

Intro to Hydropower

Part 3: Power, Efficiency, Transmission & Equipment Selection

Dan New
©2005 Dan New

マイクロ水力発電へのお誘い

Part 3: 発電量、効率、機器選定

by Dan New
© 2005

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。

太陽光や風力発電システムと比較して小水力発電を考えますとご自分用の電力を得るには、小水力のコストは相当安価になると言われて来ました。しかし、適当な水の流れと落差を利用できる環境はそう多くないのですが、もし、そのような場所を思い当たる場合、貴方はご近所から羨望の眼で見られることは確実以上です。

この解説シリーズの **Part1** と **Part2** では、必要器機とその仕様をお話し、落差と流量の測定方法を詳しく書きました。本号では与えられた環境からの発電量の予測、効率、発電場所から使用場所への送電関連、および、ご利用のヒントについてお話しします。(もし **Part 1**、**Part2** を未だお読みになっておられない場合、是非お読み下さいますようお願いいたします)

発電量の予測

純落差(ネットヘッド)とは取水口から、タービン迄の垂直距離で、更に管を下る水と内部壁面での摩擦抵抗を考慮した、高低差です。設計上の水量とは、その量で、システムを設計する、有効な水の量です。この 2 種の非常に大切な要因を正確に理解するには **Part 2** をお読み下さい。この高低差と流量のデータにより、得られる電力の予想が可能です。しかし実際にはこの予想は大まかな数値で、正確には各発電ステップでの効率を考慮する必要があります。高低差と水量は出力電力に比例的効果を与えます。もし高低差が倍になれば発電量は倍になります。一方水量が増えれば、出力は 2 倍に上がります。システムを完成した後であれば高低差の変化が発

生する筈はなく、設置前の検討が大切です。高さを少しでも増やそうとする努力は費用的に安価で発電機の効率を引上げることは可能です。流れを廻り取水口を変更したり、発電機の位置を引き下げる事で発電量の増加が可能です。目的とする場所での一番最適な場所検討を正確に行う必要が大いにあります。一旦工事が終了すれば高低差は一年を通じ同じ条件となります。それに引き換え、流量は一年を通じて変化する物で、洪水に匹敵する様な大量の水に従って設計する事はありえません。四季を通じて利用できる有効な水量をベースにシステムを計画します。それらのデータを測定するに当たり、測定精度を向上させる事は非常に重要です。システム設計は落差と流量で成り立ちもしエラーが存在すればシステム効率に直接影響を与えます。マイクロ水力をお考えの場合、時間を使っても正確なデータを取得することが成功の秘訣です。

効率と損失

今迄説明した導水管内部の軋轢抵抗による距離損失の他に、タービン、回転部、発電機、送電線などのそれぞれの箇所、エネルギーが失われます。この損失自体は避けられないのですが、設計を正しく行う事で損失を最小限に留める事が大切です。この効率向上はワット辺りの投資金額を最小に抑える役目を果たします。落差と水量に適した投資金額は、間違った設計による金額より、低くなるのは当然です。つまり、一定条件下での発生電力が多ければ多いほど償却が早くなるからです。その他に導水管を太くしたり、駆動システムを良くしたり改良を行う事は金額が増加しても、発生電力との比較で考慮するに値します。システム全体からの多くの要因がある為、効率を考える前に高低差と水量を明確にする必要があります。ガイドラインとして、言える事は、AC 発電で一軒の電力をまかなうスケールではタービン入力から発電機出力までの効率は 60-70%と考えられます。小スケールの DC 発電では 40-60%と予想されています。しかし、最近の技術の向上で 70%にもなるタイプも考案されてきました。お勧めとして、先ずご自分の正確な純高低差と正確な流量データを各発電機メーカーに送り、効率を検討させる事も意義があります。

簡単な演算式 (経験からのお勧めです)

非常に荒っぽい発電量予想計算式を紹介します。大型の場合、専門家が正確な計算方式を用いますが、マイクロ、ピコ水力の場合、予想を行う方法は：

アメリカの単位で：

純落差×設計上の水量÷調整用係数=ワットでの発電量
この計算式は純落差(feet)を流量(ギャロン/分)で掛け合わせ AC では係数 10, DC の場合係数 10-13 で割れば発電機での発電量の予想が可能です。

例えば、100feet の高低差で流量 200 ガロン/分の場合

DC システムの計算例

総落差：	135Feet(41meter)
流量：	25-100gpm(1.6-6.3l/s)
送水管総延長距離：	900Feet(274meter)
発電量予想：	350 - 1,200 watts

DC 発電では蓄電池システムとなりインバーターを利用し AC を得ます。もし AC 発電機を使用した場合、上記条件での最大値 1,200w が最大流量時に得られる電力ですが、最大流量時に基づく使用プランでは実用上不足勝ちとなり、この場合 DC で蓄電池に貯蓄し、一時的にもインバーターで大電流を得ることが可能となります。

100gpm, 3 インチ送水管(FVC)を使用した場合、100feet 辺りのヘッドロス は 2.33feet となり、純落差は 114feet(35m)と計算出来ます。この場合の発電量は 1,200 ワット程度と予測出来ます。24 時間で 28.8kWh を得る事が予想できます。夏が近づき、水量が低下し、25gpm になりました。同じ導水管を使用しますので、純落差は 133feet(41m)に増加し、出力は 350W と (24 時間で 8.4kWh) になります。蓄電池に貯めておきますので、料理やヒーター(空気、水)の利用は無理ですが、家庭での照明や、電気器具の利用には充分と言えます。

合 10 の係数では 2,000W となります。この値は一時間単位ですので 24 時間では 48kWh になります。

(注意:日本ではリッター・秒、メーターを使いますので以下を使用します)

発電機出力(kW)

=9.8×流量(リットル/秒)÷1000×落差(m)×効率(通常 0.6-0.4)

送電関連

最後に注意しなければならない測定は発電場所から DC の場合は蓄電池場所への距離、AC の場合電気を使用する場所迄の距離です。電線で送電する距離で、実際の送電ルートを計測し、その実際の距離を調べます。送電距離は導水管と同様の原理があります。水を送る代わりに電気エネルギーを送ります。ですから、摩擦ロスが発生します。送電距離が長ければ長い程、電流が消費され、電圧が低下します。電線が細ければそれだけ損失が増加します。

それら電力ロスをも最小限に留める事は可能ですが、発電機の作り出す電力より消費電力は実際少な目となります。送電ラインでの損失を少なくする方法として：

- *送電距離を短くする
- *太目の電線を使う
- *送電電圧を高目にする

どのようなシステムを問わず、電線の距離が短く且太めの電線の使用は送電ロスの防止に役立ちます。しかし電圧の考え方は DC と AC システムで異なります。AC の場合電線の線を細くし、長距離を送るにはトランスを利用し、使用箇所で電圧を落とす方法が一般的です。DC の場合、MPPT コントローラーを使用し、発生電圧を高くし、蓄電池充電に低電圧に落とせます。

AC システムの計算例

総落差:	230Feet(70meter)
流量:	220-900gpm(14 - 56l/s)
送水管総延長距離:	1,700Feet(518meter)
発電量予想:	5 - 20 kW

この条件では明確に AC システムが選ばれます。この予想発電量から、5, 10, 20kW のどれかを選びシステムを設計します。6 インチの PVC パイプを使うとし 450gpm(28l/s)を使うとすると、損失落差は 100feet あたり 1.3feet となります。純落差は 208feet(63m)となり、予想最終出力は 10.5kW となります。この電力であれば、家庭、小さな店に最適な電力を提供してくれます。

高品質のマイクロ水力システムとは？

効率と信頼性の面からお考え下さい。完全であると仮定した場合、効率は 100%と言えます。—— 空気にも水にも乱気流は無く、ベアリングや駆動システムでの抵抗は存在せず、ランナーの回転は完全バランスが取れ、熱、振動、騒音もまったく存在しないし、そのような完全タービンは、壊れることもないし、保守も不要です。

明らかに、いかなる高価なタービンでも、このような完成度の高い物はありません。しかし、このような理想を求める事は大切で、高信頼性、高効率を得られることはそれだけ電力を生み出し、ワット単位での投資が低下することに繋がります。高品質の部品を使い、設計が十分なシステムはタービン効率と信頼性に大きな影響を与えます。タービン選定時のヒントを書き記します。



ピッチ 30 インチ、小型ヘルトン
高落差、小流量、小発電に適します。

タービンランナー

ランナーはタービンの心臓です。水圧が回転エネルギーに変換され、そのエネルギーで発電機が動きます。ランナーの形式は多様ですが、バケット、又はブレードと言われる水の当たる箇所は水のエネルギーを受け取る重要な箇所です。受水部それぞれの湾曲部の前後の形により如何に水があたり、そして下に落ちる運動を決定します。このように計算されて作られますので、それぞれのランナーは決められた範囲内の落差と水量にしか対応していません。この様にランナー選定も、落差と水量で選定されます。



著者は重さ 450kg、ピッチ 22 インチ、ターボランナーを検査しています。このランナーは 880kW 発電用。

金属製ランナーの表面は滑らかで磨きこまれた表面で構成され、水、空気の乱流が起きないものが必要です。一体鋳造で注意深く機械加工された物はボルトで組み立てられた物より効率が高く信頼性も高くなっています。マンガン青銅ランナーは清水、小発電、落差150meter迄使用可能です。高張力ステンレスランナーは大規模発電や砂の多い水にも耐えます。ランナーのバランス加工は重要で、振動を防止するのみならず、耐久性に貢献します。

タービンハウジング

タービンを収納するハウジングは、入る水、出る水の力を管理するのに適した堅牢性が充分求められます。それに追加し、その形と寸法は効率に大いなる影響を与えます。例えば、ペルトンタービンを想定して下さい。このタービンは衝撃タービンです。ジェット噴流で回転しますが、ジェットの数は一個又は2個又は4個で、且つ回転は空気中です。と言う事はハウジングを設計するに当たり、空力学、水力学両方の力を考慮しなければなりません。飛び散る水からの抵抗を最小限に押さえる必要と、水を如何にスムーズに落下させ、大きさと形から、空気抵抗を如何に少なくするか:これ等が考えられる条件です。同様に、大流量のクロスフローやフランシスのハウジングではタービンからの水の出口を乱気流を引き起こさない、出口の形を工夫して、製作されています。

ハウジングを見てチェックするポイントはランナーの動きに適した、非常に平滑な溶接がなされているかどうかです。心に留める要点は水力とランナーは相当高度なトルクを生み出します。その場所でのハウジングや接続部品類はその力に耐え得る堅牢さが必要とされています。接水部の金属加工表面は(フランジ、カバー、など)全て水の抵抗が起り得ないスムーズ加工と、水漏れが起こらないタイト性が求められます。水はそれ自体錆と腐食の要因ですので、接水場所全ては高品質のパウダーコートやエポキシペンキコートが必要です。ボルト全てステンレスが要求されます。

タービンでのその他の要因

取水口からの導水管に始まり、タービンから吐出された排水管での表面の平滑性も効率に大いなる影響を与えます、急激な曲がりがなく、表面が非常に滑らかな事が大切です。ジェットや流量操作用羽板の機械加工は充分施され目視で、ぎざぎざ模様や窪みがあってはいけません。効率の重要性と同様に信頼性と耐久性にも注意が必要です。マイクロ水力による電力発生は、けっして中断することは許されません。使用される部品類や据え付け方法の小さな差が長年安定して使用できるかどうかを決定しています。設計や製造での職人の腕が高度かどうか...それは原材料の選定から機械加工仕上げにいたる迄...考えられた物を選びます。特にベアリリング回転には、耳障りな音がなく、粘りつく抵抗がない、滑らかな回転がチェックポイントです。

交流発電機

過去の蓄電池充電用小水力発電では、ブラシ型汎用品が、主として転用されていました。与えられた落差と流量が合致し、限定した固定子が選ばれた場合非常に効率の高い発電を得られる事がありました。しかし使用範囲の制限があるにしても、価格の面から現在も利用されていますが、本来の目的には合致していません。欠点は使用されているブラシを定期的に取り替えねばなりません。現在ではブラシレスと言われる永久磁石を(PM)回転子にしたタイプが入手可能になり、ブラシ交換を気にしなく、使用されています。その利点以上に磁石方式は効率が高く、出力は上げられています。



ES&D 社の発電機は写真上部に示されたように磁石を使用し、高効率を誇る小型タイプです。(磁石を見せる為に特別に上げた状態で、使用時には見えません)

ブラシ又は磁石のタイプ以外に、交流発電機はAC(交流)電気を発生しています。周波数は発電機の回転数と直接関連付けされ、その要因はランナーに当たる水の圧力に起因します。殆どの家電製品はその地域での周波数で動くように設計されていますので、発電機からの直接の周波数は使用出来ない事となります。大型のAC発電の場合、一定の速度で動くよう設計され、安定した周波数を作るようになっています。ガバナーと言われる安定器で回転数を制御します。小型発電の場合、ACをDCに整流し蓄電池に貯めることが出来ます。家電製品を使用するには、DC-ACインバーターで固定した電圧と周波数を得ることが出来ます。ES&D社の場合、この様に短距離であれば、DC送電し、一方長距離送電の場合 AC120V(又は更に高く)で送られ、ステップダウントランスで蓄電池電圧に落とし、整流でDC変換します。トランスの応用は、反対にステップアップで、更に高圧にして送電可能です。打合の最終時、巻き線の出力方式を(Delta, wye, Parallel)状況に合わせ、最適な物に仕上げる事が出来ます。



DC 発電での蓄電池以外の制御器類です。ソーラーに似ていますが、水力の場合ダミーロードが必要です。

大型で AC を直接利用できる、高品質の発電機メーカーは多く存在しています。アメリカでは Marathon, Kato, Stamford 社があり、それ以外でも小型で優秀な中小のメーカーもひしめき合っています。ご家庭、お店、牧場などで利用する AC 発電で 50kW 以下であれば、単相タイプ、ベアリング 2 個タイプが一般的です。この辺りの電力では高品質の発電機は多種多様に販売され、貴方の場所での電圧、単相/3相、周波数で選別できます。3 相は大型消費に適し、地域使用にも適します。発電機の所定の回転数と、別メーカーのランナー速度が合致する場合、効率の観点からタービンシャフトと発電機シャフトを直接結合される事をお勧めします。この実現には低速回転型発電機が有利です。ベルト結合がどうしても必要な場合 2 極でなく 4 極発電機を高くても使用して下さい。4 極は 60Hz, 1800rpm で 2 極の半分の速度で、重さ 4 倍、寿命は 6 倍と言われます。この場合自動電圧制御(AVR)も多種多様に得られ、消費電力の変動に応じ自動電圧を維持します。



AC の場合ガバナーにより、消費電力変動時自動電圧制御を行います。

タービンメーカーについて

何よりも経験が豊富なメーカーを選びます。書籍で水力発電とは何かを勉強することは可能ですが、取水、

圧送、タービンへの吐出の全工程での成功と失敗は実際経験して初めて物にする事が出来る世界です。長年経験してきたメーカーは貴方の水力設計に重要な友人です。また、発電の大きさにも関係します。良き供給者は、落差測定、水量測定、パイプ寸法、ドライブシステム、発電機、負荷操作全般に渡り、助言を与えてくれます。全ては効率、信頼性、コストパフォーマンスに基づいた設計施工が求められます。また、供給者は満足してもらえ客を持つことが、販売の拡大に結びつくことを知っています。

次の段階へ

落差、水量、配管の長さ、送電線の距離:この 4 つのデータを得てから、いよいよシステム設計に入れます。**Part 1** では DC 対 AC の考え、取水口、タービンの種類、等を説明しました。上記のデータがあれば、何が適切かお解かりの筈になります。またこれ等の条件があれば、メーカーに相談すれば、的確なアドバイスを受け取り事が出来ます。メーカーでは、小、中スケール、AC 専門、DC 専門など、それぞれの特徴あるシステムを作ります。もし不得手なエリアとメーカーが判断すれば、そのメーカーは最適なメーカーを紹介してくれる場合もあります。

再度効率の重要性について説明します。落差や水量は自然の恵みですが、それを電力に変換するには機械システムが引き受けます。ですから、効率が高ければそれだけ、多くの電力を生み出せます。投資にはおのずから限界がありますが、水力発電の場合、償却は有利ですので、それだけ効率の高いシステムは、最初の投資は多くても、償却は目に見えた速さで有利な展開となります。これは、もし、売電をお考えの場合、高効率が高収入となるのです。

本シリーズが貴方にお役に立つよう期待します。実際、この 3 部構成の説明は、深遠な水力の世界のほんの一部を見ただけです。貴方の心を刺激したとすれば、このシリーズの最初の目標は達成しました。ご覧になられたように、水力はそんなに難しい物ではありません。水がタービンを回し、タービンが発電機を回転し、そこに電力が生まれます。経験がある無しに関わらず水があれば、電力を得ることは可能です。**水の流れをご存知ですか?** 太陽風力と比較して水力は投資の償却を計画された場合、最も信頼性のある設計を描けます。少し調査すれば、発電量を予想出来ます。水と戯れ、そして、エネルギーを得られる事は素晴らしい事実なのです。

January 2010