

コンピュータの世界の 計算を体験してみよう！

http://www.ee.t-kougei.ac.jp/Logic

2024年9月28日 オープンキャンパス

東京工芸大学 電気電子コース

行谷時男

はじめに

今や生活に深く溶け込んでいる
コンピュータやスマートフォンな
どの仕組みって気になったこと
はありませんか？



コンピュータが出始めの頃から、そして今も変わらないものがあります。

世界中で使用されているコンピュータは論理積、
論理和、否定といった論理演算で成りつつあって
います。

コンピュータの中の計算(大学1年)

コンピュータの中では情報を**1**と**0**で表記します。

論理和 $1 \text{ or } 0 = 1$ $1 \text{ or } 1 = 1$ $0 \text{ or } 1 = 1$ $0 \text{ or } 0 = 0$

論理積 $1 \cdot 0 = 0$ $1 \cdot 1 = 1$ $0 \cdot 1 = 0$ $0 \cdot 0 = 0$

否定 $\bar{1} = 0$ $\bar{0} = 1$

否定を意味する記号

論理和

A君が研究室の鍵を持っている

	ある(1)	なし(0)
ある(1)	入れる(1)	入れる(0)
なし(0)	入れる(0)	入れない(0)

B君が研究室
の鍵を持っ
ている

どっちかが鍵を持っていれば研究室に入れる

論理積

本屋の在庫

	ある(1)	なし(0)
ある(1)	買える(1)	買えない(0)
なし(0)	買えない(0)	買えない(0)

手持ち
のお金

お金と本屋に在庫があることで本が買える

0と1で数値を表現するには(大学1年)

10進数で11を2進数で表記すると1011になります。

$$(11)_{10} = (1011)_2 = 1 \times 2^3 + 0 \times 2^2 + 1 \times 2^1 + 1 \times 2^0 \\ = 1 \times 8 + 0 \times 4 + 1 \times 2 + 1 \times 1 = 8 + 2 + 1 = (11)_{10}$$

位取り記数法(くらいどりきすうほう)

$$4 \times 10^5 + 2 \times 10^4 + 1 \times 10^3 + 5 \times 10^2 + 8 \times 10^1 + 6 \times 10^0 = 421586$$

5本の指で幾つまでカウントできるかというクイズがよくありました。



0から31まで(32個の数)を数えることができます

では2進数で計算する足し算は？

2進数の足し算(大学2年)

加算(2入力) $0+1=1, 1+0=1, 0+0=0, 1+1=10$

$0+0+1=1, 0+1+0=1, 1+0+0=1, 0+0+0=0$

加算(3入力) $0+1+1=10, 1+0+1=10, 1+1+0=10$

$1+1+1=11$

$$\begin{array}{r} \\ + \\ \hline 1 \end{array}$$

A	B	C	桁上 がり ²	和 ¹
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

1の数が3個

2進数、論理演算、簡単に思えたものが複雑になってきました。(大学2年)

真理値表から機械的に論理式ができます。

加法標準形といいます。

演算結果が1の所だけに注目して作ります。
AやBやCが0の所は否定形で、1の所はそのまま書きます。

$$\begin{aligned} Co &= \bar{A}BC + A\bar{B}C + AB\bar{C} + ABC \\ &= \bar{A}BC + ABC + A\bar{B}C + ABC \\ &\quad + AB\bar{C} + ABC = BC(\bar{A} + A) \\ &\quad + AC(\bar{B} + B) + AB(\bar{C} + C) \\ &= BC + AC + AB \end{aligned}$$

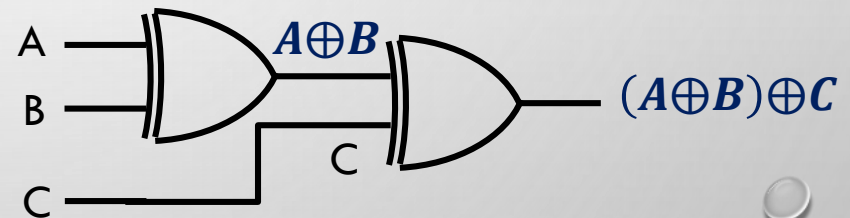
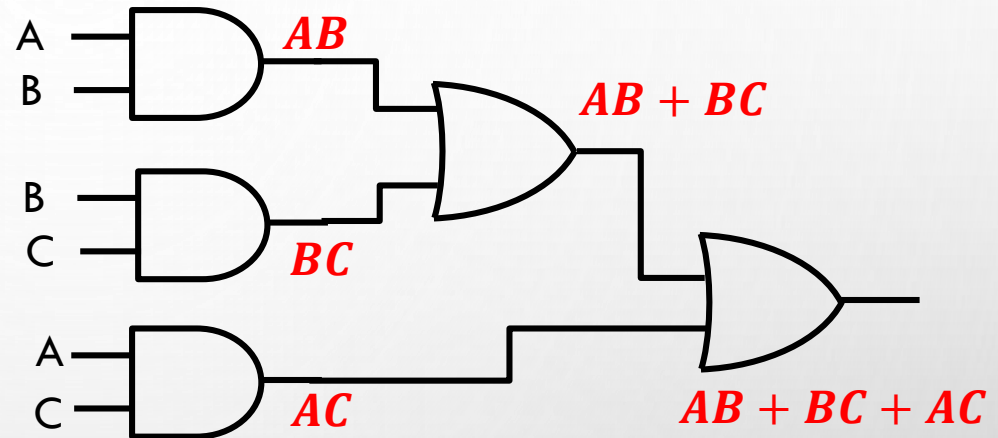
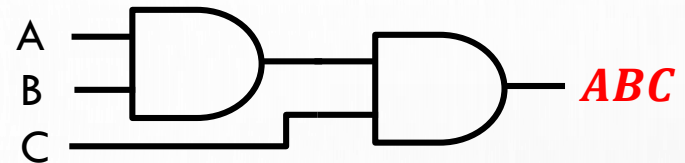
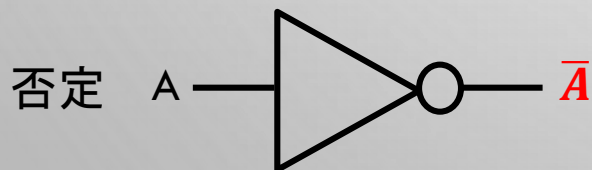
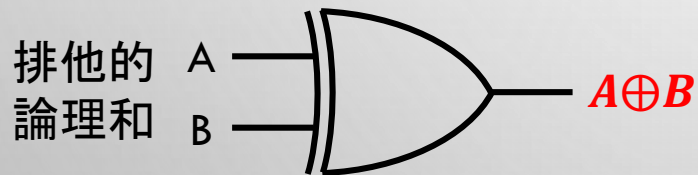
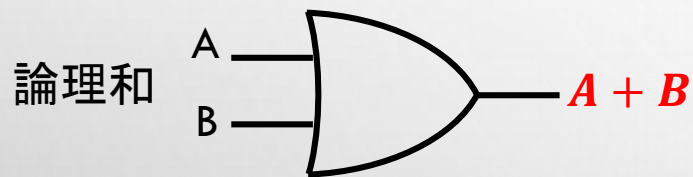
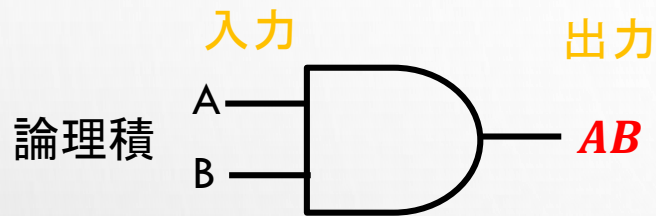
$$\begin{aligned} S &= \bar{A}\bar{B}C + \bar{A}B\bar{C} + A\bar{B}\bar{C} + ABC \\ &= (\bar{A}B\bar{C} + A\bar{B}\bar{C}) + (\bar{A}\bar{B}C + ABC) \\ &= \bar{C}(\bar{A}B + A\bar{B}) + C(\bar{A}\bar{B} + AB) \\ &= \bar{C}(A \oplus B) + C(\overline{A \oplus B}) \\ &= (A \oplus B) \oplus C \end{aligned}$$

排他的論理和 $\bar{A}B + A\bar{B} = A \oplus B$

排他的論理和の否定 $\bar{A}\bar{B} + AB = \overline{A \oplus B}$

論理式を論理回路へ(大学2年)

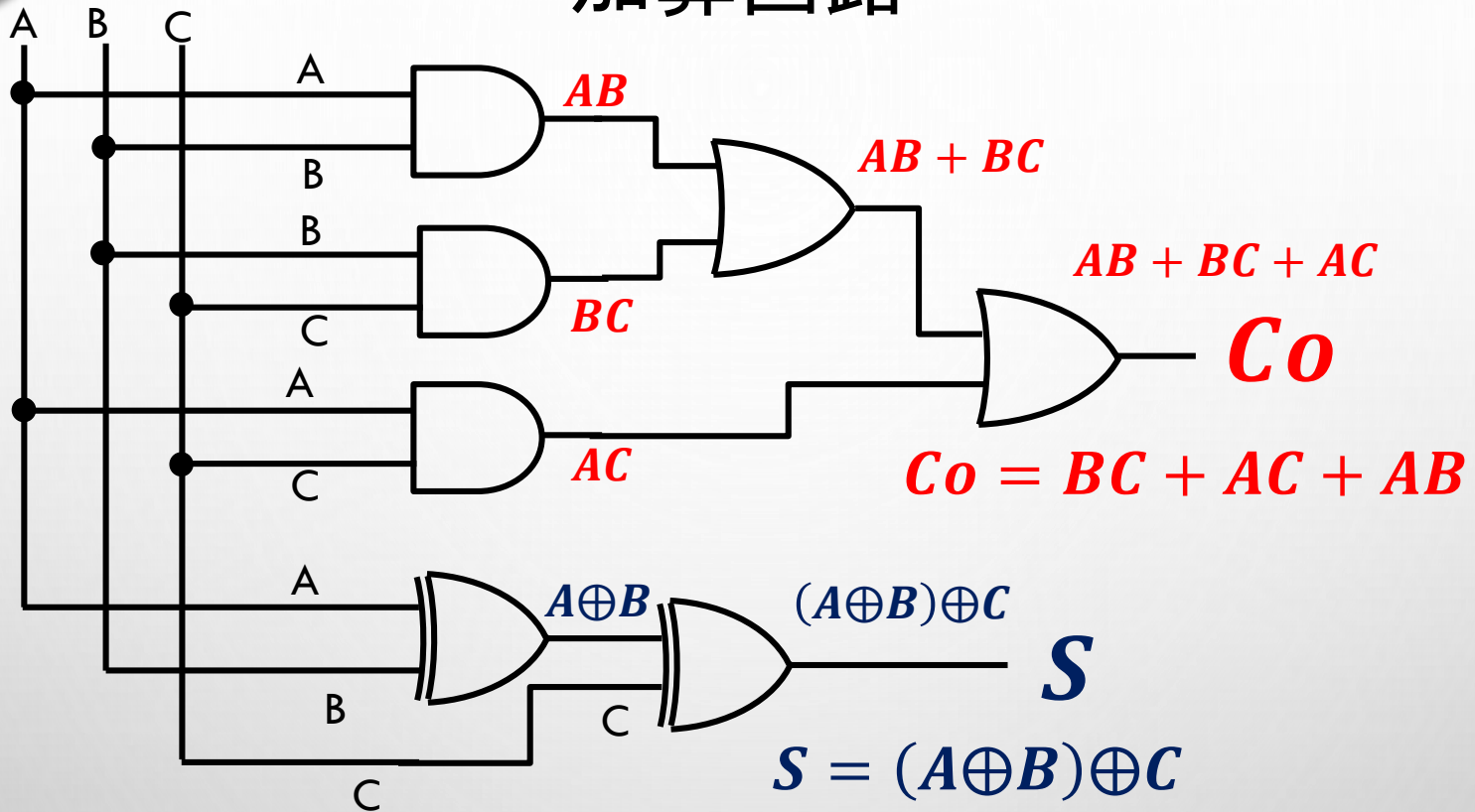
ゲート記号



$$Co = BC + AC + AB$$

$$S = (A \oplus B) \oplus C$$

加算回路



ジョージ・ロバート・スティビッツ 1937年11月にModel Kをベル研究所で開発した。これが2進数を計算機に使った最初の例と言われている。

クロード・エルウッド・シャノン 1937年に修士論文(A Symbolic Analysis of Relay and Switching Circuits)で2進法で論理演算が計算機で実現可能であることを示す。

論理回路シミュレータを動かしてみよう

<http://www.ee.t-kougei.ac.jp/Logic>

押すとウィンドウが現れます。

論理回路シミュレータ

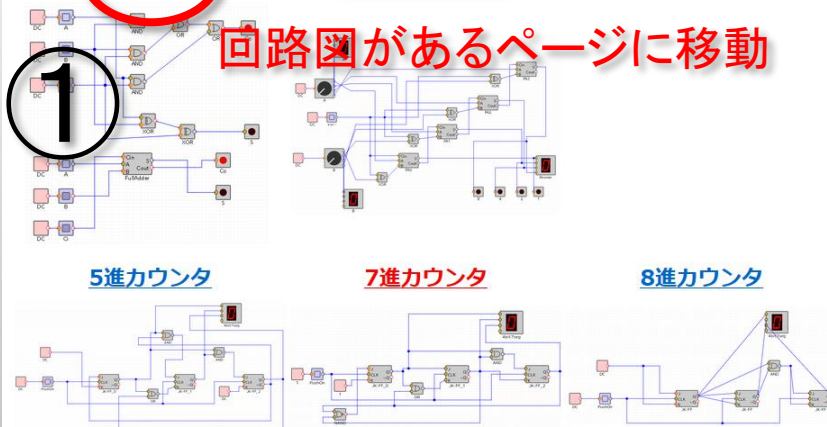
論理回路シミュレータ SimcirJS (配布元)

以下のリンク先にあるコードを[Copy text]ボタンを押すことでクリップボードにコピーし、論理回路シミュレータ SimcirJS テキスト入力フィールドにペーストすることで書き込み、[set data]を押すと加算回路が現れます。

全加算器

4ビット全加算器

回路図があるページに移動



SimCirJSの使い方

全加算器(練習用)

おまけ

1ビット全加算器 (動画)

全加算器

Copy text

Back

```
{
  "width":1024,
  "height":768,
  "showToolbox":true,
  "toolbox":[
    {"type":"In"},
    {"type":"Out"},
    {"type":"Joint"},
    {"type":"DC"},
    {"type":"LED"},
    {"type":"PushOff"},
    {"type":"PushOn"},
    {"type":"Toggle"},
    {"type":"BUF"},
    {"type":"NOT"},
    {"type":"AND"},
    {"type":"NAND"},
    {"type":"OR"},
    {"type":"NOR"},
    {"type":"XOR"},
    {"type":"XNOR"},
    {"type":"OSCI"},
    {"type":"7seg"},
    {"type":"16seg"},
    {"type":"4bit7seg"},
    {"type":"RotaryEncoder"},
    {"type":"BusIn"},
    {"type":"BusOut"},
    {"type":"RS-FF"},
    {"type":"JK-FF"},
    {"type":"T-FF"},
    {"type":"D-FF"},
    {"type":"8bitCounter"},
    {"type":"HalfAdder"},
    {"type":"FullAdder"},
    {"type":"4bitAdder"},
    {"type":"2to4BinaryDecoder"},
    {"type":"3to8BinaryDecoder"},
    {"type":"4to16BinaryDecoder"}
  ],
  "devices":[
    {"type":"DC","id":"dev0","x":120,"y":272,"label":"DC"},
    {"type":"DC","id":"dev1","x":120,"y":192,"label":"DC"},
    {"type":"DC","id":"dev2","x":120,"y":120,"label":"DC"},
  ]
}
```

前のページに戻ります

www.ee.t-kougei.ac.jp

コピーできました！：

```
{
  "width":1024,
  "height":768,
  "showToolbox":true,
  "toolbox":[
    {"type":"In"},
    {"type":"Out"},
    {"type":"Joint"},
    {"type":"DC"},
    {"type":"LED"},
    {"type":"PushOff"},
    {"type":"PushOn"},
    {"type":"Toggle"},
    {"type":"BUF"},
    {"type":"NOT"},
    {"type":"AND"},
    {"type":"NAND"},
    {"type":"OR"},
    {"type":"NOR"},
    {"type":"XOR"},
    {"type":"XNOR"},
    {"type":"OSCI"},
    {"type":"7seg"},
    {"type":"16seg"},
    {"type":"4bit7seg"},
    {"type":"RotaryEncoder"},
    {"type":"BusIn"},
    {"type":"BusOut"},
    {"type":"RS-FF"},
    {"type":"JK-FF"},
    {"type":"T-FF"},
    {"type":"D-FF"},
    {"type":"8bitCounter"},
    {"type":"HalfAdder"},
    {"type":"FullAdder"},
    {"type":"4bitAdder"},
    {"type":"2to4BinaryDecoder"},
    {"type":"3to8BinaryDecoder"},
    {"type":"4to16BinaryDecoder"}
  ],
  "devices":[
    {"type":"DC","id":"dev0","x":120,"y":272,"label":"DC"},
    {"type":"DC","id":"dev1","x":120,"y":192,"label":"DC"},
    {"type":"DC","id":"dev2","x":120,"y":120,"label":"DC"},
  ]
}
```

コピーします。

OK

論理回路シミュレータを動かしてみよう

部品はマウスカursorを対象の部品の上に移動させ、マウスの左ボタンを押したまま移動させると配置することができます

部品の消去はマウスカursorを対象の部品上に移動させ、マウスの左ボタンを押したまま、部品リストに戻すと消えます。

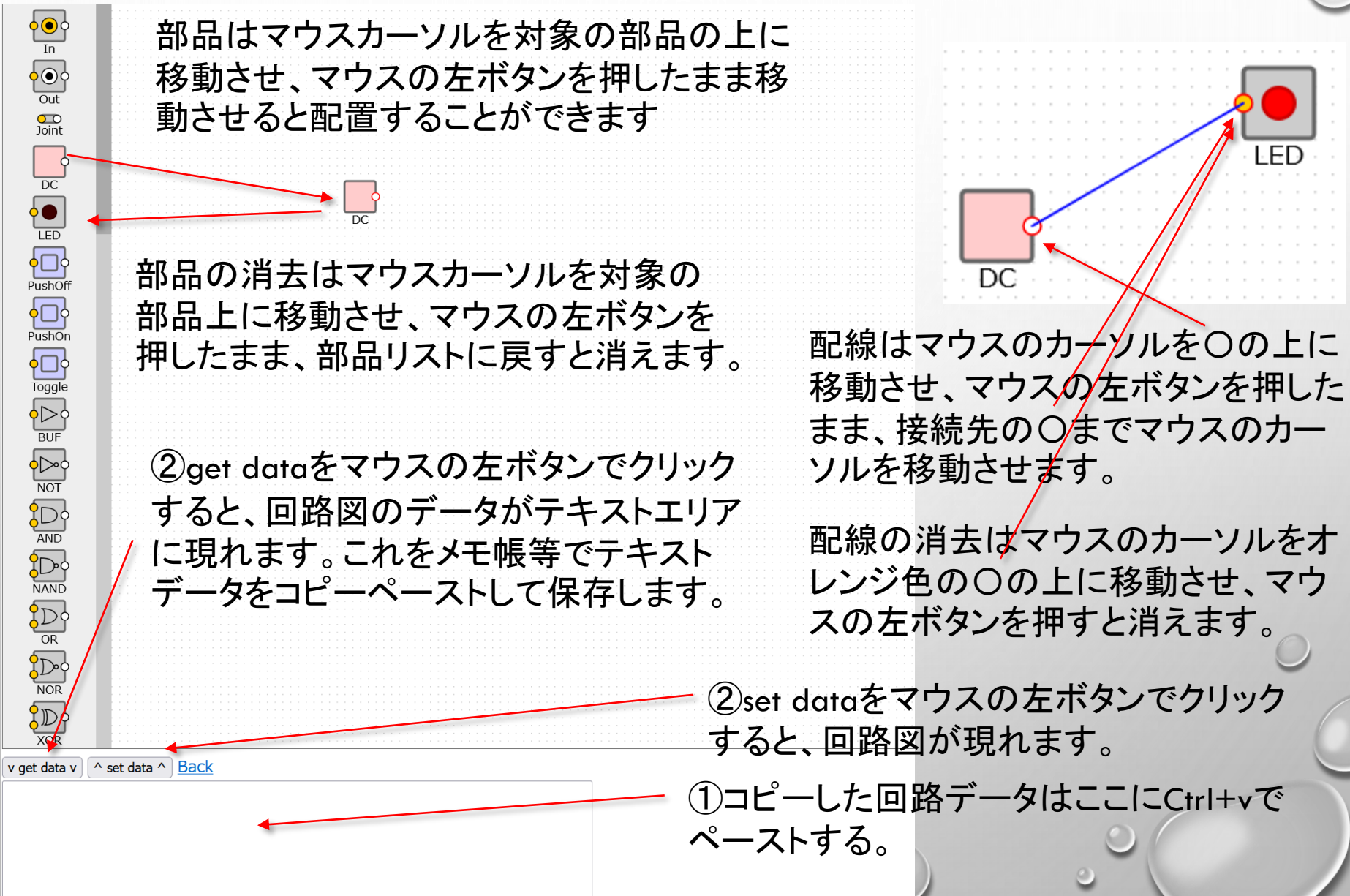
②get dataをマウスの左ボタンでクリックすると、回路図のデータがテキストエリアに現れます。これをメモ帳等でテキストデータをコピーペーストして保存します。

配線はマウスのカーソルを○の上に移動させ、マウスの左ボタンを押したまま、接続先の○までマウスのカーソルを移動させます。

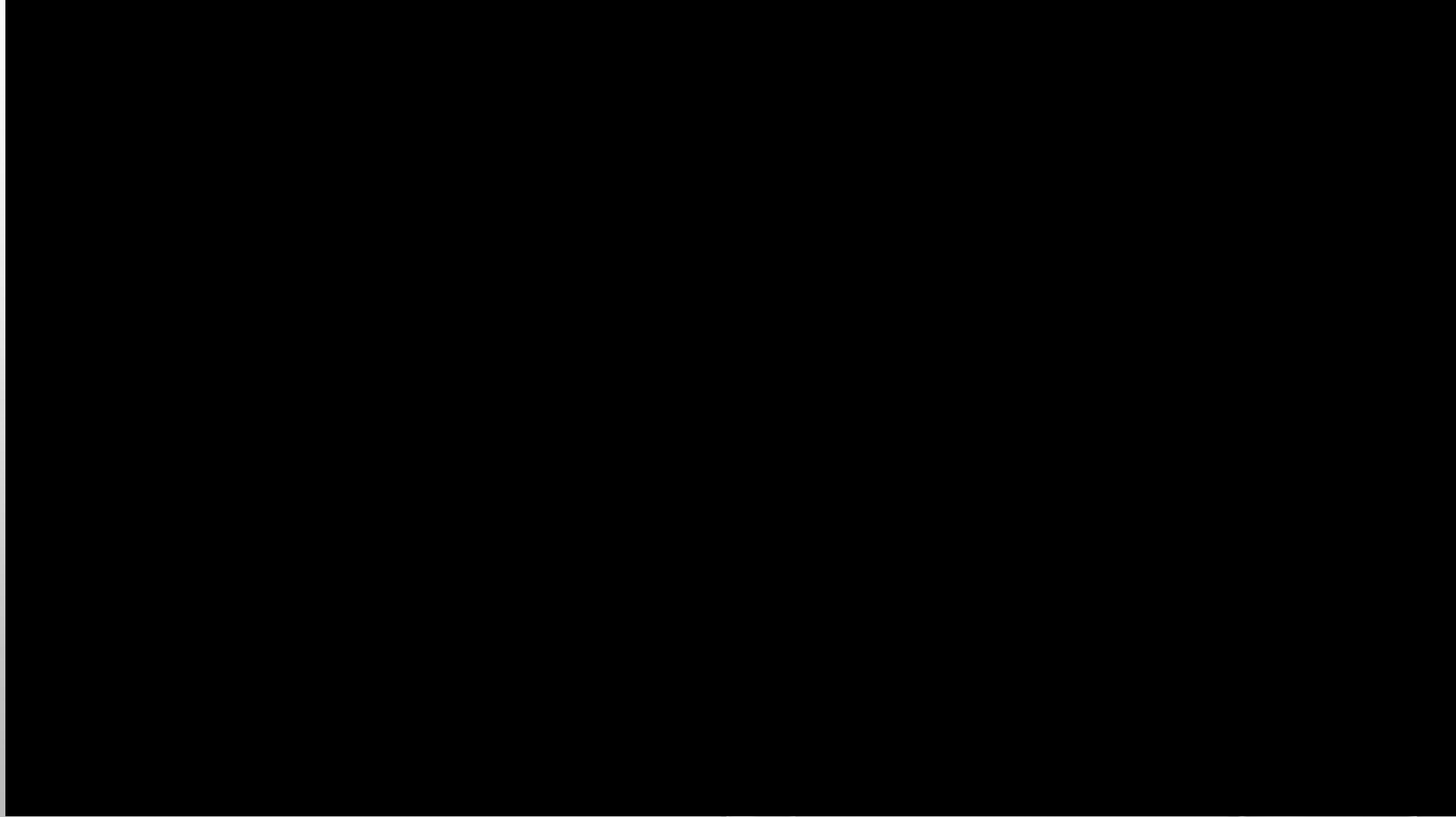
配線の消去はマウスのカーソルをオレンジ色の○の上に移動させ、マウスの左ボタンを押すと消えます。

②set dataをマウスの左ボタンでクリックすると、回路図が現れます。

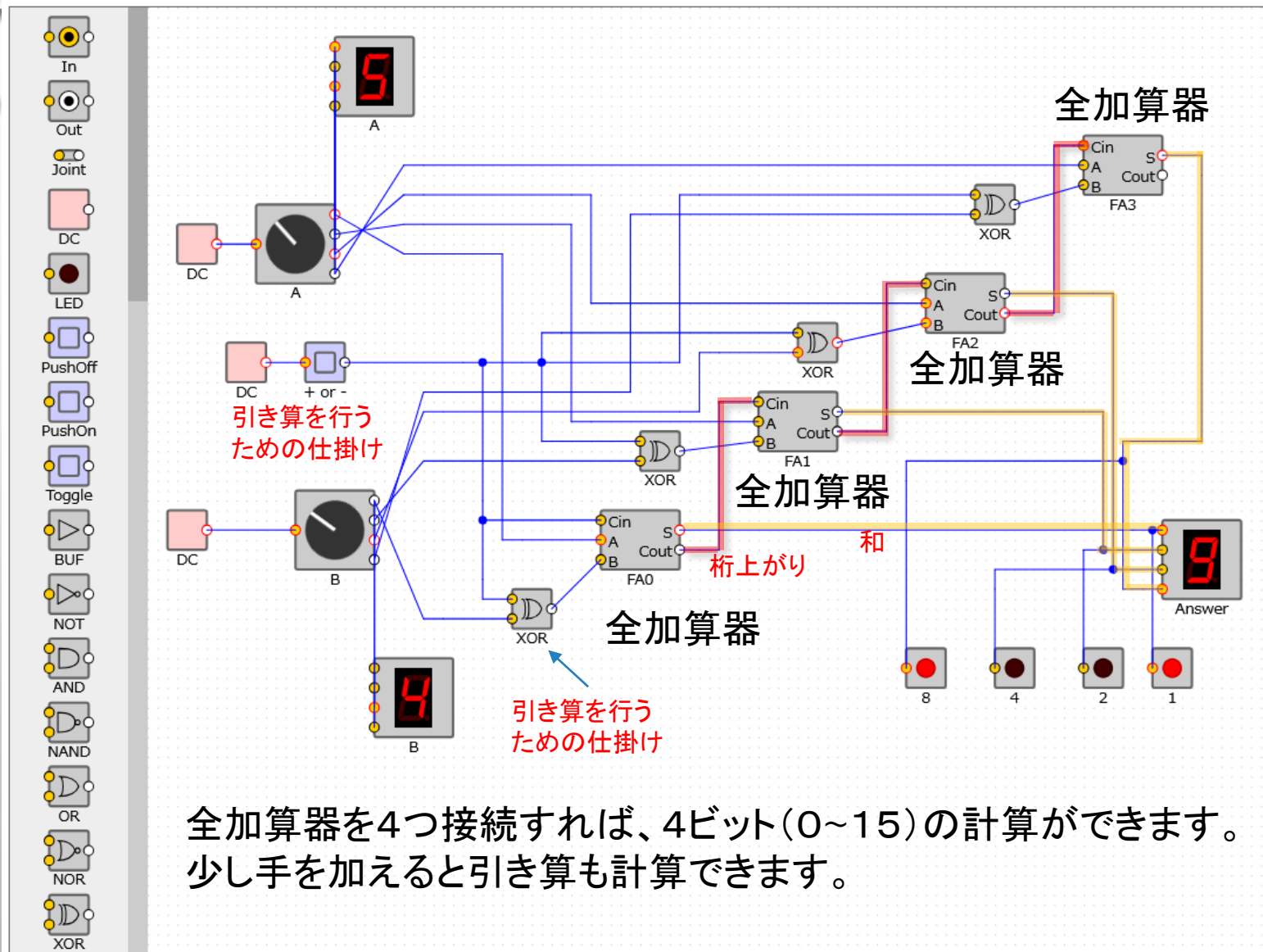
①コピーした回路データはここにCtrl+vでペーストする。



論理回路シミュレータを動かしてみよう



桁数を増やすためには(大学2年生)



全加算器を4つ接続すれば、4ビット(0~15)の計算ができます。
少し手を加えると引き算も計算できます。

まとめ

- 紹介しました加算回路は、これを多段にすることにより、より多くの桁数を計算することができます。しかしながらそのままでは演算に時間がかかります。演算速度を早くするために、桁上がりを先に検知する等工夫がされています。
- コンピュータを2進法で動作させることは今日でも変わっていません。
- デジタル回路のエンジニアは求人が大量に発生しています。理由はボタンを押して動作させるものなど電気仕掛けで動作するものすべてが対象になるからです。

最近は卓上で複雑なロジックを構成することができ、個人で数万ゲート程度でも開発することができます。

研究室レベルで集積回路を開発することができる時代になったのです。

検索「FPGA AI」

検索「検索エンジン FPGA」

