スプール弁形流体論理素子の 論理数学的考察*

研 野 和 人**・井 上 久 仁 子**

Spool Type Valve as a Fluid Logic Element and Logic Circuits Composed of Them

Kazuto TOGINO and Kunio INOUE

Spool type valve, which is the selector valve with three ports connection and two position, is considered one of fluid logic elements. This fluid logic element is a "conditioned disjunction" logic element for which the Boolean expression is $X=(A\wedge C)\vee(B\wedge\bar{C})=(ABC)$. The "conditioned disjunction" is one of universal decision elements. The main objective of this paper is to present a technique which can be used to synthesize directly a n -variable logic function by the fluid logic element. When a n -variable logic function is given in the truth table, the paper describes how to obtain an expression including "conditioned disjunction" logic operations only. The paper also discusses how to derived by the technique simplified circuits of such basic memory elements as flip-flop and registers.

1. ま え が き

スプール弁形流体論理素子の中で、「条件付き離接 (Conditioned Disjunction)」の論理演算 (以後 CD の論理演算とかく) を行なうものについて、筆者らはその性質をしらべて、これを万能素子化することを試みてきた⁽¹⁾⁽²⁾。一方この素子を、自動組立機械や、ガソリンの自動販売機などの制御用素子に使用する試みもあり、その可能性が立証されている⁽³⁾⁽⁴⁾⁽⁵⁾。

本報告では、ある論理関数を CD 論理演算のみによって展開するために必要な手法を明らかにする。すなわち、任意個の入力の組合わせ回路が、CD 論理演算を行なう万能論理素子 (以後 CD 論理素子とかく) であるスプール弁形論理素子を用いた論理回路にいかに関展開されるかを明らかにする。この展開を CD 論理演算による標準展開とよぶ。

Righi は、CD 論理演算についての性質を明らかにしており⁽⁶⁾、これがわれわれの研究における有効な資料となった。

本論文によって、スプール弁形の流体論理素子の論理数学的な解析が明らかにされ、これを万能論理素子

と称する意図が明りょうになるであろう。

この研究は、シーケンス制御回路を CD 論理素子を用いて作る場合に、その回路を電子計算機で自動設計しようという研究の一端である。そのため真理値表であたえられている論理関数を、CD 論理演算によって表わすまでの電子計算機プログラムを作成した。その要領は、本報告の CD 論理演算による標準展開に基づいている。

2. CD 論理演算の性質⁽¹⁾⁽⁶⁾

CD 論理演算をもつスプール弁形論理素子の 1 つは、Fig. 1 に示すものが代表的なものである。同図 (a) において C に高圧 P_h が加わると A と X がつながり、 C に低圧 P_l が加わると B と X がつながる。ここに $P_h > P_m > P_l$ が成り立つことが必要である。これを同図 (b) のごとく記号化してとり扱うことにする。同図 (c) はスプール弁形流体論理素子と等価なリレー回路である。

これは次式の CD 論理演算を行なう。

$$\begin{aligned} X &= (ABC) \\ &= (A\wedge C)\vee(B\wedge\bar{C}) \quad \dots\dots(1) \end{aligned}$$

上式の変数 A, B, C, X が真値をとるときは、Fig. 1 においては高圧 P_h が加わり、偽値をとるときは低圧 P_l が加わるものとする。また常数 1 は高圧 P_h , 0

* 昭和 40 年 8 月 24 日原稿受付、機械試験所研究発表会で発表 (昭 40. 6. 17)

** 機械試験所

Fig. 1 Spool type valve fluid logic element

は低圧 P_t が加わることを意味している。

この CD 論理演算には、つぎのような (2), (3) 式が成立することが容易にわかる。

- (a) $(10C) = C$
 (b) $(01C) = \bar{C}$
 (c) $(11C) = 1$
 (d) $(00C) = 0$
 (e) $(1BC) = (B \vee C)$
 (f) $(0BC) = (B \wedge \bar{C})$
 (g) $(A1C) = (A \vee \bar{C})$
 (h) $(A0C) = (A \wedge C)$
 (i) $(A\bar{A}C) = (A \wedge C) \vee (\bar{A} \wedge \bar{C})$
 (j) $(\bar{A}AC) = (\bar{A} \wedge C) \vee (A \wedge \bar{C})$
 (k) $(AAC) = A$
 (l) $(ABA) = (A \vee B)$
 (m) $(ABB) = (A \wedge B)$
 (n) $(AAA) = A$
 (a) $(\overline{ABC}) = (\bar{A}\bar{B}\bar{C})$
 (b) $(ABC)^* = (B^*A^*C^*)$
-(2)
-(3)

ここに、 f^* は論理関数 f と双対な論理関数を表わす。

(2) 式からつぎの関係式を導くことができる。

- (a) $(\bar{A}0C) = (0CA)$
 (b) $(1\bar{B}C) = (C1B)$
-(4)

さらに上式 (2), (3), (4) において、論理変数 A, B, C が、ある任意の論理関数 F, G, H である場合についても成立する。たとえば (3) 式については、

- (a) $(\overline{FGH}) = (\bar{F}\bar{G}\bar{H})$
 (b) $(FGH)^* = (G^*F^*H^*)$
-(5)

が成立することも容易にわかる。

3. 任意の論理関数の CD 論理演算による標準展開

Fig. 2 は、よく知られた 3 個の継電器による切換えツリー (transfer tree) 回路である。A, B, C の状態

の可能な組み合わせは図示するごとく 8 個であり、その出力端子 $a_1, a_2, \dots, a_8$ は、A, B, C のとる状態によって P 点と接続することを示している。またツリー回路の各接点の動作は CD 論理演算に相当していることから、Fig. 2 の切換えツリー回路を CD 論理演算を用いて、下記のように表わすことができる。

$$f(A, B, C) = (((a_1a_2A)(a_3a_4A)B)((a_5a_6A)(a_7a_8A)B)C) \quad \dots(6)$$

Fig. 2 Transfer tree on three variable A, B and C

A	1	0	1	0	1	0	1	0
B	1	1	0	0	1	1	0	0
C	1	1	1	1	0	0	0	0
$f(A, B, C)$	a_1	a_2	a_3	a_4	a_5	a_6	a_7	a_8

Table 1 The truth table on three variables

この (6) 式は、Table 1 に示す真理値表に対応することができるであろう。したがって、 a_i に 0 か 1 を入れた真理値表であたえられる組合せ論理関数は、(6) 式の a_i に 0, 1 を代入することによって求めうることになる。しかもその結果えられるものは、CD 論理演算のみを有する。

たとえば、 a_1, a_2, a_3, a_5 が 1 となる回路を考える。これは多数決論理関数 f_m をあたえるものである。(6) 式に $a_i = 0, 1$ を代入し (2) 式を用いれば

$$f_m = (((11A)(10A)B)((10A)(00A)B)C) = ((1AB)(A0B)C) \quad \dots(7)$$

をうることになる。上式を AND, OR, NOT でかけば

$$f_m = ((A \vee B) \wedge C) \vee (A \wedge B \wedge \bar{C}) = (A \wedge B) \vee (B \wedge C) \vee (C \wedge A)$$

となり、衆知の加法標準展開した多数決関数である。

以上のことから、3変数の任意の関数の真理値表が与えられるならば、(6)式を使って、CD論理演算で展開できることがあきらかとなった。

A_1	1	0	1	0		1	0
A_2	1	1	0	0		0	0
$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$		$\vdots$	$\vdots$
A_j	1	1	1	1		0	0
$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$		$\vdots$	$\vdots$
A_{n-1}	1	1	1	1		0	0
A_n	1	1	1	1		0	0
f_n	a_1	a_2	a_3	a_4 a_i		a_{p-1}	a_p

Table 2 The truth table on n variables

さらに (6) 式は、 n 変数の論理関数 f_n にまで拡張できることはあきらかであろう。 n 変数の真理値表が

Table 2 のようにあたえられた場合には、

$$f_n = (((\dots(((a_1 a_2 A_1)(a_3 a_4 A_1) A_2)((a_5 a_6 A_1)(a_7 a_8 A_1) A_2) A_3)((a_9 a_{10} A_1)(a_{11} a_{12} A_1) A_2) A_4)((a_{13} a_{14} A_1)(a_{15} a_{16} A_1) A_2) A_3) A_4) \dots (a_{p-1} a_p A_1) A_2) \dots A_{n-1}) A_n \quad \dots (8)$$

と展開することができる。上式の a_i に求めたい n 変数関数の真理値表で与えられる 0 か 1 を代入することにより f_n の CD 論理演算による展開式をうる。

(8) 式からえられた f_n は、つぎのように展開されているであろう。

$$f_n = (FGh)$$

ここに F, G, h を含まない $(n-1)$ 個、あるいはそれ以下の論理変数の論理関数
 h : 論理変数

これを CD 論理演算による標準展開とよぶ。

すなわち、 n 変数の関数 f_n は、 $(n-1)$ 変数を含む 2つの論理関数と 1 変数により作られる CD 論理演算で実現できる。したがって、CD 論理演算による標準展開は、逐次展開できる特長を有する。

4. スプール弁形流体論理素子による組合せ回路の設計法と自己双対関数

前節にのべたことを容易に理解するために、スプール弁形流体論理素子による設計例を示す。

(例 1) 3 変数の多数決関数については、前節の (7) 式によって示される。これを Fig. 1 に示したスプール弁形流体論理素子を用いれば、Fig. 3 のようになる。

この関数は自己双対な関数であることは、(5), (7)

Fig. 3 The circuit of the majority function $f_m = ((1 AB)(A 0 B)C)$

式を用いてつぎのように明らかにされる。

$$\begin{aligned} f_m^* &= (((1 AB)(A 0 B)C))^* \\ &= ((A 0 B)^*(1 AB)^*C) \\ &= ((1 AB)(A 0 B)C) \\ &= f_m \end{aligned}$$

(注) $A^* = A$, $1^* = 0$ である。

自己双対な論理関数であるための条件は $f_n = (FGh)$ においては、

$$F^* = G, \quad G^* = F$$

である。このとき $f_n^* = f_n$ となる。

(例 2) Table 3 のごとき真理値表が示す論理関数を、スプール弁形論理素子で設計すると考える。

A	1	0	1	0	1	0	1	0
B	1	1	0	0	1	1	0	0
C	1	1	1	1	0	0	0	0
f	0	1	0	0	1	1	0	1

Table 3 The truth table of the function with self-duality

標準展開を利用し、

$$\begin{aligned} f &= (((01 A)(00 A)B)((11 A)(01 A)B)C) \\ &= ((01 A)0 B)(1(01 A)B)C) \\ &= ((\bar{A} 0 B)(1 \bar{A} B)C) \end{aligned}$$

をえ、さらに (4) 式を代入し

$$f = ((0 BA)(B 1 A)C)$$

をうる (Fig. 4)。

上式においても

$$F^* = (0 BA)^* = (B 1 A) = G$$

が成立し、自己双対関数であることがわかる。

(例 3) Tabel 4 のごとき真理値表が示す論理関数を、スプール弁形論理素子で設計するとしよう。

標準展開を利用し、

Fig. 4 The circuit of the function given by Table 3, $f = ((0 BA)(B1 A)C)$

A	1	0	1	0	1	0	1	0
B	1	1	0	0	1	1	0	0
C	1	1	1	1	0	0	0	0
f	0	1	1	1	1	1	1	0

Table 4 The truth table of a function which has the relation
(dual of f) = (negation of f)

$$\begin{aligned} f &= (((01 A)(11 A)B)((11 A)(10 A)B)C) \\ &= (((01 A)1 B)(1 AB)C) \\ &= ((\bar{A} 1 B)(1 AB)C) \end{aligned}$$

をうる。これは Fig. 5 のごとく、4 本のスプール弁形流体論理素子で実現される。

上式においては

$$\left. \begin{aligned} F^* &= (\bar{A} 1 B)^* = (0 \bar{A} B) \\ &= (\bar{1} AB) = \bar{G} \\ G^* &= \bar{F} \end{aligned} \right\} \dots\dots (10)$$

なる関係が成立する。このような関係，すなわち $f_n = (FGh)$ なる論理関数において，

$$F^* = \bar{G}, \quad G^* = \bar{F}$$

Fig. 5 The circuit of example 3
 $f = ((\bar{A} 1 B)(1 AB)C)$

が成立する論理関数を自己反双対な論理関数といっている。

この場合には，明らかに

$$\begin{aligned} f_n^* &= (FGh)^* = (G^*F^*h) \\ &= (\bar{G}^*\bar{F}^*h) = (FGh) = f_n \end{aligned}$$

が成立する。

5. フリップ・フロップ素子

フリップ・フロップ (FF という記号を用いる) 素子とは，セット入力 (入力 S とかく) によって状態を 1 (オンの状態) に保ち，リセット入力 (入力 R とかく) によって状態を 0 (オフの状態) に保つ記憶素子である。これはメカニカルなスイッチと考えることができる。

Fig. 6 Black box of flip-flop

この FF 素子を論理的に Fig. 6 を参照して考察するとつぎのようになる。いま，FF 素子の出力を Z とかき，FF 素子の状態を I とかきあらわすしよう。FF 素子の状態の推移を考えると Table 5 のようになる。すなわち $I=S=R=Z=0$ の初期状態は， $S=1$ を印加することによって $Z=1$ となり，つづいて $I=1$ となる。これを $S=0$ においても保持するために， I をフィードバックして入力として印加することにより， $I=1, S=R=0, Z=1$ の状態で安定させる。つぎに記憶を 1 より 0 にするため $R=1$ を印加するときには， $Z=0$ となり，つづいて $I=0$ となって， $R=0$ になったときに， $I=S=R=Z=0$ の初めの状態に安定する。

FF 素子は Fig. 6 に示すように， I, S, R を入力とし， Z を出力とする素子で， I がフィードバック入力であるものと考えることができる。

Table 5 を真理値表としてまとめると，Table 6 のようになる。この表において， $I=S=R=1$ の入力状態と， $I=0, S=R=1$ の入力状態は Table 5 にないものであるから，これを不発起状態と考えてよい。し

I	$0 \rightarrow 0 \rightarrow 1 \rightarrow 1 \rightarrow 0 \rightarrow 0$
S	$0 \rightarrow 1 \rightarrow 1 \rightarrow 0 \rightarrow 0 \rightarrow 0$
R	$0 \rightarrow 0 \rightarrow 0 \rightarrow 0 \rightarrow 1 \rightarrow 1$
Z	$0 \rightarrow 1 \rightarrow 1 \rightarrow 1 \rightarrow 0 \rightarrow 0$

Table 5 The sequence of flip-flop

I	1	0	1	0	1	0	1	0
S	1	1	0	0	1	1	0	0
R	1	1	1	1	0	0	0	0
FF_1	0	0	0	0	1	1	1	0
FF_2	1	0	0	0	1	1	1	0
FF_3	0	1	0	0	1	1	1	0
FF_4	1	1	0	0	1	1	1	0

Table 6 The truth table of flip-flop

たがって Table 6 のように 4 種類の FF 素子がえられることになる。

Table 6 の真理値表から、CD 論理演算による標準展開を利用し

$$\begin{aligned}
 FF_1 &= ((00 I) (00 I) S) ((11 I) (10 I) S) R \\
 &= (0(1 IS) R) \\
 FF_2 &= ((I 0 S) (1 IS) R) \\
 FF_3 &= ((\bar{I} 0 S) (1 IS) R) \\
 FF_4 &= (S(1 IS) R)
 \end{aligned}
 \quad \dots\dots(11)$$

「」をうる。

Fig. 7 The desirable circuits of flip-flop

これに、つぎの CD 論理演算の重要な性質を利用することによって簡単化された、あるいは等価な論理式を導くことができる。

CD 論理演算には、つぎの性質があることは容易に証明できる。

$$((FGH)(IJH)K) = ((FIK)(GJK)H) \dots(12)$$

ここに F, G, H, I, J, K は、論理変数でも論理関数でもよい。

上述の性質および (2) 式中のつぎのような関係

$$(1 AB) = (1 BA), \quad (A 0 B) = (B 0 A)$$

$$(00 A) = 0, \quad (11 A) = 1$$

$$(10 A) = (AAA) = (AAB) = A$$

を (11) 式に利用して、次式をうるることができる。

$$\begin{aligned}
 FF_1 &= (0(1 IS) R) \\
 &= (0(1 SI) R) \\
 FF_2 &= ((I 0 S) (1 IS) R) \\
 &= ((I 1 R) (0 IR) S) \\
 &= ((S 0 I) (1 SI) R) \\
 FF_3 &= ((\bar{I} 0 S) (1 IS) R) \\
 &= ((0 SI) (1 SI) R) \\
 &= ((01 R) SI) \\
 FF_4 &= (S(1 IS) R) \\
 &= (1(0 IR) S) \\
 &= (S(1 SI) R) \\
 &= ((S 1 R) SI)
 \end{aligned}
 \quad \dots\dots(13)$$

上式から明らかなように、 FF_3 は標準展開したもの

からえたものよりも簡単化ができる。(13)式から直ちにスプール弁形流体論理素子で FF 素子を実現しようが、このうち望ましいもののみを Fig. 7 に示してある。

望ましくないものというのは、たとえば、 FF_1 についての 2 つの式の中の前者は、Fig. 8 のごとく実現しようが、セット

Fig. 8 The undesirable circuit of flip-flop

入力 S がなくなったとき ($S=0, R=0$) 記憶 1 を保持するためのフィードバック・ループ中に 1 が存在しないからである。いいかえれば、ループにもれが存在すると、保持 (記憶) が失なわれることになり、FF 素子として安定とはいえない。ただし、さらにもう 1 本 CD 素子を加えて、(10(0(1IS)R)) にすればよいが、素子がます点で Fig. 7 の FF_1 に比して望ましくない。

6. 置数用記憶素子 (レジスタ素子)

レジスタ素子というのは、置数したい入力 A (0 か 1 かの値) を置数パルス B によって記憶する素子をいう (REG 素子とかくことにする)。

この REG 素子を実現するには、記憶素子 FF を用い、この FF 素子の入力 S と入力 R を、それぞれ次式のようにすればよいことは、容易に理解できる。(Fig. 9 (a) 参照)

$$S = (A \cdot 0 \cdot B)$$

$$R = (\bar{A} \cdot 0 \cdot B) = (0 \cdot B \cdot A)$$

たとえば FF 素子として FF_3 を用いるならば、Fig. 9 (b) のようになる。さらに上式の入力 R について

$$\bar{R} = (A \cdot 1 \cdot B)$$

なる関係を利用すれば、Fig. 9 (b) を参照して、Fig. 9 (c) のように 3 本の CD 論理素子によって実現できる。

上述の REG 素子においては、FF 素子をそのまま利用しているが、 S と R がともに A と B の関数であるので、REG 素子は I, A, B の関数となることがわかる。これを真理値表で示すと、Table 7 となり、しかも、これは $S=R=1$ の状態がないから $FF_1 \sim FF_4$ のいずれに対しても成立する。

REG 素子の真理値表から、標準展開を用いて、

$$\begin{aligned} \text{REG} &= ((10 \cdot A) \cdot (11 \cdot A) \cdot B) \\ &= (A \cdot I \cdot B) \end{aligned} \quad \dots\dots(14)$$

となることがわかる。これよりただちに Fig. 10 (a) がえられるが、フィードバックループが記憶中に 1 をもたないので、記憶は不安定である。したがって、Fig. 10 (b) として REG 素子を実現しうる。

$$\text{REG} = (10(A \cdot I \cdot B)) \quad \dots\dots(15)$$

REG 素子の入力 B を $\bar{B}$ に置き換えたとき、入力 S と入力 R は次式となる。

$$\left. \begin{aligned} S &= (A \cdot 0 \cdot \bar{B}) \\ &= (0 \cdot A \cdot \bar{B}) \\ R &= (\bar{A} \cdot 0 \cdot \bar{B}) \end{aligned} \right\} \quad \dots\dots(16)$$

これは置数パルス B がなくなったとき、すなわち $\bar{B}$ パルスで入力 A を記憶するレジスタ素子である。こ

(a) The block diagram of the basic type of register element

(b) A possible register element by FF_3

(c) The simplified version of (b)

Fig. 9 Circuits of register element

I	1	0	1	0	1	0	1	0	
A	1	1	0	0	1	1	0	0	
B	1	1	1	1	0	0	0	0	
S	1	1	0	0	0	0	0	0	$(A \cdot 0 \cdot B)$
R	0	0	1	1	0	0	0	0	$(\bar{A} \cdot 0 \cdot B)$
REG	1	1	0	0	1	0	1	0	refer to table 6

Table 7 The truth table of register element (REG)

の REG 素子を REG* 素子とかくことにすると、(14) の右辺に B の代わりに $\bar{B}$ を用いて直ちに次式をうる。

$$\begin{aligned} \text{REG}^* &= (A\bar{I}\bar{B}) \\ &= (IAB) \end{aligned} \quad \dots\dots(17)$$

(17) 式と (18) 式を比較してみると、互いに双対の関係にあることがわかる。これは Fig. 11 のように CD 論理素子により実現できる。

$$\text{REG}^* = (10(IAB)) \quad \dots\dots(18)$$

(15) 式と (18) 式も双対関係を有している。

REG 素子は、そのままレジスタとして利用されるし、REG 素子と REG* 素子とを Fig. 12 のように接続して、一段のシフトレジスタをうることができる。

Fig. 10 Circuits of register element (REG element)

Fig. 11 The circuit having the relation of duality with register element (REG* element)

Fig. 8 The circuit of shift register

7. FF の入力 S, R が 2 変数の関数である場合の簡単化

前節において FF の入力 S, R が 2 変数 A, B の論理関数である REG 素子は、FF を用いて Fig. 9 のように実現できるが、この基本形は Fig. 10 のように簡単化できることをのべた。これは入力 S, R が、前節のもの以外の 2 変数 A, B の論理関数であるときも成り立つであろう。ただし入力 S, R に用いる 2 変数論

理関数の 1 対 P および Q (ここに P, Q はいずれが入力 S でも入力 R でもよい) が、つぎの条件をみたしているときに限られる。

(条件 I) P と Q について、次式が成立しなくてはならない。

$$(P0Q) = 0$$

(条件 II) P あるいは Q が真値 1 をとる入力変数 A と B の状態は、それぞれ 1 つの状態に限られる。

条件 I と II のもつ意味を、REG 素子における、 P, Q を例にして説明しよう。この場合に P, Q の真値表を作って検討すると Table 8 となり、条件 I および条件 II を満足していることがわかる。

	A B	1 1	0 1	1 0	0 0
P	$(A0B)$	1	0	0	0
Q	$(\bar{A}0B)$	0	1	0	0

Table 8 The truth table of a pair of inputs of REG element

条件 I と II とが満足されない場合には、なぜ不都合なのかを例をあげて説明する。

(例 1) P と Q が $(A\bar{A}B)$ と $(A0B)$ の場合。

条件 I を満足していないことが、 P, Q の真値表からただちにわかる。この場合には P が 1 のときに Q が 1 ということになるので、FF 素子はセットされるべきか、リセットされるべきかが決定できなくなる。また明らかに条件 II も満足していない。

(例 2) P と Q が $(A\bar{A}B)$ と $(\bar{A}0B)$ の場合。

Table 9 に示す真値表から、条件 I は明らかに満足しているが、条件 II は満足していない。この場合には、たとえば P をセット入力 S にし、 Q をリセット入力 R にした場合には、 P も Q も 0 をとる ($A=1, B=0$) 状態は、記憶保持中と考えてさしつかえない。したがって、この状態を P に論理的に加えてえられる新しい P'

$$P' = (A1B)$$

	A B	1 1	0 1	1 0	0 0
P	$(A\bar{A}B)$	1	0	0	1
Q	$(\bar{A}0B)$	0	1	0	0

Table 9 Truth table of a pair of inputs which can not be realized as a memory element

を入力 I, S としてよいことになる。この場合には、

$$\bar{P}' = (\bar{A} 1 B) = (\bar{A} 0 B) = Q$$

という関係式をうる。これは明らかに P を入力 S, Q を入力 R としてえられる記憶素子が、組合せ回路

$$(A 1 B)$$

であることを示している。

逆に P を入力 R, Q を入力 S とする FF 素子については、組合せ回路

$$(\bar{A} A B)$$

であることになる。

上述の 2 つの条件をみたすような 2 変数 A, B の対は、Table 10 から 4 対あることがわかる。

以上の対についての論理式は、つぎのような対になる。

不 可 能	同 族 関 数	A B	1 1	0 1	1 0	0 0	可 能 な 対			
							(a)	(b)	(c)	(d)
×	*	{	1	0	0	0	●	●		
			0	1	0	0	●		●	
			0	0	1	0			●	●
			0	1	1	0				●
			1	1	1	0				
			0	0	0	1		●		●
			1	0	0	1				
			1	1	0	1				
			1	0	1	1				
			0	1	1	1				

Table 10 Input pairs which can be realized as memory elements

Fig. 13 Simplified circuits of memory elements

$$\left. \begin{array}{l} (a) \quad (A0B) \text{ と } (\bar{A}0B) \\ (b) \quad (A0B) \text{ と } (0\bar{A}B) \\ (c) \quad (\bar{A}0B) \text{ と } (0AB) \\ (d) \quad (0AB) \text{ と } (0\bar{A}B) \end{array} \right\} \dots\dots(19)$$

これらについて、前節と同じ手法を用いて、FF の簡単化を行なってみると、(20) 式をうる。(20) 式において (20 a) 式は (19 a) 式の対において左側を S 入力としたもの、(20 a') 式は右側を S 入力としたものである。以下同様である。

$$\left. \begin{array}{l} (a) \quad (AIB) = (10(AIB)) : (\text{REG素子}) \\ (a') \quad (\bar{A}IB) = (10(\bar{A}IB)) \\ (b) \quad ((1IA)(I0A)B) = ((1AI)(A0I)B) \\ (b') \quad ((0IA)(I1A)B) = ((0IA)(1\bar{A}I)B) \\ (c) \quad ((I1A)(I0A)B) = ((B0I)(1BI)A) \\ (c') \quad ((I0A)(1IA)B) = ((A0I)(1AI)B) \\ (d) \quad (IAB) = (10(IAB)) : (\text{REG* 素子}) \\ (d') \quad (I\bar{A}B) = (10(I\bar{A}B)) \end{array} \right\} \dots\dots(20)$$

上式中の右辺は、これらの記憶素子をスプール弁形流体論理素子で実現するために、左辺を変形したものであり、これらは Fig. 13 に示す回路となる。

(19) 式と (20) 式を参照するとき、つぎのような興味ある関係をみいだすことができる。

(19) 式の対における左側の関数を P 、右側の関数を Q とし、各対に対して $P_a, Q_a, \dots, P_d, Q_d$ の記号を用いるとき、(19 a) 式と (19 d) 式の対に対しては、

$$[\bar{P}_a^*] = [Q_d]$$

$$[\bar{Q}_a^*] = [P_d]$$

が存在し、(19 b), (19 c) 式では、それぞれ

$$[\bar{P}_b^*] = [Q_b]$$

$$[\bar{P}_c^*] = [Q_c]$$

の関係がある。この関係は、(20) 式においてつぎの関係の有している。

(a), (a') の関数の双対なものは、それぞれ (d), (d') となる。(b), (b') および (c), (c') については、それぞれ自己双対な関数である。

上述した S 入力、 R 入力においては、 A, B を論理変数として考えてきているが、これら A, B がある論理関数であっても成立することは、容易に導きうる。

む す び

スプール弁形流体論理素子で、CD 論理演算を有する素子を用いて、シーケンス制御回路を設計する場合に必要な n 変数の組合わせ論理関数と記憶素子についてのべた。

- (1) n 変数の組合わせ論理関数を CD 論理演算のみで表わすために、 n 変数の組合わせ論理関数の真理値表による標準展開を定義した。
- (2) この標準展開は、 n 変数の論理関数の真理値表があたえられるとき、わずかな公式を知っていれば全く機械的に行ないうることを例をあげて示した。これは電子計算機のプログラムを開発するのに便利である。
- (3) シーケンス制御回路において必要な記憶素子を、CD 論理演算で実現する方法をのべた。
- (4) CD 論理演算を有する素子を用いた論理回路は、論理積、論理和を介することなく、標準展開よりえた CD 論理演算のみを有する論理式からただちに設計できる利点がある。

本研究は、シーケンス・ダイアグラム（入力の状態と、出力の状態を動作順序に示したもの）があたえられたとき、これよりシーケンス制御回路を設計する方法についての研究に拡張されるであろう。

参 考 文 献

- (1) 研野，井上：ピストン弁形流体論理素子の万能化の論理数学的考察，機械試験所所報，Vol. 8, No. 1, p. 1/9 (1964)
- (2) 研野，井上：ピストン弁形流体論理素子の万能化について，第 3 回計測自動制御学会学術講演会論文集，424 (1964 年 9 月)
- (3) 清水正美，長島三剛：空気圧論理素子を用いた自動機械，第 3 回計測自動制御学会学術講演会論文集，425 (1964 年 9 月)
- (4) 原 美明，尾崎省太郎，伊藤仁一：スプール形切換弁を用いた空気式自動制御機械について，日本機械学会関西支部第 40 期定時総会講演会，前刷 308 (1965 年 3 月)
- (5) K. Togino & K. Inoue : Universal Fluid Logic Element, Control Engng., Vol. 12, No. 5, p. 78/87 (May, 1965)
- (6) Rigo Righi : La Disgiunzione Condizionata Ed Alcune Sue Applicazioni Nell'Algebra Di Commutazione, Note Recensioni Notizie, Anno 12, N. 1-2, p. 30/59 (Gennaio-Aprile, 1963)