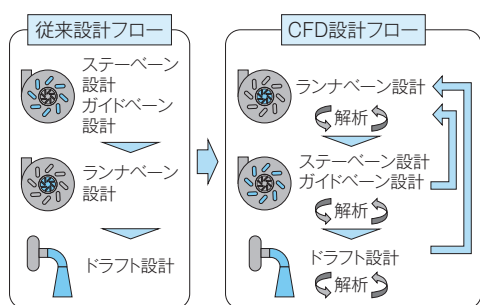


水車の解析による効率向上

山口直樹 Naoki Yamaguchi
小石川洋平 Yohei Koishikawa
佐藤潤一 Jun'ichi Sato
長井斗志仁 Toshihito Nagai

キーワード フランス水車, CFD, 流れ解析, 水車効率, 模型試験

概要



従来設計と数値流体力学（CFD）設計フロー

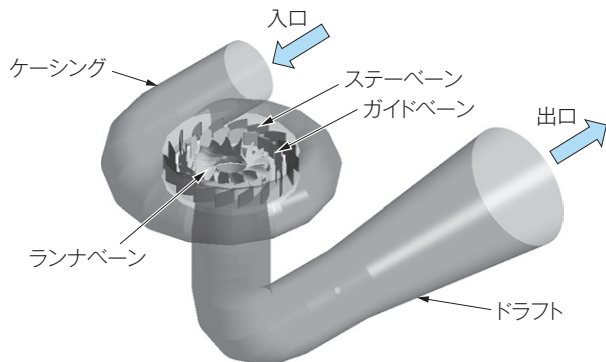
近年、持続可能な社会をつくるため、カーボンニュートラル・脱炭素社会の実現への取り組みが求められ、当社では水車の高効率化に向けた技術開発を進めている。

開発に必要な技術の一つに数値流体計算による水車の流体解析があり、解析ツールによる精度向上が著しい。当社は製品競争力向上を目的として、高効率水車を設計できる技術を獲得し水車効率を向上する取り組みを2018年度から開始した。解析技術獲得を加速及び高度化するため、早稲田大学の宮川教授、水力発電機メーカーのイームル工業(株)と共同研究を行っている。現在ではフランス水車の効率向上に向け、従来の設計フローを改善して段階的に解析設計を実施し、水車性能を評価する研究を進めている。

1 まえがき

環境問題を背景に、水車の高効率化が求められている。その中でも、フランス水車は適応範囲が広く台数も多いため、高効率化の要求が非常に高い。

第1図にフランス水車の流路構成を示す。水車



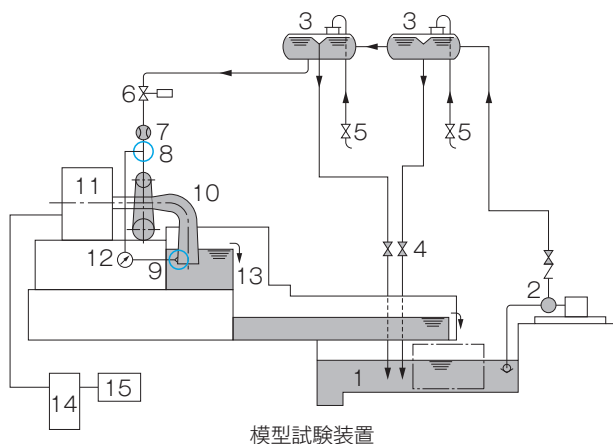
第1図 フランス水車流路構成

フランス水車のケーシングからドラフトまでの流路構成を示す。

の性能を決定する重要な要素の一つである流路の形状は、ケーシング・ステーパーン・ガイドベーン・ランナベーン・ドラフトによって構成され、設計要素が多岐にわたる。一方で、その設計では技術者の知見や経験によるところが大きく、最適設計は容易ではない。当社では流路の最適設計を実現するために、近年注目を集めている数値流体力学（CFD）による水車の流体解析設計と模型水車による性能の妥当性検証を早稲田大学、当社グループ会社のイームル工業(株)と共同研究を行っている。本稿では、共同研究の成果である流路の最適化技術とその適用事例を紹介する。

2 従来の水車設計

従来設計では一次元的な検討しかできないため、水車流路内の水流の予測が困難であった。そのた



模型試験装置

- | | | |
|------------|-------------|------------|
| 1. 水槽 | 7. 電磁流量計 | 13. 越流堰 |
| 2. 揚水ポンプ | 8. 入口圧力測定位置 | 14. 動力計制御盤 |
| 3. 上水槽 | 9. 出口圧力測定位置 | 15. 計測システム |
| 4. 越流調整バルブ | 10. 模型水車 | |
| 5. 給気バルブ | 11. 動力計 | |
| 6. 入口弁 | 12. 差圧センサ | |

第2図 試験設備系統図

イームル工業(株)が保有する模型試験設備の系統図を示す。

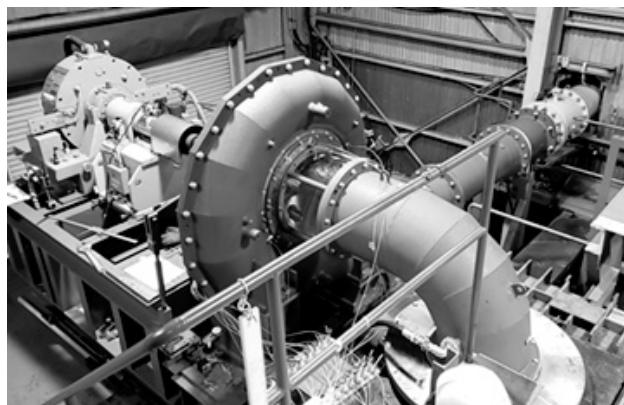


第3図 模型試験設備全景

イームル工業(株)が保有する模型試験設備の全景を示す。

め、水車メーカーは「JISB 8103水車及びポンプ水車の模型試験方法」に基づいて模型水車の実験を繰り返し、設計に反映する方法を取っていた。ただし、模型試験は大規模設備となるため、時間・コストを要することが問題であった。

これは、今回の共同研究者であるイームル工業(株)でも同様である。同社は模型試験設備を保有し、その試験結果から作成したデータベースを基に水車設計を実施している。第2図にイームル工業(株)の模型試験設備の系統図を、第3図に全景を、第4図に模型水車の外観を示す。



第4図 模型水車

イームル工業(株)が保有する模型水車の外観を示す。

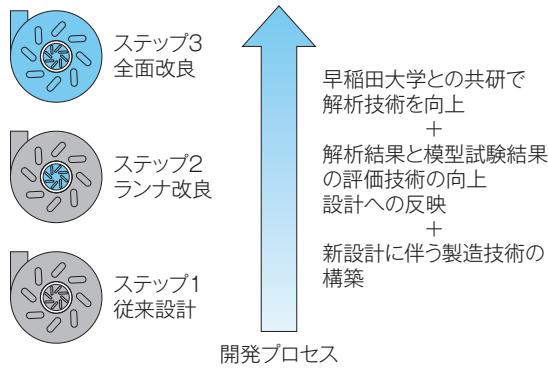
現在も水車設計に厳しい条件の仕様の場合には、モデル試験を実施する必要があり、時間・コストがかかることが大きな課題となっている。

3 CFDによる水車設計

水車の歴史は長く、性能は飽和しているとの認識が一般的である。しかしながら、近年コンピュータを使用した技術は格段に進歩しており、短時間で流路形状の最適化を行うことができるため、性能を向上できる。ただし、解析設計の精度向上のためには、妥当性確認の模型試験を並行して行うことが解析技術の獲得には不可欠である。この妥当性確認の蓄積が水車メーカーのノウハウであると言える。

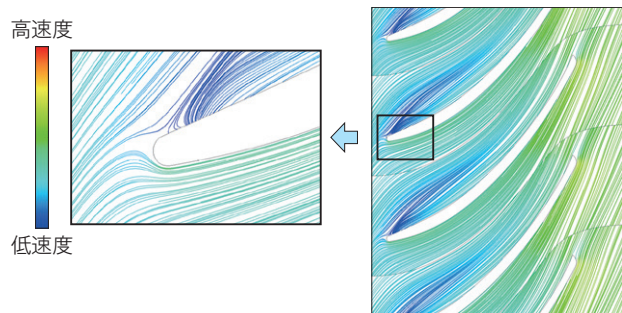
当社とイームル工業(株)は、CFDによる解析技術を獲得する取り組みを開始したが、当初はリソースや解析経験の不足が課題であった。そこで開発を加速及び高度化するために、早稲田大学との共同研究を開始した。

- 第5図に水車の技術開発手順を示す。フランス水車の効率向上のアプローチとして、3ステップに分けて段階的にCFDによる解析設計を実施した。
- (1) ステップ1 イームル工業(株)の従来設計モデルを解析して現状を把握し、問題点を明確化
 - (2) ステップ2 ランナから順番に技術開発を進め、ランナのみを改良設計を実施
 - (3) ステップ3 ケーシングからドラフトまでの



第5図 水車の技術開発手順

水車性能向上に向けてのステップ1から3の技術開発手順を示す。



第6図 従来モデルの羽根入口流線

従来設計モデルのランナ羽根入口の流線を示す。入口の流れと羽根の入口角度の違いから流れが剥離していることが確認できる。

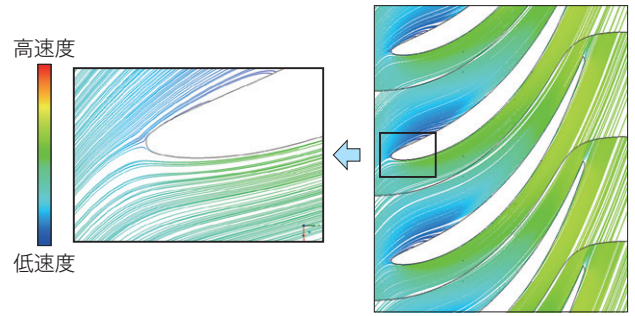
全体の改良設計を実施

開発目標は従来設計モデルに対して3ポイントの性能向上とし、水車出力10,000kW以下の発電所をターゲットに現在技術開発を進めている。

4 CFD 適応事例

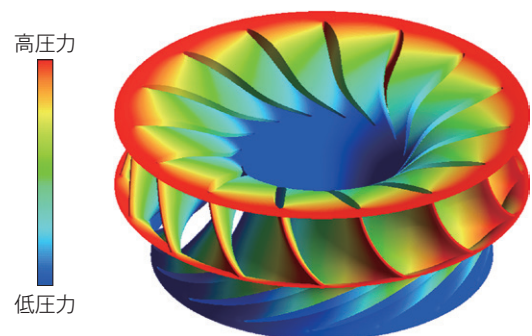
3項の技術開発手順に従い、ステップ1の従来設計を解析した。第6図に従来モデルの羽根入口流線を示す。従来設計では、解析結果から羽根入口で渦が発生し、流れに乱れが生じ後段の流速が落ちていることが確認できる。

それに対し、ステップ2でランナの改良設計を実施した結果を第7図に示す。解析結果から、ランナ入口を流入角度に合わせることでステップ1のような流れの乱れを抑制し、ランナ出口も水流の方向を乱さない角度を確認しながら設計できるようになっ



第7図 改善モデルの羽根入口流線

改善設計モデルのランナ羽根入口の流線を示す。入口の流れに羽根の入口角度を合わせ、滑らかな流れに改善していることが確認できる。



第8図 改善モデルのランナ壁面圧力分布

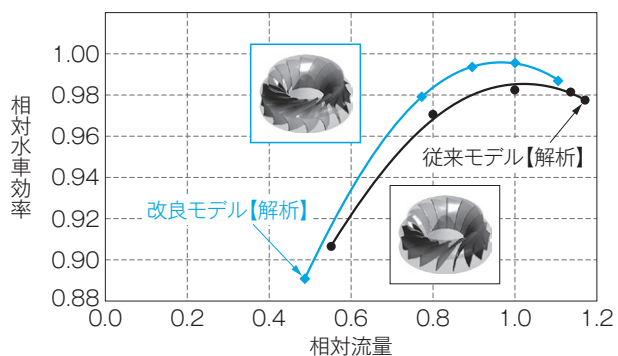
改善設計モデルのランナ壁面の圧力分布を示す。局所的な圧力低下は見受けられない。

た。第8図に改善モデルのランナ壁面圧力分布を示す。ランナの入口側で均一に圧力が高く、出口側で圧力が低いことが見て取れることから、水のエネルギーを十分に回転力に変換できていることが確認できる。

第9図に従来モデルと改良モデルの解析による水車効率比較を示す。ランナの改良だけでも効率が大きく向上することを確認した。第10図に改良モデルの解析と実験の水車効率比較を示す。解析と模型試験の効率値及び性能曲線が一致していることが確認でき、解析精度も問題ないことを確認した。

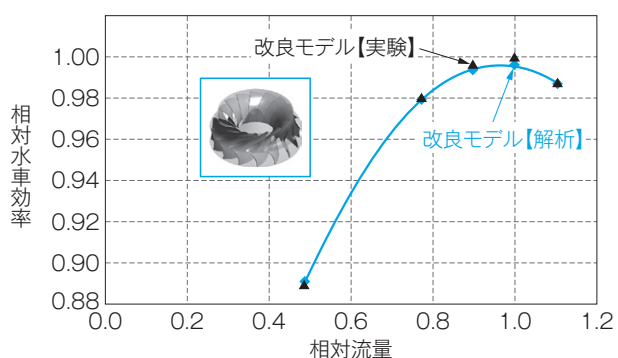
現在、ステップ3に移行してランナ以外の静止部の寸法的な制約条件を外し、流路全体の改良を実施している。

なお、効率と同様に水車特性の重要な要素にキャビテーションがある。流水で圧力低下時に気泡が生じ、圧力回復時に気泡が潰れる衝撃で羽根に損傷を



第9図 従来モデルと改良モデルの解析による水車効率比較

従来モデル（ステップ1）と改良モデル（ステップ2）の解析結果について水車効率比較を行った。全流量領域で改良モデルが従来を上回った。



第10図 改良モデルの解析と実験の水車効率比較

改良モデル（ステップ2）について解析と模型試験結果の水車効率比較を行った。全流量領域で一致する結果が得られた。

与える現象である。キャビテーションは、水車の据え付け高さにも影響を受ける。そのためキャビテーション性能を改善することは、発電所の床面の掘削による土木費の軽減にもつながる。このキャビテーションもCFDによる水と水蒸気の二相流解析で性能予測ができるため、効率検討と併せて検証を進めている。

5 むすび

水車の高効率化に関する当社とイームル工業㈱の取り組みを紹介した。今後も共同研究を通じ最先端の解析設計技術を吸収し、再生可能エネルギーの活用推進で社会に貢献していく。

最後に、水車形状最適化の技術開発を進めるにあたり、長年にわたってご助言・ご指導をいただいている早稲田大学 宮川教授に感謝の意を表する次第である。

・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》



山口直樹
Naoki Yamaguchi

水力事業推進本部技術部
水車効率向上に関する共同研究業務に従事



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



佐藤潤一
Jun'ichi Sato

基盤技術研究所
熱流体解析技術開発及び社内普及に従事



長井斗志仁
Toshihito Nagai

水力事業推進本部技術部
水車効率向上に関する共同研究業務に従事