

研究評価委員会
「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」(終了時評価)分科会
議事録及び書面による質疑応答

日 時 : 2024年1月17日(水) 9:30~17:35

場 所 : NEDO2101・2102・2103 会議室(オンラインあり)

出席者(敬称略、順不同)

<分科会委員>

分科会長	丸田 薫	東北大学 流体科学研究所 所長・教授
分科会長代理	中島 英彰	国立研究開発法人・国立環境研究所 地球システム領域 主席研究員
委員	坂口 正友	一般社団法人日本冷凍空調設備工業連合会 技術部 部長
委員	佐々木 直栄	日本大学 工学部 機械工学科 教授
委員	高島 章吉	一般財団法人日本冷媒・環境保全機構 専務理事
委員	涌井 徹也	大阪公立大学 工学研究科 機械系専攻 機械工学分野 教授

<推進部署>

福永 茂和	NEDO 環境部 部長
藤垣 聡	NEDO 環境部 統括研究員
森 智和(PMgr)	NEDO 環境部 主任研究員
牛腸 誠	NEDO 環境部 主査
須澤 寛	NEDO 環境部 専門調査員
山田 昂	NEDO 環境部 主査
四十宮 有香	NEDO 環境部 職員

<実施者>

飛原 英治(PL)	独立行政法人大学改革支援・学位授与機構 研究開発部 特任教授
齋藤 潔(SPL)	早稲田大学 基幹理工学部 機械科学・航空宇宙学科 教授
東 之弘	九州大学カーボンニュートラル・エネルギー国際研究所 教授
宮良 明男	佐賀大学理工学部 教授
赤坂 亮	九州産業大学理工学部 教授
滝澤 賢二	国立研究開発法人産業技術総合研究所 機能化学研究部門 上級主任研究員
伊藤 誠	電力中央研究所グリッドイノベーション研究本部(実施時:東京大学新領域創成科学研究科) 特別契約研究員(実施時:・特任研究員)
今村 友彦	公立諏訪東京理科大学 工学部機械電気工学科 教授
久保田 士郎	産業技術総合研究所 安全科学研究部門 上級主任研究員
椎名 拓海	産業技術総合研究所 安全科学研究部門 主任研究員
池田 隆	三菱電機(株) 冷熱システム製作所 冷熱システム製造部 海外低温システムプロジェクトグループ グループマネージャー
木口 行雄	東芝キャリア株式会社 コアテクノロジーセンター エキスパート
山口 広一	東芝キャリア株式会社 コアテクノロジーセンター シニアプロフェッショナル

栗田 文彦	パナソニック株式会社 コールドチェーンソリューションズ社 コールドチェーン事業部
金城 賢治	パナソニック株式会社 暮らしアプライアンス社 暮らしプロダクトイノベーション本部 課長
田部井 聡	パナソニック株式会社 コールドチェーンソリューションズ社 コールドチェーン事業部 課長
徳野 敏	ダイキン工業(株) 化学事業部 商品開発部 主席技師
小松 雄三	ダイキン工業(株) 化学事業部 商品開発部 主任技師
山田 康夫	ダイキン工業(株) 化学事業部 商品開発部
後藤 智行	ダイキン工業(株) 化学事業部 商品開発部

<オブザーバー>

兒玉 歩	経済産業省 製造産業局 化学物質管理課 オゾン層保護等推進室 課長補佐 (企画担当)
宇垣 祐貴子	経済産業省 製造産業局 化学物質管理課 オゾン層保護等推進室 企画係長
大隅 一聡	経済産業省 産業技術環境局 研究開発課 研究開発課長
村中 祥子	経済産業省 産業技術環境局 研究開発課 課長補佐
浅野 常一	経済産業省 産業技術環境局 研究開発課 技術評価係長
島 周子	経済産業省 産業技術環境局 研究開発課 研究開発専門職
柴尾 優一	経済産業省 産業技術環境局 研究開発課 技術評価専門職員
亀田 治邦	NEDO 省エネルギー部 主査

<評価事務局>

三代川 洋一郎	NEDO 評価部 部長
山本 佳子	NEDO 評価部 主幹
佐倉 浩平	NEDO 評価部 専門調査員
日野 武久	NEDO 評価部 主査

議事次第

(公開セッション)

1. 開会、資料の確認
2. 分科会の設置について
3. 分科会の公開について
4. 評価の実施方法について
5. プロジェクトの概要説明
 - 5.1 意義・アウトカム（社会実装）達成までの道筋
 - 5.2 目標及び達成状況
 - 5.3 マネジメント
 - 5.4 事業全体像の具体的説明
 - 5.5 質疑応答
6. プロジェクトの詳細説明
 - 6.1 プロジェクトの詳細説明（公開）

研究開発項目①「次世代冷媒の基本特性に関するデータ取得及び評価」

 - 6.1.1 中小型規模の冷凍空調機器に使用する次世代冷媒の熱物性、伝熱特性および基本サイクル性能特性の評価研究
 - 6.1.2 低GWP 低燃焼性混合冷媒の安全性評価
 - 6.1.3 低GWP 冷媒を採用した次世代冷凍空調技術の実用化評価に関する研究開発

研究開発項目②「次世代冷媒の安全性・リスク評価手法の開発」

 - 6.1.4 次世代冷媒の安全性・リスク評価手法の開発

(非公開セッション)

- 6.2 プロジェクトの詳細説明（非公開）

研究開発項目③「次世代冷媒及び次世代冷媒適用技術の開発」

 - 6.2.1 自然冷媒および超低GWP 冷媒を適用した大形クーリングユニットの研究
 - 6.2.2 コンデンシングユニットの次世代低GWP 冷媒対応化技術の開発
 - 6.2.3 低温機器におけるCO₂冷媒を使用した省エネ冷凍機システム開発及びその実店舗評価
 - 6-2.4 GWP10 以下の直膨型空調機器用 微燃性冷媒の開発
7. 全体を通しての質疑

(公開セッション)

8. まとめ・講評
9. 今後の予定
10. 閉会

議事内容

(公開セッション)

1. 開会、資料の確認

- ・開会宣言（評価事務局）
- ・配布資料確認（評価事務局）

2. 分科会の設置について

- ・研究評価委員会分科会の設置について、資料1に基づき事務局より説明。
- ・出席者の紹介（評価委員、評価事務局、推進部署）

【丸田分科会長】 東北大学流体科学研究所の丸田と申します。専門は反応性流体の燃焼が主となりますが、直近では冷媒の燃焼性にも携わっております。本日はよろしくお願いたします。

【中島分科会長代理】 国立環境研究所の中島と申します。専門は主にオゾン層破壊に関わるような物理化学過程の研究になります。本日はよろしくお願いたします。

【坂口委員】 日本冷凍空調設備工業連合会の坂口と申します。私は、現場の作業、メンテナンスといった実際の使用者側の立場として意見を述べたいと思っております。今日はよろしくお願いたします。

【佐々木委員】 日本大学の佐々木と申します。私は熱交換器が専門であり、大学に来る前は素材の銅・アルミのメーカーにいました。本日はそういったところで意見ができればと思います。よろしくお願いたします。

【高島委員】 日本冷媒・環境保全機構の高島と申します。名前のとおり冷媒を管理する一般財団法人でございますので、そちらで冷媒管理システムのウェブで行う RaMS や行程管理票といったところの担当をしております。よろしくお願いたします。

【涌井委員】 大阪公立大学の涌井と申します。専門は機械工学分野で、主に空調システムを含めたエネルギーシステムの設計や運用制御の最適化、あるいは数値解析などの研究をしております。この空調に関しましては、サイクルの解析、空調室も含めた制御の最適化などを行っておりますので、そのようなシステムの点から種々見させていただきたいと思っております。よろしくお願いたします。

3. 分科会の公開について

評価事務局より資料2及び3に基づき説明し、議題6.「プロジェクトの詳細説明/研究項目③」及び議題7.「全体を通しての質疑」を非公開とした。

4. 評価の実施方法について

評価の手順を評価事務局より資料4-1～4-5に基づき説明した。

5. プロジェクトの概要説明

- (1) 意義・社会実装までの道筋、目標及び達成度、マネジメント
推進部署より資料5に基づき説明が行われ、その内容に対し質疑応答が行われた。
- (2) 事業全体像の具体的説明
実施者より資料5に基づき説明が行われ、その内容に対し質疑応答が行われた。

【丸田分科会長】 ご説明ありがとうございました。ただいまの説明に対して、何かご意見、ご質問等ございましたらお受けいたします。中島会長代理お願いたします。

【中島分科会長代理】 資料17 ページの欧州でFガス規制について、欧州では2050年までにHFCとHFOの使用が段階的に廃止に向けた暫定合意が行われたという流れになっています。これがもし欧州で実施され、それが世界的に波及し日本にも影響が及ぶとなると、今回開発していることに関して非常に影響をもたらすと思うのですが、そのあたりの状況を分かる範囲でお伺いできればと思います。

【森 PMgr】 Fガス規制は、まだこれから数年かけて本当に施行されるかどうかといった議論が進んでいく状況と思っております。それに対して国内の冷凍空調機器メーカーや冷媒メーカーなども、そこが本

当に規制すべきかどうかということについて科学的なエビデンスを示しながら働きかけを進めていくものだと思っております。もし欧州のほうで規制が本格化されたとしても、ほかの地域でそうなるとは考えにくいとも思っております。米国やアジア各国、その土地に即した使い方というものがあると思いますし、自然冷媒のほうもまだまだ問題を抱えているものもあると思いますので今後とも今回のプロジェクトの成果の実装に関しては、国内及び国際的な議論も注視しながら進めていきたいと思っております。

【中島分科会長代理】 ありがとうございます。

【丸田分科会長】 ほかにいかがでしょうか。涌井委員お願いします。

【涌井委員】 資料 18 ページに関して、プロジェクト全体の内容はよくまとまっていると思うのですが、本プロジェクトでの代替候補となる左側の話はよく分かったものの、右側の有効な冷媒として、業務用あるいは家庭用を対象とするところがスタート地点になったと思うのですが、その次のスライドからは非常に具体的な話になっており、ここの業務用や家庭用の空調を意図したところから、どうして次のスライドの具体的なテーマに設定し、アウトカム/アウトプットが得られたのかが少し見えづらかったので説明をしていただけるとありがたいです。

【森 PMgr】 こちらはターゲットをどこの機器の領域にするかというところで説明させていただきました。やはり代替が進んでいるある程度冷媒候補があるものについては機器として実用化・普及は進んでいくものと思います。ただ、それがまだコスト的な問題等で進んでいない部分の支援などはあるのですが、技術的な課題があるところについては NEDO の領分であろうということでターゲットを絞ったというのがこの資料になります。その領域の中で製品化普及を進めていくということが長期的なアウトカムの達成に貢献するところだと思っておりましたので、この製品化普及に貢献できる共通基盤的なことは何だろうと考えたときに、安全性であるとか基本的な性能というのが製品化する前に分かる、基盤的なところが分かっていることが必要だと思っておりました。また、冷媒というのは先ほど飛原先生からご説明がありましており、混合していくと無限に出てくるようなものでもありますので、そういったところがきちんと定式化されて予測ができるようになるところが基盤的なところではないかと考えており、具体的にはこういうことを研究開発のアウトプットのテーマとして設定したという形になります。

【涌井委員】 ありがとうございます。アウトプットを考えた上での基盤的な内容であることがよく分かりました。それともう一点、プロジェクト全体のマネジメントの話になるかもしれませんが、資料 49 ページ目で研究開発項目①と②のそれぞれが個別に大事なポイントであるというのは非常に理解しているのですが、それぞれで性能の評価技術をつくって取り組まれているように拝見したところで、これは結果的にはそれぞれ別々のものになるのか、それとも非常にリンクしているものなのか、あるいは少しラップしているところがあるのか。同じような性能の評価手法の構築が複数あったもので少し気になりました。

【森 PMgr】 ありがとうございます。どちらかと言えば①の基本特性評価でやっていたシミュレータというのは、先ほどの飛原先生のお話にもありましたように、新たな冷媒などが開発されたときにそれをシミュレーションのほうで冷媒とか機器の開発を基礎としてどういったサイクル性能を持っているかというような評価をするという技術、それから装置の開発をしておりました。一方、こちらの安全性リスク評価のほうでもやっておりましたが、こちらは実用的な機器のほうでこれまでの試験方法では性能がきちんと把握できていなかったようなところ、具体的には飛原先生から補足いただきたいのですが、負荷を変動させ性能を評価するという形だったと思いますけれども、そういった方法の評価手法を開発しておりました。出口が違っており、こちらの①では国際的な規格への提案になりまして、②では国内の JIS 規格に反映していくということを目指して行っていったという形になります。飛原

先生、補足をお願いいたします。

【飛原 PL】 今の説明で正しいと思いますが、研究開発項目①で実施された評価法の検討は、今説明がありましたように、新たな冷媒を使う場合に実機試験をしないでシミュレーションでできないかといったようなことであり、それに対応してうまく使って性能試験をきちんとやっていく手法の開発、そして、それができれば国際規格へ反映できないかといったような観点で行われました。一方、研究開発項目②でやられた性能試験は、それと大体協調し、意見を交換しながらやっており、独立にばらばらでやったというわけではありません。同じような考え方に基ついていたのですが、出口として今説明ありましたような日本の JIS 規格が実態に合っていないのではないかという批判を非常に受けているので、それを当面うまく改善し、新しい冷媒を用いたルームエアコンの性能をきちんと使用実態に近いような方法で評価するにはどうすればよいかといったことを中心に検討していたところでございます。

【涌井委員】 ありがとうございます。よく分かりました。もう一点だけよろしいでしょうか。資料 54 ページ目で、この事業で調査事業を介して委託と助成の事業をうまくつなげながらニーズを把握されて進められたというのは非常に大きな成果だと思っているのですが、その中でプロジェクトの途中で 2019 年に少し大きな社会的な動きがあったというところで、具体的には冷凍空調学会のほうから最後の研究開発課題③のほうに後押しを様々されていたという話を先ほどされていたと思うのですが、その内容は具体的にはどのような中身になるのかを差し支えない範囲で教えていただければと思います。

【森 PMgr】 申し訳ございません。私は当時まだ PMgr ではなかったため、その当時どういった細かな話が行われたのかを存じ上げておらず、そここのところで話があったということを知っている次第です。飛原先生何かございますか。

【飛原 PL】 誤解があるかもしれませんが、助成事業というのはメーカー個社の開発になっておりまして非常に秘密性の高い研究がされております。したがって、助成事業の成果を細かに NEDO 事業者、大学とはいえ公開していくというのは非常に難しいことがございます。この調査事業の役割というのは委託と助成をうまくつなげるというよりも、助成と日本冷凍空調工業会というメーカーが集まっている団体があるのですけれども、その中のメーカーの人たちとの間の意見交換をして、ニーズをしっかり把握した上で、どのような研究をすべきかといったようなことの方角性を変えるということも辞さない感じでやっておりました。委託事業の成果というのは、その時々で事業者様には伝えてはいるのですけれども、あまり意見交換をしてしまうと種々知財上の問題が生じてくるので、その辺はあまり密接にはやっておりません。ですから、助成事業に関しては個社の秘匿技術を尊重するというところでやってきております。以上です。

【涌井委員】 ありがとうございます。全体のマネジメントがよく分かりました。以上です。

【丸田分科会長】 ほかにいかがでしょうか。佐々木委員お願いします。

【佐々木委員】 資料 32 ページの波及効果のところ、「世界市場における日本企業のシェア拡大が期待」の下に年間の金額だけ出ているのですが、世界シェアに対する割合としてはどのようになりますか。

【森 PMgr】 これは 2035 年の予測値になっており、例えばルームエアコンであれば現在 1 億台ぐらいだったと思うのですが、それが 1.5 倍等に拡大するような話だったと思います。その中で日本企業は、明確な数字は定かではありませんが、恐らく 2 割から 3 割ぐらいのシェアを占めているのではないかと考えております。このプロジェクトによって先行的に技術優位性を持つとか、そういったことを通じて 10%程度のシェアを拡大できるのではないかと考えておりますので、可能であれば 3 割から 4 割ぐらいにシェアを拡大できればと考えます。

【佐々木委員】 ありがとうございます。あと 1 点、飛原先生から説明のあった「高圧ガスのガラパゴス化

を改善した」というのは、我々も昔高圧ガスで苦勞をしまして、例えばCO₂を使うときに配管の肉圧をもっと薄くできるように変わったであるとか、分かりやすい表現で言うとどのようになるでしょうか。

【飛原 PL】 詳しくは午後に産総研から説明ございますが、ざっくり申し上げますとガスの燃焼性試験がございまして、従来の高圧ガス保安法の中の燃焼性カテゴリーとして可燃性ガスか燃えないガスかという2つしかなかったのですけれども、そのカテゴリーを決定するために燃焼範囲を調べるための試験法がございまして、また、その試験法というのは特異なもので、日本だけで採用されている試験法でありました。国際的にはアメリカのASTMという会社が公表しているような試験法と、それからヨーロッパでよく使われているような密閉容器の中での燃焼試験、それで圧力が上がるか上がらないかをチェックするような試験、その2つが大きく使われております。アメリカのASTMというのは大気圧下で燃やしてみても火炎の広がる程度を目で見て判定する方法なのですけれども、そういう大気圧下の試験法と、密閉型の容器の中で添加させると圧力が上がるか上がらないかで判定する試験法と2つが国際的にはあったわけです。それで日本は全然違う方法でやっていたということで、どちらかにそろえないと貿易外障壁になりかねないということから、経産省の高圧ガス保安室のほうで見直しが行われたときに、どの方法が最もよいかといったところを産総研の方が試験を種々やりまして、現状は密閉式の容器でやると決まりました。

【佐々木委員】 ありがとうございます。

【丸田分科会長】 ほかにいかがでしょうか。坂口委員お願いします。

【坂口委員】 資料49ページに全体目標の達成度のグラフがあります。これは午後からの内容にもなりますが、低GWP化が進んでいくと混合冷媒をますます使用していくわけで、我々が一番興味あるのは市場に出た後の整備時・廃棄時とかそこまでき入っていくのですが、まずは機器開発を進めて新冷媒をこれから進めていくところで、流れとしては、安全性から見ると整備時・廃棄時まで考慮した形でNEDOの中で取り上げていただきたいという意見にもなりますが、詳細はまた午後に議論を交わせばと思いますのでよろしくをお願いします。

【丸田分科会長】 実施者側から何かコメントございますか。

【森PMgr】 ありがとうございます。こちらのスライドで示させていただきましたが、NEDOでは過去には回収破壊の技術にも取り組みまして、そういったところへの技術的な基盤作成に貢献してきたと思います。このところで、ある程度技術的には現在適用されておりますとおり普及してきていると思います。ただ、今後また冷媒転換をしていく中にあるのは、また新たな回収・処理の仕方にも必要になってくると思います。新たなプロジェクトを始めているところですが、そういったところも含めて今後検討させていただきたいと思っております。

【丸田分科会長】 どうもありがとうございます。ほかにいかがでしょうか。高島委員お願いします。

【高島委員】 先ほど坂口委員からも質問があったのですが、やはり機器の廃棄時・整備時の話になります。冷媒はやはり回収しなくてははいけませんから、回収機メーカーとの連携というのは何かされているのでしょうか。

【森PMgr】 今回のプロジェクトの中では、最初のターゲティングのときに排出抑制側はスコープ外としてしまったので、そのあたりの方々と明確に意見交換をして進めることはなかったと思いますが、先ほどお答えしたとおり、今後、新たな冷媒の回収方法にもよってくると思いますので、そういったところはまた検討させていただきたいと思っております。

【高島委員】 ありがとうございます。

【飛原 PL】 追加でよろしいでしょうか。メンテナンスと廃棄の安全性を考えていなかったわけではありません。調査事業の中で、委託事業者と日本冷凍空調工業会の人たちと一緒にリスク評価を実際やっていました。強燃性冷媒を使用したとき、ルームエアコンなどに利用したときのリスク評価をやっ

ており、その中では当然サービス時の安全とか廃棄時の安全、あるいは輸送時の安全も当然考えていました。結果的に言えば、そのリスクが一番高いという結論になっております。したがって、そのところをどうやってリスクを減らすかの解決が十分できないと広く日本では普及させられないといった結論に今なっています。その改善というのはこれからの課題だと思っております。それにより、プロパン等を使用するときの話というのは、家庭で使っているときのリスクは相当低く、実際はサービス時、設置時あるいは廃棄時のリスクが極めて高いというのが現状です。それはまだまだ解決できておりませんので、これからも検討していかなくてはならないという認識でございます。以上です。

【高島委員】 ありがとうございます。

【丸田分科会長】 ほかにいかがでしょうか。それでは私から少し伺います。今回全体像をご説明いただきまして、PLの飛原先生からご説明いただいた基礎研究と、それから助成事業、そして中間的なところですが、実際にここまで基礎的なところをしっかりと押さえてデータベース等を網羅的に構築されている。本当に分子構造一つ変わると大きく特性が変わるところもありますけれども、それを押さえられた上で製品をつくれる。しかもGWPを下げるということで、そこには相当開発側の努力があつて、そういうものが達成されているわけです。こういう規模でプロジェクトが進められていることについて非常にすばらしいと思ひながら拝見しているのですけれども、こういう状況の取組というのは世界的にどういった位置づけにあるのかを伺えたらと思います。

【飛原 PL】 私が世界をよく見ているわけではございませんが、一番積極的なのはアメリカです。アメリカでは工業界のようなものや、国の傘下にあつたような研究機関が中心となり様々な冷媒を実際の機械に入れて性能試験をしてみるといったことを網羅的にやられています。また冷媒探索も非常に網羅的にやっています。例えばDOEの人たちに言わせてみると、「使用可能と思われる冷媒は全てチェックした。もう新しい冷媒はこれから出てきません」と断言するようなどころまで彼らは研究しています。ただ、本当に全部ないのかというところではなく、今回ダイキンが目をつけられたような冷媒もまだ残っている。欠点は有しているのですが、うまく使っていけばまだまだあり得るといった状況だと思ひています。また、EUはエアコンや冷凍の産業があまり強くないのでそれほど大きな活動はございませんが、やはりアメリカは非常に積極的にやっています。強い冷媒メーカーもありますから、そういう意味では、うかうかしていると日本は取り残されるといった状況ですので、このNEDOプロのようなある程度国の支援を得た研究開発を着実にやってこれたというのはよかつたことだと思ひています。以上です。

【丸田分科会長】 ありがとうございます。例えば冷媒の特性、それから反応性についても研究を最初に行っているところはNISTであり、ただ、良い製品が出てくるのは基本的には日本だと見えています。突飛な表現になりますが、自動車業界との対比のようなものを感じるところがあります。ヨーロッパは、ある意味理想論を言つて規格をつくり、そこで主導権を握ろうというような動きがある。米国は、やっているところはやっているものの、それほど製品のところまで綿密なものはどうかといったところで、やはり日本の意義がある。ルールは全部受け入れるというのが何となく日本の特性になっていますが、ここまで実績を出せるのであれば、もっと国際的な発言をして進めていくようなことが今後どうしても必要になるのではないかと様々な業界を拝見して想ひところがあります。今ここまで層が厚い状態ということですが、世代後半も含めて基礎研究から出口まで広い範囲で力強く担当して下さる分野の方がいらっしゃることを継続していくことがすごく大事だと非常に強く感じました。午後もし楽しんでおりますが、敬意を表したいと思ひます。

【飛原 PL】 激励をいただきまして、どうもありがとうございます。丸田分科会長がおっしゃいましたように、EUは非常に行動が読めないところでもあります。「HFOも全廃する」といった案になっておりますが、HFOは温暖化に何の関係もないのです。何の貢献もしないけれども全廃するといつて規制をどんどん

つくっていくところがあります。我々としてそれはないだろうと思いつながら、それに対応しながら何か考えていかなくてはならないといった状況で頑張っているところです。以上になります。

【森 PMgr】 今、飛原先生からありましたように、欧州のほうでも冷媒自体に規制を考えているものの、一方、ヒートポンプ、冷凍空調に関しては地球温暖化抑制という観点から、やはり伸ばしていかなければならないと認識されている動向があると思っています。全世界的にも温暖化が進む中、そこで生活していく中で快適性を求めるためには、燃焼だけに頼らないようなヒートポンプ技術というのが伸びてくると思っています。先ほど先生がおっしゃられましたけれども、自動車業界のような構造で、恐らく日本が技術を持って勝っていける領域なのではないかと思っていますので、こういったところを長期の取組、かつルールをうまく使いながらといった取組も必要になってくると思いますので、継続的に NEDO で取り組んでいきたいと思っています。

【丸田分科会長】 ありがとうございます。それでは時間が参りましたので、以上で議題 5 を終了といたします。

6. プロジェクトの詳細説明

6.1 プロジェクトの詳細説明（公開）

研究開発項目①「次世代冷媒の基本特性に関するデータ取得及び評価」

6.1.1 中小型規模の冷凍空調機器に使用する次世代冷媒の熱物性、伝熱特性

および基本サイクル性能特性の評価研究

実施者より資料に基づき説明が行われ、その内容に対し質疑応答が行われた。

【丸田分科会長】 ありがとうございます。

ただいまの説明に対しまして、ご意見、ご質問等ございますか。中島会長代理お願いします。

【中島分科会長代理】 非常によい成果の発表をありがとうございました。16 ページを見ますと、今まで出てこなかった CF₃I という物質の混合冷媒などが測定されているのですが、これの GWP を最初に教えていただきたいのと、なぜこれを候補として加えたのか。また、この図で見ると R125 とか R32 との混合でも 500 程度までしか下がらないところで、150 以下という目標にはこのままでは達せないように見えるのですが、それを加えて調べられた理由を教えてください。

【東教授】 まず CF₃I の GWP に関しましては、今手元に正確な数字が用意できておりませんが 100 ぐらいになると思います。また、CF₃I は物質自体が消炎効果を持っており、これを含める R466A という混合冷媒が製品化をされていまして、燃焼性の低い冷媒として期待され、日本の国内のメーカーがある程度注目をしていたものでした。ただ、物性情報が正確なものがないので、どちらかと言えば企業側のニーズに基づいてやっています。そのため、幾つかニーズに基づいた物質の中では、既存の冷媒を測定しているものに関しては GWP が 150 より高いものもあるので、それは 150 以下というものとはちょっと違いますが、今本当に製品化しようとしているものに近いものの性質として測定し、データをためてきました。

(補足) 発表者スライド 8 ページより「CF₃I の GWP は 5」であることを確認し、質問者に訂正した。

【中島分科会長代理】 分かりました。単体だと 150 を切るのです、冷媒としてはあまりよろしくないということですか。

【東教授】 GWP とすると成果的には悪く、CF₃I は低いのですが、例えば今使おうとされていた CF₃I が入っている混合物は R32 と R125 と CF₃I で、R125 がものすごく高いため、どうしてもその物質だけではまだ高いといったところです。

【中島分科会長代理】 それにより、ほかの低い物質と混合すれば燃えないものがつくられる可能性があるということですか。

【東教授】 燃えないというよりも、消火といったところです。

【中島分科会長代理】 分かりました。ありがとうございます。

【丸田分科会長】 ほかにいかがですか。涌井委員お願いします。

【涌井委員】 非常に多分野にわたる学術的な研究をコンソーシアムという形で進められており、大変興味深く聞かせていただきました。ありがとうございます。その中の成果の一つで、今の16ページ目のCF₃Iを入れたもので、3つの冷媒を混ぜたときに新しいデータベースを使うという、こういった未知の組合せが見つかるというところで、今ここでは3つ取り上げていますが、GWPをもう少し低い150を狙ったようなことを制約として与えた場合において、こういった最適な組成を探すことはどのくらいできるのでしょうか。

【東教授】 3成分系の計算に関しては、まず3つの成分物質の状態式が確実に分かっているものと、この系もそうなのですが、2成分系で3つのデータがしっかり分かっている混合モデルができているものに関しては、ある程度信頼できる計算ができていると思っています。ですので、まずその情報をしっかり集めたもの以外の3成分系では我々とする不安がまだございます。今回どうしても必要な3成分系に関しては、ここで言うように例えばR125-CF₃I、CF₃I-R32、R32-R125、これはR410A系になりますけれども、この辺のものをまずちゃんと測定をしてという形になるので、どうしても少し多めの物質の測定をしていかなければいけない形になります。そうしたことから、全てできるというわけではありません。

【涌井委員】 逆に言うと、そのために必要な条件というのは明らかになっていて、高精度な状態方程式をつくれれば組み込める見通しができているということでしょうか。

【東教授】 おっしゃるとおりの見通しになります。ですので、その後本当に実機でいろいろなデータを取るといったところで、実用化のところにはもう1ランク壁があるかもしれません。

【涌井委員】 やはり基盤の研究ですので、そういう見通しが分かるのが非常に大事なことだと思います。あともう一点、伝熱のデータベースをつくられていることも非常に大きな成果だと思っています。今伺ったお話ですと、学会のほうで管理されているということですが、この先継続的にデータが新しく増えてくる、あるいは修正するといったときには、そういうメンテナンスの部分はどのようにこの後取り扱っていくのでしょうか。

【宮良教授】 伝熱データベースのメンテナンスは、先ほど言いました冷凍空調学会の熱交換器技術委員会のほうで担当しており、私も委員として入っているのですが、今も継続的にデータを蓄積していただいているところです。「32,000」と書いてありますが、現在は「38,000」に増えています。それから、そこで様々な企業の方からの意見も聞きながら、このデータベースをどう活用していくのかであるとか、運営についてもそこで議論しているところでございます。

【涌井委員】 つまり、ここに書いてあるデータよりもさらに増えているものも含まれて今進んでいるのですね。

【宮良教授】 おっしゃるとおりです。

【涌井委員】 ありがとうございます。すばらしい成果だと思います。以上です。

【丸田分科会長】 ほかにいかがですか。佐々木委員お願いします。

【佐々木委員】 資料18ページから20ページのプレート式、扁平多孔管、円管ですが、今示されているデータを見ると一形状についてのデータがここには示されているものと思います。このデータも含んで伝熱のデータベースができているということでしょうか。

【宮良教授】 おっしゃるとおりです。

【佐々木委員】 例えばプレート式だとどのぐらいの種類入っているのでしょうか。

【宮良教授】 プレート式は公開されたデータが少ないので、スライドの右下のほうにありますけれども、現状はこれより少し多いぐらいのデータが入っています。スライドの数値は2023年9月時点のデータをまとめたものですが、それほど多くはありません。プレート形状についてはそれぞれいろいろな形状のデータが入っています。

【佐々木委員】 扁平多孔管も同様になりますか。

【宮良教授】 扁平多孔管は、東京海洋大学での実験は一形状についてだけなのですが、扁平多孔管の実験については論文にたくさんデータがありますので、そこからいろいろな形状の扁平多孔管のデータを伝熱データベースのほうに、その形状パラメータも含めて蓄積されているという形になります。

【佐々木委員】 残念ながら私はまだ使っておりませんでした。

【宮良教授】 ぜひご使用ください。

【佐々木委員】 データベースのおおもとの年代といえますか、大体何年から何年のデータといったもの分かるのでしょうか。

【宮良教授】 文献情報も一緒に入れてありますから、DOI情報とかもありますし、例えばこのデータの論文が欲しいとなれば、そこからすぐに検索することができます。年代ごとに入れていたかどうかは、申し訳ございません。データを見ないと分かりません。

【佐々木委員】 分かりました。ありがとうございます。

【丸田分科会長】 どうもありがとうございました。それでは時間が参りましたので、以上といたします。

6.1.2 低GWP低燃焼性混合冷媒の安全性評価

実施者より資料に基づき説明が行われ、その内容に対し質疑応答が行われた。

【丸田分科会長】 ありがとうございます。ただいまの説明に対しまして、ご意見、ご質問等ございますか。それでは少し私から伺います。ヨーロッパの基準に比べて方法を変えられたということでした。恐らく冷媒によって、要は反応を起こさせるときの条件の影響が非常に大きいかと思いますが、5%から30%に変えることで冷媒そのものの特性を表現できるようなデータが可能になるといった結果が得られたと理解してよろしいでしょうか。

【滝澤上級主任研究員】 それについては、イエスともノーとも言えます。結果としては8種類から10種類の様々な構造を持った化合物に関して国際標準法と大規模な容器の結果を突き合わせております。大規模な容器を使うことにより、着火エネルギーの強さであるとか、あるいは容器の形状とかの影響は基本的にはないはずであって、それと同等な結果を得られるということでこの標準的な方法をセレクトしたというのが一つです。もう一つは、この評価結果というのは、基本的には圧力を測るだけになります。ほかの方法というのは、火炎を実際に見るとかいろいろなテクニックが必要になっていきます。つまり、これは誰にでもアプローチできて同じ結果が得られるということで標準ですから、そこにも注目する必要があって、その2つの方向から、このように例えば5%だと判定が無理ですから、30%で明確化するというところで多少正確さを犠牲にしても再現性を重視し、その両方に注目して提案をしました。

【丸田分科会長】 ありがとうございます。ほかにいかがでしょうか。中島会長代理お願いします。

【中島分科会長代理】 今回はR32とR1234yfの混合の結果を主にお示しされたのですが、日の丸のHF0-1123が非常に興味深くあります。それに関しても今回得られたようなR32をどのような混合比でも上回らないというような結果になっているのでしょうか。

- 【滝澤上級主任研究員】 実用上の湿度条件ではそうなります。非常に高湿度にすると上回ることはありませんが、実用上のあり得ない湿度条件でなければ上回ることはいけません。
- 【中島分科会長代理】 分かりました。それと、もしご存じでしたら、なぜまだHF0-1123は冷媒登録をされていないのかを伺いたいです。
- 【滝澤上級主任研究員】 現時点では急性毒性があることを否定できていない状況でして、我々にはどうしようもない状況です。
- 【中島分科会長代理】 確か前回のプロジェクトのときにそういう話を少し伺った記憶があるのですが、その問題はまだ解決していないということでしょうか。
- 【滝澤上級主任研究員】 そうなります。私が立案のときには、成果報告までにはどうにも実用化していると思ったのですが、まだ実用化できていません。
- 【中島分科会長代理】 分かりました。ありがとうございます。
- 【丸田分科会長】 ほかにいかがでしょうか。涌井委員お願いします。
- 【涌井委員】 長年懸案の法令改正につながるような大変数多くの実験の成果を非常に興味深く聞かせていただきました。午前中の飛原先生からのお話にもございましたが、このお話では、湿度の影響を考えているところに内容としては非常にポイントがあるのではないかと思ったのですが、その点について着目すると、湿度の影響に関してどのような知見があるのかを少しまとめてお聞かせいただけたらと思います。
- 【滝澤上級主任研究員】 私の考えではありますが、フルオロオレフィン系というのは二重結合を持って反応性が高いことにより分子内の水素に対してフッ素が多くても燃えるのです。大体フッ素の比率が0.66という数字を下回ってくる、フッ素がそれよりも少ないと燃焼反応が起こるのです。そこに水H₂Oを加えてあげると系全体では0.66よりももっと下がっていったり0.5とかに近づいていきます。その水素が活性化学種として反応をより促進する、あるいはその火炎温度、反応温度自体をすごく高くするのです。その結果としてフッ素リッチの化合物に湿度を入れることによって燃焼性が増す方向にシフトしていきます。
- 【涌井委員】 そうなると、その中で、湿度が増えた場合でもR32に比べて燃焼性が少ないということですか。
- 【滝澤上級主任研究員】 先ほど少し時間をかけて説明したR32/R1234yf混合系のR32混合比0.8のところの組成が、大体湿度を考慮すると0.5になるのです。ちょうどHとFが完全に反応して発熱が一番大きい状態のときです。既に特定不活性ガスに認定されている冷媒R32よりも燃焼性が低かったということから、全混合比において燃焼性が低いと言えることとなります。
- 【涌井委員】 分かりました。ありがとうございます。非常にすばらしい成果だと思いました。
- 【丸田分科会長】 ポイントソースの着火の問題は非常にクラシックに見えて全て分かっているような感じだと思うのですが、燃焼の分野でも過去10年ぐらいに非常にエポックメイキングな理解の進捗がありまして、恐らく前の方法で小さいものを使ったときにデータが再現しないところというのは、多分そういうところで分かってきたものと同様のところではないかと思います。容器のサイズであるとか、着火のエネルギーもそうですが、スタートのところの要は点火から伝播に入るまでの遷移を超えた後の特性を見なければいけないというところではないかといった印象があります。詳細は別として、試験をされた感触としてはどのような感じでしょうか。そういった理解とは違うところになりますか。
- 【滝澤上級主任研究員】 火炎核が形成された後の消炎効果といった趣旨ですか。
- 【丸田分科会長】 逆でして、層流燃焼速度SLは後半の火炎が広がっていくところの速度なので、着火直ぐのいろいろな影響を受ける領域を排除した上でチェックしないといけないですから、その最初のところがいろいろな状況の影響を受けて変わってくるのだらうと思っているのですけれども。

【滝澤上級主任研究員】 コメントとして適しているか分からないのですが、一応最近では微小重力実験等も導入しております。やはり浮力の影響が結構悪さをしているのではないかと考えているため、それはなるべく取り除くようにして行っています。あるいは電極をいろいろな方法で変えていくといったアプローチしているのですけれども、申し訳ございません、先生の質問に明確に答えられていないと思いますので、勉強いたします。

【丸田分科会長】 どうもありがとうございます。それでは時間が参りましたので、以上といたします。

6.1.3 低GWP冷媒を採用した次世代冷凍空調技術の実用化評価に関する研究開発 実施者より資料に基づき説明が行われ、その内容に対し質疑応答が行われた。

【丸田分科会長】 ありがとうございます。

それでは、ご意見、ご質問等ございますか。中島会長代理お願いいたします。

【中島分科会長代理】 非常に興味深い発表ありがとうございました。17ページのLCCP評価のところでは日本の値が書いていないのですが、日本は例えば左下の表で言うところのどのぐらいの値になるのですか。

【齋藤 SPL】 日本は、アメリカとフランスの間ぐらいになります。ただ、日本でも評価結果の内部資料を見ていただくと書いてあるのですが、例えば北海道と沖縄で値が違ふであるとか、国内だけでもいろいろな違いがあることが分かりまして、興味深い結果も出ております。

【中島分科会長代理】 分かりました。例えば原発がまだ動いていたときとか、あるいは将来の脱炭素化というのは太陽光とか風力等だと思うのですが、そういうグラフの予測もあるのでしょうか。

【齋藤 SPL】 現状はやっていませんが、要請があればすぐにそういったことも検討できると思います。

【中島分科会長代理】 そういうものも見せていただくと非常に説得力があつてよいと思います。あと India が高いですが、何で発電をしているのですか。

【齋藤 SPL】 原単位しか見ていないのですが、石炭などがまだ入っているのだと思います。

【中島分科会長代理】 分かりました。ありがとうございます。

【齋藤 SPL】 現行のNEDOプロにおいて、引き続きその点も検討させていただきたいと思います。ありがとうございました。

【丸田分科会長】 ほかにございますか。涌井委員お願いします。

【涌井委員】 成果の最初のほうの話でAIによる伝熱性能を推定されていたものを大変興味深く見させていただきまして、非常に多くの条件で予測ができるということが分かりました。このときに、AIで予測することになりますので、どの程度推定精度があるのかということをおある程度定量的に示す必要があると思ったのですが、そのあたりは今どのように捉えられていますか。

【齋藤 SPL】 ここでは示していないのですが、当然新しい冷媒がどうなるかというのは示せないものの、従来冷媒ですと多分報告書のほうには入っていると思います。多分データに対して90とか95ぐらいのところに入っていますから非常に高精度です。いわゆる横軸に実験データと縦軸に予測結果を示してみると、きちんと予測ができていると対角線上に乗るわけですが、著名な先生方がつくってくれた伝熱の式では、冷媒を変えると予測精度が大きく落ちることが多いのですが、AI予測では、見事なまでに予測できています。

【涌井委員】 分かりました。これを使える点のもう一つの大きなメリットとして、外挿領域にはなってしまうと思うのですが、これまでに学習していない組合せや冷媒で使えるとよいというのが一つポイントとしてあるのではないかと考えた次第です。この点はいかがでしょう。

【齋藤 SPL】 混合冷媒にも使えそうな状況であり、逆に言うと今回新しい冷媒が出てくるので、それを予測

試みてどれぐらいの予測精度があるかというのを今回ご提示できると考えております。

【涌井委員】 分かりました。ありがとうございます。あともう一点、資料 18 枚目になるのですが、こちらで先生のつくられたシミュレータですと、必要な能力を確保するのに冷媒量がどのぐらいあるとよいというのが分かって非常に重要な成果だと思うのですが、この下のほうにある冷媒量によらず LFL の 13 倍でよいといった方向に持っていけるといところのお話で先生のご研究の成果がどのようにつながっているのかをお聞かせください。

【齋藤 SPL】 逆に言うと、冷媒の充填量をいろいろ振ってみて、当然 LFL のほうは、前の発表のところ十分にやられているのですが、どのぐらいの充填量にしたときに機器性能が落ちるのか、落ちないといったことを確認させていただいたところです。

【涌井委員】 能力から見た場合にこの程度まででも保証できるというようなアプローチでしょうか。

【齋藤 SPL】 そうです。単純に LFL だけでやってしまうと、機器性能がガタ落ちするといったことが予想されましたので、そこと両方の掛け算でやらせていただきました。

【涌井委員】 よく分かりました。すばらしい研究成果をありがとうございました。

【丸田分科会長】 ほかにいかがでしょうか。それでは私から一つ、伝熱性能に与える冷媒の持つ特性と、それから機器側の持つ性能はどのように切り分けることが可能なのでしょうか。

【齋藤 SPL】 機器性能として大きく分かれるのが伝熱性能のところと、いわゆる冷媒が循環していますので、圧力損失になります。かなりの部分はその 2 つだと思っていただいて結構かと思えます。例えばすごく潜熱が小さい冷媒ですと、非常に多く回さなければいけないということで、冷媒をたくさん回しますから、結局伝熱性能がある程度よくなっても圧損で性能が落ちてしまう。例えばある冷媒ですと、もともと非常に性能がよくなると私も推定していたような冷媒でも、密度が小さいとなるとそれによって圧力損失が増えてしまう。せっかく熱力学的にはよさそうに見えても、機械に入れてみると圧損で駄目だというようなトレードオフが相当あることも分かったのが現実です。ですから、思ったものと違う結果も出て、研究している側としては非常に面白かったところです。

【丸田分科会長】 ありがとうございます。少し突飛な質問になりますが、将来例えば CO₂ のクレジットとか世界的に普及していくと、そういうことにも使えるのではないかと思ってしまうのですが、あまりにも性能が良過ぎると全てが分かってしまってどうかとも思うのですが、そのあたりで何かお考えをお持ちでしょうか。

【齋藤 SPL】 当然そういったところにいろいろツールとしても使っていけるとは思いますし、やはり大事なところは冷媒の漏洩による効果と、やはり機器を動かしたことによる、電力を使ったことによる CO₂ 排出の間の効果、そのあたりがどのぐらいどうなっているのかをよく分析しながら、クレジットあたりを決め込むことが大事と思っています。多分これからは、先ほど言いましたように電力を使ったことによる CO₂ 排出効果は一気に減っていきますので、徐々に冷媒の GWP が高いと効果が効いてくるようなことがあると思います。そのあたりもうまく反映されていくようなところに使っていけるとよいと思っている次第です。回答になっているでしょうか。

【丸田分科会長】 大変よく分かりました。どうもありがとうございました。それでは時間が参りましたので、以上といたします。

研究開発項目②「次世代冷媒の安全性・リスク評価手法の開発」

6.1.4 次世代冷媒の安全性・リスク評価手法の開発

実施者より資料に基づき説明が行われ、その内容に対し質疑応答が行われた。

- 【丸田分科会長】 ありがとうございます。ただいまのご説明に対しまして、ご意見、ご質問等ございますか。坂口委員お願いします。
- 【坂口委員】 ご説明ありがとうございます。15 ページに興味がございます。通常イメージ的には可燃性炭化水素系のポンプダウンができるのかというのが一つ頭にあったのですけれども、冷媒に添加剤を入れております。この添加剤というのは潤滑油と混ぜているのですか。
- 【伊藤特別契約研究員】 おっしゃるとおりです。
- 【坂口委員】 添加剤は市販されているもの、もしくは、これからされるのでしょうか。非常にこれの効果が出ていると書いてあり興味を持った次第です。
- 【伊藤特別契約研究員】 油メーカーにも協力いただいて、「これはどうですか」といった形で提案していただいたものを検証しているという形になります。後から出てきたものが、前よりもっとよい性能が出て「すごいぞ、すごいぞ」といったことをやってまいりました。
- 【坂口委員】 今までの常識では冷媒に添加剤を入れないというイメージですが、潤滑油に添加剤が入っているということですね。
- 【伊藤特別契約研究員】 そうです。
- 【坂口委員】 これは潤滑油メーカーのほうで開発されていくわけで、潤滑油として捉えればよいでしょうか。
- 【伊藤特別契約研究員】 潤滑油そのものは、今回示している範囲では同じものを使っています。
- 【坂口委員】 そうすると、性能の関係はこれからでしょうけれども、普通のプロン系だと性能に影響することはあるでしょうか。炭化水素ですとこれはどうなのかと気になりますが、燃焼性から見たら抑えられるということはメリットになるという印象です。ありがとうございます。
- 【伊藤特別契約研究員】 ありがとうございます。
- 【丸田分科会長】 ほかにいかがでしょうか。中島会長代理お願いいたします。
- 【中島分科会長代理】 16 ページの自己分解反応の話ですが、ここではHF0-1123 についてプロパンを添加すると抑制効果があるという結果だけを示されていたのですが、ほかの R1234yf とか R1234ze については調べていますか。
- 【伊藤特別契約研究員】 それはできておりません。やはり実験に結構負荷がかかるので、いろいろな種類の違うタイプのもの、一応オレフィン系で違うものというのは実験になくはなかったのですけれども、こういう抑制効果まで見られたのは HF0-1123 だけになります。ただ、プロパンが水素とフッ素の比率で水素が供給される量以上にたくさんプロパンを突っ込んでいくと、ほとんど反応しないガスとして振る舞うので非常に抑制が効いてくるといった理屈づけはされていますから、ほかでもこのぐらい入れたら同じように抑制できるのではないかといった話はざっくりであれば検討できますし、有望そうであれば実験するという事は次期プロでも考えようと思っています。
- 【中島分科会長代理】 今のプロパンを入れると抑制があるというもののメカニズムをもう一度伺えますか。
- 【伊藤特別契約研究員】 要するに自己分解反応のときは酸素がありませんから、プロパン自体は量が少ないと HF0-1123 の分解と一緒に少し反応してしまうのですけれども、たくさん入れてやるとほとんど不活性ガスのようになり、これ以上反応しませんといった形になります。
- 【中島分科会長代理】 それほど入れないと抑制しないのですか。
- 【伊藤特別契約研究員】 そうなります。2 割ぐらい入れて大体バランス的につり合います。それを超えてくると非常に抑制が効いてくる形です。
- 【中島分科会長代理】 例えばほかの R32 などを加えても抑制はされませんか。
- 【伊藤特別契約研究員】 ただ、GWP が大き過ぎますので、GWP を下げるといった目的で言うと R32 はほとんど入れられないです。

【中島分科会長代理】 そういう意味では、例えば午前中の話であったCF₃I等もそうですか。

【伊藤特別契約研究員】 そうなります。ただ、ただCF₃Iは、それはそれで安定性で悪影響が出るなど、そういう点は記載していないもののは実は途中にごさしまして、そのあたりに悩んで今のところプロパンが一番今まで試した中では効果的である、ただ燃焼性がといったところまで来ています。

【中島分科会長代理】 ほかのHF0に関しては、今年度以降の課題ということですか。

【伊藤特別契約研究員】 そうなります。HF0-1123に関しては加えるということで進めさせていただいてるといった状況です。

【中島分科会長代理】 分かりました。ありがとうございます。

【飛原PL】 飛原ですが、よろしいでしょうか。

【丸田分科会長】 お願いいたします。

【飛原PL】 説明の追加をさせていただきます。HF0-1123に対してプロパンを入れるとなぜ自己分解反応が抑制されるかというのは、物質の中のFの数とHの数が影響を及ぼしています。HF0-1123というのはFが非常に多くてHが少ないといった物質です。それでプロパンはFがないわけですから、Hを供給するような物質になっていまして、反応の中でFに対してHの数を増やしてあげると不均化が抑制されていく。不均化というのは基本的にFが存在することによって起こりますので、そういうようなFとHの数の比率を変えてあげると、不均化反応を抑制するような効果があるということが分かりました。それでHを供給する物質としてプロパンが非常に有効であるという、イメージ的にはそういったものになります。

【中島分科会長代理】 では、ほかにもHを供給するものがあれば、それを加えたらよいということですか。

【飛原PL】 そうなります。R32を加えても抑制されます。R32はHとFの数が同じなので、HF0-1123よりも抑制する効果が強いという話になります。

【中島分科会長代理】 分かりました。

【丸田分科会長】 ほかにいかがでしょうか。佐々木委員お願いします。

【佐々木委員】 着火モデルのところは具体的に何となく分かりやすいのですが、漏洩のモデルとしては、例えば先ほど少し産総研の報告にあったかと思えますけれども、配管のどこに開くとか、どれくらいの大きさが開くとか、さらにもっと根本的に言えば、エアコンが稼働時なのか止まっているときなのかというのが私自身整理できなかつたのですけれども。少し知っている分野でいくと、例えば漏洩の原因のモデルとしては統計的なデータを分析されているという感じなのですか。

【椎名主任研究員】 事故例で、実際に漏洩事故で着火しなかつた漏洩事故というのは、当然着火事故よりいっぱいあるわけですが、それが発覚するのは冷房の効が悪くなって見てみると冷媒量が下がっていることだと思います。その原因として穴を探すと溶接の継ぎ目であるとか、そういうところで穴があつて、どのくらいの大きさだったかということが分かるわけです。基本的にはそれを採用しているのですけれども、今回は穴の大きさをいろいろ変えるのではなく、エアコンが売られているときに持っている配管の一番太いものというのは分かっていることですから、今回の場合は室外機から配管が来て熱交換器につながっているところをノコギリで切ったりとか、熱交換器の中央付近に同程度の太さのパイプを持って行ってそこから噴くようにしたりとか、そういうもので調整しています。流量の調整は実は全くエアコンの外でコントロールしています。実機を使い、実機の配管に近いものも使っているのですけれども、ここでは説明していませんが、液で出すかそれともガス上で出すかは一応ポンプを使ってコントロールできます。今は基本的にはガスで出して、4分全量放出というのが一番早いものだということがIECで規定されているのですけれども、今回の実験では3分から20分に変えて実験しています。この事業の前事業でルート状のもので配管径を変えながら、もう少し狭い4畳半の部屋で、室内機は使わないで配管で出していることがあるのですけれども、配管から出して、何か壁に当て

で減速させないと、とにかく漏洩の速度で部屋の中の空気が拡散されるので、室内機ファンみたいなものがなくても非常に濃度が低くなります。エアコンはもともと上と下にすぐ空き口があるので、漏洩口のでき方によっては室内機のパッケージの箱に漏洩のガスが当たらないで直接外へ出る。そうすると十分部屋の空気が循環され、全然ガスがたまらず可燃性の領域はできなくなると思います。大体そういうようなことが試行錯誤で分かっています。

【佐々木委員】 ありがとうございます。

【丸田分科会長】 ほかにございますか。涌井委員お願いします。

【涌井委員】 最初の自己分解反応のところの16ページ目で、こちらの実用上の最悪条件を考えられているということですが、これは具体的にはどういうことが起こるといった条件になるのか。それが非常に可能性の少ないものなのか、現実的なのかという、そのあたりのシナリオが分からなかったのですが。

【伊藤特別契約研究員】 確率の評価までは、まだ日本冷凍空調工業会の参画が来ていない中で、まだちゃんとできていない状態で検討したものなのですけれども、状況としては一定速機のコンプレッサーの出口が中で塞がった状態で、しかもコンプレッサーの過負荷を止めるようなオーバーロードプロテクターが駄目になっているという状態でコンプレッサーがひたすら回り続ける。冷媒が大体HF0-1123を使ったこのぐらいの組成になるだろうという条件で設定されたのが圧力として6 MPaであり、温度に関してはコンプレッサーの磁石がこのぐらいの温度になると減磁してしまってコンプレッサーが回らなくなって圧力が上がらなくなるだろうということで、発生する確率としては複数の故障が重なるような確率的には低めだろうとは予想はされるものの、数字は出ていないところですから、それはきちんと見ておく必要があるだろうということで、こういう形でまずはこの条件で検証するといったところです。今並行して、日本冷凍空調工業会においてその確率が実際どうかを詰めていただいているため、それが出てくるとまた条件が動いてくると思います。

【涌井委員】 ありがとうございます。リスクマネジメントですから、そういう最悪のケースを考えることは非常に大事だと思いました。それとプロパンを添加する話で、自己分解反応が抑えられるという話はよく分かったのですが、この結果として冷媒特性としてはどのように変わるのですか。サイクルで見た場合にどういう方向に、プロパンは基本的には特性はいいとは思いますが。

【伊藤特別契約研究員】 性能的には改善する方向にいくのではないかという期待はしているのですが、伝熱特性を自分のところでやっているわけではありませんから、そこに関しては、まずはこういう事故が起こらない、組成をつくらないといったところです。

【飛原 PL】 飛原ですが、プロパンはルームエアコンの冷媒として単独でも使われようとしている冷媒ですから性能はそれほど悪くありません。したがって、HF0-1123にプロパンを混ぜるとそれほど悪くなく、よくなるかもしれない。ただし、一方よくない点は燃焼性が上がって微燃冷媒とならないといったところで、そこが一番大きな欠点だと思います。

【涌井委員】 ありがとうございます。私もそのように感じました。もう一つ実施された成果で性能評価の話において、圧縮機固定で運転するときではない場合の特性の違いが出るというのを具体的にスライドで出していただいたのですが、これをどのように JIS 規格のほうに働きかけていくとよいのだろうかと思ったところです。

【伊藤特別契約研究員】 このときに使った機種は数が限られていたところもありますが、例えば非常に低負荷になったときにこういう挙動傾向があるといったことを複数機種で示していく。そういう形で、一般的にこういう傾向がありますというところを抽出するところまで持っていけると、このあたりで性能の例えば変曲点みたいなものがあるとか、極端に下がるといったところで、もう少し詰めた議論ができるのではないかと思います。

【涌井委員】 よく分かりました。ありがとうございます。あともう一点、資料22 ページ目の着火源の話になります。非常に大量な分類をされていて印象深かったのですが、この結果、こちらの着火源に関しては、基本的にプロパンであれば問題がないのか、いずれにしても着火してしまうのかという基本的なところが追えなかったのが、すみませんが、補足していただけますか。

【今村教授】 まず、高温着火源のところ、たばこ等というのは着火しないことが分かりましたので、ホットプレートにつきましても、もちろん温度が700度、800度とかを超えれば着火に至る可能性はあるのですが、通常使われるホットプレートで700度、800度を家電製品でいくことはほとんどないと考えますので、これも着火に至らないと思います。電気系の着火源のほうですが、こちらは実はお手元の事業原簿には、横軸に消費電力、縦軸にエネルギーを取っているグラフが書いてあると思います。その横軸消費電力のところ、実際実験をやったところだと横軸は確か160Wを超えないと、一度も着火が見られていないという結果になっています。それで言いますと、扇風機といったところは40Wの小さいもの場合は着火には至らない。実際に実験をやってみても着火には至らなかったことが見られています。

【涌井委員】 そういう意味では、エネルギーという積算値だけでなく瞬時値、ワットも影響が大きいということでしょうか。

【今村教授】 そうなります。

【涌井委員】 分かりました。ありがとうございます。

【丸田分科会長】 ほかにいかがですか。高島委員お願いします。

【高島委員】 ルームエアコンのJIS改定の情報提供とあったのですが、これは改定の提案をされたということですか。

【今村教授】 そこまでは多分いっていないと思います。ルームエアコンではなく、業務用冷凍のほうはIEC規格に不十分な点がIEC60335-2-89で、まだこれだと評価するには不十分と思われるところが日冷工のほうであったということで、日冷工のほうで日本規格にはその改善を盛り込んだ規格にしたといった状況のようです。そこに時空積と着火確率で見たときに許容値を超えるような場合があった模様で、そこに今回私たちがやりました研究成果を盛り込むとその確率を下げることで、JIS規格にそれを反映させたものと伺っております。

【高島委員】 ありがとうございます。

【丸田分科会長】 それでは、私から幾つか伺います。たばこを単なる熱源といった考え方で取扱いをされていると思うのですが、たばこが燃焼していますと、静的な状態であればそこで燃料リッチな燃焼が起きていますので、たばこの周りは局所的に酸素供給がボトルネックになった状態をつくっています。したがって、環境中に燃料があっても反応しない。しかし、煙草を燃焼した状態で、要は乱暴にその空間に持っていきますと、その表面は着火源となりえると思います。基本的には、想定していないことで事故を出したくないという観点になるのですが、R290の場合は基本的に燃料ですので、火災とか安全の分野でかなりの量の研究が積み重ねられていると思います。「たばこが安全」と言ってしまうと一般的な受け取り方としてミスリーディングなメッセージになる可能性が懸念されるので、どのような言い方をされるか、注意を要すると思われます。「たばこは安全」と言ってしまう、別の方法でタバコに火を着けようとするれば、そちらが着火源となり笑えない話になります。そういう低次元の話だけではなく、いろいろなシナリオがあると思いますので、これから進められるときに、公開に至るまでの間に火災や安全を専門とされる方の見解も聞かれると、より良いと思いました。冷媒から、純然たる燃料まで範囲が及びますので、注意をするに越したことはないと思います。それが一点です。それからもう一点が、不均化は基本的にHFが生成する発熱反応が原因で密閉空間で圧力上昇が起こるものだと理解していますが、その密閉状態の中に、例えばR290が存在していると、それが配管の破断

によって漏洩したときに周囲に酸素がある状態になるわけです。これは基本的に今までの安全を管理しようという考え方からは少し外れたところになるので、そこについても慎重に検討いただいて、どういうメッセージをだされるか、規格についても工夫をされて、決してそういうことが起こらないようにしていただくのがより安全かと思います。ここまで詳細に分類された例はほかにございませんで、非常に信頼を受けますから、よろしくをお願いします。

【今村教授】 分かりました。ありがとうございます。

【丸田分科会長】 それでは時間が参りましたので、以上といたします。

(非公開セッション)

6.2 研究開発項目③「次世代冷媒及び次世代冷媒適用技術の開発
省略

7. 全体を通しての質疑
省略

(公開セッション)

8. まとめ・講評

【涌井委員】 大阪公立大学の涌井です。本日ありがとうございました。キガリ改正という非常に厳しい制約の下、冷媒が抱えなければいけない課題がたくさんある中で精力的に進められた事業につきまして皆様に感謝を申し上げたいと思います。また、今日お話を伺いまして、将来のアウトカムが大事であることに對して、この事業でのアウトプットも明確にお示しいただいた上で、それがいかに達成できたかというのも非常によく分かりました。また、コロナ禍を経て中間報告もありましたが、その後での目標修正を皆様積極的に考えられていることも非常に印象的でした。そして、このプロジェクトでは委託と助成事業がありますけれども、それプラスで調査事業が入ったことによって情報の収集や発信を積極的に行われていることが個人的には大きく印象に残った事業だったと思います。また、委託、助成それぞれ初期の目的に到達することができており、新しいプロジェクトが始まっておりますが、それに対する橋渡しになった事業であると考えます。本事業の成果が学术界や産業界で広く貢献できるものだと思いますし、この事業に関わられました皆様に深く御礼を申し上げたいと思います。本日はありがとうございました。

【丸田分科会長】 ありがとうございました。続きまして、高島委員お願いいたします。

【高島委員】 日本冷媒・環境保全機構の高島でございます。本日伺いまして、先ほどあったキガリ改正の問題に対してGWPを2036年までに10程度以下のものを上市しなくてはならないといった話でございます。それに対することや、また2029年に150以下という話において皆様、様々な機器を開発していただけたと言えらると思います。ただし、今使っている冷媒というのは、私どもの機構は冷媒管理システムRaMSというものをやっているのですが、物すごい機種、物すごい数の冷媒を使っているという問題があります。自然に新規のものは淘汰されていくと思っておりますが、今ある機械をまだ使い続けるので、今あるものをどうやって回収・再生して機械を延命しなくては行けないかといった話もございます。現状、メーカーや大学もありますが、先ほど涌井先生から話があったとおり、間に冷凍空調学会や日冷工が調査に入られているという話を聞いて非常によかったと思うとともに大変勉強になった次第です。

ありがとうございました。

【丸田分科会長】 ありがとうございました。続きまして、佐々木委員お願いいたします。

【佐々木委員】 日本大学の佐々木です。全体を見て我が国日本らしいきめ細かな目標設定と納期意識が高く、ほぼ全て達成された状況を見まして、さすがだと思いました。ただし、今後のことを考えれば、2025年問題であるとか、様々教育の現場を私も経験しまして、この体制を持続可能な形で維持することが非常にこれからの課題だと考えます。達成目標はクリアをしていますが、外的な要因でいろいろなことがまだ課題はありそうですので、関連業界も含めて、この体制の維持・発展するような志が必要と感じた次第です。以上になります。

【丸田分科会長】 ありがとうございました。続きまして、坂口委員お願いいたします。

【坂口委員】 日設連の坂口と申します。今日は非常に貴重な意見をありがとうございました。本日皆様の発表を聞きながら、我々の冷凍空調業界を支えてくれているところがいかに貴重なものかと実感し、その内容も非常に重要だと思った次第です。我々も冷媒動向については一番の関心事であり、最終的には大学関係者の方からの基礎研究、冷媒開発、メーカーの機器開発等、産学協同が一体にならないとこれを支えることは難しいと考えます。冷媒動向は1985年から始まりまして、オゾン層保護法からフロン排出抑制法、そしてまだまだこれからもグリーン冷媒等と変わっていきませんが、非常に重要な位置にあるということに改めて感じた一日でありました。ありがとうございました。

【丸田分科会長】 ありがとうございました。続きまして、中島会長代理お願いいたします。

【中島分科会長代理】 国立環境研究所の中島です。私は前期のプロジェクトの評価にも関わらせていただきましたが、そのときと比べて非常に今期は進んだというのが第一印象です。それに関して飛原PLをはじめ、実施者の皆様、NEDO 環境部の皆様に非常に敬意を表したいと思います。特に、前期でも冷媒の候補とかが出てきたのですが、毒性の問題等も種々あり、これで本当に現実に行くのだろうかと思ったところもありました。しかし今期は非常に夢のある話が多く、冷媒も相当実現性の高いような候補が出てきましたし、様々な機器をメーカーが開発されており、非常にうまくいっているというのが私の感想です。あともう一つ大きな点は、ASHRAE、IEC、ISO といった国際規格に多くの成果が登録されたということもございます。また論文をはじめとする成果も非常に多く発表されていることから、今期のプロジェクトは非常にうまくいっていたのではないかと思います。一方、そうは言ってもまだ実用化に対しては幾つか解決する必要がある課題が残っていることも今回の発表の中でありました。幸いNEDOの下、また今年から次期プロジェクトが始まったということをお聞きしましたので、非常に勇気づけられました。また5年間やっていくことで、かなりのところまでいけるのではないかと考えております。皆様、本当にご苦労さまでございました。引き続きよろしくお願いいたします。

【丸田分科会長】 ありがとうございました。それでは分科会長を仰せつかりました東北大学の丸田より講評をいたします。委員の皆様からいただいたご発言でもう全てカバーされていると思うのですけれども、私は燃焼が専門分野となりますので、その点で少し感じたことを述べさせていただきます。まず今回、大学における基礎研究、それから学協会における調整、そして飛原PLのハンドルによって全体が非常に最適化された形で開発までカバーされているといったことから、全てにおいて高い水準でプロ

プロジェクトが進行されたことに対し深く敬意を表します。その上で、気がかりなのはフロンに対する PFAS、PFOS のことです。要は、一気に燃料にいくのかどうなのかというのが中長期で少し気になるところでもあります。そうなった場合には、やはり今以上に分野間を超えた協力が必要になると考えますし、そのためには学生をはじめとする若い方にこういったフィールドにどんどん参画していただき、日本の熱に対する中核の技術を担っていただく体制を持っていただきたいと思います。それから、これは NEDO 及び経産省の方へのお願いになりますが、我々のコントロールできないところで物が決まってしまうところをただ傍観するだけではなく、従来いろいろありましたが、やはりそういうルールを決めるところに入っていただきたいと思います。人類が使う熱の量も増えるばかりですから、ますます大切な技術になっていくかと思われ、よりリーズナブルなところに技術を落ち着かせることが求められると思います。今日は大変頼もしく感じたとともに非常に勉強になった次第です。誠にありがとうございました。以上です。

【日野主査】 ありがとうございました。それでは、ただいまの講評を受けまして推進部長及び PL から一言いただければと思います。

【福永部長】 NEDO 環境部の福永です。本日は朝から長時間にわたりましてご審議を賜りましたことに、分科会長をはじめ、委員の先生方に感謝を申し上げます。また、これまで事業を進めてこられた飛原 PL、齋藤 SPL をはじめ、事業者の方々におかれましては、非常に大きな成果を出されたと先生方からも評価いただきましたが、高圧ガス保安法の改正や各種国際規格、また特許の取得など非常に多くの成果を出していただいたものと思っております。今後は特に欧州の F ガス、PFAS の動向も注視しながらプロジェクトを進めていく必要があると考えてございます。また、事業者の方々もおっしゃっていましたが、GWP、COP を評価した上で、さらにコストのバランスを取ってどのように社会に実装していくのかということも非常に重要な視点になると思います。これは環境価値をどうやって見える化していくかということにつながると思いますので、ぜひ政府とも連携しながらこうした取組を進めていきたいと考えます。最後に、我々 NEDO としてはこの事業の後継事業を既にスタートしておりますが、理事長以下を含め、技術開発だけではなく事業化にどう支援を広げていくのか、また、その成果をしっかりと世の中にアピールをしていき、体制をしっかりと維持しながら層の厚さを確保していくことに対し我々としてもしっかりと取り組んでまいり所存です。本日はありがとうございました。

【日野主査】 ありがとうございました。続きまして、飛原 PL お願いいたします。

【飛原 PL】 飛原でございます。本日は、長時間にわたりまして、分科会委員の皆様にご審議を賜りまして誠にありがとうございました。この冷凍空調関係の冷媒の低 GWP 化については、非常に長い間 NEDO の支援をいただいてプロジェクトが進んできております。それにより、大学の関係者も一生懸命社会ニーズに基づいた研究を推進していく体制ができていることは大変嬉しいことだと思います。ただ、いろいろ予算を取ることと考えますと、こんなに長い間やっていると、「そろそろやめたらどうだ」という声を聞くこともございます。「長い間やったのだから、もう解決したでしょう」と言われるのです。しかし、そうは言っても国際条約上の冷媒規制についてはどんどん新しいことが出てきて、ますます厳しい要求を突きつけられるわけで、何年経っても解決しない状況がここ最近続いているところです。一方、長い間やっていたらよいというものでもありませんが、着実に成果を上げることが重要と私自身思っております。そのためには大学と国研と産業界の間の連携というのは非常に重要だと考えます。委託事業というのは、うまくやらないと大学、国研がやりたい

ようにやってしまうところがございます。そうならないよう産業界のニーズをうまく取り入れ、その計画をその時々に応じて修正しながら大切なお金を使って研究をしていただくことに努めてきておりますし、今後もそういう方向でまいる所存です。それから、今回評価していただきましたけれども、後継の NEDO プロジェクトも今年から始まっております。私がまた PL を仰せつかっておりますから、今日様々伺いました意見をよく肝に銘じまして、新しいプロジェクトにおいても成果が上がるよう頑張っていきたいと思っております。改めまして今日はありがとうございました。今後ともどうぞよろしくお願ひいたします。

【日野主査】 ありがとうございました。それでは、ここで経済産業省製造産業局化学物質管理課オゾン層保護等推進室、課長補佐の兒玉様より一言いただきたいと思ひます。よろしくお願ひいたします。

【兒玉課長補佐】 委員の皆様、本日は長時間にわたり評価をいただきましてありがとうございました。様々な説明及び講評を聞かせていただき、前プロジェクトが国内法及び国内外の規格の改正のベースとなるような成果を挙げさせていただいており、これは世界にも誇れるような成果であると改めて感じております。また、その成果について委員の皆様が高く評価していただいたことも大変うれしく感じております。他方、皆様からもコメントがありましたとおり、キガリの上限値は 2024 年、2029 年、さらに 2034 年以降と段階的に下がっていく一方であり、さらには欧州の規制の課題も目の前にございます。長くプロジェクトを続けていただいておりますけれども、向かい風が吹く一方であり、そういった逆風の中、様々な課題に果敢に取り組んでいただいて本当にありがたく思ひます。既に現行のプロジェクト、「グリーン冷媒・機器開発事業」が始まっておりますけれども、まさに評価委員の皆様にもおっしやっていたいただいたとおり、このプロジェクトに関わっていただいている産学の層の厚さがこれまでの成果の基礎・基盤を築いてきたと思ひておりまして、これが現行プロジェクトの礎となっていると信じております。ご指摘もいただいたとおり、今後、ルール形成であるとか、今後の予算要求において、行政サイドとしてやるべき課題を認識し、今後とも皆様のご支援をいただきながらしっかり取り組んでまいりたいと思ひます。引き続きよろしくお願ひいたします。ありがとうございました。

【丸田分科会長】 どうもありがとうございました。それでは、以上で議題 8 を終了いたします。

9. 今後の予定

10. 閉会

配布資料

資料 1	研究評価委員会分科会の設置について
資料 2	研究評価委員会分科会の公開について
資料 3	研究評価委員会分科会における秘密情報の守秘と非公開資料の取り扱いについて
資料 4-1	NEDOにおける技術評価について
資料 4-2	評価項目・評価基準
資料 4-3	評点法の実施について
資料 4-4	評価コメント及び評点票
資料 4-5	評価報告書の構成について
資料 5	プロジェクトの概要説明資料（公開）
資料 6-1	プロジェクトの詳細説明資料（公開）
資料 6-2	プロジェクトの詳細説明資料（非公開）
資料 7-1	事業原簿（公開）
資料 7-2	事業原簿（非公開）
資料 8	評価スケジュール
番号無し	質問票（公開 及び 非公開）

分科会前に実施した書面による質疑応答は、全ての質問について質問または回答が非公開情報を含んでいるため、記載を割愛する。

以上