

H-UTokyo Lab.

日立東大ラボ 産学協創フォーラム
Society 5.0 を支えるエネルギーシステムの実現に向けて（第三回）

電力基幹システムの課題と2030年に向けたアクション

横山 明彦

**東京大学大学院
工学系研究科教授**

渡辺 雅浩

**日立製作所
エネルギーイノベーションセンタ 主管研究員**

2021年1月18日



2050年カーボンニュートラル達成の目標を受け提言内容を精査

第1・2版(CO₂e ▲80%)

シナリオ

- 再エネ主電源化を実現する
技術転換シナリオ
- 東大 技術選択モデルを活用した
技術転換シナリオの定量分析

基幹システム

- 再エネの主力電源化を実現するための
電力ネットワーク制御と強靱化
- 安定性まで考慮した電力システムの
評価プラットフォーム

地域社会

- 地域ごとに特色あるシステムが構築され、
新たな価値を流通
- 各種インフラ間における
データ共有と新サービス事業の創生

制度・政策

- 継続的投資を可能とする
パフォーマンス駆動型政策
- パフォーマンス駆動政策における
将来価値を反映する費用便益評価

カーボンニュートラルに向けた取り組み

- 2050年あるべき姿に向けた
全ドメイン参加のトランジションシナリオ
- 多様化する人々の価値観を踏まえた
エネルギーシステムにおける新たな価値

- 電力とともに、水素や新燃料まで考慮した
エネルギーバリューチェーン
- 上記エネルギーバリューチェーンの
統合運用/評価プラットフォーム

- 新しい価値の流通と脱炭素化に伴う
新規プレーヤやステークホルダの登場
- 価値を産むデータ共有を実現するための
コンセンサス・セキュリティ・トラスト

- グリーン成長戦略の実現に向けた
パフォーマンス駆動型政策の発展
- 市場原理に基づいて脱炭素を促進する
カーボンプライスなどの国際的枠組み

目次

1. エネルギーシステムのカーボンニュートラルへのシナリオ
2. 統合運用/評価プラットフォームを用いた評価事例
3. 提言

目次

1. エネルギーシステムのカーボンニュートラルへのシナリオ

2. 統合運用/評価プラットフォームを用いた評価事例

3. 提言

1-1. 2050年カーボンニュートラルへのグリーン成長戦略 (2020年12月 経済産業省より提示)



H-UTokyo Lab.

電化や水素・新燃料による化石燃料の代替を実現する社会全体のトランジションが必須
これらを支える再エネ大量導入・CO₂回収・新燃料技術、構造改革の移行プロセスが課題

【2050年カーボンニュートラルに伴うグリーン成長戦略】

当ラボにて抽出した
技術的課題

2018年

2030年ミックス

2050年

10.6億トン

9.3億トン
(▲25%)

排出 + 吸収で実質0トン
(▲100%)

(今後議論を深めていくための参考値。今後、
以下に限定せず複数のシナリオ分析を行う)

非
電
力

民生
1.1億トン

産業
3.0億トン

運輸
2.0億トン

民生
0.9億トン

産業
3.3億トン

運輸
1.5億トン

電化

電力需要 = 30~50%増

水素、メタネーション、合成燃料、バイオマス

化石燃料：CO₂回収・再利用の最大限活用

送配電インフラの整備

- 電力需要増への対応
- EV：約5000万台(*1)

- 水素など新燃料の流通
- メタネーションの確立

電
力

4.5億トン

3.6億トン

脱炭素電源

再エネ (50~60%)
原子力 (30~40%)
火力 + CCUS/カーボンサイクル (10%)
水素・アンモニア

既存の送電網が再エネを
受け入れられる限界

- 限界：1億kW(想定)
 - 2050年の太陽光・風力
合計：3億kW超 (*2)
- データセンタ(GW規模)等の需
要増に向けた再エネ追加

除炭
素

植林、
DACCSなど

※数値はエネルギー起源CO₂

*1 日立東大ラボにて算出

*2 グリーン成長戦略資料から
設備稼働率を想定して算出

1-2. 日立東大ラボ 技術転換シナリオ(第二版)の概要と グリーン成長戦略



技術転換シナリオではCO₂ 80%減に向け①電化②電源脱炭素化③効率化のシナリオを検討

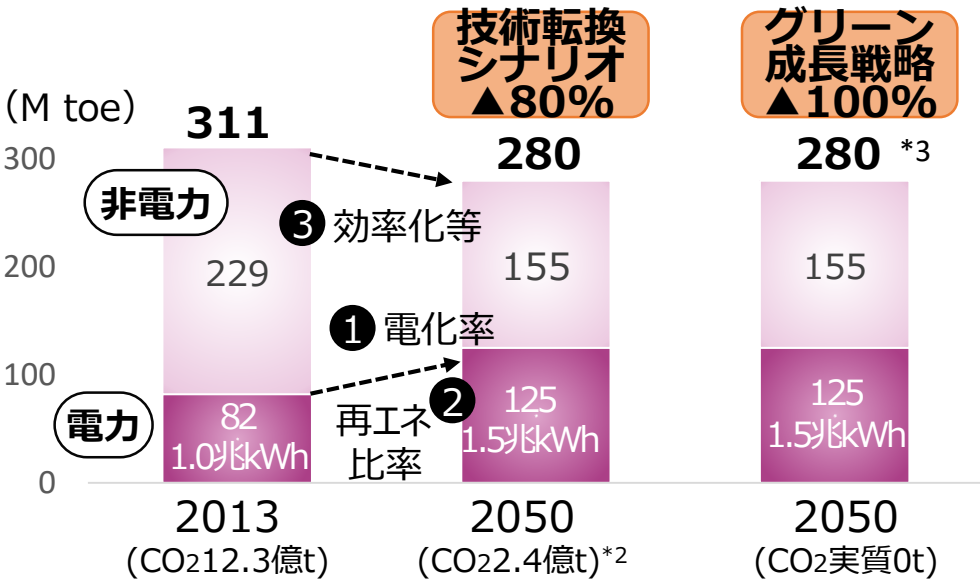
技術転換シナリオ *1

エネルギー需給 (対2013年)

- ① 電化率：26%→45%
- ② 再エネ比率：14%→77%
(VRE60%)
- ③ 効率化等：▲10%

3Eの状況 (対2013年)

環境：CO₂排出：▲80%
経済：脱炭素化と経済成長を両立
安定供給：維持 (自給率6%→45%)



*2 東大 藤井・小宮山研究室で開発されたモデルを使用して試算
*3 グリーン成長戦略をもとに日立東大ラボで推定

2050年	総需要	電力需要	再エネ	その他電源	CO ₂ 排出
技術転換シナリオ	280 M toe	1.5兆kWh (ZEV・HPの拡大など)	77% PV20% 風力40%	23% 原子力など	20% 産業12% 運輸6.5% 民生1.5%
グリーン成長戦略	280 M toe	1.5兆kWh (非電力の電化増)	50~60% PV14~16% 風力17~19%	40~50% 原子力、火力+CCUS 水素/アンモニア	実質0% 水素2000万t, CCUSなどの活用

*1 Utility 3.0 (次紙参照) の最大電化ケースでは電化率70%、再エネ55%相当としている (CO₂削減▲72%)

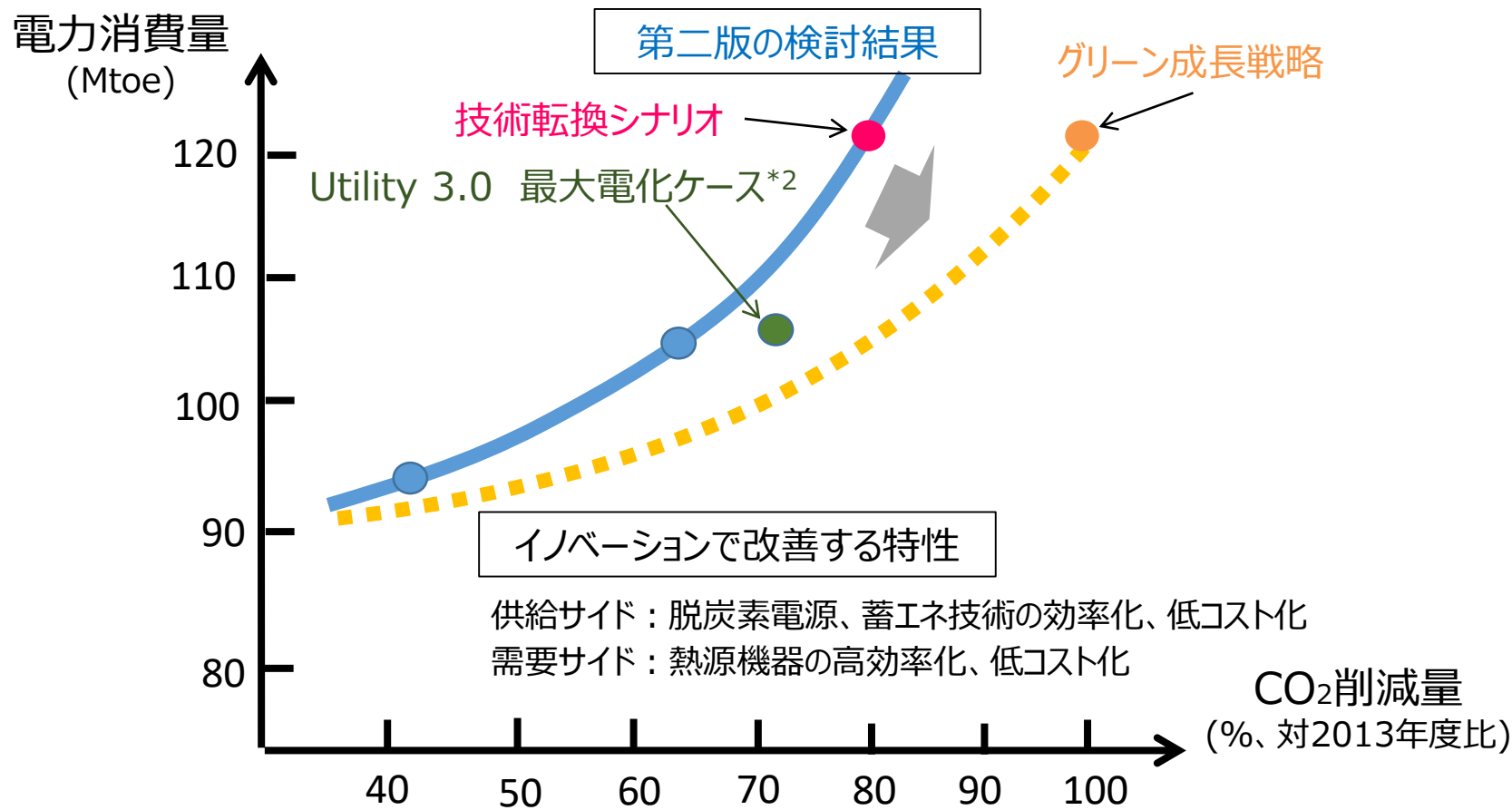
※VRE: Variable Renewable Energy, ZEV: Zero Emission Vehicle, HP: Heat Pump
CCUS: Carbon dioxide Capture, Utilization and Storage

1-3. 日立東大ラボ 技術転換シナリオ(第二版)の概要と グリーン成長戦略



H-UTokyo Lab.

CO₂削減目標が50%を超えると、特に産業界の電化で電力消費が一気に増え、それを抑制するイノベーションが必要となる



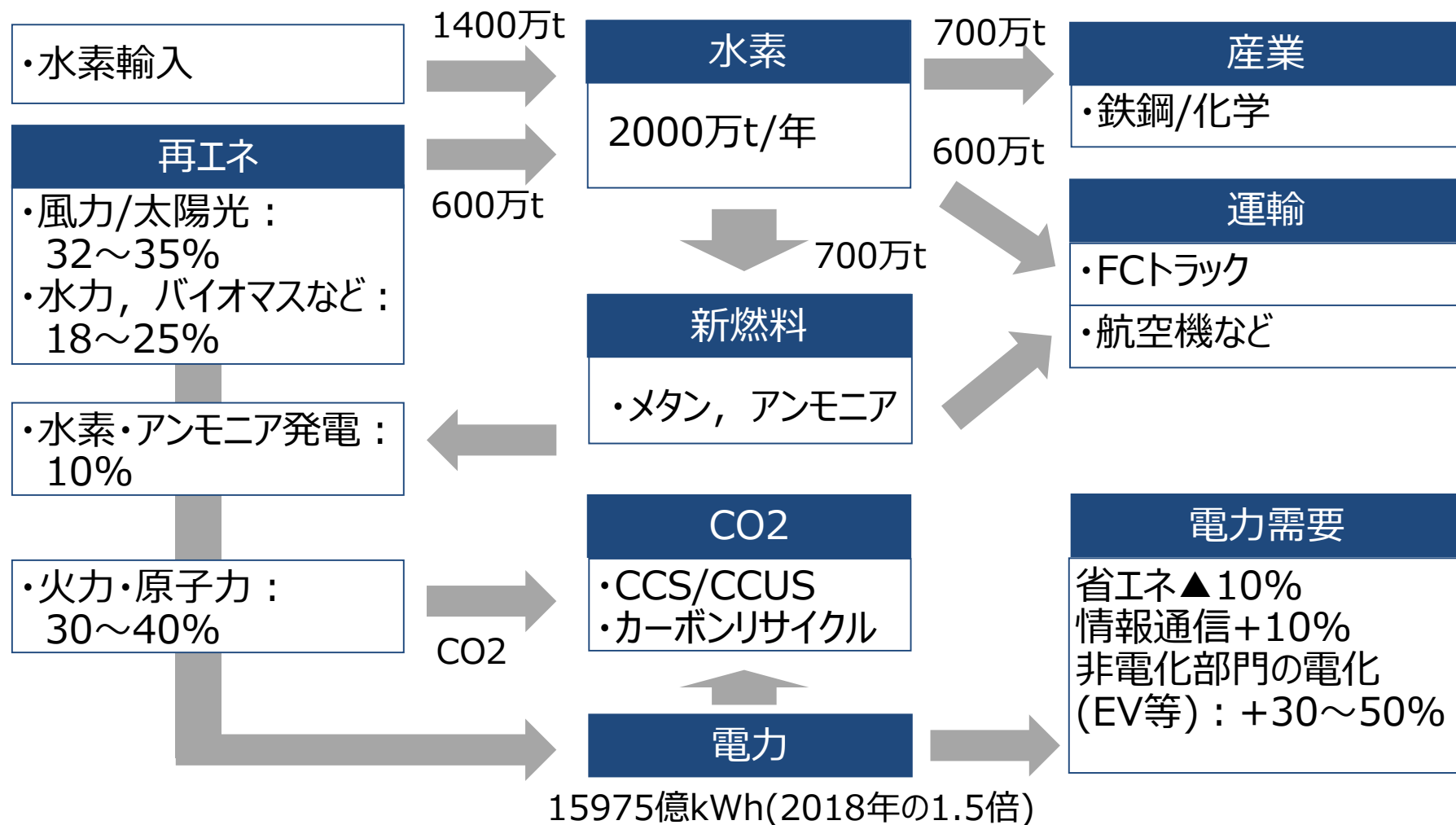
*1例えば小型の電気炉など相対的に効果が低い技術が拡大していくことが要因

*2「エネルギー産業の2050年 Utility3.0へのゲームチェンジ」(日本経済出版社)の検討ケース

1-4. 2050年カーボンニュートラルのエネルギー構成



再エネ電力による製造で不足する水素を輸入，新燃料とCCUSで既存発電を活用



※グリーン成長戦略資料を参考に日立東大ラボで試算

※CCUS: Carbon dioxide Capture, Utilization and Storage, FC: Fuel Cell

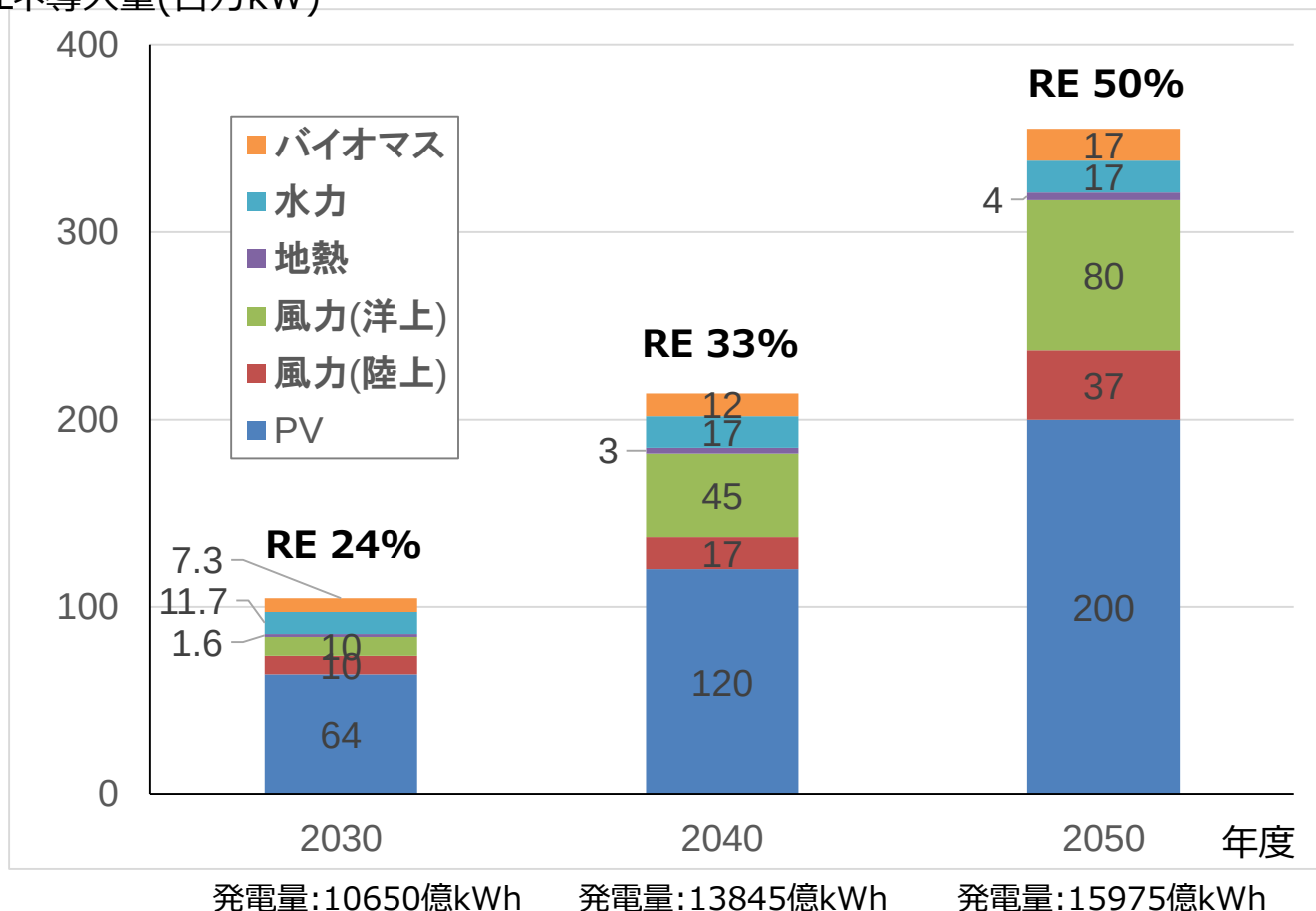
1-5. カーボンニュートラルに必要な再エネ導入量（概算）



H-UTokyo Lab.

2050年には非電力の電化や水素製造に対応するために
少なくとも2030年の3.5倍以上の再エネ設備導入が必要

再エネ導入量(百万kW)



※グリーン成長戦略資料から設備稼働率を想定して日立東大ラボで試算

参考： 経済産業省「2050年カーボンニュートラルに伴うグリーン成長戦略」令和2年12月25日
<https://www.meti.go.jp/press/2020/12/20201225012/20201225012-1.pdf>

※PV: Photovoltaic, RE: Renewable Energy

1-6. 技術転換シナリオに対する グリーン成長戦略のイノベーション

再エネ/電力貯蔵に加えて水素/新燃料やCCSイノベーションで産業・運輸も脱炭素化

No	項目	主な課題	イノベーション
1	再エネ増： 洋上風力	・市場の創出 ・インフラの整備	・コスト低減(8~9 円 /kWh@2030~2035年) ・風力発電適地と電力需要地を結ぶ系統整備 (直流送電)
2	自動車・蓄電池	・EV低価格化と インフラ整備 ・蓄電性能向上	・新車販売の電動車100%@2030年代半ば ・車載用電池パック1万円/kWh以下，家庭用蓄電池 システム7万円/kWh以下@2030年以前
3	水素	・発電・運輸利用， 水素還元製鉄 ・運搬，製造	・水素発電タービン，水素還元製鉄， FCTラック（1500万台@2050年） ・供給コスト20円/Nm ³ 以下， 導入量2000万トン@2050年
4	燃料アンモニア	・火力混焼 ・供給	・石炭火力のアンモニア混焼率向上・専焼化 ・アンモニア供給(2050年に1億トン， 天然ガスを下回る価格@2030年)
5	カーボンリサイクル	・排気中CO ₂ 分離 回収低コスト化	・分離回収コスト(/CO ₂ t)： 低圧ガス 2 千円台・高圧ガス千円台@2030年， DAC 2 千円台@2050年

以下，カーボンニュートラル実現の上で重要な役割を担う電力システムの課題と対応策を検討する

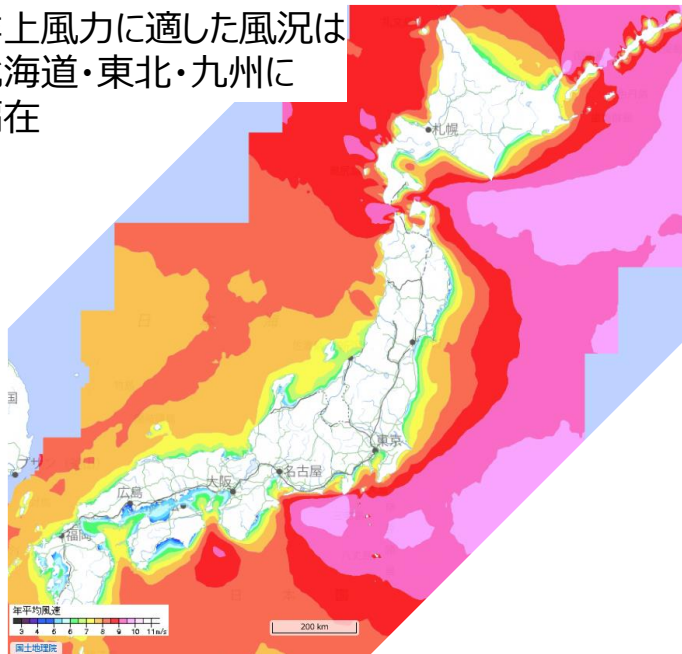


太陽光・風力などの再エネ主電源化に向けた課題解決が必須

エネルギー流通面

- (1) 風力発電の適地は偏在しているため
(北海道・東北・九州など)
大消費地へのエネルギー輸送が必要
- (2) 再エネ近傍での貯蔵・活用が必要
→ 「空間ミスマッチ」の課題

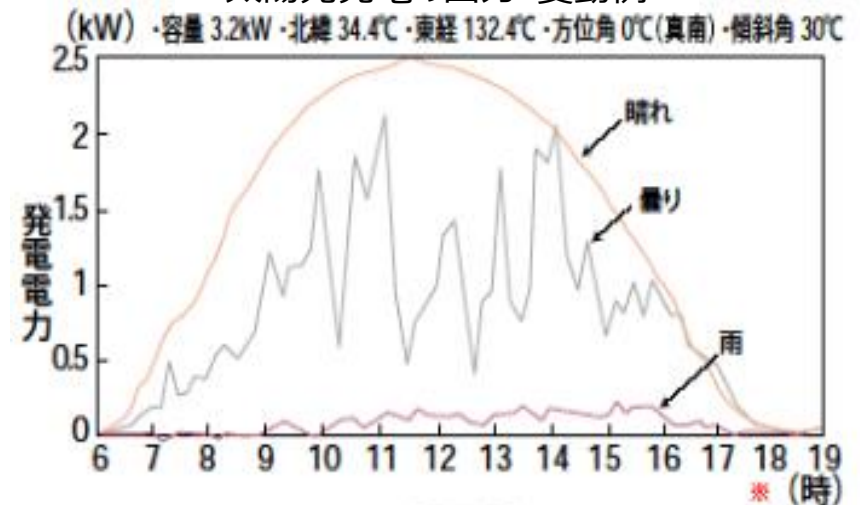
洋上風力に適した風況は
北海道・東北・九州に
偏在



需要と供給のバランス面

- (1) 太陽光発電は昼間に一斉に発電
ピークが生じるため、電力の貯蔵や
需要の昼間へのシフトが必要
→ 「時間ミスマッチ」の課題

太陽光発電の出力・変動例



1-8. 電力基幹システムのトランジション(2)：地域偏在

北海道、東北、九州では最大需要の4倍以上のVRE（風力・太陽光）が導入
発電立地の地域偏在を解消していくと共に、需要立地の誘導や基幹システム再構築が必要

百万kW

2050年 最大電力需要

百万kW

2050年 再エネ導入量(設備容量)
(風力 + 太陽光：計3億1700万kW)

百万kW

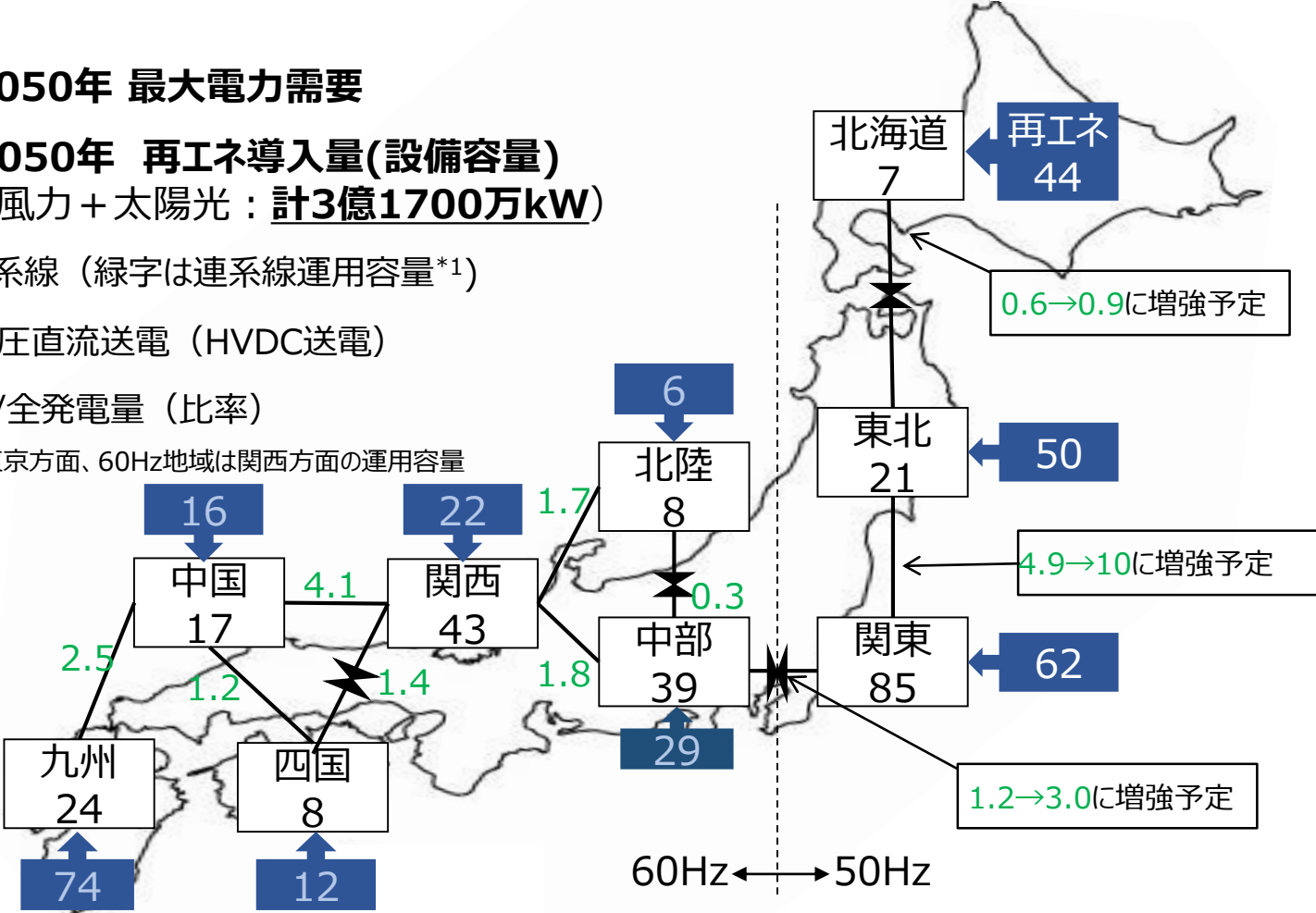
連系線（緑字は連系線運用容量*1）



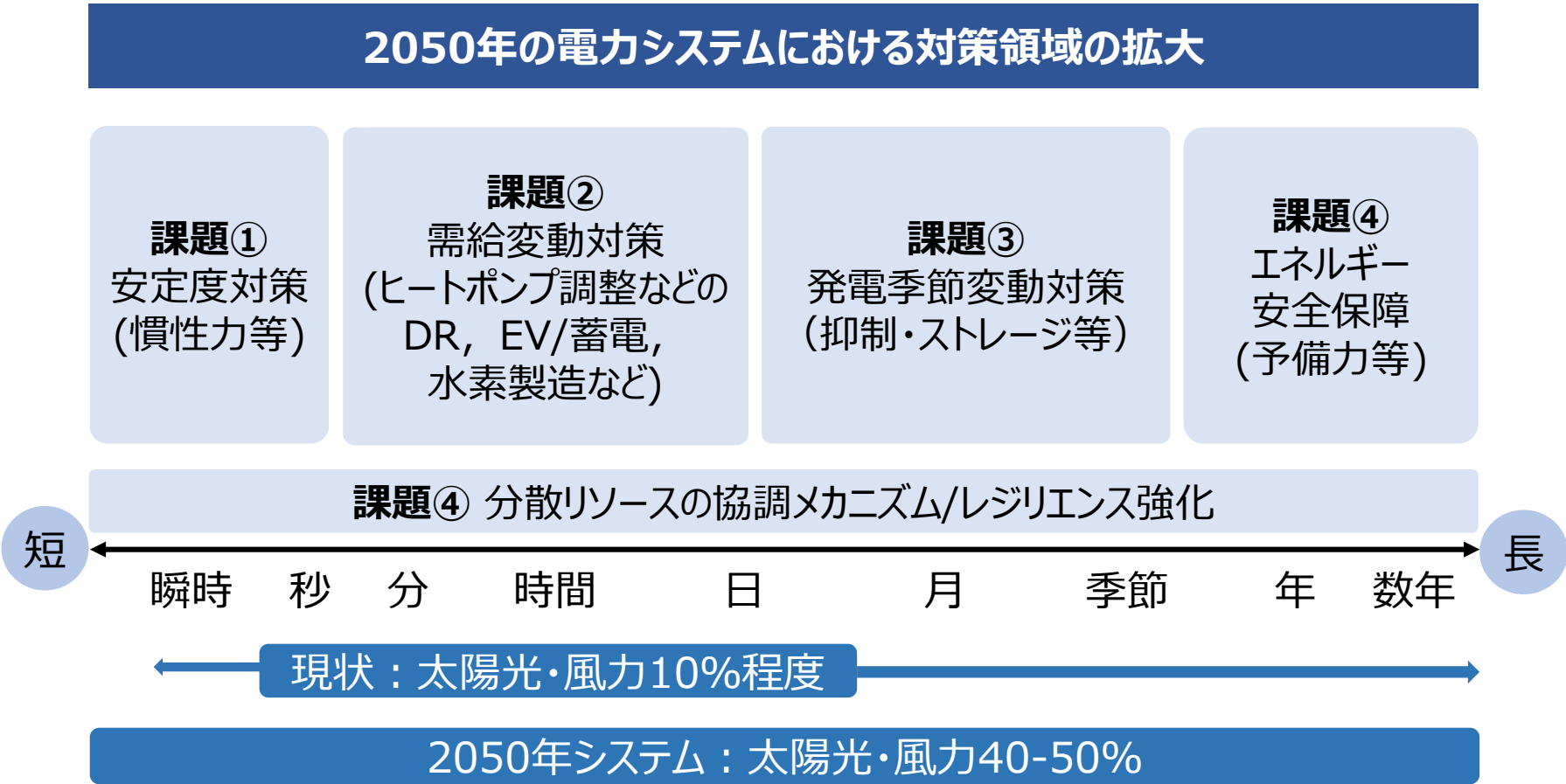
高压直流送電（HVDC送電）

※再エネ発電量/全発電量（比率）

*1：50Hz地域は東京方面、60Hz地域は関西方面の運用容量
(2017年度)



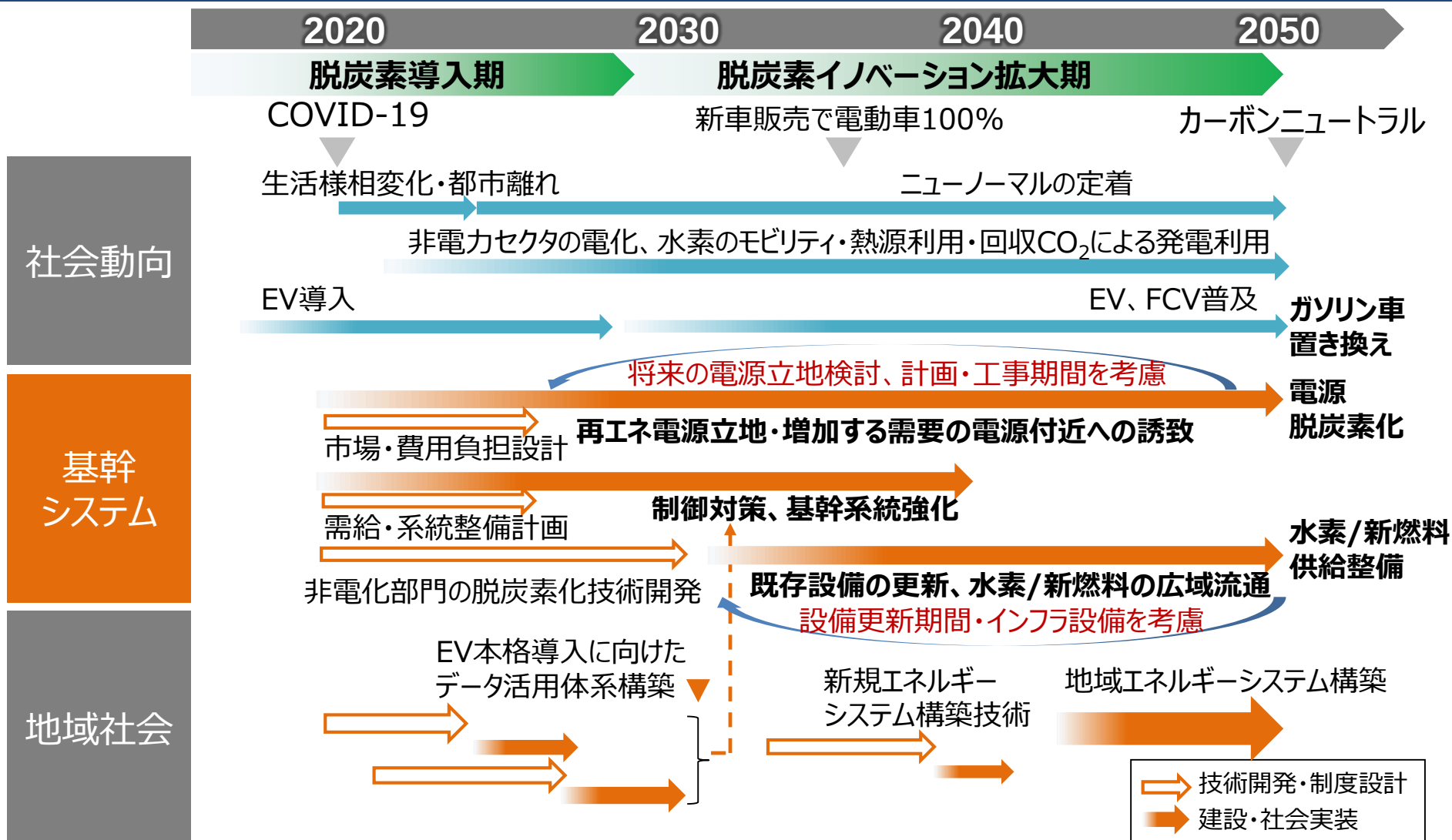
風力＋太陽光発電の時間的ギャップの課題についてシステム全体で対応する必要がある



1-10. 2030年へのバックキャスト



リードタイムを考慮した電源計画，脱炭素エネルギーインフラ，系統強化の早期着手が必要



再エネ増・電化電動化に対応して、基幹電力システムの最大限の活用が重要

No	想定される課題	対策	内容（機能，効果）
1	太陽光・風力など慣性の無い再エネの増大による 電力系統の不安定化	・再エネ疑似慣性制御や 回転型発電機の活用	・再エネ変換器制御による疑似慣性提供 ・廃止回転機の同期調相機化による 慣性の供給
2	系統に供給できない 再エネからの 余剰電力 の 活用	・水素や新燃料の活用	・余剰電力を再エネ近隣で水素に変換， 現地でFCトラック等へ供給し偏在緩和 ・水素利用による受電電力の低減
3	電力系統の広域に渡る 電力融通量の限界	・直流(多端子)送電網の 増設	・洋上風力等の電力を需要地まで HVDCにより長距離大電力送電
4	再エネ適地と需要地が 一致せず ，送電網の 増強が必要	・立地誘導	・再エネ電源と需要(水素製造など)を 隣接するように誘致
5	情報通信機器の急増で 電力消費量増大	・情報通信機器を 構成する半導体の 損失低減	・SiC，GaNに続く低損失な半導体技術の 開発と活用，必要な発電量の低減

以下，1～4の基幹システムの課題に対する主な対策効果の評価事例を示す

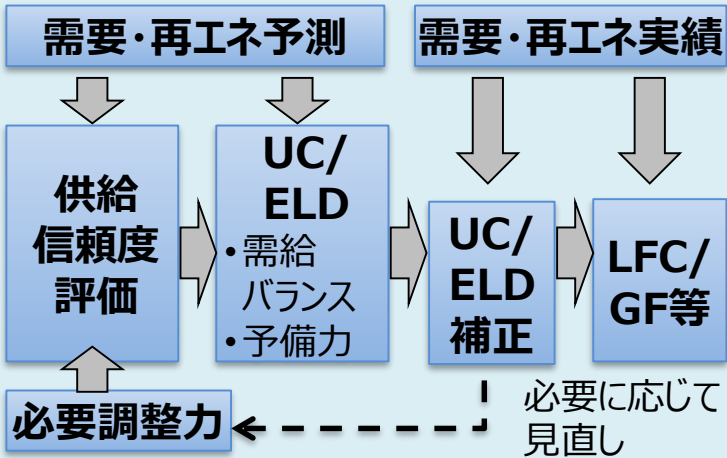
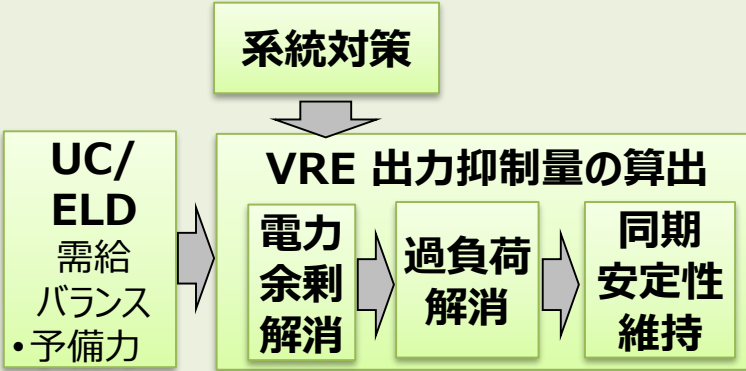
目次

1. エネルギーシステムのカーボンニュートラルへのシナリオ

2. 統合運用/評価プラットフォームを用いた評価事例

3. 提言

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便益を評価

	NEDO需給シミュレーション(*)	広域安定度シミュレータ
開発者	NEDO需給シミュレーションWG 研究統括：東大 横山明彦 教授	日立
目的	再エネの出力予測(風力ランプ変動含む)や調整電源の最適運用を統合的に評価する広域需給シミュレータ	再エネ導入拡大に向けた各種施策を技術・便益の観点で評価する広域系統の安定度シミュレータ
機能ブロック	 需要・再エネ予測、需要・再エネ実績の2つの入力がある。需要・再エネ予測は供給信頼度評価、UC/ELD（需給バランス・予備力）の順に進む。需要・再エネ実績はUC/ELD補正、LFC/GF等の順に進む。供給信頼度評価からはUC/ELDへ、UC/ELDからはUC/ELD補正へ、UC/ELD補正からはLFC/GF等へ矢印が伸びる。また、UC/ELD補正からは必要調整力へ矢印が伸びる。必要調整力からは供給信頼度評価へ矢印が伸びる。必要に応じて見直しという注釈がある。	 系統対策の1つの入力がある。系統対策からはVRE出力抑制量の算出へ矢印が伸びる。VRE出力抑制量の算出からは電力余剰解消、過負荷解消、同期安定性維持の順に進む。また、電力余剰解消からは過負荷解消へ、過負荷解消からは同期安定性維持へ矢印が伸びる。
解析対象	東日本全域レベル	東日本全域レベル

(*) NEDO電力系統出力変動対応技術研究開発事業

UC: Unit Commitment , ELD: Economic Load Dispatch, LFC: Load Frequency Control, VRE: Variable Renewable Energy

2-2. 検討に用いる解析モデル

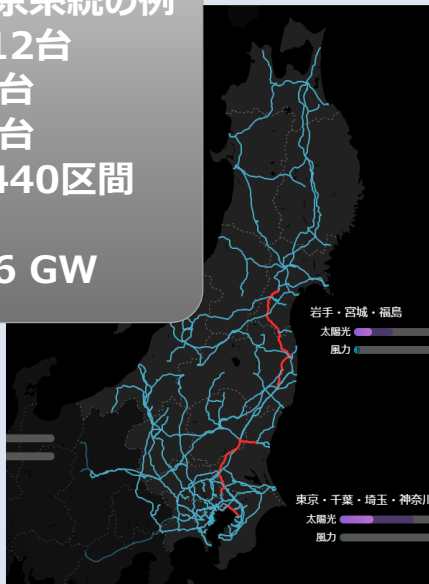


需給バランスとともに、系統安定性を考慮したシミュレータで各種対策を定量評価

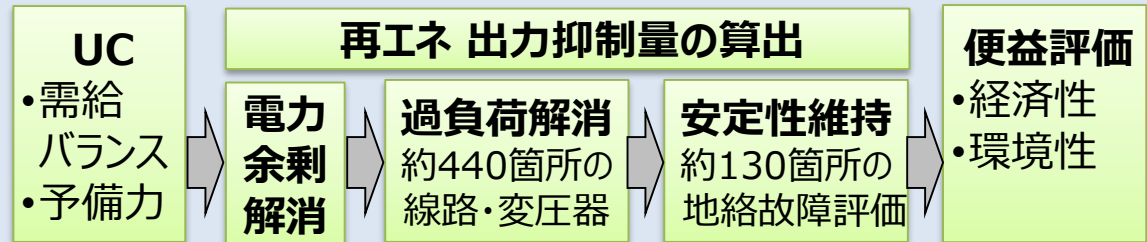
狙い

- 再エネを含む系統の現象を検討するため、系統構成などの解析モデルを公開情報から構築

東北・東京系統の例
原子力 12台
火力 29台
揚水 12台
送電線 440区間
需要
33~66 GW



シミュレーション手法



#	項目	前提・制約条件
1	発電	・発電機定数/AVR/PSS/ガバナは電気学会・電協研モデルを適用
2	需要	・2018年公表値(8760時間)を比例倍して各年度需要を設定
2	VRE	・FRT: 系統連系規程で模擬 ・再エネ発電量: 2018年実績値と将来導入予測量 ^{[1][2]} から算出
3	系統	・2030年を想定し(OCCTO計画)、275kV以上を公開データよりモデル化, 66kV以下は縮約
4	揚水	・全13.2GWをVRE対策に使用
5	故障	・主要幹線での6LG-Oを想定

[1]洋上風力産業ビジョン: https://www.meti.go.jp/shingikai/energy_environment/yojo_furyoku/pdf/002_02_01.pdf

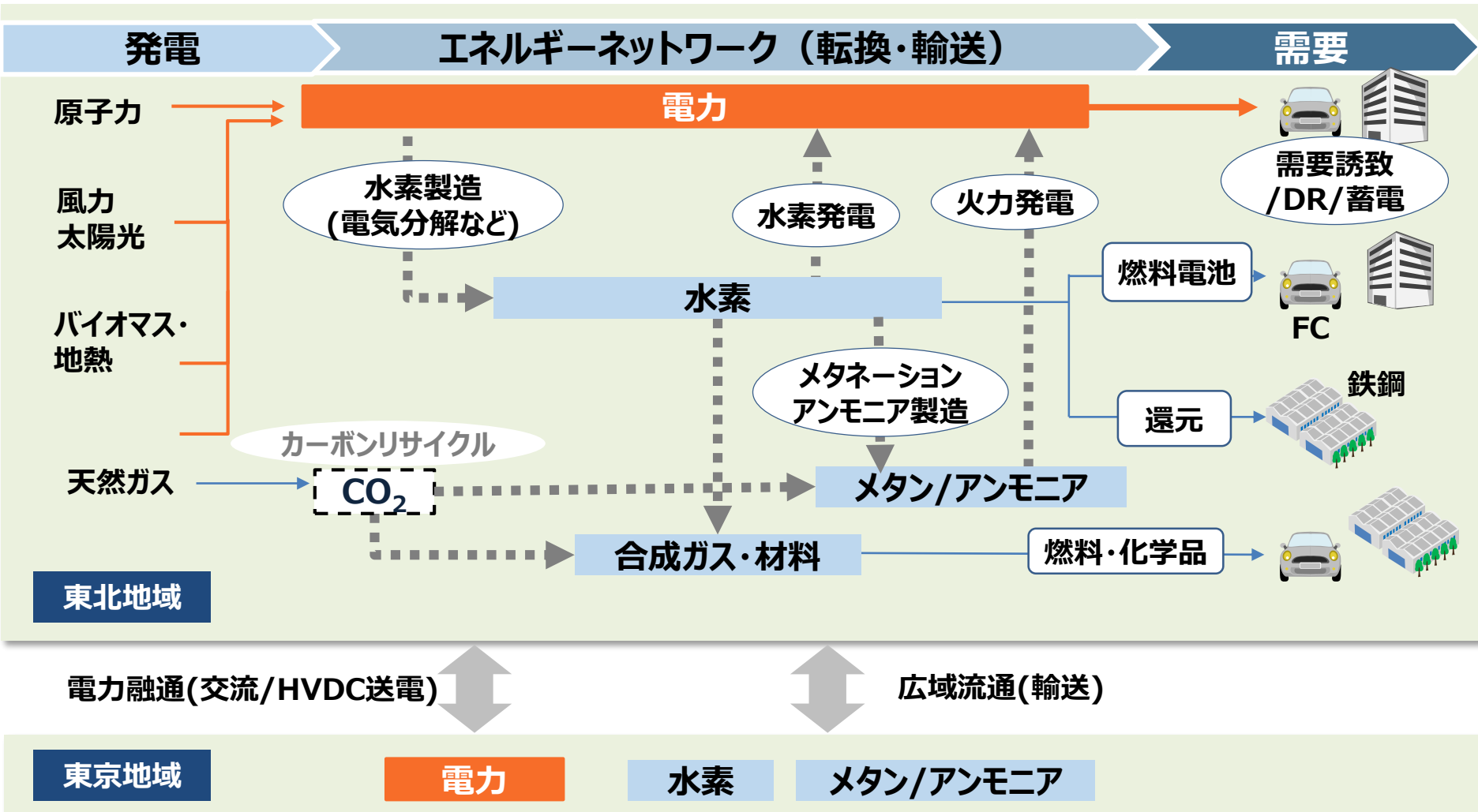
[2]技術発展を考慮した地域別の太陽光発電導入量推計: <https://www.jst.go.jp/lcs/pdf/fy2014-pp-13.pdf>

2-3. 基幹エネルギーシステムへの拡張



H-UTokyo Lab.

各地域で需要に合わせて電力/水素を供給，余剰分を他地域と融通

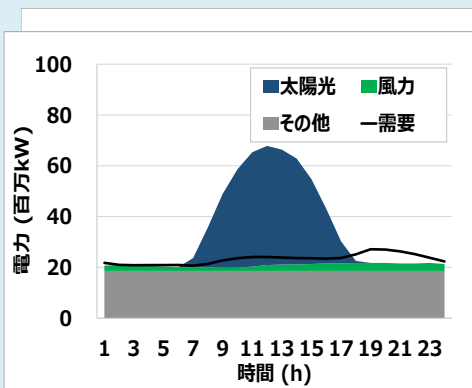


2-4. 評価プラットフォームの構成概要

再エネや需要の年間データから余剰電力を算出し、抑制量や必要設備量を算出

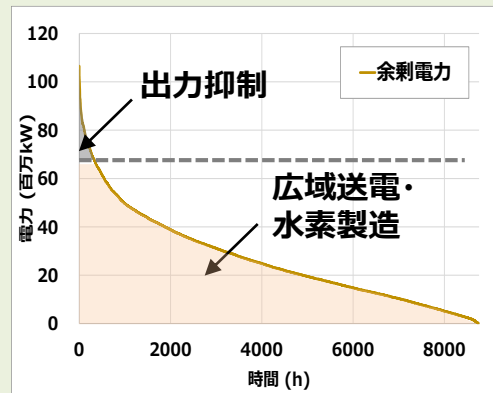
入力データ

- 再エネ比率の目安
- 電力需要の目安
- 水素製造必要量の目安
- 再エネ出力年間データ
- その他電源出力年間データ
- 電力需要年間データ



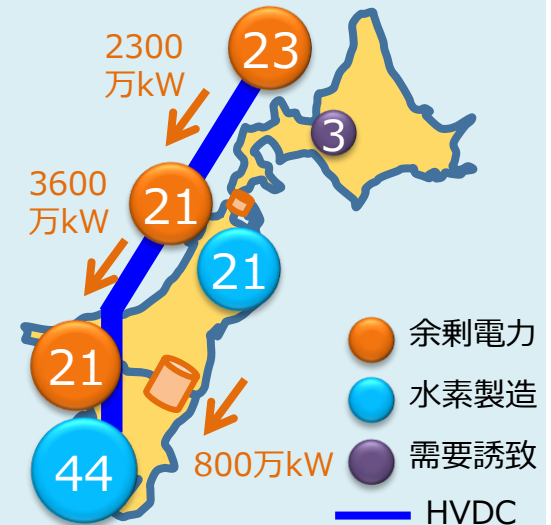
評価計算

- エリア毎に余剰電力を算出して抑制量や水素製造量、広域送電量を算出
- 系統解析で系統安定性や送電限界を評価

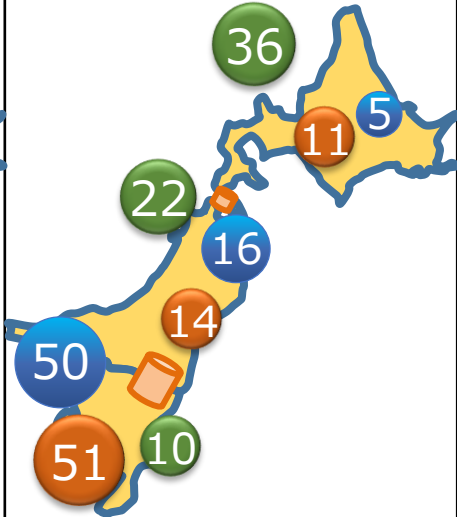


出力データ

- 余剰電力量
- 再エネ抑制量
- 需要誘致量
- 水素製造設備容量
- 新設HVDC容量
- 広域融通量



再エネ導入の進む北海道・東日本を対象に
再エネ導入量および地域偏在解消のための必要対策を試算

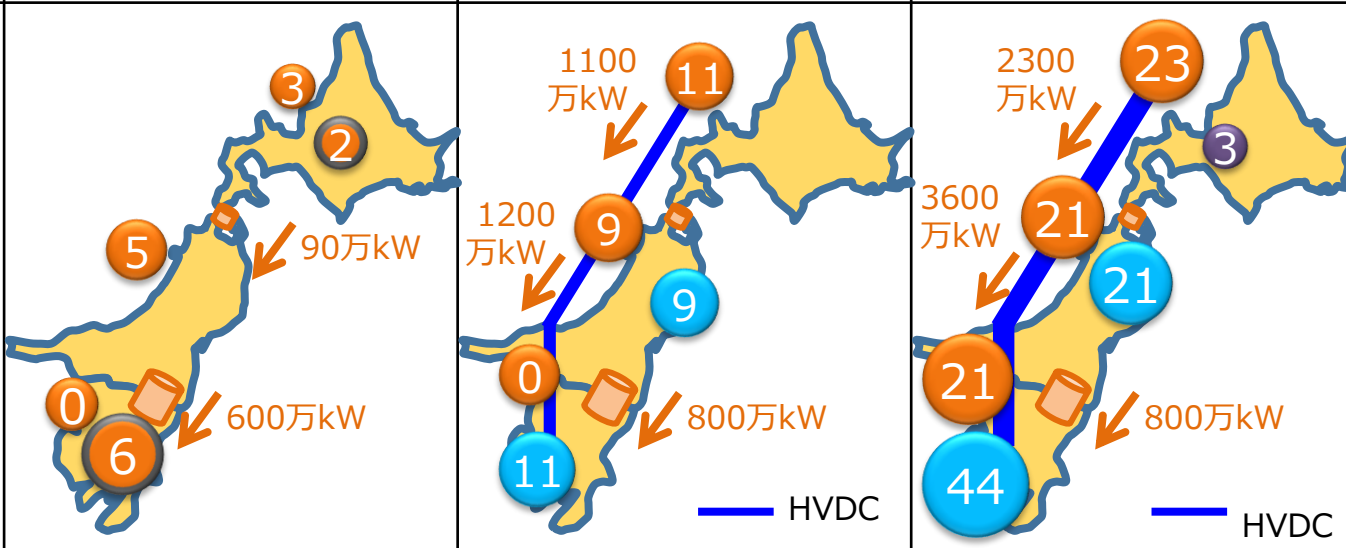
時期		2030年	2040年	2050年
前提条件	電力需要	2018年と同等	1.2倍*3)	1.5倍*1)
	水素需要(万トン)	0*3)	100*3)	300*2)
発電量におけるRE比率(%)		24	35	57
北海道・東北・東京エリアのVRE設備容量・需要の分布				
				
				

想定：*1)経済産業省「2050年カーボンニュートラルに伴うグリーン成長戦略」令和2年12月25日、*2)1)に基づき東日本は日本全体の半分と仮定、*3)*1)に基づき推定
参考資料：資源エネルギー庁「洋上風力産業ビジョン」2020年12月、https://www.meti.go.jp/shingikai/energy_environment/yojo_furyoku/002.html
AIMプロジェクトチーム「2050年脱炭素社会実現の姿に関する一試算」2020年12月、
https://www.enecho.meti.go.jp/committee/council/basic_policy_subcommittee/034/034_004.pdf
VRE: Variable Renewable Energy, RE: Renewable Energy, HVDC: High Voltage Direct Current

© H-UTokyo Lab. 2021. All rights reserved. 20

2040～2050年に向けて大規模な水素製造設備，再エネ電力の送電設備が必要

・再エネ余剰電力の大きい時間帯の状態を概算（再エネ発電量の5%/年程度出力抑制実施）

時期		2030年(昼間)	2040年(昼間)	2050年(昼間)
発電	VRE(万kW)	1700	4100	9600
	余剰電力(万kW)	800	2000	6500
対策例	水素製造(百万kW)	0	20	65*2)
	需要誘致(万kW) *1)	0	0	3
	新設HVDC(万kW)	0	1200	3600
北海道・東京・東北エリアの余剰電力・対策分布				

※電圧維持などの安定化対策，過負荷解消などの系統対策は別途必要

想定：*1)関東需要を北海道に誘致と仮定、*2)2020年比で製造効率1.3倍と仮定、
DR: Demand Response, VRE: Variable Renewable Energy, RE: Renewable Energy,
HVDC: High Voltage Direct Current

2030年：

・計画されている交流送電網の強化（電圧安定化・同期安定化制御），
広域融通，デマンドレスポンスなどの対策で再エネ24%の導入に対応可能。

・再エネ余剰電力の大きい時間帯の状態を概算（再エネ発電量の5%/年程度出力抑制実施）

時期		2030年(昼間)	2040年(昼間)	2050年(昼間)
発電	VRE(万kW)	1700	4100	9600
	余剰電力(万kW)	800	2000	6500
対策例	水素製造(百万kW)	0	20	65*2)
	需要誘致(万kW) *1)	0	0	3
	新設HVDC(万kW)	0	1200	3600
北海道・東京・東北エリアの 余剰電力・対策分布		○ 余剰電力 ● 水素製造 ● 需要誘致 ● DR+揚水蓄電 ※出力/消費電力 (百万kW) 2030年(昼間): 余剰電力 800万kW, 水素製造 0, 需要誘致 0, DR+揚水蓄電 0. 出力/消費電力: 90万kW, 600万kW. 2040年(昼間): 余剰電力 2000万kW, 水素製造 1100万kW, 需要誘致 0, DR+揚水蓄電 1200万kW. 出力/消費電力: 1100万kW, 1200万kW, 800万kW. 2050年(昼間): 余剰電力 6500万kW, 水素製造 2300万kW, 需要誘致 3600万kW, DR+揚水蓄電 800万kW. 出力/消費電力: 2300万kW, 3600万kW, 800万kW.		

※電圧維持などの安定化対策，過負荷解消などの系統対策は別途必要

想定：*1)関東需要を北海道に誘致と仮定、*2)2020年比で製造効率1.3倍と仮定、
DR: Demand Response, VRE: Variable Renewable Energy, RE: Renewable Energy,
HVDC: High Voltage Direct Current

2040年：

- ・既存の交流系統の能力を超えた量の再エネが導入される。
- ・洋上風力などの再エネ発電をHVDC送電で需要地に送るとともに、再エネ近傍で水素製造によりFCトラック等への供給やエネルギー貯蔵に活用。

時期		2030年(昼間)	2040年(昼間)	2050年(昼間)
発電	VRE(万kW)	1700	4100	9600
	余剰電力(万kW)	800	2000	6500
対策例	水素製造(百万kW)	0	20	65*2)
	需要誘致(万kW) *1)	0	0	3
	新設HVDC(万kW)	0	1200	3600
北海道・東京・東北エリアの余剰電力・対策分布				
● 余剰電力 ● 水素製造 ● 需要誘致 ● DR+揚水蓄電 ※出力/消費電力 (百万kW)				

※電圧維持などの安定化対策，過負荷解消などの系統対策は別途必要

想定：*1)関東需要を北海道に誘致と仮定、*2)2020年比で製造効率1.3倍と仮定、
 DR: Demand Response, VRE: Variable Renewable Energy, RE: Renewable Energy,
 HVDC: High Voltage Direct Current

2050年：

- ・更なる再エネの導入により，600万トンの水素製造の電源を供給。
- ・水素利用を需要近傍とするためのHVDC送電の更なる増強が必要。

・再エネ余剰電力の大きい時間帯の状態を概算（再エネ発電量の5%/年程度出力抑制実施）

時期		2030年(昼間)	2040年(昼間)	2050年(昼間)
発電	VRE(万kW)	1700	4100	9600
	余剰電力(万kW)	800	2000	6500
対策例	水素製造(百万kW)	0	20	65*2)
	需要誘致(万kW) *1)	0	0	3
	新設HVDC(万kW)	0	1200	3600
北海道・東京・東北エリアの余剰電力・対策分布				
● 余剰電力 ● 水素製造 ● 需要誘致 ● DR+揚水蓄電 ※出力/消費電力 (百万kW)				

※電圧維持などの安定化対策，過負荷解消などの系統対策は別途必要

想定：*1)関東需要を北海道に誘致と仮定、*2)2020年比で製造効率1.3倍と仮定、
 DR: Demand Response, VRE: Variable Renewable Energy, RE: Renewable Energy,
 HVDC: High Voltage Direct Current



2030年：

- ・計画されている交流送電網の強化（電圧安定化・同期安定化制御），広域融通，デマンドレスポンスなどの対策で再エネ24%の導入に対応可能

2040年：

- ・既存の交流系統の能力を超えた量の再エネが導入される。
- ・洋上風力などの再エネ発電をHVDC送電で需要地に送るとともに，再エネ近傍で水素製造によりFCトラック等への供給やエネルギー貯蔵に活用

2050年：

- ・更なる再エネの導入により，600万トンの水素製造の電源を供給。
- ・水素利用を需要近傍とするためのHVDC送電の更なる増強が必要。



カーボンニュートラル達成には再エネ導入に加えて水素や新燃料まで考慮したエネルギーバリューチェーンの構築が必要

- (1) CO₂80%減の技術転換シナリオから，産業・運輸の脱炭素化を輸入を含む水素利用，既存発電と新燃料・CCUSの組み合わせ，地域社会とのエネルギー運用制御連携によって実現をめざす。**
- (2) カーボンニュートラルに向けて電力・非電力エネルギーの偏在を解決するエネルギーネットワークの構築が必要であり，電源や需要配置の計画，水素利用・流通設備の計画，鉄鋼・化学の脱炭素化技術開発推進が，2030年に向けて重要。**
- (3) エネルギーバリューチェーン構成検討，ステークホルダー合意形成，制度政策立案には定量的評価が可能な統合運用/評価プラットフォームの構築とデータ共有が必要。例題による試算から，2030年を超えると再エネ余剰電力を利用できる水素製造設備構築と利用が必須となる。**



基幹システムの課題：流通整備と電力・非電力連携による産業の脱炭素化

部門	項目	CO ₂ 排出Mt (電化率)		2050カーボンニュートラル	
		2030	2050	イノベーション・投資	制度・政策
産業	電力	462	0.21	再エネ余剰電力を水素製造/DR/蓄電で吸収, 原子力/火力+CCSで電力量・慣性確保, 送配電強化で混雑解消	レベニューキャップでの脱炭素投資枠組み, ノードルプライスなどで再エネ立地調整
	鉄鋼	110 (14%)	59 (21%)	電炉への転換, 高炉による水素還元, 水素発生事業者連携支援	鋼板利用者のCO ₂ 低減分担, 業界間の水素流通連携
	化学	33 (9%)	21 (9%)	反応熱利用、炭素循環、CCUS、 水素/アンモニア活用, コンビナート連携マネージメント技術	コンビナート再編支援(電化・デジタル化), CCUS技術開発助成制度
	パルプ	4.9 (42%)	2.6 (46%)	副生物燃料活用(バイオなど), パルプ活用によるネガティブエミッション製品 (セルロースナノファイバ等)	セルロース高度活用技術への投資
産業	セメント	2.8 (55%)	2.1 (55%)	キルン製造(乾燥プロセス)効率向上, CO ₂ 原料利用, バイオマスなどの 代替燃料活用	EMC製造などCO ₂ 削減プロセス開発への助 成



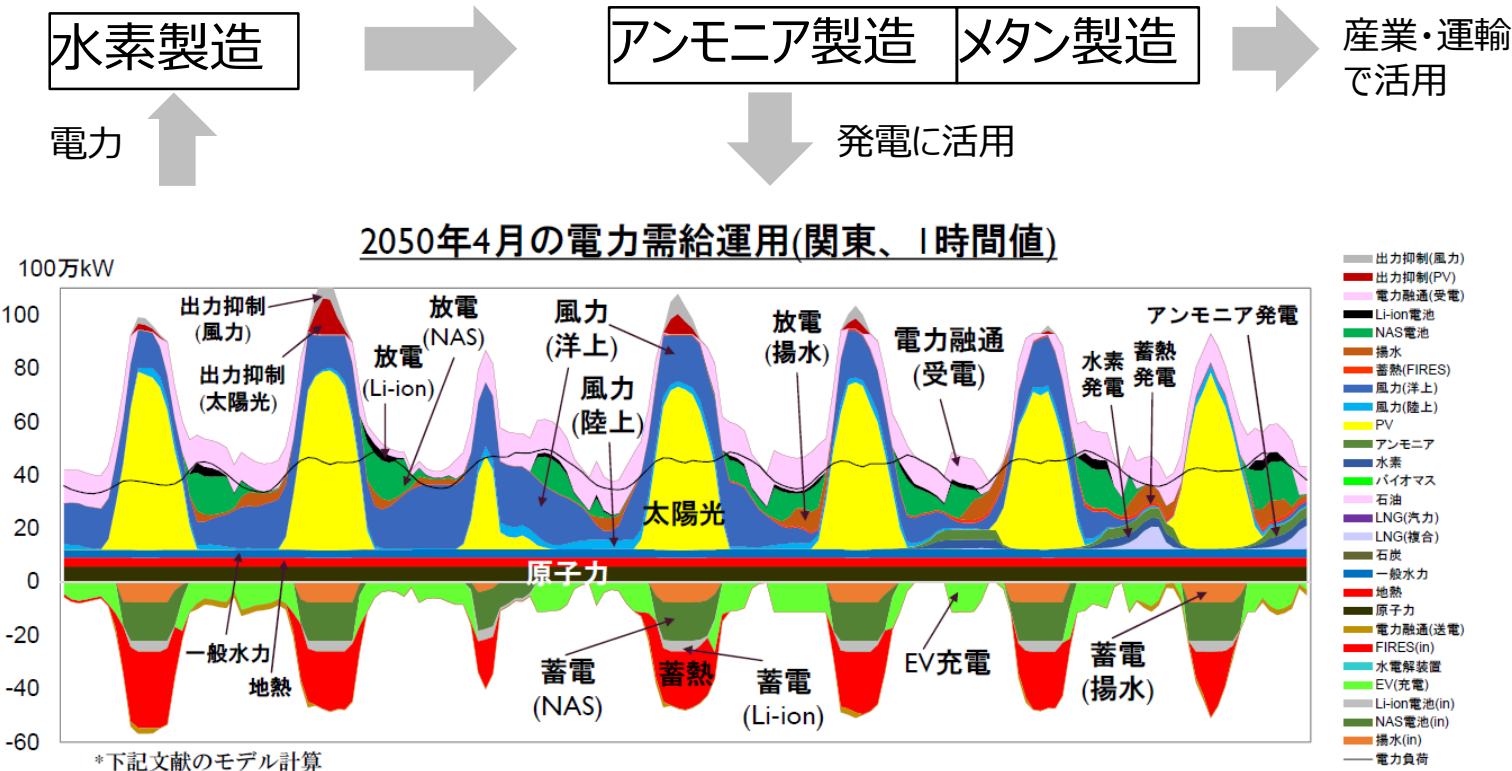
地域社会の課題：電化・電動化，メタネーションによる脱炭素化

部門	項目	CO ₂ 排出Mt (電化率)		2050カーボンニュートラル	
		2030	2050	イノベーション・投資	制度・政策
産業	その他 ボイラー	38 (0%)	33 (0%)	小・中容量の電化、大容量のメタネーション	電化支援の機器別電力料金制度、 パイプライン整備補助
	その他 加熱炉	58 (0.3%)	5.8 (73%)	電気炉への転換	電化支援の機器別電力料金制度 パイプライン整備補助
運輸	貨物	103 (1.9%)	45 (43%)	短距離車(HEV/PHEV含む)のEV化、 距離車(CNG, LNG)車のFCV化	EV助成金、 EVスタンド設置助成
	鉄道・ 航空	11 (28%)	9.8 (26%)	代替燃料への切替(航空)、 非電化区間の電化	CO ₂ 排出量目標宣言の強制
	乗用車	45 (14%)	19 (27%)	EV低コスト・長距離走行化	EV助成金、 EVスタンド設置助成
民生	一般家庭 (太陽熱含む)	42 (67%)	15 (84%)	ZEH普及（空調の電化，PV設置）， 寒冷地向け冷媒開発	冷暖房の電化助成 個人向け電化重要性PR活性化

A3. 課題詳細(1)：時間ミスマッチの解消

昼間の再エネ余剰電力を蓄エネ、水素製造で吸収し他の時間帯にシフト必要

- 再エネ大量導入→需給バランス維持の困難化、余剰電力時の対応強化が必要
- 非電力部門の電化，脱炭素燃料のための水素製造も含めて需給調整必要
(水素、アンモニア、メタン製造など等)



(文献)川上,小宮山,藤井,エネルギー・資源学会論文誌, 39(4), 10-19 (2018), 川上,小宮山,藤井,電気学会論文誌B,138(5), 382-391 (2018)

*1 東大 藤井・小宮山研究室で開発されたモデルを使用

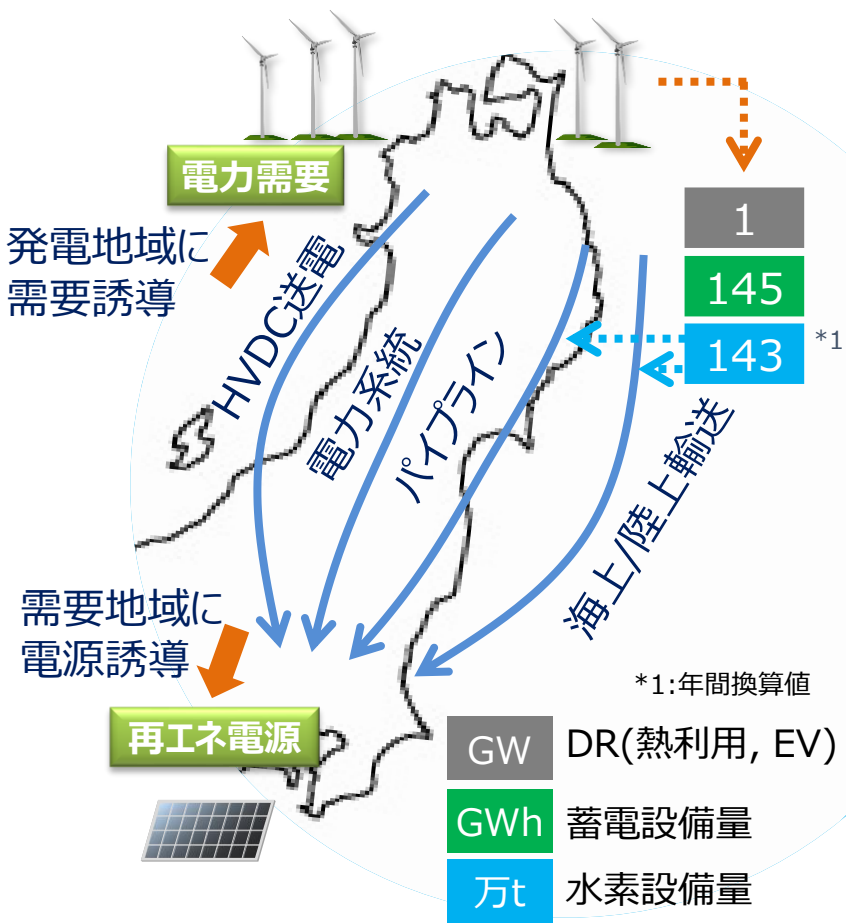
A4. 課題詳細(2)：空間ミスマッチの解消

再エネ余剰電力を蓄エネで夜間に送電，水素インフラで需要地に輸送する仕組みが必要

- 再エネ電力を送電網を最大限に活用して需要地に送り，余剰電力を蓄電・水素で吸収
- 水素・新燃料を需要地へ送る流通網の構築・整備が必要。

課題項目	内容
輸送能力	電力系統の送電限界向上，運輸による輸送力確保，広域パイプライン整備など
電源立地	需要近くへの再エネ電源立地による広域融通混雑緩和
需要誘導	電源近くに新規需要誘導・移設，デマンドレスポンス容量確保

東日本基幹システムの例

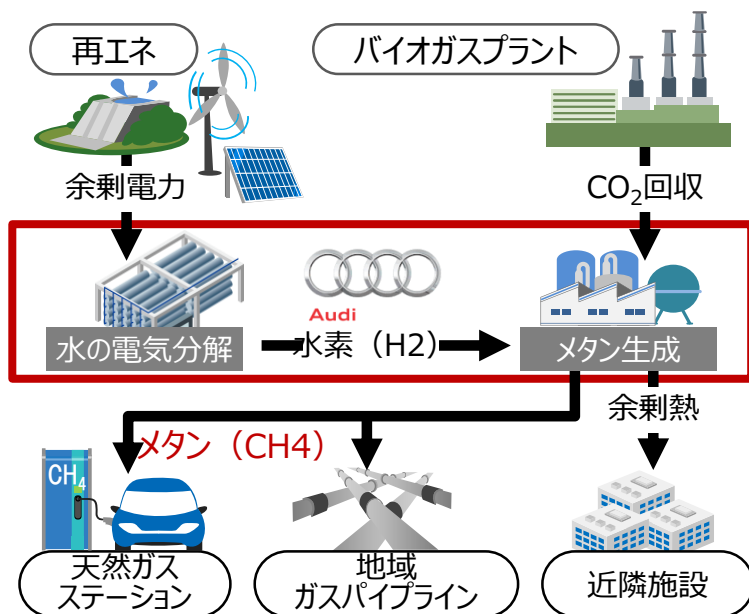


水素・メタンの需給マッチング・輸送の高効率化で必要な再エネ電力低減が必要

- 水素とCO₂からメタンガスを高効率に製造し、自動車や産業の燃料として活用（Audiの事例など）
- 運輸/産業への水素供給安定化に向け、サプライチェーンのマネージメントシステム構築が必要

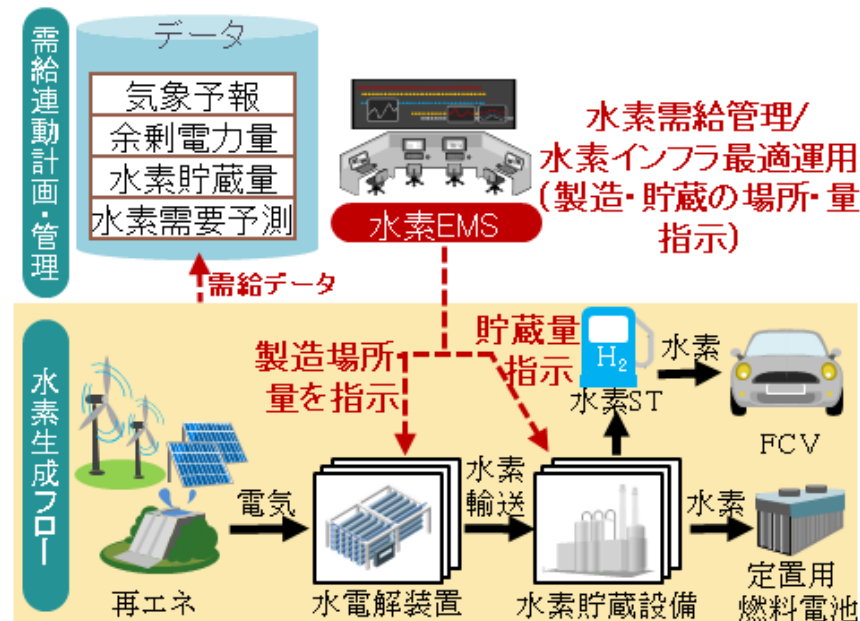
再エネ電力からメタンガス化して燃料に変換

- ・水電解・メタン生成設備の運用で、
再エネ由来メタンの精製・供給に取組み



再エネ由来水素サプライチェーンの最適化

- 気象予報や水素需要予測データをもとに、
再エネの水素製造量などを適切にマネジメント

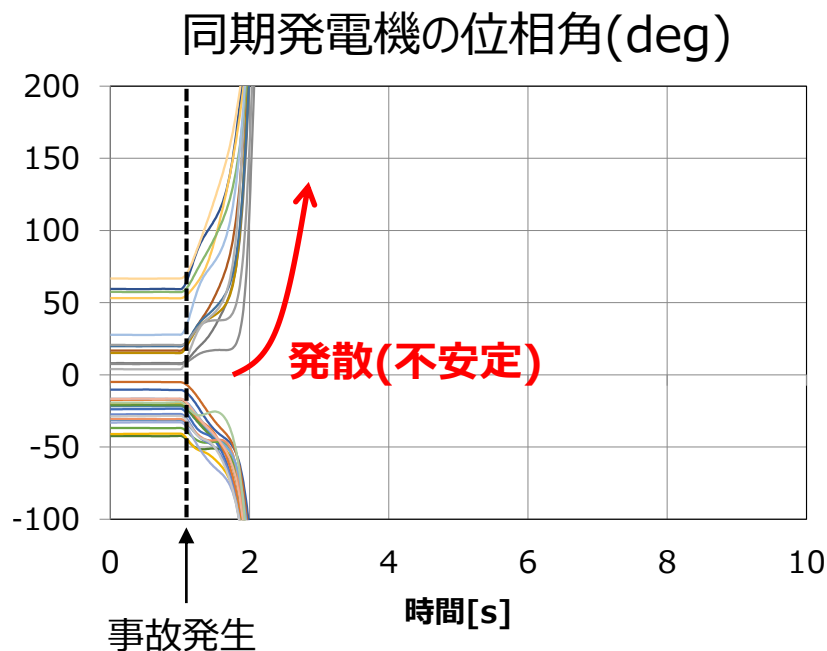




系統安定化に必要な対策をシミュレーションで算出

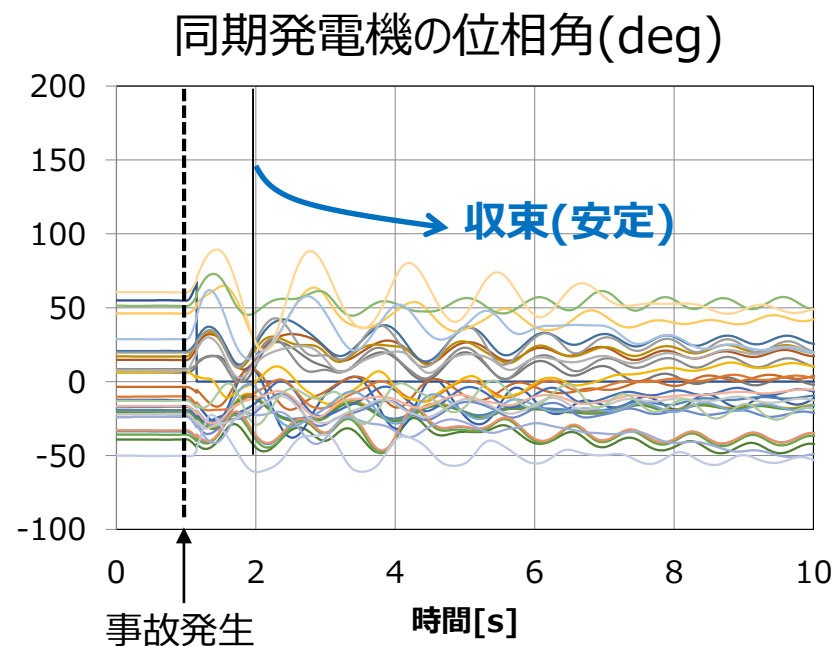
- 基幹系統の落雷故障時のシミュレーション結果：需要65GWに対し再エネ53GW発電

対策なし



対策 ・なし

対策あり



対策

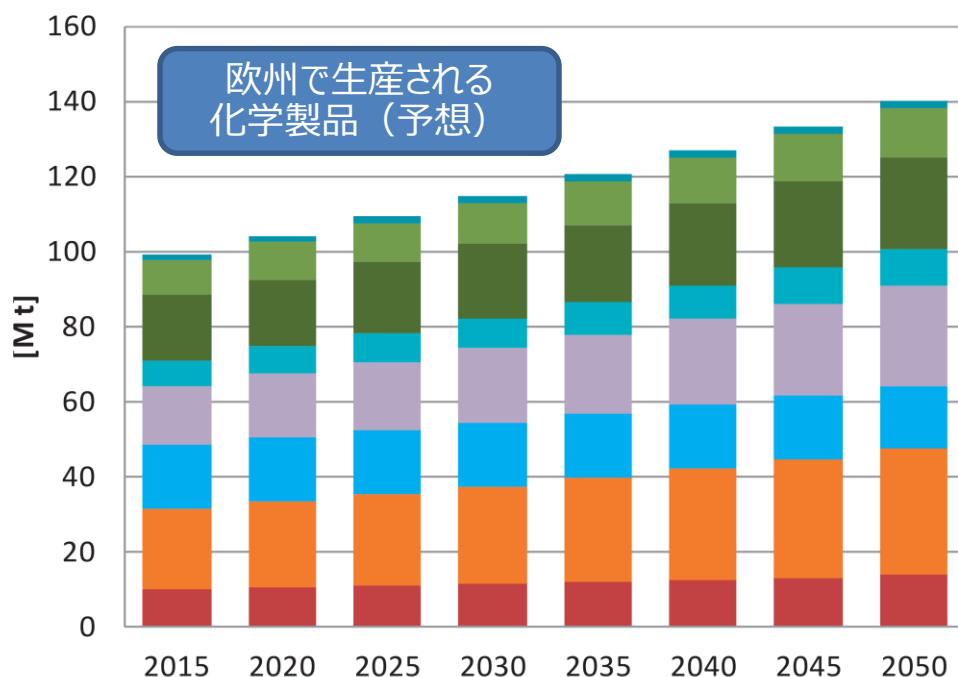
・再エネ電圧調整，同期調相機，
HVDC設置，デマンドレスポンス



- 欧州では、化学産業における脱炭素方針を策定
- 具体的には、CCUSによる炭素、水素の原材料化およびP2Gによるエネルギーの脱炭素化

欧州化学産業の脱炭素方針

- 欧州では、今後生産増加が見込まれる化学製品に対し、製品の生成に必要な原料の脱炭素化を推進



生産物質	必要原料	脱炭素策
メタノール	炭素、水素	電気生成水素、CCUS利用
尿素	水素	電気生成水素の利用
アンモニア	水素	電気生成水素の利用
バイオエタノール	炭素、水素	電気生成水素、CCUS利用
芳香族物質	炭素	CCUS捕集炭素の利用
ポリプロピレン	炭素、水素	電気生成水素、CCUS利用
エチレン	炭素、水素	電気生成水素、CCUS利用
塩素	塩素	再エネの利用(電化済)

欧州化学産業は、主にCCUSおよび電気由来のガスを原材料化することによって脱炭素を推進

A8. カーボンニュートラル達成に向けた課題一覧



基幹システムの課題：流通整備と電力・非電力連携による産業の脱炭素化
地域社会の課題：電化・電動化，メタネーションによる脱炭素化

部門	#	項目	上段 CO2排出量 Mt/下段 (電化率)			2050カーボンニュートラル	
			2030	2040	2050	イノベーション・投資	制度・政策
発電	1	電力	462	178	0.21	再エネ余剰電力を水素製造/DR/蓄電で吸収， 原子力/火力+CCSで電力量・慣性確保， 送配電強化で混雑解消	レベニューキャップでの脱炭素投資枠組み， ノードプライスなどで再エネ立地調整
産業	2	鉄鋼	110 (14%)	83 (17%)	59 (21%)	電炉への転換，高炉による水素還元， 水素発生事業者連携支援	鋼板利用者のCO2低減分担， 業界間の水素流通連携
	3	化学	33 (9%)	33 (9%)	21 (9%)	反応熱利用、炭素循環、CCUS、 水素/アンモニア活用， コンビナート連携マネージメント技術	コンビナート再編支援(電化・デジタル化)， CCUS技術開発助成制度
	4	パルプ	4.9 (42%)	3.6 (45%)	2.6 (46%)	副生物燃料活用(バイオなど)， パルプ活用によるネガティブエミッション製品 (セルロースナノファイバ等)	セルロース高度活用技術への投資
	5	セメント	2.8 (55%)	2.6 (55%)	2.1 (55%)	キルン製造(乾燥プロセス)効率向上， CO2原料利用，バイオマスなどの 代替燃料活用	EMC製造などCO2削減プロセス開発への助成
	6-1	その他動力	0 (100%)	0 (100%)	0 (100%)	中・小容量機の電化達成	—
	6-2	その他 ボイラー	38 (0%)	38 (0%)	33 (0%)	小・中容量の電化、大容量のメタネーション	電化支援の機器別電力料金制度， パイプライン整備補助
	6-3	その他 加熱炉	58 (0.3%)	48 (8.2%)	5.8 (73%)	電気炉への転換	電化支援の機器別電力料金制度 パイプライン整備補助
運輸	7	貨物	103 (1.9%)	88 (12%)	45 (43%)	短距離車(HEV/PHEV含む)のEV化， 距離車(CNG, LNG)車のFCV化	EV助成金， EVスタンド設置助成
	8	鉄道・航空	11 (28%)	10 (27%)	9.8 (26%)	代替燃料への切替(航空)， 非電化区間の電化	CO2排出量目標宣言の強制
	9	乗用車	45 (14%)	21 (31%)	19 (27%)	EV低コスト・長距離走行化	EV助成金， EVスタンド設置助成
民生	10	一般家庭 (太陽熱含む)	42 (67%)	29 (78%)	15 (84%)	ZEH普及(空調の電化，PV設置)， 寒冷地向け冷媒開発	冷暖房の電化助成 個人向け電化重要性PR活性化
合計			927	583	238		