

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）

カテゴリーとキーポイント

- Main: 2-a) 電気機械装置の技術革新と適用拡大
 Sub: 1-b) 投資支援策（電力買取制度(FIT)、RPS 制度、資金援助、税の控除等）
 1-d) アセットマネジメント、戦略的アセットマネジメント、ライフサイクル・コスト分析
 1-f) 環境保全及び改善

プロジェクト名	: Rånåsfoss水力発電所増強計画
国、地域	: ノルウェー、Akershus郡、Sørums市
実施機関	: Akershus Energi 社
実施期間	: 2010年 ～ 2016年
更新と増強の誘因	: (A) 老朽化/故障頻発(a,b,d) (C) 発電機能向上の必要性(a,b)
キーワード	: 機器の経年劣化、老朽化した水車発電機器の更新、新しい設計、発電電力量増加

要旨

既設 Rånåsfoss I 発電所は 1922 年に運転開始した。90 年近く経過し、主要機器の補修作業が頻繁に広範囲にわたって実施されるようになった。

2007 年の後半に、Akershus Energi 社は、更新増強計画の検討のため FS 調査を行った。2009 年から水理設計とその結果に基づく模型実験を実施し、模型実験の結果から発電機器と土木工事の仕様書を作成した。

2010 年 6 月の投資決定の後、10 月にプロジェクトは新発電所建屋の建設から始まった。2011 年 4 月、6 台のうちの初号機が工事着手し、2013 年 6 月から運転に再開した。最後のユニットは 2016 年には完了する予定。

各ユニットは、先行するユニットの更新工事で得られた経験を活かしながら順次更新工事が進められる。既存の機器は工事中の減電を極力抑えるため、更新されるまで通常運転を行う。既設運転と更新工事を並行して実施する為には、請負業者、計画管理者、運用責任者の緊密な協力が欠かせない。

1. プロジェクトの概要（更新／増強前）

位置

Glomma 河は延長 600 kmを超えるノルウェー国最大の河川で、4 つのカウンティ（郡）内を流れて、Oslo Fjord の Fredrikstad で海に注ぐ。河は 1985 年まで木材の運搬に使用され、木材産業にとって非常に重要であった。Glomma 河では、およそ 40 の水力発電所で年間約 10TWh の電力量、これはノルウェー国内水力のほぼ 10%を生み出している。Rånåsfoss 滝（ダム発電所）は、1922 年に最初のユニットが発電を開始した。首都 Oslo の北東約 40 kmの Sørums市 Municipality に位置し、首都圏へ電力を供給している。



図1 Rånåsfoss発電所の位置図（Kartverket出典）

歴史

既設の Rånåsfoss I 発電所 (R1)は、Akershus 郡により、1918 から 1922 年にかけて建設された。プロジェクトは 3 門のゲートを有するダムと発電所を含む。有効落差は 12.5m である。6 台の複流渦巻フランシス水車で、2 台のランナーは横軸で発電機とつながっている。各ユニットの、最大使用水量約 90m³/s、出力 9MW。3 台はスウェーデン KMW 社製、残り 3 台は Voith 社製。

発電所建屋は歴史的に価値があり保存が検討されている。Akershus 郡から、毎年 3,500 から 7,500 の人々がこの発電所を訪れる。図 2 は発電所の横断面を示す。

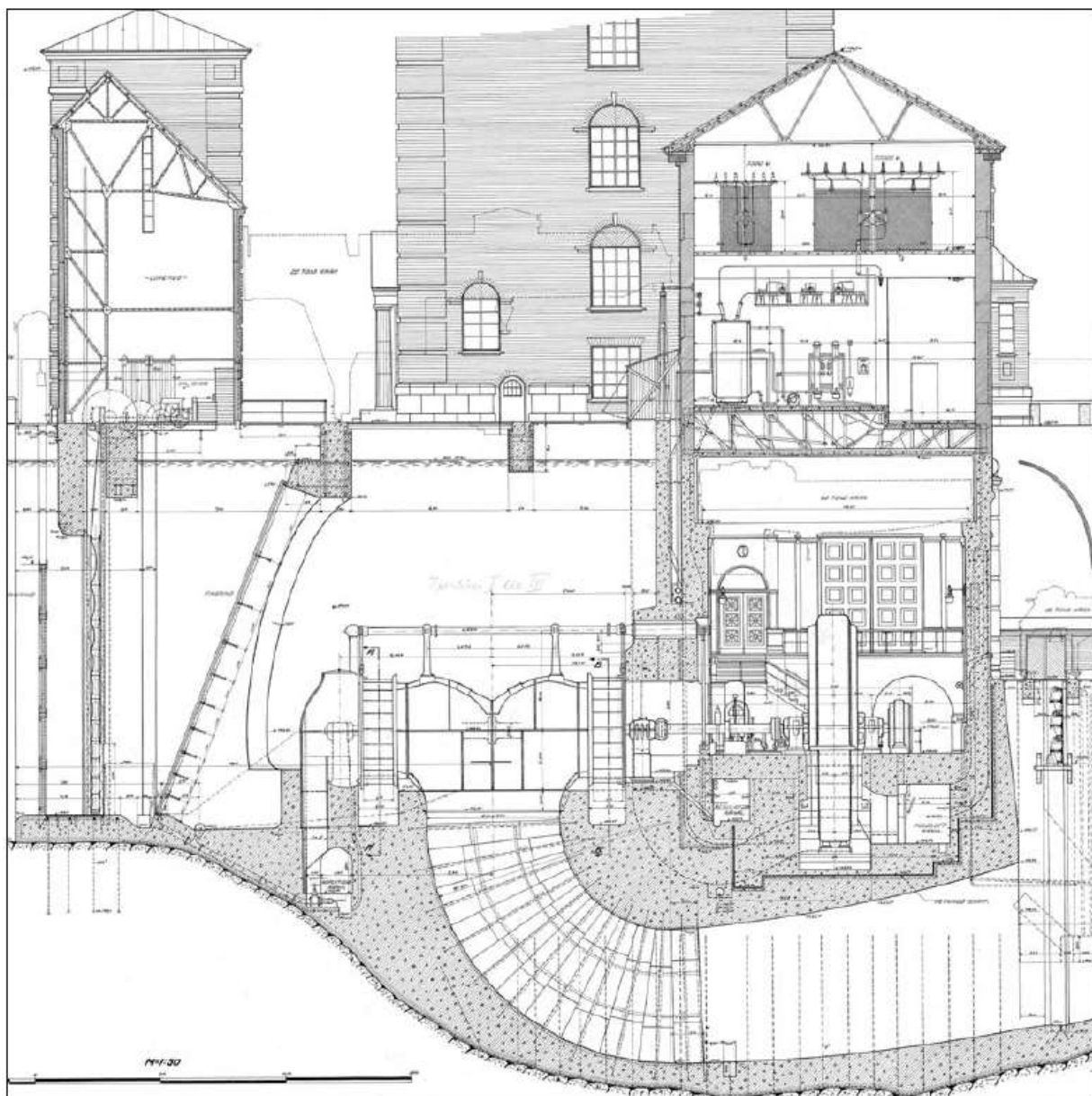


図 2 Rånåsfoss I 発電所の断面図

1980 から 1983 年にかけて、Rånåsfoss II 発電所(R2)が西側河岸に建設された。1 台のカプラン水車が設置され、使用水量 $400 \text{ m}^3/\text{s}$ 、出力 45 MW。R1 と R2 とともに、Akershus Energi 社によって所有、運転されている。Rånåsfoss 発電所の地域を図 3 に示す。

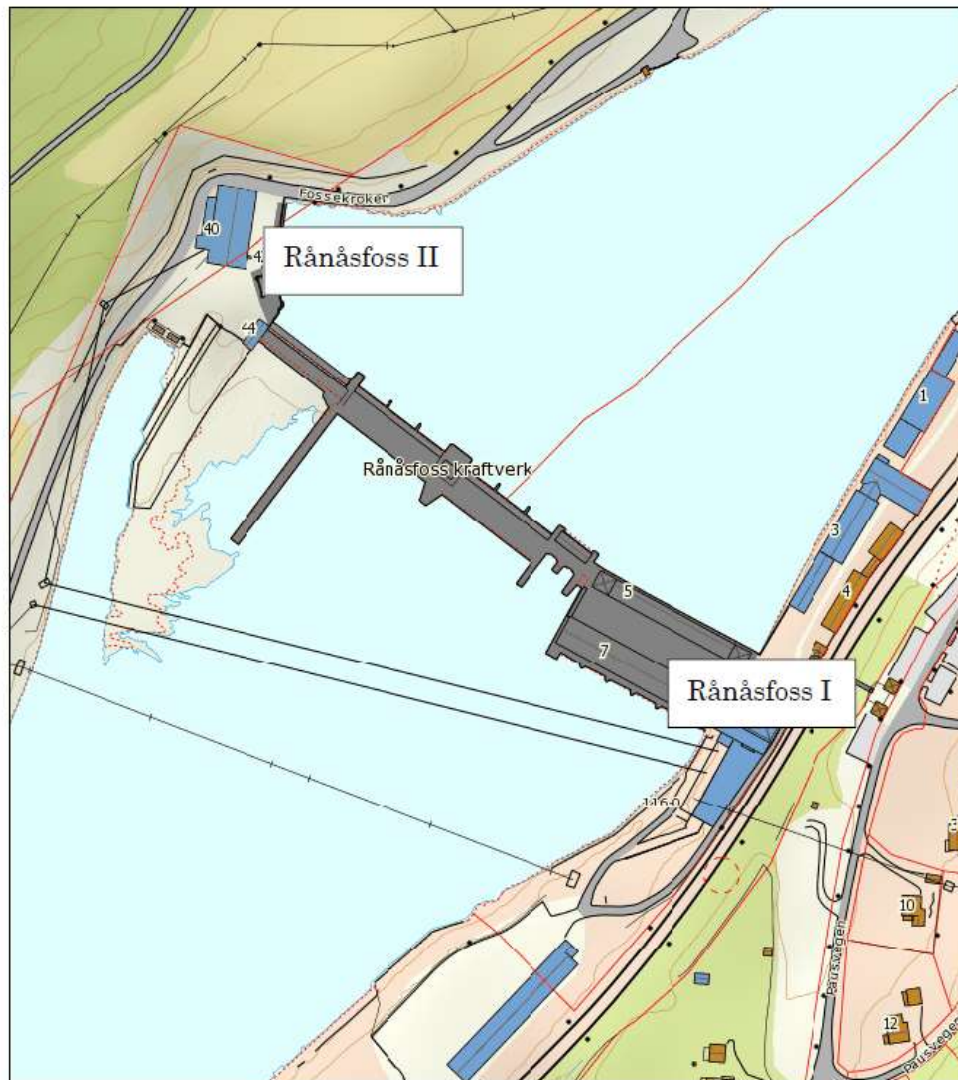


図3 Rånåsfoss 発電所の建設計画 (Kartverket 出典)

水文学

R1 と R2 は流れ込み式発電所で、Glomma 河の平均流量は $680\text{m}^3/\text{s}$ 、現在の発電所の合計最大使用水量は $940\text{m}^3/\text{s}$ である。しかしながら、河川の流量は、図 4 に示すように、年間を通じて変動する。平均的河川流量年で、年間に 2－3 か月間溢水（無効放流）する。更に、近年河川流量は増加しており無効放流も増加している。

発電電力量

R1（更新前）の年間平均発電電力量は 220GWh であった。

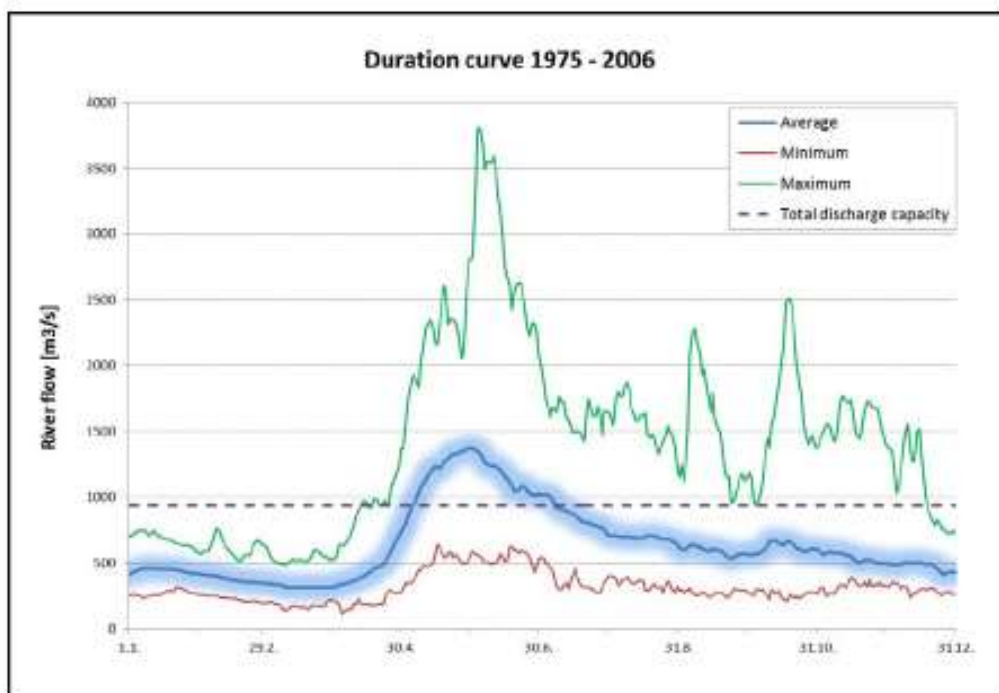


図 4 Glomma の Rånåsfoss 流量曲線、R1 及び R2 の合計使用水量



図 5 2013 年春の洪水期の Rånåsfoss I 及び III

2007年以前のRIの主要な改修

R1の初期運転開始のころ、ランナのトラブルが3台のユニットで見つかり直ちに交換された。後で、ランナブレード間の補強材が設置された。

残りの3台は、主軸が主な問題であった。図-2に示すように、長さ12mの主軸の途中に一つの軸受けもない。全ての主軸は少なくとも1回は交換されている。主軸応力は、ランナのひび割れを引き起こし毎年のように溶接補修作業を繰り返している。

1970年代の終わりまでに、水車ガバナ(調速機)は機械油圧式から電気油圧式へ切り替えられた。ガバナは1990年代にはデジタル化され、全ての水車と発電機が改修された。

上述する主要な改修はさておき、RI の主要機器はオリジナルのままであった。このため運転者である AE 社は、重要な機器の補修作業が、年々頻繁に、広範囲になっていくことを経験した。10 から 15 年以内に大きな障害が発生するリスクがかなり高いと判断された。

2. プロジェクト（更新/増強）の内容

2.1 誘因及び具体的ドライバー

プロジェクト実現の主な誘因は、老朽化に伴い機器の効率が低下していたことであった。効率を上げて発電量を増やすため、更新が計画された。原因については、2.3 項以降で詳しく説明する。

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

更新した E&M 機器は、旧式の機器より効率にすぐれる。さらに、総容量が増加し、発電量が増加する。

(A)-(b) 老朽化/故障頻発－耐久性、安全性、信頼性向上

Rånåsfoss の古い E&M 機器は、40 年以上にわたる稼動により消耗している。更新せずに稼動を続けると、ますます安全性が低下し、時間と共にリスクが高まっていく（保守コストと時間がかかり、重故障リスクが高くなる）。新しい機器は、数十年間、耐久性と安全性を保証する。

(A)-(d) 老朽化/故障頻発－保守性の向上

置き換えられたプラントの保守は、すでに時間と資源を消費し、それに比例して費用がかかる状態にあった。新しい Rånåsfoss III 発電所は最新の機器を備え、保守作業が簡略化される。時間と資源の使用が節約され、それに応じて費用が大幅に低減される。

② 価値（機能）の向上

(C)-(a) 発電機能向上の必要性－効率向上、増設、出力・アワー増

新しい機器（新しい発電所）では、水 1 m³ 当たりの効率が上がる。総設計流量と設備容量（Rånåsfoss I および II）は低かった。したがって、総容量を増やして水損失を減らし、総発電量を増やすことが有益であった。

(C)-(b) 発電機能向上の必要性－発電用途の変更、機能付加

2012 年にスウェーデン・ノルウェー電力証書市場が導入されたことは、投資決定に不可欠ではなかったが、新規発電の付加価値をもたらす。

③ 市場における必要性

スウェーデン・ノルウェー電力証書市場は、貴重な収入増加につながる。

2.2 経緯

2007～2008	FS調査(Akershus Energi/Sweco/Voith)
2009～2010	詳細設計、水理解析、模型実験(Voith)
2009	新発電機室の建築設計コンペ
2010.6	投資決定
2010～2011	建屋の建設（請負者:Kruse-Smith）
2011～2016	6水車発電機の更新－土木、水車発電機(AF請負者)、Voith(メーカー)
2016.2	6号機（最終）運転開始

2.3 内 容（詳細）

2-a) 電気機械装置の技術革新及び適用拡大

最適な機器と材料を調達することが重要であった。対策は、タイプ、製造者、費用、これまでの経験、専門家の助言など、調査と最新の知識（最新技術）に基づくものであった。

1-d) アセットマネジメント、戦略的アセットマネジメント、ライフサイクルコスト分析

これらの検討は（ノルウェーの他の電力会社と同じく）Akershus Energy ASでも続いており、Rånåsfoss I/III水力発電所でも同様である。総合的な計画および経済的・戦略的検討は、古いRånåsfoss I水力発電所を新しいRånåsfoss III水力発電所に置き換えるという決定につながった。いくつかの選択肢が特定された。費用見積もり、予想発電量および収入、費用便益分析などのパラメータが含まれた。故障確率も考慮された。

1-b) 投資支援策（電力買取制度(FIT)、RPS制度、資金援助、税の控除等）

共通ノルウェー・スウェーデン電力証書市場（新規再生可能発電を開発するインセンティブ）はプロジェクトの経済に重要であるが、プロジェクトを実現する委員会決定の決め手となった。

1-f) 環境保全および改善

既存の建屋は文化的価値が高く、新規発電所を計画し建設する際に、これらの価値をまとめて保存することが課題となった。

以降では、カテゴリー基準の追加的な詳細について説明する。

FS調査

2007年、Akershus Energi社によってFS調査が開始された。その目的は、RI発電所更新計画の代替案を確認すること。調査はSwecoコンサルとVoith水力により実施された。

AE社は、建物の歴史的価値を考慮し建物は可能な限り保存されるべきだと重視した。調査では、仮締切で河川処理する（工事区域を囲う）案はコストと減電から現実的ではないとして、既設取水口ゲートと放水口ストップログにより土木工事境界を区分し、河川浸水を防ぐこととした。

いくつかの代替案が確認され、コスト便益計算により評価された。基本案は既設機タイプをベースとした更新案で、新しい水車として、バルブ型、カプラン型、S型及びプロペラ型も検討した。

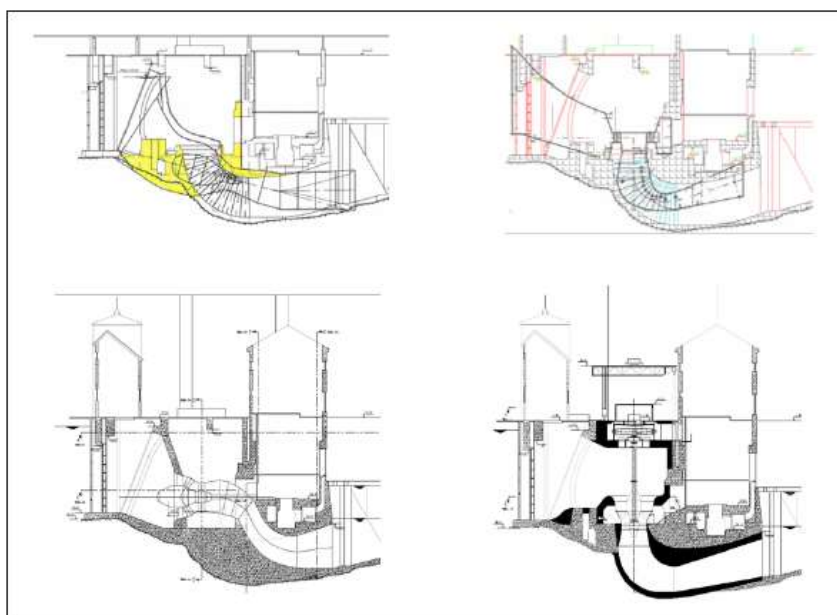


図6 FS調査におけるタービン型式の見極め

図-6の右下に示す、露出形立軸プロペラ水車が最適案として勧告された。主な理由は、限定的な土木工事とうまく調和しながら発生電力量を増加させることができることと、隣接する既設機を運転しながら機器の更新増強が可能なことである。

FS調査では、電力量を増加させるためには、水車の高効率化よりも使用水量を増加させることがより重要であることが認識された。ランナ径は土木構築物の範囲内でできるだけ大きく、ランナ・ハブはできるだけ小さく、スパイラルケーシングは入口コーンと置き換えられた。RIIのカプラン機で河川流量を完全調整できるので、新ユニットでは「入切り」運転が可能である。新ユニットは、立軸で元々の取水槽に設置され、既設機器と同時に運転できるようにしている。従って、工事実施中の損失電力量は極小化される。増加する年間発生電力量は40GWhである。

既設の記念碑的な発電機室は、基本的に既設発電機と共にそのまま残した。ドラフトチューブと取水口は水理特性の改善のために改修された。

詳細設計

2009年、Akershus Energi社は詳細設計とFS調査で勧告された模型実験のための公開入札を行った。Voith Hydro社が、取水口、ドラフトチューブも含めた水車の詳細水理設計に携わった。CFDによる解析手法が反復設計段階で多用された。完全相似模型実験が、米国York市にあるVoith社の研究所で実施された。FS時の推定値を上回る水車出力、効率が模型実験で検証された。高い流量と効率により、水車出力は14%近いアップとなった。年間増加電力量は、FSの40GWhに対して60GWhと推定された。

発電機は、厳しい軸封要件を施しながら、最高水位より低い位置に設置された。制御機器は主に古い建屋内に配置された。模型実験の結果に基づき、機器と土木工事の技術仕様書が作成された。

2009年の後半、AE社は新発電機ホールの建築設計コンペを実施した。採用された設計は、主としてガラスと鋼材による現代的な発電機ホールとなった。

スウェーデン・ノルウェー電力証書の導入

共通のノルウェー・スウェーデン電力証書市場は、新規再生可能エネルギー発電のインセンティブとして、2012年1月に設立された。2009年9月7日以降に着工された発電所（更新と増強を含む）は、証書市場に参加する資格を得た。Rånåsfoss IIIの建設工事は、2010年10月に開始された。市場の設置はプロジェクトに不可欠ではないが、年間60 GWhを新規に発電する付加価値がもたらされる。

プロジェクト管理

Akershus Energi社は、この程度のプロジェクトには内部のプロジェクト管理要員は配置しない。外部要員が、プロジェクト管理とAE社と緊密に協力しながら従事する技術アドバイザーの両面で雇用される。AE社の運転要員は、発電所の運転・維持管理に確実に焦点を合わせるために、このプロジェクトの全てのフェーズに関与させられる。健康と安全はプロジェクト実施において、最大の関心事であり優先されるべきもの。

このプロジェクトには多くのインターフェースがある。土木工事と機器据付工事の間のインターフェースが予想される。既設を運転しながら隣接箇所で改造工事を行うことから、各々の作業調整は難しい課題である。全ての現場での調整業務に運転要員を関与させることが重要である。

ほとんど全ての制御、自動運転機器が古い建屋に設置されている。従って、これらの機器への配管やケーブル類が新旧建屋間に、かつ、機器間に、配置されている。新設機を設置する時も一部の既設機は運転するので、ケーブルルートと機器の配置は、既設機運転のためのケーブル/機器として使用できるように調節、適合させねばならない。ケーブル配管類は、更新工事が始まる以前は必要なレベルまで詳細に検討されていなかった。このことがAE社に対し、時間と費用を増大させる結果となった。

工事实施

Akershus Energi社がRIをRIII(Rånåsfoss III)に更新増強する投資決定を行ったのは2010年6月である。同年10月から2011年4月にかけて既設建屋に隣接して新発電機ホールが建設された。発電機の冷却水を建物の暖房に利用する熱回収システムを有する新空調システムが設置された。



図7 Rånåsfoss IIIの新たな発電所建屋の内観及び外観

既設ユニット停止後、全ての水車部品が解体され移動される。主にドラフトチューブ周りのコンクリートと岩盤が、古いドラフトチューブライナーと共に取り壊される。（下記の写真を参照）



図8 二つの旧フランスス水車の分解



図9 取水槽及びドラフトチューブのコンクリート及び岩石の破碎

新設ユニット配置の横断面を図10に示す。水理設計に基づきドラフトチューブの設計が変更される。ドラフトチューブの出口はコンクリートで覆工される、また、コーン部と曲り部は鋼板で補強される。ドラフトチューブと入口コーン共に、分割搬入され現場で組み立てられる。

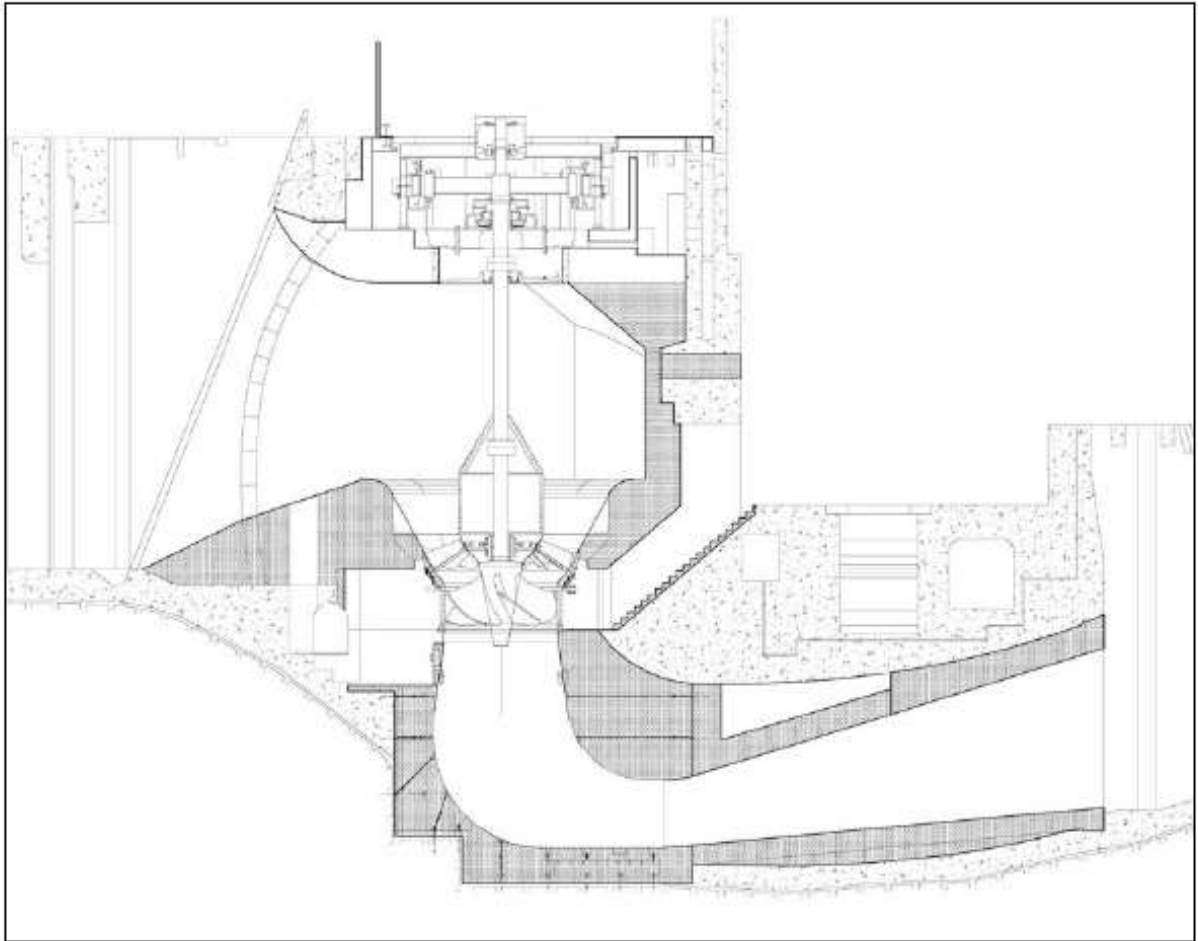


図 10 新規ユニットの配置断面図（Sweco 製図）



図 11 ドラフトチューブ及び入口コーンの組み立て

ドラフトチューブと入口コーン埋設後土木工事が始まり発電機レベルまで工事が実施される。ボルトが取水槽の側壁に打ち込まれ、重量 1300 トンの発電機床がこのボルトで吊り下げられる。



図 12 ボルト据付及び発電機床コンクリート打設の準備

土木工事が終了後、埋設部品がサンドブラストで研磨され、塗装される。そして、主機の据え付けが開始される。水車部品は、現場に搬入、組立のために直接ピット内へ吊下ろされる。

寸法が大きいため発電機は現場で組み立てねばならない。このため、温度変化の要件が厳しい組立ホールが建設される。ステーターの組立て後、ローターが搬入、発電機ピットの中へ吊下ろされる。



図 13 タービン据付及びランナーのバルブ固定



進 捗

各ユニットの据付工事工程は、既設機停止から新設機試運転までおよそ2年ある。工事による減電を極小化するため6台の更新工事が連続して行われる。既設機は、隣接する更新工事と併行して運転される。

ほぼ同一の6台の機器が更新増強される。2013年12月現在のプロジェクト工事工程を表1に示す。工事工程は、初号機での工事経験に基づき、以降の工事では更に進捗が図れて品質にも影響が少なく実施できるだろうとAkershus Energi社の期待が反映されている。

表1 旧機器の停止から新設機器の運転開始までの工事施工工程

[illegible]

発電容量および発電量

以下の表 2 に、Rånåsfoss I/III のデータを示す。

発電所	発電能力	発電電力量
Rånåsfoss I	54(6×9MW)	220GWh
Rånåsfoss III	81(6×13.5MW)	280 GWh
増加量	27	60 GWh

費用見積もりは、8 億ノルウェー・クローネ（2015 年 6 月の為替レートで 1 億～1 億 500 万米ドル）である。

3. プロジェクトの特徴

3.1 好事例要素

RI の古い機器をRIIIの新しい機器、設計に置き換えることにより、予測可能な、そしてコスト効率の高い発電が長期間確保される。維持管理と補修作業の必要性を低減させる。年間増加電力量は 60GWh と推定され、これはグリーン証書対象として認定される。この増分電力量は、既存のライセンスの範囲で獲得され、環境への影響もない。

3.2 成功の理由

- 投資決定前の初期検討段階
 - ・ FS調査：費用対便益に基づき代替案の確認と評価
 - ・ 詳細設計：水理解析と模型実験、模型実験に基づき作成された水車発電機器と土木工事の技術仕様書
- プロジェクト管理: AE社の運転要員の全ての段階での関与と現場調整
- 計画及び実施段階における健康と安全に対する高い関心

4. 他地点への適用に当たっての留意点

老朽化した設備と余剰水を有する将来の類似プロジェクトのベンチマークとなり得る。

5. その他（モニタリング、事後評価等）

技術解決策と実施方法が、工事実施中および実施後に、内部で、サプライヤーと請負者と共に評価された。年間増加発生電力量がモニターされ分析される。

6. 参考情報

6.1 参考文献

なし

6.2 問合せ先

会社名: Akershus Energi

URL: www.akershusenergi.no