

電気学第一

集積システム入門(2)

トランジスタからマイクロプロセッサまで

西原明法

教育工学開発センター
大岡山西9号館823号室

順序回路

現在の出力は...

- 現在の入力
- 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

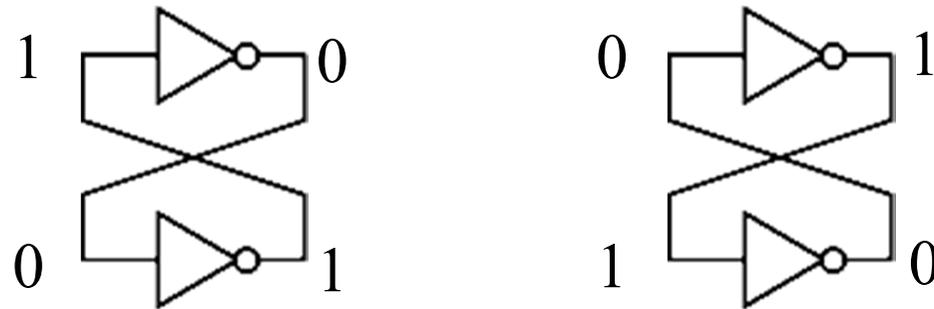
によって決まる

状態・・・過去の入力系列の結果として
回路に残り記憶されているもの

順序回路 = 組合せ回路 + 状態を記憶する素子

2安定回路

- 安定に状態を保持する回路

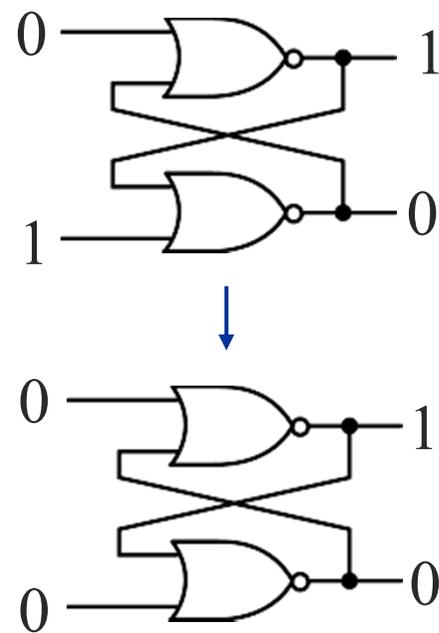
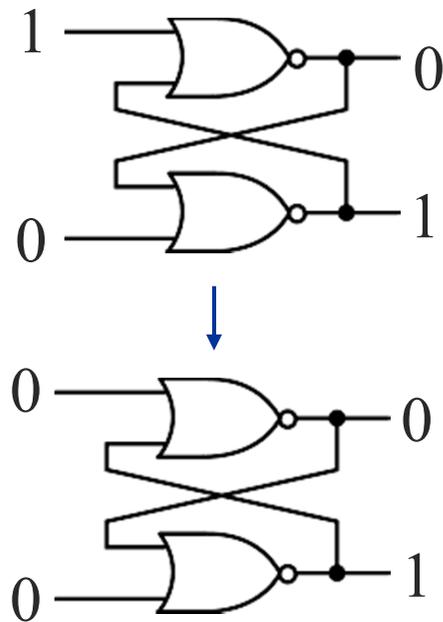


2種類の安定状態が存在

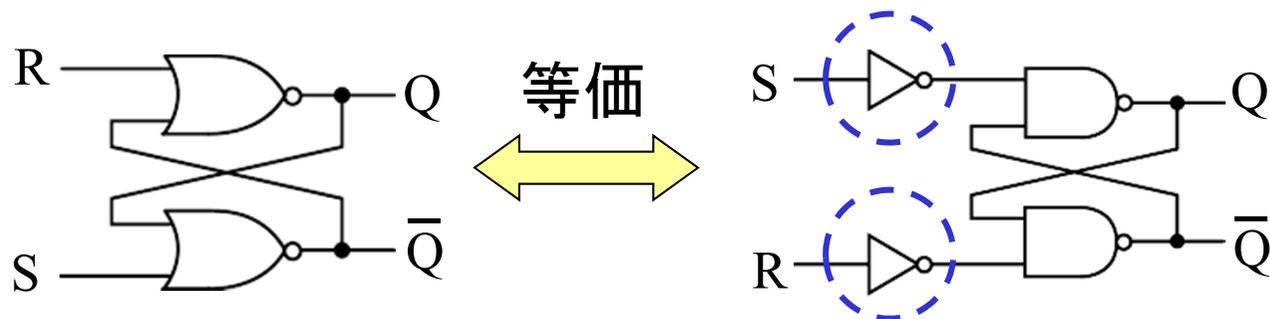
フリップフロップ

- 2安定回路の安定状態を外部から選択できるように改良

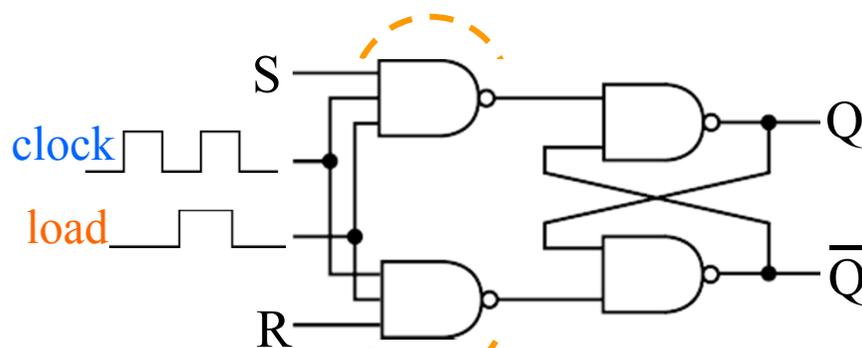
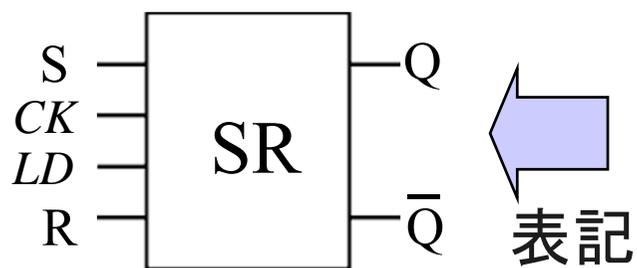
上段の状態から下段のように両方に0を加えた場合、安定状態は変化しない
また、両方に1を加えた時の動作は不確定なので、そういった入力はしない



SR (Set-Reset) フリップフロップ



置き換え: AND回路
→ 3入力NAND回路



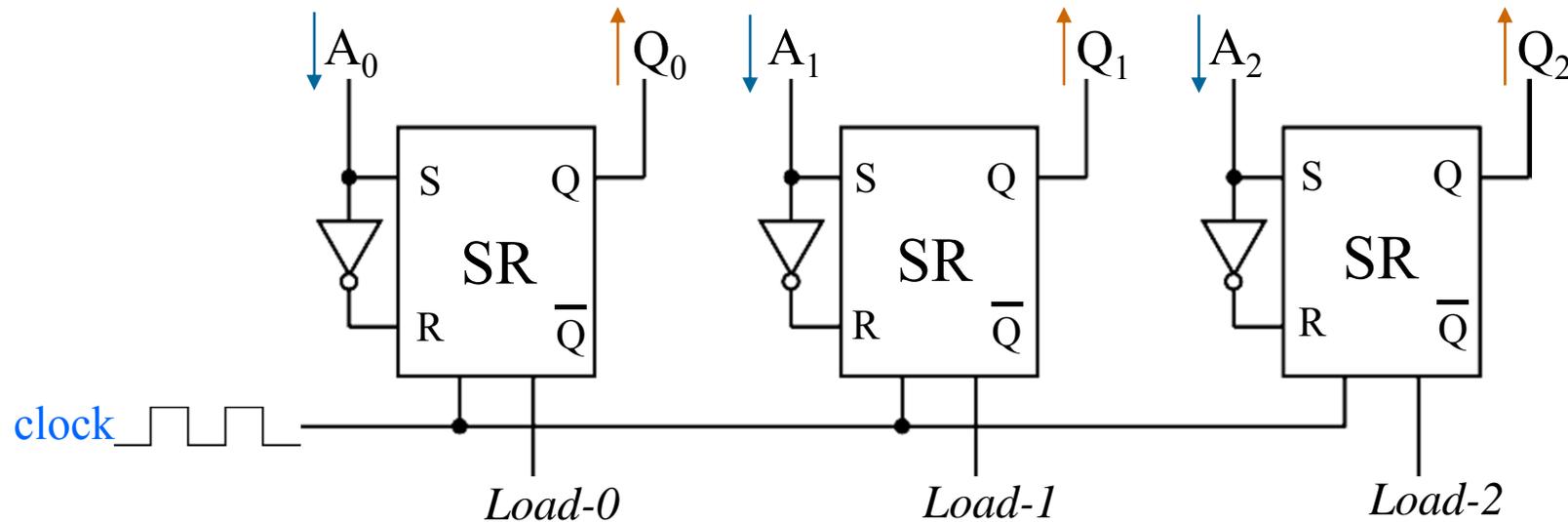
実際のSRフリップフロップ

clock, loadが共に“1”の時だけ状態変化 5

メモリ

フリップフロップ: 状態を保持する機能 → メモリの構成

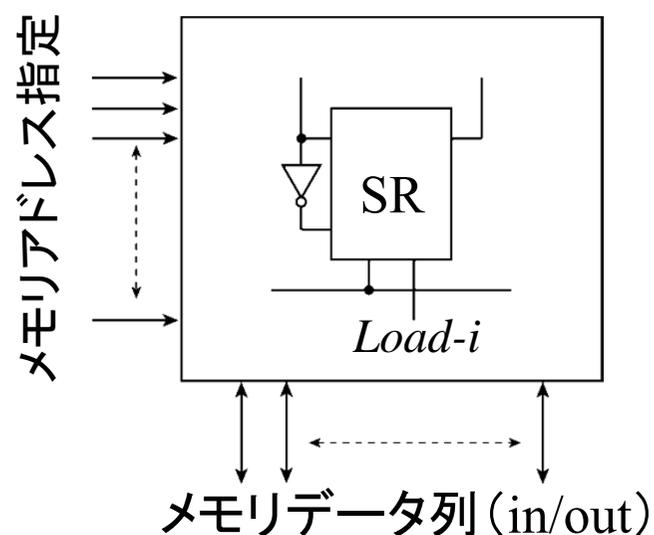
例) 3bitメモリ



クロック信号とロード信号が共に“1”になったとき記憶

メモリアレイ

- メモリをアレイ状に配列
- アドレスで任意のメモリを指定



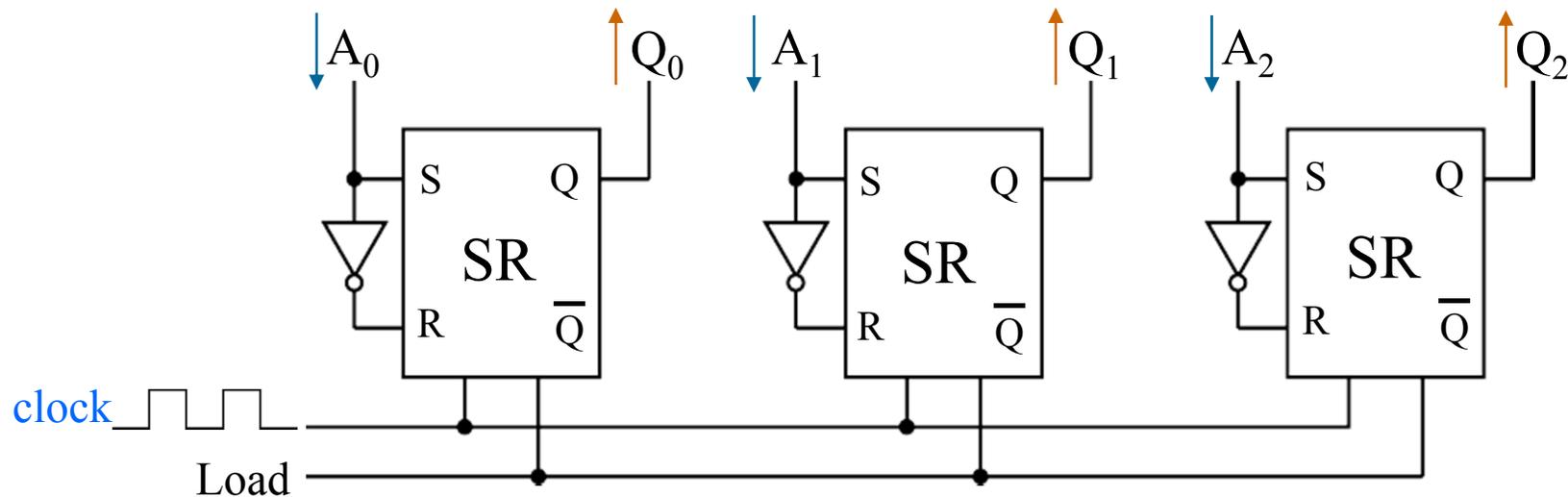
電源が入っている限り情報が保持される・・・スタチックRAM(SRAM)

cf. コンデンサーに電荷の形で情報を記憶・・・ダイナミックRAM(DRAM)
→リフレッシュ動作が必要

レジスタ

- 複数ビットのデータを記憶: データ、アドレスを一時的に保持
- 演算装置と同程度の高速動作が可能な小容量記憶装置

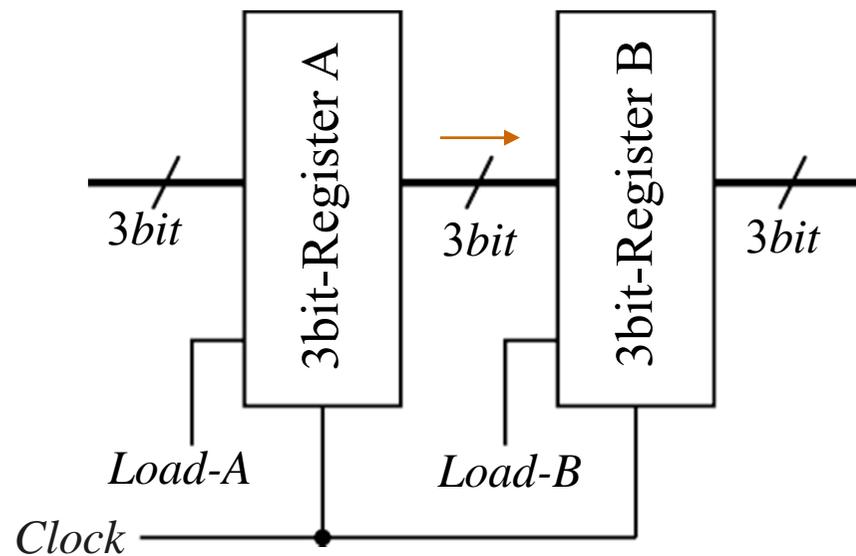
例) 3bitレジスタ



クロック信号とロード信号が“1”になったとき同時に記憶

レジスタ間のデータ転送(1)

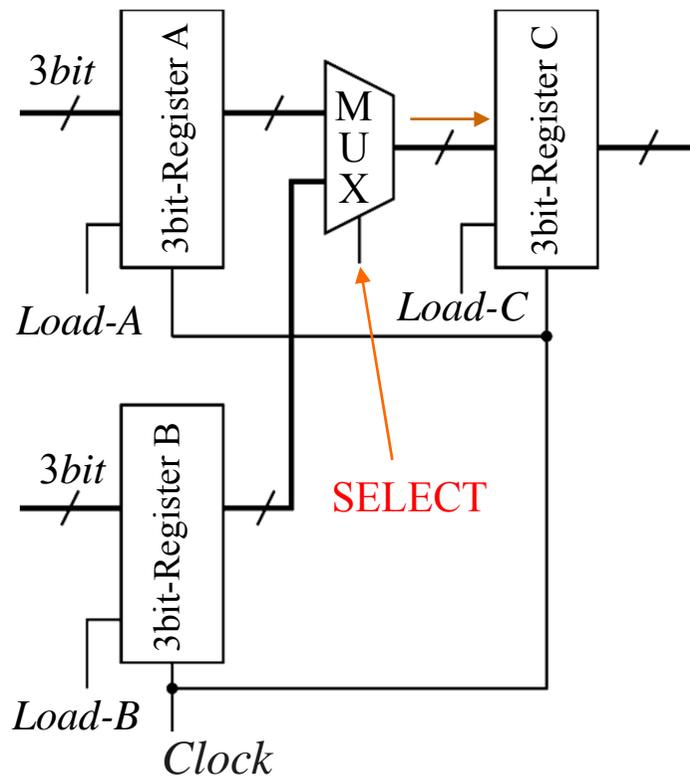
- Register-A のデータを Register-B に転送



クロックとLoad-Bの信号が同時に“1”となったときデータが転送される

レジスタ間のデータ転送(2)

- 複数のレジスタから選択的にデータを転送する場合

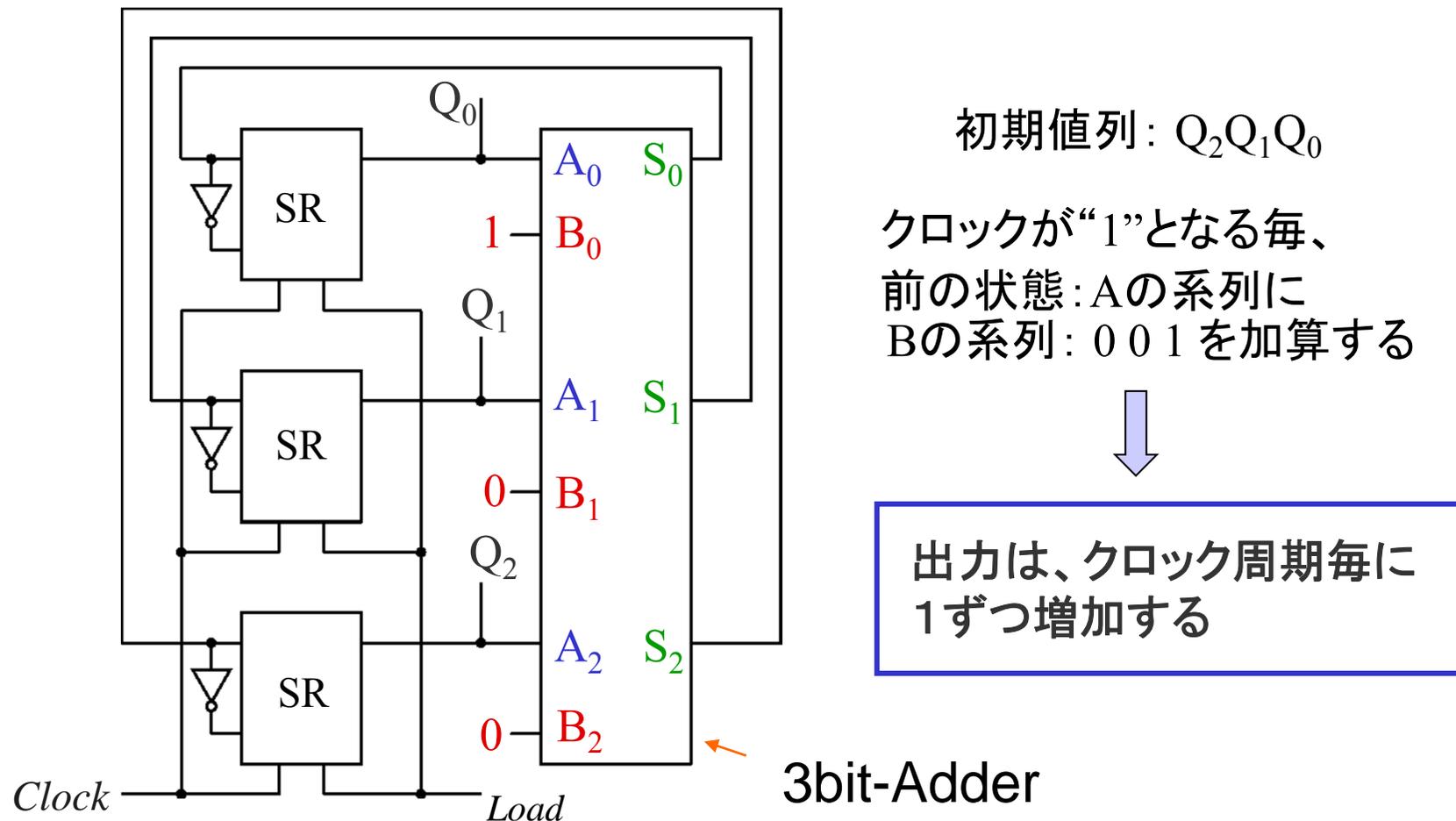


マルチプレクサを用いる

クロックとLoad-Cの信号が同時に“1”となったときデータが転送される

カウンタ

- プログラム命令番地の管理などに用いられる
例) 3bitカウンタ



レジスタ・トランスファ論理

デジタルシステム：フリップフロップとゲートで構成された
順序論理システム

状態遷移表によって記述可能



大規模システムでは状態数が著しく多くなり困難



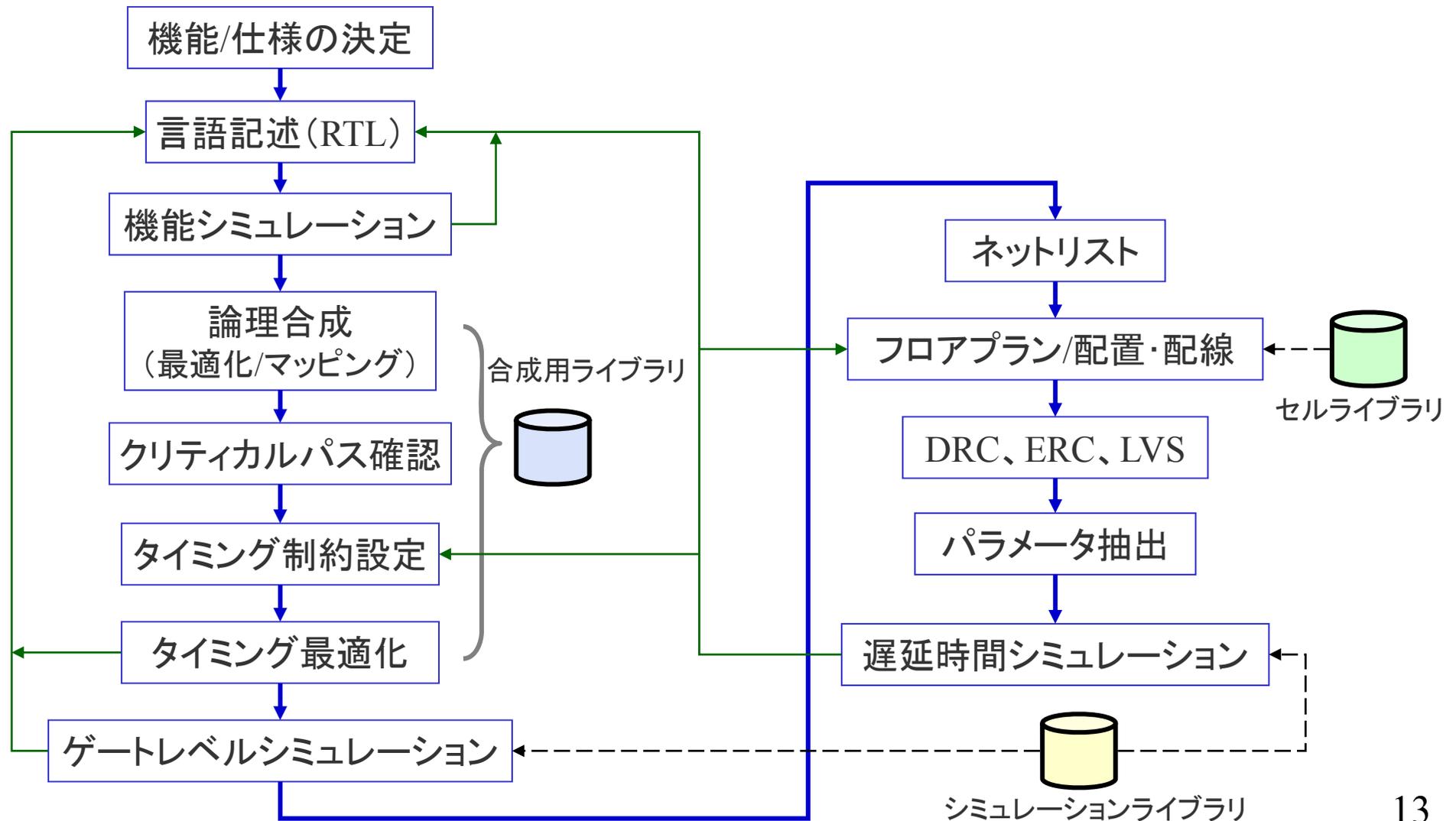
モジュールに分割

レジスタトランスファ論理：モジュールやその相互接続を記述

レジスタをデジタルシステムの基本素子とし、レジスタに格納されているデータの流れと仕事の処理を簡潔・正確に記述

プログラム言語に似た式と文： 例) $xT_1 : A \leftarrow B$

デジタルシステム設計の流れ



論理合成

順序回路合成
組合せ回路合成
テクノロジーマッピング } により論理回路を合成

- 最適化

記述された動作を変えずに最も効果的な論理に仕上げる

- マッピング

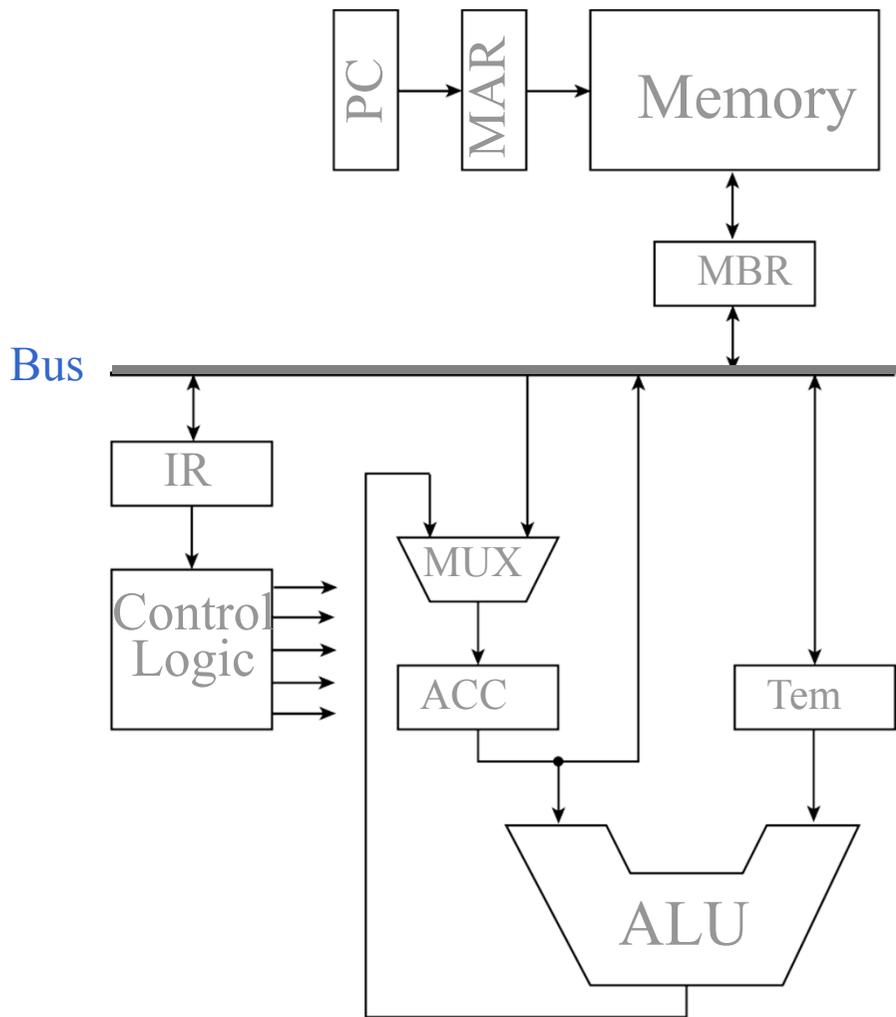
論理をマクロセルに置き換える

- 制約

動作モデルによって、集積回路の面積や遅延時間が決定されるので、面積と遅延時間のトレードオフを考慮する

マイクロプロセッサ

マイクロプロセッサの構成例



略語の意味

| | |
|-----|--------------------------|
| ALU | Arithmetic Logic Unit |
| MAR | Memory Address Register |
| MBR | Memory Buffer Register |
| PC | Program Counter Register |
| IR | Instruction Register |
| ACC | Accumulator Register |
| Tem | Temporary Register |

マイクロプロセッサの命令例

| ニモニック | コード | 機能 | 説明 |
|----------|------------|--------------------|---------|
| LDA addr | 00 xxx xxx | ACC←Mem[address] | データの読出し |
| STA addr | 01 xxx xxx | Mem[address] ←ACC | データ保存 |
| ADD #reg | 10 000 xxx | ACC ←ACC+reg(xxx) | 算術加算 |
| SUB #reg | 10 001 xxx | ACC ←ACC- reg(xxx) | 算術減算 |
| BRN addr | 11 xxx xxx | PC ←[address] | 無条件分岐 |

命令読出し実行例 (ADD xxx)

| 時刻 | データ転送 | 説明 |
|----|-----------------------------|---|
| 0 | MAR ← PC | 実行命令格納番地を メモリアドレスにセット |
| 1 | MBR ← Mem[MAR] PC ← PC+1 | メモリから実行命令を読出し 命令番地を一つ進める |
| 2 | IR ← MBR | 実行命令を命令レジスタに転送 |
| 3 | ACC ← ACC+reg(xxx) | 命令レジスタでの解読に基づき 命令を実行(加算の例) 次の命令読出しに戻る |

初期と最近のマイクロプロセッサ

| | | |
|---------|-------------------|-------------|
| 名前 | 4004 | Core i7 |
| 年 | 1971 | 2011 |
| クロック速度 | 108kHz | 3.4GHz |
| トランジスタ数 | 2300 | 1.17十億 |
| プロセス | 10 μ | 32 n |
| チップ面積 | 10 mm^2 | 240 mm^2 |
| パッケージ | 16pin Dual Inline | 1366pin LGA |
| バス幅 | 16bit | 192bit |
| 最大メモリ | 640Byte | 32GByte |
| 用途 | Busicom電卓 | PC, Servers |

4001:ROM, 4002:RAM,4003:Shift Register

Mooreの法則

Gordon Mooreが1965年に唱えた。

「半導体の集積度は18箇月で2倍になる」

Gordon E. Moore: “Cramming more components onto integrated circuits”, Electronics, vol.38, No.8, Apr. 1965

The complexity for minimum component costs has increased at a rate of roughly a factor of two per year. Certainly over the short term this rate can be expected to continue, if not increase.

1975年にMooreは、2年で2倍と改めた。その後David Houseが、演算性能は18箇月で2倍になると提唱した。

世界の半導体メーカー売上ランキング

Gartner Dataquest

| | 1971 | 1981 | 1991 | 2001 | 2005 | 2009 |
|----|-----------|-----------|----------|----------|-------------|-----------|
| 1 | TI | TI | NEC | Intel | Intel | Intel |
| 2 | Motorola | Motorola | 東芝 | 東芝 | Samsung | Samsung |
| 3 | Fairchild | NEC | Intel | ST | TI | 東芝 |
| 4 | IR | Philips | Motorola | Samsung | 東芝 | TI |
| 5 | NS | 日立 | 日立 | TI | ST | ST |
| 6 | Signetics | 東芝 | TI | NEC | ルネサステクノロジ | Qualcomm |
| 7 | AMI | NS | 富士通 | Motorola | Infineon | Hynix |
| 8 | Unitrode | Intel | 三菱電機 | 日立 | Philips | ルネサステクノロジ |
| 9 | VARO | 松下 | 松下 | Infineon | Hynix | AMD |
| 10 | Sliconix | Fairchild | Philips | Philips | NECエレクトロニクス | Sony |

エルピーダメモリ、TSMC、GLOBALFOUNDRIES