



日立東大ラボ活動(エネルギー分野)のご紹介

Society 5.0 を支える電力システムの実現に向けて

Electricity Systems to Support Super Smart Society, Society 5.0

WG1 基幹システムでの変革を支える枠組み

横山 明彦

東京大学

大学院新領域創成科学研究科教授

渡辺 雅浩

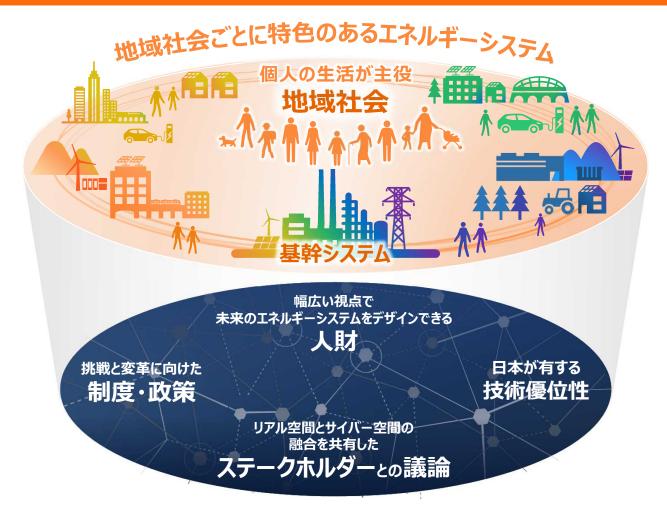
日立製作所 エネルギーマネジメント研究部

2018年4月18日

エネルギーシステムの全体像(再掲)

- ✓ 地域社会と基幹システムは、共存を前提として再構築
- ✓ 急増する分散リソースを統合する協調メカニズムの確立

社会全体の3E+Sを向上



具体的な論点

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

- ・エネルギーの価値が多様化する中、独自の価値を 創造/流通/取引するための技術革新と制度整備
- ・電力/ガス/水道/ICT/自動車などの各種インフラ 情報を公共的なものとして共有する仕組みを構築
- ・社会価値を軸に、都市・街区のエネルギー性能、 環境性能を指標化、共有 」

基幹システムの変革を支える枠組み

- ・産学官の協力で社会全体のエネルギーシステムを 評価するプラットフォームを構築し、あるべき姿を議論 (解析ツール・標準データの開発と共有)
- ・基幹システムと地域社会をデジタルでつなぐ新しい 制御技術を組み込み、実践し、 その技術と経験をグローバル展開・・

挑戦と変革に向けた制度・政策

- ・多くの不確実性を抱える時代に対し、日本の 社会にとっての大きな変化要因を評価軸とし、 複数のシナリオや選択肢で制度・政策を議論
- 日本で確立した先進的なエネルギーシステムを グローバル展開して、国際社会に貢献
- サプライチェーン全体としての サイバーセキュリティ確立



エネルギーシステムを支える人財・技術の育成

- •短・中・長期のマルチタイムスケールの戦略立案と 人財と技術を育成のための継続的な投資
- ・工学分野に加えて、経済学・経営学・金融工学、 社会学などがクロスオーバーする研究と教育の 仕組みを構築
- ・貴重な人財であるシニア 人財の積極的活用







具体的な論点

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

- ・エネルギーの価値が多様化する中、独自の価値を 創造/流通/取引するための技術革新と制度整備
- ・電力/ガス/水道/ICT/自動車などの各種インフラ 情報を公共的なものとして共有する仕組みを構築
- ・社会価値を軸に、都市・街区のエネルギー性能、 環境性能を指標化、共有 」

基幹システムの変革を支える枠組み

- ・産学官の協力で社会全体のエネルギーシステムを 評価するプラットフォームを構築し、あるべき姿を議論 (解析ツール・標準データの開発と共有)
- ・基幹システムと地域社会をデジタルでつなぐ新しい 制御技術を組み込み、実践し、 その技術と経験をグローバル展開 ■■ \

挑戦と変革に向けた制度・政策

- ・多くの不確実性を抱える時代に対し、日本の 社会にとっての大きな変化要因を評価軸とし、 複数のシナリオや選択肢で制度・政策を議論
- •日本で確立した先進的なエネルギーシステムを グローバル展開して、国際社会に貢献
- サプライチェーン全体としての サイバーセキュリティ確立



エネルギーシステムを支える人財・技術の育成

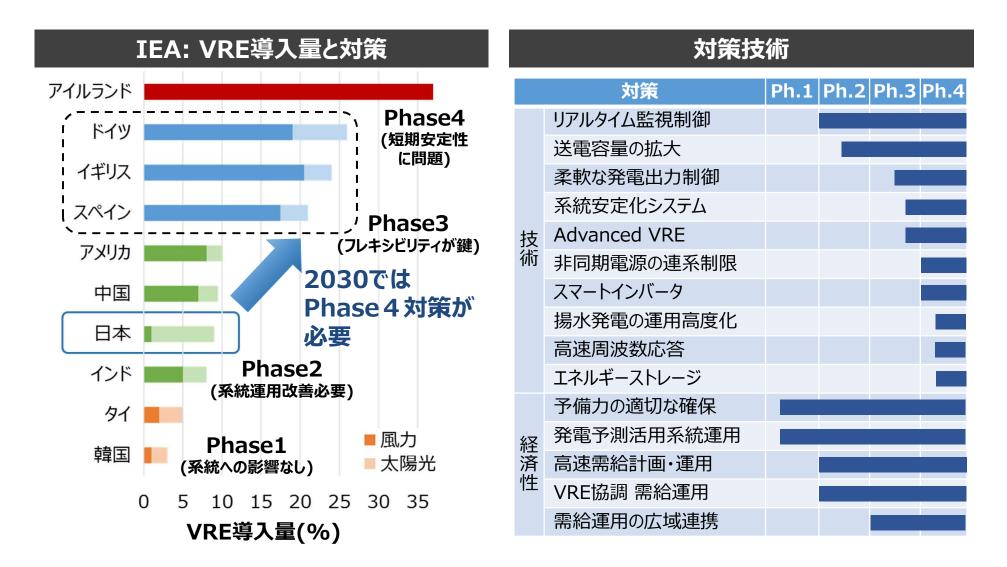
- ・短・中・長期のマルチタイムスケールの戦略立案と 人財と技術を育成のための継続的な投資
- ・工学分野に加えて、経済学・経営学・金融工学、 社会学などがクロスオーバーする研究と教育の 仕組みを構築
- ・貴重な人財であるシニア 人財の積極的活用







VRE導入量と系統運用施策



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

VRE: Variable Renewable Energy

基幹システムの新たな役割

基幹システム

需要家と協業し、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

基幹システムの新たな役割

エネルギーシステムが変革する中、 基幹システムは社会全体の「3E+S」を向上する重要な役割を担う。

地域システムの連携

複数の地域社会でエネルギーの需給や価値の授受が行われる中で、 基幹システムがこれらをつなぐ役割を果たす

kWh以外の 価値の担保 各地域の垂直統合型の電力会社で担保されているkWh以外の価値 (安定供給や環境性など)について、発送電分離の後は定量化および 指標化してエネルギーシステム全体として担保する

技術・制度等の 多面的評価 費用対効果を現時点のコストだけでなく、公平性や福祉も鑑みた長期的な事業の持続可能性や、環境価値やエネルギー安全保障の観点などの多面的に評価し、技術・制度・政策を構築する

国際社会への 貢献・展開

日本は再エネ大量導入に対する周波数、電圧、安定性の問題が、他国 に先駆けて顕在化する課題先進国であり、課題を国内で迅速に解決した 上で、グローバルに技術やノウハウを展開する

論点

地域社会が持つ 制御体系の デジタル連携

- ・基幹システムは複数の地域社会をつなぐ役割を果たし, 地域社会は 多様な分散リソースから柔軟性を提供する必要がある。
- ・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を 組み込み・実践していく必要がある。

事例 1 2030年を想定した模擬サイトでの電力系統の実証

基幹システムの 評価環境

- ・基幹システムに期待する役割を具現化するために、全体社会のエネルギーシステムを分析・評価できる環境を整える必要がある。
- ・産学官が協力し、解析ツールや標準データを開発・共有してプラット フォームを構築する。

事例2 事例3 基幹電力システム解析ツール参考事例

サイバーフィジカル が融合する 評価プラットフォーム への進化

- ・個別のシミュレーションツールが連結し、リアルデータを取り込んで
- ・サイバー空間上で運用まで可能とするCPS(Cyber-Physical
- ・System)として、評価環境を構築・共有する。

WG1 基幹システムでの変革を支える枠組み

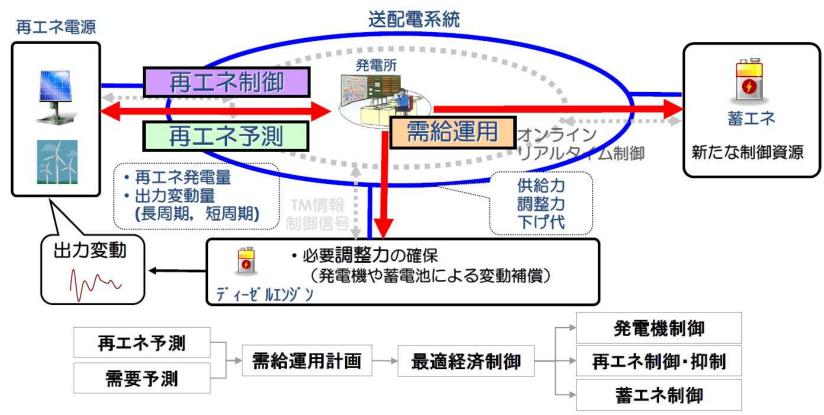
地域社会が持つ制御体系のデジタル連携

地域社会が持つ 制御体系の デジタル連携

- 基幹システムは複数の地域社会をつなぐ役割を果たし、地域 社会は多様な分散リソースから柔軟性を提供する必要がある。
- 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を 組み込み・実践していく必要がある。
- VPP(仮想発電所)、デマンドレスポンスや再エネのスマートインバータなどの 新しい制御技術が有効
- 火力・揚水発電の需給調整機能を、地域社会の電力制御でも分担することで、 既設システムのポテンシャルを利用し社会システムの費用対効果を最大化。
- 地域社会の膨大な設備を連携するITインフラの整備や、 効果を最大化する制御スキームもしくはインセンティブ等のルール構築が重要。 kW・ΔkW価値を地域社会に対して、直接・間接的に伝えて、 地域社会の調整力を活用する相互協調が必要

事例1 2030年のエネルギーミックスを模擬した電力系統の実証

- 2030年国内再工ネ導入比率を新島村の系統で模擬し、課題や解決策を検討。
- 再エネ出力予測・出力制御、既存電源や蓄電池との協調運用制御によって、 系統システムを構築・評価。余剰対策、変動緩和、計画発電を最適に組み合わせ。

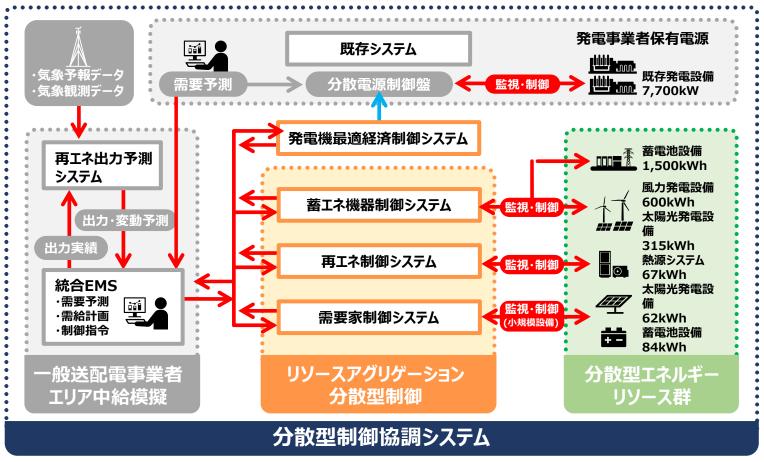


出展: NEDO「電力系統出力変動対応技術研究開発事業(II)予測技術系統運用シミュレーション」

http://www.nedo.go.jp/content/100802279.pdf

事例1 2030年のエネルギーミックスを模擬した電力系統の実証

● 電力システム改革によって将来想定されるリソースアグリゲーションやバランシング グループを想定して、複数の分散型制御システムの協調運用を実証。



EMS: Energy Management System

出典: 東京電力「2030年のエネルギーミックスを模擬した電力系統の実証試験を開始へ」

http://www.tepco.co.jp/pg/company/press-information/press/2017/1406851 8686.html

WG1 基幹システムでの変革を支える枠組み

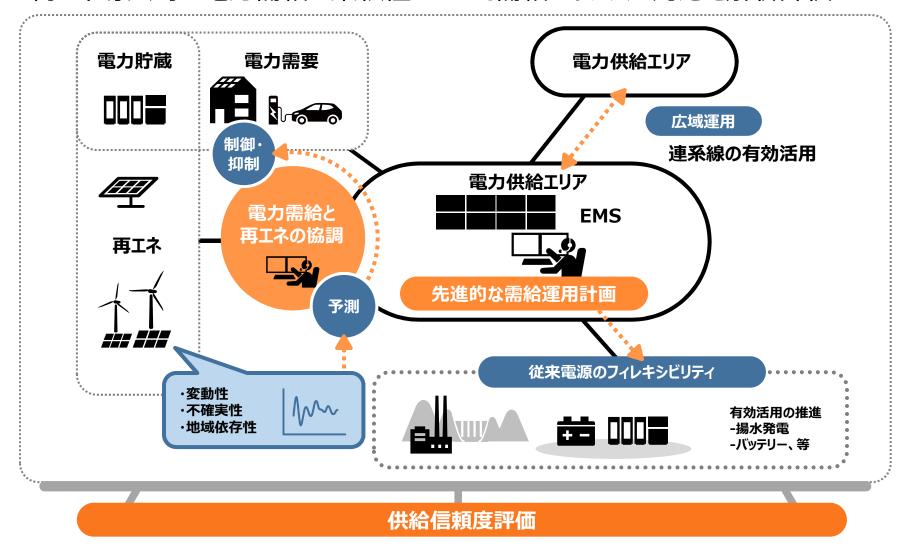
基幹システムの評価環境

基幹システムの 評価環境

- ・基幹システムに期待する役割を具現化するために、全体社会のエネルギーシステムを分析・評価できる環境を整える必要がある。
- ・産学官が協力し、解析ツールや標準データを開発・共有してプ ラットフォームを構築する。
- 2030年の電源構成や2050年のCO₂80%削減などの政府目標達成に向けて、 基幹システム・地域社会に加えて、例えばEV連系や水素変換・貯蔵なども含む 多様な将来シナリオについて、事業者や制度設計者などの様々の立場から 分析・評価できるオープンな環境を構築する。
- 評価ツールで様々なステークホルダがオープンに議論するためにデータの共有が必要。 政府主導でデータ共有の重要性を産学官の関係者で共有、データ開示・公開・ 共有に関するルール作りが必要。
- ●標準データは発電・需要・設備構成等の想定シナリオが実際に近い形で反映させる。 発電機固有の制御パラメータなど、知財面から公開困難な情報はカプセル化し、 詳細情報を秘匿した上で解析に利用できるような工夫する。

事例2 需給シミュレーションシステムの事例

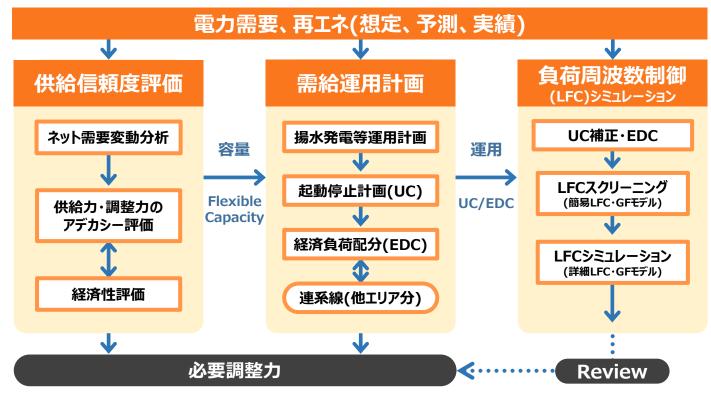
● 再エネ導入時の電力需給の柔軟性について需給バランスの対応を解析評価



出典: 田辺, 馬橋, 横山「再エネ大量導入検討のための電力需給解析シミュレータの開発」, H29電気学会全国大会, 1-H7-5.3

事例2 需給シミュレーションシステムの事例

- 再エネの変動性・不確実性・地域依存性に起因する秒オーダから年間・将来といった様々な時間的尺度において、電力需給にかかわる課題を評価可能。
- 火力発電の調整力、揚水発電・蓄電池等の電力貯蔵、さらには地域間連系など を組み合わせ、電力需給運用計画の高度化や調整力の信頼度基準を検討可能。



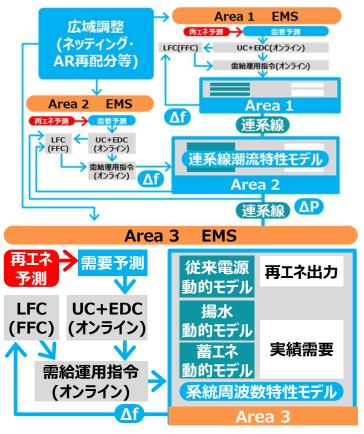
UC: Unit Commitment, EDC: Economic load Dispatching Control, LFC: Load Frequency Control, GF: Governor Free

出典: 田辺, 馬橋, 横山「再エネ大量導入検討のための電力需給解析シミュレータの開発」, H29電気学会全国大会, 1-H7-5.3

事例 2

需給シミュレーションシステムの事例

負荷周波数制御(LFC)シミュレーション 平常時の周波数・連系線潮流変動を詳細にシミュレーション 発電プラント、LFCなどのモデルを構築



項目	内容
使用言語・環境	MATLAB / Simulink
解析時間・刻み	数時間程度まで、刻みは1秒程度
運用状態	平常時運用(基準周波数±0.3Hz程度)
LFCモデル	エリア毎に、FFC、TBC制御ロジック(周波数・ARの平滑化、発電機への配分処理等)をモデル化
発電プラント モデル	例えば、汽力については、ボイラ系・プラント制御系を 考慮してモデル化。燃種の違いを考慮して定数を設定
需要・再エネ モデル	時系列データで入力。再エネ抑制・蓄エネ制御モデルを 考慮
周波数・連系線 モデル	 慣性モデルを使用(需給アンバランスと慣性からΔf 算出) 交流連系線潮流は連系するエリアの周波数が同一と なるように算出 直流系設備は平常時AFCロジックをモデル化
広域調整モデル	あるエリアの調整力が不足する場合に、各エリアのAR や基準連系線潮流POを再配分する機能など

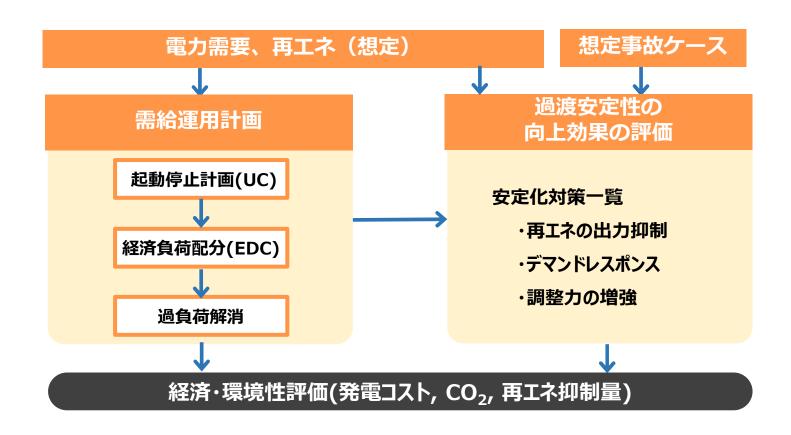
UC: Unit Commitment, EDC: Economic load Dispatching Control, LFC: Load Frequency Control, , GF: Governor Free,

EMS: Energy Management System, FFC: Flat Frequency Control, TBC: Tie line Bias Control, AFC: Automatic frequency control

出典: NEDO「電力系統出力変動対応技術研究開発事業(II)予測技術系統運用シミュレーション」http://www.nedo.go.jp/content/100802278.pdf 16

事例3 広域安定度シミュレータの事例

- 再エネ導入拡大に向けた各種施策に関し、技術の実現性および社会便益を評価
- 需給バランスに加え、系統各地の故障を想定した過渡安定性を考慮し再エネ導入 限界や出力抑制必要量を算出。評価指標は年間の発電コストやCO₂排出量。



事例3 広域安定度シミュレータの事例



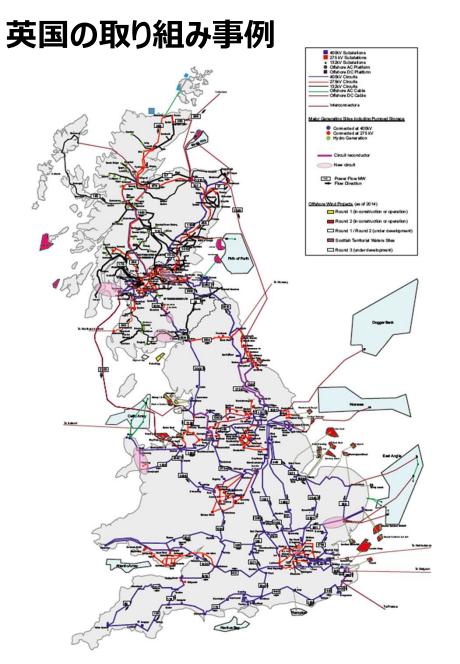
事例3 広域安定度シミュレータの事例

MOV1 MOV2 MOV3 MOV4

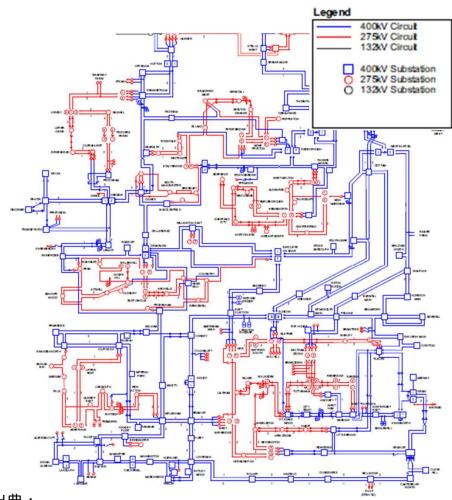
事例3 広域安定度シミュレータの事例

検討項目 ┃ 解析ツール、標準データを開発・共有してプラットフォームを構築

項目	理想像	現状
計算エンジン (過渡解析)	・オープンプログラム	・メーカ独自開発プログラム
系統・発電機 パラメータ	・実機性能に即したパラメータ (定数・制御系等) ・公開困難な情報のカプセル化	・公開情報からの推定パラメータ(電気学会標準モデル等)
需要量・再エネ 出力データ	•実観測値	・変電所規模での按分みなし値



英国National Gridでは、 系統構成や潮流状態などのデータが公開されており データ共有の一形態として参考となる。



出典:

https://www.nationalgrid.com/uk/publications/electricity-ten-year-statement-etys

英国の取り組み事例

◆Scottish Boundariesを対象とした検討事例

Figure B4.1
Geographic representation of boundary B4

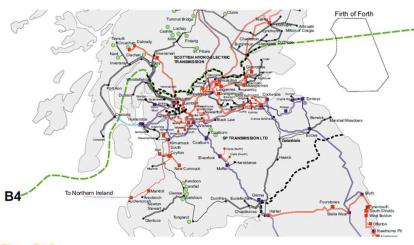
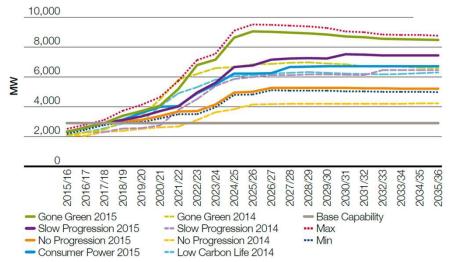


Figure B4.2
Required transfer and base capability for boundary B4



【B4】SHÉ Transmission to SP Transmission 現在は275kV以下の送電線のみで構成, 400kV送 電線を建設中。

← シナリオ毎の潮流を評価

北部に計画中の2.7GWのオフショアWF、 5.2GWのオンショアWFの発電電力は B4を通過して南部へ送電される

*
SHE Transmission:
Scottish Hydro Electric Transmission ,
SP Transmission:
Scottish Power Transmission

WG1 基幹システムでの変革を支える枠組み

サイバーフィジカルが融合する 評価プラットフォームへの進化

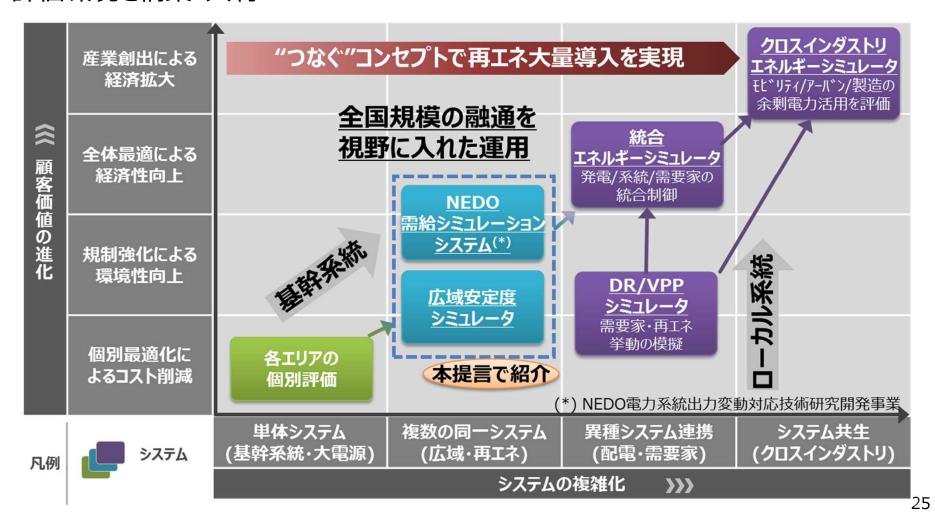
サイバーフィジカル が融合する 評価プラットフォーム への進化

個別のシミュレーションツールが連結し、リアルデータを取り込んでサイバー空間上で運用まで可能とするCPS(Cyber-Physical System)として、評価環境を構築・共有する。

- 基幹システムは、広域運用によって隣接する基幹システムと連携することによって、 全体最適化が進んで社会にもたらす価値を向上させている。
- 配電や需要家などとの連携も深まり、また、モビリティシステムなどとの連携など エネルギー産業以外とのクロスインダストリの融合へと複雑化していく。
- Society5.0の世界を支えるエネルギーシステムについて評価できる環境として 進化させることで、様々なステークホルダによって新たな世界を議論できる環境とする。

エネルギーシステム評価環境の進化

個別のシミュレーションツールから、それらが連結し、さらにリアルデータを取り込んでサイバー空間上で運用まで可能とするCPS(Cyber-Physical System)として、評価環境を構築・共有



まとめ

地域社会が持つ 制御体系の デジタル連携

- ・基幹システムは複数の地域社会をつなぐ役割を果たし,地域社会は 多様な分散リソースから柔軟性を提供する必要がある。
- ・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を 組み込み・実践していく必要がある。

事例 1 2030年を想定した模擬サイトでの電力系統の実証

基幹システムの 評価環境

- ・基幹システムに期待する役割を具現化するために、全体社会のエネルギーシステムを分析・評価できる環境を整える必要がある。
- ・産学官が協力し、解析ツールや標準データを開発・共有してプラット フォームを構築する。

事例2 事例3 基幹電力システム解析ツール参考事例

サイバーフィジカル が融合する 評価プラットフォーム への進化

- ・個別のシミュレーションツールが連結し、リアルデータを取り込んで
- ・サイバー空間上で運用まで可能とするCPS(Cyber-Physical
- ・System)として、評価環境を構築・共有する。





END

日立東大ラボ活動(エネルギー分野)のご紹介

Society 5.0 を支える電力システムの実現に向けて

Electricity Systems to Support Super Smart Society, Society 5.0

WG1 基幹システムでの変革を支える枠組み

横山 明彦

渡辺 雅浩

東京大学 新領域創生科学研究科教授

日立製作所 エネルギーマネジメント研究部

2018年4月18日