

コンピュータアーキテクチャ (11)

坂井 修一

東京大学大学院 情報理工学系研究科 電子情報学専攻
東京大学 工学部 電子情報工学科／電気電子工学科

- ・ はじめに
- ・ 入出力と周辺装置

はじめに

- 本講義の目的
 - コンピュータアーキテクチャの基本を学ぶ
- 時間・場所
 - 火曜日 8:40 - 10:10 工学部2号館241
- ホームページ（ダウンロード可能）
 - url: <http://www.mtl.t.u-tokyo.ac.jp/~sakai/hard/>
- 教科書
 - 坂井修一『コンピュータアーキテクチャ』（コロナ社、電子情報レクチャーシリーズC-9）
 - 坂井修一『実践 コンピュータアーキテクチャ』（コロナ社）

教科書通りやります
- 参考書
 - D. Patterson and J. Hennessy, Computer Organization & Design、3rd Ed.（邦訳『コンピュータの構成と設計』（第3版）上下（日系B P））
 - 馬場敬信『コンピュータアーキテクチャ』（改訂2版）、オーム社
 - 富田眞治『コンピュータアーキテクチャ I』、丸善
- 予備知識： 論理回路
 - 坂井修一『論理回路入門』、培風館
- 成績
 - 試験＋レポート＋出席

講義の概要と予定（1／2）

1. コンピュータアーキテクチャ入門

ディジタルな表現、負の数、実数、加算器、ALU、フリップフロップ、レジスタ、計算のサイクル

2. データの流れと制御の流れ

主記憶装置、メモリの構成と分類、レジスタファイル、命令、命令実行の仕組み、実行サイクル、算術論理演算命令、シーケンサ、条件分岐命令

3. 命令セットアーキテクチャ

操作とオペランド、命令の表現形式、アセンブリ言語、命令セット、算術論理演算命令、データ移動命令、分岐命令、アドレッシング、サブルーチン、RISCとCISC

4. パイプライン処理（1）

パイプラインの原理、命令パイプライン、オーバヘッド、構造ハザード、データハザード、制御ハザード

5. パイプライン処理（2）

フォワーディング、遅延分岐、分岐予測、命令スケジューリング

6. キャッシュ

記憶階層と局所性、透過性、キャッシュ、ライトスルーとライトバック、ダイレクトマップ型、フルアソシアティブ型、セットアソシアティブ型、キャッシュミス

7. 仮想記憶

仮想記憶、ページフォールト、TLB、物理アドレスキャッシュ、仮想アドレスキャッシュ、メモリアクセス機構

東大・坂井

講義の概要と予定 (2 / 2)

8. 基本CPUの設計

ディジタル回路の入力、Verilog HDL、シミュレーションによる動作検証、アセンブラ、基本プロセッサの設計、基本プロセッサのシミュレーションによる検証

9. 命令レベル並列処理(1)

並列処理、並列処理パイプライン、VLIW、スーパスカラ、並列処理とハザード

10. 命令レベル並列処理(2)

静的最適化、ループアンローリング、ソフトウェアパイプライン、トレーススケジューリング

11. アウトオブオーダー処理

インオーダーとアウトオブオーダー、フロー依存、逆依存、出力依存、命令ウィンドウ、リザベーションステーション、レジスタリネーミング、マッピングテーブル、リオーダーバッファ、プロセッサの性能

12. 入出力と周辺装置

周辺装置、ディスプレイ、二次記憶装置、ハードウェアインタフェース、割り込みとポーリング、アービタ、DMA、例外処理

試験： 7月後半

12. 入出力と周辺装置

■ 内容

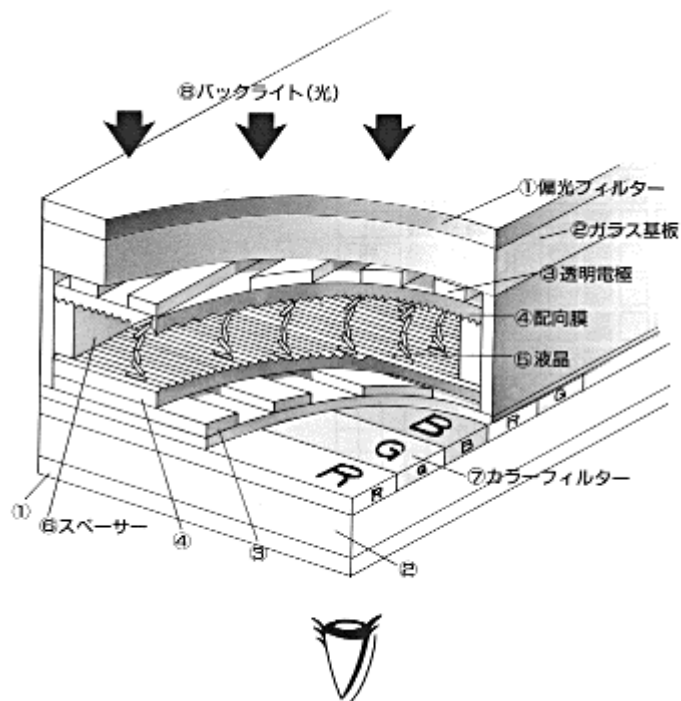
- 周辺装置
 - ・ 周辺装置の分類
 - ・ 液晶ディスプレイ
 - ・ 磁気ディスク
- 入出力の機構と動作
 - ・ ハードウェアインタフェース
 - ・ データ転送の手順
 - ・ 割り込みの調停
 - ・ DMA
- 例外処理
 - ・ 例外の要因
 - ・ 例外処理の手順

周辺装置の分類

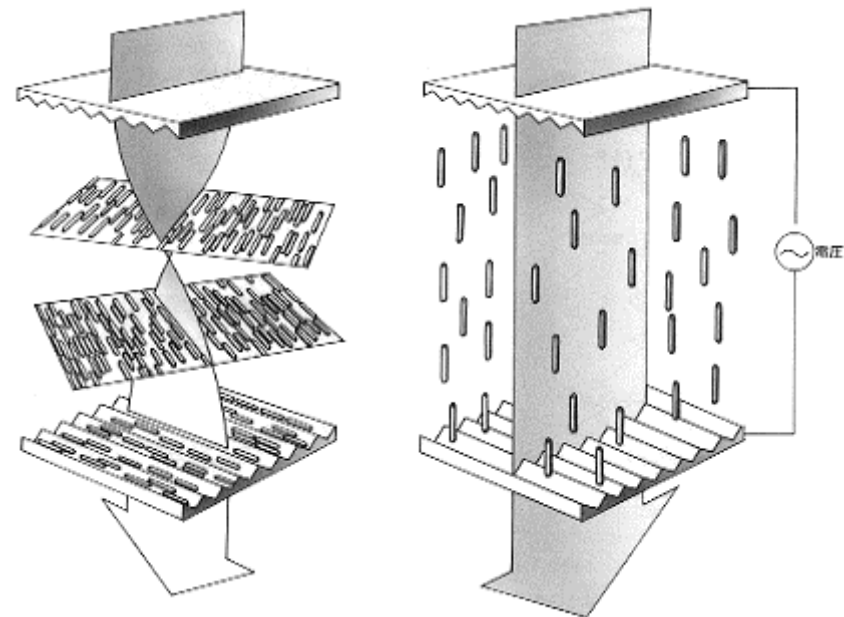
表 7.1 周辺装置

入出力	装置	相手	データ
入 力	キーボード	人 間	文字(毎秒 1-8 字程度)
	マウス、ジョイスティック	人 間	数値(移動距離)
	マイク(音声入力)	人 間	音声
	イメージスキャナ、OCR	人 間	静止画
	(ディジタル)カメラ	人 間	静止画
	(ディジタル)ビデオ	人 間	動画
	センサ類	環 境	数値
	GPS 受信装置	人工衛星	数値
	CD-ROM, DVD-ROM	機 械	種々のデータ
出 力	CRT/液晶ディスプレイ	人間	静止画・動画
	プリンタ	人間	記号・静止画
	スピーカ(音声出力)	人間	音声
入 出 力	フロッピーディスク	機械	種々のデータ
	磁気ディスク	機械	同上
	CD-RW, DVD-RAM	機械	同上
	光磁気ディスク(MO)	機械	同上
	磁気テープ	機械	同上
	モデム	機械	同上
	LAN(有線・無線)	機械	同上

液晶ディスプレイ



液晶ディスプレイの構造

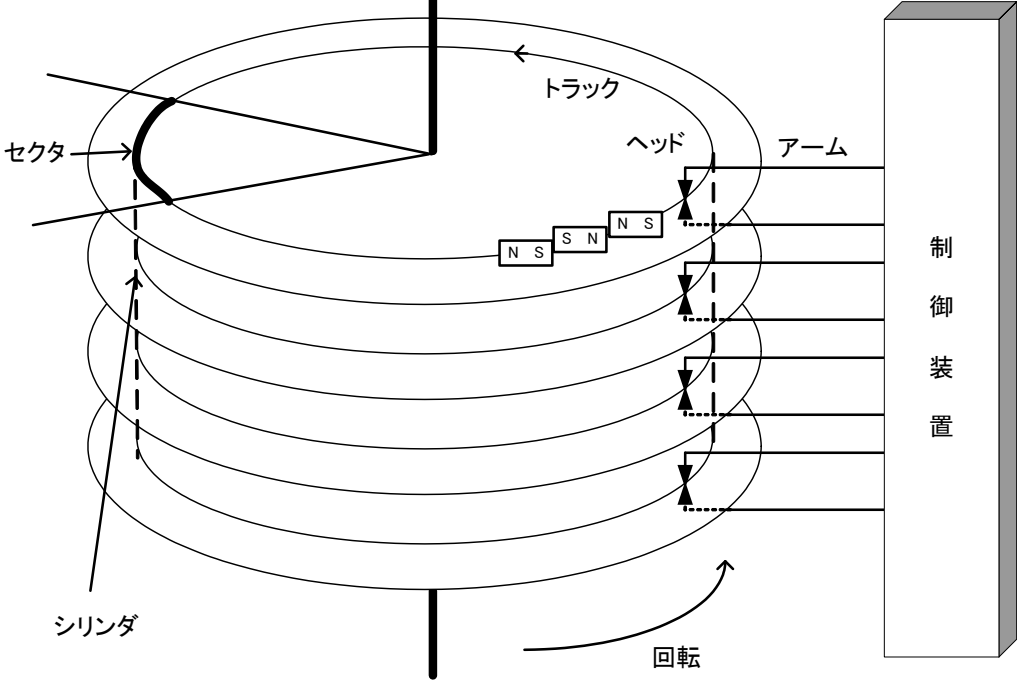


電圧なし＝光は通過 電圧あり＝光は遮断

液晶ディスプレイの動作

図はシャープ（株）提供

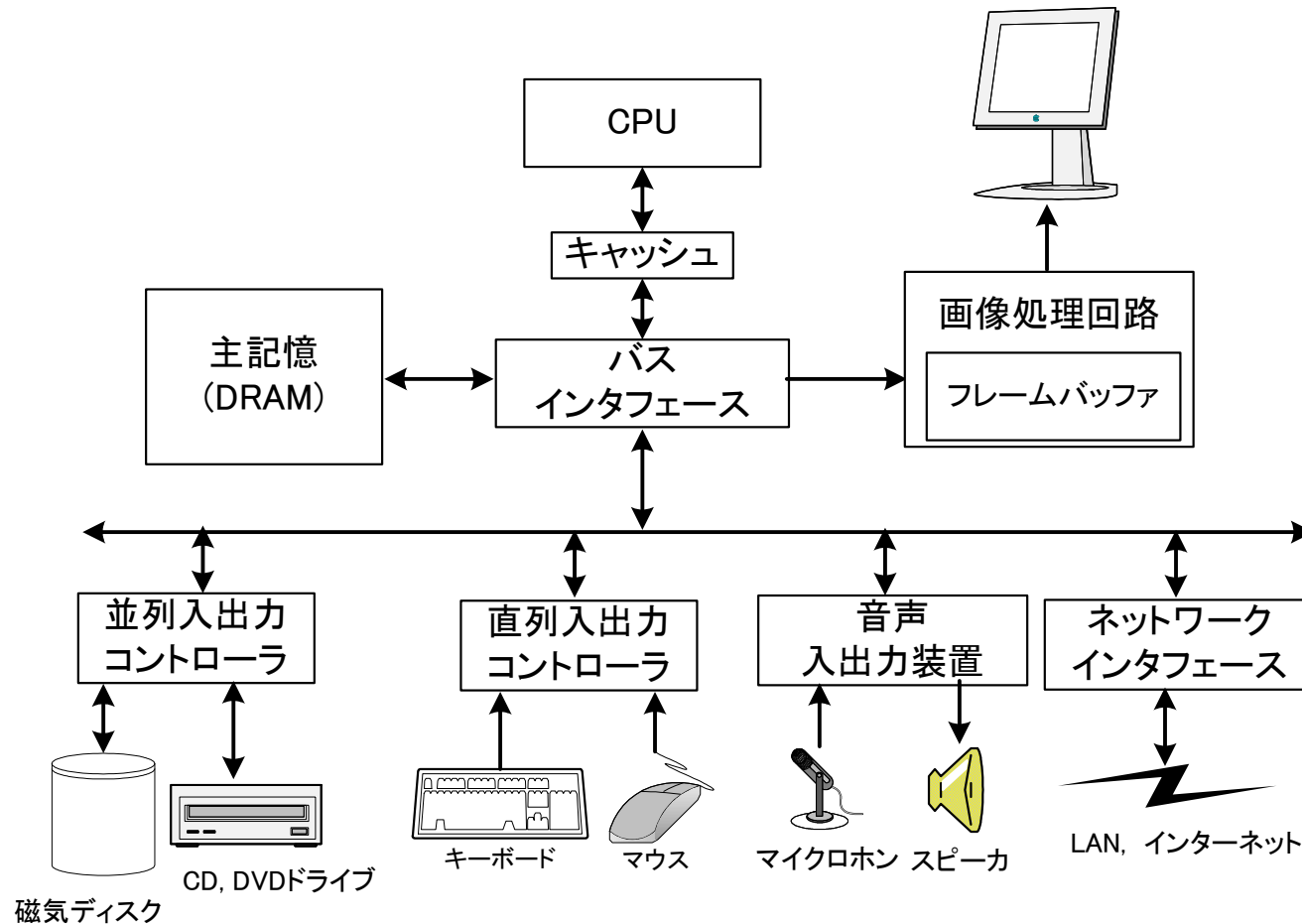
© 2011 Pearson Education, Inc. All rights reserved. Printed in the United States of America. This publication is protected by copyright. Any unauthorized distribution or reproduction of this work is illegal.



ディスクの操作

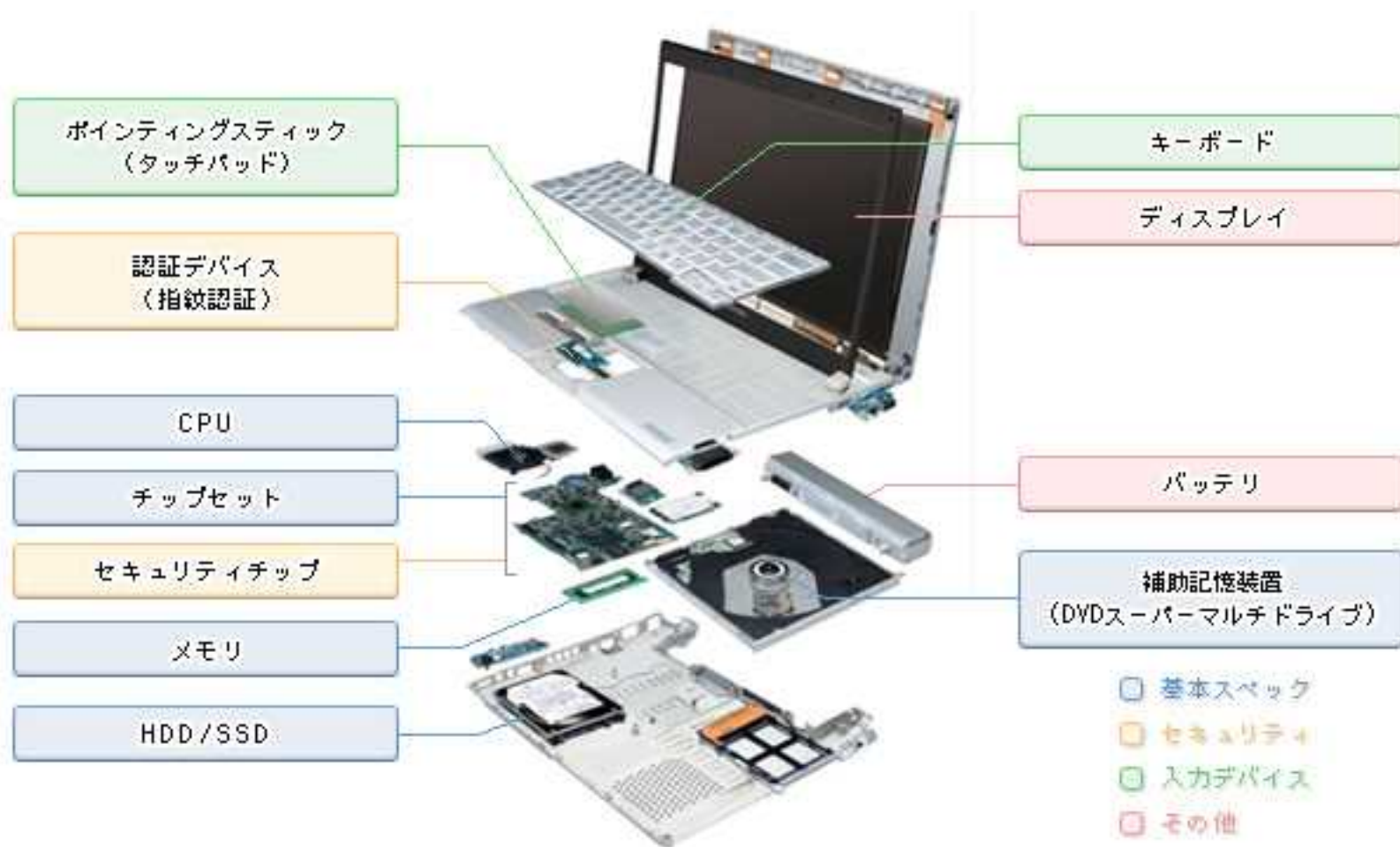
- ①シーク： 求めるトラックの位置までヘッド移動
- ②ローテーション： 求めるセクタの位置までディスクが回転するのを待つ
- ③読み出し／書き込み

入出力のハードウェアインタフェース



CPUと周辺装置の間の入出力： 非同期バスを介して行う

ノートPCの中



<http://www.keyman.or.jp/at/pcmob/display/30002426/>

データ転送の手順

- (1) ポーリングまたは割り込みによる入出力の起動
- (2) 前処理
- (2) 命令またはDMAによる主記憶・周辺装置間のデータ転送
- (3) 後処理

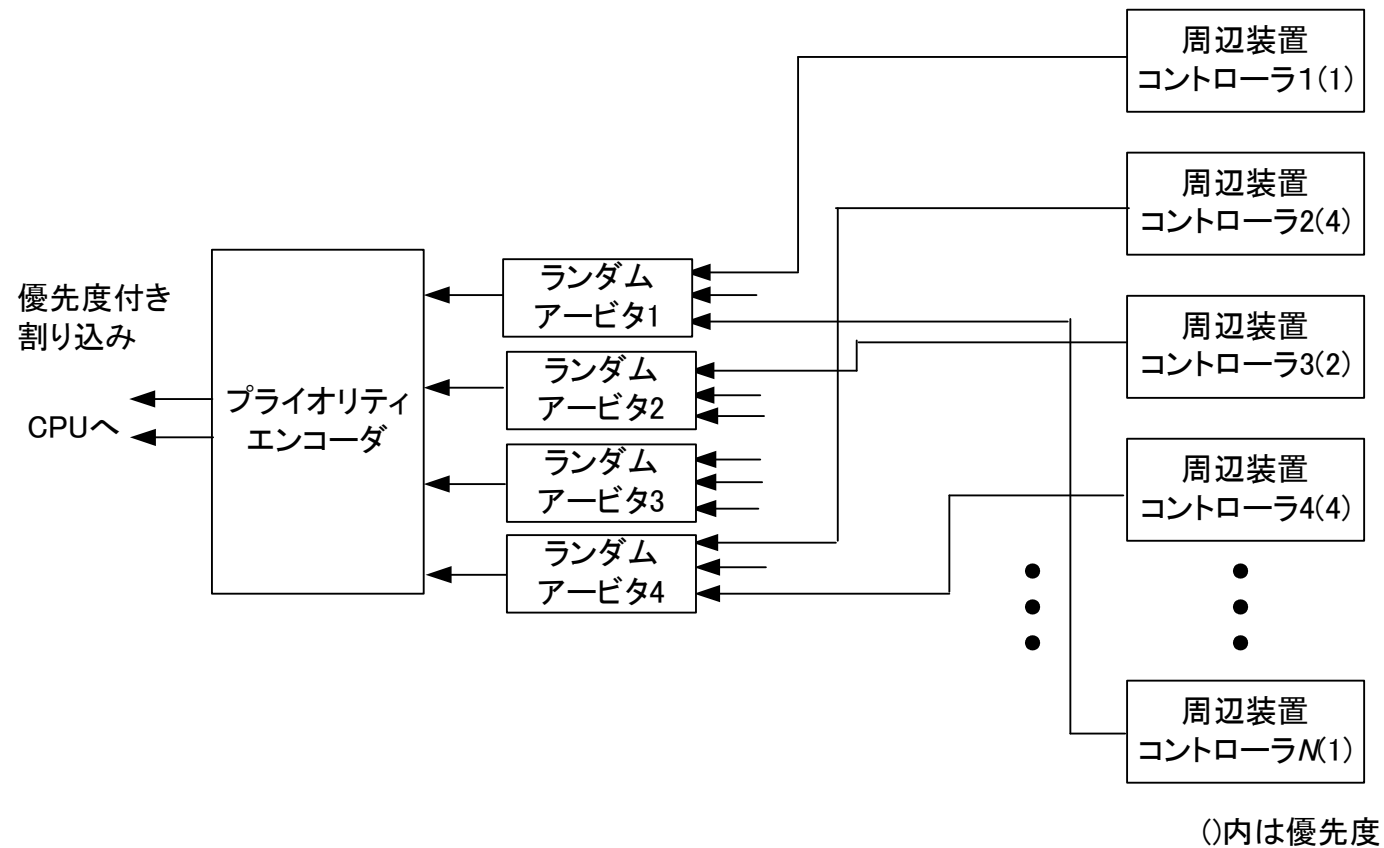
■ ポーリング

- CPUが定期的に順番に周辺装置を見回って、入出力の要求があるかどうかを確認する方式
 - 実装が簡単
 - CPU側の前処理・後処理も軽くてすむ
 - ×入出力が即時的に行えない
 - ×見回りのためにむだな時間が多く使われる

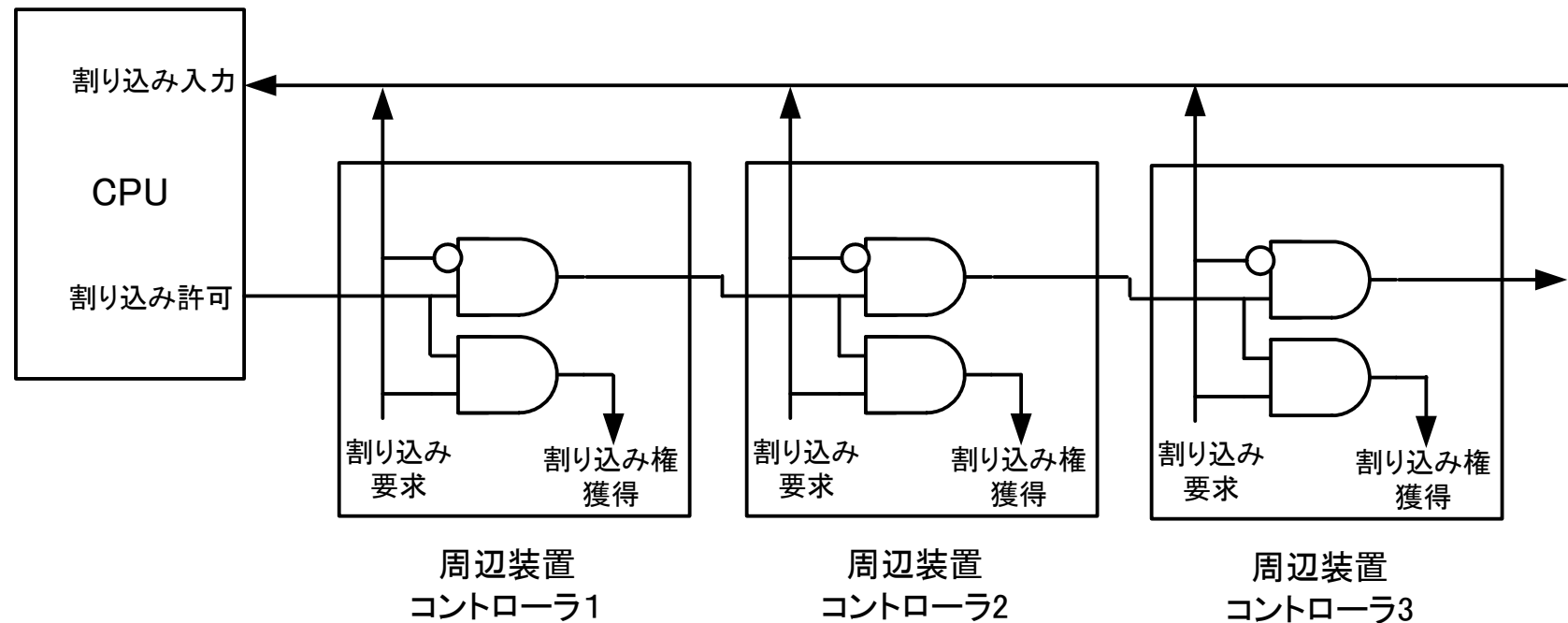
■ 割り込み

- 周辺装置(のコントローラ)からCPUに対して割り込み信号を入れ、例外処理を要求して、入出力を行わせる方式
 - ×CPUのハードウェアが複雑
 - ×レジスタ待避やキャッシュの書き戻しなどが必要となり、前処理・後処理のオーバーヘッドがかかる
 - 待ち時間や見回り時間の問題は解決する

割り込みの調停(1) 集中アービタ方式



割り込みの調停(2) デイジーチェーン方式

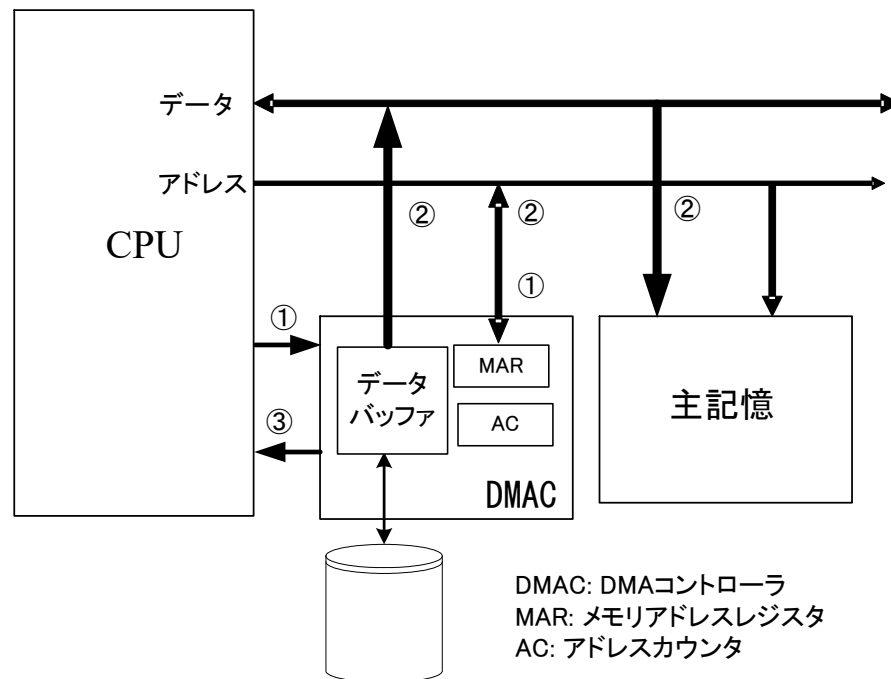


- 集中型アービタ不要。簡単
- × 優先度がCPUに近い順で固定される

データ転送

- (1) 入出力専用命令を使ってデータ読み出しまたはデータ書き込みを行う
- (2) 周辺装置にメモリアドレスを割り振り、メモリのロード・ストア命令でデータの読み書きを行う(Memory Mapped I/O)。
- (3) データ転送専用のハードウェアを使って、CPUを介さずに周辺装置と主記憶の間で読み書きを行う(DMA, Direct Memory Access)

DMA



①CPUがDMAコントローラ(DMAC)のメモリアドレスレジスタ(MAR)、アドレスカウンタ (AC)にそれぞれDMAの開始アドレス、転送量を書き込み、DMA転送を指示する。

②CPUはバスアクセスをやめ、DMACがバスの主導権をとってデータ転送を行う。DMACはアドレスバスにMARの値を、データバスにデータバッファの値を載せ、値を主記憶に書き込む。値を書き込むたびにMARの値を一つ増やし、ACの値を一つ減らす。

③ACが0になったところでDMACは転送を終了し、バスの制御をCPUに返す。

例外処理： 例外の要因

表 7.2 例外の要因と処理

分類	要因	処理
ハードウェアエラー	電源エラー バスエラー	プログラムの終了 プログラムの終了
命令実行による例外	オーバフロー ページフォールト TLBミス アドレスエラー メモリ保護違反 未定義命令実行 システムコール(トラップ)	プログラムの終了など ページスワップ TLBエントリ読み込み プログラムの終了 プログラムの終了 未定義命令処理ルーチンの実行 カーネルプログラムの実行
プログラム外割り込み	入出力要求 タイマ割り込み	データ転送の後復帰 プロセススイッチなど

ハードウェアエラーが優先度が最も高く、次に命令実行による例外、最後にプログラム外割り込み、という順番になる

例外処理の手順

- (1) 例外処理の要因が発生したら、CPUはこれを受け付けるかどうか決める。複数の要因が重なった場合には、最も高い優先度の要因を選択一つ選択する。
- (2) 受け付けることが決まった場合、現在実行中のプログラムの状態を待避する。具体的にはデータレジスタ、PC、状態レジスタなどをメモリ上の適切な場所に待避する。
- (3) 例外処理のカーネルプログラムを起動する。カーネルプログラムは例外の要因を知って、必要な処理を行う。
- (4) 例外処理が終わったら、必要に応じてPCなどの値を復帰し、もとのプログラムの実行に戻る