

## コンピュータハードウェア (7)

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 / 電気工学科

- はじめに
- 仮想記憶

コンピュータハードウェア

東大・坂井

## 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 10:15 - 11:45、I3 - 31
- 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)  
教科書通りやります
- 参考書
  - D. Patterson and J. Hennessy, Computer Organization & Design, 2nd Ed. (邦訳『コンピュータの構成と設計』(第2版)上下 (日経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
  - 富田真治『コンピュータアーキテクチャ』a、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 (+ 出席)

コンピュータハードウェア

東大・坂井

## 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)  
フォワードリング、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、フルアソシティブ型、セットアソシティブ型、キャッシュミス

コンピュータハードウェア

東大・坂井

## 講義の概要と予定 (2 / 2)

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
8. 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、スーバスカラ、並列処理とハザード
9. 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
10. 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
11. 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

レポート： 6月はじめにWWWに掲載 (締切6月末)

試験： 7月後半

コンピュータハードウェア

東大・坂井

## 7. 仮想記憶

### ■ 内容

#### – 仮想記憶

- 仮想記憶とはなにか
- 仮想記憶の構成

#### – 透過性と互換性

コンピュータハードウェア

東大・坂井

## 仮想記憶とはなにか

### ■ 仮想記憶 = 主記憶以下の階層化

– 主記憶と二次記憶のメモリ階層を「巨大な主記憶」として使えるように透過性をもたせたもの

- 主記憶よりも大きな容量のメモリがあるものとしてプログラムが書けるようになる
- 複数のプログラムが一つの物理記憶を安全に分ち合って使えるようになる

### ■ 仮想記憶の動作原理

– アドレス変換

- 仮想アドレス(virtual address) 物理アドレス(physical address)

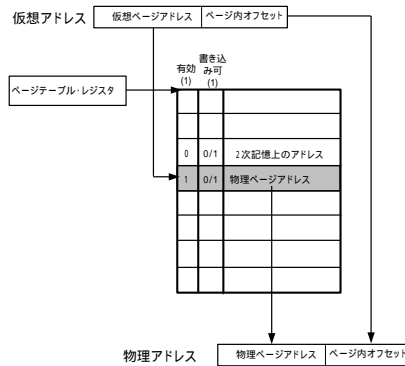
– スワップ

- 2次記憶のデータ 主記憶のデータ

コンピュータハードウェア

東大・坂井

## 仮想記憶の構成



コンピュータハードウェア

東大・坂井

### ■ ページ

– データ移動の単位。通常数KB

### ■ アドレス変換

– ページテーブル

### ■ スワップ

– フルアソシタティブ、ライトバック

## ページフォールト

### ■ ページフォールト

ページが主記憶に入っていない状態

= ページテーブルで有効ビットが0のとき

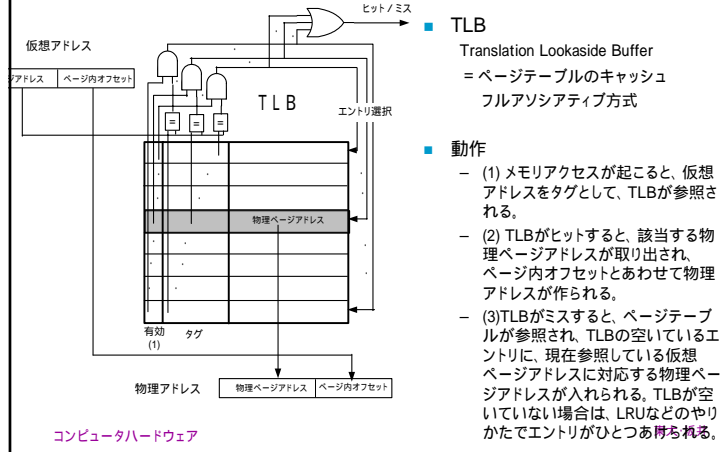
### ■ ページフォールトが起こったとき

- (1) CPUの処理を中断する 例外処理
- (2) テーブルのエントリに入っている二次記憶上のアドレスから主記憶の空いている場所にページをコピー (空いている場所がなければ追い出す)
- (3) ページテーブルのエントリに物理ページアドレスを書き込み、有効ビットを1にする

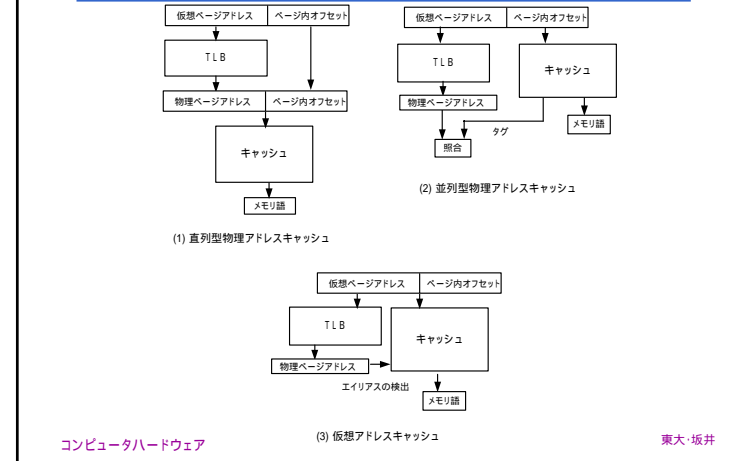
コンピュータハードウェア

東大・坂井

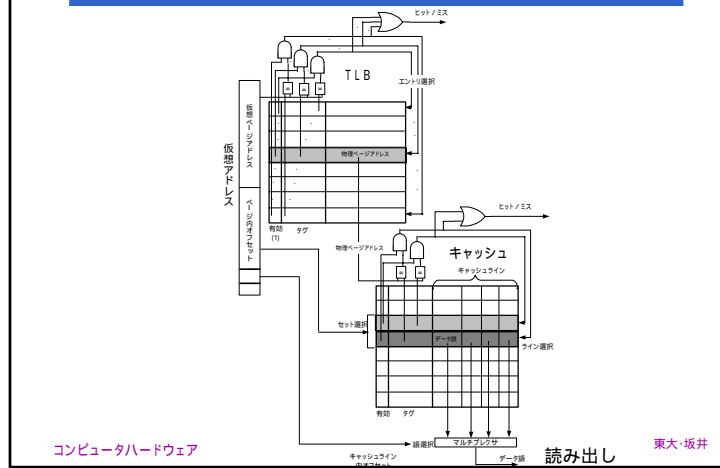
## TLB



## キャッシュと仮想記憶



## メモリアクセス機構



## 透過性と互換性

- 透過性 (transparency)
  - 機械語プログラムが実装の詳細に影響されない性質
  - キャッシュ、仮想記憶、スーパスカラなどの導入で保持される
    - ハードウェア量の増大・速度低下を招いても実現する!
- 互換性 (compatibility)
  - 異なるコンピュータ間で同じ機械語プログラムが同じ動作をする性質
  - コンピュータの世代間や上位・下位機種の間で保持されるのが望ましい
    - システム発展の障害にもなりえる

コンピュータハードウェア

東大・坂井