

戦略的創造研究推進事業
(社会技術研究開発)
平成25年度研究開発実施報告書

「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. 研究開発プロジェクト名.....	2
2. 研究開発実施の要約.....	2
2 - 1. 研究開発目標	2
2 - 2. 実施項目・内容	2
2 - 3. 主な結果.....	2
3. 研究開発実施の具体的内容	3
3 - 1. 研究開発目標	3
3 - 2. 実施方法・実施内容.....	3
3 - 3. 研究開発結果・成果.....	5
3 - 4. 会議等の活動	23
4. 研究開発成果の活用・展開に向けた状況	24
5. 研究開発実施体制	24
6. 研究開発実施者.....	25
7. 研究開発成果の発表・発信状況、アウトリーチ活動など.....	28
7 - 1. ワークショップ等	28
7 - 2. 社会に向けた情報発信状況、アウトリーチ活動など	28
7 - 3. 論文発表.....	28
7 - 4. 口頭発表（国際学会発表及び主要な国内学会発表）	28
7 - 5. 新聞報道・投稿、受賞等	28
7 - 6. 特許出願.....	28

1. 研究開発プロジェクト名

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

2. 研究開発実施の要約

2 - 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 - 2. 実施項目・内容

平成25年度実施した研究開発項目は、i 電力市場のマルチエージェントモデルの開発、ii 電力市場イノベーションの数量評価、iii 共同研究開発ネットワークを用いた研究開発評価の3つである。各項目別の内容は

i 電力市場のマルチエージェントモデルの開発

ドキュメントの整備

需要サイド部分のモデルの拡張

ii 電力市場イノベーションの数量評価

電力市場モデルを用いたリアルタイムプライシングの価格形成への効果の分析

高速デマンドレスポンスの経済性評価

iii 共同研究開発ネットワークを用いた研究開発評価

系列・親子関係等を考慮したR&Dネットワークの構築

R&D成果の計量分析

である。

2 - 3. 主な結果

(1)スマートグリッドや燃料電池等の導入の電力市場での価格形成に関する効果を分析するため、卸売市場における電力需要が価格弾力的なケースを扱えるように、電力市場モデルの拡張を行った。そのモデルを用いて、夏季の需給ひっ迫時の実際の電力需要、企業の費用構造、電力自由化の下での市場構造等を想定した上で、スマートグリッドの市場価格形成への効果をシミュレーションにより分析した。その結果、スマートグリッドによる需要価格弾力性の上昇は、需給ひっ迫時の価格安定をもたらすことがあることが示された。

(2)電力市場モデルによる分析とは独立に、電力系統モデルのシミュレーションによって、アンシラリー目的のための高速デマンドレスポンスFastDRの利用について、その経済性を数量的に評価した。シミュレーションにより、FastDRの導入には経済的には正当化できないことを示した。

(3)昨年度構築した燃料電池分野のR&Dネットワークを、企業の系列・親子関係を考慮して修正した。すなわち、企業の財務データから系列・親子関係が存在すると判断できる企業

は実質的に同一組織であると考えて統合し、R&D ネットワークの改定を行った。

(4) 以上の改定されたR&Dネットワークのデータ、企業の財務データ、特許データを接続し、パネルデータを構築した。さらに、このようにして得られたパネルデータを用いて、出願件数・被引用回数で測った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。その結果、R&Dの成果に対して、経済的な要因をコントロールした上で、大学との共同出願の経験の影響は正の効果、より多くの組織とリンクが張られることは特許生産性および引用回数に正の効果、異なる共同出願組織クラス間間の橋渡しを行う組織は正の効果をもたらすという結果が得られた。すなわち、ネットワーク上の企業の位置・役割、大学とのネットワークの存在は、R&Dの成果に対して正の効果があることが示された。一方、NEDOを利用した共同出願がR&Dの成果に与える影響は不明であるとの結果が得られた。NEDOのR&D成果への効果に対しては、傾向スコアマッチングによる分析を行ったが、正ではあるがロバストな結果は得られなかった。

3. 研究開発実施の具体的内容

3 - 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を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。

3 - 2. 実施方法・実施内容

平成25年度は、主として研究開発代表者グループ、市場・計量分析グループが研究開発を行った。実施した研究開発項目は、

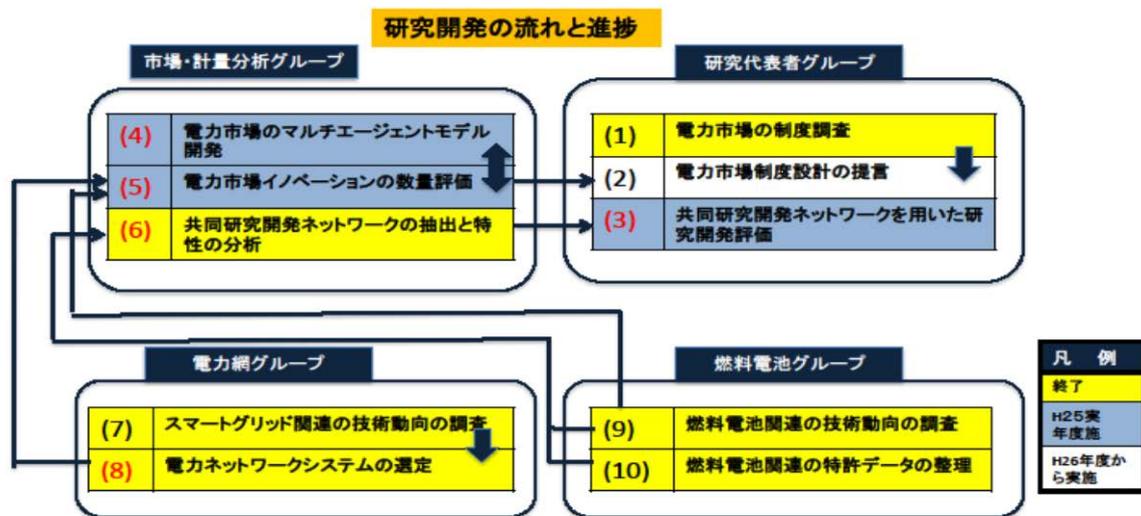
- ①電力市場のマルチエージェントモデルの開発
- ②電力市場イノベーションの数量評価
- ③共同研究開発ネットワークを用いた研究開発評価

である。これらの実施項目の相互の関係が下図に示されている。このうち、①②が昨年度から継続して行われた項目であり、③が新たに実行された項目である。

なお、企業系列・親子関係を考慮したR&Dネットワークの構築に関しては、扱うデータが特許データのみではなく、企業財務データとの接続作業が必要となるため、企業データとR&Dネットワークデータを接続して分析する「共同研究開発ネットワークを用いた研究開発評価」において行うこととした。

①の「電力市場のマルチエージェントモデルの開発」に関しては、エンドユーザーを含む様々なユーザーが、スマートグリッドおよび燃料電池導入の政策評価に利用でき、また柔軟に拡張できるモデルを目的として開発を行った。スマートグリッド等の技術を用いれば、需要家側の反応（価格弾力性）を大きくすることができると想定されるので、そのシミュレーションプラットフォームを整備すれば政策決定に有意義である。主としてスマー

トグリッドによるリアルタイムプライシングの効果や燃料電池設置の効果を評価するため、需要家サイドの部分を中心にモデル構築を進めた。開発担当者の交代という事情もあり、当初想定した計画よりモデル開発に時間を要したため、計画を見直し、当初は開発したモデルを用いて行う予定だった「電力市場イノベーションの数量評価」と協力しつつ並行して研究開発を実施した。



②の「電力市場イノベーションの数量評価」は、①で構築したモデルを用いて、スマートグリッドによる需要価格弾力性の上昇、リアルタイムプライシングを選択する家計の割合、燃料電池の導入量、市場構造や制度に関する複数の想定を組み合わせの下で、スマートグリッドおよび燃料電池が電力市場における価格形成にどのような影響を及ぼすのかを中心に分析を行うことを内容としている。今後の電力市場の自由化の進展にともない、発電業者の価格支配力が価格に及ぼす影響の増大、とりわけ需給逼迫時における価格の急騰、価格変動の拡大が予想される。スマートグリッドによる需要価格弾力性の上昇と分散電源等自由になる電源の所有は、このような価格の高騰や変動の増加をやわらげる働きをすると期待されており、このような期待される効果に関しての評価を行うことを目的としている。今年度は、東電が他の発電業者に比して非常に大きいガリバー型寡占市場と東電の限界費用ベースでの卸売り市場への供給を前提にして、リアルタイムプライシングの価格形成への効果を分析した。

また追加的な分析として、負荷分散ではなく、主としてアンシラリー目的に利用することが意図されているFastDRについて、経済的な観点からの評価を行った。

③の「共同研究開発ネットワークを用いた研究開発」については、ネットワークのノードである各組織の経済的な特性をコントロールした上で、何が言えるのかが重要である。このため、企業の財務データや取引関係データ等とひも付けを行い、財務データ・取引デ

ータ等により企業の経済的特性をコントロールした上で、R&Dネットワークの構造やノードの特性がR&Dの成果へ及ぼす影響の分析を行った。さらに、NEDO等や大学との共同研究がR&Dの成果に対する効果の分析を行った。

3 - 3. 研究開発結果・成果

25年度は、卸売市場を中心とした電力市場モデルの開発、特許データを用いたR&Dネットワークの構築と特性の分析を行った。電力市場モデルに関しては、スマートグリッドの分析を可能とする需要家サイドの分析が予定より遅れていたため、重要部分のモデル化を中心に研究開発を行った。その際、本来であれば、完成した電力市場モデルを用いて行う「電力市場イノベーションの数量評価」と「電力市場のマルチエージェントモデルの開発」を並行して行った。さらに、アンシラリー目的でのスマートグリッドの評価をも行うため、補完的にFastDRの経済性評価を行った。

また先に述べたように、企業系列・親子関係を考慮したR&Dネットワークの修正に関しては、扱うデータが特許データのみではなく、企業財務データとの接続作業が必要となるため、企業データとR&Dネットワークデータを接続して分析する「共同研究開発ネットワークを用いた研究開発評価」において行うこととした。具体的な研究開発の結果と進捗は以下の通りである。

(1) 電力市場モデルの開発

i) ドキュメントの整備

プログラムの公開の際の利用者の利便性、今後の保守管理及び拡張の際の利便性を確保するため、昨年度までに開発したプログラムの詳細なドキュメントを整備した。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 (図1)、インストールおよび操作方法に関する説明の2種類からなっている。これにより、プログラムに関して専門的な知識を持たないユーザーも、短時間でシミュレーションを行うことが可能となった。

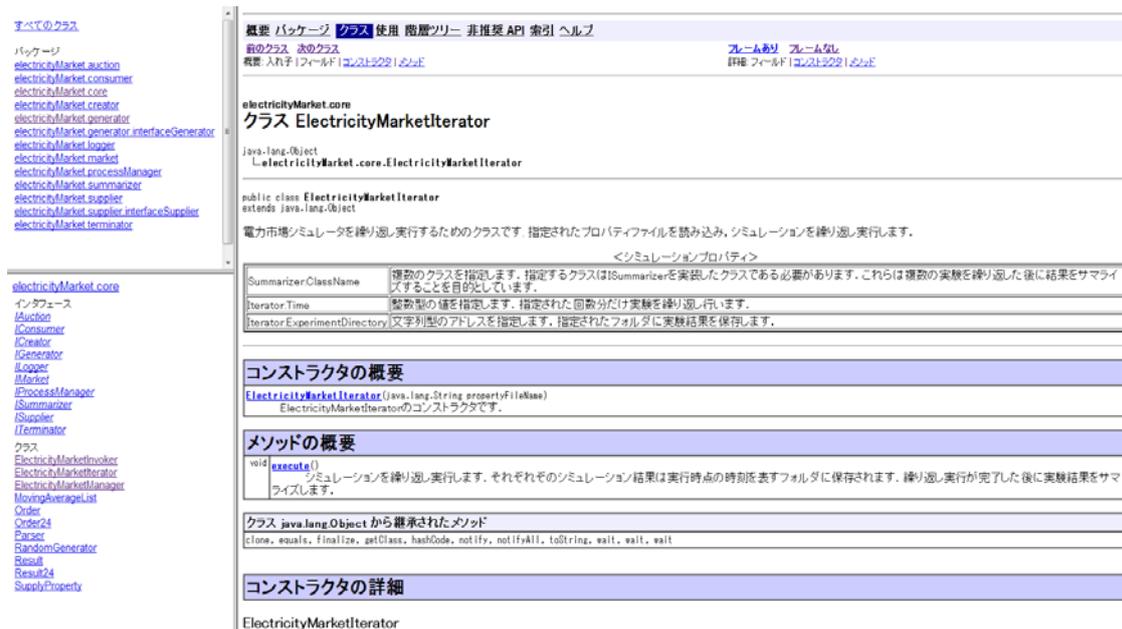


図 1 各クラスの仕様に関するドキュメント

ii) モデルの拡張

詳細なドキュメントを作成した後に、リアルタイムプライシングRTP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る。

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、需要曲線は垂直であった。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、非常に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る。

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、扱いが違って複雑となる。よって、需要関数は需要の価格弾力性一定である

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

の形とすることにした。ここで、 ϵ 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。

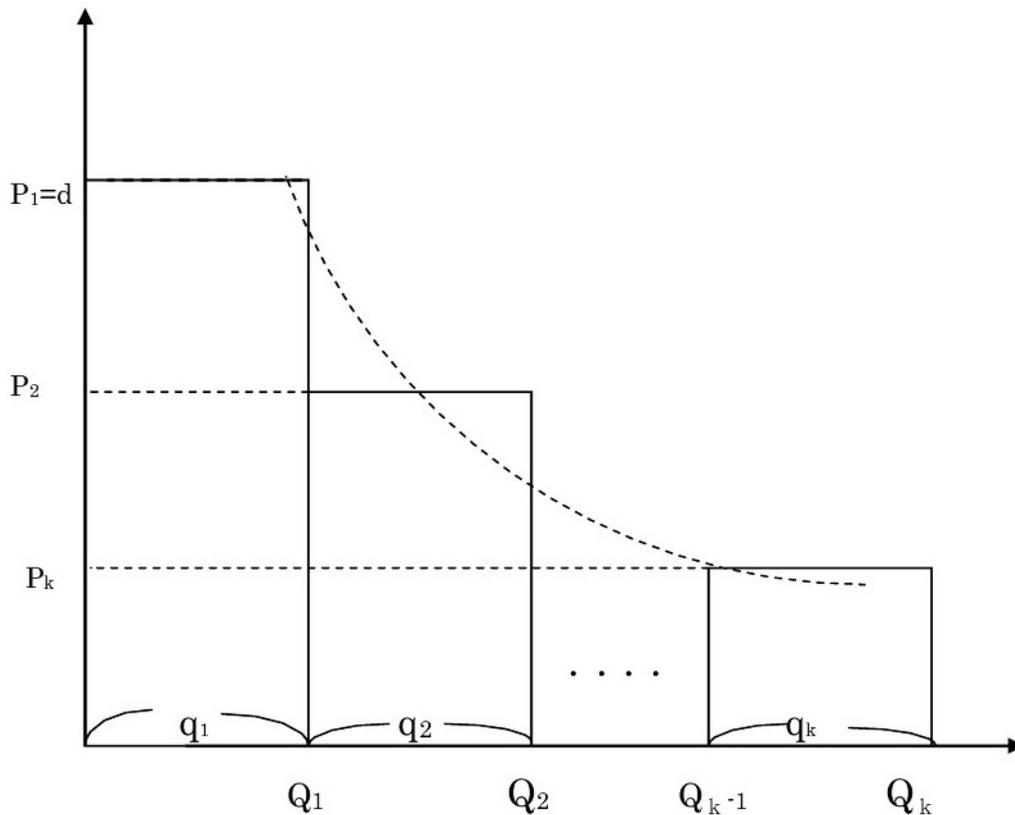


図 2 需要曲線のステップ関数近似

プログラム上では、[図2](#)のように、需要曲線を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) の組で入札を行うことになる。

次の燃料電池の導入である。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と、[図3](#)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。

さらに、一部の発電業者の規制を加え、マークアップを外生的に与えることを可能にするようにするプログラムのマイナーな修正を行った。

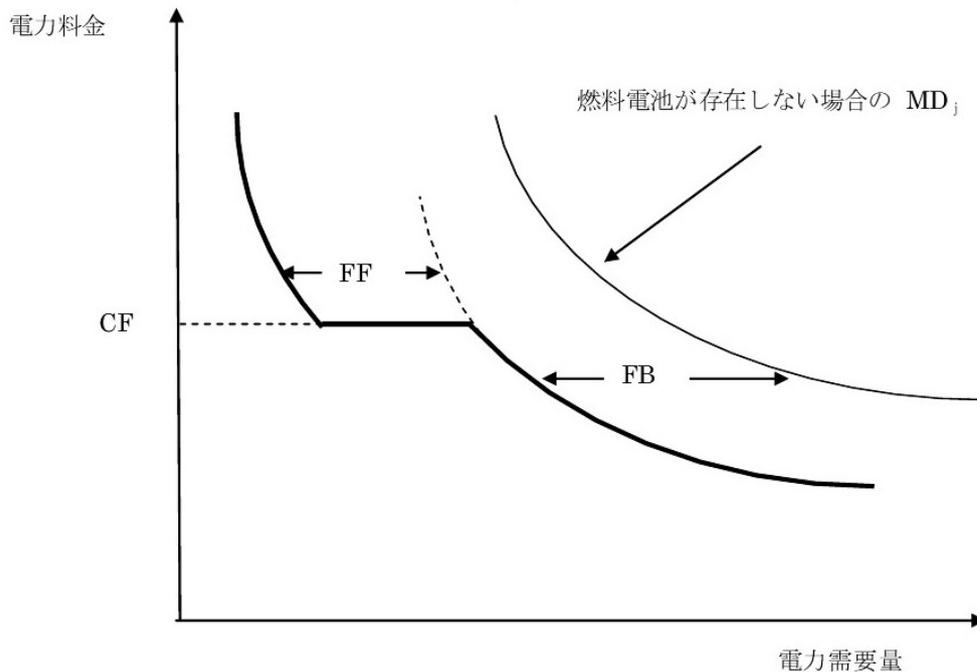


図 3 燃料電池があるケース

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考える。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。すなわち、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1日における充電量と放電量が（効率を考慮して）バランスしていなければならない。図4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。

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、それに応じて電力料金支払い総額が最小となるように、需要者は充電価格PC、放電価格PDが定める、他方において、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る、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う必要があることになる。

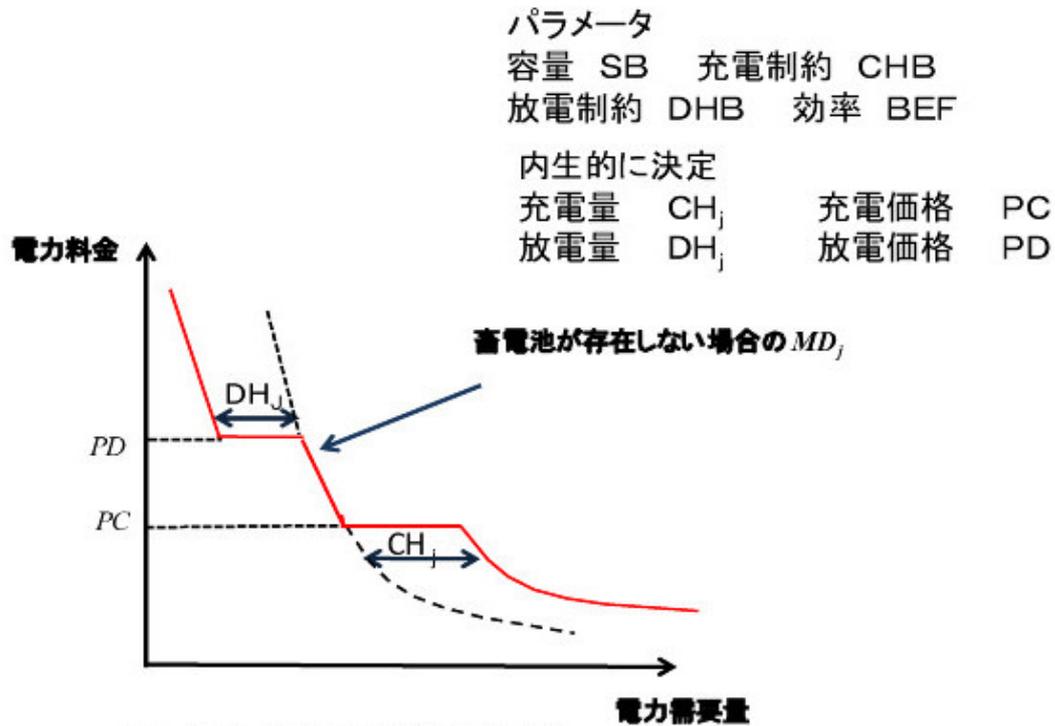


図4 蓄電池が存在するケース

以上のような基本的なモデル化の考え方にに基づき、前年度までのモデルを拡張した。

(2) 電力市場イノベーションの数量評価

i) スマートグリッドの市場価格形成への影響

(1)で説明した拡張したモデルを用いて、スマートグリッドによるリアルタイムプライシングRTPの効果进行分析した。電力市場の価格形成モデルでは、RTP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、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、シミュレーションにより分析した。

行っ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る。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る。（[図5](#)）

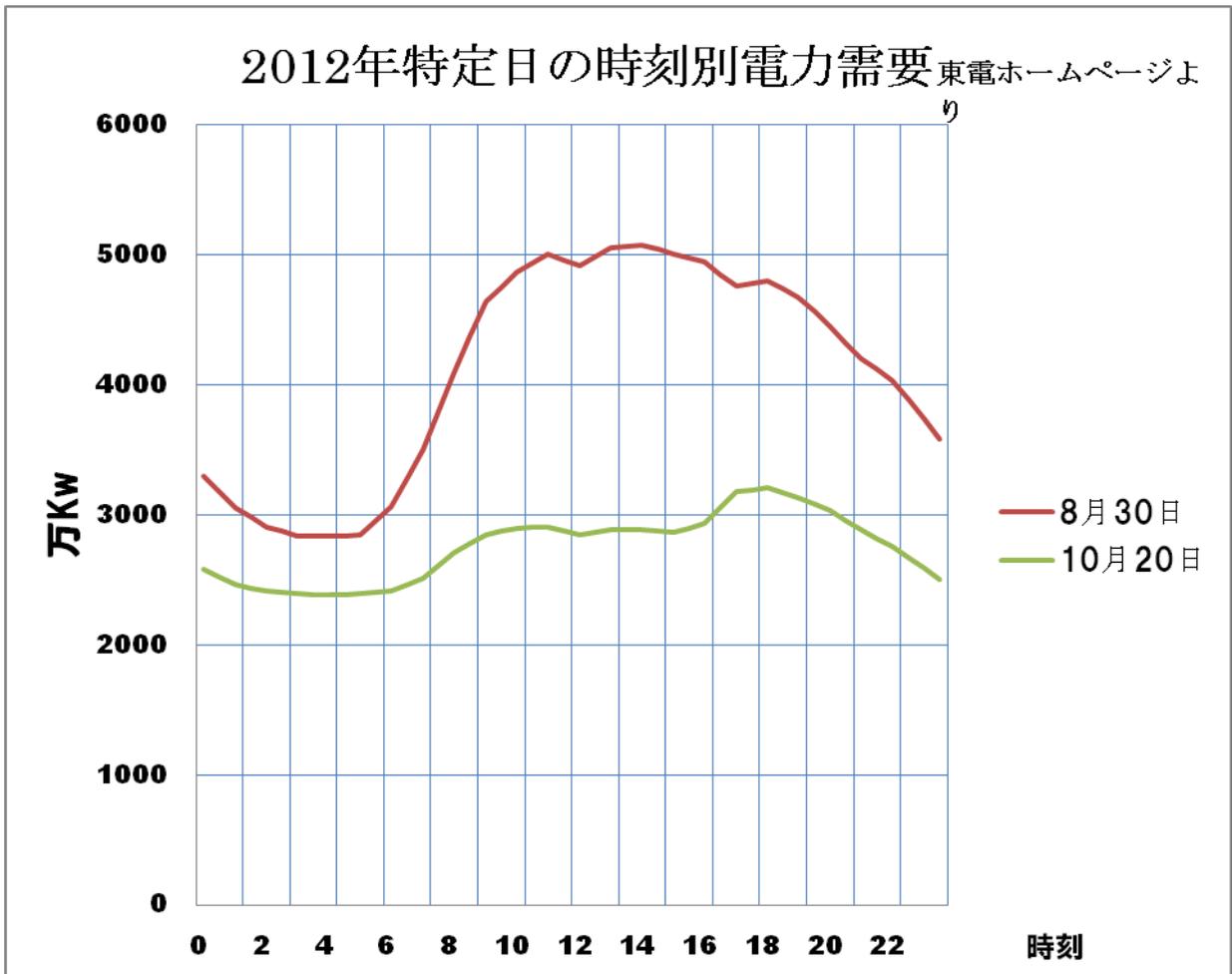


図 5 想定する電力需要

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。市場構造としては、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。東京電力に関しての、発電能力および限界費用に関するの想定を図示したものが、[図6](#)である。ここで、ベース電源の原子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。(なお、ここでの費用は2010年以前のものであるが、費用をその後の経済情勢にあわせてアップデートしたものでもシミュレーションを行っている。)

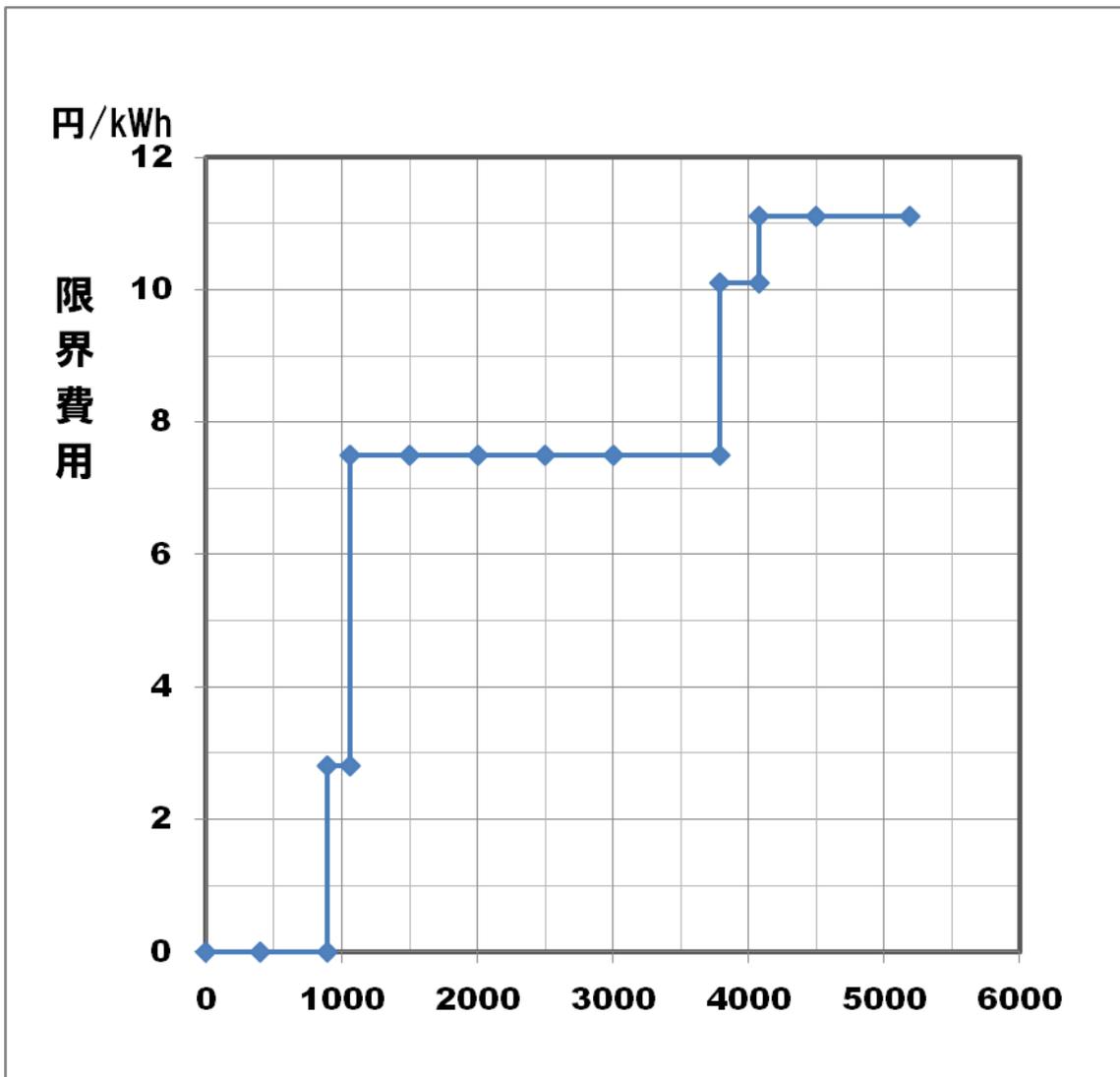


図 6 東電の供給能力

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行動への制約が必要となる。多くの電力自由化の分析では、東電の分割を想定しているが、現状では非現実的である。そのため、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。この想定は、現状の東電の行動から、さほど外れたものではない。

まず、RTPなしの場合、需要の価格弾力性は0であるとし、RTPによって価格弾力性が0.1となるとしてシミュレーションを行った。（プライスカップを40円/KWhとしている。）供給能力は全体としては、ピーク時間帯においても需要を上回るが、ピーク時間帯においては市場支配力を行使できるため価格が上昇することになる。需要の価格弾力性が0である場合、需給がひっ迫するピーク時間帯においては価格がプライスカップである40円まで上昇する。図7のケースでは0.2という低い割合で需要家がRTPへ加入すれば、価格の高騰が抑えられるという結果が得られた。

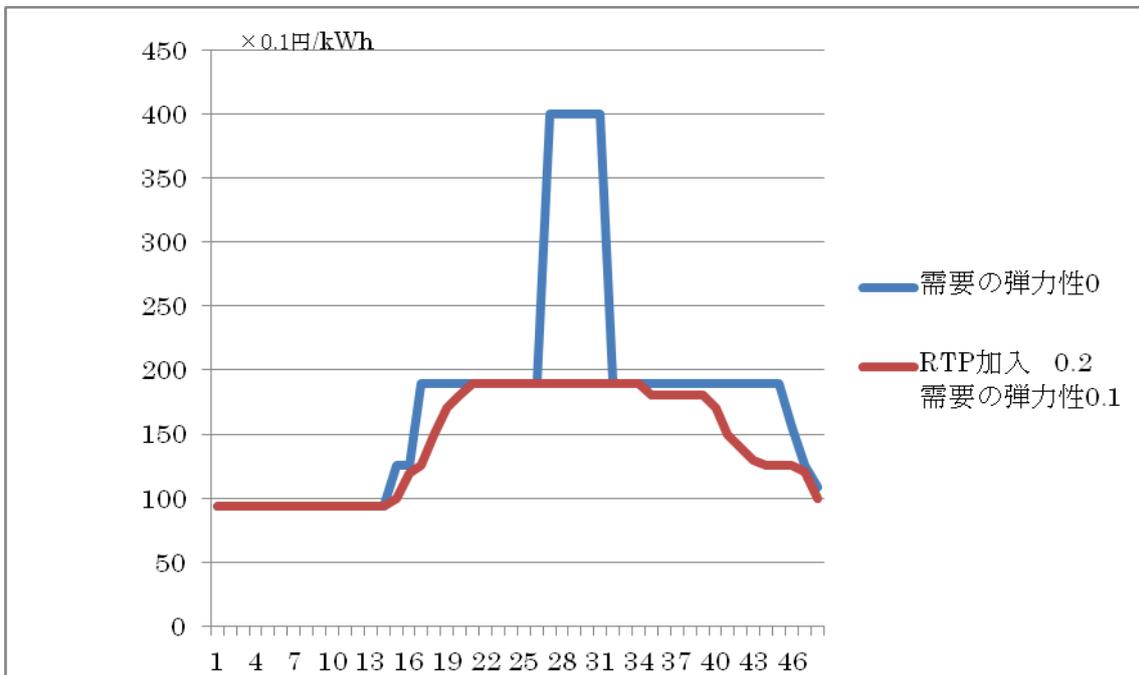


図 7 RTPの効果1

次に、RTPなしの場合においても、0.1程度の需要の価格弾力性は存在すると想定し、RTPによって価格弾力性が0.1上昇し、0.2となるとしてシミュレーションを行った。この場合、全ての需要家がRTPへ参加するとしている。シミュレーション結果を図示したものが、[図8](#)である。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、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。

以上のように、RTPによる需要の価格弾力性上昇は0.1程度と僅かであり、しかも比較的少数の消費者のRTP選択が大きな価格安定化をもたらす可能性が示された。その理由は、このシミュレーションの想定における東電への規制である。規制のため東電は事実上プライステイカーであり、残りの発電業者は残余需要に対して競争を行っている。そして、東電の規模が非常に大きいため、全体の需要の価格弾力性の増加は小さくても、残余需要の弾力性は非常に大きくなるため、僅かな需要の価格弾力性の効果が大きな市場支配力への抑制効果を持ったと考えられる。

以上から、スマートグリッドの価格安定化への効果は、市場構造によって大きく異なる可能性が示唆される。

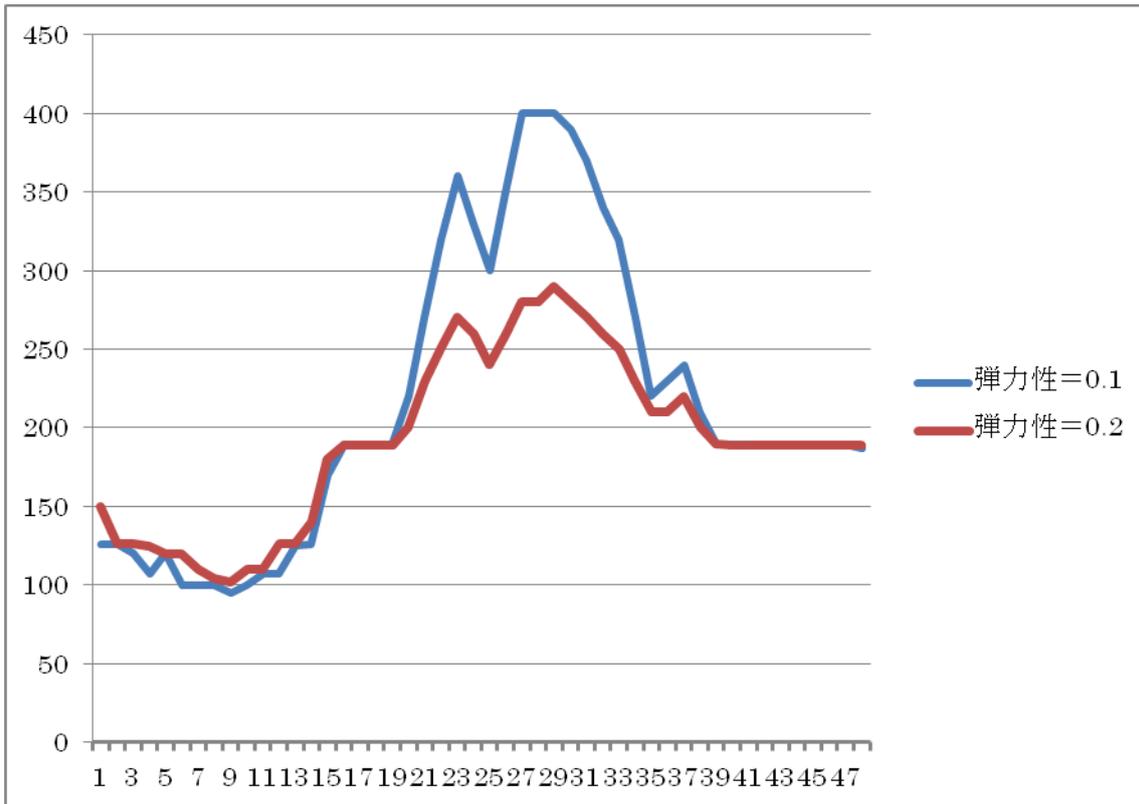


図 8 RTPの効果2

ii) FastDRの経済性評価

i) での分析は、負荷分散のために導入されるRTPの効果の分析であるが、最近では、双方向の通信を通じた需要家側の電気機器と高速な制御により、デマンドレスポンスを負荷分散のみでなく、アンシラリー目的に利用する高速デマンドレスポンスFastDRが技術的に注目を集めるようになってきている。そこで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とされる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

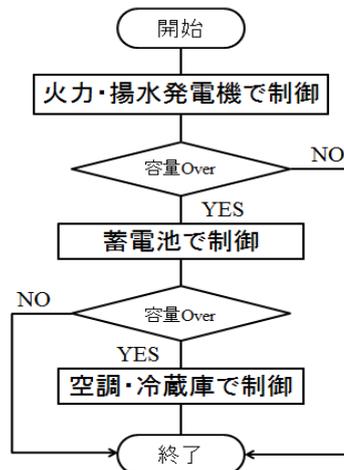


図9 周波数制御の想定

非を、日本のデータと系統モデルのシミュレーションを用いて検証した。FastDRの対象として、具体的には冷蔵庫および空調の温度調整の利用を考える。図9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。

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。

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10のようになった。

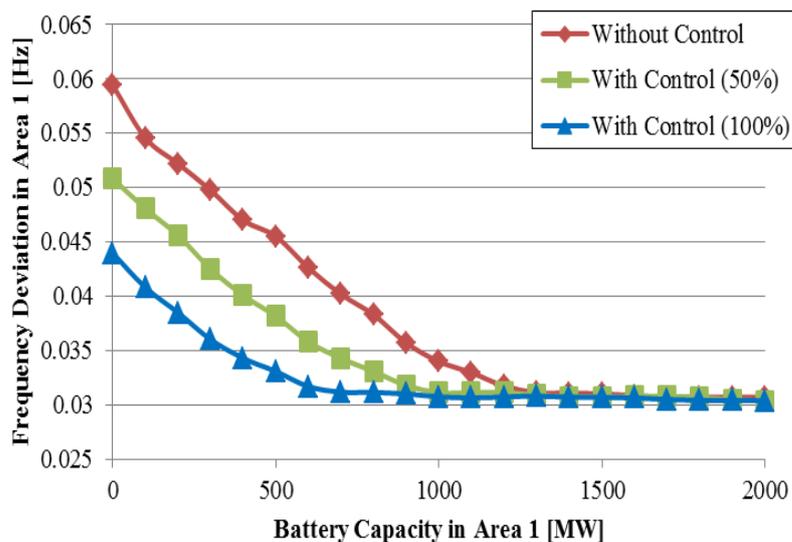


図 10 蓄電池導入容量と周波数標準偏差の関係

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11に示されている。

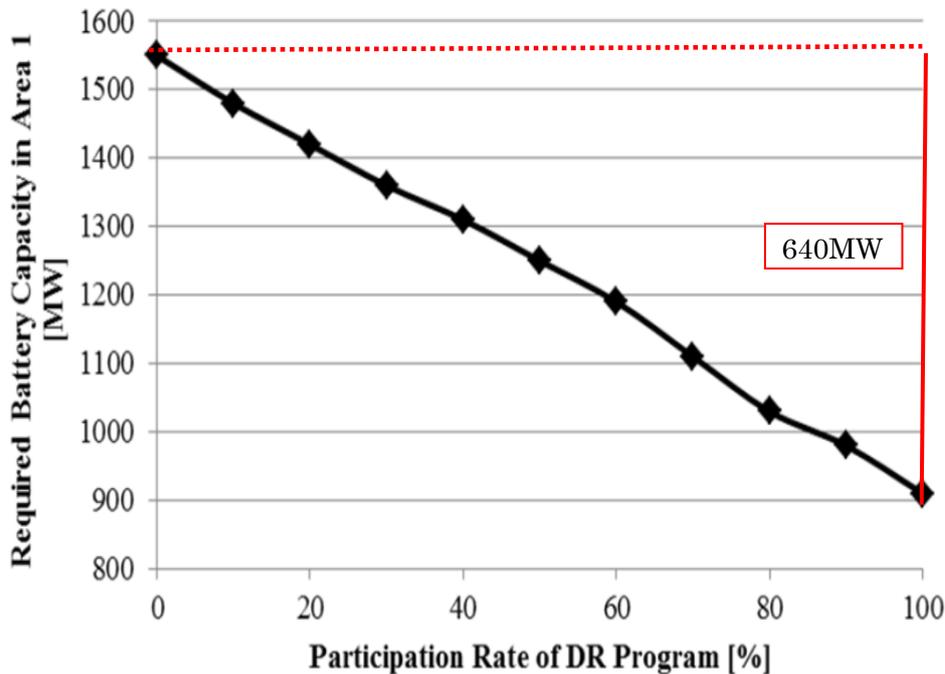


図 11 必要蓄電池容量（目標標準偏差0.031Hz）

全需要者がFastDRに参加したときのエリア1(東電管内)の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72000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契約口当たりの削減額は、1年当たり27.1億円/2888万契約口数=94円となる。この削減額では、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付与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、アンシラリー目的のFastDRは、経済的にみて疑問があるという評価となった。

(3) 共同研究開発ネットワークを用いた研究開発評価

i) 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

本研究の燃料電池R&Dネットワーク中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る。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する可能性があることがわかった。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独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独出願として取り扱うことにした。(表2)

表2 単独出願とみなした共同出願関係の一覧

大株主かつ親会社	企業	大株主かつ親会社	企業
神戸製鋼所	コベルコ科研	日東電工	日東シンコー
神戸製鋼所	神鋼環境ソリューション	東洋紡	日本エクスラン工業
東洋製罐	東洋エアゾール工業	岩谷産業	岩谷瓦斯
京セラ	京セラケミカル	富士フイルムホールディングス	富士フイルム
ノーリツ	大成工業	三井化学	ジャパンコンボジット
ノーリツ	ハーマン	三井化学	下関三井化学
IHI	IHIメタルテック	三井化学	プライムポリマー
豊田自動織機	アルテックス	日立造船	アタカ大機
ジェイテクト	豊興工業	アイシン精機	アイシン・エイ・タブリュ
新電元工業	新電元熊本テクノロジー	アイシン精機	アイシン化工
東芝	東芝トランスポートエンジニアリング	日本電気	NECトーキン
東芝	東芝マテリアル	東芝ホームアプライアンス	東芝ホームテクノ
東芝	東芝燃料電池システム	リコー	東北リコー
東芝	東芝電子エンジニアリング	帝人	帝人ファーマ
東芝	芝府エンジニアリング	帝人	東邦テナックス
JX日鉱日石エネルギー	ENEOSセルテック	伊藤忠商事	伊藤忠セラテック
NOK	シンジーテック	伊藤忠商事	伊藤忠テクノソリューションズ
旭硝子	AGCセイメイケミカル	東洋鋼板	鋼板工業
三菱化学	日本合成化学工業	日本製鋼所	名機製作所
三菱化学	油化電子	日清製粉グループ本社	日清エンジニアリング
三菱化学	関西熱化学	新日鐵住金	新日鐵住金ステンレス
新日鐵住金マテリアルズ	日本グラファイトファイバー	新日鐵住金	日鉄エレックス
東京瓦斯	東京ガスケミカル	パナソニック	パナホーム
東京瓦斯	ガスター	パナソニック	三洋電機
古河電気工業	古河スカイ	パナソニック	パナソニックエコシステムズ
四国電力	四国総合研究所	日立製作所	パブコック日立
日本電信電話	NTTファシリティーズ	日立製作所	日立アプライアンス
旭化成	旭化成イーマテリアルズ	日立製作所	日立エンジニアリング・アンド・サービス
旭化成	旭化成エンジニアリング	日立製作所	日立コンピュータ機器
旭化成	旭化成ケミカルズ	日立製作所	日立マクセル
住友電気工業	住友電装	日立製作所	日立金属
住友電気工業	富山住友電工	日立製作所	日立電線
住友電気工業	日新電機	日立製作所	日立エレクトリックシステムズ
住友電気工業	アライドマテリアル	日立製作所	日立ハイテクノロジーズ
住友電気工業	オートネットワーク技術研究所	日立製作所	日立産機システム
富士通	FDK	ソニー	ソニーモバイルコミュニケーションズ
富士通	富士通テン	JFEスチール	JFEケミカル
富士通	富士通フロンテック	JFEスチール	JFEコンテナ
日立金属	日立メタルプレシジョン	太平洋セメント	日本セラテック
デンソー	日本自動車部品総合研究所	東芝コンシューマエレクトロニクス・東芝コンシューママーケティング	
東レ	東レエンジニアリング	東芝コンシューマエレクトロニクス・東芝ホームアプライアンス	
日揮	日揮触媒化成	宇部興産	宇部興産機械
日立化成	新神戸電機	長瀬産業	ナガセケムテックス
日立化成	日立粉末冶金	トヨタ自動車	ダイハツ工業
三菱マテリアル	三菱電線工業	トヨタ自動車	トヨタ車体
大阪瓦斯	KRI	トヨタ自動車	日本ケミカル工業
大阪瓦斯	リキッドガス	トヨタ自動車	キャタラー
		トヨタ自動車	トヨタタービンアンドシステム

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独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%減少したことになる。下にはそのうち最大ものを表示

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。この構造を把握するために、前年度の作業と同様、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。

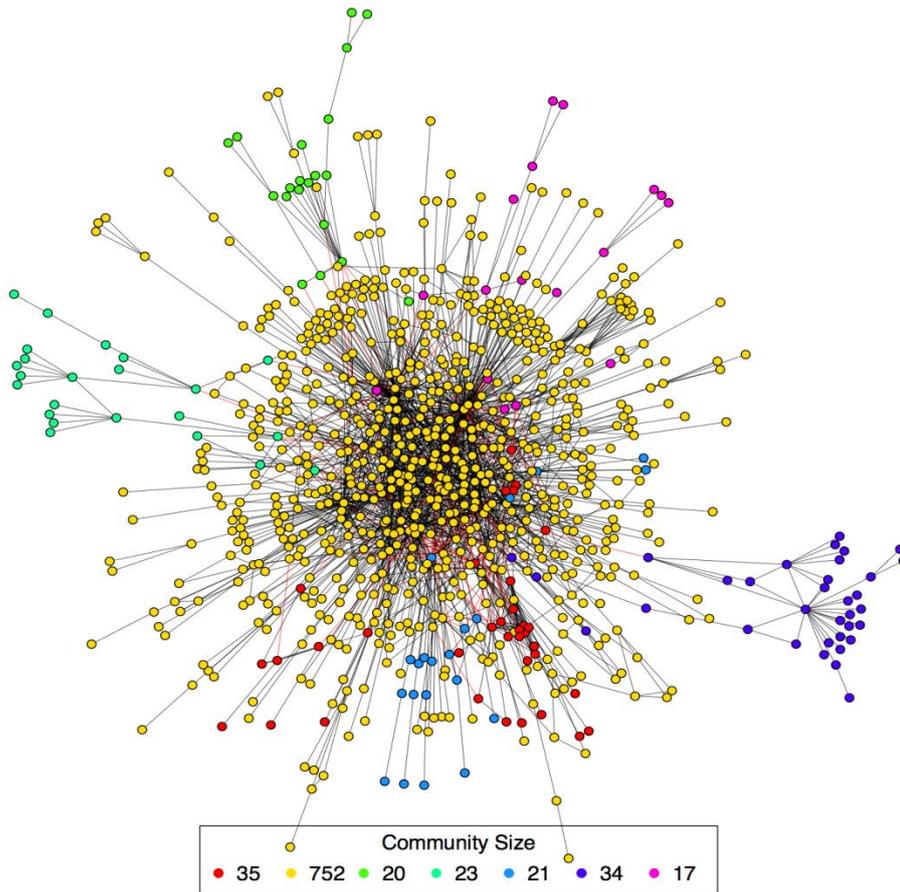


図 12 再構成されたR&Dネットワーク

ii) R&D成果に関する計量経済分析

i) で求めた改定されたR&Dネットワークに基づいて、出願件数・被引用回数で測った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。

より正確には、各年の企業の特許出願件数（特許生産性）、各年の企業の特許出願が後年に引用された件数を被説明変数とした。説明変数として、企業固有の観察可能な属性、発明者数（発明に関する企業規模）、R&Dネットワークにおける属性、さらに知の共有の促進をもたらしえるNEDOという政策変数、大学との共願の有無を含める。そして観察できない企業固有属性をコントロールした固定効果回帰分析を実行する。

被説明変数は計数データであることから、次のような固定効果ポワソンモデルあるいは固定効果負値2項分布モデルにしたがった推定式を設定する。固定効果ポワソンモデルの推定式を説明すると

$$N_{it} = \exp \left[C_t + \text{NEDO}_{t-1} + \text{Univ}_{t-1} + \text{degree}_{T=0, \dots, t-1} + \text{constraint}_{T=0, \dots, t-1} + \sum_k X_{itk} + \alpha_i \right] + \varepsilon_{it}$$

ここで、被説明変数N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、Cは定数項、 ε は誤差項である。モデル式に明示していないが、1998年を基準とする年ダミーを2010年まで13年分導入し、推定で用いている。以下、関心の対象となる変数の説明を行う。

NEDOを使った出願がその後の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」を導入している。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。同様に、「Univ」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、2つのネットワーク指標を導入する。degree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る。Constraint変数は、企業が1期前に形成されている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。互いに密に共同出願を行っている企業群があり、これらの間ではあまり共同出願を行っていない状況を考えて、各群を結び付けるような共同出願を行う企業のConstraintの値は小さくなる。異なる知識が共願を通じて融合していくような方向にR&Dネットワークが成長するならば、この推定値は負であることが期待される。

推定式のXには東京商工リサーチから入手した企業属性が含まれる。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（円）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」

をモデルに含めている。なお、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る。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ている。

その他、対象期間で不変であるが観察できない企業固有属性は α として考慮し、固定効果回帰によって、モデルを推定する。

特許生産性についての固定効果ポアソン回帰による推定結果は、[表3](#)にまとめられている。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(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については符号は想定した通りであるものの、有意ではない。明示的に幾つかの企業属性(モデルのX項)を含めた(2)のケースでも同様の結果が得られる。ネットワーク指標を含めた(3)では、NEDOダミーの係数の符号は負となってしまうが、有意ではない。一方、大学共願ダミーは(1)-(3)を通して正かつ有意である。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明らかになっていないが、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。

ネットワーク上の位置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指標については、係数は10%有意であるが符号は負である。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。

企業規模がネットワーク上の位置に及ぼす影響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ている。すると、企業規模は、次数が特許生産性に与える影響に正の効果をもたらすが、Constraintが特許生産性に与える影響を減じる効果があることが分かる。

表3 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	0.0892 (0.395)	0.00915 (0.344)	-0.182 (0.340)	-0.218 (0.309)
大学共願ダミー	0.339** (0.147)	0.403*** (0.118)	0.396*** (0.117)	0.411*** (0.117)
発明者比率		12.02*** (4.496)	6.266** (3.064)	9.977* (5.583)
経常利益		2.00e-07 (1.96e-07)	1.72e-07 (1.57e-07)	-1.60e-07 (1.08e-07)
R&Dシェア		-0.788 (0.521)	-0.539* (0.276)	-0.365 (0.362)
従業員数				-6.72e-06 (4.52e-06)
次数			0.00797*** (0.00157)	0.00451* (0.00238)
従業員数×次数				2.42e-07*** (5.52e-08)
Constraint			-0.311* (0.170)	-0.437** (0.186)
従業員数×Constraint				1.27e-05 (1.50e-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

被引用回数で測った場合の推定結果は、表4および表5に示されている。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、対象期間の特許に対する総引用件数（表4）、および審査官引用件数（表5）の2種類を設定する。

推定方法は対象期間に一定で観察できない企業固有属性をコントロールした「固定効果負値二項回帰」である。ポワソン回帰の基本仮定である「計数の分布の平均と分散が等しい」ことが満たされない場合に用いられる手法である。特許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であるような状況では適切な推定手法である。

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、大学共願ダミーの推定値は正かつ5%で有意、NEDOダミーの推定値は正であるものの有意ではないという結果となった。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。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は総引用件数のそれよりも10-20%ほど大きいこともわかる。

表4 推定結果2：各年の被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	0.161 (0.210)	0.164 (0.209)	0.0367 (0.219)	0.0566 (0.220)
大学共願ダミー	0.492*** (0.170)	0.496*** (0.171)	0.319* (0.176)	0.362** (0.180)
発明者比率		14.99*** (5.011)	8.013 (6.333)	6.559 (7.360)
経常利益		1.82e-08 (1.46e-07)	4.64e-08 (1.48e-07)	-1.53e-08 (1.52e-07)
R&Dシェア		-0.375 (0.864)	0.0168 (0.852)	0.437 (0.894)
従業員数				1.83e-05 (1.83e-05)
次数			0.0139** (0.00585)	0.0168** (0.00764)
従業員数×次数				-1.69e-07 (2.67e-07)
Constraint			-0.819*** (0.304)	-0.0458 (0.533)
Constant	-17.77 (476.7)	-18.34 (612.9)	-17.75 (421.1)	-18.91 (636.0)
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5 推定結果3：各年の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	0.355 (0.234)	0.356 (0.233)	0.213 (0.249)	0.240 (0.250)
大学共願ダミー	0.528*** (0.189)	0.538*** (0.190)	0.390** (0.196)	0.422** (0.200)
発明者比率		18.61*** (5.326)	12.18* (6.610)	10.85 (7.622)
経常利益		8.77e-08 (1.90e-07)	9.62e-08 (1.90e-07)	3.24e-08 (1.95e-07)
R&Dシェア		-1.372 (0.960)	-0.906 (0.950)	-0.467 (0.993)
従業員数				1.97e-05 (1.93e-05)
次数			0.0120* (0.00612)	0.0147* (0.00797)
従業員数×次数				-1.73e-07 (2.71e-07)
Constraint			-0.697** (0.326)	0.108 (0.572)
従業員数×Constraint				-7.98e-05*
Constant	-17.93 (553.6)	-18.16 (619.5)	-17.93 (504.9)	-18.25 (500.7)
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

以上の推計結果をまとめると、次のようになる。NEDOを利用した共同出願の経験が後年の特許生産性に与える影響は不明である。大学との共同出願の経験が後年の特許生産性・引用回数に与える影響は正かつ有意である。共同出願件数が増える、すなわちR&Dネットワークでより多くの組織とリンクが張られることは特許生産性および引用回数に正の効果をもたらす。異なる共同出願組織クラスタ間の橋渡しを行う共同出願件数が多いことは、特許生産性に正の効果をもたらす。

iii) Matching Estimatorを使ったNEDO政策効果の推定

先に得たNEDOに関する分析結果を補完するため、別の観点と手法から、NEDOの政策効果の分析を行った。NEDOを利用した共願関係でなく、NEDOからの支援そのものが、特許生産性・引用回数へのどのような影響を与えるのかを分析した。分析には、「政策の対象となったグループ」と属性がほぼ等しい「対照群」を作成し、比較して政策効果を推定する「傾向スコアマッチング」の手法を用いた。特許情報で最初にNEDOと関わりがあった場合には、その年度以降NEDO=1となる変数を作り、2002年から2005年の間にNEDO=1となったグループを、政策を受けた処置群treatment group、一度もNEDO=1とならなかったグループを対照群control groupとした。

傾向スコアマッチングの結果は、推計されたNEDO効果はおおむね正ではあるが、R&D成果として審査官引用数を採用し、マッチングの手法の選択肢のうちNearest Neighbor Matchingを使う場合にのみ10%で有意な結果が得られ、それ以外では有意な結果はほとんど得られなかった。したがって、NEDOの助成の効果はあるとすれば正の方向ではあるが、あったとしてもあまり頑健なものではないという結論となった。

いくつかの留保が必要であるが、ii)の結果と合わせて、NEDOのR&D成果への寄与は不明であるという結論となった。

(4) 成果の実装

研究開発の社会への実装をはかるため、開発した電力市場モデルを横浜市の次期のスマートグリッド計画立案のために役立てることを目的として、横浜市と定期的に研究会を開催することとなった。

3 - 4. 会議等の活動

・実施体制内での主なミーティング等の開催状況

年月日	名称	場所	概要
2013年 4月18日	全体会合	横浜国立大学 電子情報棟	今年度の研究開発方針について
2013年 6月13日	電力市場定例ミーティング	横浜国立大学 電子情報棟	今年度の電力市場モデルの研究開発の方針とスケジュール決定
2013年 7月25日	電力市場定例ミーティング	横浜国立大学 電子情報棟	シミュレーションシナリオについて
2013年 9月30日	電力市場定例ミーティング	横浜国立大学 電子情報棟	既存モデルと拡張部分のモデル化部分の実装方針について検討

2013年 10月17日	電力市場定例ミーティング	横浜国立大学 電子情報棟	既存モデルと拡張部分のモデル化の実装について
2013年 11月20日	電力市場定例ミーティング	横浜国立大学 VBL棟	拡張部分のモデル化の実装について検討
2014年 1月15日	電力市場定例ミーティング	横浜国立大学 VBL棟	拡張部分のモデル化の実装と電力市場シミュレーション結果の検討
2014年 2月25日	電力市場定例ミーティング	横浜国立大学 VBL棟	電力市場シミュレーション結果の検討
2013年 7月26日	R&Dネットワークミーティング	横浜国立大学 VBL棟	財務データと特許データの接続について
2013年 8月9日	R&Dネットワークミーティング	横浜国立大学 VBL棟	系列・親子関係を考慮したR&Dネットワークについて

4. 研究開発成果の活用・展開に向けた状況

研究開発の社会への実装をはかるため、開発した電力市場モデルを横浜市の次期のスマートグリッド計画立案のために役立てることを目的として、横浜市と定期的に研究会を開催することとなった。また、開発した電力市場モデルを公開するため、ドキュメント等の整備や英訳等を行っている。

5. 研究開発実施体制

(1) 研究代表者及びその率いるグループ

- ①秋山太郎(横浜国立大学 成長戦略研究センター・教授・センター長)
- ②電力市場の制度調査、共同研究開発ネットワークを用いた研究開発評価

(2) 市場・計量分析グループ

- ①鳥居昭夫(中央大学・教授、横浜国立大学 成長戦略研究センター・連携研究員)
- ②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
共同研究開発ネットワークの推定と特性の分析

(3) 電力網グループ

- ①大山力(横浜国立大学 大学院工学研究院・教授)
- ②スマートグリッド関連の技術動向の調査、電力ネットワークシステムの選定

(4) 燃料電池グループ

- ①太田健一郎(横浜国立大学 大学院工学研究院・特任教授)
- ②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

6. 研究開発実施者

研究グループ名：研究代表者及びその率いるグループ(グループA) (リーダー: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
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
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
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
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
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
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
中嶋 亮	ナカジマ リョウ	横浜国立大学国際社会科学研究所	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
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
菊地 雄太	キクチ ユウタ	横浜国立大学国際社会科学研究所	D2 (RA)	共同研究開発ネットワークを用いた研究開発評価
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所	D3 (H23時点)	電力市場の制度調査

研究グループ名：計量分析グループ(グループB) (リーダー: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
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
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
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
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
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
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)	電力イノベーション の計量分析
高橋 徹	タカハシ トオル	学習院大学	助手	電力市場のマルチエ ージェントモデル開 発
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
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

研究グループ名：電力網グループ(グループC) (リーダー: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
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
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
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
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
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

研究グループ名：燃料電池グループ(グループD) (リーダー: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
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
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
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
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
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
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
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

7. 研究開発成果の発表・発信状況、アウトリーチ活動など

7 - 1. ワークショップ等

- ・特になし

7 - 2. 社会に向けた情報発信状況、アウトリーチ活動など

(1) 書籍、DVD

- ・特になし

(2) ウェブサイト構築

- ・特になし

(3) 学会（7-4.参照）以外のシンポジウム等への招聘講演実施等

- ・特になし

7 - 3. 論文発表

(1) 査読付き（ 1 件）

●国内誌（ 1 件）

- ・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

●国際誌（ 0 件）

- ・特になし

(2) 査読なし（ 0 件）

7 - 4. 口頭発表（国際学会発表及び主要な国内学会発表）

(1) 招待講演（国内会議 0 件、国際会議 0 件）

(2) 口頭発表（国内会議 1 件、国際会議 0 件）

- ・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

(3) ポスター発表（国内会議 0 件、国際会議 0 件）

7 - 5. 新聞報道・投稿、受賞等

- なし

7 - 6. 特許出願

- なし