

**IEA 水力実施協定 ANNEX 11 水力発電設備の更新と増強
第二次事例収集（詳細情報）**

事例のカテゴリーとキーポイント

Main : 1-c) 水系一貫水資源開発（総合開発計画、水利権等）

Sub : 2-a) 電気機械装置の技術革新と適用拡大

プロジェクト名	: Sisteron 水力発電所のスラスト軸受とフランシス水車の改修工事
国、地域	: フランス
実施機関	: EDF（フランス電力会社）
実施期間	: 2009年～2014年
更新と増強の誘因	: (A) 老朽化と故障頻発 (a) 効率向上 (b) 耐久性、安全性、信頼性向上
キーワード	: 改修、スラスト軸受、フランシス水車/ランナ、性能

要旨

Sisteron 水力発電所は、落差 110m でフランシス水車 128MW×2 台により構成されている。運転開始後 35 年間を経過して、発電機器に慢性的な重大な問題の兆候が見られ、運転は次第に制限的になりリスクが大きくなっていった。発電運転を確実にいき、機器の性能全体を増強するために全体的な改修が計画された。

スラスト軸受と水車の機械的部品（接水部）が交換された。個々の新しいスラスト軸受は、自己油圧調整技術を用いた軸受パッド支持型スラスト軸受と、機器の起動/停止をより高い信頼性で行うための給油システムを備えている。新しいランナは模型実験の結果、2～5%効率が向上するような新しいブレード形状を有している。機器は部分負荷での運転が予測されるので、ドラフトチューブでの圧力変動を減少させるため、主機の上部から主軸に設けられた同芯孔を通してランナコーンに至る軸吸気システムが備わっている。ガイドベーンおよびその操作機構は、補修して使用されるボトムリングとヘッドカバーを除いて交換された。新しい軸封装置により僅かな漏水が予想される。ガイドベーン操作機構を、ガイドベーンの異物噛み込みや開度ズレが生じた時、それぞれのガイドベーンと操作レバーとの間の摩擦力によるトルク伝達方式とし、互いに干渉しないよう改造された。組立時には、軸受変位や振動レベルを低減するために、シャフトラインの調整を慎重に実施した。

1. プロジェクト地点の概要（改修前）

Sisteron 発電所は、フランス南東部 Durance 川に沿った地下発電所で、1975 年に運転を開始し、2 台のフランシス水車、32km の開水路と内径が 6m で長さが 140m ある 2 本の水圧管路、落差 110m により合計 244MW の出力を有する。35 年間を経過して、発電機器が慢性疾患的な重大な問題の兆候が見られ、運転は次第に制限的になりリスクになっていった。運転を確実にいき、機器の全体性能を増強するために全体的な改修が計画された。

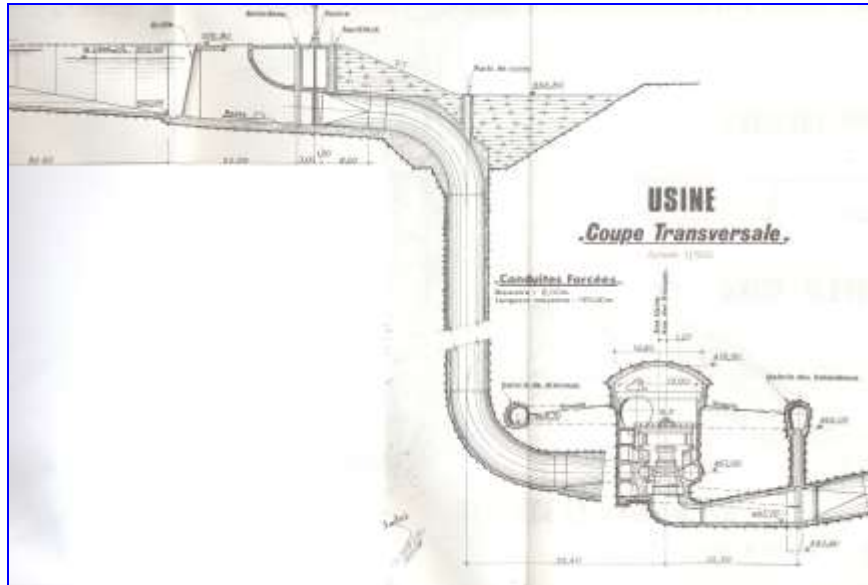


図 - 1 水力発電所断面図

2. プロジェクト（更新/増強）の内容

2.1 誘因及び具体的なドライバー

① 状態、性能、リスクの影響度等

(A) - (a) 老朽化/故障頻発－効率向上

ランナの性能低下が現場での計測で確認された。著しい性能改善のために新しいハイドロ（新しいハイドロ設計による新ランナ、新ガイドベーン形状、既存の三角フィン給気方式を軸芯給気システムと交換）が設計される。

現場での性能に関する計測精度（ $\pm 1.2\%$ から $\pm 2\%$ ）を新ハイドロ設計に織り込んだ。しかしながら、最悪のパターンを想定しても肯定的な結果が得られる。従って、新ランナは全体のハイドロ性能として最低でも 1.6%、2 台で年間 11,700MWh の電力量増加をもたらす。

表 - 1 水理性能の推定及び計測

推定および計測記録	最適効率	加重平均効率	計測の不確かさ
原現場計測値(1979)	Reference (基準)	Reference (基準)	$\pm 2.0\%$
新ライナー予測値(2010)	Ref. + 3.9%	Ref. + 5.1%	
模型実験(2011)	Ref. + 3.7%	Ref. + 5.4%	$\pm 0.24\%$

(A) - (b) 老朽化/故障頻発－耐久性、安全性、信頼性向上

既存の水力機器は慢性的な重大な問題の兆候を示し、運転は次第に制限的になり危険が大きくなっている。発電運転を確実にを行うために全体的な改修が計画された。

表 - 2 障害と修繕範囲

解決すべき障害	修繕範囲
<p>スラスト軸受の過熱 (パッドと潤滑油) 軸受パッドのホワイトメタルでの線形クリープの発生</p>	<p>新スラスト軸受</p> <ul style="list-style-type: none"> ○ 自己油圧調整技術 (各軸受パッド間のスラスト荷重バランス) ○ 始動、停止時の強制給油システム ○ 外部冷却システム
<p>ディストリビュータ (ガイドベーン操作機構) のひずみ、変形</p> <ul style="list-style-type: none"> ○ ガイドベーンからの漏水 ○ 調相運転ができない ○ ガイドベーンの一連のプレストレス (偏荷重) 増大による障害 ○ 発作のリスクと永久歪み 	<p>新水密性能の高いガイドベーン操作機構 (補修して使用する上カバーとボトムリングは除く)</p>
<p>軸芯線が損なわれることによる振動状態</p> <ul style="list-style-type: none"> ○ 傾斜 ○ 案内軸受隙間増大 ○ ケーシング/軸受架台取付面の傾斜 ○ 軸継手損傷発生の可能性 ○ 発電機案内軸受の過熱 	<p>軸芯線の改修</p> <ul style="list-style-type: none"> ○ 既存軸受の維持修繕 ○ ケーシング/軸受架台取付面の再調整 ○ 工場での水車シャフト点検&補修 ○ 発電機軸継手フランジ面の点検&再調整および再孔加工 ○ 新水車軸封装置 ○ 発電機案内軸受の新水冷却システム

② 価値 (機能) の向上
(該当なし)

③ 市場における必要性
(該当なし)

2.2 経緯

2009 以前:	FS 調査と基本設計調査
2009:	入札
2010:	設計調査
2011:	機器製作
2011-2012:	2 号機現場作業
2013-2014:	1 号機現場作業
2014:	試運転終了

2.3 内容 (詳細)

1-c) 水系一貫水資源管理 (総合開発計画、水利権等)

Sisteron 水力発電所は、流れ込み式発電所群の末端に位置し、他の発電所を随える主要な発電所である。また、同発電所は制圧弁やバイパス弁等を備えておらず、発電所に流れ込む河川水は、すべて発電して下流側へ流さなければならず、Sisteron 発電所で障害が発生した場合、この発電所の溢水電力量のみならず他の発電所の運転にも影響し、その損失電力量は多大なものとなる。そのため、Sisteron 発電所の電気機械設備は、信頼性の高い運転を確保する必要がある。



図 - 2 地理的状況

2-a) 電気機械装置の技術革新と適用拡大

新しい溶接構造ランナは、マルテンサイト系ステンレス材で、ランナクラウンおよびバンドを有する 13 枚ブレードで構成され、回転ラビリンスは一体化されている。既設の三角フィン（ドラフトチューブ内上部に設置）は、新ランナの下側に、主軸同芯孔から給気される渦防止システムに置き換えられる。自動給気弁（スプリング式弁）が発電機の上部に取り付けられ、ドラフトチューブの圧力変動を減少するため自動給気させる。空気は、主軸同芯孔からランナコーン部に導かれ（軸継ぎ手部はシール）、給気が不要な時の逆流を防止するボールチェック弁を介して給気される。給気弁は、水車発電機部分負荷運転時にランナ下流側の圧力減少に伴い自動的に開く。

既設のスラスト軸受の 10 個のスラストパッドは、鉛系合金（80%）のホワイトメタルで、冷却水コイル管を備えた軸受油槽内に設けられたスプリング支持方式であり、主機起動時のジャックアップ装置は備えていない。新しい設計でより高い信頼性が得られる。

パッド(pad)の枚数は部分的な極圧の減少とより厚い油膜を形成して、よりよい運転条件を生むために 14 箇所へ増やした。上カバーと一体構造となったスラスト軸受架台（円錐状）を流用するため、設計計算は、その構造（既設 10 個のパッドに密着した 10 箇所補強材）が新しいスラスト軸受荷重（最大荷重 620 トン）でも確実に適合するように行った。既設のスラストカラー（回転リング、2 分割）は、シャフトに組み込み後、点検及び再加工して流用した。

新軸受パッドは、スズ系のコーティング（80%）メタルでカバーされているが、油圧調整器（設計最大圧力 73 bars）の上に配置されている。この油圧調整器は弾性体金属製送風機(bellows)でそれぞれ油圧配管により連結されており、各軸受パッドの軸方向のスラスト力がバランスするように設計されている。この油圧調整器の中心は球面軸受となっていて、油圧調整器の油圧がなくなった場合でもスラスト軸受機能が損なわれないようになっている。

頻繁な停止・起動（3 回/日）操作を安全に行うため、高圧（160 bars）の給油システムにより、パッドの表面に十分な厚さの油膜を作り出す。給油ポンプは、通常運転用とバックアップの 2 台ある。

軸受の新冷却システムは、潤滑油系統への水混入リスクを低減し、維持管理アクセスを容易にするため、給油／給水システムをコントロールするために外置きとする。給油系統は、スラスト軸受タンクから始まり各ユニット、冷却システムを経由して元に戻る。冷却能力 400kW の二重交換機が、通常/バックアップ方式での運転を可能にし、全体システムの信頼性をさらに向上させている。給油循環ポンプも通常とバックアップの 2 台ある。全ての冷却システム機器と給油ポンプはユニット毎に分けられ、外に置かれている。

既設機の上カバーとボトムリングは工場にて点検・補修して流用し、ガイドベーンおよび操作機構は全て交換された。

交換した部品：ランナシール (ラビリンス)、ガイドベーン、上・下カバーウェアライナー、ガイドベーン軸受ハウジングおよび軸受、ガイドベーン操作機構リンク (レバー、レバーアーム、リンク、ガイドベーン軸、ブッシング、弱点ピン)、ゲートリングおよびサーボモータ。

上・下カバー用の新ラビリンスは、工場で加工し、組み立てられた。新ガイドベーン軸は、分解可能な Vリングシールで 2 段に設けられた。

ガイドベーン機構は、油圧で作動する 24 枚のガイドベーンにより構成され、ガイドベーンとそのレバー間の摩擦によるトルク伝達システム、各ガイドベーンの同期操作から逸脱 (ガイドベーン弱点ピン折損時) した際の緩自閉速システム及び各ガイドベーンの弱点ピンを有している。

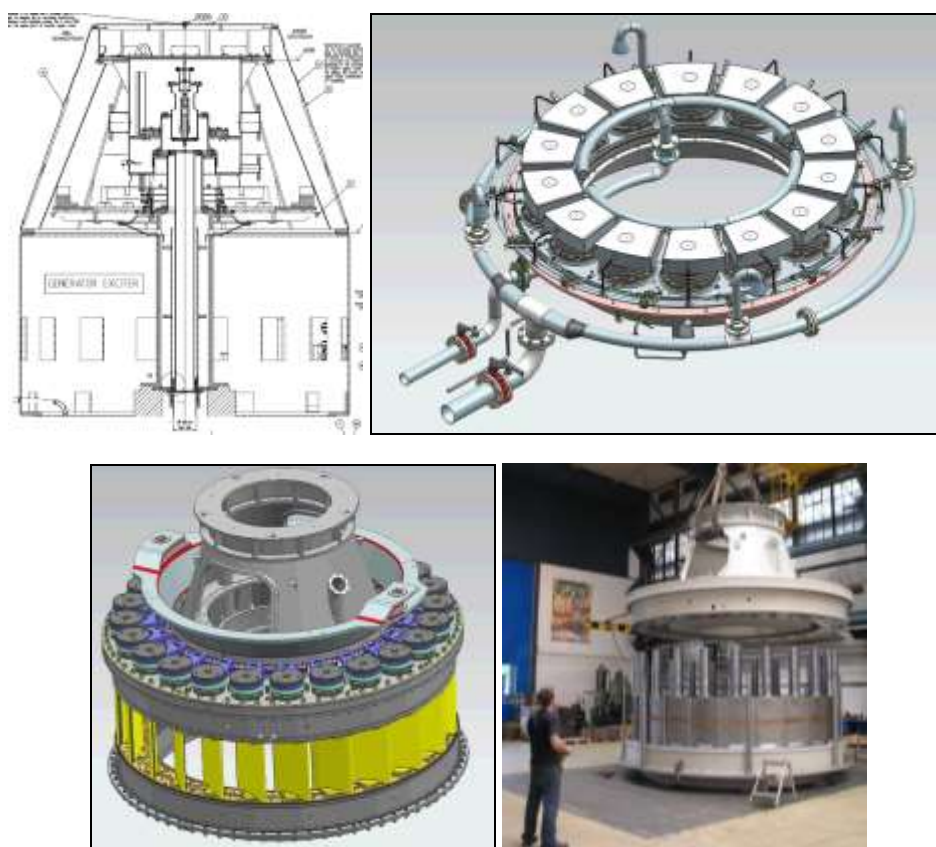


図 - 3 ユニット上部に設置される空気調整弁—新しいスラスト—新しい分配器

3. プロジェクトの特徴

3.1 好事例要素

- 水車発電機主軸に設けた同芯孔から水車ランナへの給気システム
- スラスト軸受：パッド数を増やすことで面圧を下げ、運転状態を改善した。
- スラスト軸受：外部冷却方式とすることで漏水の回避、保守性の改善、冷却水制御の容易性が図られた。
- 各ガイドベーンに弱点ピンを設けることで、ガイドベーン全数の破損リスクを回避した。
- 回転軸のアライメント：ケーシングの軸受架台取付面（水平面）の現地機械加工で改善した。

3.2 成功の理由

このプロジェクトの成功の主因は、ランナの性能（効率）改善と水車機械的構造物の改良を併せて行ったことであった。実施する前に既設ランナの CFD 解析を行うと共に最近のランナハイドロ設計手法を取り入れた新ランナを設計、その数値解析を行って発電量増加を図った。性能を改善した新ランナの適用が、水車機械的構造物の改良費用を十分にカバーできるものであり、既設機の問題点は致命的ではなく、更新工事により利益をもたらすことができると思われた。

逸水電力量損失を最小にするために、短期間で現地工事を行うことで利益を生み出すことができた。また、各々の水車発電機を 6～7 ヶ月で現地更新工事を実施・管理できたことが、成功のもう一つの要因であった。

4. 他地点への適用にあたっての留意点

3.1 項参照

5. その他（モニタリング、事後評価等）

（該当なし）

6. 参考情報

6.1 参考文献

P. Laurier, B. Spennato, J.-Y. Segura, B. Boulet, SISTERON Hydro Power Plant (France), Refurbishment of Thrust Bearings and Francis Turbines, Design Stage and Preliminary Commissioning Tests, HYDRO 2013, Innsbruck, Austria, 2013.

6.2 問合せ先

会社名: EDF

URL: <https://www.edf.fr/>