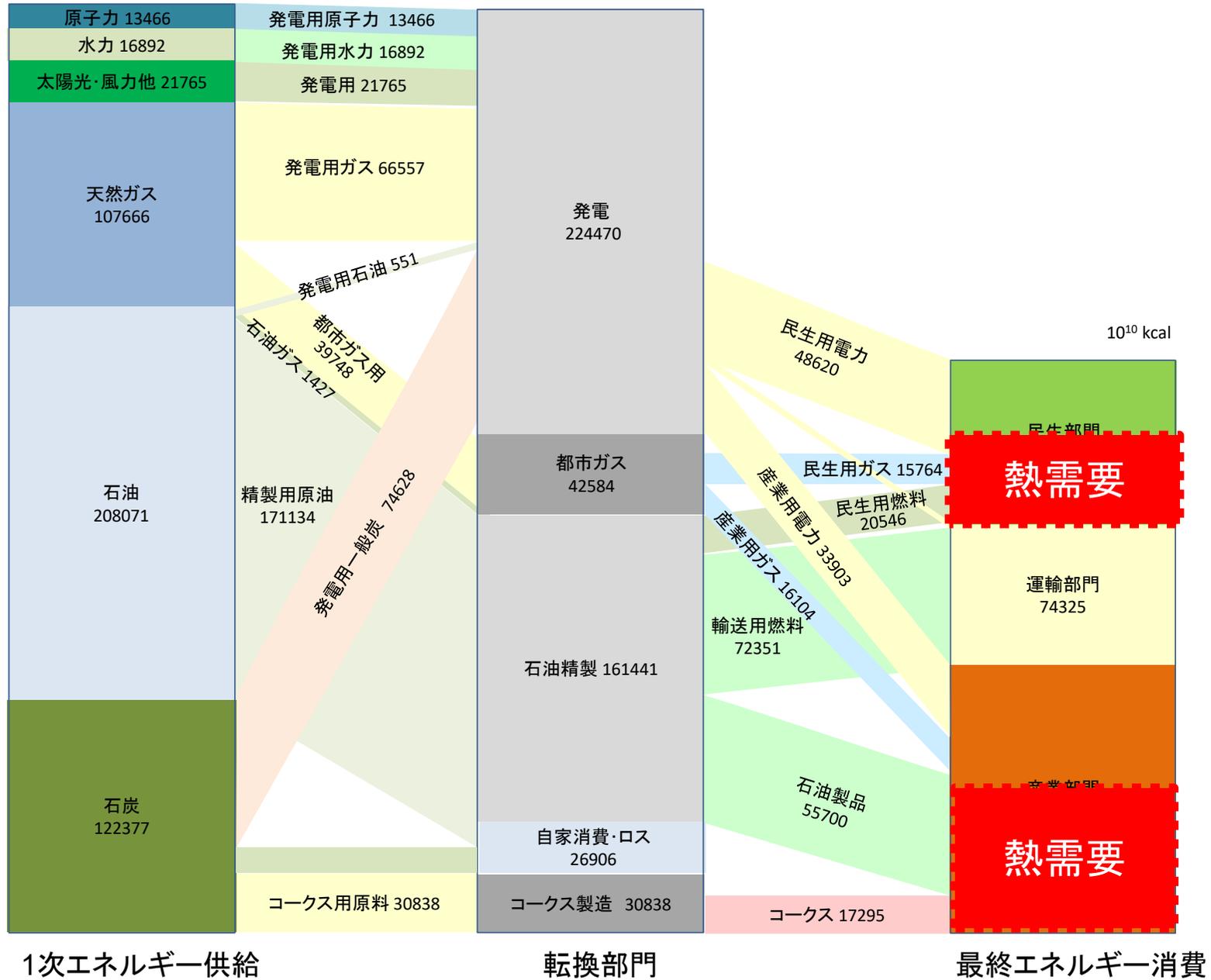


カーボンニュートラル時代の熱利用技術 (に関する私見)

東京大学 生産技術研究所
鹿園直毅

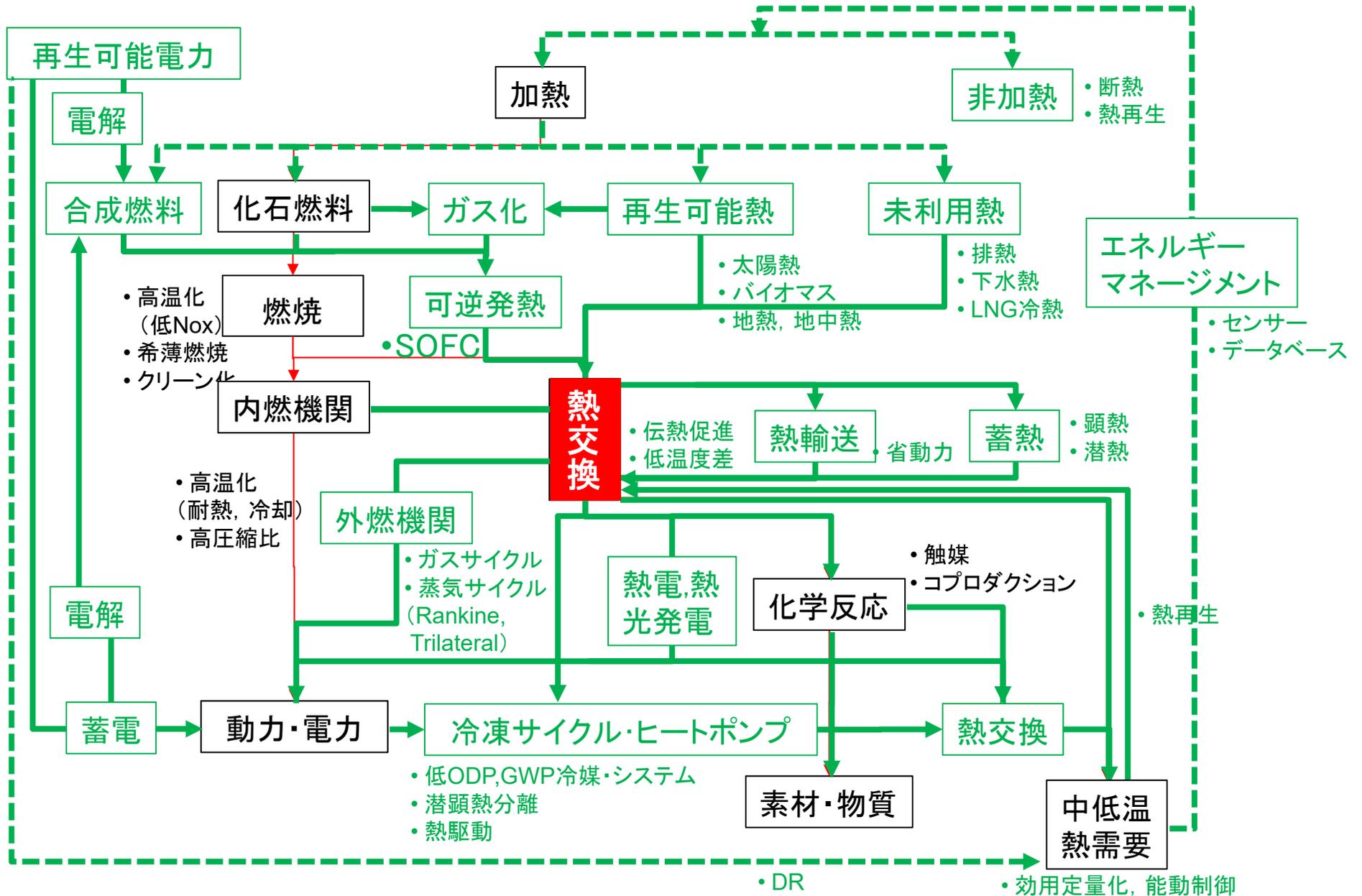
エネルギーバランス 2018年度



エネルギー消費は減っても熱のやりとりは増える (しかも低温度差で)

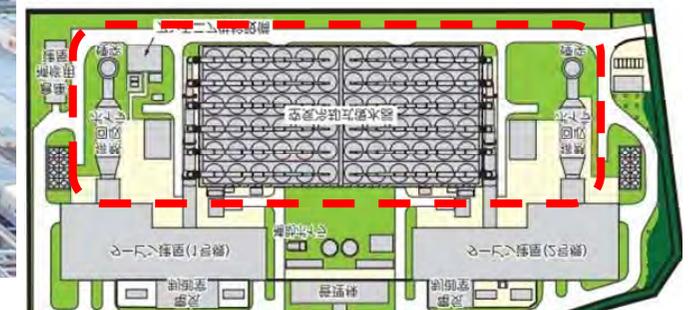
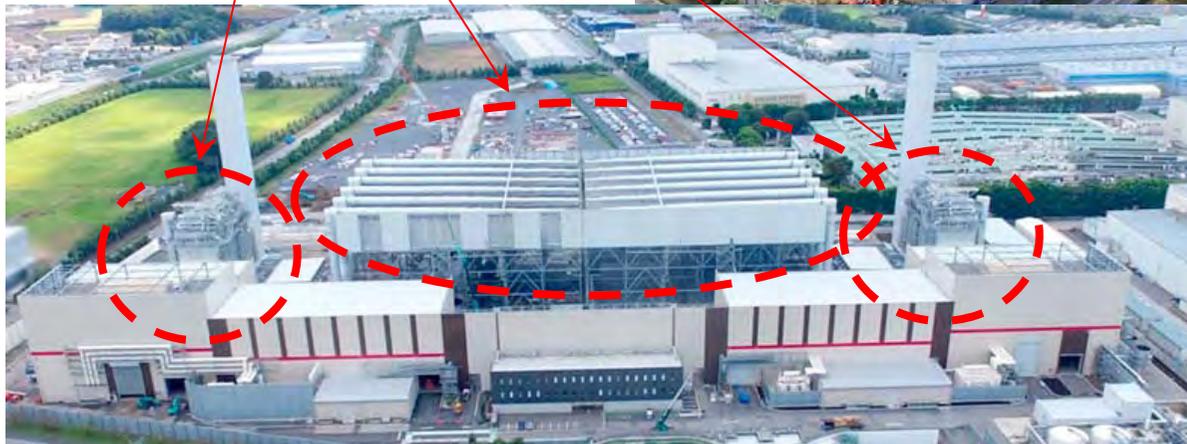
-----> 情報の流れ

————> 物質・エネルギーの流れ



熱をやり取りすることの課題

- 神鋼真岡発電所: LNGパイプラインを利用した内陸型コンバインドサイクル 120万kW
- 熱交換器が敷地の約2/3
- 大伝熱面積・大構造物
- 総コストと性能を左右



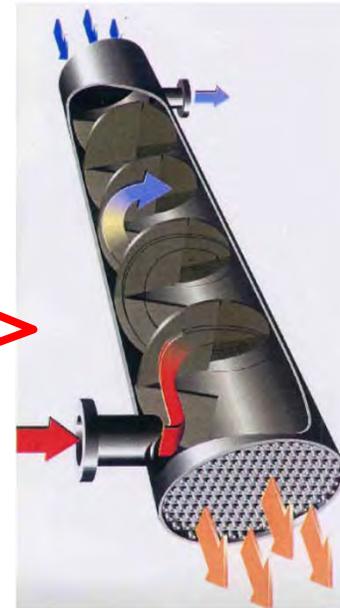
<http://www.itmedia.co.jp/smartjapan/articles/1607/22/news033.html>

<http://www.tokyo-gas.co.jp/IR/library/pdf/annual/1509.pdf>

http://www.meti.go.jp/committee/kenkyukai/safety_security/kankyo_karyoku/pdf/h25_04_02_03.pdf

https://www.kobelco.co.jp/releases/1202084_15541.html

4000kWカーリーナサイクル



https://www.ihl.co.jp/ihl/all_news/2020/resources_energy_environment/1197109_1601.html



蒸発器

- 縦型シェル&チューブ×2基
- 41.9 MW
- 高さ 13.715 m
- シェル内径 1.490 m
- ヘリカル(らせん)バッフル

永田, 石油プラントへの低位熱発電システムの適用,
日本機械学会 No.09-94 第二回湘南ワークショップ, 2009

燃焼式→電化の難しさ

ガス給湯器



600 × 470 × 240 mm 27.5 kg

http://rinnai.jp/catalog_download/pdf/kyuto.pdf/

Rinnai RUF-A2400AW

- ・ 最大給湯能力 50 kW
- ・ 重量 = 27.5 kg
- ・ 実売価格 ¥100,000
- ・ 価格/熱量 2,000 ¥/kW
- ・ 温度差 1,500
- ・ 熱量/温度差 30 W/
- ・ 価格/重量 4,500 ¥/kg

ヒートポンプ給湯器



672 × 799 × 299 mm 55 kg 2170 × 600 × 680 mm 89 kg

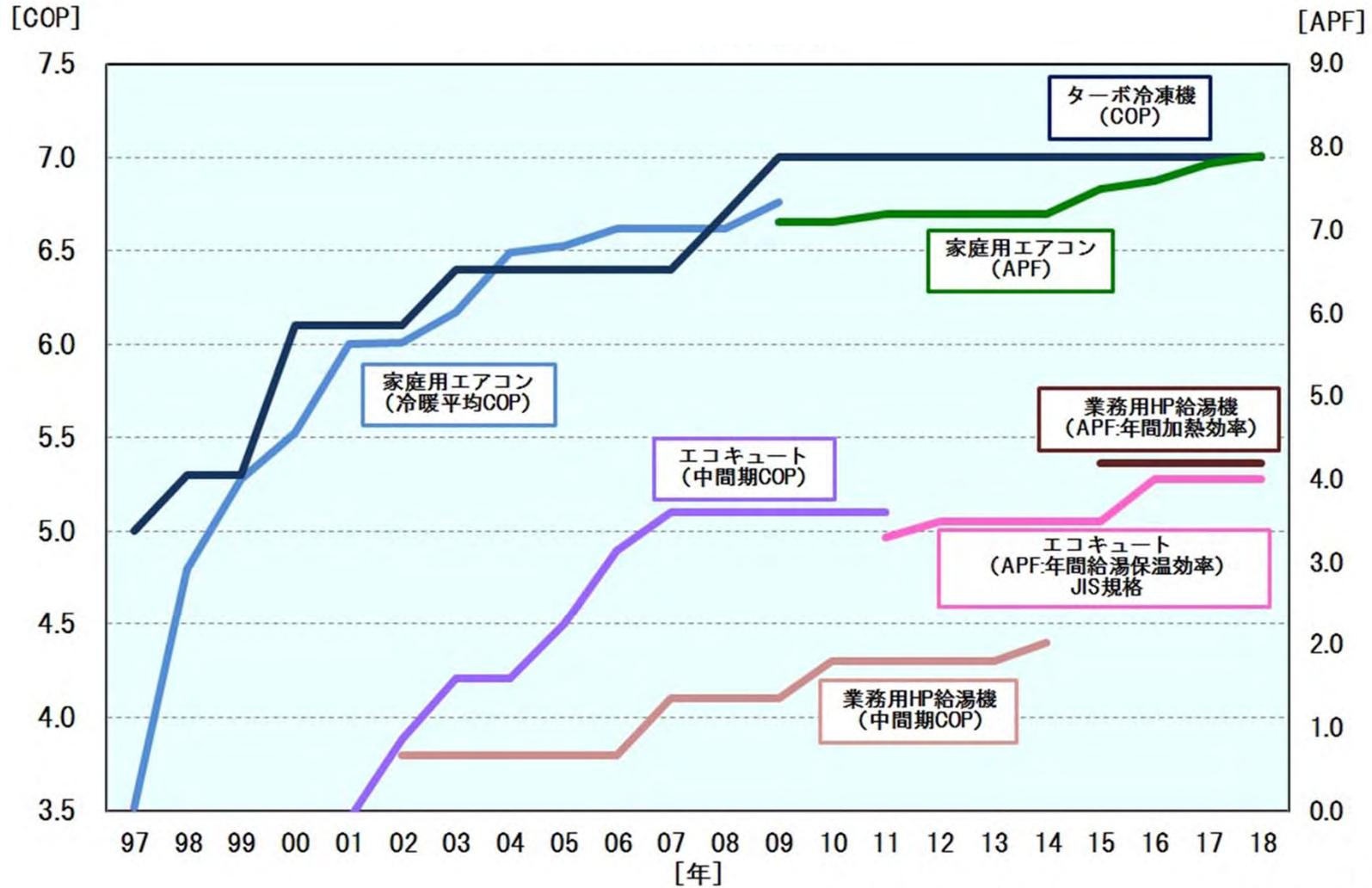
<http://sumai.panasonic.jp/hp/online.html>

Panasonic HE-JPU46HXS (460L)

- ・ 給湯能力 = 6 kW (約1/10)
- ・ 重量 = 55 + 89 = 132 kg (5倍以上)
- ・ 実売価格 ¥300,000 (約3倍)
- ・ 価格/熱量 80,000 ¥/kW (40倍)
- ・ 温度差 10 (1/150)
- ・ 熱量/温度差 600 W/ (20倍)
- ・ 価格/重量 2,500 ¥/kg (約半分)

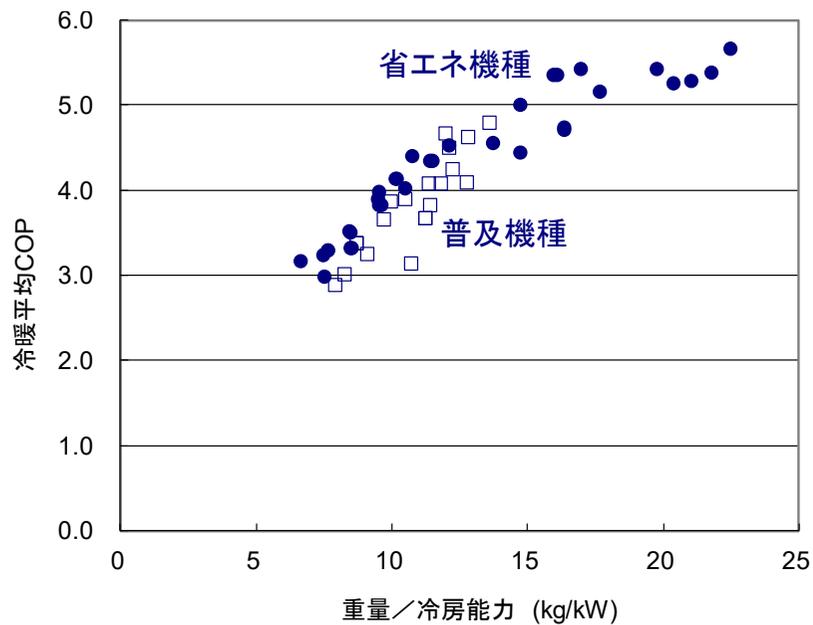
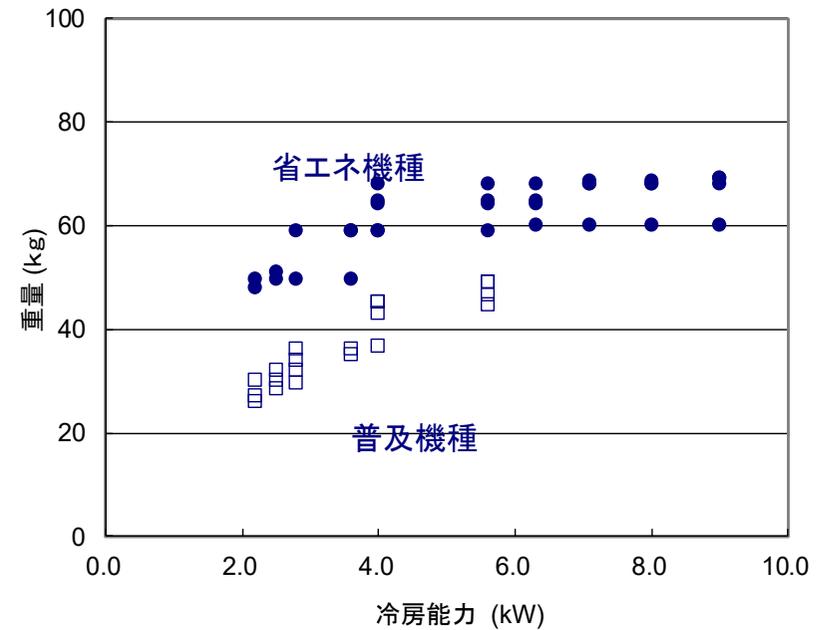
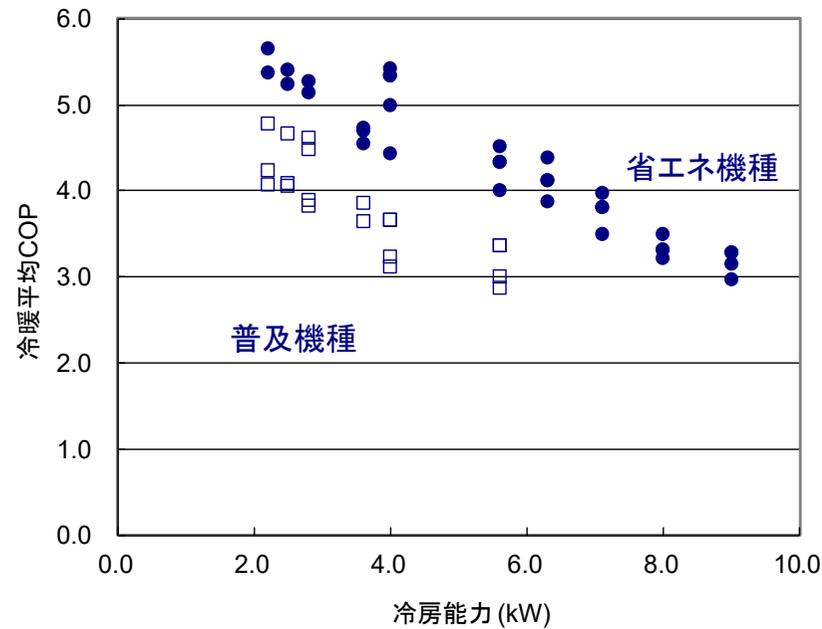
実は重量単価は相当に安い

エアコン・ヒートポンプの性能推移



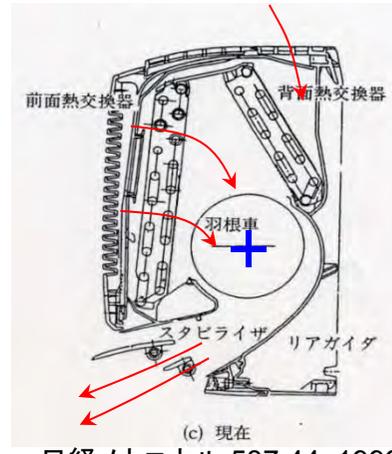
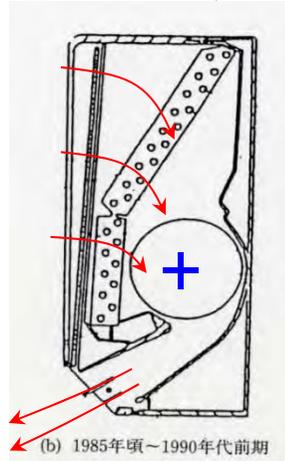
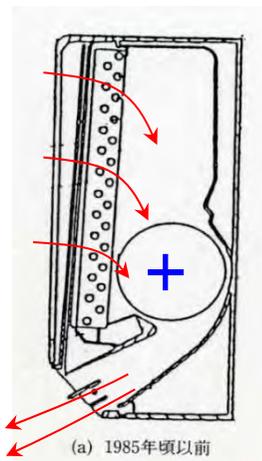
出展元：メーカーカタログ・省エネ性能カタログ

エアコンの省エネ技術とは

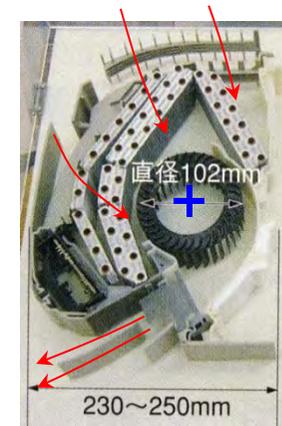


- 省エネ機種も普及機種もほとんど差はない
- 相対的に重いほど省エネ

エアコン構造の変遷



日経メカニカル, 537, 44, 1999



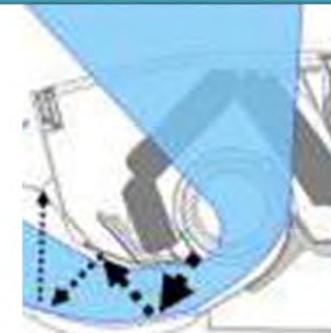
日経ものづくり, 2004.08

80年代

90年代



ダイキンHPより, 2012



シャープHPより, 2006

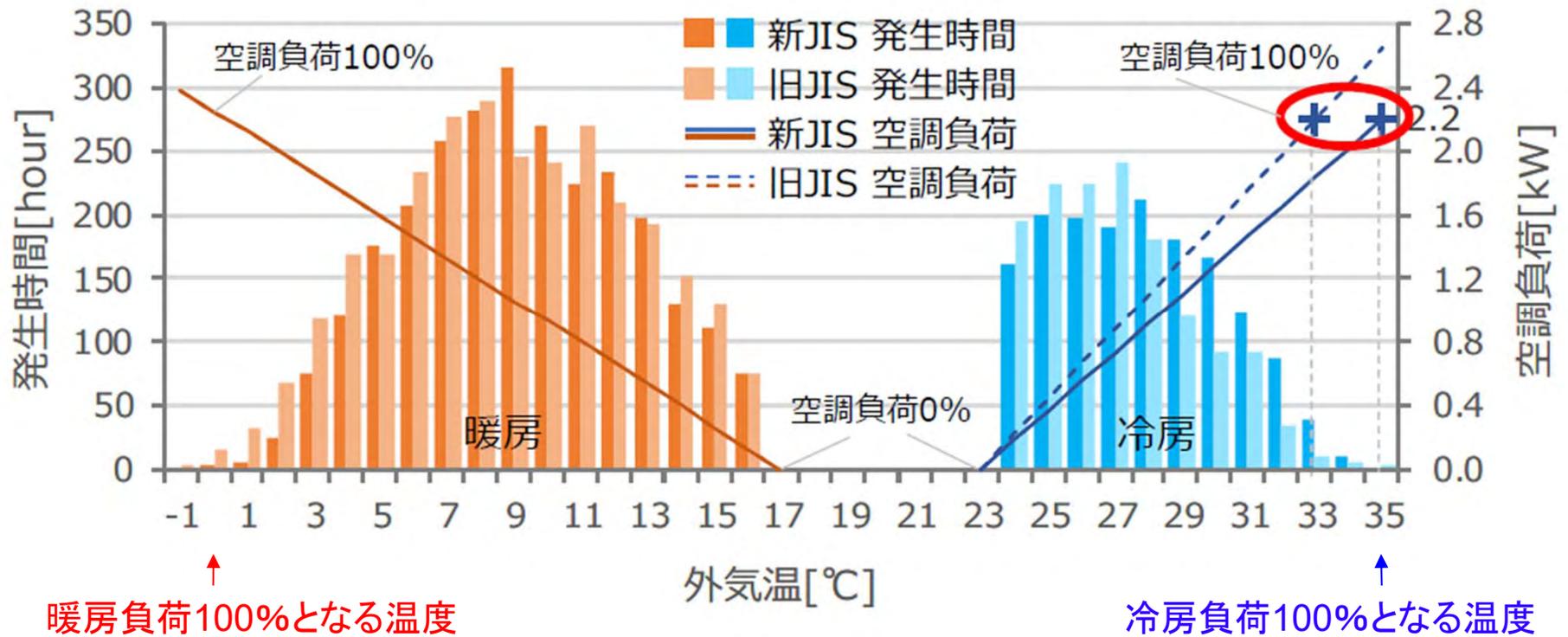
2000年代

現在

- 最も確実で安い省エネ技術 → 伝熱面積増加 (=大型化)
- 相対的に風量を増やせず, 前方にどんどんせり出す形に (益々大型化)

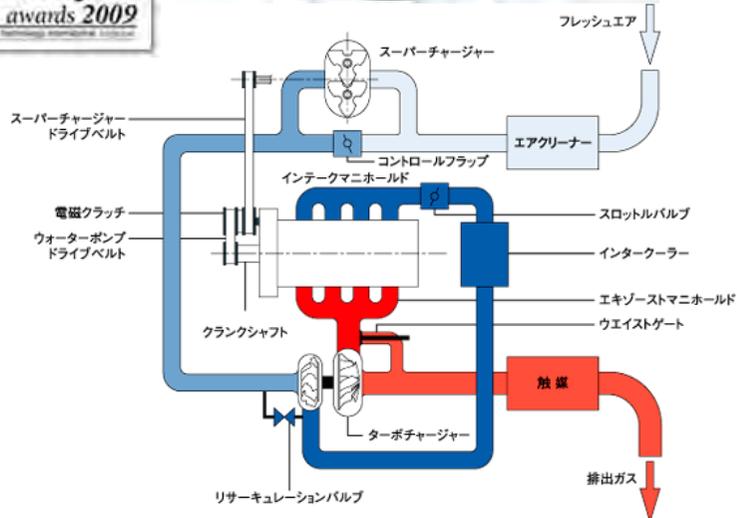
COPからAnnual Performance Factor (APF)へ

$$APF = \frac{\sum \text{Load} \times \text{Duration}}{\text{Temperature} \times \text{Total Energy Consumption}}$$



過給ダウンサイジング

TSIエンジン



http://www.volkswagen.co.jp/experience/innovation/innovation_vw_FullFrameset.html

瞬間式温水便座



<http://panasonic.co.jp/corp/news/official.data/data.dir/jn080804-1/jn080804-1.html>

電気ケトル

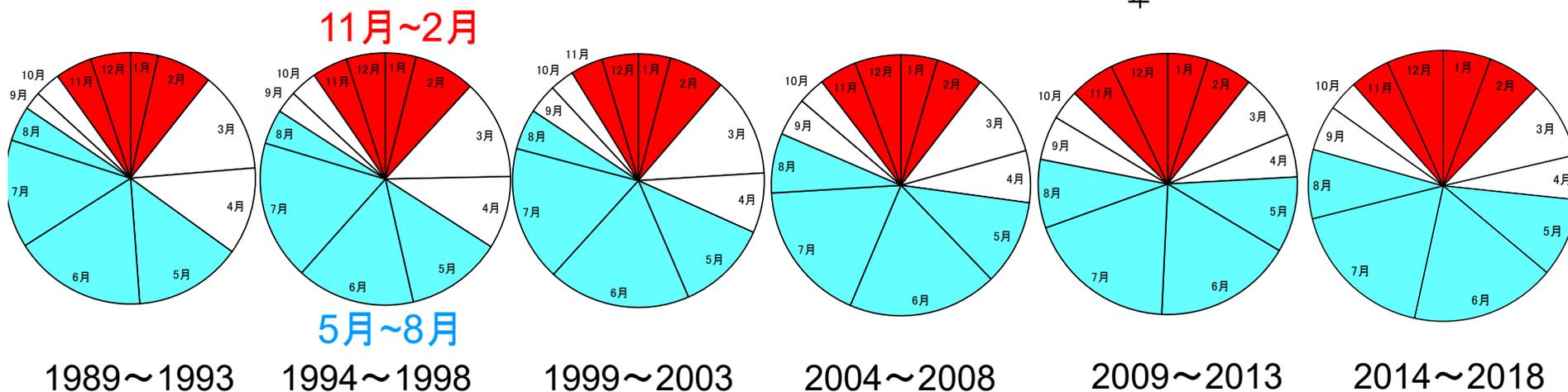
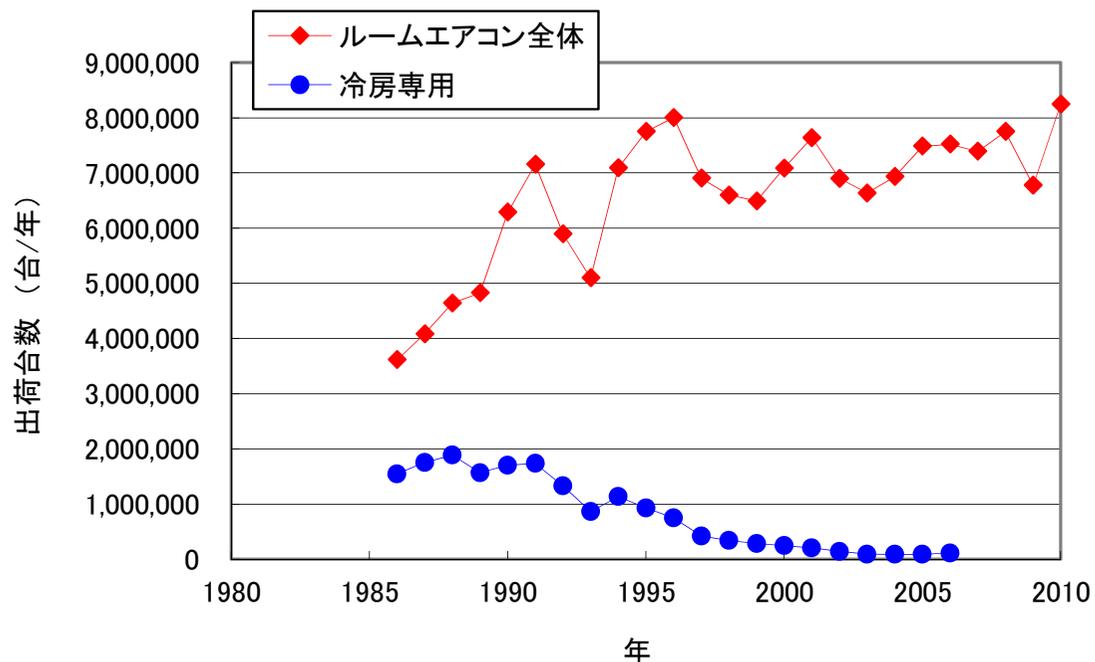


1.3kW

<http://www.zojirushi.co.jp/corp/news/2007/071220/CKBA.html>

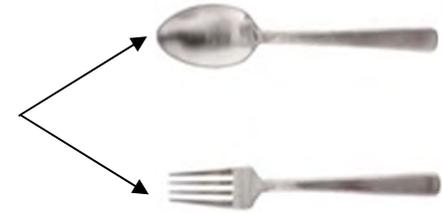
昔はクーラーと呼ばれていたが...

- 冷房専用機は絶滅
- 今でも夏期に売れる傾向は変わらず
(売れないのか、売らないのか...)



エアコン月ごとの出荷台数の推移

温熱と冷熱と専用設計したら・・・



高効率顕熱冷房

潜顕熱分離

冷房専用
室内フィン

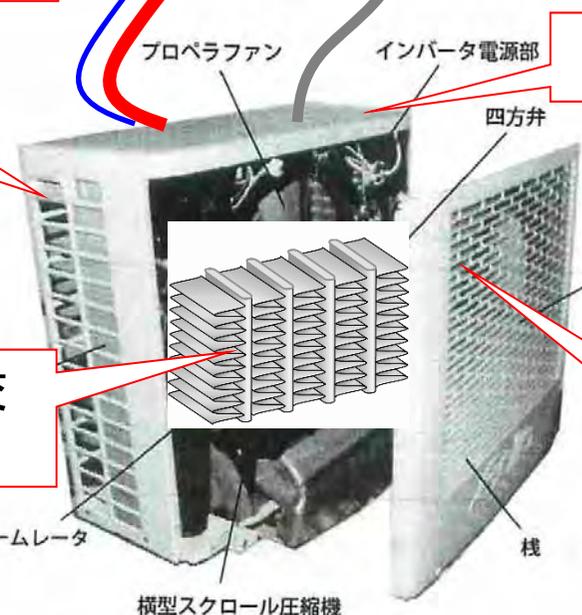
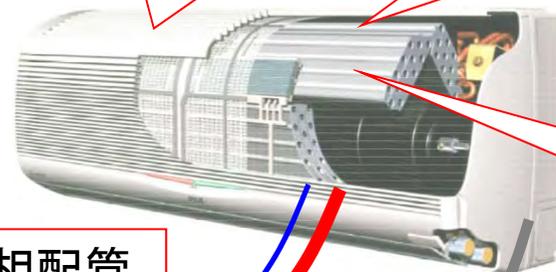
細径液相单相配管

凝縮水の冷熱利用

冷専専用サイクル

オールアルミ熱交
重量半減

超省冷媒
細径熱交



横型スクロール圧縮機

アキュムレータ

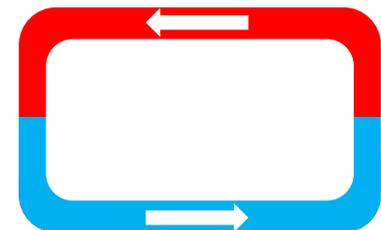
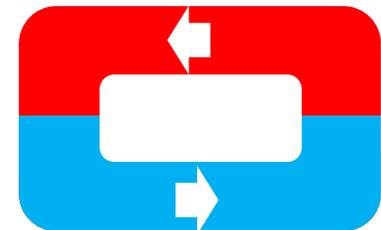
四方弁

吹出し口

棧

プロペラファン

インバータ電源部



エアコンの省エネラベルが変わりました

新しいラベルを表示しましょう！

2022年10月1日からエアコンの統一省エネラベルが変わります。
早期に表示を切り替えて、お客様に最新情報をお伝えしましょう。

2022.9.1省エネ法改正 (小売事業者表示制度)



旧ラベルの継続表示には注意が必要です！



旧ラベルは、2023年9月30日まで表示することができます（表示切替の猶予期間）。
ただし、新ラベルの施行後も旧ラベルを表示したままにしていると・・・
お客様に誤った省エネ性能をお伝えしてしまうかもしれません！



例えば、エアコン製品A（冷房能力4.0kW、APF5.8）は、

旧ラベルでは4つ★です。

冷房能力等の区分ごとに定められた省エネ基準の達成率に基づいて、★の数が決められています。

新ラベルでは2つ★です。

APFを利用して算出した評価点に基づいて、★の数が決められています。

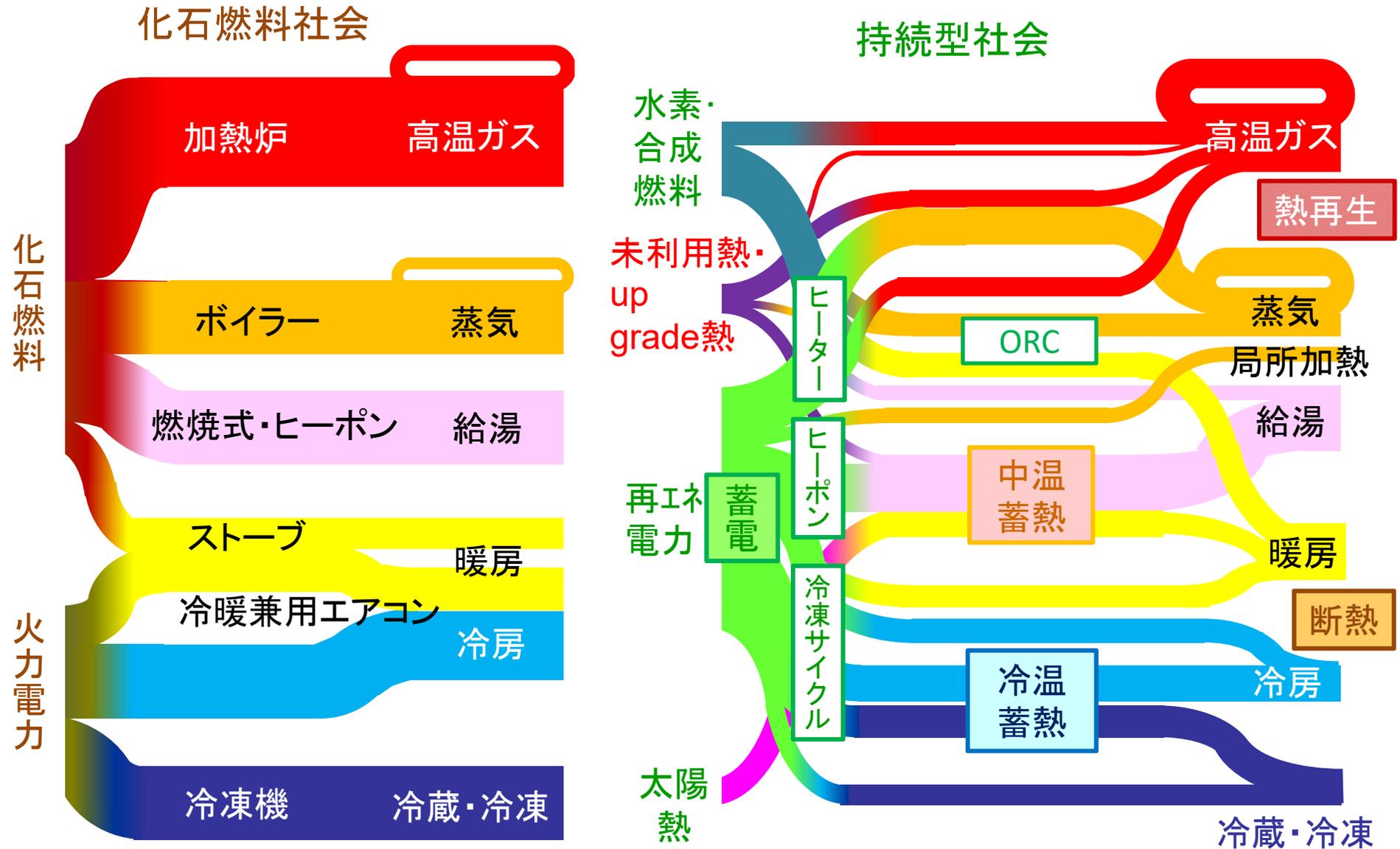
	旧ラベル	新ラベル
省エネ性能	★★★★	★★（評価点2.0）
省エネ基準達成率	118% （目標年度2010年度）	87% （目標年度2027年度）
年間の目安電気料金	36,900円	36,900円



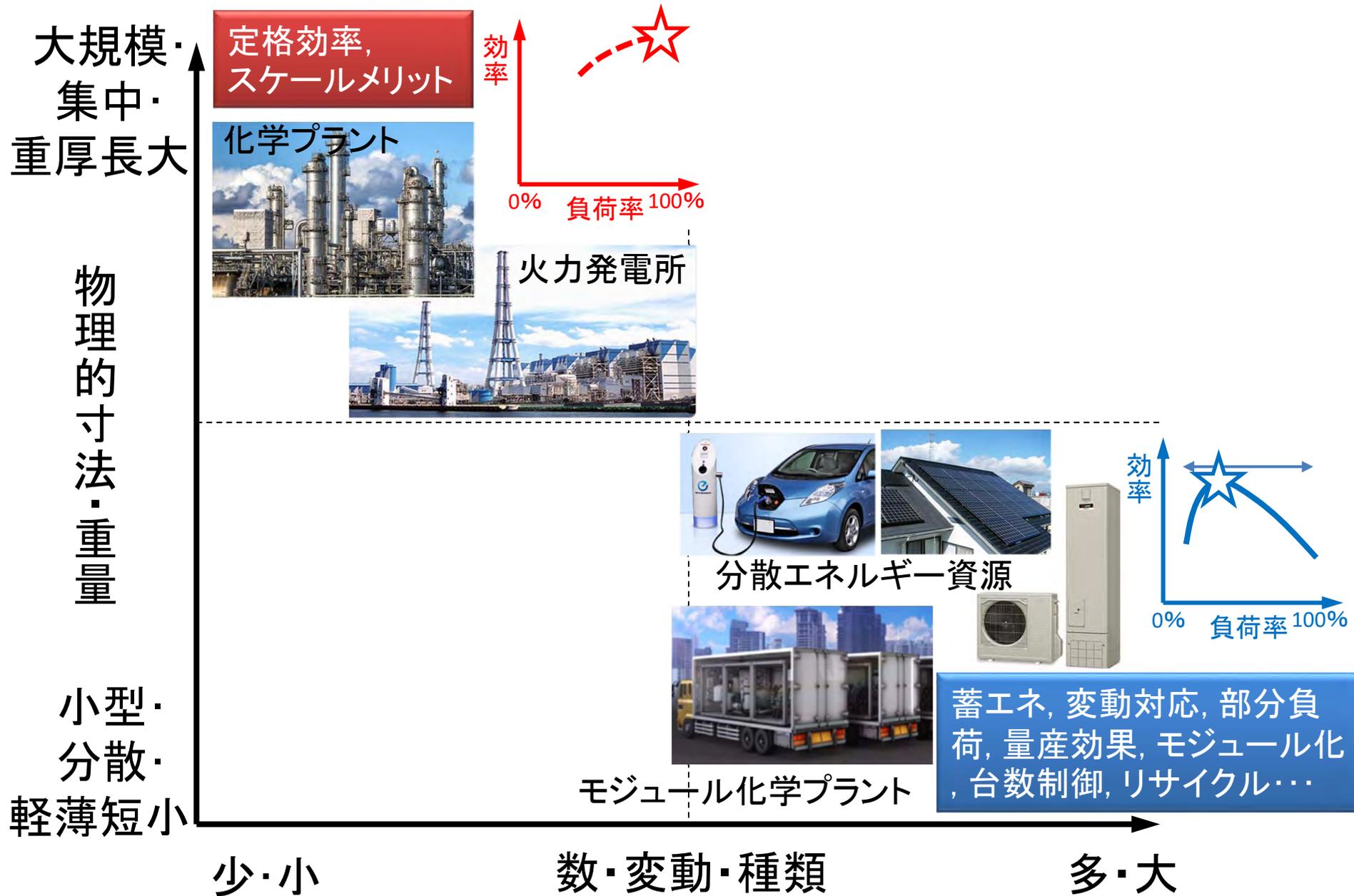
省エネ性能の高い製品を
お求めのお客様に
正しく製品を
ご案内できたかな・・・

※新ラベルは、APF及び期間消費電力量の測定方法に最新のJISを採用した、目標年度を2027年度とする省エネ基準（2022年5月策定）に対応しています。本例では、ラベルにおける省エネ性能の違いを示すために、新基準においてもAPF及び期間消費電力量に変更がない想定としています。

電化へのハードルをどう下げるか？



変動を前提とした設計に



過給ダウンサイジング & 蓄熱



6.0 kW

460 L

CO2給湯ヒートポンプ

- CO2封入量 660 g

https://sumai.panasonic.jp/hp/lineup/product.php?id=ippan_pk_juk_460



1.8~2.5 kW

140L

プロパン給湯ヒートポンプ

- プロパン封入量 210 g
- 追い焚き用ガス給湯機(エコジョーズ) 24号付き
→電気ヒーターでも良いのでは??

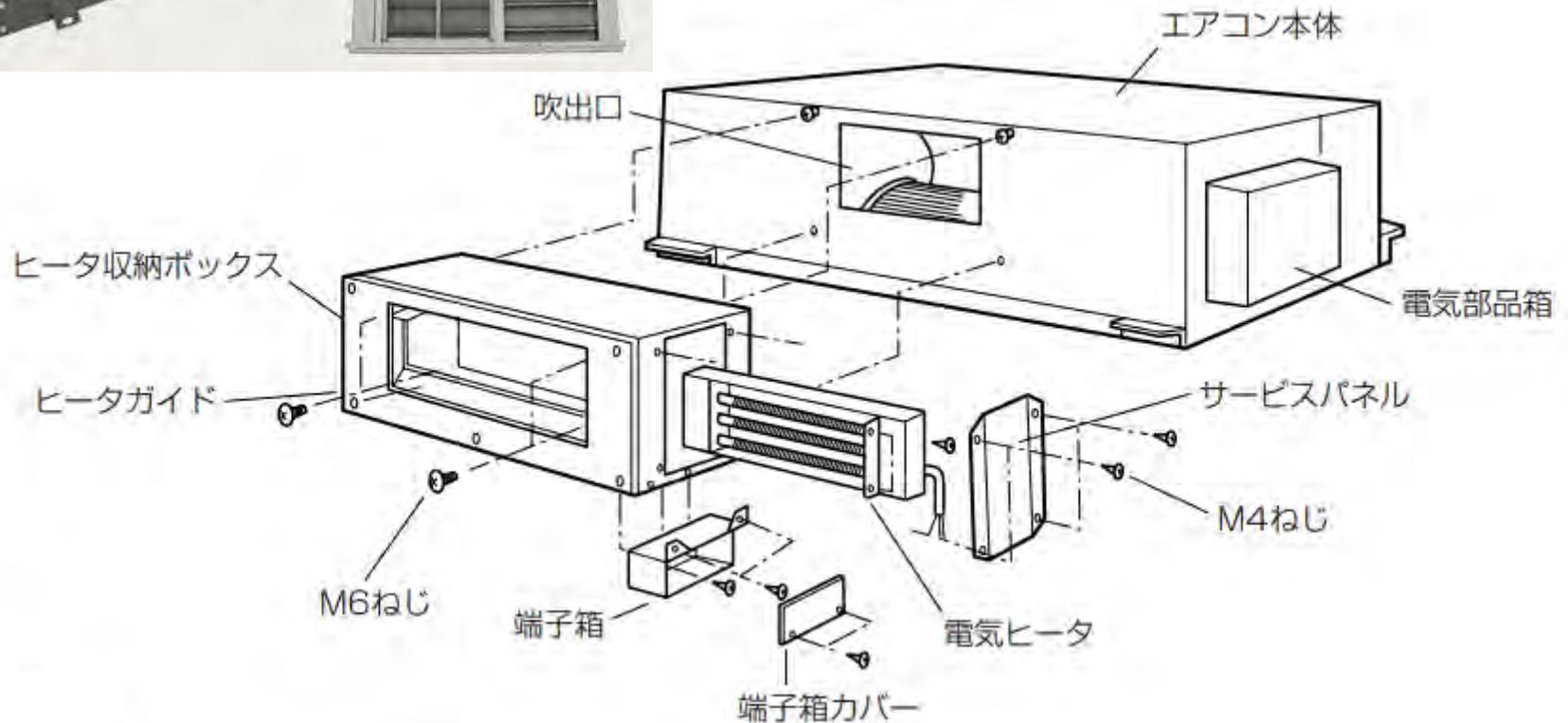
http://www.noritz.co.jp/library/news/2016files/20160420_1fr8.pdf

ヒーター付きオプションも(かつては)存在

パッケージ形エアコン用電気暖房用ヒーター。過熱防止器を附属しています。
空調機メーカーの機種別に製作しておりますので、ご注文の
際は、エアコン型名、容量、分岐回路をお知らせください。



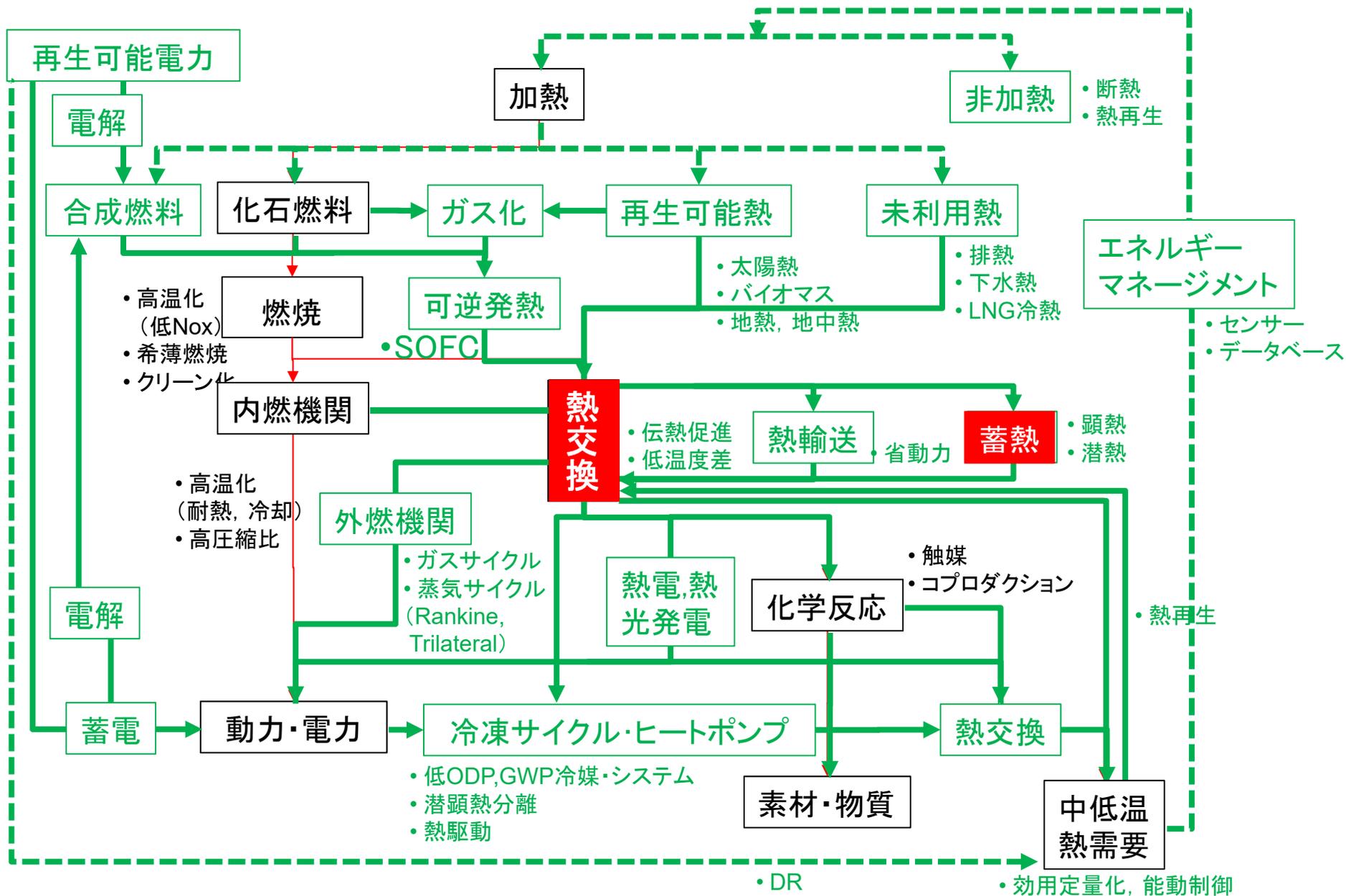
日本シーズ線株式会社HP
<http://www.npsw.co.jp/product/productH/pkg.html>



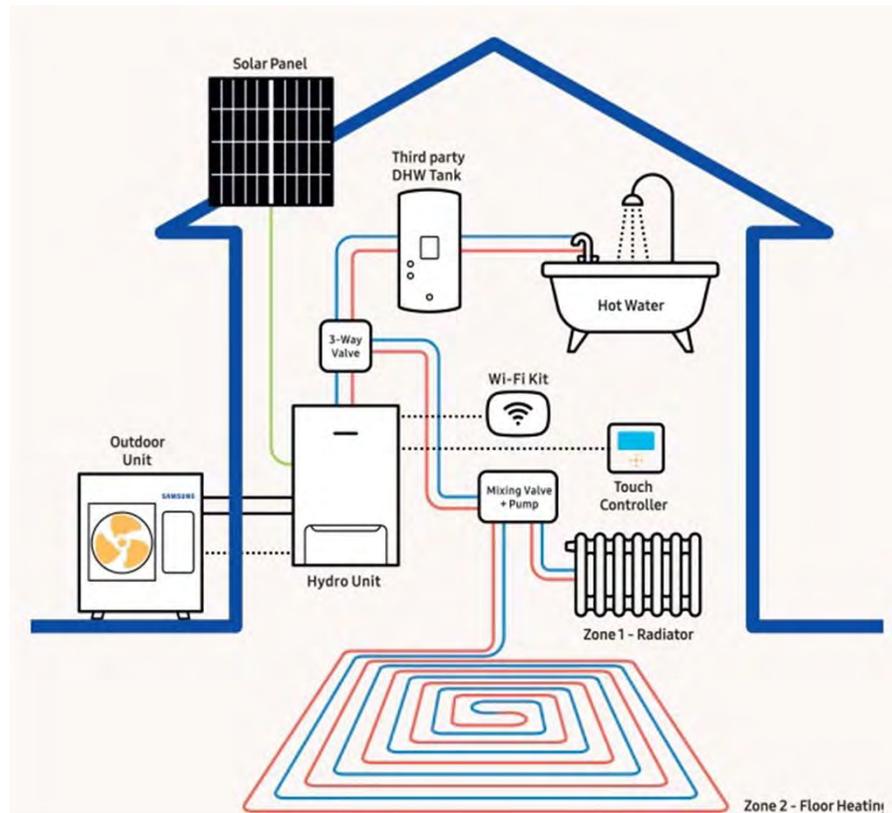
需給変動下の蓄熱

---> 情報の流れ

—> 物質・エネルギーの流れ

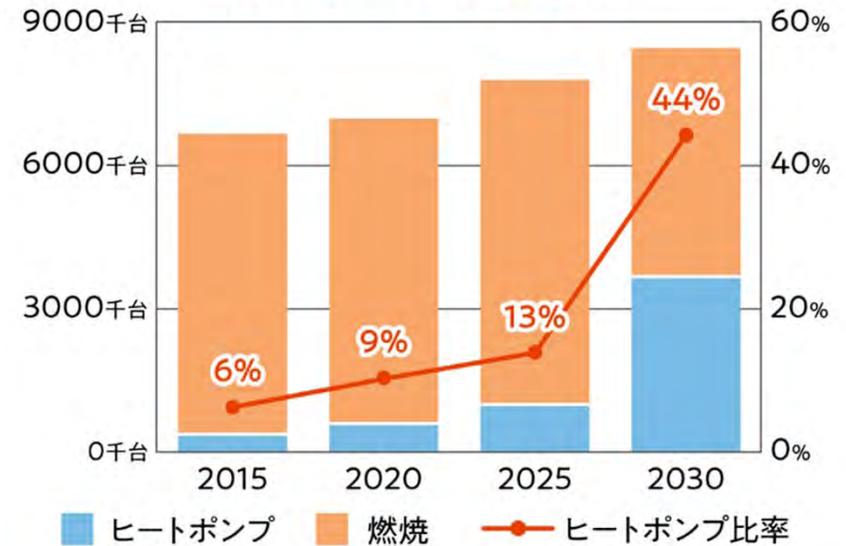


欧州Air to Water（空気熱源温水ヒートポンプ）



<https://teplodar.eu/gb/91-heat-pump-air-water>

欧州 暖房市場の推移(推定)



出典:ダイキン工業調べ

東洋経済ONLINE 2022.6.1

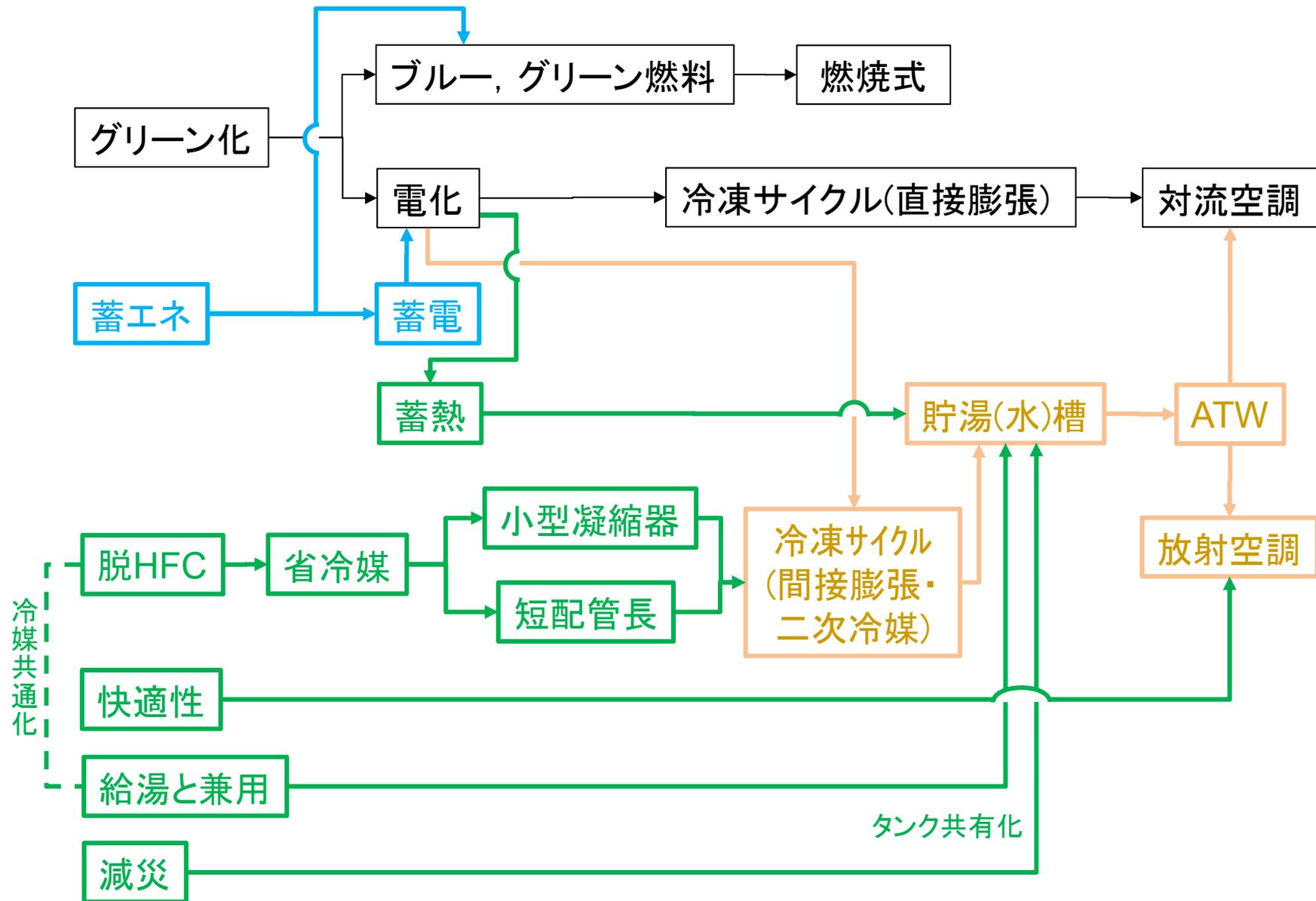
<https://toyokeizai.net/articles/-/428120>

- 欧州委員会は2021年12月、加盟国に達成を義務付ける「建物のエネルギー性能に関する指令」について、30年までに新築の建物全てでCO2排出をゼロにすることを目指す改正案を提案。化石燃料を用いた冷暖房を40年までに域内で廃止する方針も示した。
- 欧州の家庭用暖房機器の年間販売に占めるATWの割合は2020年で約1割、70万台程度と推定される。価格は、標準的なタイプで工事費を含めて100万円程度。近年の市場拡大は前年比2桁を超える勢い。

電気新聞2022年2月9日

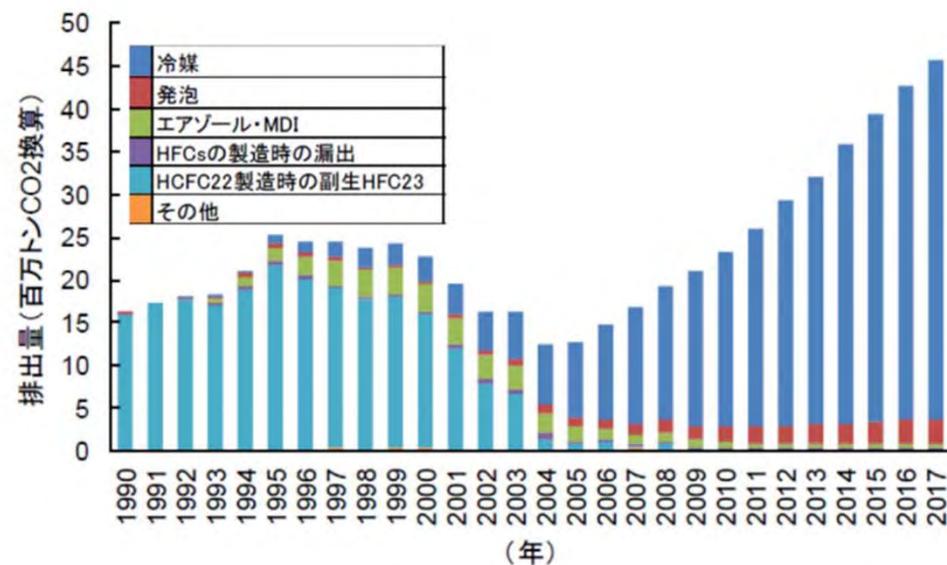
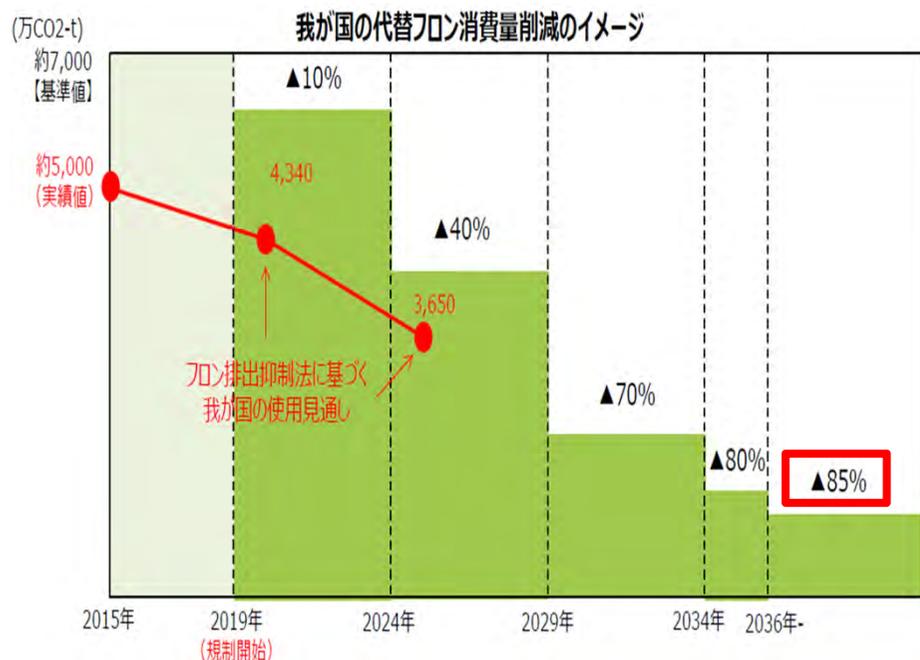
<https://www.denkishimbun.com/sp/183049>

空調の将来とAir to Water (ATW)の位置づけ



HFC(ハイドロフルオロカーボン)規制:キガリ改正

- モントリオール議定書のキガリ改正は、国全体のHFCの生産量及び消費量（生産量+輸入量-輸出量）を一定の水準以下に抑えることが主な内容。
- 先進国グループに属する我が国は、2011～2013年の実績平均から計算される基準値をもとに、2019年から段階的な削減が求められ、特に2029年以降、基準値比で約70%以上の大幅な削減が求められる。
- なお、フロン排出抑制法に基づく国のフロン類使用見通しは、2020年は4,340万t-CO₂、2025年度は3,650万t-CO₂となっており、両年度においては、キガリ改正に基づく削減義務を達成できる水準。



日本メーカーの活躍



- アルテルマの販売台数は2014年度比で4.5倍
- 2020年に既築市場のオイルボイラーの置き換えが可能なR32高温出湯タイプを発売

https://www.daikin.co.jp/csr/environment/climatechange/heat_pump

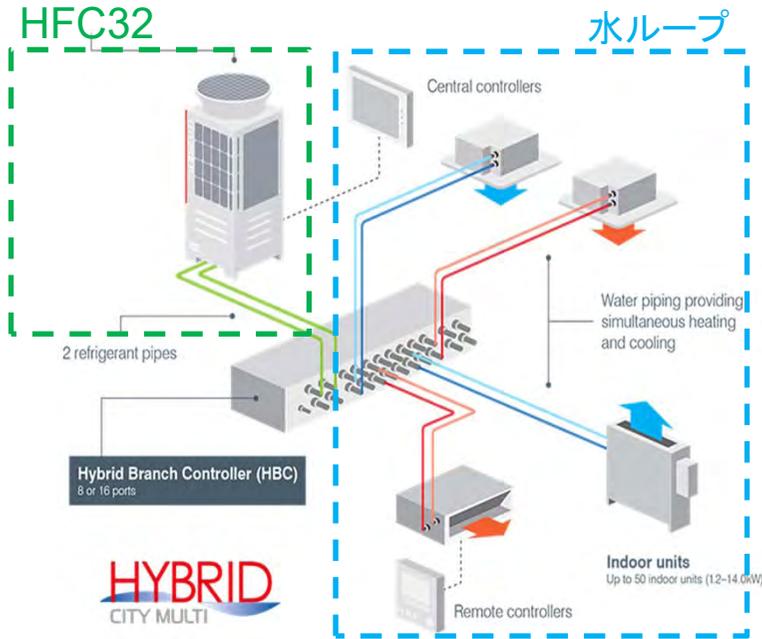


- 2025年までに500億円投資
- 2023年5月発売機の冷媒はプロパン

パナソニックプレスリリース, 2022年10月3日
<https://news.panasonic.com/jp/press/jn221003-2>

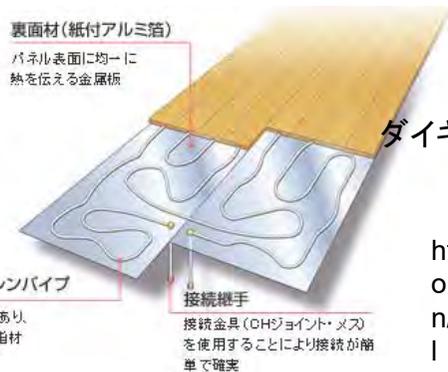
二次冷媒としての水利用

- 省冷媒(脱HFC)
- 蓄熱(VRE導入促進)
- 減災(非常用水)



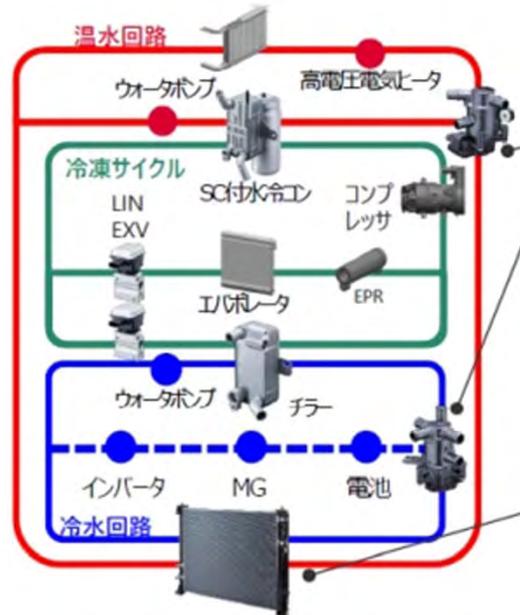
三菱電機, 水ループマルチエアコン

<https://www.mitsubishi-electric.co.nz/hvrf/r32-hvrf-what-is-hybrid-vrf.as>



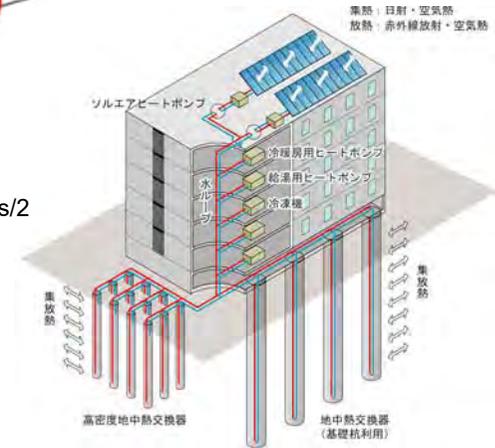
ダイキン, エアコン冷媒ヒートポンプ床暖房 (リフォームも対応)

<https://www.daikinaircon.com/sumai/yukadan/panel/harubiyori.htm>



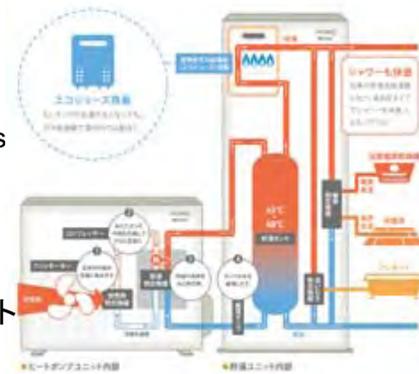
デンソー, 電気自動車用 水二次ループ熱マネ

https://monoist.itmedia.co.jp/mn/articles/204/14/news056_2.html



鹿島建設, Renewable Energy Heat Pump

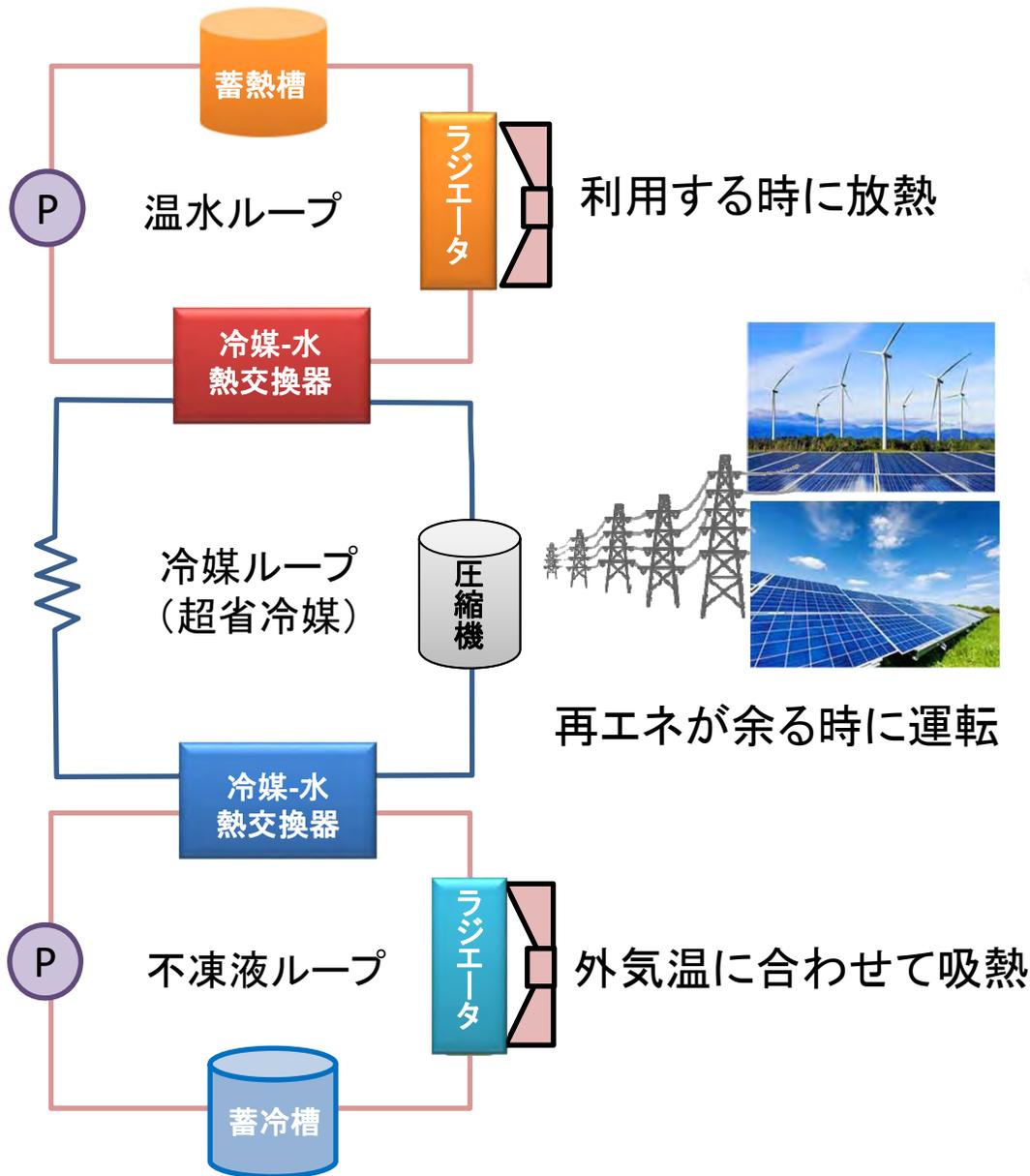
https://www.kajima.co.jp/tech/energy_save/e_recycle/index.html



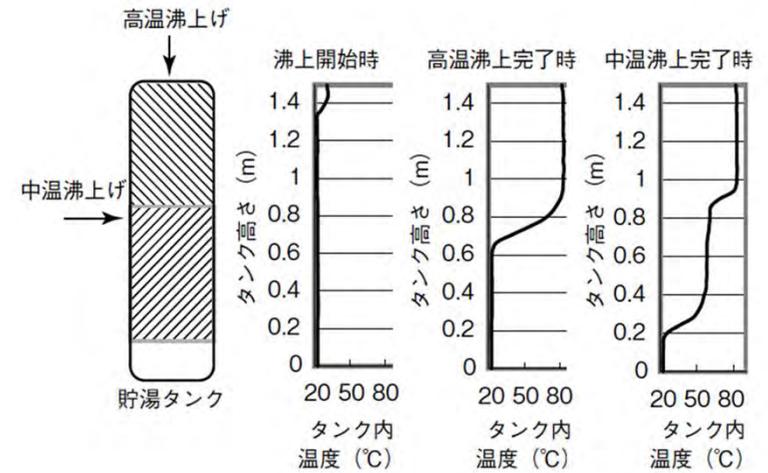
ノーリツ, プロパンヒートポンプ給湯器

<http://www.env.go.jp/earth/ozone/hiyasuwaza/story/noritz.html>

貯水二次ループ



温度成層型蓄熱槽

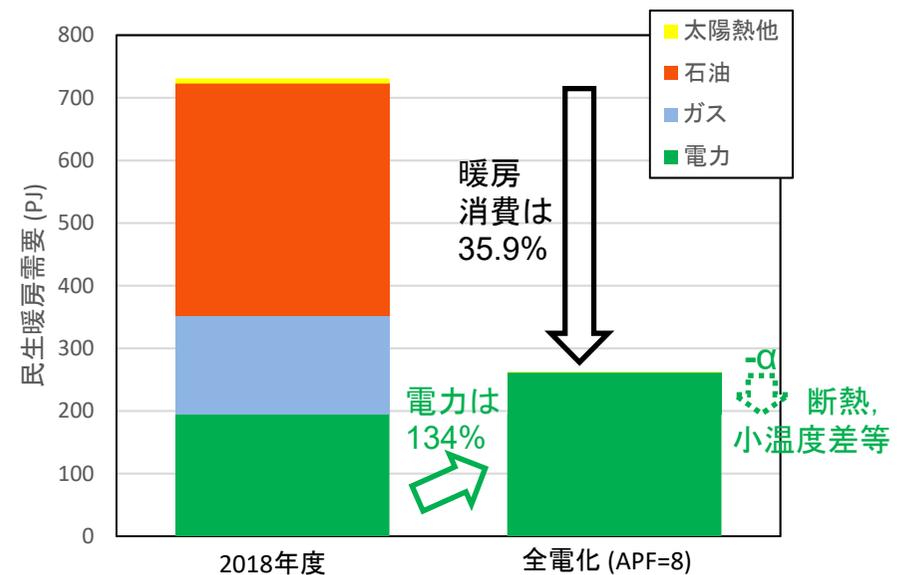
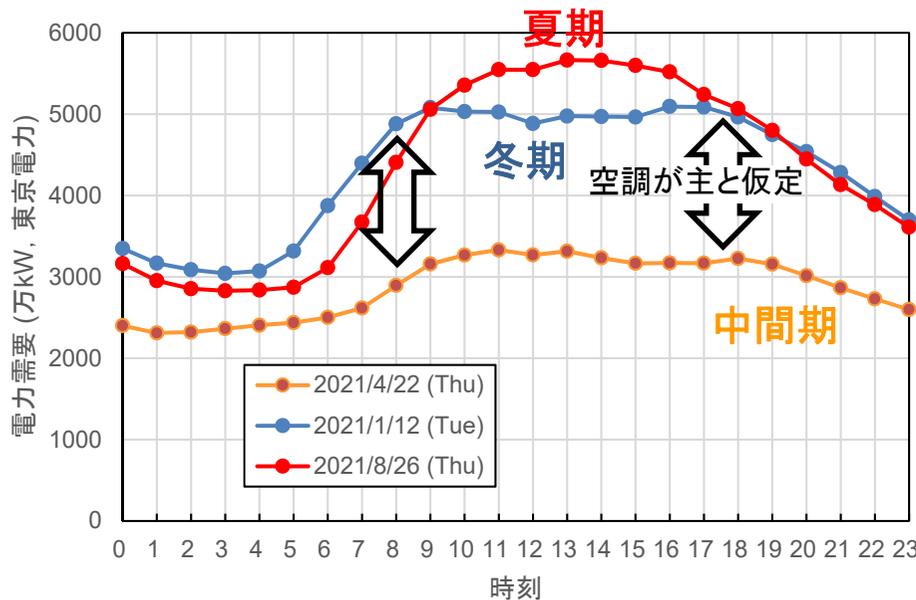


澤田ら, パナソニック電気技報, 57(2), 70-75 (2009)

水ループなら銅やステンレスではなくアルミや樹脂でも良いのでは？

空調を蓄熱化することの朝夕ピーク電力へのインパクト(概算)

- 「空調ピーク電力需要 = 夏季・冬季最大需要 - 中間期需要」と第一次近似
 - 東電の最大需要日(平日)
 - 17~18時: 冷房・暖房とも約2000万kW
 - 8~9時: 冷房約1500万kW, 暖房約2000万kW
- 10電力の電力需要が設備容量に比例と仮定
 - $17844\text{万kW}(10\text{電力}) / 5858\text{万kW}(\text{東電}) = 3.05\text{倍}$ (2019年8月実績)
 - 電力10社で約6000万kWの朝夕ピーク需要
- COP=8のエアコンで空調を全電化し, 将来暖房需要が2018年度実績のまま不変と仮定
 - 電力消費は1.34倍に増加(朝夕電力需要が6000→8000万kW)
 - 朝夕の空調ピークのために約8000万kWのバックアップが必要
 - 蓄熱は?



基本仕様が決まった後のコスト

$$\text{熱機器コスト} = \text{固定費} + \frac{\text{材料費}}{\text{重量(面積)}} \times \text{重量(面積)}$$

3因子

① 固定費削減

- 習熟率90%なら生産量10倍でコスト約3割減(量産技術)
- 付帯コスト現(土地代, 施工, 搬送, 支持構造体, メンテ…)

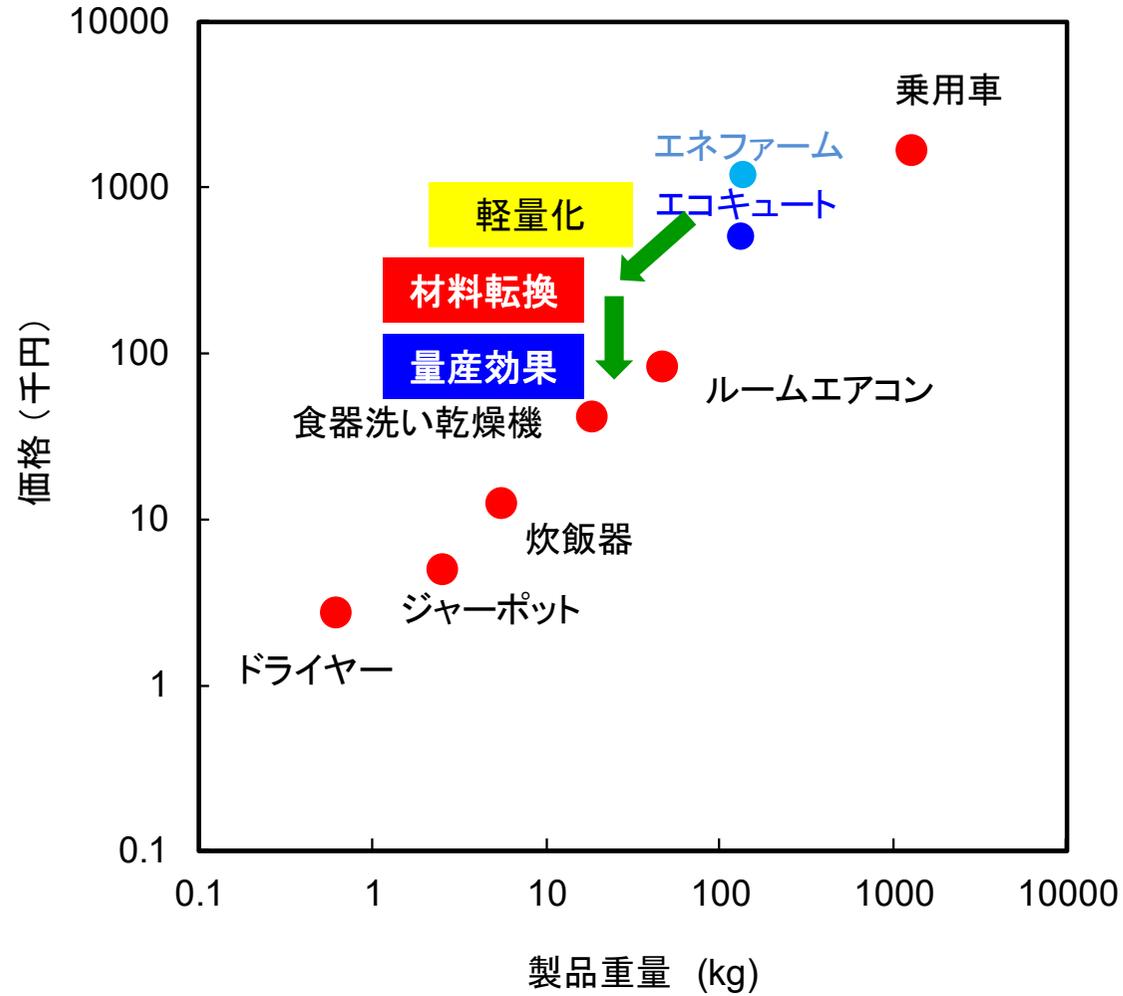
② 安価・薄肉・軽量・低環境負荷な材料への転換

- 耐食性, 耐熱性, 強度の向上(材料技術)
- 材料に合わせた新製法(製造技術)

③ 小型・軽量化

- 伝熱拡散反応促進・有効面積拡大・ファウリング防止(設計技術)

民生品のコスト



材料から見直し

構造設計,
表面機能化

新製法,
応力緩和

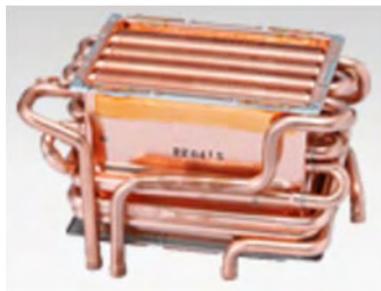
低熱伝導
率対応

	銅	ステンレス	鉄	アルミ	セラミックス SiC	樹脂
熱交換器の量産実績	○	△	○	◎	△	◎
熱伝導率	◎	×	△	○	○	×
強度/脆性	△	◎	○	○	×	×
軽量性	△	○	○	◎	◎	◎
耐熱性	△	○	△	△	◎	×
加工性	◎	×	○	◎	×	◎
表面性状改質	○	×	○	◎	○	◎
接合	○	○	○	◎ ロウ付け	×	△
サンプル提供への対応	○	△	△	◎ 少量対応可	○	○
耐食性	○	◎	×	△	◎	◎
材料費(体積あたり)	×	×	◎	○	△	○
資源量	×	△	◎	◎	◎	◎
LCCO2 (リサイクル時)	○	○	○	◎	—	◎

新材料の特性を活かしつつ、弱みを補う新製法と新構造を開発

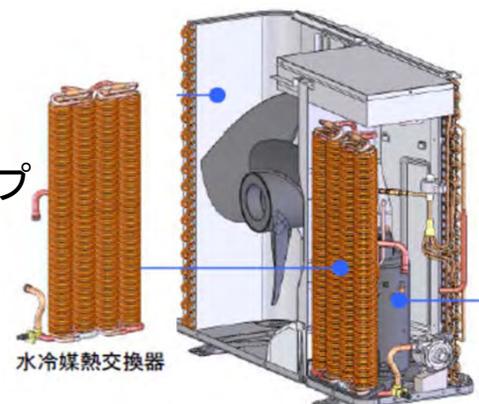
水道水熱交換器 銅→アルミ化

ガス給湯器用主熱交換器(銅)

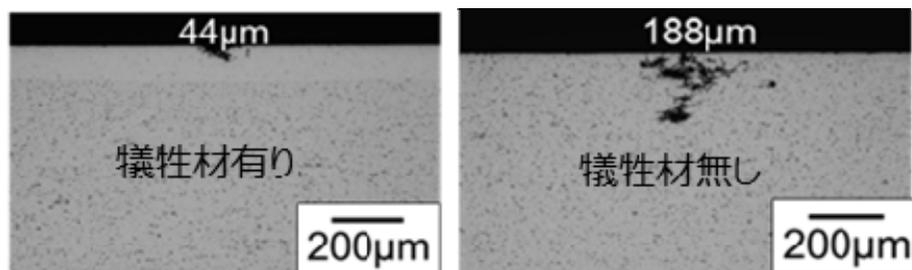


<https://www.suzukitekko.com/business/heat.html>

CO₂ヒートポンプ
熱交換器(銅)



<https://kaden.watch.impress.co.jp/img/kdw/docs/616/029/html/ecq02.jpg.html>



耐水道水腐食試験結果例 (名古屋市水濁漬204日)

- 犠牲層によって腐食を抑制可能
- 余裕を見て犠牲層を設けることで対応可能

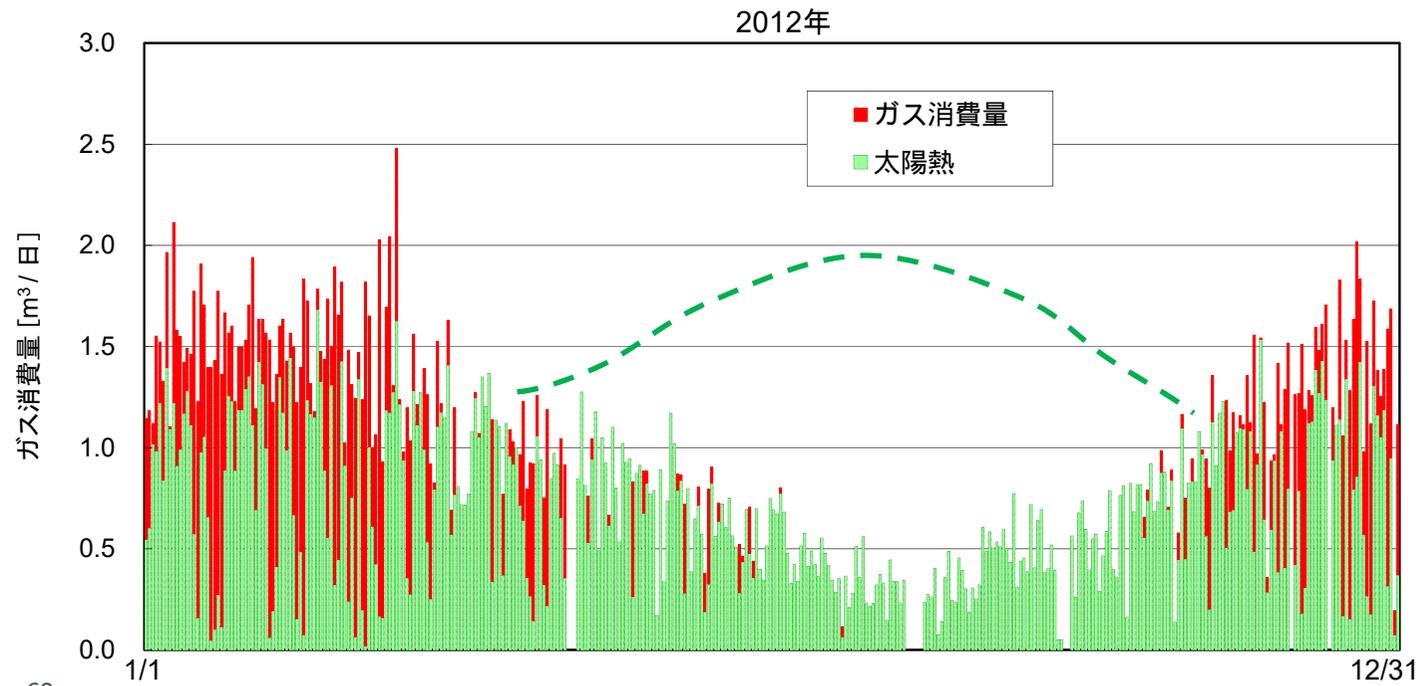
給湯器用オールアルミ熱交換器



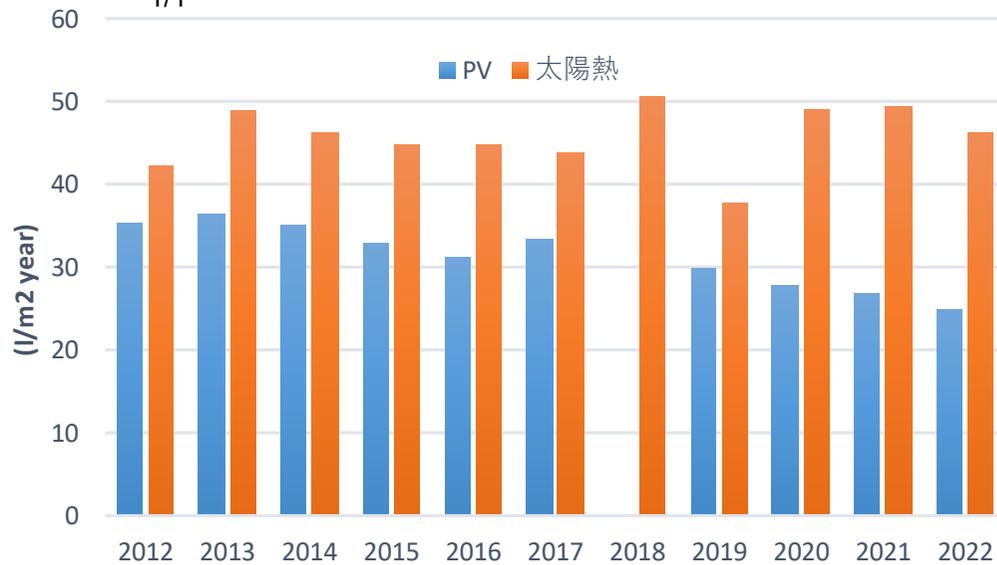
現行SUS製熱交換器

ENEX2022出展資料より

PV & 太陽熱温水器



面積当たり原油換算1次エネルギー削減量



PV 14.8 m² (1.7 kW), 太陽熱 8 m²

まとめ

■ エネルギー消費は減っても、熱をやり取りする量は増える (と思われる)

- 今の技術は過去のしがらみを背負いすぎでは？
 - あらためて本当に良いものをゼロから考えられないものか？
- 定格設計から、変動を前提とした設計へ
 - そのときの過給ダウンサイジングや蓄熱はどうあるべきか？

■ 省エネと電化のトレードオフ

- ヒーポンの一番安くて確実な省エネ技術は大型化
 - 省エネしつつ、燃焼式に勝てるコストを実現するにはどうすればよいか？
コスト = 軽量化(ダウンサイジング) × 材料転換 × 量産技術の転用
 - 空気熱源の場合は風量アップが鍵
- 燃料転換と同様に、材料転換も非常にハードルが高い
 - 作り方, 構造, コスト, 信頼性, 全部変わる
 - 合成燃料/リサイクル材料を使いこなす技術