

# 太陽光発電の主力電源化と グリッドコードの整備

Photovoltaic as a main power source, and current status of Grid code in Japan

西園昭宏\*

## 1. はじめに

前身である太陽光発電懇話会が1987年に創設され、2000年に太陽光発電協会（JPEA）に改称、現在に至るが、この間、太陽光発電を取り巻く環境は大きく変化している。2009年から家庭用、2012年から事業用に導入されたFIT（Feed in tariff）制度による太陽光発電の発電電力の固定買取の後押しもあり、1987年当時の太陽光発電の発電単価（W単価）は2万円～3万円であったが、2019年11月現在のW単価はその100分の1以下となった。

また、「京都議定書」、「パリ協定」を経て、各国、企業が温室効果ガス排出量削減、持続可能な脱炭素化社会実現のため、太陽光発電など再生可能エネルギー

の導入促進に向けた取り組みも加速、全世界的にも再生可能エネルギーを活用した新しいビジネスモデルや非化石電源という価値が生まれてきている。

更に、図1に示すように太陽光発電の売電単価（FIT調達価格、税抜き）は、10kW未満のシステムでは21.8円/kWh、10k～500kW未満のシステムでは14円/kWhとなり、市販の電力量料金レベルまで価格低減が進んだ。

しかし、主力電源と呼ばれるような事業用発電となるためには、発電コストを卸電力スポット価格と競合できる単価（グリッドパリティ）7円/kWhの達成が必要であり、現状のFIT依存から脱却するためにも更なる発電コストの低減が必要である。

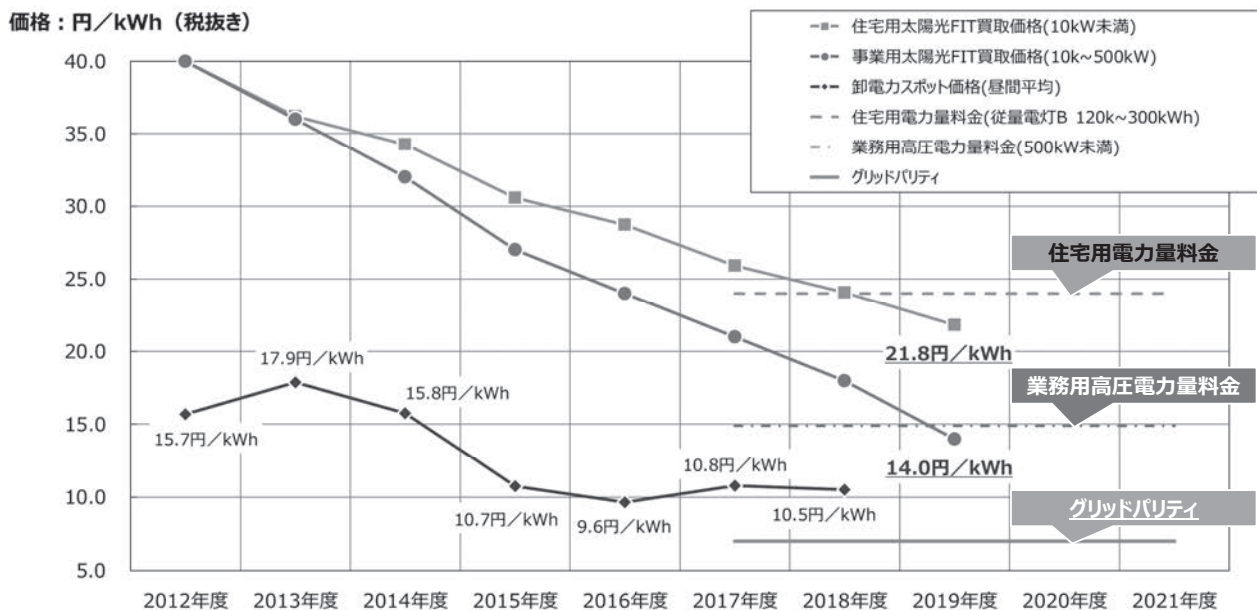


図1 太陽光発電の売電価格（FIT調達価格、税抜き）の推移<sup>(1)</sup>

\* 太陽光発電協会

そこで本稿では、JPEA として実施中の太陽光発電の主力電源化に向けた取り組みについて、前半は「自立した主力電源になるための5つのチャレンジ<sup>(1)</sup>」、後半は主力電源化に不可欠な技術的な要件である「太陽光発電向けグリッドコード（Grid code：電力系統に接続するためのルール）の整備」の説明をしたい。

## 2. 主力電源化に向けた5つのチャレンジ

FIT 制度とは、国が定める価格で一定の期間、電気事業者が再エネ電源（再生可能エネルギー由来の電源）による発電電力を買い取ることを義務付け、その原資の一部に「再エネ賦課金」という国民負担により賄う制度である。FIT 制度の本来の意図は、国民による再エネ電源設備に対する投資である。現状のままでは、この投資に対するリターン（収益）は、FIT が終了した電源設備（卒 FIT）が大量普及し、太陽光や風力など燃料費無料である再エネ電源の安

価な発電電力が電力市場に流通した後、つまり、FIT 制度の買取期間（住宅用：10年、事業用：20年）後の話となる。

また、2018年7月に閣議決定された第5次エネルギー基本計画でも2030年に向けた対応として、エネルギー政策の基本的視点（3E+S）の原則が示され、再エネ電源の主力電源化と共に国民負担の抑制が明記された。

更に、2019年9月に設置された国の審議会である再生可能エネルギー主力電源化制度改革小委員会では、再生可能エネルギーの主力電源化に向けた制度改革として、2つの電源モデル（競争電源と地域活用電源）と政策の方向性が示された。現在、日本における太陽光発電産業は大きな転換期を迎えている。

そこでこれらの現状を踏まえ、JPEA として太陽光発電が自立した主力電源になるために実施すべき、5つのチャレンジを提案する。5つのチャレンジとは、以下の図2のとおりである。

「FIT からの自立」の手段として、「コスト競争力の向上」と「価値創出」を掲げたが、それらの概要は表3のとおりである。

「コスト競争力の向上」と「価値創出」のためには、「地域との共生」、「長期安定稼働」、「系統制約の克服」は必須条件であり、太陽光発電の主力電源化の土台であると言える。

ここで「価値創出」の一例としてセクターカップリング（分野連結）による脱炭素社会実現の推進を挙げたい。二酸化炭素（CO<sub>2</sub>）の排出量で考えた場合、エネルギー分野だけでなく、運輸、給湯などの熱利用の分野の割合が大きい。このような分野の電化が進めば、太陽光発電の大量導入後の日中の余剰電力

表1 エネルギー政策の基本的視点（3E+S）<sup>(2)</sup>

3E+S	安全性を前提にエネルギー安定供給を第一とし、経済効率性を向上しつつ環境適合を図る。
	<b>Safety</b> ：安全最優先 <b>Energy security</b> ：エネルギーの安定供給 <b>Environment</b> ：環境への適合 <b>Economic efficiency</b> ： <b>国民負担の抑制</b>

表2 競争電源と地域活用電源<sup>(3)</sup>

競争電源：競争力ある電源に成長が見込まれる電源
<ul style="list-style-type: none"> <li>・発電コスト及び電力系統に関わるコストの全体での最小化</li> <li>・FIT からの自立</li> <li>・FIP（Feed in Premium）の導入</li> <li>・「<b>電力市場への統合</b>」の新制度を検討</li> <li>・課題：投資回収に対する予見性の確保</li> </ul>
地域活用電源：地域で活用され得る電源
<ul style="list-style-type: none"> <li>・災害時の電力レジリエンスの向上（例：停電時の自立運転の活用）</li> <li>・需給一体型モデルとしての活用を前提</li> <li>・自家消費や地域内における資源・エネルギーの循環を前提に、当面は現行制度の基本的な枠組みを維持</li> <li>・「<b>地域活用</b>」の仕組みを検討</li> <li>・課題：地域で活用できる電源の種類の具体化</li> </ul>

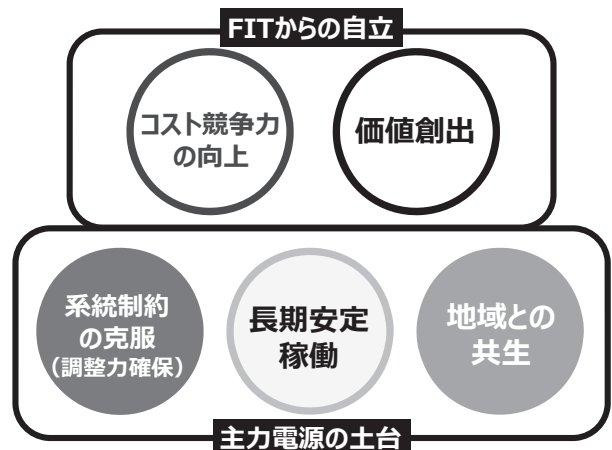


図2 主力電源化に向けた5つのチャレンジ<sup>(1)</sup>

表3 「コスト競争力の向上」と「価値創出」

<p>コスト競争力の向上</p> <p>①グリッドパリティ（7円/kWh）の達成 ②市場規模の維持・拡大 ③太陽電池の発電効率の向上 ④発電設備機器等のコスト低減</p>
<p>価値創出</p> <p>（1）環境への貢献 ①温室効果ガスの削減、脱炭素化 ②非化石価値</p> <p>（2）電力システムへの貢献 ①燃料費の抑制、エネルギー自給率の向上 ②自家消費（需要地での需給一体） ③電力レジリエンス（災害時の電源） ④調整力</p> <p>（3）地域振興 ①営農、荒廃農地の活用 ②地域住民の参画、人材交流・育成</p> <p>（4）経済振興 ①新電力関連ビジネス（VPP など） ②第3者保有モデル ③Corporate PPA （需要家[企業]-発電設置者間の相対取引） ④ZEH、ZEB ⑤関連する設備・機器の技術開発 ⑥セクターカップリング</p>



図3 セクターカップリング（分野連結）<sup>(1)</sup>

表4 JPEA で公開中のガイドラインの一例

<p>ガイドライン、チェックリスト</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・「太陽光発電事業の評価ガイド」およびチェックリスト</li> <li>・「太陽光発電保守点検ガイドライン」</li> <li>・「地上設置型太陽光発電システムの設計ガイドライン及び構造設計例について」</li> <li>・「使用済太陽電池モジュールの適正処理に資する情報提供のガイドライン」</li> </ul>
--

も十分吸収できるだけでなく、関連する産業と連動したシナジー効果による経済の活性化も期待でき、その便益は地域を問わず、全国的に波及する。

また、「長期安定稼働」は、発電コストの低減にも大きく寄与する。JPEA では「長期安定稼働」の推進のため、自主的な取り組みとして、ガイドライン、チェックリスト等や関連情報を協会会員だけでなく、一般向けに公開している。表4 に一例を示す。更に、ガイドライン等の更なる周知、利活用の推進のため、JPEA を事務局とした「太陽光発電事業関係者連絡会」を2019年6月に開催、今後も継続開催の予定である。このような活動は「安全の確保」と共に「地域との共生」の一環と考える。

太陽光発電が主力電源になるためには、送電線の空き容量不足や長期連休など低需要期に発電電力が需要地で消費しきれないときの余剰電力の抑制（出力制御）、電力システムに異常があった場合のサポート（調整力）のような「系統制約の克服」が必要である。

送電線の空き容量不足については現在、国と一般

送配電事業者による試行的な取り組みとして、欧米で導入されているノンファーム接続電源（系統に空きがあるときに発電することができる電源、系統混雑時の出力制御実施を前提とした電源）による「コネクト & マネージ」の日本版の検討が始まった。これは系統運用によって、送配電網の空き容量を確保する取組みのことで、従来は系統増強工事の完了を待つ必要があったが、ノンファーム接続電源が適用された場合、系統運用上の一定の制約の基、送配電網の空き容量不足の大幅な改善が期待できる。

また、九州地域で実施されている出力制御についてはN-1電制の適用や地域間連系線、揚水発電の最大限の活用が送配電事業者によって実施されているが、既存の出力制御のオフライン制御のオンライン化による制御量の低減が推進されている。今後は気象予測の高度化による発電予測の精度向上と制御の高速化（リアルタイム制御化）や自家消費のような需要家側の発電電力の有効利用の取組みによる抑制量の低減が期待される。

電力システムに異常があった場合、各主力電源の特性に応じた調整力によって調整される。太陽光発電に

ついても主力電源として調整力を持たせる必要がある。この整備もグリッドコードの中の要件の一つであり、現在、JPEA が中心となって推進中である。

### 3. 太陽光発電向けグリッドコードの整備

日本における系統連系（発電設備などを商用の電力系統に接続すること）に関連する文書とその関係性は以下の図4のとおりである。

グリッドコードとは、系統連系に係る技術要件、電力システム側の要求事項である。該当する文書としては、日本電気協会の「系統連系規程」、一般送配電事業者の「系統アクセスルール」が挙げられる。欧州では運用と経済性など、制度的な側面も併せて規定されており、ネットワークコードとも呼ばれる。

現在、欧米では再エネ電源を電力システムの一部とした電力システムの制御・運用に関する分野は、市場・技術の成長が著しく、成長産業の一つであるが、日本は大きく遅れている。再エネ電源は発電時の燃料費が不要、自給率の向上というメリットがあるが、反面、太陽光や風力発電はインバータ制御による発電設備のため、再エネ電源の導入が進み、火力や水力発電のように回転機を用いた発電設備が減少すると電力系統事故時の冗長性、自己保持力（ガバナブリー、イナーシャ等）が低下する、電力の流れが変

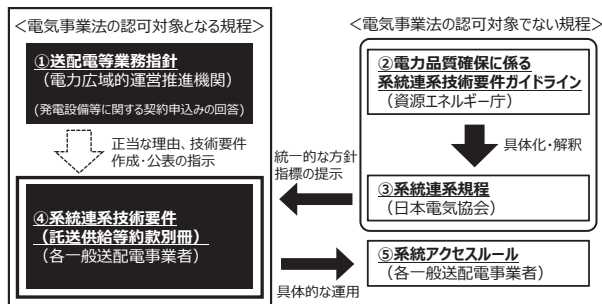


図4 系統連系に関連する文書とその関係性

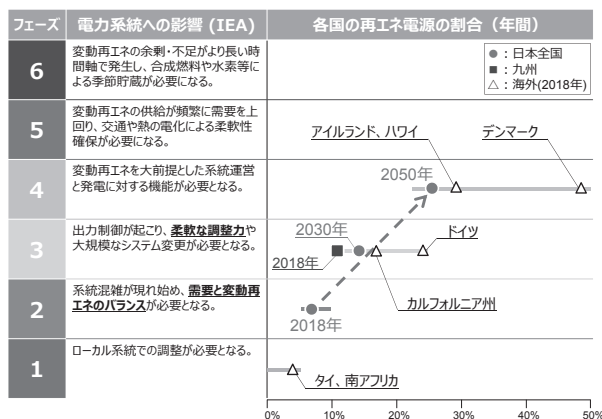


図5 IEAのフェーズに対する各国の状況<sup>(4)</sup>

わる（逆潮流が増える、余剰電力が発生する）など、電源構成の中の再エネ電源の比率が高まると、今までの電力システムの運用法では限界が現れるというデメリットもある。グリッドコードとは、このデメリットの改善に寄与するものでもあり、将来に向けた技術開発、関連するビジネスの推進、産業育成などに大きく寄与するものでもある。

図5に各国の電源構成に占める再エネ電源の割合に対する国際エネルギー機関（IEA）が定義した6つの運用フェーズとの相関を示す。九州地域はすでにフェーズ3（出力制御が起こり、柔軟な調整力や大規模なシステム変更が必要となるレベル）であり、日本全体でも2030年時点でフェーズ3、更に2050年にはフェーズ4（変動再エネを大前提とした系統運営と発電機能が必要となるレベル）に移行すると推定される。今後の太陽光発電の継続的な導入と設備更新を考慮すると、今から準備が必要な段階であると言える。

そこで、現在の日本、欧米のグリッドコードについて比較・調査し、太陽光発電向けに整備すべき機能について検討を行った。今回比較対象とした欧米のグリッドコードは表5のとおりである。

#### 3.1 欧州との比較

欧州共通ネットワークコードの一つで、グリッドコードに該当する COMMISSION REGULATION (EU) 2016/631 RfG (RfG: Requirement for

表5 欧米のグリッドコードについて<sup>(5)</sup>

<p>欧州：COMMISSION REGULATION (EU) 2016/631 RfG</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 欧州共通ネットワークコードの一つで発電設備への要求事項（詳細は表6参照）</li> <li>・ 2009年の欧州委員会の決定を受けて、ENTSO-E（EU送電網協調機関）が作成した各国の共通案が2016年に欧州委員会の決定となり、加盟各国で導入間近</li> </ul> <p>&lt;<a href="https://www.entsoe.eu/network_codes/">https://www.entsoe.eu/network_codes/</a>&gt;</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 本規格は既存の発電設備への追加要求が主であり、既存の要求は各国の規格にて規定（例：ドイツ VDE-AR-N 4105）</li> </ul>
<p>米国：カリフォルニア州 Rule 21</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ Rule 21とは、カリフォルニア州の州法で規定された系統連系規程のことで、スマートインバータに求める技術要件を規定（詳細は表7参照）</li> </ul> <p>&lt;<a href="https://www.cpuc.ca.gov/General.aspx?id=4154">https://www.cpuc.ca.gov/General.aspx?id=4154</a>&gt;</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 機能に対する仕様は、IEEE（米国電気電子学会）の規格 IEEE 1547 がベース</li> </ul>

表6 欧州 RfG と日本のグリッドコードの比較<sup>(5)</sup>

No.	要件	機能	国内規格・基準の有無 [○:既にある、×:なし]
1	周波数安定性	周波数運転範囲	○
		周波数変化率耐量 (RoCoF)	○
		限定的周波数検知モード-周波数上昇 (LFSM-O)	×
		周波数変化に対する一定有効電力出力	×
		周波数低下時の有効電力低減制約	×
		自動並列	○
		遠隔制御: ON(起動)/OFF(停止)	×
		遠隔制御: 出力低減制御	○
		周波数制御に関する追加要件	×
		合成慣性の提供 (イナーシャ、慣性力)	×
2	ロバスト性	事故時の運転継続 (FRT)	○
		事故後の有効電力復帰	×
3	電力系統復旧	再接続の協調	○
		制御スキームと設定	×
4	電力系統管理	電氣的保護と制御のスキームと設定	×
		保護と制御の優先順位付け	×
		遠隔制御: 情報交換	×
		モニタリングの追加要件	×
		無効電力容量	○
5	電圧安定性	高速無効電力注入	×
		無効電力容量と制御モードの追加要件	×

Generators, 発電設備への技術要件) で要求される項目の一覧と日本のグリッドコード(系統連系規程, 系統アクセスルール) の比較検討した結果を表6に示す。

因みに欧州共通ネットワークコードとは、大きく4つのコード、①接続コード、②運用コード、③計画コード、④市場コードに分類され、①接続コードは「Grid Connection: 送配電網に接続される設備・装置に対する要求」、②運用コードは「Operation: 系統運営の実運用(運用全般のガイドライン, 緊急時・復旧時の運用要件)」、③計画コードと④市場コードは「Market: 市場運営(需給調整・インバランス, 送電線の容量割当, 系統混雑に対するガイドラン)」について規定している。

欧州と日本との違いは、周波数安定性と送電電圧の安定性など、送電側の安定化に資する機能の充実と遠隔制御機能の高度化(パワーコンディショナの通信機能の強化, スマートインバータ化)が挙げられる。制御の速さや仕方の違いで機能の名に違いはあるが、周波数安定性は有効電力の調整(Frequency-Watt)、電圧安定性は有効・無効電力の調整(Volt-Watt, Volt-var)で実現されている。

### 3.2 北米(カリフォルニア州)との比較

北米についてはスマートインバータの導入検討が進んでいるカリフォルニア州を参考に検討を実施した。表7に北米カリフォルニア州の州法であるRule 21で要求される項目の一覧と日本のグリッドコードの比較検討した結果を示す。

カリフォルニア州と日本の大きな違いは、PCSに実装する機能を導入する過程である。カリフォルニ

表7 Rule 21 と日本のグリッドコードの比較<sup>(5)</sup>

要件	機能	国内規格・基準の有無 [○:既にある、×:なし]	
Phase 1 自律機能	事故時の運転継続	電圧上昇 FRT	×
		電圧低下 FRT	○
		周波数上昇 FRT	○
		周波数低下 FRT	○
	力率設定	○	
	ランプ設定	○	
	再並列	○	
Phase 2 通信	電圧-無効電力制御 (Volt-var制御)	進相制御	○
		遅相制御	×
	単独運転検知	○	
	遠隔制御: 通信プロトコル, サイバーセキュリティ	×	
Phase 3 先進機能	将来に系統運用に活用するデータの規程	×	
	遠隔制御: 再閉路/解列	×	
	最大有効電力制限 (出力制御)	×	
	有効電力設定機能	×	
	周波数-有効電力制御 (Frequency-Watt制御)	×	
	電圧-有効電力制御 (Volt-Watt制御)	×	
	動的無効電流注入 (Dynamic Volt-var制御)	×	
有効・無効電力のスケジュール制御	×		

ア州では機能に応じた3つの段階を計画し、導入している。第1段階は自律機能、第2段階は通信機能の拡充、第3段階は欧州で導入されている機能をベースに周波数、電圧調整など、先進的な機能を導入しており、機能の重要度に応じ、導入の時期は多少前後しているが、出来るところからルール化しており、スピード感がある。また、欧州のRfGは法律のような記載であるが、Rule21はスマートインバータへの技術要件としての記述のため、具体的である。機能面での違いは、系統事故時の電圧上昇時の不要解列の防止を想定した電圧上昇FRT、欧州同様、周波数安定性と送電電圧の安定性に対応した機能、最大有効電力制御、通信機能にあり、周波数安定性と電圧安定性に対応した機能の仕様は欧州のものとはほぼ同じである。

### 3.3 今後の対応

以上の欧州、カリフォルニア州との比較検討の結果から、国内の太陽光発電向けグリッドコードとして検討すべき機能の案について、電圧区分(低圧, 高圧, 特高)、逆潮流ある・なしを考慮、選別した結果を表8に示す。欧米では定義がないが、国内の風力発電向けのグリッドコードや2019年10月に改訂された「電力品質確保に係る系統連系技術要件ガイドライン」に追記された出力変動緩和機能についてもグリッドコードに関連するものとして追記した。

表8の基本的な考えは、逆潮流があるものは配電網・送電網への影響があるため、電力系統の安定化に資する機能が必要と考えるが、電圧区分や発電規模による各機能の有効性・必要性の有無を考慮し、反映したものである。しかし、図6に周波数安定性

表8 グリッドコードとして検討すべき機能 [案] <sup>(5)</sup>

要件	機能	電力系統の電圧区分 [●:要検討, △:選択]					
		低圧		高圧		特高	
		逆潮流 なし	逆潮流あり 住宅 非住宅	逆潮流 なし	逆潮流あり 500kW >	逆潮流 なし	逆潮流 あり 500kW ≤
1 電圧安定性	自動電圧調整 (無効電力[逆相]制御: Volt-var) 動的無効電流制御 (Dynamic Volt-var) 慣性力 (イナーシャ)				△		●
2 周波数安定性	周波数調定率制御 (Frequency-Watt)		△	△	△	●	●
3 不要解列の防止	電圧上昇FRT					●	●
4 出力変動緩和機能	出力変化率制限制御			△	△		●
5 遠隔制御	有効電力・無効電力の設定	△	●		●	●	●
	パラメータの設定、機能の有効化/無効化	△	●		●	●	●
	遠隔操作 (起動・停止、再閉路・解列 など)	△	●		●	●	●
	将来に系統運用に活用するデータの規程	△	●		●	●	●
	保護と制御の優先順位付け	△	●		●	●	●
	ソフトウェアのアップデート (機能・サイバーセキュリティ)	△	△	△	△	△	△

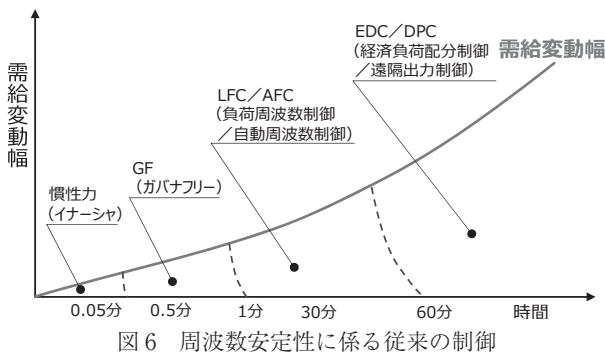


図6 周波数安定性に係る従来の制御

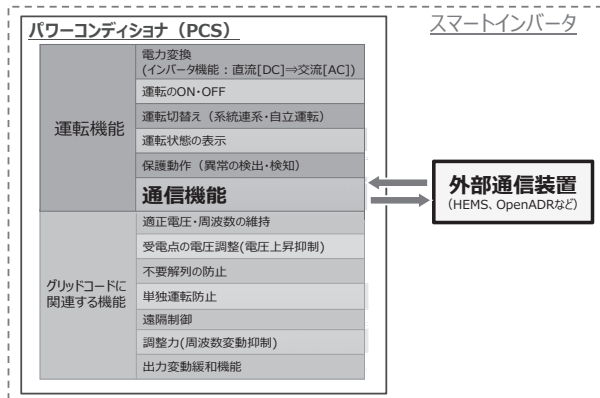


図7 スマートインバータとPCSの違い <sup>(5)</sup>

に係る従来の制御を示すとおり、周波数の安定性は周波数が変動する時間、需給変動の幅によって制御方法がそれぞれ異なるため、インバータ制御でこれらを実現する場合、実運用に基づいた十分な検討、実証が必要である。

今後、関係機関と共に表8の機能の案を検証し、実現化に向けた対応を行う予定である。

現在、国内では既に出力制御に対応したPCSが設置されているが、これは外部通信（遠隔制御）に従い動作するため、事実上、既にスマートインバータである。しかし、出力制御だけができる、機能限定のものである。双方向通信による電力の遠隔制御

は、サイバーセキュリティの確保の観点から、通信の手段は専用回線が義務付けられており、法規上、公共のインターネット回線は活用できない。現在の出力制御は一方向通信によるスケジュール制御を採用しており、法規上、要求されるサイバーセキュリティの要件を満足できるので、インターネット回線を使用しているが、制御の高度化、高速化には難がある。現状のままでは、専用回線を持つ特高に接続された発電設備だけが双方向通信による電力制御ができる電源となる。しかし、現在、通信の手段、ルールの見直しと共に通信の高度化の検討も進められており、今後の対応が期待される。

#### 4. 総括

主力電源とは、本来、調整力も有した電源である。しかし、現在の太陽光発電は、2021年度に開設予定の調整力が取引される需給調整市場では対象外である。グリッドコードで規定される周波数安定性に関する機能は調整力でもあるため、将来的には対象にできるような商品設計に期待したい。

また、発電コストが10円以下になると、一般に流通している産業用電力量料金を下回るため、理論上、国民に便益として還元される。事業用太陽光発電は既にそのレベルに達しつつある。環境は勿論、経済的にも太陽光発電の継続的な大量導入は社会的な貢献度は大きい。

JPEAとして、今後も電力系統の安定化に資する太陽光発電向けのグリッドコードの早期導入、主力電源化に向けた対応の推進に努めたい。

#### 5. 参考文献

- 1) 経済産業省 資源エネルギー庁 第14回再生可能エネルギー大量導入・次世代電力ネットワーク小委員会 資料2
- 2) 経済産業省 資源エネルギー庁 第5次エネルギー基本計画 (2018年7月)
- 3) 経済産業省 資源エネルギー庁 第1回再生可能エネルギー主力電源化制度改革小委員会 資料4
- 4) NEDO グリッドコードワークショップ (2019年11月) 発表資料「日本国内における太陽光発電に関するグリッドコード導入検討の現状」
- 5) 経済産業省 資源エネルギー庁 第23回系統ワーキンググループ 資料9

## 著者略歴



西園 昭宏（ニシヅノ アキヒロ）

1998年4月 三菱電機(株)に入社。太陽光発電向けPCSの設計開発・品質管理を担当，および2013年4月から電気主任技術者として社内工場の電気設備（特別高圧）の保守・管理に従事。

2019年4月 太陽光発電協会に出向，同協会でも新設の系統技術部を担当，現在に至る。

第2種電気主任技術者，エネルギー管理士（電気）