

## 太陽光発電と家庭用燃料電池の導入促進及び CO<sub>2</sub> 排出量削減と環境税対策

筑波大学大学院生命環境科学研究科修士課程 橋本 茉依\*

筑波大学生命環境科学研究科 水野谷 剛

筑波大学生命環境科学研究科 ヤバール ヘルムート

本研究では東京都内の二酸化炭素削減のために、現在有望視されている家庭用燃料電池、太陽光発電、家庭用エネルギー管理システム HEMS (Home Energy Management System) を研究対象とし、この 3 つのシステム導入促進のための環境経済政策と二酸化炭素排出量削減量の導出を行うことを目的とした。研究方法は拡大産業連関分析手法を用いた数値シミュレーションを行う。本研究では家庭用燃料電池導入、太陽光発電及び HEMS 導入の補助金を支出することで、それらを導入する家庭が増加することを前提とし、その上でパリ協定の際に日本が目標とした 2030 年度までに 2013 年度比で、二酸化炭素の排出を 26%削減、2050 年度には 80%削減という目標値の実現可能性を検討する。加えて異なる課税方式と税収の用途を考慮した拡大産業連関モデルを構築する。これによって今後の二酸化炭素排出量削減を目的とした環境経済政策の提言とそのインパクトを明らかにする。

Promoting the Introduction of Solar Power Generation and Household Fuel Cells, Reducing  
CO2 Emissions, and Taking Environmental Tax Measures

Tsukuba University Mai HASHIMOTO\*

Tsukuba University Takeshi MIZUNOYA

Tsukuba University Yabar HELMUTO

In this research, the research targets are currently promising household fuel cells, photovoltaic power generation, and home energy management system HEMS (Home Energy Management System). The objective was to derive environmental economic policies and CO2 emission reductions to promote the introduction of these three systems. The research method is a numerical simulation using an extended input-output analysis method. It is assumed that the number of households introducing them will increase by spending subsidies for installing household fuel cells, solar power generation and HEMS. In addition, the feasibility of the target value of 26% reduction in CO2 emissions and 80% reduction in 2050 compared to 2013 by 2030, which was the target of Japan in the Paris Agreement, will be examined. Furthermore, an extended industry linkage model that takes into account the different taxation methods and uses of tax revenues will be constructed. This will clarify environmental economic policy proposals and their impact for the future reduction of carbon dioxide emissions.

## 太陽光発電と家庭用燃料電池の導入促進及び CO<sub>2</sub> 排出量削減と環境税対策

筑波大学大学院生命環境科学研究科修士課程 橋本 茉依\*

筑波大学生命環境科学研究科 水野谷 剛

筑波大学生命環境科学研究科 ヤバール ヘルムート

### 1. はじめに

現在世界的な環境問題のひとつとして地球温暖化があり、IPCC 第 5 次評価報告書によると、1880 年から 2012 年において、世界平均地上気温は 0.85°C 上昇していると述べられている。また最近 30 年の各 10 年間の世界平均地上気温は、1850 年以降のどの 10 年間よりも高温であると述べられており、今世紀末までの世界平均地上気温の変化予測は 0.3°C から 4.8°C である可能性が高いと予測されている。その原因のひとつである CO<sub>2</sub> は 1750 年以降人間活動により増加しており、CO<sub>2</sub> の総累積排出量と世界平均地上気温の変化は線形関係にあると述べられている。温暖化対策として 2015 年のパリ協定において世界の平均気温上昇を産業革命以前に比べて 2°C より十分低く保ち、1.5°C に抑える努力をする、そのためにできる限り早く世界の温室効果ガス排出量をピークアウトし、21 世紀後半には、温室効果ガス排出量と（森林などによる）吸収量のバランスをとるという世界共通の長期目標が掲げられた。この長期目標を受けて日本でも中期目標として温室効果ガスの排出量を 2030 年度までに 2013 年度比で 26% 削減するという目標を掲げた。日本はエネルギー起源の温室効果ガス排出量が最も多く占めるため、温室効果ガスの主成分である二酸化炭素の排出量削減目標量を部門別に設定した。対象となった部門は産業部門、業務その他部門、家庭部門、運輸部門、エネルギー転換部門の 5 部門であり、中でも業務その他部門と家庭部門は排出量が増加傾向にあるため、2030 年度までに 2013 年度比で約 40% 削減することを目標として設定した。

そこで本研究ではその目標達成の手段のひとつとして火力発電の代替案として現在有望視されている家庭用燃料電池、太陽光発電、家庭用エネルギー管理システム HEMS (Home Energy Management System) を研究対象とし、この 3 つのシステム導入促進のための環境経済政策と二酸化炭素排出量削減量の導出を目的とする。資源エネルギー庁 (2015) [] によると、地域別家庭用燃料電池を導入している家庭のエネルギー源は 8 割以上都市ガスであり、導入地域は約 5 割が関東地方であった。このことを踏まえ、本研究の対象地域を東京都とした。

### 2. 住宅用太陽光発電の現状

住宅用太陽光発電は 2003 年度に導入が開始され、RPS 法（電気事業者による新エネルギー等の利用に関する特別措置法）や補助金などで普及が進められてきた。太陽光発電システムは、太陽の光エネルギーを受けて太陽電池が発電した直流電力を、パワーコンディシ

ヨナという太陽電池で発電した直流電力を交流電力に変換するための装置を使用して電力会社と同じ交流電力に変換し、家庭内のさまざまな家電製品に電気の供給を行う。一般の系統連系方式の太陽光発電システムでは電力会社の配電線とつながっているため、発電電力が消費電力を上回った場合は、電力会社へ逆に送電して電気を買って取ってもらう固定買取制度（FIT 制度）がある。太陽光発電の特長は、エネルギー源が太陽光であるため、設置する地域に制限がなく導入しやすいシステムであることや、屋根や壁などの未利用のスペースに設置可能なため、用地を占有しないこと、災害時などに貴重な非常用電源として使用することなどが挙げられる。その一方で気候条件により発電出力が左右されることが課題点として挙げられている。住宅用太陽光発電の導入件数は 2017 年度時点で約 237 万台であるが、固定買取価格制度（FIT 制度）の問題を背景として 2012 年度に比べ 2017 年度の導入件数は 3 分の 1 程度に低下しており、特に既築住宅にその傾向が表れている。新築住宅は ZEH（ネット・ゼロ・エネルギー・ハウス）や HEMS の取り組みにて導入が継続している。現在住宅用太陽光発電導入に対する国からの補助金は廃止されているが、都道府県や市町村単位で自治体が独自に補助金を出している場合がある。

### 3. 家庭用燃料電池の現状

家庭用燃料電池には固体高分子形燃料電池 PEFC 型（Polymer Electrolyte Fuel Cell）と固体酸化物形燃料電池 SOFC（Solid Oxide Fuel Cell）の 2 種類があり、PEFC 型が 2009 年に導入が開始され、2011 年に SOFC 型も導入を開始された。家庭用燃料電池は、都市ガス・LP ガスから取り出した水素と、空気中の酸素を科学反応させて電気と熱を発生させるコージェネレーションシステムである。利用段階で反応物として水のみを排出するためクリーンであり、また、化学反応から電気エネルギーを直接取り出すためエネルギーロスが少ない。そのため電気と熱の両方を有効利用することでさらにエネルギー効率を高めることが可能であると言われている。また、1 台あたり 1 年間で 1.3 トンから 1.4 トンの二酸化炭素排出量削減効果があるとされており、金田・井上・柴野(2014)でも検証されている。この 2 種類の特長としては、PEFC 型は発電効率が 40%弱と比較的低い一方、排熱回収効率が低い。SOFC 型は発電効率が 52%程度と比較的高い一方、排熱回収効率が低い。PEFC 型が先に発売されたため、その分 SOFC 型よりも価格は安くなっている。

目標価格は 2016 年度までに 70 万円から 80 万円程度と設定されていたが、これは 2018 年度の段階で未達成である。また、2020 年度から 2030 年度までに 50 万円から 60 万円程度という目標も掲げられている。現在の家庭用燃料電池の価格は PEFC 型で約 80 万円、SOFC 型で約 130 万円となっている。家庭用燃料電池の導入件数は 2018 年 12 月の時点で 27 万台を超え、普及目標としては 2030 年度に 530 万台が掲げられている。現在エネファーム導入に対して国から、家庭用燃料電池システム導入支援事業補助金という補助金が支給されている。2019 年度は、SOFC 型のみ定額補助があり、基準価格（123 万円）以下であれば、8 万円が補助され、基準価格（123 万円）以上裾切価格（134 万円）以下であれ

ば4万円支給される。

#### 4. 既存研究

稗貫(2015)では、2005年の産業連関表を基本情報とし、地熱、風力、太陽光発電に関連する部門を新設した拡張産業連関表を作成し、それぞれ発電技術の生産額、雇用量、温室効果ガス排出量について分析を行っていた。その中で、太陽光発電の投資額あたりの温室効果ガス排出量は石炭火力、石油火力、LNG火力発電の10%以下であることが示された。またその特徴として、3種の火力発電よりも製造、建設段階の値が大きいことが結果としてわかった。次に、中野・鷺津(2017)では、次世代エネルギーシステム分析用産業連関表を作成し、その投入係数行列に水素関連部門のベクトルを拡張し、それをを用いて水素・燃料電池戦略ロードマップで想定される水素エネルギーシステムの構築がもたらす効果を産業連関分析を行っていた。水素ステーションの効率化が課題となっていたが、燃料電池自動車等の利用がもたらす化石エネルギー削減効果は、供給設備の建設や運転に伴う追加的なCO<sub>2</sub>負荷を相殺できると見込んでいた。さらに、再生可能エネルギーの有効な貯蔵手段として水素が選択され、それが燃料電池自動車などの燃料電池で利用されれば、社会全体のCO<sub>2</sub>削減に大きな効果があると述べられていた。また、中野・鷺津(2018)では、次世代エネルギーシステム分析用産業連関表の投入係数行列に対し素関連部門のベクトルを拡張し、水素エネルギーシステムの構築が経済や環境にもたらす波及効果を、再生可能エネルギーの導入効果も含めつつ、包括的に分析を行っていた。水素利用システムに関連した水素ステーションや燃料電池自動車、家庭用燃料電池や風力発電の施設建設部門と形状運転部門の視点から水素利用量と生産誘発効果の分析は行われていたが、税政策と関連づけての検討はなされていない。そこで本研究では、中野・鷺津(2017)の次世代エネルギーシステム分析用産業連関表の投入係数行列を参考として、税政策の視点から、太陽光発電、家庭用燃料電池の導入によるCO<sub>2</sub>削減効果と環境税対策について拡大産業連関モデル作成し、それをを用いて数値シミュレーションを行うことを目指す。

#### 5. 研究方法

本研究では東京都を対象地域として、拡大産業連関分析手法を用いた数値シミュレーションを行う。使用する産業連関表は2015年度の東京都の地域産業連関表を使用する。太陽光発電導入、家庭用燃料電池導入の補助金を支出することで、それらを導入する家庭が増加することを前提とし、異なる課税方式と税収の用途を考慮した拡大産業連関モデルを構築する。そして二酸化炭素排出量制約下で家庭用燃料電池、太陽光発電の最適設置台数とそれに伴うGRP変化を最適化のシミュレーションによって明らかにする。ここで用いる税-補助金政策はピグー的税補助金政策をベースとして考え、外部不経済の発生者（二酸化炭素の発生者）に対して課す環境税収入を財源として上記補助金政策を実施するとする。補助金支出パターンとして下記の3パターンとし、その効果と経済全体への影響のシミュ

レーションを行う。

- ① 家庭用燃料電池導入のみに補助金を支出
- ② 住宅用太陽光発電導入のみに補助金を支出
- ③ 家庭用燃料電池導入と住宅用太陽光発電導入および HEMS 導入へ補助金を支出

また家庭用燃料電池と住宅用太陽光発電、そしてその両方を導入した場合、その数によっても二酸化炭素排出量が増えるため、線形計画法を用いて税収の使途を二酸化炭素排出量削減に最適な導入割合を導く。

課税方式は下記の 2 パターンとし、可能であれば、両者の違いによる効果の比較を行うこととする。

- ① 生産者負担
- ② 汚染者負担

モデルには、通常財の生産活動を行う通常財産業部門、エネルギー産業部門、水素発電産業部門、家庭用燃料電池産業部門、都市ガス産業部門、さらに最終需要部門として家計と政府が存在する。

表 1. 拡大産業連関モデル

	通常財産業	エネルギー産業	水素発電産業	家庭用燃料電池産業	都市ガス産業	最終需要	X
通常財産業							
通常エネルギー産業							
都市ガス産業							
付加価値							
X							

## 6. 今後の展開

本研究の今後の展開としては、作成した拡大産業連関モデルを基に、さらに細かくモデル式を作成していく。作成したモデル式を使用して数値シミュレーションを行い、考察を進

める。数値シミュレーションを行う際に必要な具体的な数値や、投入係数なども先行研究や報告書を基に算出を進めていく予定である。





## 7. 参考文献

- [1]IPCC : Fifth Assessment Report,<https://www.ipcc.ch/assessment-report/ar5/>
- [2]経済産業省資源エネルギー庁：2030年エネルギーミックス必達のための対策～省エネ、再エネ等～（2017.11.28）
- [3]新井佳美：家庭用燃料電池「エネファーム」の現状と展望(2019.04)
- [4]全国地球温暖化防止活動推進センター（JCCCA） IPCC 第5次報告書特設ページ,<https://www.jccca.org/ipcc/ar5/wg1.html>
- [5]環境省：IPCC 第5次評価報告書の概要-第1作業部会（自然科学的根拠）-(2014.12)
- [6]一般社団法人燃料電池普及促進協会,<http://fca-enefarm.org/subsidy31/index.html>
- [7]経済産業省資源エネルギー庁燃料電池推進室：家庭用燃料電池について(2014.02.03)
- [8]金田重郎,井上怜,柴野直人：家庭用燃料電池（SOFC）導入効果に関する近似分析
- [9]中野諭,鷺津明由：政府見通しに基づく大規模水素利用の波及効果の分析
- [10]中野諭,鷺津明由：水素・燃料電池の政府見通しがもたらす効果の産業連関分析
- [10]本藤祐樹：再生可能エネルギー技術の価値評価と導入戦略のための基盤構造
- [11]早稲田大学スマート社会技術融合研究気候（ACROSS）次世代科学技術経済分析研究所 Web ページ：次世代エネルギーシステム分析用産業連関表（IONGES）,<http://www.f.waseda.jp/washizu/table.html>
- [12]経済産業省資源エネルギー庁：エネルギー基本計画(2018.07),  
[https://www.enecho.meti.go.jp/category/others/basic\\_plan/pdf/180703.pdf](https://www.enecho.meti.go.jp/category/others/basic_plan/pdf/180703.pdf)
- [13]経済産業省資源エネルギー庁：水素・燃料電池戦略ロードマップ～水素社会実現に向けた産学官のアクションプラン～(2019.03.12),  
<https://www.meti.go.jp/press/2018/03/20190312001/20190312001-1.pdf>