



宮古島メガソーラにおける実証研究

電力中央研究所
システム技術研究所 上席研究員 金内 由裕

太陽光発電連系技術の開発動向

2016年1月18日

RI 電力中央研究所

© CRIEPI 2016



RI 電力中央研究所

報告内容

1. はじめに
2. 宮古島での実証研究
 - (その1) 宮古島におけるPV出力変動特性
 - (その2) 既存電源と蓄電池を協調させた負荷周波数制御(LFC)効果の実証
 - (その3) 蓄電池を活用した需給運用計画の効果検証
 - (その4) 蓄電池制御および需要家PV制御によるPV出力抑制方式の実証
3. まとめ

報告内容

1. はじめに

2. 宮古島での実証研究

(その1) 宮古島におけるPV出力変動特性

(その2) 既存電源と蓄電池を協調させた負荷周波数制御効果(LFC)の実証

(その3) 蓄電池を活用した需給運用計画の効果検証

(その4) 蓄電池制御および需要家PV制御によるPV出力抑制方式の実証

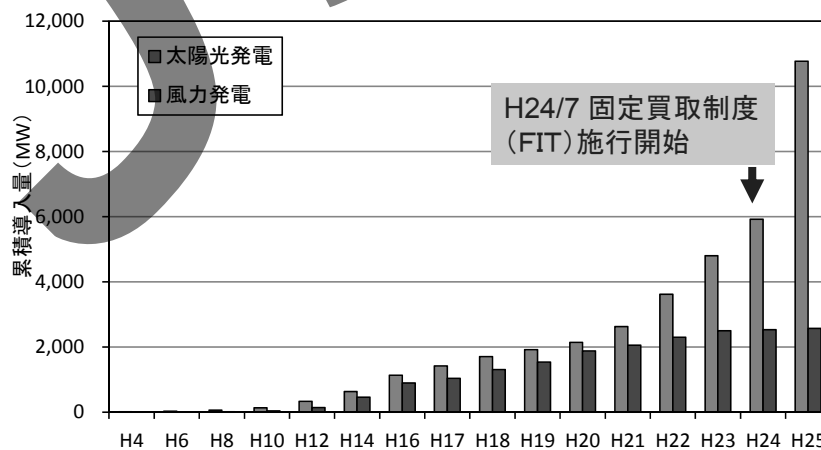
3. まとめ

はじめに

■ 再生可能エネルギーの導入量は、年々増加している

⇒ 風力発電は横ばい(微増)

⇒ 太陽光発電(PV)は固定価格買取制度(FIT)以降、急峻な増加

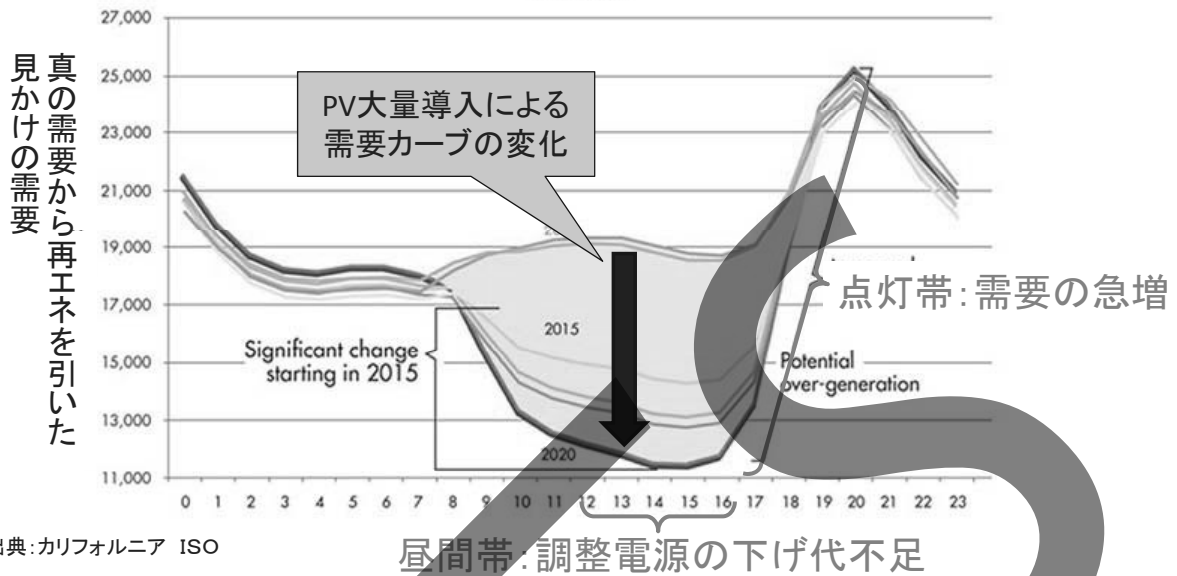


再生可能エネルギーの累積導入量

経済産業省, 「再生可能エネルギー発電設備の導入状況」をもとに作成

PV大量導入の影響(1)

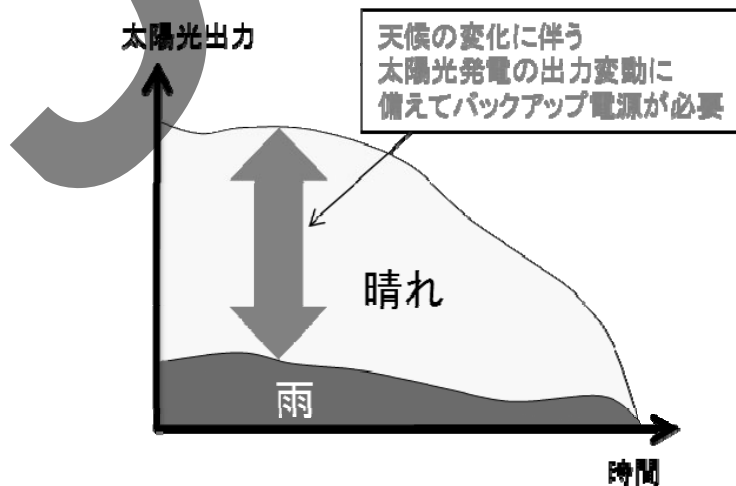
■ PV大量導入により見かけの需要カーブが変化



PV大量導入の影響(2)

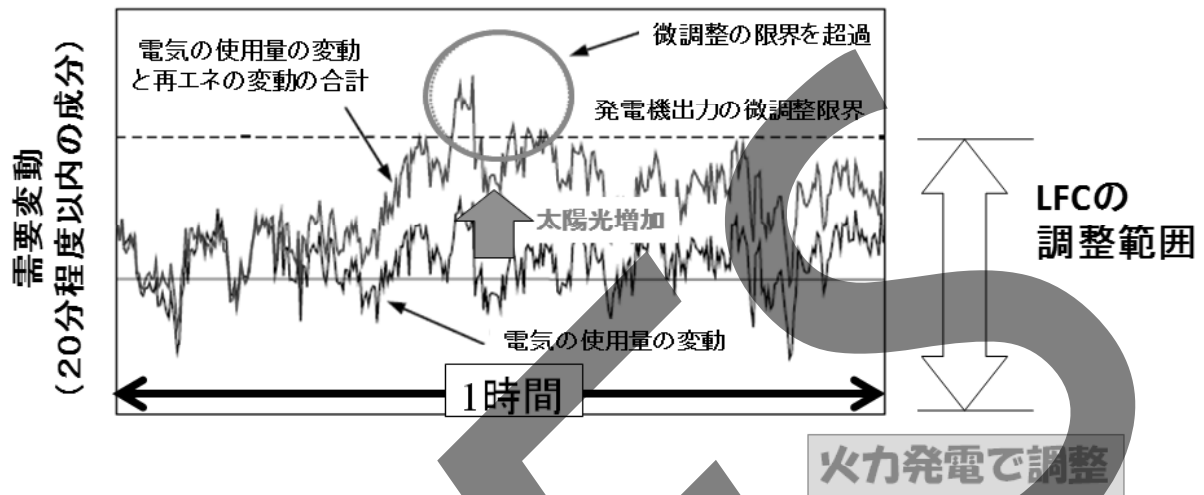
- 天候に左右されやすいPV出力が急変した場合に備えて、それを補う量(予備力:主に火力発電機が担っている)を確保しておく必要がある

⇒ 予備力を確保する量の増大(火力の不経済運転)



PV大量導入の影響(3)

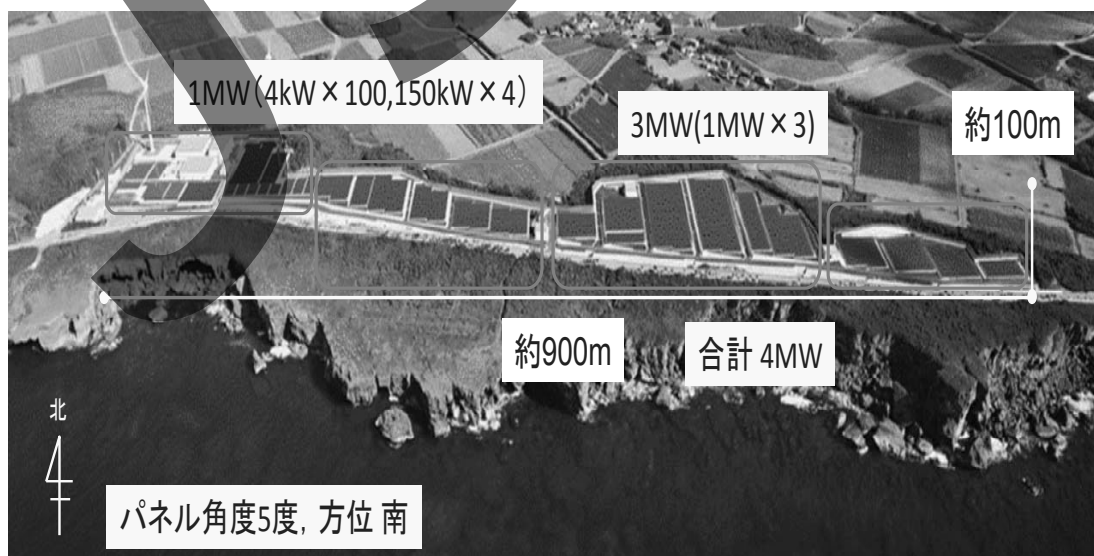
- 既存の調整電源による負荷周波数制御(LFC:比較的短周期の需給のアンバランス量を解消させる制御)では、系統周波数が適正範囲を逸脱する恐れがある



出典:資源エネルギー庁、「新エネルギーの大量導入に伴う影響とその対応策について」

太陽光発電設備の概要

- ◆ PVパネルは東西約1kmの敷地に設置

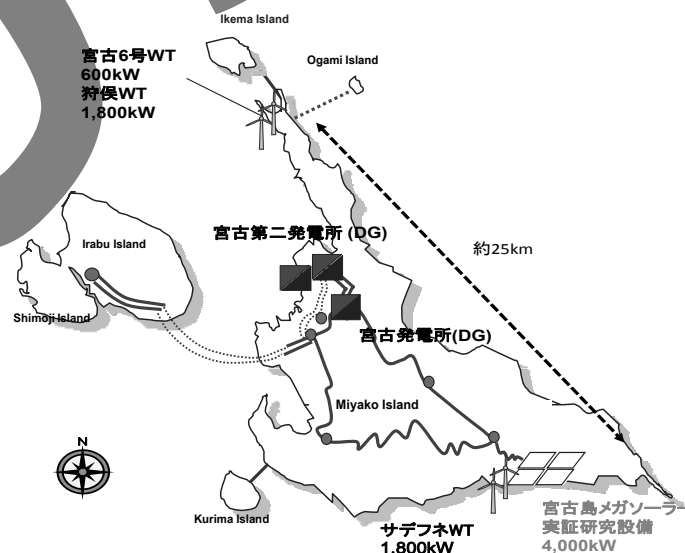


報告内容

1. はじめに
2. 宮古島での実証研究
 - (その1) 宮古島におけるPV出力変動特性
 - (その2) 既存電源と蓄電池を協調させた負荷周波数制御効果の実証
 - (その3) 蓄電池を活用した需給運用計画の効果検証
 - (その4) 蓄電池制御および需要家PV制御によるPV出力抑制方式の実証
3. まとめ

研究の背景・目的

- ◆ 再生可能エネルギーの導入量は、年々増加している。今後も導入量拡大が予想されることから、その特性を把握しておくことが重要



太陽電池パネルの概要

◆ 総出力4MWの構成

タイプ	出力の合計	内訳
多結晶	250kW	家庭用模擬4kW×25軒 大口需要家模擬150kW×1軒
多結晶	3,500kW	家庭用模擬4kW×25軒 大口需要家模擬150kW×1軒
		家庭用模擬4kW×25軒 大口需要家模擬150kW×1軒
アモルファス	250kW	250kW×12台 家庭用模擬4kW×25軒 大口需要家模擬150kW×1軒

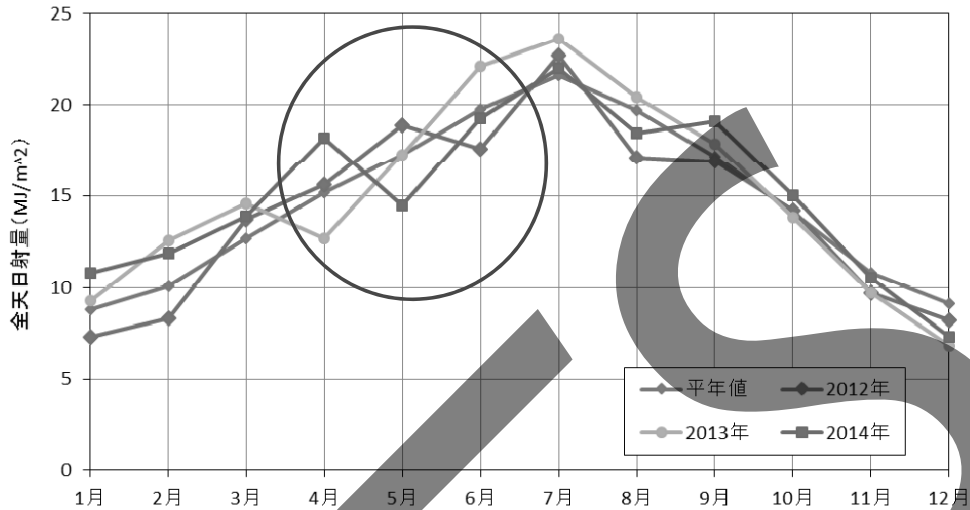
分析項目

2012年～2014年の実績データを基に分析を実施した

- ① 宮古島メガソーラの設備利用率
⇒ 各月における設備利用率の整理
- ② 宮古島メガソーラのシステム出力係数
⇒ 各月におけるパネル毎の出力係数の整理
- ③ 宮古島メガソーラの出力量変動の大きさ
⇒ 出力変動幅と平滑化効果の整理

①宮古島における日射状況

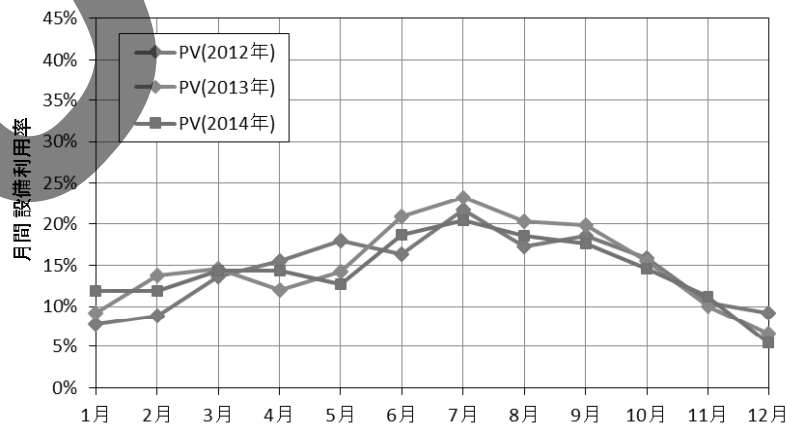
- ◆日射状況は年間全体として見れば、同じような傾向
- ◆4月～6月のばらつきは梅雨の影響と推察される



宮古島における全天日射量(日量平均)(気象庁)

①宮古島メガソーラーの設備利用率

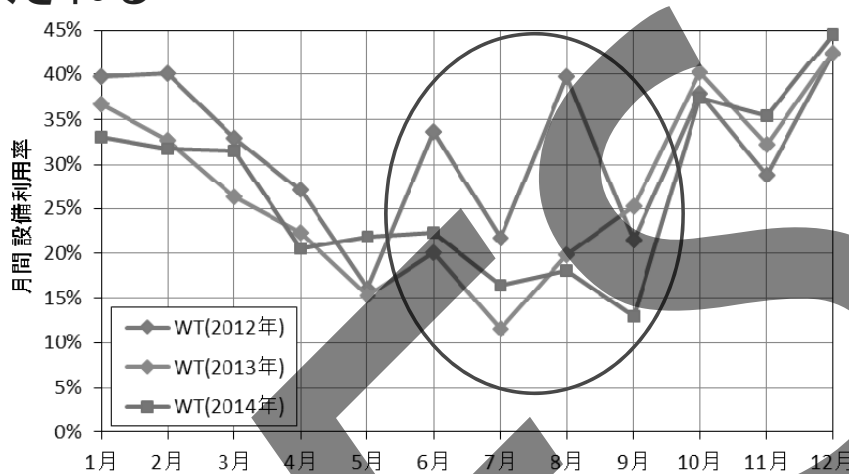
- ◆メガソーラーの設備利用率は約10%～20%(2014年)
- ◆設備利用率は夏季に高く、冬季に小さい



宮古島メガソーラーの設備利用率

(参考)宮古島風力発電設備の設備利用率

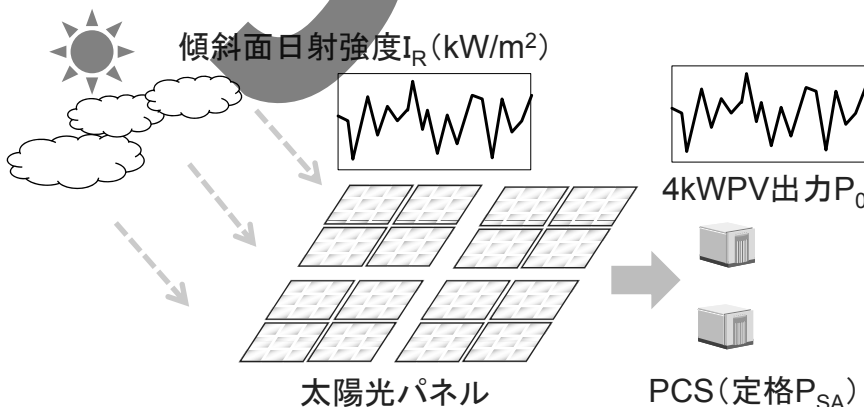
- ◆設備利用率は冬季に高く、夏季に小さい
(風力発電はメガソーラとは逆)
- ◆夏季に年度毎でばらつきが見られるのは、台風の影響と推察される



②宮古島におけるPVのシステム効率

日射に対して、どの程度の出力が得られるかを分析

- ◆システム出力係数(ある日射量に対して定格運転した際に得られる発電量に対する実際の発電量の比)の算出
 - ⇒ 日中(10時~15時)を対象に算出
 - ⇒ 日射強度と4kW PV出力を基に算出



$$PR = \frac{\sum P_o}{P_{SA} \cdot \frac{\sum I_R}{I_S}}$$

$\sum P_o$: 対象期間のPCS出力電力量[kWh]

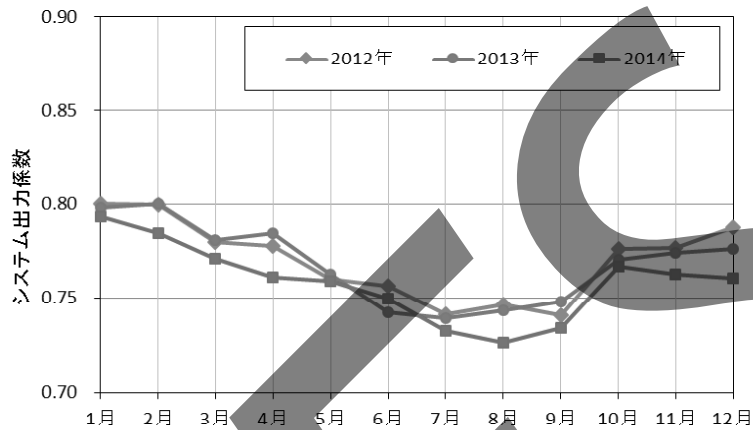
P_{SA} : 定格出力[kW]

$\sum I_R$: 対象期間の傾斜面日射量[kWh/m²]

I_S : 基準日射強度(=1.0kW/m²)

②システム出力係数(月間平均)

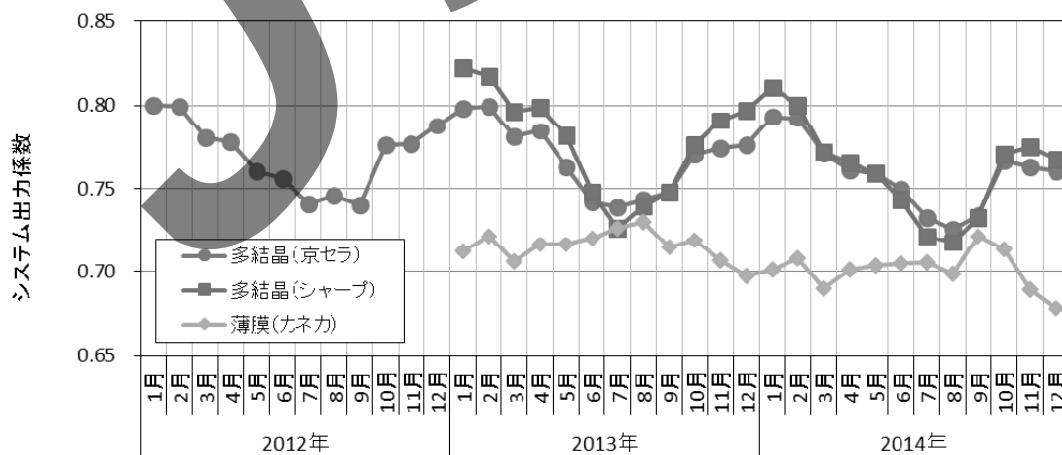
- ◆システム出力係数は0.72~0.80(多結晶タイプ)
- ◆冬季に高く、夏季に低い。夏季の低下はモジュール温度上昇による影響が大きい
- ◆年度による違いは小さいが効率低下の可能性はある



システム出力係数(年度別)

②システム出力係数(月間平均)

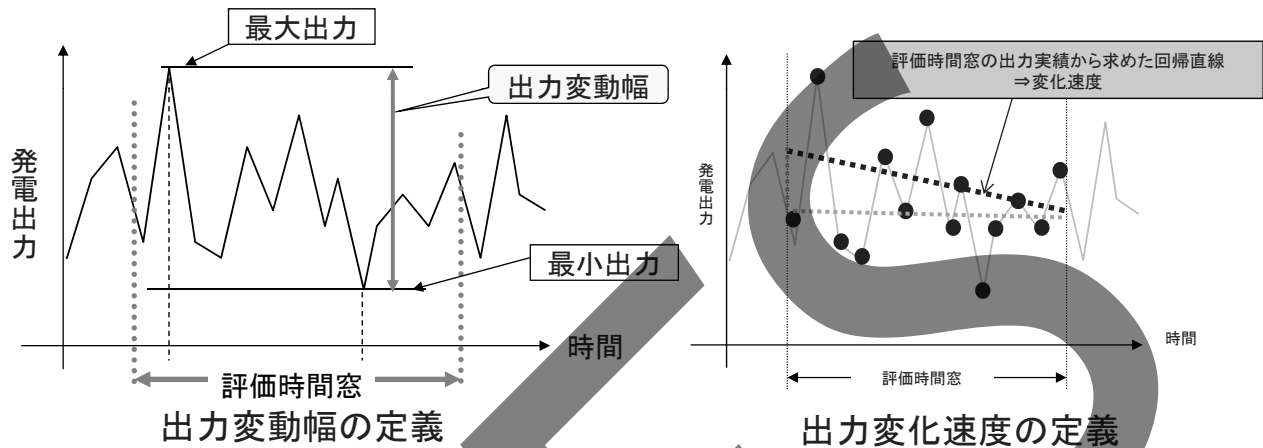
- ◆多結晶タイプは季節差の影響が大きい
- ◆薄膜タイプは効率は低いものの、季節差は小さい



システム出力係数(パネル別)

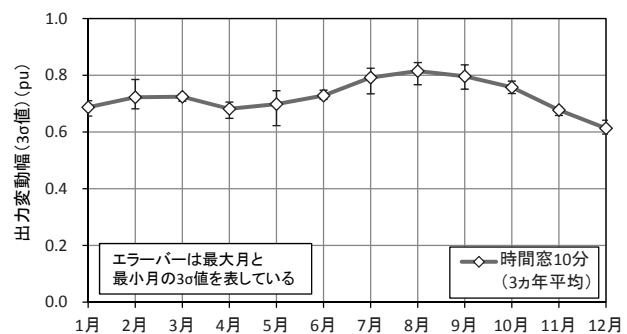
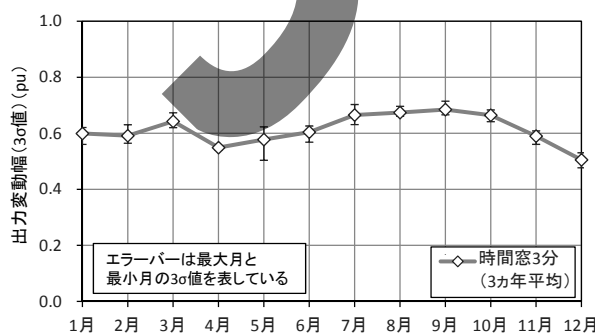
③再エネの出力変動の分析

- ◆PV出力の変動把握のために、評価時間窓に対する最大出力変動幅と変化速度を用いて評価
- ◆PV出力が大きい時間帯(10時～15時)を分析対象



③宮古島メガソーラ出力変動幅(月間)

- ◆各月の出力変動幅の3σ値は時間窓3分～10分で定格出力の47%～84%程度変動
- ◆時間窓が長くなるにつれ、変動大
- ◆月毎の年度差は比較的小さい(エラーバーが短い)

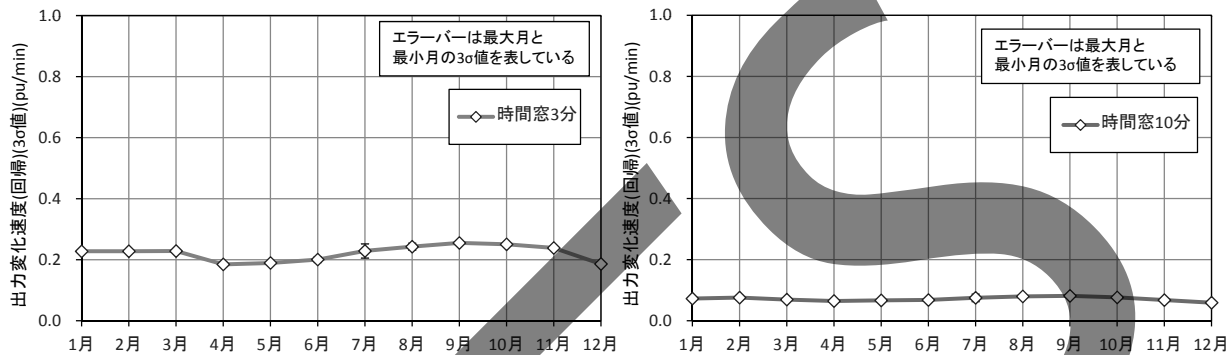


宮古島メガソーラ出力変動幅※ (月3σ) (2012年～2014年)

※定格容量で規格化した変動量(1.0puが4MW変動に相当)

③ 宮古島メガソーラ出力変化速度(月間)

- ◆ 各月の出力変化速度の3σ値は時間窓3分～10分で定格出力の8%～25%/分(H26.8.31⇒3400kW(85%)/分の実績あり)
- ◆ 季節差は小さい

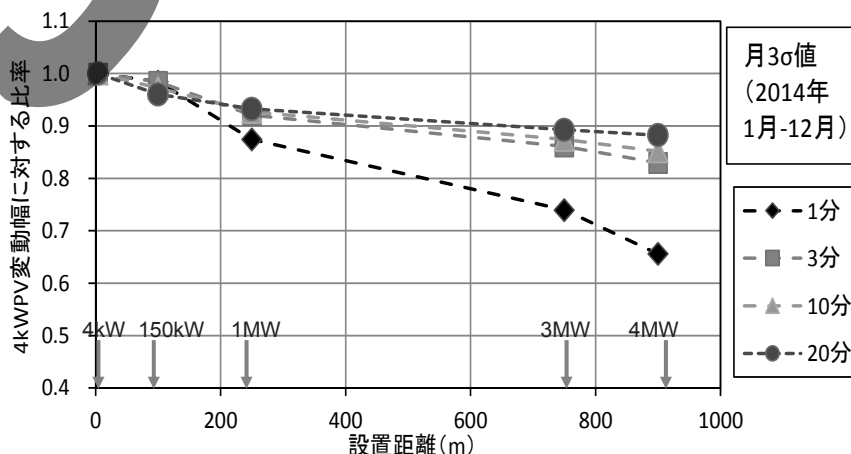


宮古島メガソーラ出力変化速度(月3σ)(2013年～2014年)

③ メガソーラ設備長に対する平滑化効果

設備長(メガソーラの面的広がり)に対する, 出力変動の平滑化を整理した

- ◆ 時間窓1分の変動は, 4MWで35%程度低下(平滑化大)
- ◆ 時間窓3分～10分の変動は, 4MWで10～20%程度低下(平滑化小)



研究(その1)のまとめ

実績データを基に分析を実施した

◆宮古島メガソーラの設備利用率

⇒設備利用率は夏季に20%

◆宮古島メガソーラのシステム出力係数

⇒システム出力係数は0.72~0.80(多結晶タイプ, 京セラ)

◆宮古島メガソーラの出力量変動の大きさ

⇒時間窓3分~10分で定格容量に対して47%~84%の出力量変動

⇒時間窓1分の変動は, メガソーラ大で約35%平滑化される

報告内容

1. はじめに

2. 宮古島での実証研究

(その1)宮古島におけるPV出力変動特性

(その2)既存電源と蓄電池を協調させた負荷周波数制御(LFC)効果の実証

(その3)蓄電池を活用した需給運用計画の効果検証

(その4)蓄電池制御および需要家PV制御によるPV出力抑制方式の実証

3. まとめ

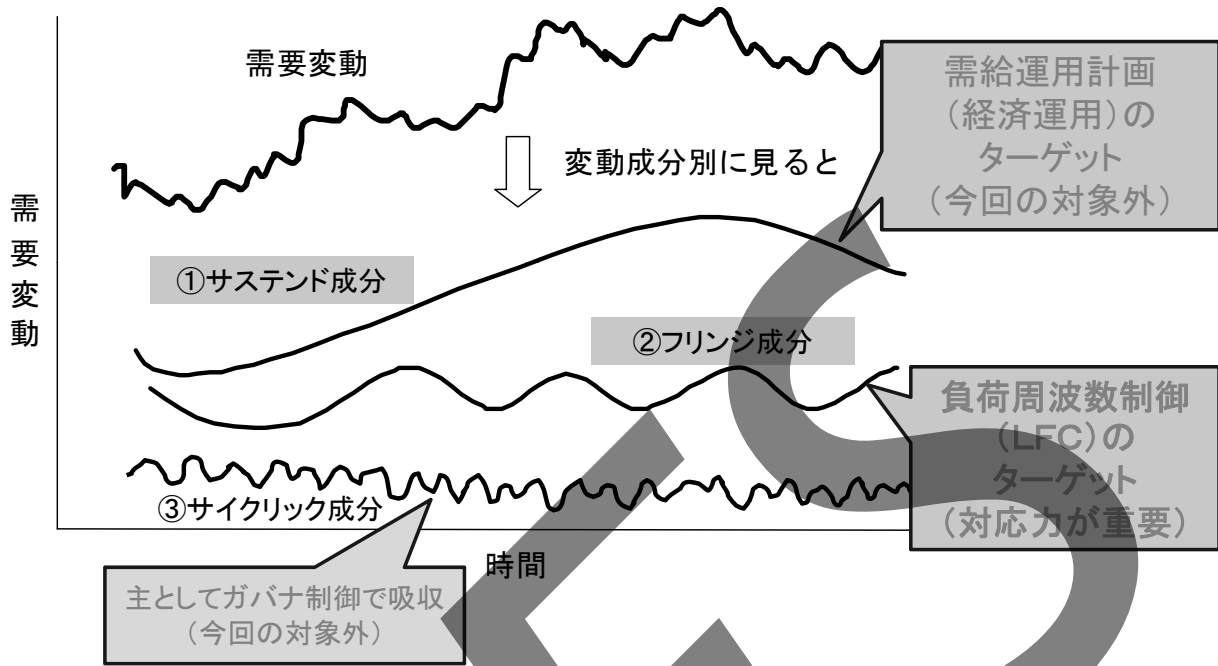
背景

- 再エネが大量に導入された場合の出力変動に対して、既存の火力発電機等による負荷周波数制御（LFC）では、系統周波数が適正範囲を逸脱するおそれあり
- 応答速度の速い蓄電池の活用が対策の一つ
- コスト面から系統周波数を維持するための蓄電池の量は少ない方が望ましい

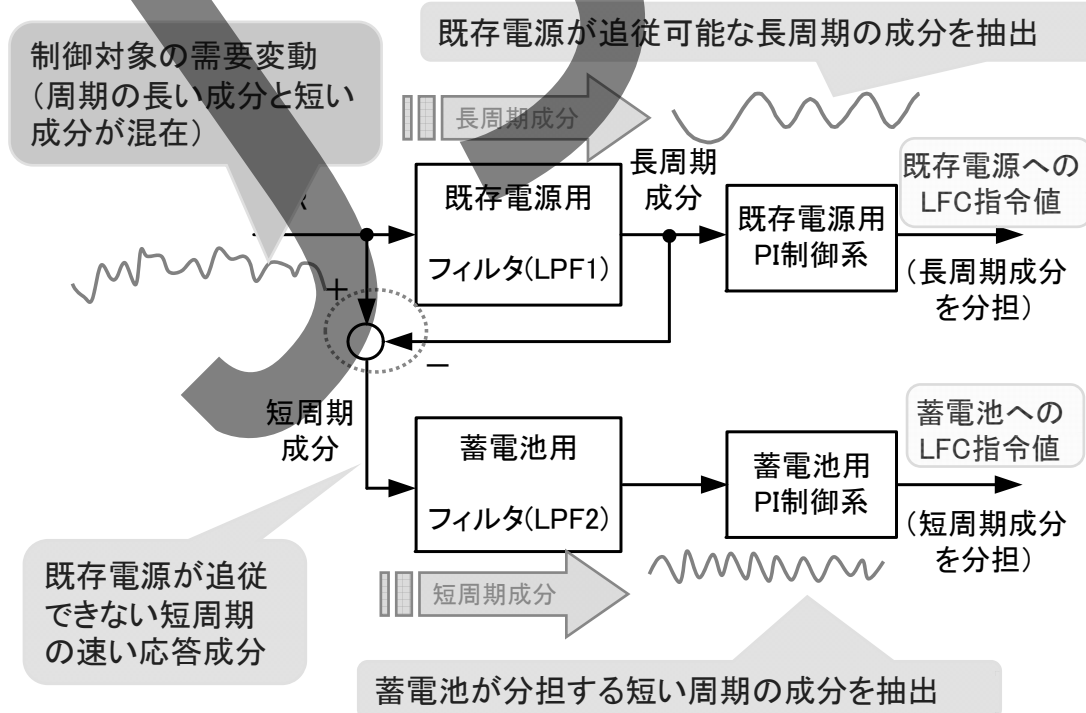
目的

- 少ない蓄電池容量で高い周波数変動抑制効果が期待できるLFC方式として、変動周期別のLFC方式を開発
- 宮古島実系統での提案LFC方式の制御効果の検証

周波数維持の仕組み



既存電源と蓄電池を協調させたLFC方式

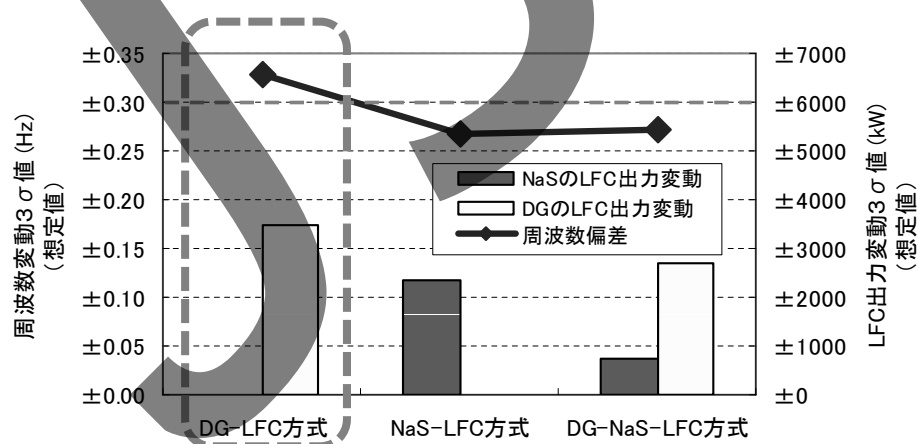


宮古島系統での検証試験

1. DGのみによるLFC方式(DG-LFC方式)
2. NaS電池のみによるLFC方式(NaS-LFC方式)
3. DGとNaS電池の協調LFC方式(DG-NaS-LFC方式)

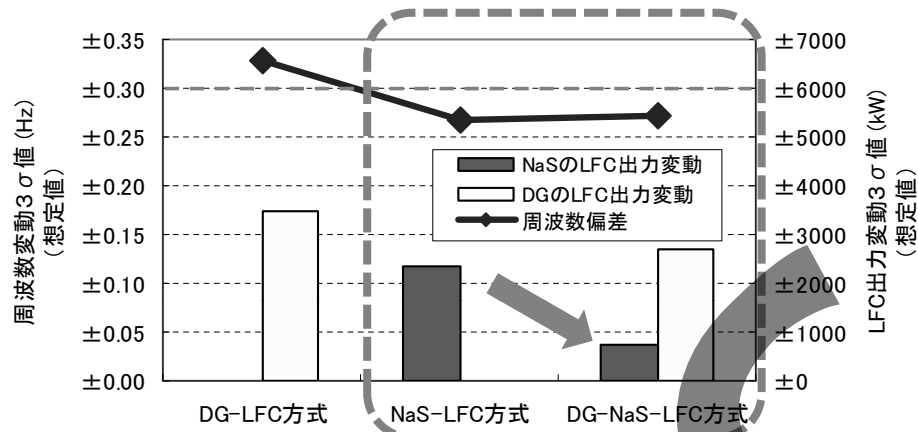
の3方式について、周波数変動抑制効果・蓄電池所要容量を比較（実システムを用いた検証試験）

分析結果①



- DG-LFC方式は、周波数変動抑制効果が小
- DG-LFC方式は、周波数変動の3σ相当値を今回の試験での目標値である±0.3Hz以内に抑制できない可能性がある

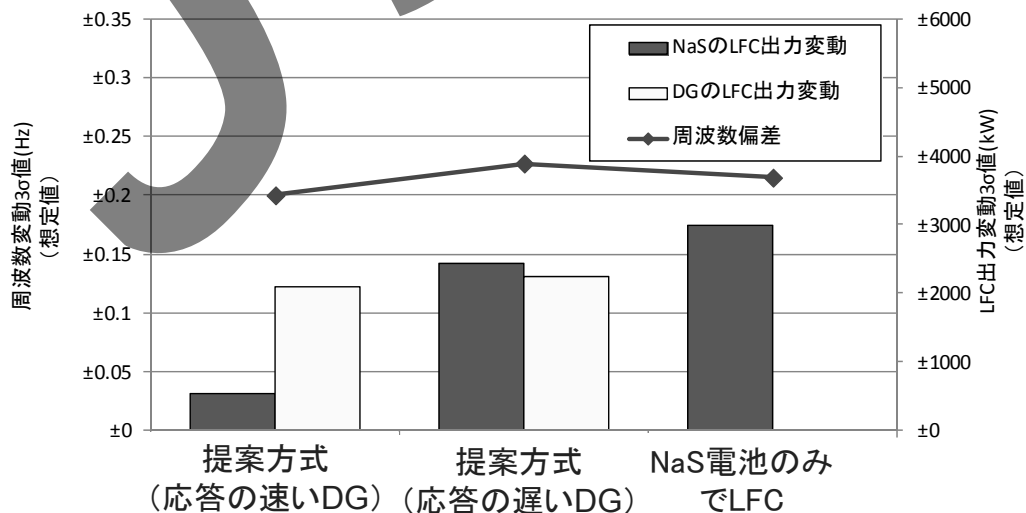
分析結果②



- NaS-LFC方式と提案方式(DG-NaS-LFC方式)は、周波数変動の3σ相当値を±0.3Hz以内に抑制できる
- 提案方式(DG-NaS-LFC方式)は、NaS-LFC方式と比較して周波数変動の抑制に必要な蓄電池容量を低減できる

分析結果③

- 応答の速い火力発電機を活用することで、NaS電池の所要容量をさらに小さくすることができる



研究(その2)のまとめ

- 提案手法は、少ないNaS電池所要容量で周波数変動を良好に抑制できる。
- 応答の速い既存電源を活用することで、NaS電池の所要容量をさらに低減することができる

⇒既存電源の応答速度に応じた容量とすることで設置コストを抑制させた上で効果の高い系統安定化対策とすることができる。

報告内容

1. はじめに
2. 宮古島での実証研究
 - (その1)宮古島におけるPV出力変動特性
 - (その2)既存電源と蓄電池を協調させた負荷周波数制御(LFC)効果の実証
 - (その3)蓄電池を活用した需給運用計画の効果検証
 - (その4)蓄電池制御および需要家PV制御によるPV出力抑制方式の実証
3. まとめ

研究の背景・目的

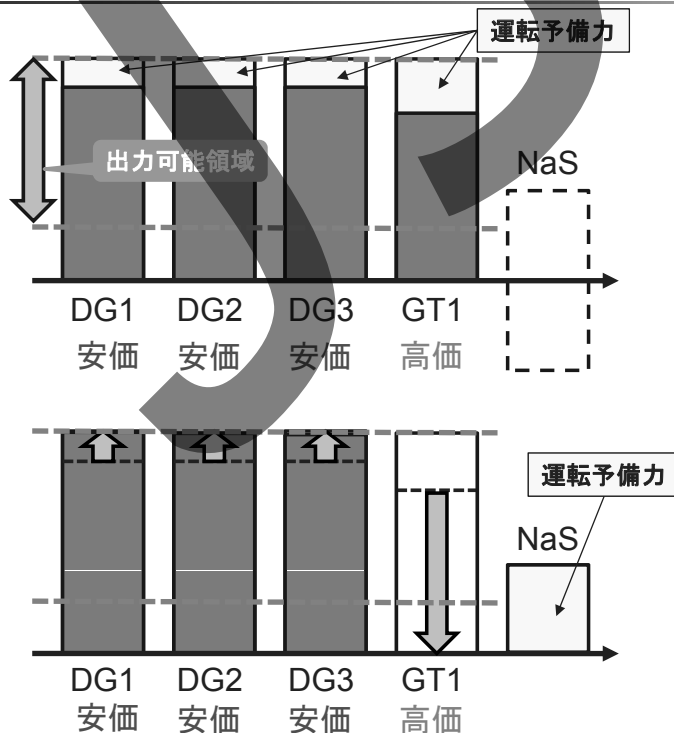
◆再エネ大量導入に対して大容量蓄電池の導入が検討

- LFC(負荷周波数制御)などへの適用が考えられるが、経済性の向上が課題
- 系統安定化用に導入された蓄電池の空き容量を活用し、火力機で確保していた運転予備力やLFC容量を蓄電池で代替できれば、より経済的な需給運用が期待できる
- 蓄電池を活用して系統全体の需給運用を実施した例はない

◆離島系統において蓄電池を活用した需給運用の検証

- ナトリウム硫黄電池(NaS)を活用した需給運用を実施
- NaSを運転予備力とした場合と負荷周波数制御に用いた場合の需給運用コストの削減効果を検証

検討内容①: 運転予備力代替



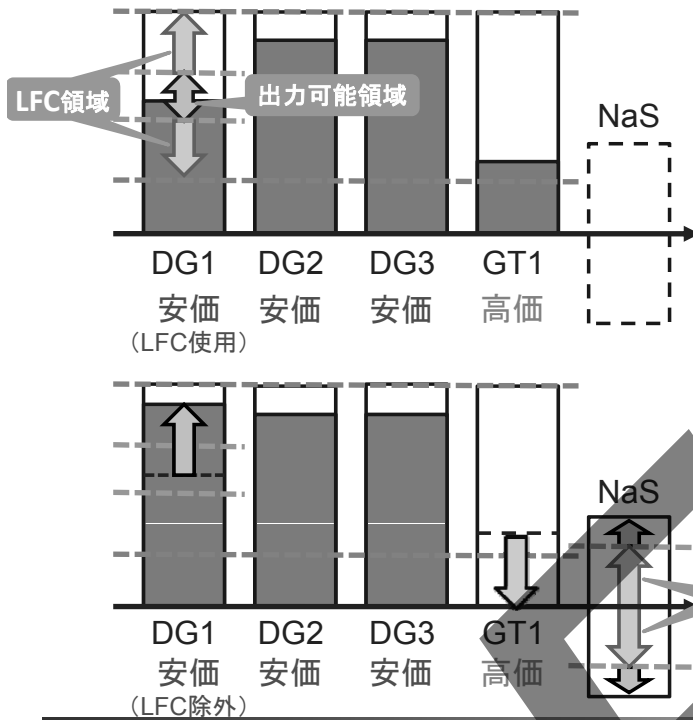
◆従来は DG・GTで 運転予備力を確保

- 安価なDGが低出力に

◆NaS電池で 運転予備力を確保

- 火力の高効率運転が可能に
- 経済性は？
火力の運用効率化 VS NaSの電力損失 (充放電損+ヒータ損)

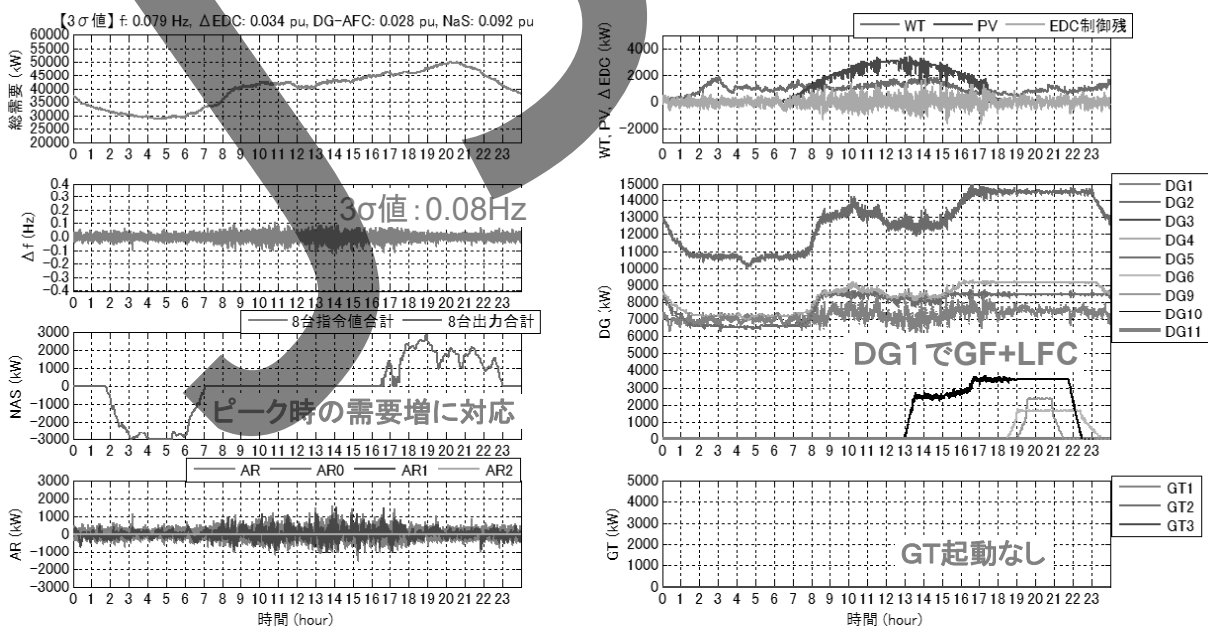
検討内容② : LFC容量代替



- ◆ 従来大容量DGで LFC調整力を確保
 - 負荷追従性○
 - 経済性▲
 - 安価なDGが低出力に

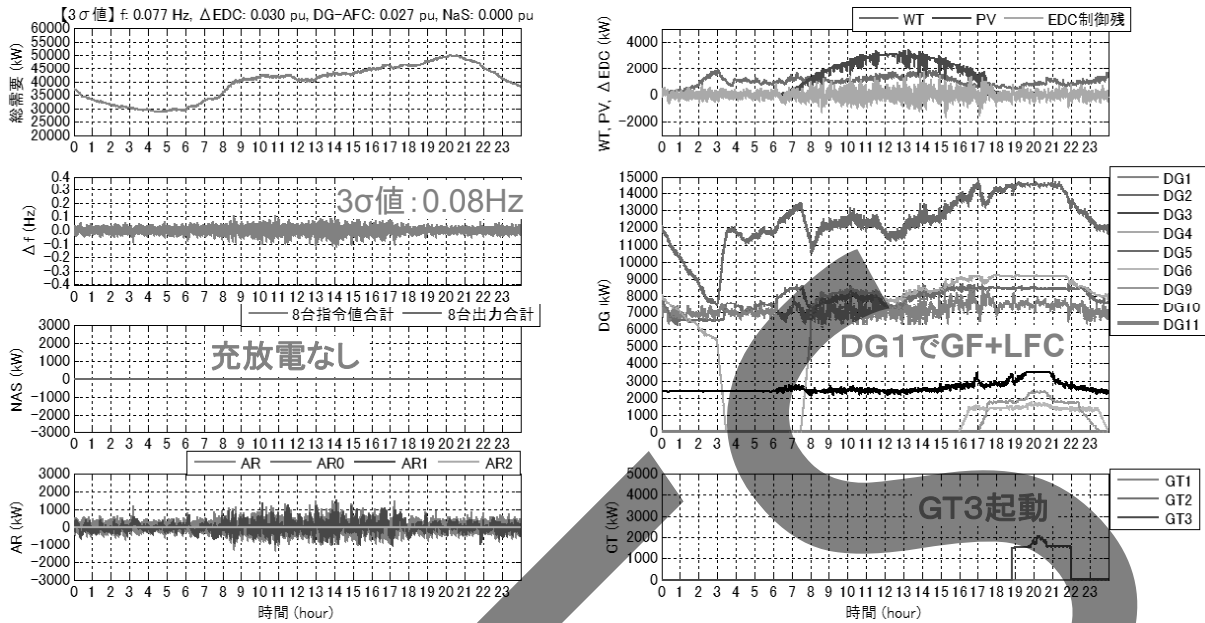
- ◆ NaS電池で LFC調整力を確保
 - 負荷追従性◎
 - 経済性は？
 - 火力の運用効率化 VS NaSの電力損失

NaS予備力代替の運用結果(6/20)

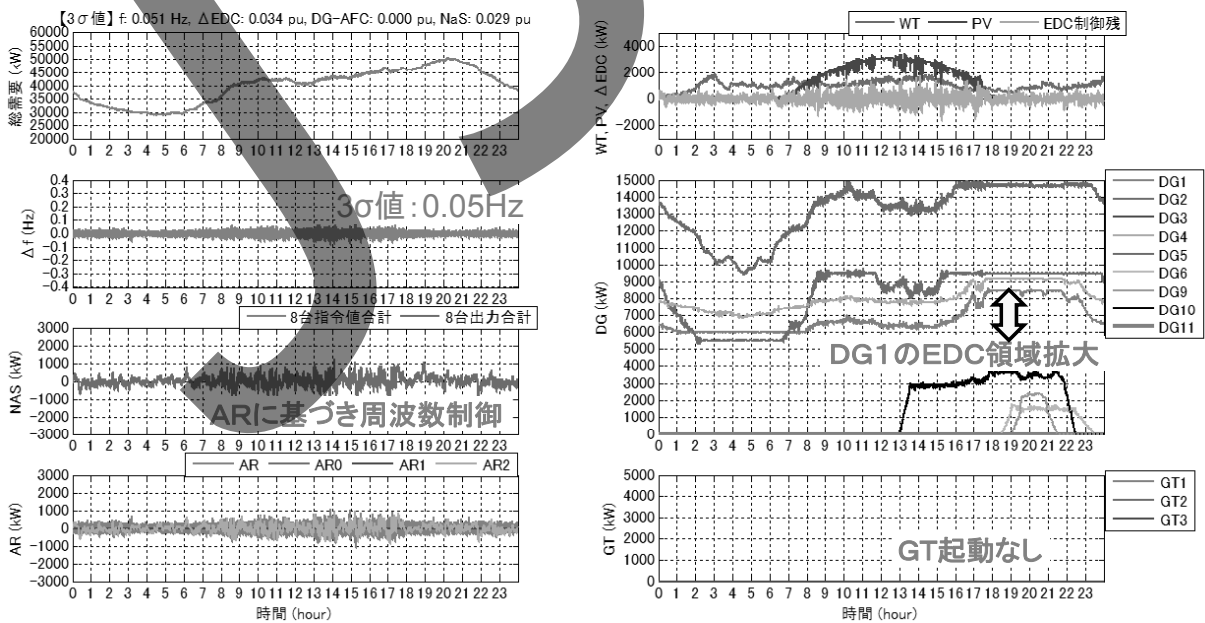


需要上振れにより点灯ピークでNaS放電
 ⇒ 放電分(損失含む)だけ早朝に充電させて燃料費を評価

NaSなしの運用結果(6/20)

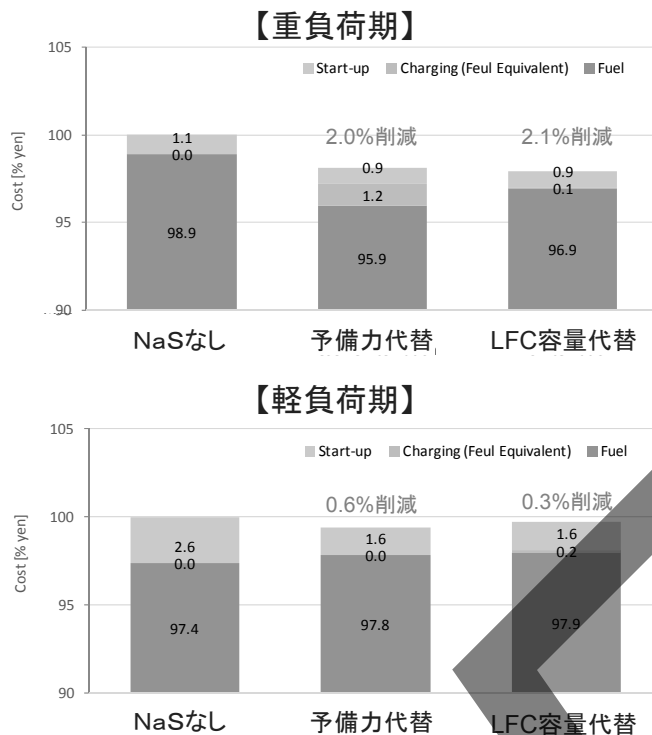


LFC容量代替の運用結果(6/20)



NaSでLFC容量を確保し、DG1のEDC領域を拡大
 ⇒ GTなしで点灯ピーク時も運用可能、系統周波数偏差が低減

運用コストの比較評価



◆ 燃料コスト

- 燃料費(可変費) + 起動停止費

◆ 検討ケース

- ① NaSなし
- ② 予備力代替 (NaS-SOC調整*)
- ③ LFC代替*

• NaSのエネルギー収支が日間でゼロになるように、早朝の時間帯に放電分を充電すると仮定して評価した

研究(その3)のまとめ

◆ NaSを用いた需給運用の効果を宮古島系統で検証

➤ NaSを運転予備力として用いた場合

- 重負荷期には、点灯ピーク対応のGT起動を回避できる場合があり、大幅な燃料費削減が期待できる
- 日間で2%程度の燃料費削減効果となった
- 重負荷期は、点灯ピーク(の上振れ)に対応できるようにSOC(kWh予備力)を高め維持する必要がある

➤ NaSをLFC運転させた場合

- LFCを担っていた火力機のEDC領域が拡大するため、運転予備力代替と同様のコスト削減効果が得られた
- 負荷追従性の向上により系統周波数偏差は低減
- NaSの電力損失は、LFC運転により500kWh程度増加

報告内容

1. はじめに

2. 宮古島での実証研究

(その1) 宮古島におけるPV出力変動特性

(その2) 既存電源と蓄電池を協調させた負荷周波数制御(LFC)効果の実証

(その3) 蓄電池を活用した需給運用計画の効果検証

(その4) 蓄電池制御および需要家PV制御によるPV出力抑制方式の実証

3. まとめ

背景

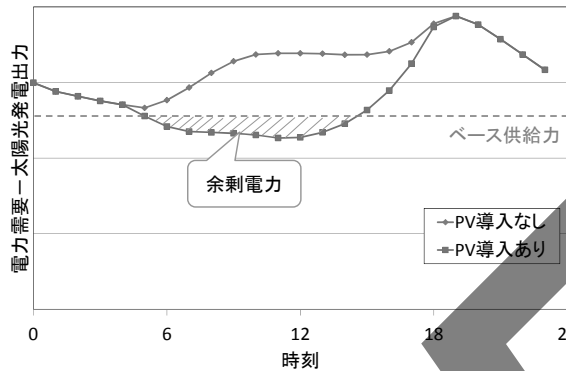
- 我が国では、低炭素社会実現のため、太陽光発電(PV)など再生可能エネルギー電源の導入が拡大している。
- PVの出力は不安定であるため、大量導入時には適切な対策が必要となる。
- 対策の一つとして、余剰電力対策があり、電力系統の需給バランスを維持するため、軽負荷期を中心にPV出力抑制などの対策が考えられる。



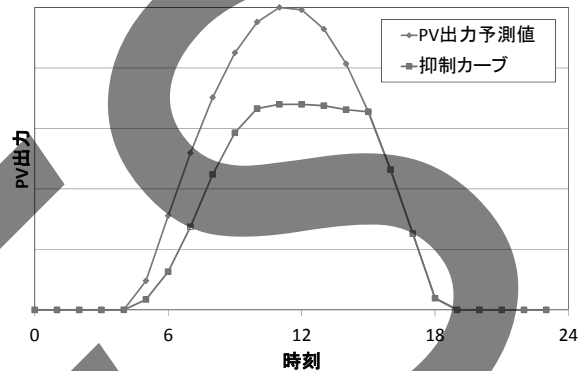
本研究では、電力系統側または需要家側における蓄電池制御と需要家PV制御を組み合わせたPV出力抑制方式について実証試験を行い、その制御効果を検証する。

検討したPV出力抑制方式の概要①

- 発電計画時に、系統側発電機の下げ代がなく、余剰電力の発生が見込まれる場合、系統安定化のため、PVの出力を抑制することなどが考えられる。
- 本研究では、前日計画段階でPV出力抑制カーブを求め、当日のPV出力がこれを上回る場合に制御を行う方式を検討した。



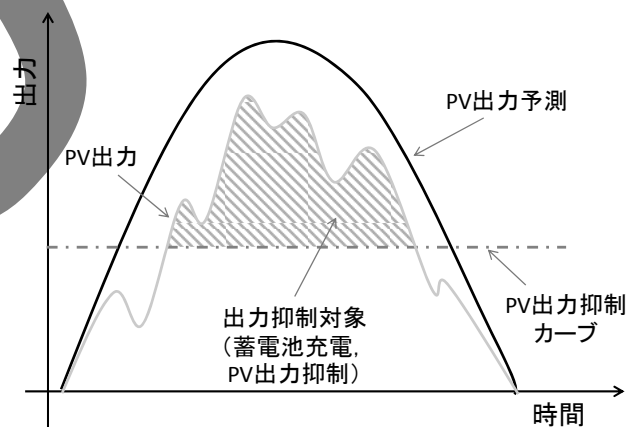
余剰電力の発生イメージ



PV出力抑制カーブの例

検討したPV出力抑制方式の概要②

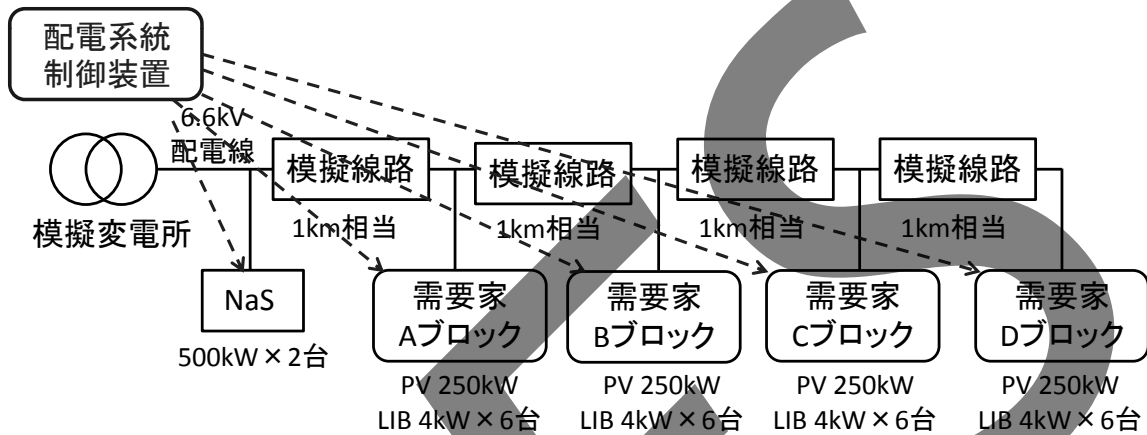
- PVの出力を抑制する方法として、電力系統側の蓄電池制御、需要家側の蓄電池制御、需要家PV制御を考えた。
- 制御方式は、集中制御とローカル制御を考えた。



PV出力抑制のイメージ

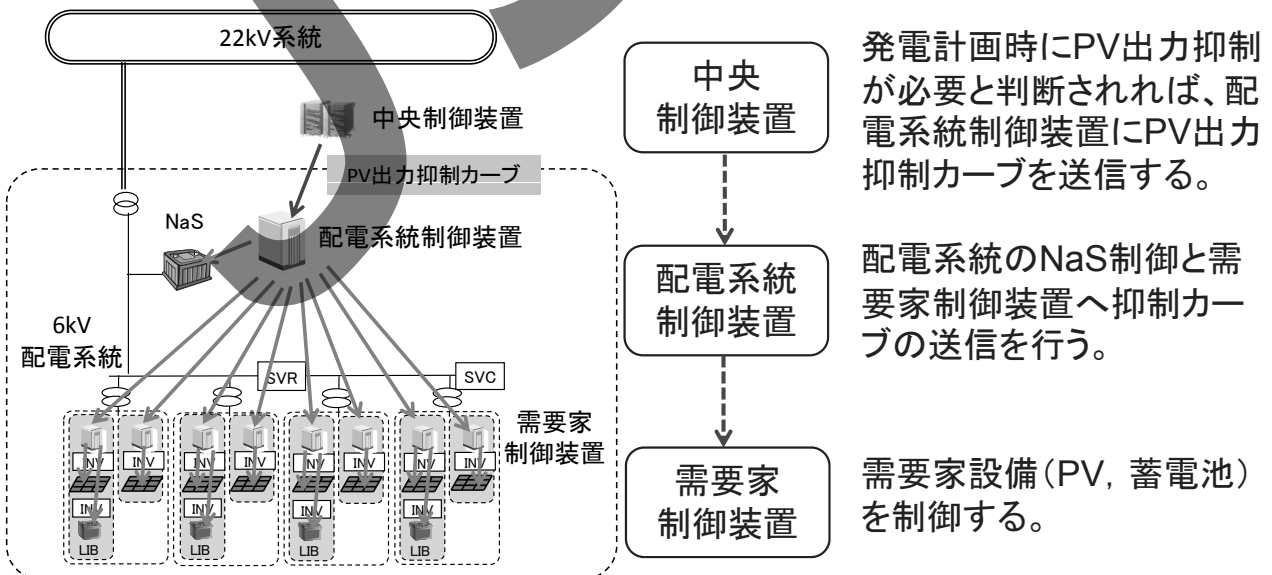
模擬配電系統

- 模擬配電系統は、巨長4kmの住宅地域配電線を模擬しており、1000kWのPVが接続されている。
- 模擬変電所に1000kWのNaSが、模擬需要家100軒のうち24軒に4kWのLIBが設置されている。



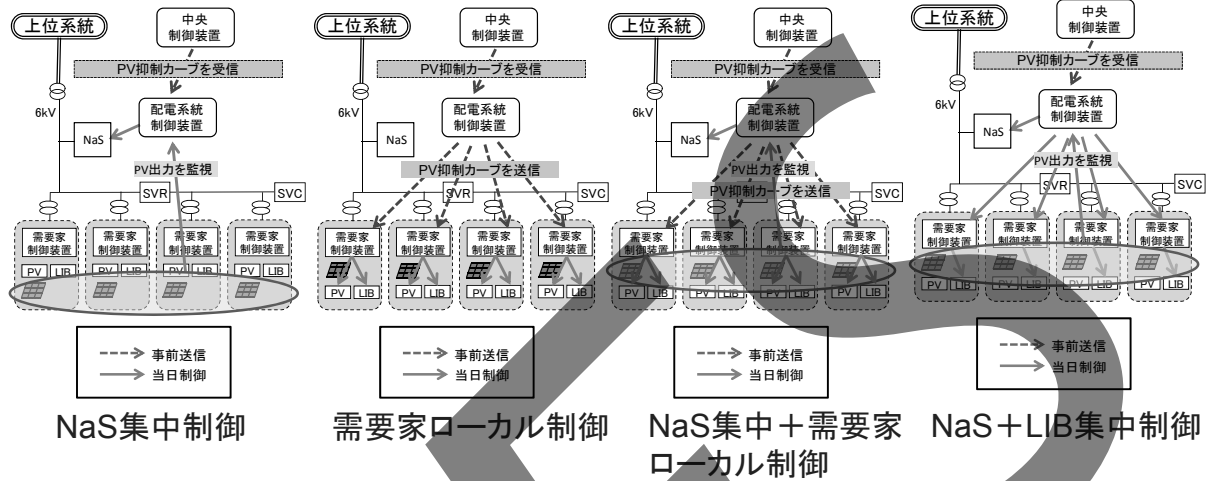
制御システムの構成

- 制御システムは、中央制御装置、配電系統制御装置、需要家制御装置により階層的に構成した。



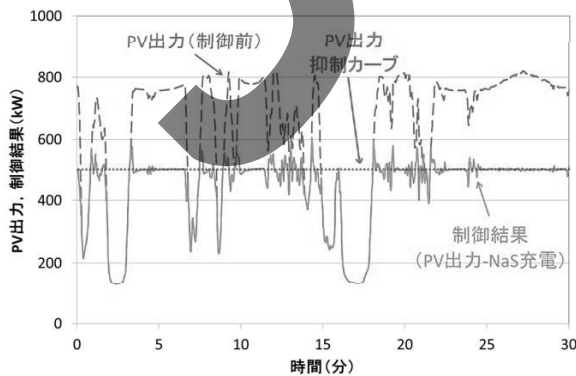
検討した制御方式

- 蓄電池制御と需要家PV制御を組み合わせた4通りの制御方式について実証試験を行った。

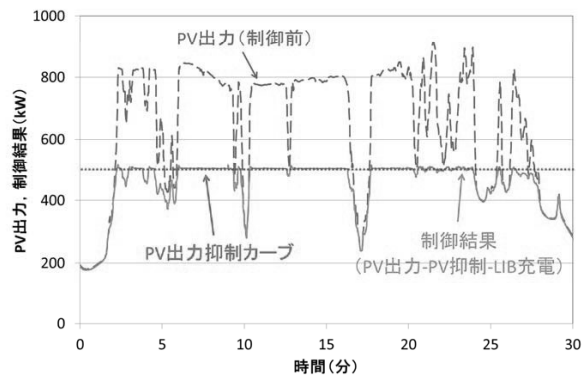


試験結果①

- 日射変動が同程度の試験結果により、各制御方式を比較した。
- 集中制御では制御遅れ(2秒)の影響が見られるが、概ねPV出力抑制カーブに従って制御されている。



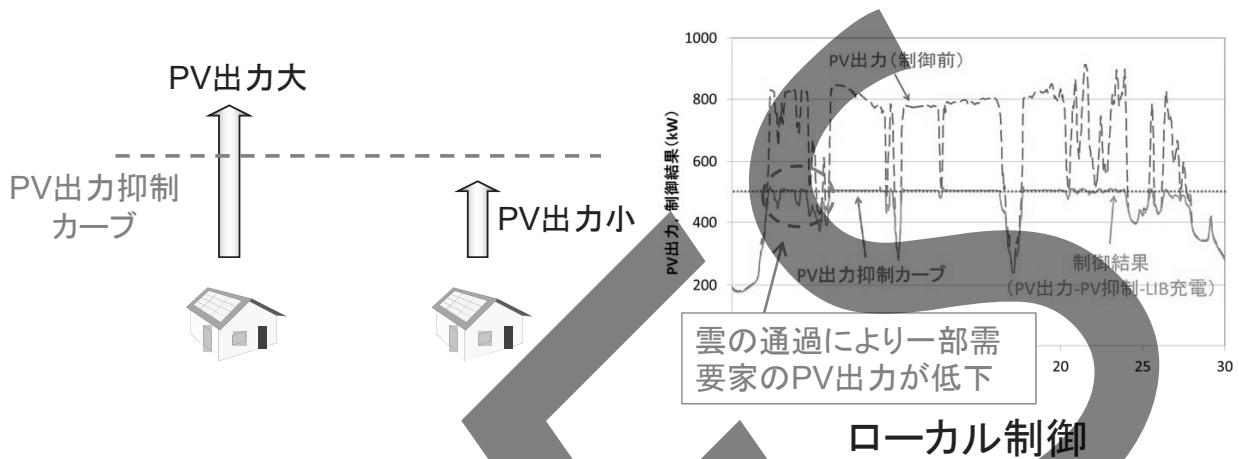
NaS集中制御



ローカル制御

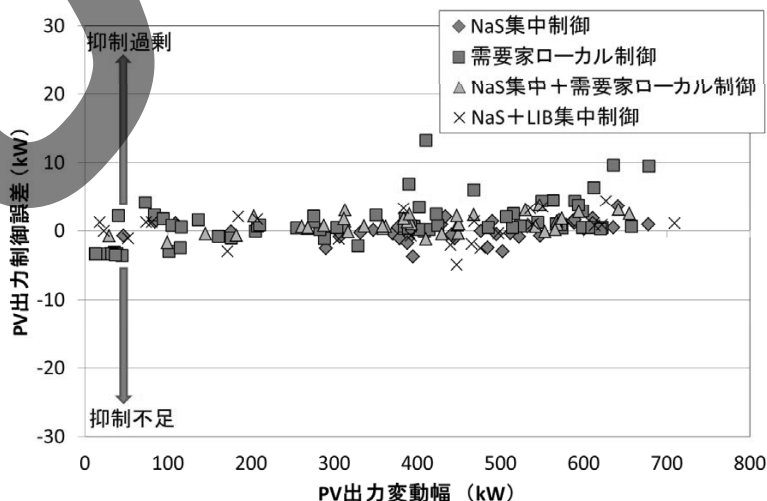
試験結果②

- ローカル制御では、需要家ごとにPV出力抑制を行うため、一部需要家のPV出力がPV出力抑制カーブを下回る場合に全体の制御量が過剰となる場合がある。



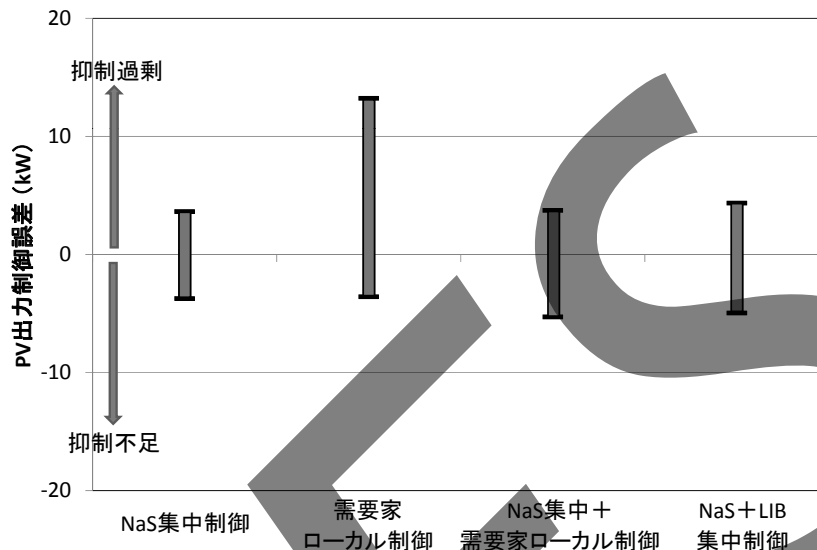
PV出力制御誤差

- PV出力制御誤差とPV出力変動幅(10分間のPV出力最大値と最小値の差、PV出力は制御前)の関係を評価した。
- ローカル制御では、PV出力変動幅が大きくなると制御誤差が増大し、抑制過剰となる傾向が見られる。



PV出力制御誤差(まとめ)

- 各制御方式のPV出力制御誤差を比較すると、集中制御を用いる場合は制御誤差が概ね一定の範囲内となり、需要家ローカル制御よりも制御量が低減されている。



研究(その4)のまとめ

- 蓄電池制御と需要家PV制御を組み合わせた4種類のPV出力抑制方式についての実証試験を行った。
- 実証試験の結果、いずれの方式でも、設計通りにPV出力抑制制御が可能であることが確認された。
- 集中制御を用いることにより、ローカル制御と比べて抑制制御量を低減できることが確認された。

報告内容

1. はじめに

2. 宮古島での実証研究

(その1) 宮古島におけるPV出力変動特性

(その2) 既存電源と蓄電池を協調させた負荷周波数制御(LFC)効果の実証

(その3) 蓄電池を活用した需給運用計画の効果検証

(その4) 蓄電池制御および需要家PV制御によるPV出力抑制方式の実証

3. まとめ

まとめと今後の取り組み

- 宮古島におけるPV出力変動特性
⇒PV、WTの出力変動や平滑化効果等の基礎データを収集できた。
- 既存電源と蓄電池を協調させた負荷周波数制御効果の実証
⇒NaSを活用したLFC方式は系統周波数維持に効果的であり、NaSの所要容量は、DG・NaS変動周期配分方式が開発した3方式のなかで最も適切な方式であることを明らかにした。
- 蓄電池を活用した需給運用計画の効果検証
⇒NaSを供給力とした需給運用計画(運転予備力代替・LFC容量代替)により、火力発電機の燃料費が削減可能であることを明らかにした。
- 蓄電池制御および需要家PV制御によるPV出力抑制方式の実証
⇒開発した方式により余剰対策が可能であること、NaS集中制御方式の方が需要家ローカル制御方式よりもPV出力制御誤差を低減できることを確認した。

まとめと今後の取り組み

- 宮古島での実証試験により数多くの知見を得ることができた。
- 得られた知見により、将来の本土系統におけるPV大量導入時に向けた需給システムの開発に資するべく取り組んでいく。

ご清聴ありがとうございました