



Title	動的補償器を用いた原子炉のDecoupling制御
Author(s)	辻, 雅司; Tsuji, Masashi; 小川, 雄一 他
Citation	北海道大學工学部研究報告, 78, 107-117
Issue Date	1976-02-16
Doc URL	<a href="https://hdl.handle.net/2115/41337">https://hdl.handle.net/2115/41337</a>
Type	departmental bulletin paper
File Information	78_107-118.pdf



## 動的補償器を用いた原子炉の Decoupling 制御

辻 雅 司\* 小川 雄 一\*

(昭和 50 年 6 月 30 日受理)

### Decoupling Control of a Nuclear Reactor by Using a Dynamic Compensator

Masashi TSUJI Yuichi OGAWA

(Received June 30, 1975)

#### Abstract

In a large-sized nuclear reactor the space dependency of the dynamic behaviour becomes outstanding, and a more advanced control method than usual region control is desired. The decoupling theory completed by Gilbert cannot be applied directly to the reactor, because a state variable (delayed neutron precursor) is not measurable.

In this paper, applying the decoupling theory after introducing the dynamic compensator, the reactor system is decoupled only by the measurable state variables, and favorable dynamic characteristics are sought for. Some numerical examples are given. A comparison between the obtained results and that obtained based on the adaptation of the observer is also given.

#### 1. はじめに

発電用原子炉の大型化にともない、大型炉での問題の一つとされる空間的に不安定な炉出力の制御に対処するために、従来の“領域制御”方式をさらに発展させたより効果的な制御方式が今後益々強く望まれる。その一つの可能性として、decoupling 理論の応用が考えられる。

Gilbert によって完成された状態フィードバックによる decoupling 理論<sup>1)</sup>は、アルゴリズムが簡明であり、コンピュータ計算に適している。しかし、この理論は状態フィードバックをもとにしているために、システムのある状態変数が観測されないような場合には直接適用できない。このことに対して、“オブザーバー”“動的補償器”によるものの 2 つの方法が考えられている。

オブザーバーによるものは、観測できない状態変数をオブザーバーで評価し、これを状態変数に用いるものである。これは、状態フィードバックによる制御と考えることができるので、Gilbert の理論を直接応用できる。また、実際に原子炉に適用を試みた報告<sup>6)</sup>が提出されている。

動的補償器によるものは、制御素子に動的素子をも含めてることによって、観測される状態変数のみでシステムの制御を試みるものである。特に、Person<sup>6)</sup>の動的補償器の構造は状態変数で記述できるために、Gilbert の理論の適用の道が開かれた。しかし、この理論を実際に原子炉に、あるいは著者の知る限りにおいて他のシステムへ適用を試みた報告は発表されていない。

\* 北大工学部原子工学科 原子炉工学講座

本研究は以上の事柄を背景にして、1) 大型原子炉における領域制御への decoupling 理論の応用、2) 観測されない状態変数を持つシステムへの動的補償器を用いた decoupling 制御の適用、3) オブザーバーを用いた計算例との比較、を主な目的として行なったものである。

## 2. 理 論<sup>1)~3)</sup>

本稿で言う“decoupling”とは次の意味をいう。“与えられたシステムのおのおのの出力が、それと対応する入力によってのみ影響を受け、他の入力からの影響がないとき、システムが decouple されたといい、この事を可能にする制御を decoupling 制御と言う。”

### 2.1 Gilbert の Decoupling 理論<sup>1)</sup>

本節では、以下に、状態フィードバックによる decoupling 理論を完成させたといえる Gilbert の理論について簡単に紹介する。

与えられたシステムが次式で記述されるとする。

$$\dot{x} = Ax + Bu \quad (1)$$

$$y = Cx \quad (2)$$

$$u = Fx + Gv \quad (3)$$

ここで、 $x$  は  $n$  次の状態ベクトル、 $u$  は  $n$  次の制御ベクトル、 $y$  は decouple したい出力を表わす  $m$  次のベクトル、 $v$  は  $m$  次の入力ベクトルとする。 $A, B, C, F, G$  はそれぞれ、 $n \times n, n \times m, m \times n, m \times n, m \times m$  の定数行列とする。また与えられたシステムには可制御性、可観測性が保証されているものとする。

このとき、下記の (7) 式の  $D$  が正則 (decoupling 制御が存在するための必要十分条件) であるときのみ、つぎの制御  $K\{F^*, G^*\}$  によってシステム  $\{A, B, C\}$  を decouple できる。

$$u = F^*x + G^*v \quad (4)$$

$$F^* = -D^{-1}A^* \quad (5)$$

$$G^* = D^{-1} \quad (6)$$

ただし

$$D = \begin{bmatrix} C_1 A^{a_1} B \\ C_2 A^{a_2} B \\ \vdots \\ C_m A^{a_m} B \end{bmatrix} \quad (7)$$

$$A^* = \begin{bmatrix} C_1 A^{a_1+1} \\ C_2 A^{a_2+1} \\ \vdots \\ C_m A^{a_m+1} \end{bmatrix} \quad (8)$$

$$d_i = \min \{j; C_i A^j B \neq 0, j=0, 1, \dots, n-1\} \quad \text{又は} \\ = n-1 \quad \text{すべての } j \text{ に対し } C_i A^j B = 0 \text{ の場合} \quad (9)$$

$C_i$  は  $C$  行列の  $i$  番目の行、 $A^j$  は  $A$  行列の  $j$  乗を表わす。

この制御で decouple したシステムは ID システム  $\bar{S}\{\bar{A}, \bar{B}, C\} = \bar{S}\{A - BD^{-1}A^*, BD^{-1}, C\}$  と等価となる。ここで ID システムとは伝達関数行列が対角行列で、その対角要素として  $\gamma_i S^{-a_i-1}$  ( $i=1, \dots, m$ ) を持つシステムを言う。

ID システムを CD システムへ変換変換を行なう行列  $T$  が存在する。ここで CD システム  $\{\hat{A}, \hat{B}, \hat{C}\}$  とは、 $\hat{A}, \hat{B}, \hat{C}$  がそれぞれ次のような型を持つシステムのことをいう。

$$\hat{A} = \begin{bmatrix} A_1, & 0, & \dots, & 0, & 0 \\ 0, & A_2, & \dots, & 0, & 0 \\ \vdots & \vdots & & \vdots & \vdots \\ 0, & 0, & \dots, & A_m, & 0 \\ A_1^c, & A_2^c, & \dots, & A_m^c, & A_{m+1}^c \end{bmatrix} \quad \begin{array}{l} A_i: n_i \times n_i \\ A_i^c: n_{m+1} \times n_i \\ n_{m+1} = n - \sum_{i=1}^m n_i \end{array} \quad (10)$$

$$\hat{B} = \begin{bmatrix} b_1, & 0, & \dots, & 0 \\ 0, & b_2, & \dots, & 0 \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ 0, & 0, & \dots, & b_m \\ b_1^c, & b_2^c, & \dots, & b_m^c \end{bmatrix} \quad \begin{array}{l} b_i: n_i \times 1 \\ b_i^c: n_{m+1} \times 1 \end{array} \quad (11)$$

$$\hat{C} = \begin{bmatrix} c_1, & 0, & \dots, & 0 \\ 0, & c_2, & \dots, & 0 \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ 0, & \dots, & c_m, & 0 \end{bmatrix} \quad c_i: 1 \times n_i \quad (12)$$

行列  $\hat{A}$ ,  $\hat{B}$ ,  $\hat{C}$  の構造から判るように, decouple されたおのおののシステムはそれぞれ  $A_i$ ,  $b_i$ ,  $c_j$  によって表わすことができる。また decouple されたシステムの次元の大きさを表わす  $n_i$  は次のような空間の次元を求めることより求められる。

$$\mathcal{L}_i = \left\{ \eta \mid \eta \in \mathcal{L}, \eta \bar{A}^j \bar{B}_k = 0, \text{ for } k=1, \dots, m, k \neq j \text{ and } j=0, 1, \dots, n-1 \right\} \quad (13)$$

ただし,  $\eta$  は  $n$  次元空間  $\mathcal{L}$  に含まれる  $n$  次の行ベクトル,  $\bar{B}_k$  は行列  $\bar{B}$  の  $k$  番目の列次に, この CD システム  $\hat{S}\{\hat{A}, \hat{B}, \hat{C}\}$  を崩さないような制御  $\hat{K}\{\hat{F}, \hat{G}\}$  は次のような型をしていなければならない。

$$\dot{u} = \hat{F}x + \hat{G}v \quad (14)$$

$$\hat{F} = \begin{bmatrix} \theta_1, & 0, & \dots, & 0, & 0 \\ 0, & \theta_2, & \dots, & 0, & 0 \\ \vdots & \vdots & & \vdots & \vdots \\ 0, & 0, & \dots, & \theta_m, & 0 \end{bmatrix} \quad \theta_i: 1 \times n_i \quad (15)$$

$$\hat{G} = \begin{bmatrix} \lambda_1, & 0, & \dots, & 0 \\ 0, & \lambda_2, & \dots, & 0 \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ 0, & 0, & \dots, & \lambda_m \end{bmatrix} \quad \lambda_i: 1 \times 1 \quad (16)$$

すなわち, decouple されたおのおののシステム  $S_i\{A_i, b_i, c_i\}$  は, 制御  $\hat{K}_i\{\theta_i, \lambda_i\}$  によって他の decouple されたシステムとは独立に制御設計を行なうことができる。以上の逆の操作をたどることによって, 与えられたシステムを decouple し, かつ decouple された各システムに課せられた制御仕様を満足する応答を可能にする制御を得ることができる。それを以下に示す。

$$F = -D^{-1}A^* + D^{-1}\hat{F}T \quad (17)$$

$$G = D^{-1}\hat{G} \quad (18)$$

## 2.2 動的補償器<sup>6)</sup>

本研究では観測される状態変数が

$$y' = C'x \quad (19)$$

ただし  $y'$  は観測できる状態変数を表わす  $n'$  次ベクトルで表わされるとき, 動的補償器としての構造が次のように表わされるものを用いた。

$$\left. \begin{aligned} \dot{u}^1 &= u \\ \dot{u}^1 &= u^2 \\ \dot{u}^2 &= u^3 \\ &\vdots \\ \dot{u}^p &= -\sum_{i=1}^p F_i u^{(i)} - F_0 x + Gv \end{aligned} \right\} \quad (20)$$

ただし  $p$  は次式を満足する最小の整数とする。

$$\text{RANK} \begin{bmatrix} C' \\ C'A \\ \vdots \\ C'A^p \end{bmatrix} = n \quad (21)$$

(20) の最後の式は観測できる状態変数  $y'$  によって次のように表わすことができる。

$$\dot{y}^p = -\sum_{i=0}^{p-1} A'_i u^{(i)} - \sum_{i=0}^p B'_i y'^{(i)} + Gv \quad (22)$$

ただし,  $F_i (i=0, \dots, p)$ ,  $A'_i (i=0, \dots, p-1)$ ,  $B'_i (i=0, 1, \dots, p)$  の間には次の関係式が成り立たなければならない。

$$[C'^T, A^T C'^T, \dots, (A^T)^p C'^T] \begin{bmatrix} B_0'^T \\ B_1'^T \\ \vdots \\ B_p'^T \end{bmatrix} = F_0^T \quad (23)$$

$$A'_i = F_{i+1} - \sum_{j=i+1}^p B'_j C' A^{j-i-1} B, \quad i=0, 1, \dots, p \quad (24)$$

ただし,  $A'_i$  は  $m \times m$ ,  $B'_j$  は  $m \times n'$  の行列であり,  $T$  は転置を表わす。

上記のような構造をもつ  $p \times m$  コの積分器を含んだ動的補償器をシステムに導入することによって, 観測できる状態変数のみで, システムの制御が可能であることが知られている。ここではその詳細については触れない。

### 2.3 出力による Decoupling<sup>4)</sup>

以上の論議をまとめると, 問題となるシステム (1), (2), (19) に (20) のような構造を持つ動的補償器を導入してシステムの拡張を行なえば, 出力 (観測できる状態変数) フードバックによる decoupling 制御が可能となる。拡張されたシステムを簡潔に表現するために次の新しい記号を導入する。

$$n_a = n + m \times p, \quad I: m \times m \text{ 単位行列}$$

$$A_a = \begin{bmatrix} A, B, 0, \dots, 0 \\ 0, 0, I, \dots, 0 \\ \vdots \\ 0, 0, 0, \dots, I \\ 0, 0, 0, \dots, 0 \end{bmatrix}, \quad n_a \times n_a \quad (25)$$

$$B_a = \begin{bmatrix} 0 \\ \vdots \\ 0 \\ I \end{bmatrix}, \quad n_a \times m \quad (26)$$

$$C_a = [C, 0, \dots, 0], \quad m \times n_a \quad (27)$$

$$\bar{u} = [u^1, u^2, \dots, u^p], \quad m \times (m \cdot p) \quad (28)$$

$$x_a = \begin{bmatrix} x \\ \bar{u} \end{bmatrix} \quad (29)$$

$$F_a = [F_o, F_1, \dots, F_p], \quad m \times n_a \quad (30)$$

$$G = G_a \quad (31)$$

上記の記号を用いれば、拡張されたシステムは次のように表わすことができる。

$$\dot{x}_a = A_a x_a + B_a v_a \quad (32)$$

$$y_a = C_a x_a \quad (33)$$

$$v_a = F_a x_a + G_a v \quad (34)$$

すなわち、上記の表現によれば、このシステムの decoupling 問題は明らかに状態フィードバックによる decoupling 問題となり、Gilbert の理論を直接応用することができる。なお、与えられたシステムと拡張されたシステムの間には次の関係が成り立つ。

$$d_{ai} = d_i + p \quad (35)$$

$$D_a = D \quad (36)$$

$$A_a^* = A^* [A^p B, A^{p-1} B, \dots, AB, B] \quad (37)$$

以上の議論をまとめた、出力による decoupling についての計算手順を Appendix に示す。

### 3. 原子炉モデル

計算に用いた原子炉のモデルは Fig. 1 に示すように原子炉を概念的に 3 領域に分け、その領域間に中性子のもれによる coupling があるものとした。また各領域の状態を一点近似モデルを用いて次の関係式で記述した。

$$\left. \begin{aligned} \dot{x}_i &= \frac{-2\gamma_{ii} - \beta_i}{A_i} x_i + \sum_{j \neq i} \frac{\gamma_{ij}}{A_j} x_j + \lambda_i x_{i+3} - \frac{n_i^0}{A_i} b_i x_{i+6} + \frac{n_i^0}{A_i} x_{i+9} \\ \dot{x}_{i+3} &= \frac{\beta_i}{A_i} x_i - \lambda_i x_{i+3} \\ \dot{x}_{i+6} &= l_i x_i - m_i x_{i+6} \\ \dot{x}_{i+9} &= x_{i+12} \\ \dot{x}_{i+12} &= u_i - \alpha_i x_{i+12} \end{aligned} \right\} \quad (38)$$

ただし  $x_i$ ; 領域  $i$  の中性子密度  
 $x_{i+3}$ ; 領域  $i$  の遅発中性子先行核濃度  
 $x_{i+6}$ ; 領域  $i$  の炉心温度  
 $x_{i+9}$ ; 領域  $i$  の印加反応度  
 $x_{i+12}$ ; 領域  $i$  の制御棒挿入速度  
 $u_i$ ; 領域  $i$  の制御関数  $i=1, 2, 3$

また上式で性いた各パラメータはそれぞれ次のものを表わす。

$\gamma_{ij}$ ; 領域  $i$  から  $j$  への結合係数  
 $\gamma_{ii}$ ; 領域  $i$  の自己結合係数  
 $\beta_i$ ; 領域  $i$  の遅発中性子発生比率  
 $A_i$ ; 領域  $i$  の即発中性子寿命 (sec)  
 $\lambda_i$ ; 領域  $i$  の遅発中性子先行核の崩壊定数 (/sec)  
 $n_i^0$ ; 領域  $i$  の定常出力値 (MW)

$b_i$ ; 領域  $i$  の反応度の温度係数 (/deg)

$l_i$ ; 領域  $i$  の出力から温度へのフィードバック係数 (deg/MW·sec)

$m_i$ ; 領域  $i$  の熱除去係数 (/sec)

$\alpha_i$ ; 領域  $i$  の制御棒駆動機構の時定数の逆数 (/sec)

このモデルでは decouple したい出力を各領域の中性子密度とし、入力には各領域にもうけた制御棒駆動装置への電気信号とした (Fig. 2 参照)。また、観測できない状態変数を各領域の遅発中性子先行核濃度とした。システムに導入する動的補償器のモデルは前章で述べた (20) 式の関係式で表わされるものを用い、この動的補償器への入力は原子炉の観測できる状態変数と入力制御関数とし、出力は原子炉の各領域にもうけられた制御棒駆動装置への電気信号とした。原子炉システムと動的補償器の関係を Fig. 3 に簡単に示す。

#### 4. 計算結果

計算に用いた原子炉の各パラメータについて、各領域共通に次のものを用いた。

$$\begin{aligned} \beta &= 0.049 & b &= 0.001/\text{deg} \\ \lambda &= 0.44/\text{sec} & n^0 &= 30 \text{ MW} \\ A &= 0.001 \text{ sec} & \tilde{\gamma} &= 0.018 \\ l &= 10 \text{ deg}/(\text{MW}\cdot\text{sec}) & \alpha &= 14/\text{sec} \\ m &= 10/\text{sec} \end{aligned}$$

原子炉のシステムを表わす行列  $A, B, C$  は上記のパラメータの値を (38) に代入して得られ、これらをもとに計算を始める。この章で、二、三の計算結果を示す。最初に、与えられた原子炉システムに decoupling 制御が存在するかどうかを判定するために、 $D$  の計算を行なうと次の結果が得られた。

$$D = \begin{bmatrix} 3 \times 10^5 & 0 & 0 \\ 0 & 3 \times 10^5 & 0 \\ 0 & 0 & 3 \times 10^5 \end{bmatrix}$$

この  $D$  行列は正則であるから、与えられた原子炉システムは decouple 可能なことが判る。

次に、この原子炉システムに何個の積分器を含んだ動的補償器を導入すれば、出力による decoupling 制御が可能であるかを調べるために  $p$  を計算した。その結果  $p=1$  という値が得られ、 $p \times m=3$  の積分器から成る動的補償器によって、この制御が可能となる。拡張したシステムの次元は  $15+3=18$  となり  $A_a, B_a, C_a$  はそれぞれ (25)~(27) に従って構成して得られる。

拡張されたシステム  $S_a\{A_a, B_a, C_a\}$  に次のような制御 ( $F_a = -D_a^{-1}A_a^*$ ) を加えることによってシステムは  $\bar{S}_a\{A_a - B_a D_a^{-1}A_a^*, B_a D_a^{-1}, C_a\} = \bar{S}_a\{\bar{A}_a, \bar{B}_a, \bar{C}_a\}$  で表わされる ID システムとなる。

Table 1. (ただし、\*と\*との間が行列の一行に相当する。以下同様)

*	2.605D+05	-1.303D+05	-1.303D+05	-1.964D+02	9.834D+01	9.834D+01
	1.361D+05	-6.817D+04	-6.817D+04	-1.338D+08	6.700D+07	6.700D+07
	2.350D+05	-1.174D+05	-1.174D+05	-4.230D+02	1.800D+02	1.800D+02
*	-1.303D+05	2.605D+05	-1.303D+05	9.834D+01	-1.964D+02	9.834D+01
	-6.817D+04	1.361D+05	-6.817D+04	6.700D+07	-1.338D+08	6.700D+07
	-1.174D+05	2.350D+05	-1.174D+05	1.800D+02	-4.230D+02	1.800D+02
*	-1.303D+05	-1.303D+05	2.605D+05	9.834D+01	9.834D+01	-1.964D+02
	-6.817D+04	-6.817D+04	1.361D+05	6.700D+07	6.700D+07	-1.338D+08
	-1.174D+05	-1.174D+05	2.350D+05	1.800D+02	1.800D+02	-4.230D+02

(3 × 18)

ID システム  $\bar{S}_a\{\bar{A}_a, \bar{B}_a, \bar{C}_a\}$  を次のような座標変換行列  $T_a$  によって CD システム  $\hat{S}_a\{T_a \bar{A}_a, T_a^{-1}, T_a \bar{B}_a, \bar{C}_a T_a\} = \hat{S}_a\{\hat{A}_a, \hat{B}_a, \hat{C}_a\}$  へ変換できる。



極の位置は、支配極として  $-0.5 \pm i\sqrt{3}/2$ , その他の極を  $-100, -150, -0.44, -10$  とした。但し, decouple されたシステムを解析した結果, このシステム  $S_i$  には 2 個の固定された零点 ( $-0.44, -10$  の位置) が存在していることが判ったので, この零点に極を一致させた。この制御パラメータは初めの拡張されたシステム  $S_i\{A_a, B_a, C_a\}$  から見たとき, (17) 式の右辺の 2 項目に相当し, 次のように計算された。

Table 4.

*	1.1880+05	-5.9460+04	-5.9460+04	-8.9060+01	4.5370+01	4.5370+01
	6.1740+04	-3.1450+04	-3.1450+04	-6.0680+07	3.0910+07	3.0910+07
*	1.0700+05	-5.4180+04	-5.4180+04	-3.0100+02	0.0	0.0
	-5.9460+04	1.1880+05	-5.9460+04	4.5370+01	-8.9060+01	4.5370+01
	-3.1450+04	6.1740+04	-3.1450+04	3.0910+07	-6.0680+07	3.0910+07
	-5.4180+04	1.0700+05	-5.4180+04	0.0	-3.0100+02	0.0
*	-5.9460+04	-5.9460+04	1.1880+05	4.5370+01	4.5370+01	-8.9060+01
	-3.1450+04	-3.1450+04	6.1740+04	3.0910+07	3.0910+07	-6.0680+07
	-5.4180+04	-5.4180+04	1.0700+05	0.0	0.0	-3.0100+02

( 3 × 18 )

したがって, システムを decouple し, かつ decouple されたおのおののシステムに課せられた制御仕様を満足するような制御パラメータは式 (17) より次のように計算された。

Table 5.

*	-1.4170+05	7.0800+04	7.0800+04	1.0730+02	-5.2970+01	-5.2970+01
	-7.4390+04	3.6710+04	3.6710+04	7.3120+07	-3.6090+07	-3.6090+07
*	-1.2800+05	6.3180+04	6.3180+04	1.2200+02	-1.8000+02	-1.8000+02
	7.0800+04	-1.4170+05	7.0800+04	-5.2970+01	1.0730+02	-5.2970+01
	3.6710+04	-7.4390+04	3.6710+04	-3.6090+07	7.3120+07	-3.6090+07
	6.3180+04	-1.2800+05	6.3180+04	-1.8000+02	1.2200+02	-1.8000+02
*	7.0800+04	7.0800+04	-1.4170+05	-5.2970+01	-5.2970+01	1.0730+02
	3.6710+04	3.6710+04	-7.4390+04	-3.6090+07	-3.6090+07	7.3120+07
	6.3180+04	6.3180+04	-1.2800+05	-1.8000+02	-1.8000+02	1.2200+02

( 3 × 18 )

以上の decoupling 制御を出力 (観測される状態変数) によって行なわせるために, 動的補償器の各パラメータを式 (23), (24) より決定する。その結果を以下に示す。

Table 6.

$B_0^{\dagger}$ :	*	1.3730+03	-6.7400+02	-6.7400+02	-1.2190+03	5.9790+02	5.9790+02
		-5.5590+04	2.6730+04	2.6730+04	-1.2800+05	6.3180+04	6.3180+04
	*	-6.7400+02	1.3730+03	-6.7400+02	5.9790+02	-1.2190+03	5.9790+02
		2.6730+04	-5.5590+04	2.6730+04	6.3180+04	-1.2800+05	6.3180+04
	*	-6.7400+02	-6.7400+02	1.3730+03	5.9790+02	5.9790+02	-1.2190+03
		2.6730+04	2.6730+04	-5.5590+04	6.3180+04	6.3180+04	-1.2800+05

( 3 × 12 )

$B_1^{\dagger}$ :	*	2.4390+02	-1.2040+02	-1.2040+02	0.0	0.0	0.0
		0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	*	-1.2040+02	2.4390+02	-1.2040+02	0.0	0.0	0.0
		0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	*	-1.2040+02	-1.2040+02	2.4390+02	0.0	0.0	0.0
		0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

( 3 × 12 )

$A_0^{\dagger}$ :		1.2200+02	-1.8000+02	-1.8000+02
		-1.8000+02	1.2200+02	-1.8000+02
		-1.8000+02	-1.8000+02	1.2200+02

( 3 × 3 )

## 5. ま と め

以上の計算により, 初めに与えられた原子炉システムを動的補償器を用いた出力 (観測される状態変数) フィードバックによって decouple できることが確かめられ, このことを可能にする decoupling 制御を得ることができた。decouple されたおのおのの領域の制御設計は, 今回は極の配置によるものをとったが, 最適制御設計を試みることも可能である。また, この計算手法は本稿で用いた原子炉モデルばかりでなく, 他のシステムへも応用できる。

オブザーバーによるものの結果と比較すると、動的補償器によるものの方が制御パラメータの値が約一桁ほど大きくなっている。すなわち、動的補償器によるものは、システムに補償器を導入することによって次元が大きくなった“拡張されたシステム”において decoupling 問題を考えなければならない。これに対し、オブザーバーによるものは、システムそれ自身の制御設計とオブザーバーの設計とを独立して行なえるため、システムの次元を変えて decoupling 問題を考える必要がない。さらに、システムを ID システムにするための制御 ((5) 式) に注目すると、それはシステムパラメータをシステムの次元の大きさにほぼ比例する回数だけ掛け合わせているもの (A<sub>0</sub>) を用いている。したがって、システムパラメータの値が大きければ (適当なスケール変換を行なっても)、扱うシステムの次元が大きくなるほど、ID システムにするための制御パラメータの値が大きくなる。本研究のように扱うシステムパラメータの中に大きな値を含むような場合は、動的補償器を導入してシステムを拡張しただけ制御パラメータの値が大きくなり、上記のような結果が得られる。以上より、扱うシステムにおいて、あるシステムパラメータが大きい値をもつ場合には、オブザーバーを用いた方が動的補償器によるものよりも得策であることが判る。一方、システムパラメータの値が同程度であり大きくない場合には、動的補償器によるものの結果とオブザーバーによるものとの間にはさほどの違いはないであろう。したがって、このような場合には、動的補償器によるものの方が、decouple 計算の手順を一度確立しておけば、オブザーバーのように同時に2つの制御設計を考えなければならないという繁雑さから逃がれることができるという点で有利である。

#### 参 考 文 献

- 1) E. G. Gilbert: SIAM J. Contr., 7 (1969), p. 50.
- 2) P. L. Falb: IEEE Trans. AC-12 (1969), p. 651.
- 3) W. M. Wonham: SIAM J. Contr., 8 (1970), p. 1.
- 4) J. W. Howze: IEEE Trans, AC-16 (1970), p. 660.
- 5) G. V. S. Raju: IEEE Trans, NS-20 (1970), No. 1.
- 6) J. B. Pearson: IEEE Trans, AC-14 (1969), p. 135.

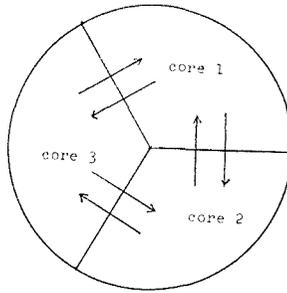


Fig. 1. Neutron coupling between cores.

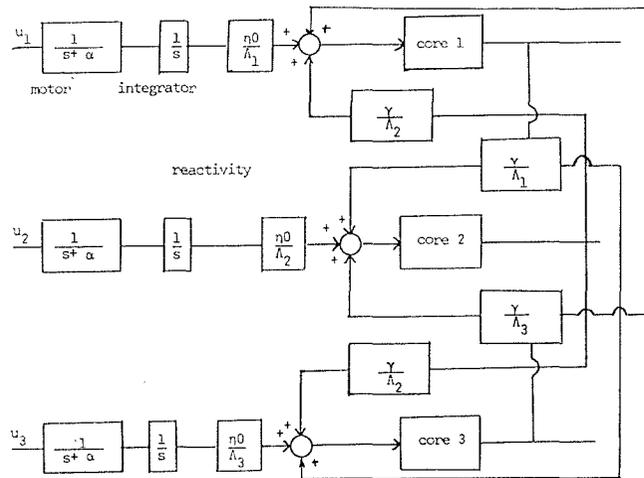


Fig. 2. Block diagram illustrating the control motor and coupling between cores.

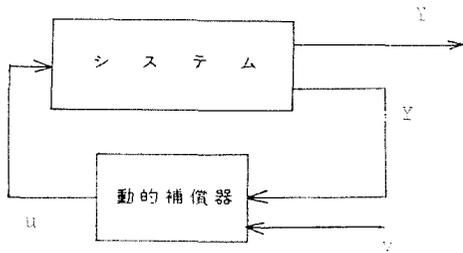


Fig. 3.

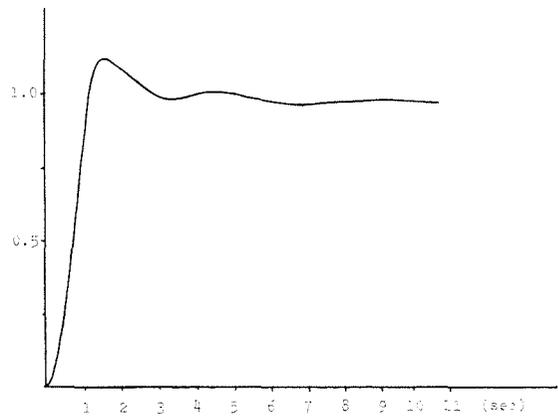


Fig. 4. Step response.

Appendix

