

# マイクロ水力発電へのお誘い

## Part 1:

## システム全体の考え方

by Dan New

© 2004

著者はキャニオンハイドロ社(USA)の社長で、弊社は許可を得て日本語化しました。

水力発電は非常に簡単な概念に基づいています。流れる水がタービンを回転させ、そのタービンが発電機を回し、そこに電気が生まれます。システム全体としては多くの部品が必要とされますが、全ての根源は流れる水の中に既にエネルギーがあるという事実が大切なのです。

### 水の力の根源は？

水の力(=水力)は高さ $\times$ 流量の組合せで決まります。この2つの要因が電気を生み出すのに不可欠です。水力発電システムをイメージしてみてください。水の流れから別けられて取り込まれた水は管に入り込み、下方に運ばれタービンに当たります。垂直方向の距離(ヘッド)はその出口で圧力となります。その圧がタービンを回転させる力となります。従ってヘッドが高い程、(または流量が多い程)発電量は多くなります。水の力から演算された電力量は、タービンやシステムの効率の影響で、計算値より少なくなるのが現実です。

“ヘッド”とは“ヘッド圧”とも言われ、水の取り組み位置と吐出位置の高低差で発生します。通常ヘッドの表現は垂直の距離をメートルで表現するか、Psiのようなスクエアインチでの圧力で表現されます。この圧力表現では静圧と動圧の2種があり、水力発電では動圧(=水が管を下る場合に発生する軋轢の為、静圧より常に少なくなる=)を使い、タービンに当たる手前での表示圧力を“ネットヘッド”と称します。管の太さもこのネットヘッドに大きく影響します。

”流量”とは水量の事で リッター・秒 (l/sec)単位で表現されます。設計時での流量値は常に最大値を考慮しますが、雨季乾季で値が変動することを(自然相手の為)考慮し、投資と得られる電力のバランスを考える必要があります。多くの場合 流量は“Q”、ヘッドを“H”と省略表現される場合も見受けられます。



水力発電をお考えの場合、このヘッドと流量の測定が一番大切な要因です。従って、予算を考えたり発電量を予想するには、水力発電の話の場合、この2種の要因無しでは話にならないのです。この要因が全ての条件を決めます。本説明書 **Part 2** で実際の H と Q の測定方法を解説いたします。

## エネルギーの転換と効率

電力の発生とは、あるエネルギーの形が、他の形に転換した結果です。流れる水のエネルギーがタービンの回転エネルギーに変化し、それが軸に移り、軸に直結した発電機の回転エネルギーに変わります。この様にエネルギーが決して作られた訳でなく、形を変えて転換されているのです。この転換点で、軋轢によりある%のエネルギーは失われ、効率と称される、エネルギー転換量の大小が決ります。簡単な表現では：

$$\text{純エネルギー} = \text{総エネルギー} \times \text{効率}$$

水力発電では水の潜在エネルギーを電気に変換する為に多くの転換点でエネルギー損失が発生しますので、十分によりよい設計が必要と言えます。全ての設計点（水の取り入れ、タービン、発電機、送電線まで）が効率に影響します。特に対象となる H と Q に適したタービンの選定が重要です。水力発電とはこの様に多くの部分に関連しあって、作動します。水の流れから始まり、電力が最後です。この流れに沿って更に説明を続けます。

## 取水(水の取り込み)

本流から分離して、水管に取り入れ、出口でタービンを回転させる必要な箇所で、システムでは一番上部に位置します。本流からの分離方式は、簡単な物では水の溜まり場にスクリーンで覆ったパイプを沈める方式から、川幅全体にダムを設け取水する本格的な方式まで種々の方式があります。どの方式でも必要な条件は十分な深さの水の溜まり場を設けゴミや空気を含まない水を水管に取り込むことです。（空気の存在は発電能力を低下させ、時にはタービンを破壊する事があります）次にゴミや不純物の除去です。荒いスクリーンや金網で、多くの雑物（木の葉、枝）を除去します。水の溜まり場では雑物（石、砂、重たい物）は水底に沈降しますので、取水口を沈降場所の上側に設けます。

(取水方法に関しましては、他の文献で詳しく説明していますので、お尋ね下さい)

## 役に立つ単位

### 電力(\*)

1 馬力=735W(ワット)

1kW=1.36HP(馬力)

(\*)=効率は考慮されていません

### 静圧(H)

1 フィート高さ(30cm)=0.43psi(0.3 mH<sub>2</sub>O)

70cm=2.31 フィート=1psi=6.9kPa

水力発電では動圧での H(高さ)が使用されます。

### 流量(Q)

(体積)

例 20リットル・秒(秒単位でのリッター表現を使用)

## 水管 (導水管、水圧管、パイプ、管)

水圧管、又は導水管は水をタービンに運ぶのみならず、密閉されていますので、その高低差距離での圧力を発生させています。効果的には管の一番底に水の力を集中させており、その場所にタービンが位置します。正反対に、解放された水路では、エネルギーは拡散されてしまいます。

管の直径、長さ、配管方法全てが効率に関係しています。あるシステムに適したパイプラインのガイドラインはお問い合わせ下さい。**Part 2** ではこの辺りを詳しく解説しますが、管が細い場合、例えば水量が全て運ばれても、馬力は低下します。大き目の管のほうが内部抵抗が少なく有効となります。



# 水力発電の基本



## 発電小屋

小屋でも建物でも、箱でもかまいませんが、タービンや発電機、電気操作ボックスなどを保護し、動物や他人が勝手に触れない保護機能も必要です。システム全体を固定する基礎を施し、全体を固定します。この設計は又効率に影響を与えます。水がどの様にタービンに導かれ、放水もスムーズに行なわれるかを検討します。例えばL字形の継ぎ手を多く用いる配管では水は乱流を引き起こし、高さを減らしてしまいます。放水機構が不適切な場合、タービンの回転が阻止され、回転体の抵抗が増加します。

## タービン (水車)

システムの心臓部とも言え、水の力が回転エネルギーに転換される箇所で、その回転が発電機を駆動させます。効率ロスを少なくする為にその環境でのHとQに適した水車を選定します。水車の種類は多く、選定には注意が必要です。例えば“ペルトン”の場合H(高低差)は中程度から高程度が適します。クロスフローの場合低ヘッドが適しますが、Q(流量)は多めが必要です。フランシス、ターゴ、プロペラ等、それぞれの受け持ち分野があります。

タービンは大きく別けて2種類に分類されます。

**反動水車(リアクション)**とは水の力を受け取り回転する水車が水の中に全て浸け込まれる形式で低ヘッドから中ヘッド程度で、流量が豊富な場合に適し、通常フランシス、プロペラ、カプランと称するタイプです。**衝撃水車(インパルス)**とは水に浸け込まれなくジェット噴流で押し出される水の力で回転する水車で、ペルトンやターゴが代表的です。衝撃水車は中から高ヘッドに適し、早い流れを生み出す為に、ノズルを使います。

クロスフロー水車は特別な物と言えます。水に浸け込まない水車で衝撃水車に見えますが、リス籠のような水車の回転は低、中ヘッドで水量が多い場合に適しペルトンやターゴのようなジェットノズルを使用せず、水車全幅に水が行き渡る、長方形の絞り込まれた出口からの水圧を利用し、回転体の羽根を回します。

形式は如何であれ、重要なのは効率です。広範囲な自然条件に合致するタービンの選定が必要です。選定には純高低差(距離)と正しい流量を決めなければなりません。この条件選定は単に正しいタービンを選ぶのみならず全システム設計に影響を与えます。仕様が少し違っただけでもエネルギー転換量に多大な影響を与えます。ランナー(回転体)の直径、そのバケットや羽根の前後の形、ケースの条件、もし使用する場合のノズルの形式、また全ての部品の品質など、効率と信頼性に影響を与えます。

流れの中にスクリーン箱を入れ込み、スクリーン上ではゴミが流され、取水はスクリーン箱の中央から管で取り出す一般的な取水の例です。



## 駆動方法

駆動方式とは水車の運動を発電機の運動に繋げる部品です。一方ではタービンを最高速で回転させ効率を引き上げ、他方では正しい電圧と周波数(交流の場合)を生み出せる回転を発電機に与えます。最大の効率と信頼性の得られる駆動方式は 1:1 です。この方法は多くの場所では可能ですが、全ての高低差と流量をカバーする物ではありません。多くの場合、特に交流発電の場合、水車と発電機の手速度移転には両者の効率を考え、最適な速度に調整する必要があります。駆動方式での速度調整には、ギア、チェーン、ベルトが使用されますが、効率は当然低下します。最近では価格のメリットからベルト駆動方式が良く採用されています。

## 発電機

発電機は水車の回転軸からのエネルギーを電力エネルギーに変換する役目です。勿論発電機の効率は非常に大切な要因です。最近作られている発電機は通常高効率を発揮しています。

導水管の出口に多岐管が取り付けられ4ノズルに水を分配しています。この発電機は永久磁石を回転させるタイプです。



## 水力発電での言葉の意味

### 流量

水源又はノズルから得られる時間当たりの水量です。通常リッター・秒で表現されています。

### フランシスタービン

低～中高低差での反動水車です。回転軸に羽根が固定され、水が羽根の間を通り抜け軸が回転します。

### 軋轆損失

管内部抵抗でエネルギーが損失します。水力の場合配管が細すぎるとエネルギー損失は多大となります。

### 高低差

水の取り組み口(上側)と、その水を利用する場所までの高低距離で垂直軸の距離です。距離表現若しくは圧力表現です。

### 導水路

水の水路で水車位置まで水を運ぶ用水路です。

### 水力発電

水の流れから生み出された全ての電気を意味します。

### 衝撃水車

水車全体を駆動させるバケット(羽根)をランナーと言います。このランナーが大気中でノズルから送り出された高速水流で水車全体を回転させる機構を意味します。通常中～高 高低差に適し、ペルトンやターゴが代表です。

### 取水口

水を溜め込みその水を導水管に送り込む水源での取り込み機構です。通常ゴミ、雑物、水での生き物を取り去るフィルターや金網が使われます。

### ペルトン水車

衝撃水車の代表で、発明したペルトン氏の名前がつけられています。水車に多くのコップ状の水ジェットの受け口が取り付けられています。

### 導水管(水圧管)

取水場所から、タービン回転までの距離で、水を運ぶ管です。

次ページに続きます

写真は10cm直径のターゴランナーです。

## 水力発電での言葉の意味

### 摩擦損失落差

導水管には断面全体に圧力のかかった水が流れる為管内壁と流水の間に摩擦が生じます。その為高低差が少なくなります。

### 圧力

上から下に与えられる圧力で、水圧の意味で使われ取水口からタービン出口までの垂直距離の圧力です。1psiの圧が示された場合70cmの高さを意味します。

### 反動水車

低～中程度の高低差で水車全体が水中に浸かった状態で回転します。代表的にはフランシス、プロペラ、カプランがあります。

### ランナー

水車の一部または水車全体をも意味する場合もあり、水の運動を受け、そのエネルギーを発電機の回転に交換する、羽根全体(回転体)を意味します。

### 放水路

水路、溝、パイプなど、タービン(ランナー)から放出された水を、無駄なく回収し、再度水流に戻す水路です。

### ゴミ除去金網(柵)

取水口で、雑物を水管に取り込まない為のフィルター全般を意味します。

### ターゴ

衝撃水車の代表で、ペルトンより、水量が多く低ヘッドに適した水車です。

直流(DC)発電、又は交流発電でも整流器の組み込まれたタイプは、通常蓄電池に電力を溜め込みDC-ACインバーター経由で家電製品を利用する小家族向きに便利なシステムです。

AC発電は最低3kWからが有利で、例えば長距離配線の場合、トランス経由で電圧変換し、遠距離送電が可能です。交流には、各種の電圧、単相、3相、ヘルツなど多くの種類が利用されています。



AC発電で注意が必要なのは周波数(一秒間のサイクル回数)でヘルツとも呼ばれる数値です。日本では50サイクル(主として東日本)、と60サイクル(西日本)に別れていますので、システム導入時には指定が必要です。周波数は回転軸の速度で決定されます。一定以上に高速回転すれば、サイクル数はそれだけ余分に増加します。

従って、ACの場合、タービンの回転コントローラーが周波数制御を受け持っています。

蓄電池システムでインバーター経由のAC使用の場合、インバーターが自動回路で正しい周波数を送りだしています。

写真は60cm直径の大型ペルトンです。ペルトンは最低8cmから4メートル直径まで製作されています。



## AC(交流)での制御

交流発電では、電池やインバーターは使えません。発生する交流電気は負荷により消費され、発生する容量より使用負荷が少ない場合、通常抵抗ヒーター等で発電と同時に消費します。ガバナ{調速機}やその他の制御器はAC 発電機が一定速度で回転させる役目を担っています。小規模発電での調速方法はダミー負荷で行なっているのが主流です。この負荷がないと発電機は過回転を引き起こし非常な高速回転に陥ります。この状態に高負荷を与えますと徐々に回転が遅くなり、最終的に正しい電圧と正しい周波数に落ち着きます。

このダミー負荷がない場合、発電機は過回転に陥り、コイル類を燃やし、発電機が壊れてしまいます。

負荷を一定にする事により（設計上の正しい消費電流）出力は安定した物となります。手動で負荷の状態を常に検査し、切り替えることも可能ですが、24時間人間は作業できない訳ですから、実際は自動負荷制御装置が使われています。

下の写真は低ヘッド、高流量に適したフランシス ランナーの写真です。



この写真はパワーパルの1.5 メーターヘッド交流発電機で、フランシス応用です。下のランナー回転が軸を経由して上側での発電機を回転させます。



## DC(直流)での制御

直流での制御は交流発電とは異なった方法で行います。発電機からの出力は蓄電池充電専用です。蓄電池の充電状態が、これ以上充電不能で、電池がフルに到達した時点で、充電電力は負荷抵抗に切り代えられる、制御回路で行なわれます。

蓄電池に貯められたDCは、DC-AC インバーター経由で交流に変換し、交流使用の家電製品が使用できます。DCの場合、3kW程度必要とされる環境に適しています。

ACの場合、その発生電力が同時に消費の最大電力です。蓄電池の場合、蓄電池の容量とインバーターの容量を計算し、例え発電機が小さくても、電気を溜め込む事が出来ますので（昼間使用しない場合、夜用に溜め）夜間に必要な全電力を生み出す事も自由です。

太陽電池制御に使用されるシリーズ充電制御器は水力では使用出来ません。太陽パネルは電池の一種で回路を切れれば発電しません。水力の場合、発電機と負荷は必ず結合し、余剰分を抵抗で消費する必要がありますがAC DC どちらでも必要です。発電機から負荷を切り離しますと、過回転を引き起こし、ベアリング、巻き線が破損します。従って、常に負荷の必要性が生じています。時には空気ヒーター、水ヒーターを使用する場合があります。DCの場合、電圧が一定に保持され、一方発電機は安定した状態を継続します。

この写真はES&D社の永久磁石応用の発電機でDCの代表機種です。ターボランナー型ノズルには1,2,4個型で、12,24,48Vに適応



参考までに、DC水力で使用される過充電防止制御システム以外で、蓄電池やDC-ACインバーターは、蓄電池ベースの風力発電や太陽パネル発電とおなじ物が使用されます。

太陽や風力と異なり、水力は24時間360日可能とすると、発電機は小さくても、多くの蓄電池を充電できるのが特徴です。

## 効率

最終的に考える事は、投資と回収です。水力の場合24時間360日水を得られるのであれば、太陽や風力の発電量を凌駕すると言えます。それだけに効率を引き上げればそれだけ回収が早くなります。水力発電の場合、数ワットもメガワットでも基本は同じです。高低差と流量で基礎的な発電量が計算でき、効率により実際の発電量が決ります。この様に各工程段階での効率の見直しが大切と理解して頂けましたでしょうか？

## 停止方法

今まで電力会社からの電気を御利用の方が、このような発電機に触られる場合、気づかないのが電気の停止方法です。御家庭で、電力会社の電気を切る場合、スイッチを切れば済みますが、マイクロ水力の場合は水を停止しなければ電気は切れません。

木製水車やラセン水車のような水の流れでの発電では、水門を閉じます。閉じただけでは水が溢れだし、洪水に似た状態となりますので、水路を御利用の場合、必ずバイパス水路が必要です。導水管の場合、発電機手前に停止弁が必要です。急激な閉鎖はウォーターハンマー現象で、水管破損が生じますので、ゆっくり圧を逃しながら閉じる時間が必要です。どちらの場合でも、もし遠方にそのような停止弁(水門)がある場合、そこに行く時間(山の中なら1kmもあれば徒歩5分??)も考慮する必要があります。

いかがでしょうか？

発電に最適な箇所を御存知ですか？

そうであればPart 2へお進み下さいPart 2では、高さ測定、流量測定、導水管の考え方、効率の考え方などを紹介いたします。

January 2010