



次世代電力システムにおける情報・データ共有の必要性

2018/12/13

株式会社 日立製作所 研究開発グループ
テクノロジーイノベーション統括本部

森田 歩

Contents

1. 日立東大ラボの狙いとその活動状況
2. 次世代ネットワーク構築における情報・データ共有の必要性
3. 2050年パリ協定目標達成に向けたシナリオと
シミュレータによる定量的評価(試行紹介)
4. まとめ

1-1. 産学協創による将来の社会課題への挑戦

SDGs、Society5.0に向けた研究によって持続可能な成長を実現

SDGs



持続可能な開発目標

Society 5.0



人間中心の超スマート社会

共同研究拠点

日立東大ラボ

Society 5.0ビジョン創生

日立北大ラボ

セルフヘルスケア
デジタル水産業

日立京大ラボ

2050年の大学と企業のあり方
生物に学ぶAI・システム

日立神戸ラボ

再生医療

1-2.「日立東大ラボ (2016.6.20創設)」の取り組み

(参照) 日立東大ラボ作成資料

◆ Society 5.0(超スマート社会)の実現に向けたビジョン創生

◆ 社会課題解決モデルの発信(技術開発、法制度・政策提言)

【日立の強み】：高度インフラ技術の蓄積(スマートシティ事業など)、OT×IT技術
 【東大の強み】：先端研究、人文知、様々な研究実証フィールド、国・自治体との政策連携

2016.6～
テーマ「まちづくり」

2016.11～
テーマ「エネルギーシステム」



2017.4～

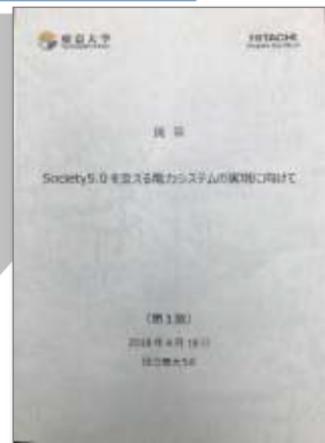
ハビタット・イノベーションPJ

- ・ものづくりとまちづくりの統合的アプローチ
- ・未来都市ビジョン形成

共同研究・フォーラム・書籍

- ・データ駆動型社会を支えるエネルギーシステム
- ・技術的、政策・制度的検討

フォーラム・提言



日立製作所

Society 5.0の実現に向けて

東京大学

- ・新産業創出による経済駆動
- ・新たなビジネスモデルの構築

- ◇ 知識集約型社会システムの実現
- ◇ リアルタイムなデータ利活用の基盤整備

- ・大学の多様な学知、人材の育成・活用
- ・新たな学術研究の創出

Society 5.0を支えるエネルギーシステムのビジョン・ゴールを提言

従来の電力システム

大規模電源が主体

不可避的な
移行



新しい電力システム

再生可能エネルギー導入拡大、分散化、デジタル化、電化/電動化などの取り込み

Society 5.0を支える電力システムの将来に関して

国内外の情勢を踏まえつつ、技術的課題や政策・制度的課題を抽出し、

関係者と問題意識を共有して、その成果を提言として公開する

1-4. フォーラムによる議論の活性化

(参照) 日立東大ラボ作成資料

各種ステークホルダとの議論により、次世代システムの方向性を模索

- エネルギーフォーラム(クローズ会議)
- 2017/09/19
- 東京大学 伊藤国際学術研究センター
- 「超スマート社会の実現に向けた
電力システムの将来を考える」
- 参加人数 約50名
資源エネルギー庁、電力会社、電力中央研究所、
電力広域的運営推進機関、IEA他



- オープンフォーラム
- 2018/04/18
- 東京大学 伊藤謝恩ホール
- 「Society5.0を支える
電力システムの実現に向けて」
- 参加人数 約400名
資源エネルギー庁、電力会社、電力中央研究所、
電力広域的運営推進機関、三井不動産、
住環境計画研究所、CIGRE他



1-5. 具体的な論点

日立東大ラボ

産学官で議論を重ねつつ、 日本の技術優位性と人財を活用してあるべき姿を実現

地域社会で 挑戦すべき 新しい方向性



- 独自の価値を創造する**技術革新・制度整備**
- エネルギー・自動車などの**インフラ情報共有**
- 都市・街区の**エネルギー・環境性能指標化**

基幹システムの変革を 支える枠組み



- エネルギーシステム全体の**評価の仕組み**を構築
- 基幹システムと地域社会を**デジタル**でつなぐ
新たな制御技術を確立

挑戦と変革に向けた 制度・政策



- **複数のシナリオ**で制度・政策を議論
- **先進的エネルギーシステム**で国際社会に貢献
- **サイバーセキュリティ**の確立

エネルギーシステムを 支える人財・技術の 育成



- 人財、技術育成のための**戦略立案**と**継続投資**
- **分野横断的**な研究・教育の仕組み構築
- **シニア人財**を積極的に活用

Contents

1. 日立東大ラボの狙いとその活動状況
2. 次世代ネットワーク構築における情報・データ共有の必要性
3. 2050年パリ協定目標達成に向けたシナリオと
シミュレータによる定量的評価(試行紹介)
4. まとめ

2-1. 連携が進む基幹システムと地域社会

(参照) 日立東大ラボ作成資料

基幹システム

需要家と連携し、全体最適で「3E+S」を向上



地域社会

地域ごとに特色のあるエネルギーシステムを構築

2-2. VRE大量導入に向けた課題 in 日本

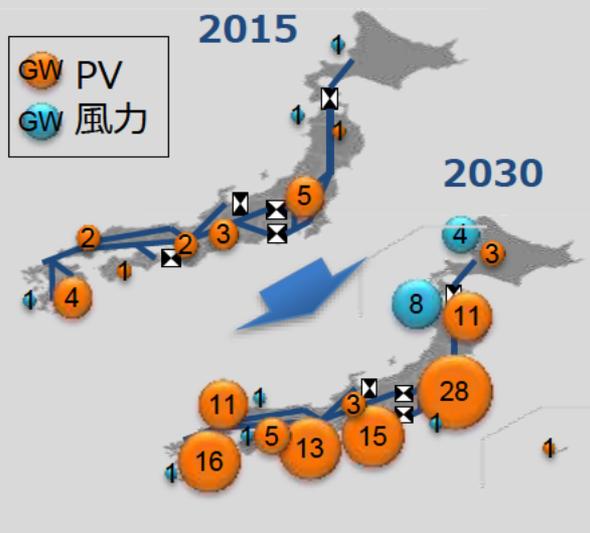
(参照) 日立東大ラボ作成資料

2030年(目標15%)以降の更なる普及促進に向けた3つのチャレンジ

環境性

・VREの導入促進

北海道/東北/九州の余剰電力の送電ニーズが高まるも、連系容量不足がネックになる恐れあり



安定性

- ・VREの急速な出力変動に対応する調整力の確保
- ・軽負荷/晴天時にVRE発電量が80%を超えるケースあり

北海道 (GW)

軽負荷期(5月)需要	3.1
再エネ導入量	2.2

東北

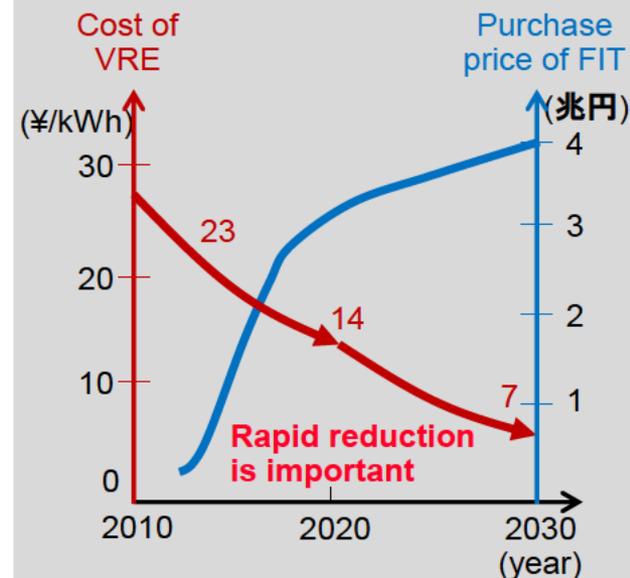
7.9
12.6

九州

7.9
10.3

経済性

- ・グリッドパリティに向けたVREのコストダウン
- ・FIT負担の増加(4兆円 in 2030)アジャイルなコストダウンが重要



エネルギー自給率向上を視野に、社会コストミニマムでビッグイシューに挑戦

2-3. 系統安定化に向けた具体例

(参照) 日立東大ラボ作成資料

VRE導入を加速するための系統強化策が各国で試行中

送電線の増強 (ENTSO-E)

Large scale RES, 100%RES, Big & Market, Fossil & Nuclear, Small & Localの5シナリオでネットワーク構成を検討中



出典: ENTSO-E

同期調相機の導入 (欧州・北米)

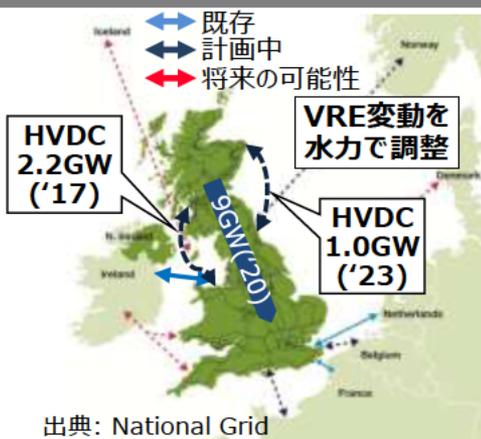
欧州・北米に同期調相機の導入が進む
'21年の市場規模: 628億円に拡大



年	市場規模
2016年	565億円
2021年	628億円

導入事例: Alstom:ドイツ・イタリア('15年)
GE: ドイツ・カナダ ('16年)
出典: Market and Market MWH, Alstom, GE HP

HVDC送電網の増強 (英国)

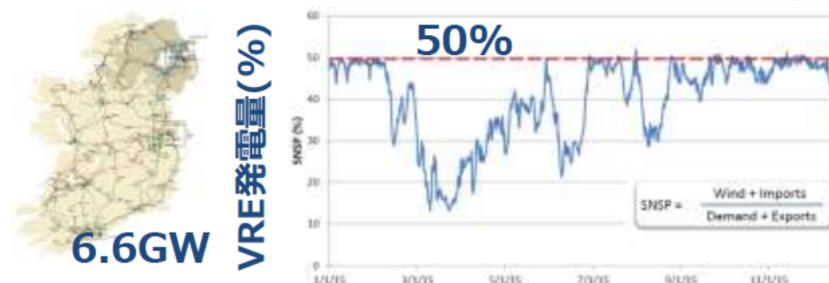


- 1) 国際連系線強化
- 2) 南北の直流/交流連系増強
- 3) 官・民一体による広域系統計画

出典: National Grid

慣性監視 (アイルランド)

EriGrid中給ではリアルタイム監視で、VRE発電量を50%以下に抑制(抑制3%)



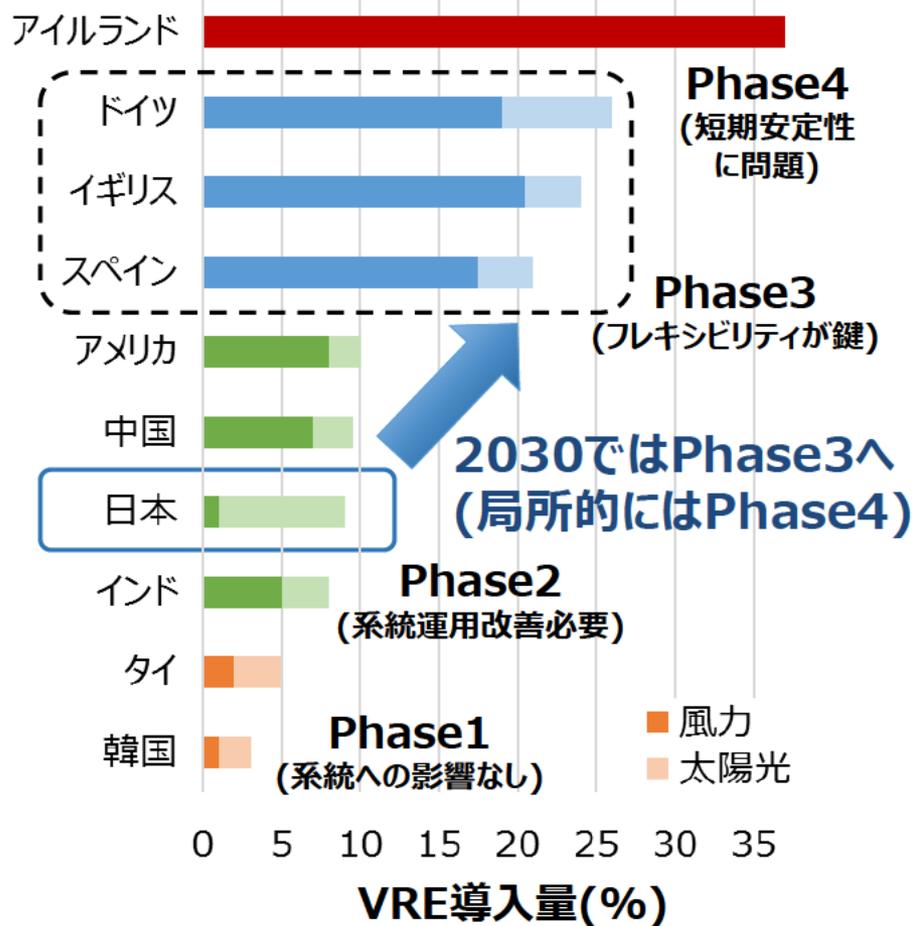
出典: IEEE PESGM2016-001963, PESGM2015P-002812

2-4. 系統安定化に向けたフェーズ別の施策

(参照) 日立東大ラボ作成資料

PV主体の日本は、欧州に比べて高度な技術が必要とされる

IEA: VRE導入量と対策



対策技術

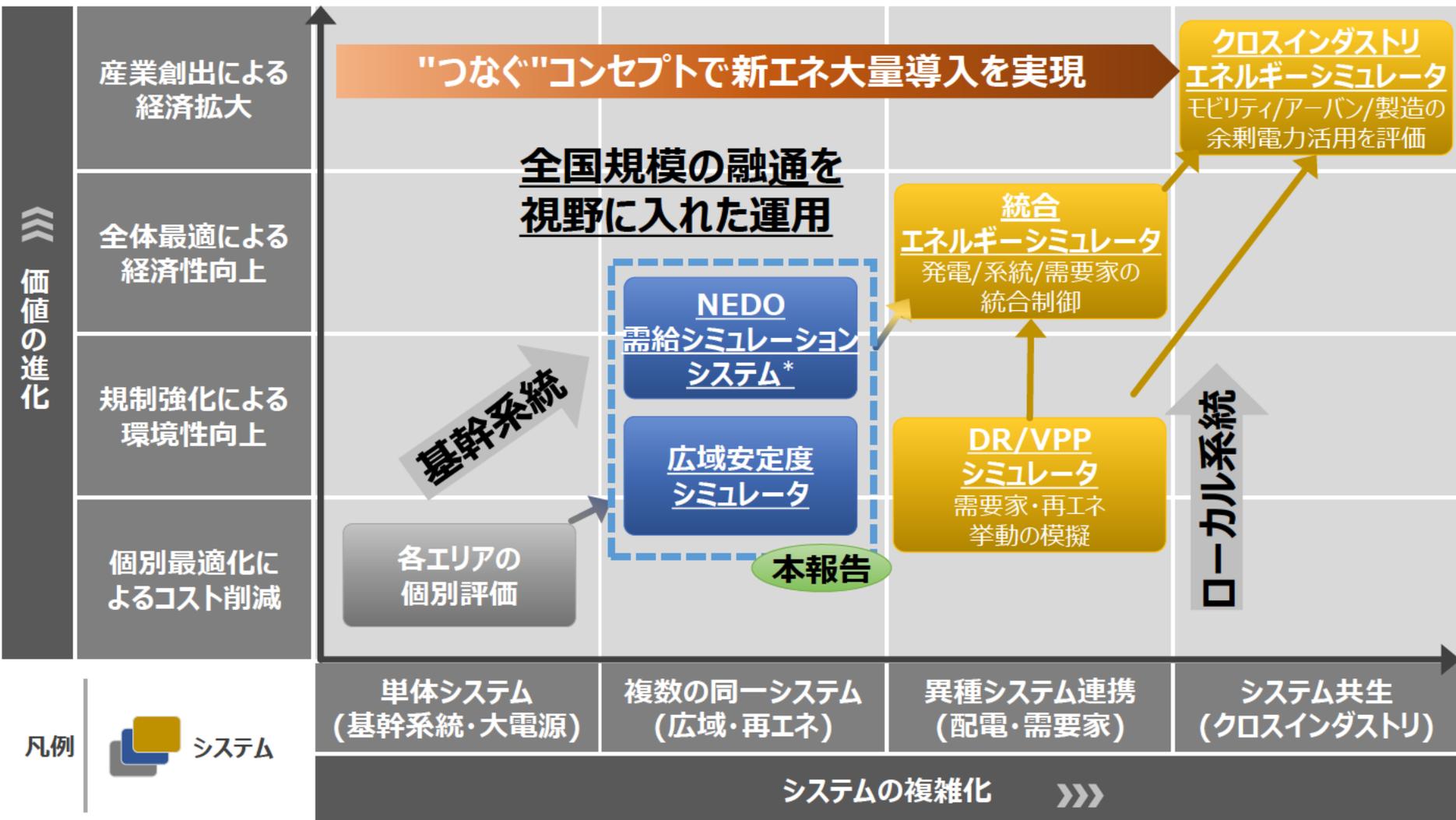
対策	Ph.1	Ph.2	Ph.3	Ph.4
技術	リアルタイム監視制御		■	
	送電容量の拡大		■	
	柔軟な発電出力制御			■
	系統安定化システム			■
	Advanced VRE			■
	非同期電源の連系制限			■
	スマートインバータ			■
	揚水発電の運用高度化			■
	高速周波数応答			■
	エネルギーストレージ			■
経済性	予備力の適切な確保	■		
	発電予測活用系統運用	■		
	高速需給計画・運用		■	
	VRE協調 需給運用		■	
	需給運用の広域連携			■

出典: IEA "Integrating variable renewables: Implications for energy resilience", Asia Clean Energy Forum 2017

2-5. エネルギーシステム評価環境の進化

(参照) 日立東大ラボ作成資料

あるべき姿を追求するためには、オープン・定量的・客観的に討論する枠組みが必要



*NEDO電力系統出力変動対応技術研究開発事業

DR: Demand Response

2-6. エネルギーシステムを評価するプラットフォームの構築

(参照) 日立東大ラボ作成資料

問題意識

エネルギーシステムのあるべき姿を議論するためには、オープン、かつ定量的・客観的に情報交換して議論する枠組みが必要

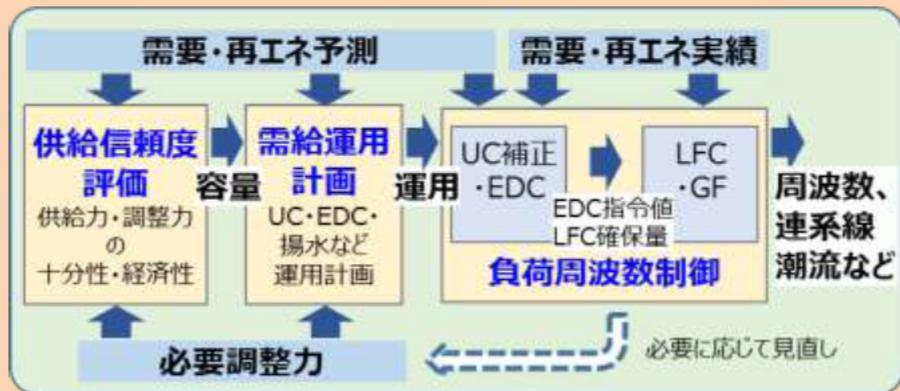
実現に向けた課題

産学官の協力の下、散在するデータやツールを共有してステークホルダ間でシナリオを議論

需給シミュレーションシステム*

(東京大学、電力中央研究所、東京電力、東光高岳)

再エネ導入時の電力需給の柔軟性について需給バランスの対応を解析評価



広域安定度シミュレータ

(日立製作所)

公開データを活用して、各種施策に関する技術の実現性および社会便益を評価



Googleマップを活用したシステムモデル作成

さらなる展開

指数関数的に増える分散リソースの協調メカニズム確立に向けて、基幹システムと地域社会をデジタルでつなぐ新しい制御技術に挑戦

*NEDO電力系統出力変動対応技術研究開発事業

UC: Unit Commitment, EDC: Economic load Dispatching Control, LCF: Load Frequency Control, GF: Governor Free

2-7. 広域安定度シミュレータ

(参照) 日立東大ラボ作成資料

Grid-Sim

再エネ導入

シナリオ
安定化シナリオ

2030 3 29

詳細

青森・秋田・山形・新潟

青森・秋田・山形・新潟

- 太陽光 発電電力 7.4GW
- 風力 発電電力 5.9GW
- 基幹系発電

岩手・宮城・福島

↓ 全朝電力 1.5GW

9.8

岩手・宮城・

9.2

関東

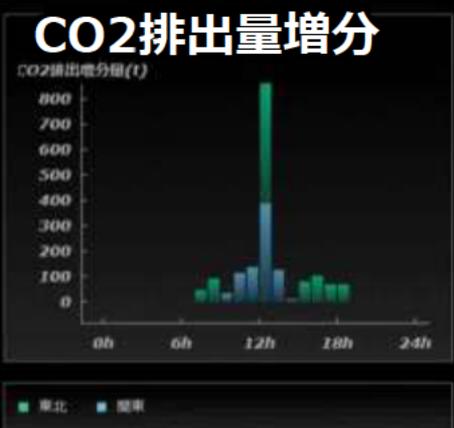
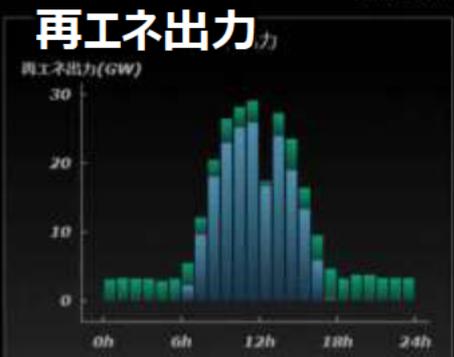
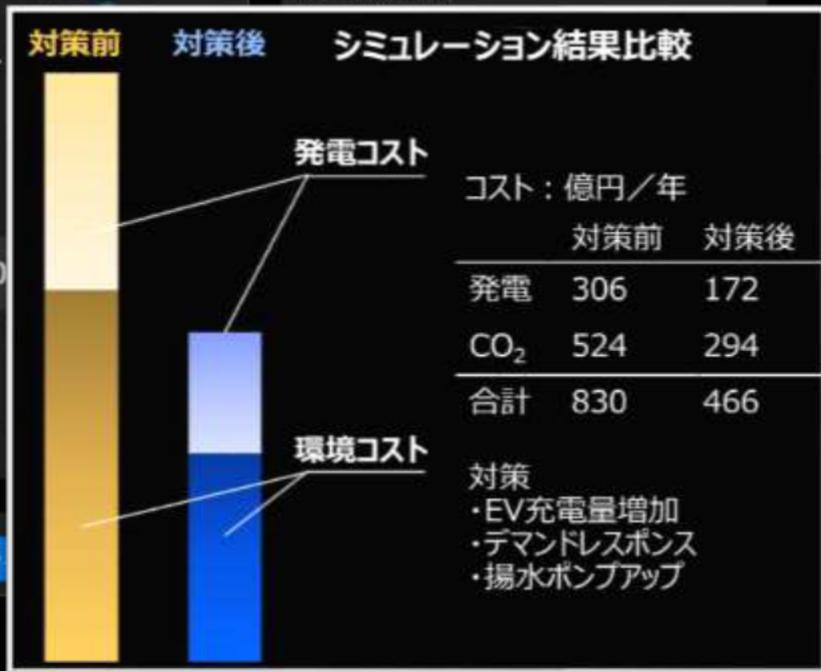
29.0

2030

天候

対応策

HVDC



比較 結果 年間の結果

2-8. シミュレータ活用のユースケース

(参照) 日立東大ラボ作成資料

需要家を含む多様なステークホルダが評価に活用するユースケースを抽出

#	内容	ステークホルダ	使用例
1	ビジョン・政策提言	国民/大学/シンクタンク/メディア/ 立法府/規制機関	<ul style="list-style-type: none"> • 将来の環境・エネルギー戦略の検討と提言 • 再エネ導入促進やそれに向けたインセンティブ制度の検討
2	系統制御・運用 ・ルールの提案	大学/研究機関/規制機関	<ul style="list-style-type: none"> • 新しい系統制御手法の提案(電圧、安定性の維持など) • 運用基準/ルールの提言
3	託送評価	規制機関/送配電事業者	<ul style="list-style-type: none"> • 将来の電力システムにおける託送料金のあり方を検討 • 託送による送配電線路の混雑推定
4	再エネ発電の 事業性評価	風力事業者/太陽光事業者/ 送配電事業者	<ul style="list-style-type: none"> • 年間発電量/出力制御量の推定 • 連系対策費用の算出
5	分散電源連系の 影響評価	送配電事業者	<ul style="list-style-type: none"> • 系統連系時の安定度・信頼性評価
6	調整力・アンシラリー 事業性評価	地域エネルギー事業者/発電事業者 /送配電事業者	<ul style="list-style-type: none"> • 時間毎の調整力(kW, ΔkW)の予測 • 調整力提供による安定度・信頼度貢献度の定量評価
7	P2Pエネルギー取引	一般需要家/アグリゲータ/ 送配電事業者	<ul style="list-style-type: none"> • 将来の事業シナリオ分析 • P2P取引による送配電網利用費用の妥当性検証
8	EV充電インフラ アセスメント	EV事業者/都市・街区/ 配電事業者/地方自治体	<ul style="list-style-type: none"> • 充電インフラ設置申請時のアセス(電力品質、経済効果) • 連系点の過負荷や電圧変動の推定 • 充放電シフトや無効電力制御の効果試算

2-9. 情報・データの開示・公開

(参照) 日立東大ラボ作成資料

ユースケース毎に評価に必要なデータを抽出し、開示・公開の可能性・範囲を議論

ユースケース#(前ページの番号に相当)		1	4	7	8	
内容		ビジョン・政策提言 将来の環境・エネルギー 戦略策定	再エネ発電の事業性評価 年間発電量/出力制御量 の推定	P2PIエネルギー取引 将来の事業シナリオ分析	EV充電インフラアクセス 申請時のアクセス (電力品質、経済効果)	
ステークホルダ		国民/大学/立法府 /シンクタンク/メディア /規制機関	風力事業者 /太陽光事業者 /送配電事業者	一般需要家/アグリゲータ /送配電事業者	EV事業者/都市・街区/ 配電事業者/地方自治体	
解析エンジン (※)		A・B・C	A・C	A	A	
必要 データ (抜粋)	系統 構成	154kV以上	○	○	-	-
		66kV	-	○	-	-
		22kV以下	-	-	-	○
	電源	大規模発電所の 出力実績・特性	○	○	-	-
		再エネ出力実績・特性	○	○	○	-
	需要 実績	154kV以上	○	○	-	-
		66kV	-	○	-	-
		22kV以下	-	-	○	○
		スマートメータデータ	○	-	○	-
	将来 ・ みなし	系統構成	○	○	-	-
		電源構成・配置	○	○	-	-
		需要予測	○	○	○	○
気象条件		○	○	○	-	

○：必要 -：不要、(※) A：供給信頼度評価、B：需給運用計画、C：系統安定度評価

2-10. 情報・データの開示・公開における課題と対策

(参照) 日立東大ラボ作成資料

評価シミュレータ向けのデータを揃えるためには、制度的・技術的な対策が必要

●データ利活用の拡大には中立的機関の主導による環境整備・運用が重要

#	カテゴリ	課題	対応策 (案)
1	データのあり方	エネルギーシステムのセキュリティ (例：サイバーテロ)	<ul style="list-style-type: none"> 開示先ステークホルダの限定 情報を抽象化して共有
2		事業競争環境下の機密保護 (例：ノウハウ流出)	<ul style="list-style-type: none"> ブラックボックス処理 統計情報
3		消費者のプライバシー保護 (例：個人情報悪用)	<ul style="list-style-type: none"> 匿名加工情報 統計情報
4		将来の不確実性の分析 (例：EV台数の想定)	<ul style="list-style-type: none"> 不確実性を考慮し、ステークホルダ間で複数のシナリオを策定して共有
5		他の事業・インフラとの情報共有促進	<ul style="list-style-type: none"> 情報活用によるビジネスモデル(ユースケース)の蓄積とスケーリング
6	管理体制	オープンな解析エンジン開発・保守 共有データベースの運用	<ul style="list-style-type: none"> 新組織の発足、もしくは責任組織の明確化 システム面・運用面でのプラットフォーム化

Contents

1. 日立東大ラボの狙いとその活動状況
2. 次世代ネットワーク構築における情報・データ共有の必要性
3. 2050年パリ協定目標達成に向けたシナリオと
シミュレータによる定量的評価(試行紹介)
4. まとめ

3-1. 2030/40/50のVRE導入量(想定)

(参照) 日立東大ラボ作成資料

CO2排出量80%減のためには、50%以上のRE発電量比率が必要

時期		2030年	2040年	2050年	
VRE構成割合(%)		14 (RE 22-24)	25 (RE 40)	40 (RE 60)	
VRE容量 (GW)	PV	64	104*1)	104*1)	
	風力	10	16	86*2)	
VRE・需要分布					
※東京・東北の需要: 夏(重) 63GW 冬 50GW 春秋 45GW GW 38GW 33GW ● PV 容量GW ● 風力 ():地域の ● 需要 ならし発電量					
VRE出力(GW)		18.5 (12時)	38.4 (12時)	53.7 (12時)	
需要(GW)		2016年と同等	2016年の0.8~1.2倍で検討 (上記は、2040年1.1倍、2050年1.2倍の例)		
EV容量(GW)		1.6 (130万台)	5.1 (410万台)	10.2 (825万台)	

想定：*1)JPEA(太陽光発電協会)試算、*2)*1)に基づく日立独自試算、揚水13.2GWを再エネ対応に使用

EV: Electric Vehicle, VRE: Variable Renewable Energy, RE: Renewable Energy

3-2. 再エネ導入拡大に伴う各種系統対策

(参照) 日立東大ラボ作成資料

ソフトウェア・ハードウェアの両面で、さまざまな対策が実用/実証/提案

課題	需給調整		系統安定性				供給品質		事例
	長周期	短周期	脱調現象	周波数現象	電圧現象	設備過負荷	電圧レベル	高調波	
基本対策	広域需給調整	○	○						OCCTO機能
	電圧上昇抑制						○	○	PCSのJIS規格化
	出力制御 (VRE)	○					○		VRE連系における優先給電ルール
検討開始	Non-Firm型接続	○					○		OCCTO提案機能
	N-1電制	○					○		〃
	DR/VPP	○	○						NEDOマウイ島スマートグリッド実証
さらなる対策	系統安定化システム			●	●	●	○		オンライン事前演算型システム
	動的潮流最適化	○	○			●	○		オンライン最適潮流計算(OPF)
	広域系統保護制御			○	○	○			PMU活用
	スマートインバータ	○	○	○	○	○	○	○	擬似ガバナ・擬似同期化力など
	系統設備の増強	○	○	○	○	○	○	○	HVDCなど

少
再エネ導入量
多

ソフト
ハード

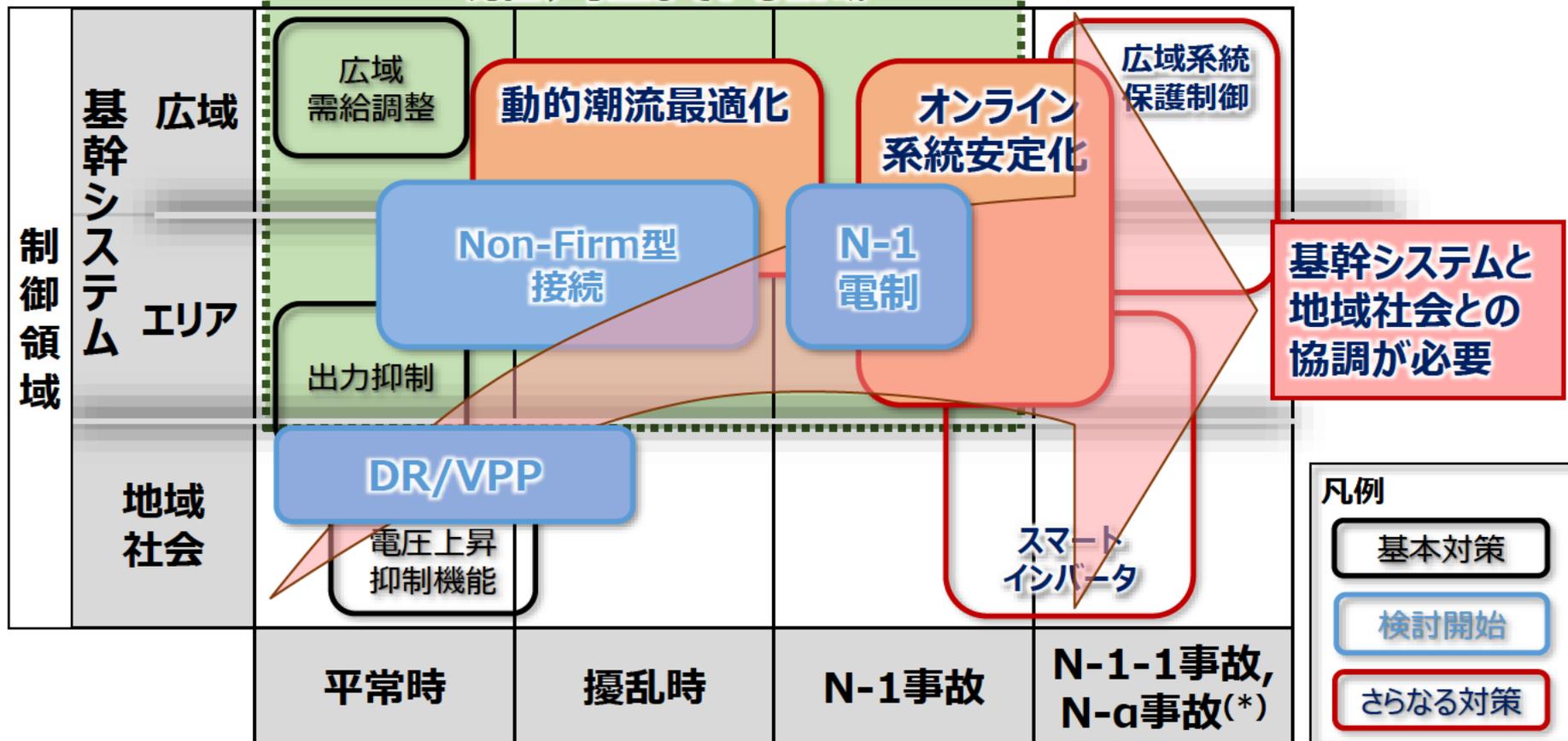
PCS: Power Conditioning System, VRE: Variable Renewable Energy, HVDC: High Voltage Direct Current, OPT: Optimal Power Flow Calculation, PMU: Phasor Measurement Unit, HVDC: High Voltage Direct Current, FC: Frequency Converter, DR: Demand Response, VPP: Virtual Power Plant

3-3. 系統対策の技術マップ

(参照) 日立東大ラボ作成資料

大量の分散リソース・再エネ導入に向けて、非平常時に向けた対策の要求が強まる

現在、考慮している領域



現時点の想定故障範囲

再エネ大量導入に伴って要求が高まる

(*)カスケード事故

いくつかの技術は付録で紹介

3-4. 解析方法・解析モデル

(参照) 日立東大ラボ作成資料

需給バランスとともに、系統安定性を考慮したシミュレータで各種対策を定量評価

狙い

系統やVREの進化に対応するため、実際の系統構成をできるだけ忠実にモデル化

原子力 12台
火力 29台
揚水 12台
送電線 440区間
需要
33~63 GW

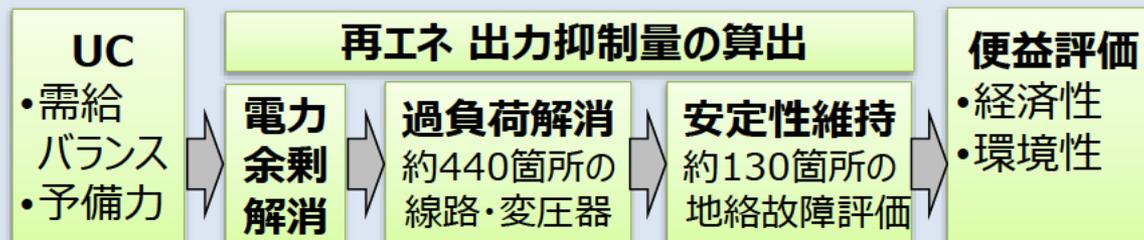
【東北】
風力 8GW
PV 11GW

【東京】
風力 1GW
PV 28GW

※北海道の取り扱い

余剰電力2~4GWが発生
(0.9GW分は本州に送電)
→ 需要地へのHVDC送電、
または出力抑制が必要

シミュレーション手法



#	項目	前提・制約条件															
1	発電	<ul style="list-style-type: none"> 原子力/石炭火力は、常時並列運転 予備力(LFC3%)を条件に運転火力を決定(最低出力30%) AVR/PSS/ガバナは電気学会・電協研モデルを適用 															
2	VRE	<ul style="list-style-type: none"> FRT: 系統連系規程で模擬 ならし効果/晴れ・曇りなどの天候を考慮した出力(右表) <p>PV発電確率 $18 + 32 / 2 = 34\% \rightarrow$</p> <table border="1" style="display: inline-table; margin-right: 20px;"> <tr> <td>晴れ</td> <td>18%</td> </tr> <tr> <td>晴れ/曇り</td> <td>32%</td> </tr> <tr> <td>曇り・雨</td> <td>50%</td> </tr> </table> <table border="1" style="display: inline-table;"> <tr> <td></td> <td>風力</td> <td>PV</td> </tr> <tr> <td>東北</td> <td>71%</td> <td>93%</td> </tr> <tr> <td>東京</td> <td>34%</td> <td>79%</td> </tr> </table>	晴れ	18%	晴れ/曇り	32%	曇り・雨	50%		風力	PV	東北	71%	93%	東京	34%	79%
晴れ	18%																
晴れ/曇り	32%																
曇り・雨	50%																
	風力	PV															
東北	71%	93%															
東京	34%	79%															
3	系統	<ul style="list-style-type: none"> 2030年を想定し(OCCTO計画)、275kV以上をモデル化 66kV以下は縮約し、負荷の20%をIMで模擬^{*1)} 															
4	揚水	全13.2GWをVRE対策に使用															
5	故障	主要幹線での3LG-O (約130ヶ所を想定)															

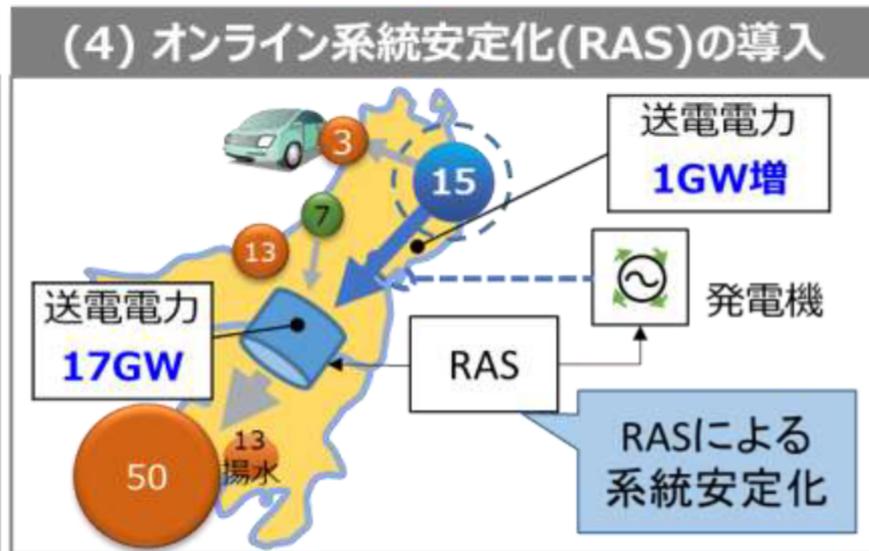
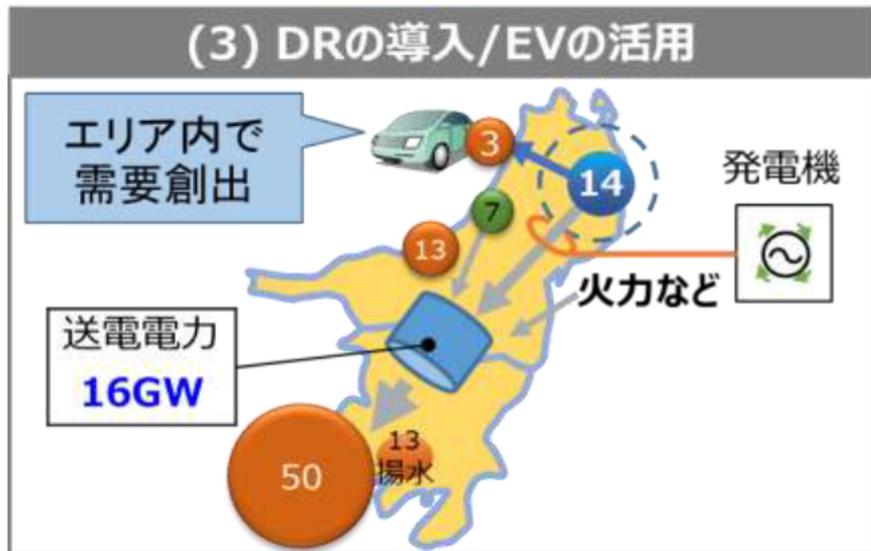
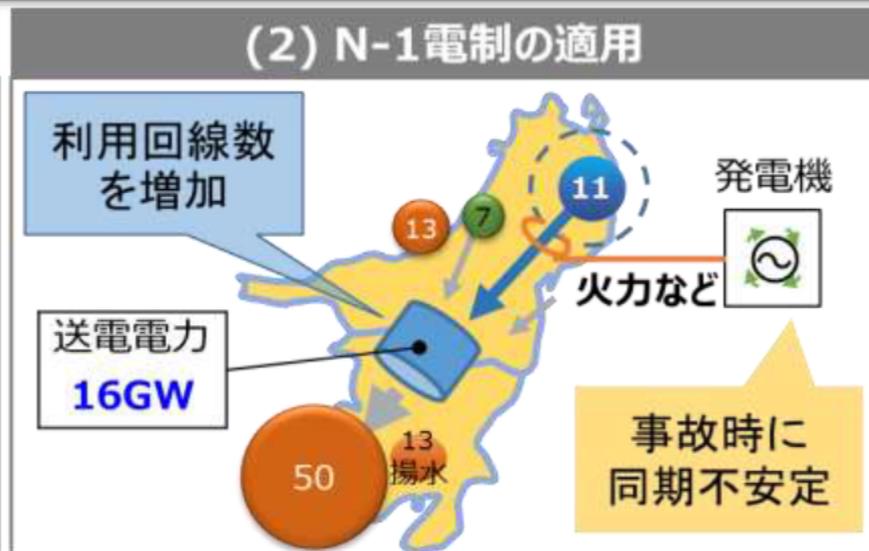
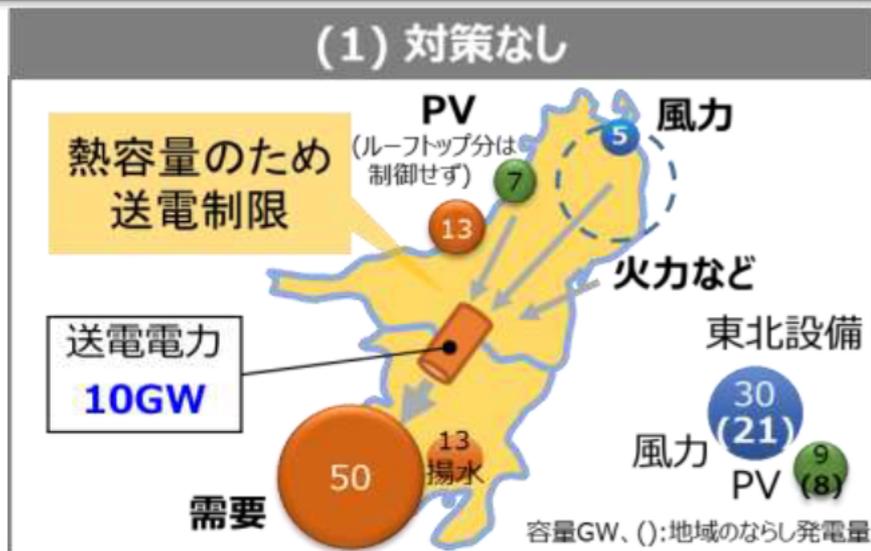
UC: Unit Commitment, AVR: Automatic Voltage Management, PSS: Power System Stabilizer, IM: Induction Motor, WECC: Western Electricity Coordinating Council, FRT: Fault Ride Through

*1) 北米WECC系統解析モデルを参照

3-5. 解析結果の例(2050年 8/9 12:00、需要 2016年と同等のケース)

(参照) 日立東大ラボ作成資料

VREの有効活用には、需要に即した戦略的配置・HVDC送電などの施策が必要



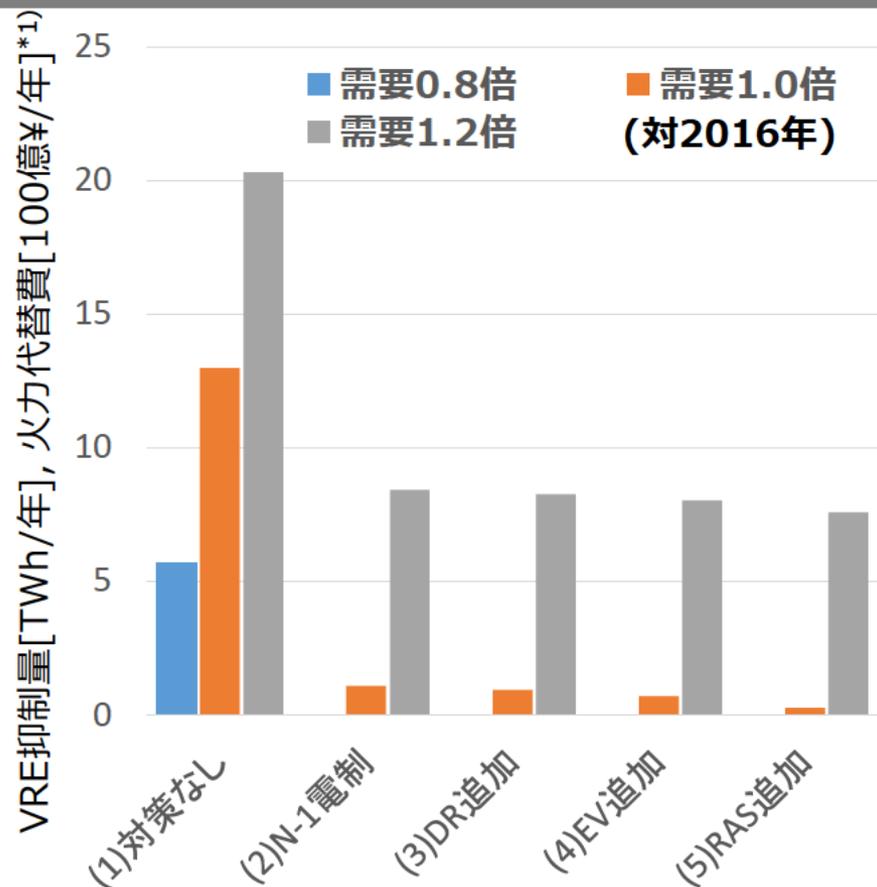
3-6. 各種施策と再エネ導入可能量の関係

(参照) 日立東大ラボ作成資料

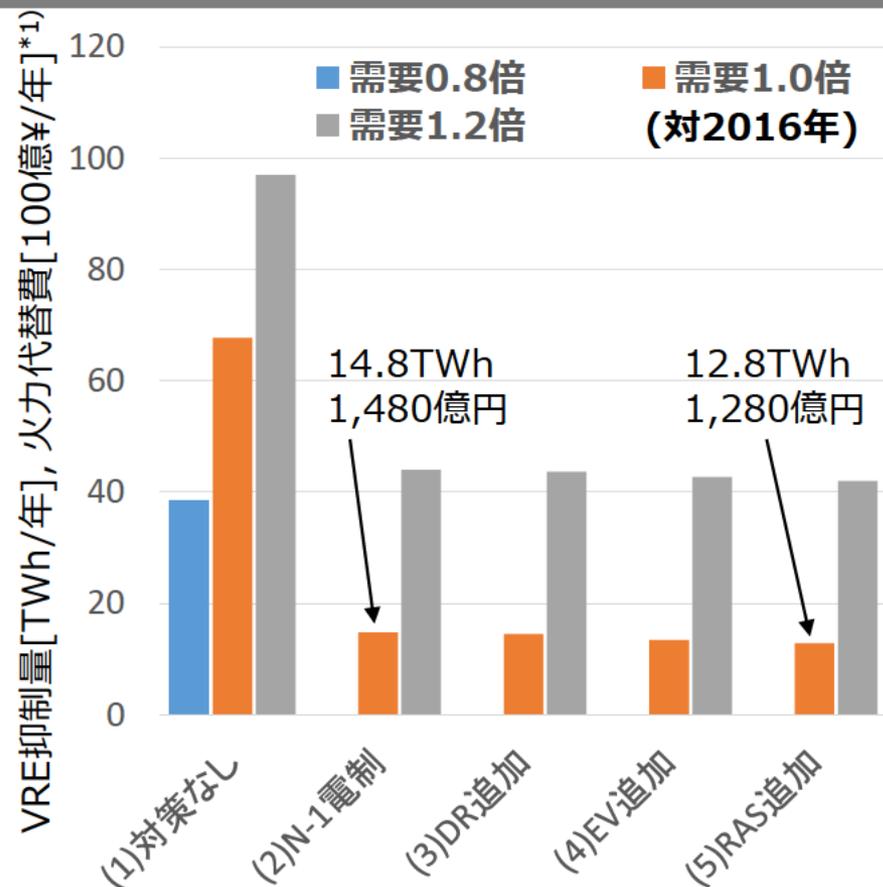
需要の伸びを想定したVRE導入や系統対策の計画を立案する必要がある

スライド3-1のRE構成比率に合致するように、需要に応じてREの発電量を調整(=需要が大きいケースほど、RE発電量も多い)

2030年：VRE抑制量



2050年：VRE抑制量



*1) LNG火力でVREを代替することを想定：1kWh=10円として換算 (1)は机上解析、(2)~(5)はシミュレーション解析

VRE: Variable Renewable Energy, DR: Demand Response, EV: Electric Vehicle, PV: Photovoltaic, RAS: (オンライン系統安定化)Remedial Action Scheme

Contents

1. 日立東大ラボの狙いとその活動状況
2. 次世代ネットワーク構築における情報・データ共有の必要性
3. 2050年パリ協定目標達成に向けたシナリオと
シミュレータによる定量的評価(試行紹介)
4. まとめ

1. 次世代エネルギーシステムのあるべき姿の共有

- 定量的かつ科学的な議論を支える評価ツールの構築 -

2. 評価プラットフォームのさらなる進化が求められる

- 全国規模の融通・コネクト&マネージ・需要家制御 -

3. データ共有に向けた制度的・技術的な対策が必要

- 体制・セキュリティー・プライバシー・新規ビジネス創生など -

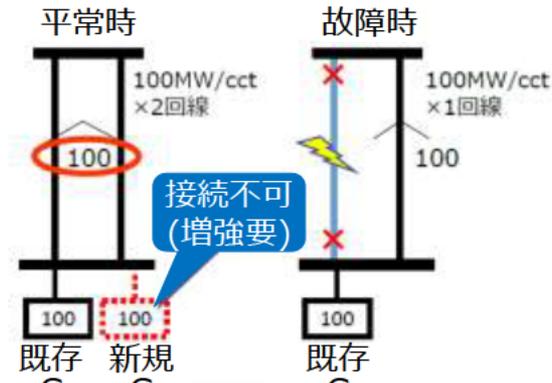
HITACHI
Inspire the Next

従来の固定的な運用体系から、動的な施策に進展

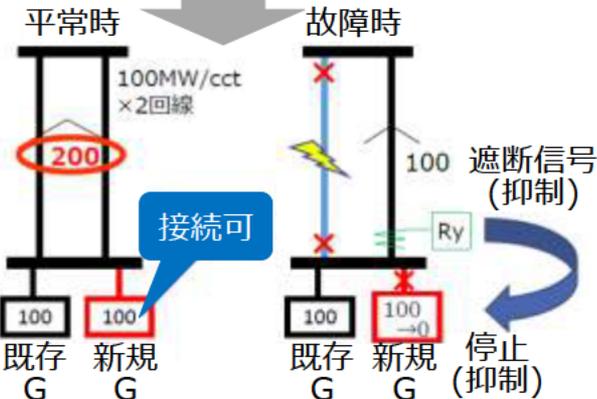
N-1電制

故障時の電源抑制により送電可能容量を増加

N-1電制
なし



N-1電制
適用

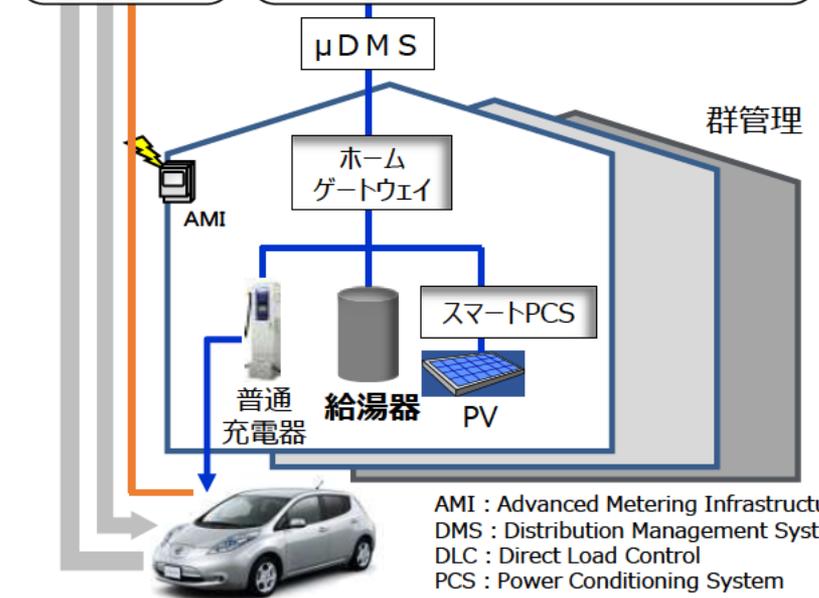


(出展) “広域機関における「日本版コネクト&マネージ」の検討について”,
電力広域的運営推進機関, 2018/1/24

課題 ループ系統および下位系統への展開方法

DR/VPP

EVバッテリーを活用して系統周波数を調整



AMI : Advanced Metering Infrastructure
DMS : Distribution Management System
DLC : Direct Load Control
PCS : Power Conditioning System

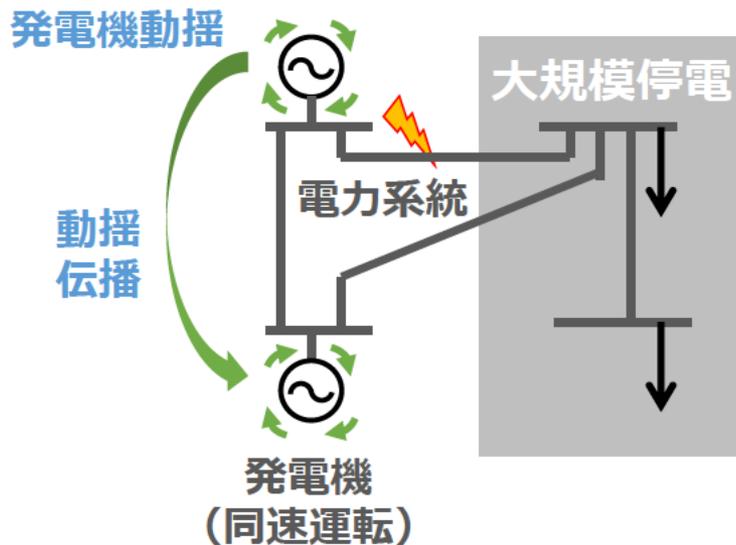
NEDO「ハワイ州マウイ島における島しょ域スマートグリッド実証事業」

課題 さらに短周期な需給調整力の実現手段

コンテプランの事前演算で大規模停電を回避し、送電限界を向上

課題

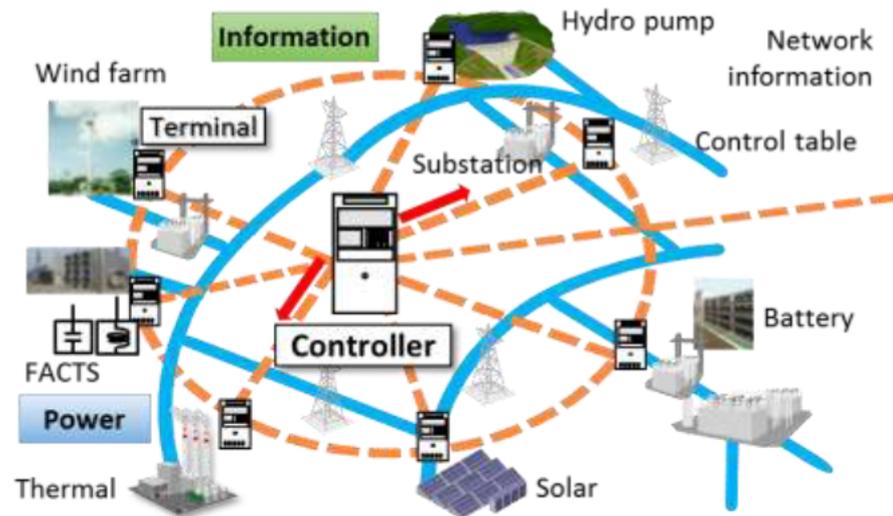
- 系統故障時に、発電機の一部が動揺・解列すると、他の発電機に動揺が伝播して、発電機の大量解列・大規模停電が発生



課題：発電機の連鎖解列

解決策

- 実データを活用して、一定周期(30s)で事前に数100の制御シナリオを立案
- 故障時に、動揺した発電機や、その容量に応じた負荷を高速遮断して、他の発電機への動揺伝播を阻止

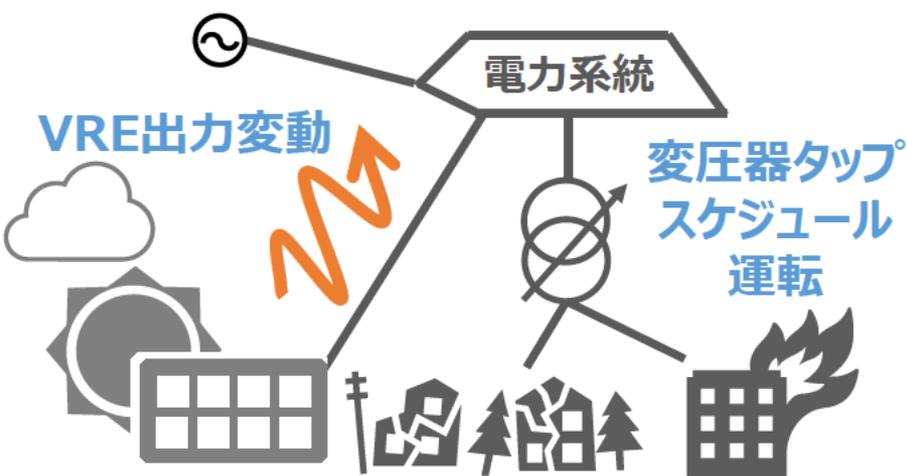


今後の課題 制御対象の拡大 (分散リソースも含む)

最適潮流計算により、電圧安定化・送電ロス削減・再エネ連系最適化を実現

課題

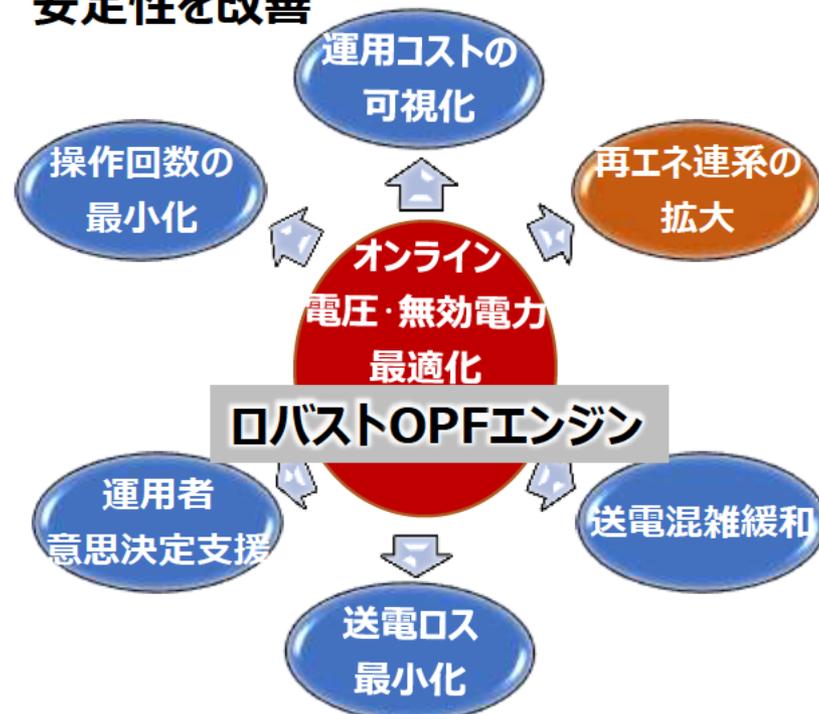
- VRE出力変化により系統電圧が変動し、送電ロスが増加
- オンラインの潮流最適化により、ロス削減・安定性向上を狙う



課題：電圧変動による送電ロス拡大

解決策

- 粒度の異なる測定値から、負荷・電圧を高精度に予見
- 電圧分布を随時最適化して、経済性・安定性を改善



今後の課題 制御対象の拡大（分散リソースも含む）