



AI を活用した水系一貫での 最適な水力発電計画策定手法

中 瀬 友 之・松 尾 光 徳・大 見 智 亮

中部電力(株)は水系一貫での水力発電計画の最適化を目的とし、これまで培ってきた発電運用の経験、知識および技術を基に(株) TSUNAGU Community Analytics と共同で開発した AI を活用して発電計画を策定する手法を確立した。今回開発した AI は、(1) 流量予測 AI (2) 最適化計算 AI (3) 過去検索 AI の 3 つであり、これらを搭載する水力発電計画支援システムにより最適な発電計画の策定のみならず、計画策定業務の効率化および技術継承に寄与する。本稿ではこの 3 つの AI と水力発電計画支援システムの全体構成と活用効果について紹介する。

キーワード：水力発電，水系一貫，発電計画，最適化，AI，予測，機械学習

1. はじめに

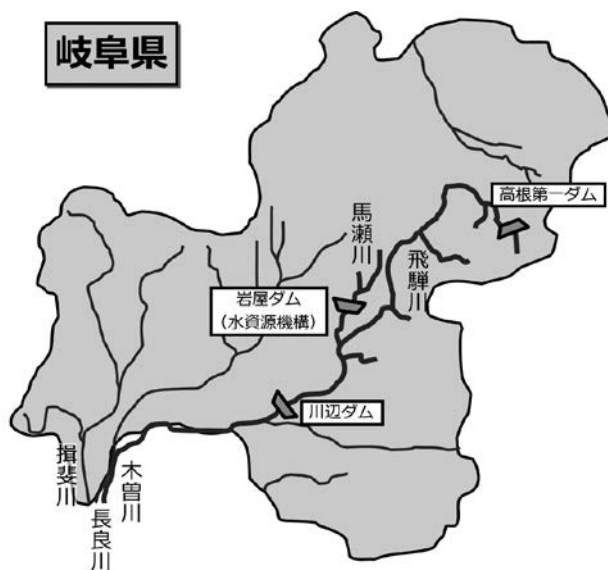
中部電力(株)（以下、中部電力）は、脱炭素社会の実現に向け様々な取り組みを行っている中で、水力発電においては DX の推進により、今後さらなる増電を目指していく。AI を活用し、ダムへの水の流入量の予測精度を高め、さらなる最適な発電計画で運用していくことが継続した増電につながっていくと考えている。一方で、近年は線状降水帯やゲリラ豪雨が頻発し、国主体で治水・利水を目的にダム運用自体の見直しが各地で検討されており、今後、水力発電にはさらなる運用の柔軟性が強く求められていくことになり、また、太陽光発電等の増加に伴い貯水池や調整池を有する発電所は需要に応じた運用がより重要となっている。

一方で、従来の水系一貫での水力発電計画の策定業務は、ベテラン社員のノウハウに頼ることが多く、当該業務の技術継承も課題となっていた。

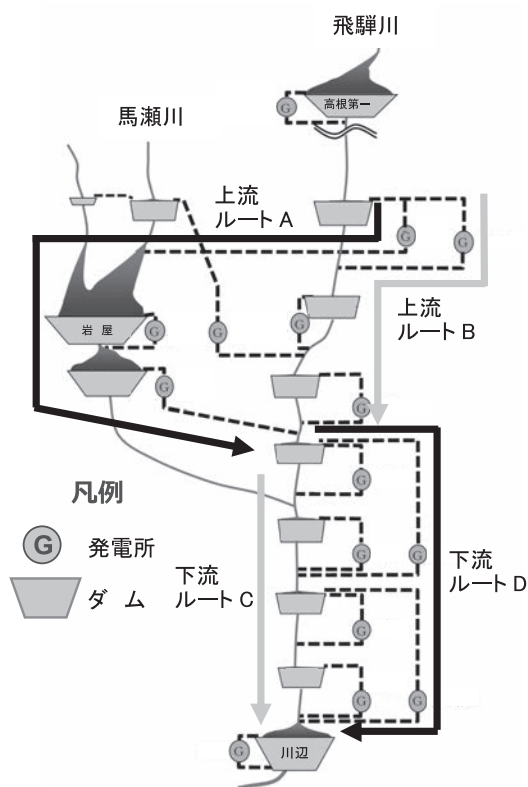
これらの課題を解決するため、当社管内で最も複雑な運用を行う飛騨川を対象として、AI ソフトを用いた水系一貫での最適な発電計画を提案する手法の検討に着手し、これを確立した。本技術のシステム化および運用により、発電量と収益増加を見込むことができるだけでなく、効率的かつ今後想定される運用変化にも対応可能な柔軟性をもった発電計画支援体制を構築することができる。現在、システム化の工事期間中であり、2024 年度中の運用開始を予定している。

2. 飛騨川水系の概要

飛騨川は岐阜県を流れる木曽川水系の一級河川であり（図—1 に示す）、水系運用で関連する馬瀬川を含む両水系上に中部電力が 36 箇所のダムおよびえん堤（内、ハイダム 10 箇所）と、22 箇所の発電所を有し、その総出力は 115 万 3 千 kW である。このうち今回、AI を活用して発電計画の提案を行う発電所は 17 箇所で、その年間発電量は約 22 億 kWh であり、当社一般水力全体の約 30% に及ぶ。水系一貫の最適運用は、図—2 に示すとおり飛騨川と馬瀬川を往来する発電



図—1 飛騨川水系の位置図

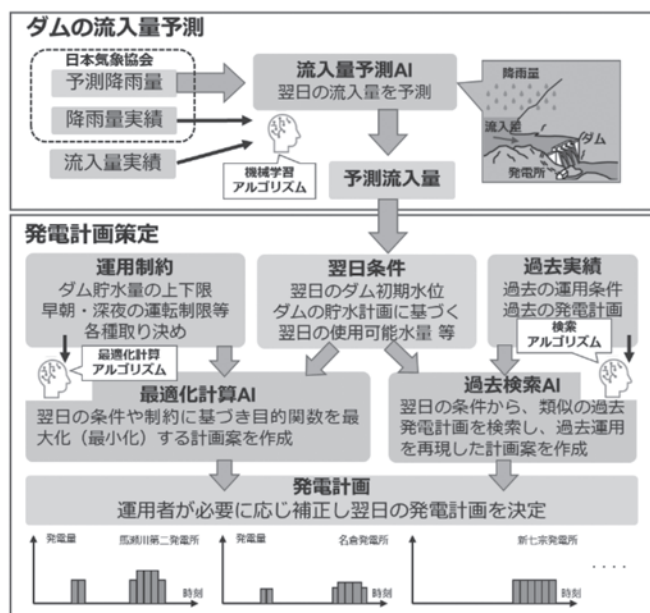


図一 対象ダムおよび発電所位置図と発電ルート

所の運用と、上流および下流のルート選択の最適な組み合わせにより実現する。

3. 水力発電計画策定支援システムの概要

水力発電計画策定支援システム（以下、本システム）では、図一 3 に示すとおり、(1) ダムへの流入量を予測する流入量予測 AI、(2) ダムおよび発電所の運



図一 3 AI を活用した発電計画策定フロー

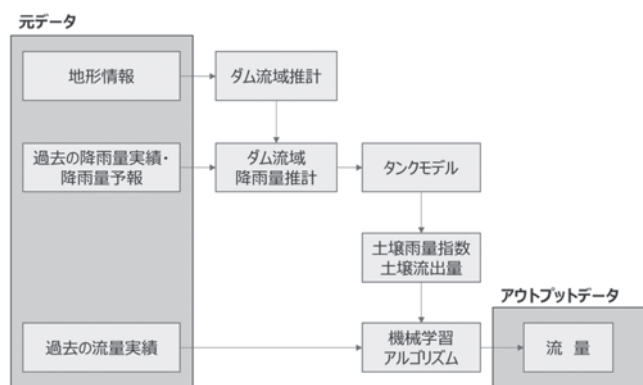
用制約を守りつつ 3 つの目的関数（発電量最大、売電金額最大、溢水量最小）を最適とする発電計画を提案する最適化計算 AI、および (3) 翌日の諸条件に近い過去の日の計画を参照する過去検索 AI、の 3 つの AI ソフトを活用し、最適な発電計画を策定する支援をすることで増電および増収を目指す。以下に各 AI について説明する。

(1) 流入量予測 AI

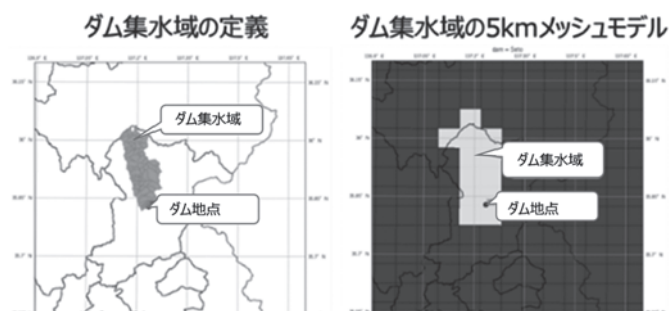
発電計画の元データとなる各ダムへの流入量予測の高度化および業務効率化のため、流入量予測 AI（機械学習アルゴリズム）を開発した。流量予測 AI の予測フローを図一 4 に示す。

予測手法には教師データありの機械学習を採用しており、2019～2022 年度の各ダム集水域の降雨実績に基づくデータおよび、流入量実績を学習教材とした。各ダム集水域についてはメッシュサイズ 5 km で設定しており（図一 5）、降水量の実績および予測値については、設定したメッシュ内の平均値として活用した。

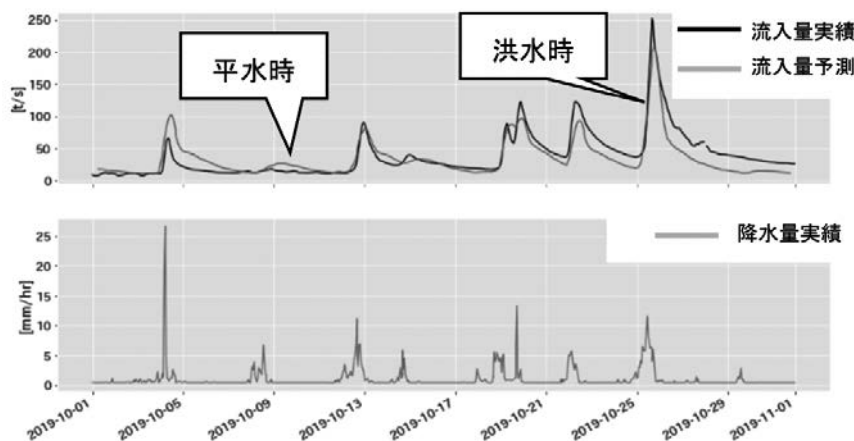
降雨実績は流入量と相関が強い期間として対象時刻の 24 時間前までのデータも学習している。AI による流入量予測結果の例を図一 6 に示す。平水時、洪水時ともに流入量実績について日量および増減を再現することを確認できた。



図一 4 流量予測 AI の予測フロー



図一 5 ダムの集水域の設定方法例



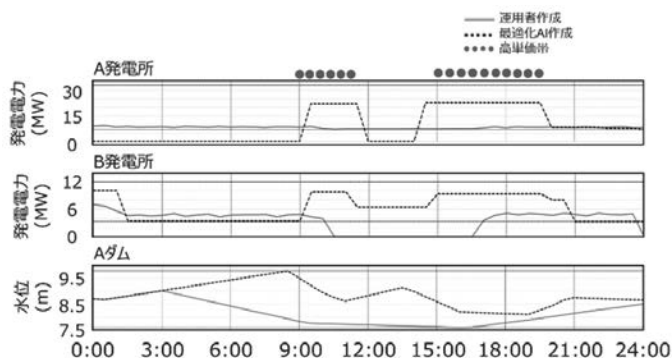
図一六 ダムの流入量予測結果例

(2) 最適化計算 AI

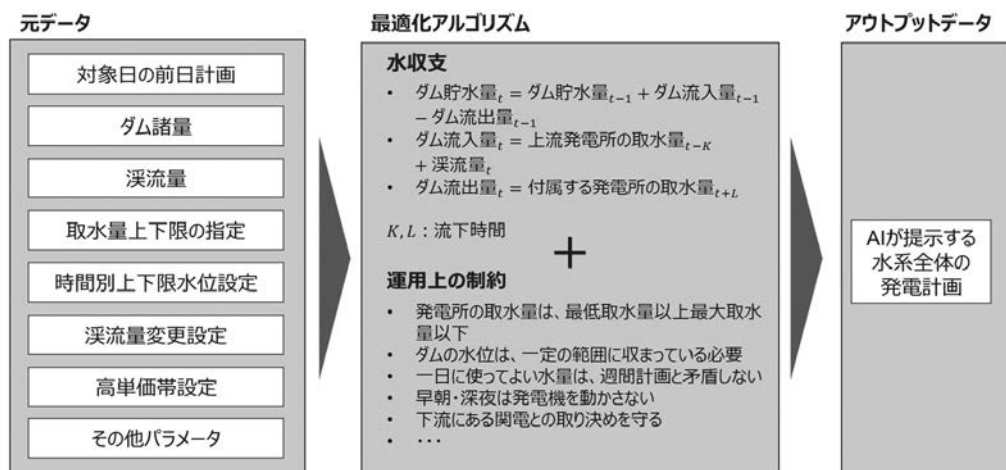
本検討では水系一貫での発電運用の最適化を目的とすることから、増電および増収を対象発電所の合計で評価する必要がある。最適化計算 AI では、関連するダムおよび発電所の関係性を、ダム貯水上限、発電取水上下限、起動時刻制約、流下時間等の運用制約を前提に、ダム貯水量、予想流入量、発電取水量、ゲート放流量等のパラメータを用いてモデル化し、最適化アルゴリズムにより対象発電所総合で前述の3つの目的関数（発電量最大、売電金額最大、溢水量最小）をそれぞれ最適化する発電計画を提案する。図一七に計画提案フローを示す。なお、予想流入量には流入量予測 AI の出力結果を用いる。

図一八に売電金額最大を目的関数として最適化計算 AI が提案した発電計画の例を示す。AI は、図一二に示すルートを選択を検討して水系全体でより発電の効率のよい発電所を優先的に発電する計画とすることや、有効落差を確保して発電機を高効率運転するた

め、ダム水位を高く運用することでより発電量の多い計画とすること、また、売電先が一日のうち特に受電を必要とする時間帯の売電単価を高く設定し、その高単価帯に発電を盛り上げる計画とすること等により、水系全体で売電金最大となる発電計画を提案する。図一八は一例ではあるが、ダムの高水位運用や売電の高単価帯で発電盛上げがされている適切な計画を提案できていることが確認できた。



図一八 最適化計算 AI 提案例



図一七 最適化計算 AI の計画提案フロー

(3) 過去検索 AI

翌日の各ダム水位や、貯水計画に基づく使用可能水量等の諸条件を元に、検索アルゴリズムにより過去に類似の条件であった日を過去データから検索して水系全体の発電計画を提案する AI を開発した。図—9 に過去検索 AI の計画提案フローを示す。

検討の中で、対象発電所すべての条件が類似する日を検索しようとするすると検索精度が下がる（全発電所の条件に近い過去の日が少ない）ことが確認されたため、対象の17発電所を、飛騨川上流の貯水池運用の影響を大きく受ける上流グループと、馬瀬川からの合流が影響する下流グループに分け、それぞれのグループごとに条件が類似する日を検索することとした。その結果、上流と下流の検索結果をそのまま結合しても大きく不整合が生じることなく、参考になる対象日の発電計画の出力数が増加した。図—10 に検索例を示す。上流グループ、下流グループの検索結果の一例であるが、実際の発電実績が検索した過去の発電計画と近い値になっていることが確認できた。

運用者は最適化計算 AI と過去検索 AI の結果を参考に、翌日の発電計画を策定することとなるが、それぞれの AI は提案する計画に特徴が異なる。前者は目的関数の最適化結果を提案するため、例えば発電機の高効率運転を追求し、ダム水位を制約の上限で継続して推移させる等、運用者が運転・管理する上で、必ずしも運転しやすい計画ではなく、実現性が低い計画となる可能性もある。一方で、後者は実際に策定した過去の計画を提案するため、心理的負担も含め運用者が運転しやすく実現性が高い計画となるが、翌日の条件をすべて満たしている計画が提案されとは限らない。また、例えば需給ニーズの変化に伴う発電時間帯のニーズ変化等、過去に事例がない計画を策定する必要がある場合は適切な計画を検索できないという側面

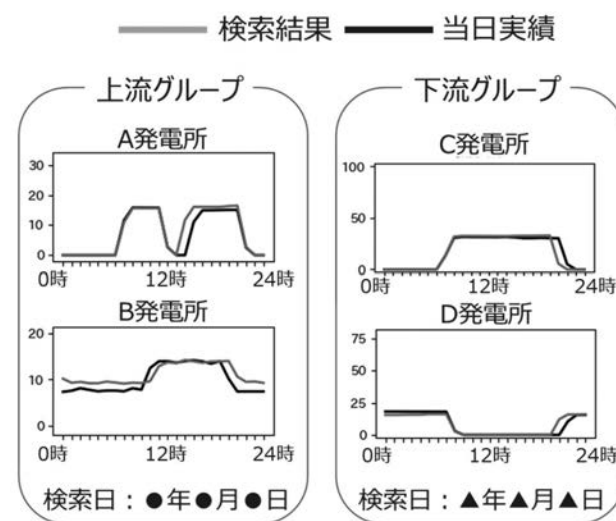
もある。

これらの各 AI が提案する計画の特徴を踏まえ、運用者は必要に応じて計画に手を加えて売電金額最大等の目的に沿った上で実用的な計画として策定する。

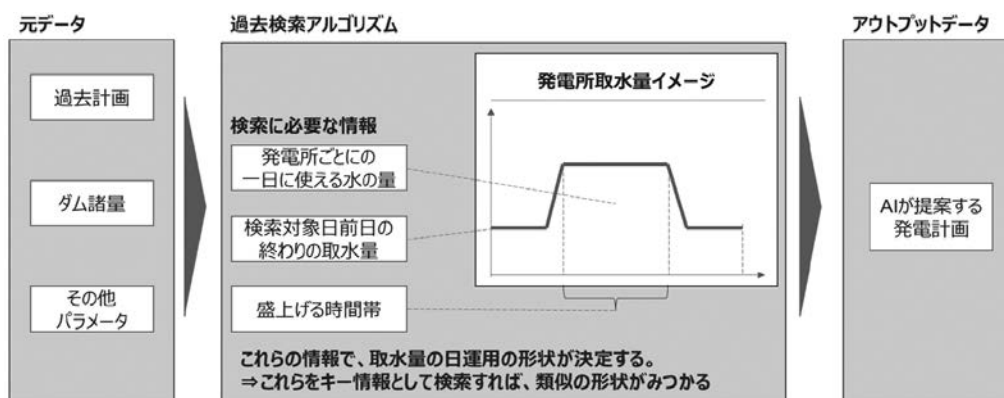
4. 検討成果と今後の展開

本検討では2021年4月より本システム導入の効果検証を行い、水系全体で年間2%程度の増電が期待できることを確認した。また、発電計画の策定に要する時間を従来の4分の1以下に削減し、業務の効率化を実現することに加え、これまでOJTが中心であった若手従業員の教育についても、本システムを用いたシミュレーションにより短期間での技術習得が可能となる見込みである。

さらに、各 AI はそれぞれ適切に維持管理していくことで、より高度化することが期待できる。機械学習アルゴリズムを持つ流入量予測 AI については、予測精度の監視および学習データの更新等により性能維持



図—10 過去検索 AI の計画提案例



図—9 過去検索 AI の計画提案フロー

および向上を図っていく。一方、再学習ではないが過去検索 AI では検索対象となる発電計画データが蓄積されていくことでより提示する条件に近い検索結果が得られる確率が向上する。また、最適化計算 AI については AI が提案した計画と、運用者が最終決定した計画の差異データを継続的に収集し、実運用を考慮した上での最適計画を AI が提案できるように高度化していくと同時に、より水資源を有効活用していくために必要な制約の見直しや関係箇所への働きかけのきっかけにもしていきたい。

本検討では日単位での最適化を目的としてシステム開発を行ったが、現在、長期雨量予測を用いた週間単位での貯水池運用の高度化による週間発電計画の最適化も検討している。週間単位で貯水池運用の最適化を図ることで、ダム運用での溢水の削減と、より需給ニーズに沿った発電計画の提案が可能となる。

また、当社管内の他水系へも同様の検討を展開中であり、全社でのさらなる水力発電の増電および増収を目指していく。

J C M A

【筆者紹介】

中瀬 友之（なかせ ともゆき）
中部電力㈱
再生可能エネルギーカンパニー
水力事業部 運用・システムグループ
副長



松尾 光徳（まつお みつなり）
中部電力㈱
再生可能エネルギーカンパニー
水力事業部 岐阜水力センター 川辺水力制御所
専任主任



大見 智亮（おおみ ともあき）
㈱TSUNAGU Community Analytics
Data Science Unit
Sub Lead

