

次世代冷媒・冷凍空調技術の基本性能・最適化・ 評価手法および安全性・リスク評価

2021 年度プログレスレポート

公益社団法人日本冷凍空調学会 次世代冷媒に関する調査委員会

2022 年 6 月 1 日

目次

1. はじめに.....	2
2. 調査委員会の目的・体制と活動状況.....	3
2.1 はじめに.....	3
2.2 背景.....	3
2.3 調査目的.....	3
2.4 調査体制.....	3
2.5 調査内容.....	5
2.6 調査委員会の活動結果.....	6
2.7 ワーキンググループ（WG）の活動結果.....	6
2.8 本プロGRESSレポートについて.....	8

分冊：

第1部	次世代冷媒の基本特性・性能評価 WGⅠの進捗
第2部	次世代冷媒の安全性・リスク評価 WGⅡの進捗
第3部	次世代冷媒の規制・規格の調査 WGⅢの進捗
第4部	機器性能評価手法 WGⅣの進捗

1. はじめに

公益社団法人日本冷凍空調学会

次世代冷媒に関する調査委員会委員長 井上 順広（東京海洋大学）

地球温暖化を抑制するため、動力用、産業・家庭用冷凍空調機器等の次世代作動媒体として HFCs フロンから温暖化係数の小さな低 GWP 作動媒体や自然媒体への転換が急がれている。そのため、新規に開発・提案されている低 GWP 冷媒の基本物性評価、及びそれを適用した省エネ冷凍空調機器の早期開発・最適化・性能評価の必要性がこれまで以上に高まっている。また、新規代替候補となる炭化水素を含めた低 GWP 次世代冷媒は安全性に対する課題（燃焼性、化学不安定性等）があるため、次世代冷媒の基本的特性の把握及び使用時の安全性・リスクの標準的な評価手法の確立が不可欠となっている。そのため、公益社団法人日本冷凍空調学会では NEDO 調査事業の「省エネ化・低温室効果を達成できる次世代冷凍空調技術の最適化及び評価手法の開発」（平成 30 年 9 月～令和 5 年 2 月）の委託を受けて、平成 30 年 9 月より研究調査事業を行っている。

学会の「次世代冷媒に関する調査委員会」では、NEDO 委託事業の研究開発項目①「次世代冷媒の基本特性に関するデータ取得及び評価」を WG I，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」を WG II，「国内外における次世代冷媒に係る規制，規格，機器開発，性能評価等の動向調査」を WG III として調査委員会内に設置している。そして、令和 3 年度から新たに早稲田大学の齋藤潔教授を主査とする WG IV「機器性能の評価手法」を設置している。NEDO 委託事業の中間評価では、各事業とも高い評価を得ており、本調査委員会ではこれまでの運営を変更することなく継続して、各 WG にて適時、主題を絞った研究開発・調査事項の進捗報告・情報交換・取りまとめを行い、これら研究開発の成果を大学・研究機関と工業会との情報共有・意見交換を図る場として一役を担うこととした。また、調査委員会での進捗報告・情報共有によって、各 WG・委託事業の成果が効率的に国際規格・国際標準化等へ結び付くこともねらいとしている。そのため、調査委員会では NEDO 委託事業における各研究開発項目で年度毎の進捗・成果等の情報を取りまとめ、次世代冷媒の基本特性評価及びそれを使用した省エネ冷凍空調機器の開発・最適化と次世代冷媒の冷凍空調機器への適用に係る安全性・リスク評価に早期に還元・利用できるよう公表を行っている。

本報告は、中間年での NEDO 事業評価で継続された 4 年目の各 WG・委託事業の進捗・成果の取りまとめを行ったものである。コロナ禍で、研究推進には多々支障が生じる中、本 NEDO 委託事業はほぼ計画通りに進められ、本年度も貴重な多くの成果が得られ各 WG 毎にまとめられている。多種多様な次世代冷媒が開発されているが、地球温暖化や HFCs フロンの段階的削減を達成し、安全性が高く、高効率で使用機器に最適な決定的に優位な冷媒はなく、次世代冷媒の探求は変わらず途上過程である。これら事業の継続によって、期限毎に設定された国際的規制を達成するとともに、今後も国際規格・標準に結び付く多くの成果が引き続き公表されることと思う。また、国際的な学術研究面での先導性を維持し、同時に日本の冷凍空調産業が安全性・高効率・信頼性を国際的に先導することに繋がり、継続して発展することを期待する。

2. 調査委員会の目的・体制と活動状況

公益社団法人日本冷凍空調学会

次世代冷媒に関する調査委員会副委員長 上村 茂弘（日本冷凍空調学会）

2.1 はじめに

公益社団法人日本冷凍空調学会（学会）は、2018年度よりNEDO調査事業「省エネ化・低温室効果を達成できる次世代冷凍空調技術の最適化及び評価手法の開発/次世代冷媒に係る安全性・リスク評価に関する検討」を実施している。この事業を遂行するため、2018年度に情報交換、討議、計画審議等を実施する調査委員会及びワーキンググループ（WG）設置した。

本レポートは、2021年度における、これらの活動の成果を取りまとめたものである。

2.2 背景

2016年のモントリオール議定書キガリ改正によりHFC類の生産及び消費量の段階的な削減義務が追加され、これまで以上に低温室効果の冷媒の基本物性評価及びそれを適用した省エネ冷凍空調機器の早期開発・最適化・性能評価手法確立の必要性が生じてきた。一方で、候補となる次世代冷媒（低GWP冷媒）は安全性に対する課題（燃焼性、化学的不安定性等）があるため、これら次世代冷媒の基本的特性、性能の把握及び使用時の安全性・リスクの標準的な評価手法の確立が不可欠となっている。

2.3 調査目的

NEDO委託事業「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」では、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」、及び研究開発項目②「次世代冷媒の安全性・リスク評価手法の開発」が推進されている。日本冷凍空調学会が実施する調査事業の目的は、これらの研究開発の成果を効率的に国際規格化・国際標準化等へ結び付けることをねらいとして、委託事業における各研究開発項目を横断して、進捗にともなう課題の抽出、結果等の情報を取りまとめ、国内外への発信に繋げることにある。このため、次世代冷媒の基本特性評価及びそれを使用した省エネ冷凍空調機器の早期開発・最適化・性能評価と冷凍空調機器への適用に係る安全性・リスク評価に関する手法と成果の調査を実施する。

2.4 調査体制

学会内にNEDO事業の研究開発実施者、産官学の有識者等からなる調査委員会を設置している。さらに委員会内に課題別の4つのWGを設置しており、この体制図をFig.2-1に示す。

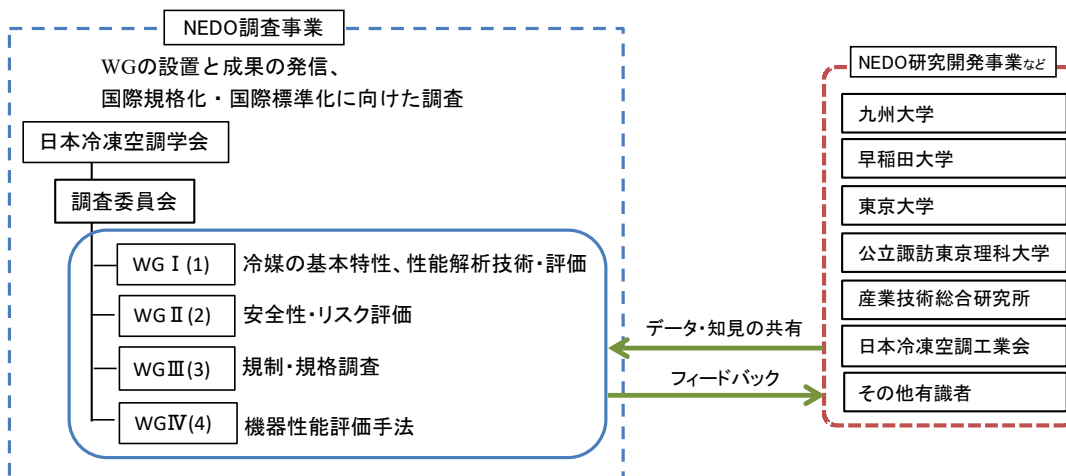


Fig.2-1 Interacting structure of research project

1) 調査委員会

調査委員会は下記の役割を持つ。

- ・各 WG の実施状況について情報交換し、全体を通しての進捗状況を確認・整理する。
- ・提供された情報の取りまとめ方法、さらに対外的発信する内容についての審議を行う。
- ・各 WG でまとめられた内容を「プログレスレポート」として毎年度公表する。
- ・4回/年程度の開催を行う。

調査委員会のメンバー構成を Table2-1 に示す。

Table 2-1 Member of research project committee (As of 3/2022)

	氏名	所属	
委員長	井上 順広	東京海洋大学 教授	
副委員長	上村 茂弘	日本冷凍空調学会	
委員	有識者	香川 澄	防衛大学校 教授
		越野 一也	高圧ガス保安協会 理事
		岸本 哲郎	環境エネルギーネットワーク 21 理事長 (WGIII 主査)
		片岡 修身	日本冷凍空調学会 ISO 国内分科会主査
		宮良 明男	日本冷凍空調学会 ASHRAE 日本国内分科会主査
		佐藤 晋一郎	日本冷凍空調学会 総務/会計担当理事
	NEDO 受託事業者	東 之弘	九州大学 教授
		滝澤 賢二	産業技術総合研究所 主任研究員
		齋藤 潔	早稲田大学 教授 (WG I, WGIV 主査)
		飛原 英治	大学改革支援・学位授与機構 教授 (WG II 主査)
		今村 友彦	公立諏訪東京理科大学 准教授
	業界 (日冷工)	椎名 拓海	産業技術総合研究所 主任研究員
		岡田 哲治	日本冷凍空調工業会 専務理事
	オブザーバー	酒井 猛	日本冷凍空調工業会 技術部長
川内 拓行, 池田 桃恵		経済産業省オゾン層保護等推進室	
事務局	藤垣 聡, 佐野 享 牛腸 誠, 高橋 辰彦 田村 光祐	NEDO 環境部	
	河野 恭二	日本冷凍空調学会 事務局長	
	西口 章	日本冷凍空調学会	

2) WG

WG は下記の役割を持つ。

- ・ NEDO 受託事業の研究開発実施者、業界団体、その他の有識者間の情報交換の場とする。
- ・進捗状況に関しての意見交換を適時行うとともに、討議を踏まえ、調査委員会へ提供する情報の調整を行う。

2021 年度は、従来の 3 WG に WGIV が加わり、下記 4 WG となった。

WG I 次世代冷媒の基本特性、性能評価

WG II 次世代冷媒の安全性・リスク評価

WG III 次世代冷媒の規制・規格調査

WG IV 機器性能評価手法検討

WGIV の設置の経緯は、以下のとおりである。

- ・機器性能評価手法に関しては、2020 年度までは WG I において、性能解析技術の一環として早稲田大学が検討を行ってきたが、2021 年度からは東京大学においても機器性能評価に関するテーマを追加して検討することになった。
- ・機器性能試験方法および評価方法の改善のニーズは高く、関連団体である日本冷凍空調工業会、日本空調冷凍研究所、日本電機工業会においても、種々の検討が行われている。
- ・新たに機器性能評価手法に関する WG を設置して横断的に検討を進めることが有効との提案が 7 月の調査委員会にてなされ、承認された。

各 WG のメンバー構成を Table2-2 に示す。

Table 2-2 Member of working group (As of 3/2022)

WG	内容	主査	メンバー
WG I 次世代冷媒の 基本特性・性能 評価	次世代冷媒の ➤ 基本特性に係る データ共有 ➤ 性能解析手法に係る 検討 ※国際規格化・標準化等 を見据えたものとする。	早稲田大学 齋藤 潔 教授	東 之弘 (九州大学)、宮良 明夫 (佐賀大学) 赤坂 亨 (九州産業大学)、山口 誠一 (早稲田大学) 榎木 光治 (電気通信大学) ※オブザーバーとしてNEDO、日冷工が参加
WG II 次世代冷媒の 安全性・リスク 評価	次世代冷媒の ➤ 安全性・リスク評価 (主としてHCに関わるものか らスタート) ※国際規格化・標準化等 を見据えたものとする。	大学改革支援 学位授与機構 飛原 英治 教授	滝澤 賢二 (産業技術総合研究所) 今村 友彦 (公立諏訪東京理科大学) 椎名 拓海 (産業技術総合研究所) 伊藤 誠 (東京大学) ※オブザーバーとしてNEDO、日冷工が参加
WG III 次世代冷媒の 規制・規格調査	次世代冷媒の ➤ 規制・規格の調査 ➤ 国際規格化・標準化 への提案調査	環境エネルギー ネットワーク21 岸本 哲郎 理事長	片岡 修身 (ダイキン工業) 宮田 征門 (国土技術政策総合研究所) 東條 健司 (早稲田大学) 松本 一哉 (高圧ガス保安協会) ※オブザーバーとしてNEDOが参加
WG IV 機器性能評価 手法検討	機器性能に係る ➤ 試験方法の検証 ➤ 性能評価手法の検討	早稲田大学 齋藤 潔教授	飛原 英治 (大学改革支援学位授与機構) 鄭 宗秀、ジャンネッティ・ニコロ (以上早稲田大学) 陳 昱、伊藤 誠 (以上東京大学) 片岡 修身、村田 勝則 (以上ダイキン工業) 坂下 俊 (パナソニック)、中川 英知 (三菱電機) 高藤 亮一 (日立ジョンソンコントロールズ空調) 谷 達也、平田 亮太 (以上日本冷凍空調研究所) 室園 宏治、大井手 正彦 (以上日本冷凍空調工業会) ※オブザーバーとしてNEDO、JEMA、日冷工等が参加

2.5 調査内容

次世代冷媒を適用した省エネ冷凍空調機器の実用化開発に係る冷媒基本特性・最適化・性能評価及び安全性・リスク評価について、以下の情報収集・取りまとめを実施する。

- 1) 次世代冷媒に係る規制，規格等の動向調査（調査委員会 WGIII関連事項）
 - ・国内外における次世代冷媒に係る規制動向，既存の安全規格（国際規格，国際標準，業界規格等），性能評価の情報を収集・整理し，新たな策定・改正等の動向に関する情報収集・整理を行う。
 - ・国内外における次世代冷媒の基本的特性の研究及び標準化の動向，機器開発における最適化・性能評価の動向を情報収集・整理し，新たな基本的特性・性能評価の標準化及び機器開発における動向に関する情報収集・整理を行う。
- 2) 次世代冷媒及びその適用機器の使用時における基本特性・最適化・安全性・リスクに係る課題の抽出及びその対応方法に係る調査（調査委員会 WG I，II，IV 関連事項）
 - ・次世代冷媒の基本特性及びそれらを適用した省エネ冷凍空調機器の早期開発・最適化に関する課題，及び進捗にともなう課題の抽出とその対応方法の調査を行う。
 - ・次世代冷媒を適用した省エネ冷凍空調機器のシステムの最適化・性能評価に関する課題，進捗に伴う課題の抽出と，その対応方法の調査を行う。
 - ・上記を踏まえ，次世代冷媒及びその適用機器を最適に安全に使用するための対応方法を情報収集・整理する。
 - ・次世代冷媒の安全性・リスク評価手法の開発に関する課題，進捗にともなう課題の抽出と，その対応方法の調査を行う。

- 3) 次世代冷媒及びその適用機器に係る安全性・リスク評価手法に関する国際規格化・国際標準化に向けた調査（調査委員会 WGⅢ関連事項）
- ・上記 1), 2)の調査結果及び NEDO 委託事業「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」における次世代冷媒及びその適用機器の安全性・リスク評価手法に関する研究開発結果を踏まえ、国際規格・国際標準等へ提案すべき内容を情報収集・整理する。

2.6 調査委員会の活動結果

1) 開催日と主要議題

Table 2-3 Result of research project committee

通算回	開催日	主要議題
第 10 回	2021 年 4 月 20 日 (火) Web 会議	<ul style="list-style-type: none"> ・2020 年度プログレスレポートの審議 ・各 WG の 2021 年度計画 ・対外発信および学会年次大会 WS の件
第 11 回	2021 年 7 月 15 日 (木) Web 会議	<ul style="list-style-type: none"> ・2020 年度プログレスレポートの公表状況 ・各 WG の進捗状況 ・WG IV の設置について
第 12 回	2021 年 10 月 21 日 (木) Web 会議	<ul style="list-style-type: none"> ・各 WG の進捗状況 ・2021 年度プログレスレポート作成について ・対外発信について
第 13 回	2022 年 1 月 20 日 (木) Web 会議	<ul style="list-style-type: none"> ・各 WG の進捗状況及び次年度の予定 ・対外発信について ・2022 年度ファイナルレポートの作成について

2) 対外発信の結果

2021 年度に行った主な対外発信は、以下のとおりである。

① 2020 年度プログレスレポート

2021 年 7 月、学会のホームページにて公表を行なった。

https://www.jsrae.or.jp/committee/jisedai_R/jisedai_R.html

② 学会年次大会（2021 年 9 月：東京工業大学，Web 開催）にて，調査委員会がオーガナイザーとなるワークショップ「次世代低 GWP 冷媒の安全性・物性・伝熱・サイクル性能評価」を開催し，成果報告を行なった。ワークショップでの発表テーマ計 17 件と他の一般セッションでの冷媒関係発表テーマ一覧は，本プログレスレポート第 3 部を参照されたい。

③ 日冷工「環境と新冷媒国際シンポジウム」（2021 年 10 月，Web 開催）にて，NEDO 事業の成果に係る発表があった。冷媒の安全性評価分野が 5 件，リスクアセスメント分野が 5 件，システム性能試験方法，評価方法分野が 2 件であった。発表テーマ一覧は，本プログレスレポート第 3 部を参照されたい。

④ HFO2021 国際会議（2021 年 6 月，Web 会議）が開催され，この中で，NEDO 事業の成果に係る発表として，熱物性分野が 8 件，システム性能評価分野が 2 件，伝熱分野が 6 件であった。発表テーマ一覧は，本プログレスレポート第 3 部を参照されたい。

2.7 ワーキンググループ（WG）の活動結果

各 WG の 2021 年度の実施結果は以下のとおりである。

2021 年度は調査委員会にて，機器性能評価及び評価手法に焦点を絞った，関連団体横断的な協議体設立の提案があり，新たに WG IV として発足している。

① WG I（次世代冷媒の基本特性・性能評価 主査：早稲田大学 齋藤教授）

計 5 回開催し，各研究開発の進捗状況報告，日冷工を混えた意見交換を通じ，基本特性である冷媒物性や，応用特性である伝熱データのまとめ，さらには，それらを基にした性能評価，解析手法に

ついて、実用的観点から実施内容の調整と方向付けを行い、より効果的な進め方の確認を行ってきた。また、研究開発成果について多数の対外発表を実施し、好評を得ている。

Table 2-4 Result of WG I meeting

通算回	開催日	主要議題
第10回	2021年4月16日(金) 15:00-16:40 Web会議	<ul style="list-style-type: none"> ・2020年度プロGRESSレポートの確認 ・九大G, 早稲田Gの今後の進め方に関する議論 ・日冷工国際シンポ, 学会年次大会への参加の件
第11回	2021年6月25日(金) 15:00-17:00 Web会議	<ul style="list-style-type: none"> ・HFO熱力学表(JAREF)の紹介 ・混合冷媒沸騰熱伝達の検討状況説明, 質疑 ・性能シミュレータの開発状況
第12回	2021年9月17日(金) 15:00-17:00 Web会議	<ul style="list-style-type: none"> ・冷媒熱物性関連の対外発表状況 ・冷媒充填量評価装置を使用した実験の進捗 ・性能評価装置による試験結果
第13回	2021年12月3日(金) 15:00-17:10 Web会議	<ul style="list-style-type: none"> ・R131Iの物性評価, 状態方程式検討の状況 ・伝熱データベースの構築状況 ・早稲田大G実施テーマの進捗状況
第14回	2022年2月8日(火) 16:30-18:40 Web会議	<ul style="list-style-type: none"> ・R131Iの物性評価, 状態方程式検討の状況 ・伝熱データベースの構築状況 ・早稲田大G実施テーマの進捗状況

- ② WGII (次世代冷媒の安全性・リスク評価 主査：大学改革支援・学位授与機構 飛原教授)
各研究開発の進捗状況報告, 日冷工を混えた意見交換を通じ, 今後の規格改訂提案に向けたデータ蓄積の種類と方法に関する確認がなされ, その進め方を明確にすることができた。
また, 研究開発成果について多数の対外発表が実施され, 好評を得ている。

Table 2-5 Result of WG II meeting

通算回	開催日	主要議題
第11回	2021年4月15日(木) 10:00-12:10 Web会議	<ul style="list-style-type: none"> ・2020年度プロGRESSレポートの要約版作成とこの英訳版公表の趣旨, 日程について ・実施4テーマの今年度計画説明, 質疑
第12回	2021年7月8日(木) 13:30-15:40 Web会議	<ul style="list-style-type: none"> ・2020年度プロGRESSレポートの英訳版(全編)作成の進め方, 日程について ・実施4テーマの進捗状況説明, 質疑
第13回	2021年9月22日(水) 13:30-15:20 Web会議	<ul style="list-style-type: none"> ・実施4テーマの進捗状況説明, 質疑(特に, リスク評価, 着火源分析, 混合系の燃焼性機構等) ・日冷工シンポへの発表テーマ
第14回	2021年12月2日(木) 13:30-15:50 Web会議	<ul style="list-style-type: none"> ・冷媒着火時の危害度の分析, 評価法 ・レーザーブレークダウンの着火性実験結果 ・混合系濃度分布のある燃焼性評価
第15回	2022年2月17日(木) 13:30-16:00 Web会議	<ul style="list-style-type: none"> ・漏洩シミュレーションによるリスク評価 ・実規模の急速漏洩時フィジカルハザード評価 ・来年度ファイナルレポート(和・英)作成日程

- ③ WGIII (次世代冷媒に関わる規制・規格等の調査 主査：環境エネルギーネットワーク 21 岸本理事長)

関連する規制, 規格の調査の範囲, 国内外規制, 規格の改訂動向, 対象となる次世代冷媒の方向性等についての議論を重ねた。また, 学会が実施する調査事業(海外調査, HFC代替冷媒動向調査等)に対して, 提案, 支援を行ない, 調査の方向付けに寄与した。

Table 2-6 Result of WGIII meeting

通算回	開催日	主要議題
第10回	2021年4月 メール審議	・2020年度プログレスレポートの内容
第11回	2021年7月6日(火) 15:00-16:40 Web会議	・今年度調査事業の進め方 ・関連する国際規格の最近の動向(片岡委員) ・新WGIVの設立について
第12回	2021年10月5日(火) 15:00-16:20 Web会議	・今年度の調査実施内容説明, 質疑 ・建築関係の規制, 規格の最近の動向(宮田委員) ・IPCC第6次報告書でのGWP見直し紹介
第13回	2022年1月6日(木) 13:30-15:00 Web会議	・中国の冷媒動向調査(中間報告) ・今年度のプログレスレポートの構成案 ・WG I, II, IVの活動状況紹介
第14回	2022年3月28日(月) 16:00-17:40 Web会議	・最新の規格動向情報の説明, 質疑(片岡委員) (安全規格, 性能規格) ・今年度のプログレスレポートの内容

④ WGIV (機器性能評価手法検討 主査: 早稲田大学 齋藤教授)

2021年度に設立されたWG.

実施中の研究開発内容の状況報告をもとに, 機器性能評価のデータ集約, 評価手法, 試験法について意見交換を実施し, 課題と今後の進め方についての検討を行った.

Table 2-7 Result of WG IV meeting

通算回	開催日	主要議題
第1回	2021年9月14日(火) 15:00-17:30 Web会議	・WGIV設立の背景, 目的と体制 ・NEDO事業者, 関連団体での取組内容紹介 ・今後の進め方
第2回	2021年11月25日(木) 13:30-15:45 Web会議	・NEDO事業者(東大, 早稲田大)の進捗報告, 質疑 ・負荷固定試験の課題と対応(片岡委員) ・負荷固定試験実施状況(日空研)
第3回	2022年3月2日(水) 13:30-15:30 Web会議	・圧縮機周波数非固定での性能試験結果(東大) ・エミュレータ使用性能試験の結果(早稲田大): ・JEMA, 日冷工での取組内容説明

2.8 本プログレスレポートについて

2021年度成果の取り纏めとしてのプログレスレポートは, NEDO調査事業の概要と調査委員会及びWGにおける推進体制, 活動概要について述べた後, 各WG活動の詳細紹介として下記の分冊4部よりなっている.

- 第1部 WG I 次世代冷媒の基本特性, 性能評価
- 第2部 WG II 次世代冷媒の安全性・リスク評価
- 第3部 WG III 次世代冷媒の規制・規格調査
- 第4部 WG IV 機器性能評価手法検討

なお, 掲載内容は調査委員会として, NEDO事業を通じて得られた成果について取り纏めたものであり, 公表を前提としていることから, 内容が限定されており, 必ずしもNEDO事業全般の進捗報告とはなっていない. 一方, NEDO事業ではない業界団体等による関連の成果報告も含まれている.