

社団法人 日本冷凍空調学会

CO₂を含む将来冷媒の先進熱交換技術に関する調査研究

報告書

平成21年10月

目 次

第1章	概 要	
1. 1	目的	1
1. 2	組織	1
1. 3	期間	1
第2章	活動報告	2
第3章	調査研究結果	
3. 1	CO ₂ 関連技術	7
3. 2	沸騰・凝縮熱伝達	8
3. 3	二相流	9
3. 4	物性・計測	10
3. 5	システム	10
3. 6	熱交換器材料	11
3. 7	その他の関連情報	12
3. 8	国際会議参加報告	13
第4章	まとめ	14
資料1	秘密保持誓約書	15
資料2	講演資料リスト	16

第1章 概要

1.1 目的

CO₂および将来冷媒に関して、管内外の伝熱促進（微細化，細径化），高密度伝熱面（フィン付き面），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，冷媒分配，伝熱制御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による最新研究の動向を提供・情報発信し，さらにそれらに関する討議を行って熱交換技術の方向性などを検討する．また，関連の最新研究設備の現地調査を行う．

1.2 組織

（主査）宮良明男（佐賀大学） （副主査）浅野 等（神戸大学）

（研究機関側委員）

浅野 等（副主査，神戸大学）	井上順広（幹事，東京海洋大学）
桑原 憲（幹事，九州大学）	高 雷（幹事，福岡大学）
小山 繁（幹事，九州大学）	納富 信（幹事，早稲田大学）
宮良明男（主査，佐賀大学）	渡辺 学（幹事，東京海洋大学）

（企業側委員）

石橋明彦（コベルコマテリアル銅管）	石橋 晃（幹事，三菱電機）
印南幸夫（幹事，日立アプライアンス）	王 凱建（幹事，富士通ゼネラル）
楠本 寛（日立製作所）	佐々木直栄（住友軽金属工業），
佐藤全秋（幹事，東芝キャリア）	沢田範雄（幹事，三洋電機）
平良繁治（幹事，ダイキン工業）	釣弘太郎（古河電気工業）
西田耕作（幹事，前川製作所）	法福 守（日立電線）
森 康敏（古河電気工業）	
横山昭一（幹事，松下電器産業，現 パナソニック）	
Kazumitsu Nishioka（Emerson Climate Technologies）	
Saikee Oh（LG Electronics）	

事務局：関田真澄（日本冷凍空調学会）

※ 熱交換器技術分科会委員に幹事を依頼した．

1.3 期間

平成19年4月～平成21年8月

第2章 活動報告

➤ 第1回委員会

日時：平成19年7月27日（金） 14：00～17：00

会場：東京海洋大学 越中島キャンパス

内容：

- a. プロジェクト発足経緯の説明
- b. 活動方針，活動経緯について
- c. 講演：
「冷凍空調機用熱交換技術のシーズとニーズ」 小山 繁（九州大学）
- d. 秘密保持契約書について
- e. 懇親会

➤ 第2回委員会

日時：平成19年10月25日（木） 13：30～17：00

会場：東京海洋大学 品川キャンパス

内容：

- a. 国際会議 ICR2007 報告 宮良 明男（佐賀大学）
- b. 特別講演：
「ガスクーラ内の伝熱特性およびオイルの影響」 党 超鋌（東京大学）
- c. 講演：
「超臨界域における CO₂ の水平内面ら旋溝付管内冷却熱伝達・圧力損失」
桑原 憲（九州大学）
「CO₂ の蒸発熱伝達特性およびオイルの影響」 高 雷（福岡大学）
「ヒートポンプ空調機と熱交換器の動向」 平良 繁治（ダイキン工業）
(代理：藤野 宏和)

➤ 第3回委員会

日時：平成20年3月18日（火） 13：00～17：30

会場：産業技術総合研究所 つくばセンター

内容：

- a. 講演：
「CO₂ を含む冷媒熱物性研究の現状と課題」 東 之弘（いわき明星大学）
「産総研における流体物性計測について」 粥川 洋平（産業技術総合研究所）
「冷媒の燃焼性・安全性の評価」 福島 正人（旭硝子）

b. 見学会：

【計測標準研究部門】 <http://www.nmij.jp/info/lab/>

- ・シリコン単結晶による密度の標準（場所：つくば中央第3事業所本館）

シリコン単結晶球体の，直径と質量の絶対測定によって実現する密度の標準と，その特定標準器との比較により固体・液体の密度を精密に校正する技術の紹介。

- ・流体の熱物性測定（場所：つくば中央第3別棟（3-4B））

流体のPVT性質を測定するために開発した磁気浮上密度計，ならびに気液平衡性質測定装置・臨界点測定装置，光波干渉を用いた液体屈折率測定装置についての紹介。

【エネルギー技術研究部門】 <http://unit.aist.go.jp/energy/index.htm>

- ・氷スラリー，マイクロバブルを利用したオゾン氷生成，LDVによるガスタービン動翼内速度計測，水素エネルギーシステム（水素生成，貯蔵，利用）

➤ 第4回委員会

日時：平成20年6月11日（水） 13：00～18：10

会場：九州大学 筑紫キャンパス 先導物質科学研究所

講演：

「気液相変化に及ぼす表面濡れ性の効果」 高田 保之（九州大学）

「強制流動沸騰を用いた大面積からの高熱流束除熱とその応用」

大田 治彦（九州大学）

「管内強制対流沸騰熱伝達の特性」

森 英夫（九州大学）

「PAG オイルの単体およびCO₂との混合状態での物性」

金子 正人（出光興産）

見学会：

(1) 九州大学大学院 総合理工学研究院 エネルギー物質科学部門 熱・物質移動現象学研究分野

スタッフ：小山 繁 教授，Bidyut B. SAHA 准教授，桑原 憲 助教

ホームページ：<http://www.cm.kyushu-u.ac.jp/dv10/dv10j.html>

見学内容：

1. CO₂管内熱伝達測定実験装置

2. 吸・脱着試験装置

(2) 九州大学先端物質化学研究所 融合材料部門 輸送物性計測学分野

スタッフ：富村 寿夫 准教授

[現在：熊本大学 大学院自然科学研究科 産業創造工学専攻 先端機械システム講座 教授]

ホームページ：<http://www.cm.kyushu-u.ac.jp/dv13/dv13j.html>

[熊本大学：<http://www.mech.kumamoto-u.ac.jp/Info/lab/heat/index.html>]

見学内容

1. フィラーの熱伝導率測定装置（C-Cube）

交流会

➤ 第5回委員会

日時：平成20年10月23日（木） 13：00～19：00

場所：神戸大学 六甲台キャンパス 瀧川記念学術交流会館

講演：

「収着剤を利用した先進的熱・物質交換技術」

稲葉 英男（津山工業高等専門学校）

「着霜成長に関する一取組」

下村 信雄 (新居浜工業高等専門学校)

「二相流シミュレーションの現状と課題」

富山 明男 (神戸大学)

見学会：

- (1) 神戸大学大学院 工学研究科 応用化学専攻 粒子流体工学研究分野

スタッフ：薄井 洋基 教授，鈴木 洋 准教授，菟田 悦之 助教

ホームページ：<http://www2.kobe-u.ac.jp/~komoda/cx11/>

見学内容：流動抵抗低減，スラリーなど熱流動現象

- (2) 神戸大学大学院 工学研究科 建築学専攻 環境音響学研究室

スタッフ：森本 政之 教授，阪上 公博 准教授，佐藤 逸人 助教

ホームページ：<http://www.arch.kobe-u.ac.jp/%7Een1/index-j.html>

見学内容：無響室

- (3) 神戸大学大学院 工学研究科 機械工学専攻 エネルギー環境工学研究分野

スタッフ：富山 明男 教授，細川 茂雄 准教授

見学内容：気液二相流の実験，レーザ計測，など

- (4) 神戸大学大学院 工学研究科機械工学専攻 エネルギー変換工学研究分野

スタッフ：平澤 茂樹 教授，川南 剛 准教授

ホームページ：<http://www.research.kobe-u.ac.jp/eng-ene/>

見学内容：磁気冷凍サイクル

- (5) 神戸大学大学院 工学研究科機械工学専攻 混相熱流体工学研究分野

スタッフ：竹中 信幸 教授，浅野 等 准教授，村川 英樹 助教，杉本 勝美 助手

ホームページ：<http://www.research.kobe-u.ac.jp/eng-multiphase/index.html>

見学内容：核沸騰伝熱促進，潜熱回収熱交換器，プレート熱交換器

交流会

➤ 第6回委員会

日時：平成21年1月30日(金) 13:00~17:00

会場：東京海洋大学 越中島キャンパス 越中島会館

講演：

「熱・物質輸送促進に関する2,3のトピックス」

望月 貞成 (東京農工大学名誉教授)

「表面張力を利用した小型気液分離器の開発」

鹿園 直毅 (東京大学)

「CO₂のらせん溝付管内熱伝達特性」

小山 繁，桑原 憲 (九州大学)

国際会議参加報告：

「2008 Purdue Compressor Engineering and Refrigeration and Air Conditioning Conferences」

宮良 明男 (佐賀大学)

「2009 ASHRAE Winter Conference」

宮良 明男 (佐賀大学)

「IIR Gustav Lorentzen Conference on Natural Working Fluids」

小山 繁 (九州大学)

➤ 第7回委員会

日時：平成 21 年 3 月 11 日（水） 13：00～17：30

会場：早稲田大学 大久保キャンパス

講演：

- (1) 「当研究室における熱システムに関する研究の紹介」 河合 素直（早稲田大学）
機器要素をモジュール化した熱システムシミュレータの開発
- (2) 「化学再生サイクル－現状と展望－」 中垣 隆雄（早稲田大学）
ガスタービン排熱を燃料（エタノール、DME）の水蒸気改質で回収するシステム
- (3) 「水平主管－垂直下降枝管の多連分岐管における気液二相流分配特性」
「ユニットクーラの性能評価手法について」 渡辺 学（東京海洋大学）

見学会：

- (1) 早稲田大学大学院 環境・エネルギー研究科 勝田研究室
スタッフ：勝田 正文 教授
見学内容：気液二相流の多連分岐
ナノ流体を用いたヒートパイプの性能評価
CO₂冷媒カーエアコンの性能評価
PEFC 電解質膜内の含水分布の定量評価と温度分布の評価
- (2) 早稲田大学大学院 基幹理工学研究科 機械科学専攻 河合研究室，斎藤研究室
スタッフ：河合 素直 教授，斎藤 潔 教授，中村 啓夫 教授
ホームページ：河合研究室（<http://www.kawai.mech.waseda.ac.jp/>）
斎藤研究室（<http://www.saito.mech.waseda.ac.jp/>）
見学内容：CO₂ヒートポンプ（西淀空調機）
蒸気圧縮サイクルの動特性試験

➤ 第 8 回委員会

日時：平成 21 年 6 月 12 日（金） 13：00～17：30

会場：東京海洋大学 品川キャンパス

講演：

- (1) 「混合冷媒の凝縮熱伝達」 五島 正雄（東京海洋大学）
- (2) 「銅および銅合金管の腐食とその対策について－事例を中心に」
国枝 博（古河電気工業）
- (3) 「冷凍空調・給湯用銅管の特性改善」 細木 哲郎（コベルコマテリアル銅管）
- (4) 「機能性表面処理フィン材開発の変遷」 磯村 紀寿（住友軽金属工業）

見学会：

東京海洋大学 海洋科学部 食品生産科学科 食品冷凍学研究分野

スタッフ：鈴木 徹 教授，渡辺 学 准教授

ホームページ：<http://www2.kaiyodai.ac.jp/~mwat/>

見学内容：食品のガラス化に関する研究，o/w エマルジョンの油相の結晶化に関する研究，界面前進凍結濃縮に関する研究，示差走査熱量分析装置（DSC），コールドステージ付顕微鏡，窒素置

換実験用チャンバー，熱交換器の性能測定試験装置，非貫流式熱交換を利用した実験用フリーズ，試験用凍結乾燥装置

➤ 第9回委員会

日時：平成21年8月26日（金） 14：30～17：30

会場：東京海洋大学 越中島キャンパス

講演：

(1)「配管内気液二相流に関する研究（曲がり管での遠心力の影響と減圧沸騰での熱非平衡）」

浅野 等（神戸大学）

(2)「液膜流を介した熱・物質移動に及ぼす表面波の影響」

宮良 明男（佐賀大学）

懇親会

第3章 調査研究結果

「CO₂を含む将来冷媒の先進熱交換技術に関する調査研究」プロジェクトの活動に先立ち、熱交換器技術分科会主査の九州大学 小山教授より、熱交換器技術分科会活動としての下記テーマの調査結果が報告された。

「冷凍空調機用熱交換技術のシーズとニーズ」

小山 繁 (九州大学)

日本冷凍空調学会におけるこれまでの研究開発活動の状況や熱交換器技術分科会の役割が説明された。また、熱交換器技術分科会で行った冷凍空調用熱交換器技術のニーズ調査の方法および調査結果が詳細に説明された。調査結果に基づいて、熱交換器技術において解決する必要がある重要課題がその緊急度に応じて期待される研究完了期間ごとに分類されるとともに、学会がコンソーシアムとして取り組むべき課題が選出された。

以下、調査研究結果を項目別にまとめ記す。

3. 1 CO₂ 関連技術

「ガスクーラ内の伝熱特性およびオイルの影響」

党 超鋌 (東京大学)

超臨界圧流体の特徴、超臨界圧流体 (CO₂) の伝熱特性およびオイル混入した状態の伝熱特性について講演いただいた。超臨界圧条件におけるガスクーラ内の CO₂ の熱伝達率の測定結果と数値計算結果との比較を行い、数値解析の有効性を示された。また、PAG オイルが混入した状態について、熱伝達率の測定結果と観察された流動様式の相関を示し、ガスクーラの伝熱特性を解明するためには、流動様式の把握が必要であるとのことであった。

「超臨界域における CO₂ の水平内面ら旋溝付管内冷却熱伝達・圧力損失」

桑原 憲 (九州大学)

冷却過程におけるら旋溝付管内の CO₂ の熱伝達および圧力損失特性について、講演者らの実験結果をもとに講演された。五島らの溝付管内単相流の予測式を参考にして、溝形状の異なる数種の伝熱管の実験結果より、CO₂ の圧力損失および熱伝達に影響を及ぼす溝形状の主要パラメータを抽出し、また、超臨界域の物性計算のための代表温度のとり方を検討することにより、予測式の計算精度を向上することができることが示された。

「CO₂ の蒸発熱伝達特性およびオイルの影響」

高 雷 (福岡大学)

平滑管および内面らせん溝付管内の CO₂ 蒸発熱伝達および PAG オイルの影響について講演された。CO₂ 管内蒸発熱伝達率は、純冷媒の場合では核沸騰支配的な特徴を示す一方、オイルが混入した場合には強制対流蒸発支配的な特徴を示し、純冷媒の場合より大きく低下する。冷媒およびオイルの流動状態の観察結果より、オイル混入による伝熱劣化は油膜による核沸騰の抑制と油膜の熱抵抗に起因するとのことであった。さらに、内面らせん溝付管には、高質量速度条件におけるドライアウトの発生を遅らせる働きがあることを示した。

「CO₂ のらせん溝付管内熱伝達特性」

小山 繁, 桑原 憲 (九州大学)

現在の地球環境問題に対応するための冷媒選定の方向性が示され、候補物質の一つである CO₂ のらせん溝

付管内超臨界冷却熱伝達，亜臨界凝縮・強制対流沸騰熱伝達，ボイド率および冷凍機油の影響について講演された。冷凍機油が混入していない場合の超臨界冷却，亜臨界凝縮および亜臨界強制対流沸騰に関する圧力損失および熱伝達の予測式，ならびに，らせん溝付管内ボイド率の予測式が示されるとともに，実験結果より，冷凍機油の影響が示された。

3. 2 沸騰・凝縮熱伝達

「気液相変化に及ぼす表面濡れ性の効果」

高田 保之(九州大学)

沸騰，凝縮での気液界面挙動に及ぼす伝熱面濡れ性の影響について講演いただいた。酸化チタン光触媒反応による超親水面，プラズマ照射による超親水面，PTFE 粉末を混入させたニッケルの電気めっきによる超はっ水面が紹介された。超親水面は流下液膜の蒸発熱伝達を 40 倍程度促進すること，プール沸騰での限界熱流束 (Critical Heat Flux) を 2 倍に高めること，超親水面は沸騰開始壁面過熱度を小さくできる反面，限界熱流束が低減すること，超親水面をチェック状に配置することで，核沸騰熱伝達を促進できること，が示された。

「強制流動沸騰を用いた大面積からの高熱流束除熱とその応用」

大田 治彦(九州大学)

大きな伝熱面積で高熱流束除熱を得るコールドプレートの開発について講演された。研究背景，強制対流型コールドプレートの問題点が示され，それを克服する手段として，伝熱面への液冷媒を供給する副流路を有するコールドプレート，低沸点成分の表面張力が低い非共沸混合冷媒の利用が紹介された。前者は，副流路からの浸み出しで液冷媒を均等に供給することでドライアウトを避ける構造であり，後者は伝熱面上の蒸気泡底部の気液界面におけるマランゴニ対流により蒸発面に液を供給し，限界熱流束を向上させるものである。

「管内強制対流沸騰熱伝達の特性」

森 英夫(九州大学)

水平円管内沸騰熱伝達特性に対し，内面微細らせん溝の伝熱促進メカニズム，蒸発熱伝達整理式，ドライアウトとポストドライアウト熱伝達について講義された。また，超臨界圧流体について熱伝導率，定圧比熱，粘性係数の熱物性の特異性が示されるとともに，熱伝達率，圧力損失の計測結果が紹介された。熱伝達率は熱流束，質量速度に依存し，強い熱伝達劣化がある条件が存在することが示された。

「混合冷媒の凝縮熱伝達」

五島 正雄(東京海洋大学)

フロン系純冷媒および混合冷媒，アンモニア/水の水平円管外凝縮実験について，壁面温度の測定手法，ヌセルトの式との相関，二相境界層モデル，気液界面温度と蒸気成分濃度との関係，凝縮液膜の成分濃度，凝縮形態と熱流束分布，熱伝達に及ぼす混合蒸気濃度の影響などについて講義された。また，単相伝熱実験の結果から，内面溝付管の凝縮における圧力損失および熱伝達係数の予測について詳細な解説があった。

3. 3 二相流

「水平主管－垂直下降枝管の多連分岐管における気液二相流分配特性」 渡辺 学(東京海洋大学)
内径 10 mm の水平主管と同径の 3 本の垂直下降枝管からなるヘッダ管に、空気－水二相流を流動させたときの流量分配を調べた実験について講演された。まず、これまでに他の形状のヘッダ管による実験で得られた知見に関する概要説明があった。続いて、気液流量、枝管取付間隔、枝管取付部での主管への突き出し長さ、等の因子を変化させた実験の結果が紹介された。高速度カメラにより分岐部での液相の挙動を観察した結果からは、分岐部での流動様式が分離流に近いほど著しい不均等分配となりやすいことが判った。

「表面張力を利用した小型気液分離器の開発」 鹿園 直毅(東京大学)
蒸発器の高性能化を狙い、冷媒蒸気をバイパスさせ、液冷媒のみを蒸発器へ供給する気液分離器について、講演者が取り組んできた開発経緯と試作品の紹介があった。これは、マイクロ溝の底部に液が表面張力によって保持されることを利用したものであり、平板上にマイクロ溝を加工した場合の気液分離性能の評価結果が示された。試作機は、分離器を二重円筒型とし、金属薄板をアコーディオン上に折り重ねたものをマイクロ溝として環状部に配置したものである。冷凍能力(冷媒流量)毎にその大きさを設計する必要があるが、蒸発器の圧力損失低下に有効とのことであった。

「配管内気液二相流に関する研究(曲がり管での遠心力の影響と減圧沸騰での熱非平衡)」 浅野 等(神戸大学)
気液二相流機器を設計するには流動挙動の把握が重要であるとの観点から、曲がり管内二成分断熱二相流、細管内減圧沸騰二相流について中性子ラジオグラフィによる可視化・計測に基づく研究事例が報告された。まず、重力・遠心力が作用する平面状アルキメデスらせん管内空気－水二相流への相分布への遠心力の影響について報告された。気液二相流では気液間に速度差があるため、密度の低い気相に作用する遠心力が液相に対し大きくなり液相重心が曲率内側になること、その反転条件が気液平均流速で定義された体積力のバランスで整理できることが示された。次に、キャピラリーチューブ内 R22 減圧沸騰二相流の報告では、可視化結果から沸騰開始点が特定され、沸騰遅れ(圧力アンダーシュート)と減圧速度の相関が示された。

「二相流シミュレーションの現状と課題」 富山 明男(神戸大学)
気液二相流の数値解析の現状として、主に気泡分散流を対象とした解析手法である界面追跡法(Interface Tracking Method)と気泡追跡法(Bubble Tracking Method)を取り上げ、その概要と計算例が講義された。さらには、それらを発展させた多流体モデル、前述の ITM と BTM のハイブリッドモデルの開発状況が示された。気泡合体・分裂モデルを組み込み、気泡塔内の流れはよく予測されているが、冷媒流れに対しては乱流モデル、流路壁形状の影響、低表面張力での界面挙動など課題は多いようである。数値解析をただ信用するのではなく、対象とする流れの精細な計測に基づく検証が必要であるとのことであった。講演後、研究室の気液二相流実験施設を見学した。

3. 4 物性・計測

「CO₂ を含む冷媒熱物性研究の現状と課題」 東 之弘 (いわき明星大学)
物性計測にかかわる研究者の特徴, 国内の研究者の情報, 現在の環境問題 (オゾン層破壊, 地球温暖化) 発生 of 仕組み, 新冷媒開発に関する化学的・社会的制約, 現在考えられている物質の長所と短所等について講演いただいた. 新規冷媒開発およびその物性計測について, 研究機関 (研究者) 間の情報の共有, 二成分系共沸混合物の探索等が重要であると講演された.

「産総研における流体物性計測について」 粥川 洋平 (産業技術総合研究所)
産業総合技術研究所計測標準研究部門における流体計測, 特に「密度の標準と PVT 性質」, 「流体の熱力学性質」, 「流体の屈折率」について測定原理, 測定装置および具体的な測定方法について詳細に説明された. また, それぞれの測定における不確かさが測定例を含めて説明された. 「密度の標準と PVT 性質」では, 密度標準となるシリコン単結晶の球体の絶対密度測定, 固体標準密度を用いた液体密度測定, 磁気浮上密度計を用いた PVT 測定が紹介された. が説明された. 「流体の熱力学性質」では, 気液平衡性質測定装置および臨界点測定装置, 及びそれを用いたプロパン・イソブタン混合系の測定結果が示された.

「冷媒の燃焼性・安全性の評価」 福島 正人 (旭硝子)
新規冷媒の製造, 輸入及び輸出に係る各国の法令や日本での製造・輸入に係る法対応と毒性評価, また化審法及び安衛法に必要な安全試験などについて紹介された. 日本では, 冷媒の安全性規格は高压ガス保安法に定められており, そこでの可燃性ガスの爆発限界の測定方法や爆発限界測定装置についての説明がなされた. さらに, ISO や AHRAE の規格についても詳細に説明された.

「PAG オイルの単体および CO₂ との混合状態での物性」 金子 正人 (出光興産)
PAG オイルを初めとする各種 CO₂ 冷媒用冷凍機油について, それらの粘度-温度特性, 密度-温度特性などの特徴および CO₂ 冷媒との混合物性について講演された. CO₂ 冷媒と各種冷凍機油の混合物性について, 相平衡に関する特性評価には二相分離温度および密度の測定結果を, 溶解性に関する特性評価には溶解度および溶解粘度の測定結果を示した. -5~-20°C の低温域においては, CO₂ 冷媒とオイルの密度が逆転すること, PAG # 32, PVE および ECP オイルは他の PAG オイルより CO₂ 冷媒との相溶性がよく, 二相分離域が小さく, 低温域では CO₂ 冷媒と相溶することを示した. また, 各種冷凍機油の溶解粘度については, 溶解度および温度に依存するが, 圧力が低圧から超臨界圧まで急激に変化しても溶解粘度の急激な変化はないとのことである.

3. 5 システム

「ヒートポンプ空調機と熱交換器の動向」 平良 繁治 (ダイキン工業)
空調メーカーにおいても, オゾン層破壊や地球温暖化の問題に対応した取り組み, すなわち代替冷媒への転換を行う必要があり, その間に各種の代替冷媒に対応した熱交換器の開発が行われた状況や変遷につ

いて紹介された。特に、室内機に配置する熱交換器のレイアウト、内面溝加工による伝熱促進管、スリットフィンなどによる空気側の伝熱促進などについては詳細な説明があった。また、CO₂を使ったエコキュートなどの次世代熱交換器の方向性について解説された。

「当研究室における熱システムに関する研究の紹介」 河合 素直(早稲田大学)

河合研究室における研究の中で、特にCO₂ヒートポンプ給湯器のシミュレーション解析と実験についての詳細な説明がなされた。実験では、実際に販売されているシステムを対象として、装置全体のシステム及び要素機器についてして示された。シミュレーション解析では、対象とした装置の構成要素それぞれの支配方程式、システム全体のモデル化の方法などについて解説された。解析結果は、成績係数や圧力、冷媒質量流量、熱交換量実機などについて実験との比較が行われ、計算結果と実験結果が良く一致することが示された。

「ユニットクーラの性能評価手法について」 渡辺 学(東京海洋大学)

蒸発器とファンを組み合わせたユニットクーラは、冷蔵倉庫等に不可欠の要素機器であるが、JISに規定された既存の性能評価手法には、計測に長時間を要する、精度が低い、等の問題がある。講演者らは、熱電対のループ状配線を利用した新しい原理に基づく性能測定手法を考案し、実用を目指した実証研究を進めている。本講演では、実証試験の装置、方法、結果について説明があり、最短20分で±2%という高精度が得られる可能性が示唆された。また蒸発器への着霜等による潜熱負荷を測定する試みについても説明された。

3. 6 熱交換器材料

「銅および銅合金管の腐食とその対策について—事例を中心に」 国枝 博(古河電気工業)

熱交換器に広く使用されている銅および銅合金の腐食や疲労割れ、破断、磨耗などについての20年間におよぶ調査に基づいた多くの事例が系統的に示された。腐食は潰食、孔食、蟻の巣上腐食、応力腐食割れに分類され、潰食については淡水系、海水系、蒸気などに細分類されることが説明された。また、それぞれの事例に対しては、鮮明な写真とその概要に加えて、原因および対策が説明された。

「冷凍空調・給湯用銅管の特性改善」 細木 哲郎(コベルコマテリアル銅管)

R410Aなどの高圧の代替フロンやCO冷媒の使用などを背景に開発された高強度銅管や高耐食銅管について、その機能による分類が説明されるとともに、それぞれの高強度銅管の化学成分が示された。高強度銅管の特徴については、基本強度のデータに加えて、ろう付け過熱される配管や熱交換器、絞り加工品などの強度のデータが示された。高耐食銅管については、孔食や蟻の巣状腐食の発生例の写真や発生原因などが説明された。

「機能性表面処理フィン材開発の変遷」 磯村 紀寿(住友軽金属工業)

フィンチューブ熱交換器に使われるフィン材料についての基本的な問題や表面処理の歴史などが説明されるとともに、熱交換器性能を高めるための表面処理の方法や熱交換器の製造プロセスと表面処理の関

係などが詳細に解説された。アルミニウムフィンの表面処理は、1970年代の耐食性処理に始まり、性能向上のための親水性処理や防かび性処理、生産性向上のための金属磨耗や揮発油対策などが行われていること、今後はそれらの処理をさらに高機能化することや、着霜しにくい撥水性塗膜の実用化などが必要であることが説明された。

3. 7 その他の関連情報

「収着剤を利用した先進的熱・物質交換技術」

稲葉 英男 (津山工業高等専門学校)

高分子収着材 (ポリアクリル系) の吸湿・再生性能の優位性をシリカゲルと比較して示すとともに、デシカントロータやフィンチューブ熱交換器を利用したデシカント空調や吸着冷凍システムへの適用について基礎から応用まで幅広く講演いただいた。収着材を塗布したフィンチューブ熱交換器については、収着速度の支配因子の説明、収着材の総括物質移動係数の推定、熱交換器性能への塗布厚さの影響が示された。最後には、デシカント空調をはじめ二次冷媒の開発、自然冷媒ヒートポンプの開発動向について、日本と欧米との比較、今後の見通しについて示された。

「着霜成長に関する一取組」

下村 信雄 (新居浜工業高等専門学校)

熱交換器フィン上の着霜現象について、過去の研究をまとめ示されるとともに、講演者らによる単板上の霜層成長に関する実験計測結果、一次元霜層成長予測モデル、二次元移動境界数値解析モデルについて詳細に講演いただいた。霜の密度は層の厚さに依存し、数値解析においても霜層の非均質性を考慮する必要がある。また、現在取り組まれている除霜方法について簡単に紹介された。

「熱・物質輸送促進に関する2,3のトピックス」

望月 貞成 (東京農工大学名誉教授)

人間の肺を想定した管路網に関する実験では、拡大モデルに対する詳細な流動計測に基づき、新鮮な空気の取り込みは、呼吸で肺内空気が完全に置換されるのではなく、呼吸の振幅流によって分岐部に生じる渦で新鮮な空気が捕捉され、段階的に肺内深部に伝達されると考えられると説明された。また、リブ付き管内往復振動流の実験では、はく離領域の発生・消滅による効果により平滑管の6~8倍高い管軸方向熱輸送性能を達成できることが示された。沸騰を駆動力とするキャピラリー管の熱輸送については、ヘッダー間に並列に複数のキャピラリー管を設置することで極めて高い熱輸送性能を示すことが説明された。

「化学再生サイクルー現状と展望ー」

中垣 隆雄 (早稲田大学)

小型ガスタービンの排熱を利用するシステムとして化学再生サイクルが紹介された。これは、ガスタービンの排気燃焼ガスを熱源としてメタノールやDMEの燃料改質を行うものであり、生成された水素がガスタービン燃料として利用される。ここでは、改質器を中心に、一次燃料の改質に適した改質温度や蒸気流量、改質器やガスタービン燃焼器の設計課題について講演された。

「液膜流を介した熱・物質移動に及ぼす表面波の影響」

宮良 明男 (佐賀大学)

臭化リチウム水溶液の鉛直面上流下液膜による水蒸気吸収に関する数値計算、特に流下液膜表面に発生する波による水蒸気吸収への影響について解析された。計算は二次元で、界面移動を追跡しながら計

算が行われ、液膜厚さの変化および大波内に発生する循環流による液膜内の速度場、温度場、および濃度場への影響が詳細に示された。また、界面活性剤を添加した場合、人工的なじょう乱を与えなくとも、物性変化やマランゴニ対流の影響による波が発生することを示した。

3. 8 国際会議参加報告

「国際会議 ICR2007 報告」

宮良 明男(佐賀大学)

2007 年 8 月 21～26 日に中国の北京で開催された “The 22nd International Congress of Refrigeration” の参加報告が行われ、参加国や参加者数、発表論文についての概要が説明されるとともに、CO₂に関する 69 件の研究発表の内容が説明された。

「2008 Purdue Compressor Engineering and Refrigeration and Air Conditioning Conferences」

宮良 明男(佐賀大学)

2008 年 7 月 14～17 日にアメリカ合衆国インディアナ州のパデュー大学で開催された国際会議の参加報告が行われた。同時に開催された 2 つの国際会議 “19th International Compressor Engineering Conference” と “12th International Refrigeration and Air Conditioning” の概要が説明された。また、後者については熱交換器や伝熱関連のセッションで発表された 35 件の研究発表の内容が説明された。

「2009 ASHRAE Winter Conference」

宮良 明男(佐賀大学)

2009 年 1 月 24～28 日にアメリカ合衆国イリノイ州シカゴで開催された ASHRAE 冬季大会において発表された熱交換器や CO₂ 関連の研究について紹介された。また同時に開催された AHR EXPO の様子が紹介された。

「IIR Gustav Lorentzen Conference on Natural Working Fluids」

小山 繁(九州大学)

2008 年 9 月 7～10 日にデンマーク王国コペンハーゲンで開催された “8th Gustav Lorentzen Conference” について、冷媒などで分類した論文数や各国の参加者数などが整理され、注目されている冷媒や各国の研究活動の状況やなどが説明された。また、CO₂ やマイクロチャンネル、熱交換器、ヒートポンプなどの分野で注目される研究発表についての解説が行われた。

委員会活動における参加者数を Table 1 に示す。景気後退と新型インフルエンザの影響から、2008 年中頃に開催された第 4 回や第 6 回委員会の頃から企業側委員の参加者が若干減少したが、それでも企業からのオブザーバー参加も多く、全体としては多くの参加者があったものと評価できる。また、講演に対する質疑応答なども活発に行われた。

Table 1 Number of participants of Committees

回	大学側委	企業側委	オブザーバ
1	7	14	8
2	6	14	13
3	6	12	14
4	6	14	7
5	6	11	7
6	6	11	7
7	5	11	6
8	5	9	11
9	7	11	2

本調査研究プロジェクトの一般公募の際に掲げられた活動内容は、「CO₂ および将来冷媒に関して、管内外の伝熱促進（微細化，細径化），高密度伝熱面（フィン付き面），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，冷媒分配，伝熱制御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による最新研究の動向を提供・情報発信し，さらにそれらに関する討議を行って熱交換技術の方向性などを検討する。また，関連の最新研究設備の現地調査を行う。」であり，調査研究の具体的な目的は，(1) 最新研究の動向の提供・情報発信，(2) 熱交換器技術の方向性などの検討，(3) 最新研究設備の現地調査，の 3 つである。(1) については，委員会活動においてその都度外部から最適な特別講師に講演をお願いすることができ，貴重な情報を得ることができた。また最新の国際会議の報告により，海外での研究動向の最新情報を発信した。(2) については選出された委員による講演および質疑応答を通して検討することができた。(3) については前述した見学会を通して有益な知見を得ることができた。以上のように，本プロジェクトは当初の目的を達成し，十分な成果を得たものと評価できる。

平成19年7月27日

社団法人 日本冷凍空調学会御中

秘 密 保 持 誓 約 書

社団法人日本冷凍空調学会「CO2を含む将来冷媒の先進熱交換技術に関する調査研究プロジェクト」(以下「本プロジェクト」という)に委員として参加するにあたり、委員会活動の中で提供される情報に関して、次のとおり秘密保持することを誓約いたします。

1. 対象となる「秘密情報」とは、本プロジェクトの委員会、幹事会において、秘密であることを示して文書または口頭にて提供される情報をいいます。また、本プロジェクトの報告書は、その秘密保持に関する取り決めに従います。
2. 本プロジェクトで提供される秘密情報は、プロジェクトの推進のためにのみ使用し、他の目的のためには使用しません。事前の承諾なしに第三者に開示もしくは漏洩をいたしません。
3. 本プロジェクトで提供された秘密情報の資料については、コピーをとらず、また自己の責任において散逸、漏洩がないように管理します。
4. 本誓約書の内容は、委員会等に代理またはオブザーバーとして出席した者にも適用いたします。
5. 本プロジェクトの結果を公益の目的で利用あるいは公表することを希望する時には、事前に日本冷凍空調学会に申し出ます。許可が得られた場合にのみ、結果の利用、公表をします。
6. 本誓約書の有効期間は、署名日から5ヶ年間とします。

平成19年7月27日

(住所)

(会社名)

(委員名 (署名))

資料2 講演資料リスト

- 第1回:「冷凍空調機用熱交換技術のシーズとニーズ」_小山 繁 (九州大学) .pdf
- 第2回:「CO₂ の蒸発熱伝達特性およびオイルの影響」_高雷 (福岡大学) .pdf
- 第2回:「ガスクーラ内の伝熱特性およびオイルの影響」_党超鋌 (東京大学) .pdf
- 第2回:「ヒートポンプ空調機と熱交換器の動向」_平良繁治 (ダイキン工業) .pdf
- 第2回:「国際会議 ICR2007 報告」_宮良明男 (佐賀大学) .pdf
- 第2回:「超臨界域におけるCO₂の水平内面ら旋溝付管内冷却熱伝達・圧力損失」_桑原憲(九州大学).pdf
- 第3回:「CO₂ を含む冷媒熱物性研究の現状と課題」_東之弘 (いわき明星大学) .pdf
- 第3回:「産総研における流体物性計測について」_粥川洋平 (産業技術総合研究所) .pdf
- 第3回:「冷媒の燃焼性・安全性の評価」_福島正人 (旭硝子) .pdf
- 第4回:「PAG オイルの単体およびCO₂との混合状態での物性」_金子正人 (出光興産) .pdf
- 第4回:「管内強制対流沸騰熱伝達の特性」_森英夫 (九州大学) .pdf
- 第4回:「気液相変化に及ぼす表面濡れ性の効果」_高田保之 (九州大学) .pdf
- 第4回:「強制流動沸騰を用いた大面積からの高熱流束除熱とその応用」_大田治彦 (九州大学) .pdf
- 第5回:「収着剤を利用した先進的熱・物質交換技術」_稲葉英男 (津山工業高等専門学校) .pdf
- 第5回:「着霜成長に関する一取組」_下村信雄 (新居浜工業高等専門学校) .pdf
- 第5回:「二相流シミュレーションの現状と課題」_富山明男 (神戸大学) .pdf
- 第6回:「2008 Purdue Compressor Engineering and Refrigeration and Air Conditioning Conferences」_宮良明男 (佐賀大学) .pdf
- 第6回:「2009 ASHRAE Winter Conference」_宮良明男 (佐賀大学) .pdf
- 第6回:「CO₂のらせん溝付管内熱伝達特性」_小山繁 (九州大学), 桑原憲 (九州大学) .pdf
- 第6回:「IIR Gustav Lorentzen Conference on Natural Working Fluids」_小山繁 (九州大学) .pdf
- 第6回:「熱・物質輸送促進に関する2,3のトピックス」_望月貞成 (東京農工大学名誉教授) .pdf
- 第6回:「表面張力を利用した小型気液分離器の開発」_鹿園直毅 (東京大学) .pdf
- 第7回:「ユニットクーラの性能評価手法について」_渡辺学 (東京海洋大学) .pdf
- 第7回:「水平主管-垂直下降枝管の多連分岐管における気液二相流分配特性」_渡辺学 (東京海洋大学) .pdf
- 第7回:「当研究室における熱システムに関する研究の紹介」_河合素直 (早稲田大学) .pdf
- 第8回:「混合冷媒の凝縮熱伝達」_五島正雄 (東京海洋大学) .pdf
- 第8回:「銅および銅合金管の腐食とその対策について-事例を中心に」_国枝博 (古河電気工業) .pdf
- 第8回:「冷凍空調・給湯用銅管の特性改善」_細木哲郎 (コベルコマテリアル銅管) .pdf
- 第9回:「液膜流を介した熱・物質移動に及ぼす表面波の影響」_宮良明男 (佐賀大学) .pdf
- 第9回:「配管内気液二相流に関する研究 (曲がり管での遠心力の影響と減圧沸騰での熱非平衡)」_浅野等 (神戸大学) .pdf