

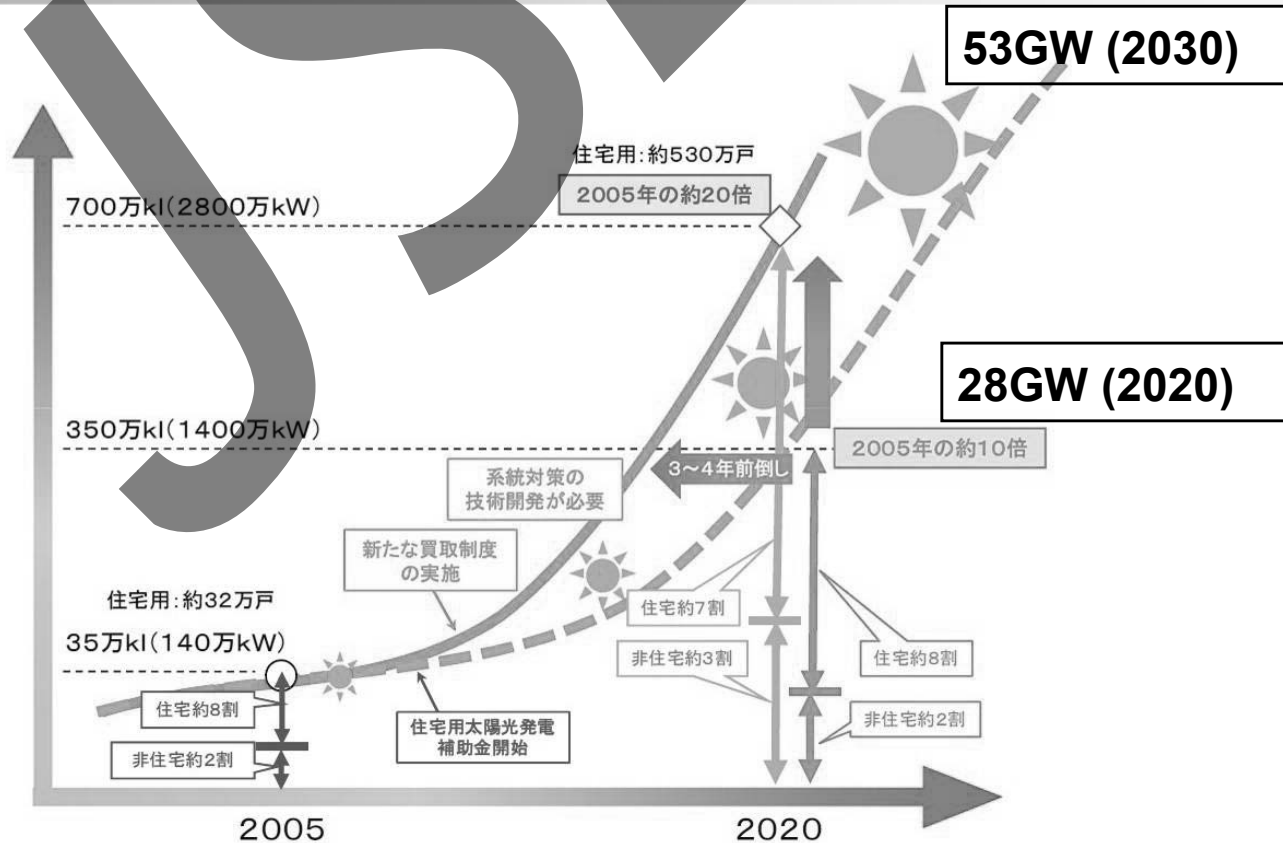
次世代送配電系統最適制御技術実証事業の取り組み

太陽光発電の大量導入と電力系統の安定化の両立を社会コストミニマムの観点から技術的な検討と対策技術の確立を進めている国家プロジェクト「次世代送配電系統最適制御技術実証事業」を中心に、取り組みの概要をご紹介します。

平成25年8月5日
 日本太陽エネルギー学会
 太陽光発電部会 第5回セミナー

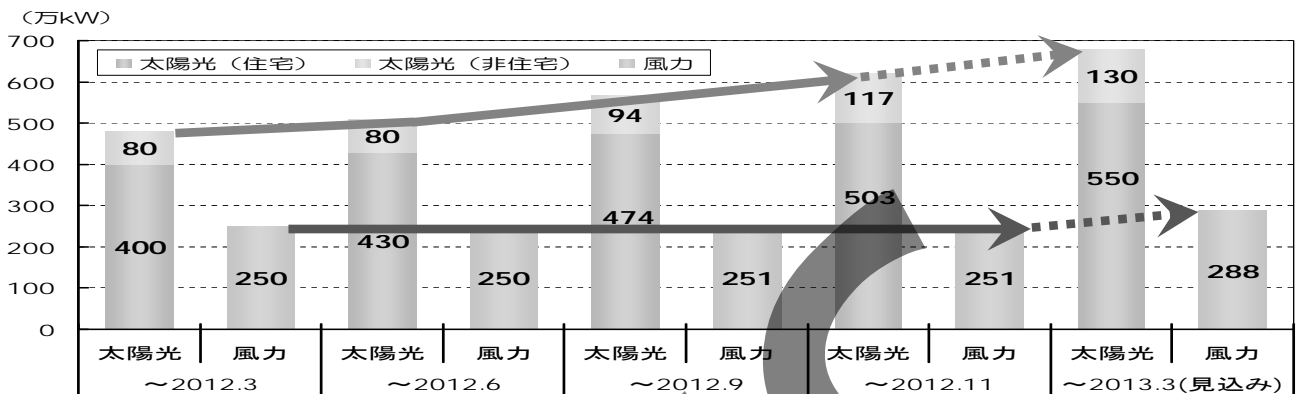
東京電力（株）
 蘆立 修一

わが国の太陽光発電の導入シナリオ（2009）



出典：総合資源工社¹ -調査会新工社² -部会資料

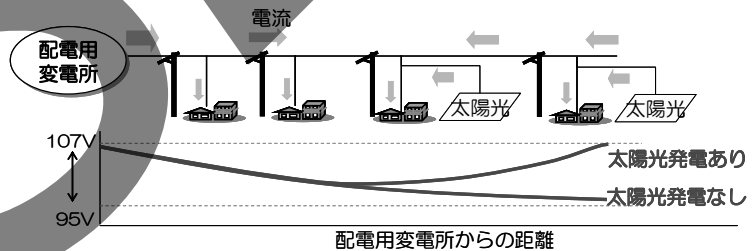
太陽光・風力発電の導入状況（全国）



太陽光発電の大量導入に向けた課題

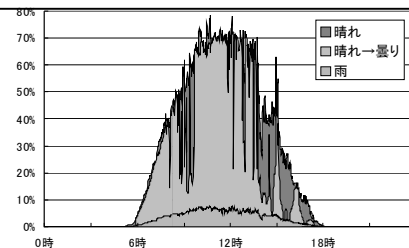
1. 配電系統における電圧上昇

電力系統に電気が逆流
↓
配電系統の電圧上昇
↓
連系点電圧が適正值逸脱



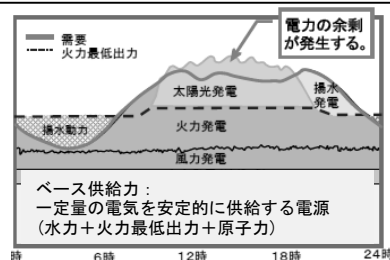
2. 周波数調整力の不足

大量の太陽光発電が出力変動
↓
需要と供給のバランスが崩れる
↓
周波数が適正值を逸脱



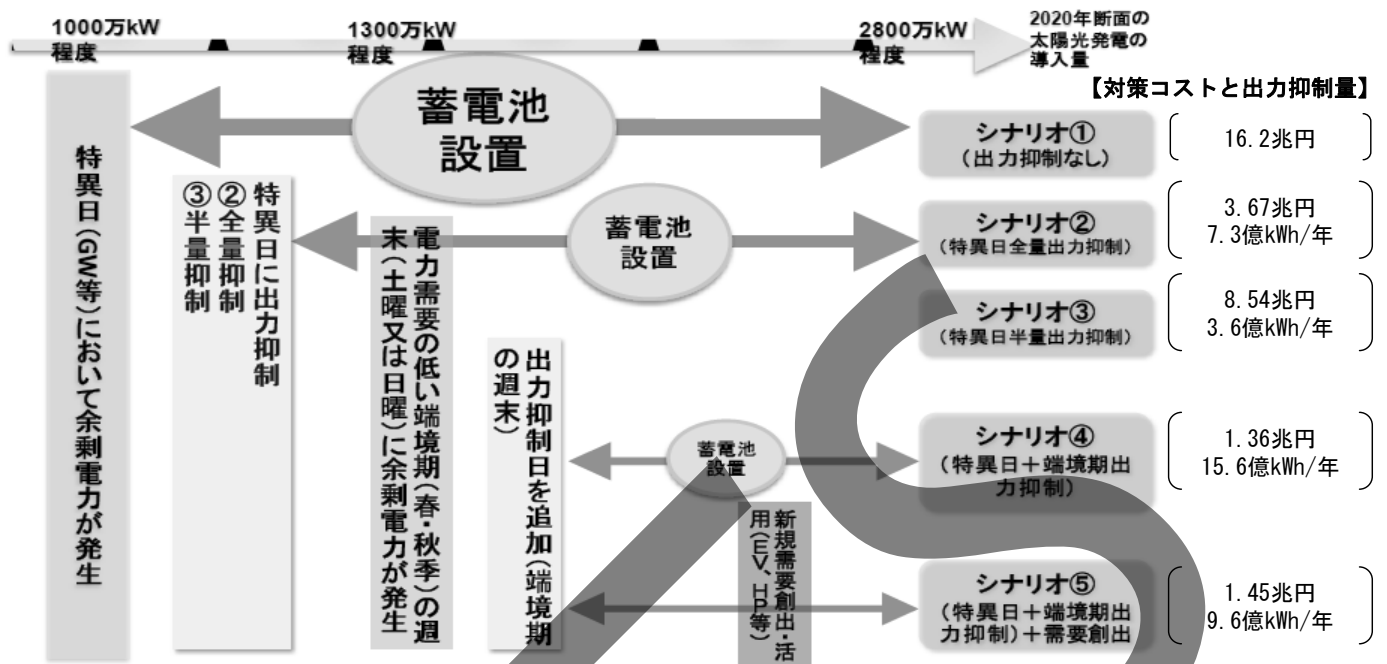
3. 余剰電力の発生

太陽光発電の大量導入
↓
軽負荷期に発電量が需要を上回る
↓
余剰電力が発生



出典：次世代送配電ネットワーク研究会報告書

系統安定化対策シナリオと余剰電力対策試算の考え方



出典：次世代送配電ネットワーク研究会報告書

本日の発表内容

スマートグリッド構築に向けた具体的取り組み

1. お客さま・社会のエネルギー利用の効率化・最適化の支援
2. 電力流通システムの高度化による再生可能エネルギー導入拡大・分散型システムとの協調

喫緊の課題への対応

将来の課題に対する対応(実証プロジェクト)

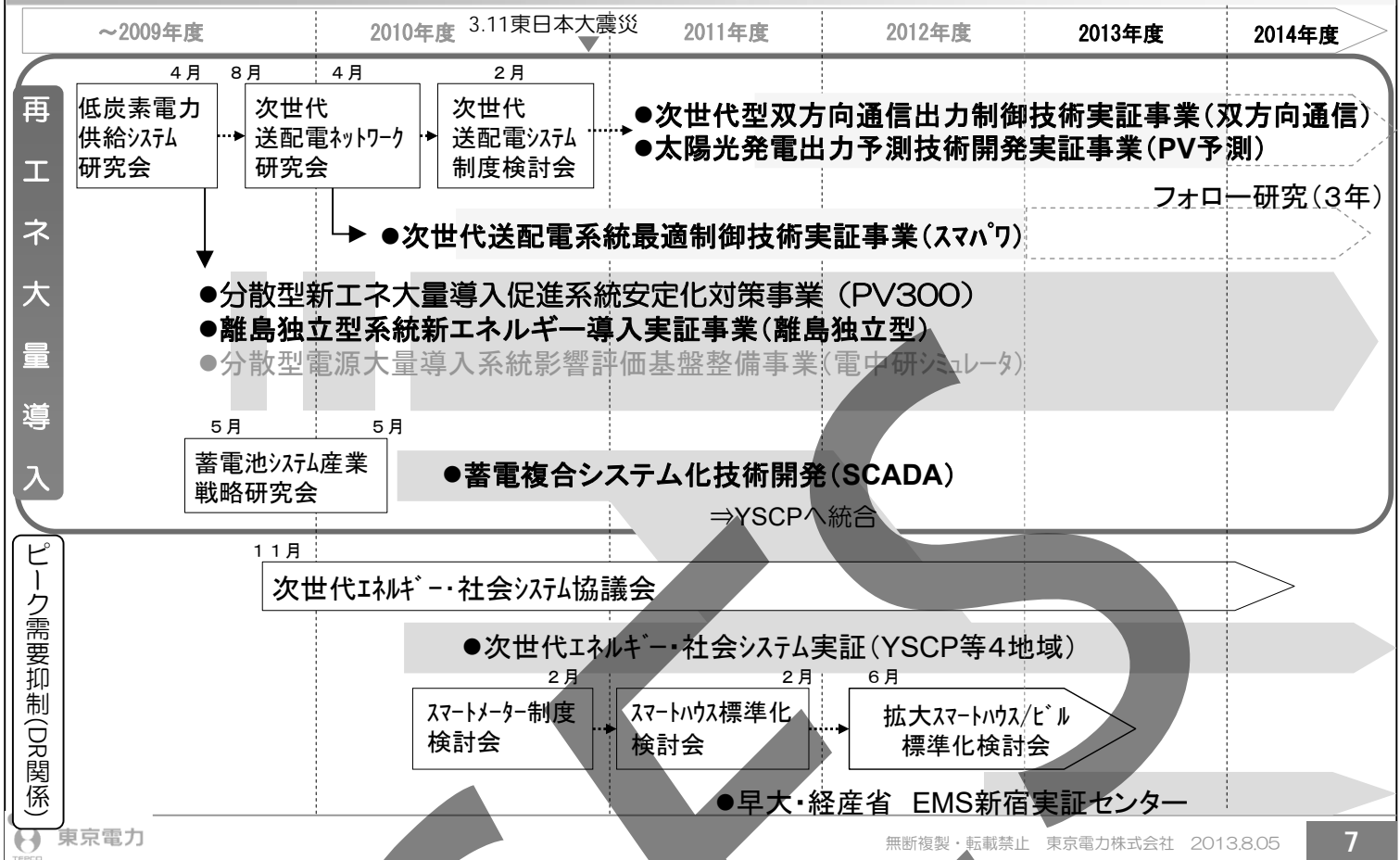
- ・次世代送配電系統最適制御技術実証事業(東大横山先生; 28法人) 21億円: スマパワ
- ・次世代型双方向通信出力制御実証事業(東大横山先生; 33法人) 19億円: 双方向通信
- ・太陽光発電出力予測技術開発実証事業(東大荻本先生; 17法人) 3億円: PV予測
- ・分散型新エネルギー-大量導入促進系統安定対策事業(電力10法人): PV300
- ・蓄電複合システム化技術開発: SCADA
- ・離島独立型系統新エネルギー導入実証事業(沖縄, 九州): 離島独立型

※カッコ内は、プロジェクト・リーダー

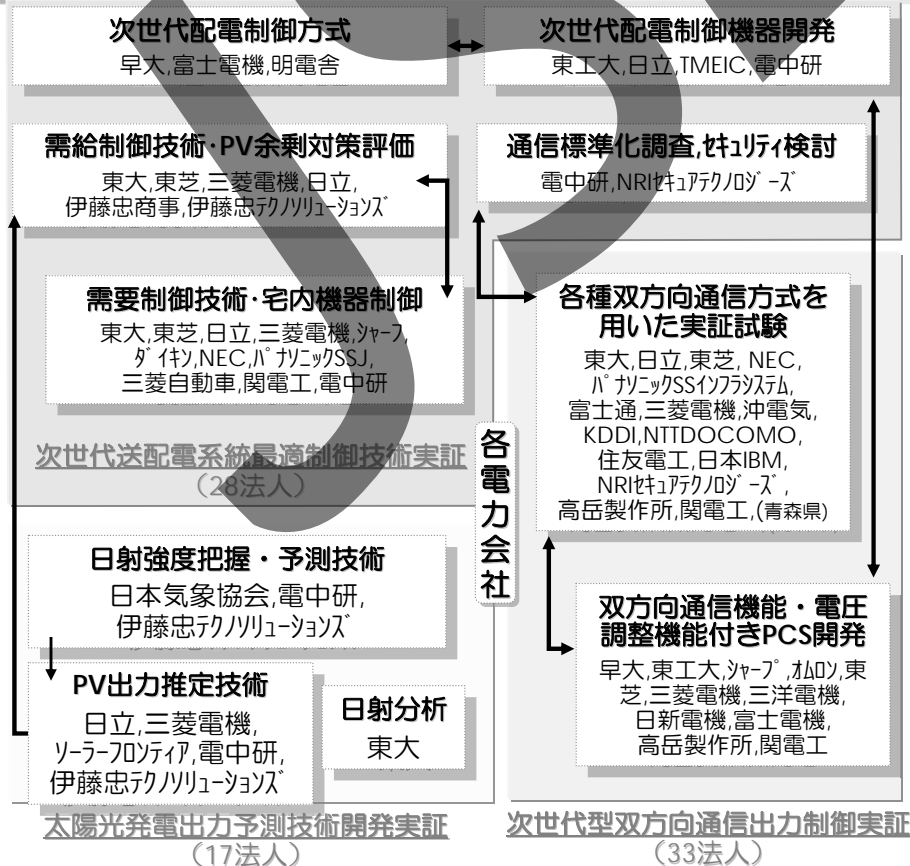
※本資料では、各実証プロジェクトの名称は標記略称を使います。

※SCADA: Supervisory Control And Data Acquisition (制御監視とデータ収集)

実証プロジェクトの国の研究会との関係と実証期間



3実証事業の体制と相互連携



参加法人：全42法人

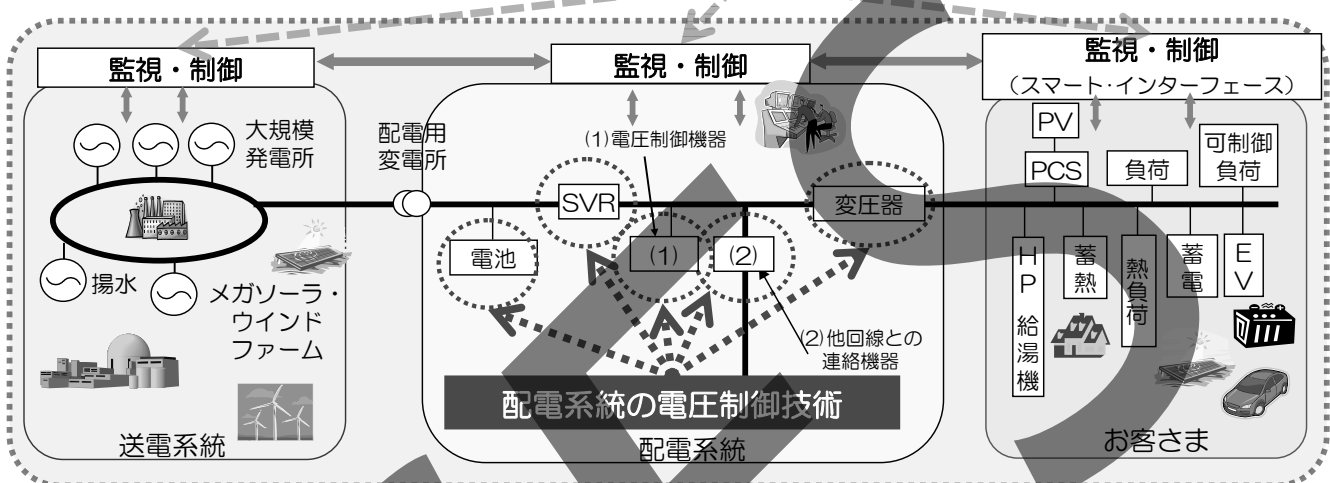
- ◆大学, 研究機関等
東大, 東工大, 早大, 電中研, 日本気象協会
- ◆メーカー等
日本IBM, 伊藤忠商事, 伊藤忠テクノソリューションズ, NEC, NRI, キュアテクノロジー, NTTdocomo, 沖電気, 松山, 関電工, KDDI, 三洋電機, シャープ, 住友電工, ソラーフオプティカ, ダイキン, 高岳製作所, TMEIC, 東芝, 日新電機, パナソニックSSJ, パナソニックシステム, 日立, 富士通, 富士電機, 三菱自動車, 三菱電機, 明電舎,
- ◆電力会社
北海道, 東北, 東京, 中部, 関西, 北陸, 中国, 四国, 九州, 沖縄

■大規模電源から家庭内電化機器まで一体となった協調・制御による高信頼度・高品質な低炭素電力供給システムの実証

【主な開発・実証項目】

- ① 配電系統における電圧制御機器の設置方式および制御方式（自律分散制御・集中制御）の開発
- ② 配電系統の電圧制御に用いる小型軽量・低損失・高機能な無効電力補償装置・電力貯蔵装置の開発
- ③ 余剰電力を効率的に使い切るお客さま側電化機器の制御方式（スマート-I/F）の開発
- ④ お客さまとの協調による需給計画および運用制御方式の開発

お客さま側電化機器と一体となった需給制御技術



国レベルの課題認識に対する実証プロジェクトでの成果

□国の研究会で提言された各課題に対して、参加各法人と密接に連携を図って実証プロジェクトを進めており、個々の要素技術は確立しつつある状況。

◆国の研究会で提言された課題

◆対応する実証プロジェクトと取り組み状況

○電力系統上の課題

- (1)周波数調整不足
- (2)余剰電力発生
- (3)電圧上昇（配電線）
- (4)単独運転・不要解列防止
- (5)事故時の電力系統の影響（系統安定度）
- (6)蓄電池の低コスト化・制御技術等

各実証事業
基礎技術を開発し、
実証試験により
データを蓄積中

対策済

電中研シミュレータ事業

離島独立型

○余剰電力対策シナリオと対策コスト

スマパワ

出力抑制、蓄電池、需要
創出等の余剰電力対策の
コストと効果を定量評価

○再生可能エネルギーの優先的な給電

- ・太陽光発電の出力抑制
- ・柔軟な料金体系による需要創出・シフト

双方向通信
スマパワ

出力抑制技術を検証中
需要シフト技術を開発

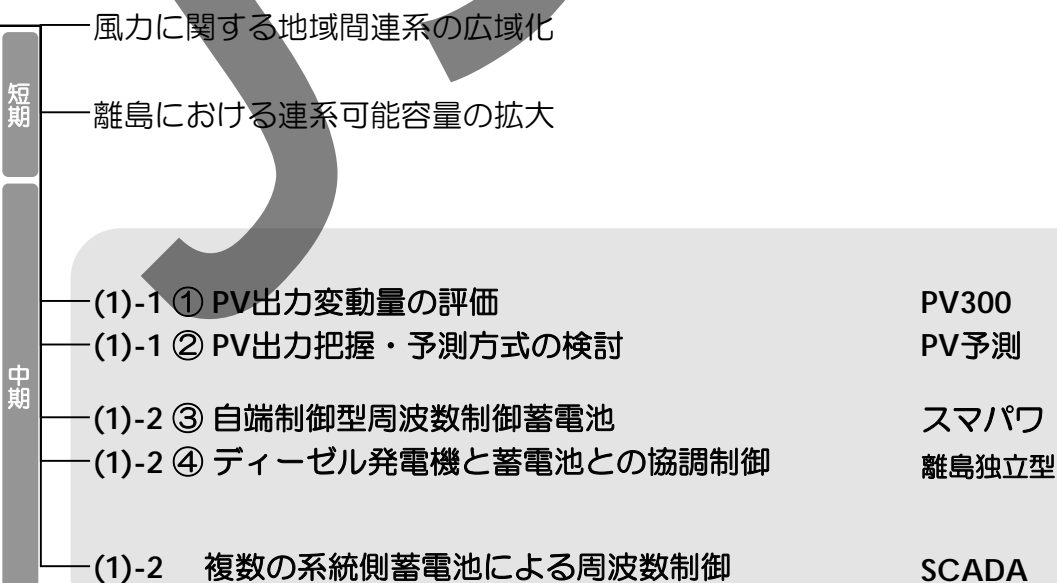
課題	系統側対策		お客さま側対策	
	短期	中期	短期	中期
周波数調整不足	地域間連系の広域化 離島での連系容量の拡大	①PV出力変動量の評価 ②PV出力予測・出力把握 ③自端制御型蓄電池 ④DG発電機と蓄電池の協調制御 複数の系統側蓄電池制御		需要側制御 (ファストDR)
余剰電力の発生	地域間連系の広域化 離島での連系容量の拡大	⑤次世代需給制御・対策評価検証 系統側蓄電池による余剰対策 需要予測・需給計画支援ツール開発		⑥PV出力抑制 ⑦お客さま側の需要以外のセグメント面からの制御
電圧上昇	SVR設置・柱上トランス分割設置 セグメント内蔵開閉器の展開	⑧自律分散制御・集中制御 ⑨次世代低損失配電制御機器 6.6kV電圧管理幅見直し検討 66kV・6.6kV一体電圧管理		電圧制御機能付PCS
単独運転・不要解列防止				PCSへの要件化
系統安定度・系統保護		影響評価		
バンク逆潮流	90Ry改修			
電力設備起因PV出力支障	対策の検討			

(1)周波数変動への対応

実証の考え方

1. PV出力変動評価・予測：現行の技術と実測値を融合しPVの予測・推定手法を確立
2. 蓄電池制御：現状、コストを要する蓄電池については技術的な可能性を評価
3. 需要側制御：需要側での制御については技術的な可能性を評価

周波数変動

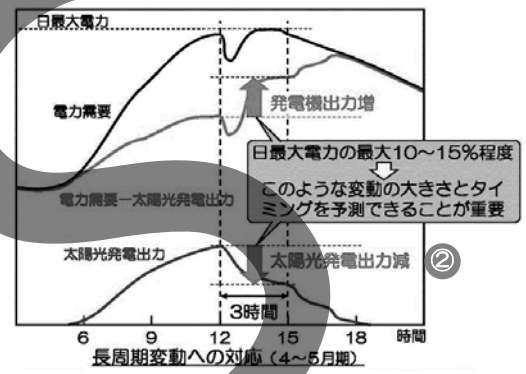
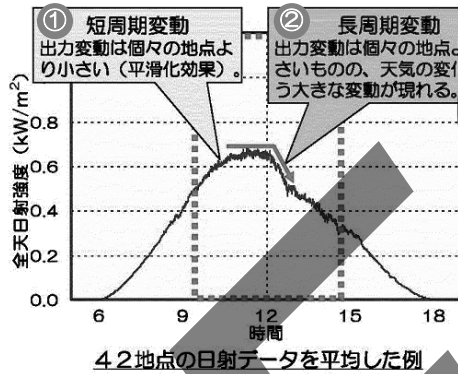
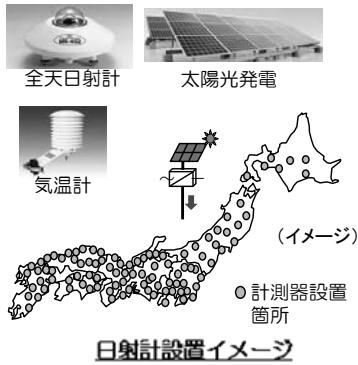


(1)-1 ①PV出力変動量の評価

進捗状況

□全国321箇所に日射計等を設置して日射量データの蓄積を行うとともに、日射量からPVの出力変動を推定するモデルを開発し、PV大量導入時の出力変動を分析。

- ①短周期（周期20分程度以下）の変動幅は、電力需要が低く変動の影響が比較的大きくなる4～5月の日最大電力と比べて最大で1%～2%程度
- ②長周期（調整用火力機による対応が可能な3時間程度）の変動幅は、標記同時期で比べて最大で10%～15%程度

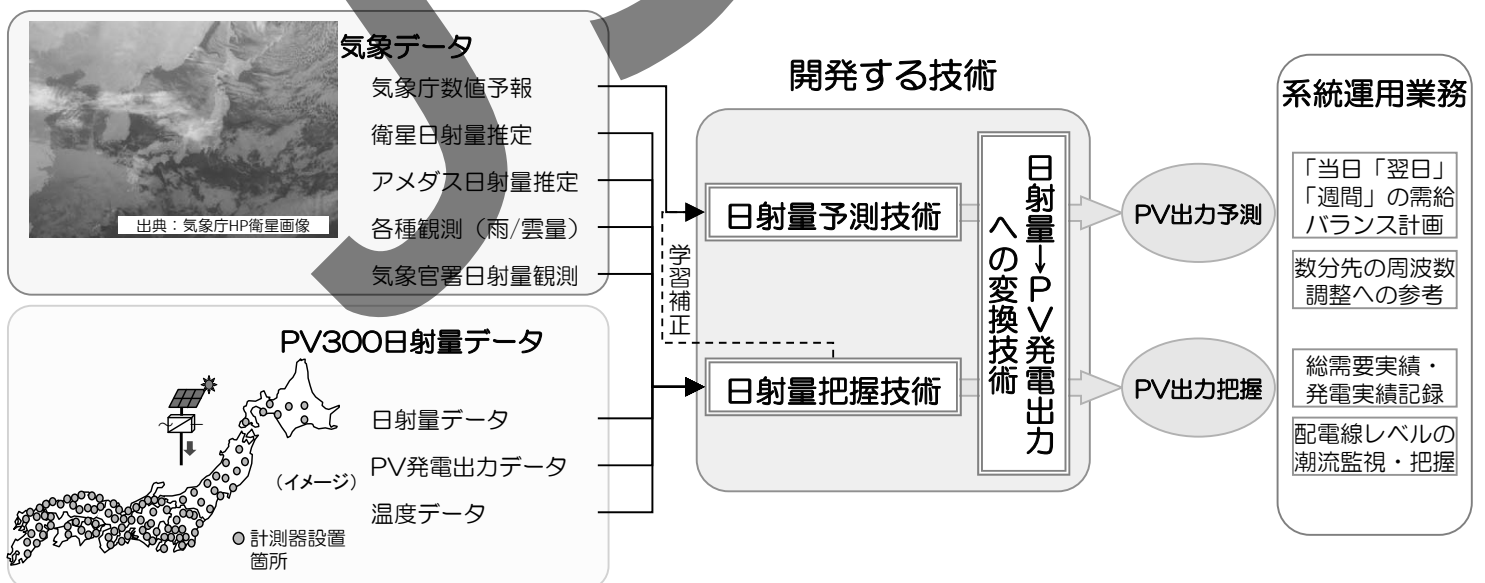


出典：太陽光発電大量導入時の電力系統への影響評価と今後の取り組みについて（電事連）

(1)-1 ②PV出力予測・出力把握する方式の検討

進捗状況

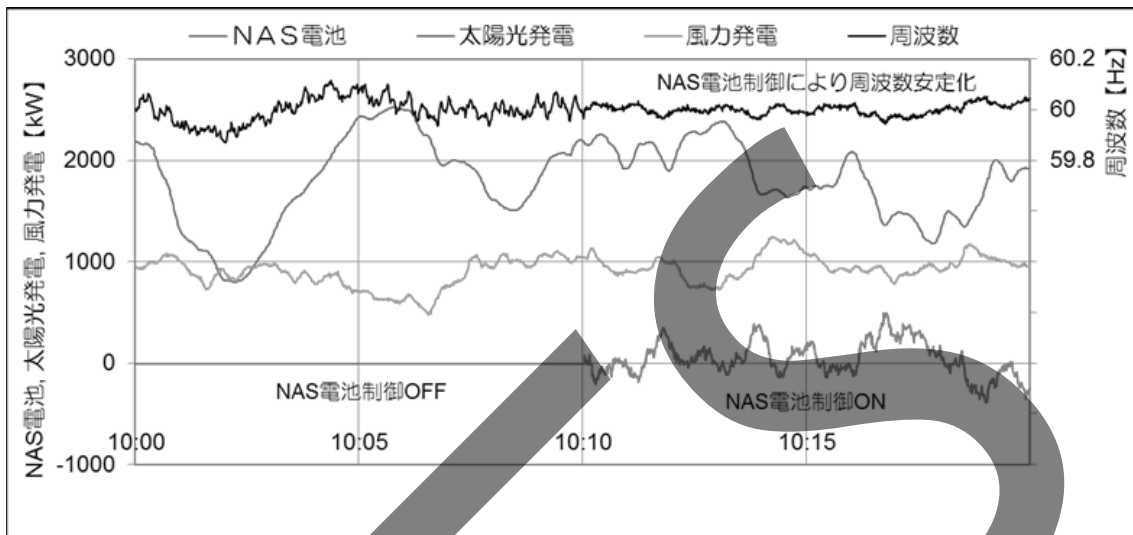
□PVの出力変動を取り込んだ需給計画・運用を行うことを目的に、開発担当の各法人が保有するノウハウ・知見等を活用し、PVの出力予測・出力把握を行う手法を各法人が個別に開発中。



(1)-2 ④ディーゼル発電機と蓄電池との協調制御（続）

離島独立型

- ・ 予め設定された $\Delta F-\Delta P$ 特性（周波数偏差に対するNAS電池の充放電感度）に基づき、系統の周波数偏差に応じた充放電をNAS電池が高速に行うことで周波数を安定化
- ・ 太陽光や風力発電の出力変動により周波数が変動している断面において、NAS電池により周波数変動が抑制されることを確認



NAS電池による周波数変動抑制制御 実機試験結果

(1)-2 ④ディーゼル発電機と蓄電池との協調制御（続）

離島独立型

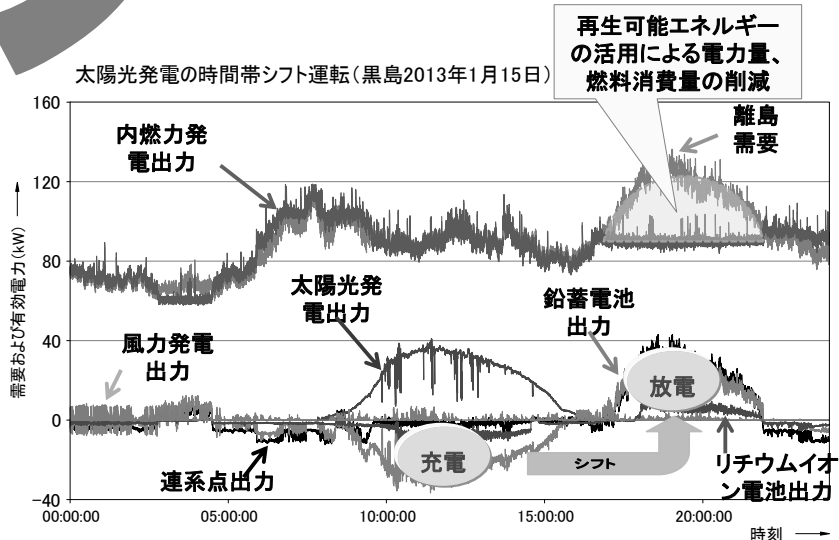
進捗状況

■ 離島において、需要家への安定供給を確保しつつ、CO₂排出量の削減と発電コストの低減の知見を得るため、実際の電力系統にて実証試験中。時間帯シフト運転による燃料消費量削減効果を確認。

■ 実施場所

鹿児島県 三島村及び十島村の6島

実施場所	最大需要電力 (kW)	内燃力発電設備他 (kW)	導入設備			太陽光発電導入比率* (%)
			太陽光 (kW)	風力 (kW)	蓄電池 (kWh)	
黒島	193	240	60	10	322	31.1
竹島	83	190	7.5	—	33	9.0
中之島	193	253	15	—	80	7.8
諏訪之瀬島	78	160	10	—	80	12.8
小宝島	71	110	7.5	—	80	10.6
宝島	125	200	10	—	80	8.0



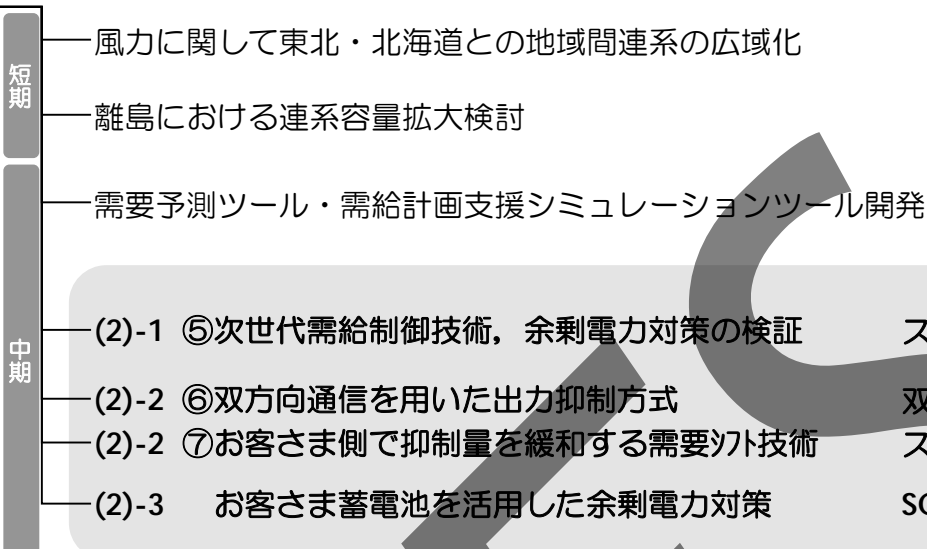
実証研究設備概要および試験結果

(2) 余剰電力への対応

実証の考え方

1. 余剰電力対策の検証：余剰電力の発生の時期，対策コストを比較検証
2. 需要側対策：対策コストで優位性のあるPV出力抑制，需要シフト技術等を実証
3. 蓄電池制御：現状はコストを要する蓄電池については，技術的な可能性を評価

余剰電力

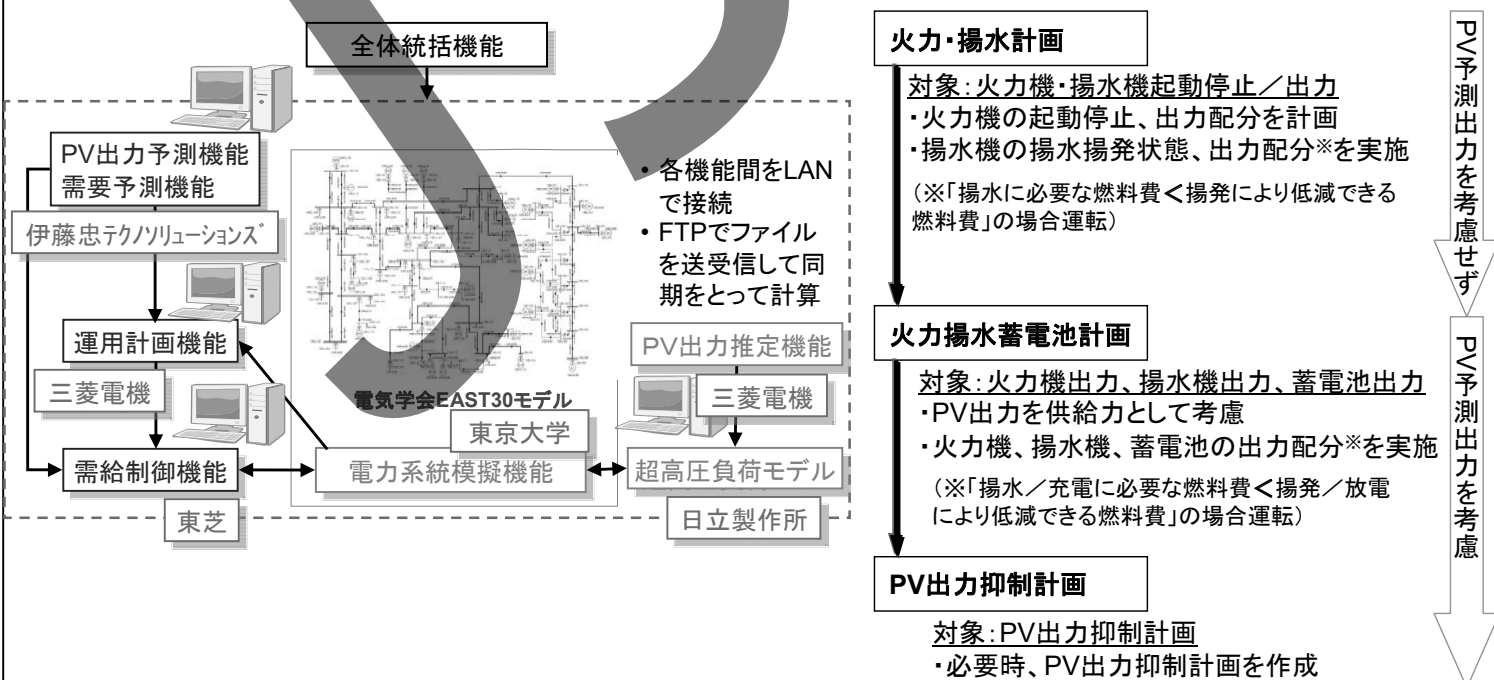


余剰電力対策 1.余剰電力対策の検証

(2)-1 ⑤次世代需給制御技術，余剰電力対策の検証

スマパワ

進捗 □PVを考慮した需給計画・制御シミュレータを開発。



次世代を模擬した需給計画・制御シミュレータ

PVを考慮した需給計画の流れ

進捗状況

□開発したシミュレータの妥当性を確認。余剰電力対策 (PV出力抑制, 蓄電池導入, 需要創出・シフト) の効果等について検証中。

【シミュレーションの設定】

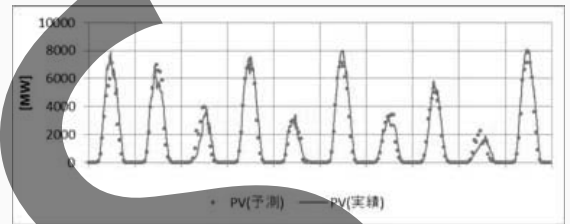
- ・電源の起動・停止計画の段階ではPV予測を織り込まず (kW価値=0とみなした)
- ・LFC予備力制約は必須ではない (LFC予備力制約をコスト換算し火力燃料費を最小化)

電源構成
基本問題委員会で提示された
選択肢(3)「原子力依存度を低
減するが一定比率を維持する」
をベースに、検討に用いる系統
容量で換算して設定

	発電機合計 定格出力 [GW]
原子力	16.41
自流式水力	1.77
石油	6.23
石炭	25.15
LNG	23.27
揚水	11.09
PV	12.23
合計	96.15

2020年の導入目標
全国2800万kW相当

気象・日射量データ
2011年度のデータを使用



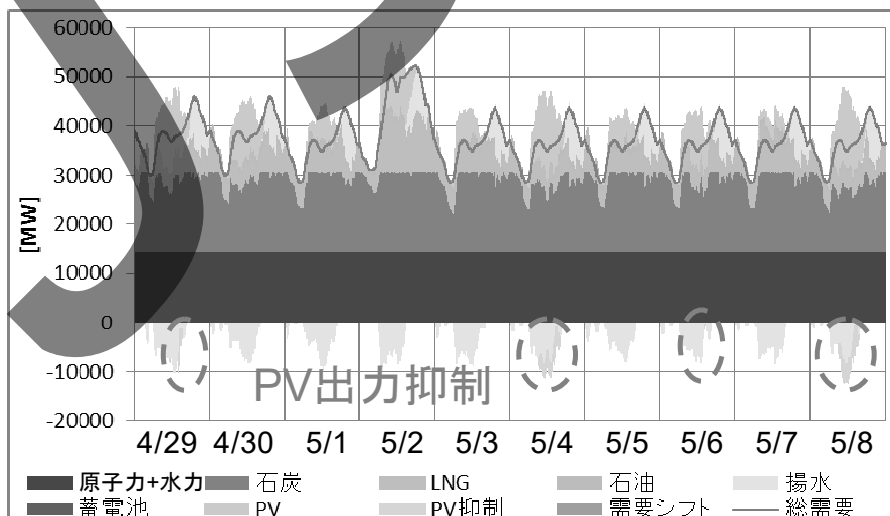
中給機能

予測
需要は、基準需要をベースに予測気温で補正
PV出力は、エリア毎の気象予測データをもとに計算
計画
PV出力抑制、LFC予備力制約等をコスト換算し、最小化
PV出力抑制指令は、前日中に1時間毎の上限値として出力
制御
EDC：等入法、LFC：FFC方式

負荷側機能

超高圧負荷
基準需要をベースに、実気温で補正
需要シフト、エリア最適制御 (連系点潮流比²-カット) を実施
PV出力推定
PV300の日射量観測データを基に計算

① シミュレーション結果の一例



シミュレーション結果 (例)

余剰電力対策 1.余剰電力対策の検証

(2)-1 ⑤次世代需給制御技術、余剰電力対策の検証（続）

スマパワ

② PV出力抑制の方が、蓄電池導入よりも2～10倍程度コストパフォーマンスが高い試算

対策方法	シミュレーション結果	年間想定必要コスト	総コスト
PV出力抑制	出力抑制の指令を発令した日数：54日 実際に出力抑制した日数：32日 実際の年間出力抑制量：523GWh	需要家補償コスト223.5億円（超過の24日分を補償） 需要家補償コスト1.5億円（超過の2日分を補償） 抑制による発電機会損失コスト52.3億円	53.8億円～ 275.8億円
系統側蓄電池導入	蓄電池導入量：27GWh	蓄電池導入コスト497億円	497億円

③ 同量の蓄電池の容量でも、コミュニティで運用すると、より多くのPVの出力抑制が必要となる試算

対策方法	蓄電池容量設定	設定の考え方	追加に必要なPV出力抑制量
系統側蓄電池（中給から制御）	21.5GWh	PV出力抑制を0とできる容量	0Wh
コミュニティ蓄電池（再エネを地産池消）	21.5GWh	系統側蓄電池と同容量	2.8GWh

④ お客さま側での需要創出＋需要シフトにより、系統全体でPV出力抑制低減の効果が得られる試算

対策方法	PV抑制量	PV抑制日数
PV出力抑制＋需要創出＋需要シフト	年間 231GWh	年間 18日
PV出力抑制＋需要創出	年間 250GWh	年間 23日
PV出力抑制	年間 523GWh	年間 32日

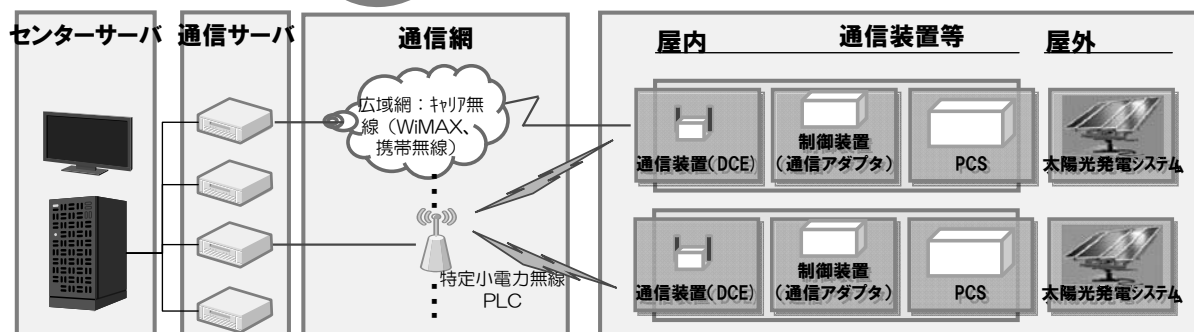
余剰電力対策 2.需要側対策

(2)-2 ⑥双方向通信を用いた出力抑制

双方向通信

進捗状況

- 双方向通信により系統側からPV出力を制御できるPCS用インターフェースを開発。
- 3ヶ所の実証フィールド（青森県六ヶ所村，高岳小山工場，関電工技術研究所）を各種通信方式で接続し，双方向通信による出力制御を検証中。



ECHONET Liteを採用

(2)-2 ⑥双方向通信を用いた出力抑制（続）

進捗状況

□PCSに内蔵されている年間の出力抑制のカレンダーに基づきPVの出力を抑制する「カレンダー固定（書き換え）方式」，前日に翌日の出力抑制信号を送信しPVの出力を抑制する「翌日制御方式」のいずれの抑制方式も，冬季での試験で通信で支障がないことを確認。試験を継続中。

◆抑制方式

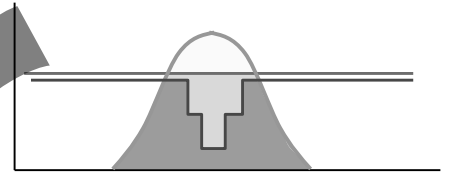
カレンダー固定（書き換え）方式
PCS内蔵カレンダーに基づく抑制

翌日制御方式
前日に送信される抑制信号による抑制

◆抑制スケジュール

1日固定抑制率

時間毎変動抑制率

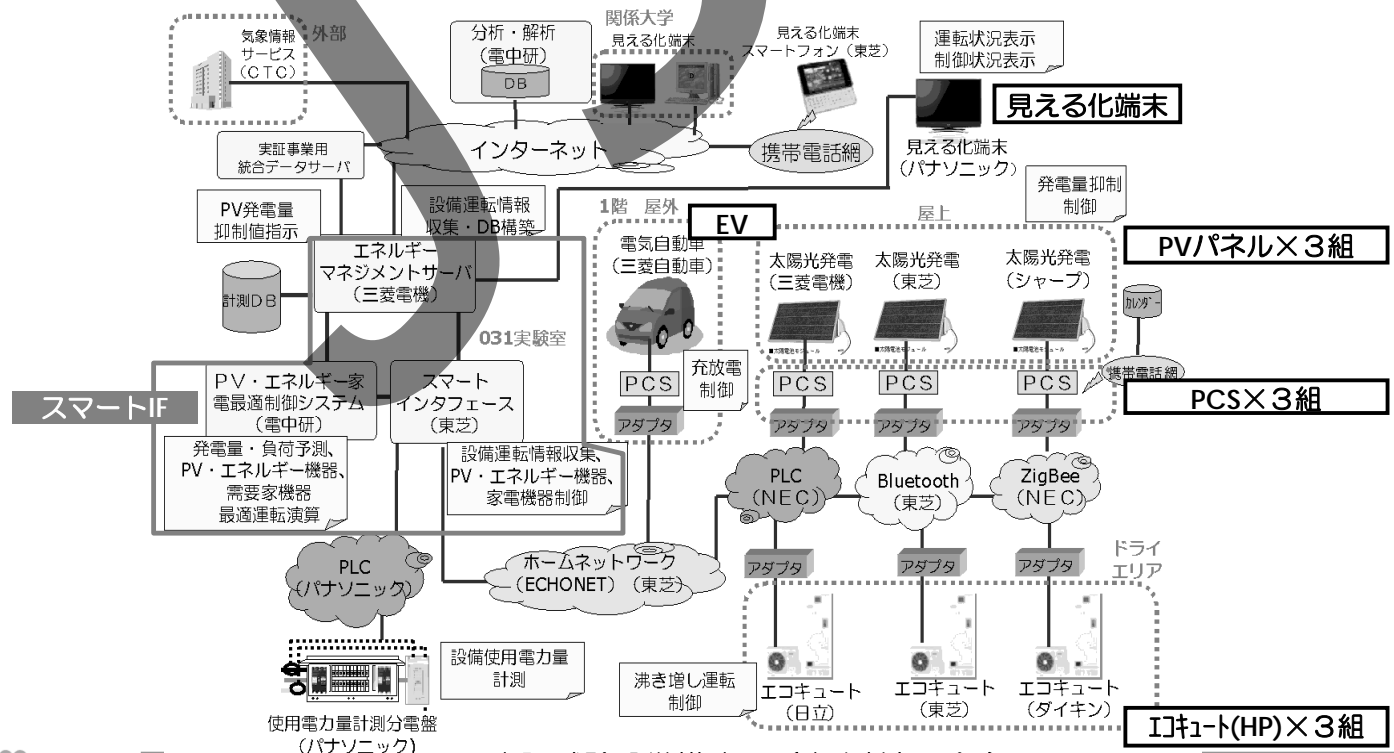


PV出力抑制の「抑制方式」「抑制スケジュール」

(2)-2 ⑦お客さま側で抑制量を緩和する需要ソフト技術

進捗状況

□お客さま側の蓄エネ機器の利用時間帯を夜から昼にシフトし，PVの出力抑制量を緩和するスマートIFを開発し，PV，EV，HPを接続した実験設備を構築。



実証試験設備構成図（東大柏キャンパス）

(2)-2 ⑦お客さま側で抑制量を緩和する需要シフト技術

進捗状況

□スマートI/Fからの制御により、利用時間帯をシフトし、PVの出力抑制量を緩和する動きを実現していること、安定して動作していることを確認。



PVパネル（実験棟屋上）



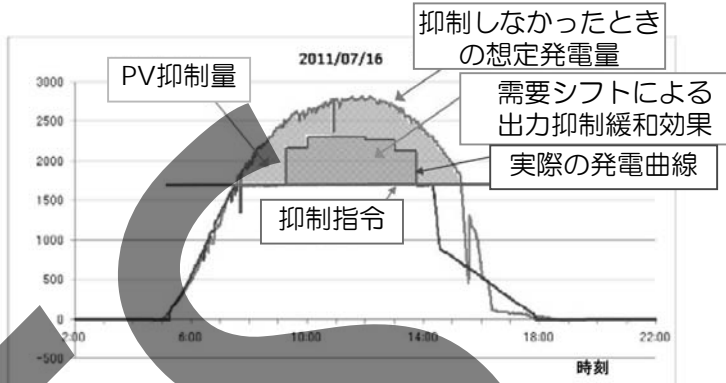
PCS, スマートI/F（実験室内）



HP（実験室ドライエリア）



電気自動車(EV)（実験棟屋外）



需要シフト効果(桃色)により、抑制指令(緑線)に対して、実際の発電曲線(青線)が上回っており、お客さま側におけるPV出力抑制量の緩和を実現

東京大学柏キャンパスの実証設備

実験結果の一例

(3)電圧上昇への対応

実証の考え方

1. 次世代配電制御・機器：次世代に向けたオプション技術として技術検証を実施
2. PCSによる電圧調整：系統対策費用低減の可能性のある、電圧調整機能付きPV用PCS（無効電力出力）については、技術検証しつつ、今後の対応方針を検討

電圧上昇

短期

- SVR設置、柱上Tr分割設置
- 配変バンク逆潮対策（90R y 改修等）
- センサ内蔵開閉器の展開（次世代配電自動化）
- 6.6kV系統における高圧／柱上Tr／低圧の各段階での電圧管理幅検討
- 66kV系統と6.6kV系統の一体電圧管理検討

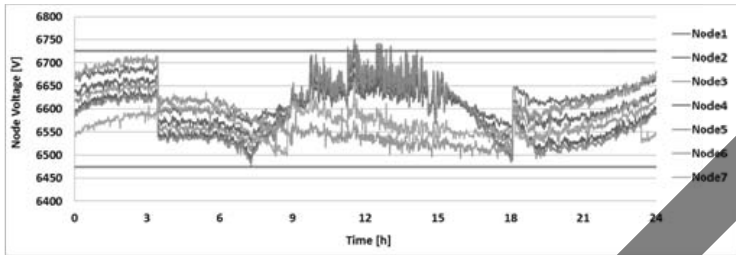
中期

- (3)-1 ⑧自律分散制御方式，集中制御方式 スマパワ
- (3)-1 ⑨次世代低損失配電制御機器（STATCOM等） スマパワ
- (3)-2 電圧調整機能付きPV用PCS（進み無効電力出力） 双方向通信

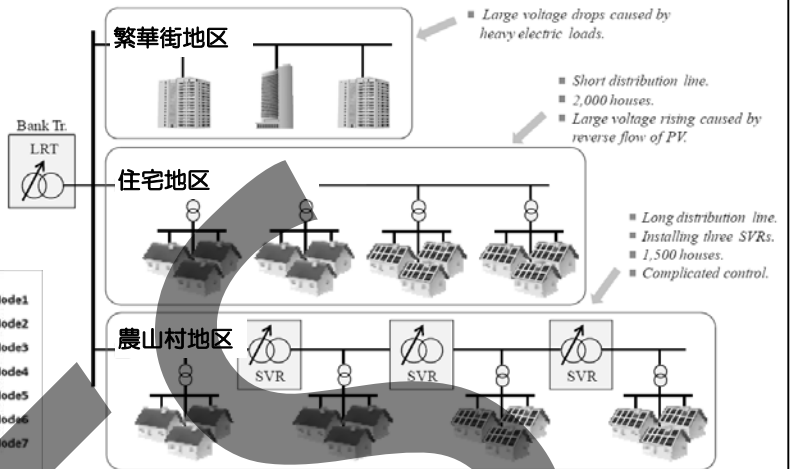
(3)-1 ⑧自律分散制御方式，集中制御方式

進捗状況

□PV大量導入時の配電線電圧上昇を模擬するシミュレータを開発。最も過酷な条件を設定したシステムモデルを構築し，自律分散制御，集中制御を評価。



開発したアナログシミュレータ外観と電圧プロファイル波形の一例



※最過酷条件：1バンクに繁華街地区，住宅地区，農山村地区の異なるフィーダを接続。PVは系統末端から連系。

最過酷条件を模擬した配電システムモデル

(3)-1 ⑨次世代低損失配電制御機器

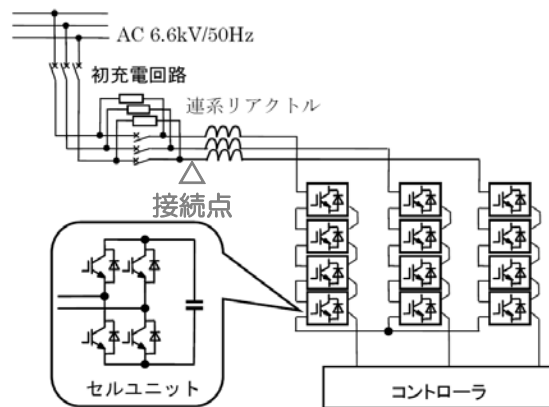
進捗状況

□配電系統の電圧を適正電圧内に管理するための自励式無効電力補償装置 (STATCOM) を技術検証を目的に開発。
 □電中研の赤城試験センターにてデータを取得中。



No	項目	仕様
1	容量	300kvar
2	連系点電圧	6.6kVrms (50Hz)
3	主回路方式	MMCC-SSBC (Modular Multilevel Cascade Converters - Single Star Bridge Cells)
4	セル方式、段数	フルブリッジ方式 4段ノーム
5	パルス数	7パルス/セル
6	高調波電流 (対象:40次以下)	各次電流歪率:3%以下 総合電流歪率:5%以下
7	電圧不平衡耐量	系統電圧不平衡5%以下で運転可能
8	系統動揺対応 (運転継続)	・系統電圧低下 (三相電圧低下に対して、 残電圧30%1秒、80%10秒) ・電圧位相跳躍(18度以下の位相跳躍)

STATCOM 外観と仕様



STATCOM 回路構成

・通信手段の標準化の動向調査と通信セキュリティ対策の検討



セキュリティ対策検討概要

まとめ

- ✓ 再生可能エネルギーの普及拡大に向けて、オールジャパンの体制で国家プロジェクトに取り組んでいる。
- ✓ これまでに各課題に対して対策が必要となる時期や対策の効果等、“定量的”な知見が得られ始めている。今後、更なる検討を深めていく。
- ✓ スマートグリッドの構築には実フィールドにおける実証試験が必要であり、今後とも更なる国の支援をお願いしたい。
- ✓ 技術の確立には継続的なデータ取得が重要であり、構築した試験設備を活用し、フォロー研究（3年間）を通じて、データの蓄積を図っていく。

これまでの実証プロジェクト等を通じて蓄積してきた知見・ノウハウを統合し、実運用を想定した検証に取り組み、来るべき再生可能エネルギー大量導入に万全な態勢で臨む

以上