

# 可動翼水車のオイルレス化に関する研究

## 操作力低減に向けたランナ翼形状の自動最適化設計

### Study on Adjustable Blade Turbine without Lubricant Oil

#### Multi-Objective Optimization of Runner Blade to Reduce Operational Force

(工務部 発電電G)

可動翼水車では、ランナ翼操作機構の軸受を潤滑するためにランナボス内に油で充満している。そのため、シールパッキングが摩耗・損傷した場合には直接河川へ油が流出する可能性があり、当社では毎年ボス内の点検を実施するなど漏油防止対策を図るとともに、順次潤滑油が不要な構造への改造を進めている。しかしながら、大容量揚水機でオイルレス化を実施する場合には、摩擦力の増加に伴い、翼操作機構や軸受の強度が問題になると考えられる。そこで、大型可動翼ポンプ水車向けに、操作力を低減できるランナ翼を開発するとともに、最適な操作機構の改造方法について検討した。

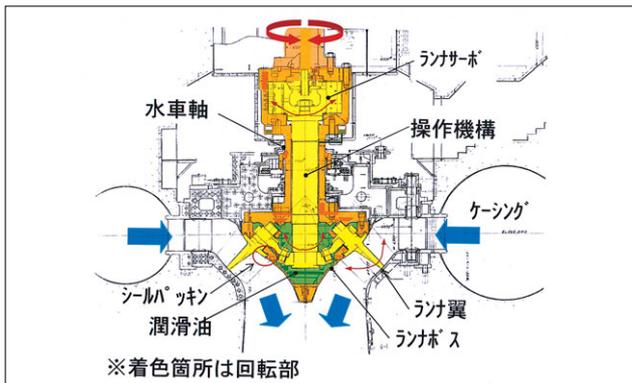
(Hydropower and Substations Section, Electrical Engineering Department)

Runner bosses of adjustable blade turbines are filled with lubricant oil. The oil would leak to the river, if the sealing packing of the blade stem would abrade or be damaged. Then, we inspect the bosses every year to prevent the oil from leaking, and also gradually eliminate the lubricant oil from the bosses. However, the stress of the operation system and the bearing can be the problem for the large size reversible pumped turbines, because the friction of the parts increases due to the elimination of the lubricant oil. In this study, we not only optimized the shape of runner blade so as to reduce the operational force, but also redesigned the operational system of blades in order to eliminate the lubricant oil.

## 1 目的および背景

可動翼水車は、部分負荷において効率よく運転するために、流量に応じて水車ランナ翼を最適な開度に調整できるよう、翼を固定しているランナボス内部に操作機構を設けている(第1図参照)。この操作機構の軸受を潤滑するために、ランナボス内は油で充満されており、ランナ翼軸のシールパッキングが摩耗・損傷した場合には、直接河川へ油が流出する可能性がある。これまでは、ボス内の潤滑油を毎年検査して漏油の兆候を確認することで漏油対策を実施してきたが、環境保全のためには操作機構部の軸受を無給油軸受に変更してオイルレス化を図ることが望まれる。しかしながら、オイルレス化のためには操作機構の潤滑剤を油から潤滑性能の劣る水へ変更することになるために、特に100MW級以上の大型の可動翼ポンプ水車では、摩擦力の増加によりランナ翼の操作力が増大して操作機構や軸受の強度が問題になると考えられる。

そこで、本研究では可動翼ポンプ水車のオイルレス化のために、操作力を低減できるランナ翼を開発するとともに、既設機の最適な改造内容を検討した。

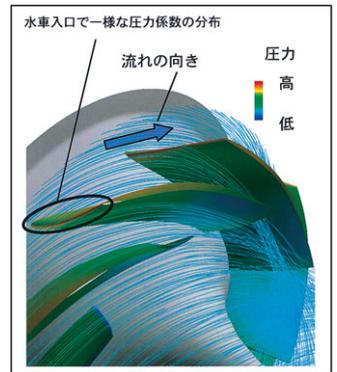


第1図 斜流形ポンプ水車断面図

## 2 ランナ翼の形状解析

### 2.1 CAOを用いたランナ翼の最適化

ランナ翼の操作力は、各部の摩擦力だけでなく、翼表面の水圧分布が不均一で、ランナ翼軸まわりに不平衡なトルクが発生するために必要となる。そこで、翼間の流れを均一かつ滑らかにすることで、翼表面の水圧分布を均一にして不平衡トルクを低減できるよう、



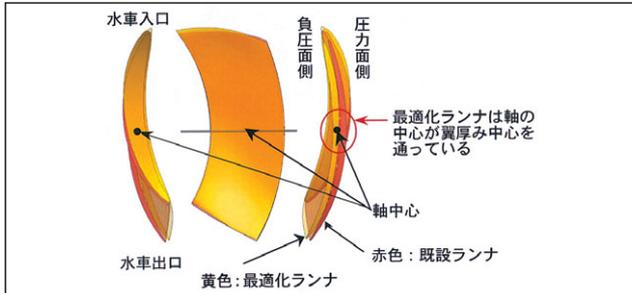
第2図 CFDによる解析例

コンピュータによる自動最適化設計(Computer Aided Optimization: CAO)により翼形状の最適化設計を実施した。CAOによる最適化では、水車形状パラメータ(個体)を世代を重ねることで進化させる手法(遺伝的アルゴリズム:GA)を使用し、最適化ランナについて流れ解析(Computer Fluid Dynamics: CFD)により性能評価を行っている。性能評価においては、オイルレス化の課題である不平衡トルクの外に、効率、キャビテーション性能などの水車性能もあわせて評価して、既設ランナからの改善を図っている。CFD解析例を第2図に示す。

### 2.2 最適化によるランナ翼解析結果

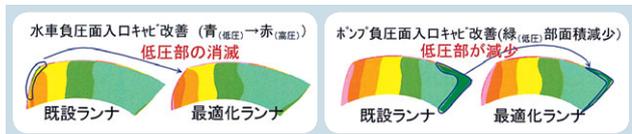
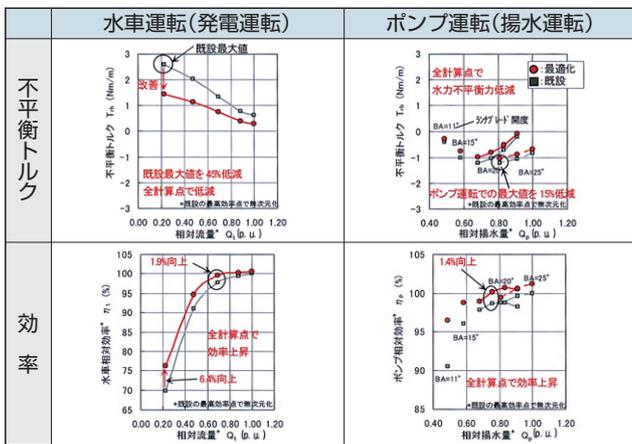
最適化によって得られたランナ翼と既設ランナ翼の形状の比較を第3図に示す。最適化ランナは、翼の水車入口側の延伸および水車出口側の短縮、翼の軸中心がランナ翼厚みの中心を通っていることが挙げられる。各運転点における諸特性のCFD解析結果を第1表に、翼面の圧力分布例を第4図に示す。

課題であった不平衡トルクについて、最適化ランナではポンプ方向、水車方向の全運転範囲で、既設ランナより低減されており、ランナ翼の操作力が低減できている。これは、翼中心の位置の改善により、翼面上の圧力分布が改善されたためと考察できる。



第3図 既設・最適化ランナ翼形状比較

第1表 最適化ランナのCFD解析結果



第4図 ランナ翼面上の圧力分布図

効率については、最適化ランナは既設ランナに比べて、ポンプ方向、水車方向の全計算点で効率が高くなっている。特に水車方向の低流量側の効率向上が大きくなっており、変流量特性が改善されていることがわかる。

キャビテーション特性についても、第4図に示した通り、既設機で壊食(エロージョン)が生じている水車側・ポンプ側の入口部の最少翼面圧力が上昇して、改善されている。

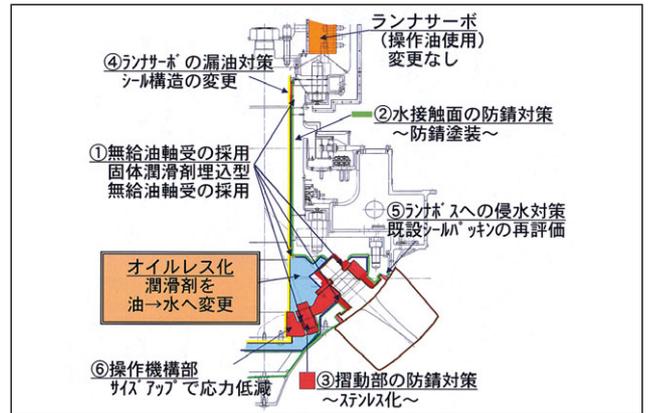
### 3 実機構造の検討

#### 3.1 ランナボス内オイルレス化に伴う改造方法

既設機をオイルレス化するにあたり、最小限の改造方法を検討した。オイルレス化にあたっては、潤滑剤を油から粘度が低い水へ変更することになり、各部の摩擦が増加して操作力が増加傾向になることが考えられる。そのため、軸受材料を変更して摩擦力を軽減すると

ともに、部品のサイズアップで応力を軽減することが必要となる。また水を使用することから防錆対策も必要である。以下にその対策内容を、第5図に改造方法を示す。

- ①軸受の潤滑性・耐久性を考慮して無給油軸受を採用
- ②水接触面の防錆対策 ~防錆塗装~
- ③摺動部の防錆対策 ~ステンレス化~
- ④ランナサーボからの漏油対策
- ⑤ランナボス内への侵水および異物の混入対策
- ⑥応力低減のための操作機構部のサイズアップ

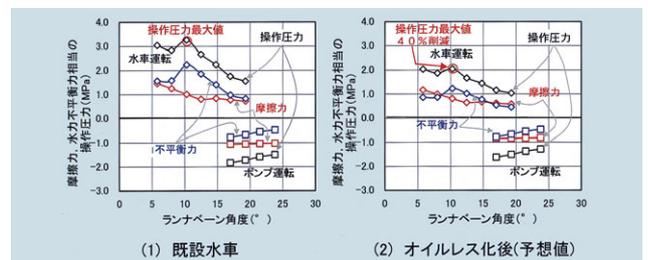


第5図 ランナ翼操作機構の改造方法

#### 3.2 操作力の低減効果

第6図はオイルレス化前後のランナ翼の操作圧力を示す。操作圧力は操作機構部の摩擦力と翼に生じる不平衡力の和で表され、無給油軸受の採用等により摩擦力が20%低減、また新ランナ翼形状の採用により水車運転時の不平衡力が45%低減することが確認されている。

この結果、最大の操作力が必要となる水車運転時において操作力が40%軽減されて、軸受の許容面圧以下となることが確認され、オイルレス化の目処を得ることができた。



第6図 ランナ翼操作圧力

### 4 まとめ

CAOを用いて最適化したランナ翼の採用、無給油軸受の採用等によるランナ翼操作機構部の改造により、大型可動翼ポンプ水車のオイルレス化が可能であることを確認した。

今後、既設水車ランナの劣化取替にあわせてオイルレス化を展開していく。



(現所属:長野支店 飯田電力センター  
発電電機係) 執筆者/ 富永博文