

第1章 概要

冷凍技術としてスタートしたヒートポンプ技術は、近年では、多様な温度帯へ適応できるようになり、空調、給湯、産業技術へとその用途は広がるばかりである。

このため、低温技術から高温技術に至るまで、ヒートポンプ技術を応用した多くの機器が登場してきている。ここでは、まずはヒートポンプの動作原理から、機器の種類、さらには、機器に用いられる材料や動作流体としての冷媒の種類まで含めたヒートポンプ技術全体について概説する。



1.1 > ヒートポンプとは

1 ヒートポンプの特徴

ヒートポンプとは、少ない駆動エネルギー(主に電力)で、何らかの熱媒体や半導体などを用いた機器として、低温側(熱源とも呼ばれる)から熱を奪い、高温側に熱を効率よく移動させ放熱させる機器、システムを表す総称である。

図1.1に示すようにヒートポンプの低温側では、対象物から熱を奪い、冷却できるため、冷凍機や冷蔵庫、冷房機(あるいは、冷房と暖房運転が切り替えられるエアコンの冷房運転)として用いることができる。対して高温側では、加熱ができるため、暖房機(あるいは、エアコンの暖房運転)や給湯機などに用いることができる。ヒートポンプは、もともとは、冷凍機器としてスタートしたが、低温側を用いる機器と区別して、高温側を用いる機器の名称とされることも多い。

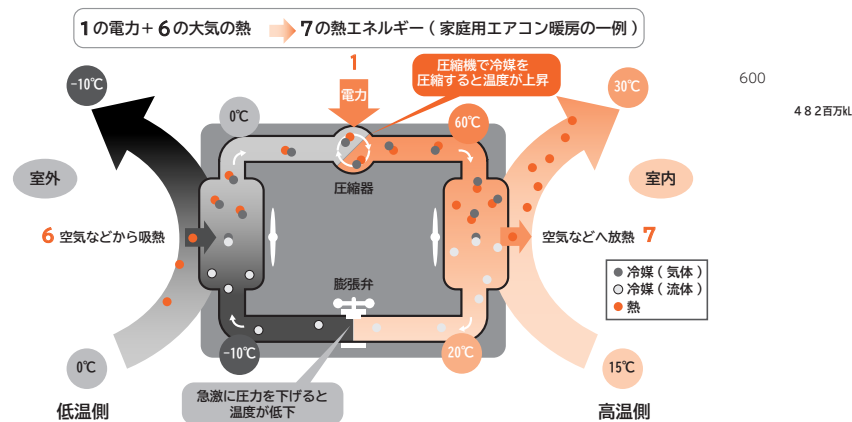


図1.1 ヒートポンプの仕組み

出典：一般財団法人ヒートポンプ・蓄熱センター「ヒートポンプ・蓄熱システムを学ぼうーヒートポンプについてーヒートポンプとは」^[1]をもとに作成

2.4 > 環境に配慮した冷媒転換の必要性

1 カーボンニュートラル実現に向けた冷媒転換

現在、社会的に要請されている冷媒転換とは、環境影響の大きい冷媒をより環境影響の小さい冷媒に転換することである。当初は、フロン系冷媒を使用することによるオゾン層破壊への影響を回避するために転換を進めてきたが、今ではオゾン層を破壊しない代替冷媒が用いられるようになった。一方で、冷媒が地球温暖化に多大な影響を与えることが判明し、あらためて代替冷媒の削減に焦点が当たっている。

現在主流の代替冷媒としてのHFC系冷媒から自然冷媒またはHFO系冷媒³への転換が進められ、皮肉なことに代替冷媒の代替が模索されているのである。化学物質の扱いの難しさを実感するところでもある。

このように冷媒の転換が求められているが、これは地球温暖化防止の一環、すなわちカーボンニュートラルの一環とも見ることができる。冷媒問題は、ヒートポンプ技術の最大の問題の1つでもある。

2 冷媒転換に係る国内外の動向

① 国際条約：オゾン層の保護から温暖化防止へ

GHGの一種であり、ヒートポンプ技術の冷媒などに使用されているフロン類は、オゾン層破壊物質でもある。1985年に採択された国際条約「オゾン層の保護のためのウィーン条約」に基づき、その製造、消費と貿易が規制されている。

具体的には、同条約に基づいて1987年に採択された「モントリオール議定書」では、エアコンの冷媒として使われていたCFCはすでに全廃され、CFCの代替であるHCFCも先進国で2020年、新興国で2030年までに全廃することが決まっている。さらに、HCFCの代替として使われてきたHFCについても、近年、地球温暖化影響が問題視されるようになり、モントリオール議定書の枠組みの中で、その生産量・消費量の削減義務を定めることが2016年10月に決定された。この

³ HFO系冷媒 ハイドロフルオロオレフィン(HFO)は、毒性が低く、環境や人体への影響が少ないことから、グリーン冷媒とも呼ばれている。

決定はキガリ改正と呼ばれ、2019年1月に発効された。

キガリ改正におけるHFC削減の生産量・消費量の削減スケジュールを表2.7に示す。日本が所属する先進国グループに対しては、2036年までに基準量比85%削減を実現することを目標としている。前述の地球温暖化対策計画、パリ協定に基づく成長戦略において定められた日本のフロン類の削減目標は、このキガリ改正の着実な履行を前提としたものである。

表2.7 キガリ改正によるHFC削減スケジュール

| | 先進国 | 途上国第1グループ(中国など) | 途上国第2グループ |
|----------|--|--|--|
| 基準年 | 2011～2013年 | 2020～2022年 | 2024～2026年 |
| 削減スケジュール | 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% |

出典：経済産業省・オゾン層保護等推進室「モントリオール議定書及びキガリ改正の概要」(2017)¹⁴⁴をもとに作成

② 日本の政策：フロン排出抑制法

国内では、モントリオール議定書に基づきフロン類の生産・消費を削減するためのオゾン層保護法と、フロン類のライフサイクル全体の排出を抑制するためのフロン排出抑制法が施行されている。その中で、温室効果の大きい高GWP冷媒の使用を制限し、冷媒転換を促している(図2.7)。

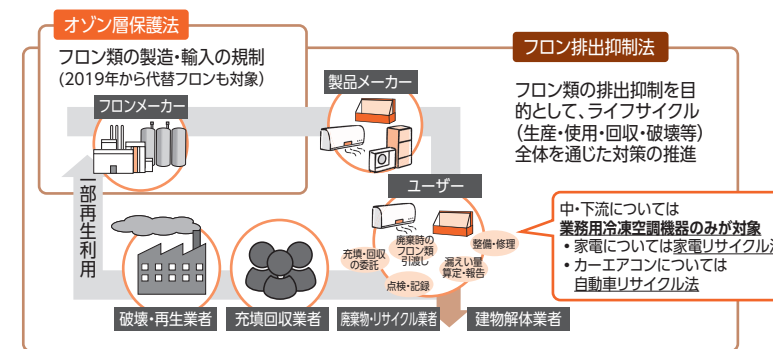


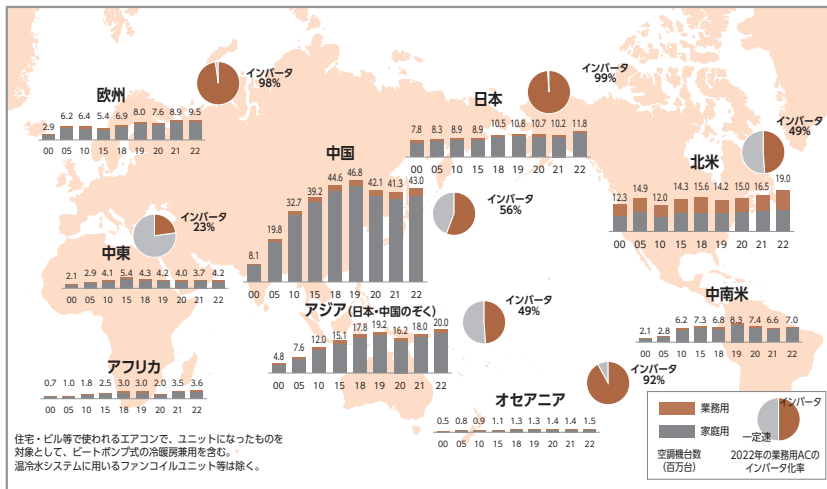
図2.7 日本におけるフロン対策の全体像

出典：環境省・経済産業省「フロンを取り巻く動向と改正フロン排出抑制法の概要」(2019)¹⁴⁵をもとに作成

3.7 > 世界のヒートポンプ技術動向

1 インバータ空調の普及率

カーボンニュートラル実現のため、今後は、まずは高性能機としてのインバータ機の普及が最優先となる。日本は世界に先駆けてインバータ搭載の家庭用エアコンや業務用エアコンの普及が進んだこともあり、最近の市場規模は1,000万台程度で横ばいであるのに対し、世界全体では需要が拡大し、1億台を超えている(図3.15)。



注)2000～2022年/推計：11,777万台(2022年)

図3.15 世界の空調需要とインバータ化率

出典：一般社団法人日本冷凍空調工業会「世界のエアコン需要推定」(2023)^[15]をもとに作成

本需要推移の通り、日本は空調機の普及だけでなく、インバータ化もおおむね完了している。一方、空調の普及が進んでいない地域(アフリカなど)や空調は普及しているものの、インバータ搭載機の普及が進んでいない地域(北米など)など、状況はさまざまである。

2 地域別の空調・給湯機の活用状況

冷凍空調機全体の課題を考えるためには、世界市場を捉えることが重要となる。しかし、地域によって自然環境や文化的な背景から、利用する機器の種類や機器の使い方は異なる。特にその違いが大きいのが空調と給湯であり、日本・ヨーロッパ・北米で大きく異なる。表3.4に地域別の空調・給湯機の特徴を示す。

表3.4 地域別の空調・給湯機の特徴

| 地域 | 空調 | | 給湯 |
|------------------------|-------------------------|-------------------------------------|--|
| | 冷房 | 暖房 | |
| 日本 | ダクトレス式・個別空調 | | ガス給湯器(瞬間式) およびヒートポンプ(貯湯式： 容量370～560Lレベル) ^{※2} |
| (寒冷地) | | 燃焼式(灯油・ガス) | |
| ヨーロッパ | ダクトレス式・個別空調 | 温水循環式(燃焼器・電気 ヒーター) ^{※1} | 電気ヒーター・ガス燃焼器(貯 湯式：容量200Lレベル) |
| 北米 | ダクト式・全館空調、 ウィンドウエアコン | 同左+ガス燃焼・電気ヒータ ・温水ファンコイル | ガス燃焼・電気ヒータ(貯湯 式：容量200Lレベル) |
| 熱帯アジア (インド・東南アジアなど) | ダクトレス式・個別空調 | - | 電気ヒータ(貯湯式：容量25 ～200Lレベル) |
| 中国 | ダクトレス式・個別空調 | | 電気温水器(貯湯式：容量 100～200Lレベル) ^{※3} |
| | | 温水循環式 | |

注) ※1 ヒートポンプ式温水暖房システムの導入も進む

※2 戸建ではヒートポンプの導入も進む

※3 ヒートポンプの導入も進む

北米



室内機 室外機

ダクト式(ユニタリー式)

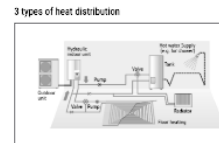


一体型

ウィンドウエアコン・PTAC*

*Packaged terminal air conditioner:窓下に置く一体型空調機

欧州



温水循環式暖房システム



タンク型
(モノブロック) タンク別置き型
(スプリット)

Air to Waterで使用されるヒートポンプ

中国



室内機 室外機
個別空調 (Mini-VRF)



Air to Waterで使用される電気ヒータ

4.2 > 全体最適化を実現するシステムの構築

1 システムを一元化する必要性

ここまでヒートポンプが対応すべき事象と、それぞれの課題解決の方向性を見てきた。ただし、個別事象は独立ではなく相互に強い関連性を持つため、それぞれ個別に対応するだけでは限界がある。このため、個別事象を横断的に捉えて課題解決を図りながら、目指すべき技術や社会システムの姿を全体として最適な解決を試みるのが、全体最適化の基本的な考え方である。

全体最適化を実現する手段としては、DX、すなわちIoTやシミュレーション、デジタルツイン、次世代通信技術などのデジタル技術がとりわけ重要な基盤となる。これにより、機器運転情報、機器ライフサイクル情報、冷媒管理情報などの多様な情報の「見える化」が進み、情報が集積でき、1つの側面にしわ寄せが行くようなことがなく、全体としての対策が立てられるからである。

このようなデジタル化やネットワーク化によって、さまざまな側面で、デジタルデータと統合し最適化した機器と、それを取り巻く共通基盤プラットフォームなどのシステム化こそが、「次世代ヒートポンプ技術」が目指す姿である(図4.3)。

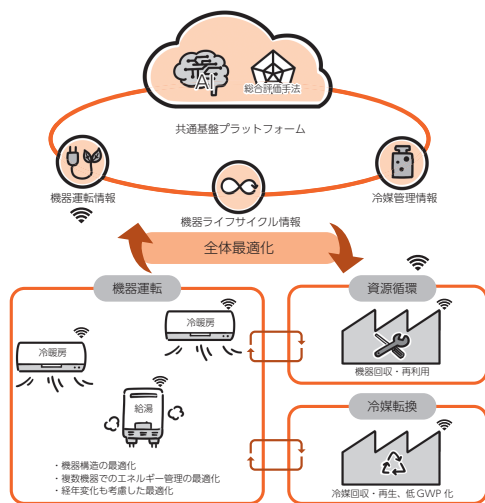


図4.3 全体最適化を実現した次世代ヒートポンプ技術のイメージ

最終的に目指す姿が不明確なまま、個別の課題解決による全体最適化を目指そうとすると、個別の課題に対するルールや対応組織なども体系化されてしまう。さらに、それぞれの個別事象に対応する複数の情報管理システムが構築されてしまい、全体最適化を実現するところには、修正が極めて難しくなることは容易に想像できる。例としては、現在、行政情報などをマイナンバーで紐づけて一元的に管理しようとしているが、形式の違う複数の情報により、大変な困難をとまっている。

このため、何よりも重要なことは、「次世代ヒートポンプ技術」実現に向けた全体最適化へのグランドデザインをできる限り早く構築することである。次世代ヒートポンプ実現のカギとなる要素は次の2つである。

- ① DXによる全情報一元管理の実現
- ② 総合評価手法の構築

2 情報プラットフォームの構築

次世代ヒートポンプ技術で全体最適化を進めるために重要となるのが、さまざまな情報システムの共通基盤となるプラットフォームをつくることである。データ授受や機器の相互制御のルールがきちんとできなければ、異なる事象やメーカーなど、相互の連携が決して進まないからである。

例えば、図4.4に示すように、ヨーロッパで導入が義務付けられるデジタルプロダクトパスポートでは、製品の製造元、使用材料、リサイクル性、解体方法などの情報をデジタル化する。この情報を、製品のバリューチェーンに関わる主体と共有することを目指している。

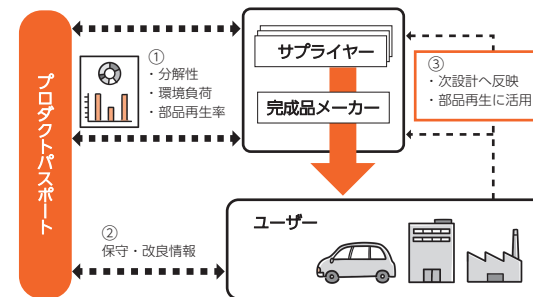


図4.4 デジタルプロダクトパスポートの仕組み

出典：株式会社日立総合計画研究所「1.プロダクトパスポートとは」^[1]をもとに作成

5.4 > ヒートポンプ技術で創る 居住環境の未来像

1 ウェルネスと脱炭素化の同時実現

すでに述べたとおり、現状の住宅・建築物では主に以下の課題・ニーズを抱えている。

| | |
|---|---|
| 1 | 住宅の外皮性能の低さや他国と異なる空調運転方式のために、快適な温熱環境を実現できていない。 |
| 2 | 住宅以外の建築物では、健康経営の浸透によって、室内環境に対する意識が高まっており、温度制御だけではなく、湿度、気流も含めた高度な制御や換気に対するニーズも高まっている。 |
| 3 | 上記ウェルネスの観点に加え、カーボンニュートラルの観点も重要。寒冷地の住宅における暖房・給湯用途や集合住宅における給湯用途では、ヒートポンプ機器の普及が求められている。ただし、冷媒の対策をあわせて実施することが必要不可欠である。感染症対策も含めて換気が非常に重要となっているが、多くのエネルギーをロスするため、不要な換気は脱炭素化を妨げてしまうことにもなる。 |

これまで、居住環境においては、省エネルギーばかりが追及され、快適性や健康についてはあまり考慮されることはなかった。事実、快適性を実現しようとするれば、どうしても多くのエネルギーを必要としてしまうからである。

今後は、ウェルネスと脱炭素の両方を同時に実現した居住環境が求められることになる。これに対して、5章3節でも述べたとおり、今後は住宅・建築物の省エネ規制強化などの施策により外皮性能向上が見込まれる中、住宅・建築物自体の性能や関連する機器・設備などと連携・協調して全体での最適化が可能である。また、技術的課題(可燃性冷媒使用、着霜、設置スペース制約など)の克服により、寒冷地・集合住宅、業務用建築物にも適用できる次世代ヒートポンプ技術の導入を進めることで、上記の課題・ニーズに対応できる。

具体的な住宅・建築物の未来像を図5.10に示す。住宅・建築物の外皮性能向上にあわせて、温度だけではなく湿度や気流の観点も含めて、より高い水準でウェルネスを実現する次世代ヒートポンプ技術(全館空調、デシカント空調など)が活用されている。エネルギーの観点からも、空調用途、給湯用途、冷凍用途、換気用とも含めたシステム全体としての最適化が図られた、機器選定・構成が実現される。

現状の住宅・建築物

空調設備を運転している居室・時間帯だけが快適な温度となっている。非居室空間などでは不快なままで、健康被害も発生しやすい。
燃焼機器の使用によるCO₂排出も多い



次世代ヒートポンプ技術を活用した住宅・建築物

住宅・建築物の性能に応じた機器の最適化・電化(ヒートポンプへの転換など)やエネルギーマネジメントシステムを用いた複数機器の最適運転制御による快適な室内環境の実現と省エネ・脱炭素化の両立

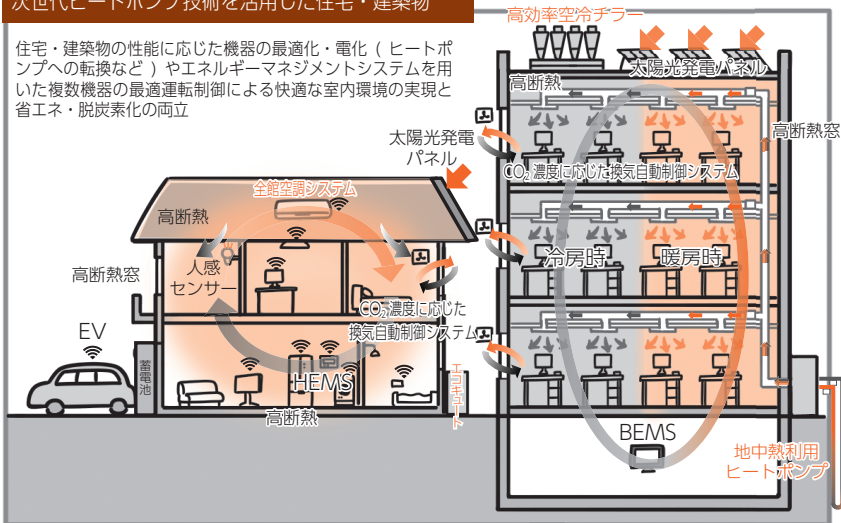


図5.10 次世代ヒートポンプ技術で実現される住宅・建築物のイメージ

6.6 > ヒートポンプ技術で創る 電力需給システムの未来像

1 ヒートポンプ技術を活用した電力システムの構築

6章2節2項で述べたとおり、現状の電力需給システムでは、主に以下の課題を抱えている。

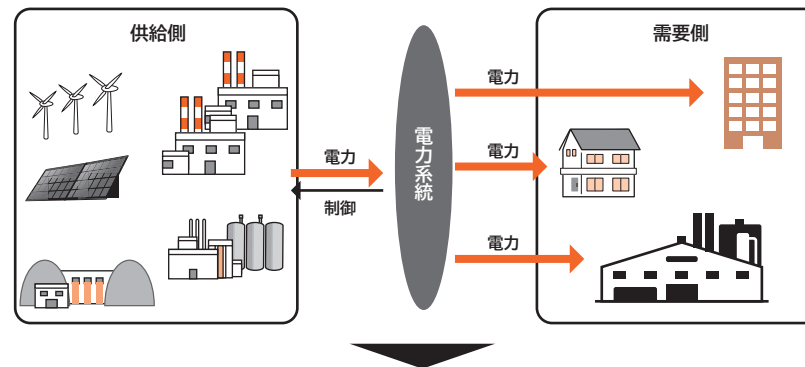
- 1 再生可能エネルギーの普及拡大にともない、系統制約が顕在化しており、電力系統へ受け入れるための統合コストが増大している
- 2 電力の安定供給を維持しつつ、再生可能エネルギーのさらなる大量導入を図っていくためには、電力システムの柔軟性を高めるために調整力を確保する必要があり、その取り組みの1つとしてDR、VPPへのニーズが高まっている

これに対して、電力の供給側の状況に応じた柔軟な制御が可能な次世代ヒートポンプ技術を活用することで上記の課題・ニーズに対応できる。

具体的な電力需給システムの未来像を図6.17に示す。まず、次世代ヒートポンプ技術やそれと組み合わせて用いられる蓄熱システムをDR、VPPに活用することで、再生可能エネルギーの普及拡大にともなって余剰電力が発生した場合や調整力不足が発生した場合への対応に際して、余剰電力の吸収対策や調整力として活用できる。このため、再生可能エネルギーの有効活用や、今後のさらなる再生可能エネルギーの普及拡大に資する。

現状の電力需給システム

発電所から需要家への一方向の流れが中心
需要側の電力需要にあわせて発電量の制御を実施



次世代ヒートポンプ技術を活用した電力需給システム

需要家側での太陽光、ヒートポンプ・蓄熱システム等の普及により、双方向の流れが増加
供給側と需要側が連携して需給の最適化を実施

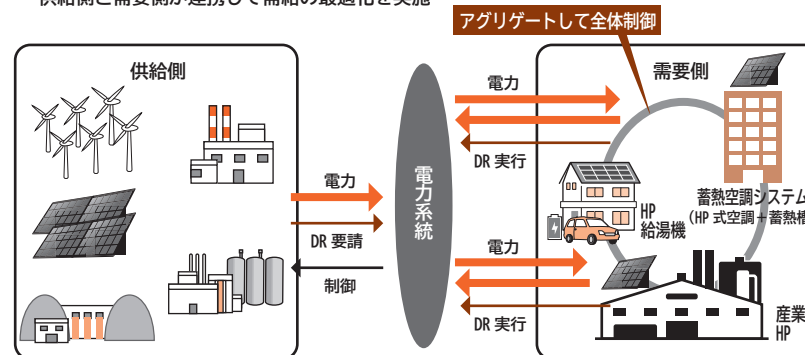


図6.17 次世代ヒートポンプ技術で実現される電力システムのイメージ

7.7 > 次世代ヒートポンプ技術の初期導入・利用に対する支援

次世代ヒートポンプ技術の導入は、冷媒転換や資源循環など環境への配慮が必要のため、機器の価格が現状より上がることが予想される。このため、新たな機器の導入を促進する各種の措置が必要になる。

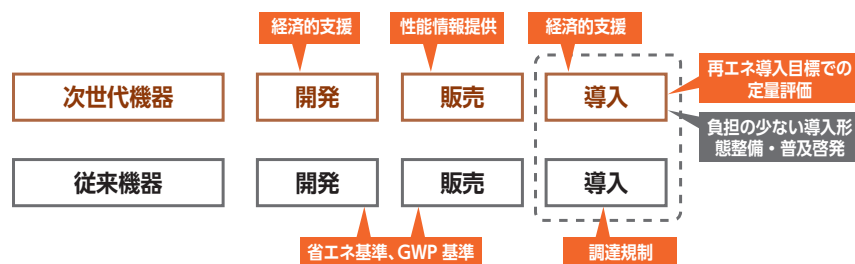


図7.12 次世代ヒートポンプ技術の導入推進の考え方

機器の導入を促進する意味でも、次の3つの観点から必要な措置を提言する。

- 1 初期導入に対する支援
- 2 利用に対する支援
- 3 ヒートポンプ技術で利用する熱の再エネとしての扱いの明確化

1 初期導入に対する支援

初期導入に対する支援は、カーボンニュートラルやサーキュラーエコノミー達成という、社会全体の目標に向けて必要となり、行政として次のような措置を実施すべきである。

- 1 新たな性能情報提供の支援(法定化、経済的支援など)
- 2 次世代ヒートポンプ技術の機器開発に対する経済的支援
- 3 次世代ヒートポンプ技術の導入に対する経済的支援

導入に対する経済的支援としては、従来の用途を限定して自然冷媒機器を支援⁴対象としてきた^[5]。その他の用途での低GWP機器の導入や、燃焼系と組み合わせたヒートポンプの導入、導入の前提となるZEB化なども含め、特に普及の初期段階での導入を後押しするように、幅広く対象にするのが望ましい。

一方で、このような経済的支援は、価格差を埋め合わせることで普及が拡大し、それとともに価格差が縮まるものの、最終的に差異がなくなる機器も残る。このため、初期段階での補助金などの財政支出をとまなう支援を、永続的に実施できない。一定の普及が進んだ段階で、従来機器の販売に対する規制を強化⁵し、従来機に対して賦課金などを課すことにより、次世代機器の競争力を確保することも検討すべきである。

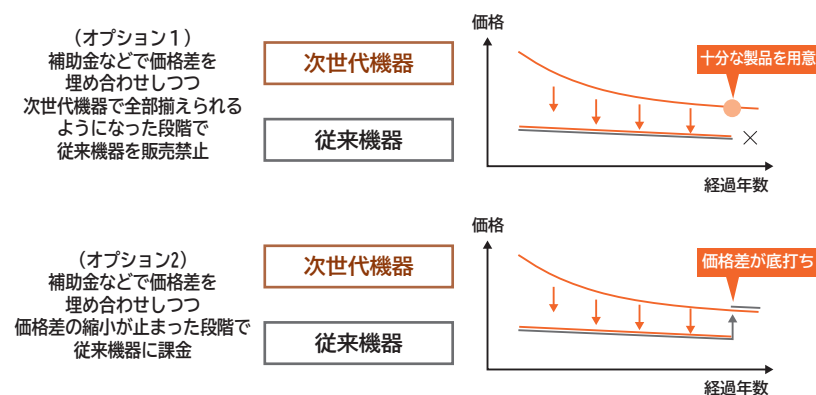


図7.13 次世代ヒートポンプ技術への経済的支援の考え方
(価格差が最終的に残らざるを得ない場合の例)

2 利用に対する支援

低GWPを目指す冷媒転換や、エネルギー消費をおさえる省エネを推進する取り組みとしては、ヒートポンプ機器本体の導入を促す政策だけではなく、運用時のエネルギー費用に影響を与えることも次世代ヒートポンプ技術に対する経済的支援の1つとなる。

- 4 自然冷媒機器の支援 環境省の自然冷媒導入支援事業(補助金)では、冷凍冷蔵庫、食品製造工場、食品小売店舗のみを対象としている。
- 5 従来機器の販売に対する規制の強化 フロン法の指定製品に対するGWP基準の強化、グリーン購入法での指定、販売禁止など。