

東京発電の中小水力発電事業

Small Hydroelectric Power Project by The Tokyo Electric Generation Company

濱田督子*

1. 東京発電の概要

東京発電株式会社（旧姫川電力株式会社）の歴史は、1927年1月に姫川第七発電所建設の為、姫川水利使用許可申請書を提出するところからはじまる。

日露戦争の勃発による石油価格の高騰や、市街地における火力発電の規制が厳しくなったことにより、1911年以降日本の発電力は水主火従の時代となっていた。特に1914年に勃発した第一次世界大戦をきっかけに、産業用電力需要が激増し、水力発電の開発が焦眉の急となった。その後日本経済が不況に転じた為、好況期に多く計画・建設された水力発電所は電力会社の余剰電力となった。

そんな時代に計画された姫川第七発電所の建設は、日中戦争、第二次世界大戦下で日本の電力事業が大きな変動の時期に入り、終戦後まで開発が止まってしまうこととなる。姫川第七発電所（43,200 kW）は長い時を経て、1955年1月13日に営業を開始する。当時の状況を写真1に示す。

その後、姫川電力は1962年に赤谷川第二・第三発電所（3,100 kW, 2,400 kW）、1965年に土樽発電所（7,000 kW）の運転を開始する。



写真1 建設当時の姫川第七発電所

1951年5月1日、電気事業は再編成され、いわゆる9電力体制が発足した。当時の電源構成は水力発電70%、火力発電30%の水主火従であった。姫川第七発電所が運転を開始する1950年代後半から、日本の各電力会社は電力需要の増大に対して、米国の最新鋭火力発電技術の導入を進める。中東からの原油価格も安定したこともあって、1962年には水力と火力が逆転し、火主水従の時代を迎える。

高度成長期に入り、日本の電力需要が伸びる中、需要構造も変化し、ピーク最大が冬季夜間から夏季昼間に移行した。需要調整には、大容量水力電源の開発が必要となってきたが、技術的にも経済的にも難しい地点を残すだけとなっていった。一方、火力発電に比べて経済性が成り立たず、廃止される小水力発電も少なくなかった。（これらを再生しているのが、後述する再生事業である。）

電力会社が大規模水力開発を進めていく中、姫川電力は雨畑川、田ノ入、新小滝川発電所（12,000 kW, 7,400 kW, 3,300 kW）を建設した。更に、主に流れ込み式の中小水力発電所を譲り受け、保守拠点（茨城・三島・埼玉）を増やして、中小水力専門会社へと成長していった。1986年に社名を変更し、現在の東京発電株式会社となった。

60年代から90年代にかけての原子力開発に合わせた揚水発電所の建設が進み、日本の水力発電技術は、世界屈指となった。その技術は、高落差・大容量化を目指したもので、中小水力の技術は鈍化してしまう。

東京発電も譲り受けが一段落し、水力発電で培った発電技術を、NAS電池の保安監視業務、IPP火力発電所の建設技術協力、運転受託などの分野に拡げていった。

*東京発電株式会社 水力事業部 マイクロ水力グループ 主任

1992年6月の「環境と開発に関する国際連合会議（地球サミット）」において、気候変動枠組み条約が採択され、「地球が温暖化しつつあり、人類の排出した温室効果ガスが影響していること」が合意された。「省エネ」と「環境負荷の低いエネルギーの利用」が進められていく。

2003年「電気事業による新エネルギー等の利用に関する特別措置法（RPS法）」が施行された。その頃、東京電力㈱の社内ベンチャーとしてマイクロ水力発電事業が誕生する。この事業は、グリーン電力証書を取り扱う日本自然エネルギー㈱を経て、2005年に東京発電に事業譲渡される。

同時期には、水力発電所の効率的な運用を行うことが指向され、常磐興産㈱から横川発電所、埼玉県企業局から6発電所等を譲り受け、所有する発電所を増やした。東京発電の発電所数と出力の変遷を図1に示す。

2008年6月の「福田ビジョン」で2030年までに、電力の半分以上を再生可能エネルギーと原子力発電で供給する目標が示された。その後、2011年東日本大震災を機に日本の電力供給は大きな変換期を迎える。2012年には固定価格買取制度が施行され、再生可能エネルギーの推進が急激に進み、急速な変化と発展が求められることとなる。

2005年以降東京発電では17か所（合計2,550 kW）のマイクロ水力発電所を建設、高度経済成長期に廃止された3か所の発電所（合計420 kW）を

再生した。また、既存の17か所の発電所をリパワリングして合計3,200 kWの増出力を行った。

現在、東京発電が所有する中小水力発電所は77か所総出力18万6,820 kWで、年間約9億 kWhの電力を発電している。水力発電の運転保守技術を生かして、風力発電の運転保守受託も行っている。2019年に豊田通商㈱、㈱ユーラスエナジーHDからの出資を受け、更なる発展期を迎えている。

2. リパワリング事業

2.1 リパワリングによる増強

東京発電が所有する発電所の平均年齢は、近年新設したマイクロ水力発電事業や再生事業の発電所を含めても60歳であり、かなりの高齢化が進んでいる。一般的に水力発電所の実耐用年数は約60年と言われているなか、メンテナンスを丁寧に行い設備安全は保たれているが、効率性等を考えると多くの発電所が改修・改良工事を必要としている。

東京発電では、2006年に実施した常陸太田市にある賀美発電所（510 kW ⇒ 570 kW）を皮切りに、経済産業省の補助金等を利用して、計画的にリパワリングを進めてきた。最近では、固定価格買取制度を利用し年間数か所のペースでリパワリングを行っている。このような制度によって、発電設備一式の取替と土木設備の補強、建物の改修が可能となり、経年利用による弱点部も解消され、今後長期にわたる運転が可能となった。

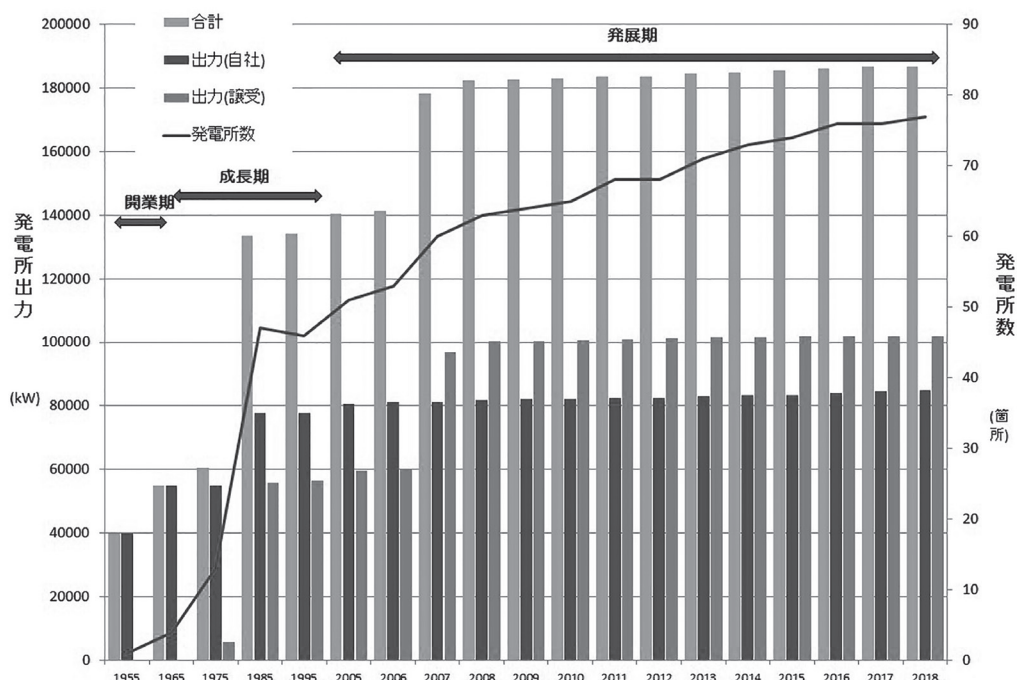


図1 東京発電の発電所数と出力の変遷

東京発電では、発生電力量を増加させる最適な水車選定や取水の規制緩和による河川水の高効率運用も検討した。その結果、リパワリング工事によって発電効率は平均13%アップし、年間の発電電力量3%増となった。保守簡素化の志向を取り入れることで、運転コストも低減されている。

2.2 リパワリング事例（白田川発電所）

白田川発電所は、静岡県東伊豆町に位置し、白田川と支流の川久保川から取水している発電所である。かつて電力需要の増加に伴い、河津川水力電気(株)と伊東水力電気(株)が共同で伊豆水力電気を立ち上げ、2台の水車発電機を有する発電所（運転開始当時1,200 kW）として建設し、伊豆送電系統の礎となっていた。

その後、水車発電機（1,000 kW）を増設し、周波数を60Hzから50Hzとする改造や増取水により、リパワリング前は3台の水車発電機（横軸ペルトン水車）で出力2,900 kWで運転していた。

1927年に運転を開始して90年近くが経過している為、建設以来使用している水車は、老朽化が著しく、設備運転保守上の問題も多く発生しており、抜本的な対策が必要であった。

リパワリング工事では、老朽化した設備を対象に水車発電機、制御装置類、遮断器、変電設備、発電所建屋を更新することとした。計画にあたっては、以下に留意した。

- ① 増kW及び増kWhによる生産性の向上
- ② 補機レス機器の採用により保守性を向上させランニングコストを軽減

水車型式別に発生電力量の試算比較をし、ペルトン水車（2輪4射）を選定した。発電機は効率とコスト、輸送上の加重制限等を比較し、回転数500 min⁻¹を採用した。

ペルトン水車は4射から2射にノズルを切換えることで、流量低下時に効率よく運転することが可能だが、その分導入コストおよび今後の保守コストが増加する為、費用対効果の観点からノズルの切換え制御については採用しないこととした。

静岡県建築基準条例第10条（がけ条例）に対応する為、建屋の位置を移動したことで、水圧鉄管の内発電所構内の埋設部から分岐管部の約14 mの部分をS字に延長した。水圧鉄管は管圧測定の結果から健全性が確認できた為、この延長部分以外は、既存設備を流用した。

リパワリングによる効果を表1にし、設備の改修前と改修後の写真をそれぞれ写真2、写真3に示す。

改修計画当初、特別高圧連系の設備構築を検討していたが、2013年5月の「電気設備の技術基準の解釈」第228条の改正により逆潮流制限の緩和が施されたことで、高圧6.6 kVへの連系が可能となった。これをうけ、計画を高圧連系に見直し、発電所の変電設備を簡素化することができ、建設費用の大幅な削減となった。

水力発電所のリパワリングは、長期間となる。白田川発電所を例にとっても更新計画スタートから発電所が運転開始するまで、約3年間を要している。固定価格買取制度の見直しと系統連系の接続条件によっては、建設の採算性が左右される為、今後の動向を注視し、対応していく必要がある。

3. 再生事業の概要と事例

3.1 古い発電所を蘇らせる再生事業

自然河川を利用した小水力発電所は、1920年代から建設され、日本国内各地に点在している。これ

表1 リパワリングによる効果新旧比較表

	新設備	旧設備	差 引
①生産性の向上			
増出力[kW]	3,100	2,900	増 200
発生電力量増加率	10.8%		
②保守性の改善			
年間巡視時間 (h)	80	224	減 144
20年間の想定修繕費軽減率	10.0%		



写真2 白田川発電所水車発電機（改修前）



写真3 白田川発電所水車発電機（改修後）

らの中には、経年による維持補修費用の増加や、運転監視や保守の体制が維持できなくなる等の問題により、やむなく休止や廃止に追い込まれた発電所も存在する。これら休廃止された発電設備に注目し、現代の技術を用いて再開発するのが再生事業である。

河川に設置された土木構築物（取水口、導水路、放水路等）は手直しを経て再利用することが可能な場合が多い為、初期コストの低減が図れる。

3.2 再生事業の事例（須雲川発電所）

須雲川発電所は、1954年3月に神奈川県箱根町の旅館が自家消費用として開発した発電所である。しかし、設備の老朽化等により1984年8月に発電所を廃止し、箱根町が設備を所有していた。当時の写真を写真4に示す。須雲川は大観山を水源とする本流と二子山を源流とする支流などからなっている。箱根町から東京発電が廃止設備を譲り受け、2013年2月に再生工事に着工し、2013年8月に190kWの発電所として運転を開始した。新しくなった発電所の写真を写真5に示す。

須雲川は二級河川ではあるが、河川区域の始点が須雲川発電所の放水口の下流となる為、河川法に基づく水利権の取得は必要がなかった。一方、富士箱根伊豆国立公園内に位置し、第2種特別地域に該当している為、工作物の新築・改築および河川水位・



写真4 再生前の須雲川発電所



写真5 再生後の須雲川発電所

水量の増減の許可申請が必要となった。

また、発電設備は保安林区域内に設置してあることから本来であれば公益上の理由（公共用道路の建設や送電施設の設置など）がなければ保安林解除を行うことができない。神奈川県森林課と協議の結果、すでに設備が区域内に存在している為、最小限の範囲で保安林を解除することができた。

取水えん堤は補修し、水圧鉄管は塗装して、伸縮継手のパッキンとボルトナットを取替えて流用した。

観光地であることから、現地工程に様々な制約が発生した。

再生事業は、河川に放置されていた取水えん堤等を改修することで河川環境も改善する。また、導水路や取水えん堤、水槽の一部を再利用し、コストダウンも図ることができ、作る段階から環境に優しい水力発電所となる。一方、廃止した原因が、その立地条件や水事情であることも多い為、精査が難しいという課題がある。

4. マイクロ水力発電事業

「マイクロ」というと、100kW以下の発電所というイメージを持たれることもあるが、東京発電で行うマイクロ水力発電所の定義は「他の水利に従属し（かつ監視制御方式が随時巡回方式）の発電所」である。例えば、上下水道や農工業用水道、砂防えん堤、一般的な水力発電所の放水庭に設置するケースなど、他の目的の為に整備された設備を利用する発電所である。

既設のインフラに潜む未利用エネルギーを活用することで、経済性のある水力発電を可能にするものである。

4.1 固定価格買取制度施行前の導入事例

① 江ヶ崎発電所

2004年4月に運転を開始した江ヶ崎発電所（90kW）は川崎市上下水道局との共同事業で、上下水道を利用した水力発電所としても民間企業が実施した初の事例である。今では、厚生労働省や環境省の補助事業の後押しもあり、浄水後の水を使用した水力発電所の認知度は高くなっているが、当時はまだ珍しい設備であった。設置に至るまでは、河川法、水道法、電気事業法、と様々な省庁と協議を重ねた。

② 妙典発電所

「東京ディズニーリゾートに水を共有する千葉県水道局の妙典給水場が、実は水力発電所の顔を持つことをご存じだろうか。」これは2008年7月の

AERA に掲載されたマイクロ水力発電事業が紹介された記事の書き出しの1文である。妙典発電所は千葉県企業局との共同事業として浄水後の水を利用した300 kWの発電所である。発電電力は給水場施設内で自家消費している。妙典給水場の配水エリアには浦安市が入っていることから、同誌の記者がこのように表現したものである。

水道局が場所とエネルギーを提供し、東京発電が発電所を設置し運営をする共同事業となっており、環境省の「地球温暖化対策ビジネスモデルインキュベーター（起業支援）事業」を活用して設置した。同発電所の内部写真を写真6に示す。

4.2 固定価格買取制度を利用した発電所

① ふくしま北部配水池発電所

上下水道事業者との共同事業を主体した東京発電のマイクロ水力発電事業では、水道を利用した水力発電ならではの技術を蓄積してきている。

2018年4月に運転を開始した福島市水道局との共同事業、ふくしま北部配水池発電所（115 kW）はこれらの技術を詰め込んだ発電所となっている。同発電所の説明を図2に示す。

この発電所はすりかみ浄水場から福島市水道局北部配水池まで送水される水を利用して発電している。発電した電気は固定価格買取制度を活用して売電している。

『水力発電設備が送水系統に影響を与えないようにする特許技術』を採用し、地域の水供給に影響がないよう、安全に運用できる仕組みを取り入れている。建設にあたっては、工事中も水供給を継続できるように水運用に配慮した不断水工法を採用した。

水車はメーカーと共同で開発した円筒ケーシングフランシス水車を採用した。

設置が容易となるよう、地下室を中2階構造として架台を組み、天井を地上より若干嵩上げして、配管上に水車を設置した。既存の配管弁室内に水車発

電機を納めたことで、土木工事を縮減し環境負荷の少ない構造とすることができた。発電所を設置した配管室の内部を写真7に示す。

ふくしま北部配水池発電所は、運営保守の一部を地元企業に委託することで、地域と共同での事業を実現している。また、市主催の環境イベントにも積極的に協力し参加することで、自治体と連携し地域に根差した発電事業を目指している。

4.3 マイクロ水力発電事業の特徴と課題

マイクロ水力発電事業は、大きなダムや取水えん堤、導水路、水圧鉄管を新たに作る必要がなく、建設時にも温暖化ガスを排出抑制し、森林を伐採せず、環境に優しいのが特徴である。また、自然環境に影響されにくい、「人に管理された水」を利用する為、安定的で設備利用率の高い発電となることもメリットとして挙げられる。

その反面、本来の水利用の目的に従属して発電する為、他の水運用に合わせる難しさがある。水力発電事業に携わる技術者は水道の水運用に関するノウハウは少なく、水道事業に携わる技術者も水力発電に関するノウハウが少ない。その為、技術者同士のコミュニケーションが水道の最適な運用と発電所の

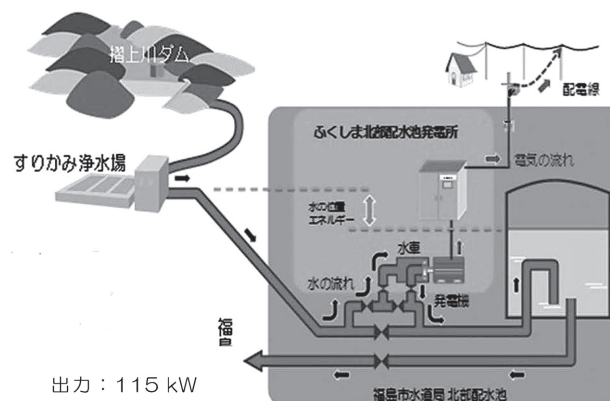


図2 ふくしま北部配水池のしくみ

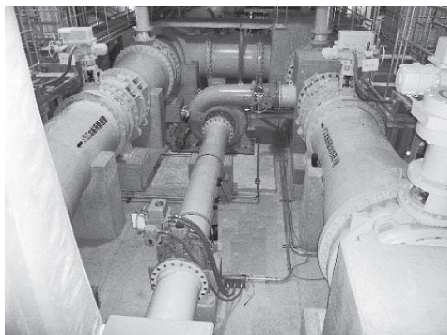


写真6 妙典給水場内妙典発電所

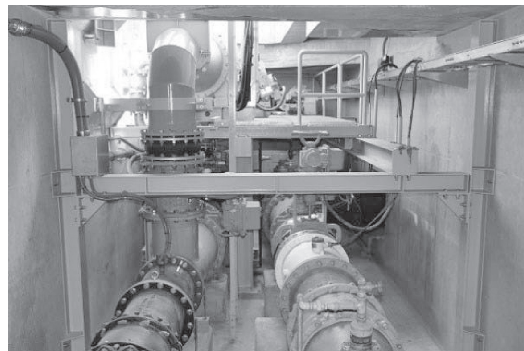


写真7 ふくしま北部配水池発電所

最適な運営の鍵となる。このコミュニケーションが不足すると、発電所の建設自体が困難となるうえに、年間に発生する電力量が減少する。一方、良い関係が築けていると最適な発電所が建設され、電力量が増加する。これが顕著に現れるのも、マイクロ水力発電の大きな特徴である。

マイクロ水力発電事業は、太陽光や風力発電と違い、視覚的なPR効果が乏しいことがあり、認知度が広がらず、水道事業者からの理解を得ることが困難であった。今では初期の導入から15年以上経過し、多くの水道事業者が未利用のエネルギー源として期待している。

しかしながら、開発地点が次第に減少してきている。大都市部の水道水が豊富な地域では、開発され尽くし、残っているのは高落差だが低流量の地域や夜間に水の流れが止まる設備となってきた。これらは、生み出せるエネルギー量が少ないことから、初期投資を抑えて設置する必要があるが、固定価格買取制度の後押しはあるものの、FITバブルにより高騰化している水車機器や震災後高騰化している建設事業の中では、なかなか見合うコストで設置ができない状況にある。

5. 新規開発の発電所

東京発電では、河川を利用した新規開発の小水力発電所としては22年ぶりに、家康公用水発電所(158kW)の運転を2019年4月に開始した。同発電所機器の写真を写真8に示す。

河川や農業用水を利用している小水力発電所は、塵芥によるトラブルが多い。その対策として、家康公用水発電所では、取水口での溢水や水車への塵詰まりへの対策として、夜間に自動で塵を押し流す制御プログラムを採用している。

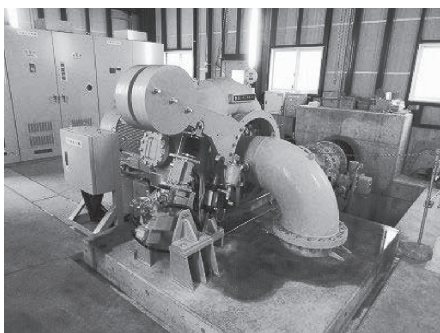


写真8 家康公用水発電所 水車発電機

6. 中小水力発電の課題

6.1 新規開発の課題

一般河川を利用した水力発電所の開発は固定価格買取制度導入後も検討を進めているが、開発には課題も多い。

水力の開発は事前調査(流量調査や地質調査)、設備検討、河川環境調査、水利調整や用地調整、系統連系接続検討、関係法令の確認等と建設工事着手までに多くの時間と費用を要する。

国内の開発可能(包蔵水力)な地点は奥地となり、開発費用、保守費用ともに増加している。また、大きいものは既に開発され、小規模化もしている。加えて系統の制約を受ける地点が多くなっている。

再生可能エネルギー発電所全体の課題として、系統容量の問題がある。既設発電設備による送電容量不足に加え、権利確保だけが先行してしまう事例もあり、開発の弊害が発生していることが問題となりつつある。系統連系が厳しい状況であることは勿論、今後、地域活用電源の役割を担い、出力抑制が必須となるケースも出ている。中小水力発電は主に流れ込み式の為、今後は蓄電池とセットでの開発が必要になってくる。

6.2 人材確保

水力開発は地域に根差しており、地域雇用の発展に寄与する可能性も謳われているが、近年の労働人口不足から、クリーンなエネルギーに携わる魅力とは裏腹に、水圧管路を登り、汗をかき、雨の日にも取水口で操作するなどといった山間部でのハードな仕事が敬遠される傾向もある。東京発電では、IoT、AIなどを活用した「未来の発電所の姿」の議論を始めている。発電所の運転には、技術の継承が必須であり、若手が中心となって、働きたい発電所のイメージと付加価値の向上に取り組んでいる。

6.3 気候変動

技術的な課題や人的課題に加えて、最近浮き彫りとなってきているのは、気候変動である。2019年の台風19号の被害は記憶に新しいが、東京電力HD(株)の中小水力発電所9か所が浸水等の被害を受けた。これまでに経験したことのない大雨や暴風により、河川や森林の被害が増え、水力発電所への影響も多い。中小規模の水力発電所は一度の災害により、廃止せざるをえない可能性もある。気候変動とどのように向き合っていくか、どんな準備をするのか、建設の際には何を重視すればよいかなどを考え、対策をしていかなければならない。

こうした環境に対応するべく、東京発電では、新たに「火力発電所の運転保守の技術」と「マイクロ水力発電事業のビジネスモデル」を使って、小規模バイオマス発電事業を計画している。

間伐は森林からの蒸発散量を抑制し、利用可能な水資源量を増やすことで、水源涵養機能の維持向上に効果的であるといわれている。この事業は、森林組合や造林業・自治体のような林業の専門家と手を組み、発電の燃料となる間伐材などを長期にわたって活用し続けることで、持続可能な地域の林業と、水資源の確保にも寄与することとなる。安定した山林を育みながら電気を生み出す新たな共同事業である。

VUCA 時代【変動制 (Volatility) 不確実性 (Uncertainty) 複雑性 (Complexity) 曖昧性 (Ambiguity)】と言われる今、100 年以上稼働してきた中小水力発電所も、時代の変動に合わせて技術革新し、他の技術と融合し、古くて新しい再生可能エネルギーとならなければいけないと考える。

7. おわりに

2015 年 9 月の国連サミットで採択された 2030 年までに達成する為の、SDGs (持続可能な開発目標) 17 の項目の 7 番目では「手ごろで信頼でき、持続可能かつ近代的なエネルギーへのアクセスを確保する」と示されている。また、我国のエネルギー基本計画では、2030 年度のエネルギーミックスにおいて水力発電所は 197 万 kW ~ 280 万 kW (総発電電力量に占める割合としては 8.8% ~ 9.2%) の導入目標が示されている。

発電事業者としては、その目標達成に向けた貢献は勿論、低廉な電気料金を目指し、低コストでの開発と運用を推し進めることが求められる。培った経験を活かし、顕在化する諸課題を迅速に解決し、再生可能エネルギーの水力分野で最先端を目指していきたい。

一昨年、創立 90 周年を迎えた東京発電は、次の 100 年も持続可能なエネルギーを供給し続け、発電プロフェッショナル集団として、変化を求めて変革に挑戦し、エネルギーへの多様なニーズに応え、持続可能な社会づくりに貢献していきたい。

参考文献

- ・ 新エネルギー人材育成研修会(水力発電コース) テキスト 令和 2 年 9 月
- ・ 国際連合広報センター HP <https://www.unic.or.jp>

著者略歴



濱田 督子 (ハマダ トクコ)

2008 年より東京発電株式会社にて、マイクロ水力発電事業の契約関係業務、技術営業および広報業務に従事。地方自治体や農業系公共団体等の小規模水力発電の調査検討・開発に尽力。

産業による河川の高度利用と水環境保全に関するシンポジウム「水資源の活用と小規模水力発電」(2018 年) 第 11 回地下水利用技術セミナー「小水力発電・マイクロ水力発電の展望について」(2015 年) 等多数の講演実績を有する。