

# 高比速度ペルトン水車の高効率ランナの開発

## Development of a High Efficiency Runner for a High Specific Speed Pelton turbines

(工務技術センター 水力課)

当社ではランナ取替などの機会に流れ解析技術を活用しランナ形状の最適化による水車の効率向上を図ってきたが、高速・大容量化された高比速度のペルトン水車はランナに加わる力が大きく、ランナ形状の変更にあたっては応力軽減対策が必要となる。

そこで、高比速度ペルトン水車の効率向上を目的に、ノズルから大気中へ放出されたジェットの解析(気液二相流解析)の精度向上を図り、高効率なランナ形状を検討するとともに、強度解析による応力軽減対策および新たなランナ製作方法について適用可能な見通しを得たため報告する。

(Hydro Power Section, Electrical Engineering Technology Center)

The issue of improving the efficiency of water turbines has been addressed by applying flow analysis technology to optimize the runner shape when they are replaced. Because of the high speed and high capacity of high specific speed Pelton turbines, their runners are subject to great force; therefore, a change to the runner shape requires measures to reduce stress.

With the aim of improving the efficiency of these turbines, concerning the jets released into the air from the nozzles, the accuracy of the analysis (gas-liquid two-phase flow analysis) was improved, and a highly-efficient runner shape was examined. Measures to reduce stress through intensity analysis, and new runner manufacturing methods were also studied, and a forecast of their applicability was obtained; this paper reports the results and findings.

### 1 背景および目的

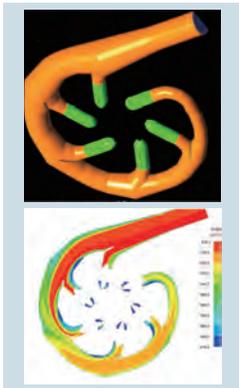
高比速度の6射ペルトン水車は6個のノズルを配置するためにノズル間角度が小さくかつ高比速度化に伴いランナが高速で回転するため、ジェット干渉を発生しやすい特性を持つ。今回バケット形状の最適化による水車ランナの効率向上によって水車性能が大きく変わるため、効率向上検討だけに留まらず、ジェット干渉の回避、適正なバケット枚数、バケット付根部の応力緩和、製作難易度の緩和も合わせて検討する必要があった。

### 2 流れ解析精度の向上

高比速度の6射ペルトン水車の流れ解析(第1図)は分岐管とノズルの解析、フリージェットの解析、バケットの解析の3段階に分け実施した。

分岐管とノズルの解析は分岐管入口から各ノズルの出口までを対象として、管路内に発生する流れの偏りを単相流解析にて検証した。

フリージェットとバケットの解析は管路内の水が大気に放出されるため空気と水の気液二相流解析を適用した。管路内の流れの偏りを気液二相流解析の流入条件に適用した結果、ノズル出口からバケットまでの解析が従来の単純円形ジェット解析から現実的なフリージェットの变形を考慮した解析ができ、流れ解析によるペルトン水車効率の解析精度を従来から約25%向上することができた。

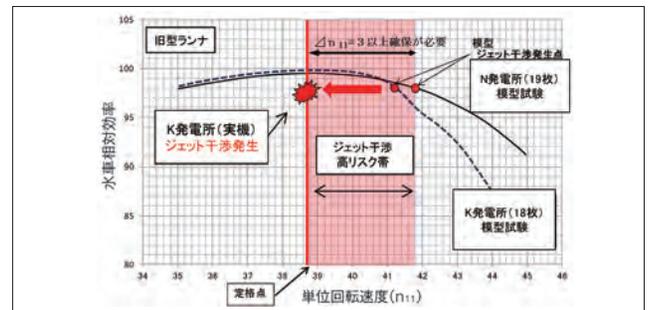


第1図 流れ解析

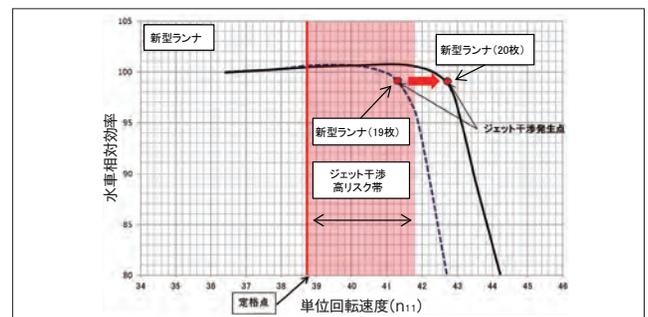
### 3 バケット枚数と影響評価

高比速度ペルトン水車はバケット枚数が少ないと、1バケットが水を受ける時間が長くなり、かつランナが高速で回転するため、次のジェットまでに水の排出が不完全となりジェット干渉のリスクが高くなると予想される。そこで、旧型ランナを採用したK発電所とN発電所の特性比較(第2図)を実施した。バケット18枚のK発電所の実機ではジェット干渉が発生したが、バケット19枚のN発電所の実機ではジェット干渉が発生しなかった実例よりジェット干渉高リスク帯を定格点から $+3(n_{11})^*$ に定めた。

$$* n_{11} \propto N/\sqrt{H}$$



第2図 旧型ランナのジェット干渉リスク



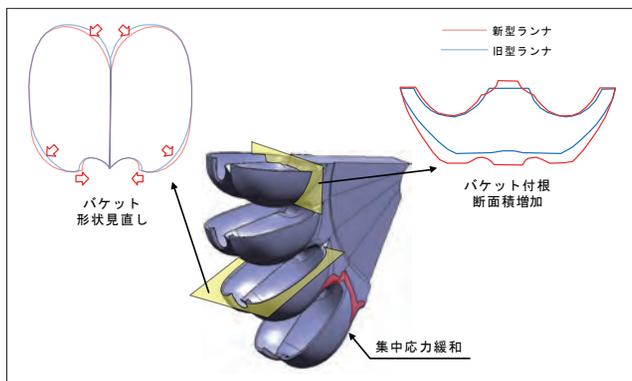
第3図 新型ランナのバケット枚数検討

この知見から新型ランナのバケット枚数によるジェット干渉発生リスクを検討(第3図)した。

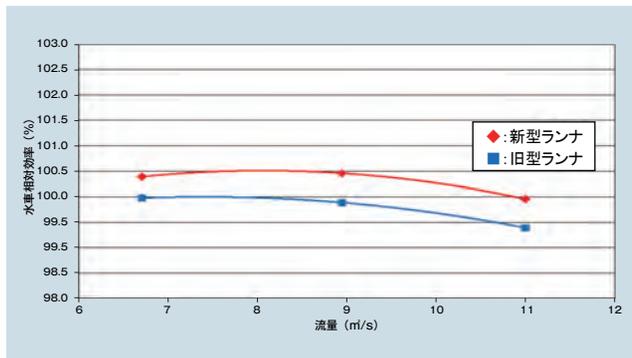
バケット19枚ではジェット干渉高リスク帯にあるが、バケット20枚にすることでジェット干渉発生点は高 $n_{11}$ 側にシフトし、ジェット干渉リスクを回避できるという結論を得た。

## 4 水車の効率向上

水車の大幅な効率低下につながる切欠きからのジェットの漏れを防ぐため、切欠き幅や先端部のバケット形状の見直しとバケット内面の整流効果の向上を目的に水切りからバケット付根の内面形状の見直し(第4図)を流れ解析により検証した結果、新型ランナは概ね0.5%効率の改善ができた(第5図)。



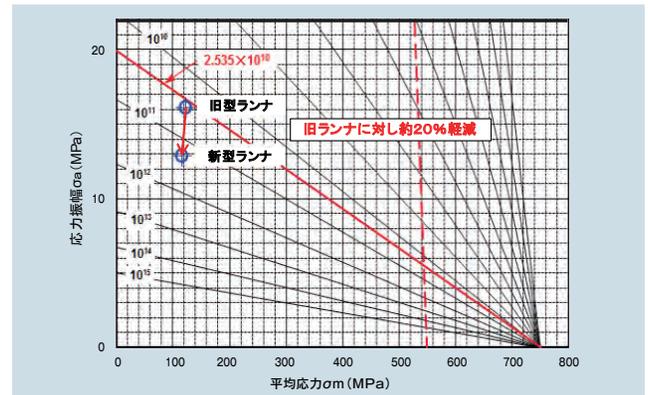
第4図 ランナ形状の最適化



第5図 新旧型ランナの水車相対効率の比較

## 5 バケットの応力軽減

新型ランナではジェット干渉を回避するためにバケット枚数を20枚にする必要があるが、バケット枚数が増えることで隣合うバケット同士の隙間が狭くなることからバケット付根部分の応力が懸念される。そこで、バケット付根の断面積の増加や集中応力緩和のための形状の最適化による応力軽減策(第4図)を検討し、FEM解析を実施した結果、応力振幅値は旧型ランナに対し約20%の軽減を図ることができた(第6図)。



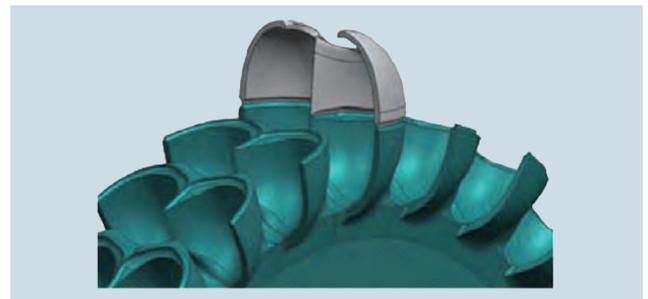
第6図 バケット付根部の応力振幅値比較

## 6 新たなランナの製作方法

高比速度ペルトン水車は回転速度の高速化によるランナのコンパクト化を図っており、従来のペルトン水車の製作方法では一体鋳造品をグラインダーにより仕上げ加工を行うため、狭隘なバケット付根部分の形状加工の品質確保が困難であり、鋳造の凝固過程における冷却スピードの違いからバケット付根部分に鋳造欠陥が生じやすいなど、一体鋳造によるランナの製作限度にある。

新型ランナはバケット枚数を1枚増やし20枚とするため、加工クリアランスは更に低下する。その中で、バケット付根部分の応力軽減形状の加工精度の確保や製作時の欠陥発生リスクの軽減を図る必要がある。そこで、新たなランナの製作方法について検討した。

ランナ内側のディスクを単純形状の均質な無欠陥の材料から機械加工によりバケット付根部を成形し、別途機械加工したランナの一部を後から溶接する製作方法(第7図)について検討し、適用可能な見通しを得た。この工法により設計形状を高品質で製作することが可能となり、鋳造欠陥のリスクも回避できる。



第7図 溶接による製作方法

## 7 まとめ

高比速度の6射ペルトン水車である二軒小屋発電所、北又渡発電所に新型ランナを採用した場合、98万kWhの年間発生電力量の増加が期待できる。今後、二軒小屋発電所のランナ取替で採用する予定である。



執筆者/岡崎優太