

研究指導 石光 真 教授

# 日本の電源構成はどうあるべきか

山崎 達也

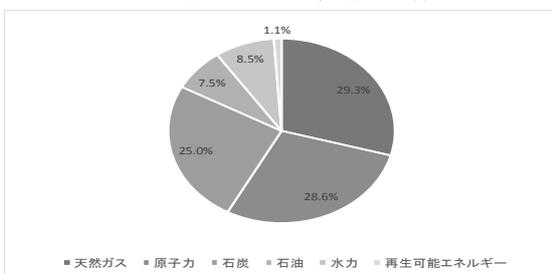
## 1. 研究動機・目的

東日本大震災により原子力発電所の事故が発生した。それにより、日本は原子力発電所を停止し、火力による発電を増加させてきた。その量は2010年比で26.6ポイント増加した。また、火力発電が増加したことにより化石燃料の輸入額も増加し、その影響で平成26年度の貿易収支が12兆7000億円赤字となった。そこで、一つの発電所に頼らない発電の組み合わせを達成することが重要であると考えた。

本研究の目的は、日本の電源構成はどうあるべきかを考察することである。

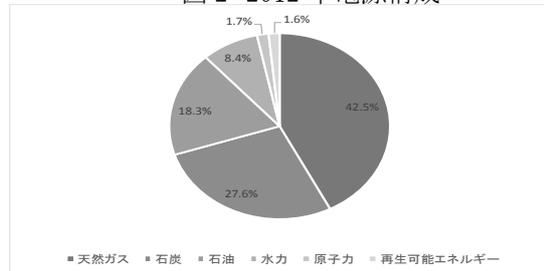
## 2. 日本の電源構成

図1 2010年電源構成



出典 『エネルギー基本計画平成26年4月』を元に山崎作成

図2 2012年電源構成



出典 『エネルギー基本計画 平成26年4月』を元に山崎作成

図1は2010年の日本の電源構成である。各電源が分散していることがわかる。一方、図2は2012年の日本の電源構成である。震災の影響により火力への集中が進んでいることがわかる。

## 3. エネルギー基本計画 2014 での政府の方針<sup>1</sup>

### 3.1 原子力政策の方向性

政府は、原子力について重要なベース電源と位置

づけている。そして、原子力発電所の安全性については、原子力規制委員会の判断に任せ、さらに、原子力規制委員会による規制基準に適合すると認められた場合、原子力の再稼働を進めるとしている。

一方で、原子力依存については、可能な限り低減させるとしている。

しかし、重要なベース電源としながらも、2013年9月大飯原発停止以降に再稼働した原子力発電所はない。

### 3.2 エネルギー構造のあり方

エネルギー構造のあり方について政府は以下のことを重要、または必要としている。

- ・ベース電源、ミドル電源、ピーク電源を適切なバランスで組み合わせること。
- ・再生可能エネルギー等の分散電源も組み合わせていくこと。
- ・電源構成は、特定の電源や燃料源への依存が極度に高まらないようにし、低廉で安定的なベースロード電源を国際的に遜色ない水準で確保すること。
- ・安定的に必要な予備力、調整力を堅持すること。
- ・環境への適合を図ること。
- ・追加的に発生するコストを国民、経済に負担させないよう、バランスのとれた電源の実現に注力していくこと。
- ・電力の負荷平準化を図り、供給構造の効率化を図ること。

政府は、このようにエネルギー構造のあり方を示しているが、実際の電源構成は政府の示したエネルギー構造のようなバランスがとれた電源構成にはなっていない。

### 3.3 高効率石炭・LNG 火力発電の有効活用の促進

政府は、安定供給性と経済性に優れている石炭火力発電所の温室効果ガスの排出量を低減していくため、温室効果ガスの排出を抑制する利用可能な最新鋭の技術の活用を促すとしている。また、環境アセスメントに要する期間をリプレースの場合は3年程度から1年強程度にし、そして、新增設も短縮化に取り組むとしている。また、IGCC<sup>2</sup>の開発や実用化を推進するとともに、2020年頃のCCS<sup>3</sup>技術の実用化を目指した研究や導入を進めるとしている。

## 4. 3種類の電源

<sup>1</sup> 経済産業省(2014)

<sup>2</sup> 石炭ガス化複合発電

<sup>3</sup> CO<sub>2</sub>回収・貯留

電源構成を考えるさい、電源の役割について考える必要がある。電源にはそれぞれベース電源、ミドル電源、ピーク電源という3種類のものがある。

・ベース電源

ベース電源とは、出力が一定で発電コストが低廉な電源のことである。原子力発電、石炭火力発電、地熱発電、流れ込み式水力発電がこの電源にあたる。

・ミドル電源

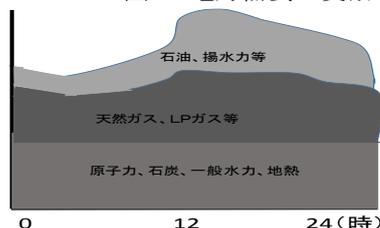
ミドル電源とは、ベース電源、ピーク電源の中間に位置し、需要動向に応じて出力を変えることが可能な電源のことである。LNG 火力発電がこの電源にあたる。

・ピーク電源

ピーク電源とは、需要動向に応じて出力を変動させることが容易な電源である。石油火力発電、揚水式水力発電、貯水池式水力発電、調整池式水力発電がこの電源にあたる。

発電において、これら3種類の電源を組み合わせ発電することが重要となる。しかし、現在、ミドル電源である天然ガスがベース電源である石炭の発電電力量を上回っている。また、ピーク電源である石油火力発電が原発停止の影響で電源の役割以上の働きをしている。

図3 電力需要の変動



出典 『エネルギー基本計画 平成26年4月』を元に山崎作成

## 5 各種発電の特性

発電所見学で得た知見等を元に各種発電の特性を記述する。

### 5.1 原子力

原子力発電はベース電源である。また、発電コストが非常に安く、系統安定性の問題も発生しない。発電設備容量も十分ある。しかし、再稼働は国の判断で決まるため、政治的要因を強く受ける電源である。

### 5.2 石炭火力

石炭火力発電はベース電源である。発電コストは原子力発電の次に安い。石炭の可採年数もあと109年あるため安定供給性に問題はない。発電設備容量も十分ある。しかし、CO<sub>2</sub> 排出量が最も多く環境保全性は悪い。ただ煤煙については、対策が行われ非

常にクリーンになっている。政治的な影響も受けない。

### 5.3 LNG 火力

LNG火力はミドル電源である。発電コストは原子力発電、石炭火力発電、水力の次に安価である。また、化石燃料の中で最もCO<sub>2</sub> 排出量が少ない。発電設備容量も十分ある。LNG火力には、コンバインドサイクル発電方式<sup>4</sup>と呼ばれるものがある。この発電方式は、発電効率が高く、CO<sub>2</sub> の排出量が少ない。発電所見学をした東新潟火力発電所では、発電効率55%以上のコンバインドサイクル発電が存在し発電を行っている。しかし、LNG火力の燃料であるLNGの価格は高価である。

### 5.4 石油火力

石油火力発電はピーク電源である。発電コストは他の電源よりも高い。また、石油の可採年数も残り52.9年しかないため安定供給性に劣る。さらに、CO<sub>2</sub> の排出量も多いため環境保全性にも劣る。しかし、原発が停止している現在、足りない部分の穴埋めをしている。そのため、緊急の場合に必要な電源となっている。発電設備容量も十分存在する。

### 5.5 地熱

地熱発電は、石炭火力発電、原子力発電と同じくベース電源である。発電コストも安価である。また、国産エネルギーであるため、安定供給性に問題は発生しない。しかし、発電設備容量が他のベース電源よりもはるかに少ない。また、発電所を稼働するまでに10年以上の時間を要する。さらに、シリカスケール<sup>5</sup>の影響により、出力が低下するため、何年かごとにパイプを掘削しなければならない。

### 5.6 太陽光発電

太陽光発電は国産電源である。そのため、安定供給性の問題が発生しない。また、CO<sub>2</sub> の排出量が極めて少なく、クリーンな電源である。しかし、系統安定性の問題が発生すること、発電コストがまだまだ高いという問題がある。

### 5.7 風力発電

風力発電も太陽光発電と同じく国産の電源であり、安定供給性の問題は発生しない。また、環境保全性にも優れている。しかし、太陽光発電と同じように系統安定性の問題が発生し、コストも高い。

### 5.8 流れ込み式水力発電

流れ込み式水力発電はベース電源である。発電コストも安価である。また、CO<sub>2</sub> を排出しない。発電設備容量も十分である。しかし、発電電力量の約8%にすぎない。

### 5.9 調整池式水力発電、貯水池式水力発電、揚水式水力発電

<sup>4</sup> 最初にガスタービンで発電し、その後ガスタービンで出た排気を利用し水を沸騰させ蒸気タービンによる発電を行う発電方式

<sup>5</sup> 湯垢

水力発電には、流れ込み式水力発電以外に調整池式水力発電、貯水池式水力発電、揚水式水力発電と呼ばれるものが存在する。これらの発電方式は、主にピーク電源として使われている。

調整池式水力発電は、1日分あるいは1週間分程度の発電用水を調整池に貯めている<sup>6</sup>。短期間の電力需要の変化に対応している<sup>7</sup>。

貯水池式水力発電は、豊水期に水を貯水し、渇水期に水を放流し発電を行っている<sup>8</sup>。長期間の電力需要に対応している<sup>9</sup>。

揚水式水力発電は、オフピーク時に余った電力を使い上池に水をくみ上げ、ピーク時に水を落とし発電している。見学した第二沼沢発電所では、夜間に只見川から水をくみ上げ、沼沢湖に貯め、日中のピーク時に水を落として発電していた。

このように、各電源にはそれぞれの長所や短所が存在する。そのため、これを考慮し電源構成を考えなければならない。

## 6. 電源別マトリックス

電源別のマトリックスを示す。このマトリックスは3E<sup>10</sup>に、系統安定性、発電設備容量、政治的リスクを加え作成したものである。

図4 電源別マトリックス

	安定供給性	経済性(1kwhあたりの発電コスト)	環境保全性(1kwhあたりCO2排出量)
原子力	◎(可採年数93年)	8.9円～	20g
石炭火力	◎(可採年数109年)	9.5円	943g
LNG火力	○(可採年数56年)	10.7円	599g(コンバインド:474)
石油火力	△(可採年数52.9年)	22.1～36.0円	738g
太陽光	◎	33.4～38.3円	38g
風力	◎	9.9～17.3円	25g
地熱	◎	9.2～11.6円	13g
水力	◎	10.6円	11g

出典 資源エネルギー庁ホームページ、中部電力ホームページ、「原子力・エネルギー図面集 2014」を元に山崎作成

### 6.1 安全性

安全性について、危険性は原発だけでなく石炭、LNG、太陽光などその他の電源にも存在する。そのため、安全性の確保が稼働拡大の大前提である。

### 6.2 安定供給性

安定供給性とは、可採年数の長さ、輸入リスクにより比較する。

石油は可採年数が52.9年と短い。また、中東依存度が強いこと安定供給性に劣る。LNG 火力の燃料である天然ガスの可採年数は56年であり、石油とそれほど変わらない。しかし、輸入先が石油より分散し

ているため、安定供給性はよいものとなっている。石炭火力の燃料である石炭は、可採年数が109年と非常に長い。また、輸入先が分散しているため安定供給性が非常によい。再生可能エネルギーは日本で作られる国産電源であるため、安定供給性に問題はない。

### 6.3 経済性

経済性は1kwhあたりの発電コストを指す。ベース電源である、原子力、石炭火力、地熱、流れ込み式水力発電、ミドル電源であるLNG 火力の発電コストは安い。しかし、太陽光、風力、石油火力は発電コストが非常に高いものとなっている。

### 6.4 環境保全性

環境保全性は1kwhあたりのCO<sub>2</sub>排出量のことである。原子力発電、再生可能エネルギーである太陽光・風力・地熱はCO<sub>2</sub>の排出量が極めて少ない。一方で、化石燃料を発電する火力発電はどの発電もCO<sub>2</sub>排出量がきわめて多い。ただ、LNG 火力のコンバインドサイクル発電は、化石燃料の中でCO<sub>2</sub>の排出量が少ない発電方式となっている。

図5 電源別マトリックス

	系統安定性	発電設備容量	政治的リスク
原子力	◎	4353万kw	×
石炭火力	◎		◎
LNG火力	◎	1億2904万kw	◎
石油火力	◎		◎
太陽光	×	1872万kw	◎
風力	×	273万kw	◎
地熱	◎	54万kw	◎
水力	◎	3609万kw	◎

出典 電気事業連合会 FEPINFORBASE2012、資源エネルギー庁「固定価格買取制度情報公開用ウェブサイト」、今泉2012を元に山崎作成

### 6.5 系統安定性

系統安定性とは、天候等の変化で出力が変動するかどうかである。太陽光、風力は系統安定性の問題がある。それ以外の発電は、この問題が発生しない。さらに、揚水式水力発電と天然ガス火力発電は太陽光・風力の不安定さをバックアップする力を持っている。

### 6.6 発電設備容量

発電設備容量とは、各発電源のすべての発電源の最大出力を足し合わせたものである。

火力全体、原子力、一般水力の順で設備容量は大きい。しかし、ベース電源である地熱発電は発電設備容量がわずかしかない。そして、風力発電もわずかしかない。

6 電気事業連合会ホームページより

7 水力ドットコムより

8 電気事業連合会ホームページより

9 水力ドットコムより

10 安定供給性(Energy Security),経済性(Economic Efficiency),環境保全性(Environment)

## 6.7 政治的リスク

政治的リスクとは、各種電源が政治的な影響を受け発電所が停止するまで比較する。

原子力発電は政治的影響を直に受けるため、政治的リスクが非常にある。それ以外の発電は政治的影響をあまり受けない。

## 7. 石炭火力発電所の高効率化

原子力発電が停止している中、代替りのベース電源として石炭が活躍している。この石炭火力発電には IGCC と呼ばれる技術がある。IGCC とは、石炭をガス化する技術とガスタービンコンバインドサイクル発電の技術を組み合わせることで、高い発電効率を狙う発電である<sup>11</sup>。以下のような特徴がある。

- ・発電効率が低い
- ・CO<sub>2</sub> 排出量を 2 割削減できる。
- ・低品位炭を利用することができ経済的。

この発電方式は福島県いわき市の常磐共同勿来発電所に存在する。そして、2013 年には商用運転 (25 万kw)を開始した。現在、50 万 kw 級の電源 2 基の建設計画が、2020 年代初頭運転を予定し進められている<sup>12</sup>。

## 8. 考察

現状の電源構成は、原発の再稼働が進まない状態のため、火力への集中が進み、本来ミドル電源であるはずのコストの高い LNG 火力が一部ベース電源のように使われている。また、発電コストが、他のどの電源よりも高いピーク電源である石油火力が、ピークとしての役割だけでなく、まるでミドル電源のように使われている。そのため、それぞれの電源の役割を超えて発電しているため、コストがかかっている状態にある。よって、震災前のように原子力発電を再稼働し各電源の負担を解消する必要がある。

しかし、原子力発電は、政治的リスクをまともに受けしてしまうため、今後も再稼働が遅れる可能性がある。そこで、原子力発電を代替するためのベース電源として、石炭ガス化複合化発電を使用すべきだ。なぜなら、石炭ガス化複合化発電は、発電効率が高く、CO<sub>2</sub> 排出量も削減することができ、安い石炭を利用することができるからである。また、他電源と比較したとき経済性、安定供給性、環境保全性に優位性があるからである。さらに、石炭ガス化複合化発電は、固体や粉体の石炭火力発電と異なり、石炭をガス化するため、一般の LNG 火力と同じく、高い出力調整力をもつので、ベース電源の機能に加えて、ミドル電源やバックアップ電源の機能を併せ持つことができる。

この点では、日本では出力調整を行わないことになっている原子力よりも優れている。

したがって、石炭ガス化複合化発電をベース電源 (+ミドル電源)とし、その他の発電方式と組み合わせるべきである。その際は、エネルギー基本計画 2014 のエネルギー構成のあり方を参考にすべきだ。

## 9. 課題

石炭ガス化複合化発電は将来有望だが実用化されるまでは時間がかかる。そのため、原発が再稼働しない場合はベース電源を一般石炭火力、ミドル電源を LNG 火力、ピーク電源を揚水式水力発電、調整池式水力発電、貯水池式水力発電で行うべきである。また、風力・太陽光は低コスト化と系統安定化をすすめる。原子力発電が再稼働した場合は、原子力の割合を高め、火力発電の割合を下げていくべきである。

本研究の新規性は、発電所見学での知見や系統安定性、発電設備容量、政治的リスクの勘案を含む、石炭ガス化複合化発電を中心にした日本の電源構成を考察したことである。

## 参考文献・URL

- 今泉大輔『電力供給が一番わかる』(技術者出版 2012 年)  
 今泉大輔『再生可能エネルギーが一番わかる』(技術者出版 2013 年)  
 橘川武朗『日本のエネルギー問題』(NTT 出版 2013 年)  
 経済産業省『エネルギー基本計画 平成 26 年 4 月』(経済産業省 2014 年)  
 高橋 毅『進化する火力発電所 低炭素化・低コスト化への挑戦』(B&T ブックス日刊工業新聞社 2012 年)  
 電気事業連合会『FEPCINFORBASE2012』  
 電気事業連合会『原子力・エネルギー図面集 2014』  
 財務省ホームページ  
<http://www.mof.go.jp/statistics/index.html>  
 常磐共同火力発電所 IGCC (石炭ガス化複合化発電)  
[http://www.joban-power.co.jp/nakoso\\_power\\_plant/igcc/](http://www.joban-power.co.jp/nakoso_power_plant/igcc/)  
 資源エネルギー庁ホームページ  
<http://www.enecho.meti.go.jp/>  
 資源エネルギー庁 固定価格買取制度情報公開用ウェブサイト  
[http://www.fit.go.jp/statistics/public\\_sp.html](http://www.fit.go.jp/statistics/public_sp.html)  
 水力ドットコム  
<http://www.suiryoku.com/>  
 中部電力ホームページ  
<http://www.chuden.co.jp/>  
 電気事業連合会ホームページ  
<http://www.fepc.or.jp/>  
 NEDO 石炭をガス化して高効率化を実現「石炭ガス化複合発電(IGCC)」

<sup>11</sup> 高橋 2012p.110

<sup>12</sup> NEDO ホームページより

<http://www.nedo.go.jp/hyoukabu/articles/201306igcc/index.html>