

既存インフラにおける 隠れた未利用の水力発電開発機会の特定と 行動の概要と主なニーズ

白 書

寄稿者：

- 1 Carly Hansen, Oak Ridge National Laboratory, hansench@ornl.gov
- 2 Cécile Münch-Alligné, HES-SO Valais-Wallis, cecile.muench@hevs.ch
- 3 Vincent Denis, Mhylab, vincent.denis@mhyllab.com
- 4 Yoichi Miyanaga, Central Research Institute of Electric Power Industry, ym1951@citrus.ocn.ne.jp
- 5 Nils Nielsen, Kator Research Services, nielsen_kator@iprimus.com.au
- 6 Thomas Schleker, European Commission, thomas.schleker@ec.europa.eu
- 7 Anton Schleiss, École Polytechnique Fédérale de Lausanne, anton.schleiss@epfl.ch
- 8 Eduard Doujak, TU Wien, eduard.doujak@tuwien.ac.at

国際エネルギー機関（IEA）と技術協力プログラム

国際エネルギー機関（IEA）は、すべての燃料とすべての技術に焦点を当て、世界中の政府や業界に分析と政策アドバイスを提供することで、すべての人にとって安全で持続可能な未来を形作るために活動する政府間組織である。詳細については、[ここをクリック](#)。

IEA 水力実施協定の概要

IEA 水力実施協定（IEA Hydro）は、世界的な水力発電の推進に関心のある IEA メンバー国およびその他の国からなる活動グループである。現在の IEA Hydro 参加国はオーストラリア、ブラジル、中国、EU、フィンランド、日本、ノルウェー、スイス、アメリカで、サラワクエナジー社がスポンサーである。参加国の政府自らあるいは政府がその国の代表として指定した機関が、IEA Hydro の業務を遂行する執行委員会（ExCo）および作業部会（Task）に参加する。IEA Hydro のいくつかの活動は、IEA と他の水力関係機関との協働により実施されることがある。

IEA Hydro は、活動計画を積極的に推進し、非 IEA メンバー国の参加も奨励している。OECD メンバー国と非メンバー国全てが参加可能である。参加資格と調査活動の詳細は、IEA Hydro のウェブサイト：www.ieahydro.org で得ることができる。

概要

迫りつつある再エネ目標の達成に向けて、水力発電が果たす役割は大きいといえる。「隠れた」または「未利用」の水力発電の開発とは、既存のインフラのなかで、非発電用、あるいは既設の発電容量および発電電力量を増強できる可能性があるインフラを活用することを指している。

「隠れた・未利用の水力発電の開発機会」(HUHO: Hidden and Untapped Hydropower Opportunities)の特定、実現可能性の評価、追跡には課題がある。しかし、インフラや水資源の地理空間データや機械学習アプローチなどの新しいデータや分析技術により、有益なカタログやコミュニケーションツールが生まれ、詳細な分析と開発のための地点選択をサポートすると同時に、HUHOをより広範なエネルギー開発の機会として位置づけるのに役立つ。

既存の水力発電施設における設備の改修や拡張プロジェクトは、設計や運用の変更を通じて利用可能な水資源をより効果的に活用する設備のアップグレードを含むことができる。さらに、発電機能は、灌漑用水路から公共上水道システム、非発電用ダム、鉱山跡まで、さまざまなインフラに実装できる。これらのプロジェクトは、既存のインフラ、その他の水需要、または利用可能性による制約に直面しているが、新規地点の開発と比較して、土木工事、資本コスト、環境への影響が低減されるなど、多くのメリットがある。

HUHOのさらなる特定を支援し、水力発電と水管理インフラ内に存在する発電ポテンシャルを最大限に引き出すには、研究と革新が必要である。環境的に持続可能で経済的に競争力のある水力発電技術の開発と実証は、HUHOプロジェクトの成長を確実にするために不可欠である。HUHOの可能性、ベストプラクティス、課題、および研究ニーズを理解することは、エネルギー開発と水管理のより広い文脈におけるこれらの機会の役割を評価するために重要である。

1. 序章

再生可能エネルギーは、将来の電力ミックスの基盤であり、二酸化炭素排出量を抑えた持続可能なエネルギー供給を可能にする。水力発電は 2022 年に 4,252TWh 以上を供給しているが、2030 年までに 5,700TWh の目標を達成するには、その発電量を増やす必要がある (IEA, 2022 年)。水力発電のポテンシャルを開発するには、新しい未開発地点開発プロジェクトに加えて、既存のインフラにおける隠れた未利用の水力発電の開発機会 (HUHO : Hidden and Untapped Hydropower Opportunities) を考慮する必要がある。「隠れた水力発電の開発機会」(HHO : hidden hydro opportunities) という用語は、非発電用のインフラ内に存在する水力発電のポテンシャルの部分を指し、「未利用の水力発電の開発機会」(UHO : untapped hydro opportunities) は、既存の水力発電施設における開発や運用によって得られる潜在的な発電能力を指す。

水力発電の開発機会の種類	説明
Hidden (隠れた)	非発電用ダム、送水構造物、またはその他の既存の灌漑・公営上水道・工業用水システムに設置する新しいプラント
Untapped (未利用の)	既存の水力発電施設の性能・発電能力を改善または強化すること、新規または改良された電気・機械部品・新材料の利用による既存のプラントの改修
Greenfield development (未開発地点開発)	タスク 16 では対象としない

この白書は、IEA 水力実施協定のタスク 16 が作成した最初の出版物であり、その目標は、既存のインフラにおける HUHO の水力発電のポテンシャルを持続可能な方法で増加させることである。タスク 16 の活動では、次の点に重点が置かれる。

- 水力発電開発計画への従来のアプローチでは対処されていなかった持続可能な HUHO を特定して理解する。
- インベントリの開発を含む、持続可能な HUHO のポテンシャルを特定および定量化するために使用される手法について説明する。
- データ収集の改善、技術革新、規制政策の変更、または導入策を通じて、HUHO の機会を奨励できる場所を見つける。
- 持続可能な HUHO のポテンシャルを将来最大限に活用し、研究とイノベーションのアジェンダを策定するために、さらなる技術開発のニーズを明確にする。
- HUHO の全体的な利点とその実装におけるベストプラクティスを特定する。

この白書の目的は、読者が HUHO の概念、その実装における機会とベストプラクティスを特定する方法を理解し、そのような持続可能なプロジェクトの開発を促進できるようにすることである。具体例を通じて、既存のインフラの隠れた未利用の発電ポテンシャルを開発するためのさまざまな機会の概要を示す。この要約では、さまざまなプロジェクトの種類、出力の増大やプロジェクトの開発に使用される手法、および HUHO に関連する課題に焦点を当てている。さらに、この白書では、機会の特定と追跡、および研究とイノベーションに関連するニーズをまとめている。

2. 隠れた未利用の水力発電の利点

隠れた未利用の水力発電プロジェクトは、個々の発電量は小規模であることが多いが、多くの地点を開発することで、累積的な影響が少ないにもかかわらず、大きな利益をもたらすことができる (Nielsen, 2019) ため、持続可能な発電ソリューションとなり得る。また、HUHO は、他の目的の改造や改修と同時に発電を追加できる共同開発の機会があるという点でもユニークである。場合によっては、発電による収益が、インフラ改修費用の手当にもなり得る。HUHO は、発電した電力を現地で利用することもあり、大きな経済的利益をもたらす。

HUHO には、特に未開発地点開発やその他の小規模な水力開発と比較して、開発を可能にするさまざまな潜在的な利点と要因がある。一般的に、HUHO は下記のような特徴がある。

- 別の地点を新規に開発するよりも全体的な開発コストが低い。
- 既存のインフラを利用して、十分に活用されていない施設から得られるエネルギーのメリットを最大化する。
- 追加的影響が少ないため、新しい環境・社会調査が少なく済む。
- 既存構造物を使うことや貯水池運用の変更が限定的であるため、追加の炭素排出量がほとんどまたはまったくない。
- 多くの場合、水力発電を増加させる最も実行可能な選択肢であり、多くの管轄区域で検討・承認されている。

さらに、農村部や系統に接続されていない地域では、多くの隠れた水力発電所を開発することができ、農村部の電化の問題に対処しながら、コミュニティに非化石の選択肢を提供し、エネルギーレジリエンスを強化できる。広い意味では、HUHO を通じて水力発電容量を増やすことは、水とエネルギーの結びつきを強化し、電力網の柔軟性と信頼性を高めることに繋がる。

3. ポテンシャルはどのように見極められるのか？

既存のインフラに隠された未利用の水力発電が、安価で持続可能に発電できることを示す例が世界中に何百もある。しかし、規模の大小にかかわらず、そのポテンシャルを特定して評価することは非常に困難である。ポテンシャルを特定して定量化することが非常に難しい理由はいくつかある。

- 様々な技術が必要：上水道ネットワーク、灌漑システム、下水道システム、利水・洪水調節ダム、閘門、海水淡水化プラント、冷却システムなど、本来の機能以外にも発電に使用できるインフラの種類は多岐にわたる。
- 計画・建設・運用に係る関係者が多い事：地方自治体、公益事業、民間企業、官民パートナーシップなど。
- インベントリにおける出力範囲の考慮について：出力の低いユニットを含めるほど、ポテンシャルは大きくなるが、それに伴い利用可能な資源を特定するのが難しくなる。例えば、圧力調整弁（PRV）はほとんどの水道配水網で広く使用されており、それぞれが隠れた水力発電のポテンシャルとして数 W から数 kW の出力を持つ。しかし、それらのポテンシャルを特定するには膨大な労力が必要となり、その労力は期待される結果に対して不釣り合いなものとなるであろう。
- 隠されている（Hidden である）ため：水文モデルや地形データなどに基づく河川のポテンシャルの評価と同じ手法を用いて発見できない。
- 所有権が複数者にまたがっている事：インフラ、水力発電所、および隣接する土地の間に、複数の所有者が存在する場合がある。
- 複雑な意思決定プロセス：既存のインフラに隠された水力発電のポテンシャルを探るための技術的道筋は、複雑な経済評価やさまざまな考え方を含む複雑な意思決定を伴う。

さらに、ポテンシャルのインベントリは、多くの場合、作成時の条件によって制限される一時的な記録となることが多い。例えば、現在は電力価格や財政支援がなく採算が取れない地点であっても、新しい条件（固定価格買取制度など）が現れれば採算が取れるかもしれない。また、現在は適切な材料がないという問題も、将来の材料や製造技術の進歩によって解決される場合もある。

これらすべての理由から、次のことが必要である。

- 明確な目標の設定。現状を把握するだけなのか、それとも、開発戦略、支援ツール、ロードマップ、適合する行政手続きなどを定義するために、隠れた水力発電プロジェクトの開発に負担をかける問題を特定するのか。
- 評価する隠れた水力発電ポテンシャルの種類の詳細な定義。さまざまなタイプの HUIHO を評価するには、さまざまなデータと方法論が必要になる。例えば、ダムや閘門のポテンシャルは、既存のインベントリやリモートセンシングによって評価することができ、一般的に地理的な制約条件がある（つまり、河川や沿岸地域）。一方、減圧弁を備えた上水道ネットワークや鉱山の場合と特性は、通常、システムの運営者のみが知っている。関心領域は、どのタイプのポテンシャルを評価するべきかの優先順位付けに役立つ場合がある。

ターゲットが決まり、ポテンシャルの種類、領域が特定されたら、次の手続きが推奨される。

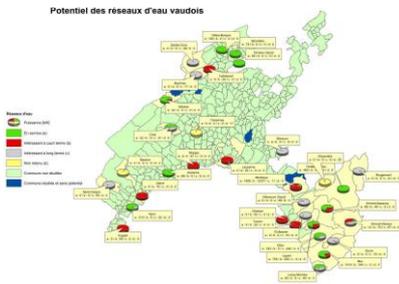
- 地理情報システム（GIS）による有望な場所の特定。この初期解析では、集水域、貯水池、灌漑

用水路、閘門、下水処理場の場所、既存ダム、堰など、主要なリソースに関する基本的な情報を得ることができる。場所、水資源（利用可能な流量）、高さ、傾斜（利用可能な落差）を概略で特定して、潜在的な出力と発電量によって地点の最初のランキングを作成できる。

- 行政機関とのコンタクト。飲料水、上下水道、河川航行などを担当する当局との連絡は、発電ポテンシャルに影響を与える可能性のある法的側面を評価するために重要であるが、適切な担当者を特定したり、プロジェクトの特性や運用に関するより詳細な情報を求めたりするためにも重要である。
- インフラの所有者・運営者へのアンケートとインタビュー。これは、関連情報を入手し、地域の意思決定者に開発可能な発電ポテンシャルを認識させるための非常に重要なステップである。
- 最も有望な地点への施設訪問。訪問回数は、もちろん、利用可能な予算とカバーする地域によって異なる。
- 可能な限り、回答への意欲を高め、信頼できる情報を提供するためのインセンティブを提案するべきである。例えば、公営上水道のポテンシャルの予備的な概略の分析の費用を政府が補助することも考えられるであろう。

インベントリにはさまざまな形式があり、隠れた水力発電開発の機会を効果的に伝えるための成果物が作られる。成果物の例としては、次のようなものがある。

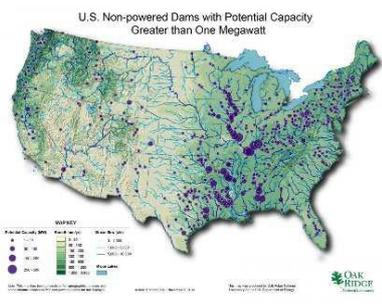
- 完了したプロジェクトとともに発電ポテンシャルを示す統合レポート
- 開発に関連するポテンシャル（容量、発電量など）と特性を示すサイトの地図またはリスト
- サクセスストーリーを含むファクトシート
- ポテンシャルを最大限に引き出す方法を導くロードマップ
- サイトの開発方法に関するチェックリスト
- 意思決定者へのプレゼンテーション



出典：Mhylab & DGE_DIREN

スイスのヴォー州にある導水管インベントリ

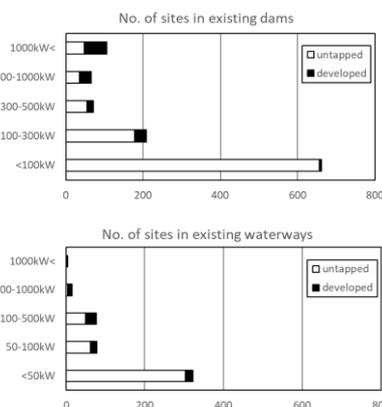
スイス連邦のヴォー州のエネルギー法は、同州 (3,212km²) の水力発電のポテンシャルの特定をエネルギー部門に求めている。既存のインフラ (5.5MW, 24GWh) で稼働中の 26 の水力発電所と、20MW と 76GWh の 101 の候補地を特定したインベントリ調査は、2008 年に行われた。この調査は、飲料水、灌漑用水、下水、排水部門を対象を限定して行われた。このインベントリに続いて、少なくとも 14 のプロジェクトが実施され、他のいくつかのプロジェクトが検討中である。このプロジェクトは、地図作成解析、当局からの情報提供、自治体へのアンケート調査、現地視察、地方自治体の支援による事前実現可能性調査に基づいて行われた。



出典：NPD Resource Assessment
オークリッジ国立研究所 2012 年

米国の非発電用ダム資源評価

2012 年に行われた米国の 54,000 以上の非発電用ダムの分析では、発電ポテンシャルと設備容量が推定されている。その結果、少なくとも 1MW の容量を持つ約 600 のダム (主要な分水施設や水門付きダムを含む) の発電ポテンシャルと設備容量が示された。これらの場所を特定するために、この調査では、地理的なダムの位置、代表的な落差を取得するためのダム高さの補正、河川の位置や平均河川流量などの全国的な河川・水路データ、および近くの発電ダムの実績の設備利用率に基づいて想定した設備利用率を使用した。この推計では、運用上の制約や実現可能性を低下させる可能性のある要因 (サイトへのアクセスやダムの状態など) など、サイト固有の制限は考慮していない。特定されたプロジェクトのうち、9 つのプロジェクトが 2012 年以降に稼働を開始し、合計 80MW 以上開発されている。2023 年現在、47 のプロジェクトが開発中である。



出典：(一財) 新エネルギー財団(NEF)
日本 2009 年

一般財団法人新エネルギー財団 (NEF) の調査

経済産業省の委託による既存のダムや水路における未開発の水力発電ポテンシャルに関する調査は、1986 年に完了した全国の水力発電ポテンシャルに関する以前の評価を更新した。この調査では、2009 年 3 月現在、330MW と 1.66TWh の候補地が 1389 カ所特定された。水力発電ダム (維持流量)、非発電用ダム (多目的、上水、工業用水、灌漑および砂防)、水路ネットワーク (上水、工業用水、下水処理、灌漑) など、文献調査と施設管理者へのアンケートを通じて、全国の幅広い施設を評価した。調査では、未開発のポテンシャル、最適化された施設レイアウト、開発計画の概要、および選択したサイトの建設コストの見積もりについて説明した。

4. 未利用の水力発電の開発機会：既存の発電所プロジェクト

2030年までに、世界の水力発電ユニットの20%以上が建設後55年以上になり、改修が必要になる(IEA Hydropower Special Market Report, 2021)。これは、プラントのアップグレードや近代化の理想的な機会となり得る。過去10年間だけでも、改修やアップグレードに多額の投資が行われており、北米と南米で130億米ドル以上(2019年米ドル)、欧州で55億米ドル、アジアで115億米ドルとなっている(Uría-Martínez et al, 2021)。米国では、2010年から2019年の間に、既存の水力発電施設の更新と増設が容量増設の4分の3近くを占めた。

IEA Hydro Task 11 on Renewal & Upgrading of Hydro Plants (2010-2016)では、10カ国70件の事例を網羅し、世界の水力発電所の更新に関する調査を実施した(Akiyama, 2016)。3分の2以上は、低下した性能の回復、出力と発電量の増加、または柔軟性の向上に関するものであった。IEA Hydro Task 11調査の終了後も、世界中で100件以上の事例が収集されている(Miyanaga et al, 2023)。

これらの研究に基づいて、未利用の水力発電のポテンシャルを活用する方法は、改修、拡張、運用改善の3種類のプロジェクトに大別できる。改修プロジェクトでは、電気機械設備の更新により、出力が最大20%増加し、設備利用率・耐久性・柔軟性が向上する。取水施設の改修やダムの高上げなどの土木工事では、最大50%の電力増強が可能である。環境流量の放流を発電に利用するためにタービンを追加するなどの拡張プロジェクトにより、電力量を最大4%増やすことができる。既存の水力発電施設に隣接して、河川や水路の未利用のポテンシャルを利用する新しい発電所を建設することで、発電量を22%から483%に増加できる可能性がある。拡張または新規建設により、従来の水力発電または揚水発電所の柔軟性が向上し、ピーク供給能力を60%から102%に増加させることもできる。また、貯水池の運用を最適化することで、年間発電量が1~3%増加した例もある。

事例調査研究(Miyanaga et al, 2023)に基づくUH(Untapped Hydro)プロジェクトの成功事例をまとめると、以下ようになる。

4.1 リニューアル・改修工事

- タービン・発電機の耐久性向上によるメンテナンスの軽減(実施例参照)
- 既存部品の再利用やリニューアール設備のダウンサイジングによる建設コストの低減
- 定速機から可変速機への揚水機能の向上
- 老朽化したダム改修による取水中断期間の短縮

4.2 増築・再開発事業

- ダムからの環境・最小正常流量、ダム放流水、既設水路の未利用落差、魚道などの利用(実施例参照)
- 既存発電所に揚水発電機能を追加

4.3 運用改善プロジェクト

- 発電用流量範囲の拡大（実施例参照）
- 取水流量管理の最適化
- 他の集水域からの分水
- 貯水池流入予測の高精度化

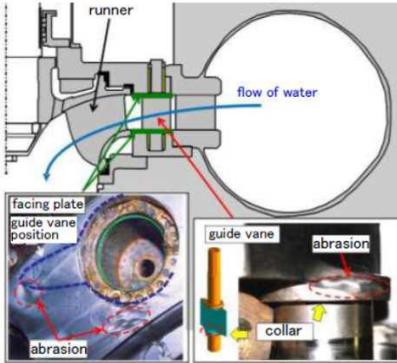
最近では欧州の水力発電所の近代化によるエネルギーポテンシャルが評価された。近代化にはダムの嵩上げ、水路の水頭損失の削減、電気機械設備の加重効率の向上、デジタル化と流入量予測の利用、浮体式太陽光発電（蒸発量削減）などがある。全体的な発電量増加率は、EUで8.4%、欧州全体で9.4%と推定されている（Quaranta et al., 2021）。同様に、米国における改修とアップグレードによる一般水力発電の潜在的な増加率は、約8.8%と推定されている（US DOE, 2016）。

UHOの開発における最も共通的な課題は、技術的な問題である。経済性もほとんどのプロジェクトで大きな問題である。一方で環境問題のほとんどは開発にとって大きな障壁ではない。リニューアル、拡張、運用改善は、新規建設と比較して環境への影響が少ないためである。

さまざまなイノベーションが、UHOの技術的および経済的懸念に対する解決策を提供してきた。特に運用改善では、機械学習やモデリングなどの技術を駆使して、発電所の運転範囲を拡大し（実施例3参照）、気象観測、貯水池の流入量予測、ダムの運用などを統合している。設計、建設、運用・保守の革新により、プロジェクトコストの削減を実現した。政策支援により、こうした技術革新を後押しすることが期待される。例えば、米国エネルギー省の「Innovations for Low-Impact Hydropower Growth」プログラムは、より多くの情報に基づいた運用とシステムパフォーマンスの向上をサポートする人工知能駆動型の予測ソフトウェアパッケージの開発につながった（USDOE、2021年）。さらに、ホライゾン・ヨーロッパが資金提供するH-HOPEプロジェクト¹では、新しい技術を用いて、これまで見過ごされてきた開放河川、配管システム、開水路から隠れた水力発電を回収する水力エネルギーソリューションを開発する。

1 H-Hope - Hidden Hydro Oscillating Power for Europe. Funded by Horizon Europe, Grant agreement ID:101084362, <https://cordis.europa.eu/project/id/101084362>

タービンの土砂による摩耗の低減



長野県の姫川第2発電所は、容量14.4MWの流れ込み式発電所で、土砂による摩耗によりタービンの部品が頻繁に損傷していた。2005年から2010年にかけて、固液二相流CFD解析と現地試験により、土砂による摩耗を低減するガイドベーン形状の改良設計が開発され、検証された。新設計により、タービンの修理間隔を改良前の約2倍に延ばすことに成功し、平均修理コストとメンテナンスのための停止による発電損失を低減した。

出典：新エネルギー財団(NEF) 日本

水力発電ダムからの最小正常流量の利用



クッシュマン第2発電所下流魚捕集プール
出典：Hydro Review and Tacoma Power

米国ワシントン州のノースフォーク発電所は2013年に建設された3.6MWの貯水式発電所である。容量81MWのクッシュマン第2発電所の取水ダムから放流される最小正常流量を利用している。新発電所は、クッシュマン第2発電所の年間発電量を約13%増加させた。プロジェクトの一環として、新発電所からの放水と、ダムの底部から上部まで魚を捕集・輸送するフィッシュトラップを用いた革新的な上流への魚の移送システムを構築した。このシステムは、ダムの上流にある旧来の生息地へ魚が到達できるようにすることを目的としている。

発電用流量範囲の拡張



出典：<https://portugal.edp.com>

Energias de Portugal (EDP) と GE は、水力発電所の発電範囲拡張プログラムに共同で取り組んできた。この手法は、デジタル技術を搭載した機械の過去の運転データと現場試験データを使用して、リスク評価に基づいて運転範囲の下限を引き下げるものである。2019年からポルトガルのドウロ川にある流れ込み式の出力264MWのバレイラ発電所への適用に成功している。この発電範囲拡張により、イベリア電力市場へのEDPの電力供給の柔軟性が高まることが期待される。

5. 隠れた水力発電の開発機会：既存のインフラを利用した新規プロジェクト

水の貯蔵、処理、または輸送をサポートするための幅広いインフラが存在する。

- ダムと堰
- 上水道および下水道ネットワーク
- 閘門
- 灌漑用水路
- 環境流量放流口
- 古い水車小屋
- 大型水力発電所の放水路または河川工作物
- 海水淡水化ステーション
- 新発電所に付随する冷却・その他産業システム

既存の土木設備や流量制御により、環境や既存の水システムに影響を与えることなく、電力を追加できる場合がある。多くの場合、インフラは、十分な落差を生み出す条件（例えば、貯水池の水位を上げた既存のダム）や、既存のインフラの設定にすでに地形的な変化がある条件（例えば、重力式給水による飲料水ネットワークや灌漑用水路の落差など）を作り出す。海水淡水化ステーションや冷却システムなどの一部の産業プロセスでは、動作に中圧から高圧が必要である。プロセス最後の残圧はまだ高く、発電に使用できる。これらの各プロジェクトは、通常、既存の落差（圧力）と流量によって制約される（落差を増やすための追加の主要な土木工事や、インフラを通る放出または流れの変更はできない）。

Global Reservoir and Dam database (GRanD) に掲載されているダムの3分の2近くは、現在水力発電を行っていない (Lehner et al, 2011)。大規模なダムや水門構造物では、比較的標準的な方式（例えば、既存の水圧管や放水口構造物の内部、水門ゲート内の入れ子構造など）で取り付けられた従来のタービン技術を使用することがよくある。古い製粉所の水車は近代化して電化できるほか、タービンを備えた流れ込み式のゲート付き分水堰もある (Quaranta et al, 2022)。これらのタイプの施設の発電容量は、通常、「mini-hydro」と「small-hydro」（それぞれ100kWを超え1MW未満、1MWを超え10MW未満）として区分される。その他の水インフラ内の発電能力の開発は、通常、「micro-hydro」（容量100kW未満）として区分される。このような小規模発電は、電力システムの他のニーズに供給するために販売や使用されるのではなく、地域の施設やシステムのサポートに使われる。

5.1 課題と機会

既存のインフラ内での水力発電開発の課題と機会は、水利用の不確実性、既存のインフラ（多くの場合老朽化）の状態や制約、政策・支援の3つのテーマで大きく特徴付けられる。これらの開発課題に大規模に（個々の施設を超えて）取り組むことは、水利用、インフラのレイアウト、および詳細な環境および社会経済的特性に関する公開されたデータが限られているために複雑になる (Hansen, et al, 2021)。

5.1.1 水利用の不確実性

既存のインフラは、通常、既往の流量により設計されている。しかし、将来の水文気象条件と流入量は安定的ではないため、ダム、貯水池、その他の水調節インフラの運用が変更される可能性がある（Ehsani et al, 2017, Watts et al, 2011）。たとえば、不浸透面積の増加や降水パターンの変化により河川流量が増加したり、公共上水道や工業用水システムの流量が（給水や冷却）需要の増加に伴って増加する可能性がある。逆に、気候変動は、降雨・融雪流出の変化といった季節パターンの変化により、利用可能な水量を減少させる可能性がある。開発の可能性を評価する際には、出力や発電能力を過大評価したり過小評価したりしないように、流入量の不確実性や変動性を考慮する必要がある。

5.1.2 インフラの老朽化

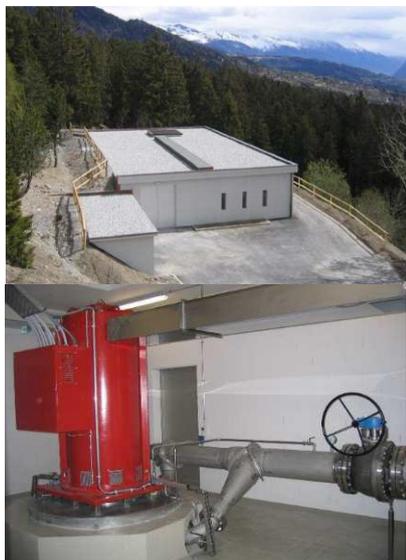
インフラの老朽化は、水力発電開発にいくつかの課題と機会をもたらす。たとえば、既存インフラでは、大型の建設機械を設置するスペースが限られている場合がある。ダムの構造的健全性に問題を引き起こすことを是正または回避するための方策は、コストの増加につながる可能性があるが、発電機能の追加は、既存の構造物の計画的な改修と並行して実行できる可能性がある。さらに、既存インフラは、環境的または機能的な成果を促進する政策や施策が実施される以前に建設されている可能性がある。例えば、魚道のない古いダムを水力発電所として改修する際に、開発業者は建設中に魚に優しいソリューションを導入するなど、発電設備以外の部分の変更を行うことができる場合がある。

5.1.3 政策・支援

既存インフラの開発と改修をする場合、従来の水力発電と比較して必要な投資を大幅に削減できる。インフラの建設時には多くの資本コストが発生しており、インフラの環境的または構造的な改善が同時に行われたり、発電からの収益が構造や用地の改善に必要なコストを相殺したりできる協調的な開発の機会がある可能性がある。

既存の非電力インフラを含むプロジェクトの実現可能性と成功は、政府、電力会社、エネルギー当局、および一般市民による調整と支援にかかっている。開発には、インフラ、周辺の土地、水利権を所有または管理する複数の当事者間の交渉が必要になる場合がある。規制や許可のプロセスが開発者にとって大きなコストとなる場合、一部の国では、これらのプロセスを合理化し（たとえば、迅速なライセンスプロセスを通じて）、この負担を軽減している。あるいは、再生可能エネルギーの生産者に市場価格を上回る価格を保証する固定価格買取制度などの政策は、開発業者に大きなインセンティブを与えることができる。

La Zour、スイスの公営上水道の水路システム



出典：Municipality of Savièse

スイスのラ・ズールにある Savièse Community プロジェクトは、公営上水道の水路システムに発電機能を追加する一例である。プロジェクトは 2004 年に完了した。

この設備は、水消費量の変化（人口増加、個人消費の増加、住宅の種類の変化）、氷河の後退、永久凍土の消失（融雪や豪雨による濁り）など、量と質の問題により必要になった公営上水道システムの全般的な改善プロジェクトの一部であった。最大容量 300l/s、総揚程 217m、出力 465kW、年間 1,800MWh（一般家庭 400 世帯分のエネルギー需要に相当）を発電し、年間 860t 以上の CO2 排出量を削減している。この自治体は、2001 年と 2009 年に稼働を開始した上水道網に、他に 3 つの設備（250kW、350kW、80kW）を設置している。

栃木県の灌漑用水路



出典：(一社) 海外電力調査会(JEPIC)

栃木県の百村発電所は 2006 年に完成した。このプロジェクトの総容量は 120kW で、灌漑用水路内の水流の勢いを減少させる落差工を利用している。同じ水路内に複数の設置が可能で、一連の発電ユニットが生まれた。余剰電力による土地改良地区の収入は、灌漑用水路の管理・保守に充てられている。

米国アイオワ州の非電力用ダム



出典：United States Army Corps of Engineers Rock Island District

米国アイオワ州のレッドロックダムは、1960 年代に洪水制御のために建設された連邦政府所有の施設である。建設と設置は 2014 年から 2020 年にかけて行われた。レッドロック・プロジェクトは、年間 178,000 MWh の発電量を見込んでおり、周辺地域の最大 18,000 世帯に電力を供給している。発電は「放流運転」モードで行われ、洪水制御の目的ですでに放流されている流量のみを利用して発電する。設置された 2 基のタービンの定格容量は 18MW である。しかし、高流量では 55MW もの発電が可能である。

建設および準備は当初、水位が通常よりも高かったため遅れた。設計では、既存の余水吐に隣接して水圧管を追加し、ダムを貫通させた。これには、基礎と既存の堤体への損傷を最小限に抑えるために、慎重な掘削および保持システムが必要であった。

6. 研究とイノベーションを通じた HUHO への障壁への対処

HUHO には、前のセクションで説明した HUHO に固有の課題に加えて、他にも一般的な障害がある (Nielsen, 2019 年)。ただし、その中には HUHO の開発をサポートするのに役立つ可能性のある要因もある。

障害	潜在的な研究とイノベーションのテーマ
プロジェクトまたは既存の規制プロセスに対する以前の異議申し立てが判明する可能性	影響の不確実性を軽減し、規制および許可プロセスを合理化する方法の発見
パフォーマンス向上の機会に関する知識の欠如	インベントリの作成、データへのアクセス改善、成功したプロジェクトのレビュー
老朽化した利水インフラの工事における実際のリスクまたは認識されているリスク	安全と建設の初期段階(コファダム建設など)のベストプラクティスの開発
請負業者、水力発電エンジニア、オペレーターの熟練した労働力の不足	水力発電の労働力を育成するための魅力的なキャリアパスの作成
経済性の低いプロジェクト	水力発電が電力市場にもたらす価値の説明 設計、材料、設置のための低コストのソリューション開発
第三者による開発に対するインフラ所有者の抵抗	開発による既存施設でのユニット停止を最小限に抑える

隠れた未利用水力発電の開発機会を長期的に完全に実現するためには、未来志向の研究とイノベーションのアジェンダは、増大する社会的エネルギー需要を満たしながら、持続可能で経済的に実現可能な開発を達成できる主要な技術的ソリューションを特定する必要がある。これは、類似したタイプの隠れた未利用の水力発電プロジェクトや、共有された地点特性に基づく水力発電技術の開発や実証から学ぶことで達成できる。さらに、アジェンダはベストプラクティスと成功事例に基づいて構築する必要がある。

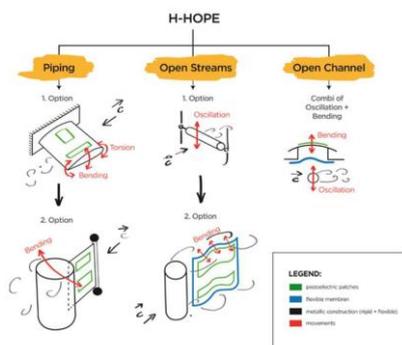
一例として、欧州連合 (EU) のホライズン 2020 (H2020) 研究・イノベーションプログラムの下で資金提供を受け、現在はホライズン・ヨーロッパ²の ETIP 水力発電プロジェクトとして継続されている HYDROPOWER EUROPE フォーラムは、欧州の水力発電セクター向けの研究・イノベーション・アジェンダ (RIA) と戦略的産業ロードマップ (SIR) を作成した。RIA と SIR は、水力発電セクターのすべての関連する利害関係者が集まるフォーラムを通じて、技術専門家間の議論と透明性のある公開討論の統合に基づいている (HPE, 2021a,b)。HUHO のいくつかの研究テーマは、既存の水インフラにおける隠れた水力発電の革新的なソリューションを実証および検証するパイロットプロジェクトをサポートする H2020 研究プログラムを通じて特定およびサポートされている。これらのテーマは、以下の成果を達成することを目的としている。

² ETIP HYDROPOWER (etip-hydropower.eu);

- 農村部における古い建造物の修復とインフラ管理の改善、特に工場、農家、山間部の保養地、観光振興のための遠隔地の建物に対する農村電化の推進
- 文化遺産、歴史的伝統、建築的に重要な建造物の価値の活用
- 魚専用の通過機能、魚の取水取り込み軽減、環境流量の確保を備えた魚に優しい発電
- 地元企業や住民の市場機会の特定または創出（コミュニティ所有の再生可能エネルギーなど）

HUHO のための革新的技術の例

未利用水力エネルギーの活用



出典：https://h-hope.eu/

EU が資金提供する H-HOPE プロジェクトは、他の方法では見逃されている流水、配管システム、開水路から水力エネルギーを収集する新しい技術を使用する持続可能な水力エネルギーソリューションを開発する。このソリューションでは、水中振動体と圧電材料および電磁レギュレーターを組み合わせ、これらの水流を有効利用するイノベーションを使用する。その結果、水路システム（水道管、灌漑用水路など）を大幅にデジタル化し、レジリエンスと持続可能性を高めることが期待される。

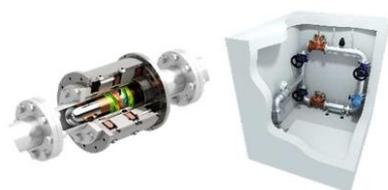
タービンにおける魚の衝突および捕捉の低減



出典：Natel Energy

Natel の Restoration Hydro Turbine (RHT) ランナーは、独自の厚みと前方傾斜のブレードを特徴としており、魚が安全にタービンを通過できるようにしている（Amaral et al, 2020）。安全に魚が通過できるため、魚避けの細かいスクリーンが不要になり、O&M と CAPEX のコストが削減され、プラントの効率が向上する。RHT ランナーは、最大 35m の落差までのサイト向けに設計可能であり、タービンの直径に制限がないため、国内外での導入に成功している。

飲料水産業は、数 kW の発電容量を持ちながらほとんど未利用となっており、かなりの水力ポテンシャルが隠されている。



出典：HES SO Valais Wallis

Duo Turbo 軸流タービン（Biner et al, 2021）は、飲料水ネットワークのエネルギーを回収するために開発された。この新しい可変速対抗回転タービンは 10 l/s の流量で 80m の落差および 100mm の直径を持つ条件では 5kW の電力を供給できる。

7. 政策立案者への結論と提言

この白書では、既存のインフラにおける隠れた未利用の水力エネルギーに関連する開発機会と課題の概要を説明し、将来的にそのポテンシャルを最大限引き出すために必要なイノベーションについての手引きを紹介している。

すでに開発されている大規模な水力発電プロジェクトと比較すると、隠れた未利用の水力発電の容量や発電量は、個々のプロジェクトとしては小さいかもしれない。しかし、持続可能性や、協調的なインフラ改善の機会など、他に多くのメリットがある。このようなプロジェクトは、世界のエネルギー需要への貢献の増大や、化石燃料からのより迅速な移行を通じて、水力発電の地位を高めることができる。また、既存の水力発電設備の高い性能、安全性、効率を確保するために必要なメンテナンスとアップグレードを実施する上でも重要であるとともに、必要な水インフラの全体的な効率と持続可能性を向上させる。

隠れた未利用の水力発電の開発機会には多くの利点があり、開発と導入を成功させるためのさまざまな実証済みの道筋がある。既存の水力インフラの改修、アップグレード、運用変更、または非発電の水管理インフラに新しい発電機能を追加するなど、プロジェクトの成功には共通の要素が必要である。これらの機会を前進させるには、さまざまな利害関係者とデータ所有者の間の調整と、循環性と持続可能性との相乗効果を可能にする創造的な技術的または市場ベースのソリューションの開発が必要である。政策の観点からは、隠れた未利用の水力発電が、独自の考慮事項と支援ニーズを伴う特別なカテゴリーの水力開発であることを理解することが重要である。HUHO の特定と開発に使用されるアプローチの検討は、この方向への第一歩である。この白書で説明したテーマに沿った研究とイノベーションへの追加支援は、研究者、公益事業、エネルギー開発業者、資産所有者、資源管理者、NGO、市民社会を結びつけ、開発を進める上で重要となるであろう。

参考文献

Akiyama, T. et al, (2016). Annex-XI Summary Report: Renewal & Upgrading of Hydropower Plants. <https://www.ieahydro.org/about/past-achievements-and-completedactivities/annex-xi>

Amaral, S. V., Watson, S. M., Schneider, A. D., Rackovan, J., and Baumgartner, A. (2020) Improving survival: injury and mortality of fish struck by blades with slanted, blunt leading edges, *Journal of Ecohydraulics*, 5:2, 175-183, DOI: 10.1080/24705357.2020.1768166

Biner, D., Hasmatuchi, V., Rapillard, L., Chevailler S., Avellan, F., and Münch-Alligné, C., 2021, "DuoTurbo: Implementation of a Counter-Rotating Hydroturbine for Energy Recovery in Drinking Water Networks", *Sustainability*, 2021. Vol. 13(19), pp. 10717. <https://doi.org/10.3390/su131910717>.

Ehsani, N., Vörösmarty, C. J., Fekete, B. M., & Stakhiv, E. Z. (2017). Reservoir operations under climate change: Storage capacity options to mitigate risk. *Journal of Hydrology*, 555, 435-446.

Hansen, C., Musa, M., Sasthav, C., & DeNeale, S. (2021). Hydropower development potential at non-powered dams: Data needs and research gaps. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 145, 111058.

Hydropower Europe Forum (HPE, 2021a). Strategic Industry Roadmap (SIR). www.hydropower-europe.eu

Hydropower Europe Forum (HPE, 2021b). Research and Innovation Agenda (RIA). www.hydropower-europe.eu

International Energy Agency (IEA, 2022). Hydroelectricity Tracking Report. IEA, Paris. <https://www.iea.org/reports/hydroelectricity>

Lehner, B., Liermann, C.R., Revenga, C., Vörösmarty, C., Fekete, B., Crouzet, P., Döll, P., Endejan, M., Frenken, K., Magome, J. and Nilsson, C. (2011). High-resolution mapping of the world's reservoirs and dams for sustainable river-flow management. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 9 (9): 494-502. <https://doi.org/10.1890/100125>

Miyanaga, Y. et al, (2023). Task XVI Summary Report: Improving Performance from Existing Hydropower Facilities.

Nielsen, N. (2019). Overcoming the Barriers to Development of Hidden Hydro Opportunities: an IEA Hydro initiative. HYDRO 2019, Porto, Portugal.

Quaranta, E., et al (2021). Assessing the energy potential of modernizing the European hydropower fleet. *Energy Conversion and Management*, Volume 246, 114655, ISSN 0196-8904, <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2021.114655>.

Quaranta, E., Bódis, K., Kasiulis, E., McNabola, A. and Pistocchi, A. (2022). Is There a Residual and Hidden Potential for Small and Micro Hydropower in Europe? A Screening-Level Regional Assessment. *Water Resources Management* 36: 1745-1762, <https://doi.org/10.1007/s11269-022-03084-6>.

United States Department of Energy (USDOE, 2016). Advancing Sustainable Hydropower, Hydropower Vision Report. <https://www.energy.gov/sites/default/files/2018/02/f49/Hydropower-Vision-021518.pdf>

United States Department of Energy (USDOE, 2021). Innovations for Low-Impact Hydropower Growth. Water Power Technologies Office 2020-2021 Accomplishments Report. <https://www.energy.gov/sites/default/files/2022-03/wpto-accomplishments-report-march-2022.pdf>

Uría-Martínez, R., Johnson, M. M. and Shan, R. (2021). U.S. Hydropower Market Report Data. January 2021. Washington, DC: Water Power Technologies Office, U.S. Department of Energy [Excel data]. 10.21951/HMR_Data/1759986.

Watts, R. J., Richter, B. D., Opperman, J. J., & Bowmer, K. H. (2011). Dam reoperation in an era of climate change. *Marine and Freshwater Research*