

戦略的創造研究推進事業（社会技術研究開発）  
科学技術イノベーション政策のための科学 研究開発プログラム  
研究開発プロジェクト  
「電力分野のイノベーションと研究開発ネットワークに係わる  
評価手法の開発」

## 研究開発実施終了報告書

研究開発期間 平成 23 年 11 月～平成 26 年 10 月

研究代表者 秋山 太郎  
(横浜国立大学成長戦略研究センター 教授)

## 目次

1. 研究開発目標 .....	2
2. 研究開発の実施内容 .....	2
2-1. 実施項目 .....	2
2-2. 実施内容 .....	4
2-2-1. スマートグリッド関連の技術動向の調査 .....	4
2-2-2. 電力市場の制度調査 .....	5
2-2-3. 電力ネットワークシステムの選定 .....	6
2-2-4. 電力市場のマルチエージェントモデルの開発 .....	6
2-2-5. 電力市場イノベーションの数量評価 .....	12
2-2-6. 燃料電池関連の技術動向の調査 .....	20
2-2-7. 燃料電池関連の特許データの整理 .....	21
2-2-8. 共同研究開発ネットワークの推定と特性の分析 .....	22
2-2-9. 共同研究開発ネットワークを用いた研究開発評価 .....	26
2-2-10 電力市場制度設計の提言 .....	34
3. 研究開発成果 .....	36
3-1. 成果の概要 .....	36
3-2. 各成果の詳細 .....	36
3-2-1. R&D ネットワークと研究開発の評価 .....	36
3-2-2. 電力市場モデルと電力市場イノベーション .....	37
3-3. 学術的成果、人材育成やネットワーク拡大への貢献等 .....	38
3-4. 成果の発展の可能性 .....	38
4. 関与者との協働、成果の発信・アウトリーチ活動 .....	39
4-1. 研究開発の一環として実施したワークショップ等 .....	39
4-2. アウトリーチ活動 .....	39
5. 論文、特許等 .....	39
5-1. 論文発表 .....	39
5-2. 学会発表 .....	40
5-3. 特許出願 .....	40
6. 研究開発実施体制 .....	41
6-1. 体制 .....	41
6-2. 研究開発実施者 .....	42
6-3. 研究開発の協力者・関与者 .....	45

## 1. 研究開発目標

本研究開発プロジェクトでは、市場・制度の選択を考慮した次世代電力システムの影響を数量的に評価することにより、適切な電力市場の設計に寄与すると共に、燃料電池の共同 R&D ネットワークの推定とそれに基づいた燃料電池への公的研究開発支出の評価を行う。こうした電力分野における先端技術の評価する取り組みを通じて、市場・制度の選択を必要とする技術イノベーション評価の一般的フレームワークと、公的研究開発投資の R&D ネットワークに対する効果を評価する汎用性のある手法を構築する。

## 2. 研究開発の実施内容

### 2-1. 実施項目

#### i スマートグリッド関連の技術動向の調査

「電力市場のマルチエージェントモデルの開発」におけるモデル開発、「電力市場イノベーションの数量評価」で行うシミュレーション等の想定のため、スマートグリッドの技術動向の調査を行った。

#### ii 電力市場の制度調査

「電力市場イノベーションの数量評価」で行うシミュレーション等の想定、「電力市場設計の提言」のための基礎的情報を得ることを目的として、電力市場の市場構造や制度等を調査した。

#### iii 電力ネットワークシステムの選定

「電力市場のマルチエージェントモデルの開発」、「電力市場イノベーションの数量評価」におけるモデル開発とシミュレーションの目的に照らして、どのような電力網・系統制約等を想定するべきかを検討し、選定した。

#### iv 電力市場のマルチエージェントモデルの開発

電力市場イノベーションを評価するための、スマートグリッドによって導入されるリアルタイムプライシング、燃料電池および蓄電池を扱えるマルチエージェントモデルを開発した。研究開発者の交代により、当初 H24 年度に終了する予定であったモデルの開発が遅れたため、実施期間を H25 年度まで延長して、電力市場イノベーションの数量評価と並行して実施した。

#### v 電力市場イノベーションの数量評価

開発された電力市場のマルチエージェントモデル等を利用してシミュレーションを行い、スマートグリッドや燃料電池・蓄電池等の効果を評価した。また、「スマートグリッドの技術動向の調査」からの提案に基づいて、当初は予定していなかった高速デマンドレスポンスの経済性評価も行った。

#### vi 燃料電池関連の技術動向の調査

「燃料電池関連の特許データの整理」、「共同研究開発ネットワークの推定と特性の分析」、「電力市場イノベーションの数量評価」でのシミュレーションにおける燃料電池の取り扱いのため、多岐に渡る技術分野を含む燃料電池関連の技術動向の調査を行った。

#### vii 燃料電池関連の特許データの整理

「共同研究開発ネットワークの推定と特性の分析」における共同研究開発ネットワークの推定に利用するデータベースを作成するため、燃料電池関連の特許データ入手・分類・整理し、名寄せ等を行い、データベース化を行った。当初予定より半年程度早く終了した。

viii 共同研究開発ネットワークの推定と特性の分析

データベース化された特許データから共同研究開発ネットワークを推定し、その特性やネットワークに関する統計量等を導出した。当初予定より、半年程度早く開始したが、1年早く終了した。しかし、推定された共同研究開発には、親会社・子会社による共同研究開発が多数含まれていることが分かり、これらを同一企業系列による単独の共同研究開発とする形でのネットワークの改定が必要となることが分かった。この作業については、企業の財務データとの接合が必要となるため、「共同研究開発ネットワークを用いた研究開発評価」で行うこととした。

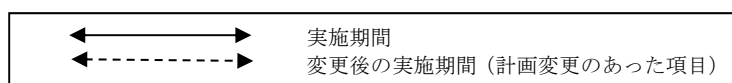
ix 共同研究開発ネットワークを用いた研究開発評価

共同研究ネットワークのデータと企業の財務データと接合し、パネルデータを構築し、研究開発へのネットワークの効果と公的研究開発投資の効果の分析を行った。当初予定してなかった親会社・子会社関係を考慮したネットワークの改定作業についても、この項目で追加的に行った。この追加的な作業のため、当初予定より半年程度早く開始したが、終了は当初計画通りであった。

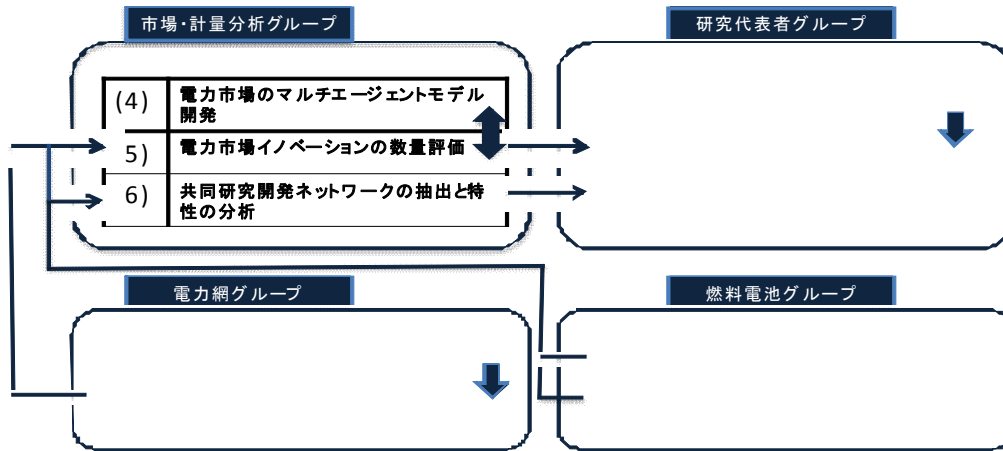
x 電力市場制度設計の提言

「電力市場イノベーションの数量評価の結果」に基づき、電力市場の制度設計に関して提言するとともに、横浜市の政策への実装をはかった。

項目	平成 23 年度	平成 24 年度	平成 25 年度	平成 26 年度
スマートグリッド関連の技術動向の調査	←————→	←————→		
電力市場の制度調査	←————→			
電力ネットワークシステムの選定		←————→		
電力市場のマルチエージェントモデルの開発		←————→	←-----→	
電力市場イノベーションの数量評価			←————→	←————→
燃料電池関連の技術動向の調査	←————→			
燃料電池関連の特許データの整理	←————→	←-----→		
共同研究開発ネットワークの推定と特性の分析		←-----→	←————→	
共同研究開発ネットワークを用いた研究開発評価			←————→	←-----→
電力市場制度設計の提言				←————→



## 実施項目間の連関と研究開発の流れ



## 2-2. 実施内容

### 2-2-1. スマートグリッド関連の技術動向の調査

#### i) 実施内容

「電力市場のマルチエージェントモデルの開発」におけるモデル開発、「電力市場イノベーションの数量評価」で行うシミュレーション等の想定のため、スマートグリッドの技術動向の調査を行った。

#### ii) 経過と結果

初年度である平成 23 年度は、自由化と再生可能エネルギーの大規模導入を踏まえた価格情報を利用した系統運用技術について調査を行った。電気事業の再編と規制緩和から分散型電源の所有者が多様化し、従来のように系統運用者の指令で直接制御することは難しい。系統における市場に基づいた需給運用として、シャドープライスを用いた電力需給制御、分散市場型電力流通システム、モバイルエージェントを用いた相対取引による電力需給制御の 3 つのケースについて調査した。これらの方式の検討により、価格情報を用いたアンシラリーサービスをも含んだ電力需給制御が効率性やその他の点で大きなメリットをもたらす可能性が示された。ただし、これらの技術は、まだコンピュータによるシミュレーションの段階に留まっており、まだ実証実験の段階に達しておらず、実用化はかなり先の将来であると判断された。

平成 24 年度の調査については、一般的な技術動向の調査としては有用であるが、モデル開発やシミュレーションの想定のためには必ずしも役に立たないと判断された。そのため、平成 24 年度は、「マルチエージェントモデルの開発」「電力市場イノベーションの修了評価」の担当グループから要望に基づき、電力市場モデルにおけるリアルタイムプライシング（Real Time Pricing、以下 RTP）の取り扱い、具体的にはどの市場の価格とリンクさせるべきかについてとの関連で、技術・制度の動向両面から検討を行い、また RTP のほかに取り上げるべき技術があれば提案することとなった。

RTP についての技術・制度の動向両面からの調査の結果は次のようなものであった。現状では、海外においても家庭等向けにリアルタイム市場の価格とリンクさせた形で RTP プログラムを提供している例はなく、多くの場合一日前市場の価格等とリンクした形であった。（この他、前日の気温予測等とリンクした形での RTP プログラムも存在する。）さらに、現在日本で決定され

たスマートメーターの仕様は、30分間隔での情報の伝達ができず、リアルタイム市場の価格とリンクすることはできない。スマートグリッドを支えるインフラとして、この仕様のメーターが今後大量に各電力会社によって導入されることが決まっており、この導入されたメーターが、もう一度更新されるのにはかなり長い時間が必要である。したがって、日本においては、リアルタイム市場が開設されても、そこでの価格とリンクした RTP の実現は不可能であると考えられる。以上のような状況を考えると、日本のスマートグリッドにおける RTP は、価格のリアルタイム市場ではなく、1日前市場とのリンクを想定すべきであるという判断となった。

また、分から秒単位での迅速な電力の需給状況に対する需要側の対応を実現する高速デマンドレスポンス (Fast Demand Response、以下 FastDR) を「電力市場イノベーションの数量評価」において、何らかの形で取り上げることがを要請した。FastDR は、周波数・電圧等の短時間での変動を抑制するアンシラリー目的に利用されることが想定され、既にアメリカでは仕様の標準化 (Open ADR) が推進され、一部で実証実験が開始されていた。FastDR は、再生可能エネルギー等の大量導入の際に必要な蓄電池の量を大幅に削減することにより、アンシラリーサービスのコストを大幅に削減することが一般的に期待されている。FastDR については、技術的な問題等が数多く残されているが、このような動向を考慮し、「電力市場イノベーションの数量評価」において、何らかの形で取り上げることがを要請した。

## 2-2-2. 電力市場の制度調査

### i) 実施内容

電力市場モデルのシミュレーションの想定や電力市場の制度設計への基礎情報として、各国の電力市場の構造、電力取引市場の取引構造や規制を調査した。

### ii) 経過と結果

電力市場は、発電、送電、配電および小売の機能から成立している。現在、我が国の電力市場において、これらの機能は、地域独占を政府に許諾された企業によって、ほぼ統合されている。まず、各国について、これらの機能が、別個の企業によって提供されているのか、それとも統合された企業によって提供されているのかを、調査し、分類した。

具体的には、カナダ、アメリカ、フランス、ドイツ、イタリア、スペイン、イギリス、スウェーデン、ノルウェー、フィンランド、ロシア、インドネシア、中国、韓国、台湾、インド、オーストラリア、ブラジルの計 18 国について、政府・取引所等による公開資料や『海外諸国の電気事業』(海外電力調査会、2009) 等を利用して調査を行った。

上記 18 カ国では、インドネシア、台湾を除く諸国で、送電と発電の分離が行われている。分離の具体的な方法としては、法的分離、IPO/RTO 等による機能分離、所有分離がある。アメリカ・カナダ (の一部) においては機能分離が行われている。EU が所有分離を方針としたことにより、EU においては、送電会社を単なる別会社とする法的分離はなくなりつつある。なお、フランスにおいては、形式的に送電部門の法的分離がなされているが、EU から送電部門の独立性の弱さが指摘されている。また、途上国を中心に、送電部門を政府・公社が行う形で、分離が行われているケースもある。以上のように、先進国では機能分離と所有分離のどちらかの方式が主流となっており、アメリカにおける機能分離、欧州における所有分離という形で類型化できた。

小売に関しては、多数の企業が存在する場合と少数の企業しか存在しない場合があり、国によってかなり状況が異なっている。さらに、発電と小売については、完全な分離が定められている国は例外的である。発電・小売を垂直統合している大規模な企業が存在するケース、あるいは別会社ではあっても持ち株会社下の子会社が発電と小売を行っているケースは多い。しかしながら、日本の特定規模電気事業者 (PPS) 制度のように、発電と小売の統合が参入の前提となっている制度は、他の諸国では存在しないことが分かった。

1日前市場・時間前市場・リアルタイム市場での価格変動をヘッジするために、電力価格を原資産とするデリバティブを取引する市場が、電力のデリバティブ市場である。電力デリバティブ市場で取引される商品は、先物、(プット及びコールの) オプション、電力価格指数に関するスワップなどが存在する。電力デリバティブ市場では、市場に厚みを持たせるため、実需をもたない電気事業者以外の金融機関や事業会社などの取引も認められているが、これらが株式市場や商品市場などと同様な過度な価格変動をもたらすことも指摘されており、取引のための証拠金の引き

上げなど規制強化が議論されている。

さらに、日本の電力市場における、PPS等に30分間の電力需要量の積分値と電力供給量の積分値の一致を要求する30分同時同量は要求されているが、より短い時間における周波数変動調整の等へのアンシラリーサービスは、一般電気事業者が引き受けている形となっており、PPSと一般電気事業者の間での明確な負担に関する制度はない。これは、アンシラリーサービスに関する市場が存在するアメリカ等とは大きく異なる。

自由化された電力市場、とくに卸売市場においては、発電企業の市場支配力が大きな問題となっている。ドイツをはじめとする多くの国において、合併や大手電力会社グループの持ち株会社を通じた発電・小売り分野での水平・垂直的統合が進行し、電力市場の寡占化が問題となっている。このような寡占化は企業の市場支配力を高めるのは当然であるが、そのような寡占化が進んでいない市場でも、市場支配力は重要な問題となっていることが分かった。さらに、自由化された市場の代表的な例であるアメリカのPJM市場は、日本に比べて非常に多数の発電企業が存在する市場であるが、自由化当初において需給ひっ迫時に生じた問題等から、発電企業の入札行動には厳格な規制が課されており、PJM市場においては事実上短期限界費用でしか入札することができない。

以上のような調査から、とくに卸売市場における企業数、市場支配力の問題、価格規制は非常に重要な問題であることが確認された。とくに、PJM市場等で導入されている入札規制は重要であり、電力市場のマルチエージェントモデルのシミュレーション等においても、必要に応じてこのような設定を取り入れることとした。

### 2-2-3. 電力ネットワークシステムの選定

#### i) 実施内容

「電力市場のマルチエージェントモデルの開発」で開発しているモデルにおける電力網の設定に関して、日本の電力網の実情とモデルの利用目的等に照らして、どのような設定が適切か検討を行った。

#### ii) 経過と結果

「電力市場のマルチエージェントモデルの開発」でも説明されているように、シミュレーションにはエージェントベースドシミュレーション (Agent Based Simulation、以下 ABS) という手法を利用する。ABSを行う上で、可能な限りモデルをシンプルにすることが重要であると指摘されている。電力市場においては、システムの制約によって電力潮流が制限され、市場分断が発生する。このような市場をモデルに取り入れるかがモデル作成上の問題となる。これは、システム制約の導入は、モデルを現実によくするものではあるが、他方でモデルを複雑にすることとなる。

日本の各電力会社の管内は、基本的に放射状あるいは超高压ループシステムであり、一部を除き需給運用には十分な容量を持っている。これに対し、電力会社間は基本的に1ルートで連系、容量は十分ではない。以上のような理由から、ネットワーク制約により電力潮流が制限される可能性が高いのは電力会社間連系である。したがって、電力市場シミュレーションを行う際、複数の電力会社をまたがるシミュレーションにはネットワーク制約を加味した市場、電力会社の地域内を対象とするシミュレーションにはネットワーク制約を考えないシングルノードモデルを前提とするのが適切である。前者の場合には、ネットワーク制約によって電力潮流が制限され、市場が分断されるので、地点別限界価格LMP等の計算も必要となる、

本プロジェクトで構築する電力市場モデルの利用法としては、電力会社管内を対象としたシミュレーションを考えていた。このような利用目的に照らして、複雑化とのトレードオフを考慮すると、電力市場マルチエージェントモデルにおいては、ネットワーク制約を考えないシングルノードモデルを前提とするのが適切であるとの判断に至った。

### 2-2-4. 電力市場のマルチエージェントモデルの開発

#### i) 実施内容

スマートグリッドによって実現されるリアルタイムプライシング、燃料電池等の導入が、電力市場価格形成へもたらす効果をシミュレートするためのモデルの開発を行った。開発するモデルは、純粋な内部研究向けではなく、利用者としては、自力でモデルを開発することが困難である

地方公共団体やNPOなどのユーザーを想定し、公開され、他人が利用・拡張することを前提としている。アメリカでは、アイオワ州立大学の AMES モデルが作成され、一般にも公開されている。

先にも述べたように、シミュレーションにはエージェントベースドシミュレーション ABS という手法を利用した。ABS は対象となる現象の最小単位をエージェントとしてモデリングし、エージェント同士のインタラクションを通して演繹的に対象となる現象をシミュレーションする方法である。

## ii)経過

プログラム開発担当者の交代等により、当初予定より開発が遅れた。以下では、平成 24 年度と平成 25 年度に分けて、経過を説明する。

### 平成 24 年度

#### ①モデル構築方針の策定

モデルの開発は、平成 24 年度から開始した。モデル構築については、とくに以下の点に留意しながら進めた。ABS を行う上で、可能な限りモデルをシンプルにすることが重要であると指摘されている。シンプルにすることで現象をもたらすメカニズムが理解しやすくなる。ただし、対象の現象ごとにモデルを一新しては、モデル同士の比較が難しくなる。そのために、統一的なフレームワークが必要になる。統一的なフレームワークの下で、シンプルさを保つには、構成要素そのものをパラメータとして、モデルを構成する最低限のものを選択できるようにする必要がある。

そこで、モデルの構成要素をモジュール（クラス）化して、それらを組み合わせてモデルを作るシミュレータを開発する方針を採用した。これにより、モデルをできるだけシンプルかつ他のモデル比較できる形でシミュレーションを行うことが可能になる。上述のような方針にしたがい、JAVA を開発言語とし、オブジェクト指向のプログラム開発手法の手順に基づいてモデル構築を進めた。

#### ②モデルの構造の策定と様々な基礎的なクラスの実装

モデル構築については、個々の市場等の具体的な機能の実装より先に、モデルの構造の策定、インターフェースの設計を含む基本的なクラスの策定を先に行い、その後、ログや制御機能等のシミュレーションのための基本的機能のクラスの実装を行った。試験的にいくつかのシミュレーション時に、クラスの入替えや追加等を行い、モデルの動作自体には問題がなく、モデルの基本構造とクラスの策定に齟齬がないことが示された。

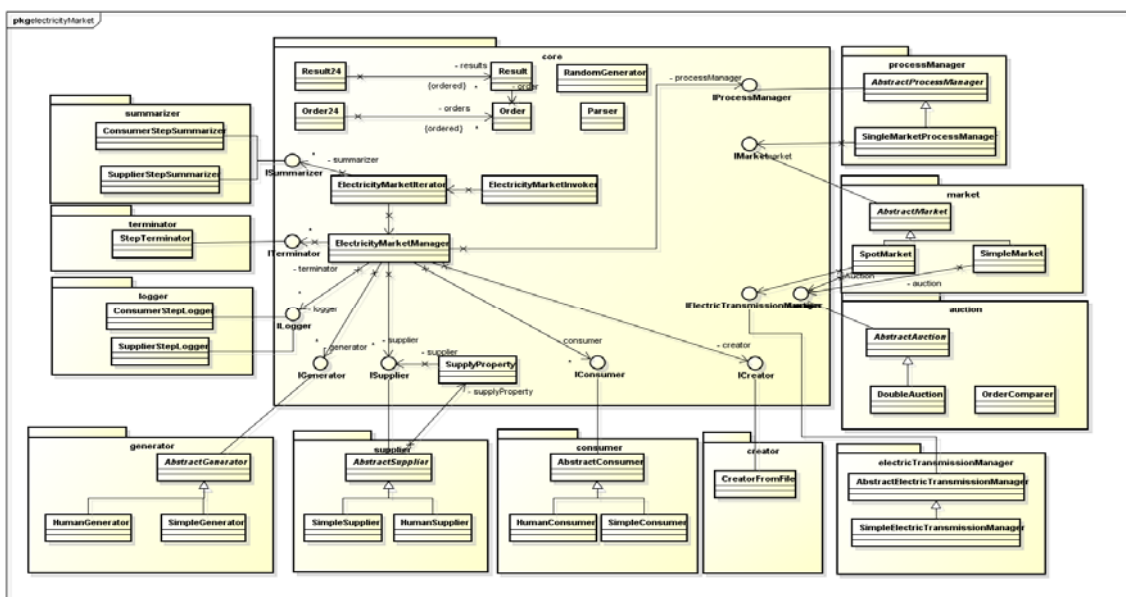


図 1 クラス図



### ③モデルの概要

モデルの概要は下に示されている。

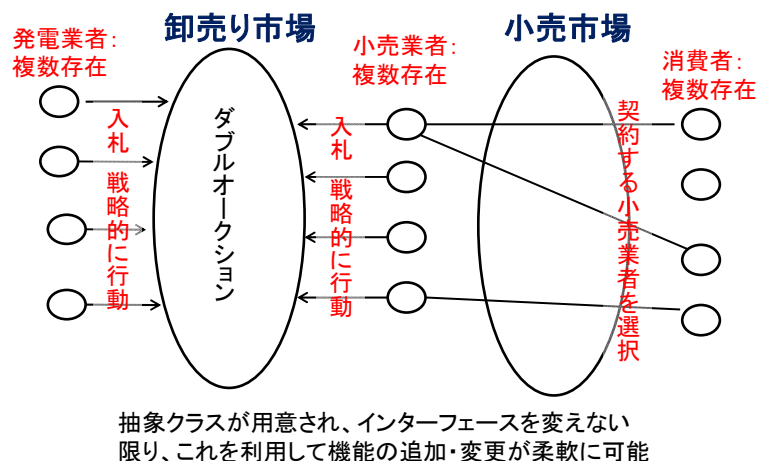


図 2 モデルの概要

モデルの中心となる卸売り市場については、以下のようなモデル化がされた。市場に参加するエージェントに、高い利得をあげた戦略をとる確率を引き上げ、低い利得をあげた戦略の確率は引き下げるという Roth=Erev タイプの学習機能、正確には Boltzman 分布を利用したその修正版を実装した学習機能を与えた。AMES モデルなどのアメリカ等の先行研究で多く採用されている線形供給関数入札方式ではなく、数量と価格の組により入札を行う方式とした。これは、線形関数入札方式は、そのシミュレーション結果が不安定であるという Albert Banal-Estañol と Augusto Rupérez の研究 (Albert Banal-Estañol and Augusto Rupérez, “Behavioural simulations in spot electricity markets” *European Journal of Operational Research*, 214,, 2011, 147–159) を踏まえたものであった。もう一つの理由は、日本の電力卸売市場における入札方式により忠実なモデル化を行うためであった。

平成 25 年度

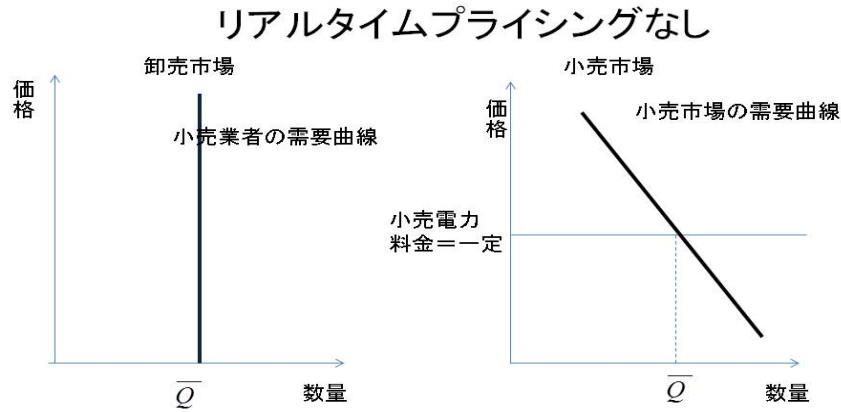
#### ①ドキュメントの整備

開発担当者が交代したため、開発作業をより容易にする必要から、プログラムを精査して、前年度に開発したプログラムに関するドキュメントを先に整備した。主たるドキュメントは、各クラスの仕様に関する詳細なドキュメントである。

#### ②需要の弾力性の導入

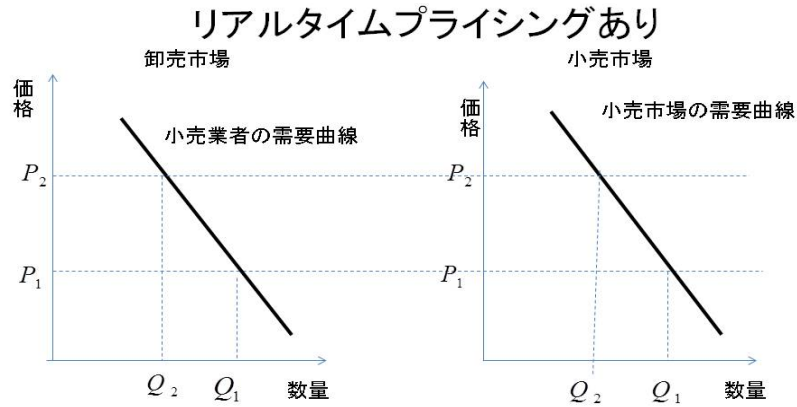
詳細なドキュメントを作成した後に、RTP 等による電力需要曲線の価格弾力性の上昇、燃料電池、蓄電池の導入、発電業者に対する規制を扱えるモデルの拡張を行った。プログラムや数式の詳細については触れないが、モデル化の基本的な考えは以下のようなものであった。

前年度までのモデルでは、各時点の電力需要が価格に依存せず、各需要家の需要曲線は垂直であった。しかし、下記の図に示されているように、スマートグリッドによって導入される RTP の下では、消費者の電力需要は、時間帯のみでなくその時々々の電力価格に依存すると考えられる。そのため、消費者の電力需要が電力価格に依存する形にする必要がある。さらに、リアルタイムプライシングが存在しない場合でも、卸売市場における需要曲線は、僅かではあるが価格弾力性は正であるという指摘もあり、このような指摘に対応するためにも、需要を価格弾力的にすることができるモデルにする必要があった。



卸売市場の価格によらずに小売の電気料金が一定のため  
卸売市場における小売業者の需要曲線が非弾力的

1



卸売市場の価格に連動して小売の電気料金変動するため  
卸売市場における小売業者の需要が卸売市場の価格に反応

2

**図 3 RTP と卸売市場の需要曲線**

電力市場モデルにおいて、価格弾力的な需要を導入する場合に問題となるのは、需要曲線の関数形に関する仮定である。有名な電力市場のマルチエージェントモデルである AMES モデルでもそうであるように、しばしば線形の需要曲線を仮定した形でモデルが構築されているが、線形の需要曲線は、価格水準によって需要価格弾力性が異なるため、扱いがかえって複雑となる。よって、需要関数は需要の価格弾力性一定である

$$D_{ij}(P_j) = \alpha_{ij} P_j^{-\varepsilon} \quad j=1, \dots, 48$$

の形とすることにした。ここで、 $\varepsilon$  は需要の価格弾力性、 $D_{ij}$  は需要家  $i$  の時間帯  $j$  の電力需要、 $P_j$  は時間帯  $j$  の電力価格である。小売業者は、消費者の電力需要をまとめて卸売り市場で入札を行う。電力市場モデルでしばしば仮定されるように、小売業者は需要家の「正直な」代理人であるとし、需要家の需要曲線（の合計）に沿って入札を行うこととした。

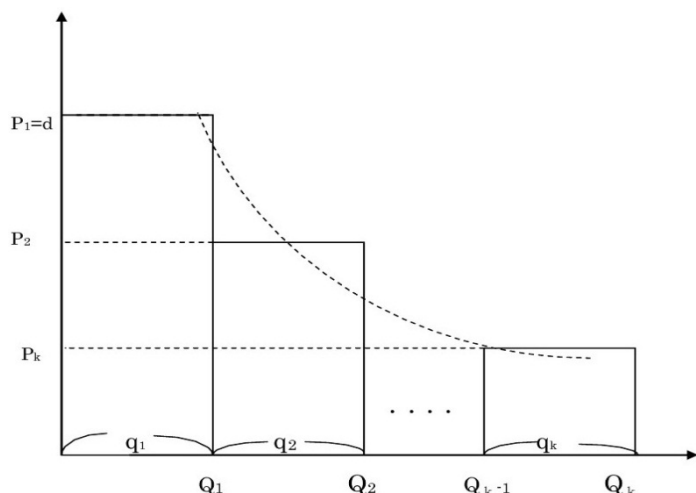


図 4 需要曲線のステップ関数近似

プログラム上では、非線形の需要曲線をそのまま扱うのではなく、図 4 のようにステップ関数で近似して、小売業者が  $(P_1, q_1)$ 、 $(P_2, q_2)$ 、...、 $(P_k, q_k)$  の組で入札を行う取り扱いとした。

### ③燃料電池の導入

PEFC などのオンオフが可能な燃料電池が存在する場合は、燃料費と電力価格の高低により、燃料電池が稼働され、その容量の分だけ電力市場への電力需要  $MD_j$  が減少する。CF を燃料費に対応する電力価格の水準、FF をオンオフ可能な燃料電池の容量であるとする、図 5 に示されているように CF 以上の価格では、燃料電池が稼働するため、FF だけ電力需要が減少する。オンオフ可能でない SOFC などの燃料電池については、ベース電源として利用されるため、電力価格にかかわらずその容量 FB だけ市場における電力需要が減少する。

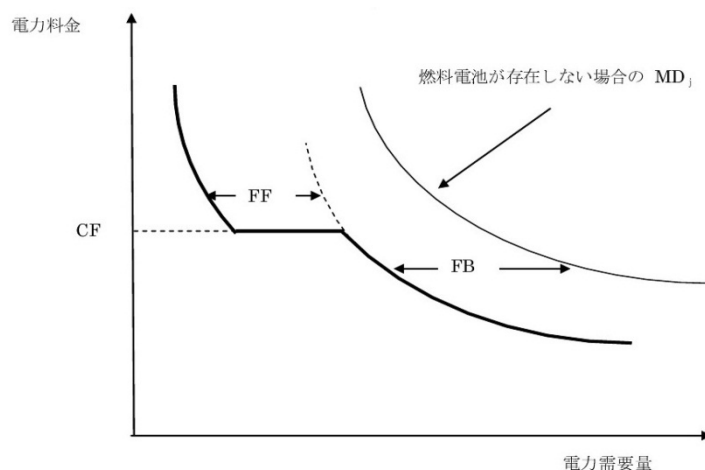


図 5 燃料電池があるケース

### ④蓄電池の導入

さらに、家計などの需要家側が保有する蓄電池が価格形成に関して与える影響を分析できるようにモデルを拡張した。蓄電池に関しては、電力価格が低いときに充電し、電力価格が高いときに放電するため時間帯を通じた分析が必要となる。その際に、効率、充放電制約および容量の制約を考える必要がある。1 日における充電量と放電量は（効率を考慮して）バランスしていなければならない。また、充電を開始する価格を充電価格 PC、放電を開始する価格を放電価格 PD としたとき

$$PC \leq \text{効率} \times PD$$

が満たされなければならない。さらに、下図に示されているように、電力価格が PC を下回ると

き充電が行われるため、充電により電力需要が増加し、電力価格が PD を上回るときには放電により電力需要が減少する。

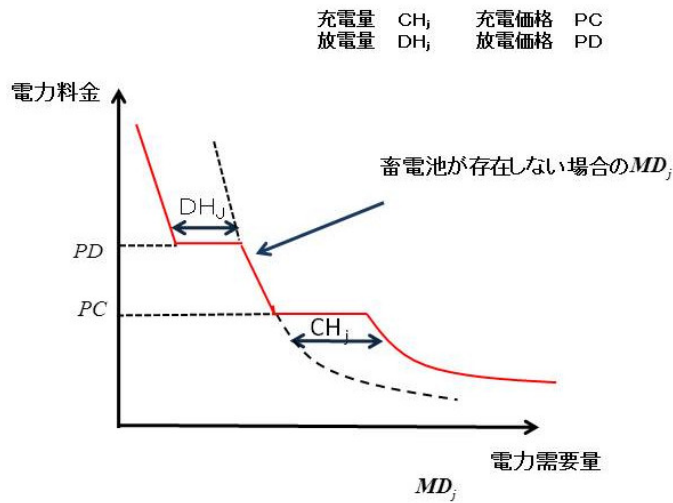


図 6 蓄電池の導入

PC、PD は内生的であり、全時間帯の電力価格が与えられたとき、それに応じた最適な充電価格 PC、放電価格 PD が定まるが、電力市場における PC および PD は逆に電力需要を通じて電力価格に影響を与えるため、それらが相互に整合的とならなければならない。すなわち、全時間帯の電力価格を所与として (PC,PD) を求め、その下での全時間帯の電力価格をシミュレーションにより求め、それらを所与として再び (PC,PD) を求める...というプロセスを収束するまで繰り返す必要があり、そのような繰り返し計算を行うプログラムを追加する拡張を行った。

iii) 結果

以上により、スマートグリッドによる DR、燃料電池、蓄電池の効果を分析可能とする電力市場モデルが開発された。このモデルは、「電力市場イノベーションの数量評価」におけるシミュレーションで利用された。

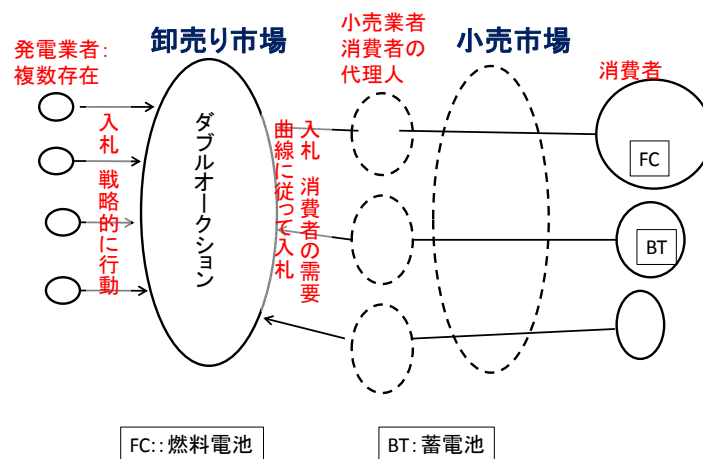


図 7 モデルのイメージ

## 2-2-5. 電力市場イノベーションの数量評価

### i) 内容

スマートグリッドによって導入される RTP、燃料電池、蓄電池等は、卸売り市場における需要の価格弾力性の上昇をもたらす。この需要の価格弾力性の変化、価格形成への効果を調べた。ここでは、電力市場の価格形成に及ぼす効果、とくに需給ひっ迫時の価格高騰や発電業者の市場支配力の抑制、FastDR の蓄電池削減効果の 2 つを扱った。前者は、RTP 等による需要の価格弾力性や燃料電池等の価格形成への効果であり、本プロジェクトで開発した電力市場モデルを用いたシミュレーションによって分析した。後者は、電力工学で電力網の安定性等を調べるために利用される電力系統シミュレーションモデルを用いて分析を行った。

### ii) 経過

当初は、スマートグリッドや燃料電池等の導入による電力市場の価格形成への効果のみを分析する予定であったが、「スマートグリッドの技術動向」「電力市場の制度調査」によるアンシラリーサービスと FastDR の重要性の指摘を受けて、FastDR をも取り上げて分析を行うとした。

FastDR の評価については、そのアンシラリー機能に注目するため、電力系統シミュレーションモデルを利用する必要がある。幸いなことに、横浜国立大学内に稼働している電力系統シミュレーションモデルがあり、これを利用して分析を行うこととした。

マルチエージェントモデルの開発が当初予定より遅れていたこともあり、こちらの分析を先行して行い、その後、マルチエージェントモデルを用いた電力市場の価格形成の分析を行うこととした。平成 25 年度においては、マルチエージェントモデルを利用したシミュレーションは、東京電力は分割されず、入札行動に規制を課すとの設定の下で行った。平成 25 年度の「政策のための科学」全体集会でのこのシミュレーションに対してコメントを受け、東京電力を小さく分割した場合のシミュレーションを行った。

### iii) 結果

#### ① FastDR のアンシラリー機能の評価

FastDR について、その経済性を数量的に評価した。FastDR は、再生可能エネルギー等の大量導入の際に必要な蓄電池の量を大幅に削減することにより、コストの大幅な削減を実現できると主張されている。その主張の是非を、システムモデルのシミュレーションを用いて検証した。再生可能エネルギーについては、2030 年の目標導入状況を想定している。FastDR の対象として、具体的には冷蔵庫および空調の温度の調整の利用を考える。図 8 に示されているように、火力・揚水発電、蓄電池、空調・冷蔵庫の温度調整の順で利用すると想定する。

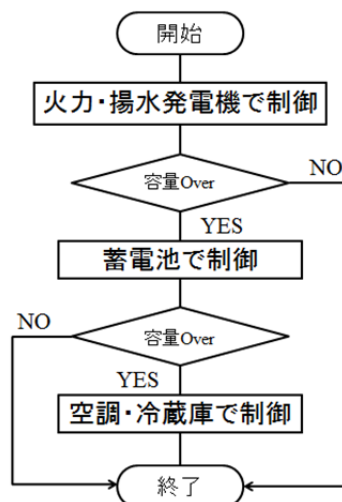


図 8 周波数制御の想定

東京電力管内（エリア 1）、東北電力管内（エリア 2）を対象とし、各エリアにおける DR による需要調整の余地（DR ポテンシャル）を、現実の状況に基づいて表 1 のように設定し、シミュレーションには電気学会東 30 機系統モデル（中間期休日昼間断面）を用いた。これは、空調・冷房の電力使用量が少なく、また電力需要が少ないため稼働していない火力発電所が多く、最も周波数調整が難しい日を想定していることになる。なお、このシミュレーションでは、FastDR にとまう技術的な問題は解決されており、「理想的」な状態での FastDR の有用性を評価している。

表 1 DR ポテンシャルの想定

		エリア 1	エリア 2
空調	総需要 [MW]	2,004	429
	DR ポテンシャル[MW]	±200	±43
冷蔵庫	総需要 [MW]	5,640	1,208
	DR ポテンシャル [MW]	±435	±93.2

その結果、周波数の標準偏差と蓄電池容量との関係は図 9 のようになった。

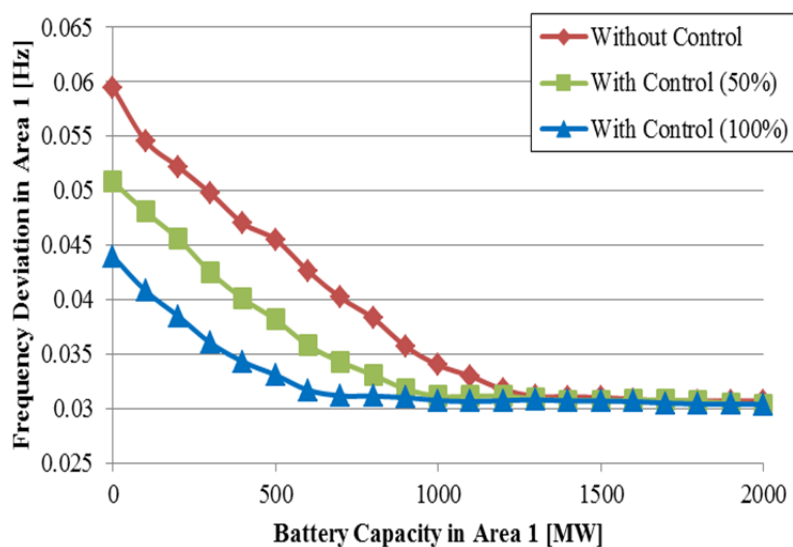


図 9 蓄電池導入容量と周波数標準偏差の関係

目標とする周波数標準偏差を 0.031Mz としたときの、需要家の FastDR への加入割合と必要な蓄電池容量との関係が、図 10 に示されている。

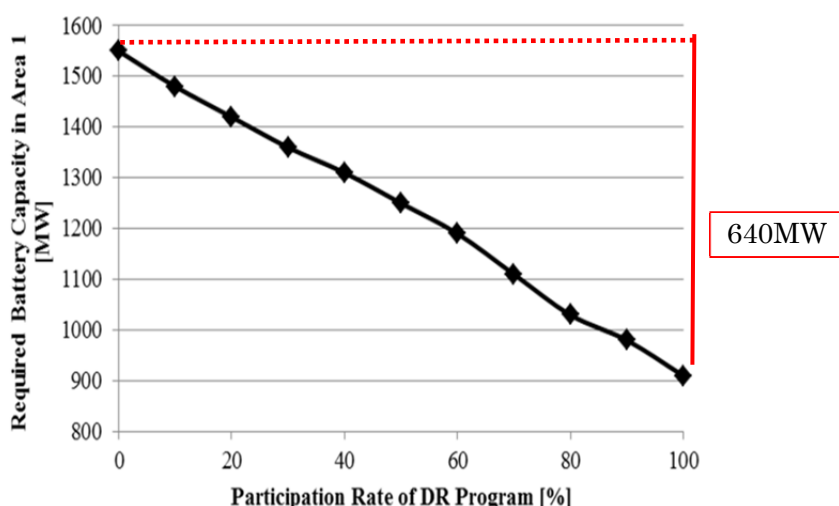


図 10 必要蓄電池容量（目標標準偏差 0.031Hz）

全需要者が FastDR に参加したときのエリア 1(東電管内)蓄電池容量の削減は 640MW となる。技術の進歩による蓄電池価格の低下を考慮して KW 当たりの蓄電池単価を 72,000 円と想定すると、蓄電池費用の削減額は、耐用年数 17 年として 1 年当たり 27.1 億円となり、1 軒当たりの削減額は、1 年当たり 127.1 億円/2600 万軒=104 円となる。この額では、必要とされる通信・制御機器等のコスト、需要者の FastDR プログラム参加へのインセンティブに必要な金額をまかなうことは到底不可能であり、日本の実情を前提すると、全家庭を対象とするアンシラリー目的の FastDR は、経済的にみて疑問があり、FastDR の対象は大規模事業施設などを対象にすべきであるという評価となった。

②マルチエージェントモデルによる電力市場イノベーションの分析「電力市場マルチエージェントモデルの開発」で開発されたモデルを用いて、スマートグリッド、燃料電池、蓄電池導入の効果を分析した。この分野の研究においては、スマートグリッドの効果は、RTP 等による電力需要の価格弾力性の上昇としてとらえられている。しかしながら、スマートグリッド導入によってもたらされる需要の価格弾力性の上昇は小さなものであるという見方が一般的である。さまざまな実証実験の結果等から、RTP による需要の価格弾力性の上昇は 0.1 程度であるとされている。このような小さな価格弾力性の上昇が、市場での価格形成にどのような影響を与えるのかを、また規制や市場構造等によりその効果にどのような違いがあるのかを、シミュレーションにより分析した。

シミュレーションの基本的な想定は以下のようなものであった。対象となる地域としては東京電力管内とし、自由化された電力市場を考える。東電の原子力発電所（柏崎刈羽）は不稼働であり、夏季等のピーク時は電力需給が逼迫する状況を考える。電力需要としては、東電管内の現実の集計的電力需要を考える。具体的には、2012 年において電力需要がピークとなった 8 月 30 日の電力需要を考えた。時間帯  $j$  の電力需要  $D_j$  は、 $P_j$  を時間帯  $j$  の電力価格、 $\bar{X}_j$  を 2012 年 8 月 30 日時間帯  $j$  の電力需要量であるとして、

$$D_j(P_j) = \bar{X}_j (P_j/20)^{-\varepsilon}$$

で与えられるとした。ここで、 $\varepsilon$  は需要の価格弾力性である。すなわち、電力需要は電力価格が KWh 当たり 20 円であれば、2012 年 8 月 30 日と一致していると想定した。

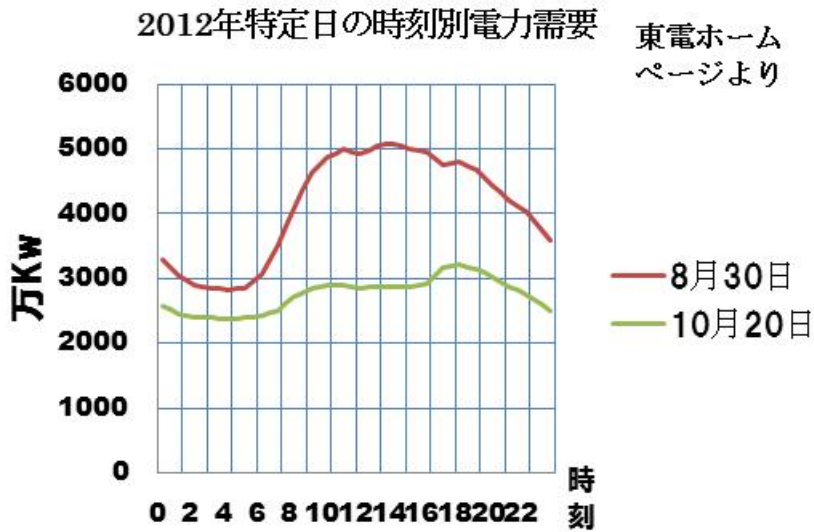


図 11 想定する電力需要

発電会社の費用構造をまとめたものが、図 12 である。電源別の発電コストとしては、コスト検証等委員会などの資産を参考とした。電力自由化後の状況を想定しているため、既存の新電力に加えて、東電に電力を供給している IPP が新電力として東電を介さずに電力を供給し、また電源開発も東電を介さずに電力を供給する新電力となることを想定した。ただし、既存の新電力のうち、他は規模が小さいので、エネットと丸紅のみを考えている。また、東ガスの発電所はエネットに統合している。ここで、ベース電源の原子力と流水型水力に関しては出力調整ができないことを想定し、限界費用 0 としている。これらの発電会社は、東電が現状の規模のままであれば、自由化された市場における周辺の競争者となる。



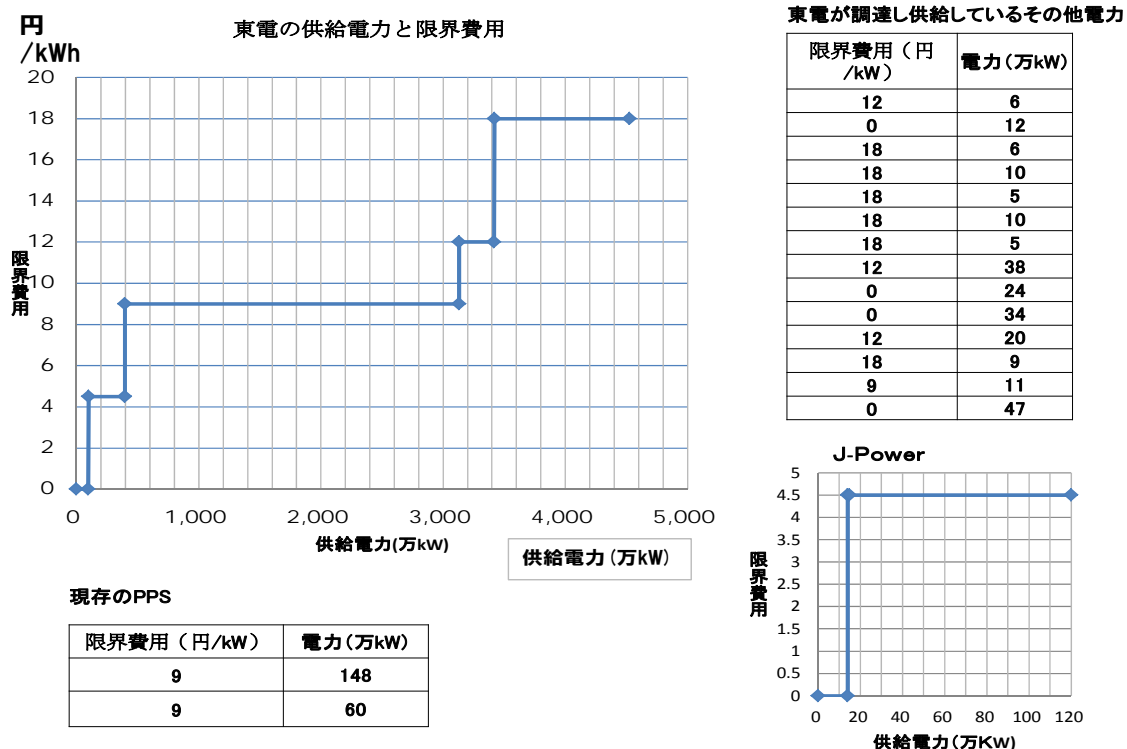


図 12 想定する費用構造

シミュレーションは、電力市場の市場構造、規制、燃料電池および蓄電池の導入量、需要の価格弾力性について、様々な設定の下で行った。シミュレーションについての想定は、表 2 にまとめている。

表 2 シミュレーションの想定のとまとめ

シミュレーションにおいて外部から指定する項目	設定ケース
需要の価格弾力性	0、0.1、0.2
燃料電池の導入量	0、100 万 KW (PEFC60 万、SOFC40 万) 200 万 KW (PEFC120 万、SOFC80 万) (PEFC は電力価格 15 円/KWh で稼働と想定)
蓄電池の導入台数	0、250 万 KWh、400 万 KWh 定格出力で放電時間 4 時間、充電時間 8 時間
市場構造	東京電力は現状と同じ 東京電力を 500 万 KW 程度に分割
規制	全ての発電事業者が自由に入札 東京電力は限界費用で入札

ここで、市場構造と規制について、説明をしておく。このようなモデルでは、東京電力の規模が他の発電業者と比べて非常に大きいため、東電が制約なしに行動した場合、価格は独占価格（ここでは、プライスカップ）まで上昇してしまうことが知られている。市場を機能させるためには、なんらかの規制ないし東電の行動への制約が必要となる。シミュレーションでは、東電は限界費用で供給できる全量を入札するという規制を採用した。これは文字通りの規制以外に、評判や企業分割への危惧を考慮し、持っている市場支配力の行使を自制している状況であると考えられることもできる。

さて、需要の価格弾力性が低いため、電力市場は競争的にはなり難いという点に注意が必要である。以下は、東京電力の分割が、市場支配力を抑制し、価格を限界費用に十分近づけるのかをシミュレーションによって調べた結果である。東京電力が分割されて入札行動が自由である場合において、需要の価格弾力性を 0、0.1、0.2 と設定してシミュレーションを行っている。



図 13 東電分割と需要の価格弾力性

需要の価格弾力性が 0 である場合には、東電が分割されていても、価格はほとんど独占価格であるプライスカップ（80 円と設定）と一致することが分かる。需要の価格弾力性が 0.1、0.2 と増加すると、価格は低下することが分かる。すなわち、需要の価格弾力性が 0 の状況では、東電の分割は独占とほぼ同じ結果を生じてしまうことが分かった。また、需要の価格弾力性の増加は、市場支配力を抑制し、価格を引き下げることが分かった。ただし、価格は限界費用をかなり上回る水準となった。

この結果は、需要逼迫時のものであるため、東京電力の供給能力が図 10 での設定より 400 万 KW 多く、全体としての供給能力に余裕がある場合についても、追加的にシミュレーションを行った。需要の価格弾力性は 0.1 とし想定し、分割をされない東京電力が限界費用で入札を行う場合と、500 万 KW 程度に分割し自由に入札を行うことができるケースを比較した。その結果を示したものが、下図である。結果を、東電が限化費用で入札する入札規制のケースと比較している。後者では、東電の供給能力に余裕があるので、価格はほぼ限界費用と等しくなっている。

東電をかなり小さな規模に分割しても、全体としての電力供給能力に余裕がある状況においても、市場支配力のため限界費用を大きく上回る水準となることが分かった。

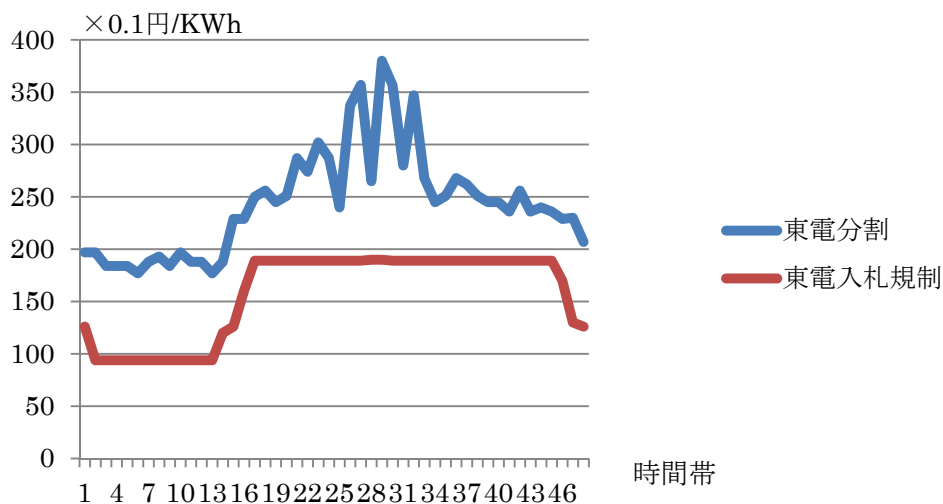


図 14 東電の分割の効果：供給能力に余裕があるケース

電力市場においては、需要の価格弾力が低いため、発電業者の市場支配力が大きくなる。比較的企業数が多くても、市場は競争的とならず、限界費用から価格は大きくかい離する。スマートグリッドによる価格弾力性の上昇は、このような電力市場の市場支配力を抑制する強い力があることが示された。しかし、東電の分割のみによって、現状と同じ水準の価格を実現するためには、東電を非常に小さな規模に分割せねばならず、現実的ではない。そのため、東電の規模は維持したまま、東京電力は限界費用で供給可能な全量を入札すると想定したシミュレーション結果を中心に説明を行う。

需要の価格弾力性が、0、0.1、0.2 の場合のシミュレーション結果を図 15 に示した。

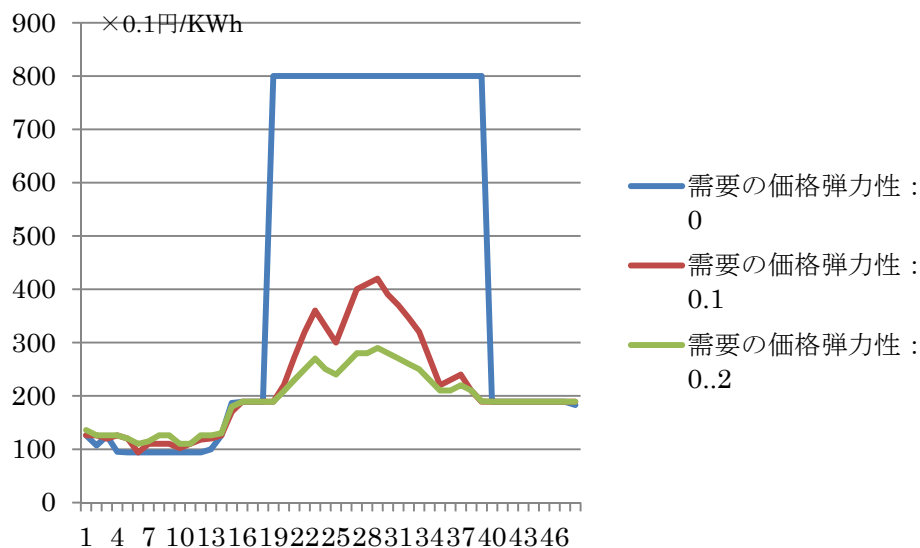


図 15 市場支配力と需要の弾力性

このシミュレーション結果より、需要の価格弾力性の増加が、価格の高騰を抑制する効果があり、需要の価格弾力性が 0 から 0.1 へと上昇することにより、価格のプライスカップまで上昇しなくなり、0.1 から 0.2 への増加によってピーク時の価格を 40 円から 30 円前後まで下げることが示されている。

次に、燃料電池を 100 万 KW、200 万 KW 導入したときのシミュレーション結果が下図にしめされている。需要の弾力性は 0.1 であると想定している。ピーク時需要の 2~4% 程度の容量の燃料電池の導入は、ピーク時の価格高騰を大きく抑制する効果があることが分かる。

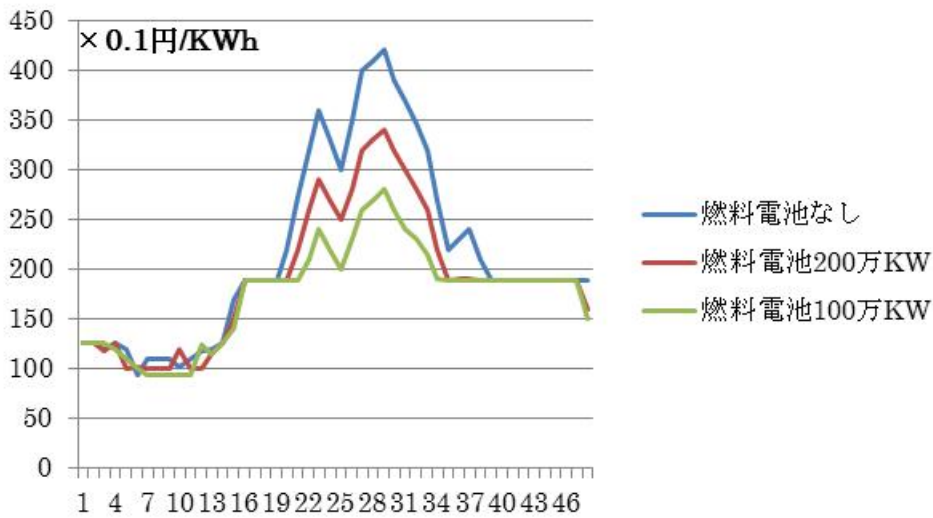


図 16 燃料電池の効果

蓄電池導入の効果を示したものが、次の図である。需要の価格弾力性は 0.1 であるとして、蓄電池が 250 万 KWh、400 万 KWh 導入されたケースについてのシミュレーションを行った。250 万 KWh のケースでは電力価格が 32 円以上、400 万 KWh のケースでは 31 円以上のときに蓄電池からの放電が行われ、ピーク時の価格高騰を抑制するという結果になった。

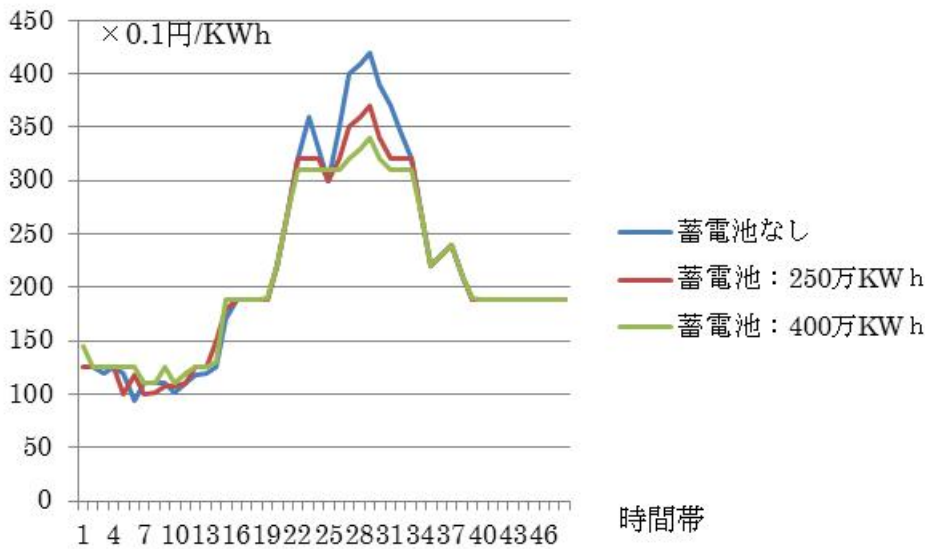


図 17 蓄電池の効果

以上の結果をまとめると、スマートグリッドによって導入される RTP 等による需要の価格弾力性上昇は、ピーク時の電力市場価格の高騰を抑える効果を持つ。また、電力市場においては、需要の価格弾力が低いため、発電業者の市場支配力が大きくなる。比較的企業数が多くても、市場は競争的とならず、限界費用から価格は大きくかい離する。スマートグリッドによる価格弾力性の上昇は、このような電力市場の市場支配力を抑制する効果があることが示された。しかし、東電の分割のみによって、現状と同じ水準の価格を実現するためには、東電を非常に小さな規模に分割せねばならず現実的ではない。また、燃料電池、蓄電池などの導入は、ピーク時の電力市場価格の高騰を抑える効果を持つことが示された。

## 2-2-6. 燃料電池関連の技術動向の調査

### i) 実施内容

スマートグリッドやスマートシティ構想との関連を考慮しながら、燃料電池の技術動向等について調査を行った。「燃料電池関連の特許データの整理」、「共同研究開発ネットワークの推定と特性の分析」、「電力市場イノベーションの数量評価」でのシミュレーションにおける燃料電池の取り扱いのため、多岐に渡る技術分野を含む燃料電池関連の技術動向の調査を行った。

### ii) 経過と結果

燃料電池の技術動向等について専門家、政策担当者、研究開発組織、企業にヒアリングおよび資料等の調査を行い、情報を収集しつつ、主な内容は、技術課題、普及の見通し、そのための政策課題等について検討を行った。

### 燃料電池技術動向に関するヒアリング一覧

実施日	実施者	ヒアリング対象機関
2012年3月8日	石塚辰美 矢野 久	京都大学 大学院工学研究科物質エネルギー化学専攻
2012年3月9日	同上	経済産業省 資源エネルギー庁 燃料電池推進室
2012年3月9日	同上	九州大学 次世代燃料電池産学連携研究センター
同日	同上	九州大学大学院工学研究院応用化学部門
2012年3月13日	同上	新エネルギー・産業技術総合開発機構 新エネルギー部燃料電・水素グループ
2012年3月15日	同上	産業技術総合研究所 エネルギー部門
2012年3月19日	矢野 久	京都大学 化学研究所 附属元素科学国際研究センター
2012年3月28日	石塚辰美 矢野 久	JX 日鉱日石 研究開発企画部

良く知られているように、現在の主要な燃料電池には、固体高分子型 PEFC および固体酸化物型 SOFC の 2 つがあり、用途の面でも異なっている。PEFC は、燃料電池自動車 FEV 用と小規模家庭用定置型、SOFC は定置型である。SOFC は、頻繁な運転停止と運転開始は好ましくないため、もっぱらベース電源としての利用が想定されている。

燃料電池の本格的普及のためには、一桁低い価格が要求されている。燃料電池車の発売と普及により、PEFC が量産化され、コストが大きく下がるとの見方は、定置用燃料電池については必ずしも当てはまらない。定置用燃料電池は 4 万時間以上の耐久性が要求され、自家用車用の燃料電池とは要求される耐久性に大きな差がある。共通するコア技術はあるが、同じ PEFC であっても、FEV における技術進歩が定置用に直には結びつかないという障壁がある。触媒・電解質膜等の PEFC 本体のコストダウンだけではなく、家庭用燃料電池システムの補機部分の共通化等によるコストダウンも課題となっていた。SOFC についても、セルの設計や量産効果によるコストダウンが大きな課題となっている。

また、欧州では、燃料電池の電力が固定価格買い取り制度 FIT の対象となっているが、日本ではその対象になっていないことが、日本における燃料電池普及の大きな妨げになる可能性も指摘された。

なお、燃料電池は、電力網とは独立した形での電力を供給する電力網と代替的な用途、電力網に結ばれた分散電源として用いるという電力網と補完的な用途、の 2 つの使われ方がある。アメリカでは、既存の電力網とは切り離された砂漠等のデータセンターで燃料電池と太陽光の組み合わせで電力供給を行うという、電力網と代替的な利用が盛んに行われるようになってきている。しかしながら、研究者等からのヒアリングでは、日本においては、電力網に組み入れられた分散電源として位置付けていると判断された。

## 2-2-7. 燃料電池関連の特許データの整理

### i) 内容

燃料電池に関する特許データ入手・分類・整理し、名寄せ等を行い、R&D ネットワークの推定、また企業財務データと接合したパネルデータ構築等の処理が可能になるようにデータベース化を行った。

### ii) 経過

#### ①特許データの取得

特許庁『平成 18 年度特許出願技術動向調査(燃料電池)』に使われた検索式を準用し、「NR I サイバーパテント」から燃料電池に関する特許データを取得した。『平成 18 年度特許出願技術動向調査(燃料電池)』には、太田健一郎が関係しており、燃料電池の技術動向調査グループから、検索式について助言を得た。

#### ②情報の抽出とデータベース化

日本、米国、欧州特許データに収録される特許項目の共通集合を格納し、取得できるようにデータベースを構成するテーブル設計を行った。そして、上記の入手した特許データの HTM 形式部分からのデータ抽出を行い、CSV 部分との統合を行い、個人に関しての名寄せ作業等を行った上で、データベースに情報を格納した。

#### ③特許データのクリーンアップ

出願人、権利保有者の記録の書式は自由であるため、表記の揺れなどが原因となってネットワーク構築の中で「同一組織なのに別組織とみなす」誤りをおかす危険性が指摘できる。そこで、R&D ネットワークの構築作業に先立ち、そのような危険性をできるだけ排除するために出願人フィールドのクリーンアップ作業を行った。下の表で例示されているように、社名等の表記の揺れの統一を行った。

表 3 表記揺れの統一例

表記	統一名
株式会社ジーエス・ユアサコーポレーション	株式会社 GS ユアサ
株式会社ジーエスユアサコーポレーション	株式会社 GS ユアサ
工業技術院長	独立行政法人産業技術総合研究所
バラード、パワー、システムズ、インコーポレーテッド	バラードパワーシステムズインコーポレイティド
東京工業大学長	国立大学法人東京工業大学
東京大学長	国立大学法人東京大学
韓国科学技術研究院	韓国科学技術院
コリアインスティテュートオブサイエンス アンドテクノロジー	韓国科学技術院

さらに、次表で例示されているように、(B)対象期間での社名の変更に対応して、新社名で社名の統一を行った。

表 4 社名の統一例

旧社名	新社名
日本鋼管株式会社	JFE スチール株式会社
鐘淵化学工業株式会社	株式会社カネカ
松下電器産業株式会社	パナソニック株式会社
東陶機器株式会社	TOTO 株式会社
ホソカワミクロン株式会社	株式会社ホソカワ粉体技術研究所
有限会社ハイドロデバイス	株式会社ハイドロデバイス

iii) 結果

以上の作業により、「共同研究開発ネットワークの推定と特性の分析」において利用する燃料電池の特許データベースが作成された。

2-2-8. 共同研究開発ネットワークの推定と特性の分析

i) 内容

「燃料電池関連の特許データの整理」で構築した燃料電池特許データベースを用いて、個人を組織に割り当てる処理を行いつつ、組織間の共同 R&D ネットワークを推定した。さらに、その推定された共同 R&D ネットワークの特性を分析した。

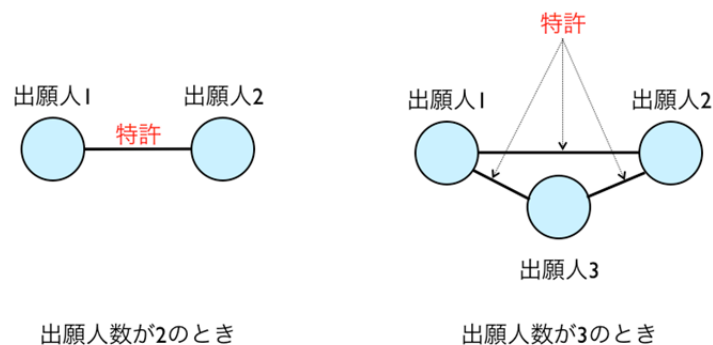
ii) 経過

①共同 R&D ネットワークの推定

組織間の R&D ネットワークをグラフの形で視覚化し、ネットワーク上のポジションに関する分析を実行するために、次のような手順でグラフのノード（頂点）とエッジ（辺）を構成した。共同研究ネットワークは、次の手順で構成した。

ステップ 1

まず、出願人フィールドに 2 つ以上記載がある特許を取り上げる。2 つ以上の出願人が存在するという事は、それらが組織であれば、組織間の共同研究の成果である。そこで、下図のように出願人をノードとし、当該特許をエッジとするようなサブネットワークを作成した。出願人が企業や組織で出願人数が  $n$  である共同出願特許はグラフ上で  $n(n-1)/2$  本のエッジとして表現した。



ステップ 2

出願人が組織名ではなく個人名であるとき、この個人が何らかの組織に所属する発明者である可能性を考慮した。発明者の氏名をインターネット検索などを使って調べることにより、組織に所属する研究者であると判明した場合は、個人名を所属に置き換える作業を行った。例えば、下図では出願人フィールドの共同出願人に「太田健一郎」氏が含まれているが、氏は出願当時横浜国立大学に所属している。そこで、グラフのノードを「太田健一郎」から「横浜国立大学」に置

換するという作業を行った。このようなケースは 255 件検出され、その多くが大学研究者で個人名のみを出願人としているケースである。

特開2003-7315(P2003-7315A) (2001-06-26出願)  
 出願人：  
 - 太田 健一郎 (東京都 [redacted])  
 - 石川島播磨重工業株式会社 (東京都千代田区大手町2-2-1)



### ステップ 3

1つの出願人による「単独出願」でも、発明者情報を参照すると複数組織の研究者が関与しているケースが多数存在する。これらについて、本研究では「出願人と発明者の所属する組織の共同研究の成果」とみなし、これをグラフに含めることにした。下図にそのような例を示した。この例では、JX 日鉱日石エネルギー株式会社による単独出願特許であるが、発明者フィールドを参照すると最初の 3 人の所属は JX 日鉱日石エネルギーであることが判明し、最後の「太田健一郎」氏は出願当時横浜国立大学に所属していたことが分かっている。このような場合、横浜国立大学と出願人である JX 日鉱日石エネルギーの間にエッジを張ることとした。後述の R&D ネットワークのエッジのうち、約 1/4 の 2323 本がこの作業によって新たに張られたエッジである。

特開2011-146245(P2011-146245A) (2010-01-14出願)  
 出願人：JX日鉱日石エネルギー株式会社 (東京都千代田区大手町2-6-3)  
 発明者： 住所  
 [redacted] 神奈川県横浜市中区千鳥町8  
 [redacted] 神奈川県横浜市中区千鳥町8  
 [redacted] 神奈川県横浜市中区千鳥町8  
 太田健一郎 [redacted]



### ステップ 4

さらに、共同出願特許の発明者情報を調べると、出願人以外の組織からの発明者が含まれている場合も存在した。この場合の共同出願は、出願人および出願人以外の組織による共同研究の成果と考えることもできるため、R&D ネットワークに含めることにした。下図には、そのような一例が示されている。発明者の最初の 3 名の所属は、出願人フィールドに含まれていない株式会社日立製作所であるので、ノード「日立製作所」に 2つの出願人からエッジをひくという作業を行った。このようなケースは多くなく、後述の R&D ネットワークのわずか 27 本のエッジが該当するのみであった。



例：特開2011-15485(P2011-15485A) (2009-06-30出願)  
出願人：日立コンピュータ機器株式会社、KDDI株式会社  
発明者情報：

発明者	住所	所属
	茨城県日立市大みか町7-1-1	株式会社日立製作所
	茨城県日立市大みか町7-1-1	株式会社日立製作所
	茨城県日立市大みか町7-1-1	株式会社日立製作所
	神奈川県足柄上郡中井町境781	日立コンピュータ機器株式会社
	埼玉県ふじみ野市大原2-1-15	KDDI株式会社



### ②発明者の組織への割り当て

以上のような手順で、組織間の R&D ネットワークを構築する際には発明者の出願当時の所属組織を識別する必要があった。対象期間内の燃料電池技術関連特許に関与した発明者の人数はのべ 22,550 人であるが、特許出願記録から得られる発明者の「所属」は出願時点での組織を示すに過ぎないため、ひとりひとりの職歴を完全に把握することは不可能である。出願組織は同一年で複数であることもあり、発明者が出願当時どちらの組織に所属していたかを完全に把握することは実質的に不可能である。そこで、本研究では「発明者の過去の出願履歴を作成し、出願時点で最も高い頻度で現れる出願人を所属組織とみなす」というルールを設定して、発明者の出願組織を決定することとした。

### iii) 結果

以上の作業を行った結果、下図に示すように 1565 組織による 9519 件の「共同研究」から構成される R&D ネットワークを構築した。R&D ネットワークは1つの巨大な共同研究クラスタと、多数の小さな共同研究クラスタで構成されていた。巨大な共同研究クラスタには約 60%の組織が含まれ、これらが約 90%の共同研究のエッジを張っていた。

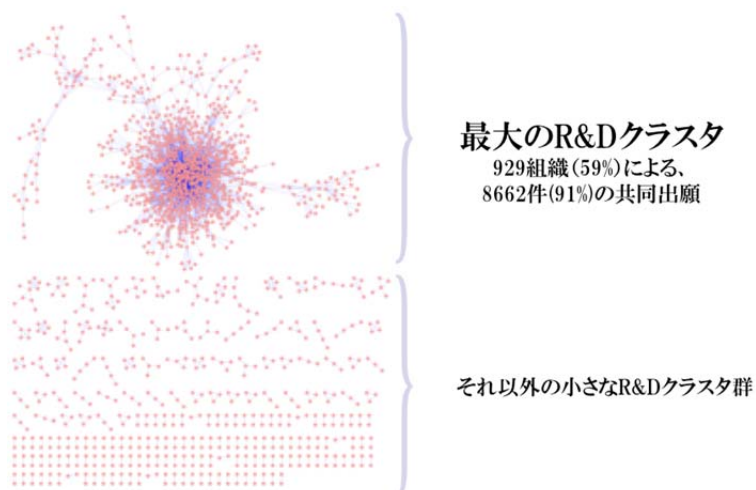


図 18 燃料電池分野の共同 R&D ネットワーク

この最大の R&D クラスタの構造を、Girvan and Newman(2002)による「Community Detection」法によって、互いに密だが、ほかの集合とは疎な組織の集まりであるサブネットワークに分割した。Community Detection 法により日本の燃料電池技術特許の R&D ネットワークには、主に国内組織で構成される 6 つの「共同研究クラスタ」、および主に国外組織で構成される 3

つの共同研究クラスタが存在することが分かる。次ページ以降に、各クラスタの内訳を示す。各図では共同研究の相手が多いノードについてラベルを付加し、特に共同研究の回数の多い2組織のエッジを太線で表している。

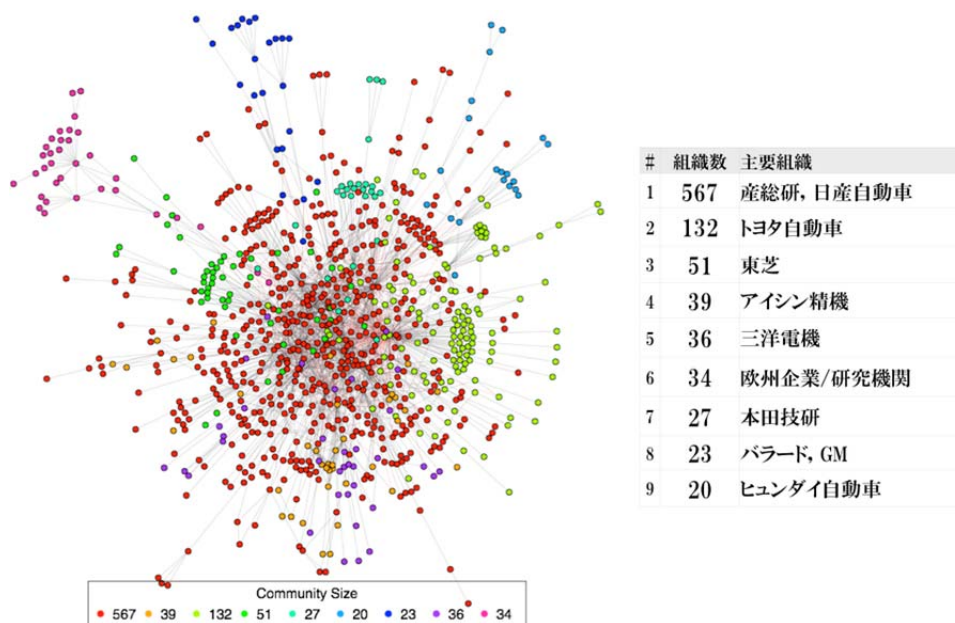


図 19 燃料電池分野の R&D ネットワークとクラスター

さらに、ネットワークにおける組織がどの程度中心的な役割であるのかを明らかにするために、社会ネットワーク理論の「中心性」という概念を活用して、注目すべきノード（組織）の選定を行った。表 5 は、対象クラスタのうち主要な組織について、次数中心性と媒介中心性を計算した結果である。ノードの「次数中心性」とは、そのノードのエッジの数である。ノード  $i$  の「媒介中心性」とは、 $i$  以外の任意の 2 ノードを結ぶ最短経路がノード  $i$  を通る割合である。媒介中心性は、ネットワークにおいてノードを結び付ける機能の指標であると解釈できる。次数中心性については上位約 5% である 30 組織の中に、大学が 11 組織(17%)ランクインした。さらに、これら大学の過半数(7/11 組織)について媒介中心性の順位が上昇することから、クラスタ内部の異なるサブネットワークを橋渡しする機能を持つ可能性が示唆された。

表 5 中心性の高い組織

主な組織	回数中心性	媒介中心性	回数：順位	媒介：順位
独立行政法人産業技術総合研究所	87	46093.4	1	1
日産自動車株式会社	66	22621.2	2	3
国立大学法人東京工業大学	42	24882.6	3	2
株式会社日立製作所	40	14388.4	4	7
東京瓦斯株式会社	31	5410.15	5	25
関西電力株式会社	30	16922	6	5
パナソニック株式会社	30	15974.5	7	6
三菱重工業株式会社	29	5439.20	8	24
大阪瓦斯株式会社	28	6986.98	9	16
国立大学法人東北大学	28	11948.4	10	9
東邦瓦斯株式会社	27	6958.94	11	18
JX日鉱日石エネルギー株式会社	26	8976.84	12	12
国立大学法人山梨大学	26	5653.82	13	21
国立大学法人九州大学	25	13484.1	14	8
株式会社カネカ	24	1724.28	15	71
旭化成ケミカルズ株式会社	24	4803.3	16	28
国立大学法人東京大学	23	5514.41	17	23
国立大学法人京都大学	23	9540.34	18	11
株式会社IHI	23	17708.9	19	4
国立大学法人横浜国立大学	22	8013.69	20	13
国立大学法人名古屋大学	22	11266.8	21	10
東亜合成株式会社	21	1383.62	22	89
旭硝子株式会社	21	7774.92	23	15
三星エスディアイ株式会社	20	5312.45	24	26
国立大学法人北海道大学	19	6973.36	25	17
国立大学法人東京農工大学	18	3156.71	26	44
株式会社豊田中央研究所	17	4110.78	27	33
日本電気株式会社	17	4687.6	28	29
国立大学法人筑波大学	16	3940.95	29	35
ヘルメック電極株式会社	16	7836.13	30	14

## 2-2-9. 共同研究開発ネットワークを用いた研究開発評価

### i) 内容

親会社・子会社を考慮して、「共同研究開発ネットワークの推定と特性の分析」で推定された共同 R&D ネットワークを修正する。その後、共同 R&D ネットワークデータ、財務データ、特許引用データ等と接合し、パネルデータを作成し、研究開発に対する R&D ネットワークの効果、大学の役割、NEDO による支援の効果について計量的分析を行った。

### ii) 経過と結果

#### ①企業間の系列・親子関係を考慮した R&D ネットワークの修正

本研究において、燃料電池 R&D ネットワークで明らかにしたいことは、知識共有が行われると考えられる異なる組織（例：大学と民間企業）の共同出願によって形成される知識共有の広がりであった。しかしながら特許文書の出願人フィールドで発見される共同出願関係を精査すると、子会社化された研究部門が親会社との連名で出願人フィールドに現れている事例が存在していることがわかった。親会社小会社による共同出願はむしろ同一企業系列による単一出願とみなす方が適切であると考えられる。そこで、東京商工リサーチ社から入手した企業情報データベース、および Worldbase 社による親会社小会社情報が記載されたデータベースを活用して、燃料電池 R&D ネットワークのエッジ（共同出願）に対して「組織とその組織の大株主」「組織とその親会社」「異なる組織」の 3 種類を識別する作業を行った。

その結果、R&D ネットワークを構成する 106 の組織について親会社を、358 組織について大株主を発見した。本章では、次ページ表に示される「親会社かつ大株主」を含む 95 件の企業ペアを同一組織とみなし、これらによる共同出願は単一出願として取り扱うことにした共同出願データに以上のアップデートを適用し、系列企業間の共願を単一出願とみなした結果、1998 年から 2010

年までの特許共同出願データを用いて 1526 出願人と 7402 の共同出願から構成される R&D ネットワークが再構成された。このアップデート前には 9564 件の共同出願があったので、エッジは約 26%減少した。下にはそのうち最大のもを表示している。このネットワークには 902(60%) の出願人がノードとして表示され、6553 (約 90%) の共同出願がエッジとしてノード間を結びつけている。

このネットワークの構造を把握するために、「共同研究開発ネットワークの推定と特性の分析」における作業と同様、共同出願の回数をエッジの重みとして考慮した **Community Detection** 法によってクラスタ内では「互いに密」だがクラスタ間では「互いに疎」な結び付きをもつ「コミュニティ (サブクラスタ)」を発見した。その結果、このネットワークは図中に示されるような 7 つのクラスタに分割された。

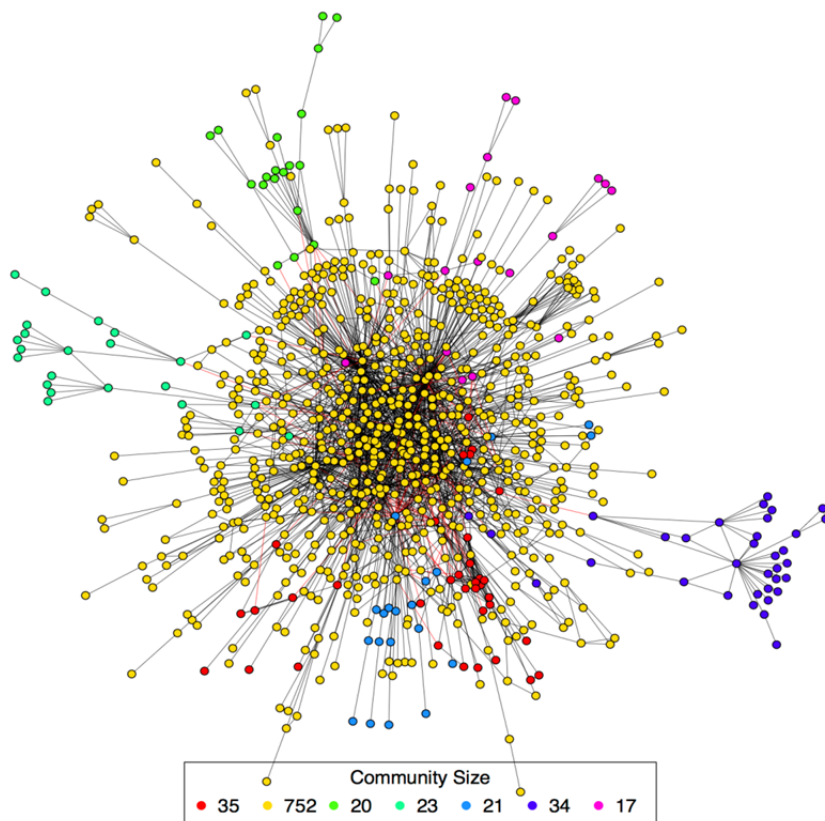


図 20 再構成された R&D ネットワーク

## ②R&D 成果に関する計量経済分析

①で求めた改定された R&D ネットワークに基づいて、R&D の成果に対して、NEDO を利用した共同出願、大学との共同出願、R&D ネットワーク上における企業の位置という 3 つの要因がどのような影響を及ぼすかを計量経済学的手法によって分析した。R&D 成果としては、特許の出願件数と被引用回数を用いることとした。Manuel Trajtenberg、Bronwyn H. Hall、Adam Jaffe 等の研究<sup>1</sup>により、被引用回数が高い特許はその私的及び社会的経済価値が高いことが明らかとなっており、被引用回数を特許の経済価値の指標とすることについては一定の合意がある。したがって、このような既存研究の結果を受けて、特許の被引用回数を、特許の価値の指標としている。なお、出願人による引用と審査官による引用については、両者を合計した総引用と審査官引用の二通りについて考えることとした。

<sup>1</sup> Manuel Trajtenberg, "A Penny for Your Quotes: Patent Citations and the Value of Innovations". *The Rand Journal of Economics*, 1990, 21(1), 172-187., Bronwyn H. Hall & Adam Jaffe & Manuel Trajtenberg, "Market Value and Patent Citations," *RAND Journal of Economics*, 2005, 36(1), 16-38

そのために、各企業に関する特許出願、特許引用件数についてパネルデータを作成した。特許引用件数については、財団法人知的財産研究所が配布する「IIP パテントデータベース」から得られた各特許に対する総引用件数および審査官引用件数を、企業別・年別に集計することによりパネルデータを作成した。ここでの引用は、燃料電池関連の特許からではなく、全ての技術分野の特許からの引用である。

推計式は下記のようなものである。

$$\log(N_{it}) = C + \alpha_1 NEDO_{T=1,\dots,t-1} + \alpha_2 UNIV_{T=1,\dots,t-1} + \beta_1 Deg_{T=1,\dots,t-1} + \beta_2 Constr_{T=1,\dots,t-1} + \sum_k \gamma_k X_{ki(t-1)} + \delta_i + YEAR_t + \varepsilon_{it}$$

被説明変数 $N_{it}$ は、企業 $i$ の当期( $T=t$ )における各年の特許生産性を表す出願件数または各年の特許の価値を表す被引用回数である。説明変数のうち、R&D ネットワークに関連する変数は前期までに形成されたネットワークから取得している。企業の前期における観察可能な属性は $X_{i(t-1)k}$ に含まれている。 $C$ は定数項、 $\varepsilon_{it}$ は誤差項である。 $YEAR_t$ は年固定効果であり、 $\delta_i$ は企業 $i$ の企業固定効果である。この対象期間で不変であるが観察できない企業 $i$ の固有属性は $\delta_i$ として考慮し、固定効果回帰法によってモデルを推定する。なお、特許の引用については、データの打ち切りのため新しい特許は引用数が少なくなるが、この影響は年次ダミーによって除去されている。特許出願についてはポワソン回帰を適用した。特許引用については、引用は特定の特許に偏る傾向があり、多くの特許の引用件数が0であるような状況に適切な推定手法である固定効果負値二項回帰を適用した。

NEDO プロジェクトによる共同研究が特許生産性に与える影響を補足するために、ダミー変数「 $NEDO_{T=1,\dots,t-1}$ 」を導入した。これは、1期前までにNEDOを利用して共同出願を行ったかどうかを表すダミー変数である。NEDOに研究課題が受理された後の研究開始年度から当該特許の出願を行った年までの期間を「1」それ以外を「0」とする。複数の研究が存在する場合には、最初の課題の研究開始年度から、最後の課題の特許出願年までを1、それ以外を0の値と設定した。同様に、「 $UNIV_{T=1,\dots,t-1}$ 」は1期前までに大学と共同出願を行ったかどうかを表すダミー変数で、作り方はNEDOと同様である。これら推定値の符号は正かつ有意であることが期待される。

R&D ネットワーク上の各企業の位置が特許生産性や特許の価値に及ぼす影響を考慮するために、次の2つのネットワーク指標を導入した。

$Deg_{T=1,\dots,t-1}$ は1期前までに形成されているR&D ネットワークにおける次数中心性 (direct tieの本数) である。ある年までに共同出願を実現するような共同研究を行う相手組織の数が多ければそれだけ、当該企業には多様な情報が集積すると考えられ、これが当該企業に欠けていた新知識であるならば、その後、新たに取得した知識を活用した発明が起こる可能性が高い。よって、この推定値の符号は正であることが期待された。

Constraint 測度「 $Constr_{T=1,\dots,t-1}$ 」は、企業が1期前までに形成されているR&D ネットワークでどれだけ「情報の橋渡しの役割」を担っているかどうかを示す指標である。情報の橋渡し役的役割を果たしている企業が、特許生産性あるいは特許価値が高ければ、この係数の推定値の符号は負となることが期待された。

企業の観察可能な属性「 $X_k$ 」には東京商工リサーチから入手した企業属性および財務データを含めた。燃料電池技術に関する企業規模の代理変数として、各年の企業で燃料電池特許を出願した発明人の数を総従業員数で除した「発明者比率」を作成した。また、企業の会計情報を考慮するために、前年の経常利益を総資産額で除した総資産利益率を導入した。さらに、前年における研究開発に対する支出が当期の特許出願に正の影響を与えることを想定して、研究開発支出と全支出の比である「R&D シェア」をモデルに含めた、これらの変数は対象期間全体で取得することができず、2001年、2005年、2010年の3時点のみが利用可能であった。そこで、それ以外の年に対してはデータを内挿または外挿した値を用いた。

特許生産性についての推定結果は以下のようなものであった。非説明変数である年次特許出願件数 (以下、特許生産性) は計数データであるから、固定効果ポワソン回帰によって推定を行った。はじめにNEDOと大学との共願の効果を把握するために、説明変数に年ダミーのほかに

NEDO および UNIV のみを用いて推定した結果が(1)である。大学共願ダミーの推定結果は正かつ5%で有意であるが、NEDO ダミーの係数推定値は企業属性を含めた(2)式、ネットワーク項を含めた(3)式でも有意とはならなかった。対照的に大学共願ダミーは(1)-(3)を通して正かつ有意であった。

このことから、NEDO を利用した共願経験は後の特許生産性に与える影響は有意ではないが、大学との共願経験は特許生産性に正の影響を与えることがいえる。R&D ネットワークに関する統計量をモデルに取り入れた(3)では、それらの係数推定値はおおむね有意であり、符号条件も予想した通りである。前期までに多くの組織と共願を行えば（前期までの次数が大きければ）、特許生産に活用可能な知識がより多様な形で得られ、その結果特許生産性に正の影響を与えていることが示唆される。異なる知識クラスタの橋渡しの程度を表す Constraint 指標についても、係数は負で5%有意である。前期までに R&D ネットワークにおいて企業がより大きなクラスタ間の橋渡しを行えるようなポジションにあれば（Constraint 測度が小さければ）それだけ当期の特許生産性が上昇することが示唆される。

企業規模とネットワーク上の位置の交差効果を考慮したモデルが(4)である。ここでは企業規模の代理変数として「総従業員数」を導入し、これと次数および Constraint 指標の交差項をモデルに含めて再推定を行った。次数単独の項では符号は不変だが有意でなくなるが、企業規模との交差項の係数推定値は正かつ有意であった。このことから、次数が特許生産性に与える影響は正で、企業規模が増加するほどその効果が大きくなることが分かった。一方、Constraint と企業規模の交差項の係数は有意ではなく、単独項は依然として負かつ有意であるから、情報の橋渡しの役割は企業規模によらず特許生産性の向上に正の影響をもたらしたといえる。

企業属性に関して、発明者比率については正かつ有意な推定値が得られていて、燃料電池関連技術の発明に関して人的資源が相対的に豊富な企業はより多くの特許を出願していることがわかった。総資産利益率の符号は正であるが有意ではない。R&D シェアの符号は負である。後者については研究開発予算に制約のある企業が共同出願によって外部知識を取得し、特許出願件数の増加を実現すると解釈することもできる。

表 6 推定結果 1 : 各年の出願件数に関する固定効果ポワソン回帰の結果

VARIABLES	(1) 出願件数	(2) 出願件数	(3) 出願件数	(4) 出願件数
NEDOダミー	-0.338 (0.268)	-0.174 (0.213)	-0.0245 (0.180)	-0.00717 (0.175)
大学共願ダミー	0.344* (0.177)	0.408*** (0.139)	0.406*** (0.121)	0.423*** (0.120)
発明者比率		12.49*** (4.501)	7.571** (3.672)	10.41* (5.674)
総資産利益率		4.174 (2.759)	3.234 (2.036)	0.113 (1.595)
R&Dシェア		-0.894* (0.469)	-0.668** (0.267)	-0.335 (0.332)
従業員数				0.00354 (0.00290)
次数			0.00657** (0.00269)	-6.30e-06 (4.76e-06)
従業員数×次数				2.12e-07*** (5.60e-08)
Constraint			-0.308** (0.154)	-0.419** (0.196)
従業員数×Constraint				1.13e-05 (1.53e-05)
Observations	1,092	1,081	1,081	1,081
Number of applid	164	163	163	163

Robust standard errors in parentheses, \*\*\* p<0.01, \*\* p<0.05, \* p<0.1  
年ダミーの推定結果は省略

特許の価値を引用回数で測った場合の推定結果を以下の表に示す。総引用件数、審査官引用件数を被説明変数に設定した 2 つの推定モデルともに、ネットワーク統計量を含めた(3)以外では大学共願ダミーの推定値は正かつ 5%で有意、NEDOダミーの推定値は一貫して有意ではないという結果となった。このことから、大学との共願経験を通じて、引用件数でみた場合の価値の高い特許を生産している可能性が指摘できる。また、2 つのモデルともに、次数及び Constraint 測度が引用件数に与える影響も正である。前期までに行われた共同出願の経験が多いほど、橋渡しの役割が強いほど、今期に出願した特許の価値が高まる可能性が示唆される。また、審査官引用件数の推定結果における大学共願ダミーの推定値の規模は総引用件数のそれよりも約 10%ほど大きいこともわかる。

表7 推定結果2：総引用回数に関する固定効果負値二項回帰の結果

VARIABLES	(1) 総引用	(2) 総引用	(3) 総引用	(4) 総引用
NEDOダミー	-0.105 (0.198)	-0.0834 (0.199)	-0.0514 (0.198)	-0.0484 (0.198)
大学共願ダミー	0.525*** (0.174)	0.535*** (0.175)	0.339* (0.182)	0.381** (0.185)
発明者比率		15.40*** (5.034)	8.946 (6.275)	7.599 (7.324)
総資産利益率		4.612 (3.876)	4.107 (3.993)	4.783 (3.897)
R&Dシェア		-0.223 (0.848)	0.0696 (0.830)	0.445 (0.856)
従業員数				2.11e-05 (1.76e-05)
次数			0.0135** (0.00552)	0.0174** (0.00740)
従業員数×次数				-2.31e-07 (2.66e-07)
Constraint			-0.821*** (0.302)	0.00124 (0.517)
従業員数×Constraint				-8.05e-05* (4.24e-05)
Constant	-18.70 (799.3)	-18.30 (571.8)	-19.01 (748.3)	-19.93 (963.1)
Observations	774	767	767	767
Number of applid	96	96	96	96

Standard errors in parentheses, \*\*\* p<0.01, \*\* p<0.05, \* p<0.1  
年ダミーの推定結果は省略



表 8 推定結果 3 : 被審査官引用回数に関する固定効果負値二項回帰の結果

VARIABLES	(1) 審査官引用	(2) 審査官引用	(3) 審査官引用	(4) 審査官引用
NEDOダミー	-0.0199 (0.222)	0.0360 (0.223)	0.0813 (0.223)	0.0787 (0.222)
大学共願ダミー	0.545*** (0.193)	0.549*** (0.193)	0.376* (0.201)	0.407** (0.204)
発明者比率		19.16*** (5.355)	12.47* (6.608)	11.35 (7.603)
総資産利益率		4.393 (4.214)	3.801 (4.333)	4.532 (4.235)
R&Dシェア		-1.268 (0.960)	-0.834 (0.935)	-0.432 (0.956)
従業員数				2.23e-05 (1.86e-05)
次数			0.0137** (0.00574)	0.0174** (0.00769)
従業員数×次数				-2.23e-07 (2.71e-07)
Constraint			-0.671** (0.325)	0.192 (0.563)
従業員数×Constraint				-8.45e-05* (4.61e-05)
Constant	-18.40 (762.3)	-18.10 (600.6)	-17.27 (339.5)	-19.16 (708.9)
Observations	720	714	714	714
Number of applid	86	86	86	86

Standard errors in parentheses, \*\*\* p<0.01, \*\* p<0.05, \* p<0.1

年ダミーの推定結果は省略

### ③マッチング法による NEDO 政策効果の推定

先の特許生産性や特許引用に関する計量分析においては、NEDO プロジェクトの効果は有意ではないという結論であった。その原因の一つは、先の分析によっては、NEDO プロジェクトによって形成された共同研究ネットワークが、特許生産性や特許引用に影響を及ぼすという仮説に基づく分析であった。そのため、NEDO 効果の変数として、NEDO プロジェクトによる特許の共同出願の経験の有無を用いた。しかしながら、NEDO プロジェクトは、それによって形成される共同研究ネットワークを介してではない経路で、特許生産性や特許被引用数にも影響を与える可能性がある。また、年次パネルデータによる分析では、NEDO プロジェクトのより長期的な効果をとらえ切れていない可能性も存在した。

そこで、静学的なフレームワークで、NEDO プロジェクトへの参加がそれ以降の特許生産性や特許引用に及ぼす効果をマッチング法を用い推定した。具体的には、NEDO によって研究課題が受理され、NEDO プロジェクトに関与して研究を開始した年度以降を措置を受けた状態として、措置効果の推定を行った。観察可能な企業の属性を用いて、NEDO 政策効果を受けた企業に対して、NEDO 政策効果を受けなかった企業の中から、政策を受ける変数、属性の近い企業をマッチさせ、それを NEDO 効果を受けなかった場合（および受けた場合）の潜在的な状態であると仮

定して、政策効果を推定した。<sup>2</sup>同種の分析は平成 25 年度にも行ったが、平成 25 年度の分析では NEDO の政策効果について有意な結果が得られなかった。その結果を精査した結果、NEDO 変数の作成法に若干の問題があることを発見し、平成 26 年度に変数の作成法を変更した上で、手法を変更したマッチング法による分析を再度行った。以下は平成 26 年度に行った作業の結果である。

具体的には、以下のマッチング法を用いる。アウトプットを  $Y_i$  とし、企業の属性を  $X_i$ 、NEDO による政策効果を受けた場合に  $W_i=1$  とし、そうでない場合  $W_i=0$  とする。観察可能な変数、属性について、NEDO 政策効果を受けた企業と受けなかった企業について、マハラノビス距離

$$\ell(i) = \arg \min_{j: W_j \neq W_i} \|X_i - X_j\|$$

を用いてマッチしたサンプルについて、

$$\hat{Y}_i(0) = \begin{cases} Y_i^{obs} & \text{if } W_i = 0 \\ Y_{\ell(i)}^{obs} & \text{if } W_i = 1 \end{cases} \quad \hat{Y}_i(1) = \begin{cases} Y_{\ell(i)}^{obs} & \text{if } W_i = 0 \\ Y_i^{obs} & \text{if } W_i = 1 \end{cases}$$

となるように政策効果を受けなかった時と受けた時の潜在的なアウトプットを作成する。これによって  $Nt$  数の処置を受けたグループについてペアが出来るが、最も単純な処置群の平均処置効果のマッチング推定量は

$$\hat{\tau}_{\text{simplematch}} = \frac{1}{N_t} \sum_{i: W_i=1} (\hat{Y}_i(1) - \hat{Y}_i(0))$$

で与えられる。Abadie, A., & Imbens, G. W. (2011). "Bias-corrected matching estimators for average treatment effects." *Journal of Business & Economic Statistics*, 29(1)は、マッチングに用いる変数に連続変数が複数含まれている場合、上式のセッティングのもとでの最近隣マッチング推定量にバイアスをもたらすことを示した。本分析においても連続変数が複数含まれているので、上記論文で提案された線形回帰を用いてバイアスを修正する方法を用いた。

NEDO によって研究課題が受理され、NEDO プロジェクトに関与して研究を開始した年度以降を処置を受けた状態とし、その年度以降  $W_i=1$  とする。各企業の前年度の総従業員数に占める発明者比率、R&D シェア、対数総従業員数、対数経常利益、対数総資本、大学との共願ダミー変数、また、日本標準産業分類 JSIC から作成した産業分類ダミー変数を用いて、次年度 NEDO 政策効果を受けた企業と受けなかった企業をマッチさせた。それより前の年度に NEDO と関わりを持ち研究開始していた場合も  $W_i$  の定義により処置群となっている。1999-2010 年のデータを使うので、1999 年のデータはマッチングのためだけに使われ、マッチした後のサンプルは 2000-2010 年のものである。マッチングの結果、最終的に、処置群のサンプルサイズが 277 となった。

バイアス修正した時の最近隣マッチング法による平均処置効果の推定は、推定結果 4 のようになる。特許出願数に対しては有意に正の影響を与え、NEDO による影響を受けていないグループに比べて約 53% 高くなったが、総被引用数、審査官被引用数で計測した価値あるいは質に対する影響は有意ではなく不明であった。

<sup>2</sup> ここでは、NEDO 政策効果を受けた企業とマッチした企業の同じ期間の特許出願・引用に関して比較を行っている。したがって、特許引用に関してのデータ打ち切りによる問題を考慮する必要はない。

表 9 推定結果 4 平均処置効果のバイアス修正最近隣マッチング法による推定

	(1) (対数) 特許出願数	(2) 総被引用数	(3) 審査官被引用数
ATT	0.527*** (0.123)	-1.693 (1.233)	-0.857 (0.848)
<i>N</i>	929	929	929

Robust standard errors in parentheses, \*p<0.1, \*\* p<0.05, \*\*\*p<0.01

これに加えて、傾向スコアマッチングによる処置群の平均処置効果についても推定した。また、傾向スコアマッチング法では、まずロジットモデルによって  $W_i$  を被説明変数として推定し、その結果をもとに、傾向スコアを求め、マッチングを行った結果が表 10 である。出願数については表 9 とほぼ同じで、有意に高くなるという結果が得られた。

表 10 推定結果 5 平均処置効果の傾向スコアマッチング法による推定

	(1) (対数) 特許出願数	(2) 総被引用数	(3) 審査官被引用数
ATT	0.490*** (0.151)	-0.399 (0.639)	-0.0875 (0.424)
<i>N</i>	929	929	929

Robust standard errors in parentheses, \*p<0.1, \*\* p<0.05, \*\*\*p<0.01

以上をまとめると、NEDO プロジェクトの組織の特許生産性、特許被引用数への効果を推定すると、NEDO プロジェクトは特許生産性を 50% 近く引き上げる効果があるが、特許引用数には、有意な効果を持たないことが分かった。すなわち、NEDO プロジェクトは、特許の出願数を大きく増加させる効果がある一方で、特許の価値あるいは質の指標としてはかかった R&D 成果には有意な効果を持つとは言えないという結論が得られた。

## 2-2-10 電力市場制度設計の提言

### i) 実施内容

「電力市場イノベーションの数量評価の結果」に基づき、電力市場の制度設計に関して政策提言を行った。さらに、横浜市との研究会を通じて、成果の実装をはかった。

### ii) 経過と結果

「電力市場イノベーションの数量評価」の結果からは、次のような政策提言が導かれた。

電力市場においては、需要の価格弾力性が低いいため、発電企業が市場支配力を持ちやすい。企業の価格行動が自由であるときには、東京電力の分割等による企業数の増加や新規参入も限られた効果しか持たない。(現状においては、東京電力は、評判や企業分割等への危惧から、市場支配力を行使した値上げは行っていない状態であると判断される。) 今後の自由化は、東京電力をそのまま残したままで行う予定である。これは潜在的には、分割されなかった東京電力が市場支配力を行使する危険性が常に存在すると判断される。したがって、PJM 市場で行われているような、

発電企業についての規制当局による詳細な情報収集と（必要な場合には）入札行動に規制を行うことが必要であると判断された。

市場支配力を抑制するためには、需要の価格弾力性の上昇は大きな効果を持つ。このためには、スマートグリッド、燃料電池、蓄電池等の需要家側の分散電源は有用である。ただし、RTPをはじめとしたスマートグリッドによって導入されるデマンドレスポンスは、家庭部門よりは大規模な商用ビルや水道施設などの大規模な需要家を対象にすべきである。アンシラリー目的のFastDRについても、全ての需要家を対象とするような導入は、蓄電池削減効果を通信コスト等が大きく上回ると考えられ、やはり大規模な需要家を対象にした方が好ましい。

FITによる再生可能エネルギーの買い取りの中止問題が生じているが、これは、一般電気事業者がアンシラリーサービスを引き受け、新規参入企業や需要家との間での費用負担に取り決めが存在しないことが本質的な原因となっている。そのためには、アンシラリーサービスに関する市場を開発するなどが考えられる。

本項目は、社会実装の一環として、横浜市との研究会を開催しつつ進めた（「4-1. 研究開発の一環として実施したワークショップ等」参照）。横浜市からは、経産省からの支援を受けたプロジェクトである横浜スマートシティプロジェクト（YSCP）の実証実験の紹介等、本プロジェクトからは、「電力市場イノベーションの数量評価」の結果、およびそれに基づく政策提言を説明した。

### 3. 研究開発成果

#### 3-1. 成果の概要

- ・特許データと財務データを組み合わせて組織間の R&D ネットワークを推定し、R&D ネットワークを考慮した公的研究開発投資の効果の評価に利用できる一般性を持った手法を開発した。
- ・上記の方法を用いて、企業の R&D ネットワーク上の特性等と特許の生産性・被引用回数で計測した R&D 成果の関係を明らかにした。
- ・さらに、燃料電池分野における公的研究開発投資の大部分を占める NEDO プロジェクトの評価を行い、特許の生産性には大きな効果がある半面、特許引用には有意な効果がないことを示した。
- ・電力市分野における市場・制度を考慮したイノベーション評価を行うために、電力市場のマルチエージェントモデルを開発した。このモデルは、無料で公開される予定である。
- ・上記モデルは、自治体等の専門家でないユーザーにとって有用であるとともに、市場や規制の選択を必用とするイノベーションの評価のための汎用性を持つフレームワークとして利用できるものである。
- ・上記モデルのシミュレーションにより、電力市場においては、需要の価格弾力性が低いため、発電企業が市場支配力を持ちやすく、競争的な市場とはなり難いことが示された。
- ・スマートグリッドによる需要の価格弾力性の上昇、燃料電池、蓄電池等の需要家側の分散電源は、市場支配力の抑制・需給ひっ迫時の電力価格急騰の抑制に大きな効果を持つことが示された。
- ・電力システムシミュレーションモデルにより、アンシラリー目的の高速デマンドレスポンス FastDR は、大規模な商業用ビルや水道施設などの大規模な需要家を対象にすべきであることが示された。

#### 3-2. 各成果の詳細

##### 3-2-1. R&D ネットワークと研究開発の評価

(1) オープンイノベーションが盛んになり、多くの企業が R&D ネットワークを形成しながら研究開発を行っている。R&D ネットワークが R&D 成果にどのような影響を及ぼしているのか、また R&D ネットワークの中で大学が果たしている役割、NEDO などの公的 R&D 支出の効果を理解することは、政府の科学技術政策・産業政策、企業の R&D 戦略の立案に極めて有用である。

R&D ネットワークを考慮した公的研究開発投資の評価を行う上で、最も重要なのは R&D ネットワークの構築である。特許データを利用して、研究者の所属組織への割り当てを行い、その後で財務データ等を利用して企業の親会社・子会社関係の処理を行い、精密な共同 R&D ネットワークを推定する、この R&D ネットワークの情報を追加的に加えて、公的研究開発投資の評価を行う手法である。これは様々な分野に適用可能な一般的・汎用的な手法であり、オープンイノベーションが一般化している現在の状況において、R&D ネットワークを考慮した公的研究開発投資の効果の評価する汎用性のある手法を開発したことになる。

(2) 燃料電池の研究開発についての分析は、上記の方法の燃料電池分野への適用である。(1) に説明された方法に従い、特許データと財務データを組み合わせ、燃料電池分野における組織間の共同 R&D ネットワークを構築した。企業の R&D 成果を特許生産性、その特許の総被引用数、審査官被引用数として、前期のネットワーク上の特性である次数、Constraint 測度、大学との共同研究、NEDO プロジェクトによる特許の共願、その他企業属性を説明変数としてポアソンあるいは負の二項回帰を行った結果、大学との共同研究は R&D 成果に正の影響を与え、多くの企業との共同研究を行っている企業、また情報の橋渡しの役割を果たしている企業は、優れた R&D 成果を挙げているという結果が得られた。R&D ネットワークにおいて、大学の媒介中心性が高いという結果とあわせると、大学との共同研究を通じた知識の流れによって、R&D 成果にプラスの効果をもたらすことが示唆される。また、マッチングによる NEDO プロジェクトへの効果を推定では、NEDO プロジェクトによる助成は、特許生産性を 50%程度上昇させるが、特許価値には有意な効果を与えないという結果が得られた。

(3) 以上の内容の政策等への含意は次の通りである。R&D 成果という観点から、企業と大学との共同研究を促進する政策の有効性が強く示唆される。また、優れた R&D 成果を挙げうる企業を選ぶ際に、その企業の共同 R&D ネットワークにおける特性は重要な情報となるということも

示唆される。多くの企業と共同で R&D を行っているという点のほかに、その企業が互いに共同 R&D を行っていない複数の企業群を結びつけるという意味で、「情報の橋渡し」役を果たしていることも重要な基準となることも示唆された。NEDO に関しては、特許出願数を大きく増加させるという意味での「量的」な効果は大きいですが、引用回数で測った特許の価値あるいは「質」の面では有意な効果を与えていないという結果になった。これは、NEDO プロジェクトの仕組み等に問題が存在する可能性も示唆しており、今後の検討を必要とする問題である。

### 3-2-2. 電力市場モデルと電力市場イノベーション

(1) スマートグリッドや燃料電池などのイノベーションが電力市場の価格形成等に及ぼす影響を分析するため、電力市場のマルチエージェントモデルを開発した。モデルは、Java を用いて開発され、企業数、各発電企業の費用構造、需要家の 1 日を通じた電力需要のパターン、需要家の価格弾力性、燃料電池・蓄電池の容量、価格規制などの条件を外部から自由に与え、電力市場における価格や数量等をシミュレーションで求めることができるものとなっている。開発されたモデルは、大学のサイト上で、無料で公開される予定である。

海外においては、本プロジェクトで開発されたようなモデルが既に存在し、無料で公開され、自治体関係者も含めた多くのユーザーによって利用されている。しかし、日本においては、研究者が自己の利用のために作成したソフトや高額な有料ソフトは存在するが、専門家でないユーザーがたやすく利用できるソフトは存在しなかった。本プロジェクトで開発されたモデルはこのような間隙を埋めるものであり、自治体等にとっても有用なツールであると判断される。さらに、モデルの中核的部分は、解析的には解くことが困難である寡占市場における価格や数量を求めるものであり、電力市場のみならず多くの市場におけるイノベーションの市場への影響等を調べるためのモデルとして利用可能であり、極めて広い応用可能性を持つ汎用的なフレームワークとなっている。

(2) 開発したモデルを用いて、シミュレーションを行った。電力市場においては、需要の価格弾力性が低いため、発電企業が市場支配力を持ちやすい。実際、海外においても、電力市場における市場支配力は大きな問題とされている。とくに今後の自由化が進展する日本の電力市場において、価格支配力がどのような影響を及ぼすのかは重要である。この問題を開発した電力市場モデルのシミュレーションにより分析した。その結果、東京電力をかなり細かく分割しても、分割された企業が市場支配力を持ってしまい、価格が限界費用から大きくかい離しうることが示されている。すなわち、企業の価格付けが自由であるときには、東京電力の分割等による企業数の増加も限られた効果しか持たないことになる。これは、政府の電力市場の制度設計に役立つ結果である。

(3) 電力市場の価格形成の分析の観点からは、スマートグリッドは、RTP 等を通じて電力市場における需要の価格弾力性の上昇をもたらすものと考えられている。そこで、スマートグリッドの導入による電力需要の価格弾力性の上昇が価格形成にどのような影響を及ぼすのかを、シミュレーションにより分析した。その結果、需要の価格弾力性の上昇は、市場支配力や需給ひっ迫時の価格高騰の抑制に効果があることが確かめられた。さらに、燃料電池や蓄電池などの分散電源の導入も、市場支配力や需給ひっ迫時の価格高騰の抑制に効果があることが示された。すなわち、市場支配力や需給ひっ迫時の価格高騰の抑制のためには、スマートグリッドによる需要の価格弾力性の上昇、燃料電池や蓄電池等の需要家側の分散電源の導入促進は有用であり、国や横浜市等が取り組んでいるようなスマートグリッドによる需要の価格弾力性の上昇、燃料電池や蓄電池等の需要家側の分散電源の導入促進は有用であることが示された。なお、スマートグリッドの実証実験を行っている横浜市の担当者からは、行政的なコスト等から考えると、需要の価格弾力性の上昇は、家庭部門よりも水道施設や大規模商業ビルなどの大規模な需要家のデマンドレスポンスを通じて実現するのが現実的であるとの意見をj得ている。

(4) さらに、電力系統モデルのシミュレーションにより、アンシラリー目的によって導入される FastDR の経済性を評価した。シミュレーションの結果、全需要家を対象として FastDR を導入した場合、FastDR によって可能となる蓄電池の削減によるコストの削減は需要家当たり年間 100 円程度であり、必要とされる通信・制御機器等のコスト、需要者の FastDR プログラム参加へのインセンティブに必要な金額を考慮すると、経済的には引き合わないことが明らかとなった。

アンシラリー目的の FastDR は、大規模な商業用ビルなどの大規模な需要家を対象にすべきであるという結論になった。これは政府や地方自治体等へ有益な情報であり、大規模な需要家を中心とすべきという点については、定期的な研究会等において相互に情報交換を行っている横浜市担当者も同意をしている。

### 3-3. 学術的成果、人材育成やネットワーク拡大への貢献等

特許データの燃料電池分野における組織間の共同 R&D ネットワークの推定においては、研究者の所属組織への割り当て、企業の親会社・子会社関係の処理に注意を払った。特許データからの R&D ネットワーク構築は既に行われているが、このように細心の注意を払った処理が、地味ではあるが従来の研究にはない優れた点である。これらの作業を行うことにより、従来の研究に比べてはるかに精密な組織間の R&D ネットワークを得ることができた。とくに、親子関係・系列関係にある会社間での共同研究等が多い日本の場合、本研究プロジェクトで行われた作業は必須のものである。日本を対象にして、様々な分野における R&D ネットワークの研究を行う場合、本プロジェクトで行われた手順に従って行うことが必要になると考えている。

### 3-4. 成果の発展の可能性

燃料電池分野は、多岐にわたる技術分野を含むなどの強い特色を持った分野であり、他の技術についても分析をしても同様の結論が成立するののかについて、分析を行う価値があると思われる。また、海外における燃料電池分野の R&D についても行う価値があると考えられる。燃料電池分野の R&D ネットワークについては、アメリカに関しても予備的推定を行っている。その結果では、アメリカにおける燃料電池分野の R&D ネットワークは、日本よりもかなり疎であった。日米の比較は有用な情報を与えてくれると予想されるが、時間の制約から、本格的な解析はできなかった。これについては、データはあるので、人手があれば可能であると考えられる。

電力市場については、YSCP プロジェクト終了後に、横浜市との提携をより深める方向で話を進めている段階であり、横浜市を中心として新たに結成されるスマートグリッド関係の協議会に参加する形で、横浜市との連携を深める計画を進めている。これにより、社会実装の面で一層の進展が期待できると考えている。また、プロジェクト参加メンバーが参加している政府の審議会・委員会等を通じて、成果の社会実装がさらに進展することが期待できる。

さらに、開発された電力市場モデルの中核部分は、様々な寡占市場に適用できる一般的なものである。他の市場におけるイノベーションや規制の効果の分析に利用することも可能である。

## 4. 関与者との協働、成果の発信・アウトリーチ活動

### 4-1. 研究開発の一環として実施したワークショップ等

名称	年月日	場所	参加人数	概要
第1回「次世代の電力需要」研究会	2014/3/5	横浜国立大学	5	横浜市との研究会 電力市場モデルの紹介
第2回「次世代の電力需要」研究会	2014/4/30	横浜市北仲 YSCP Presentation Room	5	横浜市との研究会 YSCP プロジェクトの紹介、スマートグリッドと電力需要
第3回「次世代の電力需要」研究会	2014/6/10	横浜ランドマークタワー 25階 2512 会議室	5	横浜市との研究会 YSCP を踏まえた電力市場シミュレーション
第4回「次世代の電力需要」研究会	2014/7/11	横浜ランドマークタワー 25階 2512 会議室	5	横浜市との研究会 電力市場シミュレーション、YSCP 夏季実証実験
第5回「次世代の電力需要」研究会	2014/9/5	横浜ランドマークタワー 25階 2509 会議室	6	横浜市との研究会 電力アグリゲーターについて
第6回「次世代の電力需要」研究会	2014/11/14	横浜ランドマークタワー 25階 2509 会議室	5	横浜市との研究会 RCT のバイアス問題 今年度 YSCP 夏季実証実験の結果

### 4-2. アウトリーチ活動

#### 4-2-1. 主催したシンポジウム（外部向け）等

- (1) 「政策のための科学」記念シンポジウム、2012年1月11日、横浜情報文化センター、40名、協賛：一般社団法人 水素エネルギー協会
- (2) 「政策のための科学シンポジウム」、2013年2月7日、パシフィコ横浜、15名
- (3) 「政策のための科学シンポジウム」、2014年7月30日、パシフィコ横浜、30名

#### 4-2-3. ウェブサイト構築

政策のための科学 <http://www.cseg.ynu.ac.jp/policy.htm> 2011年11月

#### 4-2-4. 学会以外のシンポジウム等での招へい講演 等

- (1) 中国科学技術政策管理研究所セミナー、2012年8月7日、中国科学技術政策管理研究所（北京）

## 5. 論文、特許等

### 5-1. 論文発表

#### 5-1-1. 査読付き（1件）

- (1) 黒島麻衣, 大山 力, 秋山 太郎「電力市場のシミュレーションを用いた政策シナリオオプションの評価」『計算数理工学論文集』13, 103-108, 2013-11

#### 5-1-2. 査読なし（0件）



## 5-2. 学会発表

5-2-1. 招待講演 (国内会議 0 件、国際会議 0 件)

5-2-2. 口頭発表 (国内会議 3 件、国際会議 0 件)

(1) 秋山俊介・大山 力・辻 隆男「経済変動を考慮した日本電力取引所の動向分析」日本電気学会全国大会 2013 年 3 月 20 日 (名古屋大学)

(2) 小野宏太・辻隆男・大山力 「震災前後の電力需給動向変化の検討」日本電気学会全国大会 2013 年 3 月 20 日 (名古屋大学)

(3) 辻井佑樹, 辻隆男, 大山力、「需要家側機器のポテンシャル活用による短周期変動抑制の検討」電気学会電力・エネルギー部門大会、2013 年 8 月 27 日、新潟

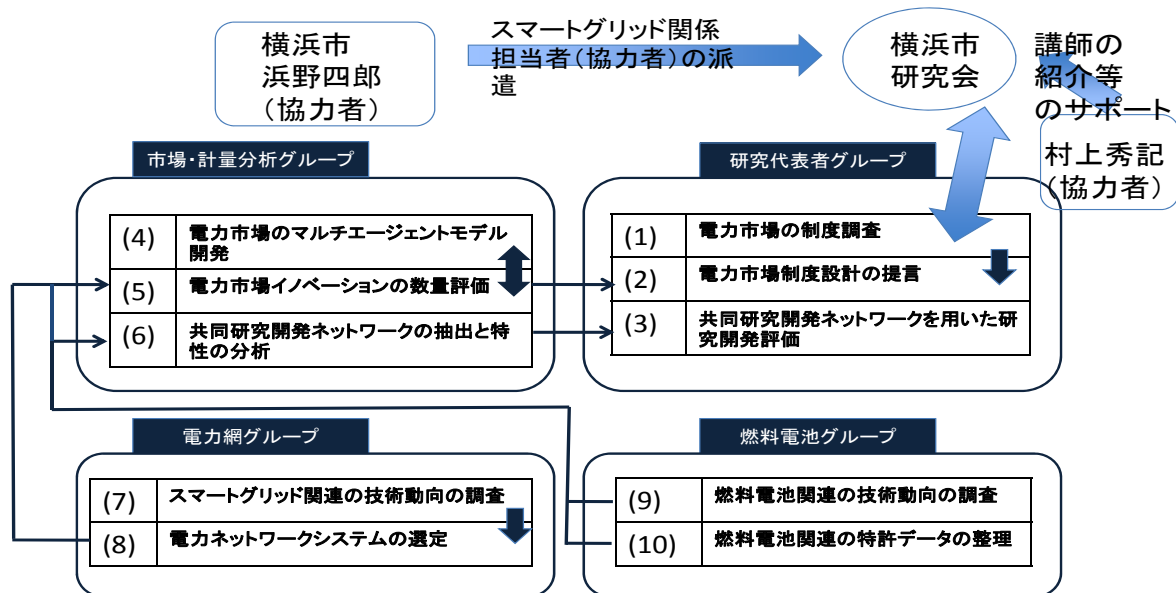
5-2-3. ポスター発表 (国内会議 0 件、国際会議 0 件)

## 5-3. 特許出願

なし

## 6. 研究開発実施体制

### 6-1. 体制



#### 【特記事項】

本プロジェクトは、文系・理系の研究者が共同する学際的プロジェクトである。上記項目のうち、(1)、(6)～(10)の項目は、最終的なアウトプットを生み出す(2)～(5)の項目で用いられる中間生産物を生み出すサポート的な作業を行う項目である。このサポート的な項目に、文系・理系にまたがる多くの分野の知識を必要とすることから、多くの人員がプロジェクトに参加することとなった。それに加えて、また上記の(3)(4)(6)(8)の項目において労働集約的な作業が多く、多くの非常勤の人員を雇用した。

また、(5)の「電力市場のマルチエージェントモデルの開発」は、労働集約的であることに加えて、ソフトウェア開発という研究よりも開発色が強い内容であった。本プロジェクトの最も難しい点は、異なる分野間での調整ではなく、ソフトウェア開発という研究ではなく開発色が強い業務の比重が大きく、ソフトウェア開発管理の必要が存在したことであった。マルチエージェントモデルの開発が予定より遅れ、しかも開発担当者が交代したときに、回り道ではあるがドキュメントの整備を優先したことは、結果的には良い選択であった。また、モデル開発の遅れを取り戻すため、資金のモデルの開発への投入を増やすなどの措置をとった。

## 6-2. 研究開発実施者

※研究開発実施期間：平成23年11月21日～平成26年11月20日

### (1) 研究代表者グループ（リーダー氏名：秋山 太郎）

氏名	フリガナ	所属	役職 (身分)	担当する 研究開発実施項目	研究参加期間			
					開始		終了	
					年	月	年	月
秋山 太郎	アキヤマ タロウ	横浜国立大学成 長戦略研究セン ター	教授	電力市場制度設計 の提言、共同研究開 発ネットワークを用いた研究開発評価	23	11	26	11
周佐 喜和	シュウサ ヨシカズ	横浜国立大学成 長戦略研究セン ター	副センタ ー長	電力市場の制度調 査	23	11	26	11
石塚 辰美	イシヅカ タツミ	横浜国立大学成 長戦略研究セン ター	教授	共同研究開発ネッ トワークを用いた 研究開発評価	23	11	26	11
鳥居 昭夫	トリイ アキオ	横浜国立大学成 長戦略研究セン ター (中央大学)	連携研究 員 (教授)	電力市場制度設計 の提言	23	11	26	11
大山 力	オオヤマ ツトム	横浜国立大学大 学院工学研究院	教授	電力市場の制度調 査、電力市場制度設 計の提言	23	11	26	11
太田 健一郎	オオタ ケンイチ ロウ	横浜国立大学大 学院工学研究院	特任教授	共同研究開発ネッ トワークを用いた 研究開発評価	23	11	26	11
中嶋 亮	ナカジマ リョウ	横浜国立大学国 際社会科学研究 科	准教授	共同研究開発ネッ トワークを用いた 研究開発評価	23	11	26	11
陳 美潔	チン ビケツ	横浜国立大学成 長戦略研究セン ター	産学連携 研究員	共同研究開発ネッ トワークを用いた 研究開発評価	25	5	26	8
菊地 雄太	キクチ ユウタ	横浜国立大学国 際社会科学研究 科	D2 (RA)	共同研究開発ネッ トワークを用いた 研究開発評価	25	4	26	11
朱 連明	シュ レンメイ	横浜国立大学国 際社会科学研究 科	D3 (RA)	共同研究開発ネッ トワークを用いた 研究開発評価	26	7	26	11
田代 一聡	タシロ カズトシ	横浜国立大学国 際社会科学研究 科	D3 (H23 時 点)	電力市場の制度調 査	24	1	24	3

(2) 計量分析グループ（リーダー氏名：鳥居昭夫）

氏名	フリガナ	所属	役職 (身分)	担当する 研究開発実施項目	研究参加期間			
					開始		終了	
					年	月	年	月
鳥居 昭夫	トリイ アキオ	横浜国立大学 大学院国際社 会科学研究科	教授	電力市場のマルチ エージェントモデ ル開発・電力市場イ ノベーションの数 量評価	23	11	26	11
富浦 英一	トミウラ エイイチ	横浜国立大学 経済学部	教授	電力市場イノベー ションの数量評価	23	11	26	11
中嶋 亮	ナカジマ リョウ	横浜国立大学 国際社会科学 研究科	准教授	共同研究開発ネッ トワークの推定と 特性の分析	23	11	26	11
濱上 知樹	ハマガミ トモキ	横浜国立大学 大学院工学研 究院	教授	電力市場のマルチ エージェントモデ ル開発	23	11	26	11
田村 龍一	タムラ リュウイチ	横浜国立大学 成長戦略研究 センター（一橋 大学）	産学連携 研究員(助 手)	共同研究開発ネッ トワークの推定と その特性の分析	24	4	26	11
稲生 剛士	イナオ タケシ	横浜国立大学 国際社会科学 研究科	D2 (H24年 時点)	電力市場価格の計 量分析	24	12	25	3
高橋 徹	タカハシ トオル	横浜国立大学 成長戦略研究 センター	産学連携 研究員	電力市場のマルチ エージェントモデ ル開発	24	4	26	11
黒島 麻衣	クロシマ マイ	横浜国立大学 成長戦略研究 センター	産学連携 研究員	電力市場のマルチ エージェントモデ ル開発	25	6	26	3
大石 賢治	オオイシ ケンジ	横浜国立大学 成長戦略研究 センター	短期雇用 職員	電力市場のマルチ エージェントモデ ル開発	25	2	25	9
藤岡 正樹	フジオカ マサキ	横浜国立大学 成長戦略研究 センター	産学連携 研究員	電力市場のマルチ エージェントモデ ル開発	25	11	26	11

(3) 電力網グループ（リーダー氏名：大山力）

氏名	フリガナ	所属	役職 (身分)	担当する 研究開発実施項目	研究参加期間			
					開始		終了	
					年	月	年	月
大山 力	オオヤマ ツトム	横浜国立大学大 学院工学研究院	教授	スマートグリッド の技術動向の調 査・電力市場ネッ トワークシステム の選定	23	11	26	11
濱上 知樹	ハマガミ トモキ	横浜国立大学大 学院工学研究院	教授	スマートグリッド の技術動向の調査	23	11	26	11

辻 隆男	ツジ タカオ	横浜国立大学大 学院工学研究院	准教授	スマートグリッド の技術動向の調 査・電力市場ネット ワークシステムの 選定	23	11	26	11
原 亮一	ハラ リョウイ チ	北海道大学大学 院情報科学研究 科	准教授	スマートグリッド の技術動向の調 査・電力市場ネット ワークシステムの 選定	23	11	26	11
河又 啓	カワマタ ヒラク	横浜国立大学工 学府	D3	スマートグリッド の技術動向の調査	24	1	25	3

(4) 燃料電池グループ (リーダー氏名：太田健一郎)

氏名	フリガナ	所属	役職 (身分)	担当する 研究開発実施項目	研究参加期間			
					開始		終了	
					年	月	年	月
太田 健一郎	オオタ ケンイチ ロウ	横浜国立大学 工学研究院	特任教授	燃料電池関係の技 術動向の調査	23	11	26	11
光島 重徳	ミツシマ シゲノリ	横浜国立大学 工学研究院	教授	燃料電池関係の技 術動向の調査	23	11	26	11
松澤 幸一	マツザワ コウイチ	横浜国立大学 工学研究院	助教	燃料電池関係の特 許データの整理	23	11	26	11
矢野 久	ヤノ ヒサシ	横浜国立大学 成長戦略研究 センター	産学連携 研究員	燃料電池関係の特 許データの整理	24	1	24	3
藤田 彬	フジタ アキラ	横浜国立大学 環境情報学府	D3	燃料電池関係の特 許データの整理	24	1	25	3
遠山 毅	トオヤマ ツヨシ	横浜国立大学 環境情報学府	D3 (H23 年時点)	燃料電池関係の特 許データの整理	24	1	24	3
田村 龍一	タムラ リュウイ チ	横浜国立大学 成長戦略研究 センター・(一 橋大学)	産学連携 研究員(助 手)	共同研究開発ネッ トワークの推定と その特性の分析	24	4	26	11
金子 つばさ	カネコ ツバサ	横浜国立大学 教人間科学学 部	学生 (短期雇 用)	燃料電池関係の特 許データの整理	24	1	25	3

### 6-3. 研究開発の協力者・関与者

氏名	所属	役職	協力内容
浜野 四郎	横浜市	横浜市政策局局长	アドバイザーとして助言、横浜市の政策担当者の派遣
斉藤 忍	I H I 株式会社	技術開発本部 顧問	アドバイザーとして助言
久村 春芳	日産自動車株式会社	フェロー	アドバイザーとして助言
村上 秀記	横浜国立大学	客員教授	太陽光発電事業等についての知識の提供、アグリゲーター企業の紹介
吉田 雅彦	横浜市	暖化対策統括本部プロジェクト推進課長	横浜市との研究会
釜田 雅樹	横浜市	暖化対策統括本部プロジェクト担当係長	横浜市との研究会
中野 亮	横浜市	暖化対策統括本部プロジェクト担当係長	横浜市との研究会