

デジタル電子回路

授業開始までしばらくお待ちください。

オンライン視聴できない人へ。

オンラインで受講する人も基本的に一緒です。

自宅ネットワークの事情により、授業のストリーミング配信の視聴が困難な学生は以下の対応をしてください。

- ① この授業のスライドをよく読んで、不明な点は自分で調べるなどして、わかる範囲で内容を理解する。
- ② このページも含め、**必要な部分がすべて理解できたと思うまで以下の2ステップを繰り返す。**
 - ▶ わからない部分を e-mail 等で質問する。(宛先は hiroyuki.kobayashi@oit.ac.jp)
 - ▶ e-mail 等による返信をよく読んで理解する。
- ③ この資料の末尾にある課題を行い、この資料内の方法で (Google Forms で) 提出する。

授業の受講に関して

- 講義資料（スライド等）は**COMMON**に置く。
- 講義は**Google Meet**で行い、録画した講義は**Goole Drive**に置く。

<https://stream.meet.google.com/stream/1d1866da-5bff-4881-96b2-3745413fe31a>



https://drive.google.com/drive/folders/1bT-z3ICQyMYC_5Jv1L29UZYqbOhVG492

- 出席確認レポートは**Google Forms**で提出。(毎回同一 URL)

<https://forms.gle/9ruwtfJg5LQgQNpU7>



- **Slack**を補助的な連絡チャネルとする。必須ではないので使いたくなければ使わなくてもいい。授業に関連したちょっとした（重要でない）追加説明をする。気楽な質問手段としても活用されたい。登録は大学の e-mail アドレスで行うこと。

<https://oitkobayashi.slack.com>

R/S 科デジタル電子回路

Digital Electronics

『Sequential Circuits』



Google Meet

小林裕之・中泉文孝

大阪工業大学 RD 学部システムデザイン工学科・ロボット工学科



OSAKA INSTITUTE OF TECHNOLOGY

5 of 14

a L^AT_EX + Beamer slideshow

順序回路

組み合わせ回路 (これまでの勉強してきたもの)

$$Z =$$

そのときの出力 z が で決まる。

順序回路 (今日から勉強するもの)

$$Z =$$

そのときの出力 z が と で決まる^a。

^a **Mealy 型**という。別に出力が状態だけで決まる **Moore 型**というものもある。

順序回路

組み合わせ回路 (これまでの勉強してきたもの)

$$z = \omega(x)$$

そのときの出力 z が で決まる。

順序回路 (今日から勉強するもの)

$$z =$$

そのときの出力 z が と で決まる^a。

^a **Mealy 型**という。別に出力が状態だけで決まる **Moore 型**というものもある。

順序回路

組み合わせ回路 (これまでの勉強してきたもの)

$$z = \omega(x)$$

そのときの出力 z が **そのときの入力** x で決まる。

順序回路 (今日から勉強するもの)

$$z =$$

そのときの出力 z が と で決まる ^a。

^a **Mealy 型** という。別に出力が状態だけで決まる **Moore 型** というものもある。

順序回路

組み合わせ回路 (これまでの勉強してきたもの)

$$z = \omega(x)$$

そのときの出力 z が **そのときの入力 x** で決まる。

順序回路 (今日から勉強するもの)

$$z = \omega(x, s)$$

そのときの出力 z が $\frac{1}{2}$ と $\frac{1}{3}$ で決まる^a。

^a **Mealy 型**という。別に出力が状態だけで決まる **Moore 型**というものもある。

順序回路

組み合わせ回路 (これまでの勉強してきたもの)

$$z = \omega(x)$$

そのときの出力 z が **そのときの入力** x で決まる。

順序回路 (今日から勉強するもの)

$$z = \omega(x, s)$$

そのときの出力 z が **そのときの入力** x と で決まる ^a。

^a **Mealy 型** という。別に出力が状態だけで決まる **Moore 型** というものもある。

順序回路

組み合わせ回路 (これまでの勉強してきたもの)

$$z = \omega(x)$$

そのときの出力 z が **そのときの入力** x で決まる。

順序回路 (今日から勉強するもの)

$$z = \omega(x, s)$$

そのときの出力 z が **そのときの入力** x と 状態 s で決まる ^a。

^a **Mealy 型** という。別に出力が状態だけで決まる **Moore 型** というものもある。

順序回路の表現～状態遷移図～

解答例:

例題: ペットボトル自販機 ver. 1.0

150 円ペットボトル販売機の順序回路の状態遷移図を示せ。

- 50 円玉のみ投入可。
- 硬貨を 1 枚でも入れたら途中でキャンセル不可。
- 3 枚入った時点で商品を出力する。

順序回路の表現～状態遷移図～

例題: ペットボトル自販機 ver. 1.0

150 円ペットボトル販売機の順序回路の状態遷移図を示せ。

- ・ 50 円玉のみ投入可。
- ・ 硬貨を 1 枚でも入れたら途中でキャンセル不可。
- ・ 3 枚入った時点で商品を出力する。

解答例:



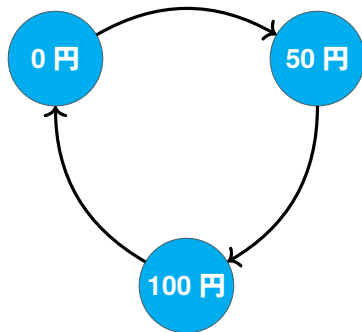
順序回路の表現～状態遷移図～

例題: ペットボトル自販機 ver. 1.0

150 円ペットボトル販売機の順序回路の状態遷移図を示せ。

- 50 円玉のみ投入可。
- 硬貨を 1 枚でも入れたら途中でキャンセル不可。
- 3 枚入った時点で商品を出力する。

解答例:



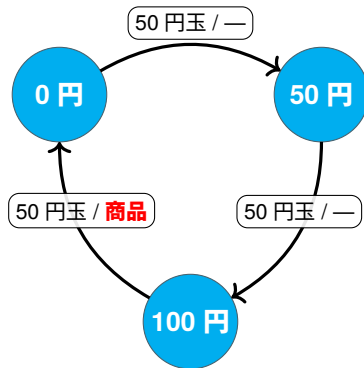
順序回路の表現～状態遷移図～

例題: ペットボトル自販機 ver. 1.0

150 円ペットボトル販売機の順序回路の状態遷移図を示せ。

- 50 円玉のみ投入可。
- 硬貨を 1 枚でも入れたら途中でキャンセル不可。
- 3 枚入った時点で商品を出力する。

解答例:



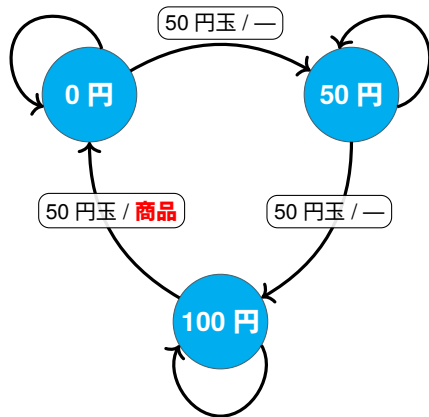
順序回路の表現～状態遷移図～

例題: ペットボトル自販機 ver. 1.0

150 円ペットボトル販売機の順序回路の状態遷移図を示せ。

- ・ 50 円玉のみ投入可。
- ・ 硬貨を 1 枚でも入れたら途中でキャンセル不可。
- ・ 3 枚入った時点で商品を出力する。

解答例:



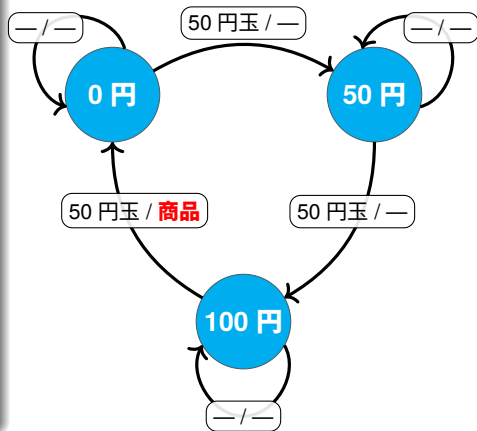
順序回路の表現～状態遷移図～

例題: ペットボトル自販機 ver. 1.0

150 円ペットボトル販売機の順序回路の状態遷移図を示せ。

- ・ 50 円玉のみ投入可。
- ・ 硬貨を 1 枚でも入れたら途中でキャンセル不可。
- ・ 3 枚入った時点で商品を出力する。

解答例:

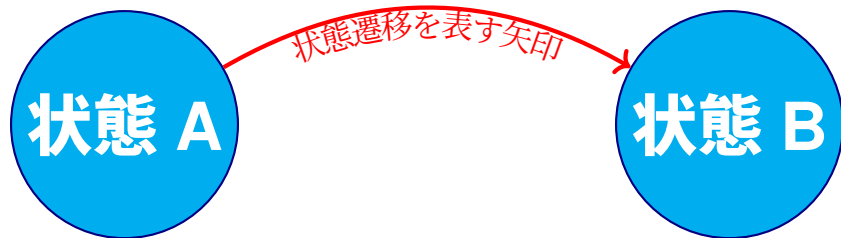


状態遷移図の描き方



- 丸で「**状態**」を表す。(中に状態を表す文字や記号を書く。)
- 矢印で「**状態遷移**」を表す。
- 状態遷移が起こるための条件としての「**入力**」と、状態遷移が起こったときに生じる「**出力**」をスラッシュで並べて矢印の近くに書く。

状態遷移図の描き方



- 丸で「**状態**」を表す。(中に状態を表す文字や記号を書く。)
- 矢印で「**状態遷移**」を表す。
- 状態遷移が起こるための条件としての「**入力**」と、状態遷移が起こったときに生じる「**出力**」をスラッシュで並べて矢印の近くに書く。

状態遷移図の描き方



- 丸で「状態」を表す。(中に状態を表す文字や記号を書く。)
- 矢印で「状態遷移」を表す。
- 状態遷移が起こるための条件としての「入力」と、状態遷移が起こったときに生じる「出力」をスラッシュで並べて矢印の近くに書く。

順序回路の表現～入力・出力・状態の定義～

- 入力集合 X

『硬貨を入れない』と『硬貨を入れる』の二種類。

$$\{\text{硬貨入れない}, \text{硬貨入れる}\} \Rightarrow X \triangleq$$

- 出力集合 Z

『
』と『
』の2種類。

$$\{\text{商品出さない}, \text{商品出す}\} \Rightarrow Z \triangleq$$

- 状態集合 S

『0 円投入』『50 円投入』『100 円投入』の3つ。

$$\{\yen 0, \yen 50, \yen 100\} \Rightarrow S \triangleq$$

順序回路の表現～入力・出力・状態の定義～

- 入力集合 X

『硬貨を入れない』と『硬貨を入れる』の二種類。

$$\{\text{硬貨入れない}, \text{硬貨入れる}\} \Rightarrow X \triangleq \{0, 1\}$$

- 出力集合 Z

『
』と『
』の2種類。

$$\{\text{商品出さない}, \text{商品出す}\} \Rightarrow Z \triangleq$$

- 状態集合 S

『0 円投入』『50 円投入』『100 円投入』の3つ。

$$\{\yen 0, \yen 50, \yen 100\} \Rightarrow S \triangleq$$

順序回路の表現～入力・出力・状態の定義～

- 入力集合 X

『硬貨を入れない』と『硬貨を入れる』の二種類。

$$\{\text{硬貨入れない}, \text{硬貨入れる}\} \Rightarrow X \triangleq \{0, 1\}$$

- 出力集合 Z

『商品を出さない』と『商品を出す』の2種類。

$$\{\text{商品出さない}, \text{商品出す}\} \Rightarrow Z \triangleq$$

- 状態集合 S

『0 円投入』『50 円投入』『100 円投入』の3つ。

$$\{\yen 0, \yen 50, \yen 100\} \Rightarrow S \triangleq$$

順序回路の表現～入力・出力・状態の定義～

- 入力集合 X

『硬貨を入れない』と『硬貨を入れる』の二種類。

$$\{\text{硬貨入れない}, \text{硬貨入れる}\} \Rightarrow X \triangleq \{0, 1\}$$

- 出力集合 Z

『商品を出さない』と『商品を出す』の2種類。

$$\{\text{商品出さない}, \text{商品出す}\} \Rightarrow Z \triangleq \{0, 1\}$$

- 状態集合 S

『0 円投入』『50 円投入』『100 円投入』の3つ。

$$\{\yen 0, \yen 50, \yen 100\} \Rightarrow S \triangleq$$

順序回路の表現～入力・出力・状態の定義～

- 入力集合 X

『硬貨を入れない』と『硬貨を入れる』の二種類。

$$\{\text{硬貨入れない}, \text{硬貨入れる}\} \Rightarrow X \triangleq \{0, 1\}$$

- 出力集合 Z

『商品を出さない』と『商品を出す』の2種類。

$$\{\text{商品出さない}, \text{商品出す}\} \Rightarrow Z \triangleq \{0, 1\}$$

- 状態集合 S

『0 円投入』『50 円投入』『100 円投入』の3つ。

$$\{\yen 0, \yen 50, \yen 100\} \Rightarrow S \triangleq \{00, 01, 10\}$$

おことわり: 集合 X, Z, S の元 (要素) の決め方

おことわり: 集合 X, Z, S の元 (要素) の決め方

- ① **一般論としては何でもいいが**、「効果を入れない」「硬貨を入れる」とかだと長いので**短いシンボル**を当てる。

おことわり: 集合 X, Z, S の元 (要素) の決め方

- ① **一般論としては何でもいい**が、「効果を入れない」「硬貨を入れる」とかだと長いので**短いシンボル**を当てる。
- ② **短いシンボル**は、オートマトン**一般論としては何でもいい**ので $0, 1, 2, \dots$ とか、 a, b, c, \dots とか、 $\alpha, \beta, \gamma, \dots$ とかを 1 文字ずつ当てることが多い。

おことわり: 集合 X, Z, S の元 (要素) の決め方

- ① **一般論としては何でもいい**が、「効果を入れない」「硬貨を入れる」とかだと長いので**短いシンボル**を当てる。
- ② **短いシンボル**は、オートマトン**一般論としては何でもいい**ので $0, 1, 2, \dots$ とか、 a, b, c, \dots とか、 $\alpha, \beta, \gamma, \dots$ とかを 1 文字ずつ当てることが多い。
- ③ …のであるが、**デジタル回路として実現**するにはどこかで 2 進数にする必要があるのでこの授業では (基本的に) 最初から 2 進数を使う。

おことわり: 集合 X, Z, S の元 (要素) の決め方

- ① **一般論としては何でもいい**が、「効果を入れない」「硬貨を入れる」とかだと長いので**短いシンボル**を当てる。
- ② **短いシンボル**は、オートマトン**一般論としては何でもいい**ので $0, 1, 2, \dots$ とか、 a, b, c, \dots とか、 $\alpha, \beta, \gamma, \dots$ とかを 1 文字ずつ当てることが多い。
- ③ …のであるが、**デジタル回路として実現**するにはどこかで 2 進数にする必要があるのでこの授業では (基本的に) 最初から 2 進数を使う。
- ④ だから前ページの S は $\{0, 1, 2\}$ でも $\{a, b, c\}$ でもなくて $\{00, 01, 10\}$ とした次第。

状態遷移図を用いた順序回路の定義

順序回路を定義するには、____、____、____、
____、____が必要かつ十分。

150 円ペットボトル自販機 Ver. 1.0 の順序回路の定義 (完全版)

$S =$

$X =$

$Z =$

状態遷移図を用いた順序回路の定義

順序回路を定義するには、状態集合、入力集合、出力集合、状態遷移のしかた、出力の出かた が必要かつ十分。

150 円ペットボトル自販機 Ver. 1.0 の順序回路の定義 (完全版)

$S =$

$X =$

$Z =$

状態遷移図を用いた順序回路の定義

順序回路を定義するには、状態集合、入力集合、出力集合、状態遷移のしかた、出力の出かた が必要かつ十分。

150 円ペットボトル自販機 Ver. 1.0 の順序回路の定義 (完全版)

$$S = \{00, 01, 10\}$$

$$X =$$

$$Z =$$



状態遷移図を用いた順序回路の定義

順序回路を定義するには、状態集合、入力集合、出力集合、状態遷移のしかた、出力の出かた が必要かつ十分。

150 円ペットボトル自販機 Ver. 1.0 の順序回路の定義 (完全版)

$$S = \{00, 01, 10\}$$

$$X = \{0, 1\}$$

$$Z =$$



00

01

10

状態遷移図を用いた順序回路の定義

順序回路を定義するには、状態集合、入力集合、出力集合、状態遷移のしかた、出力の出かた が必要かつ十分。

150 円ペットボトル自販機 Ver. 1.0 の順序回路の定義 (完全版)

$$S = \{00, 01, 10\}$$

$$X = \{0, 1\}$$

$$Z = \{0, 1\}$$



00

01

10

状態遷移図を用いた順序回路の定義

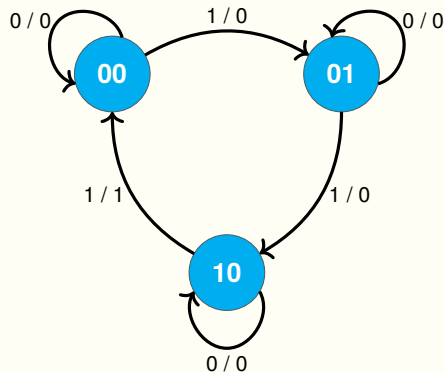
順序回路を定義するには、状態集合、入力集合、出力集合、状態遷移のしかた、出力の出かた が必要かつ十分。

150 円ペットボトル自販機 Ver. 1.0 の順序回路の定義 (完全版)

$$S = \{00, 01, 10\}$$

$$X = \{0, 1\}$$

$$Z = \{0, 1\}$$



150 円ペットボトル販売機 Ver. 2.0

新型販売機の順序回路を設計せよ。新型は旧型に加えて、以下の特徴を持つ革新的な高性能機である。

- 100 円硬貨も入る！
- 200 円投入時は商品と「つり銭 (50 円)」を出す！

ヒント:

- 入力は _____, _____, _____ の **3 つ**。
- 出力は _____ と _____ の **組み合わせ**(← 何通り?)

1

2

150 円ペットボトル販売機 Ver. 2.0

新型販売機の順序回路を設計せよ。新型は旧型に加えて、以下の特徴を持つ革新的な高性能機である。

- 100 円硬貨も入る！
- 200 円投入時は商品と「つり銭 (50 円)」を出す！

ヒント:

- 入力は (なし), 50 円硬貨, 100 円硬貨 の **3 つ**。
- 出力は と の **組み合わせ**(← 何通り?)

150 円ペットボトル販売機 Ver. 2.0

新型販売機の順序回路を設計せよ。新型は旧型に加えて、以下の特徴を持つ革新的な高性能機である。

- 100 円硬貨も入る！
- 200 円投入時は商品と「つり銭 (50 円)」を出す！

ヒント:

- 入力は (なし), 50 円硬貨, 100 円硬貨 の **3 つ**。
- 出力は 商品とつり銭の **組み合わせ**(← 何通り?)

150 円ペットボトル販売機 Ver. 2.0

新型販売機の順序回路を設計せよ。新型は旧型に加えて、以下の特徴を持つ革新的な高性能機である。

- 100 円硬貨も入る！
- 200 円投入時は商品と「つり銭 (50 円)」を出す！

ヒント:

- 入力は (なし), 50 円硬貨, 100 円硬貨 の **3 つ**。
- 出力は 商品とつり銭の **組み合わせ**(← 何通り?)

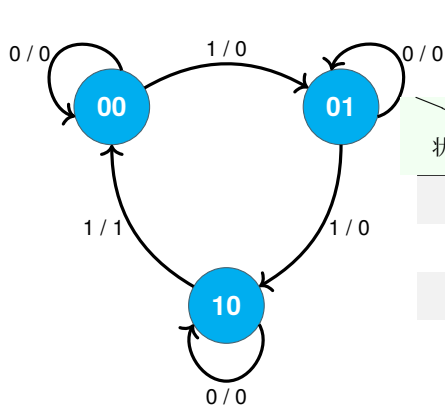
$$X = \{00, 01, 10\}^1, Z = \{00, 01, 10, 11\}^2$$

¹ 0=[-], 1=[50 円玉], 2=[100 円玉]

² 00=[-, -], 01=[-, 50 円玉], 10=[商品, -], 11=[商品, 50 円玉]

状態遷移表

状態遷移のしかた、出力の出かた をいちいち図で描くのも面倒なので表にする。→ _____

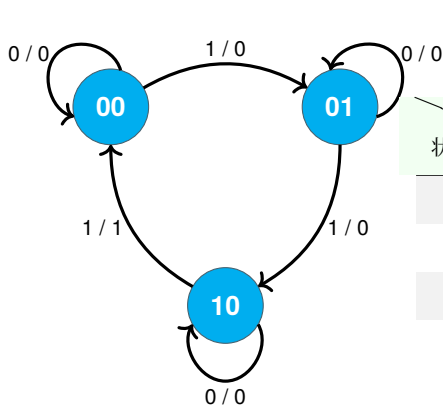


		δ 次の状態		ω 出力	
状態 \ 入力		0	1	0	1
	00				
	01				
	10				

- 「次の状態」を決める関数 δ を _____ とい
- 「出力」を決める関数 ω を _____ という。

状態遷移表

状態遷移のしかた、出力の出かた をいちいち図で描くのも面倒なので表にする。→ 状態遷移表

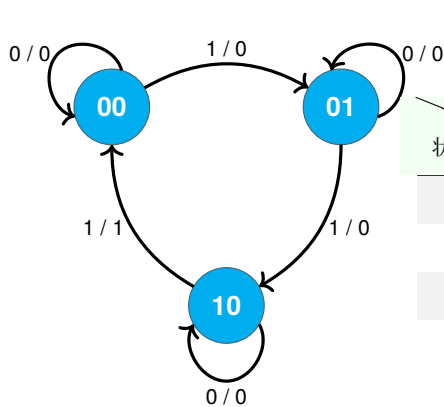


		δ 次の状態		ω 出力	
状態 \ 入力		0	1	0	1
	00				
	01				
	10				

- 「次の状態」を決める関数 δ を とい
- 「出力」を決める関数 ω を という。

状態遷移表

状態遷移のしかた、出力の出かた をいちいち図で描くのも面倒なので表にする。→ 状態遷移表

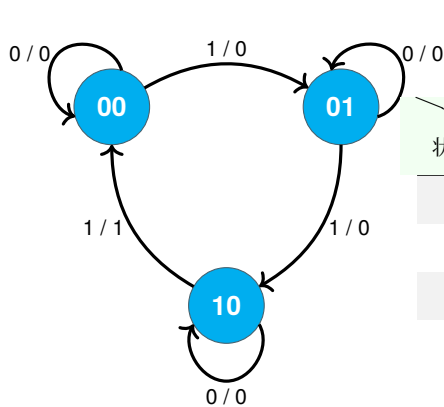


		δ 次の状態		ω 出力	
状態 \ 入力		0	1	0	1
	00	00			
	01				
	10				

- 「次の状態」を決める関数 δ を とい
- 「出力」を決める関数 ω を という。

状態遷移表

状態遷移のしかた、出力の出かたをいちいち図で描くのも面倒なので表にする。→ 状態遷移表

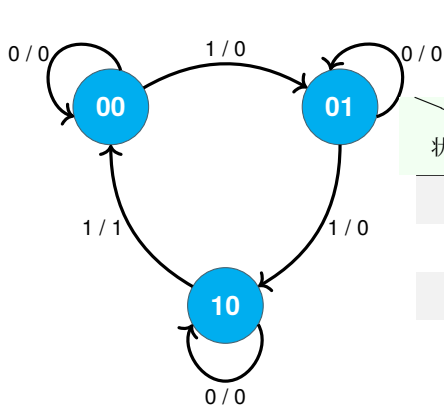


		δ 次の状態		ω 出力	
状態 \ 入力		0	1	0	1
	00	00	01		
	01				
	10				

- 「次の状態」を決める関数 δ を とい
- 「出力」を決める関数 ω を という。

状態遷移表

状態遷移のしかた、出力の出かた をいちいち図で描くのも面倒なので表にする。→ 状態遷移表

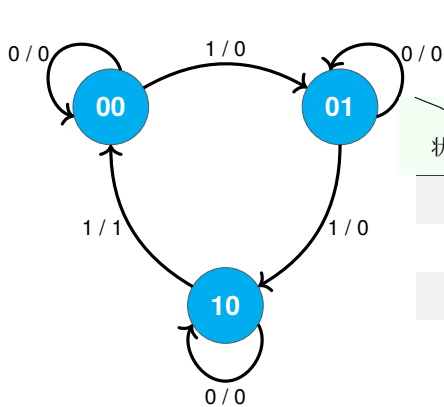


		δ 次の状態		ω 出力	
状態 \ 入力		0	1	0	1
	00	00	01	0	
	01				
	10				

- 「次の状態」を決める関数 δ を とい
- 「出力」を決める関数 ω を という。

状態遷移表

状態遷移のしかた、出力の出かた をいちいち図で描くのも面倒なので表にする。→ 状態遷移表

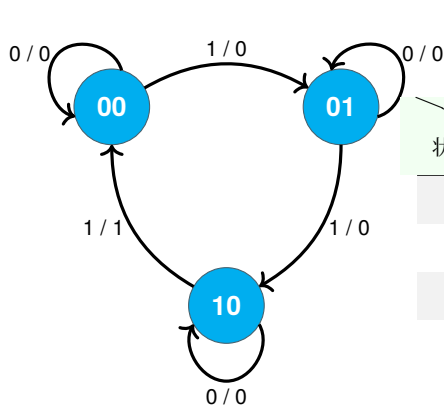


		δ 次の状態		ω 出力	
状態 \ 入力		0	1	0	1
	00	00	01	0	0
	01				
	10				

- 「次の状態」を決める関数 δ を とい
- 「出力」を決める関数 ω を という。

状態遷移表

状態遷移のしかた、出力の出かた をいちいち図で描くのも面倒なので表にする。→ 状態遷移表

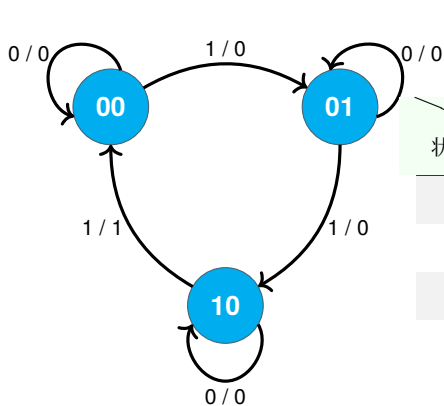


		δ 次の状態		ω 出力	
状態 \ 入力		0	1	0	1
	00	00	01	0	0
	01	01	10	0	0
	10	10	00	0	1

- 「次の状態」を決める関数 δ を いう。
- 「出力」を決める関数 ω を いう。

狀態遷移表

状態遷移のしかた、出力の出かた をいちいち図で描くのも面倒なので表にする。→ **状態遷移表**

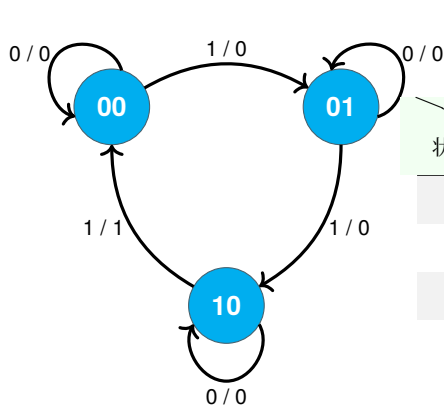


		δ		ω	
		次の状態		出力	
0/0	入力	0	1	0	1
状態					
00		00	01	0	0
01		01	10	0	0
10		10	00	0	1

- 「次の状態」を決める関数 δ を **状態遷移関数** と言う。
- 「出力」を決める関数 ω を **出力関数** と言う。

状態遷移表

状態遷移のしかた、出力の出かた をいちいち図で描くのも面倒なので表にする。→ 状態遷移表



		δ 次の状態		ω 出力	
状態 \ 入力		0	1	0	1
	00	00	01	0	0
	01	01	10	0	0
	10	10	00	0	1

- 「次の状態」を決める関数 δ を **状態遷移関数** という。
- 「出力」を決める関数 ω を **出力関数** という。

150 円ペットボトル販売機 Ver. 2.0

150 円ペットボトル販売機 Ver. 2.0 の順序回路における δ, ω を**状態遷移表**で表せ。

出席確認レポート課題 (次の月曜の 12 時締め切り)

前ページの問題 (150 円ペットボトル販売機 Ver. 2.0) を解け。

- 入出力集合 X, Z の定義は前ページのヒントに従うこと。
- 状態集合 S については自分で適当に考えること。(2 進数表現のシンボルを割り当てること。)
- レポートには X, Z, S の定義および状態遷移図を示し、簡単でいいので文章による説明を添えること。

提出は下記 URL の Google Forms。歪んでいない、開いた時に横倒しになっていない、コントラストが読むに耐えうる PDF で提出すること。

<https://forms.gle/9ruwtfJg5LQgQNpU7>

