

# 太陽光発電の大量導入に向けた グリッドコードの整備

2019年10月8日

一般社団法人 太陽光発電協会

1. 論点の整理
  2. 現状のグリッドコードの分析
  3. 今後の対応と課題
- 【参考】風力発電との対比

## ■ 論点：①技術論、②制度化・経済性

### ①技術論

・将来の太陽光発電の大量導入を見据え、電力系統の安定化に資する対応、対策の必要性の見極め、電力レジリエンス確保のために、自律的な周波数上昇・低下時の有効電力低減・増加機能の充実だけでなく、機能の柔軟性（遠隔制御による再設定、スマート化など）を持たせる必要がある。

・太陽光発電には、強力かつ高速動作可能な下げ調整力があり、余剰電力発生時は、この下げ調整力の活用で、出力抑制量を減らすことも可能。また、出力抑制時は上げ調整力もある。但し、このためには、リアルタイムの出力制御と公平性の確保が必要である。

### ②制度化・経済性

・グリッドコードは、技術的には電力システム側の要求事項（接続されたすべての設備が遵守すべきルール）であるが、制度的には太陽光発電の継続的な導入拡大や関連するビジネスの推進、産業育成などにつながるものにする必要がある。

## 【太陽光発電の目指す導入量】

区分	PVシステムの導入量		
	2019年3月末 (※1)	2030年 (※2)	2050年 (※2)
1,000kW 以上	<b>16.6GW</b>	<b>30GW</b>	<b>40GW</b>
10kW~ 1,000kW	<b>22.1GW</b>	<b>40GW</b>	<b>90GW</b>
10kW 未満	<b>10.9GW</b>	<b>30GW</b>	<b>70GW</b>
<b>合計</b>	<b>49.5GW</b>	<b>100GW</b>	<b>200GW</b>

⇒ 将来の大量導入に向けた電力システムの安定化に資する技術的な対策  
(自律制御、遠隔制御など) の準備が必要

※1 : [出典]資源エネルギー庁 固定価格買取制度 情報公表用ウェブサイト

※2 : [出典]JPEA PV OUTLOOK 2050

ただし、パリ協定を受け、PVシステムの導入量は上方修正する可能性がある。

## 2. 現状のグリッドコードの分析

### 【現状分析】

現在のグリッドコードは「系統連系規程」、一般送配電事業者毎の「系統アクセスルール」で技術要件が規定されているが、将来の再エネの大量導入の観点での規程の見直しが必要である。

そこで再エネの大量導入で先行している欧米の以下の規格の調査を実施、現在の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）と比較し、太陽光発電の大量導入に対応した**スマートインバータのうち、将来のパワーコンディショナ（PCS）に追加すべき機能**について検討を行った。

#### ① 欧州

### COMMISSION REGULATION (EU) 2016/631 RfG

- ・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
- ・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  
[https://www.entsoe.eu/network\\_codes/](https://www.entsoe.eu/network_codes/)
- ・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、ベルギー C10/C11）

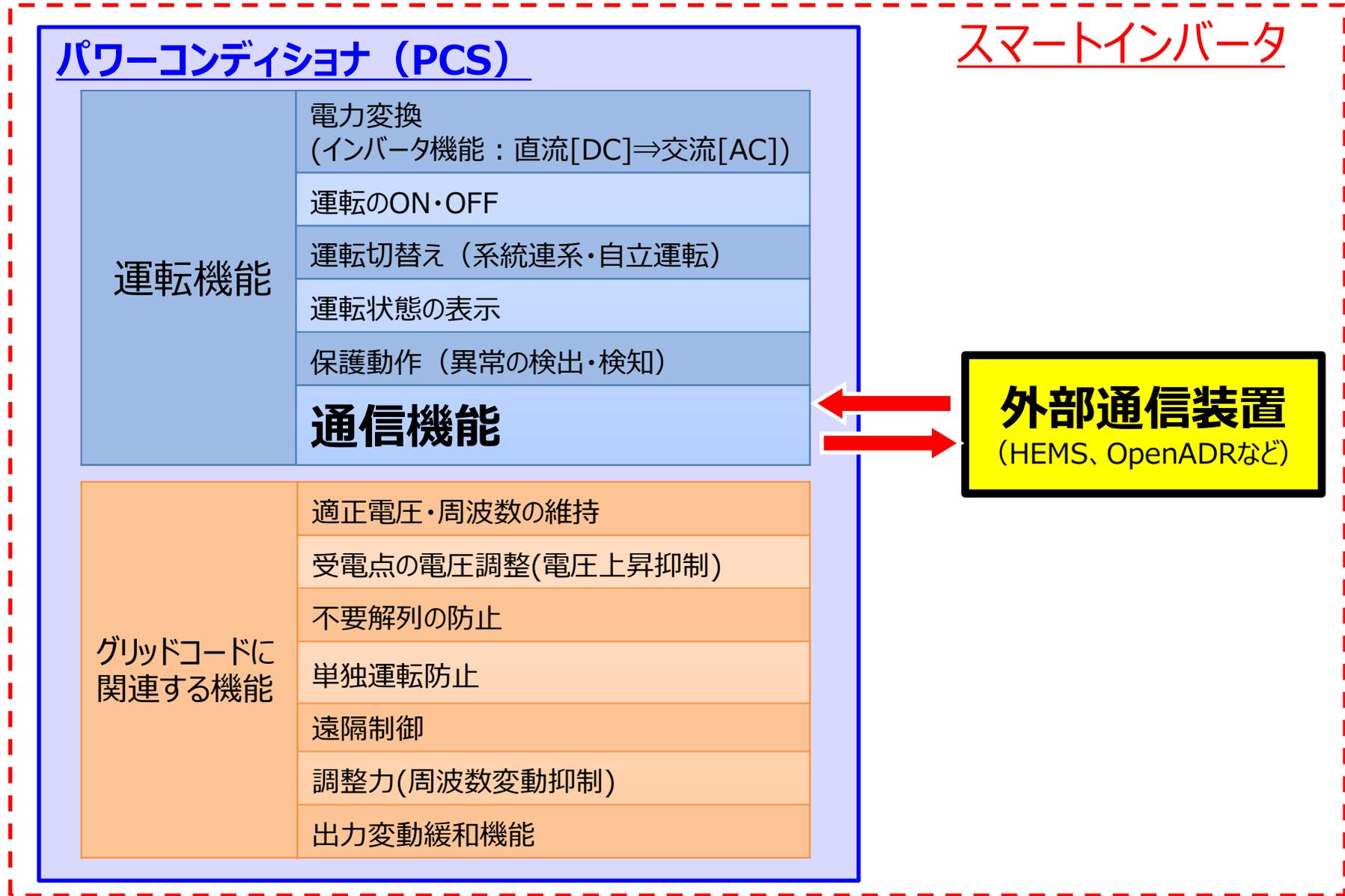
#### ② 米国

### カルフォルニア州 Rule 21

- ・Rule 21とは、カル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 <https://www.cpuc.ca.gov/General.aspx?id=4154>
- ・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

## 2. 現状のグリッドコードの分析

【参考】スマートインバータとPCSの違い



## 2. 現状のグリッドコードの分析

### ① 欧州：COMMISSION REGULATION (EU) 2016/631 RfG

No.	要件	機能	電圧・発電規模区分			Type	A	B	C	D		
			A	B	C、D	系統電圧	110kV未満		110kV以上			
1	周波数安定性	周波数運転範囲	○	○	○	0.8kW	110kV未満	110kV以上				
		周波数変化率耐量 (RoCoF)	○	○	○				Continental Europe	1MW	50MW	75MW
		限定的周波数検知モード-周波数上昇 (LFSSM-O)	○	○	○				Austria	250kW	35MW	50MW
		周波数変化に対する一定有効電力出力	○	○	○				Belgium	1MW	25MW	75MW
		周波数低下時の有効電力低減制約	○	○	○				Germany	135kW	36MW	45MW
		自動並列	○	○	○				Denmark	125kW	3MW	25MW
		遠隔制御：ON(起動)/OFF(停止)	○	○					France	1MW	18MW	75MW
		遠隔制御：出力低減制御		○					The Netherlands	1MW	50MW	60MW
		周波数制御に関する追加要件			○				Spain	100kW	5MW	50MW
		合成慣性の提供 (イナーシャ、慣性力)			○				Italy	11.08kW	6MW	10MW
2	ロバスト性	事故時の運転継続 (FRT)		○	○	Great Britain	1MW	50MW	75MW			
		事故後の有効電力復帰		○	○	United Kingdom	1MW	10MW	50MW			
3	電力系統復旧	再接続の協調		○	○	Nordic	1.5MW	10MW	30MW			
4	電力系統管理	制御スキームと設定		○	○	0.8kW	110kV未満	110kV以上				
		電氣的保護と制御のスキームと設定		○	○				Ireland and Northern Ireland	100kW	5MW	10MW
		保護と制御の優先順位付け		○	○				Baltic	500kW	10MW	15MW
		遠隔制御：情報交換		○	○							
		モニタリングの追加要件		○	○							
5	電圧安定性	無効電力容量		○	○							
		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			○							

【出典】 Implement of the European Network Code on Requirements for Generators on European National Level Current Status – Trends and Challenges, 8th International Workshop of Solar Power Systems | Stockholm, Sweden | 16-17 Oct. 2018

## 2. 現状のグリッドコードの分析

### ① 欧州：COMMISSION REGULATION (EU) 2016/631 RfG

No.	要件	機能	電圧・発電規模区分			日本のグリッドコードへの適用 (◎:既にあり、●:対象、-:見送り)	備考
			A	B	C、D		
1	周波数安定性	周波数運転範囲	○	○	○	◎	
		周波数変化率耐量 (RoCoF)	○	○	○	◎	FRTで対応済み
		限定的周波数検知モード-周波数上昇 (LFSM-O)	○	○	○	●	Frequency – Watt制御
		周波数変化に対する一定有効電力出力	○	○	○	●	Frequency – Watt制御
		周波数低下時の有効電力低減制約	○	○	○	●	Frequency – Watt制御
		自動並列	○	○	○	◎	
		遠隔制御：ON(起動)／OFF(停止)	○	○		●	遠隔の閉路(ON)は法規上NG
		遠隔制御：出力低減制御		○		◎	出力抑制
		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)			○	●	今期のNEDO研究開発事業
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		○	○	-	ブラックスタート
3	電力系統復旧	再接続の協調		○	○	◎	
4	電力系統管理	制御スキームと設定		○	○	-	運用ルール
		電氣的保護と制御のスキームと設定		○	○	-	運用ルール
		保護と制御の優先順位付け		○	○	●	
		遠隔制御：情報交換		○	○	-	外部通信装置で対応
		モニタリングの追加要件		○	○	-	
5	電圧安定性	無効電力容量		○	○	◎	有効-無効電力制御
		高速無効電力注入		○	○	●	動的無効電流制御
		無効電力容量と制御モードの追加要件			○	-	

## 2. 現状のグリッドコードの分析

### ②米国：カリフォルニア州 Rule 21

要件	機能		適用時期	
Phase 1：自律機能	事故時の運転継続	高電圧FRT	2017年9月8日	
		低電圧FRT		
		高周波数FRT		
		低周波数FRT		
	力率設定			2017年9月8日
	ランプ設定			
	再並列			
	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		2017年9月8日		
遠隔制御：通信プロトコル、サイバーセキュリティ				
Phase 2：通信	遠隔制御：通信プロトコル、サイバーセキュリティ		2020年1月22日	
Phase 3：先進機能	Function 1		将来に系統運用に活用するデータの規程	<ul style="list-style-type: none"> <li>・2019年2月22日：Function 5、6</li> <li>・2020年1月22日：Function 1、2、3、8</li> <li>・未定：Function 4、7</li> </ul>
	Function 2		遠隔制御：再閉路／解列	
	Function 3		最大有効電力制限	
	Function 4		有効電力設定機能	
	Function 5		周波数-有効電力制御 (Frequency-Watt制御)	
	Function 6	電圧-有効電力制御 (Volt-Watt制御)		
	Function 7	動的無効電力サポート (オプション)		
	Function 8	有効・無効電力のスケジュール制御 (検討中)		

## 2. 現状のグリッドコードの分析

### ②米国：カリフォルニア州 Rule 21

要件	機能	日本のグリッドコードへの適用 (◎:既にある、●:対象、-:見送り)	備考	
Phase 1：自律機能	事故時の運転継続	高電圧FRT	●	
		低電圧FRT	◎	
		高周波数FRT	◎	
		低周波数FRT	◎	
	力率設定		◎	
	ランプ設定		◎	
	再並列		◎	
	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		◎	
Phase 2：通信	遠隔制御：通信プロトコル、サイバーセキュリティ	-	外部通信装置にて検討	
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	●	遠隔の閉路(ON)は法規上NG	
	最大有効電力制限（出力変化率制限制御）	●		
	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）	●	電圧上昇抑制機能としてあり	
	動的無効電力サポート（Dynamic Volt-var制御）	●	動的無効電流制御	
	有効・無効電力のスケジュール制御	●	有効電力のスケジュール制御は出力抑制として導入済み	

## 2. 現状のグリッドコードの分析

### 【現状分析の結果】

・欧州、米国の規格で日本版グリッドコードとして適用を検討すべき機能を抜粋

No.	要件	機能	電圧・発電規模区分			日本のグリッドコードへの適用 (◎:既にあり、●:対象、-:見送り)	備考
			A	B	C、D		
1	周波数安定性	限定的周波数検知モード-周波数上昇 (LFSM-O)	○	○	○	●	Frequency – Watt制御
		周波数変化に対する一定有効電力出力	○	○	○	●	Frequency – Watt制御
		周波数低下時の有効電力低減制約	○	○	○	●	Frequency – Watt制御
		遠隔制御：ON(起動)/OFF(停止)	○	○		●	遠隔の閉路(ON)は法規上NG
		合成慣性の提供 (イナーシャ、慣性力)			○	●	今期のNEDO研究開発事業
4	電力系統管理	保護と制御の優先順位付け		○	○	●	
5	電圧安定性	高速無効電力注入		○	○	●	動的無効電流制御

要件	機能		日本のグリッドコードへの適用 (◎:既にあり、●:対象、-:見送り)	備考
Phase 1 : 自律機能	事故時の運転継続	高電圧FRT	●	
	電圧-無効電力制御 (Volt-var制御)	遅相制御	●	
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		●	遠隔の閉路(ON)は法規上NG
	最大有効電力制限		●	出力変化率制限制御
	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)		●	電圧上昇抑制機能としてあり
	動的無効電力サポート (Dynamic Volt-var制御)		●	動的無効電流制御
有効・無効電力のスケジュール制御 (検討中)		●	有効電力のスケジュール制御は出力抑制として導入済み	

### 3. 今後の対応と課題

#### 【日本版グリッドコード案】

以上の結果を踏まえ、日本版グリッドコード案を示す。  
 (既存の規格に現在不足している機能を赤字で追記)

要件	機能		基準	電力システムの電圧区分 [○：必要、△：選択、●：今後必要]								
				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未満 500kW以上		逆潮流なし	逆潮流あり	
1 適正電圧・周波数の維持	系統電圧上昇の制限 (OVR)		あり	○	○	○	○	○	○	○	○	
	系統電圧低下の制限 (UVR)		あり	○	○	○	○	○	○	○	○	
	系統周波数上昇の制限 (OFR)		あり		○	○		○	○			
	系統周波数低下の制限 (UFR)		あり	○	○	○	○	○	○	○	○	
2 受電点の電圧調整	自動電圧調整	有効電力制御 (Volt-watt)	あり		○	○		○	○	○	○	
		無効電力制御 (Volt-var)	進相	あり		○	○		○	○	○	○
			遅相	なし					△		●	
	力率一定制御		あり		○	○		○	○			
<b>動的無効電流制御 (Dynamic Volt-var)</b>		<b>なし</b>						△		△		
3 不要解列の防止	保護協調 (事故範囲の局限化)	発電電圧異常 (OVR、UVR)	あり	○	○	○	○	○	○	○	○	
		系統側短絡事故 (UVR)	あり	○	○	○	○	○	○	○	○	
		系統側地絡事故	地絡過電圧リレー	あり				△	△	△	△	△
			電流差動リレー	あり							△	△

### 3. 今後の対応と課題

要件	機能	基準	電力系統の電圧区分 [○：必要、△：選択、●：今後必要]								
			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未 満 500kW 以上		逆潮流 なし	逆潮流 あり	
3 不要解列の防止	FRT (Fault Ride Through)	系統電圧上昇	なし						●	●	●
		系統電圧低下	あり	○	○	○	○	○	○	○	○
		周波数上昇	あり		○	○		○	○	○	○
		周波数低下	あり	○	○	○	○	○	○	○	○
4 単独運転防止	単独運転検知	受動的方式	あり	△	○	○	△				
		能動的方式	あり	○	○	○	○	○	○		
	逆電力リレー (RPR)	あり	△			△					
5 遠隔制御	転送遮断 (N-1電制、高圧は単独運転防止)	あり					△	△	○	○	
	最大出力抑制制御 (遠隔出力制御) ※自家消費分は除外	あり	○※	○	○	○※	○	○	○※	○	
	有効電力・無効電力の設定	なし		△	●		●	●		●	
	パラメータの設定、機能の有効化・無効化	なし		△	●		●	●		●	
	遠隔操作 (起動・停止、再閉路・解列)	なし		△	●		●	●		●	
	将来に系統運用に活用するデータの規程	なし		△	●		●	●		●	
	保護と制御の優先順位付け	なし		△	●		●	●		●	
6 周波数変動抑制 (周波数調整)	慣性力 (イナーシャ制御)	なし								△	
	周波数調定率制御 (Frequency-Watt)	なし		△	△		△	●		●	
7 出力変動緩和機能	出力変化率制限制御	なし						△		●	

#### 【課題】

- ・将来の太陽光発電の大量導入を見据えた日本版グリッドコード案を提案したが、この妥当性について、既存および将来の電力系統との整合、実運用も含め、検討、検証が必要である。
- ・以下に検討項目と今後の対応（実現手段）について示す。

No.	検討項目	対応
1	適用範囲	① 発電規模に応じた発電電力の用途（類型）の整理 ② 電圧区分に応じた電力系統への影響の整理 ③ 各機能に対する電力系統に応じた設定範囲の検討
2	実現手段	<b>制定</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>① 欧米などのグリッドコードの調査</li> <li>② 上記①の適用範囲と機能を基に、<b>日本版グリッドコード案を作成</b></li> <li>③ 関係団体、専門家の協力体制の構築 <b>&lt;現在のフェーズ&gt;</b></li> <li>④ 研究機関で過去に実施された欧米のグリッドコードに関連する先行研究結果の調査（先行研究結果：電中研、NEDO、産総研、沖縄－ハワイ共同研究 等）</li> <li>⑤ グリッドコード案および上記④に基づき、実運用を見据え、各機能の上下限值、設定ステップを設定</li> <li>⑥ 学術的視点で上記⑤を判定</li> <li>⑦ <b>日本版グリッドコードの決定（制定）</b></li> </ul>
		<b>設定</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>① 実施すべきシミュレーション、実証試験の検討</li> <li>② <b>日本版グリッドコード</b>に応じた試作機的设计・開発</li> <li>③ シミュレーションの実施（実系統に対する設定パラメータの確認など）</li> <li>④ 実証試験の実施、実用化の判定</li> <li>⑤ <b>グリッドコードの運用開始（系統連系規程、JET認証などへの展開）</b></li> </ul>

#### 【検討すべき機能】

要件		機能	検討項目
①	受電点の電圧調整	自動電圧調整 (無効電力[遅相]制御 : Volt-Var)	<ul style="list-style-type: none"> <li>・要否の検討</li> <li>・具体的な制御レベル・値の設定</li> </ul>
		動的無効電流制御 (Dynamic Volt-var)	<ul style="list-style-type: none"> <li>・要否の検討</li> <li>・具体的な制御レベル・値の設定</li> </ul>
②	遠隔制御 (※)	有効電力・無効電力の設定	<ul style="list-style-type: none"> <li>・具体的な制御レベル・値の設定</li> </ul>
		パラメータの設定、機能の有効化・無効化	<ul style="list-style-type: none"> <li>・対象となる機能の選定</li> <li>・関連規格・法規との整合</li> </ul>
		遠隔操作 (起動・停止、再閉路・解列)	
		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・セキュリティ)			
③	周波数変動抑制 (周波数調整)	慣性力	<ul style="list-style-type: none"> <li>・要否の検討</li> <li>・具体的な制御レベル・値の設定</li> </ul>
		周波数調定率制御 (Frequency-Watt)	<ul style="list-style-type: none"> <li>・具体的な制御レベル・値の設定</li> </ul>
④	出力変動緩和機能	出力変化率制限制御	<ul style="list-style-type: none"> <li>・実現手段の検討</li> <li>・具体的な制御レベル・値の設定</li> </ul>

※【補足】通信手段・外部通信装置はHEMSなど別の委員会で検討中のため、ここでは対象外とする。  
(PCSにスマートインバータとしての機能を内在させるのが目的)

**⇒ 上記①、③、④は自律制御機能であるため、制御レベル、値に対して送電側、配電側、共に実運用を考慮した設定の検討が必要**

### 3. 今後の対応と課題

#### 【協力要請中の関係団体、専門家】

- ・日本電機工業会（JEMA）
- ・電力中央研究所
- ・産業技術総合研究所（産総研）
- ・新エネルギー・産業技術総合開発機構（NEDO）
- ・電気安全環境研究所（JET）
- ・日本電気協会（JEA）
- ・沖縄県 南西地域産業活性化センター（NIAC）

#### 【協力を要請したい関係団体、専門家】

- ・電気事業連合会
- ・一般送配電事業者
- ・大学
- ・海外研究機関

**送電・配電の両方の視点で技術  
検討ができる体制が必要**

#### 【スケジュール目標案】 <検討中>

工程	項目	2019年	2020年	2021年	2022年	2023年
制定	グリッドコードの作成、 および制定					
設定	グリッドコードの具現化 (試作機的设计・開発)					
	【実運用に向けた検証】 ・シミュレーション ・実証試験					
	グリッドコードの実用化、 および規程化					

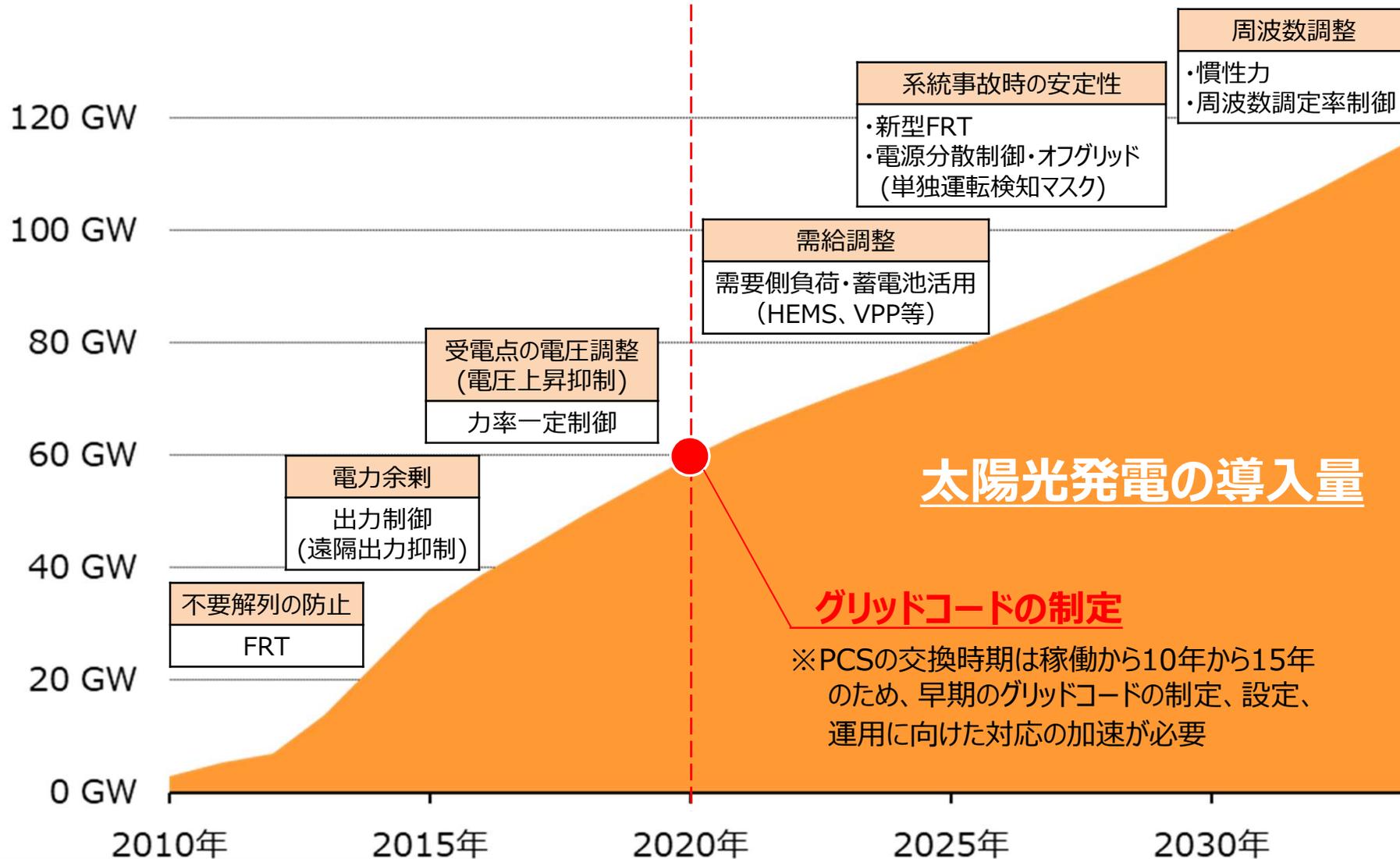
※ 将来の必要性を見据えて制定すべきであるが、必要に応じた継続的な改善は行うものとする。

### 3. 今後の対応と課題

#### 電力系統に対する太陽光発電側の対策

今まで実施した対策

これから必要な対策の一例



## 【参考】風力発電との対比

### ■ 風力発電で検討中の系統連系技術要件に対する太陽光発電（PV）での必要性

- ・現在、風力発電でグリッドコードとして検討されている機能は、PVでも具備すべきものであり、技術的にはインバータ制御のため、条件付きではあるが、PVでも対応は可能

技術要件		内容	必要性	現状
1	最大出力抑制制御	出力の上限を定格出力より低減して運転する機能	あり	・出力制御として導入済み
2	出力変化率制限制御	出力可能値以下の領域において、出力増加率および低減率を制限して運転する機能	あり	<p>・未対応、PV単体では不可 (実現には蓄電池などが必要)</p> <p>【実現手段の例】</p> <p>①低圧、②高圧 出力変化に対し、ローカル・地域の系統全体のリソース（温水器、EV、V2H、蓄電池等）で変化分を補完</p> <p>②高圧、③特別高圧 出力制御や蓄電池などで上げDRが確保されているシステムは、対応</p>

## ■ 風力発電で検討中の系統連系技術要件に対する太陽光発電（PV）での必要性

技術要件	内容	必要性	現状
3 周波数調定率制御	電力系統の <b>周波数上昇時</b> に、周波数調定率に従い風力発電機の出力を減少して運転する機能	あり	・ <b>未対応</b>
4 ストーム制御	<ul style="list-style-type: none"> <li>・強風域における一斉停止防止機能</li> <li>・カットアウト風速以上となっても、風車をすぐには停止せず、徐々に出力を低減して運転する機能</li> </ul>	なし	・ <b>対象外</b>
5 イナーシャ制御 (今回は規定化せず)	電力系統の <b>周波数低下時</b> に、一定時間において発電機の出力を増加して運転する機能 (慣性力、周波数調定率制御)	あり	<p>・<b>未対応、PV単体では不可</b> (実現には蓄電池などが必要)</p> <p>【技術的課題】</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・慣性力のような短時間(0.2秒以下)の制御は低圧の場合、単独運転防止機能の新型能動的方式に干渉する可能性が高い。</li> </ul>