

低炭素社会の実現に向けた
技術および経済・社会の定量的シナリオに基づく
イノベーション政策立案のための提案書

技術普及編

再生可能エネルギー大量連系時における
需給制御システムの提案

平成28年3月

Provision of Supply and Demand Control System in Power Systems
Integrating Large-scale Renewable Energy

Strategy for Technology Dissemination

Proposal Paper for Policy Making and Governmental Action
toward Low Carbon Societies

国立研究開発法人科学技術振興機構
低炭素社会戦略センター

LCS-FY2015-PP-17

概要

低炭素社会実現のためには、再生可能エネルギーの大量導入が不可欠である。しかし、太陽光発電や風力発電は、出力が気象条件に依存するという性質を有する。そのため、太陽光発電及び風力発電の大量連系時には、電力系統の需給制御において、出力の変動や不確実性に対処するための対策を講じる必要がある。本取り組みでは、負荷周波数制御（Load Frequency Control, LFC）において、石炭火力発電や蓄電池などの異なる応答特性を有する LFC リソースの適切な制御分担を提案した。また、経済的負荷配分制御（Economic load Dispatching Control, EDC）において、再生可能エネルギーの出力予測誤差の影響を軽減する、新しい制御システムを提案した。さらに、これらの提案手法の有効性を、需給制御シミュレーションによって検証した。太陽光発電や風力発電の大量導入のためには、本取り組みのように、再生可能エネルギー大量連系時における電力系統の特性を考慮しながら、既存の需給制御システムを改良していくことが求められる。

Summary

Large-scale renewable energy installation is essential to realize low carbon societies. However, the output of photovoltaic power generation (PV) or wind turbine (WT) power generation depends on weather conditions. Therefore, some measures should be taken to deal with the time varying nature and uncertainty of the output of PV and WT generation when they are largely installed. We proposed the novel method to allocate control depending on individual response characteristics of fossil-fired thermal power generation or batteries. Then, the new control method of EDC to mitigate the effect of the prediction error for the output of PV and WT generation is also proposed. Moreover, the effectiveness of proposed methods is examined by the simulation of power supply and demand control. Power supply and demand control system should be improved for large-scale installation of renewable energy, as proposed in this paper.

目次

概要

1. 緒言	1
2. 再生可能エネルギー大量連系時における需給制御システムの提案	2
2.1 短周期変動における LFC 制御分担の提案	2
2.2 再生可能エネルギー出力予測誤差のための EDC 出力補正システムの提案	3
2.3 EDC と LFC の協調制御システムの全体像	5
3. 需給制御シミュレーションモデル	7
3.1 モデル系統	8
3.2 起動停止計画	8
3.3 プラントモデル	8
3.4 PV 及び WT 出力の予測誤差の設定	8
4. シミュレーション結果	9
4.1 LFC 制御分担	9
4.2 EDC 出力補正システムの効果検証	10
5. 結論と政策提案	11
参考文献	11

1. 緒言

近年、低炭素社会実現に向け、太陽光発電や風力発電といった再生可能エネルギーの大量導入に向けた動きが活発化している。一方、これらの電源の出力は気象条件に依存するため、導入によって系統の見かけの負荷変動は増大する。現在の電力系統需給制御においては、数十分程度以上の長周期の負荷変動成分を経済負荷配分制御（Economic load Dispatching Control, EDC）、数分から数十分程度の短周期成分を負荷周波数制御（Load Frequency Control, LFC）によって補償している。しかし、太陽光（PV）・風力発電（WT）の大量連系時においては、従来の EDC 及び LFC システムでは需給偏差を補償しきれず、周波数変動が許容範囲を逸脱することが問題となる。特に、PV 及び WT の短周期の出力変動により、正味の短周期変動も増大する。また、EDC における負荷予測値に対して予測誤差が生じるため、LFC にて長周期の変動を補償しなければならない。そのため、これらの課題に対応できるような新たな電力系統の需給制御システムの構築が求められる。

LFC は EDC よりも短周期の負荷変動に対応するため、火力発電機の応動特性が重要であり、現在の需給制御においては、ボイラ応動の早い火力発電機（LNG 火力やガスタービンコンバインドサイクル（GTCC）火力）が EDC に加えて LFC を分担することが多い。しかし、再生可能エネルギー大量連系時においては、PV・WT の発電量により、火力発電機の運転台数が減少するため、現状は、ボイラ応動の遅さから EDC のみを分担されることが多い石炭火力機も LFC に活用していく必要がある。また、蓄電池（Battery Energy Storage System, BESS）に関しては、高速な応答性と高いランプレート（Ramp Rate¹⁾）特性を持つことから、LFC において高い周波数変動抑制効果が期待されており、また将来的にコストが低減されることが予想されるため、今後積極的に需給制御に活用されていくことが予想される。このように、再生可能エネルギーが大量連系された電力系統においては、火力発電機や蓄電池など、様々な応答特性を持つ LFC 電源を活用して、LFC 制御容量の確保及び LFC 信号の割り当てが行われなければならない。

また、PV 及び WT 出力の予測誤差が発生することに対しては、予測誤差が発生する状況においても周波数変動が許容範囲に収まり、なおかつ経済的な需給制御がなされる必要がある。火力発電機による LFC 調整力を従来以上に確保することで周波数変動を抑えることができるが、各火力発電機は非効率的な運転がなされることになり、経済的ではない。火力発電機の燃料費削減は、現在の我が国の情勢を鑑みると喫緊の課題であり、日々の火力機の効率的な運用が重要であるという点は揺ぎない。それゆえ、不確実な状況下においても経済性と系統の安定性を両立できる新たな需給制御システムが求められる。

そこで、本取り組みでは、短周期変動増大への対策として、応答特性の異なる様々な LFC 電源が、将来的に LFC 制御容量確保のために用いられることを想定した、変動周期別 LFC 制御分担決定手法を提案する。次に、PV 及び WT 出力に予測誤差による EDC 制御残の増大に対しては、LFC システムより検知された周波数偏差をもとに、経済性を考慮した EDC 出力指令値補正を行う、新たな EDC と LFC の協調制御システムを提案する。そして、それらの提案手法の有効性を検証するため、東北電力管内を模擬した電力系統需給制御モデルを構築してシミュレーションによる検討を行った。

¹⁾ 出力応答の変化速度。

2. 再生可能エネルギー大量連系時における需給制御システムの提案

2.1 短周期変動における LFC 制御分担の提案

特定の時間断面（例えば 1 時間）を考える。図 1 の縦軸は負荷変動成分のパワースペクトル密度²⁾、横軸は変動周期を示す。 U_j は変動周期範囲であり、変動周期 S_j よりも速い変動に追従可能な調整電源群を G_k ($k \leq j$) とする。また、LFC は数分から数十分程度の負荷変動を補償するため、LFC で補償する最小の変動周期を S_0 とする。ここでは、横軸の変動周期範囲で曲線より下の領域の面積が当該周期範囲における変動の分散に相当する。各調整電源群は色のついた部分の変動を補償するように調整力を確保しており、色のついていない部分は調整残を示す。なお、色つきの部分の面積が調整電源群による調整力を直接示すものではないことに注意されたい。

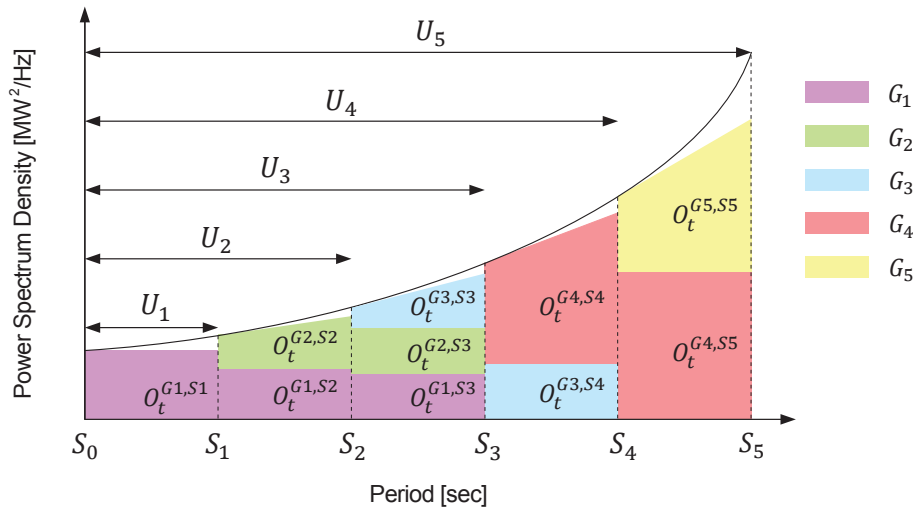


図 1 各 LFC 調整電源の応答特性を考慮した所要 LFC 調整力割当の概念図

まず、変動周期範囲 U_1 を考えると、この周期範囲の変動成分に追従できるのは調整電源群 G_1 のみである。よって、ある時間帯 t における周期範囲 U_j の変動を補償するために要する所要調整力を $R_t^{U_j}$ 、調整電源群 G_k による周期 S_{j-1} から S_j の範囲の変動に対する調整力を $O_t^{G_k, S_j}$ とすれば、変動周期範囲 U_1 において式(1)の関係が成立するように需給運用が行われなければならない。

$$O_t^{G_1, S_1} \geq R_t^{U_1} \quad (1)$$

次に、変動周期 U_2 を考える。 U_2 の範囲の負荷変動は調整電源群 G_1 及び G_2 によって補償できる。調整電源群 G_1 は周期範囲 U_1 の変動に対して調整力を提供しなければならないが、調整力に余力があれば変動周期 S_1 から S_2 の間の領域の変動に対しても調整力を提供できる。よって、同様に考えれば式(2)が成立するように需給運用が行われる必要がある。

$$O_t^{G_1, S_1} + O_t^{G_1, S_2} + O_t^{G_2, S_2} \geq R_t^{U_2} \quad (2)$$

²⁾ 負荷変動成分を信号とした、パワースペクトル密度。

同様の考え方を各変動周期範囲に対して用いることで、当該時間帯 t において、発電機の応答特性の差異を考慮した上で変動周期範囲毎に必要な LFC 調整力が確保される (式 (3) 及び式 (4))。

$$\sum_{jj \leq j} \sum_k o_t^{G_k S_{jj}} \cdot a_{k,jj} \geq R_t^{U_j}, \quad \forall j \quad (3)$$

ここで、

$$a_{k,jj} = \begin{cases} 0 & (k > jj) \\ 1 & (k \leq jj) \end{cases} \quad (4)$$

また、変動周期範囲 U_j に対する調整電源群 $G_k (k \leq j)$ が提供する調整力 $O_t^{G_k, U_j}$ は式 (5) のように定義できる。

$$O_t^{G_k, U_j} = \sum_{k \leq jj \leq j} o_t^{G_k S_{jj}} \quad (5)$$

以上より、変動周期別に LFC 調整力を確保する手法の定式化がなされた。これらの式を制約式として用いることで、各調整電源群の確保すべき LFC 調整力がコスト最小化の最適化計算の中で決定される。また、その最適化によって得られた LFC 調整力は、調整電源群の応答特性を考慮した上で、コスト最小を実現するものとなる。本取り組みでは、起動停止計画作成時において、変動周期別に 1 時間断面の所要 LFC 調整力を評価し、系統全体での調整力を確保するものとする。また、応答特性の速いものから順に、①蓄電池・GTCC 火力機、②水力発電機、③LNG・石油火力機、④石炭火力機の 4 種類の調整電源群に分類して、各調整電源群の確保すべき LFC 調整力を決定することとした。

なお、本手法を適用するためには、変動周期別の所要 LFC 調整力を予め想定しておくことが必要となる。それゆえ、PV または WT 出力の実データを用いた解析などが今後一層なされることが望まれる。また、従来の所要 LFC 調整力の代数的評価手法は文献 [1]などを参照されたい。

2.2 再生可能エネルギー出力予測誤差のための EDC 出力補正システムの提案

再生可能エネルギー出力の長周期予測誤差に対応するための新しい EDC 出力補正システムの概念図を図 2 に示す。まず、現在の時刻 t において、系統全体で見た場合の負荷（需要から EDC 制御対象外の発電機による出力を除いたもの）を L_t^{Cur} 、ある発電機 i の発電量を P_{it}^{Cur} とする。このとき、従来の EDC においては、時刻 $t+1$ の各発電機の出力指令値 (P_{it+1}^{EDC}) を決めるにあたって、負荷の予測値 (L_{it+1}^0) に対して燃料コストが最小となるように等価法³⁾などによって P_{it+1}^{EDC} を決定する。しかし、従来の EDC と LFC の制御手法では、 L_{it+1}^0 と実現値の偏差が LFC の制御対象となるため、負荷の予測誤差が大きい PV 及び WT の大量導入時においては、所要 LFC 調整力が増し、調整力を確保するための費用も増大する。そのため、EDC による出力指令値 P_{it+1}^{EDC} を随時修正していく必要がある。そこで、本研究では、EDC に負荷予測の不確実性に対応するための「幅」を持たせて各発電機の出力を決定し、負荷の予測値と実現値の偏差を元に EDC の出力指令値を修正することで、EDC の補正を実現する。具体的な手順を以下に示す。

³⁾ Lagrange の未定乗数法を用いて、各発電機の出力配分を決定する方法。単位出力変化させるのに必要な燃料費増分 ($\partial FC_i(P_i) / \partial P_i$) が、各発電機で同一 ($=\lambda$) になるように出力を決定して、出力配分する。 FC_i は、発電機 i の燃料費関数。

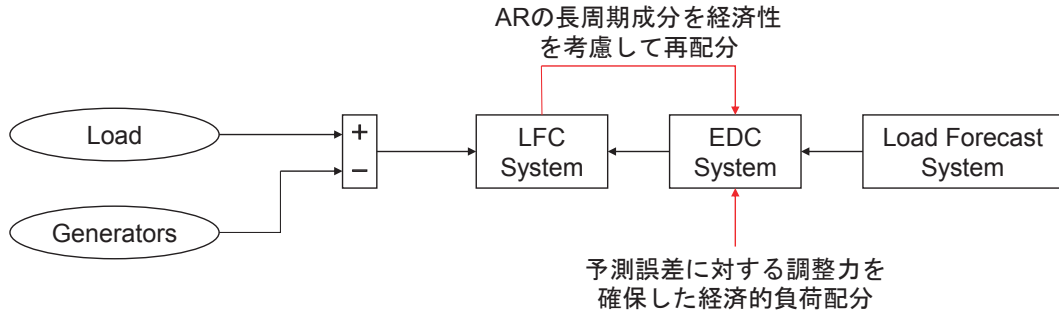


図2 再生可能エネルギー予測誤差を考慮した EDC と LFC の協調制御システムの概念

時刻 $t+1$ の負荷予測値が L_{t+1}^0 の場合、実際の時刻 $t+1$ の負荷の実現値は L_{t+1}^0 を平均値としたある確率分布に従うと考えられる。そこでまず、負荷の予測値の周囲の値を離散化し ($L_{t+1}^M, \dots, L_{t+1}^M$)、負荷の実現値が L_{t+1}^j であった場合に各発電機の実出力指令値 $P_{i,t+1}^{EDC}$ と不確実性に対応するための幅によって $R_{i,t+1}^j$ の修正を行う、と予め取り決めをしておく。このとき、負荷の実現値が L_{t+1}^j であった場合の実出力補正值 $R_{i,t+1}^j$ は中央給電指令所で地域要求量 (Area Requirement, AR) を計算後、各発電機にどのように EDC に対する補正指令を出すか、という制御システムによって決まる。本取り組みにおいては、出力の上げ指令は燃料費の安い発電機に、出力の下げ指令は燃料費の高い発電機に EDC の修正信号を送信することとした。また、 $R_{i,t+1}^{EDC}$ は全てのケースが生じた場合に期待値コストを最小化する値として決定する。時刻 $t+1$ のエネルギー需給バランス制約、現在時刻 t からの出力変化速度制約、LFC 調整力を含めた最小・最大出力制約を考慮すれば、 $P_{i,t+1}^{EDC}$ は、式(6)～(9)によって定式化される最適化問題によって求めることができる。ただし、 FC_i は発電機 i の燃料費関数、 $Prob_j$ は負荷の実現値 L_{t+1}^j が実現する確率、 $P_{i,t}^{Cur}$ は発電機 i の現在時刻 t における出力、 CR_i^{EDC} は発電機 i の出力変化率上限、 ΔT_{EC} は EDC の計算間隔、 C_i^{LFC} は発電機 i が確保しなければならない LFC 調整力、 P_i^{Min} 及び P_i^{Max} は発電機 i の発電量 P_i の最小値及び最大値を示す。なお、発電機 i の LFC 調整力に関しては、起動停止の段階で決定し、離散化した出力予測誤差の全てのケースにおいて、LFC 調整力を確保した上で各発電機の出力を決定することとした。

(a) 目的関数：燃料コストの期待値の最小化

$$\min \sum_{t=1}^T \sum_{i=1}^N \sum_{j=-M}^M FC_i(P_{i,t+1}^{EDC} + R_{i,t+1}^j) \cdot Prob_j \quad (6)$$

(b) 需給バランス制約

$$\sum_{i=1}^N (P_{i,t+1}^{EDC} + R_{i,t+1}^j) = L_{t+1}^j, \quad \forall j \quad (7)$$

(c) 出力変化制約

$$P_{i,t}^{Cur} - CR_i^{EDC} \cdot \Delta T_{EC} \leq P_{i,t+1}^{EDC} + R_{i,t+1}^j \leq P_{i,t}^{Cur} + CR_i^{EDC} \cdot \Delta T_{EC} \quad (8)$$

(d) 最低・最高出力制約

$$P_i^{Min} + C_i^{LFC} \leq P_{i,t+1}^{EDC} + R_{i,t+1}^j \leq P_i^{Max} - C_i^{LFC} \quad (9)$$

2.3 EDC と LFC の協調制御システムの全体像

図 3 に、本取り組みで提案する EDC 及び LFC システムの協調制御方式の全体像を示す。図 3 において、 $\Delta f[\text{Hz}]$ は発電量の周波数偏差、 K_{sys} は系統定数、 T_{AR} は AR の時定数、 T_{EDC} は EDC の時定数、 T_3 及び T_4 は調整電源 G_3 及び G_4 の時定数である。まず、中央給電指令所では AR を計算し、これをもとに、PI 制御によって LFC 信号を作成する。現在の電力系統需給制御では、AR を全て LFC によって補償することを前提としているが、本取り組みで提案する EDC と LFC の協調制御においては、その一部をローパスフィルタによって抽出し、EDC における出力指令値の補正要求 $R_{i,t+1}$ とする。すなわち、長周期成分の AR を抽出し、各発電機に対して再配分する。各発電機は出力補正が行われることを前提に上述した手法によって出力が決定されているため、想定した変動の大きさの範囲内であれば、各発電機は EDC の出力を変更することによって、出力補正を行うことができ、LFC 調整力を長周期変動分まで確保する必要はない。なお、EDC 出力は 5 分毎に決定されるとモデル上で設定した。また、短周期変動に関しては、AR を変動周期別に割り振る手法を用いる。この手法は、まず一番応答特性の遅い発電機群に対して LFC 信号を作成し、応答の遅い発電機が LFC 制御容量及び応答特性が理由で追従できない成分をフィルタによって抽出し、次に応答特性の遅い発電機に割り振るといった手法である。なお、各発電機群の制御容量は、起動停止計画作成時に決定した各発電機群の有する LFC 調整力に相当する。詳細は文献 [2] などを参照されたい。

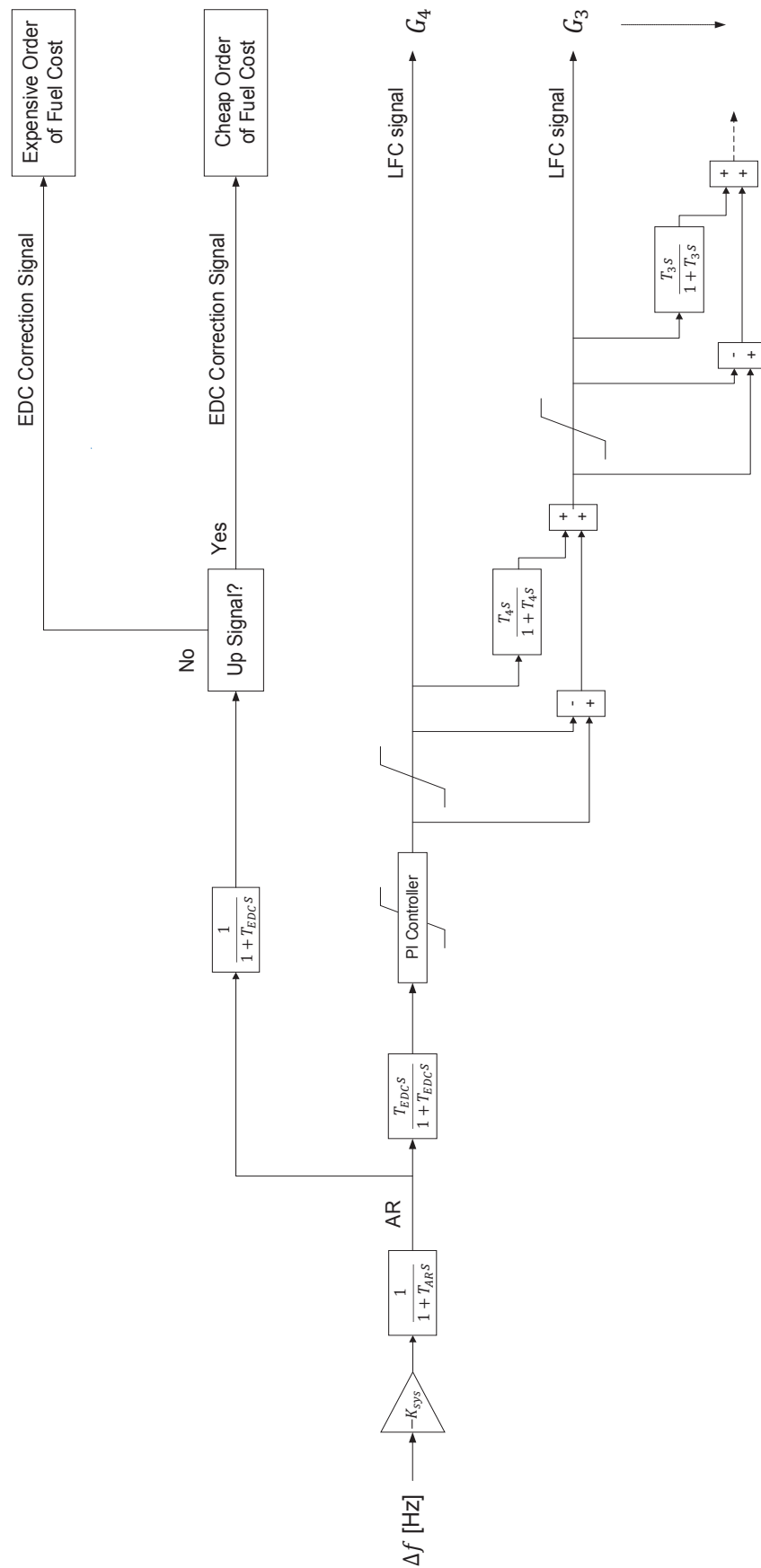


図 3 EDC 及び LFC システムの協調制御方式の全体像

3. 需給制御シミュレーションモデル

本章では、本取り組みで用いる需給制御モデルについて簡単に述べる。図 4 に需給制御モデルの全体像を示す。本モデルは発電プラントモデル、起動停止（Unit Commitment (UC)）計画モデル、EDC システムモデル、LFC システムモデルから構成される。なお、火力電源種に関しては、1,000MW 級石炭火力プラント、700MW 級石炭火力プラント、250MW 級 GTCC 火力プラント、700MW 級 LNG 火力プラント、200MW 級 LNG 火力プラント、700MW 級石油火力プラント、250MW 級石油火力プラントの 7 種を考慮し、同一電源種の電源は同じ運用がなされると想定した。また、本取り組みでは、提案する需給制御モデルを用いてシミュレーション検討を行う。ここでは、需要が小さく、PV 出力が比較的大きい春期(GW 期)を想定した需給制御シミュレーションを行った。

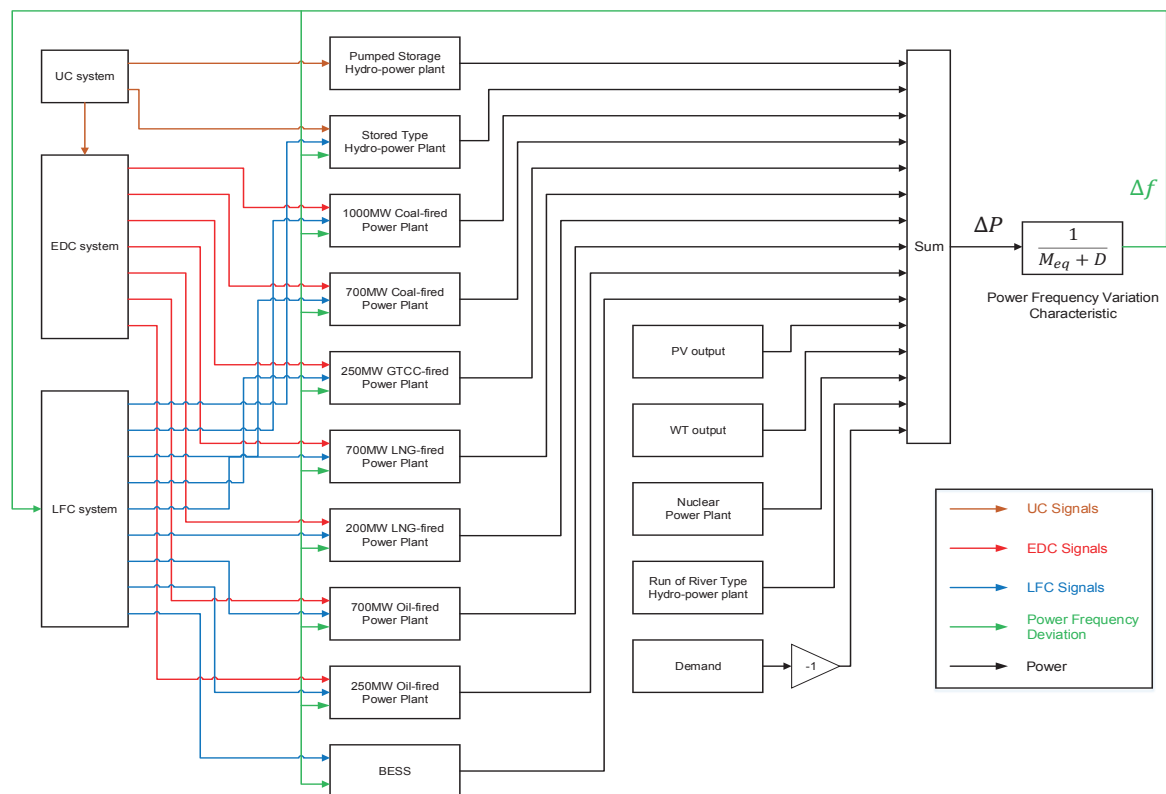


図 4 需給制御モデルの全体像
(Δf , 電力システムの周波数偏差、 ΔP , 電力システムの需要と供給の偏差、 M_{eq} , 等価慣性定数（系統内すべての発電機の慣性定数の和）、 D , ダンピング係数)

3.1 モデル系統

本取り組みでは、再生可能エネルギーが大量導入された東北電力管内を想定した、需給制御シミュレーションモデルを構築した。各発電機の燃料費関数及び起動費は、電気学会の拡大系統モデル（文献 [3]）を参考に、現在の化石燃料の燃料価格を反映するように作成した。LFC は火力発電機、貯水池式水力、蓄電池によって行われるとした。原子力発電及び流れ込み式水力発電は、固定電源とした。需要データは、東北電力から提供を受けた 2013 年 4 月 1 日～2014 年 3 月 31 日の 3 分平均値データを用いた。太陽光発電の出力データは、気象業務支援センターの 2013 年 4 月 1 日～2014 年 3 月 31 日の地上気象観測 1 分値データ（青森市、盛岡市、仙台市、秋田市、山形市、福島市、新潟市）をもとに、ならし効果を考慮して作成した。風力発電の出力データは、日本風力発電協会から提供を受けた、2005 年 4 月 1 日～2006 年 3 月 31 日東北電力管内ウィンドファームの発電量（10 秒平均値データ）を用いた。EDC で用いる 5 分平均値データは、20 分周期以上の各変動成分の 5 分間平均値を用いた。また、LFC シミュレーションの刻み時間は 1 秒としており、前述した需要・太陽光発電量・風力発電量のデータに乱数を重畳させることで 1 秒刻みのデータを得ることとした。

3.2 起動停止計画

本取り組みにおける起動停止計画は、火力発電機の起動停止による起動コストも含めた、週間燃料費を目的関数として、最小化するように決定する。なお、起動停止計画モデルでは、計算時間削減のために、燃料コスト関数に対して折れ線近似を行って、部分負荷運転時の燃料費を考慮し、混合整数計画問題として定式化した。本起動停止計画問題で考慮した制約は、以下の通り。

- ・需給バランス制約
- ・供給予備力制約
- ・揚水式発電に関する制約
- ・貯水池式水力に関する制約
- ・火力発電の最低及び最高出力に関する制約
- ・火力発電の運転状態（発電・バンキング・ホットスタート・コールドスタート）
- ・LFC 調整力制約

3.3 プラントモデル

本取り組みでは、汽力プラントモデル（石炭火力・LNG 火力・石油火力）及び GTCC プラントモデルは文献 [4] を参考に、貯水池式水力プラントモデルは文献 [5] を参考に、構築した。詳細は文献 [4] 及び文献 [5] を参照されたい。

汽力プラントモデル（石炭火力・LNG 火力・石油火力）に関しては、プラント制御系、ボイラ系、タービンガバナ系をモデル化している。GTCC プラントモデルに関しては、プラント制御系、ガスタービン、蒸気タービンをモデル化している。水力プラントモデルに関しては、ダンピングガバナモデルと水車モデルによって構成されている。また、蓄電池に関しては、一次遅れと無駄時間によってモデル化した。

3.4 PV 及び WT 出力の予測誤差の設定

再生可能エネルギーの予測誤差に関しては、予測が 15 分ごとに更新されると想定し、15 分毎の予測誤差は正規分布に従うと仮定した。また、再生可能エネルギー予測値誤差の標準偏差 [p.u.] は、PV 出力と WT 出力の和に対して定義することとした。本取り組みにおいては、再生可能エネルギー予測値誤差の標準偏差 [p.u.] は、シミュレーション期間内で一定としているため、予測誤差電力量 [MW] は、PV 出力と WT 出力の和に比例して大きくなる。また、EDC で用いる 5 分毎の再生可能エネルギー出力予測は、15 分毎の再生可能エネルギー出力予測値と予測がなされた

時刻の再生可能エネルギー出力との間で、線形補間を行うことで得られた値を用いることにした。すなわち、予測が更新されるまでの予測誤差は、時間比例して大きくなる。本取り組みにおいては、5分毎に5分先の予測値に基づいて出力指令値を更新する、EDCシステムを想定している。よって、15分先予測誤差の標準偏差を σ とすると、EDCシステムにおいて5分毎に予測不確実性に対する幅を持たせて運用する際、予測誤差標準偏差の想定は $1/3\sigma$ 、 $2/3\sigma$ 、 σ 、 $1/3\sigma$ 、…を周期的に繰り返すことになる。

4. シミュレーション結果

4.1 LFC 制御分担

図5に各LFC電源による制御分担の一例を示す。短周期におけるLFC分担の効果検証のため、ここでは再生可能エネルギー出力の予測誤差を考慮していない。この図は、特定時間断面におけるEDCあるいは各LFC電源によるLFCの制御後に生じた制御残のパワースペクトル密度を示している。まず、EDCによって長周期成分が吸収されており、石炭火力及び水力がそれに続いて長周期成分を吸収していることがわかる。一方で、石炭火力は応答遅れのため、短周期変動に対して、制御分が少なくなっていることがわかる。また、BESS及びGTCCは、長周期成分の残差と短周期変動を吸収している。このように提案手法によって各LFC電源の制御分担のすみ分けができていることが確認できた。

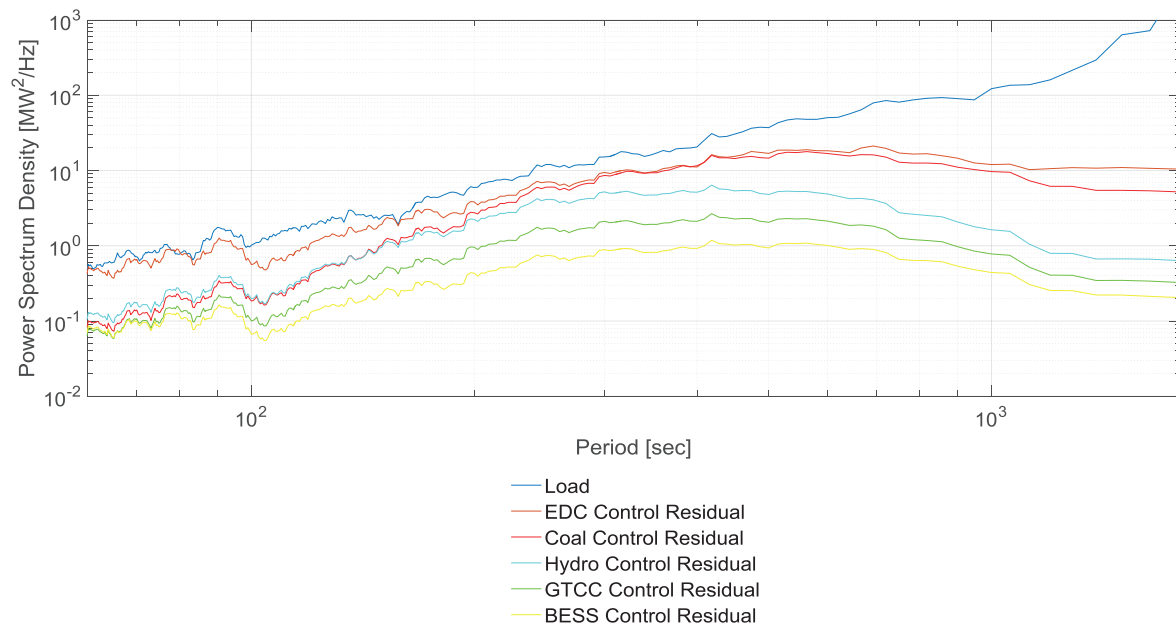


図5 各LFC電源による制御分担

4.2 EDC 出力補正システムの効果検証

長周期成分予測誤差のための、EDC 出力補正システムの周波数制御効果を検証する。Case 1 は、本取り組みで提案する、PV 及び WT の出力予測誤差に対応するための、EDC 出力補正システムを用いて需給制御を行った場合である。すなわち、再生可能エネルギー出力予測誤差による長周期成分の EDC 制御残の影響を軽減するために、EDC の出力指令値を決定する際に、各発電機に幅を持たせておき、予測誤差により生じる偏差を経済的に再配分する方式にて、需給制御を行った。Case 2 は、従来通り、長周期成分を EDC で、短周期成分を LFC で補償する制御を行った場合である。図 6 に Case 1 と Case 2 の 1 週間の周波数変動の結果を比較して示す。また、表 1 にそれぞれのケースの周波数変動解析評価指標を示す。図 6 及び表 1 より、従来手法を用いた Case 2 では、周波数変動を許容範囲内 (± 0.2 [Hz]) 以内に収めることができていないことがわかる。一方で、提案手法を用いた Case 1 では、周波数変動を許容範囲内に収めることができていることより、EDC 出力補正システムを用いることで周波数変動が抑制できることがシミュレーションにより確認できた。

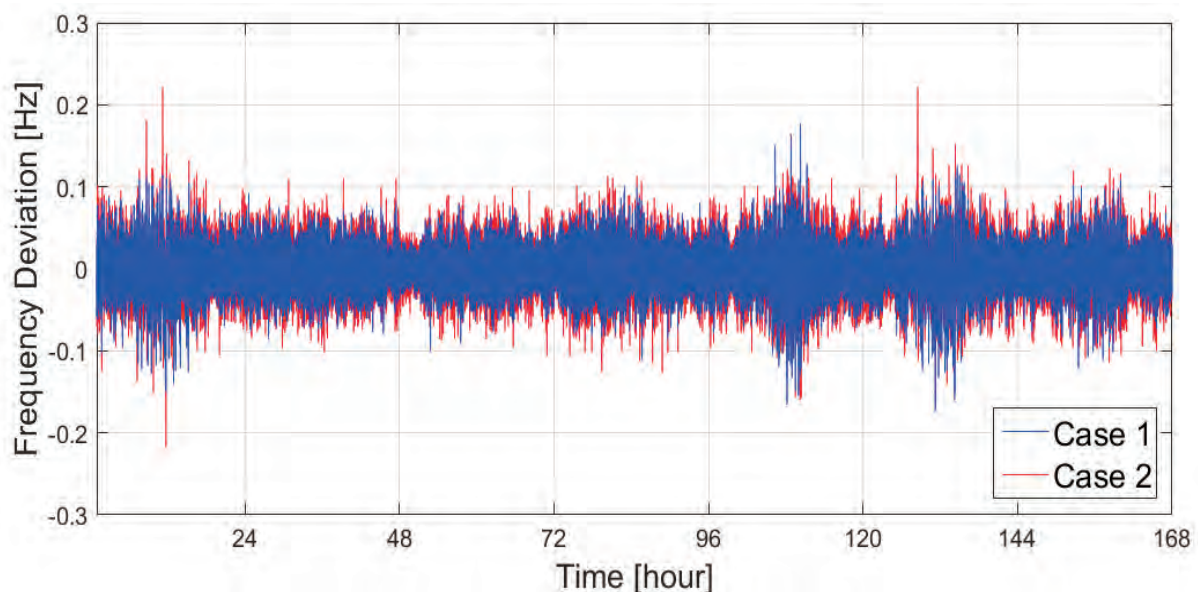


図 6 1 週間の周波数変動

表 1 周波数変動解析評価指標

	Maximum Value [Hz]	RMS Value [Hz]	Staying Rate [%]
Case 1	0.1771	0.0243	99.75
Case 2	0.2215	0.0300	99.60

RMS Value [Hz], 50Hz からの偏差の二乗平均平方根 (Root Mean Square)、Staying Rate [%], ± 0.1 [Hz] の時間滞在率。

5. 結論と政策提案

本取り組みでは、再生可能エネルギーの大量連系を可能にするため、まず従来の LFC が担っていた短周期変動において、応答特性の異なる発電機を用いて LFC 制御分担を行う手法を提案した。次に、再生可能エネルギーの予測誤差により LFC の制御分担領域が長周期成分まで広がることを考慮し、その影響削減のための新しい EDC 出力補正システムを提案した。また、これらの手法を統合した新しい EDC と LFC の協調制御システムを提案し、構築した需給制御モデルにて提案システムの有効性を検証した。

低炭素社会の実現においては再生可能エネルギーの導入が大きな役割を担うと考えられるが、太陽光発電や風力発電などの、出力が変動し不確実性を有する電源の大量導入を実現するためには、既存の電力システムの改良が求められる。再生可能エネルギー大量導入時の、電力システムの特性を考慮しながら、経済性及び系統安定性を両立するような、電力システムを構築する必要があるだろう。

参考文献

- [1] 電力系統における常時及び緊急時の負荷周波数制御調査専門委員会, “電力系統における常時及び緊急時の負荷周波数制御”, 電気学会技術報告, No. 869, pp. 1-147, 2002.
- [2] T. Masuta and A. Yokoyama, “Supplementary load frequency control by use of a number of both electric vehicles and heat pump water heaters”, IEEE Trans. Smart Grid, Vol 3, No 3, pp. 1253-1262, 2012.
- [3] 電力系統標準モデルの普及・拡充調査専門委員会, “電力系統標準モデルの拡充システムモデル”, 2001, http://www2.iece.or.jp/ver2/pes/23-st_model/index030.html, Jan/21/2016 アクセス.
- [4] 徳光啓太, 天野博之, “需給・周波数制御シミュレーション用火力プラントモデルの開発”, 電力中央研究所報告 R14018, 2015.
- [5] 谷口治人 (編著), “電力システム解析—モデリングとシミュレーション—”, オーム社, 2009.

低炭素社会の実現に向けた
技術および経済・社会の定量的シナリオに基づく
イノベーション政策立案のための提案書

技術普及編

再生可能エネルギー大量連系時における
需給制御システムの提案

平成 28 年 3 月

Provision of Supply and Demand Control System in Power Systems Integrating
Large-scale Renewable Energy

Strategy for Technology Dissemination,
Proposal Paper for Policy Making and Governmental Action
toward Low Carbon Societies,
Center for Low Carbon Society Strategy,
Japan Science and Technology Agency,
2016.3

国立研究開発法人科学技術振興機構 低炭素社会戦略センター

本提案書に関するお問い合わせ先

- 提案内容について・・・低炭素社会戦略センター 研究補助員 高山 真一（Shinichi Takayama）
研究統括 松橋 隆治（Ryuji Matsuhashi）
- 低炭素社会戦略センターの取り組みについて・・・低炭素社会戦略センター 企画運営室

〒102-8666 東京都千代田区四番町5-3 サイエンスプラザ4 階
TEL : 03-6272-9270 FAX : 03-6272-9273 E-mail : lcs@jst.go.jp
<https://www.jst.go.jp/lcs/>

© 2016 JST/LCS

許可無く複写・複製することを禁じます。
引用を行う際は、必ず出典を記述願います。
