ヒートアイランドと
エネルギー消費機器性能の関係

ー性能改善・環境負荷低減への取組ー

平成26年6月6日

大阪市立大学院
工学研究科
西村　伸也

エネルギー消費の現状と季節特性

日本のエネルギーバランスフロー（2010年度）

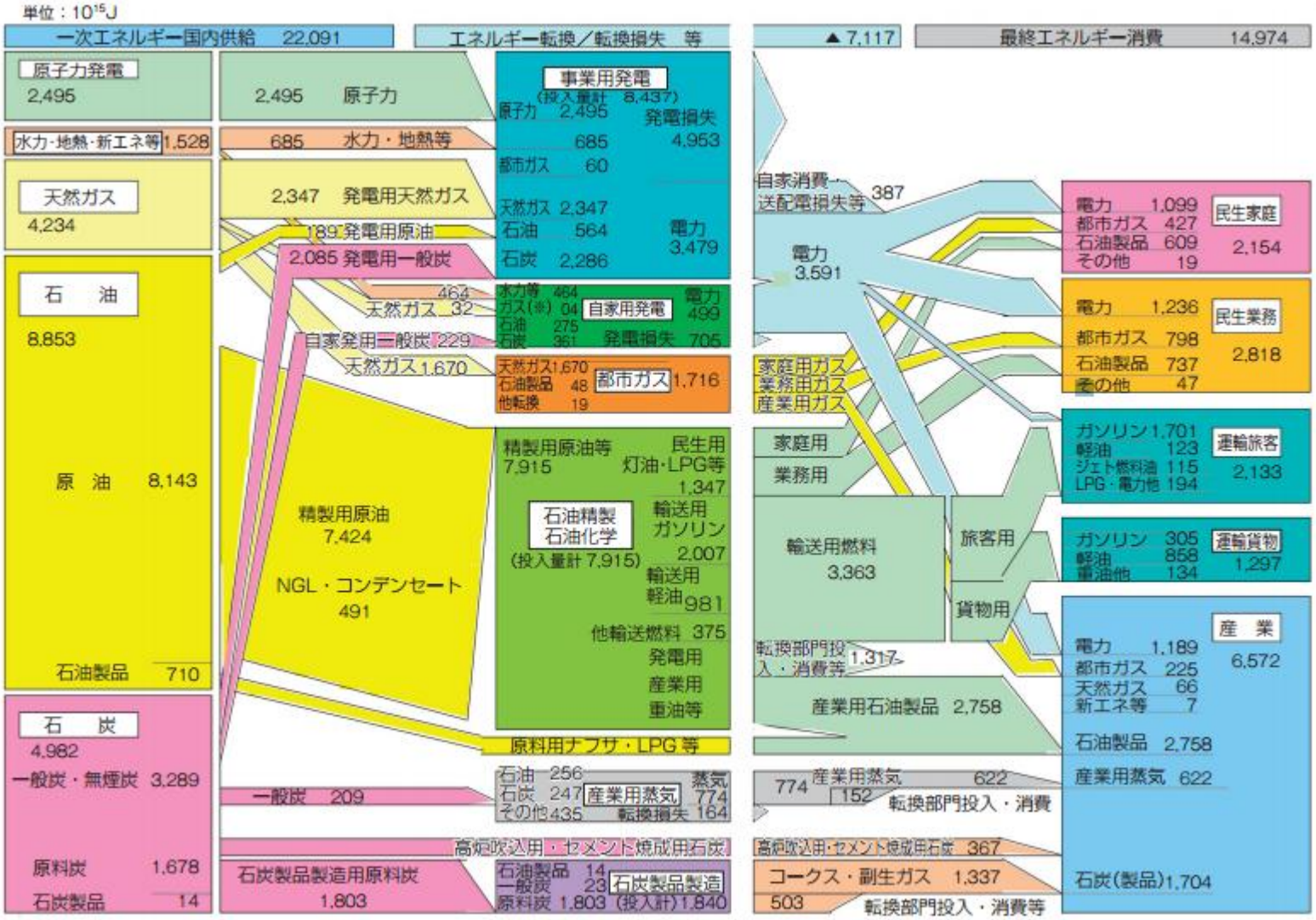
電力シェア

一次エネルギーベース
43.7 %

二次エネルギーベース
24.0 %

家庭部門
51.0 %

業務部門
43.9 %



資源エネルギー庁；総合エネルギー統計

日本のエネルギーバランスフロー（2011年度）

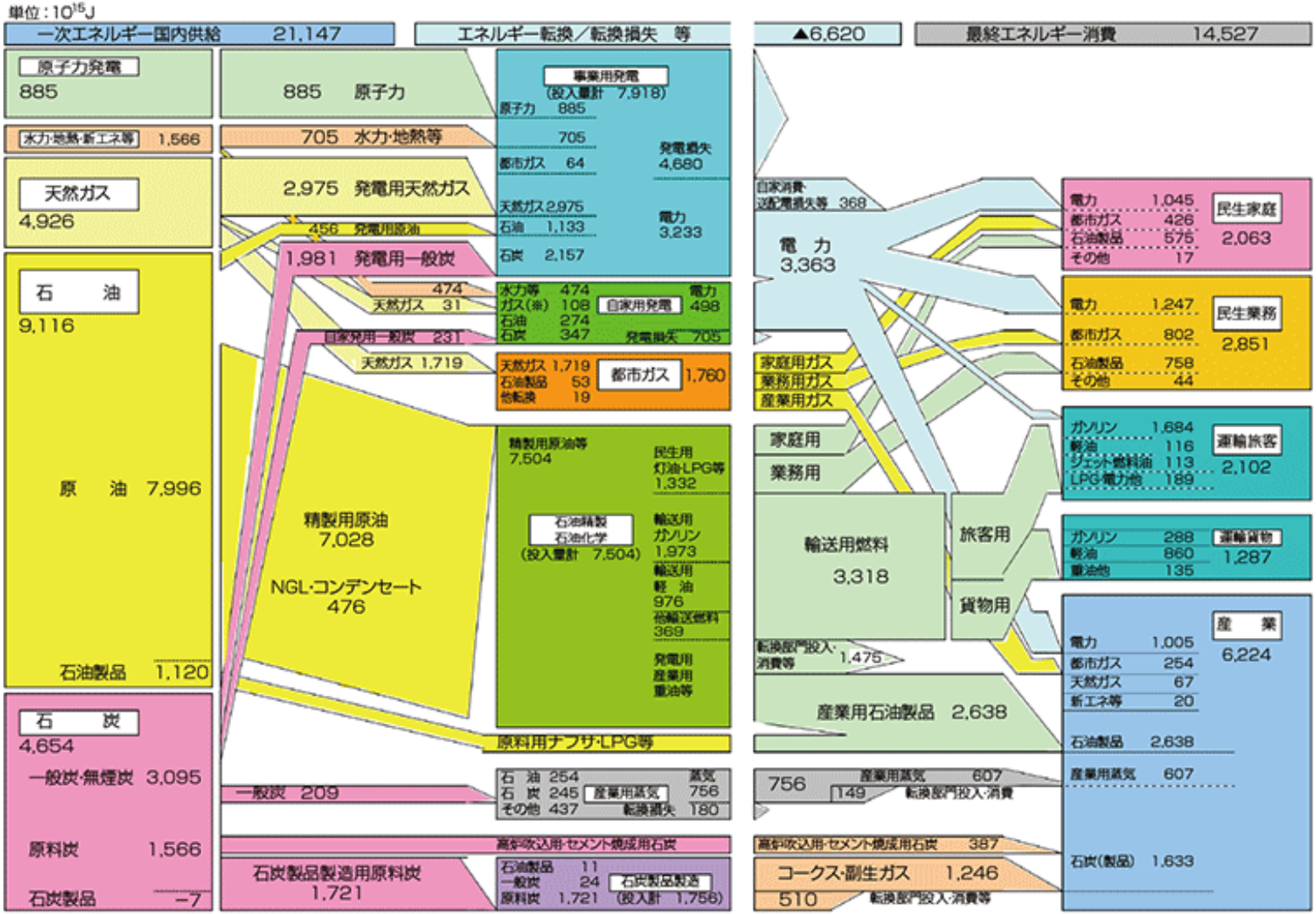
電力シェア

一次エネルギーベース
43.1 %

二次エネルギーベース
22.7 %

家庭部門
50.7 %

業務部門
43.7 %



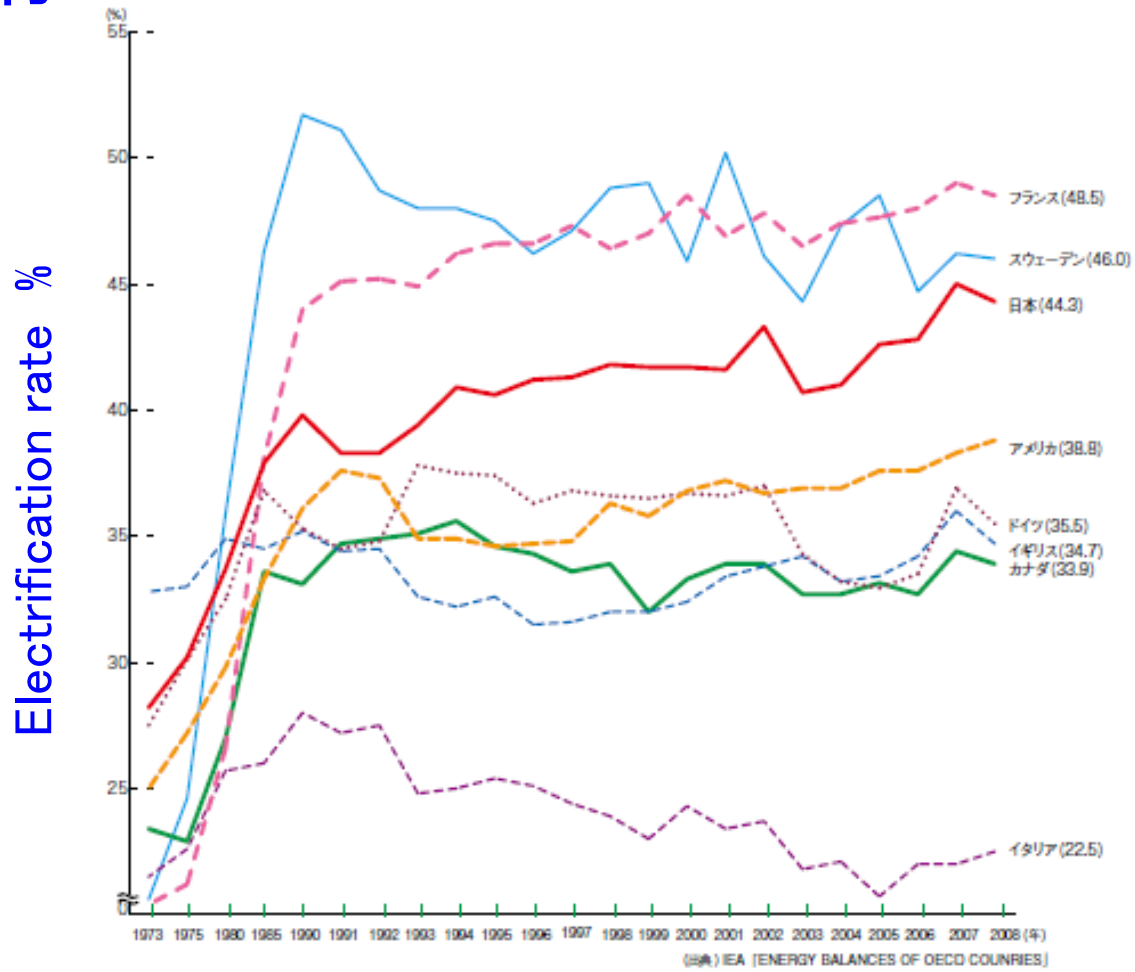
資源エネルギー庁；総合エネルギー統計

電力化率の高まり：
エネルギー総需要に占める電力需要

エネルギー総需要に占める電力需要の比率（電力化率）は近年高まっており，日本では約45%と半分に近づいている．

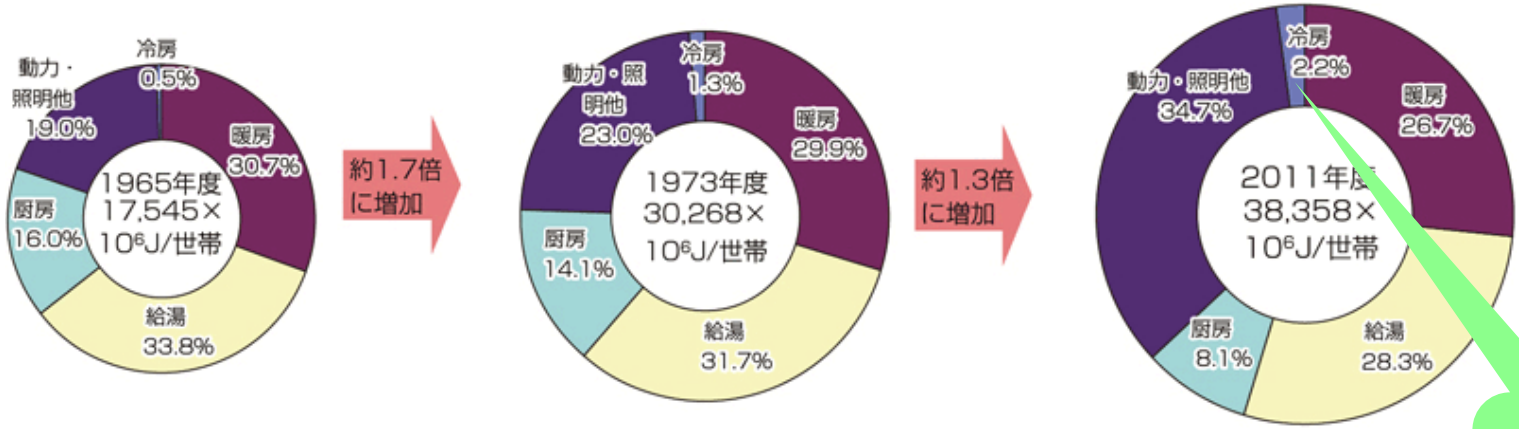
電力化率

$$= \frac{(\text{電力需要})}{(\text{総エネルギー需要})}$$



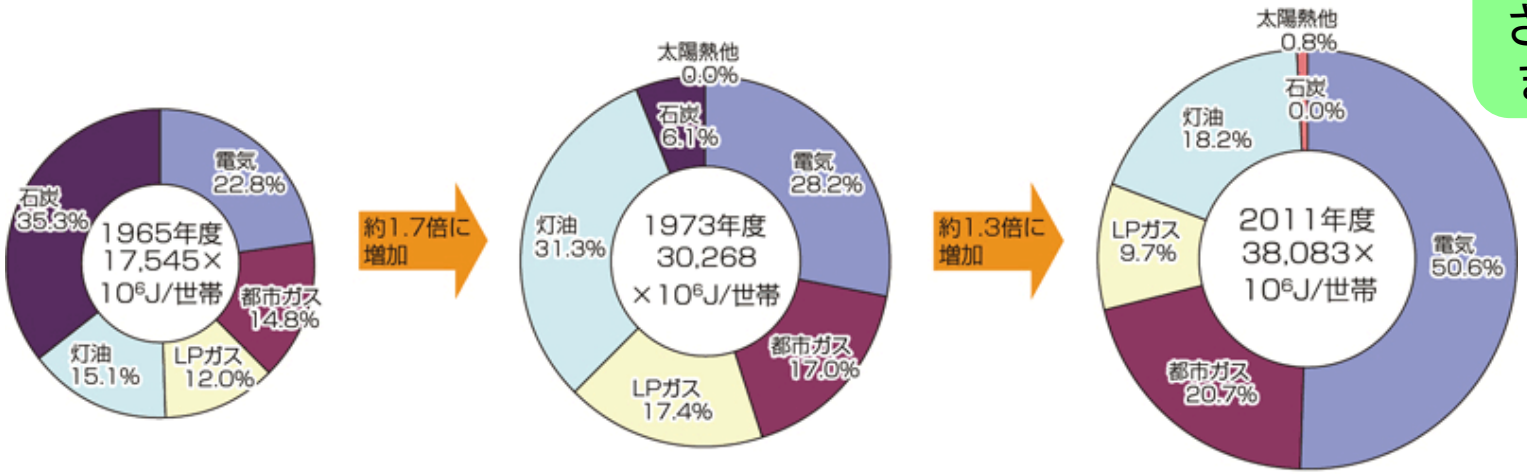
家庭のエネルギー消費の概要

世帯当たりのエネルギー消費原単位と用途別エネルギーの推移



冷房需要は小さく見えますが

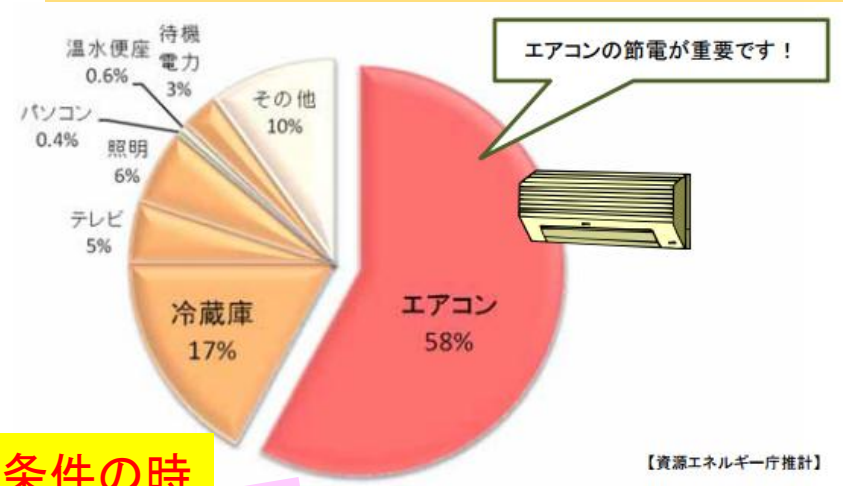
家庭部門におけるエネルギー源の推移

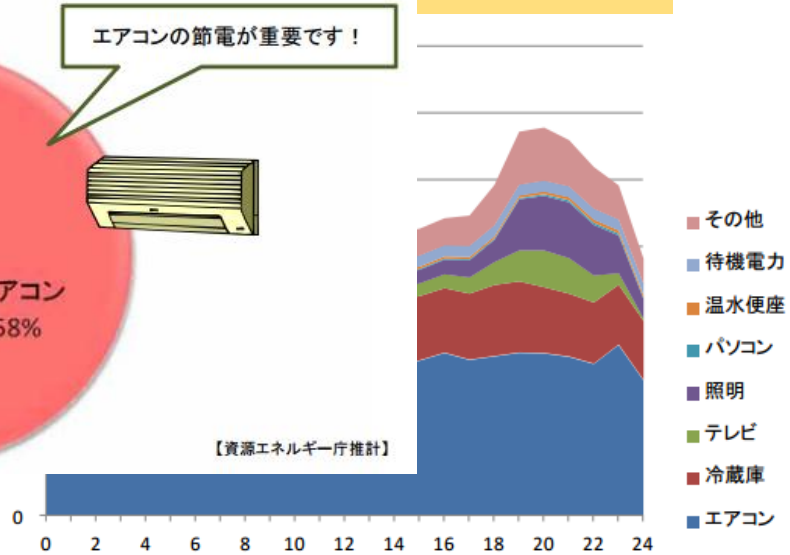


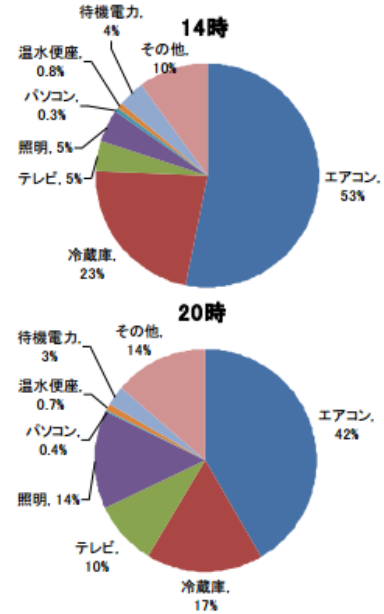
エネルギー白書2013

夏期の家庭部門における冷房需要の公表データ

経済産業省　平成26年5月
夏期の節電メニュー（ご家庭の皆様）







どんな条件の時の推定結果

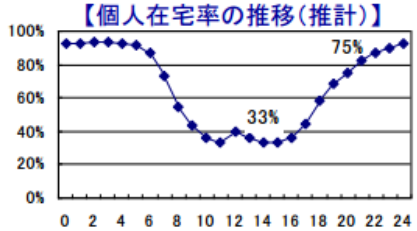
これからも役立つの？

【推計の前提】

※上記は送電ロスを除いた値

1. 東電管内の世帯数：1,900万世帯
2. 個人在宅率：社会人は平日、学生は休日（夏休み）として算出

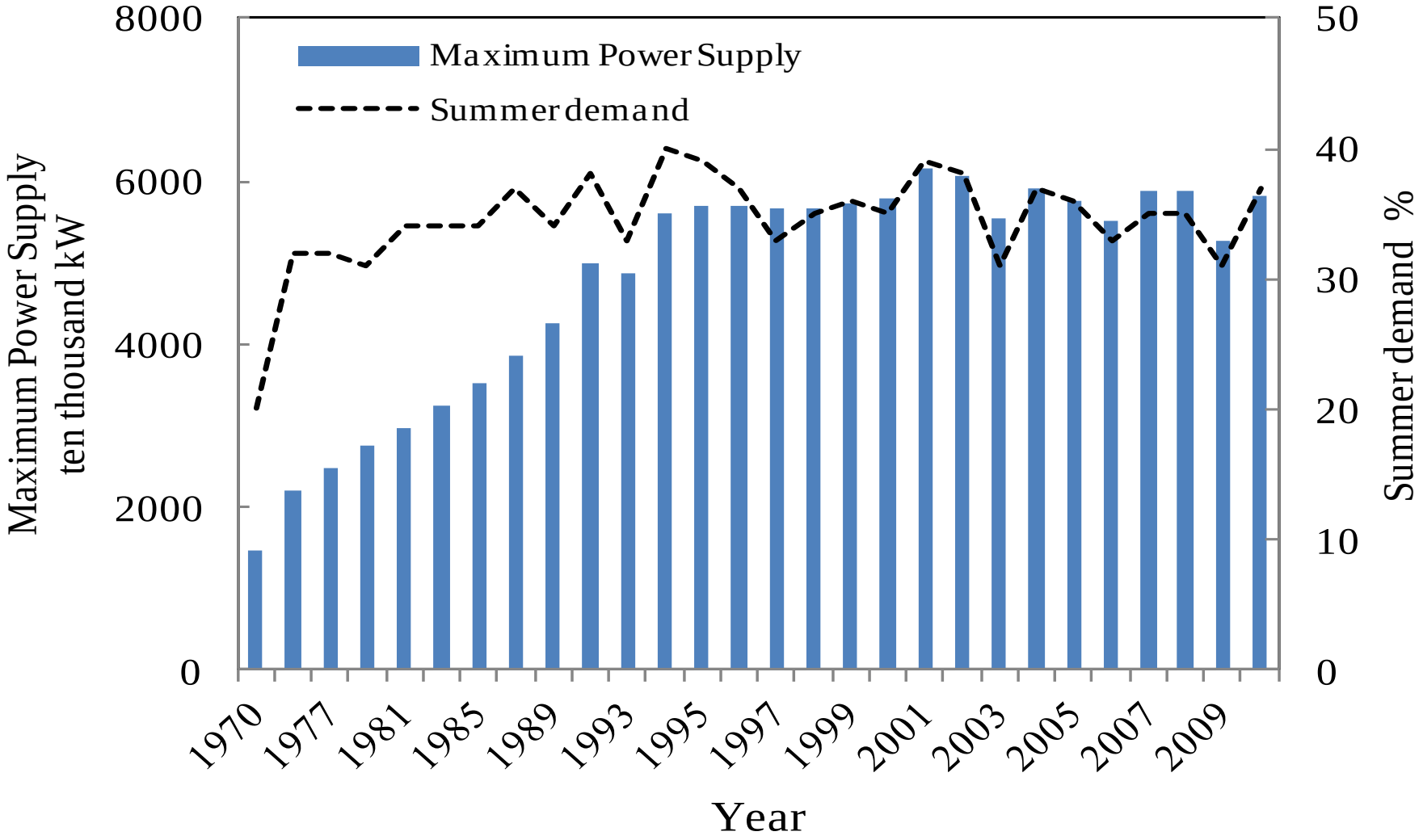
【個人在宅率の推移（推計）】



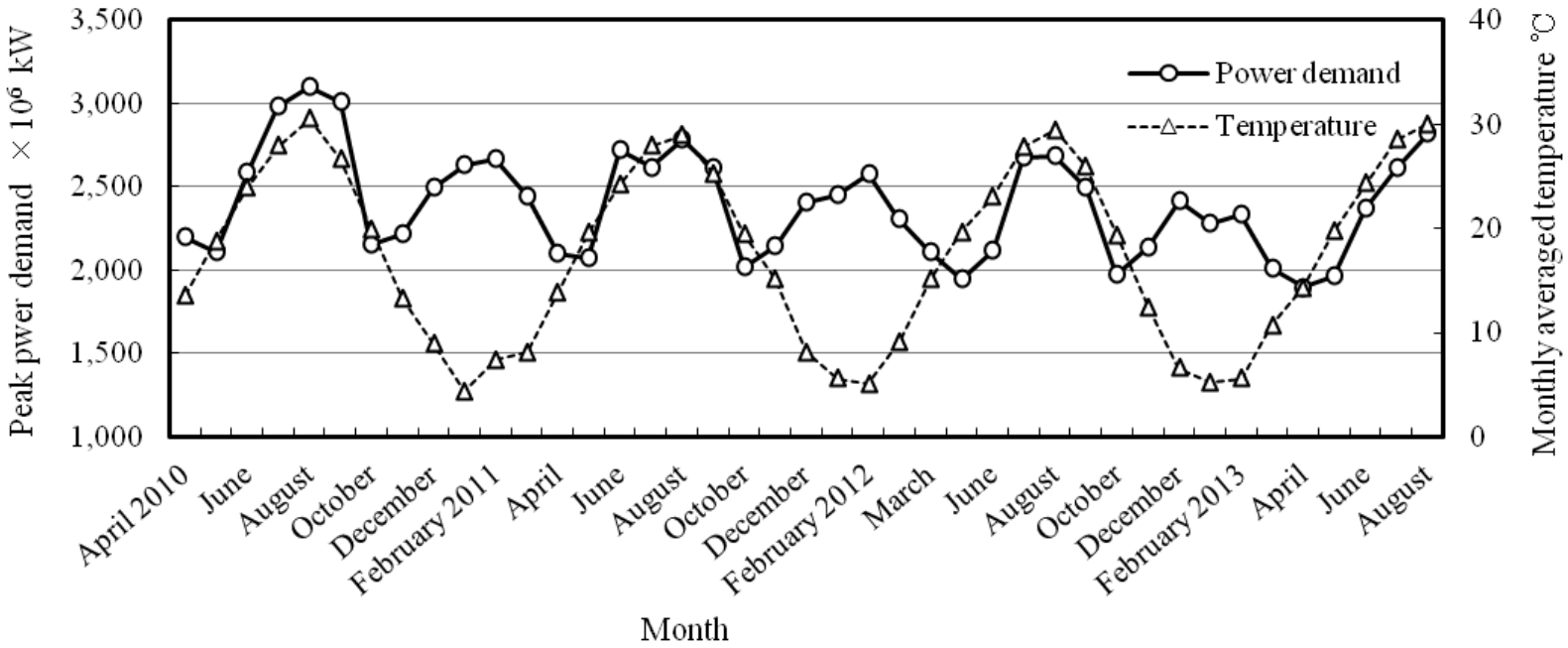
3. 世帯当たりの電力需要：843W（14時）、1,158W（20時）
4. 主な家電機器の想定（定格消費電力の世帯平均）
   - エアコン：831W/台（世帯当たり2.6台）
   - 照明：543W/世帯
   - 冷蔵庫：268W/台（世帯当たり1.2台）
   - テレビ：141W/台（世帯当たり2.4台）

※上記は定格消費電力であり、実際の電力消費量は気温変動等に伴う負荷率により変動する。

最大電力量と夏季需要（東京電力管内）

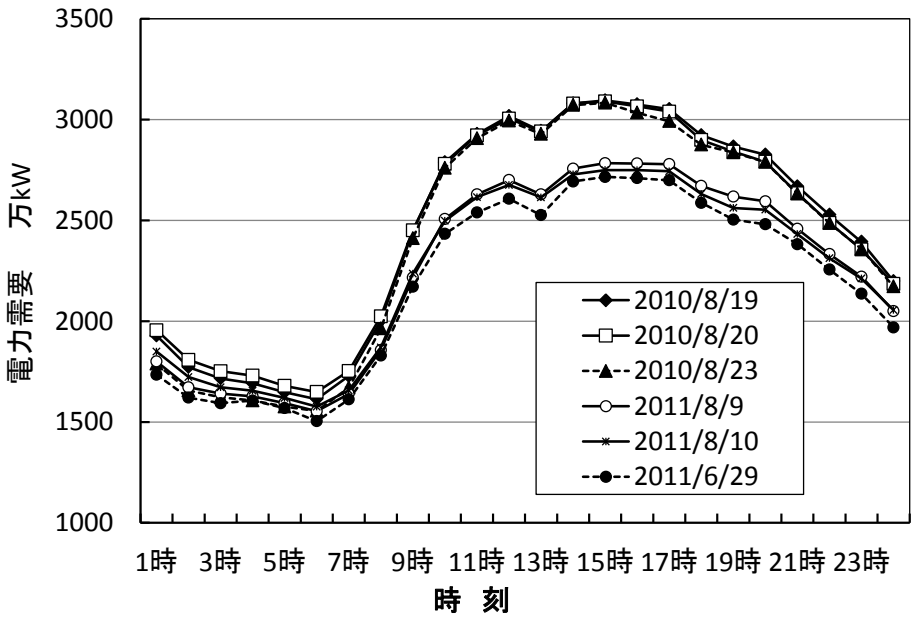


関西地域の月別最大電力需要の推移

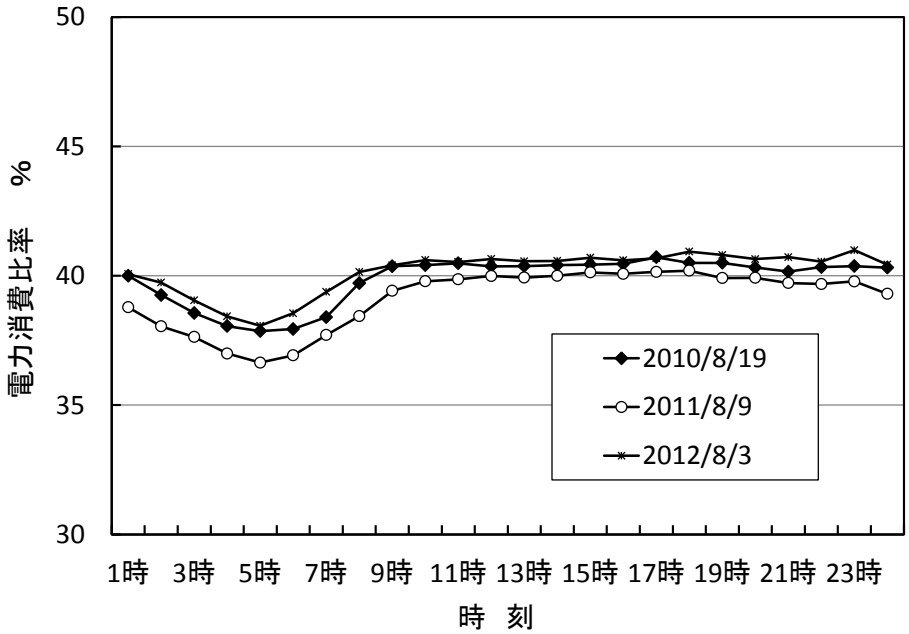


東日本大震災発生約1年前の2010年4月から2013年8月までの関西電力における月別最大電力需要と月平均気温の推移を示している.

東日本大震災前後の夏季電力需要（上位3日）



夏季における電力需要曲線（上位3日）

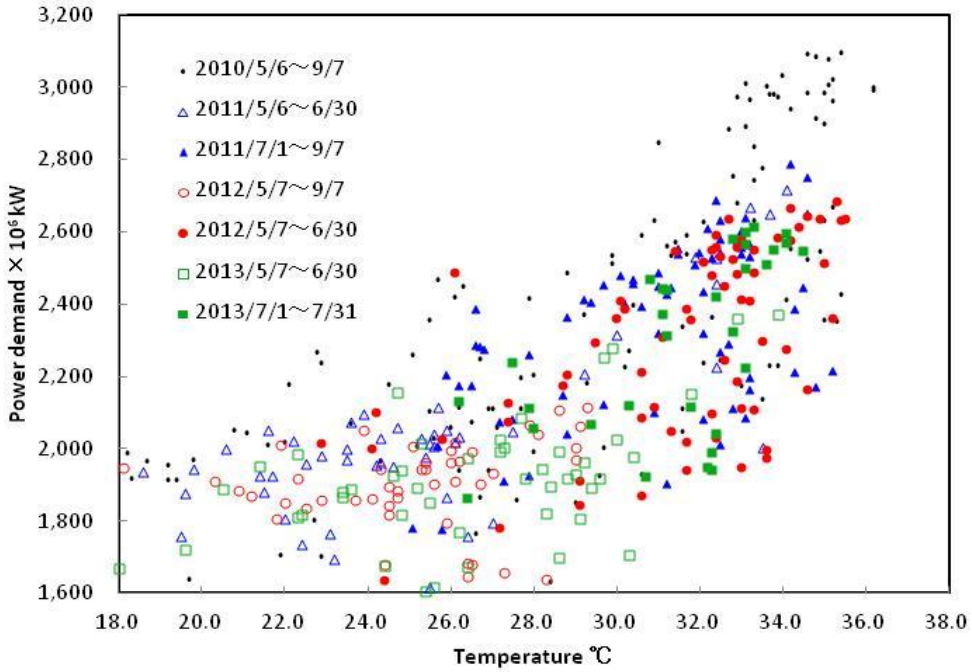


大阪府内の電力消費が関電管内の電力消費に占める比率の時間推移

冷房など夏期電力需要の特性分析

節電・省エネルギーの観点からは，空調用エネルギー消費を
“いつ”また“どれくらいの時間”抑制することが必要かを明らかにすることが重要

1日のうち冷房ピーク需要について把握することが不可欠



空調負荷がピークとなる14時～15時の
電力需要と外気温の関係を示している

気温とエネルギー消費機器性能

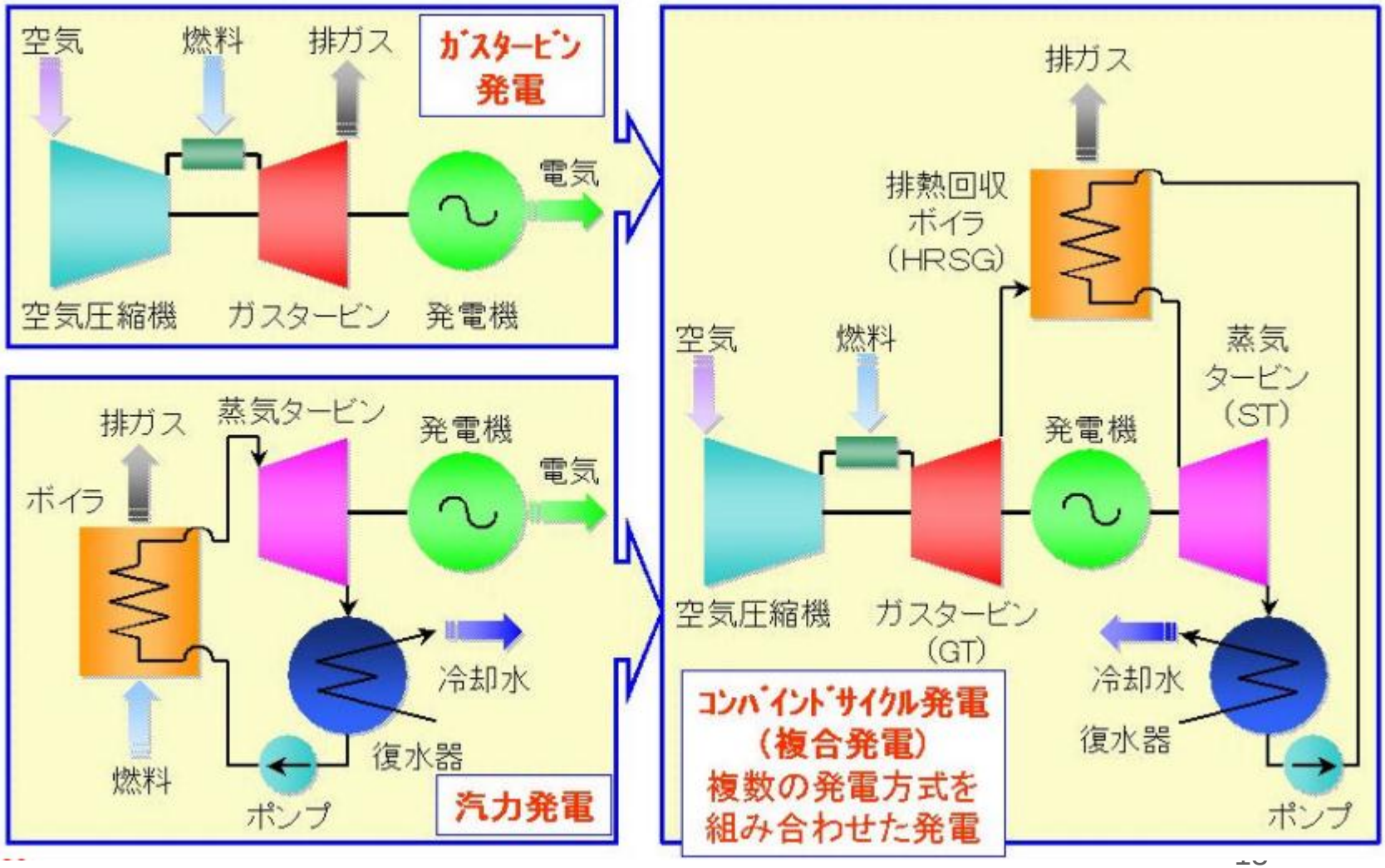
その１　原動機（火力発電＆自動車）

・・シャルルの法則（気体の体積は絶対温度に比例する）

→　温度が上昇すると吸入空気量は低下する

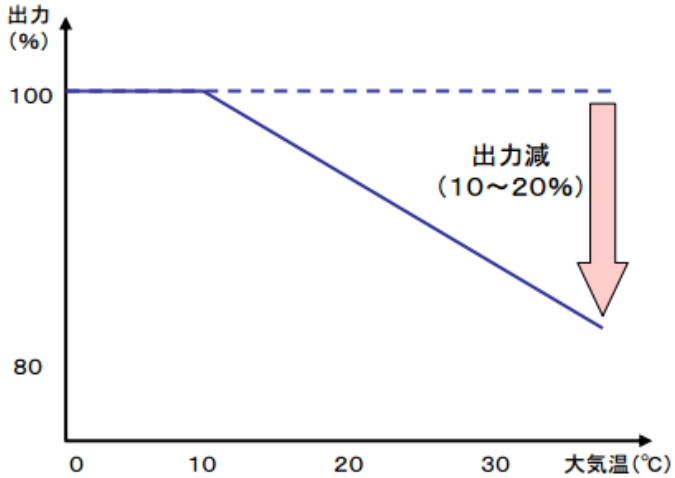
電気の作り方；火力発電の原理

汽力発電，ガスタービン発電，コンバインドサイクル発電のしくみ

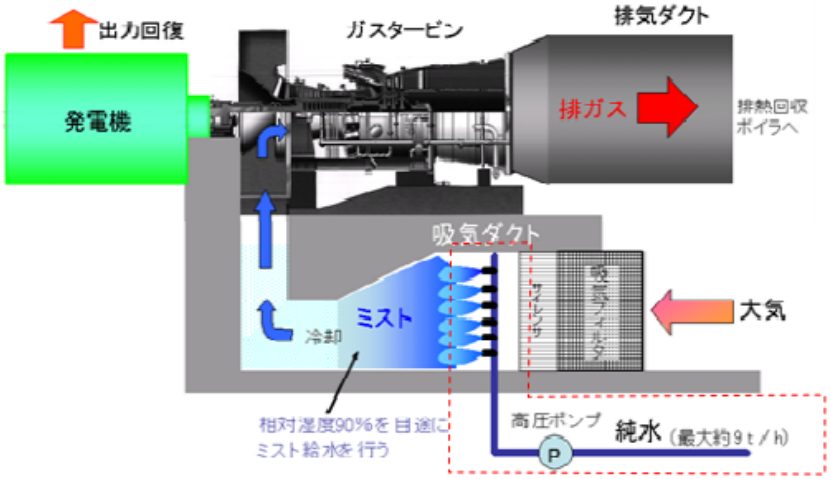


コンバインド火力発電出力の気温依存性

【ガスタービンの出力特性】



【吸気冷却装置の概要】

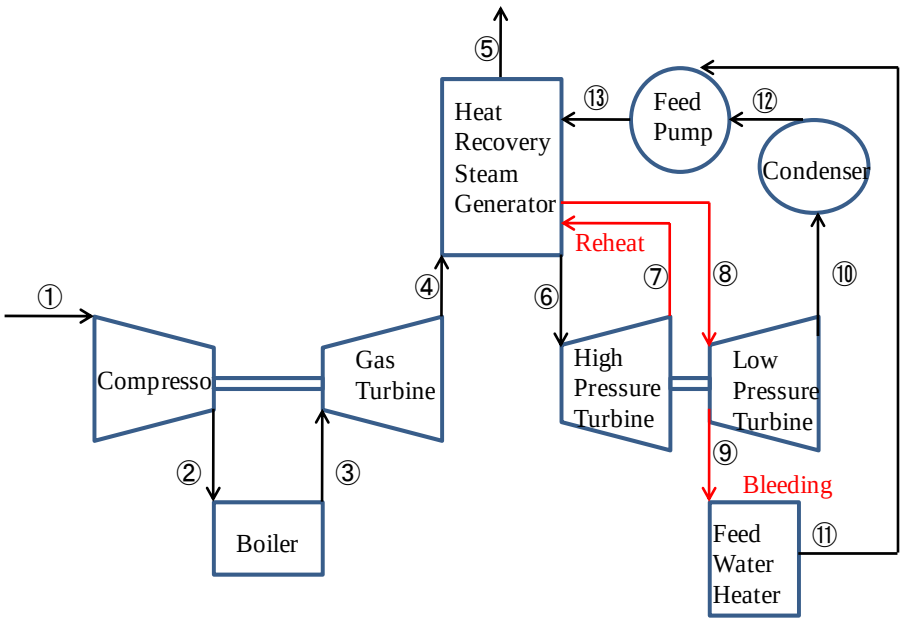


○ガスタービンは大量の大気を吸込み圧縮空気として燃焼用に使用しますが、
気温が上昇すると大気は膨張し、吸込み空気量は低下します。
○吸込み空気量の低下は、投入燃料量の低下となるため、
タービン出力が低下することとなります。
○吸気冷却装置は大気温度の高い時期に吸気ダクト内で純水を微細噴霧し、
気化による蒸発潜熱で温度を下げ、タービン出力を回復させるものです。

○コンバインドサイクル機(ガスタービン)は、大気温が高くなると、空気密度の低下により出力が低下します。
○そのため、夏季の供給力は、設備容量に比べて10～20%低下します。
○今夏の追加供給力対策として、吸気冷却装置を設置し、タービン出力の回復を行います。
※吸気冷却装置の設置により、トラブルリスクは高まりますが、今夏の需給状況が厳しいため、導入します。

今夏の電力需給見通しについて(関西電力平成24年4月23日)

なぜ気温が上昇すると出力が低下するの？



再熱再生式コンバインドサイクル

現在火力発電所で主に採用されている2種類の発電方式のうちの一つである，再熱再生式コンバインドサイクルのサイクル図を示す．

$$\eta_G = 1 - q_L / q_H$$

$$\eta_S = (l_t - l_p) / q_b$$

$$\eta_H = c_p (T_4 - T_5) / q_H$$

$$\eta = \eta_G + \eta_H \eta_S$$

$$\eta_{GT} = (T_{in} - T_{out}) / (T_{in} - T_{out-net})$$

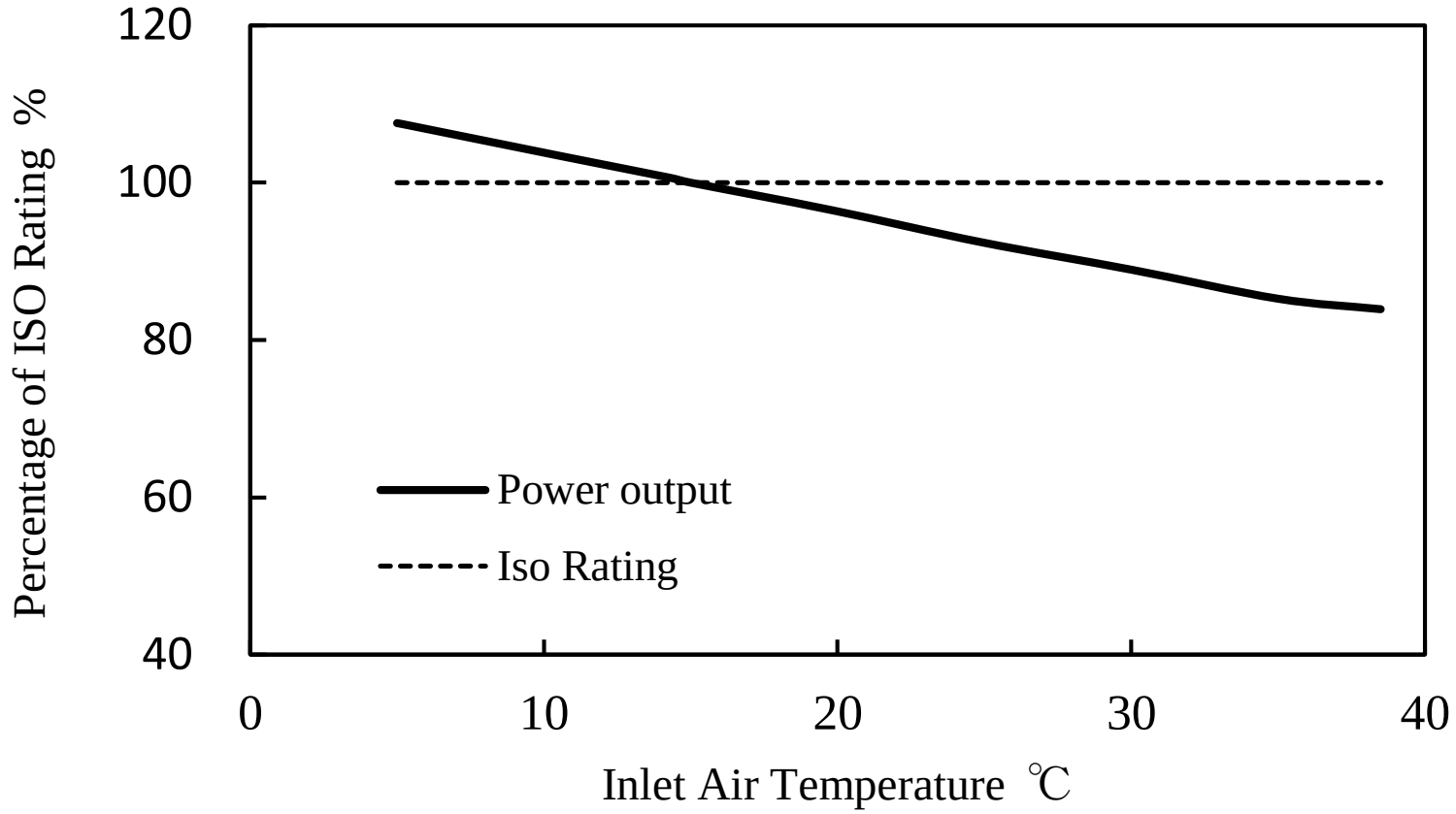
$$\eta_C = (T_{out-net} - T_{in}) / (T_{out} - T_{in})$$

$$\eta_{ST} = (h_{in} - h_{out-net}) / (h_{in} - h_{out})$$

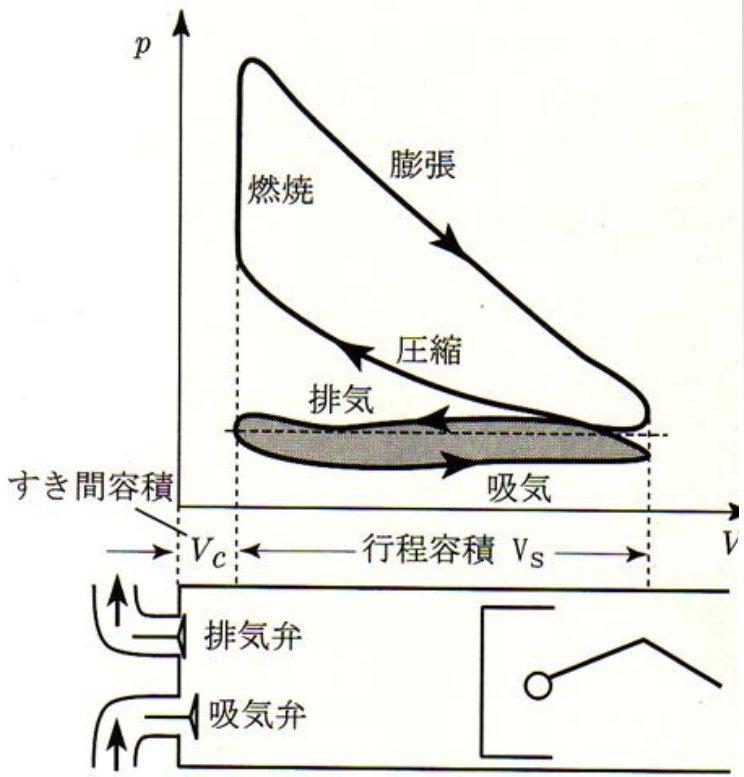
外気温度変化に伴う1500℃級ガスタービンの出力推算結果例

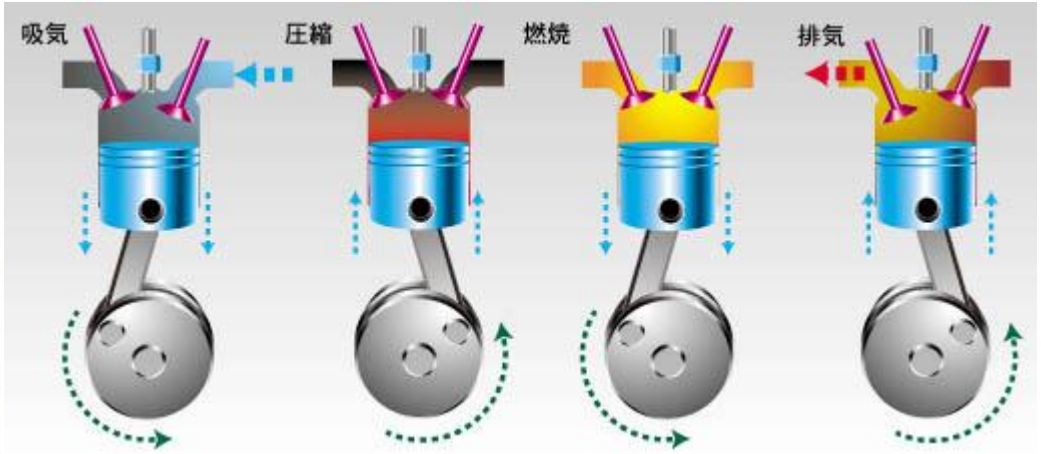
気温 ℃	吸気量 m^3/h	密度 kg/m^3	質量流量 kg/s	出力 万kW
15（基準）	190 万	1.214	640.7	26.5
25	190 万	1.164	614.3	24.5
35	190 万	1.111	586.5	22.6

MACC用ガスタービン出力の気温依存性

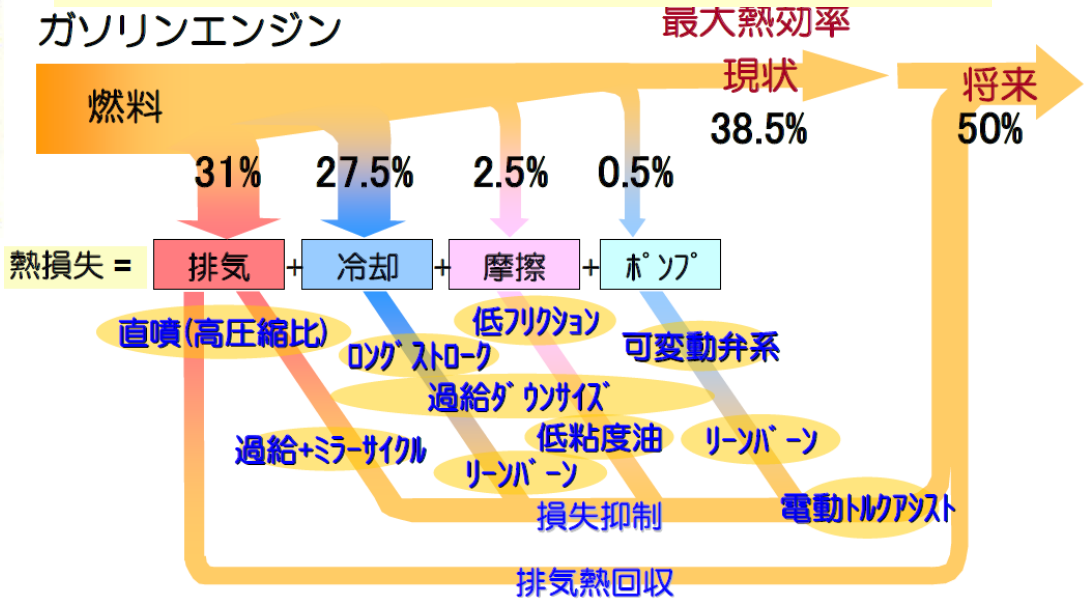


ガソリンエンジンのサイクルと各種損失





最大効率時の各種損失（自動車技術　Vol.25　2011.01）

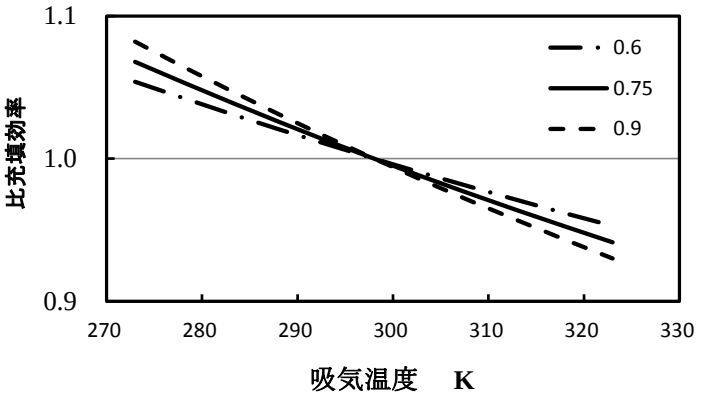


ガソリンエンジンの吸気温度上昇に伴う出力低下

三段論法

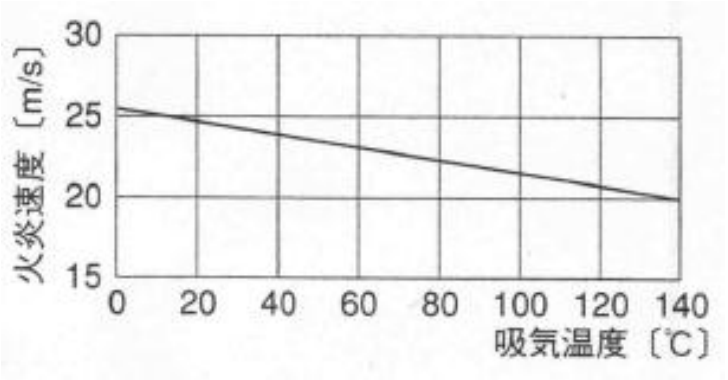
・充填効率

吸気温度が上昇すると吸入新気（外気）量が減少する.



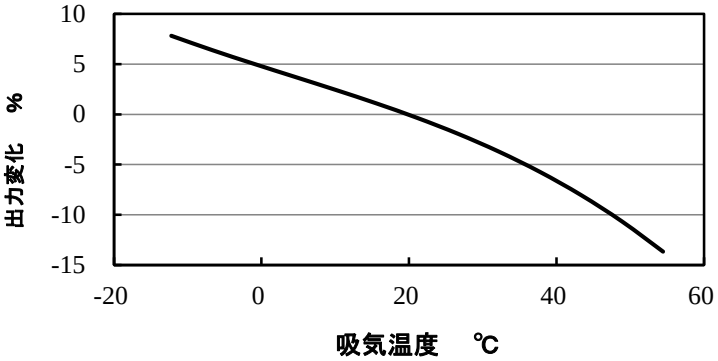
・火炎速度

吸気温度が上昇すると吸入新気量が減少するため，火炎速度が低下する.



・出力

吸気温度が上昇すると出力が低下する．なお，この傾向は大気の圧力と湿度に大きな影響を受ける.



気温とエネルギー消費機器性能

その2　空調機（蒸気圧縮式空冷空調機）

・・・蒸気圧縮式冷凍サイクルでは，外部から仕事（圧縮機動力）を与え，動作媒体の相変化を利用して，低温の物体（室内）から熱を奪い，高温の物体（外気）へ熱を放出する．

→ 外気の温度が上昇すると排気温度は上昇し，
外部からより多くの仕事を必要とする．

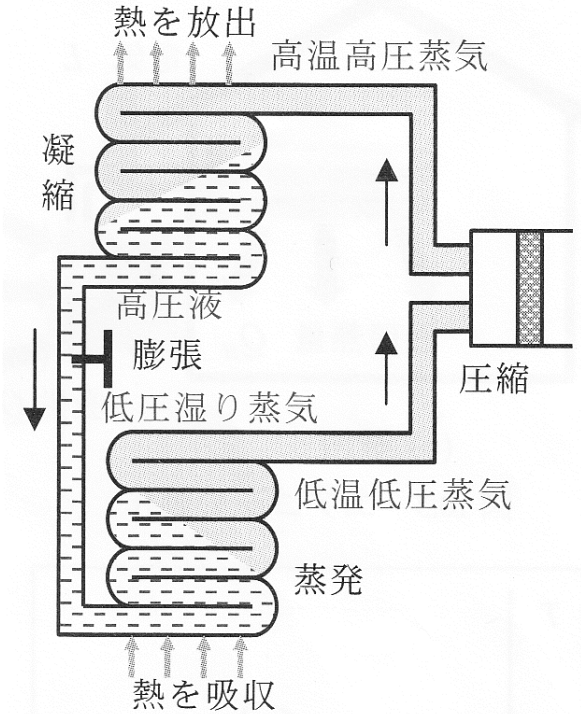
蒸気圧縮式空調機の原理と性能指標

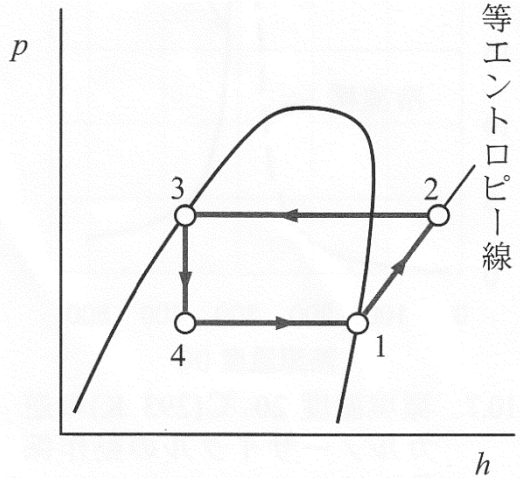
冷房時の理論性能は低温熱源からの受熱量Q_cと外部からの仕事Lの比として与えられる.

$$\varepsilon_R = \frac{Q_c}{L} = \frac{T_c}{T_H - T_c}$$

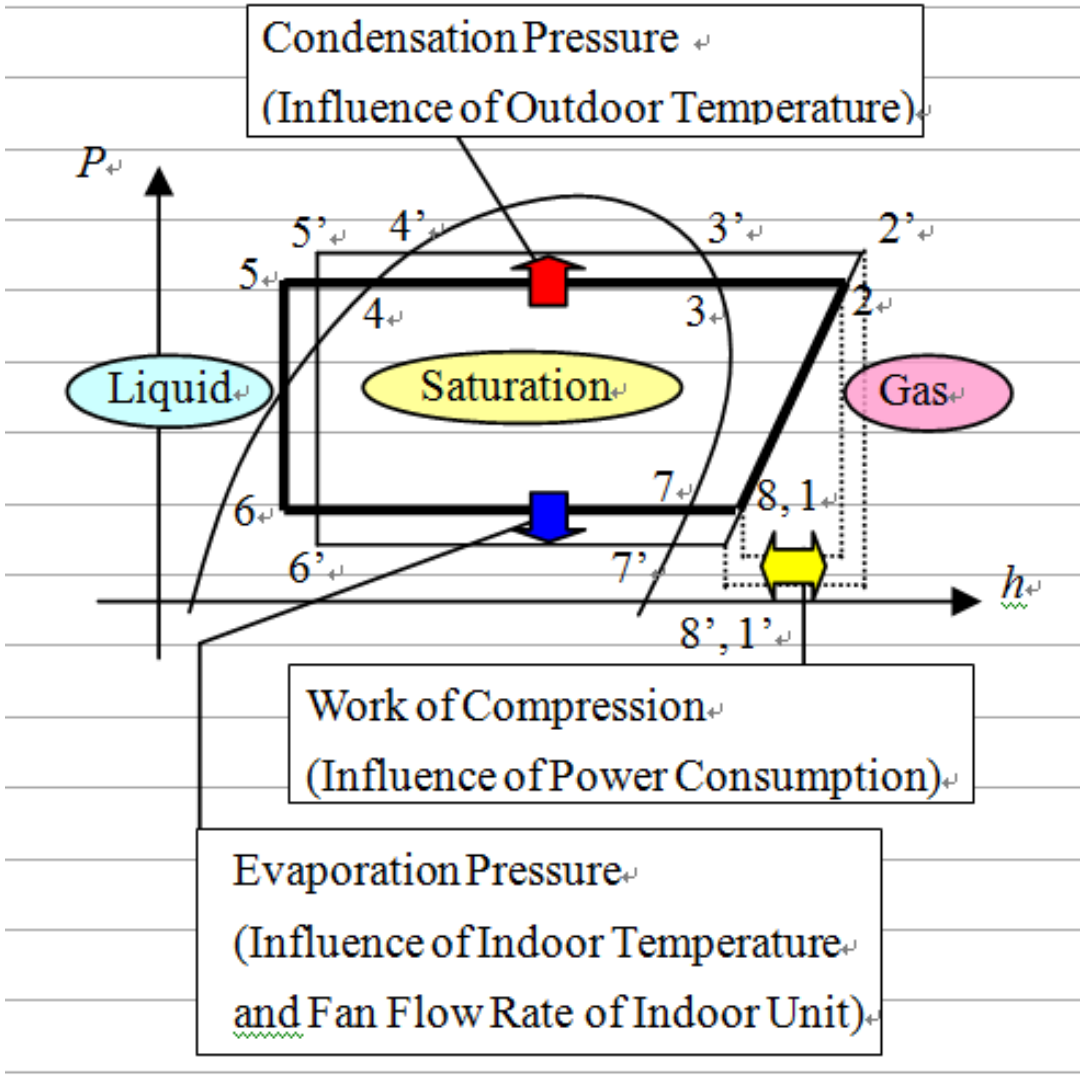
しかしながら，メーカーカタログ記載の性能指標であるCOPは，定格試験条件（気温35℃，室内設定温度27℃）におけるエアコンの総消費電力Eに対する冷房能力の比として与えられている.

$$COP = \frac{Q_c}{E}$$



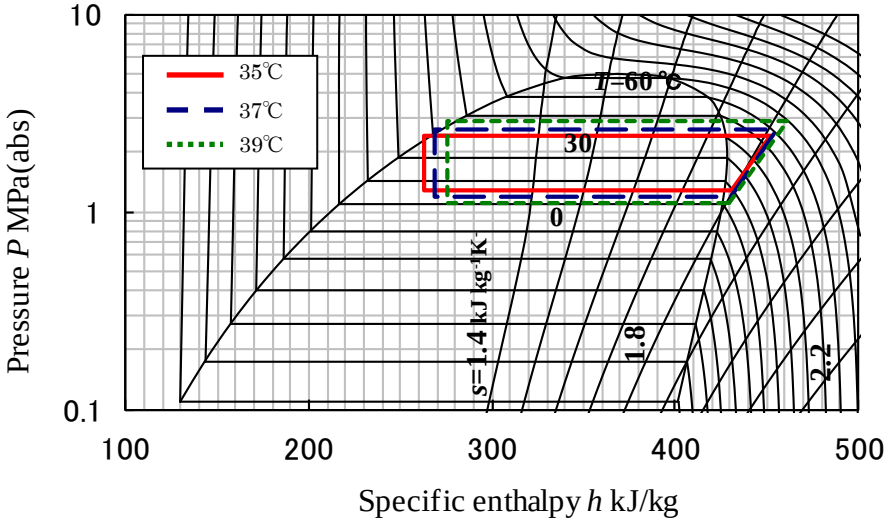


P–h 線図上での蒸気圧縮式冷凍サイクル

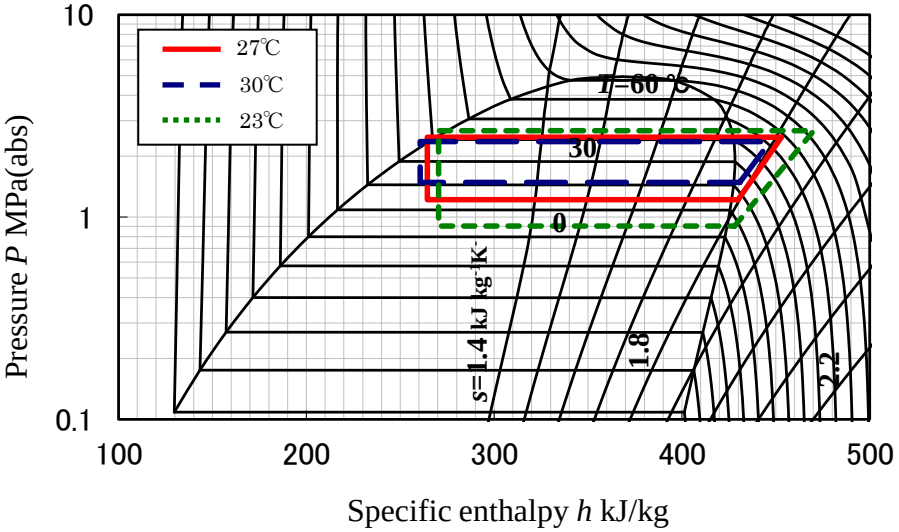


外気温及び室内温度の変化に伴うサイクル変化

外気温度の変化

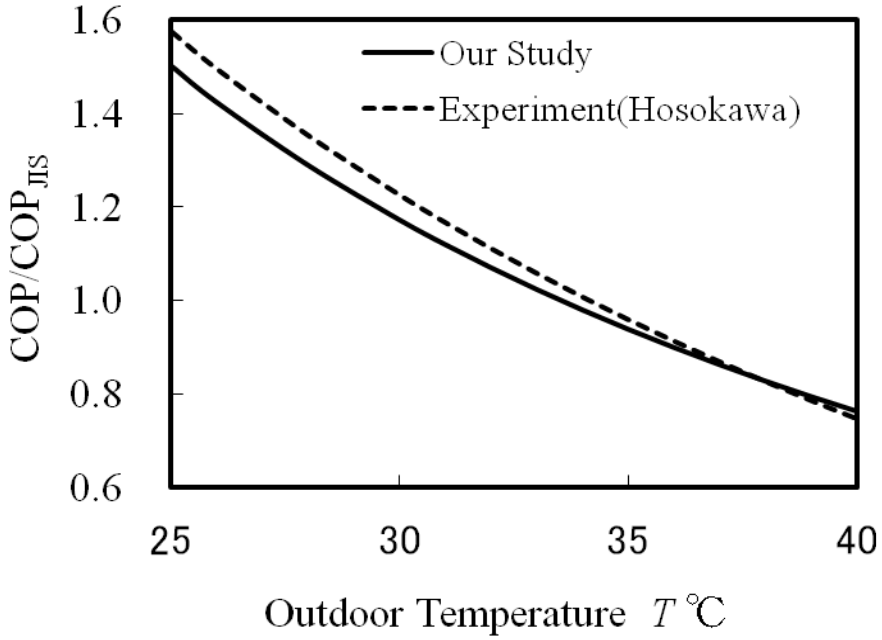


室内温度の変化

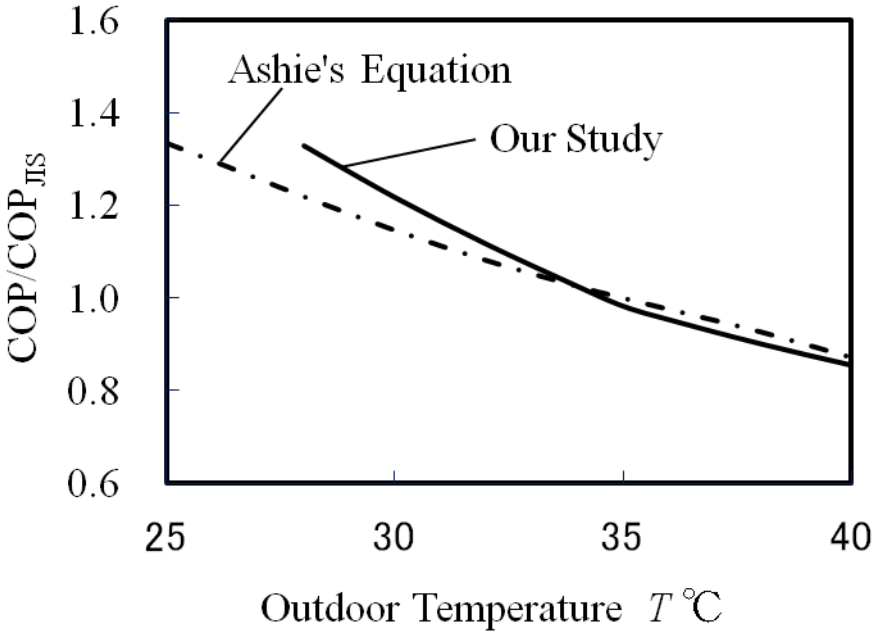


外気温が空調機性能に及ぼす影響評価

家庭用ルームエアコンとビル用マルチエアコンについて，外気温が性能に及ぼす影響をシミュレーションにより予測した.



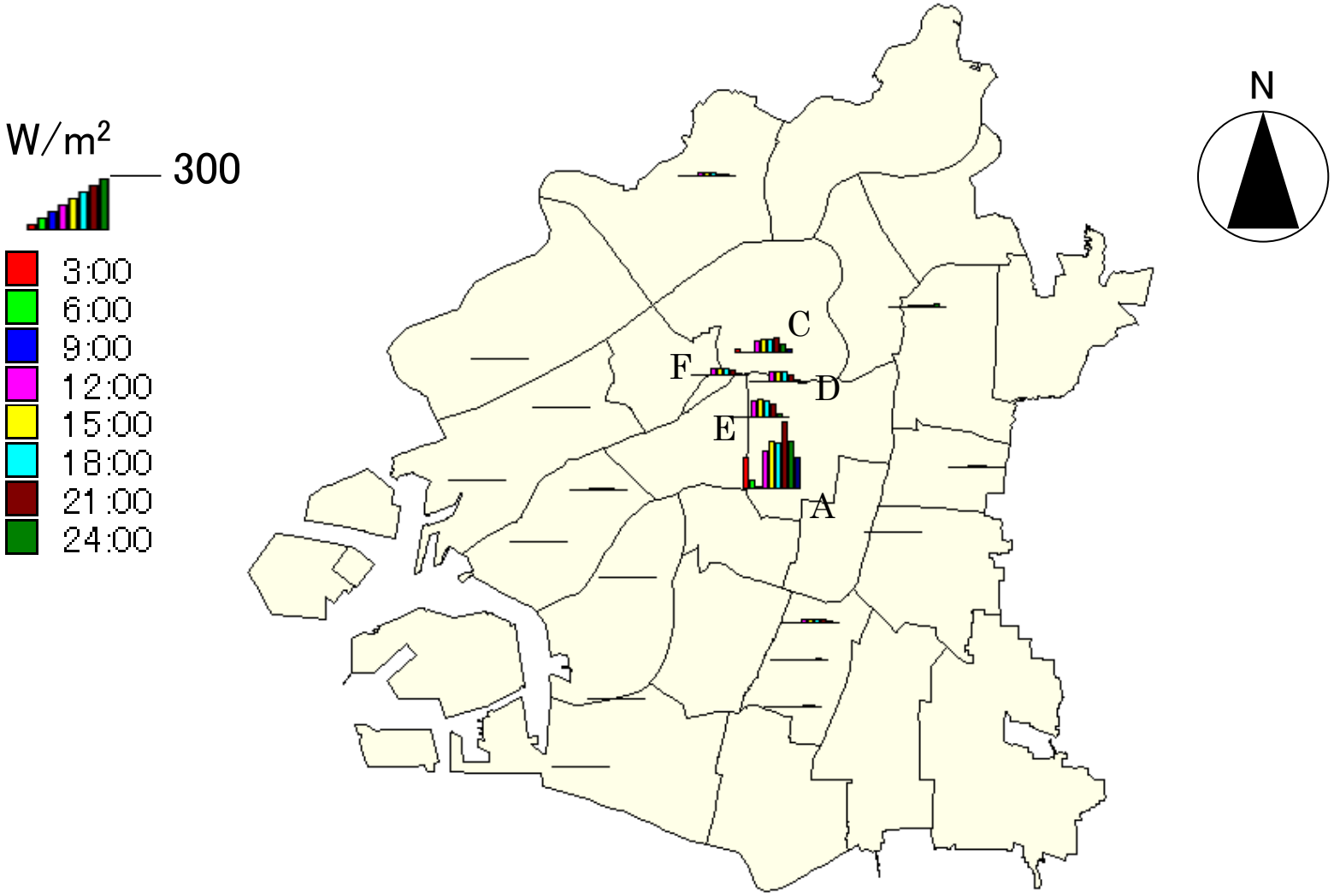
ルームエアコン



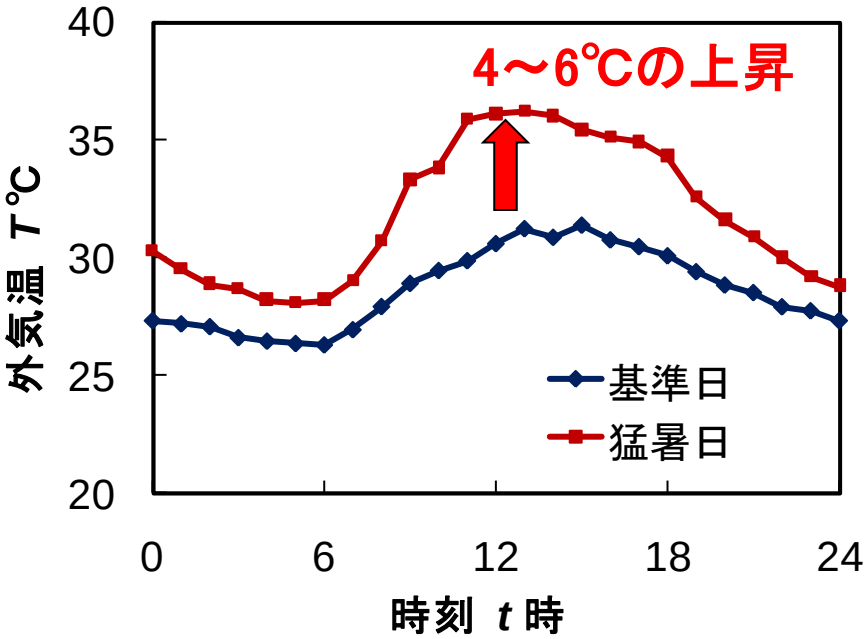
ビル用マルチエアコン

外気温度に対するルームエアコンとビル用マルチエアコンの性能変化について示している.

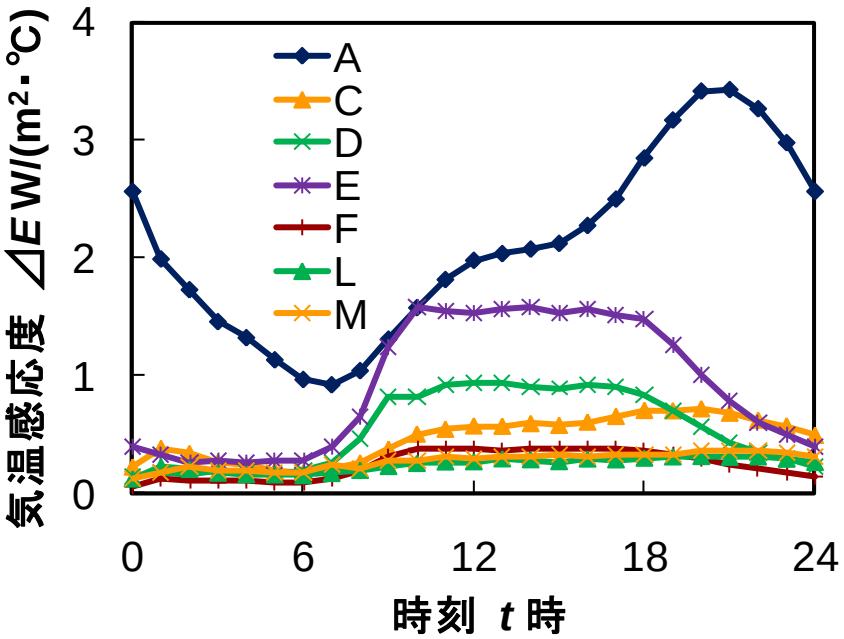
大阪市域における夏季の空調排熱推定例



猛暑日における空調排熱の増加（1．予測条件）



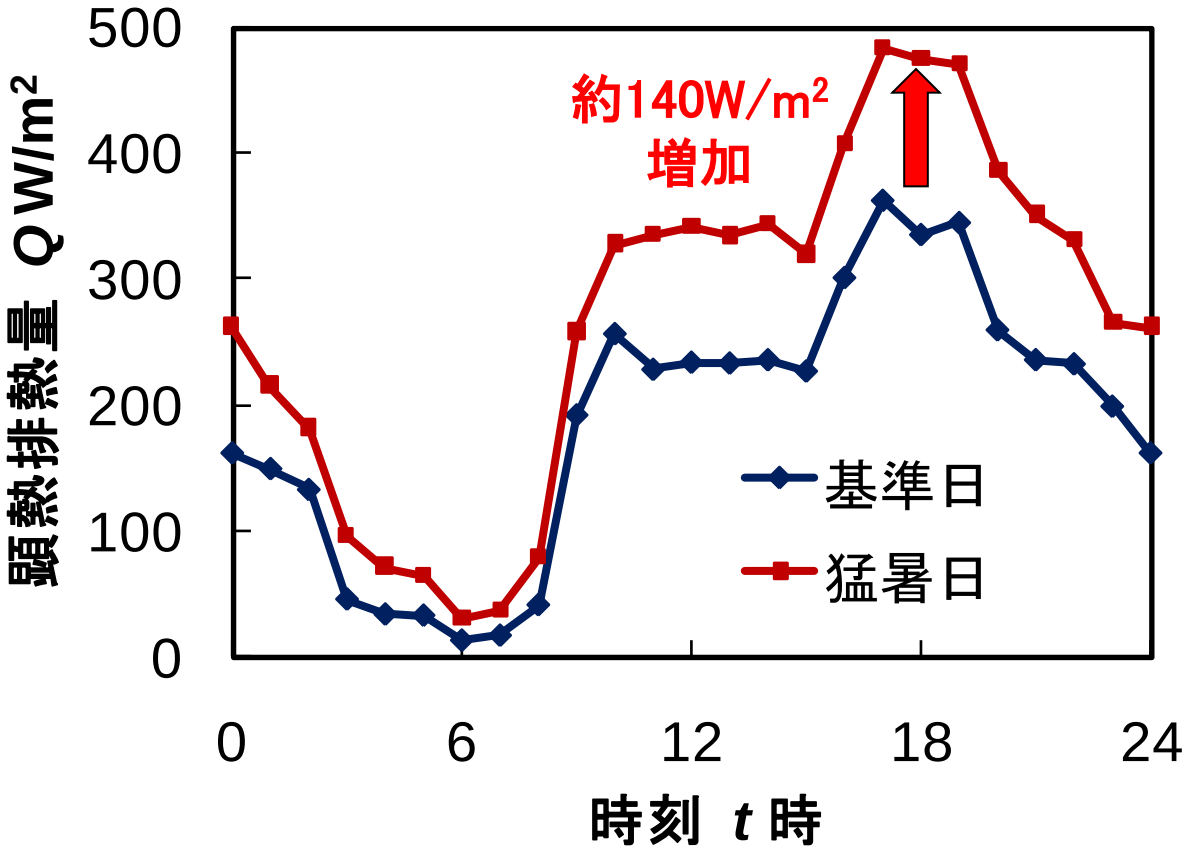
(a)外気温



(b)電力の気温感応度

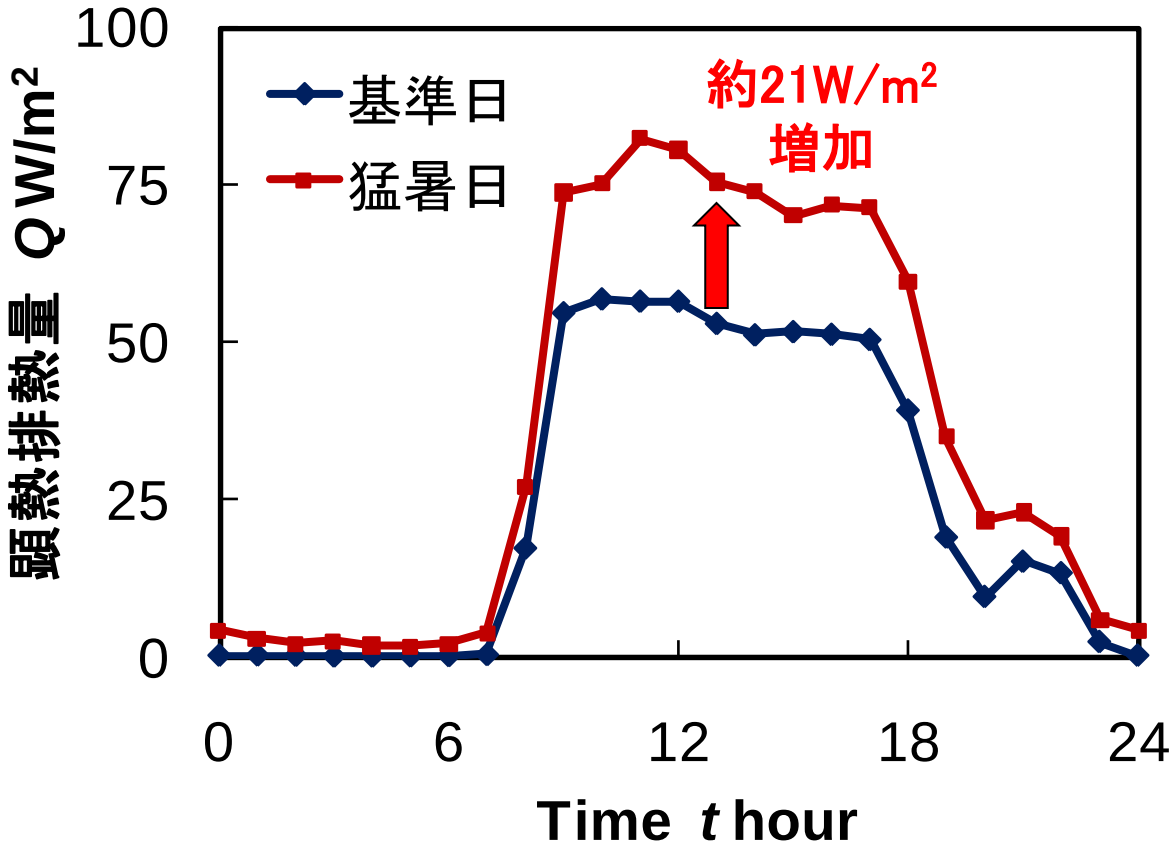
猛暑日：2007年8月17日　最高気温38.3℃，日平均気温31.9℃

猛暑日における空調排熱の増加（2. 推定結果）
A地区：商業・娯楽地区



日積算顕熱量
1,990Wh/m²の
増加

猛暑日における空調排熱の増加（2. 推定結果）
D地区：業務地区



日積算顕熱量
282Wh/m²の
増加

エネルギー消費機器の性能改善・環境負荷低減への取組

全般的な取り組み紹介

トップランナー制度の概要

○1998年の改正省エネ法に基づき、自動車や家電等についてトップランナー方式による省エネ基準を導入している。2012年4月現在、23機器が対象となっている。

＜省エネ法に基づくトップランナー方式と対象となる機器＞

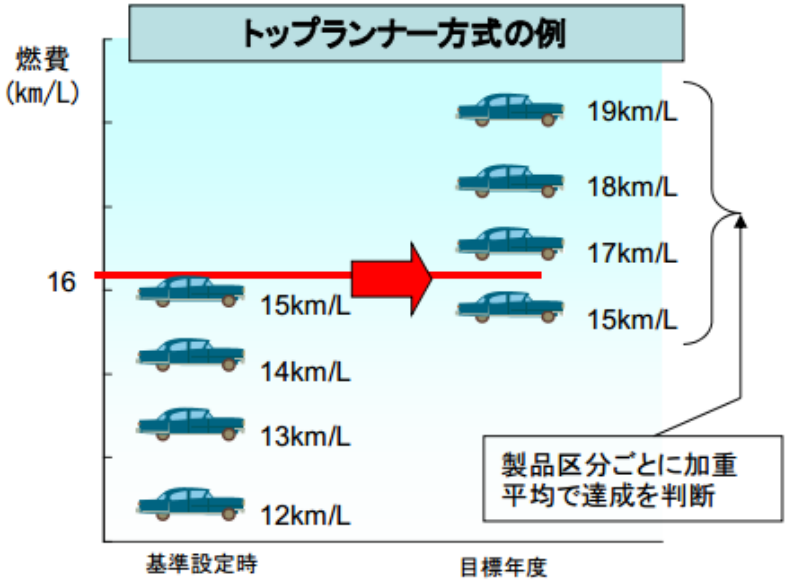
(1)自動車の燃費基準や電気機器（家電・OA機器）等の特定機器に係る性能向上に関する製造事業者等の判断基準（以下、省エネルギー基準という。）を、現在商品化されている製品のうちエネルギー消費効率が最も優れているもの（トップランナー）の性能、技術開発の将来の見通し等を勘案して定めることとし、機械器具のエネルギー消費効率の更なる改善の推進を行う。

(2) なお、トップランナー方式の対象となる特定機器は、エネルギーを消費する機械器具のうち以下の三要件を満たすものとされる（省エネ法第78条）。

①我が国において大量に使用される機械器具であること

②その使用に際し相当量のエネルギーを消費する機械器具であること

③その機械器具に係るエネルギー消費効率の向上を図ることが特に必要なものであること（効率改善余地等があるもの）



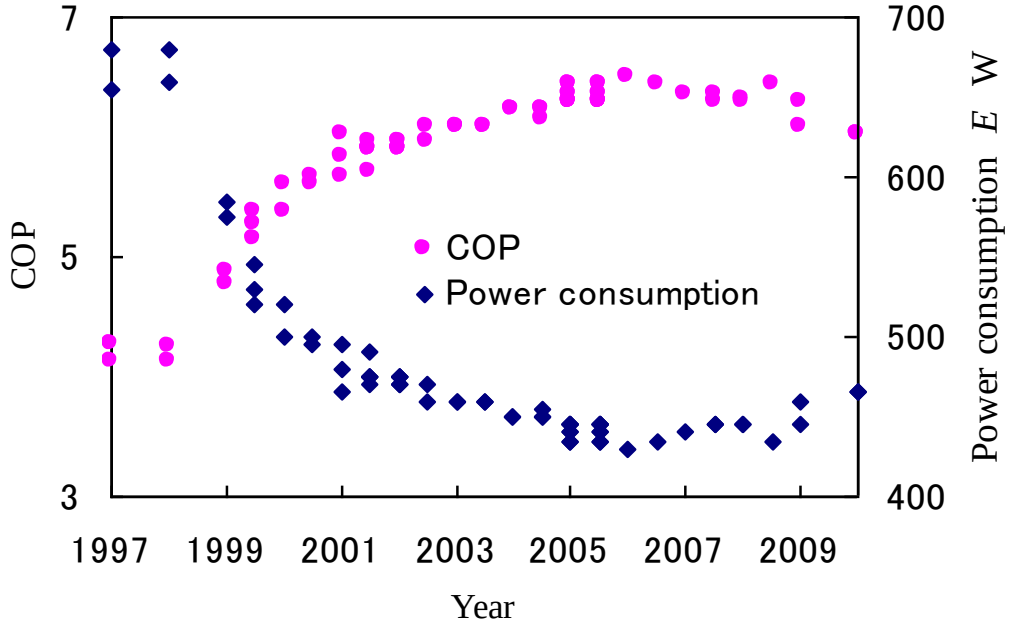
トップランナー方式による省エネ基準

特定機器（23機器）

1. 乗用自動車
2. 貨物自動車
3. エアコンディショナー
4. テレビジョン受信機
5. ビデオテープレコーダー
6. 照明器具
7. 複写機
8. 電子計算機
9. 磁気ディスク装置
10. 電気冷蔵庫
11. 電気冷凍庫
12. ストーブ
13. ガス調理機器
14. ガス温水機器
15. 石油温水機器
16. 電気便座
17. 自動販売機
18. 変圧器
19. ジャー炊飯器
20. 電子レンジ
21. DVDレコーダー
22. ルーティング機器
23. スイッチング機器

トップランナー方式導入後の空調機性能の推移

- 低炭素社会の実現に向け，省エネ家電に注目される
- エアコンに対する我が国の取り組み
  - トップランナー方式導入（1999年）
    - 空調機の性能向上を法律に基づいて義務化



上位機種（定格冷房能力2.8kW）の性能変化

トップランナー制度; APF（期間効率）の導入

- 省エネ法改正（2006年）
  - 評価指標が成績係数 COPから
    通年エネルギー消費効率 APF に変更される

COP : Coefficient Of Performance

$$\mathrm{COP} = \frac{\text{空調能力}}{\text{消費電力}}$$

APF : Annual Performance Factor

$$\mathrm{APF} = \frac{(\text{冷房期間中に発揮した能力の総和}) + (\text{暖房期間中に発揮した能力の総和})}{(\text{冷房期間中の消費電力量の総和}) + (\text{暖房期間中の消費電力量の総和})}$$

定格COP・APFによる空調機性能評価の課題

しかし・・・

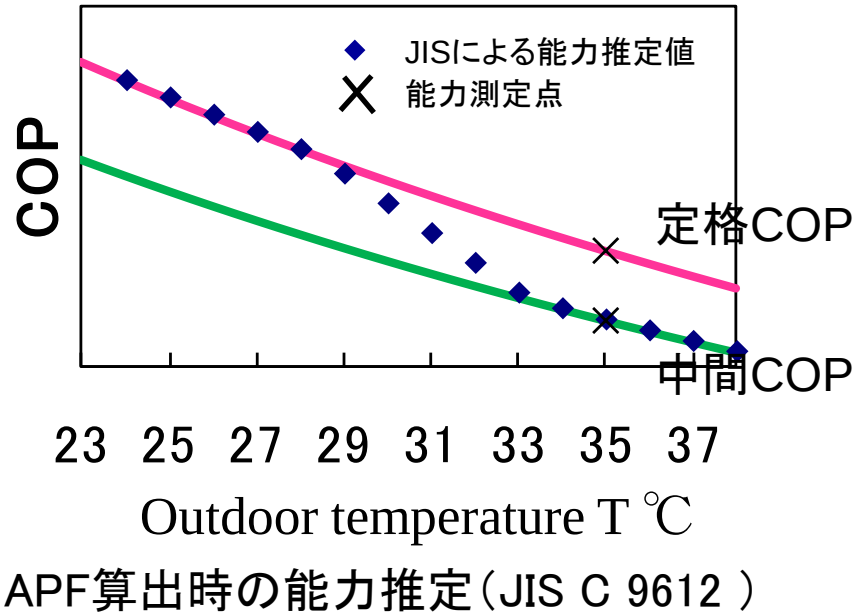
- カタログ性能と実使用時の性能には乖離が存在
  - 表示されるカタログ性能の問題点

    成績係数COP：定格条件時のみの保証

    通年エネルギー消費効率APF：算定根拠の不確実さ

定格条件（JIS B 8615-1 ）

term	Cooling	Heating		
		Normal	Low	Very low
Indoor suction air temperature(℃)				
Dry-bulb temperature	27	20	20	20
Wet-bulb temperature	19	15	15	15
Outdoor suction air temperature (℃)				
Dry-bulb temperature	35	7	2	-7
Wet-bulb temperature	24	6	1	-8
Test frequency	Rated frequency			
Test voltage	Rated voltage			



APF算出時の能力推定（JIS C 9612 ）

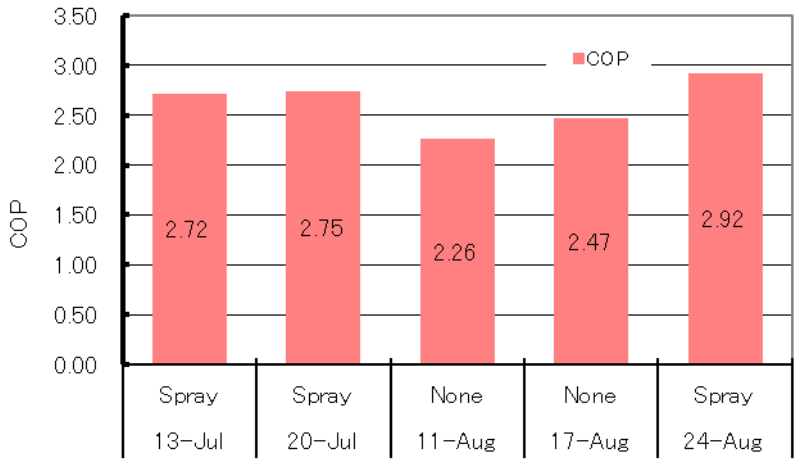
エネルギー消費機器の性能改善・環境負荷低減への取組

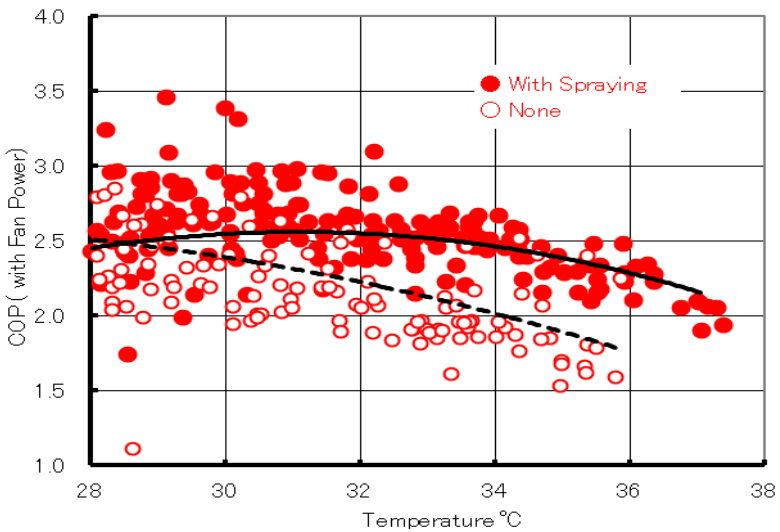
熱有効活用・人工排熱低減WGの取組み

活動経過

- 設備レベルならびに街区・都市スケールでの人工排熱低減，熱有効活用方法について検討.
- 設備レベルに関しては，蒸気圧縮式空冷空調機の排熱低減，排熱の潜熱化や，蓄熱材を用いた低温排熱回収・熱有効利用について検討.
- 街区・都市スケールについては，河川水・海水による空調排熱の処理や，下水熱の利用等，都市インフラ設備の未利用熱利用などについて検討.
- 上記の各種ヒートアイランド対策技術の認証方法についての検討

室外機水噴霧による大気顕熱負荷削減への取組（実施事例と効果の評価方法）





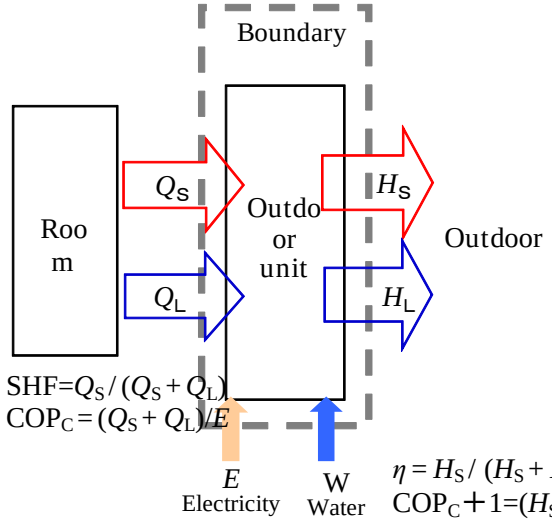
実証試験結果（関西電力）
空気調和・衛生工学会報告

水噴霧による室外機冷却のエネルギーフロー

Energy Balance

・Sensible Exhaust Heat
$=H_S$
$=(1-\eta)\times(COP_C+1)\times(E+W)$

・Latent Exhaust Heat
$=H_L$
$=\eta\times(COP_C+1)\times(E+W)$



$SHF=Q_S/(Q_S+Q_L)$
$COP_C=(Q_S+Q_L)/E$

$\eta=H_S/(H_S+H_L)$
$COP_C+1=(H_S+H_L)/E$

室内から除去する顕熱：Q_S
室内から除去する潜熱：Q_L
屋外へ排出する顕熱：H_S
屋外へ排出する潜熱：H_L
空調排熱の潜熱化率：η

推奨制度の導入検討

人工排熱の大気熱負荷削減効果の推奨制度に向けた調査・検討

- 1) 空冷空調機用排熱低減対策装置による人工排熱削減効果および熱汚染対策効果
- 2) 人工排熱を大気以外の媒体に処理する技術を対象にした大気熱負荷削減効果
- 3)大気の直接冷却技術
- 4) 以上の1)～3)の対策技術に関する，設計段階あるいは運用段階における推奨制度の検討

興味を持たれた会員・個人の皆様のWG参加をお待ちしています.