

# 既設インフラを利用した地域主体の 小水力発電導入プロセスに関する研究

和田 清<sup>1</sup>・大坪 幹弘<sup>2</sup>

<sup>1</sup>正会員（独）国立高専機構 岐阜工業高等専門学校 教授（〒501-0495 岐阜県本巣市上真桑2236-2）  
E-mail:wada@gifu-nct.ac.jp

<sup>2</sup>学生会員（独）国立高専機構 岐阜工業高等専門学校 専攻科 先端融合開発専攻（同上）  
E-mail:2016y03@edu.gifu-nct.ac.jp

岐阜県は包蔵水量が全国1位であり、水力発電ポテンシャルが特に高い地域である。本研究では、既設インフラを活用した小水力発電導入プロセス（調査→設計→設備設置→利用）を実践する試みを概観し、地域主体の小水力発電における課題を抽出した。得られた結果は以下のものである。石徹白地区では、NPO 法人が中心となり地域住民を主体とした小水力発電による地域づくりが取組まれており、2kW 規模の小水力発電から、2015年に売電目的の小水力発電（63kW）が稼働、2016年には、2014年に設立した石徹白農業用水農業協同組合が主体となって発電・維持管理（116kW）を実施している。地域住民が主体となる小水力発電導入プロセス「郡上市モデル」では、小水力発電への理解を深めて普及を促進することを目的とした自然エネルギー学校（実践編）が実施され、小水力発電アイデアコンテストなどの人材育成事業と連携し、ネットワークの構築、系統連携容量不足への対応、太陽光や木質バイオマス利用、省エネルギー、新電力を含めた総合的な方向性の位置づけが必要となることが指摘された。

**Key Words** : *micro-hydroelectric generation, local communities, human resource development*

## 1. はじめに

近年、わが国では、地球温暖化対策や化石燃料の代替エネルギーの確保などの観点から、自然エネルギーによる発電事業が推進されている。とりわけ、小水力発電は、長期間の連続発電ができる再生可能エネルギーであり、2011年8月に成立した「固定価格買取制度」では、200kW未満の小水力発電による電力の買取価格は優遇され、この程度の発電規模の場合には、河川や農業用水路に直接設置し発電できる。また、地域で維持管理できることから、系統連携に接続する以外に、消費地に隣接して導入することにより小規模な電力を連続的に消費するエネルギーの地産地消が実現できる。なお、小水力発電の厳密な定義はなく、一般には1,000～10,000kW以下の出力となっているが、この範囲以下を含めて扱う。

小水力発電の普及や活用の可能性に関する既往の研究では、水車や発電機等の機械システム、導入ポテンシャルの算出、騒音被害、小水力発電を活用している地域の実態、課題や方向性を考察したものなどがある<sup>1)2)</sup>。これらの研究成果から、小水力発電の普及には、法的制約（河川法や電気事業法など）や地域の技術力の喪失、住民、土地改良区、行政等

の複雑な利害関係等の課題があり、その上で法制度の整備の必要性や、多様な地域主体による活用の重要性が指摘されている<sup>3)4)5)</sup>。

さらに、多くの中山間地域には、流域上流部に位置する水源地や河川に加えて灌漑水路が発達するなど、多様な河川・水路網が存在している。この地域固有の水流を利用したシステムや協働の仕組みの発達などにより、様々な地域景観の特性が形成・維持されている。河川からの取水施設や砂防ダム、灌漑水路などの既設インフラを利用した小水力発電は、中山間地域の特性を活かしつつ流量や落差を利用してエネルギーに変換し、地域産業や地域住民を支援できると考えられる。

本研究では、岐阜県周辺の流域を対象にして、既設インフラを活用した小水力発電の実績と今後の可能性を概観し、地域主体の小水力発電における課題を抽出することなどが目的である。小水力発電は、地域分散性が高く、エネルギーの地産地消、中山間の地域再生に繋がるなどの大きな特長がある。一方、河川法や電気事業法などの制約も多く、小流量・低落差でも発電可能な水車の設置などを通じて、小水力発電導入プロセス（調査→設計→設備設置→利用）を実践する人材育成についても検討した。

## 2. 事例調査と分析

### (1) 岐阜県周辺における主な小水力発電

本研究において、事例調査の対象にしている小水力発電は、既設インフラの種類ごとに整理し、農業水路、ダム維持放流、砂防ダム、トンネル湧水などに大別した。具体的には、岐阜県郡上市の既設インフラを利用した小水力発電で、石徹白一号用水路発電と二号発電（朝日添）、阿多岐ダム小水力発電、大鷲堰堤、相谷トンネル、寒水漆洞谷などのデータ収集を行った。また、今回の調査では、郡上市以外のアルプス発電小早月発電所（富山県滑川市）、山田新田用水発電所（富山県南砺市）、飛驒トンネル小水力発電（岐阜県大野郡白川村）、白水のチカラ（白川村）、平沢川砂防堰堤小水力発電（金沢市）などを比較対象として調査した。発電所ごとに、流量、有効落差、出力、年間発電量、事業主体などの要素について調査した。ただし、大鷲堰堤については、平成18年度に行われたハイドロバレー計画の調査結果を参考にして推定値とした。

図-1は、調査対象事例について横軸を有効落差、縦軸を最大出力の関係を示したものである。発電出力は流量と有効落差の積に比例するため、基本的には流量が同程度であれば落差が大きいほど発電出力が大きくなる。同図に示すように、有効落差が同じでも利用可能な流量が異なるために最大出力に違いが生じている。今回の調査対象は、ほとんどが出力20～30kW以上、100kW前後となっており、売電を目的とした発電所である。なお、出力200kW未満の場合、調達価格は34円/kWh、期間は20年間である。

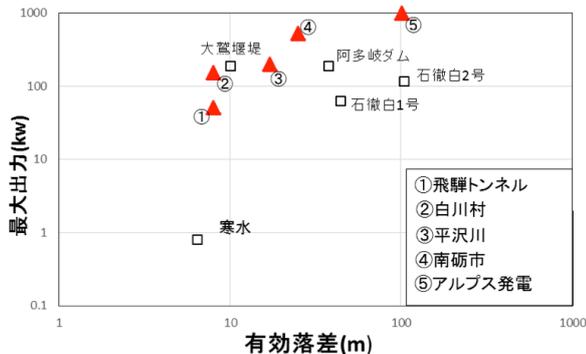


図-1 最大出力と有効落差

### (2) 砂防ダム（大鷲堰堤）における再評価

ハイドロバレー計画は、全国の市町村などの地方公共団体が地産地消型の水力発電を開発計画するものであり、砂防ダム・堰堤や農業用水路などの既設インフラ構造物を利用することにより、工期やコストを削減することなどを視野に入れて開発調査が行われている。また自家消費型の水力発電を行う場合は、国の促進制度や補助制度を利用することが可能であり、初期投資の軽減を行うことができる。

図-2は、岐阜県郡上市高鷲地区にある大鷲砂防堰堤を示したものであり、豊富な水量と落差が存在



図-2 砂防ダム（大鷲堰堤）

しており発電ポテンシャルは高い。この砂防ダムの大鷲堰堤については、2006年、ハイドロバレー計画による発電計画調査が行われている。当時の発電計画の概要としては、堤体左岸側の既設取水口を拡大し、左岸沿いに落差11.5m、延長129.3m、内径1.2mの導水管を設置し、クロスフロー水車で発電（最大出力188kW、常時出力47kW）を行う計画であった。発電した電力は、付近の湯の平温泉、高鷲小学校、高鷲給食センターで利用し、余剰電力分は売電するものである。ハイドロバレー計画が実施された2006年当時はRPS法の関係で、売電単価が8.4円/kWhであったが、2012年7月に再生可能エネルギー固定価格買取制度（FIT）が始まったことにより、出力200kW未満の調達価格は34円/kWhの4倍となった。

大鷲堰堤においてFIT価格を適用し、諸条件は変化しないものと仮定して売電収益を再計算し直すと、建設費回収年数は、単純に13年から5年に短縮される計算となった。発電形式や設置位置の変更等によるコスト削減、事業主体の決定や資金調達方法の検討などの事業計画により、再検討する余地が十分あると考えられる。

### (3) 既設ダムの維持流量を用いた小水力発電

岐阜県が所有する阿多岐ダムと丹生川ダムの直下には、ダムの落差と放流水を利用した維持流量の小水力発電が行われている。阿多岐ダムでは2015年度から運転開始（発電出力190kW）、丹生川ダムは2016年度に運転開始（出力350kW）されている。さらに、現在建設中の長良川支川亀尾島川の内ヶ谷ダム（岐阜県郡上市大和町、2025年度ダム供用開始予定）において、維持流量による小水力発電所の開発計画が検討されている。内ヶ谷ダム周辺は、年平均降水量2,800mmと多く県内でも有数な多雨地帯に位置しており、洪水調整用の治水ダム（重力式）である。その後、有効かつ継続的に再生可能エネルギーの活用を図るため、放流維持流量による小水力発電が検討され、岐阜県は最大680kWの出力を見込んでおり、建設費用や維持管理費などの負担を含めた発電事業の公募型プロポーザルが完了している。

一方、こうして得られた自然エネルギーの新規の系統接続が困難となっており、地域内系統の空容量が不足している場合、新規の系統接続には系統増強が必要となり、工事の長期化と負担金が課題となっている。わが国の系統接続の基本的な考え方は、「先着優先」であり、既存設備の存在を前提として

既存契約分に制約が生じないように検討が行われる。また、新規接続では系統条件が最も厳しい断面で熱容量超過が発生しない、不足する場合は系統増強が必要となる。ドイツでは地域内系統の混雑（空容量不足）が発生した場合、エネルギー事業法や再生可能エネルギー法などにに基づき、火力などの従来型発電に対する出力抑制や、太陽光発電や風力発電などの出力抑制を実施することで混雑を解消している。

#### (4) 石徹白における小水力発電の導入

岐阜県郡上市白鳥町石徹白地区は、1958年に福井県から岐阜県に合併した地域であり、岐阜県を縦断する長良川水系ではなく、日本海側に注ぐ丸頭竜川水系朝日添川から取水した農業用水路が集落内を流下している。この地域には、1924年に小水力発電が導入され、この事業主体は「石徹白小水力利用組合」であり、昼は製材所、夜は各世帯の照明などに供給されていた。1934年には現在利用されている農業用水路（1号、2号用水）が配置され、1955年に北陸電力からの送電網導入により、この地域の小水力発電事業は廃止された。

2003年以降、地域内の「NPO法人やすらぎの里いとしろ」や地域外の「NPO法人地域再生機構」が協働して、小規模の小水力発電（螺旋水車や上掛け水車）を設置した。NPOは自治会下の用水委員会に使用許可を得て実証実験が開始された。2012～2015年にかけては、県営農村環境整備事業により、朝日添川の砂防ダムから取水した石徹白1号用水発電所（石徹白清流発電所）が整備された（事業主体：岐阜県）。有効落差44.4m、最大使用流量 $0.19\text{m}^3/\text{s}$ 、最大出力63kW、総事業費負担は、国庫50%、県25%、市25%の補助事業である。この事業を契機にして、石徹白地区住民の全員が出資する「石徹白農業用水農業協同組合」が2014年4月に設立された。その一環として、この農業協同組合が事業主体となって、県単補助事業による石徹白番場清流発電所（石徹白2号）を完成させた。同じ1号用水路を利用しているが、ヘッドタンクから発電所の有効落差104.5m、最大使用流量 $0.143\text{m}^3/\text{s}$ 、最大出力125kW、総事業費負担は、県55%、市20%、農協25%の県単小水力発電活用支援事業である。

このように、石徹白「清流」発電所の事業主体は岐阜県、石徹白農業用水農業協同組合が施設の維持管理を実施している。一方、石徹白「番場清流」発電所の事業主体は農業協同組合自体であり、地域住民が出資して新たな農協を設立し、支援事業を活用し小水力発電所を建設した事例は、全国的にも先進的な取り組みである。また、図-3は、導入された発電水車を示したものである。石徹白「清流」発電所は、国産の横軸単輪単流渦巻フランシス水車が設置されている。石徹白「番場清流」発電所には、縦軸6射ペルトン水車（イタリア製）が導入されており、国内では珍しい形式であるが、高効率かつ安価な水車の導入事例である。



(a) フランシス水車 (b) ペルトン水車

図-3 導入された水車形式

### 3. 地域の小水力発電の導入と人材育成

#### (1) 小水力発電アイデアコンテスト

東海・北陸地区の国立および私立の工業高等専門学校（以下、高専と略称）の学生が参加する「小水力発電アイデアコンテスト」を毎年実施している。このコンテストは、2011年に郡上市（第1回）にて開催され、第2回（いなべ市）、第3回（鯖江市）、第4回（豊田市）、第5回（南砺市）、第6回（高山市）、今年で第7回（白山市）を迎える。学生は、地域の自然資源を活用した小水力のアイデアを提案し、設計・製作・設置を通じて自身の技術と社会との関わりや社会の仕組みを学び、地域の担い手としての課題を解決する力を培う機会としている。また、発電機はデンソー製品を利用し、二輪用のマグネット、農機用・トラック用オルタネーター、EPSモータに推移している。コンテストの概要説明、基礎学習支援、合同合宿、技術支援チームの訪問、現地設置、プレゼン審査などが行われている。

小水力発電は、電気や電子制御、機械、土木など幅広い知識や技術が必要となり、技術だけでなく設置する場所の地域課題を解決するアイデアが必要である。高専生のもつ底力をコンテストに活かして、社会に真に役立つ技術者への第一歩と位置づけており、小水力発電は、地域の共有財産である水をエネルギーとして活用し、地域が主体となって電気の使い方や維持管理までを決める必要がある。これらのプロセスによって元気なコミュニティが育ち、地域に合った電気の使用方法や暮らしのあり方など、地域が大きく変わる可能性を秘めている。

本コンテストは競うことが第一目的ではなく、開催地域の住民とのコミュニケーションや現地調査による地域の自然資源の活用を考慮したアイデアの提案が主目的であり、現地の別々の場所に設置された発電システムの効率や安全性、地域のニーズの反映や社会と技術の関わりも審査・評価の要素である。

一例として、岐阜高専の水車製作や水理模型実験



図-4 縦軸型水車の模型製作と水理模型実験

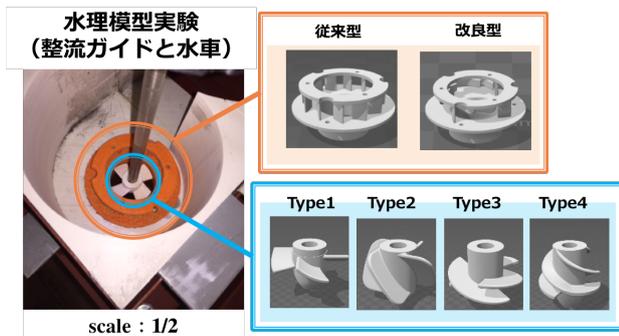


図-5 水理模型実験に使用した水車形式とガイド



図-6 第6回小水力発電アイデアコンテスト（高山市）

の概要を示せば、図-4 および図-5 のようである。現地の農業用水路の水理条件と維持管理などから、縦軸型水車を選定し、その水車やガイドの形状を3Dプリンターで製作し、事前に水理模型実験を行い発電効率や安定性などを検討した。さらに、図-6は、実スケールの発電システムを製作して現地に設置し、プレゼン発表している状況である。審査・評価方法は、学識者、有識者、実行委員会から構成される審査員、地域住民の投票により、発電効率、安定性、現地ニーズの反映、製作コスト、環境・安全性への配慮、プレゼンPR力などから受賞チームが決定された。

## (2) 自然エネルギー学校による啓発活動

自然エネルギー学校は、特定非営利活動法人が主催する小水力発電導入手法を参加者が学ぶ実践的な活動である。自然エネルギー学校では、実際に現場で小水力発電導入に向けての調査、設計、制作、設置を行うことで、より実践に即した発電を学ぶものである。一例として、郡上市寒水地区で開催された事例を紹介する。

講座は全部で6回開催されており、前半は、座学を中心に小水力発電の基礎知識や法的手続きなどの導入に向けた知識を学び、後半は、実際に現地に発電システムを設置して発電した電力の利用方法の検討までを行っている。自然エネルギー学校（実践編）において重要なことは、参加者（地域住民）の一人

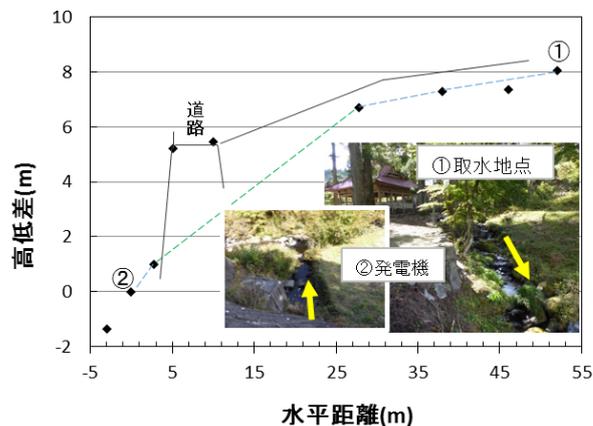


図-7 ピコ水力発電の設置条件（寒水漆洞谷）



図-8 ピコ水力発電の設置状況（寒水漆洞谷）

一人が自ら手を動かし能動的に小水力発電に関わって理解を深めていくことである。明宝寒水地区では、発電機を設置し発電した電力を利用するところまでを実践コースとして行なった。ここで使用した水車は、岐阜高専が過去に小水力発電アイデアコンテストにて使用したクロスフロー水車と、風力用のスカイ電子製の24極発電機（定格200W、HR-200）を提供したものである。

自然エネルギー学校で設置した小水力発電システムは、岐阜県郡上市明宝寒水地区の白山神社周辺を流れる漆洞谷の小河川を使用して発電を行った。この漆洞谷は、市道を横切るように流れており、市道の下には水路カルバートが設置してあり、その落差を利用した。取水口から発電機までの落差についてトータルステーションによる測量を行った。

図-7は、きわめて小規模のピコ水力発電を設置した地形測量の結果、図-8は、取水口、配管、制御盤、発電機の状況を示したものである。取水口周りの整備（目詰まり防止用）、取水パイプの設置と固定、制御盤の配置、発電機とパイプの接続など一連の作業は、自然エネルギー学校（実践編）の一環として実施された。発電システム本体が完成後は、隣接した白山神社における照明等に利用されている。さらに、発電状況をモニタリングするために、溪流河川の水位データ（圧力センサ、大気圧補正計）、発電出力量（データロガー）を設置し、webカメラなどへの電力供給などを検討した。

#### 4. 小水力発電導入（郡上市モデル）<sup>6)</sup>

岐阜県郡上市では、前述した石徹白地区を成功モデルとして、2013年に郡上市小水力発電調査研究会が設置され、地域特性を活かした小水力発電ポテンシャルについて調査研究が実施された。この研究会では、「安全で安心して暮らせる持続可能な地域づくりに資する」ために、現地調査、モデル事業（小規模、事業型：公共・民間）、普及啓発・人材育成、支援メニューの4つの施策を実施することで、「地域が主体となった小水力発電導入が加速する」という提言が行われた。図-9は、この提言による小水力発電導入施策の全体像を示したものである。

さらに、2015年からは、小水力発電の事業化に向けた推進体制として「郡上市小水力発電事業推進会議」が設立され、小水力発電の事業化を検討するために、モデル事業、普及啓発・人材育成の施策が具体的に実施された。実施策により得られた水力発電導入施策の全体像を示したものが図-10である。

これらにより得られた成果は以下のようである。

- 1) 郡上市モデルの構築・実践
  - 地域住民主体による小水力発電の事業化の支援、全国的に先進的なモデルとして提案
- 2) 小水力発電ポテンシャルの高い候補地調査(86箇所)と有望地点マップの公開
- 3) 大小スケールの様々な小水力発電の実証実験
  - a) 小規模型：阿多岐(板倉)地区小水力発電設備、寒水第1小水力発電所
  - b) 公共：石徹白「清流」発電所をはじめ多数事業発掘に調査研究会メンバーが携わった。
  - c) 民間：阿多岐小水力発電所（中部電力）など
- 4) 小水力発電を担う人材育成とネットワーク構築
- 5) 小水力発電導入に対する支援政策
  - a) 支援政策：流水占有料減免措置、自然エネルギー学校、有望地点マップの公開
  - b) 流量計測支援（流速計・水位計の貸出）

郡上市小水力発電調査研究会、郡上市小水力発電事業推進会議、自然エネルギー学校などを通じて、小水力発電に関心を持つ市民や小水力発電の実現に

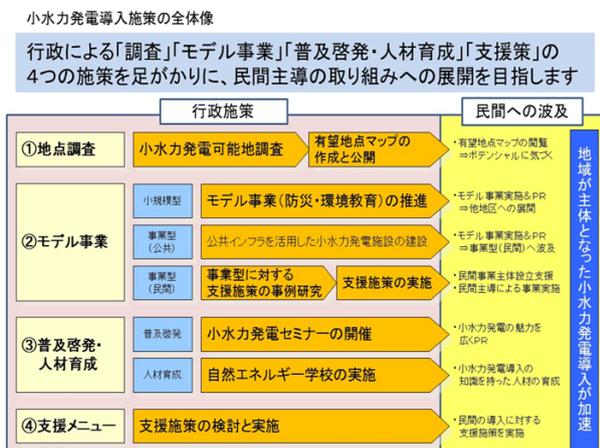


図-9 郡上市の小水力発電導入施策の全体像

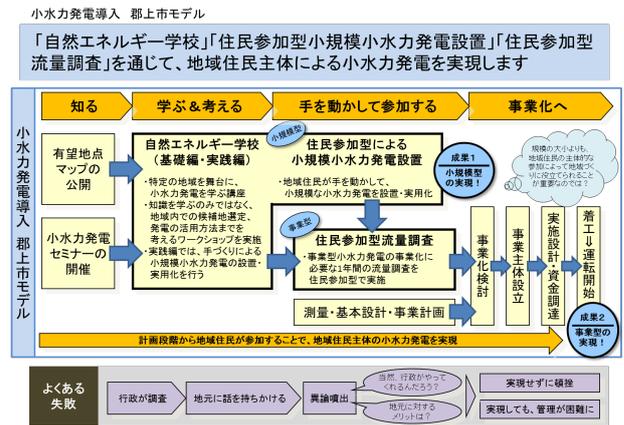


図-10 小水力発電導入（郡上市モデル）

取り組んでいる市民が飛躍的に増えた。2016年度で郡上市小水力発電事業推進会議は終了したが、これからも情報交換や研修、導入支援などを行うネットワーク型組織が必要さが指摘された。また、岐阜県小水力利用推進協議会や恵那市小水力利用推進協議会などの活動を参考にしながら、郡上市小水力利用推進協議会（仮称）の設立が検討されている。本協議会は市民中心で設立運営を想定しており、郡上市の小水力発電政策と緊密に連携していくことや、事務局機能や活動費の支援が必要となる。

今後、郡上市が担うべき、新たな小水力発電支援政策として、小水力発電導入に対する補助事業・調査事業の紹介および申請支援がある。小規模型・事業型小水力発電の実現を後押しするために、国や県などの補助事業を活用することが有効である。特に、申請可能な事業としては、岐阜県森林環境税を利用した「小水力発電による環境保全推進事業（岐阜県農政部）」、「水力発電事業性評価等支援事業（経済産業省・新エネルギー財団）」などがある。また、系統連携容量不足への対応を念頭に置く必要がある。前述したように、岐阜県北エリアにおいても系統容量が不足しており、2016年より電力広域的運営推進機関が電源接続案件募集プロセスを開始した。この募集プロセスは、系統連携希望者が発電設備等を送電系統に連系する際に大規模な対策工事が必要となるなど、系統連系に必要な工事費負担金が高額となる場合に、近隣の電源接続案件の可能性を募り、複数の系統連系希望者により工事費を共同負担して系統増強を行う手続きである。再生可能エネルギーの新規導入にとっては逆風であるが、事態を改善するための働きかけが必要となる。さらに、郡上市の総合的な新エネルギーの方向性として、小水力発電に絞って検討されたが、今後は太陽光、木質バイオマス利用、省エネルギー、新電力を含めた総合的な観点からの再検討が必要となる。

#### 5. おわりに

以上、本研究では、先進事例の調査分析により、既設インフラ（農業水路、ダム維持放流、砂防ダム、

トンネル湧水など)を利用した小水力発電として、岐阜県および富山県を対象として発電規模や設立主体、維持管理などのデータ収集を行った。また、石徹白発電所(1, 2号)、阿多岐ダム・丹生川ダム発電所などの事例、小規模のピコ水力発電(最大200W)の導入プロセスを実践する体験型プロジェクトを通じて、地域主体の取組みにおける課題を抽出した。得られた主要な結論は以下のようである。

- 1) 石徹白地区では、NPO法人が中心となって地域住民を主体とした小水力発電による地域づくりが取組まれている。2kW規模の小水力発電から、2015年に売電目的の小水力発電(63kW)が稼働、2016年には、2014年に設立した石徹白農業用水農業協同組合が主体となって発電・維持管理・運営(125kW)している。
- 2) 地域住民が主体となる小水力発電導入プロセスでは「郡上市モデル」が提案され、小水力発電への理解を深めて普及を促進することを目的とした自然エネルギー学校(実践編)が実施され、小水力発電を担う人材育成とネットワークの構築、系統連携容量不足への対応、太陽光や木質バイオマス利用、省エネルギー、新電力を含めた総合的な方向性の位置づけが必要となることが指摘された。

## 謝辞

本研究の遂行に際して、郡上市、岐阜県小水力利用推進協議会、郡上市小水力発電調査研究会(2013～2014年度)および郡上市小水力発電推進会議

(2015～2016年度)の委員、NPO法人地域再生機構の方々にも多大なご協力をいただいた。最後に記して謝意を表します。

## 参考文献

- 1) 一般財団法人電力中央研究所：林業地域におけるマイクロ水力発電活用方策の検討、公益財団法人国土緑化推進機構助成研究(平成25年度成果報告書)、91p., 2014.
- 2) 飯田有貴・包清博之：中山間地域における小水力発電の導入可能性に関わる条件に関する基礎的研究、ランドスケープ研究, Vol.77, No.5, pp.481-486, 2014.
- 3) 永田 裕・柳井重人：中山間地域における小水力発電の導入と地域でのに関する研究、-岐阜県郡上市白鳥町石徹白地区を対象として-, 環境情報科学学術研究論文集, Vol.28, pp.83-88, 2014.
- 4) 後藤真宏・上坂博亨・小林 久：南ドイツにおける小水力発電の調査報告とわが国の農村地域の小水力発電の今後の展望、農工研技報告, No.210, pp.169-178, 2009.
- 5) 小林 久：ドイツ、オーストラリアにおける小水力発電の現状、農業農村工学会誌, Vol.75, No.11, pp.993-996, 2007.
- 6) 郡上市小水力発電事業推進会議：平成28年度小水力発電事業推進会議事業報告書, 56p., 2017.

(2017.8.25 受付)

## STUDY ON THE MICRO-HYDROELECTRIC GENERATION SYSTEM USING THE EXISTING INFRASTRUCTURE IN GIFU

Kiyoshi WADA and Motohiro OTSUBO

This study is based on case study of Itoshiro district, Gujo city in Gifu prefecture. It aims to elaborate the suitable introduction of micro-hydropower and the role in a community, as well as to examine achievements and tasks of introduction of small hydropower, community development. Local residents led the way in gauging the scope of demand for hydraulic power services, they established agricultural cooperative association for hydropower using irrigation system in 2014. They are conducting hydropower generation business of output 125kW. It is important to recognize that the proposed model depends on its intended local residents. Experience-oriented education with a focus on field experiments and practical training is expected to contribute to smooth human resource development for hydroelectric power system. The correspondence to capacity of the electric power system linked with new energy insufficient will be necessary in future.