

水車ランナ特性改善による 水力エネルギーの有効活用

Effective Utilization of Hydraulic Energy Due to Performance Improvement of Hydraulic Turbine Runner

谷 清人

Tani Kiyohito

花田 豊

Hanada Yutaka

50年以上前に建設された中小規模の水力発電所においては、水力エネルギーを有効活用するために、水車の主要部品に最新の設計技術を適用して更新し、特性改善が図られている。日立グループは、発電所の規模や改善に伴う投資を考慮し、従来の模型試験を行わず、流体解析のみでも形状設計、特性評価を行っている。水車ランナ特性改善では、前進翼ランナを適用することにより、現在の主要ニーズである効率の向上やCO₂削減を実現しており、今回は出力が10,000～30,000 kWクラスの既設水車の特性改善を行った。

1. はじめに

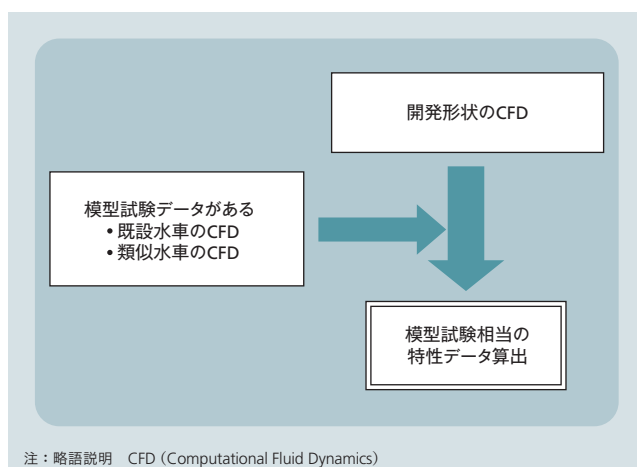
環境保全の観点から、新たな発電所を建設することなく、既存の水力発電所の主要部品を最新技術で更新することによって水力エネルギーを有効活用する取り組みがなされている。特に、50年以上前に建設された水力発電所では、効率改善に加え、現状の運用ニーズに合致した特性改善が行われている。

ここでは、中小規模水力発電所における水車ランナに最新設計技術を適用して更新した特性改善について述べる。

2. CFDによるランナ形状開発

従来、水車流水部の形状開発においては効率やキャビテーション特性の検証精度の観点から模型試験が必須であった。しかしながら、国内外の規格^{1), 2)}で模型水車のランナサイズ、試験落差の最小値が規定されている。そのため、実機水車の出力が小さい発電所においては、プロジェクトにおける模型試験費用の割合が相対的に大きくなる。特に、ここで対象とする中小規模水力発電所、中でもランナのみを更新対象とする場合には、模型試験の費用や開発期間がプロジェクト採否のキーファクターとなる。

一方、数値流体力学(CFD: Computational Fluid Dynamics)に基づく流れ解析(以下、CFDと記す。)は、



注：略語説明 CFD (Computational Fluid Dynamics)

図1 | CFDによる特性データ算出の概念

模型試験を実施せず、CFDに基づく流れ解析のみで形状開発を行うことができる。

ソフトウェア／ハードウェア両面の飛躍的な発展により、水車の形状評価に適用可能である^{3), 4)}。特に、参照する模型試験データがあれば、CFDは開発形状についても模型試験とほぼ同等の特性評価ができるようになってきている(図1参照)。このように、模型試験を実施せず、CFDのみで開発されたランナを「CFDランナ」と称している。

水車の主要流水部はケーシング、ステーパーン、ガイドベーン、ランナ、ドラフトチューブである。新規案件であればこれらすべての構成要素を対象に形状開発が行われるが、特性改善案件においては、更新要素だけが開発対象となる。模型試験では更新要素以外にも試験体を製作しないと試験ループを構成できない。そのため、模型試験を用いた開発では必ずしも更新には関係しない費用が発生する場合がある。しかし、CFDでは解析の境界条件を適切に付与できれば、更新要素のみでの解析が可能である。この点もCFDのメリットである。

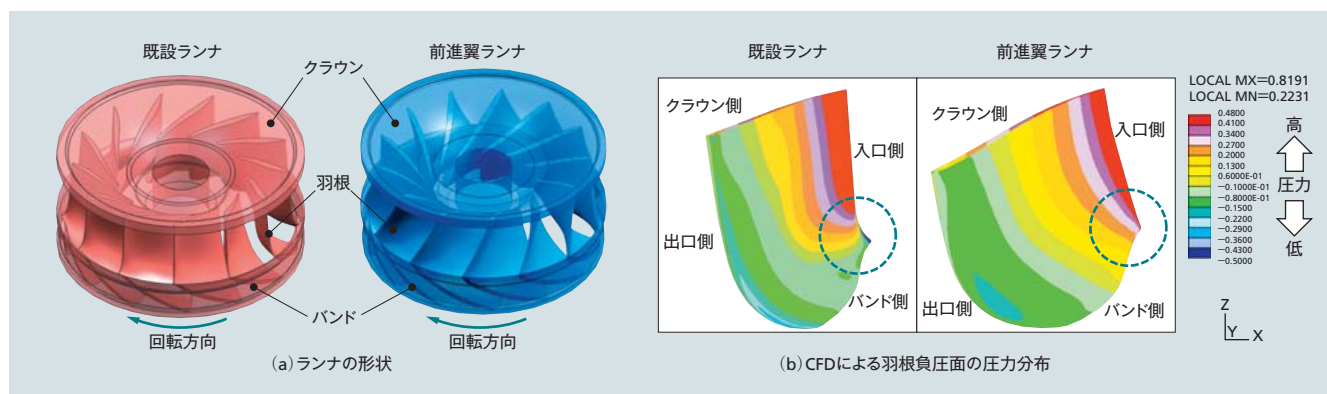


図2 | 前進翼ランナによるキャビテーション改善

ランナ形状 (a) の特徴は、前進翼ランナの羽根入口（外周側先端）はバンド側がクラウン側に比べ、回転方向に対して前方にある（前進している）ことである。また、CFDによる羽根負圧面の圧力分布 (b) を見ると、点線で囲んだバンド側羽根入口で、既設ランナでは局所的な低圧部が見られる。この低圧部でキャビテーションが発生する。前進翼ランナでは同部位に低圧部がなく、キャビテーションは発生しない。

3. 前進翼ランナ

特性改善案件では、水車効率、キャビテーション特性を支配するランナの更新がメインとなる。対象となる発電所は50年以上前の建設であり、当時の設計形状であることから、ほとんどの場合、現状の最適設計寸法と多少の相違がある。また、建設当時は電力事情によって最大出力での運転が重視されたが、現在は低出力でも高効率で安定的な運転ができることが要求される。

これらの事情を解決する形状として、「前進翼ランナ」が用いられる。前進翼ランナは、羽根入口においてバンド側がクラウン側よりも回転方向の前方にある（前進している）形状である。こうした形状とすることにより、ランナ回転の遠心力成分によるバンド側への流れの偏りを抑制し、水が羽根面を効果的に流れるようにできるという特徴がある。特に、国内では低出力運転時の効率改善、羽根面に発生するキャビテーション壊食の抑制のために使用される。

もちろん、前進翼ランナは更新案件だけではなく、新規案件でも用いられる。

4. 前進翼ランナによる特性改善

中小規模水力発電所の特性改善案件において、CFDによって開発した前進翼ランナを用いて水力エネルギーを有効活用した事例について以下に述べる。

4.1 西吉野第二発電所

電源開発株式会社西吉野第二発電所は、1955年に運転開始した水車出力14,000 kW、有効落差77.4 mのフランシス水車である。この水車のオーバーホール周期は15年前後であったが、その周期内の3～4年ごとに修理が必要となるキャビテーション壊食がランナ羽根面に発生していた。この壊食の修理費用、修理停止によって発電できない

ことの溢（いっ）水電力をなくすことが課題であった。

まず、既設ランナにおいてCFDを行い、キャビテーション発生に関する羽根面での局所的な圧力低下を摘出した。そこで、更新用ランナの形状開発においては、前進翼ランナを採用し、CFDによって形状定義のパラメータサーベイを行い、通常運転状態でキャビテーションが発生しない形状を導出した。前進翼ランナによるキャビテーションの改善を図2に示す。同図の圧力分布から、前進翼ランナでは、既設ランナの負圧面バンド側入口部で発生していた低圧部が解消されていることがわかる。

更新用ランナは2008年2月から運転開始し、同年9月に初回点検を行い、壊食が発生していないことを確認した。つまり、CFDによって形状開発した前進翼ランナでキャビテーション特性が改善されたことが証明されたと言える。

4.2 東和発電所

電源開発東和発電所は、1954年に運転開始した水車出力16,500 kW、最高有効落差93 mのフランシス水車2台の発電所である。最低有効落差（更新前）が72 mであり、落差変動が比較的大きいことが特徴の一つである。さらに、運用ニーズとして、上流側ダムは従来に比べて低水位での運用が見込まれるため、更新前の最低有効落差以下での運転が可能であることが望まれた。これは、ある落差で特性を評価したときに、既設ランナに比べ、全流量領域で効率が向上することと同義である。また、ランナ羽根面のキャビテーション改善の要求もあった。

このような要求を満足させるために、CFDによってこの発電所向けの前進翼ランナを開発した。最高有効落差におけるCFDで求めた効率特性を図3に示す。全領域で1.5～2%、前進翼ランナ（更新後）が既設ランナ（更新前）より効率向上している。なお、2010年12月から1台が前

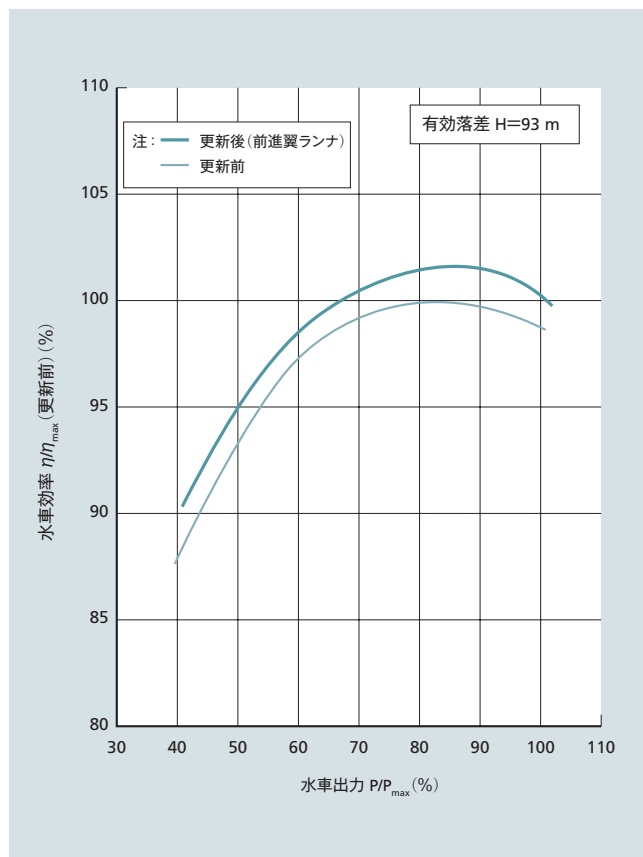


図3 | CFDによる特性改善の検証

前進翼ランナを採用することによって、更新後（太線）は更新前（細線）に比べ全領域で1.5%～2%効率が向上している。

進翼ランナで運転を開始している。

4.3 市荒川発電所

関西電力株式会社市荒川発電所は、1944年に運転開始した水車出力26,350 kW、有効落差69 mのフランシス水車2台の発電所である。最近の運転実績を整理した結果、最大設計流量を既設機よりも7%小さくすることによって効率的な2台運用が可能になったことがわかった。さらに、1944年に運転開始という古い設計であるため、ランナのみならず、他の部品交換による特性改善が期待できた。しかし、オーバーホール費用と期間を最小化するために、前進翼ランナのみによる特性改善が採用された。前進翼ランナは既設ランナと比較し、羽根入口部での流れを改善して、ランナ内でスムーズな流れを実現している（図4参照）。2011年4月から1台が前進翼ランナで運転を開始している。

関西電力の試算⁵⁾によれば、2台更新後には、年間発生電力量が4.7%に相当する14 GWh増加し、年間3,710 tのCO₂が削減可能である。

4.4 大池第二発電所

東北電力株式会社大池第二発電所は、1956年に運転開始した水車出力11,130 kW、有効落差135.68 mのフラン

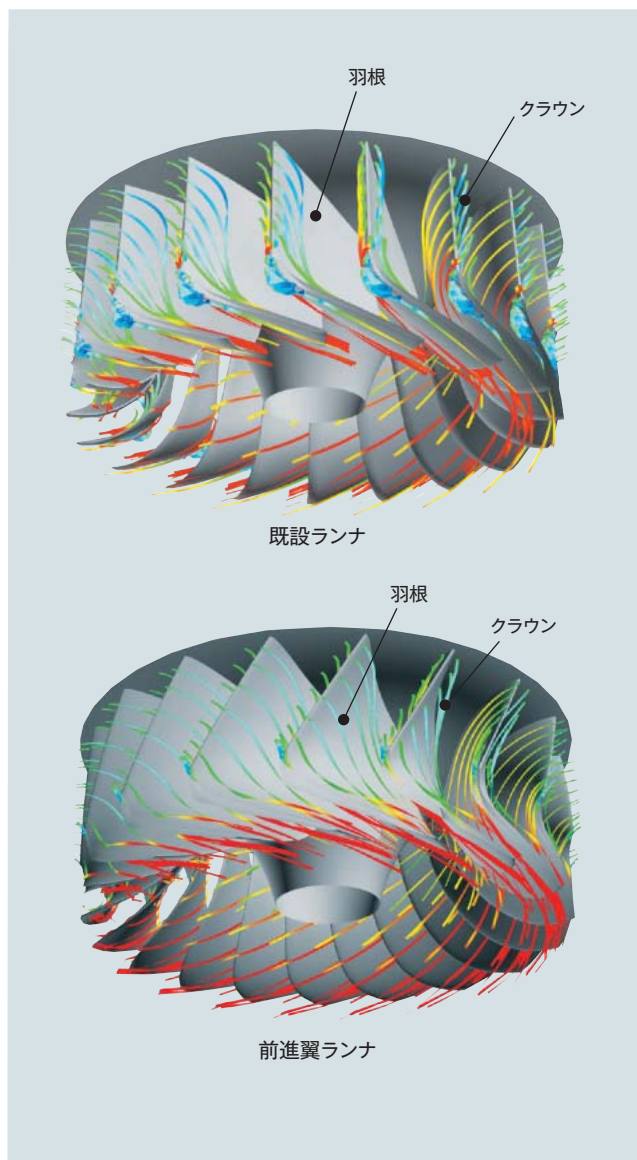


図4 | CFDによるランナ内の流れパターン

バンドを取り除いてランナ内の流れパターンを示している。既設ランナでは入口部で流れが剥離し全体的にバンド側に偏る傾向にあるが、前進翼ランナでは入口部で流れがスムーズに流入し、バンド側に偏ることなくクラウン側も流れている。



図5 | 実機の前進翼ランナ

工場出荷前の前進翼ランナの外観を示す。ランナ出口径は約1 m、羽根枚数は15枚である。

シス水車である。運転開始後50年以上経過しており、ドラフトチューブを除く水車全体を更新した。自流式の発電所であり、年間発生電力量が最大となる水車特性となるように、前進翼ランナ（図5参照）を導入した。同時に、他の流水部もCFDで最適化している。結果的に、更新前後で有効落差がほぼ同じで、水車の最大出力が3%増加した。

2010年12月に更新後の運転を開始している。また、環境に配慮し、潤滑油を用いない水潤滑軸受を採用している。

5. おわりに

ここでは、中小規模水力発電所における水車ランナに最新設計技術を適用して更新する特性改善について述べた。

50年以上前に運転開始した中小規模水力発電所において、CFDで開発した前進翼ランナを導入し、特性改善することで、既設機に比べて水力エネルギーの有効活用につながる。地球環境に貢献するためにも、今後も既存水力発電所の特性改善に取り組んでいく。

参考文献など

- 1) JIS B 8103-1989, 水車及びポンプ水車の模型試験方法
- 2) IEC 60193-1999, Hydraulic turbines, storage pumps and pump-turbines-Model acceptance tests
- 3) 原野, 外: 関西電力株式会社御岳・新黒部川第三発電所納め中間羽根付高性能ランナの実用化, 日立評論, 88, 2, 205~208 (2006.2)
- 4) 谷, 外: 米国大型揚水発電所ポンプ水車の特性改善 —ニューヨーク州電力局 プレンハイム・ギルボア発電所300 MWポンプ水車—, 日立評論, 91, 3, 294~297 (2009.3)
- 5) 関西電力プレスリリース, <http://www.kepco.co.jp/pressre/2011/0131-4j.html>

執筆者紹介



谷 清人

1993年日立製作所入社, 日立事業所 水力設計部 所属
現在, 水車・ポンプ水車の流体性能開発に従事
工学博士
日本機械学会会員, ターボ機械協会会員



花田 豊

2000年株式会社日立エンジニアリング・アンド・サービス入社,
日立製作所 日立事業所 水力設計部 所属
現在, 中小規模水力発電所の水車の流体性能開発に従事
ターボ機械協会会員