

日本冷凍空調学会
調査研究プロジェクト

環境変化に対応するための先進熱交換技術に
関する調査研究

2018－2019 年度
(平成 30 年度－令和元年度)

活動報告書

2020 年（令和 2 年）3 月

日本冷凍空調学会調査研究プロジェクト
環境変化に対応するための先進熱交換技術に関する調査研究
2018－2019 年度（平成 30－令和元年度） 活動報告書

調査研究プロジェクト
主査 井上 順広（東京海洋大学）

1. 期間：2018 年（平成 30 年）4 月より 2 年間

2. 設立趣旨：

温暖化を抑制するための低 GWP 冷媒への転換要求に加え、廃熱利用、高温供給、寒冷地対応など、熱源環境は更なる広がりを見せ、これらの冷媒種類や熱源形態に対応した熱交換器の選定や設計が求められている。将来冷媒の方向性は、(1) 低 GWP 冷媒の使用法の開発、(2) 自然冷媒の利用拡大、(3) 冷媒の漏洩管理、(4) 微燃性冷媒への対応、(5) 低 GWP を優先させた HC 冷媒に代表される強燃性冷媒の利用、(6) HFC 系冷媒の使用延長の検討など多岐にわたり、それぞれに未解決の問題が多く残されている。今後、新たな低 GWP 合成冷媒の開発や国際規制の動向に早急に対応する必要がある。一方、近年、オールアルミニウム製空調用熱交換器の開発が進められており、従来銅管の新しい使い方も求められている。一見、従来 R&D の延長のようではあるが、混合冷媒の熱流動特性、冷媒分流、着霜など、解明されていない現象も多く、熱交換器の形態、サイズ、温度状況に応じてそれらの問題が顕在化する可能性もある。本調査研究では、冷媒動向を継続的調査するとともに、管内外の伝熱促進、高密度伝熱面、冷媒分配、潜熱分離空調、伝熱機構解明のための二相流計測と可視化、冷凍機油の影響などの先進熱交換技術の研究動向について、研究者側委員と特別講師から提供・情報発信し、さらにそれらに関して討議し、熱交換技術の方向性などを検討する。

なお、本調査研究は、2016 年（平成 28 年）4 月～2018 年（平成 30 年）3 月に実施した「環境変化に対応するための先進熱交換技術に関する調査研究」を発展させたプロジェクトである。

3. 組織

（側委員） 16 名

井上順広（主査、東京海洋大学）	
赤坂 亮（幹事、九州産業大学）	浅野 等（幹事、神戸大学）
榎木光治（幹事、電気通信大学）	勝田正文（幹事、早稲田大学）
粥川洋平（幹事、産業技術総合研究所）	高 雷（幹事、福岡大学）
近藤智恵子（幹事、長崎大学）	佐々木直栄（幹事、日本大学）
党 超鋌（幹事、東京大学）	中村 元（幹事、防衛大学校）
廣田真史（幹事、三重大学）	宮崎隆彦（幹事、九州大学）
宮田一司（幹事、九州大学）	宮良明男（幹事、佐賀大学）
渡辺 学（幹事、東京海洋大学）	

（企業側委員） 幹事 8 社、 委員 27 社

藤野宏和（幹事、ダイキン工業）	鈴木秀明（幹事、東芝キャリア）
佐藤桂司（幹事、パナソニック アプライアンス社）	
角田 功（幹事、ケーヒン）	
法福 守（幹事、日立ジョンソンコントロールズ空調）	
佐川賢太郎（幹事、富士通ゼネラル研究所）	西田耕作（幹事、前川製作所）
石橋 晃（幹事、三菱電機）	松本知也（出光興産）
金 東輝（LG 電子）	鈴木綱一（大日本印刷）[2018 年度まで]
式地千明（関西電力）	久保洋平（神戸製鋼所）[2019 年度から]
高橋宏行（コベルコマテリアル銅管）	金 鉉永（サムソン日本研究所）

早瀬 岳（三星電子）
宮原里支（スウェップジャパン）
村上裕紀（大気社）
中山 浩（中部電力）
橋本克巳（電力中央研究所）
吉本周平（東プレ）
堀 紀弘（ノーリツ）
楠本 寛（日立製作所）
中村 淳（富士電機）
遠藤浩司（三菱重工冷熱）

裊 相哲（サンデン・アドバンステクノロジー）
谷藤浩二（ゼネラルヒートポンプ工業）
川上理亮（高砂熱学工業）
岡本義之（デンソー）
鵜川文雄（東芝キャリア）
畠山雅樹（日本ピーマック）
田中信雄（日阪製作所）
中野 彬（富士電機）
中井一孝（本田技術研究所）
片平史郎（UACJ）

（事務局）

松田謙治（日本冷凍空調学会）

西口 章（日本冷凍空調学会）

※ 企業側幹事は、熱交換器技術委員会委員に依頼した。

4. 秘密保持誓約について

委員とは秘密保持契約を締結した。この秘密保持契約は、委員代理もしくはオブザーバーとして出席したものにも適用する。なお、誓約書有効期間は、署名日からプロジェクト終了5ヶ年後までとし、委員構成も非公開とする。委員交代の場合は、新委員からも提出して頂くこととした。

5. プロジェクトの成果報告について

成果報告は以下のもので構成する。

- a. 中間報告： 各年度末に活動、成果をまとめる。
- b. 最終報告： 中間報告に加えて発表資料の電子情報をまとめる。
- c. 成果報告： 成果の公開についてはプロジェクト終了時に判断する。

6. 活動報告

➤ 第1回委員会

日時：2018年（平成30年）6月1日（金） 13:00～17:10

会場：東京海洋大学 越中島キャンパス 八十五周年記念会館 1階大集会室

内容：

a. 話題提供

「冷媒の管内沸騰蒸発流動伝熱特性に及ぼす冷凍機油の影響 -レビュー論文の紹介と私見-」

福岡大学 工学部 機械工学科 高尾 幸来 氏

冷媒の管内沸騰蒸発流動伝熱特性に及ぼす冷凍機油の影響に関する最近の主要なレビュー論文の紹介、研究の現状及び課題について私見を交えながら考察された。加えて、オイル循環率（OCR）、オイル濃度の測定方法及びそれらの注意点などについても紹介された。

「プレートフィン内における凝縮熱伝達に関する研究」

九州産業大学 理工学部 機械工学科 福田 翔 氏

近年、地球温暖化防止や一次エネルギーの使用量削減などの観点から注目されている工場などの排熱を用いた高温ヒートポンプの開発には、高温・昇温条件に適した熱移送効率の高い熱交換器が必要となる。そこで、耐熱性、伝熱性能に優れたプレートフィン熱交換器の使用が考えられるが、高温下におけるプレートフィン熱交換器内での局所的な凝縮熱伝達特性を把握した研究はほぼない。本講演では、高温化におけるプレートフィン熱交換器内での局所的な凝縮熱伝達特性および流動様相が紹介された。

「制御工学的見地から見たヒートポンプを取り巻く諸問題」

早稲田大学 基幹理工学部 機械科学・航空学科 山口 誠一 氏

ヒートポンプは、その高い汎用性や高い理論効率から、冷凍、空調、給湯、蒸気生成など幅広い分野で活用されており、その性能は、技術者の不断努力により、現状の評価基準においておおむね限界に到達しつつある。しかし、実際にヒートポンプが使用されている個別の実負荷環境においては、複雑な動的制御が要求され、そのポテンシャルが十分に発揮されているとは言えないのが現状である。さらに、ZEB、ZEHなどの登場により、その実負荷環境そのものが大きく変化していくことは容易に予測できる。本講演では、ヒートポンプを中心に、次の時代を見据えた評価、設計、制御に関する研究の取り組みが紹介された。

b. 国際会議報告

【2018年3月4日～7日】熱交換器PJ派遣

The 3rd Thermal and Fluids Engineering Conference (Fort Lauderdale, FL, USA)

宮田一司（九州大）

【2018年3月12日～15日】

The 10th International Conference on Boiling and Condensation Heat Transfer (Nagasaki, Japan)

近藤智恵子（長崎大）

c. 幹事会報告

(1) 委員名簿の配布について案内があり、取扱には十分留意頂きたい旨の依頼があった。

(2) 熱交換器PJアンケート実施についての案内があり、協力依頼があった。

(3) 第3回以降の委員会日程・場所について以下の案内があった。

第3回委員会 開催日時：2018年12月5日（水）13:00～

会 場：神戸大学 六甲台キャンパス

第4回委員会 開催日時：2019年3月1日（金）13:00～

会 場：電気通信大学（調布）

d. 意見交換会（17:20～19:20）

越中島キャンパス 八十五周年記念会館において41名が参加し、意見交換会がなされた。

➤ 第2回委員会

日時：2018年（平成30年）9月20日（木） 13:00～18:10

会場：佐賀大学 本庄キャンパス 理工学部 大学院棟 102 室

内容：

a. 話題提供

「Recent Advances in Dropwise Condensation Phase-Change at Kyushu University」

Kyushu University, International Institute for Carbon-Neutral Energy Research (I²CNER)

Ph.D Daniel Orejon

Dropwise condensation phase-change is receiving increasing attention for its enhanced heat transfer when compared to filmwise condensation. In the past decade, novel micro- and nano-fabrication capabilities and functionalization techniques have led to the development of new exciting research and phenomena associated to dropwise condensation. Here, I introduce recent advances and progress on condensation phase change carried out at Kyushu University. More specifically, I present the effect of surface micro-structure on hydrophilic, patterned wettability and superhydrophobic surfaces on dropwise condensation. In addition, I report the advantages of using liquid infused surfaces within two-phase closed thermosiphons and its increase on the heat transfer performance. Bioinspired surfaces based on *Gladiolus Dalenii* ornamental plant and on lotus leaf are also proposed as excellent candidates prompting dropwise condensation with enhanced heat transfer and fog harvesting capabilities. Fundamental science and surfaces reviewed above could be readily applied for enhancing the heat transfer performance and the efficiency of heat exchangers, heat pumps, air conditioning units, desalination systems and power generation industry.

「3D プリンターを用いたヒートパイプの開発研究」

熊本大学 大学院先端科学研究部 産業基盤部門 小糸 康志 氏

ヒートパイプは、外部動力を要することなく、作動流体の蒸発・凝縮潜熱を利用して熱を輸送する高性能な熱輸送デバイスであり、発熱量の増大が問題となっているパソコンやスマートフォンの冷却促進をはじめ、様々な機器に実用されている。ヒートパイプに関しては、これまでに様々な形状のものが開発され、多くの研究が実施されているが、最近では、3D プリンターの活用が進んでいる。本講演では、3D プリンターを用いたヒートパイプ研究について、最新の研究例を紹介された。

「サーモグラフィと画像解析による熱交換器表面温度の解析」

佐賀大学 理工学部 機械システム工学科 石田 賢治 氏

冷蔵庫の省エネ性能の向上のためには、熱交換器の除霜運転中のエネルギー低減が一つの有効な方法となるが、そのためには、熱交換器の表面温度や内部の冷媒分布の変化を把握した適切な加熱モードの採用が必要となる。本報告では、サーモグラフィと画像解析を組み合わせることで、熱交換器の表面温度ならびに内部の冷媒分布の変化に関する情報を取得する試みについて紹介された。サーモグラフィデータから熱交換器表面温度を逆算する放射エネルギーに関する逆補正機能、表面温度の差分解析や微分的解析等の機能を組み込んだ画像解析支援ソフトウェアにより、カメラの機種に依存せず、微小な温度変化を高感度に検知して検討することができる。

b. 見学会

宮良・仮屋研究室の事件装置（物性測定・管内熱伝達・地中熱ほか）の見学を行った。

c. 国際会議報告

【2018年7月9日～12日】熱交換器 PJ 派遣

2018 Purdue Conference (IN, USA) 仮屋圭史（佐賀大）・地下大輔（東京海洋大）

【2018年7月18日～20日】

13th IIR Gustav Lorentzen Conference on Natural Refrigerants (Valencia, Spain) 粥川洋平（産総研）

【2018年7月24日～29日】

d. 幹事会報告

熱交換器 PJ アンケートについて、とりまとめ中である旨報告があり、次回委員会にて結果を紹介する旨、報告があった。また、未提出の方には提出の協力依頼があった。

e. 意見交換会 (18:15~19:45)

佐賀大学 生協にて 33 名が参加し、意見交換会を行った。

➤ 第 3 回委員会

日時：2018 年 (平成 30 年) 12 月 5 日 (水) 13:00~18:10

会場：神戸大学 六甲台第 2 キャンパス 瀧川記念学術交流会館 2 階大会議室

内容：

a. 話題提供

「気候変動と冷凍空調システム」

大阪市立大学大学院 工学研究科 機械物理系専攻 教授 西村 伸也 氏

今年の夏は日本ばかりでなく北半球においては異常高温が続き、熱波による熱中症患者の急増や森林火災などが発生した。このような異常気象は「地球温暖化」問題として世界的に広く認識され、数多くの防止対策・適応策が世界レベルで取組まれている。冷凍空調分野も、地球温暖化問題とは深い係りがある。第 1 番目は冷媒の温室効果問題である。ついで第 2 番目は、高温化により生じるエネルギー消費増加が社会システム・市民生活に与える影響である。第 3 番目は「熱中症」に代表される健康被害と空調システムの利用についてである。講演では第 2 番目と第 3 番目について、話題提供者の研究・社会活動に基づき、現状と今後の取組みを紹介された。

「沸騰現象のマルチスケール・シミュレーション」

京都大学大学院 工学研究科 原子核工学専攻 教授 功刀 資彰 氏

沸騰熱伝達に関する数多くの研究がなされてきたにも拘らず、核沸騰機構の解明は未だに未解明であり、非経験的な機構論的モデルの構築は進んでいない。沸騰現象に関する時空間スケールは過熱層形成過程での熱伝導支配の分子スケールから気泡成長・離脱過程での熱対流スケールまで極めて広い。特に、核生成過程では高速な分子運動を考慮しなければならず、相変化に伴う時間スケールでの熱非平衡性が重要な役割を担うものと考えられ、数値シミュレーションは沸騰伝熱特性を記述し、議論するために有効なアプローチと考えられている。講演では、各現象スケールに応じた解析手法の物理的問題点について解説するとともに、残された課題について議論された。

「プレート式熱交換器における超臨界圧冷媒の冷却熱伝達に関する研究」

九州大学名誉教授 森 英夫 氏

遷臨界サイクルで作動する産業用高温ヒートポンプのガスクーラを対象として、シェブロン型プレート式熱交換器における超臨界圧冷媒の冷却熱伝達について、種々実験を行い、圧力、流量、シェブロン角の影響等、整理式の適用性を含め、その特性を明らかにした。あわせて、CFD 解析を行い、圧力損失と熱伝達の数値シミュレーションを行った。講演では、それらの結果を紹介された。

b. 見学会

富山研/浅野研/鈴木研の実験装置の見学を行った。

c. 幹事会報告

第 3 回委員会で実施できなかった国際会議報告については、次回実施予定である旨、案内が

あった。また、熱交換器 PJ アンケートについて報告を予定していたができなかったため、議事録のメール配信の際に取りまとめた結果を報告する旨、案内があった。

e. 意見交換会

神戸大学 瀧川記念学術交流会館 1 階にて 46 名が参加し、意見交換会を行った。

➤ 第 4 回委員会

日時：2019 年（平成 31 年）3 月 1 日（金） 13：00～18：20

会場：電気通信大学 東キャンパス（新 C 棟 1 階 103 号室）

内容：

a. 話題提供

「金属焼結多孔質伝熱管を用いたガス側の伝熱促進に関する研究」

電気通信大学 大学院情報理工学研究科 助教 榎木 光治 氏

伝熱管内部に多孔質体を充填する研究は多くされているが、その中でも伝熱管と多孔質体が焼結結合していて、熱抵抗がほぼない多孔質伝熱管を用いた研究を我々は遂行している。現在は管内径と多孔質の充填長さをパラメータにして、管内を流れる乾燥空気の伝熱促進について実験的研究を行った。実験では、熱交換部を二重管構造にして、二重管内側に入口の空気温度を 200℃で流入させて、二重管外側に 1℃の純水を流した伝熱量の測定実験を行った。その結果、150 mm の伝熱長さに対して、多孔質体充填長さ 25 mm、空隙率 80 % の伝熱管は、管径や流速によらず 190℃程度熱交換され、多孔質体が無い場合と比較して 100℃以上の差が、層流と乱流域で生じる事が分かった。この伝熱管の実用化レベルにおける検証実験についても行っていて、シェルアンドチューブ式熱交換器として熱音響エンジンに搭載した。その結果、従来の熱交換器よりも高いエンジン効率を得ることができた。これらの結果について報告された。

「AI 技術の概観と熱交換器への応用」

電気通信大学 大学院情報理工学研究科 准教授 清 雄一 氏

近年、ディープラーニング（深層学習）をはじめとした Artificial Intelligence (AI) 関連の研究が大きく発展している。AI 技術の概要を紹介するとともに、熱交換器設計に重要な管内の熱伝達率予測への応用について述べる。また、AI 技術を一般に物理現象予測に用いる際の課題や、その課題に対する最新の研究を紹介する。たとえば、物理現象に関する人間の知見と AI 技術を融合させることで、少ない実験データを基により精度の高い予測を行う試み等が行われている。

「熱交換器設計・解析におけるマルチフィジクスシミュレーション」

電気通信大学 大学院情報理工学研究科 准教授 井上 洋平 氏

近年の計算機の高速度・大規模化により、従来熱力学・伝熱工学・流体力学・固体力学などのように個別に取り扱われていた力学現象を互いに連成させて解析を行う、マルチフィジクスシミュレーションに関する研究が進展している。本講演では、マルチフィジクスシミュレーションのうち、熱交換器設計において有用と考えられる流体と固体の相互作用に着目をした流体・構造連成シミュレーションや圧縮性流シミュレーションなどの概要を紹介するとともに、熱交換器をはじめとする冷凍機器解析への応用について述べられた。

b. ミニセミナー「REFPROP の超便利な使い方と意外な落とし穴」10:00～12:00

九州産業大学 赤坂 亮氏・長崎大学 近藤 智恵子氏・九州産業大学 福田 翔氏

c. 見学会

榎木研 / 井上研 / 柳井啓司研 ディープラーニングでの画像認識等 / ロボメカ工房 失禁研究会 失禁体験を行った

d. 国際会議報告

【2018 年 8 月 10 日～15 日】

International Heat Transfer Conference - 16 浅野等氏（神戸大）

【2018 年 9 月 2 日～5 日】

1st IIR International Conference on the Application of HFO Refrigerants 近藤智恵子氏（長崎大）

【2018 年 12 月 6 日～7 日】

ISO 神戸シンポ 赤坂亮氏（九州産業大）

【2019 年 1 月 12 日～16 日】

ASHRAE Winter Meeting 宮良明男氏（佐賀大）

e. 幹事会報告

次回開催予告（6/14）および翌日（3/2）の技術委員会・幹事会 [場所：東京海洋大学 越中島キャンパス] の案内があった。また、中間報告書について、年度内に配信できるよう準備する旨、主査から報告があった。

f. 意見交換会 18:30～20:00

東キャンパス 東 7 号館 4 階にて 45 名が参加し、意見交換会が行われた。

➤ 第 5 回委員会

日 時：2019 年（令和元年）6 月 14 日（金） 10:30 ～ 12:00

場 所：防衛大学校（神奈川県横須賀市） 理工学 4 号館 3 階 視聴覚教場

内容：

a. 話題提供

「冷媒の問題およびその対策」

防衛大学校 システム工学群 機械工学科 教授 香川澄氏

現代生活において冷凍空調機器は欠かせないものであり、エネルギー量では国内全体の 7%に達している。フルオロカーボンが主な冷媒として用いられているが、モントリオール議定書(MOP)によって CFC 系冷媒等の全廃、そして 2020 年までに HCFC 系冷媒を全廃することになった。2016 年の MOP キガリ改正においては、HFC 系冷媒を 2019 年から先進国で削減し、日本では 2036 年までに 7000 万 CO₂ トンの基準値の 85%までに削減することに決まった。このために低 GWP 冷媒に置き換えて機器・断熱材を低環境負荷なものにすることになるが、現在の冷媒で HFC 系冷媒と同じ性能のものは限られる。冷媒に関する問題点を整理し、これからの冷媒やその情報について紹介された。

「赤外線高速イメージングによる管内流熱伝達の非定常測定」

防衛大学校 システム工学群 機械工学科 教授 中村元氏

対流熱伝達率は、通常は時間的に変動しない値として扱われるが、実際には流れ場の変動に伴って高速かつ複雑に変動している。したがって、対流伝熱のメカニズムを理解するには、その非定常性について正確に把握する必要がある。近年、赤外線カメラの高性能化により、熱伝達の非定常性を映像として定量的に捉えることが可能になっており、対流伝熱や沸騰伝熱の分野でいくつかの測定事例が存在する。当研究室では、管内流熱伝達の非定常性を赤外線カメラで測定する試みを行っており、講演ではその事例について紹介された。

「音波・マイクロ波共振を利用した冷媒の音速・誘電率計測」

国立研究開発法人産業技術総合研究所 工学計測標準研究部門 狩野祐也氏

近年、オレフィン系冷媒をはじめとする地球温暖化係数の小さい新規冷媒の開発が活発であり、既存フロンの代替による低温室効果空調システムの研究開発が進んでいる。混合冷媒を含めた新しい冷媒の伝熱特性やサイクル性能を評価する際には、その冷媒の熱物性値情報をモデル化した熱力学状態方程式が不可欠であり、一般には NIST が開発した流体物性計算ソフトウェア REFPROP がデータベースとして広く用いられている。冷媒の状態方程式の開発

には飽和蒸気圧や臨界定数など種々の熱物性計測が必要であり、伝熱特性やサイクル性能を正確に評価するためには、広範囲の温度・圧力条件における高精度な物性値情報が求められる。本講演では、状態方程式の開発に重要な物性である気相域における音速および誘電率の計測技術と、理想気体比熱や双極子モーメントなど基礎物理特性の導出について紹介された。

b. 見学会

中村研/香川研+資料館を4グループに分かれて見学した。

c. 幹事会報告

次回月9月26日(木)九州産業大学での開催案内が配布資料にもとづき、主査から報告があった。また、翌日の西日本技術交流会の記念講演・小山繁教授の偲ぶ会の案内が、宮良幹事からあり、併せて出席依頼があった。

d. 意見交換会

防衛大学校 本部庁舎1階食堂にて、参加者39名で行った。

e. その他

年次大会スポンサーシップ(機器展示・パネル展示・広告)について、主査から実行委員長として企業委員に再度支援・協力依頼があった。

➤ 第6回委員会

日時：2019年(令和元年)9月26日(木) 10:30 ~ 11:45

場所：九州産業大学 1号館2階 S201 教室

内容：

a. 話題提供

「営農用小水路向けポータブル型ダリウス水車の開発」

九州産業大学 理工学部 機械工学科 准教授 松下大介氏

小水力は、再生可能エネルギーの1つとして電力需要地近傍での適用が期待されている。平地に近い環境では低落差・小流量となる条件が多く、コストパフォーマンスのよい水車が必要となる。ダリウス水車は極低落差環境に設置できる水車の1つであり、九州大学で40年以上にわたり研究されてきた経緯がある。ここでは、農村地域の小水路に設置できる小電力用途として、九州産業大学にて開発を進めているポータブル型ダリウス水車について紹介された。実験水路による性能試験とフィールドテストにより得られたデータを元に、実用化へ向けた取り組みと今後の展開について示された。

「一方向性ポーラス金属を用いた高熱流束除去技術」

山口東京理科大学 工学部 機械工学科 教授 結城和久氏

本講演では、核融合炉・製鉄連続鑄造・車載用パワー半導体などの高熱流束機器に対し、ポーラス金属を用いた除熱技術を提案し、その原理および除熱特性について紹介された。まず様々なポーラス体の特徴について紹介し、次いでポーラス金属を伝熱促進体として導入する際の考え方について、有効熱伝導率や透過性能を参照しながら概説された。特に講演者が近年注力している一方向性ポーラス金属を用いた相変化促進技術や熱交換技術について伝熱実験や数値シミュレーションの結果を交えながら紹介された。

「昨今の空調機の性能評価に関する工業会の取り組みについて」

一般社団法人日本冷凍空調工業会 技術部長 酒井猛氏

地球温暖化への対応が世界的な大きな課題として注目され、日本ではこれまで1997年の京都議定書の採択を受け、1998年改正省エネ法に基づくトップランナー方式による省エネ基準の導入等、CO2排出抑制に向けた機器稼働時の消費エネルギーの削減に向けた取り組みが行われている。同時に冷凍空調機器の冷媒の大気放出も地球温暖化の影響が指摘されており、両者への対応が工業会における最大の課題となっている。このような環境変化のもと、空調

機の性能評価基準などにおいても種々の見直しが進められており、本報では、これら空調機等における規制や基準に関して、現在までの流れと最近の動向及び今後の取り組み方針案等について述べられた。

b. 見学会

赤坂・福田研，松下研，美術館の三か所を3グループに分かれて見学した。

c. 国際会議報告

【2019年6月21日】

ISO 17584（冷媒物性）における国際標準状態方程式の改訂 赤坂亮氏（九州産業大学）

【2019年8月24日～30日】

The 25th IIR International Congress of Refrigeration 福田翔氏（九州産業大学）

d. 幹事会報告

次回月12月2日（月）北海道大学での開催案内が配布資料にもとづき、主査から報告があった。また、当日午前で開催する見学会：三建設備工業（株）北海道支店「札幌三建ビル」の案内が、配布資料にもとづき案内があった。併せて同業者の場合は、見学会は参加できないこともあるとの事前了承依頼があった。意見交換会 18:30～20:30 を予定。

e. その他

次期プロジェクトの設置申請書・2020年度調査研究プロジェクト募集案内（案）について、報告があった。今後の学会承認・募集の日程について併せて報告があった。

f. 意見交換会

九州産業大学 8号館 1階 クラブハウスにて、参加者36名で行った。

➤ 第7回委員会

日時：2019年（令和元年）12月2日（月） 13:20 ～ 17:50（見学会 10:30～12:00）

場所：北海道大学 工学部本館 会議室 A1-01

内容：

a. 見学会

10:30～12:00 三建設備工業株式会社 北海道支店「札幌三建ビル」で見学会を行った。施設概要の説明・質疑の後、2グループに分かれて ZEB 施設を 37 名が見学した。

【見学設備】

ビル名：札幌三建ビル

建設地：札幌市北区北 15 条西 2 丁目 1-1

鉄筋コンクリート造 2 階建

延床面積：1949.58 m²

設計：三建設備工業株式会社 株式会社岩見田・設計

施工：三建設備工業株式会社 岩田地崎建設株式会社

工期：2017 年 10 月 2 日～2018 年 10 月 30 日

【設備概要】（三建設備工業株式会社ホームページからの転載）

研究施設「つくばみらい技術センター」で年間の一次エネルギー消費量で正味ゼロとなる ZEB を 2014 年に実現しており、本建物はそこで醸成した複数の技術を導入し、国内で数例しかない寒冷地型の ZEB として建設し、ZEB Ready の BELS 認証（国土交通省告示に基づく第三者認証）を取得しています。今後は運用改善を継続的に行い、ワンランク上の Nearly ZEB を目指しています。

本建物は ZEB の認識を深めるためのモデルルームとして活用しており、施設見学をしながら、水式・空気式放射空調の体感や設備の運用状況の確認も可能です。なお、ホームページ上では、エネルギー収支の状況をリアルタイムに公開されています。

「北海道支店 ZEB 実況中継」<https://skk.jp/zeb/hkd.html>

b. 話題提供

「接触熱抵抗の基礎的事項と測定例」

元熊本大学 大学院先端科学研究部 エネルギー科学部門 教授 富村寿夫 氏

固体と固体との間の接触面では、表面に存在する微視的な粗さや巨視的なうねりなどの様々な因子に基づく熱抵抗が生じ、巨視的に見た場合、不連続な温度差が現れる。このような現象は接触熱抵抗と呼ばれ、最近、高密度実装化された電子機器の冷却などにおいても重要な問題となってきている。接触熱抵抗に関しては、これまで数多くの理論的・実験的研究が行われており、様々な予測式が提案されている。ここでは、よく使用されている橘・佐野川の式について、伝熱工学資料、伝熱ハンドブックなどの中での取り扱いを整理するとともに、接触熱抵抗に関する従来の測定法に加え新たな測定法の試みについても紹介された。

「直接膨張方式の地中熱ヒートポンプに用いる地中熱交換器について」

山梨大学 大学院総合研究部 工学域 機械工学系 教授 武田哲明 氏

現在実用化されている地中熱ヒートポンプは間接方式と呼ばれ、ヒートポンプ内の冷媒の熱を不凍液等のブラインに与え、このブラインを地中に循環させて地中との間で採放熱させる方式である。一方、直接膨張方式はヒートポンプ内の冷媒配管を地中に導入し、直接地中与熱交換させる方式である。これまでに、研究室では種々の地中熱交換器を用いて、空調・給湯システムの性能を調べてきたが、今後の実用化については、安全性や耐久性、最適化された基本設計なども示す必要があり、特に蒸発・凝縮を伴う地中熱交換器内の冷媒循環流動の安定化や流動抵抗も把握する必要がある。本講演では、これまでに調べた地中熱交換器の構造や性能について紹介された。

「稚内層珪質頁岩が健全で安全な生活と持続可能な地球環境に果たし得る貢献」

北海道大学 大学院工学研究院 空間性能システム部門 教授 長野克則 氏

2008 年度から NEDO の革新的省エネルギー開発事業の先導、実用化、実証研究を受託しデンシカント換気空調システムの開発を 8 年間にわたり研究代表として取り組んできた。本システムの特徴の一つは、デンシカントロータに北海道宗谷地方で豊富に産出される非常に安価で良好なメソポーラス材料の特徴をもつ鉱物資源である稚内層珪質頁岩 (WSS) を基材として用いることである。ここでは、まず、天然メソポーラス材料としての WSS について水蒸気や室内空気質汚染物質の吸着特性を説明し、次にこの特徴を利用して長野研究室で長年、研究開発行ってきた建材、蓄熱材、デンシカントロータについて説明する。最後に、2014 年度から受託した NEDO 革新的省エネルギー開発事業の実用化フェーズにおいては WSS 微粉末、塩化物、バインダーからなる薄膜コーティング用混合溶液を開発、これを用いて吸着材一体型コルゲートタイプ熱交換器を作成し小型吸着式冷凍機を試作し性能評価を実施、最終的に冷凍能力 30kW 級のプロトタイプ機を開発したことの紹介があった。

c. 研究室見学

長野・葛研を 2 グループに分かれて見学を行った。

d. 国際会議報告

【2019 年 10 月 2 日～6 日】

The 12th Asian Thermophysical Properties Conference (ATPC2019) , 西安・中国,

赤坂亮 氏 (九州産業大学)

西安交通大学の施設見学報告 粥川洋平 氏 (産業技術総合研究所)

e. 幹事会報告

次回日程の報告ほか、次期プロジェクトの 2020 年度調査研究プロジェクト募集案内について、周知・参加依頼があった。今後の学会承認・募集の日程について併せて報告があった。

f. その他

IJR の小山教授追悼特集号への投稿案内・依頼があった。

g. 意見交換会

おたる別荘（札幌市中央区南 4 条西 4 丁目 5-2 すずらんビル）にて、参加者 33 名で行った。

➤ 第 8 回委員会

日 時：2020 年（令和 2 年）3 月 2 日（月） 13:00 ～ 17:00

場 所：東京海洋大学 品川キャンパス 2 号館 100A 教室

内容：

a. 話題提供

「SDGs に貢献する食品冷凍技術の最新動向」

東京海洋大学 食品生産科学部門 准教授 渡辺学 氏

冷蔵（凍結を含む）は、食品を今ある状態のままで保存し得る唯一の方法である。冷蔵保存の高度化は、食糧の需給バランスの最適化やフードロスの低減に有効であると考えられ、SDGs の達成に貢献できる。その反面、他の保存法とは違って、流通工程全般にわたって低温状態を保つためにコールドチェーンの整備が必須となる。すなわち、真にサステナブルなフードシステムを実現するためには、加工工程からコールドチェーンまで含めた省エネルギーを推進しなくてはならない。今回は、日本における特殊なコールドチェーンの成立過程を振り返り、省エネルギーに関連する食品科学の最新の研究事例を紹介された。

「海水物性の精密計測」

産業技術総合研究所 計量標準総合センター 工学計測標準研究部門 粥川洋平 氏

海洋は、地球の 7 割の面積を占める。その平均深度は 3,800 m であり、海洋が気候変動をはじめとする地球環境へ及ぼす影響は計り知れない。海洋の運動や成分変化のモニタリングにおいて最重要なパラメータが塩分である。海水の電気伝導度にもとづく塩分計は広く用いられているが、正確な塩分値を得るには課題も多い。より正確な「海水の重さ」を知る方法として、海水密度の絶対測定の実用性が高まっている。また、現場で測定するセンサーについても、電気伝導度よりも正確な方法として、海水の屈折率を利用するセンサーが提案されている。講演では、産総研と JAMSTEC が取り組んでいるこれらの研究開発について紹介された。

「漁業分野における模型実験用回流水槽の概要とその利用について」

東京海洋大学 海洋生物資源学部門 教授 胡夫祥 氏

日本国内において、1951 年に東京海洋大学（元東京水産大学）に初めて回流水槽が建造されて以来、造船工学、海洋工学や漁業工学研究分野において、回流水槽が数多く建造または更新され、幅広く利用されてきた。漁業工学分野では現在 5 基の回流水槽が稼働されており、主に漁具、漁船、養殖生簀や人工漁礁などの模型試験に利用されている。2003 年に建造された東京海洋大学の 4 代目の大型回流水槽は、測定部寸法が長さ 9.0m×幅 2.2m×高さ 1.95m の水平循環型 1 インペラー駆動方式のもので、流速の発生能力は 0.1～2.0m/s である。また、等加速度流および振幅±0.5m/s（周期 20sec）の往復振動流も創出でき、測定部断面において最高流速でも平均流速に対して、±2.0%を越えない均一性の高い流速分布を有する性能の高い回流水槽である。

b. 国際会議報告

【2019 年 10 月 18 日～19 日】

The 15th APCBE on the Built Environment（台湾）、宮良明男 氏（佐賀大）

【2019 年 11 月 1 日～3 日】

30th International Symposium on Transport Phenomena（ベトナム）、宮良明男 氏（佐賀大）

【2020 年 2 月 1 日～5 日】

ASHRAE Winter Meeting 2020（オランダ・USA）、井上順広 氏（東京海洋大）

c. 見学会

大回流水槽を胡教授の案内で見学を行った。

d. 幹事会報告

今後のスケジュールについて説明があり、次期 PJ の申込期限は令和 2 年 3 月 13 日（金）。申込手続きの依頼があった。最終報告書は、主査が作成の後、確認を経て 3 月末までのなるべく早い時期にダウンロードができるようにする旨、報告があった。なお、CD-ROM 版が必要な場合は申出により対応する旨、説明あった。意見交換会は、中止である旨、説明があった。

e. その他

次期プロジェクトの第 1 回について告知があった

開催日：2020 年 6 月 12 日（金）

会場：東京海洋大学（越中島キャンパス）

話題提供：3～4 件、見学会（予定）、国際会議報告：1～2 件、幹事会報告、意見交換会、

技術委員会・幹事会 2020 年 6 月 12 日（金）10:00～

7. 話題提供の分野別分類

➤ 熱交換器・伝熱

- 「冷媒の管内沸騰蒸発流動伝熱特性に及ぼす冷凍機油の影響 -レビュー論文の紹介と私見-」
福岡大学 高尾 幸来 氏 [第1回委員会]
- 「プレートフィン内における凝縮熱伝達に関する研究」
九州産業大学 福田 翔 氏 [第1回委員会]
- 「プレート式熱交換器における超臨界圧冷媒の冷却熱伝達に関する研究」
九州大学名誉教授 森 英夫 氏 [第3回委員会]

➤ 凝縮・沸騰・熱伝導現象

- 「Recent Advances in Dropwise Condensation Phase-Change at Kyushu University」
Kyushu University Ph.D Daniel Orejon [第2回委員会]
- 「沸騰現象のマルチスケール・シミュレーション」
京都大学大学院 功刀 資彰 氏 [第3回委員会]
- 「接触熱抵抗の基礎的事項と測定例」
元熊本大学 富村 寿夫 氏 [第7回委員会]

➤ 空調機制御

- 「制御工学的見地から見たヒートポンプを取り巻く諸問題」
早稲田大学 山口 誠一 氏 [第1回委員会]

➤ ヒートパイプ

- 「3D プリンターを用いたヒートパイプの開発研究」
熊本大学 小糸 康志 氏 [第2回委員会]

➤ 計測技術

- 「サーモグラフィと画像解析による熱交換器表面温度の解析」
佐賀大学 石田 賢治 氏 [第2回委員会]
- 「赤外線高速イメージングによる管内流熱伝達の非定常測定」
防衛大学校 中村 元 氏 [第5回委員会]

➤ ヒートアイランド

- 「気候変動と冷凍空調システム」
大阪市立大学大学院 西村 伸也 氏 [第3回委員会]

➤ 多孔質・伝熱促進

- 「金属焼結多孔質伝熱管を用いたガス側の伝熱促進に関する研究」
電気通信大学 榎木 光治 氏 [第4回委員会]
- 「一方向性ポーラス金属を用いた高熱流束除去技術」
山口東京理科大学 結城 和久 氏 [第6回委員会]

➤ AI 技術

- 「AI 技術の概観と熱交換器への応用」
電気通信大学 清 雄一 氏 [第4回委員会]

➤ シミュレーション

- 「熱交換器設計・解析におけるマルチフィジクスシミュレーション」
電気通信大学 井上 洋平 氏 [第4回委員会]

➤ 冷媒問題と展望

- 「冷媒の問題およびその対策」

- 防衛大学校 香川 澄 氏 [第5回委員会]
「昨今の空調機の性能評価に関する工業会の取組みについて」
一般社団法人日本冷凍空調工業会 酒井 猛 氏 [第6回委員会]
- 物性
「音波・マイクロ波共振を利用した冷媒の音速・誘電率計測」
国立研究開発法人産業技術総合研究所 狩野 祐也 氏 [第5回委員会]
「海水物性の精密計測」
国立研究開発法人産業技術総合研究所 粥川 洋平 氏 [第8回委員会]
- 流体
「営農用小水路向けポータブル型ダリウス水車の開発」
九州産業大学 松下 大介 氏 [第6回委員会]
「漁業分野における模型実験用回流水槽の概要とその利用について」
東京海洋大学 胡 夫祥 氏 [第8回委員会]
- 地中熱
「直接膨張方式の地中熱ヒートポンプに用いる地中熱交換器について」
山梨大学 武田 哲明 氏 [第7回委員会]
- デシカント
「稚内層珪質頁岩が健全で安全な生活と持続可能な地球環境に果たし得る貢献」
北海道大学 長野 克則 氏 [第7回委員会]
- 食品冷凍
「SDGs に貢献する食品冷凍技術の最新動向」
東京海洋大学 渡辺 学 氏 [第8回委員会]

8. 国際会議報告（一部国内会議を含む）

- The 3rd Thermal and Fluids Engineering Conference (TFEC)
March 4-7, 2018 in Fort Lauderdale, FL, USA [第 1 回委員会]
- The 10th International Conference on Boiling and Condensation Heat Transfer (ICBCHT2018)
March 12-15, 2018 in Nagasaki, Japan [第 1 回委員会]
- 13th IIR Gustav Lorentzen Conference on Natural Refrigerants (GL2018)
Jun 18-20, 2018 in Valencia, Spain [第 2 回委員会]
- 2018 Purdue Conference 【熱交換器 PJ 派遣事業】
July 9-12, 2018 in Purdue, IL, USA [第 2 回委員会]
- 20th Symposium on Thermophysical Properties and ISO TC86/SC8/WG7
June 24-29, 2018 in Boulder, CO, USA [第 2 回委員会]
- 16th International Heat Transfer Conference
August 10-15, 2018 in Beijing, China [第 4 回委員会]
- 1st IIR International Conference on the Application of HFO Refrigerants
September 2-5, 2018 in Birmingham, UK [第 4 回委員会]
- 環境と新冷媒国際シンポジウム 2018
December 6-7, 2018 in Kobe, Japan [第 4 回委員会]
- 2019 ASHRAE Winter Conference
January 12-16, 2019 in Atlanta, GA, USA [第 4 回委員会]
- ISO 17584（冷媒物性）における国際標準状態方程式の改訂
Jun 21, 2019 in Kansas city, MO, USA [第 6 回委員会]
- The 25th IIR International Congress of Refrigeration
August 24-30, 2019 in Montreal, Canada [第 6 回委員会]
- The 12th Asian Thermophysical Properties Conference (ATPC 2019)
October 2-6, 2019 in Xi'an, China [第 7 回委員会]
- 西安交通大学の施設見学報告
October 2-6, 2019 in Xi'an, China [第 7 回委員会]
- The 15th Asia Pacific Conference on the Built Environment on the Built Environment (APCBE)
October 15-16, 2019 in 高雄市, Taiwan [第 8 回委員会]
- 30th International Symposium on Transport Phenomena (ISTP30)
November 1-3, 2019 in Vietnam [第 8 回委員会]
- 2020 ASHRAE Winter Conference
February 1-5, 2020 in Orlando, FL, USA [第 8 回委員会]

9. 出席者数

Table 1 Number of participants of Committees

回	大学側委員	企業側委員	オブザーバ	事務局	講演者※1	参加者総数	意見交換会
1	13	27	16	1	2	59	41
2	11	19	11	0	3	44	33
3	13	21	21	0	3	58	46
4	11	24	31	1	2	69	45
5	9	24	19	0	2	54	39
6	13	17	13	1	3	47	36
7	12	18	10	1	3	44	33
8	9	7	4	0	1	21	—

※第8回は COVID-19 により意見交換会は中止。

10. 熱交換器 PJ アンケート集計結果

調査研究プロジェクトの参加は新規・継続のどちらですか？

総回答数 30 継続 25 新規 5

これまでの委員会の話題提供は、あなたの職務に役立つ、または有意義なものでしたか。

4.83

これまでの大学研究室や研究所等の見学は、あなたの職務に役立つ、または有意義なものでしたか。

4.75

これまでの国際会議報告は、あなたの職務に役立つ、または有意義なものでしたか。

4.38

これまでの情報交換・意見交換会は、あなたの職務に役立つ、または有意義なものでしたか。

4.65

これまでの調査研究 PJ 委員会の活動について、あなたは満足していますか。

4.67

委員会開催・1時間程度の見学は可能でしょうか。

可能 3

そう思う	少し思う	どちらでもない	思わない	全く思わない
5	4	3	2	1

アンケート意見

○話題提供について

- ・低 GWP 冷媒に関する話題提供、エアコン性能に関する話題提供や最近のトレンド、関連 JIS 規格や冷媒規制に関する話題提供。
- ・熱交換器の研究開発における AI 技術の利用（例えば、電通大榎木先生の AI による沸騰熱伝達の予想技術など）や、熱交換器の CFD 解析の現状と課題。
- ・できるだけ企業の話題提供を活発にして、大学のシーズとのすりあわせを行う場にできないか。進行中の NEDO プロジェクトなどの紹介もできる範囲で実施できないか。
- ・最近、熱交換器に関わる案件が少なくなったと感じています。第1回（6月）のテーマは満足して

います。質疑については、質問されることにより相互に新たな気づきもありますのでもう少し時間をとってほしいと感じます。

- ・これまでの内容に非常に満足していますが、同じようなパターンで進んでいますので、企業から参加している委員にとっては、少しマンネリ化しているのではないかと危惧しています。
- ・微細管熱交の分流技術に関する情報提供
- ・今後の冷媒動向は本委員会のメンバーにとっても関心が強いはずで、内容的に共通する話題提供などがあれば、たまには「自然冷媒システム調査研究プロジェクト」との合同開催を行っても良いのでは。
- ・地中熱に利用に関するもの、（工場）排熱利用用途のヒートポンプに関するものなどを取り上げて欲しい。
- ・将来冷媒を軸として類型化し、テーマ冷媒(HC など)での R&D キーワードを 1 回の P J で纏めて実施などでも良いかと思います。

○セミナーについて

- ・冷媒技術委員会主催で REFPROP の講習会を Eric Lemmon 博士にお願いしましたが、そのときの感想に「日本語でもやって欲しい」というのがあり、Ver.10 がある程度広まった時点で日本語での REFPROP 講座の開講。
- ・セミナー形式大変有意義でしたので、レベルは下がってしまうかもしれませんが、勉強会などの開催。
- ・沸騰に関するものも開催いただけることを大いに期待しております。
- ・セミナー形式を 1 回／年程度開催しても良いと考える。
- ・凝縮のセミナーのような企画は、体系的に内容を知ることができるので、今後も年 1 回程度あるといいように思います。
- ・セミナー形式は企業の入会者の方に大きなメリットがあると思いました。新人の技術者や、復習を兼ねて勉強をしたい技術者に向けて、もっと基本的なセミナーを開いても良いかもしれません。例えば、対流熱伝達の基礎、沸騰・凝縮の基礎、REFPROP の使い方、など。若い会員が増えるかもしれません。
- ・凝縮のような講座も、2 年に 1 回程度混ぜてもよいと思います。
- ・もう少し基礎的な内容が良いのか、もっと応用的な内容が良いのか、具体的な設計法（演習）や REFPROP の使い方など実用的なものが良いのか、など、希望や要望があれば再度企画しても良いと思います。
- ・第 5 期第 9 回で行ったようなセミナー(冷媒の凝縮)を増やして欲しい
セミナー形式は企業委員にとっては大変貴重な場であり、沸騰蒸発やその他でも継続しての開催をお願いします。
- ・是非とも凝縮以外にも、強制対流伝熱促進などの切り口でもセミナーを開催頂ければ。

○国際会議報告等について

- ・国際会議への若手研究員参加助成システムは、今後も継続していただきたい。
- ・国際会議報告については比較的短時間で簡素な印象ですが、いくつかの発表について、もう少し内容にまで踏み込んで、且つ時間も割いて話題提供的な内容としても良いのではと思います。
- ・国際会議報告は、前回からの変化点として論文数などのご報告はございますが、技術動向や研究動向としても派遣員の私見として頂きたいです。また現地の風土を共有頂けるのも大変有り難いですが、現地特有の冷凍空調技術やニーズについても肌で感じたものがあれば是非ともご提供頂きたいと思います。
- ・国際会議の報告はもう少し、実用的な内容(各技術分野のトレンド、新たな動き)を含めて技術の詳細紹介ができればもっと会社への紹介がしやすくなると思います。

○意見交換会について

- ・講師の方が意見交換会にほぼ参加していただいているので後でお話しさせていただくことができ、満足しております。ぜひ継続していただきたいです。

○見学会について

- ・見学等ですが，開示範囲が限定されても良いので毎回見学の場があると良いです．
- ・最近オープンしたパナソニックミュージアムのようなエアコン以外の見学会も面白いと思います．
- ・社外の人間が見学できるダイキン淀川製作所内のT I Cの見学会などは委員会メンバーの関心が強いのではないのでしょうか

○その他

- ・企業あたりの委員会の参加人数を増やして欲しい（現在3名まで）
→幹事会審議（12月5日）：収容人数の許容数から現状維持とすることとした．
- ・過去の活動内容が公開される前に見れるようにして欲しい．過去の委員会に対しては守秘義務契約を結んでおりませんが，活動に参加することで守秘義務契約を結んでいる為，同等と見なしてはもらえないでしょうか？
→幹事会審議（12月5日）：活動報告書については，公開することを容認する．委員向けダウンロードサイトなどを考える．
- ・成果報告書について，現在のように単に各テーマごとの話題提供をまとめるのではなく，熱交換器における主要要素技術（冷媒，伝熱促進/形態，分配，着霜 等）に対して，具体的な方向性を明確に結論付ける内容がプロジェクトのアウトプットとして示されれば，会社として積極的に参加できると思います．例えば，技術シーズ/ニーズに対して，それぞれの項目を具体的に検討し，その検討結果も反映させながら少し掘り下げた内容で毎年あるいは2年ごとに更新 等
→募集要項にあります，「研究者側委員と特別講師から提供・情報発信し，さらにそれらに関して討議し，熱交換技術の方向性などを検討する．」討議して熱交換技術の方向性などを検討する”の部分は，確かに現状では不十分かと思います．しかしながら，この部分については討論の場を持ったところで，企業側の思惑は個々に異なりますので，討論にはならないと考えます．報告書は活動状況を正確にまとめてお示し，資料として提供することが，まずは重視すべき点と考え，踏襲して作成しております．プロジェクトを通じて得られた成果は，個々の参加者によって異なると思いますので，その部分は共通ではなく，現状では個々の参加者によって補完して頂ければと思います．技術シーズ/ニーズに対する調査は滞っておりますが，別途プロジェクト内で進めて参りたいと思います．

以上