

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-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

Sub : 2-a) 電気機械装置の技術革新と適用拡大

2-b) 保護と制御に関するシステムの改良

プロジェクト名 : 熊川第一発電所改造工事
国、地域 : 日本、群馬県
プロジェクトの実施機関 : 東京電力株式会社
プロジェクトの実施期間 : 2014 年 2 月～2015 年 3 月
更新と増強の誘因 : (A) 老朽化/故障頻発
(C) 発電機能向上の必要性
キーワード : 土砂摩耗、メンテナンス、ランニングコスト

要旨

大正 11 年に運転を開始した熊川第一発電所は、主要設備の老朽化が著しいため、一括更新されることとなった。更新にあたり、補機類の省略ならびに更新後の水車修理の工期短縮・周期延長といった要素に重点を置いて機器選定を実施し、発電所のライフサイクルコストの低減を図った。

1. プロジェクト地点の概要（改修前）

東京電力 熊川第一発電所は群馬県吾妻郡長野原町に位置し、吾妻川支流の熊川の水を利用して発電する、出力 2,400kW の水路式水力発電所である（図 1）。下流には熊川第二発電所（1,600kW）、上流には県営の狩宿発電所（1,200kW）および狩宿第二発電所（61kW）がある。



図 1 熊川水系発電所 水系図

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) 老朽化/故障頻発

熊川第一発電所（図 1）は大正 11 年（1922 年）の運転開始から 90 年が経過し、これまでも部分的な設備更新により機能維持を図ってきた。しかしながら、水車ケーシングや主要変圧器、受電設備など、主要設備の大半が老朽化により更新時期を迎えていること、補機類が多くメンテナンスに人手を要していること、さらには発電所建屋に耐震上の問題があること、といった様々な問題が顕在化しているため、発電所を一括更新することとした。

(1) ケーシング

ケーシングは製造から 90 年が経過しており、壊食・腐食・摩耗による減肉が著しい。とくにステーパーンの一部では平成 17 年（2005 年）に実施した余寿命診断において余寿命 6 年程度という結果であり、鋳鉄製のため溶接補修も不可能であるため早急な更新が必要である。

(2) ランナ・ガイドベーン

珪砂を多く含む水質であるため流水部の摩耗速度が速く、水車修理を 7 年に 1 回程度の頻度で実施する必要がある。水車修理の都度、ランナライナやシートライナ、ガイドベーンの交換が必要である。

(3) 入口弁

入口弁は水圧操作式であり、サーボ内への土砂流入により操作不応動が発生している。また、弁体・弁胴共に腐食・摩耗による減肉が著しく、必要肉厚を下回る箇所も存在するほか、弁胴には最大深さ 19.2mm の線状欠陥が存在している。

(4) 主要変圧器

主要変圧器は昭和 35 年（1960 年）製で熱間圧延珪素鋼板を使用しているため、鉄心角部欠損変圧器である可能性があり、また微量 PCB 混入機器でもある。

(5) 受電設備、配電盤

受電設備や配電盤は経年 30 年以上であり、設備老朽化による不具合の増加、取替部品枯渇等の問題が生じている。

(6) 発電所本館建物

本館建物は老朽化が進んでおり、耐震基準値に対して 4 割程度の耐震強度しかない。



図 1 熊川第一発電所（更新前）

更新にあたっては，土木設備の流用による費用の削減，水車効率の向上による発電電力量の増加，水車流水部への土砂摩耗対策による水車修理周期の延伸，補機類の省略によるメンテナンスの省力化を図る。

表 1 熊川第一発電所 更新前後の諸元

項 目	更新前	更新後（計画値）
発電所出力 [kW]	2,400	2,600
年 間 発 生 電 力 量 [MWh]	16,900	19,200
発電所型式	水路式	水路式
最大使用水量 [m ³ /s]	2.230	2.230
最大有効落差 [m]	140.330	139.845

② 価値（機能）の向上

(C) 発電機能向上の必要性

水源である熊川は年間を通して安定した流量を有しており，熊川第一発電所の設備利用率は約 70%と非常に高い。そのため，水車効率の向上による増出力，および水車の材質改善や補機類の削減によるメンテナンス停止頻度の低下により，大きな増発電電力量の効果が見込まれる。

今回の更新により，貴重な再生可能エネルギーである水資源をより有効に活用できることとなり，年間 1000 ton 程度の CO₂ 排出量削減に繋がる。

③ 市場における必要性

（該当なし）

2.2 経 緯

1922 運転開始
2014 更新工事開始
2015 更新工事完了

2.3 内 容（詳細）

表 2 熊川第一発電所 更新前後の設備比較

機 器 名	数量	更 新 前	更 新 後
水車	1 台	横軸単輪複流渦巻フランシス水車 ・形 式 : VF-1RDS ・出 力 : 3,430kW ・流 量 : 2.780m ³ /s ・回転速度 : 600min ⁻¹ ・比 速 度 : 50.4m・kW	横軸単輪単流渦巻フランシス水車 ・形 式 : VF-1RS ・出 力 : 2,717kW ・流 量 : 2.230m ³ /s ・回転速度 : 750min ⁻¹ ・比 速 度 : 81m・kW
制圧機	1 台	油圧式制圧機	(設備省略)
入口弁	1 台	主 弁 : 水圧式スルース弁 側路弁 : 油圧式スルース弁	主 弁 : 電動式複葉弁 側路弁 : 電動式ニードル弁
圧油装置	1 式	常用油圧 : 1.47MPa 供給範囲 : 調速機・側路弁・制動装置 圧油タンク容量 : 280 L 集油タンク容量 : 640 L	(設備省略)
調速機	1 台	電気式調速機 油圧式ガイドベーンサーボ	電気式調速機 ハイブリッド式ガイドベーンサーボ
発電機	1 台	横軸回転界磁三相同期発電機 ・容 量 : 3,000kVA ・電 圧 : 6,600kV ・力 率 : 80% ・絶縁種別 : B 種 ・回転速度 : 600min ⁻¹	横軸回転界磁三相同期発電機 ・容 量 : 2,770kVA ・電 圧 : 6,600kV ・力 率 : 95% ・絶縁種別 : F 種 ・回転速度 : 750min ⁻¹
軸受冷却方式	1 式	外部循環水冷方式	自蔵空冷方式
励磁装置	1 台	静止形励磁装置	ブラシレス励磁装置
本館建物	1 棟	鉄筋コンクリート 2 階建て	鉄筋コンクリート 1 階建て
天井クレーン	1 台	手動吊り上げ装置	電動天井クレーン
設備構成（受電形態）		2LS-1CB（H 引き込み） 所内予備線なし（EG 接続）	1LS-1CB（T 引き込み） 所内予備線あり（配電線引き込み）

2-a) 電気機械装置の技術革新と適用拡大

2-b) 保護と制御に関するシステムの改良

(1) 水車型式および主機台数

年間を通じて流量が最大使用水量の 60%を下回る期間がほとんどなく、低出力での運転頻度が極めて低いことから、現状と同じく横軸フランシス水車 1 台が最適であると判断した。回転数は 600min^{-1} 、 750min^{-1} 、 1000min^{-1} の 3 通りを比較したが、発電電力量、イニシャルコスト、ランニングコストの 3 点での評価において最もバランスに優れる 750min^{-1} を採用した。最新のランナ設計により水車効率の向上が見込めるため、発電所出力は 2,600kW（増 200kW）となる予定である。

(2) 分解・組立の容易性を考慮した水車選定

水車選定にあたり、水車効率やイニシャルコストだけでなく、ランニングコストに係る分解・組立の容易性も評価に加味し、水車カバーにガイドベーンを組み込んだ状態で分解・組立できる構造の水車とした。これにより、ガイドベーンや操作機構部の分解・組立を他作業と並行して実施できるため、水車修理における分解・組立作業日数を、従来水車と比較して 15 日程度短縮できる。

(3) 流水部への土砂摩耗対策

これまで、流水部の土砂摩耗により水車修理をほぼ 7 年毎に実施しており、その都度ライナ類やガイドベーンの交換を実施してきた。特にガイドベーンについては、これまでもコルモノイ（自溶性合金）溶射による改善を試みているが、施工における熱処理が難しく、膜厚差に起因する内部応力により割れが生じ易いといった問題があり、期待した通りの成果を得られていない。

今回の更新では、ランナベーン、ガイドベーン、カバーライナといった流水部に、タングステンカーバイト系耐食耐摩耗用サーメットによる高圧・高速フレーム溶射（以下 HP/HVOF 溶射）を適用する。HP/HVOF 溶射は母材にほとんど熱影響を与えずに施工が可能であり、硬く緻密な皮膜の形成を現場でも可能にする技術である。HP/HVOF 溶射による流水面のコーティングにより、摩耗速度は既設設備母材の摩耗速度と比較して 50%以下に低減されることを見込んでいる。

(4) ハイブリッドサーボの適用

ガイドベーン操作にはこれまで油圧が採用されていたが、今回の更新におけるガイドベーンの操作方式としてハイブリッドサーボを適用することとした。

ハイブリッドサーボは制御用電動機、油圧ポンプユニットおよび油圧シリンダにより構成されており、従来の油圧サーボ、電動サーボに継ぐ新世代のサーボとして注目されている。現在の主流である電動サーボと比較して、構造がシンプルで部品点数も少ないためイニシャルコストは 50%程度軽減できる。さらにガイドベーン操作用電動サーボのネックであるボールネジを持たないため修理周期を長くできるばかりでなく、オーバーホールのための工場修理も不要である。

ハイブリッドサーボは、操作油として少量の油（20 リットル程度）を使用しているものの、油圧ポンプユニットと油圧シリンダが直結された短いループ内を油が循環するのみであるため、油流出リスクを極めて小さくすることができる。

(5) 補機類の省略

無拘束速度機の採用により負荷遮断時に許容できる回転速度上限が高くできるため、ガイドベーンの開鎖時間を遅くしてケーシングの水圧上昇値を下げることができ、制圧機を省略することが可能となる。また、大容量油圧操作機器が不要となることから、圧油装置の省略が可能となる。

さらに、自蔵空冷方式の軸受を採用することで、既存の軸受潤滑油循環装置や潤滑油冷却水供給装置を省略することができる。

(6) ICT (Information and Communication Technology) の活用

無人発電所においては、定期的な巡視により各機器の状態確認や温度・圧力・油面等のデータ収集を実施している。今回の更新において ICT を応用した機器状態監視システムを採用し、各軸受温度や鉄管水圧、ガイドベーン開度といった多くの発電所情報を遠方の制御所から確認できることとするため、巡視におけるデータ取得時間の短縮や、巡視頻度の低減といった効果が期待できる。

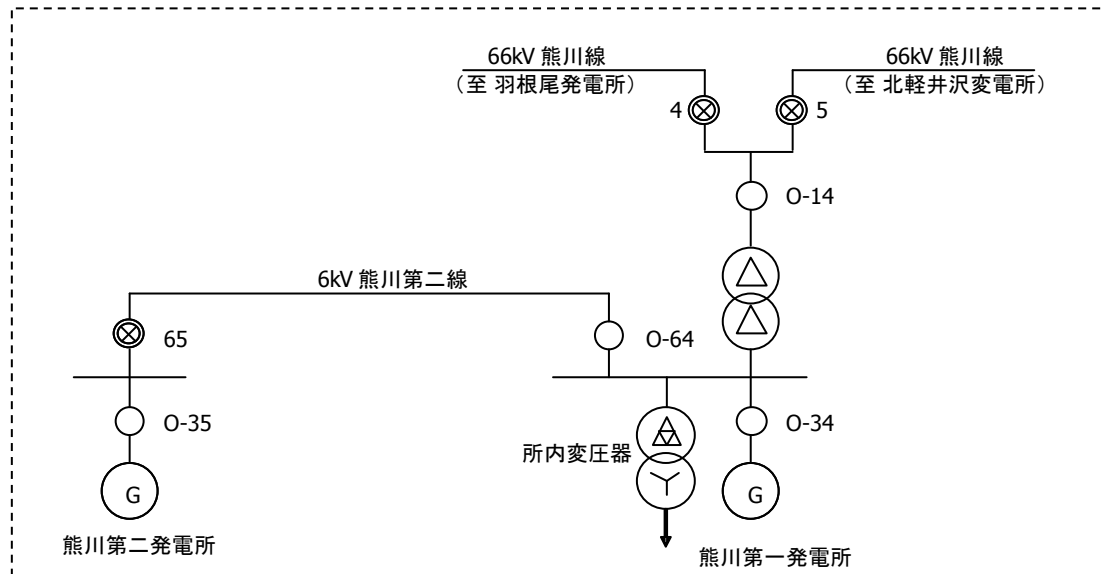
(7) 一体型配電盤の採用による発電所建屋の縮小

配電盤に一体型配電盤を採用することにより盤面数が減少し、配電盤の設置面積が縮小できる。よって、発電所建屋に配電盤室を設けず、水車発電機室の一端を高床式にし、配電盤をこの高床上に直列配置することとした。配電盤のある高床の下スペースは、分解組立時における回転子軸の旋回スペースの一部として、また分解部品置き場として有効に活用されることとなる。この工夫により、メンテナンス時の作業性を損なうことなく、水車発電機室に配電盤を設置し、さらに水車発電機室面積を従来よりも縮小することが可能となる。

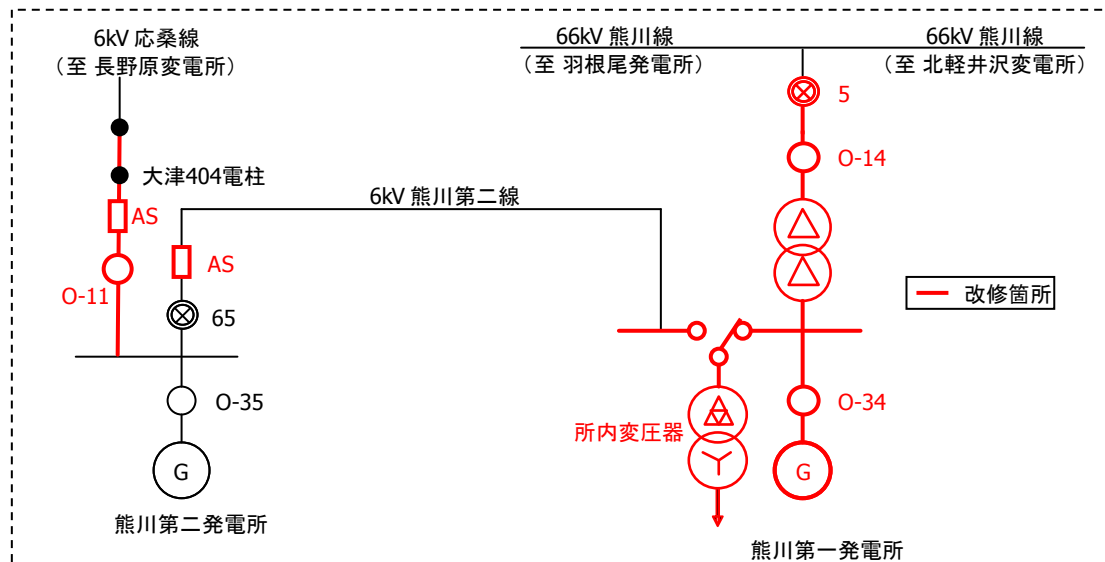
(8) 送受電設備の最適化

熊川第一発電所の下流に位置する熊川第二発電所は、6kV 熊川第二線により熊川第一発電所の母線を経由し、66kV 熊川線に連系する設備形態 (図 2 (a)) となっているため、熊川第一発電所の母線停止期間中は熊川第二発電所も連系先を失ってしまい、洪水電力を増加させる要因となっていた。

熊川第一発電所の更新工事に先立ち、熊川第二発電所の配電線連系工事 (図 2 (b)) を実施することにより、熊川第二発電所が熊川第一発電所の停止状態に関係なく独立して運用できるばかりでなく、熊川第一発電所も応桑線～熊川第二線という所内予備電源を得ることとなり、より安定した発電所運用が可能となる。



(a) 現状の系統連系



(b) 更新後の系統連系

図 2 熊川第一・第二発電所の送受電設備更新

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

図 3 に、熊川第一発電所更新工事における当初設計段階と設計確定段階とのイニシャルコストの比較を示す。補機類の省略やハイブリットサーボ適用による電気・機械設備の資材費および据付工事費の削減、発電所本館建物の床面積縮小による建物建築費の削減等により、イニシャルコストは計画当初の設計比で 30%程度低減される。

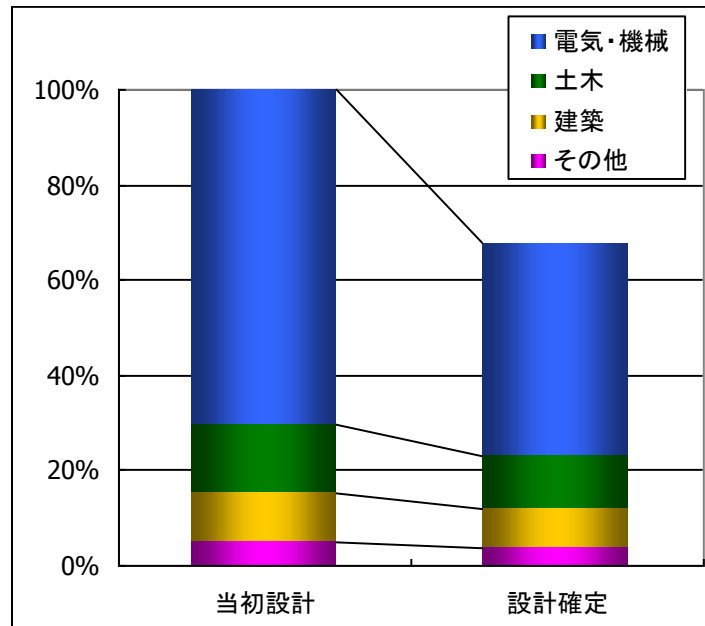


図 3 イニシャルコスト比較

(1) ランニングコストの評価

図 4 に更新前後のランニングコストの比較を示す。

水車修理費用については、ガイドベーンを水車カバーと一体で分解・組立できる構造としたことにより水車修理工期を短縮でき、現地施工費が低減できる。また、水車流水部の耐摩耗性が向上し、水車修理時にガイドベーンを取替える必要がなくなるため、水車修理 1 回あたりの資材費が低減でき、さらに水車修理自体のインターバルを長期化できる。その結果、1 年あたりに換算した水車修理費用は、更新前と比較して 50%以上低減される。

また、ハイブリッドサーボや無拘束速度機を採用したことにより、制圧機・圧油装置・入口弁操作水供給配管・潤滑油循環装置・潤滑油冷却装置といった多くの補機類が省略できる。設備が大幅にスリム化されることより、補機類の定期点検の削減、巡視時間の削減、トラブル頻度の低減、といった様々なメリットがあり、点検・補修費用およびこれに費やされる人件費が削減できる。

以上のコスト削減効果により、ランニングコストは更新前と比較して 25%程度低減可能である。

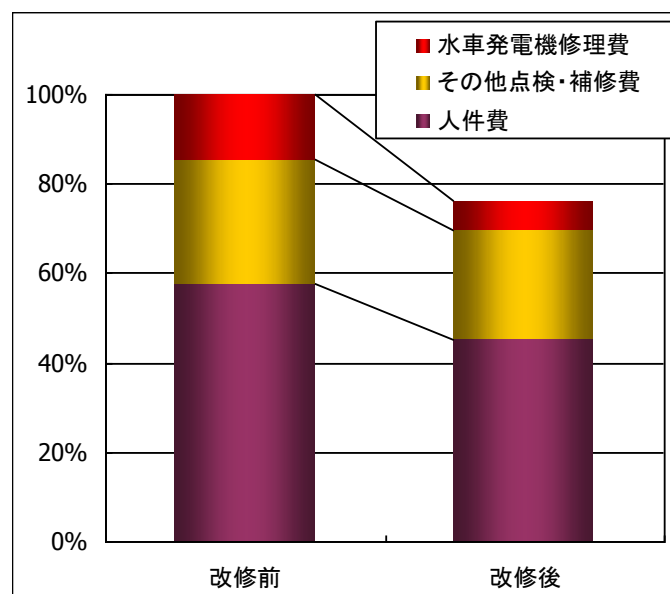


図 4 ランニングコスト比較

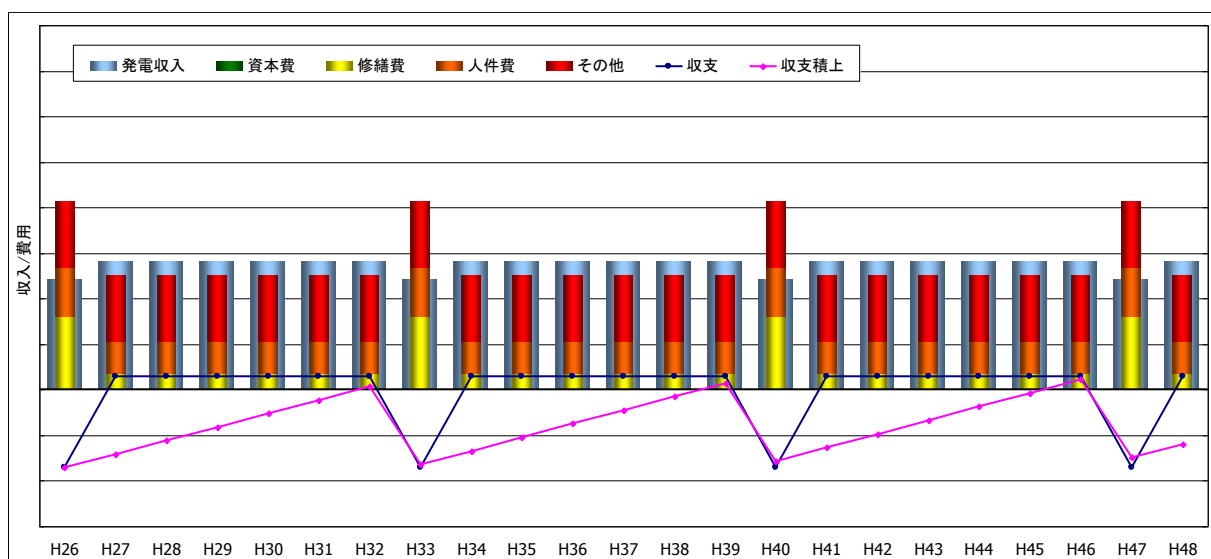
(2) 年間発生電力量の向上

水車効率の向上による発電所の増出力，ならびに水車修理頻度の低減や水車修理期間の短縮による設備利用率の向上により，年間発生電力量は更新前と比較して 13%程度向上する見込みである。

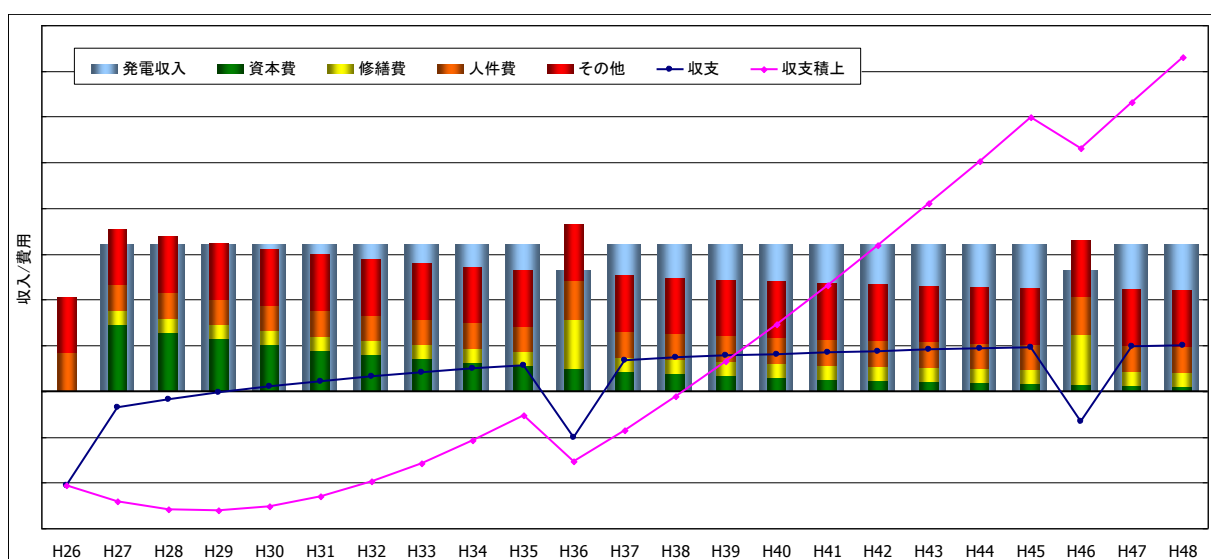
(3) 総合評価

図 5 に更新前後の年度別発電所収支の比較を示す。更新前は，通常年の収支はわずかにプラスであるものの，水車修理のある年度の収支が大幅なマイナスとなってしまうため，水車修理のある年度から次の水車修理の前年度までを 1 サイクルとした収支でみると，極わずかな利益でしかなかった。

発電所更新後は，当初は資本費の占める割合が高く，単年度の収支はマイナスとなってしまうものの，更新後 4 年を境に年間収支がプラスに転じ，更新後 13 年でトータル収支もプラスとなることが見込まれる。水車修理費用の低減により水車修理を含む年度のマイナス収支幅が縮小され，水車修理 1 サイクルにおける収支で見ても 2 サイクル目以降は大きな収益となる。今回の更新により熊川第一発電所の発電所収支は，更新前の設備と比較して大幅に改善されることが見込まれる。



(a) 更新前の発電所収支の推移 (H26,H33,H40,H47 に水車修理)



(b) 更新後の発電所収支の推移 (H26 更新, H36,H46 に水車修理)

図 5 更新前後の年度別発電所収支の比較

3. プロジェクトの特徴

3.1 好事例要素

記載なし

3.2 成功の理由

記載なし

4. 他地点への適用にあたっての留意点

記載なし

5. その他（モニタリング、事後評価等）

記載なし

6. 参考情報

6.1 参考文献

なし

6.2 問合せ先

会社名：東京電力株式会社

URL：<http://www.tepco.co.jp/index-j.html>