UDC 621.311.018.4.07: 621.316.728: 681.5.015

論文

60-B47

発電電力の増加率制限を考慮した 地域分割形負荷周波数制御

正員 水谷 芳史 (東海大)

正員 後藤 泰之 (東海大)

1. まえがき

近年、電力系統の負荷周波数制御 (LFC) 特性を改善するために、現代制御理論を用いた制御手法の開発が数多く研究されている^{(1)~(10)}。著者らは、実用的な地域分割形負荷周波数制御手法について研究してきた^{(3)~(6)}。しかしながら、これらの手法は微小負荷変動に対する制御手法であり、調整用発電所が持つ発電電力の増加率制限にかかるような大きな負荷変動に対しては、そのまま制御操作量として使用することはできない。

従来の負荷周波数制御でもこのような問題が生じ、これに対処するために、リミッタを用いた適応制御器の設計が行なわれている⁽¹⁾。一方、他地域の情報を用いた現代制御理論を適用した負荷周波数制御においても、リミッタを用いた適応制御器の設計が行なわれ、制御特性などの検討がなされている^{(7)~(9)}。しかしながら、他地域の情報を用いることによる制御操作量の決定の複雑さや、その算出時間の増加は系統が大規模になるほど増大し、必ずしも実用的な手法とはいえないと思われる。

本論文では、これらを解決するために、他地域の情報、状態量を全く必要とせず、自地域の状態量のみを用いた地域分割手法⁽⁴⁾あるいは地域分割・出力フィードバック手法⁽⁵⁾を制御操作量算出時に用いる。そして、調整用発電所の発電電力増加率制限を考慮し、新しく設計するリミッタを用いた適応制御器を用いることを提案する。

本手法の有用性を示すために 4 地域モデル系統を以

用し立証している。

2. モデル系統と制御

本論文では、負荷周波数制御モデルに多く用いられ

(a) Model system.

(b) Adaptive controller with limiter

ΔP_{gi} : ガバナ出力偏差[P.U.MW] T_{ij}^* : 同期化力系数(P.U.MW)
 ΔP_{ti} : タービン出力偏差 [P.U.MW] T_{gi} : ガバナ時定数(s)
 ΔP_{tieij} : $i-j$ 間の連系線潮流偏差 [P.U.MW] T_{ti} : タービン時定数(s)
 Δf_i : 周波数偏差(Hz) R_i^* : 調定率(Hz/P.U.MW)
 ΔP_{di} : 負荷変動量[P.U.MW] $W_{fi} = D_i + 1/R_i^*$
 a_{ij} : $i-j$ 間の系統容量換算定数 $k_{ai}, k_{fi}, k_{pi1}, k_{pi2}, k_{gi}, k_{ti}$ は図
 D_i : 負荷ダンピング系数 (b) に示す各々の変数に対するフ
[P.U. MW/Hz] イードバックゲイン。
 M_i : 慣性定数[P.U.MW. S/Hz]

図 1 4 地域くし形連系の構成線図

Fig. 1. Block diagram of 4-area longitudinal system.

Area-Decomposition Type Load Frequency Control Considering Generation Rate Constraint. By Yoshibumi Mizutani, Member, & Yasuyuki Goto, Member (Department of Electrical Engineering, Tokai University).

水谷芳史: 正員, 東海大学電気工学科
 後藤泰之: 正員, 東海大学電気工学科

ている Elgerd 氏の 2 地域系を 4 地域系に拡張した線形モデルに、タービン発電機の発電電力増加率制限（ここでは、非再熱火力をモデル系としているので、0.1/60 P. U. MW/s. なる発電電力の増加率制限を設ける。）を考慮したモデル系統図 1 (a) を用いる。また、制御利得としては次章で概説する自地域で最適な地域分割手法または地域分割・出力フィードバック手法を用いて算出する。更に、発電電力の増加率制限にかかる大きな負荷変化に対処する制御操作量に対しては、第 4 章で設計するリミッタを用いた適応制御器図 1 (b) を用い、制御利得をあたかも小さくし、発電電力の増加率制限にあまりかからないようにしている。

3. 制御手法（地域分割手法ならびに地域分割・出力フィードバック手法）

本論文では、制御手法として文献(3)ならびに(4)で開発提案した地域分割手法あるいは地域分割・出力フィードバック手法を用いる。

ここでは、地域 i を例にとって上記制御手法を説明する。地域 i における状態方程式は次式で表わされる。

$$\dot{x}_i = A_i x_i + B_i u_i \quad \dots\dots\dots (1)$$

いま、観測方程式ならびに評価関数 J_i を各々(2)式ならびに(3)式とする。

$$y_i = D_i x_i \quad \dots\dots\dots (2)$$

$$J_i = \frac{1}{2} \int_0^{\infty} (x_i' Q_i x_i + u_i' R_i u_i) dt \quad \dots\dots (3)$$

但し、 x_i は n_i 次元状態ベクトル、 A_i は $(n_i \times n_i)$ 状態定数行列、 B_i は $(n_i \times m_i)$ 制御定数行列、 u_i は m_i 次元制御ベクトル、 D_i は $(h_i \times n_i)$ 観測定数行列、 y_i は h_i 次元出力ベクトル、 Q_i は x_i に対する評価の重みで $(n_i \times n_i)$ 準正定値対角行列、 R_i は u_i に対する評価の重みで $(m_i \times m_i)$ 正定値対角行列とする。 Q_i と R_i との選定は全体の評価関数 J に対し、 $J = \sum J_i$ なる関係となるようにする。特に、複数の地域にまたがる変数の重みは、その地域数で割るものとする。なお、添字“ i ”は転置を意味する。

(3)式を最小にする制御操作量は(1)式ならびに(2)式からなる系が完全可制御か安定化可能系であれば次式となる。

$$u_i = -F_i D_i x_i \quad \dots\dots\dots (4)$$

但し、 F_i は地域 i における最適制御利得。

他方、二つ以上の地域と直接連系している地域では、(1)式ならびに(2)式で作られる分割系統が完全可制御でも安定化可能系でもない特異システムとなる。そこで、このような特異システムに対しては文献(3)に

基づき係数 C を導入して系を安定化可能系に修正する。そして、(3)式を最小にする制御利得 F_i を求め、次式のように制御操作量 u_i^c をこの系に対し実施する。

$$u_i^c = -F_i^c D_i x_i \quad \dots\dots\dots (5)$$

例えば、図 1 (a) の 4 地域くし形モデルに上記の制御手法を実施すると全系の状態方程式は次式となる。

$$\dot{x} = (A - \hat{B}_1 F_1 \hat{D}_1 - \hat{B}_2 F_2 \hat{D}_2 - \hat{B}_3 F_3 \hat{D}_3 - \hat{B}_4 F_4 \hat{D}_4) x \quad \dots\dots\dots (6)$$

但し、 $\hat{B}_i$ ならびに $\hat{D}_i$ は x における x_i に対応するように B_i ならびに D_i を各々 $\hat{B}_i$ と $\hat{D}_i$ に配置した行列である。

この制御を地域分割・出力フィードバック手法と文献(4)によって名づけた。また、 D_i を $(n_i \times n_i)$ からなる単位行列 I_i と置いた場合を文献(3)によって地域分割手法と名づけた。なお、(4)式ならびに(5)式における制御利得の算出は文献(3)と(4)とを参照されたい。

4. 適応制御器の設計

電力系統に大きな外乱が発生すると、それに伴い需給バランスを保とうとするように調整用発電所によって発電電力を調整する。しかし、一般にこの変動が急激で大きいとき、調整用タービン発電機の発電電力増加率制限以上となり、系統全体が不安定となる場合がある。そこで、各調整用発電所に要求する制御操作量 u_i をこの発電電力の増加率制限以下となるよう、適切な制限を設けなければならない。

本論文では、現代制御理論を用いた負荷周波数制御問題における制御操作量 u_i が、一般に地域制御誤差の積分作用、その比例作用ならびにタービン出力偏差、ガバナ出力偏差よりフィードバックされる負帰還作用の 3 機能に分類されることに注目する。そして、この分類に従い、発電電力の増加率を考慮した次のような適応制御器を設計する。

すなわち、まず、図 1 (b) に示すように、(4)式の要素 u_i を各々次式のようにに分解する。

$$u_i = u_{1i} + u_{2i} + u_{3i} \quad \dots\dots\dots (7)$$

但し、 u_{1i} は地域制御誤差の積分量 ΔP_{ai} とその制御利得 k_{ai} の積として次式とおく。

$$u_{1i} = k_{ai} \Delta P_{ai} \quad \dots\dots\dots (8)$$

u_{2i} は地域制御誤差にほぼ比例した変数群とそれらの制御利得 k_{pij} 、 k_{fi} からなる次式とおく。

$$u_{2i} = \sum_{j=1}^{l_i} k_{pij} \Delta P_{tieij} + k_{fi} \Delta f_i \quad \dots\dots (9)$$

u_{3i} はタービン出力偏差 ΔP_{ti} とガバナ出力偏差 ΔP_{gi} とそれらの制御利得 k_{ti}, k_{gi} からなる、次式とおく。

$$u_{3i} = k_{gi} \Delta P_{gi} + k_{ti} \Delta P_{ti} \dots\dots\dots (10)$$

但し、 $k_{ai}, k_{gi}, k_{fi}, k_{pi}$ ならびに k_{ti} は第3章で求めた各変数に対応する制御利得である。

次に、分類された各制御操作量に設けるリミッタの制限値について検討する。

(a) u_{1i} について u_{1i} は地域制御誤差 $\Delta \dot{P}_{ai}$ の積分量であるので、制御の行き過ぎ、ならびに遅れを防ぐ必要がある。そのため、 $\Delta \dot{P}_{ai}$ を制限する設定値 $|g_{h \max ai}|$ ならびに $|g_{l \max ai}|$ は調整用発電所が発電電力の増加率制限に沿って出力変化できるように設けなければならない。そこで、タービン出力偏差およびガバナ出力偏差による負帰還作用 u_{3i} による遅れ作用を打ち消すよう考慮して、本研究では k_{gi} と k_{ti} とを次式のように加えた速度制限値を設定する。

$$|g_{h \max ai}| = |g_{l \max ai}| \leq \frac{0.1}{60} (1 + k_{gi} + k_{ti}) \dots\dots\dots (11)$$

すなわち、いまタービン発電機が増加率制限に沿って出力変化しているとすると、ガバナもほぼ同速度で運転されるものと考えられ、それぞれ次式のように表わすことができる。

$$\Delta P_{ti} = \frac{0.1}{60} t, \quad \Delta P_{gi} = \frac{0.1}{60} t \dots\dots\dots (12)$$

これらを負帰還作用である(10)式に代入すると次式となる。

$$u_{3i} = (k_{gi} + k_{ti}) \frac{0.1}{60} t \dots\dots\dots (13)$$

ここで、 u_{1i} は(13)式で与えられる負帰還作用に、調整用発電所に与える積分作用 $(0.1/60)t$ を加えるものと考えることができ、次式で表わされる。

$$u_{1i} = \frac{0.1}{60} (1 + k_{gi} + k_{ti}) t \dots\dots\dots (14)$$

この(14)式をラプラス変換すると次式となる。

$$u_{1i}(s) = \frac{0.1}{60} (1 + k_{gi} + k_{ti}) \frac{1}{s} \dots\dots\dots (15)$$

(15)式の微分が $\Delta \dot{P}_{ai}$ に対応することから、 $\Delta \dot{P}_{ai}$ の制限値 $|g_{h \max ai}|$ ならびに $|g_{l \max ai}|$ は(11)式のように与える。

(b) u_{2i} について 制御操作量 u_{1i} の大きさが(11)式の制限値にかかっている間は、調整用発電所の出力を発電電力増加率制限に沿って出させたい。そのためには、他の制御操作量である u_{2i} をできるだけ小さくすることが望ましい。それは、(11)式の制限値に基づく積分制御と調整用発電所の発電電力増加率限

に沿った出力変化とを一对一の対応をもって運用させ、調整用発電所の出力を最も速く目標値に到達させたいからである。そこで本手法ではこれに対処するため、図1(b)に示すように次式の制限値 $|g_{h \max u_{2i}}|$ ならびに $|g_{l \max u_{2i}}|$ を比例制御 u_{2i} に設けて、 u_{2i} の利得を等価的に小さくしている。

$$|g_{h \max u_{2i}}| = |g_{l \max u_{2i}}| \leq \frac{0.1}{60} \dots\dots\dots (16)$$

ここで、この制限値 $0.1/60$ P. U. MW/s は次のような理由から本手法では選定している。すなわち、比例による制御操作量 u_{2i} が $\pm 0.1/60$ P. U. MW/s 以内であれば、積分制御 u_{1i} が終了あるいは終了間近で調整用発電所の出力変化は発電電力増加率制限にかからなくなりつつある。このような状態に近づき、各制御操作量が適応制御器である図1(b)のすべての制限値にかからない状態となったとき、図1の系はPI型の最適な制御系となり、すみやかに目標値に到達させることができるからである。

(c) u_{3i} について u_{3i} はタービンやガバナに対し、負帰還作用であるため、発電電力の増加率制限にかからないよう作用するものと考えられるので、本研究では特にリミッタによる制限を設けないものとする。

なお、リミッタの計算機シミュレーション法については参考文献(6)を参照された。

5. 4地域くし形モデルへの適用と考察

第2章で記述した図1の4地域くし形モデル系統に本手法を適用する。

まず、全系における状態変数の選定は、LFCの制御目標を満足するとともに、地域分割が実施しやすいように決定する。すなわち、LFCの制御目標である周波数偏差 Δf_i ならびに連系線潮流偏差 $\Delta P_{tie ij}$ を定常状態で零にするとともに、分割時に発生する零の固有値を最小限におさえるため、地域制御誤差に比例した積分量を独立変数として選定する。また、地域分割しやすいように $\Delta P_{tie ij}$ を独立変数として選定する。このようなことを考慮すると、4地域くし形連系モデルに対する全系の状態変数は次式のように選定される⁽⁴⁾。

$$\begin{aligned} x = & [\Delta P_{a1}, \Delta f_1, \Delta P_{t1}, \Delta P_{g1}, \Delta P_{tie 12}, \Delta P_{a2}, \\ & \Delta f_2, \Delta P_{t2}, \Delta P_{g2}, \Delta P_{tie 23}, \Delta P_{a3}, \Delta f_3, \\ & \Delta P_{t3}, \Delta P_{g3}, \Delta P_{tie 34}, \Delta P_{a4}, \Delta f_4, \Delta P_{t4}, \\ & \Delta P_{g4}]' \dots\dots\dots (17) \end{aligned}$$

ここで、地域制御誤差に比例した積分量 ΔP_{ai} は次

式によって与える。

$$\Delta P_{ai} = \int \left(W_{fi} \Delta f_i + \sum_{j=1}^{l_i} W_{ij} \Delta P_{tieij} \right) dt \quad \dots\dots\dots (18)$$

但し、 W_{fi} は $\int \Delta f_i dt$ に対する 重み係数であり、 $W_{ij} = (D_i + 1/R_i^*)$ とする。 W_{ij} は $\int \Delta P_{tieij} dt$ の重み係数で、符号は i 地域にとって連系線潮流偏差の和となるよう、また Δf_i から換算される地域内電力誤差との和となるよう選定し、大きさは $|W_{ij}| = 1$ としている。なお、 l_i は地域 i と直接連系している地域数である。

次に、4 地域くし形連系モデルに対して、各地域ごと次式で示す観測可能な変数によって地域分割する。

地域 1

$$\mathbf{x}_1 = [\Delta P_{a1}, \Delta f_1, \Delta P_{t1}, \Delta P_{g1}, \Delta P_{tie12}]'$$

地域 2

$$\mathbf{x}_2 = [\Delta P_{tie12}, \Delta P_{a2}, \Delta f_2, \Delta P_{t2}, \Delta P_{g2}, \Delta P_{tie23}]'$$

地域 3

$$\mathbf{x}_3 = [\Delta P_{tie23}, \Delta P_{a3}, \Delta f_3, \Delta P_{t3}, \Delta P_{g3}, \Delta P_{tie34}]'$$

地域 4

$$\mathbf{x}_4 = [\Delta P_{tie34}, \Delta P_{a4}, \Delta f_4, \Delta P_{t4}, \Delta P_{g4}]' \quad \dots\dots\dots (19)$$

第 3 章で概説したように、地域 1 と地域 4 とは 1 地域しか直接連系していないので、分割系統は完全可制御系となる。そこで、(3) 式を最小にする (4) 式の最適な制御操作量を算出する。一方、地域 2 と地域 3 とは 2 地域と直接連系しているので、分割系統は特異システムとなる。そこで、文献 (3) に従い、係数 C を分割系統に導入し、分割系統を安定化可能系に修正する。そして、(3) 式を最小にする (5) 式の最適な制御操作量を算出する。なお、地域分割・出力フィードバック

表 1 地域 3 における最適利得

Table 1. Optimal gains in area 3.

制 御 法	変 数	最 適 利 得
地 域 分 割 手 法	ΔP_{tie23}	0.821707
	ΔP_{a3}	1.0
	Δf_3	1.028504
	ΔP_{t3}	1.587460
	ΔP_{g3}	0.687200
	ΔP_{tie34}	0.821707
地 域 分 割 ・ 出 力 フィードバック手法	ΔP_{tie23}	0.421392
	ΔP_{a3}	0.286261
	Δf_3	0.204840
	ΔP_{t3}	0.0
	ΔP_{g3}	0.0
	ΔP_{tie34}	0.424221

手法を実施するときは、各地域において現在観測している変数 ΔP_{tieij} 、 ΔP_{ai} ならびに Δf_i のみを用いて各々制御を実施する。ここで、地域 3 において求められた最適利得は表 1 に示す通りである。

このように、各地域で最適な制御操作量を算出し、これを全系で実施すると、全系の状態方程式は (6) 式となる。

更に、本論文では発電電力の増加率制限を考慮するため、図 1 (a) に示すように、各地域の調整用発電所が非再熱火力であるとし、タービンに次式の制限を設ける。

$$\dot{\Delta P}_{ti} \leq |g_{h \max ti}| = |g_{l \max ti}| = \frac{0.1}{60} \quad \text{[P. U. MW/s.]} \quad \dots\dots\dots (20)$$

そして、負荷変動が大きき場合に対処するために、発電電力増加率制限を考慮せずに求めた、いわゆる線形の範囲で最適な制御操作量を調整するため、第 4 章で論述した図 1 (b) の適応制御器を各地域の調整用発電所に設ける。それらを考慮した図 1 の 4 地域くし形系に対し、第 2 表の定数を用いてシミュレーションを実施する。

■ 図 2 は図 1 の系に本手法を実施し、地域 3 に比較的大きなステップ状負荷 $\Delta P_{a3} = 0.03$ P. U. MW が加わった場合の過渡特性である。(1) は図 1 (b) の適応制御器を使用していない場合であり、発電電力の増加率制限にかかるような大きな負荷変動に対し、 ΔP_{tie23} 、 Δf_3 などの特性は振動的となっており、50 秒を過ぎても定常状態に達していない。また、 ΔP_{a3} は約 30 秒まで発電電力増加率制限に沿って発電し、負荷変動量の倍ちかく増加し、更に大きな振動を含んでおり、良い特性とは言えない。(2) は図 1 (b) の適応制御器において、比例制御 u_{ti} にはリミッタを設けず、地域制御誤差の積分制御 u_{ti} のみにリミッタを設けた場合である。適応制御器を使用していない (1) に比べ、(2) は ΔP_{tie23} 、 Δf_3 などの振動性は減少しており、50 秒を過ぎたあたりから定常状態となっているものの、まだ、大きな振動を伴い、特に ΔP_{a3} は負荷変動量よりも大きな発電量を一時必要とする。

(3) は (11) 式で示されている積分制御 u_{ti} の制限値において、負帰還要素である $k_{gi} + k_{ti}$ を考慮せず、そ

表 2 使用定数

Table 2. Parameter values.

$T_{ij}^* = 0.545$, $a_{ij} = 1.0$, $D_i = 0.0083$, $M_i = 0.166$, $T_{ti} = 0.3$, $T_{gi} = 0.08$, $R_i^* = 10.0$, $C = -0.01$, $R = 1.0$, $Q = I$
--

図 2 ステップ状負荷変化に対する応答

Fig. 2. System dynamic response for step load change.

図 3 方形状負荷の模擬

Fig. 3. Simulation for square load.

図 4 方形状負荷変化に対する応答

Fig. 4. System dynamic response for square load change.

他の制限については図 1 (b) に従った場合である。特性は全体的に収束が遅く、 ΔP_{i3} では発電電力の増加率制限よりも出力が遅れ、負荷変動量になかなか達しない。これは負帰還要素 u_{3i} の遅れ作用によるものと思われる。(4) は図 1 (b) の適応制御器を完全に実施した本手法の場合であり、どの特性も振動は激減し、約 30 秒で定常状態となり、(1) ~ (3) の特性と比較して最も良い特性となっている。特に ΔP_{i3} は発電電力の増加率制限にほぼ従って出力を出すことができ、電発電力の行き過ぎもなく、非常に良い特性を示している。(5) は地域分割・出力フィードバック手法を用い、(4) と同様に図 1 (b) の適応制御器を完全に実施した本手法の場合であり、(4) とほぼ同じような特性を示している。

図 4 は図 2 (4) と同様に、図 1 (a) の系に地域分割手法ならびに図 1 (b) の適応制御器を各地域に施した本手法を実施した場合の系に、図 3 に示すように 6 秒で零となる方形状の負荷変動が地域 3 に発生したときの過渡特性である。 ΔP_{ie23} ならびに Δf_3 の特性は、多少正負に振動するものの振動は小さく、約 40 秒で収束している。また ΔP_{i3} は、約 8 秒まで発電電力増加率制限に沿って出力が増加し、その後減少しはじめ、約 8 秒でほぼ零に収まる。従って、図 3 に示すような負荷に対しても本手法は有用である。

図 6 は図 2 (4) と同様に本手法を実施した系に対し、図 5 に示すランプ状負荷変動が地域 3 に発生した時の過渡特性である。(1) は図 2 および図 4 と同じ重み ($Q=I$, $R=I$, $W_{fi}=D_i+1/R_i^*$, $|W_{pi}|=1$) の

図 5 ランプ状負荷の模擬

Fig. 5. Simulation for lamp load.

図 6 ランプ状負荷変化に対する応答

Fig. 6. System dynamic response for lamp load change.

場合である。(2)は地域2と地域3との連系線が重負荷状態であったとして、 ΔP_{tie23} の偏差を抑えるため、(18)式の W_{p3}^2 と W_{p2}^2 とを(1)に比べ2倍としたものである。(3)は系統内の周波数偏差 Δf_i を抑えるため、(18)式の W_{f2} を(1)に比べ2倍としたものである。各々を比較すると ΔP_{tie23} は W_{p3}^2 と W_{p2}^2 とに重み調整を施した(2)が(1)と(3)とに比べて全時間にわたって約半分の変動となっている。また Δf_3 の特性は、 W_{f2} の重み調整を施した(3)が(1)と(2)とに比べて60%程度に変動が抑えられている。なお、 ΔP_{a3} は、(1)、(2)、(3)ともほぼ同じ特性を示している。

図7は図6と同じ条件下で、地域分割・出力フィードバック手法を用いた場合である。

図 7 ランプ状負荷変化に対する応答

Fig. 7. System dynamic response for lamp load change.

ドバック手法を用いた場合である。図6と図7とを比較すると、ほぼ同じ過渡特性を示しているが、地域分割・出力フィードバック手法の(1)では、 ΔP_{tie23} の特性で一回の振動が表われている。

従って、図6ならびに図7より、連系線潮流偏差および周波数偏差の重み調整を行なうことによって各々の偏差を抑えることが可能である。なお、この調整法は、抑えたい偏差 ΔP_{tie23} ならびに Δf_i の直接的な重み W_{p3}^2 、 W_{p2}^2 ならびに W_{f2} を大きくすることによって、 ΔP_{tie23} と Δf_i とに対する積分制御動作を強め、各々の変動を抑制するものである。

以上のように、各負荷変動に対して本手法の有用性を実証することができた。しかしながら、例えば図2(4)で理解されるように、発電電力増加率制限にかかっている間中、 ΔP_{tie23} ならびに Δf_3 の特性に約0.5 Hzの振動が発生している。一方、この間、他地域の調整用発電所は出力をほとんど発生せず、無視できる程度である。この結果、この振動は4地域しく形連系を行なっていることによる固有振動周波数であること

が理解される。本手法のような最適制御でも、発電電力増加率制限にかかる場合にはこの固有振動周波数を抑制することはできない。

しかし、本手法は発電電力増加率制限にかかる場合でも、その制限に沿って最大限電力を発生し、目標値に近づけることができる。更に系が線形になったとき、直ちに各地域で PI 形最適制御を実施し、すみやかに定常状態におちついている良い特性を得ることができた。

6. む す び

本論文では、調整用発電所の発電電力増加率制限を考慮し、地域分割手法あるいは地域分割・出力フィードバック手法にリミッタを用いた適応制御器を導入したより実用的な負荷周波数制御手法について検討した。その成果は以下の通りである。

(1) 他地域の情報や状態量を全く必要とせず、自地域の状態量のみを用いて本手法は構成できる。

(2) そして、本手法は調整用発電所における発電電力の増加率制限にかかるような大きな負荷変動に対しても十分満足した過渡特性が得られた。

(3) 本手法は、4 ないし 5 地域程度の実用規模系に適用できることがわかった。

(4) W_{fi} ならびに W'_{fi} の重み調整を実施することによって、周波数偏差ならびに連系線潮流偏差を減少させ得ることを示した。

今後の研究課題として、発電電力増加率制限にかかったときに生じる固有振動を吸収するような新しいシステムの開発を行なっていきたい。

末筆ながら、本論文作成にあたり、御指導を賜りました東海大学大学院主任 松元 崇教授に深くお礼申し上げます。更に、本研究当初何かご教授を賜りました早稲田大学 田村康男教授、岩本伸一助教授に深く感謝申し上げます。なお、計算処理は東海大学計算機センターで行ないました。関係各位に厚くお礼申し上げます。

(昭和59年3月30日受付, 同59年10月16日再受付)

文 献

- (1) 電気学会:「電力系統の負荷周波数制御」電気学会技術報告(II)部, 40 (昭 51)
- (2) C.E. Fosha & O.I. Elgerd: "The Megawatt Frequency Control Problem, A New Approach Via Optimal Control Theory", *IEEE Trans. Power Apparatus Syst.* PAS-89, 4, 563 (1970)
- (3) 水谷:「地域分割手法を用いた LFC の準最適制御」電学論 B 98, 971 (昭 53-12)
- (4) 水谷:「地域分割・出力フィードバック手法を用いた LFC の準最適制御」電学論 B 101, 17 (昭 56-1)
- (5) 後藤・水谷:「ハイブリッド形制御情報を用いた準最適な負荷周波数制御」電学論 B 103, 671 (昭 58-10)
- (6) 水谷・持地・後藤:「発電量増加率の制限を考慮した地域分割形負荷周波数制御」電力技術研究会資料 PE-83-73 (昭 58-7)
- (7) 檜山:「発電量の増加率に対する制約を考慮した分散形負荷周波数制御」電学論 B 102, 477 (昭 57-7)
- (8) T. Hiyama: "Design of decentralise load-frequency regulators for interconnected power systems", *Proc. Instn. Elect. Engrs.* 129, No. 1, p. 17 (1982)
- (9) T. Hiyama: "Optimisation of discrete-type load-frequency regulators considering generation-rate constraints", *ibid.*, 129, No. 6, 285 (1982)
- (10) J. Nanda & B.L. Kaul: "Automatic Generation Control of an Interconnected Power System", *ibid.*, 125, 5, 385 (1978)