

国立研究開発法人 新エネルギー・産業技術総合開発機構(NEDO) 調査委託事業
エネルギー消費の効率化等に資する我が国技術の国際実証事業／
再生可能エネルギーの大量導入時の電力系統の課題にかかる調査
成果報告会

2022年9月28日

(委託先) 株式会社三菱総合研究所
一般財団法人電気安全環境研究所

(発表者) 株式会社三菱総合研究所 経営イノベーション本部
入江 寛

調査の目的

- 我が国において、諸外国と同様に「カーボンニュートラル」の政策が打ち出され、脱炭素化に向けた世界各国の動きが加速している。
- 今後、再生可能エネルギーの導入が進むと慣性力不足による電力系統の不安定が増大する可能性が高くなることが予想され、電力系統の慣性力不足対策として慣性力不足を補う分散電源用PCSの導入が必要となる。
- 今後も有望な成長市場と見込まれる世界のPCS市場において、**我が国のメーカーが、世界的なシェアを今以上に拡大することが、我が国の国際競争力強化の観点から重要である。**
- 本調査では、PCSについて、**最新の動向、特に開発試験環境について国際標準化動向を含めて調査分析し、我が国のPCSメーカーの製品開発に向けた方向性を示唆することを目的とする。**

海外向け分散型電源用PCSの試験について

- 国内で開発・製作したPCSを海外に納入するためには、**海外現地の認証を取得しなければならない。**
- 認証取得のための試験が必要となるが、**試験を海外で行うことはコスト・労力の面でメーカーにとって多大な負担**であり、海外展開のハードルとなっている。
- 国内PCSメーカーの海外展開に向けて、**試験を日本で行えるような環境作りを行っていくことが重要。**

<我が国の産業が海外展開する際に直面する課題>

● 認証制度の壁

- ✓ 海外での大型PCSや大型蓄電池システムのプロジェクトを獲得する際、現地の入札仕様書には、現地の規格に適合する必要がある旨が記載されており、この規格適合の認証を取らなければ、海外マーケットに入りこむことはできない。
- ✓ このような場合に必要となる規格の認証を取得する際に、当該規格に対応した試験設備が国内にないため、費用と時間、さらに現地語に堪能な人材を登用して海外で試験を行わざるを得ない場合が多々あり、**海外メーカーとの競争上不利を被っている。**
- ✓ まずは、進出先で一般的な認証を取ることこそが、今後成長が期待される太陽光発電システム用PCSや、大型蓄電池システムの市場に参入するために必要となる「入場券」となる。

● 経済性の壁

- ✓ 新興国製品とコスト面での競争になる場合がある。しかし、これら新興国製の製品に比して日本製品は、品質や性能面で勝っていると言われており、それを適切に評価できれば日本製品の優位性を謳うことができ、市場での競争力を高めることが可能となる。
- ✓ このためには、我が国のメーカーの技術優位性を、客観的指標により示すような規格とそれに基づいた認証スキームの継続的な開発が必要である。

「グローバル認証基盤整備事業『大規模分散電源関連設備に関する認証システム基盤整備事業』」報告書より

実施内容

- 前ページ目的を踏まえて、以下の調査を実施した。

海外調査	試験方法に関する調査	<ul style="list-style-type: none">● PCSの試験方法に関する標準の最新動向整理● 米国における需給調整市場参入に向けた試験方法整理
	試験環境に関する調査	<ul style="list-style-type: none">● 海外の大規模試験環境(NREL、SNL、AIT)の調査● 上記ステークホルダに対するヒアリング調査
国内調査	試験方法に関する調査	<ul style="list-style-type: none">● 国内PCSメーカーへのヒアリング調査に基づく課題の整理● 対応が必要となる規格等の具体的内容の調査
	試験環境に関する調査	<ul style="list-style-type: none">● HIL (Hardware in the loop)の試験環境に関する調査● 求められるHIL構成の検討
調査結果のまとめ		<ul style="list-style-type: none">● 上記ファクトの整理● 開発試験環境プラットフォームのあるべき姿の検討

本日の報告内容

報告のアウトライン

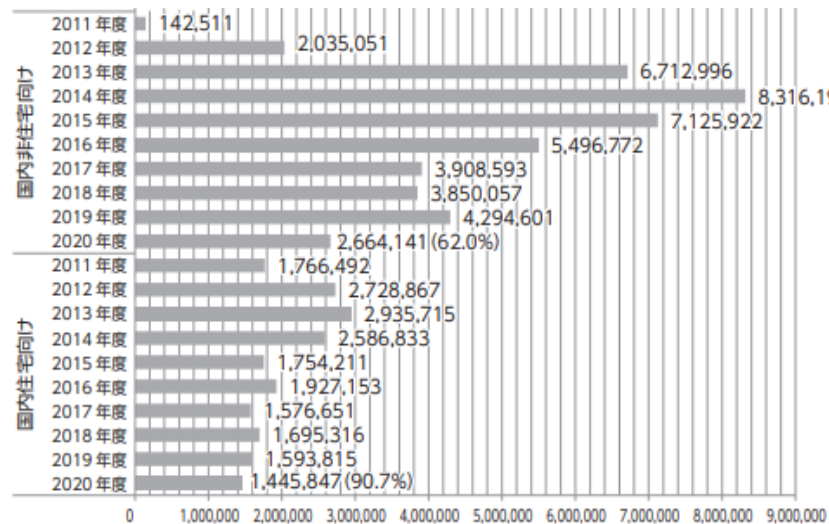
1. 国内外のPCSの事業環境の変化
2. PCS事業を進める上での課題
3. HIL (Hardware In the Loop)の活用について
4. 調査結果のまとめ – 開発試験環境プラットフォームのあるべき姿
5. 今後進めていくべき技術開発・活動

1.国内外のPCSの事業環境の変化

1.国内外のPCSの事業環境の変化 PV用PCSの出荷容量推移

- 国内では、2012年のFIT制度確立以後、PV用PCSの出荷台数が飛躍的に伸長し、PV用PCSビジネスが急激に立ち上がった。しかしながら、2016年度頃からその急激なPCSの需要は落ち着きを見せており、また、近年ではFIT制度からFIP制度への移行等の動きからPV用PCSの市場は以前のような拡大傾向ではなくなっている。
- 一方で自家消費用の案件が引き合いの主流となりつつあり、2017年度から徐々に自家消費型の太陽光発電システムの市場が伸張しており、今後も拡大すると見込まれている。

国内所在メーカーの太陽光PCSの出荷容量(kW) (2011~2020年度)



注) 海外メーカーの日本法人の日本国内における出荷容量も含む

出所) JEMA, "2020年度 太陽光発電用パワーコンディショナの出荷量動向調査報告", 閲覧日: 2021年12月2日, https://jema-net.or.jp/Japanese/res/solar/pdf/denki_820_pcs.pdf

自家消費型太陽光発電システムの国内市場



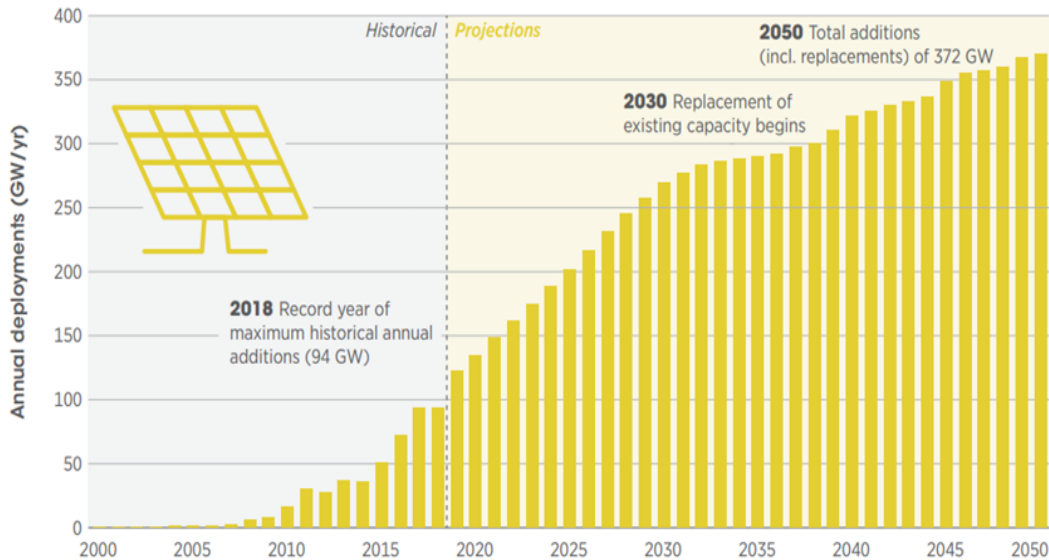
出所) JEMA, "2020年度 太陽光発電用パワーコンディショナの出荷量動向調査報告", 閲覧日: 2021年12月2日, https://jema-net.or.jp/Japanese/res/solar/pdf/denki_820_pcs.pdf

1.国内外のPCSの事業環境の変化

海外の太陽光発電市場とPCS価格の国際比較

- 海外市場では、PV用PCSの需要は引き続き伸びている状況であり、2030年では約270GW、2050年では約372GWに達する見通しである。国内の事業者は、ASEAN諸国(インドネシア・タイ・シンガポール・ベトナム・フィリピン等)及びインド・米国・中国等といった海外における事業機会を求めている。
- 一方で、海外製PCSの価格低下等の影響もあり、競争が激化している状況にある。PVサイズの影響を考慮する必要はあるが、日本のPCS(Inverter)は100 USD/kW超程度の単価であるのに対し、他国のPCSコストは約50 USD/kWに収まっており、海外勢のPCSコストの低下が進んでいる。

全世界における2050年までのPV年間導入規模見通し



出所)IRENA, "FUTURE OF SOLAR PHOTOVOLTAIC", 閲覧日:2021年12月1日https://irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2019/Nov/IRENA_Future_of_Solar_PV_2019.pdf

2020年断面の各国のUtility-Scaleの太陽光システム導入コスト

	PCSコスト (USD/kW)	コスト全体 (USD/kW)
日本	約140 [USD/kW]	1,832 [USD/kW]
米国	約71 [USD/kW]	1,101 [USD/kW]
ドイツ	約35 [USD/kW]	700 [USD/kW]
中国	約35 [USD/kW]	651 [USD/kW]
インド	約35 [USD/kW]	596 [USD/kW]

注)InverterコストをPCSコストとして抜粋(ハードウェア部分)

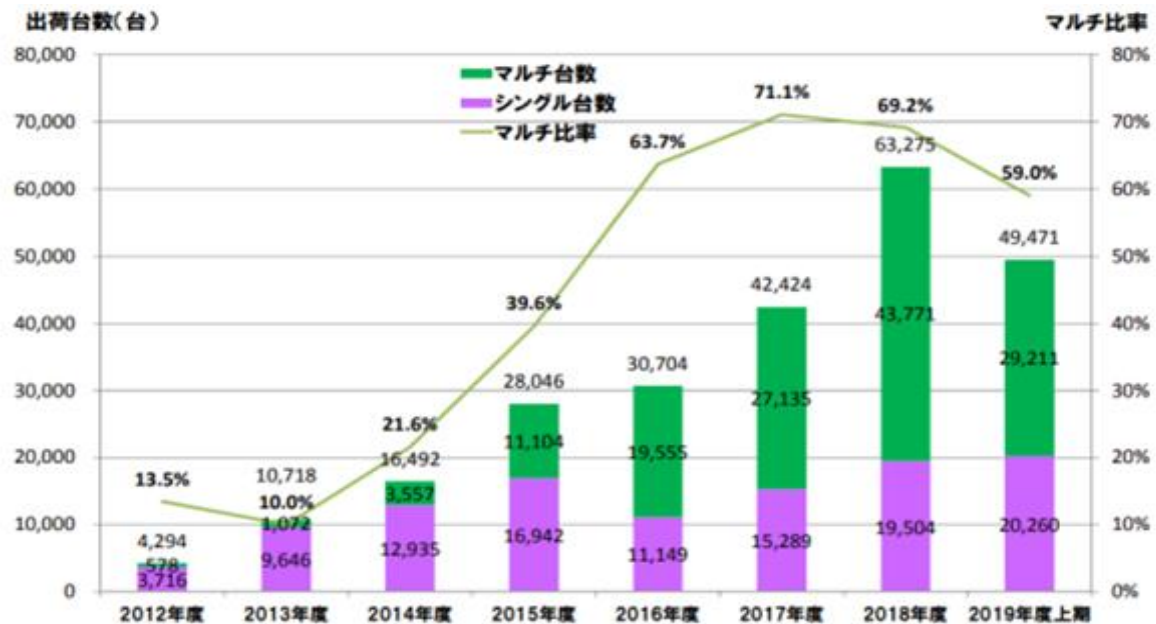
注)IRENA資料ではUtility-Scaleの明確なサイズに関する記載を確認することができなかった。海外の機関の定義ではMWクラスの設備を対象としている。

出所)IRENA, "RENEWABLE POWER GENERATION RENEWABLE POWER GENERATION COSTS IN 2020 COSTS IN 2020", 閲覧日:2021年12月1日https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2021/Jun/IRENA_Power_Generation_Costs_2020.pdf

1.国内外のPCSの事業環境の変化 付加価値の高いサービスの提供の動き

- このような競争環境下、国内の各メーカーは、これまでの日本でのビジネスの経験を活かしつつ、**より付加価値の高いサービスを提供することを志向している。**
- PV+蓄電池組合せシステムでの納入や自家消費案件でのこれまでのノウハウの活用、更にはマイクログリッドコントローラーでの複数のリソースを制御・管理すると言った事業戦略を検討している。
- 2013年度以降は、年々マルチPCS注の比率が増加しており、太陽光発電と蓄電池を合わせてセットで導入するような事例が増えてきていることが推察される。

系統連系型蓄電池システム用PCSのシングル・マルチの比率



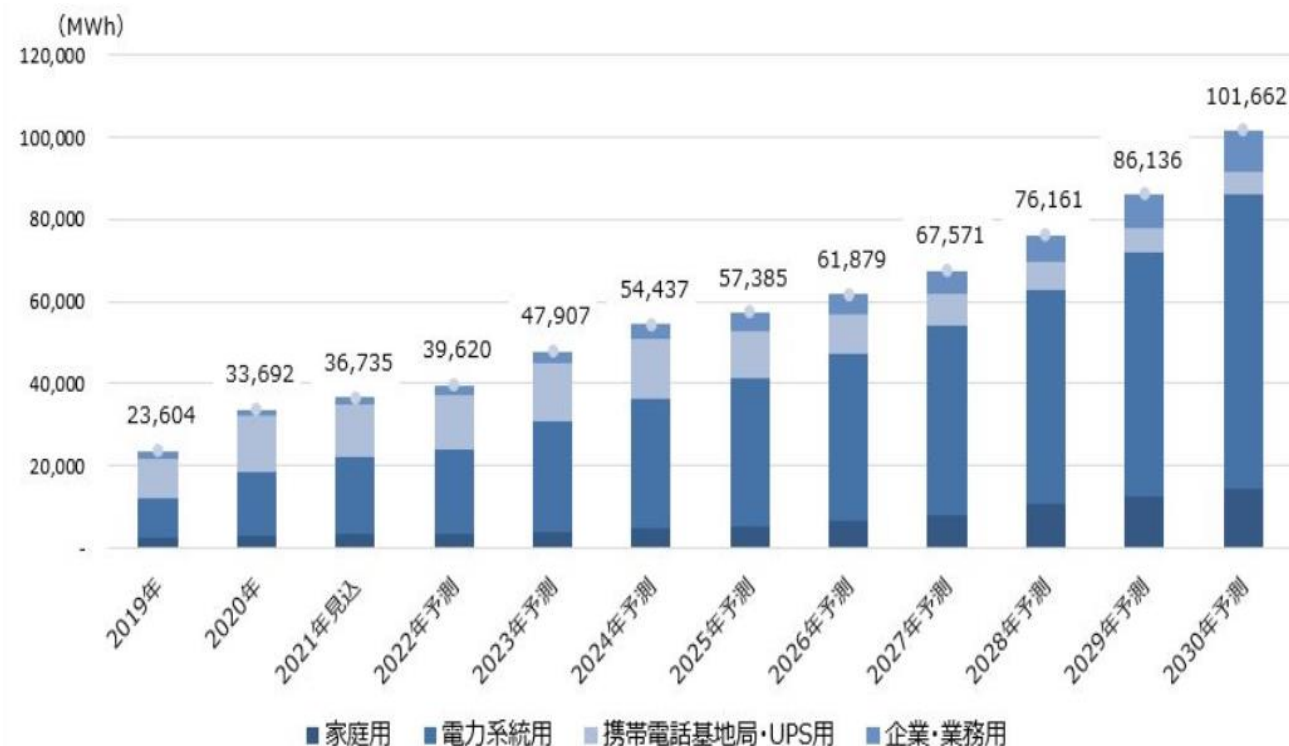
注)系統連系型蓄電池システム用 PCS の「シングル」とはシングル入力で蓄電池のみが直接接続可能な機器を指し、「マルチ」はマルチ入力で蓄電池と太陽光発電が直接接続可能な機器を指す
出所)NEDO “太陽光発電開発戦略2020”，閲覧日:2021年12月1日<https://www.nedo.go.jp/content/100926249.pdf>

1.国内外のPCSの事業環境の変化

定置用蓄電池の国内外の市場規模

- 蓄電池用PCSの事業環境は、国内、海外とも本格的市場はこれから立ち上がるとみられている状況。
- 定置用蓄電池の世界市場規模について、2020年では33,692MWhの導入実績があるに対し、2030年にかけて約3倍の101,662MWhまで年間市場規模が拡大すると見込まれている。

定置用蓄電池の世界市場規模推移・予測



1.国内外のPCSの事業環境の変化 単機PCSの大容量化

- 国内ではPV用PCSの単機容量が50～200kVA、500kVAというクラスが主流となっている一方で、特に海外では単機PCSの大型化が進んできている。
- 以下に海外のメーカーの大型PCSの容量を示す。海外では5000kVA級の製品が確認できており、特にPV用PCSの大型化の傾向が見られる。

海外メーカーの大型PCS製品の容量リスト(2021年12月時点)

メーカー名	大型PCS製品の単機容量
ABB社	5,000kVA(太陽光)
	約2,000kVA(蓄電池)
Siemens社	5,000kVA(太陽光)
Sungrow社	5,000kVA(太陽光)

出所)各社公表資料より作成

2.PCS事業を進める上での課題

2.PCS事業を進める上での課題

PCS事業を進めていく上での課題

- PCS事業を国内外で進めていく上での課題は以下の通りである。

項目	課題
(1)FREAの試験設備の容量不足	<ul style="list-style-type: none"> ・ 特に海外でPVを中心としてPCS容量の大型化が見られている。現在のFREAでは、最大3MWの試験は可能だが、海外で見られる5MW級の設備の試験には対応できない。
(2)試験期間・コストの増加	<ul style="list-style-type: none"> ・ IEEE1547を始め、各国(国内も含む)におけるグリッドコードの高機能化に伴い、試験項目が増えている状況にある。その分、今後試験に多くの期間とそれに伴う高コスト化が懸念される。
(3)新しい規格への対応・諸外国の規格の最新動向の把握	<ul style="list-style-type: none"> ・ 上記で述べたIEEE1547.1やUL 1741の最新版(Supplement SB)が更新されており、新しい規格で定められた新しい試験への対応(インターオペラビリティ等)が必要になる。
(4)モデリングへの対応	<ul style="list-style-type: none"> ・ 海外では発電事業者が系統接続する上でPCSのモデルの提出が求められるようになっており、モデル提出に向けた要件や試験方法について把握する必要が出てきている。
(5)環境試験への対応の必要性	<ul style="list-style-type: none"> ・ PCSの導入箇所が拡大する中で、より厳しい環境下での運転が求められる場合がある。IECの試験規格で定められた環境試験の適合が求められる場合もあり、このような試験への対応ニーズが顕在化する可能性がある。
(6)途上国を中心としたPCS導入時に発生する現地機関・企業からの問い合わせ	<ul style="list-style-type: none"> ・ 途上国のEPC^注や電力会社、規制機関側に分散電源の系統連系に関する知識を持ち合わせた人材が少ないケースが目立ち、導入時に様々な問題が生じている。
(7)試験の高度化に伴う人材不足の恐れ	<ul style="list-style-type: none"> ・ 新しい規格の中で試験項目も大幅に増加し、これまでの試験に関するノウハウ(実施方法・背景)をしっかり把握して試験を実施できる人材が必要になる。ただし、各メーカーにおいてその人材が不足することが懸念されている。

注)EPCとは、Engineering, Procurement and Constructionの略。発電所やプラントの建設などにおいてエンジニアリングの設計、資機材調達、製作、建設工事を含む一連の工程を請け負うことを示す。

2.PCS事業を進める上での課題

(1)FREAの試験設備の容量不足

- インドを中心に、大容量(3~5MWクラス)の単機容量を持つPCSへのニーズが高まってきており、国内メーカーもこの大容量サイズに対応していくことが求められてきている。海外では設備を導入するときも基本的にフル容量の出力で単機PCS試験を行う。
- 現在国内では、下記の通り、FREAでは最大3MWまでの試験を行うことが可能であるが、**それ以上の容量となるとFREAでの試験は困難**である。このような場合は、国外で対応可能な試験機関を探し、そこで実施せざるを得ないというのが実態である。

FREA設備の特徴

大型対応	海外対応	認証対応	多用途対応
<ul style="list-style-type: none">● 最大3MWの試験が可能。● 試験能力の限界を超える 3.3MW機、他所では不可能な直流電圧1500V機に対する系統連系試験を実施。● 大型機に対するEMC試験、環境試験にも対応。	<ul style="list-style-type: none">● IEC規格や諸外国の規定に対応する試験が可能。日米独中印タイの実績。● 海外で導入の進むスマートインバータの機能試験を実施(大型機では世界初)。● 電気安全環境研究所等との連携により海外対応を強化。	<ul style="list-style-type: none">● 電気安全環境研究所による小規模商業施設用低圧三相機の認証取得が可能。● 電気安全環境研究所によるラボ認定取得(IEC 17025)がタイ向けを皮切りに、他国も順次進展中。	<ul style="list-style-type: none">● 電波暗室において、太陽電池パネルのアンテナ特性を30mの距離から測定(国内初)。● 次世代配電網用電圧調整器の環境試験とEMC試験を実施。
 <p>国内最大の電波暗室</p> <p>H28年12月</p>	 <p>タイ市場向けのPCS</p> <p>H28年3月~5月</p>	 <p>認証用PCS</p> <p>H28年4月~</p>	 <p>H29年1月</p> <p>次世代配電網用電圧調整器</p>

2.PCS事業を進める上での課題 (2)試験期間・項目の増加(1/2)

- IEEE1547を始め、各国(国内も含む)におけるグリッドコードの高機能化に伴い、試験項目が増えている状況にある。IEEE1547-2018、IEEE1547.1-2020から求められる要件が非常に多くなっている。
- IEEE1547.1-2020の系統連系試験方法のケース数を総計すると、**2,934ケース**であり、試験の進行の効率を上げないと試験依頼者であるPCSメーカーにとって認証試験の期間・費用の負担が大幅に増える。

IEEE1547における系統安定化機能に関する試験項目・要件

DER定格		相互連系標準 Interconnection Standard ^{注)}			Listing認証 ^{注)}		
機能	拡張機能	IEEE 1547-2003	IEEE 1547a-2014	IEEE 1547-2018	UL 1741	UL 1741 (SA) 2016	IEEE 1547.1-2020
全体	許容される設定の範囲 ランプ制御		許可(要合意)	要件あり			規定あり
監視と制御	通信インターフェース			要件あり		規定あり	規定あり
	リモート遮断、再接続			要件あり			規定あり
	有効電力の上限			要件あり			規定あり
	DERデータの監視			要件あり			規定あり
スケジューリング	有効電力の設定						
	電力値とモデルのスケジューリング						
有効電力/電圧 サポート	力率一定	許可(要合意)	許可(要合意)	要件あり	許可(要合意)	規定あり	規定あり
	電圧-無効電力 (Volt-Var)	禁止	許可(要合意)	要件あり		規定あり	規定あり
	自動調整可能な電圧リファレンス			要件あり			規定あり
	有効電力-無効電力 (Watt-Var)	禁止		要件あり			規定あり
サポート	一定無効電力	許可(要合意)	許可(要合意)	要件あり			規定あり
	電圧有効電力 (Volt-Watt)	禁止	許可(要合意)	要件あり		規定あり	規定あり
	VRT時ダイナミック電圧サポート			許可(要合意)			
主幹系統信頼性 /周波数 サポート	周波数ライドスルー (FRT)			要件あり		規定あり	規定あり
	RoCoFライドスルー			要件あり			規定あり
	電圧ライドスルー (VRT)			要件あり		規定あり	規定あり
	電圧位相角ジャンプスルー			要件あり			規定あり
その他高度なDER機能	frequency-watt	禁止	許可(要合意)	要件あり		規定あり	規定あり
	単独運転検知とトリップ			要件あり			規定あり
	電圧ライドスルー (VRT)			要件あり			規定あり
	電圧位相角ジャンプスルー			要件あり			規定あり

項目増加

項目増加

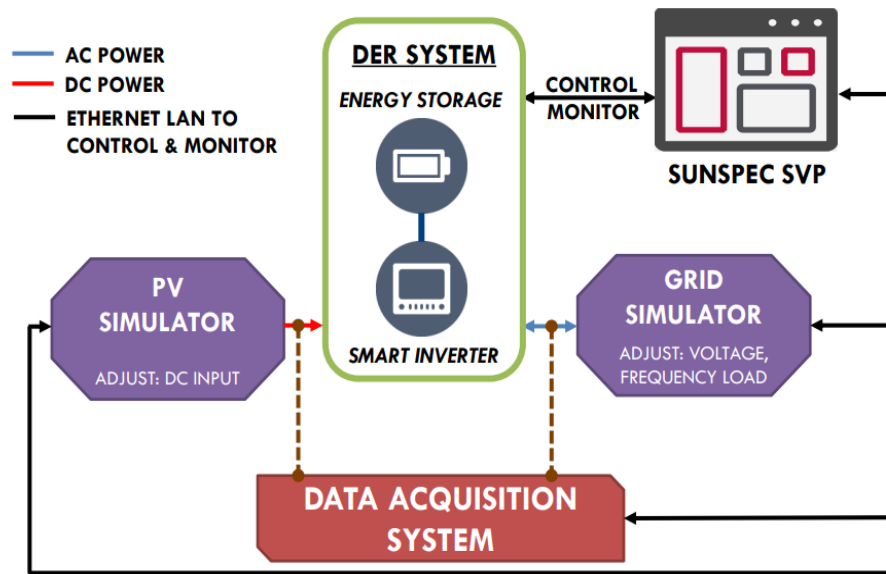
注)相互連系基準(Interconnection Standard)とは、分散電源を系統接続の要件のこと。Listing認証とは、相互連系基準で定められた要件への認証として必要となる試験について定めた認証項目のこと。

出所)IEEE, "Bulk System Opportunities from New Distributed Energy Resource Interconnection and インターオペラビリティ Standards" 閲覧日:2021年12月3日,
https://www.nerc.com/comm/PC/System%20Planning%20Impacts%20from%20Distributed%20Energy%20Re/IEEE%20SC21_1547_Overview_NERC_SPIDERWG_01072019.pdf より三菱総研作成

2.PCS事業を進める上での課題 (2)試験期間・項目の増加(2/2)

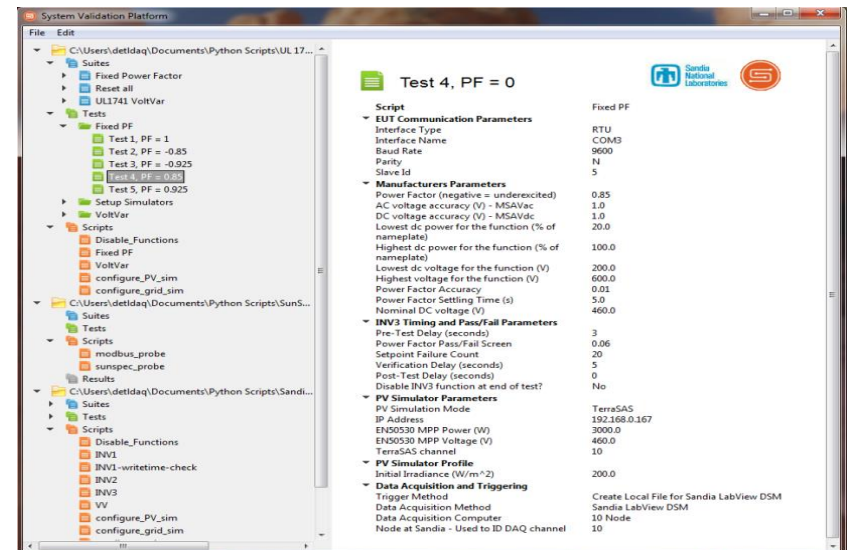
- **試験自動化**に関する海外の取組としてSunspec Allianceの取り組みである「System Validation Platform(SVP)」の開発が挙げられる。
- SVPは、PCSの各機能の試験に対し、試験環境(ACシミュレータ、DCシミュレータ等)やEUT(被試験機)の自動設定やデータ取得などを自動化するためのプラットフォームである。
- SVPはDERシステムを制御・監視することができ、試験環境のGrid SimulatorやPV Simulatorを遠隔でパラメータの設定を行うことができる。データ取得も自動で可能。
- UL 1741 Supplement SA等の規格の試験を実施するスクリプトの用意もなされている。

SVPのアーキテクチャ



出所)SunSpec Alliance, "SunSpec System Validation Platform (SVP) Bob Fox, Principal Engineer", 閲覧日:2021年12月1日
<http://sunspec.org/wp-content/uploads/2019/09/FoxSunSpecAdvancedGridTestSystemValidationPlatformSVP.pdf>

SVPの試験パラメータ設定画面



出所)SNL, "SunSpec System Validation Platform and SIRFN Research", 閲覧日:2021年12月1日
<https://sunspec.org/wp-content/uploads/2016/03/JayJohnsonSunSpec-SVPandSIRFNCaseStudy.pdf>

2.PCS事業を進める上での課題

(3)新しい規格への対応・諸外国の規格の最新動向の把握

- 諸外国の最新の試験方法に関する規格の代表的なものとしてIEEE1547.1やUL 1741 Supplement SB(最新版)では、特に「**インターオペラビリティ試験**」への対応が必要となっており、IEEE1547-2018では、要件スコープに通信インターフェースが組み込まれた。
- IEEE1547-2018で、上位電力系統運用者からの信号を受信して新しい運転パラメータへの移行に関する要件が下記のように定められている。
- またIEEE1547-2018に対応してその試験手順を規定するIEEE1547.1-2020では第6章にインターオペラビリティ試験の手順や方法が定められている。

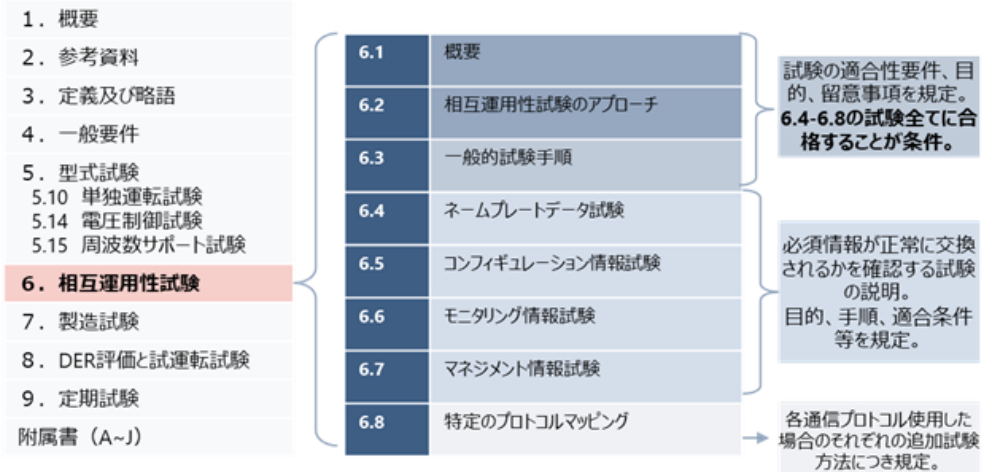
IEEE1547-2018で規定されているインターオペラビリティ試験の要件

要件
<ul style="list-style-type: none"> ● 制御モード間の移動は設定値を受信してから30秒以内に終了する。
<ul style="list-style-type: none"> ● 制御モードの変更時に、運転出力が5秒から300秒以内で平滑に変化すること。
<ul style="list-style-type: none"> ● 制御モードの変更時に運転出力のランプ制御は要求しない。
<ul style="list-style-type: none"> ● 制御・保護機能の整定に関し、分散電源の通信インターフェースに信号が入力されてから30秒以内に変更を始めること。

IEEE1547.1-2020で規定されているインターオペラビリティ試験構成

IEEE1547.1-2020の構成

IEEE1547.1-2020第6章の構成



2.PCS事業を進める上での課題 (4)モデリングへの対応

- 米国・豪州・ドイツでは、分散型電源のプラント認証の過程で**PCSのモデリングの提出が求められる**ような状況になってきている。
- 海外でよく利用されるシミュレーションツール上で動くモデルを、自社製品の特長を正確に反映した上で構築しなくてはならない。

米国・豪州・ドイツのプロセス認証のスキーム比較

	カリフォルニア CAISO Rule21	豪州(NER) AEMO's Modeling Guideline	ドイツ FGW-TG3/TG4/TG8
連系審査プロセスにおけるプラント認証の位置付け	・連系申し込み時点のプラントの機能・性能の審査	・連系申し込み時点のプラントの機能・性能の審査 ・Commissioning Testの結果を反映し、納入後の電力系統シミュレーションに使用	・連系申し込み時点のプラントの機能・性能の審査
モデリング手法の適用	Rule21上は規定されていないが、NERCの”Standard Model for Variable Generation”が事実上適用されている。	NER上モデリングによる審査が規定され、さらにAEMOにモデリングのガイドラインを示すよう規定されている。	FGWのTG3/TG4/TG8にモデリングの適用が明記され、グリッドコードVDE4100シリーズに参照されている。
シミュレーションツールの指定	任意	PSCAD/EMTDC PSS/E	オープンなツールを使用とのみ規定
モデルの認定者	CAISO	AEMO	ISO/IEC17065認定を受けた認証機関
シミュレーションの実施者	連系申し込み者	連系審査申し込み者	連系審査申し込み者
シミュレーション結果の評価者	CAISO	AEMO	ISO/IEC17065認定を取得しFGWの認定を受けた認証機関
シミュレーションによる審査項目	・グリッドコードに対する適合性 ・連系による系統運用への影響の有無	・グリッドコードに対する適合性 ・連系による系統運用への影響の有無	・グリッドコードに対する適合性

2.PCS事業を進める上での課題

(5)環境試験への対応の必要性

- PCSの納入エリアが拡大することに伴い、様々な外部環境でも正常にPCSが動作することを示す必要がある。
PCSの製品の耐性を証明する試験の実施が必要となる。
- PCSの信頼性試験の例として、太陽光発電用PCSの信頼性試験規格IEC62093の改訂が行われており、下記に示す試験への対応が必要な場合もある。

厳しい気候条件の例

試験項目
<ul style="list-style-type: none"> ・ インド、東南アジアなどでは高温、多雨、多湿、高日射強度、ほこり
<ul style="list-style-type: none"> ・ 島嶼地区、海岸地域では強風、多雨、塩分雰囲気
<ul style="list-style-type: none"> ・ 火山・温泉地域では亜硫酸ガス雰囲気
<ul style="list-style-type: none"> ・ 牧畜畜舎付近ではアンモニアガス雰囲気
<ul style="list-style-type: none"> ・ その他 綿花の微細な繊維など

IEC62093の信頼性試験要件

試験項目	
<ul style="list-style-type: none"> ・ 目視検査 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 輸送時振動試験(オプション)
<ul style="list-style-type: none"> ・ 運転出力電力確認 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 衝撃試験(オプション)
<ul style="list-style-type: none"> ・ 運転機能確認 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 塩水噴霧試験(オプション)
<ul style="list-style-type: none"> ・ 耐電圧試験 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 混合ガス腐食試験(オプション)
<ul style="list-style-type: none"> ・ DCリンクコンデンサ温度試験 	<ul style="list-style-type: none"> ・ アンモニアガス腐食試験(オプション)
<ul style="list-style-type: none"> ・ スwitching素子温度試験 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 樹脂部材試料の紫外線耐候性試験(オプション)
<ul style="list-style-type: none"> ・ 湿度凍結試験 	
<ul style="list-style-type: none"> ・ 温度サイクル試験 	
<ul style="list-style-type: none"> ・ 温湿度サイクル試験 	
<ul style="list-style-type: none"> ・ 温度試験 	
<ul style="list-style-type: none"> ・ 雨水侵入試験(オプション) 	
<ul style="list-style-type: none"> ・ 風圧雨水試験(オプション) 	
<ul style="list-style-type: none"> ・ ほこり試験(オプション) 	

2.PCS事業を進める上での課題

(6)途上国を中心としたPCS導入時に発生する現地機関・企業からの問い合わせ

- 途上国のEPCや電力会社、規制機関側に分散型電源の系統連系に関する知識を持ち合わせた人材が少ないケースが目立ち、導入時に様々な問題が生じている。
- 具体的には、PCS端と系統連系点での電圧測定の違いから、PCSとしては基準をクリアしていながらも、PCC（連系点）での連系リクワイアメントを満たしていないケースがあり、電力会社からの照会がある。本来EPC側が対応すべきだが、その対応をできずメーカーに要求される場合がある。

2.PCS事業を進める上での課題

(7)試験の高度化に伴う人材不足の恐れ

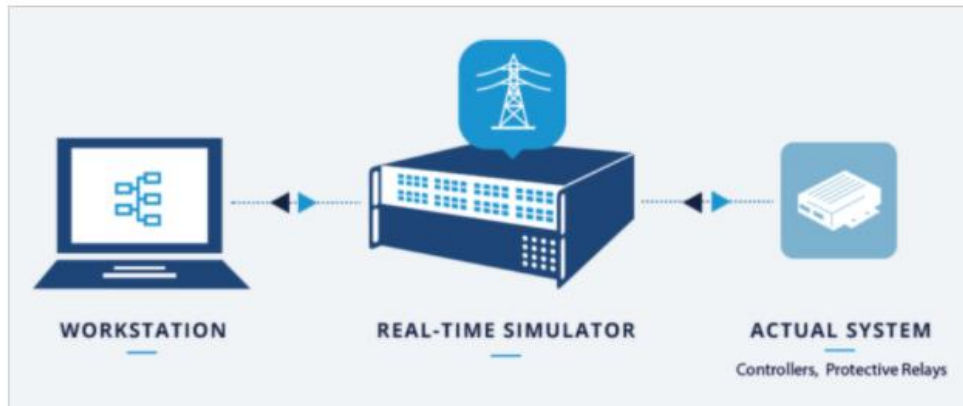
- 試験の高度化に伴い、試験項目が増大し、また新たな試験ツール等を使用しなければならなくなる。
- 新しい規格の中で試験項目も大幅に増加し、これまでの**試験に関するノウハウ(実施方法・背景)を把握して試験を実施できる人材が必要**になる。現在、各メーカーにおいてその人材が不足することが懸念されていることがヒアリングから確認できた。

3.HIL (Hardware In the Loop)の活用について

3.HIL (Hardware In the Loop)の活用について HIL技術とは？

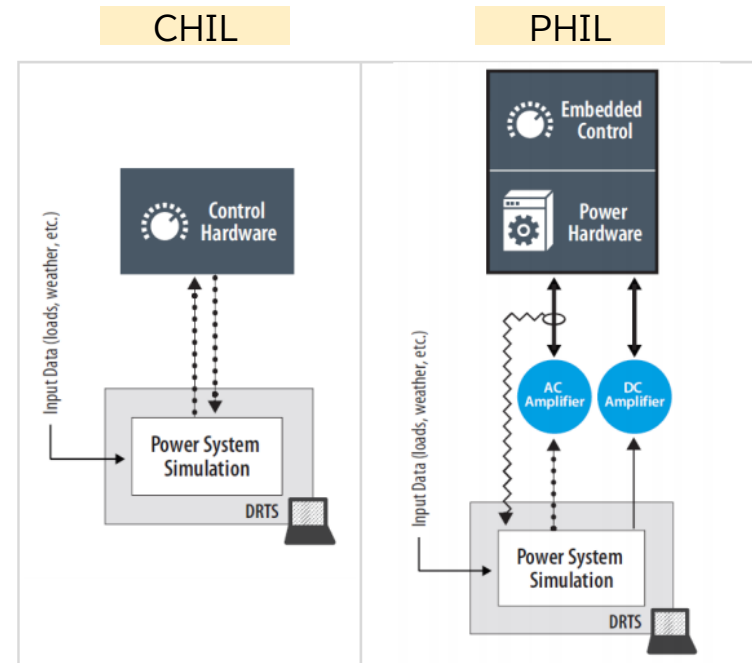
- HILは、デジタルシミュレータ技術を組み合わせて、**仮想の電力システムを構成し**、実物の試験対象機を接続することで、その電力システム上において対象機の挙動を把握することができるシステムである。
- HILの中でも最もシンプルな形式は**CHIL(Controllor HIL)**と呼ばれており、シミュレーションシステムに入力したインプット情報を基に制御システム(コントローラ)の応答を評価できる。
- 一方で**PHIL(Power HIL)**と呼ばれる形式は、コントローラだけではなく、実際の機器から出力される電力を評価するシミュレーションである。

HILの構成要素



出所)EEpower,” Intro to Hardware-in-the-loop Simulation for Power Design”,
閲覧日:2021年1月28日, <https://eepower.com/technical-articles/introduction-to-hardware-in-the-loop-power-design/#>

CHILとPHILの構成図



出所)NREL,” Hardware-in-the-Loop (HIL) Simulations for Smart Grid Impact Studies”,閲覧日:2021年1月28日,
<https://www.nrel.gov/docs/fy18osti/70409.pdf>

3.HIL (Hardware In the Loop)の活用について 試験の課題解決となりうるHIL

- 先に示した課題のいくつかは、将来的に試験環境がHILに移行すれば解決される可能性がある。
- HILの活用を見据えて、今後検討を行っていく必要がある。

HIL試験環境を使うメリット

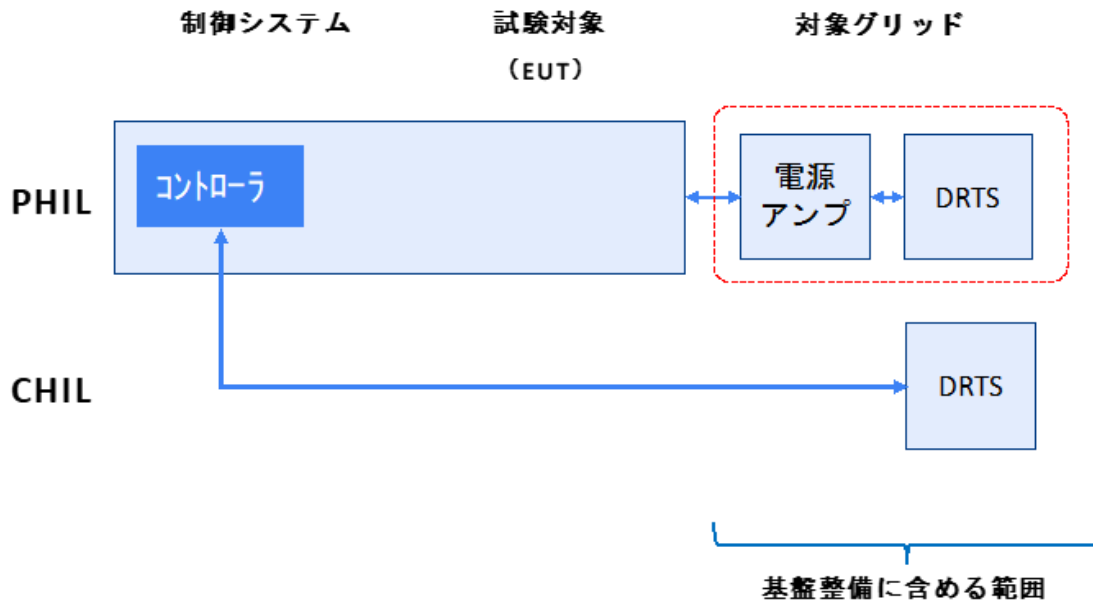
- ✓ 実際の電力システムに接続する前に、試験対象供試機器被試験機（EUT：Equipment Under Testing）の性能を評価するために、シミュレータ上に模擬された環境（例えば、大容量電源や大容量負荷のある回路）で様々なシナリオを実行できる。
- ✓ 極端な動作条件や異常な動作条件の下でのEUTの動作を検証できる。

課題	HIL活用による課題への対応
試験設備の容量不足	シミュレータ上で大容量電源を模擬できる
新機能の試験への対応の必要性	HILでソフトウェアの試験を行うことで、新機能の検証を行うことができる
試験を実施できる人材の不足	様々なシナリオを作り出せるHILを活用することで、試験を効率化できる

3.HIL (Hardware In the Loop)の活用について 汎用的なHILS環境の構成案

- SIRFNのAdvanced Laboratory Testing Methods (ALTM)のタスクメンバーによる実証事例を踏まえて、PHILおよびCHILの汎用的な構成例を検討。
- HIL技術の習得には時間を要することから、研究現場と試験技術者の効果的な融合の場を形成することが重要である。そこで、SIRFN ALTMメンバーの実証環境を参考とすることで、研究現場の知見をいち早く入手し、同時に試験技術者のノウハウを融合する試験環境(プラットフォーム)を形成することが、日本のPCSメーカーを支える研究開発並びに試験認証の強化に資すると考えられる。

PHIL/CHIL試験環境の汎用的な構成例



PHILで想定される構成

- ① 汎用DRTS+MW級電源(独自開発)
 - ・ RTDS NovaCor, RSCAD, GTNET、ネットワークインタフェース(IEC61850、DNP3、Sunspec Modbus、IEEE C37.118)、SanRex
- ② 汎用DRTS+数百kW級汎用電源
 - ・ OPAL-RT OP5650、RTlab、Hypersim、Egston CSU200

CHILで想定される構成

- ③ 汎用DRTS
 - ・ OPAL-RT OP5650、RTlab、Hypersim
 - ・ Typhoon HIL TYP-HIL404-CPまたはTYP-HIL604-CP
- ④ プロトコル
 - ・ VILLASnodes等のゲートウェイ

※プロトコルはVILLASnodes等のゲートウェイを使用

4.調査結果のまとめ – 開発試験環境プラットフォームのあるべき姿

4.調査結果のまとめ – 開発試験環境プラットフォームのあるべき姿 明らかとなった課題と求められる対応

- 明らかとなった課題に対して、必要となる対応は以下の通り。

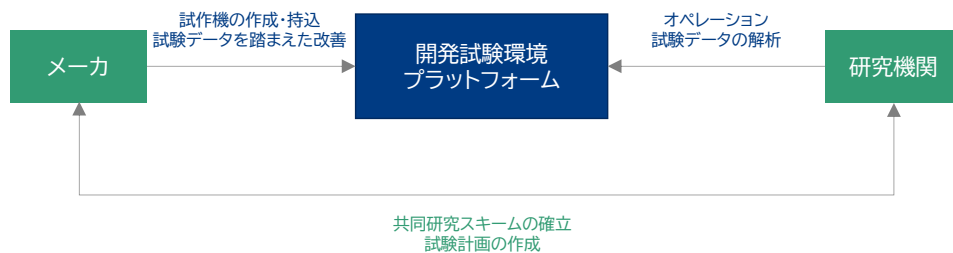
課題	必要となる対応(試験方法・試験環境)
FREAの試験設備の容量不足	<ul style="list-style-type: none"> ● 5MW級の単機容量を持つPCSの試験ができる環境が必要。 ● 更に将来的には、HILを活用した試験方法の確立が重要。
諸外国の規格の最新動向の把握及び試験項目の増加による試験期間・コストの増加	<ul style="list-style-type: none"> ● PCSの試験方法として、自動化を検討することが必要。 ● また、自動化できるような試験環境が必要。
最新の規格で定められた新たな試験に対する対応の必要性	<ul style="list-style-type: none"> ● インターオペラビリティ試験、及び逆相インピーダンス、逆相電流の測定試験の環境を整備し、試験を実施することが必要。
モデリングへの対応	<ul style="list-style-type: none"> ● モデリングに関わる国際標準化の動向等を見極めることが必要。 ● モデルの評価にHILを活用できる可能性がある。
環境試験への対応の必要性	<ul style="list-style-type: none"> ● IEC62093の要件のうち、オプション試験を包括的に行う環境は国内にない状況。 ※どのような試験環境を準備するかは、今後のニーズ次第。
途上国を中心としたPCS導入時に発生する現地機関・企業からの問い合わせ	<ul style="list-style-type: none"> ● 知見・ノウハウを更に蓄え、メーカをサポートしていくことが重要。
試験の高度化に伴う人材不足の恐れ	<ul style="list-style-type: none"> ● 今後HIL試験を活用した試験の効率化などを通じて、対応していく必要がある。
試験設備の容量不足	<ul style="list-style-type: none"> ● HIL試験を活用し、大規模システム試験への対応を図ることが必要。
PCS新機能の試験対応	<ul style="list-style-type: none"> ● HIL試験を活用し、新機能の開発及び試験の効率化を図ることが必要。
高度化試験に対する人材不足	<ul style="list-style-type: none"> ● HIL試験を活用した研究開発を通じ、高度化試験を理解できる人材を育成していくことが必要。

4.調査結果のまとめ - 開発試験環境プラットフォームのあるべき姿 開発試験環境プラットフォームについて

- 前ページの対応方針を踏まえて構築されるべきプラットフォームは、大きく分けて①「メーカーと研究機関による製品等の技術開発」、②「適合性評価に関わる試験」に活用することが可能。
- 双方とも、メーカーの国内外における展開を拡大していくことに資する利用シーンである。

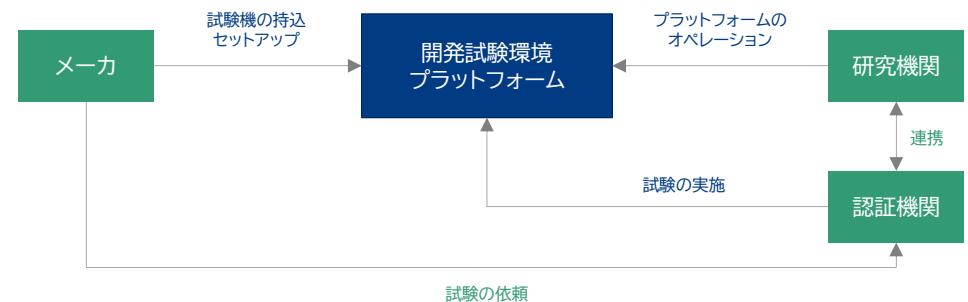
メーカーと研究機関による製品等の技術開発

- PCS等の製品の開発段階において、様々な状況下での試験データを取得し、そのデータをもとに開発の方向性を適宜決めていく



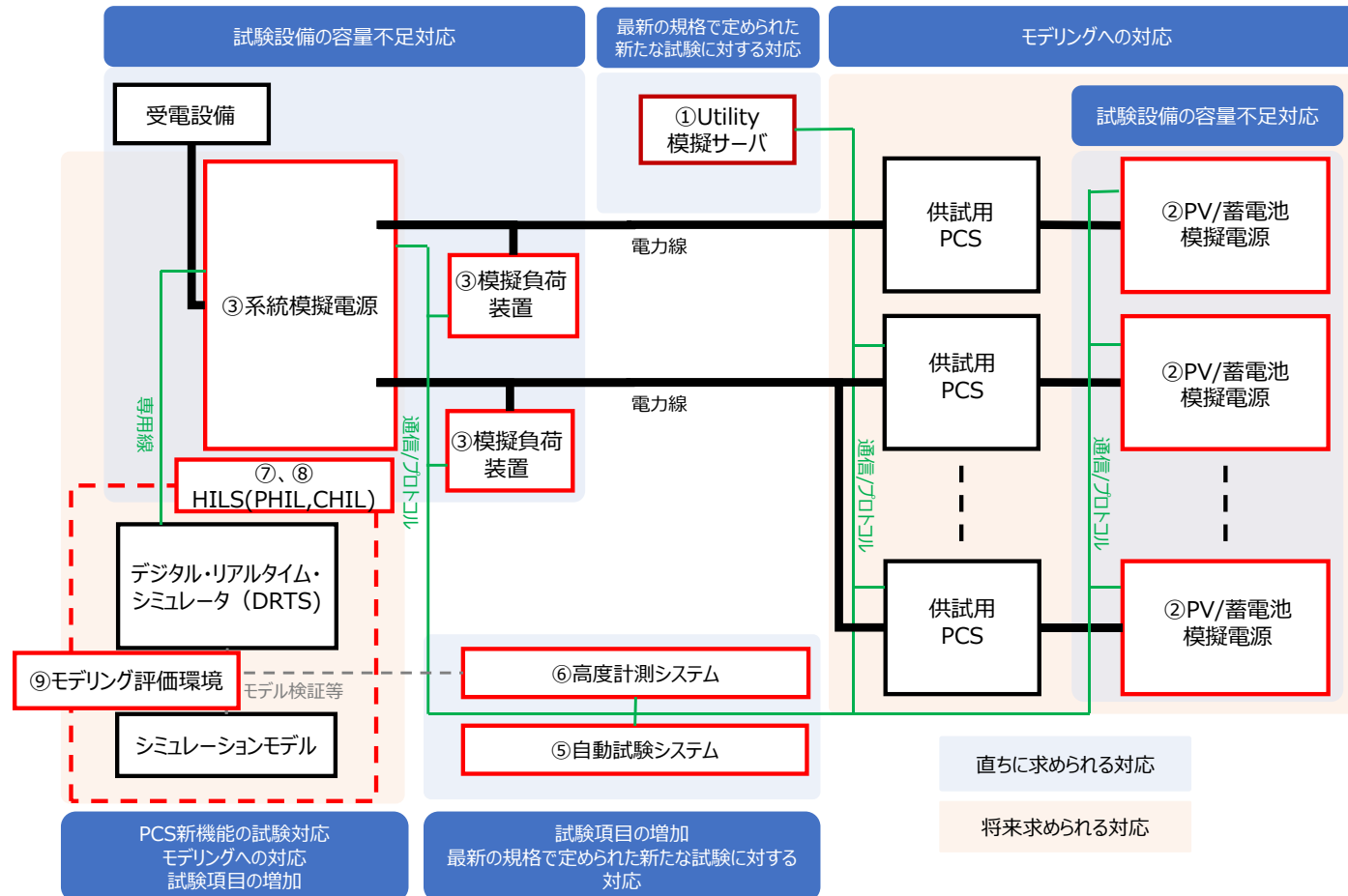
適合性評価に関わる試験

- 適合性評価に関わる試験として、型式試験とプラント評価試験を実施することができる



4.調査結果のまとめ - 開発試験環境プラットフォームのあるべき姿 開発試験環境プラットフォームの構成

- 課題及び対応方針を踏まえて、具体的な開発試験環境プラットフォームの構成を検討。
- PCSの大容量化・複数台試験への対応やインターオペラビリティ試験への対応、HIL等を活用したプラント・VPP試験の多様化に向けた対応、グリッドコード改定に伴う試験の複雑化・煩雑化などに向けた自動試験システムへの対応といったニーズを踏まえた構成となっている。



4.調査結果のまとめ – 開発試験環境プラットフォームのあるべき姿

開発試験環境プラットフォームの基本諸元

- 開発試験環境プラットフォームの各構成要素(装置)の使用用途と基本諸元は以下のように想定した。

装置名称	使用用途	基本諸元
1. 系統模擬電源	型式試験	<ul style="list-style-type: none"> 試験能力:単機容量5MW以上の試験ができること 主要なグリッドコードに対応した系統模擬が可能なこと 双方向電源であること 50Hz/60Hzともに模擬可能なBack to Back構成であること
2. PV・蓄電池模擬電源		<ul style="list-style-type: none"> 試験能力:単機容量5MW以上の試験ができること PV模擬にあつてはMPPT動作模擬ができること 蓄電池模擬にあつては、定電圧、定電力モードが可能であること プラント模擬、あるいはVPP模擬のため、複数台ユニットとして独立に運転できること
3. 模擬負荷装置		<ul style="list-style-type: none"> 抵抗負荷、誘導負荷、容量負荷を有すること プログラマブルな負荷装置であること
4. Utility模擬サーバ		<ul style="list-style-type: none"> 主要なグリッドコードによるインターオペラビリティ要件に対応したAPIを送受信できること。(IEEE2030.5、IEEE1815(DNP3)、SunSpec Modbus) 合否判定のためのプロトコルアナライザを有すること
5. 自動試験システム		<ul style="list-style-type: none"> 主要なグリッドコードの試験シナリオをサポートしていること 個別手順の追加、修正のためのカスタマイズ機能を有していること 系統模擬電源、PV・蓄電池模擬電源、模擬負荷装置、供試用PCS、計測装置と汎用的なプロトコルによって接続できること
6. 高度計測システム		<ul style="list-style-type: none"> 正相、逆相電圧・電流の解析ができること
7. PHIL	プラントの設計レビュー	<ul style="list-style-type: none"> 実効値解析、瞬時値解析ともに可能なリアルタイムシミュレータを搭載していること 実行周期は50μ秒以下とすること シミュレーション系統を対話型ツールによって容易に構築できること
8. CHIL		<ul style="list-style-type: none"> 供試制御回路と供試主回路モデルが容易に接続できること 実効値解析、瞬時値解析ともに可能なリアルタイムシミュレータを搭載していること 実行周期は50μ秒以下とすること シミュレーション系統を対話型ツールによって容易に構築できること
9. モデリング評価環境		<ul style="list-style-type: none"> PSCAD/EMTDC、PSS/E、あるいは同等のサポートを有すること PCSモデル、シミュレーション系統を供試制御回路と供試主回路モデルが容易に接続できること

4.調査結果のまとめ – 開発試験環境プラットフォームのあるべき姿

開発試験環境プラットフォームの人材のケイパビリティ

- 開発試験環境プラットフォームを構築した上で、それを動かし、活用していくための人材が必要となる。
- 今回検討した二つの利用シーン(①メーカーと研究機関による製品等の技術開発及び②適合性評価に関わる試験)を想定すると、それぞれのシーンで特に重要となり得る人材ケイパビリティは以下のとおり。

利用シーン	重要なケイパビリティ
①メーカーと研究機関による製品等の技術開発	<p>系統安定化機能を持った製品開発のためのPCSの試験結果を確実に分析できる能力</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 系統安定化機能の制御と電力系統の相互作用を理解した上で、試験波形や計算波形が妥当であるかを判断しながら試験を進めていく必要がある。
②適合性評価に関わる試験	<p>シミュレーション技術</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ ソフトウェア内においてモデルを構築することが出来る能力。より大容量のPCSを試験したり、複数機を接続したシステム試験に対応したりといった場面が多くなっていく中で、様々なパターンにおけるシミュレーション技術を習得した人材を配置することは極めて重要。
	<p>インターオペラビリティ試験への対応能力</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ PCSのインターオペラビリティ試験を実施する試験員に求められる技術としては、以下のようなものが挙げられる。 <ul style="list-style-type: none"> ・ 機器間の情報通信信号の物理構造、プロトコルを理解し、評価を行う技術 ・ PCS内の設定情報を読み出し、アドレスと信号項目が正しいことを確認する技術 ・ PCSの動作が内部設定に対して妥当であることを判定できる評価技術

5. 今後進めていくべき技術開発・活動

5. 今後進めていくべき技術開発・活動

①HIL技術の再現性・妥当性の検証

- HILは研究開発途上の技術であり、適合性評価に関わる試験に適用することを想定した場合には、以下のような技術的課題がある。
- これらの課題がHILの様々な試験への適用上のハードルとなっている一方で、これらの課題を詳細に吟味し、その解決の方向性を検討する技術開発がなされていないのが現状である。本調査において検討された「開発試験環境プラットフォーム」を活用して、HIL技術の再現性・妥当性の検証を行っていくことが重要である。

HILの技術的な課題

HIL(CHIL・PHIL)の共通した課題	<ul style="list-style-type: none">● シミュレーションの計算タイムステップ等に起因する伝送遅れ時間による再現性の問題● シミュレーション内の機器モデル(例えば変圧器など)の再現性および妥当性の問題
PHIL特有の課題	<ul style="list-style-type: none">● 系統模擬電源の応答速度に起因する再現性の問題● シミュレーションとハードウェアを連結するために必要なインターフェースにおけるフィルタ、AD変換、通信等に係る伝送遅れ時間による再現性の問題
CHIL特有の課題	<ul style="list-style-type: none">● シミュレーション内のモデル・計測等が理想

5. 今後進めていくべき技術開発・活動

②試験の自動化・インターオペラビリティ試験に関わる技術開発

- 適合性評価に関わる試験において新たなサービスとなる「試験の自動化」、及び「インターオペラビリティ試験」はハードウェアを適切に動かすためのソフトウェアが必要であり、このソフトウェアに関わる技術開発を進めていくことが重要である。ハードウェアとしての開発試験環境プラットフォームの構築と同時並行で、下記ソフトウェアの検討を行っていくことが望ましい。
- 特に試験の自動化については、一言に「自動化」といっても、具体的に試験のどのプロセスの自動化を行うのか、という点から検討を行わなければならない。

試験の自動化・インターオペラビリティ試験のために必要な技術開発内容

試験の自動化	インターオペラビリティ試験
<ul style="list-style-type: none">■ <u>系統連系PCS試験効率化ソフトウェア・プラットフォーム</u><ul style="list-style-type: none">● 試験自動化ソフトウェア・プラットフォームの評価・導入（SVPの活用も視野に）● 各種試験スクリプトを生成・整備する環境の検討 国内の新たなグリッドコード対応 IEEE 1547/UL 1741 Supplement SB対応 スマート化を取り込むその他海外規格対応● 試験スクリプト制御による統合試験システムの検討■ <u>試験の効率化支援技術</u><ul style="list-style-type: none">● PCS試験結果判定支援ツール（系統連系監視装置の規格準拠判定機能の活用を検討）● 試験成績書作成支援システム	<ul style="list-style-type: none">■ <u>インターオペラビリティ試験用ソフトウェア・プラットフォーム</u><ul style="list-style-type: none">● 試験自動化ソフトウェアの評価・導入（SunSpecが供給する試験スクリプトの活用も視野に） 各種試験スクリプトを生成・整備する環境の検討 今後の国内遠隔出力制御を拡張する機能への対応 IEEE 1547(2018)、IEEE1547.1(2020)対応 その他海外規格対応● インターオペラビリティ機能の統合試験システムの検討■ <u>試験の効率化支援技術</u><ul style="list-style-type: none">● PCS試験結果合否判定支援ツール● 試験成績書作成支援システム

5. 今後進めていくべき技術開発・活動

③ 系統連系に関わるモデリングに関わる国際標準化の適切なフォロー

- モデリング技術は今後重要なテーマとなってくると考えられる。今後、開発試験環境プラットフォーム等を活用して、系統連系に関わるモデリングに関わるノウハウを蓄積していくべきである。
- モデリングについては、国際標準化の場においても議論がなされているところである。開発試験環境プラットフォームの活用方法や内容を今後更に我が国の産業競争力強化に資するものにするためには、これらの国際標準化も適切にフォローしていくことが重要であると考えられる。具体的にはこれらの標準化会議に参加し、その動向や要件に関する背景を正確に把握していくと共に、これまでの技術開発の知見や産業界での意見をもとに、これらの標準が適切なものとなるように会議の場で働きかけを行っていくことが望ましい。

系統連系に関わるモデリングに関連する国際標準化のフォローのイメージ

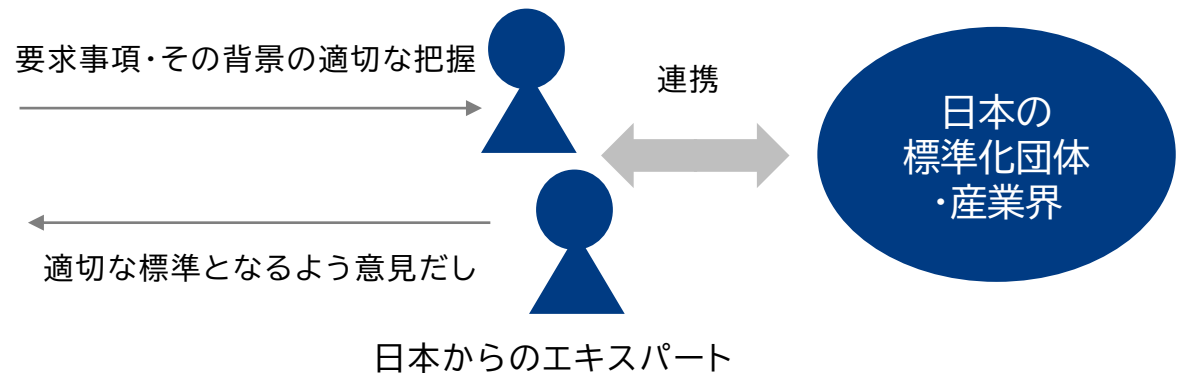
PCSモデリングに関連する可能性のある標準※

IEC TS 63406
Generic RMS simulation models of converter-based generating units for power system dynamic analysis

IEC TS 63102
Grid code compliance assessment methods for grid connection of wind and PV power plants

IEEE P2800.1 - Guide for Test and Verification Procedures for Inverter-Based Resources Interconnecting with Associated Transmission Electric Power Systems

IEEE P2800.2 - Recommended Practice for Test and Verification Procedures for Inverter-based Resources (IBRs) Interconnecting with Bulk Power Systems



※この他に、関連する規格として、以下のようなものもある。

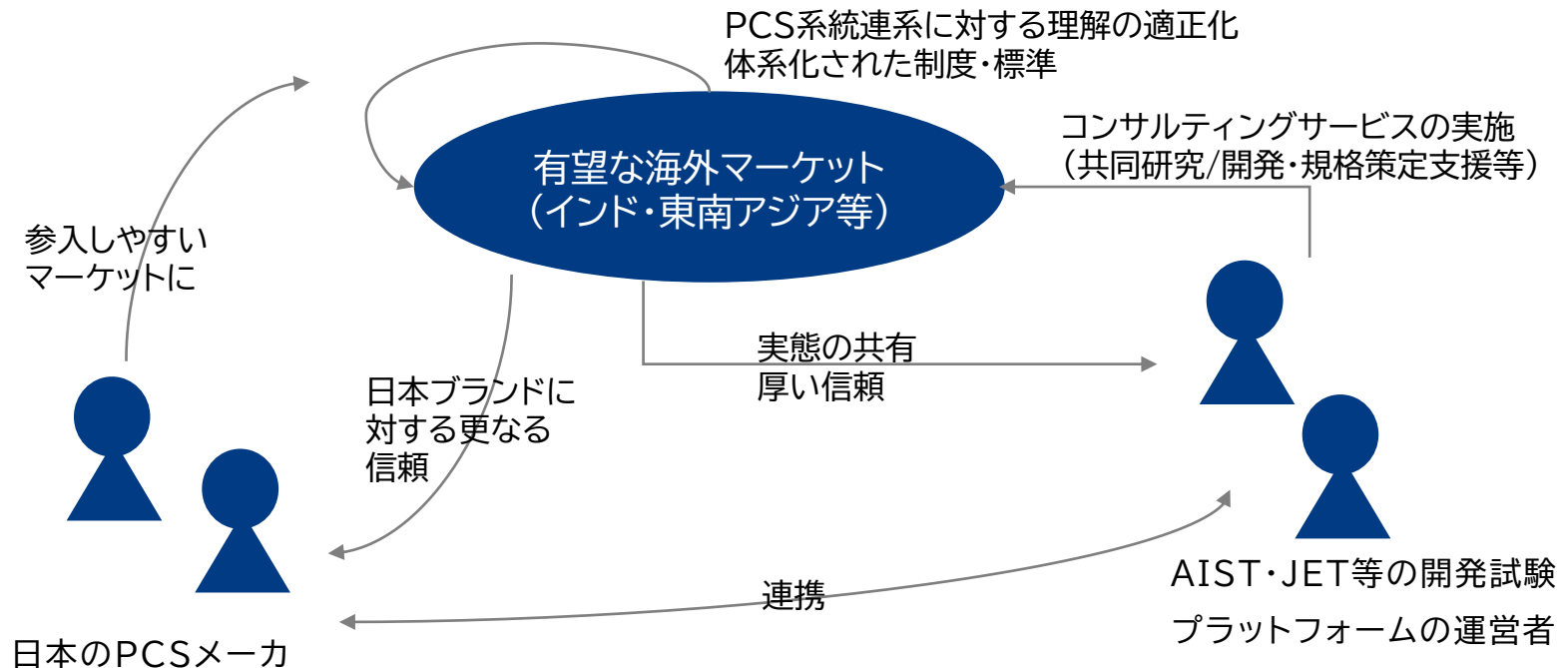
IEEE P2004 - Hardware-in-the-Loop (HIL) Simulation Based Testing of Electric Power Apparatus and Controls

5. 今後進めていくべき技術開発・活動

④ 海外の有望市場への展開の基礎作り

- 国内PCSメーカーの国際競争力を高めていくためには、海外の有望市場とのチャネルを形成することが重要である。これまでの国際標準化や国内外の試験認証、研究開発事業等での取り組みで得た知見をもとに、東南アジア等の地域のステークホルダ(主に規制機関・電力会社・EPC等を対象と想定)に対して、コンサルティングサービスを展開し、以下2つの効果を狙っていくことが重要であると考えられる。
 - 上記サービスを展開することで、アジア諸国におけるステークホルダの分散電源系統連系に対するナレッジの底上げを行い、知識不足を解消することで、日本のメーカーにとってビジネスを行いやすい土壌を形成する。
 - これらのステークホルダからの信頼を獲得することにより、良好なリレーションシップを形成し、相手国の実態を良く把握することが可能となる。獲得した信頼と相手国の実態をメーカーにフィードバックすることで、メーカーが海外展開戦略を行いやすくなる。

海外チャネル獲得を意識したコンサルティングサービスの実施



国立研究開発法人 新エネルギー・産業技術総合開発機構(NEDO) 調査委託事業
エネルギー消費の効率化等に資する我が国技術の国際実証事業／
再生可能エネルギーの大量導入時の電力システムの課題にかかる調査

成果報告会