



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：1-b) 投資支援策（電力買取制度(FIT)、RPS 制度、資金補助、税の控除等）
Sub：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-a) 国及び地方のエネルギー政策
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	: Iveland II 水力発電所
国名（州／県を含む）	: Aust-Agder 郡、ノルウェー南部の Iveland 地方自治体
実施機関／団体	: Agder Energi Hydro Productio
実施期間	: 2005～2012 年 計画立案 2013～2016 年 建設
更新および増強の誘引	: (A)経年劣化と故障の頻発(a,b) (C)発電機能向上の必要性(a)
キーワード	: 新設発電所と既設発電所の並存、新しい再生可能エネルギー 生産、水損失の低減、流れ込み式水力発電所

要旨：

Iveland I 水力発電所は 1949 年～1955 年の期間に建設され、後の施設に比べると設計流量が非常に少なかった。Iveland I 水力発電所は、長年にわたって Otra 川の水力発電のネックと見なされていた。Iveland I の増強は 1980 年代から計画されていた。90 年代には電力エネルギー市場が先行き不透明になり、生産能力増強のための新規 Iveland 発電所への投資は、保留となった。

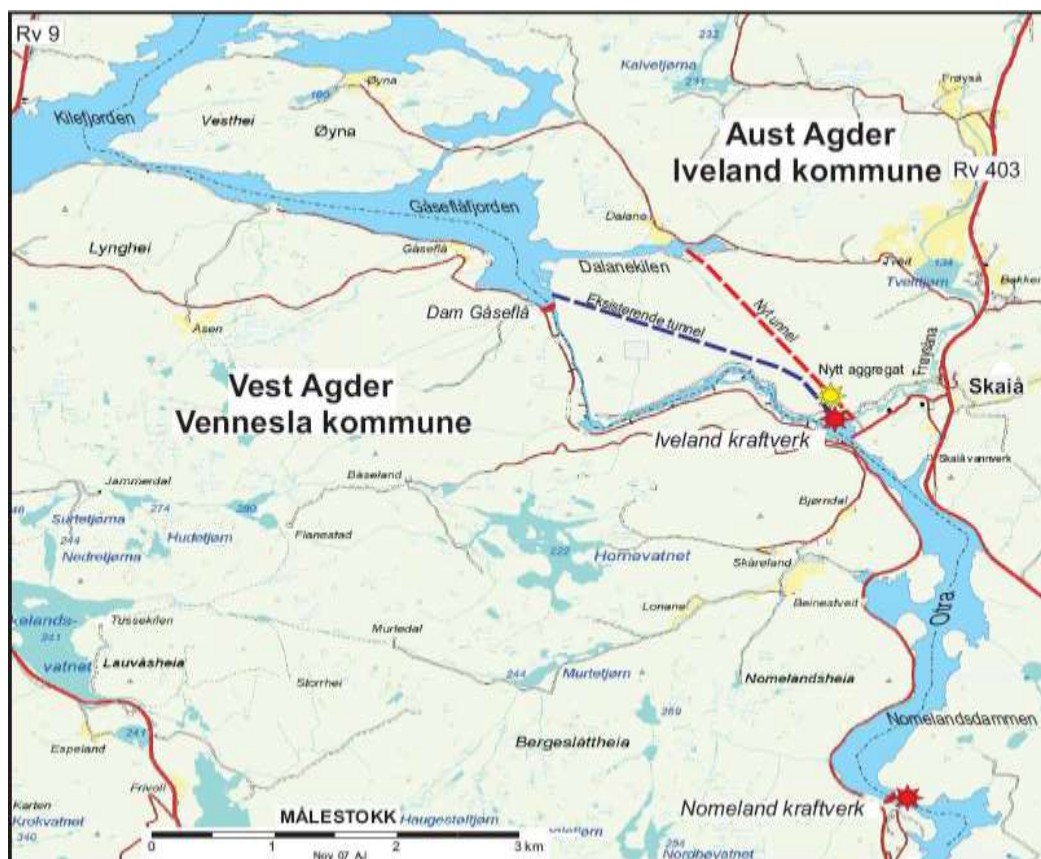
2005 年に Agder Energi 社は、Iveland の能力増強計画に取り組んだ。プロジェクトの主な誘引は、新しい更新可能な水力発電エネルギーの生産能力を増やすことであった。Iveland に新しい第二発電所を建設することにより、Iveland を流れる Otra 川の大部分の水が、水力発電に利用されることになる。Iveland II が 2016 年に稼動すれば、Iveland のピーク時総供給力は倍増し、年間総発電量は約 45% 増加する。

ノルウェー・スウェーデン電力証書市場の導入は、プロジェクトの重要なインセンティブであった。プロジェクトは、温室効果ガス排出量を削減するという 2020 年目標に関しても建設的に働いた。

新発電所 Iveland II は、既設発電所 Iveland I と並行して建設され、同じダム、同じ取水口貯水池を利用するが、新発電所には個別の取水口やトンネルが設けられる。Iveland I は建設期間中ならびに Iveland II の建設終了後も稼動する。

建設工事は予定どおり進んでおり、新しい発電所は 2016 年に稼動を開始する見通しである。現在の費用見積もりは 7 億～7 億 5,000 万ノルウェー・クローネ（9,000 万～1 億米ドル）である。

IEA - INTERNATIONAL ENERGY AGENCY
IMPLEMENTING AGREEMENT FOR
HYDROPOWER TECHNOLOGIES AND PROGRAMMES



既設（青）および新設（赤）発電所と水路

並列する新しい Iveland II 発電所で発電所を更新する強力なインセンティブは、Iveland I の設計流量が河川の平均流量を下回るという事実である。

さらに、Iveland I 水力発電所では、機器の経年化により、数年以内の技術更新が必要である。Iveland II 水力発電所により、Agder Energi は Iveland I 水力発電所の保守停止中に発電損失を軽減することができる。

プロジェクトは、更新と共に拡張を実施することが適切なソリューションであることを実証した。並列するトンネルおよび発電所によってリスクが軽減され、建設期間中に発電を続けることができる。また、拡張と更新は、信頼性と安全な発電を数十年にわたって保証する。

1. プロジェクトの概要（更新／増強前）

Iveland1 水力発電所は、1945～1955 年の間稼動したが（設備 3 基が連続稼動）、川を利用した水力発電のために能力をフルに利用していなかった。当時は、地方および一部の地域需要を満たすことが目的であった。

表 1 Iveland I 発電所の特徴

項 目	諸 元
最大出力	45 MW
落差	50 m
タービン型式	フランシス（3×15MW）
使用水量	116 m ³ /秒
トンネル長さ	2.6 km
トンネル断面積	50 m ²
貯水池容量	280 万 m ³
ダム型式	鉄筋コンクリート

IEA - INTERNATIONAL ENERGY AGENCY
IMPLEMENTING AGREEMENT FOR
HYDROPOWER TECHNOLOGIES AND PROGRAMMES

Iveland1 発電所は、小さな（取水）貯水池、ダム 1 基（鉄筋コンクリート）、長さ 2.6 km の狭いトンネル、設備 3 基（概ね類似）で構成され、総発電量は 45 MW である。発電所は地上にある。落差は、小さな Gåsenflofjorden 湖（川の拡幅）の取水口から、やはり川の拡幅である Nomelandsfjorden の放水口までの 50m である。Nomelandsfjorden は、次の下流発電所である Nomeland の取水池である。Iveland2 の平均年間発電量は、現在約 350 GWh である。

Iveland1 の最大使用水量は 116 m³/秒であり、その一方、Iveland の平均流入量は 130 m³/秒である。従って、最大使用水量は平均流入量を下回っている。小さな容量の貯水池があるだけなので（上流域には貯水池があるにしても）、水の損失は大きい。そのため、容量を増やせば発電量が増加する可能性がある。

上流域には貯水池がある。流域（本流および支流）には、やや小規模のものも含め、合わせて 16 基の水力発電所がある。Iveland HHP（RoR 流れ込み式）と同じ型式のものもあり、寿命および操業状態に関してはばらつきが大きい。一部の発電所は設備の近代化が必要である。また、増強（容量増大、落差またはその他措置の向上）も有益であることが多い。

Iveland2 の稼動により発電量が増加し、これは容量増強期間における拡張の事例となる。また、Iveland1 の設備は増強され、これも発電量の増加に寄与する。



既設発電所の写真

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理由は、既設の発電所の能力が、望ましい形で河川の流水量を利用するには十分ではなかったことにある。能力が拡大すれば、発電量は増加する。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

ここでの不具合は、水源の利用率が不十分であることも意味する。設計流量と設備容量を増やして、利用率を向上させることができる。総容量を 45 MW 増やすと、平均年間発電量は 150 GWh 増加する。全体的実施には、Iveland I 水力発電所の低効率ユニットの更新が含まれる。

IEA - INTERNATIONAL ENERGY AGENCY
IMPLEMENTING AGREEMENT FOR
HYDROPOWER TECHNOLOGIES AND PROGRAMMES

(A)-(b) 老朽化／故障頻発－耐久性、安全性、信頼性の向上

追加タービン（Iveland II）では、Iveland I および Iveland II の組み合わせにより保守時間と休止期間が短縮し、数十年間にわたって耐久性と安全性が向上する（Iveland I 水力発電所の 3 基のタービンが更新予定である）。

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（発電所）では、水 1 m³ 当たりの効率が上がる。ただし、既存の発電所は、現時点で妥当と言えるものとは異なる前提で建設されている。総設計流量と設備容量は比較的低く、水と発電量の損失がやや高い。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、新しい Iveland II 発電所への投資インセンティブとなった。プロジェクトの最終計画および実施は 2012 年までに開始されたが、証書市場が準備中であるという有力な信頼できる見通しがあった。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。Iveland II の建設工事は、2013 年に開始された。

③市場における必要性

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、新規の再生可能エネルギー発電に対する投資インセンティブが生じた。

2.2 経 緯

2005 年	計画立案
2007 年	新発電所の建設認可申請 (ノルウェー水資源エネルギー管理局 (NVE) 宛)
2009 年	NVE から石油エネルギー省へ推奨 (OED)
2011 年	OED から許可取得
2013 年 5 月	同社取締役会による投資決定
2013 年 6 月	動員および建設工事の開始
2016 年 1～3 月	充水およびテスト
2016 年 4 月	Iveland 2 水力発電所が稼働開始予定

2.3 内 容（詳細）

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

水力発電を含め、新しい再生可能エネルギー発電の開発に対する強い誘引は、2012 年からの共通スウェーデン・ノルウェー el-certificates（電力証書）市場の導入である。新発電所の収益は、発電電力量の売電と電力証書の市場販売の両方から発生する。Iveland2 発電所が生産した余剰（再生可能エネルギーとして認定された追加の）電力は、そのような証書の対象となる。

IEA - INTERNATIONAL ENERGY AGENCY
IMPLEMENTING AGREEMENT FOR
HYDROPOWER TECHNOLOGIES AND PROGRAMMES

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

Iveland II は、改修および増強プロジェクトであり、Agder Energi 社の水力発電ポートフォリオの内、採算の取れる範囲内にあるものに関する最適な開発を対象とした長期戦略の一部となっている。これらの検討は（ノルウェーの他の電力会社と同じく）Agder Energi でも続いており、Iveland 2 水力発電所でも同様である。包括的計画および経済・戦略的検討を経て、タービンと発電機を更新する決定が下された。費用見積もり、予想収入、正味現在価値（NPV）などのパラメータが含まれた。故障確率は、ライフサイクルコストに関して考慮された。最終範囲は、これらの検討に基づいて決められた。

1-a) 国及び地方のエネルギー政策

ノルウェー政府は、改修（増強、既設水力発電所の拡張）の多い期間に再生可能エネルギー量を増やすことは、重点目標であると表明した。このような施策は、未開発地域で発電所を建設するのに比べ、多くの場合、環境への影響が小さい。

2-a) 電気機械装置の技術革新及び適用拡大

電気機械（E/M）機器の技術進歩および展開拡大は、ある程度、Iveland の既存のフランシスタービン更新時に問題となるが、おそらくタービン設計に関する既存のノウハウを超えるものではない。

以下にカテゴリーの詳細な補足を示す。

更新方法の選定

新発電所 Iveland2 の設計検討は、同社のエンジニアリング・オペレーション・スタッフが、ノルウェーのエンジニアリング・コンサルタントである SWECO の支援を得て、実施した。検討の背景には、現在の低い設計流出量と既設設備の老朽化があった。こうした状況が検討に加味された。さまざまな選択肢が検討されたが、主に二つの選択肢に要約することができる。

1. 新しいタービンの羽根車による増強。年間平均発電量の増加分は推定 20 GWh、コストは約 1,950 万ノルウェー・クローネ（350 万米ドル）と推定される。すなわち、個別原価は 1.0 ノルウェー・クローネ/kWh（18 米セント）である。kWh 当たりの経済性は向上したといえそうだが、明らかに総収益を増やせる可能性があった。
2. 発電容量が 90 MW に増加、容量が倍増。年間平均発電量の増加分は推定 150 GWh、コストは約 7 億ノルウェー・クローネ（350 百万米ドル）と推定される。すなわち、個別原価は 4.5 ノルウェー・クローネ/kWh（75～80 米セント）である。kWh 当たりコストは、選択肢 1 より高いが、総収益はそれよりも多い（例えば、正味現在価値（NPV）基準）。

選択肢 1 の推定コストは、その時点までの価格水準に合わせてあり、現在のノルウェー・クローネ/米ドル相場で換算している。選択肢 2 については、推定コストを現在の価格水準に改定し、技術的解決策の見直しと修正を行っている。

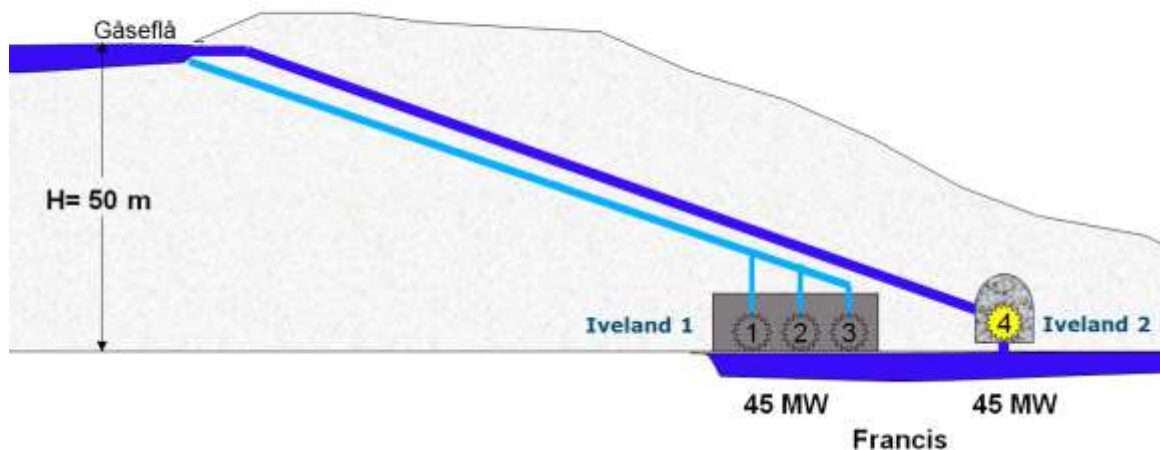
その結果、最終的には、新設備 1 基を導入し発電容量を高め、既設設備 3 基を増強することであった。これには、新しい取水口、新しい水路および新しい地下発電所を必要とした。

IEA - INTERNATIONAL ENERGY AGENCY
IMPLEMENTING AGREEMENT FOR
HYDROPOWER TECHNOLOGIES AND PROGRAMMES

既設の Iveland1 発電所に加え、新しい第二発電所を建設することにより、河川の流量を今よりもっと利用することができるようになる。Iveland1 発電所はまた、Otra 川にある他の発電所が高い設計流出量を持っているため、Otra 川のカスケード水力発電の障害となっている。

新しいシステムでは、2 本の並列トンネルがある。発電所は独立して稼動できるため、水損失を最小限に抑えつつ、計画保守を柔軟に実施することができる。新しい地下発電所は、既存の地上発電所の近くに立地する。

Iveland Power system



Iveland 水力発電所システム

Iveland II の認可申請書は作成後、ノルウェー水資源エネルギー管理局に提出された。NVE は許可を交付するよう勧告し、石油エネルギー省(OED)は 2011 年に許可を交付した。

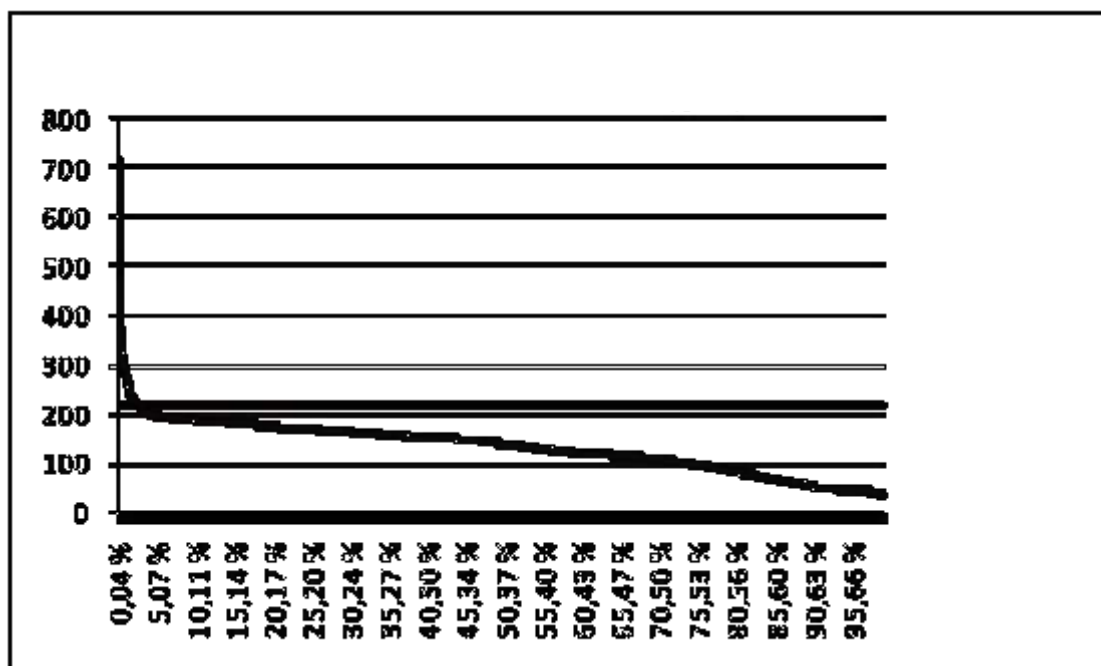
プロジェクトの経済的効果と投資計画は、入札、発電、その他の条件を基にしっかりと練られた。これは取締役会の決定（2013 年 5 月）において基礎となる資料であった。

プロジェクト計画

プロジェクトが環境に与える影響について、Agder Energi 社の環境部と外部機関により、徹底的な調査を実施した。この調査の一部は、環境フロー・リリースの必要性和提案の検討対象となった。

水文調査およびオペレーション・リサーチが行われた。これは、新発電所がどのように Otra 川の水力発電全体に影響を及ぼすのかについて示している。また、この調査は、新発電所の最適化の基礎、それに基づいた発電所 2 基による新たな総発電容量および発電量を示している。

下図は Iveland 地点の Otra 川の河川流量曲線を示している。Iveland I 及び II 発電所の合計使用水量は $216 \text{ m}^3/\text{s}$ であり、ほぼ 1 年中河川流量を利用するのに十分な能力を有している。



赤線：河川流量曲線(m³/s)

青線：Iveland I 及び II 発電所の合計使用水量(m³/s)、Iveland I 発電所の現在の使用水量は 116 m³/s である。

持続曲線は、選択した設計流量を実証する簡単な方法である。曲線は約 200～220 m³/秒を超える流量で非常に急になり、最適な設計流量がこの範囲にあることを示す。また、時間の 70%において、現行および新規の設計流量の間の流量が発生することも示している。

持続曲線は最適な設計流量をおおまかに示すが、発電量はさらに高度なシミュレーションモデルも使用して算出される。シミュレーションモデルには、Otra 川流域の水力系統全体が含まれる。

建設期間

上記の調査結果および許可要件に基づき、入札書類が作成された。トンネルおよび発電所区域の地質調査が実施された。結果は、計画、入札書類、入札、履行のために重要である。

次のステップは、プロジェクト実施のための詳細な計画の作成であった。建設工事は 2013 年 6 月に始まった。建設期間は約 2.5 年であり、その後テストおよび運転期間が続く。

簡潔に述べると、建設の初年度にはトンネルと発電所のための掘削が行われる。吹出し管と渦巻きケーシングは、2014 年夏の後半に設置される。発電所のコンクリート工事は、その後に行われる。最後にタービン、発電機およびその他の機械的・電気的設備を設置する。テスト期間と 2015 年/2016 年冬の充水によって、プロジェクトの実施が完了する。商業運転の開始は 2016 年 4 月に予定されている。



既設（左）および新設発電所（右）とそれぞれの水路のイラスト

建設工事は予定どおり進んでいる。Agder Energi とコンサルタント、土木下請業者、主要供給業者との協力が十分に組織され、作業が適切に実施されている。

Iveland II 発電所の特徴

項 目	諸 元
最大出力	45MW
有効落差	50m
タービンの型式	フランシス
使用水量	100 m ³ /秒
トンネル延長	2km
トンネル断面積	85 m ²

Iveland II 発電所の建設前後の諸元

項 目	建設前	建設後	合計
最大出力(MW)	45	90	45
設計使用水量(m ³ /秒)	116	216	100
発電電力量(GWh/年)	350	500	150

総予算は 750MNOK で、最終的な費用としては 700～750MNOK と見積もられている。

3. プロジェクトの特徴

3.1 好事例要素

-計画過程全体にわたる徹底した企画立案と最適化

3.2 成功の理由

これまで（計画及び工事実施期間）、このプロジェクトの成功要因は、概念研究の間に行われた徹底的な設計検討であり、それによって以下を含む発電所の最適化が可能になった。

- 環境
- 計画の実施およびオペレーション期間中の健康と安全
- 水力発電システム全体における Iveland2 のオペレーション
- Iveland1 および Iveland2 に関するより効率的なメンテナンス
- コスト最適化
- 効果的な実施計画

プロジェクト・タイムの残りの部分に関する成功の主要因は、要するに以下のようなになる。

- 健康と安全、無事故
- 環境への悪影響なし
- スケジュール通りの建設期間
- 予算内の建設コスト
- 計画通りの発電
- Iveland2 が Iveland1 と共に、Otra 川流域の発電システムを改善

4. 他地点への適用にあたっての留意点

このプロジェクトを計画中、健康と安全、環境およびオペレーションの最適化に関する多くの問題が浮かび上がり、解決した。この経験は今後のプロジェクトに向けて、重要な経験になると思われる。

5. その他（モニタリング、事後評価等）

2.3 項を参照にすること

6. 詳細情報

6.1 参考事項

なし

6.2 問い合わせ

会社名: Agder Energi 社

URL: www.ae.no