

省エネルギーフォームによる光熱費削減・環境貢献評価プログラムの作成

山下 徹* 古嶋 薫*

Evaluation of the reduction in fuel and light expenses and carbon footprint for energy-saving renovation

Tohru Yamashita*, Kaoru Furushima*

In this study, an evaluation program which calculates the reduction in fuel and light expenses and carbon footprint for energy-saving renovation with no "black-box" was developed. By comparing with the other programs, following results were obtained. (1) The program calculates smaller reduction in fuel and light expenses than that by other programs, though the difference is small. (2) Carbon dioxide emission factor obtained by the program is similar to that published by electric power company.

キーワード：省エネルギーフォーム，太陽光発電システム

Keywords：Energy-saving renovation, Photovoltaic power system

1. 緒言

近年，深刻化する環境問題を背景として，我が国におけるエネルギー政策のあり方を持続可能な社会に適応できる省エネルギー形態に見直す議論が進められている．その中で一般家庭における省エネルギー化として期待されるのがオール電化住宅である．オール電化では，必要とされるエネルギーに対する有効エネルギーが過大なガス機器を極力用いず，周囲の熱エネルギーを利用して熱供給するヒートポンプなどの電化機器に代替することで家庭内での省エネルギー化が期待できる．そのため，多くの企業が新規住宅への初期導入や既存住宅へのリフォームによる導入に向けて取り組んでいる．

オール電化で必要となるエネルギー源は電気エネルギーである．前述したエネルギー政策のあり方の見直しにおいては，電気エネルギーの生産供給に関して環境負荷の小さい大規模エネルギー源として期待されていたのは原子力発電であった．しかしながら，2011年3月の東日本大震災に伴って発生した福島原子力発電所事故，およびその後の国内原子力発電所の再稼働停止によって，原子力発電の存在自体が危ぶまれる状態となっており，その結果として現在は，風力発電や水力発電，太陽光発電，潮力発電など自然エネルギーを利用した発電形態への注目が集まっている．中でも太陽光発電は，設置箇所が限定される風力発電や水力発電などと異なり，新築住宅は当然ながら，既に建てられた住宅の屋根など現在デッドスペースとなっている場所にもリフォームによって設置することができる．また，そ

れ自体に回転体など摺動部がないためにメンテナンスが極めて容易であることもあり，国家戦略の1つとして国会にて太陽光で発電した電力の買い取り法案が可決されるなど，その利用促進が強化されている．以上のことから，近年，オール電化の施工においては，太陽光発電と併せたりフォームプランを提案する業者も少なくない．しかしながら，その設置に際しては戸建て住宅の場合，最低でも300万円程度の費用が必要であり，設置に際してはコスト面でのシビアな検討を余儀なくされる．そのため，オール電化や太陽光発電システムの導入による光熱費の計算シミュレータをホームページ上などで提供する企業もあるが，自社が取り扱う太陽光パネルしか選択できない，設置方法を詳細に設定できないなど入力項目の制限が多く，また計算自体も不明な点が多い．

以上を背景として，本研究では，利用者がオール電化リフォームや太陽光発電システムの導入において最も関心がある光熱費の削減額および導入したことによる環境貢献度を計算するプログラムの作成を目的としている．特に，プログラム内容については，計算方法のブラックボックス化を避けるため，一般に公開されているデータと作成者が容易に編集可能な最低限の情報にもとづいて計算が行なわれる仕様としている．

2. プログラムの概要

図1は，本研究で作成したプログラムの計算の流れを示したものである．本計算プログラムの利用者は，まず最初に電気およびガスの契約条件とそれぞれの1月当たりの利用料金の入力を行なう．さらに，リフォームプランを選択し，電化する項目の選定を行なう．加えて太陽光発電を導入する場合は，導入を行なう地域の選択や導入するシステ

* 機械知能システム工学科
〒866-8501 熊本県八代市平山新町2627
Dept. of Mechanical and Intelligent Systems Engineering,
2627 Hirayama, Yatsushiro-shi, Kumamoto, Japan 866-8501

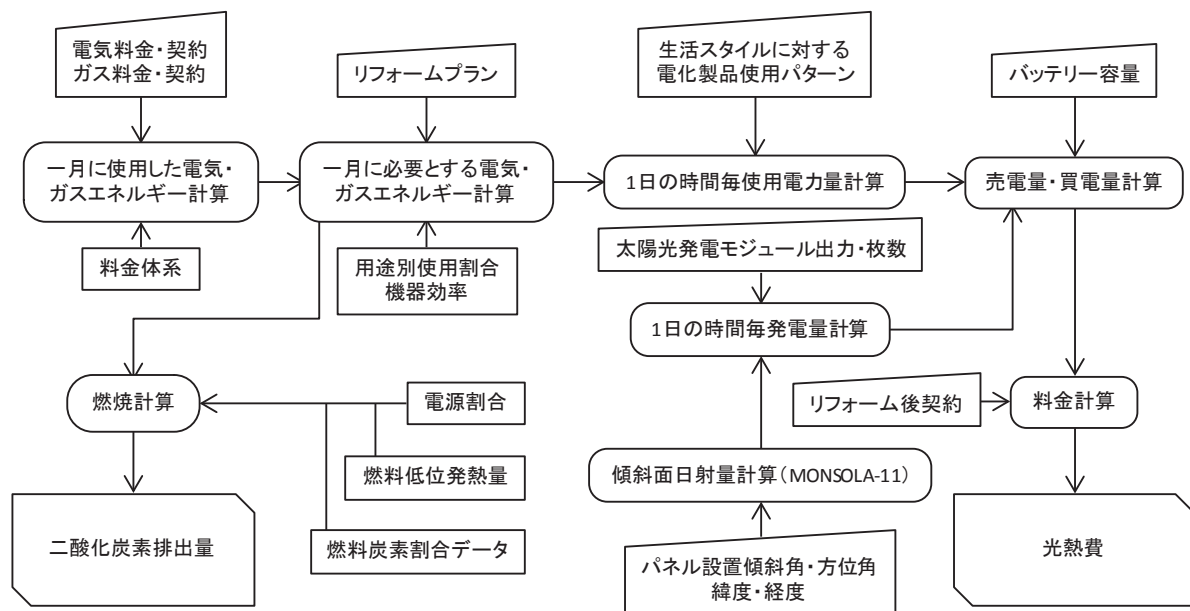


図1 計算プログラムでの光熱費および二酸化炭素排出量計算の流れ

ムについて追加入力を行なう。

計算プログラムでは、まず電気とガスの契約条件および利用料金にもとづいて1ヶ月での使用電力量と使用ガス量の計算を行なう。次に、それぞれについて一般家庭での用途別の使用割合およびリフォームで電化するガス機器についてはさらに各機器の一般的な効率を用いることで、実際に必要としたエネルギー量を用途別に求める。太陽光発電システムを導入する場合は、太陽光発電の出力や設置・地域情報をもとに日射量および発電量の計算が行なわれる。リフォーム後の計算では、時間毎の使用電力量および使用ガスエネルギー量と契約条件から電気代およびガス代が計算される。太陽光発電システムを導入する場合は、売電による利益も考慮される。

環境貢献度の評価には二酸化炭素排出量を用い、使用するエネルギー量を生成するために燃焼した燃料からの二酸化炭素生成量を燃焼計算より求める。

なお、本計算で用いる電気料金体系については、九州電力の従量電灯 B（10～60A）および電化リフォーム向けの契約である季特別電灯、時間帯別電灯、ピークシフト電灯を対象とした。ガスについては、プロパンガスと都市ガスの2種類について九州圏内のガス会社の料金体系を調査してこれを対象とした。

2.1 1か月に使用したエネルギー量の計算

電気料金は、基本料金と従量料金に分けられる。例えば最も一般家庭で契約数の多い従量電灯 B では、基本料金は契約アンペア数により決まり、従量料金は、使用した電力量によって1 kWh あたりの電気単価が段階的に変化する。季特別電灯やピークシフト電灯などではさらに時間帯によって電気単価が異なり、夜間の時間帯ほど電気単価は下

がる。また1996年より、為替レートや原油価格の急激な変化など経済情勢の変化を迅速に電気料金に反映させることを目的として使用電力量に対して燃料費調整単価が導入されている。さらに自然エネルギー利用の促進を図ることを目的に2010年には太陽光発電促進付加金、2012年には再エネ賦課金が使用電力量に対して導入された。以上をもとに、例えば従量電灯 B の場合、電気料金 Y_e に対する使用電力量 E_{em} は次式にて計算される。

$$E_{em} = (Y_e - Y_{eb}) / (EC + C_f + C_r + C_s) \quad \cdots \cdots (1)$$

ここで、 Y_{eb} は契約アンペア数に対する基本料金、 EC は電気単価、 C_f は燃料費調整額、 C_r は再エネ賦課金、 C_s は太陽光発電促進付加金である。電気単価は前述の通り、使用電力毎に段階的に変化する。

ガス料金も電気料金と同様に、基本料金と従量料金に分けられる。九州圏内の多くのガス会社の料金体系によると、プロパンガスの場合、基本料金および従量料金となる1 m³ あたりのガス単価はガスの使用量に依らず一定額である。一方、都市ガスの場合は、そのほとんどが基本料金とガス単価ともに使用ガス量により段階的に変化する料金体系となっている。例えばプロパンガスの場合、ガス料金 Y_g に対する使用ガス量 V_g は、次式にて計算される。

$$V_g = ((Y_g - C_g) \times 100 / (100 + C_i) - Y_{gb}) / G_c \quad \cdots \cdots (2)$$

ここで、 Y_{gb} は基本料金、 G_c はガス単価、 C_g はガス警報器リース代、 C_i は消費税率である。

さらに、ガスについては1 m³あたりの発熱量 H_g がガス会社より公表されており、これを用いると、使用ガスエネ

ルギー量 E_g が算出される。

$$E_{gM} = V_g \times H_g \dots\dots\dots (3)$$

1ヶ月に使用したエネルギー量は、上記より求めた1ヶ月に使用した電気エネルギー E_{eM} とガスエネルギー E_{gM} の和となる。

2.2 オール電化プランについて

オール電化リフォームとは、家庭内における全てのエネルギーを電気に統一することである。一般的には、主たるガス機器であるガスコンロ、ガス給湯およびガス暖房が、ヒートポンプ式給湯または電気温水器、IH 調理器およびエアコンへと代替設置される。

本計算プログラムでは、前節にて得られた使用ガスエネルギーを用途別に分け、各種機器の一般的な効率をもとに、実際に必要としたエネルギー量がかわらないものとして、オール電化した際に必要となる電気エネルギー量 E_{eM} を次式にて計算する。用途については、我が国で公表される統計データに多くみられる暖房、給湯および厨房の3項目での分類とした。

$$E_{eM} = (r_g E_{gM} \times \eta_g) / \eta_e \dots\dots\dots (4)$$

ここで、 r_g はそのガス機器の使用用途割合、 η_g はそのガス機器の効率、 η_e は代替設置した電化製品の効率である。

以上より得られた代替の電化製品の使用電気エネルギーと元々の使用電力量を合算することで、リフォーム後に1ヶ月で必要とする電力量が得られる。

2.3 リフォーム後の電気料金について

多くの一般家庭では省エネリフォーム後、電気料金の契約を、夜間の時間帯で電気単価が安くなるプランに変更する。九州圏内では九州電力が提供する季特別電灯、時間帯別電灯、ピークシフト電灯がこれに相当する。これらのプランでは時間帯によって電気単価が安くなるため、リフォーム後の電気料金を推算するためには、家庭における各電化製品の時間帯ごとの使用状況を知る必要がある。

本計算プログラムでは、リフォーム前の使用電気を多くの統計データで使われている冷房、暖房、給湯、厨房および照明・その他の5項目での用途別の使用割合を用いて電力量を振り分け、ガス機器から代替した各電化製品の使

表1 各用途別に想定した電化製品と1日での使用パターン

用途	主たる電化製品	使用時間
冷房	エアコン	0:00 - 24:00
暖房	エアコン	0:00 - 24:00
給湯	電気温水器	20:00 - 21:00
厨房	冷蔵庫	0:00 - 24:00
照明・その他	照明	18:00 - 24:00

用電力量と合算して、使用用途別の使用電力量を求める。次に、それぞれの用途に対して代表的な電化製品を想定して用意された1日における使用パターンを選択または修正入力することで、1日における時間毎の使用電力量を求める。表1に、各用途に対して想定した電化製品と1日での使用パターンを示す。

2.4 太陽光発電について

太陽光パネルを用いた発電については、設置する場所の緯度および経度、パネル設置面の傾斜角および方位角に対する傾斜面日射量を計算する必要がある。

本計算プログラムでは、傾斜面日射量の算定に必要な日射量データベースとして、独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構（NEDO）が公表している年間月別日射量データベース（MONSOLA-11）を用いる。MONSOLA-11は、国内837地点の1981年から2009年までの29年間での測定データをもとに平均年、多照年および寡照年における月平均の日射量データを整備したものである。本計算プログラムでは、MONSOLA-11より平均年での月平均日積算水平面全天日射量、月平均積算水平面天空散乱日射量、平均気温および積雪10 cm 以上出現率を用いて、まず各時角毎の水平面での全天日射量、直達日射量および天空散乱日射量を求め、さらに太陽高度と太陽電池面入射角をもとに、時間毎の傾斜面での直達日射量、天空散乱日射量および反射日射量を求める。傾斜面日射量 $H_{\beta\gamma}$ は、次式で与えられる。

$$H_{\beta\gamma} = H_{b\beta\gamma} + H_{s\beta\gamma} + H_{r\beta\gamma} \dots\dots\dots (5)$$

ここで、 $H_{b\beta\gamma}$ は傾斜面直達日射量、 $H_{s\beta\gamma}$ は傾斜面天空散乱日射量、 $H_{r\beta\gamma}$ は傾斜面反射日射量である。計算は、NEDO 標準気象データベースの解説書に従って行なう。

太陽光パネルにおける発電量の推算については、JIS C8907「太陽光発電システムの発電電力量推定方法」にしたがって計算を行なう。ただし、後述する売電および買電に関連して、時間毎の発電量 E_p が必要であるため、JIS C8907に規定されている月間システム発電電力量の式を次式に示すように時間毎に適用する。

$$E_p = K' \times K_{pt} \times P_{MS} \times n \times H_{\beta\gamma} / G_s \dots\dots\dots (6)$$

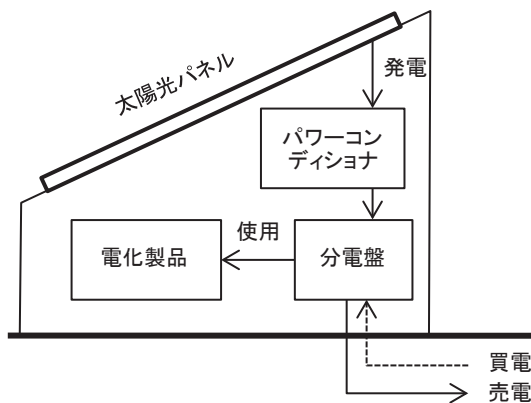
ここで、 K' は基本設計係数、 K_{pt} は温度補正係数、 P_{MS} は太陽電池モジュール1枚当たりの標準試験条件における出力、 n は太陽電池モジュール枚数、 G_s は標準試験条件における日射強度である。月毎の発電量および年間の発電量は、上式で求めた発電量を積算することで求める。

2.5 太陽光発電にともなう売電および買電について

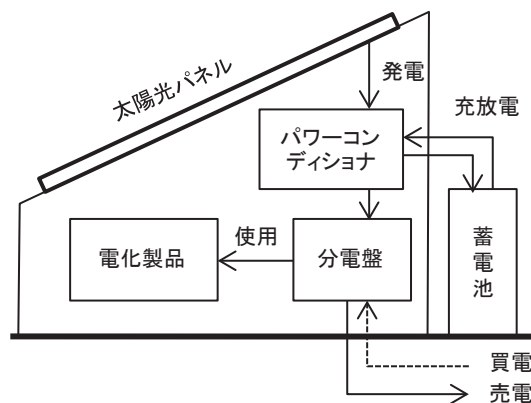
太陽光発電システムの導入を利用者が判断する主たる基準としては、導入にかかるイニシャルコストをどの程度の

期間で償却できるか，すなわち導入することによる光熱費の削減額が挙げられる．そのためには，導入したシステムにおける売電と買電のバランスを知ることは極めて重要である．

図2に示すように，太陽光発電システムには，充電用バッテリーを持たない場合と持つ場合の2種類がある．充電用バッテリーを持たない場合は，昼間に太陽光パネルで発電された電力はその一部を家庭用電源として利用され，残りは全て電力会社へ売電される．夜間は太陽光パネルでの発電がないため，電力は全て電力会社からの買電となる．一方，充電用バッテリーを持つ場合は，昼間に太陽光パネルで発電された電力はその一部を家庭用電源として利用されるとともに，一部は充電用バッテリーに充電される．このときバッテリーが満充電の場合，残りは全て電力会社へ売電される．夜間の電力は充電用バッテリーから供給され，もしバッテリーの充電が切れた場合のみ，電力会社からの買電となる．本計算プログラムでは，上述した時間毎の消費電力量および発電量を用いたエネルギーバランスにより，買電量および売電量の推算および1月当たりの積算を行なう．買電については，電気料金の契約によって時間帯毎の電気単価を用いて，1月当たりの電気料金を推算する．



(a) 充電バッテリー（蓄電池）なしの場合



(b) 充電バッテリー（蓄電池）ありの場合

図2 太陽光発電システム

・充電用バッテリーを設置しない場合

発電量よりも消費電力量が小さいとき，差分の電力を売電する．発電量よりも消費電力量が大きいとき，差分の電力を買電する．

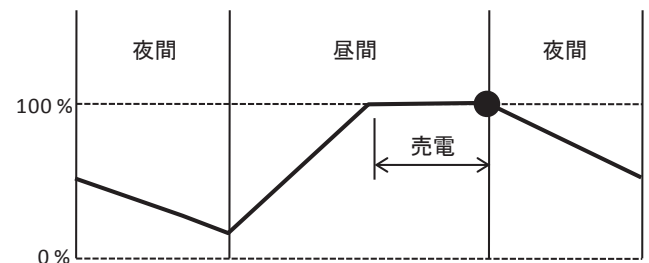
・充電用バッテリーを設置する場合

現在，太陽光発電システムの充電用バッテリーとしては自動車用の鉛蓄電池が多く使われている．本計算プログラムでは，バッテリー電圧と無日射時に電源供給が保証される日数を入力することによって得られる最適なバッテリー容量をもとにバッテリーの充放電を考慮した電力のエネルギーバランスにより買電量と売電量を求める．例えば，オール電化にした場合の最適なバッテリー容量 C_B は，次式にて計算する．

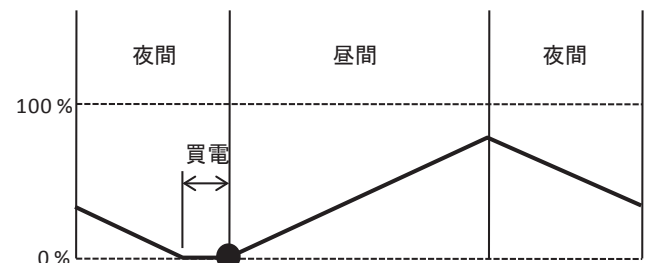
$$C_B = (E_{ed} + E_{edD}) \times d / (\eta_i \times \eta_m \times \eta_d \times V_B) \quad \cdots \cdots (7)$$

ここで， $(E_{ed} + E_{edD})$ は1日に必要な使用電力量， d は連続無日射保証日数， η_i はインバータ効率， η_m はバッテリー保守率， η_d は放電深度， V_B はバッテリー電圧を示す．

バッテリーの充放電については，1日の使用電力量と発電量の関係によって，図3に示す2通りの運用パターンを想定する．運用パターンに対し，時間毎にエネルギーバランスを考えることで，売電量と買電量を求めることができる．



(a) 1日の発電量が使用電力量より大きい場合



(b) 1日の発電量が使用電力量より小さい場合

図3 バッテリー運用パターンの一例

2.6 二酸化炭素排出量の計算

近年、地球規模での二酸化炭素排出量の増加による環境問題が深刻化している。電力およびガスによるエネルギーの利用は、石油や石炭、天然ガスまたは灯油等の化石燃料の燃焼による二酸化炭素の排出をとまなう。本計算プログラムでは、省エネリフォームの前後で使用エネルギーに対する二酸化炭素の排出量を計算することで、リフォームによる環境保全への貢献度の提示を行なう。

ガスの使用に対しては、プロパンガス、都市ガスともにガスの成分表が公表されており、燃焼計算によって得られるガス1 m³の燃焼あたりに排出される二酸化炭素量の係数を用いて計算する。

電力使用による二酸化炭素排出量は、全て火力発電によるものとする。その他の原子力発電や水力発電、地熱発電等については、施設の建設や維持に多少の二酸化炭素排出はあるものの、火力発電と比較すると20分の1以下程度と小さいため無視するものとする。

使用電力量と一般に公表されている各種電源の割合をもとに、石炭火力発電、石油火力発電、天然ガス火力発電によって得た使用電力量が得られる。さらに、各火力発電の発電端効率および送電損失より使用電力量を発電するために必要としたエネルギー量、つまり燃焼させた化石燃料の燃焼エネルギーが得られる。例えば石炭火力発電の場合、オール電化にした場合の1月に必要としたエネルギー量 E_{nm} は次式となる。

$$E_{nm} = (E_{em} + E_{eam}) \times r / (\eta_l \times \eta_p) \dots\dots\dots (8)$$

ここで、 r は全て発電形式に対する石炭火力発電の発電割合、 η_l は送電効率、 η_p は発電端効率である。本計算では送電効率を97%、石炭火力と石油火力の発電端効率を40%、天然ガスについては、コンバインドサイクル発電の普及を考慮して45%とした。

燃焼計算によって二酸化炭素排出量を計算するためには使用する燃料に含まれる炭素割合が必要である。本計算プ

ログラムでは、公表されている各火力発電で使用される燃料の低位発熱量をもとに国内外の産地別にまとめられた燃料成分データベース⁽¹⁾ から最も低位発熱量に近い燃料を選択し、その燃料の炭素割合をもとに燃焼計算を行なう。表に、データベースより選ばれる各燃料の成分の一例を示す。各燃料に含まれる炭素が完全燃焼するものとする、1月に排出される二酸化炭素排出量 W_{co2} は、次式で示される。

$$W_{co2} = (E_{nm} / H_g) \times c \times 44/25 \dots\dots\dots (9)$$

ここで、 E_{nm} は1月に必要としたエネルギー量、 H_g は燃料の低位発熱量、 c は燃料に含まれる炭素割合である。

3. 考察

今回製作した光熱費の計算プログラムと、他社が提供するプログラムとの比較を行なった。比較したプログラムは、九州圏内を対象に計算することができるダイキン工業およびパナソニック社の2社である。なお、いずれのプログラムも本計算プログラムと同様に地域や月当たりの光熱費、太陽光システム容量を入力することにより、モデル生活パターンをもとに省エネリフォームによる光熱費削減額および二酸化炭素排出削減量が算出される。しかしながら、いずれも地域は県庁所在地のみの選択であり、リフォーム前後での機器の変更を選択することができない。太陽光パネルの設置についても設置方位や角度の設定が限定的で、異なる方位の屋根に複数枚設置することができない。特に光熱費算定に重要な電力の売買については、電気・ガス料金の料金体系および生活パターンが不明かつ変更できないことから、これらの違いによる時間帯での買電額の変化を考慮することができない等、より詳細な検討を求める利用者のニーズを満たしているとは言い難い。

計算条件は、リフォームプランをオール電化+太陽光発電システム導入とし、太陽光パネルはシステム容量5 kWを南向きに傾斜角30°で設置するものとした。本計算プログラムで設定できるリフォーム後の電気料金契約は時間帯別電灯とした。

図4は、一月の電気料金の平均額を7000円とし、ガス料金の平均額を6000円から10000円と変化させたときのガス料金に対する一月の光熱費額を示したものである。また図5は、ガス料金を6000円で一定とし、電気料金を5000円から9000円と変化させたときの電気料金に対する一月の光熱費額を示したものである。両図より、各種料金の変化に対する光熱費の変化の程度は全てのプログラムでほぼ同程度であることが分かる。また、本計算プログラムより得られる光熱費は他社に比べて常になくなる傾向を示す。しかしながら、ダイキン工業のプログラムと比べても、その差額は最大で1000円程度と導入を検討する上で大きな支障となる可能性は低く、本プログラムでも十分かつより詳細な検討が可能であることがわかる。

表2 代表的な燃料の炭素割合および発熱量の一例

石炭

燃料種類	炭素割合 %wt	低位発熱量 MJ / kg
泥炭（気乾）	41.45	14.9
ブリケット炭（褐炭）	54.29	20.6
れき青炭	61.10	24.5
大同炭	72.49	28.3
ウィットバンク炭	75.20	29.6

石油

燃料種類	炭素割合 %wt	低位発熱量 MJ / kg
アラビアンライト原油	85.86	39.86
アムナ原油	86.39	43.75

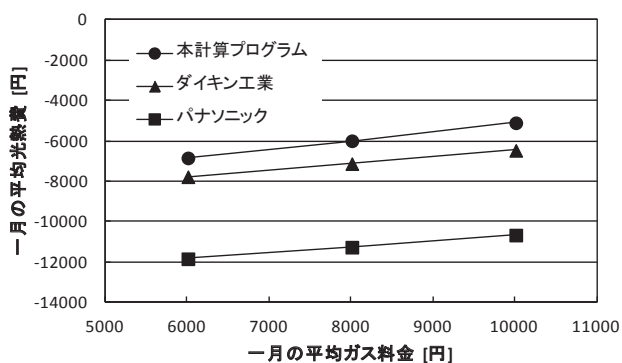


図4 ガス料金の変化に対する光熱費額

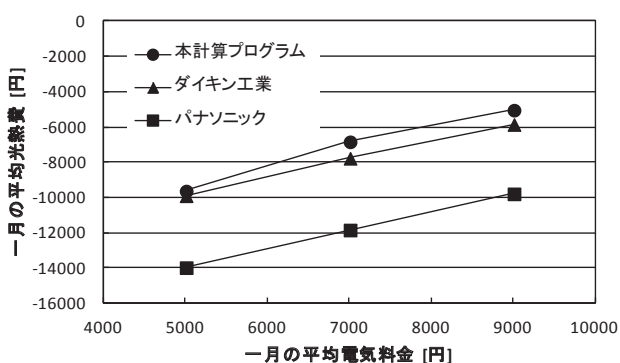


図5 電気料金の変化に対する光熱費額

表3は、2009年度から2011年度にかけての全電源に対する各火力発電割合をもとに本計算プログラムで得られる二酸化炭素排出量と九州電力の公表値を比較したものである。表より分かるように、東日本大震災前および発生後の火力発電への依存度が高くなった2011年度にかけて二酸化炭素排出係数の公表値は大きくなっているが、本計算プログラムで得られた値もほぼ同程度に推移しており、その差は最大でも5%程度である。以上のことから、二酸化炭素排出量の計算についても、ほぼ妥当であることが確認できる。

4. 結言

オール電化ならびに太陽光発電システムの導入を対象とした省エネリフォームに関して、導入予定者が導入による効果を光熱費および二酸化炭素排出の点から事前に評価検

表3 二酸化炭素排出係数の比較

二酸化炭素排出係数 [kg-CO₂/kWh]

	2009	2010	2011
九州電力	0.348	0.385	0.525
本計算	0.357	0.375	0.501

(参考) 九州電力の全電源に対する各火力発電の割合 [%]

	2009	2010	2011
石炭	27	27	31
石油	5	7	13
ガス	18	19	30

討することができる計算プログラムの作成を行なった。以下に結論をまとめる。

- ・本計算プログラムで計算される光熱費額は、他社プログラムが算出する光熱費額に対して高くなる傾向がみられるが、その差は小さく十分な実用性をもつ。
- ・本計算プログラムで燃焼計算にもとづいて得られる二酸化炭素排出量は、電力会社が公表する二酸化炭素排出係数とほぼ同程度の値を示す。

なお、本計算プログラムの利点は、一切の計算がブラックボックス化されておらず利用者が条件を容易に独自編集して利用することができる点、電源割合など設定値が全て公表されているため容易に最新のデータに更新できる点にある。

謝 辞

本計算プログラムの検討および作成にあたっては、グッドハート株式会社（平田 輝雄 代表取締役）からの共同研究資金をもとに実施することができました。ここに厚く御礼申し上げます。

(平成25年9月25日受付)

(平成25年12月3日受理)

参考文献

- (1) 山崎正和，熱計算入門 III－燃焼計算－，省エネルギーセンター（1989）。