

研究指導 石光 真 教授

## 既存ダムを利用した発電所増設の費用便益分析 —ダムと発電所を新設した場合と比較して—

中村 謙太

### 1. はじめに

日本で水力発電が始まったのは1888年、宮城県仙台市にある三居沢発電所が記録されている中で日本初の水力発電所とされている。この発電所は宮城紡績の自家用発電用として利用されており、現在も所有は東北電力に移ったが稼働を続けている。また、日本初の事業用発電機とされているのが、京都府京都市にある蹴上発電所であり、1891年に運用が開始された。その後送電技術が発達したことで長距離での送電が可能になった。

2011年の東日本大震災による原子力発電所の停止により、もともと電力構成比の高かった火力発電にますます頼らざるを得ない状況になった。火力発電は多くの二酸化炭素を排出し、地球温暖化などの環境問題に悪影響を及ぼす。そこで必要とされたのは太陽光、風力、水力などといった再生可能エネルギーである。これは二酸化炭素の排出がなく、燃料を国外から輸入する必要もないので、国産のエネルギー源となる。再生可能エネルギーのなかでも水力は風力や太陽光と比べ安定した電力供給が可能である。そのため水力発電は今後の日本の電力において大きな役割を担うと予想される。

### 2. 水力発電について

#### 2.1 水力発電とは

水力発電とは水が高いところから低いところに落ちる際のエネルギーを用いて、水車を回し発電する方法である。

#### 2.2 水力発電の長所

水力発電の長所として一つ目は、安定した電力供給力がある。自然環境の影響を大きく受ける風力や太陽光に比べ、渇水の問題を除けば一定の電力を安定して供給できる。

二つ目は、長期的な稼働が可能ということがある。水力発電所の耐用年数は再生可能エネルギーのなかで最も長く、一度建設することでその後数十年にわたり発電が可能となる。

三つめは発電時に二酸化炭素を排出しないことがある。環境への負荷が少ないクリーンエネルギーであるといえる。

四つ目は、需要に追従した発電が可能ということがある。電力需要の大きい時間帯や季節ごとにダム

の水を調節して放流し発電することができるため電力需給に対応することができる。

#### 2.3 水力発電の課題

水力発電の課題として一つ目は発電所を設置するにあたり、川や周辺の土地の長期的な調査が必要ながある。水力発電事業を開始するにも調査に多くの時間がかかってしまう。

二つ目として、地域からの理解を得るということがある。水力発電所を建設するにあたり、環境への影響や水利権の調整といった問題があり、地域住民からの理解の獲得が必要不可欠となっている。

#### 2.4 水力発電の種類

水力発電所の発電方法の種類についても様々なものがあり、落差を生じさせる方法や水の利用方法によって分けられる。落差を生じさせる発電形式として以下のものがある。

1. 水路式は、川の上流に小さな堤をつくって水を取り入れ、長い水路を使って適当な落差が得られる場所まで、水を導くという形式である。発電のための水量は川の状態に左右される。
2. ダム式は、川幅が狭く兩岸の岩が高くなった場所などにダムを築くことで川をせき止め水位の高い人工湖をつくり、その落差で発電する形式である。
3. ダム水路式は、ダム式と水路式を組み合わせた発電形式であり、ダムに貯めた水を水路でより大きな落差を得られる場所に導くという形式をとる。

また、水の利用方法による発電方式の種類としては以下のものがある。

1. 流れ込み式は、川の水をせき止めることなく、そのままの川の流れを利用する発電方式である。
2. 調整池式は、比較的小規模なダムに、夜間など消費電力の少ない時間帯に発電を控えて水を貯めこみ、電力需要の増加に合わせて発電を行う方式である。この方法での発電所は1日から数日といった短期間の水量を調節する。
3. 貯水池式は、調整池式より規模の大きいダムに、雪解けや梅雨などといった豊水期の水を貯え、電力需要の大きい夏や冬などに水を流し発電を行う方式である。この方式での発電

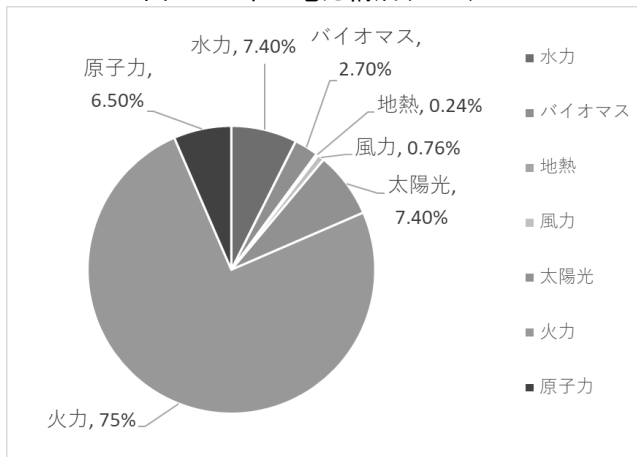
所は一年間を通しての水量を調節する。

- 揚水式は、発電所の上部と下部にダムをつかって貯水し、電力需要の小さい夜間などに火力発電所などの電気を使って下部の貯水池の水を上部の貯水池へポンプでくみ上げておき、電力需要の大きい時間に水を上から下へ流すことで発電する方式である。

### 2.5 水力発電実施状況

日本における水力発電の割合は約7.40%と、火力発電などと比べて低い割合となっている。

図 1 日本の電力構成(2019)



(出典) 認定NPO法人環境エネルギー政策研究所より著者作成

### 3. 発電所増設について

#### 3.1 発電所増設とは

発電所増設とは、既存のダムと水力発電所のある場所にさらに第二の水力発電所を設置することである。

#### 3.2 発電所増設の利点

発電所を増設することによる利点として、一つ目は、既存のダムを利用するため、大規模な開発が必要なく環境破壊や付近の住民の立ち退きなどの問題が起らないことがある。

二つ目は新たにダムを開発する必要がなくなるので、ダムを一から作る場合に比べ、開発費用・期間が削減・短縮される。

三つめは、増設前はダムからただ流すだけであった水を利用するため、ダムのより効率的な使用につながるということがある。

#### 3.3 発電所増設の事例

発電所増設の事例として、東北電力第二上野尻発電所がある。第二上野尻発電所は、既存の上野尻ダムを利用して作られた発電所である。

第二上野尻発電所が増設された理由として、既設の上野尻発電所が同じ水系内の上流、下流の発電所に比べ最大使用水量が少なく、水系全体の使用

流量の不整合になっており、効率的な水系運用といえなかったからである。

上野尻発電所と第二上野尻発電所の概要は以下の表のとおりである。

表 1 発電所概要

|        | 上野尻発電所               | 第二上野尻発電所             |
|--------|----------------------|----------------------|
| 運用開始   | 1958年                | 2002年                |
| 最大出力   | 52,000kW             | 13,500kW             |
| 最大使用水量 | 430m <sup>3</sup> /s | 100m <sup>3</sup> /s |
| 有効落差   | 14.1m                | 15.54m               |

(出典) 水力ドットコムより著者作成

### 4. 発電機について

#### 4.1 水車の種類

水力発電を行う上で重要なものとして、水の流れる力を回転する力に変える役割をもつ水車がある。その水車にはいくつか種類がある。

- フランシス水車は、最も多く使われている水車であり、特徴として水流を受ける羽根の部分が固定されていることがある。
- ペルトン水車は、高い水圧のかかった水を射出ノズルから勢いよく射出させ、それを水車の水を受ける部分であるバケットに当てることで回転する力を生み出す。
- カプラン水車は、水量によって水車の羽根の角度を変更することができるという特徴がある。
- バルブ水車は、カプラン水車と同様に羽の角度を変更できるという特徴と水の流れが軸に沿ってほとんど直線的になっているという特徴がある。

#### 4.2 水車の立軸・横軸

水車には水車の軸が地面に水平なものと垂直なものがあり、水平なものを横軸水車、垂直なものを立軸水車という。

#### 4.3 バルブ水車における立軸の利点

立軸バルブ水車を採用することにより横軸バルブ水車を採用する場合に比べ建設費が14%、発電所面積が30%、オーバーホール期間が1.5か月削減でき、年間発生電力が3%増大する。

### 5. 先行研究

森合(2017)では、ダムの堤高を高くすることであるかさ上げによる既存ダムを利用した水力発電の電力増強について費用便益分析をしていた。

以上の先行研究ではダムの堤高を高くすることによる費用便益比が算出されていたが、発電所の増設については触れられていなかった。

## 6. 研究目的

本研究の目的は、既存のダムを利用した発電所の増設の費用と便益を数値化、費用便益比を算出し、ダムと発電所を新設した場合の費用便益比と比べることで発電所増設の有効性を示すことである。

## 7. 費用便益分析

### 7.1 分析方法

分析するにあたり、既存ダムを利用した水力発電所を新たに設置する際の費用、便益を算出する。算出された費用と便益は現在価値化し、便益を費用で割ることで費用便益比(Cost Benefit Ratio、B/C)を算出する。

その後、ダムの建設費を含めた発電所新設の際の費用便益比を算出し、二つの費用便益比を比較する。

#### 7.1.1 費用の算出方法

費用の分析方法の手順として、まず発電所の規模である常時出力から建設費、廃棄費用、維持費を算出し、発電所の稼働年数と維持費をかけることで50年間稼働した場合の費用を算出する。その後、1年間の費用を算出する。

#### 7.1.2 便益の算出方法

便益の分析手段の手順として、常時出力と稼働時間、稼働日数、設備利用率から発電端を算出する。そして、発電端に施設内部利用率をかけ送電端を算出する。稼働年数や1kWあたりの売上価格とかけることで50年間稼働した場合の便益を算出する。その後、1年間の便益を算出する。

### 7.2 分析サンプル

水力発電所の費用、便益、モデル、ダムの費用を以下の表に示す。

表 2 発電所の増設の費用

|         |  |
|---------|--|
| 建設費     | 64 万円/kW                               |
| 設備の廃棄費用 | 建設費の5%                                 |
| 人件費     | 2千万円/年                                 |
| 修繕費     | 0.9%/年 (建設費における比率)                     |
| 諸費      | 0.1%/年 (建設費における比率)                     |
| 一般管理費   | 13.3%/年 (直接費における比率)                    |
| 所内率     | 0.4% (発電のために発電所内で使用する電力量が発電電力量に占める割合。) |

(出典)総合エネルギー調査会より著者作成

表 3 水力発電の便益

|                 |       |
|-----------------|-------|
| 1kWあたりの<br>売上価格 | 23.7円 |
|-----------------|-------|

1kWあたりの売上価格は東北電力の2018年度の電気事業営業収益を販売電力量で割った値である。

表 4 水力発電所のモデル

|       |          |
|-------|----------|
| 常時出力  | 15,000kW |
| 設備利用率 | 55%      |
| 稼働年数  | 50年      |

表 5 ダムの費用

|       |                 |
|-------|-----------------|
| ダム建設費 | 60,000,000,000円 |
|-------|-----------------|

### 7.3 計算式

#### 7.3.1 費用の計算式

建設費は1kWあたり64万円なので常時出力である15000kWをかけることで算出される。

$$640,000 \times 15,000 = 9,600,000,000 \text{円}$$

設備の廃棄費用は建設費の5%なので

$$9,600,000,000 \times 0.05 = 480,000,000 \text{円}$$

人件費は20000000円

修繕費は建設費の0.9%なので

$$9,600,000,000 \times 0.009 = 86,400,000 \text{円}$$

諸費は建設費の0.1%なので

$$9,600,000,000 \times 0.001 = 9,600,000 \text{円}$$

一般管理費は直接費の13.3%なので

$$(20,000,000 + 86,400,000) \times 0.133 = 14,151,200 \text{円}$$

$$\text{建設費、設備の廃棄費用、50年分の人件費・修繕費・諸費・一般管理費を足すことで50年間稼働した場合の便益が算出される}$$

$$9,600,000,000 + 480,000,000 + (20,000,000 + 86,400,000 + 9,600,000 + 14,151,200) \times 50 = 16,587,560,000 \text{円}$$

$$1 \text{年間の費用は}$$

$$16,587,560,000 \div 50 = 331,751,200 \text{円}$$

#### 7.3.2 便益の計算式

発電端は、常時出力に24時間と365日、設備利用率を掛けることで算出される。

$$15,000 \times 24 \times 365 \times 0.55 = 72,270,000 \text{kWh}$$

送電端は発電端に1から所内率を引いた施設内部利用率をかけることで算出される。

$$72,270,000 \times (1 - 0.004) = 71,980,920$$

送電端に1kWあたりの売電価格をかけ、さらに稼働年数をかけることで50年間稼働した場合の便益が算出される。

$$71,980,920 \times 23.7 \times 50 = 85,297,390,200 \text{円}$$

1年の便益は

85,297,390,200 ÷ 50 = 1,705,947,804円  
 算出された1年間の費用と便益を以下の式に当てはめると

$$B = 1,705,947,804$$

$$C = 331,751,200$$

$$B/C = \{B_0 + B_1/(1+r) + B_2/(1+r)^2 + \dots + B_{49}/(1+r)^{49}\} / \{C_0 + C_1/(1+r) + C_2/(1+r)^2 + \dots + C_{49}/(1+r)^{49}\}$$

$$= 5.14225059\dots$$

### 7.3.3 ダムの建設費込みの計算式

ダムの建設費を含めた費用は

$$60,000,000,000 + 16,587,560,000$$

$$= 76,587,560,000円$$

一年間の費用は

$$76,587,560,000 \div 50 = 1,531,751,200円$$

算出された1年間の費用と便益を以下の式に当てはめると

$$B = 1,705,947,804$$

$$C = 1,531,751,200$$

$$B/C = \{B_0 + B_1/(1+r) + B_2/(1+r)^2 + \dots + B_{49}/(1+r)^{49}\} / \{C_0 + C_1/(1+r) + C_2/(1+r)^2 + \dots + C_{49}/(1+r)^{49}\}$$

$$= 1.113723824\dots$$

## 7.4 分析結果

既存ダムを利用した発電所増設の費用便益比とダムと発電所を新設した場合の費用便益比は以下の表のとおりである。増設の際の費用便益比は5.14と1を大きく上回り、既存ダムを利用した発電所増設は有用だと示された。ダムと発電所を新設した場合の費用便益比は1.11と1上回っているものの、増設と比べ大きな便益は見込めないと判断される。

表 6 費用便益比

|       | 発電所増設 | ダムと発電所新設 |
|-------|-------|----------|
| 費用便益比 | 5.14  | 1.11     |

## 8. まとめ

本研究の目的は、既存ダムを利用した発電所増設の有効性をダムと発電所を新設した場合と比較して示すことであった。費用便益分析の結果、発電所増設による電力増強は、新たにダムと発電所を設置した場合と比べ有効であり、今後必要とされる再生可能エネルギーの増強の一つの選択肢になりうると考えられた。ただし、先行研究で示したとおり、発電所の増設以外にも、ダムのかさ上げという電力増強の方法があり、発電所増設・ダムのかさ上げそれぞれに必要とされる費用や土地環境があるため、ダムや発電所の周囲の地形や自然環境、近隣住民への影響などを考慮したうえで望ましい電力増強の方法を選択するべきだと考えられる。

## 9. 課題

本研究の課題点として一つ目は、1kWあたりの売

電価格は東北電力のデータのみから算出したものであり、他の電力事業者のデータは考慮されていないということがある。事業者ごとに売上価格は異なるため、発電所を増設する地域によって売上価格を変えて算出する必要がある。

二つ目は、1kWあたりの売上価格は50年間変わらないものと仮定して費用便益分析を行ったということがある。電気料金は、燃料価格や再生可能エネルギーの導入によるコストなどによって年々変化しており、予想が非常に困難である。そのため、発電所を増設する際の便益は、産油国の情勢や今後の再エネの導入状況などを予想することが出来ればより正確な値を算出できるだろう。

## 参考文献

- [1] 水力ドットコム/日本の水力発電の歴史  
<http://www.suiryoku.com/history/history.html>
- [2] 清水実咲季「会津における水力発電の歴史と活用」会津大学短期大学部産業情報学科経営情報コース 2015 年度卒業研究論文要旨集  
<https://www.jc.u-aizu.ac.jp/department/management/youshi/2015/13.pdf>
- [3] 経済産業省資源エネルギー庁/再生可能エネルギーとは/総論  
[https://www.enecho.meti.go.jp/category/saving\\_and\\_new/saiene/renewable/outline/index.html](https://www.enecho.meti.go.jp/category/saving_and_new/saiene/renewable/outline/index.html)
- [4] 経済産業省資源エネルギー庁/再生可能エネルギーとは/水力発電  
[https://www.enecho.meti.go.jp/category/saving\\_and\\_new/saiene/renewable/water/index.html](https://www.enecho.meti.go.jp/category/saving_and_new/saiene/renewable/water/index.html)
- [5] 関西電力/水力発電の概要/水力発電の種類  
[https://www.kepco.co.jp/sp/energy\\_supply/energy/newenergy/water/shikumi/method.html](https://www.kepco.co.jp/sp/energy_supply/energy/newenergy/water/shikumi/method.html)
- [6] 中部電力/再生可能エネルギー発電/水力発電のしくみ/発電方法の種類  
[https://www.chuden.co.jp/energy/renew/water/wat-shikumi/wat\\_hatsuden/](https://www.chuden.co.jp/energy/renew/water/wat-shikumi/wat_hatsuden/)
- [7] 認定 NPO 法人環境エネルギー政策研究所/2019 年(暦年)の自然エネルギー電力の割合(速報)/国内の全発電量に対する自然エネルギーの割合  
<https://www.isep.or.jp/archives/library/12541>
- [8] 二坂広美・鈴木健一「第二上野尻発電所新設工事への立軸バルブ水車・発電機の適用」ターボ機械第 32 巻第 11 号(2004)  
[https://www.jstage.jst.go.jp/article/tsj/32/11/32\\_11\\_667/pdf-char/ja](https://www.jstage.jst.go.jp/article/tsj/32/11/32_11_667/pdf-char/ja)
- [9] 高橋正宏「東北電力(株)第二上野尻発電所納入立軸バルブ水車・発電機」富士時報 Vol.76 No.9 (2003)  
[https://www.fujielectric.co.jp/company/jihou\\_archives/pdf/76-09/FEJ-76-09-558-2003.pdf](https://www.fujielectric.co.jp/company/jihou_archives/pdf/76-09/FEJ-76-09-558-2003.pdf)
- [10] 水力ドットコム/水力発電ギャラリー福島/上野尻第二上野尻  
<http://www.suiryoku.com/gallery/fukusima/kmnojiri/kmnojiri.html>
- [11] 関西電力/水力発電の概要/水車の種類  
[https://www.kepco.co.jp/sp/energy\\_supply/energy/newenergy/water/shikumi/waterwheel.html](https://www.kepco.co.jp/sp/energy_supply/energy/newenergy/water/shikumi/waterwheel.html)
- [12] 森合翔平「既存ダムのかさ上げによる水力発電発

展の可能性」会津大学短期大学部産業情報学科  
経営情報コース2017年度卒業研究論文要旨集

<https://www.jc.u->

[aizu.ac.jp/department/management/youshi/2017/18.pdf](https://www.jc.u-aizu.ac.jp/department/management/youshi/2017/18.pdf)

- [13] 総合資源エネルギー調査会/発電コスト検証ワーキンググループ(第6回会合)/資料2/各電源の諸元一覧(案)/一般水力  
[https://www.enecho.meti.go.jp/committee/council/basic\\_policy\\_subcommittee/mitoshi/cost\\_wg/006/pdf/006\\_06.pdf](https://www.enecho.meti.go.jp/committee/council/basic_policy_subcommittee/mitoshi/cost_wg/006/pdf/006_06.pdf)
- [14] 田原都市鑑定株式会社/鑑定コラム/発電所の売買利回り5%  
<http://www.tahara-kantei.com/column/column177.html>
- [15] 東北電力/2019年3月期決算短信(日本基準)(連結)  
[https://www.tohoku-epco.co.jp/ir/report/statement/pdf/2019\\_tan.pdf](https://www.tohoku-epco.co.jp/ir/report/statement/pdf/2019_tan.pdf)
- [16] 日本経済新聞 2007年8月30日  
「ダム建設費膨張9兆円」
- [17] 経済産業省資源エネルギー庁/日本のエネルギー2018「エネルギーの今を知る10の質問」/電気料金はどのように変化していますか。  
<https://www.enecho.meti.go.jp/about/pamphlet/energy2018/html/002/>