

# 宮古島におけるスマートコミュニティの取組み

Efforts of Smart Community in Miyako Island

株式会社ネクステムズ 比嘉 直人

## 1. はじめに

沖縄県には 11 の電力系統があり、沖縄本島を除く 10 の離島電力系統ではディーゼル発電機で電力が供給されており発送電コストが高い。(図 1)



図 1 沖縄地域の電力系統<sup>(1)</sup>  
(○印は宮古島)

沖縄県では発電用燃料以外のエネルギーを含む 1 次エネルギーの 98%を化石燃料に依存している。そのためエネルギー源の多様化や脱化石燃料は喫緊の課題である。沖縄本島以外の殆どの離島では人口が減少しているものの、観光客の増加などで最大電力需要は上昇し続けている。そのため年間の電力系統負荷率 (=平均電力 kW/最大電力 kW) は悪化し、固定費が増加するため、発送電コストは更に増加する。

人口約 55,000 人の宮古島も同様な状況であり、系統負荷率は 50%未満である。仮に系統負荷率を 75%以上に引き上げることができれば発送電コストが下がり、電力供給赤字を解消できる見込みがある。

宮古島では 2007 年からエコアイランドの実現を目指して取組みを行っており、CO2 削減目標は 2003 年対比で 2030 年 44%、2050 年 69%である。それを実

現するために再生可能エネルギー (RES: Renewable Energy Sources) やその他の分散型エネルギー (DER: Distributed Energy Resources) を導入して、島内のエネルギー自給率を 3%から 20%に向上させることを目指している。そのため、年間系統負荷率向上と RES 最大利用に具体的に取り組んでいる。

## 2. 技術研究

過去 2 年間で年間系統負荷率向上と RES 最大利用を実現するための技術研究を実施してきた。

家電機器に焦点を当て、既に販売されている機器を、標準仕様を逸脱しない範囲で、どこまで制御できるか検証を重ねて、よりシンプルで広い範囲の機器に適用可能な方法で、島内電力需要を形成するための持続的で低廉な技術的方法を得ることを目的に今後の価格低下見込みも踏まえ太陽光発電 (PV) とエコキュート (EQ)、住宅用蓄電池 (BESS)、EV 充電器 (EVCS) を主な制御対象機器とした。(図 2)



図 2 実証サイトの外観

### 2.1 エコキュート (EQ) 制御

最初に手掛けたのはエコキュート (EQ) であった。従来の HEMS の取組みで実装されていた ECHONET Lite 規格による手動沸き上げ機能を利用した。手動沸き上げ機能は湯切れ時の追炊き用として設定されたコマンドで、Release A の時代から規定されている。但し実際に各ベンダーが機器に実装したのは近年になってからのようである。更に 2016 年 9 月の Release I への改定で、EQ の制御可能領域は格段に

増加したが、各ベンダーの実装対応は温度差がある。

そこでシンプルで広い範囲の機器に適用可能な方法として手動沸き上げ機能による制御試験を繰り返した。制御方法はEQが沸き上げる時刻、つまり電力消費するタイミングを任意に変更できるかであった。実証試験では8機種種のEQを導入した。原理的にはヒートポンプを熱源として沸き上げて貯湯して給湯する機器であるが、湯切れもなく高い効率性を発揮するために学習機能も伴った高度な制御をEQは実装している。それを外部から無理に沸き上げるため、機器によって様々な反応に違いがあり、当初はかなり苦戦を強いられた。我々はこれらを機器固有の「クセ」と呼んでいる。例えば元来EQは夜間時間帯に稼働する機器であり、多くは23時～翌日7時の間に稼働するよう設定されている。そのため23時直後の指令に関してはインターロックが入っており、23時5分以降でなければ指令を受け付けてくれない機種があった。一方、昼間に関しては事前に昼間沸き上げ許可のコマンドを入れないと指令を受け付けてくれない機種があったり、逆にそれを入れると自動沸き上げモードに勝手に移行したりする機種があった。さらには手動沸き上げの指令を入れたままだと、少量でも給湯すると直ぐに追炊きしてしまう現象があった。など様々なクセを経験した。

そのため、基本的な制御方法としては任意の沸き上げたい時間帯に手動沸き上げ開始を指令し、機器が沸き上げたところで、手動沸き上げ停止を指令する。湯切れが心配な時間帯は自動沸き上げに切り替えておくという措置を講じることにした。

手動沸き上げ開始は追炊きの実行指令であり、それを発令するとEQは数分以内で沸き上げを開始する。貯湯タンク下部の水温が概ね45℃になると自動で機器が沸き上げを停止する。しかし、追炊きは非常時の手段としてのコマンドであるため、全量(満タン)沸き上げとなり、毎日この指令が繰り返されると毎回高温で沸き上げるために貯湯時の放熱ロスが増加し、非効率運転になってしまうというのが各ベンダーの見解であった。機付リモコンから高効率で通常運転している機器に対して、外部制御を実行することに対する最大難関のクセであった。

全量沸き上げではなく、通常運転のように使用湯量の学習に基づく目標量沸き上げになっていけば問題にならないはずと考え、各ベンダーと交渉を重ねて試験を繰り返し、一部の機種については、少し工夫した制御設定を行うことで目標量沸き上げになることを確認できた。更に全量沸き上げにしかならな

いとしていた機種でも、実際には気温や水温などで実質的には目標量沸き上げに近い運転になることを確認できた。

結果的に8機種とも月間消費電力量は±10%以内の差異に収まり、金額換算では全国平均の標準世帯を想定しても月額±100円以内となることが分かり、この差額であればビジネスとして織り込むことは可能との判断に至った。(図3)

このように複数ベンダーの複数機種を用意して、通常運転ではない外部制御の手動沸き上げ運転を行う試験は、ベンダー側も未知数であった様子で、当初の予想に反する良好な結果を各ベンダーとも共有することができた。

消費電力量 (現場計測装置)	エコキュート試験機							
	1	2	3	4	5	6	7	8
通常運転(28日分)	3,348	3,324	2,526	2,854	2,366	2,921	2,537	2,504
ENL制御(20日分)	3,599	3,700	2,304	2,550	3,366	3,444	2,445	2,418
増加量(ENL/通常)	107.5%	111.3%	91.2%	89.4%	142.2%	117.9%	96.4%	96.6%
ENL制御500L(8日)	4,392	4,756	2,840	3,257	2,454	3,197	3,298	3,749

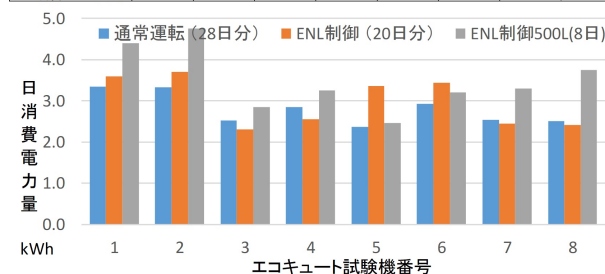


図3 エコキュートの外部制御による効率比較 (ECHONET Lite 規格)

## 2.2 太陽光発電 (PV) 制御

PVは変動性電源と言われており、宮古島においても変動要因から接続許容量 (=30日等出力制限枠) に達する状況である(図4)。

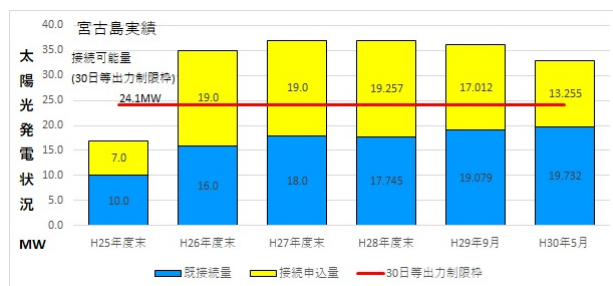


図4 宮古島におけるPV申し込み量の推移<sup>(2)</sup>

沖縄地域にある電力システムの多くで同様な状況がある。このような状況下で、どのような手段であれば更なるPV導入拡大に繋がるかを検討した結果、「常時出力制限運転」を実装する必要性に辿り着いた。

図5のグラフ中に持続曲線(ディレーションカーブ)を記載しているが、出力変動が多いPVでは50%以上の出力で発電できる機会そのものが少なく、全

体の 15%未満となっている。この傾向は全国的にもあまり差異はない。そうであれば発電機会が少なく、変動成分の多い高位出力帯は交流電気に変換せず、常時抑制してしまうことで、PV 発電出力の安定化を図りたいと考えた。PV に対する期待は不確定な出力 kW ではなく、より安定した発電量 kWh である。

月別で常時出力制限値を変更して、電力系統負荷が大きく PV 発電量が多い夏期は出力制限値を緩和し、冬期など電力系統の軽負荷期は出力制限値を引き下げる措置を講じる計画である。このような運用を行うことで発電電力量を極端に損ねることなく、PV の予見性を高め、安定電源化を目指すことができると考える。例えば夏期は 70%制限、冬期は 40%制限した場合でも年間を通じて PV 発電量は 90%以上を確保できる見込みである。(図 5)

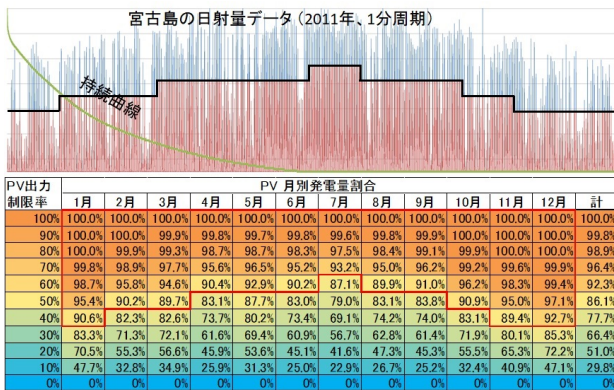


図 5 PV 常時出力制限

### 2.3 制御システム

PV+EQ などの制御対象機器はクラウド制御システムから HEMS-GW (Home Energy Management System - Gateway) を介して制御される。制御方法は可能な限り標準プロトコルやクラウドシステムを採用しており、制御対象機器が家電であるためマルチベンダーを意識して、HEMS-GW から機器間は ECHONET Lite で制御し、クラウド制御システムから HEMS-GW の間は OpenADR 及び MQTT で構築している。(図 6)

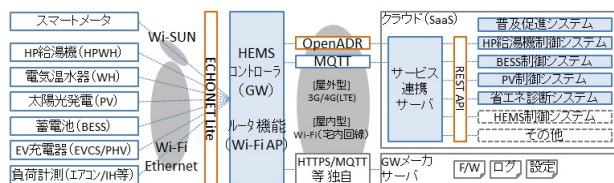


図 6 マルチベンダー制御方法

PV は基本的に月別の常時出力制限運転を行い、電力会社からの出力抑制指令に優先的に反応する運用を当面実施する予定である。また、PV に併設される

EQ や将来増設される BESS などは、前日にスケジュール配信して稼働時刻シフト制御を行う。(図 7)

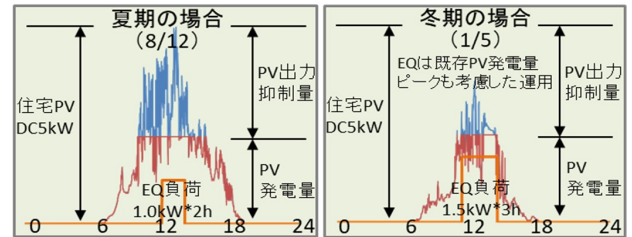


図 7 シフトデマンドレスポンスの例

このような個別機器に対する運用をシフトデマンドレスポンス (Shift-DR) と呼んでおり、DER を地域的にグループ制御して、翌日の島内需要形成を行うことを目指している。それを我々はエリアアグリゲーション (Area aggregation) と呼んでいる。

エリアアグリゲーションの目的は、電力系統負荷率向上と RES 最大利用である。適切な制御方法での可能性を探求するため、今後 3 年間の制御対象機器の普及とともに、エリアアグリゲーションの宮古島全域でのフィールド実証を計画している。

### 2.4 その他の家電機器

家電機器を遠隔制御することは、国内でも未だ標準的な使用方法とは言い難い。特殊な機能を装備することも考えられるが持続的な方法でない。そのため、既に販売されている機器を購入して各ベンダーと交渉して標準仕様を逸脱しない範囲で、どこまで制御できるかを幾度も検証を重ねて、シンプルで広い範囲の機器に適用可能な方法を選択している。

具体的には、PV は PV-PCS で持っている出力制限機能を使用して指令することで実現する。但し、対応できるベンダーや機種は限りなく少ない。

旧式の電気温水器 (WH) は機器側で信号を受けることが出来ないので 200V ヒーター電源の回路ブレーカーを 8 時間セットで ON-OFF 制御することで電力消費のタイミングを任意に変更する。

EVCS は VtoH (Vehicle to Home) も考えられるが普及性を考慮すると充電用電源の回路ブレーカーの ON-OFF 制御で充電タイミングを指令する。

その他の宅内リビングにある家電機器の多くは、赤外線リモコン経由で制御できることは確認できているが、これらのオンタイム利用の機器については制約が多く、実装は今後検討の余地を残している。

このように検証を繰り返し、その他の家電機器について実装の機会を見定めているところである。

### 3. 普及モデル

当面の普及モデルは、特に採算性が十分見込まれる屋根置き PV と EQ を組合せた第三者所有モデル (TPO: Third-Party-Ownership) を予定している。

基本構成は PV7kW+PCS5kW+EQ となっており、需要家の電力量計二次側に接続して電力供給を行い、PV 発電量の約 30%を昼間電気として需要家が自家消費する。また、標準世帯想定であれば 10%を EQ が一時電力消費して、沸き上げたお湯を需要家に給湯小売する。残る 60%を電力系統に売電する計画である。電力系統への売電は様々な方法が選択できるが、沖縄離島では沖縄電力株式会社に対する相対契約売電を予定している。この普及モデルにより、従来の平均的な需要家であればエネルギーコストを約 20%引き下げられる見込みである。

屋根置き PV には既設住宅に負担が少なくなるよう傾斜角 5 度未満の架台を使用する。EQ はパワーコンディショナー (PV-PCS) と組合せて自立式架台に取付けるなどして極力負担がないように配慮する。なお、自立式架台は BESS や EVCS も増設可能な構造を想定している。(図 8)

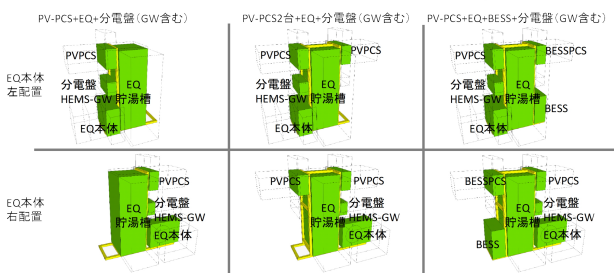
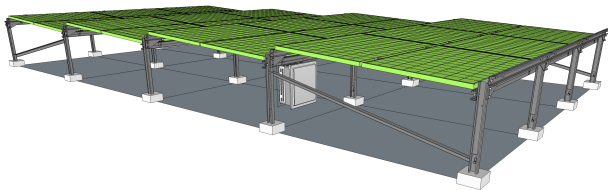


図 8 制御対象機器の設置方法

### 4. 実現に向けた関係者との調整

実現に向けた宮古島地域の関係者との調整を常に実施している。

#### 4.1 LPG 事業者との調整

沖縄には約 200 社のプロパンガス (LPG) の供給事業者が存在し、約 25,000 世帯の宮古島には 13 社が存在する。大きな会社は 8,000 世帯に、小さな会社は 500 世帯に LPG を供給している。

PV+EQ の普及モデルについて、各社との調整を行った。普及モデルの必然性については理解を示した

が、急速な普及を行えば会社が倒産する可能性が否定できないとの意見が多かった。エネルギー供給の破綻が起これば、大きな混乱を生じる可能性があるため普及方法に配慮する必要がある。そこで当面は LPG 機器ハイブリッド方式での導入を行う予定である。(図 9)

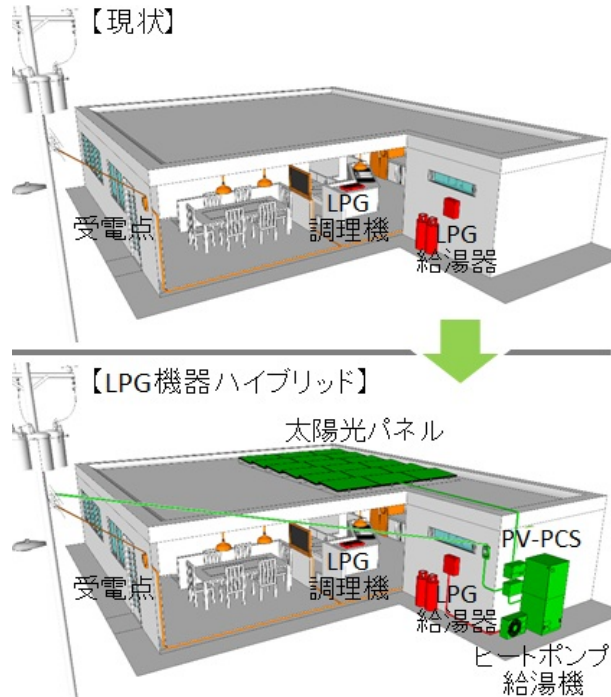


図 9 LPG 機器ハイブリッド方式

LPG 機器ハイブリッド方式では、PV からの電力供給で EQ を稼働し、EQ から 50℃の温水を LPG 給湯器に供給して、殆ど不稼働にすることで LPG 消費量を極力低減させる。この状態で数年間の運用性を確認した後に、LPG 給湯器を廃止して完全に移行する。当初の普及モデルの推進は我々が実施するものの、次第に島内 LPG 事業者にも普及事業経営を任せ、地元と密着した普及拡大を目指すものとする。

#### 4.2 電力会社との調整

電力会社との調整も順調に進めている。既に RES 接続許容量 (=30 日等出力制限枠) に達する状況で更なる RES 普及拡大のために、PV 常時出力制限による予見性の向上と DER 制御による Shift-DR の制御価値に理解を示している。また、TPO 方式でのビジネス成立と同時に、電力会社に対して安価な PV 余剰売電を行うことで離島電力供給の赤字収支の解決促進を図ることも検討している。現行制度内で普及モデルに対する系統接続のために必要な条件等も同時に検討を進めている。

PV の常時出力制限運転及び後述するリアルタイム監視で、PV 出力に対する予見性が高まり天候急変に伴う影響度が小さくなる。さらに PV+EQ の普及モデルが多く普及すれば、エリアアグリゲーションで翌日の系統需要を形成して、小規模な離島電力系統であっても急峻な電力変動は起きづらくなると考えられる。そのため軽負荷時のディーゼル発電機の並列台数を減数することができると思込んでおり、電力系統の下げ余力も向上できると考える。(図 10)

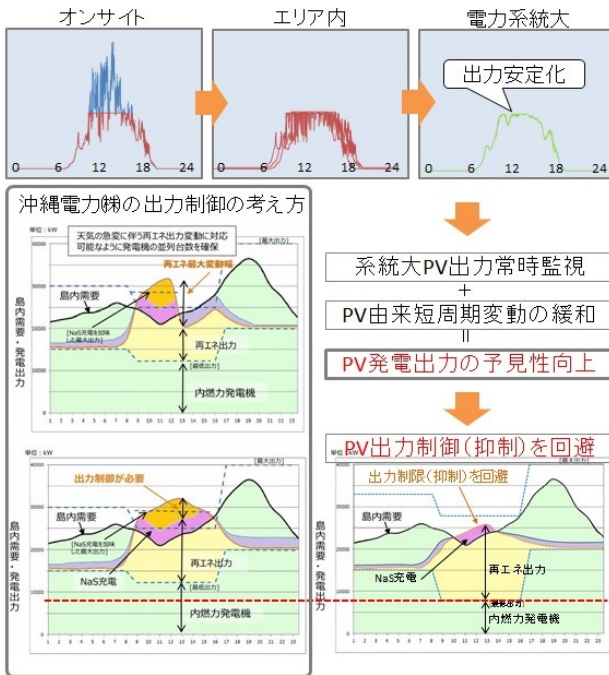


図 10 常時出力制限による予見性向上の効果

ところが過渡期である現状は厳しい。RES 接続許容量に到達する現在において最近数年間の観光客倍増の現象があり、ディーゼル発電機の上げ余力と下げ余力の不足傾向が顕著になってきている。小規模電力系統では RES 出力変動も負荷変動も数分単位で急激に変化する。

このプロジェクトでは、これまで前日にスケジュール配信して稼働時刻シフトする緩やかな制御のみを実装予定としていたが分速応答 (Fast-DR) の実装を模索するニーズが新たに浮上してきた。LTE 通信で実現すれば、既知の技術で実現可能であるが、分速レポートによる通信コストの増大が懸念される。そこで、通信を UPLINK と DOWNLINK に分け、UPLINK には LPWA (Low Power Wide Area) の一種である LoRa 通信を用いることにした。これを DER に備え付けた GW に搭載して、そこから最寄りの中継 GW に対して、1 分周期で PV 出力値や EQ 消費電力値などをレポートする。中継 GW では最大 500 台の DER-GW からのレ

ポートを集計して、PV 出力合計値と EQ 消費電力合計値を 1 分周期でクラウド制御システムにレポートする。これにより電力会社のディーゼル発電所側でリアルタイム監視ができるようにして平常時の PV 出力監視に役立てる。加えてディーゼル発電機の上げ余力不足や下げ余力不足などの緊急時には PV 停止や EQ 稼働/停止などの制御指令を LTE 通信で発信する。

このような方法を選択することで、DER をリアルタイムに監視制御しても、運用コストが安価なシステムが実現できると考えている。(図 11)

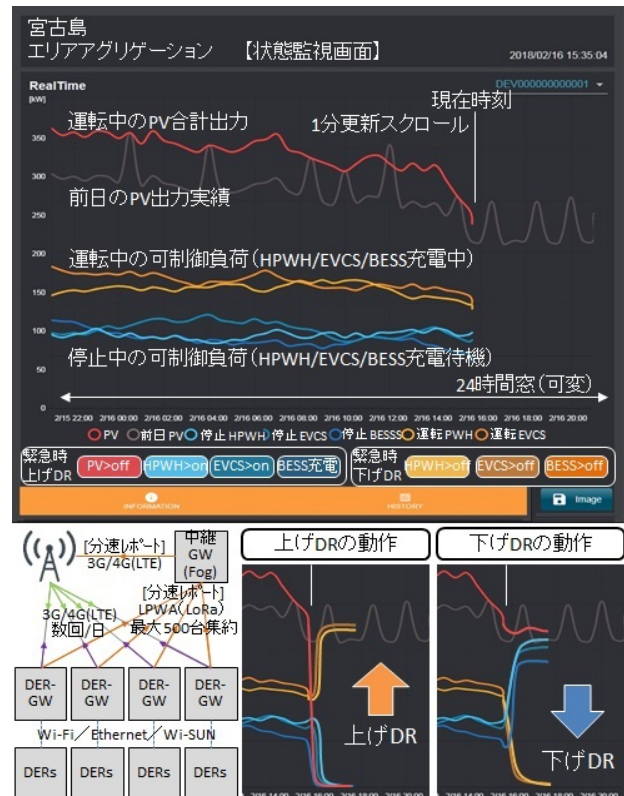


図 11 リアルタイム監視と分速応答

## 5. 将来想定

海外製の PV パネルの価格低下の影響を受けて、国産の PV パネルや PV-PCS の価格低下も急速に進んでいる。また、BESS も価格低下の兆しがある。このような状況の中で、我々は電力安定供給のための将来想定を行っている。(図 12)

まず、低圧配電線路には PV+EQ を TPO 方式で普及させる。将来は BESS+EVCS を追加する。これらの制御対象機器を親アグリゲータがエリアアグリゲータとサーバー連携して翌日の島内需要形成、つまりエリアアグリゲーションを行う。エリアアグリゲーションでは Shift-DR を活用するため、殆どケースで都度 DR 精算は不要とする。但し、分速応答の下げ DR

や上げ DR を要求した場合には使用量に応じた精算を必要とする。

次に、前述の TPO 方式の普及に伴い kWh 価値が下がり kW 価値が上がる。そのため、高压配電線路にはピークカット用 BESS が普及すると想定している。さらには BESS の大量普及に伴い市場価格が低下し、自動運転技術の実現も伴い、EV 普及も加速して EV 充電ステーションが普及拡大するものと想定する。親アグリゲータは、これらの高压配電線路に接続した DER と大規模 PV や風力発電を協調制御するため、リソースアグリゲータに需給制御を指令する。これはリソースアグリゲーションと呼ばれ、分速応答の下げ DR や上げ DR を要求する。そのため、基本的には精算を必要とする。

エリアアグリゲーションやリソースアグリゲーションが充実することで、さらに DER が普及拡大する。そのような状況では高压配電線路上に高压自動電圧調整器 (SVR) や静止型無効電力補償装置 (SVC) の増設が必要となることに加え、火力発電機の停止に伴う系統安定化蓄電池の整備や慣性力の確保が必要となる。そのため、DER の多くに無効電力調整や周波数調整を行うための機能実装が必要となる。

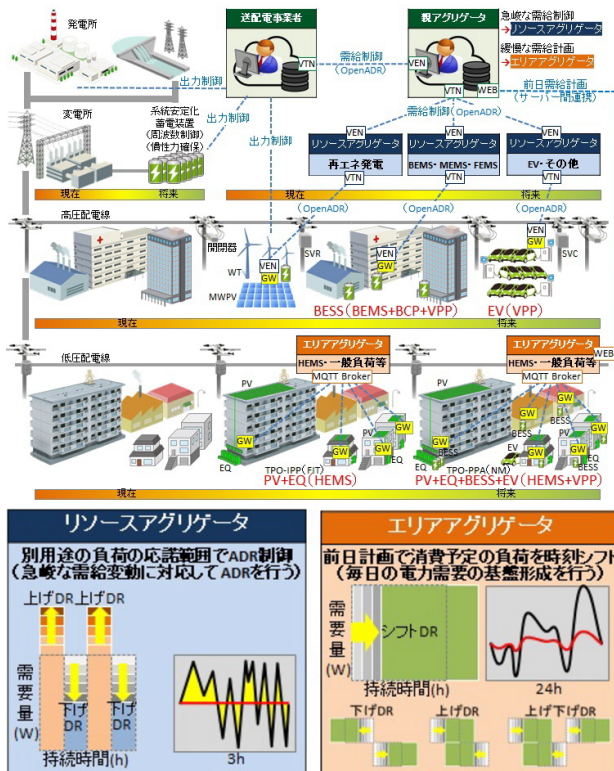


図 12 将来想定

## 6. 今後の計画

宮古島では現在から3年間においてTPO方式で最大5000組のDERを普及させて、エリアアグリゲーション

の効果を検証する計画がある。1組の基本構成はPV7kW+PCS5kW+EQの組み合わせであり、このプロジェクトで現在25MW~60MWの電力系統規模である宮古島に導入されている約24MWのPVを約2倍に拡大させる計画である。

また、それと同時に並行して沖縄県内のその他の地域にもTPO方式で制御対象機器(PV+EQ)を普及させる計画を進行中である。

TPO方式で持続的にDERを普及するためには豊富な資金を必要とするため弊社単独では難しい。そのため、宮古島での3年間の普及プロジェクトでLPG事業者との連携方法を確立することが重要である。また市民参加も促すため市民ファンドも組成する。

そのためにも制御対象機器であるDERの制御価値の確立とともに、温水販売方式、機器調達方法、系統接続方法を確立していく。また、PV余剰売電単価の構成についても電力会社と協議して持続的で汎用性のある形式を目指す。

そして、これらを組み合わせてエリアアグリゲーションの実現し、PVを主要電源化して、島内のエネルギー自給率を3%から20%に向上させ、かつ発電コストが安価な電力系統を生み出したいと考えている。

## 参考文献

- (1) 沖縄電力株式会社, 沖縄電力(当社の会社概要について), 32-33, 沖縄電力株式会社, 沖縄
- (2) 沖縄電力株式会社, 沖縄離島系統における再生可能エネルギーの出力制御の実施方法について, 3, 沖縄電力株式会社, 沖縄

## 著者略歴

比嘉直人(ヒガ ナオト)

1995年3月琉球大学工学部卒業。同年4月沖縄電力グループの(株)沖縄エネテックに入社。宮古島メガソーラー実証設備のシステム設計責任者、国内初の可倒式風車導入のシステム設計責任者、国内最大級の廃材由来の木質燃料ペレット製造設備の調査設計などを歴任し、JICA事業等でアジア・大洋州諸国への再エネ等技術調査・導入などのプロジェクトを経験。宮古島スマートコミュニティ事業を推進中。エネルギー管理士。

