

## 原子力発電廃止に伴う火力発電のリプレイス可能性

坂元, 洋一郎  
九州大学大学院経済学府博士後期課程

<https://doi.org/10.15017/1446203>

---

出版情報：経済論究. 148, pp.1-10, 2014-03-26. 九州大学大学院経済学会  
バージョン：  
権利関係：

# 原子力発電廃止に伴う火力発電のリプレース可能性

The Possibility of Replace for Thermal Power Plants without Nuclear Energy

坂 元 洋 一 郎<sup>†</sup>  
Yoichiro Sakamoto

## 目次

1. はじめに
2. Remind
  - 2.1 Replaceモデル
  - 2.2 制約条件, シミュレーション
  - 2.3 結論
3. リプレース可能性
  - 3.1 リプレース期間
  - 3.2 設備利用率
  - 3.3 経過年月
4. 結論

## 1. はじめに

平成25年9月に報告された気候変動に関する政府間パネル (IPCC) 第5次評価報告書第1作業部会報告書によると、現在進んでいる地球温暖化が温室効果ガス排出を中心とする人為的原因によることとされており、工業化以前のレベルに比べて気温上昇を2度以内に抑えるには温室効果ガスの排出をどれだけ抑制しなければならないかが記されている。環境政策では、地球温暖化対策として、CO<sub>2</sub>排出量削減が待ったなしの状況にきており、日本ではその大部分を原子力発電の拡大に頼ってきた。また、日本では、2009年に閣議決定された「エネルギー基本計画」でも、原子力発電の増設により、日本国内の増加する電力需要を賄おうとしてきたのである。しかしながら、2011年に発生した東日本大震災により、福島第1原子力発電所の事故が起これり、原子力発電の安全神話は崩れ、日本では、それ以降、原子力発電に頼らない電力供給が求められるようになってきた。そのような中、政府は、2013年10月に2020年に向けた日本の新たな温暖化ガスの削減目標を発表し、11月ワルシャワで開催された第19回国連気候変動枠組み条約締約国会議 (COP11) で表明した。その内容は、2005年を基準年とし、2020年に3.8%の排出削減をすることを目標とするというものだった。この目標は、原子力発電の活用のあり方を含めたエネルギー政策及びエネルギーミックスが検討中であることを踏まえ、原子力発電による温室効果ガスの削減効果を含めずに設定した現時点での目標となっている。今後、エネルギー政策やエネルギーミックスの検討の進展を踏まえて見直しを行うとされている。

ここで、前提条件とした原子力発電の利用を全部廃止しても、日本国内の電力供給と環境政策であ

---

<sup>†</sup> 九州大学大学院経済学府博士後期課程

る地球温暖化対策としてのCO<sub>2</sub>排出量削減が満たされれば何の問題もない。しかし、前述の通り、日本では、それらの解決手段として、原子力発電に頼ってきたのであり、原子力発電を全部廃止するだけでは、当然、これら両方が満たされるはずもない。そこで、原子力発電を停止させた場合、日本の電力供給と環境政策である地球温暖化対策としてのCO<sub>2</sub>排出量削減は、両方ともに遵守することが出来るかどうかを経済的観点で分析する。これらについて、これまでに、私の先行研究がある。

・坂元洋一郎(2012)「原子力発電の利用率低下とCO<sub>2</sub>排出量削減に関する制約がもたらす九州経済への影響」(九州経済学会年報第51集)

・坂元洋一郎(2013)「原子力発電がもたらす日本経済への影響」(九州大学「経済論究」第147号)

今回、坂元洋一郎(2013)において、今後の研究課題として挙げた2つの課題、

(1) 電力供給を維持しながら全ての火力発電所をLNGへリプレースすることが出来るか。

(2) 不足する電力量を再生可能エネルギーで補うことが出来るのか。

のうち、(1)について、検証することとする。なお、構成としては、次章で坂元洋一郎(2013)の概要を説明し、第3章にて、LNGへのリプレース可能性をリプレース期間、設備利用率、経過年月において、過去のデータを調査したり、シミュレーションを行うことにより、LNGへのリプレース可能性を検証した。これらの結果を踏まえ第4章にてまとめとした。

## 2. Remind

私の研究においては、先行研究(東, 2011)にならって、Replaceモデルと呼ばれる条件付き最適化モデルを利用している。

### 2.1 Replaceモデル

Replaceモデルは、既存発電所の設備更新を考慮し、生産量制約と排出量制約の下で、資本コストを含めた発電コストの最小化を達成するように、各発電所の燃焼区分、容量、発電量を決定する最適化モデルである。今回、具体的な数式については、省略することとしたい。

### 2.2 制約条件, シミュレーション

制約条件として、次の4つの条件を設定した。

制約1) 供給義務量制約

各電力会社は2009年実績の電力供給義務量(710,410×10<sup>6</sup>kW)を過不足なく生産する。

制約1') 供給義務量制約

各電力会社は2009年実績の29%を節電した場合の電力供給義務量(507,118×10<sup>6</sup>kW)を過不足なく生産する。

制約1'') 供給義務量制約

各電力会社は2009年実績の10%を節電した場合の電力供給義務量(639,369×10<sup>6</sup>kW)を過不足なく生産する。

## 制約 2) CO<sub>2</sub>排出量制約

CO<sub>2</sub>排出量を京都議定書の目標と同じく1990年比6%減少させる。

また、シミュレーションとして、次の2つを行った。

ケースA) 全原子力発電を停止させた場合 (制約1), 1'))

まず、全原発を停止させて、制約1), 1'))を満たす場合を考える。

ケースB) 全原子力発電を停止させた場合 (制約1''), 2))

各電力会社が、原子力発電を全停止させて制約1''), 2))を同時に満たすことが出来るかどうかについて考える。

## 2.3 結論

この夏(2012年)の実績を考えると、各電力会社が「電力供給義務量制約」だけ満たすのであれば、日本国内の全原子力発電を停止させたとしても、火力発電によって代替することで電力供給することが可能である。一方、CO<sub>2</sub>排出量は京都議定書の目標の約1.9倍に跳ね上がり、このままでは目標を達成することは出来ない。現状では、この2つの制約を満たすためには、日本国内の全ての火力発電所で石炭と石油発電を最も熱効率の良いLNG発電へ転換しつつ、なおかつ、節電を29%にしなければ、これまで原子力発電所が供給していた発電量を賄うことが出来なくなっているが、この29%という節電は、現実問題として、29%の節電は不可能である。

よって、「CO<sub>2</sub>排出量制約」を同時に満たすには、現在の原子力発電から火力発電だけへの代替だけでは不可能であり、この不足分を補うためには、再生可能エネルギーの導入が不可避となる。しかしながら、この再生可能エネルギーが原子力発電の代替エネルギーとなるためには、これからもっとたくさんの研究や技術進歩が必要となり、また、相当な時間も必要となる。その導入にあたっては設備に莫大な費用も必要となる。この代替エネルギーとしての再生可能エネルギーが、日本における今後のエネルギー政策や環境政策に重要となってくる。

ここで、考えられる今後の研究課題として、

- (1) 電力供給を維持しながら全ての火力発電所をLNGへリプレースすることが出来るか？
- (2) 不足する電力量を再生可能エネルギーで補うことが出来るのか？

が出て来たのである。

## 3. リプレース可能性

Remindの結論において、出てきた1つ目の課題について、リプレース期間、設備利用率、経過年月に分けて、過去のデータを調査し、シミュレーションを行うことにより、LNGへのリプレース可能性を検証する。

### 3.1 リプレース期間

これまでに火力発電所の設備更新時において、燃焼区分がLNGへリプレースした事例を調べたものが表3.1である。これまでの実績をみても、工事期間は、設置場所や工事費用などにより短くなったり、長くなったり、様々であろうが、今回単純化のために、工事期間は各ユニット出力と工事期間に影響するものとし、この2つの要因による加重平均をとるものとする。そうすると工事期間は3.1年となり、京都議定書の目標期限である2020年を考えると、LNGへのリプレース工事は2回出来ることになる。

表3.1 リプレース実績

発電所名	旧ユニット	出力 (MW)	運転開始年月	工事着手年月	運転開始年月	工事期間
新大分	1号系列	2,295		H21.7	H24.10	3年3ヵ月
磯子火力	1・2号機	1,200	S45頃	H10	H14	4年
和歌山共同	1・2号機	378	S42頃	H24.6	H26.12	2年6ヵ月
仙台火力	1・2・3号機	446	S34~37	H19.11	H22.7	2年8ヵ月
富山新港火力	石炭1号機	400	S46	H27	H30	3年
坂出	2号機	280		H26	H28	2年
八戸火力	5号機	416		H25.10	H27.7	1年9ヵ月
					平均期間	3.1年

出典：各発電所のHP

### 3.2 設備利用率

次に、『電力需給の概要』（2010年）より、各火力発電所の設備利用率を調べてみた。

LNGの設備利用率は、最も高いもので、中国電力の68.4%であり、最も低いもので東北電力の42.0%とかなりの乖離があることがわかる。そこで、表3.2.2で理論上設備利用率が100%となった場合をシミュレーションする。ここで、発電量は設備利用率に比例するものとする。この場合、発電量は、823,101 (10<sup>6</sup>kW) となり、Remindの制約1) 供給義務量制約で必要とされる総発電電力量は、710,410 (10<sup>6</sup>kW) を大きく上回ることになる。ただし、設備利用率を100%と考えることは、あくまでも理論上のことであり、実際はありえない数字である。そこで、発電量が制約1) 供給義務量制約の710,410 (10<sup>6</sup>kW) であった場合、設備利用率はいくらになるかをシミュレーションした。設備利用率が86.3%で発電量が710,410 (10<sup>6</sup>kW) となることがわかる。よって、今あるLNG発電所だけで設備利用率を86.3%以上にすれば、発電量が制約1) 供給義務量制約の710,410 (10<sup>6</sup>kW) を満たすことが可能であることがわかる。

表3.2.1 設備利用率一覧表

電力会社	燃焼区分	発電量 (10 <sup>6</sup> kW)	振替発電量 (10 <sup>6</sup> kW)	設備利用率 (%)
北海道	石炭	21,823	25,016	66.0
	石油	3,193		13.2
	LNG			
東北	石炭	33,012	35,087	80.7
	石油	2,076		8.5
	LNG	29,630		42.0
東京	石炭	16,749	44,493	79.4
	石油	27,744		19.6
	LNG	196,529		58.6
中部	石炭	31,572	32,864	76.3
	石油	1,292		2.5
	LNG	73,489		49.4
北陸	石炭	24,268	25,697	59.6
	石油	1,429		6.8
	LNG			
関西	石炭	11,966	27,504	57.9
	石油	15,538		8.5
	LNG	80,612		48.2
中国	石炭	20,763	27,023	71.0
	石油	6,260		17.6
	LNG	15,646		68.4
四国	石炭	16,971	24,647	75.0
	石油	7,676		15.7
	LNG			
九州	石炭	35,960	37,879	76.5
	石油	1,919		2.2
	LNG	34,294		43.8
	石炭	213,083	280,210	
	石油	67,126		
	LNG	430,200		
	合計	710,410	280,210	

出典：『電力需給の概要』（2010年）

表3.2.2 設備利用率シミュレーション

電力会社	燃焼区分	発電量 (10 <sup>6</sup> kW)	設備利用率 (実績)	発電量 (10 <sup>6</sup> kW)	設備利用率 (100%)	発電量 (10 <sup>6</sup> kW)	設備利用率 (86.3%)
北海道	石炭		66.0		66.0		66.0
	石油		13.2		13.2		13.2
	LNG						
東北	石炭		80.7		80.7		80.7
	石油		8.5		8.5		8.5
	LNG	29,630	42.0	70,547	100.0	60,882	86.3
東京	石炭		79.4		79.4		79.4
	石油		19.6		19.6		19.6
	LNG	196,529	58.6	335,375	100.0	289,428	86.3
中部	石炭		76.3		76.3		76.3
	石油		2.5		2.5		2.5
	LNG	73,489	49.4	148,763	100.0	128,383	86.3
北陸	石炭		59.6		59.6		59.6
	石油		6.8		6.8		6.8
	LNG						
関西	石炭		57.9		57.9		57.9
	石油		8.5		8.5		8.5
	LNG	80,612	48.2	167,245	100.0	144,332	86.3
中国	石炭		71.0		71.0		71.0
	石油		17.6		17.6		17.6
	LNG	15,646	68.4	22,875	100.0	19,741	86.3
四国	石炭		75.0		75.0		75.0
	石油		15.7		15.7		15.7
	LNG						
九州	石炭		76.5		76.5		76.5
	石油		2.2		2.2		2.2
	LNG	34,294	43.8	78,296	100.0	67,644	86.3
	石炭	0		0		0	
	石油	0		0		0	
	LNG	430,200		823,101		710,410	
	合計	430,200		823,101		710,410	

出典：『電力需給の概要』（2010年）

### 3.3 経過年月

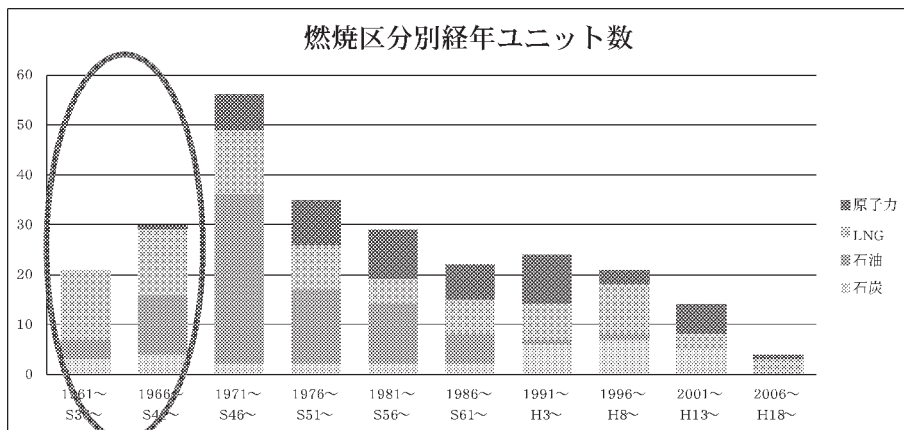
ここで、火力発電所の各ユニットごとに経過年月を調べ表3.3.1にまとめ、グラフ3.3にグラフ化した。1971年～1975年が全ての燃焼区分（中でも石油が34ユニット）を合わせたユニット設置総合計が56ユニットと最も多い。原子力は、1960年代後半より設置が始まり、1990年までの間に10ユニット程度設置され原子力の基盤が出来た。LNGは他の燃焼区分に比べコンスタントに設置されてきた。ここ最近では、他の燃焼区分に比べ熱効率の良さから増加傾向にある。石油は1980年代までは火力発電の中心となっていた。特に、1971年においては、34ユニットと最も多い。しかしながら、オイルショックにより石油利用が見直され、石油の火力発電所の新規設置はしないとの方針が打ち出され、1996年に1ユニット（北海道電力知内石油火力発電所2号機）を最後に新規設置は行われなくなった。石炭は、熱効率は他の燃焼区分に比べ最も悪いものの、燃料費が最も安いことから、3、4ユニット前後でコンスタントに推移しているが、ここ最近、熱効率も改善され、見直しされつつある。

表3.3.1 燃焼区分別経過年月一覧表

燃焼区分	1961 ～	1966 ～	1971 ～	1976 ～	1981 ～	1986 ～	1991 ～	1996 ～	2001 ～	2006 ～
石炭	3	4	2	2	2	2	6	7	5	0
石油	4	12	34	15	12	6	1	1	0	0
LNG	14	13	13	9	5	7	7	10	3	3
原子力		1	7	9	10	7	10	3	6	1
総合計	21	30	56	35	29	22	24	21	14	4

出典：各電力会社の有価証券報告書（2011年度）

グラフ3.3 燃焼区分別経年ユニット数





リプレースの経年は、一般的に30～50年と言われている。そこで、少なくとも50年超はリプレースが必要であるとする、京都議定書の目標期限である2020年を考えると、1970年以前のもものが該当することになる。すなわち、1961年～と1966年～のLNG27ユニット該当することとなる。この期間に設置されたLNG火力発電所を抜粋したものが表3.3.2である。

表3.3.2 リプレース必須LNG火力発電所一覧

発電所名	ユニット	出力 (MW)	運転開始 年月	1961～ S36～	1966～ S41～
横浜	5号機	175	S39.3	LNG	
五井	1号機	265	S38.6	LNG	
	2号機	265	S39.8	LNG	
	3号機	265	S40.7	LNG	
四日市	1号機	220	S38.6	LNG	
	2号機	220	S38.7	LNG	
	3号機	220	S38.9	LNG	
堺港	1号機	400	S21.4	LNG	
	2号機	400	S21.7	LNG	
	3号機	400	S21.10	LNG	
姫路第二	1号機	250	S38.10	LNG	
	2号機	325	S39.10	LNG	
	3号機	325	S40.2	LNG	
	1号機	285	S36.11	LNG	
新潟	4号機	250	S44.8		LNG
	6号機	350	S43.6		LNG
	4号機	265	S41.1		LNG
	5号機	350	S43.1		LNG
	6号機	476	S43.3		LNG
姉崎	1号機	600	S42.12		LNG
	2号機	600	S44.11		LNG
南横浜	1号機	350	S45.5		LNG
	2号機	350	S45.4		LNG
知多	1号機	529	S41.2		LNG
	2号機	529	S42.1		LNG
	3号機	500	S43.3		LNG
	4号機	450	S43.3		LNG
合計	27ユニット	9,614	内訳	4,015	5,599

出典：各電力会社の有価証券報告書（2011年度）

LNG火力発電所は、現在、日本国内に85ユニットあり、総出力59,490MWである。そのうち、京都市議定書の目標期限である2020年に経年が50年超となるものが、27ユニット、総出力9,614MWとなる。第3章第1節リプレース期間において、2020年期間までに工事は2回可能であることから、1961年から1965年を第1期(工事A)とし、1966年から1970年を第2期(工事B)とすると、工事A、工事Bに該当するLNG火力発電所の総出力は、4,015MW、5,599MWである。ここで、3.2設備利用率より、制約1)供給義務量制約の発電量710,410(10<sup>6</sup>kW)を満たすLNGの設備利用率は86.3%であり、理論上13.7%は利用可能である。LNG火力発電所の総出力が59,490MWであることから、8,150MWが利用可能となり、工事A、工事Bにおける総出力はこの範囲内である。よって、制約1)を満たしながら、この経年LNG火力発電所をリプレースすることは可能である。

#### 4. 結論

われわれ国民は、何不自由なく電力を使うことが出来る権利がある。一方、日本は、環境政策である地球温暖化対策としてのCO<sub>2</sub>排出量削減をしなければならない責務も負っている。これまで、日本は、この両者を解決するために、原子力発電に頼ってきたのである。しかしながら、2011年に発生した東日本大震災により、福島第1原子力発電所の事故が起り、原子力発電の安全神話は崩れ、日本では、それ以降、原子力発電に頼らない電力供給が求められるようになってきた。今ある原子力発電を全部廃止しても、日本国内の電力供給と環境政策である地球温暖化対策としてのCO<sub>2</sub>排出量削減が満たされれば何も問題ないが、そういうわけにはいかないことは明らかだ。そこで、原子力発電を停止させた場合、日本の電力供給と環境政策である地球温暖化対策としてのCO<sub>2</sub>排出量削減は、両方ともに遵守することが出来ないかどうかを経済的観点で分析するために、私は研究を行っている。その中で出てきた1つの課題、「電力供給を維持しながら全ての火力発電所をLNGへリプレースすることが出来るか。」について今回検証を行ったものである。第3章第2節より、今あるLNG発電所だけで設備利用率を86.3%以上にすれば、発電量が制約1)供給義務量制約の710,410(10<sup>6</sup>kW)を満たすことが可能であった。このことから、石炭、石油発電所をLNGへリプレースすることは可能であることがわかった。しかしながら、今あるLNG火力発電所の中にも2020年にリプレースが必要となる50年超となる経年火力発電所が27ユニットある。これについては、第3章第3節で記した通り、工事Aと工事Bの2つに分け、設置工事を行うこととすると、理論上設備の未利用率13.7%で代替可能であることから、LNG発電所の経年発電所もリプレース可能であることがわかる。よって、「電力供給を維持しながら全ての火力発電所をLNGへリプレースすることが出来るか。」という課題については、可能であることがわかる。

しかしながら、この分析は、あくまでも経済的観点による理論上の分析である。坂元洋一郎(2013)において、今後の研究課題として挙げた2つの課題も、そうしたところに起因する課題であり、今回その課題の1つを解決することにより、私の研究の確実性が少しでも高まるものとする。今後は、もう1つの課題解決やこれからの研究にあたって、研究課題が出てくると思うが、1つ1つ課題を解決し、私の研究の確実性が少しでも高まるよう続けていきたい。

参 考 文 献

- 東愛子 (2008) 「電力会社のCO<sub>2</sub>限界削減費用と削減ポテンシャル」科学研究費補助金・特定領域研究『持続可能な発展の重層的環境ガバナンス』ディスカッションペーパー No.J08-16
- 東愛子 (2011) 「原子力依存度の低下がCO<sub>2</sub>排出削減目標の達成に与える影響—福島原子力発電所事故後のエネルギー政策の再考—」科学研究費補助金・特定領域研究『持続可能な発展の重層的環境ガバナンス』ディスカッションペーパー No.J11-02
- 東愛子 (2012) 「電力会社のCO<sub>2</sub>限界削減費用と削減ポテンシャル」環境経済・政策研究 Vol.5, No.2, pp. 46-57
- 経済産業省資源エネルギー電力・ガス事業部編 (2010) 『電力需給の概要』昭和36年度～平成22年度  
各電力会社の火力発電所紹介  
各電力会社の有価証券報告書 2011年度
- 環境省「温室効果ガス排出量算定に関する検討結果 総括報告書」(平成14年8月), 温室効果ガス排出量算定方法検討会  
九州電力 需給検証委員会資料「今夏の需給実績について」 <http://www.kyuden.co.jp/library/pdf/press/2012/h121012-4>
- 経済産業省 (2011) 『エネルギー白書2011』新高速印刷株式会社
- 坂元洋一郎 (2012) 「原子力発電の利用率低下とCO<sub>2</sub>排出量削減に関する制約がもたらす九州経済への影響」(九州経済学会) 年報第51集
- 坂元洋一郎 (2013) 「原子力発電がもたらす日本経済への影響」(九州大学「経済論究」第147号)
- 高橋毅 (編著) (2012) 「進化する火力発電」
- 中小企業メガソーラー発電事業「参考 メガソーラーの投資採算」 <http://ameblo.jp/sakugensi/entry-11294592535.html>