

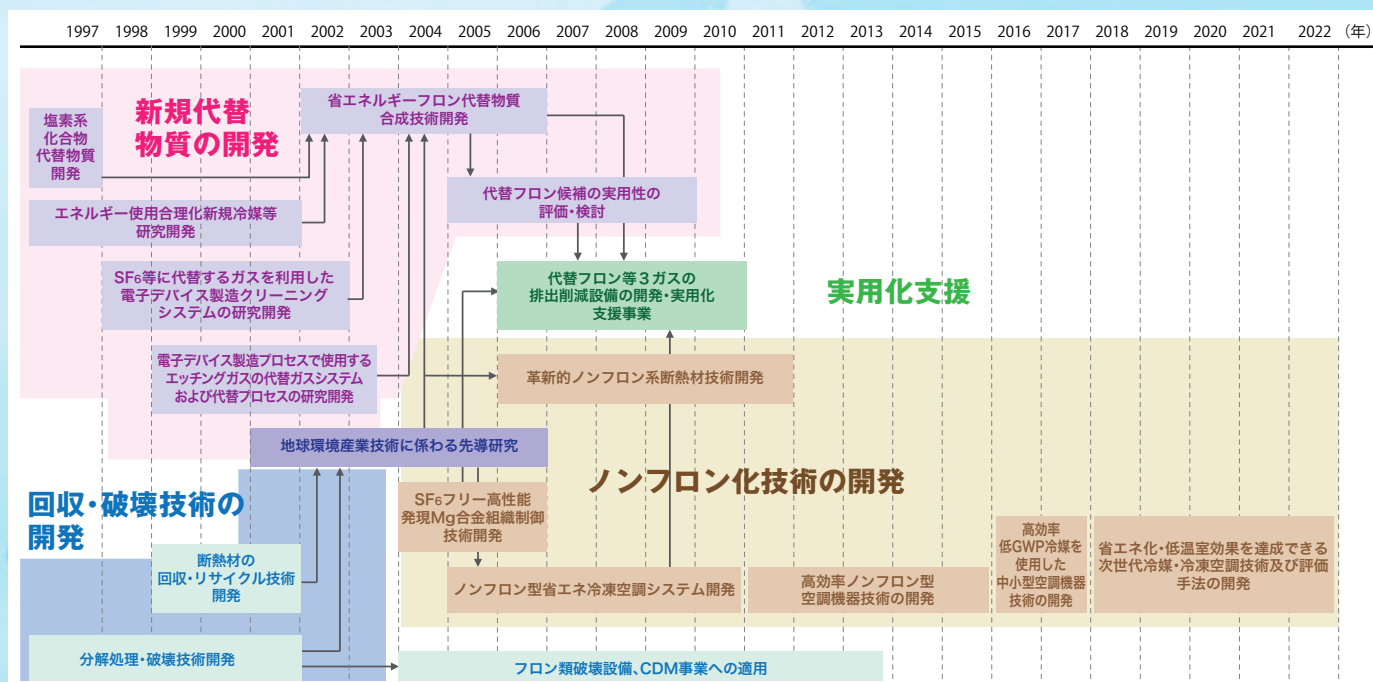


# NEDO環境部 フロン対策分野のあゆみ 2021



# INDEX

<b>I. 研究開発の背景と目的</b> .....	<b>1</b>
フロン類を巡る規制とフロン対策の流れ .....	1
フロン類に対する国際規制の変遷 .....	2
フロン類に対する日本国内の規制 .....	3
<b>II. 技術開発プロジェクト紹介</b> .....	<b>5</b>
HFC-23破壊技術の開発 .....	5
冷媒フロンのケミカルリサイクル技術の開発 .....	7
省エネルギーフロン代替物質合成技術開発 .....	9
塩素系化学物代替物質開発 .....	10
SF <sub>6</sub> 等に代替するガスを利用した電子デバイス製造クリーニングシステムの研究開発 .....	11
SF <sub>6</sub> フリー高性能発現マグネシウム合金組織制御技術開発 .....	13
代替フロン等3ガスの排出削減設備の開発・実用化支援事業 .....	14
ノンフロン型省エネ冷凍空調システム開発 .....	15
革新的ノンフロン系断熱材技術開発プロジェクト .....	17
高効率ノンフロン型空調機器技術の開発 .....	18
高効率低GWP冷媒を使用した中小型空調機器技術の開発 .....	20
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 .....	21
<b>III. プロジェクト一覧表</b> .....	<b>23</b>



# I. 研究開発の背景と目的

## フロン類を巡る規制とフロン対策の流れ

1987年のモントリオール議定書採択以降、特定フロンから代替フロンへの転換が進み、特に冷凍空調機器分野における温室効果ガス排出量が急増しています。また、1992年に地球温暖化を防止するための「気候変動枠組条約」が採択され、これに基づき1997年には「京都議定書」が採択されました。日本は第1約束期間（2008年～2012年）に、1990年比で温室効果ガス6%削減の目標を達成しました。

2015年にはパリ協定が採択され、日本は2030年度において、2013年度比で温室効果ガス26%削減を目標としています。さらに2016年にはモントリオール議定書の改正（キガリ改正）が行われ、代替フロン（HFC）の生産・消費量について段階的な削減が求められることとなりました。日本国内では「フロン類の使用の合理化及び管理の適正化に関する法律」（フロン排出抑制法）によって冷媒空調機器における目標GWP値を定めていますが、これを達成する冷媒を用いても、キガリ改正で求められる規制に対応するには不十分と考えられます。

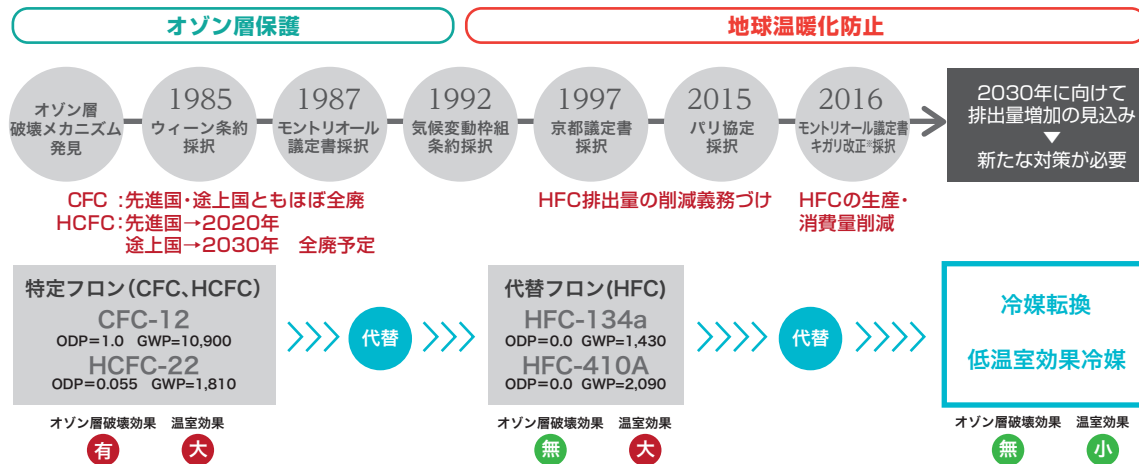
経済産業省では2020年7月にフロン類使用見通しを改訂し、削減目標クリアのためにより低いGWPの冷媒適用の実現を目指しています。また、2050年カーボンニュートラルの宣言を踏まえ、HFCを始めとするフロン類においてもより一層の排出量削減対策が急務となっています。

＜地球温暖化防止に向けて削減が必要な主な物質＞

総称	特定フロン		代替フロン等4ガス			
			代替フロン等3ガス			—
種類	<b>CFC</b> (クロロフルオロカーボン)	<b>HCFC</b> (ハイドロクロロフルオロカーボン)	<b>HFC</b> (代替フロン) (ハイドロフルオロカーボン)	<b>PFC</b> (パーフルオロカーボン)	<b>SF<sub>6</sub></b> (六フッ化硫黄)	<b>NF<sub>3</sub></b> (三フッ化窒素)
国際規制	モントリオール議定書 対象物質（生産・輸入規制） 京都議定書対象外		京都議定書・パリ協定対象物質 (NF <sub>3</sub> は2013年より)			
オゾン層破壊効果	大きい	比較的 小さい	まったくオゾン層を破壊しない			
温室効果 (GWP <sup>*1</sup> )	極めて大きい (約10,000)	大きい (数百～約2,000)	大きい (数百～約4,000) <sup>*2</sup>	極めて大きい (約6,000～9,000)	極めて大きい (約23,900)	極めて大きい (約17,200)
主な用途	・冷凍空調機器の 冷媒 ・洗浄剤、溶剤等 (95年以降全廃済み)	・冷凍空調機器の 冷媒 ・洗浄剤、溶剤等 (2020年全廃予定)	・冷凍空調機器の 冷媒 ・断熱材の発泡剤等	・半導体、液晶製 造 ・洗浄剤、溶剤	・電気絶縁機器 ・半導体、液晶 製造 ・マグネシウム 製造	・半導体、液 晶製造等

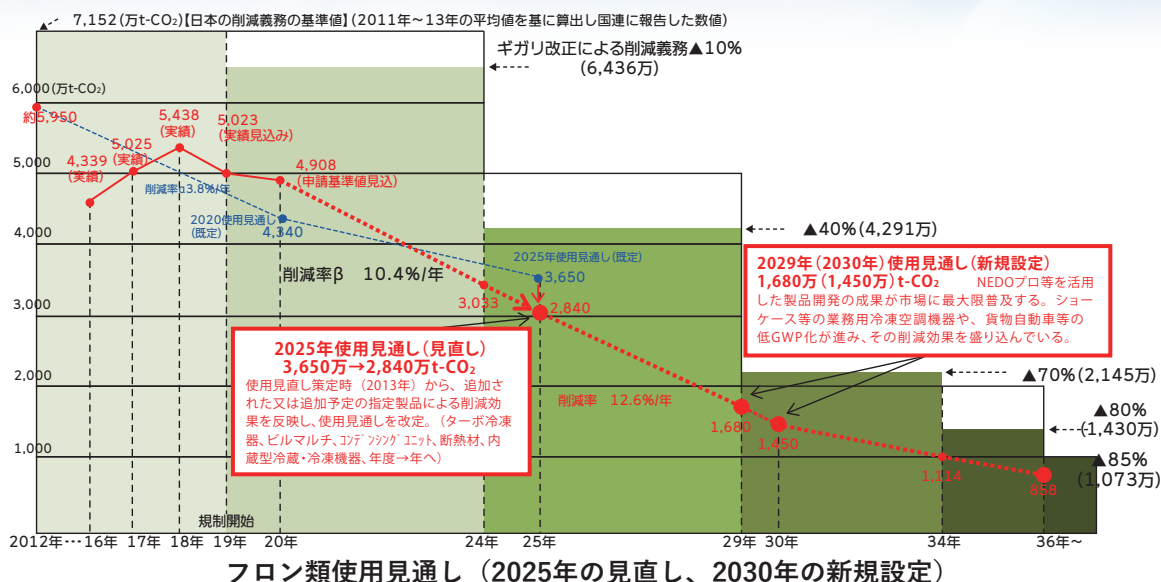
\*1 GWP：地球温暖化係数（CO<sub>2</sub>の何倍の温室効果を有するか表す値）

\*2 主な冷媒種としての値



ODP: オゾン層破壊係数。CFC-11を1.0として、オゾン層に与える破壊効果の強さを表す。

\*キガリとは、ルワンダの首都キガリのことで、モントリオール議定書第28回締約国会合（MOP28）開催地。その会場でモントリオール議定書改正が採択されたことに因んで、その改正は「キガリ改正」と呼ばれる。



出典：産業構造審議会 製造産業分科会フロン類等対策ワーキンググループ（2021年3月3日）資料

## フロン類に対する国際規制の変遷

### ・モントリオール議定書及びキガリ改正

1985年に採択された「オゾン層保護に関するウィーン条約」に基づき、フロン規制のための国際枠組みとして「モントリオール議定書」（1987年）が採択され、先進国における特定フロン等(CFC、HCFC等)の生産、輸出入は段階的に規制されることになりました。さらに、2007年9月開催の第19回締約国会合において、消費量についても段階的に削減することが定められました。また、CFCは1996年に全廃、HCFCは2020年に実質全廃とすることが決定されています。このため、現在、代替物質への転換が進められてきています。我が国では、1989年からオゾン層破壊物質の生産、輸出入の規制を開始するとともに、その消費量を着実に削減していくための施策が進められています。

一方で、特定フロンから代替フロンへの転換が進むにつれ、代替フロンのもつ温室効果が問題となり、フロンをめぐる取り組みは、オゾン層保護から地球温暖化防止へと移っていきました。その結果、2016年10月にルワンダの首都キガリにおいて、モントリオール議定書第28回締約国会合（MOP28）が開催され、HFCの生産及び消費量の段階的削減義務等を定める議定書の改正（キガリ改正）が採択されました。本改正では、HFCの生産及び消費量の規制として、表1に示すスケジュールで段階的に削減することとなりました。

表1 キガリ改正におけるHFC生産・消費の段階的削減スケジュール

	先進国 <sup>※1</sup>	途上国第1グループ <sup>※2</sup>	途上国第2グループ <sup>※3</sup>
基準年	2011-2013年	2020-2022年	2024-2026年
基準値 (HFC+HCFC)	各年のHFC生産・消費量の平均+HCFCの基準値×15%	各年のHFC生産・消費量の平均+HCFCの基準値×65%	各年のHFC生産・消費量の平均+HCFCの基準値×65%
凍結年	なし	2024年	2028年 <sup>※4</sup>
削減スケジュール <sup>※5</sup>	2019年：▲10% 2024年：▲40% 2029年：▲70% 2034年：▲80% 2036年：▲85%	2029年：▲10% 2035年：▲30% 2040年：▲50% 2045年：▲80%	2032年：▲10% 2037年：▲20% 2042年：▲30% 2047年：▲85%

※1：先進国に属するベラルーシ、露、カザフスタン、タジキスタン、ウズベキスタンは、規制措置に差異を設ける（基準値について、HCFCの参入量を基準値の25%とし、削減スケジュールについて、第1段階は2020年5%、第2段階は2025年に35%削減とする）。  
 ※2：途上国第1グループ：開発途上国であって、第2グループに属さない国  
 ※3：途上国第2グループ：印、パキスタン、イラン、イラク、湾岸諸国  
 ※4：途上国第2グループについて、凍結年（2028年）の4～5年前に技術評価を行い、凍結年を2年間猶予することを検討する。  
 ※5：すべての締約国について、2022年、及びその後5年ごとに技術評価を実施する。

## ・パリ協定とそれに対する日本の取り組み

2015年11月に、気候変動枠組み条約の加盟国らによる第21回気候変動枠組条約締約国会議（Conference of the Parties）（COP21）がパリで開催され、主要排出国を含む全ての国が参加し、パリ協定が合意されました。世界共通の長期目標として、産業革命以前に比べて世界的な平均気温の上昇を2℃より十分下方に抑えること（2℃目標）の設定や、各国が5年ごとに削減目標を提出・更新するとともに、また、5年ごとに世界全体の実施状況を検討すること等が規定されました。

また日本政府はCOP21に先立ち、国際的にも遜色ない、野心的な「2030年度までに2013年度比マイナス26.0%（2005年度比マイナス25.4%）」を目標とする約束草案を、国連気候変動枠組条約事務局に提出し、これを踏まえた地球温暖化対策を総合的かつ計画的に推進するための「地球温暖化対策計画」を2016年5月13日に閣議決定しました。GDP当たり排出量で先進国最高水準にある我が国が、これから更に4割程度の改善（0.29→0.16kg-CO<sub>2</sub>/米ドル）を目指す内容となっています。さらに、パリ協定に基づく温室効果ガスの低排出型の発展のための長期的な戦略として、「パリ協定に基づく成長戦略としての長期戦略」を2019年6月11日に閣議決定しました。ここでは、最終到達点としての「脱炭素社会」を掲げ（※温室効果ガス排出量実質ゼロを掲げるのはG7で初）、それを野心的に今世紀後半のできるだけ早期に実現することを目指すとともに、2050年までに80%の温室効果ガスの削減に大胆に取り組むこと等を決定しました。

表2 地球温暖化対策計画における代替フロン4ガスの排出量削減目標

	2013年 (百万 t-CO <sub>2</sub> )	2030年 (百万 t-CO <sub>2</sub> )	2013年 総排出量比 (%)
エネルギー起源 CO <sub>2</sub>	1235	927	▲21.9
非エネルギー起源 CO <sub>2</sub> 、 CH <sub>4</sub> 、N <sub>2</sub> O	134.4	123.5	▲0.8
代替フロン等4ガス (HFC、PFC、SF <sub>6</sub> 、NF <sub>3</sub> )	38.6	28.9	▲0.7
温室効果ガス吸収源 (森林吸収等)	—	(▲37.0)	▲2.6
合計	1408	1042	▲26.0

## フロン類に対する日本国内の規制

### ・オゾン層保護法

我が国は、モントリオール議定書国内担保措置として「特定物質の規制等によるオゾン層の保護に関する法律（オゾン層保護法）」の下、これまで特定フロンの規制を進めてきました。具体的には、国が生産量及び消費量の基準限度を定めた上で毎年製造許可及び輸入承認を行うという、個別の事業者に対する生産・消費量の割当てを行うことによって議定書の削減目標を達成する仕組みです。しかし、2016年のキガリ改正によって、特定フロンに加えてHFCについても議定書による規制の対象となったことから、2018年に本法を改正し、HFCについても国内における生産・消費を規制することとなりました。

## ・フロン排出抑制法

フロン類は、オゾン層の破壊や地球温暖化の原因となることから、大気中への放出を抑制することが必要なため、2001年に「特定製品に係るフロン類の回収及び破壊の実施の確保等に関する法律（フロン回収・破壊法）」が制定され、業務用冷凍空調機器の整備時・廃棄時のフロン類の回収、回収されたフロン類の破壊等が進められてきました。しかし、「冷媒HFCの急増」、「冷媒回収率の低迷」、「機器使用中の大規模漏えいの判明」等の問題に加え、「HFCの世界的な規制への動き」といったフロン類をとりまく状況の変化も踏まえ、対応が必要となりました。そのため、これまでのフロン類の回収・破壊に加え、フロン類の製造から廃棄までのライフサイクル全体にわたる包括的な対策が取られるよう2013年6月に法改正され、名称も「フロン類の使用の合理化及び管理の適正化に関する法律（フロン排出抑制法）」と改められました（2015年4月1日施行）。さらに、10年以上4割弱で低迷していた廃棄時回収率向上のため、2019年6月には機器廃棄時にユーザーがフロン回収を行わない違反に対する直接罰の導入等、抜本的な対策を講じる改正を行いました（2020年4月1日施行）。

フロン排出抑制法では、フロン類を製造する「フロンメーカー」、それらを使用する機器を製造する「機器メーカー」、そして機器を使用する「機器ユーザー」、フロン類を充填・回収する「充填回収者」、フロン類の破壊・再生を行う「破壊・再生業者」に対して、表3に示すようなフロン類の排出抑制のための取り組みを求めています。また、表4に示すように、家庭用エアコンなどの製品（指定製品）の製造・輸入業者に対してGWP目標値・目標年度を定め、フロン類使用製品の低GWP化を求める制度を導入しています。

表3 実施主体ごとのフロン類の排出抑制の取り組み

実施主体	取り組みの内容
フロンメーカー	フロン類の実質的フェーズダウン
機器・製品メーカー	フロン類使用製品の低GWP・ノンフロン化促進
機器ユーザー	業務用冷凍空調機器使用時のフロン類漏えい防止
充填回収者	登録業者による充填、許可業者による再生
破壊・再生業者	基準に従った再生又は破壊、フロン類のみだりな放出の禁止

表4 製造・輸入業者に求める各製品におけるGWP目標値

指定製品の区分	現在使用されている主な冷媒及びGWP	環境影響度の目標値	目標年度
家庭用エアコンディショナー (壁貫通等を除く)	R410A(2090) R32(675)	750	2018
店舗・オフィス用エアコンディショナー (床置型等を除く)	R410A(2090)	750	2020
自動車用エアコンディショナー (乗用自動車(定員11人以上のものを除く)に 掲載されるものに限る)	R134a(1430)	150	2023
コンデンシングユニット及び定置式 冷凍冷蔵ユニット(圧縮機の定格出力が 1.5kW以下のもの等を除く)	R404A(3920) R410A(2090) R407C(1774) CO <sub>2</sub> (1)	1500	2025
中央方式冷凍冷蔵機器 (5万㎡以上の新設冷凍冷蔵倉庫向けに出荷さ れるものに限る)	R404A(3920) アンモニア(1)	100	2019
硬質ウレタンフォームを用いた断熱材 (現場発泡用のうち住宅建材用に限る)	HFC-245fa(1030) HFC-365mfc(795)	100	2020
専ら噴射剤のみを充填した噴霧器 (不燃性を要する用途のものを除く)	HFC-134a(1430) HFC-152a(124) CO <sub>2</sub> (1) DME(1)	10	2019

## II. 技術開発プロジェクト紹介

### HFC-23破壊技術の開発

#### ●プロジェクト実施体制

**委託先** (一社)産業環境管理協会 (分室：旭硝子(株) (現・AGC(株))、ダイキン工業(株))  
炉体設計製造 日鉄化工機(株) (現 月島環境エンジニアリング(株))

**研究開発期間** 1998年度～2001年度

#### 概要

オゾン層を破壊するCFC、HCFCや地球温暖化に悪影響を及ぼすHFC、PFC、SF<sub>6</sub>等のあらゆるフッ素含有廃液・廃ガスを安全に破壊し、フッ素を再利用できる破壊設備(液中燃焼方式)を実用化しました(図1)。

樹脂等のスターティング・マテリアルや冷媒等に使用されるHCFC-22(クロロジフルオロメタン：CHClF<sub>2</sub>)の製造に伴い副生する地球温暖化効果の大きいHFC-23(トリフルオロメタン：CHF<sub>3</sub>)を、高温で分解(ダイオキシン類などの有害物質の二次的な発生を極力抑制)して破壊し、無害化してフッ化カルシウムとして回収するシステムを開発しました。現在では、あらゆるフッ素含有廃液・廃ガス等に対して処理が可能です。

図2に示すように、この処理技術は、フッ素及び塩素含有廃液廃ガスを1200℃以上の高温で完全に分解し(図3)、高温の燃焼ガスを液中燃焼法により瞬時に冷却し、更に生成したフッ化水素や塩化水素を吸収塔及び洗浄塔により、水吸収、アルカリ洗浄するシステムで構成しています。



図1 液中燃焼法によるフロン等処理設備  
(a)液中燃焼炉(ダイキン工業株式会社淀川製作所)  
(b)後処理設備(旭硝子株式会社 鹿島工場)

#### 地球温暖化防止に対する貢献

月島環境エンジニアリング株式会社、旭硝子株式会社およびダイキン工業株式会社ではフロン製造工程より排出されるフッ素及び塩素含有廃液廃ガス処理装置の開発を推進し、有機塩素系廃棄物を燃焼処理して塩酸を回収する技術の開発、設備の建設及びハロゲン系物質の燃焼等についての技術を蓄積してきました。1998～2001年度にはNEDOの委託研究として、「HFC-23破壊技術の開発」を実施し、連続運転による大量処理を可能としました。

この技術は、高温による完全分解と液中燃焼によるダイオキシン類などの二次的な発生を極力抑制した処理、ハロゲンに対する材質・構造のノウハウを特徴としており、CFC、HCFCはもとよりHFC、PFC、SF<sub>6</sub>、NF<sub>3</sub>などあらゆるフッ素含有処理物への対応を可能としました。プロジェクト終了後、本設備を導入した2社で4ガス等の分解を推進し、2007年には約6.9百万t-CO<sub>2</sub>の削減を実施し地球温暖化防止に貢献しています。

本設備は日本国内に14基、海外に8基(うち、CDMに関するもの3基)が建設され、安全なフロン類破壊の専焼炉として確立しました。なお、この処理装置は、フロン回収破壊法施行規則(第十四条、別表第二)におけるフロン類破壊施設の種類の規定される「液中燃焼法方式施設」として挙げられています。また、当該装置では、基当りの処理能力で国内最大を誇ります。

経済産業省の公表によれば、2008年度のフロン回収破壊法に基づくフロン類破壊量は4,161tとされています。液中燃焼法によるフロン類破壊方式は、専焼炉のため他方式と比較して処理能力が高く、国内でのフロン類破壊は本方式による処理が大半を占めています。

オゾン層破壊物質、地球温暖化物質の一つである大量のフロン類または代替フロン類を一元化した設備により安全に破壊することは、地球環境保全のために必須の事項であり、これらの目的に対して液中燃焼法の設備導入による貢献は大きく、また、将来的にも期待される設備と考えられます。

なお、家電リサイクル法や自動車リサイクル法等の社会的な要求もあり、今後フロン類の破壊量はさらに増加するものと考えられます。

### 実用化状況

本プロジェクトで開発されたフロン類破壊装置は、クリーン開発メカニズム (CDM) の対象として、中国や韓国をはじめ国内から海外へと広がり、フロン製造プラントに付属するフロン破壊装置として既に約30基が建設され、温室効果ガス削減に大きく貢献しています。また、HFC-23と同様、温室効果の高い六フッ化硫黄 (SF<sub>6</sub>)をはじめ、CFC、HCFC、HFC、PFCなどのあらゆるフッ素系ガスや廃液の分解も可能となっており、フロン類と温室効果ガスの両方の処理回収に役立てられています。

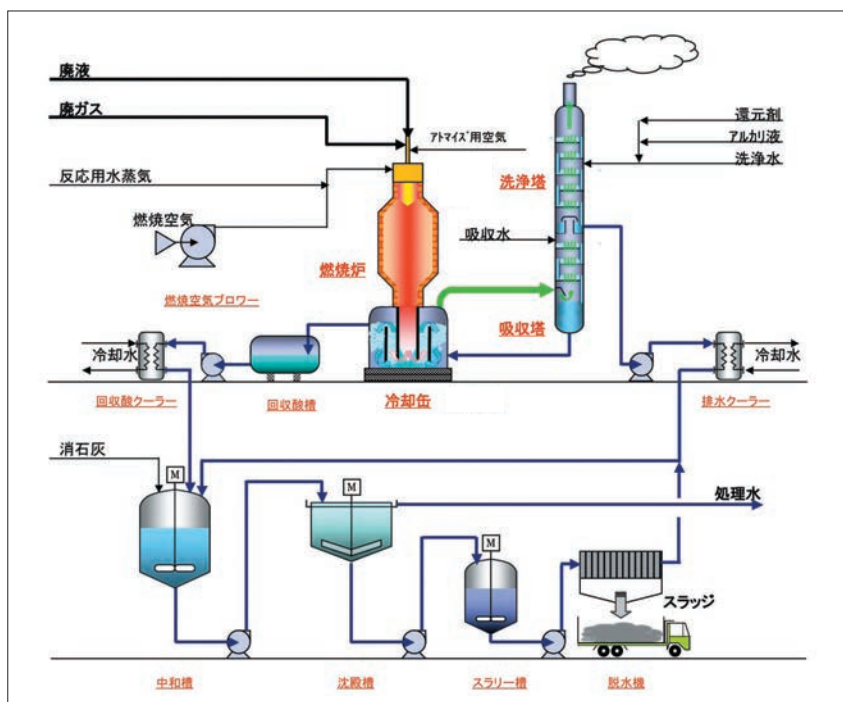


図2 フロン類破壊装置フロー



図3 高負荷燃焼 (ボルテックスバーナー)

### 表彰

- 日本産業機械工業会会長賞  
(主催：日本産業機械工業会 後援：経済産業省、中小企業庁)  
日鉄化工機株式会社「フロン類破壊装置」  
2004年 第30回「優秀環境装置」
- オゾン層保護・地球温暖化防止大賞  
(主催：日刊工業新聞 後援：経済産業省／環境省)  
旭硝子株式会社、ダイキン工業株式会社、月島日鉄化工機株式会社  
2005年 第8回「経済産業大臣賞」



# 冷媒フロンへのケミカルリサイクル技術の開発

## ●プロジェクト実施体制

委 託 先 旭硝子(株) (現・AGC(株))、三菱電機(株)

研究開発期間 2000年度

## 概 要

循環型経済社会構築の一環として、家電リサイクル法の施行等に対応した3Rの実用化技術開発として家庭用エアコンに用いられる冷媒フロンHCFC-22のケミカルリサイクル技術開発を行いました。

本開発では家庭用エアコンから回収されたHCFC-22を再生し、フッ素樹脂の原料とすることによって、HCFC-22生産量の抑制と回収処理で発生した産業廃棄物の削減を可能としました。回収した不純物を含むHCFC-22を99.95%以上の高純度に精製する技術を応用した分留設備と樹脂化設備の開発を旭硝子株式会社が担当し、回収技術開発と設備の設置を三菱電機株式会社が担当しました。

## 技術内容

冷媒等で使用されたHCFC-22 (R22) は年間800t以上が回収されてきました。「オゾン層保護法」で2020年度までの生産が容認されていますが、2004年より35%の消費量削減が求められています。プロジェクト発足当時、回収された冷媒は熱分解等により破壊、無害化(中和)処理され、それにより生成したCaF<sub>2</sub>(フッ化カルシウム)等は産業廃棄物として埋設処分していました。

しかし、HCFC-22の原料であるCaF<sub>2</sub>は産地が限定されており、今後、枯渇の可能性があるため、HCFC-22のリサイクルは3Rの実用化技術開発として重要です。

本開発は、旭硝子株式会社のHCFC-22等各種フロン系冷媒およびフッ素樹脂の製造に関する蓄積技術と三菱電機株式会社の家電リサイクル技術などにより、以下の課題を解決しました(図1)。

### ①回収冷媒の効率的貯蔵

特に共沸混合物の混入を抑制して精製設備への供給に見合う冷媒回収及び移送するための充填設備の検討

### ②回収冷媒の精製によるフッ素樹脂原料への適用

回収冷媒精製設備の設計と設置、回収冷媒の精製試験、既設製造設備を応用したフッ素樹脂合成試験の実施

### ③回収冷媒から得たフッ素樹脂の家電品適用検討

再生HCFC-22を原料とするフッ素樹脂の剥離性や防汚性を活用した家電品への適用検討

以上を踏まえ、下記の特長を有したシステムを構築しました。

## (1)冷媒回収設備

使用済みエアコンの冷媒回収を行う株式会社ハイパーサイクルシステムズに設置した回収から移送・充填までの設備の概要を図2に示します。

本設備により、精製に大きな影響を及ぼす

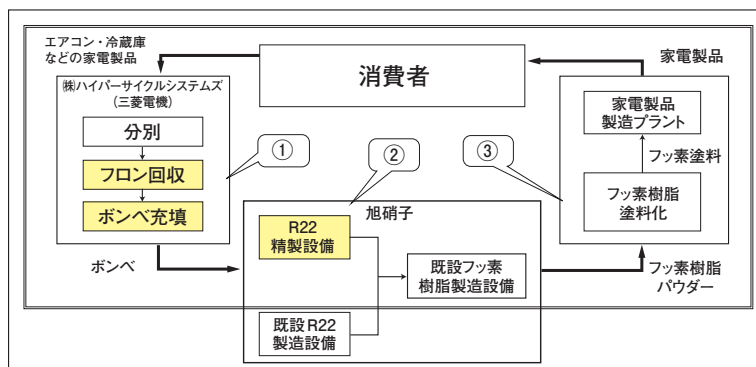


図1 開発の範囲及び概念

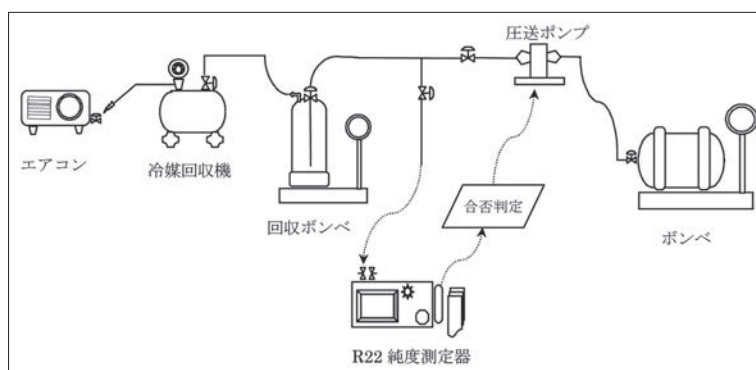


図2 回収冷媒の貯蔵設備・概念図

R22と共沸するR12 (CFC-12) の純度が基準内であることを確認するため、回収冷媒の純度測定を行い、基準内のもののみを大型の搬送容器に移送・充填するようにしました。これにより受け入れを可能とする回収量が大幅に増加しました。

## (2) 冷媒精製設備 (図3、図4)

回収拠点における現行の回収冷媒の分析結果及び今後の動向予測に基づき、低沸点成分となる家庭用エアコン向け冷媒R410A (R32 (HFC-32) とR125 (HFC-125) の混合冷媒) 及び、高沸点成分となる冷蔵庫向け冷媒R134aを除去することが不可欠であると判断しました。また、R22に対する共沸成分の調査によりR115 (CFC-115) 及び、R12が除去対象であることを確認しました。特にR12は冷蔵庫用冷媒として用いられており、回収拠点においても冷蔵庫から混入する可能性があります。

またR12濃度が高い場合にはフッ素樹脂の製造工程で爆発性が高いと懸念される高沸点物 (例えばR1112、R1113など) が大量に生成される可能性があるため、精製冷媒として管理値以下を維持する必要があります。

以上を踏まえ、株式会社ハイパーサイクルシステムズに新設した回収設備で回収した冷媒を用いて精製・樹脂化試験を実施しました。回収冷媒は残分 (主に油分)、水分を除去した後、R22に対して低沸物であるR32、R125及び高沸物であるR12、R134aを蒸留工程で除去した結果、180ppmのR12を含むR22が得られました。これを既設のフッ素樹脂製造設備を用いてフッ素樹脂の製造試験を実施しました。



図3 冷却精製設備

## (3) 樹脂の製造と性能評価

得られたR22からフッ素樹脂であるPFA (4フッ化エチレンとパーフルオロアルコキシエチレンの共重合樹脂) を製造し、これを現用製品と比較評価した結果、現用製品と同レベルの性能が得られることが確認されました。

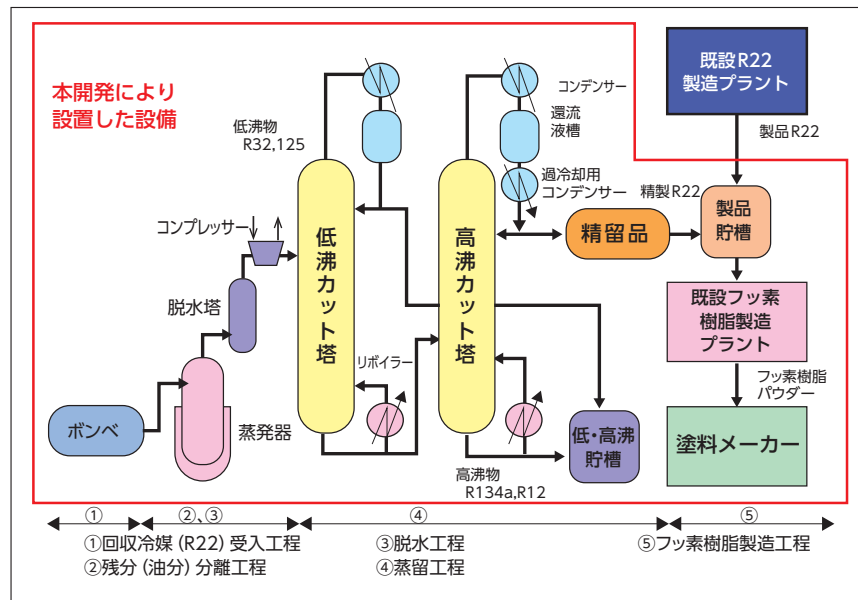


図4 回収フロン精製設備概略フロー

## 地球温暖化防止に対する貢献

本プロジェクトの成果により、冷媒の回収・移送・充填システムが構築され、回収冷媒の精製設備の稼働、再生フッ素樹脂の塗料への適用が実施され家電リサイクルの一翼を担いつつオゾン層破壊抑制と地球温暖化防止に貢献しています。

# 省エネルギーフロン代替物質合成技術開発

## ●プロジェクト実施体制

委託先	旭硝子(株) (現・AGC(株))、ダイキン工業(株)、セントラル硝子(株)、日本ゼオン(株)、東ソー・エフテック(株) (現・東ソー・ファインケム(株))、日本アルミニウム協会、(国)長岡技術科学大学、(学)千葉工業大学、(株) TOSEI (現・(株) STG)、(株)アーレスティ
再委託先	(国研)産業技術総合研究所、(株)アルバック、(国)東北大学
研究開発期間	2002年度～2006年度

## 概要

本プロジェクトでは、オゾン層の破壊やその他の環境影響が少なく温暖化効果も小さい冷媒(冷蔵庫、自動車エアコン等)、産業用洗浄剤(電子部品、精密加工部品、光学部品等)、発泡剤(現場発泡)、半導体・液晶製造(エッチング、CVDチャンバークリーニング等)、電力機器絶縁、消火剤、マグネシウム製造分野など幅広い産業分野で利用されるフッ素系フロン代替物質の工業的合成法の探索及び検討により、エネルギー効率が高く工業的に有効な合成技術の開発を行い、省エネルギーの観点から総合的な環境負荷の低減を目指しました(表1)。技術内容の一例を以下に説明します。

表1 新規フロン代替物質と適用可能な産業分野

産業分野	新規フロン代替物質
冷媒分野	HFE-143m
産業洗浄分野	HFE-347pc-f
発泡剤(現場発泡)分野	HFE-254pc
半導体・液晶製造分野	C <sub>x</sub> F <sub>y</sub> 、CF <sub>3</sub> I、COF <sub>2</sub>
電力機器絶縁分野	CF <sub>3</sub> I
消火剤	CF <sub>3</sub> I
マグネシウム製造用カバーガス	CF <sub>3</sub> I、HFO-1234ze(E)

## 技術内容

### 【CF<sub>3</sub>Iの合成技術】

ヨウ化トリフルオロメタン(CF<sub>3</sub>I)の合成技術開発では、東ソー・エフテック株式会社が触媒存在下で、トリフルオロメタン(CHF<sub>3</sub>)とヨウ素を直接反応させる合成法を工業規模で確立しました。このガスは、地球温暖化の影響がCO<sub>2</sub>並と非常に小さく、半導体・液晶製造分野におけるPFCの代替ガスの他、種々の用途が期待されています。本製造方法により、生産時のCO<sub>2</sub>排出量を従来よりも約40%削減できると見込まれています。

### 【半導体製造用エッチングガスへの適用】\*

半導体製造時のプラズマドライエッチングガスに、従来の代替フロンガスに比べて地球温暖化係数が1/1000と小さいCF<sub>3</sub>Iガスを使用しました。45-32ナノメートル世代に対応する半導体加工において、CF<sub>3</sub>Iガスを用いることで、従来ガスに比べて配線端部におけるうねり(LER: Line Edge Roughness)が低減でき、配線信頼性が改善できることが分かりました。更に、次世代(22ナノメートル世代)の半導体加工においても、CF<sub>3</sub>Iガスと波長の短い紫外線(EUV: Extreme Ultra Violet)露光を用いたエッチングが極めて有効であることを実証しました(図1)。\*本研究は、株式会社半導体先端テクノロジーズにて、2016年度「新規フロン代替物質を使用したエッチング性能評価」として継続研究が実施されました。

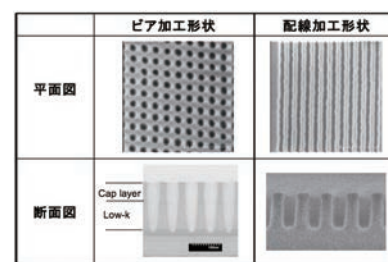


図1 CF<sub>3</sub>Iガスを用いた次世代の半導体加工形状

### 【マグネシウム製造用カバーガスへの適用】

マグネシウムは鉄に比べて、非常に軽くて比強度が高いという特徴があり、更にリサイクルも容易であるため生活の中で幅広く利用されています。マグネシウム製造法の主流である鋳造法では、溶けたマグネシウムの表面にカバーガスを吹きつけ、空気中の酸素との接触を防ぐことで高温燃焼を防止していました。従来のカバーガスは地球温暖化係数が23,900と極めて大きなSF<sub>6</sub>が用いられてきましたが、本プロジェクトではGWPの小さい代替カバーガスの開発を行い、1,3,3,3-テトラフルオロプロペン(HFO-1234ze(E))およびヨウ化トリフルオロメタン(CF<sub>3</sub>I)を開発しました。これらの代替ガスは共にGWPが従来のSF<sub>6</sub>の1/1000以下であり、マグネシウムの高温燃焼を防ぐ防燃効果も従来と同等であることを明らかにしました。

特にHFO-1234ze(E)については、既に多くの国内マグネシウム製造メーカーに採用されており、大幅な温室効果ガスの削減に貢献しています。

これらのガスを今後マグネダイカストの製造工程などでSF<sub>6</sub>に置き換えた場合、地球温暖化の影響を大幅に低減できるものとして期待されています。

## 表彰

2009年 第12回オゾン層保護・地球温暖化防止大賞「優秀賞」

# 塩素系化合物代替物質開発

## ●プロジェクト実施体制

委 託 先

(一社)産業環境管理協会、日本ゼオン(株)、  
工業技術院物質工学工業技術研究所 (現・(国研)産業技術総合研究所)

研究開発期間

1996年度～1997年度

## 概要・技術内容

クロロフルオロカーボン(フロン)等のオゾン層破壊物質は、オゾン層保護の観点からモントリオール議定書により、生産の段階的な廃止が義務付けられています。一方、京都議定書の批准により、わが国においても地球温暖化対策の観点から温室効果ガス排出量の削減が必要とされており、温暖化等に配慮した化合物への転換が求められています。

本プロジェクトでは、オゾン層の破壊が少なく、地球温暖化効果の小さいフッ素系フロン代替物質の工業的な合成技術を確立しました。具体的には、フッ化水素を用いた合成方法を適用して収率を向上させることにより地球環境に優しい5員環フッ素化合物(オクタフルオロシクロペンテン、ヘプタフルオロシクロペンタン(図1))を簡便かつ大量に生成することを可能にしました。

また、これらの化合物の特性等(地球環境影響データ、物理化学定数、材料への影響、安定性データ、化審法などの安全性試験データ等)を研究することにより工業用途開発を実施し、従来使用されていた地球環境への悪影響が懸念される有機塩素系に代わる、半導体・液晶製造用ガスや産業用洗浄剤としての適用の可能性を見いだしました。

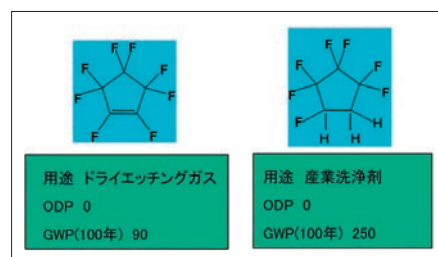


図1  
左) オクタフルオロシクロペンテン  
右) ヘプタフルオロシクロペンタン

## 地球温暖化防止に対する貢献

日本ゼオン株式会社では、本プロジェクトで開発した2つの化合物を量産展開しました。日本ゼオン株式会社の調査によるとオクタフルオロシクロペンテンはドライエッチングガス(コンタクトホールサイズ100～200mm)の世界シェアの半分以上を占めており、ヘプタフルオロシクロペンタンはHCFCに替わる洗浄剤として市場が拡大しつつあります。2つの新たなフロン代替物質の合成方法と用途開発は世界に先駆けて実施されたものであり海外からも注目されています。

## 表彰

- 1998年 米国環境保護局(EPA)「オゾン層保護賞」
- 2000年 第8回化学バイオつくば財団「化学・バイオつくば賞」
- 2000年 第32回化学工業協会 日本化学工業協会技術賞「環境技術賞」
- 2003年 第2回グリーンサステイナブルケミストリーネットワーク(GSCN) GSC賞「環境大臣賞」
- 2008年 第11回オゾン層保護・地球温暖化防止大賞「優秀賞」

# SF<sub>6</sub>等に代替するガスを利用した電子デバイス製造クリーニングシステムの研究開発

## ●プロジェクト実施体制

**委託先** (公財)地球環境産業技術研究機構、(株)富士総合研究所、旭硝子(株)(現・AGC(株))、関東電化工業(株)、昭和電工(株)、ダイキン工業(株)、アネルバ(株)、日立国際電気(株)、日本真空技術(株)、東京エレクトロン(株)、富士通(株)、(株)日立製作所、松下電器産業(株)(現・パナソニック(株))、(株)東芝、三菱電機(株)、沖電気(株)、ソニー(株)、日本電気(株)、三洋電機(株)(現・パナソニック(株))、シャープ(株)、(株)半導体テクノロジーズ、(一社)電子情報技術産業協会

**再委託先・共同実施先** (国研)産業技術総合研究所、(国)茨城大学、アネルバ(株)、セントラル硝子(株)

**研究開発期間** 1998年度～2002年度

## 概要

低GWP等の環境負荷の少ないCVD(化学気相成長:Chemical Vapor Deposition)クリーニング用ガスの開発及びそれを用いたクリーニング効率・省エネルギー性の高い(電力エネルギー効率2～2.5倍程度)プロセスの開発を目指して、

- ①CVDクリーニング用反応ガスの基本性能の研究
- ②CVDクリーニング用新代替ガスの研究開発
- ③新代替ガスを活用するCVD装置の研究開発
- ④総合評価等の研究

を行いました。

各種ガスを利用した場合のCVDチャンバー・排気系装置用材料の腐食性、耐久性等の性能評価を行うとともに、CVDクリーニング効率向上、温室効果ガス排出量低減等を研究してきました。温室効果ガスの大気排出削減のために「クリーニング用新代替ガス」等の探索を実施しました。

また、半導体製造過程におけるプラズマCVD実験装置については、プロトタイプを試作しました(図1)。

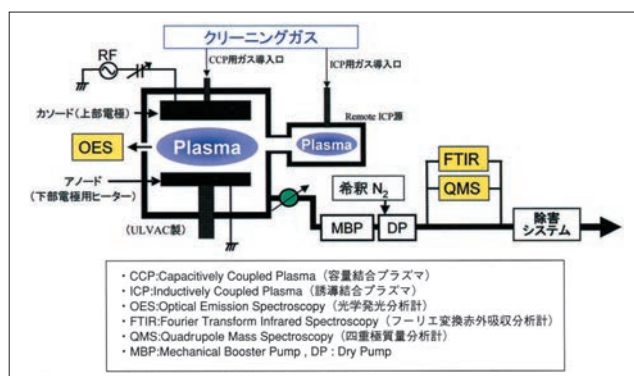


図1 実験装置の概略図

## 技術内容

現行の半導体製造プロセスでは、地球温暖化係数が大きいガスが用いられているため、地球環境保全の観点から、その排出量の削減が急務となっています。半導体製造における温室効果ガスの排出量予測(プロジェクト開発当初)、排出実績目標値は図2のようになり、何も対策を講じなければ、年10%の増加が見込まれ、2010年には4倍程度になると推測されていました。

これに対し、「除害装置設置率の向上」、「代替ガスの採用」、「プロセスの最適化」、「新プロセスの採用」等の対策を実行し、2010年には自主目標10%以上の削減を目指していました(図2)。

GWPの大きいSF<sub>6</sub>等の温室効果ガスの使用・排出量を削減するため、半導体集積回路や液晶デバイスなどの電子デバイス製造プロセスのひとつである、絶縁膜のプラズマCVDにおけるクリーニングプロセスで利用可能な新代替ガスを開発しました。

CVD装置の代替クリーニングガスとして各種ガスを評価

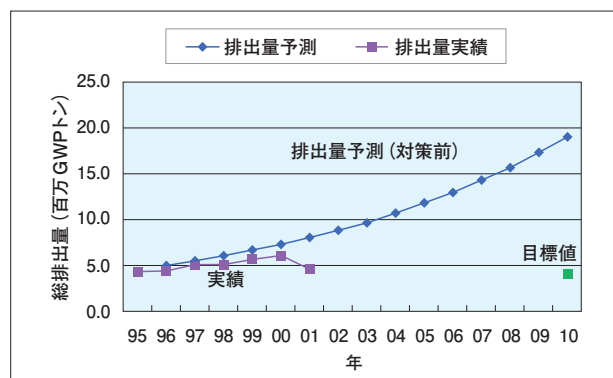


図2 温暖化ガスの排出量予測(対策前)と実績及び目標値

した結果、COF<sub>2</sub>(フッ化カルボニル)は、主に使用されているC<sub>2</sub>F<sub>6</sub>(六フッ化エタン)と比較してクリーニング速度(エッチングレートで代用)は同程度ですが(図3)、温室効果ガスの排出は99%以上削減できることを明らかにしました(表1)。これはCOF<sub>2</sub>自身のGWP100が低いこと、副生成物中にGWPの大きなガスが殆ど含まれないことによります。また、COF<sub>2</sub>は水とよく反応するので特別な除外装置が不要というメリットもあります。

従来のPFCやSF<sub>6</sub>のように大気中で安定したガスよりも、COF<sub>2</sub>のような反応性がありクリーニング性能に優れるガスを使用し、安全対策を万全にして導入することで温室効果ガスの削減や、総合的なCVDクリーニングシステムのコスト低減が可能になります。また、COF<sub>2</sub>による連続クリーニング評価の結果、パーティクルの増加は認められず、成膜も安定していることが確認でき、量産適用の可能性が示されています。

また、F<sub>2</sub>(フッ素)については基本特性の評価により、クリーニング性能が極めて優れ、温室効果ガス排出もほとんどゼロであり環境的には非常に優れたガスであることが分かりましたが、F<sub>2</sub>供給方法や取扱い等の問題があり、大規模装置等への適用には課題があると言えます。

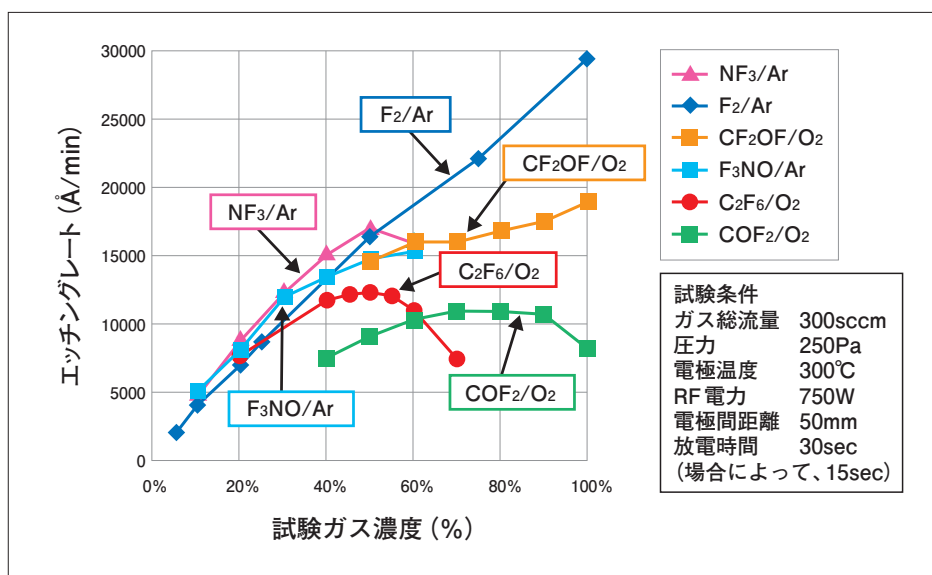


図3 エッチングレートとガス濃度の関係

表1 総温室効果ガス排出量比較結果(C<sub>2</sub>F<sub>6</sub>を100%)

対象技術		排出量
既存技術	C <sub>2</sub> F <sub>6</sub>	100%
	C <sub>2</sub> F <sub>6</sub> +除害	23%
	NF <sub>3</sub> +除害	0.80%
革新技術	COF <sub>2</sub> +除害	0.30%

\* ガス製造時(ガス漏洩)やクリーニングプロセス(プラズマエネルギー、除害時エネルギー、除害後ガス漏洩)における概略試算

## 地球温暖化防止に対する貢献／表彰

2003年にはダイキン工業にてCOF<sub>2</sub>をCVDクリーニングガスとして商品化しました。2005年には、カシオ計算機株式会社のグループ会社でTFT液晶の生産拠点である高知カシオ株式会社にて、製造工程で使用するクリーニングガスにCOF<sub>2</sub>が採用されました。高知カシオはCOF<sub>2</sub>の導入により、第9回(2006年)オゾン層保護・地球温暖化防止大賞の審査委員会特別賞を受賞しています。このように、COF<sub>2</sub>は半導体や液晶分野への波及が期待されています。

また、2008年には、関東電化工業株式会社にてCOF<sub>2</sub>が商品化されています。

# SF<sub>6</sub>フリー高機能発現マグネシウム合金組織制御技術開発

## ●プロジェクト実施体制

助 成 先 三協立山アルミ(株) (現・三協立山(株))、住友電気工業(株)、(株)日本製鋼所、大同特殊鋼(株)

研究開発期間 2004年度～2006年度

## 概 要

カルシウム添加によるマグネシウム溶湯の防燃および製品の難燃化を図ることで、地球温暖化係数が、23,900と極めて高い温室効果を有するSF<sub>6</sub>の全廃を目指すとともに、アルミニウム合金より軽量かつ同等レベル以上の機械的特性を有する成形加工品を得ることを目標としました。このため、SF<sub>6</sub>を使用しない溶解・精製工程、ならびに結晶粒を微細化する凝固プロセス技術の開発、さらに、得られた合金の機械的特性をアルミニウム合金と同程度まで高める成形加工プロセス技術の開発を実施しました。

## 技術内容

本プロジェクトでは、SF<sub>6</sub>を使わないマグネシウムの溶解・精製技術およびマグネシウム合金の凝固プロセス技術を開発し、同時に、マグネシウム合金の機械的性質を高める成形加工プロセス技術の開発を実施しました(図1)。

前者では、SF<sub>6</sub>フリー化を確保可能なカルシウム添加量を把握し、カルシウム含有マグネシウム合金の工業的な溶解プロセス技術、マグネシウム溶湯中の不純物・介在物の除去と分析技術、およびピレット製造時の結晶粒微細化技術を確立し、実大サイズで必要な製造条件を明確化しました。

後者では、カルシウム添加マグネシウム合金の押し・引拔・圧延等の高靱性化展伸加工プロセス技術開発、マグネシウムと強化材の複合材粒子を用いた高クリープ抵抗化射出成形プロセス技術開発、高剛性化複合加工プロセス技術開発により、具体的な部材・製品の製造方法を確立しました。

本プロジェクトは、二輪車用構造材、鉄道車輛や福祉機器等を対象とした構造用展伸材、ならびに構造用部材を締結する溶接線やねじの作成も含めたマグネシウム合金部材の実用化に貢献するものです(図2)。

二輪車をはじめ、鉄道車輛、四輪車等の輸送機器に当該開発材が適用された場合、軽量化によるエネルギー消費量の低減に伴うCO<sub>2</sub>の排出抑制効果も期待されます。

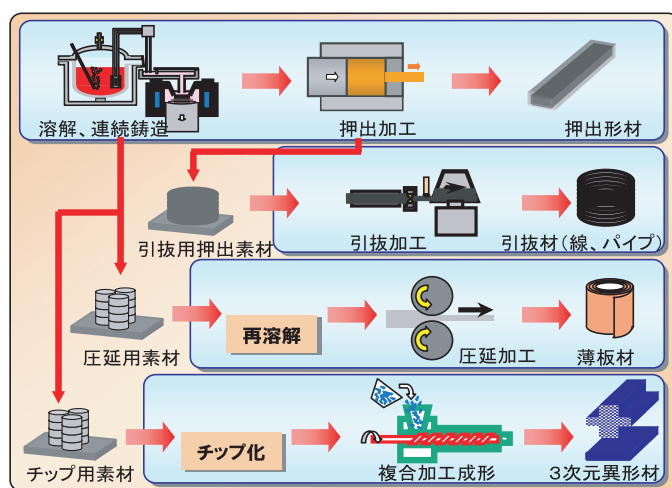


図1 プロジェクト概要図



図2 本プロジェクトの商品イメージ

## 表 彰

### ●オゾン層保護・地球温暖化防止大賞

(主催：日刊工業新聞 後援：経済産業省・環境省)

富山合金株式会社

2009年 第12回「優秀賞」

# 代替フロン等3ガスの排出削減設備の開発・実用化支援事業

## ●プロジェクト実施体制

**助 成 先** アサダ(株)、アイスマン(株)、(株)コージ、エヌ・ケイ・ケイ(株)、関東電化工業(株)、生活協同組合コープさっぽろ、(株)ローソン、日金マグキャスト(株)、他 (全82事業者)

**研究開発期間** 2006年度～2010年度

## 概 要

特定フロン (CFC、HCFC) 等のオゾン層破壊物質は、オゾン層保護の観点からモントリオール議定書により、生産の段階的な廃止が義務付けられています。

一方、特定フロンの代替として開発され、オゾン層破壊の恐れがない代替フロン等3ガス (HFC、PFC、SF<sub>6</sub>) は、その優れた特性から、冷媒 (冷凍・冷蔵庫、空調機器、自動車用エアコン等)、発泡剤、洗浄剤、絶縁材等として利用されており、今後、オゾン層破壊物質からの転換が本格化するに従って、その使用量・排出量の増加が見込まれています。このため、これらのガスは、大気中に長期間にわたって安定に存在し、かつ極めて強力な温室効果を発揮する化合物であることから、京都議定書において排出削減対象ガスに指定されていました。

本事業では、代替フロン等3ガスを使用する全ての分野・業種を対象として、その排出抑制に係わる先進的かつ波及性の高いと思われる設備や技術の導入並びに技術開発等の事業を広く公募し、優れた提案に対し先導的なモデル事業 (より実用化に近い応用研究や適用研究) として助成し、実用化を促進しました (図1)。

以下に、本事業の成果の一例を紹介します (図2～図4)。

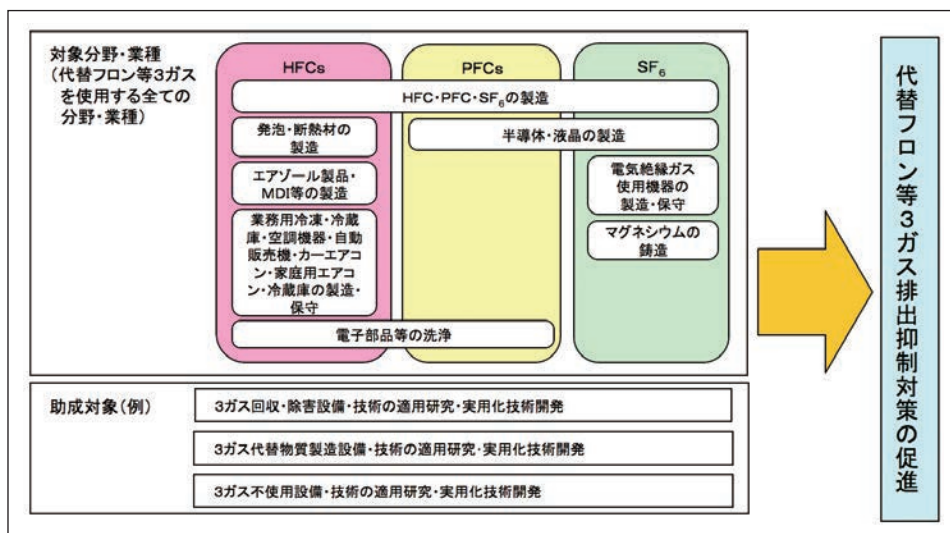


図1 事業の概要



図2 成果事例1：ノンフロンエアダスター製造設備 (エヌ・ケイ・ケイ株式会社)



図3 成果事例2：COF<sub>2</sub>製造設備 (関東電化工業株式会社)



図4 成果事例3：小型高性能フロン回収装置 (アサダ株式会社)

## 表 彰

### ●オゾン層保護・地球温暖化防止大賞

(主催：日刊工業新聞 後援：経済産業省／環境省)

- (1) エヌ・ケイ・ケイ株式会社 2008年 第11回「優秀賞」
- (2) 生活協同組合コープさっぽろ「CO<sub>2</sub>冷媒ショーケースの導入によるノンフロン化の取り組み」2011年 第14回「経済産業大臣賞」
- (3) 株式会社ローソン「コンビニ向けノンフロン (CO<sub>2</sub>) 冷凍機システムの大規模導入」2012年 第15回「経済産業大臣賞」
- (4) 日金マグキャスト株式会社「マグネシウムダイカストにおけるSF<sub>6</sub>の代替ガスへの転換」2014年 第17回「審査委員会特別賞」



# ノンフロン型省エネ冷凍空調システム開発

## ●プロジェクト実施体制

委託先	新日本空調(株)、(株)ダイキン環境・空調技術研究所(現:ダイキン工業(株))、中部電力(株)、三菱重工業(株)、(株)アースシップ、(株)本田技術研究所、(社)日本冷凍空調工業会、(国研)産業技術総合研究所、国立大学法人東京大学、国立大学法人九州大学
助成先	新晃工業(株)、ダイキン工業(株)、三菱電機(株)、パナソニック(株)、サンデン(株)、(株)マック、三菱重工空調システム(株)(現:三菱重工サーマルシステムズ(株))、アイ・ケー・イー冷凍技研(株)、(株)三冷社、(株)前川製作所、ゼネラルヒートポンプ工業(株)、三洋電機(株)(現:パナソニック(株))、三菱重工業(株)
研究開発期間	2005年度～2010年度

## 概要

オゾン層保護等に始まる特定フロン類の規制(モントリオール議定書)により、CFC・HCFC等の冷媒は、生産・使用の段階的削減が義務づけられました。このような中で、代替フロンを用いた冷媒が開発され、冷凍空調業界はこれらの転換にいち早く取組み、現在主力機種のほとんどがこれらの代替フロンに切り替わりました。しかしながら、その中には極めて大きな温室効果を発揮する化合物も含まれ、京都議定書において排出抑制が求められることとなりました。

温室効果が小さい非フロン物質を冷媒とする空調機器は一部で実用化されているものの、エネルギー効率の低さや、冷媒漏洩等の安全対策上の理由から、広く普及には至っていませんでした。また、一般的に空調機器に採用するには技術的に難しくまだ研究段階の域を出ていない状況でした。これらを実用化していくためには各要素機器の開発と共に総合的にエネルギー効率や安全性の高いシステムを開発しなければなりません。

NEDOでは、オゾン層を破壊せず、その他の環境影響や温暖化効果も小さいノンフロン型物質を冷媒に適用した、安全性・快適性にも優れた冷凍空調機器・システムの改良・開発を行い、省エネルギーの観点から総合的な環境負荷の低減を目指し、ノンフロン型省エネ冷凍空調システム開発プロジェクトを推進しました(図1)。

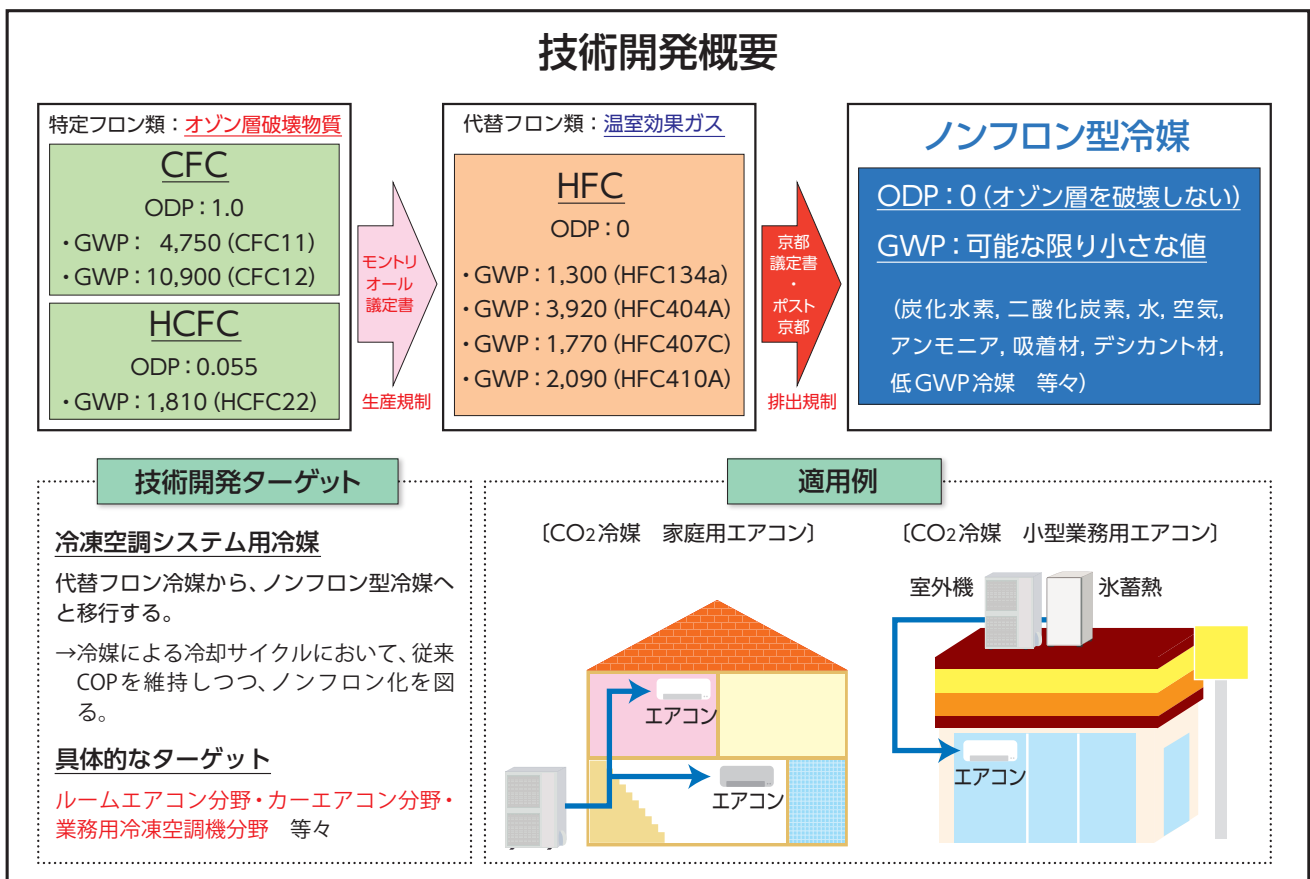


図1 技術開発概要

## 技術内容

サンデン株式会社は本プロジェクトに参画し、コンビニエンスストア (CVS) 向け冷凍・冷蔵・空調システムを開発しました。本システムでは冷媒としてオゾン層を破壊せず、温室効果もないアンモニア (NH<sub>3</sub>) を採用しました。NH<sub>3</sub> を冷媒として使用する最大の課題となったのは臭気と毒性です。そこでNH<sub>3</sub>の使用量を極力減らし、屋外で完全密封のうえ使用し、店舗内へは持ち込まないことで安全性を確保しました。

実物大の小型店舗を収納した実験棟を使用して検証した結果、省エネ効果は既存製品に比べ21%程度向上することが確認され、さらに国内数カ所のCVSでも実証試験を実施しました。仮に全国に42,000店といわれる全てのCVSが本システムに置き換わった場合、CO<sub>2</sub>排出量で換算すると、約64万t/年が削減できると試算されており、地球温暖化防止に大きく貢献します。そして、2009年度には『世界初』となるCVS向けノンフロン型の冷凍・冷蔵・空調システムの市場展開を開始しております。

三洋電機株式会社は本プロジェクトに参画し、スーパーマーケット向け冷凍ショーケース用に、国内で始めて自然冷媒 (CO<sub>2</sub>) を採用したシステムを開発しました (図2)。CO<sub>2</sub> を冷媒として採用する場合、毒性、可燃性はないものの、HFC冷媒に比べて効率が低く、作動圧力が高いという特性があります。特に、周囲温度が30℃以上の高温となるような夏季の運転環境では、効率の良い冷凍サイクルを実現することが困難でした。そこで、新しく冷凍用CO<sub>2</sub>冷媒回路のサイクルを開発し、高効率の冷凍サイクルを実現しました。開発したサイクルには、三洋電機株式会社が開発したCO<sub>2</sub>ロータリー2段圧縮機を採用することで、特殊な変更を必要とせずにシステムを構成することができます。更にCO<sub>2</sub>冷媒は、熱搬送能力が高く、細管化が可能のため、配管で使用する銅パイプの重量を最大37%削減でき、省資源化に貢献できます。

本システムは、実際のスーパーマーケット店舗にて実証試験を行い、従来システムと比較すると消費電力を約10%削減できることが確認されました。また消費電力削減の間接影響と冷媒漏洩による直接影響を勘案すると最大約60%のCO<sub>2</sub>排出量削減が可能となります (図3)。2010年度には本システムの市場投入を開始しました。

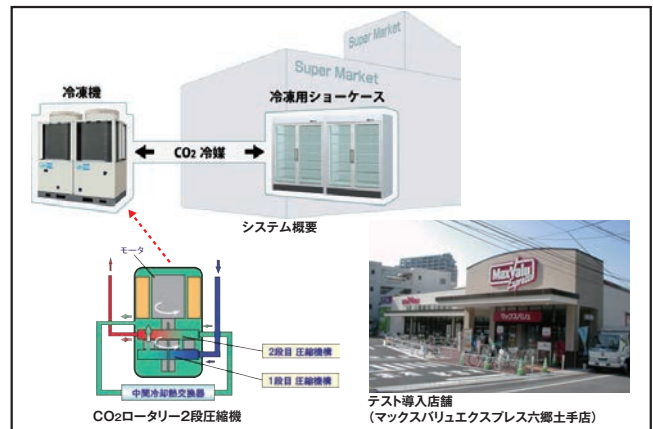


図2 スーパーマーケット向けCO<sub>2</sub>冷凍機システムを開発

### 実用化状況

本プロジェクトでは、従来のHFC冷媒をCO<sub>2</sub>冷媒に転換した省エネ冷凍冷蔵ショーケースを開発し、CO<sub>2</sub>を冷媒とした場合の技術課題を解決する基盤技術を確認し、省エネ性及びCO<sub>2</sub>排出削減性能を確認しました。さらにNEDOでは、本システムを利用したCO<sub>2</sub>冷媒冷凍冷蔵ショーケースを実際の店舗に導入し、現場環境における運転条件に合わせた信頼性の確保や性能向上、普及のための技術課題解決等の技術実証に関する支援を実施しました。本システムは、その後行われた経済産業省、環境省における支援事業の結果、コンビニエンスストア、スーパーマーケットを中心に大きな広がりを見せています。

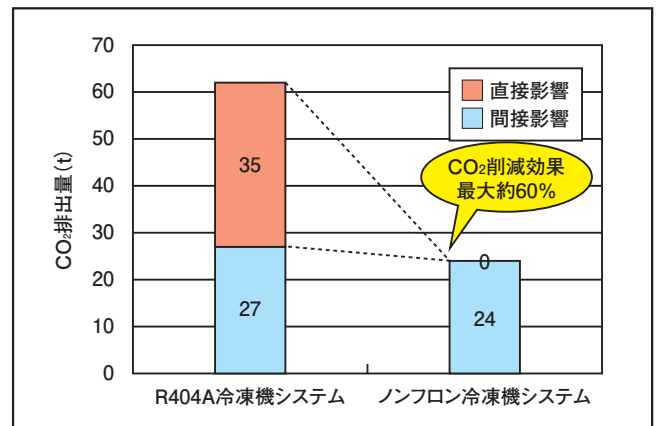


図3 CO<sub>2</sub>冷凍機システムのCO<sub>2</sub>排出量削減効果予測

## 表彰

### ●オゾン層保護・地球温暖化防止大賞

(主催：日刊工業新聞 後援：経済産業省／環境省)

(1) サンデン株式会社 「小型店舗向けノンフロン型省エネ冷凍空調システムの開発と実用化」

2009年 第12回 「経済産業大臣賞」

(2) 三洋電機株式会社 「スーパーマーケット向けノンフロン冷凍機システムの開発 -CO<sub>2</sub>冷媒直膨式-」

2010年 第13回 「経済産業大臣賞」

# 革新的ノンフロン系断熱材技術開発プロジェクト

## ● プロジェクト実施体制

委託先	(国)京都大学、(国研)産業技術総合研究所、アキレス(株)、日清紡ケミカル(株)、シーアイ化成(株)、(学)東京理科大学、旭ファイバーグラス(株)、東レ(株)、(株)カネカ、(国)東京工業大学、(一財)建材試験センター
助成先	旭硝子(株)(現・AGC(株))、BASF INOAC ポリウレタン(株)、アキレス(株)
再委託先・共同実施先	(国)山形大学、(北海道立)北方建築総合研究所
研究開発期間	2007年度～2011年度

## 概要

建築用断熱材の分野では、発泡断熱材である硬質ウレタンフォームが多く使用されていますが、地球温暖化係数(GWP)の高いフロン発泡剤を使用しているため、地球温暖化防止の観点から使用量の削減が求められています。そこでノンフロン系発泡剤であるCO<sub>2</sub>、シクロペンタン等の低GWPガスを利用した断熱材開発が進められていますが、フロン製品と比較すると断熱性能、製造時の燃焼性、施工性等の面で課題や問題点があるため、ノンフロン系発泡断熱材は本格的に普及していないのが現状です。このような状況から、現状の硬質ウレタンフォームと同等以上の断熱性能を有するノンフロン断熱材の技術開発を複数の手段で実施しました。

## 技術内容

本プロジェクトでは、CO<sub>2</sub>発泡断熱材の断熱性能を向上させるためにマイクロサイズの気泡とナノサイズの気泡を混在させて高い空隙率の発泡体構造にする技術、断熱性能を長期維持するために気泡内にある発泡ガスの拡散を抑制する技術、従来使用しているGWP値が大きい発泡剤の代替となる低GWP値のHFO\*発泡剤の合成技術、極めて高い断熱性能を有するエアロゲルを組み合わせた複合断熱材製造技術等の開発を実施し(図1、図2)、フロン発泡と同等の断熱性能を有するノンフロン断熱材実用化の見通しを得ています。また、開発した断熱材を評価するために、断熱性能(熱伝導率)を迅速に測定できる技術、開発した断熱材の実用性評価技術を合わせて開発しました。

※：ハイドロクロロフルオロオレフィン。二重結合に特徴をもつフッ素化合物であり、GWPがフロンや代替フロンより圧倒的に低い。

## 地球温暖化防止に対する貢献

これら技術に基づいたノンフロン系の高断熱性能を有する断熱材を市場化することでCO<sub>2</sub>削減が期待できます。また、この技術開発は、建築分野のみならず、冷蔵・冷凍、空調、運輸等、種々の断熱材使用分野への波及効果を有するため、地球温暖化防止に対して、さらなる効果が期待できます。

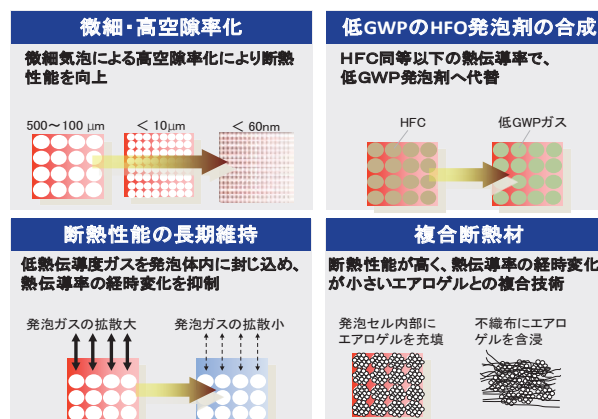


図1 技術開発概要

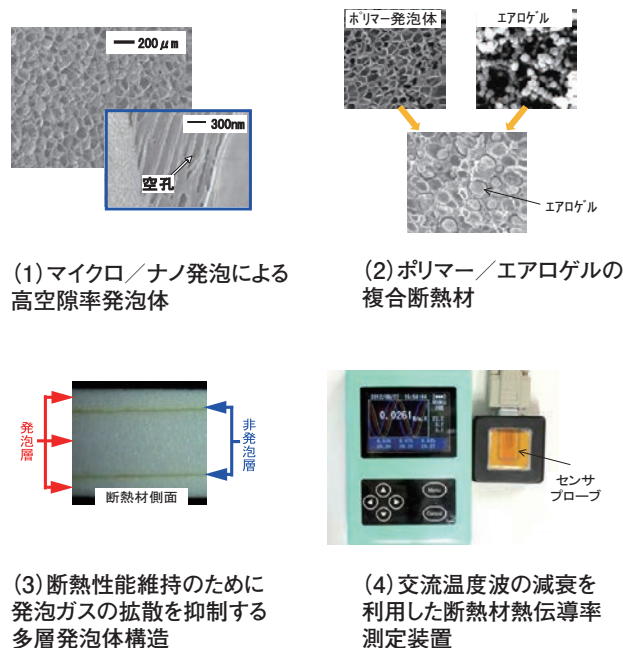


図2 開発成果

# 高効率ノンフロン型空調機器技術の開発

## ●プロジェクト実施体制

委託先	(学)東京理科大学 (現・(公)公立諏訪東京理科大学)、(国)東京大学、(国)九州大学
助成先	旭硝子(株) (現・AGC(株))、ダイキン工業(株)、パナソニック(株)、サンデン(株) (現・サンデンホールディングス(株))、三菱重工業(株) (現・三菱重工サーマルシステムズ(株))、三菱電機(株)
再委託先・共同実施先	(国研)産業技術総合研究所、(学)東京理科大学 (現・(公)公立諏訪東京理科大学)、(国)佐賀大学、(学)いわき明星大学、(学)九州産業大学
研究開発期間	2011年度～2015年度

## 概要

温室効果ガスの削減ポテンシャルの大きい業務用空調機器分野について、低温室効果ガスを用いて省エネ及び高効率化を実現するため、新冷媒開発、圧縮機・熱交換器等の要素機器開発、システム開発等により、低温室効果冷媒を用いつつ現状市販フロン品と同等以上の性能を実現する基盤技術の開発を行いました。

また、「微燃性冷媒リスク評価研究会」を本事業実施内容の一部として立ち上げ、各種微燃性冷媒に対する安全性・リスク評価を行い、使用条件等に応じた安全性やリスクに係る規格策定等につなげる取り組みを実施しました。

## 技術内容と成果

本プロジェクトは、3つの研究開発項目で構成されており、各項目の主な成果は以下のとおりです。

### 1. 低温室効果の冷媒で高効率を達成する主要機器の開発

「高効率ノンフロン型ビル用マルチ空調機の研究開発」【ダイキン工業株式会社】

空調機器にCO<sub>2</sub>冷媒を採用し、冷房定格COP<sup>\*1</sup>を従来のR410A冷媒使用機と同等レベルの性能を達成することを目標とし、最終的には5HPの試験機に新機構多段圧縮機、アルミマイクロチャンネル熱交換器、複合切換弁、新型液ガス熱交換器、膨張機を搭載して、性能試験を実施しました。試験機実測に基づいて10HP最終製品のシステム性能を試算した結果、いずれも目標値達成の見込みがあることを確認しました。さらに、冷房定格COPは、R410A冷媒機と比較して92%まで改善できました。

一方で、高効率化に伴い多数の内部熱交換器や油分離機、膨張機を搭載する必要があるため、同能力のR410A冷媒機のケーシングに対して体積比146%となりました。

\*1: Coefficient Of Performance ある一定の温度条件でエアコンを運転した場合の効率を示す。

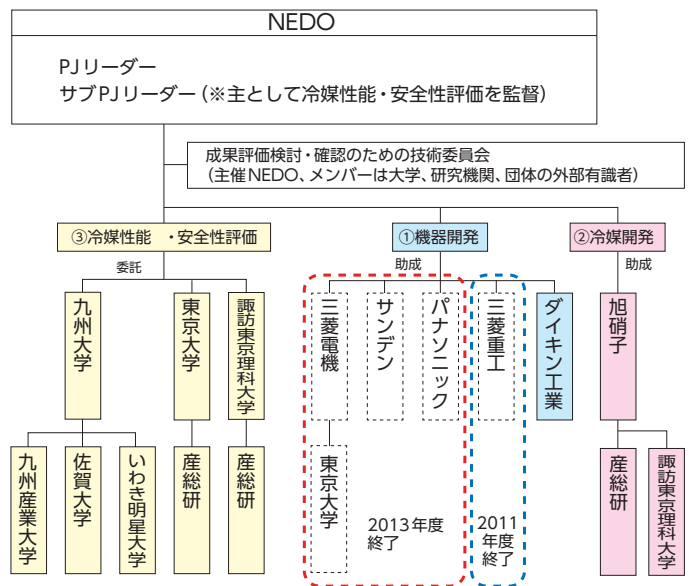


図1 高効率ノンフロン型空調機器技術の開発の実施体制

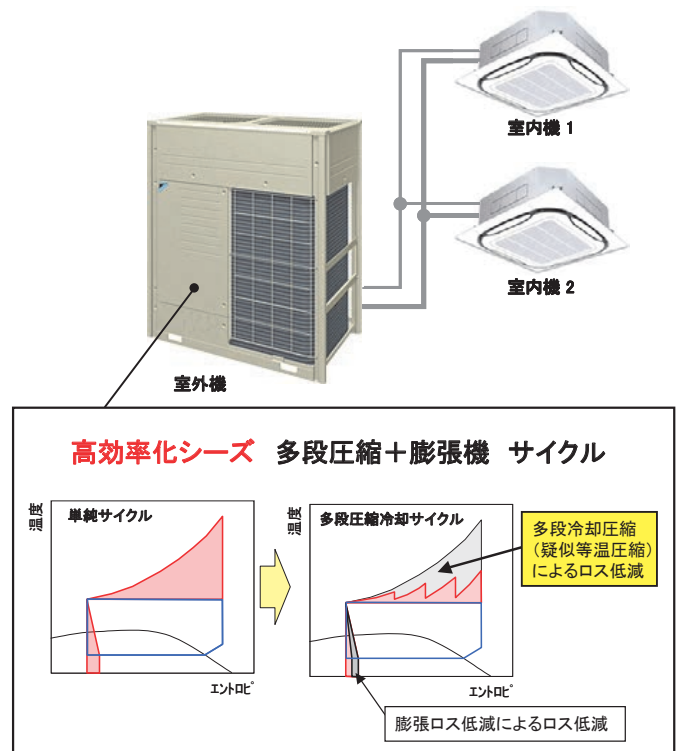


図2 高効率化サイクル及び試験機外形図

## 2. 高効率かつ低温室効果の新冷媒の開発

「高効率かつ低温室効果の新冷媒の開発」【旭硝子株式会社】

従来冷媒と同等の冷媒性能を維持し、温室効果を大幅に低減できる新冷媒として、①HFO-1123 を成分とする混合冷媒 (R410A 代替) (表 1)、及び②HCFO<sup>※2</sup>-1224yd (Z) (R245fa 代替) を開発しました。

※2: ハイドロクロロフルオロオレフィン。二重結合に特徴をもつフッ素化合物であり、GWPが代替フロンより圧倒的に低い。

※3: Annual Performance Factor 実際の使用時に近いあるモデルケースを定め、年間を通じた総合負荷と総消費電力量を算出した効率を示す。

表1 開発冷媒の基本性能

R410A=100%		HFO-1123/HFC-32/HFO-1234yf (40/44/16%)	HFO-1123/HFC-32 (40/60%)
COP	冷房定格	110%	116%
	暖房定格	96%	99%
APF <sup>※3</sup>		96%	97%
GWP		14%	20%

## 3. 冷媒の性能、安全性評価【東京大学、東京理科大学、九州大学】

冷媒実用化のハードルとなる低温室効果冷媒のもつわずかな燃焼性（微燃性）について、「微燃性冷媒リスク評価研究会」として産官学連携のリスク評価審議体制を構築し、NEDO プロジェクトで実施した安全性及びリスク評価の成果と（一社）日本冷凍空調工業会のリスク評価の知見を集約しました。この研究会のレポートが高圧ガス保安法の改正（平成 28 年 11 月 1 日）に寄与し、低温室効果冷媒の使用が新たに規定されました。さらにこの法改正を受け、低温室効果冷媒を使用した大容量ターボ冷凍機<sup>※4</sup>の製品化が実現しています。

また、微燃性冷媒の燃焼速度の試験法を開発し、定量的に測定する方法を確立し、実用条件下での消炎直径<sup>※5</sup>を導き出しました。これにより、微燃性冷媒を使用した家庭用エアコンにおいて、内部にある電磁開閉器（リレー）内でスパークが発生した場合、リレーカバーに設けた開口部が消炎直径よりも小さければ、火災はその開口部で消炎し、カバー外に通過しないことが判明しました。この結果を踏まえ、「IEC 60335-2-40（家庭用及びこれに類する電気機器の安全性：空調機・除湿機への特定要求事項）」のリレーの安全要求などについて改訂が提案され、2018 年 1 月 26 日付で発行されました。

こうした安全性評価の成果によって、今後さらに低温室効果冷媒（微燃性冷媒）及びそれを使用した機器の普及拡大が期待されます。

※4: 本製品に関する基盤研究開発は「ノンフロン型省エネ冷凍空調システム開発(H17~22年度)」の成果。

※5: すでに持続伝播している火災を消炎に至らしめる最大の開口部の大きさで、燃焼速度の逆関数。この大きさ以下の開口部であれば消炎し、火災は開口部を通過しない。

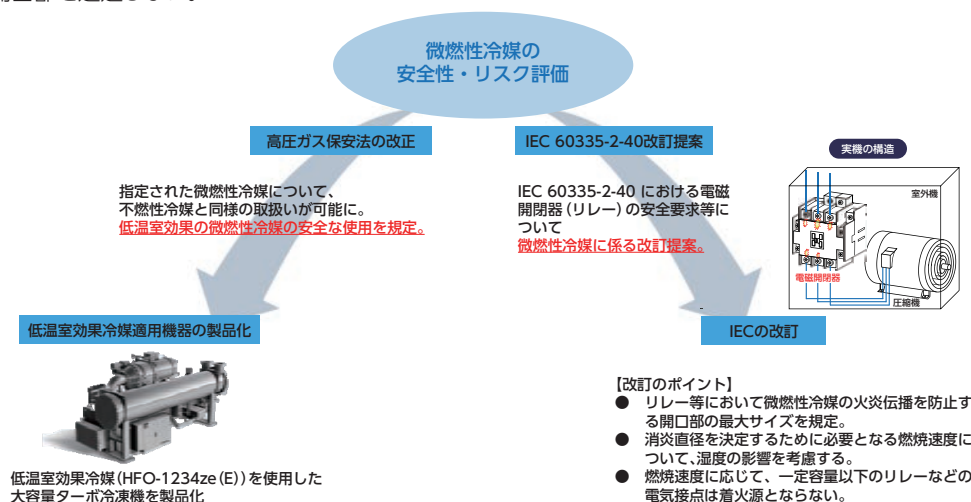


図3 微燃性冷媒の安全性・リスク評価の成果

## 表彰

### ● オゾン層保護・地球温暖化防止大賞

（主催：日刊工業新聞社 後援：経済産業省／環境省）

2016 年 第 19 回 「経済産業大臣賞」

受賞案件：微燃性冷媒適正利用のためのリスク評価

受賞者：公益社団法人日本冷凍空調学会、一般社団法人日本冷凍空調工業会

# 高効率低GWP冷媒を使用した中小型空調機器技術の開発

## ●プロジェクト実施体制

委 託 先	(学)東京理科大学(現・(公)公立諏訪東京理科大学)、(国)九州大学、(国)東京大学、(国研)産業技術総合研究所
助 成 先	旭硝子(株) (現・AGC(株))、パナソニック(株)、三菱電機(株)、(株)デンソー
再委託先・共同実施先	(公)富山県立大学、(学)日本大学、(国)長崎大学、(国研)産業技術総合研究所、(学)九州産業大学、(国)佐賀大学、(国)東京海洋大学、(学)早稲田大学、(国)東京大学、(国)豊橋技術科学大学
研究開発期間	2016年度～2017年度

## 概 要

オゾン層破壊物質である特定フロン(CFC、HCFC)からオゾン層を破壊しない代替フロン(HFC)への冷媒転換により、2000年代以降、エアコンや冷蔵・冷凍ショーケース等の冷凍空調機器の冷媒に用いられる代替フロンの市中ストック量が増加しています。

冷凍空調機器の中でも、家庭用空調機器は市中冷媒ストック量がきわめて多く、また大気中への漏えい源としても影響が大きいため、本事業では、中小型空調機器(主としてルームエアコン)の低温温室効果冷媒への転換を可能にする要素技術開発を実施しました。開発内容としては、高効率かつ低温温室効果の冷媒の開発、高効率化を達成する主要機器(圧縮機、熱交換器等)の開発、ならびに低温温室効果冷媒の安全性評価や性能評価を行いました。

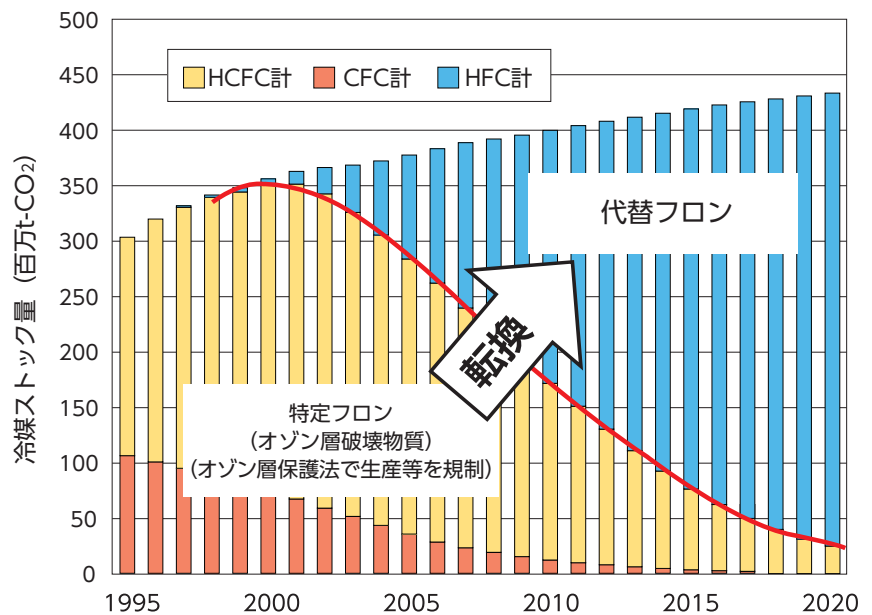


図1 冷凍空調機器における冷媒の市中ストック(BAU(Business As Usual)推計)  
 ※実績は政府発表値。2020年予測は、冷凍空調機器出荷台数(日本冷凍空調工業会)、使用時漏洩係数、廃棄係数、回収実績等からの経済産業省試算(2015)

## 成 果

本事業を通じ、低温温室効果冷媒を用いて、現行機器と同等以上の高効率(省エネ)を達成する中小型空調機器システムの実用化に必要な中核要素技術を確立しました。また、新たな低GWP冷媒の性能や安全性評価にも取り組みました。新たな冷媒を用いた冷凍空調機器の性能評価や最適設計を行うためには、その冷媒の熱力学的性質を表現した数学モデル(状態方程式)が必要不可欠であり、信頼性の高い状態方程式は、高精度に測定された熱物性値(臨界定数、密度、飽和蒸気圧、比熱、音速等)に基づき開発されるものです。九州大学は、HFCに替わる新たな低GWP冷媒(HFO-1123、HCFO-1224yd(Z))の実用化を目指した冷凍空調機器の性能評価や最適設計において必要となる熱物性の精密な測定を行い、それらに基づいた高精度な状態方程式を開発しました。さらに、この新たな状態方程式が、世界標準の熱物性データベースであるアメリカ国立標準技術研究所(NIST)のREFPROP(第10版)に登録されました。

これにより、HFO-1123およびHCFO-1224yd(Z)の熱物性値のみならず、既存冷媒とこれらの冷媒との混合冷媒の熱物性値も簡便に計算できるようになり、新たな低GWP冷媒を用いた冷凍空調機器の性能評価や最適設計が可能となり、新冷媒の実用化に大きく貢献することが期待されます。

# 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

## ●プロジェクト実施体制

委託先	(国)九州大学、(学)早稲田大学、(国研)産業技術総合研究所(機能化学研究部門)、(国)東京大学、(公)公立諏訪東京理科大学、(国研)産業技術総合研究所(安全科学研究部門)
助成先	三菱電機(株)、東芝キャリア(株)、パナソニック(株)、ダイキン工業(株)
再委託先・共同実施先	(公)富山県立大学、(学)日本大学、(国)長崎大学、(国研)産業技術総合研究所、(学)九州産業大学、(国)佐賀大学、(国)東京海洋大学、(国)電気通信大学、(国)静岡大学、(国)広島大学、(国)福井大学
研究開発期間	2018年度～2022年度

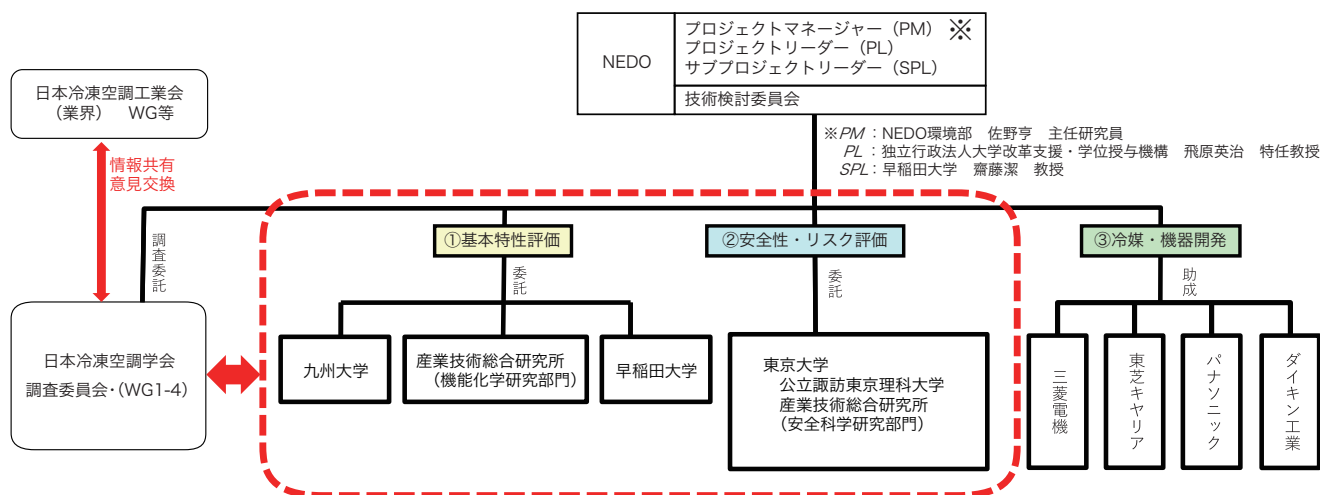
## 概要

グリーン冷媒をはじめとする地球温暖化への影響が極めて少ない冷媒(次世代冷媒)の多くは、いずれも従来のHFC冷媒適用冷凍空調機器と同等の機器性能を維持、あるいはそれ以上の性能とするための技術的ハードルが高く、さらに安全性においても課題(燃焼性、化学的不安定性等)があるとされています。

これに対し、NEDOでは2018年度から冷凍空調機器に使用する次世代冷媒の性能評価及び安全性・リスク評価手法の開発を実施しています。また、2020年10月に公開形式で中間評価を実施し、中間目標はいずれも達成し、最終目標も達成される見通しと高評価を受けました。

研究開発項目	テーマ	事業者名	対象
①基本特性	中小型規模の冷凍空調機器に使用する次世代冷媒の熟物性、伝熱特性および基本サイクル性能特性の評価研究	九州大学	HFO系混合冷媒の物性データ取得
	低GWP低燃焼性混合冷媒の安全性評価	産業総合技術研究所 機能化学研究部門	HFO系混合冷媒の燃焼性評価
	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	早稲田大学	性能評価シミュレーションの開発
②安全性・リスク評価	次世代冷媒の安全性・リスク評価手法の開発	東京大学 公立諏訪東京理科大学 産業総合技術研究所 安全科学研究部門	HC系冷媒、HFO系冷媒の安全性評価
③冷媒・機器開発	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	三菱電機株式会社	【機器開発】 大型冷凍冷蔵倉庫向けクーリングユニット
	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	東芝キャリア株式会社	【機器開発】 コンデンシングユニット
	低温機器におけるCO <sub>2</sub> 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	パナソニック株式会社	【機器開発】 コンビニエンスストア、スーパーマーケット、物流倉庫、食品加工工場のCO <sub>2</sub> 冷凍機システム
	GWP10以下の直膨型空調機用微燃性冷媒の開発	ダイキン工業株式会社	【冷媒開発】 冷媒、直膨型空調(家庭用エアコン、業務用エアコンの一部)

プロジェクトテーマ一覧表



プロジェクト実施体制



冷媒充填量評価装置の外観図

## 目指す成果

本事業の研究開発成果を、国際データベースへの登録や業界の実用的な安全基準、国際規格化・国際標準化等へ結びつける取り組みによって、次世代冷媒やその適用機器の実用化及び普及に貢献します。また、2019年度からは、次世代冷媒の普及に至っていない一部の領域に対しても、新たな次世代冷媒の開発や機器の性能向上、適用範囲の拡大など実用化・普及へ向けた適用技術の開発を進め、次世代冷媒の普及を促進しています。

さらに、これらの取り組みを通じて、モントリオール議定書キガリ改正における日本のHFC生産・消費量削減目標である2029年までに基準値比70%削減、2036年までに85%削減、およびパリ協定における日本のHFC排出削減目標である2030年までに2013年比で32%減となる約1020万CO<sub>2</sub>-t削減の達成を目指します。

対象	規格の内容	—	2018	2019	2020	2021	2022
【国際規格】 IEC60335-2-40	空調機器における可燃性冷媒の使用に関する規格 (スプリットエアコン)	規格の動き	Edition6.0が発行 (A2L冷媒の規定が記載)	国際会議 (※1) 日本冷凍空調工業会が代表		Edition7.0が発行予定 (A2/A3冷媒の規定が記載)	<b>次期改定</b>
		本事業のインプット	<b>安全性・リスク評価 (★)</b>		<b>性能評価</b> (物性・性能など)	※1 家庭用空調機器の安全性のための作業部会 ※2 環境と冷媒国際シンポジウム	
【国際規格】 IEC60335-2-89	密閉式業務用冷凍冷蔵機器における可燃性冷媒の使用に関する規格 (冷蔵冷凍ショーケース)	規格の動き		Edition3.0 (A2/A3冷媒の規定が記載)		国際会議 (※3) 日本冷凍空調工業会が代表	Edition4.0 (改定版) 発行予定
		本事業のインプット	<b>安全性・リスク評価</b> (着火源検討・漏えい試験など)			※3 IECの充填量制限引き上げのための作業部会	
【国際データベース】 REFPROP	NIST (※4)の作成する冷媒熱物性データベースソフトウェア	DBの動き					次期リリース
		本事業のインプット	<b>性能評価</b> (燃焼性・低GWP冷媒)		<b>性能評価</b> (不燃性・低GWP冷媒)		

★着火源検討、化学的不安定性への対策等 ※4 アメリカ国立標準技術研究所。世界標準の熱物性データベースを整備。

国際規格化・国際標準化、国際データベース等への登録に向けた活動



## Ⅲ.プロジェクト一覧表

プロジェクト名称	開始年度	終了年度	実施機関
エネルギー使用合理化新規冷媒等開発			
エネルギー使用合理化新規冷媒等研究開発	1994	2001	公益財団法人地球環境産業技術研究機構
塩素系化合物代替物質開発	1996	1997	一般社団法人産業環境管理協会
エネルギー使用合理化CFC分解処理技術開発	1996	1998	(株)神戸製鋼所
SF <sub>6</sub> に代替するガスを利用した電子デバイス製造クリーニングプロセスシステムの開発	1998	2002	公益財団法人地球環境産業技術研究機構、AGC(株)、関東電化工業(株)、昭和電工(株)、ダイキン工業(株)、アネルバ(株)、日立国際電気(株)、日本真空技術(株)、東京エレクトロン(株)、富士通(株)、(株)日立製作所、他
地球温暖化防止関連技術開発			
HFC-23破壊技術の開発	1998	2001	一般社団法人産業環境管理協会
電子デバイス製造プロセスで使用するエッチングガスの代替ガス・システム及び代替プロセスの研究開発			
電子デバイス製造プロセスで使用するエッチングガスの代替ガス・システム及びプロセス技術研究開発	1999	2003	技術研究組合超先端電子技術開発機構
循環型社会構築促進技術実用化開発助成事業			
冷媒フロン中のケミカルリサイクル技術の開発	2000	2000	三菱電機(株)、AGC(株)
断熱材ウレタンのマテリアルリサイクル技術の開発	2000	2000	アキレス(株)
断熱材ウレタンのケミカルリサイクル技術の開発	2000	2000	三菱電機(株)
断熱材ウレタンに含まれるシクロペンタンの処理技術の実証	2000	2000	三菱電機(株)
省エネルギーフロン代替物質合成技術開発	2002	2006	AGC(株)、ダイキン工業(株)、セントラル硝子(株)、日本ゼオン(株)、東ソーファインケム(株)、千葉工業大学、一般社団法人日本アルミニウム協会、長岡技術科学大学、(株)アーレスティ、(株)STG
SF <sub>6</sub> フリー高機能発現マグネシウム合金組織制御技術開発	2004	2006	三協立山(株)、住友電気工業(株)、大同特殊鋼(株)、(株)日本製鋼所
ノンフロン型省エネ冷凍空調システム開発			
業務分野向けノンフロン型省エネ冷凍空調システム開発	2005	2010	中部電力(株)、三菱重工サーマルシステムズ(株)、他
運輸分野向けノンフロン型省エネ冷凍空調システム開発	2005	2010	(株)アースシップ、(株)本田技術研究所
実用的な性能評価、安全基準の構築	2005	2010	一般社団法人日本冷凍空調工業会、(国研)産業技術総合研究所、他
住宅分野向けノンフロン型省エネ冷凍空調システム開発	2005	2010	新日本空調(株)、(株)ダイキン工業、パナソニック(株)、三菱電機(株)、他
代替フロン等3ガスの排出抑制設備、施設の実用化支援事業(2006-2007) 代替フロン等3ガスの排出抑制設備の導入・実用化支援事業(2007-2009) 代替フロン等3ガスの排出抑制設備の開発・実用化支援事業(2009-2010)	2006	2010	アサダ(株)、アイスマン(株)、(株)コージ、エヌケイ・ケイ(株)、関東電化工業(株)、生活協同組合コープさっぽろ、(株)ローソン、日金マグキャスト(株)、他(全82事業者)
革新的ノンフロン系断熱材技術開発プロジェクト	2007	2012	(株)カネカ、(国研)産業技術総合研究所、公立諏訪東京理科大学、日清紡ケミカル(株)、アキレス(株)、京都大学、旭ファイバーグラス(株)、東京工業大学、一般財団法人建材試験センター、他
高効率ノンフロン型空調機器技術の開発	2011	2015	東京大学、九州大学、公立諏訪東京理科大学、(国研)産業技術総合研究所、ダイキン工業(株)、三菱重工サーマルシステムズ(株)、AGC(株)、パナソニック(株)、三菱電機(株)、サンデン(株)
高効率低GWP冷媒を使用した中小型空調機器技術の開発	2016	2017	AGC(株)、パナソニック(株)、三菱電機(株)、(株)デンソー、東京大学、九州大学、公立諏訪東京理科大学、(国研)産業技術総合研究所
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	2018	2022	九州大学、早稲田大学、(国研)産業技術総合研究所(機能化学研究部門)、東京大学、公立諏訪東京理科大学、(国研)産業技術総合研究所(安全科学研究部門)、三菱電機(株)、東芝キャリア(株)、パナソニック(株)、ダイキン工業(株)



#### 国内拠点

##### ●本部

〒212-8554

神奈川県川崎市幸区大宮町1310

ミュージアム川崎セントラルタワー（総合案内16F）

TEL : 044-520-5100(代表) FAX : 044-520-5103

##### ●関西支部

〒530-0011

大阪府大阪市北区大深町3-1

グランフロント大阪 ナレッジキャピタル タワーC 9F

TEL : 06-4965-2130 FAX : 06-4965-2131

#### 海外事務所

##### ●ワシントン

1717 H Street, NW, Suite 815

Washington, D.C. 20006, U.S.A.

TEL : +1-202-822-9298

FAX : +1-202-733-3533

##### ●欧州

10, rue de la Paix

75002 Paris, France

TEL : +33-1-4450-1828

FAX : +33-1-4450-1829

##### ●北京

2001 Chang Fu Gong Office Building

Jia-26, Jian Guo Men Wai Street

Beijing 100022, P.R.China

TEL : +86-10-6526-3510

FAX : +86-10-6526-3513

##### ●シリコンバレー

3945 Freedom Circle, Suite 790,

Santa Clara, CA 95054 U.S.A.

TEL : +1-408-567-8033

FAX : +1-408-567-9831

##### ●ニューデリー

15th Floor, Hindustan Times House,

18-20 Kasturba Gandhi Marg,

Connaught Place,

New Delhi 110 001, India

TEL : +91-11-4351-0101

FAX : +91-11-4351-0102

##### ●バンコク

8th Floor, Sindhorn Building Tower 2

130-132 Wittayu Road, Lumpini

Pathumwan

Bangkok 10330, Thailand

TEL : +66-2-256-6725

FAX : +66-2-256-6727