

水路施設における小水力発電設備の設置 —地球環境の保全と管理費の負担軽減に貢献—

赤尾博史

独立行政法人水資源機構愛知用水総合管理所で管理する用水路施設では、分水口や揚水機場をはじめとする多数の機械・電気通信設備が点在し、ここで消費する電気料金は年間約 55,000 千円程度となっている。

この電気料金をはじめとする維持管理費の低減を目的として用水路施設に包蔵されていた水力エネルギーを有効活用した管理用小水力発電設備を設置した。

発電設備は、平成 17 年 3 月から運転を開始し、3 月末には RPS 法の認定を受けている。この報文は、小水力発電設備の検討内容及び施工方法について紹介するものである。

キーワード：クリーンエネルギー、包蔵エネルギーの活用、管理コストの低減

1. はじめに

愛知用水は、牧尾ダムを水源として昭和 36 年に通水を開始し、岐阜県から尾張東部の平野及び知多半島一帯に「農業用水」、「水道用水」、「工業用水」を供給し、受益地域の経済発展・生活向上に大きく貢献してきた。通水後、20 年を経過し、施設の老朽化と新たな水需要に対応するため、水路施設の全面改修を行う二期事業が昭和 56 年度から開始された。

二期事業は幹線水路等施設の機能回復と安全性の強化及び水道用水、工業用水の需要増加に対応した新規利水のための機能拡充を図るとともに、管理施設を近代化して水供給の安定化と水利用の高度化を図るため

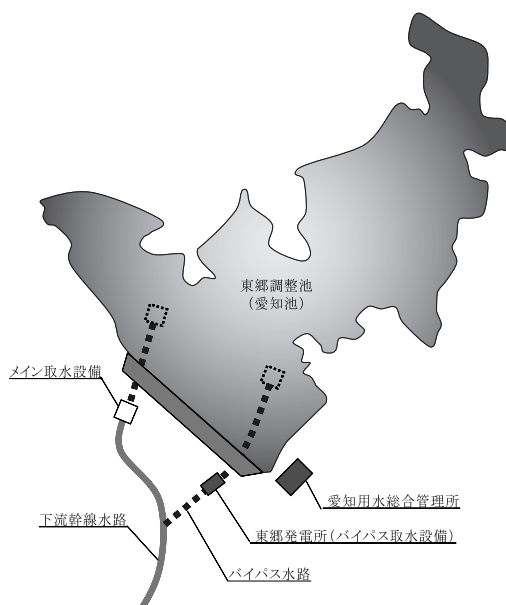
に実施された事業である。また、別事業（阿木川ダム、味噌川ダム）で開発された都市用水も新たな水源としている。

2. 東郷調整池の概要

愛知用水の調整池の一つである東郷調整池（愛知池）は、幹線水路約 112 km のほぼ中央に位置し有効貯水量 900 万 m^3 の調整池で、池下流部の水需要の変動に対応する（写真—1）。また、最大 30 m^3/s の取水が



写真—1 東郷調整池全景



図—1 東郷調整池模式図

可能なメイン取水設備とメイン取水設備の修理,点検,故障時などに下流への用水供給を継続するため,最大9.5 m³/sの取水が可能なバイパス取水設備を設けている(図-1)。

東郷発電所は,このバイパス取水設備を改築し設置した。

3. 発電所設置の背景

愛知用水では,過去にも水力発電の可能性を検討するなど,実施に向けた動きがあった。しかし当時は,規模の大きなメイン取水設備を対象としていたことで設備規模が大きく,経済的に不利であったこと,また,発生した電力の利用にあたって,特定の電気事業者1社のみが価格交渉の対象であったため発電単価を満足する売電単価が見込めなかったことから見送られてきた。

今回の検討では,二期事業によりバイパス設備が建設され,バイパス取水設備に発電所を設置することで過去の検討条件より小規模な設備となるとともに電力自由化による価格競争により有利な価格で供給することが可能となったこと,さらに地球環境保全のため制定された「新エネルギー等利用に関する特別措置法(RPS法)」の施行により同法の認定設備となれば付加価値が見込まれるなど,二期事業によるバイパス設備の建設と社会情勢の変化から水力発電所の設置計画が実現することとなった。

なお,本管理用小水力発電所は発電した電力を自己消費に利用する目的で設置したものである。発生した電力は,本来であれば地区内の揚水機場などの負荷設備に直接供給することとなるが,負荷設備が遠隔地に散在するため送電線施設の建設に多額の費用が必要となる。また,託送を行うためには同時同量の原則など困難な課題も多いことから,発電所及びその構内で消費し,残る電力は一旦,電気事業者に販売し,それを一連の管理体系の下にある施設の操作のための電気料金の一部に振り替えることとした。

4. 東郷発電所の概要

東郷発電所は,二期事業で設置した前述のバイパス取水設備を改築して発電設備を設置したもので,東郷調整池と放流口である幹線水路との水位差(最大約21 m)を利用し最大1,000 kwの発電を行う設備である。

発電使用水量は,完全利水従属型の発電所であり,下流の水需要に応じて発電使用水量が変動する。このため,バイパス取水設備(水力発電)で最大発電可能流量までの取水を行いこれを超える流量はメイン取水設備から取水することで効率的な発電が可能となっている(図-2)。

発電した電力は,発電所構内及び総合管理所で消費し,余剰電力は,中部電力の一般配電線に系統接続し,特定規模電気事業者に売電している。

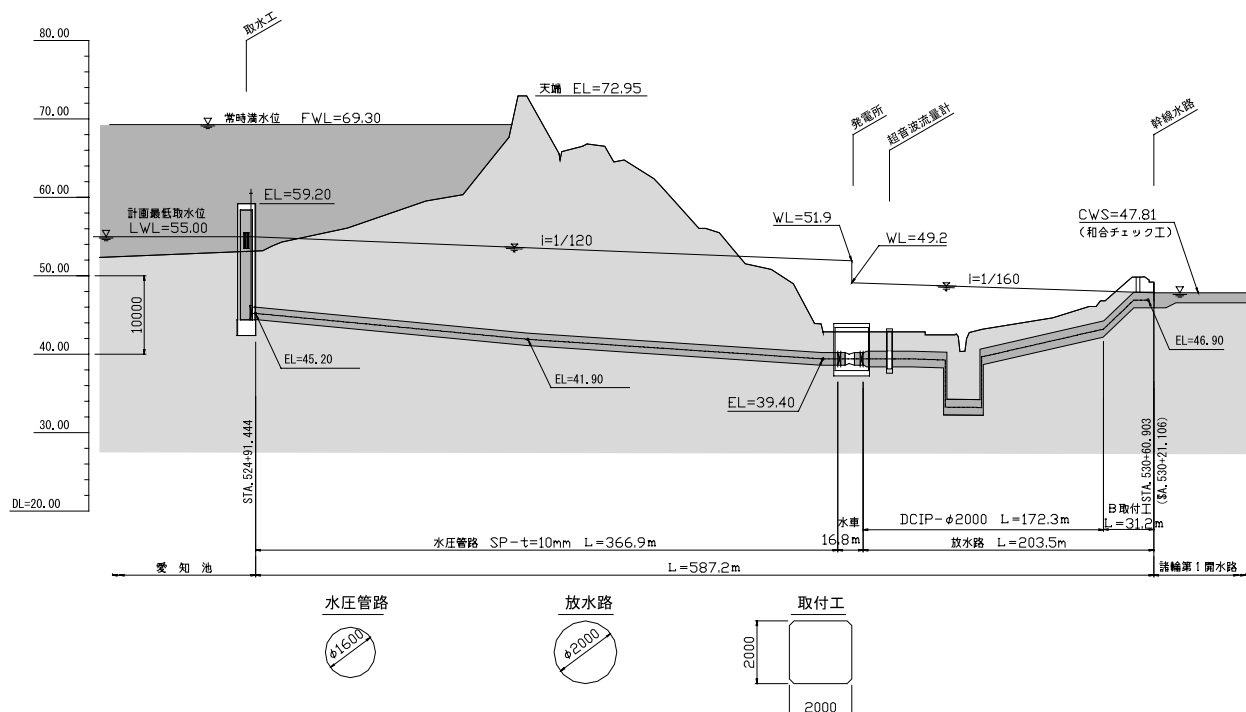


図-2 東郷発電所断面図

5. 発電設備の設計

(1) 水車の検討

東郷調整池の過去の流況データを整理し、最適な水車の型式を選定した。

(a) 水位及び流量データの整理

過去10年間の東郷調整池からの取水量と池水位データを整理した。

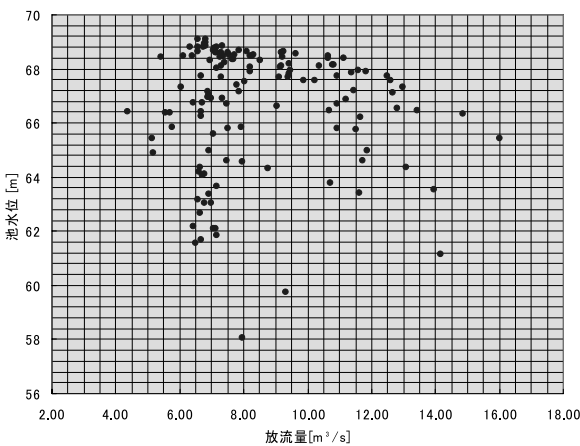
このデータから得られた平均、最高並びに最小値を表一に示す。ただし、取水量は、メイン取水設備からの取水量とバイパス取水設備からの取水量の合計である。

表一 水位・流量集計表

水位	平均水位	EL 66.41 m
	最高水位	EL 69.17 m
	最低水位	EL 54.50 m
流量	平均流量	8.67 m ³ /s
	最大流量	19.29 m ³ /s
	最小流量	3.00 m ³ /s

① 取水量－池水位の相関

東郷調整池水位と取水量の相関を図一三に示す。



図一三 発電使用水量－貯水池水位相関グラフ

表一の取水量データは、発電設備を設置するバイパスの取水量とメインの取水量の合計であることから、バイパスで取水可能な最大流量 9.5 m³/s を上限とし、管路の損失を考慮して有効落差と発電使用水量との相関を求めたものを図一四に示す。

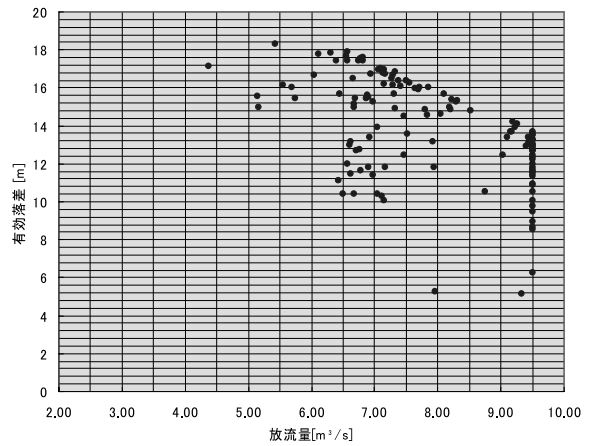
(b) 水車の選定条件の決定

① 流量範囲

過去最低取水量の 2.5 m³/s から最大取水量の 9.5 m³/s を流量範囲とする。

② 有効落差

図一四から最低有効落差 5.5 m、最大有効落差 21 m 程度とする。



図一四 発電使用水量－有効落差相関グラフ

③ 落差変動，流量変動に対応可能な水車とする。

④ 運転可能範囲内で高効率な運転が可能なこと。

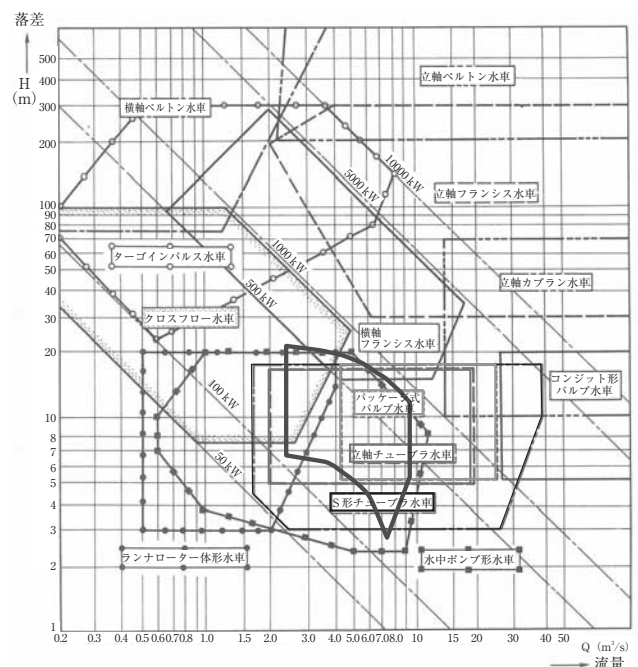
⑤ 既設構造物（建物及び導水管など）との整合性

⑥ 貯水位が最低水位時においても 7.5 m³/s の流量が放流できること。

(c) 水車の型式選定

水車の選定にあたっては、新エネルギー財団発行の「中小水力発電ガイドブック」に掲載されている水車型式選定表を引用した。

図一五に水車型式選定図の一部を抜粋したものに



図一五 水車型式選定図

太枠で東郷発電所の落差，流量範囲を示す。

図—5 から候補となる水車は「S形チューブラ水車」「立軸チューブラ水車」「バルブ水車」「水中ポンプ形水車」となった。

①適用範囲の比較

運転範囲をほぼカバーできるS型チューブラ水車が有利である。

②水車運転特性の比較

水中ポンプ形水車は流量調節機能を有しないため，落差変動に対応できない。

③構造及び運転保守性の比較

構造及び運転保守の容易性面で比較すると，バルブ水車は水車をケーシング内に設置する必要がある，構造も複雑であることから保守が困難である。水中ポンプ形水車は水車と発電機を連結し，これを完全一体に収納したコンパクトな構造であり，取水から放水に至るまで，水路構成部分を全てモジュール化ができる。S形チューブラ水車は水車ドラフト部をS字に曲げて水車軸を水路外部に貫通させて発電機に接続する面的なスペースを必要とする。

④既設構造物との整合性

S形チューブラ水車はドラフトを一般的な垂直方向に曲げず，平面的に曲げることにより，既設導水管との整合が容易である。

立軸チューブラ水車は深層掘削を行うため既設導水管との接続が容易でない。

バルブ水車はケーシング径が3,000 mm以上であることから既設導水管との結合が困難であるとともに設置スペース上も厳しい。

立軸チューブラ水車はS形チューブラ水車を立軸として据付けるタイプで平面的には省スペース化が可能であるが，東郷発電所のような水平方向の導水管に

は施工が困難である。水中ポンプ型水車も立軸であることから立軸チューブラ水車と同様である。

⑤以上のことから，既設構造物への整合性が良好で，運転範囲が最も適している「S形チューブラ水車」を選定した。

過去10カ年の水位，流量データの実績（最大9.5 m³/sに制限）と「S形チューブラ水車」の水車運転範囲を図—6に示す。

(2) 発電機の検討

(a) 発電機の機種選定

発電機の形式には，同期発電機と誘導発電機がある。東郷発電所では，系統連系を行い余剰電力を逆潮させることから，系統への影響が少なく系統連系時の力率保持などの容易な同期発電機を採用した。

(b) 冷却方式

発電機の冷却方式には，空冷，水冷の方式があるが，設置スペースのコンパクト化，保守の省力化から空冷方式を採用した。なお，建屋には，排気側に電動ファンを設置する強制換気方式の吸排気設備を設置している。

(3) 系統連系及び電気設備

系統保護は，従来から一般的に使用されてきた転送遮断装置に代わり，系統連系先である電力会社の変電所との通信回線，伝送装置等が不要で，自ら配電線系統の異常を検知できる単独運転検出装置による保護方式を採用した。

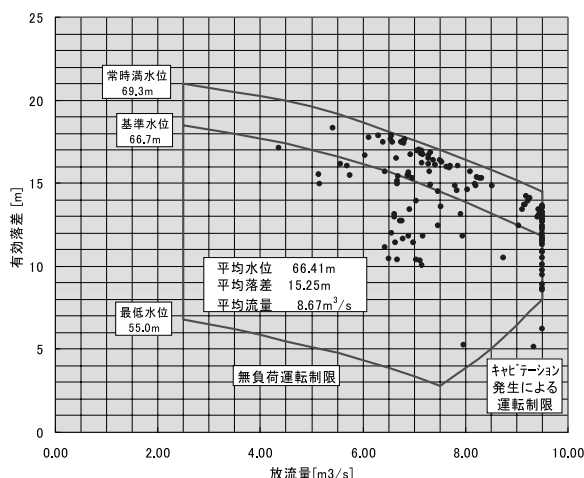
単独運転検出装置の選定にあたっては，「分散型電源系統連系技術指針」に規定された方式から選定し，検討を行った結果，電力消費が少なく同一系統内での相互干渉を防止することのできる次数間高調波注入方式（小容量の整数次高調波の中間高調波を系統に注入し，配電系統のサセプタンスの変化を検出する方式）を採用した。

電気設備は，引込盤，受電盤，発電機遮断器盤，所内変圧器盤，所内遮断器盤，単独運転検出装置で構成し，系統連系保護で使用する保護継電器は，遮断器制御機能を有し，複数の保護継電器機能及び計測機能を有するマルチリレーを採用した。

(4) 発電使用流量の測定

東郷発電所は，バイパス水路の流量調整設備を改造し設置したが，その下流側には，取水量計測のための流量計が設置されていた。

これは，1測線方式のもので流量調節バルブからの



図—6 水車運転範囲

距離は、17Dであったが、バルブ下流側へ水車の設置を行ったため水車から流量計までの距離が15Dに短縮される結果となり、さらに流量計設置時に精度を保證する目安としてメーカー推奨の設置条件である直管長は、バルブに比べ水車（発電設備に類似する設備としてポンプ設備を準用）は、40Dから60Dと長い距離を必要とする。

東郷発電所では、既設流量観測設備を使用することから規定の直管長が確保出来ないこと、電磁流量計の採用は経済的に不利であることから超音波流量計の測線数を増やすことで精度向上を図った。

確保する精度は、従来の流量調整設備で確保していた精度を目標とし検討を行った。

運用後、メイン取水とバイパス取水（発電）の合流地点下流に設置されている開水路式超音波流量計との検証で概ね一致した数値を計測しており、設計値を上回る精度が確保出来ていると思われる。

6. RPS 法

平成14年から施行された「電気事業者による新エネルギー等の利用に関する特別措置法（RPS法）」は、石油や石炭などの化石燃料利用を抑えて地球温暖化を防ぐため、電気事業者に風力や太陽光、木くずなどのバイオマス（生物資源）などの新エネルギーと水路式（現在はダム式も対象となっている）の1,000kw以下の水力発電から発電される電力の一定量以上の利用を義務づけた法律である。

RPS法で認定された場合、通常の電力量の取引以外にも、電力会社の義務量分の電力量や「実績」などを証券とした形で、売買が可能となり、新エネルギーにおける付加価値分の単価増が見込まれる。

(1) RPS法認定設備とした場合の発生電力の試算

水車、発電機の設計の結果、発電機出力が1,057kwと1,000kwを超える結果となり、RPS法の対象設備とするためには、出力の制限が必要となる。

このため、東郷調整池の取水実績に基づき、1,000kwで制限した場合と制限しない場合の年間発生電力量を試算した。

制限しない場合は、7,384Mwh、制限した場合は、7,307Mwhと減電量77Mwhであり、全体として約99%とほとんど差が無い結果となった。

よって、RPS法の付加価値がどのくらいになるのか、施行されたばかりの法律でありほかに事例がなく不確定な要素もあったが、環境対策の一環である同法

の趣旨を尊重し、発生電力量にも大きな差がないことから、1,000kw以下に制限する設備とした。

(2) 最大発電量の制限

発生電力は、流量や水位変動に伴う変動があり、これを1,000kw以下に制限するため、自動制御モードとして出力制限モードを有している。

取水流量が不足する場合は、メイン取水設備からの取水量増を行うことで、目標取水量を満足させている。

7. 施工

発電所の建設は、既設バイパス流量調整室の増改築、電気室の新設、導水管路の移設などを土木工事にて施工し、土木工事完了後、水車、発電機、その他電気機器の据付を行った。

(1) 水車・発電機室

バイパス流量調整室の増改築は、図一7発電所平面・断面図に示す斜線部分で、半地下構造の下流側壁面を撤去し下流側へ増設した。屋根部分は、搬入のための改築を行った。また、発電機の空冷による発熱対策のため吸気、排気のためのスペースを増設した。

導水管については、主バルブ下流側のフランジ部分から下流を撤去し、水車ドラフトのオフセットに併せて管路の移設を行った。使用可能な管及び保守バルブは既設品を流用しコスト削減を図った。

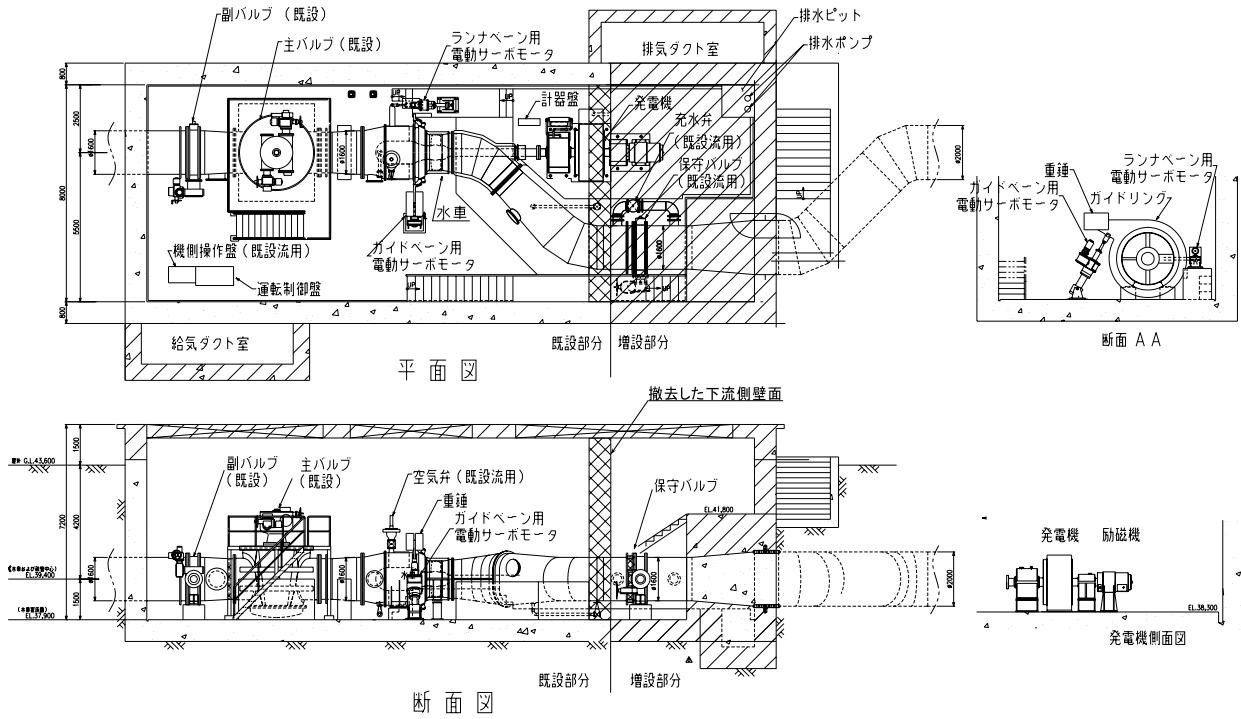
(2) 水車・発電機

水車・発電機室の工事終了後、水車のドラフトチューブ、ケーシング、ランナ外筒下半、軸受の順に据え付け、その後、主軸とランナを結合し吊り込みを行い、ケーシング内の軸受組立、発電機据付、ガイドベーン、ランナベーンのサーボ機構の据付の順で施工を行った。

搬入、据付にあたっては、コスト削減のため天井クレーンを設置しなかったため、屋根の開口部からクレーンにて吊り込みを行い、据付の位置調整は、室内の壁面、天井部分に設置したアンカーを使用して据付作業を行った。

系統連系設備、発電機盤などの電気設備関係の据付、配線は、水車、発電機の据付と併行して実施した。

発電機の据付は、当初発電機本体と軸受、励磁装置を個別に設置する方法としていたが、発電機の設置場所が、新旧構造物の接合部上となることから接合部にずれが生じた場合、主軸に偏芯が生ずる恐れがあった。



図一七 発電所平面・断面図

この対策として、軸受及び発電機、励磁装置などを共通台床上に設置するとともに、壁の撤去方法を工夫することで接合部を下流側へ 800 mm 移動させ主軸の安定を図った。

試験調整は、各種機器の個別の試験を実施した後、無水試験としてランナーベーン、ガイドベーンの単体動作試験、AVR 特性試験、ガバナー特性試験、総合試験などを実施し、有水によるメタル慣らし、調速機試験や負荷遮断試験を実施し、平成 17 年 3 月に完成した (写真一2)。



写真一2 発電機・水車 据付完了

8. 発電実績

完成後は順調に運転を継続しており、平成 17 年の発電実績は、5 月、6 月、8 月の渇水により池水位が

低下し、発電電力量の低下を招いたものの年間の計画発電量は満足する結果となった。また平成 18 年度は、渇水がなかったことと水運用などの工夫により 17 年度を大きく超える実績を残すことができた。

9. おわりに

当発電所は、水資源機構初の水路式発電で RPS 法の認定設備である。

未利用包蔵エネルギーを利用することにより、愛知用水各ユーザの管理費負担軽減を目指し、かつ二酸化炭素の排出量削減から環境保全に寄与するという目的達成のため、今後の維持管理を的確に実施し、高い稼働率と発電効率を維持し安定した発電を行っていくことが重要と考えている。

また、管理費の削減や地球環境保護の観点から、本事例が他の水路施設における発電実施に向けた可能性を検討する際の参考となれば幸いである。 [JCMA]

[筆者紹介]

赤尾 博史 (あかお ひろし)
独立行政法人水資源機構
木津川ダム総合管理所 室生ダム管理所
(前) 愛知用水総合事業部 設備課

