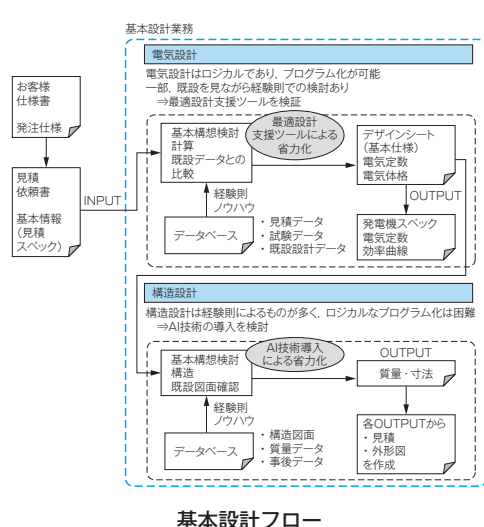


水力用発電機基本設計の省力化に対する取り組み

小石川洋平 Yohei Koishikawa
青柳雅英 Masahide Aoyagi
大塩佳祐 Keisuke Oshio
深井寛修 Hironobu Fukai

キーワード 水力用発電機, 業務改善, 最適化, AI活用

概要



水力発電市場は、固定価格買取制度（FIT）制度が追い風となり活況を呈していることから、設計者への負担が高い状況が継続している。水力用発電機は現地の設置条件や運用方法で仕様が変わる上、最適な発電が必要なため基本設計の段階の負担が大きい。この見積作業による設計者への負担を軽減するため、最適設計支援ツールや人工知能（AI）を用いた基本設計手法を評価した。

電気設計は、シーケンシャルな手順で見積業務を進めることができることから、最適設計支援ツールを評価した。まだ調整が必要であるが、高い精度を示すことを確認した。構造設計は経験・ノウハウが必要なことから、AIを用いた設計手法を評価し、まだ15%程度の誤差があり、継続的に改良を施している。

1 まえがき

水力用発電機的设计部門では、技術継承を含めて設計者の育成に時間を要する中で、今後も水力案件の引き合いが増加することが想定される。さらに水力発電機の基本設計は、代案見積もりや効率改善検討など、複数回の検討を行う必要があり、設計者の大きな負担となっている。

この負担を軽減するために、効率的な基本設計フローを構築するとともに、ベテラン設計者のノウハウをデータベース化し、人工知能（AI）などの最新技術で補うことで、若手を中心とした設計者でも対応できるシステムを構築する必要がある。

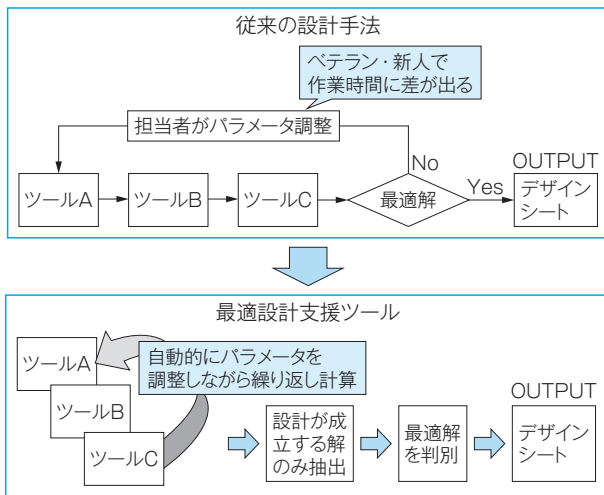
また、見積作業のベースとなる従来の設計手法は、実績・経験に基づく設計で、高効率化など新たな課題に対応した対策も必要である。設計最適化ツールやAI技術を活用するなど新たな取り組みで

設計の最適化を図り、設計の効率化を検証する。本稿では、最適化支援ツールやAI技術を活用した基本設計が、設計者の負担軽減につながるか検証した結果を紹介する。

2 基本設計へ新技術適用

基本設計は、お客様仕様のインプットに電気設計で各種定数を算出し、デザインシートと呼ばれる設計値を決定する。このデザインシートを基に構造設計で最終的な発電機構造設計書を作成する。

第1図に最適設計支援ツールの概要を示す。電気設計の作業は複数のツールを使用し、各パラメータを調整しながら最適な設計となるように調整している。最適設計支援ツールでは、これらの設計ツールを統合し、パラメータ調整を自動的に繰り返し計算する。そのため、設計者は仕様の基本情報のイン



第 1 図 最適設計支援ツール概要

従来の設計手法と最適設計支援ツールを採用した場合の差異を示す。

プロット作業だけを実施すれば、最適解の候補が自動的に算出できる仕組みとなっている。この計算には時間がかかるが、この間に設計者は別の業務対応ができ、作業効率は格段に向上する。

構造設計では電気設計が作成したデザインシートを基に発電機の構造を設計するが、ノウハウ・経験が強く作用する部分があり、電気設計と同じようなツールでは設計できない。このようなノウハウ・経験は、過去実績のデータベースをAIに学習させることで最適解を導くことが有効である。ただし、軸受の種類（ペDESTAL・ころがり軸受など）によってAIの学習結果に大きく影響することから、横軸発電機で多く採用されているペDESTALタイプ軸受を検証した。

3 最適設計支援ツール

電気設計では、お客様の仕様に対し各種ツールでデザインシートを作成している。この作業にかかる時間を熟練者と新人設計者とで比較すると、若手作業者は熟練者の二倍近くの時間を要することが判明している。これは、若手設計者は経験不足によって、最適解を得るためのパラメータ調整に時間を要することが一つの要因である。

最適設計支援ツールでは各種ツールでパラメータが錬成され、自動的に繰り返し計算されることで

最適解が得られる仕組みである。そのため、若手作業でも熟練者と同等程度の時間で作業できることが期待される。

また最適設計支援ツールでは、単一目的の最適化・多目的の最適化などが選択できることから、設計目的に応じた計算結果を得られることも大きなメリットである。

今回、単一目的では「発電機効率」を目的関数とし、多目的最適化では「発電機効率」と「出力係数 ($K_u \equiv \text{出力} \div \text{体積}$)」を目的関数として検証した。

なお、計算回数は1セット（200回）の結果から最適解を探索し、その結果が次のセットの初期値を決定する。そのため、次のセットの初期値は、より最適値に近い条件から開始できる。連続的に6000回を計算するより、一定回数で区切って計算をする方が効率的に最適解に到達できることから、一定回数で区切る手法を採用し、本開発では200回/セットの計算を30回繰り返すこととした。

4 最適設計支援ツールの計算精度

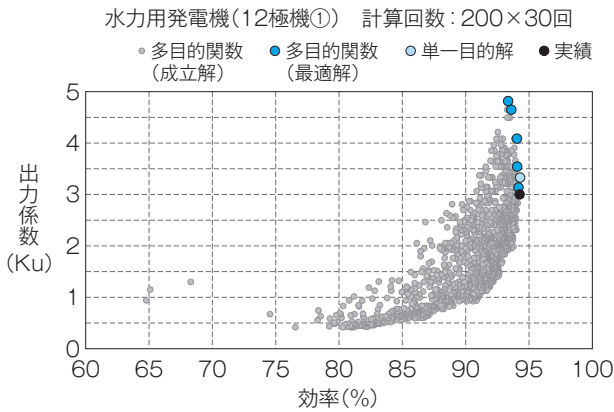
第 2 図～第 4 図に最適設計支援ツールでモデルケースを計算した結果を示す。設計者が設計した結果と最適設計ツールで計算した結果をプロットした図である。なお、灰色のプロットは発電機設計として成立するが、効率や出力係数が最適解に対し優位とは言えない計算結果である。

また、最適設計支援ツールで計算する際に、以下の条件を設定して計算した。

- (1) 後述する構造設計側でのAIを用いた設計では、既存設計のデータベースを学習させるため、最適設計支援ツールに既存設計条件を制約条件として設けた。
- (2) 発電機の極数と計算回数との関係を確認するため、計算回数は一定で評価した。

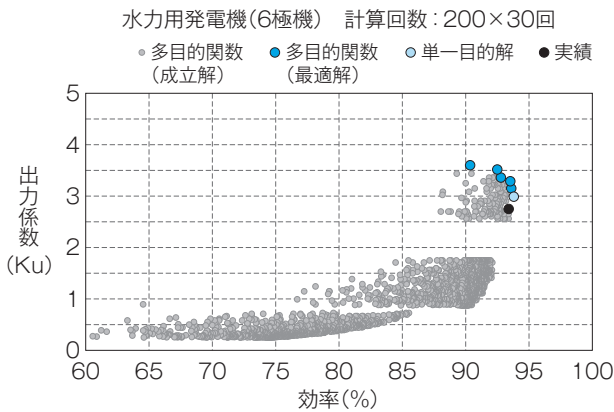
第 2 図は12極の発電機での計算結果で、実績に対し単一目的・多目的ともに既存設計に対し、効率・出力係数ともに優位な計算結果が得られている。

第 3 図は6極の発電機での計算結果で、第 2 図と同様に計算結果の方が優位な結果であるが、一部



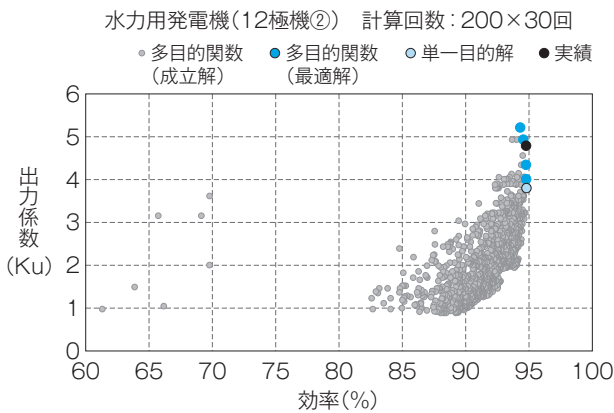
第2図 最適設計支援ツール 12極発電機計算結果①

従来手法での効率・出力係数と、最適設計支援ツールで実施した計算結果を比較した。最適設計支援ツールで算出した結果が従来手法より優位な結果を示す。



第3図 最適設計支援ツール 6極発電機計算結果

第2図と同様に、最適設計支援ツールで算出した結果が従来手法より優位な結果を示しているが、一部領域で計算結果が得られていないことから、計算回数が少ない可能性を示す。



第4図 最適設計支援ツール 12極発電機計算結果②

第2図と同じ12極機であるが、仕様の異なる計算結果を示す。第2図と異なり設計値に対し優位な結果とは言えないが、個別パラメータでは優位な結果である。計算が最適解に近いパラメータに集中させることで、設計値に対し優位な結果が得られると推察できる。

領域で計算結果が得られていない。

第4図に第2図と仕様の異なる12極機の発電機での計算結果を示す。同じ12極機でも第4図の計算結果では、設計者の設計値に対し出力係数・効率の両方の目的関数を同時に有意な結果を得ることはできなかった。ただし、出力係数・効率の個々の項目では、設計値よりも優位な結果が得られている。

第3図で計算結果が得られない領域があることや第4図の最適化未達の原因は、計算回数の条件を一定としたため、計算回数不足にあると考えられる。今回はパラメータの範囲を絞らなかつたが、最適解に近いところの計算回数が増えるようにパラメータの収束を考慮する必要がある。

以上のことから、更なる精度向上のために制約条件や計算回数の改善・検証が必要であるが、最適設計支援ツールを使用することで、設計者の負担を低減できることを確認した。

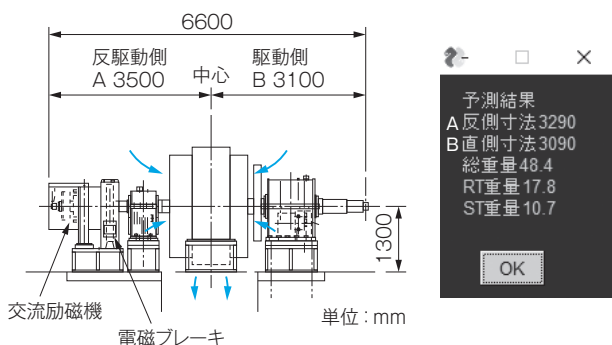
5 構造設計へのAI活用

水力発電機の仕様及び電気設計情報から、寸法・質量を短時間で予測するツールによって、工数や原価の妥当性を検証した。本検証では水力発電機データベースを用いたAI予測モデルの構築、AI予測ソフトウェアを作成した。

水力発電機は製品仕様が標準化されていないため、物件ごとに設計・製造が必要となる。そのため基本設計も都度、仕様に応じた検討が必要となる。しかしながら、類似している既設物件が存在しており、既存データの統計的な情報から予測するAIベースの基本設計の手法は効率化に有効である。本手法では、AIに発電機のデータベースを学習させ、発電機の代表的なパラメータを出力できるようにした。第5図にAIツール出力パラメータを示す。

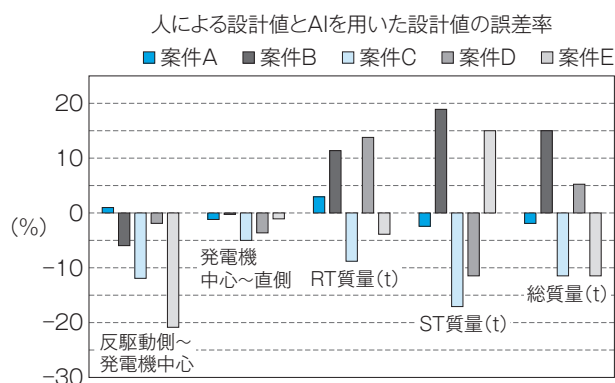
なお、AI学習した結果はソフトウェア化され、前述の電気設計で作成したデータシートを読み込めるため、データ入力の手間が必要なく、計算にかかる時間は数分程度である。

第6図に人による設計値とAIの設計値の比較を示す。案件Eでは、反駆動側～発電機中心までの寸



第5図 AIツール出力パラメータ

AIツールで出力するパラメータの説明図を示す。



第6図 人による設計値とAIの設計値の比較

AIツールで算出した各パラメータの結果を示す。条件によって大きく乖離するものもあるが、おおむね15%以内に収まっている。

法が大きく乖離している。これはブレーキリングの有無による影響である。このように一部データベースやAI学習の調整が必要な項目があるが、設計者による設計値に対し、おおむね15%以内の誤差範囲に収まることを確認した。

したがって、概算レベルの見積もりや設計結果の比較などによる誤設計防止などに十分に役立つレベルである。

また、学習させたデータベースには設計値と実績が混在しているため、実績ベースでのデータベースを充実させることで、更に精度が向上すると考えられる。

6 むすび

設計者の負荷低減のために最適設計支援ツールやAIを活用したツールを検証し、基本設計の効率化や最適化ツールの精度を確認した。まだ精度は検証段階の域を出ないレベルではあるが、今後も設計者はツールとして使用し、更なる精度向上を図っていく所存である。

- ・本論文に記載されている会社名・製品名などは、それぞれの会社の商標又は登録商標である。

《執筆者紹介》



小石川 洋平
Yohei Koishikawa
水力事業推進本部技術部
水力発電システムのエンジニアリング業務に従事



青柳 雅英
Masahide Aoyagi
回転機システムユニット
水車発電機の設計業務に従事



大塩 佳祐
Keisuke Oshio
回転機システムユニット
水車発電機の設計業務に従事



深井 寛修
Hironobu Fukai
事業イノベーション部
人工知能技術の研究開発に従事