

# オペレーティングシステム(OS)

柴山 潔

## 6. 割り込み (2)

- 割り込み処理

# 割り込みの必要性と割り込み要因(図説)(再掲)

(1) 不測の事態

(2) 異常や例外の検知

(3) **ハードウェア装置→OS 通信**

(4) **ユーザプログラム→OS 通信**

(5) 競合するハードウェア利用要求の調停

(6) 非同期動作しているハードウェア間の通信

(A) **内部割り込み(ソフトウェア割り込み)**

暗黙的

• (I-1) 命令実行例外 (1) (2) (3) (4)

明示的

• (I-2) SVC (4)

• (I-3) ブレークポイント (4)

(B) **外部割り込み(ハードウェア割り込み)**

• (E-1) ハードウェア障害 (1) (2) (3)

• (E-2) リセット (1) (3) (5) (6)

• (E-3) タイマ割り込み (1) (3) (5) (6)

• (E-4) 入出力割り込み (1) (3) (5) (6)

## 【まとめ】OS機能の観点での 割り込み要因とその必要性との関係 (1)

- 内部割り込み (=ソフトウェア割り込み) 要因のすべてが必要性の(4)の「ユーザプログラム → OS通信」を含む
- 外部割り込み (=ハードウェア割り込み) 要因のすべてが必要性の(3)の「ハードウェア装置 → OS通信」を含む



**割り込み** = “ユーザプログラム⇔OS⇔ハードウェア装置間通信”  
= 「OS経由の間接的なユーザプログラム⇔ハードウェア装置間通信」のうち、  
“**ユーザプログラム→OS通信**”  
= 「ユーザプログラムからOSへの業務依頼」と、“**ハードウェア装置→OS通信**”  
= 「ハードウェア装置からOSへの業務依頼」とを、統一して実現する機構

## 【まとめ】OS機能の観点での 割り込み要因とその必要性との関係 (2)

- **OS**: 強制的&動的に発生する割り込みを受け付け
  - 実行中のプログラム(→大半が**ユーザプログラム**)を一時中断
  - 割り込み処理(=**OS機能**, 割り込み要因に対する処理プログラム)を実行する/割り込ませる



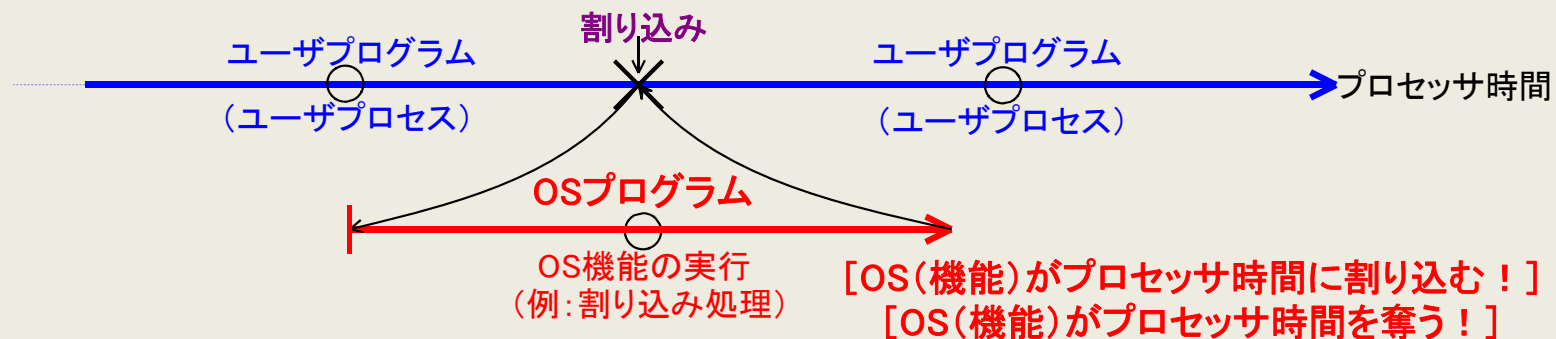
**割り込み** = OSプログラムが, OS機能を実行するために, ユーザプログラムからプロセスサ(の時間)を強制的&動的に奪い取る機能

## 【まとめ】OS機能の観点での 割り込み要因とその必要性との関係 (3)

- プロセッサがプログラムを実行し, そのプロセッサ(の時間)は唯一



**割り込み** = 「唯一プロセッサ(の時間)上にある(=プロセッサで実行している)プログラムを, ユーザプログラムからOSプログラムへ切り替える仕組み



# 【まとめ】OS機能の観点での割り込み要因とその必要性との関係

(まとめのまとめ)  
(再掲)

- “ユーザプログラム→OS通信”と, “ハードウェア装置→OS通信”とを, 統一して実現する機構
- OSプログラムが, OS機能を実行するために, ユーザプログラムからプロセッサ(の時間)を強制的&動的に奪い取る機能
- プロセッサで実行しているプログラムを, ユーザプログラムからOSプログラムへ切り替える仕組み

(重要)

# 割り込み処理の手順 (1)

## 0. 割り込みの発生

- 特定要因で割り込みが発生

(時間差あり!)

## 1. 割り込みの受付

- ハードウェア機構による受け付け

## 2. 割り込み禁止状態への移行

- ハードウェア機構によって, 他の割り込みを禁止

## 3. ハードウェア状態の退避

- ハードウェア機構による[PSW→プロセッサ内退避領域(専用レジスタ)]転送

## 4. 割り込み要因の識別

- ハードウェア機構による識別

## 5. 割り込みハンドラへの分岐

- 割り込みハンドラ(handler)(広義) = 割り込み要因ごとの(割り込み)処理プログラム

割り込み処理

[ハードウェアによる]

## 割り込み処理の手順 (2) —割り込みハンドラ—

### 6. ソフトウェア状態の退避

- PSWの退避 = [プロセッサ内専用退避領域→メインメモリ内退避領域] 転送
- [PSWの専用退避領域+プロセス情報] = 割り込まれるプロセス管理情報(=実行中のプロセスコンテキスト)として, メインメモリに割り付け・保持

↓ 割り込みハンドラ

### 7. 割り込みハンドラによる要因ごとの処理

- 狭義の割り込みハンドラ(=割り込む/切り替え先のOSプログラム)による狭義の割り込み処理

### 8. ソフトウェア状態の回復

- 割り込まれた/中断していたプロセス情報を回復
- 6.で退避しておいたプロセス/プロセスコンテキストへ切り替え
- PSWの回復 = [メインメモリ内退避領域→プロセッサ内専用退避領域] 転送

↑ 割り込みハンドラ



## 割り込み処理の手順 (3)

### 9. ハードウェア状態の回復

- ハードウェア機構による[(3.で退避しておいた)プロセッサ内退避領域(専用レジスタ)→PSW] 転送

### 10. 割り込み可能状態への移行

- ハードウェア機構によって, (2.で禁止した)他の割り込みを許可

### 11. 割り込み受付時点への復帰

- 10.と連動して, 再開する(ユーザ)プロセスの実行を割り込まれた時点から再開

[ハードウェアによる]

↑ 割り込み処理

OS機能+共用ハードウェア機構による統一手順

# 割り込み処理と割り込みハンドラ(handler)

- **割り込み処理** (広義): 1~11

- (a) 一般的な前処理(1~5) ← OSカーネルとハードウェア機構が協調して

- (b) 個別の要因ごとの処理(6~8) ← **割り込みハンドラ (OS)**

- = 割り込み要因ごとに実行時に決まる(動的な)処理機能

- (c) 一般的な後処理(9~11) ← OSカーネルとハードウェア機構が協調して

- 割り込まれたプロセス(プログラム)に**復帰**(11) → 復帰しない場合もあり

- **割り込み処理中は割り込み禁止** [原則]

- 他の新たな割り込みが発生しても, 現在の割り込み処理が終了するまで(2~10), **その他の割り込み(の受付)は禁止**

- ←「多重レベル割り込み機構で高優先度割り込みを処理する場合」以外



## 【まとめ】割り込み処理におけるOSの役割

- **ハードウェア** (= 割り込み処理機構) : 1~5 & 9~11 → **OS** (カーネル) と連携して  
← **高速処理**が必要
- **OS** : 6~8 → **割り込みハンドラ**による処理  
← **問題適応性** (割り込み要因ごとに異なる処理内容で対処)が必要

■ **割り込みハンドラ**: あらかじめ (制御アーキテクチャの設計時に) 決めておいたいくつかの割り込み要因のそれぞれに対して **OS** として用意しておくソフトウェア (**OSプログラム**)

**割り込み** = **OS**がユーザプログラムとの通信 (=ソフトウェア割り込み) およびハードウェアとの通信 (=ハードウェア割り込み) の両機能を, 共用機能/機構を用いて実現する**統一した仕組み**

# 割り込みハンドラによる内部割り込み処理 (1)

## (I-1) 命令実行例外

- 「マシン命令の命令実行サイクル途中で例外事象を起こした原因」を当該割り込み要因となったマシン命令を含む**ユーザプログラム**(=割り込まれたプログラム)に**通知**
- **OS**がその原因となった**事象**を削除

(例)

- **ページフォールト** → **ユーザプログラム**に責任なし
  - **OS**が原因となった事象(=MMIに当該マシン命令/データなし)を削除(=当該マシン命令を含むブロックをMMIに読み出し) & **ユーザプログラム**を再開
- **ページフォールト以外の命令実行例外** → **ユーザプログラム**に責任あり
  - 例外事象(=割り込み要因)を引き起こしたユーザプログラムに**OS**が強制的に対処(例:メッセージを出して当該**ユーザプログラム**を強制終了)

## 割り込みハンドラによる内部割り込み処理 (2)

(I-2) SVC命令, (I-3) ブレークポイント命令

- ユーザプログラム (プロセッサ状態は“ユーザ状態”) がOS (プロセッサ状態は“カーネル状態”) を呼び出し
- OSが呼び出し理由 (依頼内容) に対処

# 割り込みハンドラによる外部割り込み処理

## (E-1) ハードウェア障害

- OS自身がメッセージ表示, 停止, リブート(reboot; 再起動)
- 中断した(=割り込まれた)プログラムは再開せず(=中止) (原則)

## (E-2) リセット

- 原則としてOSをリブート(再起動)
- 中断した(=割り込まれた)プログラムは再開せず(=中止) (代表例)

## (E-3) タイマ割り込み

- OSがタイマをセット → 「一定時間の経過」をOSが種々の時間管理に利用

## (E-4) 入出力割り込み

- 実行を一時中断して, この事象(=外部割り込み)を待つユーザプログラムに「事象の発生」を通知
- そのユーザプログラムを再開可能な状態(=実行可能状態)へ遷移させる(=ウェイクアップ(wake-up))