

## AFC 制御対象の動的負荷変動モデルの構築と BTB の AFC 連系時の解析検討

道 上 勉\*

### Construction of Dynamic Fluctuation Load Model and Simulation with AFC-control of BTB Interconnection

Tsutomu Michigami

AFC control on BTB active power flow, which is in phase with frequency deviations both in Hokuriku AC power system and in the rest of the power system of middle and west Japan, can effectively reduce frequency fluctuations. In the first section of this paper, test measurement result of actual large-scale power system fluctuation load is shown and dynamic fluctuation load model is derived from the study on the test result. Then we analyze effectiveness of this AFC control to suppress frequency fluctuation in the two AC power system through computations of static and dynamic simulations by using the derived model on MATLAB. Our simulation analyses reveal that effectiveness of frequency fluctuation suppression by the AFC control on BTB active power depends on the capacity scale of AC power system interconnected with BTB system: We conducted these computations on different states of power systems which represent summer-peak, winter-peak, typical spring-peak and summer-night. We confirmed that frequency fluctuation can be significantly reduced in the smaller capacity power system by setting larger AFC gain.

#### 1. まえがき

電力システムの負荷変動は種々の電力需要の総和であり時々刻々、ランダムに変動しており、その変動特性を把握し、適切なモデルを構築する事は自動周波数制御 (AFC; Automatic Frequency Control) など電力の質の向上を検討する上での重要な課題の1つである。一方、近年のパワーエレクトロニクスの技術進歩は著しく、この技術の応用として我が国でも交流系統の大規模化に伴う安定度問題、短絡容量問題を解決しつつ、交流系統間の連系線の送電容量を増加させるBTB (Back to Back)方式が1999年3月運転を開始した。このBTB方式を有効利用して、交流連系線のルート事故などで交流側ルートが解かれた緊急時に連系する両交流系統の周波数偏差に応じてBTBの有効電力潮流を制御するAFC連系をすれば交流連系と同等の周波数改善効果が得られ、有効な方法と考えられ装備されている。我が国では、すでに北海道系統と本州50Hz系統間を直流連系している北本設備でAFC連系が実現しており良好な運転実績<sup>(1)</sup>が得られている。AFC連系の初期の計画段階では基本に戻りランダムな負荷変動による定常特性でAFC連系の改善効果が、どの程度あるかを明確にすること

---

\* 電気工学科

が必要不可欠となる。この定常特性の解析に際しての発電機の慣性、調速機・原動機の動的特性モデルなどは多くの文献<sup>(2,3)</sup>で明らかとなっているが動的負荷変動モデルの検討は殆どないと思われる。その理由は、AFC制御対象の負荷変動量の実測が極めて少ないことに起因するものと考えられる。本稿では最初は大規模な実系統の実測を基にAFC制御対象の負荷変動成分の分布特性と時系列特性を求め、それと等価となる動的負荷変動モデルを構築し、次にこのモデルを用いてBTTB連系を行っている北陸地域の小系統と北陸を除く中西地域の大系統が単独になった場合を想定し、BTTBでAFC連系した場合の定常特性である交流系統の周波数変化量の改善効果とAFC連系容量を静的解析並びに動的シミュレーションで明らかにしたので、その結果について報告する。

## 2. 実系統の負荷変動特性<sup>(4)</sup>

首都圏の大規模な実系統（東京電力系統）において夏期ピーク時（平成7年8月25日）の1日24時間の負荷変動量と周波数変動量を実測（30秒サンプリング）した。AFC制御対象の負荷変動量は実測量を周期成分（5～30分）のフィルタ(HPFと,LPF)にかけ求め、その量を元の実測量から除いた量とし、負荷変動速度は負荷変動量の時間微分から算出した。その負荷変動量と負荷変動速度の時間特性と大きさの度数分布がそれぞれ図1(a),(b)で負荷変動量、負荷変動速度及び周波数変動の標準偏差が表1である。図1(a)よりAFCの制御容量に関係する負荷変動量の変動特性は時間帯により異なるが大きな負荷変動は朝の立上りと昼休みの時間帯で、変動がフラットな深夜帯の2～3倍となっている。また、負荷変動量の大きさの度数分布は理論どおり各時間帯とも平均値がほぼ零の正規分布となっている。一方、AFCの制御速度に関係する負荷変動速度は図1(b)で、その傾向は負荷変動量とほぼ同じく平均値がほぼ零の正規分布であるが各時間帯の大きさの差は負荷変動量より小さく最も大きい朝の立上り帯が深夜帯の1.7倍程度である。周波数変動の標準偏差は周波数を調整している関係から時間帯による変化は少なく0.023～0.029Hzである。これらの実測値から負荷変動量（標準偏差）と総需要電力の比率及び系統定数を試算したのが表2で、その比率は時間帯により異なり大きいのは負荷変動の大きい朝の立上がりと昼休みの時間帯でそれぞれ0.286%、0.257%で、負荷変動の少ない午前・午後の時間帯は、そのほぼ1/2となっている。また、系統定数は負荷変動が大きい時間帯は10～11%MW/Hz程度で、その他の時間帯は5～7%程度と小さな値となっている。次に図1の負荷変動の時系列的な特性を観ると振幅が大きく比較的緩やかな周期のベース成分と振幅が小さく周期の短いフリンジ成分に分けられる。負荷変動の大きな朝の立上り時間帯のベース成分の要因の1つとして1台当たり5～10分間隔で数時間に渡り続けられる大容量揚水発電所の揚水用電力の停止が考えられる。

表1. 負荷変動と周波数変動の標準偏差  
Table1. Standard deviation of load  
and frequency fluctuation.

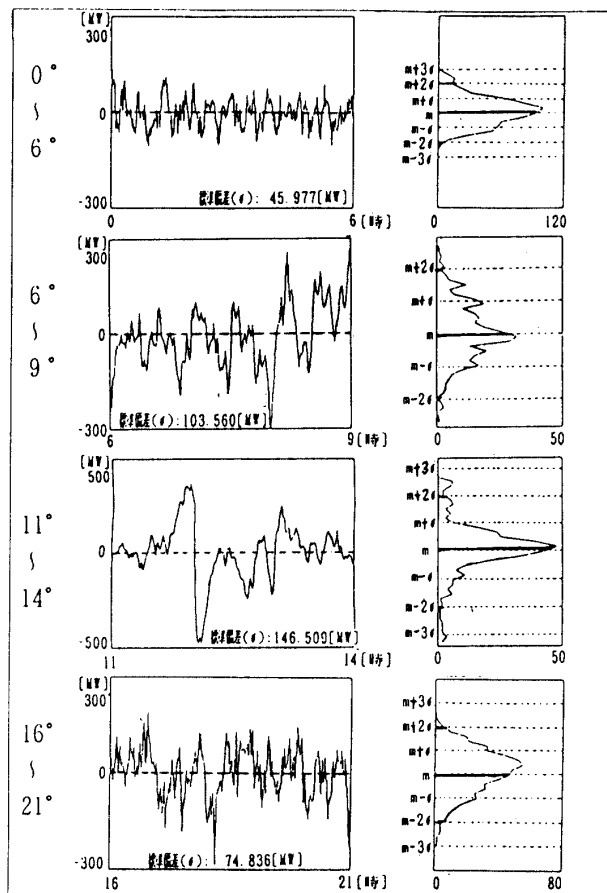
時間帯 〔 〕	負荷変動量 A [MW]	負荷変動 速度[MW/M]	周波数 変動[Hz]
0-6	46.0	31.3	0.023
6-9	103.6	52.5	0.029
9-12	79.1	44.3	0.025
11-14	146.5	52.2	0.023
13-17	85.7	44.9	0.025
16-21	74.8	48.9	0.027
20-24	73.2	50.2	0.026

表2 負荷変動量と総需要電力の比率・系統定数  
Table2. Ratio of fluctuation load and total  
demand power, and power-frequency constant.

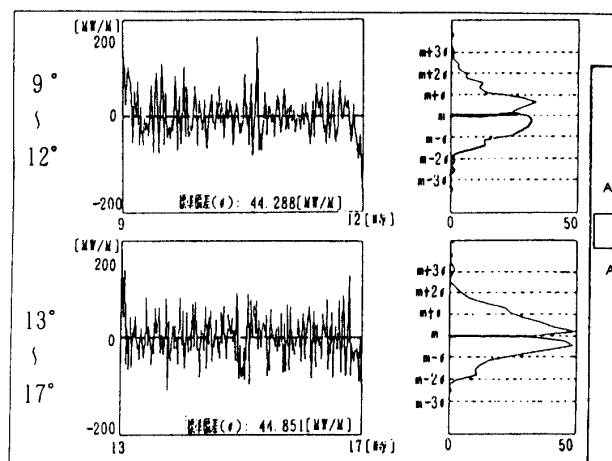
時間帯 〔 〕	総需要電力 B [MW]	比 率 A/B [%]	系統定数 〔%MW/Hz〕
0-6	27,499	0.167	7.26
6-9	36,227	0.286	9.86
9-12	55,390	0.143	5.72
11-14	56,996	0.257	11.17
13-17	57,898	0.148	5.92
16-21	51,419	0.145	5.37
20-24	41,377	0.177	6.81

### 3. 動的負荷変動モデルの構築と検証

#### 〈3.1〉 動的負荷変動モデルの考え方



(a) 負荷変動量



(b) 負荷変動速度

図1 実システムの負荷変動の測定結果

Fig.1.Measurement of fluctuation load.

AFC 制御対象の負荷変動モデルとしては2章より負荷変動量の大きさは平均値がほぼ零の正規分布とし、負荷変動の時系列な特性としては振幅が大きく周期の長いベース量と振幅が小さく周期の短いフリンジ量に分けるものとする。前記の考え方に基づく具体的な動的負荷変動モデルの構築の手順として

- (1) 負荷変動のベース量として一定の負荷変動量（実測の標準偏差相当）に正規分布の白色ノイズをかけた量とする。
- (2) 負荷変動のフリンジ量としてベース量のある割合の大きさの正規分布の白色ノイズ量を求めベース量に加える。

(3) AFC 制御対象の負荷変動量は上記で求めた負荷変動量のうち AFC 対象周期以外(5分以下と30分以上)の成分をフィルタ(HPF, LPF) にかけて求め、それを元の負荷変動量から除いた量とする。また、AFC 対象の負荷変動量の大きさが所定値となり、かつ、波形全体の形状が実測に極力、合うよう白色ノイズの設定定数（パワー、サンプル時間、シード数）を調整することとする。以上の手順で構築した動的負荷変動モデルのブロック図が図2である。

〈3.2〉 モデルの検証解析 上記モデルで実システムの実測の6～9時相当（図1(a))の負荷変動の解析を表3の設定条件で行った。負荷変動の時系列特性

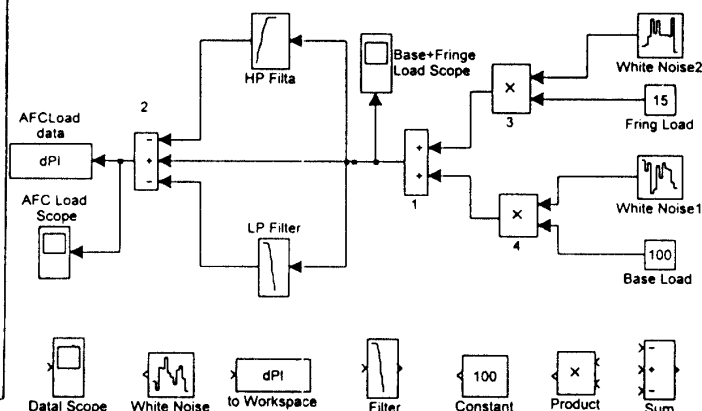


図2 動的負荷変動モデルのブロック図

Fig.2. Block diagram of dynamic load model.

として図1(a)の動的挙動に極力合致するようベース量はノイズ発動間隔を5分としフリンジ量の大きさは図1(a)の変動波形でのベース波形に重畳している小さな変動成分の振幅を抽出すると標準偏差の10～20%なので平均値の15%を採用した。その解析結果が図3で、同図(a)がAFC対象負荷の時間変動波形、同図(b)が、その波形の度数分布である。実システムの実測で求めた図1(a)の波形と比

較すると全般的な変動波形の大きさや時系列的な波形の形状は符合しており、このモデルを採用する。

なお、系統の特性によっては負荷変動として予測可能な規則性のある特定成分が強く現れることがあるので、この場合はこの成分を負荷変動モデルに組み込む必要がある。

#### 4. B T B連系での周波数偏差制御時の解析

＜4.1＞ 検討モデルと解析条件 B T BによるA F C連系が行われるのは何らかの理由で常時併用している交流連系線の連系が解かれた場合である。今回、検討に取上げた北陸系統と中西系統の需給状況を考えると常時、北陸系統から電力を送電していることが多いと考えられる。この状況下で交流連系線のルート事故などで両系統の交流側のルートが解かれた場合は北陸系統は供給力過剰となり、中西系統は供給力不足となるが中西系統は系統容量が大きい（夏ピーク時約84GW）ため仮に連系線の事前潮流を大きく見積り北陸系統の1割（約500MW）程度としても中西系統の系統容量に対し0.6%程度であるため十分吸収でき通常の周波数調整に移行するものと考えられる。そこでB T BによるA F C連系は両系統とも安定に落ち着いた後に行われものと考え、今回は、この状態での周波数変動の改善効果を解析することとした。つまり、検討モデルは北陸地域の系統と中部地域の系統をB T BでA F C連系した場合を想定し、図4のような北陸系統Aと中西系統Bの2つで表し検討ケースは表4に示すように系統容量が一番大きくなる夏ピーク時のケース1から春、冬ピーク時と夏深夜時の4ケースを選定した。解析する系統断面はA F C連系によるB T Bの電力制御量が大きくなる昼休み時間帯と系統容量が最小となる深夜帯とした。また、負荷変動量は表2から大きいB系統はピーク時±0.3%、深夜時±0.2%とし、小さいA系統は同じ系統規模である北海道系統の実績から大きいB系統の3倍（動的解析では2倍も追加）とし系統定数は両系統とも表2からピーク時10% MW/Hz、深夜時8% M/Hzを用いた。

＜4.2＞ 静的解析 動的解析の検証として予めB T BのA F C連系時の理論的な静的解析を行う。

（1）周波数偏差制御の理論式；B T Bにより周波数偏差A F C連系した2つの交流系統（図4）で、各系統の負荷変動量 $\Delta P_a, \Delta P_b$ が全く独立にランダムに変動するものとする。いま両系統の系統定数及びA F C制御時の負荷変動量を、それぞれ $K_a, K_b$ 及び $\Delta P_{1a}, \Delta P_{1b}$ としB T Bの電力制御偏差ゲインを $K_{ab}$ とすれば両系統の周波数変化量 $\Delta F_a, \Delta F_b$ 及びB T Bの電力制御量 $\Delta P_d$ は次式となる。

$$\Delta F_a = \frac{\Delta P_{1a}}{K_a + \beta K_b} = \frac{\sqrt{\Delta P_a^2 + (\beta \Delta P_b)^2}}{K_a + \beta K_b} \quad \dots\dots\dots (1)$$

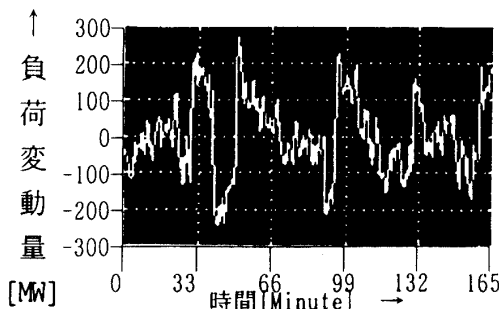
$$\Delta F_b = \frac{\Delta P_{1b}}{\alpha K_a + K_b} = \frac{\sqrt{(\alpha \Delta P_a)^2 + \Delta(P_b)^2}}{\alpha K_a + K_b} \quad \dots\dots\dots (2)$$

表3 モデルの設定条件

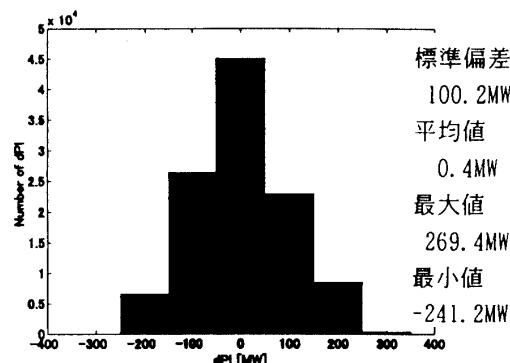
Table3. Parameters of model.

負荷変動 の成分	負荷変動 量MW	白色ノイズ パワー	設定定数 時間	設定定数 ノイズ数
ベース フリッジ	100 15	156 156	300s 30	20,000 10,000

フィルタ 切点周波数 (LPF 0.00349 rad/s(30分)  
HPF 0.0209 rad/s(5分))



(a) A F C対象負荷の時間変動波形



(b) 負荷変動量のヒストグラム

図3 動的負荷変動モデルの解析結果

Fig.3.Simulation of dynamic load model.

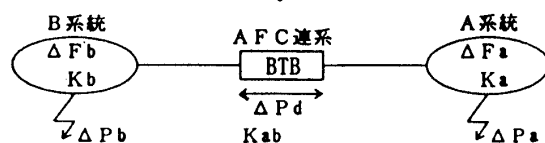


図4 B T BでA F C連系した2交流系統

Fig.4. Two AC-power system on BTB.

$$\Delta Pd = \frac{\alpha \sqrt{(Ka \Delta Pb)^2 + (Kb \Delta Pa)^2}}{\alpha Ka + Kb} \dots (3) \text{ただし } \alpha = \frac{1}{1+(Ka/Kb)}, \beta = \frac{1}{1+(Kb/Kab)}$$

上式からBTBのAFC連系時を考察するとA系統では自体の系統容量にB系統の系統容量を $\beta$ 倍したものの和と等価な系統容量を示し、偏差ゲインKabの無限大時 ( $\alpha = \beta = 1$ ) が2つの系統の交流連系に相当する。以上から両系統をBTBでAFC連系すれば両系統は系統容量が増加し周波数変化量を軽減できる。系統容量が小さいA系統の周波数変化量を最小とする $\beta_m$ は(1)式の $\Delta Fa$ を $\beta$ の関数としてそれを最小とする条件から得られその時のKabm、 $\Delta Fam$ 及 $\Delta Pdm$ は次式となる。

表4 BTBのAFC連系時の検討条件と解析条件

Table4. Parameters of calculation model.

		ケース1 (夏ピーク)	ケース2 (春ピーク)	ケース3 (冬ピーク)	ケース4 (夏深夜)
系統容量	北陸地域 Pa[MW]	5,100	3,590	4,350	2,490
	中西地域 Pb[MW]	82,450	58,090	70,350	40,260
系統定数 K[%MW/Hz]		10 (510 8,245)	10 (359 5,809)	10 (435 7,035)	8 (199 3,221)
負荷変動量	北陸地域 $\Delta Pa$ [%]	$\pm 0.9$ * ( $\pm 45.9$ )	$\pm 0.9$ ( $\pm 32.3$ )	$\pm 0.9$ ( $\pm 39.2$ )	$\pm 0.6$ ( $\pm 14.9$ )
	中西地域 $\Delta Pb$ [%]	$\pm 0.3$ ( $\pm 24.7$ )	$\pm 0.3$ ( $\pm 17.4$ )	$\pm 0.3$ ( $\pm 21.1$ )	$\pm 0.2$ ( $\pm 8.1$ )
BTBゲイン Kab[MW/Hz]		0~ 6,000	0~ 6,000	0~ 6,000	0~ 6,000

[注]( )内は系統容量に換算した値[MW/Hz,MW], \* 動的解析では $\pm 0.6\%$ ( $\pm 30.6$ MW)も追加

$$\beta_m = Pa / (\gamma^2 Pb) \dots\dots\dots (4)$$

$$Kabm = \{ \beta_m / (1 - \beta_m) \} \times Kb \dots\dots\dots (5)$$

$$\Delta Fam = \frac{\gamma \Delta P}{(\sqrt{1 + \gamma^2}) Ka} \dots\dots\dots (6)$$

$$\Delta Pdm = \frac{1}{\sqrt{1 + \gamma^2}} \Delta Pa \dots\dots\dots (7)$$

ただし、Pa, Pb: A, Bの系統容量  
 $\gamma = \Delta Pb / \Delta Pa$

(2)解析結果；A、B系統の周波数変化量 $\Delta Fa$ 、 $\Delta Fb$ 及びBTB電力制御量 $\Delta Pd$ の解析結果が表6である。また、系統容量の小さいA系統の周波数変化量を最小とするKabm、 $\Delta Fam$ 及び $\Delta Pdm$ と $\Delta Fa$ と $\Delta Fb$ が等しくなる時のKabe、 $\Delta Fae$ ( $\Delta Fbe$ )及び $\Delta Pde$ を求めた解析結果が表5である。この表6の結果を見ると各ケースともにKabを大きくすれば小さなA系統の $\Delta Fa$ が大幅に改善されその効果が顕著で大きなB系統の $\Delta Fb$ も僅かではあるが改善されている。BTBによるAFC連系

の周波数変化量の改善効果が十分であるKab=4,000MW/Hz以上では連系なしに比べ各ケースともA系統が約68%の改善量が得られ、B系統でも約4%改善している。このときの $\Delta Pd$ は系統容量にほぼ比例した量となり、最大は系統容量が大きくなる夏ピークの $\pm 42$ MW程度である。一方、表5から負荷変動量と系統定数の解析条件が等しいピーク時は $\Delta Fa$ は各ケースとも同じ値となるがKabと $\Delta Pd$ は系統容量にほぼ比例した値となることが分かる。

表5 各ケースの最小 $\Delta Fa$ と $\Delta Fa = \Delta Fb$ の解析結果Table5. Analysis result of minimum  $\Delta Fa$  and  $\Delta Fa = \Delta Fb$  of each cases.

		ケース1 夏ピーク	ケース2 春ピーク	ケース3 冬ピーク	ケース4 夏深夜
$\Delta Fa$ 最小状態	Kabm	10,354	7,280	8,828	4,044
	$\Delta Fam$	$\pm 0.0285$	$\pm 0.0285$	$\pm 0.0285$	$\pm 0.0237$
	$\Delta Pdm$	$\pm 43.5$	$\pm 30.7$	$\pm 37.1$	$\pm 14.2$
$\Delta Fa = \Delta Fb$ 状態	Kabe	4,602	3,236	3,923	1,797
	$\Delta Fae$	$\pm 0.0288$	$\pm 0.0288$	$\pm 0.0288$	$\pm 0.0240$
	$\Delta Pde$	$\pm 41.3$	$\pm 29.0$	$\pm 35.2$	$\pm 13.4$

[注] 単位はKab[MW/Hz]、 $\Delta F$ [Hz]、 $\Delta Pd$ [MW]

表6 各ケースのKabに対する $\Delta F$ 、 $\Delta Pd$ の解析結果

Table6. Analysis result of  $\Delta Fa$ ,  $\Delta Fb$  and  $\Delta Pd$  for Kab of each cases.

Kab [MW/H]	ケース1(夏ピーク)			ケース2(春ピーク)			ケース3(冬ピーク)			ケース4(夏深夜)		
	$\Delta Fa$ [Hz]	$\Delta Fb$ [Hz]	$\Delta Pd$ [MW]	$\Delta Fa$ [Hz]	$\Delta Fb$ [Hz]	$\Delta Pd$ [MW]	$\Delta Fa$ [Hz]	$\Delta Fb$ [Hz]	$\Delta Pd$ [MW]	$\Delta Fa$ [Hz]	$\Delta Fb$ [Hz]	$\Delta Pd$ [MW]
0	0.0900	0.0300	0	0.0900	0.0300	0	0.0900	0.0300	0	0.0750	0.0250	0
1,000	0.0379	0.0290	30.8	0.0340	0.0290	24.0	0.0360	0.0290	27.6	0.0252	0.0241	12.5
2,000	0.0314	0.0289	36.7	0.0298	0.0289	27.4	0.0306	0.0289	32.3	0.0239	0.0240	13.6
4,000	0.0290	0.0288	40.6	0.0286	0.0288	29.6	0.0288	0.0288	35.3	0.0237	0.0240	14.2
6,000	0.0286	0.0288	42.2	0.0285	0.0288	30.4	0.0285	0.0288	36.4	0.0237	0.0240	14.4

[注] 上記の値は共に±となる。

＜4.3＞ 動的シミュレーション (1) B T B電力制御方式  
両系統の周波数変化量の偏差により $\Delta Pd$ を制御する比例制御を主体とし、大きなステップ状の負荷変化や定常時の負荷変動量が完全に零でないことに對し周波数変化量のオフセットを零とする目的で積分制御を付加することとした。

なお、系統異常時などによる大幅な周波数変化に対しては微分制御が有効であるが、B T B制御は速応性が優れており迅速な応答が期待できるので考慮しないこととした。

(2)解析条件；図4のA、B系統を、それぞれ慣性を有する1機系統と見なし2章の動的負荷変動モデルを組み込んだ動的シミュレーションブロック図(2.3.5)が図5である。フ

この制御ブロック図の制御定数として各ケースごとの系統容量、負荷変動量(ケース1はA系統の負荷変動量 $\pm 0.9\%$ 、 $\pm 0.6\%$ で実施)を表4の条件から慣性定数、系統特性定数(負荷特性定数、発電機特性定数)、各種時定数及び白色ノイズの設定定数を表7から代入し、B T Bの偏差ゲインKabをパラメータにして動的シミュレーションを行なった。解析に際して両系統の負荷変動量の仕上りが独立にランダムな変動となるよう白色ノイズの設定定数のシード数を2倍程度隔てて、かつ、所定の負荷変動量(標準偏差)となるようノイズパワーを調整した。動的負荷変動モデルの検証解析と動的シミュレーションの解析手法はM A T L A BのSIMULINKを用いた。

表7 動的シミュレーションの解析条件

Table7. Parameters of simulation.

ケース	慣性定数[rad]		系統特性定数	
	Ma	Mb	Kg	Kl
1	217	3,501	6	4
2	152	2,467	6	4
3	186	2,987	6	4
4	106	1,709	4	4

・時定数；ガバナ $T_g=2s$ ，タービン $T_r=4s$

・負荷変動の白色ノイズの設定定数

負荷の種類	ノイズのレベル		サンプリング時間	シード数	
	A	B		A	B
ベース	178	156	300s	40,001	20,000
フリッジ	178	156	30	20,000	10,000

BTB制御；比例Kab=0~6,000,積分T=500s

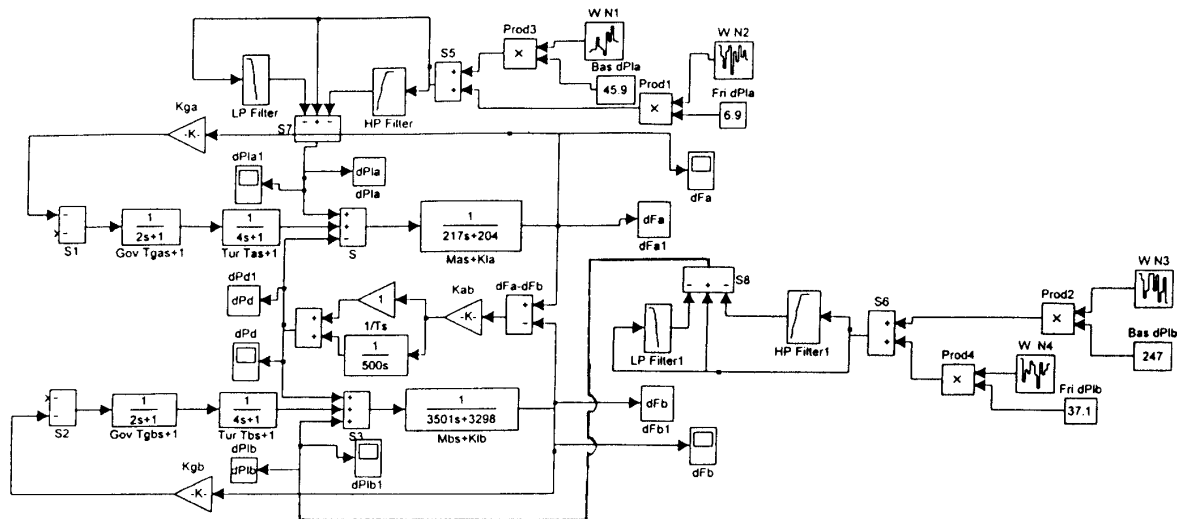


図5 B T BのA F C連系時の動的ブロック図

Fig.5. Dynamic block diagram of AFC control of BTB.

(3)シミュレーション結果；動的シミュレーションの代表例として系統容量が最も大きい夏ピーク時（ケース1）を示したのが図6である。また、各ケースの各種状態量の標準偏差と $\Delta F$ の平均値を示したのが表8である。系統容量が最も大きい夏ピーク時の結果（表8）を観るとBTBのAFC連系時に偏差ゲイン $K_{ab}$ を大きくするにつれてA系統の周波数変化量の軽減が顕著となり4,000MW/Hz以上で約68%の改善量に達しB系統も僅かであるが改善している。この改善量を表6の静的解析と比較するとA系統は同じでB系統は2%程度小さいもののよく合致している。また、周波数変化量の大きさを静的解析（表6）と比べると1～2%程度大きい一致しており、 $\Delta P_d$  もよく合っている。以上から動的シミュレーションの結果が妥当であることが裏づけられた。次に、動的シミュレーションの時系列的な挙動（図6）を観ると周波数の変動波形はAFC連系しない時は両系統とも相関のない波形となっているのに対し $K_{ab}$ が1,000 MW/Hz の断面でA系統の波形がB系統の波形の影響を受け始め4,000MW/Hzの断面では両系統の波形は、ほぼ一致している。また、BTBのAFC連系時の連系容量（制御容量）を決める電力制御量 $\Delta P_d$  も $K_{ab}$ の増加につれて大きくなりA系統の負荷変動量に近づき、あたかも交流連系と同じ挙動を示し、AFC連系の効果が良く表現されている。電力制御量 $\Delta P_d$  が最も大きくなるのは系統容量が大きい夏ピーク時で標準偏差の最大値は41MW程度、瞬時変動を含めた変動幅の最大は±160MW 程度であり、この瞬時的変動の最大値が動的な挙動を含めた連系容量の目安となる。一方、夏ピーク時にA系統の負荷変動量をB系統の2倍としたケース1'のA系統の周波数変動の改善量は約54%となり改善量は両系統の負荷変動量の大きさの比率によって大きく左右されることが分かる。

表8 夏、春、冬ピーク・夏深夜時の標準偏差と平均値（動的シミュレーション上）

Table8 . The standard deviation and mean value of dynamic simulation.

$K_{ab}$ [MW/Hz]	ケース1（夏ピーク） $dP_{1a}=46, dP_{1b}=247MW$					ケース1'（夏ピーク） $dP_{1a}=31, dP_{1b}=247MW$				
	$dF_a$ [Hz]	$dF_b$ [Hz]	$dP_d$ [MW]	$dF_{aa}$ [Hz]	$dF_{ba}$ [Hz]	$dF_a$ [Hz]	$dF_b$ [Hz]	$dP_d$ [MW]	$dF_{aa}$ [Hz]	$dF_{ba}$ [Hz]
0	0.0904	0.0301	0	0.000	0.000	0.0602	0.0301	0	0.001	0.000
1,000	0.0379	0.0295	30.9	0.000	0.000	0.0296	0.0293	21.5	0.000	0.000
2,000	0.0318	0.0295	36.3	0.000	0.000	0.0277	0.0291	25.3	0.000	0.000
4,000	0.0296	0.0294	39.8	0.000	0.000	0.0276	0.0290	27.8	0.000	0.000
6,000	0.0292	0.0294	41.1	0.000	0.000	0.0279	0.0290	28.7	0.000	0.000

$K_{ab}$ [MW/Hz]	ケース2（春ピーク） $dP_{1a}=32, dP_{1b}=174MW$			ケース3（冬ピーク） $dP_{1a}=39, dP_{1b}=211MW$			ケース4（夏深夜） $dP_{1a}=15, dP_{1b}=81MW$			dFの平均値 (ケース2～4)	
	$dF_a$ [Hz]	$dF_b$ [Hz]	$dP_d$ [MW]	$dF_a$ [Hz]	$dF_b$ [Hz]	$dP_d$ [MW]	$dF_a$ [Hz]	$dF_b$ [Hz]	$dP_d$ [MW]	$dF_{aa}$ [Hz]	$dF_{ba}$ [Hz]
0	0.0904	0.030	0	0.0904	0.0301	0	0.0753	0.0251	0	0.002	0.000
1,000	0.0342	0.0295	23.9	0.0360	0.0295	27.6	0.0255	0.0245	12.3	0.000	0.000
2,000	0.0303	0.0294	27.0	0.0310	0.0294	31.8	0.0244	0.0245	13.2	0.000	0.000
4,000	0.0292	0.0294	28.8	0.0294	0.0294	34.4	0.0242	0.0245	13.8	0.000	0.000
6,000	0.0291	0.0294	29.5	0.0291	0.0294	35.4	0.0243	0.0245	13.9	0.000	0.000

## 5. あとがき

本論文を要約すると (1)実系統のAFC制御対象の変動負荷の実測結果を分析すると大きさは平均値がほぼ零の正規分布をし、周期の長いベース成分と周期の短いフリッジ成分に分けられ、変動量が大きいのは朝の立上りと昼休みの時間帯である。(2)AFC制御対象の動的負荷変動モデルは実測結果からベース負荷とフリッジ負荷に正規分布の白色ノイズをかけ加えた後、周期5分以下と30分以上の負荷量をフィルタにかけ求め、元の負荷量からこの成分を除くことにより構築できる。この負荷変動モデルによる解析結果と実系統の測定波形の全般的な挙動は符合し、同モデルを検証できた。

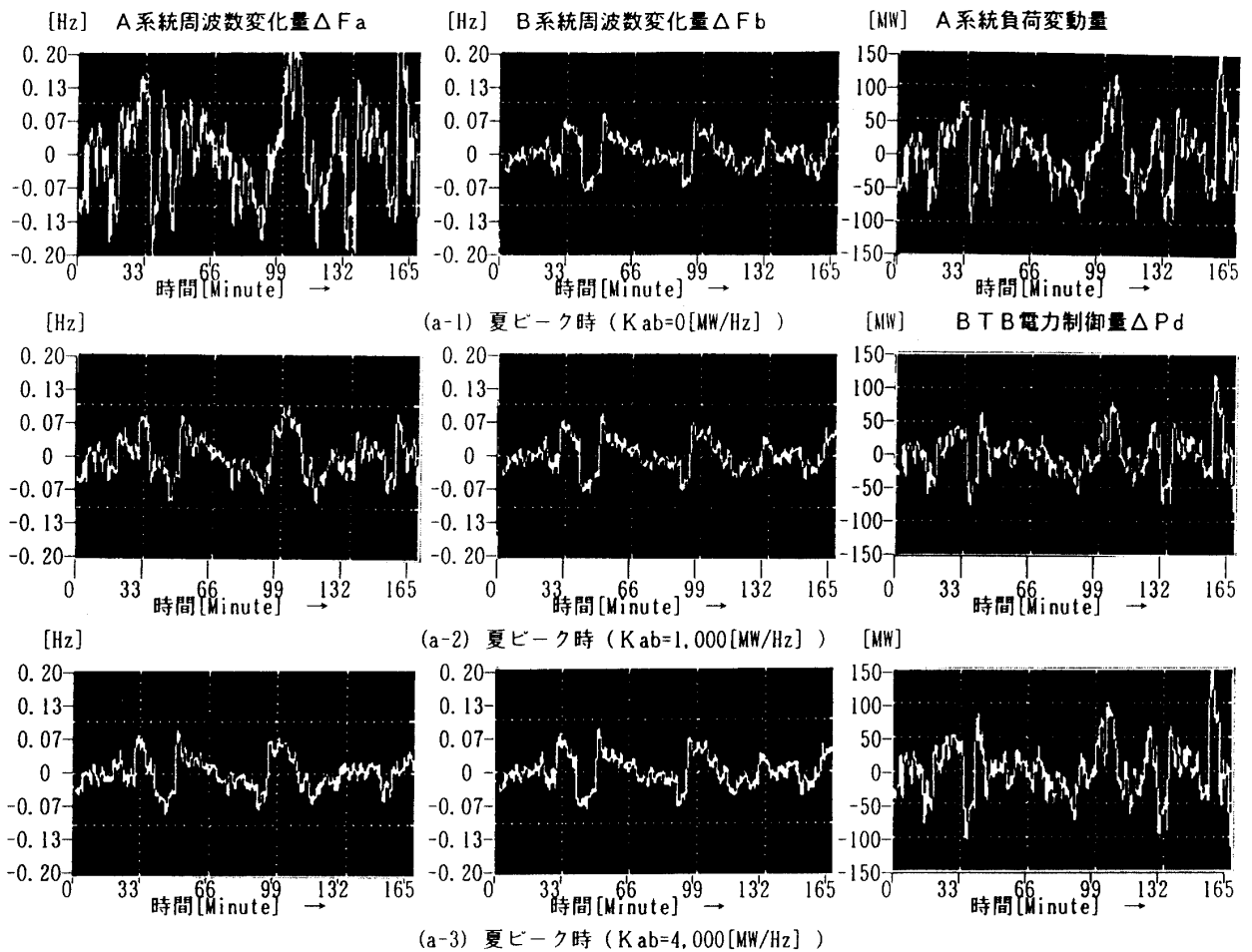


図6 BTBのAFC連系時の動的シミュレーション結果

Fig.6. Dynamic simulation result of AFC control on BTB.

(3)北陸系統と中西系統をBTBでAFC連系した系統モデルに上記、負荷変動モデルを組み込み動的シミュレーションを行った結果、北陸系統の周波数変動量の改善効果が顕著で同系統の負荷変動量が中西系統の3倍の場合、最大で約68%の改善量が得られ、AFC連系の有効性が確認できた。瞬時変動分を含めたBTBの電力制御量は最大で±160 MW程度となり、AFC連系する際の連系容量の目安が得られた。今後はBTB、FC及び直流送電を混成したAFC連系や交流系統相互間のTBCを加味したAFC連系など総合的な検討を進める。

## 文 献

- (1) 小林, 山田, 三瓶, 鯉沼:「交流系統状態変化に対応した直流送電潮流制限制御」電学PE-93-82
- (2) A.J.Wood,B.F.Wollenberg:"Power Generation Operation and Control(2nd)",Wiley(1996)
- (3) J.Machowski,J.W.Bialek,J.R.Bunby:"Power System Dynamics and Stability",Wiley(1996)
- (4) 道上勉:「電力系統の負荷変動の測定結果と負荷変動モデルの構築」,電学H9,II No.108
- (5) 道上勉, 大石秀穂:「BTBによる周波数偏差AFC連系時の解析検討」,電学H11,I-J,No.24
- (6) 道上勉:「FCによる周波数偏差AFC連系時の動的シミュレーション」,電学H9,I-J,No.24

(平成11年11月29日受理)