

武蔵小水力発電所の効果的運用に向けた取組

北村 ゆき子¹・齊藤 靖

¹独立行政法人水資源機構 利根導水総合管理所 (〒361-0004 埼玉県行田市大字須加字船川4369)

武蔵水路の始点部には流量調節堰上下流の落差を活用した小水力発電設備が設置されている。2016年3月の完成後、現在まで通年稼働し、その発生電力は管理用電力として自家使用するとともに、余剰電力を電力会社へ売電することにより、施設管理費の低減及び温室効果ガスの排出抑制に寄与している。

本稿では、これまでの発電実績を基に、武蔵水路の導水量により発生電力が変動することに着目し、二連水路の特性を活かした流量調節堰の操作による発生電力増加の試行的取組を紹介し、より効果的な管理運用について考察するものである。

キーワード 武蔵水路, 二連水路, 小水力発電, 発電効率, 操作ルール, 有効活用

1. はじめに

武蔵水路は、首都圏の水需要増大に伴う水不足の解消のため、利根川上流ダム群で開発された都市用水を荒川へ導水すること等を目的として、1964年1月に工事着手し、1965年3月から暫定通水を開始し、1968年3月に完成した水路施設である。

1992～2015年度に実施された改築事業では、安定通水機能の回復、施設の耐震化及び内水排除機能の確保・強化が図られた。また始点部には、きめ細かな流量調節を可能とするため流量調節堰と微小流量調節施設が新たに設置され、微小流量調節施設には落差を活用した小水力発電設備が設置された。(図-1, 図-2)

小水力発電設備は、武蔵水路の従属発電として2015年9月に水利権(武蔵小水力発電所)を取得し工事着手、2016年3月に完成した。武蔵水路は内水排除時等を除き24時間365日導水しているため、その流量の一部を使用する小水力発電設備は一年を通じて安定して稼働し、発生電力は管理用電力として自家使用し、余剰電力を電力会社へ売電することにより、施設管理費の低減及び温室効果ガスの排出抑制に寄与している。

2. 設備概要

(1) 設備仕様

a) 流量調節堰

- ・鉄筋コンクリート造 幅17.4m
- ・ステンレス鋼製二段式ローラゲート(上段スライドゲート) 2門

b) 微小流量調節施設

- ・ダクタイル鋳鉄管φ800 延長77m
- ・制水ゲート ステンレス製スライドゲート 1門
- ・調節ゲート ステンレス製スライドゲート 1門

c) 小水力発電設備

- ・水車形式: 縦軸クロスフロー
- ・最大使用水量: 0.91m³/s
- ・最大有効落差: 2.0m
- ・最大出力: 8.9kW

武蔵水路は都市用水を導水しているため、水車形式の選定に当たっては、水質汚染の心配がなく、泥・砂の影響が受けにくい機種として、水車の水中部に軸受が無い、縦軸クロスフローを採用している。



図-1 位置図

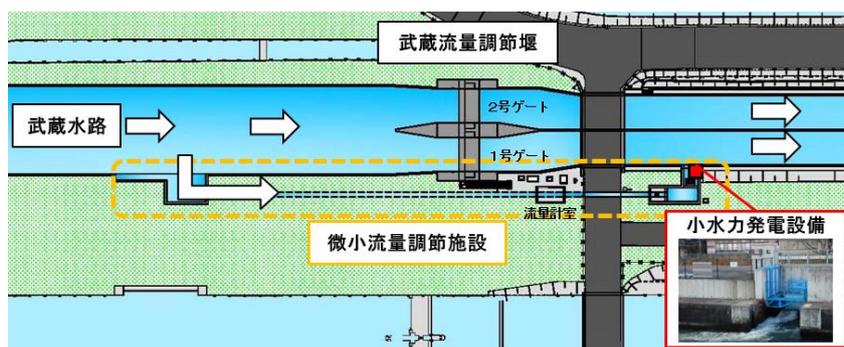
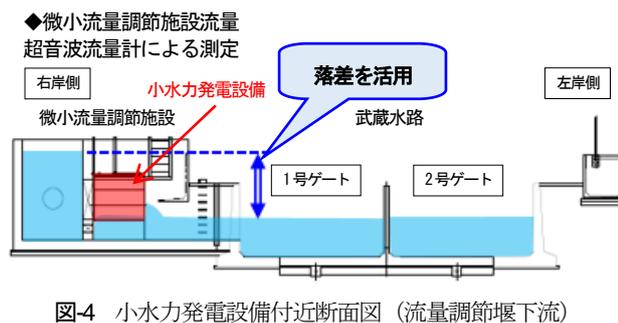
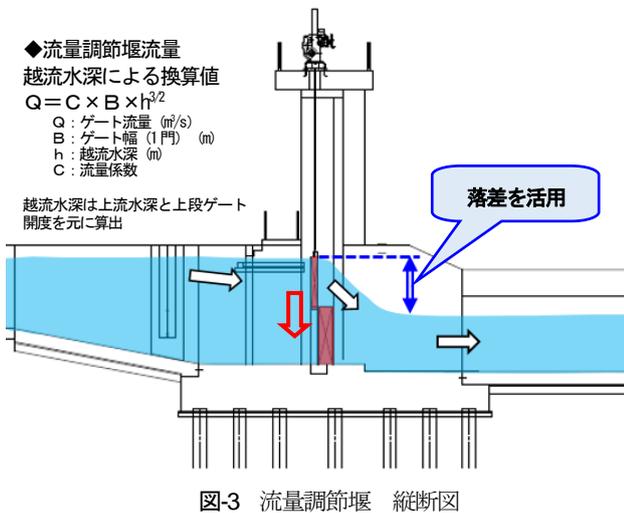


図-2 武蔵水路 始点部平面図

(2) 通水管理

武蔵水路は、保守点検・補修及び事故に備えて片側通水できるよう、水路中央に中壁を有する二連の鉄筋コンクリートフルーム水路に改築されており、始点部に流量調節堰が設置されている。流量調節堰の右岸側には小水力発電設備を内蔵する微小流量調節施設が設置されており、当該発電設備は流量調節堰上下流の落差を活用して発電を行っている。（図-3、図-4）

武蔵水路は、都市用水（最大35.054m³/s）及び河川浄化用水（最大8.146m³/s）を導水している。武蔵水路の導水量は、流量調節堰の1号ゲート流量及び2号ゲート流量（越流水深による換算値）と微小流量調節施設流量（超音波流量計による測定値）の合算値であり、都市用水の需要や河川浄化用水の有無により導水量を大きく変動させる場合は、流量調節堰の上段ゲートを操作することにより流量調節を行っている。



3. これまでの発電実績

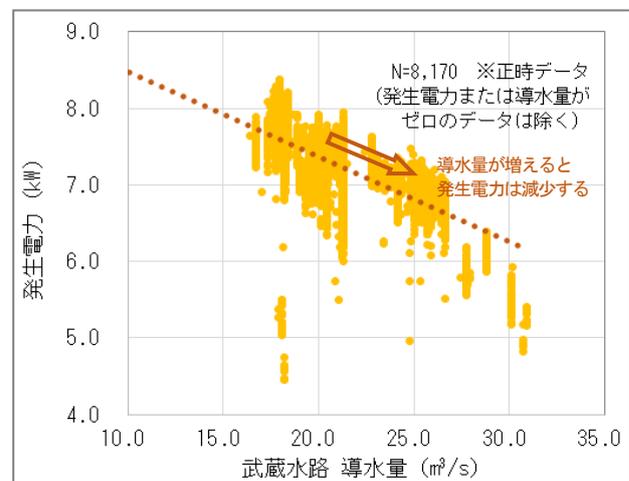
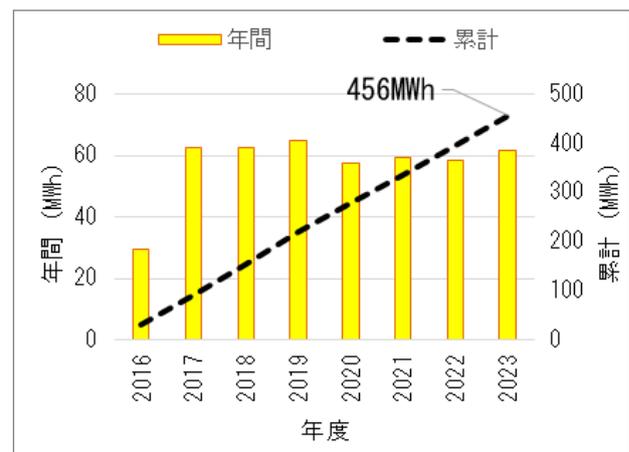
2016年度から2023年度までの8年間の発生電力量は456MWhである。FIT（再生可能エネルギーの固定価格買取制度）を活用し管理用電力として自家使用するとともに余剰電力を電力会社へ売電しており、温室効果ガスの排出量抑制効果¹⁾は約210t-CO₂に達する。

発生電力量は57～65MWh/年（2016年度を除く。）と年

度によりばらつきがあり（図-5）、導水量と発生電力には相関性があることが確認された（図-6）。これは、前項でも述べたとおり、導水量を調節する場合、流量調節堰の上段ゲートを操作するため流量調節堰上下流の落差が変動することが要因と考えられる。（流量調節堰上流水位は上流の沈砂池水位を一定管理しているため概ね一定である一方、流量調節堰下流水位は導水量が増えると上昇するため、流量調節堰上下流の落差が小さくなり発生電力が減少する傾向がある。）

このため、流量調節堰の操作について、従来は流量調節堰下流で二連水路に均等に流下する操作を実施していたが、より効果的に発生電力を確保するためには、二連水路の特性を活かして小水力発電設備が設置されている右岸（1号ゲート）流量を調節して右岸側の落差を確保することが有効であると考え、導水量の総量は変更せずに1号ゲート流量を調整（その分は2号ゲートに振替）する操作を試行することとした。

なお、水路の構造計算では、保守点検・補修及び事故に備えて片側通水できるよう安定設計されていることから、片側通水能力21.6m³/sの範囲内で、左右に流量差をつけることは構造上問題ない。



4. 発電増量試験操作

発電増量試験操作は、第一段階として流量調節堰1号ゲート流量と発生電力との関係を確認するための試験を実施し、得られたデータを踏まえて長期的に詳細な試験を第二段階にて実施した。

(1) 試験1（傾向把握）

試験1では、傾向把握のため、30分おきに3回、流量調節堰1号ゲート流量を減らして（減量分は2号ゲートに振替）、流量と発生電力の関係性を確認した。

また、水路内の状態について、操作室にて各施設に設置された水位計のデータ及び監視カメラの映像を監視するとともに、片側通水（左岸増量・右岸減量）となる流量調節堰地点（No. 1+62）から佐間水門地点（No. 67+71）までの約7kmの区間を職員で巡視した。（佐間水門地点には内水排除時の水門取込量が確保できるよう中壁に連通工が設置されているため左岸から右岸へ流水が移動し均等通水に戻ると想定した。）（図-7）

- ▶ 試験目的：流量調節堰の操作による発生電力の変動及び水路状態の確認
- ▶ 試験期間：2023年8月8日（火）
- ▶ 導水量：22.160m³/s
- ▶ 試験結果

- ・パターン 1～2（1号ゲート流量：10.819 m³/s→9.655 m³/s→7.511m³/s）では流量の減少に伴い発生電力が増加したが、パターン 3（同：7.511m³/s→5.167m³/s）では減少に転じた。（図-8）

パターン3で発生電力が減少に転じた要因は、微小流量調節施設流量が概ね一定（0.799 m³/s→0.800m³/s）で、パターン2で流量調節堰下流水位が発電設備吐出口敷高以下になり有効落差が増加しなかったためと思考する。

- ・水位計のデータを監視した結果、流量調節堰下流で水位変動が最も大きかったのは、流量調節堰に最も近い荒木制水ゲート地点（No. 19+11）で左右岸ともに試験前に比べて0.46mの水位変動があった。流下するに従い水位変動は減少し、佐間水門連通工で均等通水となり、佐間水門地点より下流では水位変動は確認されなかった。（図-9）
- ・監視カメラ及び巡視で、水路内を大きな乱れも無く流下していることを確認した。

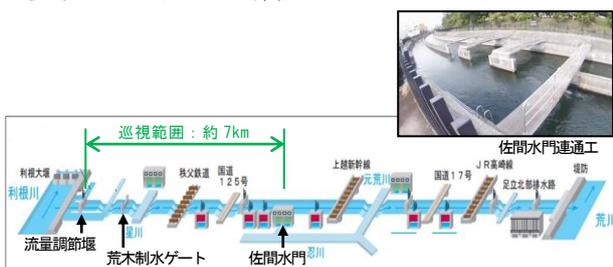


図-7 巡視範囲（2023年8月8日）

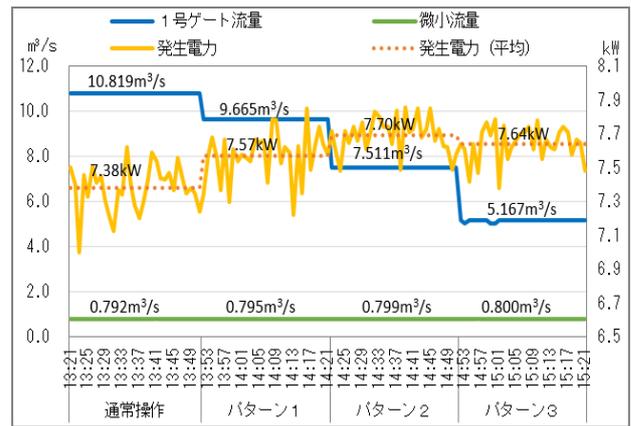


図-8 流量調節堰1号ゲート流量と発生電力の推移（2023年8月8日）

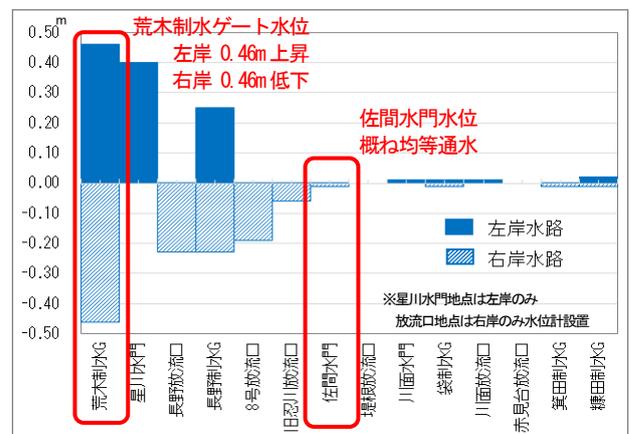


図-9 堰下流の各水位計の水位変動量（最大値）（2023年8月8日）

(2) 試験2（詳細把握）

試験1の結果、7.511m³/s付近で最も発生電力が増加したため、長期的に試験を実施することで、効果的な流量調節堰1号ゲート流量の把握を行った。

また、操作に当たっては、引き続き操作室にて各施設に設置された水位計のデータ及び監視カメラの映像を監視するとともに、水位変動が大きいと想定される流量調節堰地点（No. 1+62）から荒木制水ゲート地点（No. 19+11）までの約2kmの区間について職員による巡視を行い問題がないか確認しながら実施した。

- ▶ 試験目的：効果的な流量調節堰1号ゲート流量の把握
- ▶ 試験期間：2024年4月～7月
- ▶ 導水量：15.256～34.342m³/s
- ▶ 試験結果

- ・4月～6月は1号ゲート流量を5.965～17.171m³/sの範囲で変化させてデータを蓄積し、7月は7.954～9.186m³/sの範囲に絞りピークを確認した。（図-10）
- ・結果、8.6m³/s付近で最も発生電力が増えることが確認された。（図-11）

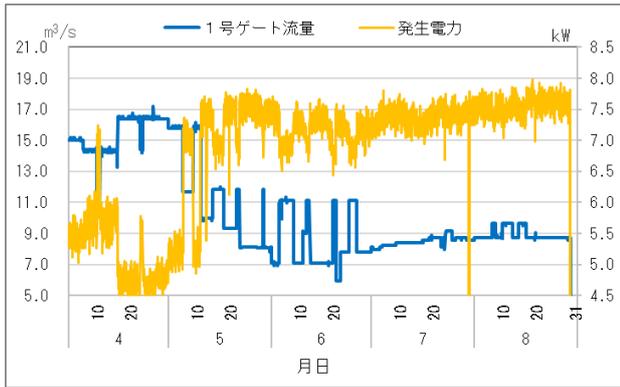


図-10 流量調節堰1号ゲート流量と発生電力の推移
(2024年4月～7月)

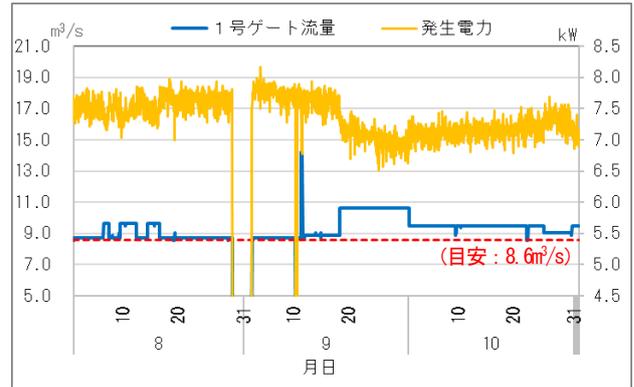


図-12 流量調節堰1号ゲート流量と発生電力の推移
(2024年8月～10月)

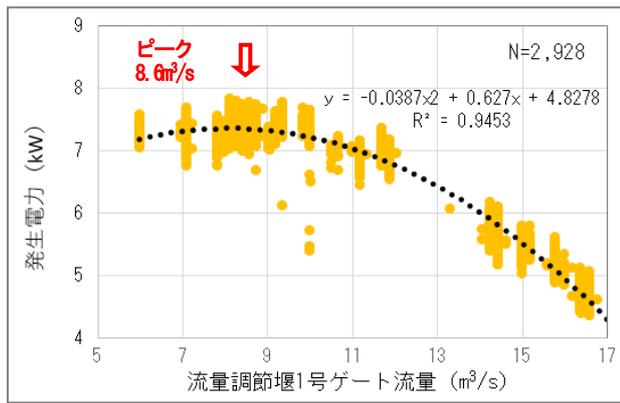


図-11 流量調節堰1号ゲート流量と発生電力との相関
(2024年4月～7月)

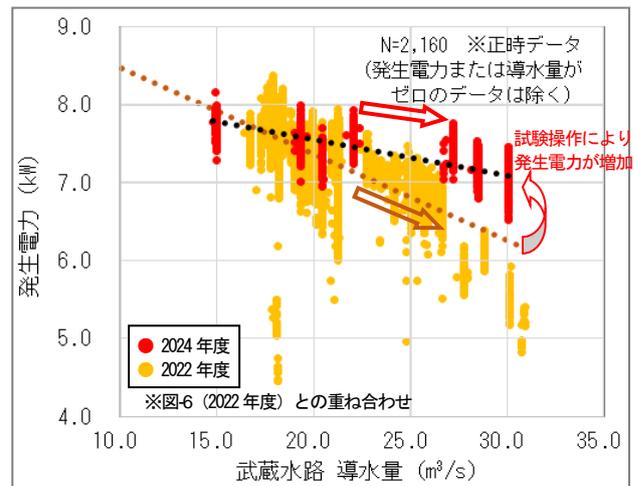


図-13 導水量と発生電力との相関 (2024年8月～10月)

(3) 効果的な試験操作の試行

試験2を受けて、2024年8月以降は流量調節堰1号ゲート流量を8.6m³/s付近を目安に操作を継続した。

▶ 試行期間：2024年8月～10月

▶ 導水量：15.032～30.167m³/s

※内水排除時（8月29日～9月2日）及び点検時（9月10日、9月11日）を除く。

▶ 試験結果

- 1号ゲート流量を8.562～10.656m³/sの範囲で操作し、発生電力は6.51kW～8.16kWの範囲で推移した。このうち、8月1日～9月18日の間は、概ね目安どおりの操作（8.562～9.669m³/s）となり、発生電力は7.00kW～8.16kWで推移した。一方、9月18日～30日の間は導水量の増加に伴い、1号ゲート流量を10.652～10.656m³/sに設定した結果、発生電力は6.51kW～7.45kWに減少した。（図-12）
- 従来の均等操作では導水量が増加すると発生電力が減少していたが、試験操作により、均等操作に比べて発生電力の増加が確認された。（図-13）

(4) 結論

本試験により、流量調節堰1号ゲート流量を8.6m³/s付近を目安に流量調節堰を操作することで、従来の均等操作に比べて発生電力が増加することを実証した。

5. 今後の管理運用について

本試験は、二連水路の特性を活かして小水力発電設備を効果的に運用するもので、現在も試行を継続している。本取組は、水資源機構の環境行動計画に謳われている再生可能エネルギーの有効活用、及び「持続可能な開発目標（SDGs）」の理念にも合致するものである。今後もデータを蓄積してよりよい操作方法を検討・実証し、温室効果ガスの排出抑制に寄与していくものとする。

参考文献

- 1) 環境省温室効果ガス排出量算定・報告マニュアル（Ver5.0）