメカニズム解明と推進ロケットへの応用

## 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

大気が存在する環境において高強度ミリ波ビームを集光した際に、集光点付近での電界集中によって種電子が生成され、雪崩的に電離反応を繰り返す事で高密度プラズマが形成される。継続的なビーム照射により、高密度プラズマがビームエネルギーを吸収して加熱されると、プラズマから周囲の大気へとエネルギー輸送が起こって周辺大気のエネルギーが急速に高まる。これによって急速に加熱された大気が、爆轟波の様相を呈してビーム波源方向に向かって高速で伝搬していく事が知られており、プラズマ流体力学的及び工学的デバイスへの応用を見据えた興味から、プラズマや爆轟波の構造や伝搬速度が、雰囲気圧力やビーム周波数、ビーム強度に応じてどの様に変化していくのかが過去の実験により調べられている。中でもビーム強度に対するプラズマ構造や伝搬速度変化は大変興味深く、電界強度、即ちビーム強度が十分に高く、プラズマの電子衝突電離周波数と電子付着周波数とのバランス点を越えた超臨界電場条件においては、電子衝突電離反応、プラズマの移流拡散、ビーム電磁波のプラズマによる反射の三者が、プラズマの伝搬速度や電離構造を決定する因子になる事が数値シミュレーションによって明らかとなっている。一方で、臨界電場条件を下回る亜臨界条件においては、電子生成ソースとして電子衝突電離反応を考慮するだけではプラズマの生成や伝搬、爆轟波の駆動を説明出来ず、より複雑な物理過程が関与すると考えられているが、明確な答えは未だ存在しない。

そこで本研究では、この亜臨界電場強度におけるプラズマ生成、爆轟波駆動の原理を説明すべく、従来提唱されていた電子衝突電離反応、プラズマ移流拡散、ビーム電磁波反射の三体連成モデルに加え、中性粒子の膨張圧縮過程、詳細化学反応過程、輻射過程を加味した六体連成モデルを構築し、数値シミュレーションを実施した。開発した数値モデルによると亜臨界電場条件の中でも比較的高強度電界の場合、電離波面からその前方に向かっての輻射輸送により、光電離過程を介して先駆的に電子が生成され、この先駆電子によって空気が膨張され、換算電場強度が上がる事で電子温度が高まり、プラズマ生成及び爆轟波駆動が誘起される事が明らかとなった。一方で比較的低強度電界の場合、熱電離過程によって電子生成されて電離波面が駆動される事が世界で初めて明らかとなった。続いてこれら爆轟現象をロケット推進に応用し、新たに管内加速型マイクロ波推進システムを構築し、核融合用ジャイロトロンを用いたビーム照射実験により推力生成に世界で初めて成功した。

#### ②結 論

本研究により、ミリ波ビーム照射によって駆動されるプラズマフロント、及び爆轟波構造の伝搬メカニズムが世界で初めて明らかとなった。特に伝搬メカニズムにおいては、新たなプラズマフロント生成を支持する電子生成反応過程が照射ビーム強度毎に異なっている事が世界で初めて示された。またこのミリ波ビーム駆動爆轟現象を利用して、管内加速型マイクロ波推進システムを新たに提唱し、核融合用ジャイロトロンを用いたビーム照射実験を行った。推進機内部でのプラズマ生成と爆轟波駆動に成功し、管内加速型マイクロ波推進システムによって正の推力が生成可能である事を世界で初めて示す事が出来た。今後は爆轟波エネルギーから推進エネルギーへの変換効率を高めるべく、推進機を改良していく予定である。

#### ③ 所要 費用

人 件 費：0円  
 購入材料費：50万円  
 旅 費：42万円  
 そ の 他：8万円

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	7	2024.7.1			