

小水力発電による地域経済への貢献と 産業振興の可能性について

全国小水力利用推進協議会 理事

沖 武宏

◆小水力発電の歴史

65年前「織田史郎」の考案による事業用の全量売電方式の小水力発電所が中国地方でスタートした

🍷 目的は戦後の疲弊した農村の活性化を図るため、小河川を使って地域で経営する全量売電式小水力発電所の建設であった。



昭和25年に国の補助金1億円で、全国で16箇所の小水力発電所の建設が始まる。自家用小水力発電が地域団体に建設可能とする運動の結果、昭和27年「農山漁村電気導入促進法」が議員立法で制定。認定団体による小水力発電所の建設が法的に認められ、建設資金に日本政策金融公庫の低利な借入も可能となり、中国地方では小水力発電ブームとなった。

織田 史郎



明治29年 広島県海田町に生まれる
大正3年 (現)広島県立工業高校中退
(現)中国電力 入社
大正13年 第一種電気事業主任技術者
水力発電所建設責任者
昭和12年 取締役建設部長
昭和21年 筆頭理事で退任(50才)

昭和25年 小水力発電を推進するためのコンサルタント業務と、水車発電機設備を製造するイーメル工業(EAML)を設立

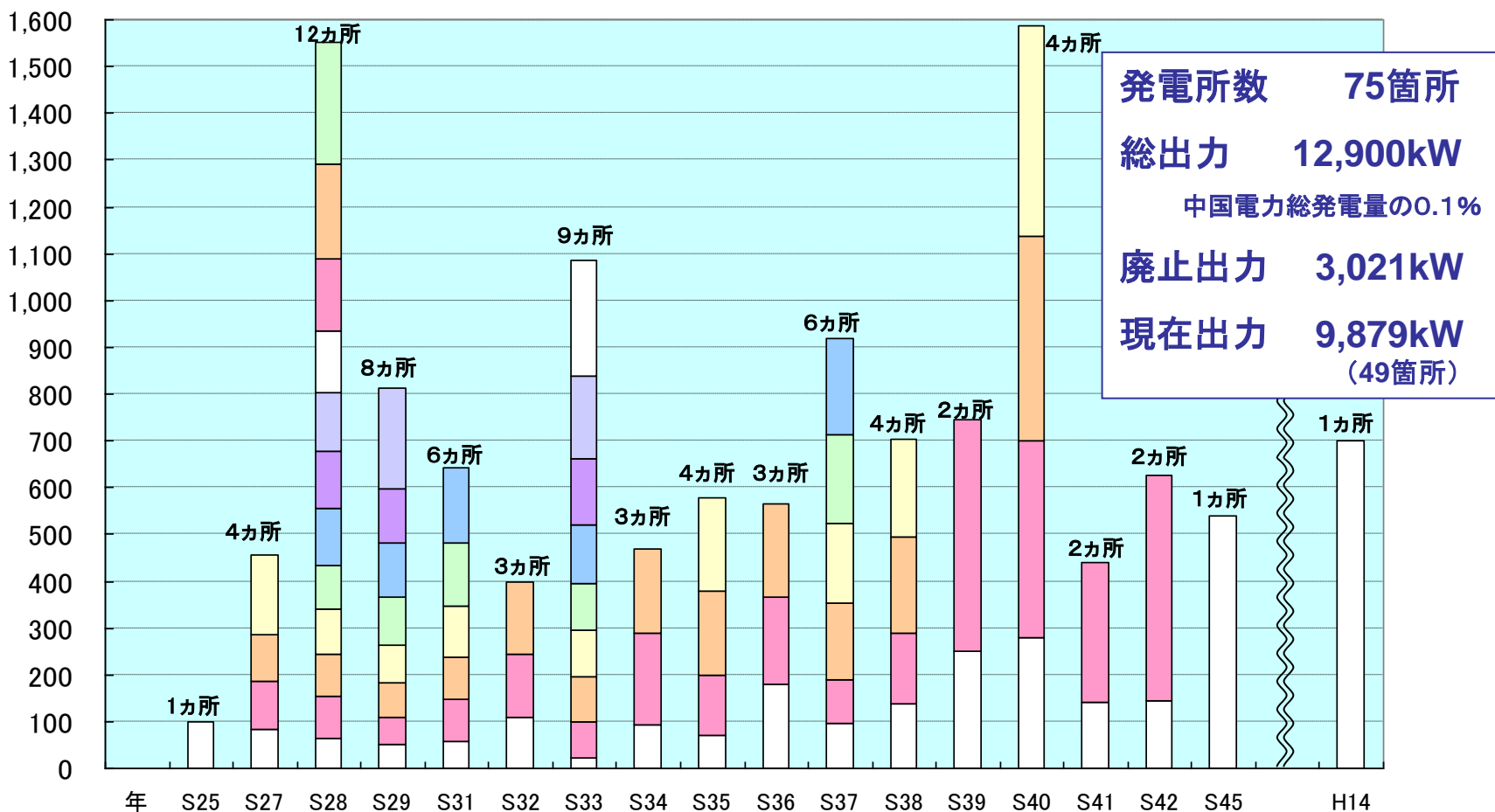
昭和30年 黄綬褒章受賞(電源開発功労者)

※昭和3年 ロッテルダムオリンピックにて日本初の金メダルリスト(三段跳び)織田幹雄は実弟

Electric ●電気
Agriculture ●農業
Machine ●機械
Life ●生活

◆織田史郎が建設した中国地方の自家用小水力発電所 (昭和25年～)

kW 各年の値(高さ)は発電所の合計出力



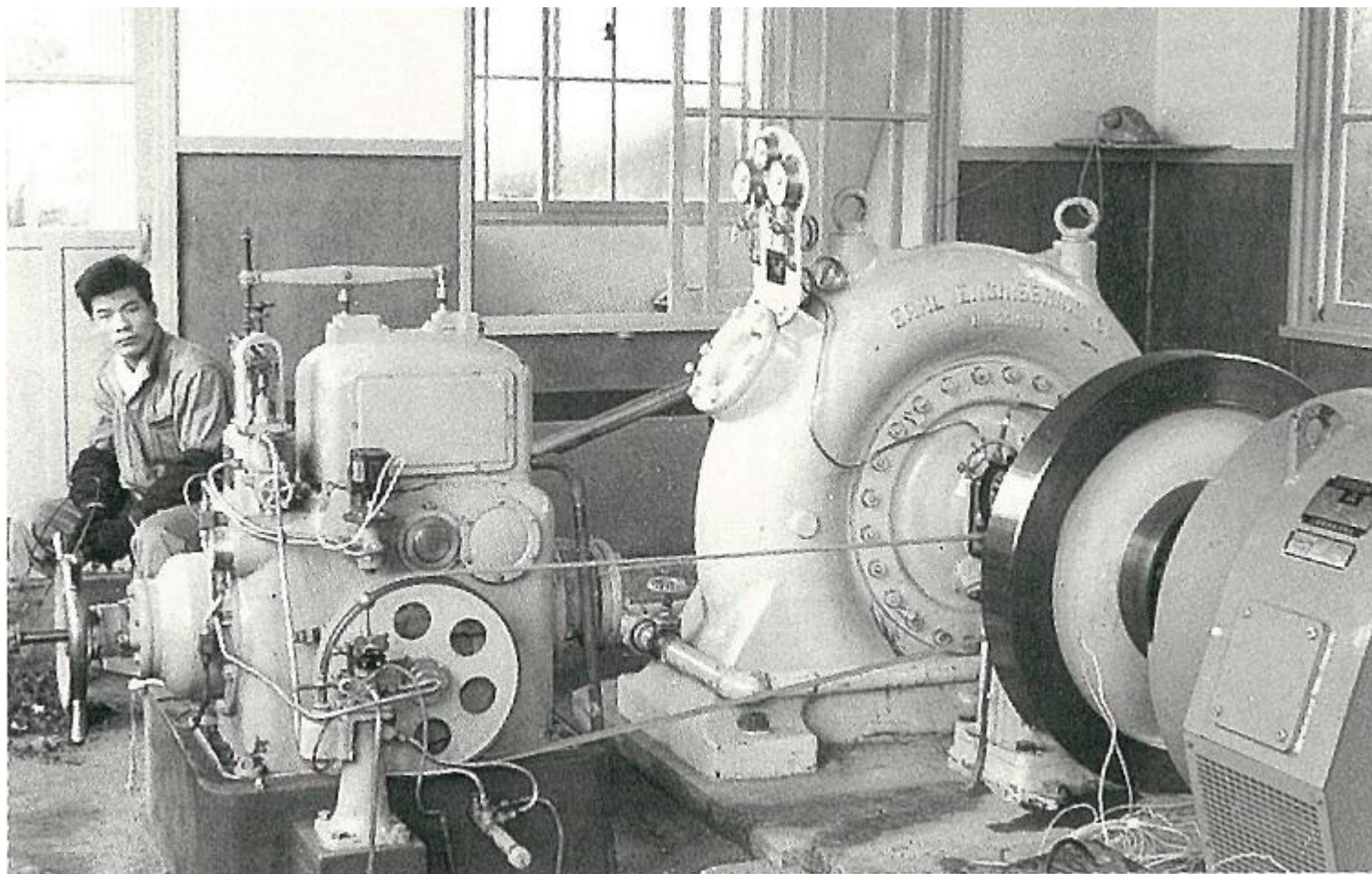
◆中国地方の小水力発電

- 中国地方の発電所事業者は農業協同組合(JA)、電化農協、土地改良区(農山漁村電気導入促進法認定事業者)。数か所の町村では農協名義で発電所を建設された。
- 中国地方では、昭和25~45年の間に約90箇所の小水力発電所が建設された。発電所建設は村を挙げての大事業であり、堰堤・水路・水圧管路・発電所での建設作業には常時数百人の雇用が発生し、農業だけの小さな町村に大きな経済効果が発生した。
- 売電による経済効果
昭和20年後半~30年半ば 売電単価3円/kWH程度
「100kWの発電所で年間100万円の利益」と言われ、農協活動を通じて地域経済に大きく寄与した(農協職員給与5,000/1ヶ月の時代)。

発電所完成記念碑



昭和36年（現場据付工事）



※当時の私

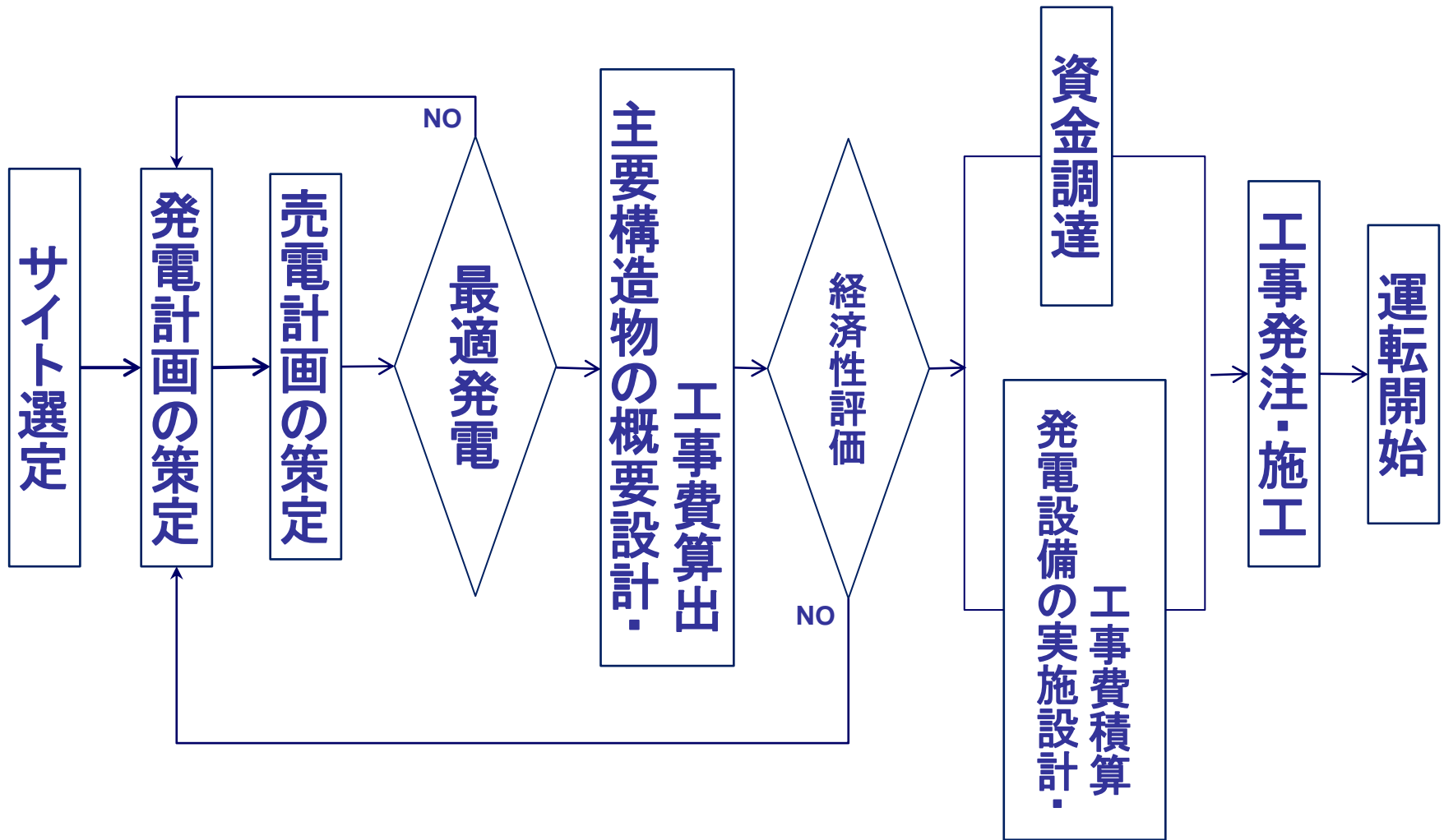
EAML ENGINEERING CO., LTD.

参考：小水力発電設備保有者（1,000kW以下）

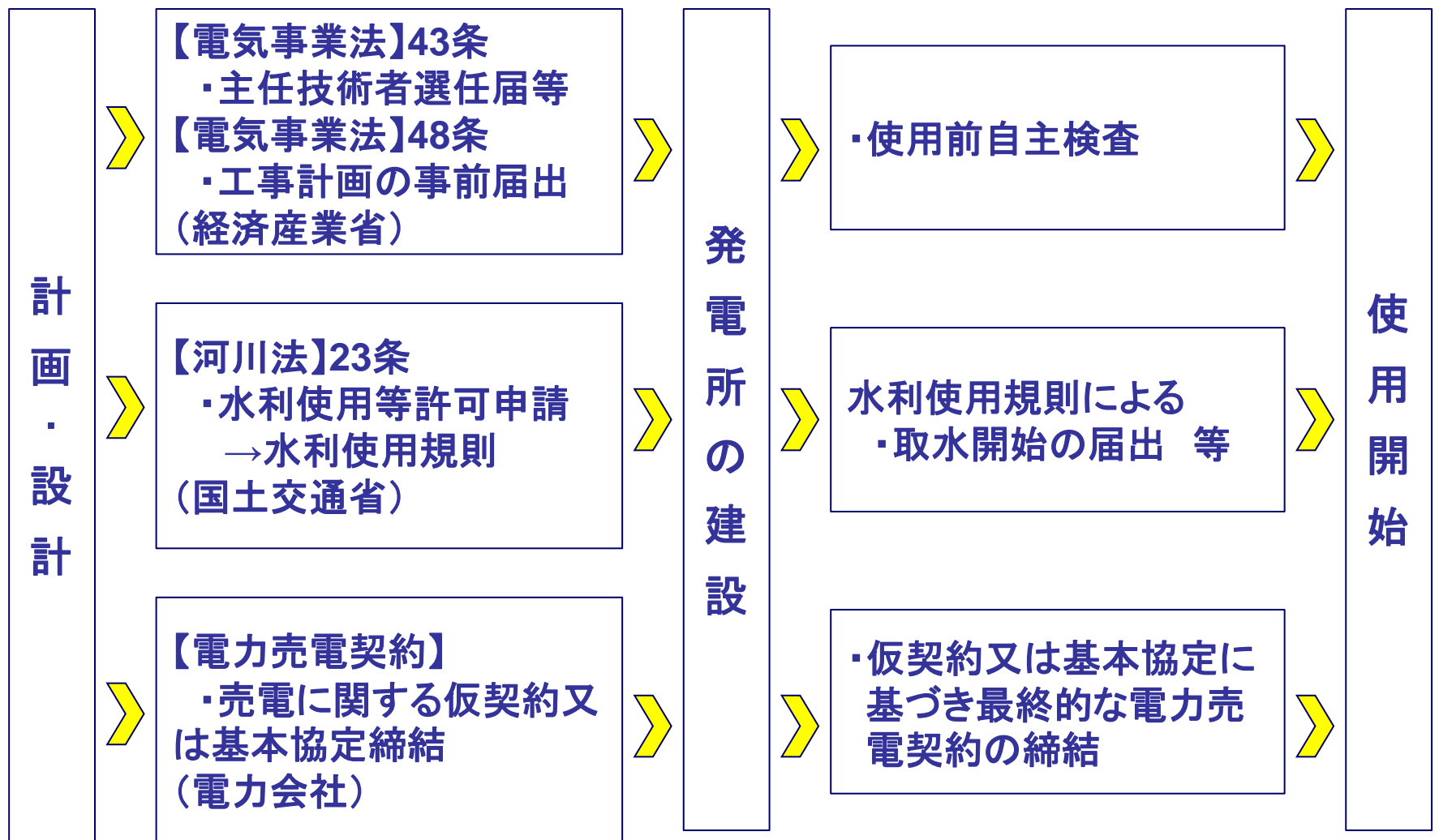
●電気事業者	電力会社（沖縄電力は除く）	991箇所
●電気卸売事業者	公営電気事業者	298箇所
	J-POWER（電源開発）	
●自家用発電事業者	全量売電事業者	105箇所（中国5県で55箇所）
	全量自家消費事業者	
	余剰売電事業者	

※一般的に小水力発電と言われているのは自家用発電事業者

◆小水力発電計画の手順



◆小水力発電施設の使用開始までの主な手続き



◆小水力発電に関する電気事業法の手続き

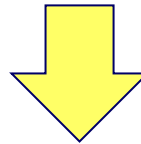
出力等条件	保安規定届出	電気主任技術者選任	ダム水路主任技術者選任	工事計画届出
ダムあり 又は、200kW以上 又は、最大使用水量1 m ³ /s以上	○	○	○	○
ダムなし かつ、20kW～200kW未満 かつ、最大使用水量1 m ³ /s未満	○	○	×	×
ダムなし かつ、20kW未満 かつ、最大使用水量1 m ³ /s未満	×	×	×	×

◆水利権とは

河川の流水(公水)を継続的・排他的に使用する権利

物件的性格を有する河川管理者の特許により成立する権利

その使用目的が社会の利益につながるものとして容認され、権利として法律上の保護を受ける価値のあるものに限られる。水利権者には本来的に社会的責任能力が求められる。



許可水利権

河川の流水を占用しようとする者は、国土交通省令で定めるところにより、河川管理者の許可を受けなければならない。

慣行水利権

水の事実上の支配をもとに社会的に承認された権利で、主にかんがい用水の利用について成立した水利秩序が権利化したもの。

◆水利権申請手続き

区分		特定水利使用		準特定水利使用	
		処分権者	認可等	処分権者	認可等
一級河川	直轄区間	国土交通大臣	—	整備局長	—
	指定区間			都道府県知事	整備局長
指定都市の長					
二級河川	都道府県知事	国土交通大臣 同意付協議	都道府県知事	—	
	指定都市の長		指定都市の長		
準用河川	市町村長	—	市町村長	—	

◆小水力発電推進に関する法律

1.農山漁村電気導入促進法(昭和27年)

目的 「電気の供給が十分でない地域に電気の導入を図り生産力の増大と生活の向上を図る」こととして発電事業者を認定する。(全量売電含む)

概要 建設資金に日本政策金融公庫の低利な資金を活用する

適用法人は農業協同組合、土地改良区、森林組合、水産業組合

電気の売買については電気事業者(電力会社)に協議を求め、電気事業者に不当な負担を課さない

2. 電気事業者による新エネルギー等の利用に関する特別措置法:RPS法 (平成14年)

目的 地球温暖化等に伴う環境対策として、電気事業者に新エネルギーの利用を義務付ける

概要 水力発電所については1,000kW以下とする

売電料金は電気事業者との協議(従来料金+RPS貢献分)

電気事業者の販売電力量の1%(目標)を新エネルギーとする

3. 再生エネルギー特別措置法(平成23年)

目的 再生可能な自然エネルギーを固定価格で電気事業者に全量買い取らすことで開発の促進を図る(電気事業者は差額料金を売電価格に上乗せできる)。

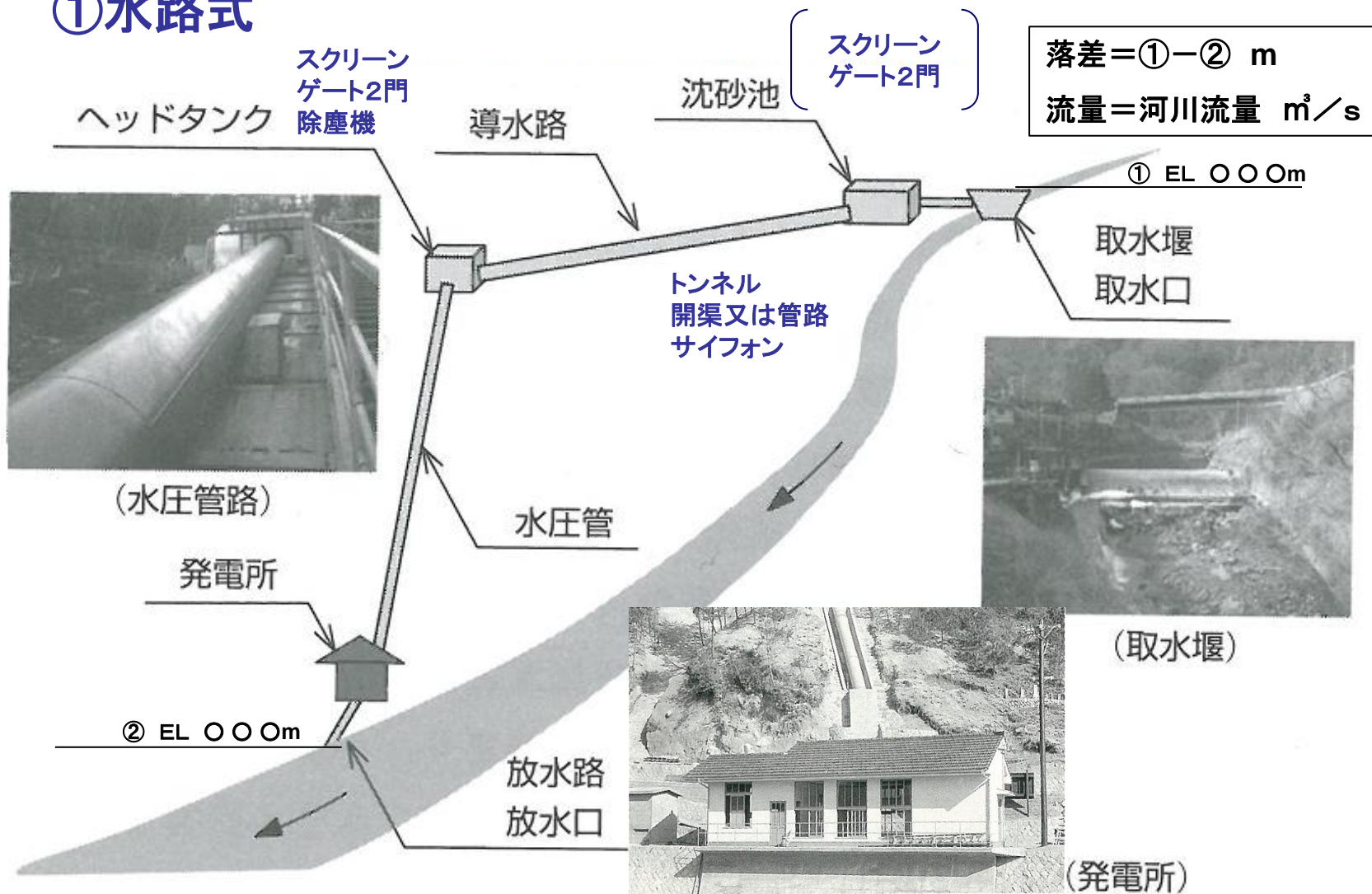
概要 水力発電所は30,000kW以下を対象とする。
買い取り固定価格や期間は24年7月にスタート。

出力	買い取り価格	期間
200kW未満	34円	20年間
1,000kW未満	29円	20年間
30,000kW未満	24円	20年間

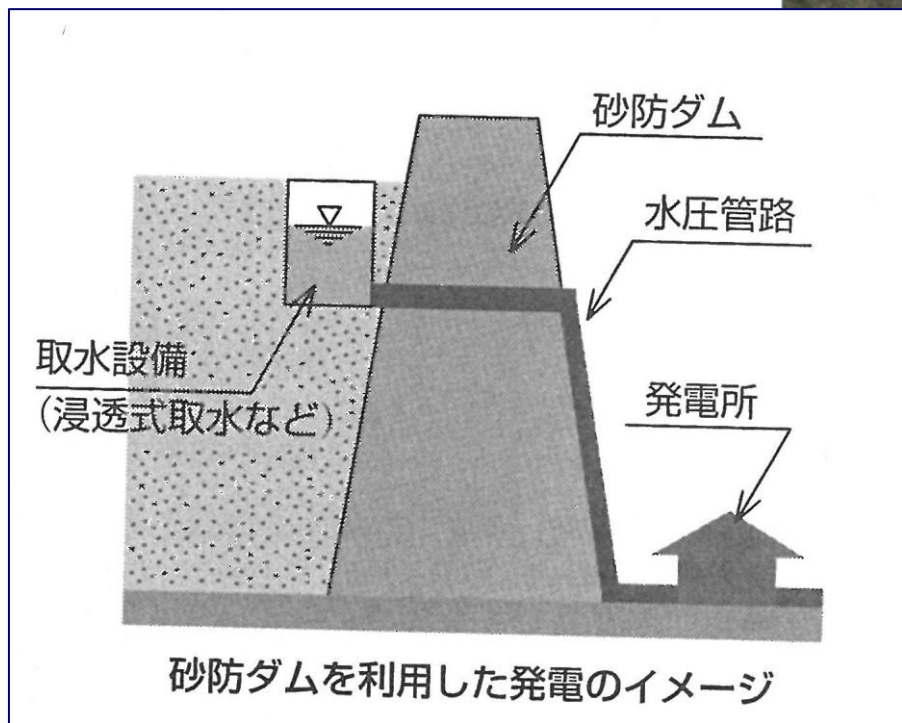
※新設発電所が対象で既存の発電所は改修の範囲によって対象とする。

◆ 一般的発電の構成例

① 水路式



◆砂防ダム利用方式



◆水の持つエネルギー

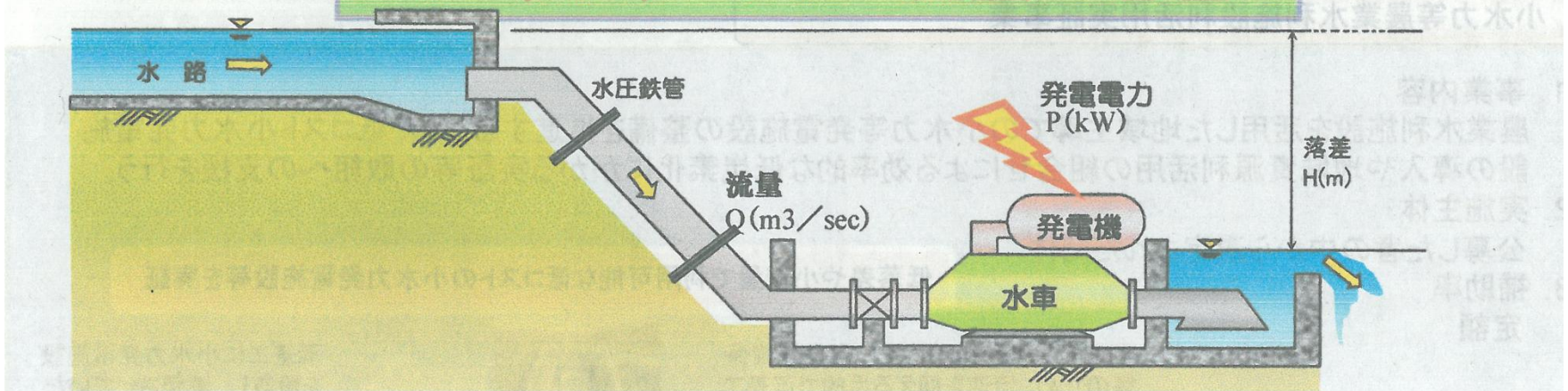
●水の持つエネルギーを電気エネルギーに変換

$$P \text{ (kW)} = 9.8 \times Q \text{ (m}^3/\text{s)} \times H \text{ (m)} \times \eta$$

P (kW) : 発電電力 Q (m³/s) : 流量 H (m) : 有効落差

η : 効率 (発電機や水車などの効率 ≈ 0.72)

$$P \text{ (kW)} \approx 7 \times \text{流量} \times \text{落差}$$



◆使用水量の決め方

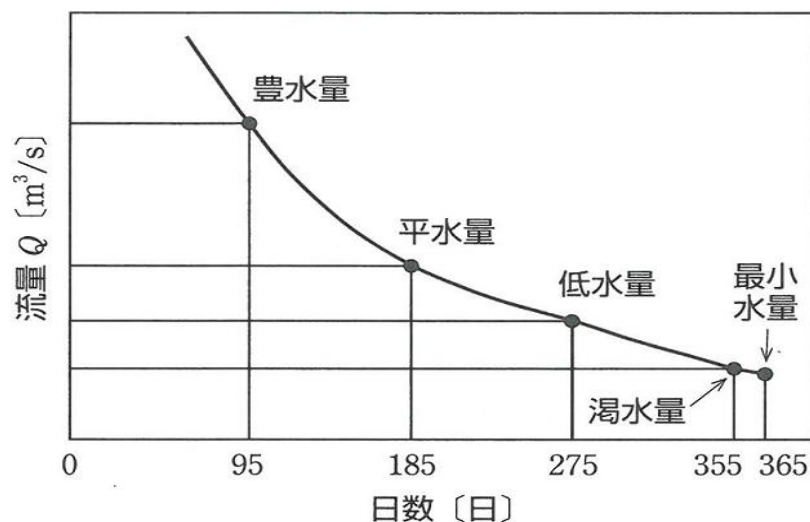
計画地点の河川流況曲線を作成する。

■ 流況曲線(使用水量選定基準)

流量資料は、河川の流量を多い順に日数で並べた流況曲線を作成し、最大使用水量の選定など、発電規模の検討に用いる。流況曲線とは、流況表により縦軸に流量、横軸に日数を取り、整理したものである。

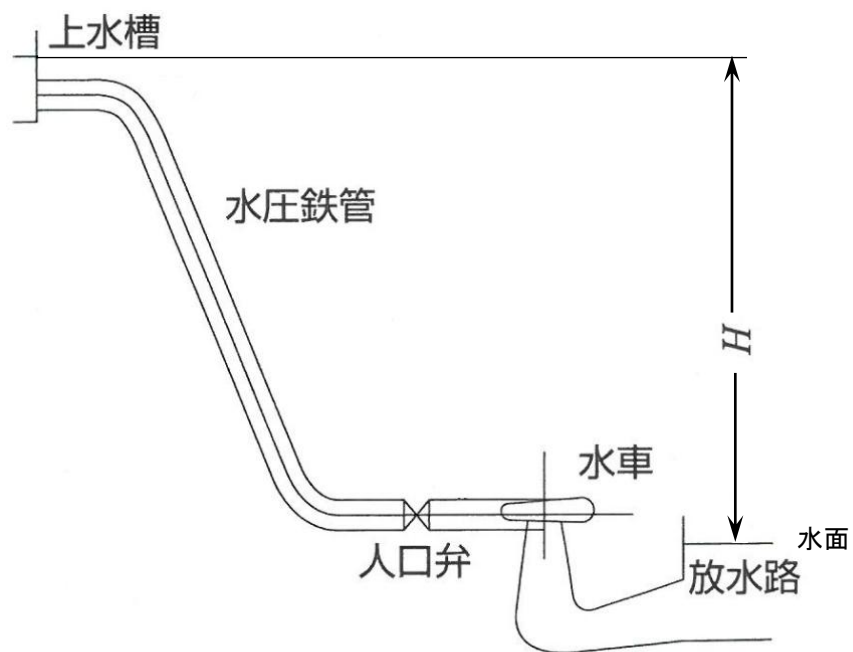
渴水量でも稼動する設計をすれば、1年間のうち355日は常に取水し、年間355日間は電気を生み出すことになるが、初期投資効率を考慮して豊水量、低水量で最大出力とするケースが多い。

(但し、発電水量は河川への維持放流を除いた流量とする)

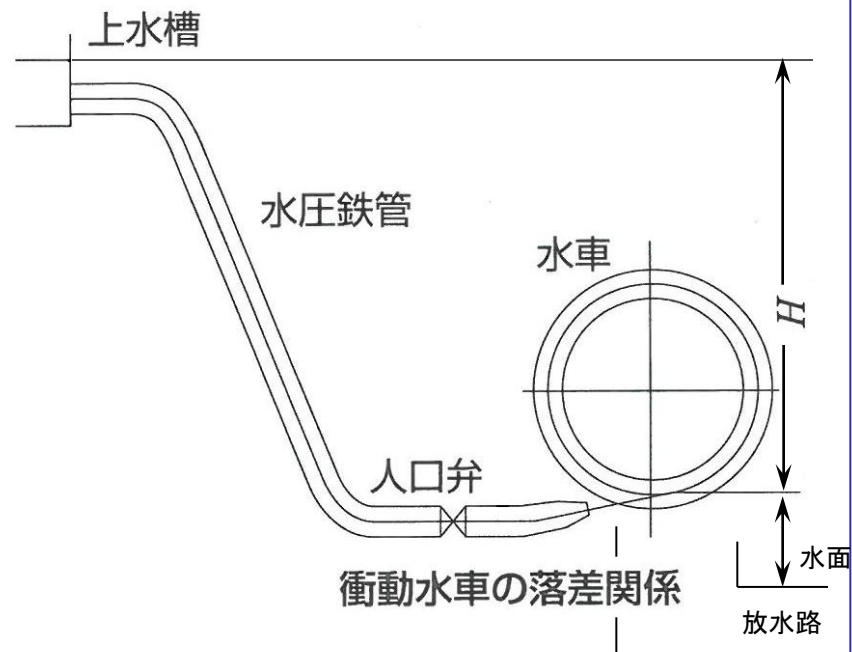


◆有効落差決め方

水車は水量と落差の組み合わせで、機械効率を高めるため数種のタイプあり
水車の種類によって有効落差の決め方が異なる。



反動水車の落差関係



衝動水車の落差関係

◆地域経済と小水力発電

人や土地資源に恵まれない地域での小水力発電開発は、各地の建設例を見ても貴重な財産となっています(減価償却20年 実使用期間50年以上)。

【建設初期投資と地域経済効果】

初期投資額 1kW当たりの建設総額 100～200万円

ビジネスモデル(砂防ダム流用 $H=60\text{m}$ $Q=0.45\text{m}^3/\text{s}$)

190kWの発電所建設 3億円として[取水設備の範囲で2～4億円]

地域内調達

コンサル業務 0.2～0.3億円

土木工事 0.8～1.3億円

付属構築物 0.6～0.8億円

[水圧鉄管・ゲート・スクリーン・除塵装置]

地域外購入費

水車発電機・配電盤 1.4億円

【発電開始後の経済効果】

ビジネスモデル 190kwの発電所(H=60m Q=0.45m³/s)

売電価格 1kWH当たり34円

年間電力量 1,331,520kWH

(190kW×24時間×365日×80%)

売電収入 1,331,520kWH×34円= 45,272千円

減価償却 建設費3億円 20年償却 **15,000千円**

借入利息 20年平均(金利3%) **4,500千円**

運転維持費 0.5人 **4,000千円**

修繕積立金 6% **2,700千円**

雑費 1% **4,000千円**

剰余金(地域事業活性化資金) 15,072千円

※FIT適用期限が切れた20年後は、減価償却費が不要となる

【地元企業で対応する範囲】

総合設計監理コンサルタント

土木工事(堰堤・水路・水圧管路・発電所基礎建屋)

水圧管製作及び据付工事

ゲート、スクリーン製作据付工事

除塵装置製作据付工事

送電設備製作据付工事

水車発電機関係据付工事 (メーカーは指導員派遣)

水車・発電機部品製作

土木建築業

製缶業

機械製造業

//

電気工事業

電気機械工事業

※

機械製造業

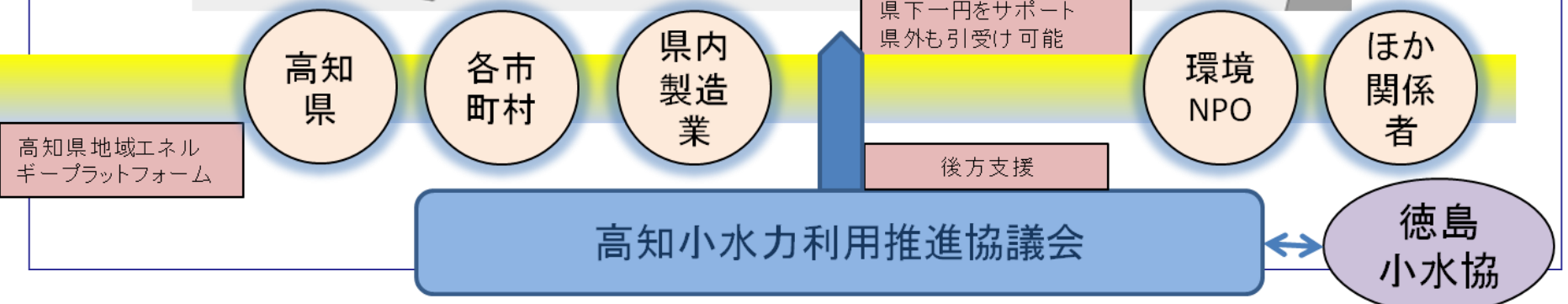
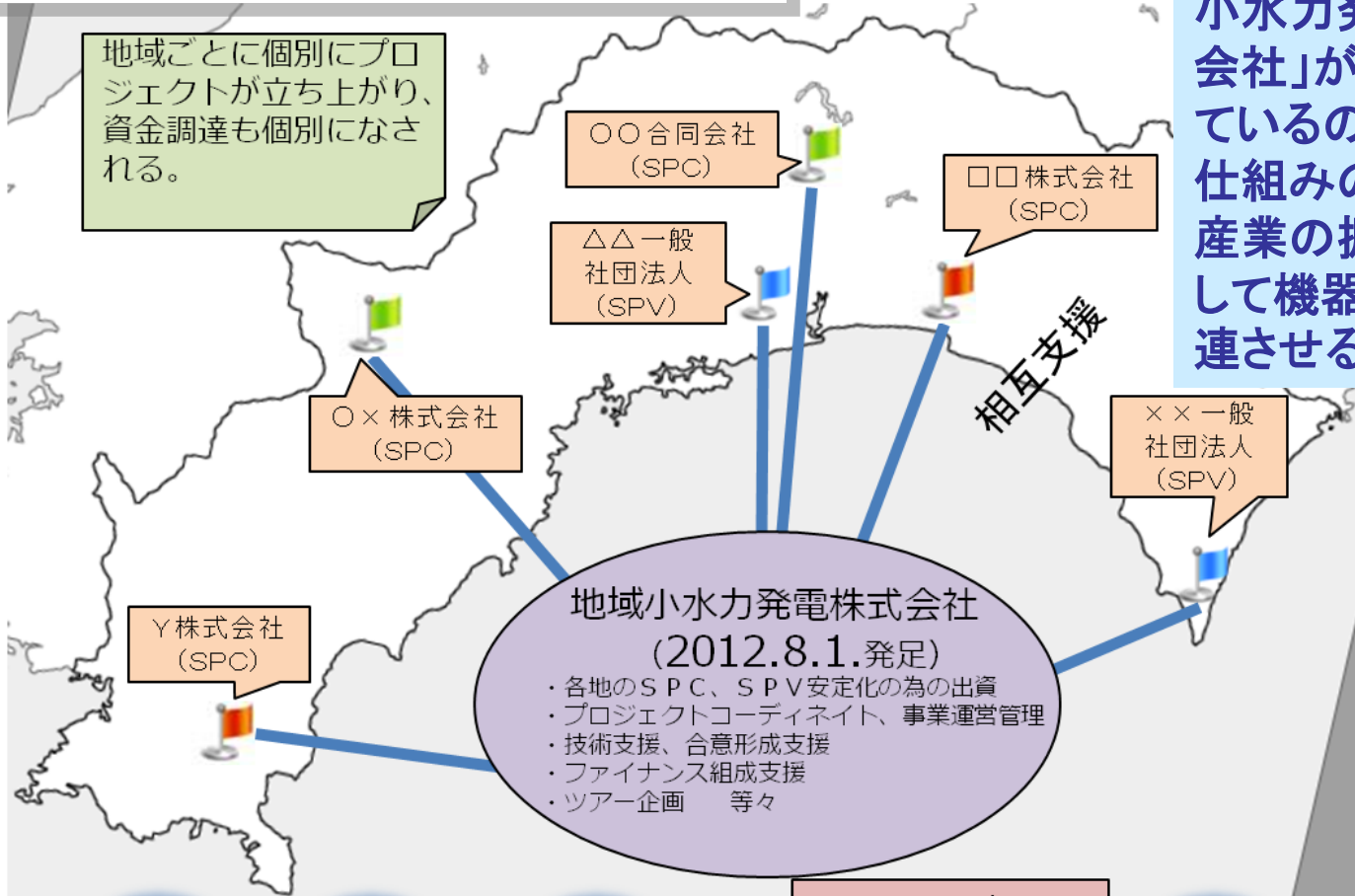
電動機製造業

電気制御盤製造業

※についてはメーカー各々の下請け認定が必要

◆地域活性化ビジネスプラン

高知県では「地域小水力発電株式会社」が設立されているので、この仕組みの中に地域産業の振興対策として機器製造を関連させる。



■地域製造業者で発電機器グループ(仮称)を設立するための条件

1. 技術的な問題

- ・水車については、種類も多く開発に多額の投資と高レベルの技術を必要とし、新たな企業を立ち上げることは難しいが、国内での小容量水車の需要が急激に増すことで、メーカーの標準化(低価格化)が進めば単品で購入することも可能。
- ・水車メーカーとの提携(下請けでパーツ製造)で技術力の養成も可。
- ・発電機は、機械的強度変更により地域製造可能。
- ・制御システムは標準化されており、特殊機器を単品購入して配電盤・高圧キュービクルを製作することが可能(汎用機器でないものが主)。
- ・取水ゲート・スクリーン・除塵機・水圧鉄管は、地域製造可能

2. 発電事業者との関係

全国での動きやメーカー対応等を考えると、地域小水力発電(株)の協力を得ることが重要となる。

- ・各地域で発電建設が計画された時点からの情報収集と協力
- ・具体的なプランに参画し、発注に地域最優先の仕組みをつくる
- ・水車単品や発電機器を購入し、総合メーカーとしての体制と、長期メンテナンスを受け持つ信頼関係を形成する
- ・この仕組みには専門技術を必要とするので、当初はメーカーと共同受注し、実質的に下請として技術習得する方策も考えられる。
- ・運転開始後のメンテナンスもメーカー依存から脱却出来、50年以上の安定運転に寄与できる(中国地方の小水力発電とイームル工業の関係)。

■水力発電による余剰金の運用プラン

水力発電の歴史は100年を超え、技術的には十分な信頼度が証明されており、FIT適用で運用開始後、十分な剰余金が発生する。

その剰余金を利用し、広大な森林を利用して「木質バイオマス発電」を小水力発電所内に設置する。

【メリット】

- ・敷地や送電施設が供用でき、初期投資が抑えられる。
- ・小水力発電は運用開始後、常時作業は発生しないが保守(非常勤)は必要。常時作業のあるバイオマス発電と組み合わせることで効率的な雇用ができる。
- ・森林育成や間伐等で森林組合との協業により安定的な雇用が発生し、地域の活性化が図れる。
- ・水力は24時間(ベース)、電力需要の多い昼間はバイオマスも発電することでエネルギーの効率的な運用が図られる。

【リスク】

- ・バイオマス発電は技術的に開発途上にあり、ガス化方式、加熱ボイラー方式共に現状では実例が少ない。

●地域内調達 ゲート・スクリーン



●地域内調達 除塵装置

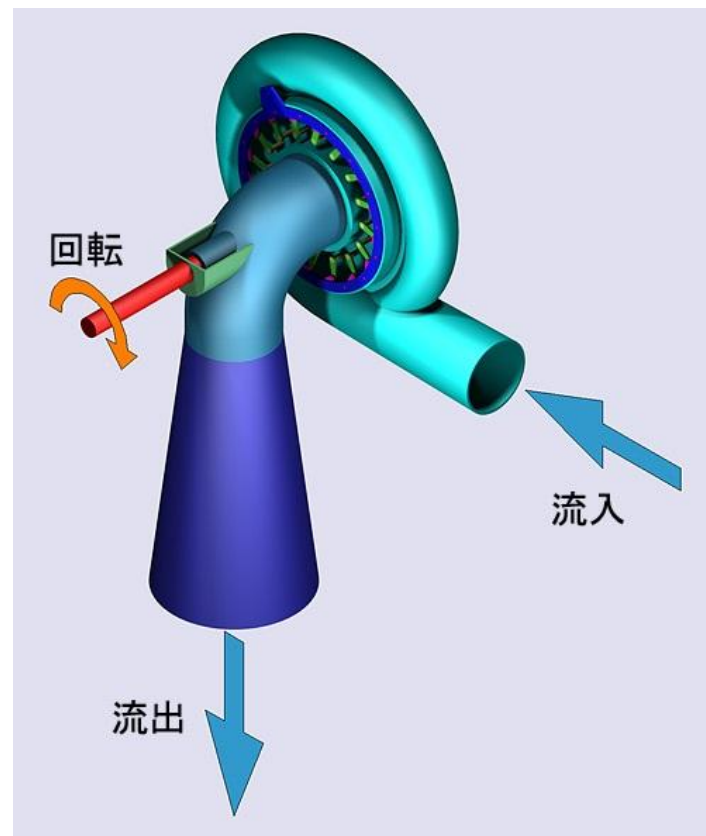
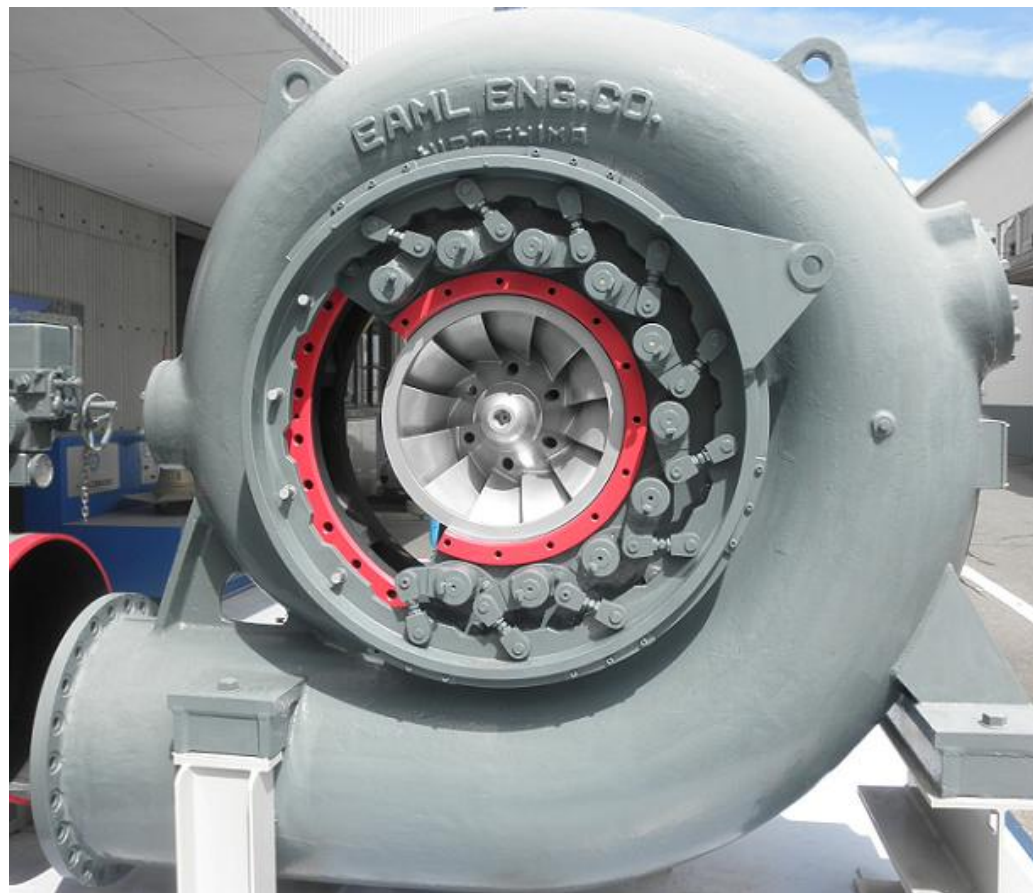


●地域内調達 水車発電機関係据付工事



●地域外調達 フランス水車(中落差)

※日本で最も使用されているタイプ



フランスス水車

横軸水車(小水力)では落差20~200m程度。水量0.3~10.0m³/s程度の組み合わせ範囲で出来る。放水側の河川水位までを有効落差として使用出来、水車出力を有効に取り出せ、日本では最も設置数が多い。

河川水量の自然変動(100~30%)に対応できるが水量80%付近を最大効率点として設計するので低流量時は効率の低下が著しい。

●下請け認定品(地域内調達) 水車部品製作



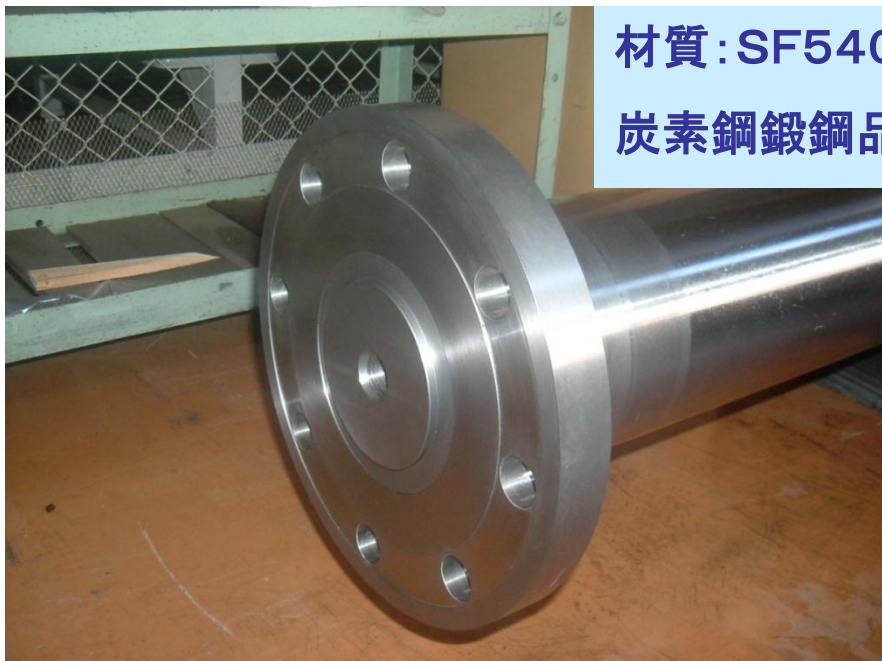
材質:SS400
一般構造用圧延鋼材



●下請け認定品(地域内調達) 水車部品製作

材質:SF540A

炭素鋼鍛鋼品

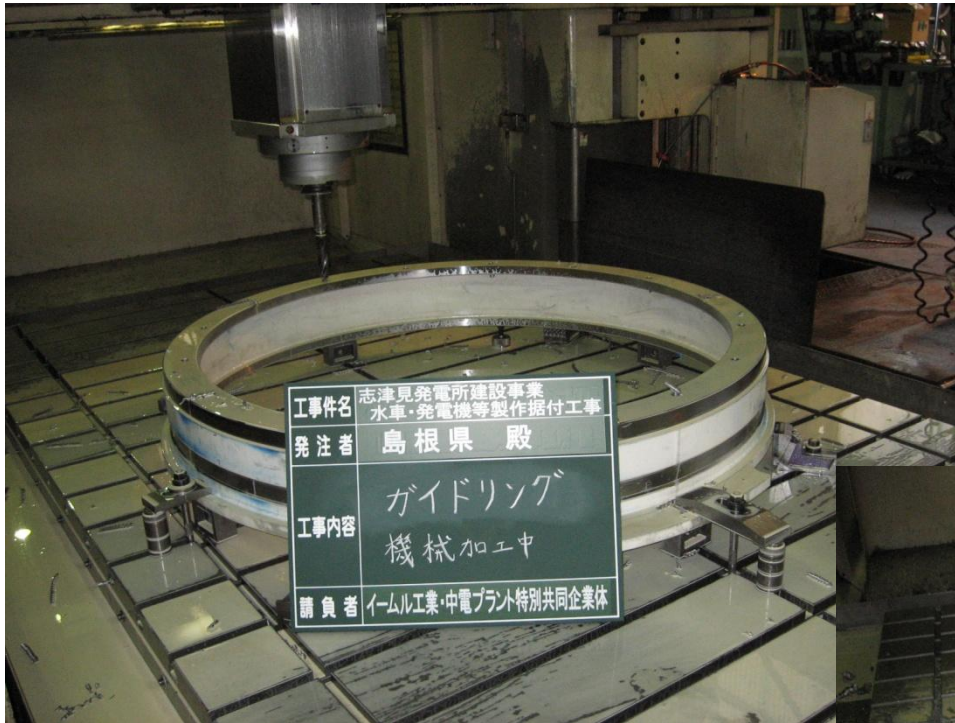


工事件名	志津見発電所建設事業 水車・発電機等製作据付工事
発注者	島根県 殿
工事内容	ラニ十 石研摩中
請負者	イームル工業・中電プラント特別共同企業体

材質:SCS6

ステンレス鋳鋼

●下請け認定品(地域内調達) 水車部品製作



材質:SS400

一般構造用圧延鋼材



●下請け認定品(地域内調達) 水車部品製作



発注者	島根県 殿
工事内容	ガイドベーン 鑄放し状態
請負者	イームル工業・中電プラント特別共同企業体

材質:SCS6
ステンレス鑄鋼



工事件名	志津見発電所建設事業 水車・発電機等製作据付工事
発注者	島根県 殿
工事内容	ガイドベーンアーム 完成
請負者	イームル工業・中電プラント特別共同企業体



工事件名	志津見発電所建設事業 水車・発電機等製作据付工事
発注者	島根県 殿
工事内容	マグネリンク 完成
請負者	イームル工業・中電プラント特別共同企業体

材質:SS400
一般構造用圧延鋼材

●下請け認定品(地域内調達)水車部品製作



材質:SS400

一般構造用圧延鋼材



仁右工門用水発電所
(富山県)

出力: 460kW

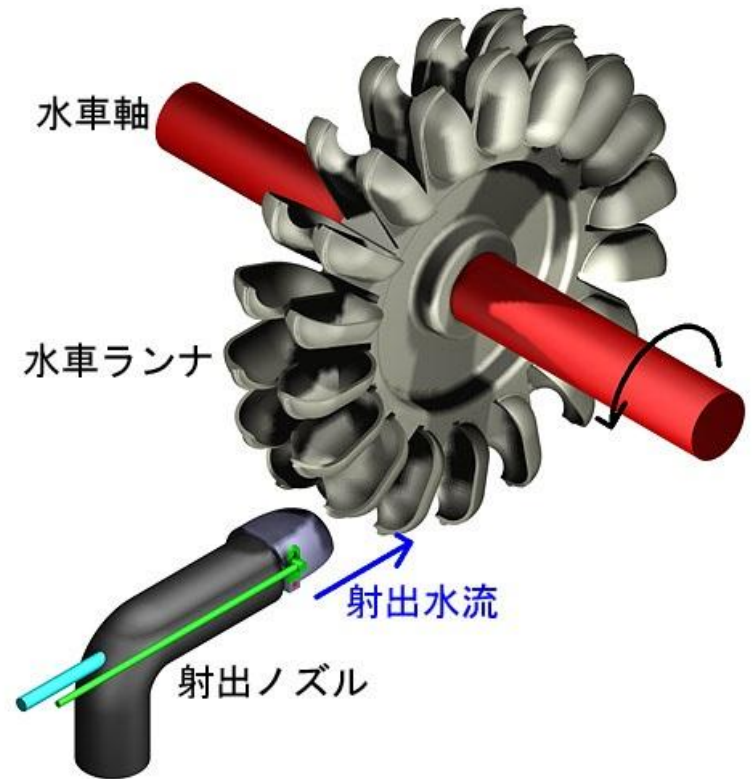
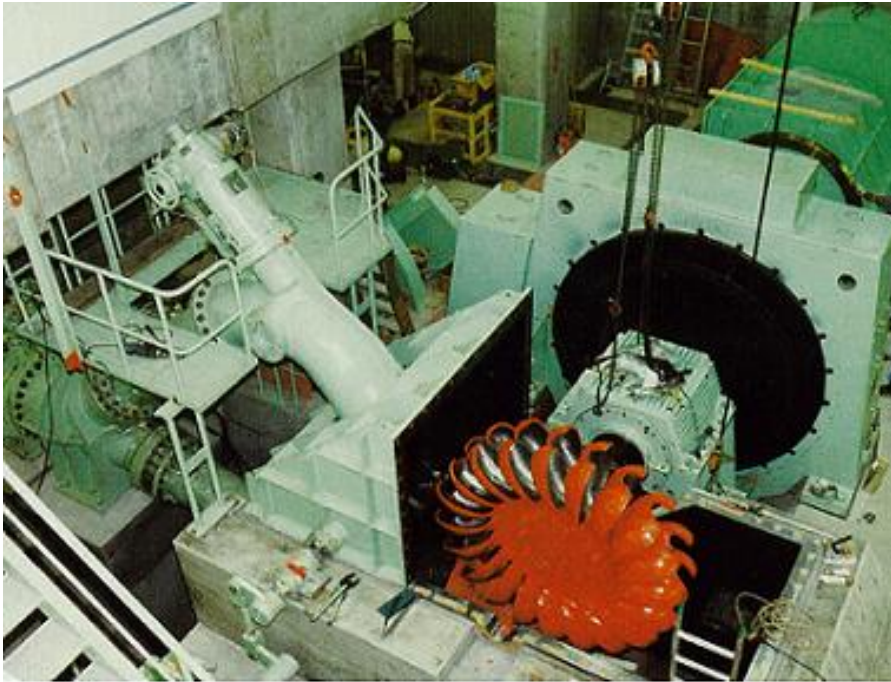
使用水量: 2.4m³/s

有効落差: 24.48m

発電開始: 2009.12.25



●地域外調達 ペルトン水車(高落差)

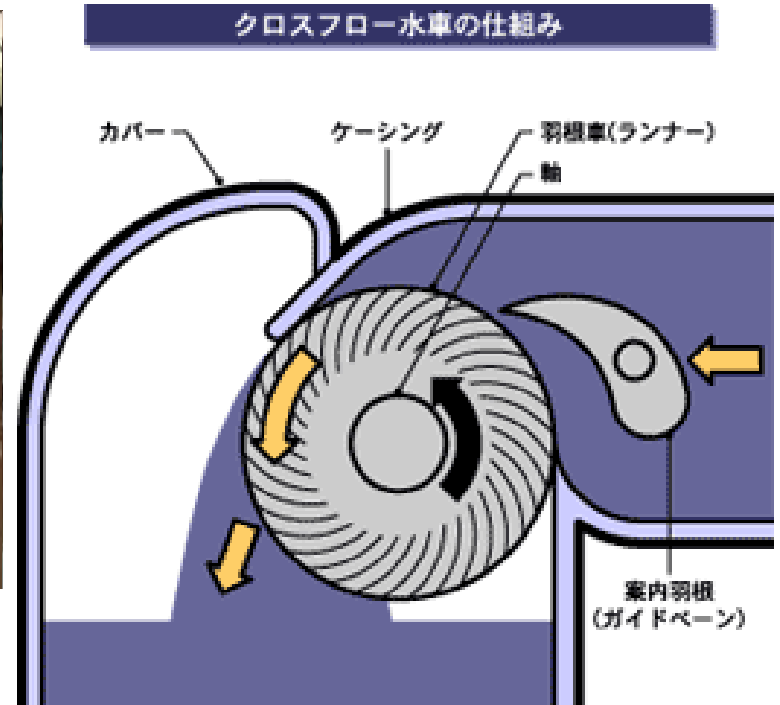


ペルトン水車

横軸水車(小水力)では落差50~400m程度。水量0.1~2.0m³/s程度の組み合わせ範囲で使用できる。有効落差は水車中心までとなり、その下側は有効落差として使えない。

河川水量の自然変動(100~30%)に対応出来、基準水量での効率も高く、噴射ノズルを複数にして切り替えることにより低流量効率の低下が少ない。(ターゴインパルス水車は形状性能ともに類似)

●地域外調達 クロスフロー水車(中・低落差)



クロスフロー水車

落差10～100m程度。水量0.1～8.0m³/s程度の組み合わせ範囲で使用できる。有効落差は水車中心までとなり、その下側は有効落差として使えない。

他の水車に比べて基準水量での効率はやや低いが、河川水量の自然変動(100～30%)に対応出来、案内弁を複数にして切り替えることにより低流量効率の低下が少ない。

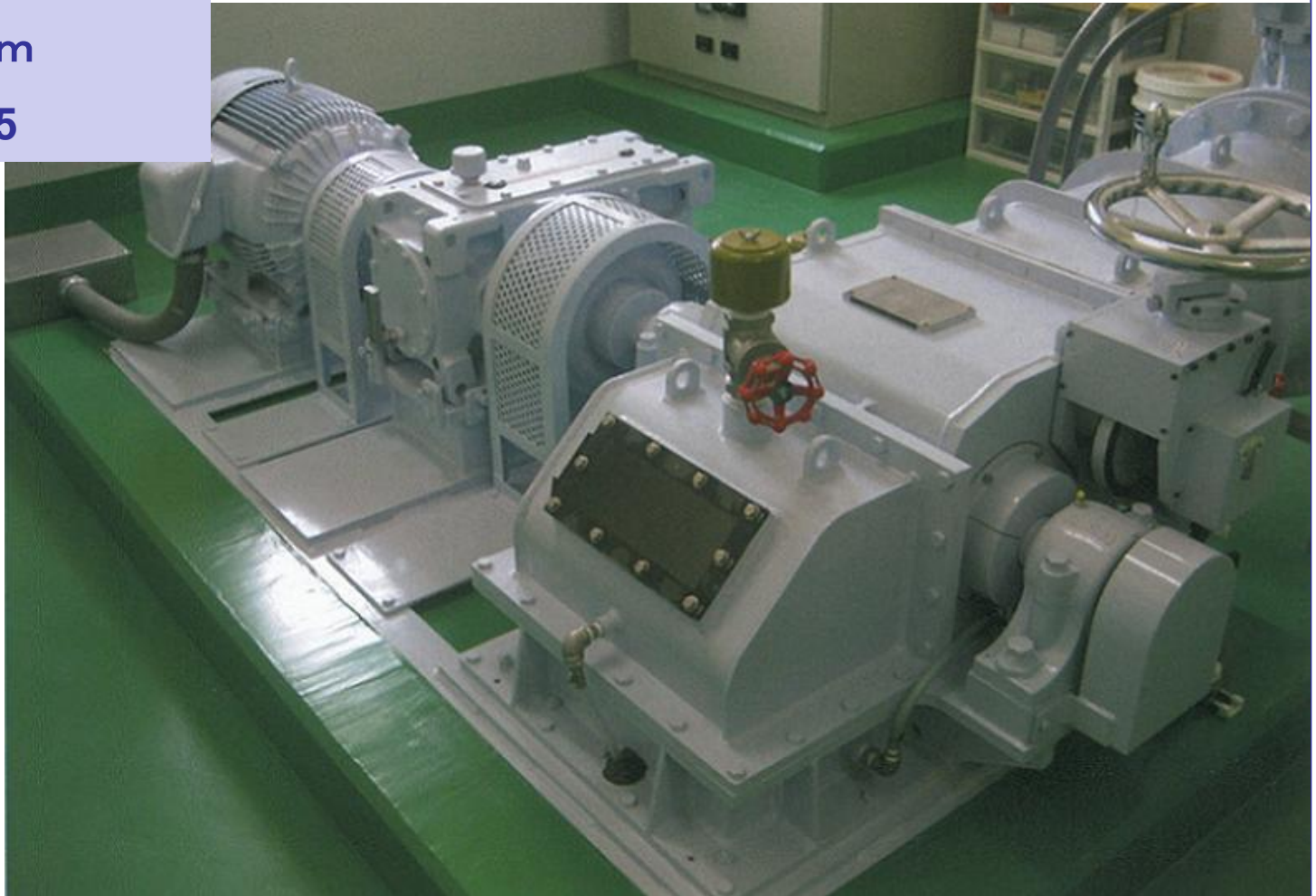
龍飛地区小水力発電所
(青函トンネル湧水)

出力: 28kW

使用水量: 0.27m³/s

有効落差: 13.26m

発電開始: 2010.5



●地域外調達 水中タービン(低落差)



水中タービン発電機構造

(右図はEL7650です。)

ベアリング
温度センサーを装備

発電機部

回転子

固定子

F種絶縁誘導
発電機を形成

フロート式浸水検知器

増速機部
(直結型には
ありません)

遊星歯車

固定型ガイドベーン
シュラウドと一体型铸造。
使用条件に適した角度を選定

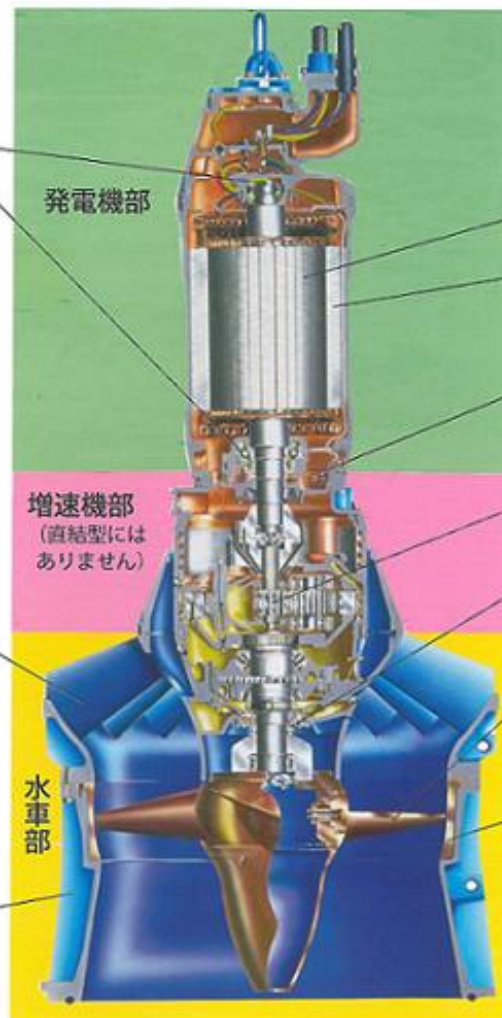
メカニカルシール
高耐久性の二重メカニカル
シールを採用

ランナブレード
4枚又は5枚のブレードを使用。
ブレード角度は使用条件に
適したものを選定。

水車部

ウェアリング
ランナーブレードとの最適
クリアランスを確保。

アウトレットコーン
ブレード角度調整時に簡単に
はずすことができます。

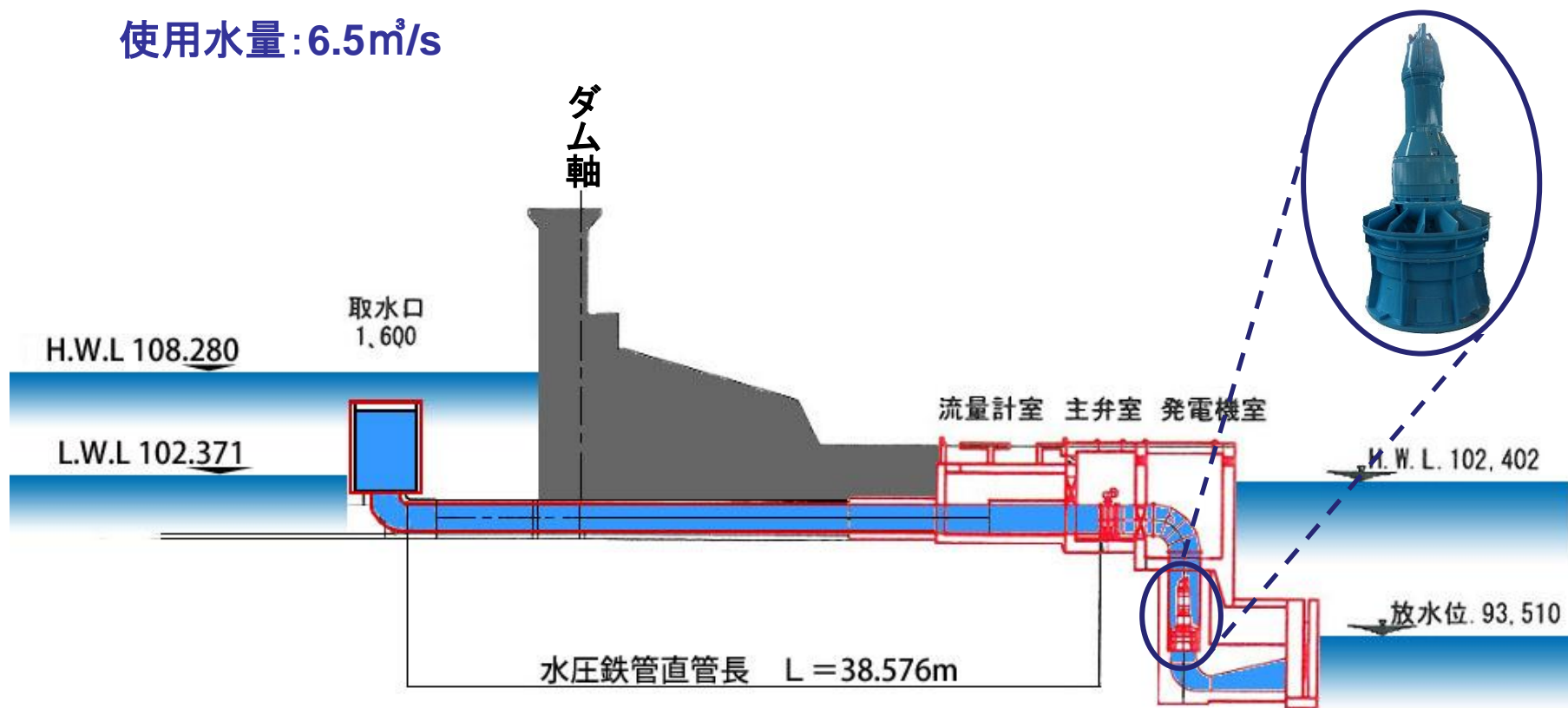


水中タービン発電機使用例(庄川沿岸用水土地改良区連合)

出力:570kW

有効落差:10.69m

使用水量:6.5m³/s



水中タービン発電機

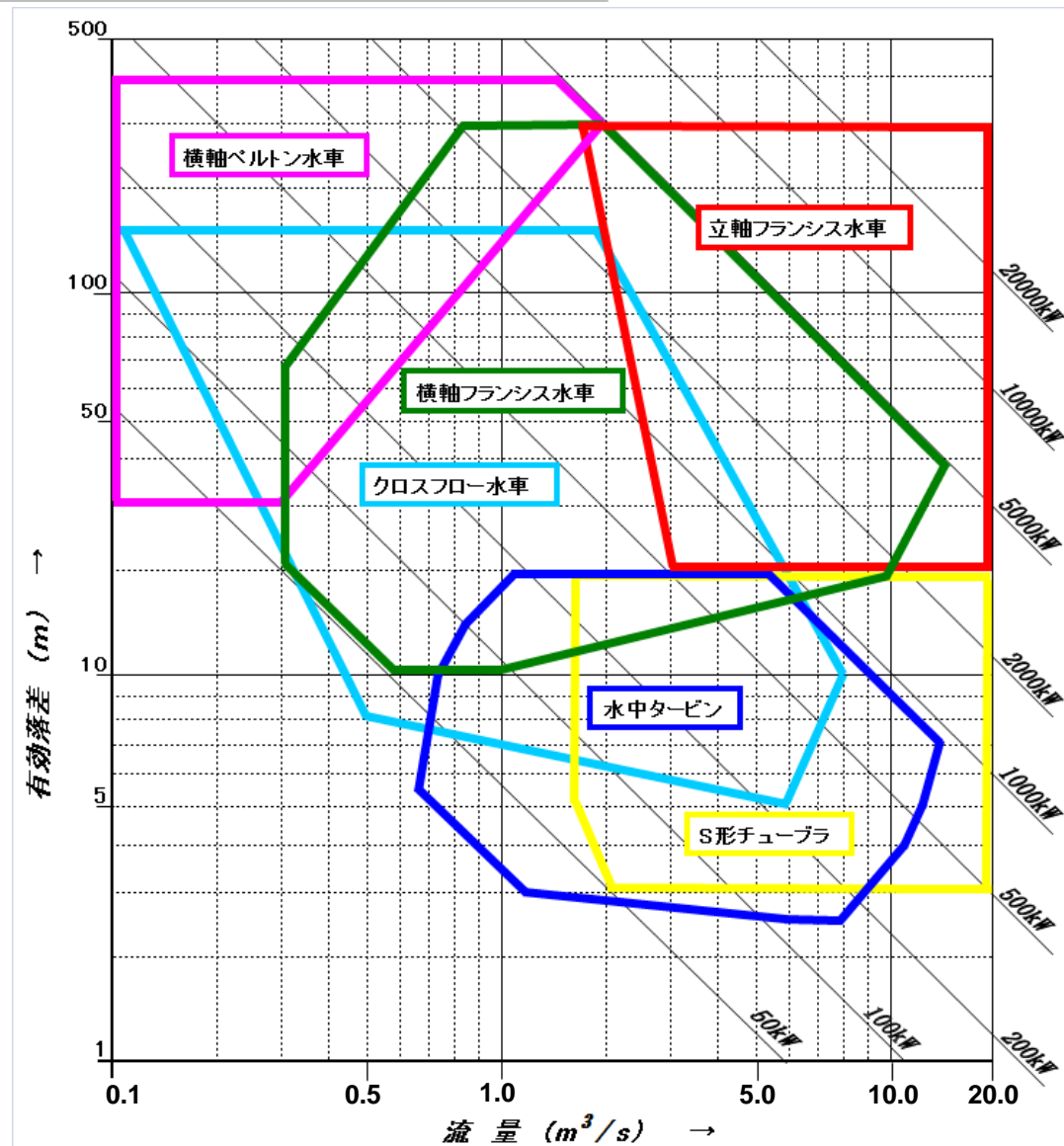
特徴

- ◆建屋不要
- ◆洪水時、水没の心配不要
- ◆低落差で発電できる
- ◆高効率(水車効率90%)
- ◆誘導発電機
- ◆水中運転により、運転音が小さい
- ◆省スペースで、現地調整が簡単

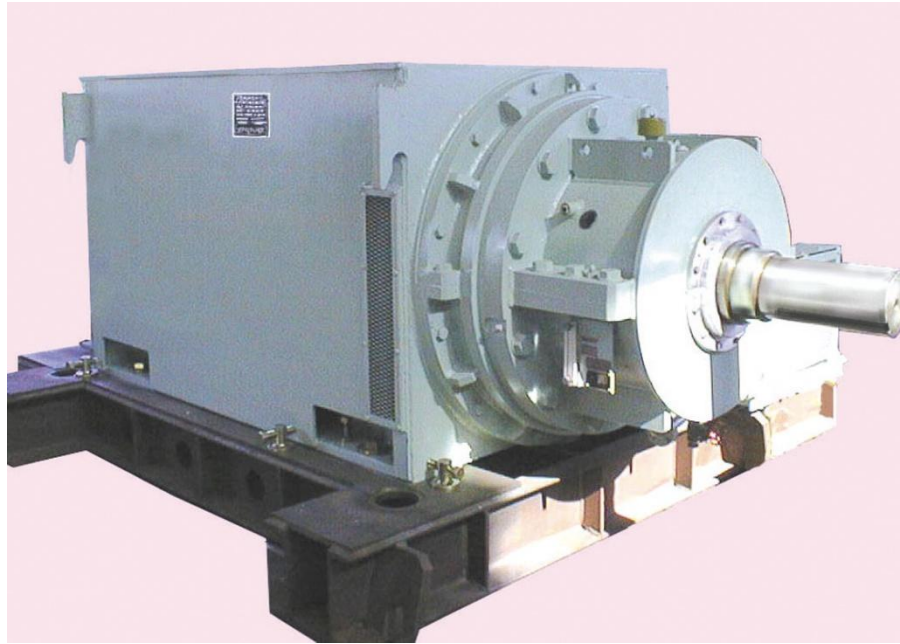
設置可能箇所

- ◆ダム維持放流水
- ◆農業用水
- ◆河川水
- ◆工業用水
- ◆火力発電所等の冷却水
- ◆下水
- ◆老朽化した水力発電の更新

EAML水車型式選定図



● 下請け認定品(地域内調達) 発電機



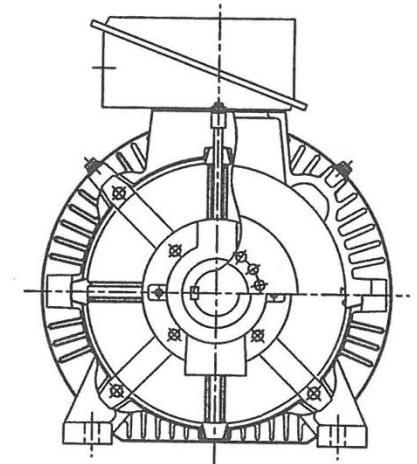
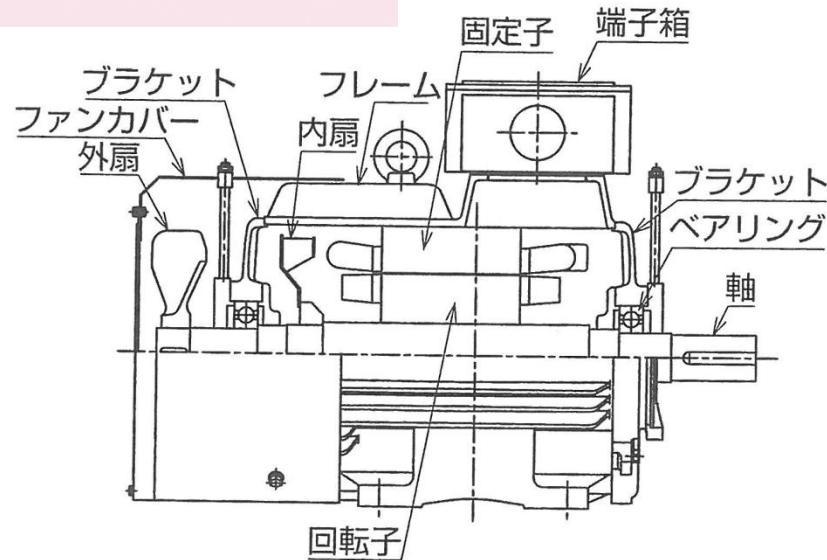
誘導発電機

線路と連系受電して
発電(単独運転不可)

電圧: 6, 600V or 440V

回転数: 360~1, 200rpm
(すべり 1~2%)

過速度耐力: 200%



◆誘導発電機

励磁装置を持たず、同期速度で線路に連系した瞬間に受電した電力で磁力を発生させ発電する。

発電機本体は固定子巻線と回転子(鉄心)で構成され、付属設備は不要でコスト的には小水力に最適である。

線路(電力会社)側から見れば連系時の突入電流による電圧変動の発生、発電時の低力率で線路損失の増大、事故励磁現象による需要家への支障の恐れ等により懸念されている。現在は保護装置を含めた対策が出来るので、大半が認められている。

◆同期発電機

水車の力で界磁極を回転し自力発電する(励磁装置を付属)

単独発電・連系発電いずれも可能

水車の速度制御・発電機の電圧力率制御装置が必要で、設備として複雑になりコストが高くなるので、小水力発電には特殊なケース※を除いて使用しない。

※単独運転の必要性がある場合、もしくは送電線路の電力調整が必要な場合。

● 下請け認定品(地域内調達) 配電盤

調速機制御盤

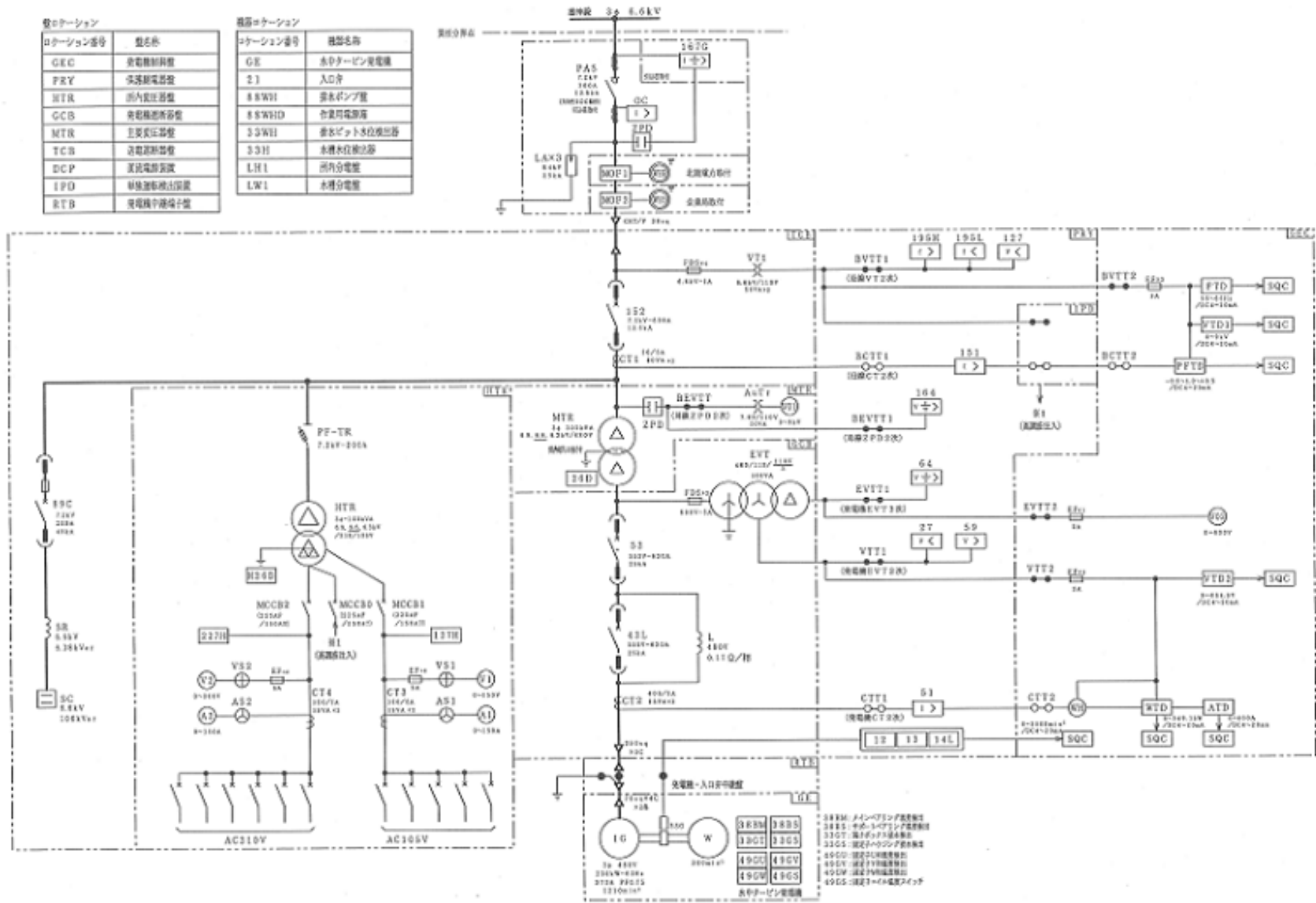
発電機監視盤

補助継電器盤



配電盤(単線結線図)

盤ロケーション		機器ロケーション	
ロケーション番号	型式名	ロケーション番号	機器名称
GEC	発電機制御盤	GE	水リザーブ用発電機
FRY	非常用発電機	2J	入口弁
HTR	炉内圧力調整	88WH	蒸気ポンプ機
GCB	発電機遮断装置	88WHH	発電機用遮断器
MTR	主変圧器機	33WE	蒸気ボイラー水位検出器
TCB	汽機制御装置	33H	水櫃水位検出器
DCP	直流電源装置	LH1	炉内分電盤
IPD	炉内加圧機出力装置	LW1	水櫃分電盤
RTD	発電機中継端子盤		



参考：マイクロ発電実施例

発電事業としての経済性は厳しいケースが多く、補助金制度等を利用した特別の目的を持った設備で、費用対効果は問われず地域のシンボルとして設置される。

数10kW以下はマイクロ発電と呼ばれ自家消費用(山小屋、公園、街灯、キャンプ地)が多い。電力線と連系して余剰売電もある。

小型水車発電機の場合、機器の性能や耐用年数が求められず、地域企業グループで主要部分を海外から購入し、装置として組込み製品化も可能。

都留市役所自家消費電源



元気くん2号発電所
(山梨県)

出力: 19kW

使用水量: 0.99m³/s

有効落差: 3.5m

発電開始: 20010.5

元気くん1号発電所
(山梨県)

出力: 20kW

使用水量: 2.0m³/s

有効落差: 2.0m

発電開始: 2005.10



山小屋の電源

目的：山岳環境の浄化

設置年：平成14年11月

場所：長野県茅野市

八ヶ岳 山小屋「赤岳鉱泉」

用途：合併浄化槽及び山小屋照明用電源

$H = 26.41 \text{ m}$

$Q = 0.065 \text{ m}^3 / \text{s}$

$P = 9.4 \text{ kW}$

山小屋の生活排水、し尿による山岳環境の汚染防止のため環境省の補助金を活用して合併浄化水槽を設置し、主としてその電源を賄うためマイクロ水力発電装置を設置した。



浄水場施設の電源

目的：電力会社の電気が通じていない唐古浄水場に
自前の水力発電により電源を確保する。

設置年：平成15年6月

場所：三重県度会郡大内山村

用途：浄水場の監視システム電源

$H = 2.5 \text{ m}$

$Q = 0.02 \text{ m}^3/\text{s}$

$P = 2.5 \text{ kW}$

