

# 地域先進技術研究部門 機械系

2019 年度活動サマリー・研究成果・業績リスト

## 地域先進技術研究部門

(部門長)

松江英明 教授  
(電気・通信系担当)

(副部門長)

板橋正章 教授  
(機械系担当)

(部門研究員)

(電気通信系)

市川純章 教授  
石井隆生 教授  
布 房夫 教授  
杉田 誠 准教授  
田邊 造 准教授  
山口一弘 講師  
平谷雄二 教授

(機械系)

今村友彦 准教授  
志村 穰 准教授  
武藤 英 准教授  
上矢恭子 講師  
渡辺 毅 助教  
石井隆生 教授  
源野広和 客員教授  
須川修身 客員教授

## 地域先進技術研究部門 機械系 活動サマリー

### 1. 背景・目的

本部門機械系では、機械工学分野でいうところの「機械力学」、「材料力学」、「熱力学」、「流体力学」の四力に「機械材料学」、「設計工学」、「加工学」、「燃焼工学」、「ニオイの科学」、「放射線応用」を絡めてより安全安心な社会を構築することを目指している。機械というと枯れた学問に思われがちだが、既存概念に囚われることなく、研究者ごとに得意分野を活かした種々の研究を推進している。

### 2. 2019 年度活動サマリー

本部門機械系に所属する研究者は、本年度以下に示すテーマと内容でそれぞれに研究を実施した。

#### ① シャルピー衝撃試験と高速引張り試験で取得される鉄鋼の衝撃吸収エネルギーの比較検討

日本産業規格（日本工業規格が 2019 年 7 月 1 日より改称）JIS Z 2242:2018 にも制定されているシャルピー衝撃試験で得られる「シャルピー吸収エネルギー」は直接設計に活用できる値ではない。一方、高速引張り試験にも ISO 26203-1:2018（ワンバー法およびホプキンソン棒法）や JIS Z 2205:2019（ホプキンソン棒法）のように規格が近年制定されており、これらの手法から取得できる高速引張り応力-ひずみ曲線からの信頼できる動的強度や「動的な単位体積当りの吸収エネルギー」の活用への期待は大きい。（シャルピー衝撃試験機で得られる動的強度の信頼性に関する議論はまだ収束していないと認識している。）

しかし、高速引張り試験機の台数はシャルピー衝撃試験機のそれと比較する圧倒的に少ないということは否めない。前者は大学、研究所、金属材料メーカー等に限定される一方で、後者は中小企業でも保有していることが少なくない。したがって、高速引張り試験機が広く普及するまでに、二つの試験法で得られる測定データの互換性あるいは換算率のようなものを提供できれば中小企業でもシャルピー衝撃試験機をしばらく活用できるというメリットがある。

以上のようなことから、シャルピー衝撃試験によるシャルピー吸収エネルギーと高速引張り試験による動的な単位体積当りの吸収エネルギーの間の関係を、同一試験材料について求め、互換性の有無や換算率のようなものが得られるのかどうかを検討してみた。

#### ② 低環境負荷を達成する機器やエネルギー開発に資するための可燃性ガスの燃焼特性に関する基礎/応用研究

地球温暖化係数の小さな可燃性ガスの燃焼特性解明を目指した学術的な基礎研究から、実際の機器に適用する場合を想定したケーススタディ的な応用研究まで、燃焼特性解明とその

応用に関する一連の研究を実施している。

本年度は、(1) 流動する可燃性ガスの高温表面による着火特性の基礎研究と、(2) 冷凍冷蔵空調機器への強燃性冷媒適用のための応用研究を主として実施した。(1) では、着火の定性的挙動の高速シュリーレン撮影に成功し、着火に要する臨界熱流束の存在を実験結果により示唆するとともに、他大学と共同で構築した理論モデルにより実証した。得られた成果は査読付き論文 2 報、査読付き国際会議論文 2 報などにより成果発信している。(2) では、電源プラグの抜き差しにより生じるスパークにて滞留プロパン/空気混合気への着火可能性があることを実験的に示した。得られた成果は国内会議で口頭発表している。

来年度も上記 2 点の基礎研究・応用研究をさらに進める予定である。具体的には、(1) については高温表面サイズの影響及び他種着火源（スパーク）での研究を進め、異種着火源での着火特性を統一的に取り扱える手法の構築を目指す。(2) については、実シナリオに基づいた摩擦火花、たばこ、有接点リレーでの電気スパーク等に関する着火性評価を実験及び理論解析に基づいて進める予定である。

本研究の一部は 2018-20 年度科学研究費補助金（基盤研究（C））による研究および（国研）新エネルギー・産業技術総合開発機構（NEDO）による受託研究である。

### ③ 擬似等方性 CFRP 平板の内部構造を利用した接着接合部の応力集中抑制による継手強度向上の試み

「適材適所」にしたがって、構造体のマルチマテリアル化が推進されている。その結果として異材接合技術も重要かつ必要不可欠な技術となってきた。擬似等方性 CFRP 平板とアルミニウム合金板を被着体とした、単純重ね合わせ接着継手に引張せん断が作用するときの接着層応力分布および継手の強度特性を、三次元有限要素応力解析ならびに引張せん断試験により調査するとともに、擬似等方性 CFRP 平板の積層構成が引張せん断強度に及ぼす影響を検討した。

### ④ 旋回火炎の火炎性状に関する研究

アトリウム空間やイベントホールなどの高天井でなおかつ、空気の流入方向が制限される空間において、同時に複数箇所で火災が発生した場合、融合した火炎が旋回し、融合旋回火炎が発生する可能性がある。火炎が旋回すると、火炎が高くなり、放射熱の増大や空間内の温度分布が上方へ伸びる事が懸念される。本研究では、複数の火炎が融合し、さらに旋回流の影響を受けた融合旋回火炎に関して研究を進めてきた。本年度は、旋回火炎を観察するための管状装置の大きさおよび衝立角度を変化させた際の火炎高さを実験的に明らかにした。

実験では、火源の数、燃料の種類および火源間距離を変化させて測定を行った。その結果、管状装置の大きさ等が異なる場合でも、火炎高さは、無次元発熱速度の 1 乗に比例し、相似則が成り立つことが分かった。今後は、管状装置の中心軸上の温度、速度分布を測定し、火炎形状を明確にすると同時に、熱気流の広がりについても検討していく。

### ⑤ ニオイによる火災感知に関する研究

使用されている火災感知器には、煙、熱、炎感知器であるが、これまでの研究では、CO センサが火災感知に有効であることが示されている。また、CO センサと温度や煙センサを組み合わせた、マルチ火災感知器の研究も進められている。火災時には、温度、煙およびCOなどの有毒ガスの他にニオイも発生しており、在館者はニオイの変化により火災に気づくことも多い。本研究では、ニオイによる火災感知器を目指すには、生活内で発生するニオイと火災のニオイとの類似性および異なる点を明確にする必要がある。そのため、本年度は、木材の酸化熱分解時に発生するニオイの測定および芳香剤等のニオイ測定手法の開発の2方向から進めていった。

木材の酸化熱分解時に発生するニオイの測定実験では、一定昇温速度で試料を加熱し、発生ガスの成分分析にはFT-IRを用いた。FT-IR計測後のガスを採取し、ニオイ測定を行った。木材の昇温速度、雰囲気ガス中の酸素濃度を変化させ、測定を行った。その結果、雰囲気中の酸素濃度及び昇温速度が変化しても、木材から、COやアルデヒド基を持った化学種が発生することが明らかとなった。また、ニオイの変化はFT-IRよりも低温で見られ、アルデヒド等のニオイを検知することで、より早い段階で火災感知できる可能性があることがわかった。

芳香剤等のニオイ測定手法の開発では、一定昇温速度で試料を加熱する事で、アルコール等の成分が混合しているが、昇温速度や到達温度を変化させて加熱することで、香料成分を抽出できることが分かった。またこの方法で抽出した香料は、ヒトの感覚で分類した系統と同様に装置でも系統分けできる可能性があることがわかった。

### ⑥ 地元企業への機械学習導入支援に関する研究

地元企業でも機械学習導入の機運は高まっているが、どのようにそれを実現すれば良いかわからない、という声を多く聞く。そこで本研究では、低コストで、また各企業が独力で機械学習を導入出来るようにするための基礎的なモデルを作った。大きな分類として(1)特徴量分析、(2)画像判定、(3)音声判定、のテーマを設定し、それぞれのテーマ毎に、地元企業のニーズに即した機械学習モデルを作成した。各テーマとも1万円程度の予算と初歩的なプログラミング及び電子工作によって現場のニーズに即した機械学習の仕組みを構築できる。各企業ではこのしくみを基礎として、実用的なしくみを組み上げていくことができる。各方面に周知したところ大きな反響があり、多くの取材や相談を受けた。今後このしくみの基礎的な実装と拡張に関する講座を開催してさらなる普及を目指すとともに、地元企業からのニーズを吸い上げ、より現場の要求に即したしくみづくりを行っていく予定である。

### ⑦ 新開発イオン源における ${}^6\text{Li}^{3+}$ イオンビーム生成

東京大学原子核科学研究センターが開発したHyper-ECRイオン源は、理化学研究所のAVFサイクロトロンにガスや金属のさまざまなイオンビームを入射させることができ、原子核実験、RI製造、生物照射に利用されている。本年度は、 ${}^6\text{Li}^{3+}$ 、 ${}^7\text{Li}^{2+}$ 、 ${}^{10}\text{B}^{4+}$ 、 ${}^{24}\text{Mg}^{8+}$ 、 ${}^{56}\text{Fe}^{15+}$ 等の金属イオンビームを成功裏に入射させることができた。これらのビームの中でも

${}^6\text{Li}^{3+}$  ビームは、運転中の強度が変動しやすいため、安定したビームを出すためにはイオン源内の坩堝位置の最適化が必要であった。坩堝はプラズマチェンバーの入口付近に固定し、ビームはプラズマ光の Li III の分光電圧をモニターすることにより、RF パワーの調整等で分離調整され安定的に増強された。

## 【活動サマリー】

### シャルピー衝撃試験と高速引張り試験で得られた特性値の塑性変形域体積による正規化の試み

#### 1. 背景・目的

シャルピー衝撃試験で得られるシャルピー吸収エネルギーと高速引張り試験で得られる動的な単位体積当りの吸収エネルギーを比較対照しやすくするため、単位（初期）断面積当りの吸収エネルギー（旧 シャルピー衝撃値に相当）で換算する手法を昨年度提案した。しかし、換算値に数倍もの差異があり、まだまだ検討の余地があり、新たに検討すべき項目として変形領域の大きさの差異を挙げていた。

#### 2. 研究メンバー

板橋 正章

#### 3. 本年度の研究成果

供試材としては、降伏比が 80% 以下に設定されていて、降伏しやすいのに強度が確保されている建築構造用圧延鋼材 SN490B を用いた。ねらいとしては、塑性変形量が大きくなることを期待したものであり、試験後の試験片縦断面をビッカース硬さ試験にかけることにより、硬さの差異から塑性変形域を精度良く見積もろうとするものであった。シャルピー衝撃試験片として、現行の JIS Z 2242:2018 から除外されてしまった深さ 2 mm の U ノッチ付き試験片（記号 CU）を用いた。一方、高速引張り試験片としては通常のもの（図 1、記号 R）と U ノッチ付きのもの（図 2、記号 U）を準備した。

衝撃速度 4.8 m/s によるシャルピー衝撃試験と引張り速度約 5 m/s による高速引張り試験を 0℃ と室温（約 22℃）

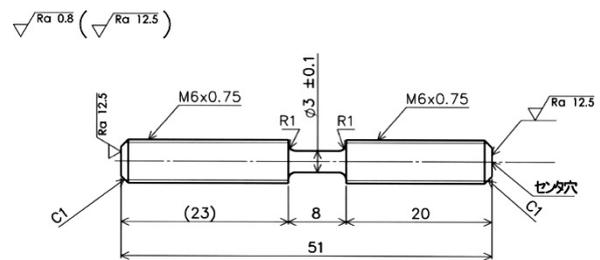


図 1 通常型高速引張り試験片

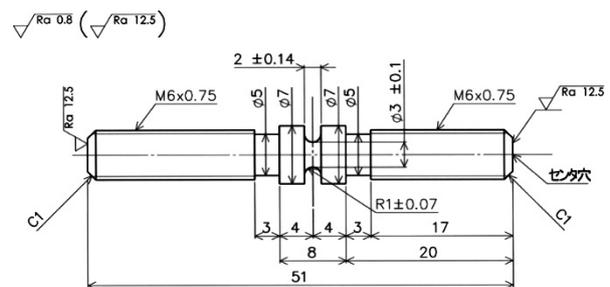


図 2 U ノッチ付き高速引張り試験片

でそれぞれ実施した。破断させた試験片の縦断面を研磨して、かなり粗い間隔でビッカース硬さ試験を実施し、塑性変形域の体積をおおまかに見積もった。特にシャルピー衝撃試験片では想定外のことが起きた。図3の一点鎖線を0.5 mm 間隔で右端から左に向かって硬さを測定していったが、図4（図3と左右反転）に示すように破断面（横軸 0 mm）に近い部分は圧縮側と中央部は硬さが高くなっていて塑性変形が生じている様子がはっきり捉えられた。一方、引張り側はほぼ一定の硬さを示し続ける状況であり、降伏比の高い材質を選択した場合は異なった塑性域分布となった可能性が高い。直観的には引張り側にも破断面付近にはある程度の塑性変形域が生じるはずであり、今回の実験結果からは塑性ひずみがほぼ一様に分布してしまったものと思われる。それでも硬さ測定結果を踏まえて、他の部分よりも硬さが大きい部分の体積を塑性変形域体積として算出した。

シャルピー吸収エネルギーを塑性変形域体積で除し、動的な単位体積当りの吸収エネルギーに試験片標点部の体積を乗じてから塑性変形域体積で除したものを試験片形状と試験温度ごとにまとめたものを図5に示す。少なくとも、今回はプロットが  $0.28 \text{ GJ/m}^3$  あたりに集中していた。しかしながら、CU 試験片の引張り側に塑性変形域を見出せなかったことは素直に受け入れがたいところがあり、もし引張り側の測定しなかった部分に塑性変形域が隠れていた場合にはプロットが下方に移動する可能性がある。

したがって、供試材を降伏比が高いものに変更したり、焼き入れ等で塑性変形域が極端に狭くなる場合の評価、検討を重ね、このような整理の仕方が有効かどうかを実験的に確かめていきたい。

#### 4. 今後の計画

2020 年度	供試材の変更による塑性変形域が引張り側にも出る場合の評価および検討
2021 年度	供試材の熱処理により塑性変形域が局所化する場合の評価および検討

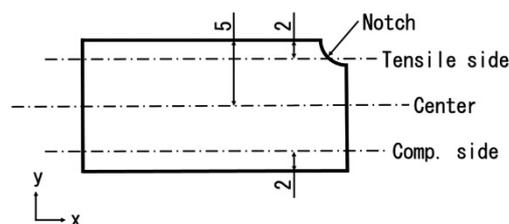


図3 破断後のCUの硬さ測定位置

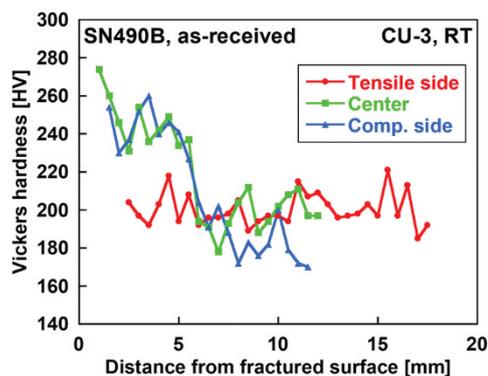


図4 硬さ測定結果 (CU、常温)

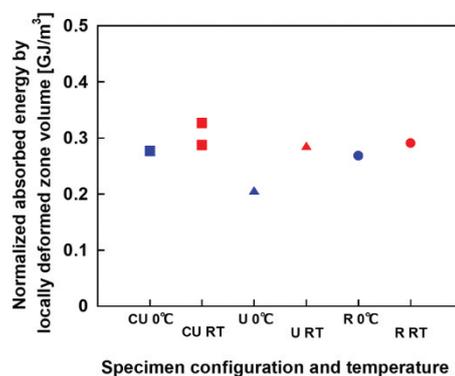


図5 塑性変形域体積で正規化した吸収エネルギー

## 低環境負荷を達成する機器やエネルギー開発に資するための可燃性ガスの燃焼特性に関する基礎/応用研究

### 1. 背景・目的

地球環境保護の観点から、低温室効果ガスを冷媒として用いた冷凍冷蔵空調機器の開発や、従来の化石燃料に代わる新エネルギー（水素、LPG、ジメチルエーテルなど）の開発と普及が喫緊の課題となっている。これらへの重要な課題は、対象とされている可燃性ガスの燃焼性に起因するリスクの管理であり、そのために、可燃性ガスの燃焼特性を学術的に根拠のある形で、体系的に評価可能な手法の確立が望まれている。このような背景から、可燃性ガスの燃焼特性のメカニズム解明を目指した学術的な基礎研究から、実際の機器に応用する場合を想定したケーススタディ的な応用研究まで、燃焼特性解明に関する一連の研究を実施している。本研究の一部は2018-20年度科学研究費補助金（基盤研究（C））による研究および（国研）新エネルギー・産業技術総合開発機構（NEDO）による受託研究である。

### 2. 研究メンバー

今村 友彦

### 3. 本年度の研究成果

#### (1) 流動する可燃性ガスの高温熱面による着火特性

一般に可燃性ガスの着火特性は、燃焼範囲（可燃性ガス中において可燃性ガスが着火しうる濃度条件）や、最小着火エネルギー（可燃性ガスが電気スパークによって着火するときの供給エネルギーの最小値）により評価される。しかしこれらの値は理想的環境で取得されており、たとえば可燃性ガスが流動している場合や、スパーク以外の着火源ではまた異なる。本研究では、ある流速を有して流動する可燃性ガスが高温熱面に衝突した場合の着火性に着目し、実験と数値解析を駆使して評価した。

その結果、①着火は高温熱面の下流側端部から生じていること（図1）、②着火に必要な最低限の供給電力（臨界熱流束）が存在し、それは表面温度よりも流速の影響を大きく受け

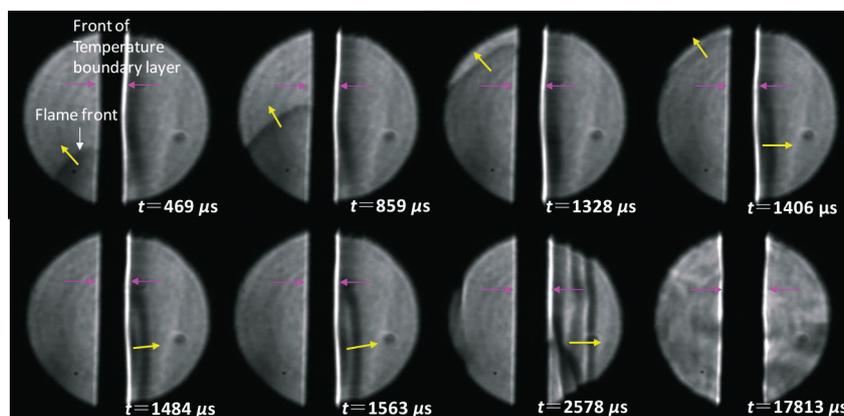


図1 高温熱面に衝突する流動プロパン/空気混合気の着火挙動のシュリーレン写真

ること、③これらの現象は、他大学と共同で開発した理論的な解析モデルにより実証できることを明らかにした。これらの成果は国際誌（Fire Safety Journal）、国際会議プロシーディング（IAFSS2020、APSS2019）、国内誌（日本火災学会論文集）に受理された。

## (2) 冷凍冷蔵空調機器への強燃性冷媒適用のための応用研究

地球温暖化を促進するとされる HFC（ハイドロフルオロカーボン）について、2016 年のモントリオール議定書キガリ改正で要請された削減量を達成するために、従来よりも圧倒的に地球温暖化係数の小さい冷媒を冷凍冷蔵空調機器に適用することが期待されている。そこで、その適用にあたって考えられる漏洩及び着火シナリオを、工業会や大学等の有識者団体と共同で抽出し、実験によりその着火性を評価することを目的とした。本年度は、主に電気機器の電源プラグ抜き差し時の火花による着火性について実験的に調べた。まず、①電源プラグの抜き差しによって、コンセント内部での放電あるいは外部でのプラグ刃付近での静電気放電により、着火が生じる場合があること（図 2）、②着火はプラグ抜き差しを繰り返した場合にのみ認められたこと、③消費電力の大きい機器を用いるほど着火する確率が上昇する傾向がみられることなどを明らかにした。これらの成果は本年度安全工学研究発表会（2019 年 11 月、長岡市）にて口頭発表した。

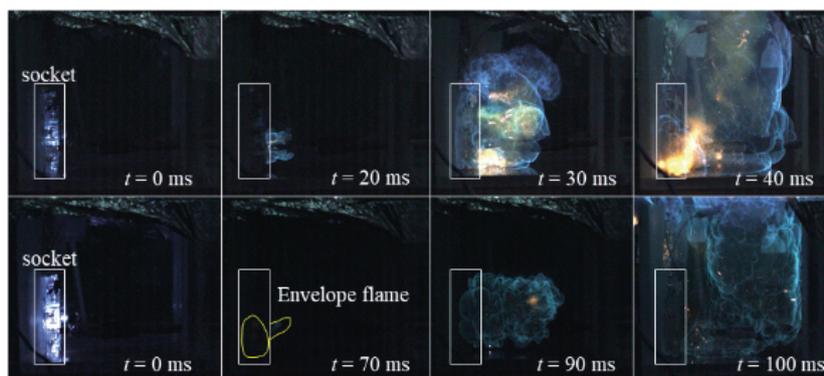


図 2 電源プラグ周りのプロパン/空気混合気の着火の様子

## 4. 今後の計画

2020 年度	<p>(1) 流動する可燃性ガスの着火特性</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・高温表面サイズと着火確率及び着火温度・エネルギーの関係解明</li> <li>・電気スパークによる着火性の評価</li> <li>・着火源を統一的に取り扱える評価手法の構築</li> </ul> <p>(2) 冷凍冷蔵空調機器への強燃性冷媒適用のための応用研究</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・摩擦火花による着火性の評価</li> <li>・たばこによる着火性の評価</li> <li>・有接点リレー等の電気スパークによる着火性の評価</li> </ul>
---------	--

**擬似等方性 CFRP 平板の内部構造を利用した接着接合部の応力集中抑制による継手強度向上の試み**

**1. 背景・目的**

本研究では、擬似等方性積層 CFRP とアルミニウム合金を被着体とした、単純重ね合わせ接着継手に引張せん断が作用するときの接着層応力分布および継手の強度特性を、三次元有限要素応力解析ならびに引張せん断試験により調査するとともに、擬似等方性積層 CFRP の積層構成が引張せん断強度に及ぼす影響を検討した。

**2. 研究メンバー**

メンバー	主な役割分担
志村 穰	全体統括、データ収集
板橋正章	強度試験支援
林 丈晴 (学外)	データ解析
宮川睦巳 (学外)	FEM 解析支援

**3. 解析方法**

**3.1 継手形状および材料**

図 1 に示す単純重ね合わせ接着継手を設定し、各部寸法形状は極力 JIS に準拠させている。被着体材料として擬似等方性積層 CFRP (以下、Qi-CFRP) とアルミニウム合金 A6063-T5 (以下、A6063) を使用した。Qi-CFRP は 8 層で構成され、図 2 に示す積層構成の異なる 4 種の Qi-CFRP (Laminate A, B, C, D) を用意し、これらと A6063 とをスリーエム・ジャパン製 2 液室温硬化型エポキシ系構造用接着剤 Scotch-Weld 1838B/A を用いて接着接合した。表 1 にこれらの材料特性値を示す。なお、A6063 と各 Laminate による継手を Laminate A/

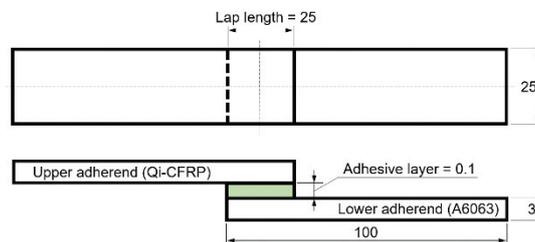


図 1 接着継手試験片の形状

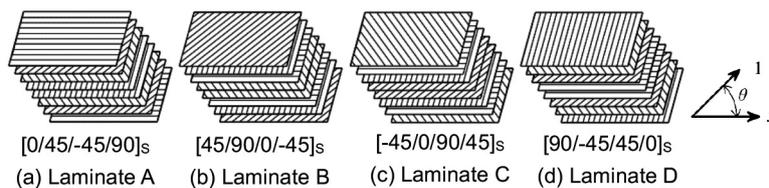


図 2 擬似等方性 CFRP 平板の積層構成

A6063、Laminate B A6063/、Laminate C/A6063、Laminate D/A6063 とそれぞれ呼称する。

### 3.2 解析モデルおよび境界条件

図3の解析モデルをもとにFEMモデルを作成し、引張せん断負荷時の継手の力学状態を調査した。表1の材料特性値を接着層および被着体の要素にそれぞれ付与し、接着層と被着体との境界には固着条件を用いた。継手の引張せん断試験状況を鑑み、図3の左側掴み部上下面の完全拘束および反対側掴み部のx軸方向並進運動以外の拘束を付与した。荷重Fは継手に対して引張せん断方向(x軸方向)に与え、その値を1000Nとした。

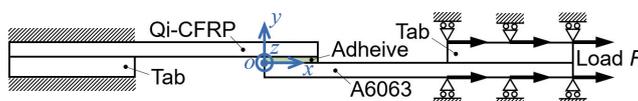


図3 解析モデル

表1 被着材と接着剤の機械的性質

Material	Young's modulus [GPa]		Poisson's ratio	
	$E_x$	$E_y = E_z$	$\nu_{xy} = \nu_{xz}$	$\nu_{yz}$
Qi-CFRP	115	7.6	0.35	0.02
A6063	70.31		0.33	
SW1838 B/A	3.40		0.39	

## 4. 実験方法

### 4.1 接着継手試験片の製作

スリーエム・ジャパン製エポキシ系構造用接着剤 Scotch-Weld 1838B/A を用いて図1に示す接着継手試験片を製作した。本接着剤は二液室温硬化型であり、重量比1:1で主剤と硬化剤を混合するものである。被着体接着面の算術平均粗さRaを $2.0 \pm 0.2 \mu\text{m}$ に調整し、超音波洗浄等による洗浄・脱脂後、接着剤を塗布し、専用治具および万力を用いて固定した。その後、定温乾燥器にて25℃で24h自然乾燥させ、次いで80℃で2h加熱した。乾燥終了後に接着層厚さがメーカー推奨値内であることを確認した。

### 4.2 引張せん断試験

接着継手試験片を精密万能試験機オートグラフに取り付け、変位速度0.3mm/minの引張せん断を負荷し、継手が破断するまでのクロスヘッド変位および荷重をパソコンに記録した。なお、試験回数は各継手5回以上である。

## 5. 結果および考察

### 5.1 解析結果

図4は各継手の接着層中央面におけるミーゼス応力 $\sigma_m$ の三次元分布である。Qi-CFRP最外層(接着層直近層)の繊維方向が継手長手および横断方向の場合(図4(a)、(d))は、応力分布が比較的対称性を有するが、最外層の繊維方向が45°の場合(図4(b)、(c))は

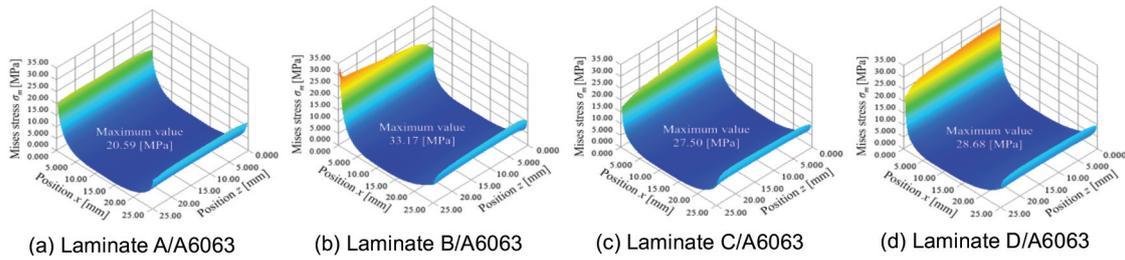


図4 接着剤層の中央面での応力分布

応力分布に顕著な偏りが見られ、特に図4 (b) は4種のうちで最大応力値を示している。以上より、Qi-CFRPの積層構成が接着層応力分布に影響を及ぼすことが示唆される。

### 5.2 実験結果

図5は各継手の引張せん断強度およびクロスヘッド変位の算術平均値を示す。引張せん断強度は、継手破断時の荷重値を接着面積 625 mm<sup>2</sup> で除したものである。各継手の引張せん断強度は Qi-CFRP 最外層の繊維方向が継手長手方向に近づくほど高く、Laminate A > B > C > D の大小関係となっている。クロスヘッド変位についても概ね同様な傾向が確認された。

## 6. 結言

本研究では、Qi-CFRP とアルミニウム合金とで構成される単純重ね合わせ接着継手の引張せん断特性を調査し、接着接合部の応力集中抑制による継手強度の向上を検討した。得られた知見を以下に記す。

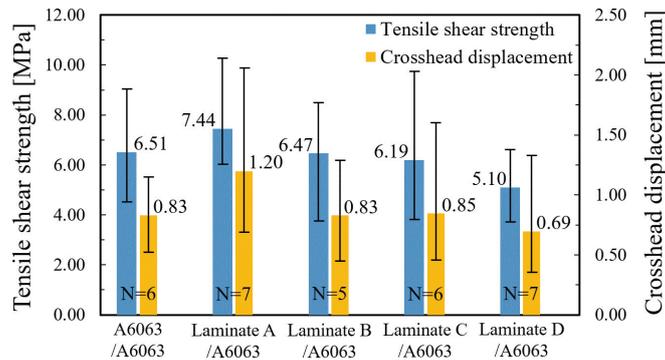


図5 引張せん断強度とクロスヘッド変位の平均値

- (1) 解析結果より、Qi-CFRPの積層構成が接着層応力分布に影響を及ぼすことが示唆された。
- (2) 引張せん断強度は Qi-CFRP 最外層の繊維方向が継手長手方向に近づくほど増加する傾向がある。
- (3) Qi-CFRPの積層構成最適化により、接着層応力集中抑制および継手強度向上が可能であることが確認された。

## 旋回火炎の火炎性状に関する研究

### 1. 背景・目的

近年の大型商業施設及びオフィスビルにおいて、大型のガラスやクリアパネルなどを使用して自然光を取り込むことを目的としたアトリウムが設置される場合が多い。アトリウムは吹き抜けの高天井に加え複数の出入り口を有しており、底部空間は売店及びイベントブースとして利用されることが多い。この底部空間において火災が発生した場合、アトリウムの大きな内部空間容積によって、十分な酸素が存在しているため、火災の急激な拡大が予想される。また自然換気によってアトリウムの下部から上部に向かう空気の上昇気流や横方向の風が与えられることにより、旋回火炎が発生すると考えられる。本研究では、アトリウム底部を模した実験装置内で、同時に複数箇所で火災が発生した場合の火炎性状を明らかにする。

### 2. 研究メンバー

メンバー	主な役割分担
上矢 恭子	データ収集
須川 修身	データ解析

### 3. 本年度の研究成果

旋回火炎発生装置は、 $R$  の円周上に 16 枚の衝立で正 16 角形を形成し作製した。 $Ap$  は、1:1.5 (short)、1:3 (long) 及び 2:3 (wide) とし、short と long は  $R=506$  mm、wide は  $R=1050$  mm とした。衝立の接線方向の角度 ( $\theta$ ) は、10、20、45 deg. とした。装置の底部に、燃料容器設置半径 (rmm) に等間隔で、円形火源 ( $D=38$  mm) を 3、4、6 個配置した。 $r$  は 3~150 mm とし、火源間距離 ( $S$  mm) は計算で求めた。燃料は 2-プロパノール (P) と  $n$ -ヘプタン (H) を用いた。発熱速度は、重量減少速度から求めた。火炎の様子は、高速度カメラ (PHOTRON FASTCAM mini AX 200、50 fps) で撮影し、火炎高さ  $L_f$  は定常状態の 50 枚の画像より求めた。

図 1 は wide における  $L_f$  と  $S/D$  の関係を示す。 $S/D$  の値が大きくなると、火炎同士の影響が小さくなるため  $L_f$  は低くなった。 $S/D$  が大きくなると、10 deg. と 20 deg. では  $L_f$  の値に大差はないが、45 deg. では 2 倍程度大きくなった。これは、衝立角度が小さいほど衝立距離が小さくなり、流入空気速度が大きくなるため火炎が傾斜し、 $L_f$  は小さくなった。図 2 は、無次元発熱速度 ( $Q^*$ ) と火炎高さの関係を示す。 $Q^*$  は、 $Q/1116 \times Dr^{5/2}$  で求められ、本研究での代表火源径は  $Dr=2(r+D)$  とした。その結果、衝立角度、 $Ap$  比率、燃料の種類に関係なく一直線状に収束することから、融合旋回火炎でも相似則が成り立つことがわかった。

一般的に火源径で規格化した火炎高さは、線火源は  $Q^{*2/3}$ 、正方火源は  $Q^{*2/5}$  にそれぞれ比例する。本研究で用いた旋回火炎発生装置において旋回流が発生した際には、 $L_f/Dr$  は  $Q^*$  の 1 乗に比例することがわかった。

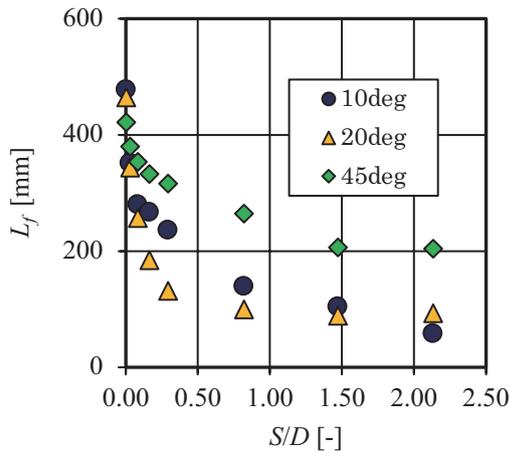
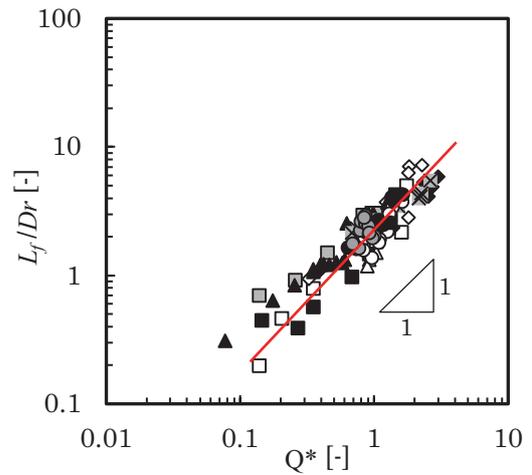


図1  $L_f$  と  $S/D$  の関係 (wide)



□W-10deg.-P    ■W-20deg.-P    □W-45deg.-P  
 ◇W-10deg.-H    ◆W-20deg.-H    △L-10deg.-P  
 ▲L-20deg.-P    ×L-20deg.-H    ○S-10deg.-P  
 ●S-20deg.-P    ○S-45deg.-P    ○S-60deg.-P

図2  $Q^*$  と  $(L_f/Dr)$  の関係

#### 4. 今後の計画

本年度は、火炎高さに着目し実験・解析を行った。来年度以降は、火源中心軸上の温度および速度分布を計測し、解析を行う。一般的なプール火炎などでは連続火炎領域、間歇火炎領域、プリューム領域がみられるが、旋回火炎では連続火炎領域が伸び、間歇火炎領域が小さくなる傾向があり、融合旋回火炎でも同様の結果が得られるかを検討していく。

### ニオイによる火災感知に関する研究

#### 1. 背景・目的

「きな臭いニオイ」などのニオイの変化により、煙や熱の発生より早い段階で火災に気づくことがある。人はニオイを火災発生の判断に使っており、ニオイは火災科学の重要な要因の一つとなっている。これまでに、木材やプラスチック材料が酸化熱分解する際には、ニオイが強くなり、またニオイの質が変化することが明らかとなっている。一方で、室内には調理時や芳香剤などの様々なニオイ（生活臭）があり、ニオイを指標とした火災感知に生活臭が及ぼす影響の範囲は解明されていない。本研究では、ニオイ測定装置を用いて、調理時や芳香剤等の生活空間のニオイを定性・定量時に測定し、木材やプラスチック材料等の酸化熱分解時に発生するニオイとの明瞭な位置づけを示すニオイマップを作成する。さらに、ニオイによる火災感知を目指した、生活臭と混同しない火災臭のニオイ基準を作製することを目的とする。研究は、材料の酸化熱分解時に発生するニオイの測定および芳香剤等のニオイ測定手法の開発の2方向から進めていく。

## 2. 研究メンバー

メンバー	主な役割分担
上矢 恭子	全体統括、データ収集
須川 修身	データ解析

## 3. 本年度の研究成果

### (1) 材料の酸化熱分解時に発生するニオイの測定

木材の熱分解時に発生するニオイと化学種を調べ、新たな火災の感知器となる物質の選定した。一定昇温速度で試料を加熱する装置として、TG-DTA (TG8120 株式会社リガク) を用い、その排気口と FT-IR (FT-IR 4200 日本分光株式会社) を加熱配管 (140 °C) で繋ぎ、TG-DTA/FT-IR の同時測定を行った。さらに FT-IR の排気口には、におい袋を取付け、5 min 毎に交換しガスを採取し、におい識別装置 (FF-2A 島津製作所) で測定した。試料にはスギを用いた。TG-DTA の測定条件は、試料重量 約 5 mg、雰囲気ガスの O<sub>2</sub> 濃度 0~21%、流量 300 ml/min、昇温速度 2~20 °C/min、到達温度 550 °C とした。FT-IR は分解能 8 cm<sup>-1</sup>、測定範囲 1000-4000 cm<sup>-1</sup>、光路長 2.7 m、ガスセル温度 140 °C、インターバルで測定間隔 30 s 毎に測定した。ニオイの解析では、スギの酸化熱分解時のニオイ及び悪臭 9 種類を基準ガスに定めた。

スギは 50 °C までに水分が蒸発し、O<sub>2</sub> 濃度 0% では約 350 °C の 1 ヶ所で、O<sub>2</sub> 濃度 5% 以上では約 350 °C 及び約 450 °C の 2 ヶ所で発熱反応が見られた。図 3 は昇温速度 10 °C/min 時の FT-IR、ニオイ測定結果を示す。FT-IR 結果より木材の熱分解が活発になる約 330 °C か

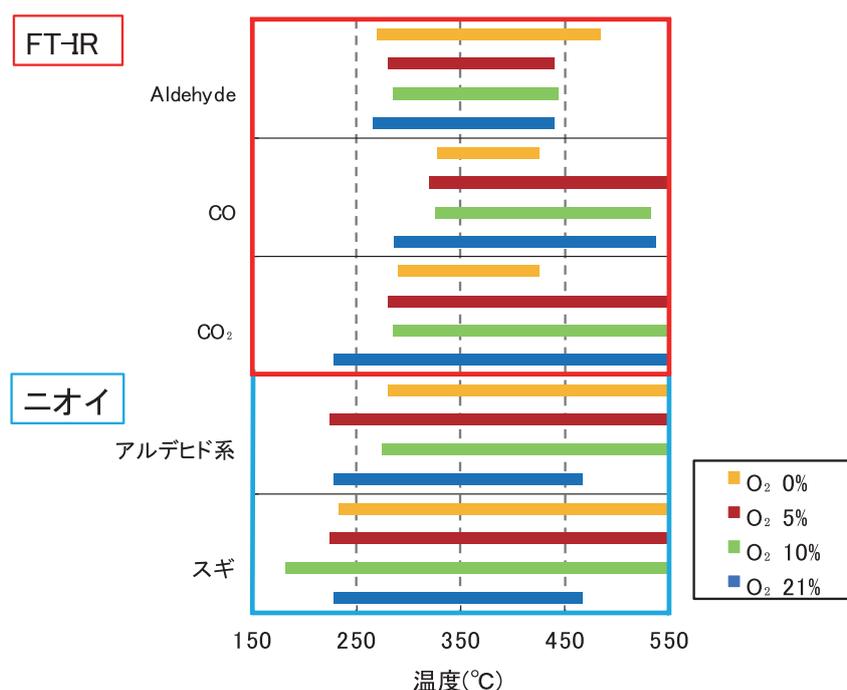


図3 昇温速度 10 °C/min における測定結果

ら CO が検出され、アルデヒド基を持つ化学種は、CO よりも 50℃ 程度低い温度域で発生した。また、ニオイ結果よりアルデヒド系やスギのニオイは、FT-IR より約 50℃ 低温域で変化が見られた。雰囲気中の酸素濃度及び昇温速度が変化しても、スギ（木材）から CO やアルデヒド基を持った化学種が発生することが明らかとなった。また、ニオイの変化は FT-IR よりも低温で見られ、アルデヒド等のニオイを検知することで、より早い段階で火災感知できる可能性があることがわかった。

**(2) 芳香剤等のニオイの測定手法の開発**

芳香剤や香料等には揮発性を良くするため、アルコール等の成分が多く含有している。機械でニオイの判別を行う際には、アルコールの影響が大きく現れる。そのため、ニオイ成分のみを抽出し、ニオイの解析を行った。測定は、食品香料（54 種類、T&M 社）を TG-DTA（TG8120、株式会社リガク）により、一定昇温（到達温度 250℃、昇温速度 2℃/min、雰囲気ガス N<sub>2</sub>、流量 200 ml/min、試料重量 5 μL）で加熱し、温度と重量変化の関係を明らかにした。全成分の気化温度域が、① 40℃ または② 250℃ に大別することができた。次にニオイ測定をするため、TG-DTA の温度条件は、①のとき到達温度 40℃、昇温速度 0.5℃/min、②のとき条件を変更せず再度計測を行った。TG-DTA の排気口から排出されるガスを 10 min 間毎に採取し、におい識別装置（FF-2A、島津製作所）で測定をした。ニオイ測定に用いた香料は、5 種類に分類（お茶類、お酒類、柑橘類、果物類、ナッツ類）し、1 分類につき 2 種類以上の香料（合計 16 種類）を用いた。ニオイの解析は各香料の検量線を作成し、検量線との類似性を求めた。

本研究で用いた各食品香料の全成分の気化温度は、含有成分がアルコールのみのものは 40℃、アルコールとグリセリンのものは 250℃ となった。図 4 は抹茶、緑茶、烏龍茶、紅茶のニオイ測定結果を示す。グラフに示されるプロットの○、□、△は、それぞれニオイ物質抽出前温度域、抽出温度域、抽出後温度域を示す。お茶系類似度は、ニオイ抽出温度域で

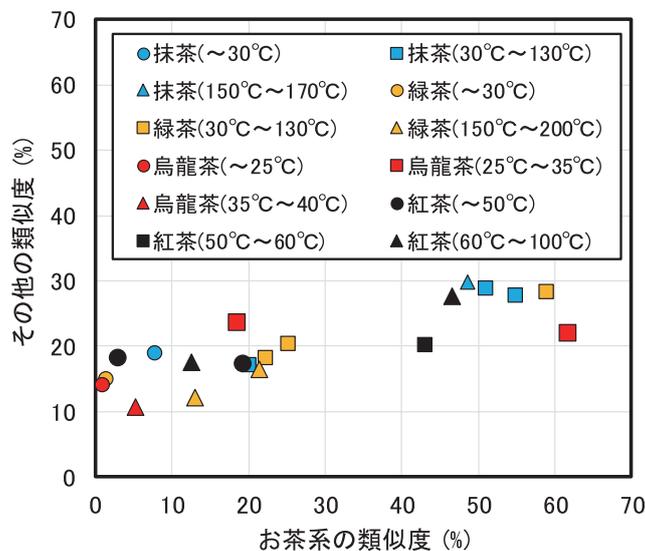


図 4 食品香料のニオイ分類結果

は40%以上、その他の温度域では30%以下となり、抽出温度域では香料の成分のみを回収できている可能性が高い。本研究での系統分けは、ヒトの感覚で分けたものであり、全ての温度域でその他の類似度は30%以下と低くなった。このことより、ヒトが感じるニオイ系統と装置のニオイ評価は類似した結果が得られる可能性がある。食品香料はアルコール等の成分が混合しているが、昇温速度や到達温度を変化させて加熱することで、香料成分を抽出できた。また、抽出温度域の香料は、ヒトの感覚で分類した系統と同様に装置でも系統分けできる可能性があることがわかった。

#### 4. 今後の計画

プラスチック材料は、持込み家具、建具にも多く使用されている。火災時に木材だけ限定的に燃焼することはないことから、プラスチック単独やプラスチックと木材を混合した試料において、酸化熱分解時に発生するニオイおよび成分を明らかにしていく。

45種類の食品香料を開発した測定方法により計測を行い、ニオイの傾向を明らかにする。本年度計測した木材の酸化熱分解時に発生するニオイと香料のニオイを比較し、火災時のニオイと同類と判断されそうなニオイの抽出を行う。

### 地元企業への機械学習導入支援に関する研究

#### 1. 背景・目的

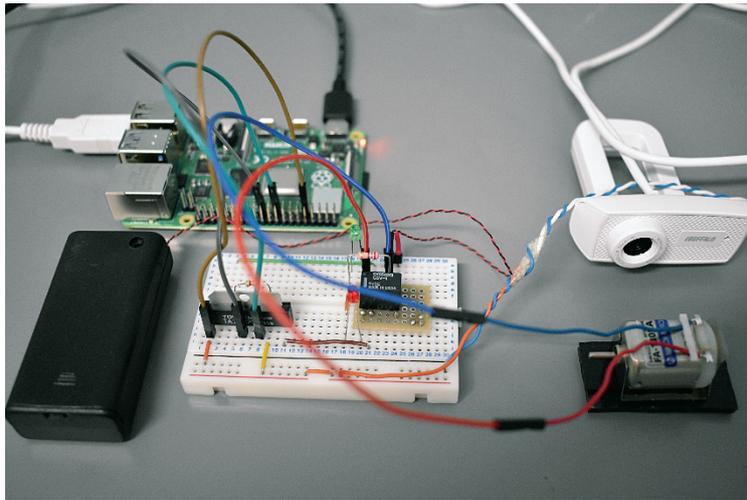
機械学習の普及が爆発的な広がりを見せているが、多くの中小企業では、そのための最初の一歩がなかなか踏み出せずにいる。一見導入が難しそうに見え、また、外注すれば数千万円単位のコストが発生するためである。しかし実際に導入に着手してみれば、基礎的なプログラミングや電子工作の知識を用いて実用的な実装まで各社で実現可能である。本研究はこうした「最初の一歩」を後押しするための導入支援モデルを作成し普及させることを目的とする。

#### 2. 研究メンバー

渡辺 毅

#### 3. 本年度の研究成果

次の大きな3テーマに沿って研究開発を実施した：(1) 特徴量分析、(2) 画像判定、(3) 音声判定。(1) ではワインの品質や上川の水位予測等、取得可能な測定データから知りたい情報を推定する仕組みを制作した。(2) では、製品にロゴマーク刻印した際の刻印の良否判定をモデルとし、簡単に導入可能な画像判定システムを制作した。(3) では、モータの動作音を常時監視し、異音が生じた場合に緊急停止させる仕組みを制作した(115p参照)。これらは諏訪圏工業メッセ、岡谷ものづくりフェアでの展示をはじめ、講座の実施等をとおして各方面に周知しており、多くの取材や問い合わせを得た。



#### 4. 今後の計画

2020 年度	機械学習導入講座の実施と企業ニーズの吸い上げ。より実際のニーズに即したモデルの開発と普及活動。
---------	---

### Hyper ECR イオン源における ${}^6\text{Li}^{3+}$ イオンビーム生成

#### 1. 背景・目的

東京大学原子核科学研究センターが開発した Hyper-ECR イオン源は、理化学研究所の AVF サイクロトロンにガスや金属のさまざまなイオンビームを入射させることができ、原子核実験、RI 製造、生物照射に利用されている。<sup>1)</sup> 本年度は、 ${}^6\text{Li}^{3+}$ 、 ${}^7\text{Li}^{2+}$ 、 ${}^{10}\text{B}^{4+}$ 、 ${}^{24}\text{Mg}^{8+}$ 、 ${}^{56}\text{Fe}^{15+}$ 等の金属イオンビームを成功裏に入射できた。これらのビームの中でも  ${}^6\text{Li}^{3+}$ ビームは、運転中の強度が変動しやすいため、安定にビームを出すためにはイオン源内の坩堝位置の最適化が必要であった。坩堝はプラズマチェンバーの入口付近に固定し、ビームはプラズマ光の Li III の分光電圧をモニターすることにより、RF パワーの調整等で分離調整され安定に増強された。今回はこれらの結果を報告する。

#### 2. 研究メンバー

メンバー	所属	主な役割分担
武藤 英	公立諏訪東京理科大学共通・マネジメント教育センター	全体統括、イオン源開発、データ解析
大城幸光	東京大学大学院理系センター附属原子核科学研究センター (東大 CNS)	イオン源開発、データ解析

小高康輝	東京大学大学院理系センター附属原子核科学研究センター (東大 CNS)	イオン源開発、データ解析
酒見泰寛	東京大学大学院理系センター附属原子核科学研究センター (東大 CNS)	全体統括、ビーム実験

### 3. 本年度の研究成果

#### 3-1 軸挿入坩堝法

図1はHyper ECR イオン源の概略図を示している。ECRゾーンはミラーコイルのMC1、MC2、6極磁石で形成され、長さは約70mmである。このゾーンに坩堝から金属蒸気を供給しイオン化する。 ${}^6\text{Li}^{3+}$ イオンについては、坩堝をRF壁から7-10mmに設置した。MC1とMC2の電流量はそれぞれ588Aと490A、RFパワーは450Wで、プラズマのコンディションを安定させるためのサポータングガスにはHeガスを用いた。坩堝には白金ロジウム熱電対をコンタクトさせ温度を調節した。

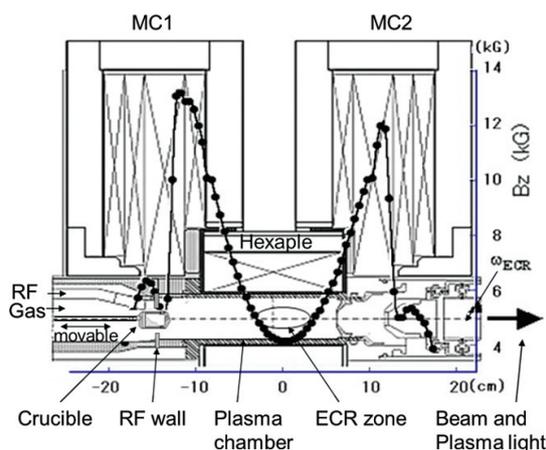


図1 坩堝を備えた Hyper ECR イオン源の概略図

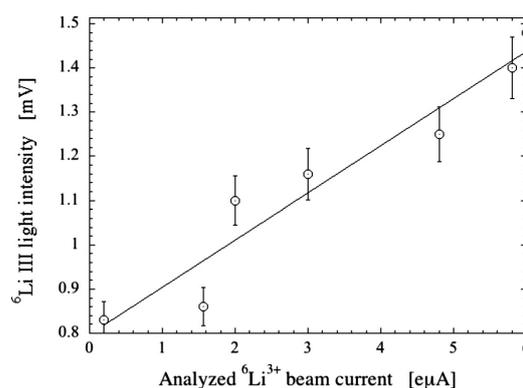


図2 分析された ${}^6\text{Li}^{3+}$ ビーム強度に関する ${}^6\text{Li III}$ の線スペクトルの強度

#### 3-2 光強度によるビーム分析

図2にAVFサイクロトロン出口で分析した ${}^6\text{Li}^{3+}$ ビームに対する ${}^6\text{Li III}$ の線スペクトルの光強度( $\lambda=516.7\text{ nm}$ )を示す。<sup>2)</sup> 光強度はイオン源の分析電磁石の直線コースにあるモノクロメータとホトマルにより分析して求めた。<sup>3)</sup> この光信号をビーム強度に変換してビーム調節を行うことで、電磁石で分離できない同じ $q/m=1/2$ の $\text{H}_2^+$ 、 $\text{He}_2^+$ 等のイオンから分離してビーム調整が可能となった。

#### 3-3 坩堝移動によるビーム調節

図3に、坩堝の位置とビーム強度の関係を示す。RF壁から約35mmの坩堝挿入位置でビームが急激に増加し、40mmで減少している。ビーム増加時の坩堝温度は $480^\circ\text{C}$ 、プラズマチャンバーの真空度は $3 \times 10^{-4}\text{ Pa}$ であった。その後坩堝を後退しても坩堝の温度は急激

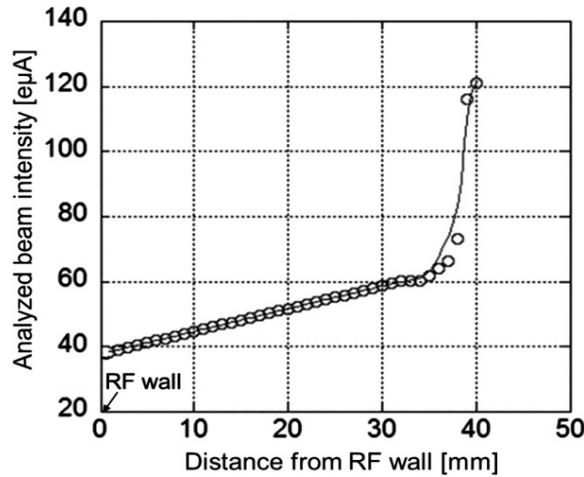


図3 坩堝位置に関する<sup>6</sup>Li<sup>3+</sup>イオンビーム強度

には変わらず、後退した位置で RF パワーなどを再調節してもビーム強度は維持できたが、ビームを安定に取り出すまでに多くの時間を要した。したがってビームチューニング時に坩堝を移動させるのは調整時間が長くかかり、対応が困難であることがわかった。

### 3-4 坩堝位置の最適化

図4に、それぞれの坩堝位置における RF パワーと測定した坩堝温度の関係を示す。パワーと温度は周期的に変わり、9 mm の位置で 450 W、350 °C のピークになっている。この位置に坩堝を固定し、RF パワーの微調整で安定な Li ビーム強度を得た。<sup>7</sup>Li<sup>2+</sup>ビームは原子核実験標の上で約 2 μA のビーム電流量を達成し、24 時間の照射実験に安定に供給された。<sup>6</sup>Li<sup>3+</sup>ビームは坩堝位置 9 mm、RF パワー 380 W で、プラズマ分光の光電圧変換の技術を用いて、イオン源からの取り出し電流が 100 μA の大強度で得られた。さらに、サイクロトロン取り出しで 8 μA のビーム電流量に増強され、安定に 48 時間連続供給にも成功した。プラズマ分光によるビーム観察は供給中のビーム電流のわずかな変動にも迅速に対応ができ、Li イオンの安定増強に大きく貢献している。

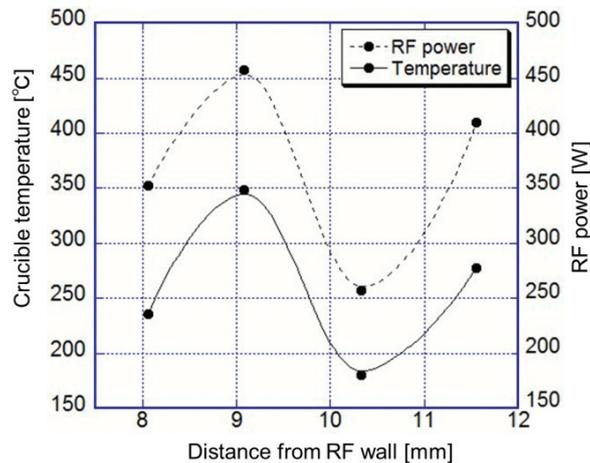


図4 坩堝の RF 壁付近の移動位置に関する RF パワーと坩堝温度変化

#### 4. 今後の計画

今後は、坩堝の混入ガスの除去、プラズマチェンバー内のバックグラウンドガスの除去など真空系の改善を行い、ビーム立ち上げの再現性を高める予定である。

#### 参考文献

- 1) Y. Ohshiro, S. Yamaka, S. Watanabe, K. Kobayashi, Y. Kotaka, M. Nishimura, M. Kase, H. Muto, H. Yamaguchi and S. Shimoura, *Review of Scientific Instruments*, 85 (2), 02A912-1, (2014).
- 2) H. Muto, Y. Ohshiro, Y. Kotaka, M. Oyaizu, H. Yamaguchi, K. Kobayashi, M. Nishimura, S. Kubono, M. Kase, T. Hattori and S. Shimoura, *Review of Scientific Instruments*, 89 (1), 016103-1, (2018).
- 3) H. Muto, Y. Ohshiro, S. Yamaka, S. Watanabe, M. Oyaizu, H. Yamaguchi, K. Kobayashi, Y. Kotaka, M. Nishimura, S. Kubono, M. Kase, T. Hattori and S. Shimoura, *Review of Scientific Instruments*, 85 (12), 126107-1, (2014).

## 地域先進技術研究部門 機械系 研究業績リスト

### 査読付き論文

- [1] 飯塚洋行, 桑名一徳, 今村友彦: 加熱壁面に衝突する予混合淀み流の着火条件, 日本火災学会論文集, 70, 1, (2020), 1-8.
- [2] Imamura, T., Uehara, K., Nakata, K., Maruyama, S. and Kuwana, K.: Quasi-steady characteristics of flowing propane/air mixture ignited by a heated surface, Fire Safety Journal (in press, accepted on 28 Apr. 2020).
- [3] 大山 聖, 小平剛央, 立川智章, 渡辺 毅, 剣持寛正: 多目的進化アルゴリズムと FEM 構造解析を用いた複数車種の車両構造同時設計最適化, 日本機械学会論文集, 85, 879, (2019), 19-00293.
- [4] Muto, H., Ohshiro, Y., Kotaka, Y., Sakemi, Y., Yamaguchi, H., Kobayashi, K., Nishimura, M., Kase, M., Oyaizu, M., Kubono, S., Hattori, T. and Shimoura, S., Current status of plasma spectroscopic experiments with Hyper-ECR ion source at CNS, University of Tokyo, AIP Conference Proceedings, 2160, 040007, (2019), doi.org/10.1063/1.5127687.

### 査読付き国際会議

- [1] Imamura, T., Uehara, K., Nakata, K., Maruyama, S. and Kuwana, K.: Quasi-steady characteristics of flowing propane/air mixture ignited by a heated surface, 13th International Symposium on Fire Safety Science (IAFSS2020), Waterloo, Canada, 2020 (accepted and postponed to Apr. 2021)
- [2] Imamura, T., Uehara, K., Nakata, K. and Maruyama, S.: Ignition behaviour of flowing propane by a hot surface, Asia Pacific Symposium on Safety 2019, Dalian, China, Oct. 2019.
- [3] Sugawa, O., Kamiya, K. and Watanabe, N., Flame characteristics of a rotating pool fire, Proceedings of Fire and Explosion Hazards, Vol.9 (1), (May 2019), 642-651.
- [4] Kamiya, K., Sugawa, O. and Watanabe N., Using odors to detect fire in a study with rooms reduced to 75% size, Proceedings of Fire and Explosion Hazards, Vol.9 (2), (May 2019), 1201-1220.
- [5] Watanabe, N., Sugawa, O. and Kamiya, K., Flame height behavior of merging fire whirls from multiple fire sources, Proceedings of Fire and Explosion Hazards, Vol.9 (1), (May 2019), 652-661.

### 口頭発表

- [1] 板橋正章: 高速引張り試験とシャルピー衝撃試験で得られた特性値の比較 -U ノッチ付き試験片の場合-, 第 68 期学術講演会講演論文集, 日本材料学会, 室蘭工業大学, (2019.5.25), 3-4.
- [2] Itabashi, M. and Maeshima, D.: Feasibility Study on Electric Arc Furnace Steel Sheet for Automotive Structure (invited, plenary talk), 10th International Symposium on Impact

- Engineering 2019-ISIE 2019, Gmunden, Austria, edited by Z. Major, E.P. Klement, M.-C. Miron and V.M. Miron, Trauner Verlag, Linz, (2019), 7-8, (3 July 2019).
- [3] 今村友彦, 青木幹尚, 春山智成: コンセントプラグの抜き差しによる滞留プロパンの着火性状, 第 52 回安全工学研究発表会, 長岡, (2019.11.29).
- [4] 中澤誠人, 荻谷優行, 下村 蓮, 桑名一徳, 今村友彦: 高温表面による流動プロパンの着火特性, 第 57 回燃焼シンポジウム, (2019.11.20).
- [5] 桑名一徳, 今村友彦: 加熱壁面近傍の予混合淀み流中の着火・消炎に関する理論的検討, 第 57 回燃焼シンポジウム, (2019.11.20).
- [6] 今村友彦, 白簾恭平, 成澤弘明: 電気部品による次世代家庭用空調機冷媒の着火性評価, 2019 年度日本冷凍空調学会年次大会, (2019.9.11).
- [7] 今村友彦, 白簾恭平, 成澤弘明: 家庭用空調機器へのプロパン冷媒搭載を想定した一般家電の着火リスク評価, 安全工学シンポジウム 2019, (2019.7.5).
- [8] 今村友彦, 上原航祐, 中田啓太, 丸山将也: 流動するプロパンの高温表面による着火特性, 2019 年度日本火災学会研究発表会, 東京, (2019.5.26).
- [9] 柳田剛志, 堤 博貴, 黒崎 茂, 志村穰: 擬似等方性 CFRP/Al Alloy 二重重ね合わせ接着継手の引張せん断強度特性, 日本機械学会第 59 回学生員卒業研究発表講演会講演論文集, 1104, (2020.3.16).
- [10] 須川修身, 渡邊憲道, 上矢恭子, 木田勇次, 上村達也: 旋回する火源が形成する火炎性状に関する研究, 2019 年度日本火災学会研究発表会, (2019.5.25).
- [11] 上矢恭子, 須川修身, 越後谷怜, 渡邊憲道, 案部雄一郎, 木田勇次, 秋田仁也: 一部二階建て 75%縮尺模型を用いたニオイによる火災感知の有効性に関する研究, 2019 年度日本火災学会研究発表会, (2019.5.25).
- [12] 上矢恭子, 須川修身, 案部雄一郎, 木田勇次, 秋田仁也: 二階建て建物内におけるガスの拡散状況, 日本法科学技術学会第 25 回学術集会, (2019.11.7).
- [13] Nishiura, Y. and Watanabe, T., Collision dynamics of traveling spots against axisymmetric heterogeneity, Equadiff 2019, July 8-12, Leiden University, Leiden, Netherlands (2019).
- [14] Kotaka, Y., Ohshiro, Y., Sakemi, Y., Yamaguchi, H., Imai, N., Muto, H., Kase, M., Goto, A., Ohnishi, J., Hatanaka, K. and Shimoura, S.: Development of the calculation method of injection beam trajectory of RIKEN AVF cyclotron with 4D emittance measured by the developed pepper-pot emittance monitor, International Beam Instrumentation Conference (IBIC), Malmo, Sweden, 8-15, Sept. 2019.

#### 外部資金獲得

- [1] 文部科学省科研費 2019 年度 基盤研究 (C), 流動する可燃性ガスの消炎距離に基づく最小着火エネルギー推算モデルの確立, 研究代表者: 今村友彦, 2018.4-2021.3.
- [2] (国研) 新エネルギー・産業技術総合開発機構 (NEDO) 受託研究, 省エネ化・低温室効果を達成できる次世代冷媒・冷凍空調技術及び評価手法の開発, 研究代表者: 今村友彦, 2018.4-2021.3.

- [3] 上矢恭子（研究代表者）、須川修身（研究協力者）、日本学術振興会 科学研究費補助金（学術研究基金助成金）、基盤研究（C）、火災臭と生活臭の定性・定量測定に基づくニオイマップの作成、2018.4-2021.3.
- [4] 横浜国立大学・岡泰資（研究代表者）、国立研究開発法人海上・港湾・航空技術研究所・岡秀行、東京理科大学・松山賢、公立諏訪東京理科大学・上矢恭子、日本学術振興会 科学研究費補助金（学術研究基金助成金）、基盤研究（B）、質量保存流速モデルに基づく煙流動予測モデルの開発、2018.4-2021.3.

## 受賞

- [1] 受賞者：三菱地所設計、斎久工業株式会社、千住スプリンクラー、公立諏訪東京理科大学（須川修身、上矢恭子）、株式会社コーアツ
- 受賞名：消防設備関係功労者等に係る消防庁長官表彰
- 受賞テーマ：優良消防用設備等表彰（丸の内二重橋ビル、NF システム）
- 受賞日：2019年11月1日
- 受賞内容：二の丸二重橋ビルに設置したNFシステムは、4社と本学が共に開発した駐車場における新しい消防設備である。これまでの、駐車場消防設備は、泡消火剤を用いていたが、NFシステムは、水のみを使用したスプリンクラー設備となっている。泡消火剤を用いない事より、環境にやさしく、低コストの設備である。

## 展示

- [1] 渡辺 毅：諏訪圏工業メッセ2019（10月17日～19日）に「エッジコンピューティングシステム：自動水耕栽培装置」を出展。
- [2] 渡辺 毅：岡谷ものづくりフェア（2月7日、8日）に「エッジコンピューティングシステム：モータの動作監視システム」を出展。