

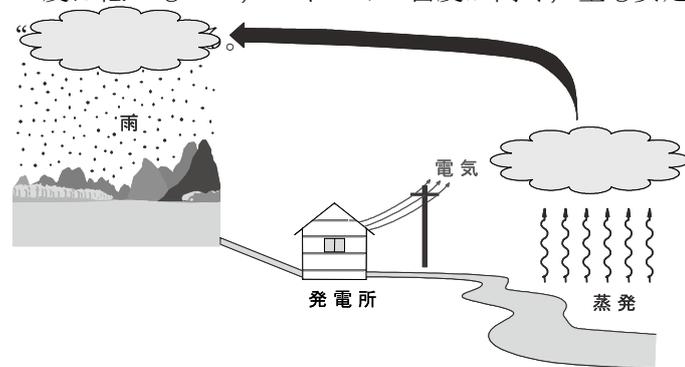
第 10 章 小水力発電システム概論

1. 小水力発電システムの概要

日本で消費される電力（二次エネルギー）において，無限でクリーンな再生可能エネルギーからの発生電力量は全体の 12～14% にすぎない。再生可能エネルギーの源は，無尽蔵の水，風および太陽光であり，有効に利用することで化石燃料の消費抑制に寄与し，地球に存在する限られた資源の節約と第 3 回気候変動枠組み条約締約国会議（COP3）に基づく温室効果ガス削減の大きな担い手となっている。

昨今までのエネルギー“多”消費産業からエネルギー“寡”消費産業に移行した現在では，付加価値の少ない大規模エネルギー開発よりも，純国産で無公害といった付加価値を持つエネルギー開発に大きな期待が寄せられる。とりわけ，水は，風や太陽光に比べ自然エネルギーとしての視覚的なアピール度は低いものの，エネルギー密度が高く，量も安定しており，“名を取らず，実を取る”

資源そのものを消費することなく，山や森といった自然の中にエネルギーを蓄え，人の手によって電気エネルギーとして収穫され，その後，再び川や海に戻り，絶えることのない自然の力を得て再びエネルギーとして蘇る。自然の摂理がなす水循環は，これまでの大量消費，廃棄型社会から循環型社会への転換に大きく寄与するであろう。



水循環のイメージ

日本の狭く丘陵な地形では，如何に多くの水循環を安定して実現するか，古くから「治山，治水によって国を治める」と言う諺があり，洪水調整，灌漑および用水等に対して，国や民間の手で策が講じられてきた。

年々，洪水や水不足が解消され，ここ数十年間は，年間約 900 億 m^3 の河川水が，農業用水，都市用水（上下水道，工業用水）として安定的に使用されている。

従来からあるダムや貯水池等を使った水力発電とはひと味違う，上下水道，農工業用水等のインフラに内在する未利用水エネルギーを再生する水力発電は，ダムや水路設備等の既設設備を利活用することで，開発段階から環境負荷が少ない，環境に優しいエネルギーとして，従来の水力とは一線を画した新しい水利用による新たな方向性を持つ水力発電の分野を開拓した。

1.1 新エネルギーとなった水力

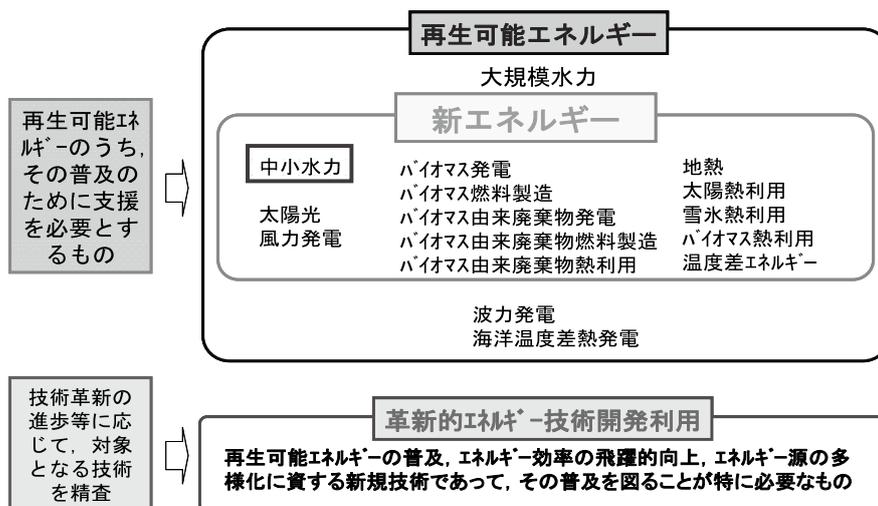
インフラに内在する未利用水エネルギーの有効利用が推進されれば、再生可能エネルギーの市場拡大に大きな期待が生まれる。

経済産業省の新エネルギー施策は、1970年代の石油危機をきっかけに、石油代替エネルギー開発の一環として進められてきている。「新エネルギー」とは、石油代替エネルギーのうち経済性の面における制約から普及が十分でないものであって、その促進を図ることが石油代替エネルギーの導入を図るために特に必要なもの等と定義されており、これまでもこれらの普及拡大を、技術開発、導入補助等で推進してきている。

水力発電に関しては、大規模なものも小規模なものも同一視して、大規模な経済性があるものについて導入がなされていることをもって普及が十分なされているものと判断し、「新エネルギー」の対象外とされてきた。

その後、地球温暖化への意識の高まりから、水力発電を含めた再生可能エネルギーに対する施策を積極的に行う気運が高まり、2001年には総合資源エネルギー調査会新エネルギー部会報告書において、水力を「再生可能エネルギー」として整理することが適当であるとされたが、支援策は従来どおりであった。

しかしながら、2006年10月の総合資源エネルギー調査会新エネルギー部会報告書において、再度、新エネルギーと再生可能エネルギーの概念整理を行い、水力発電のうち中小水力が、特に普及のために支援が必要なものとして「新エネルギー」として整理された。



再生可能エネルギーと新エネルギーの定義

1.2 水力のライフサイクル CO₂ 排出量

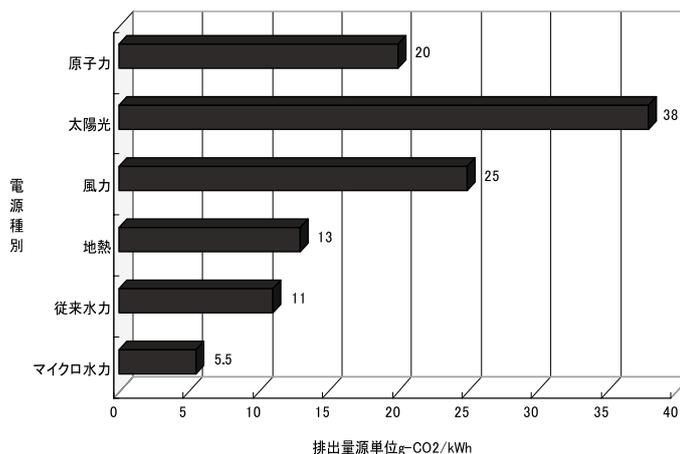
製品や技術の環境性を分析評価する手法としてライフサイクル評価（Life Cycle Assessment：LCA）がある。一般に、LCAとは、製品のライフサイクル、すなわち、資源の採取、製造、使用および廃棄のすべての段階にわたって環境に与える影響を分析評価する手法自体が、確立し規格化されている。

発電施設全般で考えると、電力生産には発電時以外に燃料採掘・輸送、廃棄物処理およ

び送配電などのいろいろな断面で、環境へ影響を与えており、この一連の流れ、すなわち、「ゆりかごから墓場まで」のライフサイクルにおける発電技術の環境性を評価する場合、ライフサイクル評価（LCA）手法の利用が望ましく、国際標準化機構（ISO）でも規格化されている。

本誌では、発電施設に関するLCA手法において、わかりやすく定量的な評価手法をまとめた「ライフサイクルCO₂排出量による発電技術の評価（著者：本藤祐樹ほか、発刊：電力中央研究所，2000 研究報告 Y99009），『改訂版』日本の発電技術のライフサイクルCO₂排出量評価 2009年に得られたデータを用いた再推計」を引用する。本書の序説にある「これまでは、前提条件が十分把握されずに、最終的な値だけが一人歩きする事が多々見られた。本研究では、火力発電の熱効率の想定など、風力や太陽光等の設備利用率の想定など結果に比較的大きな影響を及ぼす要因を絞って、前提条件を変化させることで結果に与える影響を定量的に明らかにすることを第二の目的とする。」と記述されており、ここでは、従来型の水力とは全体的な構造が異なるマイクロ水力発電について、設備実態に適合したライフサイクルCO₂排出量を定量的に算出し、マイクロ水力発電の環境性能を明確にした。

最近の発電環境影響指標には必ずと言っていいほど、本書算出結果である「発電技術のライフサイクルCO₂排出量」を引用した発電種別毎のCO₂排出量がグラフ化されているが、はたしてその算定根拠を理解して利用している事例がどれだけあるか、疑問である。



電源別ライフサイクルコストCO₂排出量（LCA）

本手法は非常にわかりやすい手法であり、今後の活用拡大を期待したい。以下に、本書の算出過程を忠実に表式化し、引用書のモデルケースとマイクロ水力の代表事例について、ライフサイクルCO₂排出量の計算過程とその結果を示す。

| 発電所諸元 | | モデルケース |
|---------------------------|----|----------|
| 発電所出力(kW) | | 10000 |
| 最大使用水量(m ³ /s) | | 4.8 |
| 水圧管路長さ(m) | | 490 |
| ダム提体積(m ³) | | 2000 |
| 導水路長(m) | 無圧 | 9000 |
| 導水路長(m) | 圧力 | 0 |
| 設備利用率(%) | | 45 |
| 年間発生電力量(kWh) | | 39420000 |

| イニシャル(建設時)CO ₂ 排出量 | | | | | |
|--------------------------------|--------|---------|---------------------------------|------|-----------------------------|
| 設備分類 | 材料 | 重量(t) | 排出原単位 (t-CO ₂ /t) | 補完係数 | 排出量 (t-CO ₂) |
| 発電設備 | 鉄鋼 | 228.7 | 1.366 | 2.4 | 1058.3 |
| 水圧鉄管 | 鉄鋼 | 205.5 | 1.366 | 0.2 | 346.2 |
| ダム | コンクリート | 4940.0 | 0.114 | | 563.2 |
| | 鉄鋼 | 22.8 | 1.366 | | 31.1 |
| | 土石 | 4000.0 | 0.007 | | 28.0 |
| 圧力導水路 (無圧) | コンクリート | 42516.3 | 0.114 | | 4846.9 |
| | 鉄鋼 | 304.8 | 1.366 | | 416.4 |
| 圧力導水路 (圧力) | コンクリート | 0.0 | 0.114 | | 0.0 |
| | 鉄鋼 | 0.0 | 1.366 | | 0.0 |
| ゲート | 鉄鋼 | 105.0 | 1.366 | 0.5 | 215.1 |
| その他 | コンクリート | 14600.0 | 0.114 | | 1664.4 |
| | 鉄鋼 | 404.0 | 1.366 | | 551.9 |
| 燃料費 | 軽油消費量 | 481.0 | 2.644 | | 1271.8 |
| 小計 | | | | | 10993.2 |
| kWh排出量(g-CO ₂ /kWh) | | | | 9.3 | |

| ランニング(運転時)CO ₂ 年間排出量 | | | |
|---------------------------------|------------|-----------|-----------------------------|
| 運営費 | 費用(円/年) | kWhあたり消費額 | 排出量 (t-CO ₂) |
| 建設補修 | 16753500.0 | 3.236 | 54.2 |
| 機械修理 | 12180780.0 | 1.893 | 23.1 |
| 小計 | | | 77.3 |
| kWh排出量(g-CO ₂ /kWh) | | 2.0 | |

| ライフサイクルCO ₂ 排出量 | | |
|------------------------------|---------------------------------|------------------------------------|
| 総排出量 (t-CO ₂) | 年間排出量 (t-CO ₂ /年) | kWh排出量 (g-CO ₂ /kWh) |
| 13311.4 | 443.7 | 11.3 |

引用書におけるモデルケースのライフサイクルCO₂排出量計算結果

1.3 インフラに内在するポテンシャルを活用する水力

前述のように、既設のインフラを利活用する水力が新たな包蔵量として期待されてきており、上下水道、農工業施設の利水設備や他目的で水が貯留されている治山、砂防ダム等



上水道



下水道



農業用水



貯留水

を発電用水路設備に利活用することで、より低レベルなライフサイクルCO₂排出を実現しつつ、人とのつながりの深いインフラ利用で、エネルギー由来を生活の中とする新たな発想のエネルギー源に成り得る。

これら既設備を利用するマイクロ水力発電ではものづくりが抑制されることでライフサイクルCO₂排出量が一層低減される。

| ライフサイクルCO ₂ 排出量 | | | 発電所諸元 | | モデルケース |
|------------------------------|---------------------------------|------------------------------------|---------------------------|--|---------|
| 総排出量 (t-CO ₂) | 年間排出量 (t-CO ₂ /年) | kWh排出量 (g-CO ₂ /kWh) | 発電所出力(kW) | | 200 |
| 190.6 | 6.4 | 6.0 | 最大使用水量(m ³ /s) | | 1 |
| | | | 水圧管路長さ(m) | | 50 |
| | | | ダム提体積(m ³) | | 0 |
| | | | 導水路長(m) 無圧 | | 0 |
| | | | 導水路長(m) 圧力 | | 0 |
| | | | 設備利用率(%) | | 60 |
| | | | 年間発生電力量(kWh) | | 1051200 |

| イニシャル(建設時)CO ₂ 排出量 | | | | | |
|--------------------------------|--------|-------|---------------------------------|------|-----------------------------|
| 設備分類 | 材料 | 重量(t) | 排出原単位 (t-CO ₂ /t) | 補完係数 | 排出量 (t-CO ₂) |
| 発電設備 | 鉄鋼 | 10.0 | 1.366 | 2.4 | 46.1 |
| 水圧鉄管 | 鉄鋼 | 5.9 | 1.366 | 0.2 | 9.9 |
| ダム | コンクリート | 0.0 | 0.114 | | 0.0 |
| | 鉄鋼 | 0.0 | 1.366 | | 0.0 |
| | 土石 | 0.0 | 0.007 | | 0.0 |
| 圧力導水路 (無圧) | コンクリート | 0.0 | 0.114 | | 0.0 |
| | 鉄鋼 | 0.0 | 1.366 | | 0.0 |
| 圧力導水路 (圧力) | コンクリート | 0.0 | 0.114 | | 0.0 |
| | 鉄鋼 | 0.0 | 1.366 | | 0.0 |
| ゲート | 鉄鋼 | 2.1 | 1.366 | 0.5 | 4.3 |
| その他 | コンクリート | 292.0 | 0.114 | | 33.3 |
| | 鉄鋼 | 8.1 | 1.366 | | 11.0 |
| 燃料費 | 軽油消費量 | 9.6 | 2.644 | | 25.4 |
| 小計 | | | | | 130.0 |
| kWh排出量(g-CO ₂ /kWh) | | | | 4.1 | |

200 kWマイクロ水力発電ライフサイクルCO₂排出量計算結果

2. 小水力発電に求められる技術

水力発電に必要な学術分野は多岐に渡るが、小規模故に、分野毎に専門家を配置することなど到底できず、揚水式水力や原子力発電のような大型電源に要求される高度な技術者集団よりも、基礎技術でもより技術力を持つ個人あるいは組織が求められる。このような人材を掘り起こしつつ、

- ・既存技術の延長に位置する発想・工夫を主体とする技術
- ・あれば便利の機能を排除できる技術・技能
- ・大型揚水機向けに行われた水力開発に相反する技術

という3つの設計理念に基づく、開発や運営、さらには事業性を高めることができる技術力が小水力発電に求められてくる。

2.1 水車

小規模水車に必要な技術は、基礎的な流体力学であり、構造力学は必要ない。構造に関しては、機器の仕様を明確に製造者に理解してもらうことが重要であり、設計に関しては製造者に依頼し、設計結果に対して仕様が満足しているかを審査できる技術があればよい。ユーザは、発電運営において変化する流量や落差をとらまえた流体設計の基本を確実なものにすることが望まれる。

ここでは、エネルギーとキャビテーション*、反动水車の代表例である遠心羽根車（フランス水車）の羽根車理論（流れの速度三角形で表現した流動現象と出力）について述べる。水車では、「流動現象の把握」、「エネルギー関連の法則」、「キャビテーション現象」を三つの基本とし、基礎応用編として、「完全特性図から水車の性能を読む」ことを習得していく事が好ましい。

水車型式のうち、衝動水車については、別の機会に取りまとめ、反动水車の軸流および斜流のプロペラ水車は、遠心作用の係り方が異なるだけで、翼流れに関しては同原理であり、本誌を活用できる。

*：水車内部を流れる水は特定の部位で短時間だけ極端に圧力が低下することがある。

この圧力が飽和蒸気圧より低くなった時、水中に存在するわずかな気体は、気泡となり、膨張・圧縮する。この過程で気穂が破裂するが、この時の衝撃で水車の金属表面が壊食する。これをキャビテーションといい、気泡の発生による流れの乱れで水車効率も低下する。

(1) エネルギーとキャビテーション

① エネルギー

エネルギーでは、以下において、有効落差の考え方を理解しておくことが、基本と考える。

$$P = 9.8 \times \text{有効落差 } H \text{ (m)} \times \text{流量 } Q \text{ (m}^3\text{/s)} \times \text{効率 } \eta$$

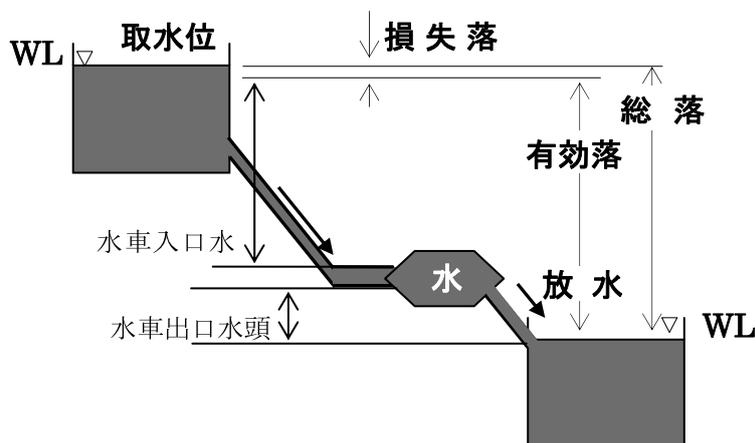
反動水車では、取水位、放水位間の水頭から損失落差（水頭）を差し引いたものが有効落差（水頭）であり、衝動水車では、取水位、水車中心間の水頭から損失落差（水頭）を差し引いたものが有効落差（水頭）となる。

この位置エネルギー的な表現以外に、動圧、静圧としての考え方も整理しておきたい。水車の設計条件となる

有効落差は、反動水車の場合、水車入口圧力と出口圧力の差分で、衝動水車の場合、水が水車に作用するときの速度からの換算と考えるてよい。

上記のような表現は、ベルヌーイの定理で一括でき、水のエネルギーは、下式のように

な3項のエネルギー形態で成り立ち、第1項を運動エネルギー（動圧）、第2項を圧力エネルギー（静圧）、そして第3項を位置エネルギーとなる。



総落差，有効落差および損失落差の定義

$$\Delta E = E_1 - E_2$$

$$= \text{運動エネルギー} + \text{圧力エネルギー} + \text{位置エネルギー}$$

$$= (V_1^2 - V_2^2) / 2 + (P_1 - P_2) / \rho + g(z_1 - z_2)$$

添字 1, 2 は、水車入口、出口を示し、V を流速、P を圧力、 ρ は密度、z を高さとする。これらのエネルギー比率は、水車の構造によって異なり、

- ・ ペルトン水車等の水車の羽根に水をぶつける衝動水車は、動圧により運動エネルギーを発生する。
- ・ フランシス水車等の水車内に水を充満させる反動水車は、静圧により圧力エネルギーを発生する。
- ・ 昔ながらの水車小屋の水車のように水を高い位置から低い位置に移動させる水車は、水の重さで位置エネルギーを発生する。

ここで、冒頭で述べた反動水車における水車出口水頭は、有効落差の一部となり、水車の下流側にありながら、この水頭分は水車によってエネルギーに変換される、

水車の出口から放水位までの水では、放水位→自由水面＝大気圧となり、水車出口では吸出し高さの水頭分だけ圧力が低下するつまり大気に対して負圧になる。

これにより、水車入口、出口の圧力差は、取水位－放水位－損失落差の水頭になり、水車の下流側の高さも有効落差に加わる、これが吸出し効果である。

水は、粘性を持った連続体で、かなりの張力に耐えることができ、水車出口圧力を自由水面のある放水位まで引っ張った結果である。

しかし、これにも限界と傷害があり、水車出口圧力が低下し、管内が全体的に飽和蒸気圧よりも低下すると、連続体が切れて吸出し効果を失う。また、局部的な低下の場合、連続体が切れるまではいかないものの、キャビテーションにより、効率低下や機器損傷に至る。

②キャビテーション

水に含有する微細な気泡や不純物（キャビテーション核）が、諸条件により、連続を不安定にする要素となる。圧力が下がり、その時の水温に対応した飽和蒸気圧に達すると、連続体中のキャビテーション核が、起点となって連続体を解き始め、キャビテーション気泡となる。

水車の性能上、キャビテーションが発生する領域は必ずある。よって、水車の設定、調整で、運転領域にキャビテーションが生じないよう水車の回転数を選定する必要がある。

また、吸出し高さによるキャビテーションを考慮する必要がある。吸出し高さによるキャビテーションの発生し易さを評価する係数にはトーマのキャビテーション係数*が用いられる。トーマのキャビテーション係数を次式で示す。

$$\sigma = \text{NPSH} / H = \{ H_a - H_v - H_s + V^2 / 2g \} / H$$

NPSH：有効吸出水頭

H：有効落差（m）

H_a：大気圧（mH₂O）：≒ 10.33 m（標高により変化有り）

H_v：水の飽和蒸気圧：≒ 0.32 m

H_s：吸出し高さ（m）：ランナ中心標高 - 放水位標高

* H_s は、水車中心から上位に放水位がある場合は符号が（-）、下位になる場合は（+）として扱う

V²：吸出し管出口断面平均流速（m/s）

なお、吸出し高さによるキャビテーションを簡易的に評価するため、次式で見当をつける場合もある。

$$\sigma = (10 - H_s) / H$$

*：トーマのキャビテーション数（Thoma's sigma）σ_T

キャビテーション係数には、有効落差、海拔、吸出し高さおよび気温等発電所立地点の諸データによって決まるプラントキャビテーション係数があり、σ_p（NPSH_p）と表し、ある特性を持つ水車が利用できる範囲を示すものである。また、水車の固有性能としての許容キャビテーション係数をσ_{adm}（NPSH_{adm}）と表す。

2つの係数の関係は、σ_p > σ_{adm}であることが、発電所を作るための必要条件であり、

等しくなるとき、連続体である水が切れたり、水車内部はキャビテーション気泡の発生・破壊が連続することになるであろう。実際には、そこに至る手前に、キャビテーションが発生始める初生キャビテーション σ_i 、さらには、キャビテーション気泡の発生・破壊が始まり、水車効率の低下が始まる臨界キャビテーション σ_c がある。

水車の特性として、流れによる局部圧力変化があり、従来の設計思想では、 σ_i の手前での運転が、定説であった。しかし、マイクロ水力においては、発生するキャビテーションのエネルギー量がそれほど大きくないことで、 σ_c を越えた領域での利用も可能と考える。

(2) 羽根車理論

① 流動現象と速度三角形

一般的なフランス水車において、渦巻ケーシングに流れ込んでくる水は、複数あるガイドベーンの間を通過して遠心羽根車（ランナ）に導かれる。

渦巻きケーシングはランナの外周を1周する円筒管で内周側に開口部があり、この開口部からガイドベーンを経由してランナに水を流し込んでいる。

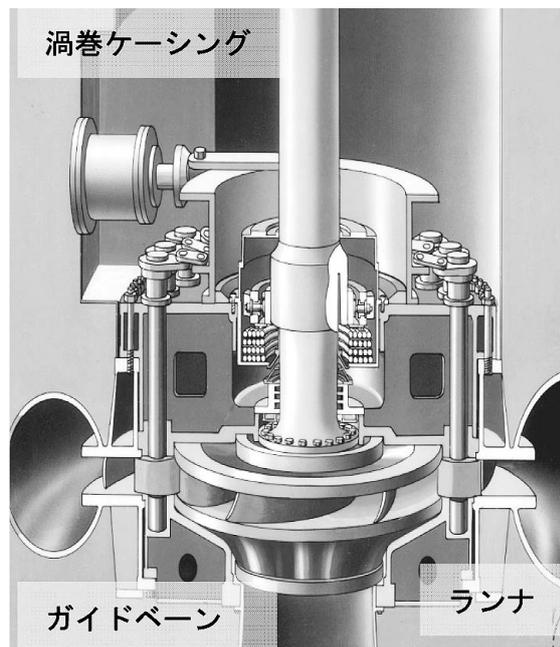
ランナにはランナベーンがあり、このランナベーン間を水が通過する時に水の持つエネルギーを水車が回転する力に変換する。

ランナは回転しながら、ガイドベーンから水を受け入れるので回転と流入する水の向きを相関をとり、最適な流れを導き出すが、ガイドベーンは流入する水の向きを変えることができるので、この機能を使って最適流れを導き出す。この流動現象を速度三角形で整理する。

ガイドベーンにより、整流された水は、回転するランナ内に流入する。これを電車で飛び乗る駅での出来事にたとえてみよう。

動き出した電車で飛び乗るには、電車で近づきながら、電車と同じ速度で走る。タイミングがあうと、電車にはスムーズに飛び乗れる。電車の中から見ると、ホームは、後ろに下がっていくが、人は電車と同じ位置にいて、徐々に近づき乗り込んでくる。あたかも止まっている電車にまっすぐ乗り込んできたような状況であることを想像できると流動現象を速度三角形で説明しやすい。流れの速度三角形は、流れというベクトルと回転というベクトルの合成ベクトルがランナ内に流入する水のベクトルであることを表している。

流れの速度三角形を理解できると、ガイドベーンが位置する場所（静止座標系）と、



水車周りの水の流れと機器

ランナ（回転座標系），この間の相対原理により，水がどのような角度で近づき，どのような角度で流入したかを説明できるので，ランナの回転数を見ながら，近づく水の角度をガイドベーンで調整し，ランナに流入する角度を羽根の流入角にあわせることで，理想的な流入が成り立つ。

* 1 : 水車に流れ込む水の量を調整する調整弁であり，また水車に最適な角度で水が流しこむ整流板でもある。

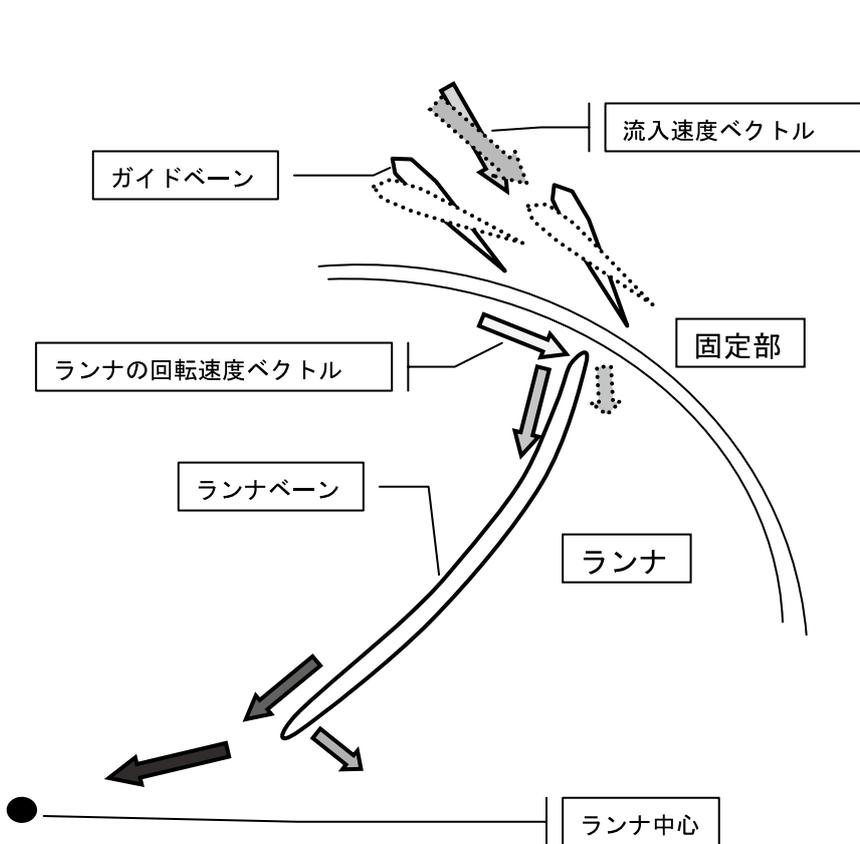
* 2 : 水を取込み水エネルギーを回転力（軸動力）に変換する水車の主要部位である。

固定部に取り付けられているガイドベーンで、**整流された流水**は、回転中のランナに流れ込む。

相対原理で考えると、ランナ側から見た固定部は、ランナの回転方向とは逆向きに回転する。

流水は、ガイドベーン間を通過し、**ランナの回転方向とは逆向きの旋回**に押し戻されながら、ランナ内に流れ込む。

旋回ベクトルと流入ベクトルの合成が、ランナベーンに流れ込む**流水の角度**で、ベーン角度と一致することで、最適な流れとなる。



実線ベクトルが最適な流れを示しており、ランナベーンの入口角と一致した流入ベクトルは、スムーズにランナに流入する。

破線ベクトルは、ランナベーンの先端に衝突して流入するので、流入ベクトルは、ランナベーン入口角と残る無効となるベクトルに分力され、無駄と無理が発生する。

ランナから流出する水は、再びランナの回転の影響を受けて、速度三角形に基づく流出角の変化を受ける。

この時の流出ベクトルがランナ中心に向かうのが、最適な流れとなる。

流出ベクトルが、ランナ中心に向かないと、水は旋回を始め、やはり無駄と無理が発生する。

吸出し高さを大きくとってしまった場合、流出ベクトルが角度、大きさとも変わることによって、キャビテーションの発生や振動を引き起こす。

水車へ流入（から流出）する水の流れを表す速度三角形

②ランナ出力

①で説明した「流れの速度三角形」では、流れがどうやって力を発生するかという説明はできない。これは、流れが羽根に沿って流れるという仮定のもとで、導いているもので、無数の羽根がランナ内にあり、ランナ全周から翼形状に沿って、無数の流線（水の流れ道）が内周に向けて流れ込むという考え方で整理しているためである。

本項では、この流れが、ランナにどのようにトルクを伝達するかという考え方をまとめる。翼形状に沿って流れる水にも流れ方向以外の速度ベクトルが存在することは当然であり、その中で、ランナベーンを押し出す方向のベクトルが、ランナにトルクを伝達することになる。「流れの速度三角形」では、入口と出口角度ですべてを表現しているが、その間を結ぶ湾曲状のベーンは、外周から内周に向かう流水から少しずつトルクを伝達できる形状となっている。

これを数式にまとめると、

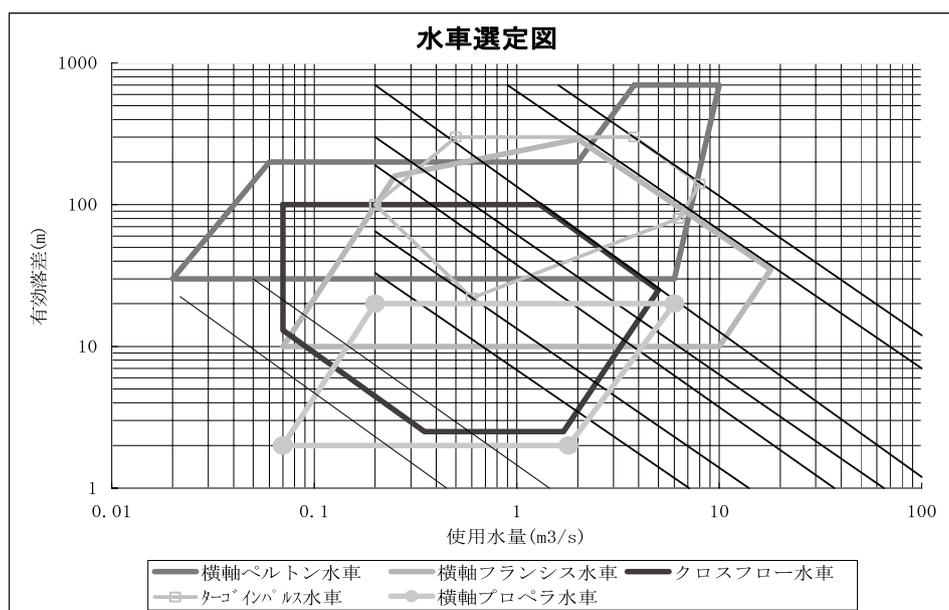
$$\text{トルク (T)} = \text{水の密度} (\rho) \times \text{流量 (Q)} \times (V_1 R_1 - V_2 R_2)$$

となり、代表点である入口と出口でのモーメント力で簡略的に表現し、全周に働く（無数の流線がこのトルクを生むという考え方）ことで、流量を乗している。

ここで、添字 1, 2 は、ランナの入口、出口を示し、V はランナ内を流れる流水ベクトルのうち、ランナを押し出す方向にある分力で、R は半径である。

(3) 水車選定

水車の型式を分類していくと、まずは、エネルギーの形から衝動・反動に分類され、次に水車の翼形状で分類できる。大型機を含めると、さらに型式は増えるが、ここでは、マイクロ水力向けに適用が見込める低コスト化の可能性を秘めた水車型式を選定対象とした。



IT（インターネット，携帯回線）を活用した簡易監視装置

2.2 発電機

これまでの小規模水力発電において、比較される発電機型式は、同期発電機と誘導発電機であったが、マイクロ水力発電においては、一般的な同期機を励磁装置が省略できる永久磁石式同期発電機に変更し、これに由緒正しい直流機を加え、3機種での選定とする。これまでの比較検討においては、多くの場合採用が見送られてきた2機種であったが、最近のパワーデバイスの発達で、低コストで高性能の電力変換器を提供し、それぞれが持つ欠点を克服することで、マイクロ水力向けの発電機として、再生し始めた。

永久磁石式同期発電機の欠点は、供給できる励磁量が一定なので、出力を増加させた時、有効電力生成に励磁が使用され、無効電力を発生させるための励磁が足りなくなってしまう。それにより、出力を増加していくと、無効電力が不足し、発電機端子電圧が低下し、それを補うための無効電力が系統から発電機に流れ込み、系統安定の阻害要因となってしまうことである。また、直流機も電気品が交流へと移り変わったことで、直流を作る意義が無くなってしまったことが上げられる。

この両機種の欠点も電力変換器を採用することで、マイクロ水力クラスならば利用可能になってきている。

つまり、永久磁石式同期発電機では発生した皮相電力を電力変換器（コンバータ）で直流変換し、再度電力変換器（インバータ）で、直流機では電力変換器（インバータ）で、所定の電圧・周波数の電源に置き換える。それにより、系統連系上の課題を克服し、商用電源との連系を容易にした。

選択のための判断基準はコストも考えられるが、もうひとつ水車特性との整合もある。誘導発電機はその回転速度を系統周波数に依存して、常に固定としている。一方で、直流機と永久磁石式同期発電機は、水車の回転速度が変わっても（性能の範囲内）電力変換器が電圧・周波数を所定値に制御できる。

永久磁石式同期発電機の場合、コンバータで水車の回転数を制御することができ（コンバータの点弧角制御が応答に追従できる場合）、水車特性上にある変数（落差、流量、回転数）において、与えられた緒言となる落差、制御目的となる流量に対して、最適回転数で運転することで、通常の定回転の水車よりも高効率で運転できる。

また、直流機では、太陽光発電同様で、回転速度に比例して発生する直流電圧を見ながらインバータが電圧、周波数一定制御を行う。

要求仕様、水車との整合等の多面に渡る価値を評価しながら、最終的にはコスト面で最終判断することが望ましい。

2.3 制御装置と系統連系

電気事業法 技術基準を遵守しつつも、小規模な水力に見合う簡便で、低コストな保護・制御装置の技術および電力会社の電力線との接続に必要な仕様・技術をまとめた。

(1) 保護装置と系統連系

機器用の保護装置には、事故時の波及防止や人身安全等を守るために、「技術基準」で定められているものを最低限必ず設置し、それ以外については、適時必要性を検討しながら、追加設置を考えていくことが肝要である。また高圧連系用の保護装置は、主に「系統連系規程 J E A C 9701 - 2006(発刊:日本電気技術規格委員会)」に基づいて設置する。

ここで、技術基準と上記連系規程の大きな違いを述べると、機器保護には、電気事業法第 39 条（事業用電気工作物の維持）で技術基準に適合するように定められているものがあり、法的な遵守義務がある。

連系規程は、学識経験者、消費者団体、関連団体等で構成される公平、中立な民間団体である日本電気技術規格委員会が、発電設備の設置者と連系される一般電気事業者との間の系統連系協議をスムーズに行うための共通読本として、「電力系統連系技術要件ガイドライン 2003（発刊：エネルギーフォーラム）を改訂したもので、義務を定めるための法律ではない。

系統連系に関する取り決めは非常に複雑な表現が多く、「攻略本」的なもの考えたいが、それだけで膨大な資料と時間を要してしまうので、考え方を整理し、導入計画立案に必要な内容に留めることとし、本格的な連系協議に望む場合は、上記連系規程を参照していただきたい。

マイクロ水力発電の場合（主力は 500kVA 未満）、技術基準に適合するために必要な機器保護装置とし、回転機の色度上昇と発電機の過電流を検出する継電器が必要になる。それ以外では、流量が極端に減少し発電できなくなった場合の電力継電器、制御に関わる入力情報や装置本体の故障を検出する装置等が、状況に応じ設置を考えるが、無ければならない保護装置と状況に応じ必要、あると便利な保護装置は、設置目的を明確に分離し、必要最低限に絞り込むことが重要である。

系統連系用の保護装置は、系統に連系する発電設備等設置者にも系統を管理する一般電気事業者にも人身安全、設備安全のための施設を所有してもらいたいことを目的としていると整理して大きな間違いはない。

たとえば、系統事故時、一般電気事業者の系統は的確に事故区分し、設備安全を確保するが、発電設備等設置者は、事故区分できず（発電設備を停止させない）に、設備安全だけでなく、停電させた系統に連力を供給してしまい、人身事故に至ってしまうことがある。

つまり、線路で接続した系統と設備は、電気的にはすべて一体化しており、同じ考え方（土俵）で運用しないと一切の意味を成さなくなってしまう。そのために必要な連系仕様を定めている。安全の確保については、技術基準でも設置者および電気事業者に遵守を義務づけている。

本来の趣旨は、一般電気事業者と発電設備等設置者が対等な立場で、連系の協議を行うことであり、系統連系に不慣れで、情報も不足しがちな発電設備等設置者のための技術的指標とあるが、発電設備等設置者からは、大変厳しい法律で遵守できないために設

備設置を断念したことがあるとの話も聞こえてくる。系統連系規程は法律ではなく、また強制力をもった規程では無いことだけは、知っておいていただきたい。

規程の骨子を整理してみると、電圧階級・系統構成毎に連系のための基礎要件を定めており、「連系の区分」のように、連系のための条件が定められている。強制力のない規程でありながら、条件が定められているが、区分毎の最適な連系方法に絞り込んで提案されていると解釈することで整理できると思われる。

連系の区分について

| 連系の区分 | 発電設備の種類 | 一設置当たりの電力容量 | 逆潮流有無 |
|---------------|-----------------------|------------------|-------|
| 低圧配電線 | 逆変換装置を用いた発電設備 | 原則として、50kW未満 | 有り・無し |
| | 交流発電設備 | | 無し |
| 高圧配電線 | 逆変換装置を用いた発電設備、又は交流発電機 | 原則として、2,000kW未満 | 有り・無し |
| スポットネットワーク配電線 | 逆変換装置を用いた発電設備、又は交流発電機 | 原則として、10,000kW未満 | 無し |
| 特別高圧電線路 | 逆変換装置を用いた発電設備、又は交流発電機 | 原則として、2,000kW未満 | 有り・無し |

系統保護として、設置を考えた方が良い継電器は、不足電圧 (27)、過電圧 (59)、周波数低下 (95 L)、周波数上昇 (95 H) および地絡過電圧 (64 G) があり、64 Gは省略の可能性を持っている。前段4継電器は、電圧要素だけで検出可能であり、同系統でそれほど高価ではないので、必ず取り付けることをお薦めする。

これ以外に、上記表において、逆潮流有りとなった場合、系統が停電になっても、発電設備が単独運転継続することを阻止する自動停止回路が必要となり、系統が停電になったこと（系統の電源側遮断の開放）を検出して、発電設備を解列するか、発電設備単体で運転していることを検出する単独運転検出装置のどちらかを設置する必要が求められる。

前者は、通信を使った転送遮断回路になることで、確実な解列が見込めるが、非常に高価であり、マイクロ水力発電には適さない。ここでは、後者の単独運転検出装置の方式について説明する。

この方式は、発電出力に常時周期的な無効電力変動を与えて、単独運転移行後に現れる周波数動揺等により単独運転を検出するものであり、無効電力を別置の発生装置を使用して外部から与える方式で、太陽光発電用のパワーコンディショナを流用・改良し、発電機回路の単相に注入している。既開発品の流用で開発費を大幅に抑制し、これまでの製品の半分以下の価格で市場に出回るようになった。コスト低減に伴う性能低下も危

惧されたが、小水力発電所と電力系統を使った実実験と実験結果をフィードバック解析精度の高いシミュレーションシステムの同時開発により、高性能の検証を終えている。

(2) 制御装置・監視装置

①制御装置

マイコン技術の進歩で、非常に低コストで、高信頼度のPLC（プログラマブルコントローラ）が市場に出回っており、メンテナンス性も非常に高い。これらは、シーケンス制御もフィードバック制御にも対応できるので、制御・監視の中核として、マイクロ水力には適した機器である。

シーケンス変更等の設定変更もメンテナンスツール（パソコン）で簡単にできる。

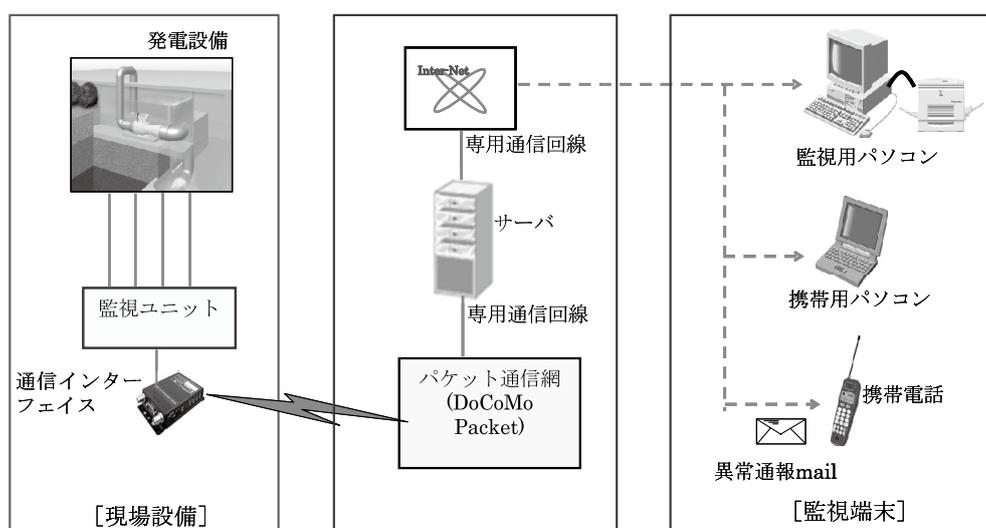
注意点としては、汎用性がある反面、モデルチェンジによる商品寿命が短く（性能寿命ではない）、後々のメンテナンスに全体交換となる場合もある。（低コストであり、大きな負担にはならない）

②監視装置

ITによる情報伝達技術を活用することで、低コストで、信頼性が高く、身近な利用となる監視装置を形成できる。

有線の場合、インフラ整備や運用に費用がかかるが、携帯電話回線を利用したデータ通信の利用では、大型市場で開発されたインフラを間借りする事で、非常に安価に監視体制を構築できる。

インターネットの利用は、監視体制をより身近に組み込むことができ、執務エリアのパソコンでも、出先でも、自宅でも監視状態を確認できるメリットがある。ただし、利用に際しては、特に制御について、一般公衆向けの回線を利用することで、第三者の介入が全くないとは言いきく、監視保全上の考え方の整理が必要である。



IT（インターネット，携帯回線）を活用した簡易監視装置

3. 許認可申請および協議・契約行為の概要

3.1 電気事業法

この法律は、電気事業の運営を適正かつ合理的ならしめることによって、電気の利用者の利益を保護し、および電気事業の健全な発達を図るとともに、電気工作物の工事、維持および運用を規制することによって、公共の安全を確保し、および環境の保全を図ることを目的とする。(電気事業法 第1条)

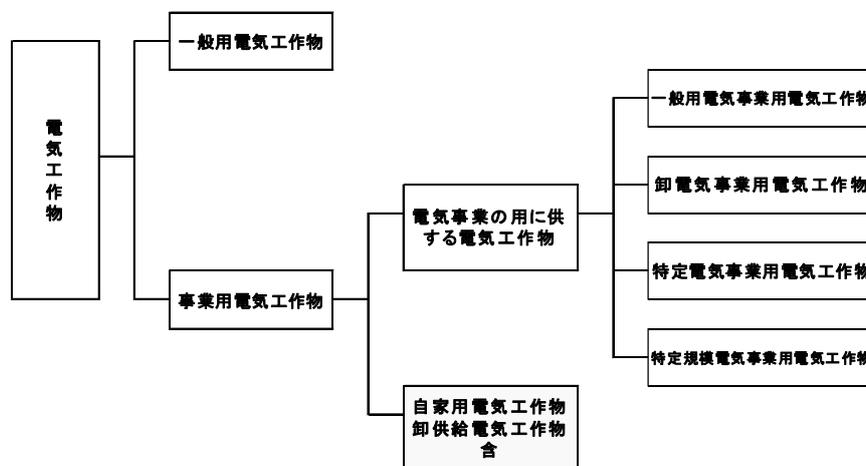
(1) 電気工作物の定義

電気事業法第2条第14項において定義されている電気工作物とは、電気を作り、送る、または使用するために必要な工作物の総称で、人為的に手が加えられ、普通は固定して使うものとなっている。但し、他の法律に適用するものは、一部除外(通信設備など)されている。

この定義の事例説明として、扇風機(ファン)は電気工作物ではないが、発電所の発電機を冷却するために取り付けられているファンは電気工作物の一部である。ハイブリッド車のモータは道路運送車両法に規定され、電気工作物ではないが、発電所の油ポンプのモータは電気工作物の一部である。

電気事業法で定められた水力発電所用の電気工作物に関わる電気関係省令を下記に示すが、この詳細については、電力小六法を参照されたい。

- ・電気事業法施行規則
- ・電気関係報告規則
- ・電気事業法の規定に基づく主任技術者の資格等に関する省令
- ・発電水力流量測定規則
- ・電気工作物の溶接に関する技術基準を定める省令
- ・発電用水力設備に関する技術基準を定める省令
- ・電気設備に関する技術基準を定める省令



電気工作物の分類

一般用電気工作物とは、事業用電気工作物以外の電気工作物であり、600 V以下の電圧で受電する設備および小出力発電設備で、この事例説明として、電力会社などから電気を購入している一般家庭の電気配線や単機で10 kW未満、同一構内で合計20kW未満の水力発電設備が、一般用電気工作物となる。

事業用電気工作物とは、10kW未満を除く全水力発電所が対象となる。電力会社の発電所も自家用電気工作物として作った発電所も電気事業法では、すべて同じ法手続を行い、また同じ保安管理体制を講じることを義務づけている。

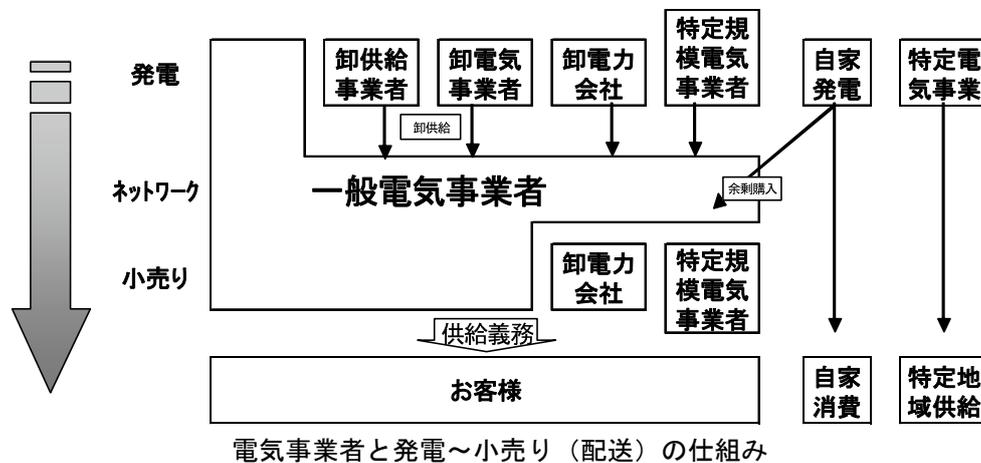
但し、出力3万kW未満、ダム高さ15m未満のダムの発電所では、法定使用前自主検査、使用前安全管理審査が省略されることで、未利用施設の有効活用や環境貢献事業として、営利以外の目的で水力発電を営む事業者は、安全管理体制を構築するための負担が大幅に軽減される。

この安全管理審査は、電気事業者にとって、非常に負担の大きな制度であるが、電気事業法の原則である「電気工作物の保安は自己責任」を実行するためには、必要不可欠な安全体制維持のための制度である。また、これは、安全管理審査制度の省略は、「安全を疎かにしてもよい」という制度でないことは、理解しなくてはならない。大規模でないからこそ、制度を構築しなくても、安全体制を構築することができるから故の規制緩和と受け止めてほしい。

電気事業の用に供する電気工作物とは、電気事業者が所有、占有する電気工作物で、

- ・ 一般電気事業者＝不特定の需要への電力供給義務：東京電力など電力10社
- ・ 卸電気事業者＝一般電気事業者への電力卸（発電出力200万kW以上）：電源開発、日本原子力発電
- ・ 特定電気事業者＝一般電気事業者の設備を介さずに、特定の地域への電力供給：六本木エネルギー等
- ・ 特定規模電気事業者＝一般電気事業者の設備を介して、契約する需要へ電力供給：サミットエナジー、エネット等約20社

が対象である。



自家用電気工作物とは、発電事業を本業とするもの以外が作った10k W以上の水力発電所である。従来の電気事業法では、自家用電気工作物と事業用電気工作物は、異なる扱いであった。

しかし、他の需要者への供給を目的とする自家用電気工作物が増えたことで、保安、供給責任に関して異なる扱いができなくなり、事業用電気工作物に属する自家用電気工作物となった。

但し、主任技術者の選任に関して、緩和制度がある。電気事業法第43条2項により、主任技術者の資格がないものでも主任技術者として選任できる。

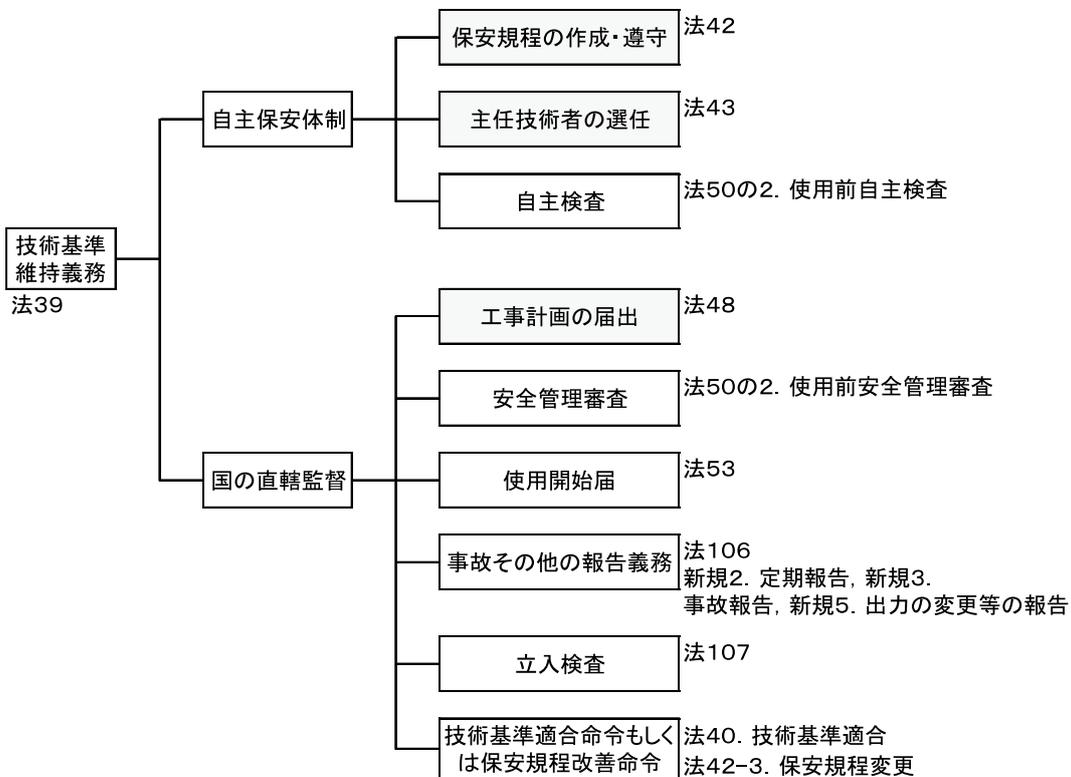
出力500kW未満の水力発電所では、電気工事士などの相当の資格を持つ、あるいは、学校教育法に基づく指定校の卒業や単位取得などの条件がある。

また、出力100kW未満の発電所では、さらに条件が緩和されている。詳細は、最寄りの産業保安監督部電力安全課に問い合わせるか、あるいは経済産業省「平成17年3月28日主任技術者制度の解釈および運用（内規）」にて確認する必要がある。

(2) 電気工作物の設置

電気工作物を設置するには、電気事業法に則り、下図のように、各条項に基づく行為を行う必要がある。

自身でこの体制を組めない場合は、責任を含めた一切の保安体制を管理体制を持つ団体に頼むことができる。



電気事業法の保安体制

①工事計画の届出

電気事業法第 48 条に、工事の計画を届けることが定義されており、事業用電気工作物の設置、又は変更の工事および工事の計画の変更をしようとするとき、工事開始の 30 日前までに届出を提出しなければならない。但し、軽微な変更工事の場合は、提出不要となる。

工事計画届書は、工事計画書、工事計画に関係する図面、計算書等および工事工程表の 3 本立てで、工事計画書と工事工程表は、設計時の資料で概ね整理できる内容であるが、記載については最寄りの経済産業局、あるいは専門家に相談した方が得策である。

工事に関する図面、計算書は、慣れと時間が必要な書類で、専門家への依頼をする事を薦める。下記に工事計画に関係する図面、計算書等を示す。

- ・ 送電関係一覧図：どの電力線に接続するかで、電力会社に資料提供を要望する。
- ・ 平断面図、単線接続図：いろいろな用途で使うため、計画当初から作成する。
- ・ 説明書：設備の概要を経済産業局に説明し、必要書類の提示を受ける。
- ・ 三相短絡容量、短絡強度計算書：あまり見慣れない資料で、三相短絡容量計算は、計算はそれほど難しくないが、専門家に相談することを薦める。短絡強度計算書は、機器製造者に提出を要請する。（製品購入時に仕様に組み入れておく）
- ・ 管理のための制御方式：常時監視、遠隔常時監視、随時監視、随時巡回の中から選択し、その方法の説明資料を作成する。

②主任技術者の選任

電気事業法第 43 条に主任技術者の選任が定義されており、事業用電気工作物の工事、維持および運用に関する保安の監督させるために、主任技術者の免状の交付を受けているものを選任させなければならない。主任技術者とはダム水路主任技術者と電気主任技術者である。

ダム水路主任技術者は、経験を積むことで、資格を所得することができるが、電気主任技術者は、国家試験に合格することで資格を取得することができる。ダム水路主任技術者の場合、初めて発電所を作る団体では、経験を積む場がないので取得が難しいが、管理する発電所の大きさ（出力による緩和制度）によっては、免状を持っていない人でも主任技術者になることができる。

③保安規程の作成

電気事業法第 42 条に、保安規程を定めることが定義されており、事業用電気工作物の工事、維持および運用に関する保安を確保するために、工作物の管理組織ごとに保安規程を定め、届けなければならない。

- ・ 業務管理者の職務および組織に関すること
- ・ 従事者の保安教育に関すること
- ・ 保安のための巡視、点検および検査に関すること
- ・ 電気工作物の運転又は操作に関すること
- ・ 発電所を相当期間停止する場合の保全確保に関すること

- ・ 災害その他非常の場合に採るべき措置に関すること
- ・ 保安についての記録に関すること
- ・ 法定事業者検査に関する実施体制等に関すること等

工事計画届を提出し、主任技術者を選任した上で、工事着手前に、保安規程を作成して届出なければならない。

工事を行うための保安規程と維持および運営を行うための保安規程は別で、工事前に工事を行うための保安規程を作成、提出し、工事完了し運用に入る前に運用および維持のための保安規程を提出する必要がある。保安規程の作成は簡単で、必要時期にきちんと提出することが大事である。

届出書は所定の様式が規定されており、変更した場合も届出が必要である。最寄りの産業保安監督部電力安全課に提出する。(関東の場合は関東東北産業保安監督部である)

3.2 河川法

この法律は、河川について、洪水、高潮等による災害の発生が防止され、河川が適正に利用され、流水の正常な機能が維持され、および河川環境の整備と保全がされるようにこれを総合的に管理することにより、国土の保全と開発に寄与し、もつて公共の安全を保持し、かつ、公共の福祉を増進することを目的とする。(河川法 第一条)

(1) 河川法の定義

河川法における河川の定義は、一級河川、二級河川、準用河川および普通河川に分類される。国の管理下にあるものを一級河川(水系)、都道府県の管理下にあるものを二級河川と定めており、複数の都道府県を流れる河川を一級河川、1都道府県だけの場合を二級河川と考えても大きな相違はない。つまり、海のない栃木県、群馬県、山梨県、長野県、岐阜県、滋賀県、奈良県を流れる河川は、どこかの他都道府県から海に通ずるので、必ず一級河川となっている。

普通河川は、河川法で定める川ではなく、地方条例等で管理、あるいはあらゆる面で川としての扱いのないものも含む。普通河川のうち、市町村が指定し河川法の一部規定を準用するものを準用河川とする。ただし、山梨県の西湖、本栖湖、精進湖は二級河川となっている。また、沖縄県は全国で唯一一級河川が存在しない都道府県である。

(2) 河川の使用および河川に関する規則

一級、二級および準用河川から取水する場合の許認可申請が、一般的に水力で話題となっている「河川法」と呼ばれている許認可申請条項であり、そのほかにも河川、あるいは河川の近傍で、河川区域内の土地占有、土石等の採取、工作物の新築等および土地の掘削を行う場合、下記条項に従い、河川法の許認可申請を行う必要がある。

- ・ 流水の占用の許可(法第23条)
- ・ 土地の占用の許可(法第24条) ※ 占用場所が河川区域内で国有地の場合
- ・ 土石等の採取の許可(法第25条)

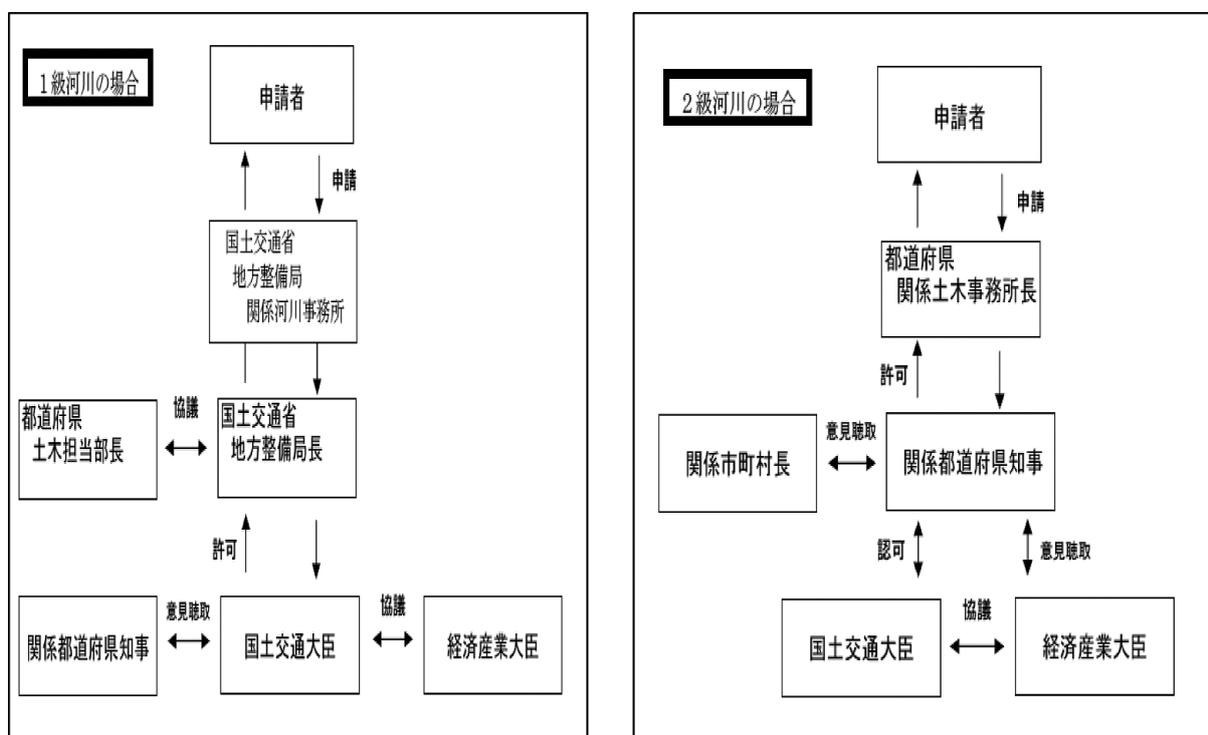
- ・ 工作物の新築等の許可（法第 26 条）
- ・ 土地の掘削等の許可（法第 27 条）
- ・ 河川保全区域における行為の制限（法第 55 条）

また、上記河川から別目的で使用許可を受けて取水した水のうち、上水道や工業用水のように、目的に応じて意図的な処理が施されている水、処理過程の下水および農地から河川に戻るまでの農業用水、さらに河川に流れ込む前の湧水は、国交省からの通達で、許認可対象外となる。

河川法は、解釈が非常に難しいために、例え、普通河川であってもその占有に際しては、必ず、河川を管理する国土交通省の河川事務所に相談に行くことが好ましい。例えば、許可不要の湧水、普通河川であっても、当該水が存する地方自治体に財産管理規定がある場合や国有林野内に存する場合等であれば、各規定条項に従った許可が必要となる。

また、普通河川であっても、取水地点から放流地点の間（減水区間）における河川維持流量に配慮して取水を行うと共に、河川法上河川の支川である場合は、取水量が本川の流量に影響を与えないよう配慮しなければならないこともあり、その判断を独自で行うことは、法を遵守できない場合もありうる。

(3) 河川法申請の業務の流れ



(4) 河川法許可の事前協議

河川法の許可申請にあたっては、申請の事前に事業の概要や設計の妥当性を確認する協議が行われる。この事前協議では段階ごとに以下のものが必要となる。

- ・ 計画初期（事前説明）：
地点概要図，概略的な流量・落差・発電出力，事業概要，現場写真，他の水利使用の状況等
- ・ 詳細設計（事前協議）：
 - ①第一段階 詳細設計図面，構造計算結果，工程表
 - ②第二段階 申請書式の原案
 - ③最終段階 河川事務所担当者から申請可の確答を得た後，正式申請書を提出

事前協議における留意点

- ・ 従属発電の水利使用許可申請要件は緩和されている
新規水利使用許可を目指すよりも，既存の水利使用内容に従属する（水道用の取水や農業用水用の取水を利用する）発電のための水利使用許可を取得する方が容易となる。
- ・ 流量データをおさえる
申請にあたっては，一般的に過去10年分の流量データ提出が原則となるが，緩和が期待

できる。

また，従属水利使用であれば従属元の取水記録をそのまま水流量データとして使用できる。

- ・ 許可権者の立場に立つ
許可権者である国土交通省は，その権限と同時に水行政に関する責任も負っている。たとえば，許可された案件で，設計が不適切なものがあり，洪水時に構造物が崩壊して下流住民に多大な被害をもたらした場合，構造物の持主と共に国（国交省）の責任も追及されることになる。

3.3 電力会社との連系

ここでは，電力会社の電力系統と連系し，電圧・周波数の維持は，電力系統に依存することを前提として述べることにする。

(1) 系統連系

電力会社の電力系統と連系することで，どの電圧階級との系統連系であっても，電圧・周波数の維持は，電力会社に依存し，機器側としては動揺を起こさないような連系が出来る設備形成を行う。設備形成にあたっては，各電力会社で発行している発電設備の系統連系に関する要綱類に基づき，契約を取り交わす。

最も大事なことは2つあり，

- ・ アンシラリーサービス契約容量をどのくらいで契約するか？
- ・ 電気設備に関する技術基準を定める省令および「系統連系規程 J E A C 9701 - 2006（発刊：日本電気技術規格委員会）」に基づき，電力品質・安全を確保するための施設設置をどうまとめるか？ であり，これがトータルコストに大きく影響する。

アンシラリーサービスは、電力品質を維持するための費用負担で設置する発電設備の出力に対して、電力系統への影響が生じる出力を協議・決定し、それに見合う費用を支払う。

ガイドラインに対しては、必要な保護軽電装置をどれだけ設置するかを技術的に協議することになりますが、技術的に難しい内容になるので、専門家によく相談した方が得策である。

| 協議用資料 | 主な記載内容 | 備考 |
|------------------------------|---|-------------------------|
| 1. 発電設備の仕様 | ・発電設備および発電設備構成 | 工事計画届出資料流用 |
| 2. 単線結線図 | ・発電設備の仕様および発電設備定数 | 工事計画届出資料流用 |
| 3. 発電設備運転計画（想定値） | ・保護継電器の種類、個数および設置位置関係 ・発電出力および負荷状況が判る表、 グラフ等（1日、月間、年間等） | 新規作成 記入様式は電力会社窓口 にあり |
| 4. 発電設備運転制御シーケンス図 | ※メーカー図面可 | |
| 5. 系統用保護装置説明書 （カタログ、特性図等） | ※メーカー取扱い説明書 | |
| 6. 連系用保護装置シーケンス図 | ※メーカー取扱い説明書 | |
| 7. 自動同期検定装置説明書 | ※メーカー取扱い説明書 | |
| 8. 自動力率制御装置説明書 | | |
| 9. 構内配置図 | | 工事計画届出資料流用 |
| 10. 工事工程表 | | 工事計画届出資料流用 |
| 11. 連絡体制 | | 新規作成 電力会社との連絡体制 |

自家発系統連系事前協議時の提出資料一覧表（例）

(2) 電力の取引

電力を取引して、発電に対する対価を得るには、下記のような3つの取引が主なるものとなる。設備の状況や取引先の状況に応じ、高率の対価を獲得できるようにまとめる。

| 自身で消費する | 電力会社に売電する | 第3者に売電する |
|---|---|---|
| <p>自設備の中に水力発電所を設置して、発生した電力を自設備で消費する。</p> <p>消費しきれなければ、電力会社等に売電することもできる。</p> | <p>自需要設備がない場合、あるいは自需要設備と水力設備を分離したい場合、電力会社に売電することが最も簡単である。配電線から水力発電所までの間は、電力会社が整備してくれる。その費用を負担する必要がある。</p> | <p>電力会社の配電線を介して、第3者の需要設備まで送電する。</p> <p>交渉によっては、割高で買ってもらえる可能性があるが、現在は契約電力50kW未満、電灯への売電はできない。</p> |
| <p>電力会社から購入している電気料金と比較しながら、経済性を評価する。</p> | <p>電力会社の電力契約部門との交渉で決まるが、平均売電価格は8円前半のようである。</p> | <p>第3者との売電価格交渉となるが、配電線の使用料である託送費を電力会社に支払う必要がある。</p> |

主な電力取引方法

①自身で消費

これまで、電力会社からどのくらいの価格で電気を買っていたかをまず調査する必要がある。電気料金には、その用途に応じていろいろなメニューがある。契約により、kWhあたりの単価が大きく異なる。

| 需要区分 | 契約種別 | 契約の主な内容 |
|------|-------|--|
| 電灯需要 | 従量電灯 | 一般的に家庭で契約してる契約 |
| 電力需要 | 低圧電力 | 小規模な動力を利用している家庭あるいは町工場との契約 |
| | 業務用電力 | エアコン、パソコンとかを多用している使用電力が50kW以上の会社などとの契約 |
| | 高圧電力 | モータとかの3相電力を多用している使用電力が50kW以上の会社などとの契約 |

東京電力ホームページより抜粋

| 契約種別 | 適用 | 区分 | 料金 |
|----------|---|-------------------------------------|--------|
| 従量電灯B, C | 家庭で広く利用されている主に電灯やパソコン等の電気製品を利用する需要で、最大60Aまでの契約がある。電気は単相2線式100Vか単相3線式100V、200Vとなる。 | 1ヶ月の使用電力量のうち、120kWhまでの1kWhあたりの電力量料金 | 15円29銭 |
| | | 120kWhを超え、300kWhまでの1kWhあたりの電力量料金 | 20円04銭 |
| | | 300kWhを超える1kWhあたりの電力量料金 | 21円25銭 |
| 低圧電力 | 契約電力が50kW未満の主にモータ等の動力を利用する需要である。電気は3相3線式の200Vとなる。 | 夏季 | 10円84銭 |
| | | その他季 | 9円85銭 |
| 業務用電力 | 契約電力が50kW以上の主に電灯やパソコンのような電気製品等を利用する需要である。電気は3相3線式の6.6kVとなる。 | 夏季 | 11円43銭 |
| | | その他季 | 10円39銭 |
| 高圧電力 | 契約電力が50kW以上の主にモータ等の動力を利用する需要である。電気は3相3線式の6.6kVとなる。 | 夏季 | 10円19銭 |
| | | その他季 | 9円26銭 |

電力会社の契約メニューと単価

②電力会社に売電

「5. 固定価格買取制度（F.I.T）」に基づく設備認定を受けF.I.T対象として売電契約を結ぶ。

F.I.Tの認定設備とするためには、設備の認定申請を行い、経済産業省の認定が必要である。

- ・ 所定の様式が定められている
- ・ 発電開始前に認定されている必要がある
- ・ 修正等がなければ申請後約1ヶ月で認定される
- ・ 所管の経済産業局エネルギー対策課に申請する
(関東の場合は関東経済産業局)
- ・ 認定されると一般に公開される

設備認定申請書には以下の書類が必要となる。

- ・ 新エネルギー等発電設備認定申請書（指定書式）
- ・ 設備構造図
発電所位置図
平面図，断面図
ダムがある場合はダムの高さがわかる構造図 等
- ・ 配線図
単線結線図，送電系統図 等
(単線結線図には電力量測定用の計量装置の図示および
電気主任技術者の確認印が必要になる)

③第3者に売電

買手の見通しが無い場合は、リスクが大きいのでやめた方がよい。買い手が見つければ、自家消費よりも電力会社に売電するよりも電気の価値は高くなる可能性があるが、供給に対する責任があるので、契約条件（リスク、期間、ペナルティ等）をしっかりと確認して契約を進める。

どちらの場合でも、電力会社との系統連携協議は必要で、前者は特定電気事業となり、後者は特定規模電気事業となり、電力利用の託送費用を払う必要がある。

公共施設等への供給を考えた方が、環境・地域貢献もでき、契約条件も厳しさが薄れ、実現の可能性は高くなる。

4. 発電および事業計画の立案

4.1 発電計画

(1) 流量調査

- 流量資料（測定データ）があるか調査を行い、無い場合は、測定が必要となる。最大、最小、平均だけではなく、時間、日、月、季節、年単位での変化が把握できる資料が望ましい。
- 流量の変動は、水車選定や収益にも影響することから計画の重要事項となる。



開渠において流速計で流速を測定している様子

- 河川法の許認可が必要な場合は、申請に必要な重要なデータとなる。
- 河川での流量調査では、流路の形状と流速を測定する必要がある。流速は、写真のような流速計によるものや浮子（落ち葉等浮ぶ物）を流して、簡易に測定する方法もある。

(2) 落差調査

取水位の高さと放水位の高低差を総落差、流路の摩擦や屈曲・断面変化などによる乱流により損失を損失落差（水頭）とすると、以下の式になる。

$$\text{有効落差} = \text{総落差} - \text{損失落差}$$

総落差は図面、水準測量などにより測定し、損失落差は計算で算出方法と圧力の実測で計測する。既存管路の利活用等の場合は、水車設置位置における圧力測定が可能であれば、高精度の落差計測となる。圧力、落差（水頭）の関係は、「2.1 水車（1）エネルギーとキャビテーション」を参照。

(3) 立地点調査

水力の直接的なエネルギー源となる地形や水量等だけに視点を向けて、発電所位置を決定せずに、発生する電力の送り先、送り方を含めて発電計画を立案する。また、完成イメージだけで発電所を設計せずに、資機材の搬入、工事の容易姓およびメンテナンス等の確認は必ず行う。

また、周辺の環境についても十分留意し、特に騒音は、条例等の騒音規制以内に保ったとしても、低周波の連続音は気にしだすと耳から抜けない音なので、事前の対策を調査段階から心がける。

工事の段階から周辺に工事内容を隠すのではなく、取組の説明・理解に努め、工事中の騒音、重機乗り入れ、交通規制等を考えつつ、周辺の立場に立った、設備を作っても受け入れられる環境調査もあわせて行っていく。

4.2 事業計画

発電所の設計，建設費（投資額）および発電電力量の算定が終わったら，次に発電所の採算性を把握する必要がある。そのために電気料金（売電，買電）やメンテナンスにかかる支出費用を調査し，投資対効果を見極め，採算性評価を行う必要がある。

(1) 収入計画

発生電力量と電力の売電単価（円 /kWh），あるいは自家消費による電気料金（円 /kWh）の節減を収入とする。これを電気の価値と整理すると，これ以外に，CO₂排出量が極端に少ない自然エネルギーに対する環境の価値が付加される場合がある。

RPS制度に基づいた電力売買の場合，環境の価値は販売先の電気事業者に譲渡することになるので，権利は残らない。制度に基づかない場合や自家消費により環境の価値を保有している場合，グリーン電力証書の活用により，環境の価値を販売できる。

(2) 支出予想

- ① 修繕費：周期的なオーバーホール，消耗品交換。
- ② 減価償却費：各前年の簿価に償却率を乗じて算定。
- ③ 水利使用料：発電用水利権が必要な場合。
- ④ 賃借料：賃借が必要なければ不要。
- ⑤ 委託料：巡視・点検，運転監視等を外注する費用。（自前で行う場合費用は不要だが要員の確保が必要）
- ⑥ 系統連系諸費用：電力会社に毎月支払うアンシラリーサービス料金。原則として出力×単価で算出
- ⑦ 保険料：機械保険，火災保険など，設置場所等の事情に応じて掛ける。
- ⑧ 固定資産税：自治体が運営主体ならば不要。
- ⑨ 印紙税：金銭貸借や委託の契約にかかる。
- ⑩ 法人税：自治体が運営主体ならば不要。
- ⑪ 事業税：自治体が運営主体ならば不要。
- ⑫ 支払利息：建設資金の借入・起債がなければ不要。

① 修繕費

- ・回転軸のベアリング交換費用（5～10年に1回）
- ・水車発電機のオーバーホール費用（概ね10年に1回）
- ・その他雑修繕費用（年間数万円程度考慮）

② 減価償却費

償却方法には定額法と定率法があり、残存簿価に償却率を乗じて算出する。

「耐用年数省令別表第七、別表第八、別表第九」抜粋

| 項目 | 償却年数 | 償却方法 | | 備考 |
|------|----------------|------|-----|------------|
| | | 定率法 | 定額法 | |
| 建物 | | | | |
| 水路 | 堰堤, 導水路, 水圧管路等 | | | |
| 機械装置 | 水車発電機, 系統連系機器等 | | | 一般電気事業者 |
| | | | | 上記以外の電気事業者 |

上記表は平成19年4月1日～平成24年3月31日取得の固定資産を対象としており、実施の際にはその都度償却率を確認する必要がある。」

減価償却年数および償却率一覧

③ 水利使用料

以下の計算式で算定する。

$$(1,976 \text{ 円} \times \text{常時理論水力} + 436 \text{ 円} \times (\text{最大理論水力} - \text{常時理論水力})) \times 1.05$$

(河川法施行令第18条第1項第3号の国土交通大臣が定める額の件(平成13.3.28国土交通省告示351)より)

- ・常時理論水力：9.8 × 常時使用水量 × 常時有効落差
- ・最大理論水力：9.8 × 最大使用水量 × 最大有効落差

※両理論水力共に単位はkW, 常時使用水量は大体において年間を通じて常時(355日)使用できる水量

水利使用料が発生するかしないかについては、都道府県に問い合わせる。

④ 賃借料：省略

⑤ 委託料

- ・運転監視を外部委託する場合の年間契約料を考慮します。規模や委託内容等により異なりますが、年間※100～200万円程度考慮しておくことが得策である。

特に、自然河川・農業用水に設置する場合は、ゴミの流入に対する除塵費用を考慮しておく必要がある。

※注意：法により選任が義務付けられている主任技術者のうち、電気主任技術者は外部に委託できるが、ダム水路主任技術者はできない！

⑥ 系統連系諸費用

- ・発電所と電力会社の系統が電氣的に接続される場合、売電、自家消費にかかわらず、原則として以下の式にて算定されるアンシラリーサービス料金が毎月かかる。

$$\text{定格出力 (kW)} \times 40 \text{ 円 (東京電力(株)の場合 2006年4月1日時点)}$$

ただし、電力会社との協議によって減額される場合もあるので、詳細は電力会社の「発電設備系統連系サービス要綱」を取り寄せて基準となる条項を確認する。

⑦ 保険料

- ・既設の水関連設備に水車発電機を設置する場合は、既設設備に対する保険をかけておくことも考慮すべきである。
- ・機械保険で概ね年間 5 ～ 15 万円，施設賠償責任保険で概ね年間 10 万円程度

⑧ 固定資産税

- ・簡略的に、各前年度の残存簿価に税率 0.014 を乗じて算出する。

⑨ 印紙税

- ・建設資金を借入する場合の契約書，業務を外部に委託または請け負わせる場合の契約書等に、印紙を貼付するかたちで課税される。

⑩⑪ 法人税 事業税

- ・発電所の運営主体が法人の場合に考慮する。
法人税⇒利益に対して 0.42 事業税⇒売上に対して 0.05

⑫ 支払利息：金利趨勢はインターネット等で確認する。

(3) 採算性評価・事業性評価

採算性の評価は、事業の考え方で大きく異なるので、ここではいくつかの考え方を整理してみる。また、事業の仕方も特に公営団体では、PFI 的手法の民活事業の手法も出てきている。

評価のための基準投資期間を設定し、これを投資資金回収の期間とするか、事業を行う期間にするかを定める。一般的には、基準投資期間を減価償却年に設定する場合が多く、その期間に投資を回収できるか否かの判断、または期間の利益率を設定して投資案件として適切かどうかの判断もある。

どうしても減価償却年では、回収が見込めない場合、周辺設備の利用期間など目的や周囲環境において、設定することも考えられる。これらに決めはなく、事業実施団体の判断になる。

これを前提に、収入と支出から事業性を判断する。たとえば、基準投資年を 20 年として

- $20(\text{年}) \times \text{収入} \geq (\text{設備投資資金}(\text{円}) + 20(\text{年}) \times \text{年間の費用「減価償却費含む」}(\text{円}))$ という評価と、発電所に投資した額と、20 年間稼動して生み出す現金を現在価値に割り引いて
合計した額とを比較することによって評価する方法もある。

$$\boxed{\text{発電所投資額}} = \sum_{n=1 \sim 20} \frac{n \text{期の現金}}{(1+r)^n} + \frac{20 \text{期の簿価}}{(1+r)^{20}}$$

5. 固定価格買取制度 (F. I. T)

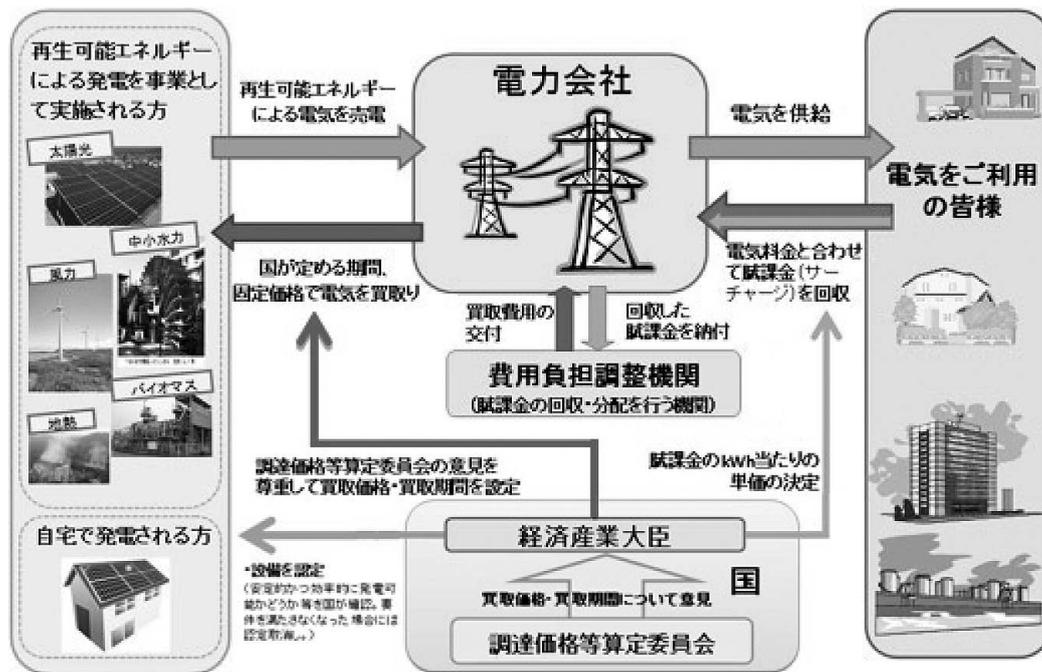
電気事業者による再生可能エネルギー電気の調達に関する特別措置法（平成二十三年法律第百八号）

再生可能エネルギーの固定価格買取制度は、再生可能エネルギー源（太陽光、風力、水力、地熱、バイオマス）を用いて発電された電気を、国が定める固定価格で一定の期間電気事業者が調達を義務づけるもので、2012年7月1日にスタートした。

電気事業者が調達した再生可能エネルギー電気は、送電網を通じて私たちが普段使う電気として供給されます。このため、電気事業者が再生可能エネルギー電気の買取りに要した費用は、電気料金の一部として、使用電力に比例した賦課金として徴収する。

自然豊かな日本には、大きな再生可能エネルギーのポテンシャルがあるものの、コストが高いなどの理由によりこれまで十分に普及が進んでいない。

この制度により、エネルギー自給率の向上、地球温暖化対策、産業育成を図ると共に、コストダウンや技術開発によって、再生可能エネルギーが日本のエネルギーを支える存在となることを目指す。



固定価格買取制度 (F. I. T) の概要

5.1 F. I. Tに関連する法律

(1) 政令

- ・ 電気事業者による再生可能エネルギー電気の調達に関する特別措置法施行令（平成二十三年政令 第三百六十二号(最終改正:平成二十四年六月十三日政令第百六十一号)）
- ・ 調達価格等算定委員会令（平成二十三年政令第三百三十七号）

(2) 省令

- ・電気事業者による再生可能エネルギー電気の調達に関する特別措置法施行規則（平成二十四年経済産業省令第四十六号）
- ・電気事業者による再生可能エネルギー電気の調達に関する特別措置法に基づく費用負担調整機関に関する省令（平成二十三年経済産業省令第六十一号）

(3) 告示

- ・電気事業者による再生可能エネルギー電気の調達に関する特別措置法第三条第一項及び同法附則第六条で読み替えて適用される同法第四条第一項の規定に基づき、同法第三条第一項の調達価格等並びに調達価格及び調達期間の例に準じて経済産業大臣が定める価格及び期間を定める件（平成二十四年六月十八日経済産業省告示第百三十九号）〔平成24年度の調達価格・調達期間に関する告示〕
- ・電気事業者による再生可能エネルギー電気の調達に関する特別措置法第十二条第二項の規定に基づき納付金単価を定める告示（平成二十四年六月十八日告示第百四十二号）〔平成24年度の賦課金単価に関する告示〕
- ・回避可能費用単価等を定める告示（平成二十四年六月十八日経済産業省告示第百四十四号）

東京電力株式会社の電気供給約款の変更に伴い、東京電力株式会社に係る回避可能費用単価並びに特定電気事業者及び新電力の回避可能費用単価を改めました。

- ・地方税法施行規則附則第六条第六十項の規定に基づき、経済産業大臣が定める出力を定める件（平成二十四年六月十八日告示第百四十一号）

(4) ガイドライン

- ・「発電利用に供する木質バイオマスの証明のためのガイドライン」

5.2 買取価格および買い取り期間

平成24年度の買取価格および買い取り期間は、買取価格・期間は調達価格等算定委員会の意見に基づいて以下のように設定された。（一度売電がスタートした方の買取価格・期間は当初の特定契約の内容で『固定』）

(1) 調達区分

- ・調達区分については、中規模・小規模を区分する出力として1,000 kWで区分を設けることとした。
- ・1,000 kW以上の水力発電については、経済産業省補助金の実績データを用い直近10年間に採択された案件の建設費を分析したところ、出力の違いによる建設費の変動は小さく（参考6）、件数も多くはなかったことから、1,000 kW以上は一律区分とした。
- ・1,000 kW以下については、経済産業省補助金の実績データを用いて直近10年間に採択された案件の建設費を分析したところ、200 kW以上と200 kW未満では建設費の中心価格帯が異なっていることが判明した（参考7）。このため、200 kWで更に区分を設けるこ

ととした。

(2) 建設費及び運転維持費

・1,000 kW以上の中小水力発電については、建設費が、コスト等検証委員会の85万円/kWに対し、ヒアリング結果は136万円/kWと高く、運転維持費もコスト等検証委員会の0.95万円/kWに対し、ヒアリング結果は1.5万円/kWと高く出る結果となった。

・これは、ヒアリングが採用したモデルプラントの規模が、コスト等検証委員会の1.2万kWと比較して小さい3,000kW以下であったために、費用が過大に評価されたことが原因であった。また、ヒアリング結果の建設費は、これまで、実際には、開発できなかった案件の想定建設費までも含まれていたため、計算された建設費が押し上げられていた。このため、建設費、運転維持費ともに、ヒアリング結果を採用せず、コスト等検証委員会の値を採用することとした。

・1,000 kW未満の中小水力発電について、コスト等検証委員会と比べ、ヒアリングでは、建設費は高くなるが、運転維持費は低くなるとの説明があった。しかし、現時点ではそれぞれについて詳細なデータの提出を求めることが難しく、また結果的にはコスト等検証委員会と同じ水準の費用額となるとの説明があったため、暫定的に、コスト等検証委員会の値を採用することとした。

(3) IRR

・1,000 kW以上については、ヒアリングを行った公営企業には益金概念がない一方、この分野には民間企業の参入も十分に考えられることから、民間企業が実施する場合を想定したIRRの設定が必要と判断した。

・このため、1,000 kW未満の分野で全国小水力利用推進協議会が設定したIRR 7%を1,000 kW以上についても採用し、事務局にて、コスト等検証委員会における建設費・運転維持費を基礎に調達価格を推計したところ、ヒアリングで公営事業者が示した上限値とほぼ一致する結果が得られた。このため、IRRを7%と設定して計算し、その上で、ヒアリング結果を上限とする原則に従って、この値を切り込み、ヒアリング結果の調達価格を採用することとした。

・1,000 kW未満の水力発電については、地熱発電ほどリスクが高くない一方で、太陽光発電よりはリスクが高いと認められるため、当初3年間の標準的IRRを適用することとし、7%に設定することとした。この値は、ヒアリング結果と一致する。

これらの考えに基づく各電源の買取価格を下記に示す。

| 電源 | | 太陽光 | | 風力 | | 地熱 | | 中小水力 | | |
|-------------------------|------------------|-----------|------------------|----------|--------------|--------------|--------------|-----------------------------|--------------------------|-------------|
| 調達区分 | | 10kW以上 | 10kW未満 (余剰買取) | 20kW以上 | 20kW未 満 | 1.5万kW 以上 | 1.5万k W未満 | 1,000kW以上 30,000kW未 満 | 200kW以上 1,000kW未 満 | 200kW未 満 |
| 費用 | 建設費 | 32.5万円/kW | 46.6万円/kW | 30万円/kW | 125万円 /kW | 79万円/kW | 123万円 /kW | 85万円/kW | 80万円/kW | 100万円/kW |
| | 運転維持費 (1年当たり) | 10千円/kW | 4.7千円/kW | 6.0千円/kW | - | 33千円/kW | 48千円 /kW | 9.5千円/kW | 69千円/kW | 75千円/kW |
| IRR | | 税前6% | 税前3.2% (*1) | 税前8% | 税前1.8% | 税前13%(*2) | | 税前7% | 税前7% | |
| 調達 価格 1kWh 当たり | 税込 (*3) | 42.00円 | 42円 (*1) | 23.10円 | 57.75 円 | 27.30円 | 42.00 円 | 25.20円 | 30.45円 | 35.70 円 |
| | 税抜 | 40円 | 42円 | 22円 | 55円 | 26円 | 40円 | 24円 | 29円 | 34円 |
| 調達期間 | | 20年 | 10年 | 20年 | 20年 | 15年 | 15年 | 20年 | | |

(*1) 住宅用太陽光発電について

10kW未満の太陽光発電については、一見、10kW以上の価格と同一のように見えるが、家庭用についてはkW当たり3,500円(平成24年度)の補助金の効果を勘案すると、実質、48円に相当する。

なお、一般消費者には消費税の納税義務がないことから、税抜き価格と税込み価格が同じとなっている。

(*2) 地熱発電のIRRについて

地表調査、調査井の掘削など地点開発に一件当たり46億円程度かかること、事業化に結びつく成功率が低いこと(7%程度)等に鑑み、IRRは13%と他の電源より高い設定を行っている。

(*3) 消費税の取扱いについて

消費税については、将来的な消費税の税率変更の可能性も想定し、外税方式とすることとした。ただし、一般消費者向けが太宗となる太陽光発電の余剰買取の買取区分については、従来どおりとした。

(4) 調達期間

・発電設備の法定耐用年数は22年であるが、20年を超える資金調達は金融実態から事実上困難と認められたため、法定耐用年数どおりとすると、資金調達に支障を来し、事業者の参入が困難となることが危惧された。このため、調達期間としては、法定耐用年数22年より短い20年とした。

また、上記買取価格は、以下2点のうちいずれか遅い時点での価格が適用される。

・接続の検討にあたり不可欠な設備の仕様、設置場所及び接続箇所に関する情報がすべてそろっている接続契約の申込みの書面を電気事業者が受領した時(申込みを撤回した場合に、接続検討に要した費用を再エネ設備設置者が支払うことに同意していることが必要である。

・経済産業大臣の設備認定を受けた時

5.3 再生可能エネルギー発電促進賦課金(再エネ賦課金)

本制度は、再生可能エネルギーが私たちの暮らしを支えるエネルギーの一つになることを目指し、電気利用者が再生可能エネルギー賦課金として負担する制度である。

再エネ賦課金の特徴

- (1) 電気利用者すべてが負担
- (2) 電気料金の一部として負担額は電気の使用量に比例する。
- (3) 単価は全国一律の単価になるよう調整される。

再エネ賦課金は、以下のような構図になっており、電気事業者が買取制度で電気を買い

取るための費用に回され、最終的には再生可能エネルギー発電事業者に届けられる。

$$\text{電気料金} = \text{基本料金} + \text{電力量料金 (燃料費調達額を含む)} + \text{「育エネ」負担金}$$

「育エネ」負担金の算定方法

「育エネ」負担金 = 再生可能エネルギー賦課金 + 太陽光発電促進付加金

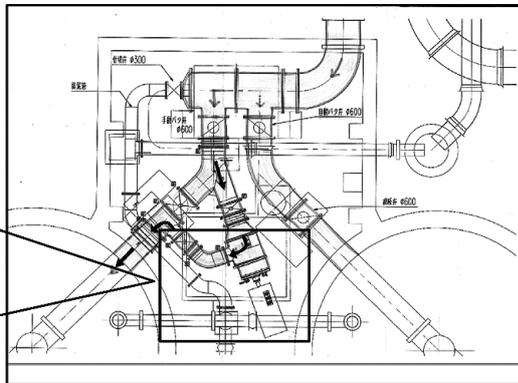
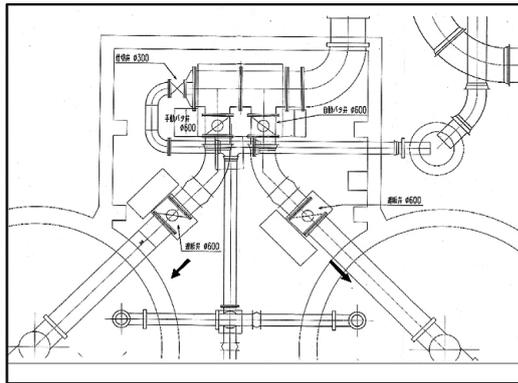
$$\text{再生可能エネルギー賦課金} = \text{ご自身が使用した電気の量 (kWh)} \times 0.22 \text{円/kWh}$$

$$\text{太陽光発電促進付加金} = \text{ご自身が使用した電気の量 (kWh)} \times \text{太陽光付加金単価 (下表参照) 円/kWh}$$

| 北海道 | 東北 | 東京 | 中部 | 北陸 | 関西 | 中国 | 四国 | 九州 | 沖縄 |
|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| 0.03 | 0.04 | 0.06 | 0.11 | 0.04 | 0.05 | 0.11 | 0.13 | 0.15 | 0.11 |

※ご負担をお願いする賦課金は、再生可能エネルギー電気の買取費用に対応した賦課金単価に、ご自身が使用した電気の量を乗じて決まります。ただし、制度移行期(2015年3月頃まで)については、従来の太陽光発電の余剰電力買取制度が前年分の買取費用を翌年度回収するルールとなっているため、同制度に基づく既買取分にもなう付加金についても、あわせてご負担をお願いすることになります。移行期終了後には、再エネ賦課金に一本化されます。

山宮発電所（水道発電，甲府市上下水道局）
出力：180kW



●オープンクロスフロー水車

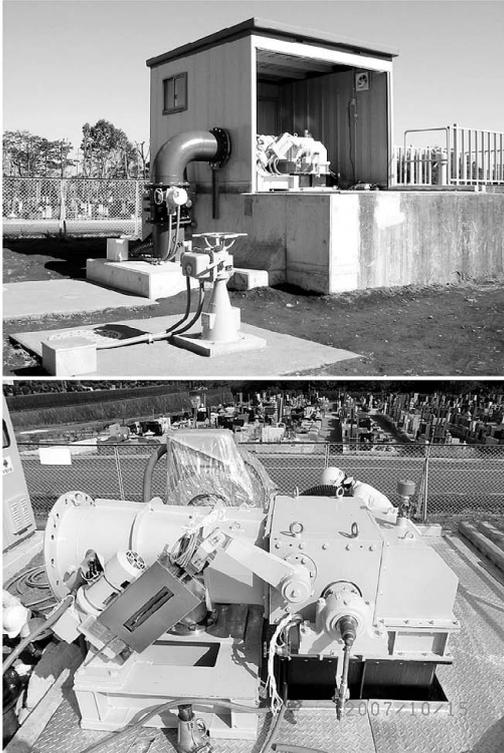
出羽三山羽黒山鳥居（鶴岡市緑の分権） 出力：3kW



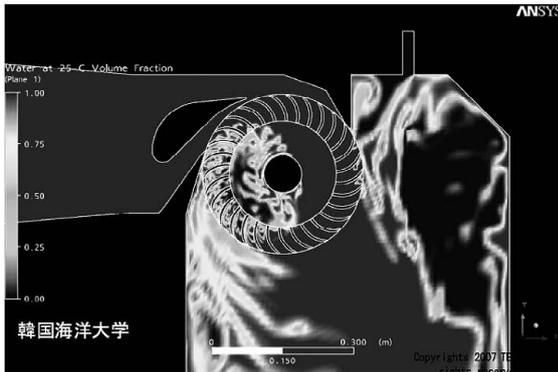
●クロスフロー水車（ドラフト付）

若田発電所（水道発電，高崎市上下水道局）

出力：78kW（計画時 73kW，ドラフト+空気注入で出力UP）

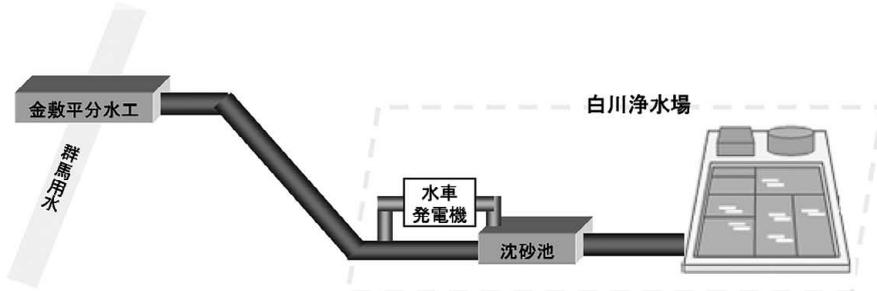
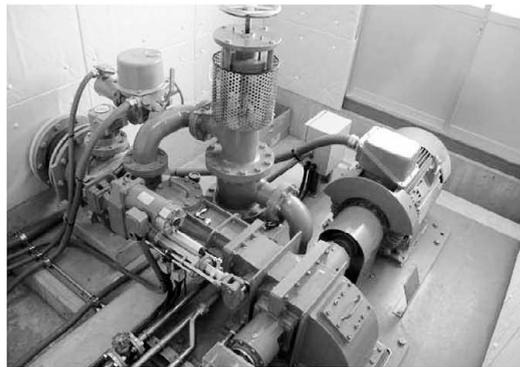


流体解析(CFD)で、水車内部の水の動きを分析し、構造設計に反映



白川発電所（水道発電，高崎市上下水道局）

出力：78kW



●軸流プロペラ水車

照井発電所（農水発電，照井土地改良区）

出力：50kW



鷺沼発電所（水道発電，川崎市水道局）

出力：90kW



北部第一・第二発電所（水道発電，さいたま市水道局）

出力：75kW・30kW



●下掛け水車

波田水車（農水発電，旧波田町）

出力：300W



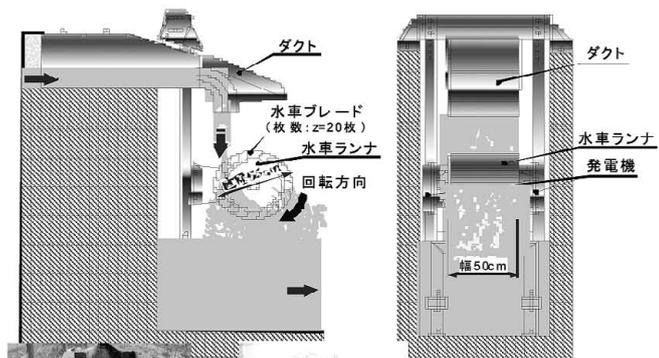
WP下掛け水車（農水発電，広報施設）

出力：1.2kW



●滝用水車

須坂ネイチャーグリッド（農水発電，環境省委託研究）出力：500W



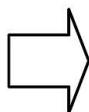
●ダリウス水車

野沢温泉（群馬県緑の分権）出力：500W



●チロリアンクロスフロー水車

赤荻発電所（農水発電，農水省低コスト実証）出力：5kW



姥島発電所（農水発電，農水省低コスト実証）出力：2.3kW

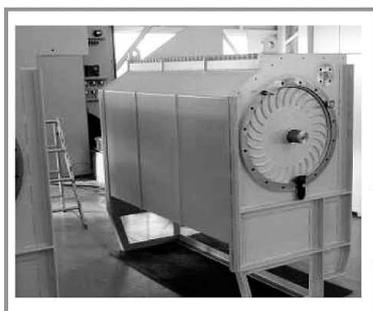


水車停止時



水車運転時（下流側より）

WPチロリアンクロスフロー水車（農水発電，広報施設）出力：8kW × 2



●低圧連系盤（接続回路電圧：200V，出力：10kW用）



●高圧連系盤（接続回路電圧：6.6 k V，出力：100kW用）

