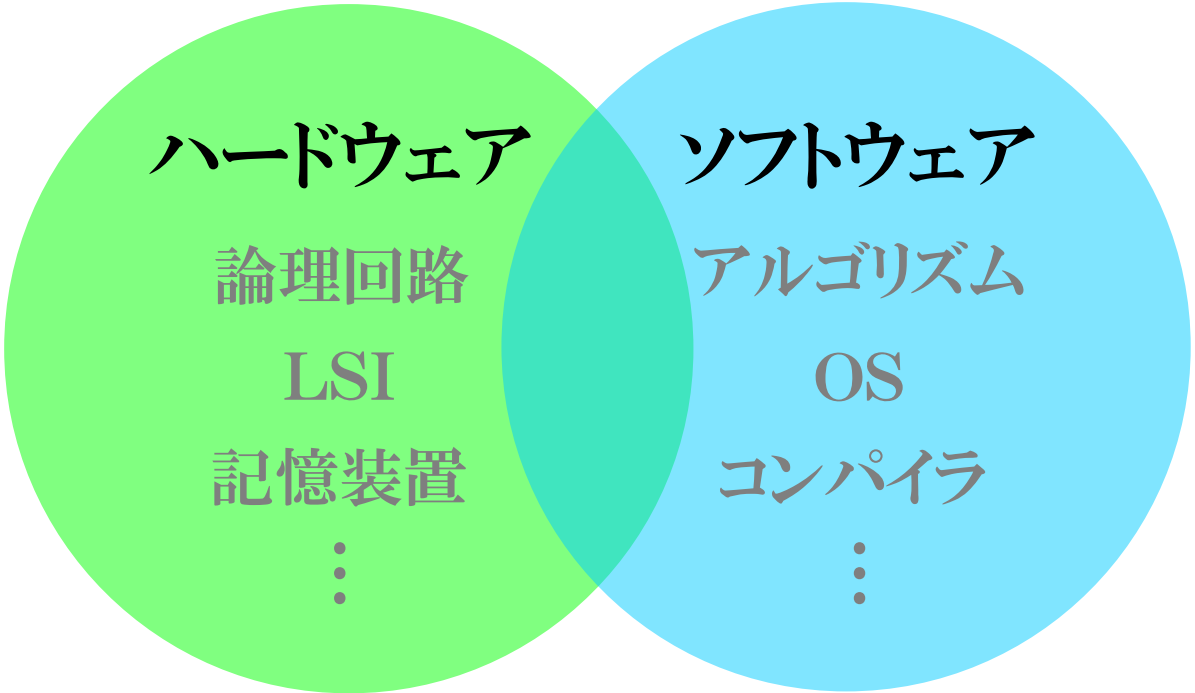
コンピュータ工学 I

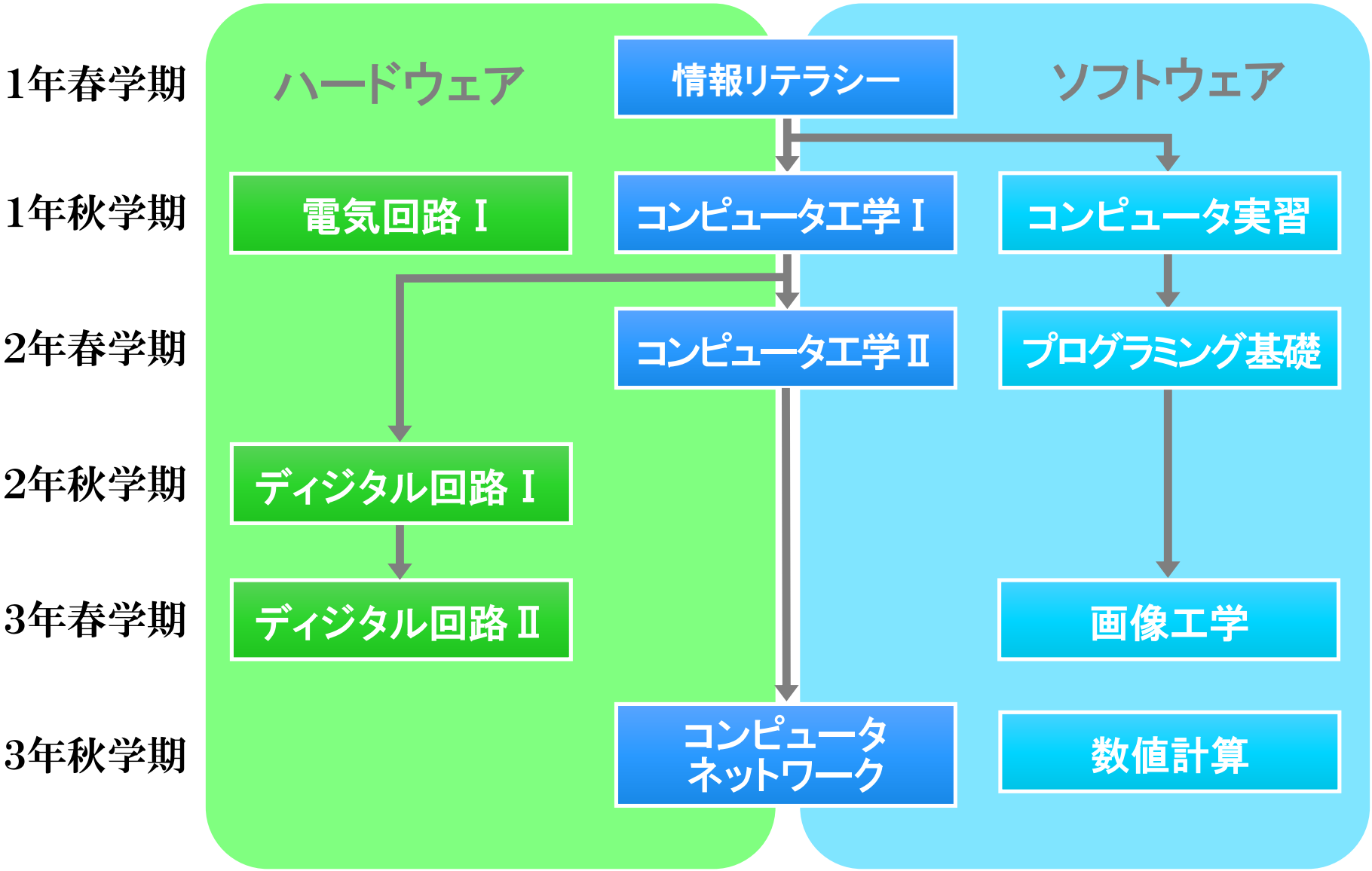
Rev. 2017.11.16

コンピュータ工学とは

コンピュータを実現するための技術について、ハードウェアとソフトウェアの両側面から研究する学問。



カリキュラム体系


1年春学期
1年秋学期
2年春学期
2年秋学期
3年春学期
3年秋学期
ハードウェア
ソフトウェア
情報リテラシー
電気回路Ⅰ
コンピュータ工学Ⅰ
コンピュータ実習
コンピュータ工学Ⅱ
プログラミング基礎
ディジタル回路Ⅰ
ディジタル回路Ⅱ
画像工学
コンピュータ
ネットワーク
数値計算

コンピュータ工学Ⅰの内容

✤学習の目標

CPUの構造と動作の仕組みを理解する。

✤学習の内容

1. 数と文字の表現方法
2. 論理回路の設計
3. CPUの構成要素
4. アセンブリ言語とCPUの動作

数と文字の表現方法

✣ 内容

❶ 正の整数

❷ 演算

❸ 負の整数

❹ 実数

❺ 文字

データの記憶・伝達

電気の2状態　ON　OFF

2進数　1　0

10111000111001111110101000001101

2進数に変換

数値化

音声データ

画像データ

文章データ

数値データ

2015　2.718281828

−322　6.0221×10^{23}

正の整数

✤ 数の表記

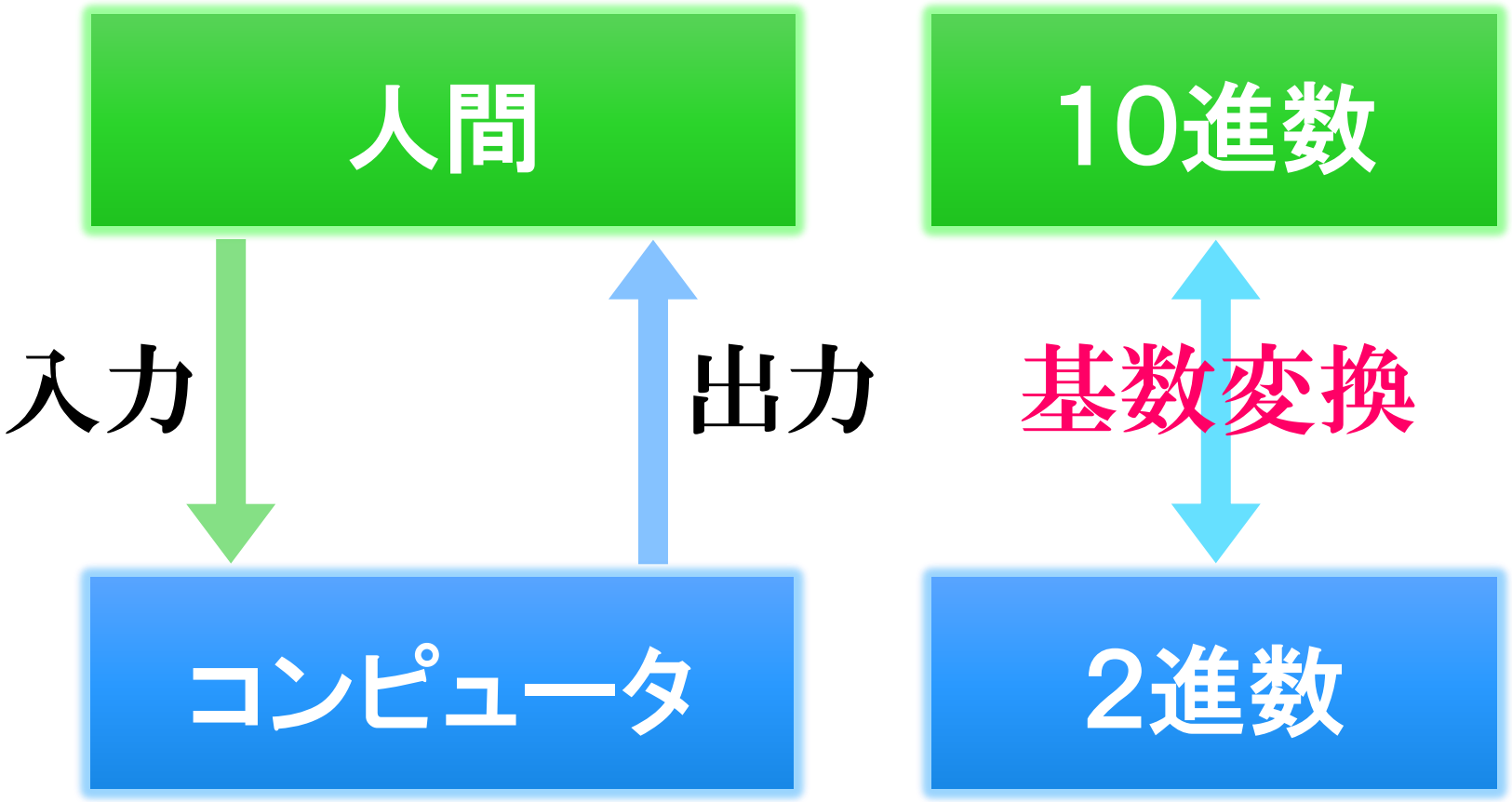
$N_{(p)}$：p進数の数値N

基数

✤ 基数変換

ある基数の数値を、別の基数の表記に変える。

基数変換



p進数整数→10進数

10進数を$N_{(10)}$、

p進数整数を $d_n d_{n-1} \cdots d_1 d_0\ _{(p)}$とする。

$$N = d_n \cdot p^n + d_{n-1} \cdot p^{n-1} + \cdots + d_1 \cdot p^1 + d_0$$

p進数小数部→10進数

p進数小数部を $0.d_{-1}d_{-2}\cdots d_{m\,(p)}$ とする。$(m<0)$

$$N = d_{-1}\cdot p^{-1} + d_{-2}\cdot p^{-2} + \cdots + d_m \cdot p^m$$

p進数実数→10進数

10進数を$N_{(10)}$、p進数を

$d_n d_{n-1} \cdots d_1 d_0 \bullet d_{-1} d_{-2} \cdots d_{m+1} d_m \,(p)$

とする。$(n > 0 > m)$

重要!

$$N = d_n \cdot p^n + d_{n-1} \cdot p^{n-1} + \cdots + d_1 \cdot p^1 + d_0$$
$$+ d_{-1} \cdot p^{-1} + d_{-2} \cdot p^{-2} + \cdots + d_m \cdot p^m$$

10進数整数→p進数

重要!

$$
\begin{array}{rll}
p\,) & N_{(10)} & \text{余り} \\
p\,) & q_0 & \cdots\ d_0 \\
p\,) & q_1 & \cdots\ d_1 \\
 & \vdots & \\
p\,) & q_{n-1} & \cdots\ d_{n-1} \\
 & 0 & \cdots\ d_n = q_{n-1}
\end{array}
$$

$$
N_{(10)} = d_n d_{n-1} \cdots d_1 d_0\ (p)
$$

原理

$$N_{(10)} \leftrightarrow d_n d_{n-1} \cdots d_2 d_1 d_0\ (p)$$

$$N$$
$$= d_n \cdot p^n + d_{n-1} \cdot p^{n-1} + \cdots + d_2 \cdot p^2 + d_1 \cdot p + d_0$$
$$= p \cdot (d_n \cdot p^{n-1} + d_{n-1} \cdot p^{n-2} + \cdots + d_2 \cdot p + d_1) + d_0$$

$N \div p$の商

$N \div p$の余り

N を p で繰り返し割っていけば、
その余りから $d_0, d_1, \cdots, d_n$ が順番に求まる。

10進数小数部→p進数

重要！

$$N \times p = a_0 + b_0$$
$$b_0 \times p = a_1 + b_1$$
$$b_1 \times p = a_2 + b_2$$
$$\vdots$$

$0 < N_{(10)} < 1$

a_i 整数部

b_i 小数部

とする。

$b_n = 0$ になるまで続ける。

$$N_{(10)} = 0.\, a_0 a_1 \cdots a_n\ (p)$$

基数変換まとめ

✣ p進数 → 10進数

p進数のk桁目の値d_kにp^kを掛けて総和を取る。1の位が0桁目になる。

✣ 10進数 → p進数

整数部をpで割っていき、余りを右から順に並べる。

小数部にpを掛けていき、整数値を左から順に並べる。

16進数

2進数　　0 1

4進数　　0 1 2 3

8進数　　0 1 2 3 4 5 6 7

10進数　0 1 2 3 4 5 6 7 8 9

16進数　0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 A B C D E F

数字として使う

2進数表記では桁数が多くなるので、便宜上、16進数で表記して桁数を少なくする。

2進数

重要!

MSB(最上位bit)　　LSB(最下位bit)

1 0 1 0 1 (2)

bit　2進数の1桁

8 bit ＝ 1 byte

$n$bitの2進数は、2^n個の数を表現できる。

2進数の加算

✤基本演算

0	1	1	1
+ 0	+ 0	+ 1	+ 1
0	1	10	11

bit数の制限

コンピュータの記憶容量は有限

数値1個のbit数（桁数）に上限がある

- bit数が分かるように、MSBまでを0で埋めて表記する。
- MSBを越えた（オーバーフローした）bitの情報は捨てる。

シフト演算

- 2進数の全bitを左または右に移動する。
- MSBまたはLSBを越えたbitの情報は捨てる。

重要!

$n$bit 左シフト → 2^n倍になる。

$n$bit 右シフト → $\frac{1}{2^n}$倍になる。

※MSBやLSBを越えない範囲で

2進数の乗算

シフト演算と加算の組み合わせで実現できる。

```
    111
  × 101
  -----
    111     111を0bit左シフト
+ 11100     111を2bit左シフト
  -----
 100011     答え
```

負の整数

コンピュータは０と１しか使えない。

↓

＋とーの符号が存在しない

✤負の数の表現方法

❶ 符号絶対値法

❷ 1の補数

❸ 2の補数

符号絶対値法

MSBを符号として用いる。

0 0 0 1 1 1

重要!

符号bit

0 → ＋　正の数、または、0

1 → －　負の数

1の補数

✤ 1の補数とは

2進数 x の**1の補数**を $\overline{x}$ とするとき、

$$x + \overline{x} = 111\cdots1_{(2)}$$

となる。

✤ 求め方

重要!

x の0を1に、1を0に置き換える。

（bit反転）

2の補数

✤ 2の補数とは

2進数 x の**2の補数**を x' とするとき、

$$x + x' = 100\cdots0_{(2)}$$

となる。

✤ 求め方

重要!

x の**1の補数**に1を足す。

コンピュータにおける減算の方法

減算は、負の数との加算に置き換えて計算する。

$$2-5=$$

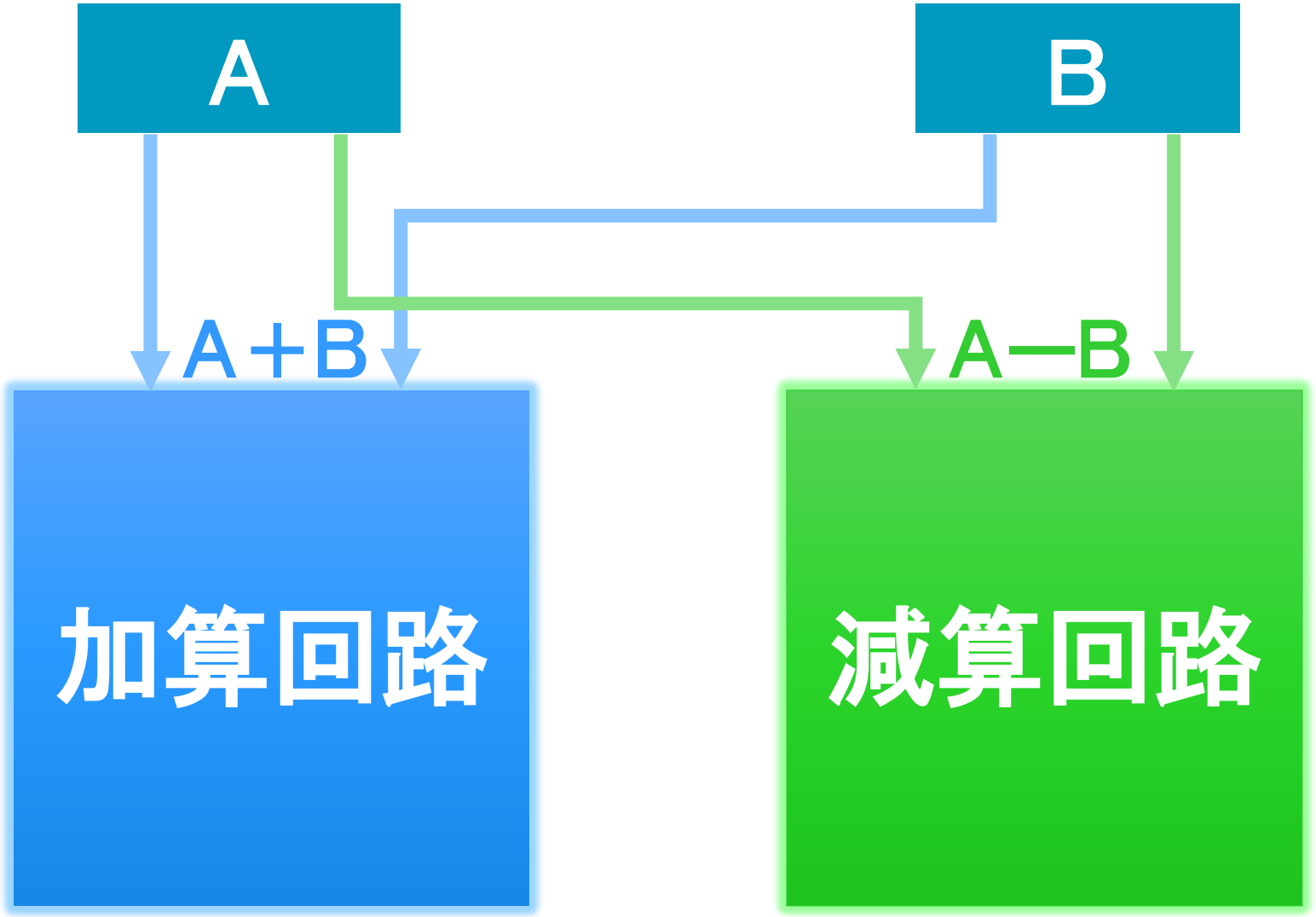
$$2+(-5)=$$

コンピュータ設計の方針

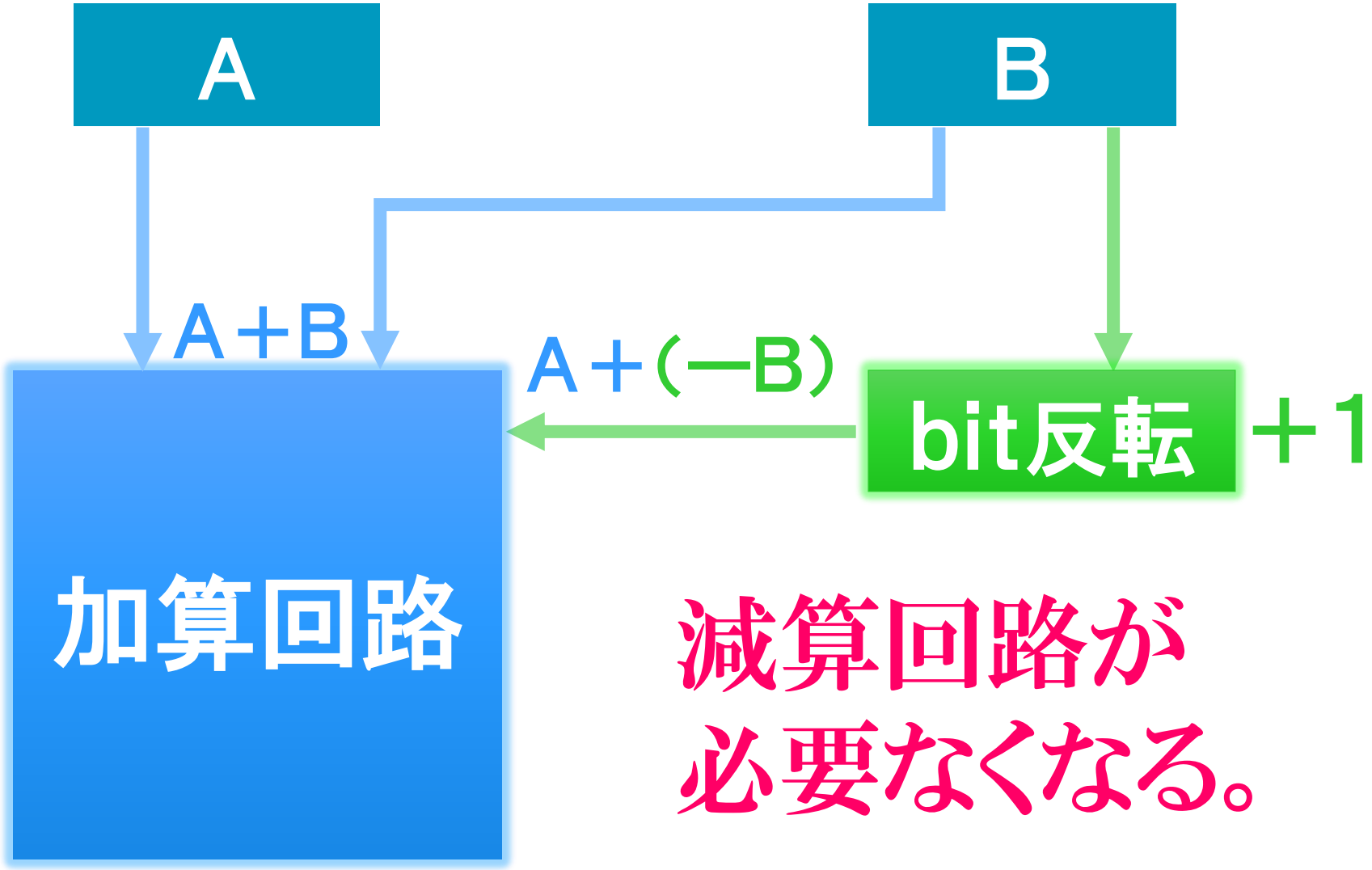
- 良いコンピュータとは？
  - 高速
  - 小型
  - 低コスト

コンピュータの回路の無駄を省き、可能な限り小さく構成する。

加減算回路の構成①



加減算回路の構成②



減算回路が
必要なくなる。

コンピュータでの実数の表現方法

- **固定小数点数**

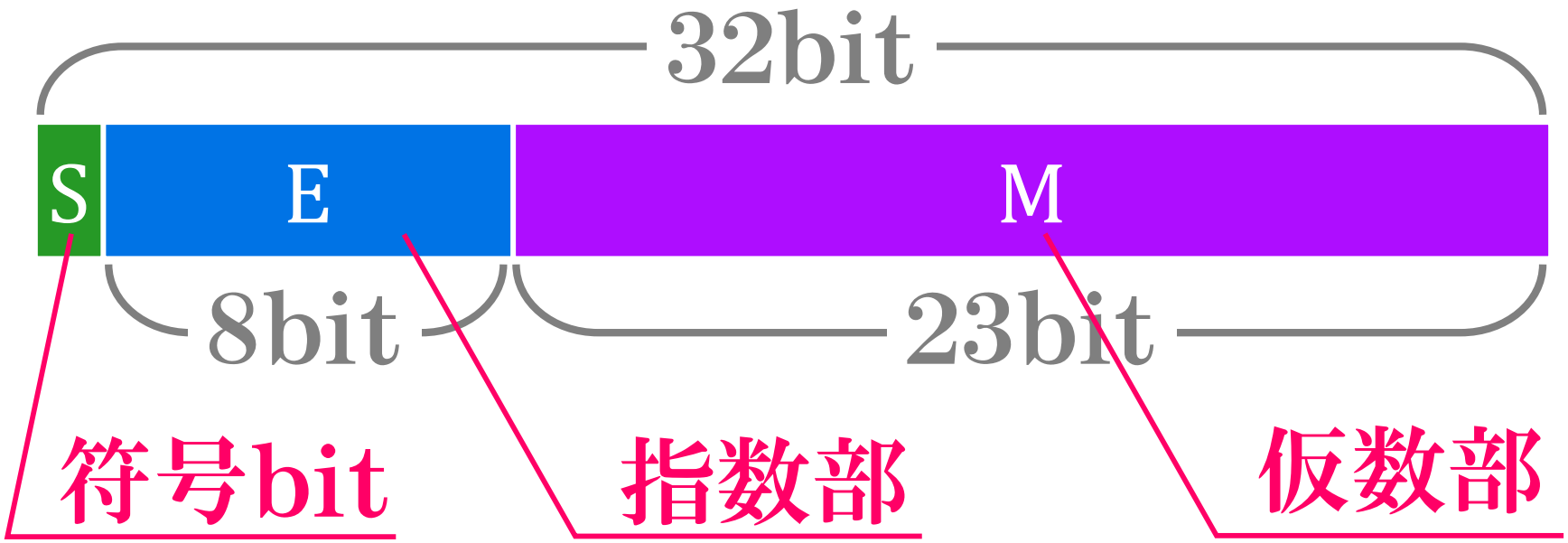
  小数点の位置を特定のbitの間に固定する。

  整数は、小数部のない固定小数点数

- **浮動小数点数**

  仮数部と指数部に分けて数値を表現する。

単精度浮動小数点数



重要!

$$N = (-1)^{S} \times 1.M_{(2)} \times 2^{E-127}$$

C言語の変数型（参考）

整数型（固定小数点数）

型名	bit数	表現できる数値の範囲
char	8	−128～127
short	16	−32768～32767
long (int)	32	−2147483648～2147483647

実数型（浮動小数点数）

型名	bit数	仮数のbit数	指数の範囲
float	32	23	2の−126～127乗
double	64	52	2の−1022～1023乗

整数(固定小数点数)同士の計算

$$
\begin{array}{r}
0011101 \\
+\ 0000110 \\
\hline
0100011
\end{array}
$$

bitの並びを変えずに計算ができる。

計算処理が単純 ➡ 計算が速い

実数(浮動小数点数)同士の計算

$$
\begin{array}{r}
1.1101\times 2^{5} \\
+\ 1.1000\times 2^{3} \\
\hline
\end{array}
$$

$$
\begin{array}{r}
1.1101\times 2^{5} \\
+\ 0.0110\times 2^{5} \\
\hline
10.0011\times 2^{5}
\end{array}
$$

$$1.0001\times 2^{6}$$

指数の値を揃えてから計算する。

計算処理が複雑 ➡ 計算が遅い

数値表現の長所と短所

固定小数点数	浮動小数点数
表現できる数値の範囲が狭い	表現できる数値の範囲が広い
計算が速い	計算が遅い

誤差問題

- **丸め誤差**
  小数点以下の下位の桁を削除することにより誤差が生じる。
- **情報落ち**
  絶対値の大きい数と小さい数の加減算をするとき、小さい数が計算結果に反映されない。
- **桁落ち**
  ほぼ等しい数の減算をするとき、有効桁数が大幅に失われる。

8bit JISコード

ASCIIコード

上位 4bit

文字コード
41(16)

下位 4bit

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	A	B	C	D	E	F
0				0	@	P	`	p				ー	タ	ミ		
1			!	1	A	Q	a	q			。	ア	チ	ム		
2			"	2	B	R	b	r			「	イ	ツ	メ		
3			#	3	C	S	c	s			」	ウ	テ	モ		
4			$	4	D	T	d	t			、	エ	ト	ヤ		
5			%	5	E	U	e	u			・	オ	ナ	ユ		
6			&	6	F	V	f	v			ヲ	カ	ニ	ヨ		
7			'	7	G	W	g	w			ァ	キ	ヌ	ラ		
8			(	8	H	X	h	x			ィ	ク	ネ	リ		
9			)	9	I	Y	I	y			ゥ	ケ	ノ	ル		
A			*	:	J	Z	j	z			ェ	コ	ハ	レ		
B			+	;	K	[	k	{			ォ	サ	ヒ	ロ		
C			,	<	L	¥	l	|			ャ	シ	フ	ワ		
D			-	=	M	]	m	}			ュ	ス	ヘ	ン		
E			.	>	N	^	n	~			ョ	セ	ホ	゛		
F			/	?	O	_	o				ッ	ソ	マ	゜		

16bit JISコード

16bit　　8bit

東京City

456C　357E　43　69　74　6F (16)

E1 5~ City

コードの種類を誤ると、文字化けが起こる。

16bit JISコード

16bit　　8bit

東京city

456C　357E　43　69　74　6F (16)

1B2442
16bitコード開始

1B284A
8bitコード開始

制御コードを
埋め込む

16bit シフトJISコード

16bit　　8bit

東京city

938C　8B9E

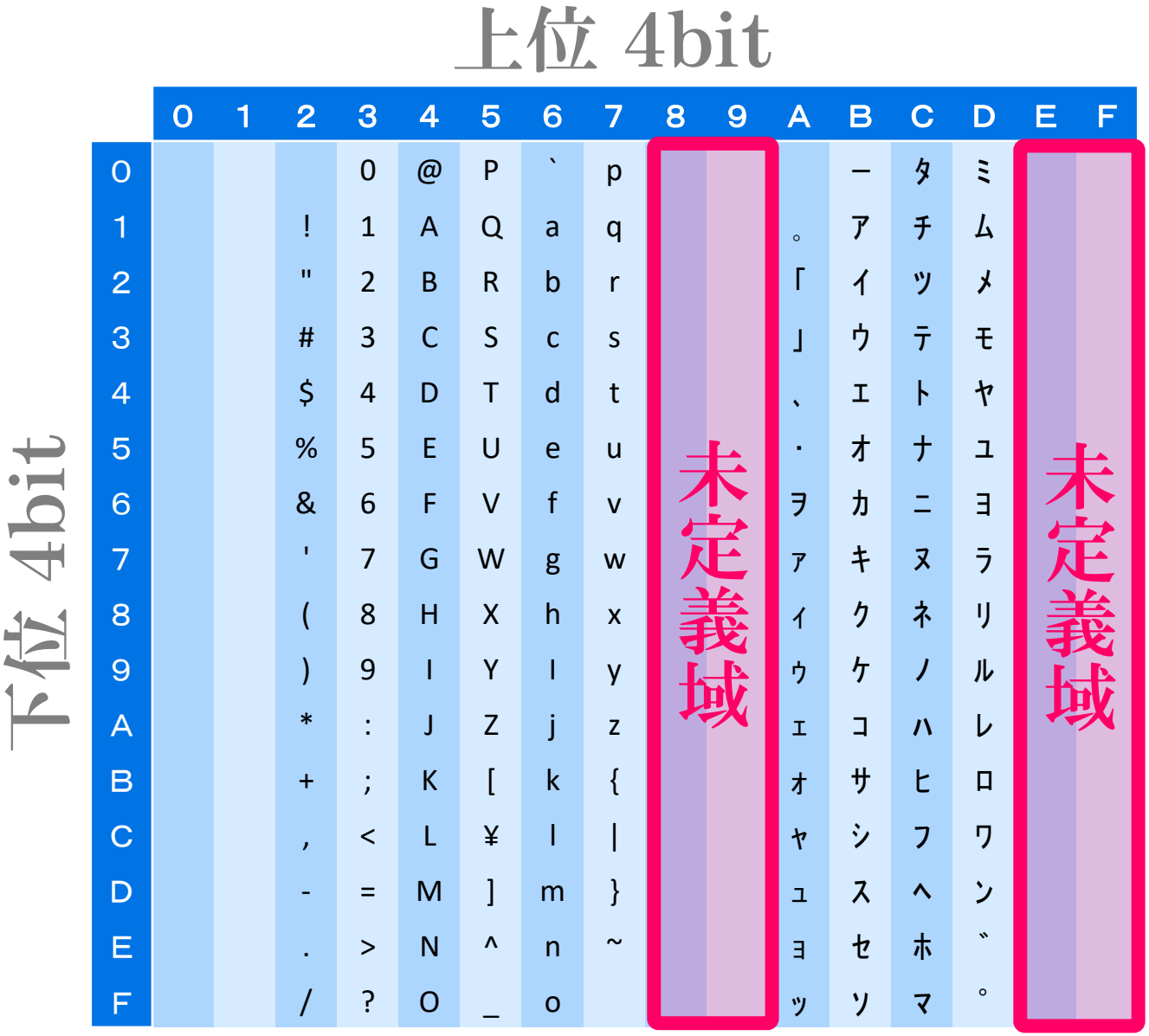
未定義　未定義

43 69 74 6F (16)

city

上位8bitに未定義域コードを使う。

未定義域コードとは


上位 4bit
下位 4bit
0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 A B C D E F
0 0 @ P ` p ー タ ミ
1 ! 1 A Q a q 。 ア チ ム
2 " 2 B R b r 「 イ ツ メ
3 # 3 C S c s 」 ウ テ モ
4 $ 4 D T d t 、 エ ト ヤ
5 % 5 E U e u ・ オ ナ ユ
6 & 6 F V f v ヲ カ ニ ヨ
7 ' 7 G W g w ァ キ ヌ ラ
8 (8 H X h x ィ ク ネ リ
9) 9 I Y I y ゥ ケ ノ ル
A * : J Z j z ェ コ ハ レ
B + ; K [k { ォ サ ヒ ロ
C , < L ¥ l | ャ シ フ ワ
D - = M] m } ュ ス ヘ ン
E . > N ^ n ~ ョ セ ホ ゛
F / ? O _ o ッ ソ マ ゜
未定義域
未定義域

UNICODE

多国語に対応するため、世界中の主要な文字や記号をまとめた文字コード

課題 1

- 教科書29ページ 演習問題
- これまでの講義についての感想

  どのような内容（感想・要望）でも良い。

  提出日時：＊月＊日（＊）講義開始前

- 理大専用のレポート用紙に書くこと。
- ホッチキスまたは糊で綴じること。
- 学生番号、氏名、講義名、提出日を書くこと。
- 途中の計算過程を書くこと。

論理回路

✣ 内容

1. 論理演算（ブール代数）
2. ブール代数の公理
3. 論理式の簡単化
4. 組み合わせ論理回路
5. 順序回路

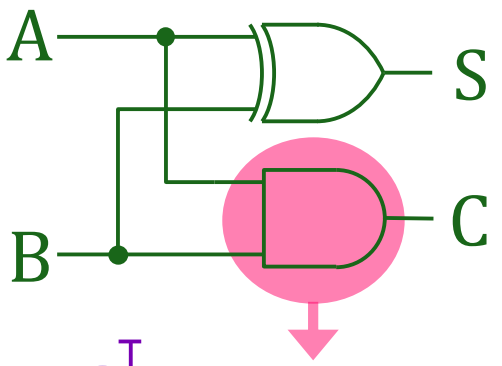
演算回路の設計

❶ 回路化したい計算式 $d = a + b$

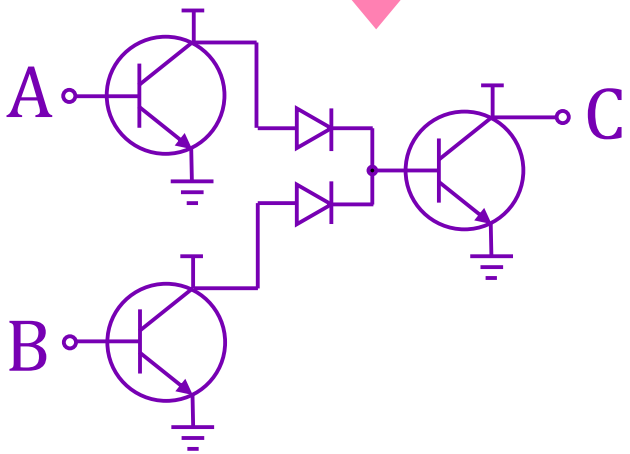
❷ 論理式

$$S = A \oplus B$$
$$C = A \cdot B$$

❸ 論理回路



❹ ディジタル回路



論理演算(ブール代数)

真(true)と偽(false)の2状態を扱う演算

重要!

論理値

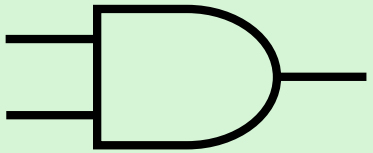
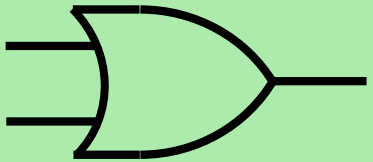
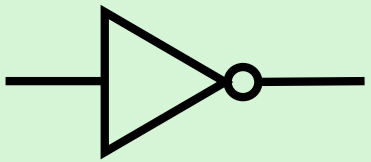
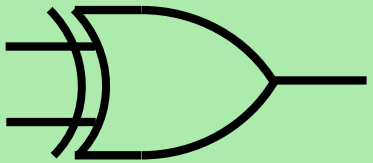
真 … 1

偽 … 0

2進数(0, 1)の演算の実現に適している。

論理演算

重要!

	演算記号	回路記号
論理積 AND	$A \cdot B$	
論理和 OR	$A + B$	
否定 NOT	$\overline{A}$	
排他的論理和 Exclusive OR （XOR）	$A \oplus B$	

ブール代数の公理

重要!

- べき等則
- 交換則
- 結合則
- 吸収則
- 分配則
- 二重否定
- ド・モルガン則
- 単位元
- 零元
- 補元

公式は別紙資料を参照せよ。

演算回路の作成手順

❶ 真理値表の作成

❷ 論理式の組み立て

❸ 論理式の簡単化

❹ 論理回路への置き換え

半加算器

真理値表

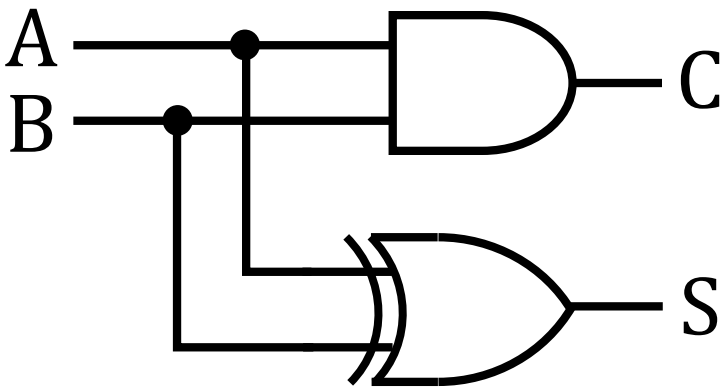
A	B	C	S
0	0	0	0
0	1	0	1
1	0	0	1
1	1	1	0

論理式

$$C = A \cdot B$$

$$S = A \oplus B$$

論理回路



全加算器

真理値表

A	B	Z	C	S
0	0	0	0	0
0	0	1	0	1
0	1	0	0	1
0	1	1	1	0
1	0	0	0	1
1	0	1	1	0
1	1	0	1	0
1	1	1	1	1

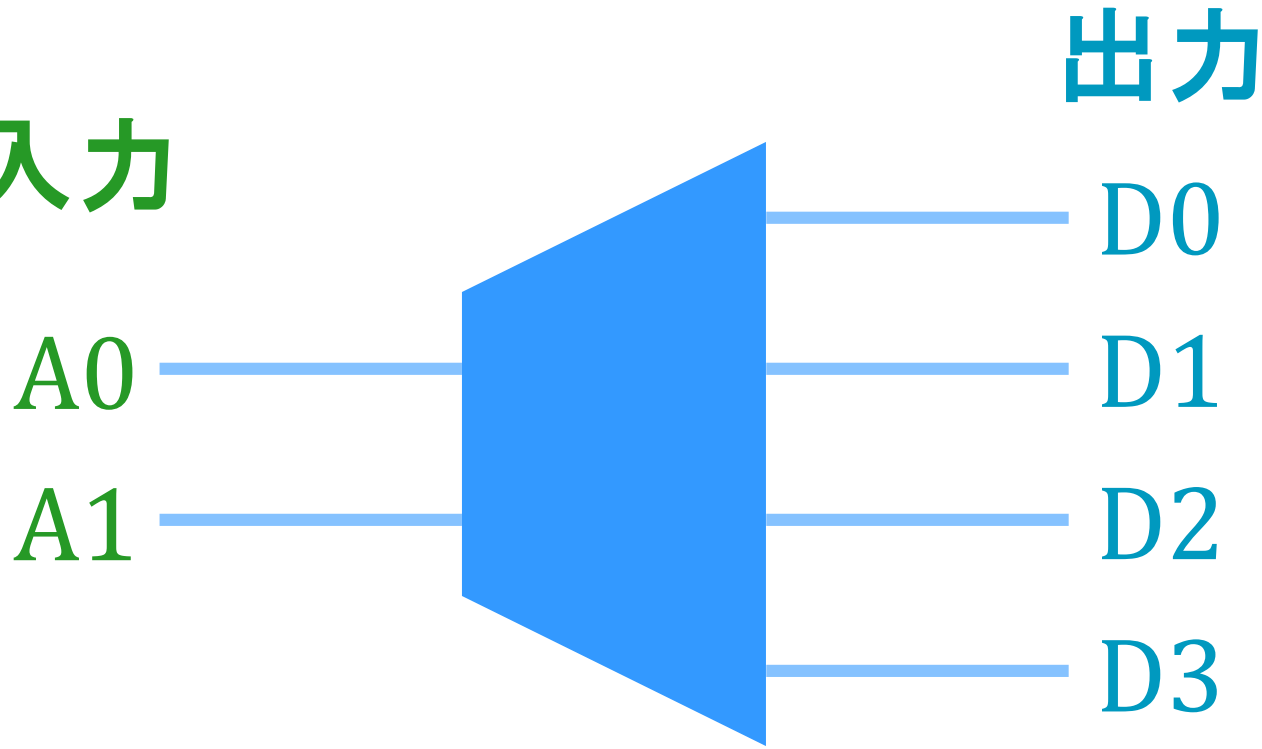
論理式

$$C = \overline{A} \cdot B \cdot Z + A \cdot \overline{B} \cdot Z + A \cdot B \cdot \overline{Z} + A \cdot B \cdot Z$$

$$= A \cdot B + B \cdot Z + A \cdot Z$$

$$S = \overline{A} \cdot \overline{B} \cdot Z + \overline{A} \cdot B \cdot \overline{Z} + A \cdot \overline{B} \cdot \overline{Z} + A \cdot B \cdot Z$$

2入力4出力デコーダ



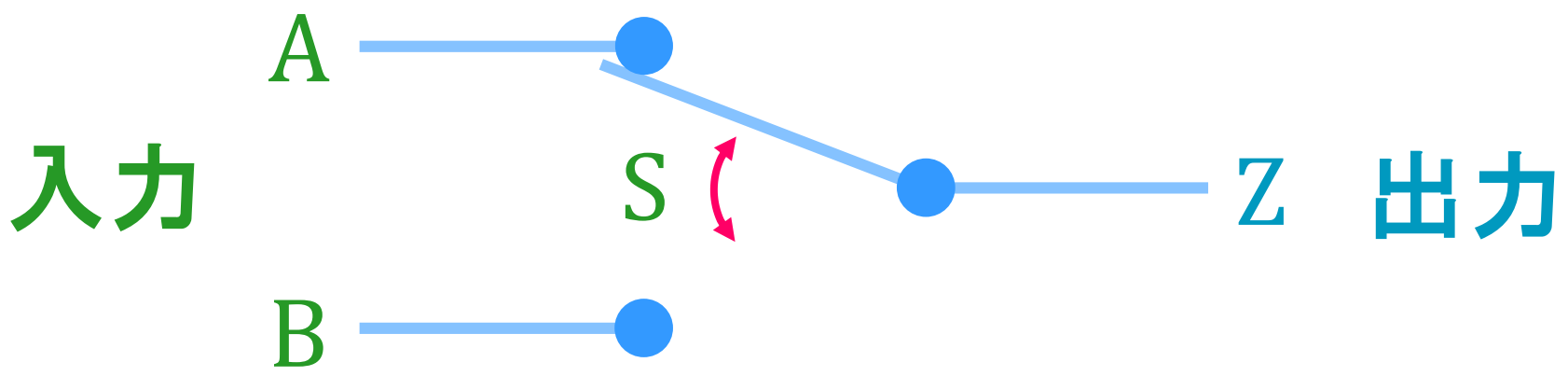
符号化されたデータ

復号

元のデータ

2入力1出力マルチプレクサ

イメージ図



S = 0 のとき Z = A

S = 1 のとき Z = B

真理値表と論理式

2入力4出力デコーダ

A0	A1	D0	D1	D2	D3
0	0	1	0	0	0
0	1	0	1	0	0
1	0	0	0	1	0
1	1	0	0	0	1

$D0 = \overline{A0} \cdot \overline{A1}$

$D1 = \overline{A0} \cdot A1$

$D2 = A0 \cdot \overline{A1}$

$D3 = A0 \cdot A1$

2入力1出力マルチプレクサ

S	A	B	Z
0	0	0	0
0	0	1	0
0	1	0	1
0	1	1	1
1	0	0	0
1	0	1	1
1	1	0	0
1	1	1	1

$Z = \overline{S} \cdot A + S \cdot B$

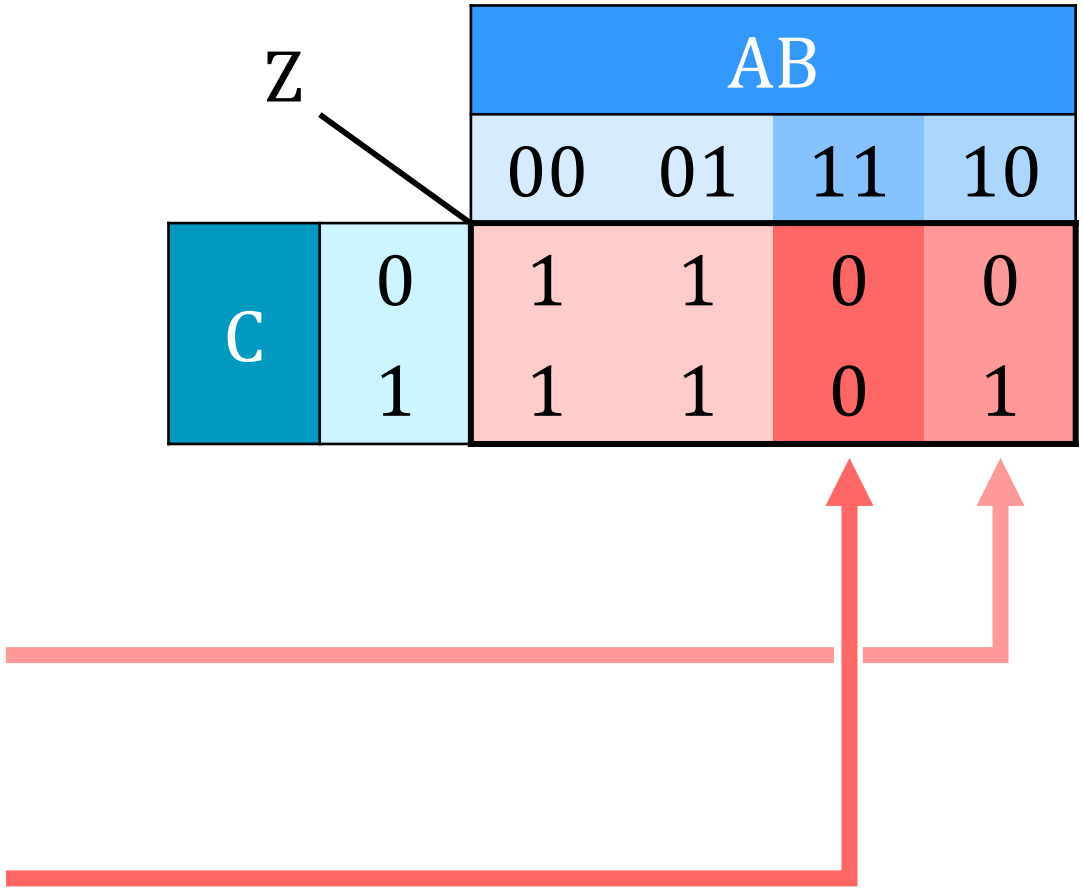
カルノー図

重要!

真理値表

A	B	C	Z
0	0	0	1
0	0	1	1
0	1	0	1
0	1	1	1
1	0	0	0
1	0	1	1
1	1	0	0
1	1	1	0

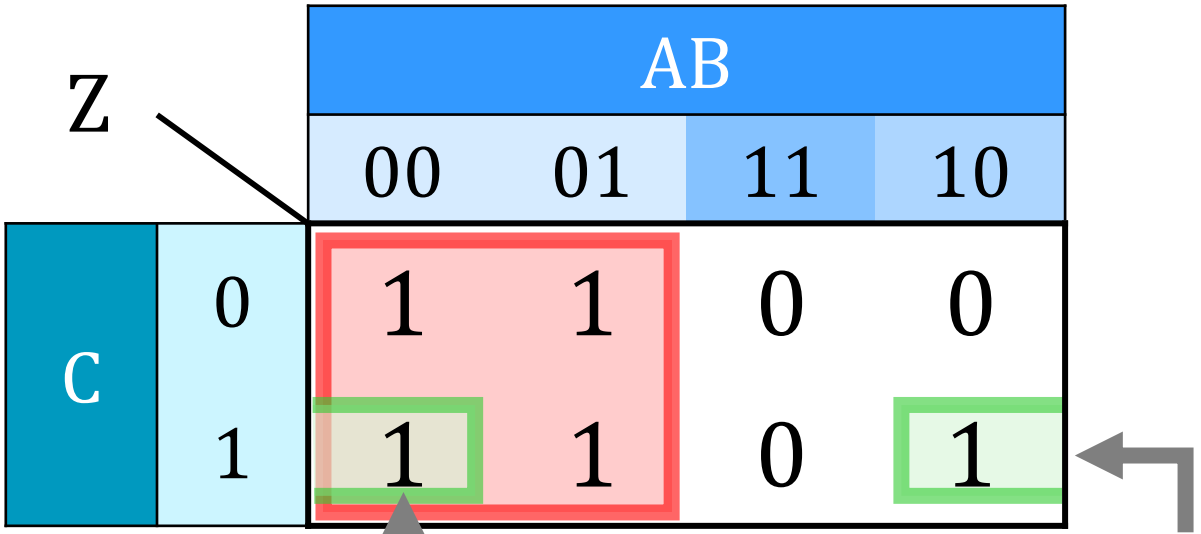
カルノー図



カルノー図

重要!

- 「1」のみを四角形で囲む。
- 四角形の幅は、1、2、4のいずれかにする。
- 可能限り大きな四角形で囲む。
- 四角形の数を最小にする。



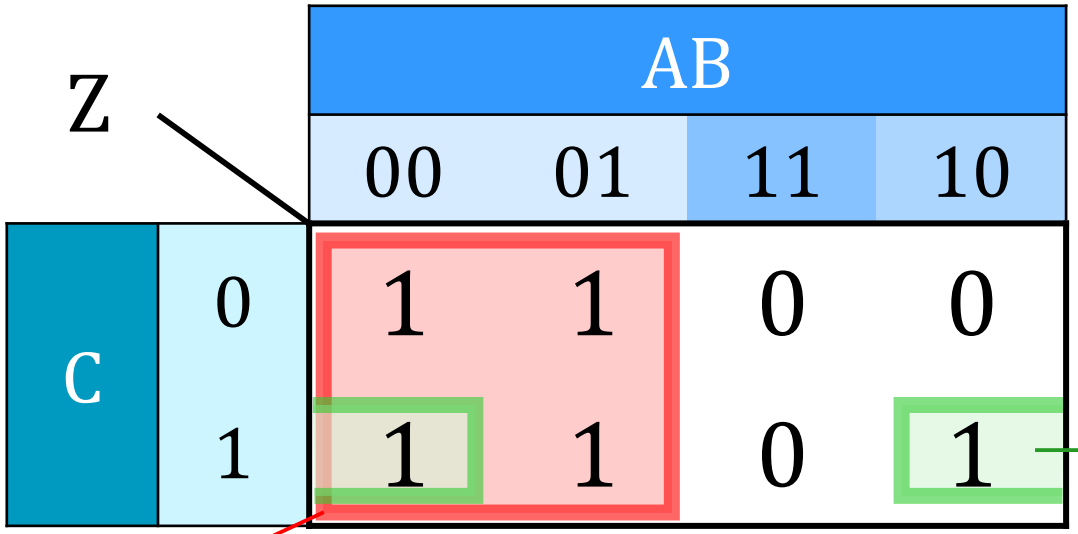
四角形が重なっても良い。

上下、左右は繋がっていると考える。

カルノー図

重要!

❶ 各四角形において、入力値が 0 または 1 の片方しか含まれていない変数で、論理積項を表す。
❷ すべての論理積項の論理和を求める。



$A = 0,1$
$B = 0$
$C = 1$

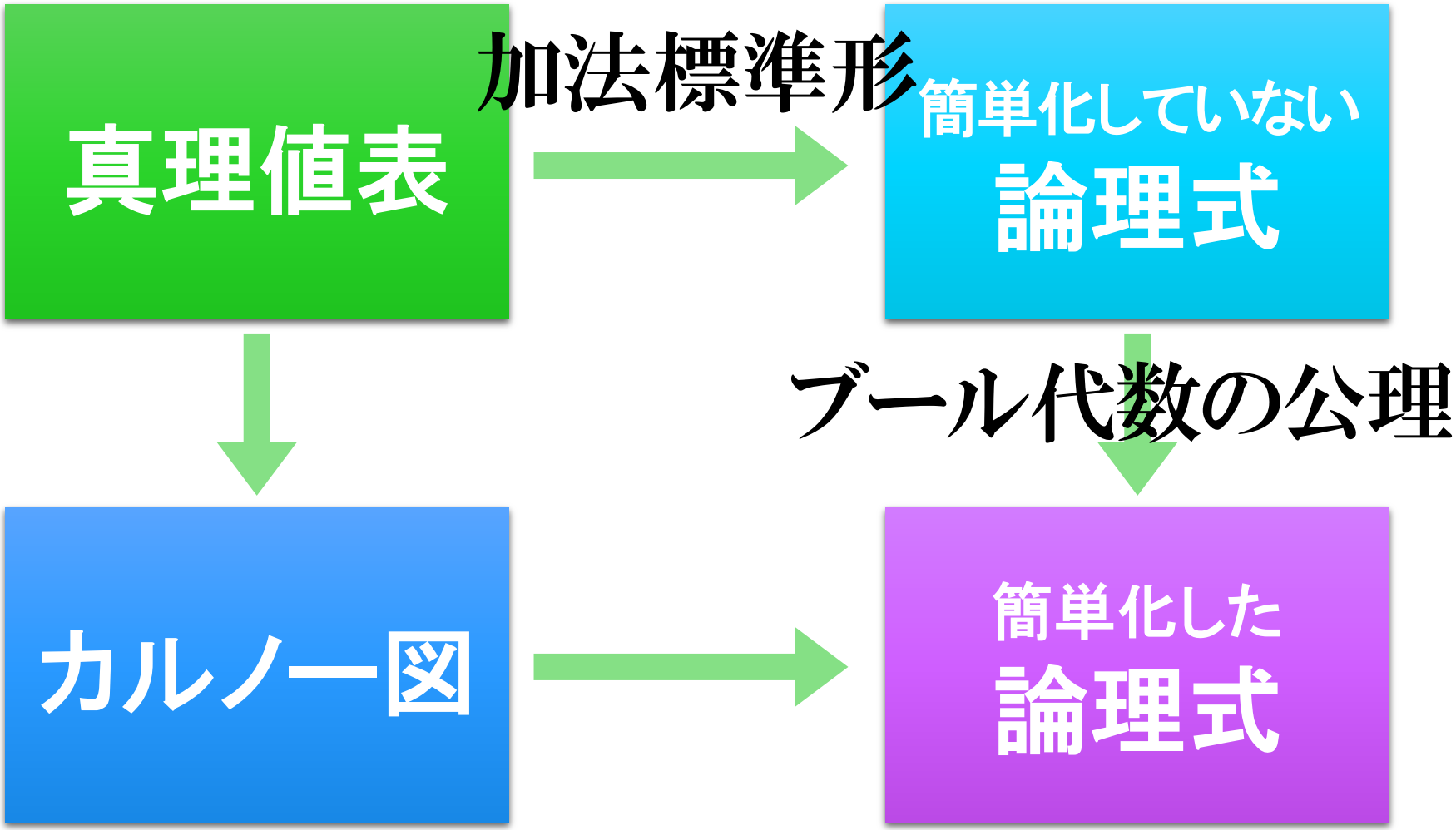
$\overline{B} \cdot C$

$A = 0$
$B = 0,1$
$C = 0,1$

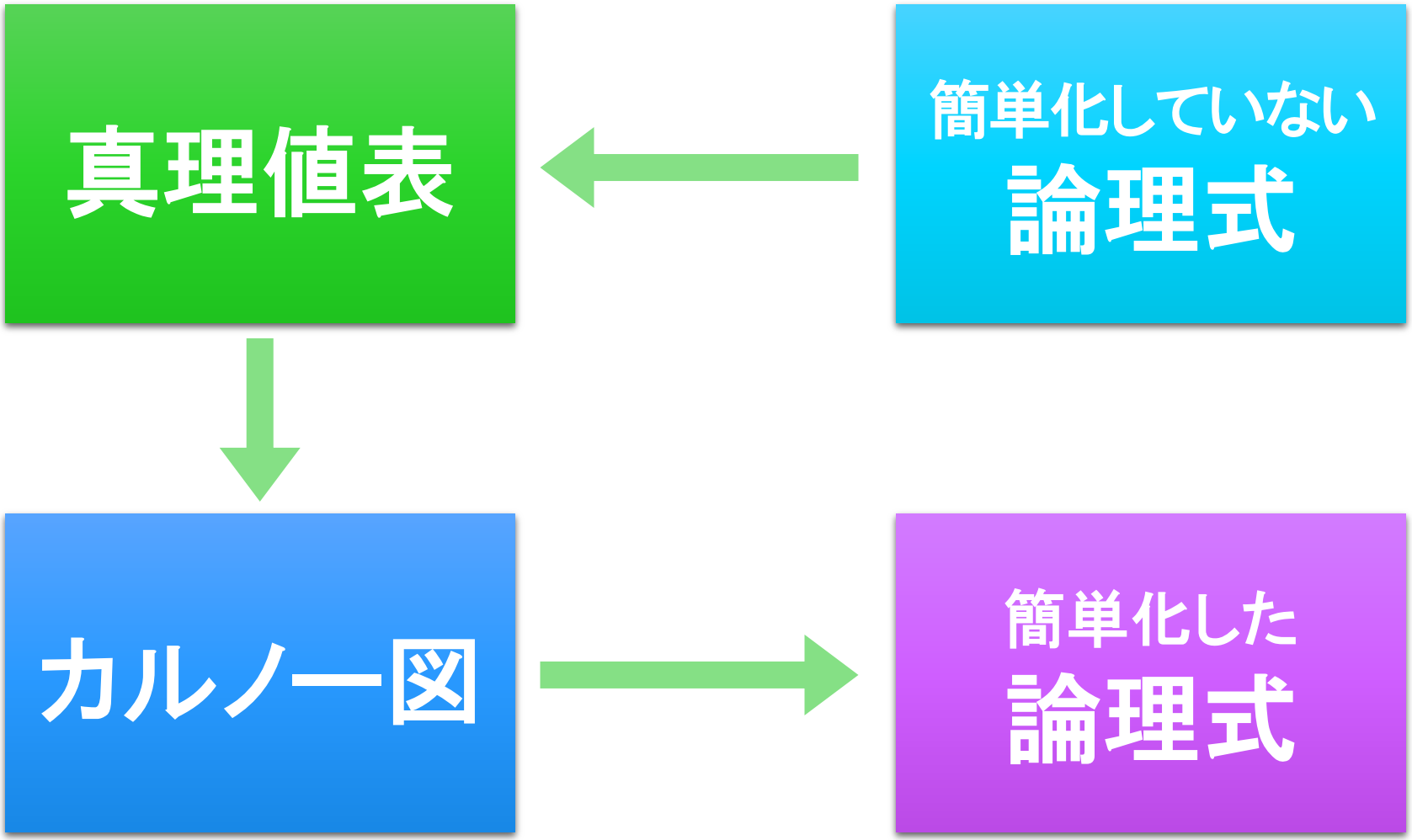
$\overline{A}$

$$Z = \overline{A} + \overline{B} \cdot C$$

カルノー図による論理式の簡単化



論理式の簡単化



課題 2

- 教科書52ページ 演習問題1, 2, 3, 5, 6
- これまでの講義についての感想

  どのような内容（感想・要望）でも良い。

  提出日時：＊月＊日（＊） 講義開始前

- 理大専用のレポート用紙に書くこと。
- ホッチキスまたは糊で綴じること。
- 学生番号、氏名、講義名、提出日を書くこと。
- 途中の計算過程を書くこと。

中間試験　12月21日

論理回路の種類

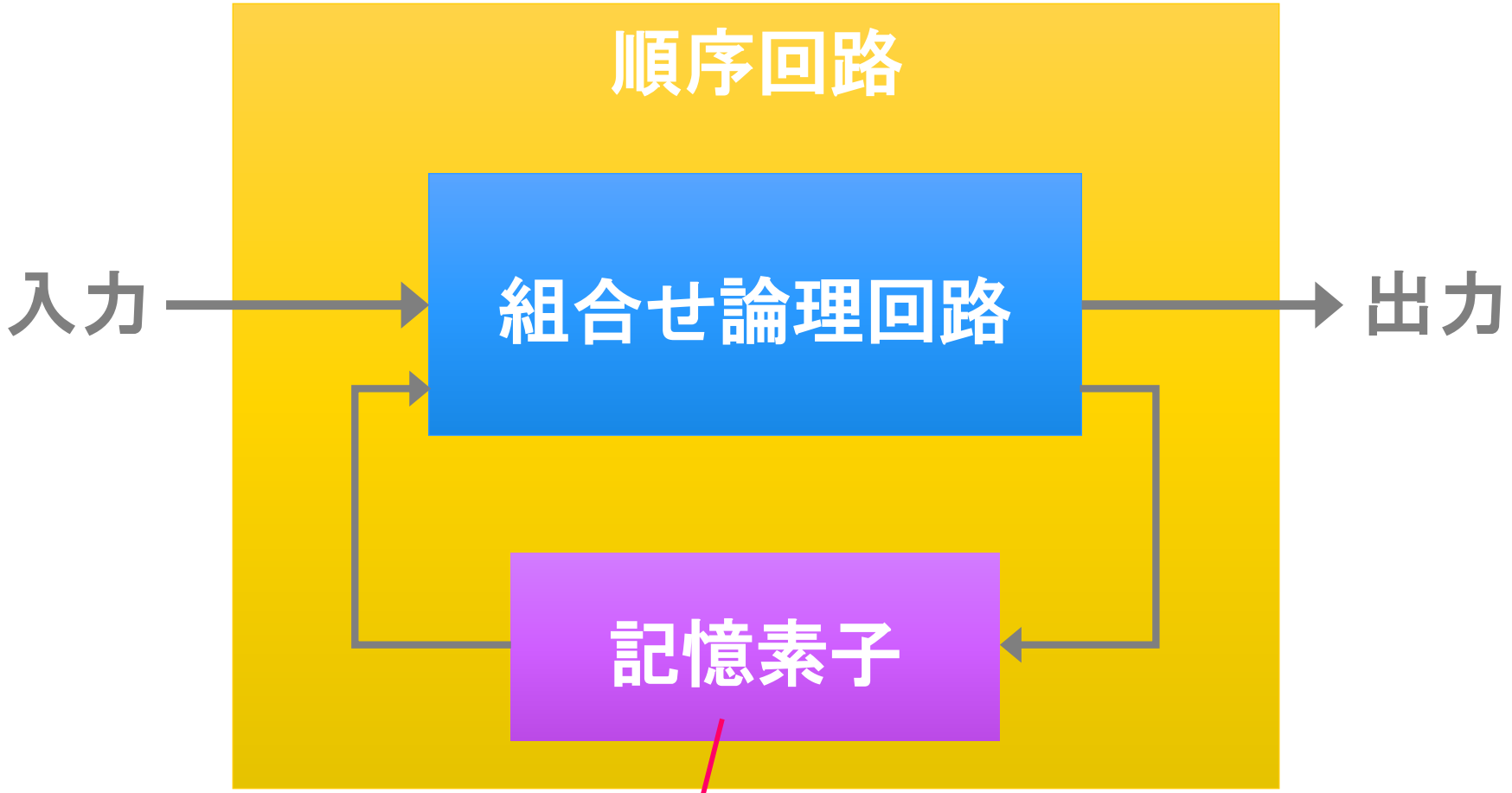
✤ 組合せ論理回路

現在の入力値によって出力値が定まる。

✤ 順序回路

現在の入力値と過去の入力値によって
出力値が定まる。

順序回路



フリップフロップ回路

1bitの値を保持する回路

RSフリップフロップ

重要!

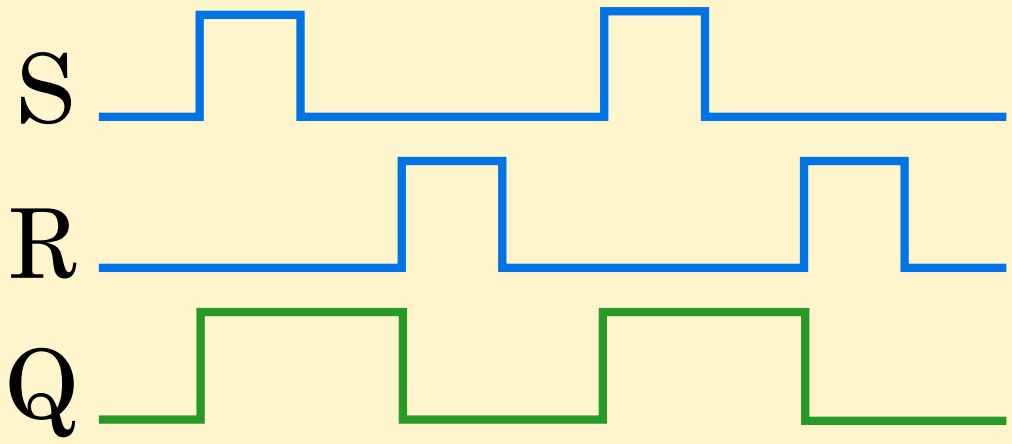
入力信号

R リセット　S セット

出力信号

$Q_{(n)}$ 時刻 n のときの出力

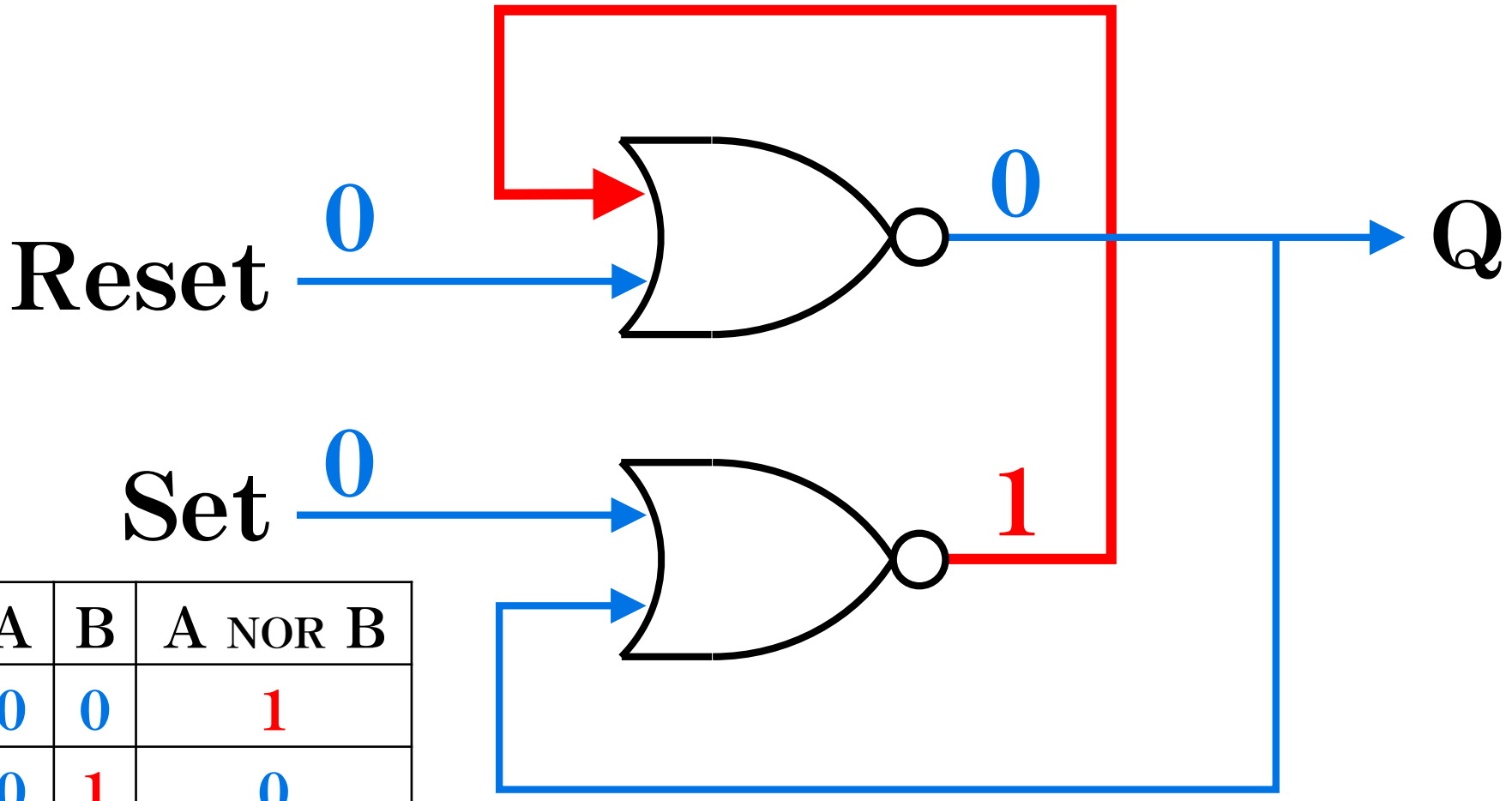
タイミングチャート



動作表

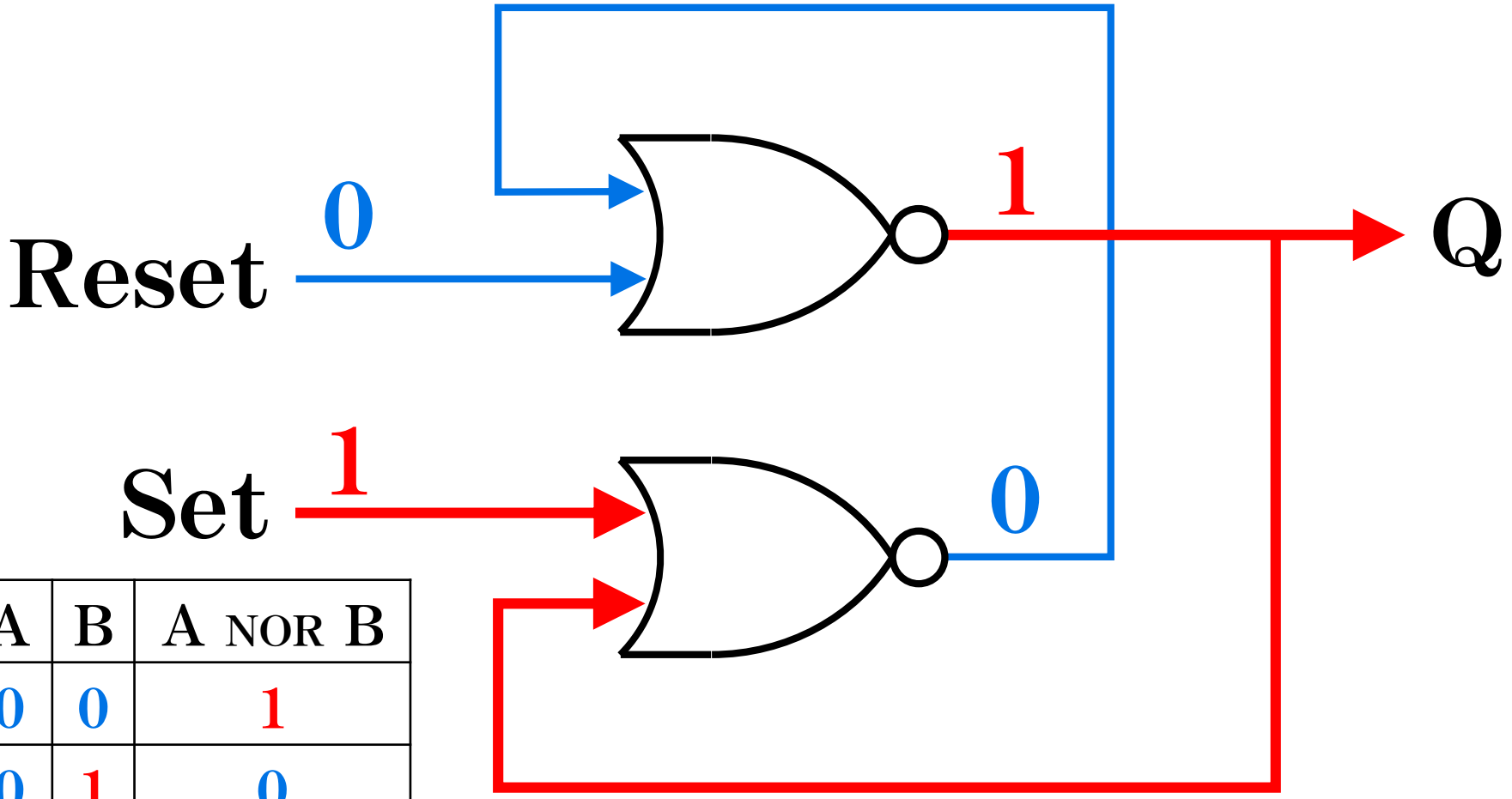
R	S	$Q_{(n)}$
0	0	$Q_{(n-1)}$
0	1	1
1	0	0
1	1	不定

フリップフロップの仕組み



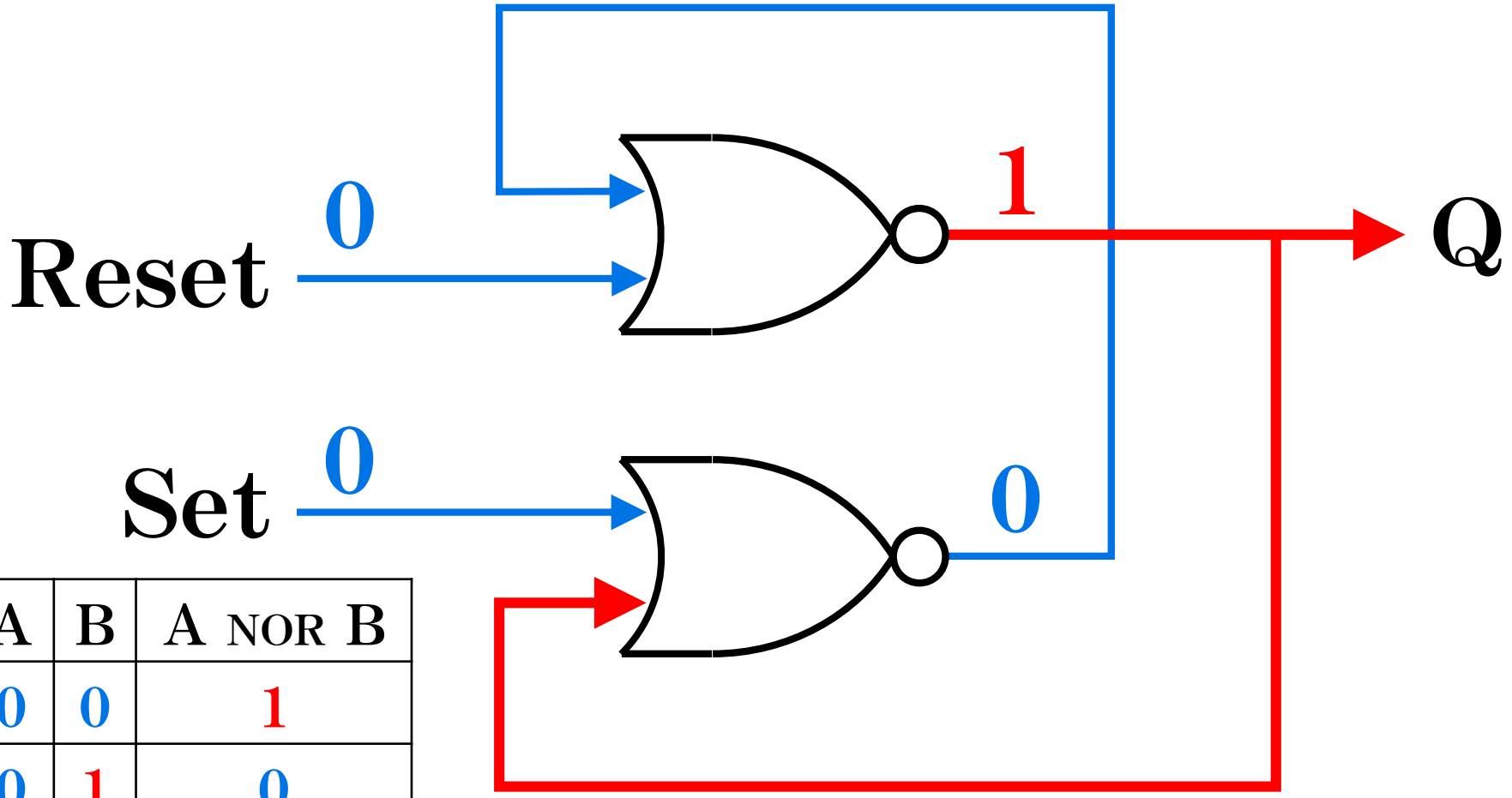
A	B	A NOR B
0	0	1
0	1	0
1	0	0
1	1	0

フリップフロップの仕組み



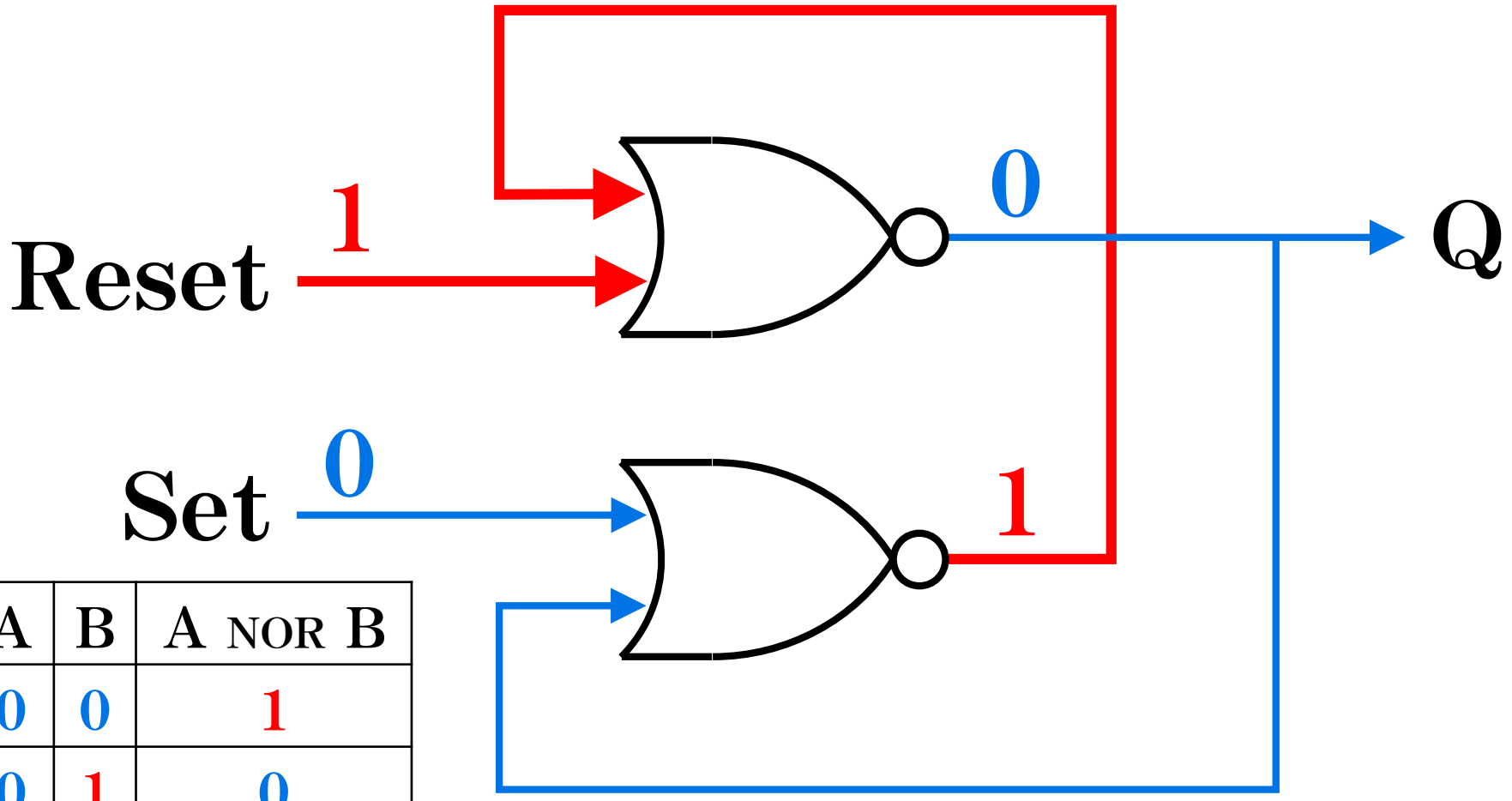
A	B	A NOR B
0	0	1
0	1	0
1	0	0
1	1	0

フリップフロップの仕組み



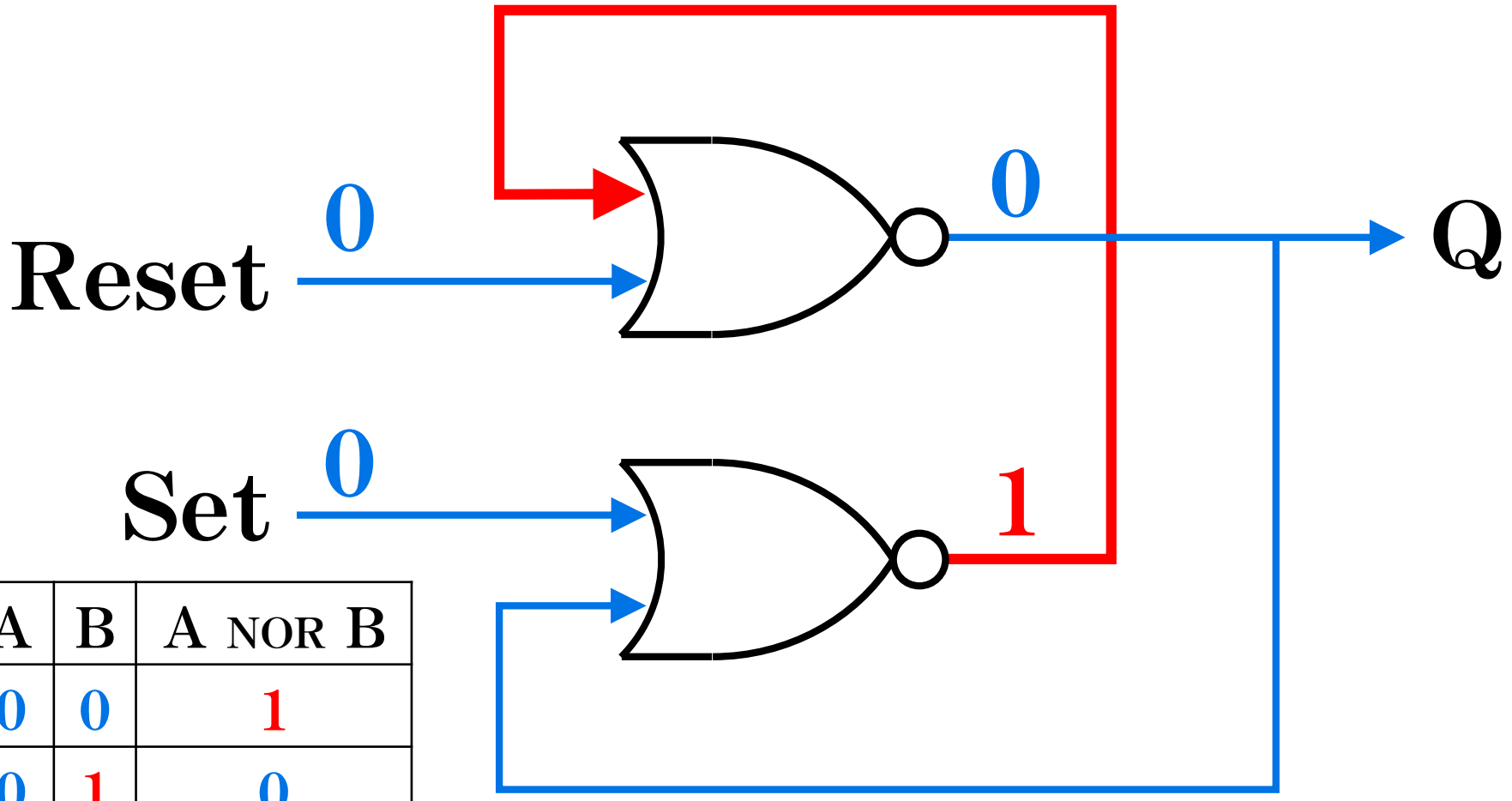
A	B	A NOR B
0	0	1
0	1	0
1	0	0
1	1	0

フリップフロップの仕組み



A	B	A NOR B
0	0	1
0	1	0
1	0	0
1	1	0

フリップフロップの仕組み



A	B	A NOR B
0	0	1
0	1	0
1	0	0
1	1	0

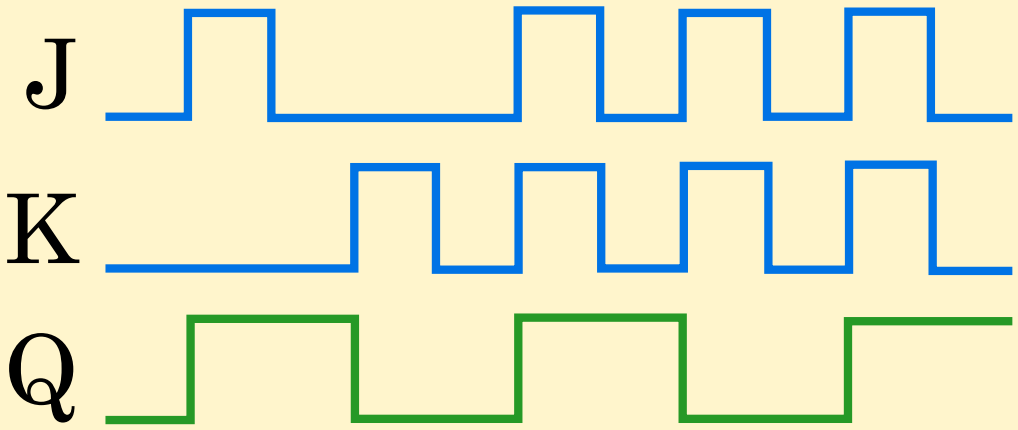
JKフリップフロップ

重要!

入力信号

J セット　K リセット

タイミングチャート



動作表

J	K	$Q_{(n)}$
0	0	$Q_{(n-1)}$
0	1	0
1	0	1
1	1	$\overline{Q_{(n-1)}}$

同期式フリップフロップ

クロック信号

複数の電子回路の間で信号の送受信のタイミングを合わせる（同期をとる）ために用いる一定周期の信号

同期式フリップフロップ

クロック信号の立上り（または立下り）のときの入力値で動作するフリップフロップ

その他のフリップフロップ

Dフリップフロップ

入力信号Ｄを1クロック周期保持する。

Tフリップフロップ

トリガ信号Ｔが入力されるたびに出力を反転する。

フリップフロップの応用

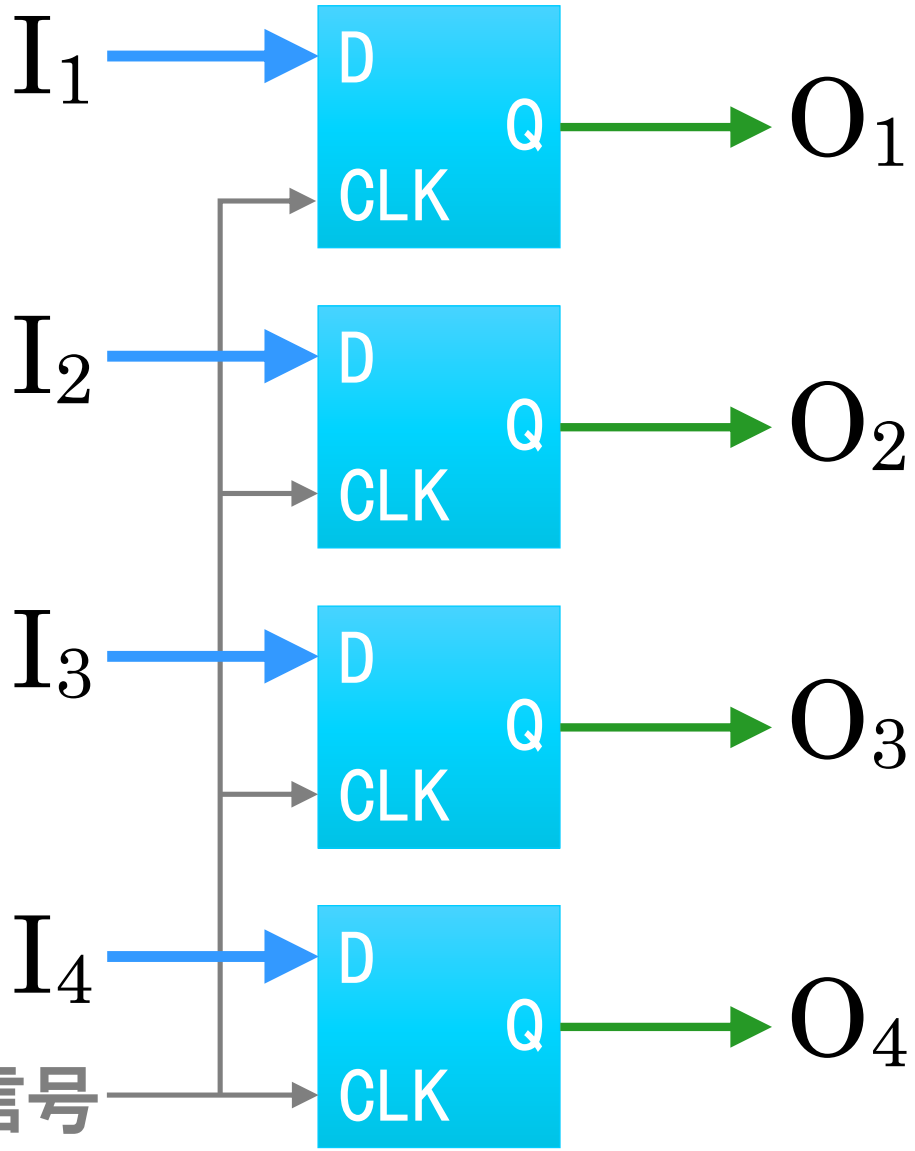
CPUの中の記憶装置

- レジスタ
- シフトレジスタ
- カウンタ
- 基本記憶素子（キャッシュメモリ）

レジスタ

演算に用いる値や命令コードなどを一時的に記憶する装置

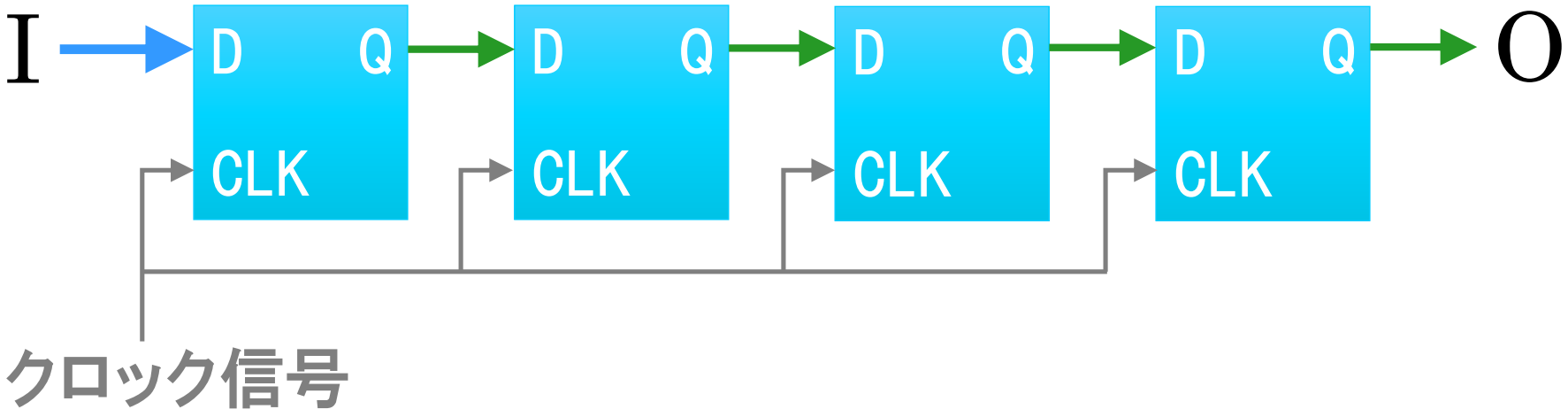
4bitの値 $I_4I_3I_2I_1$ を記憶するレジスタ



シフトレジスタ

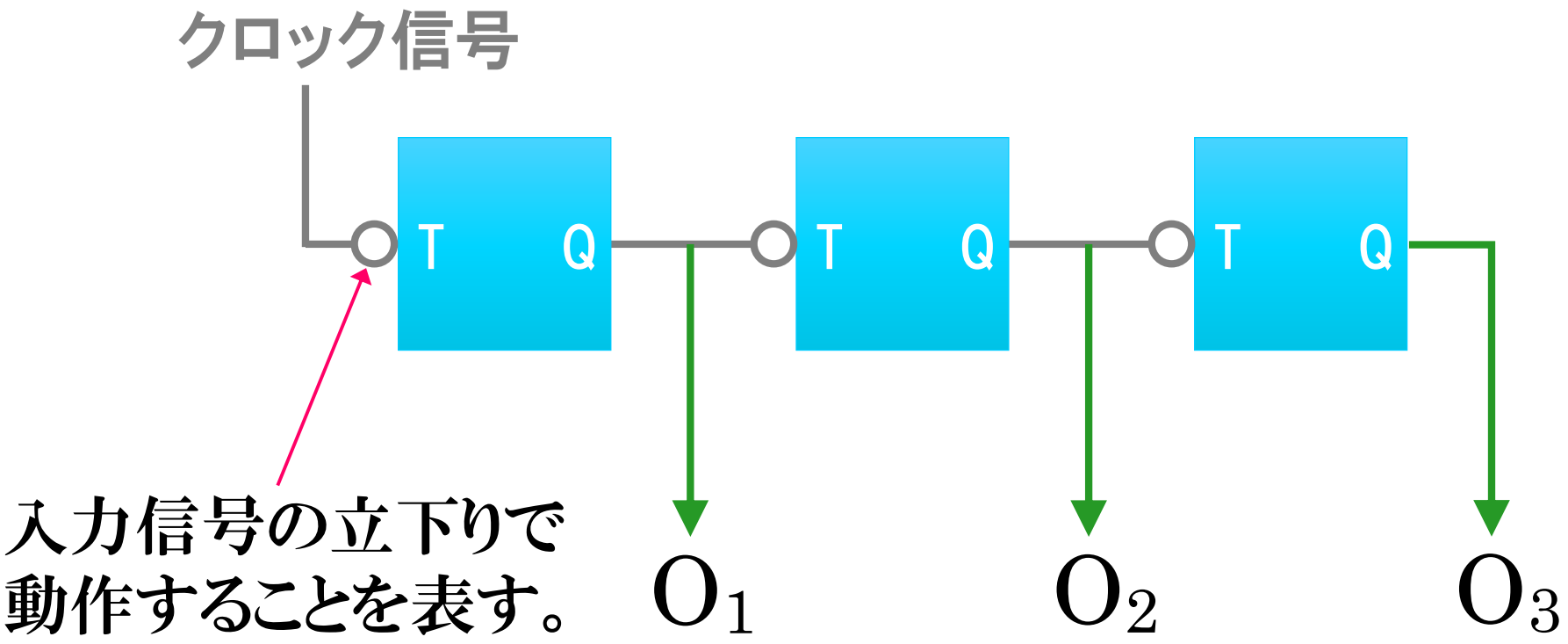
クロック信号が入力されるたびに、数値が1bitシフトするレジスタ

データを1bitずつ送信する(シリアル通信)。



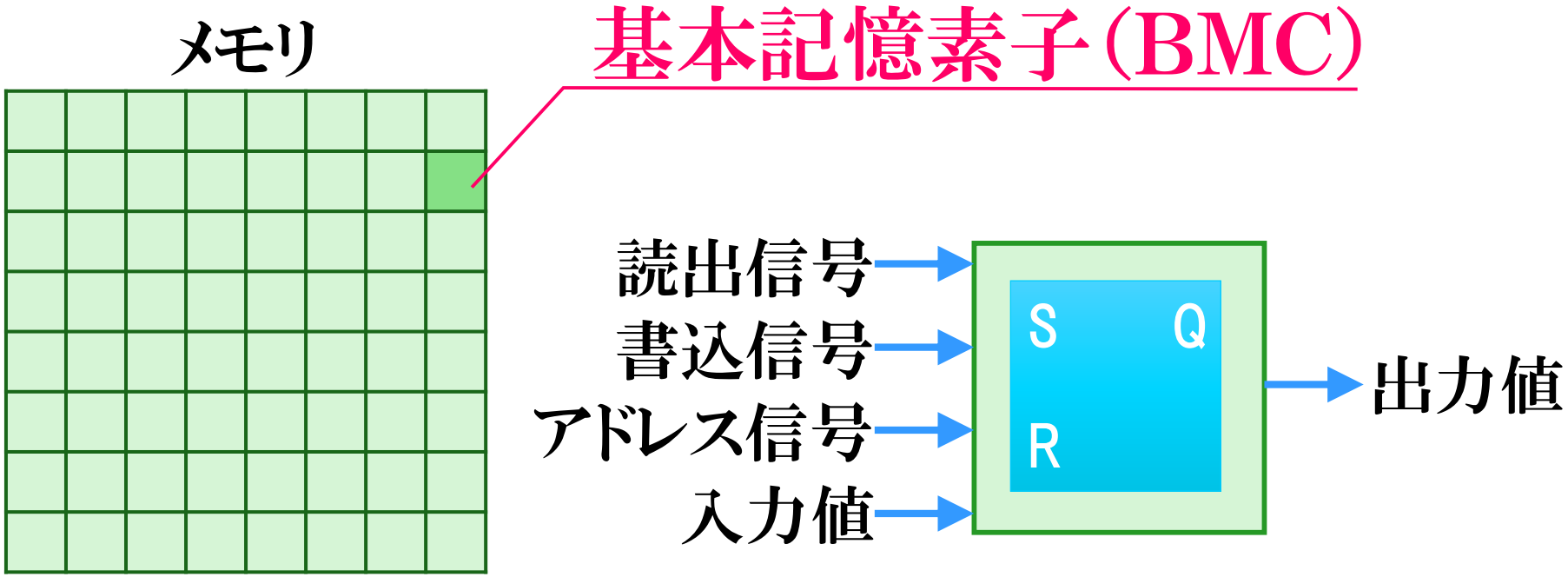
カウンタ

入力信号のパルス数をかぞえる機能を持つレジスタ



基本記憶素子

アレイ状のメモリを構成する1bitの記憶素子



CPUのキャッシュメモリのBMCは、フリップフロップを用いている。