

2020年度 再エネ講座シンポジウム2020/12/15 9:00-17:00

電力系統安定化のための 自律的消費電力制御

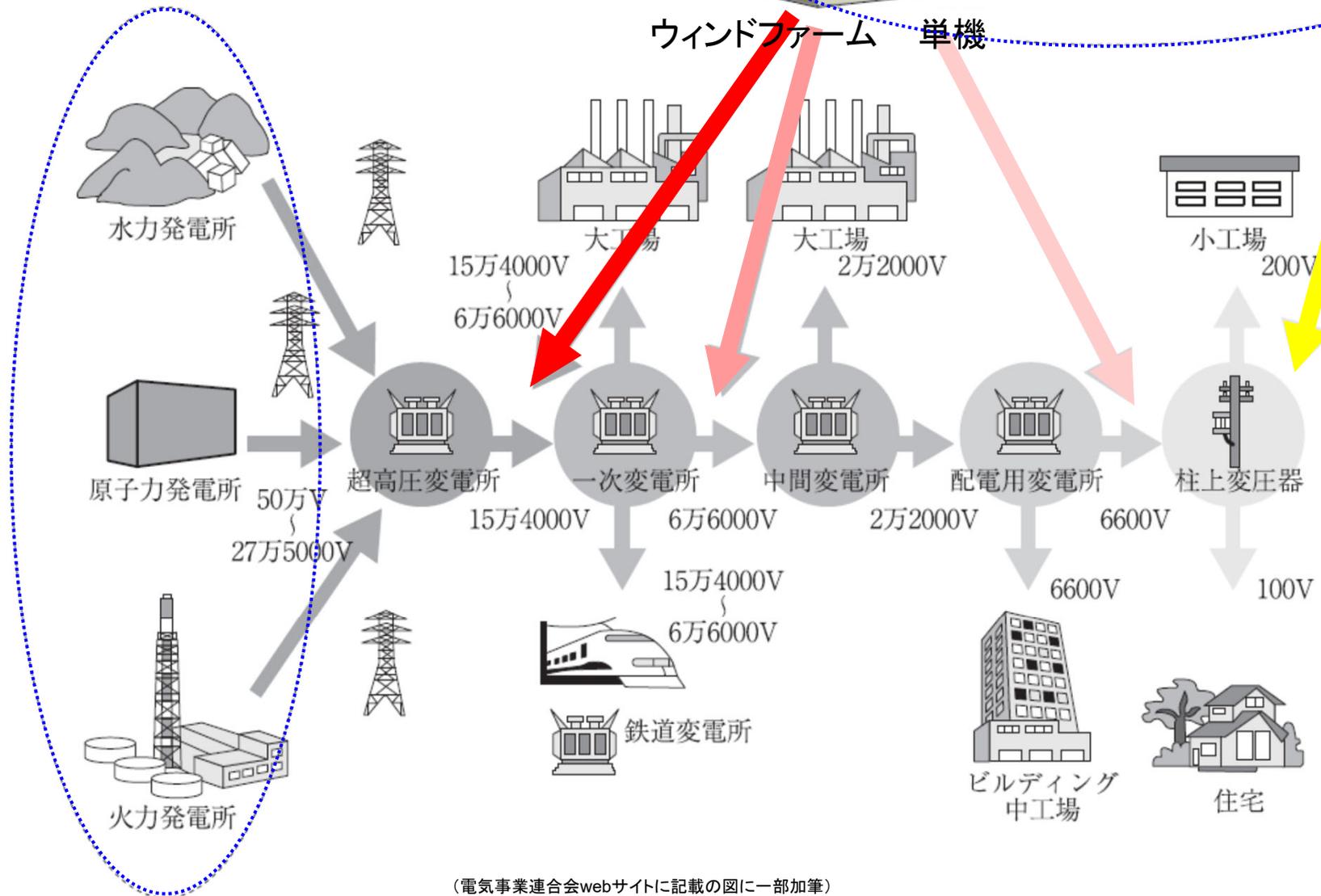
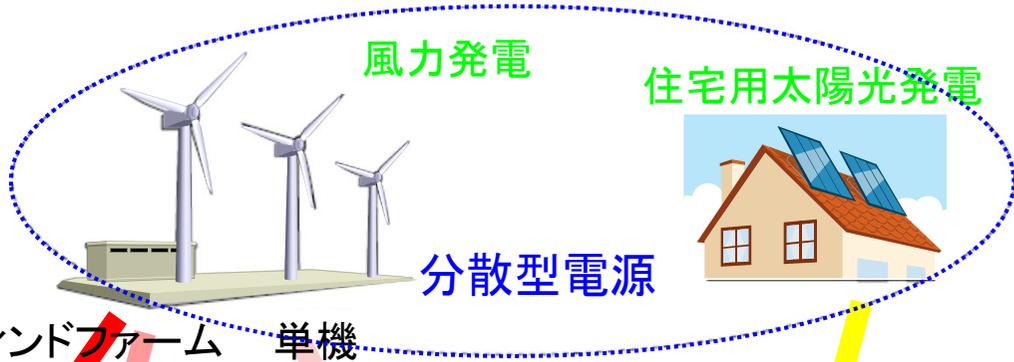
東京理科大学

理工学部 電気電子情報工学科

近藤潤次

電力システムのしくみ

大規模集中型電源



(電気事業連合会webサイトに記載の図に一部加筆)

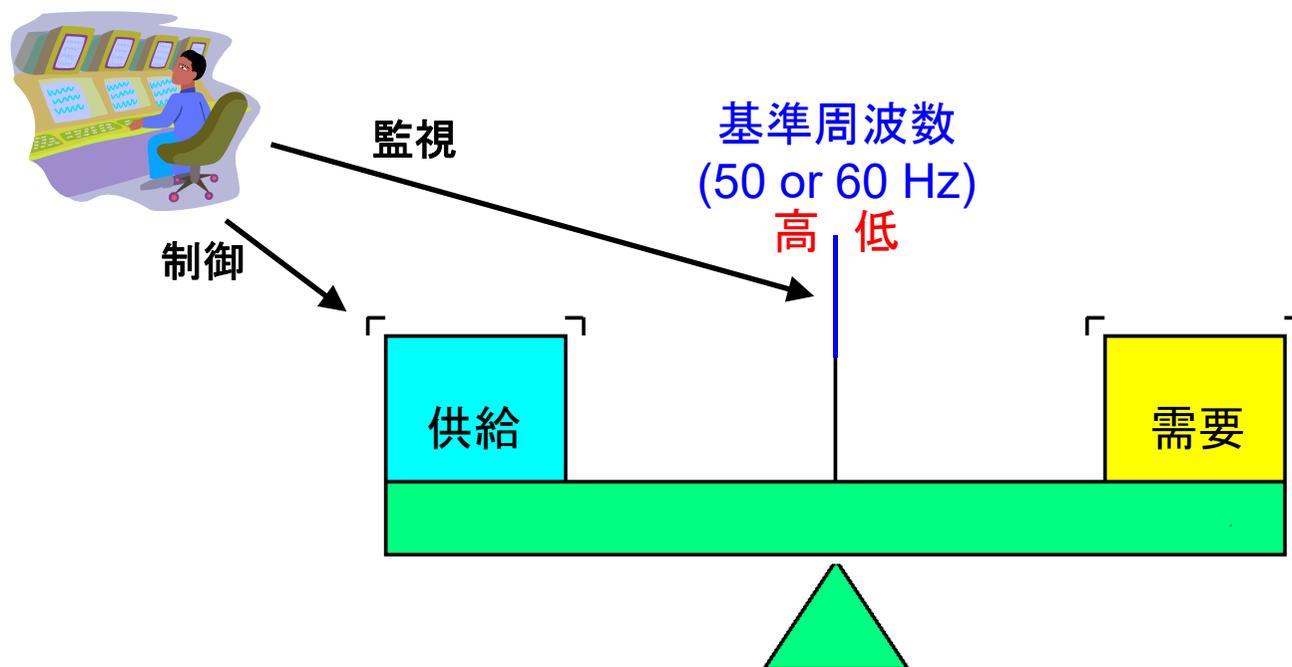
分散型電源の大量導入時に 電力系統に生じる主な問題

問題点	現象	原因	対策	影響エリア	対策箇所
周波数変動	電力系統の周波数(50Hzまたは60Hz)が変動	系統全体での需要と供給のアンバランス	分散型電源の出力変動の平滑化, 補償	系統全体	系統全体
線路混雑	脱調(同期を保てなくなる)または電線の過熱	安定度限界や電線許容電流を超える電力伝送	線路の増強, 安定度の向上	当該線路を通るエリア	当該線路
電圧変動	規定範囲(101±6V, 202±20V)の逸脱	配電系統内電力潮流の複雑化	配電系統電圧調節方式の高度化	配電系統	配電系統
単独運転	停電時における分散型電源の運転継続	分散型電源の単独運転検出不良	検出法の改良や転送遮断の採用	ローカルな停電区間	PCS内部
一斉解列	電圧・周波数擾乱時の分散型電源の運転停止	PCS等の機器の制御アルゴリズムの未対応	制御アルゴリズムの改良(FRT対応)	系統全体	機器内部

電力系統の周波数変動と需給調整

- アンバランスは周波数変動を招く
 - ✓ 供給側: 火力発電のタービン翼の共振による疲労破壊や寿命短縮
 - ✓ 需要側: 電動機の回転数変動による製造品の品質低下
- 日本の目標: 周波数偏差を $\pm 0.2 \sim 0.3 \text{ Hz}$ 以内に抑える

中央給電指令所



消費電力調整が容易な負荷

- 熱負荷: 蓄熱効果により消費電力の変動を許容
- 非緊急負荷: 運転開始時刻を変更可能
- 蓄電池: V2Gでなく充電電力の制御のみでも充分

種類	家電製品		可変時間	使用期間	消費電力 可変幅	制御の 容易さ
熱負荷	電気温水器 (含HP式)	夜間加熱	数時間	夜	~5 kW	易
		常時加熱	約1時間	終日		易
	エアコン		数十分	夏と冬	~2 kW	易
	ヒーター			冬	大	易
	冷蔵庫			終日	~0.4 kW	易
非緊急負荷	電気自動車	普通充電	数時間	夜	~3 kW	易
	食洗機		数時間	終日	~2 kW	運転中 は難
	乾燥機				~1 kW	
	洗濯機				~0.4 kW	

長・短周期
変動対策
に有効

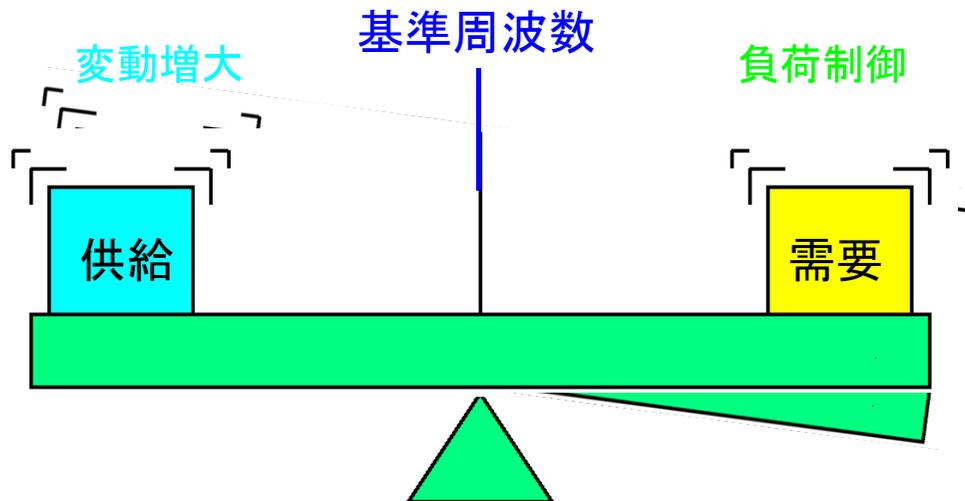
短周期
変動対策
に有効

ピークカット,
ボトムアップ
に有効

風力発電連系可能量増大のための負荷制御

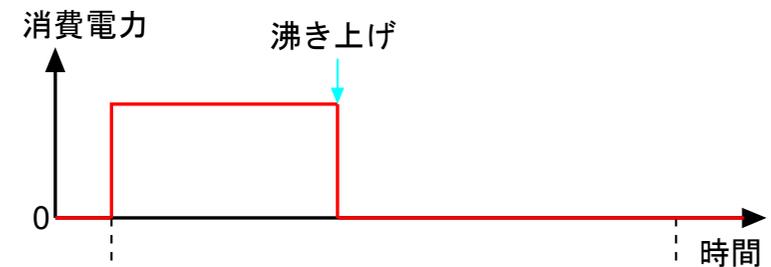
- 出力変動の激しい風力発電の導入増加 → 需給調整能力が不足する懸念(特に深夜)
- わが国の現状対策: 蓄電池を併設して風力発電の出力変動を補償 → 建設費が倍増
- **本研究の提案:** 電気温水器, エコキュート, 電気自動車の普通充電, 等の消費電力を調節して系統需給調整に利用。消費電力量(エネルギー)を変えずに需要家利便性を維持(→ Payback(リバウンド)の回避)

系統需給バランスと周波数の関係

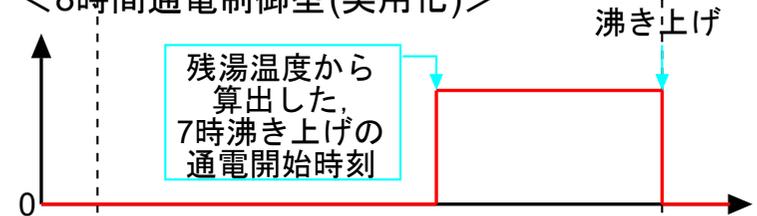


電気温水器の電力消費パターン

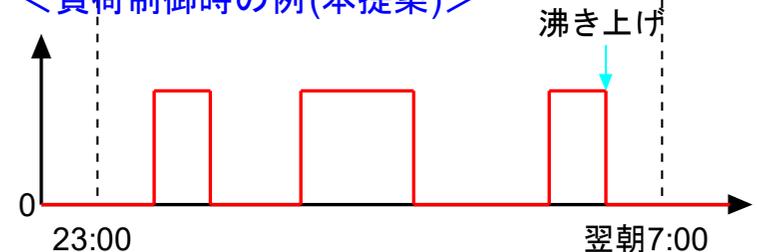
<8時間通電型(実用化)>



<8時間通電制御型(実用化)>

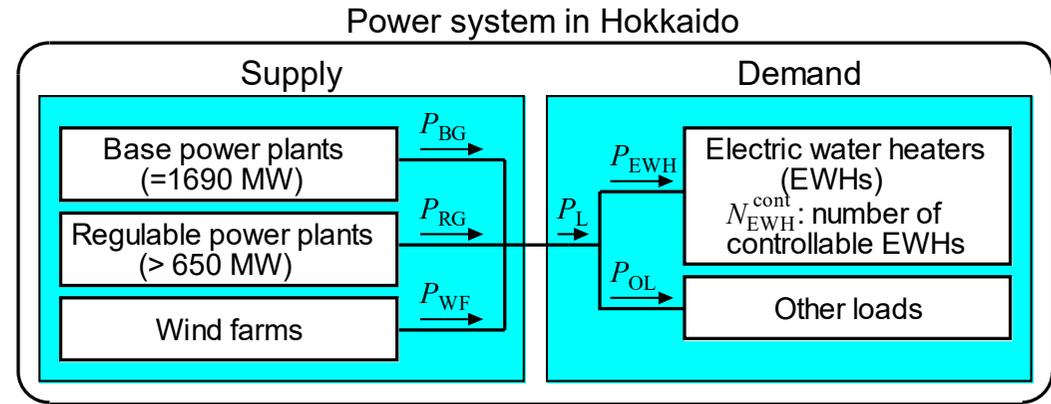


<負荷制御時の例(本提案)>



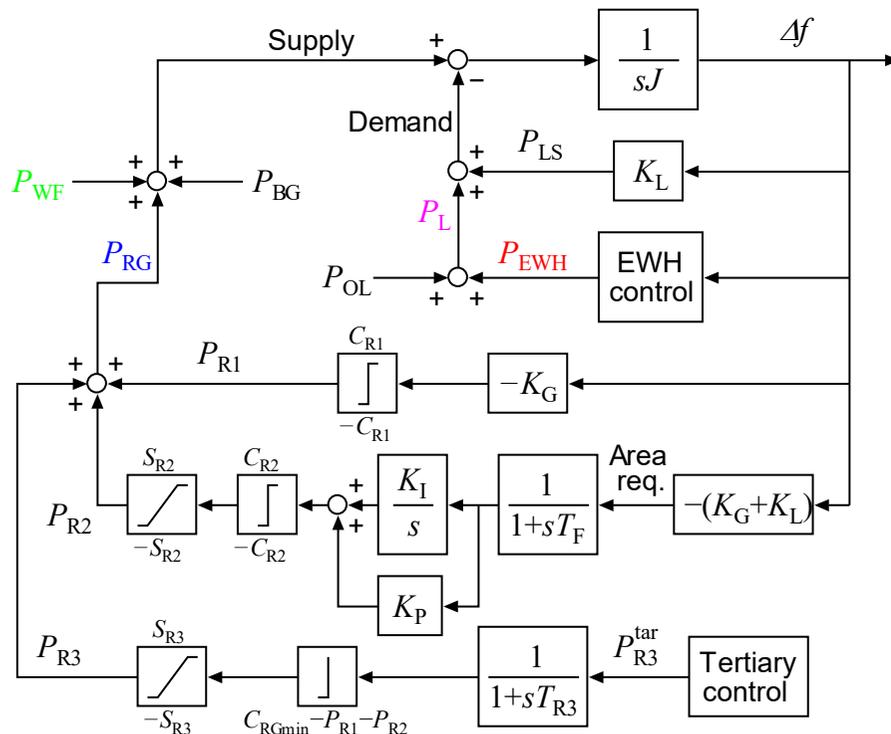
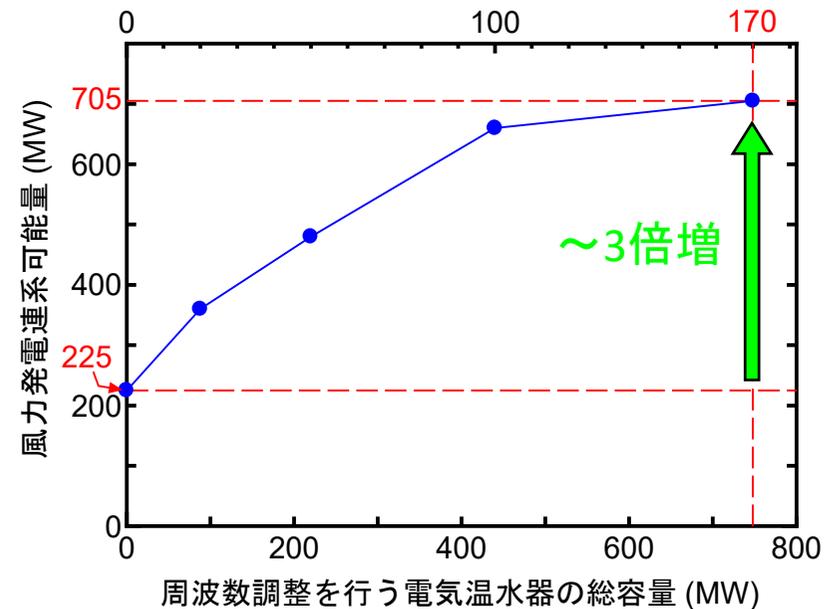
過去の成果1: 数値解析による負荷制御効果の評価

- 対象: 北海道(最低需要2,500MW, 当時の風力連系可能量は 250 MW)
- 可制御負荷: 最大で電気温水器17万台(普及数の7割), 748MW分を制御
- 風力発電: 北海道内15地点の風速値から発電出力を模擬
- 2006年の1年間の夜間を計算



<解析結果>

周波数調整を行う電気温水器の台数 (千台)

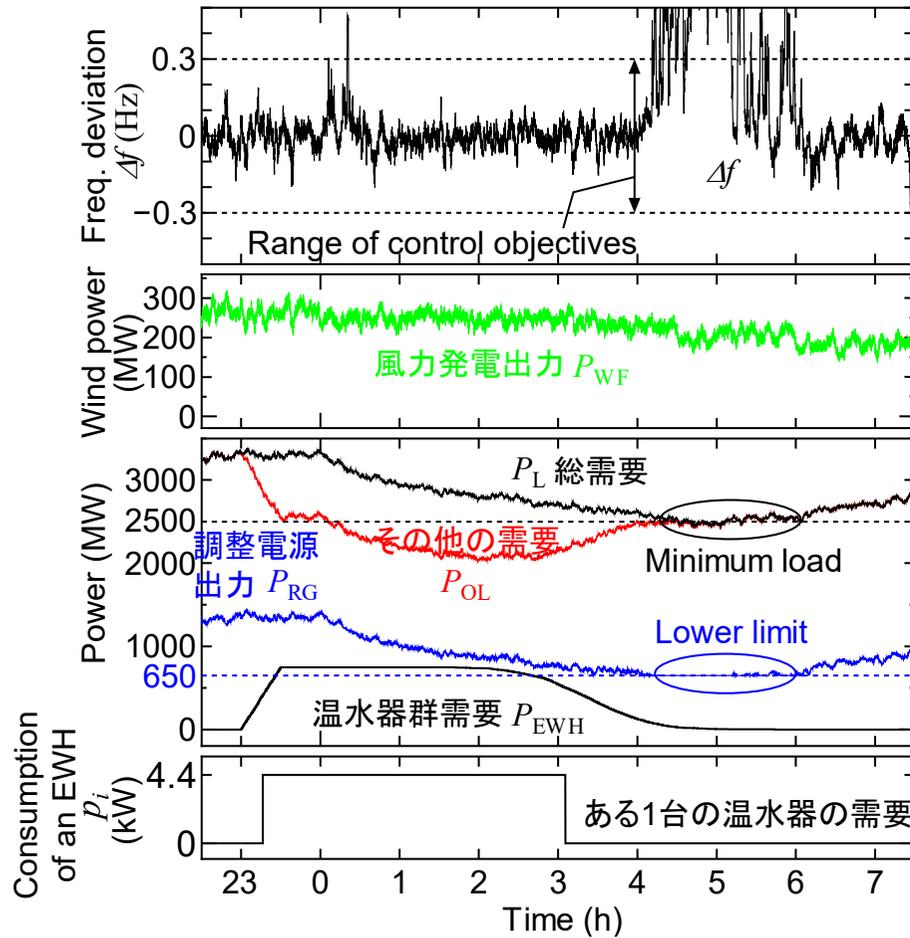


J. Kondoh, "Autonomous Frequency Regulation by Controllable Loads to Increase Acceptable Wind Power Generation", Wind Energy, Vol. 13, No. 6, pp. 529-541, 2010 8

解析例

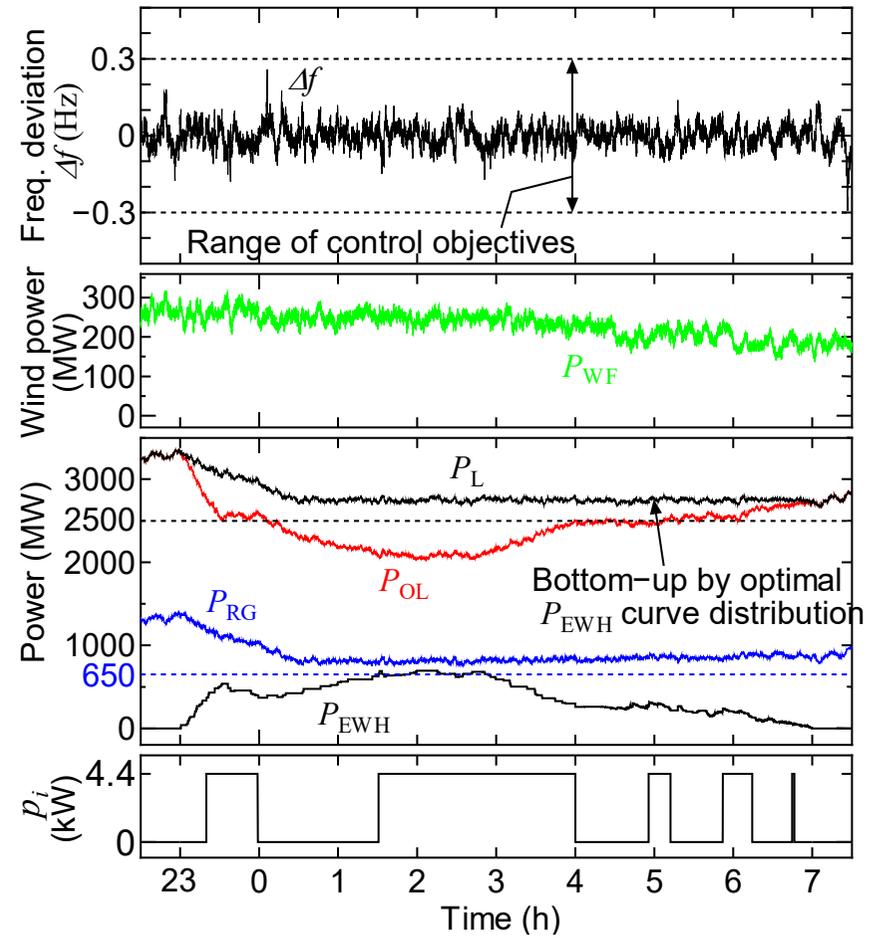
負荷制御を行わない場合

$$(N_{EWH}^{cont} = 0)$$



(自律的)負荷制御を行った場合

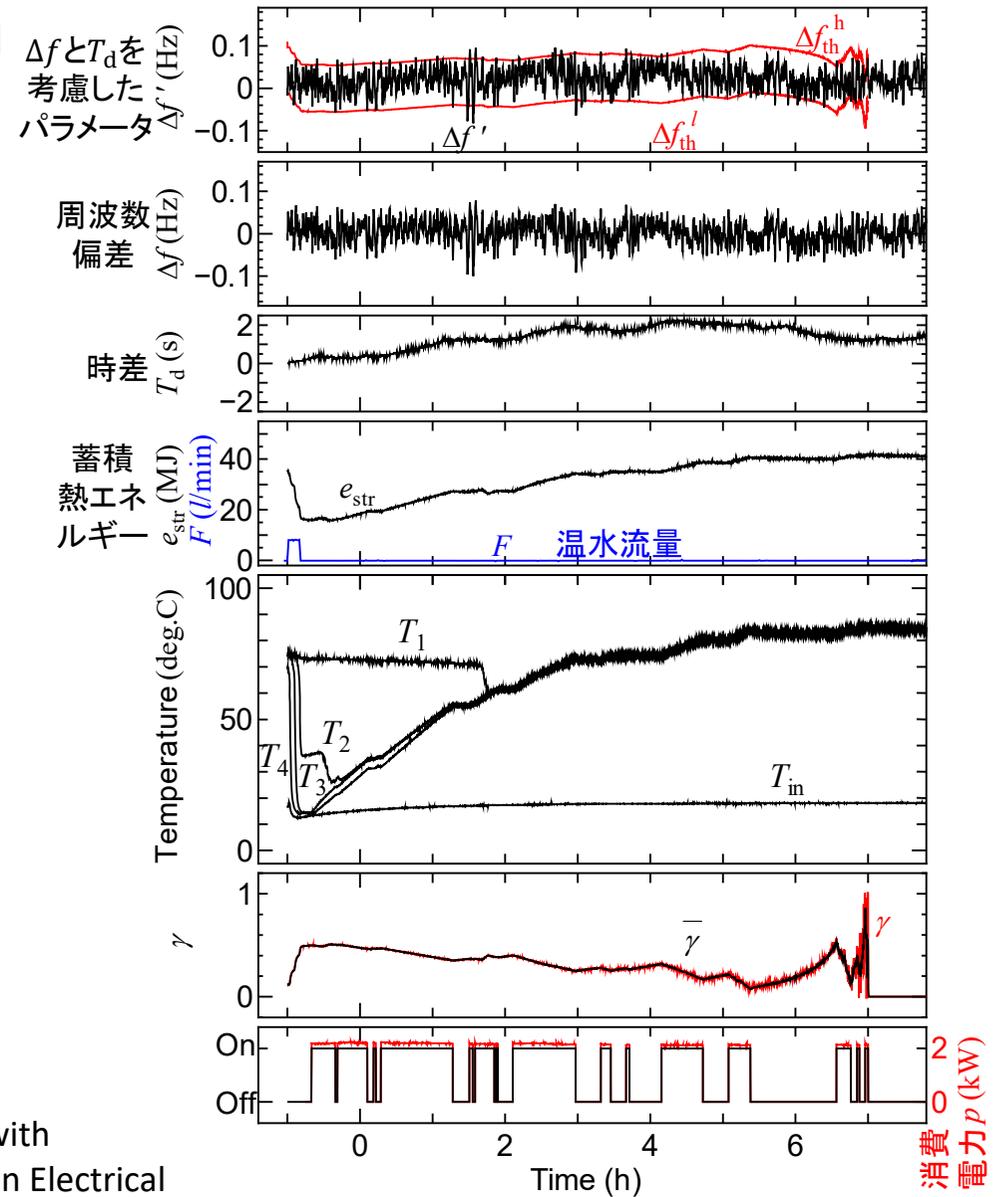
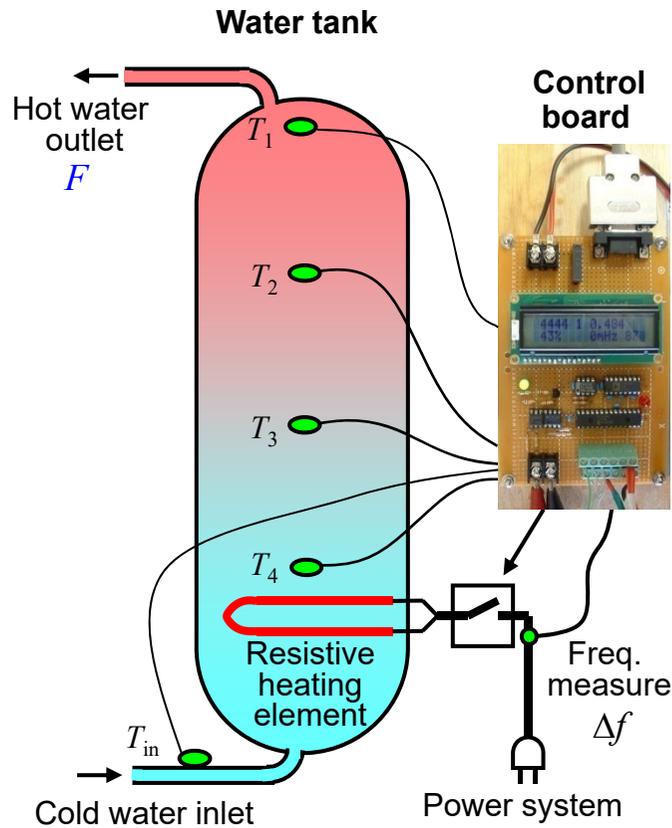
$$(N_{EWH}^{cont} = 170,000)$$



(2006年11月5-6日, 風力発電675MW導入時)

過去の成果2: 制御ボードの作成と電気温水器の試運転

周波数変動に応じたヒータのオン・オフ制御
を行いつつ7:00までの沸き上げに成功



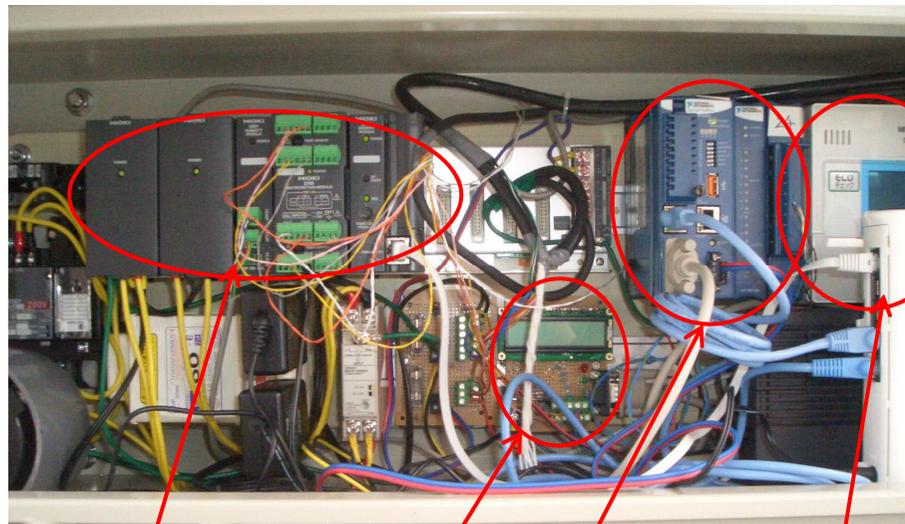
Junji Kondoh, "Experiment of an Electric Water Heater with Autonomous Frequency Regulation", IEEJ Transactions on Electrical and Electronic Engineering, Vol, 8, No. 3, pp. 223-228, 2013

過去の成果3: エコキュートのオン・オフ制御の実証試験

青森県六ヶ所村の住宅3軒にエコキュートを設置して実証試験を実施(六ヶ所村との共同研究, H23/6~H24/3)

室外機と制御・計測器ボックス

制御・計測器ボックス内部の配置



計測器
(HIOKI 2300)

制御ボード

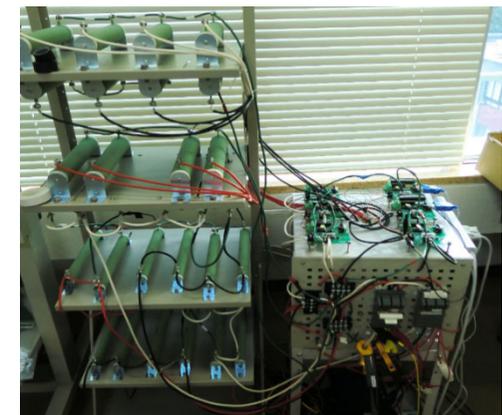
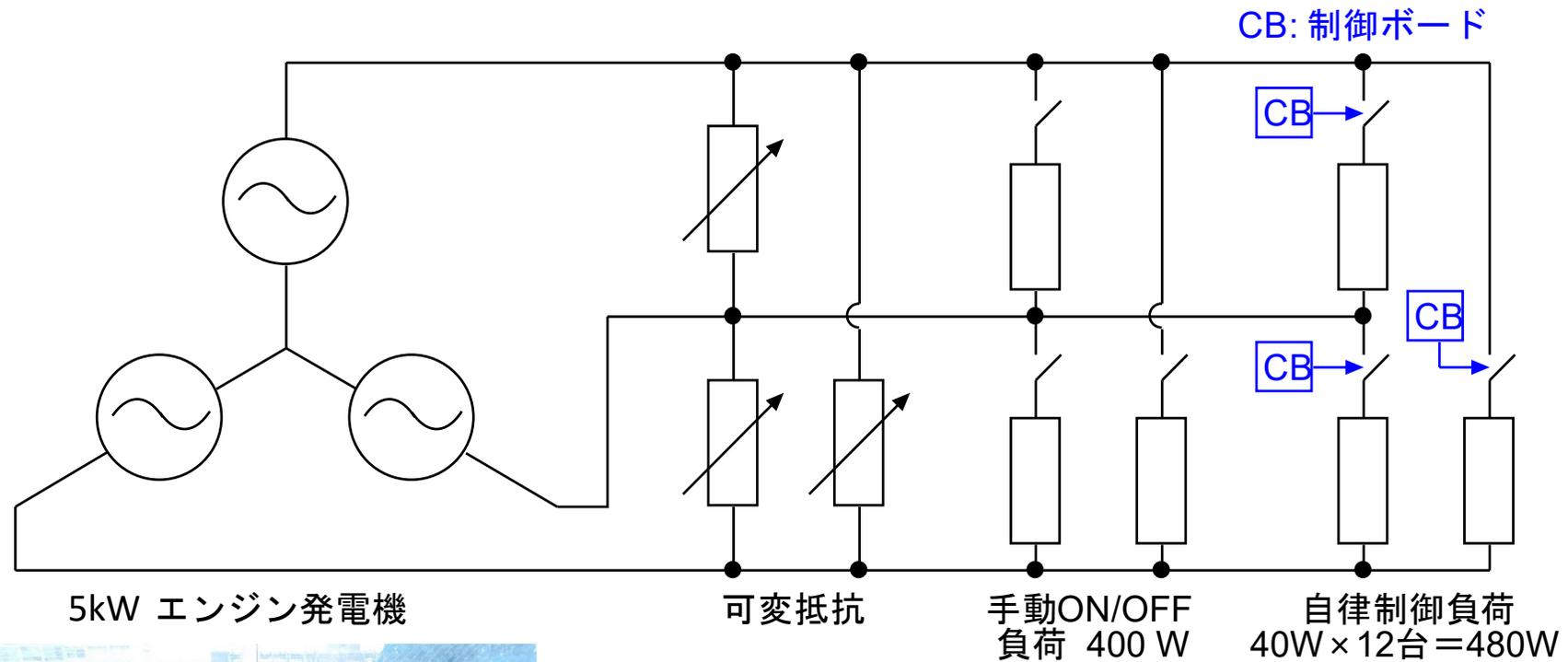
エコキュートリモコン

リモコン制御・データ通信



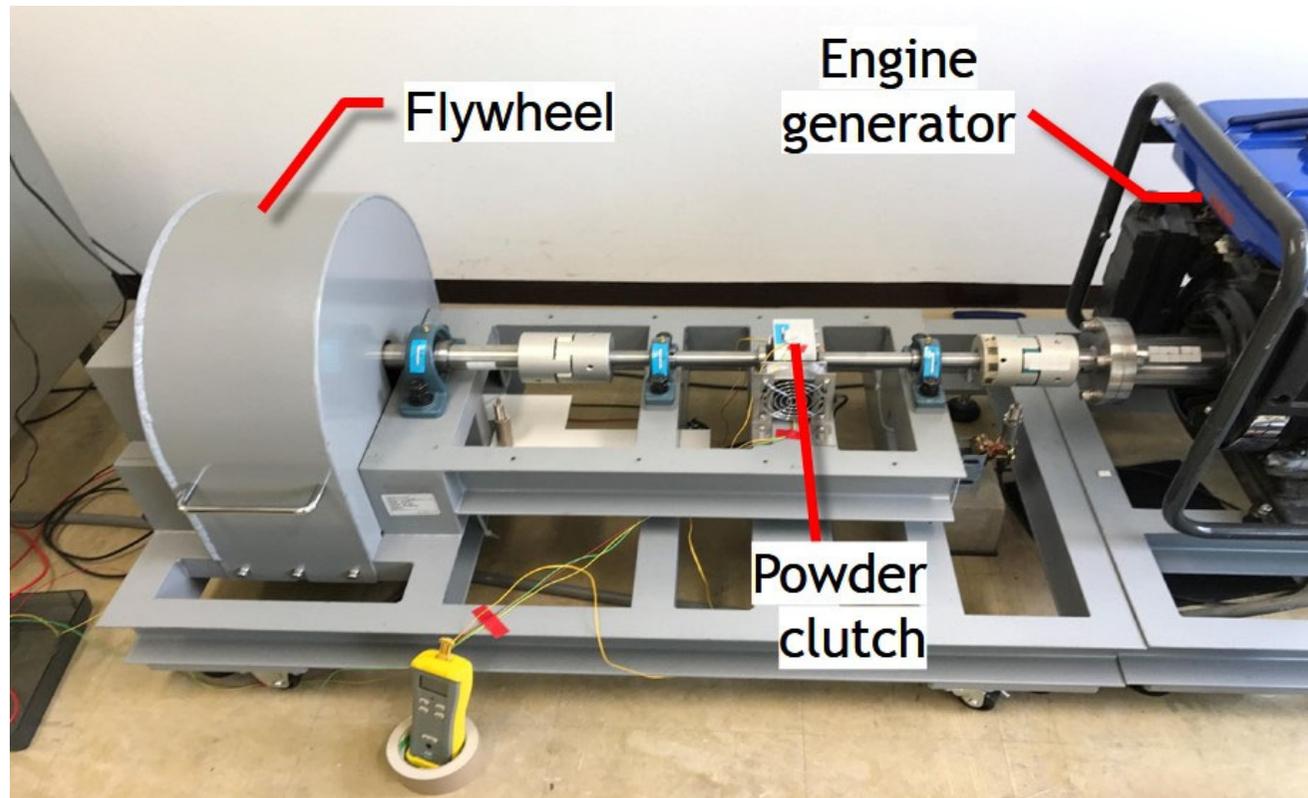
近藤 潤次:「周波数調整を行うヒートポンプ給湯機の実証試験」,
電気学会論文誌B, Vol. 133, No. 11, pp. 910-917, 2013

小規模孤立系統での実証実験 自律負荷制御による系統周波数調整



エンジン発電機の慣性モーメントの調整

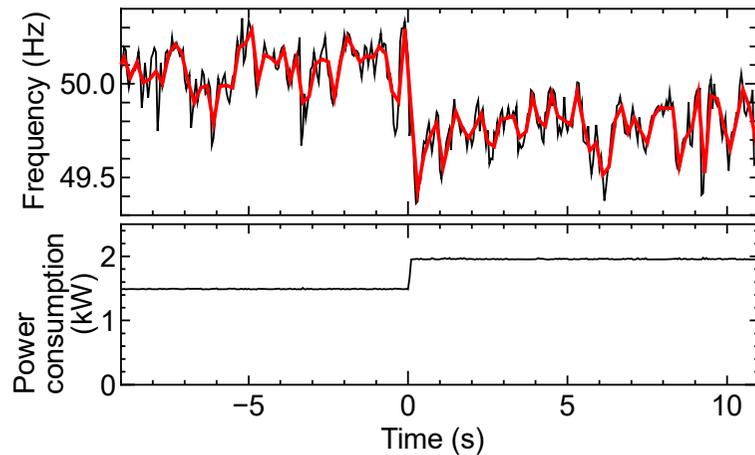
エンジン発電機は慣性モーメントが小さく、そのままでは慣性定数が電力系統と合わない→エンジン起動後にクラッチでフライホイール(82kgの鉄製円盤)を連結



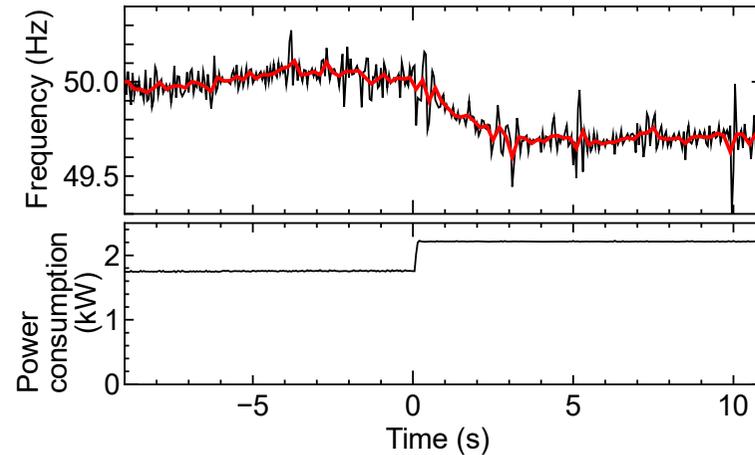
消費電力のステップ変化時の周波数変動

フライホイールにより負荷変動時の周波数変動の推移を改善

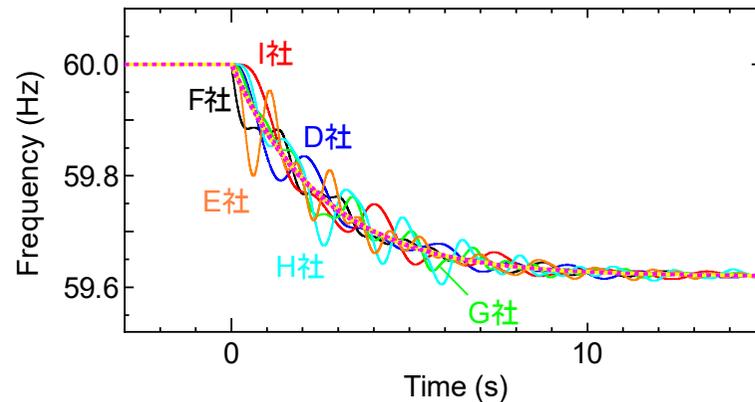
① フライホイールなし



② フライホイールあり

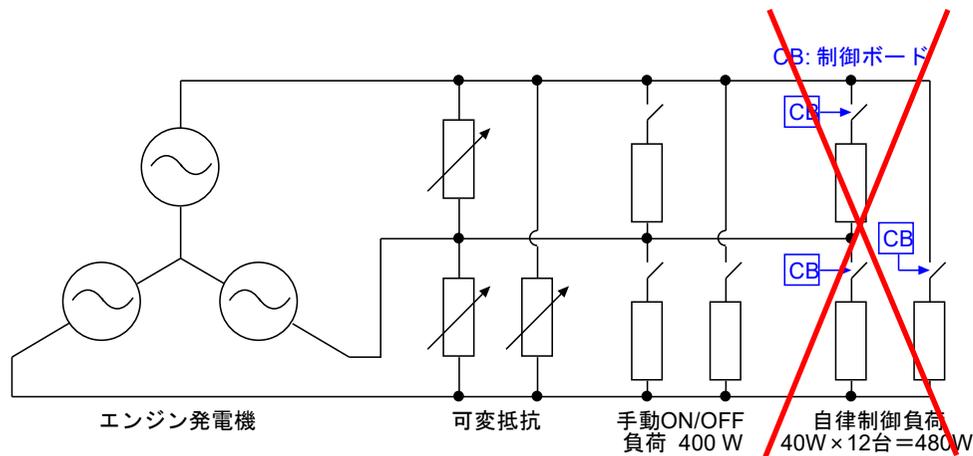


③ 実際の電力系統（西日本）における
2,322MWの電源脱落時の周波数変動(数値解析)

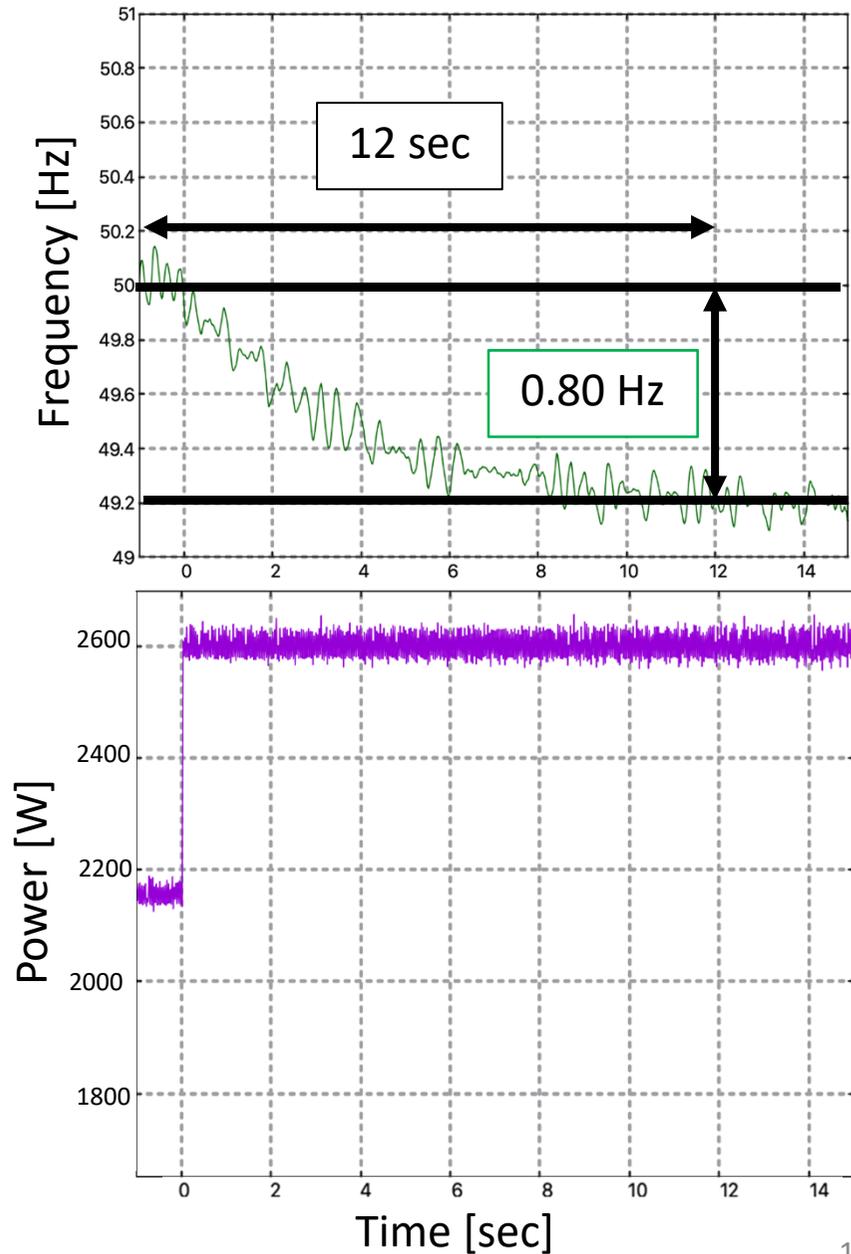


	① フライホイールなし	② フライホイールあり	③ 実電力系統での電源脱落時の例
時定数	0.1秒	1.5秒	約3秒

自律制御負荷が無い 場合の実験結果



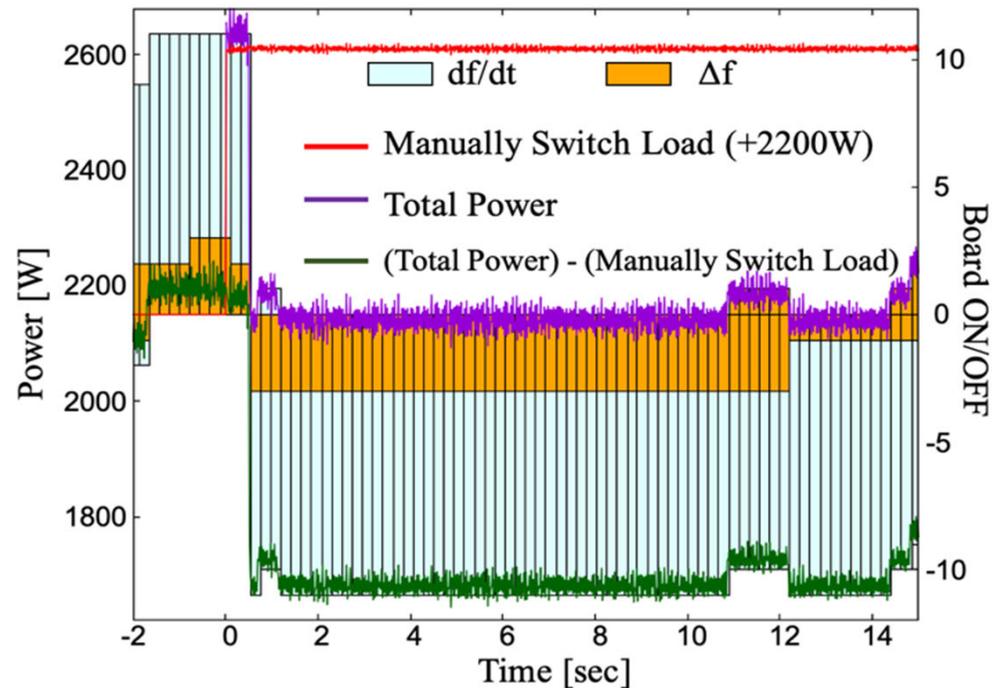
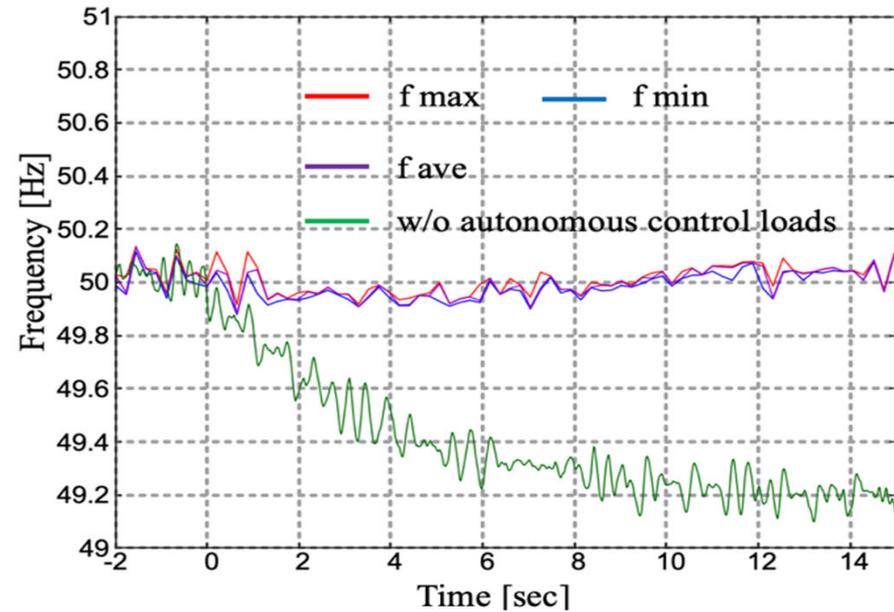
消費電力のステップ増(実系統
では大電源脱落に相当)により、
周波数が0.8 [Hz] 低下



自律制御負荷がある場合の実験結果

最大周波数偏差を大幅に低減

	最大周波数偏差 [Hz]	最大周波数偏差到達時間 [sec]
制御なし	0.80	12
制御あり	0.10	0.6



まとめ

- 太陽光・風力発電を大量に電力系統に連系すると、需要と供給のバランスを維持するのが困難 → 系統周波数の変動が大きくなる懸念 → 需要側(負荷機器の消費電力)の制御, 特に通信インフラ不要で応答が速い自律負荷制御を検討
- 自律制御負荷の普及により風力発電連系可能量を増やせることを数値解析により確認
- 朝までに沸き上げつつ, 系統周波数変動を抑制するように消費電力制御を行う電気温水器およびエコキュートを試作 → 3台を一般需要家宅に設置し, 6ヶ月の運転を実施
- フライホイールを付けた5kWのエンジン発電機を用いて孤立電力系統を構築し, 自律制御負荷が系統周波数の安定化に貢献することを実証