

地域先進技術研究部門 機械系

2020 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
布 房夫 教授
平谷雄二 教授
杉田 誠 准教授
田邊 造 准教授
山口一弘 講師

(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
源野広和 客員教授
須川修身 客員教授
土橋美博 客員研究員

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. 2020 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。

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きた。本年度の実験結果より得られた知見から、互換性や換算率を得ることはかなり困難であるという結果が得られた。この結論に至らざるを得なかったのは、シャルピー衝撃試験片は加工の容易さを実現するため、3 点曲げ破断させる部分と試験機に装着する部分に大きな断面積の差異を設けていないことに起因する。すなわち、破断部から広がる塑性変形域の広がりが多過ぎて、この塑性変形に要する（余分な）エネルギーも含めた「シャルピー吸収エネルギー」の物理的意味が複雑化させている。まして、塑性変形域の広がり方は試験片材質固有の挙動に依存することから、余分なエネルギーを「シャルピー吸収エネルギー」から分離することは容易

ではない。

2) 燃焼工学に基づくエネルギー物質の有効利用技術と潜在危険性管理技術の開発

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リスクアセスメントに資する応用研究まで、燃焼工学をベースとした一連の研究を実施している。得られた成果は学術的知見の向上に貢献するとともに、可燃性ガスを利用した新規機器やインフラの実用化のために必要な法令等の規制緩和と実現のためのエビデンス整備に資している。

2020年度は、(1) 流動する可燃性ガスの着火・燃焼性に関する基礎研究、(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、(3) 宇宙船内火災防止を想定した微小重力環境下における着火・燃焼性評価を主として実施した。(1) では、従来の実験結果に加えてより小さな寸法の熱面を使用した実験を実施し、着火が生じる供給パワーの臨界値が熱面寸法に反比例することを発見するとともに、これが可燃性予混合気の物性値（ルイス数）及び化学種滞留特性時間と化学反応特性時間の比（ダムケラー数）で整理できることを示した。また、着火源の違いが着火性に及ぼす影響を調べるために、熱面にかえて電気スパークを着火源に用い、火炎核が熱損失に打ち勝って通り抜けることのできる最小の間隔（消炎距離）より最小着火エネルギーを求めるための実験を行った。その結果、消炎距離は流速の増加に伴って狭くなる（すなわち着火しやすくなる）こと、その消炎距離は燃焼速度と流速の関数として表現できること、これは消炎距離から燃焼速度を予測する新たな手法となりうる可能性があること、を明らかにした。さらに、地域企業より客員研究員1名を招聘し、上述の一連の実験を数値シミュレーションで再現する手法の確立を目指した研究を進めている。

(2) では、(1) で得た流動プロパン／空気混合気の着火臨界条件の結果を踏まえて、たばこを着火源としたプロパン／空気予混合気の着火実験を行い、着火の成否を判定できる手法を確立した。あわせて有接点リレーの放電による着火性についても再現実験を実施し、回路電流および消費電力の大小が着火性を左右する可能性を示した。(3) は本年度新たに開講された「ゼミ研究」のテーマとして新規に立ち上げたもので、ラボスケールの自由落下塔（1.5 m, 約 10-3 G の重力レベルを 400 ms 程度達成可能）を製作し、可燃性固体の燃え広がり挙動の撮影等の実験が可能になったところである。これらの研究成果は、査読付き国際論文1報、査読付き国内論文1報、国内口頭発表3報として発信している。

2021年度は上述の流動可燃性ガスの着火挙動や冷媒の燃焼性評価はもちろん、宇宙船内火災防止のための微小重力環境下の着火・燃焼挙動、レーザーによる可燃性ガスの着火・燃焼挙動、化学反応機構を考慮した燃焼数値シミュレーション、ビッグデータ分析による火災・爆発事故特性の解析など、さらに幅広いテーマにわたり研究活動を進める計画で、燃焼工学及びそれを活用した技術開発の地域拠点化を目指し、地域に貢献する所存である。

なお本研究の一部は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）による受託研究として実施した。

3) 応力聴診器を用いたき裂の面内せん断モード応力拡大係数解析の試み

近年、構造物中のき裂に起因した重大インシデントが数多く報告されている。特にトンネルや高速道路などの社会インフラの老朽化が問題視されて久しい。これらの問題の対策として、き裂の危険性を評価した上で適切な対策を行い、安全性を確保することが重要である。き裂の危険性評価の方法は、破壊力学を適用し応力拡大係数 K を導入するのが一般的となっており、 K 値解析専用のひずみゲージを用いた研究や市販のひずみゲージを用いた K 値解析の研究が以前より行われている。また、モードⅡに対する K 値（以下、 K Ⅱ）を 2 軸直交型ひずみゲージを用いた解析法を提案し、一定の成果を得ている先行研究も見られる。しかし、ひずみゲージは使用に際し多くの作業と時間を要することが欠点として挙げられ、現場ではより簡易的で省力化された測定方法が望まれている。

そこで本研究では、摩擦型ひずみゲージが内蔵された応力聴診器を用いて K Ⅱ 値の解析を試みた。引張せん断平板試験片と 3 軸型応力聴診器を用いてき裂先端付近のひずみを測定し K Ⅱ 値を算出するとともに、従来法の 2 軸直交型ひずみゲージを用いる場合および有限要素解析による方法とを比較することで本手法の可能性を検証した。

4) 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、プラスチック材料の酸化熱分解時に発生する化学物質の成分分析を行った。

プラスチック材料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。その結果、木材（スギ）の熱分解時には、ベンゼン環は検出されなかったが、CO とアルデヒド基は全ての試料で検出された。プラスチック材料では、雰囲気ガスの違いにより CO の検出温度に変化は見られなかったが、アルデヒド基は、雰囲気ガスにより 100℃ 程度差が生じた。全ての試料の熱分解が活発になる温度域で CO が検出され、アルデヒド基を持つ科学種は CO よりも 50℃ 程度低い温度域で発生した。

5) 地元企業・コミュニティへの AI の普及支援に関する研究

AI は既に社会に広く浸透し、当たり前を使う時代へと急速に変化した。こうした状況において、AI を導入したい、あるいは使えるようになりたい、という希望は企業だけでなく個人にも広く存在する。本研究はこのような希望に応えるために、AI を導入するための最初の一步を踏み出せるようにするための教材及び教育の仕組を開発し「IoT・AI 講座準備編」として実施した。また本学主催で行われた「上川水位予測コンテスト」において技術サポートを実施し、参加者の AI 導入を支援した。

6) 新開発イオン源における⁶Li³⁺イオンビーム生成

主な研究活動場所である理化学研究所の新型コロナウイルス対策として、本学のような外部機関に所属する者の立ち入りが禁じられてしまった。オンラインでの研究打合せしか実施できなかった。

【活動サマリー】

鉄鋼のシャルピー衝撃試験と高速引張り試験で得られた吸収エネルギーの局部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、吸収エネルギーを局部変形域体積で正規化する手法を昨年度提案した。局部変形域の範囲は試験片縦断面をビッカース硬さ試験により探った。すなわち、破断面付近は激しく局部変形しているはずなので硬さが大きくなっているが、破断面から離れるにしたがって硬さが緩やかに下降して一定になるところが出てくるはずである。この一定になったところまでが局部変形域である。このようにして昨年度求めた局部変形域は、シャルピー衝撃試験片の圧縮側については上記の説明に沿う測定結果を得たが、引張り側はほぼ一定のままであった。一方、高速引張り試験片については対称軸に沿った測定では予想した通りの結果を得た。

上記のシャルピー衝撃試験片の引張り側についての硬さ測定結果には受け入れがたいところがあり、再測定して局部塑性変形域体積で正規化した吸収エネルギーを再評価することを本年度の目的とした。

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。(大地震による建築構造物への入力エネルギーを塑性変形エネルギーに変換させる目的で開発された鋼種である。)ねらいとしては、局部変形量が十分な大きさを持つ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局部変形域の範囲をよ

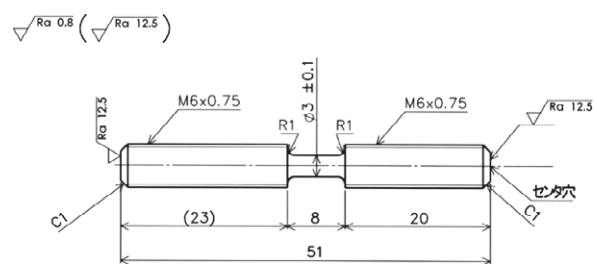


図1 通常型高速引張り試験片

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局部変形域の範囲をよ

り精度高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 からは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) をあえて用いた。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。

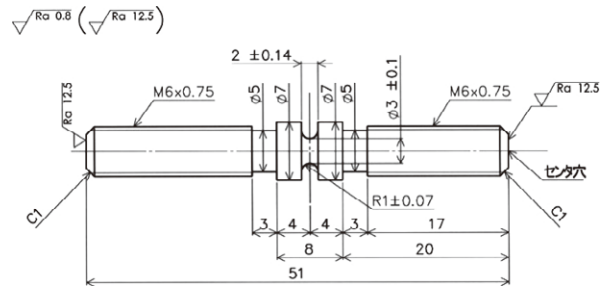


図 2 U ノッチ付き高速引張り試験片

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 20±4℃) でそれぞれ実施した。シャルピー衝撃試験片については、破断させた試験片の縦断面を研磨して、縦横 1 mm 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昨年度より精度良く評価することを試みた。(昨年度は図 3 の垂直方向に 1/3 の密度の測定だった。)

硬さ測定結果を図 4 に示すが、期待していた通りの右下がりのすべり台のような形状を得ることができた。この実験結果に基づいて、試験片縦断面の写真に局部変形域の範囲を書き込んだものを図 5 に示す。黄緑色の線から左側の面積を求め、試験片の厚さである 10 mm を乗じ、さらに試験片の反対側の体積をも加算する意味で 2 倍して局部変形域体積を求めた。

これにより昨年度得られた吸収エネルギーを除し、図 6 を得た。図中の白抜きのプロットの位置にあったシャルピー衝撃試験片に関するデータが、塗りつぶしたプロットの位置まで下降した。したがって、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することに物理的な意味合いを持たせることは困難であることが判明した。

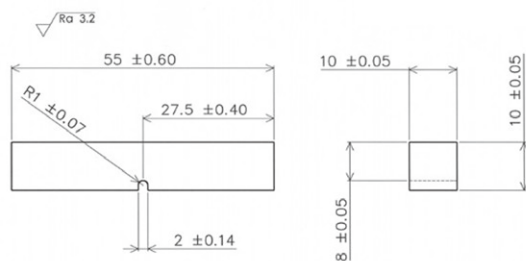


図 3 U ノッチ付きシャルピー衝撃試験

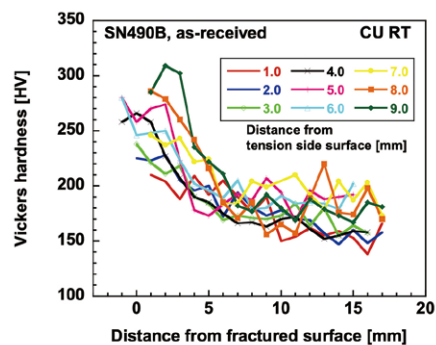


図 4 シャルピー衝撃試験片の硬さ測定結果 (室温で衝撃後)

つまり、高速引張り試験片の標点部と試験機に取り付けるためのおねじを切った部分には断面積が異なることから、局部変形域は標点部のみに限定されるが、シャルピー衝撃試験片にはそのような断面積が異なる領域が設定されていないので、局部変形域がむやみに広がってしまうことに問題があるといえよう。

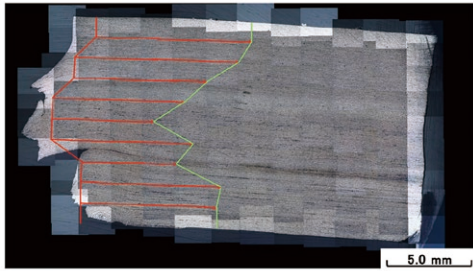


図5 局部変形域範囲の求積

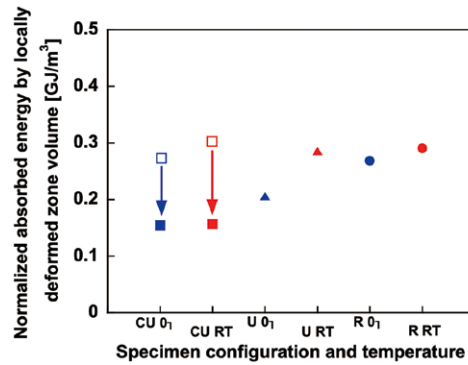


図6 局部変形域体積による吸収エネルギーの正規化

機械構造用炭素鋼 S45C（焼きなまし材、焼き入れ・焼き戻し材）についても同様な実験を実施してみたが、図6のような正規化した値は両試験片間でもっと大きく分離することがわかった。

したがって、Uノッチ付き試験片を用いたシャルピー衝撃試験と高速引張り試験に互換性等を求めることよりも、それぞれの得意とする分野で全く独立した試験方法として取り扱うべきと思われる。今後、Vノッチ付きシャルピー衝撃試験片での結果を見て、しっかりとした結論を出したい。

4. 今後の計画

2021年度	S45Cの焼きなまし材のVノッチ付きシャルピー衝撃試験片の局部変形域の評価および検討
--------	--

燃焼工学に基づくエネルギー物質の有効利用技術と潜在危険性管理技術の開発

1. 背景・目的

燃焼工学とは、可燃性物質（エネルギー物質）から燃焼反応により熱エネルギーを取り出して仕事に変換するための技術のよりどころとなる学問である。一方で火災・爆発事故（制御不能な燃焼現象）防止のためにも燃焼工学の知識は不可欠である。本研究室ではこの両観点に立って、エネルギー物質の有効利用技術開発と潜在危険性（フィジカルハザード）の管理手法の構築により、省エネ・地球環境に配慮した機器やインフラを安心・安全に活用できる社会構築への貢献をめざしている。2020年度は主として（1）流動する可燃性ガスの着火・燃焼性に関する基礎研究、（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、（3）宇宙船内火災防止を想定した微小重力環境下における着火・燃焼性評価、について実験・数値シミュレーション・理論解析をもとに研究を実施した。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

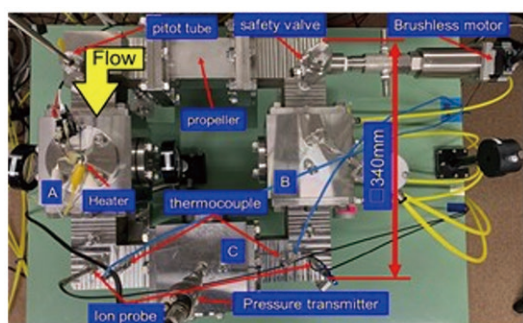
今村 友彦（准教授）：研究計画立案、実験・解析実施、成果発信、全体総括
土橋 美博（客員研究員）：数値シミュレーション実施

3. 本年度の研究成果

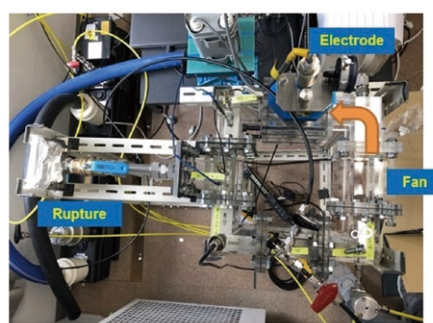
3.1 流動する可燃性ガスの着火・燃焼性に関する基礎研究

一般に可燃性ガスの着火特性は、燃焼範囲（支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。したがって可燃性ガスの実用環境を想定したリスクアセスメントにおいては、着火特性に及ぼす流動の影響を詳細に把握することが必要となる。本研究では、ある流速を有して流動する可燃性ガスが着火源（熱面、電気スパーク）に衝突した場合の着火性について、実験・数値シミュレーション・理論解析を駆使して評価した。

実験では図 1 に示す SUS 製耐圧循環型燃焼容器（熱面着火源実験）及びアクリル製循環型燃焼容器（スパーク着火実験）を使用した。いずれも所定量のプロパン及び空気を容器内に分圧法により導入して予混合気を形成し、容器内に設置したファンへの供給電圧を制御して流速を変化させた。



(a) 熱面着火実験用燃焼容器



(b) スパーク着火実験用燃焼容器

図 1 着火実験用燃焼容器の写真

(1) 着火源に熱面を用いた場合

図 2 に示すように、着火までに要した時間 t_{ig} はヒーターへの単位面積当たり供給パワー P/A が小さくなるほど延び（すなわち着火しにくくなる）、最終的に着火がみられなくなる。このときの P/A が着火を左右する臨界条件（臨界着火熱流束）なる。臨界着火熱流束はヒーター寸法が小さくなると大きくなる（すなわち着火しにくくなる）傾向がみられた。理論解析の結果から、臨界着火熱流束は可燃性ガスの熱拡散率と物質拡散係数の比（ルイス数）と、化学種滞留の特性時間と化学反応の特性時間の比（ダムケラー数）の関数として書ける

ことを突き止めた。ヒーターサイズの効果を含めるために、ダムケラー数のひずみ速度の項を流速とヒーター寸法で書き換え、臨界着火熱流束と無次元数の関係として最終的に式 (1) を得た。

$$|q_{w,c}^* = \frac{q_{w,c}}{\rho c s \Delta T} = f \left[\frac{\lambda}{\rho c D}, \frac{\rho c s^2}{(u/L)\lambda} \right] \tag{1}$$

$q_{w,c}^*$: 無次元臨界着火熱流束 (-), $q_{w,c}$: 臨界着火熱流束 (kW/m²), ρ : 密度 (kg/m³), c : 比熱 (kJ/kgK), s : 燃焼速度 (m/s), ΔT : 温度変化 (K), λ : 熱伝導率 (kW/m), D : 拡散係数 (Pa·s), u : 流速 (m/s), L : ヒーター寸法 (m) である。

$q_{w,c}^*$ と式 (1) 右辺第 2 項 (ダムケラー数) の関係をとると図 3 が得られる。理論解析から実験結果を良好に再現できたことから、熱面着火の臨界条件を予測できる可能性が示唆された。本現象の数値シミュレーションによる再現にも取り組み、汎用流体解析ソフト FLUENT を用いて、実験値をヒーター温度に入力することで図 4 のように実験結果を良好に再現できることが示された。

(2) 着火源に電気スパークを用いた場合

不活性な固体壁を有する電極を用いてスパークを生じさせ、形成された火炎核のエンタルピーが電極壁への熱損失に打ち勝って火炎を持続形成し電極壁から通り抜けてこられる場合を着火とみなし、このときの火炎核のエンタルピーを最小着火エネルギーと定義する方法がある。このとき、火炎核が電極壁を通り抜けられる最小の間隔を消炎距離と呼ぶ。この方法による最小着火エネルギーは電流電圧波形の直接計測よりも誤差が少ないことが知られている。そこで本研究では流動するプロパン／空気混合気の消炎距離をまず測定した。電極間隔は図 1 (b) に示す燃焼容器に取り付けた、ダイヤルゲージ付き電極を操作することにより、0.01 mm 単位で制御可能である。

スパーク発生後 12.82 ms における電極周囲の様子の高速度撮影画像を図 5 に示す。流速 0.0 m/s では火炎先端が電極の左右両端から抜け出てきているが、1.0 m/s では下流側からのみ通り抜けてきていて、さらに 3.0 m/s になると火炎領域が拡大している。また、流速増加に伴って消炎距離が小さくなっている。このことは、流速の増加によって着火が容易にな

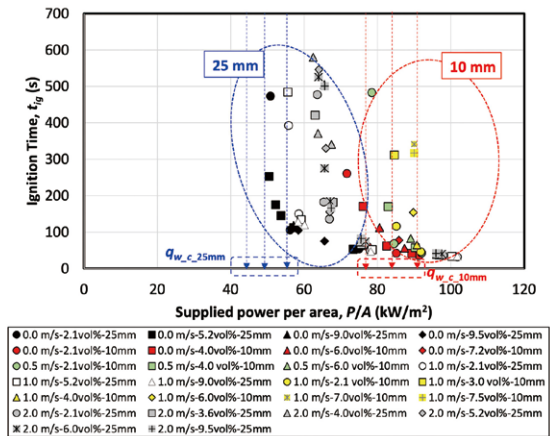


図 2 着火時間と供給パワーの関係

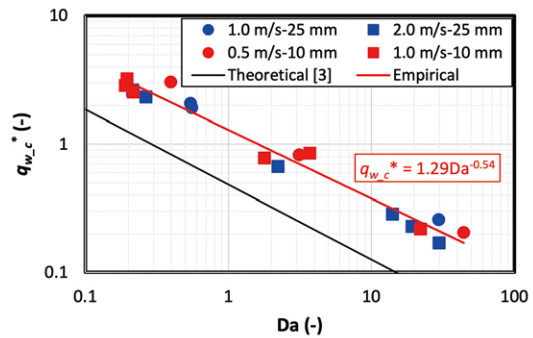


図 3 $q_{w,c}^*$ とダムケラー数の関係

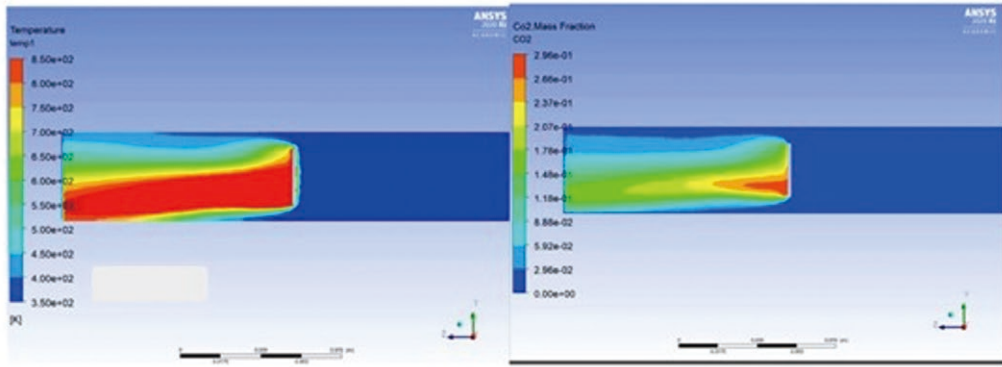


図4 数値シミュレーションによる着火挙動の再現（左：温度，右：CO2）

り、かつ、燃焼が促進されていることを表す。これは、流動によって電極壁と予混合気主流との間に境界層が形成されたこと、流動によって電極間に滞留する時間が短縮されたことの2点により、電極壁への熱損失が小さくなったためと考えられる。このことから、流動時における消炎距離 d_q と静穏下における消炎距離 d_{q0} の比は燃焼速度と流速の関数（式（2））で書けると考えた。

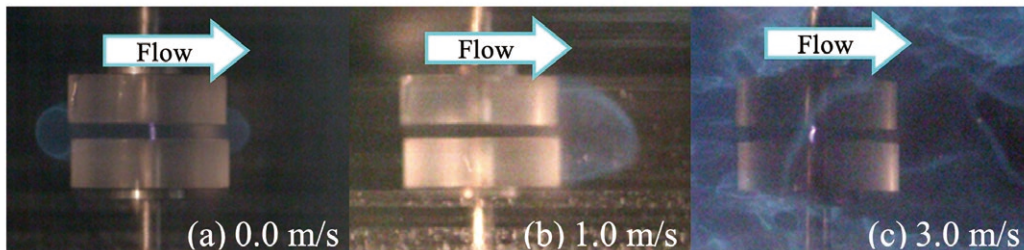


図5 放電後 12.82 ms における電極周囲の火炎核の伝播挙動

$$\frac{d_q}{d_{q0}} = 1.01 \left(\frac{s+u}{s} \right)^{-0.10} \quad (2)$$

これを実験結果に合わせたものが図6である。式（2）中の燃焼速度 s の値は文献値を使用したが、青プロットのデータは燃焼が弱いことから燃焼速度の実測値がほとんど存在しないので、式（2）に合うように燃焼速度をフィッティングしたものである。これはすなわち消炎距離を求めれば、測定が難しいとされる弱い燃焼の燃焼速度を予測できる可能性が示されたことになり、燃焼工学上有用な知見である。

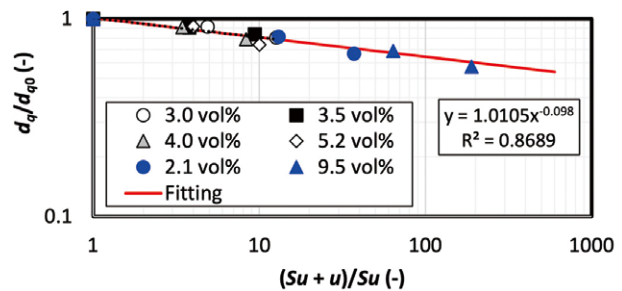


図6 無次元消炎距離と無次元火炎速度の関係

3.2 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。2020年度は、①喫煙によるプロパン／空気予混合気への着火危険性の評価と②有接点リレー開閉時の放電による着火性の評価を行った。①では、喫煙を再現できる吸煙装置をポンプ及び流量計を組み合わせ構成し、たばこ表面の温度を測定した。さらに、着火されたたばこをプロパン／空気予混合気中に暴露したところ、着火は認められなかった。たばこ表面からのプロパン／空気予混合気との熱交換が熱伝導によるとして、フーリエの法則により伝熱量を求め、これを 3.1 (1) の研究で得た臨界熱流束－熱面寸法の関係図にプロットしたところ、「不着火」の領域にプロットされた。これより、3.1 (1) の成果によって熱面による着火性を評価できることが示された。②では、負荷となる抵抗の大きさやコイルのインダクタンス、コンデンサのキャパシタンスをさまざまに変化させて、リレー接点で生じる放電のエネルギー測定および予混合気中への暴露による着火性評価を行った。その結果、着火確率は回路を流れる電流の大きさと消費電力に大きく依存することが示された。

3.3 微小重力環境下における着火・燃焼性評価

昨今の宇宙開発の進歩はめざましく、遠くない将来宇宙旅行はより身近なものとなるだろう。微小重力環境下となる宇宙船内での火災・爆発を防止するためには、そもそも微小重力環境下での可燃性物質の着火・燃焼挙動の詳細把握と、それに立脚した適切な消火方法の確立が必要である。本研究ではこの観点から微小重力環境下での防火研究に着手した。まず、微小重力環境を構築するために、ラボスケールの自由落下塔（高さ 1.5 m、約 10^{-3} G を約 400 ms 達成可能）を設計・製作した。落下ラックは 600 mm×450 mm×330 mm で、燃焼容器、カメラ、加速度センサ、着火系統を備えている。微小重力環境下では図 7 に示すように、対流成分の減少により上方への火炎伝播が抑制され下方伝播が観測される。

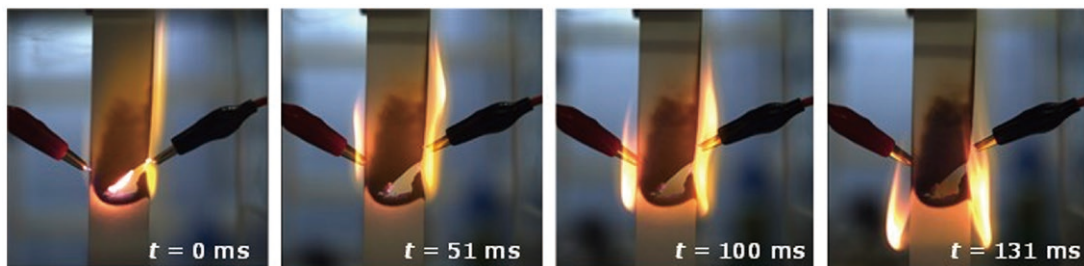


図 7 微小重力環境下におけるろ紙の燃え広がり挙動 (t: 落下開始からの経過時間)

4. 今後の計画

2021 年度	<ul style="list-style-type: none"> (1) 流動する可燃性ガスの着火・燃焼性に関する研究 <ul style="list-style-type: none"> ・予混合気のルイス数が着火性に及ぼす影響 ・電極平板寸法が消炎距離に及ぼす影響 ・着火源を統一的に取り扱える評価手法の構築 (2) 地球温暖化効果の小さい可燃性ガスの冷媒使用時のハザード評価 <ul style="list-style-type: none"> ・着火性に及ぼす放電時間の影響 ・レーザーによる着火・燃焼性の評価 ・有接点リレー等の電気スパークによる着火性の評価 (3) 低重力環境下における着火・燃焼性評価 <ul style="list-style-type: none"> ・低重力環境下における可燃性固体の燃え広がり挙動の把握 ・予混合気の着火・燃焼挙動 ・効果的消火方法の開発 (4) ビッグデータを活用した火災・爆発情報の解析
---------	--

応力聴診器を用いたき裂の面内せん断モード応力拡大係数解析の試み

1. 背景・目的

本研究の目的は、摩擦型ひずみゲージが内蔵された応力聴診器を用いて、き裂の面内せん断モード応力拡大係数 (K_{II}) の解析を試みることである。そのために、引張せん断平板試験片と3軸型応力聴診器を用いてき裂先端付近のひずみを測定し K_{II} 値を算出するとともに、従来法の2軸直交型ひずみゲージを用いた場合および有限要素解析による方法とを比較することで本手法の可能性を検証した。

2. 研究メンバー

志村 穰

3. 本年度の研究成果

図1は本研究で用いた引張せん断平板試験片の寸法および形状である。この試験片形状は、中央部のき裂間でせん断応力が支配的になることが先行研究により確認されている。試験片材料は冷間圧延鋼材 SPCC を使用し、図中の赤線部にはワイヤーカットにより幅 0.32 mm のスリットを入れ、この先端部を擬似的にき裂とみなしている。なお、本研究ではき裂長さ LC を 15 mm とした。本試験片を精密万能試験機に取り付け、0.001 mm/s の変位速度による引張負荷を作用させた。同時にき裂先端付近に生じるひずみを2軸直交型ひずみゲージおよび図2に示す応力聴診器により検出し、これらの測定値を K_{II} 解析式に適用し K_{II} 値

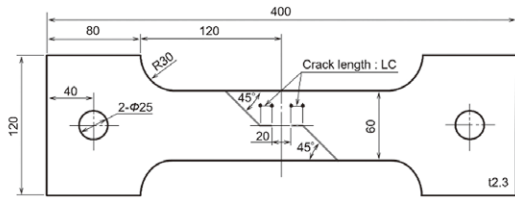


図1 擬似き裂を有する引張せん断平板試験片

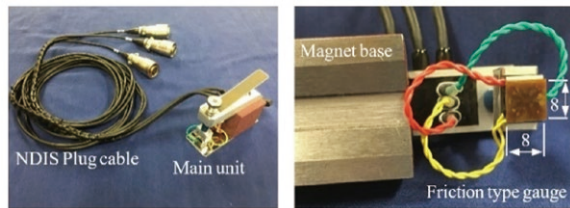


図2 応力聴診器 (3軸型)

を算出した。

図3は引張せん断平板試験片に引張負荷を2000 Nまで作用させた際の、2軸直交型ひずみゲージおよび応力聴診器によるひずみ測定結果を示す。ひずみ測定点はき裂先端から1.3 mmである。ひずみ測定は500 N毎に実施したが、いずれの場合も荷重に対するひずみの出力は線形性を有していることがわかる。

図4は有限要素応力解析結果の要素せん断ひずみを用いて、 K_{II} 値を外挿法により求める外挿線図である。図3と同様に荷重は4段階であり、図中には4種類プロットされている。縦軸との交点(切片)が K_{II} 値の外挿値であり、これらの値を本研究での理論値とした。500~2000 Nに対する K_{II} 理論値(外挿値)はそれぞれ1.558, 3.116, 4.675, 6.223 $\text{MPa}\sqrt{\text{m}}$ である。

図5は応力負荷レベル10.87 MPa (500 N), 21.73 MPa(1000 N) および 43.48 MPa(2000 N)における、き裂先端からの距離 r [mm] と K_{II} 値との関係を示す。○プロットはひずみゲ-

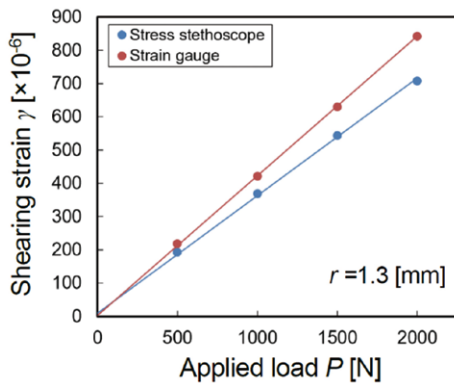


図3 せん断ひずみ測定結果

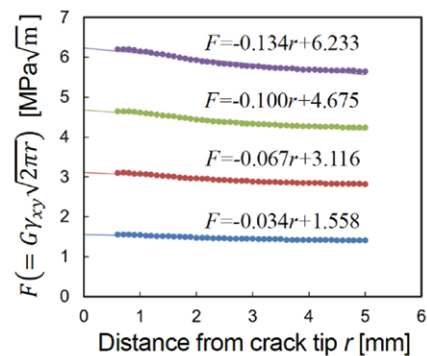


図4 有限要素解析結果を用いた外挿線図

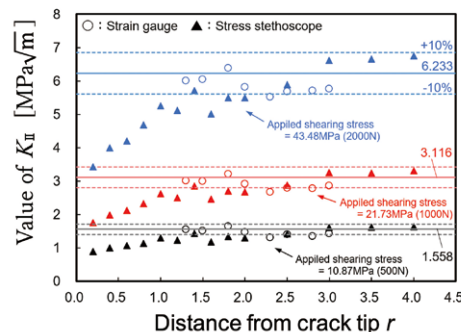


図5 き裂先端からの距離と K_{II} 値との関係

ジ、▲プロットは応力聴診器の数値を指し、各応力負荷に対する K_{II} 理論値を水平実線およびその $\pm 10\%$ 誤差範囲を水平破線でそれぞれ付記した。2 軸直交型ひずみゲージの場合、き裂先端に近いほど誤差が少なく、解析精度が上昇する傾向が見られ、 $r = 1.3\sim 2.0$ mm の範囲が最適と考えられる。一方の応力聴診器では、その特長を生かし多点の測定を試行したが、 $\pm 10\%$ 誤差範囲に収まるのは $r = 2.5$ mm 以降のように見受けられる。

以上より、本提案手法の可能性を示唆するとともに、これらの成果を学会（日本機械学会関東支部山梨講演会 2020、2020 年 11 月 / 日本機械学会北陸信越支部第 58 期総会・講演会、2021 年 3 月 いずれもオンライン）にて口頭発表した。

4. 今後の計画

2021 年度は、試験片の改良（擬似き裂幅のダウンサイズ化）、き裂間距離が解析精度に及ぼす影響の検討、せん断ひずみ用ゲージ手法の検討等を実施する予定である。

低融合火炎の火炎性状に関する研究

1. 背景・目的

大型商業施設などにあるアトリウムでは、機械式換気と省エネの観点から自然換気が行われており、空気溜まりが下方から上方への流れにより換気が行われている。また、アトリウムの最下階では、広いスペースを利用して特設ブースや売店などが設置されることが多い。これらのブースや売店などで火災が発生した場合、次々に火災が拡大することで、複数の火源同士で融合が発生し、大きな旋回火炎に成長する可能性がある。そのため、複数個の火源により生成される旋回融合火炎の火炎性状を明らかにすることは、火災安全及び消火手法の開発等に役立てることが出来る。

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

旋回火炎発生装置内に複数個の火源を設置し、装置中心軸上の温度と速度を計測し火炎性状を明らかにした。旋回火炎発生装置は、半径 253 mm に内接する正十六角形に衝立（高さ 1800 mm）を設置した。衝立の接線方向の角度（ θ ）は 10° とした。円形火源（ $D=38$ mm）は 6 個用い、火源間距離（ S ）を変化させ設置し、 S/D は $0\sim 3.45$ に変化させた。燃料は 2-プロパノールを使用した。装置中心軸上の速度は二方向管と微差圧計、温度は K 型熱電対を用いて計測した。計測高さは、 $0\sim 1600$ mm の範囲で 100 mm ごとに変化させた。また実

験中の燃料の重量を電子天秤で計測し、発熱速度を算出した。

S/D = 0.05 以下では、融合旋回火炎が発生しており、 $z/Q^{2/5}=0.08\sim 0.2$ の温度及び速度は、加減 1 個の自由燃焼の温度、速度減衰をモデル化した、McCaffrey モデル式よりも大きくなった。これは連続火炎領域が増加し、間歇火炎領域が小さくなったことを示している。 $z/Q^{2/5}=0.2$ 以上となると、プルーム領域での傾きがモデル式より大きくなることで、温度はモデル式の値に近くなり、速度はモデル式の値より小さい値となった。S/D=3.45 では火炎は独立して傾いていたが、装置上部の $z/Q^{2/5}=0.5$ 以上では、他の条件と同程度の温度及び速度減衰となった。

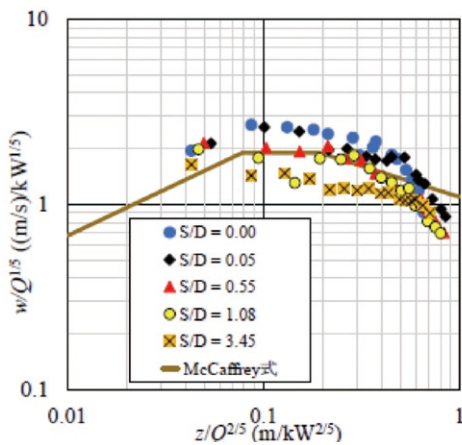


図 1 装置中心軸上の温度減衰

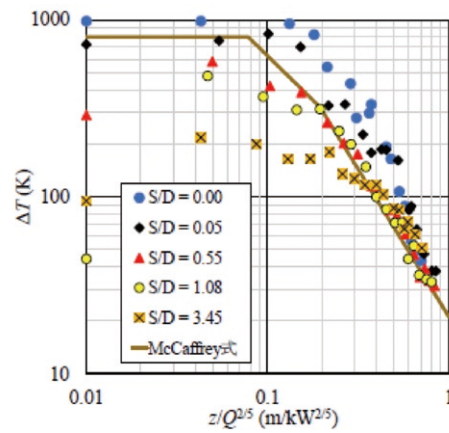


図 2 装置中心軸上の速度減衰

融合旋回火炎は、温度及び速度の変化から見ても、自由燃焼時より連続火炎領域が増加し、間歇火炎領域が減少していることが分かった。また、装置上部での温度及び速度は、火源間距離によらず、ほぼ一定値に収束した。このことより、周囲空気の流入方向が制限されている空間では、火源間距離が十分に離れている場合でも、熱気流は装置中心軸上に集合すると考えられる。

4. 今後の計画

今後は、衝立角度、火源数が変化した場合についても検討を行っていく予定である。

ニオイによる火災感知に関する研究

1. 背景・目的

火災発生時には、煙や熱の他にニオイも発生しており、在館者が煙や炎を発見し火災に気付くだけでなく、きな臭いあるいは通常と異なるニオイにより火災に気付くことも多い。また、火災における出火域や出火原因の特定は、同様な火災の再発防止につながる点においても重要である。火災現場の調査時に調査員や捜査員は、焦げ臭の中から油臭を感じ、可燃

性液体を検知することがある。ニオイは五感の一つであるが、ニオイを定性・定量的に伝える語彙が極めて少なく、しかも定量的な表現は困難である。ニオイを指標とした火災状況（火災初期、発展、終了および燃焼残渣物の分析）把握に関する研究は世界的に行われていない。2018年度から継続的にニオイの変化による火災感知手法の確立に主軸を置き研究を行っており、材料の酸化熱分解時に発生するニオイ及び成分分析を行ってきた。昨年度までは、木材を対象として、酸素濃度の違い、昇温速度の違いにより発生するニオイの違いを明らかにしてきた。今年度は、プラスチック系材料の低密度ポリエチレン（LDPE）及びポリスチレン（PS）を対象に参加熱分解時に発生する成分分析を行った。

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

一定昇温速度で試料を加熱する装置として、熱分析装置の1種のTG-DTAを使用し、その排気口とFT-IRを加熱配管（140℃）で繋ぎ、TGDTA/FT-IRの同時測定を行った。試料には、LDPE、PSを用いた。TG-DTAの測定条件は、試料重量約10mg、雰囲気ガスは窒素（G3）又は空気（G3）、ガス流量300ml/min、昇温速度5~20℃/min、到達温度550℃とした。FT-IRの測定条件は、分解能8cm⁻¹、測定範囲1000~4000cm⁻¹、光路長2.7m、ガスセル温度140℃、インターバルで測定間隔を30sに設定し測定した。

LDPEとPSの熱分解温度は、それぞれ約360~450℃、約375~425℃であった。窒素雰囲気及び空気雰囲気ともに発熱反応を示し、発熱ピーク温度は空気雰囲気の方が窒素雰囲気より低くなった。図3は、LDPE、PS、木材（スギ）の昇温速度10℃/min時のFT-IR結果のうち、ベンゼン環、アルデヒド基及びCOが検出された温度域を示す。スギの熱分解時には、ベンゼン環は検出されなかったが、COとアルデヒド基は全ての試料で検出された。プラスチック材料では、雰囲気ガスの違いによりCOの検出温度に変化は見られなかったが、アルデヒド基は、雰囲気ガスにより100℃程度差が生じた。全ての試料の熱分解が活発になる温度域で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。

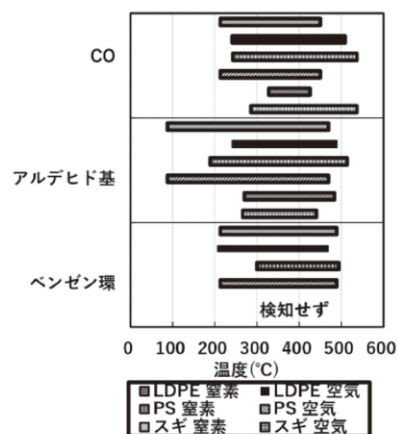


図3 昇温速度10℃/minにおける各化学種が検出された温度域

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。今年度は、LDPE と PS を対象として実験を行ったが、家庭内ではポリプロピレン（PP）なども多く使用されており、また、コロナウィルスの飛沫防止のために、透明フィルムやアクリル板も多く使用されている。これらの燃焼時の化学種及びニオイの計測を行っていく予定である。

地元企業・コミュニティへの AI の普及支援に関する研究

1. 背景・目的

AI が爆発的に普及している。こうした中で多くの企業や個人は、それぞれに必要な AI を導入したいと考えているが、あまりにも急速な変化に従っていくのが困難で、各法人・個人にとって必要な仕組を導入することが出来ない状況が見られる。本研究はこの問題を解決するために、AI 導入のための第一歩を踏み出すことを支援する教材及び教育プログラムを開発し、実施・サポートを行った。

2. 研究メンバー

渡辺 毅

3. 本年度の研究成果

「IoT・AI 講座準備編」を実施し、多くの企業・一般からの参加者にご参加いただいた。講座は、当初対面で実施することを計画していたが、新型コロナウイルス感染症拡大防止のために遠隔で実施することに変更し、教材の送付及び動画教材の配信によって行った。質問はメールやウェブ会議によって受け付け、多くの方々から多数の質問、問い合わせをいただいた。内容は、特徴量による分類、画像判定、音声判定の三種類とし、各自が所有する PC に配布した機材を接続して実施してもらった。これにより、各自の手許にある機材をそのまま AI として利用するための基本的な仕組が準備され、講座の「準備編」としての役割が果たされた。また本年度初めて実施された「上川水位予測コンテスト」において技術支援を行った。多くの学生が参加し、多数の質問をいただいた。これらの質疑応答を通して、学内における AI リテラシーの底上げが達成された。また最優秀賞を受賞した学生の予測プログラムは非常に優れたもので十分に実用に耐えうるものであった。

4. 今後の計画

2020 年度に実施した「IoT・AI 講座準備編」でいただいたアンケート結果等に基づいて講座の内容を改良し 2021 年度も講座を実施する予定である。

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] 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*, 120, (2021) .
- [2] 桑名一徳, 今村友彦: 可燃性予混合気の熱面着火の相似則 - 加熱壁面に衝突する淀み流の場合 -, *実験力学*, 20 (4) , 251-254, (2020) .
- [3] 志村穰, 君塚政文, 宮川睦巳, 黒崎茂: 波型突き合わせ接着継手の引張強度向上の試み, *材料試験技術*, 65, 3, (2020) , 148-154.

査読付き国際会議

- [1] Ishimura, J., Miyagawa, M., Kurosaki, S.: Tensile shear strength characteristics for adhesively single-lap joints composed of quasi-isotropic laminated CFRPs and aluminum alloy, *Proceeding of the 9th IIAE International Conference on Industrial Application Engineering 2021*, (March 2021) , 177-181.

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局部変形体積と初期断面積による正規化の試み, 第 69 期学術講演会講演論文集, 日本材料学会, 電気通信大学 (東京都調布市), [開催中止, 希望者のみ掲載・発表扱い], 期間限定で学会サーバーからダウンロード, (2020.5.30) , 409.
- [2] 板橋正章: 高速引張り試験とシャルピー衝撃試験における試験片の塑性変形体積評価の試み - 低降伏比鋼の場合 -, 第 13 回材料の衝撃問題シンポジウム, 日本材料学会, [オンライン開催], Google ドライブよりダウンロード, (2020.10.13) , 07.
- [3] 今村友彦, 中澤誠人, 大江峻生, 桑名一徳: 加熱壁面に衝突する流動プロパン/空気混合気の着火条件の定常解析, 第 53 回安全工学研究発表会, (2020.12.3) .
- [4] 中澤誠人, 桑名一徳, 今村友彦: 加熱壁面による循環するプロパン/空気混合気の着火特性に及ぼす燃料濃度の影響, 第 58 回燃焼シンポジウム, (2020.12.2) .
- [5] 中澤誠人, 荻谷優行, 下村蓮, 桑名一徳, 今村友彦: 循環するプロパン/空気混合気の加熱壁面による着火のエネルギーと燃料濃度の影響, 2020 年度日本火災学会研究発表会, (2020.5, CD-ROM 販売のみ) .
- [6] 川崎竜馬, 高田宗一郎, 志村穰: 切り欠きを有する厚肉梁の固有振動の実験解析, 日本機械学会関東支部 第 27 期総会・講演会, (2021.3.11) .
- [7] 志村穰, 高田宗一郎, 林丈晴, 黒崎茂: 応力聴診器を用いたき裂の面内せん断モード応力拡大係数解析の試み, 日本機械学会北陸信越支部 第 58 期総会・講演会, (2021.3.6) .

- [8] 志村穰, 高田宗一郎, 林丈晴, 黒崎茂: 応力聴診器を用いたモードⅡ応力拡大係数測定を試み, 日本機械学会関東支部 山梨講演会 2020, (2020.11.22) .
- [9] 志村穰, 君塚政文, 宮川睦巳, 黒崎茂: 擬似等方性積層 CFRP/AL Alloy 単純重ね合わせ接着継手の引張せん断強度特性, 日本設計工学会 2020 年度秋季大会研究発表講演会, (2020.10.3) .
- [10] 渡辺毅: セミナー『仕組の時代』IoT や AI の仕組をどう活用すべきか? 良い仕組とは? 悪い仕組とは?, 第 3 回茅野 IoT・AI 研究会 2020, 茅野市産業振興プラザ, (2020.2.18) .

解説

- [1] 板橋正章: ワンバー法による動的引張り応力-ひずみ曲線の測定, 非破壊検査, 第 69 巻, 第 4 号, (2020) ,162-168.

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, 2018.4-2023.2.
- [3] 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), 老朽化インフラ事故対策のための応力聴診器を用いたき裂検出と応力拡大係数解析の研究, 研究代表者: 志村穰, 2020.4-2023.3.
- [4] 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.
- [5] 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.
- [6] 北海道大学・西浦廉政 (研究代表者), 東北大学・藪浩, 公立諏訪東京理科大学・渡辺毅, 京都大学・國府寛司, 日本学術振興会 科学研究費補助金 (学術研究基金助成金), 挑戦的研究 (開拓), 散逸系複雑ダイナミクスの万能細胞を求めて, 2018.6-2023.3.

