

再生可能エネルギー導入時代における火力発電の役割



特集 2

一般財団法人 電力中央研究所 エネルギー技術研究所 次世代火力発電領域
 上席研究員 吉葉 史彦氏

1. はじめに

我が国のエネルギー政策に関して、平成 26 年 4 月には第 4 次エネルギー基本計画 [1] が閣議決定された。その方針に基づき現実的かつバランスのとれたエネルギー需給構造として、平成 27 年 7 月に「長期エネルギー需給見通し」が示された [2]。平成 30 年 7 月には第 5 次エネルギー基本計画 [3] が閣議決定され、2030 年に向けた対応の主な施策として再生可能エネルギーの主力電源化への布石、および 2050 年に向けた対応として再生可能エネルギーを経済的に自立し脱炭素化した主力電源化を目指すことが示された。

長期エネルギー需給見通しでは 2030 年度における電源構成として、原子力発電を 20～22%、石炭火力発電を 26%、LNG 火力発電を 27%、石油火力発電を 3%、再生可能エネルギー発電を 22～24% 程度とすることが示された (図 1)。再生可能エネルギーの導入量のうち、太陽光発電や風力発電のように出力の自然変動の大きい電源が大量に導入された場合、電力システムを安定化させるため、既存の発電設備である火力発電や揚水発電等は出力調整運用の役割が大きくなる。これらの運用では特に燃料コストをなるべく抑制して、電力需給のバランスをとり安定供給を継続することが重要となる。

本報告では、導入の進む太陽光発電に着目し、

2030 年の目標値として示された容量の太陽光発電の導入されたときの、各電源の運用に与える影響を検討する。特に太陽光発電の出力と電力需要の変化を補完する火力発電と揚水発電がメリットオーダーに組み込まれた場合の運用変化を検討した上で、火力発電に求められる技術要件を整理する。

2. メリットオーダーの検討

火力発電の運用は、電力需要の各時間における変化 (需要カーブ)、太陽光等の再生可能エネルギーの発電出力の時間変化、およびベースロード電源の運用形態等により決まる。ここでは、全国における電力需要、太陽光の出力、ベースロード電源の出力の設定等を行う。また本検討では、日本全体を一つの電力供給エリアとし、電力需給状況を簡略化して検討した。

2.1 電力需要とベースロード電源の出力設定

電力需要カーブの検討は 4 季節を代表する平日を対象とし、概ね全国的に晴れた日を選定した。原子力の発電電力量を総発電電力量の 21% (長期エネルギー需給見通しの中央値) とし、設備利用率を

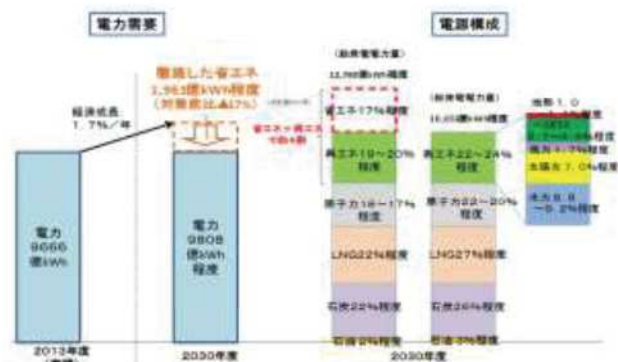


図 1. 長期需給見通しにおける電力需要と電源構成の見込み [2]



講師 吉葉 史彦氏

80%と仮定して、原子力発電の容量を設定した。水力発電については、2010年における発電電力量の実績(55.6TWh)を基に、年間を通じて一定の出力で発電されるものと仮定して出力を算出した[4]。

2.2 再生可能エネルギーの導入量と発電電力量の設定

太陽光発電は日射により日間の出力が変化し、季節間でもその出力変化は異なる。図2に本検討で設定した太陽光発電の出力を各時間に対して示す。太陽光発電の出力は季節により差があるが、本研究では簡略化のため、端境期(春と秋)、夏、および冬のいずれの季節でも太陽光発電の最大出力は変わらないものとし、太陽光の出力し始める時刻と出力がゼロとなる時間のみに季節間の差を設定した(2次関数で近似)。なお、風力発電については、日間の出力を予測が困難なことから、本研究における検討では対象外とした。

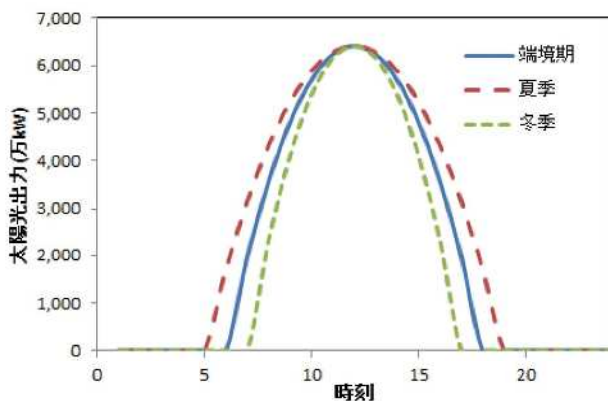


図2. 太陽光出力の日間変化の設定

2.3 火力発電の燃料費の設定

メリットオーダーの検討による火力機の運用変化を検討するためには、発電機毎の限界費用(マージナルコスト)、即ち、発電に必要な燃料費用(¥/kWh)の設定が必要である[5]。ここでは「2016年度の日本の経済・エネルギー需給見通し」における2015年度の見通しを参考に設定した[6](表3)。また、発電コストの燃料費分(¥/kWh)の算出に必要なとなる発電効率についても表3で示す値を設定した。

2.4 揚水発電と火力機の運用

揚水発電は、揚水ポンプにより汲み上げられた水を利用して発電する設備であり、揚水ポンプに投入した電力量のうち、70%程度が発電可能である(効率70%)。揚水ポンプは、火力発電の出力が小さくなる時間帯で、メリットオーダーの中で最も燃料費の低い火力電源を使って揚水する。揚水発電の燃料費に相当する費用(以下、燃料相当費と略記)は、揚水ポンプを駆動した時の火力機の燃料費を揚水発電の効率で割り戻した費用となる。

図3に火力発電のメリットオーダーと、それらの設備を用いて揚水した場合の揚水発電の燃料相当費を示す。揚水発電は需要が伸びるときや太陽光発電の出力がなくなる局面で発電するが、この時、火力機で発電するか、揚水発電で発電するかは、火力機の燃料費と揚水発電の燃料相当費を比較して判断される。例えば、需要が低い時に汲み上げられた揚水発電と、需要が高い時に駆動する火力機の燃料費を比較して安い方が先に運用される。

表3. 発電コストの燃料費分を算定するために設定した燃料費と発電効率

火力機の種類		運開時期	設定効率 (発電端LHVベース)
石炭火力 燃料価格: 75ドル/トン 6,000kcal/kgベース		① 1995年以降	42%
		② ~1995年	40%
		③ ~1985年	38%
		④ ~1970年	35%
天然ガス火力 燃料価格: 8ドル/MBTU	GTCC機	⑤ 2010年以降	60%
		⑥ ~2010年	58%
		⑦ ~2000年	55%
		⑧ ~1990年	53%
		⑨ 運開時期に寄らず	45%
石油火力 燃料価格: 50ドル/バレル	コンベンショナル機	⑩ 運開時期に寄らず	40%

LHV: Low Heating Value, 低位発熱量

CTCC: Gas Turbine Combined Cycle

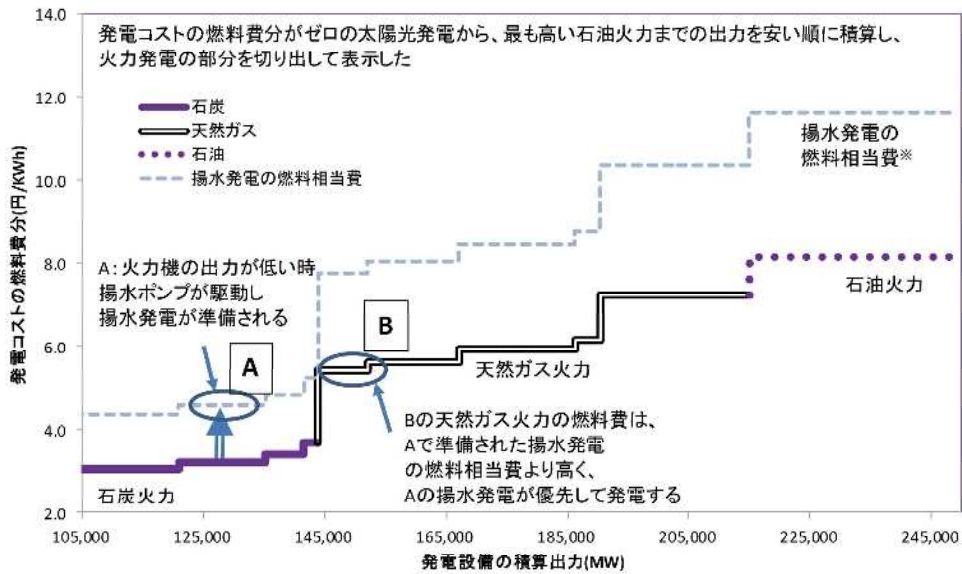


図3. 各電源のメリットオーダーと揚水発電の燃料相当費用

3. 火力機の運用変化と役割

3.1 メリットオーダーに基づく火力機の運用変化

図4(a)(b)に春の電源運用パターンについて、太陽光発電の有無による差異を比較して示す。昼夜間での需要の変化が比較的小さいことから、太陽光発電が出力しない場合には揚水発電は運用されない。一方、太陽光発電が出力する場合、太陽光発電の多

い昼間に揚水ポンプが稼働し、夕方から夜に揚水発電が行われる。昼間の揚水ポンプは石炭火力からの電源により運用される。石炭を電源として揚水された揚水発電は、石油火力の燃料費よりも安価となることから優先的に利用され、その結果石油火力は一日を通じて運用されていない。

図5(a)(b)に夏の電源運用パターンについて、太陽光発電の有無による差異を比較して示す。昼夜間

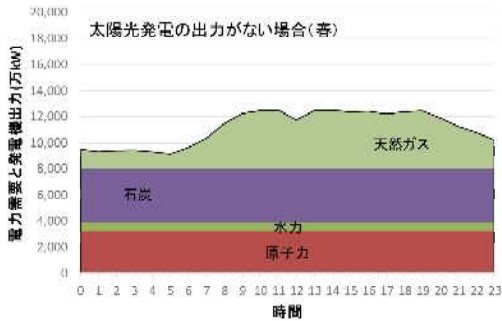


図4(a) 春のケース

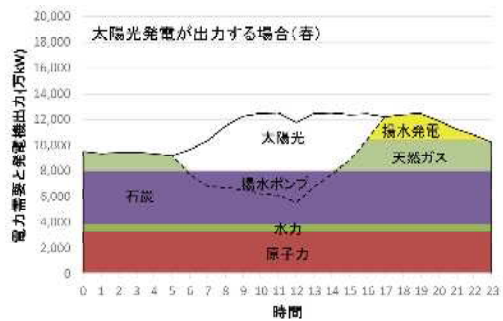


図4(b) 春のケース

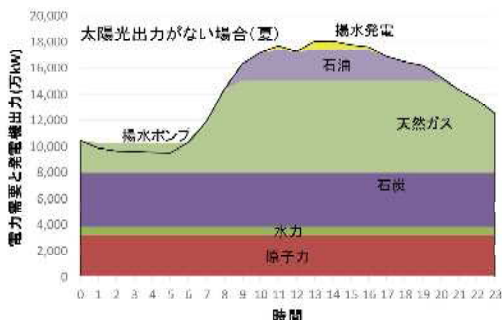


図5(a) 夏のケース

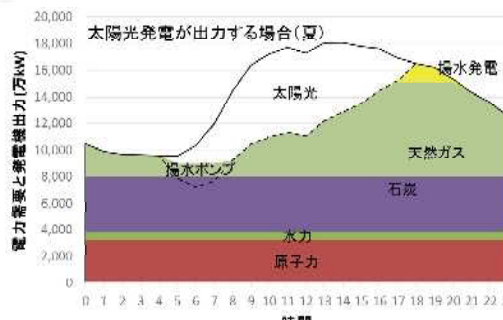


図5(b) 夏のケース

での需要の変化が大きいことから、太陽光発電が出力しない場合でも揚水発電が運用されており、また昼間のピーク時には石油火力も運用されることとなる。一方、太陽光発電が出力する場合、石炭火力がベースロードとして運用され、太陽光を除く負荷の変化のほとんどに天然ガス火力が対応している。

3.2 火力機の役割

太陽光発電が大量に導入された場合、電力系統の安定運用の要請に応えるため、火力機はバックアップ電源としての運用に対応することが求められる。ここでは、天然ガス火力の運用改善項目について、メリットオーダーや運用経済性の面からの利点を整理する。

【起動時間の短縮】

メリットオーダーに基づく火力機の運用変化の検討結果から、特に天然ガス火力には頻繁な起動停止運用が求められる。例えば、夏の運用(図5(b)参照)では、朝から夜に向けて天然ガスの出力は大きく上昇する(約6,000万kWの出力上昇)。この出力上昇には多数の火力機の起動操作で対応することとなる。天然ガス火力の起動時間を短縮することができれば、起動に必要な燃料が削減できることから、天然ガス火力の経済性を高めることが可能となる。

【最低負荷の切り下げ】

太陽光発電は天候の変化により急激に出力が低下する可能性があり、最低限の天然ガス火力は電力系統に並列して発電し、この出力低下を補うために出

力を増加させる準備をする(火力機のバックアップ運用)。最低負荷の切り下げにより、天然ガス火力は大きな出力上昇幅を確保できるため、太陽光の出力低下を補うための出力調整幅が大きくなり、電力系統の安定運用に有効となる。

【低負荷時の高効率化】

太陽光発電の出力低下に備えて最低負荷を切り下げて火力発電が電力系統に並列運用する場合、発電効率は低下する。最低負荷運用時の発電効率を高めることは、燃料費の面から天然ガス火力の経済性を高める効果がある。

【急速に起動できる火力機】

急速に起動できる天然ガス火力は、発電を停止した状態(解列状態)で太陽光発電の出力低下に備えることができる。停止状態で太陽光発電の出力低下に備えることができれば、低負荷の発電並列状態で太陽光発電の出力低下に備える場合に比べ燃料費用を削減することが可能となり、天然ガス火力の経済的な運用に貢献できる。

図6に火力発電に求められる再生可能エネルギーの出力変動に対するバックアップ運用技術をまとめる。本報告では天然ガス発電の運用変化について述べたが、再生可能エネルギーの導入量が増えると、石炭火力発電にも同様の運用が求められる。石炭火力は天然ガスよりも燃料費が廉価であることから再生可能エネルギーの導入が進んでも発電する時間が長い。そのため天然ガス火力には急速で起動するよ

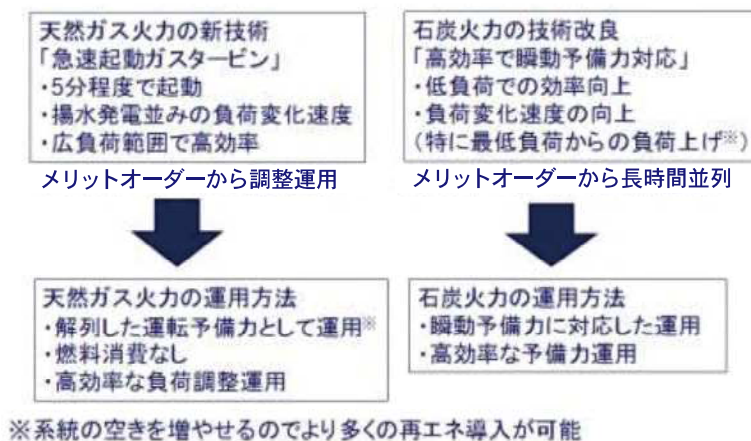


図6. 火力機に求められる再生可能エネルギーの出力変動に対するバックアップ運用技術

うな機能が求められる一方、石炭火力には発電している状態から急激な負荷変化に対応することが求められる（瞬動予備力対応）。また、瞬動予備力で運用される場合は石炭火力も部分負荷での運用となることから、低負荷での発電効率の向上も必要となる。

4. おわりに

本報告では、太陽光発電の出力変化が火力発電や揚水発電の運用に与える影響を、メリットオーダーの検討に基づき検討した。太陽光発電が大量に導入された場合、天然ガス火力には急速で起動できる性能や早い負荷変化速度が求められ、石炭火力には負荷変化速度の向上に加え、低負荷時の発電効率の向上等が求められることを紹介した。今後、再生可能エネルギーを主力電源化していく際にも、電力システムの運用には火力発電の調整力が必要であることから、大量の再生可能エネルギーを受け入れるためにも火力発電の役割が評価されるとともに、技術開発により火力発電の性能を進めることが必要である。なお、本報告では文献 [7] での検討内容に、火力機に求められる機能を追加して整理したものである。

参考文献

- [1] エネルギー基本計画 平成 26 年 4 月
<http://www.meti.go.jp/press/2014/04/20140411001/20140411001-1.pdf>
- [2] 長期エネルギー需給見通し 平成 27 年 7 月
経済産業省
http://www.meti.go.jp/press/2015/07/20150716004/20150716004_2.pdf
- [3] 新しいエネルギー基本計画の概要
<http://www.meti.go.jp/press/2018/07/20180703001/20180703001.html>
(平成 30 年 10 月 5 日 最終アクセス)
- [4] 過去の電力需要実績 経済産業省ホームページ
- [5] トマ・ヴェラン、エマニュエル・グラン
「ヨーロッパの電力・ガス市場 第 7 章 卸売市場」より ISBN978-4-535-55747-5
- [6] 日本の経済・エネルギー需給見通し 日本エネルギー経済研究所 2015.12.18
- [7] 電力中央研究所報告 M15009 平成 28 年 6 月

