

電力需給・周波数シミュレーション の標準解析モデル

平成28年10月19日

東北大学 大学院 工学研究科

斎藤 浩海

- 01 | 電気学会 調査専門委員会の活動について
- 02 | 需給・周波数制御の実態
- 03 | 需給・周波数シミュレーションの標準解析モデル
- 04 | AGC30モデルを用いた解析デモ
- 05 | まとめ

01

電気学会 調査専門委員会 の活動について

● 電気学会「電力需給解析モデル標準化調査専門委員会」

活動目的：需給・周波数シミュレーションモデルと、その入力要素となる、電力需要データ・自然変動電源出力データを標準化し、解析の共通基盤を構築する。

活動期間：平成26年 4月 ～ 平成28年 3月（2年間）

活動実績：委員会8回、幹事会8回、作業会11回実施

委員会

委員長：東北大学 斎藤 浩海教授

幹事：中部電力 舘 竜司

委員：大学 7校 電力会社 10社 + 電源開発
電機メーカー 5社 電力中央研究所

幹事会

委員長：東北大学 斎藤 浩海教授

WG 1主査：横浜国立大学 辻隆男准教授

WG 2主査：中部電力 舘 竜司

作業会①

主査：横浜国大 辻隆男准教授

補佐：中部電力 佐藤 幸生


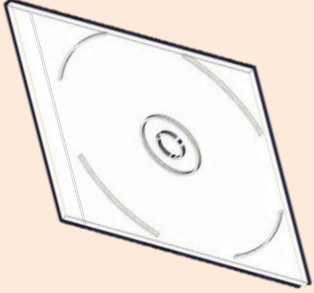
メンバー：大学 3校 電力会社 4社
電機メーカー 2社

作業会②

主査：中部電力 舘 竜司

補佐：中部電力 中地 芳紀

メンバー：大学 3校 電力会社 4社
電機メーカー 3社 電力中央研究所

	技術報告書	CD-ROM（解析例題集）
イメージ		
ページ	151ページ（A4版モノクロ）	—
概要	<ul style="list-style-type: none"> ・需給・周波数シミュレーションのための標準解析モデルを構築 ・標準解析モデルの考え方や設定方法を解説 ・解析例題を通じてシミュレーションの基本的な適用範囲を解説 	<ul style="list-style-type: none"> ・MATLAB®、Simulink®で構築したIEEJ AGC30モデルを収録 ・技術報告に記載の内容と同じ解析例題データを収録 ・電力需要、自然変動電源データを収録
販売予定価格	[会員価格] 4,082円(税込) [一般価格] 5,832円(税込)	[会員価格] 4,082円(税込) [一般価格] 5,832円(税込)
予定日	平成28年10月31日	平成28年11月30日
販売場所	電気学会 電子図書館 http://www.bookpark.ne.jp/ieej/	調査専門委 特設HP http://www.iee.jp/pes

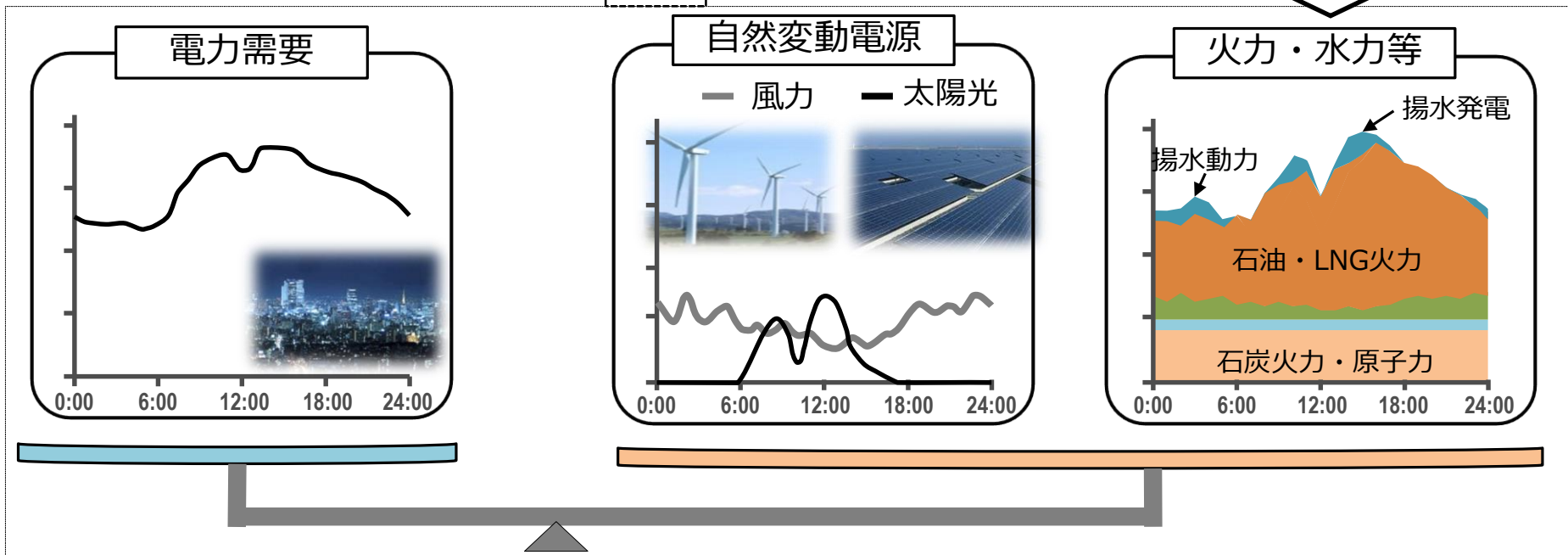
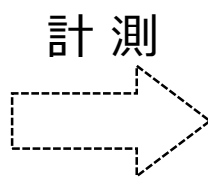
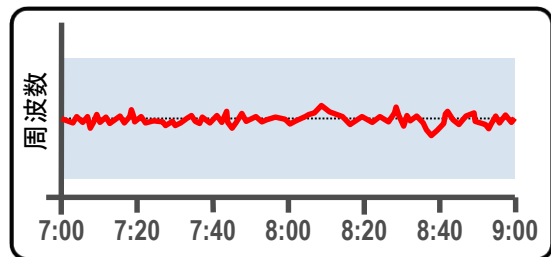
02

需給・周波数制御の実態

電力需給・周波数制御とは

- 電気は貯蔵できないため、常に発電と消費を一致させることが必要
- 発電計画と需給・周波数制御により、適正な需給バランスと周波数を維持

- ✓ 予測に基づく年間から前日までの発電計画
- ✓ 当日の中央給電指令所からの発電調整(需給・周波数制御)

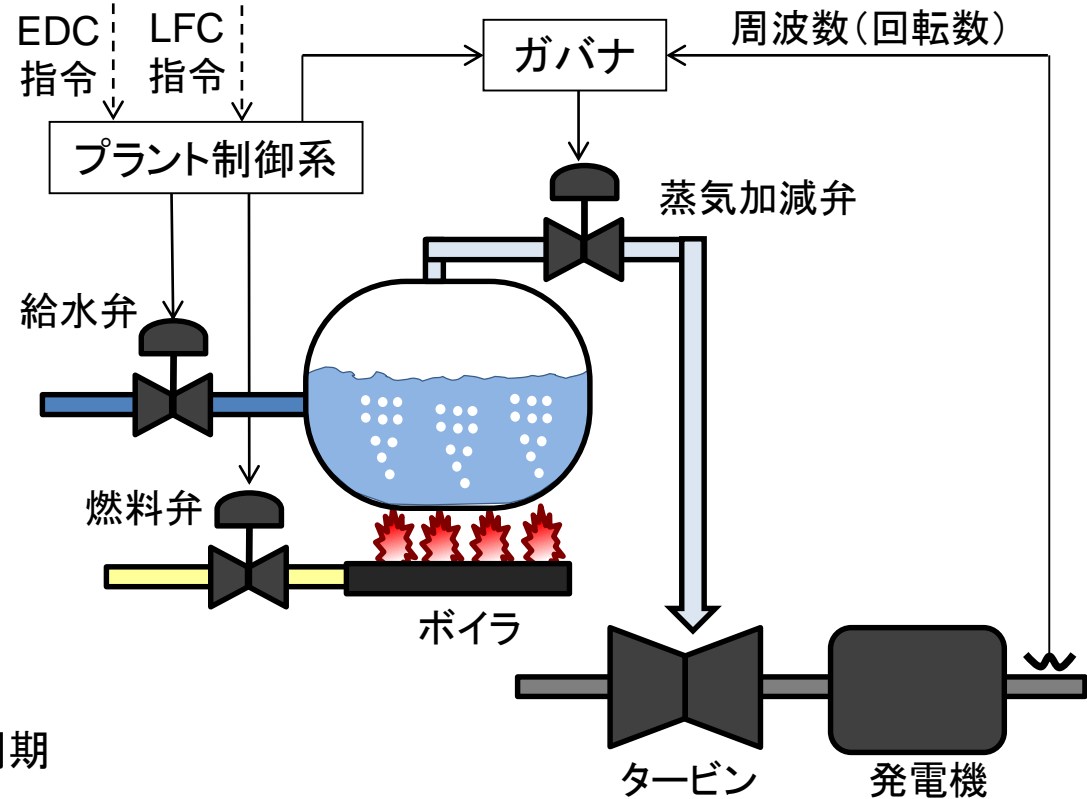
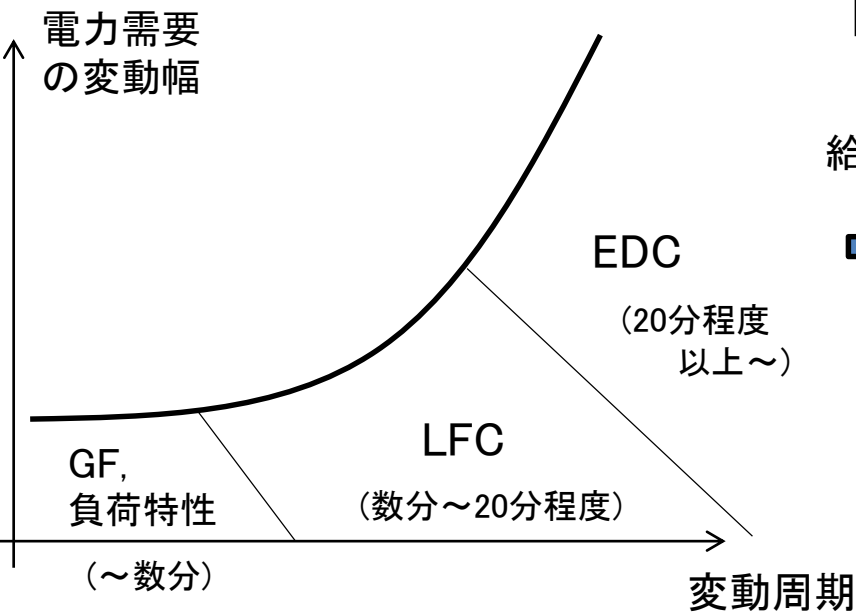
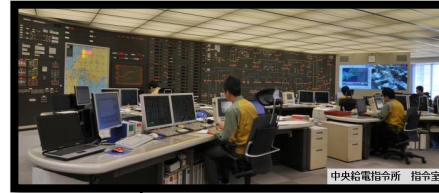


- 周波数が大きく変化すると電力品質の低下や発電設備の損傷を招くおそれ
- 周波数を適正に維持するため、電力需要や自然変動電源の変動の大きさや変動周期に合わせて異なる制御方法を組合せて対応

EDC: **Economic Dispatching Control**
 経済負荷配分制御

LFC: **Load Frequency Control**
 負荷周波数制御

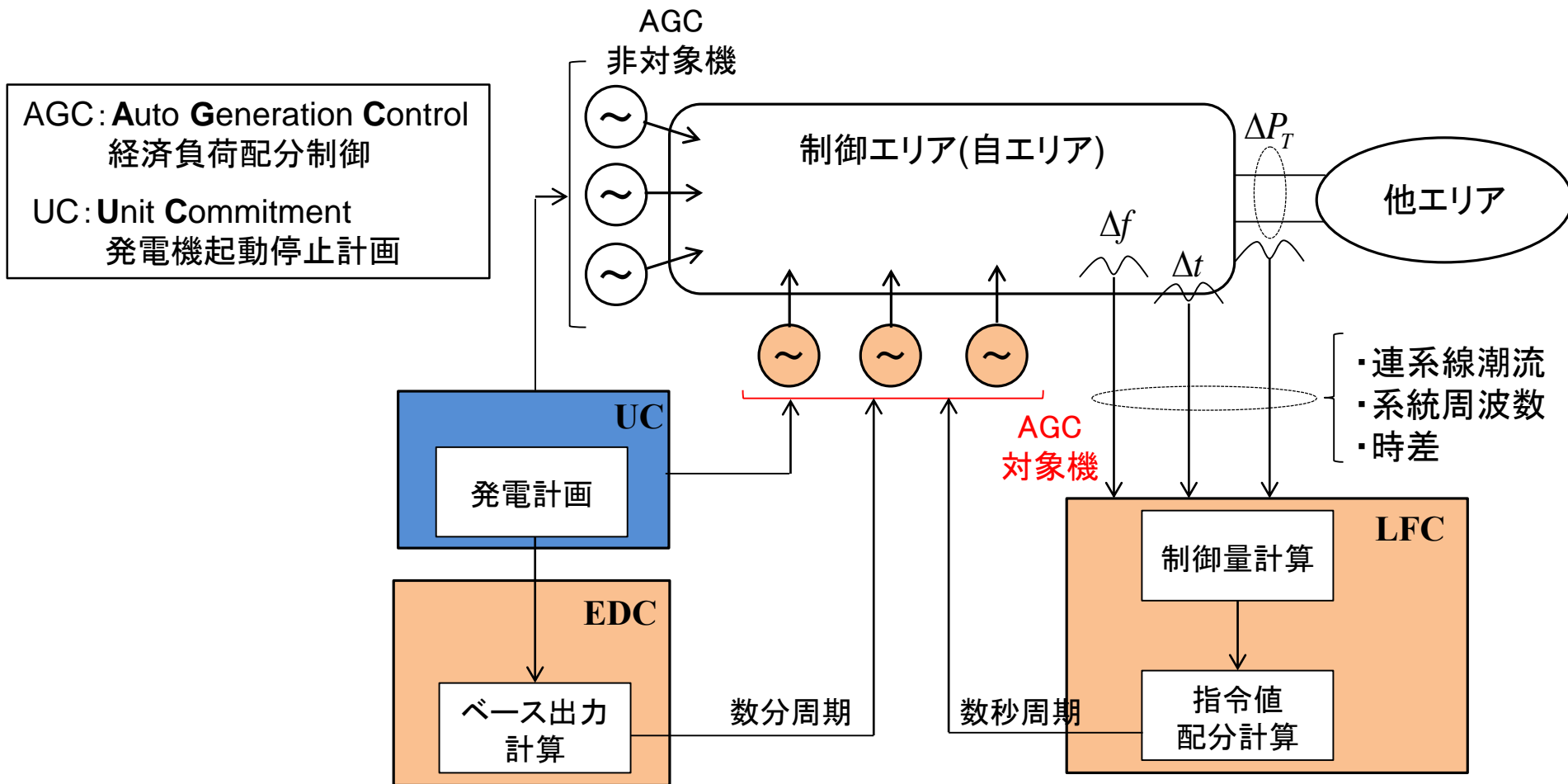
GF: **Governor Free**
 ガバナフリー



○電力システム全体でみた場合、調整対象は限定して運用。

- [発電計画] エリアに連系する全ての発電機を対象
- [需給・周波数制御] 制御対象発電機を選定（調整する電源は一部）

○調整対象の選定や調整量の確保（調整力）が重要な判断要素となる。



- 太陽光発電や風力発電は、天気の変化に伴って出力が急峻に変動。
- 今後もこれらの導入量が堅調に増加することが想定されている。

課題

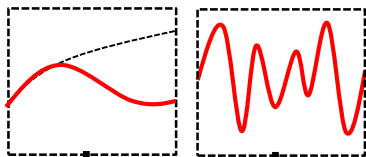
- ✓ 自然変動電源の発電計画値とのかい離分の補てん
- ✓ 天気の変化に伴う自然変動電源の急峻な出力変動への対応

→ シミュレーションニーズの高まり

風力 太陽光

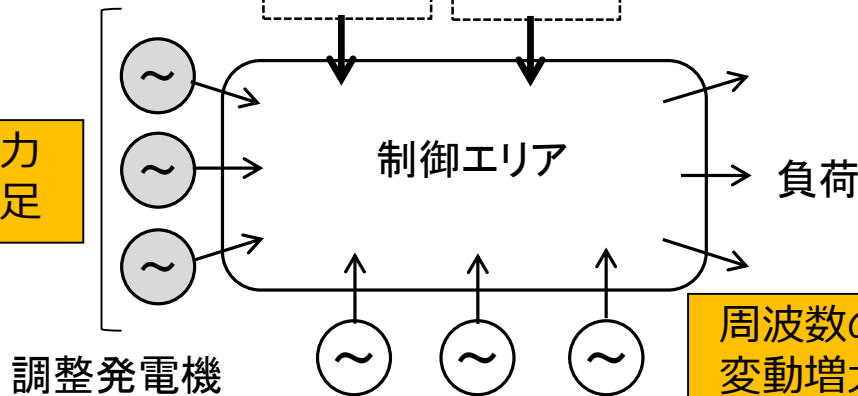


発電計画値
とのかい離



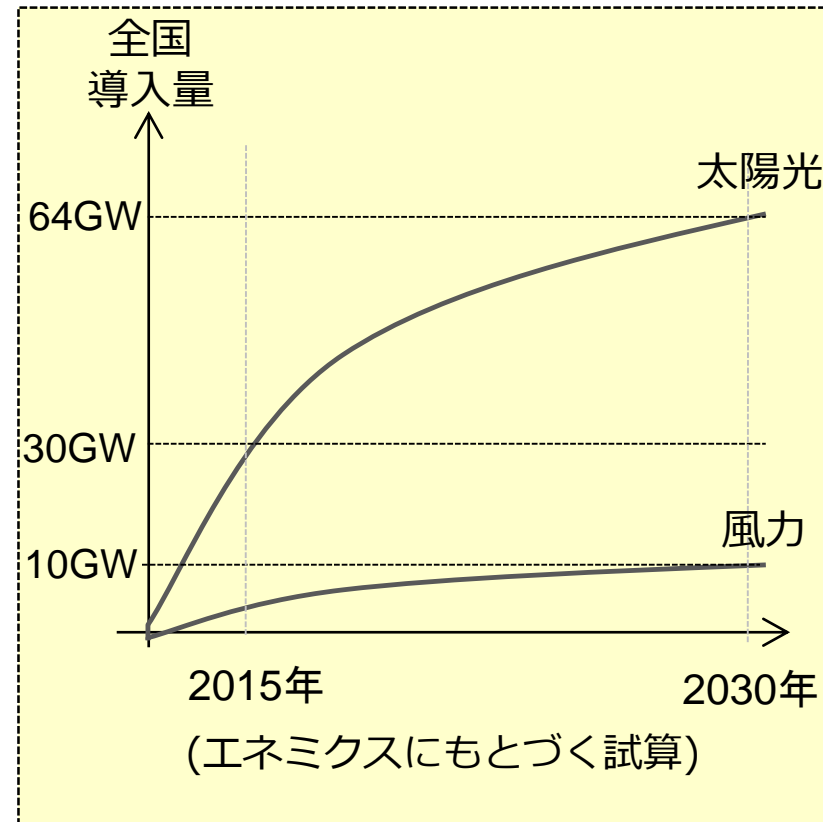
天気の変化に
伴う急峻な変動

調整力
の不足



予備力
の不足

周波数の
変動増大



03

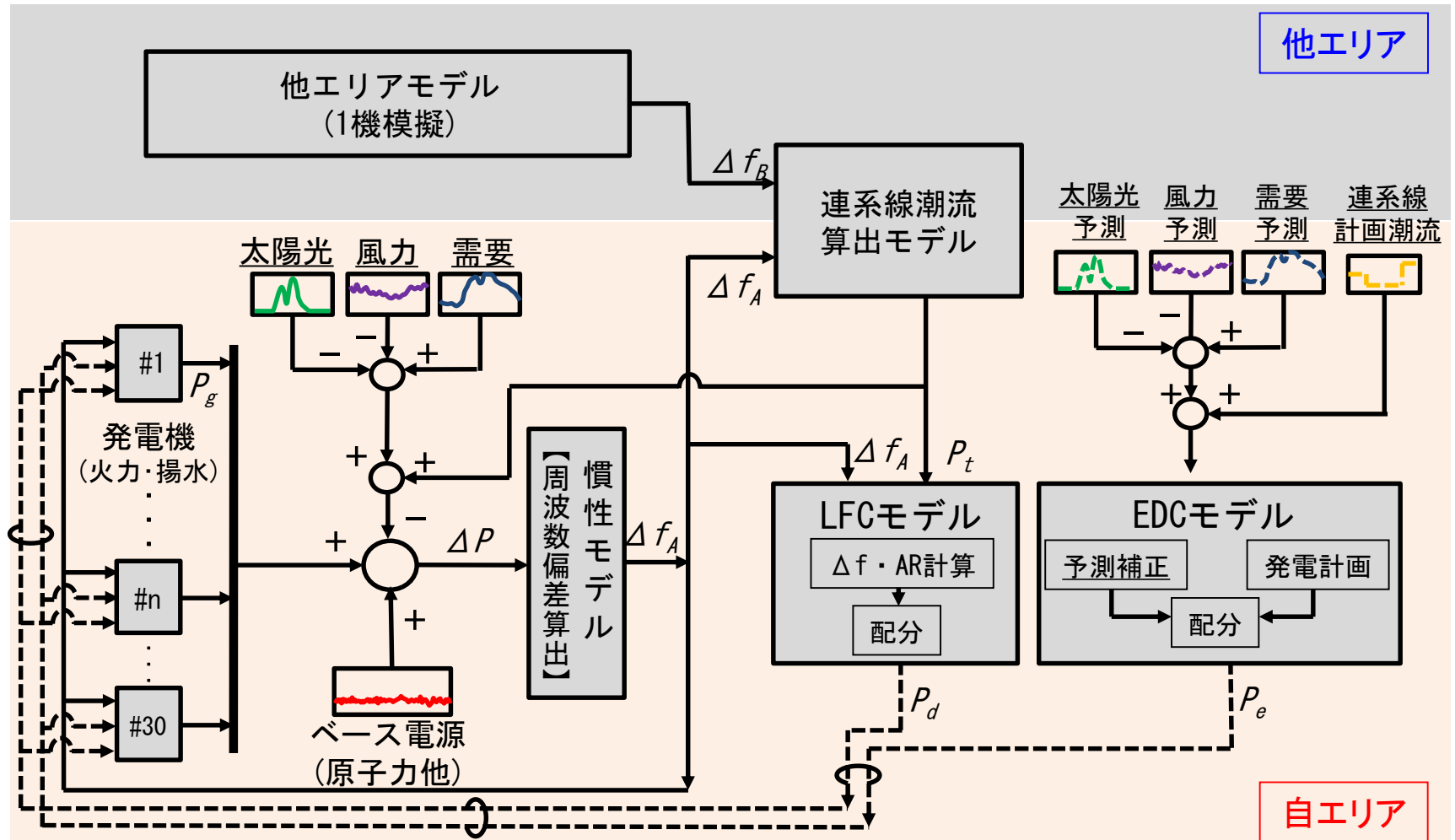
需給・周波数シミュレーション の標準解析モデル

- 需給・周波数シミュレーションにおけるニーズを把握するため、主なユーザと想定される27団体にアンケートを実施。
- これに加え、文献調査や電力会社の実態調査等から、現状のシミュレーションモデルに関する課題と、モデル化すべき範囲を下表のとおり整理。

調査項目	調査結果
主なニーズ	<ul style="list-style-type: none"> ✓ 太陽光発電・風力発電が周波数に与える影響検討 (導入量・出力変動パターンが周波数に与える影響) ✓ 予測誤差が周波数に与える影響検討 (考案した予測技術が周波数に与える影響) ✓ 考案した制御方式の検証 (周波数制御方式や、蓄電池などの制御方式の効果)
現状の課題	<ul style="list-style-type: none"> ✓ 研究・開発事例毎に各々がシミュレーションモデルを構築しており、解析結果に対する客観的な評価が難しい。 ✓ 計算が複雑化することを避けるために、必要最小限の範囲をモデル化することが多いため、幅広い時間領域や解析ニーズに柔軟に対応可能な共通基盤となるシミュレーションモデルがない。
求められる解析モデル	<ul style="list-style-type: none"> ◎ 燃種・プラントの異なる多数の発電機を精度よく解析できるモデル ◎ 数時間適度の解析が可能となるモデル ◎ 電力会社規模の大規模システムを対象としたモデル ◎ 拡張性に優れたモデル

- 需給・周波数制御システムを構成する各要素を標準モデルとして構築。
- 標準モデルを組合せ、周波数制御対象の発電機を30機とした仮想エリアを作成、これをIEEJ AGC30モデルと定義。
- 電力需要や自然変動電源データは実績データをもとに作成（標準データ）。

需給・周波数制御システムモデル (AGC30モデル)



他エリア

自エリア

	項目	取扱いの範囲	備考
対象範囲	解析時間	<ul style="list-style-type: none"> ・ 推奨時間は3時間程度 	長時間化すると、模擬範囲の拡大が必要となり、パラメータが増えて複雑化するため
	解析対象	<ul style="list-style-type: none"> ・ 平常時解析に限定 (基準周波数±0.2Hz程度の解析を対象) 	大規模電源脱落等の緊急時は、運転員の対応や安定化装置による制御が介在するため
標準モデル	エリア規模	<ul style="list-style-type: none"> ・ ピーク18,000MW規模を想定 	わが国の電力会社の平均規模
	発電機数	<ul style="list-style-type: none"> ・ 自動制御対象を30機でモデル化 	
	エリア数	<ul style="list-style-type: none"> ・ 2エリアを想定 	
	ネットワーク	<ul style="list-style-type: none"> ・ モデル化しない 	
	発電プラント	<ul style="list-style-type: none"> ・ LNG, 石油, 石炭, GTCC, 可変速・定速揚水をモデル化対象とする ・ 系統事故時等の異常時検討に必要な制御ブロックは模擬しない 	わが国の電源比率に基づき燃種毎の容量・機数を設定
	LFC	<ul style="list-style-type: none"> ・ FFC方式とTBC方式を模擬 	わが国で採用されているため
	EDC	<ul style="list-style-type: none"> ・ 等ラムダ法により模擬 	同上
系統	<ul style="list-style-type: none"> ・ 需給インバランスから周波数を計算 	過渡的な発電機のすべりは無視	
標準データ	電力需要	<ul style="list-style-type: none"> ・ 時系列データで構築 (2パターン) 	各エリアの実績データから代表的な変動を抽出して作成。
	自然変動電源	<ul style="list-style-type: none"> ・ 時系列データで構築 (各5パターン) 	

○ 発電出力の応動を正確に模擬するためには燃種や定格出力などのラインナップに加え、火力機はボイラ系やプラント制御系等のモデル化が必要

- ✓ ボイラ系、プラント制御系などを極力簡易にモデル化
- ✓ 我が国の標準的な燃種として火力8種類、水力2種類をモデル化

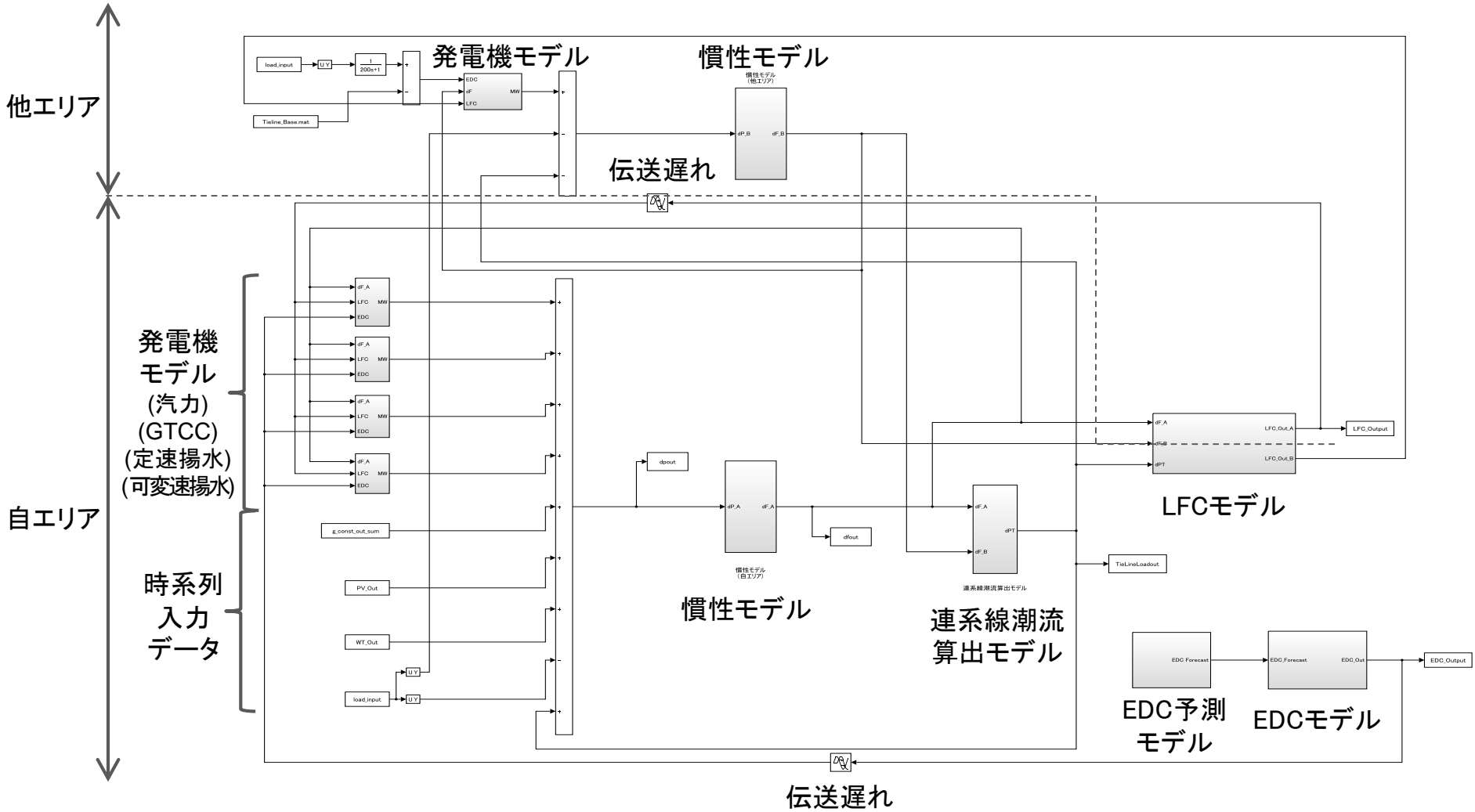
	燃種	定格出力[MW]	ボイラ種類	標準モデル
火力	石油	250	定圧ドラム	汽力プラント (定数設定により燃種等の違いを模擬)
		700	変圧貫流	
	石炭	700	変圧貫流	
		1,000	変圧貫流	
	LNG	200	定圧ドラム	
		700	変圧貫流	
GTCC	250		GTCCプラント (定数設定により周波数応答性の違いを模擬)	
	250			
水力	定速揚水	300		定速揚水プラント
	可変速揚水	300		可変速揚水発電機
その他	原子力等			

04

IEEJ AGC30モデル を用いた解析デモ

- 需給・周波数制御システムモデル全体としての応動やモデルの基本的な適用範囲を示すため、MATLAB®およびSimulink®でIEEJ AGC30モデルを作成。

Simulinkで作成したAGC30モデル



MATLAB®

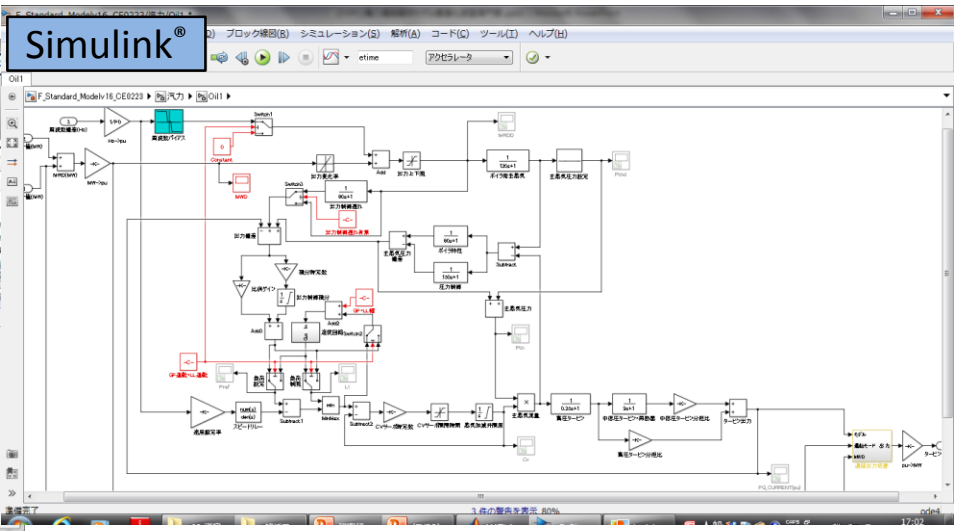
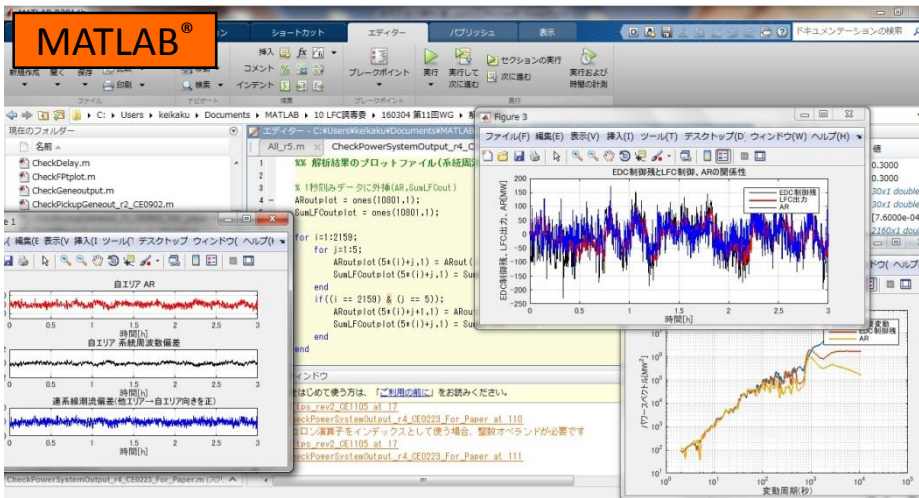
- アンケートの結果、解析ツールとして使用実績およびニーズが高い。
- 膨大な入力データの取込み、計算結果の解析や可視化に優れる。
- Simulinkと共通環境で使用可能であり、ブロックの初期値設定が容易。

Simulink®

- 制御ブロック図の描画が容易。
- サブシステム機能により視覚的にわかりやすいモデルデザインが可能。
- 離散系システムと連続系システムの混在したシステムの解析に有効。

※一度コーディングすれば解析結果の可視化が容易

※制御ブロックの色付けや空きスペースのコメント追加は
開発者で情報を共有しやすい



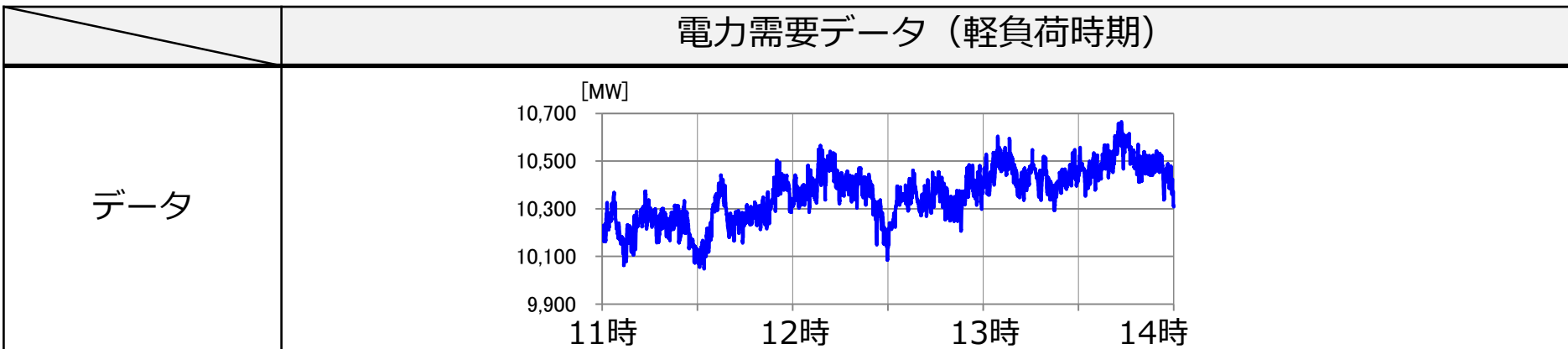
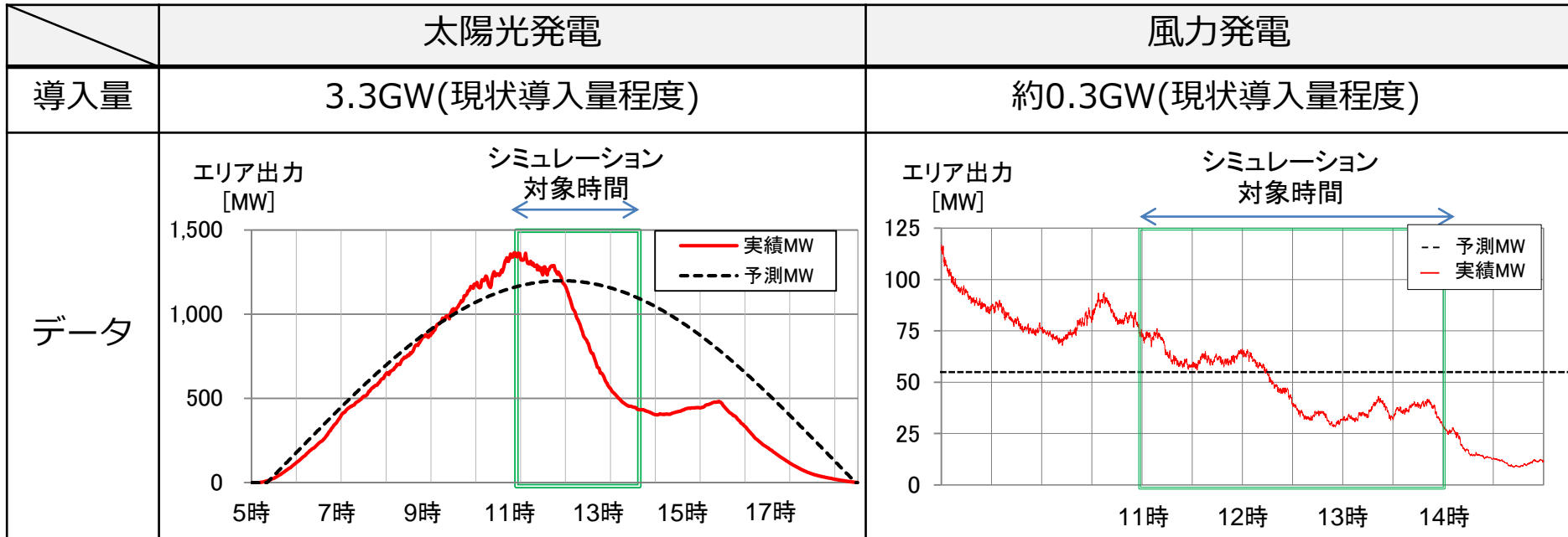
- **IEEJ AGC30モデルでできること**

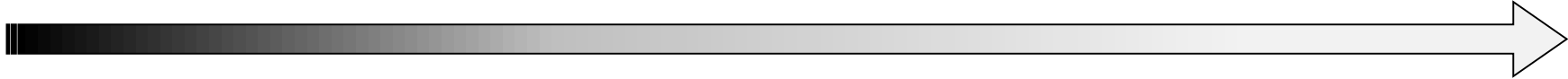
- ✓ 需給・周波数制御の基本的な応動の把握
- ✓ 太陽光発電・風力発電が周波数に与える影響の検討
- ✓ 需要や自然変動電源の予測誤差が周波数に与える影響の検討
- ✓ 考案した新たな制御（周波数制御方式や、蓄電池制御の効果等）の検討

- **IEEJ AGC30モデルを拡張してできること**

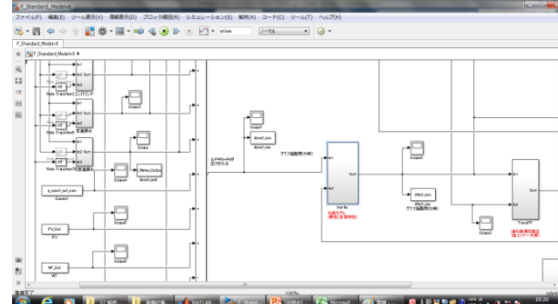
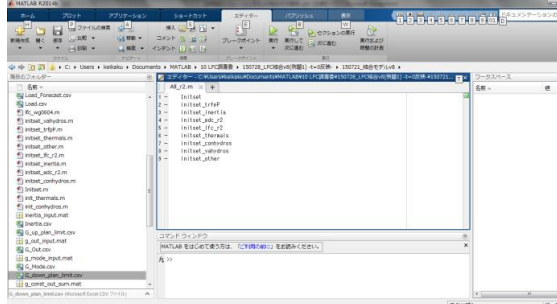
- ✓ 実測（発電出力や周波数、ARなど）との対比
- ✓ 複数エリアを詳細模擬したシミュレーション
- ✓ 長時間のシミュレーション（ただし解析シナリオが限定される）

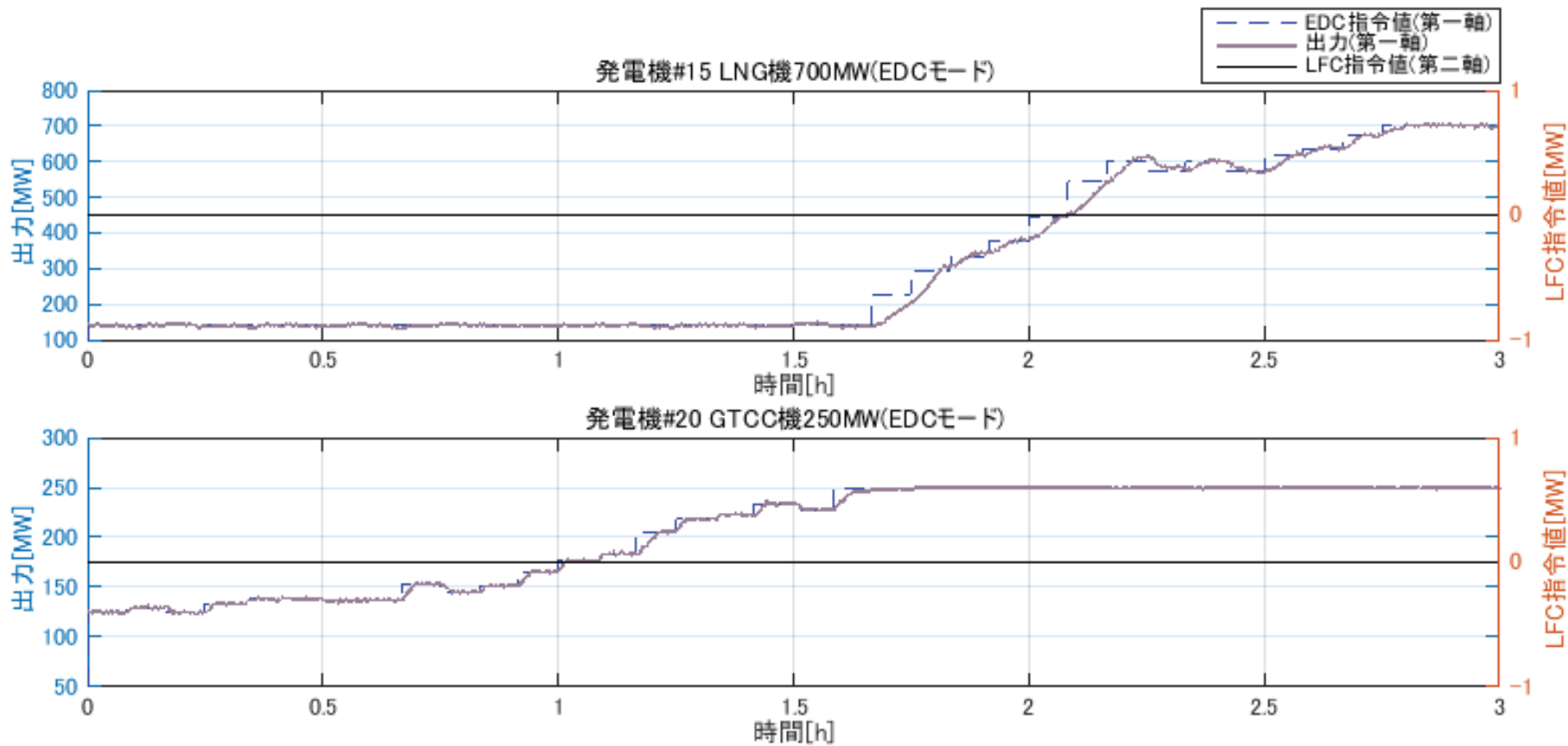
○軽負荷期の11時～14時を対象に、太陽光発電・風力発電が、以下のように出力減少した場合の、発電機出力の変化などを確認する。



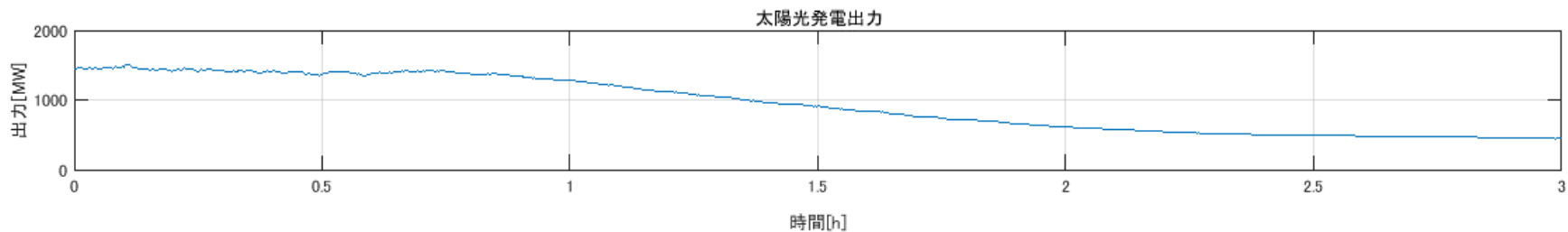


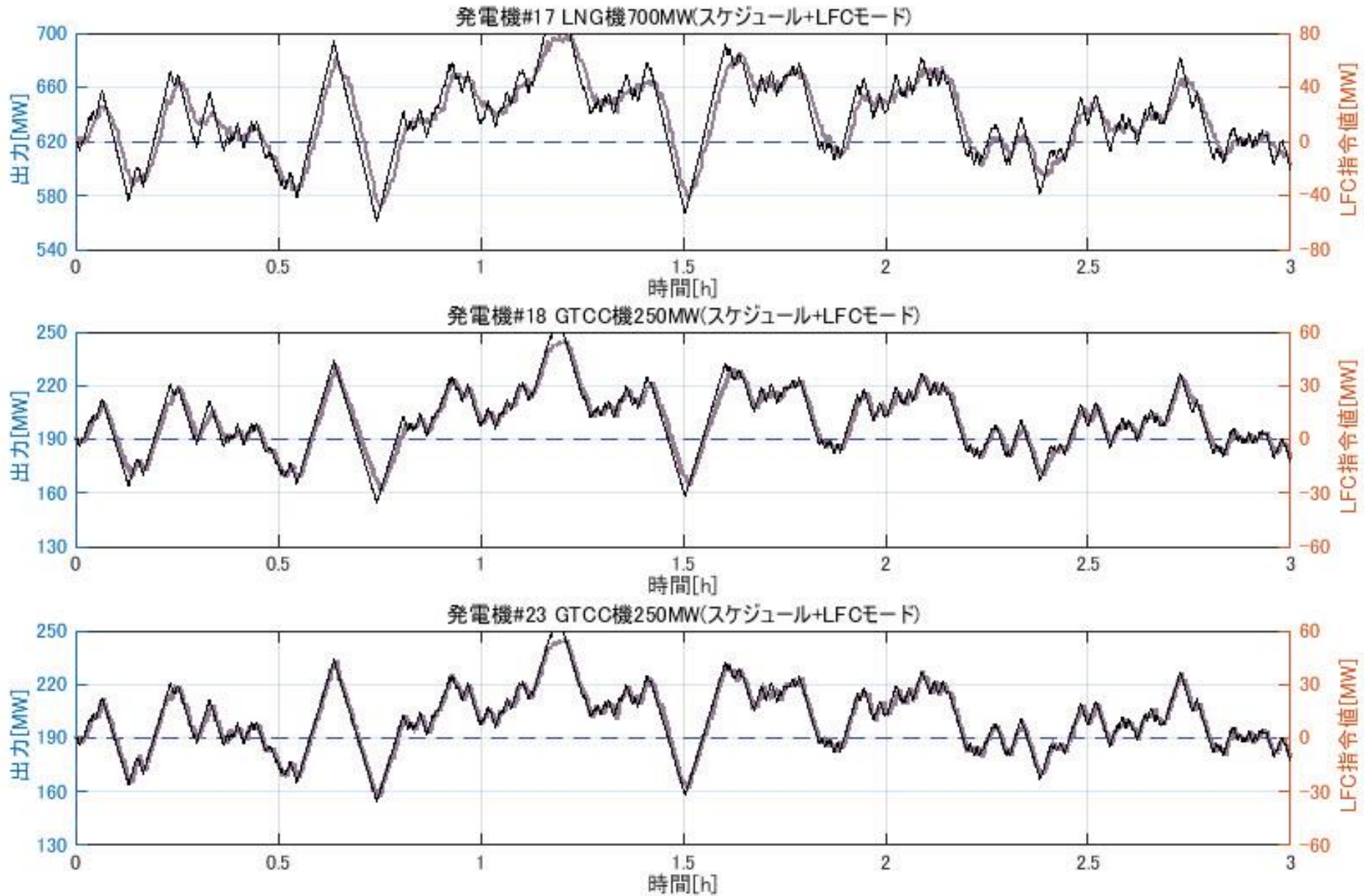
	[STEP1] 発電機の運転状況の作成	[STEP2] シミュレーション初期値設定	[STEP3] シミュレーション実行
ツール	発電計画ツール(Excel®マクロ)	MATLAB®	Simulink®
概要	<ul style="list-style-type: none"> 電力需要予測の決定 自然変動電源出力予測の決定 運転発電機(起動停止)の決定 発電出力の計画値の決定 LFC,EDC対象機の決定 発電機制約条件の設定 	<ul style="list-style-type: none"> csv入力ファイルのインポート シミュレーション条件設定 シミュレーションモデルの初期値設定 	<ul style="list-style-type: none"> LFC制御方式の設定 (TBC方式またはFFC方式) MATLABワークスペースに定義された初期値を読み込み コンパイル シミュレーションの実行
計算結果	csv入力ファイルを自動作成	MATLABワークスペースに保存	MATLABワークスペースに保存





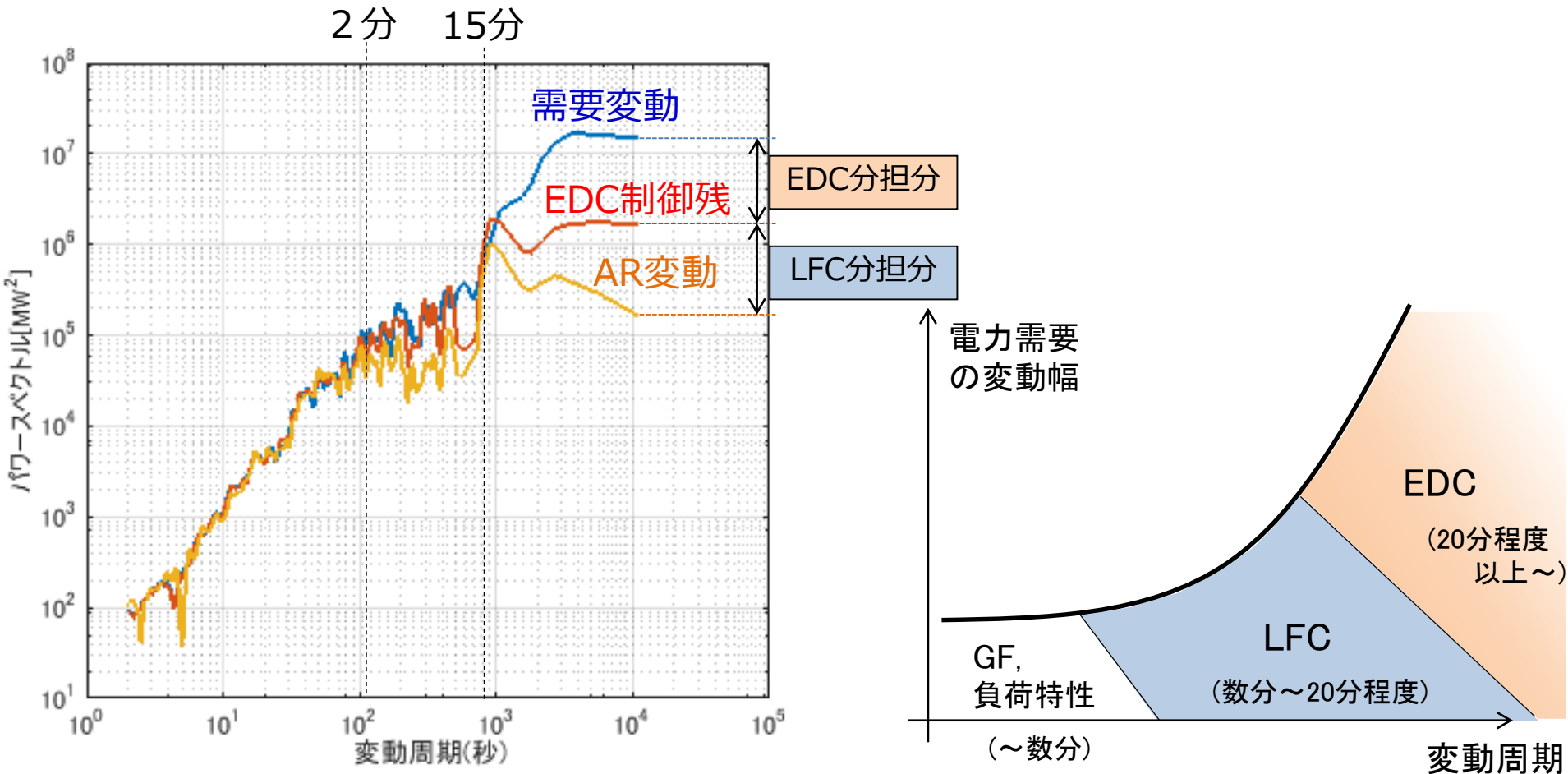
(参考：シミュレーション条件) 太陽光発電出力データ





○ シミュレーション結果のパワースペクトルから、基本的な応動を確認。

- EDC : 数十分周期の需要変動を対象に制御
- LFC : 数分から数十分程度の需要変動を対象に制御
- GF : 数分以下周期の需要変動を対象に制御



● 電力需給・周波数シミュレーションモデルの標準化

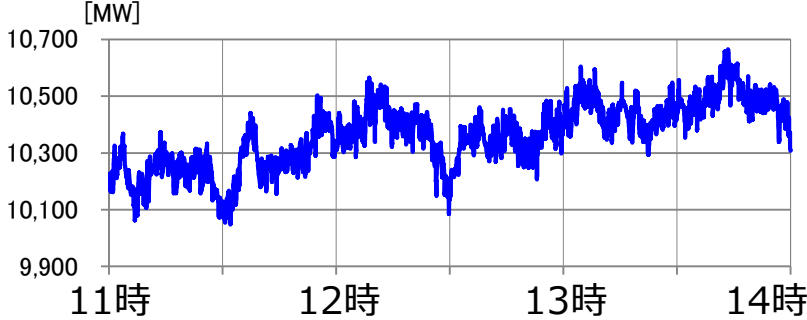
- ✓ 需給・周波数シミュレーションを構成する各要素を標準化。
- ✓ 電力需要や自然変動電源出力について、需給・周波数解析において有用となる代表的な変動を時系列データにて作成。
- ✓ 標準モデルを組合せたIEEJ AGC30モデルをベンチマークモデルとして構築。
- ✓ 各標準モデルの考え方や実測対比等を電気学会技術報告書で整理。

● 解析例題集の公開

- ✓ IEEJ AGC30モデルを用いた解析例題のシミュレーションデータをCD-ROMに収録し有償にて公開。
- ✓ 電力需要データや自然変動電源データについても同CD-ROMに収録し公開。

需給・周波数解析の共通基盤として本モデルが
広く普及することを期待したい。

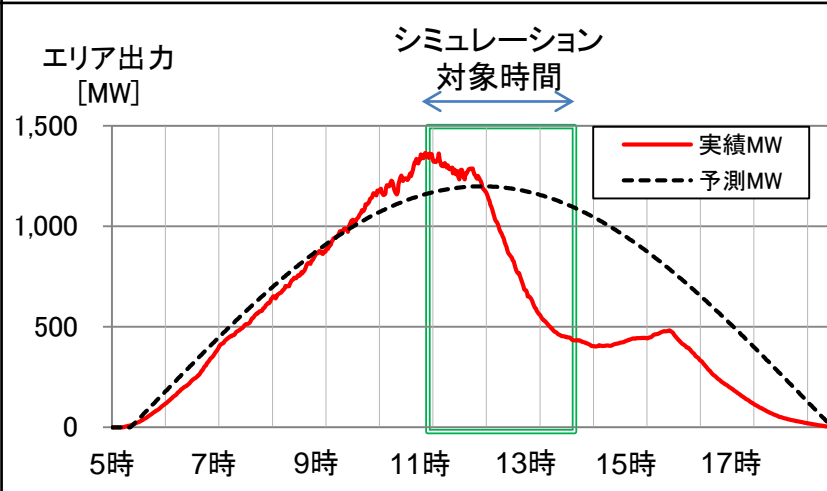
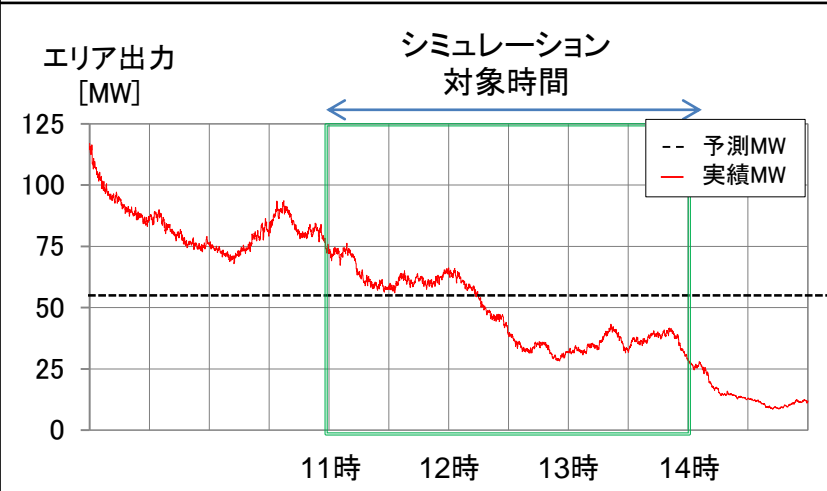
ご清聴ありがとうございました。

	設定条件	備考
電力需要データ	<p>標準データ(軽負荷期)の11時～14時断面</p> 	<ul style="list-style-type: none"> 他エリア需要は自エリア需要の20分以下周期成分を15分進ませた。(エリア間の相関係数が0に近くなるずらし幅)
運転予備力	5%程度	運転予備力は一般に3～5%程度
需要予測誤差	3%	需要の上振れを想定
発電機態勢	石油機、揚水機は全台停止	メリットオーダで計画
EDC対象機	次頁参照	
LFC対象機	次頁参照	
LFC調整幅	系統容量の2%程度	LFC容量は一般に2%程度
許容調整残	142MW	<ul style="list-style-type: none"> 全系の許容調整残は1%MWとした 自エリアの許容調整残は系統容量の平方根比で配分
連系線計画潮流 P_0	解析時間中0MW	<ul style="list-style-type: none"> 連系線潮流変動の分散が視覚的に把握しやすいため

(参考) デモにおける設定条件②

発電機 ナンバー	燃種	定格出力 [MW]	初期出力 [MW]	運転機	LFC 対象機	EDC 対象機	発電機 ナンバー	燃種	定格出力 [MW]	最低出力 [MW]	運転機	LFC 対象機	EDC 対象機
1	石油	250	0	—	—	—	20	GTCC (タイプ1)	250	250	○	—	○
2		250	0	—	—	—	21		250	250	○	—	○
3		700	0	—	—	—	22		250	250	○	—	○
4		700	0	—	—	—	23	GTCC (タイプ2)	250	190	○	○	—
5		700	0	—	—	—	24		250	250	○	—	○
6		700	0	—	—	—	25		250	250	○	—	○
7		700	0	—	—	—	26		250	250	○	—	○
8	石炭	700	700	○	—	○	27	定速揚水	250	250	○	—	○
9		700	700	○	—	○	28		300	0	—	—	—
10		1000	1000	○	—	○	29		300	0	—	—	—
11		1000	1000	○	—	○	30	可変揚水	300	0	—	—	—
12	LNG	200	0	—	—	—	31	水力	3415	900	○	—	—
13		200	0	—	—	—	32	原子力	500	500	○	—	—
14		200	0	—	—	—	33		500	500	○	—	—
15		700	453	○	—	○	34		500	500	○	—	—
16		700	453	○	—	○	35		1000	0	—	—	—
17		700	620	○	○	—	36		1000	0	—	—	—
18	GTCC	250	190	○	○	—	37		1000	1000	○	—	—
19	(タイプ1)	250	250	○	—	○	—	—	—	—	—	—	—

- 太陽光発電・風力発電が周波数に与える影響を検討するため、下表の導入量を想定し、いずれもランプダウンパターンで出力変動した際のシミュレーションを行った。
- 予測誤差は昨今の予測技術精度を鑑み現実的な値となるように設定した。
- 太陽光発電および風力発電以外の設定条件はベースケースと同じとした。

	太陽光発電	風力発電
導入量	3.3GW(現状導入量程度)	約0.3GW(現状導入量程度)
出力係数	70%	100% (実績データのため)
予測誤差	%MAEで37%程度	RMSEで10%程度
パターン	ランプダウンパターン	ランプダウンパターン
データ	 <p>エリア出力 [MW]</p> <p>シミュレーション対象時間</p> <p>— 実績MW - - - 予測MW</p> <p>5時 7時 9時 11時 13時 15時 17時</p>	 <p>エリア出力 [MW]</p> <p>シミュレーション対象時間</p> <p>- - - 予測MW — 実績MW</p> <p>11時 12時 13時 14時</p>

シナリオ
ベースで
設定

前日計画

- ・ 翌日の需要および自然変動電源出力を予測。
(風力は中間出力程度、太陽光発電は準快晴で予測)
- ・ 予測誤差に対応するため運転予備力は、15%程度確保。

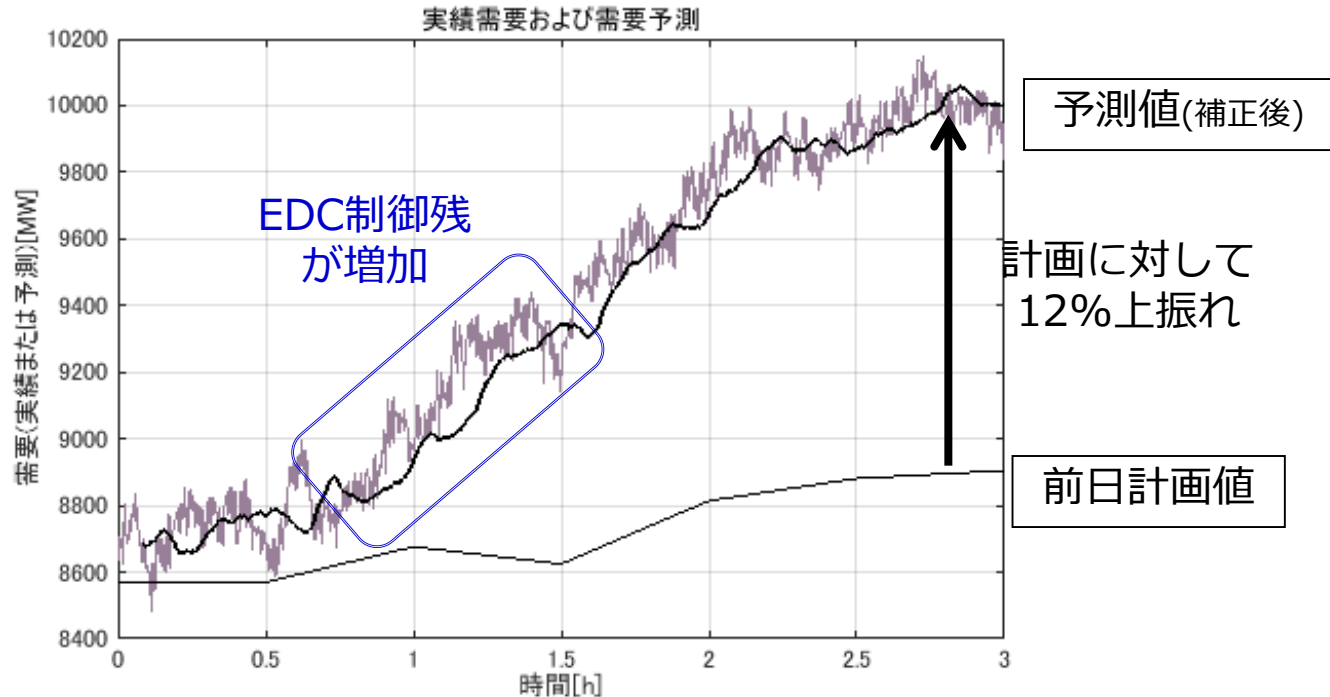
当日計画

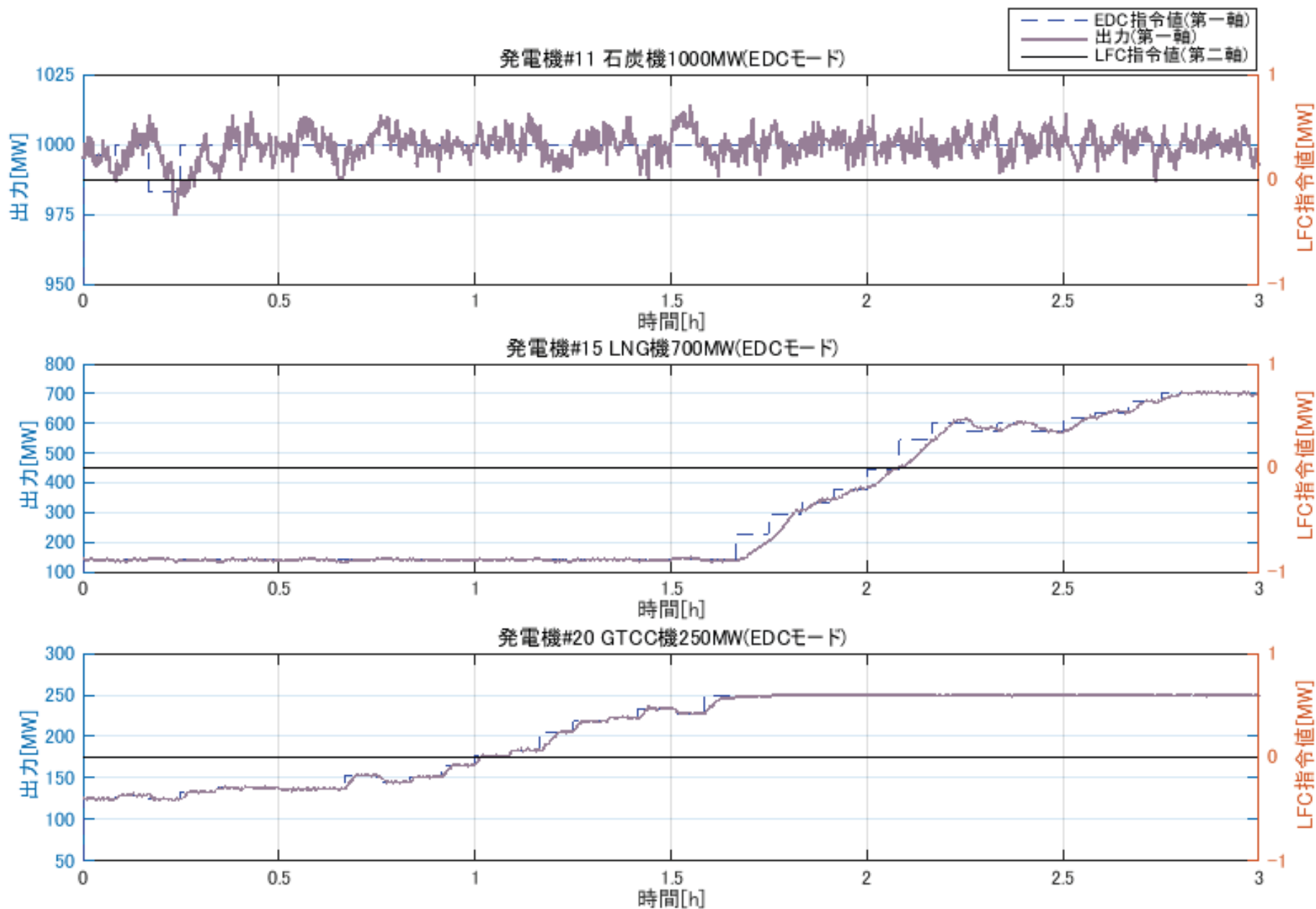
- ・ 前日計画から見直しなし

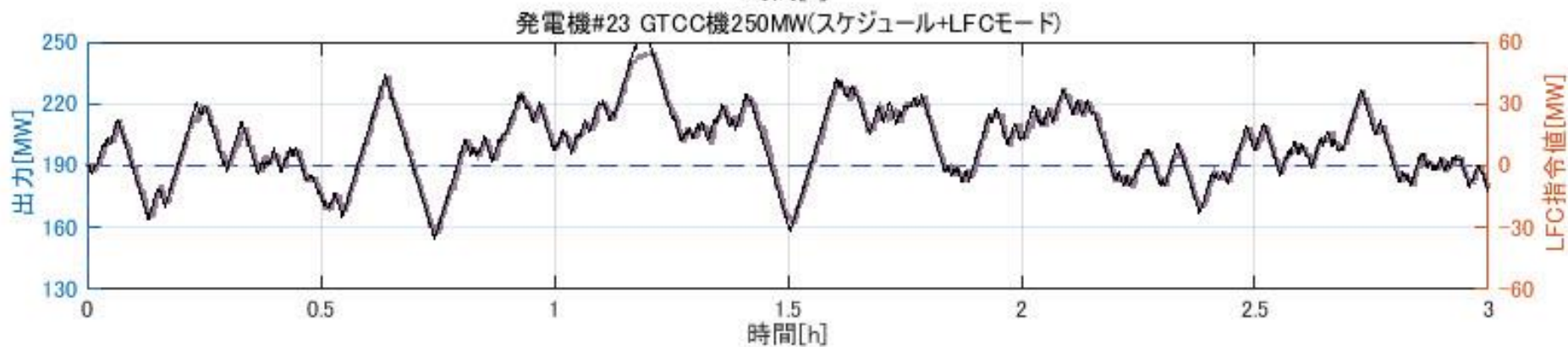
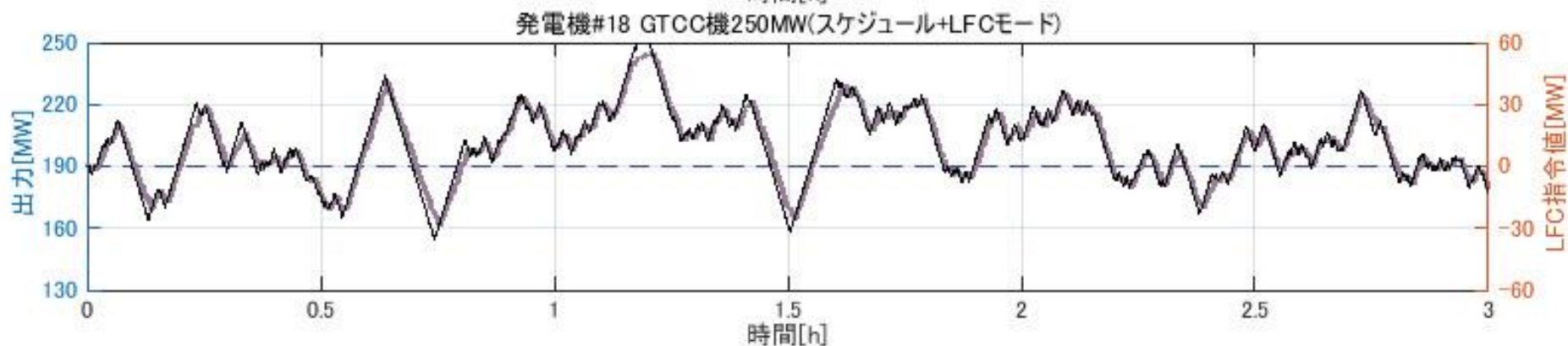
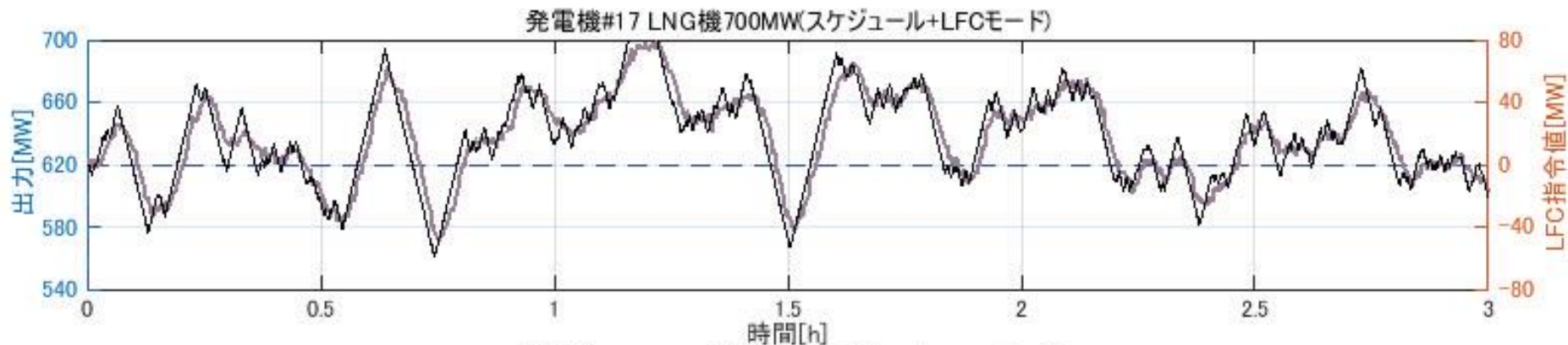
当日運用

- ・ 計画値に対して実績需要が12%上振れ (予備力で対応)
- ・ EDCで現在需要をもとに需要予測値を補正
- ・ 需要の短周期変動はLFC対象発電機で調整

シミュレー
ション
(11~14時
を切り取り)







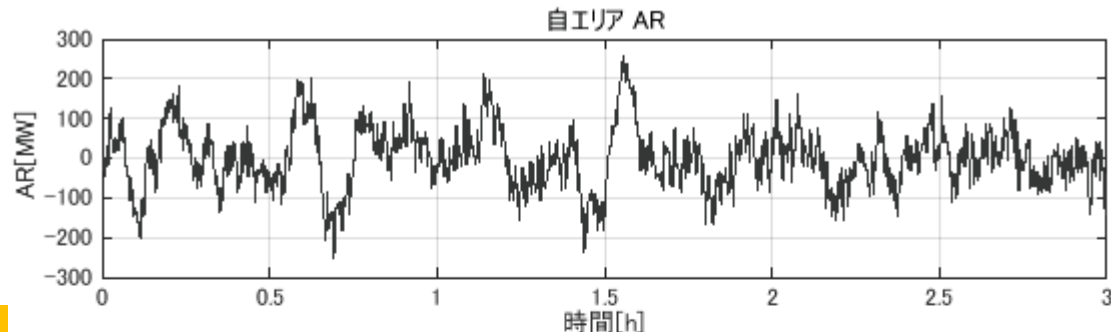
- 自然変動電源の出力変動に伴い、予測誤差が大きくなりEDC制御残が増加する。
- EDC制御残の増加に伴いLFCの制御分担量が増加するため、LFC容量が不足する。
- LFC制御残が増えるため、制御結果が悪化しARが許容調整残を超過する。

☑ 自エリアARの評価

評価基準	シミュレーション結果
許容調整残 142MW	95%タイル値 156MW

<

超過

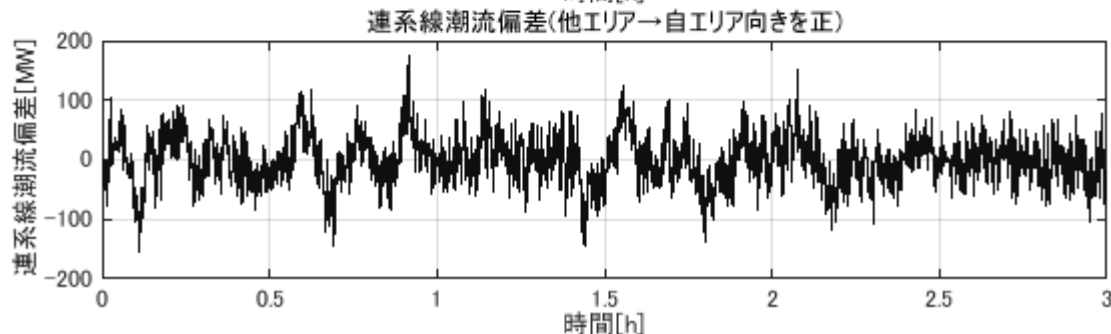
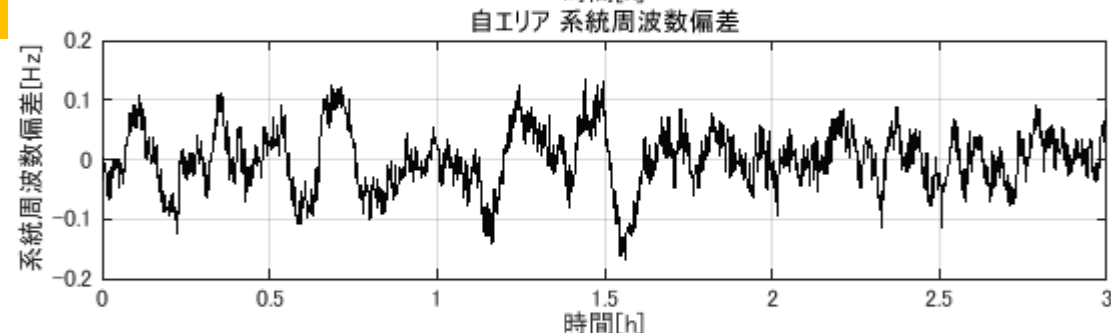


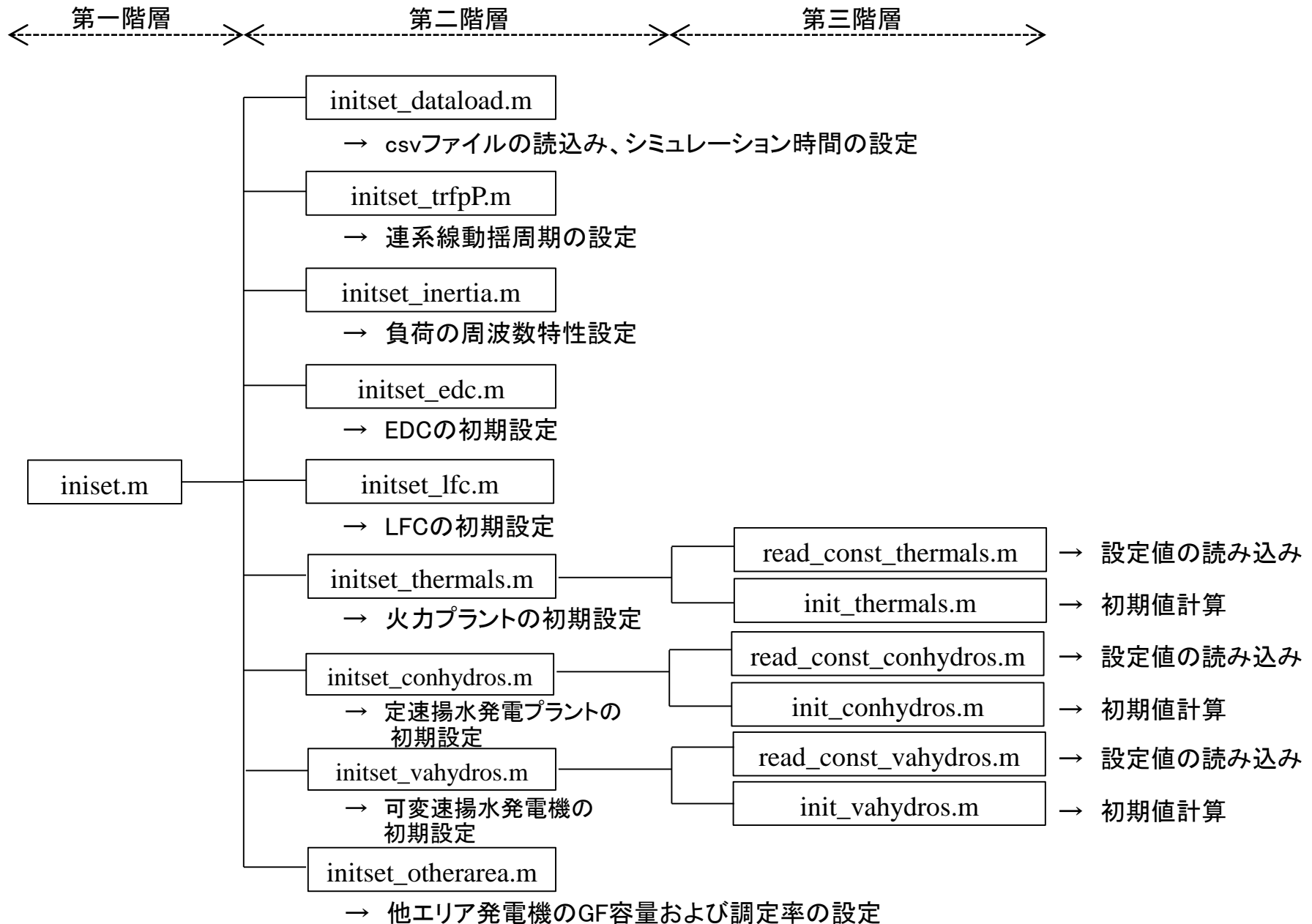
☑ 周波数の評価

評価基準	シミュレーション結果
許容周波数(2σ) 0.10Hz	95%タイル値 0.0962Hz
許容周波数 0.20Hz	最大値 0.1690Hz

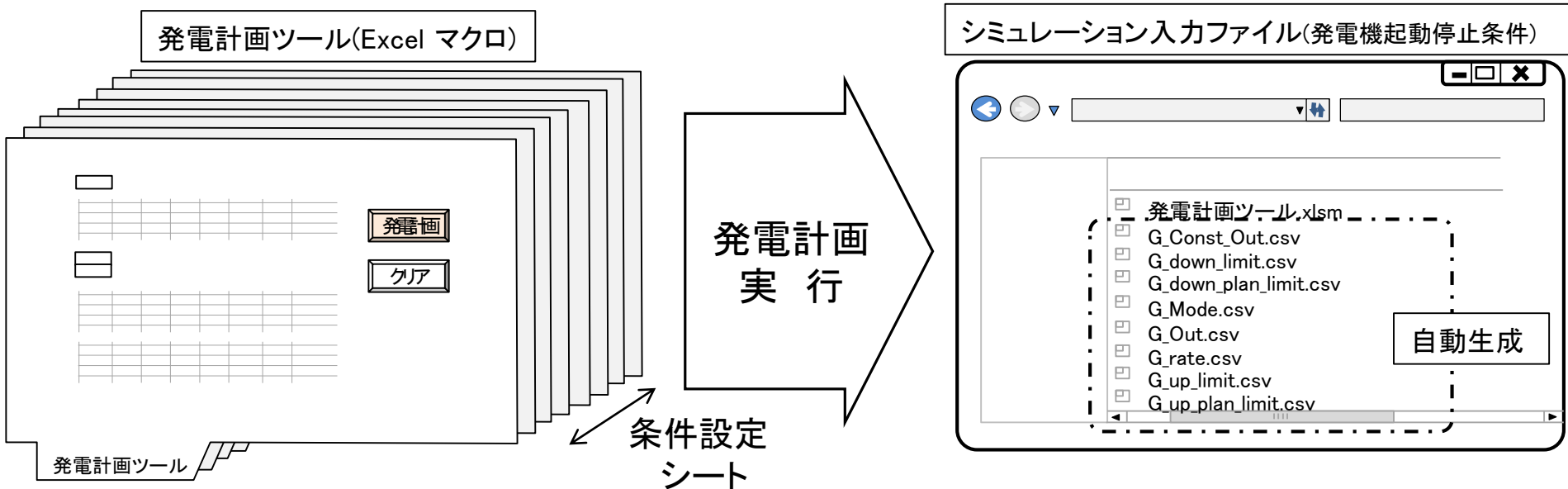
>

OK

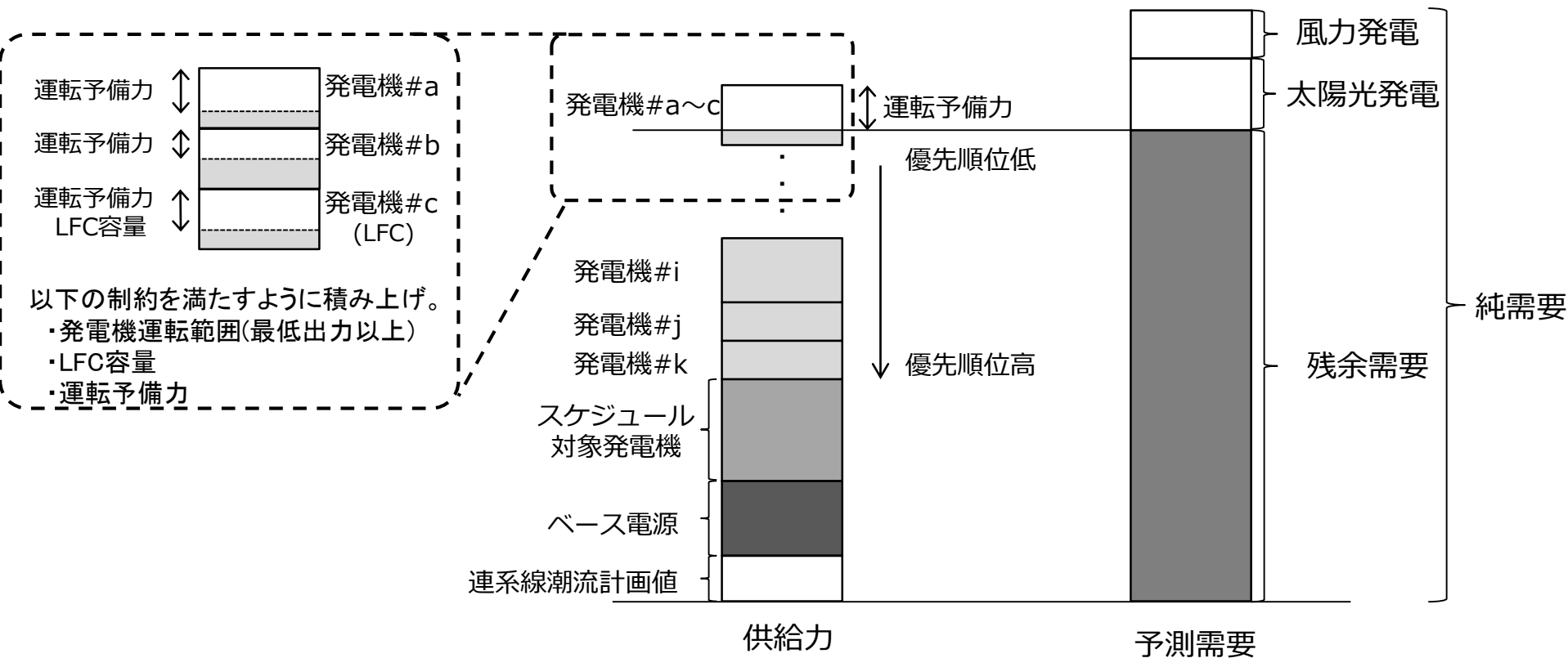




- 発電計画ツールは、IEEJ AGC30モデルで需給・周波数シミュレーションを行うための入力ファイルを作成する。
- 需要・自然変動電源出力の予測、発電機の起動停止計画、運転モードの選択等を、当該ツールにて設定し、入力ファイルに反映させる。
- 入力ファイルはExcelマクロファイルの設定・実行により自動生成される。



- 発電機の起動停止計画は、想定される（予測）残余需要に対して、必要な運転予備力やLFC容量を確保しながら、発電単価の安い順番に積み上げて決定する。
- なお、本来は、起動停止回数等の制約があるため、起動停止計画は各時刻で独立的に決定できず長時間の連続的な問題として処理しなければならない。

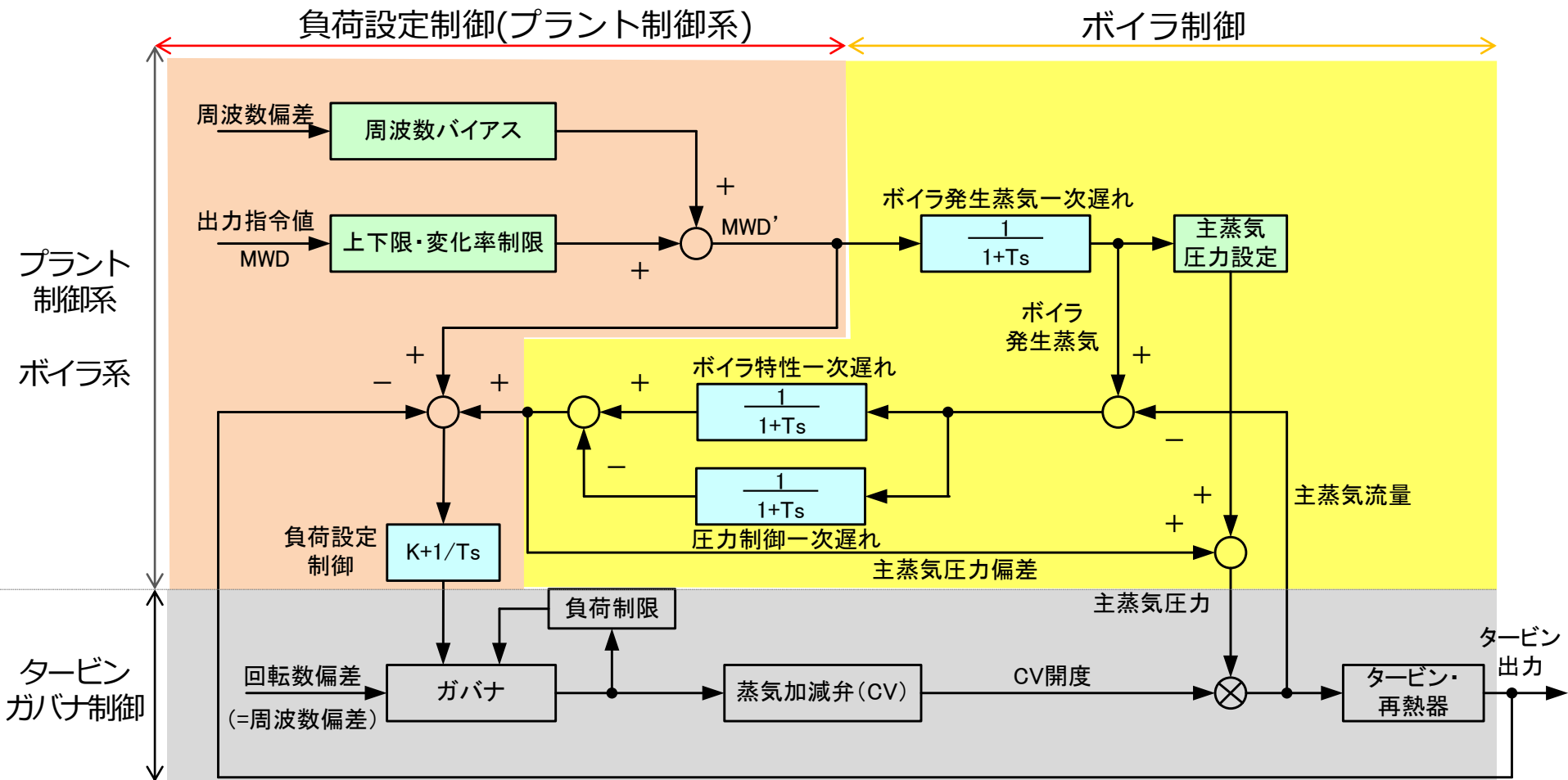


07

需給・周波数シミュレーション の標準モデル・標準データ

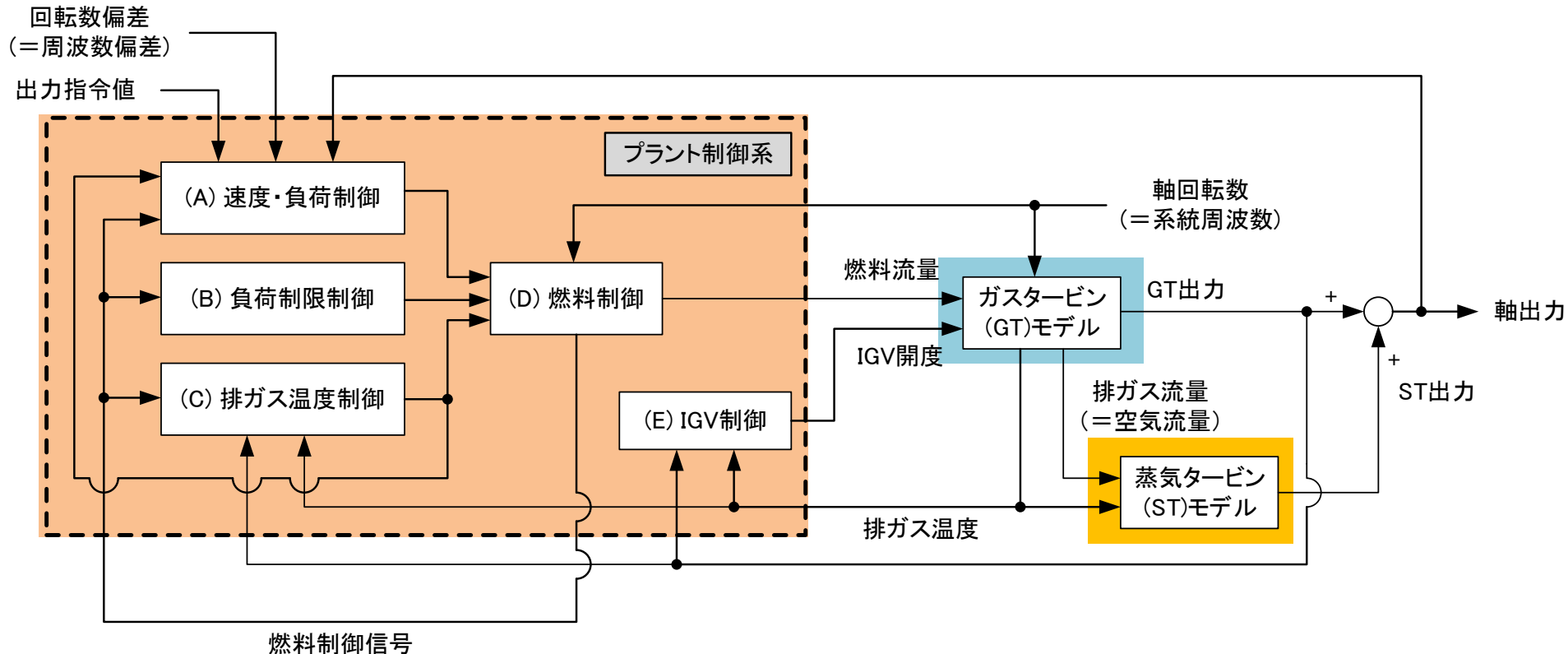
- 周波数変動時・出力指令値変更時の出力応動を適切に模擬するためには、ガバナ・タービンだけでなくボイラ系・負荷設定制御を含めたプラント制御系の模擬が必要。

- ✓ 負荷設定制御: 周波数バイアスで補正された出力指令値に出力が一致するように負荷設定を増減する部分をモデル化
- ✓ ボイラ制御 : ボイラから発生する蒸気と流出する主蒸気流量のバランスからボイラ特性と圧力制御を考慮して簡易に主蒸気圧力偏差を算出



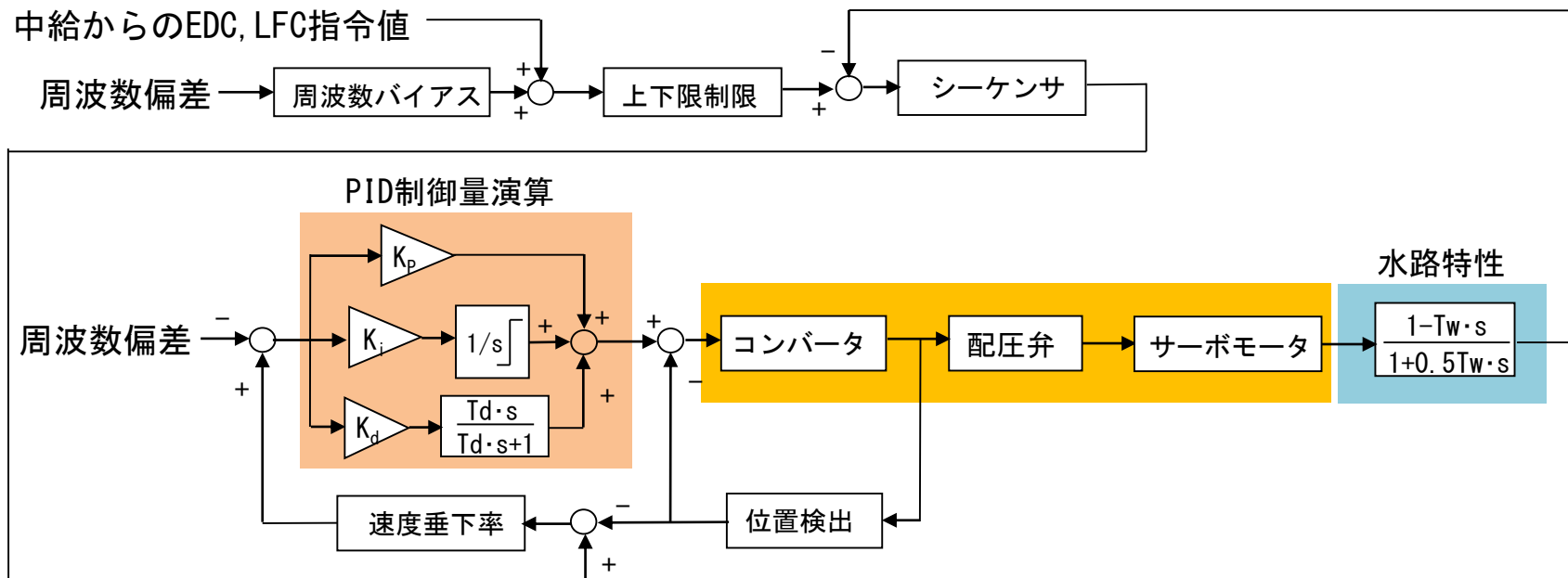
- GTCCプラントの出力応動を適切に模擬するためには、ガスタービンのプラント制御系に加え、ガスタービンの出力特性や排ガス温度特性などのモデル化が必要。

- ✓ **ガスタービン制御系**: 燃料流量制御(速度制御・負荷制限制御および排ガス温度制御)と空気流量制御をシンプルにモデル化
- ✓ **ガスタービンモデル**: ガスタービン出力特性および排ガス温度特性は、熱力学ベースの比較的簡易な数式でモデル化
- ✓ **蒸気タービンモデル**: 排ガス温度・流量の一次遅れで簡易にモデル化(なお、平常時は蒸気タービンの出力制御は行わないため、蒸気タービン制御系はモデル化の対象外)



- 揚水発電プラントの出力応動を適切に模擬するためには、PIDガバナおよびガバナ開閉のための諸装置や、水路特性などをモデル化が必要。
- 揚水発電プラントは周波数バイアスや出力引戻し回路がない場合もあるが、ここでは過去の公知の文献等を参考に、これらをモデル化した。

- ✓ PIDガバナ : 近年建設される水力発電所の主流となっている、電気式ガバナ(PIDガバナ)をモデル化
- ✓ ガバナ開閉諸装置: ガバナ開閉のためのコンバータ、配圧弁、サーボモータ等の装置を簡易模擬
- ✓ 水路特性 : ガイドベーン開度の急速な変化に対して、水の慣性により、水車機械出力に、一時的に大きな逆応答をもたらす特性を模擬。



- LFCモデルは極力各エリアの実態に近く、共通する要素を中心にモデル化した。

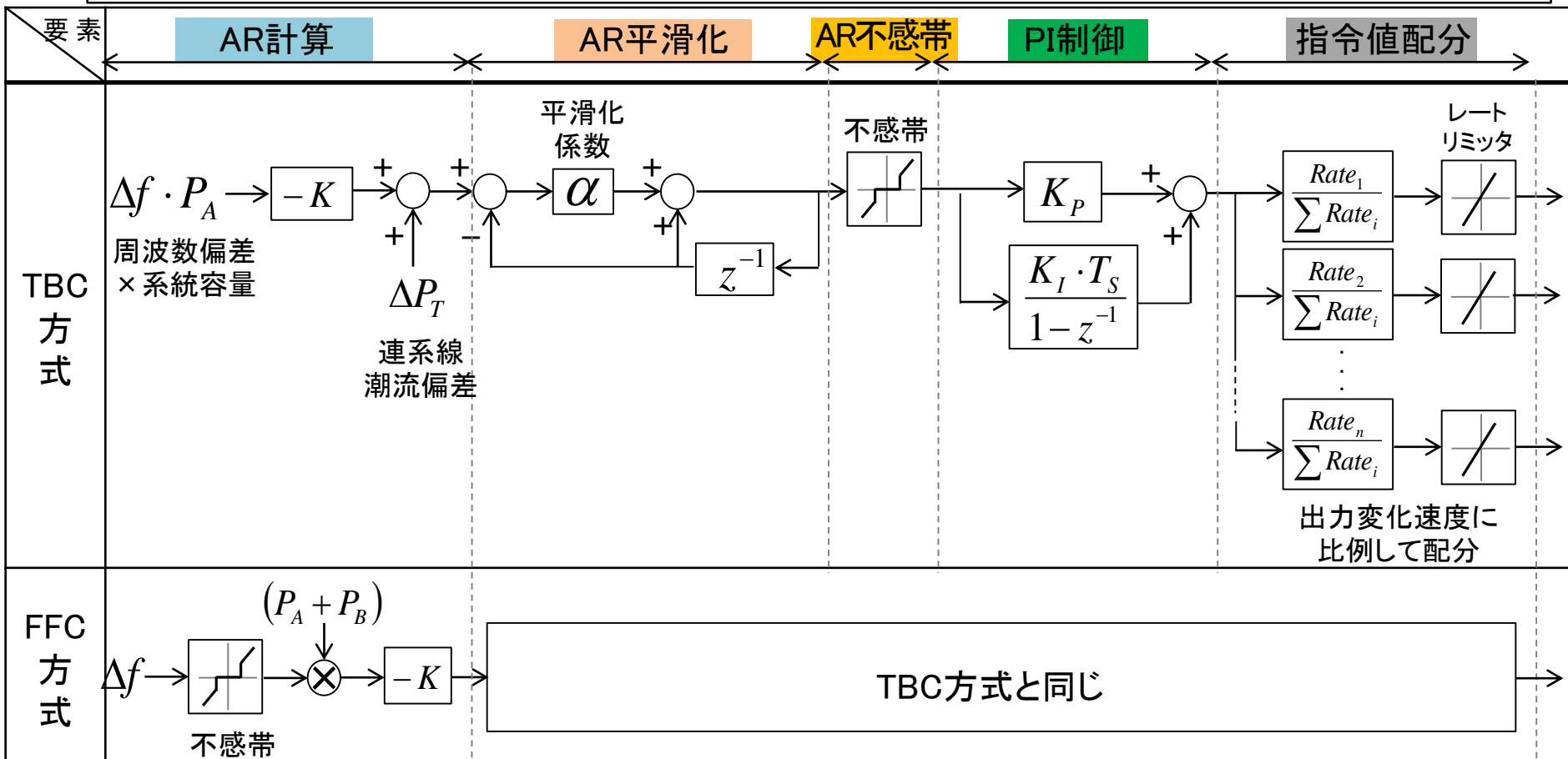
AR計算: エリア内の需要変動のうち、LFCで分担する量を周波数と連系線潮流から計算。

AR平滑化: ARの変動のうち、LFCで分担しない、短い周期をフィルタで除去。

AR不感帯: 制御ハンチングを避けるため、必要最小限の不感帯を設置。

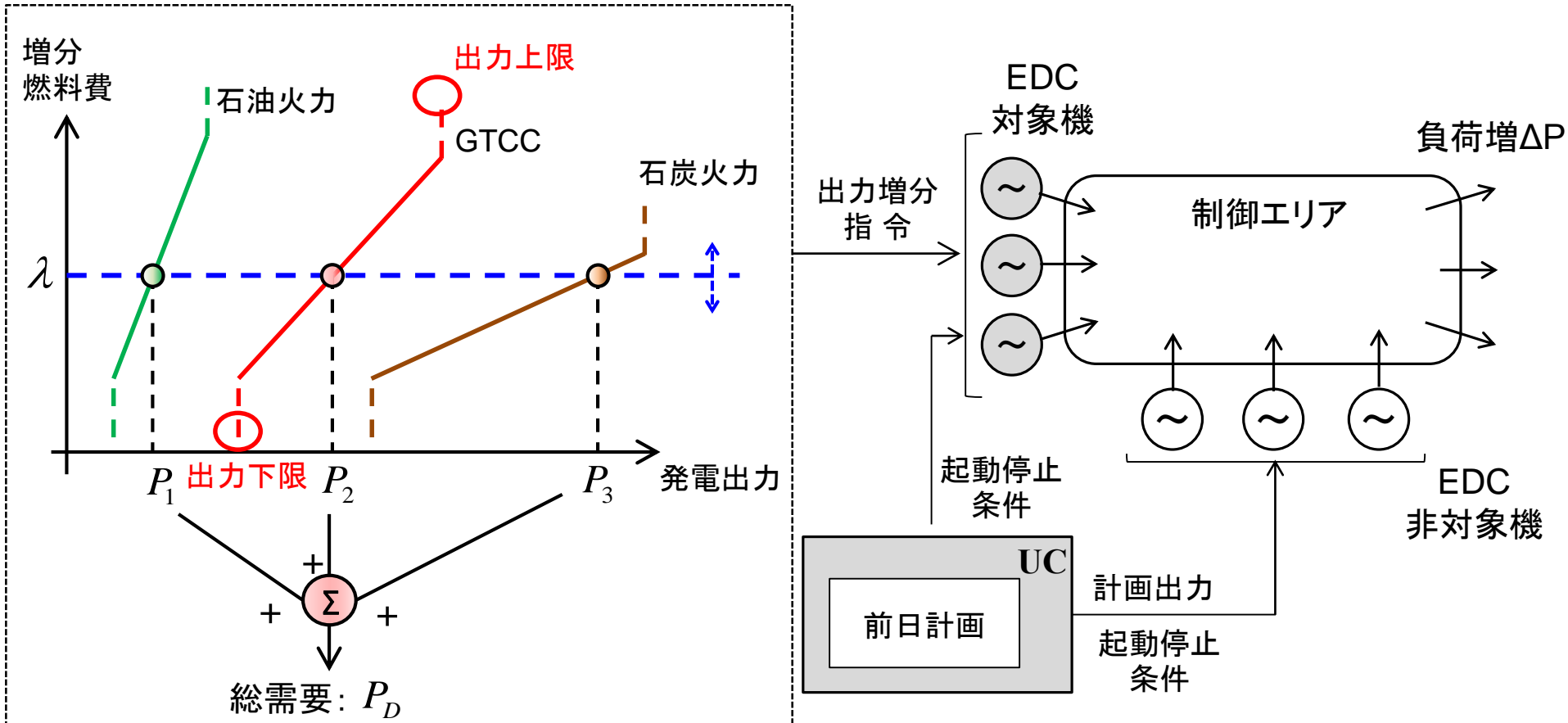
PI制御: フィードバック制御として比例制御と積分制御を採用。

指令値配分: 各制御対象発電機への指令値は出力変化速度比率で配分。



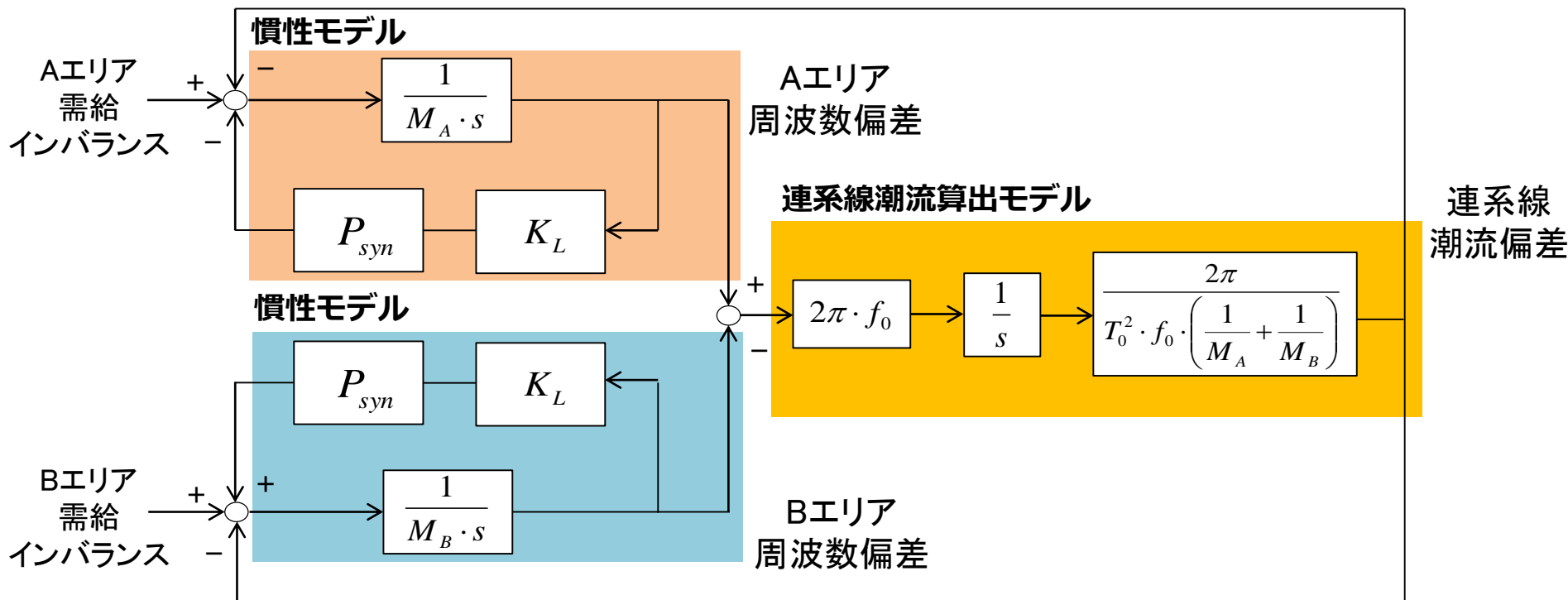
- EDCは、需要の増減に対応する調整用発電機について、発電出力調整が最も増分燃料費を小さくするように計算し経済的な運転を行うものである。
- このため、一般に増分燃料費の最小化を目的関数とした最適化問題として扱われる。
- EDCモデルの最適化手法は、各エリアで採用実績の多い等ラムダ法とした。

・等ラムダ法のイメージ(条件付き最適化問題として計算)



- 電力システムの応動を効率的に模擬するために、発電機の過渡的なすべりやネットワークの送電損失等を見捨て、需給インバランスから周波数偏差を求める慣性モデルを採用。
- 連系線潮流は、エリア間の動揺が模擬できる、同期化力係数を用いたモデルを採用。

- ✓ **慣性モデル** : エリア内の全ての発電機が理想的な同期運転をしていると仮定した上で、エリア発電機の合成機械出力と電力需要の差分(≒需給インバランス)から周波数を計算。
- ✓ **連系線潮流算出モデル**: 連系線潮流の動揺を模擬するために、エリア間での相差角の差異(すべりに相当)から等価的に変動を計算。

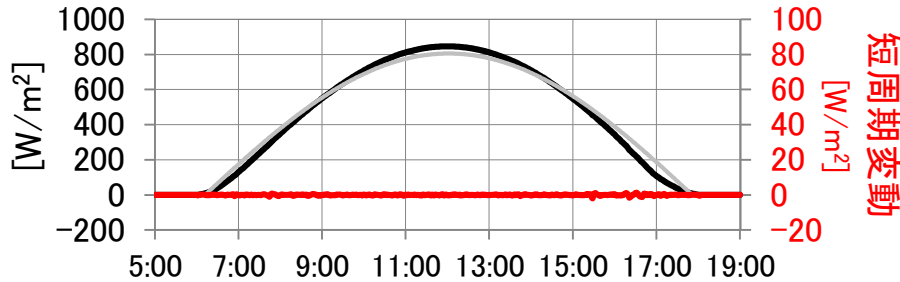


- 電力需要データは、解析の共通基盤として資するため、特定の地域性や特異な性質を有していない平均的な変動とすることが望ましい。
- このため、わが国の各エリアにおける至近年の実績需要データをもとに、各周期成分において平均的な変動を抽出し、標準データを作成した。

	重負荷期 電力需要データ	軽負荷期 電力需要データ
データ 時間	前日22時～翌日2時(28時間)	
データ 刻み	1秒	
最大 電力	18,000MW	12,000MW
日負荷 曲線		

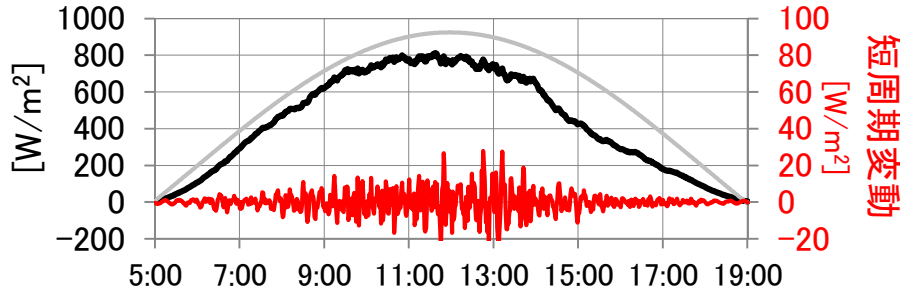
- 太陽光発電データは、中部57地点の日射量データをもとに、平滑化効果を考慮して、エリアの合成平均日射量を作成した。
- 1年間のデータを分析し、天気別に代表的な変動5パターンを標準データとした。

快晴パターン

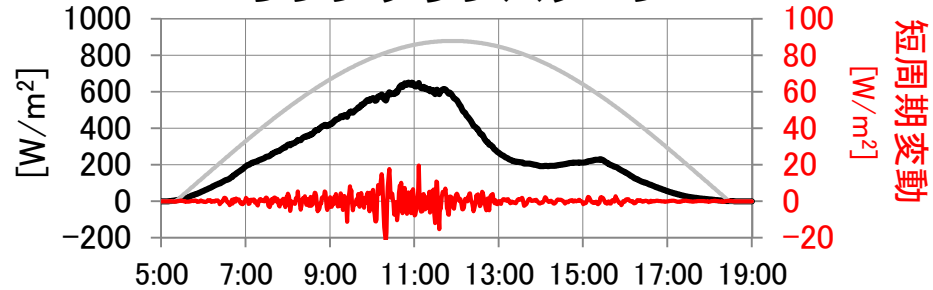


- ✓ 想定エリア面積：40,000km²
- ✓ データ時間：5時～19時（14時間）
- ✓ データ刻み：1秒
- ✓ 発電出力：設備量とシステム出力係数を乗じて算出

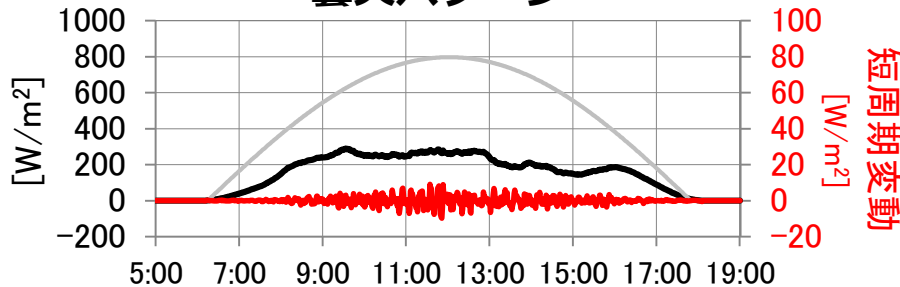
準快晴パターン



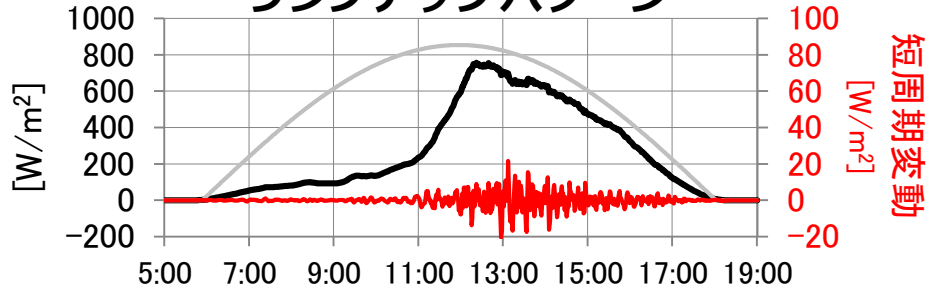
ランプダウンパターン



曇天パターン

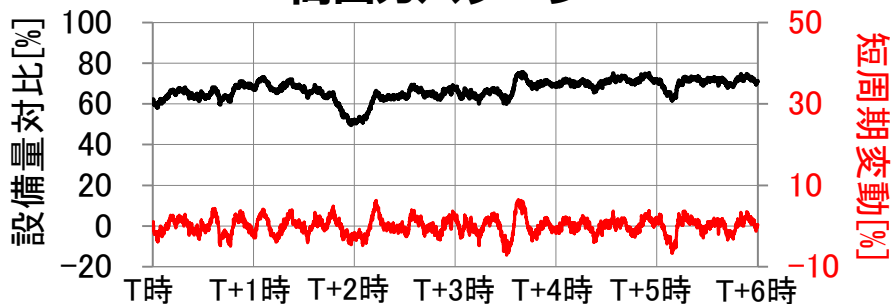


ランプアップパターン

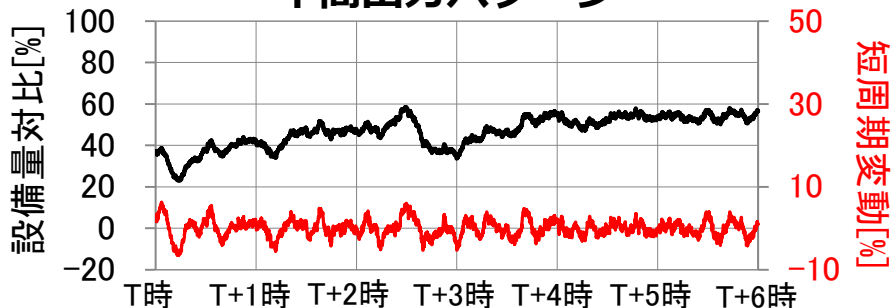


- 風力発電データは、導入量の比較的多いエリアの実績データを1年間分分析して、発電パターン別に代表的な変動を5パターン選定し、標準データとした。
- 1年間のデータを分析し、天気別に代表的な変動5パターンを標準データとした。

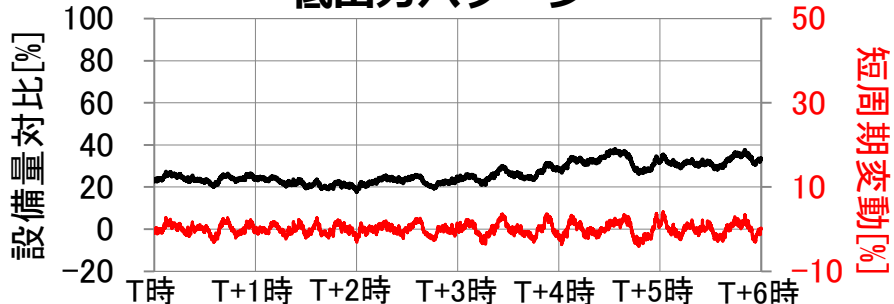
高出力パターン



中間出力パターン

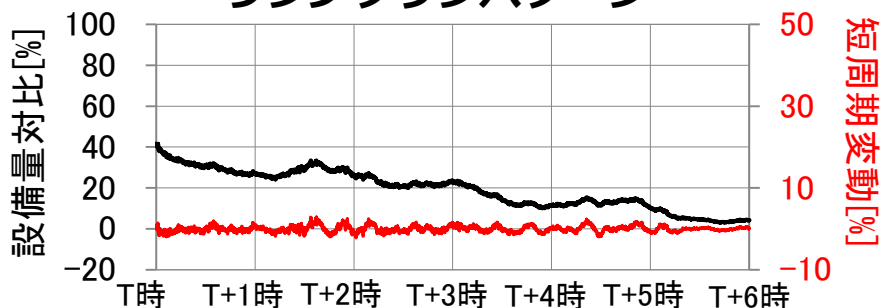


低出力パターン

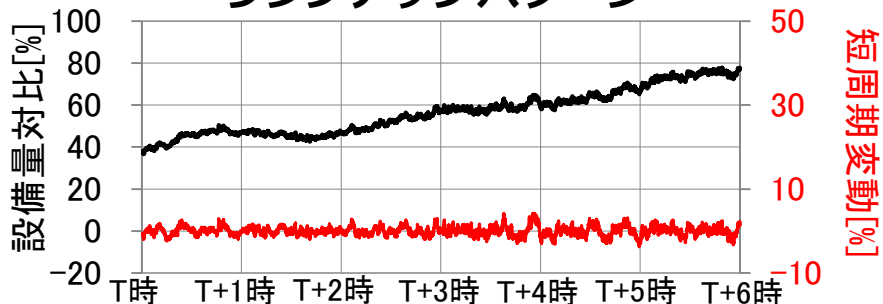


- ✓ データ時間：6時間(任意の時刻)
 - ✓ データ刻み：1秒
 - ✓ 導入量：280MW(現状)
- ※これと別に、1.5倍の導入量のデータも5パターン作成

ランプダウンパターン

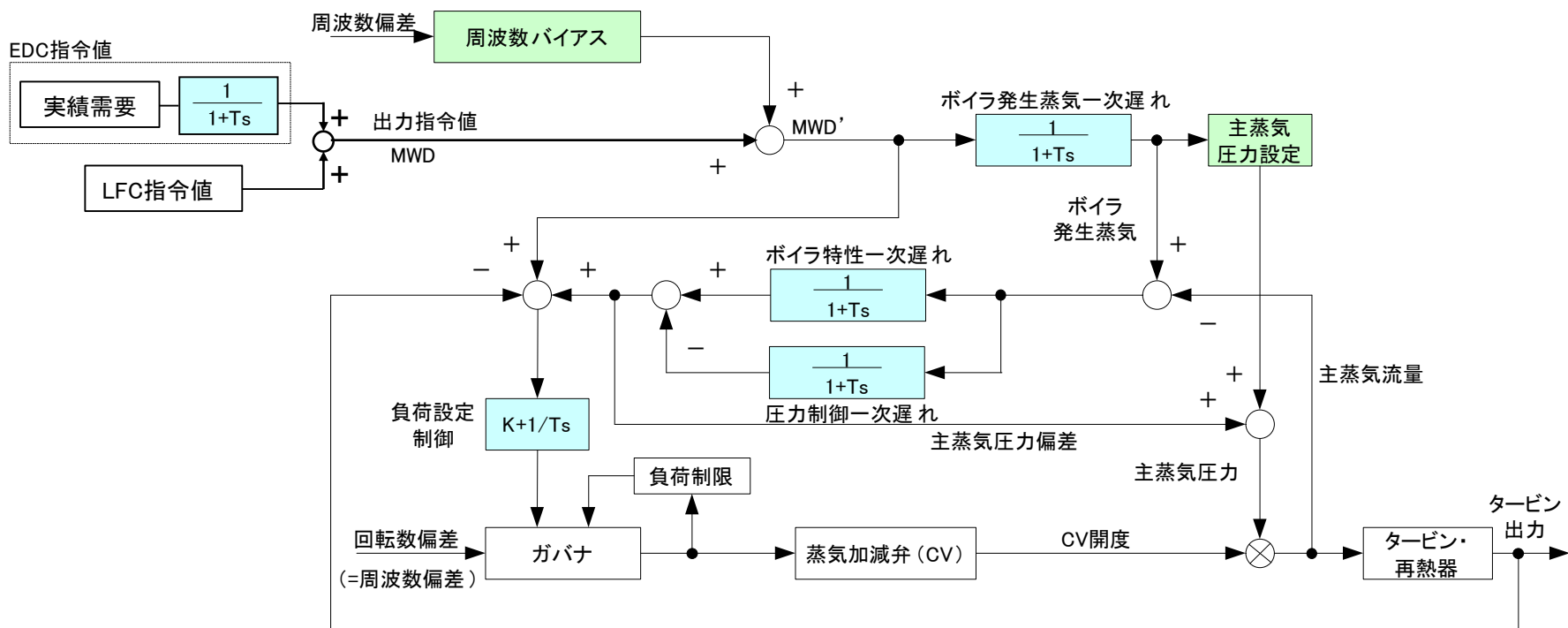


ランプアップパターン



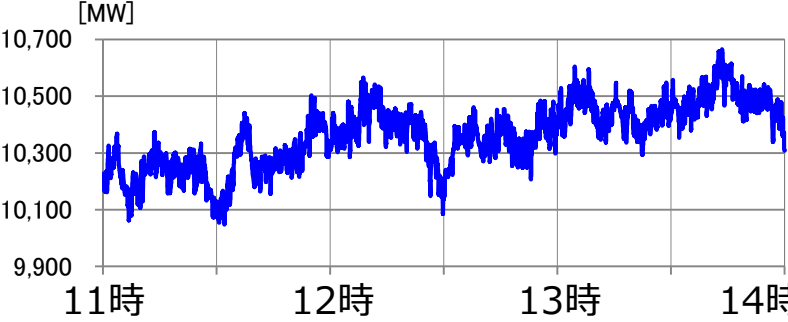
- 他エリアモデルは汽力プラント1機(LNG機相当)で模擬し、その設定定数は下表の通りとした。
- 予測誤差は考慮せず、実績需要の短周期成分を除去したものをEDC指令値として入力した。

設定項目	設定値と考え方	設定項目	設定値と考え方
EDC指令値	実績需要(時定数200秒のLPFにより短周期成分を除去)を指令値として入力	LFC対象合計容量	系統容量の13.3%程度 (単機あたりのLFC容量を定格出力の15%とした)
LFC容量	系統容量の2%	LFC出力変化速度	4%MW/m(LNGとGTCC機の平均)
GF調定率	6.7%Hz/%MW (発電機の60%がGF運転, 調定率4%)	GF容量	PLMを3%に設定



08

需給・周波数シミュレーション の解析例題

	設定条件	備考
電力需要データ	<p>標準データ(軽負荷期)の11時~14時断面</p> 	<ul style="list-style-type: none"> 他エリア需要は自エリア需要の20分以下周期成分を15分進ませた。(エリア間の相関係数が0に近くなるずらし幅)
運転予備力	5%程度	運転予備力は一般に3~5%程度
需要予測誤差	3%	需要の上振れを想定
発電機態勢	石油機、揚水機は全台停止	メリットオーダで計画
EDC対象機	次頁参照	
LFC対象機	次頁参照	
LFC調整幅	系統容量の2%程度	LFC容量は一般に2%程度
許容調整残	142MW	<ul style="list-style-type: none"> 全系の許容調整残は1%MWとした 自エリアの許容調整残は系統容量の平方根比で配分
連系線計画潮流 P_0	解析時間中0MW	<ul style="list-style-type: none"> 連系線潮流変動の分散が視覚的に把握しやすいため

ベースケースにおける発電機の運転状況

発電機 ナンバー	燃種	定格出力 [MW]	初期出力 [MW]	運転機	LFC 対象機	EDC 対象機	発電機 ナンバー	燃種	定格出力 [MW]	最低出力 [MW]	運転機	LFC 対象機	EDC 対象機
1	石油	250	0	—	—	—	20	GTCC (タイプ1)	250	250	○	—	○
2		250	0	—	—	—	21		250	250	○	—	○
3		700	0	—	—	—	22		250	250	○	—	○
4		700	0	—	—	—	23	GTCC (タイプ2)	250	190	○	○	—
5		700	0	—	—	—	24		250	250	○	—	○
6		700	0	—	—	—	25		250	250	○	—	○
7		700	0	—	—	—	26		250	250	○	—	○
8	石炭	700	700	○	—	○	27	定速揚水	250	250	○	—	○
9		700	700	○	—	○	28		300	0	—	—	—
10		1000	1000	○	—	○	29		300	0	—	—	—
11	1000	1000	○	—	○	30	可変揚水	300	0	—	—	—	
12	LNG	200	0	—	—	—	31	水力	3415	900	○	—	—
13		200	0	—	—	—	32	原子力	500	500	○	—	—
14		200	0	—	—	—	33		500	500	○	—	—
15		700	453	○	—	○	34		500	500	○	—	—
16		700	453	○	—	○	35		1000	0	—	—	—
17		700	620	○	○	—	36		1000	0	—	—	—
18	GTCC	250	190	○	○	—	37	—	1000	1000	○	—	—
19	(タイプ1)	250	250	○	—	○	—	—	—	—	—	—	—

シナリオ
ベースで
設定

前日計画

- ・ 翌日需要を予測し、更に予備力を予測値の8%程度確保

当日計画

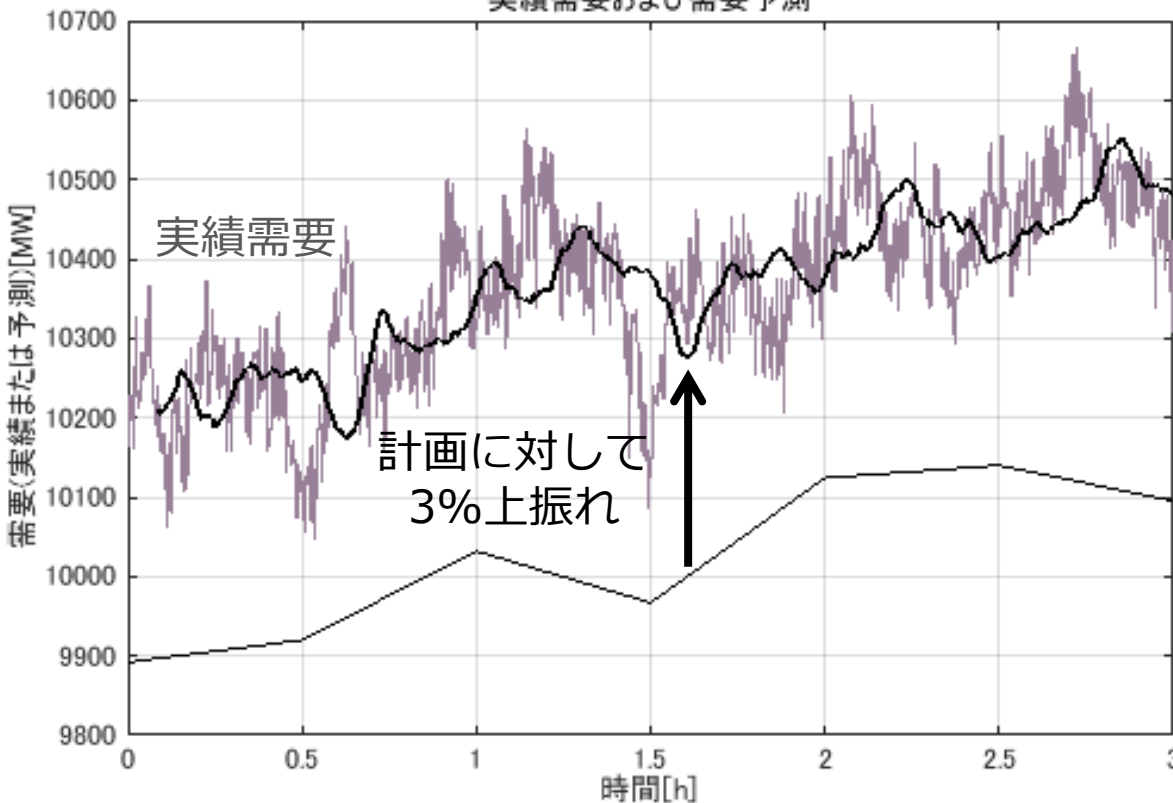
- ・ 前日計画から予備力を5%程度に変更。

シミュレー
ション
(11~14時
を切り取り)

当日運用

- ・ 計画値に対して実績需要が3%上振れ (予備力で対応)
- ・ EDCで現在需要をもとに需要予測値を補正
- ・ 需要の短周期変動はLFC対象発電機で調整

実績需要および需要予測

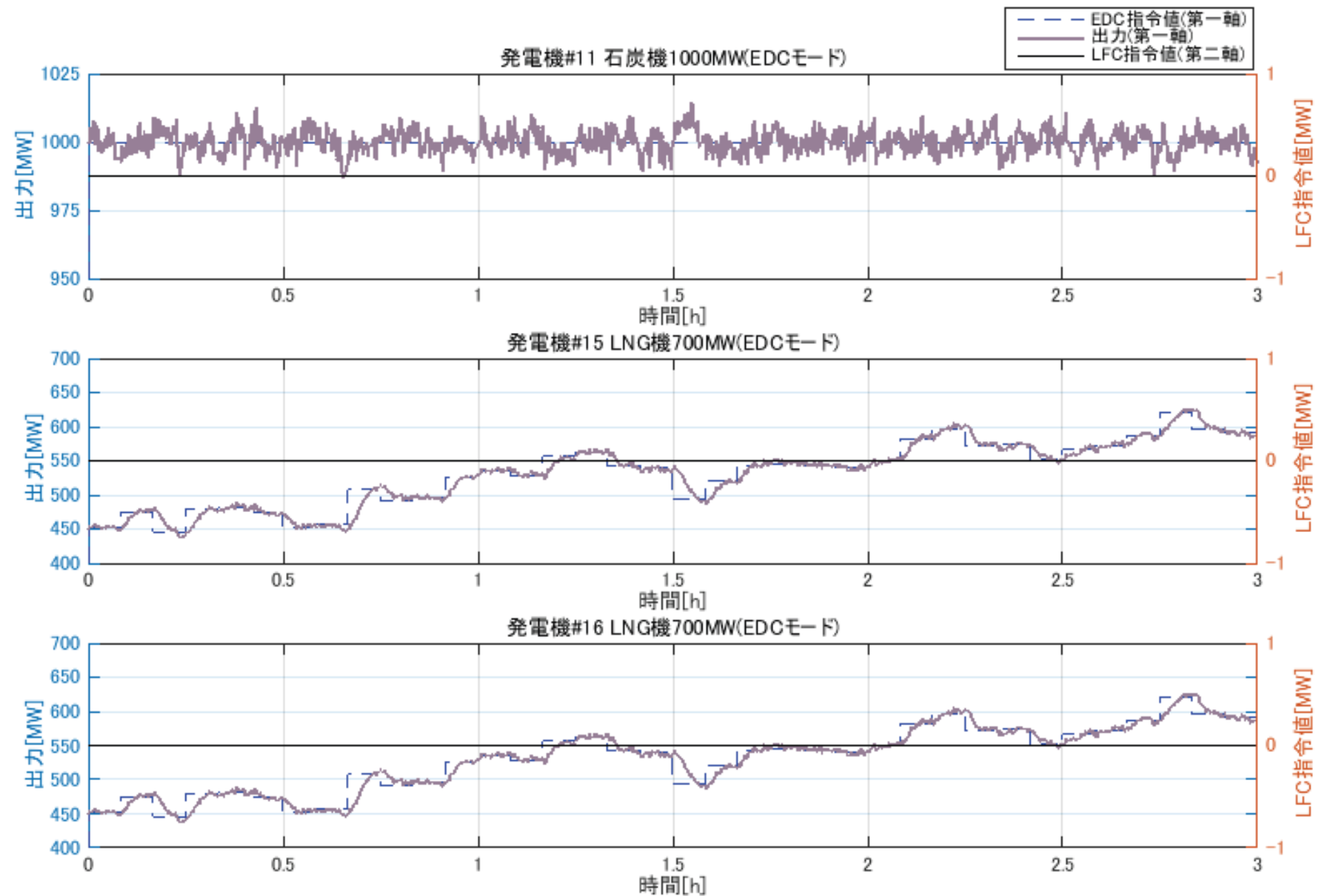


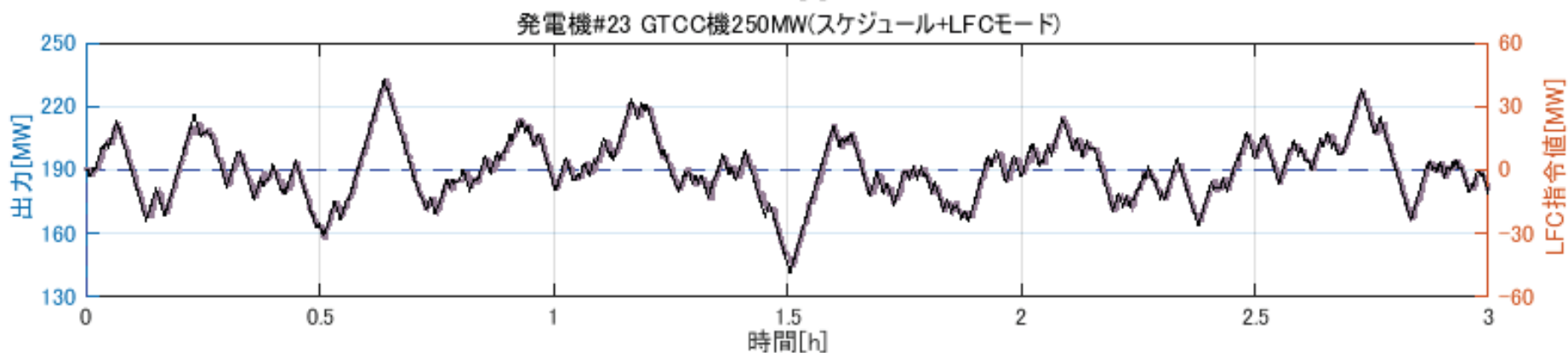
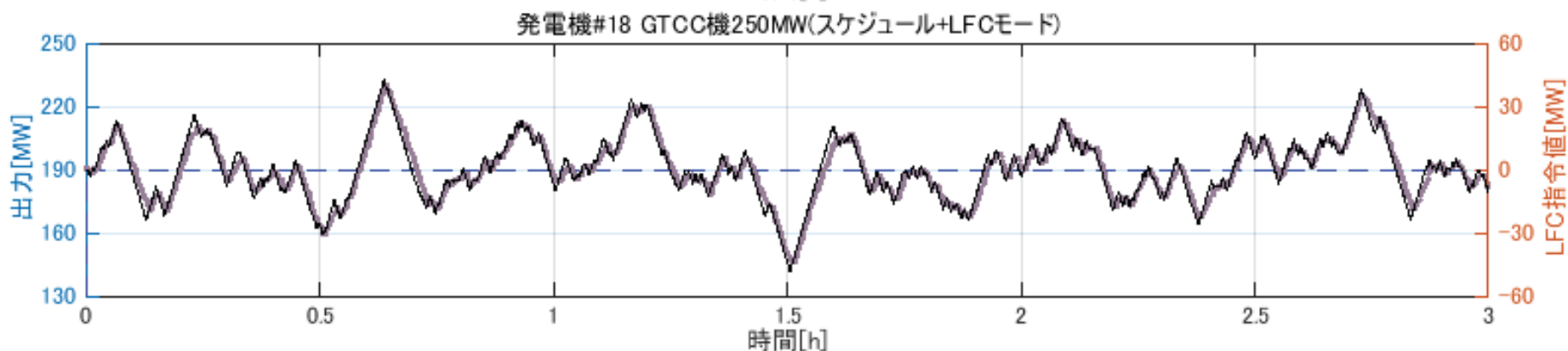
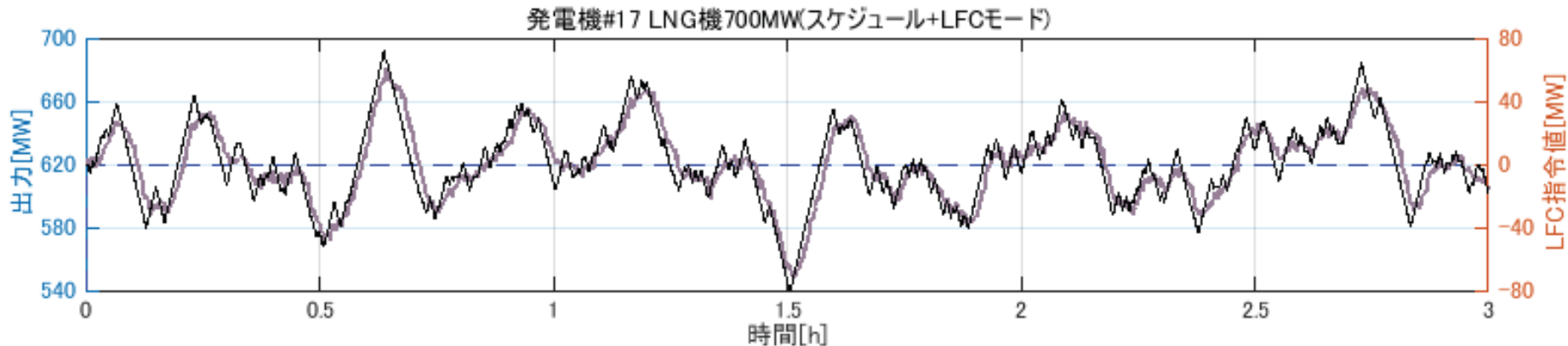
予測値(補正後)

- ・ 予測値に基づきEDCで長周期のトレンド成分を出力調整
- ・ 短周期のトレンド成分(EDC制御残)をLFCで出力調整

前日計画値

- ・ 偶発的に発生する需要変動に備えて予備力を確保する。





- シミュレーション結果の評価方法の一つとして、エリアのARと周波数が許容範囲内にあるかどうかを確認する。
- ベースケース（自然変動電源なし）では、ARと周波数ともに許容範囲内にあることが確認できた。

自エリアARの評価

評価基準

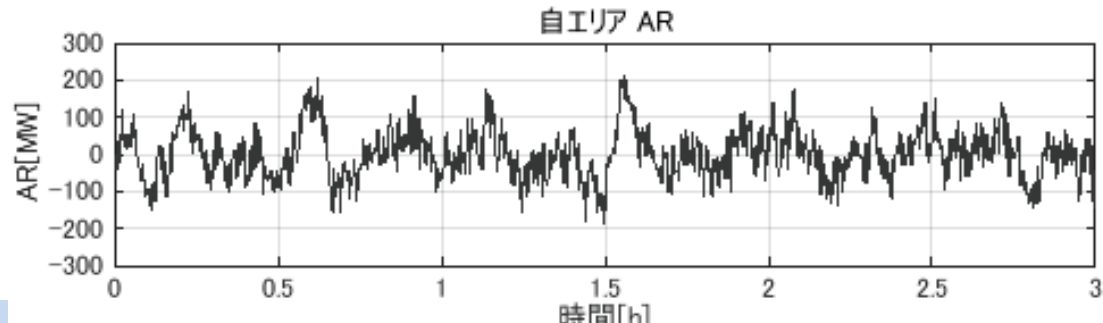
許容調整残
142MW

シミュレーション結果

95%タイル値
131MW



OK



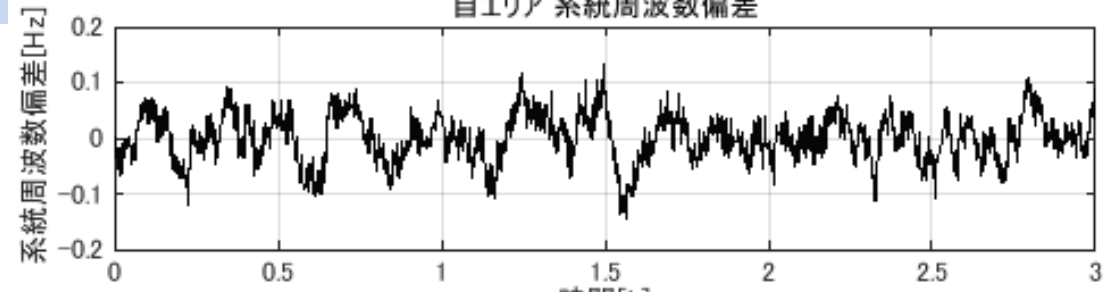
周波数の評価

評価基準

許容周波数(2σ)
0.10Hz

シミュレーション結果

95%タイル値
0.0834Hz

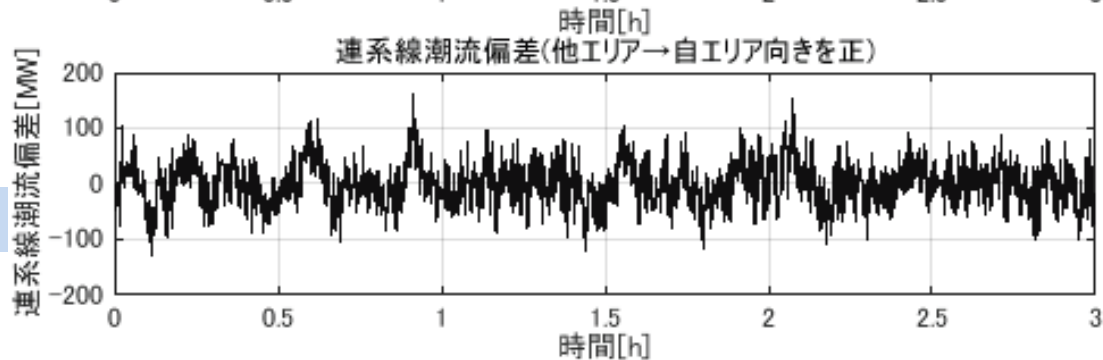


許容周波数
0.20Hz

最大値
0.1448Hz



OK



- 太陽光発電・風力発電が周波数に与える影響を検討するため、下表の導入量を想定し、いずれもランプダウンパターンで出力変動した際のシミュレーションを行った。
- 予測誤差は昨今の予測技術精度を鑑み現実的な値となるように設定した。
- 太陽光発電および風力発電以外の設定条件はベースケースと同じとした。

	太陽光発電	風力発電
導入量	3.3GW(現状導入量程度)	約0.3GW(現状導入量程度)
出力係数	70%	100% (実績データのため)
予測誤差	%MAEで37%程度	RMSEで10%程度
パターン	ランプダウンパターン	ランプダウンパターン
データ		

シナリオ
ベースで
設定

前日計画

- ・ 翌日の需要および自然変動電源出力を予測。
(風力は中間出力程度、太陽光発電は準快晴で予測)
- ・ 予測誤差に対応するため運転予備力は、15%程度確保。

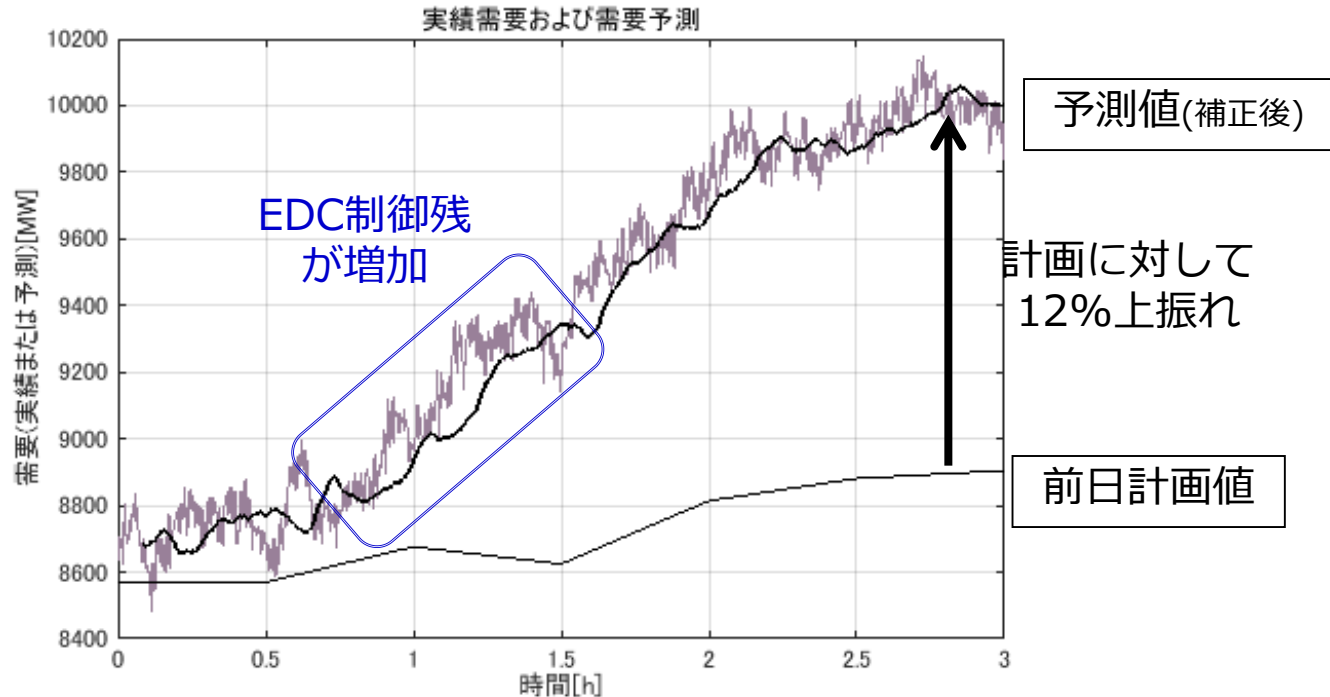
当日計画

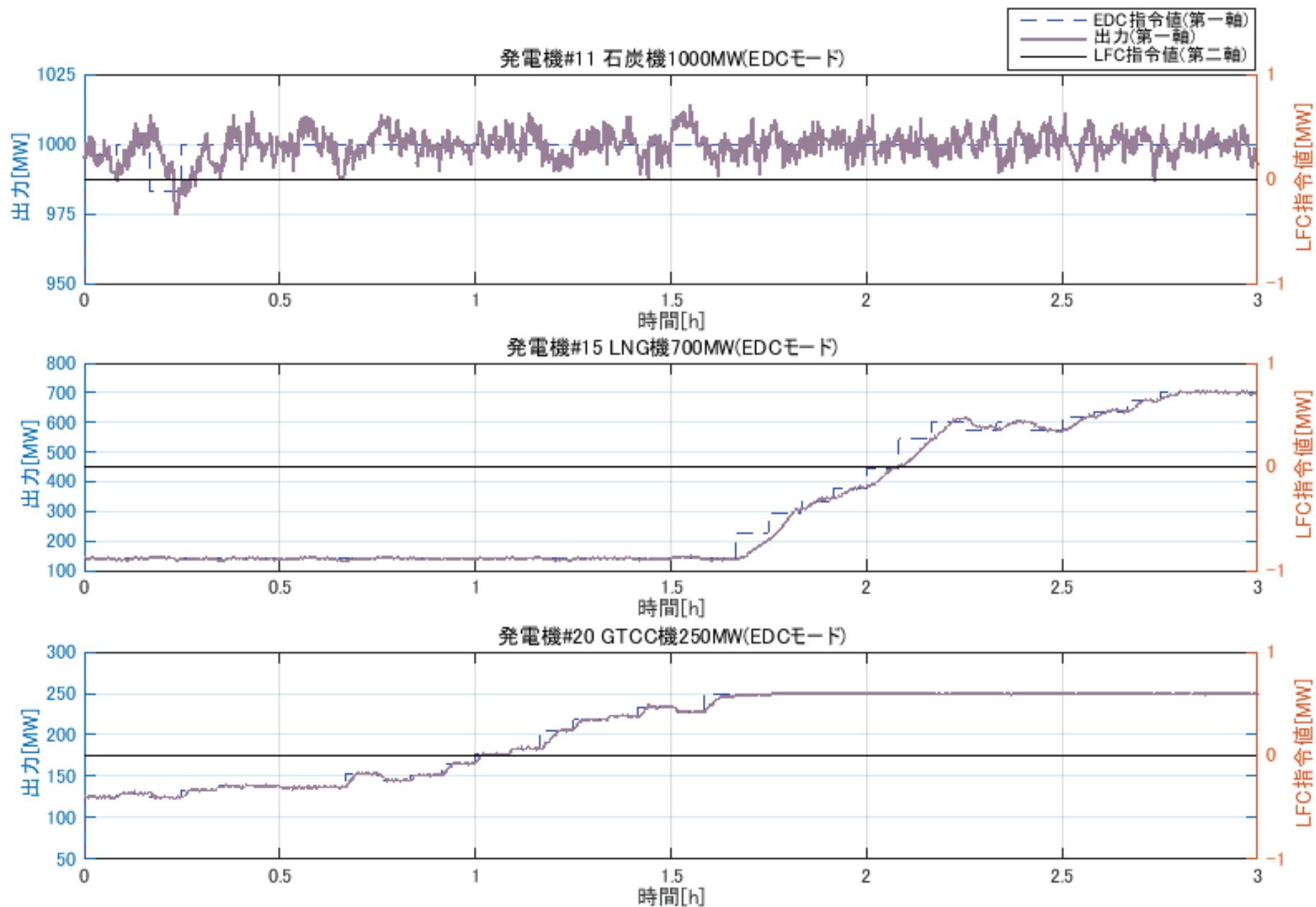
- ・ 前日計画から見直しなし

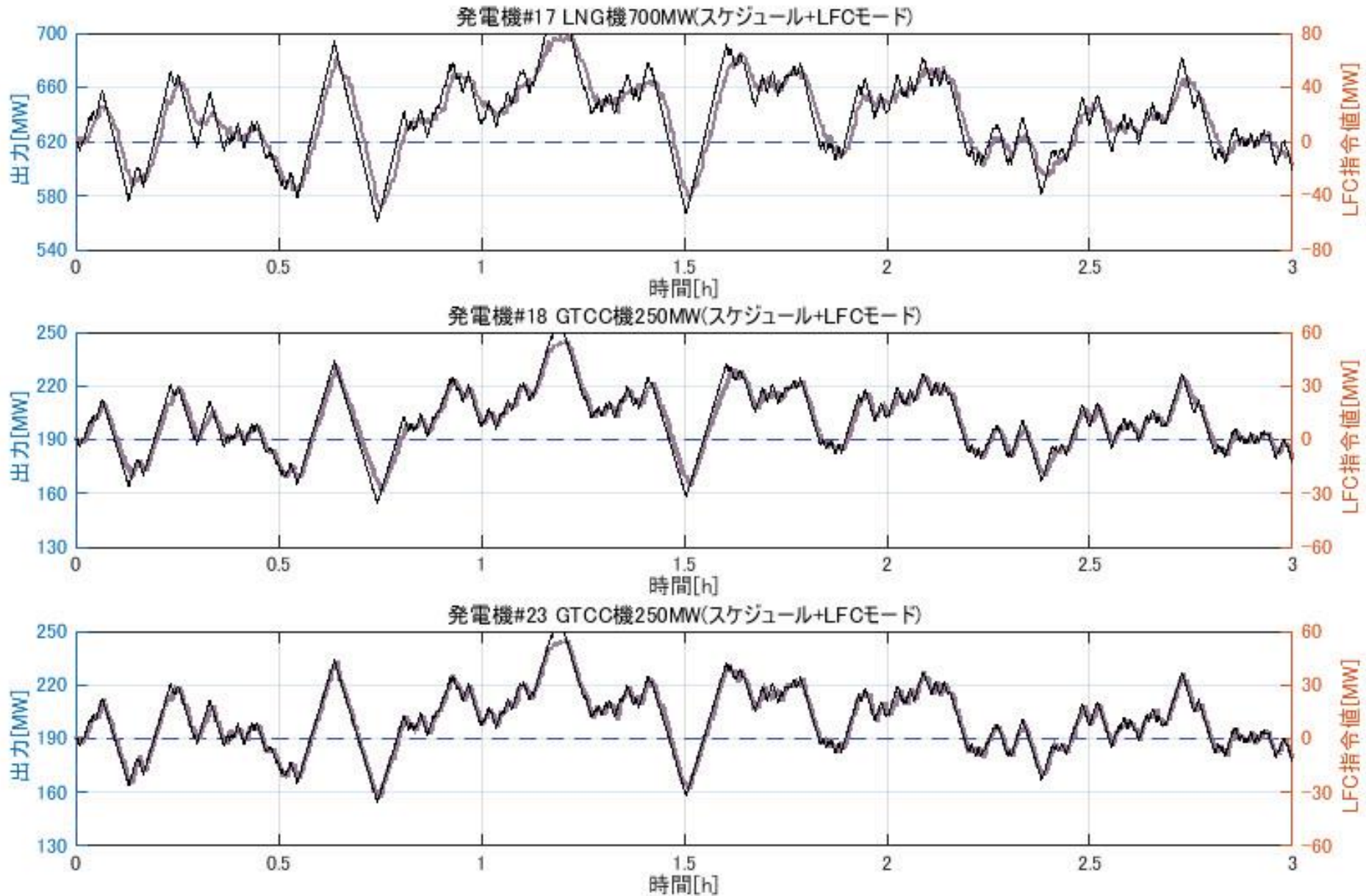
当日運用

- ・ 計画値に対して実績需要が12%上振れ (予備力で対応)
- ・ EDCで現在需要をもとに需要予測値を補正
- ・ 需要の短周期変動はLFC対象発電機で調整

シミュレー
ション
(11~14時
を切り取り)







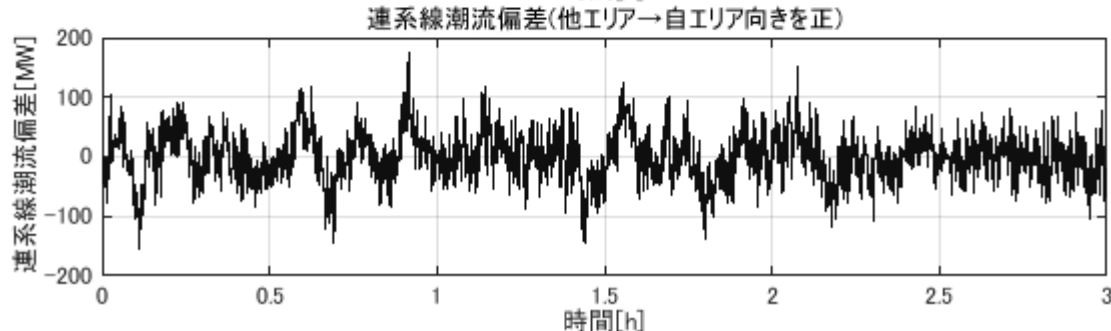
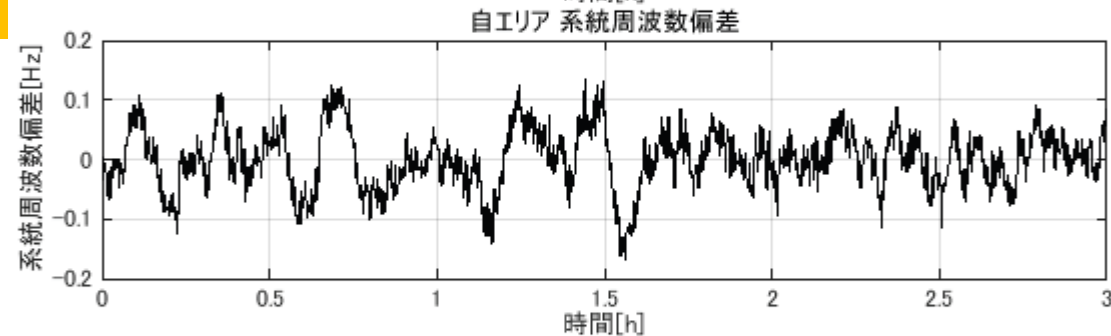
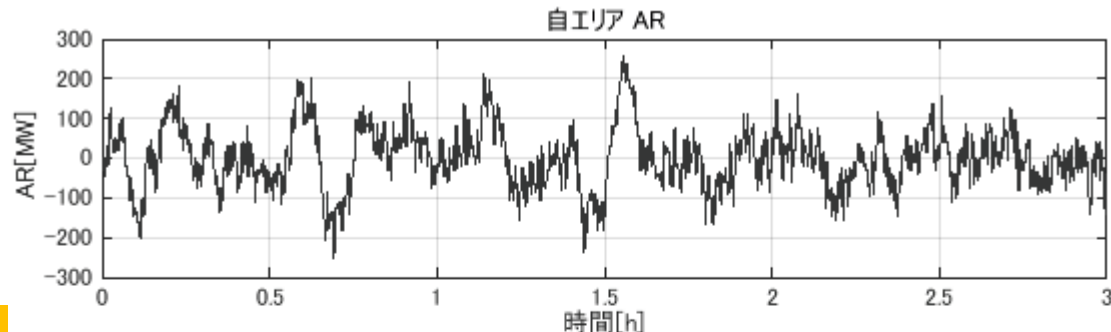
- 自然変動電源の出力変動に伴い、予測誤差が大きくなりEDC制御残が増加する。
- EDC制御残の増加に伴いLFCの制御分担量が増加するため、LFC容量が不足する。
- LFC制御残が増えるため、制御結果が悪化しARが許容調整残を超過する。

自エリアARの評価

評価基準	シミュレーション結果
許容調整残 142MW	95%タイル値 156MW
	<
	超過

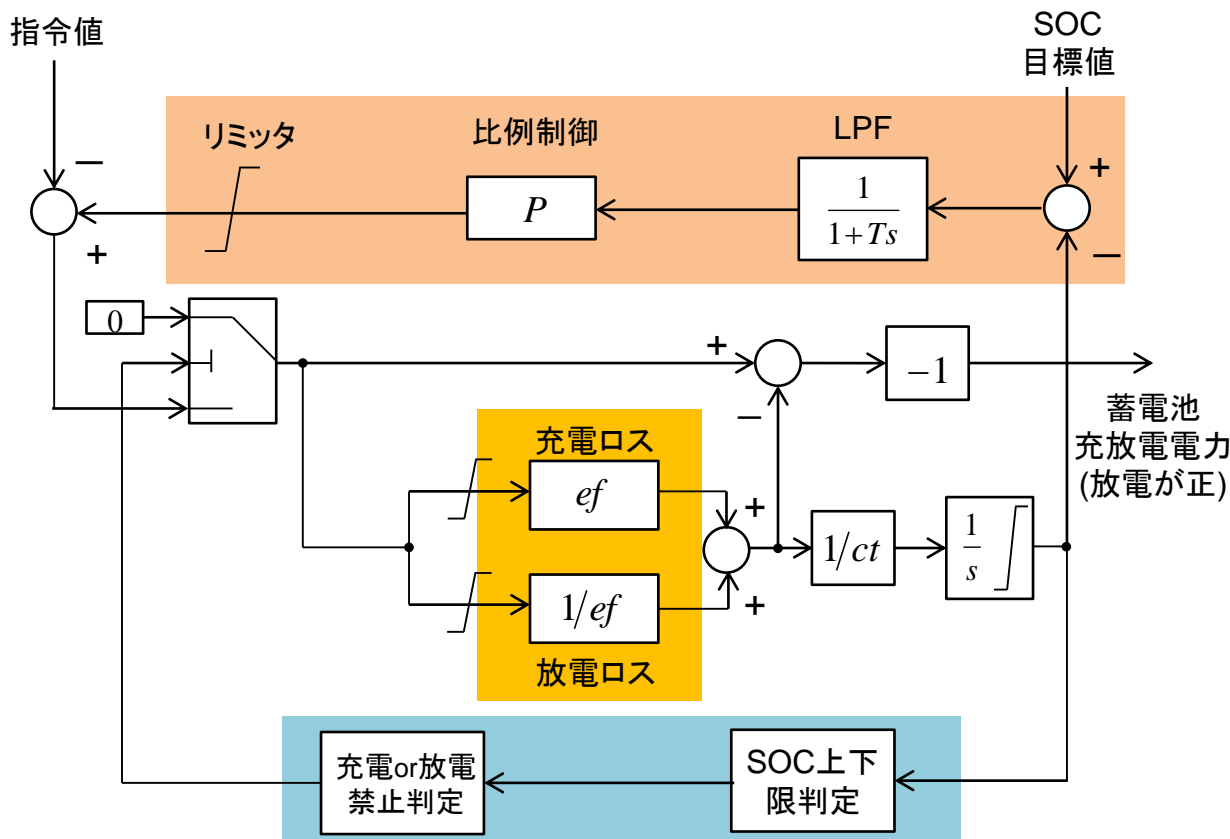
周波数の評価

評価基準	シミュレーション結果
許容周波数(2σ) 0.10Hz	95%タイル値 0.0962Hz
	>
許容周波数 0.20Hz	最大値 0.1690Hz
	>
	OK



○蓄電池モデルは需給・周波数解析モデルに関する公知の知見が少ないことから、標準化の対象外とし、一例として扱う。

- ✓ SOC目標値制御 : SOC50%を目標値とし、蓄電池の制御に影響が少ない5分以上の変動に対して比例制御にもとづき目標値に戻す制御を行うこととした。
- ✓ 充放電ロス : 充放電ロスはリチウムイオン電池相当の効率とした。
- ✓ 充放電禁止設定 : SOCが上限または下限に達した場合、充電側もしくは放電側の運転を一時的に禁止してSOCを強制的に戻す回路を設定。

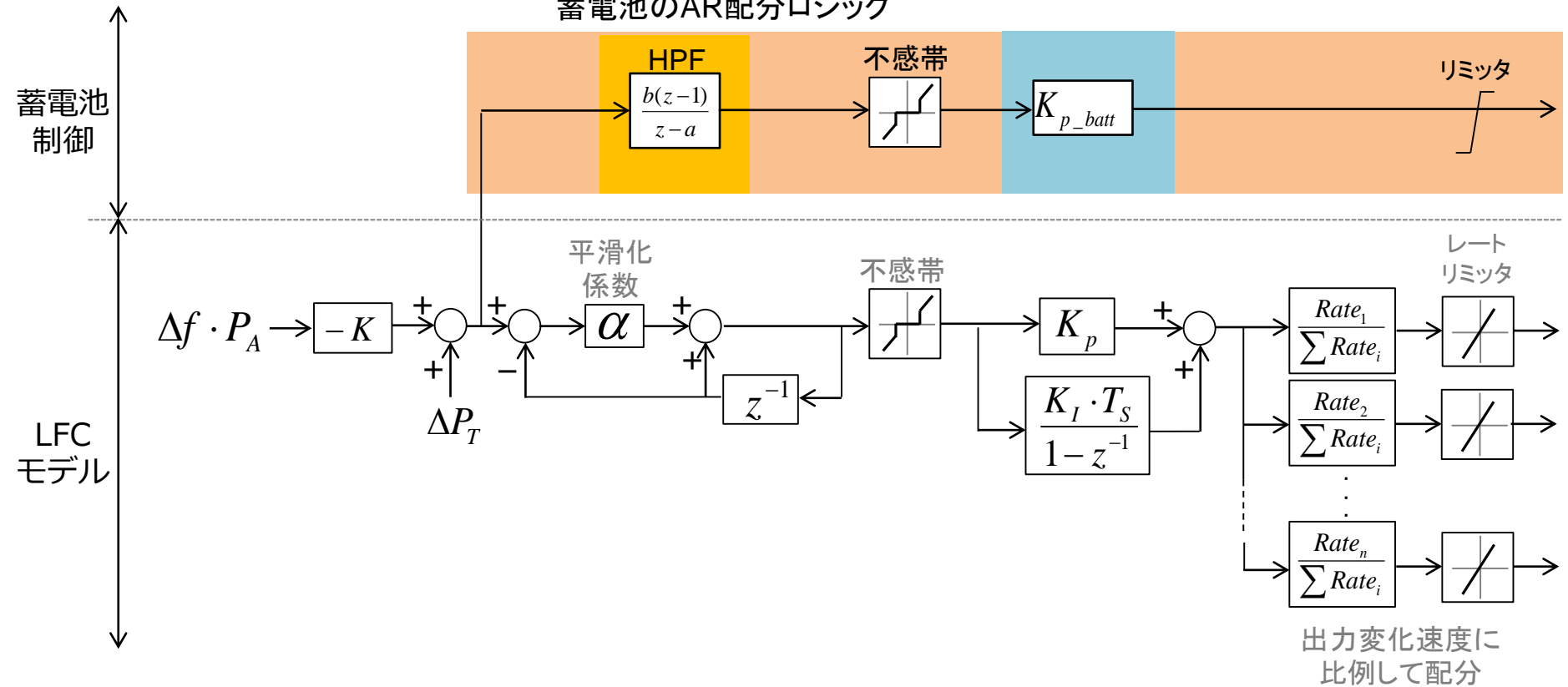


設定項目	設定値
蓄電池容量	50MW
SOC目標値	50%
SOC初期値	50%
SOC比例ゲイン	1
LPF時定数	50秒
SOCリミッタ	±10%
充放電ロス(ef)	96%
充放電容量(es)	60min

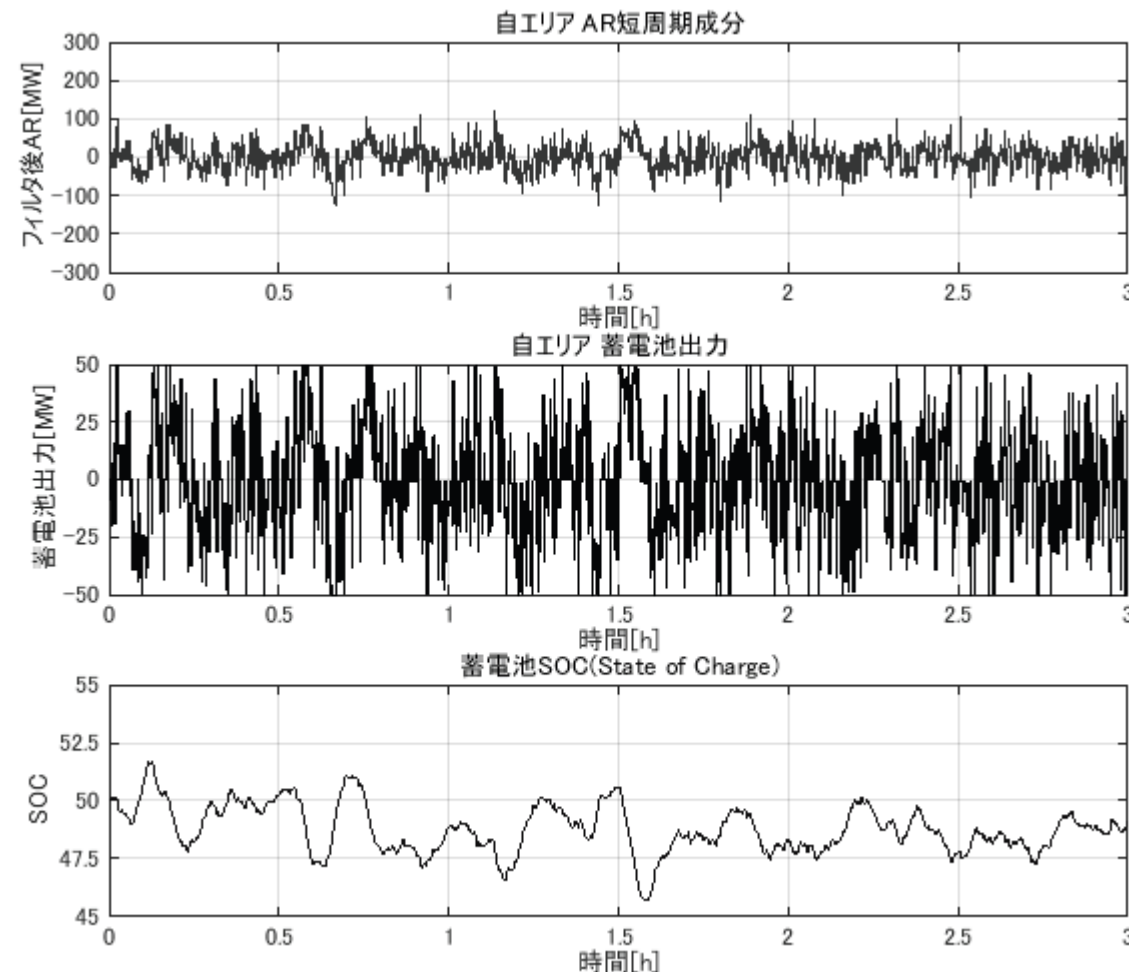
○蓄電池制御モデルはエリア内の自然変動電源出力の変動の影響を改善することを目的とするため、LFC方式を採用した。

- ✓ 蓄電池制御モデル: 蓄電池制御はLFCモデルに並列させる形で、ARのうち短周期変動を制御するように設計した。
- ✓ ハイパスフィルタ : ハイパスフィルタは5分周期以下の変動を抽出するように設計した。
- ✓ 制御ゲイン : 5分周期以下のAR変動は平均値が0であり、制御偏差が生じないと想定し、比例ゲインのみとした。

蓄電池のAR配分ロジック



- 自然変動電源の影響検討で用いたシミュレーション条件に対して、蓄電池制御を追加してシミュレーションを行った。
- 蓄電池出力は一時的に上下限まで達するものの、すぐに解消できていることから、制御設計は適切な範囲にあるといえる。



☑ハイパスフィルタの確認

- ・ フィルタ通過後のAR変動は長周期成分が適切に除去されている。

OK

☑制御ゲインの確認

- ・ 蓄電池出力は一時的に上下限に到達するが、すぐに解消されている。

OK

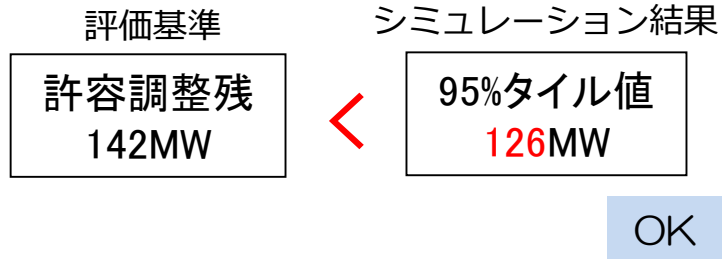
☑SOCの確認

- ・ SOCは目標値（50%）付近に制御されている。

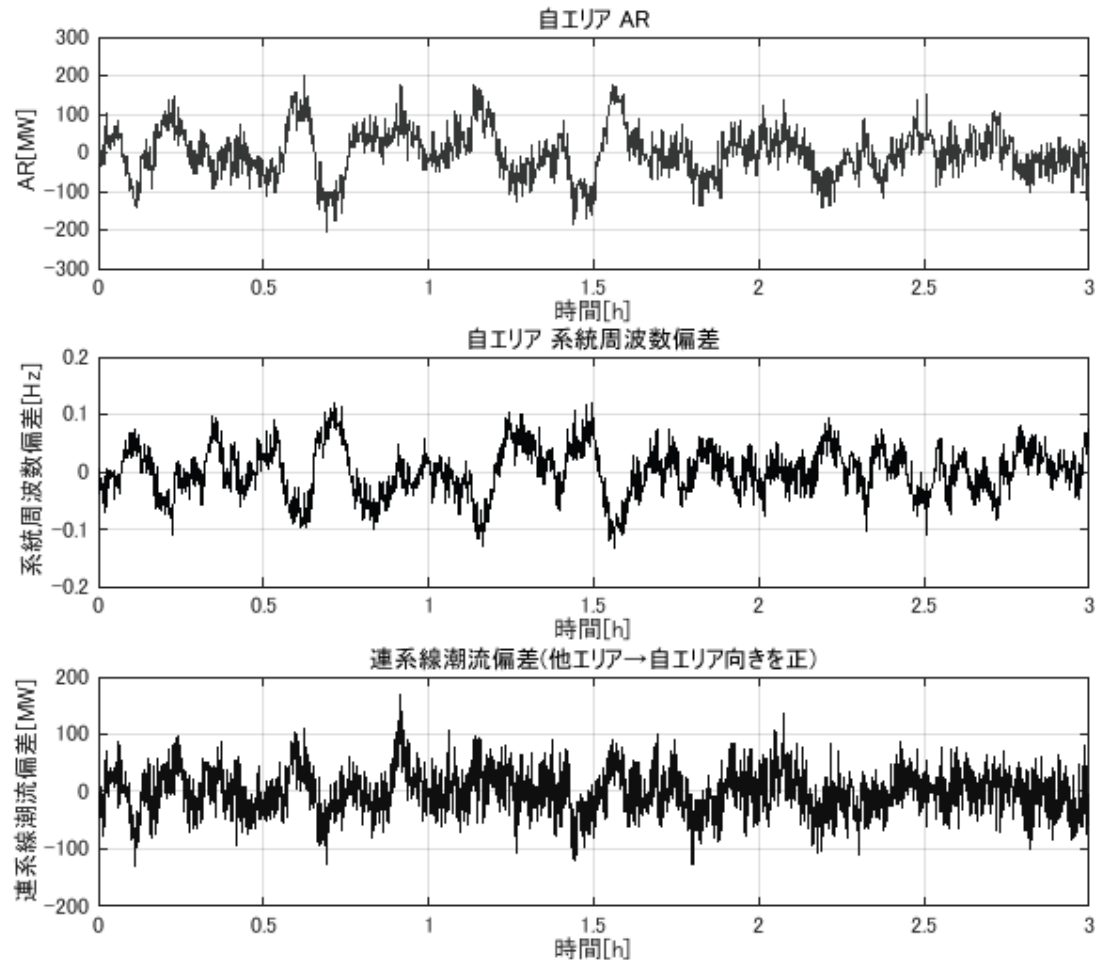
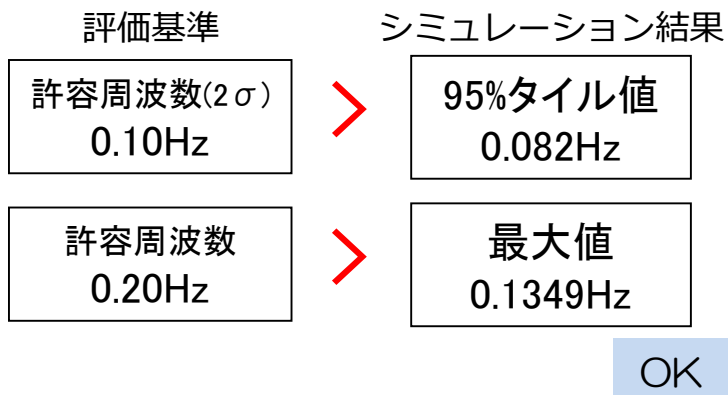
OK

- EDC制御残の一部を蓄電池により分担するため、LFC容量が確保でき、制御結果が改善した。
- このことから、蓄電池の導入は自然変動電源の出力変動に対する対策の一つとして有効であることがわかる。

自エリアARの評価



周波数の評価



- わが国の本土連系系統において、自然変動電源の出力変動の影響を改善するために、蓄電池を導入する場合、LFCと協調して制御することが合理的となる。
- 天気の変化に伴う自然変動電源の不確実な出力変動が、EDC制御残を増加させるためLFC制御残が増加するため、必然的にLFCの分担量は増加してしまう。
- 蓄電池は、このLFC分担量を軽減させる効果があるほか、さらに短い周期の変動を効果的に抑制することができる。

デレションカーブ

