

近似式による家庭用燃料電池の効果推定

Advantage Estimation of household fuel cell by using linear approximation formula

柴野 直人†
Naoto Shibano

金田 重郎†
Shigeo Kaneda

井上 怜†
Rei Inoue

1. はじめに

近年、省エネが重要視され、家庭用燃料電池の普及が進んでいる。しかし燃料電池は、動作が複雑であり、結果として、省エネ効果がよく分からないままに、導入されている傾向がある。そこで本稿では、燃料電池の動作を線形近似式で表現することを提案し、近似式によって、燃料電池の導入効果を、容易に推定できることを示す。但し、燃料電池として、効率の高さから注目されている、固体酸化燃料電池(SOFC)を採用している。

2. 研究背景・目的

近年、省エネが重要視され、助成金の設置により、燃料電池の普及が進んでいる。燃料電池は、化石燃料が本来持つエネルギーを無駄なく利用できるため、省エネである。しかし、ほかの省エネ機器と比べて原理が複雑であるため、実際の導入効果について直感的に分り難いという問題を持つ。

本研究では、燃料電池の導入効果を明示するために特性の線形近似式を提案する。燃料電池発電量を線形近似することにより、常に変動する家庭の電力消費パターンを一切考慮せずに、その総電力消費のみから、ただちにガスの量や、沸いたお湯の熱量を推定できる。具体的には、一ヶ月当たりの家庭の総電力消費量を $P_{\text{電気}}[\text{kWh}]$ 、一ヶ月の必要なガス量を $S_{\text{燃料電池}}[\text{kWh}]$ 、一ヶ月間の水の加温熱量を $S_{\text{熱量}}[\text{kWh}]$ とすると、

$$S_{\text{燃料電池}} = 1.52 \times P_{\text{電気}} + 313.59 [\text{kWh}] \quad (\text{式 1})$$

$$S_{\text{熱量}} = 0.68 \times P_{\text{電気}} + 117.31 [\text{kWh}] \quad (\text{式 2})$$

と表せる（式の導入方法は、4.1 章で後述）。燃料電池特性の線形近似で、燃料電池の導入を考慮している家庭に対して、容易に燃料電池の導入効果を推定できる。

3. 燃料電池

燃料電池は、都市ガスを用いた発電と熱を生成し、更にその熱から給湯が可能である。特徴として、家庭の需要電力に応じた稼働が挙げられ、需要電力に応じて電気と熱の生成の効率に大きな差が生じる。図 1 は、NEF[1]で配布された資料の燃料電池の発電効率と発熱効率を示している。それぞれ横軸は、燃料電池の稼働によって一時間あたりに発電した電力である。縦軸は家庭での需要電力を燃料電池によって発電する際、それぞれ都市ガスが持つエネルギーから電気を発電する発電効率と熱を示す発熱効率である。

線形近似式を導出するため、図 1 における横軸の一時間あたりに発電した電気をそれぞれ縦軸の平成 22 年度の発電効率と発熱効率をデジタイザによって取得した。取得したデータを表 1 に示す。また本稿では、発電効率と発熱効率の合計を総合効率と表現する。

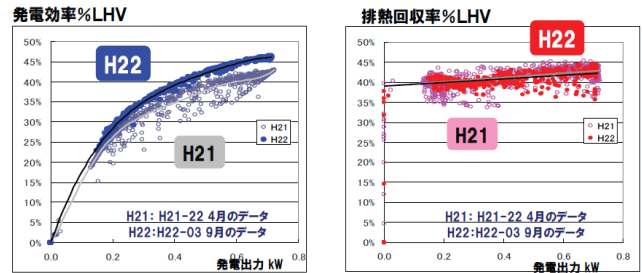


図 1 燃料電池の発電効率と発熱効率

表 1 燃料電池の稼働効率

1 時間あたりに 発電した電気[kW]	発電効率	発熱効率	総合効率
0.05	10.10 %	39.39 %	49.49 %
0.1	16.26 %	39.67 %	55.93 %
0.2	27.03 %	40.27 %	67.30 %
0.3	34.84 %	40.77 %	75.61 %
0.4	39.49 %	41.16 %	80.65 %
0.5	42.16 %	41.74 %	83.90 %
0.6	44.41 %	42.19 %	86.60 %
0.7	46.30 %	42.86 %	89.16 %

3.1 燃料電池の近似式の導出方法

燃料電池は、家庭の総電力消費の総計のみで大方の導入効果を推定できる。特性の線形近似式を導出するため、表 1 で得られたデータから燃料電池の稼働に必要なガス量、稼働によって得られる熱量をグラフ化する。燃料電池を稼働させるために必要なガス量を家庭の需要電力毎にグラフ化したデータによって線形近似式を求めると、

$$S_{\text{燃料電池}} = 1.52 \times P_{\text{電気}} + 313.59 [\text{kWh}] \quad (\text{式 1})$$

となる。式 1 の近似式の信頼性を計る(重)相関係数の累乗は $R^2 = 0.9968$ となり、近似度は高い。

また、燃料電池を稼働させた際に得られる熱量を家庭の需要電力毎にグラフ化したデータによって線形近似式を求めると、

$$S_{\text{熱量}} = 0.68 \times P_{\text{電気}} + 117.31 [\text{kWh}] \quad (\text{式 2})$$

となる。式 2 の近似式の信頼性を計る(重)相関係数の累乗は $R^2 = 0.9954$ となり、近似度はこれも高い。家庭の需要電力の総計に対して、式 1 から燃料電池稼働時に必要なガス量の計算が可能となり、式 2 から燃料電池稼働時に得られる熱量の計算が可能となる。

線形近似式の導出にあたり、燃料電池は、固定部と電力比例部の二つに分けることができる。燃料電池は稼働を維持するために改質装置の保温等にガスや電気を使用しているため燃料電池自身の保温に必要なエネルギー（固定部）と、ガスから電気を生成するエネルギー（電力比例部）の仕組みである。そのため、燃料電池に特性の線形近似式で、精度良く表すことが可能となっている。

† 同志社大学大学院理工学研究科情報工学専攻

4. 家庭への近似式の導入

図 2 は一般家庭から取得した家庭の需要電力であり、四角形で囲まれた部分を 1 日の家庭の需要電力と設定した。図 2 の横軸は時間[h]、縦軸は、需要電力[kW]である。一日の需要電力を約 3 分毎にデジタイザによって取得し、得られたデータを数値積分法により、家庭の一日の需要電力を算出した。家庭の一日の需要電力は 12.05[kWh]となる。また、燃料電池は 0.7[kW]以上の電力需要があっても 0.7[kW]しか発電できない。そのため、約 3 分毎から取得した家庭の需要電力で実際稼働できる需要電力は 10.68[kWh]となる。式 1 に導入すると、

$S_{\text{燃料電池}} = 1.52 \times 10.68 + 313.59/30 = 26.69 \text{ [kWh]}$ となる。同様に式 2 へ導入すると、

$S_{\text{熱量}} = 0.68 \times 10.68 + 117.31/30 = 11.17 \text{ [kWh]}$ となる。線形近似式によって、燃料電池の稼働時に必要なガス量、及び燃料電池によって発熱した熱量を容易に推定できる。

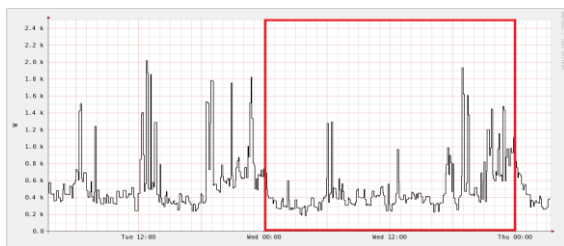


図 2 家庭で得られた 1 日の需要電力

5. 化石燃料消費量の推定

本研究で得られた線形近似式を用いて、燃料電池の化石燃料消費量の推定を行う。本稿では燃料電池を導入している家庭と導入していない家庭それぞれの年間電気使用量を 5000[kWh]、年間ガス使用量を 337[m³]とする[2]。家庭が使用するガスは、都市ガスを想定している。都市ガスは 1m³に 12.5kWh のエネルギーを持っている。つまり年間のガス量は 4212.5[kWh]となり、本稿では家庭の年間ガス使用量を 4200[kWh]と仮定した。現在、発電方法は従来型火力発電所が主流であり、発電効率を 40%とする[3]。つまり電力 1000kWh の生成に 2500kWh の化石燃料が必要である。また、従来の化石燃料を用いた家庭での湯沸かし方法としては、潜熱回収型給湯器が挙げられる。化石燃料からお湯を生成する効率は高く、95%程度の熱効率を誇るため、本稿では 100%と仮定する[4]。

5.1 燃料電池非導入家庭の化石燃料消費量

燃料電池非導入家庭の年間の化石燃料消費量は年間の電気使用量と年間のガス使用量から、 $5000 \times 2.5 + 4200 = 16700 \text{ [kWh]}$ となる。

5.2 燃料電池導入家庭の化石燃料消費量

燃料電池は、家庭の需要電力を全て発電することはできない。本稿では、家庭の年間電気使用量 5000[kWh]の 70%の 3500[kWh]が $P_{\text{電気}}$ とする[5]。つまり、残りの 1500[kWh]を電力会社から購入する。 $P_{\text{電気}}$ を式 1 と式 2 に代入すると、 $S_{\text{燃料電池}} = 9083 \text{ [kWh]}$ 、 $S_{\text{熱量}} = 3787 \text{ [kWh]}$ が得られる。しかし、燃料電池はタンクの上限が有り、得られた全熱量をお湯として利用するのは困難である。そこで、3787[kWh]の 70%の 2650[kWh]を利用できたと仮定する。年間のガス使用量 4000 [kWh]のうち、2650

[kWh]がエネファームの稼働によって得られ、残りの 1350 [kWh]を化石燃料から熱を生成しなければならない。燃料電池導入時の年間の化石燃料消費量を計算すると、 $9083 + 1500 \times 2.5 + 1350 = 14183 \text{ [kWh]}$ となり、燃料電池の導入で約 2513[kWh]の化石燃料が削減できる。

5.3 省エネ機器の化石燃料削減量の比較結果

燃料電池、太陽光発電パネル、太陽光温水パネルの化石燃料削減量を比較する。太陽光発電パネルと太陽光温水パネルの化石燃料削減量は、それぞれ 8401[kWh]と 2499[kWh]とする[6]。燃料電池と省エネ機器の比較結果を表 5 に示す。線形近似によって、燃料電池の化石燃料消費量が推定でき、他省エネ機器との比較が容易になる。

表 5 省エネ機器との比較¹

燃料電池	2513[kWh]
太陽光発電パネル	8401 [kWh]
太陽光温水パネル	2499[kWh]

6. 考察

本研究の特性の線形近似式によって、家庭の年間電気使用量・ガス使用量から、燃料電池の導入効果を容易に推定できた。家庭内における電力利用カーブは、それぞれ様々な家庭の状況により大きく異なる。しかし、線形近似式は、総電力消費量だけで、化石燃料の削減効果、お湯の沸く量が決まることを意味する。通常、燃料電池の導入効果にはシミュレーションが用いられるが、本提案手法を用いれば、総消費電力さえ分かれば光熱費の削減効果は推定できる。

平均的な一戸建ての規模では、燃料電池は化石燃料の総熱量をあまり削減できない。むしろ、沸いたお湯をどこまで有効利用できるかがキーとなる。尚、現状の燃料電池(SOFC)では、式 1 における定数項の影響が大きく、小電力発電時の発電効率が下がる。定数項の小さな燃料電池が登場することを願ってやまない。また、本近似式と実際の稼働状態との比較も今後の課題である。

7. おわりに

本稿では、燃料電池動作の線形近似式を提案した。線形近似式により、燃料電池導入時の効果を容易に推定できる。これにより、小規模 CEMS 構成などのエネルギーコスト削減量が、容易に推定可能となる。

参考文献

- [1] 新エネルギー財団 (NEF), 固体酸化物形燃料電池実証研究成果報告会, <http://www.nef.or.jp/sofc/share/pdf/h22y.pdf> (p.96)
- [2] 平成 24 年度京都市内のご家庭における電気・都市ガス月間使用量 <http://www.city.kyoto.lg.jp/kankyo/page/0000126392.html>
- [3] 大阪ガス, エネファームの省エネ性 http://home.osakagas.co.jp/search_buy/enefarm/about/energysaving.html
- [4] 日本ガス協会, 高効率ガス給湯器エコジョーズの仕組み <http://www.gas.or.jp/ecojoes/>
- [5] 大阪ガス, エネファームの仕組み http://home.osakagas.co.jp/search_buy/enefarm/about/mechanism.html
- [6] 九都県市首脳会議, 家庭における給湯設備の比較調査報告書, http://www.tokenshi-kankyo.jp/images/report_pdf/report3-1.pdf (p.8)

¹ 表 5 によれば、燃料電池と太陽光温水パネルにおいて、削減可能な化石燃料の熱量に差は殆ど無い。一方において、一般に、CO₂ 削減量は、太陽光温水パネルは年間 400 kg 程度であるのに対して、燃料電池は年間 1.3 トン程度とされており、表 5 は通説とは大差があり、これら数字は矛盾している様にも見える。しかし、電力会社における燃料には(燃料電池が利用している天然ガスに比して)CO₂ を 1.8 倍排出する石炭火力が含まれている。結果として、石炭火力発電を都市ガス発電で置き換える燃料電池は、大きな CO₂ 削減効果を持つ。この削減効果は、燃料電池が効率的である結果と言うより、石炭から天然ガスへの燃料置換の結果と見るべきであろう。