

# インテリジェントパワーコンディショナ

川村 博史

研究開発本部 エネルギー技術研究所

原子力発電所の稼働率低下に伴い、関東地区だけでなく、全国で発電容量の不足が深刻化しています。また、地球温暖化対策としては、太陽光発電をはじめとした再生可能エネルギーの導入促進が急務となっています。しかし、太陽光発電や風力発電などの再生可能エネルギーは、一般的に天候の影響を受けやすく、大量に導入した場合には、その発電量の変動が系統に影響を与えたり、発電した電力を有効活用できないことが発生します。

このような課題に対応するため、スマートグリッドというものが考えられており、そのスマートグリッドに対応するインテリジェントパワーコンディショナを試作しましたので、その概要を紹介します。

## 1 現在の電力状況と課題

原子力発電所の稼働率低下に伴い、発電量が不足しているといわれていますが、この発電容量の不足は、昼間のピーク時の電力需要期のみが不足しており、消費電力が低下する夜間などでは発電容量に十分な余力があります。従って、夜間の電力を昼間に移動することができれば、発電容量不足を大幅に軽減することができます。

また、発電量が不足する昼間に発電する太陽光発電を導入することはピーク電力の抑圧に効果的ですが、太陽光発電の発電ピークが正午ぐら

いに発生するのに対し、消費電力ピークは午後3時ぐらい<sup>1)</sup>と少し時間のずれがあります。さらに、一般家庭の消費電力ピークは、午後8時ぐらいに発生する<sup>2)</sup>ため、太陽光発電を導入した場合でも電力のシフトは重要となっています。

次に、太陽光発電を大量に導入した場合、2つの課題があると言われています。1つは、現在の電力の配電系統は、電力会社から一般家庭や工場、店舗などの需要家に向かって電力が流れること想定されて設計されています。電線の抵抗やインダクタンスにより電圧が下がるため、配電所はやや高めの電圧で電力を供給

し、需要家に到達する点で、所定の電圧範囲に入るように制御されています。このような状況で、特定の地域に集中して太陽光発電を導入すると、高い電流が配電系統の設計と逆の方向に流れることになり、配電系統の末端付近の電圧が上昇するという問題が発生します<sup>3)</sup>(図1)。このような電圧上昇により、末端付近の太陽光発電の余剰電力を系統に売ることができなくなります。この現象は、配電系統の一部で限定的に起こり、電力系統全体として電力が余るわけではありませので、系統自身がこの現象で不安定になることはありません。

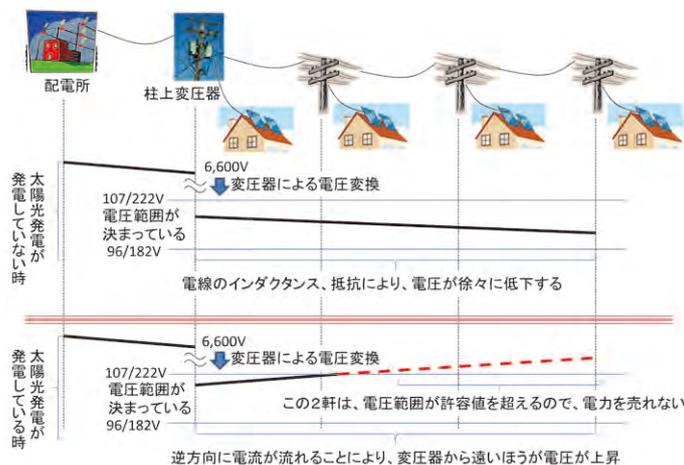


図1 システムの電圧上昇現象  
太陽電池からの電力の逆潮流による電圧の上昇

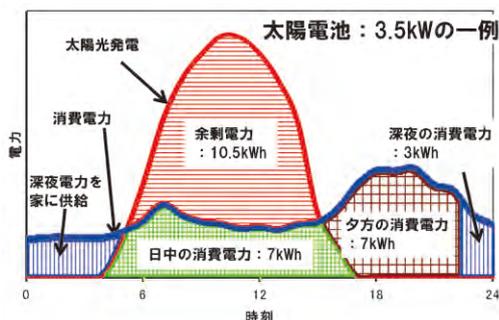


図2 一般の太陽光発電電力と消費電力の時間分布例

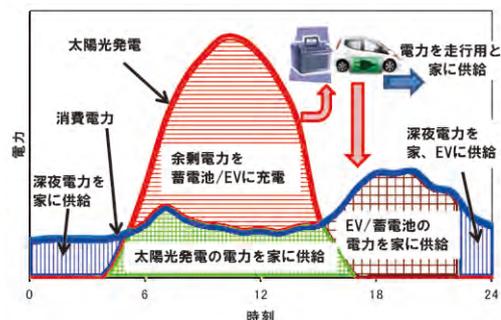


図3 蓄電池、電気自動車の活用例

もう1つの課題は、太陽光発電が天候により、発電量が大きく変動することにより、電力系統が不安定になることです。発電の変動の速度は、その日が晴れる、曇るなど日程度の場合と、雲が太陽をさえぎることによる数秒レベルの変化が存在しています。

現在一般的に使用されている交流の電力は蓄積することが難しいため、各発電所は、需要の大きさに応じて出力を調整し、常に需給のバランスを保っています。日レベルの変動については、天気予報や過去の需要情報を活用することにより、比較的容易に需給調整ができます。

一方、比較的早い変動への発電能力の調整可能速度は、水力は1分程度、火力発電は10分程度で発電能力の3割から5割程度の出力調整しか行えないため、太陽光発電が引き起こす秒単位の変動に対する電力の需給調整を行うことができません<sup>4)</sup>。従って、数秒レベルで変化する再生可能エネルギーの絶対量が増えてくると、需給調整が困難となります。

需要に対して供給量が大きくなりすぎれば、電圧や周波数が上昇し、需要に対して供給量が不足すると、電圧や周波数が低下します。最悪の場合、大規模な停電を引き起こします。

これらの問題を解決策として、電力をためたり出したりすることができる蓄電池の活用が有望です。先にも述べたように交流をそのまま蓄積することは難しいですが、太陽光発電などのような直流は、蓄電池を用

いて容易に蓄積することができます。再生可能エネルギーの電力を必要に応じて蓄電池に蓄積することにより、ピーク電力のシフトや秒単位の出力電力の変動を抑えることができます<sup>5)</sup>。

## 2 蓄電池の容量について

蓄電池を活用するにあたり、どの程度の大きさの蓄電池が必要かを見積もらなければなりません。

一般家庭での実際の消費電力量や太陽光発電の電力量はどのような状況でしょうか。

一般家庭の年間の消費電力は、電気事業連合会の約3,400kWh<sup>6)</sup>から、省エネルギーセンター発行の「エネルギー・経済統計要覧」より計算した約5,600kWh<sup>7)</sup>とデータにより大きなばらつきがあります。3,400kWh/年という値である電力事業連合会のデータは、消費電力量の少ない単身世帯も含まれていません。京都市内の消費電力データを見ると、年間消費電力量が5,430kWh<sup>8)</sup>となっております。これらの情報より、家族が住んでいる家庭の消費電力量は、5,000kWh以上と考えられます。そこで年間消費電力量として5,600kWhと仮定すると、年間の1日平均では、15.4kWhとなります。夏の消費電力が年間平均より1割程度多いと仮定すると、約17kWh/日となります。また、一般的な家庭で使用される3.5kWの太陽電池を付けた場合、夏の晴れた日では、1日当たり17kWh程度の発電が見込めます。

図2に消費電力および太陽光の発電電力の時間変化の一例を示します。

- i) ピークの時間帯である9時から20時の消費電力は約10kWh  
→ピーク時間帯の消費電力をすべて蓄電池でまかない、太陽光発電電力をすべて系統に戻せば、ピーク電力不足の解消をすることができます。
- ii) 太陽光の余剰電力は約10kWh  
→余剰電力をすべて蓄電池にためることにより、太陽光発電の不安定な発電をすべて吸収することができます (図3)。
- iii) 深夜電力時間 (23:00~7:00) 以外の消費電力は約14kWh  
→深夜電力を蓄電池にため、日中に使えば、日中の電力コストを抑えることができます。
- iv) 太陽光発電で供給できない夕方の深夜電力時間までの消費電力は約7kWh  
→その日の太陽光発電の余剰電力を蓄電池にため、夕方も日中の太陽光発電の電力でまかなうことができます。

このように蓄電池としては、7~14kWhの容量があればこれらの電力をためることができます。

## 3 電気自動車の可能性

蓄電池として、リチウムイオン電池が有力ですが、まだコストが高く、5kWhを超えるような蓄電池を設置することは現状では難しいと考えられます。そこで、電気自動車の蓄電

池の活用が考えられます。

現在の電気自動車は充電はできますが、放電はできないので、蓄電池として活用することはできません。しかし近年、V2H (Vehicle to Home) などが議論されており、やがては、電気自動車は充放電できるようになり、蓄電池として活用できるようになると考えられます。

電気自動車はi-MiEV (三菱) が16kWh, リーフ (日産) が24kWhの蓄電池を搭載しており、セカンドカーとして家に置かれている場合には、十分にピーク電力抑圧や余剰電力吸収に用いることができます。

また、電気自動車およびプラグインハイブリッド車の政府の普及目標は2020年には全自動車の15~20%, 2030年には20~30%とされています<sup>9)</sup>。この目標が実現されると、約1,000万台の電気自動車が存在することになります。日本の世帯数が約5,000万世帯なので、5軒に1軒の家に電気自動車があることとなります。従って、電気自動車が蓄電池として活用できれば、非常に効果的であると考えられます。

## 4 直流給電について

火力発電や水力発電のように回転する発電機では交流が作られます。また、交流は変圧器という簡単な構成の機器により電圧変換が容易にで

きるため、長い距離は損失の少ない高電圧で伝送し、需要家のそばで低い電圧に変換することにも好都合でした。また、エアコンや冷蔵庫などのモータを回すことも、交流のほうが簡単な機構で実現することができるため、多くの国で系統からの電力は交流で供給されてきました。

一方で地球温暖化の防止や電力の抑圧のためには機器の消費電力の削減が重要となってきました。

一般家庭の消費エネルギーは、給湯、暖房、照明、冷蔵庫、TVなどが高い割合を示しています。

エネルギー白書を見ると、家全体のエネルギー消費では、給湯が29.5%, 暖房24.3%などが大きな比率を占めています<sup>10)</sup>。消費電力の中で比較すると、エアコン25.2%, 冷蔵庫16.1%, 照明16.1%, TV 9.9%となっています<sup>11)</sup>。

多くの家ではガス給湯器が用いられています。しかし、燃料を燃やして熱エネルギーに変換するガス給湯器などより、近傍の熱エネルギーを集めることによりお湯を沸かすヒートポンプ給湯器の方が高いエネルギー効率を持っています。暖房も同様に石油やガスのヒーターに比べ、同じ原理のヒートポンプを用いたエアコンのエネルギー効率が高くなっています。従って、家庭の消費エネルギーの50%以上を占める給湯と

暖房はヒートポンプ給湯器を用いることにより消費エネルギーを削減することができます。

この様に消費電力が比較的大きいエアコンや冷蔵庫では昔は交流モータが使われていましたが、最近のエアコンや冷蔵庫、ヒートポンプ給湯器は、より高い効率や柔軟な制御性を得るために「インバータ」というものが用いられています。

インバータを用いることにより、これまでの単純なON/OFF制御から能力を可変できるようになります。インバータ回路では、交流を一度、直流に変換し、周波数を変換してモータを回すことにより、モータの回転数を自由に制御しています。また、低コストな交流誘導モータよりも永久磁石を用いた直流モータの方が高い効率を得ることができます。

さらに効率を上げるためには、モータの配線の抵抗による損失を減らすことが考えられます。モータの駆動電圧を上げると、一定の出力を得るために必要な電流値を減らすことができるため、抵抗による損失を減らすことができます。従って、消費電力の大きな機器は、交流200Vを直流に変換し、そのピーク電圧である280Vの直流でインバータが駆動されています。また、交流100Vで駆動されている機器でも内部で倍圧整流という回路方式を用いて、内

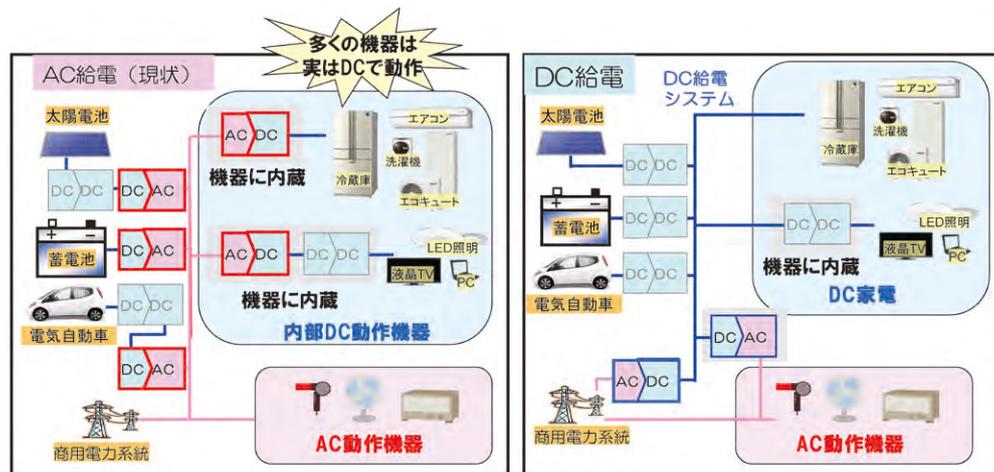


図4 交流給電システムと直流給電システム



図5 試作したインテリジェント  
パワーコンディショナ

部では280Vの直流でインバータが駆動されている機器が増えてきています。

これらの機器は多くの場合、10%程度の電圧変動を考慮し、300Vを超える電圧でも動かすことができるようになっています。

また、近年の照明の主役であるLED照明や液晶TVやレコーダなどのデジタル家電はスイッチング電源というものが用いられています。この電源は、多くの場合、交流の100V/200Vが共用で作られており、高調波の規制を満足するために、力

率改善回路というものが入っています。この回路は、多くの場合、交流を一度、330~400Vの直流に変換しています。

このように、消費電力量の大きな機器は、すでに機器内部で300V以上の直流を用いています。

一方、一般的な太陽光発電システムは、340~400V程度の直流に変換して、その直流から200Vの交流を生成しています。従って、太陽光発電システムから340~400Vの直流は比較的容易に供給することが可能です。

図4に示すように、これまでの交流給電システムでは太陽電池の電力でエアコンを動かす場合、

- 太陽電池から出力される直流を DC/DC電力変換器で電圧変換
- DC/AC電力変換器で交流に変換
- エアコン内部で AC/DC変換器で直流に変換
- コンプレッサー駆動

となっています。現在検討を行っている直流給電システムでは、

- 太陽電池から出力される直流を DC/DC電力変換器で電圧変換
- コンプレッサー駆動

と大幅に簡略化することができます。このように、直流を交流に変換して再び直流に変換するという無駄が省けるため、消費電力を抑えることができます。

## 5 インテリジェントパワーコンディショナの試作

これまで、書いてきた蓄電池や電気自動車の活用、直流による家電の駆動の実験を行うため、今回、インテリジェントパワーコンディショナを試作し、特性を評価しました。試作したインテリジェントパワーコンディショナの外見を図5に示します。

## 6 評価結果

電気自動車には、交流で充電を行う普通充電ポートと直流で充電を行う急速充電ポートの2種類があります。普通充電ポートは、自動車内部で交流から直流へ変換して充電していますが、急速充電ポートを用いれば、駆動用の蓄電池に直接接続することができます。通常の電気自動車は充電はできますが、放電できませ

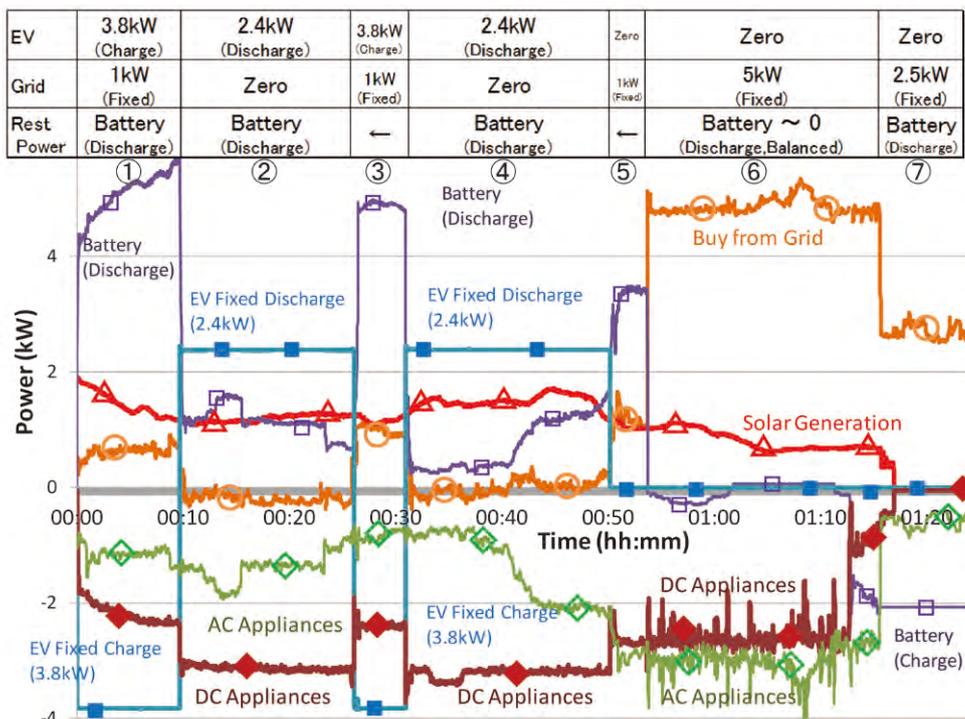


図6 充放電特性評価結果

ん。今回の実験では、電気自動車の急速充電規格であるCHAdeMO規格を拡張し、パワーコンディショナが自由に充放電を制御できるようにしました。そのため、電気自動車も一度、接続してしまえば、通常の蓄電池と同じように使うことができます。

今回の実験では、パワーコンディショナがさまざまな状況で正常に動作するかどうかを確認するため、電気自動車の充放電は、一定の電力に固定し、負荷などの状況に応じて、据置型蓄電池の充放電電力を制御するように動作させました。

また、将来のスマートグリッドでは、系統より、決められた一定の電力供給量への設定が要求される可能性があるため、本実験では、系統からの購入電力を一定になるような制御を行いました。その評価結果を図6に示します。各期間における動作内容を以下に示します。

- ①電気自動車(EV)：固定充電(3.8kW)  
系統からの購入：1kWに固定  
不足分：据置型蓄電池で供給
- ②電気自動車(EV)：固定放電(2.4kW)  
系統からの購入：ゼロに固定  
不足分：据置型蓄電池で供給
- ③①と同じ制御
- ④②と同じ制御

- ⑤電気自動車(EV)：充放電停止  
系統からの購入：1kWに固定  
不足分：据置型蓄電池で供給
- ⑥電気自動車(EV)：充放電停止  
系統からの購入：5kWに固定  
不足余剰分：据置型蓄電池に充放電  
この区間は、電力供給と負荷がほとんどバランスしています。
- ⑦電気自動車(EV)：充放電停止  
系統からの購入：2.8kWに固定  
不足余剰分：据置型蓄電池に充電

系統からの購入電力制御の応答速度などのチューニングが不十分であるため、若干の誤差が発生していますが、おおむね、想定通りの動作がされていることが確認できました。

また、このグラフでは分かりにくいですが、蓄電池の充放電の切り替えは1秒以下で実現できており、太陽光発電の雲による出力変動についても、十分に対応できることが確認できました。

さらに、本パワーコンディショナは300Vを超える直流給電の能力があります。今回の実験では、エアコン、冷蔵庫、LED照明、液晶TV、ヒートポンプ給湯器を直流で駆動できるように改造しました。それらの機器を、実際の実験用の家に設置し、

直流給電による消費電力削減効果の検証も始めました。LED照明や液晶TVでは、機器のみの消費電力比較でも、交流に比べ、5%程度の消費電力低減を行うことが確認できました。太陽電池側の直流→交流変換損失も考慮すれば、10%近い消費電力の低減を行うことができます。エアコン、冷蔵庫、ヒートポンプ給湯器も効率の改善がみられており、現在、評価を続けています。

## 7 まとめ

今後のスマートグリッドで必要になると考えられる、蓄電池、電気自動車を活用できるインテリジェントパワーコンディショナを試作し、その評価を行いました。様々な条件を想定して実験を行った結果、当初の想定通りに動作することが確認できました。

また、300Vを超える直流電圧用の家電機器を試作し、正常に動作することが確認できました。さらに、消費電力の低減効果も確認することができました。

本実験では、三菱自動車工業株式会社には電気自動車の実験に、また、株式会社デンソーには直流用のヒートポンプ給湯器の実験に協力いただきました。

## 参考文献

- 1) 電気事業連合会「でんきの情報広場」, 日本の電力消費, 日本の電力消費の山と谷, 「最大電力発生日における1日の電気の使われ方の推移」  
<http://www.fepc.or.jp/present/jigyuu/japan/index.html>
- 2) 静岡大学 工学部 システム工学科 瀬野研究室 研究紹介 「家庭用燃料電池システムの導入評価」, 5. 導入評価シミュレーション  
<http://www.sys.eng.shizuoka.ac.jp/~seno/s-52.htm>
- 3) 環境省「再生可能エネルギー電力導入拡大に伴い必要となる電力需給システム進化の方向性」, P.28 (別紙2)  
[http://www.env.go.jp/earth/ondanka/mlt\\_roadmap/comm/com05\\_h20a/ref06.pdf](http://www.env.go.jp/earth/ondanka/mlt_roadmap/comm/com05_h20a/ref06.pdf)
- 4) 経済産業省 エネルギー庁 低炭素電力供給システムに関する研究会(第4回)-配付資料 資料5(2) 低炭素電力供給システムにおける火力・水力発電等の役割と課題について, P.14  
<http://www.meti.go.jp/committee/materials2/downloadfiles/g90126a12j.pdf>
- 5) 「太陽光発電システムの出力変動抑制技術」, 東芝レビュー, Vol.65, No.9 (2010), pp.10-14
- 6) 電気事業連合会「でんきの情報広場」, 日本の電力消費, 日本の電力消費の山と谷, 「一世帯当たりの電力消費量の推移」  
<http://www.fepc.or.jp/present/jigyuu/japan/index.html>
- 7) エネルギー・経済統計要覧2009 家庭部門世帯当たり用途別エネルギー源別エネルギー消費量より計算
- 8) 京都市情報館, 「【平成20年度】京都市内のご家庭における電気・都市ガス月間使用量(速報値)」  
<http://www.city.kyoto.lg.jp/kankyo/page/0000043199.html>
- 9) 経済産業省 次世代自動車戦略2010, P.11  
<http://www.meti.go.jp/press/20100412002/20100412002-3.pdf>
- 10) エネルギー白書2010  
第2部 エネルギー動向  
第1章 国内エネルギー動向  
第2節 部門別エネルギー消費の動向  
(2) 家庭部門のエネルギー消費の動向  
<http://www.enecho.meti.go.jp/topics/hakusho/2010energyhtml/2-1-2.html>
- 11) 省エネカタログ 2011年夏版P.3  
家庭における消費電力量ウェイトの比較  
[http://www.enecho.meti.go.jp/policy/saveenergy/seinoucatalog\\_2011summer.pdf](http://www.enecho.meti.go.jp/policy/saveenergy/seinoucatalog_2011summer.pdf)