

第2回

民生部門のエネルギー効率化 および燃料転換による CO₂削減ポテンシャル

電力中央研究所「電気と環境のフォーラム」

1 低炭素社会に向けた省エネルギー技術の役割

エネルギー価格変動や環境制約に強い社会を実現することがわが国の大きな政策目標である。生活面では暮らしやすい社会を、産業としては生産性、国際競争力を高める技術を採用し、結果としてCO₂排出の少ない社会を実現することが望ましい。エネルギーや経済活動当たりの炭素強度を低下させる低炭素社会の実現にとっては、①省エネルギー（エネルギー効率化）、②電化の推進、③低炭素排出電源の利用（原子力発電、

再生可能エネルギー源の推進、火力発電の高効率化など）が柱となることは間違いない。前回の連載1回目では、電化シナリオの位置付けと簡単な試算を示したが、小論では需要側の重要技術として、①、②を対象とする。また、前回は2050年の大幅排出削減の可能性について需給両面から論じたが、今回は需要側における省エネルギーに焦点を当てるため、ある程度個別技術の進歩を見通せる30年度までを視野に入れる。対象とする需要側の技術については、電力中央研究所での個別技術開発の取り組みの有無にかかわらず、

実現によるインパクトの大きなもの、波及効果の大きなものなど、ブレイクスルー技術を対象とする。われわれは、電気という高品位で環境保全に優れたエネルギーを最も効率よく使うための技術を「最適エネルギー利用技術」と定義し、それらの普及により、快適な生活環境と安心・安全な社会を実現することを研究の柱のひとつとして推進している。最適エネルギー利用技術は、ユーザーの効用を犠牲にしない。これは、いわゆる我慢の省エネルギーとは異なり、長期的に需要側で生産性を向上し、快適性や利便性を犠牲にしないもの

であり、結果として環境負荷を大きく削減するものである。また、使用時間帯まで考慮に入れ、需要側でオフピーク需要を喚起する貯蔵式のエネルギー利用技術は、原子力発電の一層の導入を技術的に可能にし、需給両面で低炭素化を可能とする。われわれは、このような需給一体で炭素強度の低いエネルギー利用を促進することを提案していく。本稿では、エネルギー需要部門における連載の初回として、生活に密着する家庭部門とオフィスなどエネルギー需要の伸びの大きな業務部門において、どのような最適エネルギー



浅野 浩志
電力中央研究所 社会経済研究所 スタッフ上席研究員。博士(工学)。東京大学講師。同大生産技術研究所研究員。エネルギーシステム工学、エネルギー経済に関する研究に従事。



高橋 雅仁
電力中央研究所 社会経済研究所 主任研究員。需要サイドの省エネルギー対策やエネルギーシステムに関する研究に従事。



中野 幸夫
電力中央研究所 システム技術研究所 需要家システム領域リーダー。送電線の電気環境問題、赤外線加熱、放射冷暖房、民生部門の省エネルギー、非侵入型モニタリングシステムに関する研究に従事。

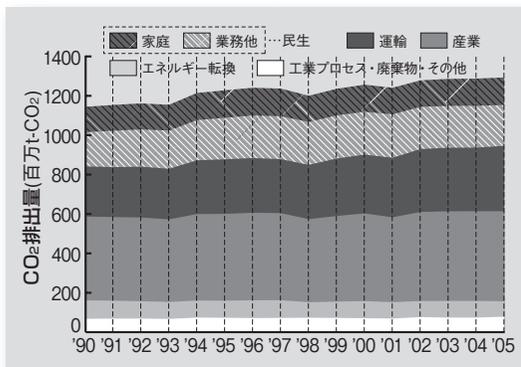


図1 日本の部門別CO₂排出量の推移 (単位: 百万t-CO₂)

利用技術が省エネルギーとCO₂削減をもたらすか、できる限り定量的な見通しを与え、今後、注力すべき技術分野を明らかにしていく。

05年における需要部門別CO₂排出量の割合は、産業部門が35%、運輸部門が20%、家庭と業務部門からなる民生部門が32%、エネルギー転換部門が6%、工業プロセス・廃棄

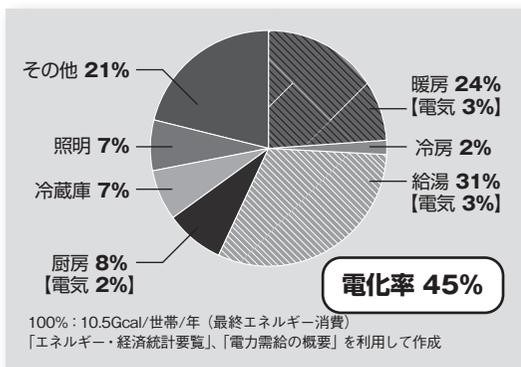


図2 家庭部門における用途別エネルギー消費量 (2006年度)

物からの漏出・その他が7%を占める。

民生部門からのCO₂排出量(100万t-CO₂)は、産業部門と運輸部門に比べて伸びが大きい(図1)。1990年から05年までの部門別CO₂排出量の増加率は、産業部門がマイナス6%、運輸部門が18%であるの対し、民生部門が41%で

2 家庭部門の電化によるCO₂削減

あり、民生部門が最も増加している。

スイッチを押せば明かりが付き、リモコンを操作すればクーラーが寝苦しい夏の暑さからも解放してくれる。蛇口をひねればお湯が出、ストーブに火をともしれば、寒い夜も快適である。ふだん何気なく使っているエネルギーであるが、私たちの生活はエネルギーを使うことであるといつてよい。このようなエネルギーの使用によって、家庭から、直接的、間接的にCO₂が排出されることになる。家庭部門からの排出量はわが国全体の14%を占める。図2は世帯当たりの年間最終エネルギー消費10・5Gcalの用途別割合を示したものである。暖房と給湯が、それぞれ24%と31%を占める。ついで、厨房(煮炊き)、冷蔵庫、照明で消費されるエネルギーが大きい。省エネルギーという点、しばしば冷房が取りざたされるが、冷房に使われるエネルギーは家庭ではいまだ大きくない。

ここでは、省エネ・CO₂削減を、(1)電化促進と電気機器のエネルギー効率化と(2)住宅性能(断熱性・気密性)の向上の観点から見てみたい。なお、ここではエネルギーを使うことによって得られる便益を犠牲にする「我慢の省エネ」は取り上げない。あくまでも便益の維持あるいは向上を前提にした上で、エネルギー消費あるいはCO₂排出量を削減する「エネルギーの効率的利用」を取り上げる。エネルギーの効率的利用を技術的に推進していくことが、わが国にとって問題解決への正しいアプローチであると思えるからである。我慢をしなければならぬのは、本当にエネルギーがなくなつた時、あるいは本当にエネルギーを手に入れることができなくなつた時である。

(1)電化促進と電気機器のエネルギー効率化

最近、住宅の新築着工件数に占めるオール電化住宅の割合は20%程度に増えてきており、今後も増加が見込まれている。しかし、家庭部門全体の電化率はいまだ45%で、最終エネルギー消費の半分以上をガスと灯

	最終エネルギー消費 (Mcal/世帯/年)		CO ₂ 排出量 (kg-CO ₂ /世帯/年)	
	一般住宅 (都市ガス)	オール電化 住宅	一般住宅 (都市ガス)	オール電化 住宅
冷房	236	236	113	113
照明・動力他	3,676	3,676	1,753	1,753
暖房	2,481	662	520	315
給湯	3,269	872	685	416
厨房	825	413	173	197
合計	10,487	5,858	3,243	2,793

14% ↓

※エアコン(暖房)のCOP=3.0、ガスファンヒーターの機器効率=0.8
 ※エコキュートのCOP=3.0、ガス給湯器の機器効率=0.8
 ※IH調理器の機器効率=0.8、ガスコンロの機器効率=0.4
 ※0.410kg-CO₂/kWh(電事連2006年度)
 ※他のデータはエネルギー・経済統計要覧 08から引用あるいは算出

表1 オール電化住宅のCO₂排出量の分析 (0.410kg-CO₂/kWh)

オール電化住宅では、電気・ガス併用の一般住宅と比較して、CO₂下流排出量を14%削減できる。将来、電力の排出原単位および機器エネルギー効率率が改善されるとさらに削減率は増加する。

油が占めている。図2に示したように、エネルギー消費の大きい暖房、給湯、厨房に占める電気の割合はまだまだ小さい。そこで、図2に示した平均世帯について、暖房、給湯、厨房のすべてに都市ガスを使った場合とこれらを電気ですべった場合の年間CO₂排出量を試算、比較した結果が表1である。暖房はガスファンヒ

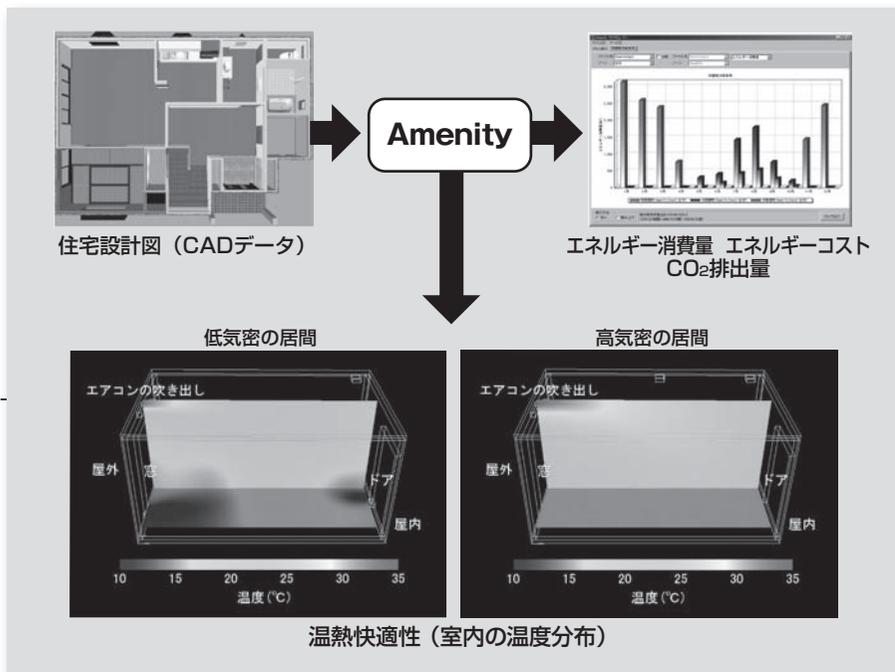


図3 住宅用室内温熱環境設計ツール“Amenity”

本ツールを用いると、住宅の設計図(CADデータなど)から住宅建築後のエネルギー消費量、CO₂排出量、エネルギーコスト、温熱快適性等を事前に評価することができ、快適性と省エネルギー性を両立させた住宅の設計に役立つ。例えば、東京における次世代省エネ基準の住宅では、旧省エネ基準の住宅と比較して、暖房エネルギーが27%程度、冷房エネルギーが16%程度削減でき、しかも、屋内の温度むらが小さくなり、熱的にもより快適な室内環境を実現できることなどが分かる。

ーターとエアコン、給湯はガス給湯器とヒートポンプ給湯機、厨房はガスコンロとIHコンロの比較になっている。表1から分かるように、ガ

スから電気への転換によって、CO₂排出量が14%程度削減できる。近年、化石燃料を燃やすタイプの機器であっても、エネルギー効率は

弱である。しかし、COPは3のヒ

弱である。しかし、COPは3のヒ

弱である。しかし、COPは3のヒ

弱である。しかし、COPは3のヒ

弱である。しかし、COPは3のヒ

弱である。しかし、COPは3のヒ

トポンプを使うことによって、家庭では発電所で消費された化石燃料の1・2（＝0・4×3）倍のエネルギーを暖房や給湯に利用できる。家庭用エアコンの場合には、COPが5〜6に達するものも現れており、この場合には発電所で消費された化石燃料の2〜2・4倍ものエネルギーを利用することができる。また、CO₂の削減効果も考えた場合、電化（化石燃料から電気への転換）の促進と電気機器（エアコン、給湯機、冷蔵庫、照明など）のエネルギー効率向上によってもたらされる効果のほかに、電気では、発電効率の向上ならびにCO₂を排出しない原子力や水力、そのほかの再生可能エネルギーの利用促進によってCO₂の排出原単位を下げることが可能である。このように需給両面で低炭素化を進めることができるため、電化促進と電気機器のエネルギー効率化には期待がかかる。

上 (2)住宅性能(断熱性・気密性)の向上

暖房された住宅からの熱の逃げ道として、窓・壁・床・天井、換気が

ある。それぞれ、逃げる熱全体の3分の1程度を占める。断熱性(窓・壁・床・天井)や気密性(換気)の高い家はそれだけで家庭におけるエネルギー消費の4分の1を占める暖房エネルギーの削減になる。東京地域を対象にした試算によると、99年に施された次世代省エネ基準に基づいて建てられた住宅は、80年施工の旧省エネ基準に基づいて建てられた住宅よりも暖房エネルギーを27%程度削減できる。また、冷房エネルギーについては16%程度削減できる。暖房や台所にエアコンやIHコンロを用いる電化は、燃焼ガスの排出を伴わないので、住宅の気密性を向上する上で相性がよい。さらに、高气密・高断熱化によって屋内の温度むら小さくなり、熱的にもより快適な室内環境を実現できる。暖房用エネルギー消費は地域差が大きく、従来、寒冷地において、ヒートポンプエアコンでは十分な暖房能力がないとの印象をユーザーが持っていたため、石油系暖房が主であったが、住宅性能の向上に伴い、ヒートポンプシステムを含む全電化住宅が増加

している。電力中央研究所では、住宅の設計図や仕様書に基づいて、建築後のエネルギー消費量と室内の温熱快適性をシミュレートするプログラム「Amenity」(図3)を開発している。これを用いれば、CAD(コンピュータ)を使った設計デザインでつくられた設計図から、直接、これらのシミュレーションが可能である。住宅の間取り、使用する部材(窓、断熱材など)、使用する暖房機器の仕様変更によるエネルギー消費量や温熱快適性へ及ぼす効果を、建築前に容易に検討することができ

3 業務部門のエネルギー効率化および燃料転換によるCO₂削減

業務部門のCO₂排出量は、建物床面積の増加とともに一貫して増え続けており、サービス経済化により、今後も排出量の増加が予想されている。われわれの検討では、特段の排出削減対策を取らない場合(基準ケース)、人口減少に伴い建物ストック(床面積)が減少に転じることと、

機器効率の継続的な改善のため、同部門のCO₂排出量は、15〜20年度にピークを迎え、減少に転じる可能性がある。30年度のCO₂排出量は、05年度比で約2%増加する²⁾。省エネ規制が事業所単位から企業単位に改められ、業務用建物の5割程度が省エネ規制対象になるなど、同部門のCO₂排出削減が強く求められている。本検討では、需要家の長期的なエネルギー選択の変化を考慮し、省エネ技術や燃料転換技術導入によるCO₂削減可能量とその費用を明らかにし、温暖化防止対策の優先順位を示す²⁾。CO₂削減対策ケースとして、業務部門の活動指標(業務用床面積)には制限を課さず、(1)建物所有者に建物新設時と既設建物の設備改修時に省エネ技術・燃料転換技術の導入を促し、建物のCO₂排出原単位(kg-CO₂/m²/年)を削減すること、また、(2)メーカーのさらなる技術開発やトップランナー制度など何らかの規制措置によって、一部の省エネ機器については、基準ケースを上回るエネルギー機器効率や機器備

格の低減を達成することを通じて、長期的にCO₂排出量を削減することを考える。

(1) CO₂排出削減技術

地域や建物用途・建物規模によって、選ばれる得る熱源機器の種類、エネルギー価格、気象条件、都市ガス普及率に違いがあることから、本検討では地域ごと、かつ建物用途・建物規模ごとにエネルギー消費量とCO₂排出量を推定する。地域は、電力会社の供給エリアに相当し、業種は事務所やコンビニなどである。ユーザーが採用し得るCO₂削減技術として表2に示す空調・照明の高効率化や昨今の化石燃料価格高騰で実際に起きているような燃料転換を想定する。検討モデルでは、地域ごとにエネルギー小売価格が異なることを考慮し、06年時点の各地域の電力会社の業務用需要家向け料金、大手都市ガス会社の業務用需要家向け料金を参考に、各地域のエネルギー価格を設定した。30年度までの将来価格は、その燃料費部分について国際エネルギー機関の価格見通しを反映し設定する。

個別空調は、中小規模ビルだけでなく、大規模ビル（床面積5〜10万平米クラス）でも導入実績が増えており、この傾向は今後も継続する可能性があり、個別空調のCOP改善は極めて重要である。そこで、メーカーのさらなる技術開発とトップランナー制度など何らかの規制措置によって、個別空調のCOP改善の上積みを取定した。

白色LED照明は、メーカーの技術開発によって、急速に効率改善とコスト低減が進んでおり、一般照明への応用が視野に入りつつある。BEMS (Building Energy Management System) 導入単独で年間4%ほどの省エネ効果があるが、現状では機器価格が高く、普及対象が限られている。ここでは、機器価格が普及価格まで低減すると仮定し、そのCO₂削減効果を評価した。

空調・給湯熱源の電化は、CO₂排出量を大幅に削減できる対策であり、そのCO₂排出削減効果を考慮した。ここで、電気ヒートポンプ給湯は、家庭用エコキュートと同じスピードで、コスト低減すると仮定し

た。電化厨房は、空調・給湯熱源の電化とセットで導入すると仮定する。

(2) CO₂削減ポテンシャルと費用

表2の対策技術が、10年以降に新設される建物あるいは設備改修する既設ビルに導入されると仮定すると、これらの需要サイドの省エネ技術と燃料転換技術の普及によって、05年度比で、30年度までに最終エネルギー消費量を26%、CO₂排出量を20%削減できることが分かった²⁾。

CO₂削減には給湯・厨房熱源の電化の寄与が大きく、30年度には最終エネルギー消費に占める電力シェアは70%に達する。既往研究では、需要家の現実的な投資回収年数を考慮しているとは考えにくい削減率を主張するものも散見されるが、本検討では、需要家の経済性を考慮し、現実性を重視した削減ポテンシャルであることに注意されたい。

30年度におけるCO₂削減効果が大いに対策技術は、表3に示すように給湯・厨房の電化、LED照明の普及、個別空調の効率向上、高効率コージェネレーションシステムの導入である。より排出制約が厳しくな

ると、対策費用の高いBEMSの寄与が増える。CO₂削減の費用対効果を考えると(図4)、まず、空調の電化および空調機器の性能向上の優先順位が高い。また、15年以降では、技術進歩が着実に進めば、LED照明が大きなCO₂削減効果を発揮する。一部の対策技術の限界CO₂排出削減費用がマイナスになっている理由は、(1)電気ヒートポンプ

表2 検討した業務部門のCO₂排出削減技術

分類	対策	説明
省エネ	個別空調のCOP向上	電気ヒートポンプ(EHP)とガスヒートポンプ(GHP)の個別空調のCOPが向上する(EHP:現状の4.0から6.0へ、GHP:現状の1.2から1.8へ)。
	LED照明の普及	LED照明の発光効率(lm/W)と照明コスト(円/lm)が、Hi蛍光灯と同等もしくはそれ以上になり、一般照明用として普及し始める(2015年以降)。
	BEMSの普及	BEMSの導入コストが低下し、普及し始める。NEDO補助事業より、BEMS単独で年間4.3%の省エネ効果を期待できる。
燃料転換	空調の電化	空調熱源をガス石油式から電気式へ変える(例:GHP→EHP、吸収式→EHPまたは電気中央式)。
	給湯・厨房の電化	給湯と厨房の熱源をガス石油式から電気式へ変える。(例:ガス給湯→電気ヒートポンプ給湯、ガス厨房→電化厨房)。
	石油機器の都市ガス化	A重油・灯油だき機器を、都市ガスだき機器へ変える(例:ボイラー)。
	高効率コージェネレーションの導入	系統電源並に発電効率の高いガスエンジン(発電効率LHV50%)または固体酸化燃料電池SOFC(同40%)と高COPの電気空調熱源を組み合わせたコージェネレーションを導入する。

CO₂排出削減に伴う需要家サイド全体の費用負担は、CO₂削減率が20%の場合、年間1兆円（初期投資5400億円、ランニングコスト4600億円）である。業種別に見ると、事務所ビル、卸小売り、飲食店の費用が年間2000〜3500億円と大きい。

表3 対策技術別のCO₂排出削減量（業務部門、2030年）

分類	CO ₂ 削減量 (百万t-CO ₂)
個別空調 (EHP,GHP) のCOP向上	4.4
空調熱源の電化	2.1
LED照明の普及	5.0
給湯・厨房熱源の電化	10.1
石油だき機器の都市ガス化	1.8
高効率コージェネの導入	3.0
BEMSの普及	6.2
合計	32.6

(EHP) のように将来の機器価格の低下やエネルギー効率改善によって、初期投資コストを3年内に省コスト分で回収できる場合、(2)個別空調のCOP向上のようにメーカーの開発努力で機器価格アップ分がコスト回収可能な範囲内に収まる場合、などがある。

4 民生分野における重点対策技術

オール電化住宅は電気・ガス併用

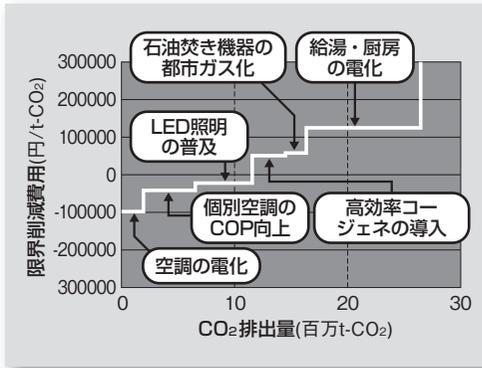


図4 対策技術別の限界CO₂削減費用（業務部門、2030年）

限界削減費用とは単位CO₂排出量を追加的に削減するのに必要な費用であり、対策技術ごとに異なり、限界削減費用が小さい対策技術から順番に導入することで(図4の左から右へ)、全体の長期的な対策コストを最小化できる。図4の場合、空調の電化や個別空調のCOP向上、LED照明の普及が、長期的に見て、対策費用が小さいCO₂排出削減策である。なお、BEMSは高コストのため、図の範囲外にある。図4の削減費用は、各対策技術の初期導入コストとエネルギーコストだけを考慮しており、利便性や快適性、安全性などの貨幣価値に換算しにくい需要家の便益は含まれていないことに注意する必要がある。業務用電化厨房のように削減費用が高くて、需要家の便益が大きい場合、導入されるケースもあり得る。

の一般住宅と比較してCO₂排出量を14%削減できる。将来、電力の排出原単位が改善されると、さらに削減率は増加する。今後、住宅の高性能化（断熱性、気密性）、高効率機器の開発（空調、照明、冷蔵庫など）、再生可能エネルギー技術（太陽光発電、太陽熱）の導入がさらに重要になる。このほか、建物内の上水と下水との熱交換による排熱利用や、地中熱を利用するための技術開発も重要である。これらの技術の普及の面からは、コストの抑制と、ユーザーへの適切な情報提供や、メーカー、エネルギー事業者、設計・建築事業者などが有機的に連携した業界横断的な取り組みが望まれる。

業務部門においては、給湯・厨房熱源の電化、LED照明の普及、個別空調熱源の効率改善、BEMSの普及、高効率コージェネレーションの普及の順番で、排出削減量が大きい。これらの需要側の省エネ・燃料転換技術の普及によって、30年度までに最大で約20%（05年度比）のCO₂排出量を削減できる。系統電力のCO₂排出原単位の改善（30年度

300g-CO₂/kWh)を仮定すると、さらに10%追加され、合計で30%のCO₂排出削減が可能である。今後の連載では、これまで民生部門で省エネルギー、CO₂削減に大きく寄与してきたヒートポンプ技術や、今後輸送部門で期待される電動化のキーテクノロジーであるバッテリー技術の役割を紹介していく。

さらに、これら需要側技術と太陽光発電など、再生可能エネルギーの本格利用を低コストで実現していくために必要なインバタ技術、ICT (Information and Communication Technology) などの活用で、電力系統側と一体制御する次世代グリッド技術が将来の高品質な電力供給を可能にする、未来のエネルギーシステム像を提示していく予定である。

- [1] 国立環境研究所のデータを基に作成
- [2] 高橋雅仁、浅野浩志…エンドユースモデルによる業務部門の長期的CO₂排出削減ポテンシャルとエネルギー需量構造変化の分析 電力中央研究所研究報告 Y07039、2008年5月