

再生可能エネルギーであるマイクロ水力利用の展望

岡山朋子

人間環境学科 環境政策コース

専門分野：廃棄物管理、循環型社会政策論

キーワード：再生可能エネルギー、マイクロ水力発電、地域社会、
ソーシャルキャピタル

1. はじめに

東日本大震災から4年が経過した。福島第一原子力発電所の事故を受けて、菅直人民主党政権は活断層の上に建つ浜岡原子力発電所を運転停止するとともに、再生可能エネルギー特別措置法を策定した。2012年7月には同法施行をもって再生可能エネルギー（以下、再エネ）によって発電された電力の固定価格買取制度（FIT）が開始された。これは、それまで高コストのために普及が進まなかった再エネによる発電を、消費者が賦課金（サーチャージ）を支払うことで促進していく仕組みである。日本各地では再エネを利用した発電が急速に普及し始め、2011年度には大規模水力を除く再エネの全国総発電量に占める割合は1.4%だったのが、2013年度は2.2%となった。

例えば太陽光発電においては、2012年度は出力10kW以上、20年間固定買取価格が43.2円（以下すべて金額は税込み）であり、メガソーラーシステムが次々に建設された。10kW未満の単独設置も、10年間固定買取価格は42.0円であった。これによって、2012年度時点で約1兆円の市場を創出した¹¹。しかしながら、2015年度は10kW以上の20年間固定買取価格が29.2円（ただし7月1日から、6月30日までは31.3円）、10kW未満の余剰買取は出力制御設備設置義務がない地域においては10年間固定で35.6円となっている。10kW未満の余剰買取・ダブル発電では出力制御設備設置義務がない地域においては29.2円である。この買取価格の改訂と出力（発電）制限がかかったことで、今後は普及にブレーキがかかる可能性が高い。

一方、小水力発電¹¹においては、2011年度は200kW未満・調達期間20年間で36.7円、2015年度も36.7円で制度導入時から変化はない。しかしながら、それは小・マイクロ水力発電の普及が実はほとんど進んでいないことを意味している。

日本においては再エネの賦存量は高い。そこで福島第一原子力発電所事故後、原子力発電依存からの脱却を目的に、再エネ利用推進が固定買取制度といった経済的手法を用いて政策的に進められてきた。しかしながら、現在、その政策が転

¹¹ 小水力発電には厳密な定義はないが、新エネルギー利用等の促進に関する特別措置法（新エネ法）では出力1,000kW以下の発電設備を総称して小水力発電と呼んでいる。100～1,000kWの出力がミニ水力、100kW以下をマイクロ水力と呼ぶのが一般的である。1kW未満の極めて小規模な発電をピコ水力と呼ぶこともある。本稿においては、1～2kW程度の出力を検討していることから超マイクロ水力と呼ぶべきだが、便宜的にマイクロ水力と記述する。

換され、再エネによる発電は頭打ちになろうとしている。

そこで本稿では、日本の再エネのなかでも賦存量が大きいわりに技術的な課題に加えて法制度・慣習的な課題が多いために普及が進まない超マイクロ水力発電に着目し、その利用の展望について考察する。

なお、2 章では宮城県南三陸町をフィールドとしたマイクロ水力発電実証実験研究案について、3 章では山形県長井市における水力利用プロジェクト案について報告する。これらの研究案は現時点ではまだ実施されていないが、すでに研究助成金の申請済みあるいは申請準備をしている状況にある。4 章には、現時点ではまだ確度が低いアイデア段階ではあるが、名古屋大学エコトピア科学研究所の内山知実教授が開発した中空マイクロプロペラ水車・発電機を利用した下水管設置型マイクロ発電案について報告する。最後 5 章ではマイクロ水力発電の普及に向けた展望を考察する。

2. 南三陸町におけるマイクロ水力発電事業の試案

宮城県南三陸町は、東日本大震災における被災地である。志津川を中心とした同町は、現在復興プランを実施しているが、一方で人口流出に歯止めがかかっていない。その南三陸町の全世帯 7 軒の超マイクロ集落において、水車利用の文化・伝統を継承し、かつ集落生活支援と集落環境保全を目的とした超マイクロ水力発電・電力利用パッケージ開発研究「南三陸町 μ^3 水力発電実証実験」の試案を以下に示す。

2.1 ポテンシャル調査

本学科環境政策コースでは、2013 年度の 3 年生、ならびに 2014 年度の 1 年生（こどもコミュニティコース含む）と 3 年生について、南三陸町において 3 泊 4 日のフィールドワークを展開している。本学科の学びの場として非常に関係の深い同町において、マイクロ水力発電・電力利用が可能かどうかを検討するため、研究者等で再生可能エネルギーの利活用の可能性（ポテンシャル）調査を開始した。

南三陸町は、宮城県北上川東北に位置する。北上川は一級河川であるが、南三陸町は町域が分水嶺であり、町内に流れる 8 河川はすべて二級河川である。筆者は他専門家とともに 2015 年 2 月 2 日に同町の水力ポテンシャル調査を実施した。今回の目的は発電サイトの検討である。この調査には、筆者の他、流体工学が専門の名古屋大学エコトピア科学研究所の内山知実教授、信州大学名誉教授の池田

敏彦教授、ならびに本学・人間環境学科の山内明美准教授が参加した。

この調査にあたって、南三陸町の八幡川およびその支流、伊里前川支流等の河川を視察した。その結果、伊里前川支流の払川がマイクロ水力発電に適していると判断した。なお、払川における発電ポテンシャル調査（出力試算）については、現地住民がかつて 2kW 発電できていたという証言を基に研究案を策定した。厳密な発電ポテンシャル調査、土木工事の必要性把握等は、申請中の研究助成金が獲得できた後、行う予定である。

2.2 研究試案「南三陸町 μ^3 水力発電実証実験」

本研究は、東日本大震災の被災地である南三陸町の払川集落〔マイクロコミュニティ〕を実証実験フィールドに選定し、伊里前川流域の払川に超小型の水力発電施設〔マイクロ水車・発電機〕を設置し、発電された電力を電気自動車の軽トラック（以下、軽トラ EV）に充電し、集落のすべての世帯で軽トラ EV を共同利用するコミュニティシステム構築を目的とする。また、払川集落でマイクロ水力発電・電力共同利用システム構築を実証した後、その事業性評価ならびに環境影響評価を行い、最適かつ最小のマイクロ水力発電・利用ユニット〔マイクロ電力利用ユニット〕をパッケージ化し、他の村落や途上国等への水平展開を目指す。以上をもって本研究を南三陸町 μ^3 水力発電実証実験と称する。図 1 に概要を示す。

2.3 本研究の新規性と意義

多くの水路や払川のような小河川、沢筋では 1~2kW 程度の出力となる。払川も同様である。従って多くの先行事例では、1kW の電力をどのように使用するかが最も大きな課題であった。例えば獣除



図 1 南三陸町研究のイメージ

けのための電柵利用が須坂市で実証実験されているが、電源となる河川・水路と

電力を必要とする電柵のパッケージは、それを必要とする他地域が限られるために、普及・水平展開が難しい。従って、本研究のような 1kW を最適な出力サイズとし、かつ汎用性が高い EV 利用する最小ユニット・パッケージ開発は極めて大きな意義がある。また、実際には河川が均質でないため実際には共通の電源ユニット開発は難しいが、年間を通じた実証実験からさらなる課題を抽出するとともに、その解決に挑戦する。

また、本研究においては、EV の軽トラックを 2 台用意し、共同利用するシステムの導入を検討している。ただし、寒冷地においては EV の充電効率が低くなり、また車内に暖房を入れることによるバッテリーの消耗の早さなどが、すでに課題として指摘されている。さらに大きな課題としては、1~2kW の出力では EV に充電できない可能性が高いことである。本研究では、年間を通じた実証実験を行うことで、各季節における技術的な事業可能性に関する技術的な課題のさらなる抽出・整理を行い、それらの解決を目指す。これまで課題が多い上に解決が困難であったために普及しなかったマイクロ水力発電および EV 利用の実証と確立を目指すものであり、挑戦的な研究であると言える。

2.4 期待される成果

2.4.1 水力利用温故知新による伝統文化の継承

弘川集落は宮城県南三陸町歌津地区にある現在 7 世帯で構成されている。弘川は、修験場である霊峰・田東山に入る僧らが、身体を清めるために利用した川であった。弘川集落は、この田東山入口に位置する。現在、同集落の主な生計手段は、森林管理を行うなどの林業と小規模な農業である。

また、弘川集落には、有形民俗文化財として水車と水車小屋が遺されている。昭和 40 年頃まで主に脱穀に水力を利用していた。つまり弘川集落には水力を利用した農業を行っていた実績があり、改めて弘川の水力を利用することで、同集落における水力利用文化・伝統の継承を行う。

2.4.2 電力弱者集落への集落生活支援

弘川集落を含む南三陸町の山間地は、電力弱者集落でもある。冬季は積雪や倒木によって電線が寸断されることがあり年に 1、2 回あり、場合によっては数日程度停電することがある。従って元々電力依存度は低く、冬季の暖房については、地場でとれる薪や炭ストーブ、石油ストーブなどを利用している。が、その燃料等を運搬する軽トラックは生活に不可欠である。また、停電によってポンプが停

止するため断水し、通信手段も途絶えて孤立する。本研究はこのような村落において、林業および普段の生活において不可欠な自動車としての利用と、通常時の家庭用電源ならびに停電時の非常用電源として利用できる、マイクロ水力発電と軽トラ EV の共同利用体制の構築を試みるものである。

マイクロ水力発電はベースロード電源を代替するものではないが、系統電源のバックアップ電源、非常用電源として重要な少々安心な電源である。系統電源が途切れたときにも電気が得られる安心感を得ることができる。

2.4.3 集落環境保全

EVはCO₂等の排気ガスを発生させない、極めて低環境負荷型の乗り物である。その電力を再生可能エネルギーであるマイクロ水力で賄うことで、集落の環境を保全する。また EV は、充電池としての使用も可能である。平常時は軽トラとしてガソリン車・ディーゼル車を代替することができるが、家庭の電源に EV のバッテリーをつなぐことで、停電時には電話やテレビといった通信ならびに照明の電力をバックアップできる。モビリティとしては 100%ガソリン車やディーゼル車を代替することは難しいが、半径 50km 圏内の買い物といった生活の移動手段、集落周辺の林業・農業に使用する貨物車両としては十分に対応できることを実証する。

このように生活バックアップ電源ユニットを開発する本研究は、集落の持続可能で安心な生活支援、文化継承と環境保全に資するものである。

2.5 アウトプットの更なる展開

2.5.1 地域の再生可能エネルギーの利用ユニット開発

本研究では、極めて小規模な出力の水力発電に最適なマイクロ電源利用ユニット開発を行う。構築されたユニットをパッケージ化・標準化することで、他地域に水平展開が可能になる。マイクロ電源ユニットは最小単位であり、展開する場合は数をカスタマイズすることで対応する。河川状況が多様であるためパッケージ均一化は難しいが、本研究はその開発に挑戦するものであり、その成功は大きな成果となる。

2.5.2 コミュニティのソーシャルキャピタルの醸成

本研究では、コミュニティが主体となって、関係当事者（ステークホルダー）の議論をもってマイクロ電源を共同運用する体制を構築する。丁寧な合意形成手

法を用いることでコミュニティのソーシャルキャピタルが醸成されることが期待される。なお、弘川集落は既に共同集落でありソーシャルキャピタルが高いが、展開する場合の成功コミュニティモデルとなる。

2.5.3 フィールドワーク教育ツールとしての効果

その他、本学科環境政策コースにおける3泊4日のフィールドワークⅠにおいて、同実証実験のサイト見学を行うことで再生可能エネルギーについての知見を深めることができる。また中長期間南三陸町に滞在して水車の稼働支援行うなどすることで、学生の再生可能エネルギーを利用したまちづくりに関する教育的効果を期待できる。

3. 山形県長井市におけるマイクロ水力発電事業の試案

次に、山形県長井市におけるマイクロ水力発電プロジェクト研究案について述べる。

長井市は、本学科コース1年生が2013年度まで3泊4日のフィールドワークを5年連続で展開してきた都市である。2015年度からは2年生のフィールドワークを展開する学びの場である。南三陸町同様、本学科コースとは非常に関わりの深い都市である。

長井市は約20年間におよぶ「レインボープラン」を実施している自治体である。長井市は、1988年に母体が発足した「レインボープラン推進協議会」を筆頭に、市民の環境活動が極めて活発なソーシャルキャピタルあふれる地域である。2014年発足の「置賜自給圏推進機構」は3市5町の取組で、再生可能エネルギー一部会など8つの分科会をもつ。

本研究案は、このような長井市のソーシャルキャピタルに着目し、事業性確度を期待するものである。

3.1 ポテンシャル調査

山形県長井市は、県南置賜地域、最上川流域に位置する。最上川は一級河川である。長井市は野川と最上川に挟まれた非常に水の豊かな地域であり、「水の街」を標榜している。筆者は名古屋大学エコトピア科学研究所の内山教授とともに、2015年3月9日に同町の水力ポテンシャル調査を実施した。

その結果、水が年間を通じて非常に豊富で、利活用できる可能性が高いことが分かった。また、長井市においては市民・行政・事業者の関係が深いことからソ

ーシャルキャピタルが醸成しており、その市民の社会的絆の力を活用した水力利用が有望である。



図2 長井市研究のイメージ

3.2 長井市におけるマイクロ水力発電事業

ポテンシャル調査(マイクロ水力発電が可能かどうかの視察)の結果、以下のように長井市においては3つのプロジェクトが可能であるとし、提案する。(図2参照)

3.2.1 長井水データベース構築プロジェクト

長井市においては、レインボープラン推進協議会を筆頭に、置賜自給圏推進機構等、市民・行政・事業者の協働の取組が盛んである。このような自治体において、市民の協力を得た市民主体の一斉ポテンシャル調査を社会実験として実施することを提案する。

具体的には、長井市中心部の準用河川ならびに水路について、町内河川ごとに流量・水深調査に関して年間を通じて毎日行い、市中心部全体の水の力・ポテンシャルデータベースを構築することを試案する。このような調査は全国においても実施された例がなく、市民による一斉ポテンシャル調査によって年間データベ

ースが構築されることは極めて画期的である。このエネルギー賦存量とポテンシャルを明らかにしたデータベースをもとに、長井市中心部における最適かつ最大限にマイクロ水力を利用する「長井市マイクロ水力エネルギー利活用マスタープラン」を策定し、各事業の実施につなげていくことが期待できる。

また、このような市民総出の一斉調査においては、河川に対する市民の意識変革につながることを期待される。特に長井市は「水の街」を標榜しているが、実際に住んでいる市民にとっては比較対象がないため、水が豊かであることを市民が認識できていない。そのため、水はあって当たり前であり、資源として使うという発想が生まれ難い。そこでこのような調査を行い、長井市の水資源ポテンシャルを市民に可視化することは、市民が「水の街」を真に理解することにつながる。すると、それは愛郷心や誇りにつながり、さらに河川にごみを捨てることをやめるといった環境行動を促すことにつながり、長井市中心地区の環境改善にもつながるといった効果も期待される。

提案するプロジェクトスケジュールは、8月1日の水祭りの日に一斉調査を開始し、それをもって調査方法を共有した後、毎日各自町内の決められた地点の流量・流速・天候を調査・記録する。秋の河川清掃においては河川におけるごみ量も計測して記録する。調査を開始してから1年後の水祭りの前日に、年間を通じた河川ポテンシャル調査を終了する。またその秋に再び河川清掃を行い、ごみ量を調査し前年と比較する。

その他、長井市民（中心地区在住の有無、一斉調査への参加の有無で別途集計）を対象にアンケート調査を事前・事後に実施し、この一斉調査によってどの程度河川に対する意識、再生可能エネルギーに対する意識、ならびに河川へのごみの投棄に関する意識と行動に変化が生じたかを把握する。筆者の専門である循環型社会政策論においては、このような河川ポテンシャル調査を経て、どのようにごみの排出行動に変化が現れるか、極めて興味深い調査となる。

3.2.2 長井道の駅・水の駅プロジェクト

長井市中心地区の東町では、現在、道の駅を建設する計画がある。従来、道の駅は郊外に位置することが多いが、長井市においては市役所付近、最上川堤防脇の東町に建設を予定している。最上川の東町は、最上川の水運を利用していた時代の最も上流の碇泊地であり、長井市ではこの最終港からさらに運河を利用して街の中まで物資を輸送した。また、さらに上流の米沢方面へは、長井市から陸路で輸送した。このような文化的背景がある場所であり、水の街長井を象徴する場

所でもある。従って、この道の駅は通常の道の駅の機能である駐車場、トイレ、休憩所の他に、長井の舟運文化を学ぶことのできる資料館の併設を検討中である。

この道の駅予定地付近には準用河川の木蓮川が流れており、木蓮川の水力を利用したマイクロ水力発電が有望である。ここで発電された電力は、道の駅において電気自動車（EV）に充電し、EVは長井ダムなど長井市の水源や街中の水力利用を見学するためのエコツアー用自動車として貸し出す。また、その充電池の出力を利用し、女性用トイレの電源として利用することを提案したい。停電時においても水と電気が止まらない非常用トイレとして利用することができる。

このように、道の駅に長井市の水力利用文化を紹介する教育施設としての機能と防災機能を持たせることを提案する。

3.2.3 長井駅前クロスストリートライトプロジェクト

本学科コースのフィールドワークにおいて、毎年参加した学生からあげられる長井市の感想として「駅前が暗い」というものがある。静かな環境は良いが、夜間にコンビニエンスストア等に学生が行くにあたり、街灯がなく通りが暗いことを学生が指摘したものである。

そこで、市内中心部を流れる水路・側溝の水を利用し、LED ライトを点灯し、駅前市外中心部の街灯を整備することを提案する。

3.3 期待される成果

これらのプロジェクト推進協議会メンバーとしては、研究者として、筆者、内山知実教授、池田敏彦名誉教授、行政からは長井市企画調整課長、建設課長、市民団体からは置賜自給圏推進機構の再生可能エネルギー部会、日本トイレ研究、さらに地域組織の長井市町内会（自治会）、こども会等を予定している。また、事業者は未定であるが、大田区同様にもものづくりの街でもある長井市には中小企業が集積しているため、地元の事業者の参画も求められる。地元において、例えばポテンシャル調査用の測定ツール、マイクロ水力水車ならびに発電機、街路灯といった関係機材の製作ならびに水車のメンテナンスを委託することで、地元経済への貢献も期待できる。

3.3.1 水データベース構築プロジェクトによって期待される成果

市民を巻き込んで自分の近所の川調査を年間通じて行うことで、長井市全体の水力資源ポテンシャルが明らかになる。自らの住む地域が持つ資源量を可視化でき、市民が長井市の再生可能エネルギー・資源を見直すことができる。誰にでも簡単な流速・水深計測ツールの開発が必要であるが、これも新規性のある開発である。

3.3.2 道の駅・水の駅プロジェクトによって期待される成果

道の駅・水の駅を整備することで、「水の街」長井市の水利用文化を知るエコツアーの拠点が長井市にできる。マイクロ水力によって EV が実際に走ることを見て、災害時も安心安全なトイレを使用することで、環境教育、防災教育の普及啓発にもつながる。

3.3.3 駅前クロスストリートライトプロジェクトによって期待される成果

暗い街の中心部が明るくなり、夜間でも歩きやすくなる。街の治安維持にも貢献する。

4. 下水管を利用した マイクロ発電事業の試案

最後に、下水管マイクロ水力発電の試案について述べる。都市の地下には下水道が通っている（図 3 参照）。下水管には風呂水、台所の排水、トイレといった生活排水の他、工場等からの工業排水などが流れている。下水道は、いわば人工的な地下水脈とも言えるものであるが、汚水の中には髪の毛、トイレット

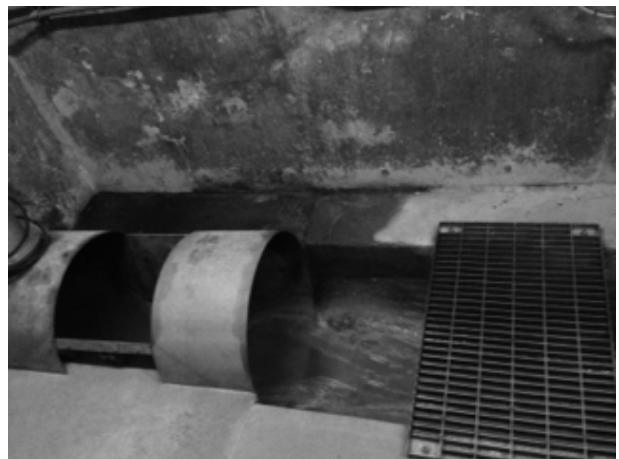


図3 下水道と下水管（愛知県豊川市御津1号接続

ペーパーなど固形物も多く含まれている。従って、通常の水車を設置すると水車に異物が詰まり閉塞し、停止してしまう。この水車の異物閉塞問題は、すでに多くの事例において大きな課題として報告されている。例えば、河川や水路におけるマイクロ水力発電事例において

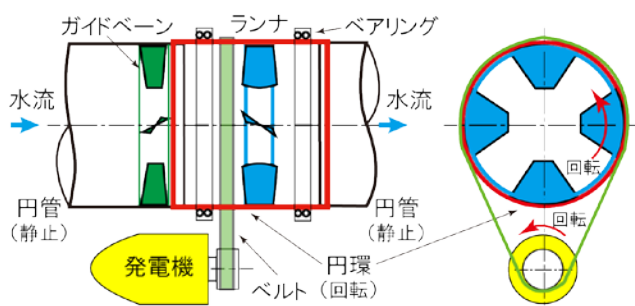


図4 軸なしマイクロプロペラ水車の概要

は、落ち葉や小動物の死体、魚類等が詰まる原因となっており、その対策のためにフィルターを設置する必要がある。しかしながら、フィルターの異物除去等のメンテナンスに大きな労力が必要となり、手間とコストがかかる。これが普及を妨げている大きなひとつの要因である。

この課題を解決するため、名古屋大学エコトピア科学研究所の内山教授は発電機一体型軸なしマイクロプロペラ水車を開発した（図4参照）。省メンテナンス性の高いマイクロ水車を実用化して普及させるには、異物通過性に優れたマイクロ水車の開発が必要だからである。さらに、水車の運用を担う人材育成も必須である。省メンテナンス性に優れていても、メンテナンスフリーになるわけではない。とはいえ、中空水車は従来の水車のような頻繁なフィルター掃除は必要なく、羽の脱着が易しいため、高齢者や子どもでもメンテナンスを行うことができる。

筆者は、この中空マイクロ水車・発電機を下水道内に設置し、電力を得ることを提案したい。本来下水管はマンホールを降りて下水管内に入ることができるが、各マンホールに同水車・発電機を設置することでひとつひとつは微量ではあるが発電が可能であると考えられる。中空マイクロ水車・発電機は、下水管内にチューブ状の水車・発電機ごと沈め、天井から吊るす形で設置する。これは実験中以外の時間は下水管から外しておけるように吊るすものである。発電機も水没することで、漏電の可能性や発電された電気をどのように地上に送るかといった技術的な課題がある。

その他の課題となるのは、やはり生み出された電力の使い道である。まずは図3などにある下水道の接続点で発電実験を行い、発電の能力を確かめるとともに最も重要な異物通過性の検証を行う。その実証の上で、例えばマンホールごとに

街路灯を設置したり、自動販売機への利用を検討したい。

5. マイクロ水力発電に関する考察

再生可能エネルギー法における固定価格買取制度は、できるだけ中・大規模な再生可能エネルギーによる発電を促進することに重きをおいている。それについて、太陽光発電や地熱発電においては一定の効果はあったと評価できる。

しかしながら、日本の河川や水路で最も一般的に発電可能な1~2kW程度の超マイクロ水力発電は、固定価格買取制度にはなじまない。地産地消、すなわち発電された電力はその場で利用することが望ましいが、一方で1~2kWの電力は家庭1軒1日分程度の電力であり、その使い道が難しく、そのために普及してこなかった。さらに、1つ1つの発電ユニットを手作りするような場合は極めて高価な電力とならざるを得なく、そのあまりの非効率、費用対効果の悪さのために、やはり普及することがなかった。

とはいえ、逆に言えばこの大きな課題を解決することで、日本ではマイクロ水力発電が急速に普及する可能性もあると考えられよう。本稿で提案した3つの研究案は、これらの課題の解決を試みることを目的のひとつとし、例えばマイクロ発電機を量産して1機あたりのコストを下げつつ、直列・並列展開していくことを検討している。これらの研究プロジェクトの実施が今後のマイクロ水力発電の普及に貢献するよう、研究者として多くの課題解決に挑戦していきたい。

引用文献

¹ 資源エネルギー庁省エネルギー・新エネルギー部：再生可能エネルギー・省エネルギーの現状と課題，2014年8月