

電力系統における規制緩和を考慮した地域分散型 H ∞ LFC

Decentralized H ∞ LFC considering Deregulation in Power System

学籍番号 23413512 氏名 犬飼 善貴

指導教員名 鵜飼 裕之

1. 緒言

東日本大震災における電力設備の被害により、我が国の電力システムについて活発な議論がなされるようになり、改めて電力市場の規制緩和に対する関心が高まっている。

一方、電力システムにおける負荷周波数制御 (LFC) は、負荷変動などによる有効電力の需給不平衡に応じて発電機出力の調整を行い、周波数および連系線潮流を規定値に維持するという役割を担っており、規制緩和後の系統運用においても重要な問題である。

規制緩和環境下の運用構造では、周波数制御に関連する 2 つの変更事項が考えられる。一つ目は市場取引を用いて IPP を含めた発電事業者からアンシラリーサービスを調達する点であり、二つ目は相対取引によって供給地域を越えた電力売買が行われることである。また制御系設計においては、複数の発電会社の介入によるシステムパラメータの不確かさの増大や相対取引の増加による連系線潮流変動の増大が懸念されるため、ある程度のモデル誤差や不確かさがあっても制御性能に劣化が起きないロバスト性を備えた制御を適用することが必要となる。

そこで本研究では、規制緩和後の運用構造を考慮した LFC システムモデルを作成し、地域ごとに出力情報のみを用いて個別に安定化を図る地域分散型 H ∞ LFC コントローラを適用した。さらに、規制緩和環境下における広域連系強化を考慮した LFC 方式の応用を提案し、その性能評価を行った。

2. 規制緩和型 LFC システム

本研究では、日本のくし型系統の特性を考慮した 3 地域システムを考える。各地域には、2 つの発電会社 (GENCO) と 2 つの配電会社 (DISCO) を含んでいると仮定する。図 1 に規制緩和型 3 地域電力システムの構成、図 2 に制御エリア i におけるブロック線図を示す。

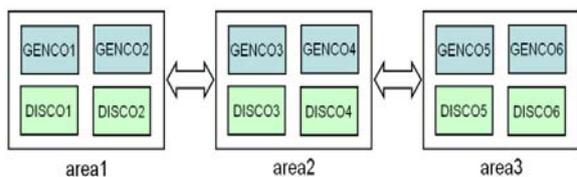


図 1: 規制緩和型 3 地域電力システムの構成

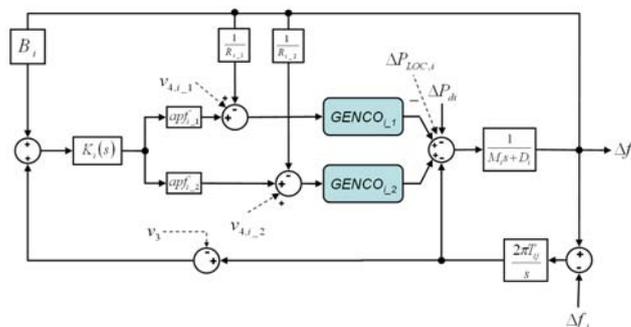


図 2: 制御エリア i のブロック線図

図 2 の点線で繋がれた v_3, v_4 は契約管理者から送信される信号であり、それぞれ相対取引に基づいて算出した連系線潮流の計画値と各 GENCO の出力基準値である。

次に規制緩和後の運用構造を考慮する。まず相対取引の可視化を行うために、式 (1) に示す DISCO 寄与行列 (DPM) を使用する。行の数が GENCO の総数、列の数が DISCO の総数を示す。 cpf は契約寄与率 (1) であり、 cpf_{nm} は DISCO $_m$ が総負荷に対して GENCO $_n$ と契約した割合である。

$$DPM = \begin{bmatrix} cpf_{11} & \dots & cpf_{1m} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ cpf_{n1} & \dots & cpf_{nm} \end{bmatrix} \quad (1)$$

また、市場取引を用いて調達した周波数制御におけるアンシラリーサービスは、各地域の GENCO に対して AGC 寄与率として apf で表され、各地域に存在する GENCO に与えられた apf の合計は 1 となる。 apf によって各地域で算出された ACE 信号を分配し、需給調整を行う。

3. 制御系設計

本研究では、図 2 に示す各制御地域に対してロバスト制御である H ∞ 制御理論に基づく制御系の設計を行う。

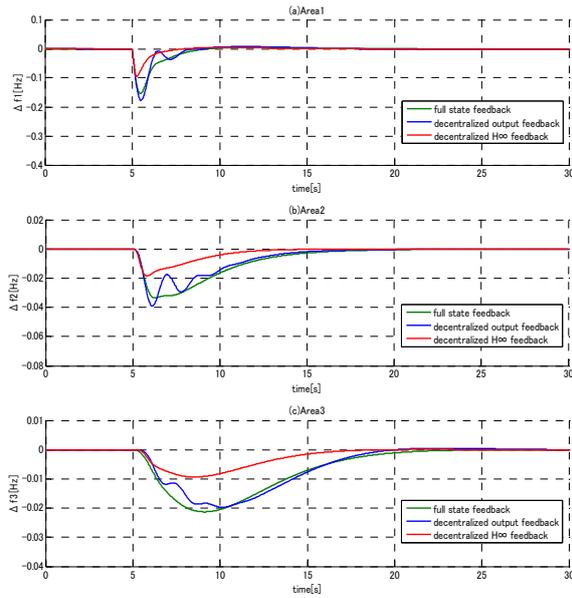
本研究では、モデル誤差としてシステムパラメータである慣性定数、負荷ダンピング係数をノミナル値から $\pm 50\%$ 、GENCO におけるタービン時定数、ガバナ時定数、調定率を $\pm 30\%$ の変化を考慮する。変化の組み合わせによりボード線図からワーストケースを選定し、そのケースにおいてロバスト安定化に対する重み関数を決定する。次に外乱抑圧に対する重み関数を決定するが、この 2 つはトレードオフの関係にあるため、これを混合感度問題として解き、適当な重みを決定することで H ∞ コントローラを設計した。

4. 地域分散型 H_∞コントローラの性能評価

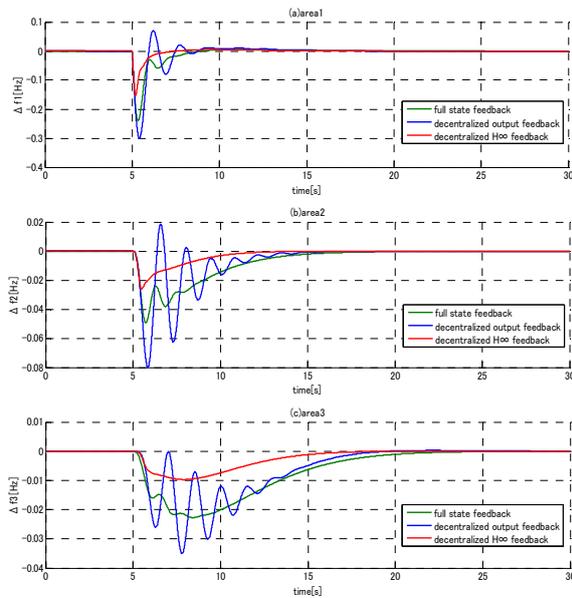
3章で設計した地域分散型 H_∞コントローラの制御性能の評価を行う。負荷変動の条件として DISCO 1 における 0.1 pu のステップ変動を考える。制御性能比較には、全状態フィードバックコントローラと地域分散型出力フィードバックコントローラを用いた。

〈シミュレーション結果〉

システムパラメータのノミナルケースとワーストケースで制御性能を比較した結果を図 3 に示す。



(a) ノミナルケース



(b) ワーストケース

図 3: 周波数応答による制御系の性能比較

結果より、モデル誤差が増大した場合においても地域分散型 H_∞コントローラは減衰特性に影響がなく、優れた過渡応答を示していることがわかる。規制緩和環境下における広域運用に対しても、従来の地域別による LFC システムの形態を崩さず、ロバスト性を考慮した制御系設計が望ましいと言える。

5. 広域連系強化を考慮した LFC 方式の応用

本章では、規制緩和とともに促進される広域連系強化を考慮し、連系線の計画潮流に変動幅を許容できることを想定して、全エリア FFC 方式を提案法として適用する。これによって周波数偏差のみのフィードバック機構となり、電力品質である周波数のさらなる安定化が期待できる。シミュレーション条件は 4 章と同じ (ノミナルケース) とし、地域分散型 H_∞コントローラにおける従来の TBC 方式と提案法の過渡応答を比較した結果を図 4 に示す。

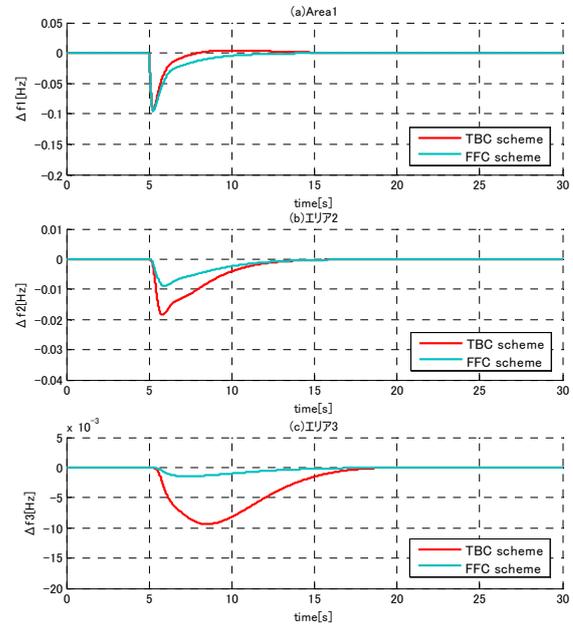


図 4: 周波数応答による TBC 方式と FFC 方式の比較

結果より、提案法が従来の TBC 方式よりも優れた過渡応答特性を示していることがわかる。これより、広域連系強化において連系線運用容量が拡大した場合には、計画潮流の変動幅を許容し全エリア FFC 方式を用いることが望ましいと言える。

6. 結言

本論文では、規制緩和環境下におけるシステムを用いて地域分散型 H_∞LFC コントローラを適用し、広域連系強化を考慮した LFC 方式の提案と制御性能評価を行った。

今後は相対取引やアンシラリーサービスの条件に対してより多くのケーススタディを実施し、規制緩和型 LFC システムの特性を評価・検証していきたい。