本テキストや授業のビデオなどの電子ファイルを他人に転送したり、ネットへアップロードすることなどを禁止します。



# 論理設計 東野担当3回目 授業スライド 10月21日

基礎工学部情報科学科 東野輝夫





#### 授業計画

2年生後期の実験と 関係が深いので 順番を入れ替えて 先に授業を実施します

- 授業計画:東野担当の授業計画は下記の通りです.
  - 1. ドントケアを含む論理関数の簡単化(6章)
  - 2. フリップフロップとレジスタ(10章)
  - 3. 同期式順序回路(Mealy型, Moore型順序回路)(11章)
  - 4. カルノー図を用いた論理関数の簡単化(1章から5章の復習)
  - 5. 組合せ論理回路設計、よく用いられる組み合わせ回路(7章,8章)
  - 6. 加減算器とALU、カウンタ(9章, 13章)
  - 7. 演習
  - 8. 中間試験(1章~11章, 13章)
  - 9. 順序回路の簡単化(12章)
  - 10. I Cを用いた順序回路の実現(15章)
  - 11. 演習
  - 12.CPUの設計(付録)
  - 13.CPUの設計, 演習
  - 14.乗算器と除算器(14章)
  - 15.期末試験(12章, 14章, 15章, 付録)





#### 質問について

- メールで随時問い合わせや質問にお答えしますので、何かあれば、higashino@ist.osaka-u.ac.jp までメールで質問して下さい。
- また、時間を決めてZoomなどを用いて質問にお答えする ことも可能ですので、まずはメールで疑問点や問い合わ せ事項などを連絡して下さい。





#### お願い

本テキストや授業のビデオなどの電子ファイルを他人に転送したり、ネットへアップロードすることなどを禁止します。

#### 著作権保護

- この授業のテキスト(教科書)や授業スライド、授業ビデオの著作権保護に努めて下さい.
- この授業のビデオやスナップショットを録画したり、それらを他の人に転送したり、インターネット上で公開したりすることを禁止します。
- この授業で利用するスライドにはオーム社の教科書の図などが含まれているので、著作権保護の観点から、この授業スライドの公開につながる行為は謹んでください。
- 来年度は CLE を使ったメディア授業でなく,対面の授業ができることを期待していますが,今年度の演習課題の解答が事前に公開されたりすると,来年度の授業で同じ演習課題が使えなくなり,授業テキストの大幅な修正が必ずなるため,協力をお願いします.



# 第11章 同期式順序回路





#### 第11章 同期式順序回路

この章のねらい

# 1 1 ■ 同期式順序回路

本章では、同期式順序回路について説明する、順序回路は、組合せ回路に記憶要素を追加し、逐次的な処理を実現する、順序回路では、ある時刻の入力だけではなく、それまでに入力された過去の入力も含めて出力が決定される。初めに、順序回路を構成する要素について説明し、自動券売機を用いた順序回路の例題について説明する、次に、順序回路を状態遷移図、状態遷移表を使って一般的に表現する方法を説明し、最後に Mealy 型、Moore 型順序機械で実現する方法について説明する。





#### 順序回路

- 組合わせ回路:ある時刻 t における出力をその 時刻の入力のみから演算する回路
- 順序回路(Sequential Circuit): 時刻 t における入力のみならず, これまでに入力された入力系列から出力が決定される回路
- 同期式順序回路(Synchronous Sequential Circuit):本章で取り扱う順序回路は、クロック信号に同期した同期式順序回路で、クロックに同期して 状態 が遷移する
- 図11·1 に順序回路の概念図を示す。図11·1 に示すように、順序回路は、ある時刻 t の N 個の入力変数 (Input Variable) x<sub>i</sub>(t) (0 ≤ i ≤ N-1), L 個の出力変数 (Output Variable) z<sub>i</sub>(t) (0 ≤ i ≤ L-1), および P 個の 状態変数 (State Variable) q<sub>i</sub>(t) (0 ≤ i ≤ P-1) を使って表すことができる。今後、これらを単に 入力、出力、状態 と呼ぶ。

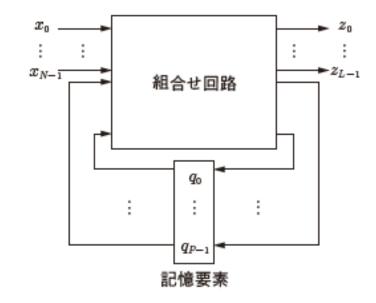


図 11・1 組合せ回路と順序回路





#### 同期式順序回路

同期式順序回路(Synchronous Sequential Circuit):次の時刻(t+1)の状態は、現在の入力と現在の状態から決定されるため、現在の入力変数と状態変数の関数と考えて、以下のように書くことができる。この関数 δ を 状態遷移関数(State Transition Function)と呼ぶ。

$$Q(t+1) = \delta(x_0(t), x_1(t), \dots, x_{N-1}(t), q_0(t), q_1(t), \dots, q_{P-1}(t))$$

出力は現在の入力と現在の状態,もしくは現在の状態のみから決定され,次のように表される。この関数 p を 出力関数 (Output Function)と呼ぶ。

$$Z(t) = \rho(x_0(t), x_1(t), \dots, x_{N-1}(t), q_0(t), q_1(t), \dots, q_{P-1}(t))$$

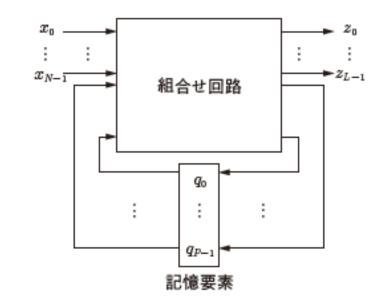


図 11・1 組合せ回路と順序回路

• 順序回路 M は M = (Q, X, Z,  $\delta$ ,  $\rho$ ,  $Q_0$ ) の 6 項組みで定義できる. ここで Q は状態の集合,X は入力の集合,Z は出力の集合, $\delta$  は状態遷移関数, $\delta$  は出力関数, $\delta$ 0 は 初期状態(initial state)である.



#### 自動券売機の例

- ある自動券売機があり、150円の切符が売られているとする。この自動券売機は100円、50円硬貨のみを受け付ける。
- 最初はお金が入っていない状態なので,0 円入力されている状態である.100円硬貨 を入れた場合には100円投入された状態に なり,さらなる硬貨の投入を待つ.
- さらに 100円硬貨を入れた場合, 切符とお つりの 50円が返金される.
- 100円硬貨ではなく50円硬貨を入れた場合 には切符のみが出る.
- 最初に50円硬貨を入れた場合,50円投入 された状態になる。これを図に書くと,図 11・2のような図が得られる。

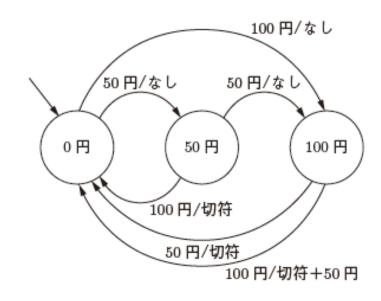


図 11・2 自動販売機の動作





#### 自動券売機の例

- 状態は図中の節点として表現され、0円、50円、 100円が投入されている状態がある。
- 入力は,50円もしくは100円の硬貨の投入があり,図中の枝として表される.
- 出力は切符とおつりである。図中の枝には、ラベルがあり/記号の左には入力を、/記号の右には出力を記している。
- 0円が投入されている状態が初期状態,遷移元の ない矢印で初期状態を表している.
- 各状態に対して,50円,100円の入力がある.
- 入力, 出力, 状態は以下のようになる.
  - X(t) = (50 円, 100 円),
  - Z(t) = (なし, 切符のみ, 切符とおつり50円),
  - Q(t) = (0 円投入された状態, 50 円投入された 状態, 100 円投入された状態)
  - Q<sub>0</sub> = (0 円投入された状態)
- 状態遷移関数 δ, 出力関数 ρ は後で説明

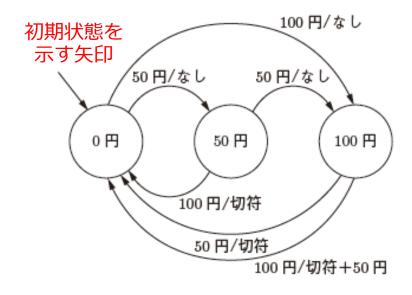


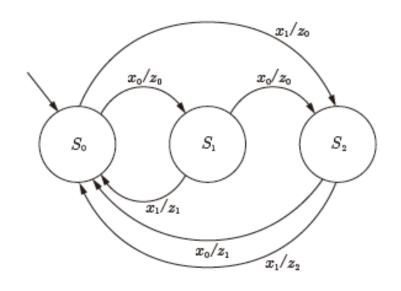
図 11・2 自動販売機の動作





#### 状態遷移図

- 状態の変化を表すためには,前節で用い たような図を用いることが一般的であり, この図を 状態遷移図(state transition diagram) と呼ぶ.
- 状態遷移図は、状態をグラフの節点に、 各状態遷移を枝に対応付けており、各枝 にはラベルとして x/z のように入力と出 力の対が付加されている. また各枝の始 点の状態に対して x が入力されたときに z を出力し,終点の状態に状態遷移する ことを表している.
- 前節で説明した自動券売機の状態遷移図 を図11.3 に示す. 図11.3 では, 状態数
- がS<sub>0</sub>, S<sub>1</sub>, S<sub>2</sub> の 3 状態, 遷移の条件であ る入力がx<sub>0</sub>, x<sub>1</sub> の 2 種類, 出力はz<sub>0</sub>, z<sub>1</sub>, z<sub>2</sub>の3種類である.



状態遷移図 X 11·3



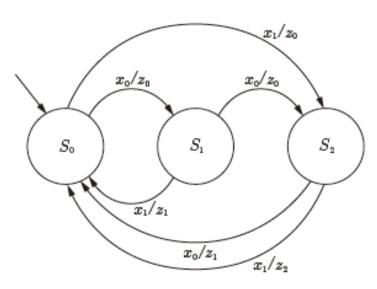


#### 状態遷移表

- 図11.3 の状態遷移は, 表11.1 のような表 形式で表現することもできる. 表11.1を 状 態遷移表(state transition table)と呼ぶ.
- また,表11·1 は,出力も同時に表している ため、状態遷移出力表(state transition table with output) とも呼ばれる. 状態遷 移出力表は, 現在の状態に対して入力が 入った場合の状態の遷移先とそのときの出 力を表としてまとめたものである.

表 11・1	状態遷移出力表

現在の状態	次の状態		出	カ
	$x_0$	$x_1$	$x_0$	$x_1$
$S_0$	$S_1$	$S_2$	$z_0$	$z_0$
$S_1$	$S_2$	$S_0$	$z_0$	$z_1$
$S_2$	$S_0$	$S_0$	$z_1$	$z_2$



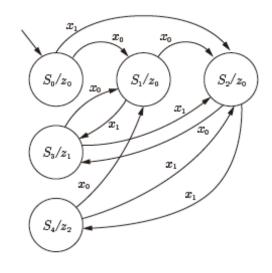
状態遷移図





### Mealy 型順序機械と Moore 型順序機械

- 前節までに紹介した順序回路は、現在の状態と入力から出力が決定される順序機械で Mealy 型順序機械 (Mealy Machine) と呼ばれている.
- 順序機械の別の表現方法として,出力が現在の状態によってのみ決定される順序機械もある.この出力が現在の状態のみによって決定される順序機械は Moore 型順序機械 (Moore Machine) と呼ばれる.



来 11 . 0	Moore 型順序機械の状態遷移出力表
表 11・2	MOOTE 空順序機械の衣影達移電力表

現在の状態	次の	出力	
	$x_0$	$x_1$	
$S_0$	$S_1$	$S_2$	$z_0$
$S_1$	$S_2$	$S_3$	<i>z</i> <sub>0</sub>
$S_2$	$S_3$	$S_4$	$z_0$
$S_3$	$S_1$	$S_2$	$z_1$
$S_4$	$S_1$	$S_2$	$z_2$





#### Moore 型順序機械

- Moore 型順序機械の状態遷移図の例を図11·4 に示す.
- Moore 型順序機械では、状態と出力を q/z のようにグラフの節点に書き、 状態遷移が対応付けられた各枝には入力 x がラベルとして付加されている。
- 各枝の始点の状態 q/z に対して x が入力されたときに終点の状態 q'/z' に 状態遷移し, z' を出力することを表している.
- 図11·4 の状態遷移出力表を表11·2 に示す.

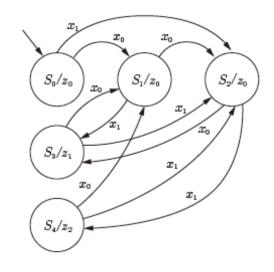


表 11・2 Moore 型順序機械の状態遷移出力表

現在の状態	次の状態		出力
	$x_0$	$x_1$	
$S_0$	$S_1$	$S_2$	$z_0$
$S_1$	$S_2$	$S_3$	<i>z</i> <sub>0</sub>
$S_2$	$S_3$	$S_4$	$z_0$
$S_3$	$S_1$	$S_2$	$z_1$
$S_4$	$S_1$	$S_2$	$z_2$





#### 順序回路の設計の流れ

- 順序回路の設計は、一般に次の順序で行う.
  - 1. 状態遷移図, 状態遷移出力表の作成
  - 2. 状態割当ての決定
  - 3. 状態遷移関数, 出力関数の実現
  - 4. 論理ゲートを使った順序回路の実現
- 文字列検出回路を用いて説明する。文字列検出回路とは、ある特定のパターンが入力されたときに、そのパターンの入力検出を行う回路である。例えば、クロックに同期して入力 x が入ってくるときに、パターン "110" を見つけて、出力を 1とする回路である。初期値としては 0 が入力されているとする。
- 時刻,入力パターンxおよびそれに対する出力zの例を以下に示す.x,zの 初期値は0とする.
  - 時刻 t: 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 ···
  - 入力 x: 0 1 0 0 1 1 0 1 0 1 0 0 0 1 1 0 ···
  - 出力 z: 0 0 0 0 0 0 1 0 0 0 0 0 0 0 1 ···
- 本順序回路では、パターン "110" が見つかった 7 クロック後および 16 ロック後に出力 z は 1 となっている、パターン "110" の最後の文字 0 かよりされると同時に 1 を出力しているため、Mealy 型順序回路で実現できる。



### 1. 状態遷移図の作成 例題11・1

- パターン"110" を見つけるための文字 列検出回路を Mealy型順序回路として 実現せよ。
- パターン "110" の初めの 2 文字目までのパターン "11" を見つけ, その後 '0' を見つける方針で検出回路を設計する.
- この動作を実現するために, '1' が 1 回 現れた状態である  $S_1$ , '1' が 2 回以上 連続して現れた状態である  $S_2$ , その他 の状態  $S_0$  の 3 状態を定義する.
- 本状態遷移は Mealy型順序機械として 実現すると、図11·5 の状態遷移図を得 る. また、このときの状態遷移出力表 を表11·3 に示す。
- 図11.5 では、11 の後に 0 が入力されるとすぐに 1 を出力する順序回路が得られる。

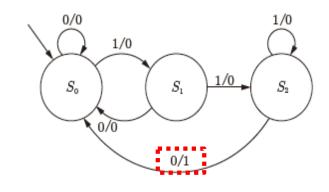


図 11·5 "110" 文字列検出回路(Mealy 型)

表 11・3 "110" 文字列検出回路の状態遷移出力表(Mealy 型)

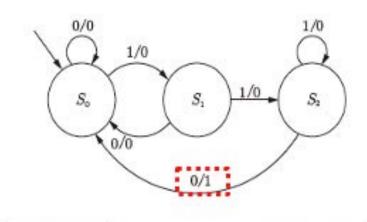
現在の状態	次の状態		出	カ
	x = 0	x = 1	x = 0	x = 1
$S_0$	$S_0$	$S_1$	0	0
$S_1$	$S_0$	$S_2$	0	0
$S_2$	$S_0$	$S_2$	1	0





#### 2. 状態割当ての決定

- 次に状態をフリップフロップを用いて実現するため、状態を表す変数を割当てる.
- 今回のMealy 型順序機械の場合,3 状態を使用するので,3 状態を表現するために最小でも2 ビットを割り当てる必要がある.ここでは,表11・4 のように状態を割り当てるものとする.
- なお, 状態を表す変数の割当て方法は一通りではなく複数の方法があり, 回路の大きさなども変化する.



"110" 文字列検出回路 (Mealy 型)

表 11・4 状態割当て (Mealy 型)	
------------------------	--

状態	状態割当て
$S_0$	00
$S_1$	01
$S_2$	11
使用しない	10





現在の状態

 $S_0$ 

#### 3. 状態遷移関数, 出力関数の実現

- Mealy型順序機械の状態割当て決定後の状態遷移出力表を表11.5 に示す.
- ここで、状態を表すための変数  $q_1$ ,  $q_0$  を導入した、次の時刻の状態を表現する状態変数を  $q_1$ <sup>+</sup>,  $q_0$ <sup>+</sup> と表すと、状態変数 $q_1$ <sup>+</sup>,  $q_0$ <sup>+</sup> および出力 z は、現在時刻の状態変数  $q_1$ ,  $q_0$  および入力 x を使った論理関数として表現できる、状態遷移出力表から、  $q_1$ <sup>+</sup>,  $q_0$ <sup>+</sup>, z に関するカルノー図を作成すると図11·6 のカルノー図が得られる、10 は状態割当てされていないため、  $q_1$ ,  $q_0$  の論理式を決める際にはドントケアの組合せとなり、図11·6 中では、'X' と表されている。

#### 表 11・3 "110" 文字列検出回路の状態遷移出力表 (Mealy 型)

x = 1

 $S_1$ 

 $S_2$ 

 $S_2$ 

次の状態

x = 0

 $S_0$ 

 $S_0$ 

 $S_0$ 

	7	
	-	
_	- 0	
_	_	

出力

x =

0

0

x = 0

0

0

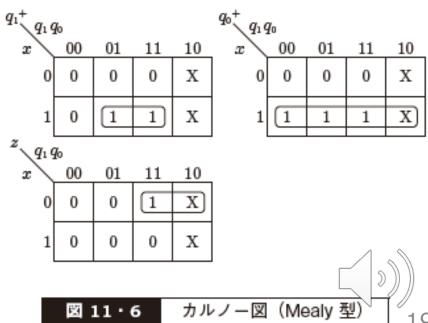
	現在の状態	次の状態		出	カ
	$q_1q_0$	x = 0	x = 1	x = 0	x = 1
	00	00	01	0	0
	01	00	11	0	0
•	11	00	11	1	



- Mealy型順序機械の状態割当て決定後の状態遷移出力表を表11.5 に示す.
- ここで、状態を表すための変数  $q_1$ ,  $q_0$  を導入した、次の時刻の状態を表現する状態変数を  $q_1$ <sup>+</sup>,  $q_0$ <sup>+</sup> と表すと、状態変数 $q_1$ <sup>+</sup>,  $q_0$ <sup>+</sup> および出力 z は、現在時刻の状態変数  $q_1$ ,  $q_0$  および入力 x を使った論理関数として表現できる、状態遷移出力表から、  $q_1$ <sup>+</sup>,  $q_0$ <sup>+</sup>, z に関するカルノー図を作成すると図11·6 のカルノー図が得られる、10 は状態割当てされていないため、  $q_1$ ,  $q_0$  の論理式を決める際にはドントケアの組合せとなり、図11·6 中では、'X'と表されている。

表 11·5 状態割当て決定後の状態遷移出力表(Mealy 型)

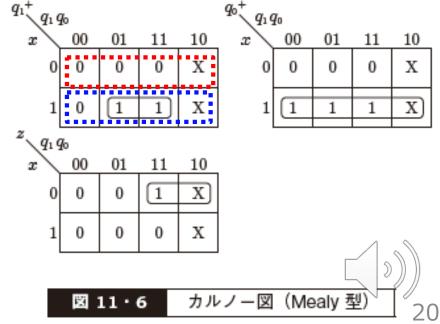
現在の状態	次の状態		出	カ
$q_1 q_0$	x = 0	x = 1	x = 0	x = 1
00	00	01	0	0
01	00	11	0	0
11	00	11	1	0





- Mealy型順序機械の状態割当て決定後の状態遷移出力表を表11.5 に示す.
- ここで、状態を表すための変数  $q_1$ ,  $q_0$  を導入した.次の時刻の状態を表現する状態変数を  $q_1$ +,  $q_0$ + と表すと、状態変数 $q_1$ +,  $q_0$ + および出力 z は、現在時刻の状態変数  $q_1$ ,  $q_0$  および入力 x を使った論理関数として表現できる、状態遷移出力表から、  $q_1$ +,  $q_0$ +, z に関するカルノー図を作成すると図11・6 のカルノー図が得られる、10 は状態割当てされていないため、  $q_1$ ,  $q_0$ の論理式を決める際にはドントケアの組合せとなり、図11・6 中では、'X'と表されている。

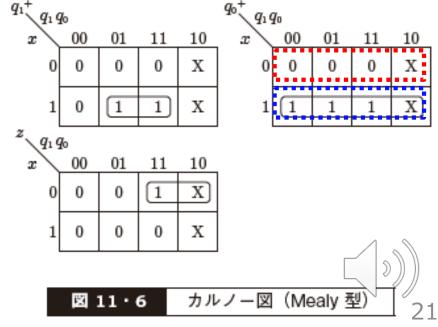
現在の状態	次の状態		出	カ
$q_1q_0$	x = 0	x = 1	x = 0	x = 1
00	00	01	0	0
01	00	11	0	0
11	00	11	1	0
	q <sub>1</sub> +	q <sub>1</sub> +		





- Mealy型順序機械の状態割当て決定後の状態遷移出力表を表11.5 に示す.
- ここで、状態を表すための変数  $q_1$ ,  $q_0$  を導入した、次の時刻の状態を表現する状態変数を  $q_1$ <sup>+</sup>,  $q_0$ <sup>+</sup> と表すと、状態変数 $q_1$ <sup>+</sup>,  $q_0$ <sup>+</sup> および出力 z は、現在時刻の状態変数  $q_1$ ,  $q_0$  および入力 x を使った論理関数として表現できる、状態遷移出力表から、  $q_1$ <sup>+</sup>,  $q_0$ <sup>+</sup>, z に関するカルノー図を作成すると図11·6 のカルノー図が得られる、10 は状態割当てされていないため、  $q_1$ ,  $q_0$  の論理式を決める際にはドントケアの組合せとなり、図11·6 中では、'X' と表されている。

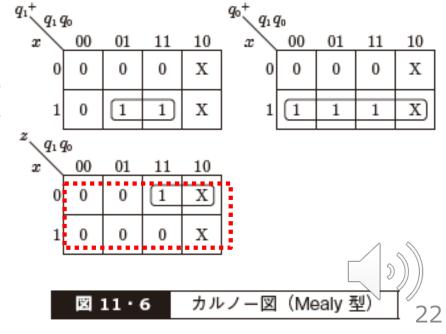
現在の状態	次の状態		出力	
$q_1q_0$	x = 0	x = 1	x = 0	x = 1
00	00	01	0	0
01	00	11	0	0
11	00	11	1	0
	$q_0^+$	q <sub>0</sub> +		





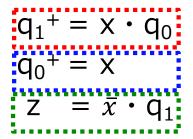
- Mealy型順序機械の状態割当て決定後の状態遷移出力表を表11.5 に示す.
- ここで、状態を表すための変数  $q_1$ ,  $q_0$  を導入した、次の時刻の状態を表現する状態変数を  $q_1$ <sup>+</sup>,  $q_0$ <sup>+</sup> と表すと、状態変数 $q_1$ <sup>+</sup>,  $q_0$ <sup>+</sup> および出力 z は、現在時刻の状態変数  $q_1$ ,  $q_0$  および入力 x を使った論理関数として表現できる、状態遷移出力表から、  $q_1$ <sup>+</sup>,  $q_0$ <sup>+</sup>, z に関するカルノー図を作成すると図11·6 のカルノー図が得られる、10 は状態割当てされていないため、  $q_1$ ,  $q_0$  の論理式を決める際にはドントケアの組合せとなり、図11·6 中では、'X'と表されている。

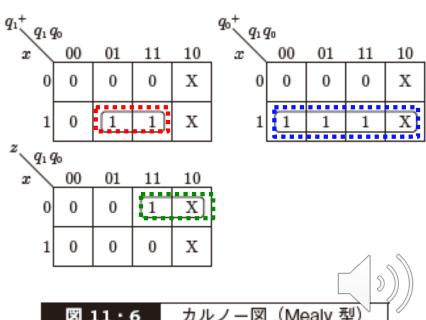
現在の状態	次の状態		出力	
$q_1q_0$	x = 0	x = 1	x = 0	x = 1
00	00	01	0	0
01	00	11	0	0
11	00	11	1	0
			******	





- Mealy型順序機械の状態割当て決定後の状態遷移出力表を表11·5 に示す.
- ここで、状態を表すための変数  $q_1, q_0$  を導入した、次の時刻の状態を表現 する状態変数を q<sub>1</sub>+, q<sub>0</sub>+ と表すと, 状態変数q<sub>1</sub>+, q<sub>0</sub>+ および出力 z は, 現在時刻の状態変数  $q_1$ ,  $q_0$  および入力 x を使った論理関数として表現でき る. 状態遷移出力表から,  $q_1^+$ ,  $q_0^+$ , z に関するカルノー図を作成すると 図11.6 のカルノー図が得られる. 10 は状態割当てされていないため、 $q_1$ ,  $q_0$ の論理式を決める際にはドントケアの組合せとなり、図11.6 中では、 'X' と表されている。
- 図11.6 のカルノー図より, 状態遷 移関数,出力関数を求めると







## 論理ゲートを使った 順序回路の実現

- 状態遷移関数,出力関数が求まっている ので, それらを実現する論理回路を構成 する. 記憶要素としては, 状態変数の個 数分の Dフリップフロップを用いる.
- 本文字列検出回路では、状態保持するた めに 2ビットの変数を使用するので, D フリップフロップを 2 個使用する.
- 初期状態は動作開始前に Dフリップフ ロップのリセット端子 RST に '1' の信号 を与え,Dフリップフロップを初期化し, 状態を "00" としている.
- Mealy 型順序回路で実現した回路構成を 図11.7に示す.

$$q_1^+ = x \cdot q_0$$

$$q_0^+ = x$$

$$z = \bar{x} \cdot q_1$$

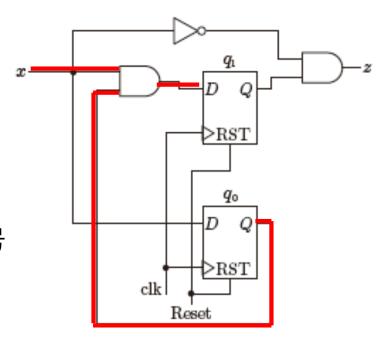


図 11・7 順序回路(Mealy 型)





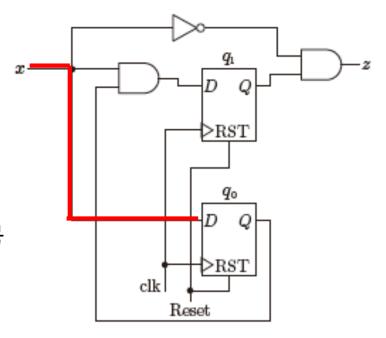
## 論理ゲートを使った 順序回路の実現

- 状態遷移関数,出力関数が求まっている ので, それらを実現する論理回路を構成 する. 記憶要素としては, 状態変数の個 数分の Dフリップフロップを用いる.
- 本文字列検出回路では、状態保持するた めに 2ビットの変数を使用するので, D フリップフロップを 2 個使用する.
- 初期状態は動作開始前に Dフリップフ ロップのリセット端子 RST に '1' の信号 を与え,Dフリップフロップを初期化し, 状態を "00" としている.
- Mealy 型順序回路で実現した回路構成を 図11.7に示す.

$$q_1^+ = x \cdot q_0$$

$$q_0^+ = x$$

$$z = \bar{x} \cdot q_1$$



順序回路(Mealy 型) 図 11・7





### 論理ゲートを使った 順序回路の実現

- 状態遷移関数,出力関数が求まっている ので, それらを実現する論理回路を構成 する. 記憶要素としては, 状態変数の個 数分の Dフリップフロップを用いる.
- 本文字列検出回路では、状態保持するた めに 2ビットの変数を使用するので, D フリップフロップを 2 個使用する.
- 初期状態は動作開始前に Dフリップフ ロップのリセット端子 RST に '1' の信号 を与え,Dフリップフロップを初期化し, 状態を "00" としている.
- Mealy 型順序回路で実現した回路構成を 図11.7に示す.

$$q_1^+ = x \cdot q_0$$

$$q_0^+ = x$$

$$z = \bar{x} \cdot q_1$$

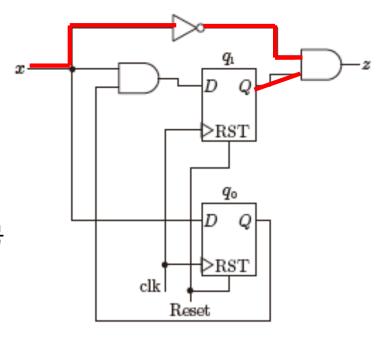


図 11・7 順序回路(Mealy 型)





### 例題11・2 1. 状態遷移図の作成

- パターン "110" を見つける文字列検出回路を Moore型順序回路として実現せよ.
- 本順序機械を Moore型順序機械で実現するためには, 1 が 2 回以上連続してから 0 が現れた状態である  $S_3$  を追加し,  $S_0$ ,  $S_1$ ,  $S_2$ ,  $S_3$  の 4 状態で実現する.
- Moore型順序回路で実現した状態遷移図が 図11·8 である. 図11·8 では入力11 の後に 0 が入力された遷移先で 1 を出力する. Moore 型順序機械では 1 を出力する状態(0 が入力された後の状態)で次の入力が 0 の場合と 1 の場合を区別するために,  $S_0/0$  と  $S_1/0$  の二つの状態を設けている. また, このときの状態遷移出力表を表11·6 に示す.

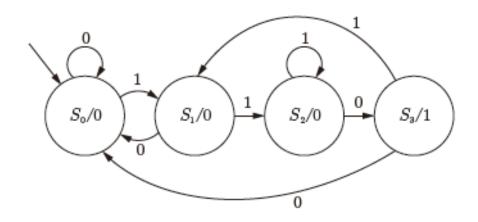


表 11・6 "110" 文字列検出回路の状態遷移出力表 (Moore 型)

現在の状態	次の状態		出力	
	x = 0	x = 1		
$S_0$	$S_0$	$S_1$	0	
$S_1$	$S_0$	$S_2$	0	
$S_2$	$S_3$	$S_2$	0	
$S_3$	$S_0$	$S_1$	1	



### 例題11・2 1. 状態遷移図の作成

時刻,入力パターンxおよびそれに対する出力zの例を以下に示す.x,zの初期値は0とする.

時刻 t: 1 2 3 4 5 6 7 8 9

入力 x: 0 1 0 0 1 1 0 1 0 ···

出力 y: 0 0 0 0 0 0 0 1 0 …

• Moore 型順序回路では, パターン"110" が見つかった 7 クロックの次のサイクルで 1 が出力されることになる.

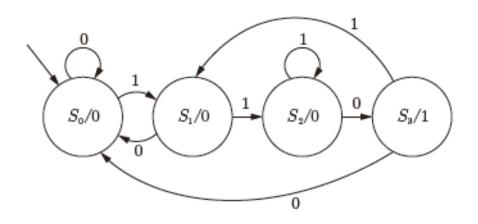


表 11・6   "110" 文字列検出回路の状態遷移出力表(Moore 型
--

現在の状態	次の	状態	出力	
	x = 0	x = 1		
$S_0$	$S_0$	$S_1$	0	
$S_1$	$S_0$	$S_2$	0	
$S_2$	$S_3$	$S_2$	0	1 .
$S_3$	$S_0$	$S_1$	1	



### 例題11・2 2. 状態割当ての決定

- Moore 型順序機械の場合,4 状態を使用するので,4 状態を表現するために,最小でも2 ビットを割り当てる必要がある.ここでは,表11-7 のように割り当てるものとする.
- 下記では,カルノー図の順(00,01,11,10)に $S_0$ , $S_1$ , $S_2$ , $S_3$ を割り当てている.2進数表現の順(00,01,10,11)に $S_0$ , $S_1$ , $S_2$ , $S_3$ を割り当てると,異なる回路が生成される.

表 11 · 7	状態割当て (Moore 型)	

状態	状態割当て
$S_0$	00
$S_1$	01
$S_2$	11
$S_3$	10



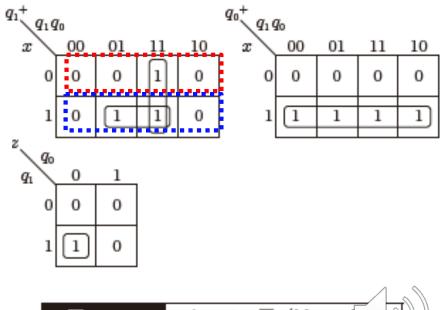


#### 3. 状態遷移関数, 出力関数の実現

- Moore 型順序回路の場合の状態割当て決定後の状態遷移出力表を作成し,表11·8 を得る.状態変数  $q_1$ +,  $q_0$ +, 出力 z は,1 時刻前の状態変数  $q_1$ ,  $q_0$ , 入力 x を使った論理関数として表現できる.
- 状態遷移出力表から、 $q_1^+$ ,  $q_0^+$ , z に関するカルノー図を作成し、図11-9 が得られる.

#### 表 11·8 状態割当て決定後の状態遷移出力表(Moore 型)

現在の状態	次の状態		出力
$q_1 q_0$	x = 0	x = 1	
00	00	01	0
01	00	11	0
11	10	11	0
10	00	01	1
	q <sub>1</sub> +	q <sub>1</sub> +	



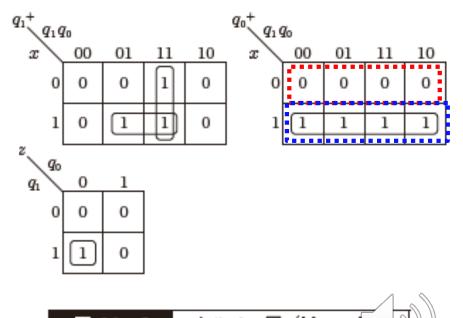


#### 3. 状態遷移関数, 出力関数の実現

- Moore 型順序回路の場合の状態割当て決定後の状態遷移出力表を作成し,表11·8 を得る.状態変数  $q_1$ +,  $q_0$ +, 出力 z は,1 時刻前の状態変数  $q_1$ ,  $q_0$ , 入力 x を使った論理関数として表現できる.
- 状態遷移出力表から、 $q_1^+$ ,  $q_0^+$ , z に関するカルノー図を作成し、図11-9 が得られる.

表 11 · 8 状態	削当て決定後の状態遷移出力表	(Moore 型)
-------------	----------------	-----------

現在の状態	次の状態		出力
$q_{1}q_{0}$	x = 0	x = 1	
00	00	01	0
01	00	11	0
11	10	11	0
10	00	01	1
	$q_0^+$	$q_0^+$	





#### 4.論理ゲートを使った順序回路の実現

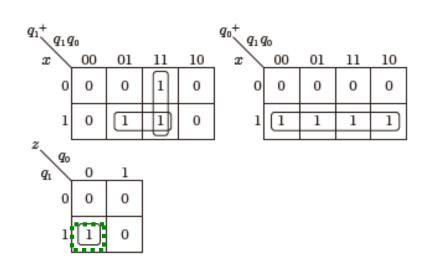
• 状態遷移出力表から,  $q_1^+$ ,  $q_0^+$ , z に関するカルノー図を作成し,図 $11\cdot 9$ が得られる.カルノー図より,状態遷移関数,出力関数を求めると

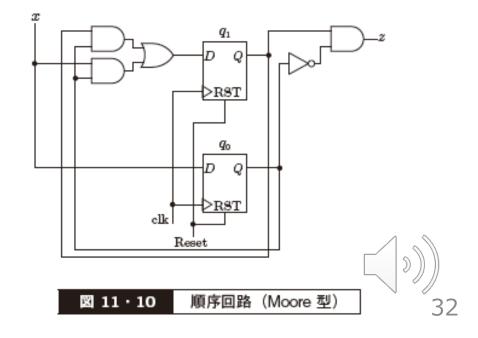
$$q_1^+ = q_1 \cdot q_0 \lor x \cdot q_0$$

$$q_0^+ = x$$

$$z = q_1 \cdot \overline{q}_0$$

• Moore 型順序回路で実現した回路構成を 図11·10 に構成を示す.







#### 4.論理ゲートを使った順序回路の実現

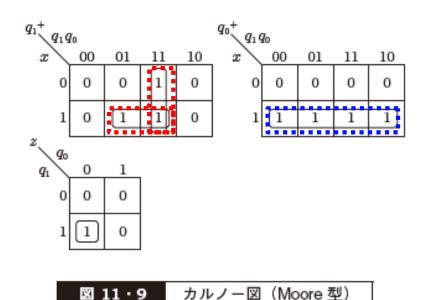
• 状態遷移出力表から,  $q_1^+$ ,  $q_0^+$ , z に関するカルノー図を作成し, 図11-9 が得られる. カルノー図より, 状態遷移関数, 出力関数を求めると

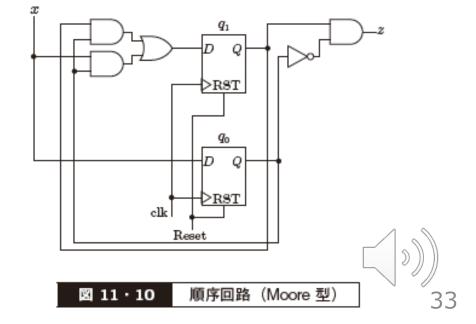
$$q_1^+ = q_1 \cdot q_0 \lor x \cdot q_0$$

$$q_0^+ = x$$

$$z = q_1 \cdot \overline{q}_0$$

• Moore 型順序回路で実現した回路構成を 図11·10 に構成を示す.







## Mealy 型順序回路と Moore型 順序回路の比較

- Mealy 型順序回路として実現された回路は、Moore 型順序回路として実現された回路と比較して、状態数を少なくできるので、一般に少ないゲート数で構成される場合が多い。
- Moore 型順序回路は状態から出力を決定するので、クロックが変化しない限り出力 z が一定であるのに対して、Mealy 型順序回路ではクロックが変化しなくとも、入力 x が変化すると出力 z も変化する可能性があることに注意が必要である。



## 演習 開期

11.2 節の自動券売機の例題で、500 円硬貨も使用できる場合についてその順序機械を作成せよ。

2 パターン "010" を見つける文字列検出回路を Mealy 型順序回路で設計せよ.

■ パターン "100" を見つける文字列検出回路を Moore 型順序回路で設計せよ。

■ ビット列を入力とし、1が入力されるまでの間に入力された0の個数を数え、1が入力されたときにその個数を出力し初期状態に戻る順序回路を設計せよ。ただし、0が連続して10回入力されたときも初期状態に戻るとする。初期状態は何も入力されていない状態である。例えば、初期状態からの入力が01のとき1を出力し初期状態へ遷移する動作を、入力が001のとき2を出力し初期状態へ遷移する動作を、入力が0001のとき3を出力し初期状態に戻る動作を行う。



**⑤** 回路図 11-11 が実現している有限状態機械の状態遷移図を作成せよ. ただし、初期状態は  $q_1 = 0$ ,  $q_0 = 0$  とせよ. 入力 x は、クロックと同期して 0 または 1 の ビットが入力されるものとする.

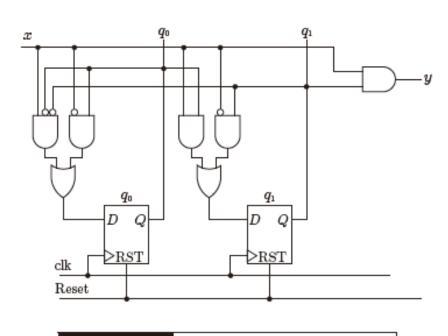


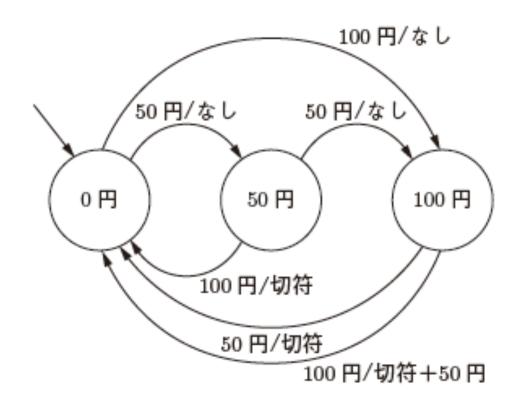
図 11・11

ある有限状態機械の回路図



#### 演習問題1

11.2 節の自動券売機の例題で,500 円硬貨も使用できる場合について その順序機械を作成せよ.





### 考慮時間

- 5分間程度で問題を解いてみてください、その間、ビデオを止めてください。
- ・ この頁は30秒程度で次の頁に移行します.

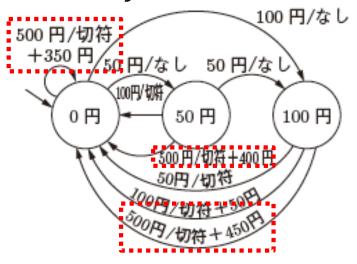


#### 演習問題1解答

• 11·2 節の自動券売機の例題で, 500 円硬貨も使用できる場合について その順序機械を作成せよ.

#### (解答)

- 入力: {500円, 100円, 50円}
- 出力:{切符+450円,切符+400円,切符+350円,切符+50円,切符,なし}
- 状態: {0 円投入された状態, 50 円投入された状態, 100 円投入された状態}
- 初期状態: {0 円投入された状態}



3 つの 状態遷移が 加わる





#### 演習問題2

• パターン "010" を見つける文字列検出回路を Mealy型順序回路 で設計せよ.



#### 考慮時間

- 5-10分間程度で問題を解いてみてください。その間,ビデオを止めてください。
- ・ この頁は30秒程度で次の頁に移行します.

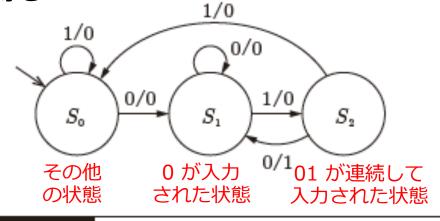


# 演習問題2解答(状態遷移図)

 パターン "010" を見つける文字列検出回路を Mealy型順序回路 で 設計せよ。

#### (解答)

• パターン "010" の初めの 2 文字目までのパターン "01" を見つけ、 その後 '0' が入力されるのを検出する回路を作るために、次の状態を 定義する. 0 が 1 回以上連続して入力された状態の  $S_1$ , 01 が連続 して入力された状態の  $S_2$ , そしてその他の状態  $S_0$  を定義し、これ ら 3 状態を使って、Mealy型順序機械 として実現すると、解図11·2 の状態遷移図を得る。

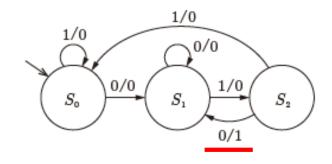






## 演習問題2解答 (状態遷移図のポイント)

- "01010" が入力されたら出力は "00101". "010"が入力された時点 で出力を"1"にし, 0 が 1 回入力された状態  $S_1$  に遷移する必要あり. (解答)
- パターン "010" の初めの 2 文字目までのパターン "01" を見つけ, その後 '0' が入力されるのを検出する回路を作るために,次の状態を 定義する. 0 が 1 回以上連続して入力された状態の  $S_1$ , 01 が連続 して入力された状態の  $S_2$ , そしてその他の状態  $S_0$  を定義し,これ ら 3 状態を使って, Mealy型順序機械 として実現すると,解図11·2 の状態遷移図を得る.  $S_0$  に 00,  $S_1$  に 01,  $S_2$  に 10 を割り当てる と,状態遷移関数,出力関数は以下となる.



$q_1^+$	$q_1q_0$				$q_0^+$	$q_1q_0$			
Χ	00	01	11	10	Χ	00	01	11	10
0	0	0	X	0	0	1	1	X	1
1	0	1	Χ	0	1	0	0	Χ	0
Z	$q_1q_0$							_/	
X	00	01	11	10					0))
0	0	0	Χ	1					1 0
1	0	0	Χ	0					

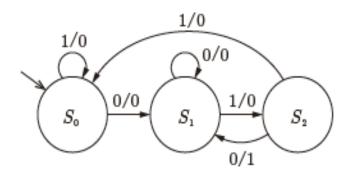


# 演習問題2解答(状態遷移図)

 パターン "010" を見つける文字列検出回路を Mealy型順序回路 で 設計せよ。

#### (解答)

- 0 が 1 回以上連続して入力された状態の  $S_1$ , 01 が連続して入力された状態の  $S_2$ , そしてその他の状態  $S_0$  を定義し, これら 3 状態を使って, Mealy型順序機械 として実現すると, 解図 $11\cdot 2$  の状態遷移図を得る.
- $S_0$  に 00,  $S_1$  に 01,  $S_2$  に 10 を割り当てると, 状態遷移関数, 出力関数は右の表のようになる( $q_1q_0=11$  はドントケア).



$q_1^+$	$q_1q_0$				$q_0^+$	$q_1q_0$			
X	00	01	11	10	Χ	00	01	11	10
0	0	0	Χ	0	0	1	1	X	1
1	0	1	Χ	0	1	0	0	X	0
Z	$q_1q_0$								
X	00	01	11	10				/	
0	0	0	Χ	1					
1	0	0	Χ	0					1



# 演習問題2解答(状態遷移関数,出力関数)

パターン "010" を見つける文字列検出回路を Mealy型順序回路 で設計せよ。

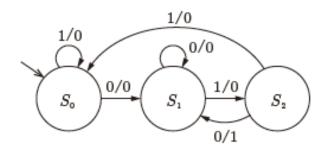
#### (解答)

状態遷移関数,出力関数は以下となる.

$$q_1^+ = x \cdot q_0$$

$$q_0^+ = \bar{x}$$

$$z = \bar{x} \cdot q_1$$



$q_1^+$	$q_1q_0$				$q_0^+$	$q_1q_0$			
X	00	01	11	10	Χ	00	01	11	10,
0	0	0	Χ	0	0	1	1	Χ	1
1	0	1	Χ	0	1	0	0	Χ	0
		,							
Z	$q_1q_0$								
X	00	01	11	10					1
0	0	0	Χ	1					0)
1	0	0	Χ	0					



#### 演習問題4

・ ビット列を入力とし、1 が入力されるまでの間に入力された 0 の個数を数え、1 が入力されたときにその個数を出力し初期状態に戻る順序回路を設計せよ、ただし、0 が連続して 10 回入力されたときも初期状態に戻るとする。初期状態は何も入力されていない状態である。例えば、初期状態からの入力が 01 のとき 1 を出力し初期状態へ遷移する動作を、入力が 001 のとき 2 を出力し初期状態へ遷移する動作を、入力が 0001 のとき 3 を出力し初期状態に戻る動作を行う。

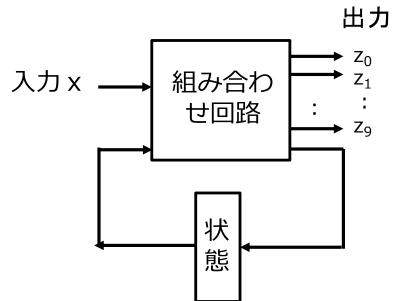


#### 考慮時間

- 5-10分間程度で問題を解いてみてください。その間,ビデオを止めてください。
- ・ この頁は30秒程度で次の頁に移行します.

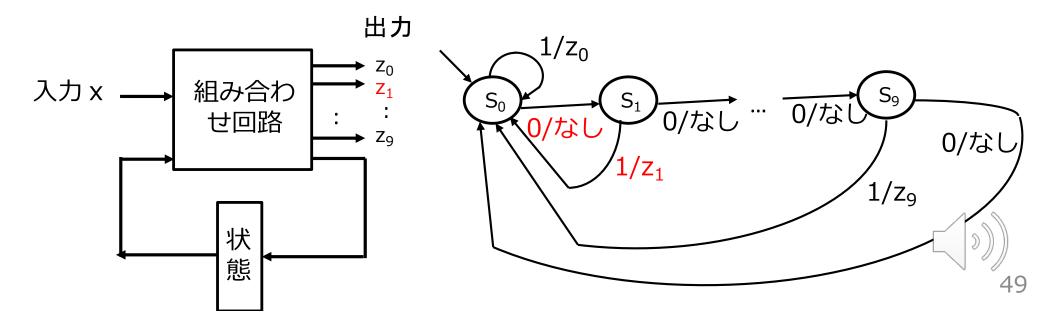


• ビット列を入力とし、1 が入力されるまでの間に入力された 0 の個数を数え、1 が入力されたときにその個数を出力し初期状態に戻る順序回路を設計せよ、ただし、0 が連続して 10 回入力されたときも初期状態に戻るとする。初期状態は何も入力されていない状態である。例えば、初期状態からの入力が 01 のとき 1 を出力し初期状態へ遷移する動作を、入力が 001 のとき 2 を出力し初期状態へ遷移する動作を、入力が 0001 のとき 3 を出力し初期状態に戻る動作を行う。



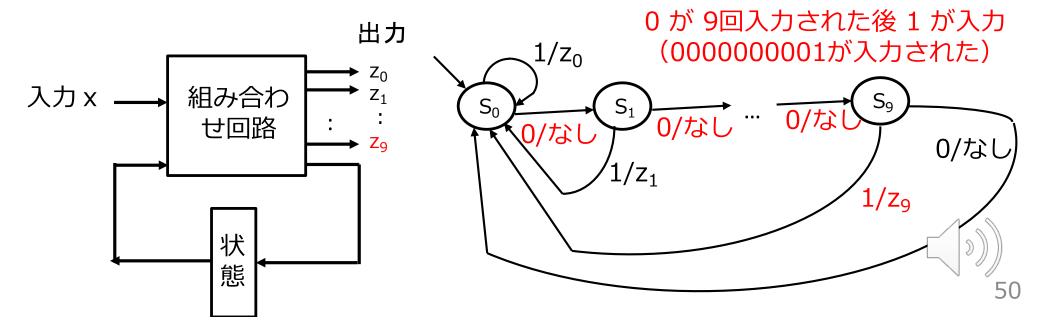


・ ビット列を入力とし、1 が入力されるまでの間に入力された 0 の個数を数え、1 が入力されたときにその個数を出力し初期状態に戻る順序回路を設計せよ、ただし、0 が連続して 10 回入力されたときも初期状態に戻るとする、初期状態は何も入力されていない状態である。例えば、初期状態からの入力が 01 のとき 1 を出力し初期状態へ遷移する動作を、入力が 001 のとき 2 を出力し初期状態へ遷移する動作を、入力が 0001 のとき 3 を出力し初期状態に戻る動作を行う。



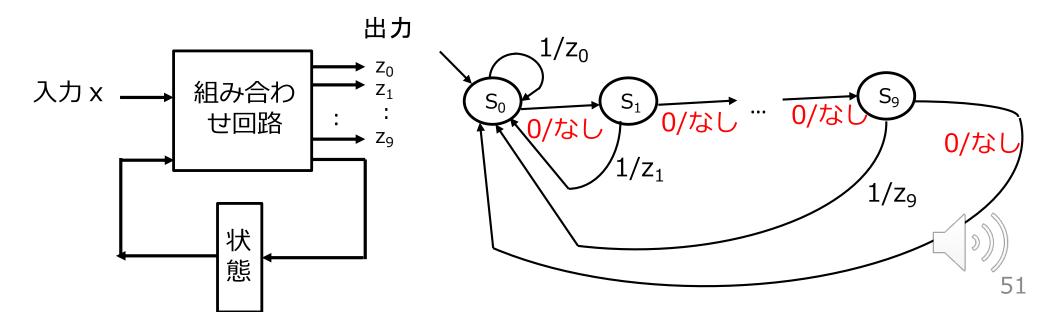


・ ビット列を入力とし、1 が入力されるまでの間に入力された 0 の個数を数え、1 が入力されたときにその個数を出力し初期状態に戻る順序回路を設計せよ、ただし、0 が連続して 10 回入力されたときも初期状態に戻るとする。初期状態は何も入力されていない状態である。例えば、初期状態からの入力が 01 のとき 1 を出力し初期状態へ遷移する動作を、入力が 001 のとき 2 を出力し初期状態へ遷移する動作を、入力が 0001 のとき 3 を出力し初期状態に戻る動作を行う。





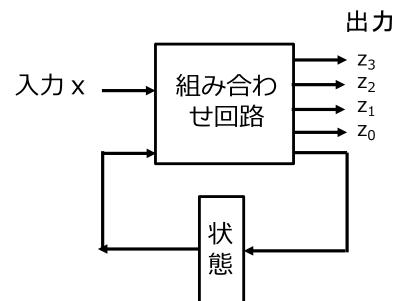
・ ビット列を入力とし、1 が入力されるまでの間に入力された 0 の個数を数え、1 が入力されたときにその個数を出力し初期状態に戻る順序回路を設計せよ。ただし、0 が連続して 10 回入力されたときも初期状態に戻るとする。初期状態は何も入力されていない状態である。例えば、初期状態からの入力が 01 のとき 1 を出力し初期状態へ遷移する動作を、入力が 001 のとき 2 を出力し初期状態へ遷移する動作を、入力が 0001 のとき 3 を出力し初期状態に戻る動作を行う。





#### 演習問題 4 解答

• ビット列を入力とし、1 が入力されるまでの間に入力された 0 の個数を数え、1 が入力されたときにその個数を出力し初期状態に戻る順序回路を設計せよ、ただし、0 が連続して 10 回入力されたときも初期状態に戻るとする。初期状態は何も入力されていない状態である。例えば、初期状態からの入力が 01 のとき 1 を出力し初期状態へ遷移する動作を、入力が 001 のとき 2 を出力し初期状態へ遷移する動作を、入力が 0001 のとき 3 を出力し初期状態に戻る動作を行う。

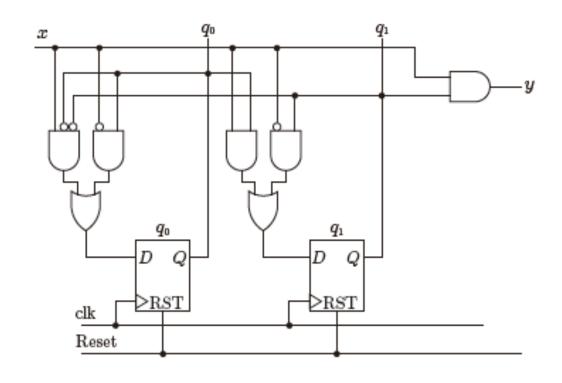


4ビットの2進数 <Z<sub>3</sub>,Z<sub>2</sub>,Z<sub>1</sub>,Z<sub>0</sub>> で0の個数の 2進数表現を 出力する回路を 生成する のでもよい



#### 演習問題5

• 回路図11·11 が実現している有限状態機械の状態遷移図を作成せよ. ただし、初期状態は  $q_1 = 0$ ,  $q_0 = 0$  とせよ. 入力 x は、クロック と同期して 0 または 1 のビットが入力されるものとする.





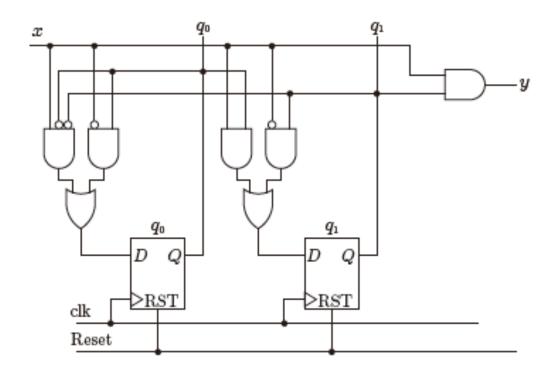
#### 考慮時間

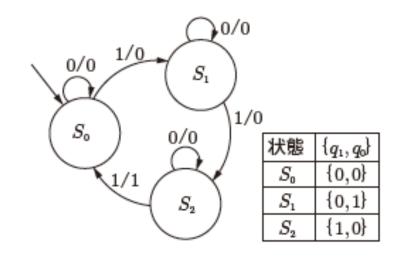
- 5-10分間程度で問題を解いてみてください。その間,ビデオを止めてください。
- ・ この頁は30秒程度で次の頁に移行します.



#### 演習問題5解答

• 回路図11·11 が実現している有限状態機械の状態遷移図を作成せよ. ただし、初期状態は  $q_1 = 0$ ,  $q_0 = 0$  とせよ. 入力 x は、クロック と同期して 0 または 1 のビットが入力されるものとする.





解図 11・4

図 11.11 の状態遷移図

図 11・11

ある有限状態機械の回路図



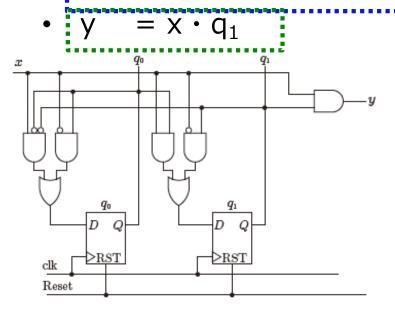


#### 演習問題 5 解答

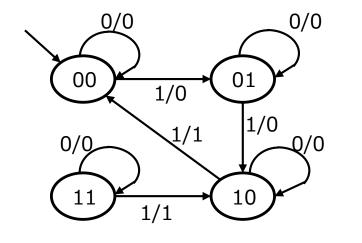
• 回路図 $11\cdot 11$  が実現している有限状態機械の状態遷移図を作成せよ. ただし、初期状態は  $q_1=0$ ,  $q_0=0$  とせよ. 入力 x は、クロック と同期して 0 または 1 のビットが入力されるものとする.



- $q_1^+ = \bar{x} \cdot q_1 \vee x \cdot q_0$
- $q_0^+ = x \cdot \overline{q_0} \cdot \overline{q_1} \vee \overline{x} \cdot q_0$



$q_1^+$	$q_1q_0$				$q_0^+$	$q_1q_0$			
Χ	00	01	11	10	Χ	00	01	11	10
0	0	0	1	1	0	0	1	1	0
1	0	1	1	Q	1	1	O	Q	0
		•••••	,						
Z	$q_1q_0$								
X	00	01	11	10					
0	0	0	0	0					
1	0	0	1	1					







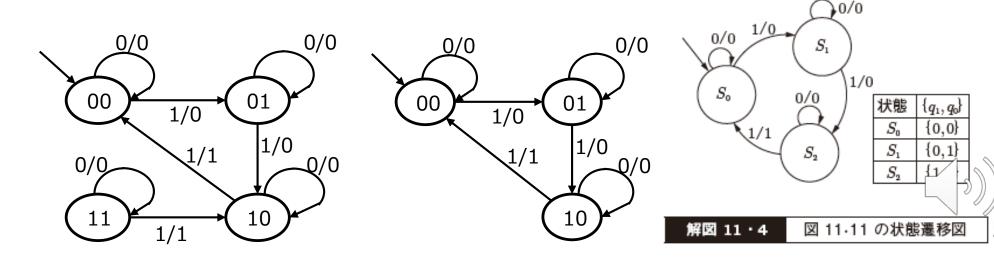
#### 演習問題 5 解答

• 回路図 $11\cdot 11$  が実現している有限状態機械の状態遷移図を作成せよ. ただし、初期状態は  $q_1=0$ ,  $q_0=0$  とせよ. 入力 x は、クロック と同期して 0 または 1 のビットが入力されるものとする.



- $q_1^+ = \bar{x} \cdot q_1 \vee x \cdot q_0$
- $q_0^+ = x \cdot \overline{q_0} \cdot \overline{q_1} \vee \overline{x} \cdot q_0$
- $y = x \cdot q_1$

$q_1^+$	$q_1q_0$				$q_0^+$	$q_1q_0$			
Χ	00	01	11	10	Χ	00	01	11	10
0	0	0	1	1	0	0	1	1	0
1	0	1	1	Ω	1	1	Q	Q	0
		•••••	,						
Z	$q_1q_0$								
Χ	00	01	11	10					
0	0	0	0	0					
1	0	0	1	1					





# 3回目の授業のレポート課題

基礎工学部情報科学科 東野輝夫





### 3 回目の授業のレポート課題 139頁の演習問題 3

レポート課題

#### (課題3)

- パターン "100" を見つける文字列検出回路を Moore型順序回路 で設計せよ.
- 最終的な解答は教科書の末尾に書かれていますが、このレポート課題では状態遷移図をどう作り、その遷移図の  $S_0$  に 00,  $S_1$  に 01,  $S_2$  に 11,  $S_3$  に 10 と割り当てると、状態遷移関数、出力関数がカルノー図でどう表されるかや、そのカルノー図から状態遷移関数、出力関数の最簡積和形をどう導出するかなどの計算過程を明記ください.
- 提出先:wordやpower pointなどで電子的に作成するか,紙に書いた解答をスマホで写真を取ったりスキャナーなどで読み取り、pdfやjpeg, gif などの形式で電子化して CLE にアップして下さい.
- 締切:10月27日(火)23:59 (次の授業の前日迄).
- 4回目の授業は 10月28日(水) の15:10 から実施します. 授業のビデ オは当日の12:30以降に視聴できるようになります.



#### 授業計画

2年生後期の実験と 関係が深いので 順番を入れ替えて 先に授業を実施します

- 授業計画:東野担当の授業計画は下記の通りです.
  - 1. ドントケアを含む論理関数の簡単化(6章)
  - 2. フリップフロップとレジスタ(10章)
  - 3. 同期式順序回路(Mealy型, Moore型順序回路)(11章)
  - 4. カルノー図を用いた論理関数の簡単化(1章から5章の復習)
  - 5. 組合せ論理回路設計、よく用いられる組み合わせ回路(7章,8章)
  - 6. 加減算器とALU、カウンタ(9章, 13章)
  - 7. 演習
  - 8. 中間試験(1章~11章, 13章)
  - 9. 順序回路の簡単化(12章)
  - 10. I Cを用いた順序回路の実現(15章)
  - 11. 演習
  - 12.C P Uの設計(付録)
  - 13.CPUの設計, 演習
  - 14.乗算器と除算器(14章)
  - 15.期末試験(12章, 14章, 15章, 付録)





# 3回目の授業終了

基礎工学部情報科学科 東野輝夫



### 授業終了

皆さん レポート提出してくださいね!