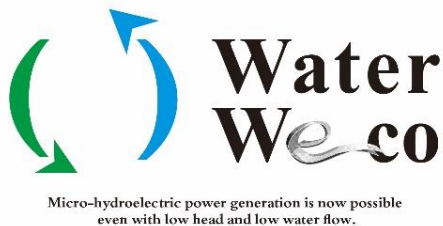


## 株式会社エリスの小水力事業の紹介

### はじめに

弊社株式会社エリスは、岡山市のLPGサプライヤーとして創業68年の実績のあるガス会社をグループ会社とするクリーン・エコ発電に特化して事業展開を行う会社である。ガスとして熱エネルギーを供給する本業に対して、新規開発発電技術に基づく太陽光発電システムを土台としてその他の新技術の事業の一としての小水力発電事業の位置付けである。小水力発電システムは Waterwheel+Ecology+Economy の造語で「WaterWeeco」として商標登録している。



### 「WaterWeeco」の事業領域

弊社の小水力発電事業は、東日本大震災による FIT 制度発足前の2009年初に始まる。発足当時は、単純に1997年の京都議定書温室効果ガス削減の目標への対応としての水力発電且つ自然破壊を伴う大規模ダム貯水無し of 自然地勢流水力に着目し、社長自らその方面の先進水力発電地帯のヨーロッパアルプス地方、ドナウ河流域の中小規模水力発電所と発電機材メーカーの視察を行った。



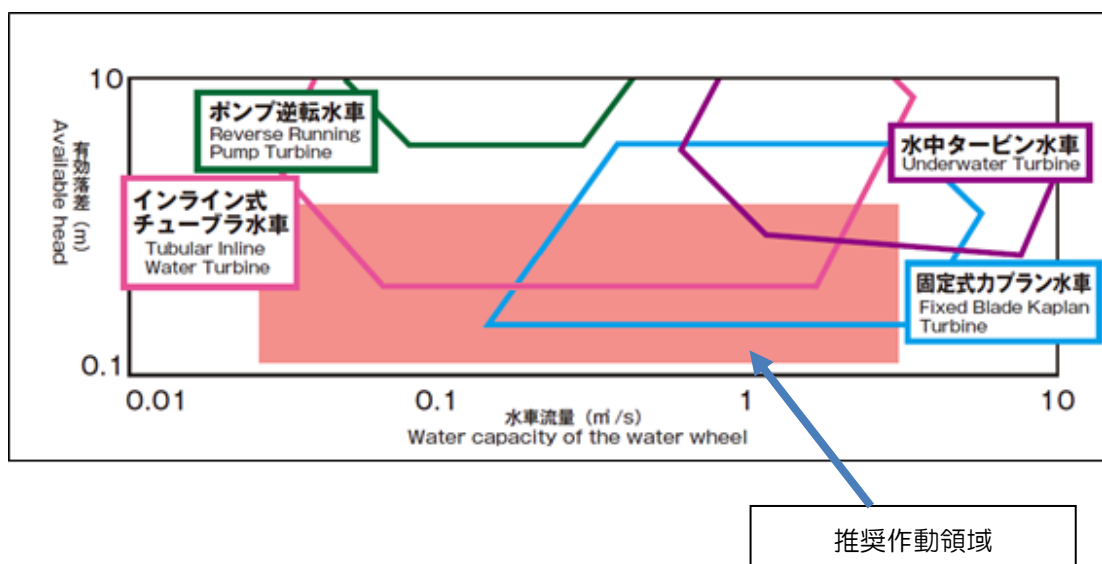
▲ドイツ Augsburg の中心部にある小水力発電施設  
(撮影時期 2011年12月)

写真は、視察時にドイツ Augsburg の市街地中心部にある小水力発電所である。ドイツでは、日本より降水量が少なく、高低差も少ない地理的条件にも関わらず、電気料金の固定価格

買取制度（FIT）が始まって以来急速に普及した。文献によると、数10kWクラスが15,000～20,000基あると言われている。このサイトに於いて、30kWの発電が行われているが近くに寄っても、発電所の回転音が聞こえず、環境にやさしい循環型自然エネルギーが閑静な市街地に馴染んで存在する姿に衝撃を覚えたとのことである。そこで、多少の知見を得て社長自ら以下の事業設定を行った。当時小水力発電は1000kW以下とされていた。調べて見ると、岡山県では30kW以上は既に明治以来、中国電力や岡山県がダム利用も含めて水力発電所を開発済みであった。当然その専門機器メーカー、設備プラントメーカーも存在するということであった。しかし逆にそれ以下の領域は手付かすの分野と見た。この領域を、弊社の小水力発電の事業領域と認識し、以下これをマイクロ水力発電と記載する。

日本の長閑な原風景に木製水車が必ずと言ってよいほど存在した。文献によれば、石油産業革命前の昭和初期には約80,000基もの木製水車が紙漉き、製粉などに使われていたようである。弊社が岡山県新見市高尾の農業用水路に約2年前から設置している定格7.5kWの開放型周流水車も、過去に紙漉き水車が実際に存在した場所であった。

※下図にて固定式カプラン水車は、固定式プロペラ水車と同義



### マイクロ水力発電のポテンシャル

水力発電は年間を通して降水量が安定して河川が枯れない地域に向いている。しかし太陽光のようにどこでも設置できるわけではない。又太陽光のように夜間や雨天時に発電しないようなことはない。一定の落差があり24時間安定して水が流れるような場所が適地である。発電エネルギーの変動も少ないベースロード電源である。

農業用水特有の渇水期に於いても、豊水期と比較すると発電量が少なくなるものの、太陽光と比較しても十分な発電量が期待できる。また、日本に於いては発電用水利権取得も容易になった。2009年3月に発表された我が国の財団法人新エネルギー財団（経済産業省資源エネルギー庁委託調査）資料によると工業用水、下水道も未開拓領域として有望である。

## **マイクロ水力発電のニーズ把握**

世界的にはパリ協定発効以降、急速に ESG 投資などの環境エネルギー投資は増加している。日本に於いては、自治体を中心となって適地調査が全国的に展開された。近年環境省も環境アセスメントなども盛り込んだより詳しいポテンシャルマップを公開予定である。しかし、マイクロクラスの適地になると、農業用水管理組合管理の農業用水路利用、公園等の公水路、工業用水路が相応しい。売電に限らず、小型 EV、最近出回り始めた電動芝刈り機や農業用ハウスの電源にも利用できる。

## **マイクロ水力発電に必要な機材の選定**

実際にマイクロ水力発電設備販売を事業として始めて見ると、水車、発電機等の基本機材も小なるが故に市販品が無く自社商品開発を行う必要があった。太陽光発電が多くメーカーで競って技術開発され、単にディーリングすれば成り立つと言うビジネス展開では無いということである。マイクロ水力発電関連で使用出来る市販品としては、カー用品、キャンプレジャー用品としての市販の单相 100V 入力 12Vdc 鉛蓄電池対応出力の充電器、12Vdc 規格の鉛蓄電池、12Vdc 入力单相 100V50/60Hz 出力のインバータ、自動車用直流発電機であるオルタネーターはガソリン・ディーゼル等高速エンジン駆動対応であり、水車特に用水路で用いる開水路用無ケーシングのオープン水車と言う名の低速エンジン駆動対応では無い、即ちその無負荷開放速度は直径の大小、水の掛け位置上中下掛けに依るが通常 10rpm~60rpm でその半速迄負荷を掛けるとしても 5rpm~30rpm の負荷速度に対応する低速エンジン対応発電機の商品開発が必要である。又充電器に付いても市販の範囲は 12Vdc 8A 程度迄と見て 10A 以上の商品開発を行った。

## **製品の概要と特徴**

### **ア) 低速対応エリス式発電機の商品開発**

発電機はエリス式として 500W 機から開発を始めた。機能・構造としては、単純に回せば、直ぐに発電機のみで市販家電に給電出来る物として、出力单相 100V、50/60hz とした。水車の負荷速度を 5rpm~30rpm として 30倍~60倍の増速比として 300rpm~900rpm が発電機の負荷速度と見て同期速度をそれに合わせ 12極、18極、20極のファラデー電磁誘導則原理の回転式多極同期発電機的设计製作とした。その場合の同期速度は、12極では 50/60hz に対して 500/600rpm、18極では 50/60hz に対して 333/400rpm、20極では 50/60hz に対して 300/360rpm になる。磁極は界磁制御を伴わない固定磁界とし近年商品開発され市販されているネオジウム永久磁石を採用とした。旧来のフェライト永久磁石に対して画期的な 10倍以上の磁力を持ちネオジウム永久磁石電動機として実用化されていた故である。構造は自社工場で製作出来る意味で起電コイル円盤、永久磁石円盤を交互に回転軸に積層串刺し構造とした。先ず 500W 機を完成させ、次に 500W 機を並列に束ね

一体化する方向で1 kW機、3 kW機、5 kW機と発展させた。3 kWと5 kWの意味は家庭用太陽光発電の基本単位が3 kWと5 kWと見てそれに合わせた。5 kWは重量が100kg 近く、それ以上の容量アップはコスト面からも無理と判断した。回転仕様の他メーカーとの大きな違いを端的に述べると、シンプル構造である為、無保守・無点検を実現出来ると考えており、メンテナンスコストが削減できる。また、界磁制御機能に関する部材が削減出来る上、増速倍率も低くて済み増速機のコストも削減できる。その上、コアレスコイル故のコギングトルクレスで、且つ塩ビの駆体故に鉄損無し銅損のみ故の高効率機電エネルギー変換で、更に他社多極低速コアレス発電機が外側に磁石円盤を配しそれ自体にベルトを掛けて回す所謂アウトロータ式に対し、エリスは内側に磁石円盤を配し車軸を小径のギア又はプーリーで回すインナーロータ式で低回転水車との結合でアウトロータ式に比し増速度を高く取れることはエリス式の他社コアレス発電機との差異であり利点である。



▲永久磁石式多極単相同期インナーローター発電機 elis-GENERATOR

### イ) エリス式水車の商品開発

農業用水路中心の事業展開としてのマイクロ水力発電用水車としては、ケーシング(覆いかバ  
ー・囲い)無しのライナー(車輪)直径が小は $\phi$ 1m 前後から大は5m 前後、幅は0.5m 前後か  
ら2m 前後のオープン水車(開放型周流水車)で、羽根枚数8枚~32枚、注水位置に依って上  
掛け中掛け下掛けと有る。特徴として、閉水路のプロペラ水車など閉水路水車に比べ、塵芥対策  
が容易である。(下 固定式プロペラ水車塵芥の状況(弊社実証): 塵芥用スクリーンを設置して  
いるにもかかわらず定期的にオーバーホールが必要であった) この規模のマイクロ水力発電に  
於いて、塵芥対策を自動化すれば導入コストが大幅に上昇し、更には塵芥対策に専門人件費が必  
要で、この様な素人では処理できない外注の塵芥費用はキャッシュフローに致命的な影響を与  
えかねない。



▲塵芥の堆積の様子

そのようなメンテナンスコストの問題や、土木工事を極力減らすことができるため、イニシャルコストが削減できるオープン水車（開放型周流水車）の研究開発に特化することに決定し、実証実験（後紹介）の経験から羽根形状・羽根枚数・羽根角度により発電効率が大きく異なることから最適化を図った。

オープン水車は、水路にも堰を設けたり、護岸の高上げなども不要である。そもそも水車とは、水力学のベルヌーイの定理に基づく水力エネルギーの機械的回転エネルギーへの変換装置と換言出来るが、基本は水車設置水路の、はたまた注水側と放水側の高低差(落差)mに基づく位置エネルギーkWの効率的な機械回転エネルギーkWへの変換が議論され通常効率は弊社の経験値からも上掛けで60%、下掛けで30%程度とされる。

そこで、このオープン水車の更なる高効率化を目的として、小型風力発電の研究開発でも実績のある国立大学法人長崎大学・回流水槽での研究開発の知見を多く所有し、最新の研究設備も所有する株式会社西日本流体技研とともに共同研究を行った。

開発した2種類の「WaterWeco」のうち、1種類は先行して2017年度日本機械学会年次大会にて長崎大学が発表した、コンペティターと比べて効率が17.4%向上した下掛け水車、そしてもう1種類は今までに無かった高効率中掛け（胸掛け）水車で、新開発下掛け水車同様、数値解析・流体解析・模型実験を経て最も良い効率のものを採用して商品化を行った。

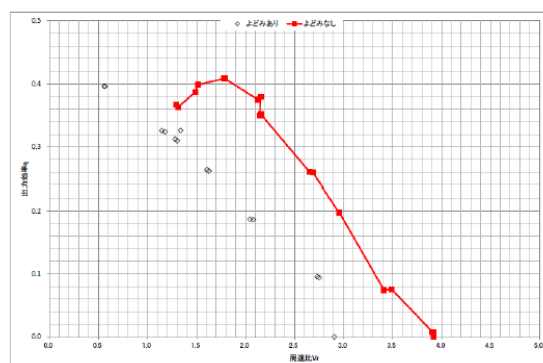
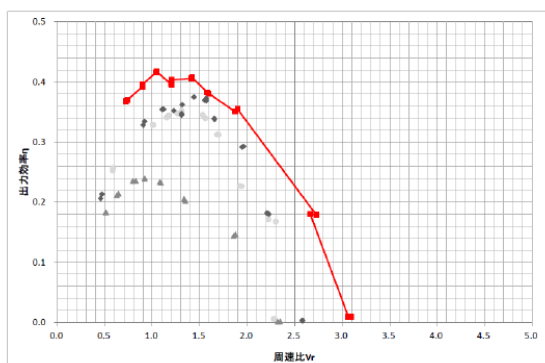
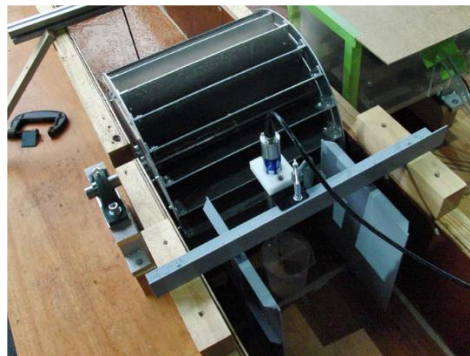
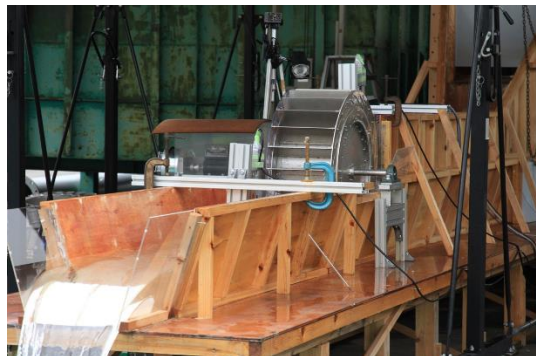
効率は実際に弊社が約2.5年前より岡山県新見市高尾にある農業用水路で稼働している中掛け水車と流量・落差など流況条件が等しい縮尺模型を作成して行った。（下写真）

更に、第三者機関の認証に於いても効率を確認した。即ち環境省環境技術実証（ETV）事業に於いて約25%～30%程度で、模型実験の効率と一致した。更にコストダウンにも取り組んだ。

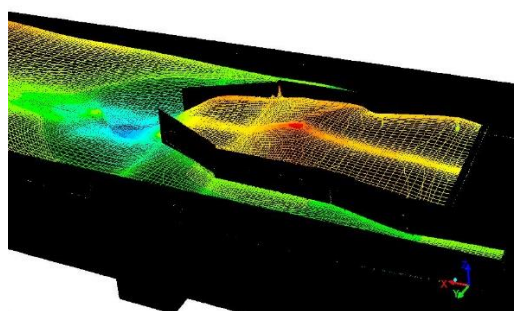
新見モデルは約2.5年前から稼働しているが、環境省ETV事業評価時点よりも数値解析による水車レイアウト変更により約1.0kW程度の発電量向上に成功した。現在の最大発電量は5.0kWになっている。新開発のピッチフラップ羽根を採用すれば、理論上、よどみありの場合より、更に発電量が上がることがわかった。



発電電力の通貨価値換算をする場合は、売電を行えば現在のFITだと34円/kW、農事用電力代替だと14円/kWとなる。後者の場合は、災害用の通信用電力・小型EVに利用を行えば、各種助成金の対象になるため、初期投資が最大で約3分の1となる。



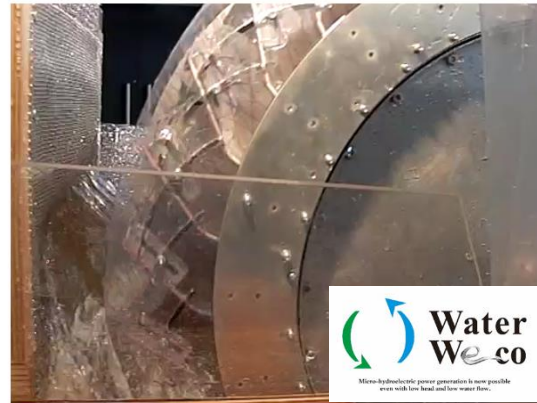
※よどみありの場合とは、水車が水に浸かっている状態を指す。新見市高尾農業用水に設置している水車は、水に浸かっている状態にあるため、よどみが水車効率に及ぼす影響を模型実験で検証した。



▲水車ブレードへの注水口の流体解析画像



発電効率30%



発電効率40%

▲環境省のETV事業の認証を受けたブレード(左)と「WaterWe co」のブレード(右)

### ウ)増速機

マイクロ水力発電の場合、水車回転軸と発電機回転軸の結合に於いて水車定格回転数が発電機定格回転数に対して遅い為、30~60倍の増速が要求される。これに対しては、これまで一般に多く普及していた減速機の逆利用や、その前に太陽光に追随し技術開発の進んでいる風力発電用増速機の転用を考えたが、ギアギア構成の専門メーカーで製品を市販していることが分りそれを使うとして水車車軸と見かけ直結になり価格も其れなりに高価故、発電機を水車架台上に離して置き、第一段増速をスプロケット(軸ギア)とドライブチェーンで行い第二段を専門メーカー製増速機とするか、第二段以降もスプロケット・ドライブチェーン増速で行くかの選択になる。

専門メーカー品の増速機はエリス式の範囲300W~500Wでは40倍まで、1kW~5kWは30倍まで、又エリス式の範囲外5kW超~20kWは30倍まで、22kWは6倍までがカバーされているが、耐久性と保全修理に不確実性あり最高3段増速として $3 \times 3 \times 3 = 27$ 倍、 $4 \times 4 \times 4 = 64$ 倍でスプロケット・ドライブチェーンを組み合わせる方が安価且つ故障時の修理も簡単である。

### その後の事業環境の変化への商品開発対応

2011年3月11日に発生した東日本大震災以降は、事業環境が激変した。それまで低炭素化の旗手とされて来た原子力発電が失速しエコ発電にFIT強制買取制度が成立したことである。即ち売電の発生である。

小水力発電電力の売電単価は約34円/kWhとしてFIT以前の5円/kWhに比して大幅にアップしそこで発生した新しい必要技術分野は電力会社線との結合技術と結合ユニットの商品開発であるが、電源ユニット専門メーカーからのOEM対応とする。

## コンバーター・インバーター方式のシステム

通常後発の大手電気メーカー（以後他社と称す）の小水力用発電機は6極、4極の少極永久磁石式三相同期発電機で定格同期速度は1000rpm～1800rpm 定格出力電圧は200/220V、50/60Hzになる。

即ちエリス式に対し高速発電機で100Vでは500rpm～900rpm、50Vでは250rpm～450rpmである。

従って他社製発電機でエリス水車で発電となると50V程度の三相交流を得て直流にコンバート（変換）し、然る後に三相200V又は单相100V 50/60Hzにインバート（逆変換・パワコンと通称）して電力会社と系統連系・売電とする。

これをコンバーター・インバーター方式と名付ける。弊社はこちらに関しても他社電機製品で対応できる体制を整えている。

## 導入事例の紹介

ア) 工場排水利用；

開放型上掛け水車 水車寸法 直径1.5m 幅0.45m 有効落差0.7m  
流量10L/s 最大実出力30.0W



イ) カヌー公園；

開放型上掛け水車 水車寸法 直径0.9m 幅2.2m 有効落差0.9m  
流量50L/s 最大実出力352.8W





ウ) 養魚場；

固定式プロペラ水車 水車寸法 直径0.38m 有効落差1.4m  
流量100L/s 最大実出力809.3W



工) 緑道公園；

開放型上掛け水車 水車寸法 直径0.7m 幅2.188m 有効落差0.4m  
流量32L/s 最大実出力63.0W



才) 道の駅；

開放型上掛け水車 水車寸法 直径0.7m 幅2.188m 有効落差0.6m  
流量15L/s 最大実出力40.0W



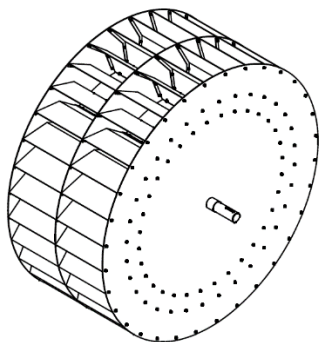
力) 飲食店庭園；

開放型上掛け水車 水車寸法 直径1.5m 幅0.3m 有効落差1.5m  
流量10L/s 最大実出力60.0W



キ) 農業用水路；

開放型中掛け水車 水車寸法 直径3m 幅1.3m 有効落差1.75m  
平均流量750L/s 発電機容量7.5kW 最大実出力5000W



▲新開発水車「WaterWeco」(知的財産国際出願中) (左) 新見市高尾農業用水路に水路を賃借して設置している環境省 ETV 認証水車 (右)

ク) 建設中案件



▲津山桑谷発電所放流水に設置されたマイクロ水車 (左)

連携事業調印式の様子(左から弊社代表桑原、宮地前津山市長、最上JAつやま組合長(右)  
※岡山県津山市との連携事業として、JAつやまの発電所放流水を活用、商用電源は利用せず  
キャンプ場で利用するEVの電源を供給する。防災上の観点からはもちろん、ガソリンスタンドの  
空白地帯のGS代替EV充電設備としての可能性を実証する。

## 今後の展望

現在、①エリス式オープン水路水車、エリス式標準発電機の単体販売、②エリス式標準水車・  
発電機による各種開水路への0.3kW~5.0kW発電容量マイクロ水力発電設備一式販売、  
③2.2kW~22.0kWの範囲でのマイクロ水力発電設備一式販売または、エリス費用  
での設置と売電収入からの水路使用賃料支払いなどを事業範囲としている。特に地産地消モデ  
ルについては、近年、国の優遇税制や補助制度も拡充されている。電源の使用用途としては、電  
気自動車だけでなく、芝刈り機、農業用ハウス、更には災害復旧において欠かせないバックアッ  
プ電源としての普及を目指す。また、課金システムに関しても、EV充電の電子マネー決済シス  
テムを開発しており、太陽光発電と併用することも可能である。今後中山間地域など、人口減少  
によるガソリンスタンド空白地帯の汎用的な代替EV充電設備として、更なる効率向上、コスト  
ダウンなどのブラッシュアップを行っていく予定である。



三宅 頼人

経歴

2016年 (株)エリス入社 小水力統括責任者



小嶋 剛毅

経歴

2009年 (株)エリス技術顧問

電気学会会員 第二種電気主任技術者

問い合わせ先:

Web site: [www.elis.tv](http://www.elis.tv) [www.waterweco.com](http://www.waterweco.com)

Phone number: 086-264-8080 Fax number: 086-264-8086

E-mail address: [info@elis.tv](mailto:info@elis.tv)

Address: 岡山市南区福田174番地