マイクログリッドと
マイクロ水力発電

宇都宮大学大学院
工学研究科　電気電子システム工学専攻
准教授　船渡　寛人

1. はじめに

- 環境問題、化石燃料の枯渇
- 自然エネルギー開発の必要性
- 大規模水力発電の
  技術は成熟・適地減少
- 中小水力に注目→　包蔵水力エネルギー 12,135MW

▶

新エネルギー法,H9

1000kW以下、流れ込み式水力
⇒新エネルギーに位置づけ

NEDO
「マイクロ水力発電導入ガイドブック」,H15

100kW以下⇒「マイクロ水力発電」

マイクロ水力発電の研究開発事例

- 水路、水車、発電機に関する基礎検討

※　崇城大・菊池ら「マイクロ水力発電の研究」,平13 電気学会全大　など

- 設置事例、製品化事例

那須疎水

浄水場、農業用水、工場、など　10kW～1000kW程度が多い。

1kW前後は実用例少ない。

リッター水力発電(シンフォニアテクノロジー)

スモールハイドロストリーム(シーベルインターナショナル) など

電気システムの研究が少ない。

マイクロ水力発電の設置例

所在地	栃木県那須塩原市戸田地先
管理	東京発電
設置地点	農業用水路
発電方式・落差	流れ込み式・28m
最大出力	340kW
最大使用水量	1.6m^3/s
年間発電量	2340MWh
水車	フランシス水車
発電機・水車	三相同期発電機

那須野ヶ原発電所

http://www.nasu-lid.or.jp/hatuden/hatuden_top.htm

発電所	嵐山保勝会水力発電所
所在地	京都市右京区嵯峨天竜寺
発電出力	5.5kW
発電機	三相誘導発電、200V、 12極、60Hz
備考	渡月橋照明設備の利用

京都嵯峨嵐山

通常水力～中小水力

土木設備、機械機構、電気設備の連携活用

マイクロ水力

土木、機械設備　最小 or コンセプトの違う機構

既存の段差、水流、利水や生物への影響小

電気制御の有効利用

→　パワーエレクトロニクス技術の活用

kWオーダーだと汎用品も使用可能

農業用に昔使っていた。

身の丈に合っている。→大規模発電所はちょっと

自分で賄っている感じ→ロマンを感じる

水のエネルギー

[位置エネルギー]

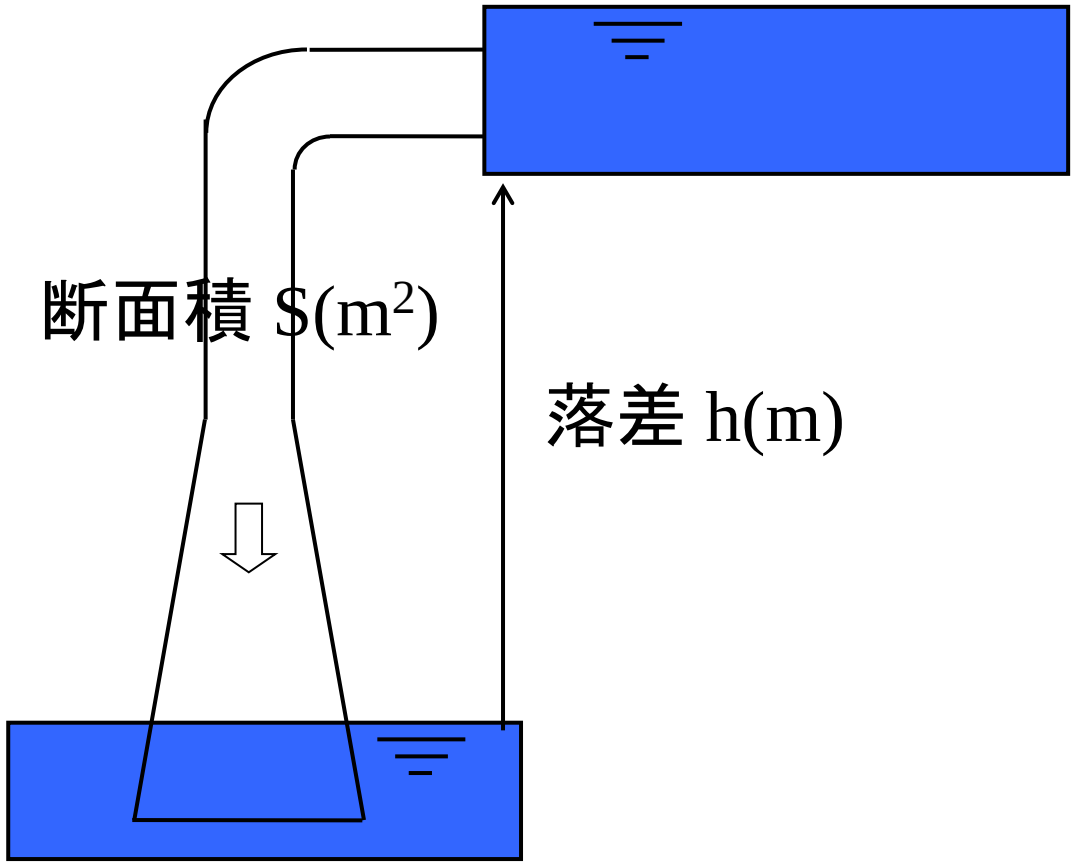
$$mgh$$

落差　1m,　流量　$0.2\mathrm{m}^3/\mathrm{s}$ →　約2kW

単位時間当たり

$$9.8Qh\ [\mathrm{kW}]$$

ただし：流量 $Q(\mathrm{m}^3/\mathrm{s})$



[速度エネルギー]

$$\frac{1}{2}mv^2$$

単位時間当たり

$$\frac{Q^3}{2S^2}\ [\mathrm{kW}]$$

断面積 $0.5\mathrm{m}^2$, 流量　$0.2\mathrm{m}^3/\mathrm{s}$ →　0.016kW

発電モデル調査・検討例

栃木県の山間から平野部に続く河川・用水路が多いことから、マイクロ水力発電モデルを検討
（小規模発電：数100W～数KWを集める）

（ア）河川ﾓﾃﾞﾙ－鹿沼市 大芦川流域、黒川流域

（イ）平地農業用水路ﾓﾃﾞﾙ－宇都宮市 石井用水路

（ウ）渓流ﾓﾃﾞﾙ－塩谷町 尚仁沢

（エ）ハイブリッド発電ﾓﾃﾞﾙ

● 河川モデル：大芦川 古峰神社参道流域

古峰神社

6KM

一の鳥居

本流

沢

古峰神社～一の鳥居

- 約６KM
- 標高差３００M
- ３～４mの砂防多い

⇩

約200KWの発電

（一般家庭の400戸分の電力消費量）

● 渓流モデル：尚仁沢（塩谷町）

流量
1m³

落差
10m

50kw水力発電計画（プロペラ水車）があったが、送電距離が大きく中止。

実験水路候補としてCエネ研で調査

農業とクリーンエネルギーの親和性

●エネルギー源
　農業用水・バイオエネルギー源・広い土地（太陽光など）

●エネルギー利用
　動力（ポンプ・農業機械）、照明、熱

●コンセプトの類似
　循環型、地域環境

低コスト化の必要性

1kW発電定格を仮定。
電力料金：1kWh=20円、稼働率90%と仮定。

1年間の発電電力量　1×24×365×0.9 = 7,884kWh
1年間の稼ぎ　7,884×20 = 157,680円

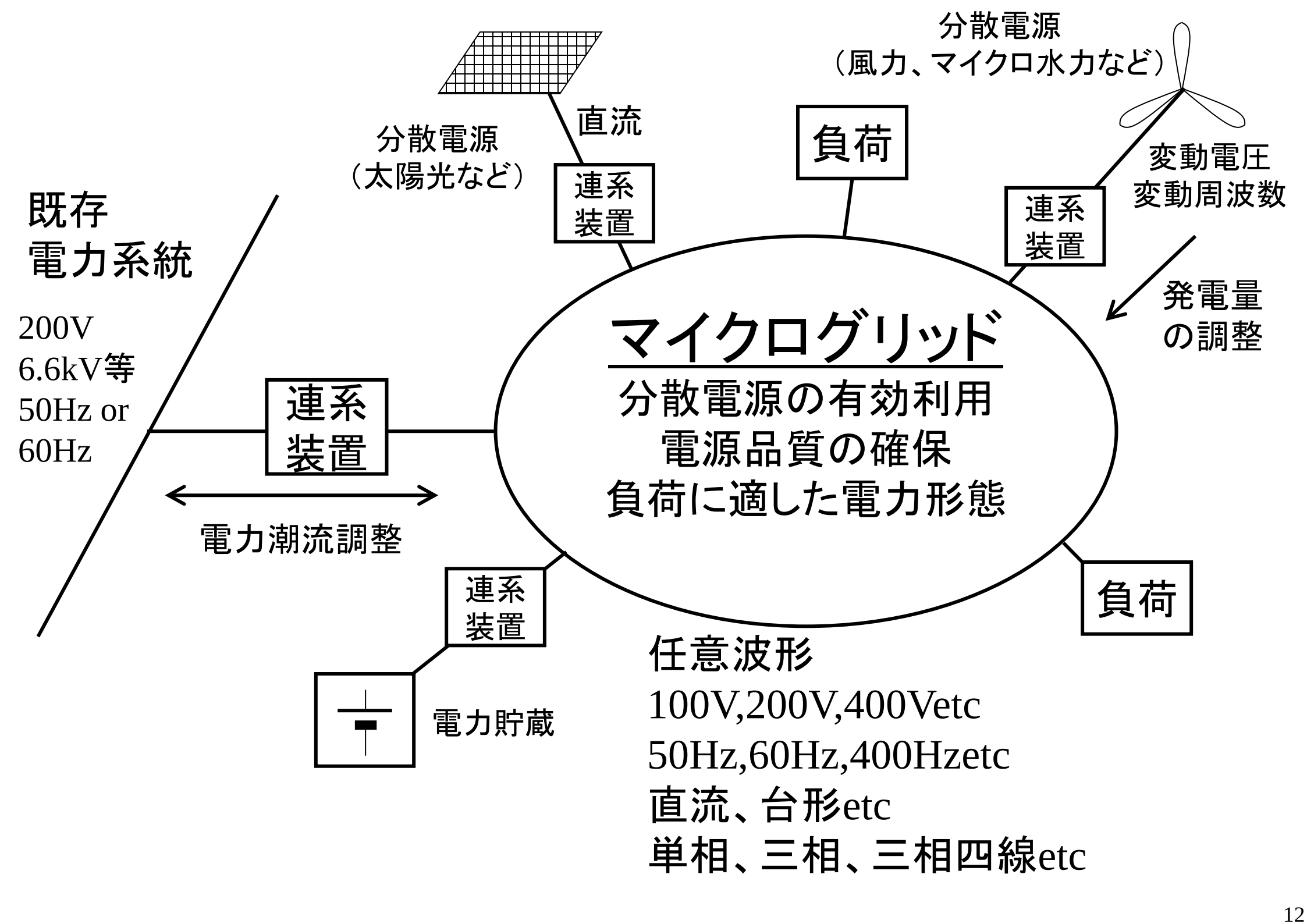
10年で償却としても、150万円

本研究の最終目標

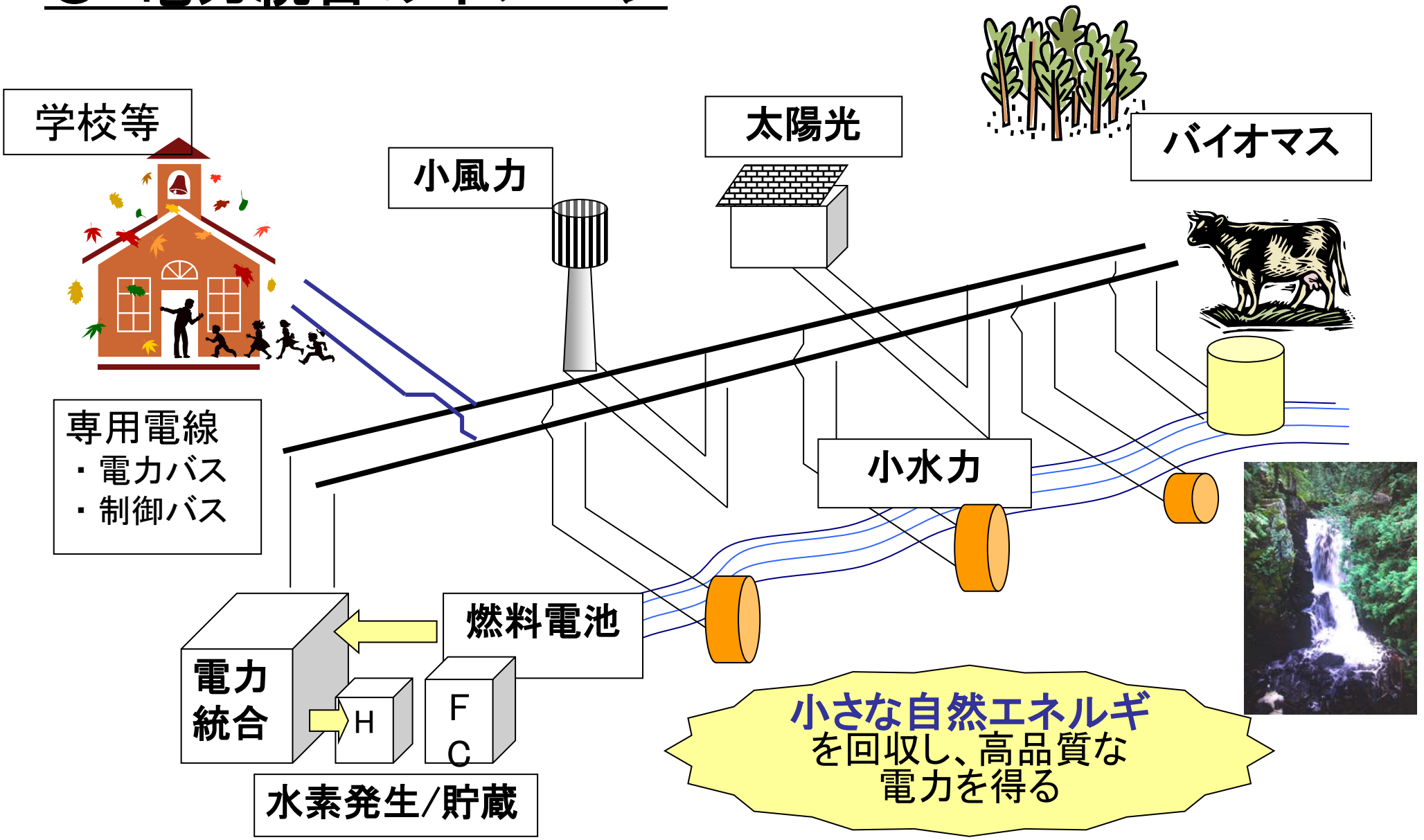
構造面：汎用品・小規模・簡易設備
技術面：水車および発電機の最大出力制御

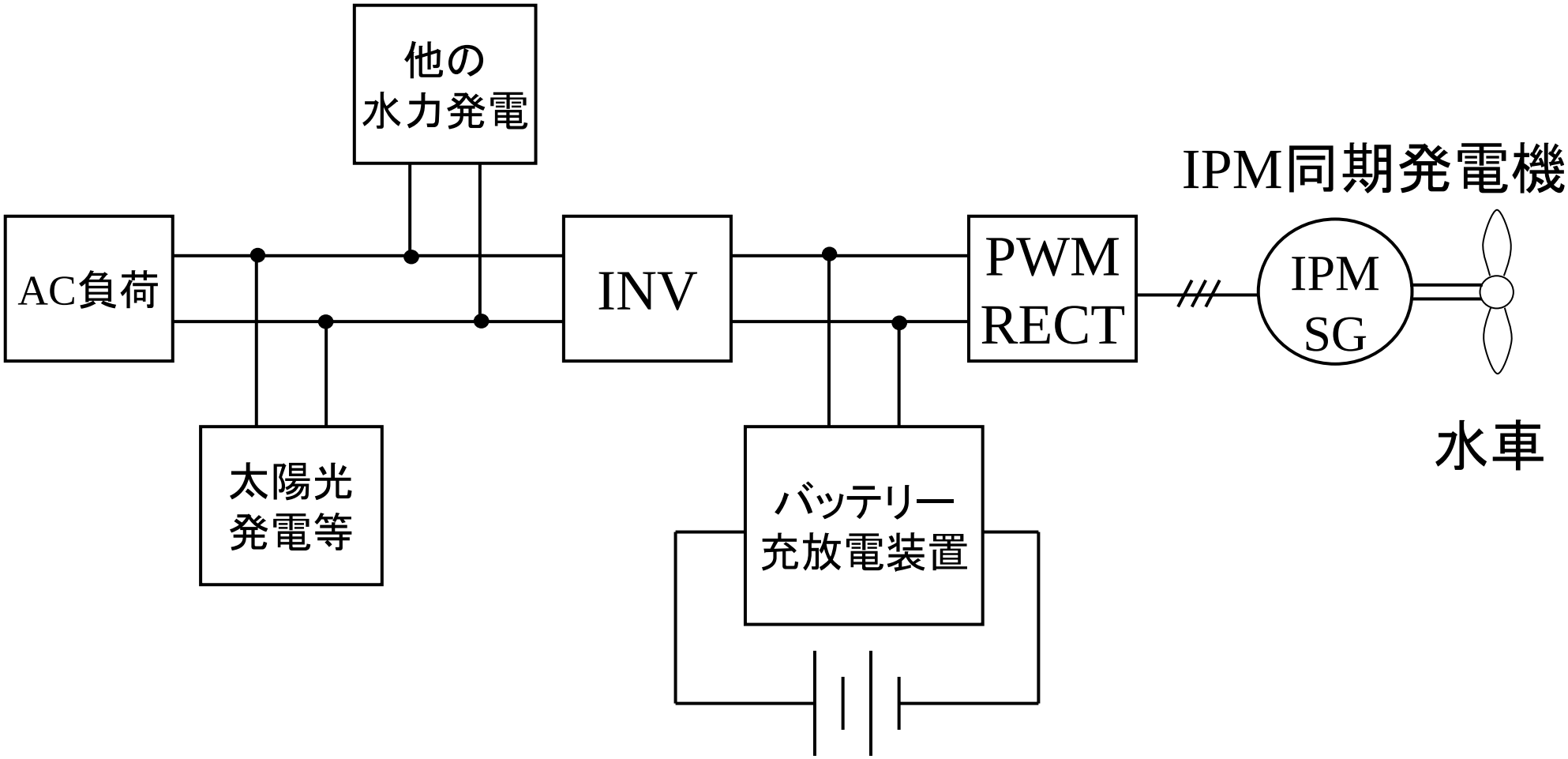
▶ 高効率で低コストな
マイクロ水力発電システム

発電機単体ではなく、マイクロ水力＋蓄電＋他のエネルギー＋不可制御＝マイクログリッドの観点を活用したシステム化


分散電源
（風力、マイクロ水力など）
分散電源
（太陽光など）
直流
負荷
変動電圧
変動周波数
連系
装置
連系
装置
既存
電力系統
200V
6.6kV等
50Hz or
60Hz
発電量
の調整
マイクログリッド
分散電源の有効利用
電源品質の確保
負荷に適した電力形態
連系
装置
電力潮流調整
連系
装置
負荷
電力貯蔵
任意波形
100V,200V,400Vetc
50Hz,60Hz,400Hzetc
直流、台形etc
単相、三相、三相四線etc

● 電力統合のイメージ


学校等
小風力
太陽光
バイオマス
専用電線
・電力バス
・制御バス
小水力
燃料電池
電力
統合
H
F
C
水素発生/貯蔵
小さな自然エネルギ
を回収し、高品質な
電力を得る



マイクロ水力発電を核としたマイクログリッドの一例

電力統合技術

● 発電機制御･電力変換技術の応用

商用系統
(50,60Hz)

最大効率制御

燃料電池
太陽電池

DC

電力変換器

負荷

電力潮流制御

半導体スイッチ

水力･風力
交流発電機

AC

電力変換器

電力変換器

IPM発電機制御

電力の平準化

エネルギー
貯蔵

電力変換器

全体の電力制御

1. これまでの研究

- 太陽光発電や風力発電
  出力変動が大きいという欠点
- マイクロ水力発電
  簡易な設備で比較的安定した発電可能
- 可変速マイクロ水力発電システム
  IPM 発電機, DSP コア組込みFPGA
  1. 大学内で発電機制御や変換器の実験を行うために模擬発電システム
  2. 実際の河川でフィールド試験(出力1 kW)
- 負荷制御も含めた、トータルシステムの研究
  負荷側変換器、配電方法、負荷の利用法
- マイクロ水力発電に適した、系統連係インバータの開発（ディジタルヒステリシス制御）

低コスト化

汎用品を利用

市販のポンプ　→　水車

工場で使用する汎用モータ　→　発電機

系統連係装置（インバータ、整流器）

→　これは、専用品。できるだけ、簡略化。

低コスト化＋高信頼性

メンテナンス、点検の必要製　→　高コスト化

系統連係装置（インバータ、整流器）
→　これは、専用品。できるだけ、簡略化。

信頼の置ける回路、制御方法。
負荷変動（条件変化）に強い制御方法
→　枯れた技術を、最新のハードウエアで

発電機出力1kW

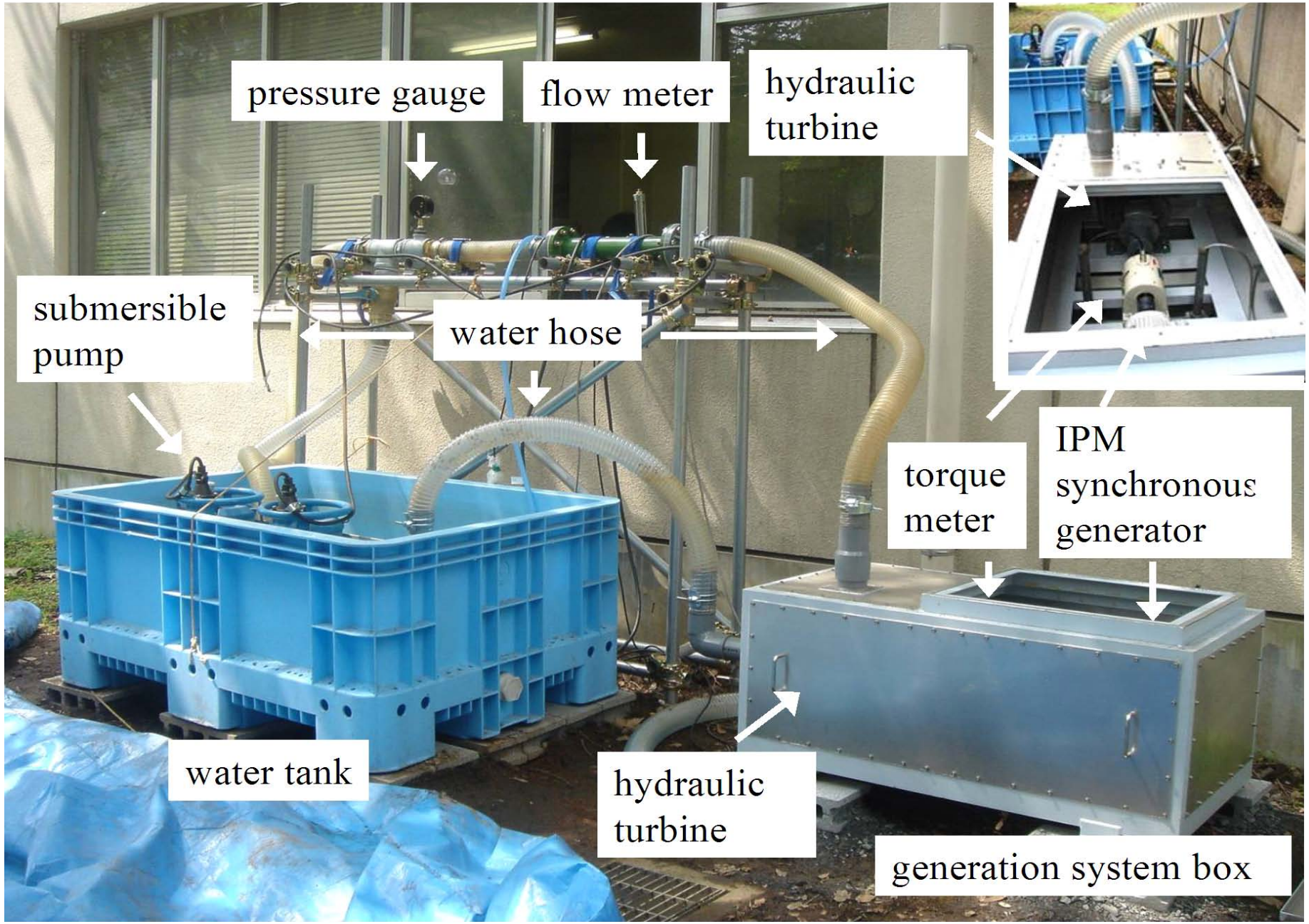
流れ込み式マイクロ水力発電システム

発電機出力750W

サイフォン式マイクロ水力発電システム

【フィールド試験の問題点】
- 設置期間の制限（水利権）
- 実験条件の制約（落差一定、流量調整困難）

種々の設置条件および運転状態を模擬できるマイクロ水力発電システム試験装置の必要性



マイクロ水力発電システム試験装置の全体写真

2. システム構成

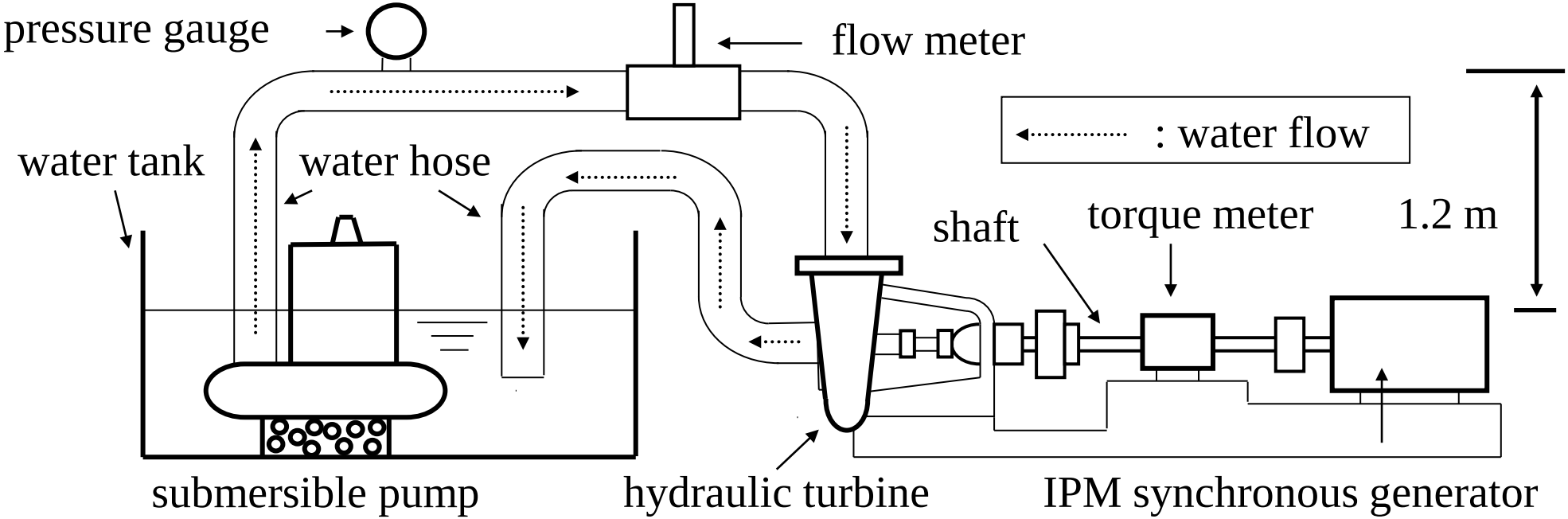
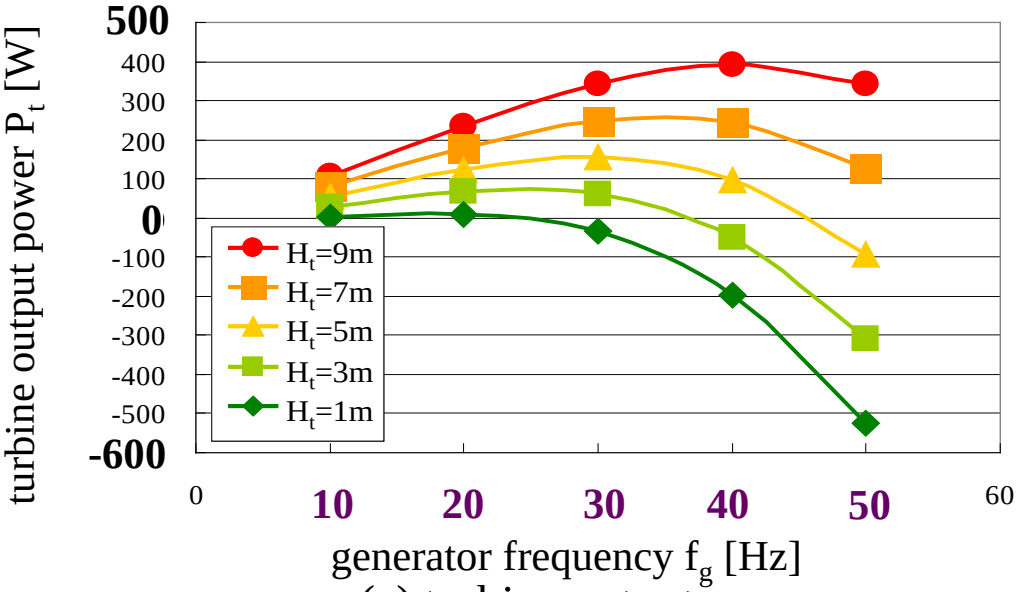


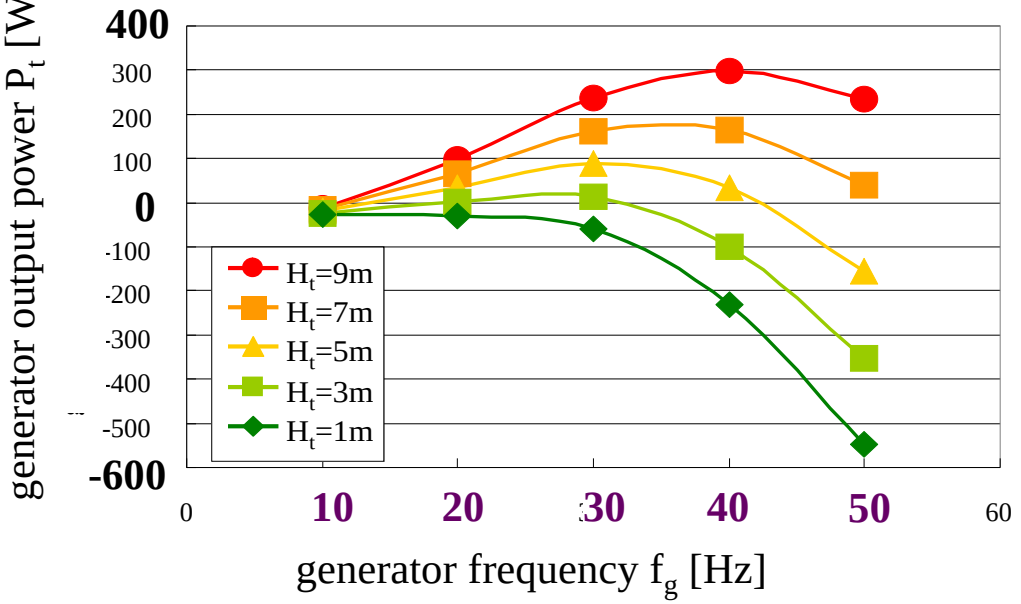
図4　マイクロ水力発電システムの構成

表1　水車および発電機の定格

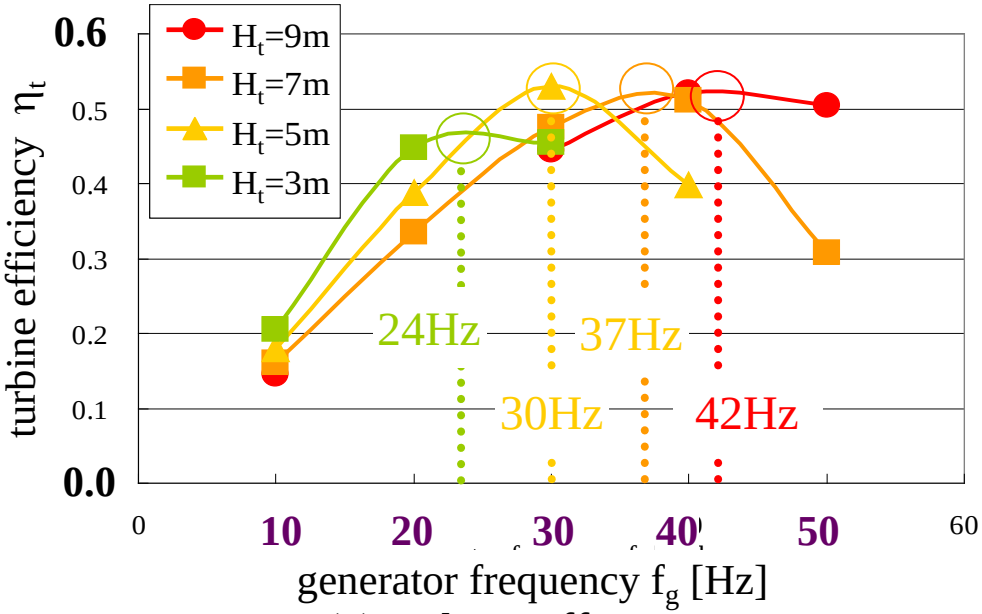
hydraulic turbine			IPM synchronous generator		
model	鶴見製作所 TON2-80ME2.2		model	安川電機 SSR1-21P5BFN-SO	
discharge	0.50	m^3/min	rated power as motor operation	1.5	kW
total head	12.7	m	frequency	72.5	Hz
water power	1.85	kW	poles	6	
pump eff.	55	%			



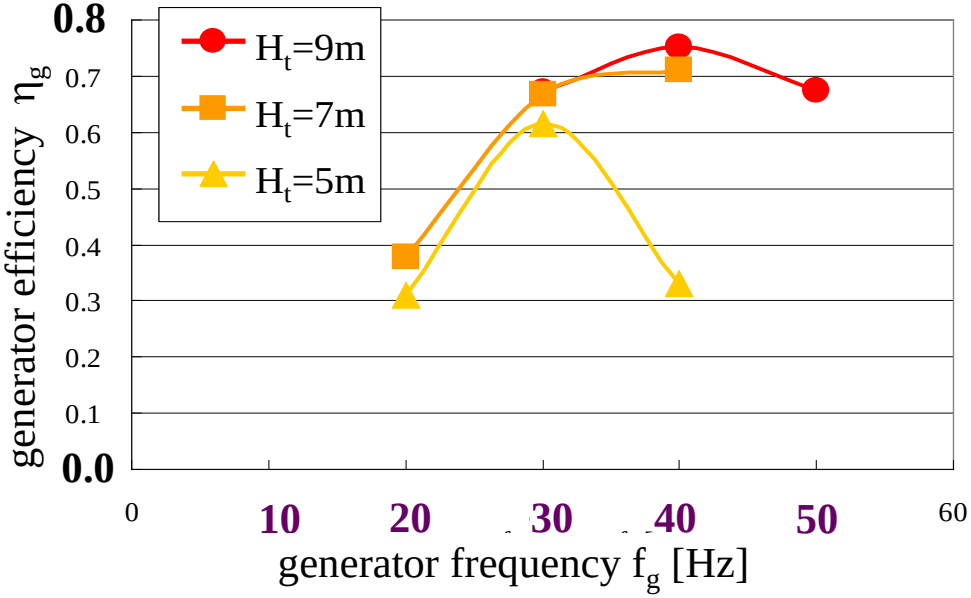
(a) turbine output power



(b) generator output power

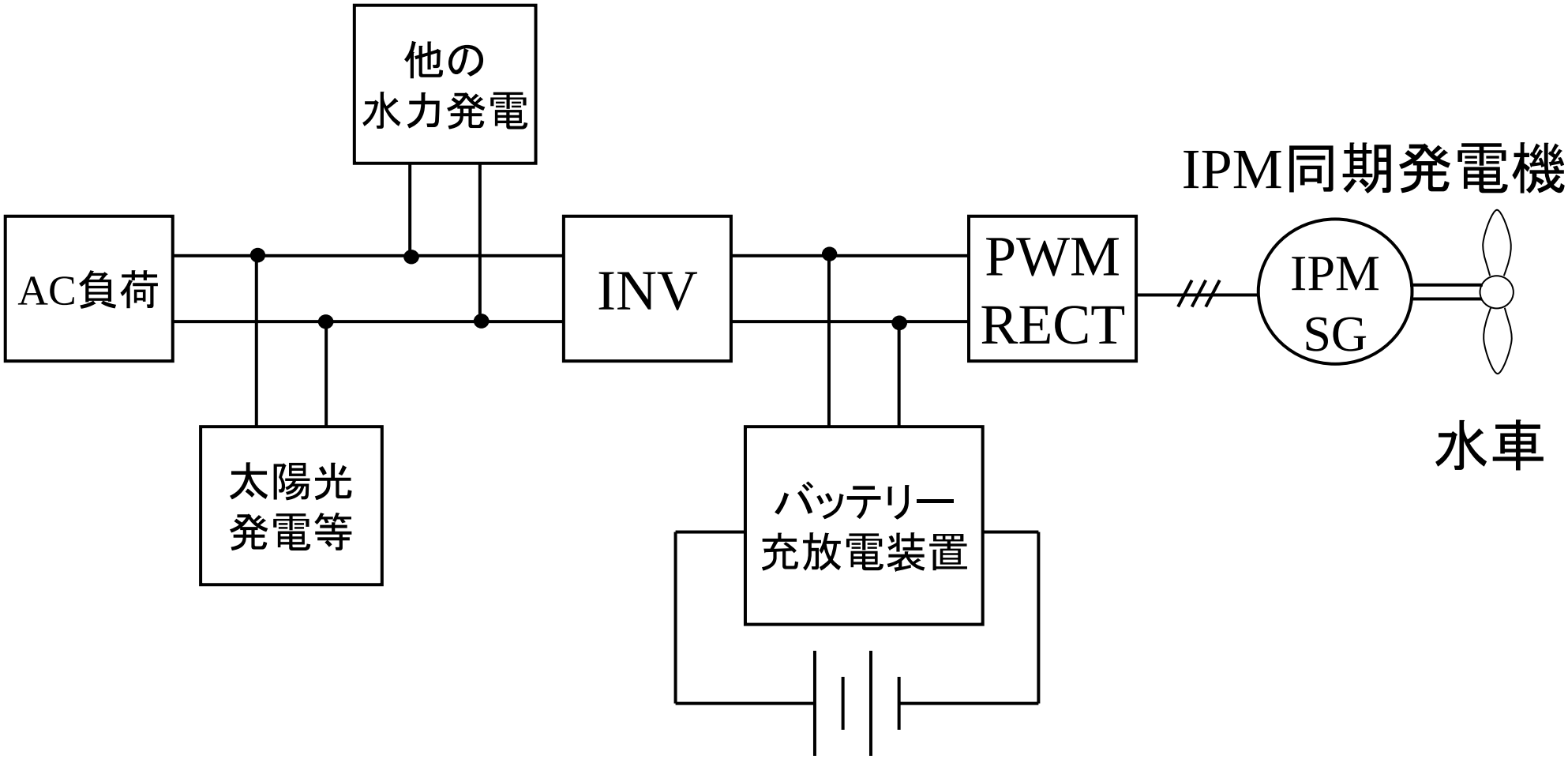


(c) turbine efficiency



(d) generator efficiency

試験結果例：発電機周波数に対するパワーおよび効率特性（水頭一定）



マイクロ水力発電を核としたマイクログリッドの一例

2. 提案電流制御

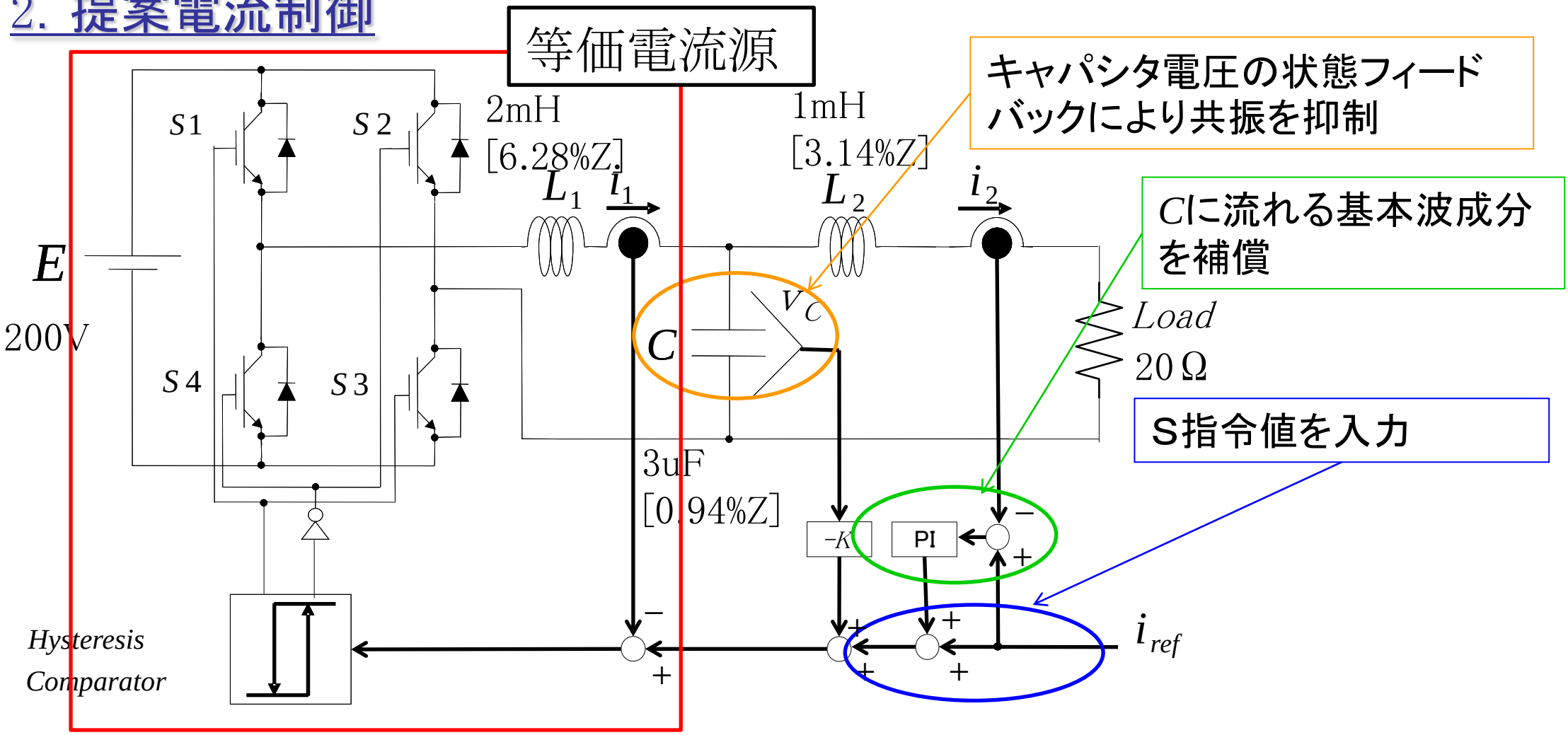


図4　提案電流制御法を適用した電流制御回路

表1　システムパラメータ

V_S	:100V
Load rate	:1kVA
Utility freq	:50Hz

5. 実験結果

良好な追従特性を示している

共振現象が抑えられている

スイッチングリプルが取り除かれている

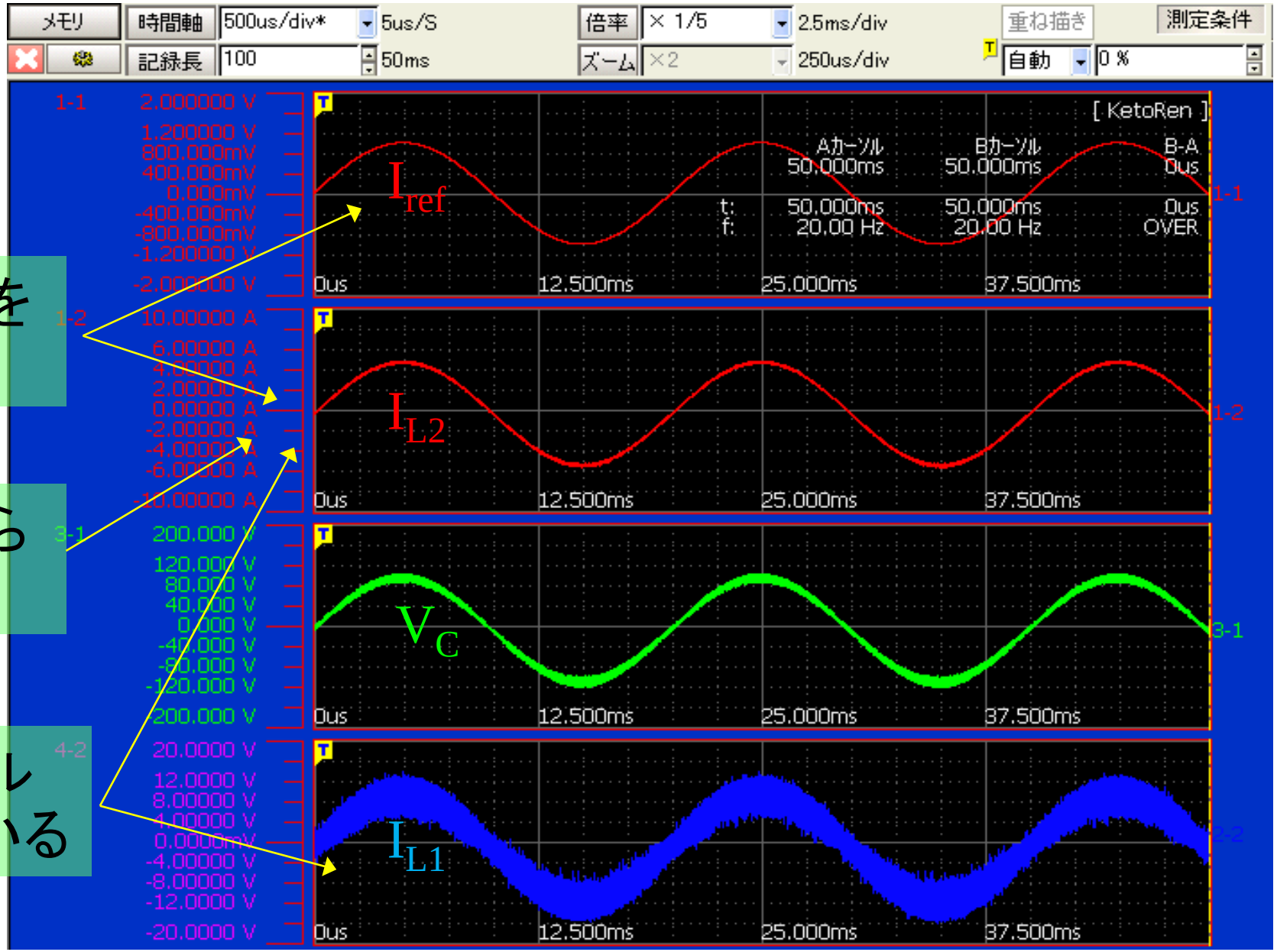


図17　実験結果

想定される業界

- 利用者･対象

  農業用水、工業用水、浄水場、下水処理場

  その他水流が存在する場所

実用化に向けた課題

- 市販ポンプ＋汎用電動機で300W程度の発電確認。
- 河川で専用水車＋汎用電動機で1kW程度の発電は確認。
- 系統連係装置を開発中。
- 落ち葉などのゴミ対策が必要。
- 種々の汎用ポンプを用いた発電可能性の追求

企業への期待

- ポンプ水車については、企業との共同研究を希望。
- 実用化試験を実施したい。
- 他の新エネルギー関連産業との連携も期待できる。蓄電装置などとの連係も必要。