

[ B-3. 順序回路 ]

**目的** 組合せ回路は、その出力が現在の入力によってのみ決まるのに対して、順序回路は、その出力が現在の入力だけではなく過去の入力系列にも依存するような回路である。本実験では、順序回路を構成する基本的な要素であるフリップフロップの仕組みと同期式順序回路の設計方法の理解を目的とする。

1 原理

1.1 順序回路の基礎

順序回路の概念図を図 1 に示す。順序回路では現在の入力だけでなく、過去にどのような入力がどのような順序で加えられたかによって出力が決定する。従って、順序回路は過去の入力値に関して必要な情報を記憶しておかなければならない。この情報のことを**状態 (state)** と呼ぶ。状態を記憶しておくために、順序回路ではフリップフロップやラッチと呼ばれる記憶素子を使用する。順序回路は動作のタイミングをクロックと呼ばれる基準信号で同期する同期式順序回路とクロックを用いない非同期式順序回路に分類できる。本実験では同期式順序回路のみを取り扱う。同期式順序回路では記憶素子にフリップフロップを使用する。同期式順序回路の概念図を図 1(b) に示す。このように、組合せ回路からの出力の一部をフリップフロップを通してフィードバックし、クロック (CLK) により一斉にタイミングをとって回路の動作を進行させていく。

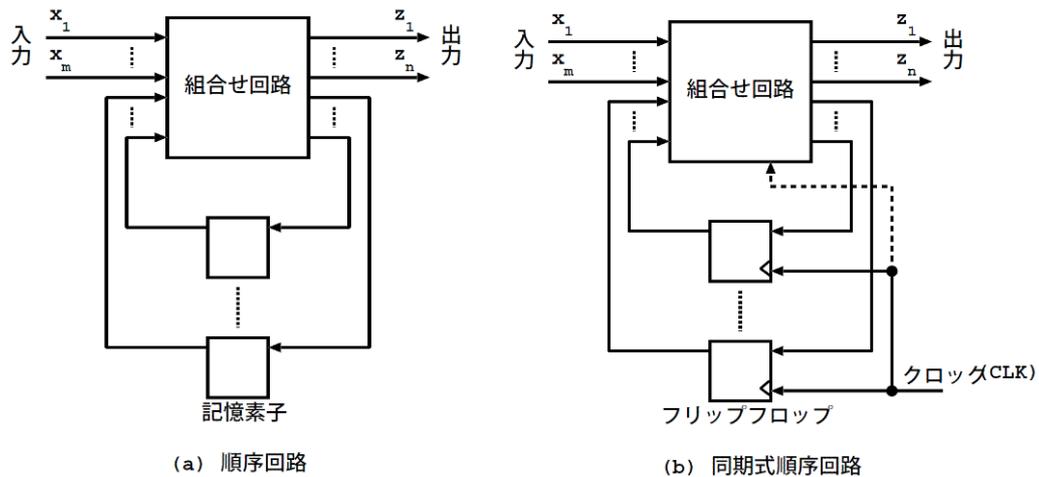


図 1 : 同期式順序回路の概念図

## 1.2 フリップフロップ

順序回路で使用される記憶素子にはフリップフロップとラッチがあり、どちらも 1 ビットの状態を記憶することができる。フリップフロップとラッチの違いは、クロックによって状態が遷移するタイミングの違いである。ラッチの場合、クロックが 1 である間は入力の変化に応じて出力がいつでも遷移する。一方、フリップフロップはクロックの立ち上りもしくは立ち下がりエッジでのみ状態が遷移する。

フリップフロップには SR, JK, T, D の 4 タイプがある。それぞれのフリップフロップを表す記号と特性表および入力要求表を図 2 に示す。

特性表とは、入力によって出力状態がどのように遷移するかを示したものであり、入力要求表は逆に出力状態の遷移を起こすのに入力はどうしたら良いかを示したものである。記号の  $\triangleright$  はクロック・パルスの立ち上りによって遷移が行われることを示している。 $Q(t)$  はフリップフロップの現在の状態、 $Q(t+1)$  は次の状態を示す。

SR フリップフロップでは S と R を同時に 1 にした場合、その後の回路の動作を定義できないため入力が禁止されている。JK フリップフロップでは J と K が同時に 1 になれば状態が反転する。それぞれのフリップフロップのタイミングチャートを図 3 に示す。

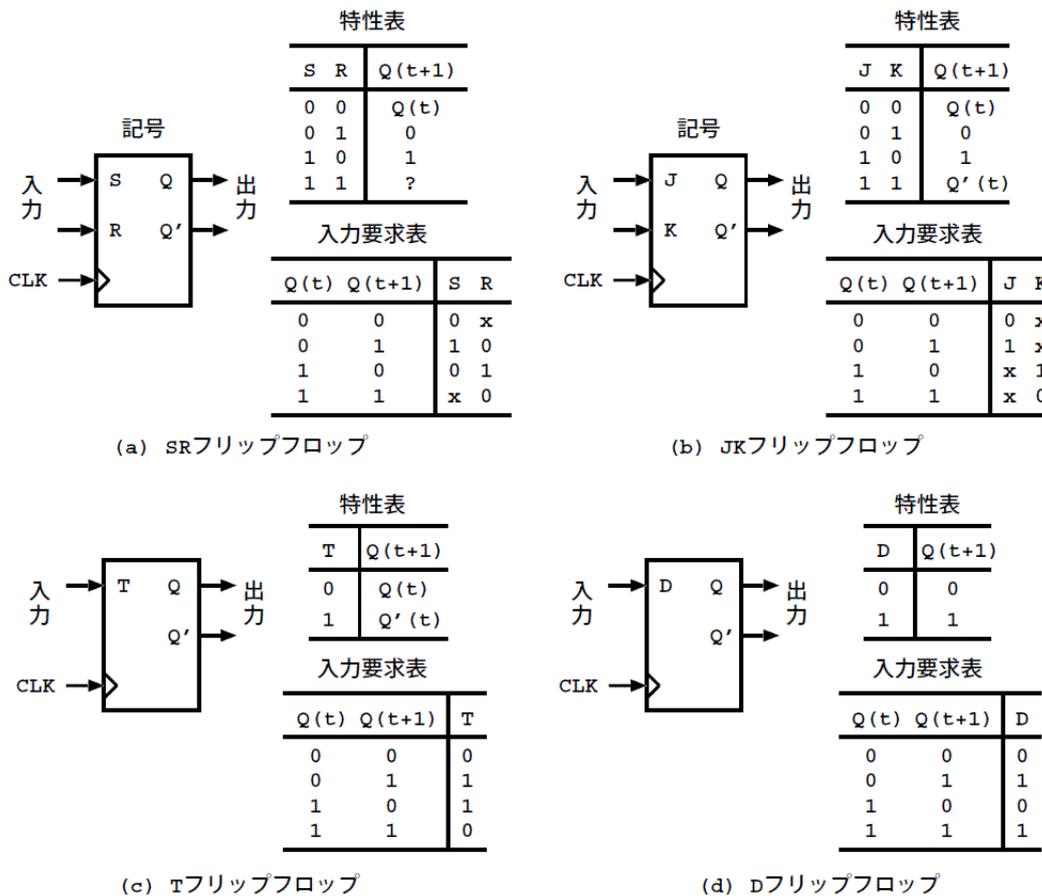


図 2: フリップフロップ

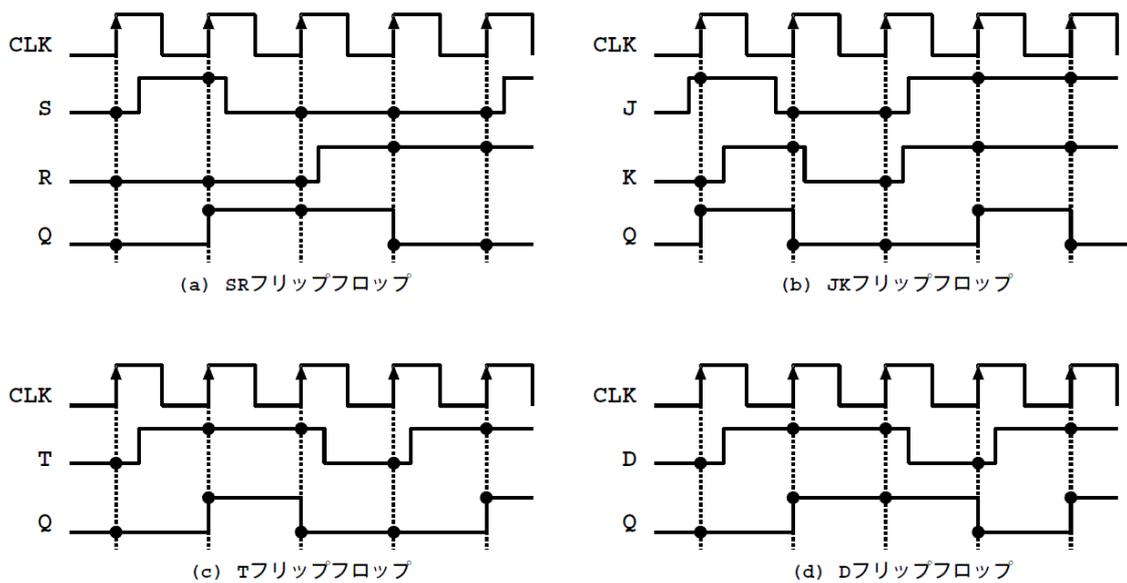


図 3 : フリップフロップのタイミングチャート

4 タイプのフリップフロップを挙げたが、設計の容易さから一般的に D フリップフロップが使用されている。

D フリップフロップ内部をもう少し詳しく見てみる。フリップフロップはラッチと呼ばれる記憶素子を用いて構成される。フリップフロップとラッチの違いは、前者がクロックのエッジでのみ状態の遷移が起こるのに対して、後者はクロックが 1 である間、状態の遷移が起こる。図 4 (a) に D ラッチを、図 4 (b) に D ラッチを二つ用いて構成した、クロックの立ち上りエッジで動作する D フリップフロップを示す。

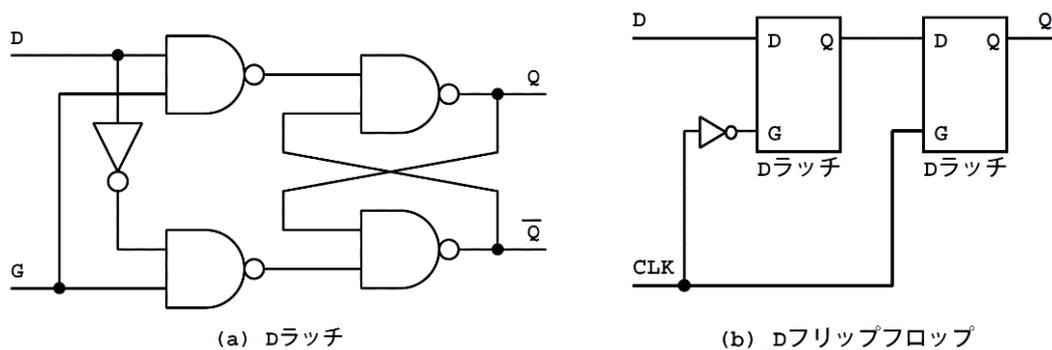


図 4 : D フリップフロップ

## 2 順序回路の設計

2 ビットのバイナリ(2 進)カウンタの実現を例に順序回路の設計手順を述べる. 入力としてはカウントイネーブル信号(CE), 出力としては現在のカウンタ数(C0,C1)をもつとする. また, 使用するフリップフロップは D フリップフロップである (図 5 (a)).

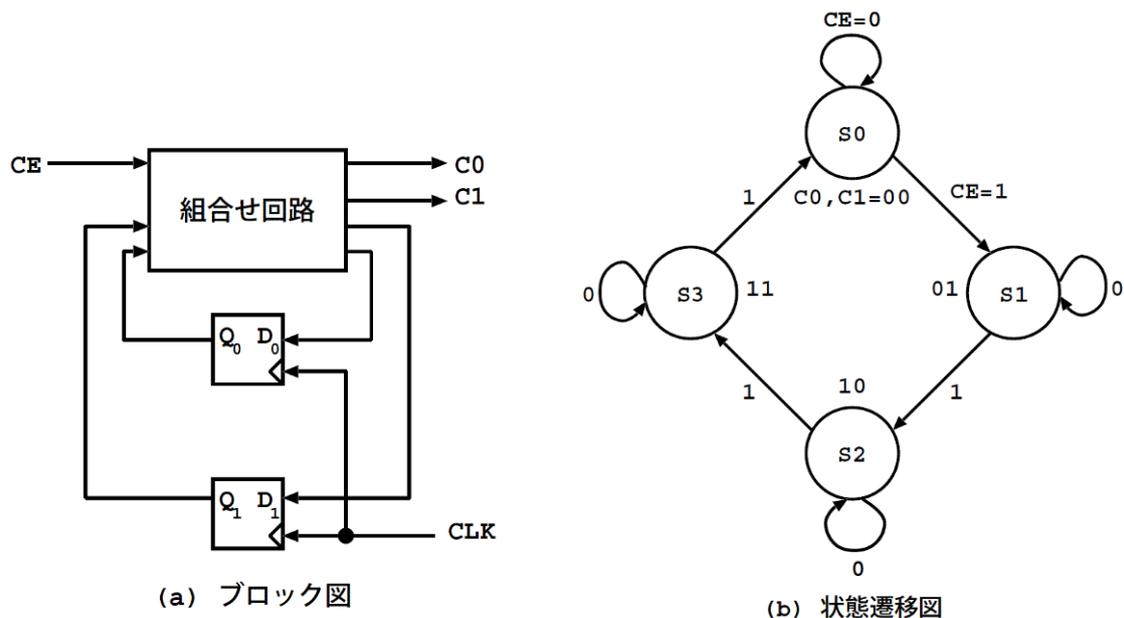


図 5 : 2 ビットバイナリカウンタ

### (1) 状態遷移図の作成

2 ビットの 2 進数をクロックに同期して 0 から 3 まで数え上げていくので, 状態遷移図は図 5 (b) のようになる. 状態図では, 各状態を丸で示し, 状態遷移は矢印のついた線で示す. そして, その状態遷移を引き起こす入力をその線に沿って記入する.

### (2) 状態遷移表の作成

次に作成した状態遷移図から状態遷移表に変換する (表 1). 状態遷移表は状態遷移図を表形式で表したものであり, 現在の各状態につき, 入力信号ごとに次の状態と出力がまとめられている.

### (3) 状態割当および入力要求表の作成

フリップフロップの値を状態に割り当て, 入力要求表を作成する.

表 1 : 状態遷移表

| 現在の状態 | 入力 (CE) | 次の状態 | 出力 (C1 C0) |
|-------|---------|------|------------|
| S0    | 0       | S0   | 0 0        |
| S1    | 0       | S1   | 0 1        |
| S2    | 0       | S2   | 1 0        |
| S3    | 0       | S3   | 1 1        |
| S0    | 1       | S1   | 0 0        |
| S1    | 1       | S2   | 0 1        |
| S2    | 1       | S3   | 1 0        |
| S3    | 1       | S0   | 1 1        |

表 2 : 入力要求表

| 現在の状態 |              | 入力 | 次の状態           | 出力        | D 入力      |
|-------|--------------|----|----------------|-----------|-----------|
| 状態    | $Q_1 Q_0(t)$ | CE | $Q_1 Q_0(t+1)$ | $C_1 C_0$ | $D_1 D_0$ |
| $S_0$ | 00           | 0  | 00             | 00        | 00        |
| $S_1$ | 01           | 0  | 01             | 01        | 01        |
| $S_3$ | 11           | 0  | 11             | 11        | 11        |
| $S_2$ | 10           | 0  | 10             | 10        | 10        |
| $S_0$ | 00           | 1  | 01             | 00        | 01        |
| $S_1$ | 01           | 1  | 10             | 01        | 10        |
| $S_3$ | 11           | 1  | 00             | 11        | 00        |
| $S_2$ | 10           | 1  | 11             | 10        | 11        |

(4) フリップフロップの入力回路の作成

表 2 より  $D_0$ ,  $D_1$  の入力関数を求める.

$$D_1 = Q_1 \cdot \overline{CE} + \overline{Q_1} \cdot \overline{Q_0} + \overline{Q_1} \cdot Q_0 \cdot CE$$

$$D_0 = Q_0 \cdot \overline{CE} + \overline{Q_0} \cdot CE$$

(5) 出力回路の作成

出力回路は表 2 より,

$$C_1 = Q_1$$

$$C_0 = Q_0$$

となる. 2 ビットバイナリカウンタの回路図を図 6 に示す.

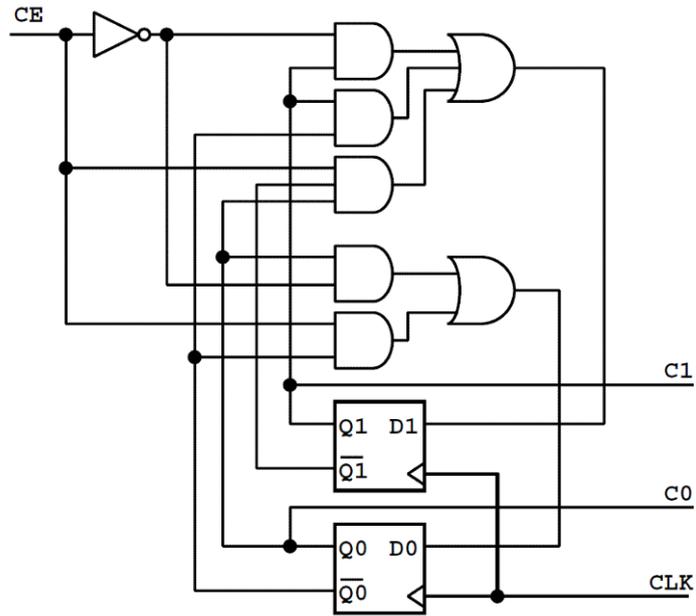


図 6 : 2 ビットバイナリカウンタの回路図

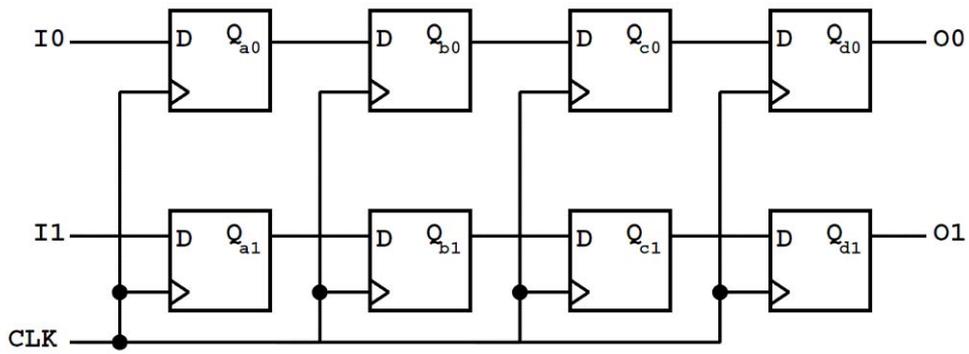


図 7 : 2 ビット×4 段シフトレジスタ

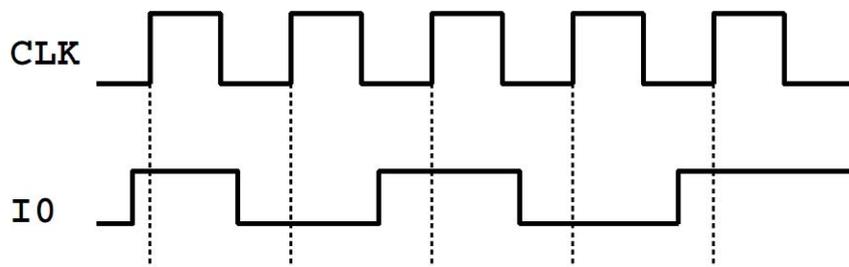


図 8 : 入力パターン

## 3 実験

### 3.1 実験器具

- ・ブレッドボード(IC トレーナ) 1台
- ・標準 TTL IC(付録 A)
- ・ジャンプワイヤ

### 3.2 実験課題

- (1) 図 4(a) の D ラッチを作成し動作の確認をせよ。
- (2) 図 7 を参考にして, 74LS175 を用いて 1 ビット×4 段シフトレジスタを作成せよ。  
また, 作成したシフトレジスタに図 8 のようなパターン (I0) を入力した場合の各フリップフロップの出力のタイミングチャートを書き, 実際の動作を確認せよ。
- (3) 次のような自動販売機を実現する回路を設計せよ。
  - (3-a) この販売機は 100 円のガムを販売するものである。
  - (3-b) この販売機に投入できる硬貨は 50 円硬貨と 100 円硬貨である。  
ただし, 硬貨は 1 枚ずつ投入されるものとし, 50 円と 100 円など, 複数枚が同時に投入されることは無いものとする。
  - (3-c) この販売機に 100 円以上のお金が入るとガムと釣りが出る。  
自動販売機に投入された金額の合計が 0 円, 50 円である状態を A, B で表す。  
また, 入出力信号を以下のように定義する。  
入力  
C10 : 100 円硬貨が投入されたとき 1 となる信号  
C5 : 50 円硬貨が投入されたとき 1 となる信号  
出力  
CHG : おつりがあるとき 1 となる信号  
GUM : ガムを出すとき 1 となる信号
- (3-d) 入力パターンとして, 100 円, 50 円, 50 円, 50 円, 100 円の順で入力したときのタイミングチャートを作成し, 実際の動作を確認せよ。

## 4 考察

実験結果について考察せよ。

## 5 調査

- (1) 2章で取り上げた、2ビットバイナリカウンタをJKフリップフロップを用いて再設計せよ。また、Dフリップフロップを用いて設計した場合との違いを比較検討せよ。
- (2) 実験で作成したシフトレジスタにおいて、DフリップフロップではなくDラッチを用いた場合に起こる現象について検討せよ。
- (3) Dフリップフロップには最大動作周波数がある。その測定方法を調査せよ。
- (4) シフトレジスタは、どのような用途に用いられるか調査せよ。
- (5) 順序回路を高速で動作させるためには、フリップフロップのセットアップタイムとホールドタイムが非常に重要になってくる。それらについて調査せよ。

以上