

(6) マイクロ水力発電機の設置

水力など自然エネルギーを利用する場合、単に設置してエネルギーが得られることは稀であり、設置した後の改良をどのようにしていくかの検討が重要といえる。今回の実証実験でもそれぞれの水車の改良点を明らかにし導入していくための検討材料とする。

1) 上掛式水力発電機

現況

上掛式水力発電の設置を行う場所は、市街地から 5km ほど東に離れた羊蹄山の西側山麓に位置する竹内農場の敷地内を流れる用水路である。当該用水路は同農場で昔から水車を利用し、脱穀などの動力源として活用されていた経緯があるが、現在、水車本体は撤去されている。当時水車を固定していたコンクリートの躯体等が残されており、その躯体の先から約 4m の高低差がついた滝状の地形となっている。

上流より流れてきた用水は母屋の前を流れ、上記で述べた既設のコンクリート躯体側面のところで落水し下流の用水路に流れている状況である。落水部床面(滝底)には修景用の岩が組まれており、涼しげな景観を提供している。



実験概要

上掛式水力発電機の、形状および設置から経過までの概要を、以下にまとめる。(実証実験の詳細は資料編を参照)

	概要
形状	<ul style="list-style-type: none">・水車の基本形状は、現況の構造物や地形にあった形状とする。・撤去を考慮し取り外しが容易にできる構造とする。・水車羽根の大きさは、上流と下流の高低差から、直径 1.2m とした。・水車のバケット幅は、発電に必要な水量が溜められる幅 0.5m とした。・水車の上部には、水路から用水を溜めることができる、水槽を設ける。・材質は加工が容易にできるようスチール製とした。・理論発電量は 148W である。
設置	<ul style="list-style-type: none">・フレームと一体となった水車本体を、既設のコンクリート躯体に、アンカーピンにて固定した。・水路からの用水を水槽に導水させるため、板材とビニルシートを使用し、導水路の確保を行った。・設置当初の発電量は、約 70W の出力であった。
改良	<ul style="list-style-type: none">・水車羽根に効率よく用水が当たるよう、水槽の落し口にビニルシートを加工し取り付けを行った。・水車羽根前面の壁高を高くし、用水をより多く溜めることができるよう交換を行った。・水車の羽根の後部(中心付近)から用水の吐水が見られるため、プレートを溶接し完全に、用水が溜まるように改良を行った。・改良後の発電量は約 110W まで増加が見られた。
経過	<ul style="list-style-type: none">・10月は晴れや曇りの日が多く、少雨だったため、水量に若干の減少が見られた。平均発電量は約 101W であった。また、最大発電量は 118W であった。・11月も先月同様、少雨だったため、平均流量は $0.07\text{m}^3/\text{s}$ (70 /s) となっていたが、発電量は先月よりも増加し、平均発電量は約 125W の出力が見られた。(最大発電量は 145W が得られた)・12月は雨や雪の日が多かったが、平均流量は減少し約 $0.06\text{m}^3/\text{s}$ (60 /s) と先月より少ない状況であった、しかし、平均発電量は先月と変化がなく、平均 125W の出力であった。(最大発電量は 139W であった)



既設コンクリート躯体に水車本体を固定



導水路からプールへの流水状況



落とし口にビニールシートを加工し取り付け



用水が溜まるように羽根の改良を行った



取付完了



導水路の落水口に加工した防水シートを設置



落水の状況

2) 下掛式水力発電機

現況

下掛式水力発電の設置を行う場所は、アンヌプリ国際スキー場の入口の交差点付近である。農業用水路を利用して実証実験を行う。

水車を設置する場所は市街地より北西に約5kmの位置にあり、道道66号とアンヌプリ国際スキー場に取り付く町道とが交わるT字交差点付近である。周辺はシラカンバやミズナラ、ホオノキなどの広葉樹林をはじめ、水路に隣接している私有地にはアカエゾマツが植栽されている自然豊かな山地である。

周辺は宿泊施設や別荘および飲食店などがあり、アンヌプリ国際スキー場の施設を利用する観光客の往来がある場所となっている。



水車を設置する場所は自然豊かな場所となっている



アンヌプリから流れてくる農業用水路

実験概要

下掛式水力発電機の、形状および設置から経過までの概要を、以下にまとめる。(実証実験の詳細は資料編を参照)

	概要
形状	<ul style="list-style-type: none">・水車の基本形状は、現況の地形にあった形状とする。・撤去を考慮し、取り外しが容易にできる構造とする。・水路の底に羽根が当たらない形状とするため、直径 80 cm (半径 40 cm) とした。・水車の幅は、増水時の流れを阻害しないよう、現況水路より狭い幅となるよう、40 cm とした。・水車の上部には、水路から用水を溜めることができる、水槽を設ける。・材質は加工が容易にできるよう、スチール製とした。・水車の羽根の形状は、水路の落差が得られないことから、効率よく流水を受けることができるよう、川底(主軸)に対し直角になるよう配置した。・理論発電量は 2 W である。
設置	<ul style="list-style-type: none">・平坦部に設置した場合、水車の回転数は約 6.7rpm/秒で、発電量は 1~2W の出力であった。・落水エネルギーを少しでも得るため、上流側に土のうを用い、堰を造成した。・落差を利用した場合、水車の回転数は約 8.6rpm/秒となり、発電量は 3~5W まで増加した。
改良	<ul style="list-style-type: none">・土のうだけでは用水の流れが不均一になり、水車羽根に当たる用水に偏りが見られたため、落差部に板を設置し、用水が均一に流れるよう改良を行った。・その結果、均一に用水が羽根に当たるようになったが、発電量は設置前と変わらない状況であった。
経過	<ul style="list-style-type: none">・10月には少雨だったため、月の平均流量は $0.18\text{m}^3/\text{s}$ (180 /s) と若干減ったが、平均発電量は 3 W と設置時からの差異は見られない。ただし、下旬に降った雪の融雪水により、水路が増水したため、最大発電量が約 5 W まで増加した。・11月には雨や雪の日が多く、融雪水の影響もあり、流量の増加が見られ、発電量も最大約 6 W まで増加したが、平均発電量は先月と変わらず、約 3 W の出力であった。・水路が増水すると、水路の流れに乱れが生じ、水車の側面に抵抗がかかり、水車の回転が弱まる現象が見られた。・12月も雨や雪の日が多かったが、降雪や凍結による流量の減少が見られ、平均発電量も約 2 W と減少した。気温の低下とともに、水車の主軸やスポーク部に着氷し、水車の回転が止まる状況が見られた。



水車設置作業



落水位置を調整する



土のう前部に板材を設置した



改良後の水車の状況



落葉の流入が増加してきている



オーバーフロー水の増加により水車の回転に抵



水車主軸とスポーク部の着氷がみられる



水車本体に着氷・着雪が見られ回転が停止して

3) 螺旋式水力発電機

現況

螺旋式水力発電の実証実験は、大道農場横を流れている農業用水路を利用して行う。

水車を設置する場所は市街地より北西に約4kmの位置にあり、ニセコ町字ニセコを通る道路沿いにある大道農場の横を流れる農業用水路である。設置場所の周辺は農場の倉庫2棟の他は農地となっている。上流側にはシラカンバやミズナラ、ホオノキなどの広葉樹の林がある。

用水路は北から南に向かって6%程度の勾配がついているが、農場倉庫南側の入口端部にある集水柵より下流に向かってさらに勾配(約19%)がきつくなっている。



大道農場の道路沿いの農業用水路を利



水車を設置する大道農園

実験概要

螺旋式水力発電機の、形状および設置から経過までの概要を、以下にまとめる。(実証実験の詳細は資料編を参照)

	概要
形状	<ul style="list-style-type: none">・水車の基本形状は、既設のU型側溝 (U-450) の内側に収まる形状とする。・撤去を考慮し、取り外しが容易にできる構造とする。・水車はフレーム部、導水管部、螺旋羽根部の3つのパーツで構成している。・螺旋羽根の大きさは、直径 35 cm × 長さ 1.0m、導水管部は直径 40 cm × 長さ 1.5 mの筒状となっている。・材質は加工が容易にできるよう、スチール製とした。・理論発電量は 19Wである。
設置	<ul style="list-style-type: none">・水車本体は既設用水路に据え置くだけで容易に設置できる。・設置当初の発電量は、約 2~3Wの出力であった。・需要施設として 20WのLED防犯灯を設置。
改良	<ul style="list-style-type: none">・水車の上流側にある集水柵に、落差エネルギーの増加を図るため、吐口より 10 cm 高くなるように、嵩上げ壁を設置し、改良を行った。・その結果、落差エネルギーは得られるようになったが、集水柵の吐口と水力発電機との間隔が離れていたため、発電量の増加は見られなかった。
経過	<ul style="list-style-type: none">・10月の平均流量は $0.07\text{m}^3/\text{s}$ (70 /s) 平均発電量は 4Wとの発電量が得られていた。秋時期になり落葉や枯枝などの流入が見られるが、そのまま羽根に沿って流れるか、水車の回転の勢いで外側に飛ばされるため、詰まりなどの影響はなかった。・11月に入り雨の日が多くなり、平均流量も増水に伴い $0.10\text{m}^3/\text{s}$ (100 /s) と先月より増加した。平均発電量も約 5Wの出力が得られるようになった。また、最大発電量は 12Wを観測した日も見られた。・晩秋時期になると、落葉などの流入物が急激に増えたが、日常管理による除塵作業を行っているため、水車には影響がなかった。・12月は用水の氾濫を考慮し、農業用水路の流量調整を行ったが、平均発電量は 6 Wと11月よりも増加傾向にあった。・積雪や凍結による、水車本体への影響は見られなかった。水車本体は用水路の内部に設置しているため、常時、流れる用水により凍結しないためと思われる。



設置場所を確認し水車の設置を行った



水車の設置が完了



落水エネルギー増加のため上流側の集水枡に
嵩上げ壁を設置



嵩上げ壁設置後の集水枡



落葉の除去作業



水車より取り除かれた落葉



安定した動作をみせる螺旋式水車



凍結することなく回転する水車

4) 流水式水力発電機

現況

流水式水力発電の実証実験は、有島記念館駐車場横を流れる二級河川の第二カシュンベツ川を利用して行う。

水車を設置する場所は市街地より東に約 2 km の位置にある有島記念館の駐車場の横を流れる第二カシュンベツ川で、周辺は河川沿いの広場や駐車場などが整備されており、観光客や町民の散策など憩いの場所となっている。

水車を設置する第二カシュンベツ川内には 5 か所の落差工があり、両端での高低差は約 1.8m となっている。また、当該河川は平成 10 年に河川の整備がされており、河床および護岸はゴロ太石を使用した仕上げとなっている。



水車の設置を行う落差工付近



草本類が生い茂る自然豊かな第二カシュンベツ川



水車の設置を行う有島記念館駐車場の横を流れる第二カシュンベツ川

実験概要

流水式水力発電機の、形状および設置から経過までの概要を、以下にまとめる。(実証実験の詳細は資料編を参照)

	概要
形状	<ul style="list-style-type: none">・ 設置する流水式発電機は、セミオーダertypeの既製品として市販されている発電機を使用する。・ 外形は縦 94 cm × 横 94 cm × 高さ 1140 cm の立方体の形状となっている。・ 上流側は内側にすばまった開口部があり、用水を水車羽根に効率よく当てる仕組みとなっている。また、下流側は大きく開口しており、用水が排水される構造となっている。・ 水車内部は上下に 2 槽構造となっており、下部は左右対称に配置された縦軸の羽根があり、上部は発電装置が設置されている。・ 材質は剛性が高いスチール製である。・ 発電量はメーカー値で 500W である。
設置	<ul style="list-style-type: none">・ 水車本体を河川内に設置し、上流側の流入口に、水車の羽根全体が水没する高さまで土のうを積み上げ、導水溝を設置した。・ 設置当初の発電量は、約 20 ~ 30W の出力であった。・ 需要施設として 20W の LED 防犯灯と HID 投光器を設置した。
改良	<ul style="list-style-type: none">・ 上流側にある落差工を利用して堰をつくり、水車との落差 (約 1 m) を設け、落水エネルギーの増加をはかった。堰からは水車に向け、導水用のパイプ (VU 管 300) 2 本を設置し、直接水車の羽根に用水を当てる方式とした。・ その結果、効率よく両方の水車羽根に用水が当たるようになり、150W まで発電量の増加が見られた。
経過	<ul style="list-style-type: none">・ 10 月の平均流量は $0.30 \text{ m}^3/\text{s}$ (300 /s)、平均発電量は 92W との発電量が得られていた。また、降雨の影響により最大発電量が約 230W まで得られた日があった。・ 11 月に入り雨や雪の日が多くなり、平均流量 $0.49 \text{ m}^3/\text{s}$ (490 /s) 平均発電量も約 205W まで出力が得られるようになった。また、雨が降り続いた後の流量は最大流量 $1.28 \text{ m}^3/\text{s}$ (1,280 /s) となり、最大発電量は約 340W を観測した。・ 12 月は雪の日が多く、融雪水による河川の増水が見られた。増水により得られた最大発電量は約 270W であったが、徐々に水が引き、平均発電量は約 150W であった。・ 河川の増水に伴い、流速や流量が増加するが、仮設置した土のうなどは崩壊する状態となっていた。積雪や凍結による水車への影響は、ほとんど見られなかった。



水車の設置作業



水車の設置完了



導水管の設置作業



上流側に第二の堰の設置をおこなった



導水管の設置を行った



導水管と第二の堰の設置完了後の水力発電機の全景

5) 縦型式水力発電機

現況

縦型式水力発電の実証実験は前項で述べた下掛式水力発電を設置する場所より 40mほど下流側に下がったところで農業用水路を利用して行う。

水車を設置する場所はアンヌプリ国際スキー場に取り付く町道のT字交差点付近である。周辺は下掛式水車を設置する場所と同様にシラカンバやミズナラ、ホオノキなどの広葉樹林をはじめ、水路に隣接している私有地にはアカエゾマツが植栽されている自然豊かな山地である。



水車を設置する場所は自然豊かな場所となっている



水車を設置する用水路



アンヌプリから流れてくる農業用水路



用水路の高低差の確認

実験概要

縦型式水力発電機の、形状および設置から経過までの概要を、以下にまとめる。(実証実験の詳細は資料編を参照)

	概要
形状	<ul style="list-style-type: none">・縦型式水力発電機は市販されている既製品のタイプを使用する。水車本体は3つのパーツで構成されており、1つは水路から用水を受ける「水槽」、2つ目はプロペラと一体となった「発電機」、3つ目は用水を排水するための「縦管」である。・「水槽」の形状は縦 1000 mm × 横 325 mm × 高 250 mm のFRP製で、湾曲した先端に発電機および縦管を接続できるようになっている。「発電機」は上部に発電機、下部にプロペラが取り付けられており、上下はシャフトにて連結され、プロペラの回転により発電する仕組みとなっている。「縦管」は水槽からプロペラに流入した用水を排水するパイプで、長さ 1,500 mm、上部開口径は 130 mm、下部開口径は 220 mm の下部先端の開口が大きいラッパ型の形状である。・発電量はメーカー値で 200W である。
設置	<ul style="list-style-type: none">・有効落差の 1.5m が確保できる場所から、単管で架台を作り、その上に導水管を設置した。・水車本体は既設の集水桝の位置に合わせ、設置を行った。・設置当初の発電量は、約 50 ~ 60W の出力であった。・需要施設として 70W の照明灯を設置したが、発電量が得られず、27W の蛍光形投光器を代わりに設置した。
改良	<ul style="list-style-type: none">・既製品であるため、水車本体の改良は行わなかった。・落葉や枯枝の流入防止の網などの設置改良を行った。しかし、流入量が多く、人力による除塵作業をこまめに行うこととした。
経過	<ul style="list-style-type: none">・10月の平均流量は $0.14 \text{ m}^3/\text{s}$ (140 /s)、平均発電量は約 50 ~ 60W と推測される。落葉や枯枝の流入が多くなり、発電機が停止する状態が続いた。・11月は雨の日が多く、平均流量は $0.18 \text{ m}^3/\text{s}$ (180 /s) と先月より増加した。平均発電量は約 49W の出力が得られていた。流量が増すにつれ、落葉や枝葉に加えて土砂の流入があり、導水管の流入口に堆積して水路が氾濫する状況が見られた。・12月は雨や雪が降る日が多くなり、流量は最大 $0.14 \text{ m}^3/\text{s}$ (140 /s) まで達したが、土砂の堆積などにより、発電量は低下し、月の平均発電量は約 19W しか得られていなかった。・気温の低下により、導水管や水槽内の用水が凍結し、極端に水量が減少し、発電機が停止する状態がほぼ毎日見られた。



水車の設置作業



水車の設置完了



流れに向かって斜めに設置した防塵網



管を設置し外部からの気泡がおさまった様子



満水状態で水車に流入する用水



土のうを積み護岸の保護をおこなった



気温の低下により用水が凍結



導水路も凍結したことにより水量が減少し、発電機が

(7) 実証実験における水力発電機のおまとめ

上掛式水力発電機

- ・ 安定した発電が可能である。
- ・ 羽根に到達するまでの水の飛散を防止することが重要である。
- ・ 設置後の微調整が必要である。

今回設置を行った上掛式水力発電機は、上流側に整備された溜池がある農業用水を利用しているため、流量に関しては、降雨や降雪など天候による大きな増減の変化は、見られない状況であった。

現況より計測された有効落差は当初 2.5m であったが、既存の水路やコンクリート躯体、池底の地形などを考慮し、現場にて設置位置の調整を行った。結果、有効落差が 1.2m となり、最終設置位置から算出される当該水力発電機の発電出力は 148W となる。今回の実験で得られた平均発電量が約 120W (最高発電量 145W) であることから、実験結果としては満足いくものであった。しかし、エネルギーの損失からみると約 19% の損失が見られた。水車のバケット部に用水が流入する時に、落水の勢いが強く全ての用水をバケットに溜めることができない状態となることから、発電量の損失に繋がると思われる。

設計での水車効率 (w) 及び、発電機効率 (g) は、既存水車の測定値を採用し、それぞれ 0.6 として設計を行った。これにより設計での総合効率は 0.36% となる。今回の実験で得られたデータから、水車効率は平均 0.25、発電機効率 (発電機のメーカー値より) 0.60、総合効率は平均 0.15 となる。総合効率が約 60% の減となっているのは、調査時に計測した流量より、実流量が多く、そのため理論水力の値が多くなり率が下がったものと見られる。

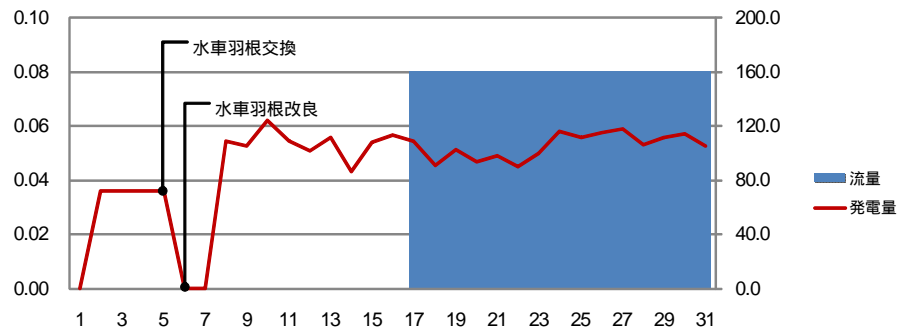
流量と発電量の平均数値を見る限り、安定した発電量が得られる水車であることが見受けられる。月別にみると 10 月は平均流量が $0.07\text{m}^3/\text{s}$ (70 /s)、平均発電量が約 100W、11 月の平均流量は $0.07\text{m}^3/\text{s}$ (70 /s)、平均発電量が約 126W、12 月は $0.06\text{m}^3/\text{s}$ (60 /s)、平均発電量が 126W となっており、10 月と 11 月の平均流量が同等の流量が流れているにも関わらず、発電量が増加しているのは、水車の回転に慣れが生じ、安定した回転が得られるようになり、その結果、電流値が向上して発電量が増加したためと見られる。12 月は流量が減っていたが、発電量がほとんど変わらない数値となっている。



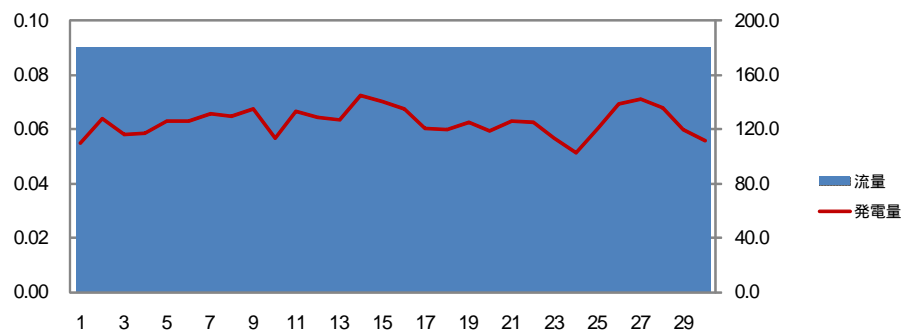
また、今回の実験機は、流量の増加に伴い、発電量も比例して増加する傾向が見られた。しかし、理論上の発電量が得られなかったのは、増水しても水車羽根（バケット部）の容量が小さいため、水車羽根（バケット部）から、用水がオーバーフローするため、発電量の増加につながらなかったためだと考えられる。

今回の実験機では落ち口の修正や、羽根の形状を段階的に変更することにより、水車が受ける水量が増加し、当初 70W 程度であった発電量を平均 120W 以上確保することが出来た。これにより、飛散や羽根からあふれ出る水を十分に活用することが重要であることが判明した。今回は設置場所や地形に限りがあり、既存施設を活用したため、水車の大きさが限られてしまったが、発電量を大幅に増加させるためには、水車本体の形状を大きくすると共に、水車羽根（バケット部）の容量もできるだけ大きくすることや有効落差の確保を十分取ることがあげられる。また、導水用の作工物などにより流況が変化するため、水車設置後に導水部分と羽根部分の微調整ができる仕組みとする必要がある。

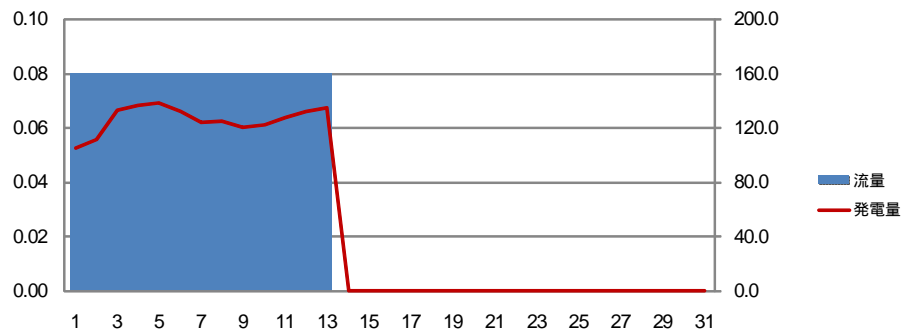
10月の流量と発電量



11月の流量と発電量



12月の流量と発電量



左軸は計測瞬間流量、右軸は計測瞬間発電量を表す

下掛式水力発電機

- ・ 枝葉による詰まりが多少見られる。
- ・ 増水時に発電量が減少する。
- ・ 着氷や積雪により停止する。

森林など自然が多いニセコ町では、落葉時期の落ち葉や枯枝が用水路に流れ込み、水車本体と落差部の隙間に枝葉が詰まり、回転を停止してしまう状況が見受けられた。

降雨による増水は発電量の増加につながるが、水車の能力以上の流量は逆にマイナスとなる傾向があった。今回の実験でも流量が 0.20m/s (20l/s) 以上の場合、用水路がオーバーフローし、水車の側面から用水が流入する現象が起き、その結果、水車に抵抗がかり、回転力を低減させることとなった。

冬期の着氷や積雪による影響では、氷点下では常に水面と接している水車羽根から着氷し、その後、主軸やスポーク部に氷溜まりができ、回転力の低下を引き起こし、最終的に氷結し、回転を停止してしまうことがわかった。降雪時は多少の積雪では停止することはないが、大雪の場合、水車の羽根面に雪が積もり、積雪荷重により回転力が低減し、その結果、外気温が低いため、最終的に凍結し水車が停止してしまう。



発電の仕組みは簡素でわかりやすいが、平均 3W 程度の出力であり、発電効率が悪い。

下掛式水力発電機発電量は、水路の流速（流速は水車の回転に比例する）に比例することから、設計では流況を計測したときに得られた流速 0.6m/s （設計回転数は 9.6 回転/分 (rpm)）を基に設計を行った。しかし、実験期間中の流速は $0.3 \sim 0.5\text{m/s}$ と計測時よりも遅い値で、水車の実測回転数は 8.6 回転/分 (rpm) であった。

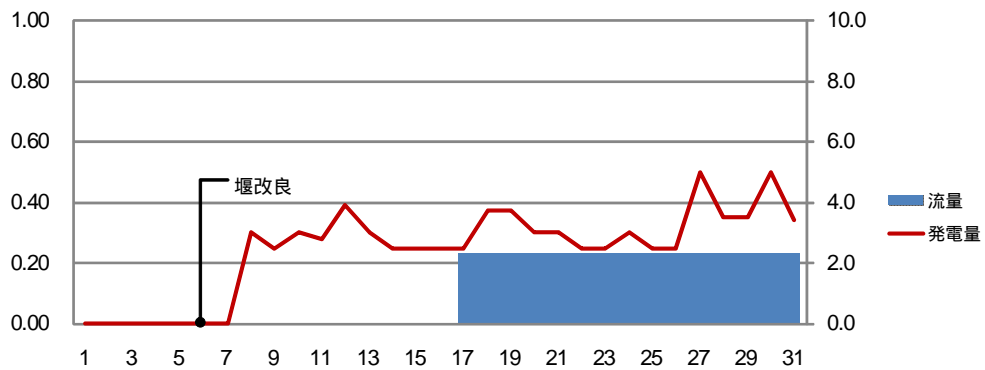
また、設計時の出力計算では、約 1.5W の発電量しか得られない計算結果となっていたが、実験の結果、平均 3W （最大 6W ）の発電量が得られていた。流速が遅かったにも関わらず、計算値よりも発電量が得られたのは、上流側に約 15cm の落差を設け、落水エネルギーが得られた結果だと思われる。

今後の改良点としては、外部検証でも指摘があったとおり、有効落差をできるだけ確保し、水車羽根の向きが落水に対して直角となるようにすることが、発電量の増加につながると思われる。ただし、この場合、正式な下掛式ではなく、胸掛式もしくは前掛式となる。

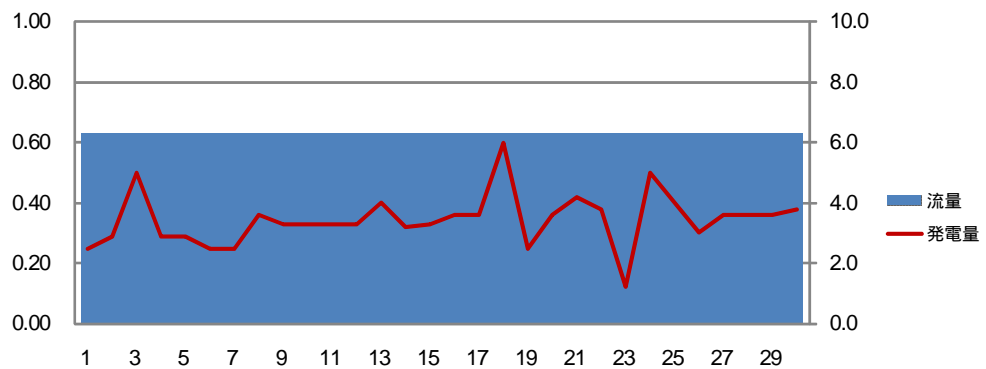
流量と発電量に関しては、10月は平均 $0.18\text{m}^3/\text{s}$ (180l/s) の流量が得られ、発電量は平均 3W の出力があった。11月の平均流量は $0.20\text{m}^3/\text{s}$ (200l/s) に増加したが、発電量は先月と変わらず、 3W の発電量であった。12月は降雪や凍結によりさらに減水し、平均流量は $0.10\text{m}^3/\text{s}$ (100l/s)、発電量はわずかに平均 2W しか得ることができなかった。11

月は流量が増加したにも関わらず、発電量が10月とほぼ同じ値なのは、下掛式水車は構造上、流速に左右されるため、流量が増えても、大幅な発電量の増加につながらなかった。また、12月の発電量が急激に減っているのは、水路の凍結により流速が遅くなり、発電量が低減したものと思われる。

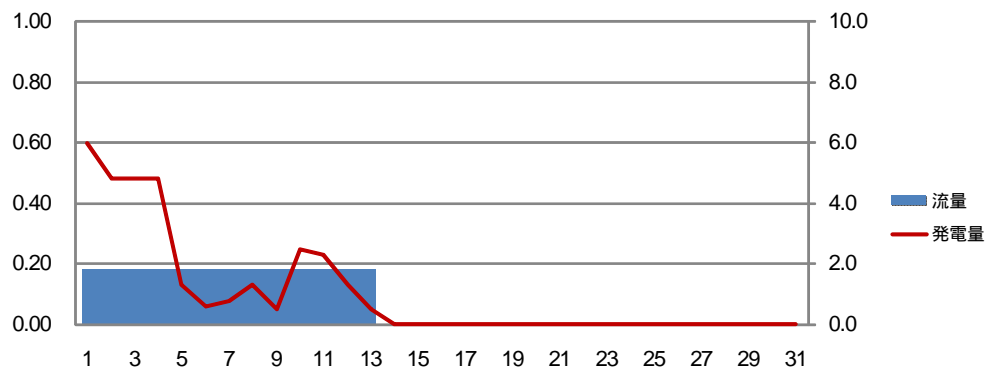
10月の流量と発電量



11月の流量と発電量



12月の流量と発電量



左軸は計測瞬間流量、右軸は計測瞬間発電量を表す

螺旋式水力発電機

- ・ 枝葉による詰まりが多少見られる。
- ・ 安全性への配慮が必要である。

今回設置を行った螺旋式水力発電機は既設の農業用水路の幅に合うように製作し設置を行った。

水車の製作に当たっては、設置後、現場での改良がほとんど行えないことから、形状などの微調整は製作時に行う必要があった。設置に関しては、水車本体をユニッククレーンで吊り上げ、そのまま用水路に据え付けることができるため、作業時間は20分程度であった。

設置後の状況は、比較的安定した発電が行われたが、用水路の能力（落水エネルギー）が限られているため、発電量はわずかであった。また、秋時期の落ち葉や枯枝の流入など外的負荷要因に対しては、螺旋羽根に沿って流れてしまうか、羽根の回転の勢いで用水路の外に飛ばすため、回転への影響はなかった。しかし、ホオノキなどの大きな葉が流入した場合、水車の流入口に絡みつき、そのため、次々と枝葉が堆積し、羽根に負荷がかかってしまい回転力を低下させることが判明した。

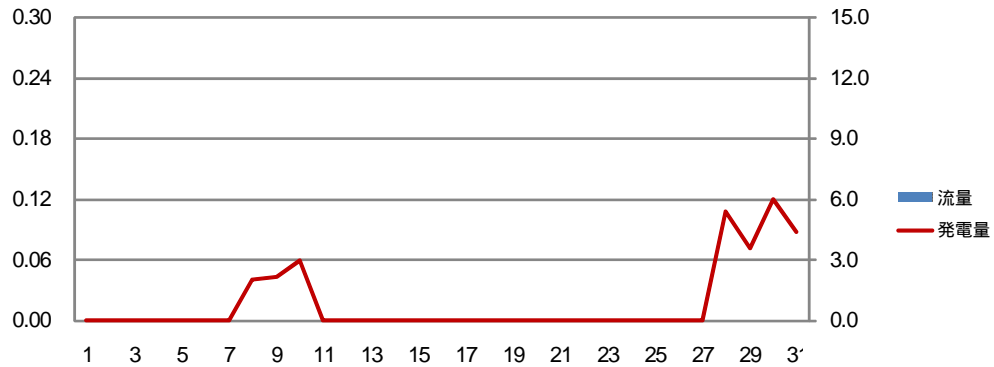
冬期に関しては、水路の流量は減るが凍結は見られなかった、そのため、水車本体も常時回転していることから、凍結することなく発電していた。

設計での水車効率（ w ）は既存資料などが無かったため、期待値として $w=0.6$ を採用した、また、発電機効率（ g ）は既存水車の測定値を採用し $g=0.6$ として設計を行った。これにより、設計での総合効率は 0.36% となる。今回の実験で得られたデータを見ると、水車効率は平均 0.21 、発電機効率（発電機のメーカー値より） 0.60 、総合効率は 0.12 となる。螺旋機水車は流量と発電量が比例しており、流量の増減に伴い発電量も増減する傾向にある。今回の実験で水車効率が良いときの流量は、約 $0.10\text{m}^3/\text{s}$ （約 $100/\text{s}$ ）で、発電量は $6\sim 10\text{W}$ の出力があった。その時の水車効率は $0.1\sim 0.3$ である。また、流量が $0.20\text{m}^3/\text{s}$ （約 $200/\text{s}$ ）以上になると、水車効率が $0.03\sim 0.07$ まで落ちることが判明した。これは水路が増水したことで、オーバーフロー水が水車の上面まで達し、結果、水車の回転に負荷がかかり、水車効率が低下したものと見られる。ただし、流量があるため、極端な発電量の低減とはならなかった。今後の改良点としては、 $0.20\text{m}^3/\text{s}$ （約 $200/\text{s}$ ）以上の流量が流れたときにも対応できる、羽根の大きさの変更やそれに見合う水路の造成（例えば既設水路からバイパス水路を造る）を行うことが考えられる。

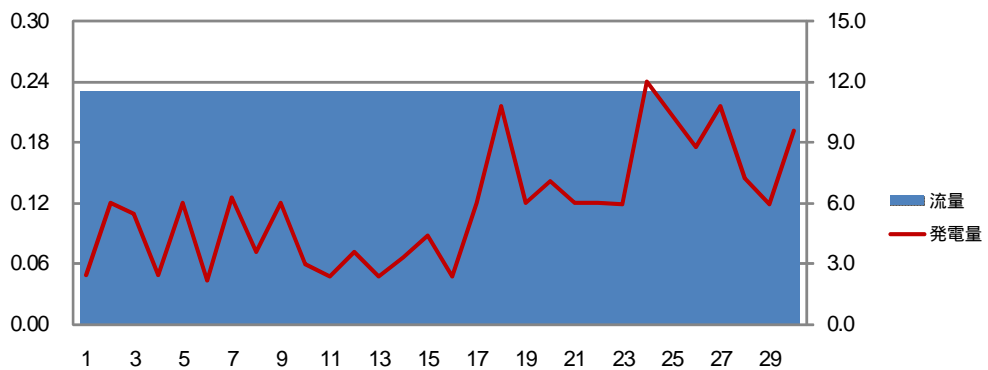


安全性への配慮では、稼働している羽根部の保護と冬期間の除雪対策が必要となる。今回の実験では側溝内に納める仕様であるため、羽根部に触れることが出来る状態であった。実験中は侵入を防止していたが、今後の普及を考慮した場合、羽根部の保護が必要となる。冬期間の除雪対策として、今回実験で設置した場所のように道路沿いにある農業用水路では、冬期間の除雪による雪の堆積が予想され、積雪荷重による破損が考えられる。

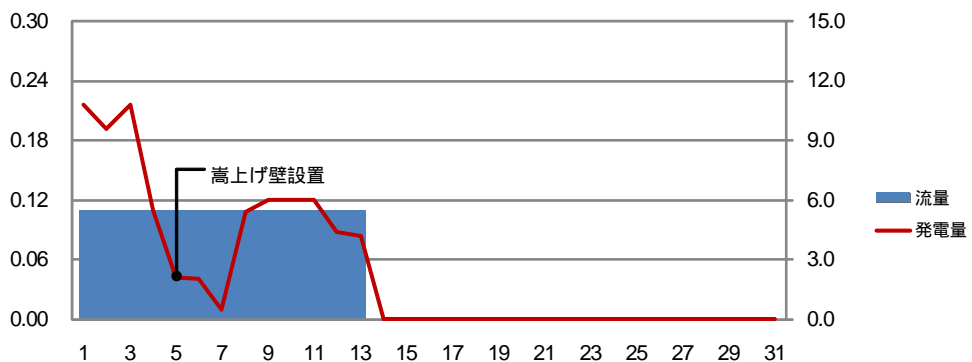
10月の流量と発電量



11月の流量と発電量



12月の流量と発電量



左軸は計測瞬間流量、右軸は計測瞬間発電量を表す

流水式水力発電機

- ・ 流況や気象状況により発電量が変化する。
- ・ 異物の流入に対しての対策を要する。

今回設置を行った流水式水力発電機は、既製品として市販されている発電機を選定して設置を行った。

実験で設置した河川は天候により流況が大きく変化することが予想されるため、安全対策として設置前に調査した流量より1段階大きいサイズの発電機を設置した。渇水期に近い設置当初は発電量が非常に少なかったが、導水管や堰の設置などによる改良や秋期以降の水量の増加により発電量が増大した。

水車本体は完成されたものであるため、機能や性能に関する問題点は見当たらなかった。ただし、水車と発電機本体が一体化となっている本体を河川中央に設置するため、想定以上の増水時は本体が水没し、機器の破損が想定される。また、設置当初のような渇水期では発電量が少なく流況により発電量が大きく変化することがあげられる。その他、異物の流入に対しては、落ち葉や細い枯れ枝程度は水車内を通過するため問題無いが、流木などは詰まりや羽根の破損の原因となる。

また、景観的に見た場合、導入した発電機の形状が1 m弱の立方体ということもあり、小河川で使用するには、匡体の大きさが目立ち、周辺の自然環境と調和が取れていなかったと言える。発電量を得るためには、水車の羽根や発電機の大きさ、流入口の形状など、性能を満たすための必要条件は多々あるが、外装の色や形状など、環境や景観に配慮することが、今後、自然河川に導入する場合の改良点であると思われる。

設置上の問題点としては、発電機本体の重量が500 kg以上であるため、設置にはクレーン車などの重機を導入して作業しなければならない。そのため、河川に近づけることができる道路などが近傍にないと、作業の効率が悪く、設置に余計な経費がかかる。また、今回のような小河川に設置する場合、発電機の大きさに比べ、河幅が比較的狭く発電機が川の流れを堰き止める格好となり、必要量以上の水が流れると、発電機本体が堰となって、河川が氾濫する可能性が高くなることがあげられる。当初の設置では、発電量があまり得られないことから、上流側に堰や導水管などの改良を行った、しかし、このような堰などを河川内に設置すると、浸食や堆積などによる河川の形状の変容が起こることが考えられ、河川内における環境への負荷が懸念される。そのほか、落差を確保するために設置した、上流側の堰には、常時1 mくらいの水が溜まっている状態となるため、転落などによる事故の危険性もあげられる。

以上のことより、小河川に流水式発電

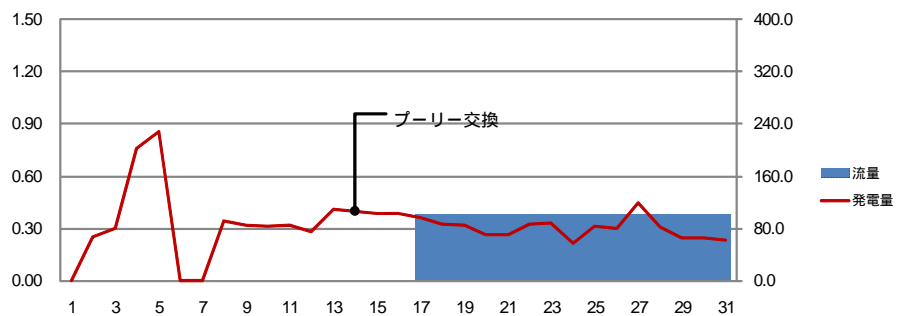


機を設置する場合、設置場所や周辺の状況を十分把握し、年間を通じた流況の観測を行い、データに基づいた設置方法の検討が、必要であると考えられる。また、小河川は比較的、人が近づきやすい環境が多いことから、溜池などを設置した場合、転落などの事故を未然に防ぐため、進入防止柵や案内サインなどを設置し、安全対策の措置を図ることが肝要と言える。

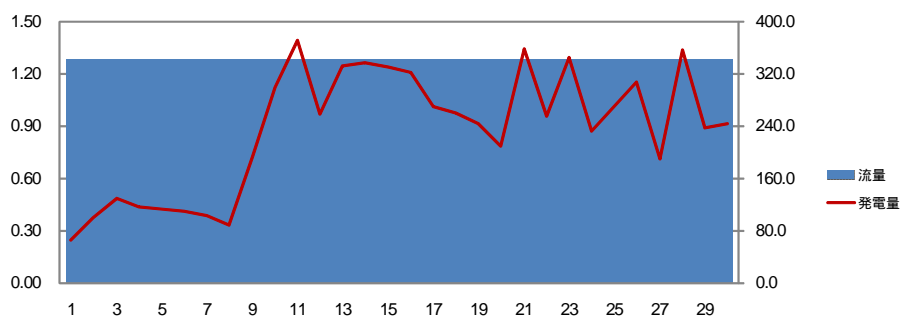
流量と発電量の関係に関しては、10月は比較的流量が少なく、11月、12月は雨や雪が降り続く天候であったため、流量の増加が見られた。計測データを見ると、流量が平均0.3~0.4m³/sだと、発電量が90W前後の出力であったが、流量が0.5~0.6 m³/sに増加すると、発電量が200~300Wまで出力が得られることが分かった。今回の実験でも、瞬間的にも1.0 m³/s以上の流量発生時には、発電量が400~500Wとなり、当該発電機の定格500Wの出力に近い発電量を得られた。

結果、今回の実験機で定格500Wの発電量を発生させるためには、流量が常時1.0 m³/s以上、必要であることがわかった。ただし、1.0 m³/s以上の流量は、設置前に計測した通常時0.58 m³/sの倍以上の流量であり、流況は氾濫に近い河川の状態である。

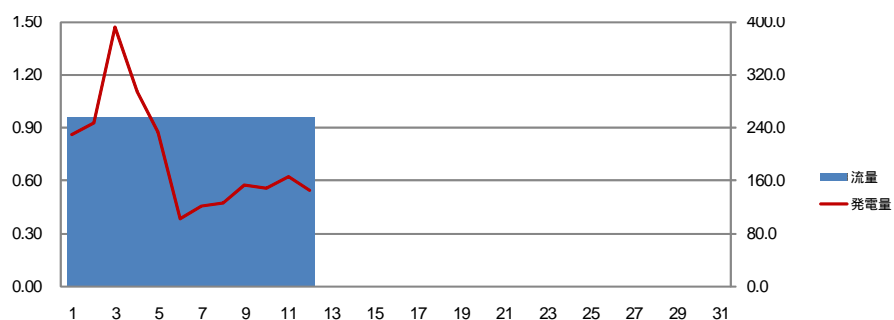
10月の流量と発電量



11月の流量と発電量



12月の流量と発電量



左軸は計測瞬間流量、右軸は計測瞬間発電量を表す

縦型式水力発電機

- ・有効落差の確保が必要である。
- ・枝葉による詰まりが多く見られる。
- ・着氷や積雪により停止する。

今回設置を行った縦型式水力発電機は、既製品として市販されている発電機を選定して設置を行った。

発電機本体は水槽、羽根一体型発電機、縦管の 3 つのパーツからなる組立式となっており、比較的簡単に組立が出来るとともに、内部構造も簡単で分かりやすい。しかし、発電に適した有効落差 1.5m を確保する河川や水路が町内にあまりないため、実験では半割導水管を 20m 設置し落差を確保した。

今回、使用した水力発電機は、最高出力 200W (カタログスペック) が得られる性能であるにも関わらず、実験では平均 40W 程度の発電量しか得られなかった。その要因として「有効落差の確保が不十分」「落ち葉や枯枝などの流入」「冬期の着氷や積雪」が考えられる。は今回使用した発電機は、最低 1.5m の有効落差が必要条件であったため、設置時においても十分注意し、高さの確保を行ったが、発電機を設置した集水桝の排水効率が非常に悪く、桝内に用水が溜まる状況となった。その結果、有効な落差が確保できなくなり、発電が低下もしくは停止したと考えられる。は秋時期の増水に伴って、落ち葉や枯枝が常時、発電機内に流入しプロペラに落ち葉などが絡み付く状態となり、発電を停止させてしまう状況となった。また、導水管手前に設置した除塵網に落ち葉などが堆積して導水管の流入口を塞いでしまい、用水が効率よく流入することができず、そのため必要水量が確保できない状態となり、発電が低下することが考えられる。は冬期になり気温

が下がると、

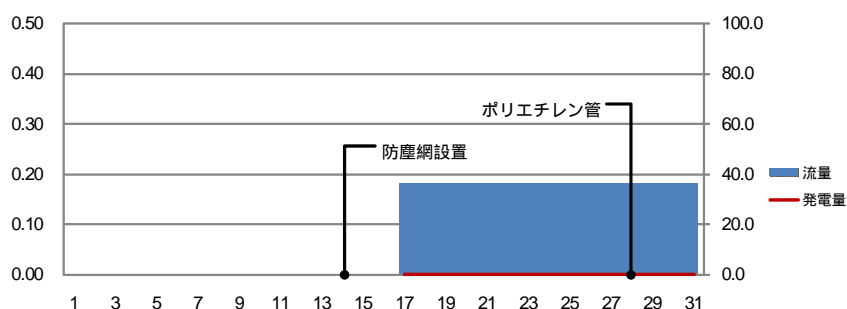
水路の水が凍結し、流量の減少が一番の要因となるが、発電機本体に関しては、導水部分やプール部分の水が着氷凍結することにより、発電機の回転が弱まり停止すると考えられる。また、初冬期は導水部分やプール部分の表面が凍結していても、水路内は凍らず流水していることから、氷塊などが流れ込み、発電機の落口を塞いでしまい、落水することができなくなり、発電機が停止してしまうことが考えられる。これらのことから、規定されている有効落差が確保できる場所の選定や異物の流入を防止するシステム、また冬期間も使用する場合の凍害対策などが課題として挙げられる。



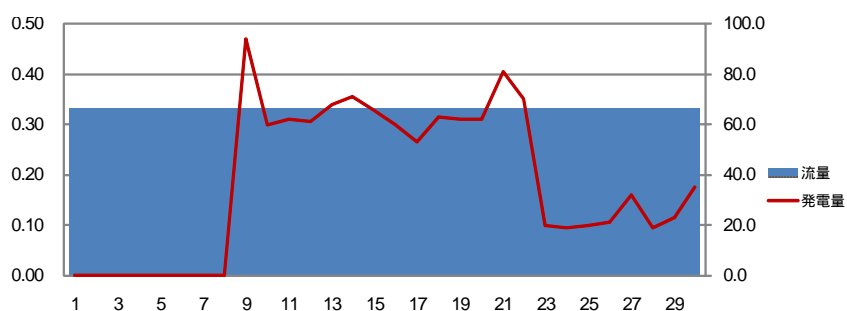
流量と発電量の関係に関しては、10月は雨の日が少なく、11月は雨や雪の降る日が多くなり、12月は山間部であるため、雪の日が多い天候であった。11月は平均流量が $0.18\text{m}^3/\text{s}$ (180l/s)となっており、流量は問題ない状態であった、11月9日には流量の増加に伴い、90W近くまで発電したが、次の日から発電量が減少している。これは、流量が増えたことで、集水桝の排水が停滞したことと、落ち葉や土砂が発電機内に流入したためである。同じ現象が11月23日にも見られていた。12月は降雪や凍結により、流量が極端に減少し平均 $0.07\text{m}^3/\text{s}$ (70l/s)となった。

縦型式水力発電機を回転させるためには、約 $0.035\text{m}^3/\text{s}$ (35l/s)の流量が必要である。今回の水路から得られる流量は、3か月の実測平均値でも $0.13\text{m}^3/\text{s}$ (130l/s)となっており、水量が少なかった訳ではないことがわかる。また、導水管の入流量も必要量を満たす大きさの管 ($\phi 500$ の半割管) を使用しており、流量は満たしていたといえる。このことから発電機本体および導水路については問題ないといえる。定格である200Wの発電量に達しなかった要因は、外部検証をしていただいた傘木氏の指摘にもあるように、縦管の有効落差が必要量取れていなかったことが、出力低下の原因と考察される。

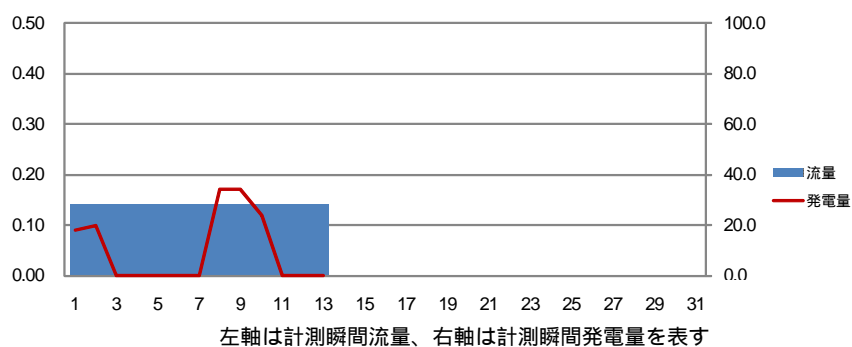
10月の流量と発電量



11月の流量と発電量



12月の流量と発電量



(8) マイクロ水力発電の導入に向けて

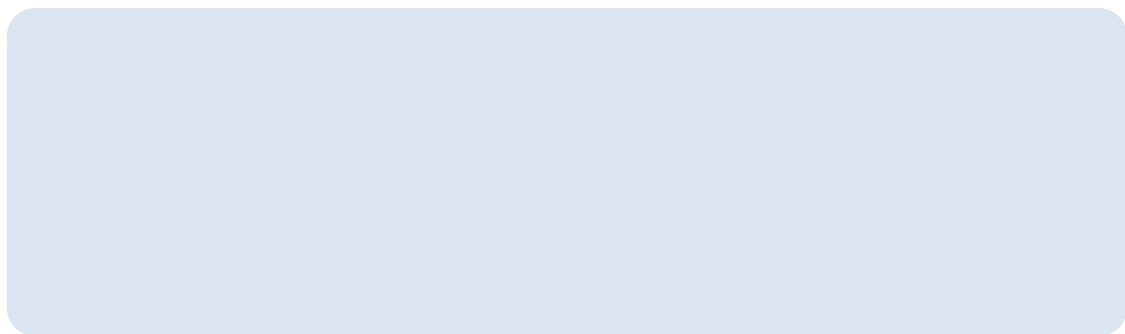
今後二セコ町においてマイクロ水力発電機を導入する際、前項で述べた設置状況やそれぞれの課題を踏まえ、各発電機の設置、維持管理、実用性について整理し、評価する。

上掛式水力発電機

行程	項目	評価	内容
設置	場所の選定	×	・有効落差 2.5 m以上を確保する場所の選定が必要となり、町内での設置場所が限定される。
	設置工事	難	・水車羽根部に水の負荷を受ける基礎工事が必要となる。
	設置後の調整	必要	・効率良く水が羽根に当たるように、設置後の微調整が必要となる。 ・羽根の形状や角度などが現場で修正できる仕様が望ましい。
維持管理	流況変化への対応力		・降雨などによる多少の流量変化に影響されることなく、安定した発電が可能である。
	落ち葉等の異物対応		・落ち葉や異物などの詰まりによる発電の低下は無い。
	冬期間の運用		・着氷による水車の停止は見られない。ただし、導水部分の積雪対策は必要となる。
実用性	発電量		・平均発電量 110W、最大発電量 120W (実験値)
	経済性		・本体価格 360 万円、設置費用 30 万円 ・合計金額 390 万円 (実験値)
	普及への可能性		・設置場所の状況に合わせた設計、製作が必要となるため、製品化は難しい。



防犯灯や街路灯への利用を想定し、農家などの水車跡地で活用することが考えられる。

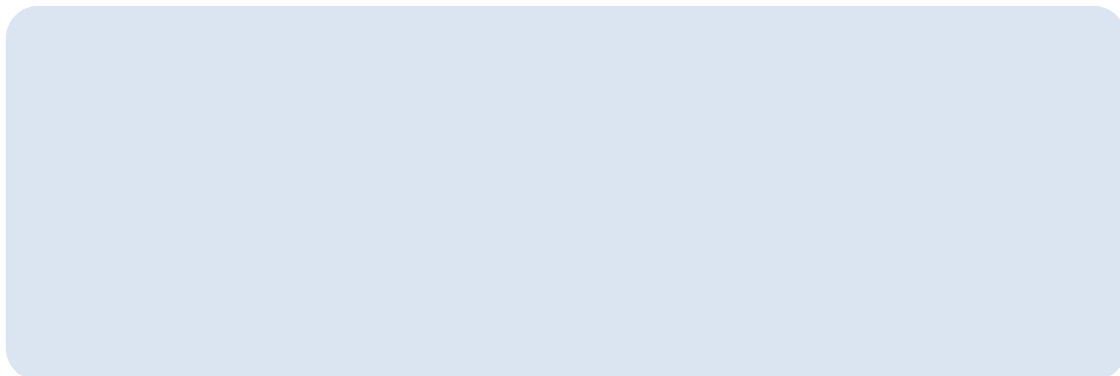


下掛式水力発電機

行程	項目	評価	内容
設置	場所の選定		・側溝などへの設置も可能であるが、落差を必要とする。
	設置工事	やや難	・本体の設置は容易であるが、水車前に堰を設けるなどの工事が必要な場合がある。
	設置後の調整	必要	・効率良く水が羽根に当たるように、設置後の微調整が必要となる。 ・羽根の形状や角度などが現場で修正できる仕様が望ましい。
維持管理	流況変化への対応力		・降雨などによる多少の流量変化に影響されることは無いが、増水時は羽根が水没するため発電能力が落ちる。
	落ち葉等の異物対応		・大きな枝葉は羽根や水車本体に引っかかる場合がある。
	冬期間の運用	×	・着氷や積雪で停止する可能性がある。
実用性	発電量	×	・平均発電量 3 W、最大発電量 5 W (実験値)
	経済性		・本体価格 110 万円、設置費用 10 万円 ・合計金額 120 万円 (実験値)
	普及への可能性	×	・発電量が非常に小さい。



環境教育の教材として、学校等の教育施設に設置することが考えられる。

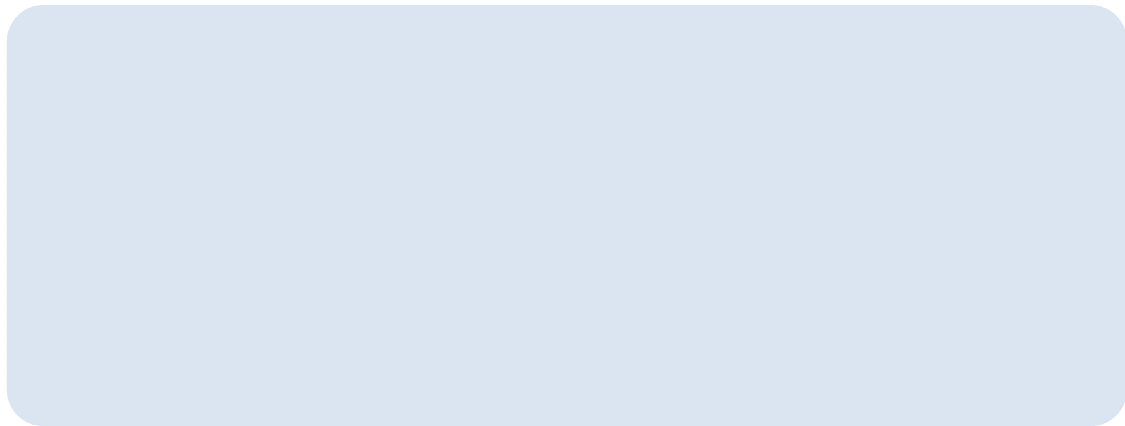


螺旋式水力発電機

行程	項目	評価	内容
設置	場所の選定		・勾配があるコンクリート製側溝に設置が可能である。
	設置工事	容易	・本体を側溝に据え付ける工事となる。
	設置後の調整	不可	・羽根の形状が特殊であるため、現地での形状や角度の変更は不可能である。
維持管理	流況変化への対応力		・降雨などによる多少の流量変化に影響されることなく、発電が可能である。
	落ち葉等の異物対応		・大きな枝葉は羽根や水車本体に引っかかる場合がある。
	冬期間の運用		・着氷や積雪による水車の停止は見られない。
実用性	発電量		・平均発電量 10W、最大発電量 15W(実験値)
	経済性		・本体価格 140 万円、設置費用 10 万円 ・合計金額 150 万円(実験値)
	普及への可能性		・細狭形状に適しているため、コンクリート製側溝に合わせた製品化が可能である。



夜間の道路照明への活用を想定し、道路沿いの側溝に活用することが考えられる。

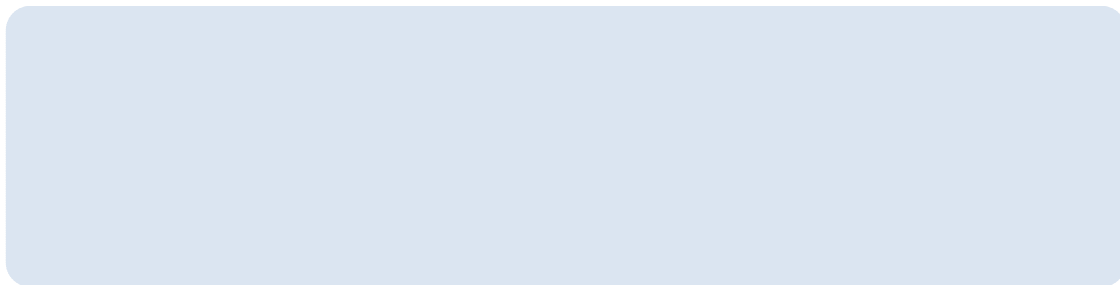


流水式水力発電機

行程	項目	評価	内容
設置	場所の選定		・発電機本体が入る幅と十分な水深、水量が必要となる。
	設置工事	やや難	・河川や水路の中に直接据え置くため、流れをせき止めて河床均しなどの土工事を行う必要がある。
	設置後の調整	一部可能	・プーリーなどの部品交換による調整が可能である。
維持管理	流況変化への対応力		・水車の羽根と発電機が一体型となっているため、増水による水没時は故障する。 ・流量が少ない場合は発電量が極度に低下する。
	落ち葉等の異物対応		・大きな枝などの異物が流入した場合は、高速で回転している羽根が損傷する可能性がある。
	冬期間の運用		・着氷や積雪による水車の停止は見られない。
実用性	発電量		・平均発電量 150W、最大発電量 500W（実験値）
	経済性	×	・本体価格 450 万円、設置費用 50 万円 ・合計金額 500 万円（実験値）
	普及への可能性		・発電に必要な安定した水量と水深の確保が必要となる。



街路灯やイルミネーションなどの演出照明を想定し、観光施設など人が集まる場所に活用することが考えられる。



縦型式水力発電機

行程	項目	評価	内容
設置	場所の選定	×	・有効落差 1.5 m以上を確保する場所の選定が必要となり、町内での設置場所が限定される。
	設置工事	やや難	・効率的な発電を行うための落差調整や落水部分の河床保護などの工事が必要である。
	設置後の調整	不可	・発電機と羽根部分の改良は製品であるため、不可能である。
維持管理	流況変化への対応力		・水量が減少した場合、羽根の回転が停止するため、発電しない場合がある。
	落ち葉等の異物対応	×	・落ち葉などが羽根部分に詰まりやすい。
	冬期間の運用	×	・着氷や積雪により停止する。
実用性	発電量		・平均発電量 30W、最大発電量 70W（実験値）
	経済性		・本体価格 45 万円、設置費用 10 万円 ・合計金額 55 万円（実験値）
	普及への可能性		・落ち葉などが流入しない場所の選定が必要となる。



下水処理施設などからの排水を活用し、街路灯や防犯灯などに利用することが考えられる。



下水処理場の排水口の状況

(9) コスト削減の検討

今回実証実験で使用したマイクロ水力発電機はオリジナル製作品が3機、既製品が2機であったが、多少の差異はあるが、すべての水力発電機でコストに見合った発電量が得られたとは言い難い状況であった。今後ニセコ町で普及させていくためには、コストの削減を検討する必要がある。

今回製作を行ったオリジナルの3つの実験機は、設置場所に合わせた仕様としており、その場所にあった一品生産品であるため、製作時のコストは割高となってしまった。また、材料に関しては製作期間の短縮を考慮し、材料の調達が容易で加工がしやすく、安価で剛性のあるスチールを使用した。ほかの2機種は既製品ということもあり、規格等の変更や価格の低減はできない状況であった。

今後ニセコ町でマイクロ水力発電を導入していくために考えられるコスト軽減の提案を行う。

【パッケージ化による製作コストの低減】

【大量導入による資材コストの低減】

【使用材料の選定によるランニングコストの低減】

【軽量化による設置コストの低減】

【設置場所の状況による附帯コストの低減】

今回設置を行ったマイクロ水力発電機を実際に導入する場合のコスト削減の検討を行う。上掛式水力発電機、下掛式水力発電機、螺旋式水力発電機の3機種はオリジナル製品のため、製作段階における仕様の変更や加工および材料などの調整が可能である。ニセコ町で今後導入する水力発電機の導入数にもよるが、10基導入した場合、1基当たり25%のコスト削減が可能である。

また、流水式水力発電機は既製品として流通しているため、メーカーヒアリングを行ったところ、当該水車は基本、セミオーダーとなるため、ある程度の仕様の変更は可能であることから10基の導入で1基当たり15%のコスト削減が可能である。ただし、それ以上の導入数でも使用材料等の最低価格があるため、導入数が多くてもそれ以上の削減の低減は期待できない。

縦型式水力発電機については、既製品であることと、当初から低価格に設定されているため、発電機本体の価格の削減は現段階では期待できない状況である。

導入金額と経済メリット

項目	上掛式	下掛式	螺旋式	流水式	縦型式
実験機 本体価格	390万円	120万円	150万円	500万円	55万円
減額率	25%	25%	25%	15%	なし
減額本体価格	300万円	92.5万円	115万円	432.5万円	55万円
年間平均 発電量	1,051KWh/年	26KWh/年	44KWh/年	1314KWh/年	350KWh/年
経済的 メリット	19,202円/年	475円/年	804円/年	24,007円/年	6,395円/年

ニセコ町でマイクロ水力発電を普及させるためには、上記のような導入金額では、将来の採算性が合わない。今後、ニセコ町でマイクロ水力発電を普及・活用していくためには、低価格での導入が絶対条件となってくる。例えば今回、視察を行った大町市や郡上市石徹白などの先進地で取り組んでいるように、環境やまちづくりを専門としたNPO法人などの団体を立上げ、地域内でノウハウを蓄積し、企業の営利活動とは異なる体制で進めることも考えられる。また、町民有志などで勉強会や研究活動を重ねて、低コスト水力発電機の開発を自前で行う事や、地元の企業の人材を活かし、製作、設置などの協力、町としては活動団体の支援を積極的に行うなど、官・民一体となった協力体制を整えて水力発電機の導入を進めることで、製作や設置にかかるコストを材料費程度に抑えられる可能性もある。

以上のことから、マイクロ水力発電は町民・企業・学校などで普及に向けた、体制を整えて具体的な研究を進めるなど、導入に向けた取り組みを地域内で進めることが望ましい。

マイクロ水力発電の活用は、町民への啓蒙・啓発を促すとともに、環境に配慮した「低炭素先進都市ニセコ町」の環境ブランドをイメージ付ける施設として世界に発信できるものである。