ISSN 2185-372X

THERMAL ENGINEERING

TED Newsletter on the WEB

日本機械学会熱工学部門ニュースレター
TED Newsletter No.95 December 2021

目　　次

1. TED Plaza
- 冷媒伝熱データベースの構築
  宮良　明男（佐賀大学）
- リチウム空気電池の高出力化を目指した多孔質電極内の酸素濃度計測
  植村　豪（北海道大学）

2. 2021 年度年次大会 熱工学部門報告
3. 熱工学コンファレンス 2021 開催報告
4. 熱工学ワークショップ 2021 開催報告
5. 第 98 期（2020 年度）熱工学部門賞・部門一般表彰報告
6. 行事案内
- 部門関連行事案内
- 国際会議案内

7. その他
- 編集後記

TED Plaza

冷媒伝熱データベースの構築

宮良　明男

佐賀大学　教授
理工学部　機械工学部門
miyara@me.saga-u.ac.jp

1．はじめに

気液相変化を伴う伝熱に関する科学的研究は，沸騰は 1756 年の Leidenfrost の論文（西川，藤田，1974），凝縮は 1861 年の Joule の研究（藤井，上原，1973）に始まり，これまでに数多くの研究者によってさまざまな視点から，実験的研究や理論的研究が行われてきた．そして近年の論文や国内外の学会での発表を見ると，数値計算，分子動力学，計測法などの発達，また各研究者の独創的で洗練された研究により，マクロおよびミクロな視点の両面で，その現象が高いレベルまで解明されてきたように思う．

しかしそのような現象解明の進展の一方，熱交換器の設計やシステムのシミュレーションなどに必要な熱伝達率や圧力損失の予測は未だ十分ではなく，比較的簡単な伝熱面形状であっても，提案された相関式が期待される予測精度内で実験値と一致しないことも多い．これは，気液相変化現象の複雑さと，冷媒の熱物性値などの熱伝達を支配する因子の多さに起因すると考えられる．また，伝熱面形状や熱交換器の形態は様々であり，全ての伝熱面，熱交換器に対して予測精度の高い相関式を作成することは困難である．

冷凍機や空調機，ヒートポンプでは，様々な熱交換器が使用されていることに加え，そこで使われている冷媒は図 1 に示すように，機械式冷凍機が開発された当初の可燃性や毒性は有するがとりあえず使用可能な第 1 世代冷媒，安全性を確立した第 2 世代，オゾン層破壊問題に適合した第 3 世代と変遷してきた．そして，パリ協定やモントリオール議定書キガリ改正といった国際条約，菅首相の 2050 年カーボンニュートラル宣言などを背景にオゾン層破壊問題と地球温暖化防止の両方に適合する第 4 世代冷媒の開発が緊急の課題となっている．

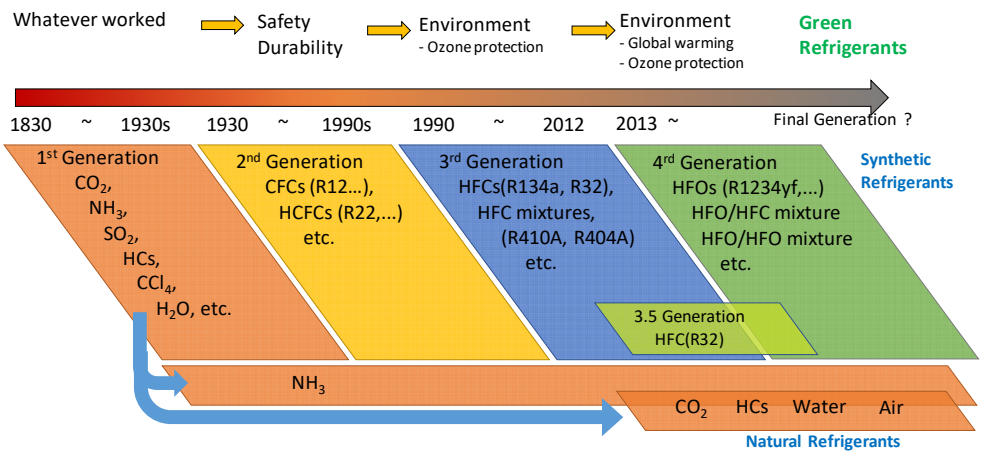


Fig. 1　A brief history of refrigerant from 1st generation to 4th generation

第 4 世代冷媒はグリーン冷媒とも呼ばれ，地球温暖化係数（GWP）の小さいフルオロカーボンの Hydrofluoroolefin (HFO) 系冷媒と自然冷媒と呼ばれるアンモニアや二酸化炭素，炭化水素，水，空気に大別される．なお，HFO 系冷媒の中の純媒体で使用できるものは 5 種類程度であり，その 5 つだけでは様々な用途で使用される冷凍空調機に対応できないため，Hydrofluorocarbon (HFC) 系冷媒や自然冷媒を混合して GWP 値や燃焼性，蒸気圧などの熱物性値を調整した混合冷媒が多く提案されている．表 1 に代表的な冷媒について熱伝達に影響する熱物性値を示す．上段は自然冷媒，中段は HFC 系冷媒，下段は HFO 系冷媒と HFO 系冷媒を含む混合冷媒である．冷媒ごとに熱物性値が異なるのは当然であるが，熱伝達に影響するそれぞれの物性値の違いが必ずしも相似的でないことや混合冷媒の相変化の際の温度変化（表中の Temp. glide）が，全ての冷媒に対して適用可能な熱伝達率の一般相関式の作成や相関式による高精度な予測を妨げている．

Table 1　Thermophysical properties of natural refrigerants, HFCs, and HFO/HFO blends calculated with REFPROP (Lemmon et al., 2018)

Refrigerant	Temp.	Pressure	Latent heat	Density		Temp. glide	Viscosity		Thermal conductivity		Surface tension
				Liquid	Vapor		Liquid	Vapor	Liquid	Vapor	
	℃	MPa	kJ kg^{-1}	kg m^{-3}		K	μPa s		mW m^{-1} K^{-1}		mN m^{-1}
R600a	10	0.221	344.6	568.9	5.87	0	177.5	7.1	94.8	15.3	11.7
R290	10	0.637	360.3	514.7	13.78	0	113.5	7.7	100.9	16.9	8.9
R744	10	4.502	197.2	861.1	135.16	0	83.5	15.8	97.2	25.2	2.7
R717	10	0.615	1225.2	624.8	4.87	0	148.0	9.4	502.3	25.1	24.0
R134a	10	0.415	190.7	1261.0	20.23	0	234.9	11.1	87.6	12.4	10.0
R22	10	0.681	196.7	1246.7	28.82	0	193.7	11.8	90.2	10.1	10.3
R32	10	1.107	298.9	1019.7	30.23	0	134.6	12.0	137.4	12.8	9.3
R410A	10	1.088	209.0	1128.4	41.18	0.11	142.8	12.7	97.5	13.4	7.4
R1234yf	10	0.438	156.6	1144.0	24.27	0	182.4	10.7	68.2	12.5	8.1
R1234ze(E)	10	0.308	177.6	1210.4	16.45	0	230.6	11.3	79.4	12.4	11.0
R452B	10	1.042	243.3	1054.9	33.13	1.15	136.9	12.1	113.0	13.0	8.3
R454B	10	1.032	247.6	1045.0	32.02	1.32	136.5	12.0	115.0	12.9	8.5
R454C	10	0.789	178.8	1100.7	31.20	7.57	155.0	11.7	81.8	12.9	7.8
R466A	10	1.161	184.1	1368.0	49.02	0.08	166.8	14.2	114.8	12.4	10.3
R447A	10	0.997	253.4	1079.4	29.87	4.19	146.5	12.1	120.4	12.8	9.6

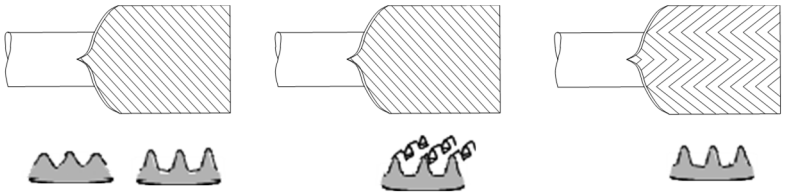
冷凍機や空調機で使用される代表的な熱交換器は，フィンアンドチューブ熱交換器，シェルアンドチューブ熱交換器，マイクロチャンネル熱交換器，プレート式熱交換器などであり，冷媒は様々な形態の流路で沸騰または凝縮しながら熱交換を行う．また，それぞれの熱交換器において，伝熱促進のための表面加工などが施される．管内の伝熱促進で代表的なものは，内面に 0.1～0.2 mm の溝（マイクロフィン）が加工されたらせん溝付管である．管外面伝熱促進には 2 次元フィンや複雑な 3 次元形状を有する加工が施される．冷媒の沸騰や凝縮の伝熱促進に関する研究は過去から多くなされており，論文中には貴重なデータが示されているが，それを二次的に利用するためには図や表，文章中から数値を抽出する必要があり，多大な手間がかかる．

前述した地球温暖化影響の小さい新規冷媒の熱伝達については，種々の熱交換器，伝熱促進管，伝熱促進面を用いた実験が近年盛んに行われるようになり，時々刻々新たな実験結果が報告されている．これらの研究成果により，低 GWP 冷媒を使った冷凍空調機の開発が進むものと期待されるが，開発を推進するためには実験データを簡便かつ速やかに評価できるシステムが望まれる．ここでは，現在構築中の冷媒伝熱データベースの概要を説明するとともに，将来的な発展について説明する．

２． 冷凍空調機に用いられる熱交換器の冷媒伝熱促進

冷媒伝熱データベースに収集される伝熱データの一例として，管内沸騰および凝縮の伝熱促進に多く使用される溝付管（マイクロフィン管とも呼ばれる）について紹介する．これまでに開発された溝付管の主なものは図 2 に示す (a) らせん溝付管，(b) クロス溝付管，(c) ヘリンボーン溝付管であり，溝の深さや形状，数，リード角などの溝形状の影響，冷媒の質量速度や乾き度などの

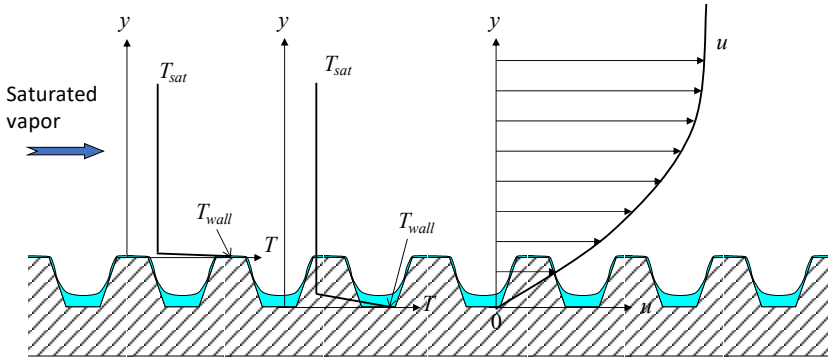
冷媒側条件の影響が実験的に調べられている．冷媒伝熱データベースにはこれらのパラメータを全て含め，それぞれの評価ができる機能を持たせるように設計している．



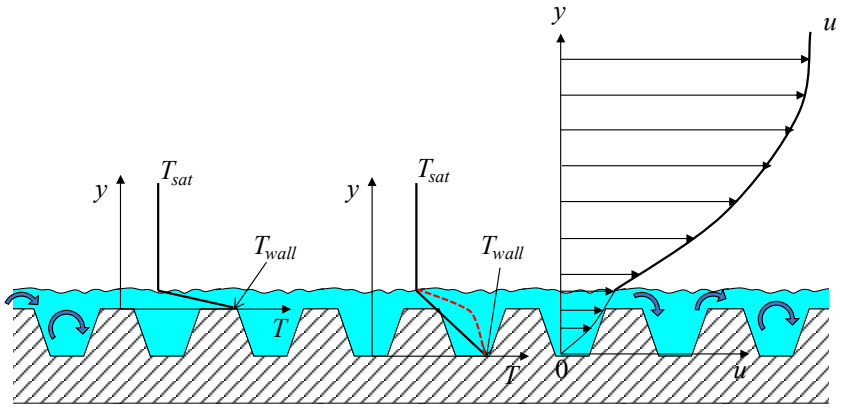
(a) Spiral　(b) Cross grooved　(c) Herringbone

Fig. 2　Microfin tubes

溝付管の伝熱促進は，溝周りに形成される薄い液膜，伝熱面積の拡大，溝による流れのかく乱効果の 3 つが考えられる．図 3(a) に示すように，乾き度が高く液膜が薄い流れの場合，溝の周りに極めて薄い液膜が形成される．気液界面温度は飽和温度と一致するので，温度境界層は液膜厚さと一致し，高い熱伝達が達成される．野津と本田（1998）や本田他（2000）は，凝縮液膜厚さと熱伝達に関する理論解析を行っている．蒸発液膜では，溝側部に形成されるメニスカス液膜の寄与が大きいと考えられている．一方，溝による摩擦圧力損失の増加率は，多くの場合に熱伝達の促進率より小さくなるが，これは速度境界層の厚さが溝深さより大きく，溝は粘性底層の中にあることが原因であると考えられる．図 3(b) に示すような溝が液膜で覆われる条件では，薄液膜の効果は無くなり，面積拡大効果と撹拌効果により伝熱が促進される．溝部の液流れが停滞するような条件では液温度が壁面温度に近くなり，面積拡大効果が小さくなる．これらの効果は溝形状や管径，冷媒物性などに依存する．なお，壁面で核沸騰が発生する場合は別の伝熱機構を考える必要があるが，ここでは説明を省略する．



(a) Thin film region



(b) Thick film region

Fig. 3　Liquid film on a microfin tube and temperature and velocity distributions

３． 伝熱データの収集と基礎データの構造

伝熱データを収集する方法と収集した基礎データの構造を図 4 に示す．収集した伝熱データは書式を定められた Excel シートに収められる．シートの左側から，(1) 伝熱形態や伝熱管，冷媒名称と混合組成比などの情報，(2) 熱伝達率や温度，圧力，質量速度，乾き度，圧力損失勾配などの実験データ，(3) 実験条件から計算された熱物性値，(4) 実験データが公開された論文の文献情報や提供者の情報，の順に構成されている．伝熱データベース構築プロジェクトに関わるメンバーおよび協力者から提供された数値データは，この書式に整理される．

文献情報からのデータ収集は，(1) は論文中の文章や図表から読み取る．(2) の実験データはグラフにプロットされたデータの数値を読み取り，座標軸に使われている変数以外のデータは実験条件の説明文などから見つけて入力し，実験データ部分を完成させる．(3) は温度，圧力，冷媒組成などの条件から REFPROP を使って計算する．(4) には論文の DOI 情報などを入力し伝熱データと紐づけができるようにする．最新の実験データおよび過去の実験データについて，このような書式で整理した基礎データを作成して蓄積する．

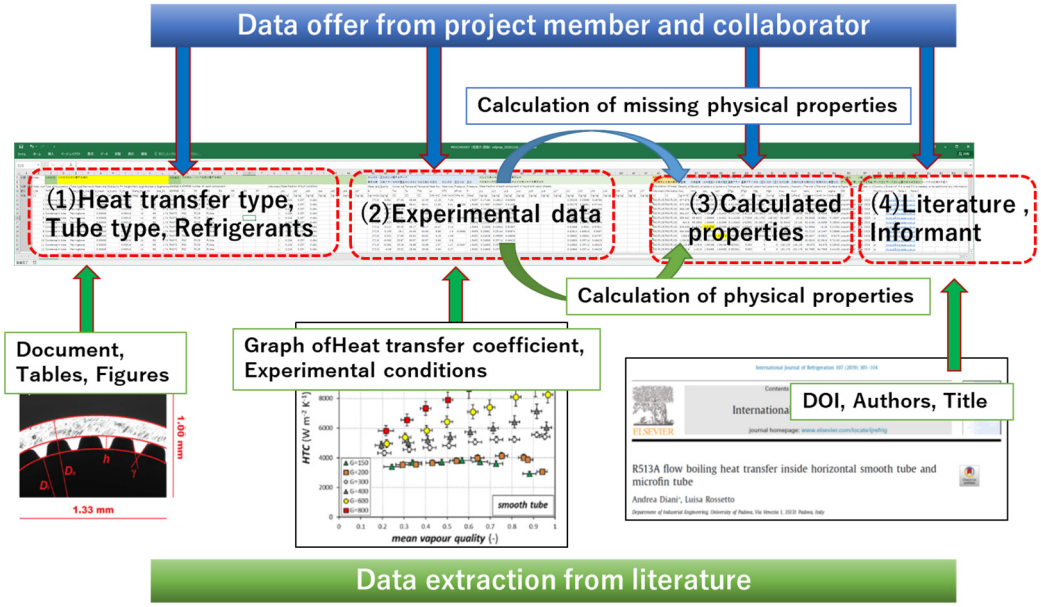


Fig. 4　Data collection scheme and basic data format

４． 伝熱データベースのネットワーク構成

伝熱データベースのネットワーク構成を図 5 に示す．蓄積した基礎データは，クラウド上のデータベース管理システムにアップロードし，データの使用や取得が簡単に行えるように構造化する．ユーザーは Website に作成した伝熱データベースシステムからアクセスして伝熱データを使用し，表示条件の設定や閲覧ができる．

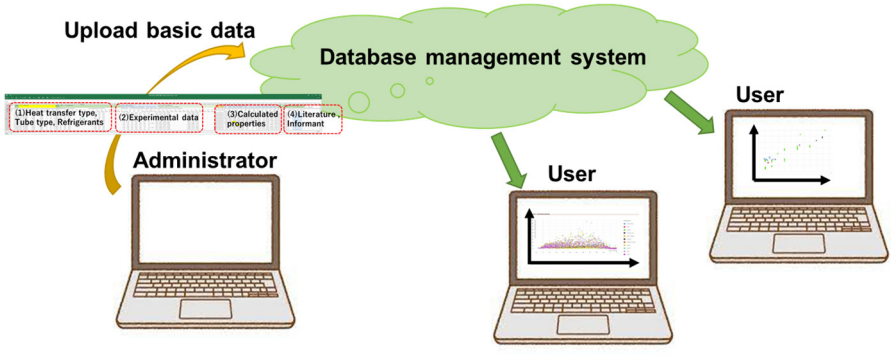


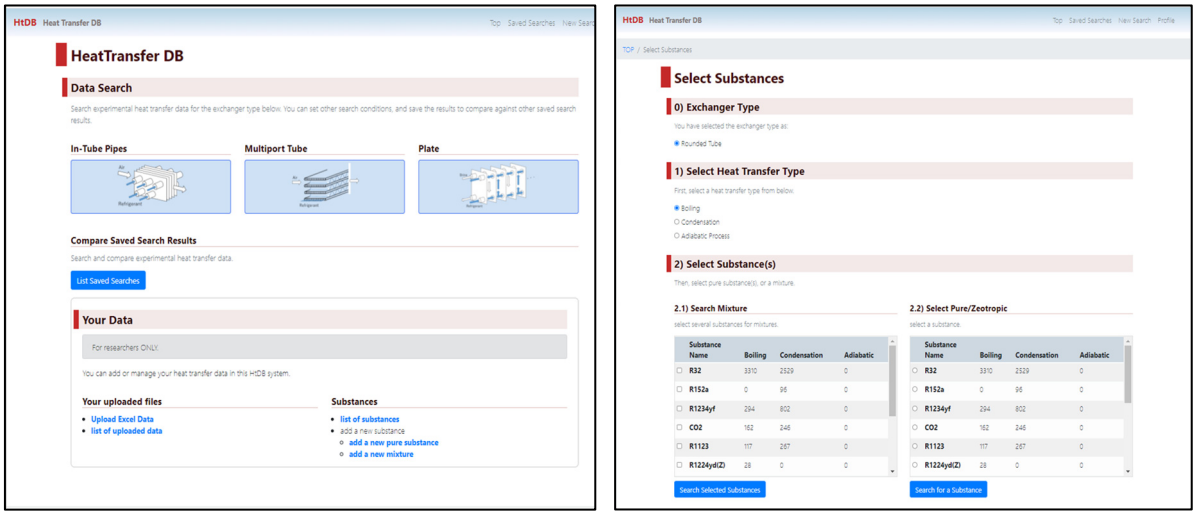
Fig. 5　Network configuration of heat transfer database

５． 伝熱データベースの機能

クラウドに構造化されて保存された伝熱データは，インターネット上に置かれたプログラムをブラウザで起動して利用する．図 6(a) はログイン後のトップ画面である．現在は，円管，扁平多孔管およびプレート式熱交換器内の沸騰および凝縮の伝熱データの収集を進めている．画面上の熱交換器の図をクリックすると，図 6(b) の画面が表示され，沸騰・凝縮・断熱などの伝熱形態や冷媒の種類を選択する画面が表示される．伝熱データベースには，現在使用されている冷媒に加え，新たに報告される新規冷媒のデータを順次追加していくとともに，オゾン層破壊や地球温暖化の問題で使用できなくなった過去の冷媒のデータも収集する．なお，冷媒には種々の純冷媒や混合冷媒が存在し，混合冷媒には組成比の異なる 2 成分もしくはそれ以上の冷媒を混合したものが数多くあり，研究者が任意に混合して実験を行ったものや ASHRAE の認証を受けた番号が付けられた特定の混合比の冷媒も存在する．伝熱データベースではこれらに対応した冷媒選択が可能である．

図 7(a)～(d) は伝熱データの表示例である．ここでは，複数の冷媒の沸騰伝熱データを例として示す. 図 7(a) は伝熱データの質量速度と圧力条件の分布であり，このようなグラフを調査すれば，どのような条件の実験データが保存されているかが分かる．なお，右側のカラムには冷媒ごとのシンボルの凡例が示されており，シンボルにポインターを合わせるとそのシンボルがハイライトされ，冷媒ごとに実験条件の分布状況が把握できる．図 7(b) は熱伝達率の乾き度に対する分布を示したものである．このグラフには様々な冷媒の平滑管や溝付管内の沸騰伝熱のデータが一緒にプロットされているためそれぞれの分布特性の判別が困難であるが，冷媒や伝熱管種類，質量速度などの条件を絞ることにより，目的の条件だけの伝熱データを表示させることができる．また，選択した表示条件を保存しておくことができ，保存した複数の表示条件のデータを同時にグラフにプロットして比較することができる．図 7(c) は，らせん溝付管について，乾き度が 0.4～0.5 の範囲の熱伝達率を熱流束に対してプロットしたものである．複数の冷媒を同時に示しているが，良く知られた特性と一致し，全体として熱流束が大きくなると熱伝達率が高くなる傾向がある．一方，同じデータを用いて質量速度に対する熱伝達率の変化を調べると，図 7(d)に示すように，質量速度の影響が小さい冷媒と，質量速度が大きくなると熱伝達率が高くなる傾向を示す冷媒が存在することが分かる．

現在は，このシステムの改良を図りながら伝熱データを蓄積している段階であるが，データを増やすことでより詳細な評価ができるようになる．また，ある特定の冷媒に関する熱伝達の調査や新規冷媒と既存冷媒の熱伝達率の比較，熱伝達率に影響する様々な支配因子の影響調査，伝熱促進管の比較調査が瞬時に行えるようになる．



(a) Top page　　(b) Selection of heat transfer type and refrigerants

Fig. 6　Website of the heat transfer database

(a) Mass velocity and pressure conditions

(b) Heat transfer coefficient versus vapor quality

(c) Heat transfer coefficient versus heat flux

(d) Heat transfer coefficient versus mass velocity

Fig. 7　Examples of data display form

６．今後の展開

クラウド上に蓄えられた伝熱データを閲覧できるだけではその価値を十分に活かせていない．ユーザーが自身の実験データとの比較を行ったり，独自の解析や相関式の作成を行ったりできるように，必要なデータをダウンロードできる機能を追加する予定である．近年の研究により気液相変化を伴う伝熱現象の理解が進んでいる中で，この伝熱データベースが理論を検証するためのデータとして使用されることも期待している．

また，大規模データは深層学習の教師データになり得るので，榎木ら（2017）が進めているような人工知能を利用した熱伝達予測などでの使用も検討している．将来的には，クラウドに人工知能を構築するようなことも考えたい．

気液二相流の流動様相や沸騰現象などの写真や動画は気液相変化伝熱を理解するための重要な情報であり，これらのデータベース化についても計画を進めたい．図 8 に伝熱データベースの将来のネットワーク構成を示す．

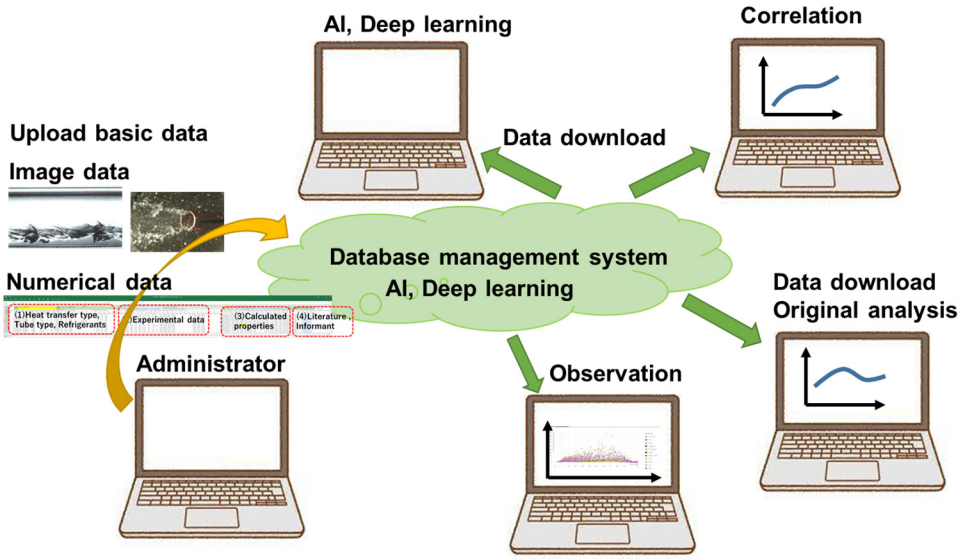


Fig. 8　Future development of heat transfer database and application network

7．おわりに

冷凍空調分野で開発を進めている伝熱データベースの概要を説明した．近い将来，一般に公開できる段階にまでシステムの開発が進んでおり，多くの方に利用していただける環境を整備する予定である．新しい伝熱データの収集やシステムの改良は継続的に進めており，伝熱研究に関わる研究者や技術者から伝熱データベースを充実させるための実験データの提供や改良についてのご意見，ご協力をいただき，さらに発展させていきたい．

謝　辞

本研究の実施にあたり，NEDO プロジェクト「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（P18005）」の支援を受けた．また，システムの開発にあたり，亀井亜佐夫氏（ワークスポット・ジェーピー）にご協力いただいた．ここに記して謝意を表する．

文献

榎木光治，清雄一，大川富雄，齋藤潔，人工知能の深層学習による円形微細流路内水平流の沸騰熱伝達の予測，混相流，Vol.31，No.4，(2017)，pp.412-421.

藤井哲，上原春男，伝熱工学の進展 Vol.1，「膜状凝縮熱伝達」，養賢堂，(1973)，p.5，（Joule, J.P., On the Surface-Condensation of Steam, Philosophical Transactions of the Royal Society of London, Vol.151, (1861), pp.133-160.）.

本田博司，王華生，野津滋，マイクロフィン付き水平管内凝縮の理論解析，日本機械学会論文集 B 編，Vol.66，No.650，(2000)，pp.2697-2703.

Lemmon, E.W., Bell, I.H., Huber, M.L., McLinden, M.O., NIST Standard Reference Database 23: Reference Fluid Thermodynamic and Transport Properties-REFPROP, Version 10.0, (2018).

西川兼康，藤田泰伸，伝熱工学の進展 Vol.2，「核沸騰」，養賢堂，(1974)，p.3，（Leidenfrost, J.G., De Aquae Communis Nonnullis Qualitatibus Tractatus, Ovenius, Duisburg am Rhein (in Latin), (1756).）.

野津滋，本田博司，冷媒のマイクロフィン付き水平管内凝縮（環状流領域における熱伝達の数値解析），日本機械学会論文集 B 編，Vol.64，No.623，(1998)，pp.2258-2265.

TED Plaza

リチウム空気電池の高出力化を目指した多孔質電極内の酸素濃度計測

植村　豪

北海道大学　准教授
大学院工学研究院　機械・宇宙航空工学部門
uem@eng.hokudai.ac.jp

1．はじめに

エネルギー環境問題への対策の一つとして，自動車動力源の電動化に関する研究開発がこれまで着々と進められ，今日では燃料電池自動車（FCV）や電気自動車（EV）などの電動車が市販されるレベルに至った．今後も電動車へのシフトは進むと考えられるが，その普及速度は従来の予想を大きく超える可能性が生じている．

本稿を執筆している 2021 年 9 月の時点では，依然として新型コロナウイルス感染症に起因した様々な影響や制約が生じている一方，アフターコロナを見据えた経済回復のための政策が各国から打ち出されている．これらのほとんどが気候変動対策を対象とした内容となっており，例えばアメリカでは 8 年間で 2 兆ドル（約 220 兆円），EU でも 7 年間で 5400 億ユーロ（約 70 兆円）もの財政が投じられる見込みである(日本経済新聞，2021)．これらの気候変動対策には再生可能エネルギー，水素，EV の普及加速なども含まれ，日本においても 2035 年までに乗用車は新車販売で電動車 100%の実現を目指すなど，様々な施策が打ち出されている(日本経済新聞，2021)．その結果，電動車の普及を加速するために，燃料電池や二次電池に対してはさらなるコストダウンや性能向上が要求され，まだまだ積極的な研究開発の推進が必要とされている．このような社会情勢を背景に，本稿では特に EV への利用を想定した次世代二次電池の高容量化，高出力化を目指した研究例を紹介する．

まず二次電池とは充電・放電を繰り返して利用できる電池であり，蓄電池とも呼ばれる．現在，我々の身の周りで最も身近な二次電池はおそらくリチウムイオン電池である（正しくはリチウムイオン“二次”電池であるが，一般的な呼称では“二次”が省略されてしまうことが多い）．リチウムイオン電池は今から 30 年前の 1991 年にソニー・エナジー・テック(株)から発売された．それまでの二次電池を越える様々な性能と特徴を有しており，中でも電池のエネルギー密度の高さは重要な利点であった．当時，エネルギー密度の高い二次電池はニッケル水素電池であり，体積または重量あたりのエネルギー密度はそれぞれ約 330 Wh/L と約 90 Wh/kg であったが，リチウムイオン電池はこの 2 倍近い性能（約 600 Wh/L と約 200 Wh/kg）を実現した(吉野，2018)．その結果，小型軽量で高出力かつ高容量な電源として利用できるようになり，ビデオカメラ，携帯電話，ノートパソコンなど，多岐にわたる電化製品の小型化に大きく寄与した．そして EV にとっては，従来の二次電池では性能が不十分であったが，リチウムイオン電池を搭載することで 2000 年代には実用化に至ることができた．

このように EV は既に市販されているものの，EV に用いる二次電池の性能に対する要求は尽きていない．コスト，安全性，耐久性なども当然ながら，現行の EV では航続距離がまだ内燃機関を搭載した自動車よりも短いため，航続距離の長大化，すなわち電池容量の増加が重要な課題と

なっている．航続距離を延ばす最も簡単な解決策は電池を大量に搭載することであるが，既に現行の EV では 200~500 L ものリチウムイオン電池が搭載されている．車体の床下全面がリチウムイオン電池で埋め尽くされており，航続距離を延ばすためにさらに電池を搭載する空間的な余地は残されていない．このため，電池の搭載量を増やすのではなくエネルギー密度を上昇させる，つまり現在のリチウムイオン電池を越える次世代二次電池の開発が必要不可欠となっている．

次世代二次電池には複数の候補があり，その中でも著者はリチウム空気電池（正しくはリチウム空気二次電池）を対象として研究に取り組んでいる．リチウム空気電池は図 1 に示すようにリチウム金属と空気中の酸素を反応に用いる二次電池であり，理論上はリチウムイオン電池の 5~10 倍の電池容量を実現できる(Girishkumar et al., 2010)．現在のリチウムイオン電池の場合は－極（負極）に黒鉛，＋極（正極）にコバルト酸リチウムなどの材料が用いられ，反応に寄与するリチウムはこれらの材料の原子間にイオンとして挿入された状態となっている．つまりリチウム以外の物質は単なる入れ物としての役割しかなく，電池内で余分な体積を占めて電池容量を低下させる要因となっている．一方，リチウム空気電池では負極に純リチウム金属を用いており，リチウムを高密度に蓄えている．さらに正極では放電時に大気中の酸素を用いるため，反応に必要な物質を電池内部に蓄えておく必要がないため，リチウム空気電池は理論容量の大きな二次電池として注目されている．

しかしリチウム空気電池の大きな問題点として，高出力（高い電流密度）で放電できないことが挙げられる．実用化のためには 10 mA/cm^2 程度の電流密度が必要とされるが，現状では 0.1~1.0 mA/cm^2 程度の電流密度にとどまっている(Xianglin et al., 2015)．この要因の一つとして，正極の反応面への酸素輸送によって放電性能が律速されることが挙げられる．一般的な正極には厚みが 500 µm 前後の炭素多孔質材料が用いられ，空隙内に電解液が含侵した状態になっている．放電の際は空気中の酸素が電解液中に溶解，拡散して多孔質電極中の反応面へ輸送される．ところが電解液の飽和溶存酸素濃度は低く，酸素の拡散係数も小さいため，多孔質電極の深部では低い酸素フラックスしか達成できない(Shibata et al., 2015)．その結果，放電時の電流密度を上昇させると，反応領域は電極の気液界面近傍に偏在し，濃度過電圧が生じて放電性能が低下すると考えられているが，これまでこのような放電中の多孔質電極内の酸素濃度を捉えた実験例は無い．そこで本研究では，電解液中の酸素輸送現象の解明に向けた基礎的な研究として，微細ファイバーを用いた酸素センサーを作製し，放電時における正極多孔質内の酸素濃度を計測した．

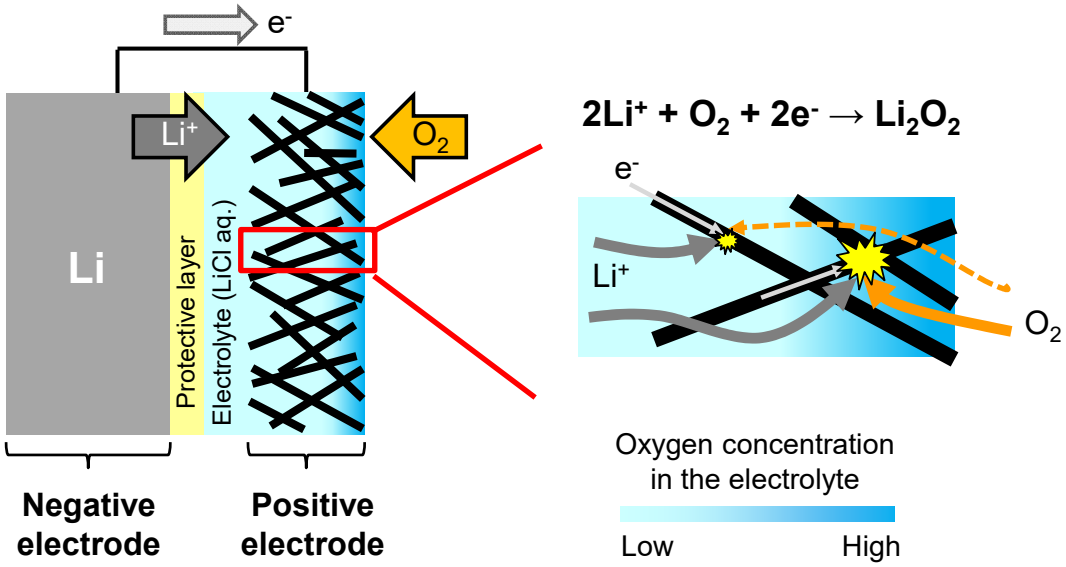


Fig. 1　Schematic image of lithium-air battery (discharge process)

２． 実験手法

２・１　酸素濃度計測手法

まず酸素濃度を計測する手法として，本研究では白金ポルフィリン錯体（PtTFPP）を混入した酸素検出塗料による光誘起蛍光法を用いた(Chu et al., 2014)．PtTFPP に励起光（405 nm）を照射すると燐光（650 nm）を発し，その強度が周囲の酸素濃度に依存するため，燐光強度を計測することで酸素濃度が計測できる．燐光強度と酸素濃度には式（1）の Stern-Volmer の式で示される関係がある．

$$\frac{I_0}{I} = 1 + A \cdot [O_2] \tag{1}$$

I は計測した燐光強度，I_0 は酸素が存在しない場合の基準燐光強度，$[O_2]$は酸素濃度，係数 A は実験により定まる定数である．この特性は圧力場の可視化計測手法として既に多用されており，例えば翼面の表面に塗布すれば，燐光強度分布をカメラで撮影することで壁面上の圧力分布が捉えられる(浅井, 1999)．本研究ではこの原理を活用し，酸素検出塗料を直径 110 μm の微細な光ファイバー先端に塗布し，多孔質電極内に挿入することで，正極内の酸素濃度計測を試みた．

図 2 は実際に作製した微細な酸素センサーを用い，酸素濃度に対する燐光強度の変化を分光器で計測した結果を示している．酸素濃度の上昇に伴って波長 650 nm の燐光強度が減少する様子が捉えられている．なお，酸素センサー製作のために参考とした先行研究(Chu et al., 2014)では直径 1 mm の光ファイバーを用いており，本研究では約 1/10 の直径まで小さくしたために燐光強度が著しく低下することが懸念されたが，実際には十分な強度で検出可能であった．ただし光ファイバーの直径を小さくした弊害として，端面への塗料の塗布が非常に難しく，酸素センサーの製作過程には手先の器用さが求められることとなってしまった．

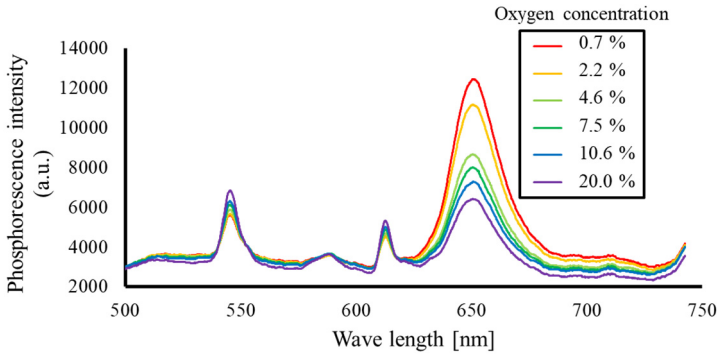


Fig. 2　Phosphorescence intensity change at different oxygen concentration (Fujimoto et al., 2019)

２・２　実験装置と実験条件

実験装置を図 3 に示す．実験に用いた電池はビーカー型の構造とし，正極にはカーボンペーパー（SIGRACET®10AA,SGL Group, USA）を用い，電解液と空気層の界面近傍で水平になるように配置した．負極は容器底面に設置した．作製した酸素センサーは正極多孔質の下方に配置し，さらに微動装置に固定することで鉛直方向の微動（最小移動距離 10 μm）を実現した．これにより，正極多孔質内に酸素センサーを挿入し，酸素濃度の計測を可能にした．光ファイバーの他端は，スプリッタを介して光源（青色 LED）と分光器に接続し，励起光の照射と燐光強度の計測を行った．また，負極にはリチウム金属を用いたが，電解液と直接接触すると腐食してしまうため，リチウムイオン導電性を有したセラミック板と高分子膜を介した複合電極構造とした(Zhang et al., 2008)．以上のような実験装置を構築し，正極内の任意の点における放電開始後の燐光強度計測を行った．

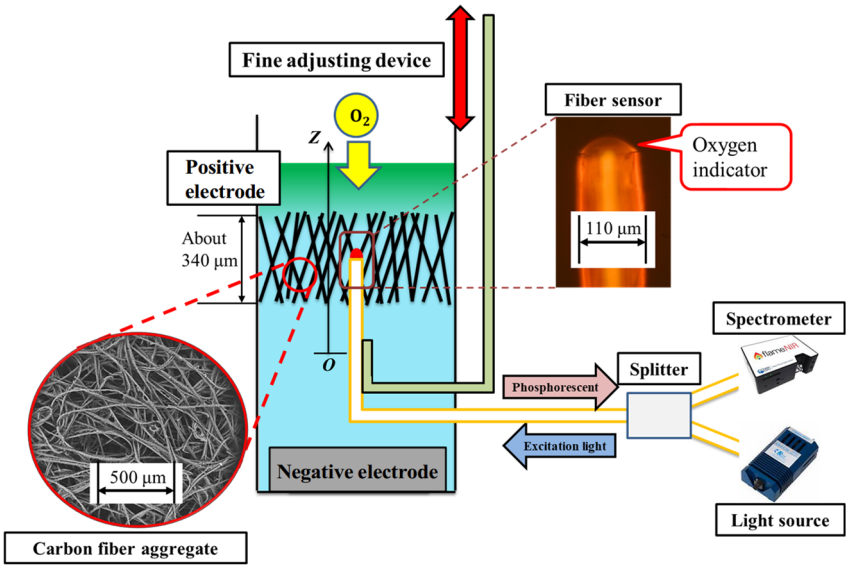


Fig. 3　Experimental setup (Fujimoto et al., 2019)

Table 1 Experimental condition

Parameter	Condition	
Measurement time	0-30 s	OCV
	30-150 s	Discharge
	150-300 s	OCV
Measurement interval	5 s	
Integration time	5 s	
Current density	0.05, 0.10, 0.15, 0.20 mA/cm^2	
Temperature	22 °C	

3．実験結果と考察

3・1　酸素濃度の経時変化

まず，酸素センサーを多孔質電極の中心付近に挿入して固定し，実際に放電中の酸素濃度の変化を捉えた実験結果を図 4 に示す．放電開始前の開回路状態では燐光強度は一定であるが，放電を開始すると燐光強度が低下し，放電を停止すると再び燐光強度が回復する様子が捉えられている．電流密度を上昇させるほど燐光強度の低下度合いも著しくなっており，放電に伴う多孔質電極内での酸素濃度の低下が計測できていると考えられる．

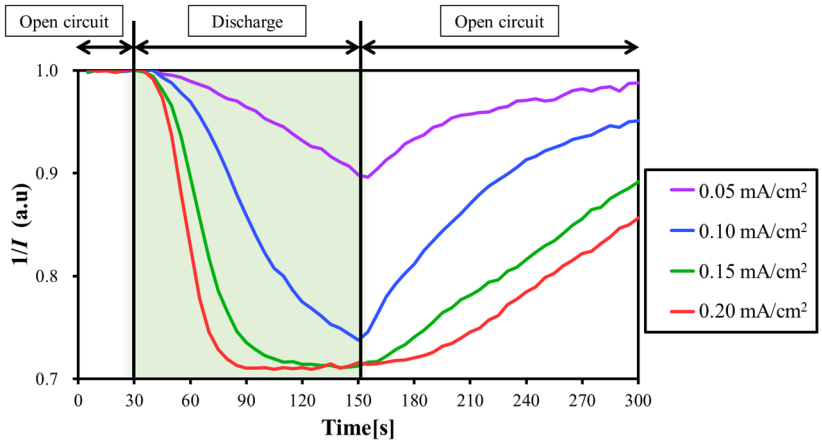


Fig. 4　Time variation of phosphorescence intensity in the porous positive electrode (Fujimoto et al., 2019)

3・2　多孔質電極内の酸素濃度分布計測

図 4 に示した結果は多孔質電極内のある 1 点における酸素濃度の時間変化であるが，放電試験中の酸素濃度の空間分布には再現性があると仮定し，微動装置で酸素センサーの位置を移動させることで，多孔質電極内とその近傍の酸素濃度分布を疑似的に計測した．まず酸素センサーの初期位置（$z = 0$ μm）を電解液中で任意に設定し，そこから微動装置で 70 μm ステップで上昇させ，多孔質電極を通過して大気側まで到達させた．その際，各位置において表 1 に示した条件に従って複数回の放電試験を行い，酸素濃度の時間変化を計測した．一連の計測を行った後，放電開始からの時間経過が同じ時点で各位置の酸素濃度値をプロットすることで，図 5 に示すような酸素濃度の空間分布を疑似的に求めた．

電極内の酸素濃度分布に着目すると，放電開始とともにほぼ一様に酸素濃度が低下していく様子が明瞭に捉えられている．電流密度が 0.10 mA/cm^2 と低い値に設定した条件でも酸素濃度が著しく低下しており，さらに 0.20 mA/cm^2 の条件では 90 s の時点で電極内部では酸素濃度がほぼ 0 g/m^3 となる領域が発生していることが分かる．この時，電極内で放電に寄与できる範囲は気液界面（$z = 490$ μm）から 150 μm 程度しかないと考えられる．

本実験において電極内の酸素濃度が著しく低下した理由として，電極近傍に残留した電解液膜が挙げられる．本来は電極の直上（$z > 490$ μm）が大気と接触していれば，溶解した酸素が速やかに反応面へと到達できる．しかし電解液面の位置を電極と大気の境界面へ完全に合致させることは困難であり，本実験の場合は電極上方の $z = 490$-910 μm の範囲に電解液が僅かに残留した状態となっていた．このため，介在してしまった僅かな電解液膜によって大気中からの酸素供給が著しく阻害され，放電性能が低下したと考えられる．

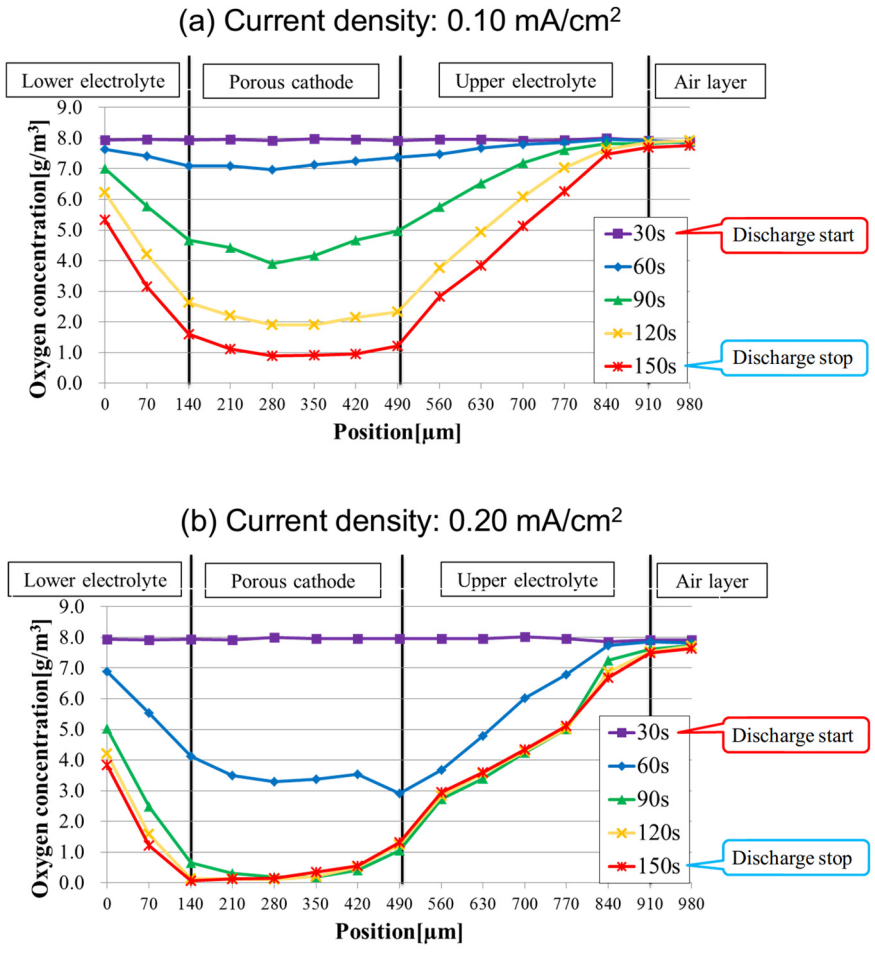


Fig. 5　Spatial and temporal oxygen concentration distribution (Fujimoto et al., 2019)

3・3　高出力化に向けた方策

これまでの結果から，電解液中の酸素輸送が抵抗となり，放電性能を低下させていることが分かった．そこで図 6 に示すように，従来のように多孔質電極内に電解液を含侵させず，電極端面を電解液に接触させた状態での放電試験を行った．電極と電解液との接触面積は減少するが，電解液膜による酸素輸送の阻害が無くなるため，放電性能が向上できると想定した設定である．実際に実験を行った結果，図 7 に示すように電極端面だけを電解液に接触させた方が放電中の過電圧が低減され，高い電流密度まで放電ができることが分かった．したがって，酸素が電解液中を最小距離で輸送されて電極内の反応面まで到達できるよう，電極の構造と電解液の接触状態を適切に制御することができれば，放電性能をさらに向上できると考えられる．

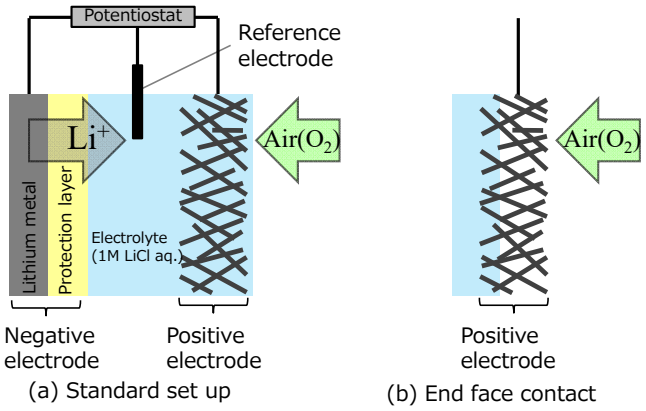


Fig. 6　Change of positive electrode setup

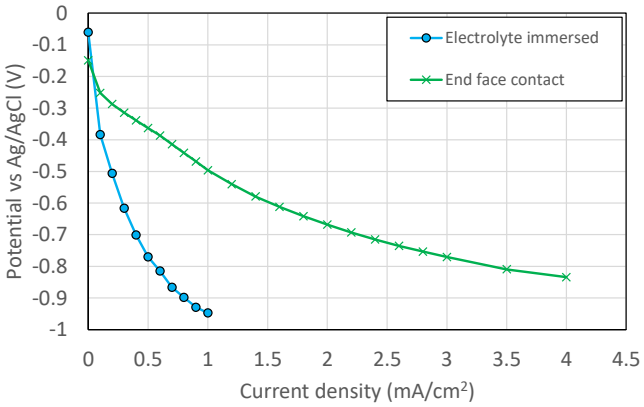


Fig. 7　Comparison of discharge performance

4. おわりに

本稿では次世代二次電池の一つの候補であるリチウム空気電池を対象として，多孔質電極内の酸素輸送現象に着目した研究例を紹介した．微細な光ファイバーを用いた酸素濃度センサーを製作し，放電中のリチウム空気電池正極多孔質内の酸素濃度分布の計測に成功した．実験の結果，放電中の多孔質電極内では酸素濃度が著しく低下している様子が捉えられた．電解液中の酸素輸送現象が正極性能を律速する要因となっており，今後，電極構造の改良や電解液との接触を最適化することでリチウム空気電池の性能を向上できると考えられる．

一方，次世代二次電池や EV を取り巻く状況として，変化の著しい世界情勢に影響されて本来の普及目的が見失われるリスクを危惧している．例えば中国の場合，カーシェアによる EV 普及

の促進が試みられているが，運用が上手く進まなくなった結果，短期間で大量の EV が廃棄されるなど，本来の目的であったエネルギー環境問題の解決とは本末転倒の状況になっている．自動車や二次電池のライフサイクル（製造，廃棄，リサイクル）はもちろんのこと，電力供給源も含めたシステムの全体像を俯瞰した，意味のある政策が世界各国で立案，実施され，エネルギー環境問題を解決できる技術開発が健全に進められることを強く願っている．

謝　辞

今回紹介した一連の研究は著者が東京工業大学（平井・笹部研究室）に在籍中に実施した内容であり，リチウム空気電池の製作方法に関しては三重大学の今西誠之教授から丁寧なご指導をいただき，実験を実施することができた．ここに記して関係者各位に謝意を表する．

文献

浅井圭介, 圧力測定の最先端-光学的圧力分布測定方法について-, ながれ, Vol.18 (1999), pp215-221.

Chu, CS. and Lin, CA., “Optical fiber sensor for dual sensing of temperature and oxygen based on PtTFPP/CF embedded in sol-gel matrix”, Sensors and Actuators B: Chemica, Vol.195 (2014), pp.259-265.

Fujimoto, S., Uemura, S., Imanishi, N., Hirai, S., Oxygen concentration measurement in the porous cathode of a lithium-air battery using a fine optical fiber sensor, Mechanical Engineering Letters, Vol.5 (2019), p.19-00095.

Girishkumar, G., McCloskey, B., Luntz, A. C., Swanson, S., Wilcke, W., Lithium-Air Battery: Promise and Challenges, The Journal of Physical Chemistry Letters, Vol.1 (2010), pp.2193-2203.

日本経済新聞, 首相「新車電動化、35 年までに」蓄電池開発など課題も, 2021 年 1 月 19 日掲載.

日本経済新聞, 米欧「緑の財政支出」競うバイデン政権、EV に 19 兆円, 2021 年 4 月 21 日掲載.

Shibata, K., Uemura, S., Tsushima, S., Hirai, S., Reaction and Mass Transport Simulations by LBM in Electrolyte of Aqueous Lithium-Air Battery, The Electrochemical Society Transactions, Vol.64, No.19 (2015), pp.39-46.

Xianglin, L., Jing, H., Amir, F., Modeling study of a Li-O_2 battery with an active cathode, Energy, Vol.81 (2015), pp.489-500.

吉野彰, モバイル機器を支える電池-これからも世界を変えるリチウムイオン電池-, 化学と教育, Vol.66, No. 6 (2018), pp. 296-299.

Zhang, T., Imanishi, N., Hasegawa, S., Hirano, A., Xie, J., Takeda, Y., Yamamoto, O., Sammes, N., “Li/Polymer Electrolyte/Water Stable Lithium-Conducting Glass Ceramics Composite for Lithium-Air Secondary Batteries with an Aqueous Electrolyte”, Journal of The Electrochemical Society, Vol.155 (2008), pp.A965-A969.

2021 年度年次大会 熱工学部門報告

第 98 期熱工学部門年次大会委員会
委員長　元祐昌廣（東京理科大学）
幹　事　山本　憲（大阪大学）

日本機械学会 2021 年度年次大会は，「グローバル社会の分岐点に機械工学は何をすべきか？」をキャッチフレーズに 9 月 5 日（日）～8 日（水）にわたって開催されました．当初は千葉大学での開催が予定されていましたが，昨年に引き続き今年も新型コロナウィルス感染症の影響により，オンライン開催となりました．オンライン会議ソフト Zoom が使用され，特別講演は千葉大学西千葉キャンパスから配信され，その他全講演もオンライン形式で行われました．「5G IoT における機械」，「ダイバーシティ&インクルージョン」，「超少子高齢社会を豊かにする次世代技術」を大会テーマとして多数の講演発表が行われました．

熱工学部門に関連する学術講演では，年次大会の特色である「部門横断セッション」として，以下に述べるオーガナイズドセッション 9 件が企画され，90 件の講演発表が行われました．

2021 年度年次大会ウェブチラシ

- データ同化の機械工学への応用（流体工学部門，熱工学部門，計算力学部門，設計工学・システム部門），講演件数 4 件
- マイクロ・ナノスケールの熱流体現象（流体工学部門，熱工学部門，マイクロ・ナノ工学部門），講演件数 20 件
- 機械学習×機械工学の最先端（熱工学部門，流体工学部門，計算力学部門），講演件数 21 件
- Society 5.0 を支える「電子実装技術の最先端」：熱・信頼性制御技術（熱工学部門，計算力学部門，材料力学部門），講演件数 8 件
- 燃料電池・二次電池とナノ・マイクロ現象（熱工学部門，計算力学部門，流体工学部門，マイクロ・ナノ工学部門，動力エネルギーシステム部門，材料力学部門），講演件数 11 件
- 価値の共創と共存に 1DCAE・MBD が果たす役割（設計工学・システム部門，機械力学・計測制御部門，機械材料・材料加工部門，流体工学部門，熱工学部門，計算力学部門），講演件数 4 件
- 交通・物流機械の自動運転（交通・物流部門，機械力学・計測制御部門，機械材料・材料加工部門，熱工学部門，スポーツ工学・ヒューマンダイナミクス部門，生産システム部門，技術と社会部門，流体工学部門，法工学専門会議，生産加工・工作機械部門，情報・知能・精密機器部門，設計工学・システム部門，産業・化学機械と安全部門，ロボティクス・メカトロニクス部門），講演件数 4 件
- 医工学テクノロジーによる医療福祉機器開発（医工学テクノロジー推進会議，機械力学・計測制御部門，流体工学部門，計算力学部門，バイオエンジニアリング部門，ロボティクス・メカトロニクス部門，情報・知能・精密機器部門，材料力学部門，熱工学部門，マイクロ・ナノ工学部門，機素潤滑設計部門），講演件数 13 件
- 機械工学に基づく細胞アッセイ技術（バイオエンジニアリング部門，マイクロ・ナノ工学部門，流体工学部門，熱工学部門，ロボティクス・メカトロニクス部門），講演件数 5 件

熱工学部門では，例年通り熱工学に関連する講演に対して「若手優秀講演フェロー賞」の審査を行い，評価フォームによる採点を行っております．審査を行うにあたりご協力を賜りました多くの先生方には，この場をお借りして御礼申し上げます．

また，これまでは流体力学部門，計算力学部門，材料力学部門と合同で実施されてきた部門同好会は，昨年同様新型コロナウィルス感染症対応のため開催されませんでした．

最後になりましたが，年次大会の企画・運営にご尽力いただきましたオーガナイザー，講演者，座長の皆様に厚く御礼申し上げます．富山で開催予定されます 2022 年度年次大会では，対面で開催され，さらに多くの皆様のご参加を賜り，研究交流と親睦を深めて頂けますよう祈念致しております．

熱工学コンファレンス 2021 開催報告

実行委員会 委員長　宮良明男（佐賀大学）
幹事　石田賢治，仮屋圭史（同上）

佐賀大学での熱工学コンファレンスは対面とリモートを併用したハイブリッド開催を計画していましたが，開催方式を最終的に決定する必要がある8月上旬の急速な新型コロナウイルス感染者数の増加により対面を断念し，完全リモートの講演会として，2021年10月9日(土)と10日(日)の2日間にわたって開催されました．昨年に引き続き2年連続でのリモート開催のため参加者数の減少も心配されましたが，最終的には昨年とほぼ同数の405名（ご招待4名を含む）の方にご参加いただきました．講演は，学術講演201件，特別講演1件，同時開催された熱工学ワークショップでの講演3件があり，活発な質疑応答も行われました．

本コンファレンスは，オーガナイズドセッション（OS），一般セッション，特別講演で構成されていますが，OSが全体の8割以上を占めており，オーガナイザーの皆様には，多くのご協力をいただいております．今回は，継続的に企画されている13のOSに加え，新しいOS（OS13：濡れ性制御と液滴ダイナミクス）が実施されました．若手研究者が計画したOSで，今後の発展が期待できます．また，オーガナイザーの皆様にはプログラムの作成にもご協力いただきました．

2021年1月20日にコンファレンスのホームページを開設し，6月1日に講演申込の受付を開始しました．講演申込と講演原稿の投稿の受付には，従来からコンファレンスで使用しているシステムを利用させていただきました．今回から，コンファレンス開催時には「予稿集（電子版）」を発行し（Web公開およびダウンロード），コンファレンス終了後に掲載を希望した原稿のみを編集してJ-STAGE上で「講演論文集」として公開することになりました．そのため，講演原稿の投稿受付時にJ-STAGE上で公開する「講演論文集」への掲載希望の有無を確認させていただきました．

コンファレンスへの参加登録は，機械学会が契約しているイベントペイを利用しました．参加登録と入金の確認ができた方に参加登録者限定サイトのログイン情報を送信させていただく都合上，参加登録の最終締め切りを会期の一週間前とさせていただきました．講演者の方につきましては，事前にWebex接続テストを実施するため，さらに早い締め切りとさせていただきました．皆様には，ご協力をいただきましてありがとうございました．なお，イベントペイは，参加申し込み区分や締め切り設定の柔軟性があるシステムでしたが，領収書では宛名が所属組織に固定されており参加登録者名の記載が無かったことから混乱を招いてしまいました．事前の周知が十分でなく，ご迷惑をお掛けしましたことをお詫びいたします．

オンライン講演会は，A 室～I 室までの10講演室および講演終了後の議論などを行うための休憩室を運用するためWebex Meetings（最大参加人数200名）の主催者ライセンス数11を契約しました．オンラインでの学会開催が一般的となって久しく，前回札幌での運用経験と座長・発表者・オーガナイザー・視聴者の皆様のご協力により、特に大きなトラブルもなくほぼスケジュール通り各セッションが運営できました．参加者アンケートには多数のご意見を頂戴しました．セッション時間管理の都合上，セッション毎にミーティングを割り当てたため，講演室を移動しない参加者の皆様にもミーティングリンクより入り直すご不便をお掛けしました．また，セッション終了後に個別の議論を延長したいと希望する方のために休憩室利用をご案内しました．しかし，別室への移動を伴うためか，想定した程の利用がありませんでした．休憩時間に個別の議論ができないのがオンラインの欠点であり，参加者同士の議論をそのままブレイクアウトセッションへ最小限の移動で実現するなど、オンライン開催の運用方法についてはまだ工夫の余地がありそうです．

特別講演会もWebex Meetingsで実施し，佐賀大学大学院理工学研究科教授の嘉数 誠様に「ダイヤモンド大口径ウェハとパワー半導体デバイスの最近の進展」と題したご講演をいただきました．現在主流のSiCなどのパワー制御半導体素子と比べて優れた電気的特性と高い熱伝導率を有するダイヤモンド半導体の開発に纏わる非常に興味深い講演内容でした．欠陥が少ない大口径ウェハの製造プロセス改善の苦労話、数百MW/cm^{2}と熱流束レベルではあり得ないほどの高密度エネルギーの電力を数センチの半導体で制御可能となる非常に夢のある技術であると同時に素子の冷却が非常に重要なポイントと強調されていた点が我々の心に刺さるお話でした．

(a) 全セッション統括監視　　(b) 各講演室会場係運用

図1　Webexを用いたリモート講演室運用状況

恒例の講習会委員会（委員長 巽和也（京大））主催の熱工学ワークショップ2021 in 佐賀は，初日の昼休みにリモート開催されました．今回は「自動車のエネルギーと熱管理」をキーワードとする3件の講演が130名余りの視聴者を集めて行われ，午後のセッション開始時刻まで続く活発な質疑応答が行われました．

懇親会は研究者・技術者間のネットワーク作り，またその後の研究開発活動の発展につながる重要なイベントですが，リモート開催でその役割を担うのは極めて困難でした．今回は，懇親会ではなく，意見交換会と称して Webex Meetings のブレイクアウトセッション機能を用いてオンラインで開催しました．前回採用された Remo のような多彩な機能はありませんが，ミーティング内に複数のセッションを立てることで，少人数のグループでの会話が可能なシステムです．システムはメインミーティングと任意の数のブレイクアウトセッションで構成され，ブレイクアウトセッションの各室間の移動は自由にできるようになっています．部門長挨拶から実行委員長挨拶，次回開催地のご案内，乾杯まではメインミーティングで行い，乾杯後にブレイクアウトセッションに分かれて歓談を行いました．次回開催地の案内は懇親会後半に行うのが通例ですが，リモート開催では開催途中での参加者数減少が予測されたため，乾杯前にご案内いただきました．また，中締めの時間で再びメインミーティングに戻る形で進行しました．

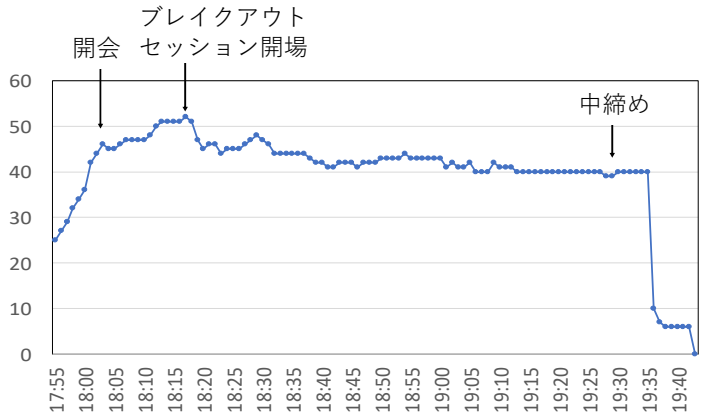


図 2　意見交換会の参加人数

ブレイクアウトセッションは，実行委員会の部屋，部門幹部の部屋，各 OS の部屋 14 室，学生の部屋 2 室，フリースペース 20 室の計 38 室を予め用意し，ブレイクアウトセッション開場後にそれぞれの関係者を自動で移動したいただく形を取りました．また，学生室については参加名簿をもとに，ランダムで 2 室に登録しました．そのほかの参加者については，自由に各部屋に移動していただきました．意見交換会は，最終的に 47 名(実人数)のご参加をいただきました．

図 2 に参加人数の経時変化を示します．傾向を見ますと，開会からブレイクアウトセッション開場までの間で増加し，開場後にブレイクアウトセッションには入られずにそのまま退出された方が 10 名程度見られましたが，一旦ブレイクアウトセッションに参加された方は，そのほとんどの方が最後まで参加されていたことになります．また，OS 毎の部屋にほとんどの参加者が集まら

れていましたが，OS 毎の参加数についてはばらつきがあり，また特定の OS の部屋を中心に多くの参加者が入室されている傾向も見られました．

反省点としては，ブレイクアウトセッションの操作マニュアルの準備が出来ておらず，参加者が操作方法に戸惑われたこと，また，交流の場として学生室も用意しましたが，事前告知が十分ではなく学生室の最終的な参加者が 0 であったことが挙げられます．フリースペースは 20 室用意しましたが，実質使われていませんでした．オンラインでの意見交換会では，小部屋に分けることによって参加者同士の会話を行える場を提供することが最適と考えますが，一旦小部屋に分かれると，オンサイトとは異なり別の参加者を探すことが困難となってきます．有意義な意見交換ができる場を提供するという点から改めて考える必要があると感じました．

本コンファレンスは若手優秀講演フェロー賞の選考対象講演会であり，審査対象講演を特定するため，講演者による講演内容の登録時に対象の有無を入力していただき，学会事務局と協力して年齢などの資格確認を行いました．今回は，審査対象講演が 41 セッションにおいて計 122 件と全体講演数の約 6 割を占めました．審査員は，オンラインのアンケートツール（Microsoft Forms）を活用し，参加登録された正員の方の審査可能セッションを事前に調査して，選出させていただきました．審査員の選出方法は，前回札幌での運用実績があったものの，限られた期間内に，審査にご協力いただける方を集めることができるのかは非常に不安でした．結果的に多くの皆様からご協力の回答を賜り，特定の方々に負担が集中しないよう，実行委員を充用しながら各セッションの審査をお願いしました．評価結果も Microsoft Forms への回答によって入力していただきました．対象講演毎に Web による評価結果の入力は，従来の紙面回答よりも煩瑣や心許ないなど感じられたかもしれません．本審査は，各セッションの座長を含め，約 90 名ものご参加頂いた方々の多大なるご厚意のお陰で無事実施することが出来ました．ご協力頂いた審査員の方々には心より御礼申し上げます．

末筆ではございますが，熱工学コンファレンス 2021 にご協力いただいた実行委員会や関係者の皆様，Web 会場の運営に協力いただいた学生の皆様に改めて御礼申し上げます．高松洋先生には顧問として貴重なアドバイスをいただきました．長崎大学の桃木悟先生と山口朝彦先生には講演会運営にご協力いただきました．佐賀大学では，光武雄一先生に Web 開催会場を，有馬博史先生に Web 懇親会を，安永健先生に若手優秀講演フェロー賞審査をご担当いただきました．皆様のご協力により熱工学コンファレンスを成功裡に開催することができました．

熱工学ワークショップ 2021 開催報告

第 98 期熱工学部門講習会委員会
委員長　巽　和也（京都大学）
幹事　金田昌之（大阪府立大学）

2021 年 10 月 9 日（土）12:00 ～ 14:00（熱工学コンファレンス 2021 初日）に熱工学ワークショップを開催いたしました．本イベントは，2015 年まで開催されていました熱工学コンファレンス・プレセミナーおよびプレコンファレンスワークショップの趣旨を継承した企画として，2016 年の熱工学コンファレンスより実施しております．例年は現地にてランチョン形式で開催されますが，2019 年の冬から続く新型コロナウィルス（COVID-19）の影響により，今年は熱工学コンファレンスとともにオンライン（Webex システム）での開催となりました．本イベントでは，産業から講師をお招きし，「熱マネージメント」をキーワードにして，産業における熱工学に関する新たな技術，そして次世代の技術開発に向けて解決すべき諸課題と熱工学の専門家に求められる技術シーズ開発の話を交えながら，ご専門の分野について講演いただいています．今回は，自動車の熱・エネルギー技術について研究開発されている以下の 3 名の方にご講演いただきました．

井田　敦巳（トヨタ自動車 株式会社）
「新型 MIRAI の燃料電池システム開発」

角田　功（静岡大学）
「自動車空調と暖房のヒートポンプ化」

橋本　俊輔（株式会社 豊田中央研究所）
「ナノ流体における伝熱促進－実験的アプローチによるメカニズム解明－」

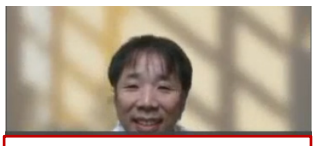
自動車は製造品出荷額が機械工業全体の約 4 割を占め，機械工学の中核をなしてきた重要な産業です．しかしながら，昨今はエネルギー産業とともに，技術・環境・社会・政治における変化の影響を大きく受けています．自動車産業における熱・エネルギー技術の最新の動向を学び，今後の可能性と対応を考えるためにも，ご講演をお願いいたしました．

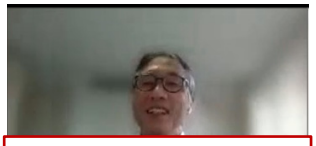
井田様は，燃料電池・燃料電池自動車の研究開発を長くされていて，初代および 2020 年新型 MIRAI の開発にも携わられました．また，これまでも様々な学会でご講演・発表をされています．今回は，新型 MIRAI の紹介を中心に，燃料電池自動車の戦略，スタックや水素貯蔵等の要素技術，生産技術，普及拡大に向けた今後の展望と課題について，お話いただきました．

角田様には，企業におられたときのご経験を含めまして，自動車に搭載するヒートポンプの開発について講演いただきました．とくに電気自動車（EV）における空調と暖房のヒートポンプ化について，電気ヒータ暖房と比較しながら，ヒートポンプ化での問題点と解決の方向性として，省動力効果と熱交換器着霜による性能の増減を中心にお話いただきました．

橋本様には，プラグインハイブリッド自動車（PHV）と EV を対象とした自動車での対流伝熱促進技術の基礎研究として，ナノ流体に関する実験的研究をお話いただきました．SPRING-8 と J-PARC MLF での測定により，ナノ流体の熱伝導率増大の検証と解明，流れにおけるナノ粒子の数密度分布と速度境界層との関係に基づく熱伝達特性の評価について紹介いただきました．

ワークショップには 136 名（60 分以上の滞在者数．それ以外の人数を入れると 211 名）の方に参加いただきました．各講演後だけでなく，総合討論でも多くの質問をいただきました．講演者同士でも質問がなされ，終了時間である 14:00 を大幅に超えて議論が続き，盛況のうちに終了いたしました．この場をお借りしまして，講演者の方々と参加者の皆様にお礼申し上げます．


井田 敦巳 様


角田　功 様

橋本 俊輔 様

第 98 期（2020 年度）熱工学部門賞・部門一般表彰報告

2020 年度部門賞委員会委員長
小原　拓（東北大学）

熱工学部門では，第 98 期 （2020 年度）の部門賞・部門一般表彰について，「部門賞および部門一般表彰規程」により運営委員会構成員ならびに本部門登録会員に候補者を募り，部門賞委員会において部門賞 4 名・部門一般表彰 2 名・若手優秀講演フェロー賞 6 名を選考し，運営委員会の審議を経て決定しました．なお，贈呈式は熱工学コンファレンス（佐賀大学，オンライン開催）において執り行いました．

熱工学部門賞

功績賞（国際功績賞）
張　興　氏

贈賞理由:

張興教授は，熱工学に関する数多くの研究実績を有する．特にナノスケール熱物性計測において優れた研究成果を出しており，国際的に評価が高い．これまでに日中の架け橋として両国の研究者交流に尽力するだけでなく，世界的にも熱工学コミュニティの発展に貢献している．2018 年に北京で実行委員長として国際伝熱会議を開催するとともに，国際伝熱会議協議会(AIHTC)議長(President, 2018-2022)，熱物質輸送国際センター(ICHMT)で理事も務めている．また，初代副会長としてアジア熱科学工学連盟(AUTSE)の設立及び運営に尽力した．さらに International Journal of Heat and Mass Transfer など数多くの国際学術誌の編集委員を務めるなど，熱工学，特に熱物性分野に関する国際的貢献が顕著である．

略歴：
1982年　南京工学院（東南大学）動力工程系卒業
1985年　南京工学院（東南大学）大学院動力工程系修士課程修了
1985 年～1986 年　南京工学院（東南大学）助理教授(動力工程系)
1986 年～1988 年　清華大学大学院熱能工程系博士後期課程修了
1989 年　東南大学講師(動力工程系)
1990 年～1991 年　九州大学機能物質科学研究所非常勤研究員
1991 年～2003 年　九州大学機能物質科学研究所助手
1995 年　米国イリノイ大学訪問研究員 (文部省在外研究員)
2003 年～2006 年　九州大学先導物質化学研究所助教授
2006 年　清華大学教授(航空航天学院)

功績賞（研究功績賞）
平井　秀一郎　氏

贈賞理由:

平井秀一郎教授は，燃料電池やリチウムイオン電池において，イオンや物質が移動し反応する現象を磁気共鳴イメージング（MRI）や特殊な波長をもつ X 線により，In-situ で可視化計測することに初めて成功するとともに，二酸化炭素の海洋隔離，地中隔離や熱流体のレーザ計測など，幅広い分野で顕著な功績を残している．

略歴：
1984年　大阪大学工学部助手
1993年　東京工業大学炭素循環素材研究センター助教授
1998年　東京工業大学炭素循環素材研究センター教授
2002年　東京工業大学炭素循環エネルギー研究センター（改組）教授
2010年　東京工業大学理工学研究科機械制御システム専攻教授
2016年　東京工業大学工学院教授

功績賞（技術功績賞）
芹澤　良洋　氏

贈賞理由:
芹澤良洋氏は，鉄鋼製造プロセスにおいて，沸騰冷却の研究成果を活用し，鉄鋼材質作りこみのための厚板冷却装置，生産性向上のための熱延粗バー（中間製品）冷却装置や，熱延仕上げ圧延ロール冷却装置の技術開発に成功している．これらの業績は，熱工学分野とその関連分野の技術発展に顕著に貢献している．

略歴：
1984年　東京大学機械工学科卒
1986年　東京大学舶用機械工学科修士卒
1986年　新日鉄（現日本製鉄）入社，名古屋製鉄所
1996年　同社プロセス研究所に異動
2015年　玉川大学工学博士取得
2019年　機械学会フェロー

業績賞
赤松　史光　氏

贈賞理由:
赤松史光教授は，熱工学，とりわけ燃焼工学に関する研究に取り組み，噴霧燃焼や微粉炭燃焼に代表される混相燃焼場における光学計測，および水素・アンモニアの直接燃焼利用に関する研究業績が顕著である．これらの業績は，燃焼学の進歩に貢献するのみならず，加熱炉，火花点火機関，ガスタービン燃焼器等の応用研究に大いに役立つものである．

略歴：
1985年　大阪大学工学部入学
1989年　同上卒業
1989年　大阪大学大学院工学研究科機械工学専攻博士前期課程入学
1991年　同上修了
1991年　大阪大学工学部助手
1996年　工学博士（大阪大学）
1997年～1998年　カルホルニア大学アーバイン校客員研究員（文部省在外研究員）
2000年　大阪大学大学院工学研究科講師
2003年　大阪大学大学院工学研究科准教授
2008年　大阪大学大学院工学研究科教授（機械工学専攻 マイクロ機械科学講座 燃焼工学領域）
2018年　東京大学大学院工学研究科機械工学専攻 連携教授（併任）

部門一般表彰

貢献表彰

林　潤　氏（京都大学）

贈賞理由:
熱工学，とりわけ混相燃焼場における燃焼排出物の生成過程などの分野での研究への貢献，ならびに熱工学部門活動に対する貢献が顕著である．

田部　豊　氏（北海道大学）

贈賞理由:
熱工学，とりわけ固体高分子形燃料電池内の熱物質移動に関する分野での研究への貢献，ならびに熱工学部門活動に対する貢献が顕著である．

若手優秀講演フェロー賞

論文題目
「超小型フローベクトルセンサの 3 次元伝熱シミュレーション：高風速域のセンサ出力特性」
吉田　薫平　氏（金沢大学）

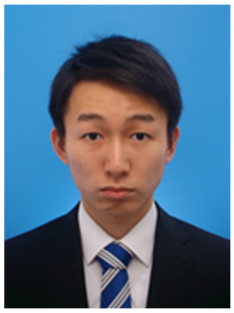
論文題目
「マイクロ細孔を利用したタンパク質の物質拡散制御の可能性評価」
渡邉　崚　氏（東北大学）

論文題目
「レシプロ二相膨張機における吸入乾き度の影響」
松下　一輝　氏（東京大学）

論文題目
「気泡流の熱伝導の温度勾配モデルが非線形圧力波に及ぼす影響の理論的比較」
亀井　陸史　氏（筑波大学）

論文題目
「広温度範囲に亘る単一セルロースナノファイバーの超高精度熱伝導計測」
足立　建人　氏（東京大学）

論文題目
「管状火炎バーナを用いたアンモニア/空気予混合気の着火特性」
今橋　裕　氏（大阪大学）



行事案内

部門関連行事案内

－2021 年度－

● 計算力学技術者（CAE 技術者） 1・2 級認定試験

開催日：熱流体力学分野・振動分野 2 級 2020 年 12 月 9 日（木）
固体力学分野・熱流体力学分野・振動分野 1 級 12 月 16 日（木）
場　所：CBT（Computer Based Testing）方式での実施
主　催：日本機械学会

国際会議案内

－2021 年－

● The First Symposium on Carbon Ultimate Utilization Technologies for the Global Environment, CUUTE-1（第 1 回　地球環境のための炭素の究極利用技術に関するシンポジウム

開催日：2021 年 12 月 14 日（火）～17 日（金）
場　所：奈良春日野国際フォーラム，奈良県奈良市

●13th Asia-Pacific Conference on Combustion (ASPACC)

開催日：2021 年 12 月 4 日（土）～9 日（木）
場　所：Abu Dhabi National Exhibition Centre, Abu Dhabi -United Arab Emirates

その他

編集後記

本号の TED Plaza では，省エネルギー・温室効果ガス削減に向けた熱工学分野の研究開発という観点から，大学より 2 件のご寄稿をいただきました．佐賀大学の宮良明男先生からは，低 GWP 冷媒などの第 4 世代冷媒を用いた冷凍空調機開発を推進するために現在構築中の冷媒伝熱データベースの概要と将来的な展開についてご紹介いただきました．北海道大学の植村豪先生からは，次世代の大容量二次電池として期待されるリチウム空気電池について，性能の鍵を握る多孔質電極内の酸素濃度計測技術に関する話題をご提供いただきました．いずれの内容からも，省エネルギーや温室効果ガス削減に向けて，熱工学分野の研究が担う役割の重要性をあらためて認識した次第です．

昨年度に引き続き，今年度も COVID-19 の影響により研究・教育の実施にも様々な工夫が求められる中，ご多忙にもかかわらず，執筆をご快諾いただきましたこと，心より御礼申し上げます．

（編集担当委員：長澤・川村）

第 99 期広報委員会

委員長：	菊川 豪太	東北大学
幹 事：	岡部 孝裕	弘前大学
委 員：	小林 芳成	岐阜大学
	長澤 剛	東京工業大学
	水嶋 祐基	静岡大学
	諸隈 崇幸	神奈川大学
	川村 洋介	名城大学
	境田 悟志	茨城大学

©著作権：2021　一般社団法人　日本機械学会　熱工学部門