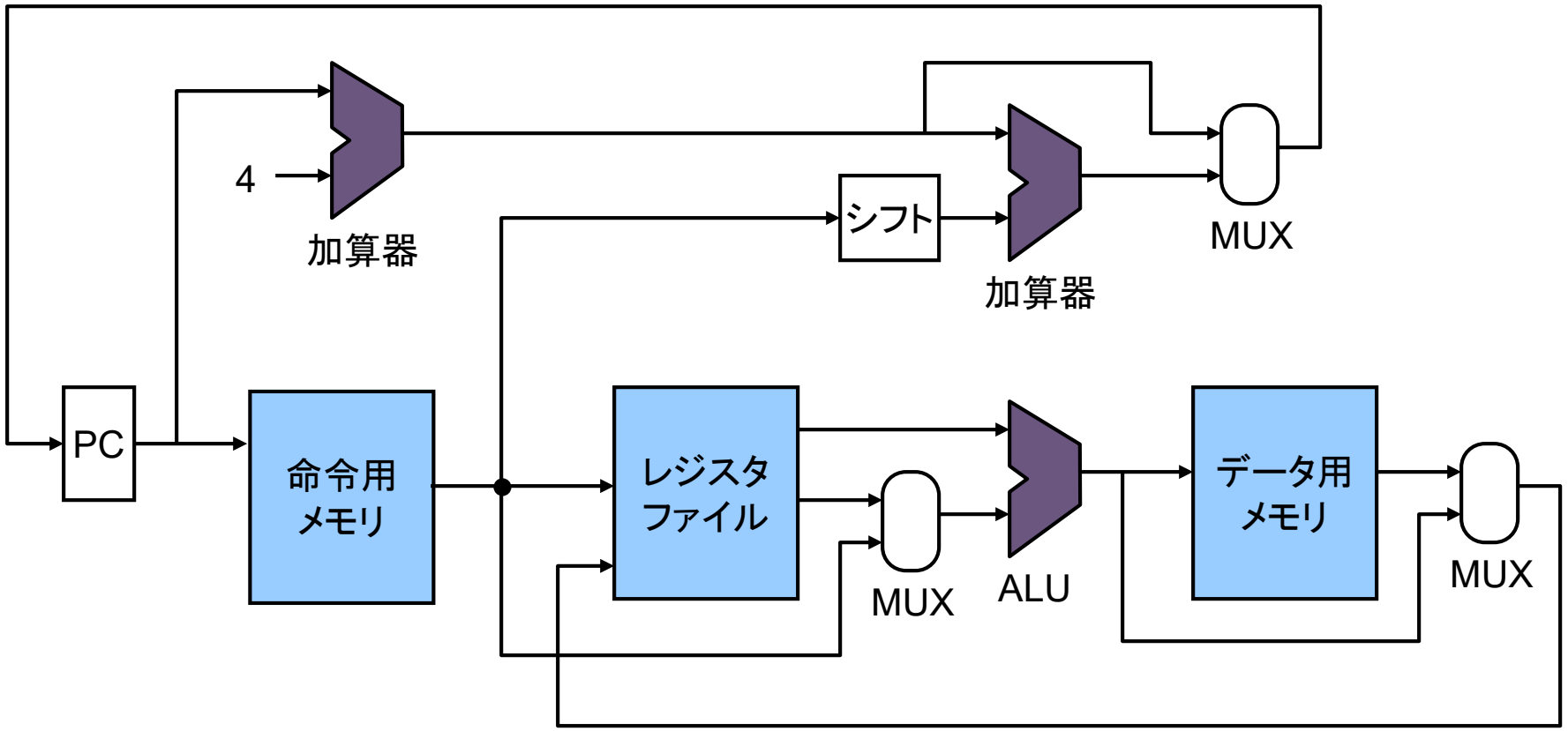
2019年度　計算機システム（演習）
第7回
2020.01.21

遠藤 敏夫（学術国際情報センター/数理・計算科学系 教授）
野村 哲弘（学術国際情報センター/数理・計算科学系 助教）

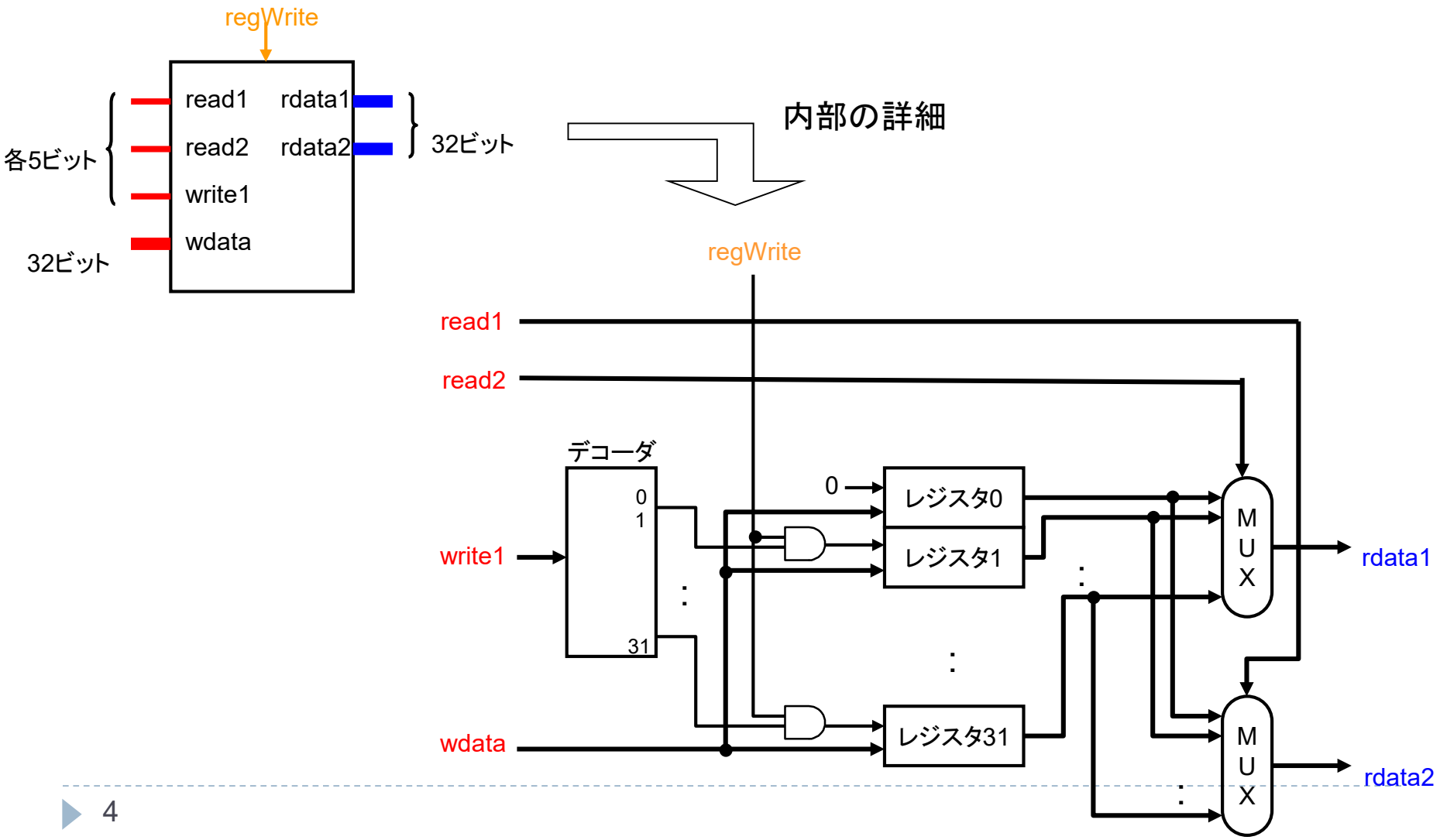
MIPSシミュレータ構築の流れ

1. ALUの作成
2. レジスタファイル
3. メモリ領域
   - 命令用メモリ
   - データ用メモリ
4. PCの作成
5. メインコントロールユニット
6. ALUコントロールユニット
7. 機能拡張
   - メモリアクセス命令
   - 分岐命令

MIPSシミュレータの全体像



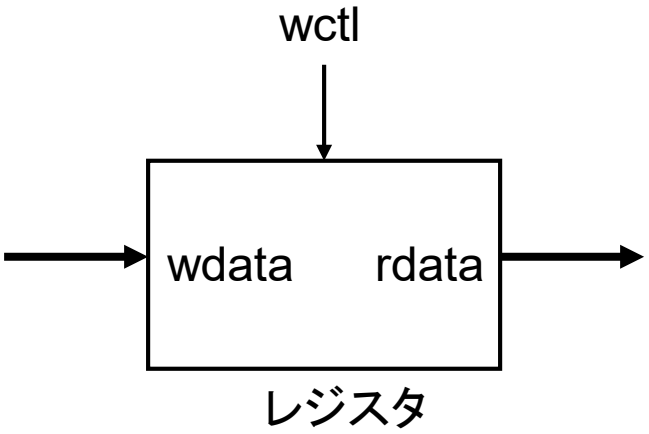
レジスタファイルの概要



レジスタ

- 状態回路で構成される
  - 内部状態を持ち、入力と状態により出力が決まる回路
    - 組み合わせ回路では入力のみから出力が決まった
- 入力
  - wctl：書き込み制御フラグ（1bit）
  - wdata：書き込むデータ（32bit）
- 出力
  - rdata：読み出したデータ（32bit）
- 内部
  - val: 記憶されている値

```
typedef struct {
    int val;
} Register;
```

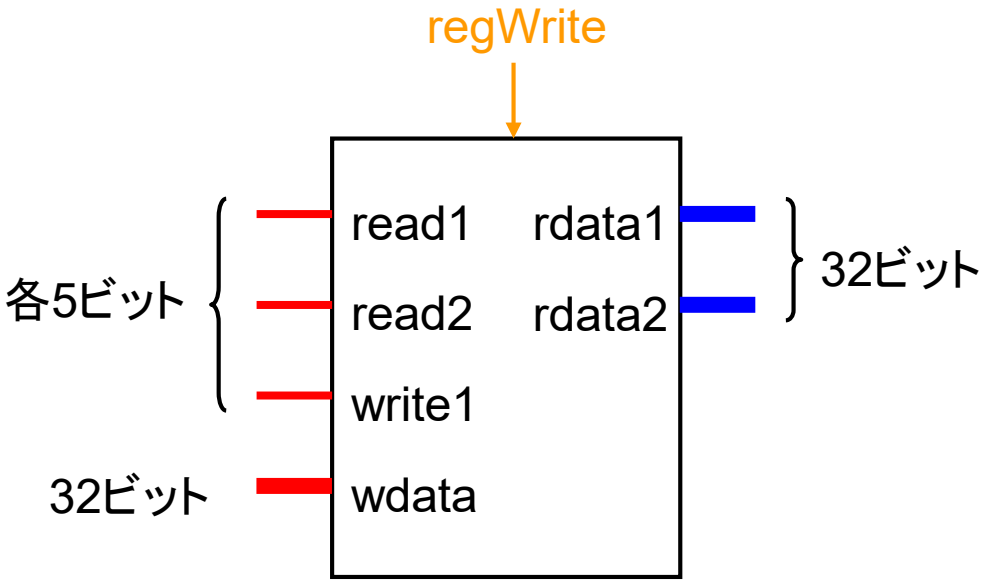


Register

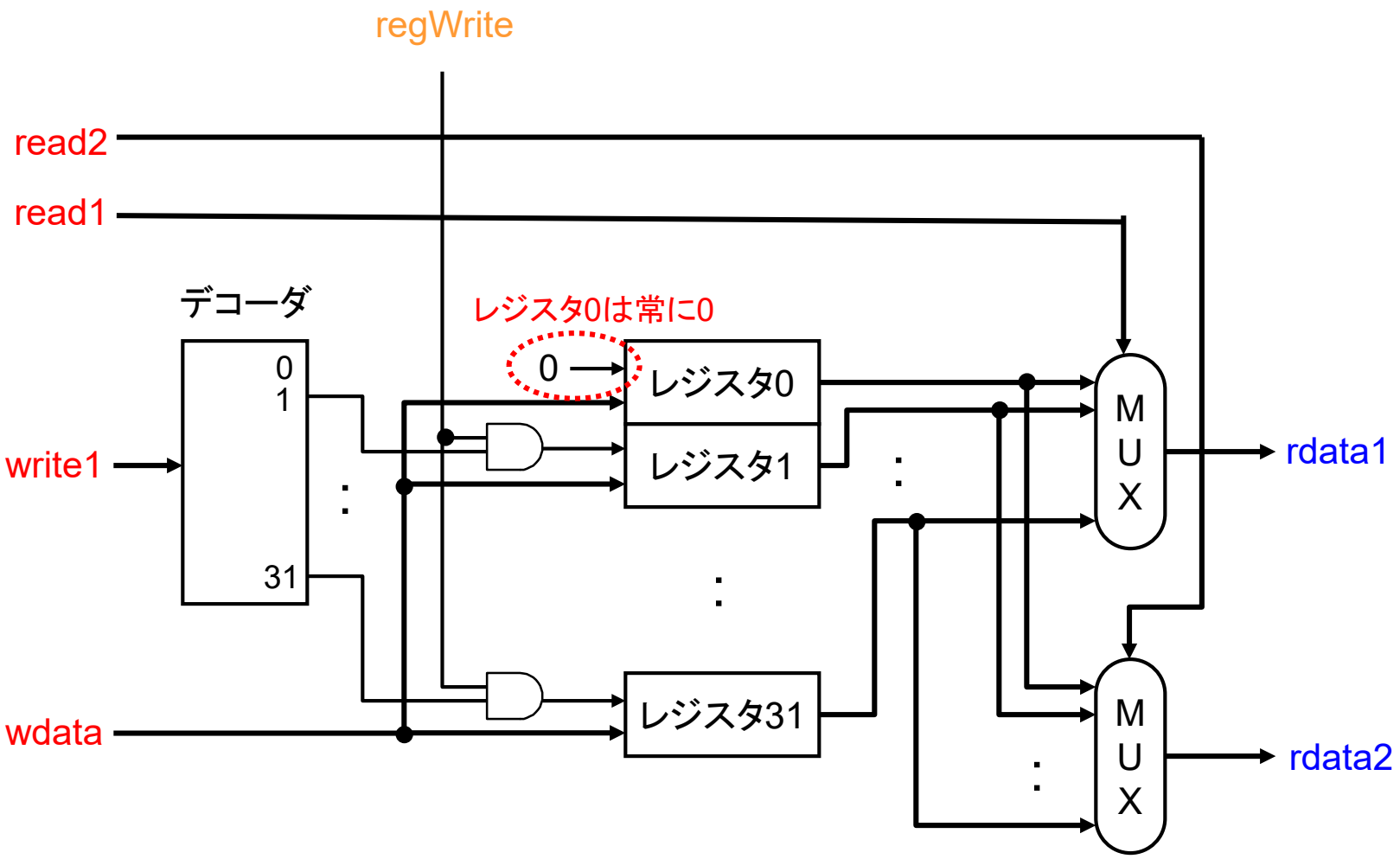
```
void register_run(Register *reg, // ポインタで渡す
                  Signal wctl, Word wdata, Word *rdata)
{
    // 1. レジスタの値valをrdataに出力
    // 2. wctlの信号が1ならwdataの値を書き込む(if文を使ってよい)
    // 書き込む前の値を読み出せるように、読み出し、書き込みの
    // 順番で行う必要がある(同時に読み書きする場合への対策)
}
// 次の演習で使います
void register_set_value(Register *reg, int val)
{
    reg->val = val;
}
int register_get_value(Register *reg)
{
    return reg->val;
}
```

レジスタファイル

- レジスタの集合
  - 機能：同時に2つのレジスタを読み、1つのレジスタに書き込める
    - 例：`add $t0, $t1, $t2`
- 入力
  - read1, read2, write1
    - 読み書きするレジスタ番号
  - wdata
    - 書き込むデータ
  - regWrite
    - 書き込み制御信号
- 出力
  - rdata1, rdata2
    - 読んだデータ
- 内部
  - 32個のレジスタ

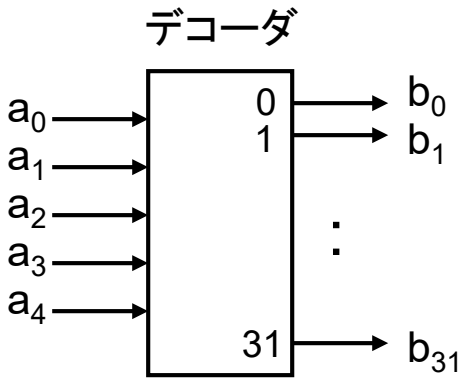


レジスタファイルの回路図



デコーダ

- 入力された数値に対応するビットを1にして出力
  - マルチプレクサの制御入力の部分に似ている
    - n 本の制御入力を使って 2^n 本の入力から1つ選ぶ
  - 例：a = 00011 (10進数で 3) が入力されたら b_3 = 1 になる（他の b_i は 0）

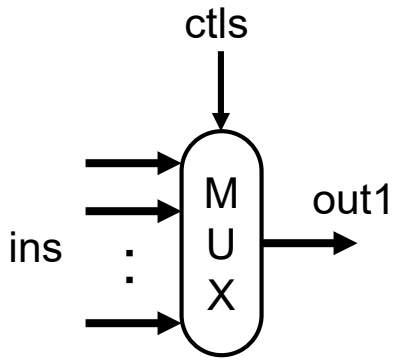


Decoder5

```
// 5ビット(a)から32ビット(b)へのデコーダ
void decorder5(Signal a[5], Word *b)
{
   int i, val = 0;
   // 5ビットのaを10進法の値に変換
   for (i = 0; i < 5; ++i) {
      if (a[i]) {
         val += (1 << i);
      }
   }
   // Word bの内、aの値によって選ばれる配線の値だけを1に設定する
   // (後の配線は0)
   // 回路を用いずに作成してよい(if文等使用)
}
```

MUX32

```
// 32入力のマルチプレクサ(Word版)
// 回路を用いずに作成してよい(if文等使用可)
void mux32(Word ins[32], Signal ctls[5], Word *out)
{
   // ctlsの値によって選択される入力Wordの値を出力Wordに設定する
}
```



RegisterFile

```
//RegisterFile構造体
typedef struct {
    Register r[32];
} RegisterFile;
```

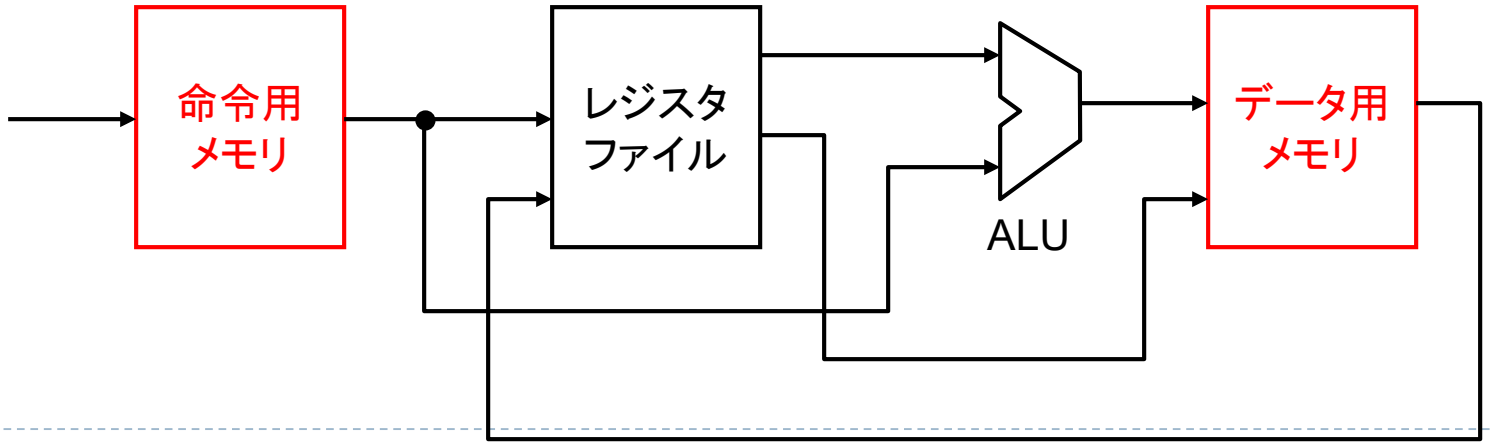
```
// デコーダ、レジスタ、32ビットMUXを接続する
void register_file_run(RegisterFile *rf, // ポインタで渡す
                       Signal register_write, // 入力
                       Signal *read1, Signal *read2, // 入力
                       Signal *write1, Word wdata, // 入力
                       Word *rdata1, Word *rdata2) // 出力
{
    // デコーダ、各ANDゲートとレジスタ、32ビットMUXを実行する
}
```

RegisterFile の使い方の例

```
// 1番レジスタへの書き込みと読み出しを同時に行う
void test_register_file()
{
    Signal register_write;
    Signal read1[5] = {true, false, false, false, false}; // 1
    Signal read2[5] = {true, false, false, false, false}; // 1
    Signal write1[5] = {true, false, false, false, false}; // 1
    Word wdata, rdata1, rdata2;
    RegisterFile rf;
    register_write = true; // 書き込み
    word_set_value(&wdata, 100);
    register_file_run(&rf, register_write, read1, read2, write1, wdata,
&rdata1, &rdata2); // 1番レジスタにwdataの値を書き込み
    register_file_run(&rf, register_write, read1, read2, write1, wdata,
&rdata1, &rdata2); // 出力のrdata1に$1に書き込んだwdataが出力される
    printf("new data of rdata1: %d¥n", word_get_value(rdata1)); // 100
}
```

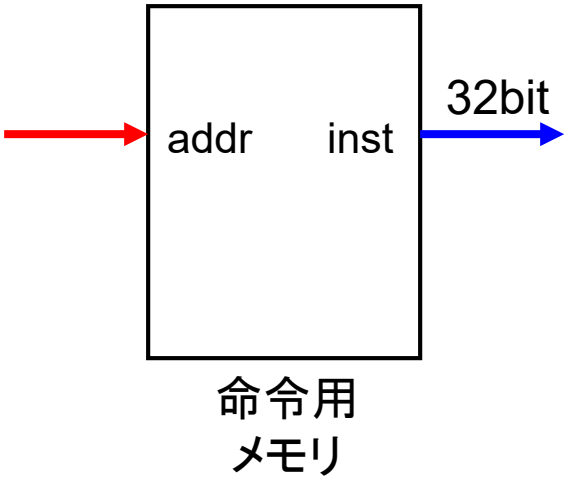
メモリ

- メモリを命令用とデータ用に分離し、個別に実装
  - 通常は区別はない
  - 制御を簡単にするため
- メモリは回路を用いずに実装する
  - 回路を用いると巨大になるため



命令用メモリ

- 命令用メモリは読み出し専用
  - 入力：16進数アドレス（バイトアドレッシング）
    - 命令サイズ: 4byte (32bit)
    - 4byte (32bit) 毎に命令を格納
  - 出力：命令
- アドレス 0x04000000 から始める
  - spim と同じ開始アドレス
- Spimの「.textセグメント」に相当



InstMemory

```
#define INST_MEM_START 0x04000000 //mips.hの先頭に記述

typedef struct {
    int mem[1024];
} InstMemory;
```

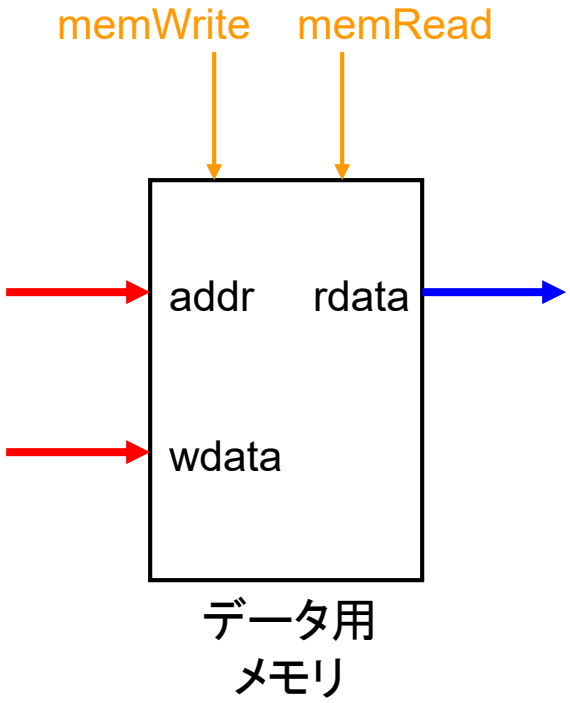
```
void inst_memory_run(InstMemory *im, Word addr, Word *inst)
{
    // instにデータを送る
    // 命令アドレスは0x04000000から始まるので、
    // 0x04000000をmem[0]に対応させると効率がよい
    // memはワード単位なので4で割る
    // mem[offset]の値をinstに設定
}
void inst_memory_set_inst(InstMemory *im, int addr, int inst){
    // 命令instをメモリに書き込む処理を書く
    // 0x04000000はmem[0]に対応
}
```

InstMemoryの使い方例

```
void test_inst_memory()
{
    Word addr, inst;
    InstMemory im;
    word_set_value(&addr, 0x04000000);
    inst_memory_set_inst(&im, 0x04000000, 350);
    inst_memory_run(&im, addr, &inst);
    printf("InstMemory[0x04000000] = %d¥n",
word_get_value(inst)); // 350
}
```

データ用メモリ

- データ用メモリは読み書き可
  - 制御入力：memWrite、memRead
    - 読み書きを制御
  - 入力：アドレス、書き込むデータ
  - 出力：読み出したデータ
- アドレス 0x10000000 から始める
  - spim と同じ開始アドレス
- Spimの「.dataセグメント」、スタック等に相当



DataMemory

```
#define DATA_MEM_START 0x10000000 //mips.hの先頭に記述

typedef struct {
    int mem[1024];
} DataMemory;
```

DataMemory つづき

```
void data_memory_run(DataMemory *dm,
                     Signal mem_write, Signal mem_read,
                     Word addr, Word wdata,
                     Word *rdata)
{
    int val, offset;
    val = word_get_value(addr);
    offset = (val - DATA_MEM_START) / 4;
    // 本来ならmemReadとmemWriteが1かどうかはANDGateを
    // 使って判定するが、ここでは回路を用いないのでif文を使ってよい
    // 読み出し処理（メモリの値をrdataに設定）
    if (mem_read) {
        ...
    }
    // 書き込み処理（wdataの値をメモリに設定）
    else if (mem_write) {
        ...
    }
}
```

DataMemoryの使い方例

```
void test_data_memory(){
    DataMemory dm;
    Signal mem_write, mem_read;
    Word addr, wdata, rdata;
    word_set_value(&rdata, 0);
    //アドレスと書き込むデータを指定して、書き込みフラグをtrueに
    mem_write = true;
    mem_read = false;
    word_set_value(&addr, 0x10000004);
    word_set_value(&wdata, 100);
    data_memory_run(&dm, mem_write, mem_read, addr, wdata,
&rdata);
    word_set_value(&addr, 0x10000008);
    word_set_value(&wdata, 200);
    data_memory_run(&dm, mem_write, mem_read, addr, wdata,
&rdata);
    printf("rdata : %d¥n", word_get_value(rdata)); // 0
```

DataMemoryの使い方例（つづき）

```
    // 読み込みフラグをtrueにしてデータの読み込み
    mem_write = false;
    mem_read = true;
    data_memory_run(&dm, mem_write, mem_read, addr, wdata,
&rdata);
    printf("rdata : %d¥n", word_get_value(rdata)); // 200
    word_set_value(&addr, 0x10000004);
    data_memory_run(&dm, mem_write, mem_read, addr, wdata,
&rdata);
    printf("rdata : %d¥n", word_get_value(rdata)); // 100
}
```

課題

課題1

- レジスタファイルを完成させよ
  - Register、Decoder5、MUX32、RegisterFile
  - 適宜自分で作成したRegisterFileをテストせよ
    - register_test関数を適宜作成せよ
    - 同じレジスタへの書き込みと読み出しを行うテストすること
      - run()を2回実行する必要がある

課題2

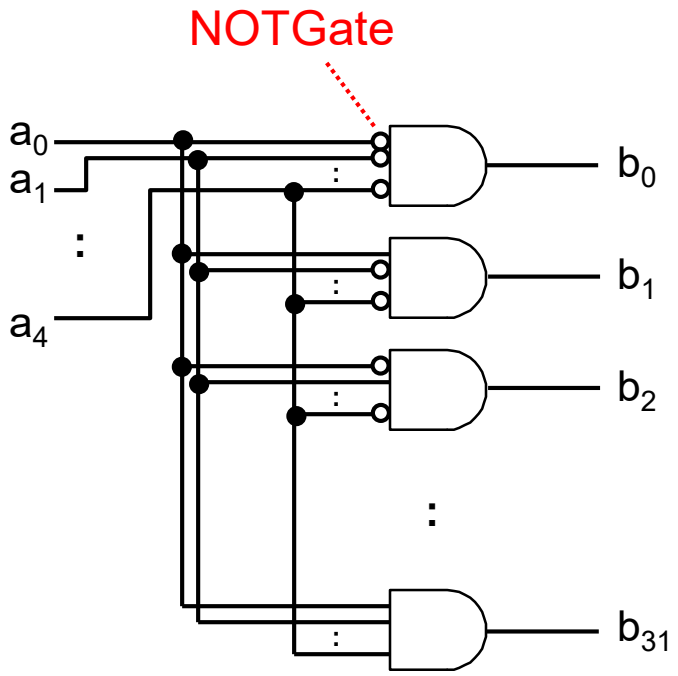
- メモリを完成させよ
  - InstMemory、DataMemory
  - 適宜テストを行うこと
    - データを書き込んだ後に正しく読み出せることを確認すること

課題提出

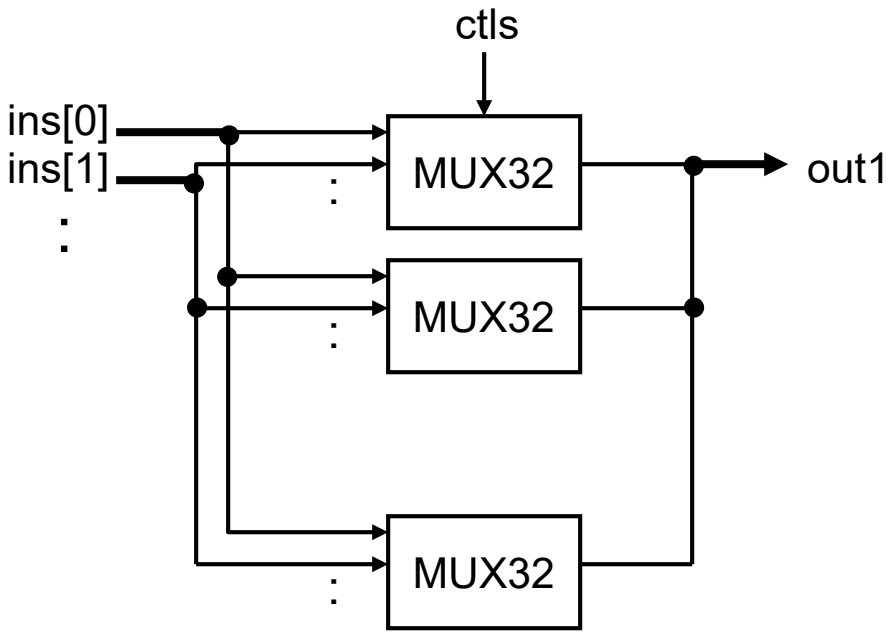
- 〆切：1/31 (金) 23:59
- 提出物：以下のファイルを1つのファイルに圧縮したもの
  - プログラムソース
    - シミュレータ全体ではなく、関係するコード(変更したファイル)のみ提出すること
    - 注意：作成したプログラムは今後も使用するため、十分にテストすること
  - ドキュメント
    - テスト結果・工夫した点・感想等
- 質問等があれば compsys19@el.gsic.titech.ac.jp まで
  - 課題のレポートやコメントに書かれていると、返信が遅くなります

補足

- Decoder5 クラスおよび MUX32_bus クラスを回路を使って実現する



Decoder5



MUX32_bus

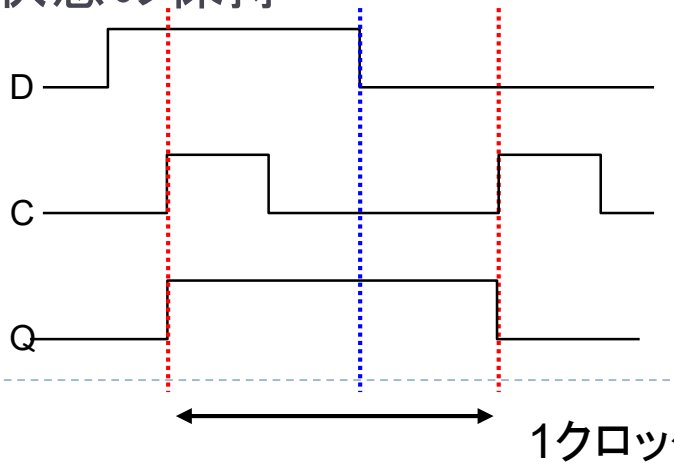
補足

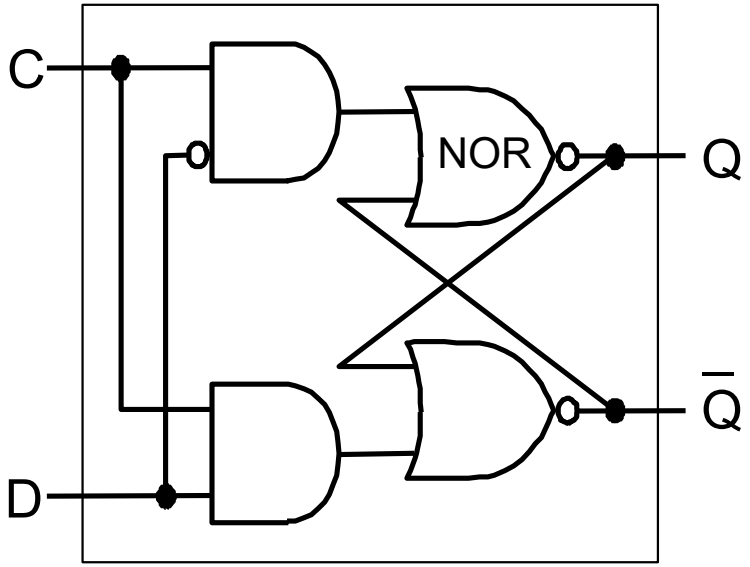
- レジスタをフリップフロップを使って作成
  - D-フリップフロップを配列として作成
    - 1ビットの情報を保持する
    - D-フリップフロップはD-ラッチの組み合わせ回路
  - 制御入力としてクロックを入れる

  - 演習のプログラムのように手続き型言語でシミュレートする場合、1クロックの間にも回路全体が安定するまで複数回ゲートを評価する必要がある

補足：D-ラッチ

- クロック（C）が 1 の間、入力 D の値が出力 Q に反映される
  - メモリへの書き込み
- クロックが 0 の間、D の値が変化しても Q は変化しない
  - メモリからの読み出し
  - 状態の保持





NOR：ORの出力を反転したゲート

補足：D-フリップフロップ

- 下降クロックエッジでのみ入力が出力に反映される
  - C=1 になった時に1つ目のD-ラッチに反映
  - C=0 になった時に2つ目のD-ラッチに反映