

電力産業の制度設計に関する経済分析
Comparing alternative policies in the electricity industry: economic analysis

制度設計理論(経済学)プログラム

O8D43028 庫川 幸秀 指導教員 増井 利彦

Economics Program

Yukihide Kurakawa, Adviser Toshihiko Masui

ABSTRACT

The principal policy objectives in the deregulated electricity industry are to 1) lower the consumer price, 2) lower the supply cost, 3) reduce the environmental loads, and 4) secure stable supplies. The purpose of this study is to theoretically reveal trade-offs between some policies which are aim at achieving 1) to 3) of the above policy objectives. We compare social welfare under each policy framework in the second-best situation, in which the regulator can manipulate the market only through the limited policy variables. Throughout the whole paper we consider the imperfect competition model with asymmetric generation technology between the incumbent and the entrants. The incumbent and the entrants compete in amount of generation taking as given the policy frameworks and the policy variables which is set in advance by the regulator to maximize social welfare. Chapter 1 introduces the basic analytical framework of the whole study. Chapter 2 and 3 are the analytical sections. Chapter 2 investigates pros and cons of vertical separation of the monopolistic incumbent when the incumbent has a cost advantage in generation than the entrants. Chapter 3 compares FIT (feed-in tariff) and RPS (renewable portfolio standard), which are mainstream policies for promoting renewable energy sources. We consider the model in which the monopolistic incumbent uses conventional technology with negative externality and the competitive fringe uses renewable energy sources without externality. We show in both chapters that a policy framework which produces higher social welfare than the other is depending on exogenous parameters. This is as a consequence of trade-off relationship between the policy frameworks under consideration in each chapter. Chapter 4 summarizes and concludes the whole study.

第1章 論文の概要

1-1 研究の背景と目的

自由化された電力市場では、発電部門に競争を導入することで、これまで独占企業が一括でコントロールしていた電源間の発電量配分を市場メカニズムが行うことになる。この場合個々の発電事業者が戦略的に行動する結果として発電部門全体のパフォーマンスが決まる。電力産業における発電技術は、再生可能エネルギーや化石燃料、原子力など多様であり、発電事業者間でも使用している技術に違いがある。このような状況において、競争を導入することによるメリットがある一方で、市場メカニズムの結果実現する発電量配分を望ましい配分に誘導できない制度や政策では、競争を導入したとしてもそれが社会的に望ましいとは限らない。このような状況において、規制当局は政策的に操作できる限られた手段によって市場を望ましい方向に誘導する必要があり、その役割は規制改革以前より複雑なものになっている。

電力産業における政策を考える際の論点としては、主に以下の4点を挙げることができる。

- (1)競争により小売価格を低下させる。
- (2)供給コストをできるだけ低く抑える。
- (3)環境への負荷をできる限り小さくする。
- (4)安定的な供給を確保する。

上記4点のバランスを考えながら、望ましい制度がどのようなものかを検証していくことが必要になる。すべての点において他より優れた制度があれば問題はないが、いずれかの点を重視すると他の点において他の制度より劣るということが

しばしば起こるため、問題とする制度の間でどのようなトレードオフ関係が生じるかをまず明らかにすることが議論の出発点となる。本論文の目的は上記論点(1)~(3)における主要な制度・政策を対象として、特定の制度・政策の採用が他に比べて高い社会厚生を達成するための条件を理論的に明らかにすることである。

1-2 分析の枠組みと結果の概要

研究全体をとおして個々の企業は、政策当局が選択した制度や政策変数を所与としたうえで、電力発電量を戦略変数として行動する。発電企業として既存企業と参入企業がある。既存企業と参入企業の発電技術の非対称性を考慮した不完全競争モデルを用いて、制度・政策間の社会厚生を比較する。

1-2-1 基本的な枠組み

既存事業者と参入事業者、電力消費者と政策当局から成るモデルを考える。電力産業の構造は発電部門、送電部門、小売部門の3部門から成り立つ。既存事業者は従来の自然独占企業で1社、参入事業者は $i = 1, \dots, n$ まで n 社ある。発電部門で発電した電気を消費者に供給するためには必ず送電部門のネットワークを経由する必要がある。既存事業者の利潤関数を次のように定式化する。

$$\pi_i \equiv Pq - C_i(x) - \theta \left(x, \sum y_i \right) \quad (1)$$

x と y_i はそれぞれ既存事業者と参入事業者 i の発電電力量である。 P は電力小売価格、 $C_i(\cdot)$ は既存事業者の発電費用である。 q は既存事業者の販売電力量で、小売市場が自由化されている場合は自社の発電電力量に等しく $q = x$ 、小売市場において既

存事業者が独占を維持する場合は $q = x + \sum y_i$ となる。
 $\theta(x, \sum y_i)$ は送電にかかるネットの費用を表している。

参入事業者の利潤関数を次のように定式化する。

$$E_i \equiv P_E y_i - C_E(y_i) - T(y_i) - k \quad (2)$$

P_E は参入事業者の電力販売価格であり、発電だけでなく小売市場にも参入している場合は電力小売価格に等しく $P_E \equiv P$ 、小売市場に参入していない場合は既存事業者への卸売価格を表している。 $C_E(\cdot)$ は発電費用、 $T(\cdot)$ は送電ネットワークへのアクセス費用を表しており、 k は固定費用である。市場均衡を導出する際は対称均衡を想定して $y_i = y, \forall i$ とする。各事業者は発電電力量を戦略変数として行動する。

1-2-2 第2章の分析の概要

第2章では Armstrong et al. (1994) のモデルをベースにして、事業者間の技術格差を考慮したうえで送電分離が社会厚生を向上させるための理論的な条件を明らかにする。事業者間の技術格差を考慮する場合、発電部門の発電効率と小売市場の効率性の間でトレードオフが生じ、その結果として送電分離が社会厚生を向上させる条件が決まる。さらに、Armstrong et al. (1994) および Vickers (1995) の拡張として送電部門の収支制約を考慮するケースについても分析する。

1-2-3 第3章の分析の概要

第3章では再生可能エネルギー普及促進のための主要な制度である FIT 制度と RPS 制度の社会厚生上のトレードオフ関係を明らかにしたうえでその水準を比較する。FIT 制度は政府が再生可能エネルギーの買取価格を高く定める枠組みである。一般的には再生可能エネルギーの固定価格での一定期間の買い取りを義務付ける固定価格買取制度のことを意味するが、再生可能エネルギーに対して従量型の補助金を支給する形態も存在する。その場合、市場価格と再生可能エネルギー買取価格が連動するという特徴がある。一方 RPS 制度は、販売電力量の一定割合を再生可能エネルギーから調達することを義務付ける枠組みである。

クールノー寡占モデルをベースに両制度を比較した先行研究として Tamás et al. (2010) があるが、両制度の社会厚生上のトレードオフ関係は理論的に明らかにされていない。第3章では独占と競争的プリンジのモデルをベースとして、FIT 制度と RPS 制度のいずれかが社会厚生上効率的になるための理論的条件を明らかにする。

第2章 発電事業者間の技術格差と送電分離が社会厚生に与える影響

2-1 はじめに

この章では発電部門の寡占市場において既存企業が参入企業より限界費用の点で効率的である場合に、送電分離の有無が経済厚生に与える影響を分析する。寡占市場である発電部門と自然独占が維持されている送電部門が垂直関係にある場合、構造分離は競争を促進し寡占による過少生産の非効率を緩和するかもしれないが、必ずしも経済厚生を高めるとは限らない。なぜなら、競争の促進と同時に発電部門における規模の経済のメリットを損ない、発電部門の生産効率を低下させる可能性があるからである。本章では、このような競争促進と発電効率のトレードオフに着目したうえで、規制当局がアクセスチャージを最適な水準に設定する場合の社会厚生を垂直分離と垂直統合で比較する。また、送電部門の収支制約を考慮する場合の影響についても検証する。

Armstrong et al. (1994) および Vickers (1995) では、発電部門において限界費用が同じ企業を想定し、参入退出自由なクールノー寡占モデルを使って、送電分離が経済厚生に与

える影響を分析した。このモデルでは送電分離による競争促進と生産効率のふたつの効果のトレードオフ関係に着目している点では、本章の分析と同じである。しかしながら、それらの分析において垂直統合が生産効率を高める原因は、参入企業数の減少に伴う固定費用の減少である。分析の結果、線形の需要関数のもとでは垂直統合の方が高い社会厚生を実現し、弾力性が一定の需要関数のもとではその結果が逆になるとしている。また、これらの研究は送電部門の収支制約を考慮した分析はおこなっていない。

本章では既存の発電事業者の限界費用が参入企業より低い状況を想定する。Armstrong et al. (1994)、Vickers (1995) では技術格差を考慮せずに発電部門の参入退出が自由なケースを分析していたが、本章では事業者間の技術格差を想定すれば例え参入企業数を固定している状況下でも競争促進と発電効率のトレードオフが生じ得ることを示す。参入企業数が固定されている場合、参入企業から既存企業への発電量のシフトが産業全体の発電効率を向上させる要因になる。競争促進と発電効率のトレードオフの結果、参入企業数の閾値が存在して、参入企業数が少ない場合は垂直分離が、多い場合は垂直統合が、高い社会厚生を実現することを示す。

本章ではさらに、送電部門の収支制約を考慮する場合の影響を、参入企業数が固定されているケースと参入退出が自由なケースのそれぞれについて検証する。後者のケースは Armstrong et al. (1994)、Vickers (1995) の拡張に相当する。分析の結果、参入企業数を固定する場合とそうでない場合においても、需要関数が線形か弾力性一定かに依存せずに垂直統合の方が高い社会厚生を実現することを示す。この結果は送電部門の収支制約を考慮した分析をおこなっていなかった Armstrong et al. (1994)、Vickers (1995) と対照的な結果である。

2-3 モデル

発電部門と送電部門、消費者から成るモデルを考える。発電部門へは競争が導入されている一方で送電部門の自然独占は維持されている。発電部門では既存企業（従来の自然独占企業）と、 n 社の同質な参入企業がクールノー競争をしている。すべての発電企業の限界費用は一定で、既存企業と参入企業の発電限界費用をそれぞれ c_f 、 c_E とする。原子力や大型水力などの大規模発電は既存企業のみ利用可能で、既存企業の限界費用は参入企業より低いとする ($c_E > c_f$)。

発電部門で発電された電気はすべて送電部門を経由して消費者に送られる。単位電力量当たりの送電コストを θ とする。消費者の電力逆需要関数は線形で、

$$P = A - Q,$$

であるとする。ここで P は電力小売価格、 Q は電力総供給量である。発電部門の参入事業者を $i = 1, 2, \dots, n$ とおき、 x と y_i をそれぞれ既存企業と参入企業 i の発電量とした場合、総供給量はすべての発電事業者の発電量の合計で $Q = x + \sum_{i=1}^n y_i$ となる。この章の分析全般において内点解での均衡を保障するため、定数 A は $A > (c_E + \theta) + 3(c_E - c_f)$ を満たすと仮定する。

垂直分離と垂直統合という2種類の産業構造を考える。垂直分離では発電部門のどの企業からも独立である第3者が送電網を運営するのに対し、垂直統合では既存企業が送電網を運営し、送電部門の利潤も既存企業の利潤に含まれる。

すべての発電事業者（小売事業者、PPS）は送電網の利用に伴い、単位電力量当たり a のアクセスチャージを送電網の運営者に支払う。垂直分離下では発電部門のすべての事業者が共通のアクセスチャージを支払う。一方垂直統合下では既存企業と参入企業が送電に伴い負担するコストが異なる。すなわち、既存企業はアクセスチャージではなく、送電コスト θ を

負担する。アクセスチャージは規制当局が次のような社会厚生関数を最大にする水準に設定する。

$$SW = \int_0^Q P dq - (c_I + \theta)x - (c_E + \theta) \sum_{i=1}^n y_i - nk - F, \quad (3)$$

ここで k と F はそれぞれ、個々の参入企業と送電部門の固定費用である。

2-4 市場均衡

発電部門では既存企業と参入企業がアクセスチャージを所与としてクールノー競争をしている。既存企業の利潤関数を次のように書くことができる。

$$\pi_I = (P - c_I - a)x + \mu(a - \theta)Q - \mu F,$$

ただし μ は垂直分離のとき0、垂直統合のとき1をとる変数である。上式は既存企業が送電に伴い負担するコストは垂直分離のとき($\mu = 0$)アクセスチャージ a で、垂直統合のとき($\mu = 1$)送電コスト θ であることを表している。参入企業の利潤関数は

$$E_i = (P - c_E - a)y_i - k$$

と書ける。上式は参入事業者が送電時に負担する費用はどちらの垂直構造の場合もアクセスチャージに等しくなることを表している。ここでは参入企業数が外生的に与えられているケースを考えるので固定費用は分析に影響をおよぼさないが、分析の拡張として参入・退出が自由のケースも考えるので、固定費用を含んだ利潤関数を定義している。

ナッシュ均衡がつぎのようになる。

$$x = \frac{1}{n+2} \{A - (n+1)c_I + nc_E - a + \mu(n+1)(a - \theta)\}, \quad (4)$$

$$y = \frac{1}{n+2} \{A + c_I - 2c_E - a - \mu(a - \theta)\}, \quad (5)$$

$$Q = \frac{1}{n+2} \{(n+1)A - c_I - nc_E - (n+1)a + \mu(a - \theta)\}, \quad (6)$$

$$P = \frac{1}{n+2} \{A + c_I + nc_E + (n+1)a - \mu(a - \theta)\}, \quad (7)$$

2-5 アクセスチャージの規制水準

この節では規制当局が送電部門の収支制約を考慮する必要がない場合に、どちらの垂直構造が高い社会厚生を実現するかを検証する。この場合、送電部門の赤字は一括型の補助金によって補填される。

まずはじめに社会厚生を最大にするようなアクセスチャージの条件を導く。垂直構造 $\mu \in \{0, 1\}$ の下で規制当局が最適な水準にアクセスチャージを設定した場合に実現する小売価格を $P^0(\mu)$ とする。(3)式を a で微分して整理すると次のようになる。

$$P^0(\mu) = (c_I + \theta) \frac{dx/da}{dQ/da} + n(c_E + \theta) \frac{dy/da}{dQ/da}. \quad (14)$$

上式左辺は電力消費による社会的限界便益で、右辺は電力供給を増加の社会的限界費用を表している。(14)式を満たすようなアクセスチャージの水準を $a(\mu)$ とする。

2-5-1 垂直統合

垂直統合下でのアクセスチャージの最適水準で実現する小売価格を次のようにもとめることができる。

$$P^0(1) = 2(c_E + \theta) - (c_I + \theta). \quad (15)$$

ここで、上式右辺は、参入企業の生産増加に伴う社会的限界費用 $c_E + \theta$ より高いことに注意が必要である。 $P^0(1) > c_E + \theta$ となる理由は以下のとおりである。垂直統合下で規制当局が総供給量を増加させるためにアクセスチャージを引き下げた場合、参入企業が直面する費用だけを引き下げることになるため、既存企業から参入企業への生産のシフトが起こる。既

存企業の限界費用は参入企業より低いので、それによって生産効率が低下し、単純に参入企業が増産するための費用より、総生産量を増加させるための社会的限界費用は高くなる。

2-5-2 垂直分離

次に垂直分離のケースを考える。最適アクセスチャージ下の小売価格が次のようにもとまる。

$$P^0(0) = \frac{n}{n+1}(c_E + \theta) + \frac{1}{n+1}(c_I + \theta), \quad (16)$$

ここで、 $c_E > c_I$ なので上式右辺は $c_E + \theta$ より低い。垂直分離下でアクセスチャージを下げると参入企業の発電量とともに既存企業の発電量も増加する。最適水準において $P^0(0) < c_E + \theta$ が成り立つのはそのためである。

2-6 社会厚生と比較

この節では垂直統合と垂直分離のもとで実現する社会厚生を比較する。本節での比較の結果を整理したものが次の命題である。

命題 1 参入企業数の閾値 $\hat{n} > 0$ が存在して、 $n > \hat{n}$ ならば、かつそのときに限って垂直統合の方が高い社会厚生を実現する。

上の命題の直観的説明はつぎのようになる。まずはじめに、垂直分離下の小売価格の最適水準は垂直統合の場合より低くなることに注意が必要である。このことは、垂直分離は垂直統合に比べて発電部門の競争を促進する利点があることを意味している。一方で垂直統合の場合、既存企業の生産シェアを増やすことで高い生産効率を実現できる。垂直統合と垂直分離の社会厚生の大関係は、このような競争促進と生産効率のトレードオフに依存している。参入企業数が閾値より小さい場合は、垂直分離による競争促進効果が垂直統合による生産効率向上の効果を上回るので垂直分離の方が高い社会厚生を実現する。参入企業数が閾値より大きい場合はその逆である。

2-7 拡張

この章では拡張として、送電部門の収支制約を考慮する場合と、発電部門の参入退出が自由であるケースについて検証する。

2-7-1 送電部門の収支制約

政府による一括型の補助金が可能でない場合、前節で考えたようなアクセスチャージの最適水準は送電部門の収支を赤字にすることもあり得る。とくに垂直分離の場合は、 $P^0(0) < c_E + \theta$ であることからわかるように、アクセスチャージの最適水準はつねに送電の限界費用より低いので、かならず送電部門の収支が赤字になる。このような場合、例えばValletti and Estache (1999)などにあるように、次のような収支制約を考える必要がある。

$$(a - \theta)Q - F \geq 0.$$

アクセスチャージの水準が固定されているものとして、(3)式を μ で微分するとつぎのようになる。

$$\frac{\partial SW}{\partial \mu} = \{P - (c_E + \theta)\} \frac{\partial Q}{\partial \mu} + \{(c_E + \theta) - (c_I + \theta)\} \frac{\partial x}{\partial \mu}.$$

アクセスチャージの水準を所与として、垂直統合($\mu = 1$)と垂直分離($\mu = 0$)下の社会厚生水準の差を次のように書くことができる。

$$SW(1) - SW(0)$$

$$= \int_{Q(0)}^{Q(1)} \{P - (c_E + \theta)\} dq + \int_{x(0)}^{x(1)} \{(c_E + \theta) - (c_M + \theta)\} dx \quad (17)$$

ここで $SW(\mu)$, $Q(\mu)$ および $x(\mu)$ はそれぞれ、垂直構造 $\mu \in [0, 1]$ の下でアクセスチャージを外生的にあたえたときに均衡で実現する社会厚生、総発電量、既存企業発電量である。

命題 2 送電の限界費用より高い同一水準のアクセスチャージで比較した場合、垂直統合の方が垂直分離より高い社会厚生を実現する。

次に、送電部門の収支制約のもとで最適水準のアクセスチャージを設定する場合について社会厚生を比較する。これまでの議論でみたように、アクセスチャージの水準が等しい場合には垂直統合の方が総発電量が多くなるため、垂直分離下で収支制約を満たすようなアクセスチャージの水準はかならず垂直統合下でも収支制約を満たす。したがって、垂直分離下でのアクセスチャージの最適水準は、垂直統合の場合でもかならず規制当局の選択肢のなかに含まれている。命題 2 と合わせて考えると、規制当局がそれぞれ最適なアクセスチャージを設定する場合、垂直統合の方がかならず高い社会厚生を実現できることがわかる。

命題 3 送電部門の収支制約を考慮して最適なアクセスチャージを設定する場合、垂直統合の方が高い社会厚生を実現する。

送電部門の収支制約を考慮する場合、規制当局は送電の限界費用より低い水準にアクセスチャージを設定することができないため、垂直分離によって競争を促進する効果が限定的になる。その結果、垂直統合の方がつねに高い社会厚生を実現する。

2-7-2 参入退出自由

発電部門の参入退出が自由で参入企業数が内生的に決まるケースを考える。Armstrong et al. (1994)、Vickers (1995) はすべての発電事業者が同じ技術を使用すると想定して、参入退出が自由なケースを分析している。線形の需要関数と弾力性一定の需要関数を使い垂直分離と垂直統合の社会厚生を比較し、線形の需要関数の場合は垂直統合が高い社会厚生を実現し、弾力性一定の需要関数の場合は逆に垂直分離の方が高い社会厚生を実現するという結果を導いている。これらの研究は発電事業者間の技術格差と送電部門の収支制約を考慮した分析をしていない。以下ではこれらの研究の拡張として、事業者間の技術格差を考慮したうえで参入退出が自由で、かつ送電部門の収支制約がある場合にどちらの垂直構造が高い社会厚生を実現できるかを分析する。ここで、次のことがいえる。

命題 4

参入退出自由な発電部門を想定し、送電の限界費用より高い共通のアクセスチャージで比較する場合、垂直統合の方が高い社会厚生を実現する。

最後に、規制当局が送電部門の収支制約を考慮したうえで、最適な水準にアクセスチャージを決めるケースを考える。(21)式から、送電部門の収支制約の下で規制当局が選択できるアクセスチャージの範囲は垂直統合と垂直分離で同じであることがわかる。ここで命題 4 から次のことがいえる。

命題 5

発電部門の参入退出が自由で、規制当局が送電部門

の収支制約を考慮して最適な水準にアクセスチャージを決める場合、垂直統合の方が高い社会厚生を実現する。

命題 3 で論じたように、送電部門の収支制約は垂直分離による競争促進の効果を制限し、その結果、垂直統合の方が高い社会厚生を実現する。

ここまでの分析で想定していた線形の需要関数ではなく、弾力性一定の需要関数 $Q = 1/P$ を用いる場合でも命題 4 と命題 5 は成立する。このとき均衡における社会厚生を μ で微分すると次のようになる。

$$\frac{\partial SW}{\partial \mu} = (a - \theta) \left\{ \frac{c_E - c_I}{P^2} + \frac{\sqrt{k}}{P} \right\},$$

アクセスチャージの水準が送電の限界費用より高いとき上式の値は正になる。均衡における総発電量と既存企業の発電量はそれぞれ次のようになる。

$$Q = \frac{1 - \sqrt{k}}{c_E + a},$$

$$x = \frac{\sqrt{k}P + (c_E - c_I) + \mu(a - \theta)}{P^2}.$$

上式からわかるように、垂直統合と垂直分離で総発電量は変わらないが、アクセスチャージが送電の限界費用より高い場合、垂直分離の方が既存事業者の発電量が多くなる。したがって、命題 4 と命題 5 と同様に、弾力性一定の需要関数を想定した場合も垂直統合の方が高い社会厚生を実現できる。この結果は事業者間で発電限界費用が同一のケース ($c_E = c_I$) も成り立つ。Armstrong et al. (1994)、Vickers (1995) は同一の限界費用を想定し、送電部門の収支制約を考慮せずに同様の分析をした結果、弾力性一定の需要関数の下では垂直分離の方が高い社会厚生を実現するとしていた。本章の分析により、送電部門の収支制約を考慮することで逆の結果になることが明らかになった。

第 3 章 再生可能エネルギー普及促進策の経済分析～固定価格買取 (FIT) 制度と再生可能エネルギー利用割合基準 (RPS) 制度のどちらが望ましいか？

3-1 はじめに

主要な再生可能エネルギー普及促進制度として、固定価格買取制度 (FIT 制度) と再生可能エネルギー利用割合基準 (RPS 制度) がある。FIT 制度は二酸化炭素を排出する電力会社に対して、再生可能エネルギーによる電力を一定期間、政府によって予め設定された固定価格で買取することを義務付ける制度で、欧州を中心に数多く採用されている。一方 RPS 制度は、電力会社に対して販売電力量の一定割合以上を再生可能エネルギーから調達することを義務付ける制度である。この制度の下では、再生可能エネルギーによる電力の買取価格は再生可能エネルギー市場における需給を反映して決まる。米国で再生可能エネルギー普及促進制度を導入している州の多くがこの制度を採用している。

本章では、再生可能エネルギー事業者を競争的フリッジとして、非再生可能エネルギー事業者が小売市場と再生可能エネルギー市場でそれぞれ売手独占、買手独占的に行動する独占企業である状況を想定した理論モデルを用いて分析をすすめる。ここで、独占企業の主要な発電方式は火力発電であり、発電に伴い外部費用が発生するのに対し、再生可能エネルギー事業者は発電時に外部費用を発生させない。

上記の設定の下で経済に歪みをもたらす要因は 3 つある。ひとつは独占企業が再生可能エネルギー市場で行使する買手独占力、ふたつ目は独占企業が小売市場で行使する売手独占力、3 つ目は独占企業の発電に伴う外部性である。

セカンドベストの社会厚生を比較した場合の効率性は、FIT 制度が買手独占の歪みを補正する効果と、RPS 制度が外部費用の一部を内部化する効果のトレードオフの結果決まる。本章では限界外部費用の水準が低い場合は FIT 制度が、高い場合は RPS 制度が、より高い社会厚生を実現することを示す。ただし、再生可能エネルギーの発電費用が十分低い場合は、限界外部費用の水準に依存せず、つねに FIT 制度が高い社会厚生を実現する。

3-2 先行研究のレビュー

RPS 制度に関する理論的研究は比較的多いが、FIT 制度を理論的に分析した先行研究は少なく、筆者の知る限り Ropenus and Jensen (2009) だけである。RPS 制度に関する先行研究は電力小売市場と再生可能エネルギー証書 (TGC) 市場それぞれにおける価格支配力の点で様々な想定の下で分析をしている。RPS 制度と FIT 制度を社会厚生観点から比較している先行研究は Tamás et al (2010) だけで、セカンドベストの観点から社会厚生を比較をおこなっている先行研究は見当たらない。

Tamás et al. (2010) は FIT 制度と RPS 制度を理論的に比較した数少ない研究のひとつで、筆者の知る限り両制度を理論的に比較した先行研究は現時点で他にない。このモデルでは、発電に伴い外部費用を発生させる非再生可能エネルギー事業者と、外部費用を発生させない再生可能エネルギー事業者が発電・小売においてクールノー競争をする。Tamás et al. (2010) では、FIT 制度と RPS 制度で同一の政策目標を達成する場合を想定して両制度を比較している。英国を対象とした数値シミュレーションで社会厚生を比較した結果、RPS 制度の方が高い社会厚生を実現するとしている。しかし、それぞれの制度下で政策変数を最適な水準に定めるセカンドベストの枠組みでの議論はしていない。

さらに日本などのように、小売市場における独占企業（一般発電事業者）が、再生可能エネルギー市場においても売手である小規模な再生可能エネルギー発電事業者に対しても、買手独占として価格支配力を行使できる場合には、Tamás et al. (2010) で用いられている仮定は適切ではない。なぜなら、独占企業が再生可能エネルギー市場において、買手独占的な価格支配力をもつ場合、FIT 制度の導入は、価格支配力を消滅させる効果を持つ一方、RPS 制度の導入は、独占企業の買手独占的な行動により、再生可能エネルギー事業者による発電を抑制し、経済厚生を低める効果をもつからである。Tamás et al. (2010) のモデルでは再生可能エネルギーの買手独占による損失は考慮されていない。

本章では、独占と競争のフリッジのモデルを用いて、再生可能エネルギーの買手独占による損失を考慮したうえで、FIT 制度と RPS 制度のセカンドベストの社会厚生水準を比較し、RPS 制度が FIT 制度より高い社会厚生を実現する、もしくはしない場合の条件を明らかにする。

3-3 モデル

再生可能エネルギー事業者 1 社と非再生可能エネルギー事業者 1 社、電力消費者および政策当局からなるモデルを考える。再生可能エネルギー事業者は再生可能エネルギーにより発電をおこない、発電時に外部費用を伴わないのに対し、非再生可能エネルギー事業者は発電時に外部費用を伴う。

再生可能エネルギー事業者は電力小売市場で直接消費者に電力を供給せず、再生可能エネルギー市場における非再生可能エネルギー事業者への電力販売を通じて、間接的に消費者に電力を販売するケースを前提に分析を行う。このため、非再生可能エネルギー事業者は、再生可能エネルギー市場で調達した再生可能エネルギーと、自社発電分と合わせて電力小

売市場に供給する。このとき、再生可能エネルギー事業者は再生可能エネルギー市場で競争的フリッジとして価格受容的に行動し、非再生可能エネルギー事業者は電力小売市場と再生可能エネルギー市場でそれぞれ売手独占、買手独占として行動する独占企業である。

まず、比較のための基本モデルとして、再生可能エネルギーに関して何の政策も実施されない場合の市場均衡について説明しよう。

電力小売市場における逆需要関数を

$$P = a - bQ$$

とする。ただし、 P を電力小売価格、 q_F をフリッジ企業の発電量、 q_M を独占企業の発電量とする。 Q は電力総供給量で $Q = q_M + q_F$ である。

再生可能エネルギー市場における買取価格を P_R とすると、再生可能エネルギー事業者の利潤は次のように書くことができる。

$$\pi_F = P_R q_F - C_F(q_F)$$

ここで $C_F(q_F)$ はフリッジ企業の発電費用関数で、 $C_F(q_F) = c_F q_F^2 / 2 + FC_F$ である。 FC_F は固定費用である。フリッジ企業が P_R を所与として行動する点に注意したうえで、利潤最大化の 1 階の条件

$$P_R = C_F'(q_F)$$

から再生可能エネルギー市場における供給関数は次のようになる。

$$P_R(q_F) = c_F q_F \Leftrightarrow q_F(P_R) = \frac{P_R}{c_F} \quad (27)$$

独占企業の利潤関数は次のようになる。

$$\pi_M = PQ - C_M(q_M) - P_R q_F$$

ここで $C_M(q_M)$ は独占企業の発電費用関数で、 $C_M(q_M) = c_M q_M^2 / 2 + FC_M$ である。ただし FC_M は固定費用である。

3-4 市場均衡

3-4-1 制度導入がないケースの市場均衡

政策当局が再生可能エネルギーの調達に関して介入せず、独占企業が小売市場と再生可能エネルギー市場でそれぞれ売手独占、買手独占として行動するとき、利潤最大化の 1 階の条件は次のようになる。

$$\frac{\partial \pi_M}{\partial q_M} = P + P' Q - C_M'(q_M) = 0 \quad (28)$$

$$\frac{\partial \pi_M}{\partial q_F} = P + P' Q - (P_R + P_R' q_F) = 0 \quad (29)$$

(28) 式および (29) 式の右辺第 1 項と第 2 項の和は小売市場での限界収入である。(28) 式と (29) 式の右辺第 3 項はそれぞれ発電の限界費用、再生可能エネルギー購入の限界支出を表している。したがって (28) 式と (29) 式は、非再生可能エネルギー事業者が電力小売市場の限界収入と発電の限界費用、再生可能エネルギー購入の限界支出がすべて等しくなるように自社発電量と再生可能エネルギー購入量を決めることを示している。このとき市場均衡は図 8 に示すように、(28) 式を表す直線と (29) 式を表す直線の交点となる。その点を中心に等利潤曲線を描くことができるが、外側に行くほど非再生可能エネルギー事業者の利潤は低くなる。

(28) 式と (29) 式から市場均衡を導出した結果が以下のとおりである。

$$q_M^0 = \frac{a c_F}{b(2c_F + c_M) + c_F c_M} \quad (30)$$

$$q_F^0 = \frac{a c_M}{2b(2c_F + c_M) + 2c_F c_M} \quad (31)$$

$$Q^0 = \frac{a(c_M + 2c_F)}{2b(2c_F + c_M) + 2c_F c_M}$$

$$p^0 = \frac{ab(2c_F + c_M) + 2ac_Fc_M}{2b(2c_F + c_M) + 2c_Fc_M} \quad (32)$$

$$p_R^0 = \frac{ac_Fc_M}{2b(2c_F + c_M) + 2c_Fc_M} \quad (33)$$

ここで上付文字 (0) は制度導入がないケースを表している。

(32)式と(33)から分かるように、再生可能エネルギーの電力価格は、小売市場での電力価格より低くなる。これは、再生可能エネルギー市場において価格支配力を持つ独占企業が、価格を低く設定することで、再生可能エネルギー購入量を減らそうとするからである。

市場均衡における独占企業発電量に対するフリンジ企業発電量の割合は

$$\theta^0 \equiv \frac{q_F^0}{q_M^0} = \frac{c_M}{2c_F}$$

となる。

以降において、政策当局は再生可能エネルギー発電量 q_F^0 もしくは発電割合 $\theta^0 \equiv q_F^0/q_M^0$ より高い導入水準を達成するために FIT 制度もしくは RPS 制度を導入するケースを対象に分析を進める。したがって、以降の分析では、 $q_F \geq q_F^0$ または $\theta \geq \theta^0$ となる範囲を議論の対象とする。

3-4-2 FIT 制度下の市場均衡

FIT 制度の下で独占企業は、政策当局が設定した固定買取価格 \bar{P}_R で再生可能エネルギーを買取することを義務付けられる。このとき、フリンジ企業の再生可能エネルギー発電量は、(27)式から次式のように決定される。

$$q_F = \frac{\bar{P}_R}{c_F} \quad (34)$$

一方、独占企業の利潤最大化行動は次のようになる。

$$\max_{q_M} \pi_M = PQ - C_M(q_M) - \bar{P}_R \cdot q_F(\bar{P}_R)$$

ここで、FIT 制度の下では、再生可能エネルギー購入費用 $\bar{P}_R \cdot q_F(\bar{P}_R)$ は、独占企業にとって固定費用となることに注意する必要がある。

このときの利潤最大化の 1 階の条件は次のようになる。

$$P + P'Q - C_M'(q_M) = 0 \quad (35)$$

すなわち、利潤最大化の 1 階の条件は、発電の限界収入と限界費用の均等化となる。

(34)式と(35)式から、FIT 制度下の市場均衡が次のように導出される。

$$q_F = \frac{\bar{P}_R}{c_F} \quad (36)$$

$$q_M = \frac{a - 2b\bar{q}_F}{2b + c_M} = \frac{ac_F - 2b\bar{P}_R}{(2b + c_M)c_F} \quad (37)$$

$$Q = \frac{ac_F + c_M\bar{P}_R}{(2b + c_M)c_F} \quad (38)$$

$$P = \frac{ac_F(b + c_M) - bc_M\bar{P}_R}{(2b + c_M)c_F} \quad (39)$$

3-4-3 RPS 制度下の市場均衡

RPS 制度の下では、非再生可能エネルギーによる発電量の一定割合を再生可能エネルギーから調達することが独占企業に義務付けられる。非再生可能エネルギー発電量に対する再生可能エネルギーの導入義務割合を θ とおと、独占企業は自社発電量 q_M に対して θq_M 以上の再生可能エネルギーを再生可能エネルギー市場で購入しなければならない。このとき、独占企業は次のような利潤最大化行動をとる。

$$\max_{q_M} \pi_M = PQ - C_M(q_M) - P_R(q_F) \cdot q_F \quad \text{s.t. } q_F = \theta q_M$$

利潤最大化の 1 階の条件は

$$(P + P'Q)(1 + \theta) - C_M' - (P_R + P_R'q_F)\theta = 0 \quad (41)$$

となる。上式左辺第 1 項が電力小売による限界収入、第 2 項

が発電の限界費用で、第 3 項が再生可能エネルギー購入の限界支出である。第 3 項のように再生可能エネルギー購入の限界支出を負担することで、独占企業が非再生可能エネルギーを発電することによる正味の限界費用が FIT 制度のケースより高くなっている点に注意が必要である。上式に $q_F = \theta q_M$ 、 $P_R = c_F q_F$ を代入して解くと独占企業の発電量が

$$q_M = \frac{(1 + \theta)a}{2b(1 + \theta)^2 + c_M + 2\theta^2 c_F} \quad (42)$$

となり、市場均衡が以下のように導出できる。

$$(1 + \theta)\theta a \quad (43)$$

$$q_F = \frac{(1 + \theta)\theta a}{2b(1 + \theta)^2 + c_M + 2\theta^2 c_F} \quad (44)$$

$$Q = \frac{a\{b(1 + \theta)^2 + c_M + 2\theta^2 c_F\}}{2b(1 + \theta)^2 + c_M + 2\theta^2 c_F}$$

$$P = \frac{c_F(1 + \theta)\theta a}{2b(1 + \theta)^2 + c_M + 2\theta^2 c_F}$$

θ がフリンジ企業の発電量に与える影響は (43)式から

$$\frac{dq_F}{d\theta} = \frac{a[2(b - c_F)\theta^2 + 2(2b + c_M)\theta + (2b + c_M)]}{\{2(b + c_F)\theta^2 + 4b\theta + (2b + c_M)\}^2}$$

となる。したがって、 $b \geq c_F$ のとき上式の値はつねに正になり、 θ の引き上げは、フリンジ企業の発電量を増加させる。

一方 $b < c_F$ のとき、 $\theta^0 \leq \theta < \bar{\theta}$ なら $dq_F/d\theta > 0$ となり、直接効果が間接効果を上回るため θ の引き上げは、再生可能エネルギー発電を増加させる。しかし、 $\theta = \bar{\theta}$ なら $dq_F/d\theta = 0$ となり、直接効果と間接効果が相殺されるため、 θ を引き上げても再生可能エネルギー発電は変化しない。また、 $\theta > \bar{\theta}$ なら $dq_F/d\theta < 0$ となり、間接効果が直接効果を上回るため、再生可能エネルギー発電は減少する。ただし、

$$\bar{\theta} \equiv \frac{2(2b + c_M) + \sqrt{4(2b + c_M)^2 + 8(c_F - b)(2b + c_M)}}{4(c_F - b)}$$

である。ここで $\bar{\theta} > \theta^0$ となることに注意が必要である。

3-4-4 市場均衡における発電量の比較

再生可能エネルギーの発電量を政策目標として、FIT 制度と RPS 制度で同一の再生可能エネルギー発電量を達成する場合に、それぞれの制度下の市場均衡で実現する非再生可能エネルギー発電量を比較すると次のことがいえる。

命題 6

FIT 制度と RPS 制度でそれぞれ同一の再生可能エネルギー発電量を達成する場合、RPS 制度の方が非再生可能エネルギー発電量が少なくなる。

上の命題は、RPS 制度では非再生可能エネルギーの発電の限界費用を高めることで、外部性を伴う発電を抑制する効果が大きいことを意味している。

3-5 セカンドベストと経済厚生

以下では、FIT 制度および RPS 制度それぞれにおけるセカンドベストを考え、その下でどちらの制度が経済厚生上すぐれているかについて検討する。

3-5-1 ファーストベストの発電量

まずはじめにファーストベストにおける発電量の条件を考える。社会厚生関数を以下のように定義する。

$$SW = \int_0^Q (a - bQ)dQ - \frac{1}{2}c_M q_M^2 - \frac{1}{2}c_F q_F^2 - (FC_F + FC_M) - \delta q_M \quad (48)$$

社会厚生最大化の 1 階の条件は次のとおりになる。

$$a - b(q_M + q_F) = c_M q_M + \delta \quad (49)$$

$$a - b(q_M + q_F) = c_F q_F \quad (50)$$

ファーストベストにおける社会厚生最大化の1階の条件は、独占企業の発電の社会的限界費用とフリッジ企業の発電の限界費用がそれぞれ電力消費の限界便益と一致するように発電量配分と総供給量を決めるのが最適であることを意味している。

この条件から、ファーストベストにおける独占企業とフリッジ企業の発電量はそれぞれ

$$q_M^* = \frac{ac_F - (b + c_F)\delta}{b(c_M + c_F) + c_M c_F} \quad (51)$$

$$q_F^* = \frac{ac_M + b\delta}{b(c_M + c_F) + c_M c_F} \quad (52)$$

となる。

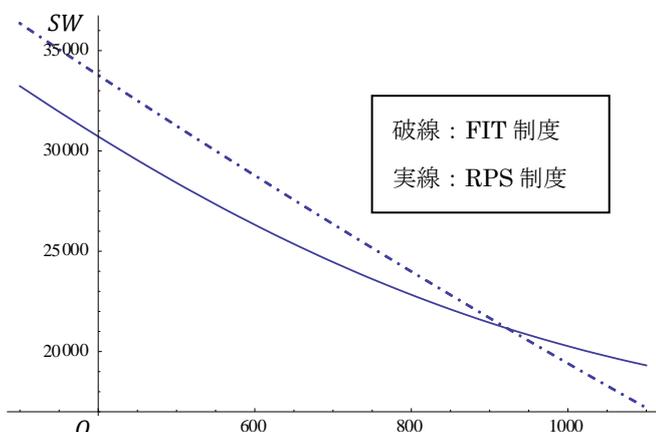
3-5-2 FIT 制度及び RPS 制度下におけるセカンドベスト

本節では、FIT 制度及び RPS 制度のそれぞれについてセカンドベストを考え、経済厚生を比較する。

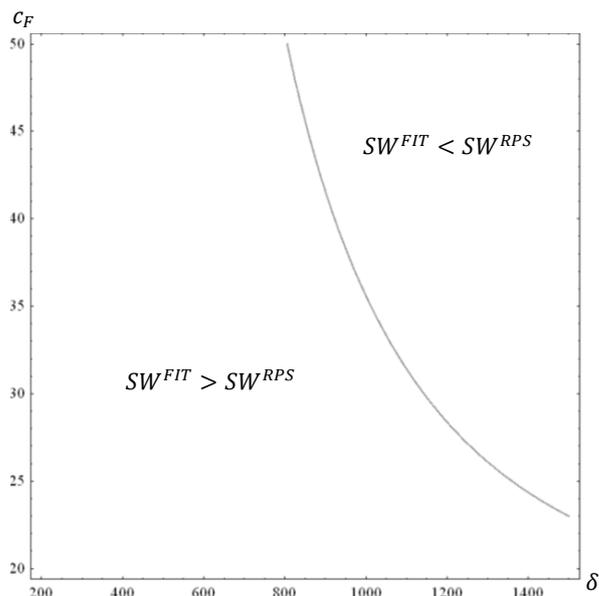
グラフ 1 は、 $a = 1500$ 、 $b = 10$ 、 $c_M = 20$ 、 $c_F = 40$ として限界外部費用 δ を 300 から 1100 まで変化させた場合のセカンドベストにおける社会厚生水準を、FIT 制度と RPS 制度それぞれについてプロットしたものである。このグラフは限界外部費用の閾値があり、限界外部費用が低い場合は FIT 制度、高い場合は RPS 制度の方が、セカンドベストにおいて高い社会厚生を実現することを示している。

グラフ 2 は横軸に限界外部費用 δ を、縦軸に再生可能エネルギーの発電費用のパラメータ c_F をとり、FIT 制度が高い社会厚生を実現する範囲と RPS 制度が高い社会厚生を実現する範囲を示したものである。このグラフは c_F が低いほど、FIT 制度の方が高い社会厚生を実現する限界外部費用の範囲が広くなることを示している。 c_F が高いと逆に限界外部費用の閾値の水準が低くなり、FIT 制度の方が高い社会厚生を実現する限界外部費用の範囲が小さくなる。

この数値例が示すように限界外部費用の閾値が存在することの意味は次のように説明できる。限界外部費用が小さい場合、価格支配力によって生じる経済厚生を抑制することが、外部費用の内部化によって経済厚生を抑制することより相対的に重要となるため、価格支配力を弱める FIT 制度の方が高い社会厚生を実現する。限界外部費用が大きい場合は逆に、外部費用の内部化によって経済厚生を減少させることが、価格支配力によって生じる経済厚生を減少させることと比較して相対的に重要となるため、外部費用を内部化する効果をもつ RPS 制度の方が高い社会厚生を実現する。



グラフ 1: セカンドベストにおける社会厚生水準



グラフ 2: セカンドベストの社会厚生の大関係

3-5-3 RPS 制度における初期配分ルールの導入とファーストベストの実現

RPS 制度を、一般電気事業者に対して、再生可能エネルギー購入義務量を軽減するために、一定量 (\bar{q}_F) をすでに購入義務を果たしたものととして配分 (以下では、初期配分と呼ぶ) するルールを加えた制度に修正することで、ファーストベストを達成することができる。

このとき、独占企業の利潤関数は初期割り当てを含んだかたちで

$$\pi_M = P(1 + \theta)q_M - C_M(q_M) - P_R(\theta q_M - \bar{q}_F)$$

と書くことができ、利潤最大化の1階の条件は

$$(1 + \theta)(P + P' q_M) = C_M' + \theta \left[P_R + \frac{\partial P_R}{\partial Q_F} (\theta q_M - \bar{q}_F) \right] \quad (53)$$

となる。フリッジ企業の利潤最大化の1階の条件から

$$P_R = C_F'(\theta q_M) \quad (54)$$

が成り立つ。(53)式および(54)式が、初期割り当てを含んだ RPS 制度における市場均衡を表している。

ここでファーストベストにおける社会厚生最大化の1階の条件は次のとおりである。

$$P = C_M' + \delta \quad (55)$$

$$P = C_F' \quad (56)$$

(53)式~(56)式から、RPS 制度における導入義務割合と初期割り当てを、それぞれ次の条件を満たすように決めれば、ファーストベスト (q_M^* , q_F^*) が達成できることがわかる。

$$\theta^* = \frac{q_F^*}{q_M^*} \quad (57)$$

$$\delta + (1 + \theta^*)^2 P' q_M^* = \frac{dP_R}{dq_M} (q_F^* - \bar{q}_F) \quad (58)$$

(58)式左辺第1項は一般電気事業者が発電量を増加させることによって生じる外部費用の増加を表しており、第2項は小売市場での発電量増加に起因する社会厚生を改善を表している。前者が後者を上回る場合 (外部性による非効率性が小売市場での価格支配力による過小供給の非効率を上回る場合) 左辺は正になり、逆の場合には負となる。(58)式左辺が正であれば初期割当てを証書保有義務量より少なく設定することが

望ましく、左辺がゼロのとき、証書保有義務量に等しくなるように、左辺が負のときは証書保有義務量より高い水準に設定することが望ましいことを意味している。

第4章 研究のまとめ

本研究では制度・政策間のセカンドベストの社会厚生を比較し、外生的なパラメータの条件次第で社会厚生上望ましい制度が異なることを示した。これは採用すべき制度を決定する際に、実際の経済・社会の状況を正確に把握することが重要であることを改めて示している。

本研究では理論モデルにより定性的な議論をしたが、ここで示したようなモデルをベースとして、実証的にパラメータを推計したり、カリブレーションを含んだ数値シミュレーションをおこなうことで、政策の効果を定量的に評価することが今後の課題として考えられる。

本研究では単純化のため市場需要関数および各事業者の発電費用関数について関数形を特定化して分析をしたが、実証的な観点から関数形をどのように特定化するのが現実におきている現象を説明するのにより適しているか、検証する余地は残されている。

以下では政策の立案を議論するという観点から、本研究の分析に補足しなければならない点について述べる。

第2章ではクールノー型の寡占モデルを用いたが、実際には事業者同士が価格競争をしていることも考えられる。ただしこの点については、Kreps and Scheinkman (1983)が容量選択を考慮したベルトラン均衡はクールノー均衡と一致することを示している。したがって本研究で用いたクールノー型の寡占モデルには、価格競争と生産設備拡大競争の両面を含んだ中期的な電力事業者間の競争を記述するモデルとして一定の正当化を与えることができる。

第3章では独占と競争的プリンジのモデルを用いた。日本の電力市場では一般家庭を対象とした規制部門と、それ以外の自由化部門が併存しており、規制部門の電気料金は総括原価方式により決まっている。総括原価方式により価格が決まる市場と、独占的に価格が決まる市場が併存しているモデルを考えることは今後の課題といえる。

第2章では送電部門の収支制約を考慮しないケースと考慮するケースをそれぞれ分析した。送電部門の収支制約を考慮しないケースは、経済に歪みをもたらさない一括型の補助金の支給が可能であることを前提としている。しかし実際に補助金を支給する際に、その財源調達において経済に歪みをもたらすことがありうる。本研究ではそのような補助金の財源を確保する際に生じうる歪みを考慮していない。赤字補填の財源調達によるゆがみの発生を考慮する場合、政策当局はその影響までを考慮して最適政策を立案しなければならない。本研究の分析のように、補助金による経済の歪みがない場合は、送電部門の独立採算で赤字にならないようにアクセスチャージを決めるより、赤字を補助金で補填する方が、高い社会厚生を実現できる。しかし補助金の拠出によって経済に歪みが発生する場合、赤字補填のための課税がもたらす社会的費用と、送電部門の収支制約を考慮してアクセスチャージを決めることによる電力価格上昇の社会的費用のどちらが小さいかという問題を検討しなければならない。いうまでもなく、赤字補填にはX非効率性という電力事業者のインセンティブ問題も付随する可能性がある。政策当局が補助金によって赤字を補填すべきか、送電部門の独立採算を維持すべきかという選択問題を本研究では考慮していないが、現実の政策立案では重要な判断になりうるかもしれない。

研究全体をとおしてセカンドベストの政策に焦点を当てた分析をしてきたが、セカンドベストの政策を実施するために政策当局は市場需要関数や各企業の費用関数の情報を保有し

ている必要がある。本研究ではこれらの情報は取得済みであることを前提としているが、実際の政策立案には、十分な情報が取得できるか否か、情報の取得にどの程度コストがかかるかといったことも問題になるであろう。

政策当局がセカンドベスト政策の実行に必要な情報を取得済みである場合、それに加えて個々の事業者の発電量を正確にモニターできるという情報上の制約を回避できれば、ファーストベスト政策を実行することも可能になるかもしれない。すなわち、個別の事業者の発電費用関数に基づいて発電量を割り当て、違反事業者には厳格に罰金を科すことができるなら、発電の社会的費用を最小化できるであろう。その一方で需要関数の情報に基づいて総供給量を決定すればファーストベストの資源配分が達成できる。ただしファーストベストの資源配分を実現するために政策当局はセカンドベストより多くの政策変数を操作しなければならない。本研究の分析は、そのようなモニタリングと罰則ルールへのコミットメントが困難な場合、あるいは政府が事業者の意思決定の細部にまで関与することから予想される政治的癒着のコストが大きい場合を前提としてセカンドベストに焦点を当てたものと解釈できる。

規制当局がどの程度正確に最適政策の遂行に必要な情報を把握できるかという問題については、情報の非対称性を考慮したメカニズムデザイン型のモデルも考えられる。本研究の第2章で先行研究として挙げた Vickers (1995)は、送電の限界費用を政策当局が正確に知ることができない状況で、独占事業者の価格設定に応じて政策当局が最適な補助金のメニューを提示するケースを分析している。本研究では既存事業者と参入事業者間で発電技術に違いがある状況に焦点を当てた分析をした。発電事業者間で技術格差があり、規制当局が事業者毎の発電費用を正確に知ることができない場合のインセンティブ契約と規制の問題を考えることは今後の課題として残されている。

参考文献

- Armstrong, M., Cowan, S., Vickers, J., 1994. Regulatory Reform. MIT Press, Cambridge, Massachusetts, pp. 148–159.
- Armstrong, M., Sappington, D.E.M., 2006. Regulation, Competition, and Liberalization. *Journal of Economic Literature* 44, 325–366.
- Amundsen, E.S., Bergmen, L., 2012. Green certificates and market power on the Nordic power market. *The Energy Journal* 33, 101–117.
- Fischer, C., 2010. Renewable portfolio standards: when do they lower energy prices? *Energy Journal* 31, 101–120.
- Höfler, F., Kranz, S., 2011. Legal unbundling can be a golden mean between vertical integration and ownership separation. *International Journal of Industrial Organization* 29, 576–588.
- Ropenus, S., Jensen, S.G., 2009. Support schemes and vertical integration—Who skims the cream?. *Energy Policy* 37, 1104–1115.
- Tamás, M.M., Shrestha, S.O.B., Zhou, H., 2010. Feed-in tariff and tradable green certificate in oligopoly. *Energy Policy* 38, 4040–4047.
- Tanaka, M., Chen, Y., 2013. Market Power in Renewable Portfolio Standards. *Energy Economics* 39, 187–196.
- Vickers, J., 1995. Competition and regulation in vertically related markets. *Review of Economic Studies* 62, 1–17.
- Zhou, H., Tamás, M.M., 2010. Impacts of integration of production of black and green energy. *Energy Economics* 32, 220–226.