

資源エネルギー庁 新エネルギー課 殿

令和2年度エネルギー需給構造高度化対策に関する調査等事業 (中小水力に関する海外動向把握等調査)

報告書

2021年2月26日

 株式会社三菱総合研究所

目次

1.	海外における動向	4
1.	1. 中小水力発電の現況 概況	7
2.	2. 中小水力発電開発に係る費用等	30
3.	3. 費用低減の取り組み、施策	43
4.	4. 技術開発、研究及び専門人材育成等の状況調査・分析	63
5.	5. 地域活用の具体的事例の調査	68
2.	国内における動向	75
1.	1. 中小水力発電の現況	78
2.	2. 中小水力発電開発に係る費用等	84
3.	3. 費用低減の取り組み、施策	90
4.	4. 技術開発、研究及び専門人材育成等の状況調査・分析	94
5.	5. 地域活用の具体的事例の調査	102
3.	国内の水力発電の地域活用に向けた導入支援策の検討	118
1.	1. 低コスト化に向けた考察	119
2.	2. 国内中小水力発電事業開発の方向性	126
4.	その他施策検討に必要な情報収集及び資料作成	135

調査の目的と概要

- 「エネルギー基本計画(2018年7月3日閣議決定)」において、「水力発電は、渇水の問題を除き、安定供給性に優れたエネルギー源としての役割を果たしており、引き続き重要な役割を担うものである。(中略)また、未開発地点が多い中小水力についても、高コスト構造等の事業環境の課題を踏まえつつ、地域の分散型エネルギー需給構造の基礎を担うエネルギー源としても活用していくことが期待される。」とあり、再生可能エネルギー固定価格買取制度(以下、「FIT制度」)の開始を受け、既設水力発電のリプレイスを中心に中小水力発電の開発が多く進んできたところであるが、初期建設コストの高さや関係機関との調整が多岐に渡ることから、新規地点の開発が十分に進んでいるとは言い難い状況である。
- そのため、本調査では、中水力の競争電源としてのコスト縮減、小水力の地域電源としての利活用を促すため、導入の課題として調達価格等算定委員会、事業者ヒアリング等で明らかになっている**イニシャルコストの高さについて、国内外の中小水力発電事業者、公営事業等に対してヒアリング、アンケート調査等を実施し、全体の事業費や設備費、維持管理費等の情報を収集した上でこれらを比較・分析し、その要因を調査した。**
- また、海外における調査では**各国の事業実施主体の分析や導入促進に向けた支援策、費用低減のための技術研究、専門人材育成の状況、地域共生事例等**についても調査を行った。
- これらの調査を行った上で、**国内の水力発電導入におけるコスト縮減の提案を整理し、FIT制度の抜本見直しを受けた今後の支援策の提案及び予算要求に向けた基礎資料を作成した。**

1. 海外における動向

海外における動向 調査概要

- 海外における中小水力発電の動向について、文献・WEB調査および海外の事業者へのヒアリングを通じて整理を行った。調査項目と手法は以下のとおり。
- なお、調査対象国は、アメリカ、ドイツ、イタリア、オーストリア、チェコの5ヶ国とした。

調査項目	調査手法
1. 中小水力発電の現況	<ul style="list-style-type: none"> ● 文献整理・ウェブ調査 ● メーカー動向をウェブ調査 ● 海外関係機関へのヒアリング調査
2. コスト動向	<ul style="list-style-type: none"> ● 国際機関のコスト動向文献の整理 ● 各国のコスト分析文献の整理 ● 海外関係機関へのヒアリング調査
3. 費用低減の取り組み、施策	<ul style="list-style-type: none"> ● メーカー動向をウェブ調査 ● 海外関係機関へのヒアリング調査 ● ヒアリング調査で得られた情報をウェブ等で深堀調査
4. 技術開発・研究・専門人材育成	<ul style="list-style-type: none"> ● メーカー動向をウェブ調査 ● 海外関係機関へのヒアリング調査
5. 地域活用事例	<ul style="list-style-type: none"> ● 海外関係機関へのヒアリング調査を元に事例を特定 ● 特定した事例をウェブ等で深堀調査

海外における動向 ヒアリング先一覧

- 各国の製造メーカー、事業者、業界団体、公的機関など、計13件の事業者・団体へヒアリングを実施した。

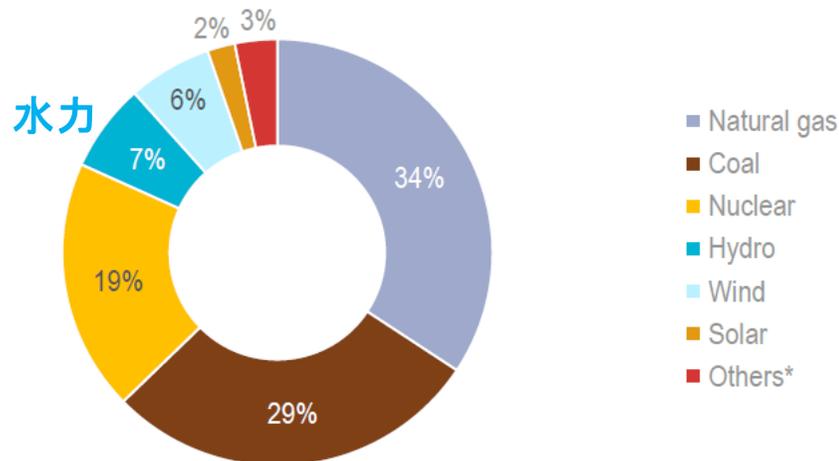
国	分類	事業者・団体名	ヒアリング先概要
アメリカ	公営事業者	公営事業者A	米国政府系の水力発電事業者。公的機関として発電設備を管理・運用。
アメリカ	公的機関	公的機関A	米国の政府系機関。
ドイツ	業界団体	業界団体A	ドイツ某州における地域密着型の水力発電協会。
ドイツ	業界団体	業界団体B	ドイツ某州における地域密着型の水力発電協会。
ドイツ	公営事業者	公営事業者B	ドイツの都市において水力発電事業を運営しているシュタットベルケ。
イタリア	製造メーカー	メーカーA	イタリアの大手水力製造メーカー。
イタリア	業界団体	業界団体C	イタリアの水力発電協会。
イタリア	業界団体	業界団体D	イタリアの水力発電事業者等からなる業界団体。
オーストリア	製造メーカー	メーカーB	オーストリアの水力製造メーカー。小水力が中心。
オーストリア	民間事業者	民間事業者A	オーストリアの電力会社。水力発電を開発・運営。
オーストリア	民間事業者	民間事業者B	オーストリアの電力会社。中水力・大水力を開発・運営。
オーストリア	業界団体	業界団体E	オーストリアの水力発電協会。
チェコ	民間事業者	民間事業者C	チェコの水力発電開発事業者。中小水力の事業開発を手掛ける。

1.1 中小水力発電の現況(海外)

中小水力発電の現況 ①米国：導入量

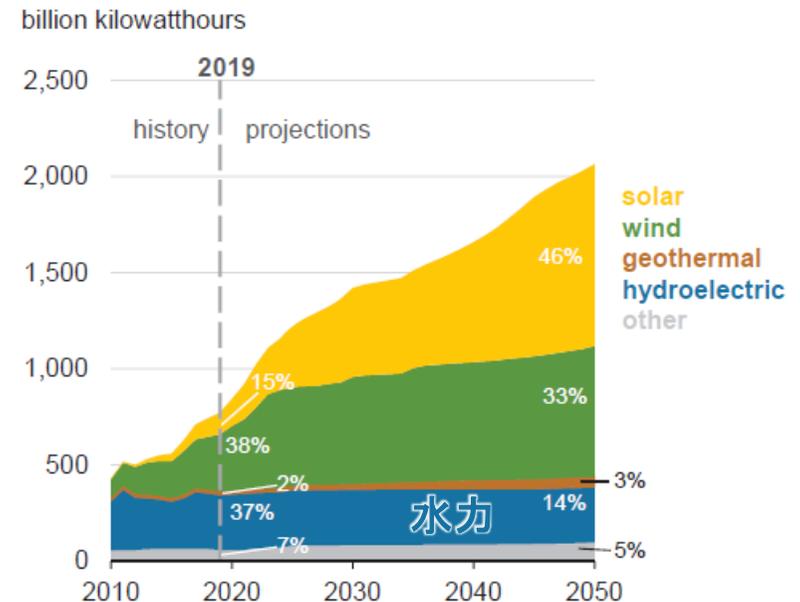
- 水力発電の設備容量は102.7GW(2017年)、発電量は300TWh(2018年)。
 - 2018年の水力発電シェアは7%であり、再生可能エネルギーの中では最も大きい。
- 将来において水力発電量の大きな伸びは期待されておらず、現状維持の見通しである。
 - 太陽光・風力の急拡大に伴い、再生可能エネルギーにおける水力シェアは2019年の37%から2050年には14%まで低下する。

米国の電源(発電量)構成(2018年)



出所)IEA “Energy policies of IEA Countries United States 2019”(2019年9月), p182 (Figure 9.1)に三菱総研追記

米国の再生可能エネルギー発電量の将来見通し

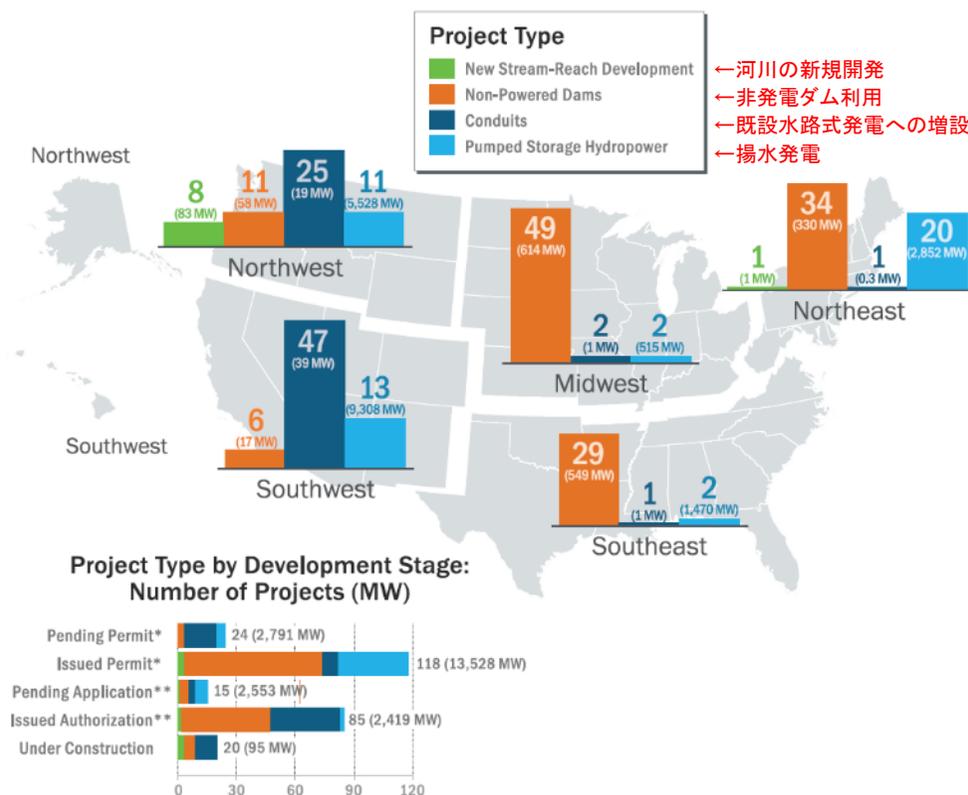


出所)IEA “Annual Energy Outlook 2020 with projection to 2050”(2020年1月), P62 (図番号なし)に三菱総研追記

中小水力発電の現況 ①米国：発電形式の特徴

- 米国で近年開発が進んでいる案件は小規模プロジェクトが大半を占め、非発電ダム利用と既設水路式発電への増設がその中心である。河川の新規開発は少ない。
- 水力発電の歴史が古く開発適地が減少していることから、新規開発においては事業の経済性が成立しづらく、既存設備を有効活用する方向にトレンドがある。

米国で開発中の中小水力発電分類(2017年12月31日時点)

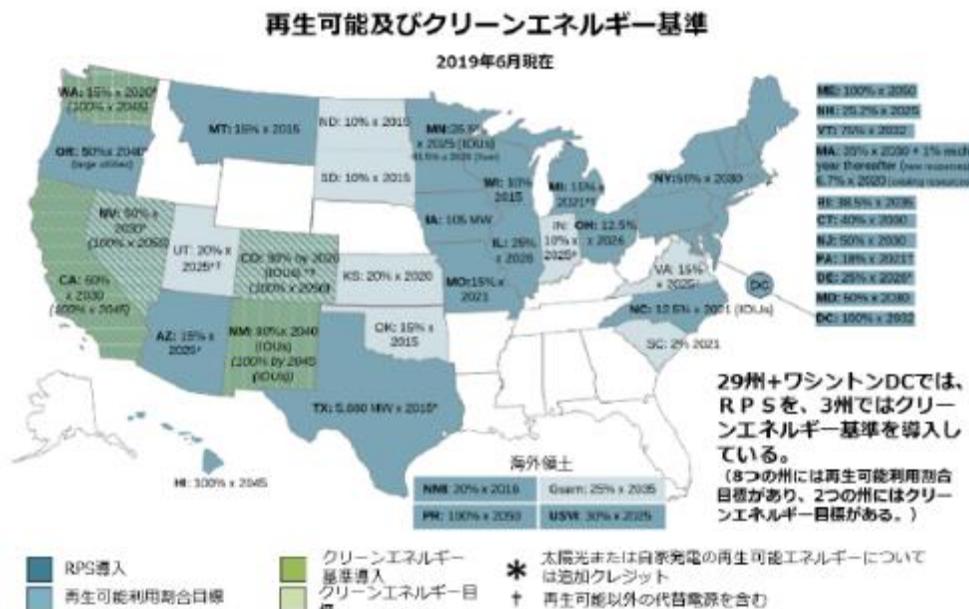


出所)U.S Department of Energy “2017 Hydropower Market Report” (2018年4月) p.19 (Figure 2)

中小水力発電の現況 ①米国：再エネ普及施策

- 米国では、州ごとのRPS制度が水力発電普及のための施策である。
 - RPS制度は全米29州にて導入されており、達成時期や導入目標は州によるものの中小水力には限定されていない。再生可能エネルギー証書による義務履行が主な再エネ調達手法である。
- 再エネ普及施策として連邦政府による税控除制度も存在するが、水力発電は対象外である。
- 需要家の再エネ調達手法では近年PPA(電力購入契約)も拡大しているが、その中心は風力および太陽光発電である。

米国における州ごとのRPS目標



中小水力発電の現況 ①米国：RPS制度詳細(1/2)

- 各州におけるRPS制度の目標値、目標年は以下のとおり。水力発電に限定した目標値は存在しない州が大半である。

州名	目標値	目標年	水力発電に限定した目標値	備考
アイオワ	105MW	1999年	なし	
モンタナ	15%	2015年	なし	
テキサス	10,000MW	2025年	なし	
ウィスコンシン	10%	2015年	なし	
メイン	100%	2050年	なし	
ワシントン	15%	2020年	なし	
オレゴン	50%	2040年	なし	
コロラド	30%	2020年	なし	
ニューメキシコ	100%	2045年	なし	
メリーランド	50%	2030年	なし	水力発電に限定した目標値は存在しないが、中小水力が分類されるTier1(太陽光以外)では、2020年以降22.5%を目標値としている。
ミシガン	15%	2021年	なし	
ミズーリ	15%	2021年	なし	
ペンシルバニア	18%	2021年	なし	
ノースカロライナ	12.5%	2021年	なし	
ネバダ	50%	2030年	なし	
アリゾナ	15%	2025年	なし	

中小水力発電の現況 ①米国：RPS制度詳細(2/2)

州名	目標値	目標年	水力発電に 限定した目標値	備考
ミネソタ	26.5%	2025年	なし	
ニューハンプ シャー	25.2%	2025年	あり	5MW未満の中規模水力、1MW未満の小水力はClass IVに分類され、これらの水力発電における目標値は2015年までに1.5%。
イリノイ	25%	2026年	なし	
オハイオ	12.5%	2026年	なし	
デラウェア	25%	2026年	なし	
カリフォルニア	60%	2030年	なし	
ニューヨーク	70%	2030年	なし	水力については、中小規模(5MW)のみ。
マサチューセッツ	2020-2029年:2%/年 上記以外:1%/年	毎年	なし	
コネチカット	48%	2030年	なし	水力発電に限定した目標値は存在しないが、中小水力が分類されるClass Iでは40~44%を目標値としている。
ニュージャージー	Class I: 50% Class II: 2.5%/年	Class I: 2030年	なし	水力発電は3MW未満がClass I、3~30MWがClass IIIに分類。
バーモント	75%	2032年	なし	
ワシントンDC	100%	2032年	なし	水力発電は、2019年以降RPSの対象とならないTier2に分類。
ロードアイランド	38.5%	2035年	なし	水力は30MW未満が対象。
ハワイ	100%	2045年	なし	

出所) 下記資料を基にMRI作成

IEA_Energy policies of IEA Countries_United States 2019.pdf p196~197 (Table 9.2)

DSIRE “Database of State Incentives for Renewables & Efficiency” <http://www.dsireusa.org/> より、各州の情報(閲覧日:2021年1月12日)

IEEJ “米国:2019年上半期に5つの州/特別区が再エネ利用割合基準(RPS)の引き上げを実施” <https://eneken.ieej.jp/data/8605.pdf>(閲覧日:2021年1月13日)

経済産業省「平成31年度エネルギー需給構造高度化対策に関する調査等事業(海外における再生可能エネルギー政策動向調査)」(2020年3月) p16(図1-4)、p.17~30(表1-13)

中小水力発電の現況 ①米国：補助プログラム

- 水力発電に対する州ごとの補助プログラムが存在する場合もある。

米国の各州における水力発電補助プログラム

州	プログラム名	概要
コロラド州	水力発電プロジェクトローンプログラム	コロラド州議会が水資源の改良や治水、水力発電設備建設などのために設立したローンプログラムで、州最大のもの。2%の金利で30年の貸付を行い、1%の貸付手数料がかかる。通常、10万ドル未満の貸し付けは行わない。
オレゴン州	小規模エネルギーローンプログラム	州内の生成可能エネルギー開発を奨励するため設立されたローンプログラムで、低コストで貸し付けを行う。
マサチューセッツ州	マサチューセッツ州水力発電プログラム	州内の水力発電資産と発電量を増加させる目的で、水力発電プロジェクト費用の50% (最大17万5,000ドル) に補助金を給付する。現在は年間の累積発電量あたり\$1.20に設定されている。
コロラド州	RCPPP灌漑・水力発電プログラム	最大100kWの小規模農業用水力発電設備(新規・既存)に対し補助金を支払うもので、プロジェクト費用の最大25%を、2万5,000ドルを超えない範囲で給付する。
コロラド州	小水力ローンプログラム(助成金つき)	州内の水資源の開発と管理のため、FERCの基準の適用外になっている5MW未満の水力発電設備を開発する自治体に対し、最大500万ドル(2%の金利つきで30年間)貸し付ける。また、FS調査に15万ドルの助成金を支給。
ロードアイランド州	再生可能エネルギー開発プログラム	州内のRPS補強の目的で創設された、再エネ発電施設建設費用を支援するためのインセンティブを提供する。期間や金額はプロジェクトの種類や規模によるが、小規模水力(10~1,000kW)の場合、22.65セント/kWhで20年間。
ヴァーモント州	スタンダード・オファー・プログラム	州内の小規模水力発電施設の開発を支援するもので新規の小規模水力発電設備(2.2MW以下)に対し、最大0.130ドル/kWhを20年間支給する。

出所)NREL “State Models to Incentivize and Streamline Small Hydropower Development” (2017年10月) p.22-37 を基に作成

中小水力発電の現況 ①米国：規制緩和・合理化

- 米国では、水力発電開発における許認可手続きの見直し・効率化が図られており、開発事業者にとってのコスト低減や発電設備の導入量増加に資する取組みとなっている。

米国の水力発電における法案の見直し事例

法案 H.R. 2872:
非発電ダム利用
の開発促進

非発電ダムを利用した水力発電事業の開発について、事業許可・不許可の判断を**2年以内に早める**ことを位置付ける法案

法案 H.R. 2880:
純揚水発電の開
発促進

純揚水発電事業の開発について、事業許可・不許可の判断を**2年以内に早める**ことを位置付ける法案

法案 H.R. 2786:
水路式発電の認
定基準・プロセス

水路式発電のFERCによる認定許可・不許可判断を**45日から30日に短縮**、また水路式発電の適用規模拡大を認める法案

米国各州の規制緩和・合理化による支援の事例

コロラド州

小水力発電の**規制審査を簡素化**するプログラムを創設し、一部協議の免除化。また、州機関が連邦当局への許可申請のとりまとめも実施。

オレゴン州

水力発電を新たに行うための**水利権者の用途変更プロセスを簡素化**。また、州法で設立した基金を小水力開発支援に活用。

バーモント州

小水力発電における連邦政府の許認可手続きに対する**支援や調整を、州機関が仲立ち**。事前コミュニケーションの強化やコンサルタントを提供。

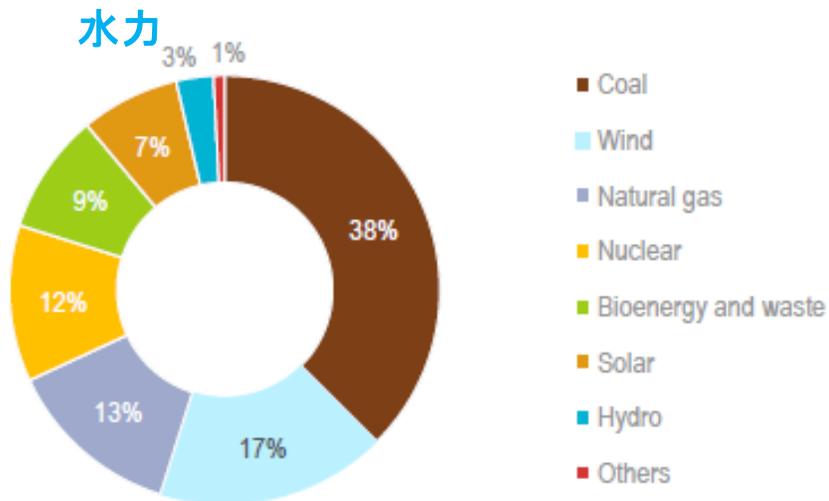
アラスカ州

州が自然エネルギー基金を創設し、**再エネのFS、許認可、建設などに関して**電力会社、IPP、地方自治体を**支援**。

中小水力発電の現況 ②ドイツ:導入量(1/2)

- 水力発電の設備容量は11.1GW(2017年)、発電量は18.0TWh(2018年)。
 - 2018年の水力発電のシェアは2.8%で、再生可能エネルギーの中では4位。
 - 風力・太陽光がシェアを伸ばす中、水力のシェアはほぼ横ばいとなっている。
- 2020年6月に閣議決定された国家エネルギー・気候計画(NECP)にて、総電力消費量に占める再エネ割合を2030年に50%以上、2050年に80%以上とする目標を掲げているが、水力に関する導入量の目標は見当たらない。

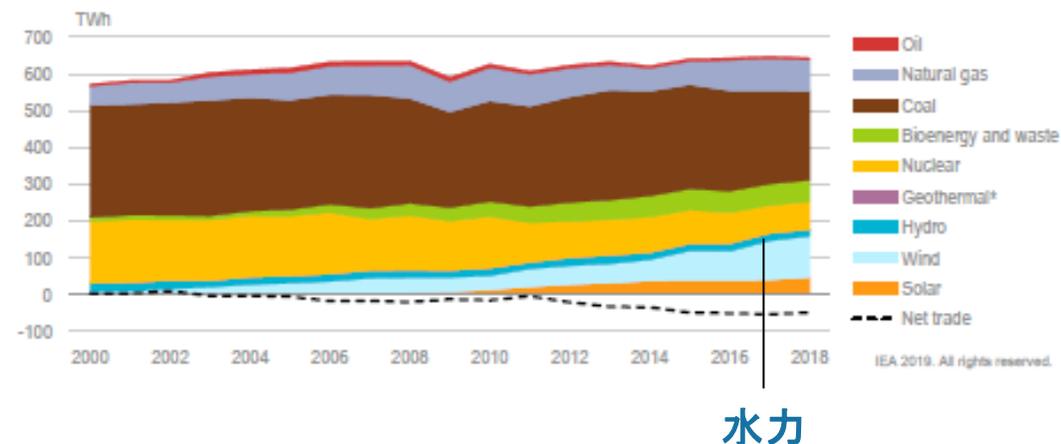
ドイツの電源(発電量)構成(2018年)



出所)IEA “Germany 2020 Energy Policy Review”(2020年2月), p120 (Figure 7.1)に三菱総研追記

なお、ドイツは2022年に向けて国内の全原子力発電所の運転停止の政策を進めているが、2018年時点では原子力発電の発電量が12%を占める。

ドイツの再生可能エネルギー発電量の推移
(2000-2018年)

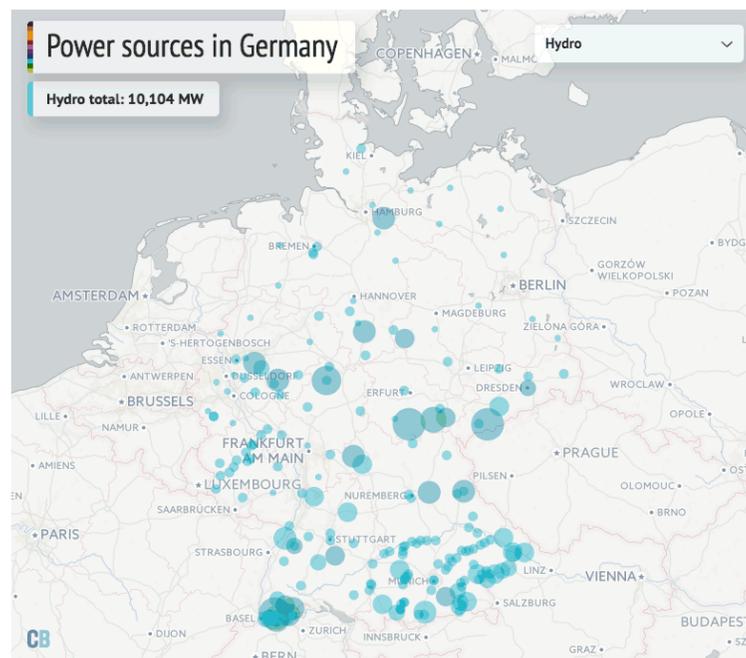


出所)IEA “Germany 2020 Energy Policy Review”(2020年2月), P125 (Figure 7.3)に三菱総研追記

中小水力発電の現況 ②ドイツ:導入量(2/2)

- ドイツの水力発電資源の大半は南部の山岳地帯に位置し、水力発電所のうち50%がバイエルン州に、20%がバーデン＝ヴュルテンベルク州に集中している。これらの2つの州で、ドイツの水力発電の年間発電量の80%を占めている。
- 国内の7,300箇所の水力発電所のうち、約6,900箇所の発電容量は1,000kW未満で、そのうち6,000箇所の発電容量は100kW未満と、小規模発電所が多数を占める。

ドイツの水力発電導入量マップ



出所) Carbon Brief “Mapped: How Germany generates its electricity” (閲覧日: 2021年2月25日)
<https://www.carbonbrief.org/how-germany-generates-its-electricity>

中小水力発電の現況 ②ドイツ:再エネ普及施策

- ドイツでは「再生可能エネルギー法(EEG)」にて、再エネ普及施策が定められている。
 - 2012年のEEG改正により、FIT制度に加えてFIP制度が導入された。2016年1月以降は設備容量100kW以上の新規発電設備についてFIP制度が義務化された。
 - 2017年のEEG改正により太陽光等に入札制度が導入されたが、水力は入札対象から除外されており、引き続きFIT制度またはFIP制度が適用される。
 - 2020年現在は、水力の100kW以上の新規案件にはFIP制度が適用される。100kW未満の新規案件および全規模の既設改修の案件は、FIT制度かFIP制度を選択可能である。

ドイツのFIT買取価格(水力のみ、ユーロセント/kWh)

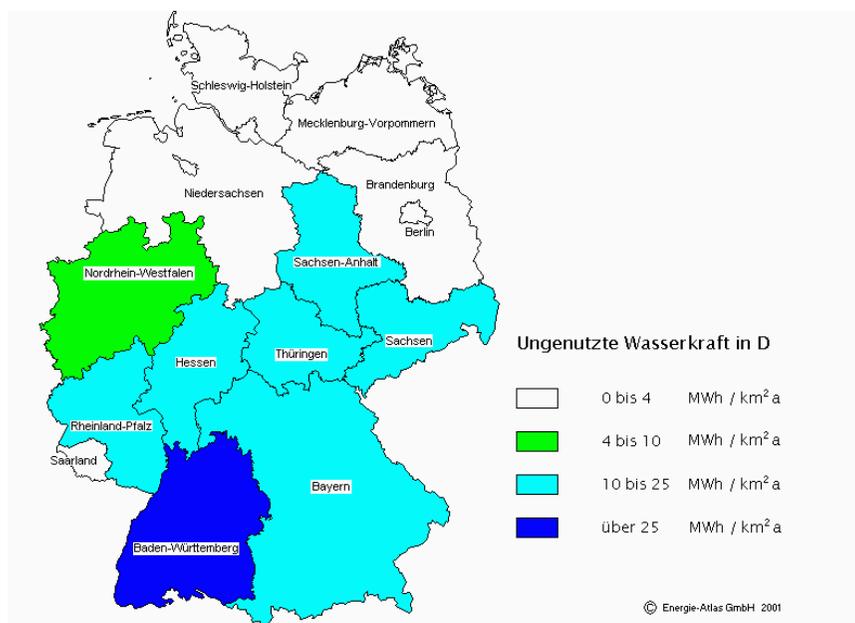
エネルギー源		対象設備稼働年		買取期間	買取価格調整率
		2017年	2018年		
第40条 水力 注1)	0.5MW以下	12.40	12.34	20年	年率-0.5% (18年~)
	0.5~2MW	8.17	8.13		
	2~5MW	6.25	6.22		
	5~10MW	5.48	5.45		
	10~20MW	5.29	5.26		
	20~50MW	4.24	4.22		
	50MW超	3.47	3.45		

出所) 経済産業省「平成31年度エネルギー需給構造高度化対策に関する調査等事業(海外における再生可能エネルギー政策動向調査)」(2020年3月)
p.105 (図4-13)から水力のみ抜粋

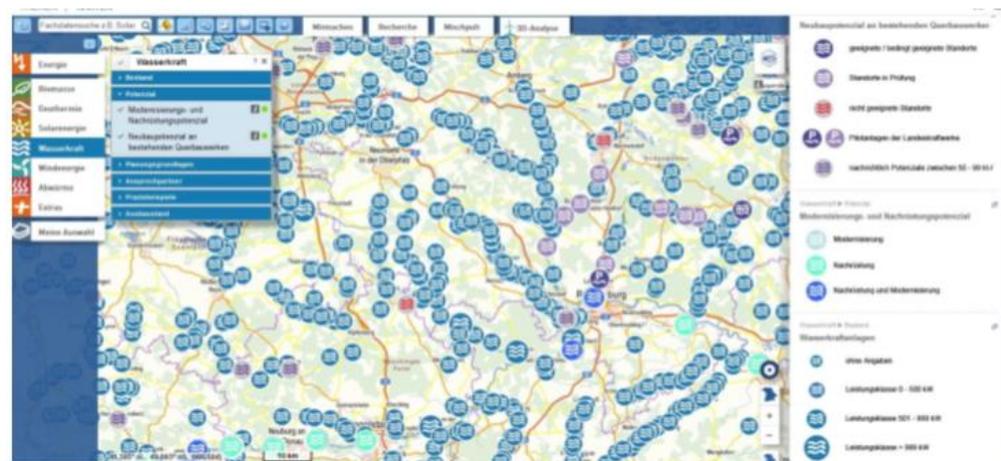
中小水力発電の現況 ②ドイツ: 事業環境整備

- ドイツでは、水力ポテンシャルが各州で独自に推計されている。
 - 連邦政府ベースでは取り組みがなく、水力が盛んな州を中心に独自に取り組まれている。
- ポテンシャル情報によると、大規模水力については既設利用や改修が中心。特に新設のダム式水力は現実的でない。

ドイツにおける水力の
未利用エネルギーポテンシャル



ドイツ・バイエルン州の
水力ポテンシャルマップ

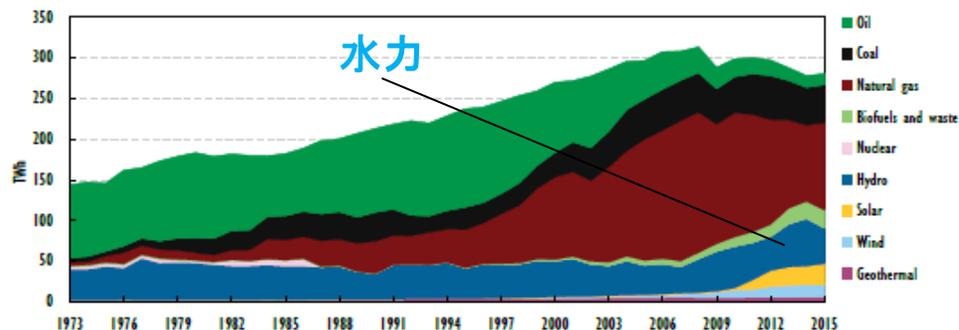


出所 (左) Global Energy Network Institute Hydroenergy Potential in Germany “Unexploited technical potential of hydro-power”
<http://www.geni.org/globalenergy/library/renewable-energy-resources/world/europe/hydro-europe/hydro-germany.shtml> (閲覧日: 2021年2月25日)
 (右) 出所) Federal Ministry for Economic Affairs and Energy “Marktanalyse zur Vorbereitung von Ausschreibungen” (2015年3月) p.49 (Figure 21),

中小水力発電の現況 ③イタリア:導入量

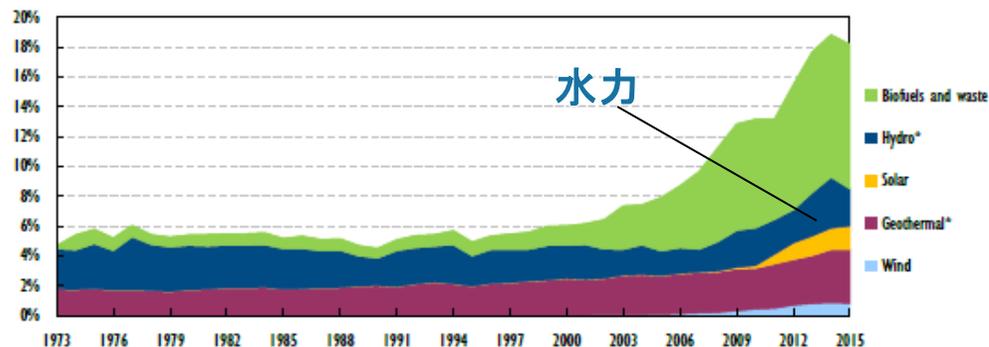
- 水力発電の設備容量は21.9GW、発電量は43.9TWh(いずれも2015年)。
 - 2015年の水力発電シェアは15.6%であり、再生可能エネルギーの中では最も大きい。
- 2013年に「国家エネルギー戦略(SEN)」が承認され、その後2017年に更新された(SEN2017)。その中で、2030年までに再エネ比率を28%とする目標を掲げているが、水力発電については言及されていない。

イタリアの電源(発電量)構成(1973-2015年)



出所) IEA “Italy 2016 Energy Policy Review”(2017年6月), P100 (Figure 6.1)に三菱総研追記

イタリアの再生可能エネルギー発電量の推移(1973-2015)



出所) IEA “Italy 2016 Energy Policy Review”(2017年6月), P81 (Figure 5.1)に三菱総研追記

中小水力発電の現況 ③イタリア:再エネ普及施策

- FIT制度は2005年より導入され、水力については2008年より1,000kW以下の発電設備についてFIT制度が適用された。
- 2013年以降、FIT制度に代わりFIP制度およびCfD制度(差額決済契約制度)が段階的に導入された。
- 水力については2019年以降、250kW以上の新規案件はCfD制度のみ選択できる。さらに、1MW以上の新規案件は入札対象となっている。

イタリアの2019年7月施行の制度概要

設備容量	インセンティブの形態	
250kW以下	FIT	電力を含めてGSE社(国営企業)が買取(固定価格を適用) (但し、下記のCfD制度を選択可能)
250kW超	CfD	電力は卸電力取引市場等にて直接販売。 GSE社より、基本インセンティブ価格から当該発電設備の連系エリアにおける1時間ごとの市場価格を差し引いた額をインセンティブとして付与(固定価格が市場価格を上回った場合のみ) 当該設備の基本インセンティブ価格が市場価格を上回った場合は、当該収益分をGSE社に返還

イタリアのCfD制度におけるインセンティブ価格(2019年～)

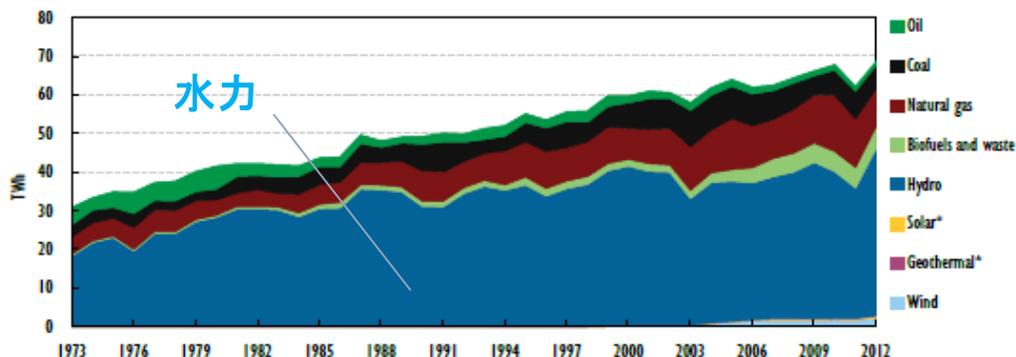
エネルギー源	種別	設備容量(kW)	インセンティブ価格(ユーロセント/kWh)	買取期間(年)
風力	陸上	100kW以下	15.0	20
		100～1,000kW	9.0	20
		1,000kW以上	7.0	20
水力	流れ込み式	400kW以下	15.5	20
		400～1,000kW	11.0	25
	調整池式	1,000kW未満	9.0	25
		1,000kW以上	8.0	30
埋立ガス		100kW以下	11.0	20
		100～1,000kW	10.0	20
		1,000kW以上	8.0	20
太陽光		20～100kW	10.5	20
		100～1,000kW	9.0	20
		5,000kW以上	7.0	20

注)上記のインセンティブ価格を上限価格として、登録手続き及び競争入札が行われる。
2021年1月以降、グループB(水力、下水ガス)の基本インセンティブは2%、グループA(太陽光、陸上風力)の基本インセンティブ価格は5%低減される予定

中小水力発電の現況 ④オーストリア：導入量

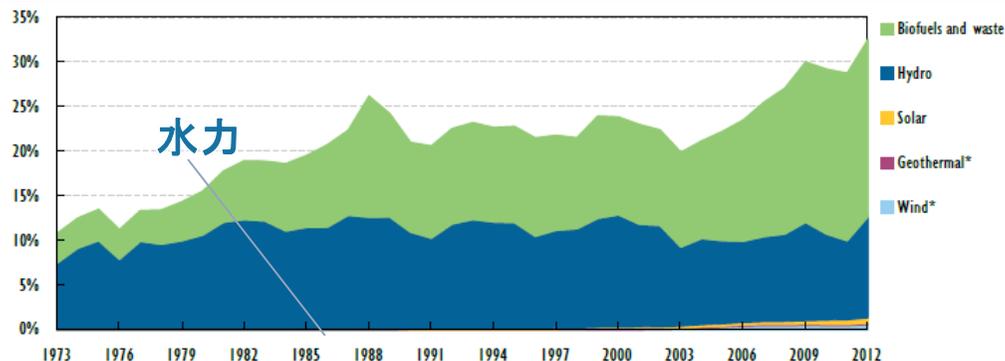
- 水力発電の設備容量は12.7GW、発電量は43.8TWhを占める。
 - 2012年の水力発電シェアは63.7%であり、再生可能エネルギーの中で大宗を占める。
- 2002～2012年で、水力発電の発電量のシェアは8.8%増。
 - 太陽光・風力の発電容量を増加させる一方、水力は依然として発電量の主力となる見込み。

オーストリアの電源(発電量)構成の推移(1973-2012年)



出所)IEA “Energy policies of IEA Countries Austria 2014” (2014年4月), p83, Figure 8.1 に三菱総研追記

オーストリアの再生可能エネルギー発電量の推移(1973-2012年)



出所)EIA Energy policies of IEA Countries Austria 2014” (2014年4月), P99 Figure9.1に三菱総研追記

中小水力発電の現況 ④オーストリア:再エネ普及施策

- オーストリアにおける再エネ普及施策は、「2010 Energy Strategy Austria」で、2020年の最終エネルギー消費を2005年レベル(すなわち1,100PJ=26.3Mtoe)で安定させることを目的とする。2020年の再エネ導入目標は34%。また、現政権下で2030年までの長期目標を設定する予定としていた。
- 2012年には再エネ電力に関する法律「グリーン電力法」が施行。FITや大規模水力開発への投資に対する補助金などを規定している。
- FITについて、買取価格は以下の通り、しかし、最終需要家である国民の負担額がかなり大きいことから、IEAはFITを管理して定期的に見直すべきとしている。

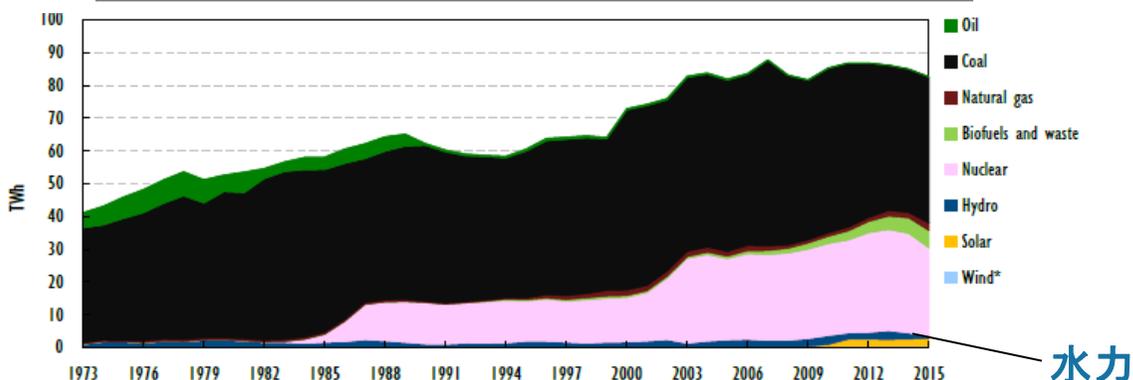
オーストリアにおけるFIT価格(2012年央~2013年央の平均)

	FIT価格(ユーロ/kwh)
小規模水力	0.0323
小規模バイオマス	0.199
太陽光	0.1659
風力	0.0945

中小水力発電の現況 ⑤チェコ:導入量

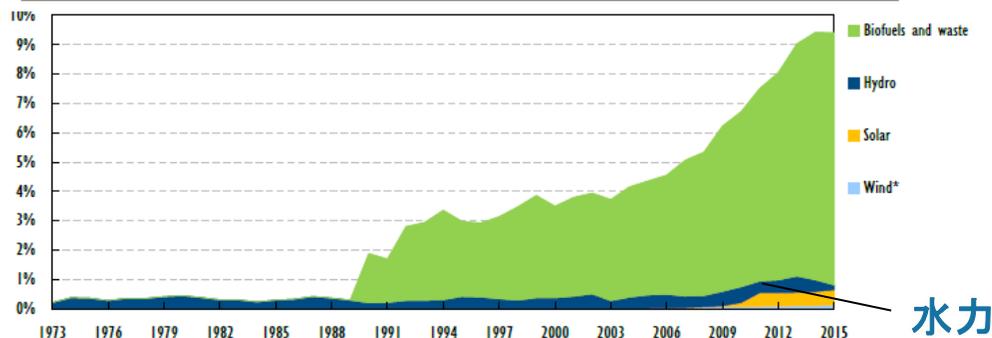
- 水力発電の設備容量は2.3GW、発電量は0.8TWhを占める。
 - 2014年の水力発電シェアは全体の1%と割合が低いが、再生可能エネルギーの中では42%と最大。
- 将来的に開発の可能性は低い。
 - 小規模水力の支援を除き、重点的な施策分野ではない。

チェコの電源(発電量)構成(1973-2015年)



出所)IEA "Energy policies of IEA Countries Czech Republic 2016" (2016年12月), p75 (Figure 6.1)に三菱総研追記

チェコの再生可能エネルギー発電量の推移(1973-2015年)



出所)IEA "Energy policies of IEA Countries Czech Republic 2016" (2016年12月), p64 (Figure 5.1)に三菱総研追記

中小水力発電の現況 ⑤チェコ:再エネ普及施策

- 2015年の「国家エネルギー戦略」にて、2040年までに発電電力量の18～25%まで再エネの割合を増加させることを目標として設定。2019年の「National Energy and Climate Plan」では、2030年までに最終エネルギー消費に占める再エネの割合を20.8%とするとしている。
- FIT制度は2002年から開始し、FIP制度(グリーン・ボーナス)は2005年から開始された。小水力発電(10MW以下)も対象。ただし、FIT/FIP制度は、小水力発電を除き、2014年以降の新設案件への適用は終了。
- 2016年には、産業貿易省が10MW以下の小規模水力発電や再エネを支援するためのエネルギー法改正案を発表。

チェコにおける小水力発電設備のFIT買取価格

小規模水力発電施設 (既存)

稼働開始時期	買取価格 (単位/MWh)
2005年1月1日—2013年12月31日	CZK 2,814 (€ 108)
2014年1月1日—2014年12月31日	CZK 2,759 (€ 106)
2015年1月1日—2015年12月31日	CZK 2,705 (€ 104)
2016年1月1日—2016年12月31日	CZK 2,652 (€ 102)
2017年1月1日—2017年12月31日	CZK 2,303 (€ 89)
2018年1月1日—2018年12月31日	CZK 2,258 (€ 87)
2019年1月1日—2019年12月31日	CZK 2,214 (€ 85)

2002年8月13日以降に再建された既存施設

稼働開始時期	買取価格 (単位/MWh)
2013年12月31日以前	CZK 2,814 (€ 108)
2014年1月1日—2014年12月31日	CZK 2,759 (€ 106)
2015年1月1日—2015年12月31日	CZK 2,705 (€ 104)
2016年1月1日—2016年12月31日	CZK 2,652 (€ 102)
2017年1月1日—2017年12月31日	CZK 2,303 (€ 89)
2018年1月1日—2018年12月31日	CZK 2,258 (€ 87)
2019年1月1日—2019年12月31日	CZK 2,214 (€ 85)

小規模水力発電施設 (新設)

稼働開始時期	買取価格 (単位/MWh)
2006年1月1日—2007年12月31日	CZK 3,126 (€ 120)
2008年1月1日—2009年30月31日	CZK 3,309 (€ 127)
2010年1月1日—2010年12月31日	CZK 3,596 (€ 138)
2011年1月1日—2011年12月31日	CZK 3,516 (€ 135)
2012年1月1日—2012年12月31日	CZK 3,664 (€ 141)
2013年1月1日—2013年12月31日	CZK 3,638 (€ 140)
2014年1月1日—2014年12月31日	CZK 3,567 (€ 137)
2015年1月1日—2015年12月31日	CZK 3,497 (€ 134)
2016年1月1日—2016年12月31日	CZK 3,257 (€ 125)
2017年1月1日—2017年12月31日	CZK 2,852 (€ 110)
2018年1月1日—2018年12月31日	CZK 2,796 (€ 107)
2019年1月1日—2019年12月31日	CZK 2,741 (€ 105)

出所) RES-Regal [Renewable energy policy database and support: single \(res-legal.eu\)](http://single.res-legal.eu) を元に、三菱総研で作表

中小水力発電の現況 ヒアリング結果 ①各国概況・政策支援

- ヒアリングでは、小水力発電には経済支援が必要であるという見解、適地はほとんど開発済みで、既設活用の方向性が強いという見解が多かった。

国	ヒアリング結果 ①各国概況・政策支援
米国	<p>(米国: 公的機関A)</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ 米国の水力発電容量は約100GW(水力発電: 80GW、揚水発電: 20GW)。50%が連邦政府保有、50%が民間保有である。 ✓ 国立研究所が「Hydrosource」という水力発電の包括的データベースを整備しており、発電所情報から環境データまで、事業開発に必要な情報が網羅されている。 ✓ 非発電ダムの発電利用に対するインセンティブを提供。過去5年間で5000万USDを予算化。
ドイツ	<p>(ドイツ: 業界団体A)</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ ドイツでは新規発電所の建設はほとんどなく、既設改修による発電量向上が主流である。 ✓ ドイツのFITは、小規模水力が0.14ユーロ/kW、ほとんどの発電所で0.0767ユーロ/kWと少額。 <p>(ドイツ: 公営事業者B)</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ 水力発電はドイツの発電量の3.5%を占めているが、主にFIT対象外である大規模水力発電所によって賄われている。FITは5MWまでの小規模水力発電所のみが対象である。 ✓ バイエルン州には4,000の水力発電所があり、州の電力の約25%を供給。約200の発電所が発電量の92%以上を賄う。残り3,800の発電所は発電量の8%のみに寄与する小規模発電所であり、FIT支援がないと利益が確保できない。 ✓ ドイツでは、理論上のポテンシャルのうち80%は既に開発済みで、事業収益性の高い開発地は残っていない。

中小水力発電の現況 ヒアリング結果 ①各国概況・政策支援

- ヒアリングでは、小水力発電には経済支援が必要であるという見解、適地はほとんど開発済みで、既設活用の方向性が強いという見解が多かった。

国	ヒアリング結果 ①各国概況・政策支援
イタリア	<p>(イタリア:業界団体C)</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ イタリアでは政府が小水力をあまり支援しておらず、近年は5MWを超える発電所はほとんどない。 ✓ 小水力発電の最新インセンティブは、灌漑設備など発電以外の既存インフラへの水力設置が対象であり、導入量拡大への期待はあまりできない。 ✓ 過去の経済支援は最大で0.22EUR/kWh、現在は0.15~0.18EUR/kWh程度のインセンティブ。 ✓ 小規模水力発電には経済支援が必要。
	<p>(イタリア:業界団体D)</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ イタリアには約4,000基の水力発電所が存在。約320基が10MW以上、約700基が1~10MW、約3,000基が1MW未満。 ✓ 事業収益性の高い案件は大半が既に開発済みであるが、既存発電所の改修によって発電量の15%向上が可能。 ✓ 0.155EUR/kWhのFITによる支援(~400kW)と、水力発電機の自動制御に資する設備(タービン、発電機、自動制御器)に対する最大50%の税額控除が存在。 ✓ 小水力発電所には、許認可プロセスの簡素化とFIT等による経済支援が必要。
オーストリア	<p>(オーストリア:業界団体E)</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ オーストリアでは水力発電は重要なエネルギー源である。 ✓ 水力発電において利益を確保するには経済支援が必要。
	<p>(オーストリア:民間事業者B)</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ 太陽光・風力ほど水力発電が支援されていない。水力への補助金が下がった際に水力産業への関心は失われてしまった。
チェコ	<p>(チェコ:民間事業者C)</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ チェコでは水力発電が約1万基存在。流量が大きな川がないため1MW未満の発電所が多く、そのほとんどが100~200kW。 ✓ 既に事業収益性の高い開発地はほとんど残っておらず、経済支援が必要。

中小水力発電の現況 ヒアリング結果 ②水力発電の意義

- 安定供給、系統安定化(調整力・慣性力)、長期電源確保などが水力発電の意義である。

ヒアリング結果 ②水力発電の意義

(米国: 公的機関A)

- ✓ 水力発電の意義は、ベースロード電源としての**安定性**、**調整力**の提供、**長寿命性**(100~150年)、**多機能性**(発電、治水、貯蔵)である。水力発電を普及させることが、太陽光・風力発電等の変動性再エネ導入を促進することにもつながる。

(ドイツ: 業界団体A)

- ✓ 水力発電の意義は、**系統の安定化**や、**治水**(洪水防止や水位安定)である。
- ✓ 太陽光・風力とどちらが優れているということではなく、**これらを組み合わせる**ことが、環境に優しいエネルギーの安定的供給につながる。

(ドイツ: 業界団体B)

- ✓ 水力発電の意義は、**安定発電**(ベースロード電源)、太陽光・風力と比べて**必要な土地が少なく済むこと**、**系統安定化**への寄与である。
- ✓ 太陽光・風力と比べて優劣がある訳ではない。これらを**適切に組み合わせ**て、それぞれの利点を活用することが重要である。

(ドイツ: 公営事業者B)

- ✓ 水力発電は、安価で**信頼性のあるカーボンフリー電源**であり、**系統安定性**にも寄与する。
- ✓ 水力発電はドイツでは環境負荷が低いと捉えられ、多くの支持を受けている。例えば風力発電は景観の観点からしばしば批判の的になる。

(イタリア: 業界団体D)

- ✓ 水力発電の意義は、**安定電力の供給**と**環境貢献**である。

(オーストリア: 業界団体E)

- ✓ オーストリアでは水力発電は重要なエネルギー源で、**系統サービス**が提供可能な再生可能エネルギー源であることが必要な理由である。

(オーストリア: 民間事業者B)

- ✓ 水力発電の意義は、**長期安定的な電源設備**だという点である。

(チェコ: 民間事業者C)

- ✓ 小規模水力発電の意義は**系統の安定化**。**分散化**によって大規模発電所の脱落影響を小さくしたり、**慣性力**が系統安定運用に大きく寄与。

中小水力発電の現況 ヒアリング結果 ③規制関連

- イタリアでは許認可プロセスの課題が顕在化しているとの声がある。
- 米国では簡素化に向けた取り組みを実施中である。

ヒアリング結果 ③規制関連

(米国: 公的機関A)

- ✓ 環境規制に対しては、発電所の規模に関わらず同様に準拠しなければならない。そのため、小規模水力発電では**相対的に負担が大きい**。
- ✓ 許認可取得には**3~5年**程度かかる。現在、**許認可プロセスの簡素化に資する調査・研究**を実施している。(半年以内に公表予定)。

(ドイツ: 公営事業者B)

- ✓ 運営している4プロジェクトのうち、1、2件は事業終了を検討中。行政からの**規制が厳しく**、適合するためには**経済的に厳しい点**が課題。

(イタリア: 業界団体C)

- ✓ イタリアの**認可プロセスが非常に煩雑**で、**認可を得るまで平均4~5年**かかる。
- ✓ 2003年に政府が許認可プロセスの簡素化を発表し、**水力発電は1つの手続き**で認可を得られるようになった。それにも関わらず、地方当局がそれを履行せず、結局手続きに**最大5年**を要している。

(イタリア: 業界団体D)

- ✓ イタリアでは**許認可制度が複雑**であり、許可が下りるまで**7~8年**であり、**25年**かかる場合すらある。
- ✓ **許認可コスト**や**水資源保護コスト**が増え続けており、小水力発電の事業費用が大きく増加した。

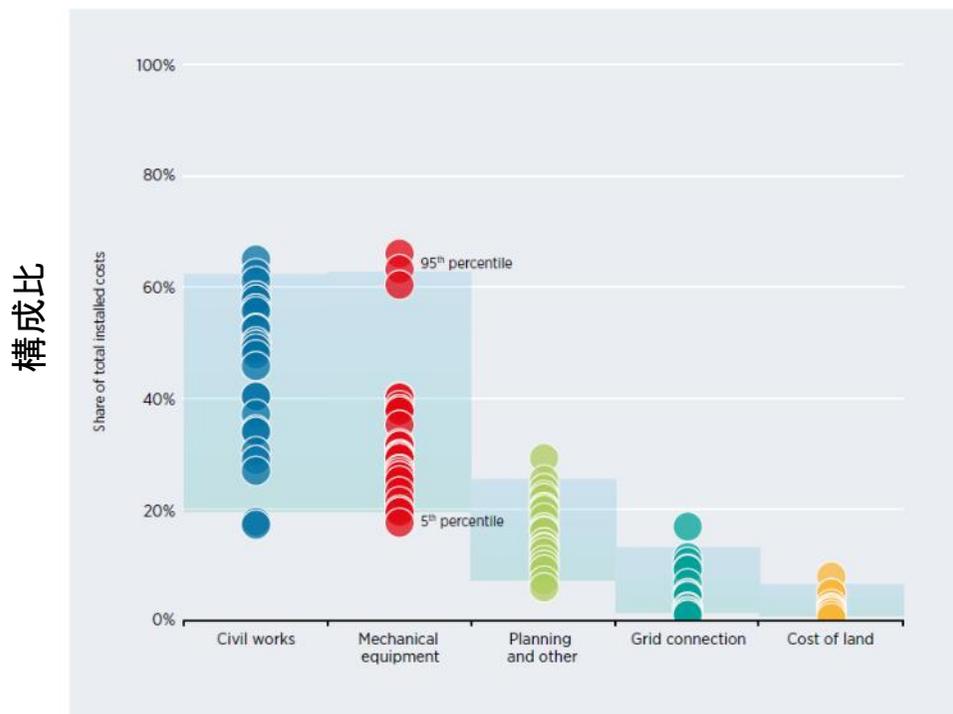
(イタリア: 製造メーカーA)

- ✓ イタリアでは**許認可プロセスが非常に煩雑**で、そのせいでコストが高くなっている。

1.2 中小水力発電開発に係る費用等(海外)

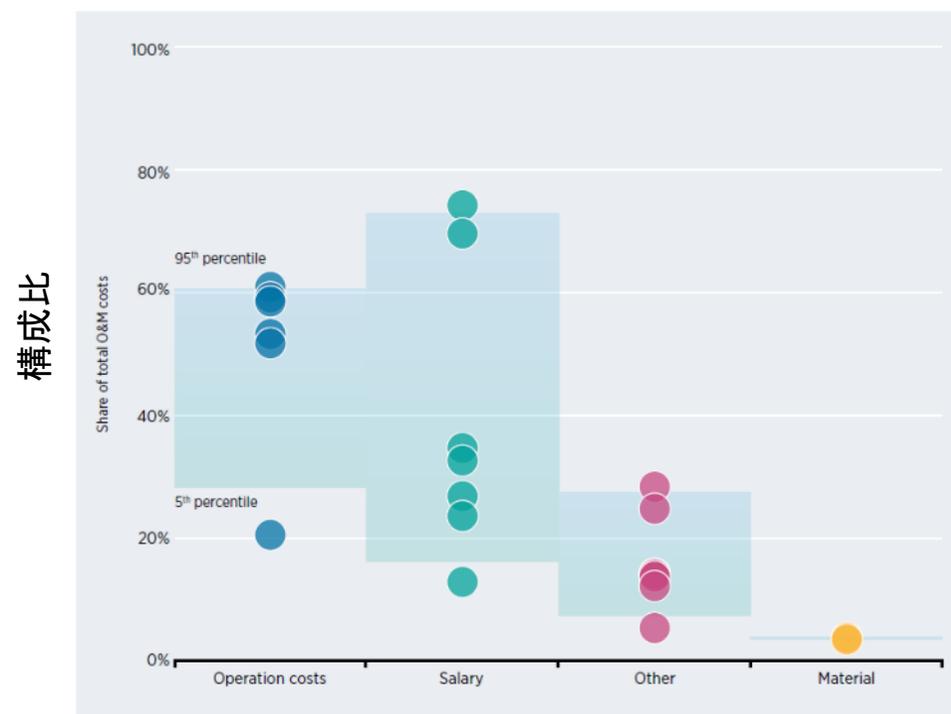
中小水力発電開発に係る費用等 コスト概要(資本費+維持費)

- 資本費のうち、土木工事費と設備費が大半を占める。
- 運転維持費のうち、運用・メンテナンス費と人件費が大半を占める。



土木工事費 設備費 設計その他 系統接続費 土地取得費

資本費の大半



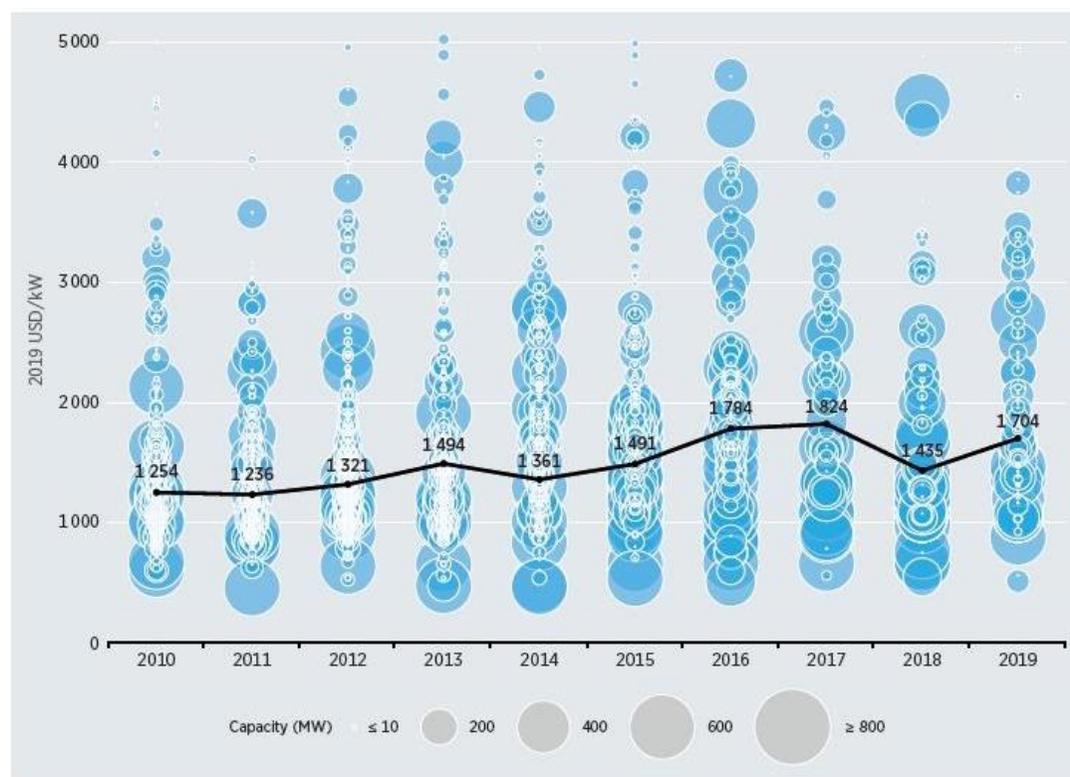
運用費メンテ費 人件費 その他 資材

運転維持費の大半

中小水力発電開発に係る費用等 資本費の推移(1/2)

- 水力発電の導入費用(資本費)は2010年以降増加傾向にあり、容量による加重平均で見ると、2019年は1,704 USD/kW(17.8万円/kW)まで上昇している。
- 世界的に、開発適地が減少していることが導入費用の増加の要因とされる。

世界の水力発電導入費用推移(容量による加重平均)



Source: IRENA Renewable Cost Database.

出所)IRENA “Renewable Power Generation Costs in 2019”(2020年6月) p.93(Figure5.2)

中小水力発電開発に係る費用等 資本費の推移(2/2)

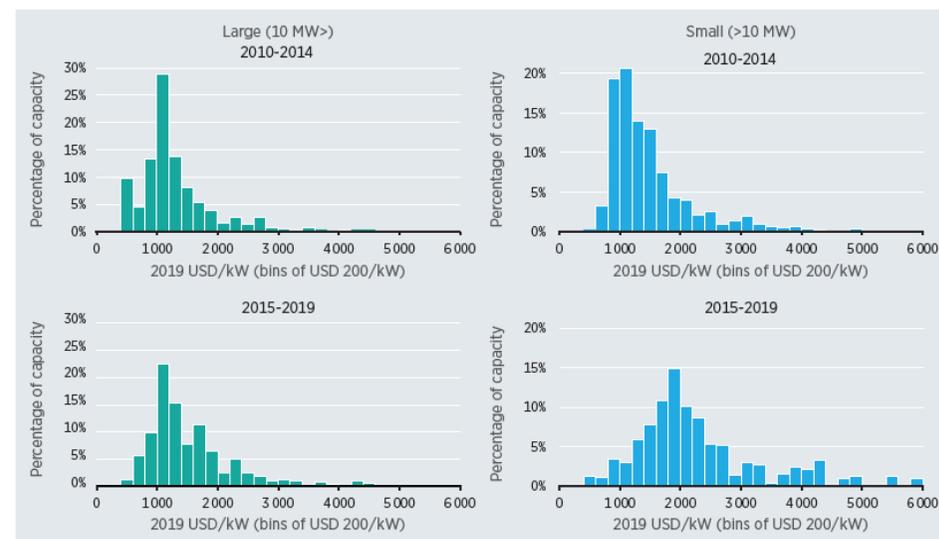
- 10MW以上/未満で見ると、10MW未満の中小水力発電の導入費用の平均は、2017年をピークに増加から減少に転じ、2019年には平均2,092 USD/kW(21.9万円/kW)となっている。
- 2010-2014年に開発された案件と、2015-2019年に開発された案件の分布を比較すると、2015-2019年にkWあたり資本費が高価な案件の割合が増えていることが見て取れる。

世界の水力発電導入費用推移(左:10MW以上、右:10mW未満)



Source: IRENA Renewable Cost Database.

世界の水力発電導入費用分布(左:10MW以上、右:10mW未満)



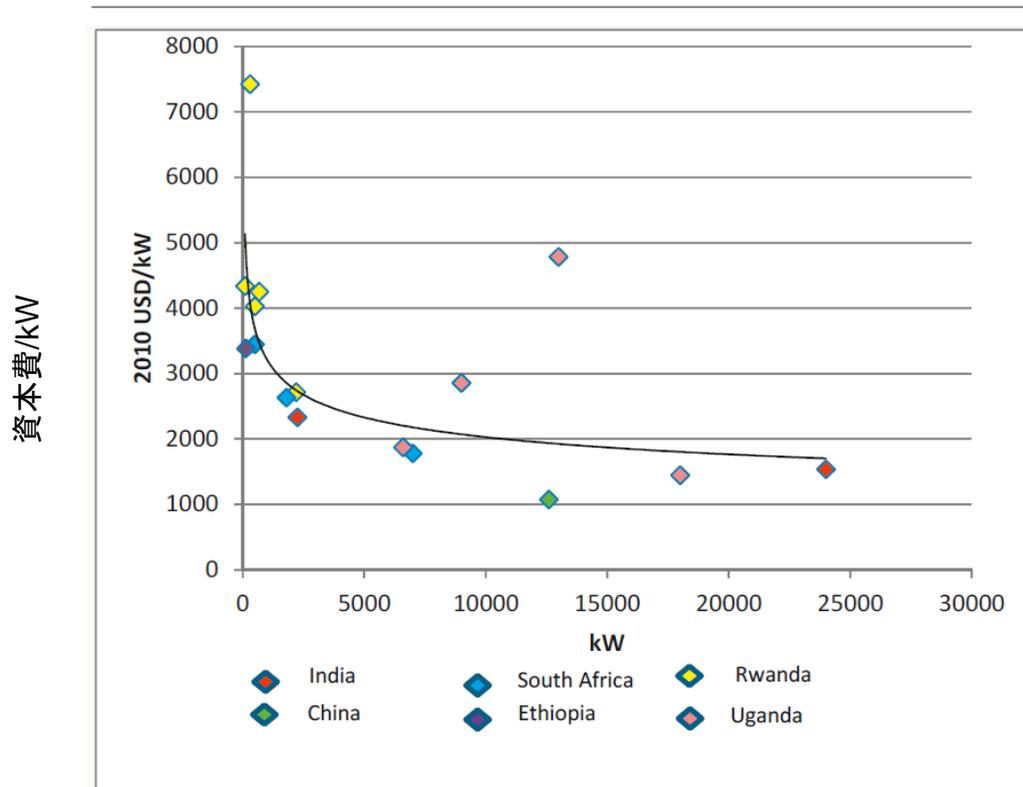
Source: IRENA Renewable Cost Database.

出所)IRENA “Renewable Power Generation Costs in 2019”(2020年6月) p.93(Figure5.3)、p.94(Figure5.4)

中小水力発電開発に係る費用等 資本費と規模の関係(各国事例)

- 各国の資本費と規模の関係は下図のとおり。データが限定的であり、またばらつきも大きいものの、規模の増大により出力当たり費用は漸減する傾向が伺える。

各国の水力発電における資本費と規模の関係

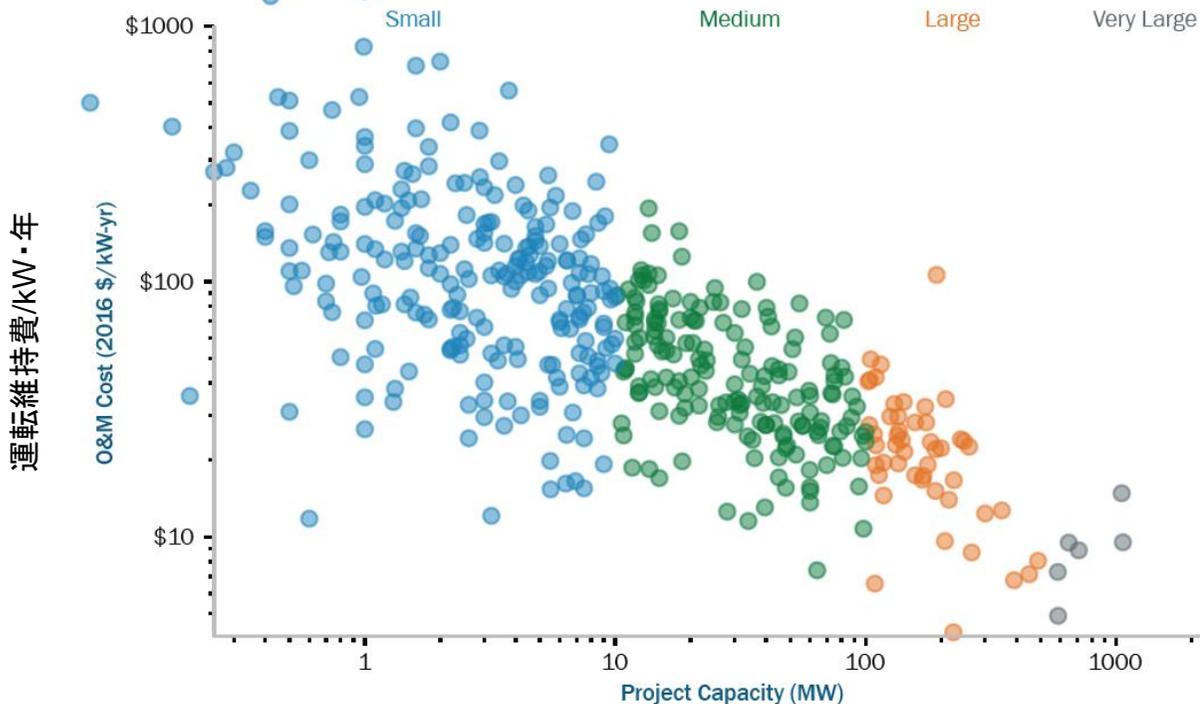


出所) IRENA "RENEWABLE ENERGY TECHNOLOGIES: COST ANALYSIS SERIES
Volume3 Hydropower" (2012年6月) p.20 (Figure4.4)

中小水力発電開発に係る費用等 運転維持費と規模の関係(各国事例)

- 運転維持費と規模の関係は下図のとおり。
- 規模の増大により出力あたりの運転維持費は漸減する傾向がみられるが、10MW以下の領域ではばらつきが大きい。

各国の水力発電における運転維持費と規模の関係

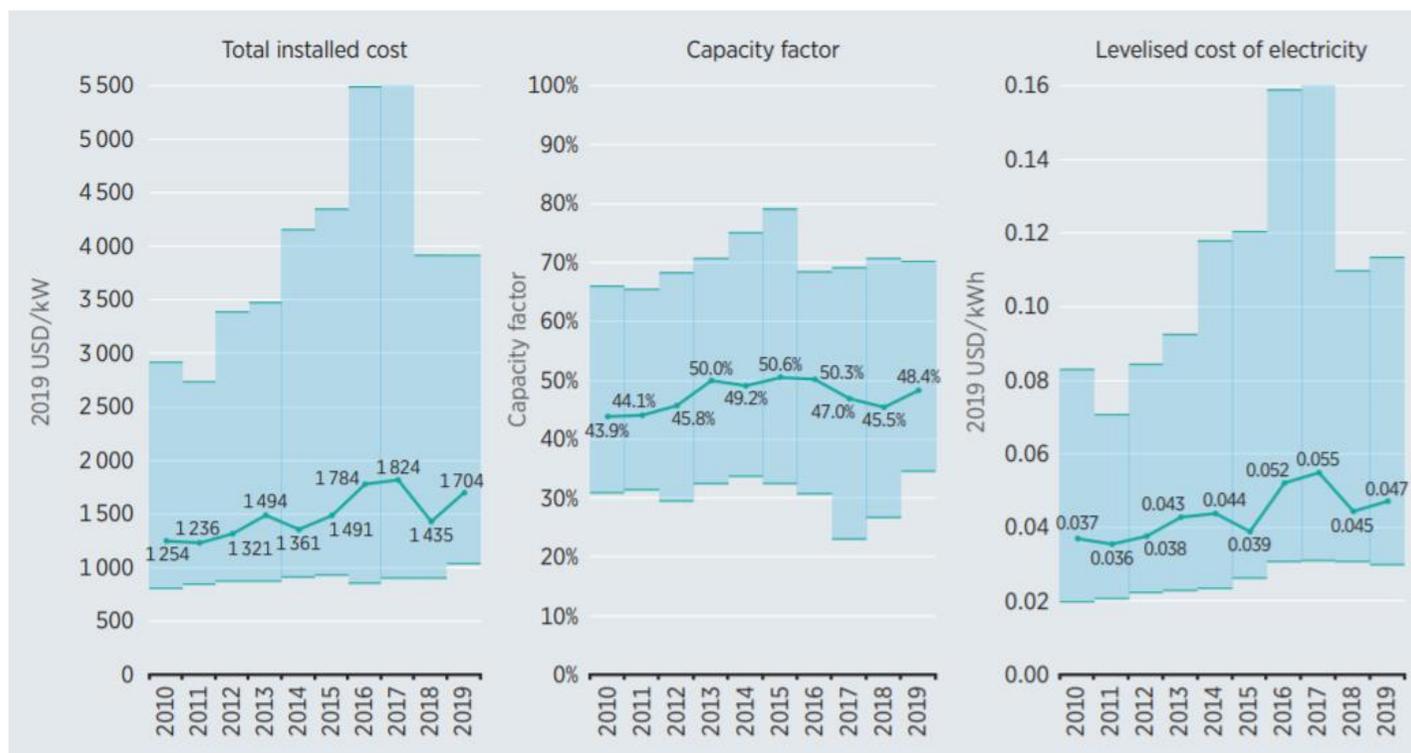


出所) U.S. Department of Energy, Water Power technologies office (米エネルギー省水力技術室) “2017 Hydropower Market Report”(2018年4月)
p.58 (Figure27)

中小水力発電開発に係る費用等 LCOEの動向

- 水力発電のLCOEは、2010-2019年の間でみると上昇傾向にあり、2010年の0.037 USD/kWh(約3.9円/kWh)から2019年には0.047 USD/kWh(約4.9円/kWh)に増加している。

水力発電の導入費用・設備利用率・LCOEの推移(容量による加重平均)

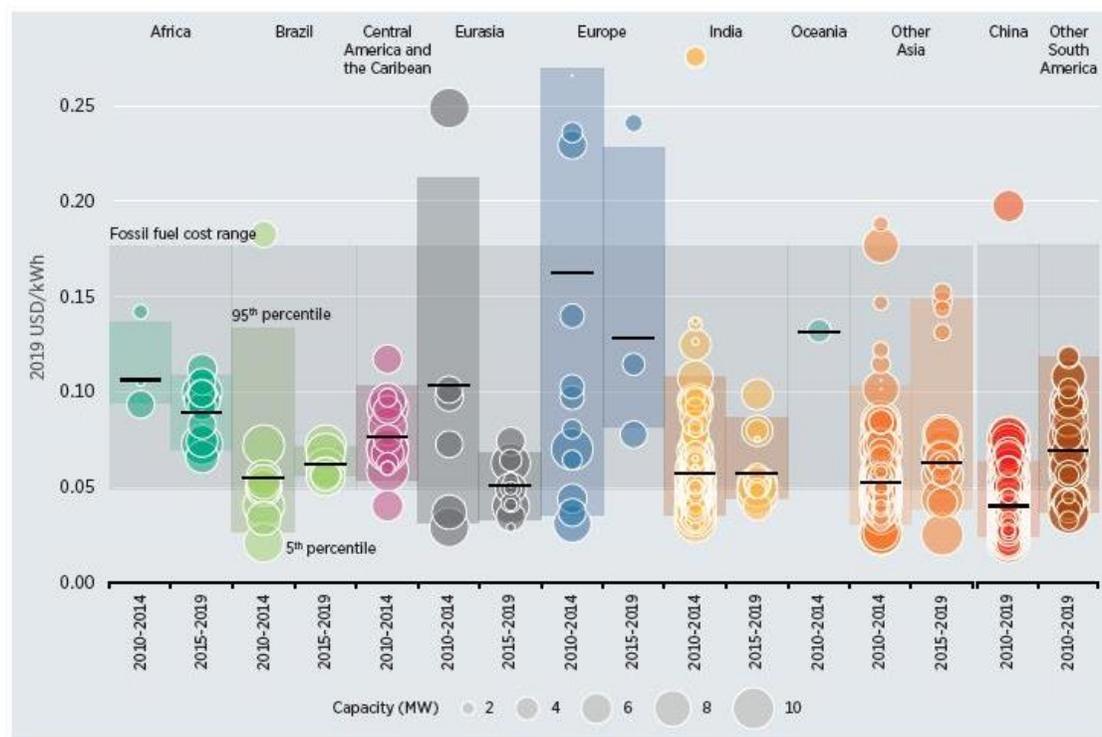


Source: IRENA Renewable Cost Database.

中小水力発電開発に係る費用等 地域別のLCOE

- 10MW未満の水力発電の国・地域別のLCOEは、2010-2014年と2015-2019年を比較すると、ヨーロッパ、ユーラシア大陸、アフリカでは減少傾向にあるが、ブラジル、アジアの一部では上昇している
 - 2015-2019年の平均LCOEは、ヨーロッパで0.13 USD/kWh(約13.6円/kWh)、中央アメリカで0.08 USD/kWh(約8.35円/kWh)程度

地域別・水力発電のLCOEと容量による加重平均(10MW未満)

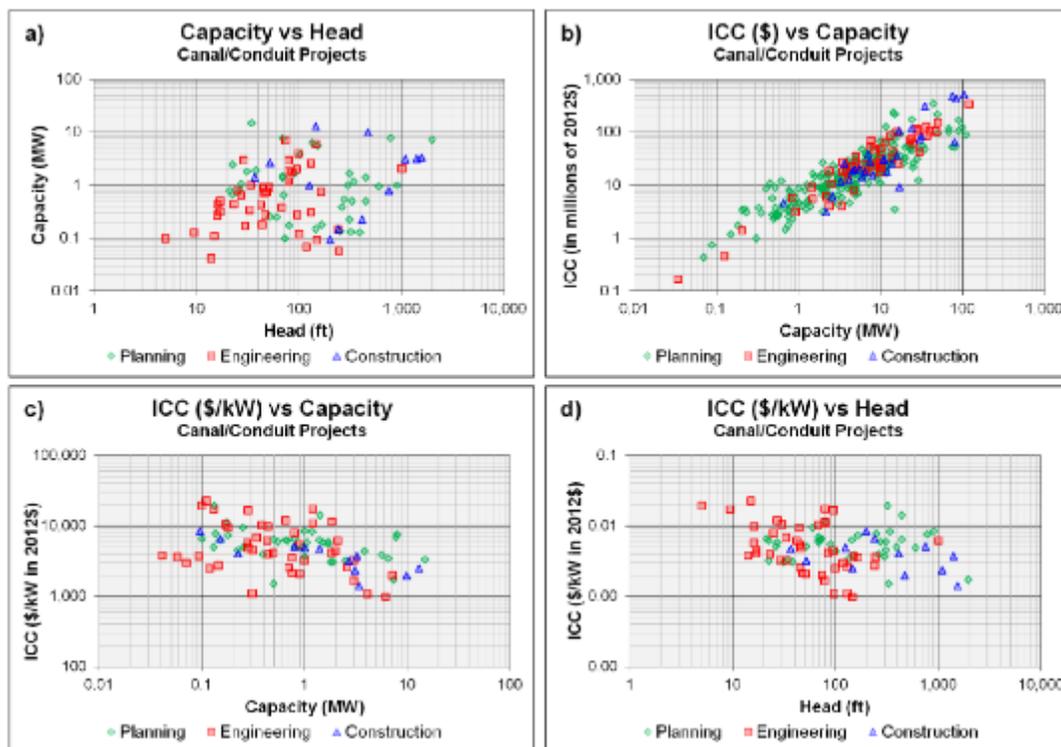


Source: IRENA Renewable Cost Database.

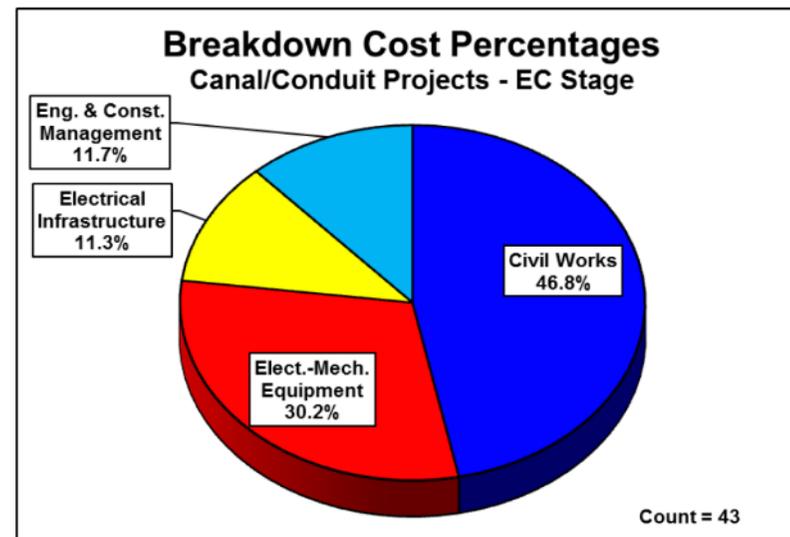
中小水力発電開発に係る費用等 米国 コスト情報

- 米国では国立研究機関(Oak Ridge National Laboratory)が、過去の設置事例を基に分析したコスト情報を公開している。
- 発電方式ごと(新設、水路式、既設ダム活用など)に総資本費の相関式が提示されており、妥当な開発費用を算出するための目安となっている。

米国における水路式発電所のコスト相関式および相関関係



$$ICC \text{ (in 2012\$)} = 11,277,566 P^{0.819} H^{-0.177}$$



出所) Oak Ridge National Laboratory “Hydropower Baseline Cost Modeling” (2015年1月) p.37, p.38 (Figure 16, 17)

中小水力発電開発に係る費用等 ドイツ コスト情報

- ドイツ経済エネルギー省が発行している「水力発電市場分析」において、初期投資費用や運転維持費用などの規模別データを提供。
 - 米国の例と同様に、事業者が妥当な開発費用を算出するための目安となっている

ドイツの新設水力発電の資本費(ユーロセント/kWh)

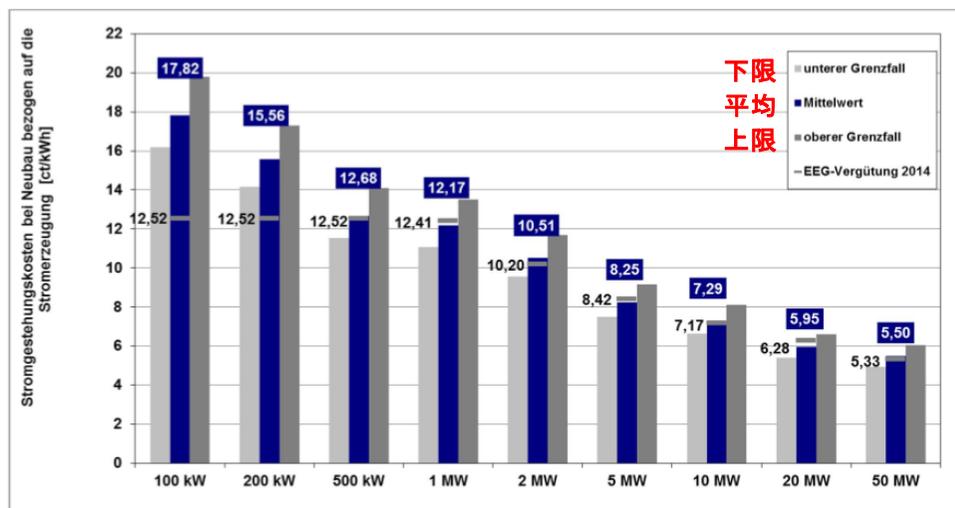


Abbildung 14: Vergleich von Stromgestehungskosten und Vergütung beim Neubau von Wasserkraftanlagen bezogen auf die Leistung P_{inst} , Inbetriebnahme 2015

ドイツの運転維持費用(kWh単価はユーロセント/kWh)

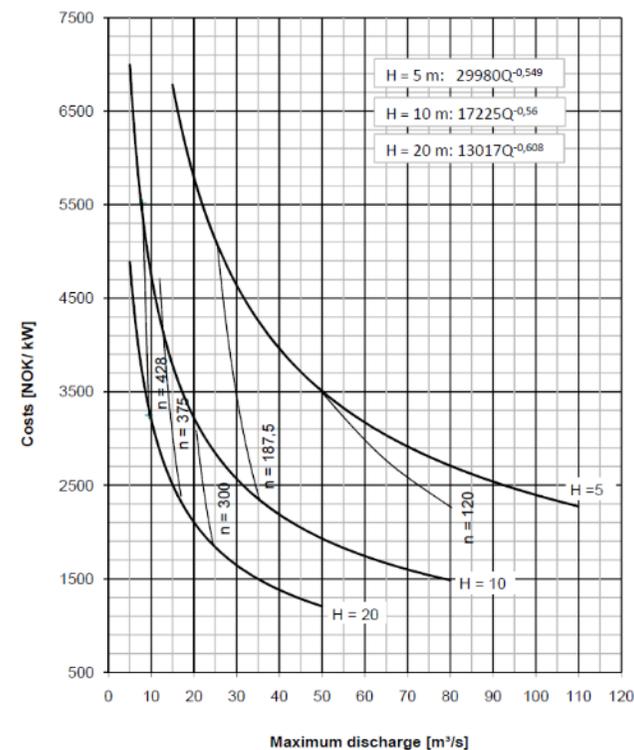
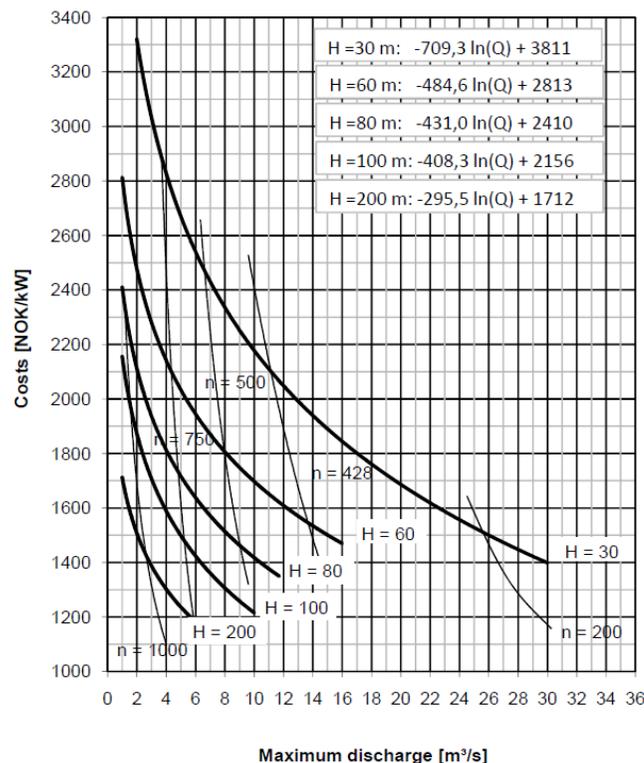
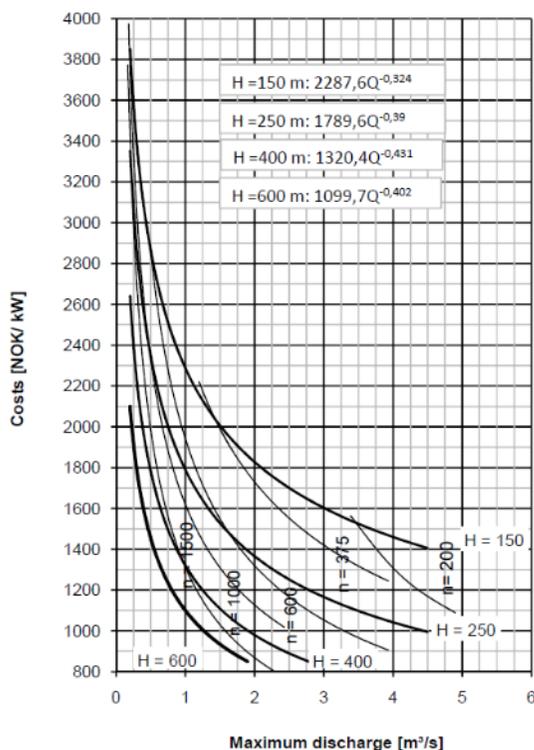
Tabelle 16: Betriebskosten für Wasserkraftanlagen nach Klassen der install. Leistung

C/a	Installierte Leistung								
	100 kW	200 kW	500 kW	1 MW	2 MW	5 MW	10 MW	20 MW	50 MW
メンテ費									
Instandhaltungskosten	14.400	25.200	55.250	90.000	130.000	220.000	400.000	560.000	875.000
保険費									
Versicherungen	1.600	2.660	5.850	7.200	10.000	16.000	28.000	42.000	70.000
管理費									
Verwaltung	800	1.400	3.250	6.000	12.000	24.000	48.000	84.000	210.000
賃料									
Miete bzw. Pacht	2.000	3.500	8.125	15.000	25.000	50.000	100.000	175.000	437.500
留保金									
Unvorhergesehenes	2.400	4.200	9.750	18.000	30.000	60.000	120.000	210.000	525.000
人件費									
Personalaufwand	5.000	7.500	13.000	45.000	90.000	188.000	300.000	375.000	600.000
合計									
Summe laufende Kosten	26.200	44.460	95.225	181.200	297.000	558.000	996.000	1.446.000	2.717.500
kWh単価 (インフレ未考慮)									
Kosten ohne Inflation [ct/kWh]	6,9	5,9	4,5	4,0	3,1	2,2	1,9	1,3	1,0
kWh単価 (インフレ+電力価格変動考慮)									
Kosten mit Inflation und Strompreisänderung [ct/kWh]	8,1	6,9	5,3	4,7	3,6	2,6	2,2	1,5	1,2

中小水力発電開発に係る費用等 ノルウェー コスト情報

- ノルウェー水資源エネルギー局が発行している「小水力発電コストデータベース」では、土木工事や各機器ごとの平均的なコストが関数(各種パラメーターごとの相関式)として記されている。

500-1,000kW規模水車のコスト曲線(左からペルトン水車、カプラン水車、フランシス水車)(ノルウェー)



出所) Norwegian Water Resources and Energy Directorate "COST BASE FOR SMALL-SCALE HYDROPOWER PLANTS" (2012年) p.41-43 (Figure 3.2.1-3.2.3)

中小水力発電開発に係る費用等 ヒアリング結果

- 各国機関とも、小水力発電は収益性が見込めず、経済支援が必要という見解である。

ヒアリング結果 ①小水力の事業収益性

(米国: 公的機関A)

- ✓ 水力発電は耐用年数が長く100～150年存続するため、資本費はかかるが長期的に回収可能。
- ✓ 水力発電で収益を得ることは厳しくなっている。事業者は発電以外の価値を見出すことが必要。

(ドイツ: 業界団体B)

- ✓ ほとんどの発電所は収益性が低い。

(ドイツ: 公営事業者B)

- ✓ 小規模水力の利益は小さく、FITなしでは採算性が確保できない。同社の事業では、FITが約0.12ユーロ/kWhと非常に低い。

(イタリア: 業界団体C)

- ✓ 最低限、0.18EUR/kWh程度の補助金があれば7～8年でIRR15%を確保可能。補助金がなければ20年かけても収益性は見込めない。
- ✓ 小規模水力発電には経済支援が必要。

(オーストリア: 民間事業者A)

- ✓ 新規プロジェクトでは補助金なしでは採算性が出ない。既設改修プロジェクトであれば経済性を確保できるケースもある。現在はFIT制度が存在しないため、経済性が成立しない。

(オーストリア: 業界団体E)

- ✓ 水力発電において利益を確保するには経済支援が必要。

(オーストリア: 民間事業者B)

- ✓ オーストリアで補助金なしにプロジェクト収益性を確保することは難しい。補助金を含めても利益を出すのに30年かかる。

(チェコ: 民間事業者C)

- ✓ チェコのFITは約0.25EUR/kWhで、投資回収は10年程度。既に事業収益性の高い適地はほとんど残っておらず、経済支援が必要。

中小水力発電開発に係る費用等 ヒアリング結果

- 短期的には資本費・工事費削減が重要だが、長期視点では逆に資本費をかけて効率運用が望まれる。

ヒアリング結果 ②コスト構造・経済性改善の重要要素

(ドイツ:業界団体A)

- ✓ ドイツでは資本費が高いが、これは**土地費用が著しく高い**ことに起因している

(ドイツ:業界団体B)

- ✓ 一般的な費用内訳は、設備費が30～60%、建設費が40～60%、事業計画・管理費が5～15%、手付金・利子・手数料等が5～10%である。
- ✓ 無理に資本費を削減するよりも、むしろ**設備により費用をかけて**、長期間に亘る設備の**運用を効率的に行えるように配慮すべき**である。

(ドイツ:公営事業者B)

- ✓ 投資費用はおおよそ1万ユーロ/kWで、建設費や機械・電気関連の設備が80%を、設計が20%を占める。
- ✓ 運転維持費は非常に小さく、事業性改善には**資本費が重要**である。500 kWまでの小水力であれば、建設後20年間は年間5,000ユーロ以下の機器修繕費で対応可能。

(イタリア:製造メーカーA)

- ✓ イタリアでの資本費は2,500～8,400EUR/kW、運転維持費は50～200EUR/kW程度。

(オーストリア:民間事業者A)

- ✓ 通常、資本費が1/3、工事費が2/3を占めるため、特に**土木設計が重要**。

(オーストリア:製造メーカーB)

- ✓ 1 MWの場合の資本費は約3,500 EUR/kW

(オーストリア:民間事業者B)

- ✓ **長期的な視点で水力発電所を運用することが非常に重要**である。より高い資本費を投じて、後の維持管理費を下げる方が好ましい。

(チェコ:民間事業者C)

- ✓ チェコの資本費は約4,000EUR/kWであり、世界平均の2～2.5倍である。
- ✓ 資本費が35%、工事費が35%、設計・管理が10%を占める。(残りの20%はプロジェクトにより異なる)

1.3 費用低減の取り組み、施策(海外)

費用低減の取り組み、施策 ①米国 資本費

- 米国での資本費に関する費用低減の取り組みを下表に整理した。
- 日本での検討が進んでいない領域として、特に**標準化**、**モジュール化**の要素に着目する。

米国での費用低減の取り組み

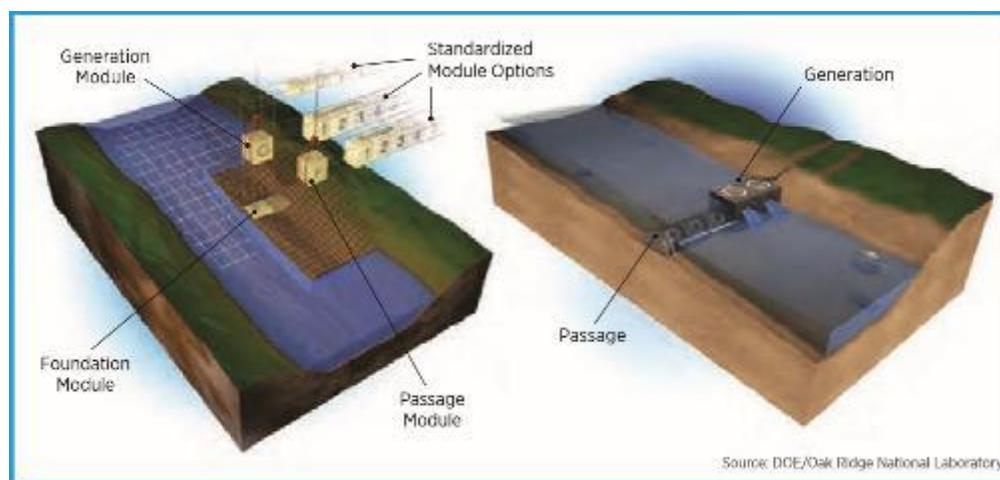
分類	技術・取組項目	対象区分	技術・取組概要
タービン	標準化	設備費 工事費	設計・製造を標準化し、規模の経済によりタービンコストを削減する。主に中小水力発電向け。
	サイフォン式	工事費	低落差でも効率よく取水でき、工事費も削減可能。
	可変速タービン	出力向上	様々な流量に対して最適速度で運転可能。(出力向上)
	発電機一体型タービン	工事費	発電機が一体となったタービンによって、建設費・土木工事費の削減が可能。主に低落差向け。
発電機	誘導発電機	設備費	構造が簡素。主に小水力発電向け。
	永久磁石発電機	設備費	構造が簡素。主に変動が大きい低落差向け。
導水路	ペンストック材質変更	設備費	PVC、ポリエチレン等の代替材料によりコスト削減
その他	モジュール化	設備費 工事費	各設備ユニットをモジュール化することで、製造コストの削減や、土木工事も標準化により削減可能。
	電気室簡素化	工事費	設備の最適配置により電気室を簡素化

出所) Oak Ridge National Laboratory “Small Hydropower Cost Reference Model”(2012年10月) 第7章(p45~51)より三菱総研作成

費用低減の取り組み、施策 ①米国 資本費

- 米国DOE(エネルギー省)で「標準モジュール型水力発電(SMH)」プロジェクトを実施している。
- 発電モジュール、基礎モジュール、水路モジュールなどの複数種類の標準モジュールを、設置サイトの環境条件に合わせて配置して、発電ユニットを形成する。
 - 標準化による**スケールメリットで製造コスト削減**
 - 標準モジュールで**画一的・迅速な工事を実現し、土木工事費を削減**
 - 魚道モジュールなど環境配慮も考慮したモジュール設計
 - コスト低下や環境影響向上などにより、**従来設置できなかったサイトへの導入も可能**となる
- プロジェクト全体のコストを40%以上削減できる可能性がある。

米国DOEの標準モジュール型水力発電



費用低減の取り組み、施策 ①米国 資本費

- GE社では5MWユニットを小水力発電の標準ユニットとして展開している。

GE社の小水力発電標準ユニット

OUR TECHNOLOGY

Small hydropower solutions

GE's Small Hydro Solutions

Our standard solutions from **5MW unit output** are flexible and versatile. They capitalize on GE's 100+ years of hydro expertise, as well as on GE's highest standards of reliability and quality.

- ~50 GW** installed capacity, comparable to 30,000 soccer fields fully covered by solar PV panels
- ~4 months** project lead time reduction thanks to high value integrated solutions
- ~2%** energy production increase when combined with GE's full service offering
- 95+%** plant availability thanks to comprehensive long-term partnership

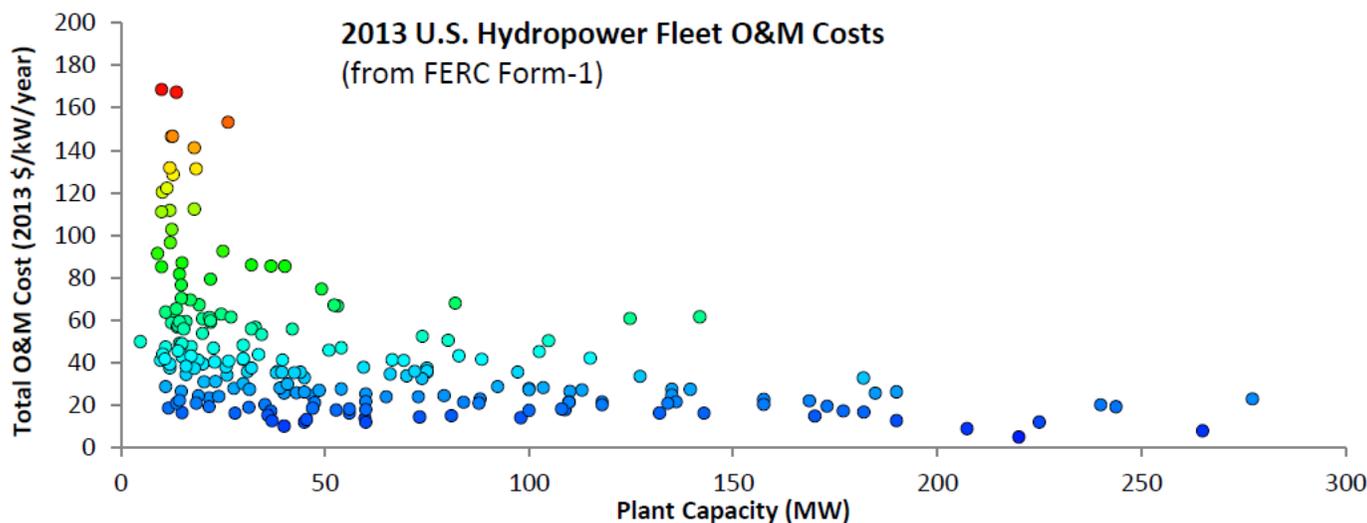
Estimated data calculated on existing plants in operation using GE's technologies, non-binding

出所)GE社ウェブサイト“Small Hydro Solutions” <https://www.ge.com/renewableenergy/hydro-power/small-hydropower-solutions> (閲覧日:2020年10月14日)

費用低減の取り組み、施策 ①米国 運転維持費

- 運転維持費は発電所の特性・環境、特に発電所の規模に大きく依存する。
- 中小水力における運転維持費削減の取り組みでは、下記が挙げられている。
 - **自動化・遠隔操作**: 運転維持費を50%以上削減できる可能性を有する。
 - **汎用部品**: シンプルな構造、汎用性のある部材を用いることで維持費を抑制。
 - **適切なメンテナンス**: 入れ替え、補修、オーバーホールを適切に行うことで長寿命化を促進。

運転維持費と規模の関係(米国)



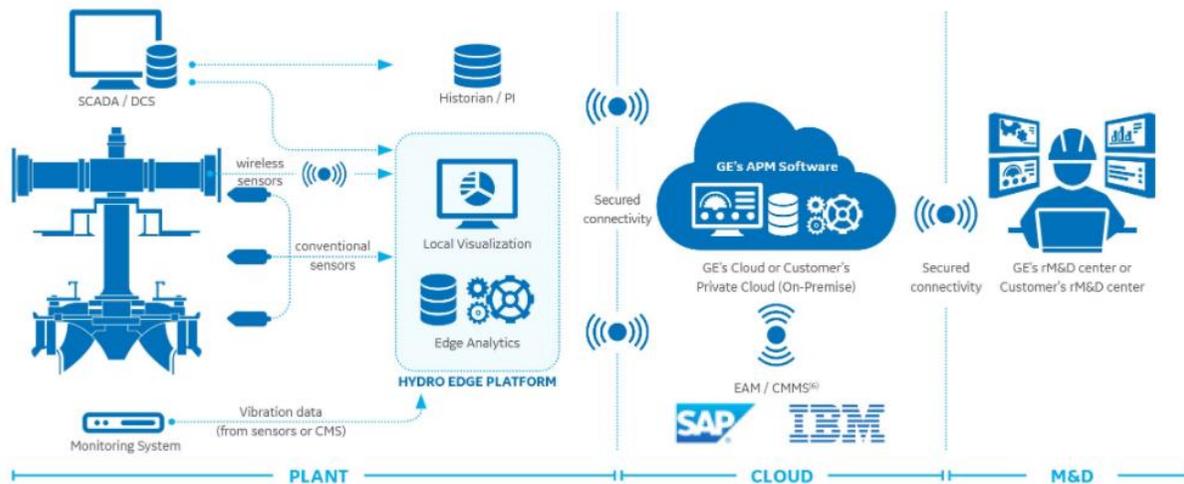
費用低減の取り組み、施策 ①米国 運転維持費

- GE社ではDigital Hydro Solutionと称したスマートメンテナンスソリューションを展開している。
 - 運転状態をセンサーで測定し、運転・発電状況を見える化。
 - SCADAシステムを用いて監視および最適運転を実現。(発電量向上)
 - アセット診断、部品交換時期通知、故障予兆検出などを通じて長寿命化・ダウンタイム低減に貢献。

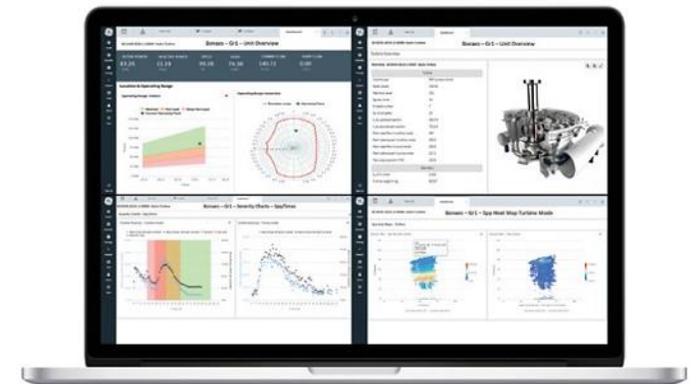
※SCADA: Supervisory Control And Data Acquisition、監視制御システム

GE社のDigital Hydro Solutions

With Modular and Scalable Edge to Cloud solutions



Software with Hydro Specific User experience



出所)GE社ウェブサイト“Digital Hydro Solutions” <https://www.ge.com/renewableenergy/digital-solutions/digital-hydro-plant> (閲覧日:2020年10月14日)

費用低減の取り組み、施策 ②ドイツ

- 水力発電の技術は既に小規模な発電設備であっても90～92%を達成しており、効率向上は非常に困難だが、近年、効率向上・費用低減に向けて多くの新たな進展がある。
 - 設計方法の改善
 - 可変速装置の導入
 - 低落差でも高効率な発電を可能にする水車の開発
 - 費用対効果の高い、標準化された水車の開発

費用低減の取り組み、施策 ②ドイツ 資本費

- 低落差でも高効率な発電を可能にする水車の開発
 - 落差が比較的低い地点でも、建設費を抑えながら高い発電効率を実現する水車が開発されている。
 - 従来の水車よりも若干効率が低いが、建設にかかるコストも従来の発電所よりもはるかに低くなるため、プロジェクトの経済性を向上させることに寄与する。

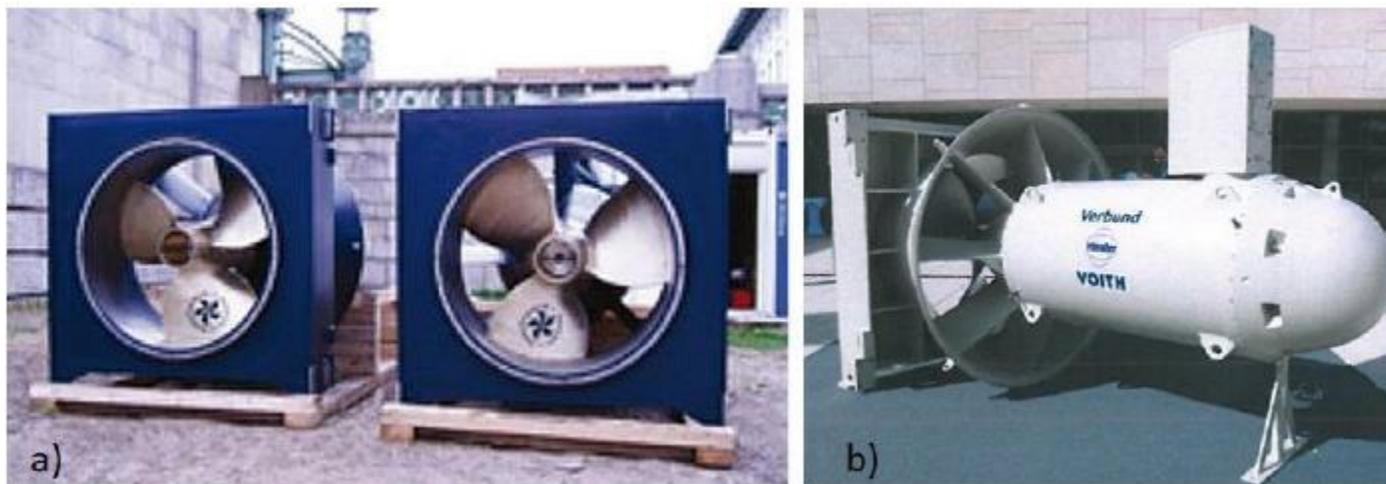


a) Juhrig, b) Pelikan

c) Hylowプロジェクト(欧州委員会の資金提供による、低落差での水力発電の研究開発プロジェクト)

費用低減の取り組み、施策 ②ドイツ 資本費

- 費用対効果の高い、標準化された水車の開発
 - ほとんどのメーカーは、標準化された単純な構造の水車を提供している。



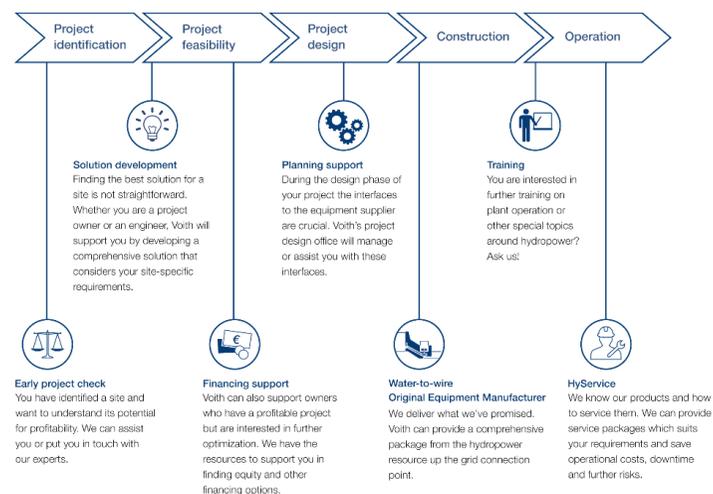
a) Andritz社、b) Voith社

費用低減の取り組み、施策 ②ドイツ 資本費

- Voith社は、小水力については標準製品を採用(販売)する方針としており、製品のモジュール化を進めている。また、製品・設備の販売のみならず、FS支援や工事・運用まで含めた一括ソリューションを提案している。

Voith社のソリューションビジネス概要

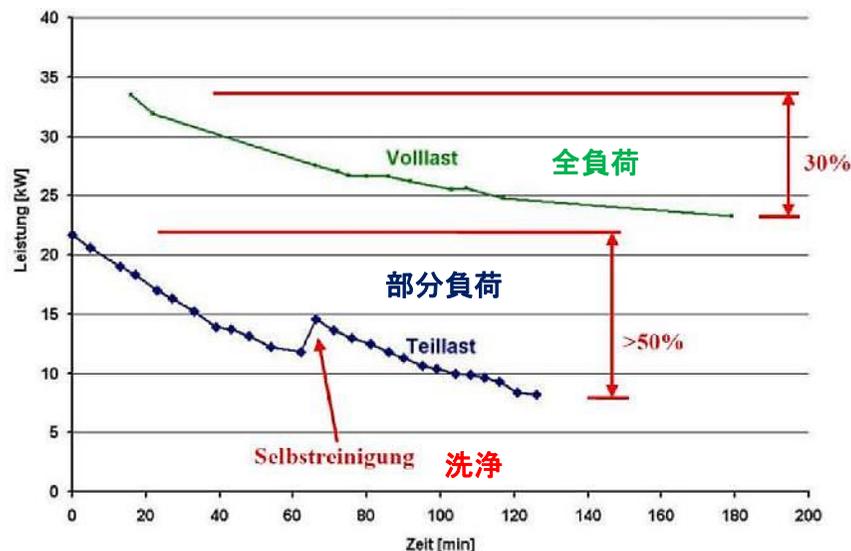
② Voith is your water-to-wire partner for the whole project duration – and beyond



費用低減の取り組み、施策 ②ドイツ 運転維持費

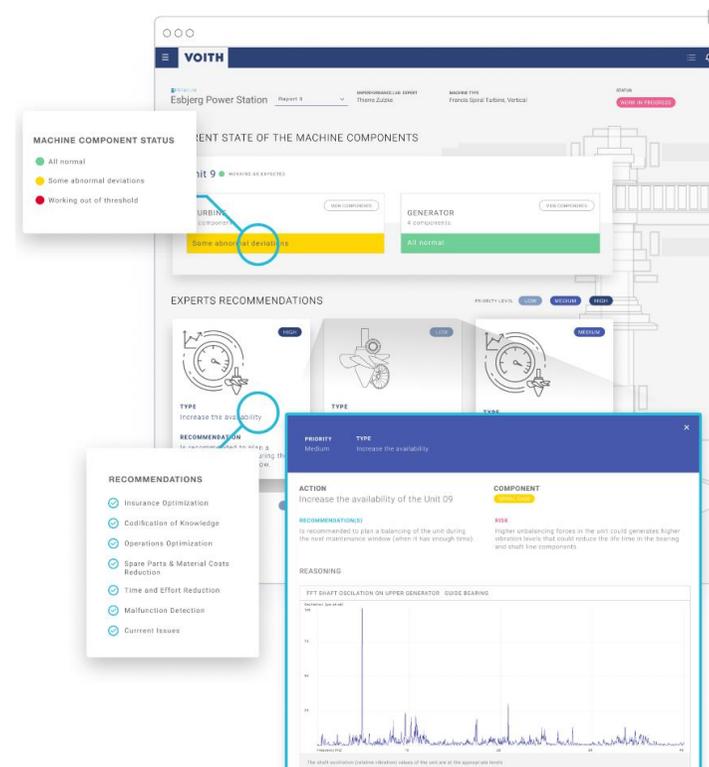
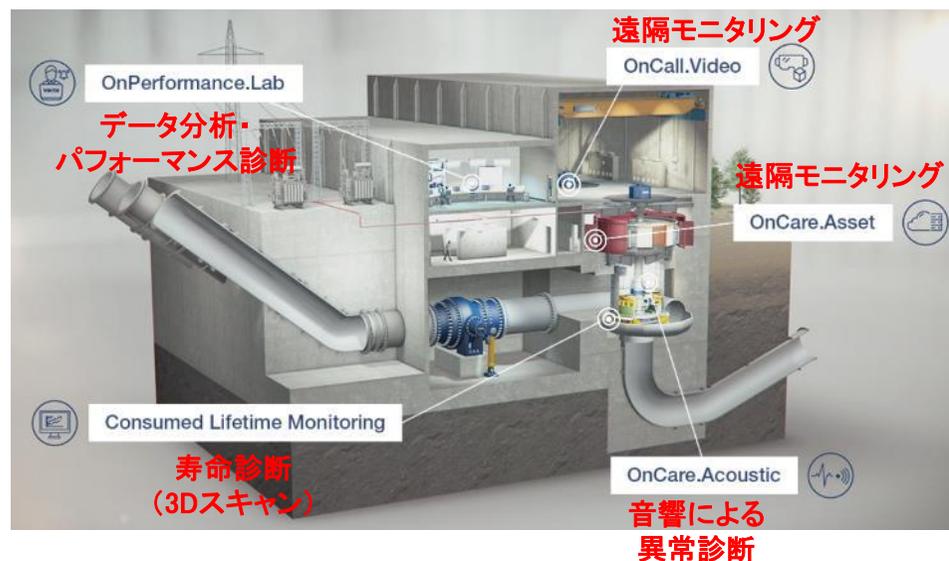
- 運転維持費の低減に資する技術の進展として、以下が挙げられる。
 - 運用管理の最適化
 - 複数の水車を持つ発電所の場合、運転管理の最適化により発電効率の向上が達成できる。
 - 洗浄の自動化
 - 発電設備の汚れやごみの洗浄は、手作業で行われており、小水力の維持管理の課題の一つである。これらの洗浄を自動で行い、コストをかけずに稼働率を向上させる。

汚染による水車の動力低減(ドイツ)



費用低減の取り組み、施策 ②ドイツ 運転維持費

- Voith社は、SCADAシステムによる一括制御、水車・発電機の自動制御など、各種設備の運用自動化も進めている。
- また、遠隔監視、データ分析、パフォーマンス診断、音響による異常診断、ランナー3Dスキャンによる寿命診断など、ダウンタイム(未稼働時間)の低減に寄与するスマートソリューションも提供している。



出所) Voithウェブサイト <http://voith.com/corp-en/products-services/hydropower-components/digital-hydropower-solutions.html>
<https://voith.com/corp-en/onperformancelab.html>
 (閲覧日: 2021年2月25日)

費用低減の取り組み、施策 ③その他 資本費(コンテナ型ユニット)

- Global Hydro社では「smarT」と呼ばれる1MWまでのコンテナ型ユニットを展開。
 - モジュール式ユニットで、台数を増やすことで容易に規模拡張が可能。
 - コンテナ型ユニット内にタービン、発電機、電気設備が一体となっており、電気室が不要。
 - 大半の機器がプレアセンブリで組み立てられており、費用のかかる「現場作業」を極力削減することで工事費も30%程度削減が可能。

Global Hydro社のコンテナ型水力発電ユニット



出所) Global Hydro “THE SMART WAY TO GENERATE POWER” <http://www.global-hydro.eu/de/produkte/smart> (閲覧日: 2020年12月18日)

費用低減の取り組み、施策 ③その他 工事費(マイクロトンネル技術)

- ノルウェーの掘削専門企業Norhardが有する掘削技術により、土木工事費を約7割削減した事例もある。
 - 高度な掘削技術によりトンネル小径化を実現。従来であればトンネル径数m程度の工事用トンネル(車両が通れるくらい)が途中まで必要であったが、本技術では1.2m程度のトンネル径で全工程を掘削し、水圧導管を付設可能。

ノルウェーNorhard社のマイクロトンネル技術(左:従来技術での掘削、右:マイクロトンネル技術での掘削)



費用低減の取り組み、施策 ヒアリング結果 ①資本費

- 汎用製品・モジュール製品の利用などが挙げられるが、総じてコスト削減は難しいという感触であった。

分類	ヒアリング結果 ①資本費
製造 メーカー	<p>(イタリア:製造メーカーA)</p> <p>✓ 既設改修・増強は安価であり、発電効率は20~25%向上するが、利益も小さく金銭支援が必要。</p>
	<p>(オーストリア:製造メーカーB)</p> <p>✓ 1MW未満向けに標準式・モジュールシステムを採用。電気機械設備への投資額を30%削減可能。</p>
業界団体	<p>(ドイツ:業界団体A)</p> <p>✓ 規格に従い機器が標準化されているため、機器コストは低下している。</p> <p>✓ モジュール式コンテナ型発電装置が採用された発電所があるが、11kWで80万ユーロと小規模発電では比較的安価。</p>
	<p>(ドイツ:業界団体B)</p> <p>✓ 資本費削減ソリューションはあまり存在しない。無理に資本コストを削減するよりも、むしろ設備により費用をかけて、長期間に亘る設備の運用を効率的に行えるように配慮すべきである。</p>
	<p>(イタリア:業界団体C)</p> <p>✓ 水力発電は成熟した技術であり、コスト削減につながる大幅な技術改善は難しい。</p>
	<p>(オーストリア:業界団体E)</p> <p>✓ オーストリアでは資本費は上昇しており、コスト改善は難しい。</p>

費用低減の取り組み、施策 ヒアリング結果 ①資本費

- 汎用製品・モジュール製品の利用などが挙げられるが、総じてコスト削減は難しいという感触であった。

分類	ヒアリング結果 ①資本費
事業者	<p>(米国: 公営事業者A)</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ 大幅なコスト削減は困難。 ✓ 資本費よりも、効率的な維持管理と長期間運用(30~50年以上)を行うことが発電事業全体のコスト低減に寄与する。 <p>(オーストリア: 民間事業者A)</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ 新規開発では大規模サプライヤーの汎用製品を利用することが多い。ただし、同時に小規模サプライヤーの開拓も行い、コストを下げるための最適方法を追求する。 ✓ 大規模水力(5MW以上)はオーダーメイドの発電設備がコスト効率が良い。一方、小規模水力(5MW未満)はモジュールユニットがコスト削減に有効。 <p>(オーストリア: 民間事業者B)</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ 各サイトの特性を考慮して、プロジェクトごとに最適設計を行うことが望ましい。 ✓ 設置サイトの特性に応じた限界設計がコスト削減のために必要である。例えば、導水管に鋼管、コンクリート管、樹脂管のどれを採用するかは、安全性なども考慮して判断する。 <p>(チェコ: 民間事業者C)</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ プロジェクト規模に適した設備導入・設計を行うことが重要。 ✓ 例えば導水管を鋼管製からGRP(ガラス繊維強化ポリプロピレン)へ変更するなど、先進材料の採用もコスト削減手法。

費用低減の取り組み、施策 ヒアリング結果 ②工事費

- 工事費削減も難しいという声が多いものの、綿密な工事計画立案などが特に重要視されている。

分類	ヒアリング結果 ②工事費
製造 メーカー	<p>(イタリア:製造メーカーA)</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ 一括ソリューション(Water-to-wire)により設計・施工を統合的に最適化することが可能。ただし、この方法が好まれるかどうかは投資家の意向次第によるところも大きい。 ✓ ノルウェー企業Norhandのマイクロトンネル技術により、建設費用を700万ユーロから3割削減。
	<p>(オーストリア:製造メーカーB)</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ 標準式・モジュールシステムにより、コストに影響の大きい「現場工事」を極小化することが可能。 ✓ 小規模発電ではコンテナ型ユニットで機器費用や工事費用を効率化。
業界団体	<p>(ドイツ:業界団体A)</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ モジュール式コンテナ型発電装置は、資本費のみならず工事費の削減にも寄与する。
	<p>(ドイツ:業界団体B)</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ 自治体や地域住民との協議・合意形成が非常に重要。抗議などで開発が遅延すると開発費用もその分増加してしまう。
	<p>(イタリア:業界団体C)</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ 工事費低減には、計画段階での仕様の作り込み・精査が最重要。
	<p>(オーストリア:業界団体E)</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ オーストリアで工事費を削減できる余地はあまりない。日本同様に事業性の高い案件は既に開発済み。 ✓ 工事費低減には事業計画段階でしっかりと投資をしてコスト最適化を検討すべき。

費用低減の取り組み、施策 ヒアリング結果 ②工事費

- 工事費削減も難しいという声が多いものの、綿密な工事計画立案などが特に重要視されている。

分類	ヒアリング結果 ②工事費
事業者	<p>(米国:公営事業者A)</p> <p>✓ 可変ピッチプロペラは発電量向上が可能であるが設置費用・維持費用がかかる。同一サイトにおいて可変ピッチ・固定ピッチ翼を組み合わせて可変ピッチプロペラを必要最小限に抑えることで、発電量向上と設置費用の増加抑制の両立させられる可能性がある。(過去事例では、同一サイトで16の可変ピッチプロペラを採用したが、コスト効率的には4つで十分であることがデータで示された)</p>
	<p>(オーストリア:民間事業者A)</p> <p>✓ 入札でコスト削減を競わせた結果、落札事業者の代替案で工事費を当初案より30%以上削減。入札後でも仕様変更の受入れが可能となるような柔軟性を有することがコスト削減に有効。</p>
	<p>(オーストリア:民間事業者B)</p> <p>✓ 初期の工事計画・評価が非常に重要である。工事に関連する気温・天候などのリスクを適切に評価し、工事遅延の発生を最小限に抑えるなどの取り組みが大切。</p>
	<p>(チェコ:民間事業者C)</p> <p>✓ 綿密な建設計画を立てて実行することで、工事費を大幅に削減可能。</p> <p>✓ パイプ輸送時にネスティングと呼ばれる方法(内径の異なるパイプを重ねて1本のパイプとして輸送)を採用することで、輸送費の66%削減に成功。</p>

費用低減の取り組み、施策 ヒアリング結果 ③運転維持費

- 発電所の遠隔制御・集中管理など、デジタル化・スマート化が重要視されている。

分類	ヒアリング結果 ③運転維持費
製造メーカー	(イタリア:製造メーカーA) ✓ SCADAを用いた遠隔管理・制御に加え、ビッグデータ解析(運転状況分析、故障予測)を実施。
	(オーストリア:製造メーカーB) ✓ 一括ソリューション(Water-to-wire)により、プラント管理を自動化かつワンストップ化することで効率的な運営が可能。運転維持費の30%以上を削減可能。 ✓ オーストリアでは80~90%のプラントが無人運転。大規模水力は一括管理によりコスト削減。
業界団体	(ドイツ:業界団体A) ✓ 運転維持管理のデジタル化が注目を浴びており、発電量向上が可能。500kW未満の小規模発電にも適用が可能である。 ✓ 水力発電のO&Mコストは非常に低く、資本費や工事費の削減に注力した方が効率がよい。
	(ドイツ:業界団体B) ✓ 遠隔監視・制御や自動化技術は運転維持費削減のために非常に重要。 ✓ 水位を遠隔監視するためのカメラを設置するなどのソリューションがよくある例である。 ✓ 既存設備のスマート化や、新規設備は開発時からのスマート技術導入を実施すべきである。
	(イタリア:業界団体C) ✓ 遠隔監視技術、デジタル技術によるコスト削減の可能性はある。
	(オーストリア:業界団体E) ✓ 遠隔制御、SCADA、自動化などのソリューションはコスト低減に資する。

費用低減の取り組み、施策 ヒアリング結果 ③運転維持費

- 発電所の遠隔制御・集中管理など、デジタル化・スマート化が重要視されている。

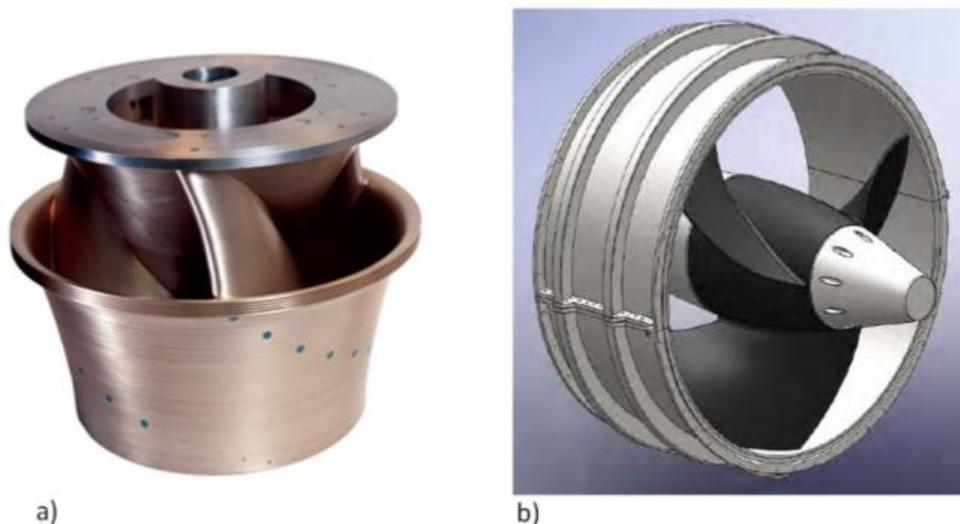
分類	ヒアリング結果 ③運転維持費
事業者	<p>(米国:公営事業者A)</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ 遠隔制御や集中管理に注力。多数の運転データ(振動、温度、流量、圧力)を集中的に管理・分析することで人件費の削減や発電量が向上(予期せぬ故障の最小化も含む)し、維持費を1~3%削減可能。 ✓ 発電所を重要度順にランク付けして効果的な維持管理を実施。 ✓ すべての発電所で維持管理手法を標準化して、効率化な運用を実施。 ✓ 運転維持費が発電事業の中で最も重要。効率的な維持管理の下、発電所を30年、40年、50年と長期に亘り運用することが発電事業全体のコスト低下に大きく寄与する。
	<p>(オーストリア:民間事業者A)</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ 発電所は遠隔制御で運転・維持管理を行っている。 ✓ 発電ユニットを重要度でグループ化して計画的・効率的な保守を実施。 ✓ メンテナンスを効果的に実現するために従業員のトレーニングも実施している。
	<p>(オーストリア:民間事業者B)</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ オーストリアでは大規模発電所を中心に自動化が進んでいる。ただし小水力では稀である。

1.4 技術開発、研究および専門人材育成等の状況調査・分析(海外)

技術開発、研究および専門人材育成等 新たな研究・開発

- ドイツでは、これまで設置ができなかった河川への水力発電の普及を拡大するため、生態系(魚類)への配慮技術などの研究・開発が行われている。
- しかし、成熟技術である水力発電について抜本的な改革に資する取り組みは存在せず、多くは既存技術の延長線上である地道な効率改善や未利用地の活用に資する取り組みに終始している。

魚類保護タービン(ドイツ経済エネルギー省文献)



出所) Federal Ministry for Economic Affairs and Energy "Marktanalyse zur Vorbereitung von Ausschreibungen" (2015年3月) p.60 (Figure 27)

技術開発、研究および専門人材育成等 人材教育

- 専門人材育成については、Voith社がHydroSchoolという人材育成のための教育・トレーニングコースを提供しており、タービンや発電機の点検、補修、最新化などに関する知識を継承している。
- 米国NRELによる専門知識継承に関する調査では、21.9%がほとんどされていないと回答。37.5%は個人レベルでの継承に依存しており、知識・技術を体系的に継承できる仕組みへと改善する余地がある。
- 総じて、人材育成は大手メーカーの**自主的な取り組みに依存**している状況が浮かび上がる。

教育プログラムの一例 (Voith社の研修拠点)

Customer references all over the world



Dedicated trainings & training programs

- 1 BC Hydro, Canada
- 2 Empresas Publicas de Medellin, Colombia
- 3 Rurópolis & Tapajós, Brazil
- 4 Enel Green Energy, Brazil
- 5 Inga, Democratic Republic of the Congo
- 6 Eskom Holding, Ingula, South Africa
- 7 Pakistan Water and Power Development Authority, Pakistan
- 8 Dedicated training, Australia

Public courses at our HydroSchool locations

- 1 Voith Hydro GmbH & Co. KG, Heidenheim, Germany
- 2 Voith Hydro Ltda., São Paulo, Brazil
- 3 Voith Hydro Private Limited, Noida, India
- 4 Voith Hydro Inc., Mississauga (ON), Canada
- 5 Voith GmbH & Co. KG, Johannesburg, South Africa

出所) Voith “Technical training for hydropower staff worldwide, HydroSchool” (2020年3月)

米国の専門知識の継承方法に関するヒアリング

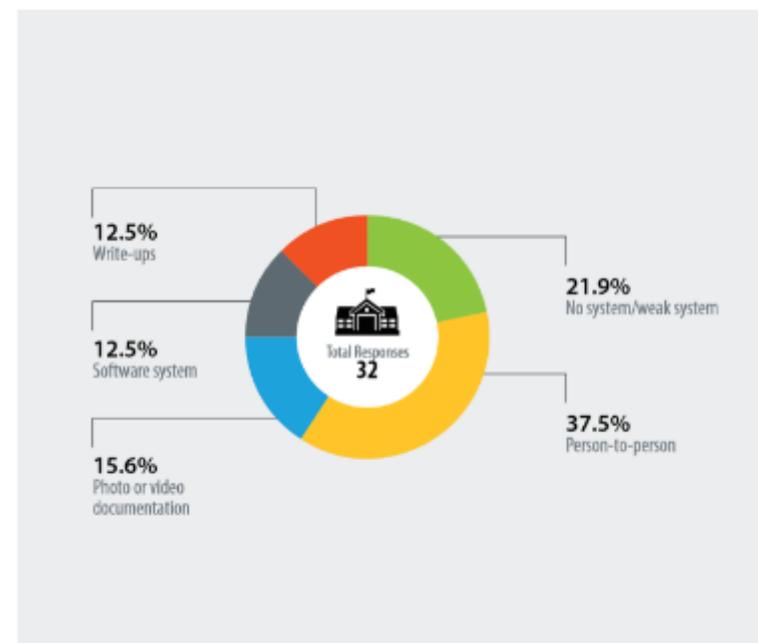


Figure 12. Knowledge Transfer Systems Source: Haskipatel et al. (2017)

出所) NREL “Workforce Development for U.S. Hydropower” (2017年10月), p.21 (Figure 12)

技術開発、研究および専門人材育成等 ヒアリング結果 ①技術開発・研究動向

- 水力発電は成熟技術であり、革新的な研究開発への取り組み事例はほとんど存在しない。

ヒアリング結果 ①技術開発・研究動向

(イタリア:製造メーカーA)

- ✓ 潤滑油の有害物質の未使用などに取り組んでいるが、水力は成熟分野であり**新技術の余地は少ない**。
- ✓ (揚水発電では系統柔軟性の提供などもあるが、)流れ込み式の多い小水力は適さない。

(イタリア:業界団体C)

- ✓ 水力発電技術は成熟しており、新たな**研究開発の必要性はあまり感じられない**。今後重要となるのは、老朽化した**既存発電所の最新技術による改修**によって発電量を向上させることである。

(オーストリア:製造メーカーB)

- ✓ 自社での研究開発は、自動化技術とタービン技術の開発が中心。(目新しいことではないと認識)

(オーストリア:業界団体E)

- ✓ 明確な取り組みは業界にない。強いて言えば、貯水池式水力発電でのエネルギー貯蔵利用。

(米国:公的機関A)

- ✓ ネットワーク化した**多数の小水力発電所を一括制御・運用**する研究を開始した。これによって大規模発電所や揚水発電所のように発電出力・発電を調整することが可能。
- ✓ Standard Modular Hydropower(**標準モジュール式ユニット**)のアプローチによって、様々な水力発電プロジェクトを標準化でき、初期費用削減が可能。
- ✓ **魚類保護タービンの研究**にも取り組んでおり、これにより環境アセス費用が削減可能。

技術開発、研究および専門人材育成等 ヒアリング結果 ②専門人材育成

- 人材育成について特定のプログラムは存在せず、事業を通じた育成が主となっている。

ヒアリング結果 ②専門人材育成

(米国: 公的機関A)

- ✓ 人材育成に関して、業界と連携した**学生向けのコンペ**を検討中。革新的なアイデアを得る機会となり、また取り組みを通じて水力発電への関心を誘起させることが狙い。

(ドイツ: 公営事業者B)

- ✓ エンジニアのほとんどは近隣の**工科大学で教育**を受けている。その他、ガイドラインや**実践的な体験(OJT)**を通じて経験を積む。

(オーストリア: 民間事業者A)

- ✓ メンテナンスを効果的に実現するために**従業員のトレーニング**も実施している。

(イタリア: 業界団体B)

- ✓ 業界において教育プログラムなどは**実施されていない**。

(イタリア: 業界団体C)

- ✓ 教育・人材育成プログラムは**存在しない**。実際の事業を通じてノウハウを継承している。

1.5 地域活用の具体事例の調査(海外)

地域活用の具体事例 ヒアリング結果 ①地域活用事例

- 地域活用事例の主な目的は、エネルギーの地産地消および災害時の停電対策である。

ヒアリング結果 ①地域活用事例

(ドイツ: 業界団体A)

- ✓ Stadtwerke (地方自治体による公益事業体)が代表的で、基本的に地産地消の市民プロジェクトの形態をとり、自治体が運営している。ドイツ国内に約250存在し、Stadtwerke MünchenやStadtwerke Augsburgなどが代表事例である。

(ドイツ: 公営事業者B)

- ✓ 同社は250~1MWの4つのプロジェクトを運営している。
- ✓ 地域小水力によって地域への地産電力の供給が可能となり、また河川管理にも貢献した。

(イタリア: 業界団体C)

- ✓ Moncalieri村では、周辺自治体と協力してエネルギーコミュニティ関連法律を制定し、地域熱供給システムや太陽光発電とともにエネルギーコミュニティの形成に努めている。

(オーストリア: 民間事業者A)

- ✓ Stadtwerke Murauでは、小規模水力発電所・配電事業を自治体が運営。余剰電力は系統へ供給。

(オーストリア: 業界団体E)

- ✓ Heiligenblut, Stubenberg, Stadtwerke Murauなどでは小水力を自治体が所有。Stubenbergの事例では、水力・バイオマス・太陽光発電から、停電時にも600世帯分の電力供給が可能。

地域活用の具体事例 ヒアリング結果 ②地域水力の成功要因

- 地域経済の創出および受容性の形成が、地域小水力実現のための重要要素である。

ヒアリング結果 ②地域水力の成功要因

(米国:公営事業者A)

- ✓ 過去の米国では、農村地域への低価格電力アクセスの提供・それを通じた事業誘致が主要な取り組みであり、このような**郊外地域の電化・電力低価格化**が成功要因であった。

(ドイツ:業界団体A)

- ✓ トラウンシュタインの発電所では、先進技術(コンテナ型ユニット)による**環境保護性能**や**経済性**が成功要因であった。

(ドイツ:業界団体B)

- ✓ 地域密着型の水力発電は、**地域資源を活用**し、また地域の電力供給を確保しながら、**環境貢献**できることが最大の特徴である。

(ドイツ:公営事業者B)

- ✓ 地域密着型の小水力は古くから存在し、当時は**電力供給**が普及要因であった。それ以外に、**雇用創出**、**水害対策**、**水路建設**なども目的の一つであった。
- ✓ 小水力は経済的な魅力が小さく、都市周辺の自治体にとっては関心は薄いであろう。公営事業者Bにとっても利益は非常に小さいが、**カーボンフリー電源**であることが地域小水力を手掛ける理由である。

地域活用の具体事例 ヒアリング結果 ②地域水力の成功要因

- 地域経済の創出および受容性の形成が、地域小水力実現のための重要要素である。

ヒアリング結果 ②地域水力の成功要因

(イタリア: 業界団体C)

- ✓ 過去のプラント開発では住民の7人中6人が反対をしたことも、**地域合意形成**が重要。

(オーストリア: 民間事業者A)

- ✓ 地域密着事例の成功要件は、**エネルギーの地産地消**(広義の)と、地域社会からの**受容性形成**(治水、収益での地域インフラ整備など)。

(イタリア: 製造メーカーA)

- ✓ 小水力は地域社会にとっての**経済的価値の源泉**。住民への減税、住民サービス提供、観光産業の創出、環境ケア資金の確保、山岳地帯における治水などの地域メリットが存在。
- ✓ EUでは系統網が発展しており、**自家消費(地域マイクログリッド)**は**経済メリットがない**。

(オーストリア: 業界団体E)

- ✓ **クリーンエネルギー**であること、**治水**目的であることなどが地域水力の促進要因である。

(オーストリア: 民間事業者B)

- ✓ 地域密着型水力の主目的は、**地域のエネルギー自立性**である。
- ✓ 地域事例を成功させるためには**地域住民の巻き込み**が非常に重要。**地域および環境への意識**が成功要因である。

(チェコ: 民間事業者C)

- ✓ 小水力発電所のほとんどが地域の住民によって所有・運営されており、**エネルギーの地産地消**の考えが普及の基本的な概念である。

地域密着型小水力発電の事例 ①Moncalieri (イタリア)

項目	詳細
地域・事業者の概要	<ul style="list-style-type: none"> イタリア北西部の町。人口約5万8,000人。 エネルギー共同体に関する法律を制定。 市が所有する小水力発電所、地域熱供給システムや太陽光発電システムを統合し、エネルギー共同体を形成しようとしている。
水力発電所の規模	<ul style="list-style-type: none"> 発電容量:3.2MW、発電量20GWh/年(流量10m³/s、落差6.9m)
利益・恩恵	<ul style="list-style-type: none"> 電力料金の低下 水資源の安定供給 「環境に配慮したエネルギー」を使用していることをアピールできる 地域雇用の創出
小水力発電を行った目的	<ul style="list-style-type: none"> 環境保護 エネルギー共同体で共通の発電所を運用(雇用、経済効果)



出所)Preve Construzioni “IREN ENERGIA – LA LOGGIA” <https://www.prevecostruzioni.com/photogallery/iren-energia-la-loggia/> (閲覧日:2021年1月5日)

地域密着型小水力発電の事例 ②Stadtwerke Murau (オーストリア)

項目	詳細
地域・事業者の概要	<ul style="list-style-type: none"> オーストリア中南部、アルプスの山間に位置する、Murauでエネルギーなどを手掛けるシュタットベルケ。Murauの人口は約3,700人。
水力発電所の規模	<ul style="list-style-type: none"> 発電容量:4.5MW、発電量は不明。 水力、太陽光、バイオマス発電を組み合わせ地域マイクログリッドを構築し、停電などの非常時に対応。電力を地産地消している。
利益・恩恵	<ul style="list-style-type: none"> 環境保護 電力の地産地消 停電などの緊急時に自立
小水力発電を行った目的	<ul style="list-style-type: none"> 環境保護 電力の地産地消



出所) Stadtwerke Murau "Energy supply" https://www.stadtwerke-murau.at/portfolio-item/ref_energieversorgung/ (閲覧日:2021年1月15日)

地域密着型小水力発電の事例 ③Stubenberg (オーストリア)

項目	詳細
地域・事業者の概要	<ul style="list-style-type: none"> オーストリア南東部、アルプス山脈に位置する村。人口は約2,300人。 同国で初めて大規模停電に対する包括的なインフラ整備を独自で行った自治体で、電力が地産地消されている好例。
水力発電所の規模	<ul style="list-style-type: none"> 発電量:580万kWh。発電容量は不明。
利益・恩恵	<ul style="list-style-type: none"> 水力以外の再エネを含めて、コミュニティ全体が独立したサービスを楽しむ可能。 停電リスクの減少。
小水力発電を行った目的	<ul style="list-style-type: none"> 環境保護 大規模停電への対策



出所) Feistritzwerke “Kraftwerk Stubenbergklamm” <https://www.feistritzwerke.at/umweltkraftwerke/> (閲覧日:2021年1月5日)

2. 国内における動向

国内における動向 調査概要

- 国内における動向について、文献・WEB調査および海外の事業者へのヒアリングを通じて整理を行った。調査項目と手法は以下のとおり。

調査項目	手法
1. 中小水力発電の現況	<ul style="list-style-type: none">● 資源エネルギー庁発表資料等を中心に整理
2. コスト動向	<ul style="list-style-type: none">● 資源エネルギー庁発表資料等を中心に整理● 国内事業者へのヒアリング調査● ヒアリング調査で得られた情報をウェブ等で深堀調査
3. 費用低減の取り組み、施策	<ul style="list-style-type: none">● 国内事業者へのヒアリング調査● ヒアリング調査で得られた情報をウェブ等で深堀調査
4. 技術開発・研究・専門人材育成	<ul style="list-style-type: none">● 国内事業者へのヒアリング調査● ヒアリング調査で得られた情報をウェブ等で深堀調査
5. 地域活用事例	<ul style="list-style-type: none">● ウェブ調査● 国内事業者へのヒアリング調査● ヒアリング調査で得られた情報をウェブ等で深堀調査

国内における動向 ヒアリング調査概要

- ヒアリング対象および主なヒアリング項目は以下のとおりである。

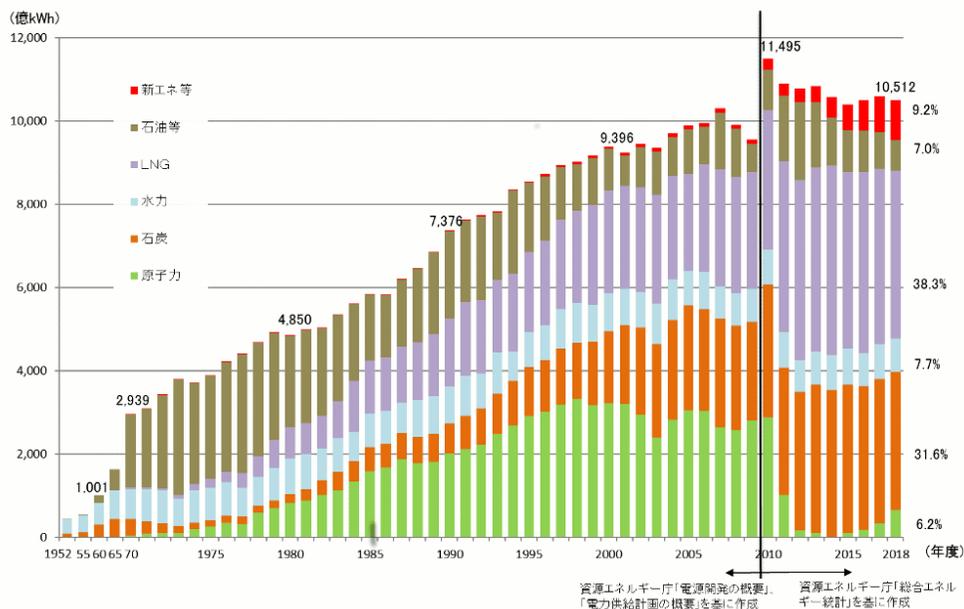
調査対象	主なヒアリング項目
メーカー・ サプライヤー	<ul style="list-style-type: none">● 国内中小水力発電事業のコスト構造、低コスト化の制約、コスト低減の取組等● 海外製品におけるモジュール化、汎用品活用等の動向● 地域活用電源開発の取組可能性と課題
発電事業者・ 業界団体	<ul style="list-style-type: none">● 国内中小水力発電事業のコスト構造、低コスト化の制約、コスト低減の取組等● 海外製品の導入状況● 地域活用電源開発の取組可能性と課題
公的機関等	<ul style="list-style-type: none">● 地域活用電源開発の取組可能性と課題● 自治体主導で中小水力発電事業を行う上での課題、必要な支援施策 等

2.1 中小水力発電の現況(国内)

国内における水力発電の設備容量・発電電力量

- 2018年度の国内の水力発電(揚水発電含む)の設備容量は5,004万kW。
- 2018年度の国内の水力発電による発電電力量は810億kWhで、総発電電力量に占めるシェアは7.7%。直近10年程度は7~8%程度で横ばいとなっている。

国内の発電電力量の推移



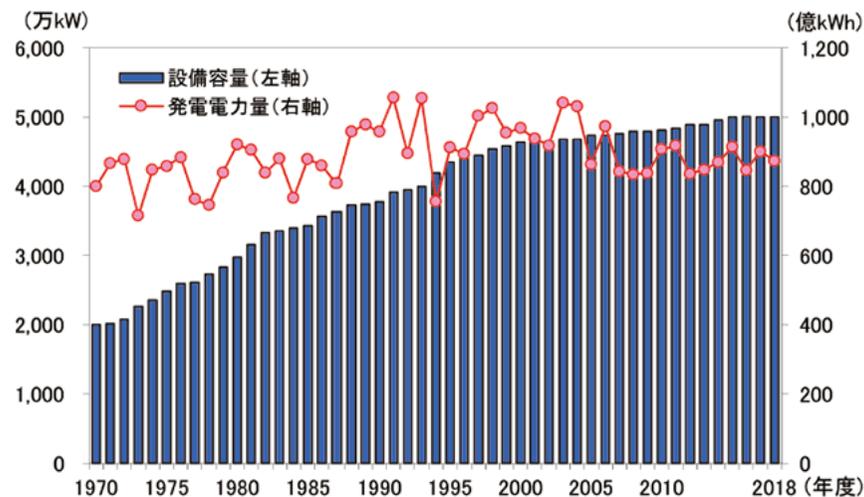
出所)エネルギー白書2020 第2部 第1章 第4節

【第214-1-6】発電電力量の推移

<https://www.enecho.meti.go.jp/about/whitepaper/2020html/2-1-4.html>

(閲覧日: 2021年2月25日)

国内の水力発電設備容量・発電電力量の推移



出所)エネルギー白書2020 第2部 第1章 第3節

【第213-2-21】日本の水力発電設備容量及び発電電力量の推移

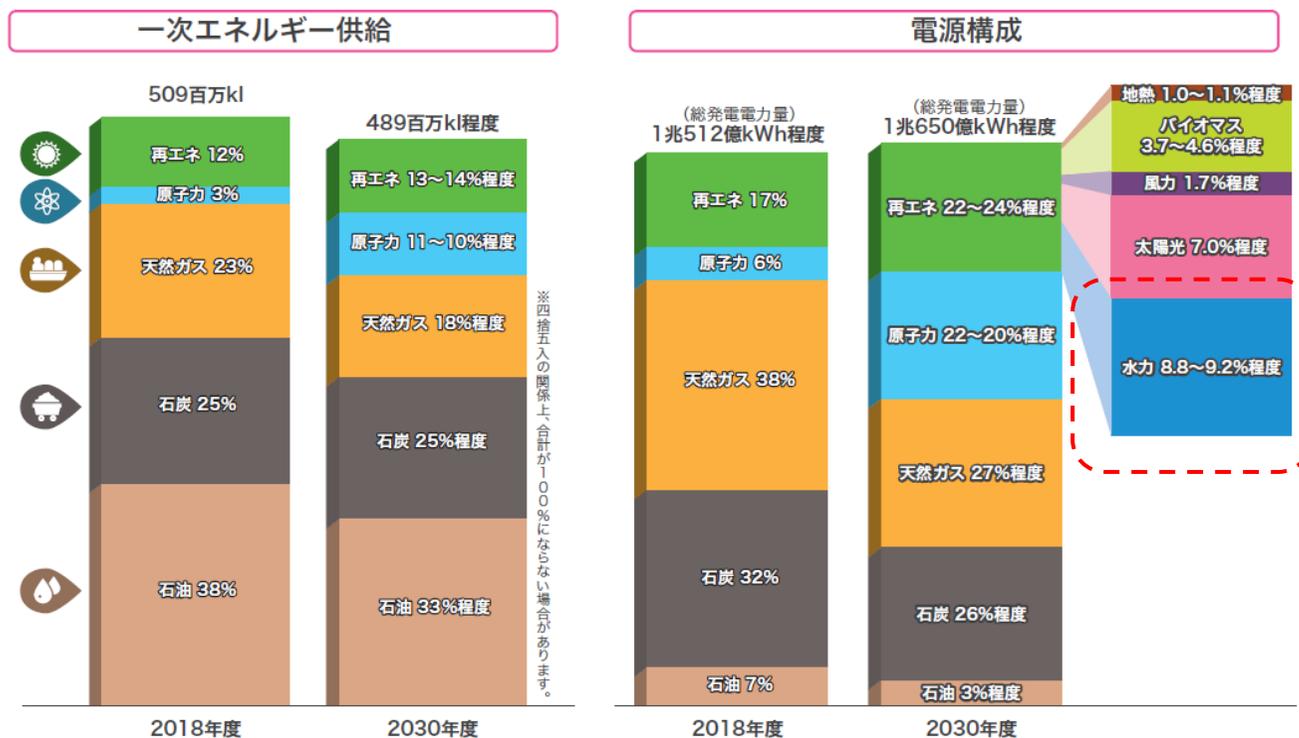
※設備容量は、一般水力及び揚水を含む全水力発電の設備容量を示す

<https://www.enecho.meti.go.jp/about/whitepaper/2020html/2-1-3.html>

(閲覧日: 2021年2月25日)

発電電力量に占める水力発電の割合の目標

- 2030年度のエネルギーミックスにおいては、総発電電力量約10,650億kWhのうち、再エネで22～24%程度、水力発電で8.8%～9.2%程度(937億～981億kWh)を占めることが目標となっている。

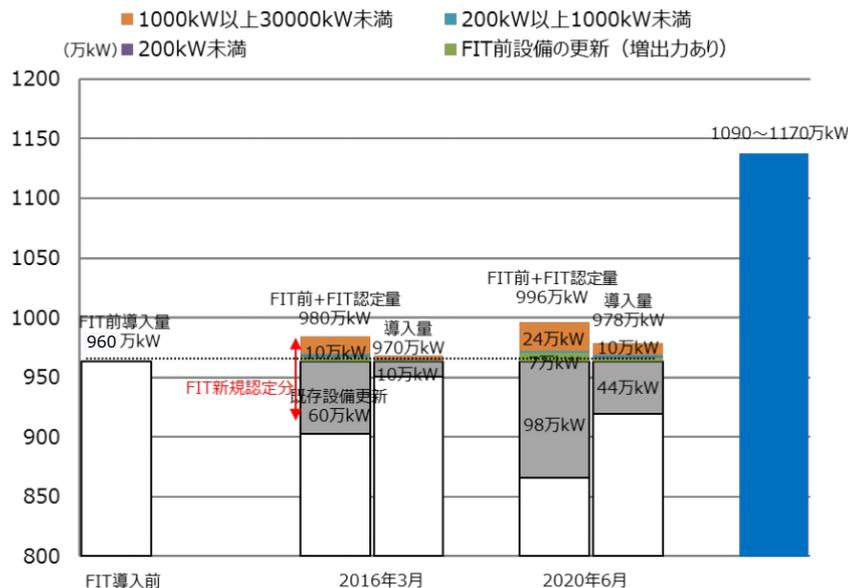


出所)資源エネルギー庁「2020—日本が抱えているエネルギー問題(後編)」https://www.enecho.meti.go.jp/about/special/johoteikyo/energyissue2020_2.html
(閲覧日:2021年2月25日)

国内における中小水力発電の導入状況

- 中小水力発電の2020年3月時点での導入量は978万kW、FIT制度開始前の導入量と2020年末時点のFIT認定量の合計は996万kW。
- 2030年度のエネルギーミックスの目標導入量1,090万～1,170万kWに対して、導入進捗率は約87%となっている。

中小水力発電のFIT認定量・導入量



※再エネ特措法（2017年4月施行改正法）による失効分（2020年6月時点で確認できていないもの）を反映済。
 ※新規認定案件の75%は既存設備の更新（増出力なし）、5%は既存設備の更新（増出力あり）と仮定している。

注) 導入進捗率は、ミックスで示された値の中間値に対する導入量の進捗を表す。

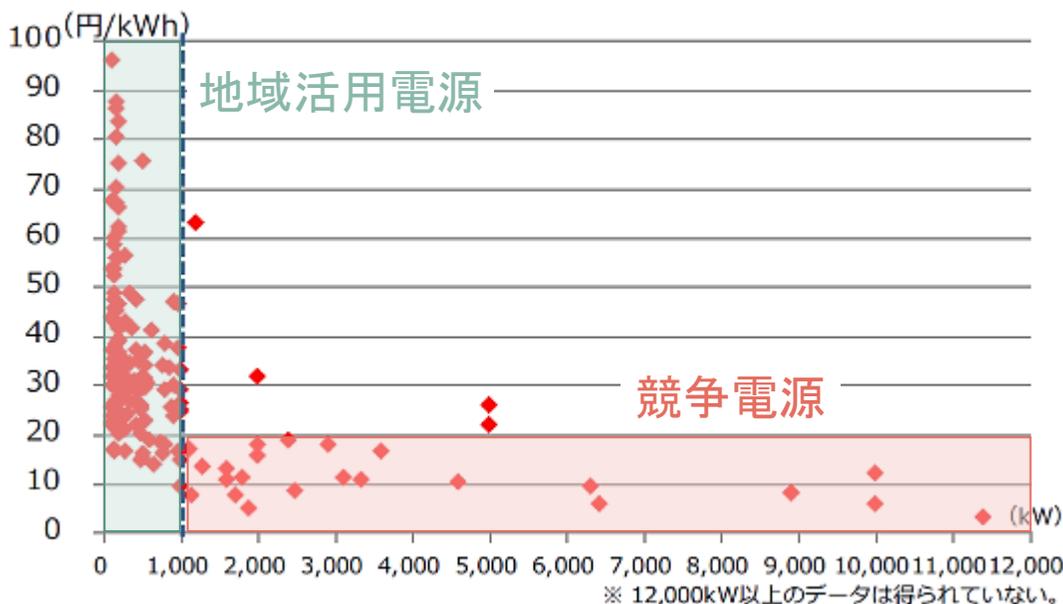
出所) 資源エネルギー庁 第61回調達価格算定委員会 資料1「令和3年度以降の調達価格等に関する意見(案)」(2021年1月) p.80

https://www.meti.go.jp/shingikai/santeii/pdf/067_01_00.pdf (閲覧日: 2021年2月25日)

FIT/FIP制度の動向(1)

- FIT制度の根拠となる再エネ特措法では、2020年度末までにFIT制度の抜本的な見直しを行う旨が規定されていた。これを受けて、FIT制度の見直しに向けた議論が行われ、2020年6月には再エネ特措法の改正を含むエネルギー強靱化法が成立し、2022年4月からFIP制度が創設されることになった。
- FIT制度の見直しにあたっては、「競争電源」と「地域活用電源」に分けて、それぞれの電源の支援制度を設計していく方向性が示された。中小水力発電においては、これらの境界値は1,000kWと取りまとめられた。

＜新設の出力と発電コスト (kWh) の関係＞



出所) 資源エネルギー庁「第53回調達価格算定委員会 資料2」(2019年12月) p.20

1 競争電源(出力1,000kW以上)

- 発電コストが着実に低減している電源、又は低廉な電源として活用し得る電源
 - 今後更に競争力を高めてFIT制度からの自立を見込む
- ▼
- 入札を通じたコストダウンの加速化や、FIP制度を念頭に電力市場の中で競争力のある電源となることを促す新制度を整備

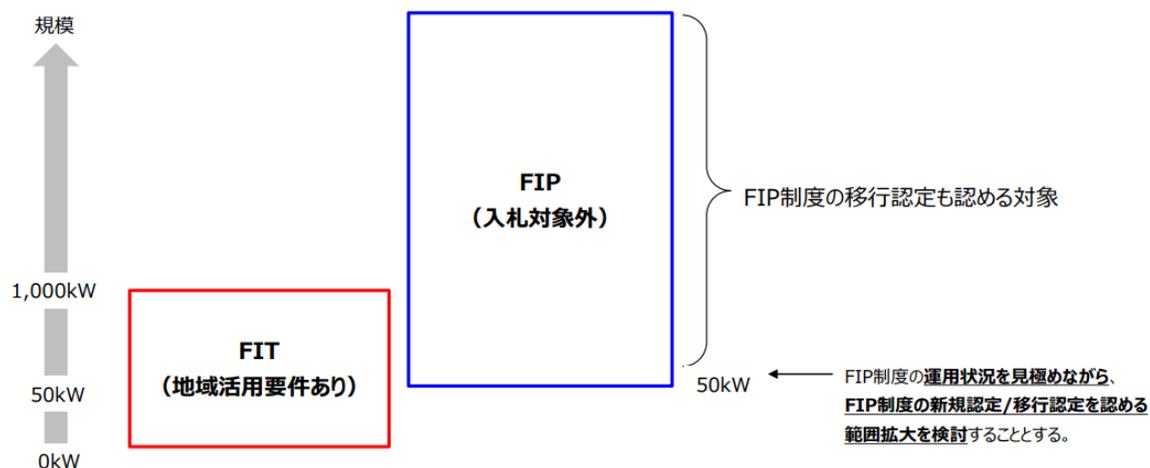
2 地域活用電源(出力1,000kW未満)

- 需要地に近接して柔軟に設置できる電源(住宅用太陽光発電等)や地域に賦存するエネルギー資源を活用できる電源(小水力発電等)
 - 災害時のレジリエンス強化にも資するよう、需給一体型モデルの中で活用していくことが期待
- ▼
- 一定の要件(地域活用要件)を設定した上で、当面は現行のFIT制度の基本的な枠組みを維持する方向

FIT/FIP制度の動向(2)

- 2022年度より導入されるFIP制度の導入当初は、全エネルギー種とも、50kW以上(高圧・特別高圧)に限ってFIP制度の新規認定/移行認定を認めることとなっている。
- さらに、中小水力発電における条件が以下のように定められた。
 - 新規認定でFIP制度のみが認められる対象は、2022年度及び2023年度については1,000kW以上
 - FIT制度の新規認定を認める対象は、1,000kW未満かつ地域活用要件を満たすもののみ

2022・2023年度における中小水力のFIP/FIT制度の対象



出所)資源エネルギー庁 第61回調達価格算定委員会 資料1「令和3年度以降の調達価格等に関する意見(案)」(2021年1月) p.89

https://www.meti.go.jp/shingikai/santeii/pdf/067_01_00.pdf (閲覧日:2021年2月25日)

注)本報告書を作成している2021年2月時点での最新情報であることに留意。

2.2 中小水力発電開発に係る費用等(国内)

国内中小水力発電のコスト動向

- コスト動向について、ヒアリングを行った結果を下表に整理した。
 - 特に土木工事費、国内製の設備機器費がコスト増加の要因となっているとの意見がある。

コスト構造

- 中小水力発電の新規案件では、土木工事費と設備機器費が6:4程度の割合。土木工事費6割のうち、水圧管路の工事費用が4割（機器費用と同じウェイト）。設備機器費4割のうち、水車発電機が2割、制御盤が1割、残り1割は除塵機・ゲート。
- 水車の費用が5割、土木費が3~4割、制御ソフトの費用が1~2割程度を占める。土木費の中では、導水管敷設工事の費用が大きい。
- 土木工事費のうち、トンネルを掘るための工事費が6割程度を占める。

資本費に影響する要素

- 土木工事費は公共工事の発注増大の影響を受け、コスト増加の要因になっている。特に、既設導水路活用型で導水路を1.5km以上改修する場合や、水圧鉄管を取り替える場合などのコストは高くなる傾向にある。
- 国内製の水車、除塵機、ゲートの調達コストが非常に高い。公共用の仕様に合わせて過大な設計になっており、価格が高止まりしている。
- 水車は落差・水量に応じてオーダーメイドで製造するため高価となる。数百kW規模であれば売電収入でイニシャルコストを回収できるが、数kW~十数kW程度では、売電しても投資回収ができない。
- 水車の価格は条件によって変わってくるが、概ね100万円~数百万円程度。同じ10kWでも、流量が1で落差が10の10kWと、流量が10で落差が1の10kWは全く違う。落差がとれるほうが水量が小さくなるので、水車は小さくなり、コストも抑えられる。単純なkWでは判断できない。

運転維持費に影響する要素

- 地域に既に発電所を所有していて、オペレーションの体制が既にある場合と、地域に1つ目の発電所を作る場合で、運転維持費への影響が異なる。既にオペレーションの体制がある場合には、発電所を新設しても運転維持費には大きな影響がない。他方、地域に新たに単独で発電所を作る場合、既にオペレーションを行っているチームがないため、運転維持費もコストに大きく影響する。

国内中小水力発電のコスト分解イメージ(1,000kW規模)

- 特に海外と比較して割高とされる資本費の内訳について、分解を試みた。
- 1,000kW程度を想定した中小水力発電事業の資本費の内訳は、事業者ヒアリングによれば以下のとおり(ただし、案件による個別事情で変化するため、理解のためのモデル的な解釈である)。
- 水車メーカーの調達において、ランナ、ガイドベーンは供給制約があり、納期遅延の要因となっている。

次ページの「水力発電設備」

項目		コストに占める割合	調達制約
水車・発電機・制御盤	バルブ(入口)	16%	
	ランナー		国内2社の鋳造メーカーに集中しており、調達制約あり。
	軸受け		
	ケーシング		
	ガイドベーン		制御のための電動サーボモーターは専門メーカーに依存しており、調達制約あり
	発電機	4%	
	制御盤・受変電設備	10%	
除塵機・取水ゲート		10%	
土木工事	水圧管	60%	
	その他		

出所)ヒアリング等の情報より三菱総研作成

水力発電設備のサプライチェーン

- 水力発電設備のサプライチェーンの中で、特に水車を構成する特殊機器(水車ランナ、ガイドベーン)は製造メーカーが限定されており、価格・納期のボトルネックとなっている。

水車メーカー<設計開発、製作、組立>

関連会社・協力工場<部品供給>

※カッコ内はコスト全体に占める機器費の割合(単位:%)
200kW以上1,000kW未滿を想定

水力発電設備

水車発電機・入口弁(65~55)



水車
(40~50)



発電機
(8~12)



組立・完成

入口弁
(5~10)



制御装置等(35~45)



制御盤
変電設備
(35~45)



部品供給

水車ランナー
(casting)



ガイドベーン
サーボモーター



特殊機器(水力発電用途専用)

製造メーカーが限定(設計:3ヶ月、製作期間:12カ月前後)

代表企業

- 米子製鋼(株)
(鳥取県米子市)
- 大平洋特殊鑄造(株)
(新潟県上越市)

- (株)椿本チェーン
- 新明和工業(株)

汎用機器(量産品、調達期間1~2カ月前後)

- 溶接組立(鉄工)メーカー
- モーターメーカー
- ベアリング(軸受)メーカー
- バルブメーカー

- 変圧器、変電設備メーカー
- 制御機器メーカー

(参考)水車の構成部品 ①水車ランナー

- 水車ランナーは、米子製鋼と大平洋特殊鑄造の2社が主に製造している。このうち、米子製鋼の水車ランナーの製造能力は年間60台である。



一体フランシスランナー
重量：鑄放 9,000Kg
材質：SCS6 納入先：興東芝
発電所：奥三面（新潟県企業局）



ガイドベーン
重量：1,470Kg
材質：2RM2-A
納入先：株式会社製作所
発電所：小丸川（九州電力）



バンド+羽根の一体鑄造、整形仕上げ品と
クラウン仕上げ品

新製法（特許申請中）二分製型フランシスランナー
Nプロのなりより性と無機鑄型の優位性に加え、従来の製法概念と全く異なった新製造法を確立。

重量：
鑄放 7,000Kg+5,100Kg
仕上 6,000Kg+3,500Kg
組立後 9,500Kg（f 2,880）
材質：2RM2-B
発電所：谷関（台湾電力）製作回数：4基
2003/12に製作開始、株式会社製作所へ納入

水力発電プラント



ベルトランナー

材質：JIS SCS6 重量：5,500kg



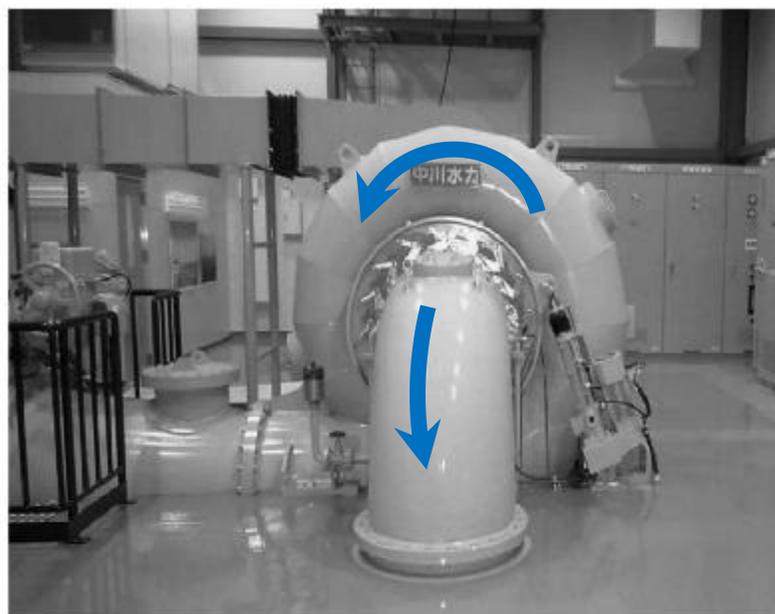
組立式フランシスランナー

材質：JIS SCS6 重量：12,500kg

出所)左:米子製鋼株式会社、「米子製鋼(株)のステンレス鑄鋼品」、http://www.yonago.co.jp/images/pdf/YSS_stainless.pdf
右:大平洋特殊鑄造株式会社、「鑄鋼品:製品紹介」、<http://www.psc-cast.com/products/products.html>（閲覧日:2021年2月25日）

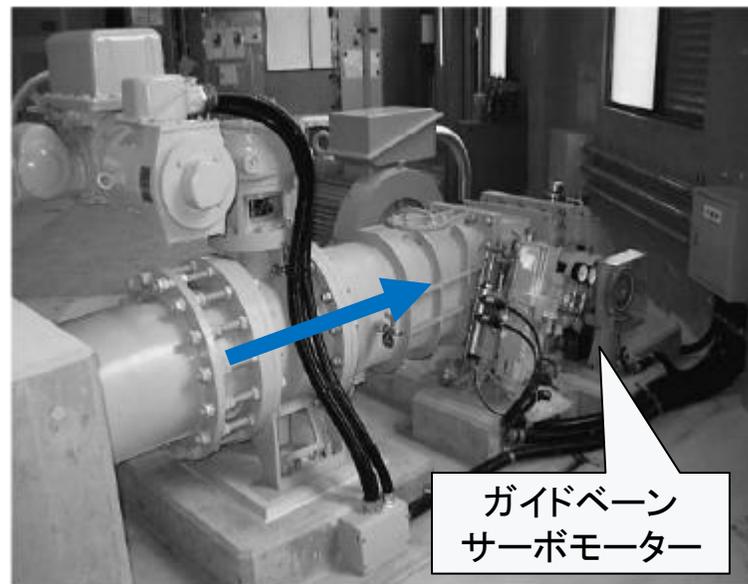
(参考)水車の構成部品 ②ケーシング、ガイドベーン、サーボモーター

- ケーシングは、水をランナーの周辺に満たし、流し込むための管である。水圧に耐えうる構造となっている。
- ガイドベーンは、水車に入る流量を調節(発電出力を調整)する装置、サーボモーターは、ガイドベーンを制御する装置である。



ケーシング

(横軸フランシス型水車)



ハイブリットサーボモーター

(クロスフロー型水車)

出所)「福島の前路」2012.1、NO.353、とうほう地域総合研究所 に三菱総研加筆
http://fkeizai.in.arena.ne.jp/pdf/cyouusa/cyouusa_2012_01_2.pdf
(閲覧日:2021年2月25日)

—————▶ 水の流れ

2.3 費用低減の取り組み、施策(国内)

費用低減の取り組み ヒアリング結果

- 2.2のコスト分解結果に基づき、費用低減の方向性を整理し、事業者へのヒアリングで取組状況の確認を行った。
- 発電事業者自社の取り組みとして、運転維持にかかる人件費の低減がある。ただし、安易な簡略化と適切な維持管理の実施はトレードオフになることから、ノウハウが必要になる。
- 土木工事費の低減の策となる施工の機械化は、あまり進んでいないのが現状である。

人件費の低減

- 現地での設備確認頻度を月1回/から年3~4回に減らし、カメラでのモニタリングを強化して集中監視することで人件費を削減している。画像データから状況を判断するノウハウは、経験のある事業者とそうでない事業者で差が出る部分である。
- 今後のリプレース案件でも、油を使わない機器にしたり、摩耗に強い水車軸に変えるなど、メンテナンスフリーの機器の部品に変えようとしている。全体の点検頻度の節減に効果があると考えられる。

土木工事の 費用低減

- コストの議論は、水車だけの話になりがちだが、7割が土木費でこれを下げないとどうしようもない。
- 土木工事費の低コスト化の方策は機械化しかないが、施工の機械化は進んでいない。
- 人件費を減らす施工の方法を考える必要がある。例えば、トンネル掘削費は新設の工事費の6割を占めるが、掘削せず、既設の道路の下に水路管を埋設することで掘削費を削減する方法がある。交渉により、道路管理者が道路の下部に圧力がかかるような管路の設置を認めるかどうかのカギとなる。

水車発電機の 費用低減

- 制御系の部分の製造はメーカーに任せるが、メーカーも自社で全て製造しているわけではなく、さらに下請けの業者に委託している。その部分のコストを細かく分析すると、低減の余地があるかもしれない。リレーや制御関係は万国共通で、いろいろな機器にも共通する部分であり、様々な企業で製造が可能である。
- 発電機も、中身を細かく見ていくと、これまで手掛けたことがないだけで他の会社でも製造可能という部分が出てくるかもしれない。

海外製水車の導入 ヒアリング結果

- 海外製水車は、価格面のみならず性能面、納期の面からも支持されている。水車発電機の費用は、国内製よりも2～3割程度安いとされる。
- ただし、技術力のある事業者は導入に積極的な一方、調達後の維持管理における信頼性から導入に慎重な見方をする事業者も存在する。

海外製水車と 国内製水車の 違い/ 海外製の メリット

- 海外製水車は、設計、製作費用を含めても、国産に比較し3割程度は安いイメージ。これは水車の作り方が異なるためである。日本の場合はランナは鋳造で作って切削して水車にしていくが、ヨーロッパでは小さな水車は鋳造せず、初めから削り出しで作る。
- 水車の効率も日本製に比べ大幅に良い。水路管の長さなど、地点の情報を使いながら相当程度カスタマイズした設計を行う。国内メーカーではそこまで行っていない。水車のベースを作る部分も、海外メーカーは自分たちでパートナー企業を持っているので、様々な注文や納期のリクエストに応えられる。
- 国内メーカーの水車は、RPS制度の時代から2倍程度に価格が上昇している。当時の国内メーカーと同じ価格帯なのが、現在の海外メーカーの水車である。ただし、水車発電機の値段が1/2になっても、日本で制御盤を作るのが割高になるため、海外製の導入は全体ではメリットがあまり出てこない。経験のある事業者が調達する場合は、制御盤の製作についても助言ができるので安くすることができる。
- ランナの部分(鋳物)は、価格というより納期に影響する。数百万円なので、そこまで大きな費用低減インパクトはない。
- 海外製は、ランナの製作に計算機流体解析を用いており、削り出しのため、速さが異なる。一部国内メーカーも削り出しで対応しているが、欧州は40年前からそのような技術を用いている。根本的にターゲットとする市場の大きさの違いがある。日本メーカーはこれまで時間という軸は求められなかった。

海外製水車の 導入

- 公営事業者では、海外製の導入事例は数例はあるが、大きく増えていない。
- 土地改良区の調達仕様では、「国内メーカーに限る」という要件を課す場合もある。

汎用品活用・モジュール化による費用低減 ヒアリング結果

- 国内でも配電盤等、既に汎用品が活用されている機器もあるが、どうしても汎用品が活用できない部分もあり、さらには日本の発電事業者から一品物の方が支持されやすい背景もある。

汎用品活用・ モジュール化 による 費用低減

- 交換頻度の高いものは国内の汎用品を積極的に活用している。代理店として販売している海外製品の製造・技術力が売りなので、逆に一品一様のカスタマイズがセールスポイントである。その中で、日本で何十年も使うことから付属品は日本の汎用品を使う方が望ましい。
- 基本的に、国内外ともに汎用品活用はされている。ただし、ランナには汎用品というものは無い。標準化、モジュール化は絶対にできない。流量と落差で異なる。
- 配電盤には汎用品を用いている。スマートメンテナンスはまだ次の世代のものである。モジュール化も顧客からのニーズもないし、他社からも取組を聞いたことがない。汎用品、標準品を実際に適用するとどうしても合わない一品物の要素が出てくる。ユーザーから事細かに注文がある場合、それでは対応できない。
- 日本の発電事業者は、もったいないという感覚が強く、大切に保守しながら使いたいという思いが強い。新しいものを入れたがらない。このユーザー側の文化が変わらないと、汎用品活用が芯から受け入れられることはありえないと思う。コストは下げたいが、実際に使ってみるとやはりオリジナル品にしてほしい、という要望の繰り返しである。

2.4 技術開発、研究および専門人材育成等の状況調査・分析(国内)

技術開発の動向

- 技術開発の動向について、以下の観点から事例を収集し、以下の観点から整理を行った。
 - ①未利用水力の有効活用が可能な水力発電システム
 - ②設備のコスト削減に寄与する水力発電システム
 - ③中小水力発電由来の電力利活用(自家消費の用途開発)

No.	項目	概要	取組者名	備考
1	①未利用水力の有効活用	農業用水を活用したナノ水力発電システム	金沢工業大学・国際高等専門学校・東プレ(株)	
2	①未利用水力の有効活用	既存の水路に設置して発電可能なマイクロ水車	NTN(株)	
3	②設備のコスト削減	小水力発電モジュール	東日本自然エネルギー(株)・秋田県立大学・秋田大学	
4	③中小水力発電由来の電力利活用	中小水力発電由来の水素サプライチェーン構築	東芝エネルギーシステムズ(株)	環境省「地域連携・低炭素水素技術実証事業」
5	③中小水力発電由来の電力利活用	マイクロ水力発電由来の電力・熱を活用したイチゴハウス栽培	北菱電興(株)	石川県「事業化促進支援事業」他

事例1 農業用水を活用したナノ水力発電システム

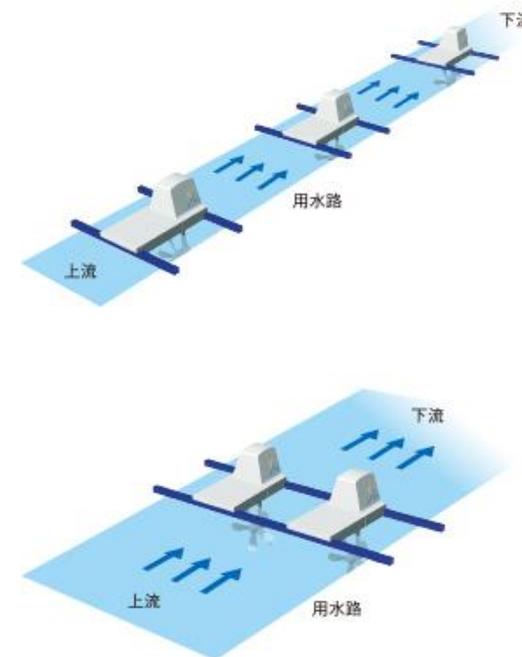
- 金沢工業大学、国際高等専門学校、東プレ株式会社の3社は、養鯉場を対象に、養殖目的に給水されるパイプラインを利用したナノ水力発電システムの実証試験を実施している。
- 本システムでは、養殖に必要な水中ポンプ・エアポンプ、自動給餌器、計測器や通信機器、照明等の機器・装置の電力を全て水力発電で賄うことが可能。
- 従来の装置よりも小型のため、従来設置が難しかった箇所にも容易に導入でき、昨年度の検証では1kW超の発電が可能であることを確認した。2021年度中の商品化を目指して実証試験を進めている。



出所)金沢工業大学 ニュース「金沢工業大学、国際高専が東プレ株式会社と産学連携で、農業用水を利用したナノ水力発電の実証実験を養鯉場にて開始」
https://www.kanazawa-it.ac.jp/kitnews/2020/1214_nanosuiryoku.html (閲覧日:2021年2月25日)

事例2 既存の水路に設置して発電可能なマイクロ水車

- NTN(株)では、既存の水路に置くだけで発電が可能な「NTNマイクロ水車」を開発・販売している。
- 落差工事が不要で、水路にそのまま設置するだけで発電できる。1台あたりの出力には0.4kW、1kW、2kWの製品の3種類があり、複数台を直列で配置することにより発電量の増加が可能である。系統接続が可能な製品も展開している。
- 農業用水路のほか、工場内排水や、浄水場の水の流れを活用した電源確保に導入されている。



出所)NTNマイクロ水車ホームページ https://www.ntn.co.jp/japan/products/natural_energy/micro_hydro_turbine.html
(閲覧日:2021年2月25日)

事例3 小水力発電モジュール

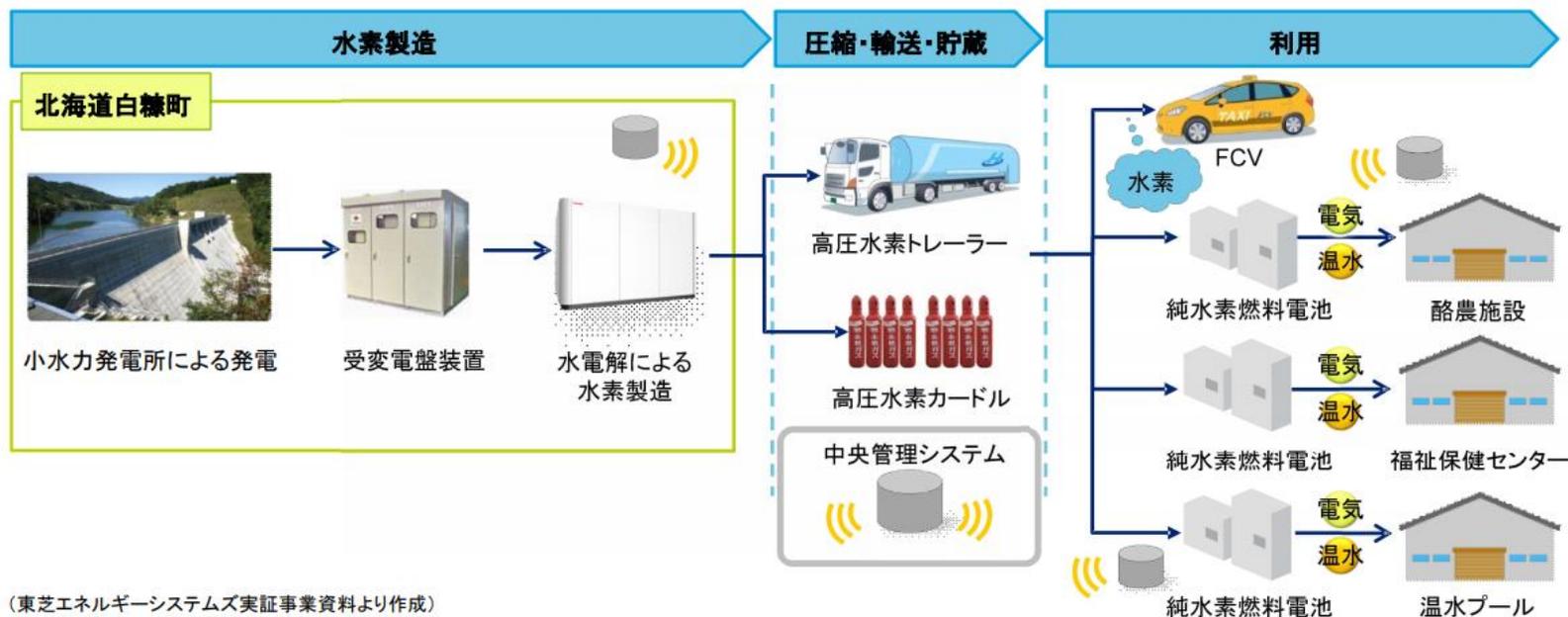
- 東日本自然エネルギー(株)は、秋田県立大学・秋田大学と共同で、出力9.9kWの小水力発電モジュールを開発した。
- 従来のオーダーメイド開発の水力発電システムと異なり、汎用機器・部品のみで開発し、他社に比べ3割程度のコスト削減が可能。水車には安価な汎用ポンプを利用し、発電機、逆変換器も汎用品を利用している。必要な機器・装置は一式、コンテナに収納しており、コンテナを複数連結することで出力を増やすことが可能。
- 今後、自社装置を利用した発電所開発や他社への装置の販売を計画している。



出所)日本経済新聞「東日本自然エネ、汎用部品で小水力発電 コスト安く」 <https://www.nikkei.com/article/DGXMZO65223340Q0A021C2L01000>
アキチャレ 秋田市の創業支援ポータルサイト 東日本自然エネルギー株式会社 <https://www.akitachallenge.jp/jirei/2282> (閲覧日:2021年2月25日)

事例4 中小水力発電由来の水素サプライチェーン構築

- 東芝エネルギーシステムズ(株)は、環境省の「地域連携・低炭素水素技術実証事業」において、中小水力発電由来の水素製造から貯蔵、配送、利用に至るまでの水素サプライチェーンの構築・実証を実施。中小水力発電による電力を利用して水素を製造する実証事業は国内初である。
- 北海道白糠町の庶路ダムに200kWの水力発電所を設置して発電を行い、水電解装置で水素を製造した。系統には接続せず、水素の製造・貯蔵に至る工程で必要な電力・負荷を全て水力発電で賄った。
- 水素由来の電気を利用した3箇所の需要家施設の合計で、約15%のCO2排出削減となった。



出所)環境省 低炭素水素サプライチェーン・プラットフォーム ⑤東芝エネルギーシステムズ株式会社詳細資料

https://www.env.go.jp/seisaku/list/ondanka_saisei/lowcarbon-h2-sc/demonstration-business/PDF/demonstration_05_20190208.pdf

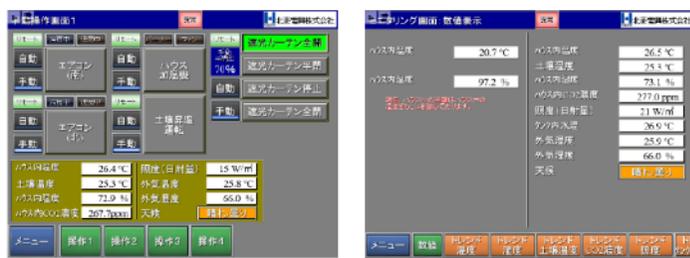
東芝レビュー Vol.76 No.1(2021年1月) 一般論文 「再生可能エネルギー由来の水素サプライチェーン構築に向けた実証プロジェクト」、

https://www.toshiba.co.jp/tech/review/2021/01/76_01pdf/f02.pdf (閲覧日:2021年2月25日)

事例5 マイクロ水力発電由来の電力・熱を活用したイチゴハウス栽培

- 北菱電興(株)、(株)別川製作所、石川県立大学では、農業排水を水源とするマイクロ水力発電機を開発し、得られた電力をイチゴハウス栽培のエネルギーとして活用している。

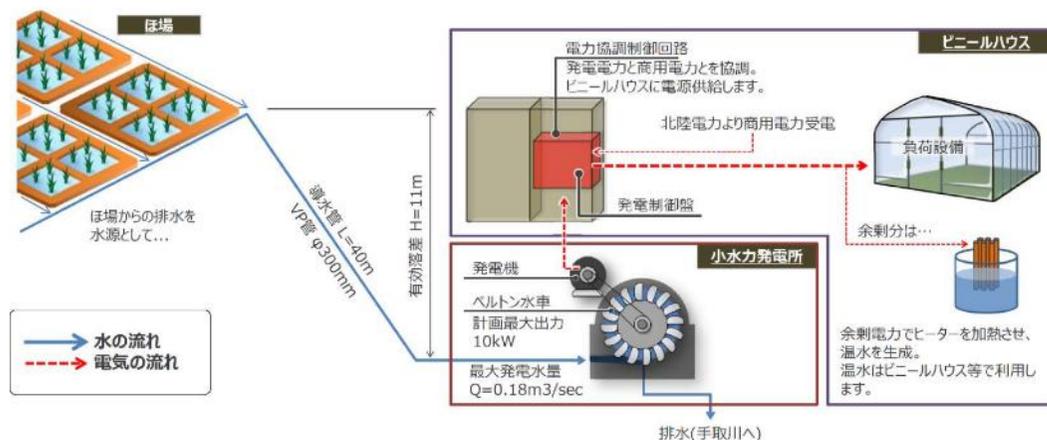
監視・制御



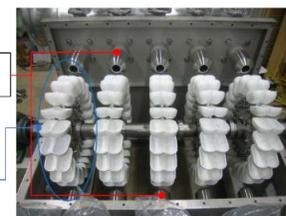
営農監視・制御タブレット画面



いちごファーム Hakusan として一般開放



いちごハウス ペルトン水車



ケーシング内部状況

【水車基本構造・外形寸法】

- ランナ数：5連 ・ノズル数：10口
- 流量調整方式：バルブ制御
- 外形寸法：3500L×2200W×1500H ・参考重量：1400kg

【機器仕様】

- 発電機種別：交流同期発電機
- 発電機定格電圧：三相三線 200V
- 発電機定格回転数：1500rpm

出所)農林水産省 事例集「上野小水力発電所及びいちごファームHakusanの取り組み」に三菱総研加筆
<https://www.maff.go.jp/j/shokusan/renewable/energy/attach/pdf/joho-69.pdf> (閲覧日:2021年2月25日)

専門人材育成 ヒアリング結果

- 専門人材育成については、NEF(新エネルギー財団)の研修事業や、各大学で地域エネルギー事業の実践者を育成する社会人向けプログラム等が開講されている。
- ヒアリングでは、新設案件の減少により途絶えた人材育成を、産業育成を見越して再度充実させるべきとの声もあった。

専門人材育成

- 海外の企業は全世界の市場を相手にしているので、大学や機関もあり、人材育成も行っている。日本は、1960年代までは日立や東芝が水力発電を積極的に行っていたが、国内の新設案件が途絶えたため、メーカーも100名規模の専門部隊を10名程度まで削減している状況。
- 産業育成のためには、学問をつくり、大学でしっかりと学ばせ、人材を育成すべきである。
- 海外製品が安いという風潮だけが先走ってしまい、輸入商社が多数できたが、技術者がおらず目利きができないという問題もある。

2.5 地域活用の具体的事例の調査(国内)

中小水力発電における地域活用要件

- FIT制度の抜本見直しにおいては、地域活用電源について、電源の立地制約等の特性に応じ、FIT認定の要件として「地域活用要件」を設定することとされた。
- このうち、立地制約が大きい小規模水力については、「自家消費型・地域活用型」および「地域一体型」の地域活用要件が定められた。

自家消費型・地域活用型の地域活用要件

以下のいずれかの要件を満たす再生可能エネルギー発電設備

- A) 発電される電気量の少なくとも3割を自家消費するもの。すなわち、7割未満を特定契約の相手方である電気事業者に供給するもの。
- B) 電気を再生可能エネルギー電気特定卸供給により供給し、かつ、その契約の相手方にあたる小売電気事業者または登録特定送配電事業者が、小売供給する電気量の5割以上を当該発電設備が所在する都道府県内へ供給するもの。
- C) 再生可能エネルギー発電設備により産出された熱を、原則として常時利用する構造を有し、かつ、当該発電設備により発電される電気量の少なくとも1割を自家消費、すなわち、9割未満を特定契約の相手方である電気事業者に供給するもの。

出所)資源エネルギー庁 第61回調達価格算定委員会 資料1「令和3年度以降の調達価格等に関する意見(案)」(2021年1月)

https://www.meti.go.jp/shingikai/santeii/pdf/067_01_00.pdf

注)本報告書を作成している2021年2月時点での最新情報であることに留意。

地域一体型の地域活用要件

- ①災害時に再エネ発電設備で発電された電気を活用することを、自治体の防災計画等に位置付け
- ②災害時に再エネ発電設備で産出された熱を活用することを、自治体の防災計画等に位置付け
具体的には、D)を満たすもの
- D) 再生可能エネルギー発電設備が所在する地方公共団体の名義(第三者との共同名義含む)の取り決めにおいて、当該発電設備による災害時を含む電気又は熱の当該地方公共団体内への供給が、位置付けられているもの。
- ③自治体が自ら事業を実施するもの、又は自治体が事業に直接出資するもの
具体的には、以下のE)F)のいずれかを満たすもの
- E) 地方公共団体が自ら事業を実施または直接出資するもの。
- F) 地方公共団体が自ら事業を実施または直接出資する小売電気事業者または登録特定送配電事業者に、当該事業計画に係る再生可能エネルギー発電設備による電気を再生可能エネルギー電気特定卸供給により供給するもの。

地域が自ら取り組む中小水力発電事業

- 地域活用要件のうち、特に「地域一体型」の要件を満たす地域活用電源のモデルケースとなりうる事例を抽出した。
- 地域活用電源にあたる1,000kW未満で、自治体が主体となって運営されている案件に加えて、災害時に備えて設置された中小水力発電や、地域活性化・地域課題解決を目的として地域の主体で運営されている中小水力発電の事例も合わせて整理した。

抽出した事例の条件

項目	条件
運営主体	地方自治体 土地改良区・農業協同組合(※) 地元民間資本
設置の意義	地域活性化 人材育成・雇用創出 電力の地産地消 農業振興 防災
水利	河川 農業用水

注)発電事業のために新たに設立された農業協同組合も含む。

地域が自ら取り組む小水力発電事業

■ 取り上げた事例は以下のとおり。



事例① 馬路村小水力発電所(高知県馬路村)

- 高知県安芸郡馬路村では、豊富な雨量を地域の資源ととらえ、村営の小水力発電所を建設した。
- 事業を具体化する上での地点調査、設計、関係機関との協議等は、**地元のコンサルティング会社が支援**を行った。同社は運用開始後の発電所の維持管理も行っている。
- **発電事業で得た収益を、保育料の無料化や、医療費無料化(18歳まで)などの地方創生事業に活用している。また、発電所の維持管理作業を地域住民に委託し、雇用を創出している。**

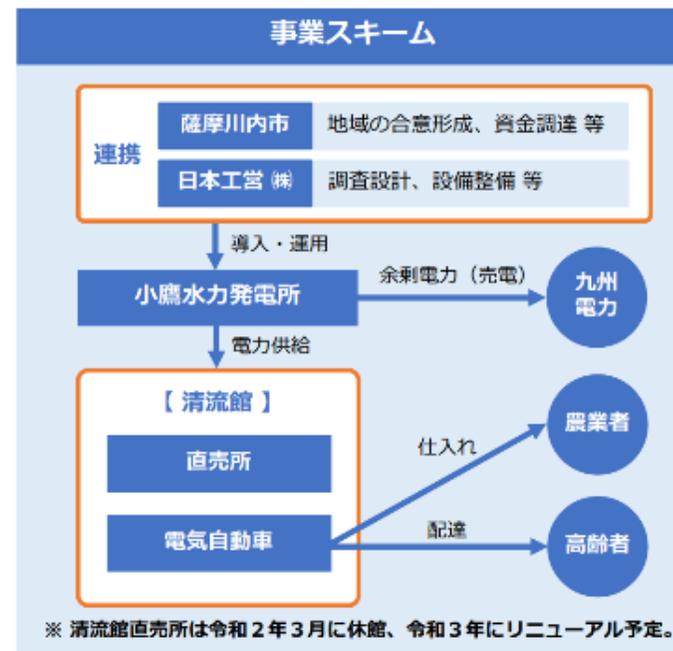
項目	内容
出力	145kW
設置主体	馬路村
水利	河川
設置の意義	地域活性化・雇用創出



事例② 小鷹水力発電所(鹿児島県薩摩川内市)

- 薩摩川内市では、**市民の再エネの普及啓発、指定管理施設の電気料金の軽減**を図るため、農業用取水堰を活用した小水力発電事業を検討。
- 低落差でも発電可能な「らせん水車」を導入するため、市と日本工営株式会社が共同で国の補助事業を活用して実証試験を実施。2015年6月より運転開始し、2020年4月からは、工営エナジーが発電事業を行い、堰の所有・操作を市で行っている。
- **発電した電気は、隣接する直売所や電気自動車の充電器に供給し、余剰電力を売電**している。

項目	内容
出力	30kW
設置主体	薩摩川内市 工営エナジー
水利	農業用水
設置の意義	電力の地産地消



出所) 薩摩川内市 次世代エネルギーウェブサイト 小鷹水力発電所、<https://jisedai-energy-satsumasendai.jp/ene-facility/2621/>
 農林水産省 事例集、<https://www.maff.go.jp/kyusyuu/seiryuu/syokuhin/saiene/jirei/attach/pdf/index-13.pdf>
 (閲覧日: 2021年2月25日)

事例③ 美濃加茂市伊深小水力発電設備（岐阜県美濃加茂市）

- 美濃加茂市では、災害時の避難所に指定されている交流センター・小学校に隣接する農業用水に、小水力発電設備を設置している。
- これは、県の「県単小水力発電防災機能強化事業」として、災害時に避難所となりうる農村活性化施設や道の駅の付近を流れる農業用水路に小水力発電施設と蓄電池等を設置し、**地域資源を有効活用した緊急時の非常用電源の確保**を行う取組の一環である。
- 災害時にLEDパイプライト（約20W）5本を36時間点灯、携帯電話50台を充電（30分間）できる蓄電池を併設している。平常時は蓄電池の充電と併せて、夜間にLED防犯灯を点灯させている。

項目	内容
出力	30W
設置主体	美濃加茂市
水利	農業用水
設置の意義	防災



天王用水（右）から分水し発電（左）する

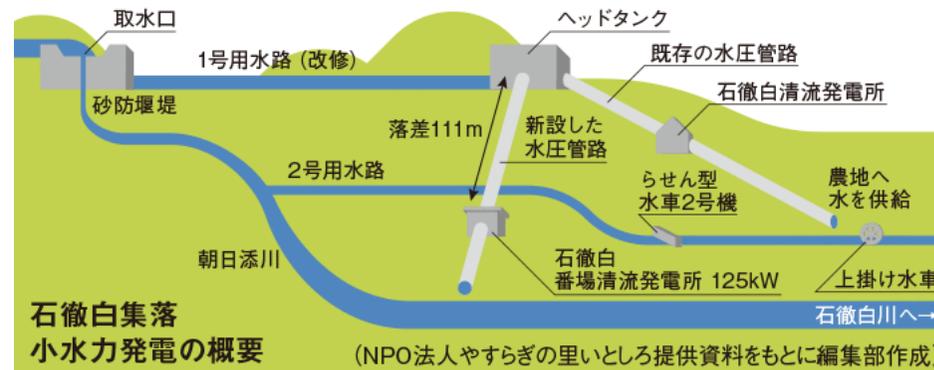


出所) 岐阜県、「農業用水を利用した伊深小水力発電施設が完成！」
<https://www.pref.gifu.lg.jp/uploaded/attachment/12193.pdf>
 (閲覧日：2021年2月25日)

事例④ 石徹白清流番場発電所(岐阜県郡上市)

- 岐阜県郡上市の石徹白(いとしろ)地区では、地域の高齢化が進む中、地域活性化に取り組むNPO法人が中心となり、農業用水路を利活用した小水力発電による地域再生を計画した。
- 発電所建設のために、**集落のほぼ全戸が合計800万円を出資して、新たに集落独自の農協を設立。**
- 現在は計4箇所の水力発電所が稼働。水力発電で**農産物加工所の電気を賄い、農産物加工品の開発に取り組んでいる。****発電所の視察者・見学者の増加に伴い地域の女性がカフェを開業したり、移住者も増加**するなど、小水力発電が地域活性化に大きな役割を果たしている。

項目	内容
出力	125kW
設置主体	石徹白農業用水農業協同組合
水利	農業用水
設置の意義	地域活性化



出所) ミツカン 水の文化センター、機関誌『水の文化』60号 水の守人「地域おこしを支える「水への信仰」の記憶」

<http://www.mizu.gr.jp/kikanshi/no60/07.html>

全国小水力利用推進協議会、小水力発電データベース 石徹白番場清流発電所、http://j-water.org/db_form/cat_b/%E7%9F%B3%E5%BE%B9%E7%99%BD%E7%95%AA%E5%A0%B4%E6%B8%85%E6%B5%81%E7%99%BA%E9%9B%BB%E6%89%80-125kw-%E5%B2%90%E9%98%9C%E7%9C%8C/

(閲覧日：2021年2月25日)

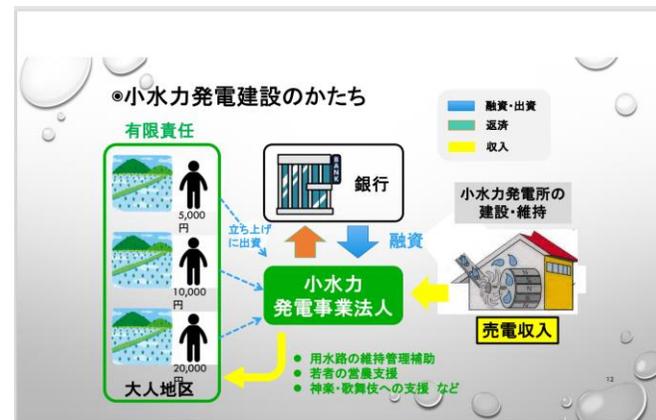
事例⑤ 大日止昴小水力発電所(宮崎県日之影町)

- 宮崎県日之影町では、明治時代から維持されている農業用水路があったが、住民の高齢化によりその維持が困難になっていた。
- 地域の将来を考える中で、地域資源を活用した再エネ事業を検討。地域の用水組合員により、発電事業を目的とした農業協同組合を新たに設立し、組織(法人)として事業が継続される仕組みを構築した。
- 売電収益は農業用水路の維持管理のほか、公民館活動の支援や地域の伝統芸能である農村歌舞伎の維持にも活用予定である。将来的には、改良区管理のために組合員が納める賦課金をゼロにすることを目指す。

項目	内容
出力	49.9kW
設置主体	大人発電農業協同組合
水利	農業用水
設置の意義	地域活性化



地域の石を使った発電所建屋



出所) 農林水産省事例集「大人発電農業協同組合」 <https://www.maff.go.jp/j/shokusan/renewable/energy/attach/pdf/zirei-163.pdf>

農林水産省事例集「大日止昴小水力発電所の概要」 <https://www.maff.go.jp/j/shokusan/renewable/energy/attach/pdf/joho-55.pdf>

(閲覧日: 2021年2月25日)

事例⑥ JAひだ・数河清流発電所(岐阜県飛騨市)

- 岐阜県飛騨市の数河地区の58戸の住民が立ち上げた(株)数河未来開発と、飛騨農業協同組合(JAひだ)が共同で小水力発電所を運営している。
- 数河地区では高齢化、過疎化が深刻化し、伝統行事や草刈りなどの共同作業が困難になっていた。以前から豊富な農業用水を活用した事業を模索してきた住民がJAに相談し、JAが共同で運営することになった。
- JAが施設の整備や電力会社との調整をし、数河未来開発は施設の維持管理や地域振興を担当する。年間約1000万円の売電収入は同社とJAでおおよそ半分ずつに分け合い、**数河未来開発では、用水路の補修管理に利用するほか、特産品の開発・販売PRなどの地域活性化への活用も検討している。**

項目	内容
出力	49.9kW
設置主体	飛騨農業協同組合・株式会社数河未来開発
水利	農業用水
設置の意義	地域活性化



出所) 農林水産省 小水力発電事例8「JAひだ・数河清流発電所」
<https://www.maff.go.jp/tokai/keiei/kigyosaiene/jirei/attach/pdf/index-36.pdf>
 (閲覧日: 2021年2月25日)

事例⑦ 安房谷水力発電所(岐阜県高山市)

- 岐阜県高山市の奥飛騨温泉郷では、「奥飛騨温泉郷小水力研究会」を創設し、地域住民や関係主体で勉強会を重ねて小水力発電への理解を深めてきた。
- 地元企業とシン・エナジーが共同出資(出資割合 61%:39%)で「奥飛騨水力発電株式会社」を設立し、水力発電所を開発。地元の金融機関である高山信用金庫、飛騨農業協同組合が融資を行った。
- 発電所は全域が国立公園の第二種特別地域に含まれている。
- 開発にあたっては地元企業を優先的に活用したほか、売電収益の一部を「地域振興基金」として地域に還元し、国立公園の整備や文化活動支援に充当することで地域活性化に貢献する。また、同地域ではバイオマス、地熱発電の事業展開も進んでおり、再生可能エネルギーによる地域経済圏の発展を目指している。

項目	内容
出力	657kW
設置主体	奥飛騨水力発電株式会社
水利	普通河川
設置の意義	地域活性化



安房谷水力発電所レイアウト

出所)シン・エナジー株式会社 プレスリリース「安房谷水力発電所が竣工しました」、<https://prtimes.jp/main/html/rd/p/000000052.000025041.html>
 環境省 グッドライフアワード 取組紹介、<https://www.goodlifeaward.jp/?glaentry=glaentry-6299> (閲覧日:2021年2月25日)

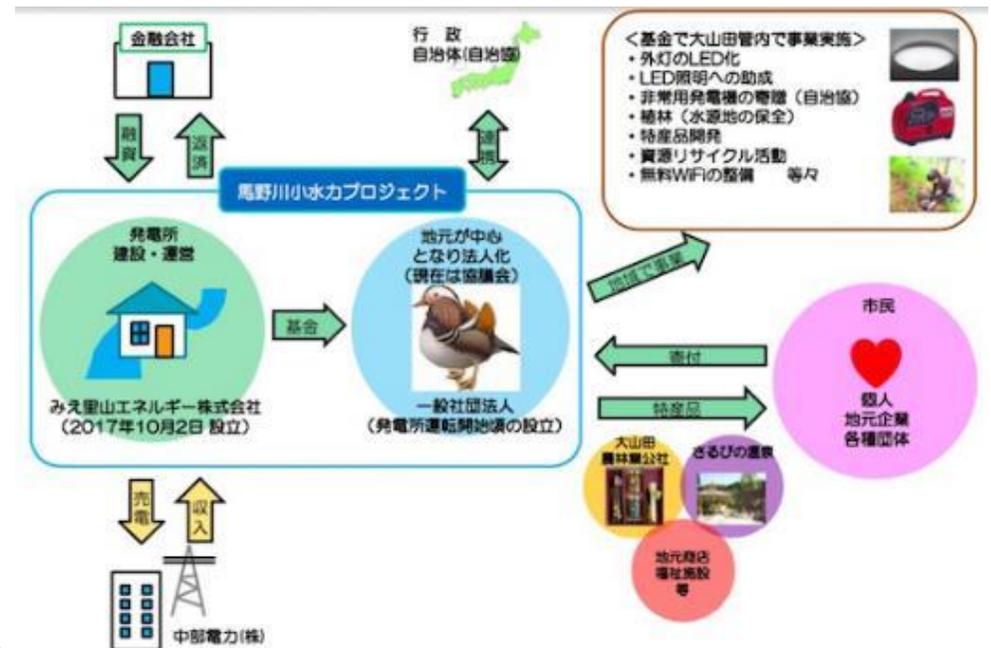
事例⑧ 馬野川小水力発電所(三重県伊賀市)

- 三重県伊賀市の土木建設会社(株)マツザキは、再エネ分野への参入を模索する中で、1958年まで市内に存在した小水力発電所の存在を知り、復活プロジェクトを立案した。三重大学、地元の信用金庫等とともに「馬野川小水力発電を復活させるプロジェクト地域協議会」を立ち上げ、発電所建設・運営を担う新会社「みえ里山エネルギー(株)」を設立。
- 発電所の復活にあたっては、1919年～1958年に操業されていた発電所の跡地施設(導水管ルート)を活用し、三重大学の研究者が開発した新型の導水管を導入した。
- 売電収益の一部は、基金に繰り入れ、外灯のLED化、非常用電源の整備、無料wifiの設置、水源地の保全などの地域貢献に活用する。

項目	内容
出力	199kW
設置主体	みえ里山エネルギー株式会社
水利	河川
設置の意義	地域活性化

出所) スマートジャパン、「100年前の小水力発電を復活させて地域活性、導水にはパイプを使う新手法」

https://www.itmedia.co.jp/smartjapan/articles/1712/06/news042_2.html (閲覧日: 2021年2月25日)



事例⑨ ニコニコ水力発電所(静岡県長泉町)

- 静岡県長泉町の市街地を流れる農業用水に、平成27年3月から「ニコニコ水力発電1号機」を設置し、実証実験を開始。平成29年4月からは2、3号機も稼働を開始。
- 通常時は売電し、売電利益の一部を水利関係者や設置自治会住民に地域づくり協力金として還元。
- 災害発生時に停電が発生した場合、小水力発電装置を独立運転させて電気の供給が可能になる。**災害発生時には、町がその電気を使えるよう「災害時における電力の供給に関する協定」を締結。**
- 電力供給装置は、発電装置から分離して使用でき、被災した住民への電力の供給が可能。また、発電装置に内蔵されている小型携帯式バッテリーパックは、在宅医療機器の継続的な利用が可能。
- 設置する発電装置は、**製造・組み立て・塗装など、設置製作の大部分は町内企業が請け負っていることから、地域産業の活性化にも繋がる。**

項目	内容
出力	24kW(8kW×3基)
設置主体	(一社)自然エネルギー利用推進協議会
水利	農業用水
設置の意義	防災



出所)長泉町 ニコニコ水力発電所について、
http://www.town.nagaizumi.lg.jp/life_procedure/environment_pet/3/2866.html
 京葉プラントエンジニアリング株式会社 事例実績、<https://kpeng.co.jp/case/>
 (閲覧日:2021年2月25日)

事例⑩ 津山市桑谷エリス発電所(岡山県津山市)

- 津山市のキャンプ場内を流れる「桑谷発電所」の放流水を活用して設置された小水力発電所である。津山市の持続可能な街づくりビジョン「低炭素都市つやま」の一環として、2016年に津山市、JAつやま、(株)エリスの3者間で締結された協定に基づき建設された。
- 電気は隣接するキャンプ場内にエリスが取り付けした蓄電池に充電する。蓄電池から、トヨタの小型EV「コムス」1台を約7~8時間で充電できる。
- 「コムス」はキャンプ場内の見回りなどに利用されているほか、停電時には携帯電話の充電にも活用が可能である。

項目	内容
出力	500W
設置主体	株式会社エリス
水利	発電所放流水
設置の意義	地産地消



出所) Water Weco、プレスリリース「【ご報告】津山市桑谷エリス発電所落成式」
<https://waterweco.com/data/181/detail/>
 (閲覧日: 2021年2月25日)

地域活用に関するヒアリング結果①

- 地域における中小水力発電の普及可能性、地産地消の発電事業の可能性についてヒアリングを行ったところ、現段階では、系統から電気を引くことが難しい地点での導入や、災害対策、CO2フリーの電力利用など単純な採算性で測れない地点での導入において普及の可能性があるとの意見があった。
- 特に、災害時、数kW規模であれば災害時利用を想定し得るが、数百kWの規模では発電所地点近辺での需要開発が困難なため、地域のグリッド構築が必要（送配電事業者と連携した事業にする必要）との意見があった。

地域における 中小水力発電の 開発可能性

- 脱FIT、地産地消というが、今の段階では現実的ではない。電気を何に使うのか、それがどういう価値になるのかが見えない。需給バランスを誰がどのように取るのか。段階を踏んで地産地消を実現するとしたら、まずはセミオフグリッドで、系統とつなぎながら、自家消費しつつ不足時は電力を買い、災害時に系統から切り離すのが現実的ではないか。
- 一般的に、200kWの消費ができる電力需要が開発地点には存在しない。地域PPSとうまく絡めながらの自家消費（自家供給）が条件になる。大手PPSでなければ買い取れない。マイクログリッドで発電所を持つことをセットにしてはじめて自家消費は成り立つものであり、負荷とのバランスを考えなければいけない。
- 現時点では、中小水力発電の普及は難しいと考えている。普及する可能性があるとするれば、インシヤルコストを補助金でまかなえる保証がある場合か、物理的に電気を引くことができない地点で発電可能な場合、加えて防災対策に活用する場合であると思う。現状でも電気を引くことができる場所では、電気を直接買ったほうが採算性が良いのではないか。
- 自家消費でメリットができるのは、そこに系統から電気を引くのにお金がかかる場合である。系統から電気を引けなかった、引けなくても無駄が多い、という箇所が、一番使いやすい。もう一つは、採算性は度外視し、工場の水の流れを利用してCO2フリーの発電を行い、電力を工場構内で使いたいという場合もある。

地域活用に関するヒアリング結果②

災害時の活用 について

- 災害時対応は、規模が小さければ可能である。例えば、5kWの発電所は、災害時に自立運転にすれば普通充電でリーフ(電動車)の充電が可能である。200kWクラスになると何に使うのか、どのように管理するのか。災害時に自立運転に切り換えることは技術的にできると思うが、投資する価値はあるか疑問。
- 自治体や地域との協定が条件になるとあるが、防災に限定しない地域協定は現状の開発でも結んでいる(例:用水路溢水時の復旧)。自治体の防災計画に民間事業者の計画が位置付けられることは考えにくい。
- 一般に、災害発生時は、再エネは停止していると考えべきである。再エネそれ自体は防災電源にはなりえない。むしろ、電気を貯めておくか、災害発生後の3日間で、速やかに起動して電力が使えるようになるものと考えればよい。そのような位置付けを整理できればよいのではないか。
- 地域の交流センターの非常用電源として小水力発電を導入している。台風で集落が孤立、停電した場合に、非常用電源で避難場所でスマホ充電なども行える。これは商用電力を買う/買わないの話ではなく、お金に変えられない価値である。

自治体主体の 発電事業について

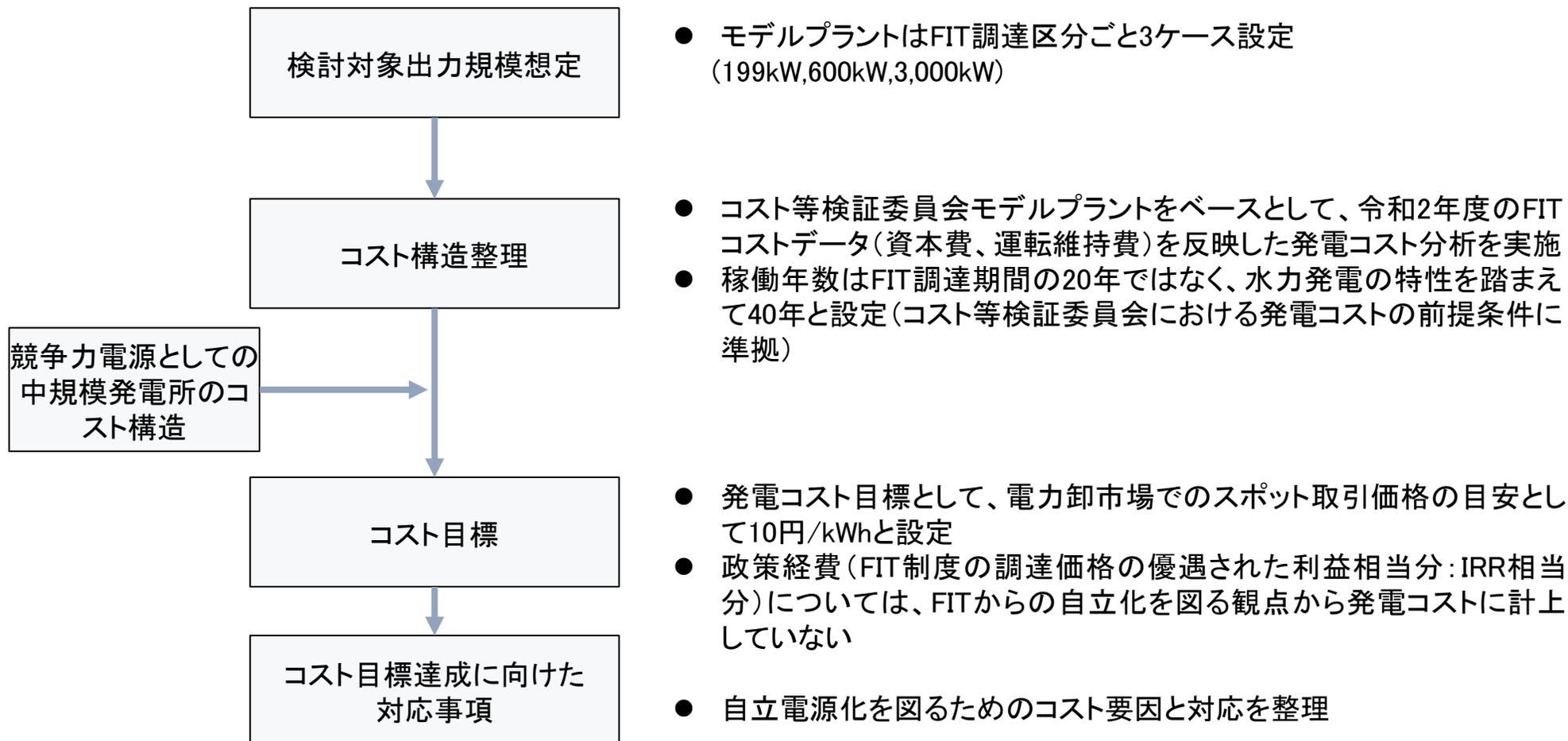
- 地域に再エネを増やすドライバは「省CO2」。自治体での取り組みにインセンティブを付ければ一層加速するのではないか。
- 地域新電力のスキーム、地域で電力を供給して地域に供給することに対するインセンティブが今はない。そのスキームを使って、地域の電気を地域に供給することが要件に認められれば、開発が進む可能性がある。その際は、多少なりとも自治体の出資がある方が良い。地元調整や地域への普及には、自治体の関与が必要。
- 電気自動車を地域で活用する構想がある。あちこちに電源があれば利便性が向上するので、ニーズは確実にある。このような取組は、自治体が主導しないと難しい。ただし、単純に乗った人からお金を取って採算性を確保するという考え方ではできない。自治体の基礎インフラと位置付けて、コストが掛かるものだと捉えて事業を実施すべき。地産地消をして地域の経済が発展するという果実が見えるのであれば、そういう方向に動いていくのではないか。

3. 国内の水力発電の地域活用に向けた導入支援策の検討

3.1 低コスト化に向けた考察

中小水力発電が目指すべきコスト目標

- 今後のコスト低減の目標について、モデルプラントのケースを設定し、検討を行った。



発電コスト分析の前提条件

- 発電コストの分析にあたっては、コスト等検証委員会のモデルプラントをベースとして、FIT制度の調達区分ごとに3つのケースを設定した。
- 令和3年度以降の調達価格算定の前提となるコストデータを反映して分析を行った。
- なお、稼働年数はFIT調達期間の20年ではなく、水力発電の特性を踏まえて40年と設定している(コスト等検証委員会における発電コストの前提条件に準拠した)
- 政策経費(FIT制度の調達価格の優遇された利益相当分:IRR相当分)については、FITからの自立化を図る観点から発電コストに計上していない。

		モデルプラント① 199kW (200kW未満)	モデルプラント② 600kW (200kW-1,000kW未満)	モデルプラント③ 3,000kW (1,000kW-5,000kW未満)	出所
資本費	建設費	227万円/kW	105万円/kW	84万円/kW	令和2年度のコストデータ (中央値)
	接続費用	上記内数			
	廃棄費用	上記内数			
運転維持費	人件費 修繕費 保守点検費 法人事業税、固定資産税 (減価償却費は含まず) 諸費(保険料、水利使用料、賃借料等)	3.4万円/kW	2.2万円/kW	1.8万円/kW	令和2年度のコストデータ (中央値)
その他	設備利用率	60%			コスト等検証委員会 発電コストの前提条件
	法定耐用年数	22年			
	稼働年数	40年			
	割引率	3%			
	政策経費(IRR相当分)	計上せず			

発電コストの分析結果

- 発電コストの分析結果は、それぞれ以下のとおり。

モデルプラント①199kW
(200kW未満)

モデルプラント②600kW
(200kW-1,000kW未満)

モデルプラント③3,000kW
(1,000kW-5,000kW)

発電コスト 25.2円/kWh



発電コスト 12.8円/kWh



発電コスト 10.3円/kWh



発電コストの分析結果

- 競争電源となり得る価格目標として、発電コストを10円/kWh(IRR相当分を含まず)と設定した場合、200kW-1,000kW未満であれば、価格目標を達成できる可能性がある。

モデルプラント①199kW
(200kW未満)

モデルプラント②600kW
(200kW-1,000kW未満)

モデルプラント③3,000kW
(1,000kW-5,000kW)

発電コスト 25.2円/kWh

資本費のウエイト
が大きすぎる
ため自立化は困難

運転維持費
6.5円

200kW未満では資本費の割合が
大きく価格目標の達成は困難

200kW-1,000kW未満では、**資本費および
運転維持費の両方でコストを低減すること
により価格目標を達成できる可能性がある**

競争電源目標
10円/kWh

資本費
18.7円

発電コスト 12.8円/kWh

運転維持費
4.2円

資本費
8.6円

競争電源として
自立化を目指す

発電コスト 10.3円/kWh

運転維持費
3.6円

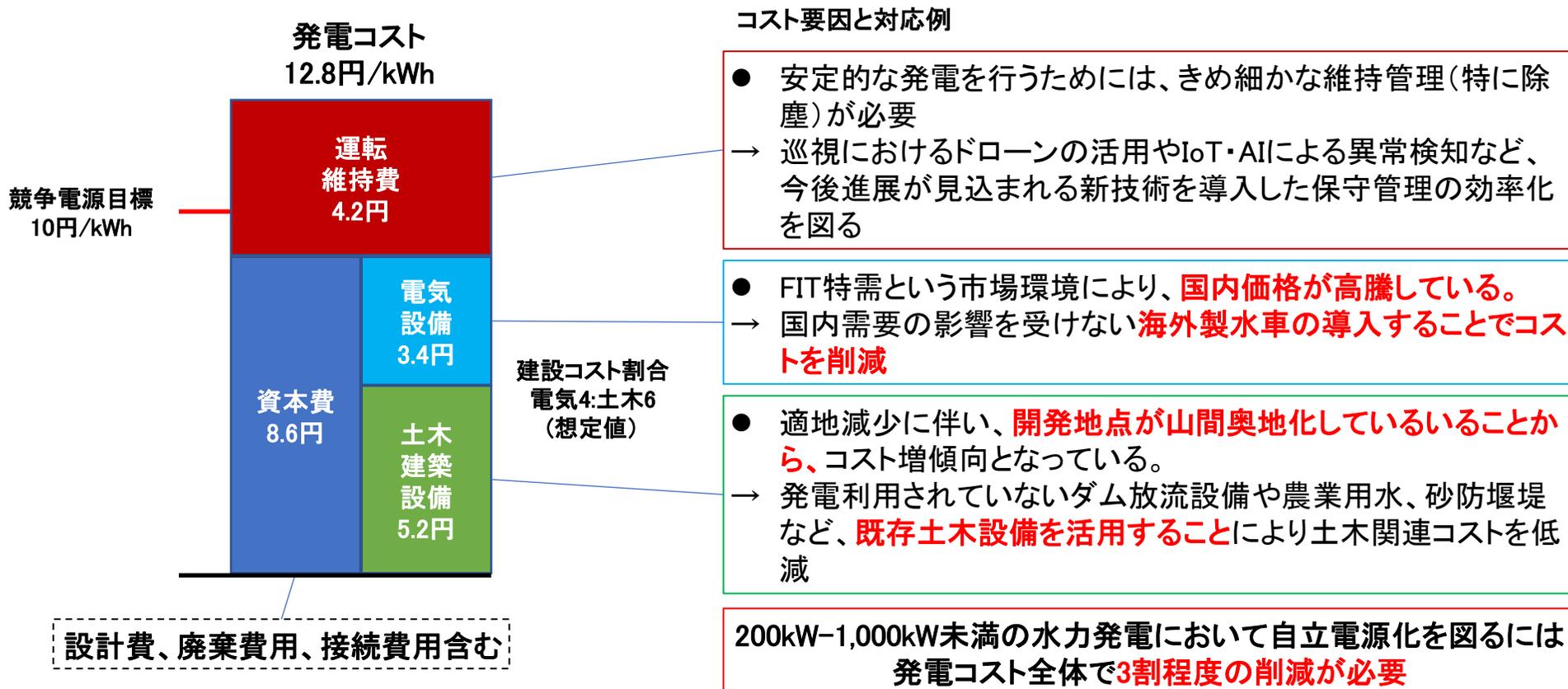
資本費
6.8円

競争電源として
自立化達成

発電コストの内訳とコスト低減策(200kW-1,000kW未満)

水力発電の特徴

- 水力発電は開発の歴史も長く技術が成熟しており、立地地点の状況等により発電型式や水車、発電機の種類が異なるため、**発電コストに大きく影響するような技術革新や量産効果は現時点では期待できない。**
- 初期投資が大きく投資回収が長期間となるものの、**長期間にわたり安定的かつ経済的な発電を行うことが可能**



まとめ

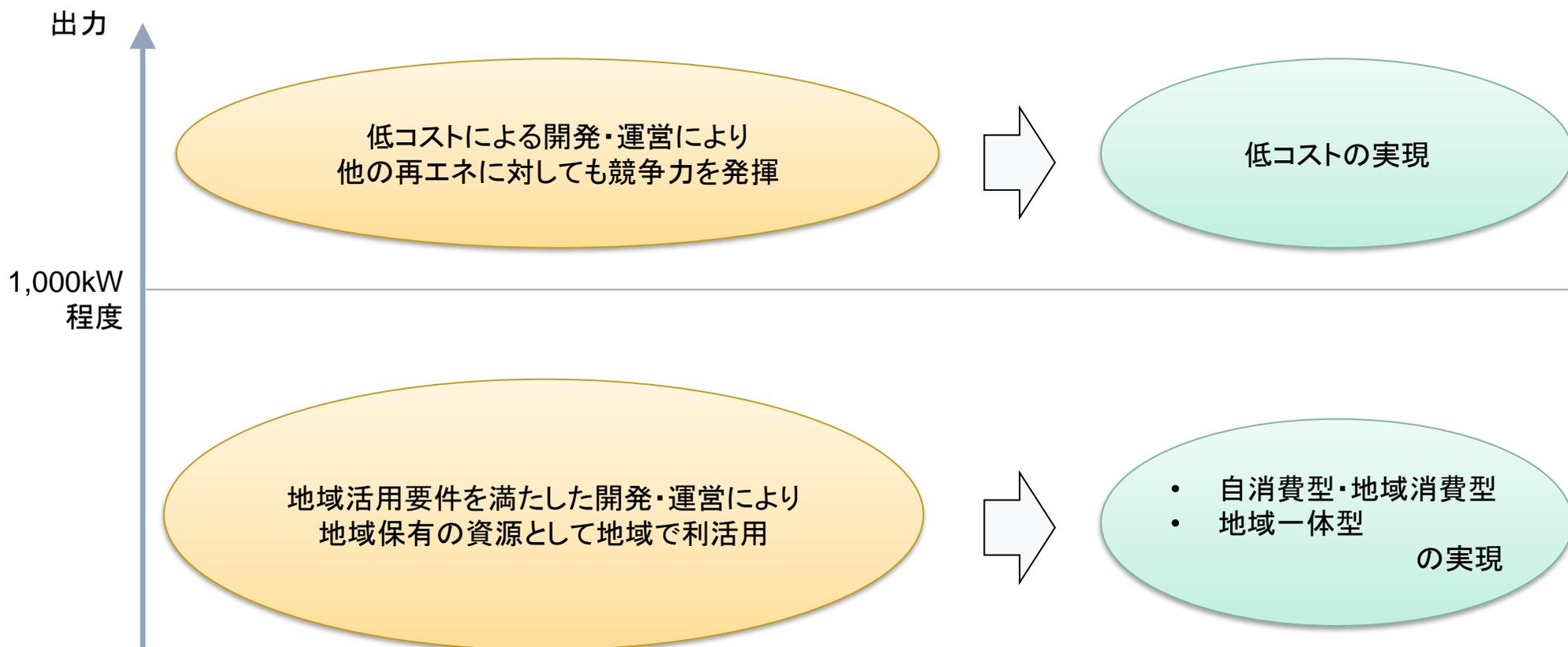
- コスト低減の目安
 - 中小水力発電が目指すべきコスト目標について分析を行った。
 - 競争電源となり得る価格目標として、発電コスト10円/kWh(IRR相当分を含まず)と設定した場合、200kW未満では資本費の割合が大きく価格目標の達成は困難と考えられる。
 - 一方で、200kW－1,000kW未満では、資本費および運転維持費の両方でコストを低減することにより価格目標を達成できる可能性があることが確認されたが、自立電源化を図るには発電コスト全体で**3割程度の削減**が必要と考えられる。

- 海外事例調査からの示唆(1章から抽出)
 - オーストリア製造メーカー: 1MW未満向けに標準式・モジュールシステムを採用。電気機械設備への投資額を30%削減可能。
 - イタリア事業者: 新規開発では大規模サプライヤーの汎用製品を利用することが多い。ただし、同時に小規模サプライヤーの開拓も行い、コストを下げるための最適方法を追求する。大規模水力(5MW以上)はオーダーメイドの発電設備がコスト効率が良い。一方、小規模水力(5MW未満)はモジュールユニットがコスト削減に有効。
 - イタリア製造メーカー: 一括ソリューションにより設計・施工を統合的に最適化することが可能。ただし、この方法が好まれるかどうかは投資家の意向次第。
 - ノルウェー企業のマイクロトンネル技術により、建設費用を700万ユーロから3割削減。
 - イタリア事業者: 入札でコスト削減を競わせた結果、落札事業者の代替案で工事費を当初案より30%以上削減。入札後でも仕様変更の受入れが可能となるような柔軟性を有することがコスト削減に有効。
 - チェコ事業者: 綿密な建設計画を立てて実行することで、工事費を大幅に削減可能。パイプ輸送時にネスティングと呼ばれる方法(内径の異なるパイプを重ねて1本のパイプとして輸送)を採用することで、輸送費の66%削減に成功。
 - オーストリア製造メーカー: 一括ソリューションにより、プラント管理を自動化かつワンストップ化することで効率的な運営が可能。運転維持費の30%以上を削減可能。

3. 2 国内中小水力発電事業開発の方向性

国内中小水力発電事業開発の方向性

- 水力発電について、比較的中規模な領域(出力1,000kW超)については一層のコスト低減による開発・運営、小規模な領域(出力1,000kW以下)については、地域活用要件を満たした開発・運営が求められる。



低コスト化の取組の方向性

- 国内外調査結果を踏まえ、低コスト化の方向性としては、以下に挙げる方向性が想定される。

低コスト化の方向性	具体的な内容
①海外製水車ランナの調達	国内の水車ランナ製作メーカーは主要2社に限られており、製作方法も鋳造加工のため納期・コストがかかっている。欧州メーカー製水車は、水車を全自動機械加工(切削加工)しており納期が早く、大量生産向きでコストも安い(ただし、輸送コストが発生する)
②水車発電機以外の部分の共用化	水車発電機本体以外の部分(制御盤・受変電盤等)については、全体の機器コストの3割～4割程度を占める。水車発電機と制御盤・受変電盤等は受注した水車メーカーがセットで納入されることが一般的であり、コストダウンの余地が少ない(海外水車を輸入している事業者においては、水車発電機(海外調達)+制御盤等(国内調達)となっている)。制御盤や受変電盤は水力発電専業ではなく、一般的に流通しており国内でも製作できるため、各社水車メーカーに対応可能な制御盤、受変電盤の開発することで、スケールメリットも生まれ、コストダウンの可能性はある(太陽光発電における、パネル+パワコンの関係に類似)。
③小水力発電向け標準仕様のガイドライン策定	公営電気事業や土地改良区などの公共部門では、発注者側が示した発注仕様書に基づき入札が行われるが、発注仕様書は従来の中小水力(1MWから30MW程度)に適用される設計基準やガイドラインに基づき作成される。したがって、中小水力においては合理的であっても、1MW未満が中心である小水力発電では過大な要求事項(設備、性能、仕様など)が設定される傾向にあり、メーカー側に過大な労力やコストが発生する。このことから、 <u>1MW前後の小水力発電所を対象とした、設計合理化ならびにコストダウン設計が可能となる新たな規程やガイドラインを定めることで、小水力発電機器のコストダウンを図ることができるものと考えられる。</u>

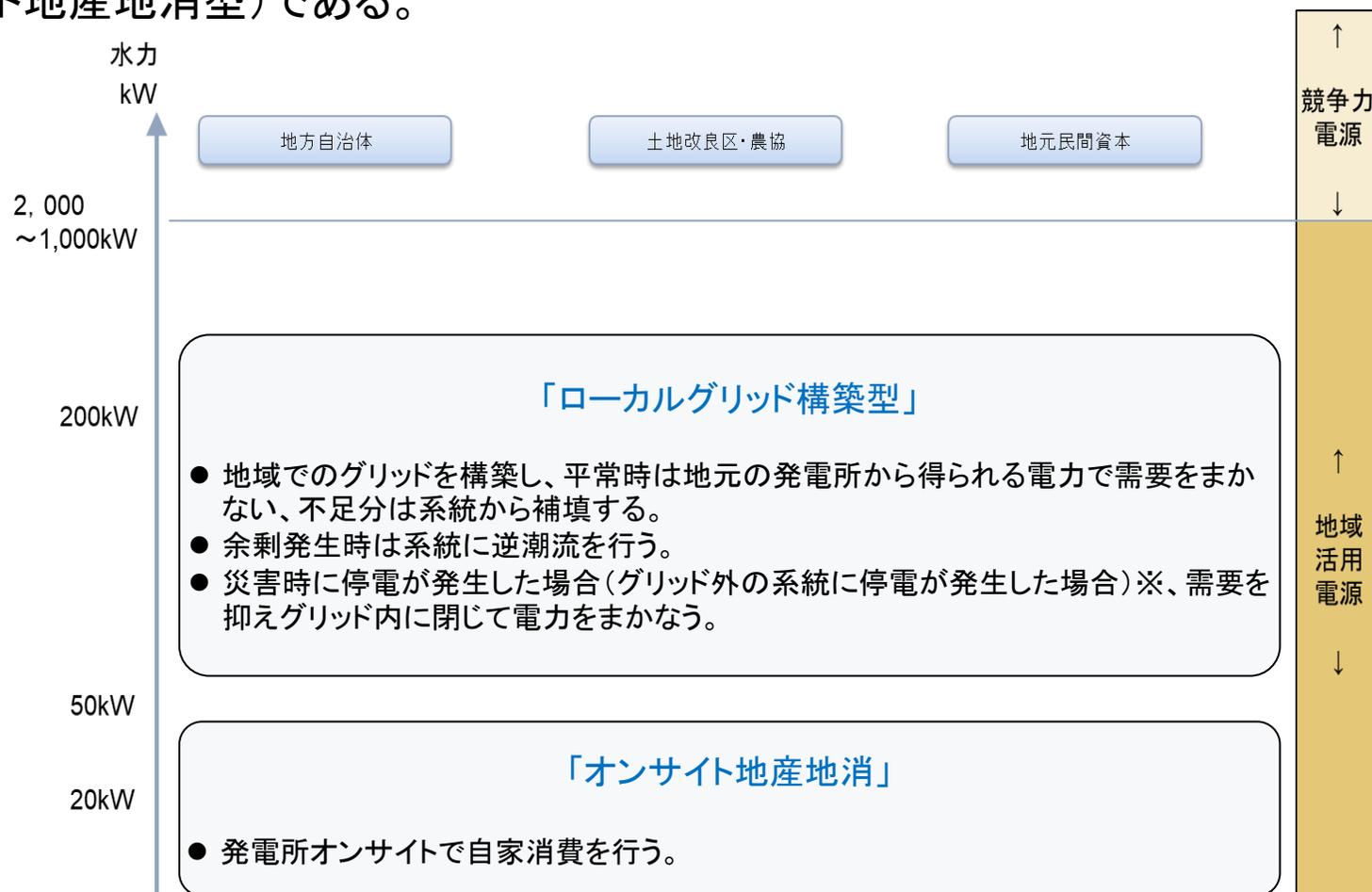
注)

JEC規格(電気標準規格調査会標準規格):電気学会の委員会において、IEC(国際電気標準会議)と整合を図りながら制定されたもの。

電協研(一般社団法人電気協同研究会):電力会社や機器メーカー等から構成する団体が比較的大規模設備を対象に制定したガイドライン。

今後の地域活用促進の方向性

- 地域活用促進に向けて、大規模出力と小規模出力で開発の方向性が異なる。前者は、地域でのグリッドを構築するタイプ（ローカルグリッド構築型）、後者は自家消費を行うタイプ（オンサイト地産地消型）である。



※ローカルグリッド自体には被害がない場合を想定

地域が自ら取り組む小水力発電事業

- 国内外調査結果を踏まえ、地域が自らが取り組む小水力発電事業の方向性として以下に挙げる方向性が想定される。

	地域活用の方向性	具体的な内容
ローカル グリッド 構築 型	①分散型グリッド化・地域区域供給制度への取り組み	平時は基幹系統と接続し、災害等により基幹系統が脱落した場合は、既存系統を利用して独立運用する。このことにより地域（ローカルグリッド内）における、レジリエンスを高める。 実現のためには、一般送配電事業者、既存グリッド内の発電事業者（水力含む）、配電事業者との連携が必要である。
	②グリッド内における電力自給率向上	ローカル系統において、グリッド内への供給電力量をグリッド内（配電用変電所内）の一定割合（例：5割以上）とし、自家消費割合を高める。
	③地域資本による発電事業（地域への資金循環）	地元資本を中心に発電側主体を構成し、地域活用電源開発にかかる調達行為を地域主体に行い地域への資金循環を高める。開発（設計調査、工事、機器調達（可能な範囲））や運転保守において、地元企業の積極的採用を行い、たとえば売電収益の一部を「地域振興資金（仮）」として地域に還元させる。
	④オンサイト地産地消	小規模であっても、需要に対応したレベルで地産地消型の電源開発を普及し、地域資源による電源創出雰囲気醸成する。

地域が自ら取り組む小水力発電事業（ローカルグリッド構築型）

①ローカルグリッド構築型の要件

- 地域マイクログリッドについては、平時は既存の系統配電線を活用し、緊急時はオフグリッド化して地域内に電力供給を行う方法で、将来的に方法が確立した時点で地域活用要件に認められるとされている。
- 一方で、小水力発電においては、中山間地や農地（農業用水路）に設定されていることが多く需要地から離れていることから、自営線による独立したグリッドにより地域への電力供給を行うことは困難と考えられる。
- このため、地域マイクログリッドの他にも、災害時および停電時のブラックスタートが可能であることを前提とした上で、一般送配電事業者からの指令により既設配電線に連系することで長期間の停電を回避する方法（ローカル地域におけるブラックスタート）についても、地域内での電気を融通を通じた災害時のレジリエンスに資するもの（地域活用要件）と認められるのではないか。

- 地域の再生可能エネルギーと蓄電池やコジェネ等の調整力、系統線を活用して電力を面的に利用する新たなエネルギーシステム
- 平時から再生可能エネルギーを有効活用しつつ、災害等による大規模停電時には周辺系統から独立したグリッドにおいて自立的に電力供給可能な、新たなエネルギーシステムのモデル構築を目指す
- 地域産業活性化や地域資金循環といった地域振興と電力BCP対策の両方に期待できる



地域が自ら取り組む小水力発電事業（ローカルグリッド構築型）

②ローカルグリッド構築型のケーススタディ

- 富山県南砺市平村地区は需要規模が小さいことから、エリアを管轄している北陸電力の送電系統を介さず、近傍の関西電力の変電設備（水力発電所から直配による電力融通（小口融通）を受けている。
- 「平村需要家」は、春季・秋季の夜間・休日の電気使用量が少ない時期であれば、6kV配電線に連系している小水力発電所（3箇所合計1,300kW）の発電量が需要量（バンク電力）を上回る状況（バンク逆潮流）となっている。
- このエリアにて、関西電力および北陸電力の変電設備の故障により長期間の停電が予想された場合は、一般送配電事業者からの指令を受けて、小水力発電設備によるブラックスタートにより連系することで、長期間の停電を回避することが可能となるのではないか。
- 実現には、一般送配電事業者との連携が不可欠である。

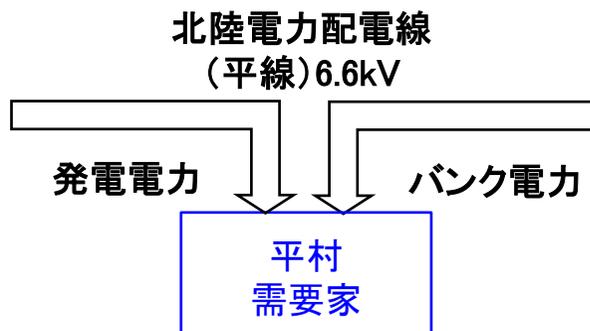


富山県南砺市平村地区

<系統模式図>



水力発電所
(3か所)
合計出力
1,300kW



北陸電力
小原変電所

関西電力
小原発電所

関西へ

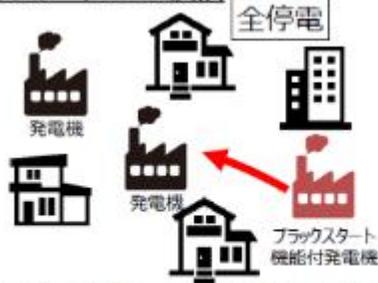
発電出力 > バンク電力
(春季・秋季の夜間・休日の電気使用量が少ない時期)

地域が自ら取り組む小水力発電事業(ローカルグリッド構築型)

③ローカル対応ブラックスタート機能

ブラックアウトから火力発電所への所内電力供給する通常のブラックスタート機能(下図)とは異なり、1回線送電線により供給する地域等を対象に、流通設備の事故による長期間の停電を回避すること等に活用する機能

ブラックスタートからの復旧



- ・ブラックスタート機能が付いた一部の発電機から、少しずつ周囲の発電機を起動させる。
- ・系統が極めて小さく、少しの動揺で系統が大きく変動し不安定。

■ ブラックスタート機能を有する電源の確保状況(エリア別、対象別、箇所数、ユニット数)

	北海道	東北	東京	中部	北陸	関西	中国	四国	九州	沖縄
ブラックアウト対応※1	7か所 10ユニット	3か所 5ユニット	4か所 8ユニット	2か所 9ユニット	2か所 4ユニット	3か所 5ユニット	2か所 5ユニット	1か所 2ユニット	4か所 8ユニット	2か所 2ユニット
ローカル対応	10か所 ※2 12ユニット	7か所 9ユニット	-	6か所 8ユニット	-	1か所 2ユニット	-	1か所 2ユニット	2か所 8ユニット	-

※1：全てのエリアで、ブラックスタート機能を有する電源として複数の発電所やユニットがある。それらは複数の発電所を起点としてブラックスタートすることや、あるブラックスタート機能を有する電源が停止した場合に他の発電所やユニットからブラックスタートすることに活用する。

※2：ブラックアウト対応と重複がある。

出所：第5回電力レジリエンス等に関する小委員会(2019年3月27日)配布資料4

④小水力発電事業者側においてブラックスタート可能な必要な機能・設備

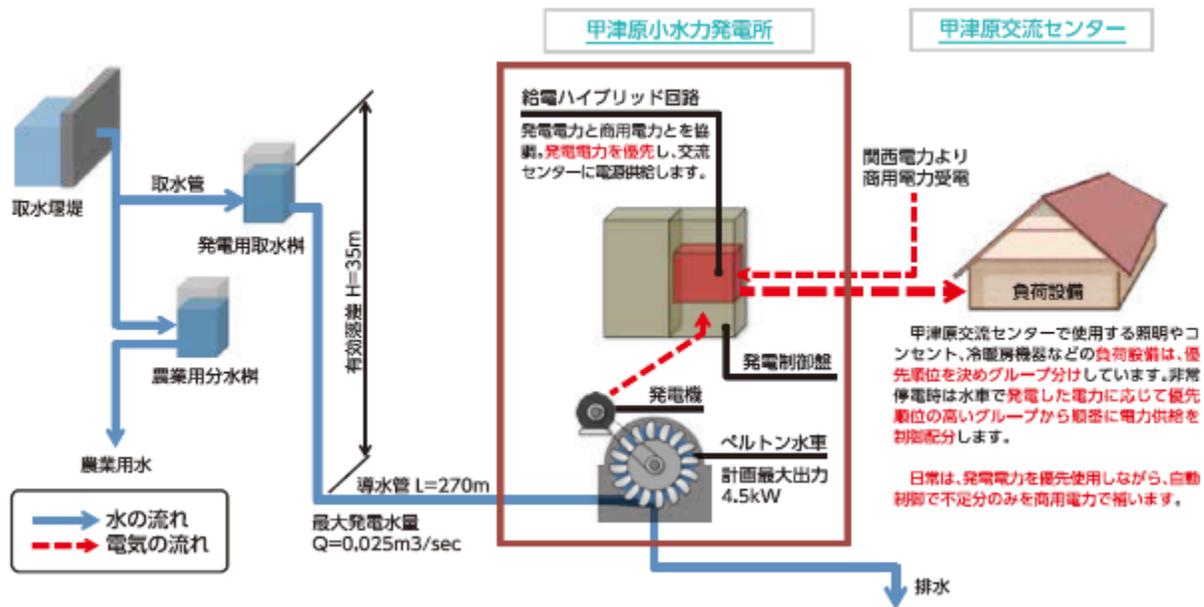
- **起動用電源(蓄電池)**
発電機を起動するための非常用電源。なお、水力発電機は、入口弁等のバルブを操作することで起動できるので、ブラックスタート時の起動用電源に必要な容量は火力発電機と比べて小さい。
- **ガバナフリー運転機能**(系統の周波数変動に追従して発電機出力を増減させる機能)
- **電圧調整機能**(系統の負荷変動に対して適正な電圧を維持できる機能)
- **試送電機能**(停止状態の送電線を一旦低電圧で充電した後、徐々に運転電圧まで上昇させる機能)
- **専用線オンライン化工事**
一般送配電事業者がブラックスタートを行うため、中央給電指令所から、通信伝送ルートを通じて直接的にブラックスタート機能を具備した契約電源へ発電を指令する。



上記機能・設備については、一般的な小水力発電所においては(一部電圧調整機能があるものを除き)、新たに追加する必要があり、数千万円単位のコストが、水車・発電機+制御盤に追加発生する。このほか、発電機を同期型にしておく必要がある。

地域が自ら取り組む小水力発電事業(オンサイト地産地消型)

- 通常時は地区の共有施設の電力需要の一部をまかない、災害時(系統からの電力供給が途絶えた場合)は、非常用電源に切り替えることができるものが想定される。



出所)北菱電興株式会社 提供資料「地域の水資源を非常用電源に活用」

4. その他施策検討に必要な情報収集及び資料作成

※本章は、期間中必要に応じて行った情報収集・作成した資料を列挙したものである。

4. 1 我が国における水力発電開発の流れ

これまでの日本の水力発電に関する政策・研究開発

	水力開発の流れ	水力開発政策	主なエネルギー政策	プロジェクト例	時代背景	民間・事業者・業界の動き
1868年 (明治)	黎明期 小規模水路式	・鉱山や工場に必要な自家用電力を確保するため、水力発電を建設	・第1次発電水力調査(1910~1913) 包蔵水力 3,420MW	・三居沢(1888, DC5kW) 日本初水力 ・蹴上(1892, 160kW) 日本初商用	・日露戦争(1904)	・東京電燈(1882) ・民間ベンチャーによる地域への電力供給 (地域マイクログリッド)
1912年 (大正)		・交流送電を導入(1888) ・高圧長距離送電技術の発達 ⇒電気事業の発展 ・ダム開発に着手	・第2次発電水力調査(1917~1922) 包蔵水力 7,430MW	・(旧)電気事業法(1911) ⇒公益事業	・大井(1924, 240MW) 大都市への電力供給	・電化が急速に拡大 ⇒電力不足 ・第一次世界大戦(1914-1918)
1926年 (昭和)	発展期 大規模ダム式	・電力土木、送電技術の発達により、これまで開発が難しかった未開発地域での大型水力発電所の開発が行われた	・第3次発電水力調査(1936~1941) 包蔵水力 20,000MW ダム式の発電計画調査豊水量を標準	・電力国家管理法(1938) ・配電統制令(1941) ・旧電気事業法廃止(1950)	・小牧(1930, 72MW) 東洋一のダム高さ	・(1939)日本発送電(株) ・(1941)9配電事業体制に統合
		・水系一貫開発(黒部川、阿賀野川、天竜川) ・河川総合開発(治水、かんがい、発電)あ ・大規模火力、原子力発電所の建設が増大し、水力が電力供給全体に占める割合・役割が低下 ・適地減少による開発難易度増加 ⇒新規開発ベースが鈍化	・第4次発電水力調査(1956~1959) 包蔵水力 35,000MW 水系一貫、河川総合開発貯水池(調整池)を活用したピーク発電	・国土総合開発法(1951) ・電源開発促進法(1952) ・特定多目的ダム法(1957) ⇒大規模水力開発 ・原子力基本法(1955) ・電気事業法(1964) (電源三法) ・電源開発促進法 ・特別会計に関する法律 ・発電用施設周辺地域整備法(1974-2003) ⇒電源開発基本計画、電源立地地域対策交付金	・佐久間(1956, 350MW) 戦後初の大規模ダム ・奥只見(1960, 360MW) ・黒部川第四(1965, 258MW)	・太平洋戦争(1941-1945) ・戦後復興、電力不足 ・高度経済成長(1954-1973) ⇒電力需要増大 ・国内初の原子力発電(1963)
	成熟期 大規模揚水	・水主火従から火主水従へ ・ピーク需要に対して出力調整能力に優れた揚水発電所の開発	・第5次発電水力調査(1980~1986) 包蔵水力 32,750MW 中小規模地点調査 kWhに重点、未利用落差	・(揚水)城山(1965, 250MW) 大規模揚水の先駆	・オイルショック(1973-1980) ⇒ ・石油代替エネルギー ・純国産エネルギー資源	
1989年 (平成)	停滞期 開発停滞	・採算性や立地条件等により新規開発は停滞	・未開発地点最適化調査(1993~1996) 5次調地点の有望地点を再検討(5.5次調)	・省エネ法(1998) ・電力小売自由化(2000~)	・バブル経済崩壊 ・(1997)京都議定書	・(2005)日本卸電力取引所(JPEX)が発足 ・(2015)広域的運営推進機関が発足
		・RPSによる小水力開発(1,000kW未満) ・FITにより小水力開発が活性化 ・海外水力事業への展開(東南アジア) ・再生可能エネルギー(非化石価値、ベースロード電源)	・未利用落差発電包蔵水力調査(1999-2009) ・中小水力発電開発補助事業(1999-2010) ・地域用水環境整備事業 ・水力関連補助事業(2016-)	・エネルギー政策基本法(2002)⇒エネルギー基本計画 ・RPS法(2003~2017) ・高度化法(2009) ・FIT法(2012~) ・電力システム改革(2013~) ・電力小売全面自由化(2016~)	・(揚水)八木沢(1990, 240MW) 可変速揚水運転 ・(揚水)神流川(2005, 940MW) スプリッターナ ・(揚水)京極(2014, 400MW) ・シューバロ(2015, 28.5MW)	・(2011)東日本大震災原発事故 ・(2015)パリ協定 ⇒脱炭素
2019年 (令和)	再生期 小水力・リプレイス			・ハツ場(2021予定 11.7MW)		

水力発電開発の概観

我が国における水力発電開発の流れは前ページに示したとおりであり、各時代の主なポイントを以下に示す。

黎明期

- 水力発電が誕生して以降、当時は工場や鉱山に必要な大電力を確保するための自家用として運用されており、土木技術と長距離送電技術の発達により大規模水力開発を進められ、発電方式も水路式からダム式へ拡大した。

発展期

- 戦後は、急速な電力需要を満たすため、国の施策として発電用および多目的ダムの開発が進められ、ダム施工技術の発展により多くの大規模水力発電所が建設された。

成熟期

- 開発に有利な適地が少なくなったことや、ダムの建設には巨額の資金と長い時間を必要とすることや、ダム開発に伴う環境問題や地元との合意形成が困難となってきたことから、水力発電では急激な電力需要の高まりに対応することが難しくなってきた。
- このため、昭和30年から40年にかけて、水力より建設費が安く比較的短期間で完成する大規模火力発電所が次々に建設された。また原子力発電が本格的に導入されて以降、発電の主体は水力から火力・原子力に移ることとなった。（火主水従）
- この間、水力発電の担うべき役割は大きく変化し、電力の需給バランスを調整するうえで電力の安定供給において重要な役割を担う揚水発電所の開発が進められることとなった。

停滞期

- 一方で、大規模と比較して開発適地が残っている中小水力の開発促進が進められており、河川の流水を利用する以外にも、農業用水や上下水道の未利用落差の活用が進められてきたが、採算性や立地条件等により新規開発は停滞していた。

再生期

- 2012年から始まった固定価格買取制度(FIT)以降、小水力やリプレース案件を中心に件数は増加したが、開発コストの高止まりや奥地化に伴う系統制約など、新たな問題も発生している。

水力開発政策

これまでの主な発電水力調査(第1次～第4次)

水力の開発目標達成のためには、まず未開発包蔵水力(ポテンシャル)の的確な把握が必要となる。全国規模での包蔵水力調査は、国を中心に明治43年の第1回以降、その時々々の社会的ニーズに合わせ計5回行なわれ、将来開発可能な有望地点の把握に努めてきた。

区分	実施期間	時代背景・調査内容	基本方針	包蔵水力
第1次	明治43年 (1910) ～ 大正2年 (1913)	日露戦争後の経済の好況で電力の需要が増し、これにつれて水力発電の開発が促進されたが、流量資料など基礎データが不備なため問題を生ずる例がみられるようになり、包蔵水力の全容を知る必要が生じた。	① 渴水量(355日流量)をQmaxとする水路式発電所を計画する ② 流量・気象調査も併せて行う。 ③ 計画策定最小出力規模200馬力(150kW) ④ 馬力あたり建設上限250～380円/馬力	・未開発 1,906地点 2,900MW (100馬力以上) ・既開発 328地点 480MW (100馬力以上) 合計 2,233地点 3,420MW
第2次	大正7年 (1918) ～ 大正11年 (1922)	第1次世界大戦後の工業の急速な発達に伴って電力需要が更に増大し、水力の加発が活性化する一方、送電技術の進歩、送電システムの整備を背景に火力との経済的な併用運転が考えられるようになり、これに適合する発電計画を策定する必要が生じた。	① 平水量(185日流量)をQmaxとする水路式発電所を計画する ② 流量・気象調査も併せて行う。 ③ 新規計画策定最小出力規模1,000馬力(735kW)(200～1000馬力の地点は第1次の計画を採用	・未開発 2,172地点 6,400MW (100馬力以上) ・既開発 650地点 1,030MW (100馬力以上) 合計 2,822地点 7,430MW
第3次	昭和12年 (1937) ～ 昭和16年 (1941)	ダム式発電方式が採用されるようになり、Qmaxとして平水量以上をとることが標準となり、2次調のデータでは不十分となった。また発電以外の利水との総合利用の見地から、河水統制の必要が叫ばれるようになった。	① 河水統制の見地から、発電計画にはできるだけダム式、ダム水路式を採用し、水資源の有効利用をはかる。 ② 豊水量(95日流量)をQmaxの標準とする。 ③ 流量・気象調査も併せて行う。	・未開発 1,707地点 13,474MW (300kW以上) ・既開発 1,064地点 6,566MW (300kW以上) 合計 2,771地点 20,040MW
第4次	昭和31年 (1956) ～ 昭和34年 (1959)	第2次世界大戦の混乱を脱却して、経済の高度成長期を迎え、飛躍的に増大する電力需要に応ずるため、大容量新鋭火力をベースロード、水力をピークロードに使うように電源構成が変わり、さらに大容量ダム式水力の開発促進が必要となった。	① 水系の一貫開発及び河水の有効利用を図る ② 大きなピーク出力を得るため貯水池式、調整池式発電の開発に重点を置く ③ 計画地点の経済性の評価をC/V法で行う ④ 流量・気象調査も併せて行う	・未開発 758地点 1,254MW (1,000kW以上) ・工事中 73地点 3,300MW ・既開発 1,541地点 10,816MW (100kW以上) 合計 2,372地点 35,370MW

出所)「①5次調」:水力開発地点計画策定調査報告書(第5次発電水力調査)昭和61年6月

水力開発政策①

これまでの主な発電水力調査(第5次以降)

区分	実施期間	時代背景・調査内容	基本方針	包蔵水力
①5次調	昭和55年 (1980) ～ 昭和61年 (1986)	石油ショック以降、石油代替エネルギーとして開発を促進することが国の重要施策の一つとなったことから、新しい情勢に即応した考え方により全面的に包蔵水力を再検討し、残された水力資源の全貌を明らかにする必要性が生じた。	① 発電電力量(kWh)の開発に重点をおいて計画する ② 低落差地点、小規模地点についても積極的に計画を策定する ③ 河川総合開発および既設の発電用以外のダム、水路等も積極的に検討する ④ 環境調和を図るものとする。	・未開発 2,811地点 13,010MW ・工事中 76地点 1,341MW ・既開発 1,666地点 19,642MW 合計 4,553地点 32,746MW
②5.5次調	平成5年 (1993) ～ 平成8年 (1996)	5次調地点における建設単価300円/kWh以下の地点、及びその他有望地点を対象として、経済性の他、立地条件による開発難易度指標を導入し、開発の可能性が高いとされた地点の再検討を行った。	① 開発難易度A,B地点(自然・社会環境等に立地条件評価で開発の可能性が高い地点)の経済性評価の分析 ② 開発難易度C,D地点(開発可能性が低い地点)の自然・社会環境等の立地条件評価の分析	(5次調未開発地点ベース) ① 開発難易度A,B地点 371地点 1,812MW ② 開発難易度C,D地点 534地点 4,397MW 合計 905地点 6,209MW
③未利用落差発電包蔵水力調査	平成11年 (1999) ～ 平成19年 (2007)	これまでの5次にわたる包蔵水力調査で把握されていなかった既設構造物(ダム、水路)における未利用落差を利用した小水力発電のポテンシャルを把握した。	① 既設ダム(河川維持流量、農業用ダム、砂防堰堤)を利用した発電包蔵水力調査 ② 水路(農業用水路、上下水、工業用水)を利用した発電包蔵水力調査	(包蔵水力に未計上分) ① 既設ダム利用 ・未開発 971地点 309MW ② 既設水路利用 ・未開発 418地点 22MW 合計 1,389地点 331MW
				H31.3末時点 包蔵水力 ・未開発 2,675地点 11,909MW ・工事中 43地点 217MW ・既開発 2,049地点 22,645MW 合計 4,767地点 34,771MW

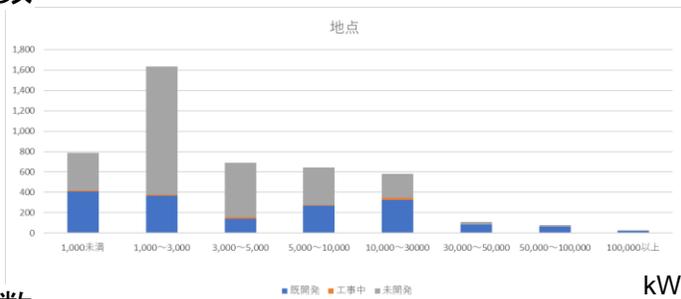
出所)「①5次調」:水力開発地点計画策定調査報告書(第5次発電水力調査)昭和61年6月、「②5.5次調」:未開発地点開発最適化調査報告書(平成8年3月)、「③未利用落差」:中小水力開発促進指導事業基礎調査(未利用落差発電包蔵水力調査)平成21年3月

水力開発政策②

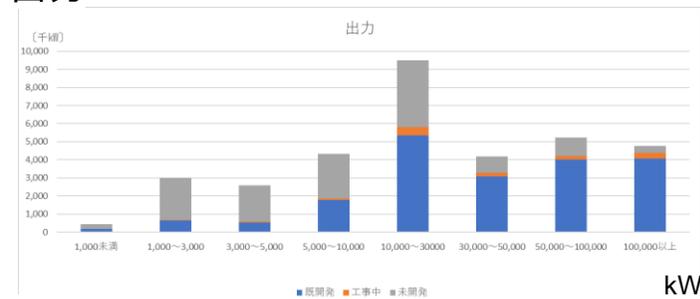
1985年以降、最も開発地点数が増加したのは1,000kW未満であるが、出力量の合計では100,000kW以上、ついで10,000～30,000kWの区分が多い。

地点数

1985
(5次調)

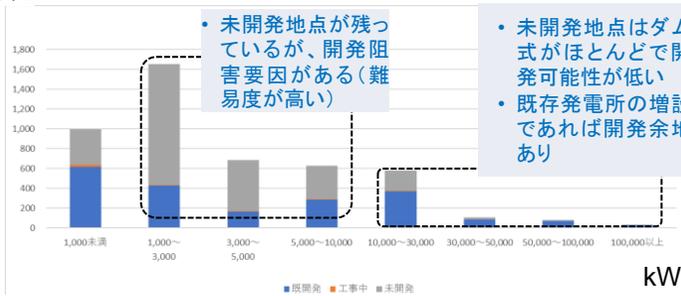


出力

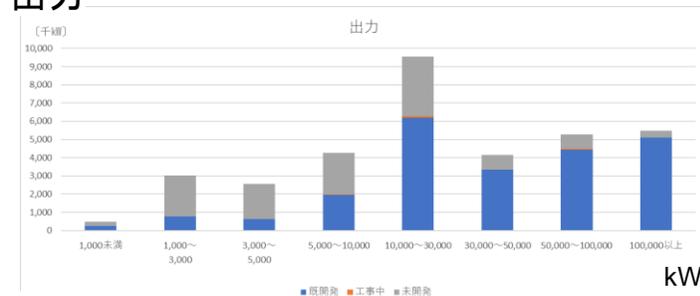


地点数

2018



出力

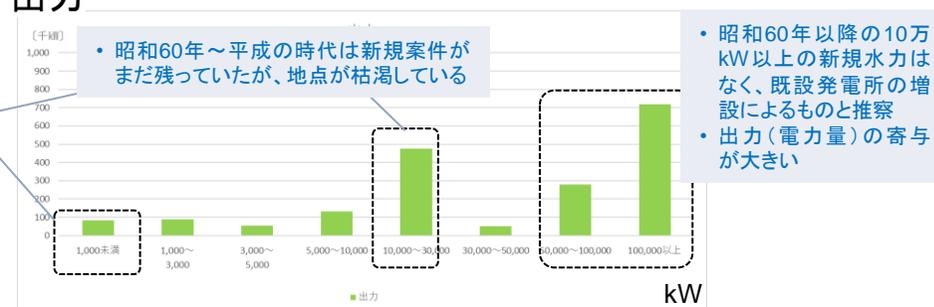


地点数

増分



出力



エネルギー政策、時代背景、および事業者の動き

黎明期

- 1886年に日本最初の電力会社である東京電燈が開業したが、当時は民間ベンチャーによる地域への電力供給を行っていた。

発展期

- 日露戦争後期から第一次世界大戦を経て1920年代に至る時期に、電力市場が爆発的に拡大した結果、電気事業者による供給設備の二重投資や電気料金の過当競争により業界が混乱し社会問題化した。このため、供給区域の独占と公的監視機関である電気委員会の設置を定めた改正電気事業法が1932年12月に施行された。また、1939年には既存の電力事業者から強制的に設備出資をさせて日本発送電が誕生し、電力は日本発送電と9配電会社による国家管理の時代を迎えた。

成熟期

- 戦後は、急速な電力需要を満たすため、1952年（昭和27年）に電源開発促進法が制定されて、電源開発株式会社が設立された。また、1950年（昭和25年）に施行された国土総合開発法に基づき、全国で特定地域総合開発計画が策定された。治水、かんがい、水力発電を中心と重点的な総合開発計画であり、水力発電については、電気事業再編により9電力体制となった旧一般電気事業者、電源開発、公営電気事業者らが中心となって進められた。
- 1960年代以降の日本の電力は火力発電所に比重を強めていたが、2度にわたる石油危機以降、エネルギーセキュリティの観点から、水力発電は有力な石油代替エネルギーとしてその開発を促進することが重要施策となったことから、電源立地地域に対して補助金を交付するいわゆる電源三法（電源開発促進税法、特別会計に関する法律、発電用施設周辺地域整備法）が制定された。

停滞期

- 石油代替エネルギーの確保に加えて、地球温暖化問題への対策が課題となってきたことから、2003年（平成15年）に電気事業者に対して、一定量以上の新エネルギー等を利用して得られる電気の利用を義務付けるRPS制度が施行された。

再生期

- エネルギー基本計画を踏まえた長期エネルギー需給見通しにおいて、再生可能エネルギーによる発電割合を2030年までに22~24%に拡大するとの計画が示されたことにより、その支援策として2012年に固定価格買取制度（FIT制度）が施行された。
- FIT制度により、これまでとは異なる事業者（土地改良区、地域住民、民間事業者など）による小水力開発が進められており、発電事業を通じてコミュニティの再生、地域経済の活性化が期待されている。

我が国水力発電が直面している課題

- 大規模発電所(30,000kW以上)
 - 大容量のダム式などの未開発地点は枯渇しており、大規模水力の上積みは困難な状況。
 - このため、大規模水力については単純増設やリプレース、ダムの嵩上げ等既設設備の改修工事による増出力、またはダム運用の効率化による増電力量が基本方針となる。
 - 一方で昭和30年代に多く建設されたダム式の大規模水力発電所は、すでに60年以上経過しており、設備の老朽化や長寿命化への対応、ダムの堆砂や濁水などの河川環境へ与える影響が大きい。
 - 加えて、気候変動の影響により、これまでの想定を上回る豪雨等が頻度するようになり、上記ダム堆砂の影響も加わることで効率的な発電や治水に係るダム運用が困難となっている。
- 中小水力規模発電所(30,000kW未満)
 - 中小水力については、未開発地点最適化調査(5.5次調)結果のとおり有望な(開発可能な)地点が残っており、包蔵水力以外にも農業用水路など開発可能なポテンシャルが存在している。
 - 開発コストの高止まりや、奥地化や立地規制による開発難易度の上昇、系統制約など、阻害要因への対応が不可欠である。
 - 開発地点数と出力量の関係で見たとおり、出力の上積み効果は大規模に比べ小さい。

4. 2 産業政策と水力発電

我が国の中小水力発電技術の海外展開

本邦企業の中小水力発電関連技術の海外展開に活用されている支援制度として、以下に挙げる事例がある。

制度	機関	趣旨
低炭素・低排出クリーンエネルギー技術移転プログラム(LCETプログラム)	UNIDO	日本企業の持つ、生産効率に優れ、環境に配慮した技術やノウハウを開発途上国・新興国向けに広く紹介
二国間クレジット制度資金支援事業のうち設備補助事業	環境省	途上国において優れた脱炭素技術等を活用して温室効果ガスを削減するとともに、我が国の貢献に応じてJCMクレジットの獲得を目指す二国間クレジット制度(JCM)の推進に向けて、JCMの下で行う事業に対して初期投資費用の一部を補助
「中小企業海外展開支援事業」(案件化調査)(普及・実証事業)	JICA	企業海外展開支援事業は日本の中小企業が有する優れた技術・製品を用いて、途上国の開発と日本経済の活性化の両立を目指す。また、全国の中小企業を対象とすることで、地方の再生を通じた経済成長、中小企業対策による地域活性化にも貢献する。
民間主導による低炭素技術普及促進事業	NEDO	先駆性があり高付加価値化・最適化を図ることのできるICT等の先端技術等を利用して、費用対効果が高く、排出削減と定量化を同時に達成出来る事業を実施し、並行して相手国における当該技術・システムの普及促進に資する政策との連携や制度整備支援を日本政府と連携して取り組むことで、我が国の低炭素技術・システムの普及拡大を図る。

我が国の中小水力発電技術の海外展開(事例)

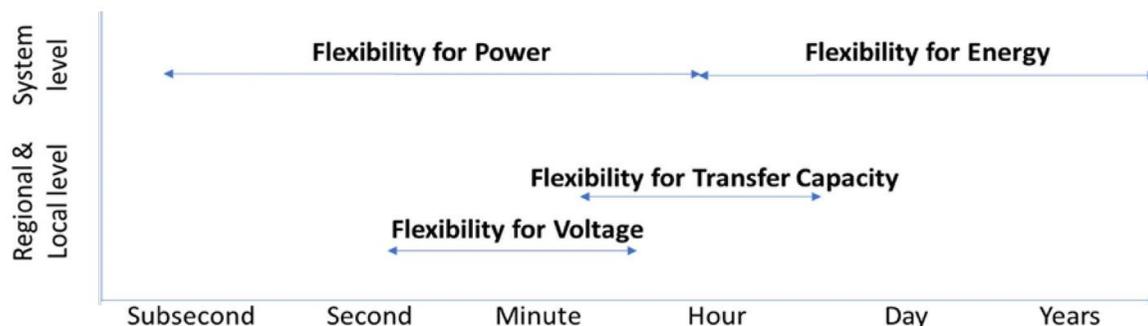
前ページの制度を活用した、中小水力発電技術の海外展開事例として以下に示す取組がある。主として新興国を対象としている。

制度	本邦企業例	対象国	内容
低炭素・低排出クリーンエネルギー技術移転プログラム(LCETプログラム)	シーベルインターナショナル(株)	エチオピア	<ul style="list-style-type: none"> 無電化村約 200 世帯及び無電化学校への電力供給を目的として超低落差マイクロ水力発電システム独立電源ミニグリッドを設置。新興国のインフラ整備に貢献する重要なプロジェクトとして積極的に推進する。 発電規模は定格発電約 20kW(定格電気制御約 50kW増設用)を1ユニット
二国間クレジット制度資金支援事業のうち設備補助事業	AURA-Green Energy (AGE)	インドネシア	<ul style="list-style-type: none"> 発電機はオーストリアGlobal Hydro Energy製を採用。EPC(設計・調達・施工)サービスはGistec Prima Energindoが担当。2021年中に完成予定。 2021年度までの3年間で合計1億1530万円(補助率40%)の補助。
	富士・フォイトハイドロ株式会社	インドネシア	<ul style="list-style-type: none"> 既存の水力発電所を対象に、水車に対して最新設計技術を適用することで高い効率を実現し、また特殊鋼コーティングランナ採用による耐摩耗性の向上対策を行うとともに、既存発電機を撤去し、高効率・増出力の発電機に取替えを行う。 既存設備の改修及び出力の増強を行うことにより、発電出力最大値は8.8%向上し、年間総売電量は5.7%の増加が期待できる。
「中小企業海外展開支援事業」(案件化調査)(普及・実証事業)	株式会社タイワ精機、株式会社シキノハイテック、株式会社北陸精機、新日本コンサルタント、富山市	インドネシア	<ul style="list-style-type: none"> 未電化地域人口比率の高いインドネシア共和国バリ州タバナン県の農村部において、棚田群の用水路に小水力発電システムの導入を図ることで、未電化地域の電化を推進するとともに、電化地域においては供給量増加による生活改善を目指す。
民間主導による低炭素技術普及促進事業	シーベルインターナショナル(株)	ミャンマー	<ul style="list-style-type: none"> 農業用水を活用した3m未満という低落差で発電できる10kw-20kw級のマイクロ水力事業におけるミャンマーでのビジネス展開の可能性と、JCM/BOCMプロジェクトへの適用可能性を調査

海外における水力発電技術の開発支援

EU: XFLEX HYDRO (Hydropower Extending Power System Flexibility)プロジェクト

- EUでは、パリ協定に基づき2050年までに温室効果ガス排出量の80～95%削減を達成するため、再生可能エネルギー源 (RES) として欧州の発電構成の97%が必要になると見込んでいる。
- 2018年、欧州系統連系送電網 (562.4 TWh) では、水力発電が総発電量の約15%を占めた。再エネによる発電量構成比で約100%のシェアを占めるという野心的な将来シナリオのために、発電グリッドのバランスを維持し、欧州EPSの柔軟性を拡大する上で、非常用水力発電が重要な役割を果たす可能性が高く、このような状況の中で水力発電システムの柔軟性拡大 (XFLEX HYDRO) プロジェクトが考案された。
- XFLEX HYDROは、欧州の電力システムに対するプラント効率、利用可能性、柔軟性サービスの提供に関する水力発電ポテンシャルの実現と向上を目指している。XFLEX HYDROの目的は、柔軟性サービスの向上だけでなく、メンテナンススケジュールの最適化、可用性の向上、およびパフォーマンスの最大化を可能にする最先端の水力発電技術を組み込むための新しい効果的な方法を提供するもの。
- 柔軟性とは、電力システムが変化を管理する能力と定義される。時間軸によって、電力・エネルギーのニーズ、システム全体のレベルでのニーズ、地域レベルでの電圧制御・送電容量のニーズにシステムの柔軟性を分けている。



柔軟性ニーズの空間的・時間的相互関係

※本技術は中小水力発電の規模ではないが、水力発電の価値を活かそうとする動きの例として情報収集した。

出所) XFELX HYDRO, <https://xflexhydro.net/> (閲覧日: 2021年2月25日)

海外における水力発電技術の開発支援(続き)

- 既存の水力(揚水)発電所7地点において、水力発電の柔軟性を活用して、風力や太陽光発電などの自然変動電源の大量導入に必要なアンシラリーサービス(需給調整力)提供に向けた実証試験を開始した。
- 具体的な実証技術として、デジタル化ツール(スマート発電管理)、流水式水力発電所における蓄電池貯蔵システムのハイブリッド化、「Hydraulic short circuit」(次ページ参照)を用いた揚水と発電の統合、可変速技術などが挙げられる。

アンシラリーサービス

Sites/Timescale		SYNCHRONOUS INERTIA	SYNTHETIC INERTIA	FAST FREQUENCY RESPONSE (FFR)	FREQUENCY CONTAINMENT RESERVE (FCR)	AUTOMATIC FREQUENCY RESTORATION RESERVE (aFRR)	MANUAL FREQUENCY RESTORATION RESERVE (mFRR)	REPLACEMENT RESERVE (RR)	VOLTAGE/VAR CONTROL	BLACK START	実証技術		
		0 s	< 500 ms	0.5-2 s	< 30 s	30 s - 15 min	< 15 min	> 15 min	< 1 s	N/A			
(スイス) 5MW	Z MUTT	T P	T P	T P	T P	T P	T P	T P	T P	●	FS VS (FSFC)		
											VS & SPPS		
												FS	
(ポルトガル) 390MW	FRADES 2	T P	T P	T P	T P	T P	T P	T P	T P	●	VS (DFIM)		
												VS & SPPS & HSC	
(フランス) 154MW	GRAND MAISON	T P	T P	T P	T P	T P	T P	T P	T P	●	FS		
												FS, SPPS & HSC	
(ポルトガル) 130MW	ALQUEVA	T P	T P	T P	T P	T P	T P	T P	T P	●	FS		
												FS & SPPS	
												FS & HSC	
(ポルトガル) 317MW	ALTO LINDOSO & CANIÇADA	●	●	●	●	●	●	●	●	●	FS		
												FS & SPPS	
												VS (FSFC/DFIM) & SPPS	
(フランス) 35MW	VOGELGRUN	●	●	●	●	●	●	●	●	●	FS Kaplan		
												FS, SPPS & HBH	
												VS (FSFC) Propeller	
											VS, SPPS & HBH		
Original terminology		Inertia		Primary frequency control (FC)		Secondary (FC)		Tertiary (FC)		Voltage control		System re-start	
Emerging frameworks		BILATERAL CONTRACTS (GB)		GB/IR/NORD		FCR coop.		PICASSO/IGCC		MARI		TERRE	
		-		GB/IR/NORD		FCR coop.		PICASSO/IGCC		MARI		TERRE	

DEMONSTRATIONS

TECHNOLOGICAL SOLUTIONS

MARKET FRAMEWORK

LEGEND

TYPES OF HYDROPOWER STATIONS

- PSP Pumped storage plant
- T PSP turbine mode
- P PSP pumping mode
- Reservoir storage hydropower
- Run-of-river hydropower

TYPES OF HYDRO EQUIPMENT

- Reversible Francis unit(s)
- Francis unit(s)
- Pelton unit(s)
- Kaplan/propeller unit(s)
- Electro-chemical battery

FLEXIBILITY TECHNOLOGY

- SPPS Smart Power Plant Supervisor (XFLEX product)
- FS Fixed speed
- VS Variable speed
- VS (FSFC) VS with full size frequency converter
- VS (DFIM) VS with doubly fed induction machine
- HSC Hydraulic short circuit (PSP)
- HBH Hydro-battery-hybrid

MARKET FRAMEWORKS

- CE Continental European market
- GB UK market
- IR Rep. & Northern Ireland market
- NORD Nordic market
- EBGL EU Electricity Balancing Guideline (2007/2195)
- IGCC International Grid Control Cooperation
- PICASSO Platform for International Coordination of Automated Frequency Restoration and Stable System Operation (aFRR)
- MARI Manually Activated Reserves Initiative (mFRR)
- TERRE Trans European Replacement Reserves Exchange (RR)

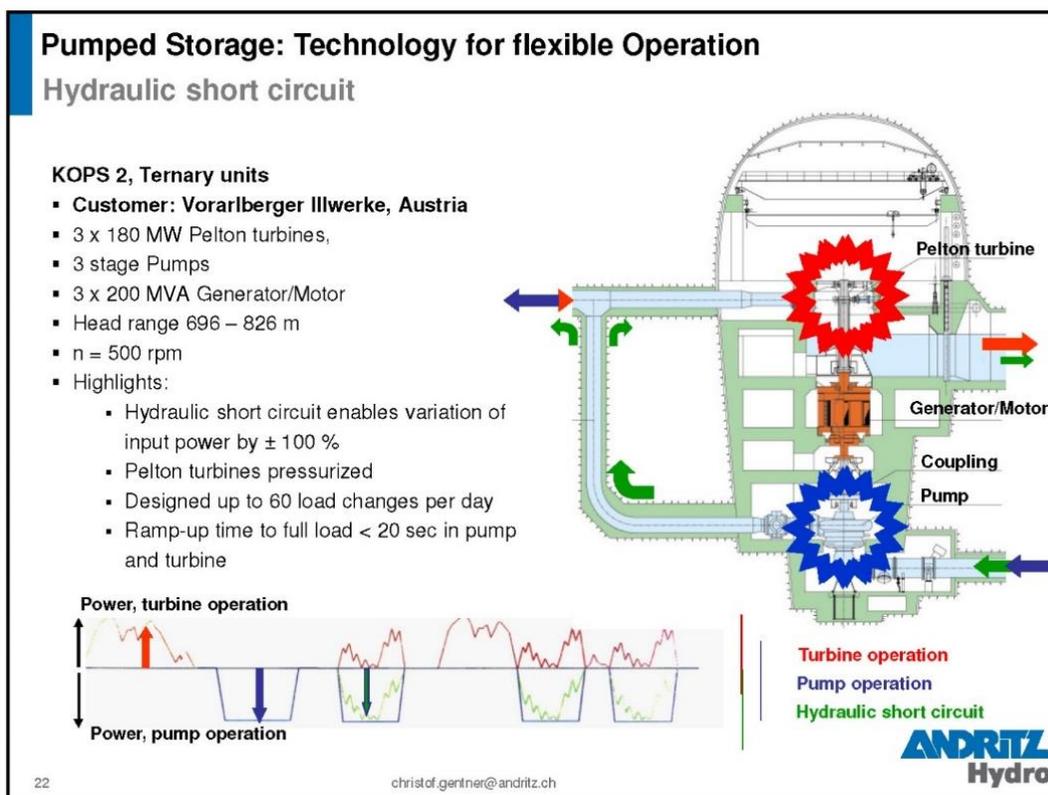
CAPABILITY OF ANCILLARY SERVICE

- 現在サービス提供不可
- 提供可能だが、拡張可能
- サービス提供可能

出所) D2.1 Flexibility, technologies and scenarios for hydropower (Institute for Systems and Computer Engineering, Technology and Science (INESC TEC))

(参考) Hydraulic short circuit (タンデム式揚水発電)について

- タンデム式は、発電機としても揚水機としても運転できる1台の発電電動機を、軸を同じくして発電用水車と揚水ポンプとで共有するもの。ヨーロッパで発展した方式で、発電時・揚水時とで発電用水車・揚水ポンプとを使い分けることにより総合的に効率がよく、高落差にも対応できる特徴があるとされる。
- 2004年に着工した、オーストリアの「Kops II 揚水発電所」は、ポンプで汲み上げた水の一部を発電用水車に供給することで、発電側+100%から揚水側-100%までの出力調整を行っている(下図参照)。



出所) 米国土地管理局“BLM Pumped Hydropower Workshop” 資料「14 PSH Variable Operation」より抜粋

<https://www.ntc.blm.gov/krc/uploads/712/14%20-%20PSH%20Variable%20Operation%20-%20Gentner.pdf> (閲覧日: 2021年2月25日)



株式会社三菱総合研究所

二次利用未承諾リスト

報告書の題名

令和2年度エネルギー需給構造高度化対策に関する調査等事業（中小水力に関する海外動向把握等調査）報告書

委託事業名

令和2年度エネルギー需給構造高度化対策に関する調査等事業
（中小水力に関する海外動向把握等調査）

受注事業者名 株式会社三菱総合研究所

頁	図表番号	タイトル
8		米国の電源（発電量）構成（2018年）
8		米国の再生可能エネルギー発電量の将来見通し
9		米国で開発中の中小水力発電分類（2017年12月31日時点）
10		米国における州ごとのRPS目標
14		米国の既存水力発電マップ
14		米国の水力ポテンシャルマップ（河川新規開発）
16		ドイツの電源（発電量）構成（2018年）
16		ドイツの再生可能エネルギー発電量の推移（2000-2018年）
17		ドイツの水力発電導入量マップ
19		ドイツにおける水力の未利用エネルギーポテンシャル
19		ドイツ・バイエルン州の水力ポテンシャルマップ
20		イタリアの電源（発電量）構成（1973-2015年）
20		イタリアの再生可能エネルギー発電量の推移（1973-2015）
22		オーストリアの電源（発電量）構成の推移（1973-2012年）
22		オーストリアの再生可能エネルギー発電量の推移（1973-2012年）
24		チェコの電源（発電量）構成（1973-2015年）
24		チェコの再生可能エネルギー発電量の推移（1973-2015年）
31		コスト概要（資本費+維持費）
32		世界の水力発電導入費用推移（容量による加重平均）
33		世界の水力発電導入費用推移（左:10MW以上、右:10mW未満）
33		世界の水力発電導入費用分布（左:10MW以上、右:10mW未満）
34		資本費と規模の相関（各国事例）
35		運転維持費と規模の相関（各国事例）
36		水力発電の導入費用・設備利用率・LCOEの推移（容量による加重平均）
37		地域別・水力発電のLCOEと容量による加重平均（10MW未満）
38		米国における水路式発電所のコスト相関式および相関関係（米国）
39		ドイツの新設水力発電の資本費（ユーロセント/kWh）
39		ドイツの運転維持費用（kWh単価はユーロセント/kWh）
40		500-1,000kW規模水車のコスト曲線（左からペルトン水車、カプラン水車、フランシス水車）（ノルウェー）
45		米国DOEの標準モジュール型水力発電
46		GE社の小水力発電標準ユニット
47		運転維持費と規模の関係（米国）
48		GE社のDigital Hydro Solutions
50		水車 a) Juhrig、b) Pelikan、c) Hylowプロジェクト
51		水車 a) Andritz社、b) Voith社
52		Voith社のソリューションビジネス概要
53		汚染による水車の動力低減（ドイツ）
54		Voith社のSCADAシステムおよびスマートソリューション
55		Global Hydro社のコンテナ型水力発電ユニット
56		Norhard社のマイクロトンネル技術

