

# 冷媒フロン類の排出規制と 代替の動向について

一般財団法人 日本冷媒・環境保全機構

専務理事 作 井 正 人

第 593 号  
(第 51 巻 第 5 号)

編 集 行 一般財団法人 東京水産振興会

「水産振興」発刊の趣旨

日本漁業は、沿岸、沖合、そして遠洋の漁業といわれるが、われわれは、それぞれが調和のとれた振興があることを期待しておるので、その為には、それぞれの個別的な分析、乃至振興施策の必要性を、痛感するものである。坊間には、あまりにもそれぞれを代表する、いわゆる利益代表的見解が横行しすぎる嫌いがあるのである。われわれは、わが国民経済のなかにおける日本漁業を、近代産業として、より発展振興させることが要請されていると信ずるものである。

ここに、われわれは、日本水産業の個別的な分析の徹底につとめるとともに、その総合的視点からの研究、さらに、世界経済とともに発展振興する方策の樹立に一層精進を加えることを考えたものである。

この様な努力目標にむかってわれわれの調査研究事業を発足させた次第で冊子の生れた処に、またこれへの奉仕の、ささやかな表われである。

昭和四十二年七月

財団法人 東京水産振興会  
(題字は井野碩哉元会長)

目次

冷媒フロン類の排出規制と代替の動向について

第五九三号

1. はじめに.....	5
2. 地球環境とフロン類.....	5
2-1. 地球の歴史.....	5
2-2. 地球環境とオゾン層.....	9
2-3. フルオロカーボン.....	17
2-4. オゾン層破壊とフルオロカーボン.....	25
2-5. 温暖化影響とフルオロカーボン.....	34
3. フロン規制と法改正の経緯.....	47
3-1. フロン類の歴史の経緯.....	47
3-2. 国際的な規制とフロン法の関係.....	50
3-3. フロン法の変遷と趣旨.....	58
3-4. 「フロン排出抑制法」への改正にいたる経緯.....	62
4. フロン排出抑制法.....	64
4-1. 「フロン排出抑制法」と「判断の基準」.....	64
4-2. フロン類の製造・輸入業者の「判断の基準」.....	67
4-3. フロン類使用製品の製造・輸入業者の「判断の基準」.....	70
4-4. 冷凍冷蔵機器を所有する「ユーザー(管理者)」の「判断の基準」.....	75
4-5. フロン類の算定漏えい量報告.....	77
4-6. 罰則.....	79
4-7. 冷媒管理システム (Refrigerant Management System: Rams).....	79
5. 代替フロンを含めた冷媒規制への国際的な動向.....	87
5-1. バリ協定.....	87
5-2. MOP 28キガリ改正.....	87
5-3. E.Uのフロン規制.....	88
6. 今後の冷媒の展望.....	95
6-1. 現在の冷媒と今後の冷媒.....	98
6-2. 次世代冷媒に要求される条件.....	98
6-3. 現時点での低GWP冷媒.....	100
6-4. 高圧ガス保安法の改正.....	102
7. 参考・引用資料.....	106
	107

時事余聞 編集後記

作井正人



略歴

▽昭和二十八年八月東京出身。  
昭和五二年、早稲田大学理工学部卒業。  
昭和五四年、早稲田大学大学院前期博士課程修了。  
昭和五四年、三菱電機株式会社入社。  
平成一五年〜一八年、Mitsubishi Digital Electric America。  
平成二三年より現在の(一財)日本冷媒・環境保全機構。

# 冷媒フロン類の排出規制と 代替の動向について

一般財団法人 日本冷媒・環境保全機構

専務理事 作 井 正 人

## 1. はじめに

一九七〇年代の頃、エアコンのことをクーラーと呼んで憧れていたあの時代を懐かしく思い出す。そして、今でもクーラーと言われる方も少なくはないのではないかと。真夏になると今のような快適な空調設備がない満員の通勤電車は蒸し風呂状態、救いは窓から入ってくる風だけだった。そう言えば、今の若い人はご存知のないだろうが自動車にも三角窓がどの車にも装備されていた。これもエアコンなどない当時の車と

しては風を取り込むための大切な窓だった。そして、喫茶店のウィンドウには「冷房中」のサインが懐かしい。うだるような真夏の日「冷房中」を目指して店内に飛び込むのが、何とも言えなく楽しみだった。

当時、カー・クーラー・カラーテレビは三種の神器で3Cと言っていた時代、庶民のあこがれの的だった。そして、クーラーも高嶺の花だったこともあり、一九八〇年代に入ってからでもクーラーがない家庭は珍しくはなかった。今ではとても考えられないことだが、夏は大汗をかいて、ワイシャツが背中に「べったり」はごく普通のことだった。いつの時代からだったのだろうか、夏でも快適に過ごすことができるようになったのはと思う。ふと、以前のエアコンのない環境に戻れるかと想像してみたら、これは絶対に嫌だと思っただろう。人間とは我が儘な生き物で、一度獲得した快適さを剥奪されるのには耐えられないのだ。

我々の生存に欠かせない、食を考えると、冷凍冷蔵機器が世の中から無くなったら、生鮮食料品など流通、在庫、販売がで

きなくなり、我々は生きてゆけなくなる。これは、あくまでも我々の生活環境のことなのでエアコンが無くても生存はできる。ところが、我々の生存に欠かせない、食を考えると、冷凍冷蔵機器が世の中から無くなったら、生鮮食料品など流通、在庫、販売ができなくなり、我々は生きてゆけなくなる。さらに、現代社会に不可欠なIT機器が機能しなかったら、金融、流通、電力、上下水道などインフラ機能が全て停止し、これも同様に我々の生存の危機ともなりうる。ちなみに、グリーンIT推進協議会（経済産業省）での試算では二〇二五年にはIT機器の使用電力は二、四〇〇億Whとなり、これは全総電力の二〇%にあ

た。忘れてならないのは、このIT機器が稼働するためにはその電力の三〇%がIT機器を構成している半導体を冷却するための空調に使われていることである。すなわち、現在のデータセンターなどに使われているIT機器の殆どは冷凍空調機器なくしては稼働できないということである。

図1を見て頂くと、普段は気付かない我々の生活に必要な冷凍空調機器が如何に縁の下の力持ちとして支えてくれていたかが分かる。そして、どれもが現代社会には不可欠なものになっている。

現在、温暖化防止対策のため、ノンフロン・低GWP冷媒対応機器の開発などを行って、冷媒をフロン類から転換しつつあるも、まだまだ大多数の機器は冷媒としてフロン類を使用しているのが現実

この冷凍空調機器が稼働するためには冷媒が必要である。現在、温暖化防止対策のため、ノンフロン・低GWP冷媒対応機器の開発などを行って、冷媒をフロン類から転換しつつあるも、まだまだ大多数の機器は冷媒としてフロン類を使用しているのが現実である。

二〇一六年一月に発効したパリ協定における我が国の約束草案は二〇三〇年には、HFC等四ガスの削減目標は二〇一三年度比の二五・一%減を地球温暖化対策計画（二〇一六年五月策定）として達成を目指している。二〇一五年度でのHFC等四ガス実績は目標に対して一五・二%となっており、さらにHFC単独では一八〇%である。この実現のためにもノンフロン・低GWP冷媒の推進も重要であるが、現在稼働している機器に対しては機器を所有する管理者が「フロン排出抑制法」を遵守した上で、使用時の冷媒漏えい防止対策と廃棄時の冷媒回収への認識をさらに一歩深めるこ

我々の住んでいる地球は約四六億年前に原始太陽の周りにある金属・岩石・氷が激しくぶつかり合って、合体しながら大きくなり微惑星として成長していった。

## 2. 地球環境とフロン類

### 2-1. 地球の歴史

我々の住んでいる地球は約四六億年前に原始太陽の周りにある金属・岩石・氷が激しくぶつかり合って、合体しながら大きくなり微惑星として成長していった(図2-1)。原始太陽から数えて三番目の位置で成長したのが我々の原始地球である。その原始地球には微惑星が雨あられと降り注ぎ、その激しい衝突エネルギーにより大量の熱が発生し、原始地球の表面はドロドロに溶けた状態で、まさにマグマの海だ。それはマグマオーシャンと呼ばれ、表面温度は千数百度とされている(図2-2)。

やがて、地表の温度は下がった。その時の気圧は六〇気圧もあり、窒素と二酸化炭素と水蒸気が凝縮され分厚い雲で地表は覆われていた。そのため地上は太陽の光が届かない暗黒の世界が続いていた。

気温がある温度まで下がってきたとき、突然に雲が水滴に変わり豪雨が地上に降り注ぎ、その結果地表の低い部分に海ができた。その海とは、シアン化水素、ホルムアルデヒドなどが溶け込んでいる猛毒の海だった。そして、原始地球の海は高温で煮え

とが重要と考える。

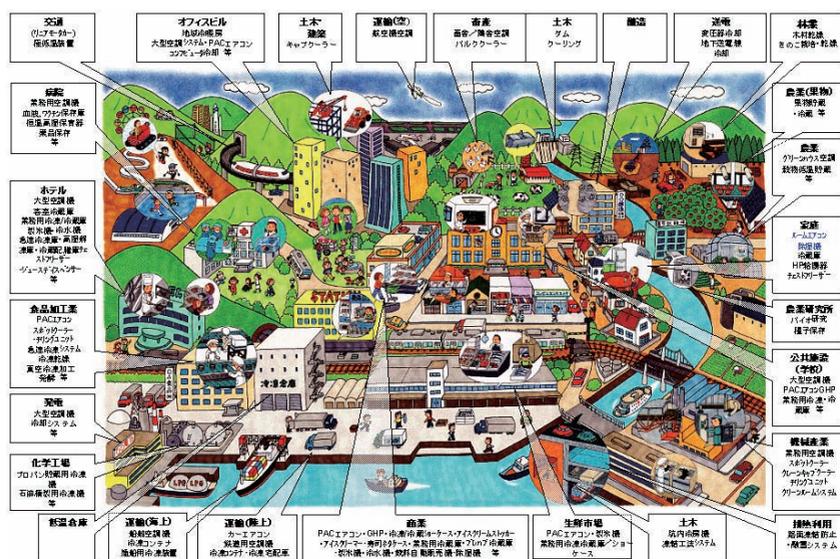


図1 身近にある冷凍空調機器 出展：(一社)日本冷凍空調工業会



図 2-1 原始地球 出典 : <http://blogs.yahoo.co.jp>

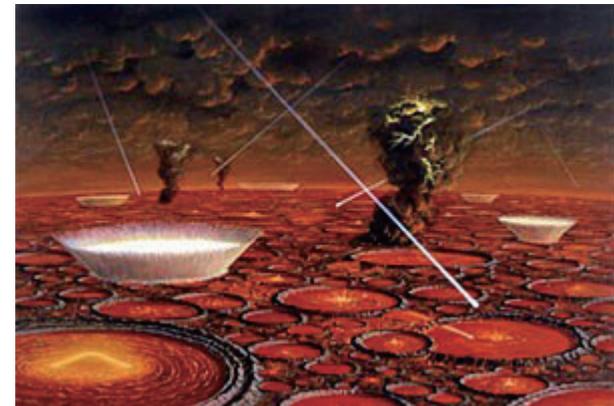


図 2-2 マグマオーシャン 出典 : <http://blogs.yahoo.co.jp>

たぎっていて、大気中では雷が頻繁に発生、地殻からは多くの物質が海水中に溶け出していた。

そして今から二七億年前、やがて海が冷えそこには現在の地球とは思えない空も海も赤みがかつた風景が広がっていた。大気には酸素は殆どなく、メタンや二酸化炭素、海には鉄イオンが豊富にあった。自己複製をして増殖する生物の原型がすでにこの時代から三億年程前に出現し、そしてさらに進化することにより、二酸化炭素と水、太陽の光による光合成を行うシアノバクテリアが誕生し大発生していた。そして、シアノバクテリアのはき出す酸素が海水中に豊富にあった鉄イオンを酸化鉄に完全に変えるのにさらに数億年の時がかかった。

大気中の酸素はメタンを酸化減少させたことで、メタンによる赤い風景からすばらしい地球の青空を創り出し、我々が必要とする大気の成分となった

海水中から鉄イオンが無くなった後、いよいよ酸素が大気に放出されることになった。大気中の酸素はメタンを酸化減少させたことで、メタンによる赤い風景からすばらしい地球の青空を創り出し、我々が必要とする大気の成分となった。このシアノバクテリアによる地球環境の変化には五億年から一〇億年もかかったと言われている。さらに、一〇億年ほどの時間を経た、今から約六億年前、大気中の酸素濃度は増加し、紫外線を光吸収してオゾン層が創られた。このオゾン層がDNAを破壊する有害な紫外線を遮ってくれることで、植物は四億年前、我々の先祖である脊椎動物が約三億六千万年前に海から地上に上陸し現在に至ったのである。

つまり、シアノバクテリアが創り出した酸素とオゾン層、一気圧の大気、平均気温



図 2-3 奇蹟の環境をもつ地球 出典 : space.lamost.org

一五℃、窒素七八%、酸素二一%の奇蹟の環境が形成されるのに地球誕生から四六億年もの長い時間を必要としたのである(図2-13)。

シアノバクテリアという奇蹟の生物がいたことで、大気中に酸素とオゾン層が生成され、酸素を必要とする生命体の一つである人類が地上で謳歌できたのである。したがって、オゾン層破壊問題を白内障、皮膚ガンの要因と懸念し騒ぐ以前に、酸素とオゾン層が人類を含む生物を地上に生活させてくれた源であることに感謝して目を向けるべきだろう。

## 2-2. 地球環境とオゾン層

### 2-2-1. オゾンとは

三つの酸素原子から構成され、分子式は $O_3$ 。  
三つの酸素原子から構成され、分子式は $O_3$ と表される。通常の大気中にも $0.0005$ ppm程度のオゾンが存在している。非常に不安定な気体であるため、常温で徐々に分解して安定した酸素( $O_2$ )になるが、活性酸素( $O$ )を放出するためフッ素に次ぎ酸化力が非常に強い物質である。独特の臭いをもつ気体で、回転しているモーターやコピー機の横などで何とも言えない臭いを感じた経験をお持ちではないだろうか、これがオゾンの臭いなのである。当然、人体には有害で $50$ ppmの環境では一時間死亡に至り、許容されている労働環境は $0.05$ ppm以下とされている。

酸素からオゾン発生メカニズムとしては、空气中に存在する酸素への紫外線照射、電気放電を与えることにより生成される。以下に成層圏でのオゾン層の生成と分解のメカニズムを示す。

#### 〈生成〉

短い波長（二四二nm以下）の紫外線によりエネルギーを与えられた酸素分子（ $O_2$ ）は紫外線を吸収して、酸素原子（ $O$ ）二個に分解する、これを光分解という。そして、他の酸素分子（ $O_2$ ）二個と結合して、オゾン分子（ $O_3$ ）二個となる。



#### 〈分解〉

長い波長（二四二～三三〇nm）の紫外線は逆にオゾン分子（ $O_3$ ）にエネルギーを与え、オゾン分子（ $O_3$ ）は紫外線を吸収して酸素分子（ $O_2$ ）と酸素原子（ $O$ ）に分解（光分解）する。



また、電気放電による生成メカニズムは紫外線による生成と同様に高圧電界による放電、電気接点による放電により、エネルギーを与えられた酸素分子から分解された酸素原子が酸素分子に結合してオゾンを生産する。

大気汚染による窒素酸化物（ $NO_x$ ）と炭化水素から光化学反応により局所的に高濃度の光化学オキシダント（主成分…オゾン）が発生することが、光化学スモッグとよばれ、昭和四〇年代に国内では大きな問題になった。

大気汚染による窒素酸化物（ $NO_x$ ）と炭化水素から光化学反応により局所的に高濃度の光化学オキシダント（主成分…オゾン）が発生することが、光化学スモッグとよ

ばれ、昭和四〇年代に国内では大きな問題になった。その後、大都市での環境対策が進み光化学スモッグの発生は減少したが、ここ近年中国などからの汚染物質である、自動車の排ガスや化石燃料の消費による窒素酸化物（ $NO_x$ 、 $NO_2$ ）や炭化水素が偏西風で日本に流れ込み、発生の原因となっている。メカニズムとしては、大気中に炭化水素類が存在すると、 $HO_2$ や $RO_2$ （ $R$ …アルキル基）により酸化されるサイクルで $NO$ が $NO_2$ に変換される。そして、四〇〇nmより短い波長の太陽紫外線で $NO_2$ が光分解<sup>\*1</sup>をして酸素原子（ $O$ ）を生成してオゾン（ $O_3$ ）の生成となる。この繰り返しにより、 $NO$ と $NO_2$ は触媒として働き、酸化性物質（オキシダント）である、オゾン（ $O_3$ ）を大量に発生させる。プロピレンはオゾンを発生させる指数である $MIR_{*2}$ …一・五七と非常に大きく、二〇一六年一月に米国環境保護局（EPA）はプロピレンの冷媒としての使用を禁止した。

オゾンはその強酸化力のため、東京都、大阪市などの上水道の殺菌に使われている。利点としては、分解して酸素になるため毒性の残留物が残らない点と非常に強力な殺

菌作用があることである。

※1 光分解…光子のエネルギーが物質の分子の化学結合より大きいときに、光は分子に吸収され消滅し、物質の分子は原子に分解される。物質により光吸収される光の波長は、それぞれ分子特有の構造のため分子内の原子―原子の振動を起こす波長がそれぞれ特有のため物質により異なる。

※2 MIRとはMaximum Incremental Reactivity (最大増加反応性)

MIR II オキシダント増加量/VOC増加量

VOC…炭化水素、芳香族炭化水素類など

## 2―2―2. 紫外線

太陽より降り注ぐ光は紫外線、可視光線、赤外線と大きく分けることができる。光とは電磁波の一部であり、紫外線より周波数の高いものはX線、ガンマ線と呼び、赤外線より周波数の低いものはマイクロ波、電波とも呼ばれ通信などに利用されている。電磁波は周波数の高いものほどエネルギーは高く、X線、ガンマ線、紫外線も人体に取っては害をおよぼすものである。その中で紫外線は以下の分類をされている。

太陽より降り注ぐ光は紫外線、  
可視光線、赤外線と大きく分ける  
ことができる

長波長紫外線…UV―A 三二五～四〇〇nm

中波長紫外線…UV―B 二八〇～三二五nm

短波長紫外線…UV―C 一〇〇～二八〇nm

UV―A

オゾン層により吸収され五・六%が大気を通過し、波長が長いため皮膚の真皮まで到達しタンパク質を変性し皮膚の弾性を失わせ老化させる。

UV―B

オゾン層により吸収され〇・五%が大気を通過する。波長が短いため、表皮層に作用して、日焼けを作る。この時にビタミンDが体内に作り出される。

UV―C

オゾン層による吸収によって地表には届かない。ただし、波長が短いためエネルギーが高く非常に危険である。UV―BとUV―Cは皮膚ガン発生のリスクが大きく、特に生物DNAを構成する分子が励起する波長は二五〇nm近辺であるため、DNAがこの波長の紫外線を浴びると、DNAの不正配列、複製不能、転写ミスなどが起き正常に遺伝子が機能しなくなり、バクテリアなどは固体の壊死、動物ではガンなどを引き

太陽光の中のある特定の波長を、光吸収して消滅することとは、光がそのエネルギーを渡すことであり、その受け渡しには二つの現象がある

起こす。

太陽光の中のある特定の波長を光吸収して消滅することとは、光がそのエネルギーを渡すことであり、その受け渡しには二つの現象がある、一つは光のエネルギーを分子などの光分解として使う現象、もう一つは原子の周りを回っている電子の軌道位置を上位に移動させる現象だ。すなわち原子を励起させるためにその原子の電子にエネルギーを受け渡す現象である。その結果双方とも光は消滅し、結果として光は吸収される。励起の場合はその原子固有の励起されるための光の周波数が異なるため、物質に応じて固有の波長の光が吸収される。この物質固有の波長以外の光は吸収されないため消滅せずに光として通過する。

図2-4では、UV-Cよりさらに波長の短い紫外線は酸素分子( $O_2$ )を光分解することに使用れ吸収されて地表には届かない。また、二四二〜三二〇nmの紫外線はオゾン分子( $O_3$ )を光分解するために使われるため、同様に地表には届かないことになる。よって、オゾン層と酸素が有害な紫外線を地表に届くことを遮断してくれている。

## 2-2-2. オゾン層

大気中の酸素分子( $O_2$ )が紫外線による光分解でオゾン分子( $O_3$ )に変わり、またその逆もある成層圏では、オゾン分子( $O_3$ )が生成され、また同時に消滅し一定の量のオゾン層が図2-5に示すように高度一〇km〜五〇kmの上空に分布している。オゾ

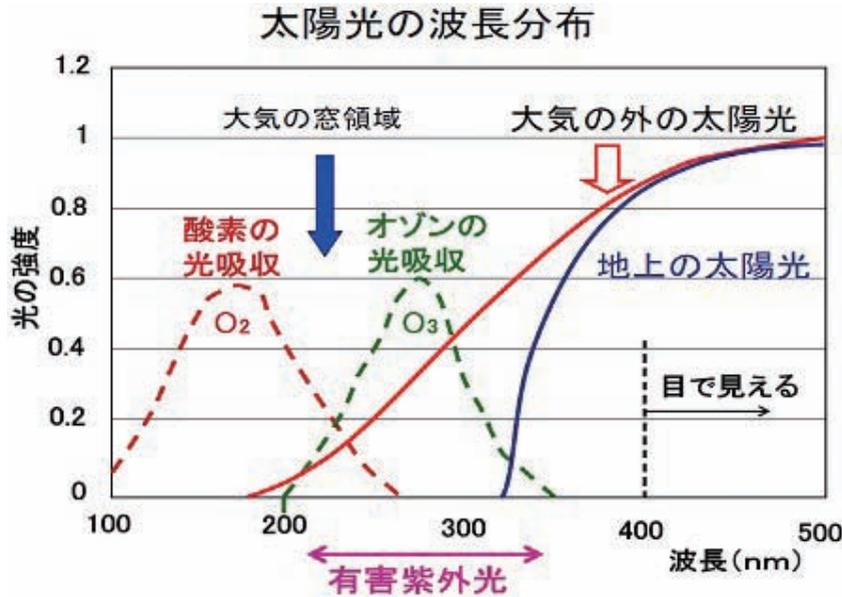


図2-4 太陽光の吸収波長 出典：文部科学省「光と地球環境」

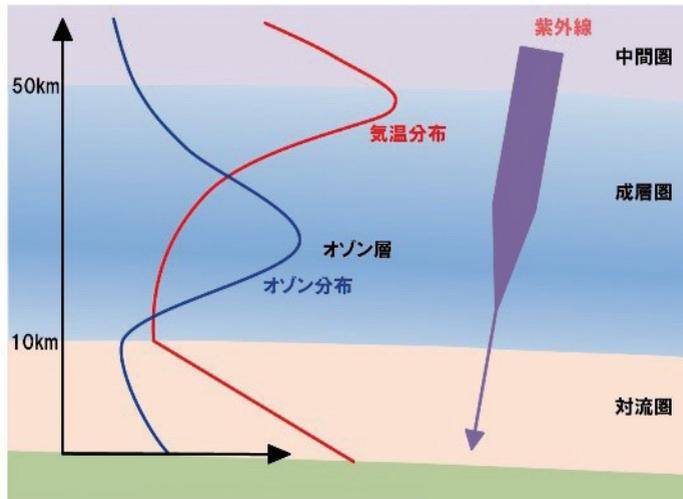


図2-5 オゾン層とオゾンの分布 出典：気象庁 オゾン層とは

ン層全体としては成層圏のかなり広い範囲に分布しているが、その量としては地表での0℃、一気圧での密度に換算すると中〜高緯度地域では平均3mm程度(300DU)<sup>※3</sup>となる、大気に比べるととても微量な量である。

オゾン層が図2―5のような成層圏に分布する理由としては、先にも述べたように非常に波長の短い有害な紫外線が酸素分子(O<sub>2</sub>)を光分解してオゾン分子(O<sub>3</sub>)を生成するメカニズムがある。すなわち太陽より降り注ぐ紫外線は酸素分子(O<sub>2</sub>)を高度で光分解することで吸収され、低高度までは到達できない。したがって低高度では酸素分子(O<sub>2</sub>)を光分解することのできる波長の短い紫外線が存在しないため、酸素原子(O)の生成はなくなりオゾン濃度が低くなる。また、高高度ではもともと空気が薄く酸素分子(O<sub>2</sub>)が少ないため、酸素分子(O<sub>2</sub>)を分解する波長の短い紫外線は存在するが、オゾン分子(O<sub>3</sub>)の生成量は少ない。このようなメカニズムにより図2―5で示すように成層圏中部の高度20〜30km近辺でオゾン密度が極大となるようなオゾン分布となっている。

酸素とオゾンが光吸収によりそれぞれ交互に入れ替わることのできるオゾン層が存在することにより、地表にいる人類を含めた生物は有害な紫外線から守られている。

図2―4に示すように酸素とオゾンが光吸収によりそれぞれ交互に入れ替わることのできるオゾン層が存在することにより、地表にいる人類を含めた生物は有害な紫外線から守られている。

※3 ドブソン・ユニット(DU)(1DU=1m atm-cm) … 上空のオゾン層を全て合計

積算した値で、上空のオゾン総量を地上0℃、一気圧での密度に仮定換算したときの厚みをmmで表してそれを100倍したもの。

オゾン量は緯度、季節により差があり、赤道付近など低緯度地域では約250DUと少なく、中〜高緯度地域で300〜400DU程度である(図2―6)。これは、ブリュワー・ドブソン循環(BD)(後出)による影響により低緯度ではオゾン濃度が低くなる。

## 2―3. フルオロカーボン

### 2―3―1. フルオロカーボンとは

フルオロカーボンとは、メタン、エタン等のハイドロカーボンを構成している水素原子をフッ素、塩素等のハロゲン原子に置き換えたものでありハロカーボンの一種

フルオロカーボンとは、メタン、エタン等のハイドロカーボン(HC)を構成している水素原子をフッ素、塩素等のハロゲン原子に置き換えたものでありハロカーボン(halocarbon)の一種である。これは、HCが非常に可燃性の高いものであるため、ハロゲン物質で水素原子を置き換えることにより不燃で安定性の高い自然界には存在しない物質を人工的に創り出したものである。

フロンとは日本特有の呼び方であり、CFC、HCFCの「特定フロン」に対しての総称的な呼び名であった。「特定フロン」がオゾン層を破壊することから、モント

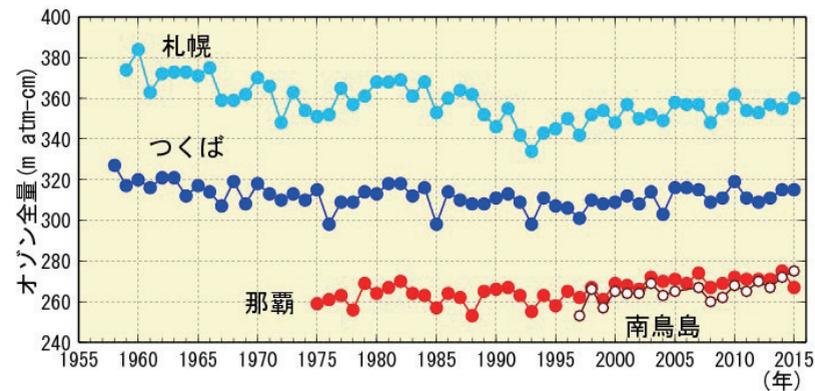


図 2-6 日本のオゾン全量年平均値の経年変化  
出典：気象庁「オゾン全量の経年変化」

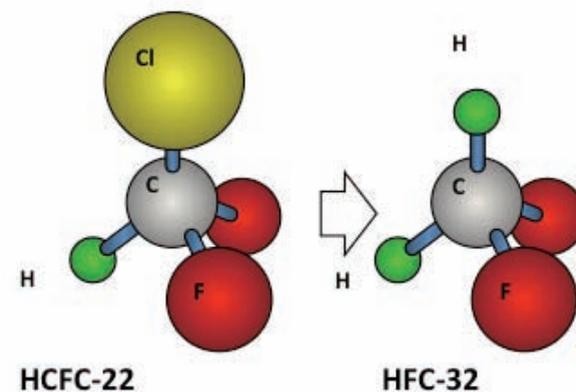


図 2-7 特定フロンと代替フロンの構造

リオール議定書により、「特定フロン」の段階的削減が決まり、オゾン層を破壊しない塩素原子を持たないHFCが開発され、これを「代替フロン」とし、一九九五年頃より国内ではカーエアコン、家庭用冷蔵庫の冷媒として新製品より使い始めた。

図2-7にはその一例としてHFCの代表的な冷媒であるR22の構造とHFCであるR32の構造を示している。両者の違いは、ともにメタン系のフロン類であるが、R22のオゾン層を破壊する塩素原子(Cl)を取り除き水素原子(H)に置き換えたものがR32である。この分子構造の違いから推測されるように、R32がR22に比べて、水素原子が多い分燃焼しやすいわけだ。ちなみに、二〇〇一年四月一日より施行された「フロン回収・破壊法」より、フルオロカーボンである「特定フロン」と「代替フロン」の両方を合わせて「フロン類」と総称することになった。

### 2-3-2. フロン類の用途

フロン類は熱物性、不燃性、低毒性などの性質を持ち、冷媒としての使用にはとても優れている。

フロン類は熱物性、不燃性、低毒性などの性質を持ち、冷媒としての使用にはとても優れている。そして冷凍空調機器の冷凍サイクルを循環するための物理的安定性、電位的絶縁性、潤滑油との適合性などの特性を持っている。

一方、不燃性であるため殺虫剤、ヘアスプレー等の噴射剤としての利用用途、冷蔵庫、冷凍倉庫、住宅の断熱材としてのウレタンフォームとしての利用、精密機械部品、電子部品の洗浄剤、ドライクリーニング溶剤としても多く使用されていた。近年では

温暖化対策のため、その用途では徐々にフロン類から他の物質へ代替されその使用は減りつつある、ただし薬用のスプレーなど代替のきかない一部の製品には使用されている。したがって、今後のフロン類の使用先は冷凍空調機器が主流をしめることになっている（表2-1）。

### 2-3-3. 冷媒として要求される事項

冷凍空調機器とは冷凍サイクルに冷媒を循環させて室外と室内の熱移動を行う機器

冷凍空調機器とは冷凍サイクルに冷媒を循環させて室外と室内の熱移動を行う機器である。また、冷凍サイクルとは冷媒を蒸発器でガス化するとき熱を奪い気化熱として周囲の温度を下げ、ガス化された冷媒を圧縮機で圧力を上げ、凝縮器で熱を放出して冷媒の温度を下げ液化し、放出された熱で周囲の温度を上げる仕組みである。すなわち、循環する冷媒に気化と凝縮を繰り返させ、相を変え、多くの熱移動（外気との熱の交換）をさせる潜熱交換が、冷凍サイクルの基本原理である。

一方、この冷凍サイクルの環境にさらされる冷媒に対しては、高温、高圧での物理的安定性、潤滑油との適合性、内蔵されるモータ等への電気的な絶縁性、モータの巻き線コイルに対する非腐蝕性等、要求される条件は厳しい。以下の(1)～(12)は冷凍空調機器の冷媒に要求される事項である。これらを満足する物質としてフロン類は最適な冷媒といえる。

- (1) 無毒性
- (2) 不燃性
- (3) 物理的安定性（耐化学・耐熱）
- (4) 潤滑油との適合性（潤滑油を劣化させず、潤滑油との親和性）
- (5) 液化しやすい特性
- (6) 低沸点
- (7) 蒸発潜熱が大きい特性
- (8) 飽和蒸気の比体積が小さい特性（飽和蒸気の密度が高い）
- (9) 液相・気相の低粘度（配管内の流動抵抗が低いこと）
- (10) 熱伝導率の大きい特性（熱交換特性）
- (11) 電気的絶縁性
- (12) 金属に対する非腐蝕性

### 2-3-4. フロン類の冷媒番号の付け方

冷媒の番号は全世界共通にASHRAE Standard34で取り決められており、特にフロン類については以下のように決められている。これらは全てR○○で始まるが、Rの代わりにCFC、HCFC、HFC等の化合物名の略号を使用することもできる。フロン類（単一冷媒）の場合は、一〇〇位、一〇位、一位の数字で構成されている。

表 2-1 代表的なフロン類の種類と用途

種類	特徴及び代表的物質	用途
CFC	(Chlorofluorocarbon) 塩素を含みオゾン破壊の程度が高い化合物 R11、R12 (単独、混合冷媒 R 500 用)、 R113、R114、R115 (単独、混合冷媒 R 502 用) 等 (オゾン破壊係数 0.5 ~ 1.0)	●冷媒…業務用低温機器、 カーエアコン、 遠心式冷凍機等 ●発泡剤 ●洗浄剤等
HCFC	(Hydrochlorofluorocarbon) 塩素を含んでいるが水素があるためオゾン破壊の 程度が小さい化合物 R22、R123、HCFC-141b、HCFC-142b、 HCFC-225、等 (オゾン破壊係数 CFC の約 1/10 ~ 1/50)	●冷媒…業務用低温機器、 ルームエアコン、 パッケージエアコン、 チリングユニット等 ●発泡剤 ●洗浄剤等 (CFC 代替用)
HFC	(Hydrofluorocarbon) 塩素を含まず水素を含んだオゾン破壊が全くない 新代替物質 R134a、R32、R125、R410A、 R407C、R404A、R507A、HFC-152A 等 (オゾン破壊係数 ゼロ)	●冷媒…業務用低温機器、 空調機等 ●発泡剤等

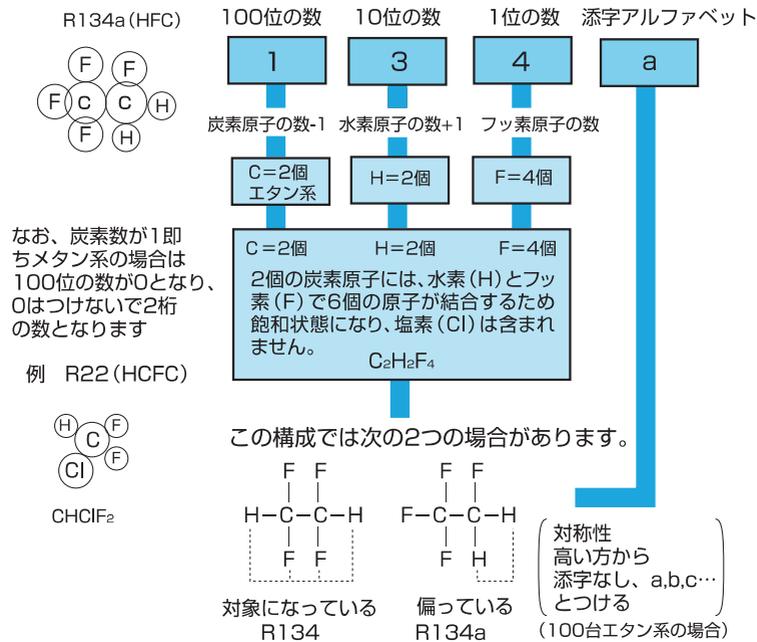


図 2-8 フロン類の番号の付け方 出典：JRECO 冷媒回収処理技術

一〇〇位の数は、炭素原子マイナス1の数を表している

一〇〇位の数は、炭素原子マイナス1の数を表している。したがって炭素が一個のメタン系の一〇〇位は「0」となり、二桁の数字がRの頭文字に続く(例：R11、R22、R32等)。炭素が二つのエタン系では一〇〇位の数字が「1」で、三桁の数字がRの頭文字に続く(例：R134a、R123、R125等) ことになる。

一〇位の数は、水素原子+1の数を表し、一位の数は、フッ素原子の数を表している。炭素原子の結合の手は四個しかないため、その飽和状態より塩素原子の数は分けるため、塩素原子については表現しない。この法則がわかれば、冷媒番号を見れば簡単に構造がわかる(図2-8) ことになる。

(例)

- R12…メタン系(CFC) (炭素原子1、水素原子0、フッ素原子2、塩素原子2)
- R22…メタン系(HCFC) (炭素原子1、水素原子1、フッ素原子1、塩素原子1)
- R32…メタン系(HFC) (炭素原子1、水素原子2、フッ素原子0)
- R123…エタン系(HCFC) (炭素原子2、水素原子1、フッ素原子2、塩素原子2)
- R134a…エタン系(HFC) (炭素原子2、水素原子2、フッ素原子4、塩素原子0)

フロン類の混合冷媒のR番号としては、以下に例を示す。

- (1) 四〇〇番代は非共沸混合冷媒（混合された冷媒の沸点が異なる）、下二桁は混合冷媒組成で決まる番号（例：R410A、R404A等）
- (2) 五〇〇番代は共沸混合冷媒（混合された冷媒の沸点が同じ）、下二桁は登録順番号

RとはRefrigerantの頭文字で、フロン類以外の冷媒としてR〇〇で登録されている

また、RとはRefrigerantの頭文字で、フロン類以外の冷媒としてR〇〇で登録されているものの一例を以下に示す。

- (1) R290：プロパン
- (2) R1270：プロピレン
- (3) R600：ブタン
- (4) R600a：イソブタン
- (5) R744：二酸化炭素
- (6) R717：アンモニア
- (7) R702：水素
- (8) R704：ヘリウム
- (9) R718：水

ASHRAE<sup>\*</sup>に登録された冷媒の詳細は以下のURLを参照。ただし、ASHRAEの冷媒番号はASHRAEが採番するが、安全性などをASHRAEが保証し担保したものである。

※4 アメリカ暖房冷凍空調学会 (American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers)

ASHRAE Refrigerant Designations

<https://www.ashrae.org/standards-research--technology/standards--guidelines/standards-activities/ashrae-refrigerant-designations#>

## 2-4 オゾン層破壊とフルオロカーボン

### 2-4-1. オゾン層破壊のメカニズム

特定フロンが大気に放出されると、フロンはとても安定な物質なので破壊されずそのままの状態で成層圏まで拡散し、高度一〇km以上の成層圏に到達するまでに数年の年月が掛かる

我々の生活環境で冷凍空調機器などから特定フロン（以下：フロン）が大気に放出されると、フロンはとても安定な物質なので破壊されずそのままの状態で成層圏まで拡散し、高度一〇km以上の成層圏に到達するまでに数年の年月が掛かる。また、生活環境ではフロンを光分解する紫外線が殆ど届かない（すでに、成層圏で他の物質を光

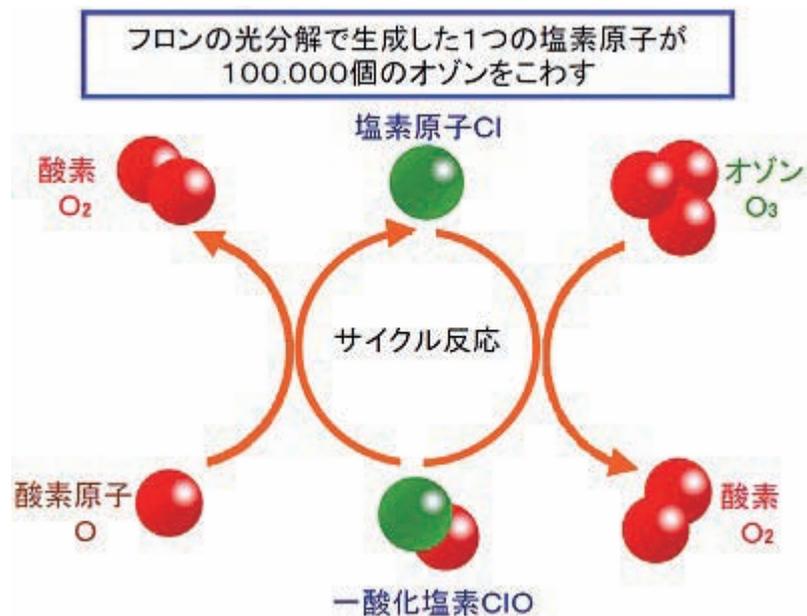


図 2-9 オゾン破壊のサイクル反応 出典：文部科学省 「光と地球環境」

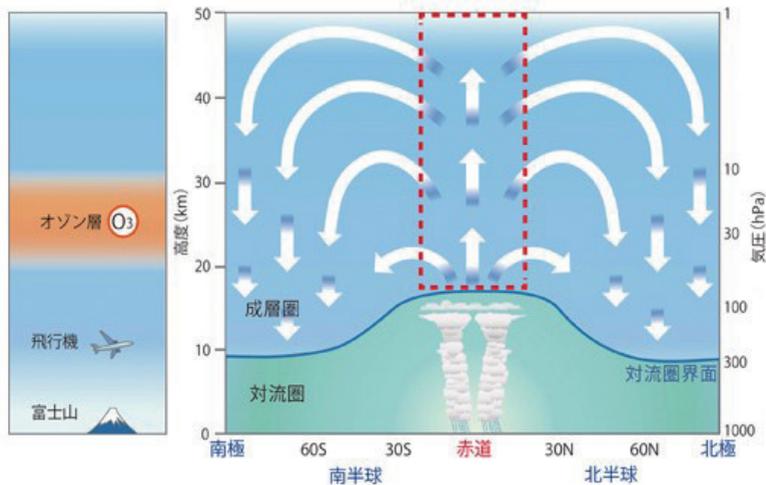


図 2-10 ブリュウワー・ドブソン循環 (BD)

出典：(独) 海洋研究開発機構 「地球温暖化に伴う赤道準 2 年振動の弱化傾向を発見—地球規模の流れの変化を立証する新たな観測的知見—」

分解して消滅) ため光分解はおこらない。

ところが、フロンが対流圏を抜け、成層圏に到達すると酸素分子とオゾン分子の光吸収波長の間にある「大気の窓領域」(図 2-4) として開いている部分より通過した紫外線(200~220nm) がフロンを光分解して塩素原子を放出させる。

ステップ 1 :  $\text{CFCl}_3$  (R11) + 紫外線 (200 ~ 220nm)  $\rightarrow$  塩素原子 (Cl) +  $\text{CCl}_2\text{F}$   
 ステップ 2 : 塩素原子 (Cl) + オゾン分子 ( $\text{O}_3$ )  $\rightarrow$  一酸化塩素分子 (ClO) + 酸素分子 ( $\text{O}_2$ )  
 ステップ 3 : 一酸化塩素分子 (ClO) + 酸素原子 (O)  $\rightarrow$  塩素原子 (Cl) + 酸素分子 ( $\text{O}_2$ )  
 ※  $\text{CCl}_2\text{F}$  も光分解され、塩素原子 (Cl)、一酸化塩素分子 (ClO) となりオゾン破壊する。

成層圏では、このステップ 1 ~ 3 を何度も繰り返すため、一つの塩素原子が触媒のように働き、数千から数十万のオゾン分子を消滅させてしまう (図 2-9)。

ちなみに、 $\text{HCF}_2\text{C}$  が  $\text{CFC}$  に比べてオゾン層破壊を起こしにくいのは、水素原子をその構造に持つため、 $\text{CFC}$  に比べ構造的には不安定であるために、成層圏まで上昇する以前に対流圏で殆どが光分解されるためである。

オゾン是最も太陽光の強い赤道成層圏で主に多く生成され、BD循環により南北両半球へ運ばれているので、低緯度地域よりも高緯度地域でオゾン濃度が高いのはこのため

## 2-4-2. 成層圏での物質の運搬

成層圏では、図2-10のように赤道域で上昇し南北両方に広がり下降する循環が存在して、これをブリューワー・ドブソン循環（BD循環）と呼ぶ。オゾンは最も太陽光の強い赤道域成層圏で主に多く生成され、BD循環により南北両半球へ運ばれている。したがって、低緯度地域よりも高緯度地域でオゾン濃度が高いのはこのためである（図2-6）。

同様にフロン、塩素、一酸化塩素、塩酸、硝酸、硫酸、硝酸塩素、水蒸気、メタン等の全ての化学物質がBD循環により南北極へ運ばれている。

## 2-4-3. 極成層圏雲 (PSC : Polar Stratospheric Cloud)

高度二〇km程度の下部成層圏では、乾燥しているのでふつう雲は発生しないがマイナス七八℃より温度が下がると、特殊な雲である極成層圏雲（以下PSC）が発生する（図2-11）。この雲は真珠母雲ともよばれ、非常に高高度にあるため日没後も太陽の光を受けて美しく輝く。PSCを構成する主な物質は硫酸、硝酸、水蒸気が主成分で非常に微細な粒子として存在している。硫酸、硝酸は火山活動によるものがBD循環により極地に集積したものと考えられる。冬期極地下部成層圏での温度が下がる理由として、極地では極渦（極夜渦）という低気圧性のジェット気流でとり囲まれて低緯度からの暖気気流の流入が遮断されることと、冬期であるため極地では太陽光



図2-11 昭和基地から撮影したPSC 出典：気象庁「第49次南極観測隊撮影」

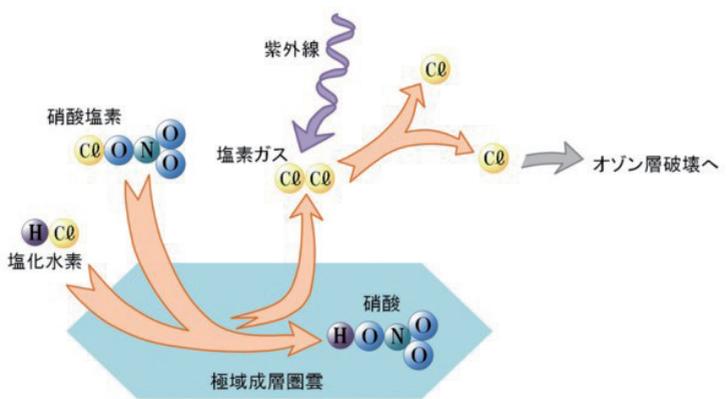


図2-12 PSC表面での不均一反応 出典：気象庁「南極オゾンホールができるしくみ」

フロンより生じた塩素原子により高度四〇km付近の上部成層圏では、塩素単体でオゾンと反応して、上部成層圏のオゾン層の破壊を引き起こしている

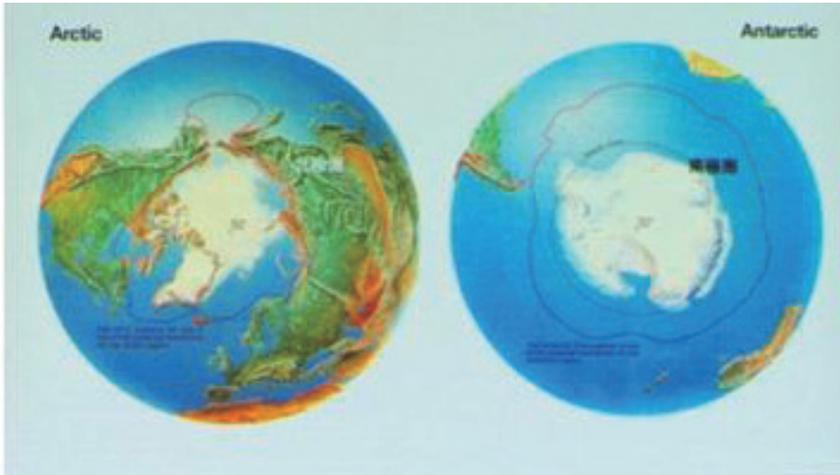
の照射がなくなるためである。

前項でのオゾン層破壊のメカニズムで述べたように、フロンより生じた塩素原子により高度四〇km付近の上部成層圏では、塩素単体でオゾンと反応して、上部成層圏のオゾン層の破壊を引き起こしている。高度が高いほどフロンを光分解する紫外線の量が多いため、フロンの多くは上部成層圏で光分解され塩素の多くが生成される。

そして、この上部成層圏で生成された塩素原子は下部成層圏にも運ばれ、BD循環により運ばれた物質と化合して、それ自体にオゾン破壊作用のない、比較的安定な塩化水素(HCl)、硝酸塩素(ClONO<sub>2</sub>)といった化合物に変化して極渦の中に蓄積されている。

PSCが発生すると、これらの化合物はPSCの表面で不均一反応(気体分子が雲の固体粒子または液体粒子の表面でおこす反応など、異なる相の間でおこる化学反応をいう)により、塩化水素(HCl)、硝酸塩素(ClONO<sub>2</sub>)から塩素分子(Cl<sub>2</sub>)が生成される(図2-12)。

春になり、太陽光が戻ったときに塩素分子(Cl<sub>2</sub>)は紫外線により光分解され、上部成層圏と同様に塩素を触媒として下部成層圏でもオゾンが破壊される。PSCの発生する下部成層圏(高度二〇km)ではオゾンが最も豊富にある高度であるため(図2-5)、この塩素がオゾン破壊を一気に進行させ、オゾン濃度の最も高い部分にダメージを与えること、すなわち南極にオゾンホールを発生させることになる。したがって、



北極域地図

南極域地図

図 2-13 北極・南極地図

出典：つれづれの記 地球の地図と図法

<http://blog.goo.ne.jp/gooblgabe/e/b6b86de049441f6a2523ea1e3e135f70>

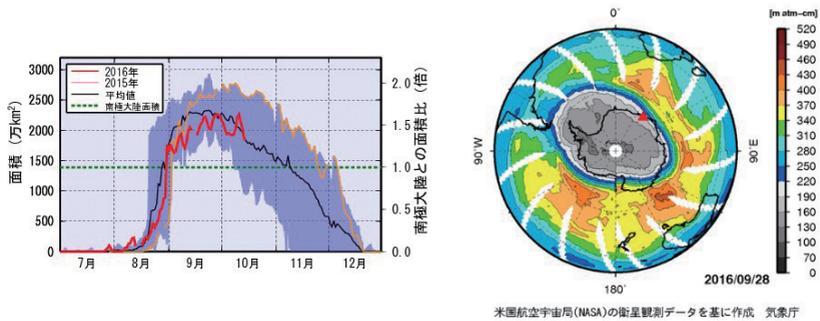


図 2-14 南極のオゾンホール (2016 年)

出典：気象庁 「南極域のオゾン全量分布図」

極渦によるPSCの発生とオゾンホールの相関は非常に大きい。

図2-13に示すように、北極での下部成層圏では南極との地形による海陸分布（北極はヒマラヤ山脈、ロッキー山脈などによる対流圏での気流の波の乱れがあるが、南極は海が多く影響は少ない）により極渦の形成が不安定のため低緯度からの暖気気流の遮断が不完全なため、南極に比べて冬期では一〇℃ほど暖かくPSCの発生は少なくてオゾンホールが生じることが少ない。ただし、近年の温室効果ガスの増加により地表から放射される赤外線が対流圏で遮断されるため、下部成層圏での寒冷化が進みPSCの発生が南北極で促進されている。この影響にもより二〇一一年には北極での下部成層圏の温度がマイナス八〇℃を割り込み、PSCの発生によるオゾンホールが出現した。

オゾン層破壊による南極でのオゾンホールの発生は、明らかに人為的に製造されたフロン<sup>①</sup>の排出が主原因であると、国内外の研究結果でも明確になっている。

オゾン層破壊による南極でのオゾンホールの発生は、明らかに人為的に製造されたフロンの排出が主原因であると、国内外の研究結果でも明確になっている。以下に、オゾンホール出現に至る過程を改めて整理した。

ステップ1…地上でのフロンの放出

ステップ2…上部成層圏でのフロンの光分解による塩素原子の発生

ステップ3…塩素原子によるオゾン破壊〈上部成層圏〉オゾン破壊…上部成層圏のオ

ゾン量は少ない（影響小）

ステップ4…上部成層圏で生成された塩素分子が下部成層圏へ運搬

ステップ5…下部成層圏へ運ばれた塩素原子が比較的安定なオゾン破壊しない化合物となる

物となる

ステップ6…冬期南極でPSCの発生

ステップ7…PSC表面での不均一反応により、オゾン破壊しない化合物から塩素分子の生成

分子の生成

ステップ8…春になり太陽の紫外線で塩素分子が光分解され塩素原子となる

ステップ9…塩素原子によるオゾン破壊〈下部成層圏〉オゾン破壊…下部成層圏のオ

ゾン量は多い（影響大）

ステップ10…オゾンホールの出現

## 2-4-4. 二〇一六年オゾンホール

以下気象庁のホームページによるオゾンホールの状況（二〇一六年）より抜粋。

1. 二〇一六年のオゾンホールは八月上旬（南極の春）に観測された。

2. 八月中旬～一〇月二〇日までの面積は最近一〇年間の平均値と比較して同程度であるといは小さい。

3. 九月二八日の面積は二、二七〇万km<sup>2</sup>（南極大陸の約一・六倍）。

最近の調査では南極でのオゾンホールは縮小される方向にあり、これはCFC、HCFCの生産を規制している「モントリオール議定書」による規制の効果が現れたと考えられる

最近の調査では南極でのオゾンホールは縮小される方向にあり、これはCFC、HCFCの生産を規制している「モントリオール議定書」による規制の効果が現れたと考えられる。そして、オゾンホールの縮小は気象庁によるCFCの濃度データからも二〇〇五年以降から減少に向かっていることから相関性があることが理解できる(図2-15)。国際的な規制を各国が遵守したことによる地球環境が修復された良い例として今後他の環境課題に対して対応することが必要である。

## 2-5. 温暖化影響とフルオロカーボン

### 2-5-1. 太陽放射

太陽と地球の距離は一億四、九六〇万kmあり、光の速度で八分一九秒掛かる距離である。太陽から地球を含めて惑星へ与えられる熱エネルギーは宇宙空間であるため、熱伝導・熱伝達では伝わらず、電磁波による熱放射(主に可視光線)だけによるものである。あくまでも、熱放射・熱伝導・熱伝達による熱の移動は我々のいる地球環境あるいは他の惑星内でのことがらで、宇宙空間を伝搬する熱エネルギーは電磁波だけによる。太陽の黒体放射温度は六、〇〇〇K(五、七〇〇℃)であり、地球に降り注ぐ太陽の熱放射は図2-16に示す波長〇・四八 $\mu\text{m}$ (式2-1)を中心とした電磁波である。これは、太陽中心部での水素の核融合から放出されたガンマ線が太陽内部のガ

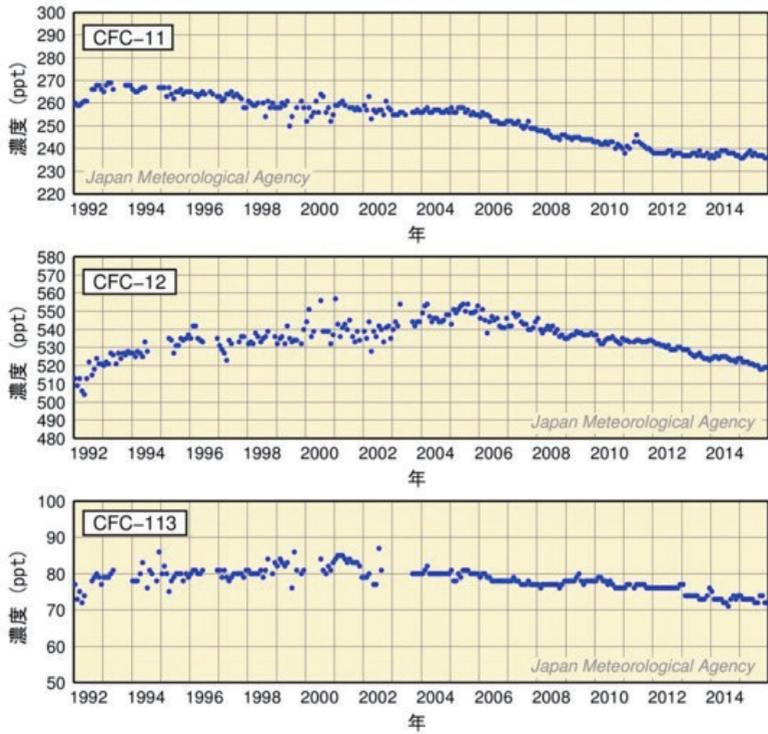


図 2-15 気象庁の観測点における大気中の CFC 濃度の経年変化  
出典：気象庁 「フロン類」

黒体からの熱放射のうち、最大強度が得られる波長 $\lambda_{max}$  [μm]は絶対温度 $T$  [K]に反比例する。

ウィーンの変位則

スに吸収されながら徐々にエネルギーレベルを落としX線となり、さらに同様にエネルギーレベルを落として紫外線と可視光線、赤外線となって太陽表面より放出されたものである。

黒体からの熱放射のうち、最大強度が得られる波長 $\lambda_{max}$  [μm]は絶対温度 $T$  [K]に反比例する。具体的には物質から熱放射として電磁波である赤外線エネルギーとして放射される、赤外線の波長はその物質の表面温度 $T$  [K]により異なる。熱エネルギーの高い物質ほど波長の短い電磁波が放出され、温度の低いものからは波長の長い電磁波が放出される。

$$\lambda \parallel 2897 / T \text{ [μm]} \quad \text{:: 式 (2-1)}$$

$\lambda$  : 波長

$T$  [K] : 物質の表面温度 (絶対温度)

## 2-5-2. 地球のエネルギーバランス

太陽から太陽放射である電磁波を地球は受け取り、地球は宇宙空間へ同等のエネルギーを電磁波である赤外線として放出してバランス(平衡)を保っている(図2-17)。

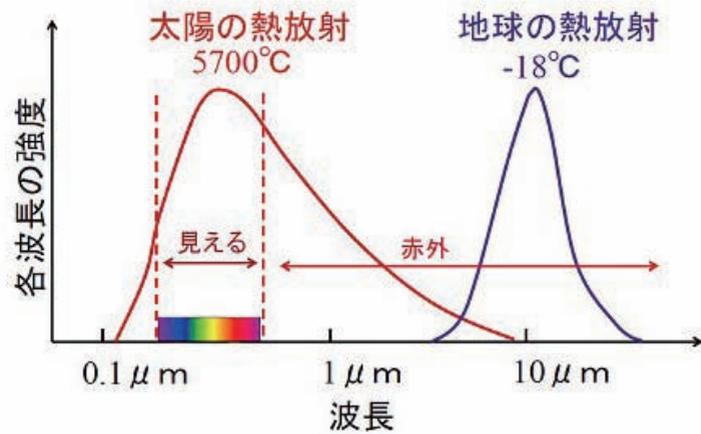


図 2-16 太陽および地球の熱放射のスペクトル分布  
出典：文部科学省 「光と地球環境」

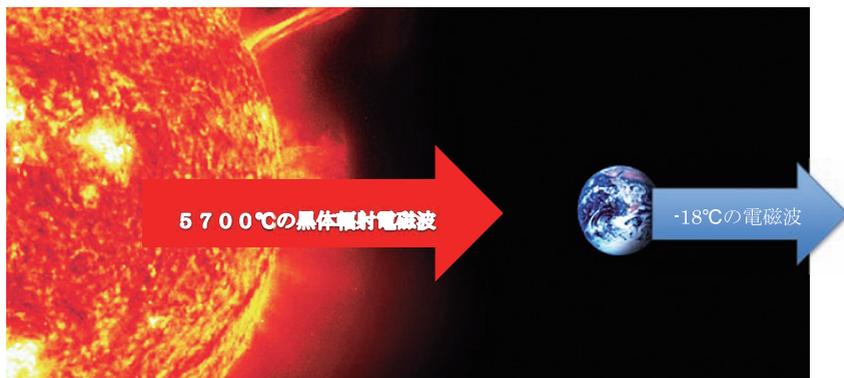


図 2-17 地球のエネルギーバランス

地球に降り注ぐ太陽の熱放射としての電磁波の波長と、地球から放出される電磁波の波長は異なるがエネルギー量としては同等なものが入出力される

図2-16に示すように、地球に降り注ぐ太陽の熱放射としての電磁波の波長と、地球から放出される電磁波の波長は異なるがエネルギー量としては同等なものが入出力される。これは他の太陽系の惑星も同様である。

一方、太陽からそれぞれの惑星への距離、太陽の温度、天体の反射率、惑星の断面積、ステファン・ボルツマン定数(単位面積あたりの黒体放射強度)などからの計算により算出される、それぞれの惑星固有の平衡温度 $T_0$ がある。

地球が太陽より受け取るエネルギーと地球が宇宙空間への熱輻射で失うエネルギーのバランスが取れた状態での平衡温度(放射平衡温度) $T_0$ は、上記の数値・定数より計算することができ、地球の平衡温度はその計算によるとマイナス一八℃となる。

$T_0 = 255 \text{ K}$  (マイナス一八℃) \*\*

※5 この地球の平衡温度 $T_0$ とは、地球の大気を含めたその境界を地球の平衡温度

と考えることにより、大気境界(成層圏境界)の平衡温度をマイナス一八℃と考えることができる。したがって、地球の表面より放出される熱放射は式(2-1)により波長 $1-10 \mu\text{m}$ をピークに持つ赤外線となる。

なお、地球の平衡温度の算出の詳細については、下記のホームページを参照。

地球の平衡温度の求め方

<http://physmemo.shakunage.net/phys/greenhouse/greenhouse1.html>

太陽と太陽エネルギー(山賀 進)

<http://www.s-yamaga.jp/nanimono/taikituomi/taikitotaiyoenegy.htm>

## 2-5-3. 地球の平衡温度と温室効果

大気境界の放射平衡温度はマイナス一八℃としてバランスが取られている。したがって、地球に大気が無い場合は地球の表面温度はマイナス一八℃の放射平均温度となる

図2-18で大気を含んだ地球を考えると、大気境界の放射平衡温度はマイナス一八℃としてバランスが取られている。したがって、地球に大気が無い場合は地球の表面温度はマイナス一八℃の放射平均温度となる。

一方、現状の地球平均表面温度が一五℃とは、大気を含めた成層圏境界を地球の表面と考えれば、その大気境界の表面温度を地球の放射平衡温度をマイナス一八℃と考えることができる。実際の地表温度が一五℃であることは、大気中に含まれる温室効果ガスが地球外にでる赤外線としての熱を吸収するため、地表からの黒体放射赤外線エネルギーを増大させ成層圏境界からの放射平衡温度をマイナス一八℃となるようにした結果、地表温度一五℃となったのである。

温室効果ガスがさらに増え吸収される熱が増加すると、同様に大気境界面の放射平衡温度をマイナス一八℃にするように、地表からの黒体放射赤外線エネルギーをさら

温室効果ガスが増加したことは、地表と大気境界間での赤外線放出に対しての抵抗が増えたことであり、この抵抗を乗り越えて大気境界から地球外に同等のエネルギーを放出するためには地表の温度を上げてより多くの赤外線エネルギーを放出することで平衡がとれることになる。

に増大させるため、地表温度はさらに上昇する。

簡単に考えれば、大気の有る無しにかかわらず、太陽から受ける五、七〇〇℃の電磁波エネルギーと同等のエネルギーが、地球からマイナス一八℃の赤外線エネルギーとして放出されれば平衡が取れるのである。したがって、宇宙的視点でとらえると、大気内での温度云々は地球内部のこととして考えられる。その地球の内部構造である大気内で何が起ころうが宇宙的視点にとつては無関係である。すなわち、温室効果ガスが増加したことは、地表と大気境界間での赤外線放出に対しての抵抗が増えたことであり、この抵抗を乗り越えて大気境界から地球外に同等のエネルギーを放出するためには地表の温度を上げてより多くの赤外線エネルギーを放出することで平衡がとれることになる。これが、地表を含めて大気内の温度が上昇する温室効果と考えれば分かりやすい。

あるいは、比喩的な理解のしかたとして、大気内に温室効果ガスが増えることとは、エアコンの送風口に仮にフィルター（実際のフィルターは吸入口側だが）があつて、それが目詰まりをしていると仮定する。その時エアコンは設定室温（フィルターの外側）に温度を合わせようとするため、圧縮機をフル運転させて熱交換器の温度をさらに上昇させるようなものであると考えれば分かりやすい。

IPCCの四次報告書では、地球に入る太陽光エネルギーは二三五W/m<sup>2</sup>であり、当然ながら成層圏境界より宇宙へ出て行く赤外線エネルギーは二三五W/m<sup>2</sup>の同数の

値である。ただしその赤外線エネルギーの内訳は図2-19にIPCC4次報告書での太陽、大気、宇宙のエネルギーバランスと温室効果として示す。

太陽光エネルギー（太陽↓地球）	… 地表へ（二六八W/m <sup>2</sup> ）、大気へ（六七W/m <sup>2</sup> ）
合計	（二三五W/m <sup>2</sup> ）
大気中の温暖化ガスから… 地表へ（三三四W/m <sup>2</sup> ）、宇宙へ（一九五W/m <sup>2</sup> ）	
地表より… 大気へ（四五二W/m <sup>2</sup> ）、宇宙へ（四〇W/m <sup>2</sup> ）	
成層圏境界より宇宙へ（地球↓宇宙）	… 温暖化効果ガス（一九五W/m <sup>2</sup> ）、地表（四〇W/m <sup>2</sup> ）
合計	（二三五W/m <sup>2</sup> ）

## 2-5-4. 温室効果ガスとフルオロカーボン

温室効果ガスとしての主な原因物質は、水蒸気（H<sub>2</sub>O）、二酸化炭素（CO<sub>2</sub>）、六フッ化硫黄（SF<sub>6</sub>）、対流圏オゾン（O<sub>3</sub>）、フロン類（CFC、HCFC、HFC）がある。

図2-20における大気的主要成分別吸収・散乱率において、水蒸気が最も温室効果のあるガスとして、広い波長の赤外線に対して地球外にエネルギーを放出することの抵抗となっている。温室効果への寄与率は四八%であり、二酸化炭素の二一%より遙かに大きい。ただし、水蒸気は飽和水蒸気量として、空気中の濃度は気温で決まっているため、大気温が下がれば必然的に大気中の量は少なり、大気温が上がれば増加す

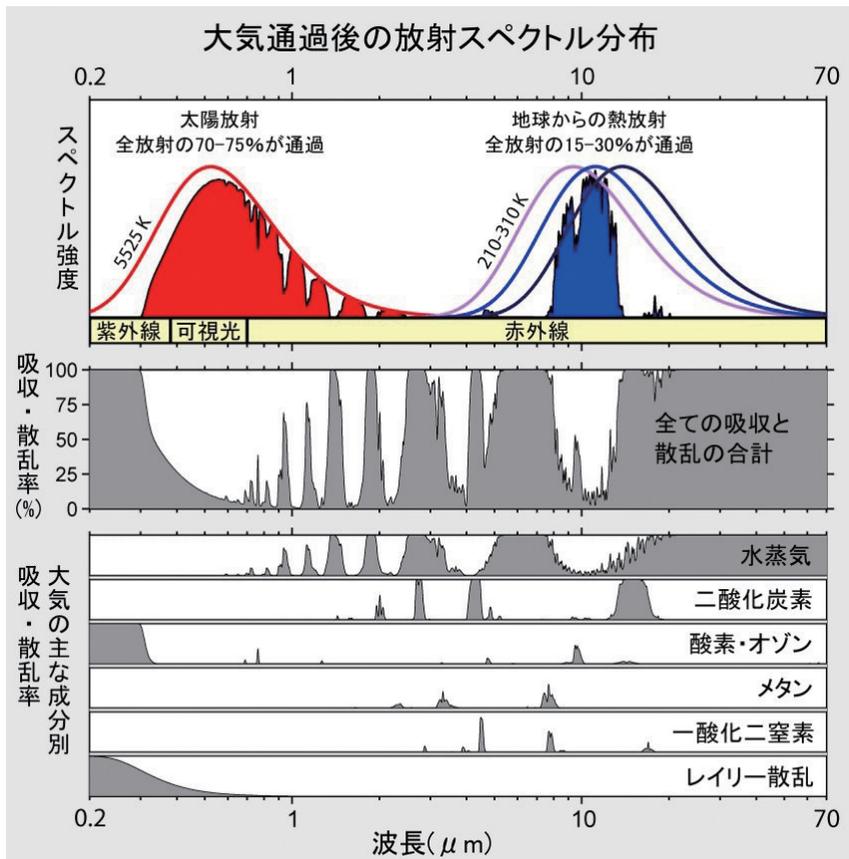


図 2-20 太陽放射と地球からの熱放射、温室効果ガスによる吸収  
 出典：Wikipedia Atmospheric Transmission (This figure was prepared by Robert A. Rohde for the Global Warming Art project, file Atmospheric Transmission.png. Japanese translation by User:Pekachu)  
[https://ja.wikipedia.org/wiki/ファイル:Atmospheric\\_Transmission\\_JA.png](https://ja.wikipedia.org/wiki/ファイル:Atmospheric_Transmission_JA.png)

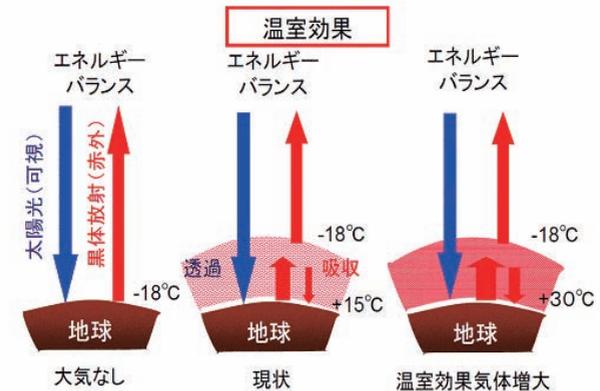


図 2-18 温室効果ガスによる地表面の温度上昇 出典：文部科学省「光と地球環境」

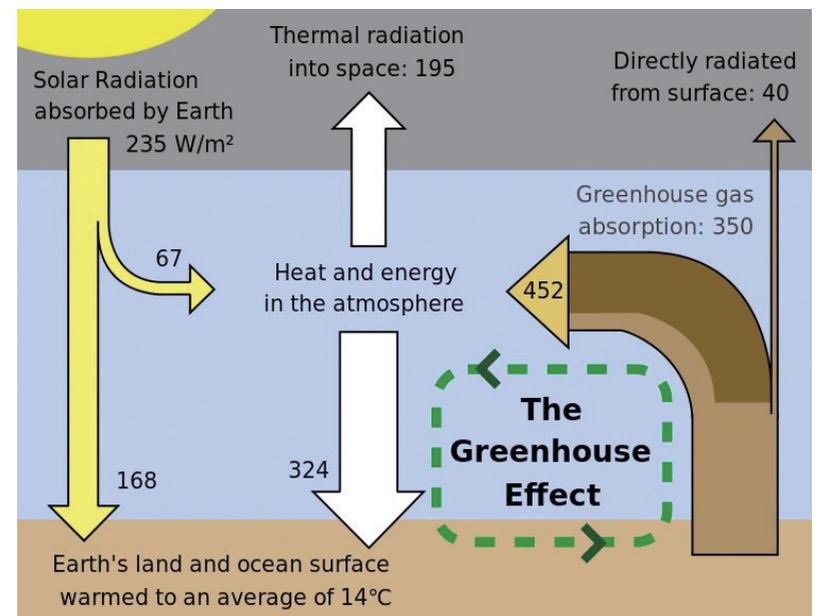


図 2-19 IPCC 四次報告書での太陽、大気、宇宙のエネルギーバランスと温室効果 ( $\text{W}/\text{m}^2$ )

出典：Wikipedia：Robert A. Rohde (Dragons flight at English Wikipedia) - This figure was created by Robert A. Rohde from published data and is part of the Global Warming Art project. <http://www.atmo.arizona.edu/students/courselinks/spring04/atmo451b/pdf/RadiationBudget.pdf> Original image: [http://www.globalwarmingart.com/wiki/Image:Greenhouse\\_Effect\\_png](http://www.globalwarmingart.com/wiki/Image:Greenhouse_Effect_png) [http://data.giss.nasa.gov/gistemp/abs\\_temp.html](http://data.giss.nasa.gov/gistemp/abs_temp.html) converted to SVG by User:Rugby471.

水蒸気が多いの波長の赤外線を受取り、次いで二酸化炭素が地球の大気にある温室効果ガスの赤外線を受取る。

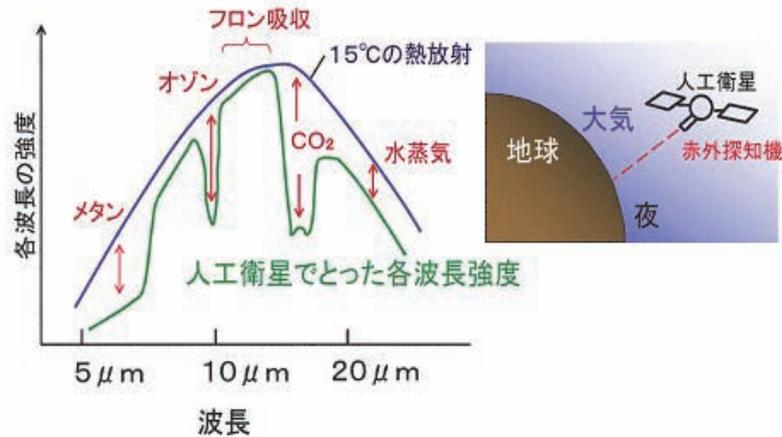


図 2-21 人工衛星から 15°C の熱放射スペクトル 出典：文部科学省 「光と地球環境」



図 2-22 火星コロニーのイメージパース 出典：Mars One / Bryan Versteeg

る。したがって、水蒸気は他の物質と比べ従属的な温室効果ガスといえる。注目すべきことは、二酸化炭素などの温室効果物質が増え大気中の水蒸気が増え、従属的とはいえ温暖化へ大きな影響をおよぼすことである。

図 2-21 には、各温室効果ガスによる赤外線を吸収する波長（地球外にでる赤外線への抵抗）が示されている。さきにも述べたように、水蒸気が多いの波長の赤外線を吸収し、次いで二酸化炭素が吸収している。その合計が地球の大気にある温室効果ガスの赤外線吸収であることがわかる。波長八〜一三 μm の部分にある吸収率の低い領域に「大気の窓」と呼ばれている部分があり、この「大気の窓」を通じて地球からの熱放射の多くが行われている（図 2-20 の最上図の青色の部分）。

「大気の窓」は、二酸化炭素吸収波長（一五 μm）とオゾンの吸収波長（九・六 μm）の間に存在し、フロン類の吸収波長領域がこの「大気の窓」を塞ぐように存在する。

自然界に存在しないフロン類がこの重要な領域を塞ぐことで、地球外へ最も多く放出されるはずの赤外線放射（図 2-20 の最上図の青色の部分）が妨げられることにより、先に述べたように地表温度の上昇に繋がる。

光エネルギーの吸収とは、（2-2-1. オゾンとは）の項で述べたように太陽からのエネルギーの強い波長の短い光（五、七〇〇℃の電磁波エネルギー）が、酸素やオゾン分子の光分解により吸収（消滅）されることである。一方、地球から宇宙に放

フルオロカーボンはフッ素と炭素が結合しており、フッ素は電気陰性度が最も強い元素であるため、炭素との結合力は非常に強い。したがって、フルオロカーボン類は非常に大きな赤外線吸収能力をもつ温室効果ガスと言える。

出される赤外線(マイナス一八℃の電磁波エネルギー…二一μmをピークに持つ赤外線)は分子を光分解するほどのエネルギーはなく、分子を振動させることで吸収(消滅)される。分子の振動とは赤外線の波長との共振によるもので、分子を構成する原子の大きさ、重量などで吸収される赤外線の波長は分子固有によって決まるものである。さらに、振動数は原子間の結合が強いほど大きくなる。フルオロカーボンはフッ素(F)と炭素(C)が結合しており、フッ素(F)は電気陰性度が最も強い元素であるため、炭素との結合力は非常に強い。したがって、フルオロカーボン類は非常に大きな赤外線吸収能力をもつ温室効果ガスと言える。フルオロカーボン類がとても大きなGWP(地球温暖化係数)を持つ理由を以下に列記する。

1. C—Fの結合力が非常に高く、赤外線吸収能力が高い。
2. 吸収波長が大気の窓(波長八〜一三μm)と重複する。
3. 非常に安定な物質なので大気寿命が非常に長い(数十年〜数百年)。

## 2—5—5. 火星移住計画

オランダのNPO法人が、一般から希望者を公募し、二〇二五年に火星移住を実現させるプロジェクト「マーズ・ワン」計画をスタートさせた。火星にたどり着いたあと地球に戻ってこれられない「片道切符」にもかかわらず、多くの応募者が集まった。

NHKスペシャル「NEXT WORLD」取材班は、マーズ・ワンのCEOおよび選考に残っている日本人の候補者にインタビューを行ったと産経ニュースでは報じている。

火星の大気を地球のようにするために、温室効果の非常に高いフロンを使って以下のような計画もされているとのことだ。

- ステップ1…フロンを火星基地で製造し大気に放出。
- ステップ2…フロン濃度が増加すると、火星の気温が上昇。
- ステップ3…火星の気温上昇により、地表にある固体の二酸化炭素が気化する。
- ステップ4…ますます、気温が上昇し、固体の水(氷)が溶け出す。
- ステップ5…溶け出した水から、海、川が火星で再生される。
- ステップ6…地球と同じような環境を作り出せる。

## 3. フロン規制と法改正の経緯

### 3—1. フロン類の歴史的経緯

現在、地球温暖化の進行が世界的に問題となっているが、温暖化の主たる原因は人

二〇一五年（平成二十七年）四月一日に「フロン排出抑制法」が施行

間の経済活動等による二酸化炭素（CO<sub>2</sub>）の大気放出とされている。

冷凍空調機器に冷媒として使用されているフロン類も、大気に放出されると温暖化の影響を及ぼすことが近年問題になってきた。これらの影響を抑制するために二〇一五年（平成二十七年）四月一日に「フロン排出抑制法」が施行された。その歴史的な背景として環境への影響と国際的な取り決め、それによる冷媒の変遷などを冒頭に説明する。

現在はフロン類と呼ばれその総称の中に含まれている、クロロフルオロカーボン（以下CFC）は一九二〇年代に米国で開発され、一九六〇年代以降には先進諸国で急激に消費が増えた二〇世紀最大の発明の一つに数えられている。その理由としてはそれまで冷媒として利用されていたアンモニアや亜硫酸ガスには毒性・可燃性があることから取扱・安全性などで大きな問題があり、CFCがもつ無害・無色・無臭・不燃の性質から、冷媒として使うことでの取扱時の難しさ、安全性の担保などが一気に解決されたからである。

しかし、この夢の冷媒もその分子構造上に塩素を有し、しかも物質的に安定であるため、排出されたCFCが成層圏まで上昇して、オゾン層を破壊するという大きな問題を抱えることになった。

この警鐘を最初に鳴らしたのが、有名な米国のローランド博士とモリーナ博士（共に一九九五年ノーベル化学賞受賞）である。両博士が一九七四年にオゾン層破壊メカ

ローランド博士とモリーナ博士が一九七四年にオゾン層破壊メカニズムの仮説を発表し、国際的に大きな反響を呼ぶことになった

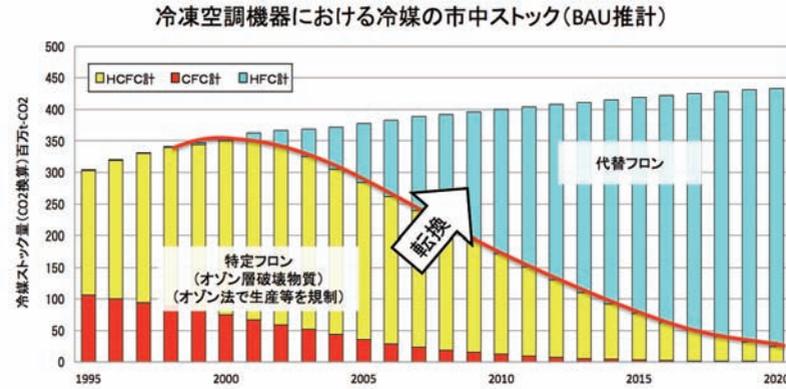
ニズムの仮説を発表し、国際的に大きな反響を呼ぶことになったのである。

このままCFCを使い続けることによる環境悪化として、一九七八〜七九年に米国、日本、EC（現EU）がOECD会議でR11とR12の生産の凍結を表明した。これによりCFCからオゾン層破壊係数（以下ODP）の少ないR22に代表されるハイドロクロロフルオロカーボン（以下HCFC）へ転換することになった。しかしながらこのHCFCも僅かではあるがオゾン層を破壊するため、「モントリオール議定書」（一九八七年採択）にて、CFCに続いてHCFCも段階的削減が合意事項となった。これは生産を規制することになるので、蛇口規制とも言われている。

その後、オゾン層保護対策として、塩素原子を有せずオゾン層を破壊しないハイドロフルオロカーボン（以下HFC）が開発され、冷媒としてHCFCからの転換へと向かった。国内ではHFCが究極の冷媒との意味合いなのか、代替フロンと呼び、その名称から一部の人達にはHFCはフロンではないと誤解されることにもなった。

一九九五年四月の気候変動枠組条約第一回締約国会議（COP1）がベルリンで開催され、地球温暖化物質削減の活動が始まった。そして、一九九七年一月に京都で開催されたCOP3において「京都議定書」が採択され、先進国の温室効果ガスに対して法的拘束力のある数値目標が設定された。その温室効果ガスの一つとしてHFCが指定対象となった。これにより、日本のみならず各国がHFC排出量を国際社会に対して報告することとなった。

冷凍空調機器からの冷媒漏えいによる排出が突然増えたわけではなく、市中ストックの構成比が変わっただけ



(BAU: Business As Usual ※フロン分野の排出推計においては、現状の対策を継続した場合の推計を示す。) 出典：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)、使用時間係数、廃棄係数、回収実績等から経済産業省試算。

図 3-1 冷凍空調機器における冷媒の市中ストック (BAU 推計)

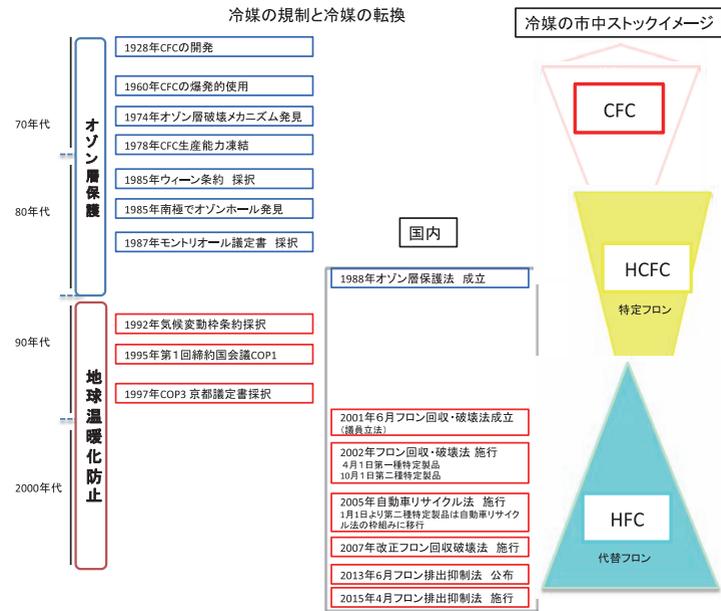


図 3-2 フロン類に対する規制と冷媒の変遷

### 3-2. 国際的な規制とフロン法の関係

先に述べたように、冷媒はオゾン層保護の目的から、CFCからHCFCさらにHFCに転換され日本市中のストックの主流はHFCとなりつつある(図3-1)。市中の構成比がHFCにシフトされることにより、温室効果ガスの排出が年々増加している報告をしなければならぬという課題を抱えた。したがって、報道などで、冷凍空調機器からの排出が年々増えているように発表されているが、冷凍空調機器からの冷媒漏えいによる排出が突然増えたわけではなく、市中ストックの構成比が変わっただけである。それはCFC、HCFCは国際的に温室効果ガスの排出量としての報告が不要なためである。報告不要といえども、市中の冷凍空調機器にストックされているCFC、HCFCも無視できない量があり、地球温暖化係数(以下GWP)の高いこれらの冷媒に対しても、HFCと同様に排出抑制を確実にを行う必要がある。

図3-2にオゾン層保護と地球温暖化防止の両側面からの国際的な条約、議定書を時系列で列挙した。それに対応する我が国での冷凍空調機器から排出されるフロン類に対する法律の歴史も、併せて示した。

一般に「フロン法」と呼ばれている我が国のフロン類の排出抑制対策として施行されてきた法律は「フロン回収・破壊法」→「改正フロン回収・破壊法」→「フロン排

我が国のフロン類の排出抑制対策として施行されてきた法律は「フロン回収・破壊法」↓「改正フロン回収・破壊法」↓「フロン排出抑制法」と年代とともに略称を変えた

出抑制法」と年代とともに略称を変え、そしてフロン類の排出抑制の効果を実現するために法律の範囲を広げながら変遷してきたことがわかるであろう。

最初に、この法律は二〇〇一年六月（平成一三年）に「フロン回収・破壊法」として議員立法として成立した。翌二〇〇二年四月一日（平成一四年）に第一種特定製品（業務用冷凍空調機器）分野での施行が行われ、同年一〇月一日より第二種特定製品（カーエアコン）分野で施行された。二〇〇五年一月一日（平成一七年）より「自動車リサイクル法」が施行されるとともに、第二種特定製品は自動車リサイクル法の枠組みに移行された。そして二〇〇七年（平成一九年）に「改正フロン回収・破壊法」が施行され、二〇一五年四月一日（平成二七年）には、この法律誕生より一四年の時を経て、今回の「フロン排出抑制法」が施行されたのである。

### 3―2―1. モントリオール議定書（MOP）と国連気候変動枠組条約（COP）

国連気候変動枠組条約に基づく温暖化対策である締約国会議はCOP3で「京都議定書」が採択され、ポスト「京都議定書」としてCOP22では二〇一六年一月一九日に「パリ協定」を採択して閉幕した

モントリオール議定書（以下・MOP）は前項で述べたように、オゾン層保護の目的でオゾン層破壊物質の生産と消費量を規制する国際的な会議で、二〇一六年一〇月一〇日～一四日（ルワンダの首都キガリ開催）にMOP28が開催されたように現在もまだ継続している。一方、国連気候変動枠組条約（以下・UNFCCC）に基づく温暖化対策である締約国会議（以下・COP）はCOP3で「京都議定書」が採択され、ポスト「京都議定書」としてCOP22（モロッコ開催）では二〇一六年一月一九日

に「パリ協定」を採択して閉幕した。

MOPが対象物質の生産と消費を規制しているのに対して、COPは生産の規制ではなく、排出の抑制を基本としている。したがって、冷媒関連物質の中でオゾン層破壊に結びつくCFCとHCFCはMOPで規制され、HFCはUNFCCCで温室効果ガスの排出量として報告対象とされている（図3―3）。つまり、CFCとHCFCはともにGWPが高く温室効果ガスではあるがCOPの対象外である。ところが、今後はHFCに対しても規制をかけるという決議がMOP28で採択された（後出）。ちなみに、MOPもUNFCCCも先進国からの拠出金で途上国が規制を守れるように支援する仕組みとなっている。

図3―3の青枠の部分にある以下の物質が全てオゾン層破壊物質であり、MOPでの規制対象物質である。

- ・ CFC（冷媒、ODP<sup>\*</sup>：〇・六～一・〇）
- ・ HCFC（冷媒、ODP<sup>\*</sup>：〇・〇二～〇・一一）
- ・ ハロン（酸素を遮断する効果に加え、ハロンの熱分解で生じたハロゲン原子が、燃焼により発生する高活性の水素原子と水酸基を取り除く触媒作用を利用した消火剤に使われる。現在使われるのは全てリサイクルハロンで日本では消防庁を母体としたハロンバンク推進協議会がハロンの管理を行っている。ODP<sup>\*</sup>：三・〇～一〇・〇）、GWP<sup>\*</sup>：一、三〇〇～七、一四〇〇）

## 議定書の対象物質ガスの比較



図 3-3 モントリオール議定書対象物質と京都議定書対象物質比較

- ・ 四塩化炭素 (有毒、ドライクリーニングの溶剤、冷却材、消火器の薬剤、ODP…一・二、GWP…一、八〇〇)
- ・ 1,1,1-トリクロロエタン (クロロホルム臭のある無色透明の揮発性、不燃性の液体。金属洗浄剤、ドライクリーニング用溶剤、ODP…〇・一、GWP…一四〇)
- ・ 臭化メチル (ブロモメタン…有毒、農作物に対する土壌滅菌、ODP…〇・六、GWP…五)

図 3-3 の黄色枠内の以下の物質は温室効果ガスである。ただし、以下に赤字で示したものが UNFCCC で規定されている排出抑制物質である。京都議定書では六ガスと呼んでいたが、COP21 にて三フッ化窒素 (NF<sub>3</sub>) が対象ガスとして UNFCCC にて温室効果ガスに追加された。

- ・ CFC (GWP…四、四六〇〜一三、九〇〇)
- ・ HCFC (GWP…九七九〜一、九八〇)
- ・ ハロン (GWP…一、三〇〇〜七、一四〇)
- ・ 四塩化炭素 (GWP…一、八〇〇)
- ・ **HFC** (GWP…数百〜一二、四〇〇)
- ・ **CO<sub>2</sub>** (GWP…一)
- ・ **メタン** (GWP…二五)

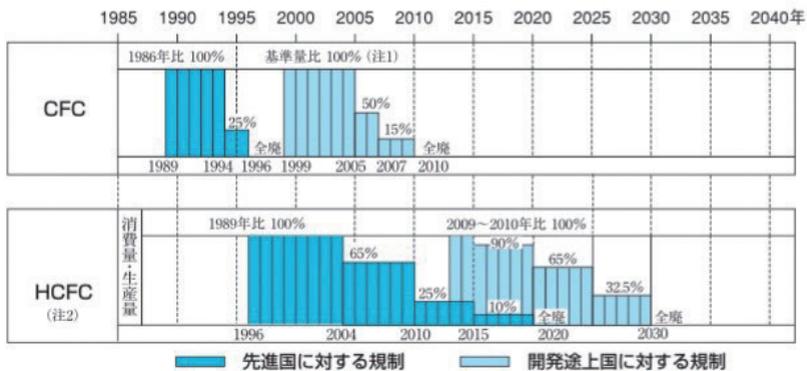


図 3-4 MOP での CFC と HCFC の規制スケジュール

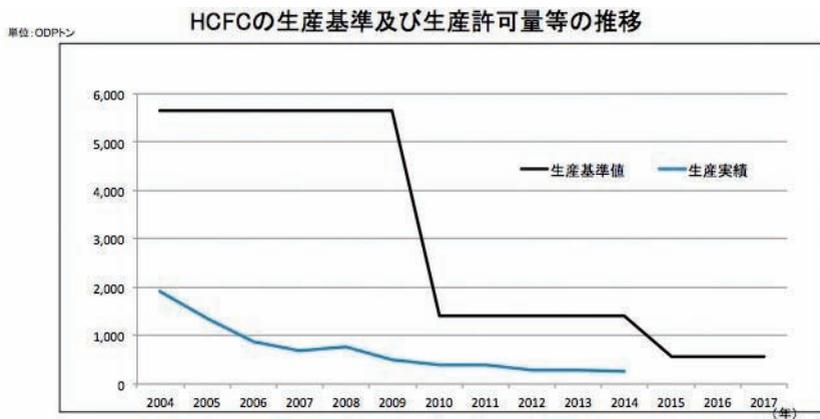


図 3-5 HCFC の MOP による生産基準と生産実績 出典：経産省

- ・ **NO<sub>2</sub>** (一酸化二窒素：燃料の発火促進剤、医療用には笑気ガスとしての麻酔薬、GWP：二九八)
  - ・ **PFC** (パーフルオロカーボン：半導体洗浄、代替ハロンとしての消化剤として使用、GWP：数千)
  - ・ **SF<sub>6</sub>** (六フッ化硫黄：無毒、無臭、無色、不燃で電気機器の絶縁材として使用、GWP：二三、九〇〇、大気寿命：三、二〇〇年)
  - ・ **NF<sub>3</sub>** (三フッ化窒素：半導体のエッチング用途 GWP：一七、二〇〇)
- ※7 GWP：Global Warming Potential (地球温暖化係数：二酸化炭素を1に対する影響度)
- ※6 ODP：Ozone Depletion Potential (オゾン破壊係数：R11を1とした場合の影響度)

CFCは先進国では一九九六年で全廃、途上国でも二〇一〇年に全廃となっている。さらに、利用の多いR22が属しているHCFCについては先進国で二〇二〇年に全廃となる(図3-4)。図3-5はHCFCの生産許可量と生産の実績を示している。日本の場合は、先に述べたようにいち早くHCFCからHFCに切り替えたためHFCの生産量は許可量よりも遙かに低い数値となっている。この全廃とは生産と輸入

が禁止されることであるが、冷媒を再生して利用する場合には生産量には入れない。前章（2―4―4）で触れたように、MOPによる規制の効果として大気中のCFC濃度が低下し、オゾンホールが縮小化の方向にある。

一方、冷媒をHFCからHFCに切り替えたことにより、COPでの規制物質の一つであるHFCの排出量が年々増加していることが国内のみならず、国際的な関心事となっている。したがってこのことが「フロン排出抑制法」に改正し二〇一五年四月一日に施行した一つの理由である。

### 3―3. フロン法の変遷と趣旨

#### 3―3―1. フロン回収・破壊法

正式名称…特定製品に係わ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  
…二〇〇二年（平成一四年）四月一日～二〇〇七年（平成一九年）九月三〇日

#### 法律の主旨

- ・何人も特定製品に充填されているフロン類を大気に放出してはならない。
- ・目的…特定製品からのフロン類の回収と破壊の促進

- ・対象機器…業務用冷凍空調機器
- ・フロン類回収業者の都道府県登録（回収量の都道府県報告）
- ・フロン類破壊業者の主務大臣認可
- ・機器の廃棄者（回収、運搬、破壊費用）の費用負担義務

五年間にわたりこの法律を導入してきたが、フロン類の排出抑制に対しての具体的な対応に欠け、フロン類の回収量もさほど伸張しなため次の法改正となった。

#### 3―3―2. 改正フロン回収・破壊法

正式名称…特定製品に係わ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  
…二〇〇七年（平成一九年）一〇月一日～二〇一五年（平成二七年）三月三十一日

#### 法改正による追加内容

- ・第一種特定製品の部品リサイクル時におけるフロン類の回収義務
- ・第一種特定製品の整備時におけるフロン回収の適正化
- ・建築物等の解体時における第一種特定製品の設置有無の確認義務
- ・フロン類の引き渡し等を書面で管理する制度（行程管理制度）の創設

・都道府県知事の指導権限等の強化

法改正で最もインパクトがあったのは、行程管理制度の導入

この法改正で最もインパクトがあったのは、行程管理制度の導入がある。すなわち、機器を廃棄する場合その機器の廃棄にたずさわる関係者の立場と責任を行程管理票の交付・回付・保存することで明確にしたことである。そして、それぞれの関係者は必要な書面を三年間保存する義務があり、都道府県知事はその実施状況を管理監督することになった。

しかしながら、回収率の目標を六〇%とした法改正ではあったが、回収率は三〇%程度に留まっていた。都道府県知事の権限が強化されても、既に廃棄されている機器の行程管理票の保存などの監督には難点があった。

図3―6と図3―7で平成一四年度から平成二七年度までのフロン類の回収量の推移を示した。図3―6は冷媒種別の回収量と回収した機器の台数で、図3―7は回収した冷媒を廃棄時と整備時に別けた表示と廃棄時の回収率を示している。図3―6における、H C F C（赤色）の回収がまだまだ主流であることから、設置されている機器の六割程度がH C F C使用機器とも考えられる。C F C（水色）は年々減少にあることから、稼働しているC F C機器もそれに応じて少なくなっている。

平成二七年度報告より、「フロン排出抑制法」が施行され、行程管理票の使用数も平成二七年度は増加していることと合わせて、廃棄時回収量は平成二六年度の二、

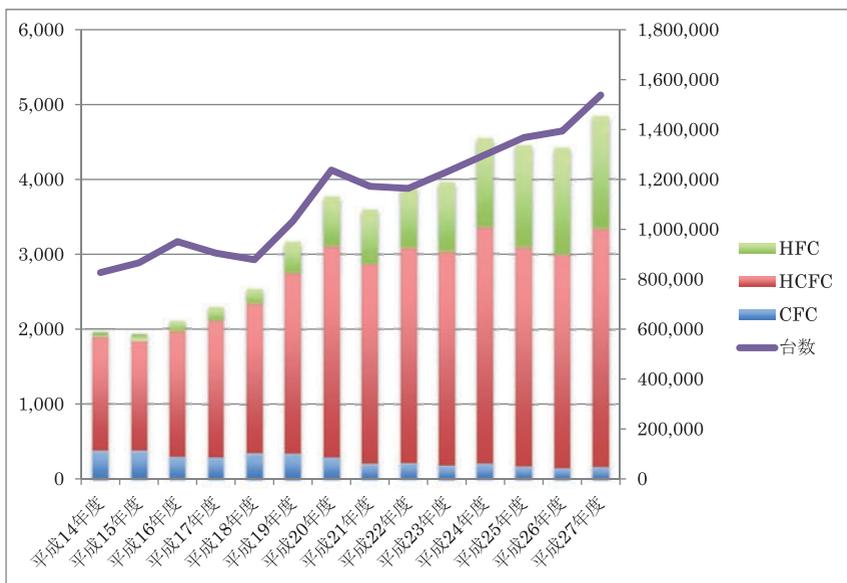


図3-6 平成14年より27年度までの冷媒種別回収量（整備時を含む）

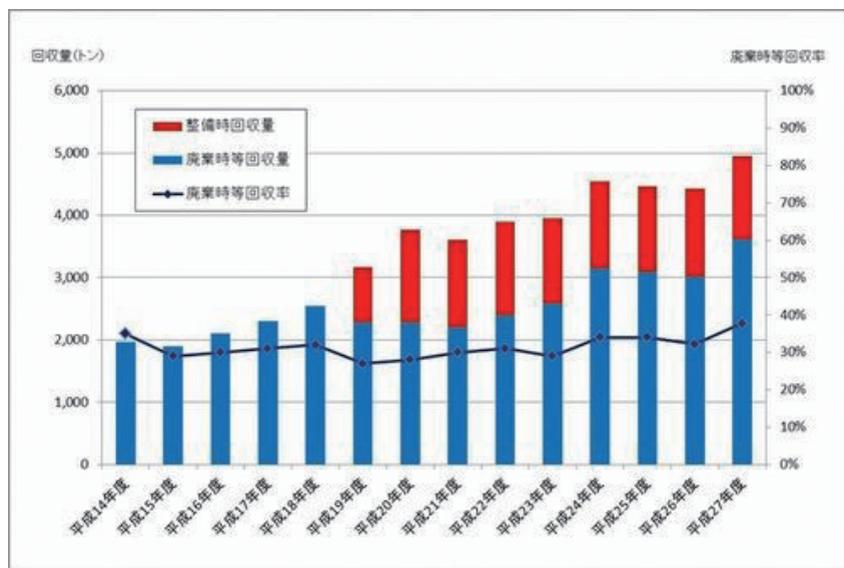


図3-7 同整備時回収と廃棄時回収  
出展：経済産業省平成27年度分フロン類の集計結果

平成二七年度報告より、「フロン排出抑制法」が施行され、廃棄時回収量は平成二六年度の二、九九九トンから平成二七年度は三、四九九トンと約五〇〇トン増加し、回収率は前年度より六ポイント増加し、三八%となった

九九九トンから平成二七年度は三、四九九トンと約五〇〇トン増加し、回収率は前年度より六ポイント増加し、三八%となった。これも、「フロン排出抑制法」の法施行による廃棄等実施者である管理者の認識が向上した効果と考えられる。

### 3-4. 「フロン排出抑制法」への改正にいたる経緯

フロン回収・破壊法（二〇〇二年）により、業務用冷凍機器の整備や廃棄を行った際に、冷媒として使用されているフロン類の回収と破壊が義務づけられてきた。しかし、ここ数年の経済産業省の調査、審議会での審議結果から機器廃棄時の冷媒回収が思うほど伸張していないこと、機器使用時の冷媒漏えいが無視できない量であること、などが確認された（図3-8）。それらの課題を列記すると①②③となり、今回の法改正に以下の課題対策を盛り込むことが必要となった。

- ① オゾン層保護対策として導入したHFCを使う機器が市場に増え、それらからのHFCの排出増加：図3-1
- ② フロン回収・破壊法による機器廃棄時の冷媒回収率の停滞：図3-7の棒グラフ青色部分・廃棄時回収量が増えていない
- ③ 使用時の機器からの冷媒漏えい量が想定以上にあることの判明：図3-8

代替フロン等3ガス(京都議定書対象)の2020年排出予測(BAU)と機器使用時漏洩源の内訳

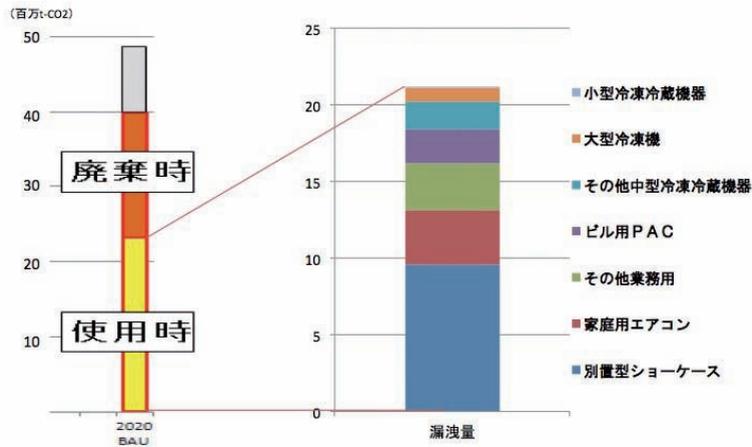


図3-8 機器使用時漏えい源の内訳

出典：産業構造審議会化学・バイオ部会地球温暖化防止対策小委員会

これらの課題解決の具体的対策として、「フロン排出抑制法」の公布（平成二五年六月）となった。具体的にはフロン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対策として次の内容を法律に入れ込み、フロン類の排出抑制の課題解決として

## 4. フロン排出抑制法

### 4-1-1. 「フロン排出抑制法」と「判断の基準」

フロン類の製造から廃棄までのライフサイクル全体を見据え包括的に各段階の当事者に遵守を求めることになった

今回の法改正により、図4-1-1に示すように、フロン類の製造から廃棄までのライフサイクル全体を見据え包括的に各段階の当事者に遵守を求めることになった。ここでいう当事者とは、フロンメーカー、製品メーカー、ユーザー（管理者）、充填回収業者、破壊・再生業者など全ての関係者である。法改正での注目すべき点は、フロンメーカー、破壊・再生業者など全ての関係者である。法改正での注目すべき点は、フロンメーカー、製品メーカー、ユーザーに対してそれぞれに設けられた「判断の基準」で、その「判断の基準」を遵守させることである。さらに、充填の基準を設け、充填に関する「一定の知見を有する者」がフロン類充填回収業者として充填行為を行うものとして、冷媒充填の適正化を求めている。回収したフロン類は従来は破壊業者に引き渡すことを義務づけていたが、資源確保と回収の促進の意味合いから、新たに国が認可する再生

フロン排出抑制法の全体像



出展：フロン排出抑制法の概要 2014年度説明会資料 経済産業省 オゾン層保護等推進室・環境省 フロン等対策推進室 資料

図 4-1 フロン排出抑制法の全体像 出典：経済産業省

判断の基準（判断の基準となるべき事項を定め、これを公表するものとする。）

#### フロン類の製造・輸入業者

低GWP フロン類の技術開発・製造や一定の使用済みフロン類の再生の取組などのフロン類の使用の合理化のために取り組むべき措置に関して「判断の基準」を定めて公表する。（法第9条）

#### フロン類使用製品（冷凍空調機器）の製造・輸入業者

フロン類使用製品にて、政令で指定製品を定め、その製品の製造・輸入業者が製品のノンフロン・低GWP 化について、一定の目標年度において達成すべき「判断の基準」を定めて公表する。（法第12条）

#### 業務用冷凍空調機器の管理者

管理者とは、製品の使用、整備、廃棄につき実質的に責任を有する者（所有者など）

フロン類の漏えい防止のための適切な設置、点検、故障時の迅速な修理など管理者が取り組むべき措置に関して「判断の基準」を定める。（法第16条）

図 4-2 判断の基準

業者にも引き渡せることになった。

二〇一五年四月一日より、まず「管理者の判断の基準」に関する法律が施行され、フロンメーカーと製品メーカーの「判断の基準」は時期をずらした施行となる。したがって、まず管理者である、冷凍空調機器の所有者が守るべき基準、充填の基準、再生業者の認可が対象として、施行されたのである。

この法改正で最も注目すべき点は、機器を所有するユーザーに対して初めて機器使用時の守るべき基準と冷媒を一定量以上漏えいした場合の国への報告が適用されたこと

図4-2の判断の基準を分かり易く表現すると、以下の(1)～(3)となる。この法改正で最も注目すべき点は、機器を所有するユーザーに対して初めて機器使用時の守るべき基準と冷媒を一定量以上漏えいした場合の国への報告が適用されたことである。

#### (1) フロン類の製造・輸入業者

フロン類の転換、再生利用等により、新規製造輸入量を計画的に削減↓フロン類の実質的フェーズダウン

#### (2) フロン類使用製品(冷凍空調機器)の製造・輸入業者

製品ごとに目標年度までにノンフロン・低GWPフロン製品へ転換↓メーカー出荷時平均GWPが設定され、その遵守が義務化された

#### (3) 冷凍空調機器を所有するユーザー(管理者)

簡易点検・定期点検によるフロン類の漏えい防止、算定漏えい量の年次報告・公表  
↓簡易点検・定期点検制度導入等と管理者による冷媒管理

### 4-2. フロン類の製造・輸入業者の「判断の基準」

国が以下の取組を求める

- ① 製造・輸入するフロン類の低GWP化・フロン類以外への代替
- ② 代替ガス製造のために必要な設備整備、技術の向上、フロン類の回収・破壊・再生の取組

### 4-3. フロン類使用製品の製造・輸入業者の「判断の基準」

#### ① 指定製品の低GWP化

フロン類使用の冷凍冷蔵機器(家庭用エアコンを含む)の出荷製品区分ごとに加重平均のGWP目標値を定め、達成を求める制度。現在、表4-1の七区分としているが、それ以外の製品についても、要件が整い次第、随時指定を検討する。

フロン類の製造・輸入業者の取組(判断の基準)

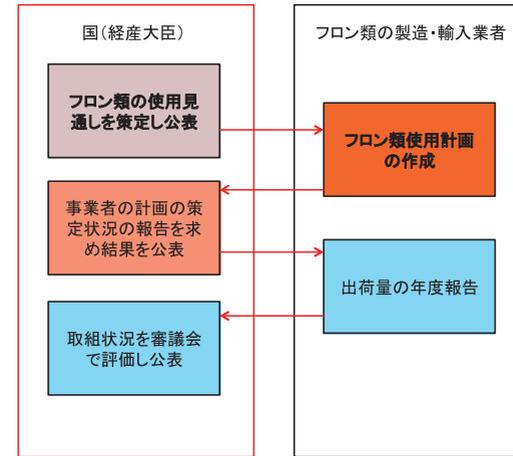


図 4-3 フロン類の製造・輸入業者の取組

表 4-1 指定製品と加重平均 GWP 目標値 出典：経済産業省

指定製品と加重平均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(床置型等を除く)	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)に搭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以下のものを除く)	R404A(3920) R410A(2090) R407C(1774) CO2(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(一桁)	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) CO2(1)、DME(1)	10	2019

②製品への表示

(1) みだり放出禁止等の表示(継続)

- ・フロン類の大气中放出禁止
- ・廃棄時のフロン類回収義務
- ・フロン類の種類と数量(充填量)
- ・フロン類のGWP値

(2) 指定製品への表示

- ・指定製品の目標値・目標年度
- ・製品に使っているフロン類(自然冷媒、HFO等含む)の種類と数量(充填量)、GWP値
- ・製品の型名・製造事業者等の氏名又は名称

(3) ラベリング制度(カタログ等での訴求)

- 購入者が製品を選択する時に、その製品が環境に対してどの程度の影響を与えているのか一目で分かり易いような表示をする(JIS規格により定める)。
- 指定製品の基準の達成度合い(多段階での表示)
- 冷媒のGWP値

4-4. 冷凍冷蔵機器を所有するユーザー（管理者）の「判断の基準」

管理者が機器を使用する際に守らなければならない機器管理に係わる「管理者の判断基準」が設けられ、その遵守に関しては都道府県知事が指導、助言、勧告、命令を行い、従わない場合は管理者の名称等が公表され、罰則が科せられることになった

業務用冷凍空調機器の使用時の冷媒の漏えいが想定以上に大きかったことと、管理者が定期的に点検などを行っている機器と、点検をしていない機器からのフロン類漏えいとに大きな差があったことが判明し、管理者の管理意識を高めることがフロン類の漏えいを防ぐために必要となった。

具体的には管理者が機器を使用する際に守らなければならない機器管理に係わる「管理者の判断基準」が設けられた（図4-4）。そして、その遵守に関しては都道府県知事が指導、助言、勧告、命令を行い、従わない場合は管理者の名称等が公表され、罰則が科せられることになった。（法第一七・一八条）

以下の、①～④に管理者が守るべき判断の基準を示す。

① 機器の適切な設置、適正な使用環境の維持と確保

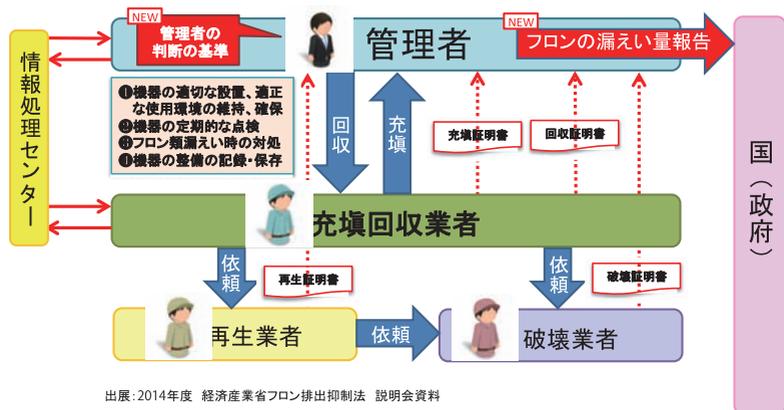


図 4-4 管理者が国への報告と関係者が遵守すべき内容

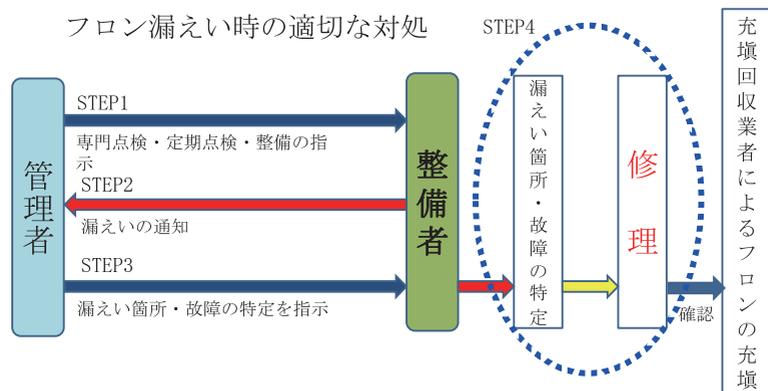


図 4-5 フロン漏えい時の対処  
出展：2014 年度 経済産業省フロン排出抑制法

## ②機器の定期的な点検

### (1) 簡易点検

対象…全ての業務用冷凍空調機器

期間・頻度…三ヶ月に一回以上

点検者…十分な知見を有する者、使用者のいずれか

### (2) 定期点検（十分な知見を有する者が行う）

対象…一定規模以上の機器

期間・頻度…7.5kW\*以上の冷凍冷蔵機器…一回／年

7.5kW～50kW\*未満のエアコン…一回／三年

50kW\*以上のエアコン…一回／年

\*当該機器の圧縮機に用いられる電動機の定格出力

点検者…十分な知見を有する者

### ③フロン類漏えい時の対処

- (1) 点検や修理をしないまま充填を繰り返すこと（繰り返し充填）は禁止となった。具体的には、点検の結果、機器の異常が確認され、その原因がフロン類の漏えいにあることを充填回収業者から通知された場合は、管理者は速やかに漏えい箇所を特定し、修理する必要がある（図4―5）。

### (2) 充填回収業者の登録

管理者が充填のみ自社充填を行う場合でも、都道府県への充填回収業者登録が必要となった（経過措置として法施行後六ヶ月以内は登録なしで充填可）。

- (3) 充填の行為は「十分な知見を有する者」が自ら行うか、立ち会うことが必要となった。

### ④機器の点検・整備の記録・保存

#### (1) 点検・整備記録簿の記載

管理者は、適切な機器管理を行うため、点検や修理、冷媒の充填・回収等の履歴を機器ごとに記録し保存することが必要となった

#### (2) 保存

ログブックは事業所等において、その機器を廃棄するまで紙または電磁的記録によって保存しなくてはならない。

#### (3) ログブックの開示

機器の点検・整備の前には、確認のため充填回収業者にログブックを開示する必要がある。

(4) 機器売却・譲渡時

機器を他者に売却・譲渡する場合は、その機器のログブックまたはその写しを売却・譲渡相手に引き渡す必要がある。

ログブックに記録すべき事項九点

(5) ログブックに記録すべき事項

- ① 管理者の氏名（法人の場合は名称）
- ② 点検実施者の氏名（法人の場合は名称及び実施者の氏名）
- ③ 修理実施者の氏名（法人の場合は名称及び実施者の氏名）
- ④ 充填・回収した充填回収業者の氏名（法人の場合は名称及び実施者の氏名）
- ⑤ 点検を行った機器の設置場所及び機器を特定するための情報
- ⑥ フロンの初期充填量（設置時における現場充填量を含む）
- ⑦ 点検（簡易定期点検、専門点検、専門定期点検及びその他の点検）を行った年月日及び内容・結果（故障等の箇所など）
- ⑧ 修理を行った年月日及び内容・結果（速やかな修理が困難である場合はその理由及び修理の予定時期など）
- ⑨ 充填・回収した年月日及び充填・回収したフロンの冷媒番号区分別の種類・量

\* 1. 簡易定期点検の記録は、点検の年月日及び漏えいの徴候の有無を記録する。

\* 2. ログブックは記録事項を満たすものであれば既存様式も含め特段の様式は問わ

ない。

\* 3. ログブックは冷媒回路単位ごとに用意することが必要。同様に簡易点検結果も冷媒回路単位ごとに記入が必要。

判断の基準に対応するため、会社ごと・事業所ごとに点検は誰が行うか（簡易点検・定期点検）、管理担当者を決め、管理体制を構築する必要がある

判断の基準に対応するため、会社ごと・事業所ごとに点検は誰が行うか（簡易点検・定期点検）、管理担当者を決め、管理体制を構築する必要がある。具体的には以下の三点が重要となる。

- ① 所有する機器をリスト化して、定期点検の対象となる機器を整理して、ログブックを整備すること。
- ② 定期点検・簡易点検の実施スケジュールを計画すること。
- ③ 所有する機器の漏えい状況をあらかじめ把握すること。

#### 4―5. フロン類の算定漏えい量報告

管理者は保有する全ての業務用冷凍空調機器から漏えいしたフロン類の総量を二酸化炭素換算量として算出し、その総量が1,000t-CO<sub>2</sub>/年の場合は国に報告することとなり、複数の事業所轄省庁がある法人では、該当する全ての事業所轄大臣宛

この法律の主旨とは管理者が保有する機器から、どの位のフロン類が漏れ出ているかを認識することが、機器を適切に管理するための意識向上につながり、そのことにより機器使用時の冷媒漏えい量が削減されることを目指している。

内容を報告することとなる。管理者が保有する複数の事業所の中で事業所単位での算定漏えい量が1,000t-CO<sub>2</sub>/年以上あった場合は、管理者全体の報告に加えて、その事業所の漏えい量についても報告することが必要となった。そして、報告された内容は公表される。漏えい量の未報告、虚偽の報告をした場合には公表とともに過料に処されることとなる。

この法律の主旨とは管理者が保有する機器から、どの位のフロン類が漏れ出ているかを認識することが、機器を適切に管理するための意識向上につながり、そのことにより機器使用時の冷媒漏えい量が削減されることを目指している。

#### ①算定漏えい量の算出

機器を点検・整備したときに、追加充填したフロン類が算定漏えい量となる。これは何らかの原因で機器から漏れ出たフロン類の量に相当するからである。また、機器から一時的に回収したフロン類の量よりも再度機器に充填したフロン類の量のほうが多くなる場合も同様で、回収量よりも多く充填したフロン類量が算定漏えい量となる。

(1) 充填証明書、回収証明書（機器を整備した充填回収業者の交付義務あり）を保管・管理し、充填量から回収量を減算して、該当フロン類のGWPを掛け合わせ算出する。

(2) 管理者が充填回収業者に対して、情報処理センターの使用を承諾し、点検・整備時の回収量、充填量を情報処理センターに入力した場合は、充填回収業者は管理者に対して、充填証明書、回収証明書の交付は不要となり、管理者は情報処理センターから算定漏えい量報告の基となるデータを取得することができる。

#### ②算定漏えい量報告への対応

法施行後の初回算定漏えい量報告は平成二八年七月末までとなっていた。以下の二点が重要

法施行後の初回算定漏えい量報告は平成二八年七月末までとなっていた。以下の二点が重要。

(1) 管理者の社内への周知

充填・回収証明書が充填回収業者より交付されるので、これが管理保管の必要な書面であることの社内周知が必要。そして、事業所の担当者にこのことが熟知されていないと、集計の際に必要な情報が集まらなくなる可能性がある。

(2) 算定漏えい量の集計方法の検討

自社で集計するか、情報処理センターを活用するかを決定することが重要。

充填・回収証明書による漏えい量の集計

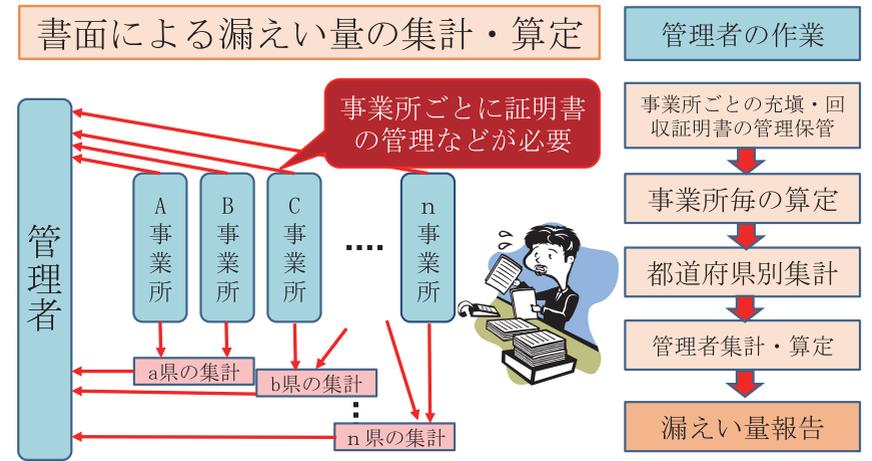


図4-6 書面による漏えい量の集計・算定  
出展：2014年度 経済産業省フロン排出抑制法 説明会資料

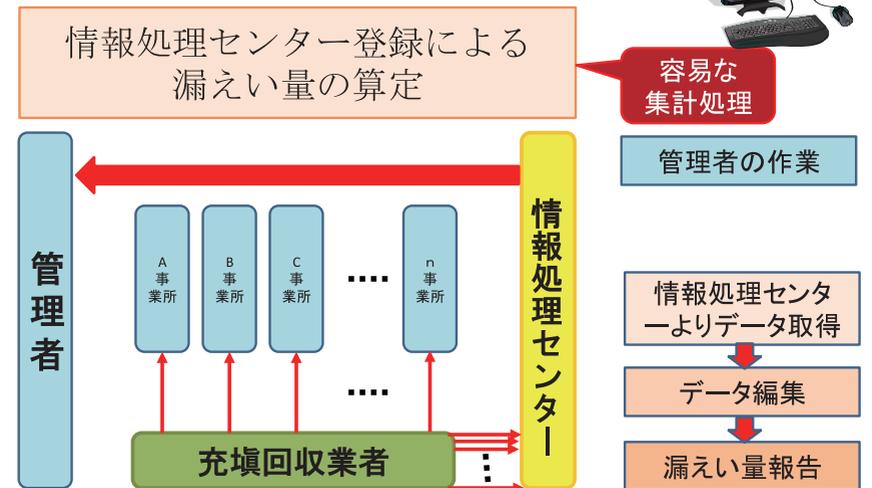


図4-7 情報処理センター登録による漏えい量の算定  
出展：2014年度 経済産業省フロン排出抑制法 説明会資料

4-6. 罰則

罰則は表4-2のとおりである。

4-7. 冷媒管理システム  
(Refrigerant Management System : RaMS)

RaMSとは法で規定されている「情報処理センター」をその内部に包含した「冷媒管理システム」である。「情報処理センター」は経済産業大臣と環境大臣により、「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）に基づき指定された（平成二十七年一月二十七日…環地温発第1501271号）。そして、法第七八条で定められている「業務規程」を平成二十七年一月三〇日に認可（環地温発第1501301号）

表 4-2 罰則

1	フロン類のみだり放出	一年以下の懲役又は 50 万円以下の罰金
2	管理者の判断基準違反	50 万円以下の罰金
3	行程管理票の交付違反	50 万円以下の罰金
4	「管理の適正化の実施状況報告」の未報告、虚偽報告	20 万円以下の罰金
5	立入検査の収去の拒否、妨げ、忌避	20 万円以下の罰金
6	算定漏えい量の未報告、虚偽報告	10 万円以下の過料

RaMS を利用することで、管理者の負担を大幅に軽減した分、より確実に機器の管理を行うことができる。

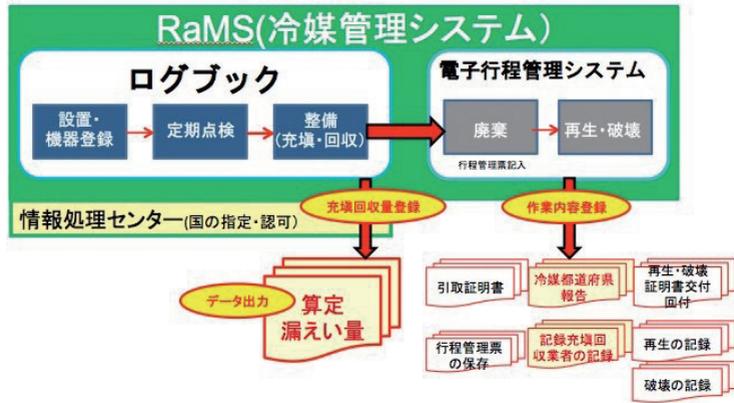


図 4-8 RaMS システム図 1

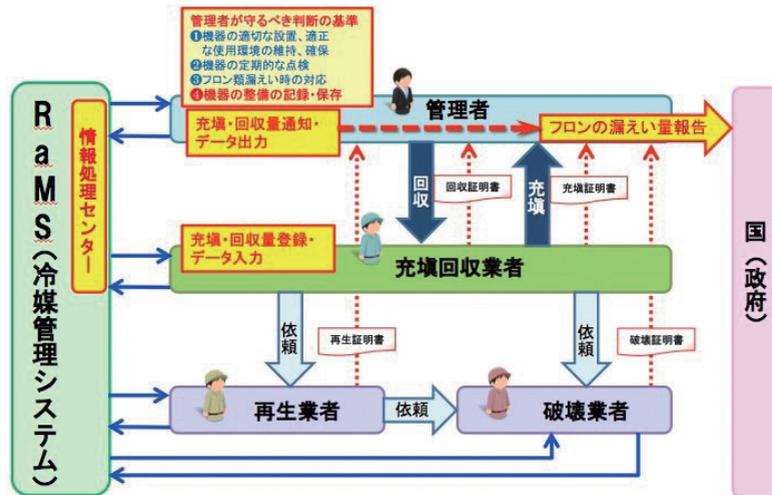


図 4-9 RaMS システム図 2

※8 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に係る民間事業者等が行う書面の保存等における情報通信の技術に関する法律施行規則(平成十九年七月三十一日経済産業省・環境省令八号)

され運営している。構成は図4-8に示すように大きくはログブック管理と電子行程管理システムから成り立っている。RaMSは「フロン排出抑制法」に定められている整備・定期点検・行程管理による廃棄・破壊証明書・再生証明書の全てをインターネット利用システムにて電子的に作成・交付・縦覧・承諾・保存が可能で、その行為は法律で担保<sup>※8</sup>されている。そして、都道府県などへの正式な報告書面としても提出を可能にしたものである。したがって、従来のような紙での管理は不要であり、多くの機器を所有している管理者に対しては機器の管理(定期点検・簡易点検)はもちろん、算定漏えい量なども、計算結果を瞬時に受け取ることができるため、書類の管理と算定漏えい量の計算から解放される。さらに、RaMSを利用することで、管理者の負担を大幅に軽減した分、より確実に機器の管理を行うことができる。

## 4-7-1. RAMS 基本機能

1. 情報処理センター機能
  - ・ 充填・回収量を情報処理センターへ登録
  - ・ 算定漏えい量集約データ出力
2. データ出力(管理者向け)
  - ・ 算定漏えい量出力(本社・支社・事業所・都道府県・冷媒種別・様式に合わせてPDF、CSV2種類) ↓リアルタイム情報を出力
  - ・ ログブックの全データ出力(本社・支社・事業所別) ↓CSV出力のため、管理者の機器管理リストへ加工可
3. データ出力(充填回収業者向け)
  - ・ 都道府県への充填・回収の報告書(様式に合わせたPDF出力)
  - ・ 充填回収業者の記録の保存(CSV出力)
4. データ出力(破壊・再生・省令四九条業者向け)
  - ・ 破壊・再生証明書の控えの保存と出力
  - ・ 破壊・再生データと出力
  - ・ 省令四九条業者から破壊・再生業者へ引き渡したデータと出力
5. 点検・整備記録簿(ログブック・簡易点検)
  - ・ 情報処理センターとリンクしたログブック

- ・ ログブックと連動した簡易点検記録簿
  - ・ 整備時の廃棄された冷媒処理(行程管理システム連動)
  - ・ 機器廃棄時のログブックと行程管理票の連動
6. 行程管理票
    - ・ JRECO(紙)行程管理票と全く同じ様式の電子行程管理票
    - ・ 電磁的に作成・交付・縦覧・承諾・保存
    - ・ 都道府県報告の算出とデータ出力(ログブック・行程管理票利用)

7. 破壊・再生(依頼票、証明書)
  - ・ 電磁的に作成・交付・縦覧・承諾・保存
  - ・ 破壊・再生証明書の控えの保存と出力

## 4-7-2. RAMS 出力例

管理者はエクセルなどを使わずにリアルタイムで、算定漏えい量の報告様式への出力(図4-10)や、本社・支社・事業所などの算定漏えい量の一覧(図4-11)を「ワン・クリック」で確認し管理することができる。

## 4-7-3. ISO14001維持のためのエビデンスとしての活用

ISO14001(環境マネジメントシステム:EMS)を維持するためには、法

フロン類算定漏えい量の報告書

平成28年 12月 26日

(郵便番号) 105-0001  
住 所 東京都港区芝公園  
1-1  
氏 名 日本冷媒(株)  
電話番号 03-0000-0000  
事業所コード Y724394064

漏えい年度 平成28年度

特定漏えい者のフロン類算定漏えい量 (合計はページ全体の合計となっております。)

フロン類の種類	①R22		②R410A		③R410B		④		⑤		合計
	算定漏えい量 (t-CO2)	実漏えい量 (kg)									
特定漏えい者全体	90	50	137	66	156	70	0	0	0	0	384
都道府県	算定漏えい量 (t-CO2)	実漏えい量 (kg)	算定漏えい量 (t-CO2)								
1.東京都	54	30	20	10	89	40					164
2.神奈川県	18	10	104	50							122
3.大阪府	18	10	12	6	66	30					97
4.											
5.											
6.											
7.											

図 4-10 国指定の様式での算定漏えい量出力例

RAMS を利用することで、この法遵守において抜けがなく効率的に管理すること、管理者自身の管理状況をエビデンスとともに確認することができる。

の遵守が必要で、「フロン排出抑制法」での管理者に対する要求事項である判断の基準に対してのエビデンスを保存管理することが必要。RAMS を利用することで、この法遵守において抜けがなく効率的に管理すること、管理者自身の管理状況をエビデンスとともに確認することができる。

「フロン排出抑制法」遵守のためのエビデンス

- (1) 冷凍空調機器の管理リストの作成
- (2) 点検・整備記録簿の作成と管理
- (3) 定期点検と簡易点検の実施の有無
- (4) 機器廃棄時の行程管理票の保存
- (5) 機器廃棄時・機器整備時の冷媒の破壊証明書または再生証明書
- (6) 算定漏えい量の計算と国への報告必要有無の判断とした計算値
- (7) 充填証明書と回収証明書 (当該年度分)

4-7-4 RAMS ポータルサイト

「フロン排出抑制法 簡単！対策ガイド」として、フロン排出抑制法の説明とともに RAMS の使い方の詳細を掲載。

● 管理者・廃棄者統括部署情報一覧

漏えい量 非表示  
漏えい年度 2016 切替

下表に示す各部署の算定漏えい量には、紙面による点検、回収証明書として交付された充填、回収データから算定された漏えい量は含まれませんのでご注意ください。

No	支社名	区分	累計漏えい量 904.61	算定漏えい量 384.54	住所
1	日本冷媒 関東支社	管理者・廃棄者(統括部署)	670.66	287.00	東京都港区海浜5-5
	日本冷媒(株) 東京営業所	管理者・廃棄者	135.10	57.10	東京都千代田区千代田1-1-1
	日本冷媒 関東支社 千葉営業所	管理者・廃棄者	117.77	0.00	千葉県千葉市中央区中央
	日本冷媒 関東支社 港営業所	管理者・廃棄者	114.28	89.20	東京都港区芝公園
	日本冷媒 関東支社 神奈川営業所	管理者・廃棄者	303.51	140.70	横浜市西区高倉2-2
2	日本冷媒 関西支社	管理者・廃棄者(統括部署)	233.95	97.54	大阪市北区梅田1-1
	日本冷媒 関西支社 中之島営業所	管理者・廃棄者	66.90	66.90	大阪府大阪市北区中之島
	日本冷媒 関西支社 京都営業所	管理者・廃棄者	82.31	30.64	京都市下北区高倉町1
	日本冷媒 関西支社 神戸営業所	管理者・廃棄者	84.74	0.00	兵庫県神戸市中央区北野町

図 4-11 本社・支社・事業所別の算定漏えい量一覧例

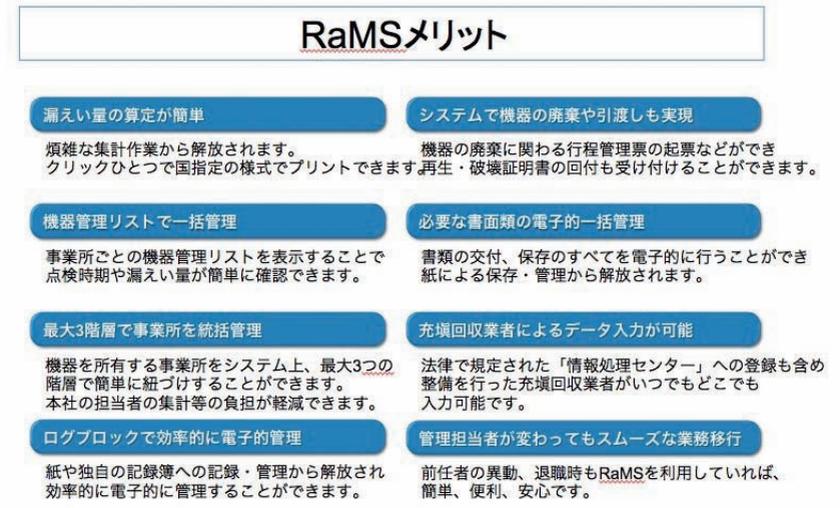


図 4-12 RaMS のメリット一覧

## フロン規制

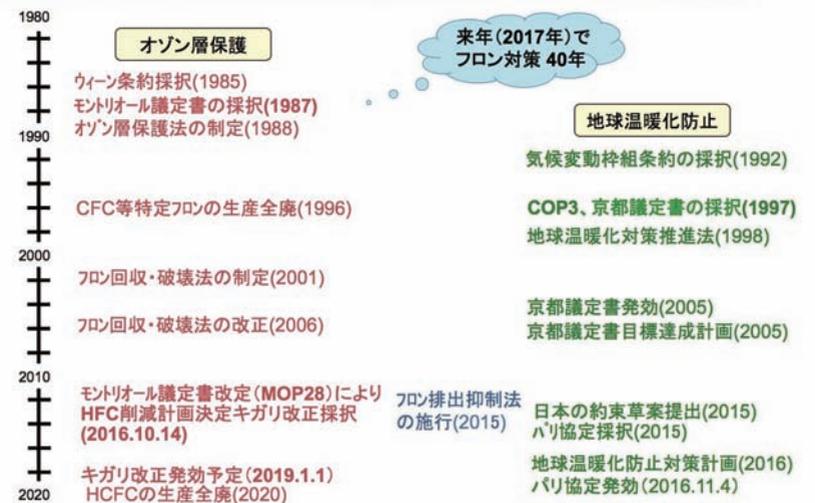


図 5-1 フロン規制の変遷

<http://reco-rans.jp>

## 5. 代替フロンを含めた冷媒規制への国際的な動向

二〇一六年の秋、冷媒問題を含めた重要な環境関連についてモントリオール議定書(以下:MOP)と国連気候変動枠組条約(以下:UNFCCC)の国際会議が開催され、それぞれMOP28(二〇月一〇〜一四日)はルワンダの首都キガリでHFCの生産・消費量の削減スケジュールである「キガリ改正」が採択され、COP22(二〇月七〜一八日)ではモロッコの世界遺産都市マラケシュにて「パリ協定」の発効による今後の詳細なルールを策定することで一致した。

### 5-1. パリ協定

日本はCOP21に先立ち、二〇三〇年を目標年度とする約束草案を提出

日本はCOP21に先立ち、二〇三〇年を目標年度とする約束草案を提出。  
 全温室効果ガス…二六・〇%減(二〇一三年度比)  
 フロン等四ガス…二五・一%減(同比)

「パリ協定」は二〇一五年に行われたCOP21にて採択されたものである。「京都議

C O P 22は一月一九日に閉幕し、「パリ協定」の詳細なルールを二〇一八年までに策定することによって一致した

定書」時代においては米国が離脱、中国の不参加、残った先進国だけが排出削減義務と罰則義務を負い、さらに採択から発効まで七年かかったという苦汁を飲まされた経験がある。「パリ協定」採択時は批准国の温室効果ガスの排出量が世界全体の五五%以上になることが発効の条件として二〇一八年頃に発効と考えられていたが、中国や米国などの主要排出国が九月に同時に発表、インドが一月二日、EUが一月五日と次々と批准を発表し、合計一〇〇カ国以上の批准となったため二〇一六年一月四日に前倒しの発効となった。一方、日本はT P P承認案などで国会が混乱したため、採決が遅れ「パリ協定」の承認案が一月八日午後八時に衆院本会議で可決した。しかし、一月一九日までに批准であればC O P 22には参加できたが、今回は国会承認が遅れたため「パリ協定」の第一回締約国会議(C M A 1)には議決権を持たないオブザーバー参加となった。

C O P 22は一月一九日に閉幕し、「パリ協定」の詳細なルールを二〇一八年までに策定することによって一致した。また、先進国は途上国を支援するため、二〇二〇年までに年間一、〇〇〇億ドル(約一〇兆円)の資金拠出を目指し、二〇一七、二〇一八年に会合を開き達成状況などを議論する。また、米国トランプ大統領の協定離脱示唆を受け、国際社会の団結を促す「マラケシュ行動宣言」を発表した。

次回のC O P 23はフィジーを議長国として、ドイツのボンで二〇一七年一月に開催予定である。また実施詳細は決まっていないが、目標として「パリ協定は産業革命以前からの平均気温上昇を二℃未満に抑える」と掲げる。「パリ協定」にむけて、日本では地球温暖化対策計画が二〇一六年五月に策定された。内容は以下の図5-3に示す。二〇一五年度の代替フロン等四ガスの排出量は、前年度比八%増の四、四一〇万トンである。H F C以外の他の三ガスは既に二〇三〇年度の目標は達成している。一方、全体の約八一%である三、五七〇万トン(H F C)を冷凍空調分野からの排出が占める。また、その冷凍空調機器分野からの排出の約七一%が業務用冷凍空調機器からの排出である。

目標達成のためには業務用の冷凍空調機器の「廃棄時の冷媒回収」と「使用時の冷媒漏えい対策」が喫緊の課題であり、「フロン排出抑制法」の浸透と遵守が必須

二〇一五年度での代替フロン等四ガス実績四、四一〇万トンは目標に対して一五二%であり、さらにH F C単独三、八九七万トンは目標の一八〇%である。目標達成のためには業務用の冷凍空調機器の「廃棄時の冷媒回収」と「使用時の冷媒漏えい対策」が喫緊の課題であり、「フロン排出抑制法」の浸透と遵守が必須である。

## 5-2. M O P 28キガリ改正

G 7伊勢志摩サミット(二〇一六年五月二六日～二七日)に先立って、富山市でG 7富山環境大臣会合(五月一五日～一六日)が行われ、気候変動及び関連施策の議題において、H F Cの段階的な削減に係わるモントリオール議定書改正を二〇一六年に採択することで合意された。M O P 28(二〇一六年一月一日～一日)では、そ

## パリ協定と日本の約束草案

- ★気候変動枠組条約COP21において、新たな法的枠組としてパリ協定が採択され、全締約国による温室効果ガス削減目標の提出の義務づけ等が決定
- ★日本はCOP21に先立ち、2030年を目標年度とする約束草案を提出  
全温室効果ガス：26.0%減(2013年度比) フロン等4ガス：25.1%減(同比)

### パリ協定の概要

- ・主要排出国を含むすべての国が削減目標を5年ごとに提出・更新し、レビューを受けること
- ・JCMを含む市場メカニズムの活用が位置づけられたこと
- ・先進国が引き続き資金を提供することと並んで途上国も自主的に資金を提供する
- ・5年ごとに世界全体の状況を把握する
- ・協定の発効要件に国数及び排出量を用いる

### 日本の約束草案の概要

- ・2030年削減目標2013年比26.0%減(2005年比25.4%増)
- ・HFC等4ガス2030年削減目標2013年比25.1%減(2005年比4.5%増)
- ・森林等吸収源により2013年排出量2.6.%減相当量(2005年排出量2.6.%減相当量)の確保
- ・JCMについては目標積み上げの基礎にはしないが獲得した削減量等はカウント(2030年度に累積で5,000万~1億CO2トンを見込む)

図 5-2 パリ協定と日本の約束草案 出典：経済産業省オゾン層保護等推進室

## 地球温暖化対策計画

### 地球温暖化対策計画(2016年5月策定)

	(百万トン-CO2)		
	2005年度 実績	2013年度 実績	2030年度 目標(目安)
エネルギー起源CO2	1,219	1,235	927
非エネルギー起源CO2	85.4	75.9	70.8
メタン(CH4)	39.0	36.0	31.8
一酸化二窒素(N2O)	25.5	22.5	21.1
代替フロン等4ガス	27.7	38.6	28.9
HFCs	12.7	31.8	21.6
PFCs	8.6	3.3	4.2
SF6	5.1	2.2	2.7
NF3	1.2	1.4	0.5
総計	1,397	1,408	1,079

※2030年度エネルギー起源CO2は目安値、その他は目標値

	2005年度	2013年度	2014年度	2015年度	2030年度 目標
代替フロン等4ガス	27.7	38.6	41.01	44.1	28.9
HFCs	12.7	31.8	35.32	38.97	21.6
PFCs	8.6	3.3	3.35	3.3	4.2
SF6	5.1	2.2	1.21	1.27	2.7
NF3	1.2	1.4	1.12	0.57	0.5

- ・2030年における全温室効果ガスの削減量は、左記の削減値に吸収量の目標を加え、2013年度比26.0%減となる。
- ・代替フロン等4ガスは2013年度比25.1%の減となる。

### 代替フロン等4ガスに関する対策

- ①ガス・製品製造分野におけるノンフロン・低GWP化の推進
- ②業務用冷凍空調機器の使用時におけるフロン類の漏えい防止
- ③業務用冷凍空調機器からの廃棄時等のフロン類の回収の推進
- ④産業界の自主的な取り組みの推進

図 5-3 地球温暖化対策計画と2015年実績値

先進国においては、二〇三六年までに段階的に消費(消費量+生産量+輸入量-輸出量)を八五%削減。途上国はグループを二つに分けて削減スケジュールをたてるなど、細かな対応となった

のHFCの段階的削減についての議論がなされ、最終日の深夜朝方近くにやっと合意がとれ「キガリ改正」が採択された。

先進国においては、二〇三六年までに段階的に消費(消費量+生産量+輸入量-輸出量)を八五%削減することになった。また、途上国はグループを二つに分け、特に暑い地域(湾岸諸国、インド、イラン、イラク、パキスタン)については八五%の削減スケジュールを二〇四七年、それ以外の途上国は八〇%の削減スケジュールを二〇四五年とするなどの細かな対応となった(図5-4、図5-5)。

### 5-2-1. 議定書改正の内容と我が国への影響

経済産業省産業構造審議会フロン類対策ワーキング(平成二八年二月)資料より。(以下)

○今回のモントリオール議定書の改正内容は、我が国を含む先進国については、代替フロンの生産・消費量を、二〇一〇〜二〇一三年の平均を基準として、二〇一九年に規制を開始し、二〇三六年までに八五%分を段階的に削減するといふ内容である。

○我が国としては、フロン排出抑制法に基づく取組を着実に進めれば、二〇二五年

## モントリオール議定書(MOP28)改正(キガリ改正)

HFC生産・消費量の段階的削減スケジュール

	開発途上国1G	開発途上国2G	先進国
基準年	2020—2022年	2024—2026年	2011—2013年
基準値 (CO2換算)	各年のHFC量の平均 +HCFCの基準値の	各年のHFC量の平均 +HCFCの基準値の	各年のHFC量の平均 +HCFCの基準値の
凍結年	65% 2024年	65% 2028年	15% なし
第1段階	2029年 ▲10%	2032年 ▲10%	2019年 ▲10%
第2段階	2035年 ▲30%	2037年 ▲20%	2024年 ▲40%
第3段階	2040年 ▲50%	2042年 ▲30%	2029年 ▲70%
第4段階			2034年 ▲80%
最終削減	2045年 ▲80%	2047年 ▲85%	2036年 ▲85%

- 開発途上国1G: 開発途上国2G以外
- 開発途上国2G: インド、パキスタン、イラン、イラク、湾岸諸国(6ヶ国)
- 2020年、およびその後5年ごとに技術評価を行い、削減スケジュールを見直す可能性あり
- 開発途上国2Gについては、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
- 先進国に属するベラルーシ、ロシア、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: HCFCの基準値の25%を算入  
第1段階: 2020年に▲5%、第2段階: 2025年に▲35% とする

図 5-4 キガリ改正詳細 1 出典: 経済産業省

## モントリオール議定書改正(キガリ改正)

HFC生産・消費量の段階的削減スケジュール

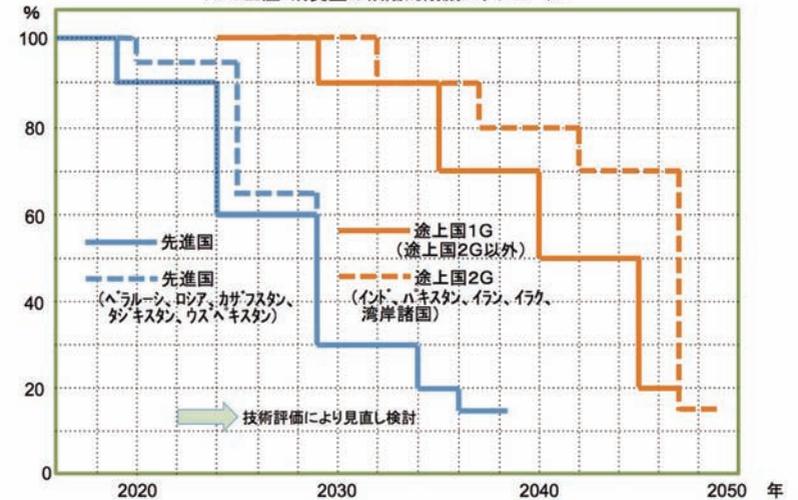


図 5-5 キガリ改正詳細 2 出典: 経済産業省

我が国は、「オゾン層保護法」により特定フロンを含むオゾン層破壊物質の生産と消費を規制(割当)、「フロン排出抑制法」により世界に先駆けて、フロン類の製造から廃棄に至るまでの包括的な対策を実施している

○新たな冷媒の活用を進めている、我が国の冷凍・空調産業にとっては、むしろ、競争力強化のチャンス。

までの削減目標は可能であり、二〇二五年以降の削減目標についても、研究開発を進めていけば、十分に達成可能としている。

5-2-2. 我が国のフロン類対策とキガリ改正

経済産業省産業構造審議会フロン類等対策ワーキンググループ資料(平成二八年一二月)より。(以下)

○我が国は、「オゾン層保護法」により特定フロンを含むオゾン層破壊物質の生産と消費を規制(割当)、「フロン排出抑制法」により世界に先駆けて、フロン類の製造から廃棄に至るまでの包括的な対策を実施している。

○キガリ改正によりHFCの生産・消費の規制(割当)が新たに必要になる。

5-2-3. 今後の検討事項とスケジュール

経済産業省産業構造審議会フロン類等対策ワーキンググループ資料(平成二八年

二〇一九年から規制開始に間に合わせるためには、遅くとも二〇一八年内に、国会手続き・承認に加えて、事業者への製造量の割当などの準備作業を終了させる必要がある

- モントリオール議定書の削減スケジュールの法制化
- 代替フロンについての製造量の割当て制度、輸出入管理制度の創設

○二〇一九年から規制開始に間に合わせるためには、遅くとも二〇一八年内に、国会手続き・承認に加えて、事業者への製造量の割当などの準備作業を終了させる必要がある。

### 5-3. EUのフロン規制

欧州では「京都議定書」の指定ガスである、HFC、PFC、SF6をを規制する

一二月)より。(以下)

○今後、モントリオール議定書の国会承認の手続きに加えて、議定書の担保法であるオゾン層保護法<sup>※</sup>の改正が必要である。(※フロン排出抑制法も関係)

○具体的には、議定書の担保のためには、以下の事項等については検討を行う必要がある。

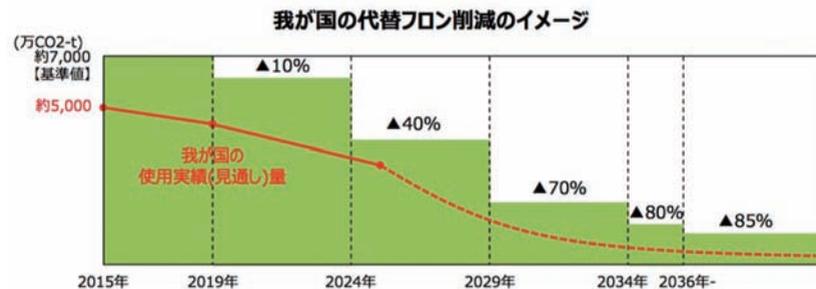


図 5-6 削減イメージ

出典：経済産業省産業構造審議会フロン類等対策ワーキンググループ資料 (平成 28 年 12 月)

	オゾン層保護法 <sup>※</sup>	フロン排出抑制法	キガリ改正
規制対象	オゾン層破壊物質 (特定フロン)	特定フロン 代替フロン	代替フロン
主な規制内容	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 製造数量の許可</li> <li>● 輸出入管理 (※ 輸出入貿易管理令等により実施)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● メーカー (フロン・機器) による計画的な使用削減</li> <li>● ユーザーによる機器の点検・フロン類の漏えい量報告</li> <li>● 適切な充填・回収</li> <li>● 適正な再生・破壊</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 製造数量の許可</li> <li>● 輸出入管理</li> </ul>

図 5-7 我が国のフロン類対策とキガリ改正

出典：経済産業省産業構造審議会フロン類等対策ワーキンググループ資料 (平成 28 年 12 月)

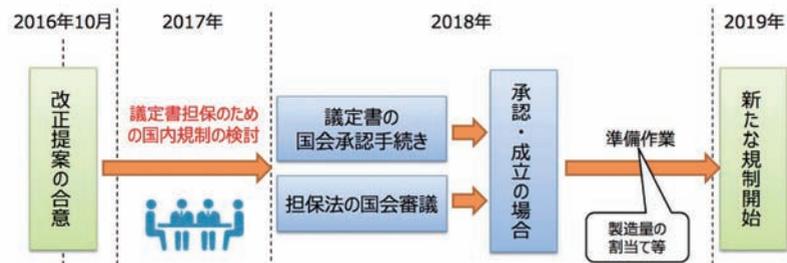


図 5-8 今後の検討事項とスケジュール

出典：経済産業省産業構造審議会フロン類等対策ワーキンググループ資料  
(平成 28 年 12 月)

2015年以降に予定されている上市禁止及び使用禁止事項

開始時期	上市禁止	使用禁止
2015年	GWP150以上のHFCを含む家庭用冷凍冷蔵庫	—
2016年	HFC-23を含む防火機器	—
2017年	事前にHFCが封入された冷凍冷蔵庫、空調機器、ヒートポンプ (割当制度にそのHFCが動定されている場合は販売可能)	—
2018年	GWP150以上のHFCを含む噴霧剤	マグネシウムダイカストにおける六フッ化硫黄の全面的使用禁止。
2020年	GWP2500以上のHFCを含む密閉式商業用冷凍冷蔵庫 GWP2500以上のFガスを含む固定式冷凍冷蔵庫装置 GWP150以上のHFCを含む可動式のルームエアコン GWP150以上のHFCを含む押出法ポリスチレン発泡製品	サービス・メンテナンスにおける高GWPガス(GWP 2500以上)の使用禁止
2022年	GWP150以上のHFCを含む密閉式商業用冷凍冷蔵庫 マルチパックセントラル方式で定格容量が40kW以上のGWP150以上のFガスを含む業務用冷凍冷蔵庫システム	—
2023年	GWP150以上のHFCを含む押出法以外の発泡製品	—
2025年	GWP750以上のFガスを3kg未満含む単式スプリット型空調システム	—

図 5-9 EU 上市禁止及び使用禁止事項  
出典：経済産業省オゾン層保護等推進室資料

「Fガス規制」を二〇〇六年六月に公布、同年七月四日より施行となった。また、冷凍空調機器に関しては、冷媒漏えいの防止を重点と捉え、冷媒の回収と定期点検、点検記録簿の記録義務、また整備・点検については資格者制度などを要求した法律である。我が国の「フロン排出抑制法」にも導入された、定期点検、整備記録、点検技術者の資格などは先行して導入されている。

HFO-1234yfの上市により、

- 二〇一一年一月一日以降に新規に出荷される新型車のカーエアコンに入れる冷媒はGWPが一五〇を越えるものは使用できない。
- 二〇一七年一月一日以降に出荷される新車の冷媒のGWPは全て一五〇以下であること。

これらの禁止措置が「Fガス規制」導入前には国際的にも大きな関心事項となった。次ページに最新のEUフロン規制による禁止事項として、二〇一五年以降に予定されている上市禁止及び使用禁止事項を示した(図5-9)。

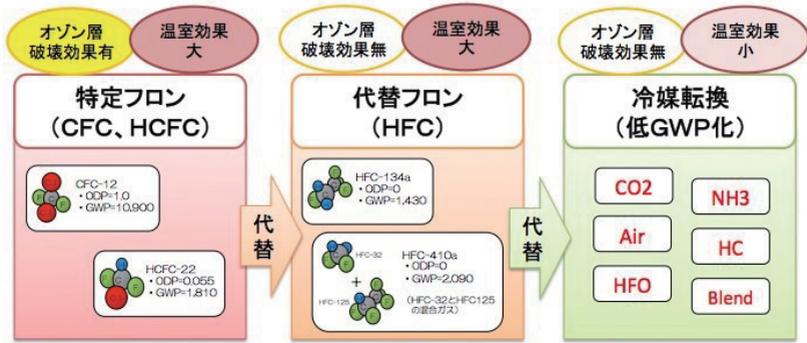


図6-1 冷媒の種類と低GWP冷媒 出典：経済産業省

### 用途別次世代冷媒候補

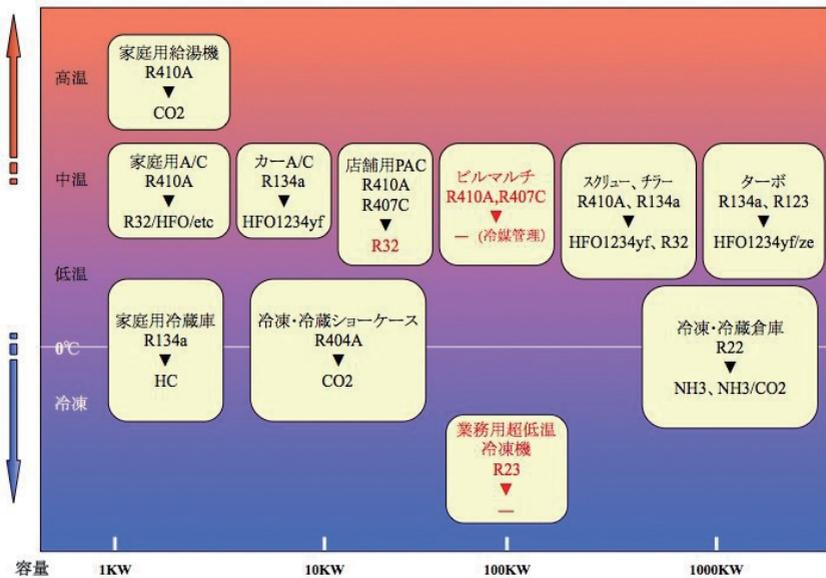


図6-2 用途別次世代冷媒候補

出典：「次世代冷媒の方向性について」2013年7月4日 日本冷凍空調工業会 岸本哲郎専務理事 資料

冷媒の歴史としてオゾン層保護対策としてCFCから代替フロンであるHFCに転換して現在に至っているが、HFCは温室効果が非常に高いことが課題となり、今後GWPの低い冷媒を国際的にも模索している。

## 6-1. 現在の冷媒と今後の冷媒

### 6. 今後の冷媒の展望

先にも述べたように、冷媒の歴史としてオゾン層保護対策としてCFCから代替フロンであるHFCに転換して現在に至っている。ただし、HFCは温室効果が非常に高いことが課題となり、今後GWPの低い冷媒を国際的にも模索している。図6-1のとおり、次世代冷媒として考えられているものとして、二酸化炭素(CO<sub>2</sub>)、アンモニア(NH<sub>3</sub>)、空気(Air)、炭化水素(HC)、HFO、Blend(HFOと主にR32との混合)などがある。

これらの冷媒は現在のHFCとの比較においては全ての分野に対して置き換えができるものでもない。また、冷媒として求められる特性としての不燃性、無毒性とは相反する冷媒もあることから利用するためにはそれなりの対応が必要である。

図6-2は冷凍冷蔵機器の温度範囲を縦軸とし、冷凍機の容量(能力)を横軸として、用途別に示した次世代冷媒候補である。例えば、温水機はCO<sub>2</sub>が既に広く採用されており、家庭用冷蔵庫も炭化水素(HC)(イソブタン…R600a)に切り替わり済

みとなっている。現在、空調温度帯域と業務用超低温冷凍機に対応できる自然冷媒としての代替が課題である。マグロ冷凍保存用のマイナス六〇℃以下となる冷凍機は空気を冷媒とするものがあるものの、全ての機器メーカーが製造していないなどの難点がある。また、空調温度帯域でのCO<sub>2</sub>の利用は効率の点で採用が難しく、一方、炭化水素(HC)系の利用は可燃性のため安全上の問題がある。したがって、この空調温度帯域での利用はHFCであるGWPが低いR32(GWP・六七五)が有力候補である。

家庭用エアコンと店舗用エアコンにはR32への切り替えを前提として、それぞれの製品区分でのGWP目標値が国から七五〇と指定され、店舗用エアコンについても新製品よりR32に切り替わりつつある

しかし、R32は微燃性を有するため、「微燃性冷媒リスク評価研究会二〇一一年一〇月～二〇一六年三月」(主査・東京大学飛原教授)(公社)日本冷凍空調学会、(一社)日本冷凍空調工業会で検討され、R32の使用の基準が検討された。その基準に準じて家庭用エアコンから採用が始まった。そして「フロン排出抑制法」での機器製造業者の判断基準である「指定製品」として、家庭用エアコンと店舗用エアコンにはR32への切り替えを前提として、それぞれの製品区分でのGWP目標値が国から七五〇と指定され、店舗用エアコンについても新製品よりR32に切り替わりつつある。

## 6-2. 次世代冷媒に要求される条件

HFCは、安全性、冷暖房特性、コストにおいて非常に優れた点をもつ冷媒である。

今後の次世代冷媒にはHFOとR32との混合が検討されているが、微燃性への安全対策などが必要である。また、アンモニア(NH<sub>3</sub>)の利用については有毒のため、漏えい時の対策の考慮などを含めて市街地での利用には難点がある。炭化水素系(HC)冷媒は強燃性のため、冷媒漏えい対策などの課題がある。以下に、必要とされる条件を列挙する。

1. 安全性
  - ・ 毒性が低い
  - ・ 可燃性リスクが少ない
2. 環境性
  - ・ オゾン層破壊係数・ODP≪0
  - ・ 地球温暖化係数(GWP)が極めて低い
3. 冷・暖房性能が現行冷媒と同等程度
4. 経済性
  - ・ 妥当なコスト

## 6-3. 現時点での低GWP冷媒

### 6-3-1. アンモニア (NH<sub>3</sub>)

特に新しい冷媒ではなく、フロン (CFC) が世に出る前より、冷凍空調機器の冷媒として利用されてきている。ただし、アンモニアは有毒であるため、法律で除外装置などを設置する必要がある。現在、アンモニアの冷媒利用として注目されているのは、一次側にアンモニアを冷媒として、熱交換機で二次側の二酸化炭素 (CO<sub>2</sub>) を液化して、室内 (倉庫内) などを循環する方法がある。室内で循環しているのは二次側の炭酸ガス (CO<sub>2</sub>) であるため、漏えい時の安全が確保される。この方式により冷凍・冷蔵倉庫への導入が徐々に進んでいる。

### 6-3-2. 二酸化炭素 (CO<sub>2</sub>)

炭酸ガスはGWPが一であり、理想的な冷媒といえる。冷凍サイクルを利用した温水機 (エコキュート) が二〇〇一年に生産され、補助金の支援などもあり、二〇一四年には四〇〇万台の普及となった。また、二酸化炭素を冷媒とした冷凍機、コンビニやスーパーマーケットのショーケースへの利用が近年進んでいる。二酸化炭素の冷凍サイクルへの応用として、図6-2に示したように、高温領域と低温領域に対して

炭酸ガスはGWPが一であり、理想的な冷媒といえる

は運転時の経済性がよいのだが、空調温度領域への利用はその冷媒の特性から経済性を含めて難点がある。そして、圧力が10MPa (約一〇〇気圧) と非常に高いため、通常の配管、継ぎ手の使用ができず、現場での整備の問題や圧縮機を含めた部品のコストアップが課題である。

### 6-3-3. R32 (HFC)

R32は微燃性であるが、「微燃性冷媒リスク評価研究会」の使用基準により家庭用エアコンと店舗用エアコンでの採用が進んでいる

R32は微燃性であるが、「微燃性冷媒リスク評価研究会」の使用基準により家庭用エアコンと店舗用エアコンでの採用が進んでいる。冷媒としての特性は非常に優れており、圧力もR410Aよりやや高いもののほぼ同等のため従来の設計資源を流用できる、GWPが低いなどのメリットがある。さらに、冷媒としての効率が良いため、R410A使用時と比べて冷媒封入量が約七〇%と少なく、空調機器への冷媒封入量合計のGWPは六七五×七〇%と考えると、機器に充填されているネット合計GWPはR410Aのそれと比べて、さらに低いとも言える。

### 6-3-4. ハイドロカーボン (HC) ∴プロパン・イソブタン・プロピレン

イソブタンは先に述べたように、国内では家庭用冷蔵庫は電気用品安全法により技術基準が定められており、基準に従ってイソブタンの使用量は一〇〇g以下に制限されている。プロパン、プロピレンなどは冷媒としては効率のよい物質ではあるが、強

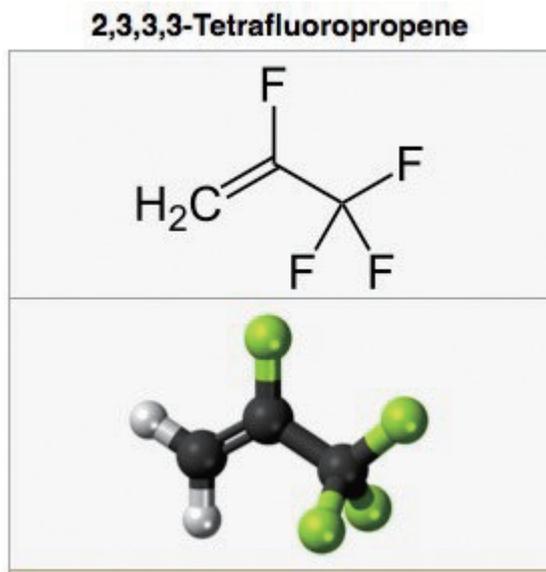


図 6-3 R1234yf の構造 出典：Wikipedia  
<https://en.wikipedia.org/wiki/2,3,3,3-Tetrafluoropropene>

冷媒として利用する上での難点としては微燃性があること、そして、圧力損失が大きいため、冷暖房時の能力低下と電力消費量が大きいこと

燃性であるため、爆発・火災事故のリスクが高い。そしてHCを冷媒として使用する製品については、漏えいなどに十分に配慮した設計・製造・施工が必要である。海外ではR22を冷媒としていた機器にプロパンをドロップイン（入れ替え）したことによる人身事故例などが報告されている。R443a（プロピレン五五％、プロパン四〇％、イソブタン五％）をドロップイン冷媒としてフロノン冷媒に入れ替える事例があるが、R443aの成分は全て強燃性物質である。一方、二〇一六年一月に米国環境保護局（EPA）はプロピレンとR443aの冷媒としての使用を禁止した。（2-2-1. オゾンとは、を参照）

**6-3-5. HFO (R1234yf, R1234ze等)**

HFO類は数年前に開発され、図6-3に示すように炭素（C）が二重結合をしているため、非常に分解が速くて大気寿命（二〇・五日）が非常に短く、従ってGWPもほぼ0の理想的な冷媒として発表された。構造的にはHFCの種類ではあるが、HFCの規制からは除外されている。ただし、冷媒として利用する上での難点としては微燃性があること、そして、圧力損失が大きいため、冷暖房時の能力低下と電力消費量が大きいことである。また、圧力損失の影響により機器間の接続配管の管径を一ランク大きくしなくてはならない。さらに、その構造からの製造工程により価格が高いという経済的な課題がある。欧州ではこの冷媒が開発されたことで、使用を前提と

してカーエアコンのGWPを一五〇以下とするように規制されている。

HFO系の冷媒は今後単体としての利用では課題があるため、R32などと混合して、冷媒としての能力を落とさずR32よりもさらに低GWPを目指した冷媒を各化学メーカーが開発し、学会や国際的なシンポジウムで発表している。

#### 6-3-6. 低GWP次世代冷媒

従来の冷媒はメタンやエタンにフッ素(F)や塩素(Cl)のハロゲン元素をそれぞれの構成している水素と置換して、強燃である性質を不燃または微燃とすることで冷媒として使っていた。しかし、現在では置換した塩素によるオゾン層破壊のため、塩素は利用できなくなり、フッ素(F)置換によるHFCも地球温暖化対策のため生産の制限が加えられる。現時点では新規の冷媒を各化学メーカーが研究・開発をしているが無害であり、不燃であるような理想的な冷媒は見つかっていない。したがって、HFO系の二重結合を持つ冷媒とR32のような低GWPのHFCと混合した冷媒の検討を各社で行っている。

#### 6-4. 高圧ガス保安法の改正

平成二八年一月一日に「高圧ガス保安法施行令の一部を改正する政令」等が施行

平成二八年一月一日に「高圧ガス保安法施行令の一部を改正する政令」等が施行

された。具体的には低GWP冷媒であるが微燃性冷媒である、R32、R1234yf、R1234ze などに対して、新たに特定不活性ガスと位置づける内容である。従来、これらのガスの使用は三冷凍トン未満のものに対しては、HFCなどのフルオロカーボンと同様ではあったが、三冷凍トン以上の製品に対しては、法の適用を受けること、5冷凍トン以上は届出が必要であった。改正後これが、従来のフルオロカーボンと同様の適用となった。これにより、ビル用マルチエアコンなど大型の三冷凍トン以上の機器に対してもR32などの低GWP冷媒を使った機器の開発も可能となり、安全上の規格・ガイドラインが策定された後に、これらの低GWP冷媒を使用した製品化が進められることになる。

三〜五冷凍トンの機器に対して、規格・ガイドラインの策定により安全性の確保が図られ次第、「フロン排出抑制法」による指定製品化として目標等の検討に入る。また、五冷凍トン以上の機器に対しても同様に規格・ガイドラインの策定が完了して上市の見通しなどが明らかになれば、指定製品としての検討に入る。

### 7. 参考・引用資料

1. ニュートン(二〇一五年七月号) 地球と生命46億年をさかのぼる旅
2. 気象庁・オゾン層とは

3. ウィキペディア オゾン  
<http://www.data.jma.go.jp/gmd/ozonehp/3-1Oozone.html>  
<https://ja.wikipedia.org/wiki/オゾン>
4. ウィキペディア オゾン層  
<https://ja.wikipedia.org/wiki/オゾン層>
5. 株式会社プレテック：オゾンとは何か？  
<http://www.cnpnet.co.jp/pretech/knowledge/>
6. オゾン層等の監視結果に関する年次報告書  
[http://www.env.go.jp/earth/ozone/o3\\_report/](http://www.env.go.jp/earth/ozone/o3_report/)
7. 気象庁：オゾン層・紫外線  
[http://www.data.jma.go.jp/gmd/ozonehp/diag\\_o3uv.html](http://www.data.jma.go.jp/gmd/ozonehp/diag_o3uv.html)
8. 日経BP：南極のオゾンホール縮小を初めて確認 フロン規制の効果実る、「歴史的快拳」と研究者  
<http://natgeo.nikkeibp.co.jp/atcl/news/16/070400248/>
9. 科学技術振興機構：オゾン層の回復を初めて確認米MITが発表  
[http://scienceportal.jst.go.jp/news/newsflash\\_review/newsflash/2016/07/20160704\\_01.html](http://scienceportal.jst.go.jp/news/newsflash_review/newsflash/2016/07/20160704_01.html)
10. オゾン層の破壊
11. オゾン層、南極上空で回復傾向 フロン規制が効果米MIT、初めて確認(2016/7/1)  
[http://www.nikkei.com/article/DGXLASDG01HB4\\_R00C16A7000000/](http://www.nikkei.com/article/DGXLASDG01HB4_R00C16A7000000/)
12. 気象庁：オゾン層に関するデータ  
[http://www.data.jma.go.jp/gmd/ozonehp/info\\_ozone.html](http://www.data.jma.go.jp/gmd/ozonehp/info_ozone.html)
13. 気象庁：オゾンホールの状況(二〇一六年)  
[http://www.data.jma.go.jp/gmd/ozonehp/diag\\_o3hole.html](http://www.data.jma.go.jp/gmd/ozonehp/diag_o3hole.html)
14. 気象庁：オゾン層・紫外線の知識  
[http://www.data.jma.go.jp/gmd/ozonehp/diag\\_totalozn.html](http://www.data.jma.go.jp/gmd/ozonehp/diag_totalozn.html)
15. 国立研究開発法人国立環境研究所：二〇一一年春季北極上空で観測史上最大のオゾンが破壊  
<https://www.nies.go.jp/whatsnew/2011/20111003/20111003.html>
16. 北海道大学：北極のオゾンホール  
[https://www.teikokushoin.co.jp/journals/geography/pdf/201302g2/04\\_hsggb1\\_2013\\_02g2\\_p07\\_p10.pdf](https://www.teikokushoin.co.jp/journals/geography/pdf/201302g2/04_hsggb1_2013_02g2_p07_p10.pdf)
17. 気象庁：北極で南極のような大規模なオゾンホールが発生しない理由  
[http://www.data.jma.go.jp/gmd/ozonehp/3-23ozone\\_o3hole\\_npcomp.html](http://www.data.jma.go.jp/gmd/ozonehp/3-23ozone_o3hole_npcomp.html)

- 18 BB NEWS : 北極上空で南極並みのオゾン層破壊観測  
<http://www.afpb.com/articles/-/2832160>
- 19 NASA : 二〇一一年に北極で発生したオゾンホールの原因を特定  
<http://science.newsln.jp/articles/2013031200460006.html>
- 20 アリアンツ生命保険 : 新たな北極圏オゾンの脅威  
[http://life.allianz.co.jp/about\\_us/az/lab/032.html](http://life.allianz.co.jp/about_us/az/lab/032.html)
- 21 オゾンホールが出現するのは、春先の南極上空だけなのはなぜ？  
[http://mori-yohsuke.sakura.ne.jp/ozone\\_7.htm](http://mori-yohsuke.sakura.ne.jp/ozone_7.htm)
- 22 環境省 : オゾン層破壊のメカニズム  
[https://www.env.go.jp/earth/report/h14-03/chap\\_03-3.pdf](https://www.env.go.jp/earth/report/h14-03/chap_03-3.pdf)
- 23 ウィキペディア : 紫外線  
<https://ja.wikipedia.org/wiki/紫外線>
- 24 紫外線を遮るオゾン層  
<http://www.shigai1000.com/eikyo/ozon.html>
- 25 太陽光のスペクトル  
[http://denkou.cdx.jp/Opt/PVC01/PVCF1\\_4.html](http://denkou.cdx.jp/Opt/PVC01/PVCF1_4.html)
- 26 独立行政法人 国立環境研究所 : 太陽紫外線  
[http://www.cger.nies.go.jp/publications/report/m018/all\\_M018.pdf](http://www.cger.nies.go.jp/publications/report/m018/all_M018.pdf)
- 27 濱口研究室 : 光と分子  
<http://hamalab.com/invitation/LightAndMolecule.html>
- 28 シーシーエス株式会社 : 光と色の話  
[http://www.ccs-inc.co.jp/s2\\_pjs/s1/s\\_04/column/light\\_color/vol02.html](http://www.ccs-inc.co.jp/s2_pjs/s1/s_04/column/light_color/vol02.html)
- 29 分析科学 I 2009 物質の構造 (原子・分子) (2)  
[http://www1.jiu.ac.jp/~nimura/as1\\_2009/as1\\_4\\_2009.pdf](http://www1.jiu.ac.jp/~nimura/as1_2009/as1_4_2009.pdf)
- 30 日本分光株式会社 : 赤外分光法の原理  
<https://www.jasco.co.jp/jpn/technique/internet-seminar/fir/fir1.html>
- 31 日本分光株式会社 : 紫外可視分光光度計の基礎 (1) 光の性質  
<https://www.jasco.co.jp/jpn/technique/internet-seminar/uv/uv1.html>
- 32 細川敬祐, 情報・通信工学専攻 (兼) 宇宙・電磁環境研究センター : 宇宙電磁環境  
[http://gwave.ice.nec.ac.jp/hosokawa/public/sce/sce\\_lecture\\_hosokawa\\_print.pdf](http://gwave.ice.nec.ac.jp/hosokawa/public/sce/sce_lecture_hosokawa_print.pdf)
- 33 文部科学省 : 第1章 光と地球環境  
[http://www.mext.go.jp/b\\_menu/shingi/gijyutu/gijyutu3/toushin/attach/133534.htm](http://www.mext.go.jp/b_menu/shingi/gijyutu/gijyutu3/toushin/attach/133534.htm)
- 34 環境省 : 平成一三年度オゾン層等の監視結果に関する年次報告書  
<https://www.env.go.jp/earth/report/h14-03/>

- 35 ウィキペディア：ブリュワー・ドブソン循環  
<https://ja.wikipedia.org/wiki/ブリュワー・ドブソン循環>
- 36 タマの気象学：8-1. 成層圏・中間圏の気温・風の分布  
[http://www.geocities.jp/tama\\_weather/text8-1.html](http://www.geocities.jp/tama_weather/text8-1.html)
- 37 国立研究開発法人海洋研究開発機構：地球温暖化に伴う赤道準二年振動の弱体化傾向を発見―地球規模の流れの変化を立証する新たな観測的知見―  
[http://www.jamstec.go.jp/j/about/press\\_release/20130523/](http://www.jamstec.go.jp/j/about/press_release/20130523/)
- 38 国立極地研究所：成層圏突然昇温と中層大気循環  
[http://mti.nict.go.jp/MTI\\_symposium/mti-handbook/top/h20/MTI\\_Handbook\\_Hirooka\\_SSW\\_Ver\\_1\\_1.pdf](http://mti.nict.go.jp/MTI_symposium/mti-handbook/top/h20/MTI_Handbook_Hirooka_SSW_Ver_1_1.pdf)
- 39 ウィキペディア：真珠母雲  
<https://ja.wikipedia.org/wiki/真珠母雲>
- 40 気象庁：南極でオゾンホールが発生するメカニズム  
[http://www.data.jma.go.jp/gmd/env/ozonehp/3-22ozone\\_o3hole\\_mechanism.html](http://www.data.jma.go.jp/gmd/env/ozonehp/3-22ozone_o3hole_mechanism.html)
- 41 国立研究開発法人 国立環境研究所：人工衛星データを用いた極成層圏雲の解析  
<https://www.nies.go.jp/kanko/news/24-1/24-1-03.html>
- 42 国立研究開発法人 国立環境研究所：コラム「PSC（極成層圏雲）と脱窒のメカニズム」
- 43 富士通エフ・アイ・ビー：成層圏硫酸エアロゾル―極成層圏雲  
<http://www.fujitsu.com/jp/group/fjp/solutions/business-and-technology-solutions/sustainability-solution/glossary/psc/>
- 44 白石浩一：極成層圏雲の物理化学と環境変動  
[https://www.jstage.jst.go.jp/article/jar/25/3/25\\_3\\_219/\\_pdf](https://www.jstage.jst.go.jp/article/jar/25/3/25_3_219/_pdf)
- 45 一般財団法人環境イノベーション情報機構：極域成層圏雲  
<http://www.eic.or.jp/ecoterm/?act=view&serial=638>
- 46 こんなに美しいのに、オゾン層を破壊する、空模様―真珠母雲の恐怖とは？―イギリス  
[http://tocana.jp/2016/02/post\\_8912\\_entry.html](http://tocana.jp/2016/02/post_8912_entry.html)
- 47 気象庁：南極オゾンホールができるしくみ  
[http://www.data.jma.go.jp/gmd/env/ozonehp/3-31ozone\\_o3hole\\_sp.html](http://www.data.jma.go.jp/gmd/env/ozonehp/3-31ozone_o3hole_sp.html)
- 48 気象庁：フロン類  
[http://ds.data.jma.go.jp/ghg/kanshi/ghgp/cfcs\\_trend.html](http://ds.data.jma.go.jp/ghg/kanshi/ghgp/cfcs_trend.html)
- 49 気象庁：気象庁：温室効果ガスの種類  
[http://www.data.jma.go.jp/cpdinfo/chishiki\\_ondanka/p04.html](http://www.data.jma.go.jp/cpdinfo/chishiki_ondanka/p04.html)
- 50 EMANの物理学：黒体放射

- 51 <http://eman-physics.net/statistic/blackbody.html>  
△黒体放射って何のこゝろ
- 52 <http://blogs.yahoo.co.jp/karaokegurui/68303163.html>  
黒体放射とは一体何か？ 1 溶鉱炉内の鉄の発光と温度 「熱放射」  
<http://blog.goo.ne.jp/quantum-mechanics/e/454dfe2bce06b1e933435995569acac4>
- 53 近藤純正：M34 放射  
<http://www.asahi-net.or.jp/~rk7j-kndu/kisho/kisho34.html>
- 54 熊本大学：太陽光の利用  
<http://cedec.kumamoto-u.ac.jp/2001/mech/mech002/hikari.htm>
- 55 地球温暖化についての解説  
<http://island.geocities.jp/mopyesr/ondanka/ondanka.html>
- 56 シュテファン・ボルツマンの法則  
[http://fnorio.com/0119Stefan\\_Boltzmann\\_law\\_of\\_radiation0/Stefan\\_Boltzmann\\_law\\_of\\_radiation0.html](http://fnorio.com/0119Stefan_Boltzmann_law_of_radiation0/Stefan_Boltzmann_law_of_radiation0.html)
- 57 ポストさんてん日記：大気通過後の放射スペクトル分布  
<http://iccho20.blog94.fc2.com/blog-entry-460.html>
- 58 ウィキペディア：地球のエネルギー収支  
<https://ja.wikipedia.org/wiki/地球のエネルギー収支>

- 59 ウィキペディア：太陽放射  
<https://ja.wikipedia.org/wiki/太陽放射>
- 60 ウィキペディア：温室効果  
<https://ja.wikipedia.org/wiki/温室効果>
- 61 第二部—三— 大気と海の科学  
<http://www.s-yamaga.jp/nanimono/taikitoumi/taikitotaiyenergy.htm>
- 62 第三章 太陽  
<http://www.s-yamaga.jp/nanimono/uchu/taiy0-03.htm#%91%BE%97z%92%E8%90%94>
- 63 ウィキペディア：太陽定数  
<https://ja.wikipedia.org/wiki/太陽定数>
- 64 一層大気モデルを用いた大気の温室効果  
<http://physmemo.shakunage.net/phys/greenhouse/greenhouse2.htm>
- 65 日本ヒーター株式会社：遠赤外線・近赤外線  
[http://www.nippon-heater.co.jp/wp-content/themes/JapaneseHeater/designmateri\\_als/pdf/infrared.pdf](http://www.nippon-heater.co.jp/wp-content/themes/JapaneseHeater/designmateri_als/pdf/infrared.pdf)
- 66 国立天文台：大気窓 (Atmospheric Window)  
[http://www.shokabo.co.jp/sp\\_radio/spectrum/radiow/window.htm](http://www.shokabo.co.jp/sp_radio/spectrum/radiow/window.htm)

- 67 国立環境研究所地球環境研究センター：ココが知りたい地球温暖化  
[http://www.cger.nies.go.jp/ja/library/ga/11/11-2/ga\\_11-2-j.html](http://www.cger.nies.go.jp/ja/library/ga/11/11-2/ga_11-2-j.html)
- 68 ホストさんてん日記：オゾン層の生成・破壊のメカニズム  
<http://iccho20.blog94.fc2.com/blog-entry-402.html>
- 69 I R の基礎知識  
<http://www.chem-station.com/yukitopics/ir.htm>
- 70 WIKIPEDIA：Greenhouse gas  
[https://en.wikipedia.org/wiki/Greenhouse\\_gas#Atmospheric\\_lifetime](https://en.wikipedia.org/wiki/Greenhouse_gas#Atmospheric_lifetime)
- 71 WIKIPEDIA：Global warming potential  
[https://en.wikipedia.org/wiki/Global\\_warming\\_potential](https://en.wikipedia.org/wiki/Global_warming_potential)
- 72 WIKIPEDIA：Infrared spectroscopy  
[https://en.wikipedia.org/wiki/Infrared\\_spectroscopy](https://en.wikipedia.org/wiki/Infrared_spectroscopy)
- 73 日本機械学会誌 (2001.7. Vol. 104 No. 992)：地球の温暖化評価と代替化合物の選択  
<http://www.jsme.or.jp/publish/kaisi/010704t.pdf>
- 74 経産省：フロンに関わる基礎的な情報  
[http://www.meti.go.jp/policy/chemical\\_management/ozone/files/report/report\\_h17\\_gijutsuhousei/report6-1.pdf](http://www.meti.go.jp/policy/chemical_management/ozone/files/report/report_h17_gijutsuhousei/report6-1.pdf)
- 75 九州大学小山教授：空調用冷媒の低GWP化への挑戦と将来展望  
<http://www.nedo.go.jp/content/100765864.pdf>
- 76 ウィキペディア：放射強制力  
<https://ja.wikipedia.org/wiki/放射強制力>
- 77 気象庁：放射強制力  
[http://www.metsoc.jp/tenki/pdf/2009/2009\\_12\\_0029.pdf](http://www.metsoc.jp/tenki/pdf/2009/2009_12_0029.pdf)
- 78 名古屋大学 太陽地球環境研究所：二章 成層圏オゾン層の破壊  
<http://www.stelab.nagoya-u.ac.jp/ste-www1/div1/matsumi/lecture2a.pdf>
- 79 地球の地図と図法  
<http://blog.goo.ne.jp/gooblgabe/e/b6b86de049441f6a2523ea1e3e135f70>
- 80 I E E J：二〇一五年四月掲載：GHG排出削減目標に関する政府案が示される  
<http://eneken.ieej.or.jp/data/6039.pdf>
- 81 環境省：オゾン層破壊物質等の概要  
[https://www.env.go.jp/earth/ozone/qa/part4\\_chapter1\\_1-1.pdf](https://www.env.go.jp/earth/ozone/qa/part4_chapter1_1-1.pdf)
- 82 環境省：VOCのオゾン生成能調査  
<https://www.env.go.jp/council/former-2013/07air/y075-04/mat03-2.pdf>
- 83 横浜市環境科学研究所：平成二四年度 光化学オキシダントに係る揮発性有機化合物 (VOC) の調査

- <http://www.city.yokohama.lg.jp/kankyo/mamoru/kenkyu/shiryo/pub/pub0185/pdf/pub018501.pdf>
- 84 東京都環境局環境改善部：大気中VOCの成分組成の経年変化とオゾン生成への寄与について  
[http://www.tokyokankyo.jp/kankyoken\\_contents/report-news/2008/ronbun102.pdf](http://www.tokyokankyo.jp/kankyoken_contents/report-news/2008/ronbun102.pdf)
- 85 WIKIPEDIA：2,3,3,3-Tetrafluoropropene  
<https://en.wikipedia.org/wiki/2,3,3,3-Tetrafluoropropene>
- 86 フロン排出抑制法に基づく業務用冷凍空調機器からのフロン類の充填量及び回収量の集計結果（平成二七年度分）を公表します  
<http://www.meti.go.jp/press/2016/12/20161209003/20161209003.html>
- 87 産業構造審議会 製造産業分科会 化学物質政策小委員会 フロン類等対策ワーキンググループ（第九回）―配布資料  
[http://www.meti.go.jp/committee/sankoushin/seizou/kagaku/freon\\_wg2/009\\_hairu.html](http://www.meti.go.jp/committee/sankoushin/seizou/kagaku/freon_wg2/009_hairu.html)
- 88 冷凍二〇一一年九月号第八六巻第一〇〇七号（P二五～P三六）…日本冷凍空調工業会の冷媒漏えい防止に関する提言（作井）
- 89 空気調和衛生工学二〇一五年一二月Vol.89 no.12（P二～P九）：フロン排出抑制法（作井）
- 90 冷凍空調設備二〇一六年六月Vol.43 no.6（P五六～P六八）…冷媒フロン類規制と関連団体の活動（作井）
- 91 用途別次世代冷媒候補：「次世代冷媒の方向性について」二〇一三年七月四日  
 日本冷凍空調工業会 岸本哲郎専務理事
- 92 環境省：G7富山環境大臣会合の結果について  
<http://www.env.go.jp/press/102546.html>
- 93 EUにおける F―ガス規制の動向と業界の対応について（一社）日本冷凍空調設備工業連合会 石井進（二〇一三年二月一日）  
<http://www.kiconet.org/event/doc/130201-4.pdf>
- 94 経済産業省 平成二四年度化学物質安全確保・国際規制対策推進等  
[http://www.meti.go.jp/medi\\_hib/report/2013fy/E003362.pdf](http://www.meti.go.jp/medi_hib/report/2013fy/E003362.pdf)
- 95 Fガス規制 公益社団法人日本冷凍空調学会  
<http://www.jsrae.or.jp/annai/yougo/222.html>

## 時事余聞

◇…教育勅語が問題化している。きっかけは、森友学園が幼稚園児に対し勅語を暗唱させていたことが明らかになったからだ。戦前の教育を受けた老人達には懐かしい思い出が一杯詰っている。しかし、これを全部暗唱するには時間がかかった。今ではすっかり忘れていたが、親孝行だとか、兄弟姉妹仲良く、夫婦仲などは覚えていた。これらの部分は今もって当り前のことである。一方、主権者たる天皇が臣民の守るべき徳目として述べたことに関して国民に議論の余地が無かったことなど問題点も指摘されている。

◇…ともあれ、戦後の日本国憲法の施行により天皇主権の考え方は否定され、衆参両議院の決議により一九四八年に教育勅語は排除され、失効した。もちろん天皇への尊敬の念は今でも多くの国民が抱いているであろうが、かと言って、何かの時に「天皇のため」「国家のため」と考えるのは短絡的であろう。一方、「国を代表して」奮励努力するのは多くの国民が願う所である。その期待の現れは

スポーツに顕著である。例えば、久々の日本人横綱となった稀勢の里関の大人気が何よりの証拠である。

◇…プロテニスプレーヤーで人気を高めているのは錦織圭。世界ランキング二〇一五年には第四位だったが、二〇一七年は第七位にとどまった。引続き試合は続いているが、トップを極めるのはいつのことか。二〇〇二年に渡米し、テニスの専門校に短期入学、二〇〇三年八月に本格的に渡米しテニス道に精魂を傾けている。日本人の多くははずれ彼がトップになることを念じている。

◇…それはやはり彼の土根性ではないか。土俵際に押し込まれても勝負は決して投げない。最後の最後まで粘り抜く。これが日本人特有の強さであり、土根性だといえる。この精神にゆるみがあるとトップを目の前にして倒れたりする。昔は侍魂と呼ばれるが、今でも侍の称号を使ったスポーツチームもある。国際大会で二回優勝した野球日本代表も「侍ジャパン」と呼んでいる。土俵際の勝負への執念が勝負根性だといえる。(K)

## 編集後記

水産業界におけるゴールドチェーンの重要性はますます高まっています。冷凍空調機器の冷媒に用いられる物質を巡っては、オゾン層破壊防止や地球温暖化対策という地球規模の重要問題を背景として、国際的に様々な規制や改良、開発が行われてきています。本号では、そうした歴史的な経緯を踏まえて、冷媒フロン類の排出規制や次世代冷媒などについて大変詳しく解説していただきました。著者の労作に対して深く感謝の意を表します。

### 「水産振興」 第五九三号

平成二十九年五月一日発行

(非売品)

編集兼  
発行人 井上恒夫

発行所 〒104-0055 東京都中央区豊海町五番一  
豊海センタービル七階

一般財団法人 東京水産振興会

電話 ☎ 三五三七八二一一  
FAX ☎ 三五三七八二一六

印刷所 (株)連合印刷センター

(本稿記事の無断転載を禁じます)

ご意見・ご感想をホームページよりお寄せ下さい。

URL <http://www.suisan-shinkou.or.jp/>

平成二十九年五月一日発行（毎月一回一日発行）五九三号（第五十一卷五号）