



気象再解析データを活用した 将来系統モデルの再エネ・需要の模擬方法

東芝エネルギーシステムズ エネルギーシステム技術開発センター システム制御技術開発部

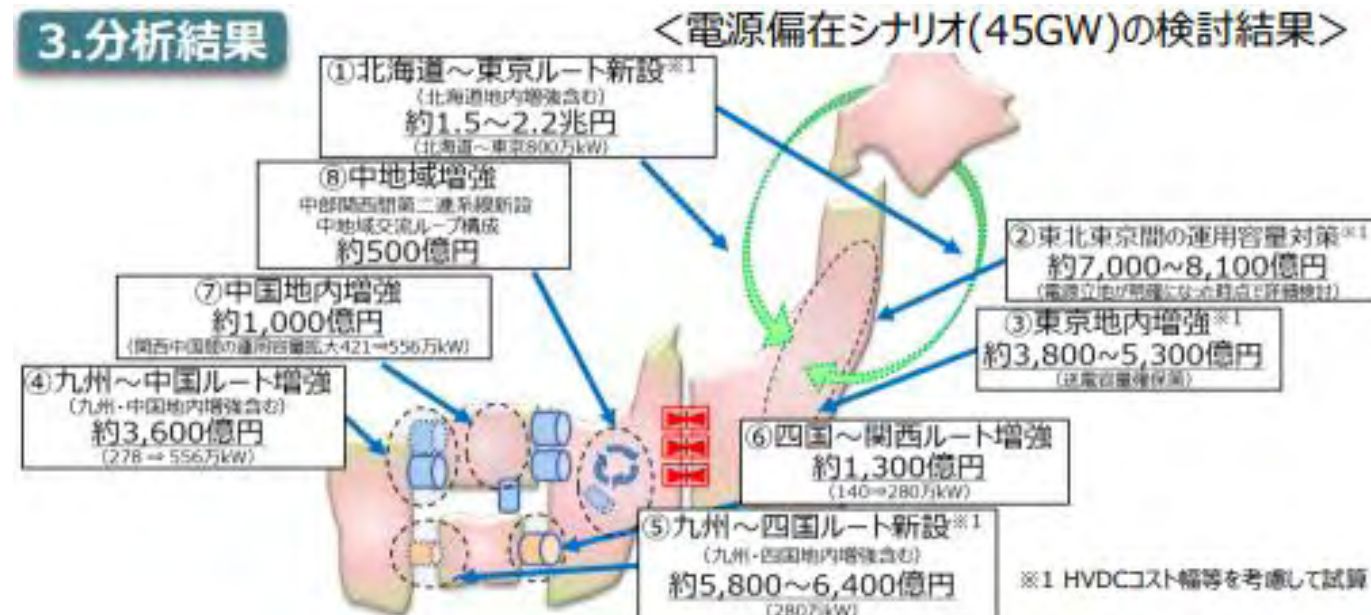
下尾高廣・東野正和・山崎朋秀・矢口航太

東京大学

荻本和彦・岩船由美子

PJの背景

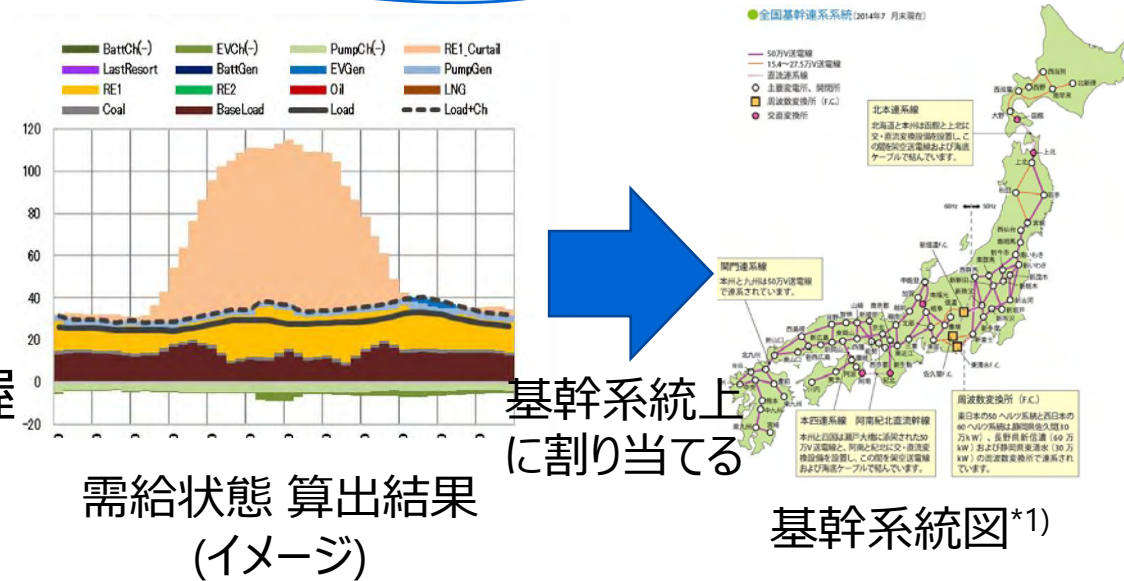
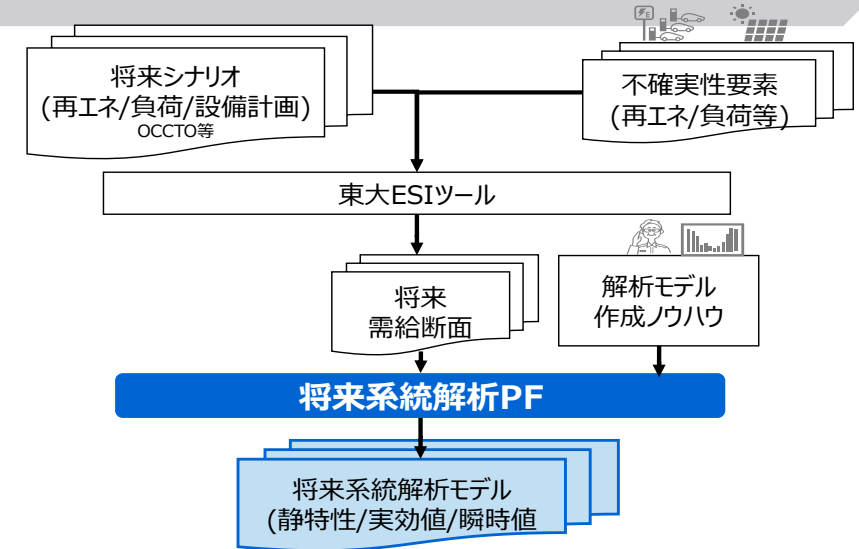
- OCCTOのマスタープラン検討会にて、再エネの大量導入等の今後の電力系統において、「カーボンニュートラルに向けた再エネ大量導入」と「電力ネットワークの強靱化」の両立を目指すべく、系統増強のマスタープランの中間整理が提出された
- マスタープランは、再エネの導入量(洋上風力の導入量)や偏重 (現状ベースor需要地近傍)などから複数のシナリオを想定して費用対効果の観点から必要な設備増強策を提言しているが、**再エネや需要の不確実性(出力変動や考慮していない偏重など)や、それに起因して発生しうる系統課題(慣性力の低下・偏重、安定度など)の定量的な把握**は今後の検討課題である。



OCCTO マスタープランの中間整理 (概要) より

PJの背景（研究の狙い）

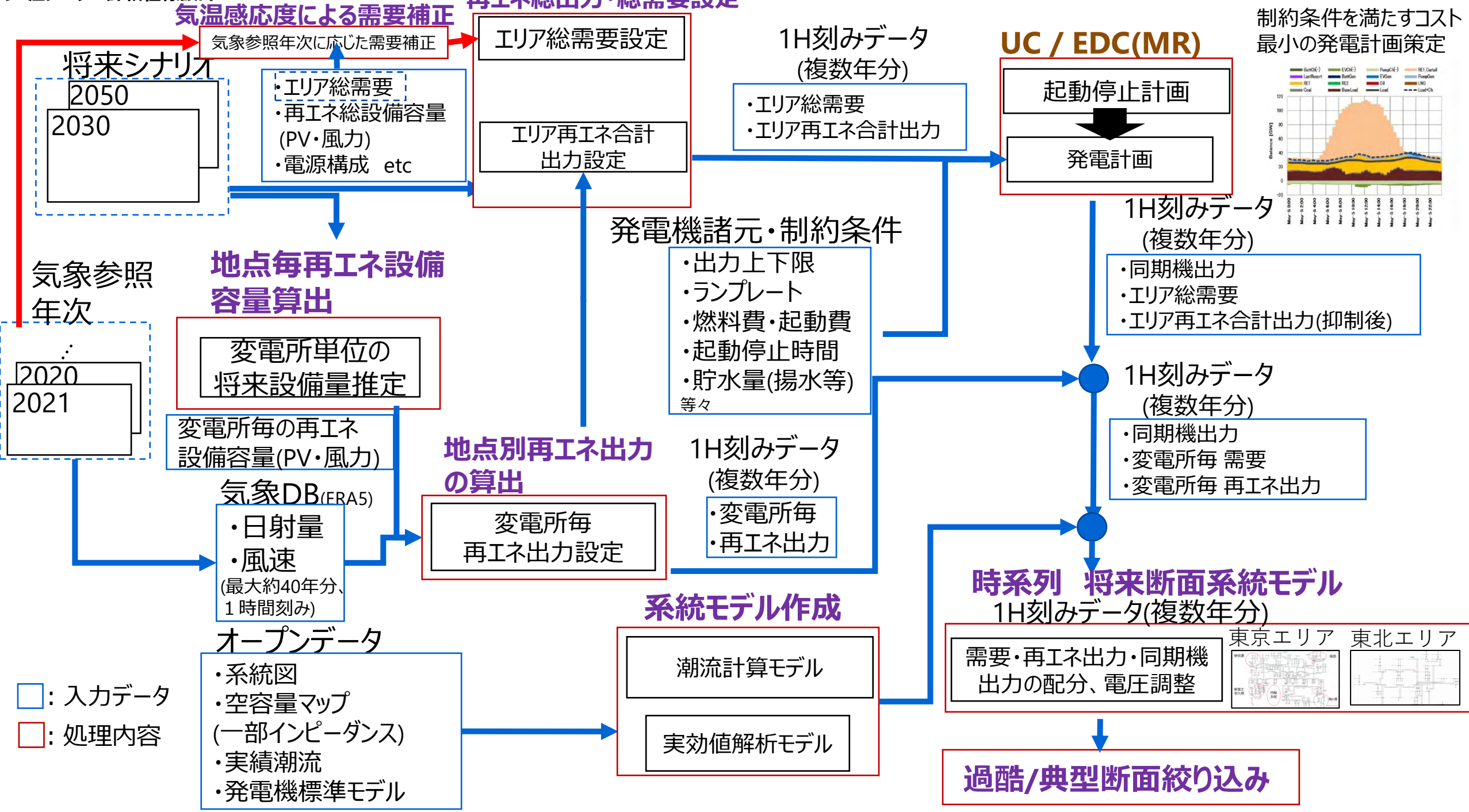
- 東大ESIの広域需給解析ツール：MRを活用して、将来（2030/2050など）の電力系統において、再エネや需要の複数の変動・偏重パターンにおける需給状態を模擬する
- 想定する需給状態を基幹系統上に割り当てて、想定する将来断面の系統モデルを構築する
- 系統モデルは目的に応じたモデルを用意する
潮流計算モデル：系統混雑評価・アセットマネジメント
実効値解析モデル：安定化制御評価・電圧制御評価
- 新たな系統対策(安定化システム・GFMインバータ等)や制度(ノーダルプライス等)の効果を精緻かつ定量的に把握する



* 1) 全国を連携する送電線 - 安定供給に向けた取り組み | 電気事業連合会 (fepc.or.jp)

2030年の東日本基幹系統モデル・系統断面を作成し、検証評価を実施

シミュレーターの全体構成

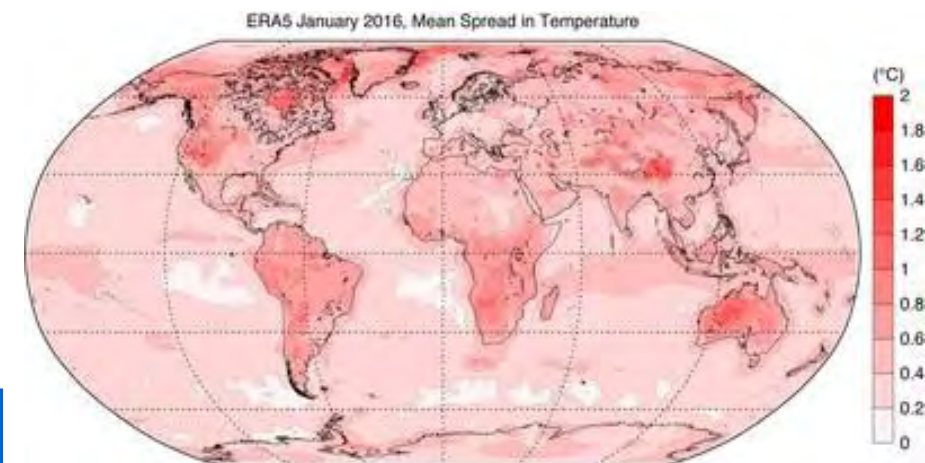


ERA5による再エネ出力変動パターン生成

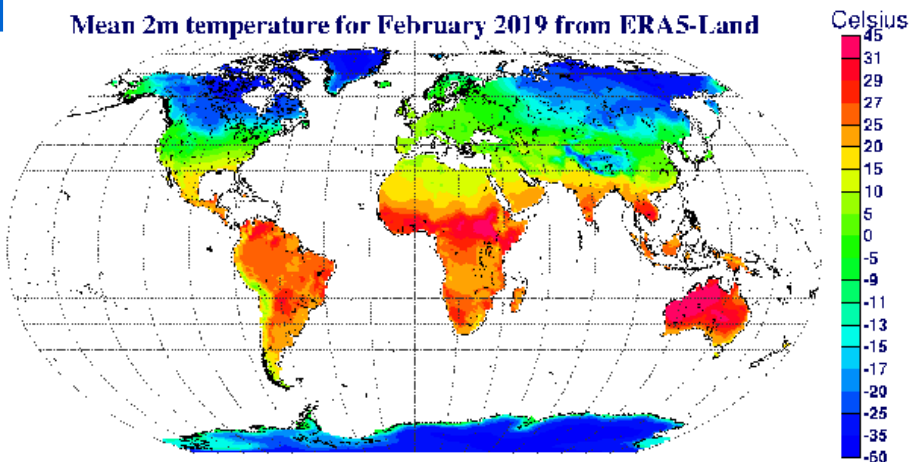
ERA5のデータセット

下記 2 つのデータセットの適用可能性を検討（青枠の項目を使用）

- ERA5 hourly data on single levels from 1979 to present
 - $0.25^{\circ} \times 0.25^{\circ}$ メッシュ, 1 時間刻みの再解析データ
 - 海上を含む全球が解析対象
 - 主な項目
 - Surface net solar radiation（全天日射量）
 - Surface net solar radiation, clear sky（快晴時の全天日射量）
 - 100m u-component of wind（地上100mの風速の東方向成分）
 - 100m v-component of wind（地上100mの風速の北方向成分）
 - 10m u-component of wind（地上10mの風速の東方向成分）
 - 10m v-component of wind（地上10mの風速の北方向成分）
- ERA5-Land hourly data from 1950 to present
 - $0.1^{\circ} \times 0.1^{\circ}$ メッシュ, 1 時間刻みの再解析データ
 - 地上が解析対象
 - 主な項目
 - Surface net solar radiation（全天日射量）
 - 10m u-component of wind（地上10mの風速の東方向成分）
 - 10m v-component of wind（地上10mの風速の北方向成分）
 - 快晴時の全天日射量, 地上100mの風速は無い

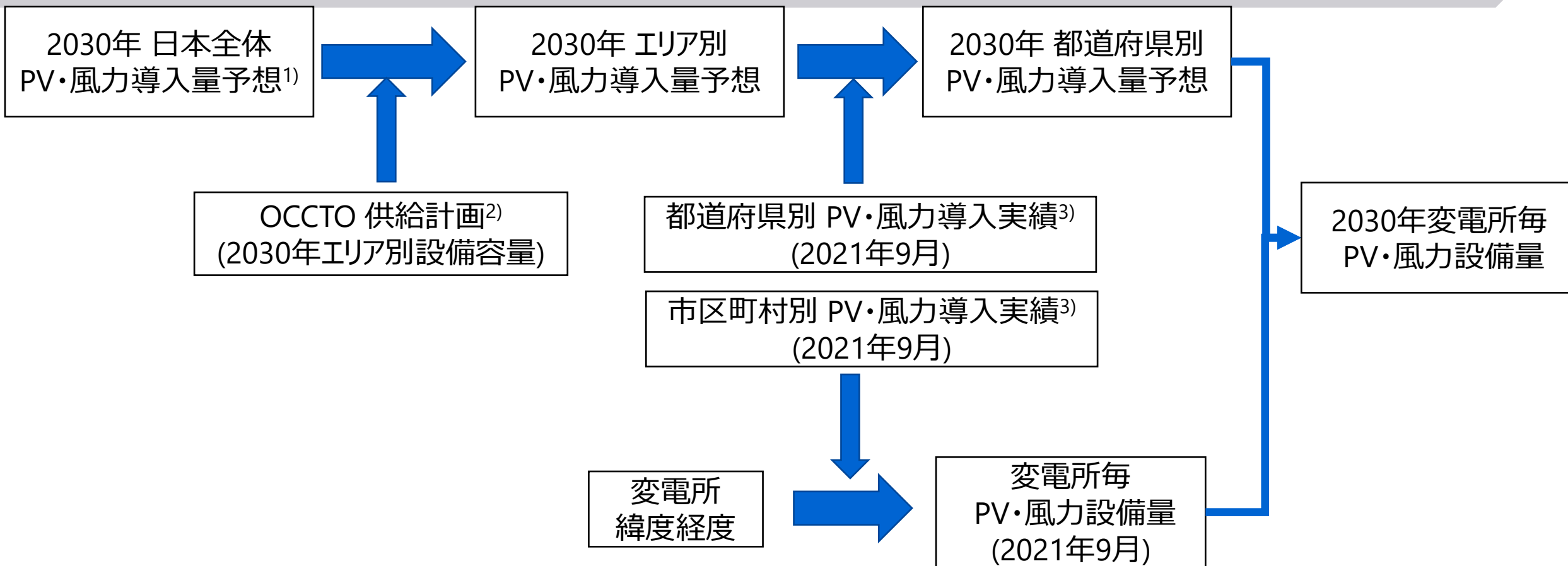


<https://cds.climate.copernicus.eu/cdsapp#!/dataset/reanalysis-era5-single-levels?tab=overview>より引用



<https://cds.climate.copernicus.eu/cdsapp#!/dataset/reanalysis-era5-land?tab=overview>より引用

2030年のノードの再エネの容量（PV、風力）の設定方法



METI/OCCTOの2030年の導入予想を、現行の市区町村別の再エネ設備導入実績で案分

*1 2030年におけるエネルギー需給の見通し(METI) [総合資源エネルギー調査会 基本政策分科会（第48回会合）](#) | [資源エネルギー庁 \(meti.go.jp\)](#)

*2 2021年のOCCTO供給計画とりまとめ occto.or.jp/kyoukei/torimatome/files/210331_kyokei_torimatome.pdf

*3 FIT 情報公表用ウェブサイト:都道府県別/市区町村別 導入量実績 : <https://www.fit-portal.go.jp/PublicInfoSummary>

ERA5を用いた再エネ出力の算出

n : 再エネノード数
P : ERA5の参照年数

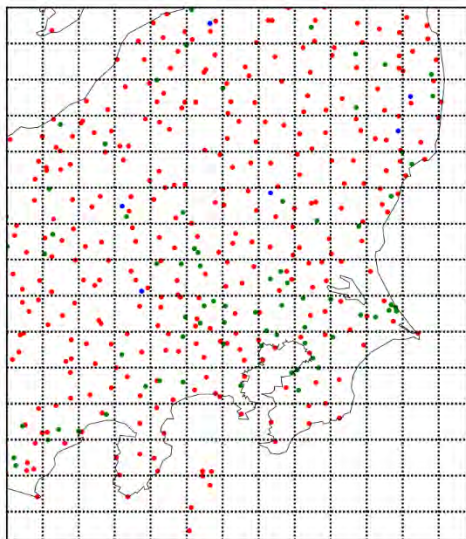
変電所(ノード)再エネ設備容量

2030年のノード毎の
PV, WT設備容量 : n

日射量, 風速データ

再エネノードと最近傍メッシュ
の日射量, 風速(ERA5)
: $P \times 365 \times 24$

東日本エリア一部のERAメッシュとノード位置



【凡例】
点線がメッシュ
($0.25^\circ \times 0.25^\circ$ (30km))
緑丸が変電所
青丸が開閉所
赤丸がアメダス地点 (参考)

変電所毎のPV・WT出力計算

PV・WT出力計算 : $n \times (P \times 365 \times 24)$

ノードPV出力 =

各ノードに対応する日射量 $\times$ 補正係数 $\times \eta$ (システム効率) $\times$ 設備容量

ノード風力出力 =

IF $V_w < \text{カットイン風速}(V_{in})$ then

$P = 0$

Else if $\text{カットイン風速}(V_{in}) \leq V_w \leq \text{定格風速}(V_{rate})$ then

$P = (Pr / (V_{rate}^3 - V_{in}^3)) * V_w^3 - (V_{in}^3 / (V_{rate}^3 - V_{in}^3)) * Pr$

Else if $\text{定格風速}(V_{rate}) < V_w < \text{カットアウト風速}(V_{out})$ then

$P = \text{定格出力}(Pr)$

Else if $\text{カットアウト風速} \leq V_w$

$P = 0$

$V_w = \text{定格風速}$ の時に定格出力
となる3次曲線で近似する

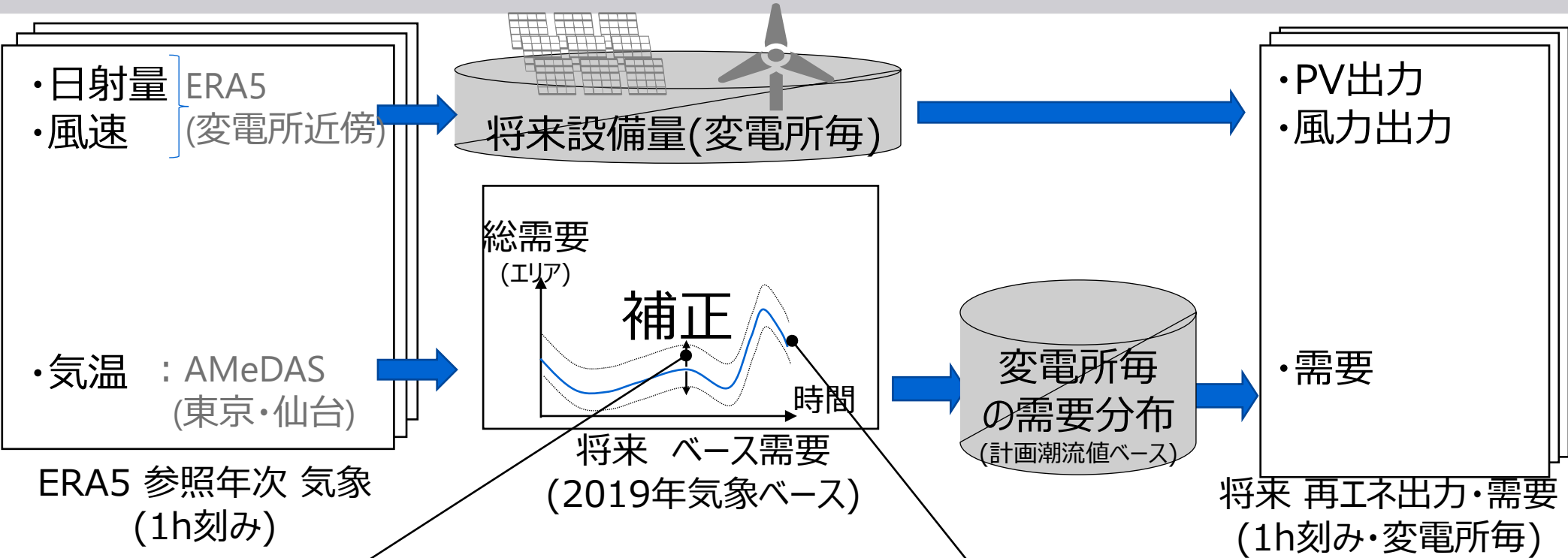
発電計画(MR)をP回実行

ディスパッチ結果 : $P \times 365 \times 24$

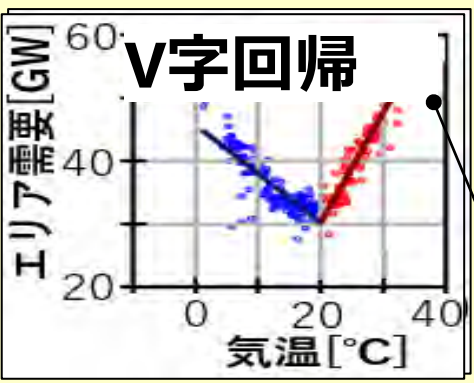
- PV・WTのエリアごと(東北・東京)の総出力
(ERA5から算出、出力抑制反映)
- 各発電機の出力計画

ERA5参照気象年に応じた需要変化模擬

気温感応度に応じた需要補正の方法(イメージ)



総需要-気温の感応度による需要補正



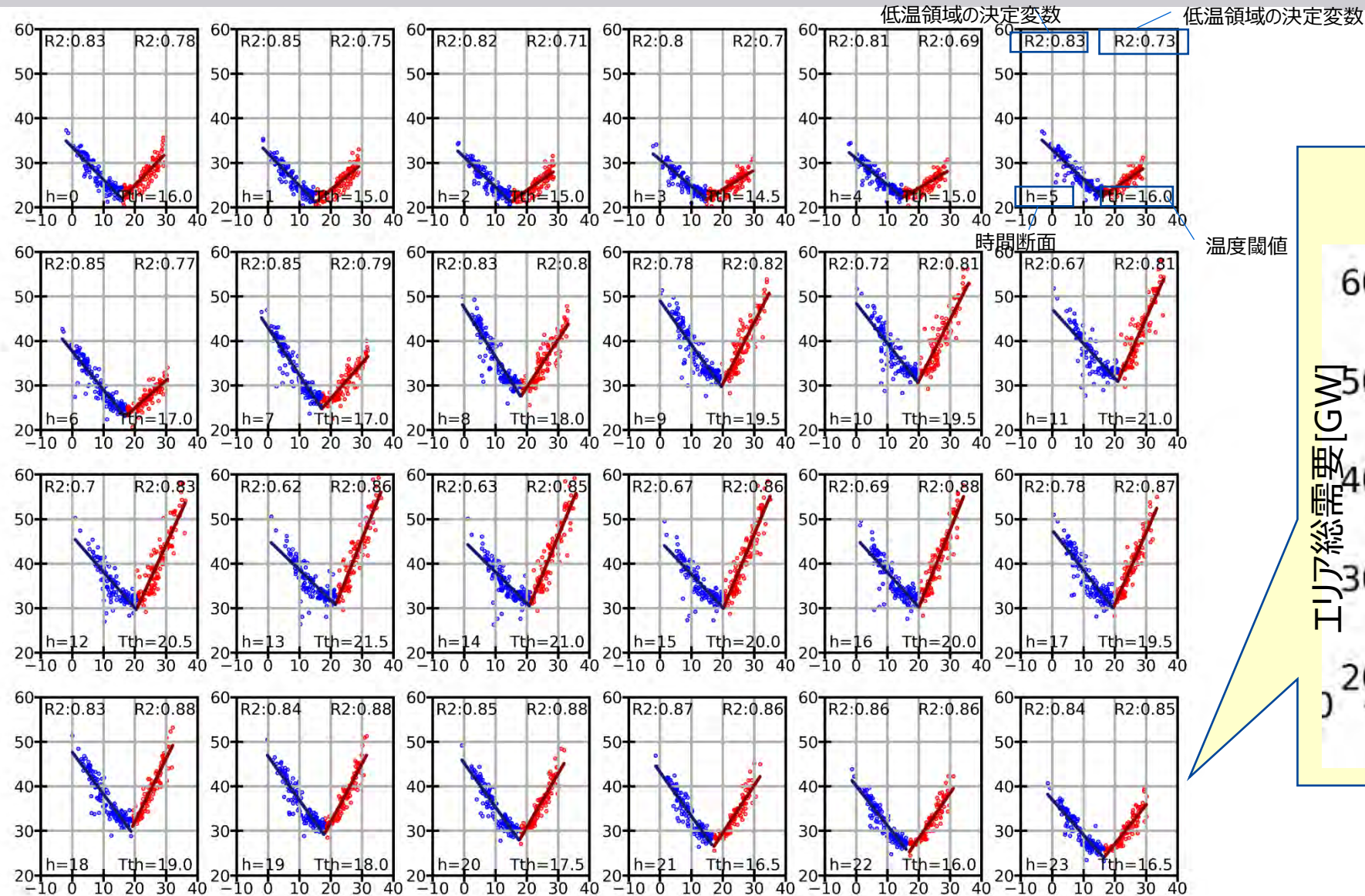
24時間×2平休日×2エリア
×2低温・高温 分の回帰モデル作成

2030年のベースとなる需要曲線(2019年気象ベース)

- ① 2019年度の負荷曲線からHPの2019年度需要を控除
- ② ①の負荷曲線を年間の需要電力量での比率で修正した需要曲線を作成。
(2030年の年間の需要電力量は、2030年のEV・HPの導入台数想定から算定した電力量を控除)
- ③ ②に対し、2030年のEV・HPの需要分^注を足す

気温感応度モデル作成結果(東京エリア/平日 の例)

Area Demand [GW]



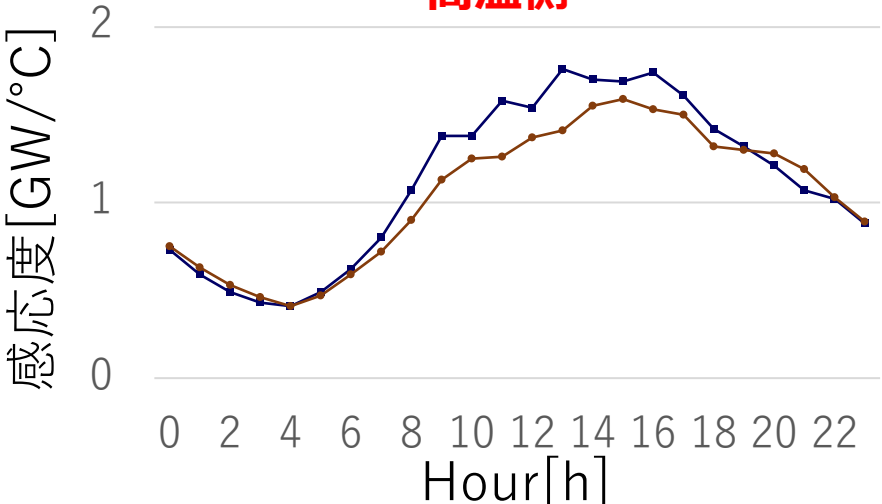
Temperature [deg]

気温感応度モデル作成結果(感応度(絶対値))

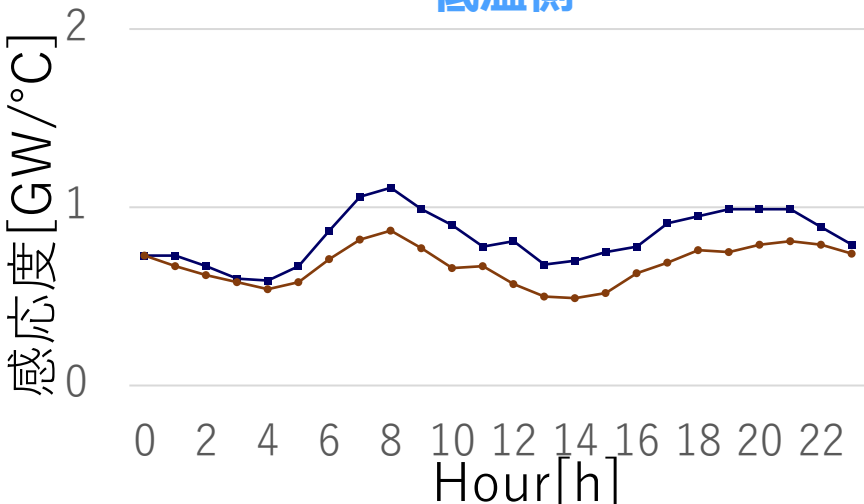
東京エリア

■ 感応度(平日) ● 感応度(休日)

高温側

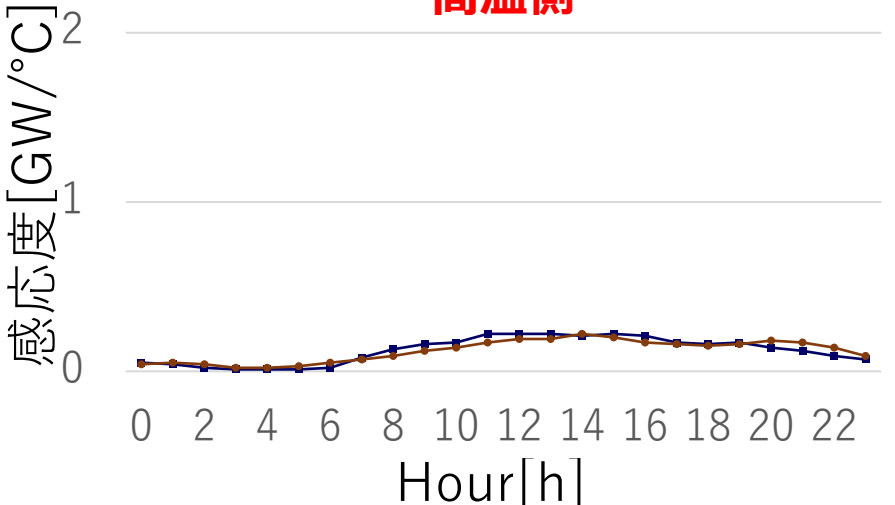


低温側

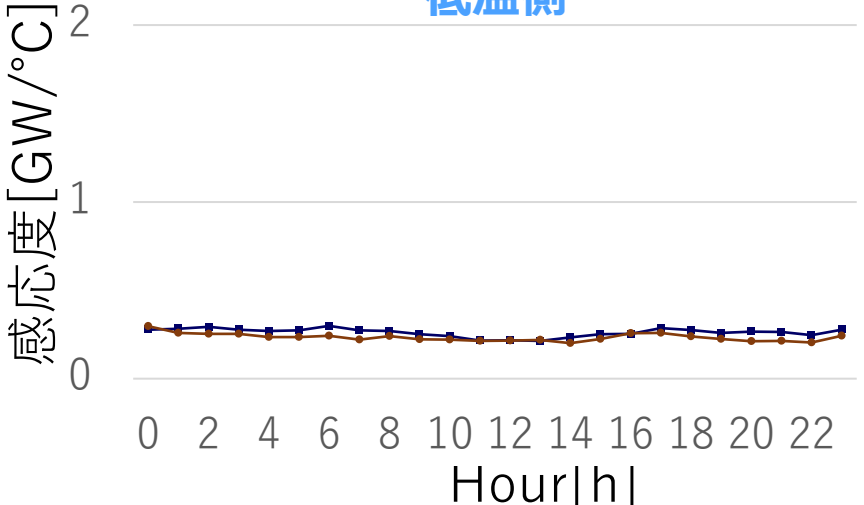


東北エリア

高温側



低温側

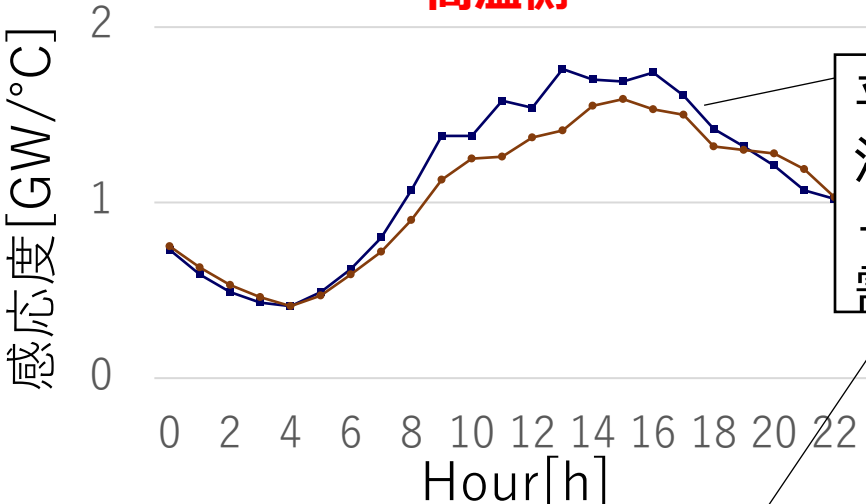


気温感応度モデル作成結果(感応度(絶対値))

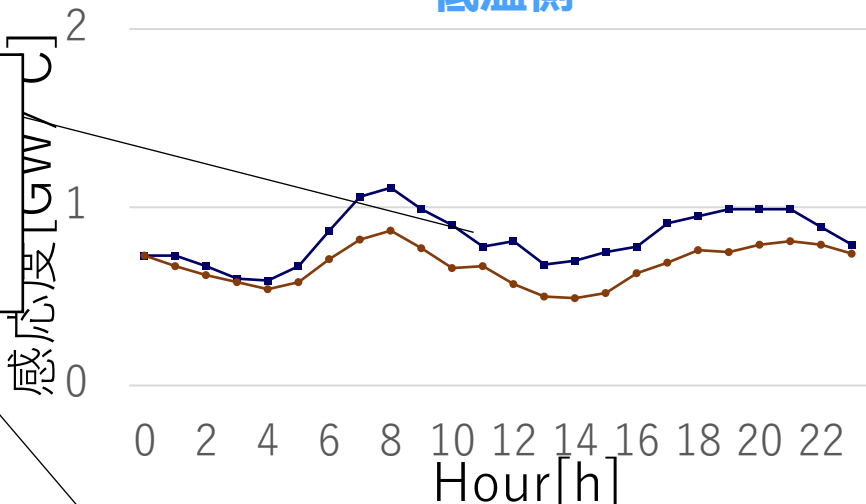
東京エリア

■ 感応度(平日) ● 感応度(休日)

高温側

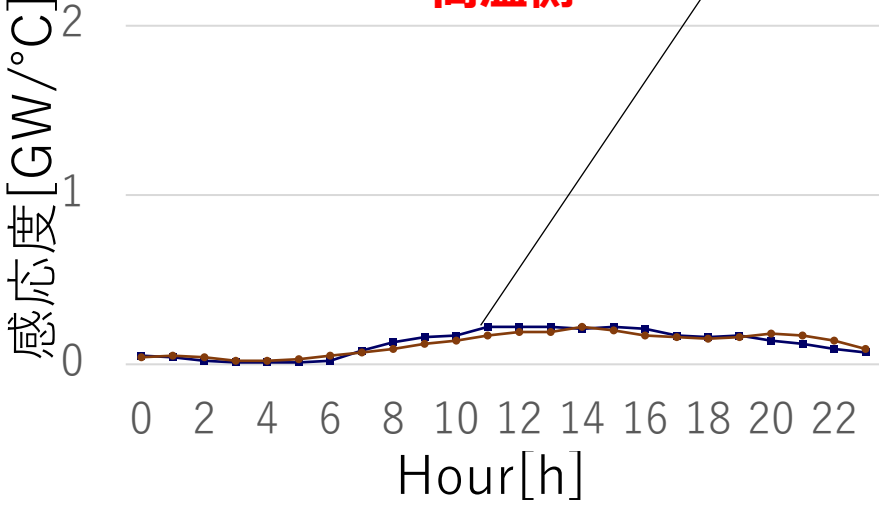


低温側

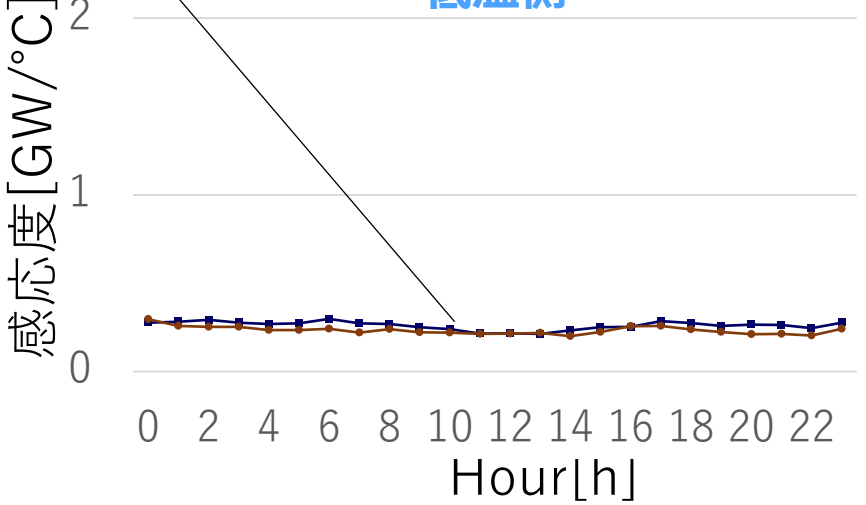


東北エリア

高温側



低温側

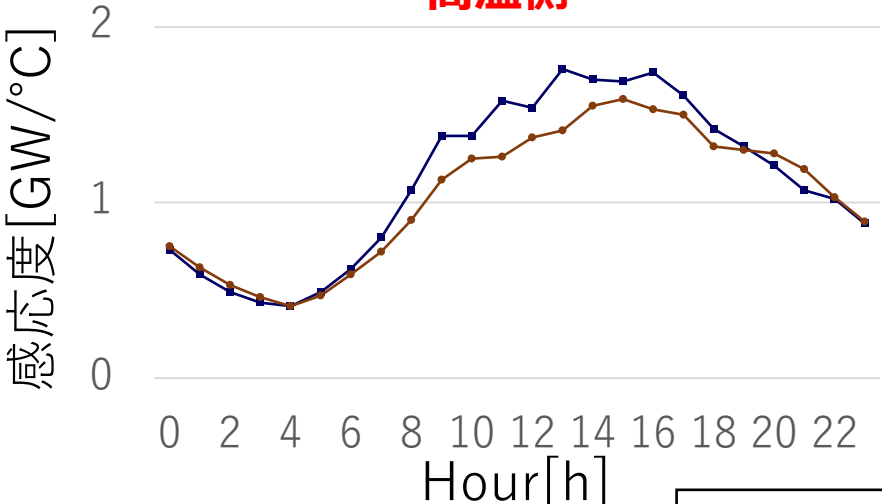


気温感応度モデル作成結果(感応度(絶対値))

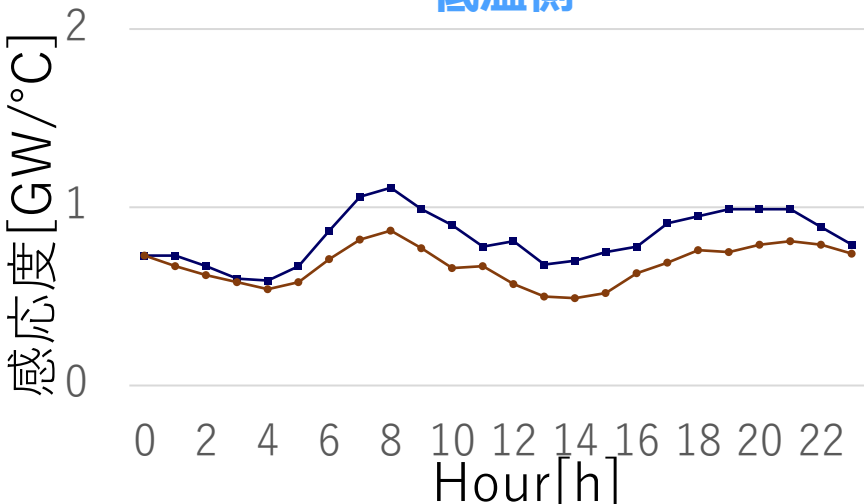
東京エリア

■ 感応度(平日) ● 感応度(休日)

高温側

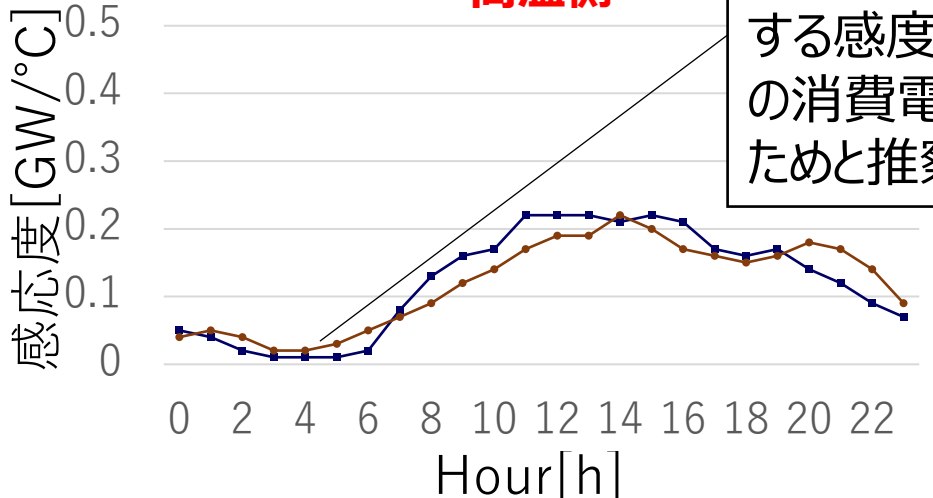


低温側



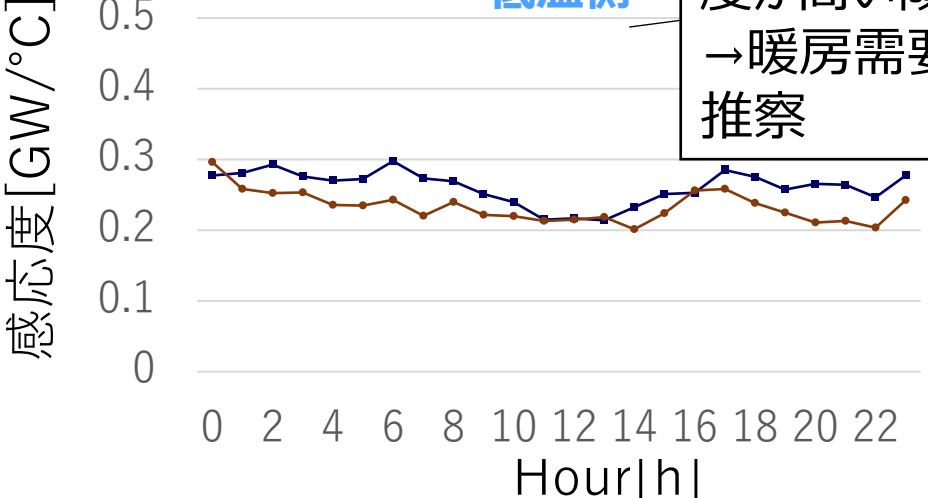
東北エリア(拡大)

高温側



気温感応度が低い
→空調など気温に対する感度の高い機器の消費電力量が低い
ためと推察

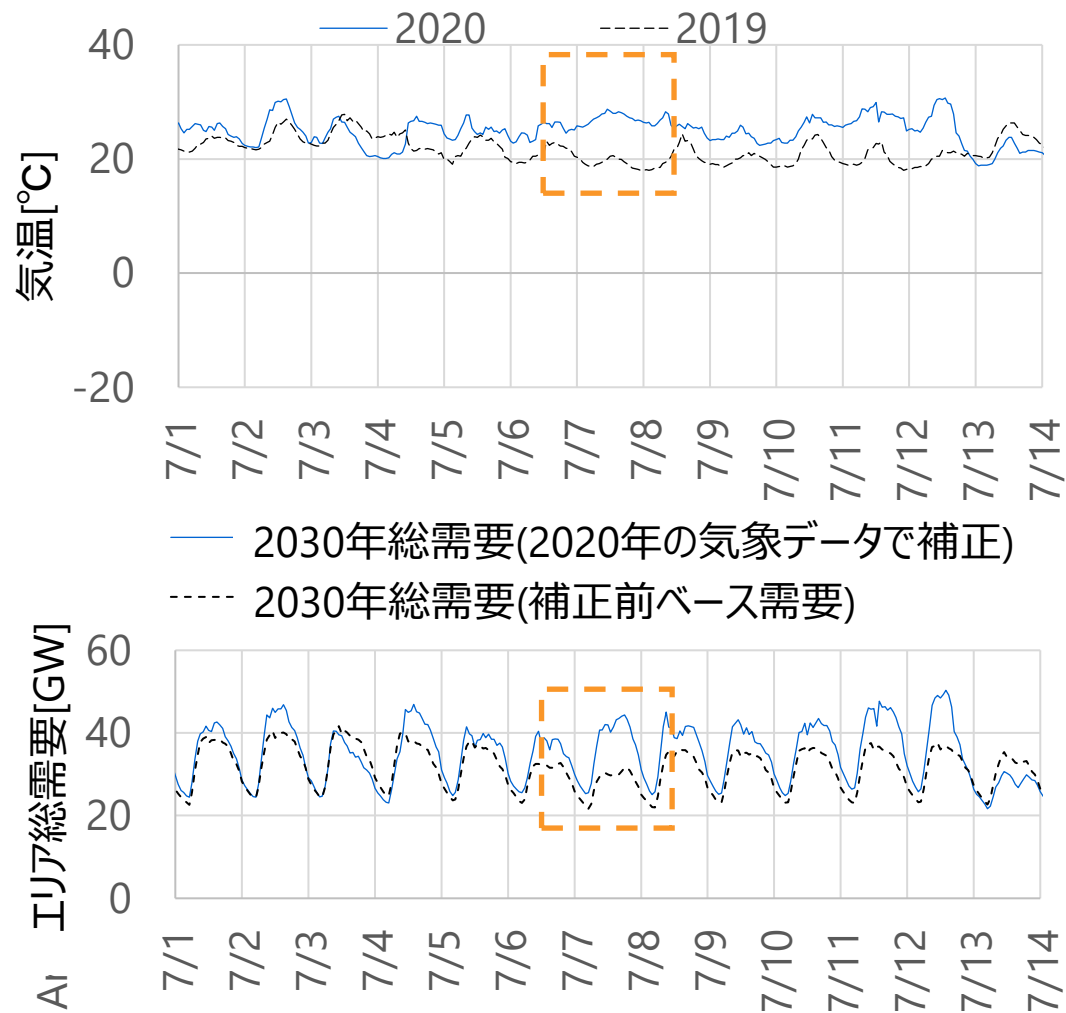
低温側



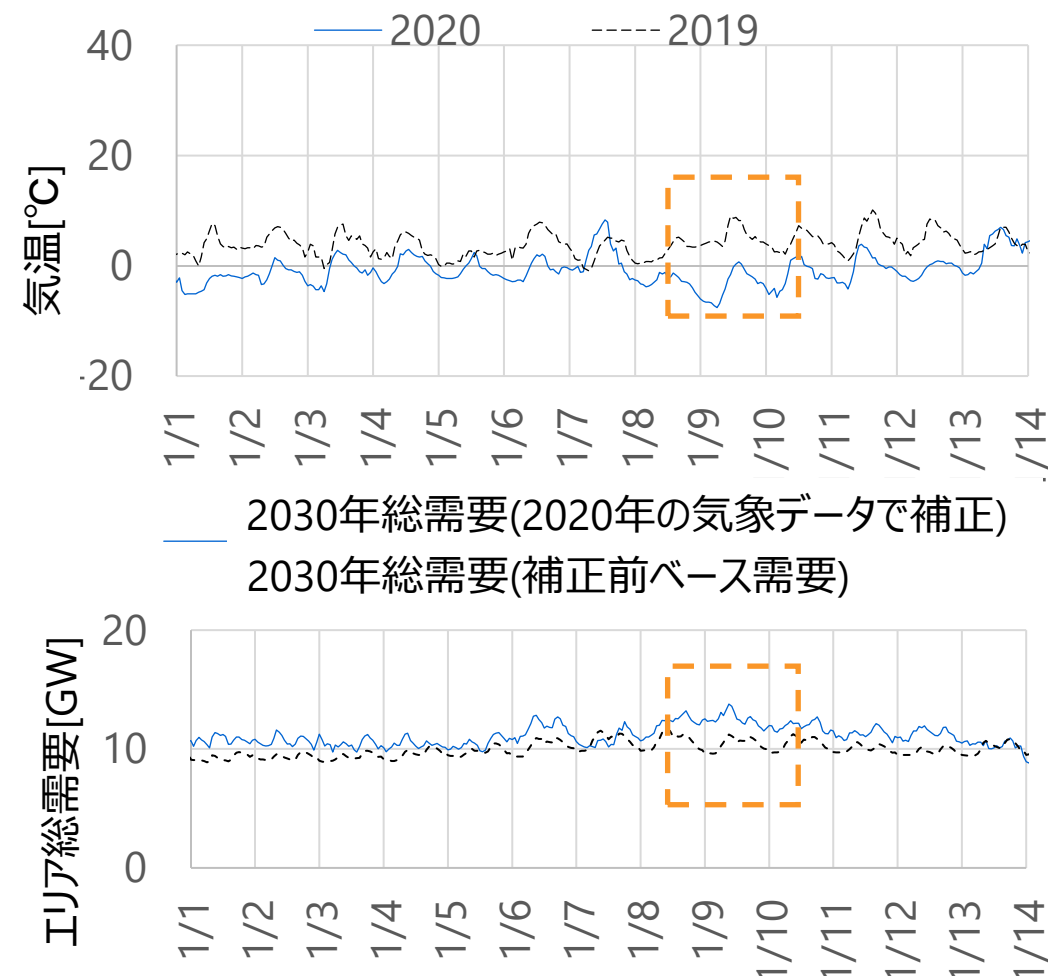
冬場の方が気温感応度が高い傾向あり
→暖房需要の影響と推察

気温感応度による需要補正結果(一例)

東京エリア 夏季



東北エリア 冬季



気温感応度の高い時間帯で、気温差に応じた需要差が生じている

オープンデータによる東日本基幹系モデル作成

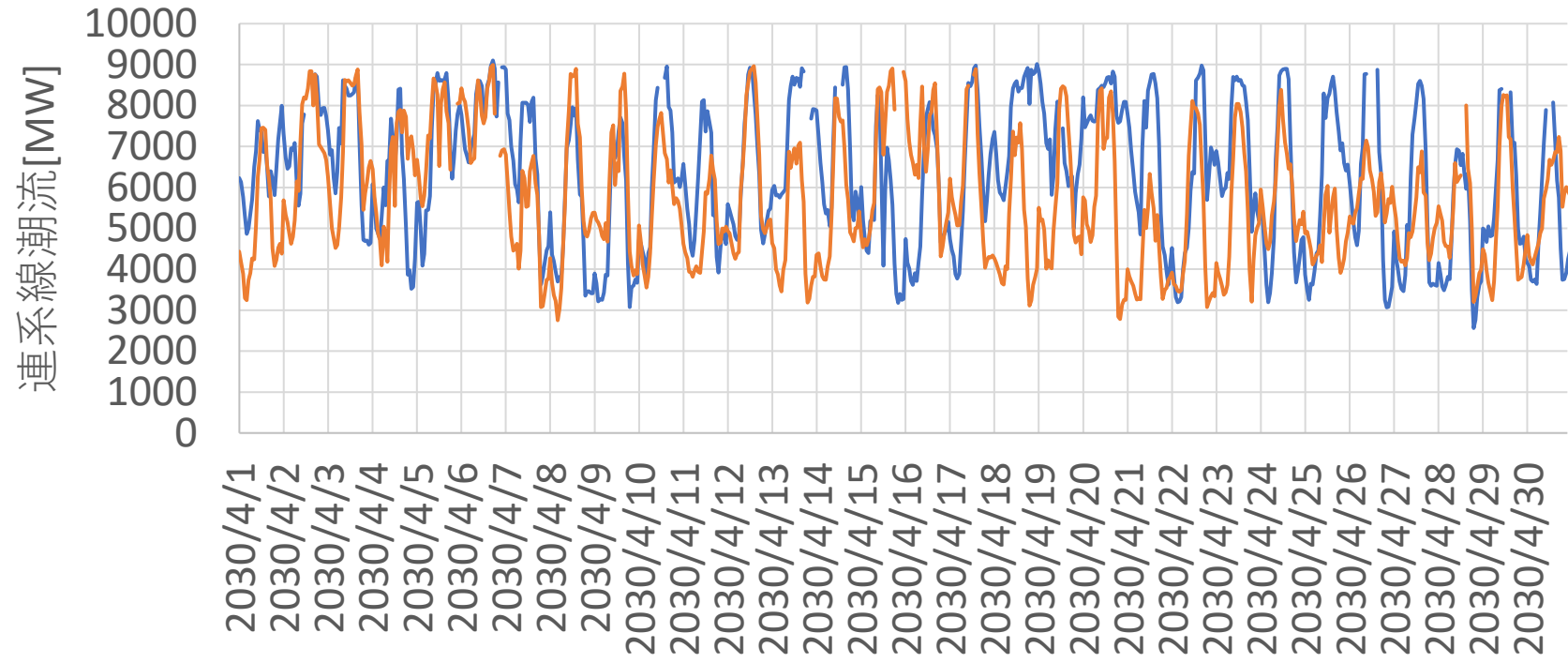
系統モデル作成手順

設定項目	東北系統	東京系統(外輪系統)	東京系統(内輪縮約系統)
モデル間の発電機 紐づけリスト	・MRでの各ユニットと系統モデルでの発電機との対応		
発電機仕様 (インピーダンス・慣性などの定数)	・EAST30での30機の発電機と系統モデルでの発電機との対応		
発電機・負荷力率	・発電機モデル（リアクタンス、慣性定数等）は電源種別にY法の設定を適用 火力：NGT=2、原子力：NGT=6、水力：NGT=8		
発電機・負荷力率	・出力電圧は全機1.02p.u.		
発電機制御系 (PSS・AVR・GOV)	・EAST30との紐づけリストをもとに、対応したEAST30での発電機・負荷力率を設定 (昼間断面と夜間断面での力率の平均値を使用)		
再エネの動特性	・EAST30の設定を踏襲し、GOVは火力・原子力LPT=1、水力LPT=4		
負荷（PL）配分率	・AVRは将来系統を想定し電気協同研究の電源変圧器サイリスタ励磁方式を適用		
再エネの動特性	・PSSは全機LAT=100(ΔP型)の標準ブロックを付与		
負荷（PL）配分率	APR・AQRで構成される電流制御（GFL：Grid-following）型の制御ブロックを作成し模擬 ACRは省略、本制御で算出されたd,q軸の電流値が、PLLで取得した連系点の電圧位相に基づき出力 計画潮流、実績潮流の公開値から154kV以下ブランチの潮流を負荷模擬し、総負荷に対する各負荷の 比率を算出		
ブランチ/変圧器の インピーダンス	・インピーダンス公開値を使用 ・未公開箇所については以下の通り ブランチ：単位長さ当たりのインピーダンス参考値と 地図データから測定したブランチ長で算出 変圧器：公開値から一次・二次電圧ごとに インピーダンス平均値を算出・使用		・EAST30と実系統の母線と送電線をマッピング ・EAST30のインピーダンスを踏襲
ブランチ/変圧器の インピーダンス	東京東北第二連系線等、新たな系統計画を可能な限り反映		
ノード目標電圧	・EAST30と実系統の母線をマッピングした結果から、対応したEAST30でのノード電圧値を設定		

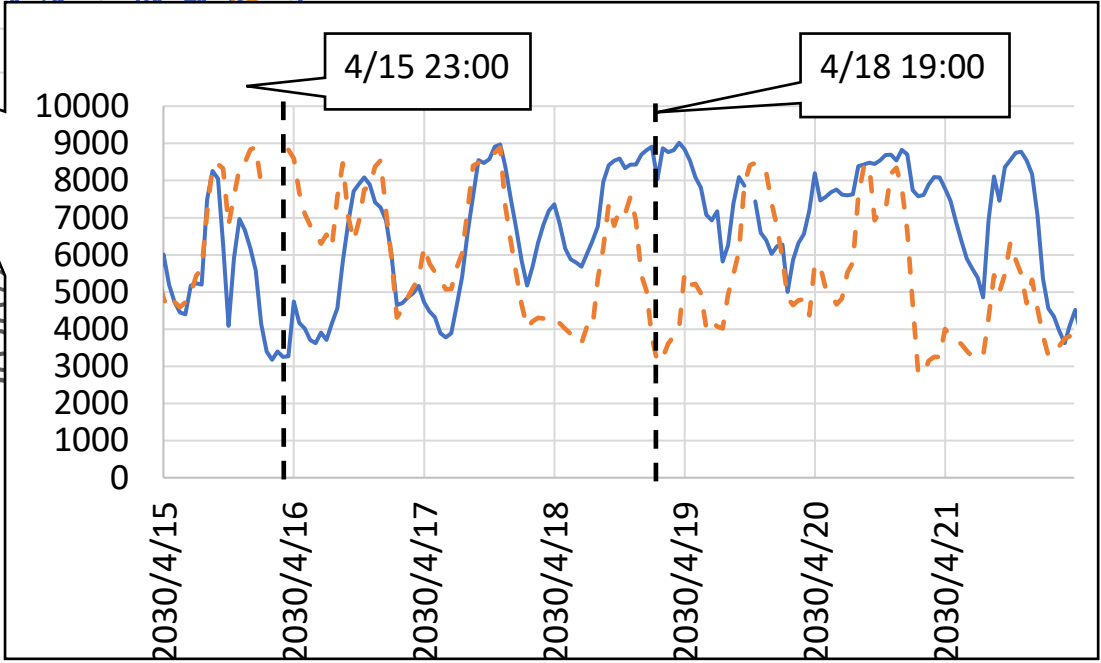
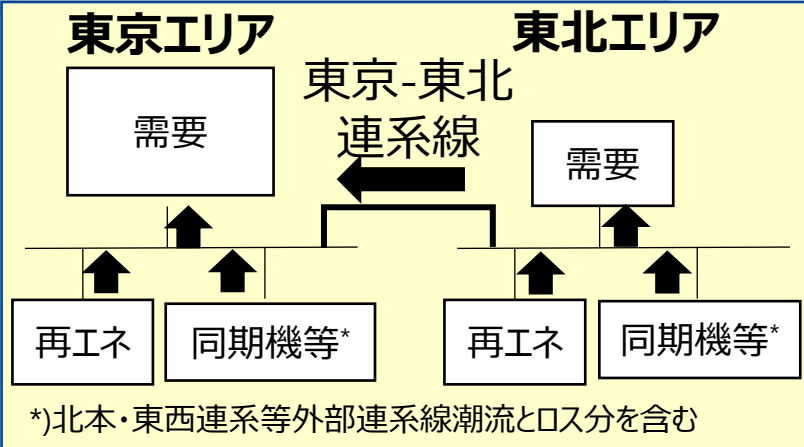
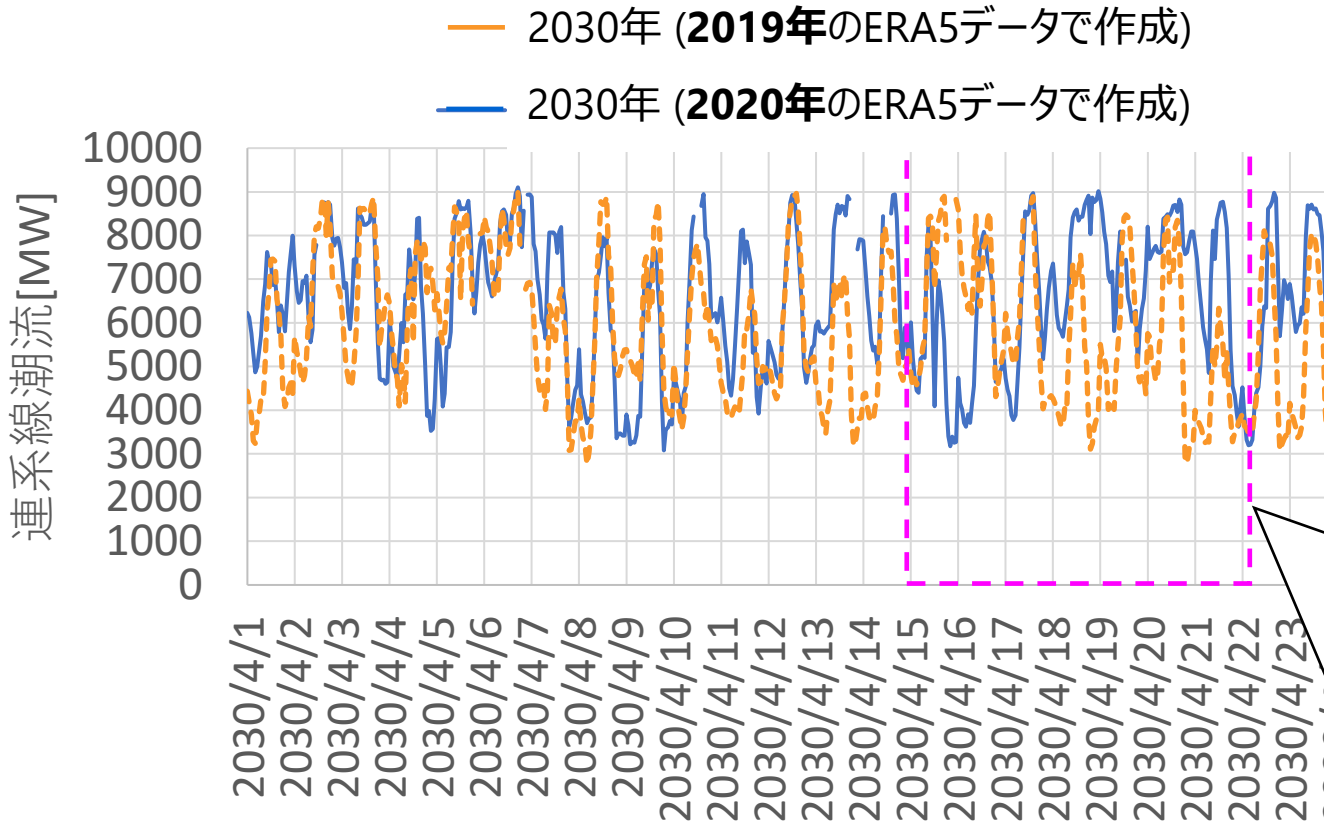
解析モデルを用いた解析結果

潮流計算結果(東京-東北連系線 2030年4月分)

- 2030年 (2019年のERA5データで作成)
- 2030年 (2020年のERA5データで作成)

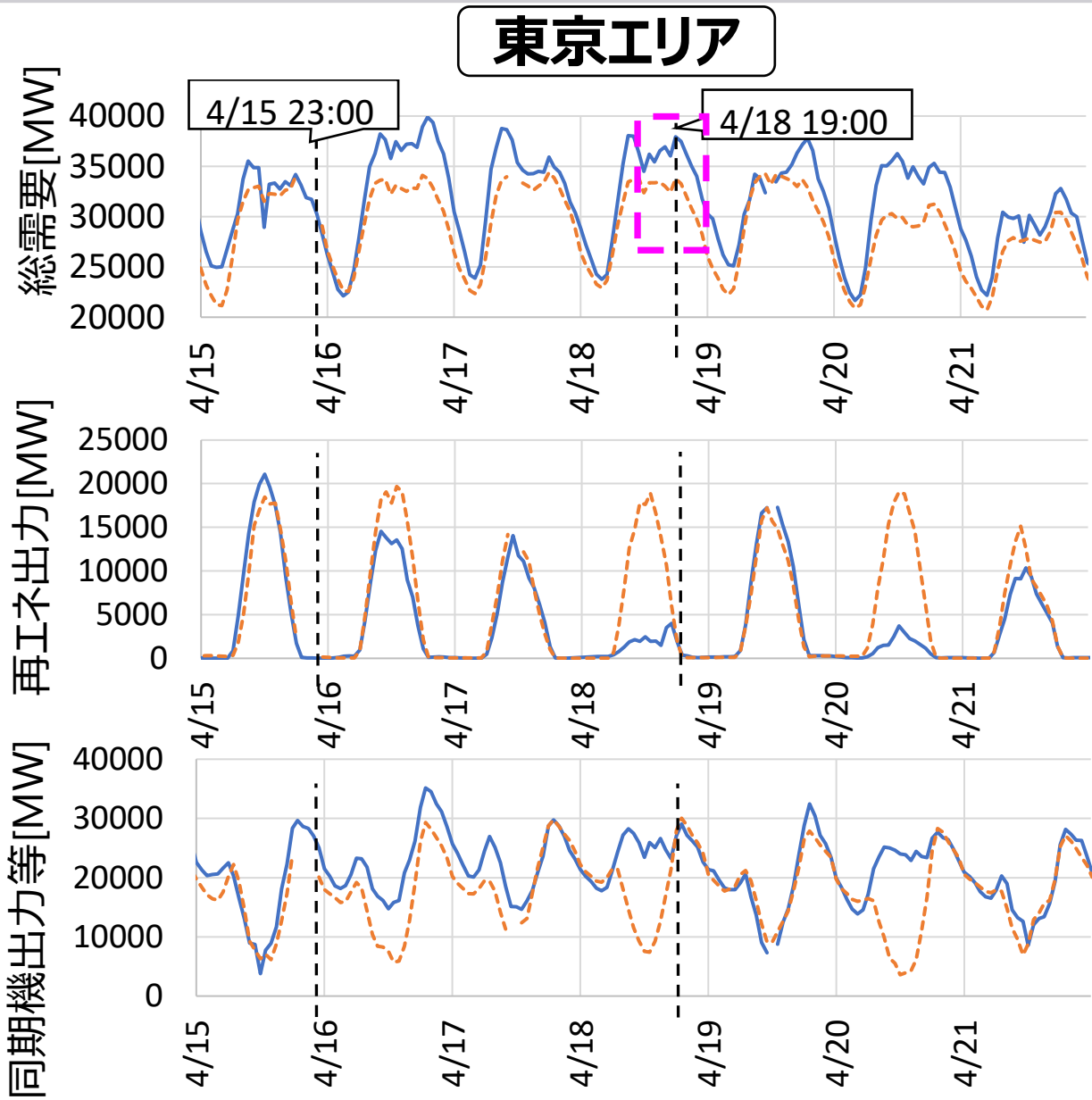


潮流計算結果(東京-東北連系線 2030年4月分)

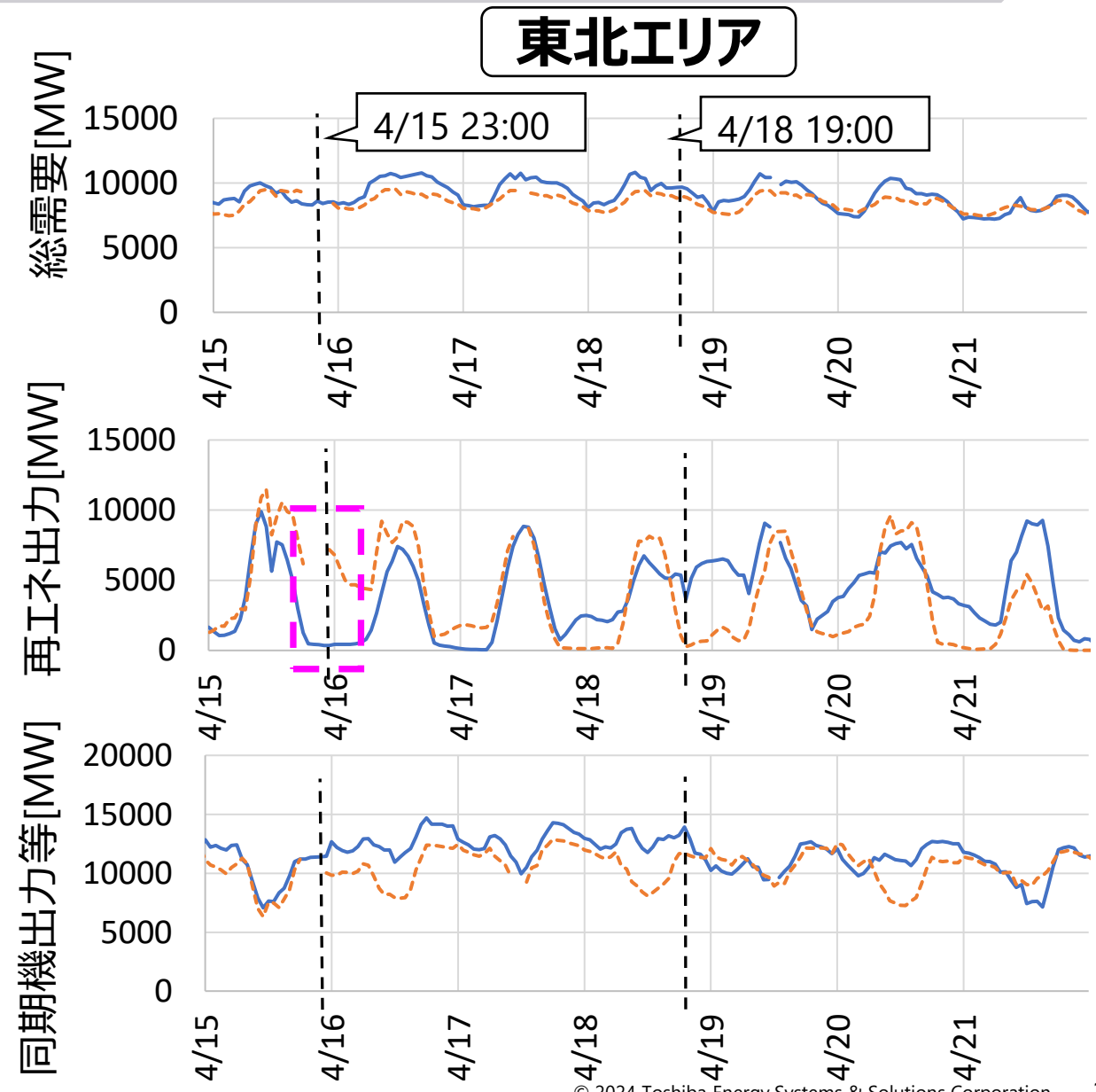


連系線潮流の差が顕著に出た2断面で、需給状態の差(需要・再エネ出力・同期機出力)を分析

需給状態の差(需要・再エネ出力・同期機出力)



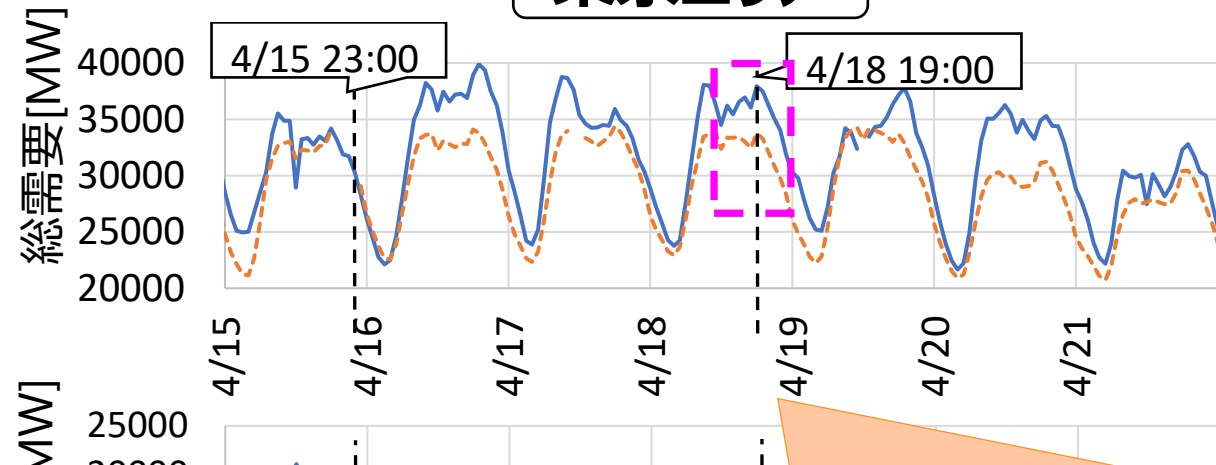
— 2030年 (2019年のERA5データで作成)



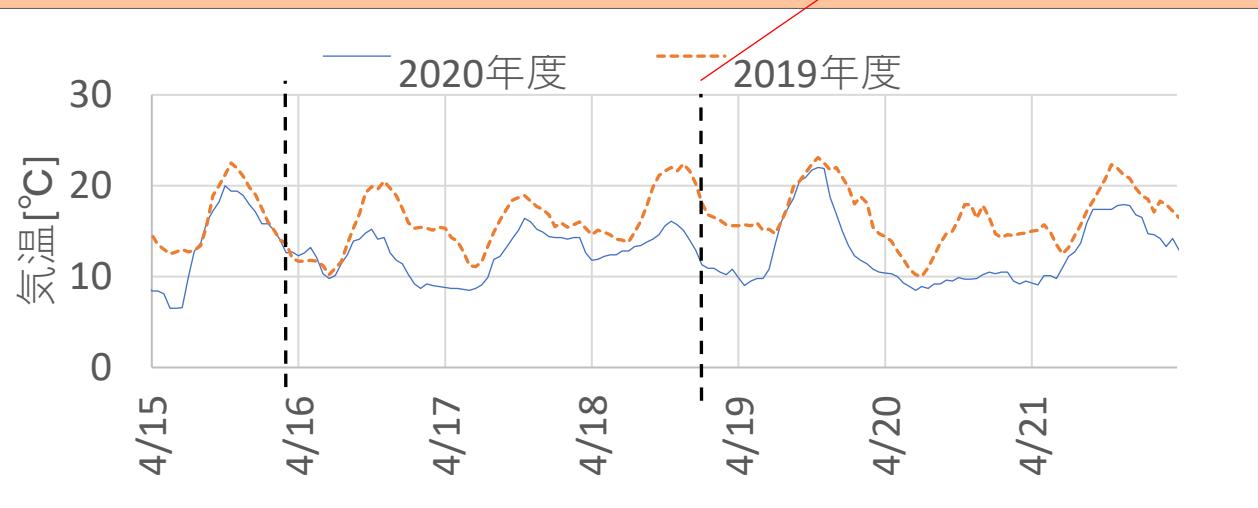
— 2030年 (2019年のERA5データで作成)

需給状態の差(需要・再エネ出力・同期機出力)

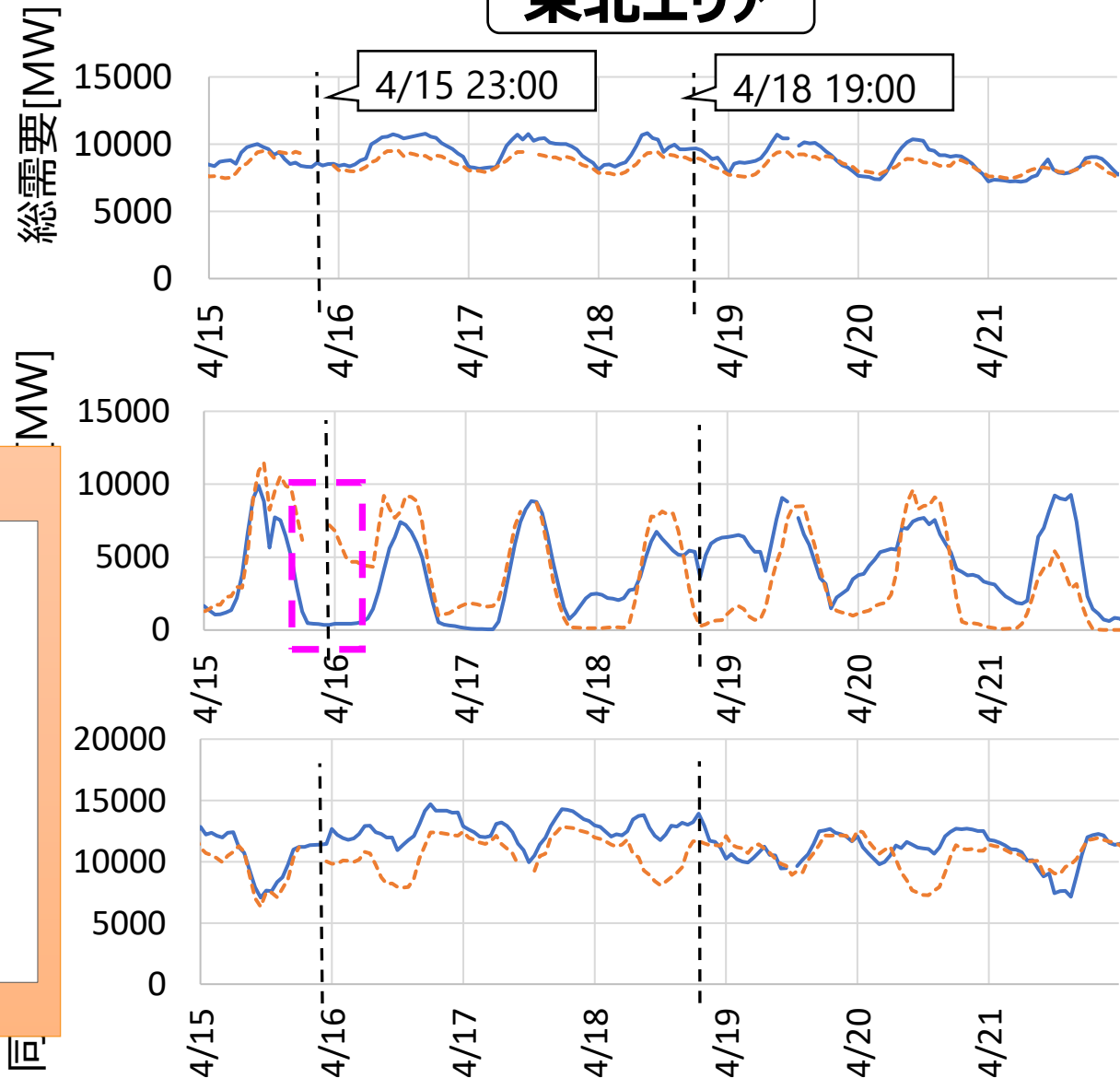
東京エリア



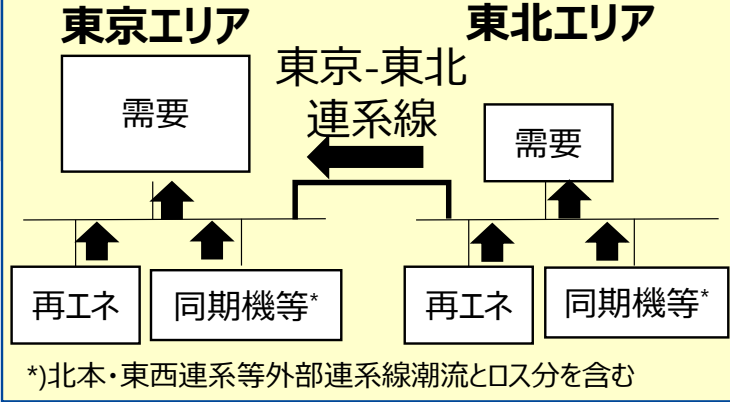
気温差による需要差が発生



東北エリア



需給状態の差(需要・再エネ出力・同期機出力)



4/15 23:00

エリア	東京		東北	
ERA5 参照年次	2020年	2019年	2020年	2019年
東京東北連 系線[MW]	3271	8823	3271	8823
再エネ 出力合計 [MW]	3	141	356	7191
総需要 [MW]	28289	29084	8545	8406
同期機出力 合計[MW] (ロス等加 算)	25015	20120	11461	10039

東北系の再エネ出力が多い分、
東京系の同期機出力を減少

4/18 19:00

エリア	東京		東北	
ERA5 参照年次	2020	2019	2020	2019
東京東北連 系線[MW]	8034	3111	8034	3111
再エネ 出力合計 [MW]	381	120	3652	281
総需要 [MW]	37508	33287	9537	8863
同期機出力 合計[MW] (ロス等加 算)	29093	30055	13920	11694

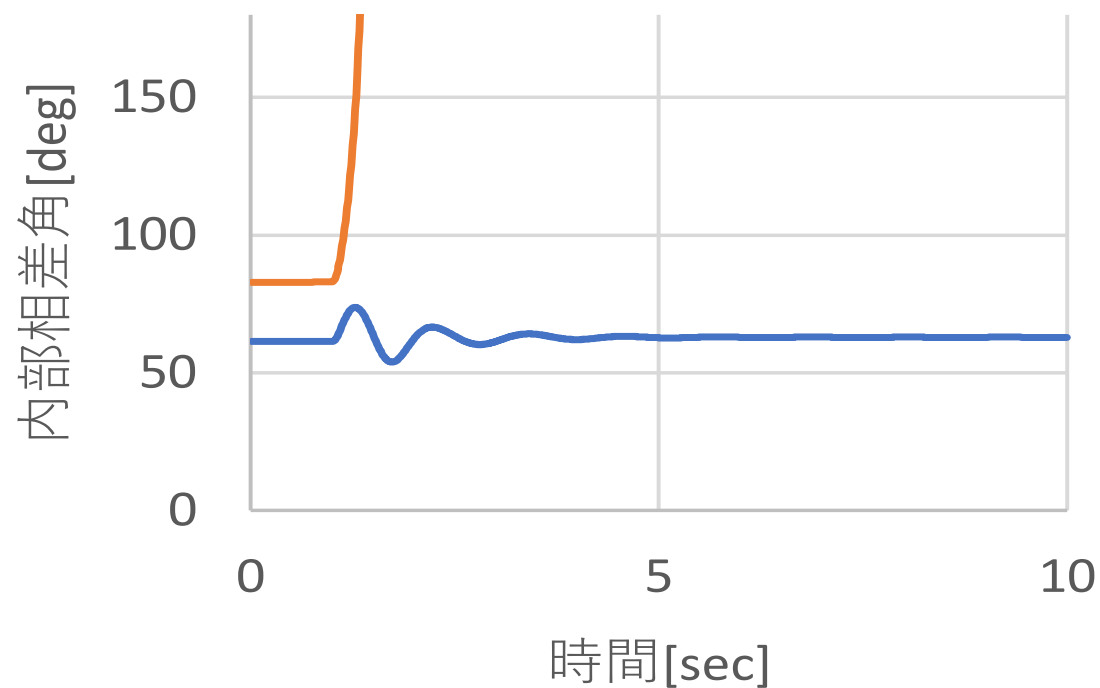
東京系の需要が減少、その分
東北系の同期機・再エネ出力減少

需給状態の差に起因した安定度の差

東北エリア内の基幹送電線の故障を対象に、東北エリア内のある同期発電機の内部相差角を評価

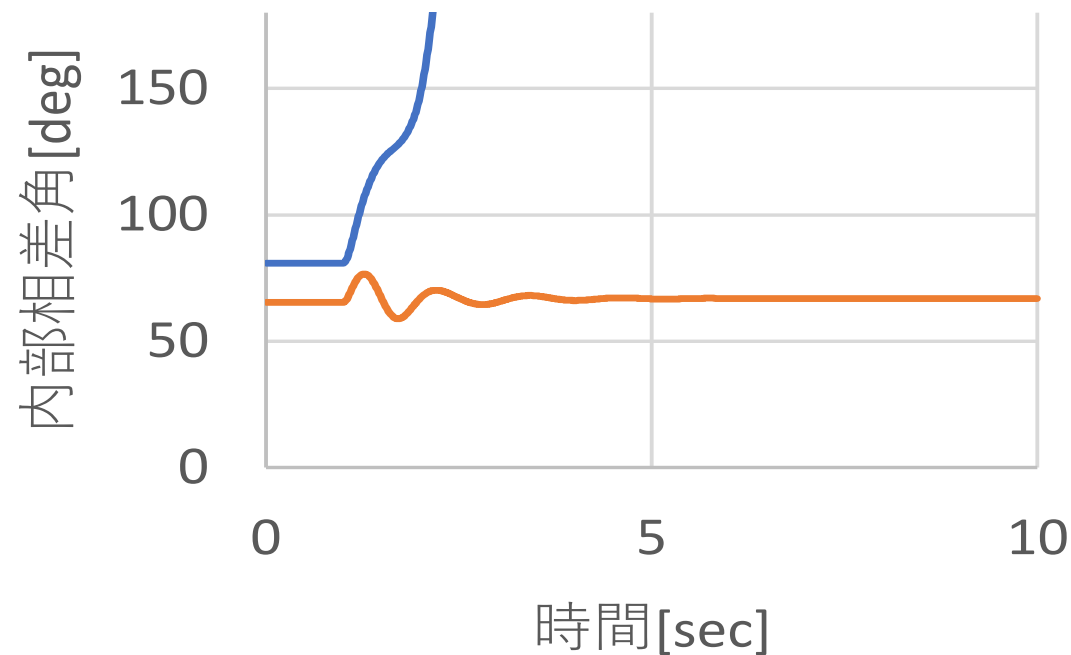
4/15 23:00

— ERA5 年次：2020年度
— ERA5 年次：2019年度



4/18 19:00

— ERA5 年次：2020年度
— ERA5 年次：2019年度



気象条件の変化→電力系統の潮流→安定度の変化

まとめ・今後の課題

まとめ・今後の課題

- 将来系統における太陽光発電・風力発電の出力を、**ERA5を用いて算出する機能**，**ERA5が参照する気象年次の気温に応じて気温感応度を用いて将来のベース需要を補正する機能**を確立
- 残余需要に応じて各同期発電機の出力とエリアの再エネ出力抑制値を決定するMR，公開情報から作成した東日本基幹系統モデルと組合せ，**現実的な気象条件の変化に応じた将来系統上における再エネ出力と需要の変動を模擬する方法**を構築
- 作成した将来の系統断面を用いて潮流計算および実効値解析を行い，**気象変化に由来する再エネ出力と需要の変化によって，系統の潮流状態と安定度も変化**することを確認
→与えた将来の再エネの設備容量やベース需要の条件に対する，将来系統における気象変化に応じた系統状態や安定度の変化の把握に役立つ
- 同期発電機や電圧制御機器、送電線のインピーダンス情報、等の現状公開されていない情報の公開により、更なる精度向上が期待できる