

EAJプロジェクト 後半シンポジウム

電力解析分野の キー技術とキーシステム技術

2026年 4月 23日

辻 隆男
(横浜国立大学)

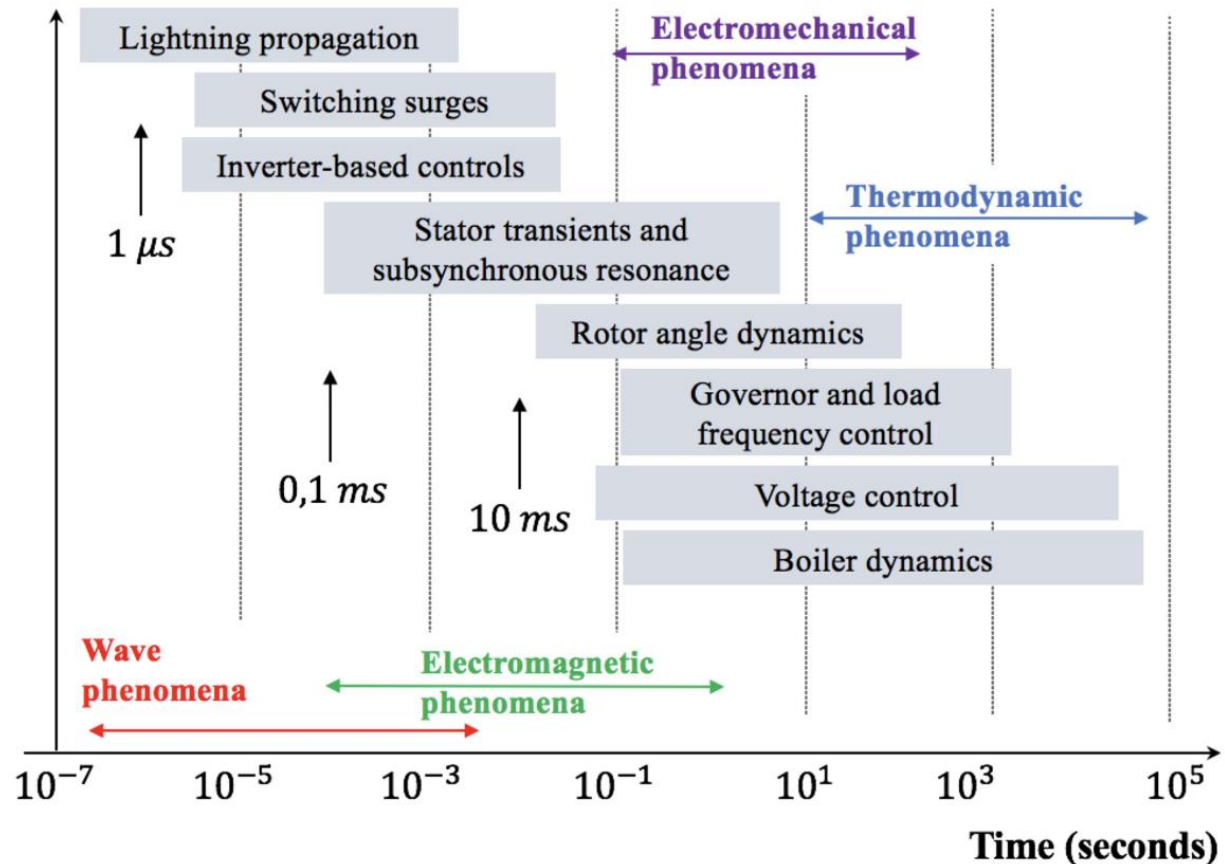
電力系統解析

目的

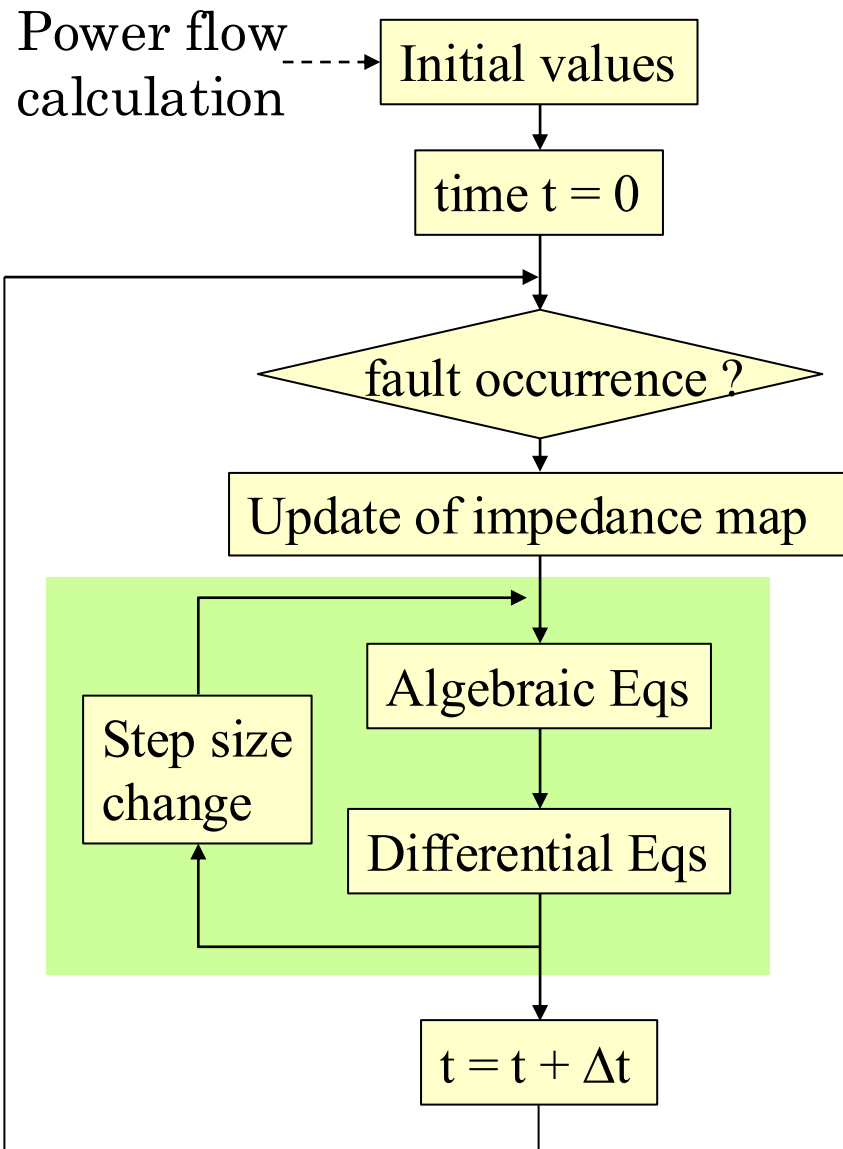
- 運用・制御の決定
- 設備・投資計画の検討
- 新規電源の連系による影響評価や安定化対策の検討
- 機器・システム設計
- 政策・制度・技術の検討・評価

目的に応じて様々な
時定数の解析が使用
されている

(出典) Nikos Hatziargyriou, et al., “Definition and Classification of Power System Stability – Revisited & Extended”, IEEE Trans. on Power Systems, Vol. 36, No. 4, pp.3271-3281 (2021)



電力系統過渡解析の一般的な概要



微分方程式

(同期発電機やインバータ機器の動特性)

+

代数方程式

(系統の電圧や電流の計算)



様々な時定数の現象が混在した「**硬い方程式**」の求解
(一般的に計算負荷が大きい)

電力系統解析における最近の変化

- 複数の現象の考慮

同期安定性，電圧安定性，周波数安定性など，複数の要因が複合的に影響した事象が増加。

- 解析対象範囲の増大

複数エリアを通じた解析，基幹系統と配電系統の両方を含む系統解析が必要。

- 不確実性の増大

再エネの出力変動，小規模分散型リソースの増大などにより系統状態の不確実性が増加。確率論的な解析の検討事例も増加。

- 機械学習の応用

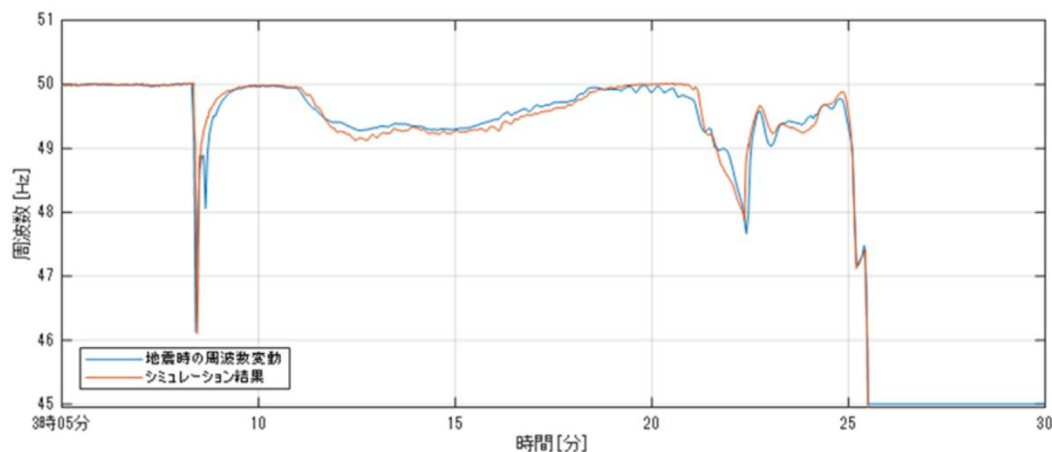
様々な系統解析に対しても機械学習・AI応用が幅広く検討されている。

北海道ブラックアウト

- N-7故障による周波数低下が主要因。
- 需給・周波数解析を中心としたシミュレーションにより事象が再現されると共に、原発再稼働ケースなど、将来シナリオの解析結果も示された。
- 電力レジリエンスワーキンググループ等の検討を通じて、ブラックアウト発生の可能性をシミュレーションを通じて定期的に確認するプロセスが構築された。

(出典)電力広域的運営推進機関,“災害に強い電力供給体制の確認について”,調整力及び需給バランス評価等に関する委員会,資料8(2021)

実際に発生した周波数変動とシミュレーションによる再現の比較

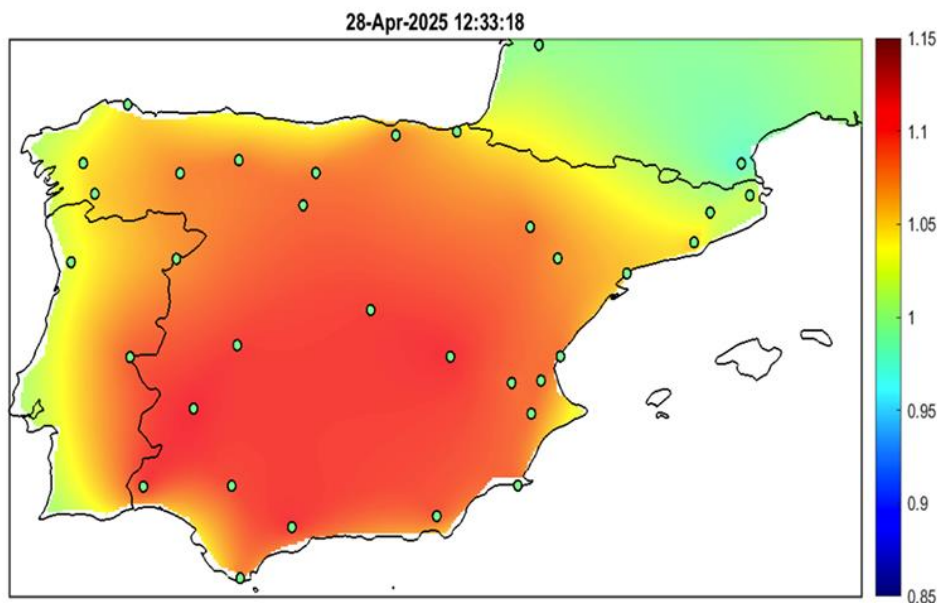


イベリア半島 ブラックアウト

- 2025年4月28日12:33, イベリア半島の全域(スペインとポルトガル)とフランスの一部で大規模な停電が発生(ブラックアウト)
- 再エネが高い比率を占める電源態勢の下でsystem strengthが低下。電圧・無効電力制御能力の不足により連鎖的な電圧上昇が発生。

<本事例から学ぶべき事項>

- 同期安定性・電圧安定性・周波数など, **統合的な解析**が必要。
- 再エネの系統貢献が一層重要になると思われ, **グリッドコードの整備**が望まれる。



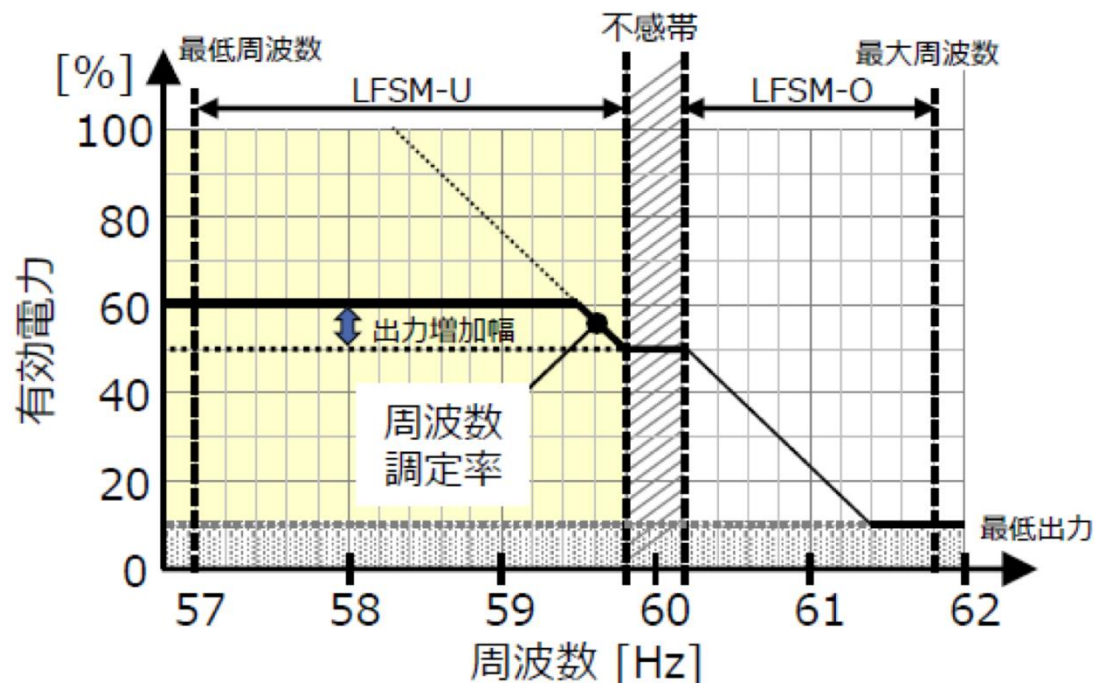
(source) ENTSO-e, “28 April 2025 Blackout”,
<https://www.entsoe.eu/publications/blackout/28-april-2025-iberian-blackout/>

安定性解析（グリッドコード）

- 再エネの系統貢献を得て、将来の系統における課題（慣性力や短絡容量の低下など）解決を試みる必要がある。
- 将来のグリッドコードの検討に際しても、将来の系統条件を適切に踏まえたシミュレーションを通じた検討が重要。

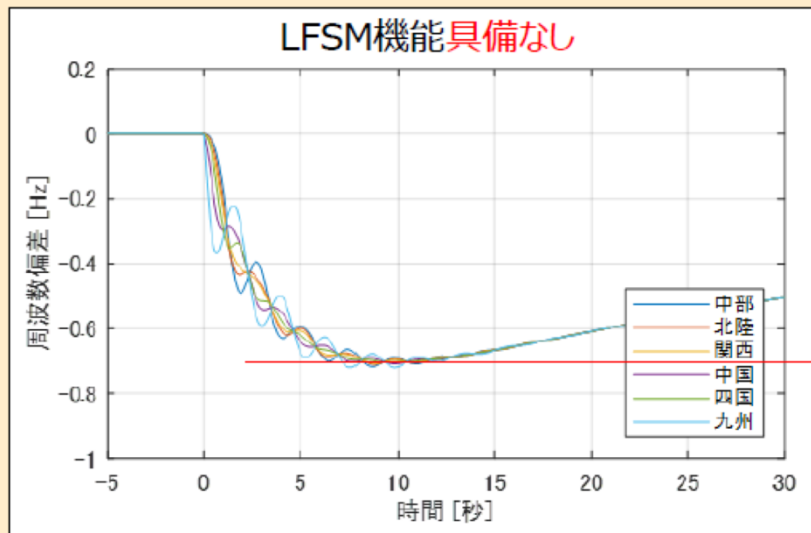
○風力発電の例

周波数低下時に調定率に沿って出力増加させることで周波数低下を緩和
(LFSM: Limited Frequency-sensitive mode)

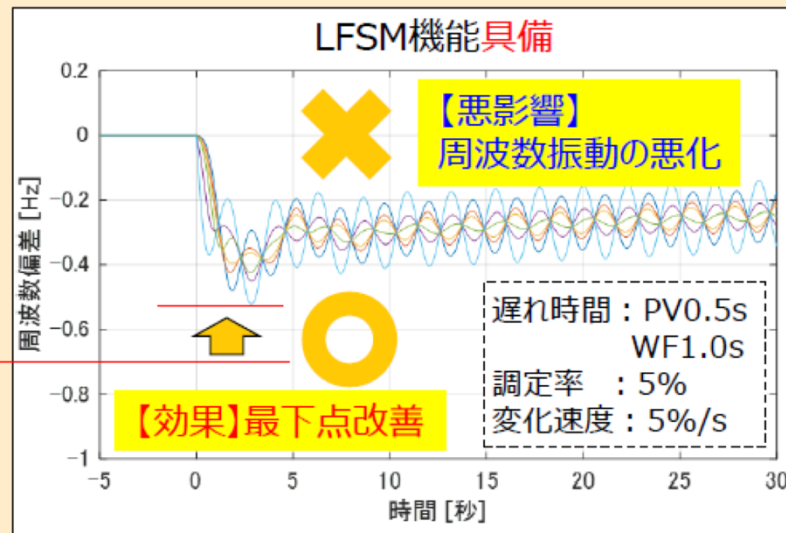
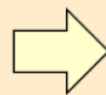


安定性解析（グリッドコード）

振動現象が確認された周波数シミュレーションの一例

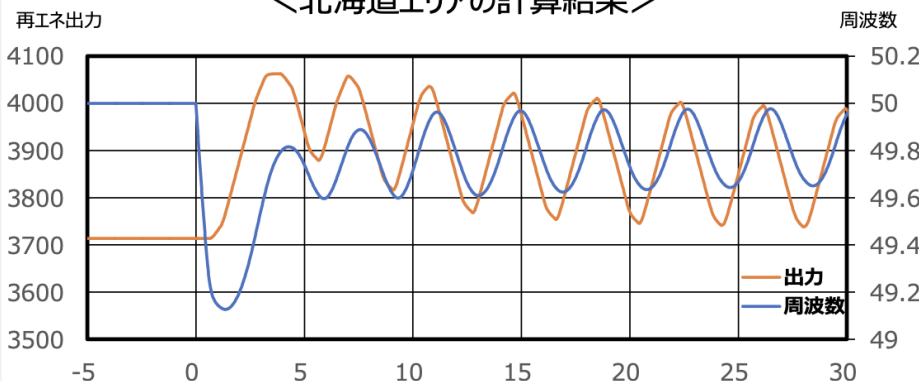


LFSM
機能**具備**

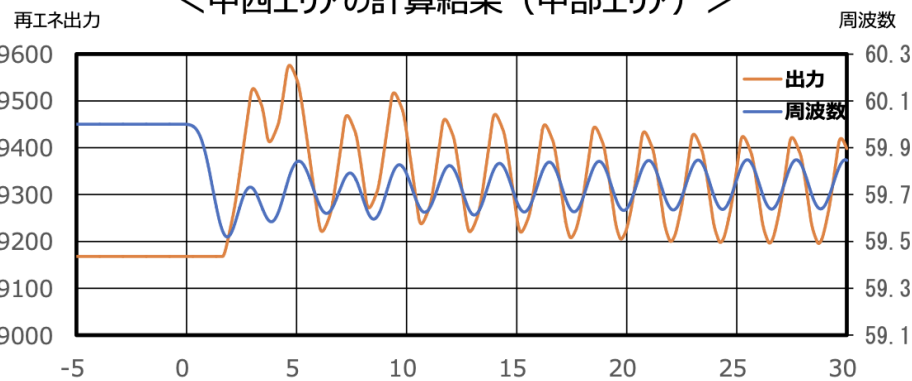


要件化の効果はあるものの、周波数振動の悪化も確認

＜北海道エリアの計算結果＞

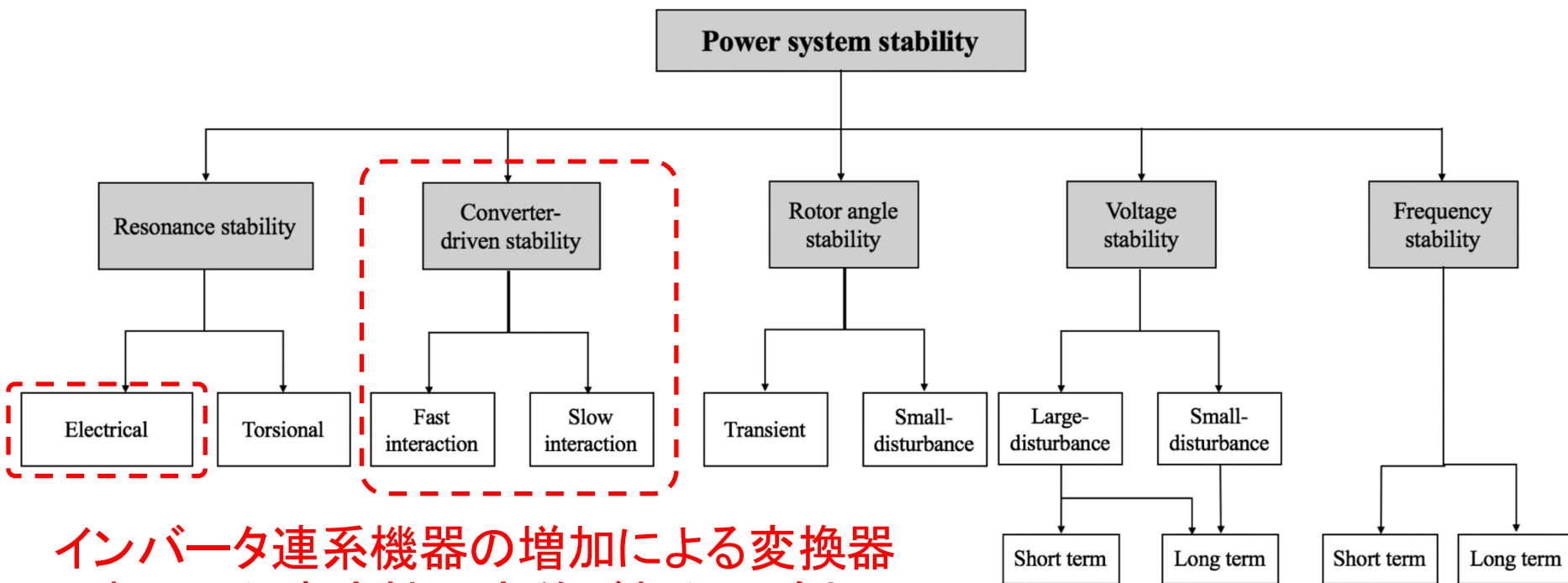


＜中西エリアの計算結果（中部エリア）＞



（出典）電力広域的運営推進機関，第9回，第16回 グリッドコード検討会

瞬時値解析



インバータ連系機器の増加による変換器
に起因した安定性の定義が新たに追加

(出典) Nikos Hatziargyriou, et al., “Definition and Classification of Power System Stability – Revisited & Extended”, IEEE Trans. on Power Systems, Vol. 36, No. 4, pp.3271-3281 (2021)

従来はサージや突入電流の解析などを主な用途として瞬時値解析が用いられてきたが、近年ではパワーエレクトロニクス機器の導入拡大により、その重要性が高まっている。

瞬時値解析

電磁界過渡解析シミュレーション

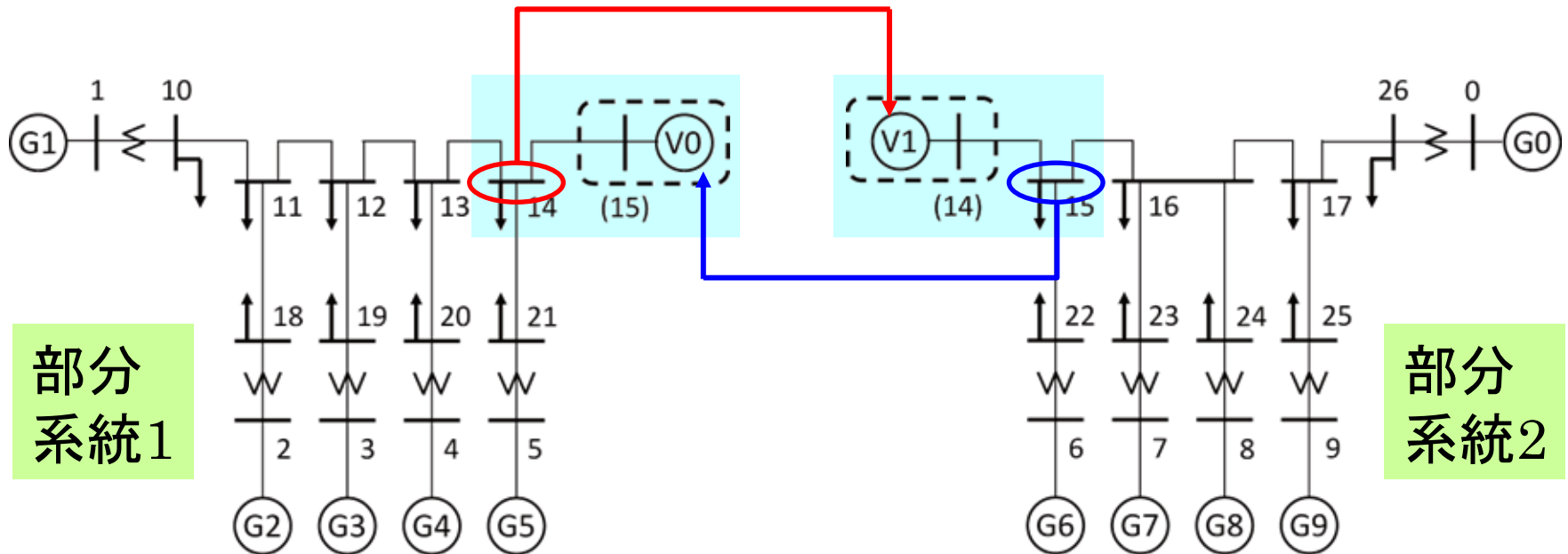
(Electro-Magnetic Transient Simulation)

- マイクロ秒オーダーの刻み幅による瞬時値解析。
- パワエレ機器開発の視点からは不可欠な解析。また、**パワエレ機器増加**により、系統大のシミュレーションにおいてもEMT解析の重要性が高まっている。
- 一般的に計算時間が非常に長く、高速化の様々な工夫が検討されている。
- モデルが大規模かつ詳細になりすぎると、**適切な初期値を与えることが困難**になるため、必ずしも精度の高いシミュレーションが実行できるとは限らない。

※真に瞬時値解析が必要な状況を事前に絞り込むことも重要

(参考) Waveform Relaxation Method

時系列波形の交換

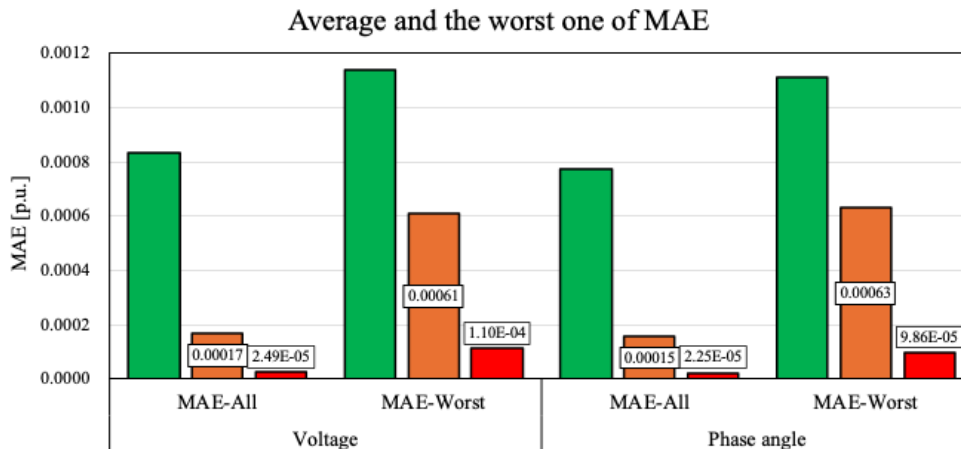


原系統を複数の部分系統に分割して、並列計算で求解する。インターフェース箇所の波形が一致するように繰り返し計算を通じて収束解を得る（分割数が多いと収束に時間がかかる）

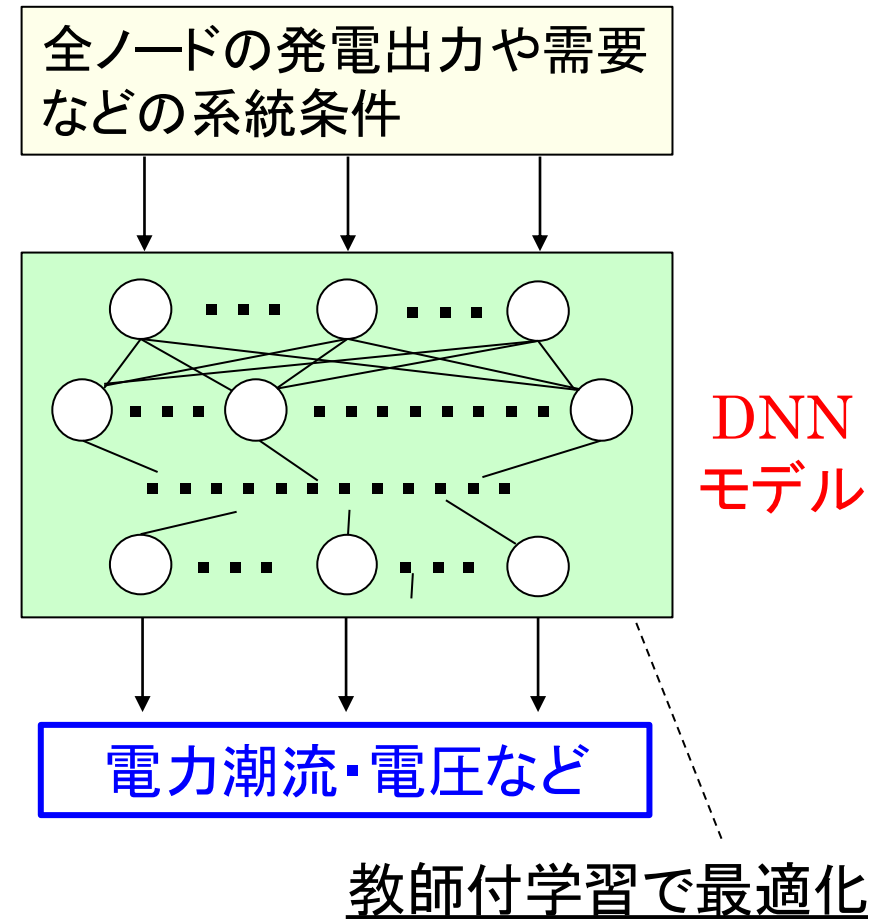
(source) Takao Tsuji, Frederic Magoules, Kenko Uchida, Tsutomu Oyama, "A Partitioning Technique for a Waveform Relaxation Method Using Eigenvectors in the Transient Stability Analysis of Power Systems", IEEE Trans. on Power Systems, Vol. 30, No.6, pp.2867-2879 (2015)

機械学習（DNN）による確率的潮流計算

- 機械学習モデルの構築による潮流計算の高速化事例多数（特にAC-OPFに有用）
- 潮流計算の高速化に加え，準モンテカルロ法などの活用により確率的潮流計算の高速化が期待できる

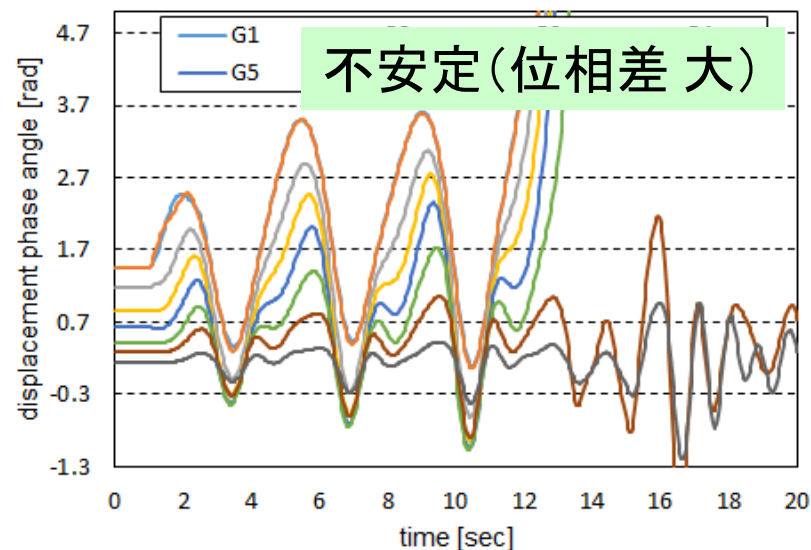
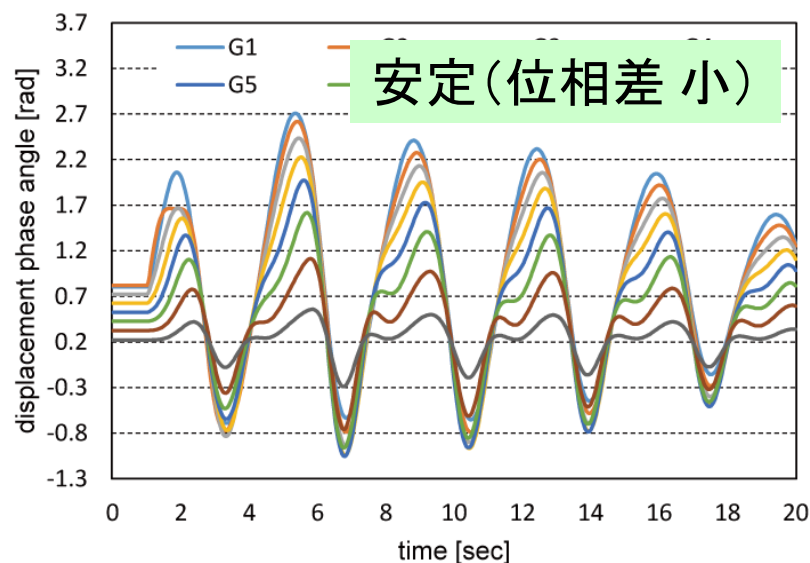


計算時間・精度，共に十分
実用的なレベル



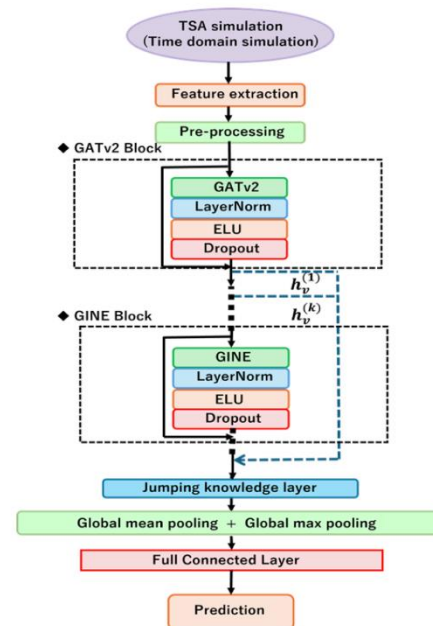
Riki Hanashiro, Takao Tsuji, Eito Moriuchi, Naoki Fujita, and Kazunari Ishibashi, “A Fast Probabilistic State Estimation Technique using Deep Neural Network in Distribution System”, Proc. of IEEE PowerTech (2025)

電力動揺の解析とAI応用



機械学習モデルにより、
未知の系統条件に対しても精度高く
安定判別できる事例報告が増加
(要因分析手法も進展中)

(source) Ruka Ito, Takao Tsuji: Transient Stability Assessment of Power Systems Using Hybrid Graph Neural Networks, Proc. of the International Council on Electrical Engineering Conference (2026)



人材育成に向けて

電力系統解析における課題は多岐にわたるが、今回紹介の事例からは以下のような点が挙げられる。

- 解析対象は今後一層大規模・複雑になると思われるが、全てを詳細模擬した解析には限度がある。電力系統からパワエシまでを俯瞰的に把握すると共に、真に詳細なモデル化が必要な範囲を見極める必要がある。
- より効果的な電力系統解析に向けて、今後は「求解処理の分散化、AI応用」なども重要になると思われる。



電力系統における諸現象の物理的理解に加え、今後の電力系統の姿を適切に想定できるような人材育成が必要