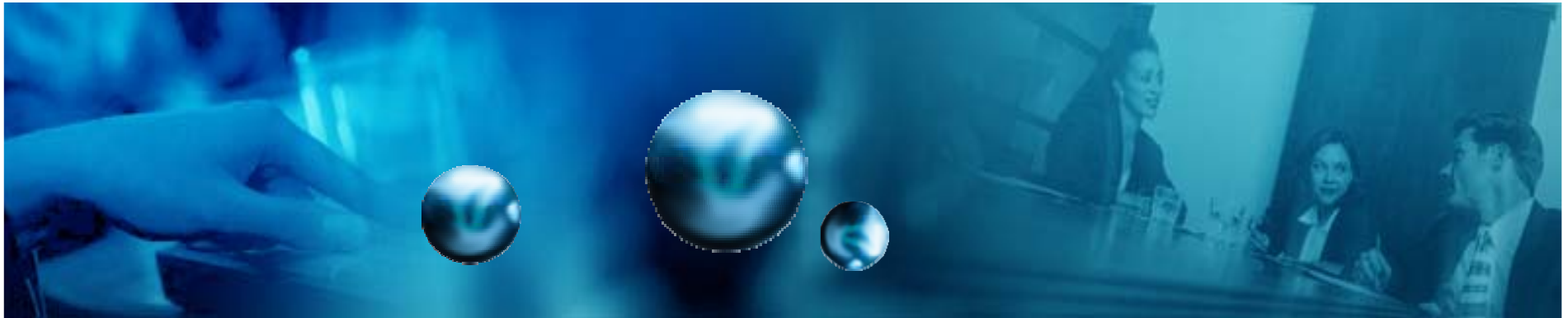


# オペレーティングシステム

## 4. 外部装置の制御



大阪大学大学院情報科学研究科  
村田正幸

[murata@ist.osaka-u.ac.jp](mailto:murata@ist.osaka-u.ac.jp)

<http://www.anarg.jp/>



## 4.1 入出力制御—入出力と入出力装置の隠ぺい—

### 4.1.1 入出力装置とその制御

#### [1] 入出力制御

- コンピュータ本体(内部装置、具体的には「プロセッサ—メインメモリ対」)による入出力装置(外部装置、端末装置、周辺装置)の制御
  - (a) プロセッサ—メインメモリ対に比べると格段に低速動作である入出力装置に対する制御機能を、プロセッサやメインメモリの本来の機能から独立させる
    - 非同期動作するプロセッサ—メインメモリ対である内部装置と、入出力装置を代表とする外部装置とが、共用する種々の資源(ハードウェア、ソフトウェアのどちらも)を相互に効率良く利用できるようなる→コンピュータシステムとしての全体性能が向上する
  - (b) 多種多様な情報メディアに合わせて用意する種々の入出力装置と、プロセッサ—メインメモリ対との接続形態の多彩な組み合わせを実現する
    - コンピュータ本体と入出力装置とのインタフェースを一元化し、その統一したインタフェースで多種多様な入出力装置の制御を行える
- 入出力装置がプロセッサやメインメモリと非同期かつ独立に並行して動作するように制御する機能



## 4.1 入出力制御—入出力と入出力装置の隠ぺい—

### 4.1.1 入出力装置とその制御

#### [2] 入出力制御の必要性

- 内部装置(プロセッサ—メインメモリ対)
    - コンピュータを使う人間(ユーザ)から見ると超高速に動作
  - 入出力装置
    - コンピュータから見ると超低速の人間の動作が動作速度やタイミングに影響
- 独立して動作する方が互いに性能を発揮できる
- コンピュータシステムにおいては独立して実行できる機能はできる限り並行動作させることによって、共用するハードウェア機構の効率的な活用が可能となる
- 
- 入出力装置は人間がコンピュータを道具として使うために必須のハードウェア装置
- 内部装置と入出力装置の動作には
- (a) 内部装置が情報(命令やデータ)を入力してほしいタイミングが存在
  - (b) 内部装置がプログラムによって情報を出力することを指令するタイミングは内部装置自身が決定する
- 
- 互いに独立しているが協調して動作する内部装置と入出力装置とは、適切な「タイミング合わせ」(＝適切なタイミングでの同期)が必須となる
- 基本は「内部装置と入出力装置との同期機能」



## 4.1 入出力制御—入出力と入出力装置の隠ぺい—

### 4.1.1 入出力装置とその制御

#### [3] 入出力コントローラ

- 入出力制御に関するハードウェア機構
  - 入出力コントローラ(内部装置側)
    - コンピュータ~入出力装置間のデータ転送を制御
- 入出力コントローラ
  - 入出力制御を専門に行う小規模なコンピュータ
  - 入出力アダプタ、入出力チャネル
  - 入出力装置の機能を直接に実行・制御する指令(入出力コマンド)を入出力装置に対して送出するハードウェア機構
- OSの入出力制御機能
  - 入出力コントローラを介して間接的に、また、入出力装置に対して送出する入出力コマンドによって、入出力装置を管理・制御

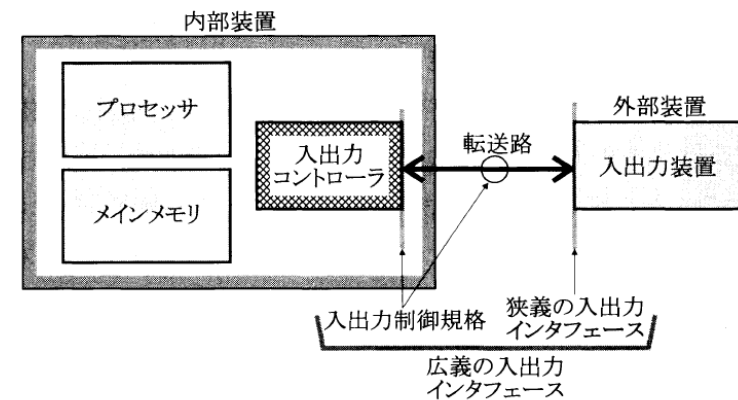


図 4.1 入出力コントローラ



## 4.1 入出力制御—入出力と入出力装置の隠ぺい—

### 4.1.1 入出力装置とその制御

#### [4] 入出力制御規格

- 入出力制御規格がない場合
  - 入出力装置ごとに個別の入出力コントローラを用意
  - ハードウェア機構が巨大規模になり非現実的
  - 入出力装置の変更や追加などに対処しにくい
- そこで
  - 入出力制御方式に対して一定の規格(仕様)を定める; 入出力制御規格
  - 内部装置側
    - 規格ごとに、少数かつ少種類の入出力コントローラを装備
    - それらを統一して管理・制御するOSを装備
  - 内部装置と入出力装置との情報転送路
    - 外部バスや一部の入出力コントローラを共用

→入出力制御に要する入出力コントローラの規模を劇的に小さくする
- 入出力制御規格
  - 外部バスや制御信号線の種類、本数、媒体、入出力速度などの入出力制御方式を具体的に規定
- 少数かつ少種類の入出力コントローラを統一して管理・制御することによって、多種類の入出力装置やそれらに対して必要となる多様な入出力制御機能に対処



## 参考4.1 (外部バス、内部バス)

- 外部バス(入出力バス)
  - 内部装置(プロセッサ-メインメモリ対)と入出力装置を代表とする外部装置とを接続して、その間のデータ転送を実現する共用信号線
  - 外部バスの種類や仕様ごとに、入出力制御規格が定められている
- 内部バス
  - 内部装置内のプロセッサとメインメモリ間のデータ転送用共用信号線



## 4.1 入出力制御—入出力と入出力装置の隠ぺい—

### 4.1.1 入出力装置とその制御

#### [5] 入出カインタフェース

- 狭義の入出カインタフェース
  - 入出力制御を行うOSに対して入出力装置が示す仕様
  - OSの入出力制御機能
    - 複数個・複数種類の狭義の入出カインタフェースあるいは入出力装置そのものを、入出力制御規格によって統一して管理・制御
- 広義の入出カインタフェース
  - 入出力装置そのものの仕様である狭義の入出カインタフェース
  - 内部装置—入出力装置間の共用情報転送路の仕様である入出力制御規格



## 4.1 入出力制御—入出力と入出力装置の隠ぺい—

### 4.1.1 入出力装置とその制御

#### [6] 入出力機能におけるハードウェアとソフトウェアの機能分担例

- ハードウェア／ソフトウェアのトレードオフを考えて決定

##### (A) ハードウェア

- 入出力コントローラ
- 信号線(情報転送路)
- 入出力装置そのもの

##### (B) OS

- 入出力そのものや入出力制御に関するプログラムの実行
- ユーザインタフェースの提供
- 実際には、入出力機能そのものや入出力制御機能は入出力管理サービスというOSのシステムサービスとして実現

##### (C) ユーザプログラム

- 入出力データを処理するプログラム
- 入出力そのものや入出力制御は、そのユーザプログラム中で実行するSVC命令(内部割り込み)によって、OSに依頼





## 4.1 入出力制御—入出力と入出力装置の隠ぺい—

### 4.1.2 入出力制御の実際

#### [1] 入出力機能におけるOSの分担

- OSが担当する部分
  - (物理的)ハードウェア機構
    - 入出力コントローラによる入出力の管理
  - (論理的)ソフトウェア機能
    - 入出力処理や入出力制御を行う入出力管理サービス (の状態)の管理
- 入出力管理サービス機能の具体例
  - (1)入出力装置が使用中か空きかのチェック
  - (2)入出力プログラムの実行
  - (3)入出力管理サービス自身の管理とスケジューリング
  - (4)入出力動作の終了処理
  - (5)入出力処理の再試行



## 4.1 入出力制御—入出力と入出力装置の隠ぺい—

### 4.1.2 入出力制御の実際

#### [2] 入出力プログラムと入出力管理サービス

- 入出力プログラム
  - 入出力や入出力処理そのものを含む入出力制御機能を実現するソフトウェア
  - 実際には、OSの入出力管理サーバが入出力プログラムを実行して、入出力管理サービス機能を実現
  - 入出力プログラムの実行によって実現する入出力管理サービスは「入出力制御を担うシステムサービス」
- 入出力データの処理
  - ユーザプログラムとして記述
  - 入出力データを要求するユーザプログラムの実行が、OSに入出力処理を依頼するユーザプロセス(入出力要求プロセス)を生成
  - 実際には、入出力要求プロセスが、統一的な入出力制御を行うOS機能を担う入出力管理サーバに、入出力そのものや入出力制御を依頼



## 4.1 入出力制御—入出力と入出力装置の隠ぺい—

### 4.1.2 入出力制御の実際

#### [3] 入出力プログラムの機能

- 入出力コントローラが実行する一連の入出力コマンド列は、プロセッサが実行する入出力プログラム(デバイスドライバ)が生成
  - (a) 入出力プログラム
    - プロセッサが、入出力装置ごとにある入出力プログラム(入出力命令列、デバイスドライバ)を実行することによって、入出力コントローラに対して指令を発する
  - (b) 入出力コマンド
    - (a)を受けて、入出力コントローラが、入出力コマンド列によって、入出力装置に対して指令を発する

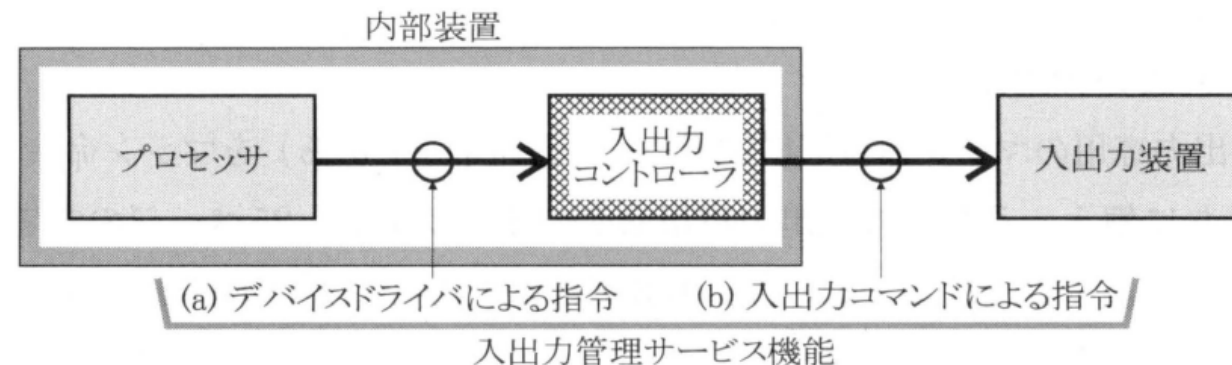


図 4.2 入出力管理サービス機能



## 4.1 入出力制御—入出力と入出力装置の隠ぺい—

### 4.1.2 入出力制御の実際

#### [4] デバイスドライバ

- OSが実行する、入出力装置ごとの入出力プログラム
- 実際には、ユーザがコンピュータシステムに入出力装置を新たに接続した時
  - OSが自動的に(ホットプラグ、プラグアンドプレイ)その装置に対応するデバイスドライバをOS自身に組み込む
  - その後は、OSが各入出力コントローラへの指令を発するデバイスドライバを入出力管理サービス機能の一部として実行



## 4.1 入出力制御—入出力と入出力装置の隠ぺい—

### 4.1.2 入出力制御の実際

#### [5] 入出力機能の実現方式—入出力命令—

- 入出力プログラム
  - 入出力操作や入出力制御を行うマシン命令(列)を中心として構成
- 入出力命令
  - 入出力操作や入出力制御を行うマシン命令
- プロセッサが実行する「入出力命令の形式」とそれによる「入出力機能の実現方式」
  - (A) 入出力専用命令
  - (B) メモリマップ入出力



## 4.1 入出力制御—入出力と入出力装置の隠ぺい—

### 4.1.2 入出力制御の実際

#### [5] 入出力機能の実現方式入出力命令(続き)

##### (A) 入出力専用命令

- マシン命令セットのうちに備えた入出力専用のマシン命令
- 入出力専用命令のオペランドによって、対象とする入出力装置の識別番号や入出力制御機能を指定
- 特徴
  - オペランドも含めると入出力装置や入出力動作ごとにマシン命令が存在する
    - 入出力装置や入出力動作ごとに用意するマシン命令機能の個々をあらかじめハードウェア機構として装備
  - マシン命令セット機能の設計時に、入出力装置や入出力機能をハードウェア機構として物理的に決定し固定してしまうので拡張性がない
    - 入出力装置の多様性に対処し難い
  - 入出力専用命令は、カーネルモードでしか実行できない特権命令
    - OSが実行
- 入出力専用命令方式を採用しているコンピュータ
  - (a) 接続する入出力装置があらかじめ定まっている専用コンピュータ
  - (b) 接続できる入出力装置を限定する超安価な単純機能のコンピュータ



## 4.1 入出力制御—入出力と入出力装置の隠ぺい—

### 4.1.2 入出力制御の実際

#### [5] 入出力機能の実現方式入出力命令(続き)

##### (B) メモリマップ入出力

- メインメモリ空間の一部を「入出力装置との通信」用として確保し、入出力データや入出力制御指令などを当該IO空間に読み書きすることで入出力装置や入出力制御機能を識別し指定
- 特徴
  - ハードウェアで実現する物理的機構の主要部分はメインメモリ機構を準用
    - OSは「メインメモリ(のアドレス空間)の管理」機能を分担するだけで十分
  - IO空間と個々の入出力装置との対応付けはOSが行う
    - 拡張性に優れる
    - 入出力装置の多様性にも対処可能
- メモリマップ入出力方式を採用しているコンピュータ
  - パソコンやワークステーションを代表とする汎用コンピュータ



## 4.1 入出力制御—入出力と入出力装置の隠ぺい—

### 4.1.2 入出力制御の実際

#### [6] メモリマップ入出力

- メインメモリ領域の一部(特定のアドレス空間)を入出力装置へのアクセスポートとする
- 入出力アクセスをロード命令やストア命令を代表とするメインメモリアクセスと同じマシン命令で行う
- 入出力処理機能の実現
  1. IOを入出力装置の窓口(入出力データ用と入出力制御指令用)専用 to 充てる
  2. メインメモリアドレスの一部を特定の入出力装置の識別番号、すなわち、(1)のIO空間用アドレスに充てる
  3. 制御指令や少量のデータ転送は、メインメモリへのアクセス機能を実現するマシン命令で定めてある単位(数バイトが普通)で行う

- IOアドレス
  - 入出力アクセス用窓口として確保するメモリアドレス
- IO空間
  - OSがメインメモリ上で確保し管理するアドレス用アドレス空間

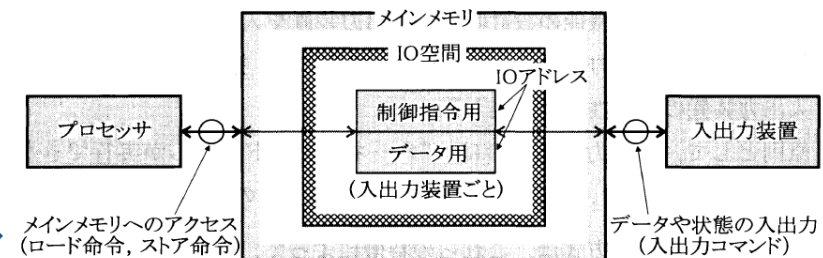


図 4.3 メモリマップ入出力





## 4.1 入出力制御—入出力と入出力装置の隠ぺい—

### 4.1.2 入出力制御の実際

#### [6] メモリマップ入出力(続き)

- 入出力手順(実際には、入出力装置→プロセッサ通信は入出力割り込みによって実現)
- [入力]
  1. 入力処理を依頼する、あるいは、データの入力を要求するユーザプロセスが、SVC命令によって、入力処理あるいは入力そのものをOSに依頼。当該入力要求プロセスは、ブロックして、実行中状態→待ち状態に遷移する
  2. OSがアクセス対象の入力装置の制御指令用窓口であるIOアドレスへ入力処理指令をストア命令(メモリマップ入出力における入力命令)で書き込む
  3. 入出力コントローラが入力コマンドによって入力装置に入力動作を指令する
  4. 入力装置が、入力されたデータおよび入力動作に伴う自分の状態情報(入力動作の完了など)を、IOアドレスへ書き込む
    - (入力)割り込みになる
  5. OSが当該IOアドレスから、データや状態情報をロード命令で読み出す
    - 1でブロックしていた入力要求プロセスがウェイクアップして、待ち状態→実行可能状態に遷移する



## 4.1 入出力制御—入出力と入出力装置の隠ぺい—

### 4.1.2 入出力制御の実際

#### [6] メモリマップ入出力(続き)

- 入出力手順(実際には、入出力装置→プロセッサ通信は入出力割り込みによって実現)
- [出力]
  1. 出力処理を依頼する、あるいは、データの出力を要求するユーザプロセスが、SVC命令によって、出力処理あるいは出力そのものをOSに依頼
    - 当該出力要求プロセスは、ブロックして、実行中状態→待ち状態に遷移する
  2. OSがIOアドレスへデータと出力処理指令をストア命令で書き込む
  3. 入出力コントローラが出力コマンドによって出力装置に出力動作を指令
  4. 出力装置がデータを出力し、その出力動作に伴う自分の状態情報(たとえば、出力動作の完了)を、IOアドレスへ書き込む
    - (出力)割り込みになる
  5. OSがそのIOアドレスから状態情報をロード命令で読み出す
    - 1でブロックしていた出力プロセスがウェイクアップして、待ち状態→実行可能状態に遷移する

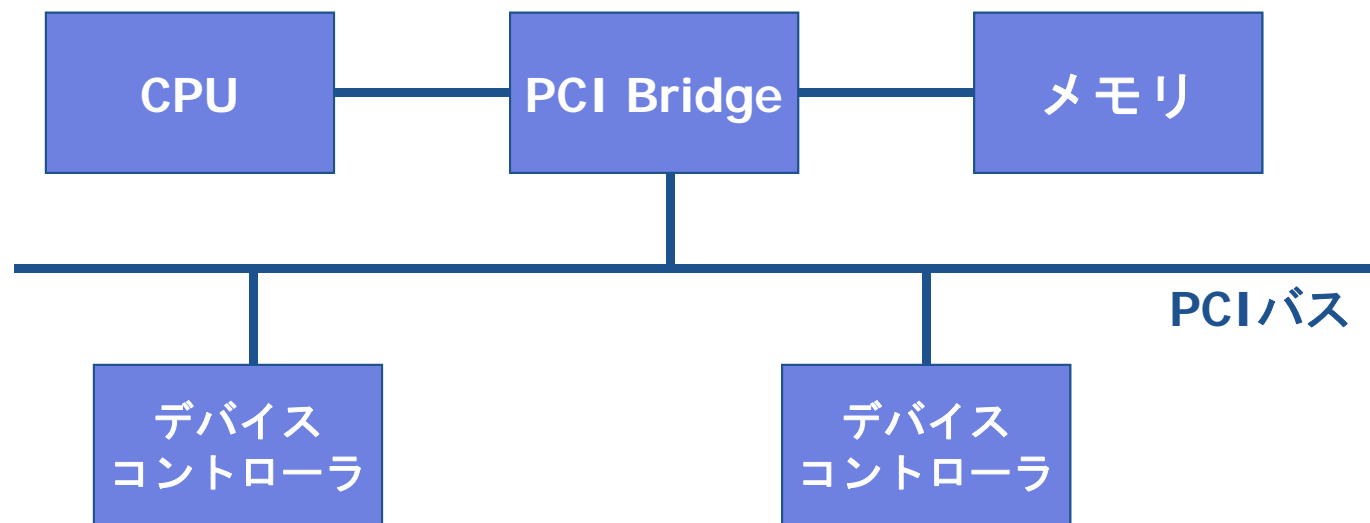
- OSによる「入出力操作や入出力装置とのデータ転送」を「メインメモリへのアクセス操作」や「メインメモリとのデータ転送」と同じマシン命令形式で実行
- OSと入出力装置の間に均質なメインメモリのアドレス空間を置くことによって、OSから入出力装置の多種多様性を隠ぺいする



# メモリアップI/Oの例

- Pentium

- PCI Bridgeによりデバイスコントローラへのアクセスを高速に検出する





## 4.1 入出力制御—入出力と入出力装置の隠ぺい—

### 4.1.2 入出力制御の実際

#### [6] メモリマップ入出力(続き)

- 長所
  - OSによる入出力装置の統一的制御が行えるので、入出力装置個々の入出力専用命令が不要となる
  - ハードウェア構成が簡単なので、入出力装置の管理すなわち入出力制御が簡単で、安価に(低コストで)実装できる
  - 入出力インタフェースの拡張性が高い
- 短所
  - メインメモリ(のアドレス空間)の一部が特殊なIO空間となるので、ユーザプロセスが使用できる一様なメインメモリ空間が狭まる
  - プロセッサから入出力コントローラへの情報転送がメインメモリを介することで間接的となり、入出力指令の伝達が遅れる
  - ハードウェアとOSとの機能分担で実現するので、コンピュータアーキテクチャ設計時に、入出力制御というOS機能を決定することが必須となる



## 4.1 入出力制御—入出力と入出力装置の隠ぺい—

### 4.1.2 入出力制御の実際

#### [7] 入出力と入出力制御の実行手順

- 広義の入出力命令
  - (a) 入出力専用マシン命令である狭義の入出力命令
  - (b) メモリマップ入出力方式での入出力用ロード命令やストア命令
- 入出力プログラムは、広義の入出力命令列を中心に構成
- 実際の入出力手順と入出力制御手順
  1. OS(実際にはデバイスドライバ、物理的にはプロセッサ)が入出力命令を実行して、入出力コントローラへ入出力指令を送出することで、入出力動作が始まる
  2. 入出力コントローラが入出力コマンドを順次実行
    - (1) 入出力コントローラと入出力装置との論理的な結合
    - (2) 入出力装置の起動、すなわち、狭義の入出力動作の開始
    - (3) 入出力装置状態の読み出し、および、OSやプロセッサへのその状態についての報告
  3. 入出力動作の終了処理
    - (1) 入出力装置が「入出力動作の終了」を入出力割り込みとしてOSに通知。
    - (2) OSは、割り込み処理の一部として、r入出力コントローラと入出力装置との論理的な結合関係を解放
    - (3) OSは、r入出力コントローラと入出力装置との物理的な結合関係を解放



## 参考4.3（入出力コマンド）

- 入出力コマンド
  - 内部装置側の入出力コントローラが入出力装置に対して直接に発する入出力指令あるいは入出力制御指令
- 具体例
  - (1) 入出力コントローラと入出力装置との論理的な(ソフトウェア上の)結合
  - (2) 入出力装置の状態の読み出しや異常の有無のチェック
  - (3) 入出力装置あるいは入出力機能の起動、たとえば、入力、出力、初期化、位置決めなどの制御
  - (4) 入出力装置との通信、すなわち、入出力コントローラー入出力装置間データ転送
  - (5) 入出力装置あるいは入出力機能の停止や終了の確認
  - (6) 内部装置との通信
- 入出力コマンドと広義の入出力命令との対応関係
  - (a) プロセッサが実行する入出力命令そのものに直接1対1対応するコマンド
  - (b) プロセッサが実行する入出力命令によって起動する一連のコマンド列



## 4.1 入出力制御—入出力と入出力装置の隠ぺい—

### 4.1.2 入出力制御の実際

#### [8] 【まとめ】入出力管理サービスによる入出力装置の制御フロー

- 実際の主要なフロー
  1. OSによる入出力管理サービスの実行
    - 内部装置における入出力プログラム(デバイスドライバ)の実行
  2. 内部装置での入出力プログラム
    - 実行はプロセッサによる入出力命令(列)の実行そのもの
  3. プロセッサによる入出力命令の実行
    - 入出力コントローラ(内部装置側)での入出力コマンド(列)の実行を起動
  4. 入出力コマンドは入出力装置を直接に制御する
- OS機能で始まり、ハードウェア機能で終わる機能分担

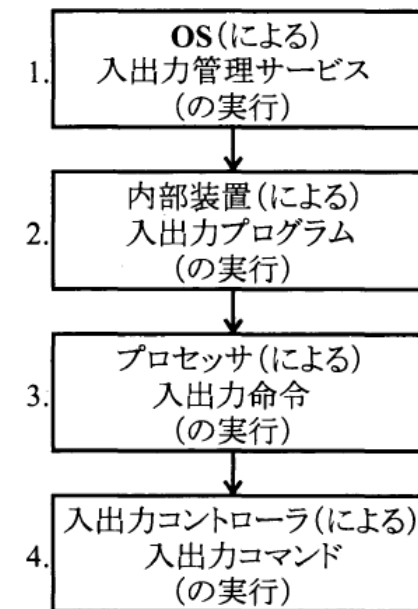


図 4.4 入出力管理サービスによる入出力制御フロー



## 4.1 入出力制御—入出力と入出力装置の隠ぺい—

### 4.1.3 入出力割り込み

#### [1] 入出力命令の実行と入出力のタイミグ—入出力制御の観点(再考)—

- いつ、すなわち、どのタイミングで、ユーザ(人間)が入力装置を使用して情報を内部装置に送り込むか
  - 内部装置の上で動作しているOSや内部装置そのものにとっては予測不可能
  - ユーザによる入力、一種の不測の事象→割り込み要因
  - OSや内部装置は、情報が入力されるタイミングで直ちにそれを処理する必要があるが、外部からの情報の入力を求めるタイミングも存在する
- OSや内部装置が外部へ情報を出力したいタイミング
  - 情報を出力するタイミングで出力命令を実行する
  - 内部装置と出力装置は独立かつ並行して動作し、また、動作可能
  - 命令に応じて、出力装置が、直ちにまた正常に、動作するかは予測不可能
  - 出力装置の動作が完了するタイミングについては、原則として、OSや内部装置にとっては予測不可能
  - 出力装置の動作、あるいは、その状態の報告は一種の「不測の事象」であり、割り込み要因





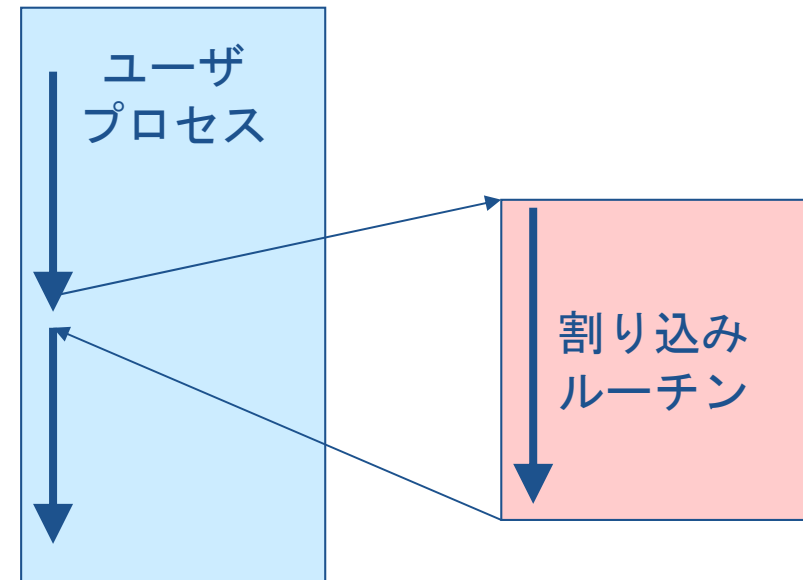
# 割り込み処理

- 割り込みとは
  - プログラム実行中に他の処理の要求が発生し、別の処理に制御が移る状態
- 種類
  - システムコール割り込み (System Call Interrupt)
    - 実行中のプログラムによる割り込み
    - システムコールを処理する場合に発生
  - 入出力割り込み (I/O Interrupt)
    - 入出力装置による割り込み
    - ファイルの読み書きの完了時などに発生
  - 外部割り込み (External Interrupt)
    - 外部的な要因による割り込み
    - CTRL+C や外部ハードウェアからの処理要求時などに発生
  - プログラム割り込み (Program Interrupt)
    - 実行中のプログラムによる割り込み
    - ゼロで除算した場合や不正アドレスを参照した場合に発生



# 割り込み処理の流れ

- 割り込みの原因の解析
- 割り込み受け付けの決定
- 割り込みフラグのセット
- 割り込み状態を退避(プッシュ)
- 割り込み処理ルーチンの実行
- 割り込み状態の回復(プル)





## 4.1 入出力制御—入出力と入出力装置の隠ぺい—

### 4.1.3 入出力割り込み

#### [2] 入出力割り込みと入出力制御(再考)

- 入出力割り込み
  - ハードウェア機能からの観点
    - 内部装置(特に、プロセッサ)と入出力装置との実際の『タイミング合わせ』すなわち、同期を実現するハードウェア機能
  - OSからの観点
    - プロセッサとは非同期動作している入出力装置が、プロセッサ上で動作しているOSやプロセッサそのものに、自分の状態(例:入出力動作の完了あるいは異常)を事象として通知する手段
    - 非同期動作している内部装置(特に、プロセッサ)と入出力装置との『タイミング合わせ』すなわち同期を実現するOS機能
- 入出力割り込みが発生する具体的要因
  - (a) 入力動作の正常終了
    - 入力装置動作の正常終了をOSに通知する
    - ユーザによるキーボードの押下やマウスの操作など
  - (b) 出力動作の正常終了
    - 出力装置動作の正常終了をOSに通知する
    - プリンタによる印刷の終了など
  - (c) 入出力動作の異常
    - 入出力装置の異常終了や異常動作をOSに通知する
    - 電源の不投入や印刷用紙切れなど



## 4.1 入出力制御—入出力と入出力装置の隠ぺい—

### 4.1.3 入出力割り込み

#### [2] 入出力割り込みと入出力制御(再考)

- 入出力制御の具体例
  - (a) 入力動作の正常終了
    - 入力された情報を内部装置内に取り込むために、入力命令などで構成する入力プログラムを実行
  - (b) 出力動作の正常終了
    - その出力動作を指令した出力命令に関する出力プログラムを実行
  - (c) 入出力動作の異常
    - 入出力装置の異常動作に対処する入出力プログラムを実行
    - ディスプレイ上への異常通知の表示など
- 入出力動作の正常終了を要因とする割り込み発生タイミング
  - (1) プログラム制御入出力の場合→その入出力命令による入出力動作ごと
  - (2) DMAの場合→ブロック転送の終了時



## 参考4.4（プログラム制御入出力）

- プログラム制御入出力
  - プロセッサ自身が、1個あるいは1回の入出力命令で、少量の（1～数バイト）の情報を入出力する入出力制御操作
- プログラム制御入出力では、
  - （a）入力命令は「入力処理の開始指令」であり、入出力割り込みが入力動作そのものの終了通知
  - （b）出力命令は「出力処理の開始指令」であり、入出力割り込みが「出力動作そのものの終了通知
- キーボードやマウス、（低速少量）プリンタなどの低速の入出力装置の制御に用いる



## 参考4.5(DMA)

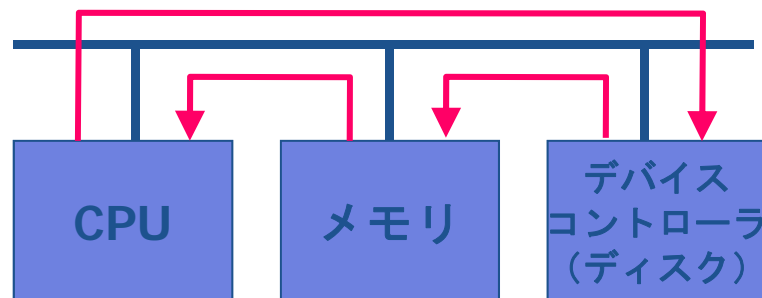
- DMA (Direct Memory Access)
  - プロセッサによる1個あるいは1回の入出力命令で、メインメモリがプロセッサを介さずに直接に入出力装置と、大量(ブロック)の情報を入出力
- DMAの入出力命令
  - 入出力(ブロック転送)の開始指令
  - 入出力割り込みが入出力(ブロック転送)の終了通知
- ハードディスクドライブ装置を代表とするファイル装置およびディスプレイや(高速大量)プリンタなどの高速の入出力装置の制御に用いる



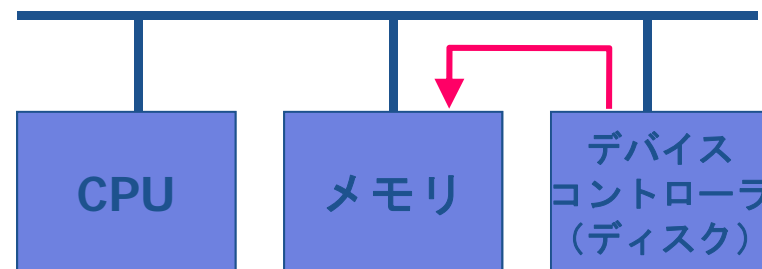
# メモリアクセス方式

- PIO (Programmable I/O Access) 方式
  - CPUがすべてのデータ転送を制御する
- DMA (Direct Memory Access) 方式
  - デバイスコントローラが直接主記憶装置にアクセスする

PIO

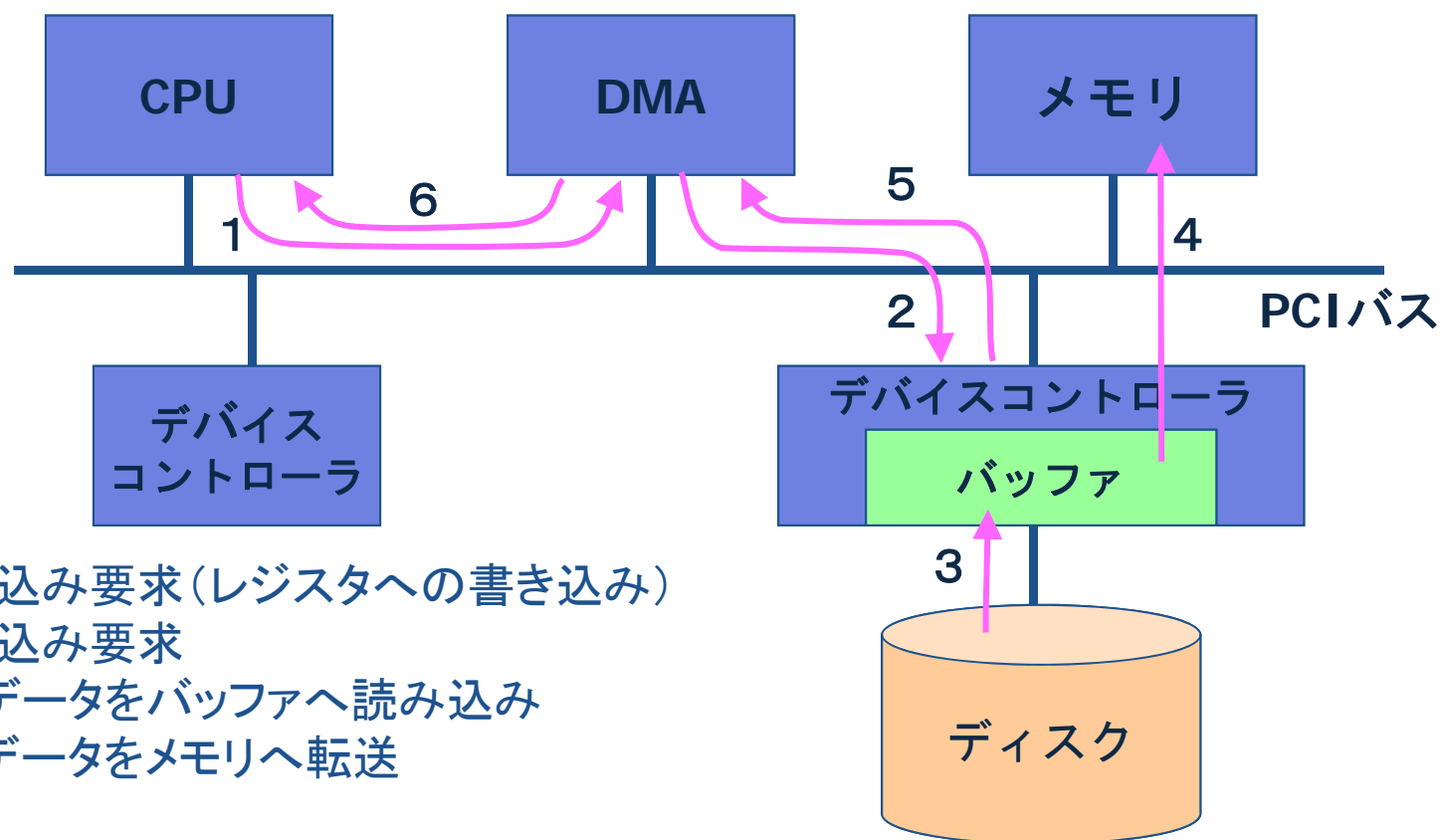


DMA





# DMA転送の例



1. データ読み込み要求(レジスタへの書き込み)
2. データ読み込み要求
3. ディスク内データをバッファへ読み込み
4. バッファ内データをメモリへ転送
5. 終了通知
6. 終了通知(割り込み)





## 4.1 入出力制御—入出力と入出力装置の隠ぺい—

### 4.1.3 入出力割り込み

#### [3] 【まとめ】入出力管理サービスと入出力割り込み(再考)

- 入出力の手順
  - (1) 入出力データを要求するユーザプロセス(入出力要求プロセス)が、SVC命令によって、入出力そのものや入出力制御をOSに依頼
  - (2) SVCを受け付けたOSが、入出力管理サービスによって入出力そのものや入出力制御を実行
- カーネル状態で実行する入出力管理サービス
  - 入出力装置に動作を指令し、その動作による入出力処理を制御する
  - ユーザ状態で実行する入出力要求プロセスはユーザプロセス
- 入出力要求プロセスを管理・制御するOSと入出力装置の動作や入出力処理との関係
  - [OS (プロセッサ)]
    1. SVC命令(ブロック割り込み)を受け付けて、割り込み処理を開始
    2. SVC命令を実行した入出力要求プロセスを、実行中状態→待ち状態に移行させて、ブロック
    3. 入出力プログラムを実行して、入出力装置に対する入出力(制御)指令を発する
    4. プロセススイッチによって、別のプロセスを実行可能状態→実行中状態に移行させて、実行中状態のプロセスを切り替える



## 4.1 入出力制御—入出力と入出力装置の隠ぺい—

### 4.1.3 入出力割り込み

#### [3] 【まとめ】入出力管理サービスと入出力割り込み(再考)

- [入出力装置]
  1. OS (実際には、プロセッサ)からの
    - (a) (入力) 入力命令によって、入力に備える
    - (b) (出力) 出力命令によって、出力を開始する
  2. プロセッサに対して
    - (a) (入力) 入力があれば、入力割り込みによって、「入出力動作の完了」を通知する
    - (b) (出力) 出力を完了すると、出力割り込みによって、「入出力動作の完了」を通知する
- [OS (プロセッサ)]
  1. 入出力割り込み(ウェイクアップ割り込み)を受け付け、割り込み処理を開始
  2. 入出力割り込みを待つ当該入出力要求プロセスを待ち状態→実行可能状態に遷移させて、ウェイクアップする。
    - ウェイクアップした入出力要求プロセスはいつでも再開(実行可能状態→実行中状態遷移)可能
- OS (実際には、プロセッサ)は、5~6 の入出力動作中は、入出力装置とは非同期すなわち独立に別のプロセスを実行可能



## 4.1 入出力制御—入出力と入出力装置の隠ぺい—

### 4.1.3 入出力割り込み

#### [4]【まとめOSから見る入出力割り込み(再考)】

- 入出力割り込み
  - ハードウェアの観点
    - 入出力装置が非同期に並行動作するプロセッサに同期をとってもらうための通知機能の実現
  - OSの観点
    - ブロックしているユーザプロセス(入出力要求プロセス)が待ち状態→実行可能状態遷移する、すなわち、ウェイクアップする事象
    - ウェイクアップする、すなわち、実行可能状態へ遷移する入出力要求プロセスの仕事は入出力割り込みに対する、ユーザプロセスとしての割り込み処理



# 割り込みを用いた入出力処理

1. プロセスが入出力のためのシステムコールを実行
2. カーネルがデバイスドライバを実行。終了時に割り込みを依頼
3. 入出力処理:カーネルはプロセスを一時停止し、他の処理をCPU上で実行
4. 入出力終了時、デバイスドライバが割り込み処理を実行
5. プロセスの実行再開



# 入出力ハードウェア上の割り込み処理

4. 入出力終了時、デバイスドライバが割り込み処理を実行
  - 4.1. デバイスコントローラがバスに割り込み信号(と入出力装置のアドレス)を送信
  - 4.2. 割り込みコントローラが信号を検出
    - 割り込み依頼が複数ある場合は、適宜スケジューリングする
  - 4.3. CPU上で実行中のプロセスを中断し、該当する処理を起動
    - 入出力装置のアドレスを用いて割り込みベクタ(interrupt vector)を検索
5. プロセス実行再開
  - 5.1. 割り込みコントローラに割り込み処理終了を通知

