

〈一般研究課題〉 将来の省エネや消費電力制御を考慮した  
離島エネルギーモデル構築に関する研究  
助成研究者 名古屋大学 今中 政輝



## 将来の省エネや消費電力制御を考慮した 離島エネルギーモデル構築に関する研究

今中 政輝  
(名古屋大学)

### Development of Island Energy Model in consideration of Future Energy Saving and Power Control

Masaki Imanaka  
(Nagoya University)

#### Abstract :

Installation of the renewable energy sources to the island power systems catches strong interest because of the high fuel cost of the existing generation and of their high de-carbonization targets. The challenging point is that we need to keep the power balance between the fluctuating renewable power sources and the power demand in the isolated power system of the remote island. Surveys suggest that as many tropical and sub-tropical islands are hit by many typhoons, many people wants to install batteries for their use. These batteries can also be used for helping to keep the balance of power supply and demand in the island. This study estimates the effects of the installation of batteries in large remote islands with high penetration of renewable energy sources in 2030 and 2050 by calculating 8760 hours power balance. As a preliminary result, it is confirmed that not only the installed battery capacity put also the setting of diesel minimum output highly effect to the renewable power ratio and renewable power curtailment.

#### 1. はじめに

離島における電力の供給は、大規模な電力系統から送電する場合と、離島(ないし離島群)での独立した電力システムを構成して供給される場合に大別される。後者の場合、ディーゼル発電機(DG)をはじめとする内燃機関による発電が中心であるが、発電規模が小規模であるために設備単

価が高くなることに加えて、燃料費も比較的少ない量を多くまで輸送するため割高になりやすい。そのため、太陽光発電(PV)や風力発電(WT)をはじめとする再生可能エネルギー(再エネ)の導入により、燃料費を削減する効果が期待されている。加えて、国内では、固定価格買取制度の下で多くの離島で特にPVの導入が急速に進んだ。さらに、離島は気候変動に特に脆弱であるため、率先して脱炭素化に向かうという機運が国内外で高まっており、脱炭素化の実現のために省エネルギー(省エネ)に加えて更なるPVやWTの導入が期待されている。

しかし、離島の独立した電力システムでは、そのシステム内で電力の需給バランスを常に維持し続けなければならない。PVやWTの数秒から数十分程度の比較的短い周期の変動に対してはDGは比較的高い応答性を持つが、追加的に対策が必要な場合には比較的小さなkWh容量の蓄電池やフライホイールなどが用いられる。一方、PVが昼間しか発電しないことに代表されるような数時間以上のより長期の変動に対して、どのように発電と需要のバランスを維持するかは、大きな課題となる。特に、離島で主に使われるC重油のDGは最低出力が比較的高い(定格の50%程度)ため、短周期の需給バランス維持や事故電流の確保のために複数のDGを運転しておいた場合にPVやWTにより発電できる電力が少なくなってしまう。これらの問題により、少なくない離島ではPVやWTの導入量が制限され[1]、一部の離島では既にPVの出力抑制が頻発している。例えば、九州電力管内の離島で2019年度の出力抑制が発生した日数は、種子島で76日、壱岐で39日、徳之島で3日となっている[2]。そこで、離島においても蓄電池の活用や、ヒートポンプ給湯機の消費電力、電気自動車(EV)の充放電電力の制御といったデマンドレスポンスの活用が期待が高まっている[3]。

本研究の目的は、2030年および2050年を対象に、人口数万人規模の大規模離島に着目して、再エネの大量に導入された電力システムにおける蓄電池やデマンドレスポンスの導入による効果を分析することにある。その際、具体的な例として宮古島に着目する。宮古島の低炭素化の目標と、その実現に向けたデマンドレスポンスのビジネス化について調査した。その結果、宮古島をはじめとする台風リスクの高い離島においては特に家庭の蓄電池のニーズが高いと判明したため、2030年と2050年の大規模離島における蓄電池による再エネ比率の向上と再エネ出力抑制低減効果について、8760時間(1年間)のシミュレーションによる感度解析を行い、蓄電池の有用性を評価する。

## 2. 宮古島でのエネルギー消費実態や消費電力制御に関する調査

宮古島では、2008年の「エコアイランド宮古島宣言」を発表し、翌年には国内唯一の島嶼型の環境モデル都市になり、低炭素化・地域のエネルギー活用に向けた様々な取り組みを進めてきた。2018年に「エコアイランド宮古島宣言2.0」が発表され、2019年にはその「5つのゴール」設定の1つとして、省エネと再エネ推進が定められた。指標として、一次エネルギー自給率を2016年の2.88%から2050年には48.85%へと大幅に引き上げる目標を掲げられている。その実現には表1のような省

表1 エコアイランド宮古島宣言2.0エネルギー関連設定[4]

Year	2016	2030	2050
Energy Saving (ele., %)	-	20.6	24.0
Energy Saving (heat, %)	-	17.5	20.8
EV (thousand)	0	13	30
PV (MW)	22	128	208
WT (MW)	4.8	6.9	36.9
CO <sub>2</sub> reduction (%)	-	37.3	69.0
Self-sufficiency rate of primary energy (%)	2.88	22.05	48.85

エネやEV導入、再エネ導入が必要となり、再エネ電源比率は2050年には91.9%にまで高まると試算結果がされている[4]。

また、宮古島は台風による停電の頻度が沖縄県以外の日本国内よりはるかに高いため、住民の蓄電池への期待が高いことが、東京大学生産技術研究所の岩船研究室を中心としたアンケート・ヒアリング調査で示されている。同研究室による島民へのヒアリング調査では、「平成15年の台風が、島民にとっては強烈な記憶で、その後、発電機を購入する人が増えたという話である。そして、その時に購入した発電機やバッテリーを保持している世帯があり」、「PHVやEVのバッテリーを停電時に使えるというのは島民にとって魅力的」な様子であることが示されている[5]。こうした調査結果から、本検討では島民の世帯に蓄電池が広く導入されることを想定し、それが太陽光発電の余剰電力吸収に使える効果を解析することとした。

### 3. シミュレーション手法

#### 3.1 想定と使用するデータ

本シミュレーションの基本的な設定は、宮古島を模擬している。ただし、宮古島での電力需要の時系列データが取得できなかったことから、電力需要・PV出力・WT出力の時系列データに関しては、沖縄本島のデータ[6]から生成した架空の大規模離島(以下、対象離島)での検討とする。シミュレーションは1時間値を用い、対象期間は2017年4月1日から2018年3月31日までの8760時間である。1時間内の短周期変動に対しては、別途導入されている4MWのNaS電池(宮古島系統に実在)により補償されていると考え、ここでは考慮しない。シミュレーションは2030年想定と2050年想定との2つの想定で行った。

対象離島の電力需要1時間値 $P_D(t)$  [MW]は、沖縄電力の電力需要1時間値 $P_{D,o}(t)$  [MW]を、後述の省エネ率が0の時に宮古島と現状と同程度の年間需要263GWh、ピーク需要55MW、年最小需要15MWとなるように1次式(1)で補正した。省エネ率 $\alpha$ はエコアイランド宣言を参考に、2030年想定時に0.206、2050年想定時には0.240とした。正比例でなく1次式で換算したのは、沖縄本島よりも宮古島の方が負荷率が低いことを再現するためである。

$$P_D(t) = (1 - \alpha) * (0.044 \times P_{D,o}(t) - 11.3) \quad (1)$$

なお、給湯や輸送部門の電化による電力需要の増加・時系列パターンの変化は今後の課題とし、本検討では考慮していない。そのため、電化やデマンドレスポンスを考慮した場合と比較して、特に再エネ抑制率が高くなる点に注意が必要である。

PV出力とWT出力の時系列データは、沖縄電力が公開している1時間値を規格化した上で、設備利用率がそれぞれ14%、28%となるよう補正した。なお、沖縄本島は大規模離島と比べると面積が広いため、本計算では平滑化効果がやや過大な可能性がある。後述するようにPVとWTの予測値は用いておらず、従って予測誤差も考慮していない。PVとWTの導入量想定は、宮古島市エコアイランド宣言に合わせて、2030年想定でPVが128MW、WTが6.9MW、2050年想定ではPVが208MW、WTが36.9MWとした。

火力発電はDGのみを想定した。DGの起動停止は高速であるため、1台に縮約した上で最低出力以上の任意の値で出力できると仮定した。最低出力は、2030年想定では、定格10MW/台のDG2台

の出力50%に相当する10MWを基本とした。ただし、感度解析として、最低出力をDG1台相当の5MWに低下することができたと仮定した場合の計算も行った。一方、2050年想定では、技術革新によりDGなしでも対象離島の電力システムが運用可能であることを想定し、最低出力を0MWとした。1時間の時間解像度に対しては、DGの起動・停止時間は十分短く、またDGのランプレートは十分大きいとして、起動・停止時間制約やランプレート制約は設定していない。

蓄電池は家庭用中心の導入を想定しているが、それらが縮約された1台の蓄電池として模擬した。蓄電池の充電量(State Of Charge, SOC [%])は、開始時点で50%、下限値20%、上限値100%とした。蓄電池の効率、充電時90%、放電時90%とした。蓄電池はkW容量の5時間分のkWh容量を持つとし、蓄電池容量を2030年想定では0~75MWで5MWごと、2050年想定では0~150MWで10MWごとに変化させることにより感度解析を行った。

### 3.2 計算手法

シミュレーションは時系列計算にて行った。まず、各時刻の需要からPV出力とWT出力を引くことで、残余需要を計算する。次に、蓄電池の充放電出力を決定に入る。残余需要が火力の最低出力より大きい場合には、蓄電池のkW容量制約、SOC制約の範囲内で、可能な限り充電する。同様に、残余需要が火力の最低出力より小さい場合には、蓄電池のkW容量制約、SOC制約の範囲内で、可能な限り放電する。残余需要から蓄電池出力を引いた値をDGの出力とする。ただし、その値がDG最低出力を下回る場合には、DGは最低出力で運転し、残りは余剰電力として、PVとWTの出力抑制で対応されたものとする。

評価の指標として、式(2)と式(3)により、発電量に占める再エネの比率( $RE_{Ratio}$ 、以下、再エネ発電率)と再エネ総発電量に対する出力抑制量の比率( $RE_{Sur}$ 、以下、再エネ抑制率)を計算した。式(2)と式(3)において、 $P_{PV}(t)$ 、 $P_{WT}(t)$ 、 $P_{Sur}(t)$ 、 $P_B(t)$ は、それぞれ毎時のPV出力、WT出力、再エネの出力抑制、蓄電池の充放電電力(放電が正)である。また、式(2)の $-\sum_{t=1}^{8760} P_B(t)$ は、蓄電池の年間充放電損失に、初期SOCと最終SOCの差が加わったものに相当する。

$$RE_{Ratio} = \frac{\sum_{t=1}^{8760} P_{PV}(t) + \sum_{t=1}^{8760} P_{WT}(t) - \sum_{t=1}^{8760} P_{Sur}(t)}{\sum_{t=1}^{8760} P_D(t) - \sum_{t=1}^{8760} P_B(t)} \quad (2)$$

$$RE_{Sur} = \frac{\sum_{t=1}^{8760} P_{Sur}(t)}{\sum_{t=1}^{8760} P_{PV}(t) + \sum_{t=1}^{8760} P_{WT}(t)} \quad (3)$$

## 4. シミュレーション結果

### 4.1 2030年想定での代表週の結果

まず、代表週として6/18(日)から6/24(土)の1週間の解析結果例を図1に示す。この週は初夏で最大需要が40MW弱と、夏の年間需要ピーク43.9MWほどは高くない。初日は曇りであり、2日目は大雨でPV出力が低いが、残りの5日間は晴天であり、PVは正午には70~80MWの出力をし、需要を大幅に上回っている。夏季なのでWTの発電量は比較的少ない。

図2に、蓄電池が5MWの場合と50MWの場合の残余需要、蓄電池の充放電量とそのSOC、および再エネの出力抑制量を示す。図2(a)と(b)で残余需要のデータは同一である。図2(a)を見ると、蓄電池容量が5MWの場合、日中の負の残余需要に対して蓄電池が充電できる分はわずかであり、

大雨だった6/19を除いて大きな出力抑制が生じている。また、夕方の短時間の放電により蓄電池のSOCは下限値に到達しており、それから翌日の朝まではほぼDGのみで発電されている。

一方、図2(b)を見ると、蓄電池容量が50MWの場合は、晴天日でも午前中を中心に日中の残余負荷の相当な部分を蓄電池が充電できており、出力抑制量は図2(a)よりも顕著に減っている。また、夕方以降は、6/21の夜から翌朝にかけてはSOCが20%に到達していないことから、夜間もDGが常に最低出力で運転され、残りは蓄電池とWTで供給されたことが分かる。6/22以降は明け方に蓄電池が最低出力となっているが、その時間は図2(a)より短い。

以上から、代表日において50MWの蓄電池導入で再エネの出力抑制が顕著に減少し、その分DGによる供給も減少していることが確認できた。

#### 4.2 2030年想定における感度解析結果

2030年想定において、蓄電池容量を0～75MWに変化させた場合の、再エネ発電率と再エネ抑制率をまとめたものを図3に示す。図3において、“Th10MW”、“Th5MW”は、それぞれDGの最低出力が10MW、5MWの場合の解析結果であることを示す。

まず、DGの最低出力が10MWの場合に着目すると、蓄電池0MWでは再エネ発電率は41.6%にとどまり、再エネ抑制率が59.2%にもなる。蓄電池の導入に伴い、再エネ発電率は増加し、再エネ抑制率は低減するが、蓄電池導入量当たりの効果は減少し、蓄電池が50MW(再エネ発電率55.4%、再エネ抑制率30.4%)の付近から頭打ちとなる。理由は、蓄電池が50MW導入された場合には、既に年間の89.3%にあたる7822時間で火力発電が最低出力運転となっており、追加の出力低下の余地が限られているためである。

DGの最低出力が5MWに緩和された場合、同じ蓄電池導入量で比較すると再エネ発電率は7.4～12.2ポイント上昇し、再エネ抑制率は8.9～16.4ポイント減少する。特に、蓄電池導入量が増加するほど、余剰電力の活用量が増えるため、DGの最低出力を緩和することによる効果が大きくなることが確認できる。

ただし、DGを1台で運転した場合、そのDGが故障した場合に次のDGが起動するまでの間、無停電で蓄電池と再エネのみによる給電に移行する必要がある。既に人口約600人の波照間島ではモーターと発電機を組み合わせたMGセットによって慣性と事故電流を保持することにより、2時間弱にわたりDGの運転なしに電力供給を行った実績がある[7]。こうしたDGなしでの運転を大規模離島において実現する技術開発・検証が必要となる。

なお、本想定蓄電池50MWは、島民を5万人として単純に割り算すると1kW/人、5kWh/人に相当する。そのため、台風対応などで個人宅や業務施設に蓄電池が一定普及してくれば、非現実的ではない導入量と考える。また、本検討では陽にはEVについて検討していないが、例えば2030年の宮古島の導入予定である1.3万台のEVの車載蓄電池のうち、一台平均4kW弱、20kWh弱の容量について本目的で活用できれば、同様の効果を期待できる。その場合には、電気自動車を日中充電し、夕方から夜間にかけて放電できる仕組み作りが重要となる[8]。

DGの最低出力が5MWに緩和された場合、同じ蓄電池導入量で比較すると再エネ発電率は7.4～12.2ポイント上昇し、再エネ抑制率は8.9～16.4ポイント減少する。特に、蓄電池導入量が増加するほど、余剰電力の活用量が増えるため、DGの最低出力を緩和することによる効果が大きくなる

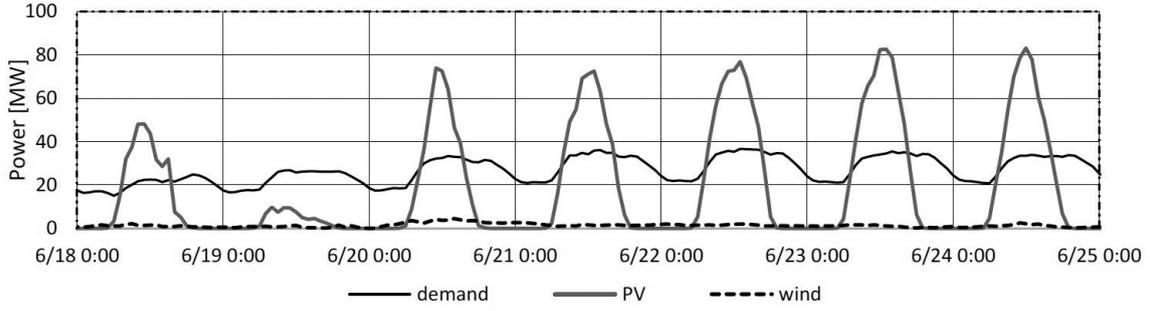
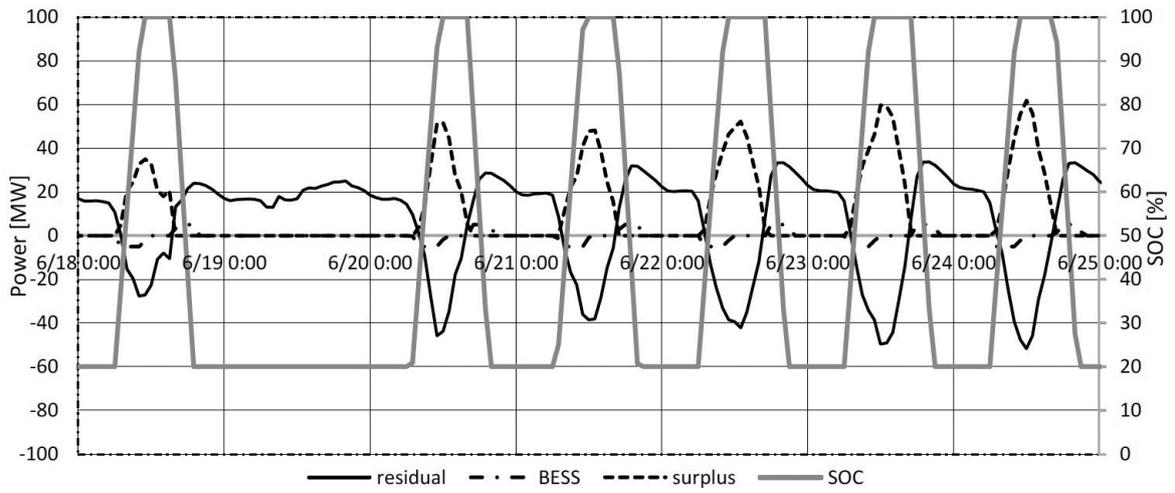
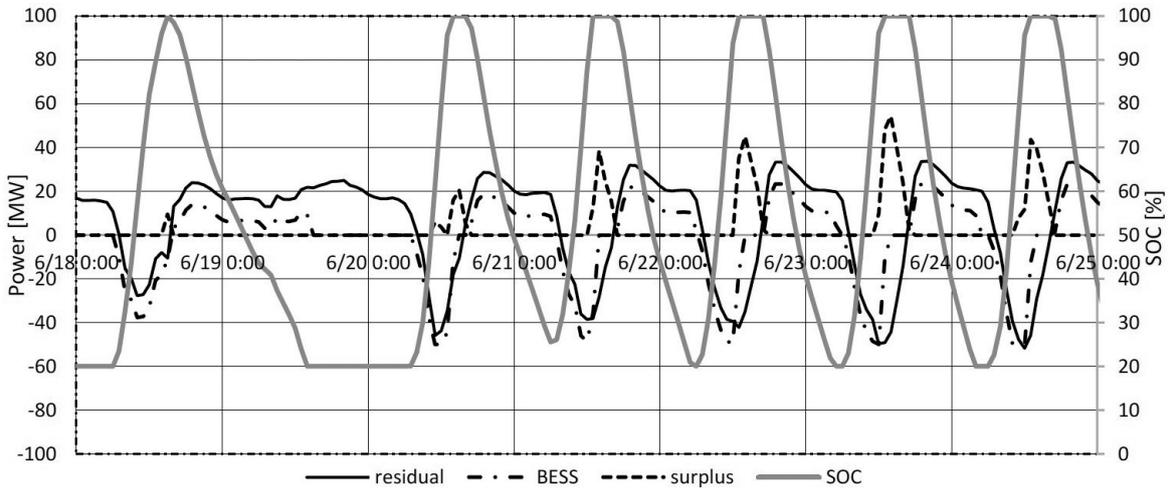


図1 需要、PV出力、WT出力(6/18~6/24、2030年)



(a) BESS 5MW



(b) BESS 50MW

図2 残余需要、蓄電池の充放電量とSOC、余剰電力(6/18~6/24、2030年)

ことが確認できる。

ただし、DGを1台で運転した場合、そのDGが故障した場合に次のDGが起動するまでの間、無停電で蓄電池と再エネのみによる給電に移行する必要がある。既に人口約600人の波照間島ではモーターと発電機を組み合わせたMGセットによって慣性と事故電流を保持することにより、2時間弱にわたりDGの運転なしに電力供給を行った実績がある。こうしたDGなしでの運転を大規模離島において実現する技術開発・検証が必要となる。

#### 4.3 2050年想定における年間解析結果

2050年想定において、蓄電池容量を0～150MWに変化させた場合の、再エネ発電率と再エネ抑制率をまとめたものを図4に示す。蓄電池が無い状態では、再エネ発電率は68.9%、再エネ抑制率は60.2%であるが、蓄電池容量が100MWの時点で再エネ発電率は98.9%、再エネ抑制率は38.7%となることが確認できる。抑制される再エネが残っているため、2050年に向けては更なる電化の進展により電力需要を増加させることで、電源からのCO<sub>2</sub>排出をあまり増やさず燃料由来のCO<sub>2</sub>をより減らせる可能性があるといえる。

また、火力発電のない無慣性の系統運用が前提となるため、それを実現するための自律分散型の電源による無慣性の系統運用技術が、今後の技術開発の課題となる。

## 5. まとめ

本研究では、2030年から2050年の将来の大規模離島に着目し、まず宮古島を対象とした調査を行って、低炭素化の目標が具体化されていること、特に台風の来襲頻度が高く停電が多いことから、蓄電池の導入への期待感が高いを確認した。また、シミュレーションによる端的な検討として、2030年と2050年の大規模離島における蓄電池による再エネ比率向上と出力抑制低減効果を確認した。今後は電化やデマンドレスポンスの実装を含めた、より多くの再エネを活用を解析できるシミュレーションモデルの構築が求められる。

## 参考文献

- [1] 沖縄電力：「宮古島における再生可能エネルギー発電設備の連系に関する説明会」(2014)  
[http://www.okiden.co.jp/shared/pdf/whats\\_new/2014/140515\\_03.pdf](http://www.okiden.co.jp/shared/pdf/whats_new/2014/140515_03.pdf) (2020/08/29確認)
- [2] OCCTO：「九州離島の再生可能エネルギー発電設備の出力抑制における公平性の検証結果

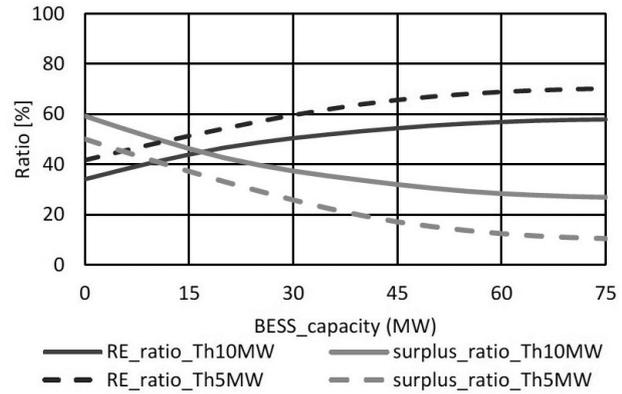


図3 2030年における感度解析結果

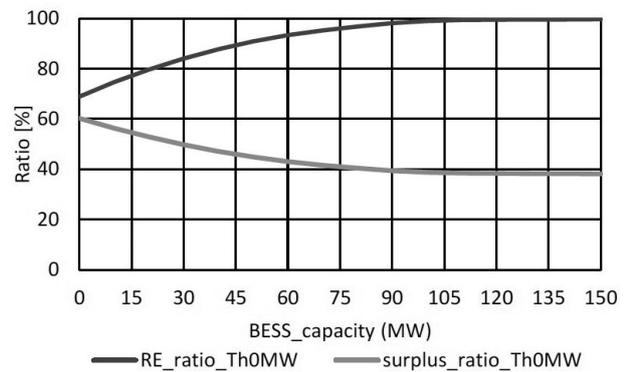


図4 2050年の感度解析結果  
 (図3と横軸のスケールが異なる点に注意)

- ～2019年度実施分 九州電力送配電～」(2020)  
[https://www.occto.or.jp/oshirase/shutsuryokuyokusei/2020/files/200626\\_kenshokekka.pdf](https://www.occto.or.jp/oshirase/shutsuryokuyokusei/2020/files/200626_kenshokekka.pdf)  
(2020/08/29確認)
- [3] 馬場旬平：「離島等独立系統における需要家機器制御による再生可能エネルギー電源の変動補償に関する技術動向」, 電気学会論文誌B, Vol.138, No.3, pp.201-204 (2019)
- [4] 宮古島市：「エコアイランド宣言2.0 ～千年先の、未来へ。～ゴール(指標)の設定について」  
[https://www.city.miyakojima.lg.jp/gyosei/ecoisland/files/ecosengen\\_sihyo\\_ppt.pdf](https://www.city.miyakojima.lg.jp/gyosei/ecoisland/files/ecosengen_sihyo_ppt.pdf)  
(2020/08/29確認)
- [5] 八木田克英・岩船由美子・亀濱千比呂・比嘉直人：「電化やデマンドレスポンスに対する消費者受容性に関する検討」, 第37回エネルギー・資源学会研究発表会, 5-2(2018)
- [6] 沖縄電力：「需給関連情報(需給実績)の公表」  
<https://www.okiden.co.jp/business-support/service/supply-and-demand/index.html>  
(2020/08/29確認)
- [7] 沖縄タイムス：「島内の全電力 一時再エネに／県、波照間で供給達成」(2018)  
<https://www.okinawatimes.co.jp/articles/-/362452> (2020/08/29確認)
- [8] 陳国威, 今中政輝, 栗本宗明, 杉本重幸, 加藤丈佳：「太陽光発電を主電源とする地域電力システムにおける需給調整力としての電気自動車の活用効果」, 第36回エネルギーシステム・経済コンファレンス講演論文集, 16-2 (2020)