

低炭素社会の実現に向けた
技術および経済・社会の定量的シナリオに基づく
イノベーション政策立案のための提案書

技術普及編

燃料電池設置型一括受電集合住宅において
電力融通を行う際の経済性の評価

平成28年3月

“Economical Evaluation of Energy Trading in a Collectively Receiving
Apartment Complex in Which a Fuel Cell is Installed”

Strategy for Technology Dissemination

Proposal Paper for Policy Making and Governmental Action
toward Low Carbon Societies

国立研究開発法人科学技術振興機構
低炭素社会戦略センター

LCS-FY2015-PP-10

概要

低炭素社会の実現のために家庭用燃料電池への期待が高まるなか、集合住宅内での各住戸間で燃料電池による余剰電力の融通を可能にするシステムを提案する。このシステムのもとでは、各家庭の燃料電池で発電した余剰電力は他の家庭に融通されることにより、系統電力への依存度を低減させることができる。しかし、現段階では家庭用燃料電池の価格は未だ高く、事業として成立することは難しい。そこで、本研究では各家庭での電力の動きをシミュレートすることで、燃料電池を設置したマンションの事業性を算出し、このマンション事業が成立するような燃料電池価格についての考察を行う。

Summary

Because of recent trend of realizing a low carbon society, fuel cell in residential sector has been attracting much attention. In order to promote introduction of fuel cell, a new system that each house in a condominium may accommodate surplus electricity which is made from fuel cells to other houses in the condominium is suggested. We can decrease the system power supply dependency under this suggested system. However, the cost of household fuel cell is still expensive, so this system has bad business property now. This paper calculates the economy of the suggested system by simulating flow of electricity in the apartment complex, and discusses about the price of fuel cell which can establish the system successfully.

目次

概要

| | |
|--------------------|---|
| 1. 背景・目的 | 1 |
| 2. 緒言 | 1 |
| 3. シミュレーション | 1 |
| 3.1 概要 | 1 |
| 3.2 前提条件 | 2 |
| 3.3 結果 | 2 |
| 4. 経済性への考察 | 6 |
| 4.1 エネルギーコスト削減額の増加 | 6 |
| 4.2 燃料電池の販売価格削減 | 8 |
| 5. 提言 | 9 |
| 引用文献 | 9 |

1. 背景・目的

昨今の低炭素社会を目指す取り組みの中で、燃料電池への期待が高まっている。政府は、2030年までに燃料電池の普及台数を全国で530万台とする目標を掲げている^[1]。燃料電池は一戸建て住宅への導入は進んでいるが、全国で41%を占める集合住宅での導入はあまり進んでいない。理由の一つとして、一般的に、集合住宅では一戸建て住宅よりも電力需要が少なくなる傾向があるため、燃料電池の稼働率が低下傾向になることが考えられる。これに対し、集合住宅内でエネルギー需要の異なる各戸に設置した燃料電池が、発電した余剰電力を住戸間で融通しあうことができれば、燃料電池の稼働率を向上させることが可能となる^[2]。また、マンション内の各戸が個別に電力会社と契約するのではなく、マンション全体で電力会社と高圧一括受電契約を行うことで、マンション全体の電気料金を低減させるとともに、マンション内の各家庭に売電する際の電気料金を自由に設計することができる。本稿では、高圧一括受電を採用したマンションの需要を想定し、そのマンションにおける電気料金体系と、各家庭のエネルギーコスト削減量についての関係を調べ、電気料金と電力を融通した際の売電価格に関する検討を行う。また、この結果を用いて燃料電池の経済性について検討する。

2. 緒言

2007年のIPCCの第4次報告書によると、近年、世界各地から地球温暖化が原因ではないかと考えられる影響が増加傾向にあり、世界的なCO₂排出量削減への取り組みが急がれている^[3]。我が国は世界全体のCO₂排出量の約3.8%を排出しており、これは中国、アメリカ、インド、ロシアに次いで世界で5番目に多い排出量となっている。2015年11月に国連気候変動枠組条約第21回締約国会議（COP21）がパリで開催され、我が国は今後の低炭素社会に向けた枠組みの議論に貢献しており、地球温暖化対策において中心的な役割を果たしている。この場で我が国は2030年に2013年度比26%のエネルギー起源のCO₂排出量を削減するという目標を掲げた。部門別の消費エネルギーの推移は、産業部門や運輸部門はエネルギー消費量が大きく変化していない点と比較して、家庭部門でのエネルギー消費量が大きく伸びている。そのため、家庭部門での省エネルギー製品の普及が省エネルギー目標達成の鍵になると考えられ、政府は家庭部門でのCO₂排出量を2013年度比40%削減することを目指している。家庭部門のエネルギー削減のために総合エネルギー効率の高い燃料電池は非常に高い期待が持たれている。

3. シミュレーション

3.1 概要

本稿では首都圏近郊の高圧一括受電と燃料電池の各戸設置を採用した38世帯マンションを想定して、予め与えられた需要に対して、混合整数計画法を用いてマンション全体でのエネルギーコストの最小化を最適化の目的関数としたシミュレーションを行い、各家庭での燃料電池発電量や各家庭がマンション内系統に電力を融通する量を決定する。その後、最適化された各家庭のエネルギー需要や融通量をもとに、電気料金や融通料金を変化させ、仁に基づく各家庭のエネルギーコスト最小化を行った。仁とはゲーム理論の概念で、「最も不満の大きい集合の不满を最小化する」考え方であり、本稿では最も経済的なメリットを得られない家庭のエネルギーコスト削減額を大きくすることで、仁の概念を導入した。

3.2 前提条件

本研究では、マンション内の各家庭の熱及び電力需要は、研究対象地域の近隣の一戸建て住宅の実測需要データをマンションの需要としてモデル化したものを用いた。具体的には、21 軒の一戸建て住宅での用途別電力需要データを、面積比例する電力需要としない電力需要に分類し、全体の電力需要を人数に比例させた。また熱の需要は一戸建て住宅のものを人数比例させた。

本研究で対象とするマンションは、一世帯の面積を 80 から 100 平方メートル程度と想定し、国土交通省の推計⁴⁾を用いてマンション内の世帯人数構成を決定した。合計 190 世帯分の需要データを作成し、38 軒分のデータをランダムに抽出した。マンションでの需要は夏期、中間期、冬期の 3 パターンを用意し、また電力需要は各季節で休日と平日の 2 パターンとして、計 6 パターンを用意した。

3.3 結果

マンション全体でのエネルギーコスト最小化には混合整数計画法を用いる。各家庭の燃料電池発電量、マンション内系統から購入する電力量、マンション内系統に融通する電力量などを変数として、マンション全体のエネルギーコストを最小化する。その結果を表 1 に示す。

表 1 マンション全体のエネルギー削減効果

| | 夏期 | | 中間期 | | 冬期 | |
|-------------------------|--------|--------|--------|--------|-------|--------|
| | 平日 | 休日 | 平日 | 休日 | 平日 | 休日 |
| ピーク電力削減率 | 16% | 7% | 29% | 44% | 46% | 28% |
| 電力需要 [kWh/day/house] | 10.57 | 11.76 | 11.63 | 10.15 | 14.89 | 13.95 |
| 総融通量 [kWh/day] | 227.67 | 219.76 | 189.99 | 286.33 | 197.6 | 265.76 |
| CO ₂ 削減率 | 7% | 3% | 4% | 11% | 4% | 6% |
| FC* 運転時間 | -16% | -29% | -10% | 6% | 9% | 6% |

* FC: Fuel Cell, 燃料電池

家庭から余剰電力の融通を行った場合は、融通を行わなかった場合に比べて、すべての場合においてピーク時最大購入電力が低減された（表 1、ピーク電力削減率参照）。特に冬期では、融通を行わない場合、電力需要が少ない家庭においては、電力需要に従って燃料電池によって作られる湯量が給湯需要に追いつかず、補助給湯器によるエネルギー使用量が夏期・中間期と比較して増加傾向にあった。しかし、余剰電力を融通することによって燃料電池稼働時間が増加し、貯湯槽に蓄熱される湯量が増加し、その結果、貯湯量不足を補うための補助給湯器エネルギー消費量が低減する効果が見られた。熱需要の少ない夏期において、従来では効率の良くない部分負荷で長時間運転していたが、融通を許可した結果、発電効率の良い部分負荷での発電が可能となり、燃料電池の運転時間の減少が起きたと考えられる（表 1、FC 運転時間削減率参照）。融通することでの電気とガスに起因する CO₂ の削減効果は年間で約 7% となった。マンション全体で年間約 6.1 トンの CO₂ 削減効果が得られることがわかった。通常の給湯器と系統電力に基づくマンションと比較すると、融通を行う場合には、電気とガスに起因する CO₂ の排出量は 19.7% 程度の削減効果がある。マンション全体では年間 20.5 トンの CO₂ 排出量が削減されたことになる。

次に、マンション全体で、燃料電池のエネルギーコストを最小化制御するシミュレーションの結果、得られた購入電力量、融通量を元に、マンション内の電力料金の検討を行った。料金体系は表 2 の 3 種類を想定した。①、②のケースの従量電灯 B は、東京電力の料金を採用した^[5]。②、③のケースについては従来型エネルギーシステムと比較して、エネルギーコストの削減額が最も小さい家庭の利益が最大化されるような料金体系を計算した。ガス料金は静岡ガスのウィズガス住宅エネファーム発電プランの料金を採用した^[6]。

表 2 各ケースの概要

| ケース番号 | 特 徴 |
|-------|---|
| ① | 従量電灯 B の 40A 従量料金に従う。融通した電力量は使用料から割り引かれる。 |
| ② | 従量電灯 B の 40A 従量料金に従う。電力量あたりの融通料金は一定。 |
| ③ | 電気料金は使用料にかかわらず一定。電力量あたりの融通料金は一定。 |

各ケース①②③の料金設定時の各家庭のエネルギーコスト、通常家庭のエネルギーコスト、そしてエネファーム設置型集合住宅で電力の融通を行わなかった時のエネルギーコストを図 1 に比較して示す。図 1 の横軸では、対象としている 38 世帯を、年間エネルギーコストの低い世帯から高い世帯に順に並べている。また、通常家庭のエネルギーコストは従来型の給湯器と系統電力のみで電気・熱需要を満たす場合として、東京電力従量電灯 B 料金と静岡ガス一般料金を使用して計算した。

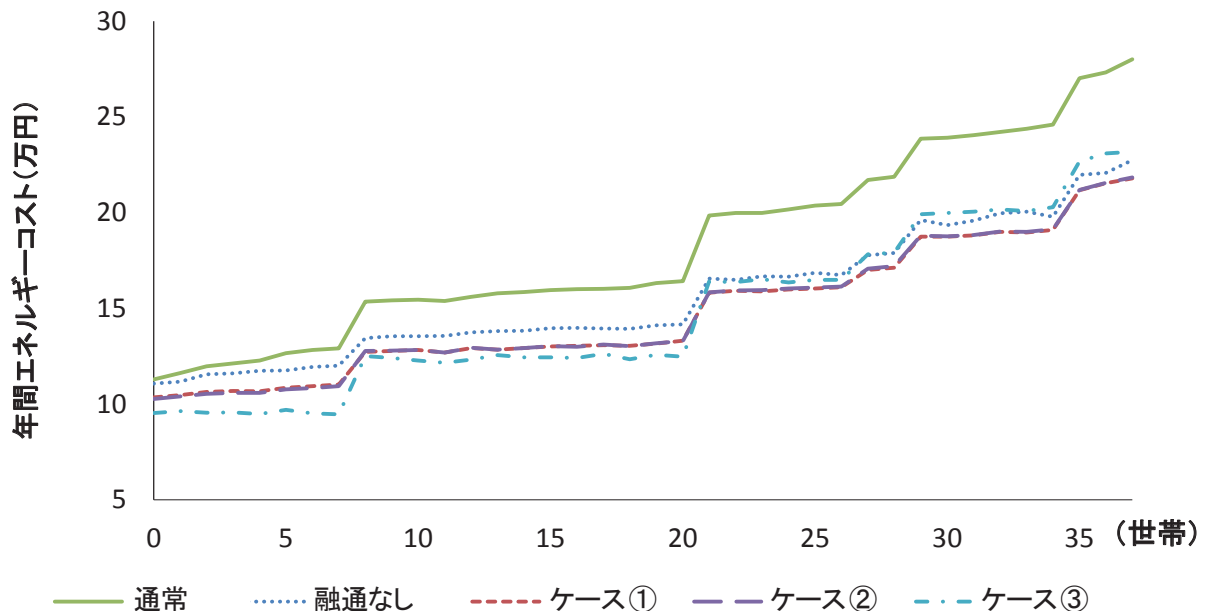


図 1 各ケースの年間エネルギーコスト

①のケースでは、料金変化の最適化計算は行っていないため、電力料金は表 3 のようになる。エネルギーの使用量が多い家庭ほど、燃料電池稼働による年間エネルギーコスト削減効果が大きく、また融通を許可した際にも、削減効果が大きくなることがわかった。これは電力需要が多い家庭においては、融通を行わない場合、最大総合効率となる部分負荷運転の結果、貯湯槽が満杯になり燃料電池の運転時間が短くなってしまいが、融通を許可すると発電効率が最大となる部分負荷運転を行うために、長時間燃料電池を動かすことができるようになった結果であると考えられる。このケースでは、従量第 3 段階の料金を支払っている家庭が融通で売電すると 29.93 円/kWh で売ることができるが、従量第 1 段階の家庭は 19.43 円/kWh での売電となるため、需要が少ない家庭のほうが融通による経済的メリットを享受しにくいと考えられる。

表 3 ケース①の電力料金¹⁾

| 基本料金 (¥/kWh) | 従量料金 (¥/kWh) | | |
|-----------------|--------------|--------|--------|
| | 第 1 段階 | 第 2 段階 | 第 3 段階 |
| 1,123.2 | 19.43 | 25.91 | 29.93 |

②のケースでは、融通料金を変数として、エネルギーコスト削減額が最も小さい家庭の利益が最大化されるような最適化計算を行った。その結果の料金体系を表 4 に示す。融通料金は第一段階電気料金よりも多少高くなる程度で、ケース①と比べてエネルギーコストに大きな変化は得られなかった。

表 4 ケース②の電力料金

| 基本料金 (¥/kWh) | 従量料金 (¥/kWh) | | | 融通料金 (¥/kWh) |
|-----------------|--------------|--------|--------|-----------------|
| | 第 1 段階 | 第 2 段階 | 第 3 段階 | |
| 1,123.2 | 19.43 | 25.91 | 29.93 | 20.43 |

③のケースでは、電力料金を使用料にかかわらず一定にして、基本料金 1kWh あたりの電力料金と融通料金を共に変数として最適化計算を行った。その結果の料金体系を表 5 に示す。融通料金を大きくし、基本料金を無くしたことで電力需要の少ない家庭でのメリットを大きくすることができた。

表 5 ケース③の電力料金

| 基本料金 (¥/kWh) | 従量料金 (¥/kWh) | 融通料金 (¥/kWh) |
|-----------------|-----------------|-----------------|
| 0 | 32.55 | 34.18 |

¹⁾ 最初の 120kWh まで (第 1 段階料金)、120kWh をこえ 300kWh まで (第 2 段階料金)、300kWh 超過 (第 3 段階料金)、詳細は文献 [5] 参照。

以上の3つのケースについて、一般的な契約でのエネルギーコストと比較したエネルギーコストの削減率を図2に示す。横軸は図1と同じである（以下の図でも同様）。ケース①とケース②より従来の従量料金と同様の料金体系を採用した場合、需要の少ない家庭でエネルギーコスト削減率を向上させることが難しいと考えられる。ケース③の結果より基本料金を低くし、従量料金を使用料にかかわらず一定にしたところ、需要の少ない家庭においてもエネルギーコスト削減効果が向上することが確認できた。従来型料金とケース③において家庭8と家庭21のところでエネルギー削減額が大きく変化している、家庭8は2人世帯と3人世帯の境目、家庭21は3人世帯と4人以上世帯の境目である。3人以下世帯に対して大需要家庭と同様のメリットを持たせるためには、料金体系を①基本料金を安くする、または撤廃する、②従量料金を高めにする、③融通料金を大きく設定することが必要であることがわかる。そのため、全体のエネルギーコスト削減効果が高まるように適切に料金を設定するためには、マンション内の家庭の世帯構成を適切に把握することが必要になると考えられる。

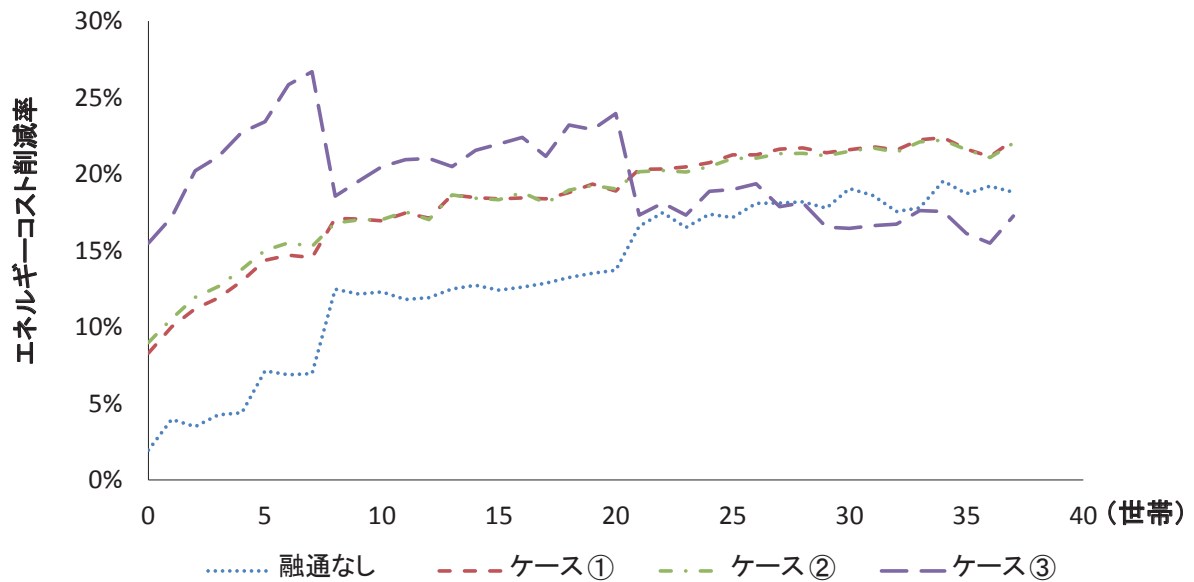


図2 各ケースでのエネルギーコスト削減効果

4. 経済性への考察

各家庭は、以上の省エネルギーコスト効果を期待して、燃料電池各戸設置型高圧一括受電集合住宅への入居を検討する。しかしこの集合住宅は、燃料電池設置費用の分だけ従来型集合住宅より住戸の価格が高くなることが想定される。そこで本章では、各戸が燃料電池への初期投資を行った際に投資金額を回収できる年数を投資回収期間として考察していく。

投資回収期間は、以下の様な式(1)で表すことができるとする。

$$\text{投資回収期間} = \frac{\text{燃料電池の価格} - \text{従来型給湯器の価格}}{\text{一年あたりのエネルギーコスト削減額}} \quad (1)$$

投資回収期間を 10 年以下にすることが、燃料電池市場の自立に必要であるとされている。水素・燃料電池戦略協議会の資料¹⁾によると 2015 年 9 月時点での燃料電池価格と従来型給湯器価格はそれぞれ 145 万円、33 万円となっている。ここでは、その差額 112 万円を各戸の年間エネルギーコスト削減額で割った値を各戸の投資回収期間とする。各料金パターン時の各家庭の投資回収期間を図 3 に示す。エネルギー需要が少ない家庭では、投資回収期間が料金ケース①、②では 100 年を超え、料金ケース③でも 60 年を超えるなど、経済性が非常に悪いことがわかった。

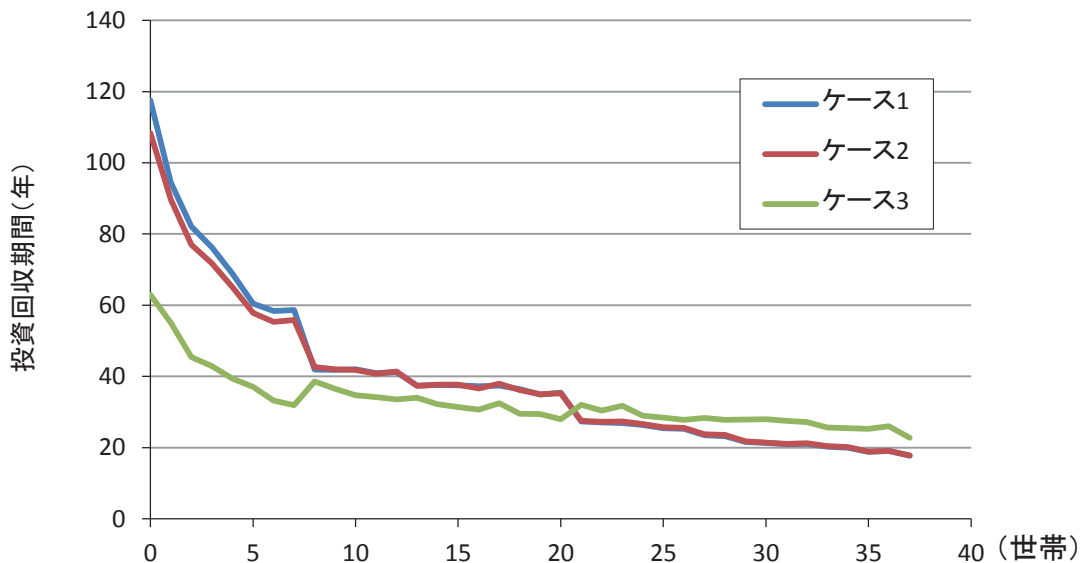


図 3 各ケースでの投資回収期間

4.1 エネルギーコスト削減額の増加

図 3 の結果を踏まえ、マンション全体で削減された CO₂ を Jクレジットとして売却し、その売却益から少需要家庭への補填を行うことで、需要が少ない家庭での年間エネルギーコスト削減効果を向上させる。集合住宅全体で削減される CO₂ 20.5t/年分の Jクレジットを売却することで得られた金額を適切に配分することで、回収期間が一番長い家庭の回収期間を少なくするシミュレーションを行った。その結果を図 4 に示す。Jクレジットの価格は 1,000 円/t-CO₂ と仮定して

シミュレーションを行った。クレジット売却金額が適切に配分されることで、少需要家庭での投資回収期間が改善されたことが確認された。

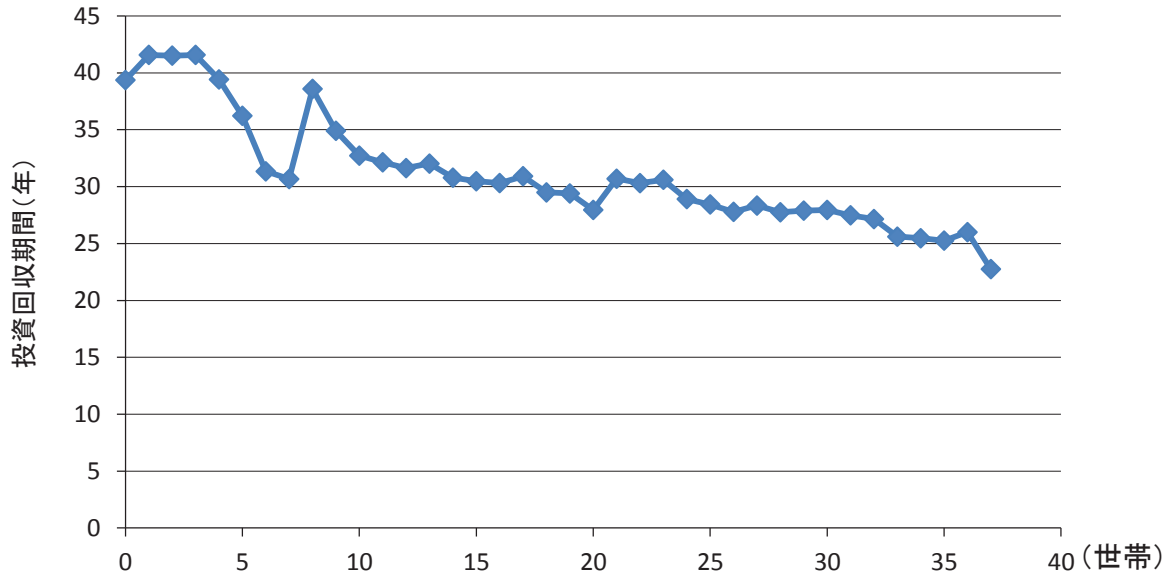


図 4 1,000 円/t-CO₂ でクレジットを取引した際の各家庭の投資回収期間

また J クレジットの売却額によって投資回収期間がどのように変化するかをシミュレーションによって求めた。その結果を図 5 に示す。少需要家庭での投資回収期間は J クレジットの売却額が 2,000 円以上では飽和し、大きく変化しないことがわかった。このシミュレーションの条件下では J クレジットの取引額は 2,000 円/t-CO₂ 以上になると望ましいということがわかった。

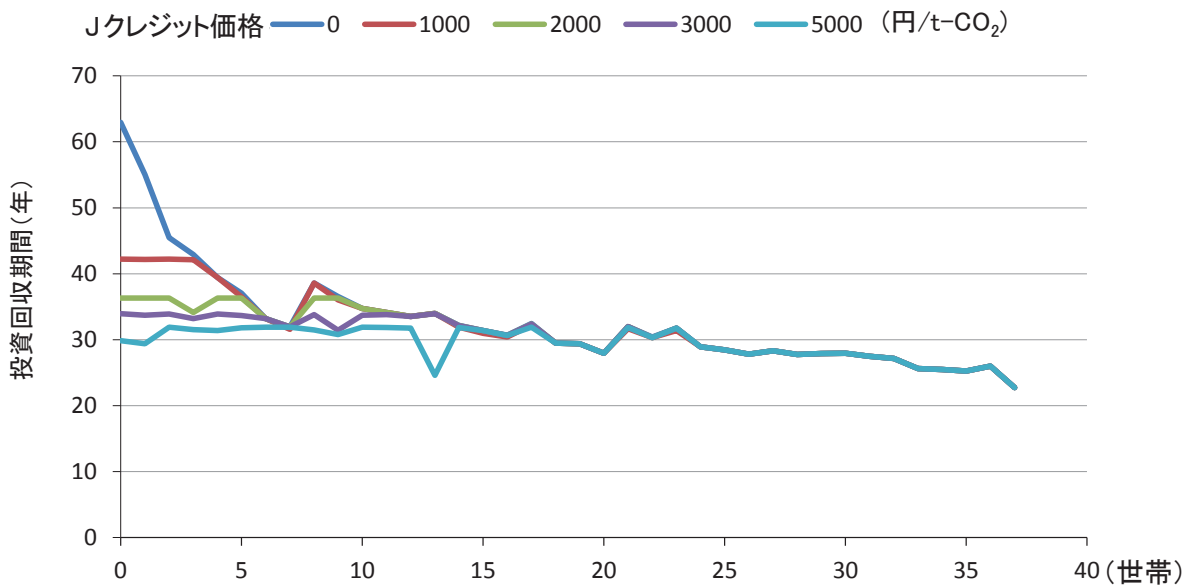


図 5 J クレジット取引額を変化させた時の各家庭の投資回収期間

4.2 燃料電池の販売価格削減

また、燃料電池の投資回収期間を短くするためには、燃料電池の値段を下げることにより、式(1)の分子を小さくすることも必要である。各家庭の年間エネルギーコスト削減額を4.1のJクレジット取引価格 2,000 円/t- CO₂ で売却した際に削減できたエネルギーコストを利用し、燃料電池価格が変化した時の投資回収期間を図6に示す。投資回収期間を10年以下にするためには、補助金を含めた燃料電池の販売価格が60万円以下になることが望ましい。

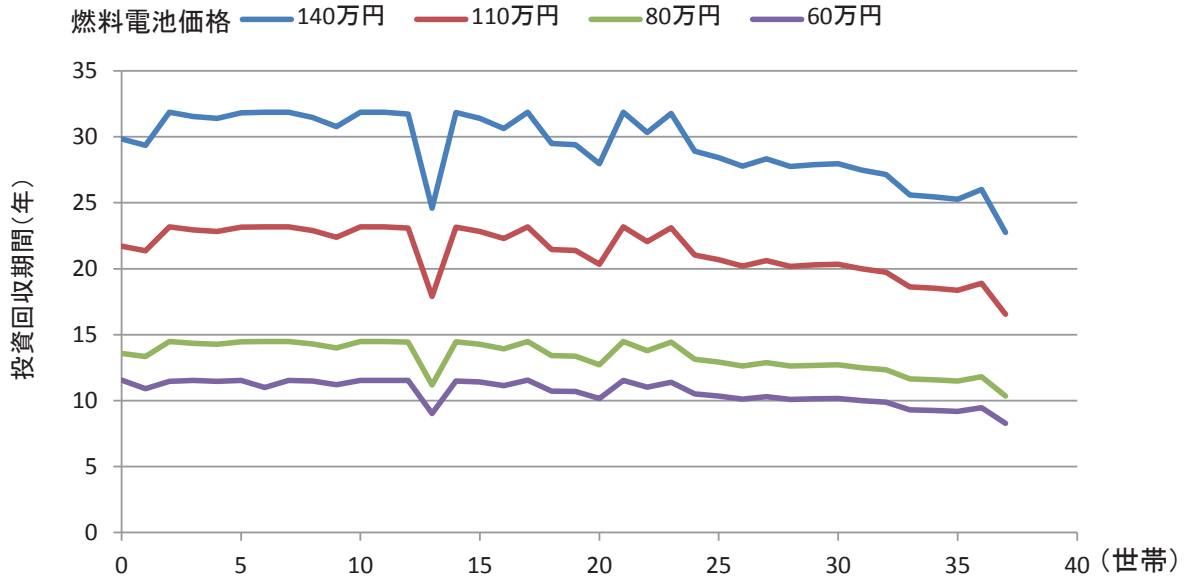


図6 燃料電池の価格が変化した場合の各家庭の投資回収期間

5. 提言

本稿では、燃料電池を各戸に設置している高圧一括受電集合住宅において、電力融通を許可することで需要が少ない家庭での燃料電池稼働率を向上させると同時に、系統依存度や環境性を向上させるシステムを提案した。このシステムによって小需要家庭の燃料電池投資回収期間を短くするシミュレーションを行った。

燃料電池の投資回収期間を短くすることは、今後の燃料電池の普及を促進していくうえで非常に重要な課題となっている。本稿では① Jクレジット取引を利用した年間エネルギーコスト削減額を増加させるシステムの提案と②燃料電池販売価格の削減によって燃料電池の投資回収期間を短くするシミュレーションを行った。

その結果、① Jクレジットは 2,000 円/t-CO₂ 以上で取引されるような取引市場が望ましいこと、②燃料電池の販売価格は補助金を含めて一台あたり 60 万円程度に抑えることが望ましいという結論が得られた。①を達成するためには、自治体を中心となって CO₂ 排出係数を下げる取り組みをすることで、Jクレジットの取引が活発になり、達成できると考えられる。②については燃料電池の製造コストを細部まで見直し、量産効果が生じて燃料電池のコストが低下するまでは、補助金によって生産を後押しする必要がある。

引用文献

- [1] 水素・燃料電池戦略協議会「水素・燃料電池戦略ロードマップ」, Jun/23/2014, <http://www.meti.go.jp/press/2014/06/20140624004/20140624004-2.pdf>, Nov/30/2015 アクセス.
- [2] 土橋亮太「エネファームを活用したマンション内電力融通『T-グリッドシステム』について」, クリーンエネルギー, 第 23 巻, 第 8 号, pp. 30-33, 2014.
- [3] 環境省「国連気候変動枠組条約第 21 回締約国会議 (COP21) 及び京都議定書第 11 回締約国会合 (COP/MOP11) の結果について」, Dec/14/2015, <http://www.env.go.jp/press/101818.html>, Jan/5/2016 アクセス.
- [4] 国土交通省「平成 25 年度住宅・土地統計調査」, 2013.
- [5] 東京電力「従量電灯 B・C」, <http://www.tepco.co.jp/e-rates/individual/menu/home/home02-j.html>, Nov/30/2015 アクセス.
- [6] 静岡ガス「一般料金」, <http://www.shizuokagas.co.jp/home/rate/menu/general/index.html>, Nov/30/2015 アクセス.

低炭素社会の実現に向けた
技術および経済・社会の定量的シナリオに基づく
イノベーション政策立案のための提案書

技術普及編

燃料電池設置型一括受電集合住宅において
電力融通を行う際の経済性の評価

平成 28 年 3 月

“Economical Evaluation of Energy Trading in a Collectively Receiving
Apartment Complex in Which a Fuel Cell is Installed”

Strategy for Technology Dissemination,
Proposal Paper for Policy Making and Governmental Action
toward Low Carbon Societies,
Center for Low Carbon Society Strategy,
Japan Science and Technology Agency,
2016.3

国立研究開発法人科学技術振興機構 低炭素社会戦略センター

本提案書に関するお問い合わせ先

- 提案内容について・・・低炭素社会戦略センター 研究補助員 前田 和希 (Kazuki MAEDA)
研究統括 松橋 隆治 (Ryuji MATSUHASHI)
- 低炭素社会戦略センターの取り組みについて・・・低炭素社会戦略センター 企画運営室

〒102-8666 東京都千代田区四番町5-3 サイエンスプラザ4階
TEL : 03-6272-9270 FAX : 03-6272-9273 E-mail : lcs@jst.go.jp
<http://www.jst.go.jp/lcs/>

© 2016 JST/LCS

許可無く複写・複製することを禁じます。
引用を行う際は、必ず出典を記述願います。
