

一般水力発電の設備利用率の時系列推移に関する検討

永富 悠*

要旨

水力発電は再生可能エネルギー電源の中でも、日本の電源構成において最も大きな割合を占めるものである。豊水か渇水かによって発電量が影響を受けるものの、水力発電の発電パターンは安定的であり、いわゆる低炭素のベースロード電源として活用されている。我が国における一般水力発電所は 1970 年以降で設備容量が約 500 万 kW 増える一方で、発電量は各年で変動があるものの設備容量は増加していない。このように設備容量と発電量の増加の度合いに差が生じる要因として、経年劣化等、時系列的に設備容量あたりの発電量が減少していくような何らかの事象が起きていた可能性が考えられる。本稿ではこの経年劣化など時間的な要因が一般水力発電に及ぼす影響について検討する。具体的には一般電気事業者の一般水力発電所の設備利用率に関して、「出水率」とタイムトレンドを用いることで設備利用率に対する「出水率」及び「時間」による影響について分析した。

分析結果より事業者毎にばらつきは見られるが、出水率にかかる係数は概ね 0.4 程度であり、出水率が 1 ポイント増加すると設備利用率が 0.4% 増加する計算になる。時間に影響する係数であるタイムトレンドを見ると -0.39 から -0.14 とばらつきがあるものの、いずれも負であるため時間の経過に伴って設備利用率が単調減少していく可能性を示唆している。これは毎年 0.14~0.39 ポイント程度、設備利用率が下押しされることを示唆しており、10 年、20 年という単位で考えると現行の設備利用率 40% 前後に対して 5% を越える水準で低下していく可能性もあり無視できない効率の低下幅になると考えられる。この要因としては水力発電所内のタービンの経年劣化による効率の低下、土砂の堆積による発電量の低下、更に開発適地の減少にともなう効率性の低減等の要因が考えられる。一般水力発電所の中には戦前から段階的に開発・建設が進んでおり、技術の進歩、各事業者の継続的なメンテナンスが努力もある中でも、やはり時間的な影響は一定程度顕在化してきているものと考えられる。

各電力会社が所有する一般水力発電所の運転開始年からの経過年数について、発電所出力により加重平均した値とタイムトレンド係数の相関をとると、相関係数は -0.629 となり運転後の経過年数とタイムトレンド係数について一定の相関が見られる。これより、設備改修を行っていない古い発電所を抱える事業者程、設備利用率の低下に悩まされる可能性があることが示唆される。これを抑えるためには、継続的な保守と設備更新が必要と考えられるが、実績として一般電気事業者の修繕費の総額が 1990 年代半ばをピークに圧縮される傾向にあり、また、昨今の電気料金の値上げ申請において厳しい審査を受けている中では追加的な投資、保守余力を捻出することが厳しい可能性が考えられる。更に、同審査において発電量に係る変動要因として異常気象による影響の可能性が提起される等、将来的な検討課題についても問題提起されているところである。

再エネの中でも最も安定的な出力が期待される水力発電であるからこそ、丁寧に目を配っていかなければ発電量を維持することも難しい可能性がある。将来的な影響の大きさを測ることは難しいが、貴重な低炭素ベースロード電源の予想外の発電量減はエネルギー基本計画の再生可能エネルギー目標に思わぬ陰を落としかねない。

* (一財)日本エネルギー経済研究所
化石エネルギー・電力ユニット 電力・スマートコミュニティーサブユニット 電力グループ 研究員

1. 一般水力発電の発電量と設備容量の推移

水力発電は日本の電源構成において最も大きな割合を占める再生可能エネルギー電源である。水力発電は豊水か渇水かによって発電量が影響を受けるものの、発電パターンは安定的であり、いわゆる低炭素のベースロード電源として活用されている。現在議論が進んでいるエネルギー基本計画においては、再生可能エネルギーの拡大を目指すとしている。その中で再生可能エネルギーは太陽光発電、風力発電が中心になると考えられるが、野心的な数値的な目標を達成するためには再生可能エネルギー発電の発電量をまさに土台として堅実に支えている水力発電の着実な運用があってこそのもと考えられる。

水力発電にはいわゆる一般水力発電と、蓄電池としての役割を果たす揚水式水力発電に大別される。また、一般水力発電の中でも流れ込み式（自流式）発電、調整池式発電、貯水池式発電があり、電力需要の変化にも対応した発電方式も含まれている。戦後、我が国が発電設備の開発を進めるにあたり、水力発電が発電設備の中心であった。1963年度に初めて火力発電設備出力が水力発電設備出力を上回り、「火主水従」の発電形態に移行してきた後も大規模な水力発電所の開発ペースは鈍りつつあるものの全体として堅実に発電量を維持している。また、石油危機以降においては電力需要の変化に伴い、柔軟に対応可能な揚水式水力発電の開発が進んできている。

図1-1は水力発電の中でも一般水力発電所の設備容量と発電量の推移を示したものである。1970年以降で設備容量は約500万kW増えた一方で、発電量は各年で変動があるものの設備容量は増加していない¹⁾。この要因についていくつかの仮説が考えられる、一つは一般水力発電の中でも調整用に用いられる調整池式発電、貯水池式発電が増えたために設備容量は発電量が伸びなかった可能性であり、もう一つは経年劣化等、時系列的に設備容量あたりの発電量が減少していくような何らかの事象が起きていた可能性である。前者については、電力土木技術協会データ²⁾より、設備容量ベースで一般電気事業者の自流式発電が一般水力発電全体に占める割合を見ると、1970年は約19%、2011年は約23%となっており、調整用発電設備の容量ベースでのシェア増はない。むしろ自流式の設備容量シェアが増加しているにもかかわらず一般水力発電全体での発電量は横ばいであり、自流式発電の設備利用率が徐々に低下している可能性が示唆される。このことも踏まえて、本稿では後者の経年劣化など時間的な要因が一般水力発電に及ぼす影響について検討することとした。

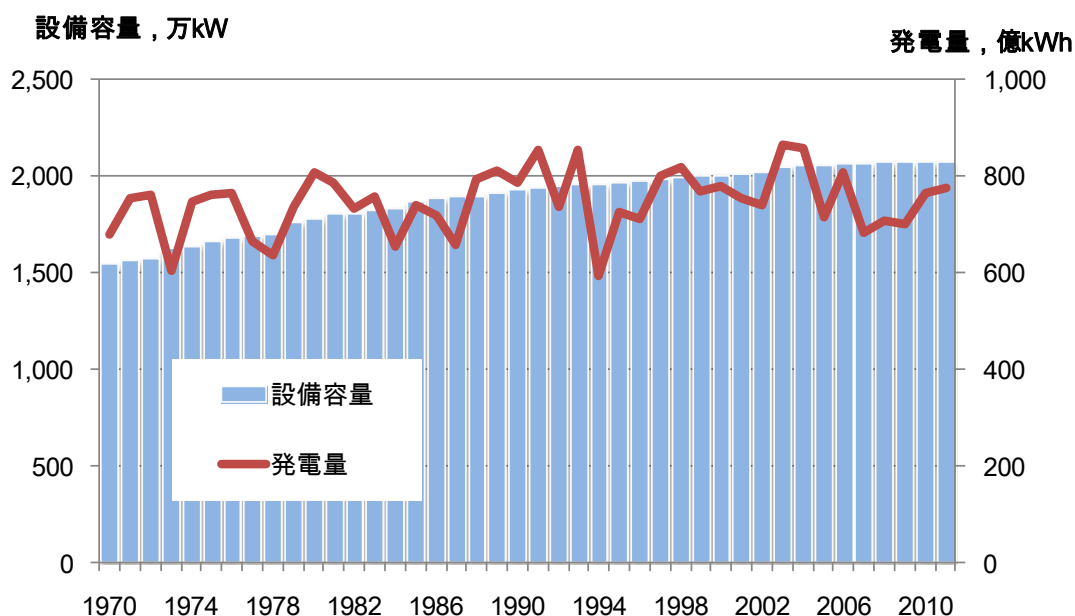


図1-1 一般水力発電所の設備容量と発電量（一般電気事業者計）

（出所） 経済産業省資源エネルギー庁「エネルギー白書」より作成

¹ 電気事業連合会 発電の仕組み 水力発電 <http://www.fepc.or.jp/enterprise/hatsuden/water/>

2. 一般水力発電の設備利用率の推移と分析手法

一般水力発電所の発電量は水資源の影響を大きく受ける。つまり、豊水の年には十分な発電を行うことができる一方で、渇水時は期待されるほどの発電ができないことになる。このため発電量は年、季節により変動がある。この変動を表したものが出水率²である。発電量を時系列で分析するためには、この季節、天候要因である出水率を加味する必要がある。図2-1は出水率と設備利用率との関係を表したものである。図より、1980年代までは出水率と設備利用率の動きが似ているように見受けられるが、1990年代半ば頃から出水率の動きと設備利用率の動きに乖離が見られる。これより出水率とは関係のないところで設備利用率が右肩下がりになり、発電量が徐々に落ちている可能性が考えられる³。

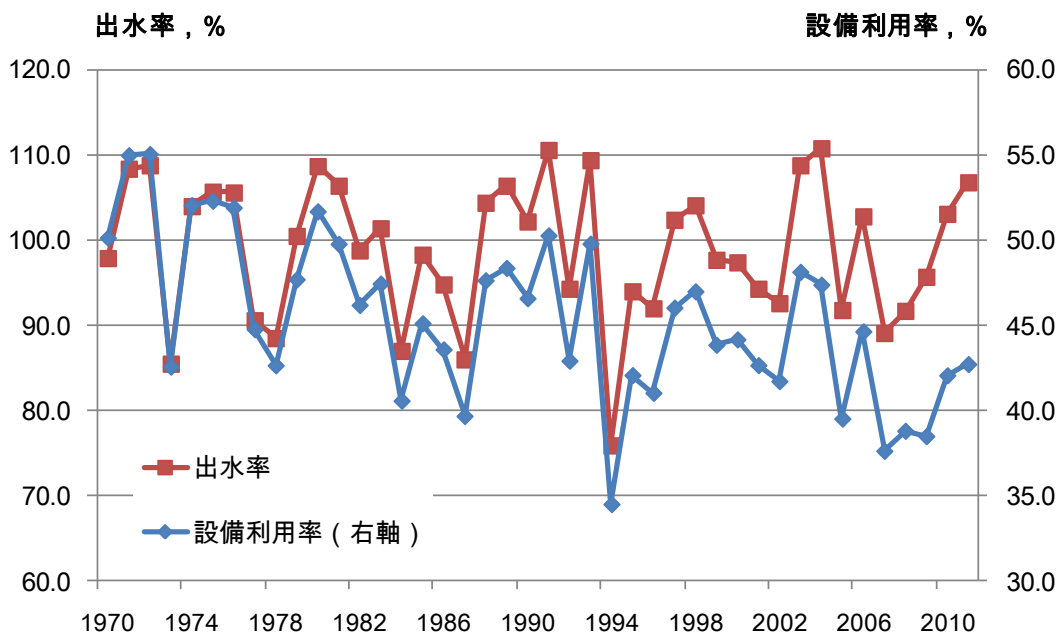


図2-1 一般水力発電所の設備利用率と出水率の推移（一般電気事業者用⁴）

（出所） 経済産業省資源エネルギー庁「エネルギー白書」、電気事業連合会「電気事業のデータベース」より作成

そこで、本稿では一般電気事業者の一般水力発電所の設備利用率に関する影響について出水率と時間的な要素を分けて分析するために「出水率」とタイムトレンドの2つの変数を用いて分析した。これら2つの独立変数を用いてシンプルな重回帰分析を行うことで設備利用率に対する「出水率」及び“時間”による影響について分析を行う。回帰分析の式は下式のとおりである。

$$y_{i,t} = a + bx_{i,t} + cTIME + u_{i,t} \quad (1)$$

y_t ：設備利用率、 x_t ：出水率、 $TIME$ ：タイムトレンド、 u_t ：誤差、 i ：電力会社、 t ：年
 a ：定数項、 b ：出水率にかかる係数、 c ：タイムトレンドにかかる係数

また、電気事業者毎の特徴から何らかの示唆を得るために、一般電気事業者毎に分析するものとする。図2-2は一般電気事業者毎の一般水力発電所の設備利用率の推移を示したものであり、この値と一般電気事業者毎の出水率の時系列データ^④を元に分析する。

² 出水率＝自流式可能発電電力量／平均可能電力量 平均可能電力量は、平成13年度以前は昭和17年度からの58ヵ年平均。平成14年度以降は至近の30ヵ年平均としている。

³ EIAデータ^④より、1990年代と現在を比較すると米国、カナダにおいても、日本ほど顕著ではないが設備利用率が若干右肩下りの傾向がある。一方で、欧州や中国はほぼ横ばいとなっている。

⁴ 一般電気事業者が所有するものに加えて電源開発、公営、特定電気事業者、その他卸が含まれる。

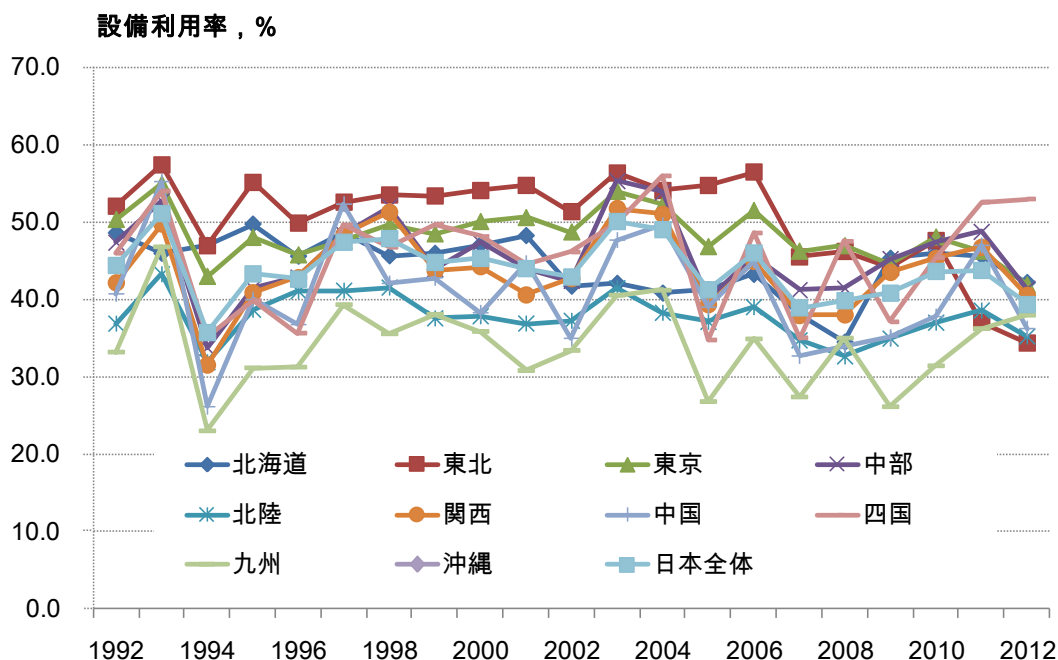


図2-2 一般水力発電所の設備利用率（一般電気事業者別）

（出所） 電気事業連合会「電気事業のデータベース」、資源エネルギー庁電力・ガス事業部「電源開発の概要」⁽⁵⁾より作成

3. 設備利用率に関する分析結果

一般電気事業者について一般水力発電所の設備利用率及び、出水率⁽³⁾を元に重回帰分析を行った結果を示す。データの制約もあるため分析期間は1992年から2012年までの20年とする。ただし、東北電力については2011年に新潟・福島豪雨のために新潟県、福島県の水力発電所において多数の水力発電所が停止し、その影響が2012年も続いたためこの期間は除外する⁽⁶⁾。また、別途、日本全体の値についてはエネルギー白書のデータを元に1970年から2010年までの期間での分析も参考として行った。分析結果は以下の表のとおりである。

表3-1 重回帰分析による各係数の結果一覧

会社名	出水率係数: \hat{b}	タイムトレンド 係数	定数項	F 値	自由度調整 済み R ²	備考
日本全体	0.455** (21.97)	-0.225** (-7.30)	2.29 (1.06)	252.7**	0.965	注 1
北海道	0.382** (10.52)	-0.277** (-6.18)	14.85** (3.55)	86.6**	0.895	
東北	0.529** (10.72)	-0.304** (-5.27)	8.27 (1.57)	69.7**	0.884	注 1
東京	0.435** (10.41)	-0.243** (-5.36)	13.58** (3.25)	61.8**	0.859	
中部	0.453** (19.25)	-0.239** (-5.39)	9.66** (4.05)	185.3**	0.949	
北陸	0.345** (12.22)	-0.179** (-5.28)	9.98** (3.36)	87.6**	0.897	

関西	0.454** (19.78)	-0.187** (-4.52)	5.29* (2.22)	195.7**	0.951	
中国	0.473** (29.00)	-0.395** (-10.16)	10.70** (5.95)	433.3**	0.977	
四国	0.439** (17.98)	-0.136* (-2.27)	8.784** (3.31)	164.2**	0.942	
九州	0.382** (21.39)	-0.272** (-6.37)	7.34* (3.72)	230.9**	0.958	
日本全体 (参考)	0.461** (27.81)	-0.207** (-18.2)	4.30** (2.55)	622.5**	0.969	注2

(出所) 経済産業省資源エネルギー庁電力・ガス事業部「電源開発の概要」より作成。日本全体(参考)のデータは「エネルギー白書」より作成

(注) 注1. データ期間は1992-2010、注2. 一般電気事業者以外も含む、データ期間は1970-2010
沖縄電力は一般水力発電所を所有していない。下段括弧内はt値、*は5%水準、**は1%水準で有意。単位根検定済み

表3-1より事業者毎にばらつきは見られるが、出水率にかかる係数は概ね0.4程度である。これは、出水率が1ポイント増加すると設備利用率が0.4%増加する計算になる。また、時間に影響する係数であるタイムトレンド係数を見ると-0.39から-0.14とばらつきがあるものの、いずれも負であるため時間の経過に伴って設備利用率が単調減少していく可能性を示唆している。これは毎年0.14~0.39%程度、設備利用率が下押しされることを示唆しており、現行の設備利用率が40%前後であるのに対して、今後10年、20年という単位で考えると5%を越える水準で低下してしまう可能性もあり無視できない設備利用率の低下幅になると考えられる⁵。

この要因としては水力発電所内のタービンの経年劣化による効率の低下や、土砂の堆積による発電量の低下、さらに開発適地の減少に伴う効率性の低減等の要因が考えられる。一般水力発電所の中には戦前から段階的に開発・建設が進んでおり、技術の進歩、各事業者の継続的なメンテナンスが努力もある中でも、やはり時間的な影響は一定程度顕在化してきているものと考えられる。

4. 設備利用率の時間的変化に関する考察

分析結果より一般水力発電所の設備利用率は時間とともに低下している可能性が示唆された。本章では設備利用率に影響を及ぼすと考えられる事項について時間的な変化・影響を整理するとともに、それらの設備利用率に対する影響について検討する。具体的には運転年数の長期化による影響、及び水力資源開発の進展に伴う開発条件の困難化の可能性について検討する。

4-1 発電所の運転年数と設備利用率低下について

前章で示した通り、設備利用率の低下率は電気事業者毎でばらつきがある。この要因として運転年数の違いが考えられる。図4-1は各電力会社が所有する一般水力発電所の運転開始年からの経過年数⁶について、発電所出力を元に加重平均した値と、先の分析で得られたタイムトレンド係数の関係をプロットしたものである。図4-1において、加重平均経過年数とタイムトレンド係数の相関係数は-0.629となり、運転後の経過年数とタイムトレンド係数について一定の相関が見られる。大規模な改修を行わずとも日々の修繕のあり方により設備の劣化度合いも変わってくるのが考えられるため経過年数とタイムトレンドの関係について一概には言えないが、設備改修を行っていない古い発電所を抱える事業者程、設備利用率の低下に悩まされる可能性があることが示唆される。

⁵ 仮にタイムトレンド係数0.3で20年経過すると設備利用率が6%程度低下する可能性が示唆される。これは2011年の一般水力発電の発電量777億kWh(設備利用率42.7%)をベースにすると、6%低下で発電量が約110億kWh程度失われることになる。

⁶ 改修が実施された発電所については改修後からの経過年数をカウントする。

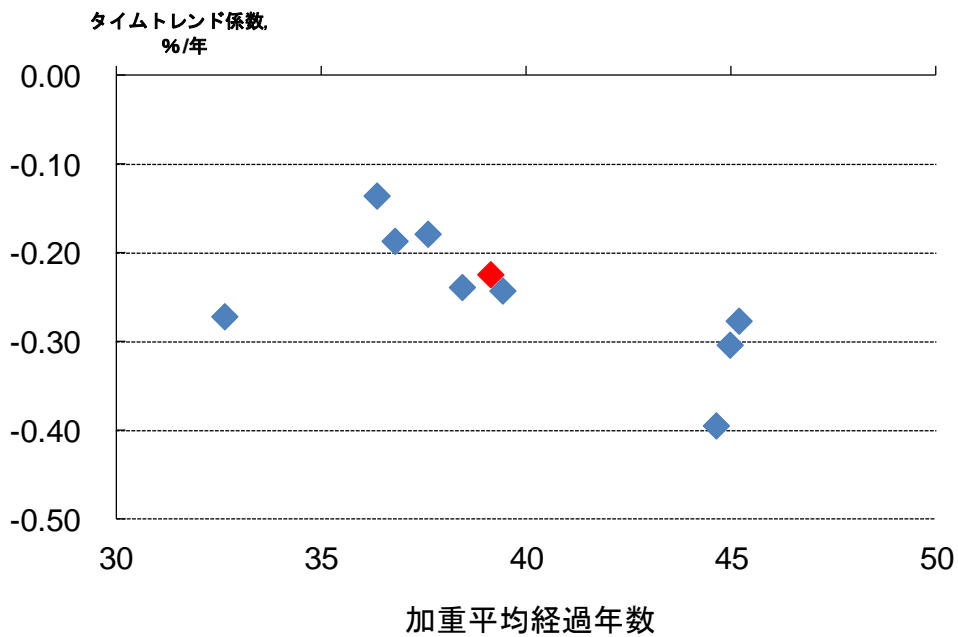


図4-1 タイムトレンド係数と加重平均経過年数

(出所) 電力土木技術協会「水力発電所データベース」より作成
(注) 図中の赤で示されたプロットは日本全体の値

4-2 資源開発に伴う大規模水力資源の開発困難化について

資源開発は一般的に開発容易な地点から段階的に進み徐々に条件が厳しくなっていく。水力発電についても効率的な発電が可能な場所を中心に大規模な開発が進んできたものと考えられる。一方で、技術の進歩によって昔は開発が難しかった地点においても、現代であればより効率的な開発が可能となる可能性も考えられる。図 4-2 は、一般電気事業者が所有する一般水力発電所について、最初に運転が開始された年数について設備規模別に表したものである。

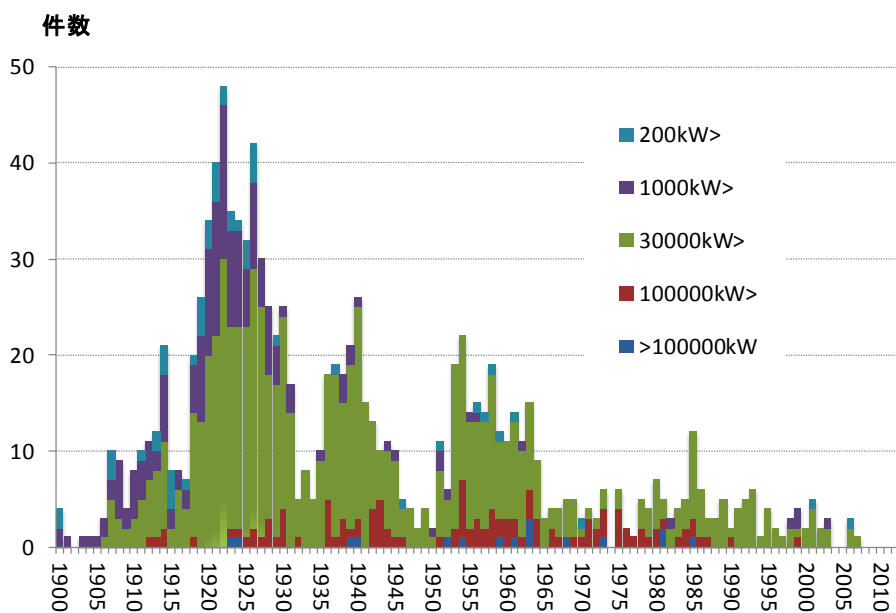


図4-2 運転開始件数の時系列推移 (設備規模別)

(出所) 電力土木技術協会「水力発電所データベース」より作成

先に述べた通り大規模に開発可能な地点は既に開発してしまっているために、時間的な傾向として徐々に開発件数が減少し、設備規模も小規模化する傾向が窺える。コストの面では設備規模が小規模化することで、kWあたりの投資費用が上昇してきていると考えられるが開発の困難化や小規模化に伴って設備利用率が低水準となるか否かをマクロ的なデータで観測することは難しい。むしろ小規模化によってkW単価が上がる傾向にあるため、設備利用率を高めてkWh当たりの発電コストを下げることが求められると考えられる⁷。

我が国では将来的に大規模な水力の開発は難しいと考えられるため、全体として設備利用率を高めていくためには大規模設備については既存のものへの改修に努め、開発可能性の高い小規模設備についてはより設備利用率の高い中小水力発電の開発を進めて水資源の効率的な利用を進めることが重要になると考えられる。

4-3 設備利用率を維持、向上させるための対策について

図4-3（左図）は、有価証券報告書⁷の水力発電の修繕費データを水力発電所の単位出力あたりにしたものである。有価証券報告書の修繕費は水力発電の単位で示されているため揚水発電を含む。揚水発電は出力規模が大きいため、揚水発電の導入が進んだ1970年～2000年までの間は結果的に単位出力あたりの修繕費もある程度抑えられてきたと考えられるものの、1990年代半ばをピークに減少傾向にある。また、図4-3（右図）の修繕費の総額ベースでも1990年代をピークとする傾向にある。点検等の合理化の効果もあると思われるが、総額として減少が続いていることは設備保守、経年劣化防止対策を余裕を持って行うという観点からは良い話ではない。

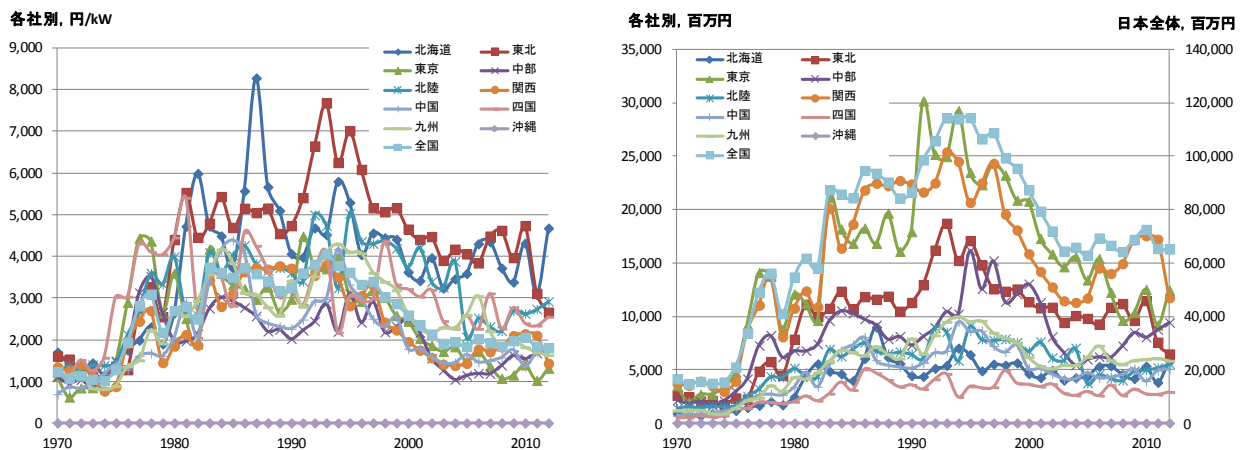


図4-3 水力発電所の修繕費の推移（左図：水力発電所単位出力当たり、右図：総額）

（出所） 一般電気事業者各社「有価証券報告書」より作成

（注） 図の数字は名目額だが、仮にGDPデフレーターで実質化しても傾向は変わらない。

他の発電設備と同様に安定的な出力が期待される水力発電所についても継続的な努力がなければ、設備は時間とともにその効率性を失っていくということは分析するまでもなく理解できることである。しかし、一般電気事業者を巡る今の状況は厳しく、設備投資、修繕費の計画については電気料金の値上げ申請（供給約款変更認可申請）にあたり総合資源エネルギー調査会総合部会電気料金審査専門委員会において各社の計画について厳しい審査が進められている。東京電力を始め、近年値上げ申請を行った事業者の中には水力発電所の修繕費を増額するところもあれば、減額を余儀なくされる企業もあるといった形となっており⁽¹⁰⁾、厳しい審査の中でも貴重な水力発電の資源活用を模索しているところも窺える。

⁷ コスト等検証委員会⁽⁸⁾においても一般水力のプラント規模を1.2万kW、設備利用率を45%としているのに対して、小水力はプラント規模を200kW、設備利用率を60%としている。経済産業省資源エネルギー庁「包蔵水力調査」⁽⁹⁾を見ても小規模なものほど設備利用率は高い。

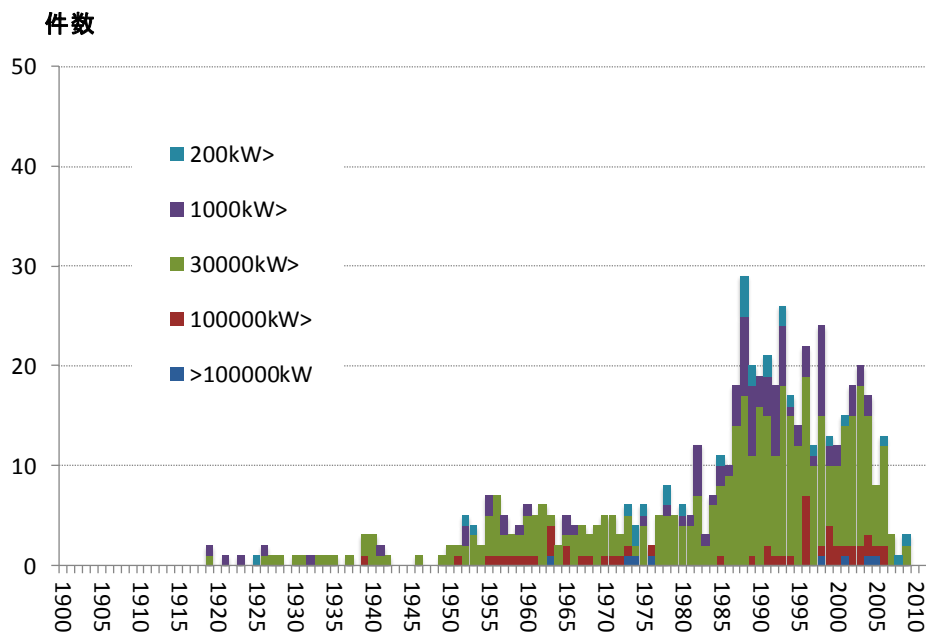


図4-4 設備改修が行われた発電設備の運転開始件数の時系列推移（設備規模別）

（出所） 電力土木技術協会「水力発電所データベース」より作成

また、修繕とは別に大幅改修、設備投資という形で発電設備の入れ替え等を行い、設備利用率の低下を抑えている事例も考えられる。図4-2より、1920年前後に水力発電所の運転開始件数がピークに達したのに対して、図4-4より改修された発電所は1990年前半から増加しており、当初の設備の運転開始からおよそ60から70年程度の運転期間を経て改修された設備が多いことが推測される。データの制約もあると考えられるが、リーマンショック前後からは新たに改修された発電設備数は減少している。また、1920年代に続いて1940年代に運転開始した設備も多数あり、改修サイクルを70年程度と見れば、これらの設備についても順次改修が必要になることが考えられる。改修にかかる設備投資について、現状では原子力発電を持つ事業者は原子力発電所の安全対策に多くの資本を振り向けることとなり他の発電所への余力が削られる傾向にあるため、先送りされる可能性が考えられる。原発の停止に伴う化石燃料輸入額の増加の中で電気料金の上昇を抑えるために追加的な投資、保守余力を削る傾向にあることはやむを得ない部分もあるが、設備利用率の低下等の長期的な影響が懸念される。

4-4 今後検討すべき事項に関する示唆

総合資源エネルギー調査会総合部会電気料金審査専門委員会において、水力発電について中部電力から興味深い指摘があった⁽¹⁾。同社は料金の申請にあたり、水力発電所の発電電力について発電電力量の見通しを過去10年平均から過去3年平均として申請していた。これは、①近年、短時間の集中豪雨が発生するケースが増加しており、出水に伴う発電機停止による溢水電力量⁸実績が増加していること、②水車発電機保守の効率化に伴う作業停止量の一時的減少（H14～H19）の反動があることを理由として、直近3年が実力であると主張していた。審査の結果、この主張は受け入れられず、従来通りの至近10年平均として原価に参入されることとなったが、この中部電力の指摘は今回の分析に関して興味深い示唆を与えてくれた。それは、技術・アイデアによってより効率的に保守点検を行うことでコストダウンしつつ設備利用率を向上させる可能性があること、また、設備の劣化とは別に異常気象が水力発電の発電量に影響を及ぼす可能性があることである。この場では中部電力が直面した事象が気候変動の影響であるかを論じることはできないが、2011年の東北電力の大雨の例も踏まえて鑑みるに、やはり今後異常気象の発生頻度が上がる可能性があるのであれば、安定的と考えられる水力発電所の運転に対し

⁸ 設備の補修作業・事故・出水影響などの原因により、発電に使用されないで溢流を生じた（下流にゲート放流した）場合の水量を電力量に換算したもの。

でも何らかの形で影響をおよぼす可能性があるとも考えられる。

安定的な再生可能エネルギー電源としての役割を期待される水力発電であるが、将来に渡っても今と同じように発電できることを楽観的に期待するのではなく、設備の劣化、気象の影響等も踏まえて継続的に発電所の効率を維持できるように考えていくことが必要なのではないだろうか。

5. まとめ

本稿では一般水力発電所の発電量について時系列での変化に関する分析を行った。特に設備利用率に着目してみると出水率以外の時間的な要素によって利用率が低下していく可能性が示唆された。他の発電設備と同様に水力発電も徐々に設備の劣化等が進むと考えられるため、本稿が今後の保守、設備投資のあり方等について何らかの検討材料となれば幸いである。

エネルギー基本計画の議論において、“電源構成”における再エネのシェアが大きな注目を浴びると考えられる。その中でも依然として水力発電は再エネの柱の一つであり着実に発電してくれることが期待される。水力は特段の措置を講ずることがなくても、安定的に発電してくれるものであると考えがちであるが、本稿で示したとおり経年劣化の影響も少なからずあると考えられる。一般水力発電についても、しっかりとした修繕計画、投資計画が必要になることは改めて心に留めておく必要があるのではないかと。また、気候変動の影響についても今後注視していく必要があるのではないかと。再エネの中でも最も安定的な出力が期待される水力発電であるからこそ、丁寧に目を配っていかなければ発電量を維持することも難しい可能性がある。将来的な影響の大きさを測ることは難しいが、貴重な低炭素ベースロード電源の予想外の発電量減はエネルギー基本計画の再生可能エネルギー目標や温室効果ガス削減目標の達成に思わぬ陰を落としかねない。

6. 参考文献

- (1) 経済産業省資源エネルギー庁、「平成 24 年度エネルギーに関する年次報告（エネルギー白書 2013）」
- (2) 電力土木技術協会、「水力発電所データベース」、<http://www.jepoc.or.jp/hydro/>
- (3) 電気事業連合会、「電気事業のデータベース」、<http://www.fepc.or.jp/library/data/infobase/index.html>
- (4) U.S. Energy Information Administration (EIA), “International Energy Statistics”
- (5) 経済産業省資源エネルギー庁電力・ガス事業部、「電源開発の概要」（各年版）
- (6) 東北電力プレスリリース、「水力発電所の復旧状況について」、(2011 年 8 月 10 日),
http://www.tohoku-epco.co.jp/news/normal/1183453_1049.html
- (7) 一般電気事業者各社、「有価証券報告書」（各年版）
- (8) エネルギー・環境会議、「コスト等検証委員会」各種資料
- (9) 経済産業省資源エネルギー庁「包蔵水力」平成 22 年 3 月 31 日現在
- (10) 総合資源エネルギー調査会 電力・ガス事業分科会 電気料金審査専門小委員会, 各種資料
- (11) 総合資源エネルギー調査会 電力・ガス事業分科会 電気料金審査専門小委員会, 「「中部電力株式会社の供給約款変更認可申請に係る査定方針案」について」, (2014 年 3 月 14 日)
- (12) 松尾雄司, 山口雄司, 村上朋子, 「有価証券報告書を用いた評価手法による電源別長期発電コストの推移」, 『エネルギー経済』, 39(4), (2013), pp.48-66.

お問い合わせ : report@tky.ieej.or.jp