

オペレーティングシステム(OS)

柴山 潔

5. 割り込み (1)

- 割り込みとは？
- 割り込み要因

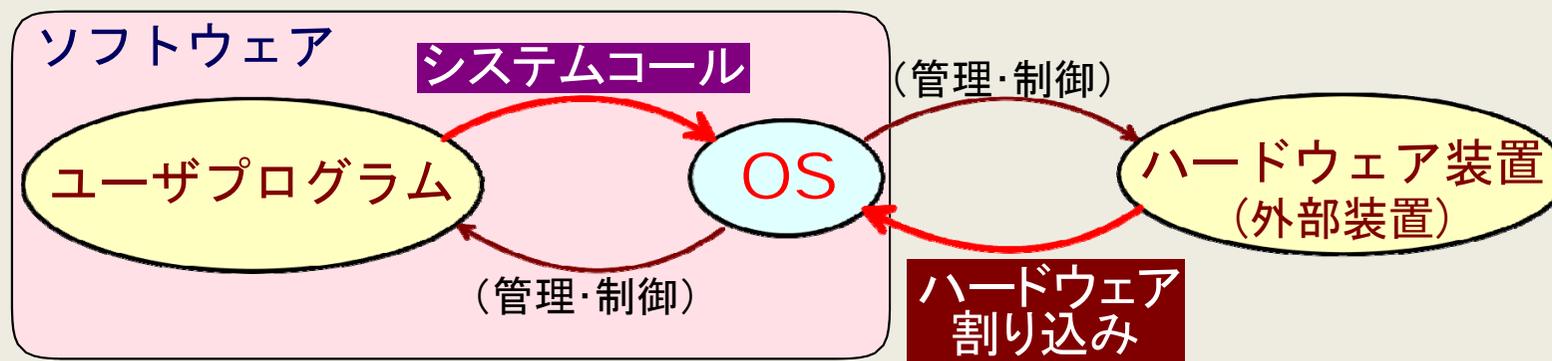
OS経由のユーザプログラム(図説) -OS-ハードウェア装置間通信- (再掲)

(A) **ハードウェア割り込み** : ハードウェア装置 → OS の通信

➤ (代表的) **外部割り込み**

(B) **システムコール** : ユーザプログラム → OS の通信

➤ **ソフトウェア割り込み** / **内部割り込み**の代表例

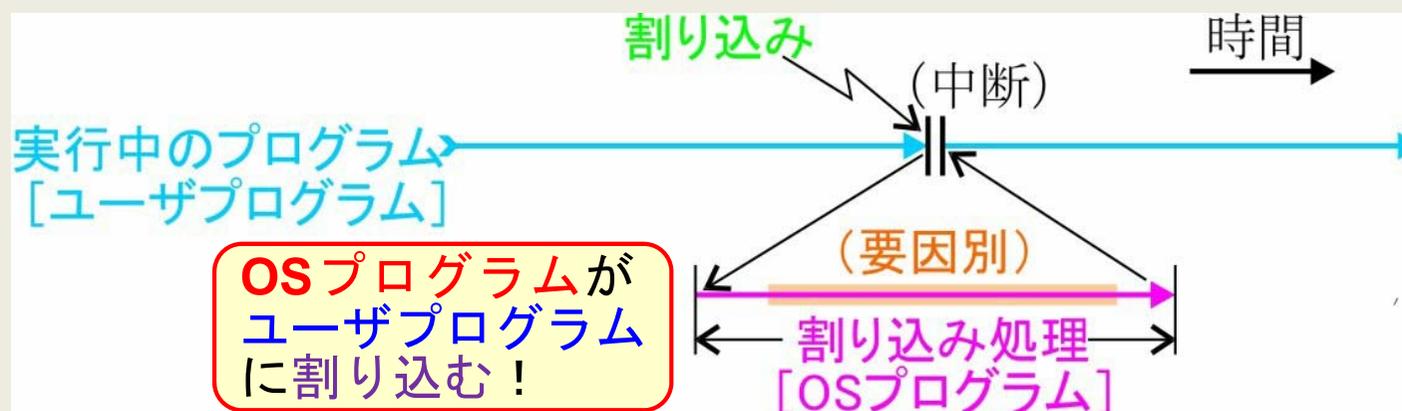


(重要)

割り込み(interrupt)

- 本来の(=オブジェクトプログラムとして決まっている)命令実行順序を強制的にかつ動的に変える手段
- 不測の/普通でない事態へ(統一的に)対処する機構
 - 不測の事態(=割り込み要因)の発生 → 割り込み機構が発動(=割り込みの発生) → 実行中のプログラムを一時中断&割り込み要因の処理(=割り込み処理)へ制御フローが分岐
= 例外(exception)

- 時間的/空間的多重化による共用資源(ハードウェア & ソフトウェア(=OS & ユーザプログラム))の管理と制御に活用



割り込みの必要性 (1) —一般的観点—

(1) 不測の事態

- ユーザプログラム(マシン命令列)として記述していない/記述不可能な“不測の(予測不可能な)事態”に対処

(2) 異常や例外の検知

- ハードウェアやソフトウェア(プログラム)がもつ本来の機能以外の動作としての異常/エラー/例外などの検知・対処

割り込みの必要性 (2)

—ユーザプログラム-OS-ハードウェア装置間通信—

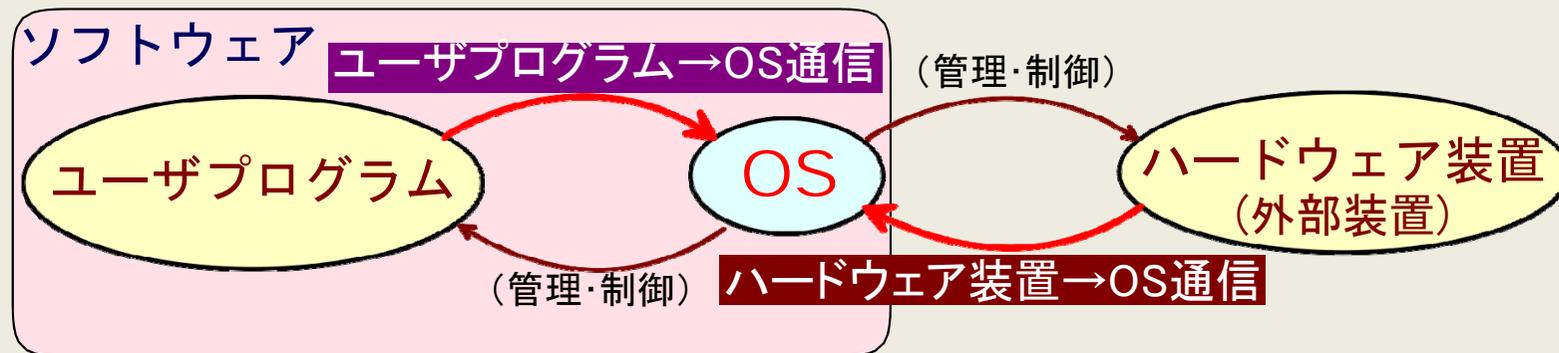
(3) ハードウェア装置→OS通信

- 「ハードウェア機構/装置からOSへの通信」[†]機能を実現

(4) ユーザプログラム→OS通信

- 「ユーザプログラムからOSへの通信」[†]機能を実現

「OSへの依頼」[†]に応えるために、割り込みによって、OS自身(割り込み処理機能)を起動



割り込みの必要性 (3)

(5) 競合するハードウェア利用要求の調停

- 内部装置(プロセッサとメモリ)の共用ハードウェア資源への利用要求の競合を調停(=スケジューリング)・効率的な利用

(例) プロセッサ時間の管理, メモリ空間の管理

(6) 非同期動作しているハードウェア間の通信

- 非同期動作するハードウェア装置/機構 (例: プロセッサと入出力装置, ネットワーク接続のプロセッサ相互)間の相互通信・同期

(例) 入出力割り込み

割り込み要因の分類

➤ **割り込み要因** : 割り込みを引き起こす具体的原因や事象

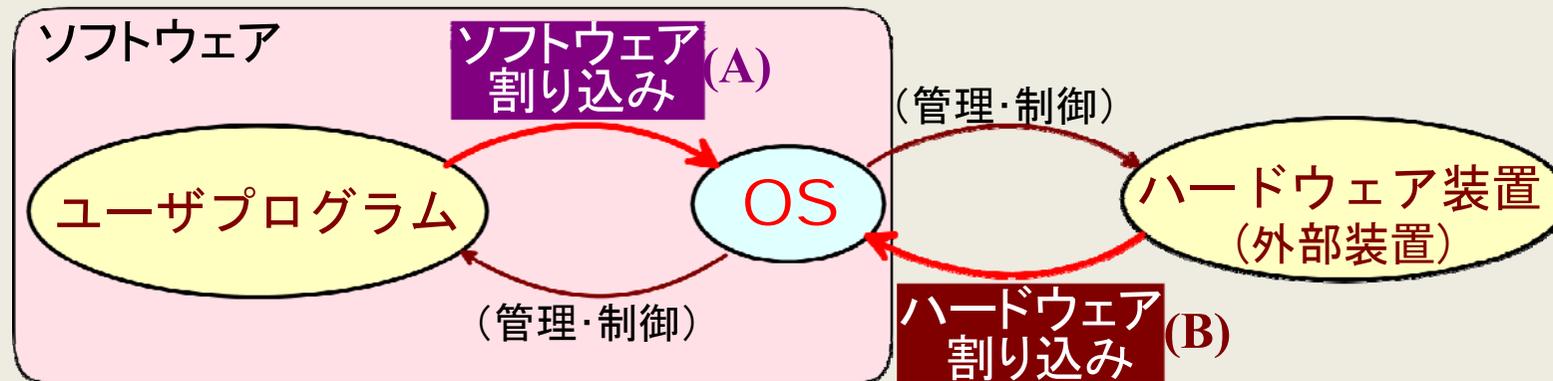
■ “割り込み要因の発生場所” という指標での分類

(A) **内部割り込み** = **ソフトウェア割り込み**

- 内部装置(プロセッサとメインメモリ, 特にプロセッサ自身)で発生
- ユーザプログラム→OS通信

(B) **外部割り込み** = **ハードウェア割り込み**

- 外部装置(主として入出力装置)で発生
- (主として)ハードウェア装置→OS通信



割り込み要因の分類(図説)

(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
- 明示的
 - (I-2) SVC
 - (I-3) ブレークポイント

(B) 外部割り込み(ハードウェア割り込み)

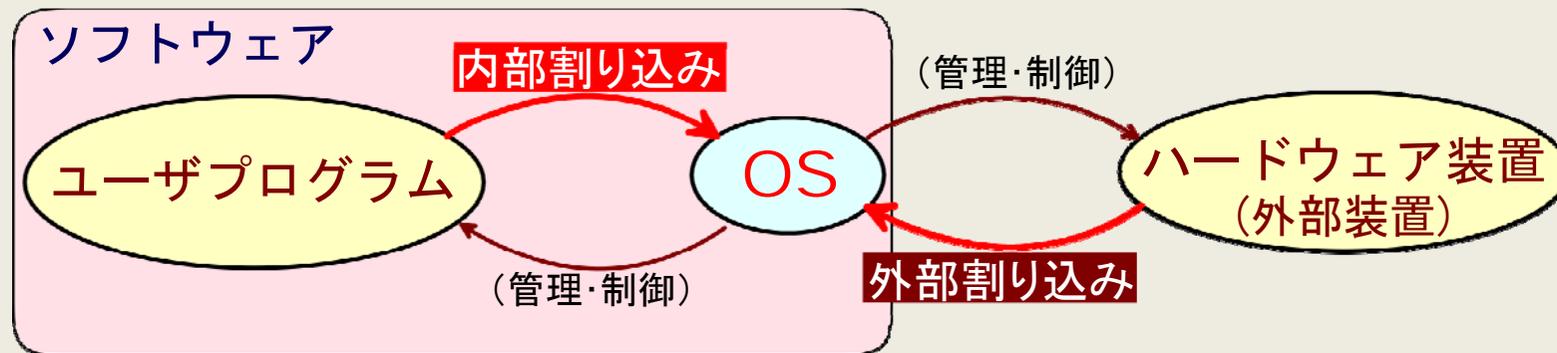
- (E-1) ハードウェア障害
- (E-2) リセット
- (E-3) タイマ割り込み
- (E-4) 入出力割り込み

内部割り込み (1)

- マシン命令の実行に同期して発生
- ソフトウェア的要因

→ = **ソフトウェア割り込み** = 割り出し

➤ ユーザプログラム → OS の通信手段



内部割り込み (2)

■ 「マシン命令機能として明示(明示的)/非明示(暗黙的)」で[細分類]

(I-1) **命令実行例外** → 暗黙的

(I-2) **SVC** (スーパーバイザコール(SuperVisor Call)) → 明示的

- **OSを呼び出す** [=内部装置(P&M)の使用権をユーザプログラム(プロセス)からOS(カーネル)に移す] **SVC命令の実行** = **システムコール** (system call) → 明示的

(I-3) **ブレークポイント** (breakpoint)

- **ブレークポイント(プログラム実行の中断点)をOSに通知するブレークポイント命令(トラップ(trap)命令)の実行**
 - ◆ デバッグ(debug) 時にプログラム実行を一時中断 & スナップショット(snapshot; 特定のレジスタやメモリー内容をダンプ(dump; 一覧出力)する起点
 - ◆ プログラムをトレース(trace; 実行履歴をとる)する時点 (→トレース命令)

命令実行例外

- 命令実行例外要因ごとに、命令実行サイクルの、命令フェッチ/命令デコード/オペランドフェッチ/命令実行/結果格納のある特定ステージで発生



いったん、OSに措置(= 例外処理)を依頼

[具体的要因例]

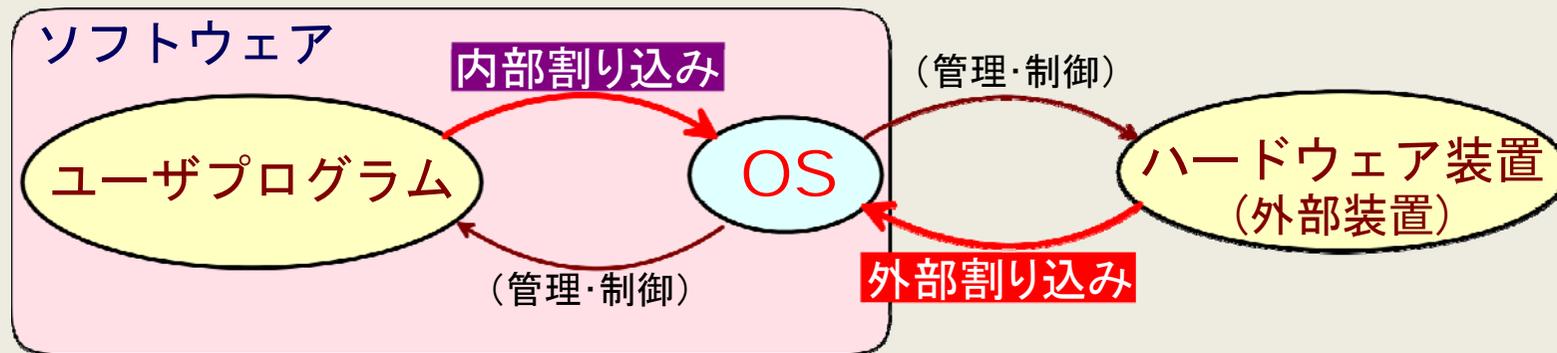
- ◆ **メモリアクセス例外**: ページフォールト, TLBミス
- ◆ **特権命令違反**: プロセッサ状態がユーザモードでの特権命令の実行
- ◆ **メモリ保護違反**: アクセス権(←OSが設定)を侵す不正なメインメモリ領域へのアクセス
- ◆ **不正命令**: 不正あるいは未定義のOPコード指定
- ◆ **不正オペランド**: メモリアドレス境界違反(制限範囲を越えるアドレス指定)
- ◆ **演算例外**: ゼロ除算(ゼロを除数とする除算), オーバフロー(演算結果の格納装置からのあふれ)

外部割り込み (1)

- マシン命令の実行とは独立 (非同期) に発生
- ハードウェア的要因

→ = **ハードウェア割り込み**

➤ **ハードウェア装置 (外部装置) → OS の通信手段**



外部割り込み (2)

[細分類]

(E-1) ハードウェア障害

- ハードウェア装置/機構からの“障害発生”通知
(例) 電源異常, メモリ読み出しエラー(パリティエラー), 温度異常

(E-2) リセット

- リセットスイッチ(→外部装置=ハードウェア機構 の一種)の“オン”
➤ ユーザが強制的にプログラムの実行を中断/中止

(E-3) タイマ(timer)割り込み

- タイマ(timer)からの“一定時間経過”の通知
- ◆ OSによるタイマ割り込みの利用例
 - ◆ プロセッサ時間を管理してプロセススケジューリング
 - ◆ 非同期動作しているハードウェア機構/装置への要求に対する応答のタイムアウト(timeout; 時間切れ)を決定

(E-4) 入出力割り込み

- 入出力装置からの“動作完了”や“異常”などの状態通知
- 代表的な外部割り込み

多重レベル割り込み

- 割り込み要因は多種多様で独立した事象
 - ある要因に対する割り込み処理には一定時間が必要
 - 同時 or 割り込み処理中に発生する可能性あり
- 複数の割り込みについても単一プロセッサで逐次処理
 - 時間的に重複する割り込み処理は多重レベル割り込み機構/優先度付き割り込み機構で



- 割り込み要因ごとに**緊急性**を表す「割り込み処理の**優先度**」を付与
- **優先度 (= 緊急性)**によって時間的に重複する複数の割り込みを**順序付け・逐次処理**
= **優先度付き割り込み**
 - ① 割り込み処理時にそれよりも**低**優先度の割り込みは、**禁止/受け付けず**
 - ② 割り込み処理時にそれよりも**高**優先度の割り込みは、現在の割り込み処理を中断して、**優先的に/直ちに受け付け**

割り込みの優先度

- 割り込み処理の**緊急性/必要性**によって順序付け

(例)

- ◆ (E-1) ハードウェア障害; (E-2) リセット; (I-1) 命令実行例外; (E-4) 入出力割り込み; (I-2) SVC; (I-3) ブレークポイント命令; の順 (E-1) が最高で (I-3) が最低)
- ◆ (I-1) の命令実行例外のうちでも, ページフォールトやアクセス保護違反を**高**, 演算例外を**低**
- ◆ (E-4) の入出力割り込みのうちでも, 高速入出力装置(ファイル装置など)からの割り込みは**高**, 低速入出力装置(キーボードなど)からの割り込みは**低**