

住宅用太陽光発電システムとガスコージェネによる CO2削減効果に関する一試算

その他（別言語等） のタイトル	An Estimation of Carbon Dioxide Mitigation by Housing Solar Energy Generation System and Natural Gas Cogeneration
著者	高野 茂, 小幡 英二
雑誌名	室蘭工業大学紀要
巻	54
ページ	147-154
発行年	2004-11
URL	http://hdl.handle.net/10258/75

住宅用太陽光発電システムとガスコージェネによる CO₂削減効果に関する一試算

高野 茂^{*1}, 小幡 英二^{*2}

An Estimation of Carbon Dioxide Mitigation by Housing Solar Energy Generation System and Natural Gas Cogeneration

Shigeru Takano and Eiji Obata

(原稿受付日 平成 16 年 5 月 17 日 論文受理日 平成 16 年 8 月 31 日)

Abstract

The Kyoto Protocol is an international agreement at the Third Conference of Parties (COP3) which is to reduce the emission of greenhouse gases by a total of 5.2 percent between 2008 and 2012 from 1990 levels. Japan has a target reducing the emission over 2008 - 2012 by 6.0 percent from 1990 level under the protocol. The energy consumption in Japanese households sector is remarkably increasing as compared to industrial and transport sectors. In particular, the household energy consumption in Hokkaido is conspicuously larger than that in other prefectures. We proposed that the regional energy in Hokkaido had need of the housing solar energy generation and the promotion of the cogeneration systems using the fuel cell or the micro gas turbine was available in order to reduce the emission of CO₂.

Keywords : Solar energy generation, Cogeneration, Fuel cell, Micro gas turbine, Global warming,
Kyoto protocol

1 はじめに

約 46 億年の歳月をかけて生命を創造した地球は、広大な宇宙のなかでも類まれで「美しく豊饒」な魅惑の星である。そのかけがえのない生態圏を守るため、化石燃料の燃焼排気である CO₂ 削減のため、エネルギー供給システムの技術開発が急速に進められている。家庭用燃料電池 (PEFC) コージェネレーション、業務用マイクロタービン

(MGT)、太陽光発電など分散型発電システムの構築である。これらの技術は、既存の社会システムのなかで競合をともなうものであり、法規制、経済性、安全性、資源確保などの要因も絡み合っていて、CO₂ 削減を最優先させるべき視点での選択基準や普及規模の目標・見通しは、必ずしも明らかにされていない。著者らは前報⁽¹⁾で、文明史における人口とエネルギー消費量、都市構造によるエネルギー消費量について論述した。

京都議定書の削減目標は 1990 年を基準として 2012 年までに 6% の減少であるが、本稿を起草する時点の統計では 2003 年に 7.6% の増加である。

*1 物質工学専攻 (太陽電設 (株) 常勤顧問)

*2 応用化学科

短期的なマクロ経済からはエネルギー消費量は、経済成長率に相関して追従することが判明しており、現状の経済成長率を維持しながら京都議定書の目標をクリアすることは容易ではない。近時、京都議定書の目標をクリアするために、排出権の売買システムが検討されているが、一時的で実態的にエネルギー消費量の削減を指向しない施策は、中長期的にみれば負担の先送りに過ぎない。エネルギー資源に乏しく、開発途上国に比べ一人当たりエネルギー消費量の大きい日本としては、京都議定書の趣旨に則る抜本的な政策のもと、後世に禍根を継承しない実行可能な施策の提言を要する。

現状の経済社会システムを維持しつつ、生命優先の地球環境を保存することはさほど容易なことではない。自由化された市場原理は経済成長が優先するあまり、環境保存のコストは生産者、消費者に自己責任化されず、公共の負担、すなわち社会コストへの転換に流れ、本来的に公正、公平な競争原理が失われつつあり、エネルギーの多量消費と汚染物質に関連していることを見逃してはならない。

日本のエネルギー供給は、電力、ガス事業が法令に基づき地域ごとに寡占体制であり、技術的、経済的に安定性を確保し、日本経済発展期の原動力の役割を果たしてきたことも事実である。市場原理をある程度抑制しつつ、原子力をはじめ先端技術の発電設備、超高压送電や配電ネットワーク、LNG受入基地、ガス導管輸送など大型設備投資を行い、社会的インフラを整備できた。これは法令による技術的、経済的バックアップが自由競争を超えた優位性を現在のエネルギー供給会社に保証していたことによる。

本質的に再生可能でクリーンな太陽光や風力などの自然エネルギーの導入が、いまだ本格的な基幹エネルギーとして位置付けられていないのは、法制面や経済社会システムのハンディキャップが公正、公平な市場原理になじんでいないからである。CO₂排出量についていえば、消費者は省エネルギーによる削減に努力はし得ても、エネルギー転換部門における化石燃料選択の余地は極めて少ない。同様にエネルギー供給者が、浪費を抑制しようと努力しようにも利用者の節約以外に実効性のある処置はとり得ない。この状況を放任すれば、エネルギー転換部門の化石燃料の削減は、経済的採算分岐点と新技術開発の制約領域にとどまらざるを得まい。近年、省エネルギーとし

て脚光を浴びているコージェネレーションなど分散型システムも、一定の効率向上に寄与し得たとしても経済的な制約で普及には限界もみえている。しかも、CO₂排出源と化石燃料資源の消費に変わりはない。地球環境への対応は事後的であってはならない。常に予防的な施策を最優先させ、工学的知見から経済社会システムへのインセンティブを設けることも重要である。

本稿は、京都議定書の制約期間である2012年の家庭用エネルギー需要を推定し、太陽光発電を導入した場合のエネルギー転換部門と分散型システムのCO₂排出量削減効果を比較し、中長期的にも自然エネルギー導入の有効性を検証しようとするものである。

2 日本におけるエネルギー消費の実情と動向

2.1 エネルギー需要に関連する指標

エネルギー消費は経済活動、産業構造、ライフスタイルなどさまざまな要因で変化する。日本のエネルギー需要と相関性の高い指標を時系列で図2-1に示す。図2-1の左縦軸は1970年を基準としたエネルギー消費総量であり、右縦軸は1973年を基準としたGDP・原油価格である（総合エネルギー統計、エネルギー・経済統計要覧より作成）。

1973年以後の2度にわたるオイルショックを含む社会情勢のなかで、GDP・原油価格の変動とともに、最終エネルギー消費部門の産業、民生（業務）、運輸、電力の消費量が省エネルギー活動で抑制されたことがわかる。

また、民生（家庭）と電灯の変動が小さく、生活者にとってエネルギーは食糧と同じように常に確保されるべき資源であり、かつ一定の比率で上昇傾向が見られるのは、「豊かで快適な暮らし」への指向の強さを窺わせるものである。

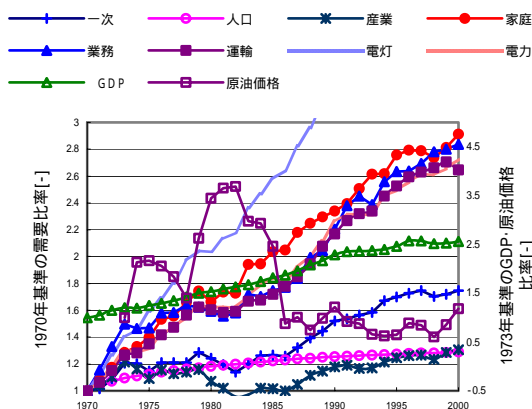


図2-1 日本のエネルギー需要関連指標

2.2 民生部門エネルギー消費量の推移

図 2-2 (総合エネルギー統計より) に最終エネルギー部門の時系列構成比を示す。業務は事務所、ビル、サービス業種を対象にしたものであるが、家庭とともに民生部門に属し、IT、冷暖房、床面積の増加により、ライフスタイルの転換と密接に関連し増加の傾向にある。多くの統計より、業務用を含めた大口電力に比べて、家庭用の電灯需要が構成比を高めており、今後の情報通信、空気調和、生活関連商品の技術開発の進歩により、さらなるエネルギーの有効活用が、本質的かつ重要な課題であることを示唆している。

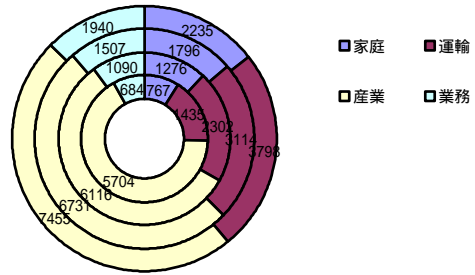


図2-2 業種別エネルギー消費量の推移(単位:PJ)
(内側より1970年/1980年/1990年/2000年)

3 家庭エネルギー消費の特徴

3.1 都市構造や地域の違いによる家庭エネルギー消費量

図 3-1 (家庭用エネルギーハンドブックより) に5都市のエネルギー消費量を時系列で示す。東京、横浜、京都、北九州は人口、産業構造、歴史的風土の異なる都市であるにもかかわらず、ほぼ同じ水準である。札幌だけ抜きんでてエネルギー消費量が高いのは、冬期間の暖房によるものである。都市化と家庭用エネルギー消費量には大きな関連はないように見える。

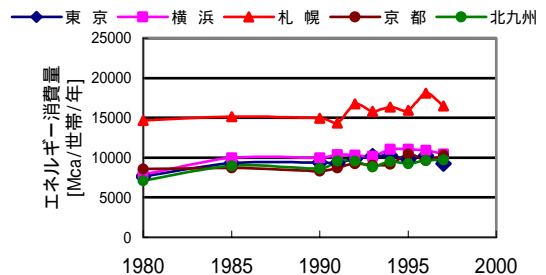


図3-1 5都市の家庭エネルギー消費量の推移

図 3-2 (家庭用エネルギーハンドブックより) に関東と北海道の地域に分け、家庭エネルギーを用途別(冷暖房を除く)に比較する。エネルギーの消費を電気と熱に区分することは、エクセルギーの有効活用や電熱比の制御の検討に必要である。

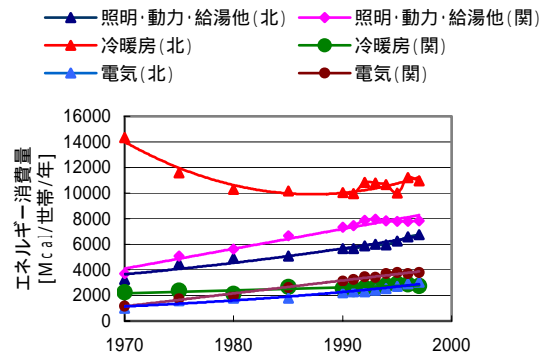


図3-2 関東・北海道の家庭エネルギーの用途別エネルギー消費量

家庭用エネルギー消費量の総量から冷暖房を除いた用途別の照明・動力、給湯は、関東と北海道に若干の差異しか認められず、冷暖房がエネルギー消費量の大きな差になっている。電気使用量に若干の差異が認められるのは、関東地域の電気による冷房や電化率の高さが影響しているものと見られるが、中長期的に電熱比を量的に区分できる根拠はみられない。

3.2 世帯構成員数とエネルギー消費量

図 3-3 に世帯当たりの構成員数と用途別から冷暖房を除く照明・動力、給湯の一人当たりエネルギー消費量の推移を示す。いずれも若干の地域格差はみられるものの中長期的な予測としては差異を考慮する必要はない。

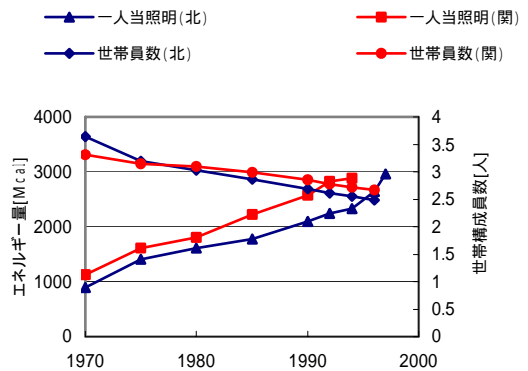


図3-3 世帯員一人当たりの照明・動力・給湯エネルギー消費量

4 エネルギー統計の数量化

4.1 エネルギー統計処理の前提条件

一般的にエネルギーに関するものとして利用される統計は、スポット的な調査データを除いて時系列なものが多い。その中には、歴史的にエネルギー分析以外の目的で集計されたものも少なからずあるため、エネルギー需要予測などに援用するには実績値との相関関係、構造要因、経済指標などに配慮する必要がある。

家庭用エネルギー消費量についても、今後の統計の動向を注視すべきではあるが、中長期的なエネルギー消費量の予測として、地域による用途別の照明・動力、給湯分野と電気での差異は図 3-2 で収縮する傾向にあり、短期的にも大きな差異はないと考えられる。

4.2 エネルギー統計の関数化および数式処理法

家庭エネルギーの消費量の予測は、

- (1) 直線，指数，ロジスティック，ゴンペルツ，遅れ S 字曲線で近似し関数数式化する
- (2) エネルギー消費の年間伸び率から，時系列的に消費量を予測する

- (3) 経済関連指標とエネルギー消費量の関連から，弾性値により消費量を予測する
- があげられる。経済状況など環境の要因変動にも援用するため，家庭用エネルギー消費量の予測は(3)方式を採用する。

4.3 弾性値モデルによる家庭エネルギー消費量の予測

時系列データのエネルギー消費量を E，家計所得を Y，弾性値を ϵ とすると，

$$\ln(E) = \epsilon \ln(Y) \quad (4-1)$$

両辺を時間 t に対し微分すると

$$d(\ln(E))/dt = \epsilon d(\ln(Y))/dt \quad (4-2)$$

$$dE/Edt = \epsilon dY/Ydt \quad (4-3)$$

すなわち，弾性値 ϵ は

$$\epsilon = (dE/E)/(dY/Y) \quad (4-4)$$

を得る。 ϵ はエネルギー消費量の増加割合と家計所得の増加割合の比になる。時系列データを回帰分析で整理すれば，家庭エネルギー消費量の増加率は家計所得の増加率に弾性値 ϵ を乗じたものとなる。

5 所得と世帯当たり家庭エネルギー消費量の実績と予測

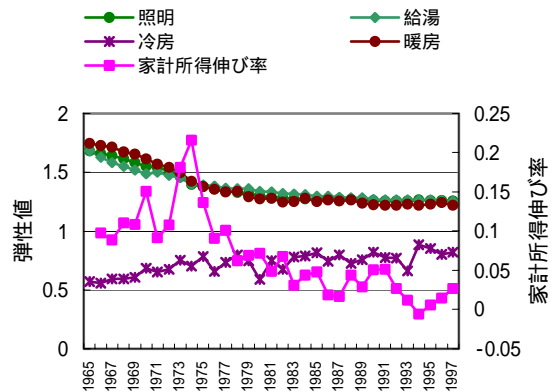


図5-1 家計所得と用途別弾性値

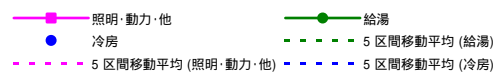


図5-2 家庭用用途別エネルギー消費量の増加

5.1 家庭エネルギー消費量の回帰分析

全国の家計エネルギー用途別の消費量について，1965年から1997年までの家計所得（勤労者実収入）の伸び率とエネルギー用途別弾性値を図 5-1 に示す。

表 5-1 全国と北海道の世帯あたりの 2012 年予測エネルギー消費量(単位: Mcal/(世帯・年))

項目	全国	北海道
動力・照明他	4,340	5,748
冷房	784	0
給湯	4,525	3,891
暖房	2,511	10,192
合計	12,160	20,192

用途別弾性値は照明・動力，給湯が 1980 年から収斂の傾向にあり，家計所得伸び率との相関が読みとれる。冷房設備は未だ発展期にあり上昇傾向にある。

1970 年から 1997 年の回帰分析による家計所得

伸び率は 0.567, 弾性値は照明・動力が 0.359, 給湯が 0.511 となり, その積にあたる年間増加率は照明・動力で 2.0%, 給湯で 2.9% になった。

5.2 家庭エネルギー消費量の実績と予測

図 5-2 に家庭用用途別のうち照明・動力 給湯, 冷房エネルギー消費量の増加率を示す。冷房の増加率は変動が大きく, 線は割愛した。各年の変動が大きいので 5 年間の 5 区間移動平均値でみると照明・動力, 給湯の年間増加率は 3% 以内に収斂するようにみえる。冷房の年間増加率は変動が著しく判別し難いが長期的には定常値に収斂する筈のものである。マクロにみてエネルギー消費量は経済状況と技術動向に大別できれば有効な説明要因になる。家庭用エネルギー消費量の弾性値は定常値に収斂されつつあり, エネルギー消費量は家計所得の変動に置き換えただけにみえる。今後は経済の高度成長期と異なり家計所得の高い伸び率は期待できないまでも, 新用途の開発などで弾性値の高いエネルギー消費構造が到来する可能性もある。照明・動力, 給湯, 冷房の年間増加率を 2%, 暖房は 1990 年から 1997 年の平均値として 2012 年のエネルギー消費値の予測を表 5-1 に示す。

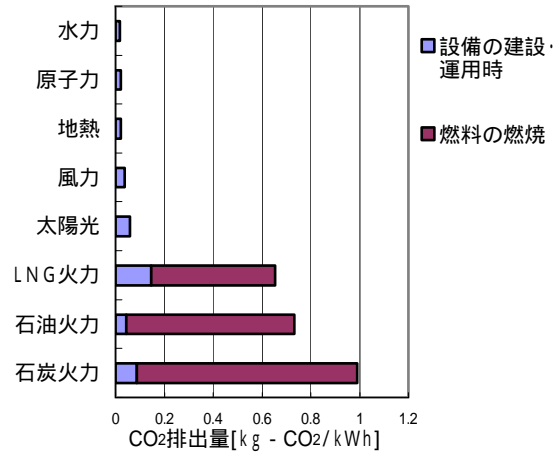


図6-1 電源別のCO2排出原単位

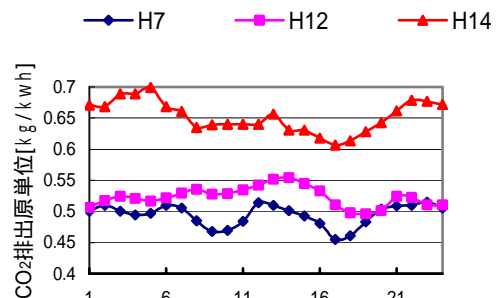


図6-2 北海道におけるピーク日のCO2排出原単位

6 家庭のCO2削減に影響を与える 発電方式の差異

6.1 発電方式別CO2排出量

発電方式部門のCO2排出は設備の建設, 運用によって発生するものと, 燃料の燃焼によって発生するものがある。前者は原料の採掘, 建設, 輸送, 精製, 運用, 保守など電源の立地条件で異なるものであり, 発電方式別にCO2排出量を算出することは煩瑣である。一般的な日本の発電方式別CO2排出量を図 6-1 に示す。

6.2 電力需要量とCO2発生量

電力需要は季節別, 昼間と深夜など時間別, 平日と祝休日別などで変化し, CO2排出量も電源の稼働率により変動する。また, 原子力など大規模電源の設置・廃止なども稼働率変化の要因になる。一般的に, 日本の電力需要は冷房が稼働する夏がピーク時期であるが, 気候の異なる北海道は照明・動力と暖房の重なる冬季間に発生する。平成 14 年は 12 月 11 日に最大需要を記録した。北海道地域の冬季ピーク日の電源構成からCO2排出量の

時間別原単位は図 6-2 を導くことができる。ちなみに, 北海道で原子力が本格的に稼働したのは平成元年であり, 次期の増設稼働は平成 19 年の予定である。原子力発電方式はCO2削減には大きく寄与する。

7 太陽光発電の導入設備容量

7.1 太陽光発電の出力と余剰電力の産業・業務用への振替

太陽光発電は陽射しの強い日中に最高出力を示し, 家庭の電力使用時間との間に時間的ズレがあるので, 太陽光で発電した余剰電力は, 産業やサービス業, 事務所ビルなど日中の電力消費の多い業務用電力に振替えれば, 化石燃料の消費低減が可能になる。CO2削減には, 増加傾向にある家庭用エネルギー消費量と産業・業務用エネルギー消費量の互換性を考慮した政策が不可欠である。

7.2 太陽光発電の導入条件と供給可能容量

石炭火力発電はベース電源に適しているが, エネルギー変換効率も低く, CO2排出量も多い。こ

れに対しコンバインドサイクルである石油やLNG火力発電は、運転・停止や負荷変動への対応も容易である。日射の影響を受ける太陽光発電は、負荷変動に追従できる電源との組合せで、設備容量を増加することが可能である。CO₂発生量の大きい石炭火力発電を石油、天然ガス発電にシフトするには、発電に関する世界的合意を要するので、太陽光発電の互換性の対象としては既存の石油、天然ガス発電に限定する。太陽光発電の特性から、つぎの仮定を設ける。

(1) 設備容量は、石油もしくは天然ガス火力と調整・貯水力で変動可能な領域とみなす

(2) 太陽光が利用できる時間は、正午をピークとする日中の8～16時の間とする

(3) ベース出力は、流れ込み式水力、地熱、原子力、海外炭、国内炭とし、年最高ピークを基準に40%とする

(4) 太陽光発電電力量は正午を最大とし、年間発電量は札幌市南区真駒内で実測された 3311kWh/年^{(*)2}を想定する。

太陽光発電の供給可能容量(最大限の設備可能容量)と年間発電量を算出するため供給電力モデル^{(*)3, (*)11}を想定する。モデルは年間ピーク電力を基準として、汎用に供するためパーセント表示で算出する。図7-1は基準に対する日負荷ピーク率(正午発電率)により5パターン(50, 55, 65, 75, 85%)に分類した。供給可能容量は分類巾で一定値とし、分類毎の正午発電率より瞬間変動調節電力量を考慮し、可能発電係数(年間可能発電率)が求まる。年間可能発電係数からパーセント表示の供給可能容量に応じた年間発電量、CO₂排出原単位を図7-2に示す。

7.3 太陽光発電システム導入によるCO₂排出原単位の予測

2012年における北海道の電力需要は、最大電力603万kW・販売電力量339億kWh(北電HP)と予測されている。

電源構成も記載されているので、図6-1の電源別のCO₂排出原単位と太陽光発電を導入した場合のCO₂排出原単位から2012年のCO₂原単位を予測してみる。データにあったオリマルジョンの構成比が3.36%と小さく、CO₂排出原単位が不明なので石炭火力と同等とみなした。石炭を継続使用するケースのほか、参考値として石炭を石油に転換するケース、石炭を天然ガスに転換するケースを図7-3に示す。

全国の電源構成のCO₂排出原単位は、経済産業省資源エネルギー庁「平成14年度長期電力供給計画の概要」から、一般事業用の発電電力量10820億kWhとして、0.396 kg-CO₂/kWhと推算できる。

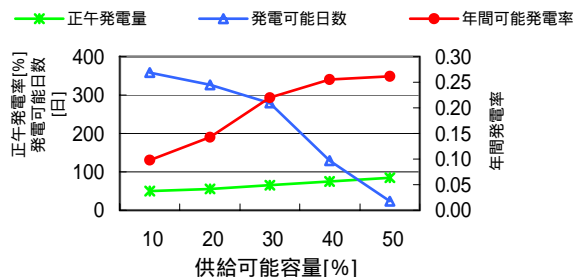


図7-1 太陽光発電導入の分類パターンと基本指数

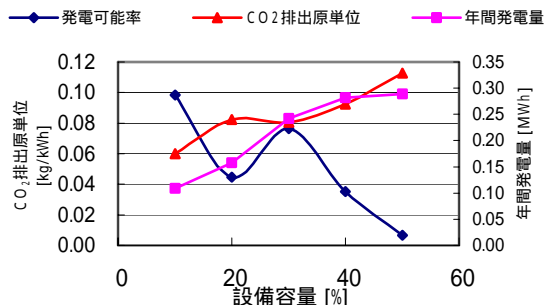


図7-2 太陽光発電設備容量とCO₂排出原単位

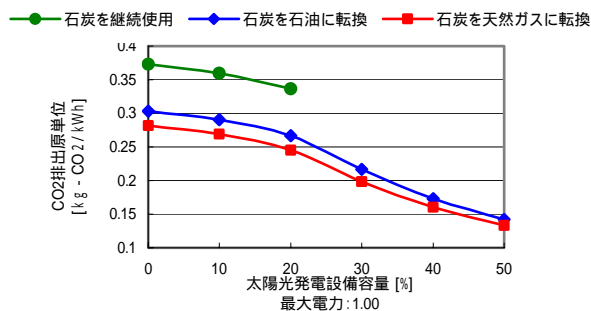


図7-3 北海道(2012年)の電源構成とCO₂排出原単位

8 家庭用エネルギー消費量とCO₂排出量の最小化

8.1 一次エネルギー(石油/天然ガス)の削減量

家庭用の用途別エネルギー消費量を図8-1^{(*)4}のように定める。

図8-1の各効率を次のように仮定する。
電気冷房の成績係数：2.5
廃熱冷房の成績係数：1.0
商用電力の効率：0.36

分散システムの効率：0.36

廃熱利用：0.4

として，一次エネルギー消費量をパラメータに分散システム発電量 x とコジェネレーション廃熱・石油/天然ガスによる冷房 y からなる目的関数 $F(x,y)$ から算出する。

$$F(x,y) = 1/0.36 * (A + (B - y)/2.5 - x) + x/0.36 + C + y - 0.4/0.36 * x$$

$$= 1/0.9 * (-1.0x - 0.1y + 2.5A + B + 0.9C)$$

ただし，

$$0 \leq x \leq A + (B - y) / 2.5$$

$$0 \leq y \leq B$$

$$0 \leq C + y - x$$

これを解いて，

$$x = A + B / 2.5$$

$$y = 0$$

のとき， $F(x,y)$ は最小になり

$$\text{Min } F(x,y) = 1.5A + 0.6B + C$$

が得られる。

この解は，分散型システム（家庭用コジェネレーション）では，用途別の照明・動力と冷房を電力で，給湯と暖房をガスと廃熱処理を行うことで一次エネルギーが最小になることを意味している。商用電源，分散システムのエネルギーを天然ガスで供給し，家庭用の給湯・暖房ボイラ効率を0.8と想定し，図8-2に2012年の全国と北海道の一次エネルギー消費率を，家庭用コジェネレーションの有無で比較した。図8-2は全国の所得増加を2%，コジェネレーションを行わない一次エネルギー消費率を1.0とした。この値は北海道の所得増加無しでコジェネレーション有りと同様である。

8.2 CO₂排出量の削減

CO₂排出量について，従来システムを $E_c(x,y)$ ，分散システムを $F_c(x,y)$ とすると，

$$E_c(x,y) = (A + B/2.5) / 860 * \text{CO}_2 \text{ 排出量原単位} + C/0.8 * \text{CO}_2 \text{ 排出係数}$$

（天然ガスのCO₂排出係数：1/13000*44/16 とする）

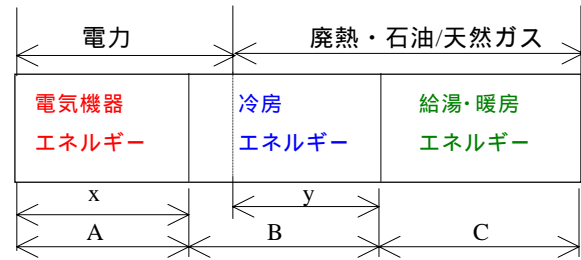
$$F_c(x,y) = F(x,y) * \text{CO}_2 \text{ 排出係数}$$

$$= (1.5A + 0.6B + C) * \text{CO}_2 \text{ 排出係数}$$

となり，CO₂排出原単位で優劣がきまる。

9 住宅用太陽光発電システムの課題

家庭エネルギー消費量増加に伴うCO₂排出量



A:電気機器エネルギー B:冷房エネルギー C:給湯・暖房エネルギー

x :分散型システム発電量 y :廃熱・石油/天然ガスによる冷房

図8-1 線形計画法とエネルギー

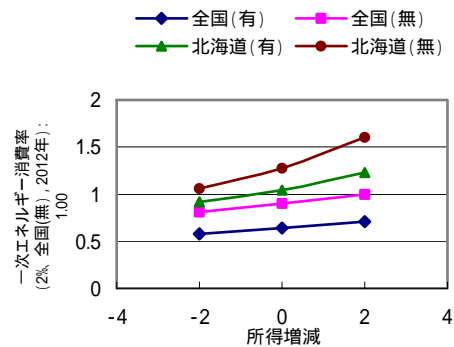


図8-2 世帯当たり所得増減と家庭コジェネレーションの有無による一次エネルギー消費率

の削減には，電力需要そのものを削減しなければならないというまでもないが，発電方式の変更によるCO₂削減も重要である。

しかし，発電方式の変更には資源の安定確保とベストミックス，原子力など社会的課題も多く，コスト抑制の問題もある。

また，年負荷率など電源構成の設備・運用改善や料金体系の変更もあるが，深夜の石炭稼働などCO₂削減につながらない要因もあり，化石燃料依存への体質変更には社会経済システムのインセンティブが必要である。

燃料電池やLPGや可燃ゴミによるコジェネレーションシステムなど分散型エネルギー供給システムは，近年のエネルギー消費量の急増に対するエースとして，家庭用など小規模なものから，ビル・オフィスなど中規模なものまで開発がすすめられ，実用化の段階に至っている。これらは効率の向上はみられるものの，化石燃料を消費しCO₂を排出するものには変わりはない。

地球温暖化の影響が，目前に迫った21世紀半

ばに到来する可能性を考慮すれば、将来目標の定まらぬまま化石燃料への依存は可能な限り回避するのが賢明ではあるまいか。

10 むすび

太陽エネルギーの活用について、本研究は住宅用発電システムの効用にとどめたが、今後の研究課題として、

- (1) オフィスビル，ホテル，病院など民生業務用に適合する汎用モデルの開発
- (2) 街づくり，都市計画など地域の多様な需要の複合化に最適なモデルの研究
- (3) 太陽光発電設備導入量に関する数値解析手法の精査
- (4) 石油，天然ガス火力の負荷変動巾と設備導入量増加の可能性と定量化
- (5) エネルギー消費量予測と相関性の高い経済要因とCO₂発生に関する寄与度の研究が挙げられる。

参考文献

- (1) 高野 茂・小幡 英二；文明史にみられる人口・エネルギー消費の推移 永続的社会的構築を目指して 開発技報，**46**（2003.10）
- (2) シャープ；社員研修資料
- (3) 電力中央研究所報告；183017 Fig.10 (1983.11)
- (4) 石丸公生；天然ガス燃料電池；日刊工業新聞社（1994.9）
- (5) 縄田和満；Excel による回帰分析 朝倉書店（2001.4）
- (6) 林 茂雄・馬場 涼訳；計測における誤差解析入門 東京化学同人(2000.7)
- (7) 資源エネルギー庁長官官房総合政策課；総合エネルギー統計 平成 13 年度版

- (8) 内閣府経済社会総合研究所；経済要覧 平成 15 年版
- (9) 日本エネルギー経済研究所 計量分析部；エネルギー経済統計要覧 2003 年版
- (10) 総務省統計局・統計研修所；日本の統計 2003
- (11) エネルギー・資源学会；エネルギー・資源ハンドブック（1996.11）
- (12) 小宮山 宏；地球持続の技術 岩波新書（2002.4）
- (13) 佐和隆光；地球温暖化を防ぐ 岩波新書（2002.10）
- (14) 藤田弘夫；都市の理論 中公新書（1998.3）
- (15) 茅 陽一；CO₂削減戦略 日刊工業新聞社（2000.8）
- (16) 北海道電力（株）；北海道電力の現況（2001～2002）改訂版
- (17) エネルギー経済統計要覧；2003 年版
- (18) 宇沢弘文・国則守生；地球温暖化の経済分析 東京大学出版会（1998.2）
- (19) エネルギー・地球フォーラム準備会；地球住環境とエネルギーの有効活用米国調査団報告書（1992.4）
- (20) 日本能率協会総合研究所；産業別にみた中期需要予測（2003.6）
- (21) 資源エネルギー年鑑編集委員会；2003・2004 資源エネルギー年鑑 通産資料出版会（2003.1）
- (22) (株)住環境計画研究所；家庭用エネルギーハンドブック（1999）省エネルギーセンター
- (23) 青木 仁；快適都市空間をつくる 中公新書（2000.6）
- (24) 鈴木耀太郎；職業未来学 日経新書（1969.7）
- (25) 首都圏白書；平成 14 年版（2003.8）