

公益社団法人 日本冷凍空調学会

将来冷媒の先進熱交換技術に関する調査研究

報告書

2012年（平成24年）3月

目 次

第1章 概 要

- 1. 1 目的
- 1. 2 組織
- 1. 3 期間

第2章 調査研究結果

- 2. 1 伝熱研究
 - A. 全般
 - B. 内面溝付き管
 - C. CO₂
 - D. 超臨界流体
 - E. 伝熱面濡れ性操作
 - F. 空気側熱伝達, 熱回収
 - G. その他
- 2. 2 冷媒選定, 熱物性
- 2. 3 デシカント, 吸着冷凍システム
- 2. 4 次世代冷凍システム
- 2. 5 冷凍システム評価
- 2. 6 空調快適性, エネルギーマネジメント
- 2. 7 熱交換器金属材料
- 2. 8 国際会議参加報告
- 2. 9 海外研究報告

第3章 活動報告

第4章 まとめ

資料1 秘密保持誓約書

資料2 講演資料リスト

第1章 概要

1. 1 目的

近年、冷凍サイクルやヒートポンプサイクルでは冷媒の選定が大きな課題となっている。これは、システム性能向上だけでなく冷媒漏洩時の環境負荷を考慮する必要性が生じたためであり、オゾン層破壊係数 ODP が 0 であることは勿論のこと地球温暖化係数 GWP が低い冷媒が要求されている。これに対し、家庭用ヒートポンプ給湯機では CO₂ 冷媒、家庭用冷蔵庫では炭化水素系のイソブタンが普及しているが、空調機器では R410A や R407C 等の HFC 系混合冷媒が広く使用されている。現在、HFC 系冷媒の代替として HFO1234yf などの新しい合成物質も開発されているが、必要な冷媒の開発は十分ではなく、将来冷媒を巡る問題はまだ予断を許さない状況にある。

熱交換器の設計では、冷媒側伝熱特性と圧力損失特性が必要となるが、それらは冷媒の熱物性に強く依存する。今後、新しい冷媒が選定されたとき迅速に熱交換器を開発・設計するためには、熱流動現象に関する様々な観点（基礎現象、構造依存の現象、実用面での課題、材料・加工、など）からの知見を蓄積しておく必要がある。

本調査研究では、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。

なお、本調査研究は、平成 19 年 4 月～平成 21 年 8 月に実施した「CO₂ を含む将来冷媒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。

1. 2 組織

（主査）宮良明男（佐賀大学）

（研究機関側委員）

浅野 等（幹事、神戸大学）

井上順広（幹事、東京海洋大学）

高 雷（幹事、福岡大学）

小山 繁（幹事、九州大学）

宮良明男（主査、佐賀大学）

渡辺 学（幹事、東京海洋大学）

赤坂 亮（幹事、九州産業大学）

勝田正文（幹事、早稲田大学）

鹿園直毅（幹事、東京大学）

秋澤 淳（幹事、東京農工大学）

佐々木直栄（日本大学）

（企業側委員）

石橋 晃（幹事、三菱電機）

坪江宏明（幹事、日立アプライアンス）

鈴木秀明（幹事、東芝キャリア）

小嶋隆夫（幹事、富士通ゼネラル空調技術研究所）

横山昭一（幹事、パナソニック）

平良繁治（幹事、ダイキン工業）

西田耕作（幹事、前川製作所）

沢田範雄（幹事、三洋電機）

石橋明彦（コベルコマテリアル銅管）

楠本 寛（日立製作所）

辻本真也（古河電気工業）

堀口 賢（日立電線）

Saikee Oh（LG Electronics）

小嶋真輔（東洋製作所）

石井葉一（東京ブレイズ）

吉本周平（東プレ）

橋本克巳（電力中央研究所）

万尾達徳（高砂熱学工業）

式地千明（関西電力）

裏 相哲（サンデン）

安嶋賢哲（富士電機ホールディングズ）

田中信雄（日阪製作所）

滝口浩司（富士電機リテイルシステムズ）

（事務局）

関田真澄（日本冷凍空調学会）

※ 熱交換器技術委員会委員に幹事を依頼した。

1. 3 期 間

2010年（平成22年）4月より2年間

第2章 調査研究結果

調査研究結果を項目別にまとめ記す.

2. 1 伝熱研究

A. 全般

「ヒートポンプ・冷凍システムに関わる伝熱研究」

小山 繁 教授 (九州大学)

冷凍空調用熱交換器技術のニーズ調査結果 (冷凍, 82 巻, 952 号で報告) の詳細説明, 海外の研究開発動向の紹介として "8th IIR Gustav Lorentzen Conference 2008" の参加報告, 九州大学 小山研究室での最近の研究課題 (らせん溝付き管内 CO_2 , CO_2 +PAG, R1234ze 熱伝達, 扁平多孔管内凝縮熱伝達, 蒸発器内冷媒分配特性, マイクロチャネル内圧力損失・熱伝達特性, 吸着過程での熱・物質伝達機構, CO_2 遷臨界サイクル, 代替冷媒冷凍サイクルの性能評価, 圧縮式-吸収式ハイブリッドサイクル) の紹介がなされた.

B. 内面溝付き管

「内面溝付き管の凝縮熱伝達および圧力損失の予測方法」

井上 順広 教授 (東京海洋大学)

外径 6.35~8mm の内面溝付き管について, これまでに得られた凝縮熱伝達および圧力損失の実験結果をもとに単相の圧力損失・伝熱実験結果も含めて予測方法の確立までが紹介された. さらに最新の 4mm 細径管に R410A と R32 を用いた実験結果の速報についての報告があり, 今後の低 GWP 冷媒への伝熱研究への方向性が示された.

C. CO_2

「二酸化炭素の高圧水平細管内沸騰熱伝達特性 (分散気泡モデルによる数値シミュレーション)」

網 健行 助教 (関西大学)

二酸化炭素をフロン系冷媒の代替冷媒として用いる熱交換器を設計するうえで, 二酸化炭素の細管内沸騰熱伝達特性が重要となる. この講演では, 管内径 0.51, 1.0, 2.0 mm の3種類の水平細径管に対し, 系圧力 5.0~6.5MPa の高圧領域を対象とし, 二酸化炭素強制流動沸騰伝熱に関する実験結果が講演された. また, 管内の蒸気相を一次元の気泡列として扱う分散気泡モデルによって流動様式の遷移が再現されることを示した.

「二酸化炭素・POE 潤滑油混合物の水平管内における沸騰熱伝達」

齊藤 泰司 准教授 (京都大学)

伝熱管壁面をいくつかのセグメントに分割し, 加熱熱流束を制御することで等温加熱条件を実現する実験装置を紹介するとともに, CO_2 と潤滑油混合物の水平管内沸騰熱伝達の実験結果が報告された. 熱伝達機構を明らかにするためには, 熱伝達率のみならず流動様式や圧力損失なども詳しく調べる必要があるとのことから, 従来の流動様式判別式や圧力損失の経験式の適用性について検討された.

D. 超臨界流体

「次世代型原子炉開発のための超臨界圧流体の伝熱流動に関する研究」 仮屋 圭史 助教 (九州大学)

冷却材に超臨界圧水を用いた新型炉開発を対象とし, 超臨界状態の R22 熱流動実験の実験結果が紹介された. 単一管内流において擬臨界点より低いエンタルピー域で見られる熱伝達劣化がバンドル内流れでは見られないことが報告された. また, 研究室での研究として, 微細流路内沸騰熱伝達特性 (流路断面形状の影響),

プール水中に注入された過熱蒸気の凝縮特性，水素吸蔵合金充填層内の熱・物質移動特性について紹介された。

E. 伝熱面濡れ性操作

「放射線誘起表面活性による原子炉プラント内熱交換器の高性能化」 賞雅 寛而 教授（東京海洋大学）

放射線誘起表面活性は，放射線照射によって金属母材内に生じるコンプトン散乱電子が母材表面酸化膜を励起し，母材表面の酸化被膜に酸化還元反応を生じる現象をいう．この放射線表面活性により被膜表面の濡れ性が向上し，限界熱流束は上昇する．原子炉内は強放射線のため，蒸気発生器などの熱交換器や燃料棒などの限界熱流束が向上することになる．本講演では，放射線誘起表面活性の現象例とそのメカニズムの研究例が紹介された。

F. 空気側熱伝達，熱回収

「斜交波状面の伝熱特性」 鹿園 直毅 教授（東京大学）

単相層流域の伝熱促進手法として，前縁効果を用いたルーバフィンやスリットフィンが広く用いられている．ルーバフィンは大きな伝熱促進効果が得られる一方で，ゴミ，凝縮水，霜等による目詰まりや，加工性の課題から更なる伝熱促進は限界に近い．本報告では，前縁効果を用いない新たな層流熱伝達促進法である斜交波状面に関する数値計算，および試作熱交換器実験による伝熱特性評価結果について紹介された。

「腐食性排ガスからの熱回収における伝熱促進法の提案」 深井 潤 教授（九州大学）

硫黄成分による腐食のためインコネルやチタンなどの耐腐食材料に限られる排熱回収熱交換器（管外径 10mm 平滑管群）に対し，炭素繊維をフィンとして用いた場合の伝熱特性と圧力損失特性の計測結果が紹介された．また，研究室での研究として，インクジェット法を利用した成膜法と液膜内流動現象，化学反応を利用した蒸気再生ヒートポンプの原理，流動層を利用した PM 除去装置が紹介された。

「潜熱回収熱交換器について」 刑部 真弘 教授（東京海洋大学）

壁面での質量吸収効果を考慮した熱および物質移動に関するアナロジー関係式を用いた潜熱および顕熱回収熱交換器予測計算方法が紹介された．この計算方法を用いて細管熱交換器を設計したところ，より細い伝熱管を用いた方がよりコンパクトになることが示され，さらに，管径 10.5 mm および 4 mm の細管を用いた熱交換器を製作し，熱回収実験を行った結果から，提案した計算手法が適切であることが示された。

G. その他

「水素吸蔵合金を用いたハイブリッド型水素貯蔵システム用熱交換器の開発研究」

光武 雄一 准教授（佐賀大学）

可逆的な水素の吸蔵と放出が可能な水素吸蔵合金（Metal Hydride : MH）は，水素貯蔵や輸送システムだけでなく，その反応熱を利用したヒートポンプ，選択的な水素吸蔵特性を生かした水素ガス精製など様々な応用システムでの利用が期待されている．MH は，粒子径が数十ミクロンの微粒子充填層の形態で使用される．水素の吸蔵・放出は，発熱・吸熱を伴う熱化学反応であるため，MH で生じる反応熱を熱源と熱交換するための熱交換器が不可欠である．しかし，MH の反応速度は，高々 $1 \text{ W}/(\text{m}\cdot\text{K})$ の MH 充填層の低い熱伝導率と充填層内での水素の圧力損失で律速されるため，MH の応用システム開発では，MH 熱交換器の性能

向上と MH の熱化学反応の予測が重要となる。この報告では、FC 自動車用のハイブリッド型水素貯蔵容器の MH 熱交換器を取り上げ、水素吸蔵放出速度の予測に不可欠な MH 充填層の熱物性値、圧力損失特性の測定方法が示された。また、熱流体解析ソフト Fluent 上で作成した MH 熱交換器の 3 次元モデルによる水素吸蔵反応解析の結果が紹介された。

2. 2 冷媒選定, 熱物性

「冷媒の環境影響に関する現状と将来の分析」

瀬下 裕 氏 (日本冷凍工業会)

機器廃棄時の冷媒回収率の低迷と 2009 年に発表された稼働時での大きな冷媒排出係数が、地球温室効果ガスとしての HFC 冷媒の今後について大きな議論を巻き起こしていることが報告された。HFC 冷媒の CO₂ 換算排出量は近い将来 4000 万 ton (2020 年 BAU) に達すると推計されており、物質代替、規制強化や経済的手法も含めた排出量の削減方法の検討が進められていることを、海外の動向も含めて概説された。

「Helmholtz 型状態方程式を用いた冷媒の熱力学モデル開発に関する研究」

赤坂 亮 准教授 (九州産業大学)

冷媒の熱力学的性質のモデル化においては、飽和状態のみならず広い温度・圧力の範囲にわたって実測値を良好に再現可能な Helmholtz 型状態方程式が好んで用いられる。この報告では、種々の純冷媒に対して開発された Helmholtz 型状態方程式が紹介され、それらの開発方法や利用方法についての説明がなされた。また、多流体モデルを用いた混合冷媒の熱力学モデルについても説明がなされ、いくつかの計算例が示された。

「冷凍空調用の新冷媒 —新冷媒の熱物性と選定—」

香川 澄 教授 (防衛大学校)

空調機器の開発で冷媒を選定するには、オゾン層破壊、地球温暖化の環境問題に対応する必要がある。前者に対してはオゾン層破壊係数 ODP を有する冷媒の生産・使用は制限されている。後者についても京都議定書で HFC 系冷媒が温室効果ガスに分類され、地球温暖化係数 GWP が低い冷媒の使用が求められている。講演では、冷媒規制、冷媒管理に対する国内外の動向、HC 系や HFO 系を含む各種冷媒の熱物性・燃焼性・毒性が概説されるとともに、サイクル性能の評価結果をもとに、新冷媒の選定方法の提案を含めて冷媒に関する展望が講演された。

2. 3 デシカント, 吸着冷凍システム

「エクセルギーデザインによるデシカント応用機器開発」

久角 喜徳 特任教授 (大阪大学)

デシカント除湿技術を用い、露点-20℃以下の外気で LNG を気化させ、得られた-100℃冷気を各種冷熱利用に応用する研究開発の紹介から、家庭用の太陽熱やコージェネ温水を用いる除湿冷房・加湿暖房ができるデシカント空調機の開発に関する取り組みが講演され、エクセルギーデザインの重要性が紹介された。

「AQSOA 吸着式冷凍機」

窪川 清一 氏 (三菱樹脂)

三菱化学が開発したゼオライト系の吸着材は、従来のシリカゲルや Y 型ゼオライトと大きく異なる吸着特性を持っており、ある相対蒸気圧を超えると急激に吸着量が増加して飽和する特性がある。AQSOA 吸着材の構造、吸着等温線、耐久性などについて解説されるとともに、この吸着材を使用した吸着冷凍機の動作原理や熱源である温水温度に対する出力特性などが紹介された。吸着冷凍機は冷媒循環にポンプを使わないため、冷却能力/電力消費を指標とすると 10 以上となり、電動チラーの 4 よりも非常に高い。導入事例を元

に様々な排熱への応用可能性，さらには太陽熱給湯を利用した吸着冷凍機による空調システムについて紹介があった．現在は吸着材熱交換器の最適な設計について，1kW級の小型試験装置を用いて検討が進められている．

「非結露型次世代空調システム CO₂ヒートポンプを組み込んだデシカント空調システム」

加藤 信介 准教授（東京大学）

デシカント空調システムは，空調機内及び室内において非結露環境を実現することが可能であるため，カビや細菌等による建物内のIAQ(Indoor Air Quality)の低下を改善するに有効な方式である．しかしながら，一般のデシカント空調機は効率(COP)が1以下であり，省エネルギーの観点からみると，除湿ロータ再生用のエネルギーとしてコージェネレーション等による低温排熱の利用ができない限り，通常のヒートポンプを用いた冷却減湿システムの効率には及ばない．本報告では，CO₂ヒートポンプをデシカント空調システムに組み込み，低温排熱が得られない場合にも安定した再生用エネルギーが供給出来る高効率のデシカント空調システムが報告された．本システムは，デシカント空調機で除湿の際発生する吸着熱を除去（冷却）するためにCO₂ヒートポンプを使用するが，その際CO₂ヒートポンプにて発生する排熱を除湿ロータの再生に用いる構成となっている．安定した省エネルギー性を確保しながら建物内及び空調システム内を非結露化し，IAQの向上を図ることができるとともに，冷媒としてCO₂を採用することにより，除湿ロータの再生に高温排熱（70℃以上）を利用することができることが特徴である．本報告では，室内及び空調機内における微生物汚染の実態と対策に関する調査結果，および各機器の性能に基づいてCO₂ヒートポンプ組み込み方式の性能予測を行った結果が報告された．

2. 4 次世代冷凍システム

「音波による冷却 -熱音響冷凍機-」

上田 祐樹 准教授（東京農工大学）

熱によって音波を発生する熱音響現象と音波によって冷凍を実現する熱音響冷却現象をテーマに，その原理とスターリング冷凍機との共通性について解説された．装置としては可動部がなく非常にシンプルであり，任意の温度で使える柔軟性を持つ．合わせて熱音響冷凍機のシミュレーションによる性能（COP）解析と実験結果についても紹介された．カルノー効率の60%を達成する結果が予測されており，エネルギー変換装置として高効率な性能を実現できる可能性があることが指摘された．世界的に，高効率化，大出力化を目指した研究が行われている一方，保冷库や天然ガス液化など実用的なアプリケーションに向けた開発が進められている．

「JT マイクロ冷凍機の開発と高圧高温水素の熱物性測定」

河野 正道 准教授（九州大学）

発熱するチップのスポット冷却素子として開発されているJT マイクロ冷凍機（冷却部の外径0.75 mm）が紹介された．大きな温度降下量を得るには作動流体としてエチレンガスC₂H₄が最もよく，最大108 Kが達成されたこと，数値計算で性能予測が可能なが報告された．また，バーネット法による高温，高圧系水素のPVT測定とその結果が紹介された．

2. 5 冷凍システム評価

「圧縮式ヒートポンプの大域的非定常解析とシステム側からみた機器の今後の性能向上への課題」

齋藤 潔 教授（早稲田大学）

空調機の APF がメーカー公称値で 7.0 を超え、限界値とされる 7~8 に近く飽和する状態にあるが、APF の評価基準が圧縮機回転数を定格に固定した数点の条件での性能から推定された値であり、部分負荷運転が考慮されていないとの問題点が指摘され、非定常運転時の機器性能を予測する解析モデルが紹介された。単段サイクルの断続運転時の解析結果、室内環境に対する CFD との連成解析、ビルマルの性能評価結果などが紹介された。数値解析での課題は、極低流速時の熱伝達特性や膨張弁での冷媒流動特性に関する構成式の精度向上であるとのことである。エクセル上で簡易にシステム構築できるこの手法は、ヒートポンプ給湯器、デシカントシステム、吸収式ヒートポンプにも展開され、成果をあげているとの紹介があった。

2. 6 空調快適性, エネルギーマネジメント

「放射暖房と体感温度制御によるオフィス空調の室内混合損失防止に関する研究」

小島 昌一 准教授 (佐賀大学)

オフィス空調の省エネルギー設計の一方策として空調エネルギーの室内混合損失の防止が必要である。室内混合損失は、同一室内に熱不可特性の異なるゾーンが存在する場合の空調において発生するため、発生量の把握や発生要因の抽出を行い、数値計算などを用いて損失防止策を検討する必要がある。この報告では、実在のオフィスビルを対象に、オフィス空調における室内混合損失発生の測定結果およびブロックモデルを用いた計算例が示された。また、その防止策として検討している簡易グローブ温度計による空調制御の方法が説明されるとともに、夏期および冬期の空調制御実験の結果が紹介された。さらに、熱的快適性に基づく放射暖房の利用について紹介された。

「スマートハウス・住宅用エネルギーマネジメントに関する研究開発動向」

岩船 由美子 准教授 (東京大学)

震災を契機に生じた電力供給不足、急速に伸びつつある太陽光発電などの出力不安定性により、安定的な電力需給の維持が次第に困難となっている。従来、需要家が自由にエネルギーを使い、それに供給側が応えるという構図が成立しない時代に突入している。経済的にエネルギー需給バランスを確保するためには、今後は快適な生活環境や労働環境の維持を前提としたうえで、需要家が供給側と協調し、自らの需要を調整するような仕組みが必要となってくる。本発表では、需要の調整余地が大きいと考えられる住宅部門におけるスマート化、エネルギーマネジメントの研究開発動向が報告された。また、東京大学が駒場リサーチキャンパス内に 8 月に完成させた HEMS (住宅用エネルギーマネジメントシステム) 実証のための試験住宅「COMMA ハウス」における研究活動が紹介された。

2. 7 熱交換器金属材料

「銅の殺菌特性の活用について」

斎藤 晴夫 氏 (日本銅センター)

スイスの植物学者ネーグリーによって 1893 年に発見された銅の殺菌特性が紹介された。殺菌作用のメカニズムと国内外での応用事例の紹介とともに、日本銅センターが北里大学と 2006 年から共同で行っている医療現場での取り組みについて講演された。銅には病原菌に対し極めて強い殺菌作用があり、医療現場での感染抑制に有効であることの検証結果が報告された。また、生物環境汚染の抑制として、電力中央研究所と共同研究されているカワヒバリガイ付着抑制作用について紹介された。

2. 8 国際会議参加報告

報告内容の詳細は配付資料を参照下さい。

「9th IIR Gustav Lorentzen Conference 2010」

2010年4月12日～14日 Sydney, Australia

橋本克巳氏（電力中央研究所）

「5th Asian Conference on Refrigeration and Air Conditioning」

2010年6月7日～9日，早稲田大学

浅野 等 准教授（神戸大学）

「2010 Purdue Compressor Engineering, Refrigeration and Air Conditioning and High Performance Buildings Conferences」

2010年7月12日～15日 Perdue University, USA

宮良 明男 教授（佐賀大学）

「23rd IIR International Congress of Refrigeration」

2011年8月21日～26日 Prague, Czech Republic

冷媒物性に関する講演

赤坂 亮 准教授（九州産業大学）

伝熱，システムに関する講演

浅野 等 准教授（神戸大学）

2. 9 海外研究報告

「Edinburgh 大学滞在中の熱流動研究の紹介」

濱本 芳徳 准教授（九州大学）

2010年度（平成22年度），英国スコットランド Edinburgh 大学での在外研究の成果が報告された。Edinburgh 大学では，物質プロセス研究所（Institute for Material and Process）に所属し，固体壁面上の液滴蒸発について研究された。液滴蒸発過程での液の流動を可視化計測するための μ PIV法の紹介，水-エタノール混合物としたときの蒸発過程の特徴，マランゴニ対流の効果などについて講演された。また，滞在中に訪問したフランス国立科学研究所（CNRS）の一つである LIMSIS 研究所の熱物質移動研究室 Dr. Pons（デシカント，吸着冷凍など），英国 Univ. of Warwick，持続可能エネルギー工学グループ（SEED, Sustainable Energy Engineering & Design）Prof. Critof（吸着冷凍），英国との Queen Mary Univ. of London，相変化伝熱研究グループ Prof. Rose（管外凝縮，マイクロチャネル内熱流動）との研究交流について紹介された。

第3章 活動報告

➤ 第1回委員会

日時：2010年（平成22年）6月25日（金） 13：30～17：00

会場：東京海洋大学 越中島キャンパス 海洋工学部 越中島会館2階セミナー室

内容：

- a. 本プロジェクトの目的・活動内容について
- b. 活動方針（秘密保持契約，成果報告）について
- c. 講演：
 - 「ヒートポンプ・冷凍システムに関わる伝熱研究」 小山 繁 教授（九州大学）
- d. 国際会議報告
 - 「9th IIR Gustav Lorentzen Conference 2010」 橋本克巳 氏（電力中央研究所）
 - 「5th Asian Conference on Refrigeration and Air Conditioning」 浅野 等 准教授（神戸大学）
- e. 意見交換会

➤ 第2回委員会

日時：2010年（平成22年）9月30日（木） 13：30～17：00

会場：九州大学 伊都キャンパス 機械工学部門多目的ゼミ(901-1)室

内容：

- a. 講演：九州大学伊都キャンパス熱工学関連研究室の最新研究
 - 「次世代型原子炉開発のための超臨界圧流体の伝熱流動に関する研究」 仮屋 圭史 助教（九州大学）
 - 「JT マイクロ冷凍機の開発と高圧高温水素の熱物性測定」 河野 正道 准教授（九州大学）
 - 「腐食性排ガスからの熱回収における伝熱促進法の提案」 深井 潤 教授（九州大学）
- b. 見学会
 - (1) 九州大学大学院 工学研究院 機械工学部門 熱エネルギー変換工学分野
スタッフ：森 英夫 教授，濱本 芳徳 准教授，仮屋 圭史 助教
ホームページ：<http://therme.mech.kyushu-u.ac.jp/>
見学内容：臨界圧伝熱流動試験装置，高圧蒸気放出凝縮試験装置
 - (2) 九州大学大学院 工学研究院 機械工学部門 熱流体物理分野
スタッフ：高田 保之 教授，河野 正道 准教授，久保田 裕巳 助教
ホームページ：<http://gibbs.mech.kyushu-u.ac.jp/index-j.html>
見学内容：レーザー加工システム，熱 CVD 装置，微粒子分級装置，J-T マイクロ冷凍機，
マグネトロンスパッタリング装置，微小液滴蒸発実験装置
 - (3) 九州大学大学院 工学研究院 化学工学部門 熱エネルギー変換工学分野
スタッフ：深井 潤 教授，山本 剛 准教授，中曾 浩一 助教
ホームページ：<http://chem-eng.kyushu-u.ac.jp/lab4/>

見学内容：熱交換器及び蒸気生成吸着式ヒートポンプ研究設備

c. 意見交換会

➤ 第3回委員会

日時：2010年（平成22年）12月1日（水） 13：00～17：30

会場：神戸大学 百周年記念館（神大会館） 会議室 A

内容：

a. 講演1：

「エクセルギーデザインによるデシカント応用機器開発」 久角 喜徳 特任教授（大阪大学）

「冷媒の環境影響に関する現状と将来の分析」 瀬下 裕 氏（日本冷凍工業会）

b. 国際会議報告：

「2010 Purdue Compressor Engineering, Refrigeration and Air Conditioning and High Performance Buildings Conferences」 宮良 明男 教授（佐賀大学）

c. 講演2：

「二酸化炭素の高圧水平細管内沸騰熱伝達特性（離散気泡モデルによる数値シミュレーション）」
網 健行 助教（関西大学）

「二酸化炭素・POE 潤滑油混合物の水平管内における沸騰熱伝達」
齊藤 泰司 准教授（京都大学）

d. 意見交換会

➤ 第4回委員会

日時：2011年（平成23年）6月29日（水） 13：00～17：30

会場：東京農工大学 小金井キャンパス BASE 本館1階 第1会議室

a. 講演1：

「音波による冷却－熱音響冷凍機－」 上田 祐樹 准教授（東京農工大学）

b. 海外研究報告：

「Edinburgh 大学滞在中の熱流動研究の紹介」 濱本 芳徳 准教授（九州大学）

c. 講演2：

「AQSOA 吸着式冷凍機」 窪川 清一 氏（三菱樹脂）

d. 見学会：

(1) 東京農工大学大学院 生物システム応用科学府／機械システム工学専攻 上田研究室

スタッフ：上田 祐樹 准教授

ホームページ：http://www.tuat.ac.jp/~ueda_lab/

見学内容：熱音響エンジンおよび熱音響冷凍機実験装置

(2) 東京農工大学大学院 生物システム応用科学府／機械システム工学専攻 秋澤研究室

スタッフ：秋澤 淳 教授

ホームページ：<http://www.tuat.ac.jp/~akilab/>

見学内容：アンモニア-水系吸収冷凍機による熱輸送・蓄熱実験装置

e. 意見交換会

➤ 第5回委員会

日時：2011年（平成23年）7月27日（木） 13:00～17:30

場所：東京海洋大学 越中島キャンパス 越中島会館 SCS 室

a. 見学会：

(1) 東京海洋大学 海洋工学部 海洋電子機械工学科 エネルギー変換研究室

スタッフ：井上 順広 教授

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

見学内容：管外凝縮実験装置，コイル状流路の熱伝達，圧力損失実験装置，蒸気圧縮式ヒートポンプ実験装置，アンモニア吸収および凝縮実験装置

(2) 東京海洋大学 海洋工学部 海洋電子機械工学科 ターボ動力研究室

スタッフ：刑部 真弘 教授，堀木 幸代 准教授，伊東 次衛 助手，井上 二三男 助手

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

見学内容：超小型複合サイクル実験装置・ISO 安全弁試験装置

(3) 東京海洋大学 海洋工学部 海洋電子機械工学科 動力エネルギー工学研究室

スタッフ：賞雅 寛而 教授，波津久 達也 准教授，福原 豊 助手

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

見学内容：細管気液二相流実験装置，垂直管環状気液二相流実験装置，高温高压濡れ性実験装置

b. 講演：

「内面溝付管の凝縮熱伝達および圧力損失の予測方法」 井上 順広 教授（東京海洋大学）

「潜熱回収熱交換器について」 刑部 真弘 教授（東京海洋大学）

「放射線誘起表面活性による原子炉プラント内熱交換器の高性能化」

賞雅 寛而 教授（東京海洋大学）

c. 意見交換会

➤ 第6回委員会

日時：2011年（平成23年）10月6日（木） 13:00～17:50

場所：佐賀大学 本庄キャンパス 理工学部 多目的講義室

a. 講演：

「斜交波状面の伝熱特性」 鹿園 直毅 教授（東京大学）

「水素吸蔵合金を用いたハイブリッド型水素貯蔵システム用熱交換器の開発研究」

光武 雄一 准教授（佐賀大学）

「放射暖房と体感温度制御によるオフィス空調の室内混合損失防止に関する研究」

小島 昌一 准教授（佐賀大学）

b. 国際会議報告：

「23rd IIR International Congress of Refrigeration」

赤坂 亮 准教授 (九州産業大学)

浅野 等 准教授 (神戸大学)

c. 見学会 :

- (1) 佐賀大学大学院 工学研究科 機械システム工学専攻 熱エネルギーシステム学分野 熱工学研究室
スタッフ : 門出 政則 教授, 光武 雄一 准教授, 石田 賢治 講師

ホームページ : http://www.me.saga-u.ac.jp/~ishida/therm_lab_j1.html

見学内容 : 水素吸蔵合金熱物性測定装置, 高圧水素露点計開発, 高温物体のスプレー冷却実験装置

- (2) 佐賀大学大学院 工学研究科 機械システム工学専攻 熱エネルギーシステム学分野 宮良研究室
スタッフ : 宮良 明男 教授, 椿 耕太郎 助教

ホームページ : http://www.me.saga-u.ac.jp/heat/miyara_lab/index.html

見学内容 : 気液二相流の分流, CO₂ サイクル性能評価装置, 各種冷媒伝熱性能評価装置, 冷媒熱伝導率計測装置, 地中熱利用実験設備

d. 意見交換会

➤ 第7回委員会

日時 : 2011年 (平成23年) 12月15日 (木) 13:00~18:00

場所 : 東京大学 駒場リサーチキャンパス An棟 中セミナー室

a. 講演 :

「Helmholtz型状態方程式を用いた冷媒の熱力学モデル開発に関する研究」

赤坂 亮 准教授 (九州産業大学)

「スマートハウス・住宅用エネルギーマネジメントに関する研究開発動向」

岩船 由美子 准教授 (東京大学)

「非結露型次世代空調システム CO₂ ヒートポンプを組み込んだデシカント空調システム」

加藤 信介 准教授 (東京大学)

b. 見学会 : 生産技術研究所研究施設見学

- (1) 東京大学 生産技術研究所/工学系研究科 建築学専攻 加藤・大岡研究室

スタッフ : 加藤 信介 教授, 大岡 龍三 教授, 樋山 恭助 助教

ホームページ : <http://venus.iis.u-tokyo.ac.jp>

見学内容 : 環境無音境界層風洞設備, デシカント空調試験設備

- (2) 東京大学 生産技術研究所/工学系研究科 電気系工学専攻 萩本研究室, 岩船研究室

スタッフ : 萩本 和彦 特任教授, 池田 裕一 特任准教授, 池上 貴志 特任助教 (萩本研究室)

岩船 由美子 准教授

ホームページ : <http://www.ogimotolab.iis.u-tokyo.ac.jp/> (萩本研究室)

<http://www.iwafunelab.iis.u-tokyo.ac.jp/index.html> (岩船研究室)

見学内容 : コマハウス (Comfortable Management House)

c. 意見交換会

➤ 第8回委員会

日時：2012年（平成24年）3月6日（火） 12：55～17：10

場所：東京海洋大学 品川キャンパス 第7号棟 多目的交流研究室

a. 講演：

「圧縮式ヒートポンプの大域的非定常解析とシステム側からみた機器の今後の性能向上への課題」

齋藤 潔 教授（早稲田大学）

「冷凍空調用の新冷媒 ー新冷媒の熱物性と選定ー」

香川 澄 教授（防衛大学校）

「銅の殺菌特性の活用について」

斎藤 晴夫 氏（日本銅センター）

b. 活動総括

プロジェクト主査

宮良 明男 教授（佐賀大学）

c. 意見交換会

第4章 まとめ

委員会活動における参加者数を Table 1 に示す。第 4 回委員会の開催直前に発生した東日本大震災、福島第 1 原子力発電所の事故と原子力発電所再稼働の抑制に伴う節電要請、タイでの工業団地での水害、さらには円高、と製造業にとって 2011 年度は受難続きであったが、本調査研究プロジェクトにおいては企業からの参加も大きく減ることはなく、全体としては多くの参加者があったものと評価できる。講演では活発な質疑応答が行われ、見学会においても現場での質疑により予定より長引くことが多かった。第 2 回、第 6 回では、参加者総数が少なかったが、その要因として開催場所が遠かったことが考えられ、企業での出張に対する制約が厳しくなる傾向にあるのではと感じられる。第 7 回は企業側委員の参加者が若干少ないが、エネルギーシステム全般に関わる講演が多かったことが考えられる。熱交換器の設計では、将来冷媒の熱物性の熱流動特性に及ぼす影響、伝熱促進技術や分流特性など気液二相流の流動特性など、基本特性の理解やデータベースの構築が重要であるが、一方では新たな発想の設計開発が求められている。これを実現するには、これまでの領域での活動だけではなく、他領域からの刺激を受け、ニーズに対する広い視野をもった研究開発者・技術者の適応力が重要になる。昨今の経済事情から、直接的な事象にのみ興味を持つことで効率化が図れるとされているようだが、現状維持だけではなくブレークスルーを実現するためには、個々の思考の活性化が重要であることを企業にも認識していただく努力が必要と考えられる。

Table 1 Number of participants of Committees

回	大学側委員	企業側委員	オブザーバー	参加者総数
1	8	20	9	37
2	7	20	5	32
3	5	23	11	39
4	9	21	13	43
5	7	21	15	43
6	8	15	9	32
7	8	18	11	37
8	9	19	13	41

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、「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。特別講師の総数は 19 名である。また、5 名の委員による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 5 回の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 22 年 6 月 25 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「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、署名日からプロジェクト終了 5 年後までとします。

平成 22 年 6 月 25 日

(住所)

(会社名)

(委員名 (署名))

資料2 講演資料リスト

- 第1回：「ヒートポンプ・冷凍システムに関わる伝熱研究」_小山繁.pdf
- 第1回：「9th IIR Gustav Lorentzen Conference 2010」参加報告_橋本克巳.pdf
- 第1回：「5th Asian Conference on Refrigeration and Air Conditioning」参加報告_浅野等.pdf
- 第2回：「次世代型原子炉開発のための超臨界圧流体の伝熱流動に関する研究」_仮屋圭史.pdf
- 第2回：「J Tマイクロ冷凍機の開発と高圧高温水素の熱物性測定」_河野正道.pdf
- 第2回：「腐食性排ガスからの熱回収における伝熱促進法の提案」_深井潤.pdf
- 第3回：「エクセルギーデザインによるデシカント応用機器開発」_久角喜徳.pdf
- 第3回：「冷媒の環境影響に関する現状と将来の分析」_瀬下裕.pdf
- 第3回：「国際会議報告（2010 Purdue Conferences）」_宮良明男.pdf
- 第3回：「二酸化炭素の高圧水平細管内沸騰熱伝達特性（離散気泡モデルによる数値シミュレーション）」_網健行.pdf
- 第3回：「二酸化炭素-POE潤滑油混合物の水平管内における沸騰熱伝達」_齊藤泰司.pdf
- 第4回：「音波による冷却 —熱音響冷凍機—」_上田祐樹.pdf
- 第4回：「Edinburgh 大学滞在中の熱流動研究の紹介」_濱本芳徳.pdf
- 第4回：「AQSOA 吸着式冷凍機」_窪川清一.pdf
- 第5回：「内面溝付管の凝縮熱伝達および圧力損失の予測方法」_井上順広.pdf
- 第5回：「潜熱回収熱交換器について」_刑部真弘.pdf
- 第5回：「放射線誘起表面活性による原子炉プラント内熱交換器の高性能化」_賞雅寛而.pdf
- 第6回：「斜交波状面の伝熱特性」_鹿園直毅.pdf
- 第6回：「水素吸蔵合金を用いたハイブリッド型水素貯蔵システム用熱交換器の開発研究」_光武雄一.pdf
- 第6回：「放射暖房と体感温度制御によるオフィス空調の室内混合損失防止に関する研究」_小島昌一.pdf
- 第6回：「23rd IIR ICR 参加報告」_赤坂亮.pdf
- 第6回：「23rd IIR ICR 参加報告」_浅野等.pdf
- 第7回：「Helmholtz 型状態方程式を用いた冷媒の熱力学モデル開発に関する研究」_赤坂亮.pdf
- 第7回：「スマートハウス・住宅用エネルギーマネジメントに関する研究開発動向」_岩船由美子.pdf
- 第7回：「非結露型次世代空調システム CO2 ヒートポンプを組み込んだデシカント空調システム」_加藤信介.pdf
- 第8回：「圧縮式ヒートポンプの大域的非定常解析とシステム側からみた機器の今後の性能向上への課題」_齋藤潔.pdf
- 第8回：「冷凍空調用の新冷媒 —新冷媒の熱物性と選定—」_香川澄.pdf
- 第8回：「銅の殺菌特性の活用について」_斎藤晴夫.pdf