

蓄電池による負荷周波数制御の一考察

A Study on LFC using Battery Storage

雪田 和人†, 秋田 晃佑†, 後藤 泰之†, 一柳 勝宏†, 水谷 芳史††

Kazuto Yukita, Kosuke Akita, Yasuyuki Goto, Katsuhiko Ichiyanagi, Yoshibumi Mizutani

Abstract The electric power supply, with which the electric power system is the stability and the high reliability, is required more and more by upgrading and diversification of social life and industry. In power system, the participation of In-dependent Power Producer (IPP), Distributed Generator (DG) such as wind power generation, solar photovoltaic generation, etc. seem to increase with deregulation and liberalization of power market recently. And, electricity trading which is the region monopoly until now, becomes also possible such as electricity trading and electric power consignment which exceeded the region. Therefore, sophisticated control technology is more required. And, the control method of electric power in the large-scale electric power system is complicated.

In this paper, the case by DG with the storage equipment in which system frequency control was carried out was examined. It is an item on carried out examination item.

- 1) The case in which the proportional control using frequency variation was carried out.
- 2) The case in which output setting control using the load estimation method and the proportional control using frequency variation was carried out.

The effectiveness of these techniques was examined using small generator, inverter and storage battery. .

1. はじめに

近年、電力系統にはコンバインサイクル発電、燃料電池発電、NAS 電池発電などの新しい発電システムが増加しつつある。また、電力市場の規制緩和や自由化に伴い、独立系発電事業者(IPP)の参入、風力発電や太陽光発電などの大容量ならびに小容量の分散電源(Distributed Generation:DG)が、今後系統内に増加してくるものと思われる。このうち、太陽光発電や風力発電は瞬時の出力変動が非常に大きいことが報告されている。特に太陽光発電については、これまで蓄電装置を保有していない系統連系であったが、蓄電装置を備えたシステムが増加して

くるものと思われる。

一方、電力系統においては電力市場の自由化ならびに規制緩和に伴い、アンシラリーサービスの一つとして、負荷周波数制御 (Load Frequency Control :LFC) が注目されている。自由化以前の系統においては、従来大容量の系統で定周波数制御方式 (Flat Frequency Control :FFC) を実施し比較的小容量の系統で周波数偏倚連系線電力制御 (Tie Line Bias Control: TBC) を実施していたが、現在は国内全系で TBC を実施している。

本論文では、蓄電装置を有した分散電源が系統内に導入された場合について多面的な検討を行った。

実施した項目は、分散電源が周波数制御を実施した場合であり、具体的に以下の 2 つの場合を中心に検討をした。

- ・周波数偏差を用いた比例制御を実施した場合
- ・周波数偏差を用いた比例制御と負荷推定手法を用いた出力設定制御を実施した場合

これらの結果、分散電源において周波数制御を実施した場合の有効性について、小型発電機を用いた実験より

† 愛知工業大学工学部電気学科電力システム研究室
〒470-0392 愛知県豊田市八草町八千草 1247
Electrical Engineering PowerSystem Lab.,Aichi Institute of
Technology.,

1247 Yachikusa, Yakusa-cho, Toyota 470-0392
†† 東海大学 電子情報学部 電気電子工学科
〒259-1292 神奈川県平塚市北金目 1117
Department of Electrical and Electronic Engineering Tokai
University.,
1117 Kitakaneme Hiratsuka, Kanagawa 259-1292

検討をした。

2. モデル系統

図 1 は, 本論文で用いた 2 地域 LFC モデルの概念図を示している。同図に示すように地域 1 には調整用発電所ならびに分散電源が設置されている。

本論文では, 小型発電機ならびにインバータと蓄電池を図 2 および図 3 に示すような 2 地域 LFC モデルを構成した。図 2 に示すように, 地域 1 には調整用発電所として小型発電機, 分散電源としてインバータおよび蓄電池を用いている。また地域 2 は無限大母線としている。地域 1 および地域 2 の送電距離は, 約 20km とし発電機端電圧は 220V である。図 3 に示すように分散電源は発電機端および負荷端に接続できるようにしている。また, インバータは IGBT で構成しており蓄電池は, 15 個用いて 220V/4kW である。インバータの制御は, DSP を用いて高速に実施している。図 4 に送電系統シミュレータの外観, 図 5 に分散電源模擬装置の外観を示す。

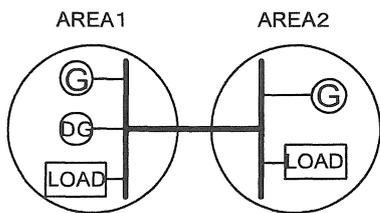


図 1 2 地域 LFC モデルの概念図
Fig. 1. 2-area LFC Model System.

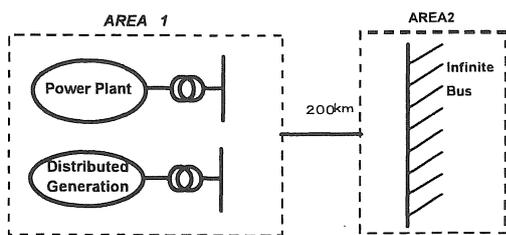


図 2 実験系統の概念図
Fig. 2. Conceptual of an experiment system.

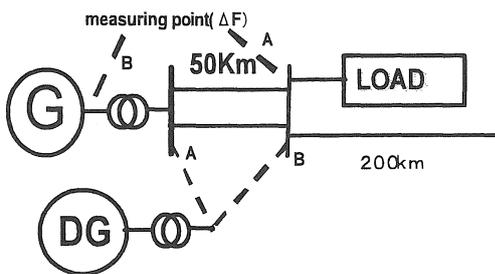


図 3 地域 1 の系統図
Fig. 3. System diagram of area 1.

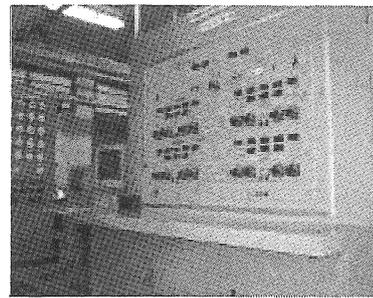


図 4 送電系統シミュレータ
Fig. 4. Transmission system simulator.

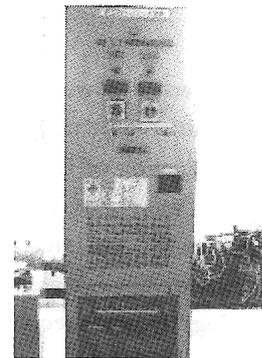


図 5 分散電源模擬装置
Fig. 5. DG imitation equipment.

3. 分散電源の制御方式

本論文で用いたインバータにおいては, 系統連系する際に定電圧ならびに定電流制御を実施している。この状態に地域 1 で観測した周波数偏差などを用いて分散電源による周波数制御を以下に示す二つの手法について実施した。

3・1 自地域の周波数偏差を用いた比例制御

本論文では分散電源で LFC を実施するためにもっとも単純である自地域の周波数偏差を用いた比例制御を実施している。このとき, 分散電源に与える制御操作量は次式に示すように算出している。

$$U_{LFCp}(k) = K \cdot \Delta F(k) \dots \dots \dots (1)$$

ただし K : 比例ゲイン

3・2 負荷推定機構を用いた出力設定制御

文献 (7) に示すように自地域の負荷変動量を次式に示す数式を用いて推定し, 推定した値を分散電源に出力設定値として与える方式である。

$$\Delta P_d(k) = \frac{1}{2} \left\{ -\frac{M}{T_{dk}} [\Delta f(k) - \Delta f(k-1)] - D \Delta f(k-1) + \Delta P_t(k-1) \right. \\ \left. + \Delta P_{ne}(k-1) + \Delta P_{DG}(k-1) \right\} + \frac{1}{2} \Delta P_d(k-1) \dots \dots (2)$$

ここで, Δf : 周波数偏差, ΔP_t : 発電所出力偏差, ΔP_{ne} : 連系線潮流偏差, ΔP_{DG} : 分散電源の出力偏差, M : 系統の慣性定数

ここで推定した値を分散電源の出力設定値として、この値を次式のように制御操作量として与えている。

$$U_{LFCde}(k) = \Delta P_d(k) + K \cdot \Delta F(k) \quad \dots \dots (3)$$

4. 実験結果および検討

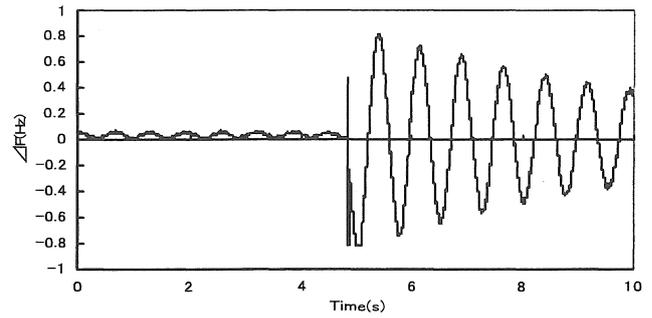
本論文では、図2および図3に示す系統モデルを実現し分散電源によるLFCを実施した。このとき分散電源が発電機端に設置されている場合と負荷端に設置されている場合を想定した。ここで、図3に示すように小型発電機を調整用発電所と仮定をしているが、定常状態で約1.0kW出力をしている。負荷は約1.0kWとしている。実験開始約5秒後に1.0kWの負荷変動が地域1にあった場合を想定した。

図6は分散電源なしの場合の周波数偏差の特性ならびに発電所出力と連系線潮流、負荷をあらわしている。ここで調整用発電所である小型発電機は、系統連系した状態でGOVおよびAVRは一定出力としている。負荷変動があったあと、周波数偏差および発電機出力、連系線潮流偏差が大きく振動していることがわかる。

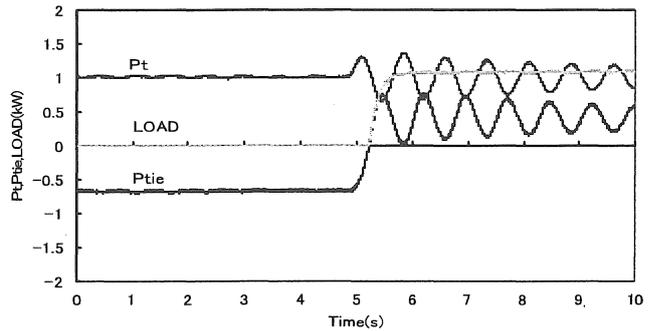
4・1 分散電源が発電機端に導入された場合

図7から図9は、分散電源が発電機端に導入された場合における特性である。図7は、DGが導入されているが制御は実施していない、図8はDGにて ΔF を用いた比例制御によるLFCを実施している場合、図9はDGにて ΔF の比例制御ならびに出力設定制御を実施している。ここで用いた出力設定制御においては、実験で用いたDSPの入力数の制限により本論文では負荷推定はすでに行われたものとしている。従って、外乱発生と同時にDGの出力設定値を変更している。

図6と図7の周波数偏差特性を比較すると、分散電源が導入されたことにより、周波数の振動が小さくなることがわかる。また、発電所出力、連系線潮流、DGの出力、負荷変動を詳細に検討するとDGにて500Wをインバータが消費していることがわかる。図7と図8および図9とを比較すると制御を実施している図8および図9の周波数偏差の特性が、収束が早く良好であることがわかる。特に出力設定制御を用いた図9の場合には、周波数偏差の最大振幅を抑制している。各発電所の出力特性を比較すると図8の比例制御のみの場合は、連系線潮流が定常値から大きく変動していることがわかる。しかし図9においては、DGの出力が0.5kWから1.5kWになったときに、連系線潮流も負荷変動前の値に落ち着いていることがわかる。また、DGの出力変動が0.5kWから1.5kWまで変化するのに約3秒かかっている。これは、本論文で用いたインバータは、IGBTを用いており急激な応答変化はIGBTを破損する恐れがあるために出力変化制限がかけているためである。



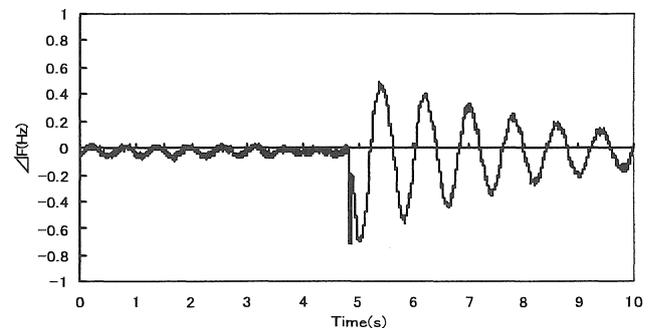
(a) 周波数偏差応答特性



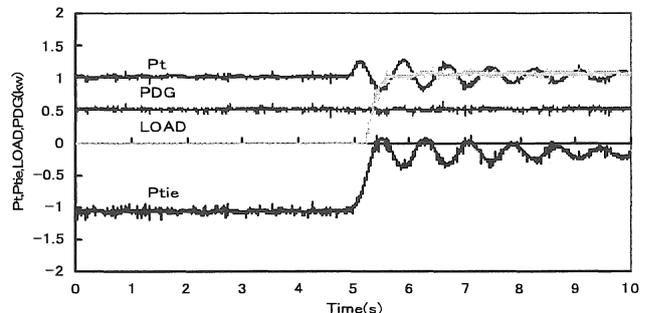
(b) 発電所出力および連系線潮流

図6 分散電源なしの場合

Fig. 6. Characteristic of case without DG



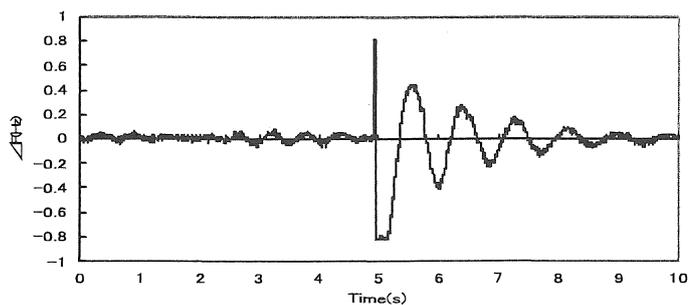
(a) 周波数偏差応答特性



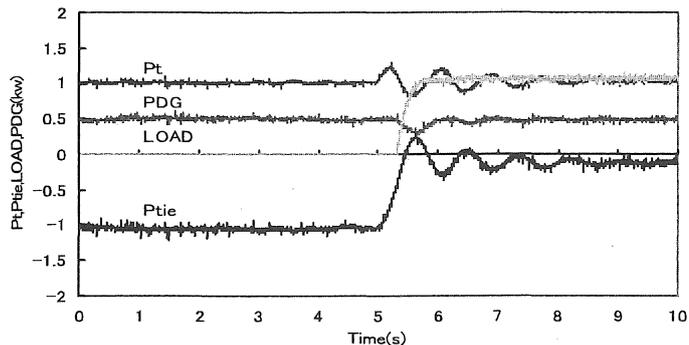
(b) 発電所出力および連系線潮流

図7 発電機端に分散電源が導入された場合におけるDG制御なし

Fig. 7. Characteristic without DG control when DG is introduced into power generation end.



(a) 周波数偏差応答特性



(b) 発電所出力および連系統潮流

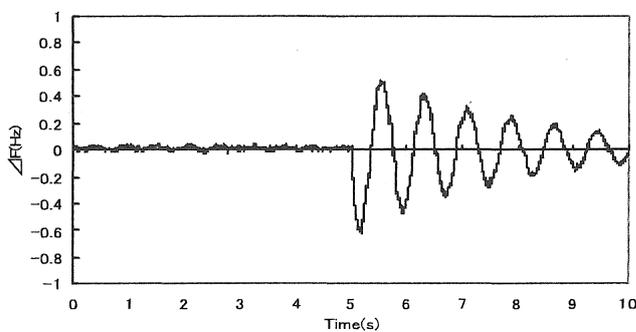
図 8 発電機端に分散電源が導入された場合における ΔF を用いた比例制御を DG で実施

Fig. 8. Characteristic of proportionality control using ΔF in DG.

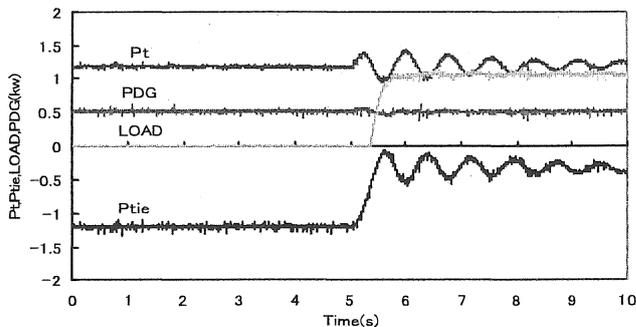
4・2 分散電源が負荷端に導入された場合

図 10 から図 12 は, 分散電源が負荷端に接続されている場合の各特性である。図 10 は分散電源が導入された系統で LFC を実施していない場合, 図 11 は ΔF の比例制御を実施した場合, 図 12 は比例制御と出力設定制御を実施した場合である。前節と同様に各特性を比較すると, 比例制御と出力設定制御を実施した図 12 において周波数偏差特性ならびに連系統潮流は, 負荷変動があっても規定値に維持できていることがわかる。

DG が発電機端と負荷端に接続されている場合とを比較すると, DG は負荷変動のある負荷端に接続されている場合の特性は, 発電機端に接続されている場合に比べ周波数変動が若干小さいことがわかる。これは, 負荷変動があっても DG で電圧変動を抑制しているからだと思われる。



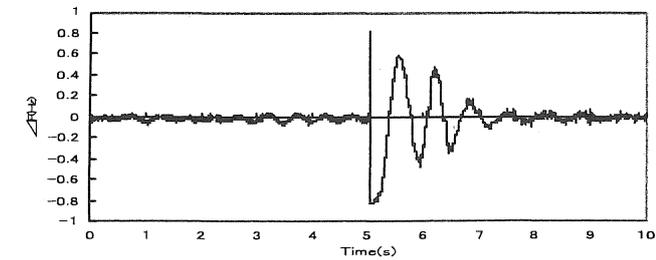
(a) 周波数偏差応答特性



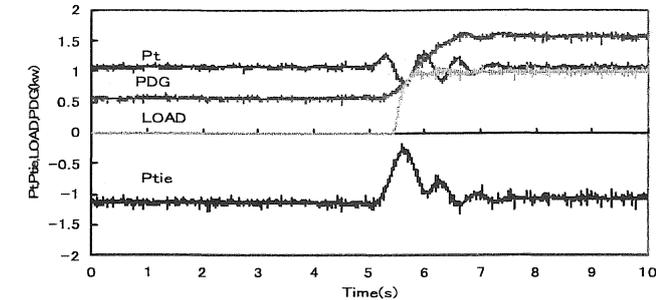
(b) 発電所出力および連系統潮流

図 10 負荷端に分散電源が導入された場合における DG 制御なし

Fig. 10. Characteristic without DG control when DG is introduced into load end.



(a) 周波数偏差応答特性



(b) 発電所出力および連系統潮流

図 9 発電機端に分散電源が導入された場合における 比例制御と出力設定制御を実施

Fig. 9. Characteristic of proportionality control and output setting control in DG was introduced into power generation end.

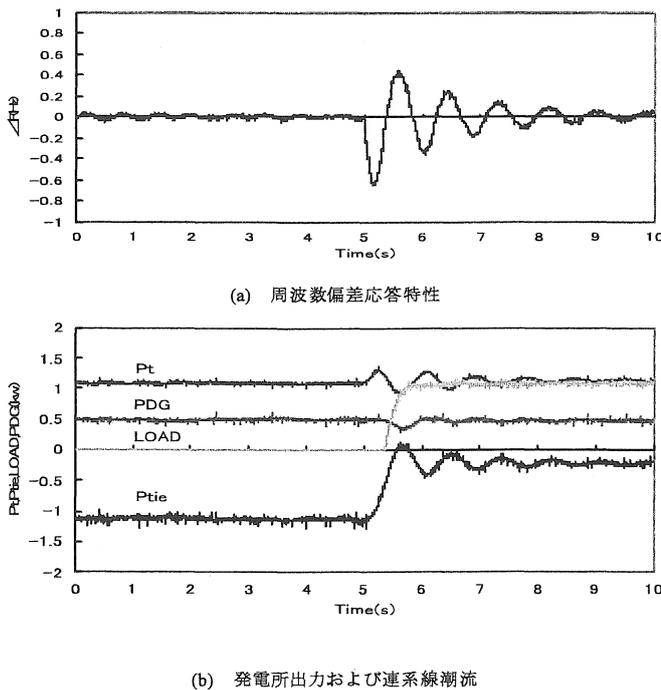


図 11 負荷端に分散電源が導入された場合における ΔF を用いた比例制御を DG で実施

Fig. 11. Characteristic of proportionality control using ΔF in DG.

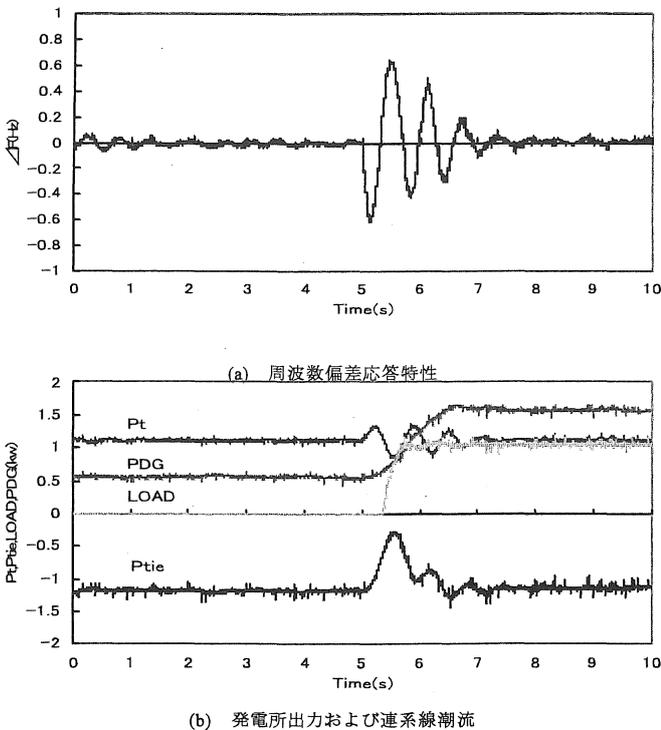


図 12 負荷端に分散電源が導入された場合における 比例制御と出力設定制御を実施

Fig. 12. Characteristic of proportionality control and output setting control in DG was introduced into power generation end.

5. まとめ

本論文では、今後増加してくると予想される蓄電装置を有した分散電源に対し、負荷周波数制御を実施した場合について、調整用発電所を模擬した小型発電機ならびに分散電源を模擬したインバータと蓄電池を用いた実験的な検討を実施した。このとき本論文で用いた制御手法である DG において自地域の周波数偏差を用いた比例制御と出力設定制御を実施した場合に、周波数偏差ならびに連系線潮流を規定値に維持することができた。今後は、インバータの応答特性の向上、調整用発電所との制御の協調、ランダムな負荷変動での検討などがある。

謝辞

本研究を遂行するにあたり、平成 17 年度愛知工業大学・研究特別助成を受けた。ここに関係各位に感謝の意を表します。

文 献

- (1) 資源エネルギー庁公益事業部：「電力構造改革」，通商産業調査会 (2000)
- (2) The Electricity Cooperative Research Association：“Trend and future view of 2000 on the electric power quality”，Electric Power Quality, Vol.55, No.3 (2000)
- (3) Hadi Saadat：“Power System Analysis”，McGrawHill (1999)
- (4) BERGEN,VITAL：“POWER SYSTEM ANALYSIS”，PRENTICE HALL;Hic Zaborsky:Dynamics and Control of Large Electric Power Systems,Wiley-interscience Hic and Liu:Hierarchical Power Systems Control Springer (1996)
- (5) Jayant Kumar,kah-Hoe Ng,Gerald Sheble：“AGC SIMULATOR PROICE-BASED OPERATION PART 1:A MODEL”，IEEE Transactions on Power Systems, Vol.12, No.2 (1997)
- (6) 植野一郎，田村康男：「近代 送電工学①」，電気書院
- (7) Kazuto Yukita, Yasuyuki Goto et al：“Load Frequency Control Based on Power Demand Estimation and Fuzzy Control Considering Effects of SelfRegulation of Generator”，IEEEJ, Vol.116-B, No.1 (1996)
- (8) Gorou Shirai, Shigeru Takeuchi, et al：“Decentralized Automatic Generation Control Coordinating EDC and LFC”，IEEEJ, Vol.113-B, No.12 pp.1371-1380 (1993)
- (9) Chun-Feng Lu,Chun-Chang Liu and Chi-Jui Wu：“EFFECT OF BATTERY ENERGY STORAGE SYSTEM ON LOAD FREQUENCY CONTROL CONSIDERING GOVERNOR DEADBAND AND GENERATION RATE CONSTRAINT”，IEEE Transaction on Energy Conversion, Vol.10, No.3 (1995)
- (10) NS.C.Tripathy,R.Balasubramanian,andP.S.Chandramohan Nair：“EFFECT OF SUPERCONDUCTING MAGNETIC ENERGY STORAGEONAUTOMATICGENERATIONCONTROLCONSIDERING GOVERNOR AND BOILER DYNAMICS,Transaction on Power Systems”, Vol.7, No.3 (1992)

(受理：平成 18 年 3 月 18 日)