

氏名	さたけ まさゆき	
授与学位	佐竹 正行	
学位記番号	博士(環境科学)	
学位授与年月日	環博第109号	
学位授与の根拠法規	平成28年9月26日	
研究科、専攻の名称	学位規則第4条第1項	
学位論文題目	東北大学大学院環境科学研究科(博士課程)環境科学専攻	
	仙台圏の小水力利用を目指した高効率水車の研究	
	～偏回転型水車の開発～	
指導教員	東北大学教授 田路和幸	
論文審査委員	主査 東北大学教授 田路和幸	東北大学教授 高橋 弘
	東北大学准教授 古川柳蔵	東北大学准教授 高橋英志

## 論文内容要旨

### 1. 研究目的

現在、化石エネルギーが枯渇して来ているなかで再生可能エネルギーの使用の必要性について論ぜられるようになってきた。本稿ではクリーンで使用する場合に時間的な制約が少ない水に着目をする。仙台市には広瀬川や梅田川、七北田川などの河川があることを知っていても仙台の町が創られた頃からの歴史ある用水堀の存在を知らない人も多くいる。昔から仙台は水が豊かで用水堀から清水が地下に浸透して仙台の町では、いたるところで容易に井戸を掘って浅い場所から水を得ることが出来たと言われている。この地下に浸透した水が街中にあるケヤキなどの樹木を育て仙台が『杜の都』と呼ばれるようになったのである。このように仙台圏には生活用水、工業用水、農業用水などの水の施設と多くの堅牢な設備を有している。将来のエネルギー問題解決の一つとしてあげられる再生可能エネルギーの小水力発電の導入を広瀬川にある堰や名取川頭首工のそれぞれの用水路で行うことが期待することができる。小水力発電のために仙台圏の豊かな水の一部を効率よく利用するための小型でパワフルな高効率な新型水車の開発を目指す。

### 2. 研究の手順と結果

高効率水車の設計を行い、その水車を偏回転型水車と命名し模型の製作を行った。しかし直ぐに模型は動作しなかった。幾度の改良改善を行って動作機を完成させることができた。完成模型を使い回転数、回転トルク値などのデータ取得の各種実験に取り組んだ。偏回転型水車の中心部には2:3



Fig.偏回転型水車の模型

の歯車比で構成された1組の歯車を有し、水車本体が1回転するあいだに軸部は3回転をする。水車本体と軸部の回転比は1:3になっている。実験前に予測した歯車伝達による回転トルク値の減少は実験の結果、予測に反して増加という結果になった。回転トルク値は一般的な水車に比較して2倍程度の値を得ることができた。しかし低水量域での稼働が出来なかった。この問題を解消するためと水車の回

転をより安定させるために偏回転ツイン型水車に取り組んだ。この水車は偏回転型水車の回転位置を 180° ずらして 2 機を連結させたものを製作して各種実験に取り組んだ。2 機連結したことによって回転は安定し 1 機単独運転に比べて回転の窮屈さも解消されて見た目にも美しい回転水車になった。そのことによって低水量域と高水量域での稼働エリアが延びることにつながった。

各種実験を通じて偏回転型水車が一般的なノーマル型水車に比較して回転数、回転トルク値、実発電量の全てにおいて優れた性能に仕上がっていることを確認することができた。これらのことは小型な偏回転型水車がノーマル型水車よりも大きな発電機を廻すことが可能になっていることを示してことになる。

この新型水車の運用提案では偏回転型水車をケーシングすることによって移動式水車として利用が可能になる。また数機を並列に組みあげることによって固定式水車として利用することもできる。それによって水路の年間水量変化に応じた稼働台数の選択も可能にすることで発電機を止めることなく回転させることで安定した発電につながることを提言した。

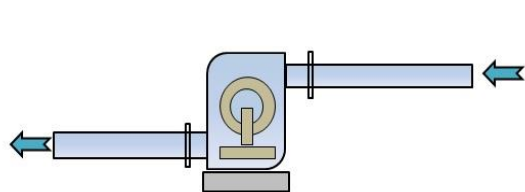


Fig. ケーシングした偏回転型水車

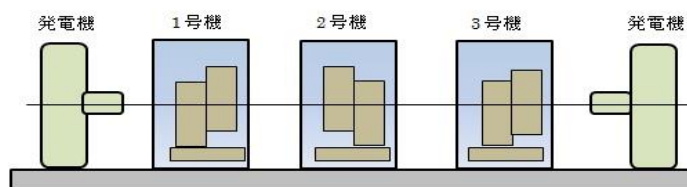


Fig. 連結を考慮した模式図

また河川や用水路の流量に応じて偏回転型水車が有する 1 組の歯車比を変えて運用することもできる。落差や流量が得られないところでは、歯車比を 1:2 にすることで回転比は 2:1 になってしまうが、水車本体の上下左右の移動範囲が小さくなり稼働が可能になる。逆に滝など大きな落差や大水量が得られる場所では歯車比を 3:4 にすると回転比は 4:1 になる。さらに歯車比 4:5 を選択すると回転比は 5:1 と超回転と高トルク値を得ることが可能になる。

### 3. 研究の成果と展望

仙台圏に豊富にある河川、水路に数多くの偏回転型水車を設置することで安定した電力の供給が可能になる。2016.4.1 より「電力の自由化」が始まり、この新型水車から生み出された電力が仙台圏において市民から選択される新電力に成り得る。

仙台市での発電量を考察する。年間発電量 (KWh) = 出力 (KW) × 24 時間 × 365 日 × 稼働率となる。発電量期待値を 1KW 程度とすると年間発電量は 1KW × 24 時間 × 365 日 × 0.85 = 7,446KWh となる。これは一般家庭の年間消費電力が 4,000 ~ 6,000 KWh 程度とされているので 7,446KWh は約 1.5 世帯分の年間消費電力分に相当する。仮に生活用水路で 20 カ所程度、工業用水路で 20 カ所程度、農業用水路で 30 カ所程度に 1KW の偏回転型水車発電機を設置した場合の試算をする。上記の試算では 7,446KWh であるが、河川の急勾配での設置や数機連結の固定タイプを利用することで多くの発電量を見込むことができる。実際には倍の 15,000KWh 程度の発電量は確保できると考える。70 カ所の発電設備から生み出される総発電量は 15,000KWh × 70 カ所 = 1,050,000KWh となる。仙台市年間使用電力の約 6,100,000,000KWh である。この発電

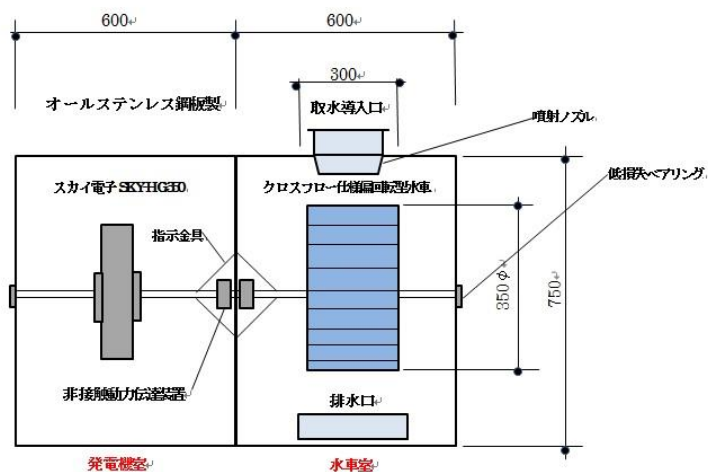


Fig. 実用を目指した実設計図

量は  $1,050,000 \text{ KWh} \div 6,100,000,000 \text{ KWh} \times 100\% = 0.02\%$  に相当する。仙台市年間電力使用量 1 の 1% を担うためには、 $6,100,000,000 \text{ KWh} / 100 = 61,000,000 \text{ KWh}$  となる。 $61,000,000 \text{ KWh} \div 15,000 \text{ KWh} = 4,066 \approx 4,100$  カ所で単純計算になってしまうが仙台市の 1% 年間使用電力を担うには 4,100 カ所に偏回転型水車発電装置を設置しなくてはならない。1% にあたる

61,000,000 KWh は世帯数に直すと約 12,300 世帯に相当する。試算は偏回転型水車発電装置のみでの試算であるが、太陽光発電などの別媒体発電装置と組み合わせることで、より効率的な運用の期待もできる。

設計当初に秋田油田のサッカーロットポンプの動きからヒントを得たように偏回転型水車の独特の動きを市民の目に触れてもらい関心を持ってもらう。市民の眼には触れることはできなくなるため、発電を目的としない水車の設置をする。水車は重い発電機の接続も必要せず、ケーシングないので水車本体の動作と独特の動きを見ることが可能なものになる。

たとえば仙台市都市部の北にある台原森林公園には様々な施設がもうけられ仙台市民の憩い場となっている。また園内の一角には水路もあり、そこに直径 50cm 程の偏回転型水車を設置することで、より小水量で廻すこともできる。偏回転型水車の独特の動きを直接見ることができるようになる。そのほかにも仙台市若林区役所に隣接する親水公園や六郷堀、七郷堀などの用水路にも設置可能なところはある。



Fig. 台原森林公園に設置した予想図

市民の眼に触れるところに偏回転型水車を数機設置することで、かつての伊達正宗が四ツ谷用水を仙台の町のなかに張り巡らせることで町民が豊かな水を利用した生活を営んでいたところと同じように私たちの生活のなかに『市民の憩いの場』として浸透して行くことが望まれる。またケーシングしない偏回転型水車を市民広場などに設置すれば、その奇異な動きが市民に注目されるものと思われる。このように偏回転型水車は期待通りの結果と成果を残すことができた。今後は、さらなる改善で優秀な結果に期待したい。

## 論文審査結果の要旨及びその担当者

論文提出者氏名	佐竹正行
論文題目	仙台圏の小水力利用を目指した高効率水車の研究 ～偏回転型水車の開発～
論文審査担当者	主査 教授 田路和幸 教授 高橋 弘 准教授 高橋英志 准教授 古川柳蔵

## 論文審査結果の要旨

現在、仙台圏では都市部と工業地区および広大な農地とがバランスよく集積しており、それらの地域は伊達政宗の時代からある豊富な水によって支えられている。とくに仙台市と名取市は恵まれた水資源とそれに伴った水の施設や設備が構築されている。これが市民生活の下支えをしているのである。これからの市民生活では化石燃料に過度に頼るのではなく、さまざまところからエネルギー取得するための思考が必要となる時代に突入している。水道施設を本来の目的に利用するだけでなく、流れる水の中からエネルギーを得る方法を考察するには仙台圏は最適な地域になっている。

本研究ではエネルギーを得るために大きく水利施設に手を加えることなく、現在ある仙台圏の水利施設の水の流れの中からエネルギーを得るための高効率水車の形式と回転方式の技術構築を目指して開発をする。そのことによって高効率小水力発電方式の創出を目的とする。本稿の構成は下記の通りとである。

第1章では 緒論および社会的背景

第2章では 仙台圏の水資源

第3章では 偏回転型水車の開発と特性評価

第4章では ツイン型(双形型)偏回転型水車の開発と特性評価

第5章では 研究成果の精査と展望

本論文の前半では、仙台圏における微小水力発電の設置可能な調査を詳細に行い、仙台圏における微小水力発電により十分な電気エネルギーが得られることを初めて定量的に示している。また、本論の後半部分では、仙台圏における微小水力発電を行うための高効率水車の開発について詳細に述べている。特に、偏回転型水車を世界で初めて水力発電に導入しているところは独創的である。

研究は、偏回転水車の開発から始まり、試行錯誤の上、最終的には偏回転ツイン水車が最も高効率な水力発電を行うことができるという結論を導いている。この偏回転ツイン水車は、シングル型水車と各種データ値を比較したところ、回転数は、低水量域での回転域を広げることができた。しかし中水量域から高水量域では偏回転ツイン型水車はシングル型に比較するとより安定した回転が可能となり回転数も3倍となる高回転を生み出すことができることを確認することができた。また回転トルク値では中水量域から高水量域の高回転になるほどに、偏回転ツイン型水車の方がシングル型より大きな回転トルク値を得ることができている。これらのことから偏回転ツイン型水車は、中水量域から高水量域で大きな発電機を安定に回すことが可能になることがわかった。また偏回転ツイン型水車を様々な組み合わせで使用することで、利用目的に応じた使用法の可能性を示している。

このように本論文は独創性のある研究であり、多くの新しい知見が示されている。

よって、本論文は博士(環境科学)の学位論文として合格と認める。