

オペレーティングシステム

第14回

割込みと入出力の制御

<http://www.info.kindai.ac.jp/OS>

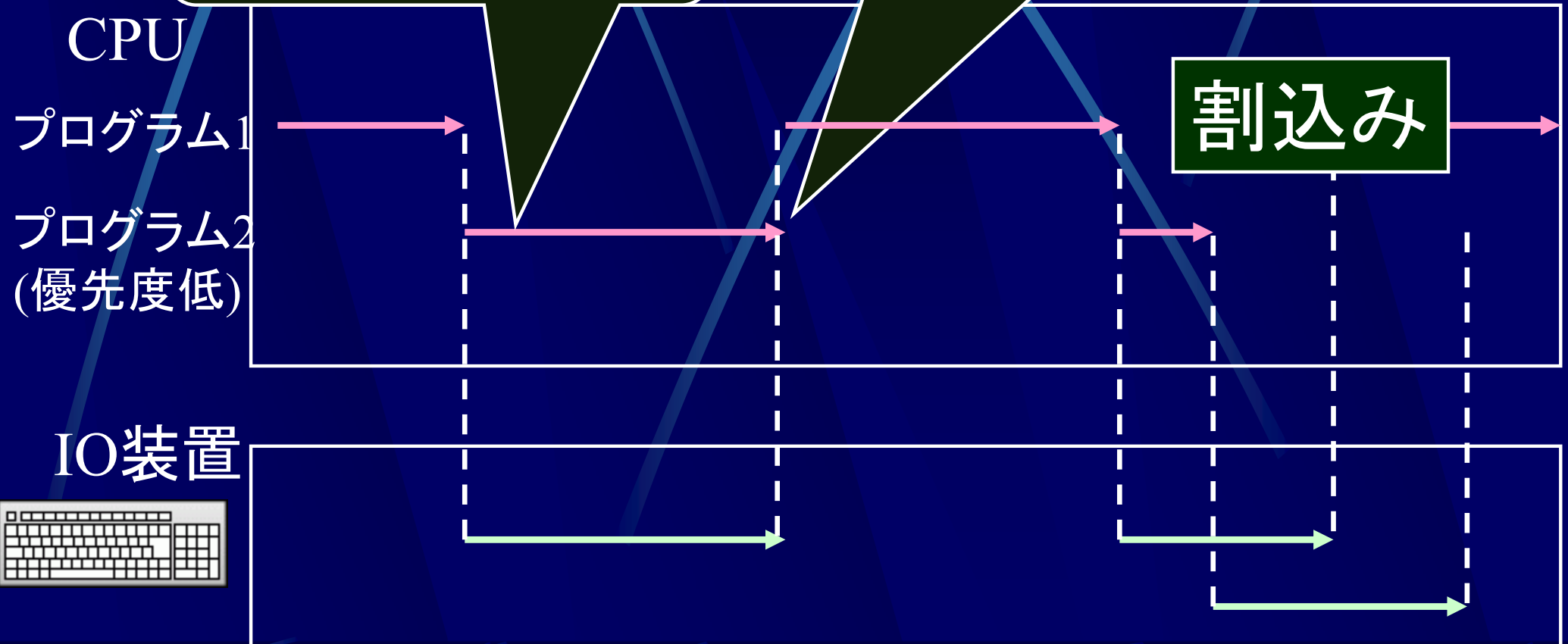
E館3階E-331 内線5459

takasi-i@info.kindai.ac.jp

多重プログラムの実行中の動作

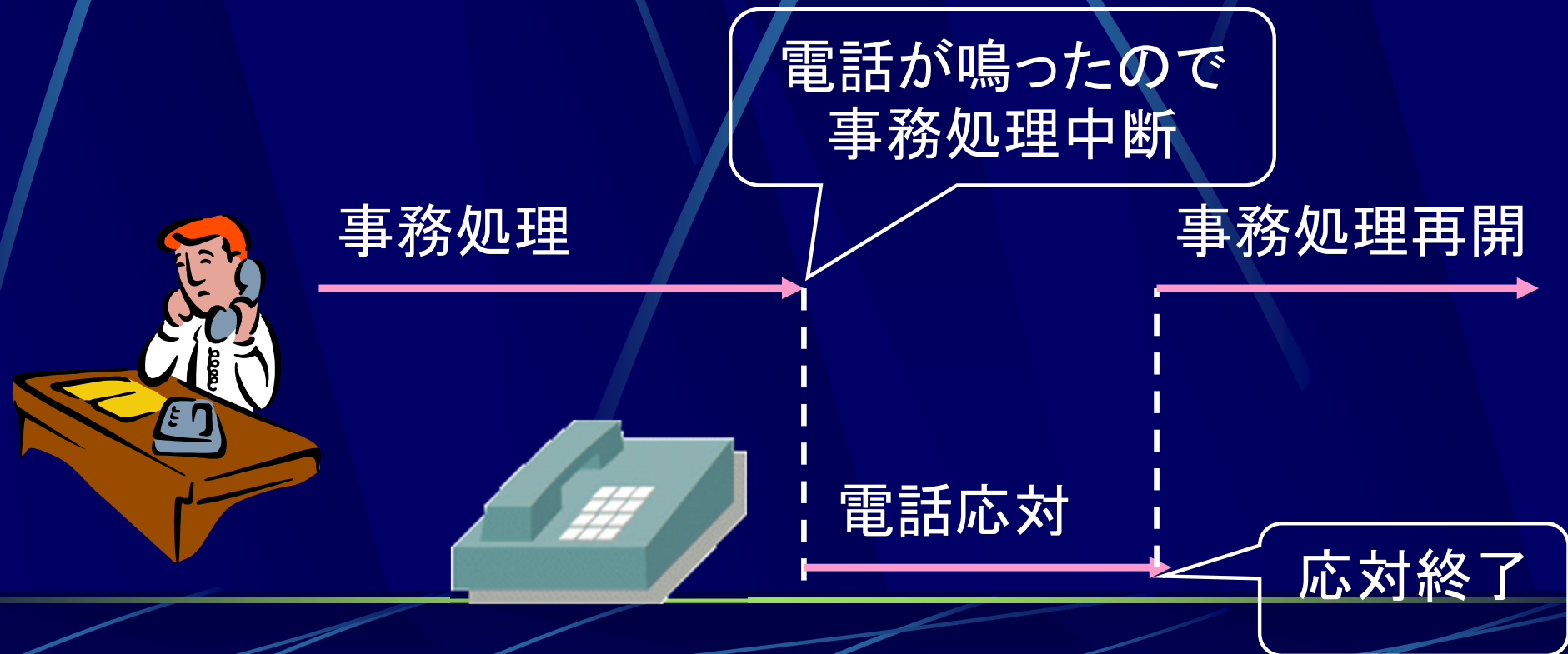
CPUが使えるので
実行開始

優先度が低い方は実行中断



割込み(interrupt)

- 割込み(interrupt)
 - 実行中の処理を中断して特別な処理をする



割込みの発生

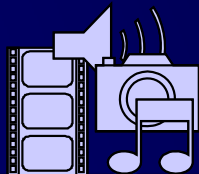
- 割込みは非同期に発生する
 - 電話はいつ鳴るかは分からない
 - ユーザ入力はいつ完了するかは分からない



事務処理



電話は処理中に
突然鳴る

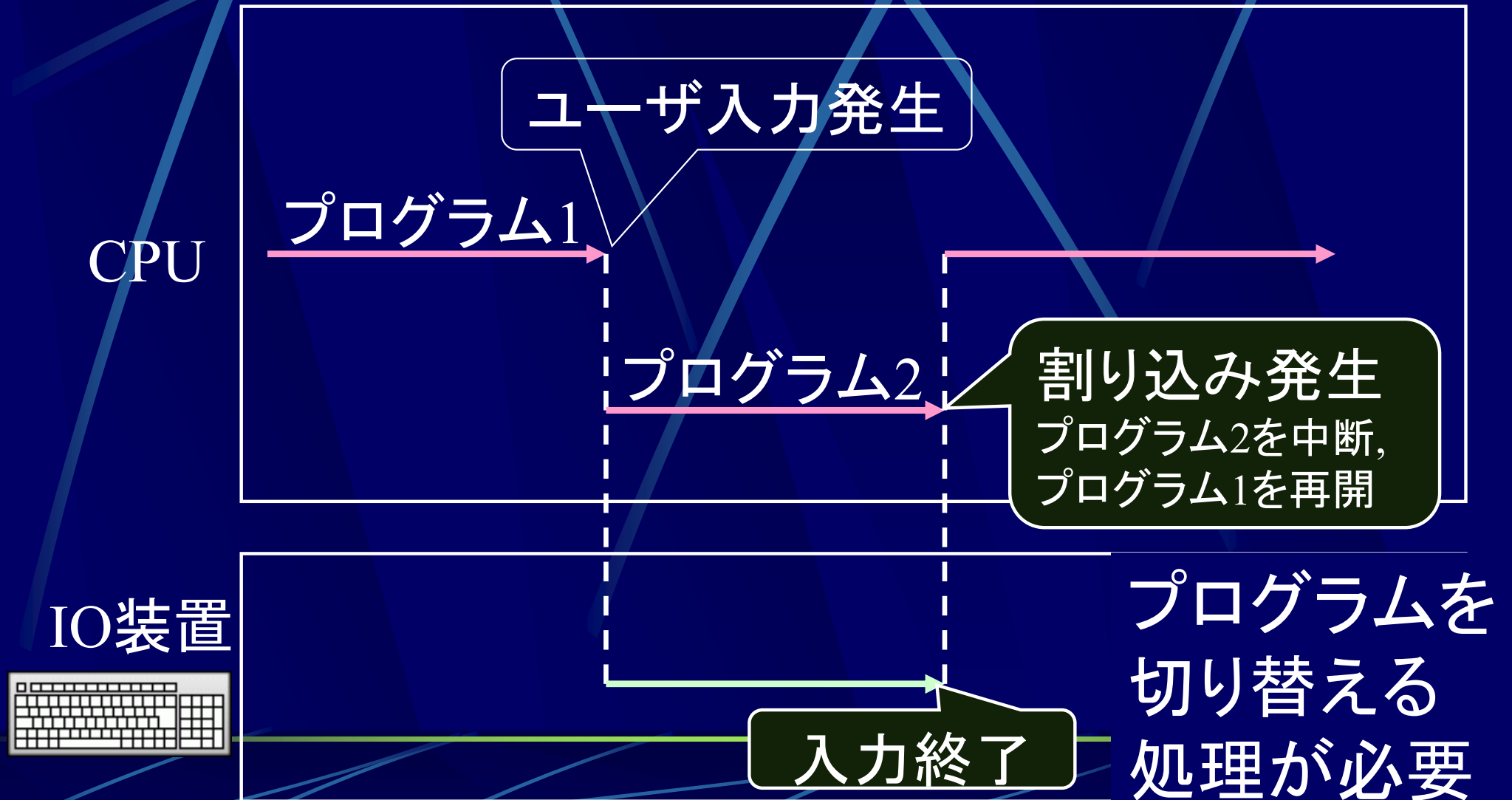


プログラム

ユーザ入力はプログラム
実行中に突然起きる



割り込み



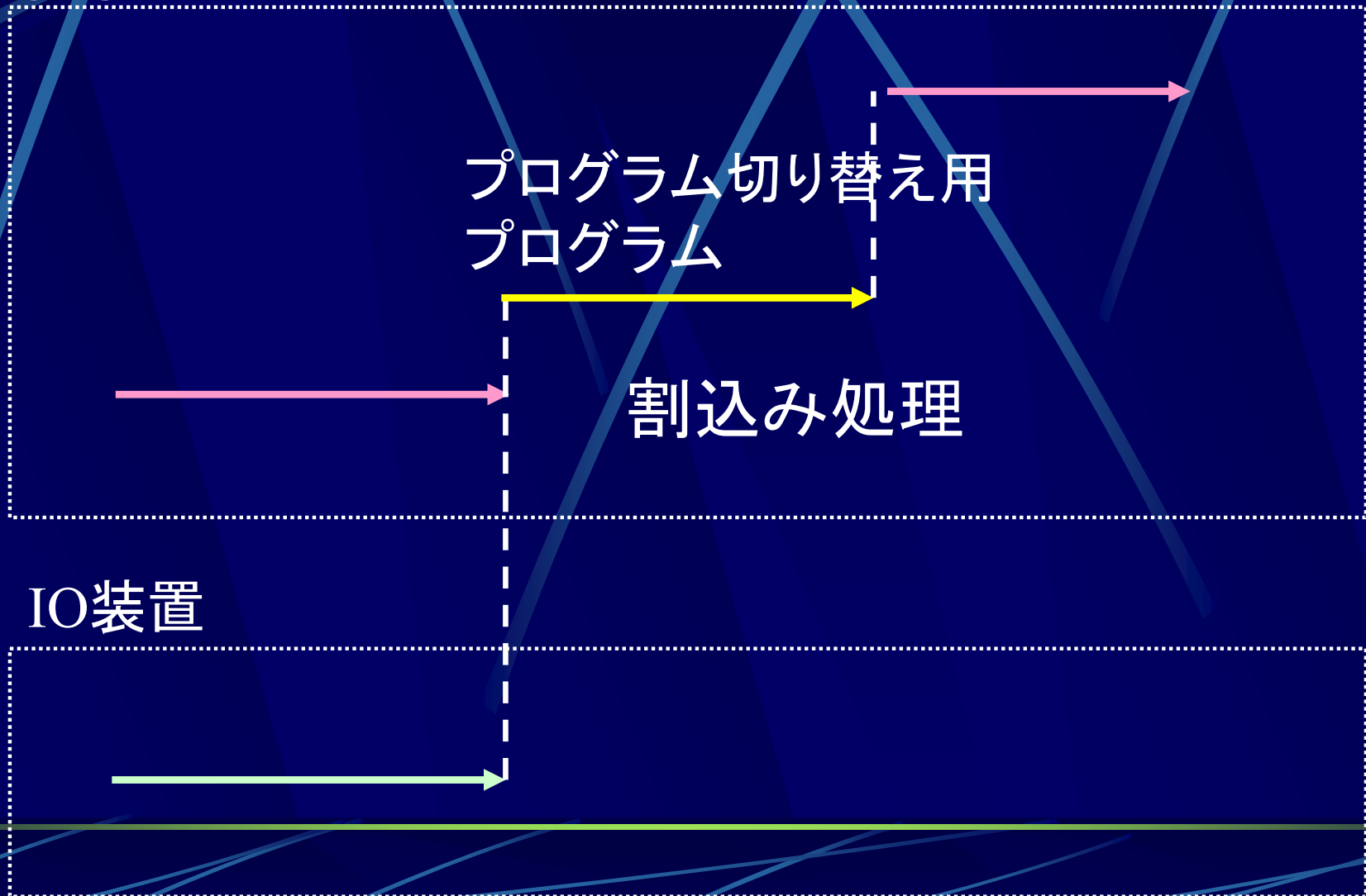
割り込み

CPU

プログラム切り替え用
プログラム

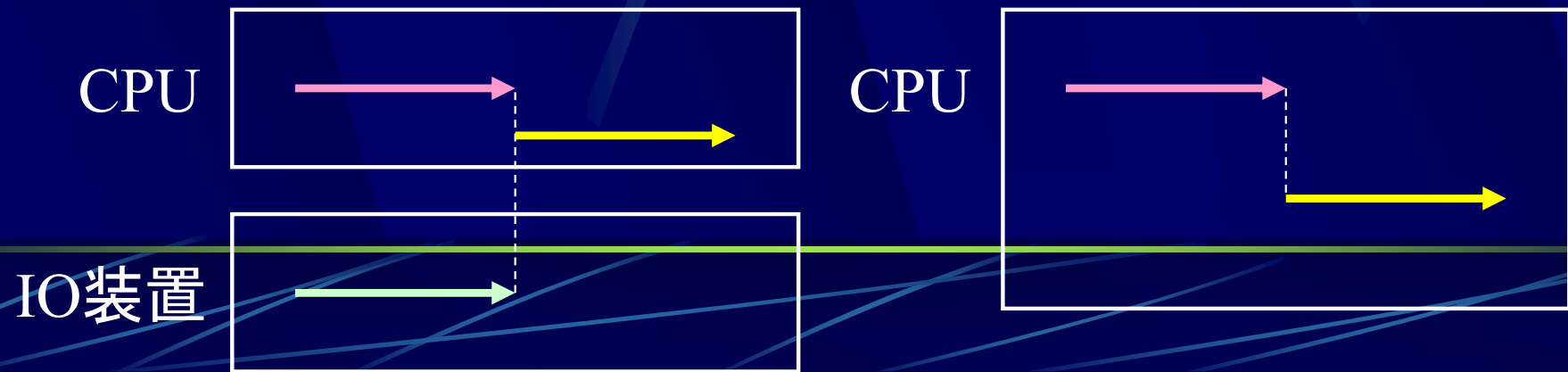
割り込み処理

IO装置



外部割込みと内部割込み (external interrupt, trap)

- 外部割込み(external interrupt)
 - CPUから見て外部の事象で起こる割り込み
 - IO装置からの入出力完了割込み
- 内部割込み(trap)
 - CPU内のプログラムにより起こる割り込み
 - アプリケーションプログラムのシステムコール



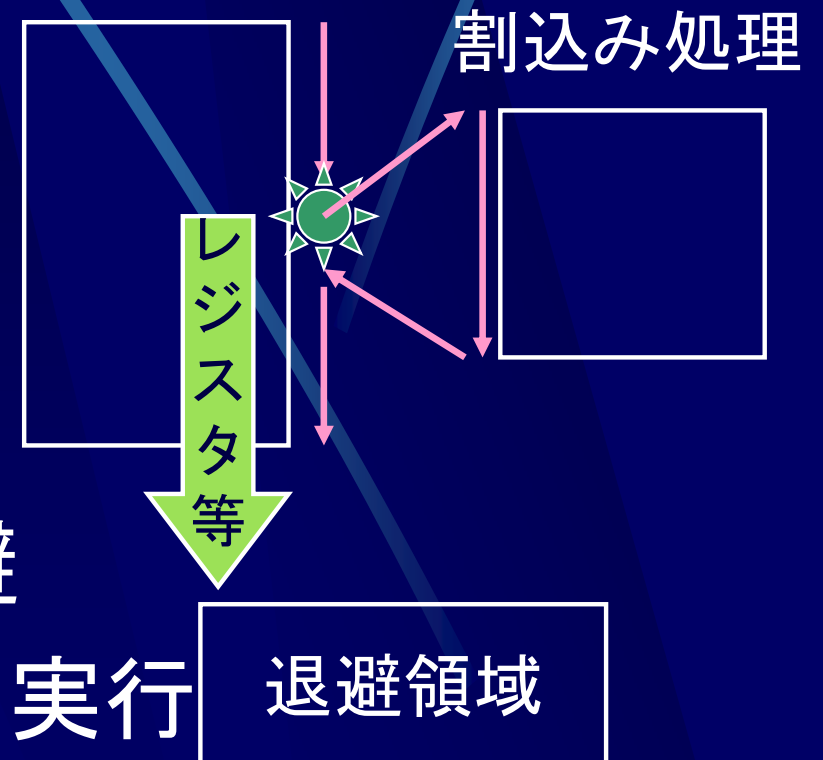
割込み

代表的な割込み		割込み発生要因(の例)
外部 割込み	ハードエラー割込み マシンチェック割込み	ハードウェア異常の通知
	外部信号割込み	信号の受信
	タイマ割込み	時間の経過
	入出力割込み	入出力の完了
	リスタート割込み	リセットボタンが押される
内部 割込み	ソフトエラー割込み プログラム割込み	ゼロ除算, 不正なコード実行, 不正なアドレス参照
	システムコール割込み	システムコール

割込み処理の流れ

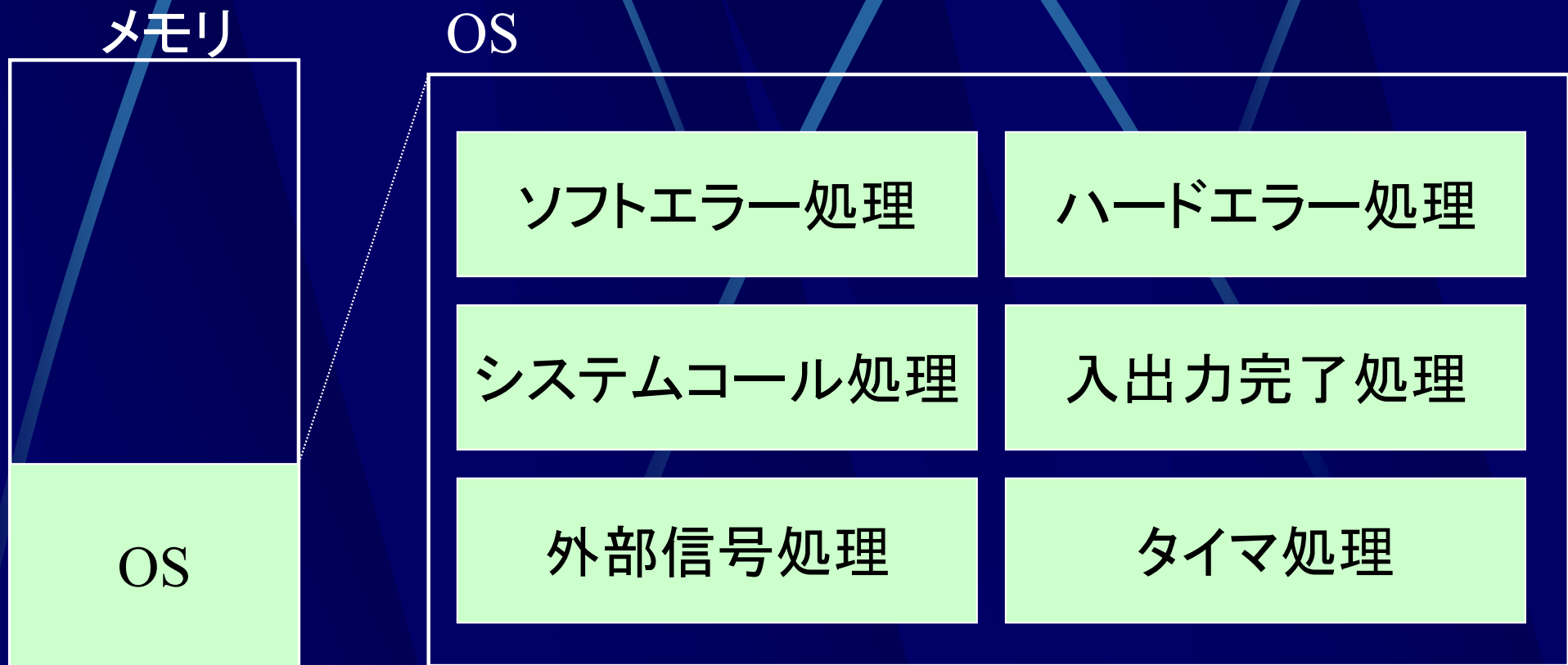
1. 割込み発生
2. 割込み原因の解析
3. 割込み受付
4. 割込みフラグセット
5. 割込み前の状態を退避
6. 割込み処理ルーチンの実行
7. 割込み前の状態の回復

ユーザプロセス



割込み

- メモリのOS領域内に割込みの処理ルーチン



割込み

OS

割込みルーチン

アドレスベクタテーブル

コード	割込み名	アドレス
0	ソフトウェア	
1	ハードエラー	
2	システムコール	
3	入出力完了	
4	外部信号	
5	タイマ	

ソフトウェア処理

ハードエラー処理

システムコール処理

入出力完了処理

外部信号処理

タイマ処理

アプリケーション
プログラム

システムコール発動

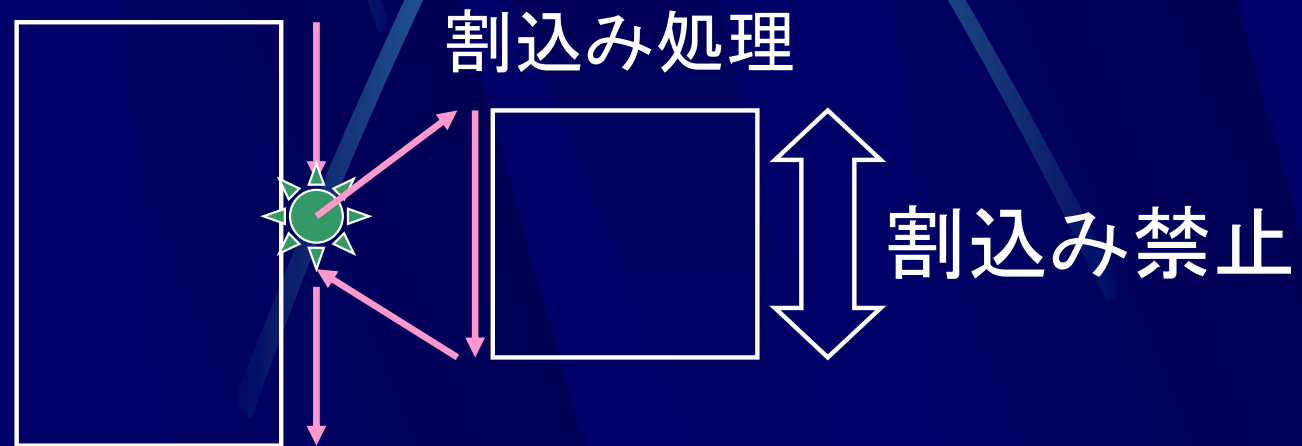
割込みの処理方式

- 割込みの処理方式
 - 単一割込み方式
 - 割込み中、他の全ての割込みを禁止する
 - 多重割込み方式
 - 割込み中にさらに他の割込みを可能にする
 - プロセス型割込み方式
 - 割込み処理の一部をサーバプロセスで処理

単一割込み方式

- 単一割込み方式
 - 割込み中他の割込みを禁止する

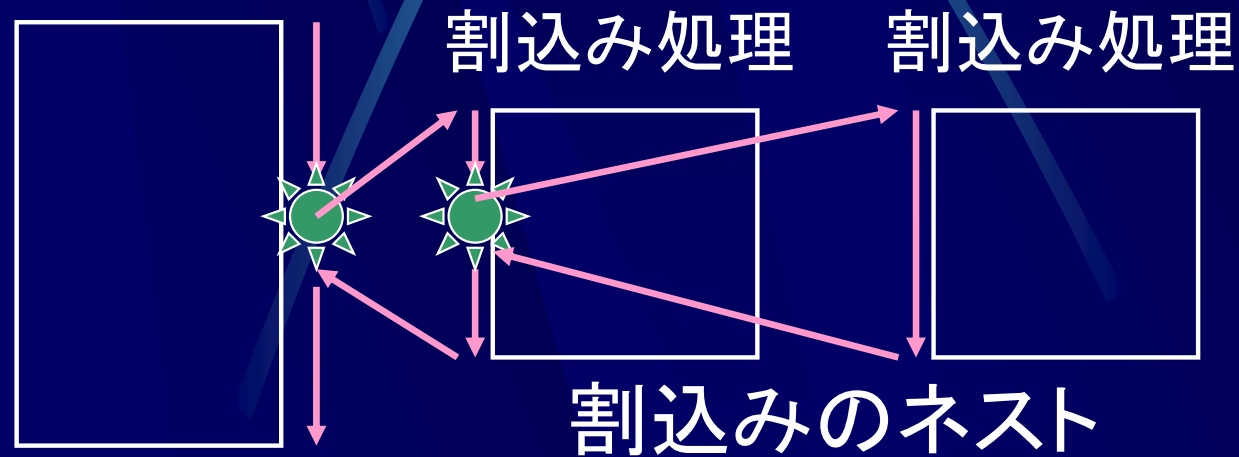
ユーザプロセス



多重割込み方式

- 多重割込み方式
 - 割込み中さらに他の割込みを可能にする

ユーザプロセス



優先度の高い割込みを先に処理可能

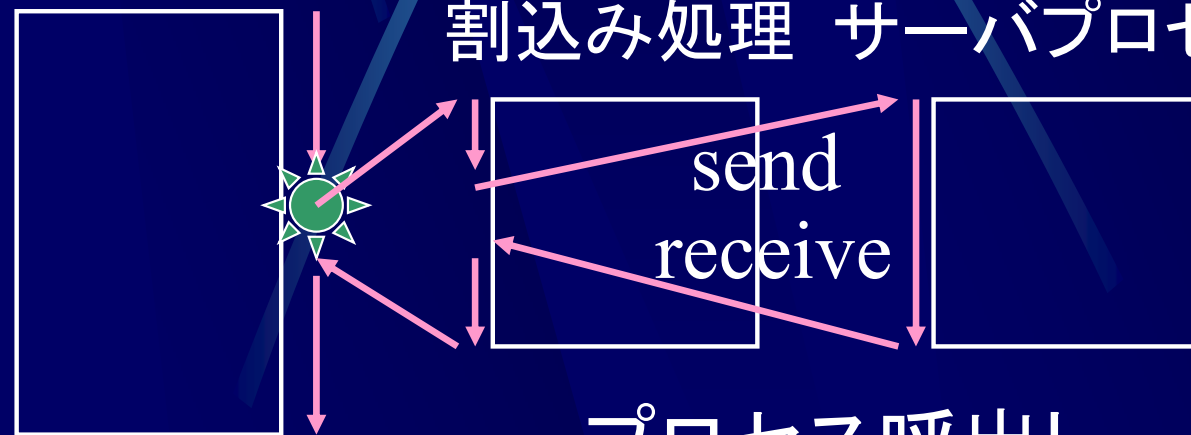
プロセス型割込み方式

- プロセス型割込み方式

- 割込み処理の一部をサーバプロセスで処理

⇒ マイクロカーネル

ユーザプロセス



プロセス呼出し

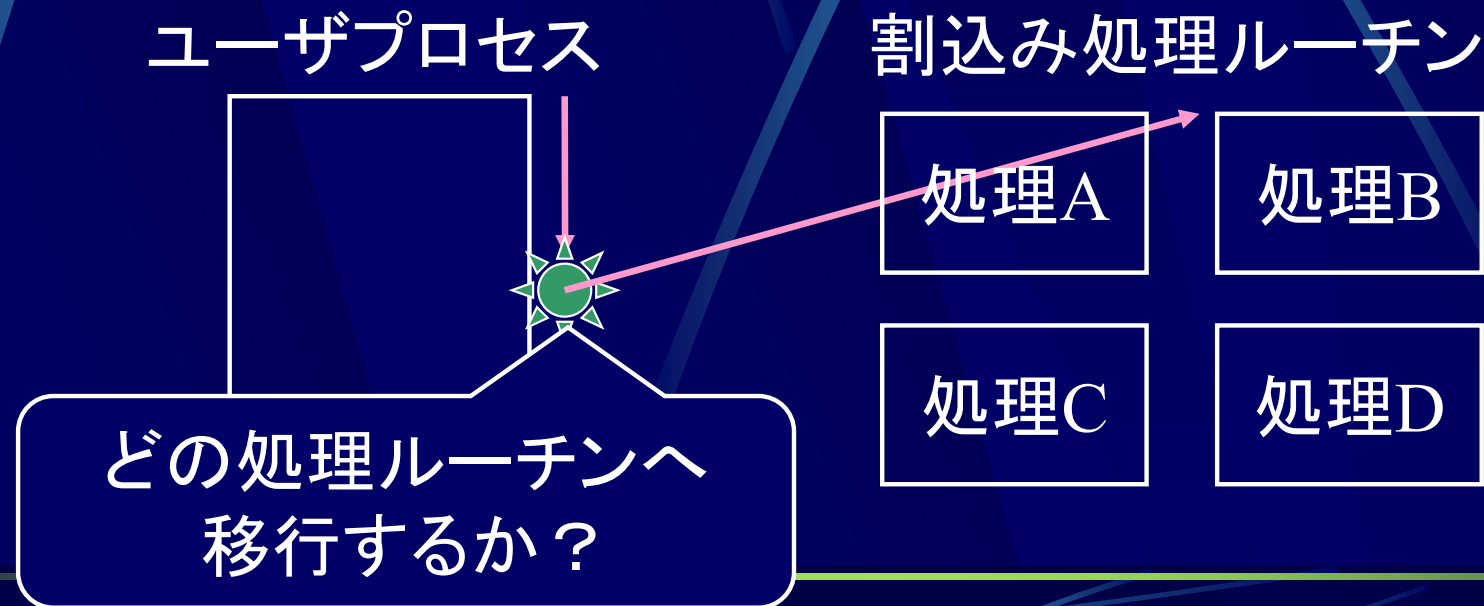
サーバプロセス処理中でも割込み可能

割込み処理方式

処理方式	長所	短所
単一割込み方式 (モノリシックカーネル)	実現が容易 オーバヘッド小	割込み中は 他の割込みが不可
多重割込み方式 (モノリシックカーネル)	高優先度の割込みを 先に処理可能	ネスト処理の オーバヘッド
プロセス型 割込み方式 (マイクロカーネル)	高優先度の割込みを 先に処理可能	プロセス呼出しの オーバヘッド

割込みハンドラ(interrupt handler)

- 割込みハンドラ(interrupt handler)
 - 割込み原因の解析
 - 割込み処理ルーチンへ処理の移行

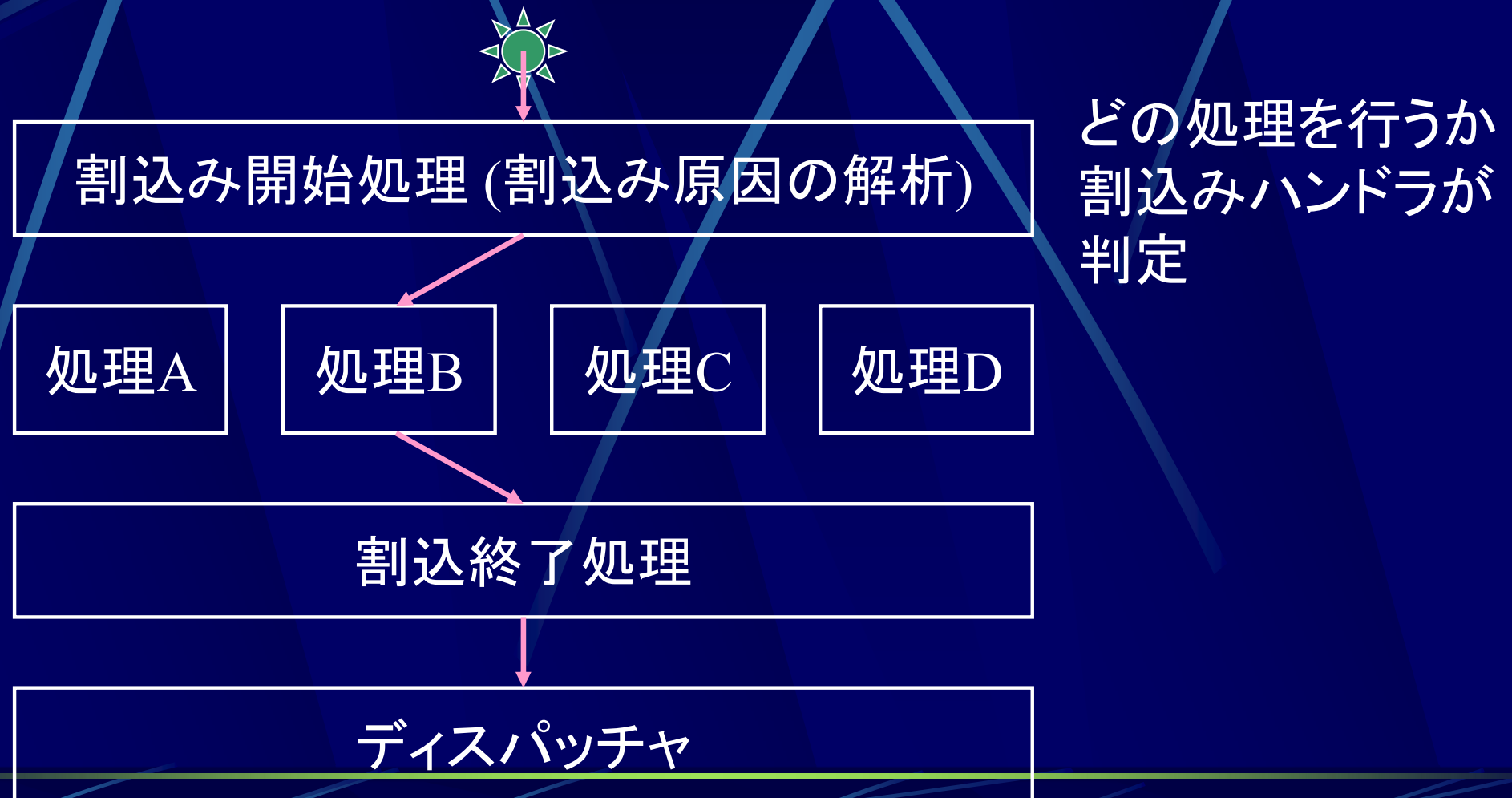


割込みハンドラの構成

- 割込みハンドラの構成
 - 割込み処理ルーチンのアドレスを固定
 - 割込みハンドラが対応する処理ルーチンへ誘導
 - 割込み処理ルーチンのアドレス表を用意
 - 割込みハンドラからアドレスベクタテーブルへ移行

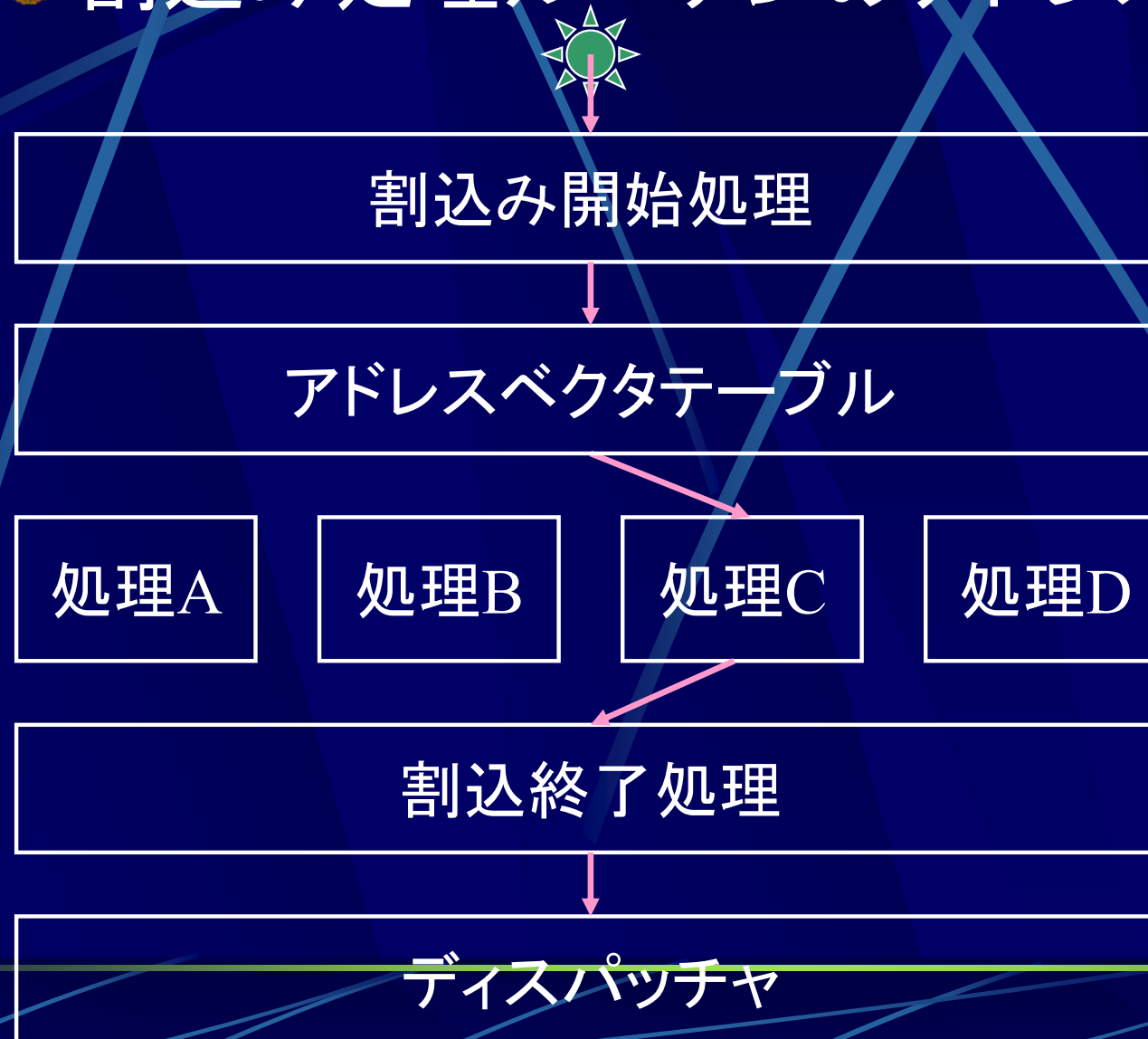
割込みハンドラの構成

- 割込み処理ルーチンのアドレスが固定



割込みハンドラの構成

- 割込み処理ルーチンのアドレス表を用意



割込みハンドラは
ベクタテーブルへ
誘導するのみ

アドレスベクタテーブル (address vector table)

OS

割り込みルーチン

アドレスベクタテーブル

コード	割り込み名	アドレス
0	ソフトウェア	
1	ハードエラー	
2	システムコール	
3	入出力完了	
4	外部信号	
5	タイマ	

ソフトウェア処理

ハードエラー処理

システムコール処理

入出力完了処理

外部信号処理

タイマ処理

アプリケーション
プログラム

システムコール発動

割込みの制御(Interrupt control)

● 割込み制御

● 割込みフラグ(interrupt flag)

割込みフラグ

0

● 1ビットの情報

- 1 : 全ての割込みを許可
- 0 : 全ての割込みを禁止

● 割込みマスク(interrupt mask)

割込みマスク

0	0	0	1	1	1	1	1
---	---	---	---	---	---	---	---

● 数ビットの情報

● 優先度に応じて割込みを許可・不許可

- 1 : 対応する優先度の割込みは無効
- 0 : 対応する優先度の割込みは有効

割込みフラグ (interrupt flag)

- 割込みフラグ

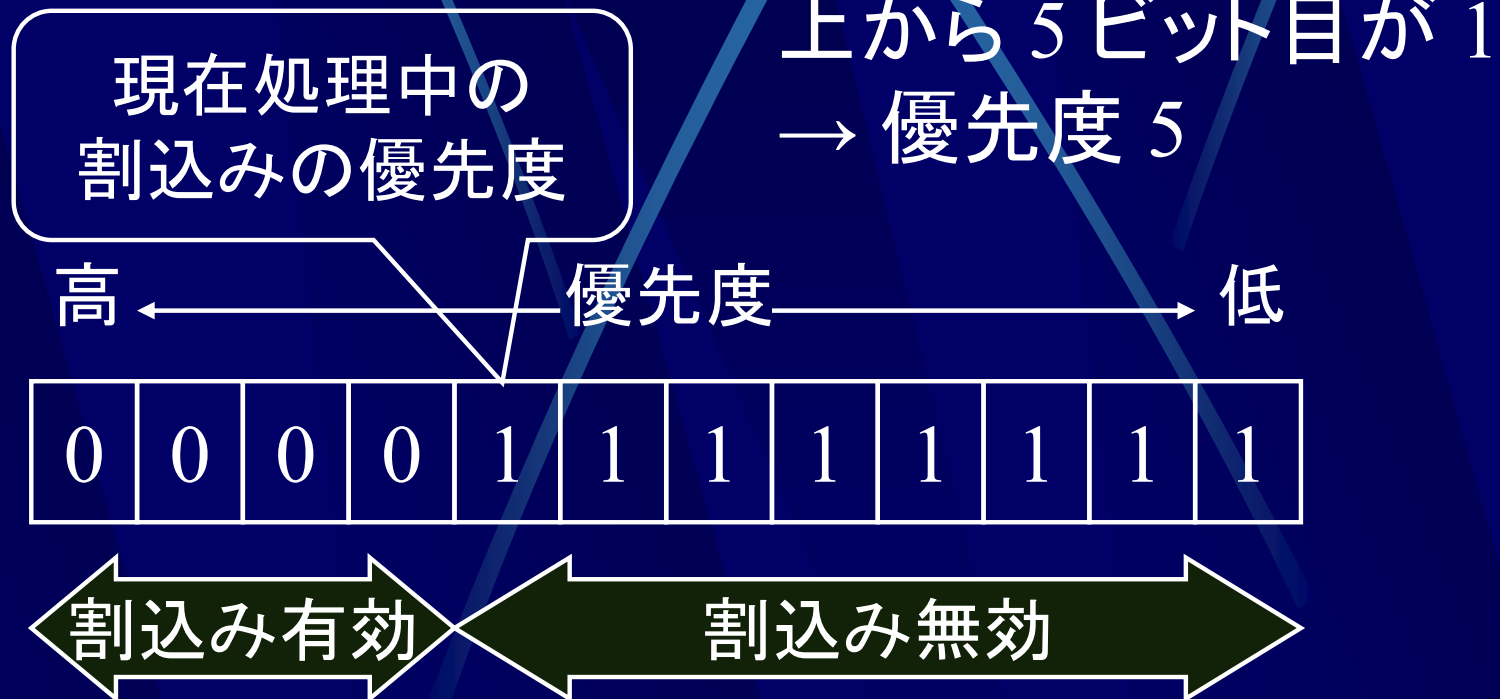
割込みフラグを
0にリセット

割込み禁止区間

割込みフラグを
1にセット

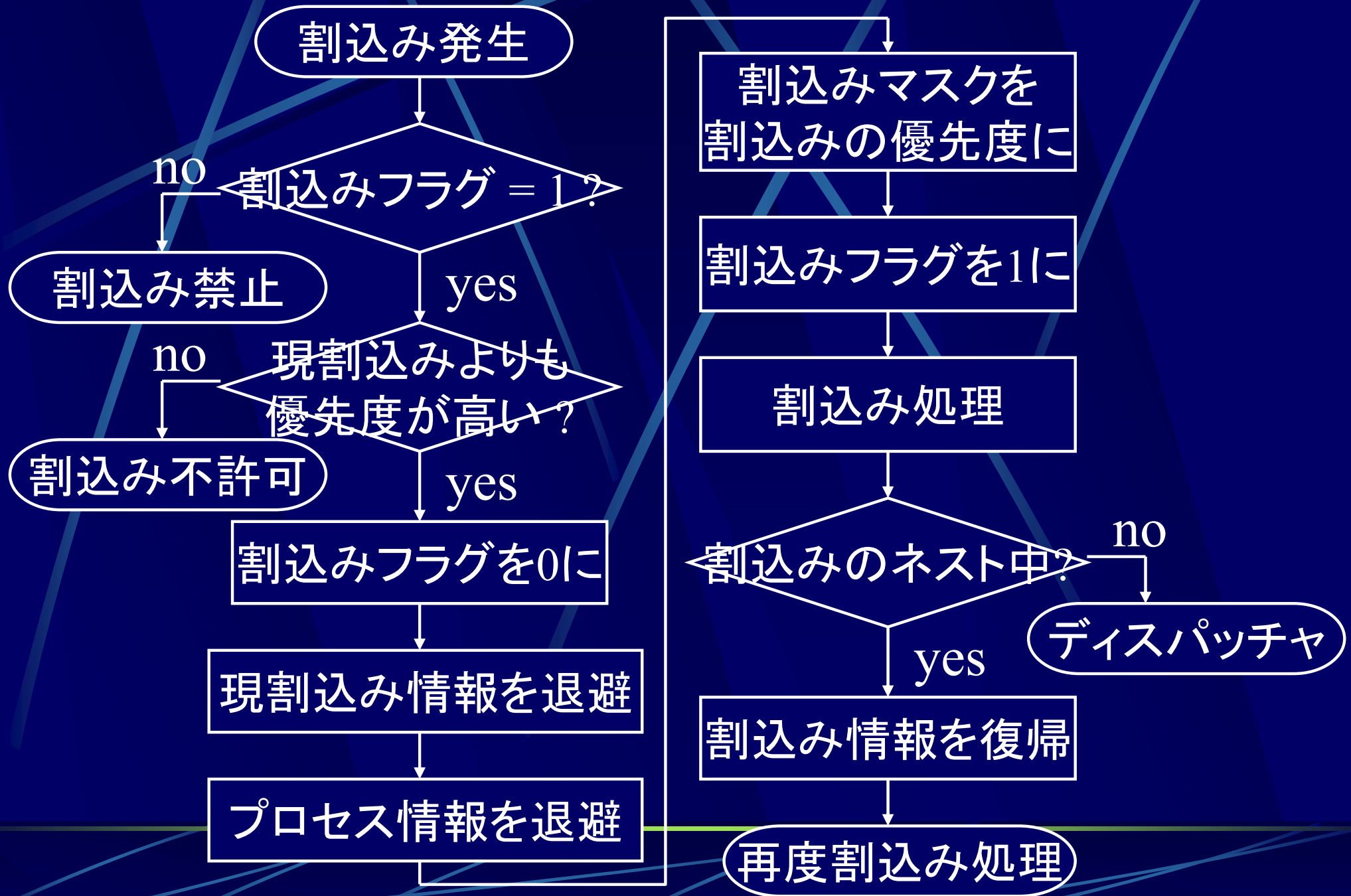
割込みマスク(interrupt mask)

● 割込みマスク



現在処理中の割込みよりも
優先度が高い割込みは許可される

割り込み処理の流れ



割込み処理の流れ

割込みフラグ

1

割込み可能

現在の割込み

0 0 0 0 0 1 1 1

プロセス1

割込みマスク

0 0 0 0 0 1 1 1

割込みA

0 0 0 0 0 0 1 1

比較

割込み

現在処理中の割込みよりも
優先度が低いので割込みAは不許可

割込み処理の流れ

割込みフラグ

1

現在の割込み

0 0 0 0 0 1 1 1

プロセス2

割込みマスク

0 0 0 0 0 1 1 1

割込みB

0 0 0 1 1 1 1 1

比較

割込み

現在処理中の割込みよりも
優先度が高いので割込みBは許可

割込み処理の流れ

割込みフラグ

0

割込みマスク

0 0 0 0 0 1 1 1

現在の割込み

0 0 0 0 0 1 1 1

割込みB

0 0 0 1 1 1 1

プロセス2

- 割り込み込みフラグを0に
- 現在の割込み情報を退避
- プロセス情報を退避

割込み情報
退避領域

プロセス情報
退避領域

割込み処理の流れ

割込みフラグ

1

割込みマスク

0	0	0	1	1	1	1	1
---	---	---	---	---	---	---	---

現在の割込み = 割込みB

0	0	0	1	1	1	1	1
---	---	---	---	---	---	---	---

割込みB

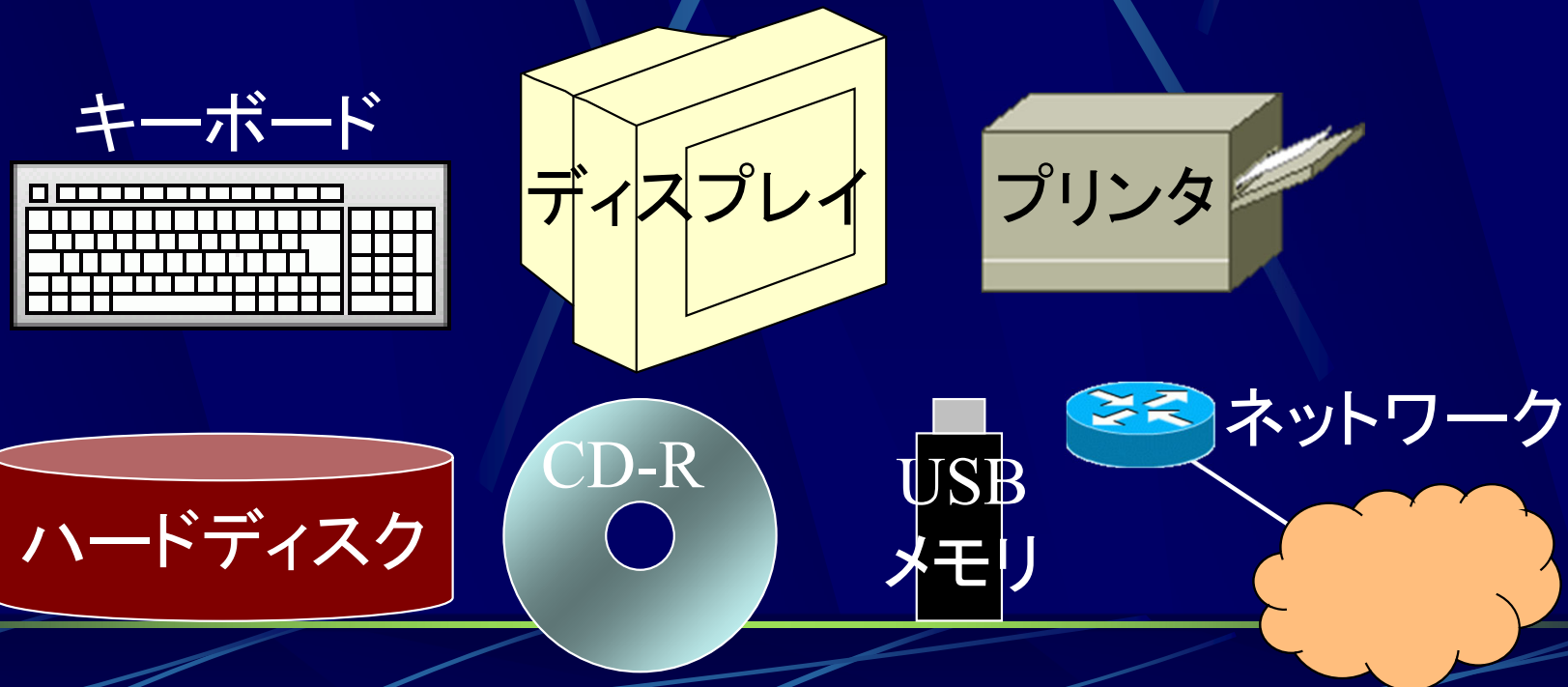
0	0	0	1	1	1	1	1
---	---	---	---	---	---	---	---

- 割込みマスクを設定
- 割込みフラグを1に
- 割込み処理

入出力制御(input/output control)

- 入出力制御

- 入出力装置に対する入出力操作
 - ディスク, ディスプレイ, キーボード, マウス, ...



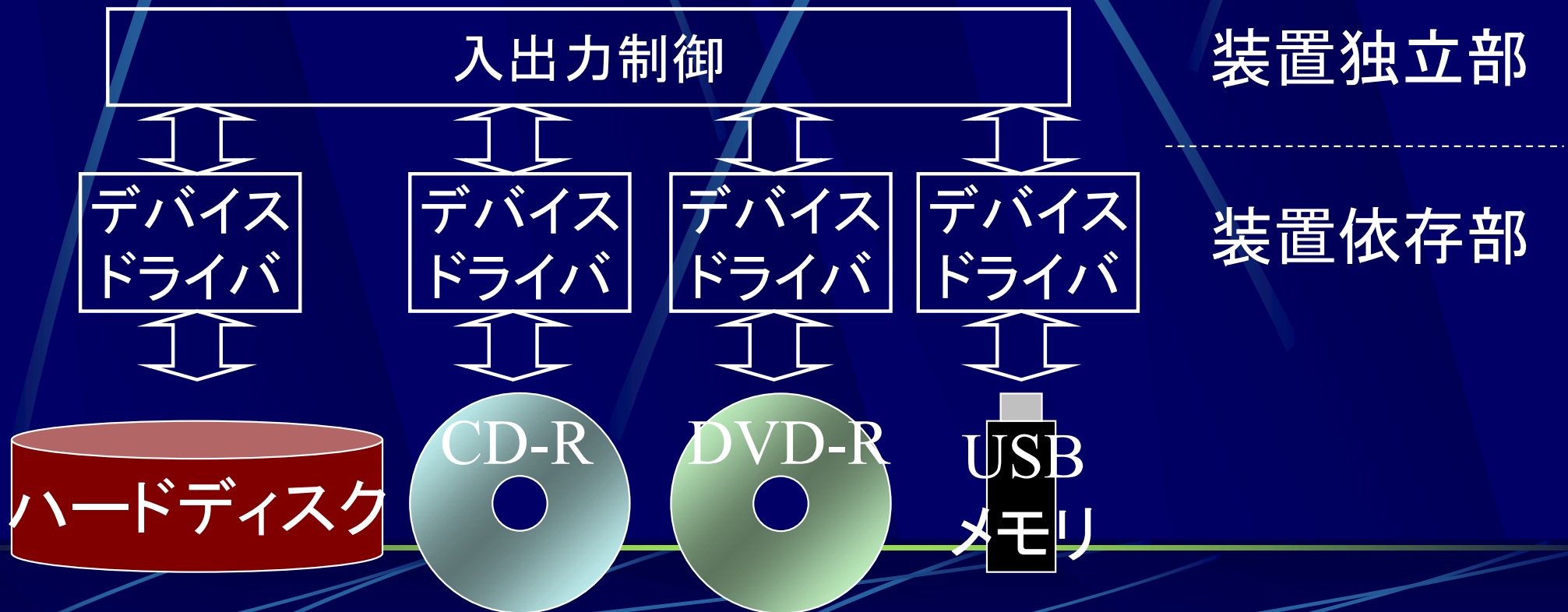
入出力装置(input/output device)

- 入出力装置

- ブロック型デバイス(block device)
 - ブロック単位でランダムアクセス
 - ハードディスク, USBメモリ, CD-ROM等
- 文字型デバイス(character device)
 - 文字単位で逐次アクセス
 - 端末, ネットワークデバイス等

デバイスドライバ(device driver)

- デバイスドライバ
 - 装置固有処理用ソフトウェア



デバイスとアクセス方式

- テープ型デバイス
 - 逐次アクセス方式(sequential access)
 - 先頭から末尾に向かってアクセス
- ディスク型デバイス
 - 直接アクセス方式(random access)
 - 任意の記憶場所をアクセス可能
- 非ディスク型デバイス
 - 直接アクセス方式

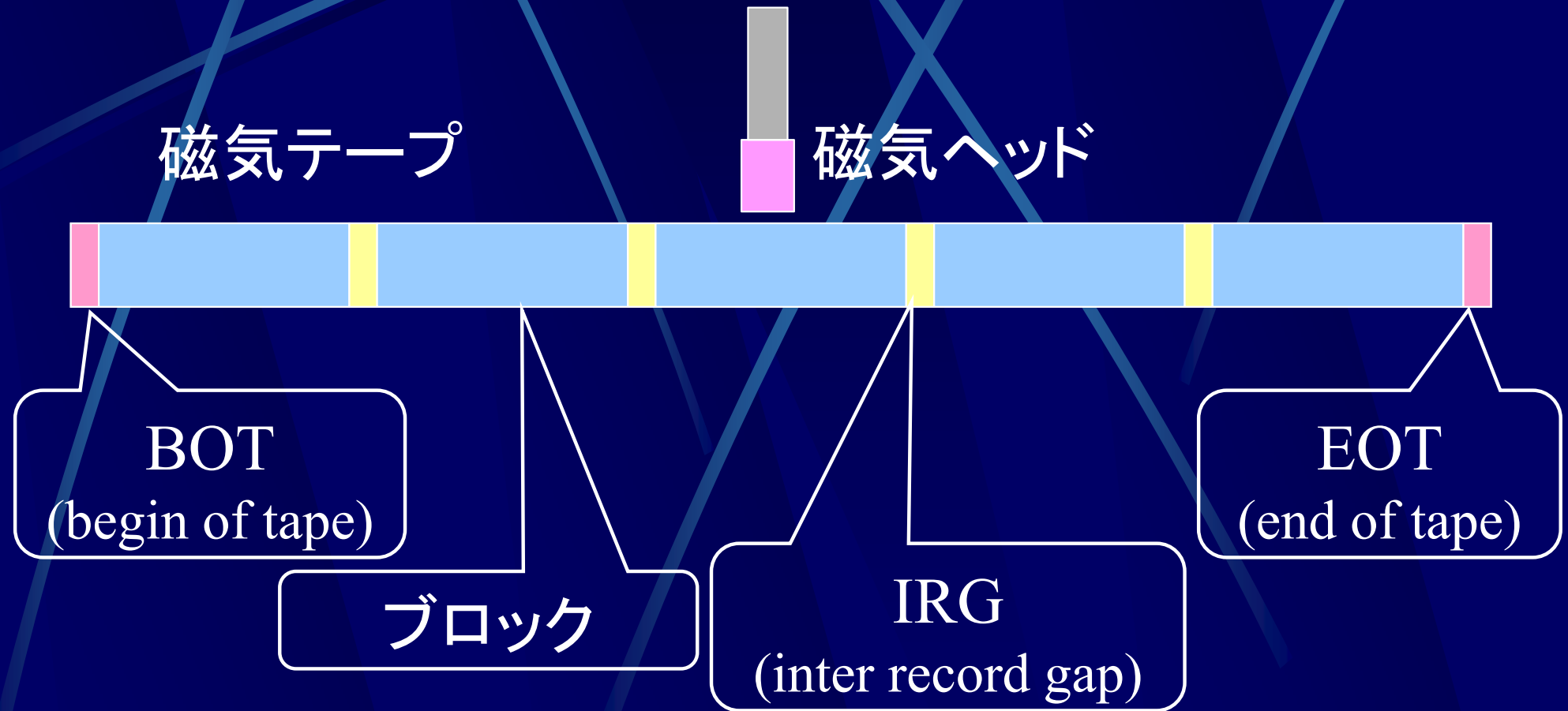
テープ型デバイス

- 磁気テープ

- オープンリール
- CMT (Cartridge Magnetic Tape)
- DLT (Digital Linear Tape)
- LTO (Linear Tape-Open Ultrium)
- QIC (Quarter Inch Cartridge)
- Exabyte
- DDS (Digital Data Storage)



テープ上のデータ配置



テープ上のデータ配置



ブロックはテープ上に斜めに配置

- 短いテープ, 遅い回転数でも多くのデータを格納可能

磁気テープの特性

- 磁気テープの特性
 - データの並びは1次元
 - 連続的にデータを読み出す
 - 特定のファイルにアクセスする場合、テープの先頭から順に見ていかねばならない
- テープにおいて可能な処理
 - 磁気ヘッドの位置のブロックに読み書き
 - テープの先頭(BOT)まで巻き戻し
 - ファイルの終わり(EOF)まで進める

ディスク型デバイス

- 磁気ディスク

- FD (Floppy Disk)
- HD (Hard Disk)



- 光磁気ディスク

- MO (Magneto Optical Disk)

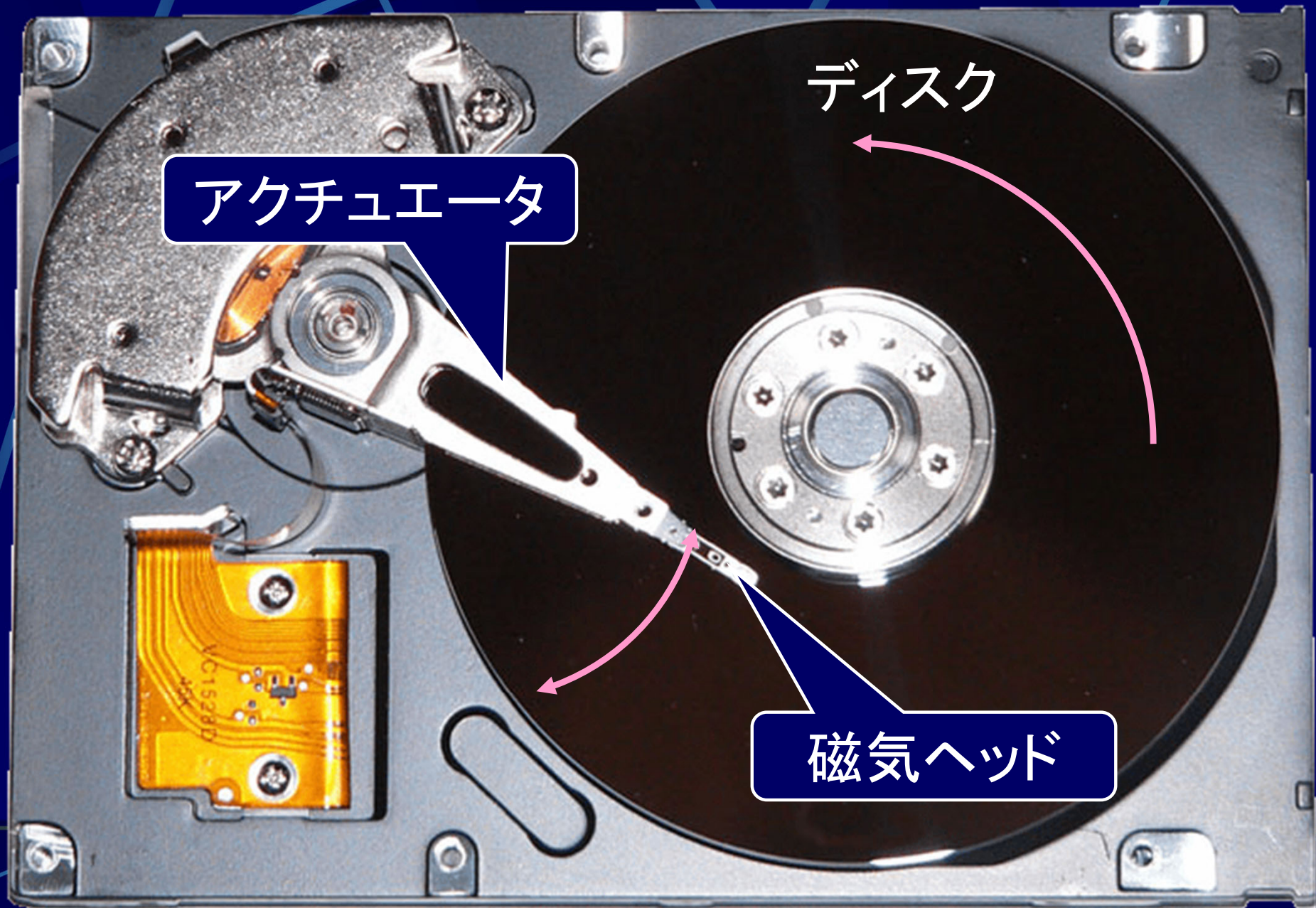


- 光ディスク

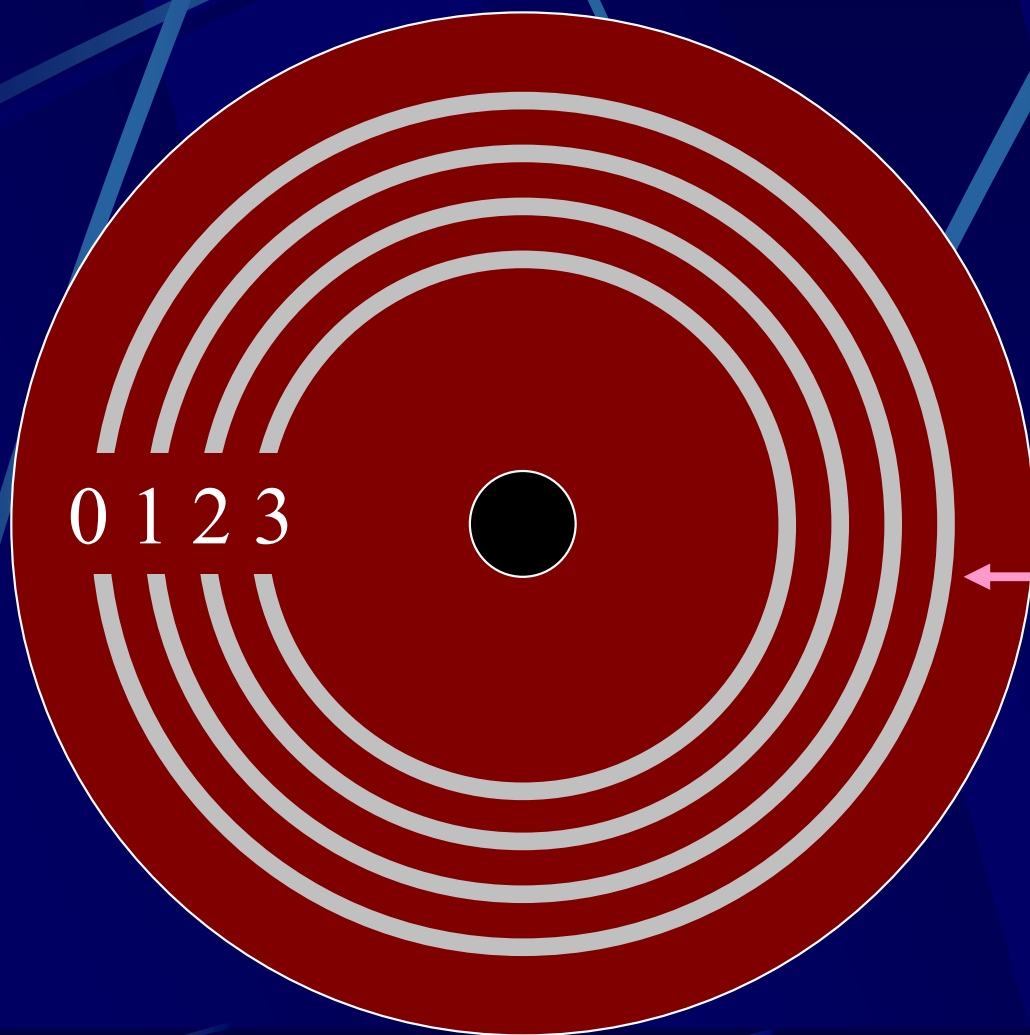
- CD (Compact Disk)
- DVD (Digital Versatile Disk)
- BD (Blu-ray Disk)



ハードディスク



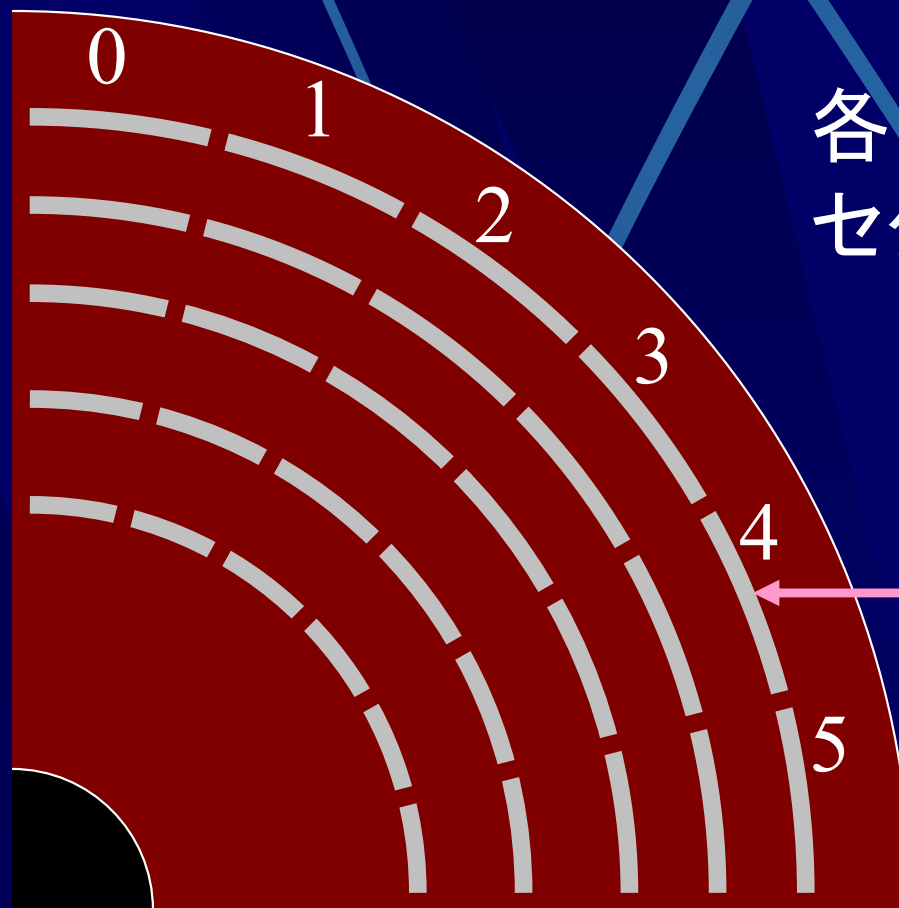
ディスク上のデータ配置



データはディスク上に
同心円状に配置

← トラック(track)

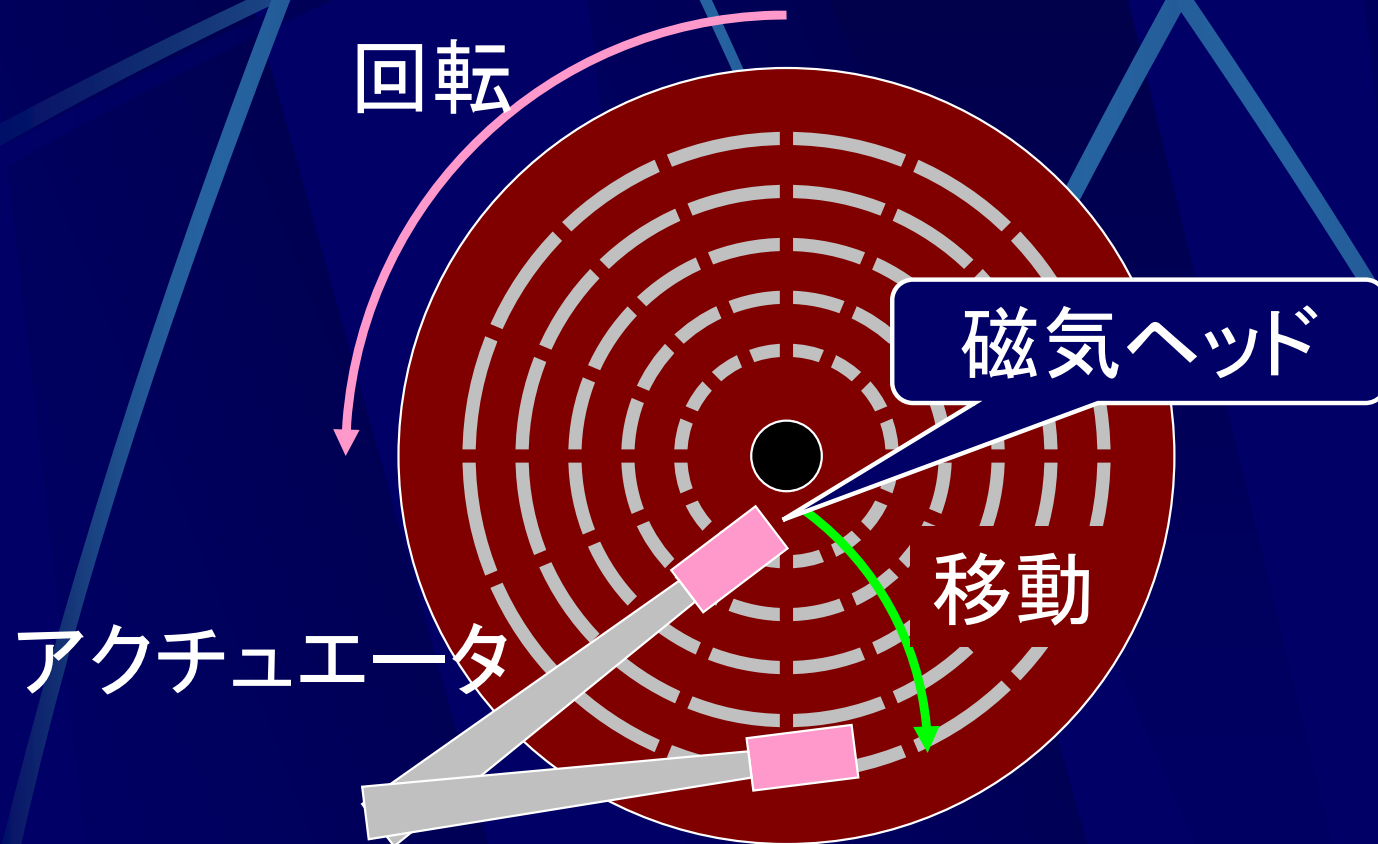
ディスク上のデータ配置



各トラックは
セクタに分割

セクタ(sector)

ディスクへのアクセス



アクチュエータが移動：異なるトラックへ
ディスクが回転：異なるセクタへ

ディスク上のデータ配置

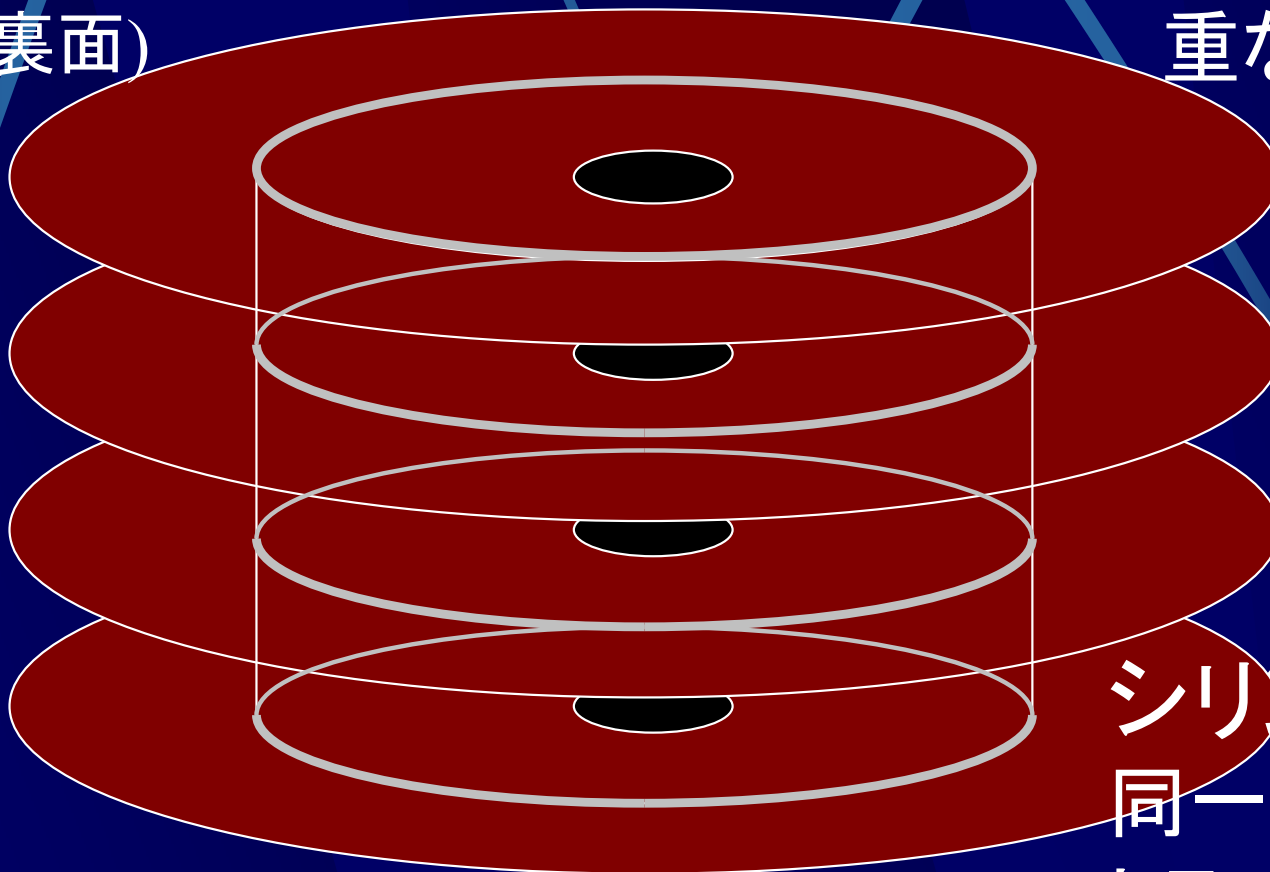
ヘッド番号
(表面/裏面)

0 / 1

2 / 3

4 / 5

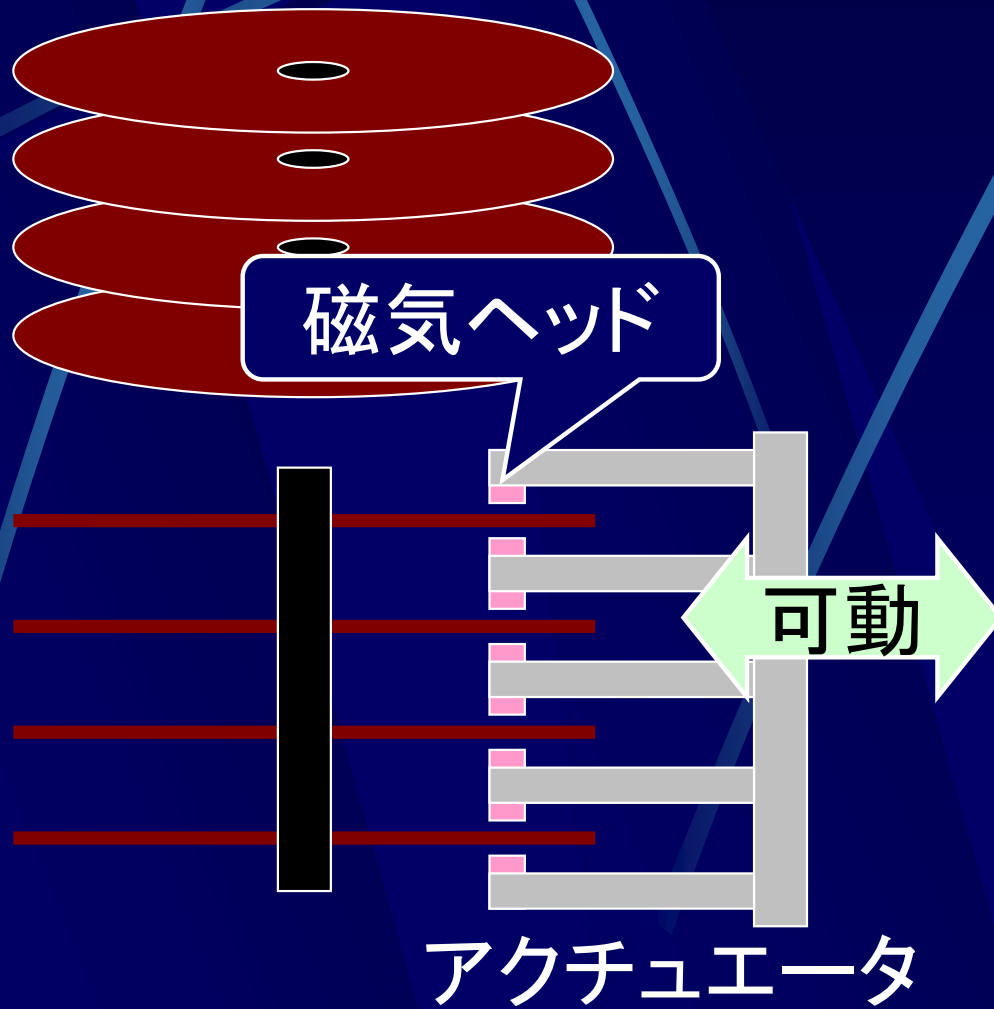
6 / 7



複数のディスクが
重なって配置

シリンダ (cylinder)
同一トラック番号の
トラックの集合

ディスクへのアクセス

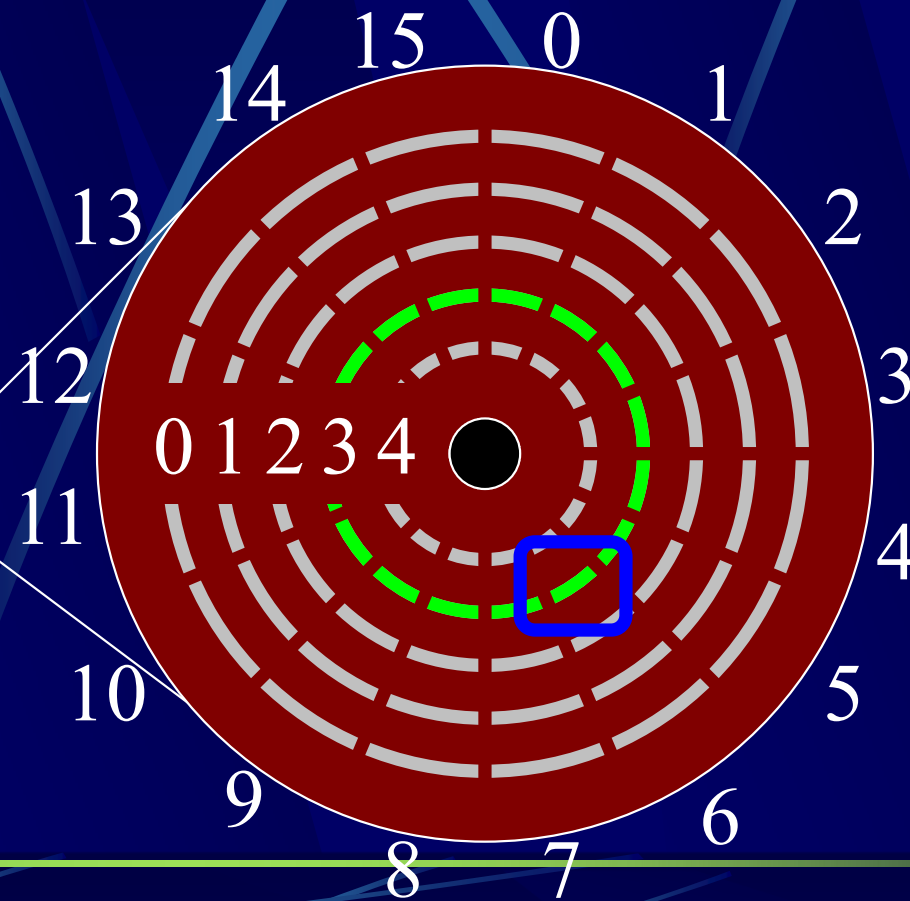
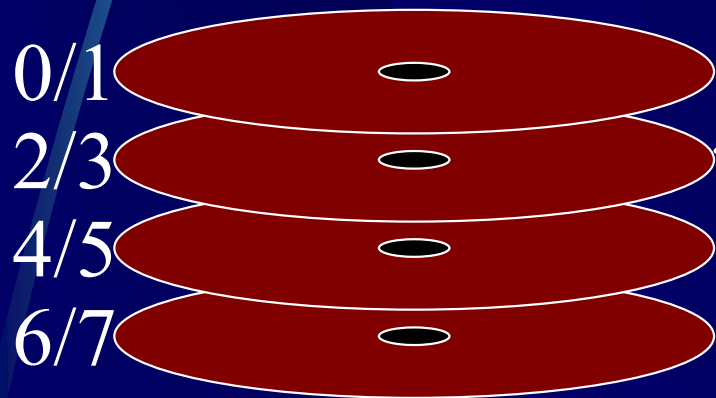


アクチュエータが
左右に動くと
異なるシリンダに
読み書き可能

ディスクへのアクセス

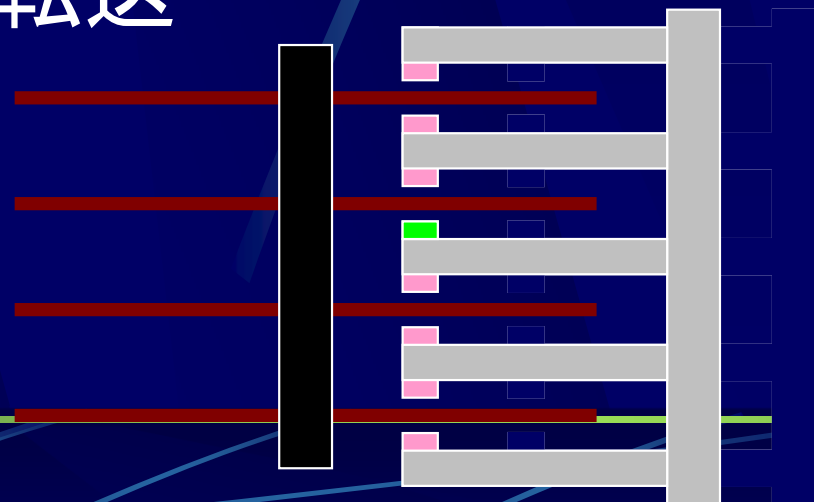
- ディスクへのアクセス
 - (ヘッド, トラック, セクタ)でアドレス指定

例 (2, 3, 6)番地

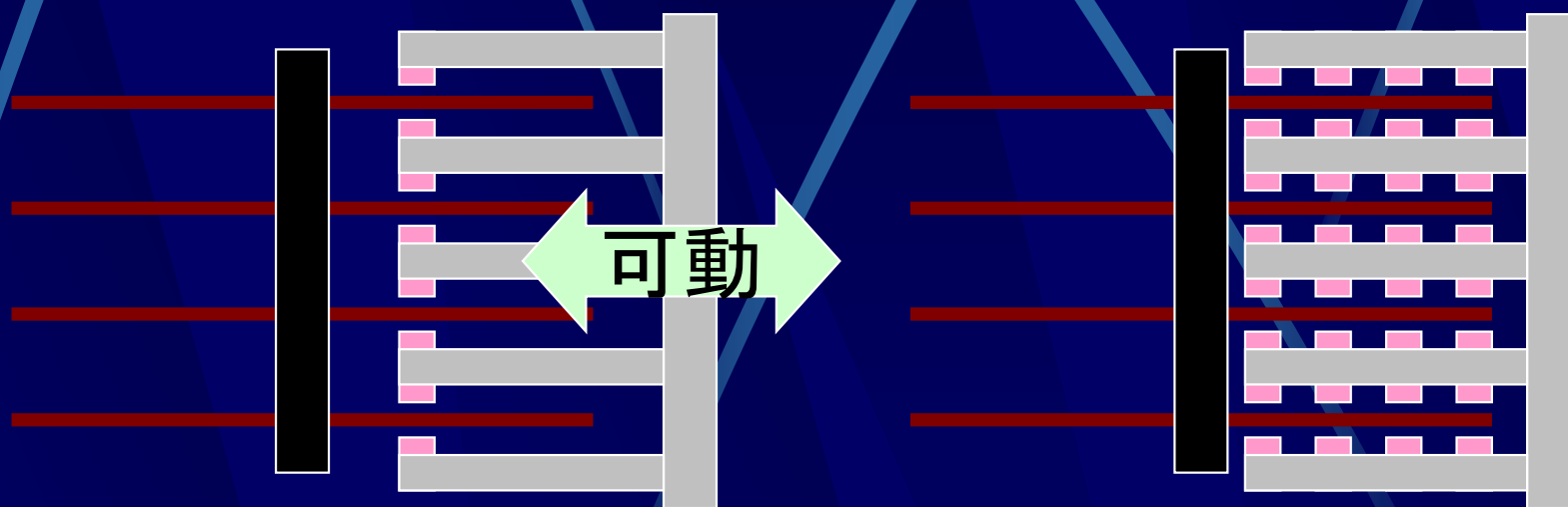


ディスクへのアクセス

1. シーク(seek)
 - ヘッドを適切なシリンダへ移動
2. 適切なヘッドに電子的に切り替え
3. 適切なセクタが来るまでディスクを回転
4. データ転送



ディスクへのアクセス



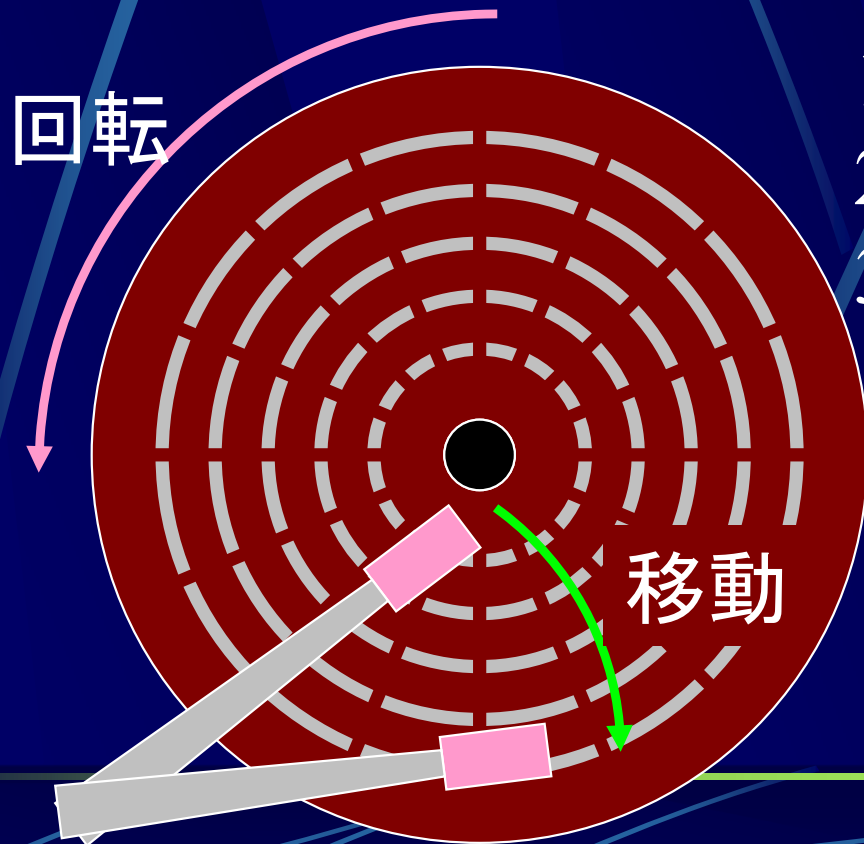
可動ヘッドアクチュレータ 固定ヘッドアクチュレータ

低価格

シーク時間無し

アクセス時間(access time)

1. シーク(seek)
2. 適切なヘッドに電子的に切り替え
3. 適切なセクタが来るまでディスクを回転

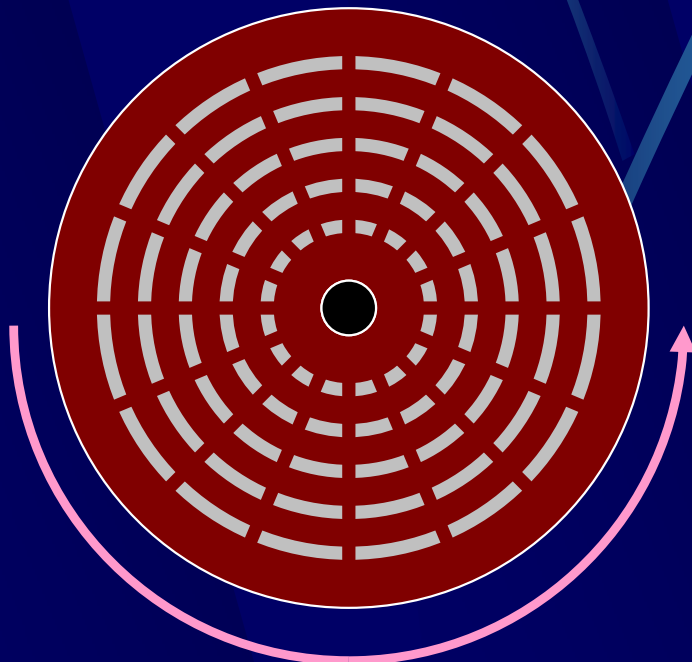


1. シーク時間(seek time)
2. 遅延無し
3. 回転遅延時間(latency time)

アクセス時間(access time)
= シーク時間
+ 回転遅延時間

回転遅延時間(latency time)

- 最長回転遅延時間
 - ディスク1回転にかかる時間
- 平均回転遅延時間
 - ディスク半回転にかかる時間



例：4000回転/分

$$\frac{60}{4000} = 15 \times 10^{-3}$$

最長 15 ms
平均 7.5 ms

平均回転遅延時間

ディスク動作時間

ディスク動作時間		
アクセス時間		転送時間
シーク時間	回転遅延時間	
～30 ms	～10 ms	～5 ms
60%	30%	10%

シークは非常に遅い



ディスクスケジューリングが必要
(できるだけシーク時間を短くする)

ディスクスケジューリング

- 到着順
 - アクセス要求の到着順に処理
- 最短シーク順
 - シーク時間が短いシリンダから処理
- エレベータ順
 - ヘッドを1方向に動かして近いシリンダから処理し、端まで到達すると逆方向に同様の処理
- 回転位置の考慮

ディスクスケジューリング 到着順

- 到着順
 - アクセス要求が到着した順に処理
- 到着順の長所
 - 実装が簡単
- 到着順の短所
 - シーク時間が長い

ディスクスケジューリング 最短シーク順

- 最短シーク順

- 未処理の要求のうち、最もシーク時間が短いもの(=トラック番号が近いもの)を処理

例 : トラック番号 20 処理後

未処理要求 : 2, 5, 10, 17, 22, 26 $\Rightarrow$ 22 を処理

- 最短シーク順の長所

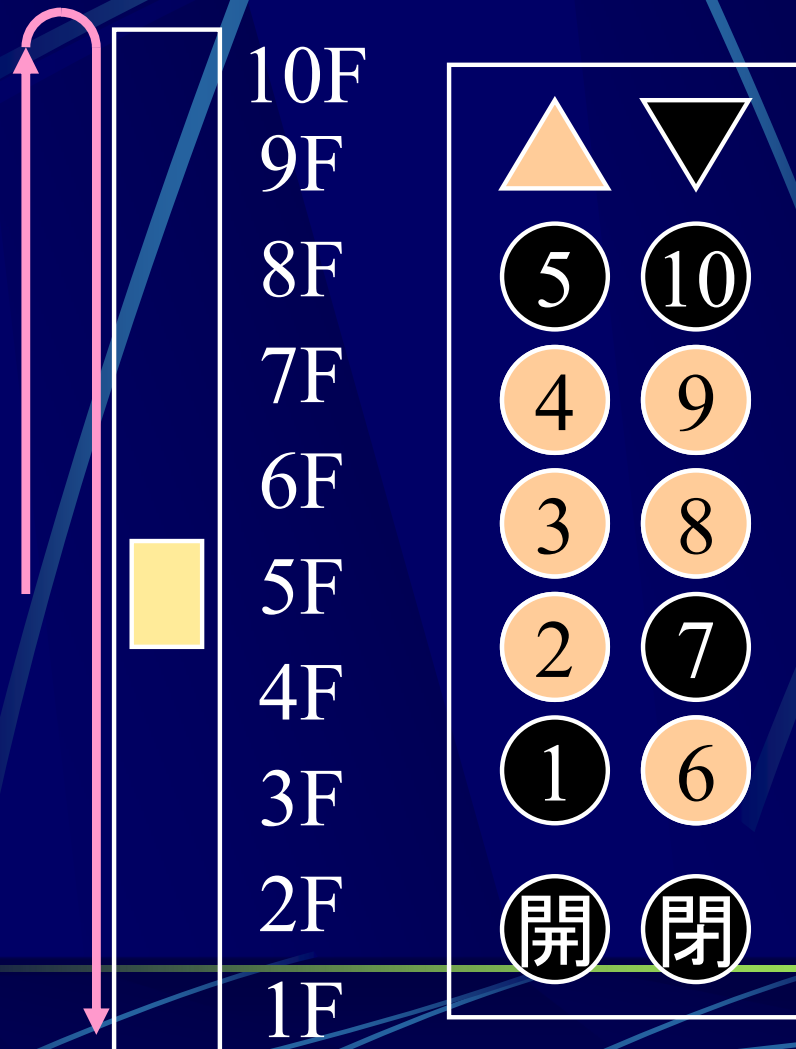
- 全体の実行時間が短い

- 最短シーク順の短所

- トラックの両端にある要求が処理されにくい

ディスクスケジューリング エレベータ順

● エレベータ順



6, 8, 9 の順に停止
その後 4, 3, 2 の順に停止

まず1方向に移動し
途中に要求があれば処理,
端まで行くと方向転換

ディスクスケジューリング エレベータ順

- エレベータ順

- まず1方向にのみ移動し,途中にある要求を処理,端まで到達すれば今度は逆方向に移動

例 : トラック番号 20 処理後

未処理要求 : 2, 5, 10, 17, 22, 26

降順に 17, 10, 5, 2 $\Rightarrow$ 22, 26 を処理

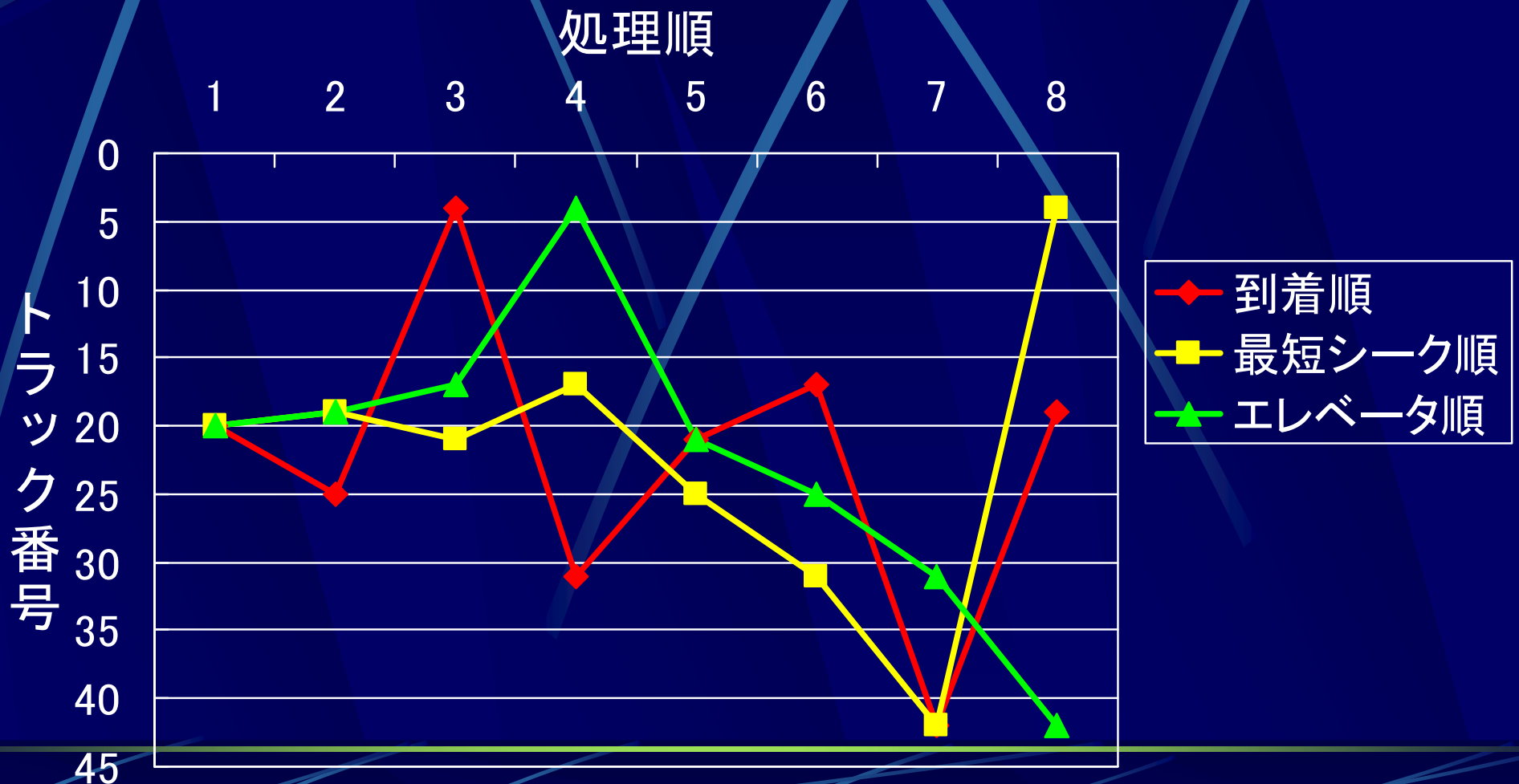
- エレベータ順の長所

- ヘッドが1往復する間に必ずアクセスされる

ディスクスケジューリング

例：現在トラック番号 20 処理中

アクセス要求が 25, 4, 31, 21, 17, 42, 19 の順に到着

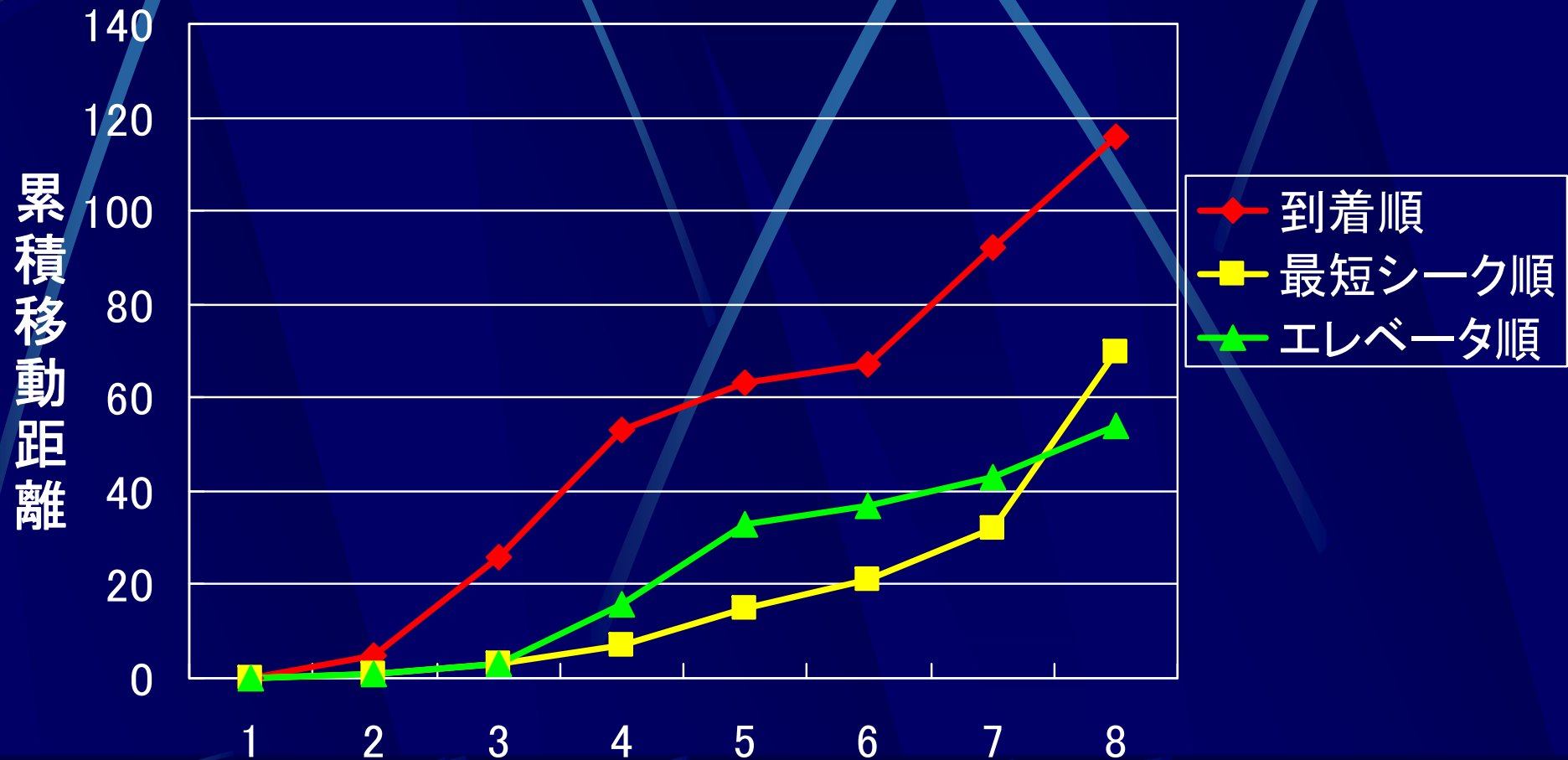


ディスクスケジューリング

ディスクスケジューリング

例：現在トラック番号 20 処理中

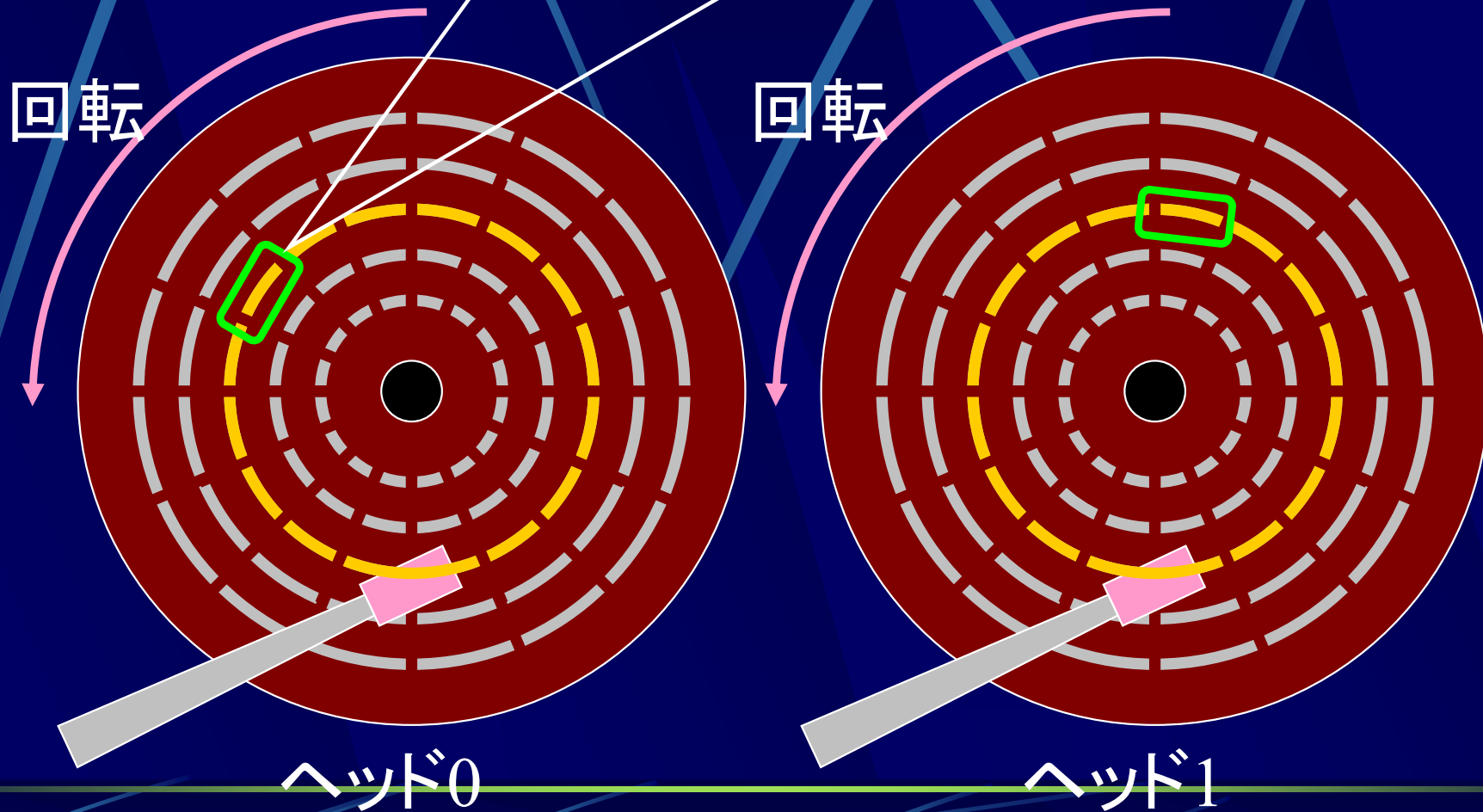
アクセス要求が 25, 4, 31, 21, 17, 42, 19 の順に到着



処理順 ディスクスケジューリング

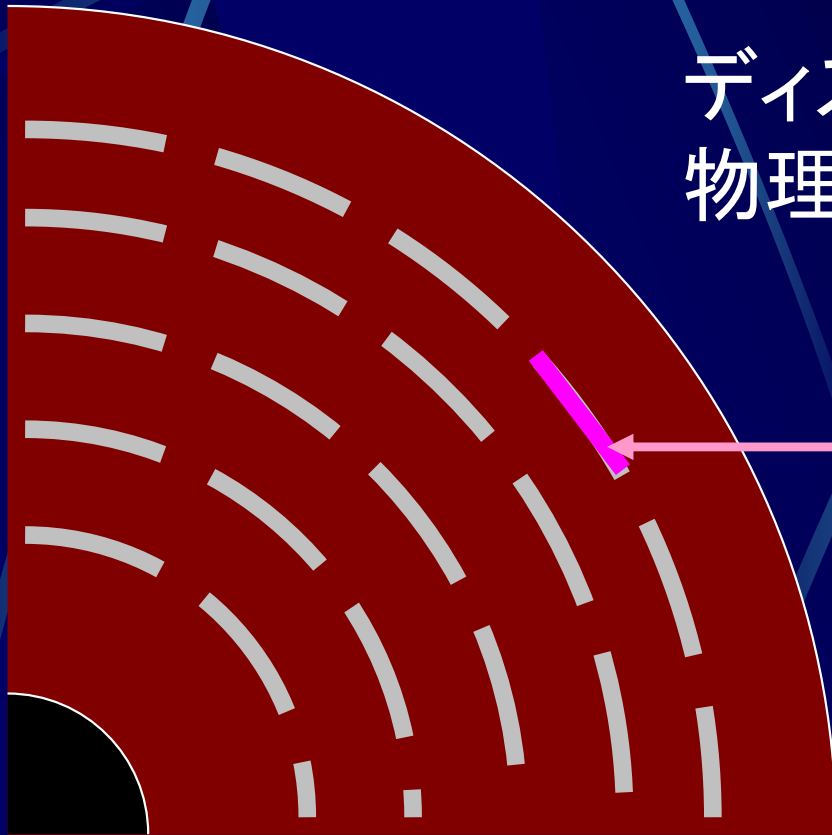
ディスクスケジューリング 回転位置の考慮

セクタが手前にある方を先に処理



物理セクタ

ディスクの外周部の方が長いので
物理セクタ数も多い



欠陥セクタ

傷等により読み書きできないセクタ

物理セクタ, 論理セクタ

- 物理セクタの欠点

- トラックによりセクタ数が異なる
- 欠陥セクタがある



論理セクタを用いる

- トラックごとのセクタ数を統一
- 欠陥セクタをスキップ

実記憶→仮想記憶 と同様

非ディスク型デバイス

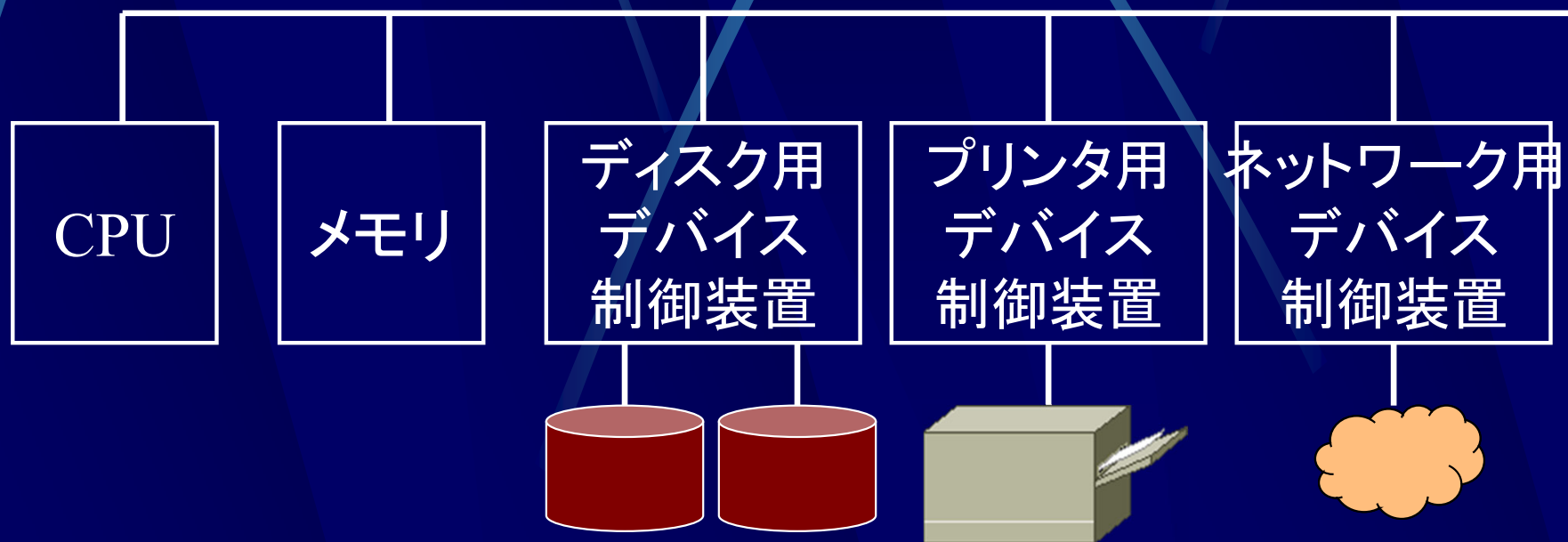
- 非ディスク型デバイス
 - フラッシュメモリ(flash memory)
 - 不揮発性メモリ
 - 電源を切っても消えない
 - ハードディスクに比べて
 - 動作音が小さい
 - 消費電力が小さい
 - 可動部が無く衝撃に強い



ハードディスクに取って代わりつつある

デバイス制御装置 (device controller)

- デバイス制御装置
 - 入出力装置-主記憶間のデータ転送を制御



装置管理ブロック

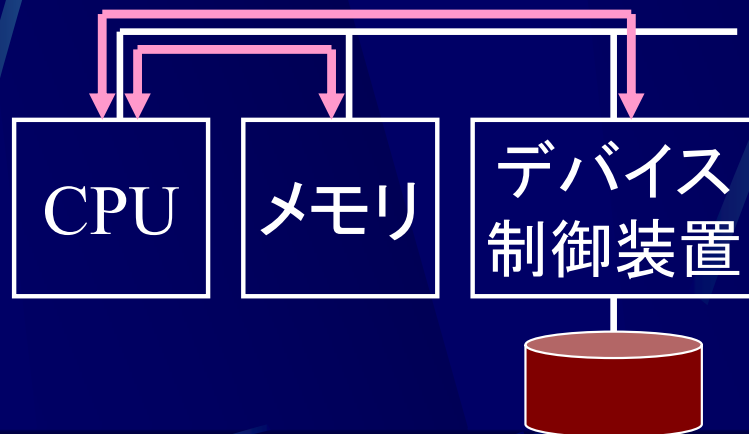
(device control block)

- 装置管理ブロック
 - 入出力装置の状態を管理
 - メモリのカーネル領域に作られる

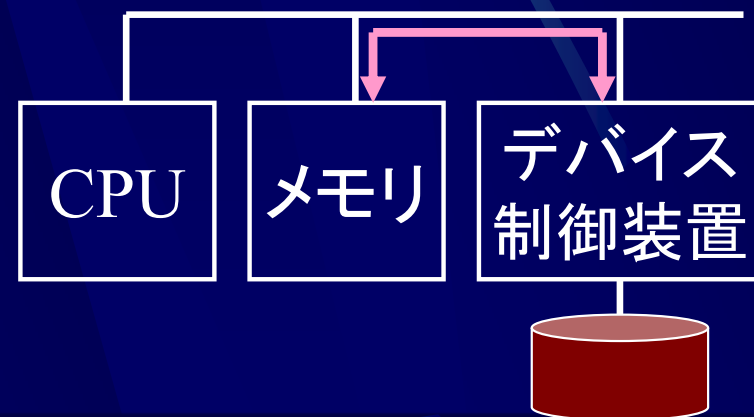
装置の識別子
装置の状態
装置の特性(記憶密度, 入力専用, 出力専用等)
入出力回数
入力要求ブロックのキュー先頭へのポインタ
入力要求ブロックのキュー末尾へのポインタ

メモリアクセス

- プログラム式入出力アクセス
 - CPUがデータ転送を制御
- 直接メモリアクセス
 - デバイス制御装置が直接メモリにアクセス



プログラム式入出力アクセス



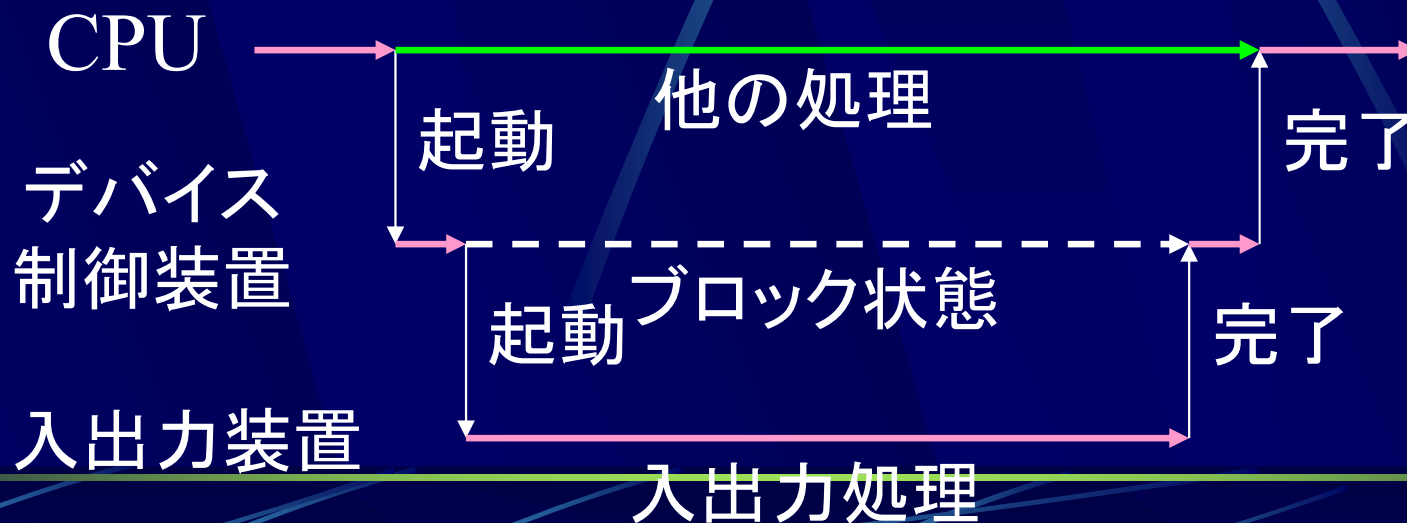
直接メモリアクセス

直接メモリアクセスの利点

- 直接メモリアクセスの利点
 - CPUがデータ転送を制御しなくていい



データ転送中もCPUは他の処理ができる



スプーリング(spooling)

入出力処理はCPU処理よりはるかに遅い

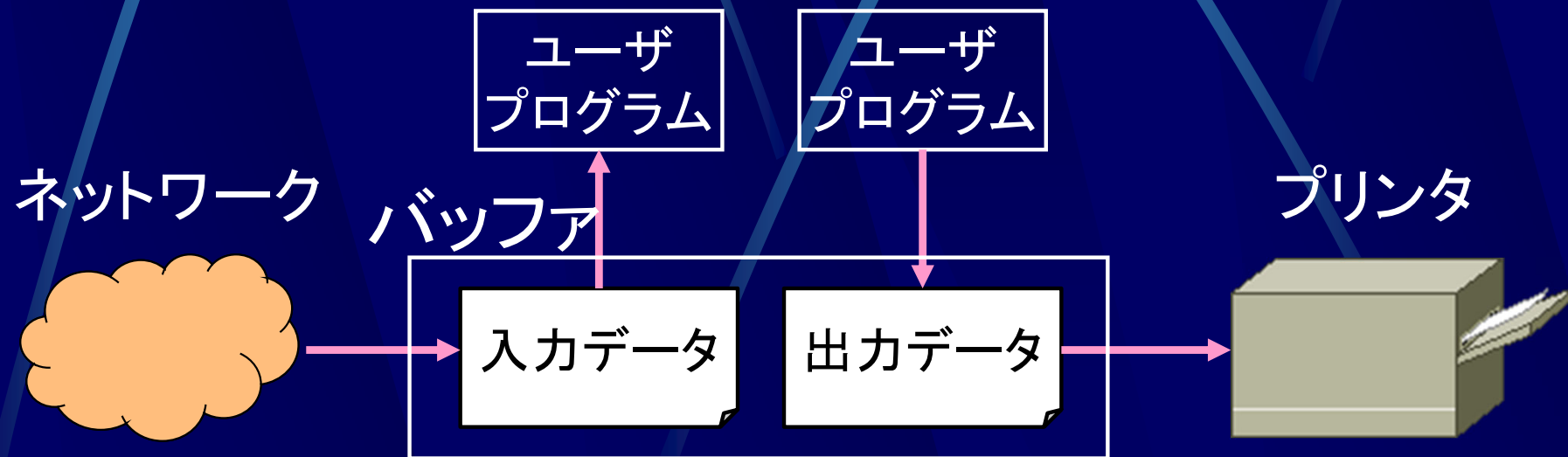


データを一旦バッファに蓄え、
CPUが入出力以外の
処理も行えるようにする

スプーリング

スプーリング(spooling)

- スプーリング(spooling)
 - 入出力時にデータを一旦バッファに蓄える



入力時: データが揃ってからプログラムに渡す

出力時: データを渡したら、出力を待たずに先に進む

まとめ：割り込み

- 割り込み
 - プログラム実行中に別の処理に制御を移す
- 外部割り込み
 - ハードエラー割り込み, 入出力割り込み等
- 内部割り込み
 - ソフトウェア割り込み, システムコール割り込み等
- 割り込みハンドラ
 - 割り込み処理を行うプログラム

まとめ：割込みの処理方式

- 割込みの処理方式
 - 単一割込み方式
 - 割込み中、他の全ての割込みを禁止する
 - 多重割込み方式
 - 割込み中にさらに他の割込みを可能にする
 - プロセス型割込み方式
 - 割込み処理の一部をサーバプロセスで処理

まとめ：割込みの制御

- 割込み制御
 - 割込みフラグ
 - 割り込みの可・不可を表す1ビットの情報
 - 割込みマスク
 - 割り込みの優先度を表す数ビットの情報

まとめ：記憶デバイス

- テープ型デバイス
 - 逐次アクセス方式
- ディスク型デバイス
 - 直接アクセス方式
- 非ディスク型デバイス
 - 直接アクセス方式

まとめ: ディスクへのアクセス

- ディスクへのアクセス
 - (ヘッド, トラック, セクタ)でアドレス指定
- ディスク動作時間
 - シーク時間 + 回転遅延時間 + 転送時間
- ディスクスケジューリング
 - 到着順
 - 最短シーク順
 - エレベータ順

まとめ：入出力装置

- 入出力制御
 - 入出力装置
 - ブロック型デバイス, 文字型デバイス
 - デバイス制御装置
 - メモリアクセス
 - プログラム式入出力アクセス, 直接メモリアクセス
 - スプーリング

期末テスト

- 試験日：1月23日(月)
- 試験時間：60分
- 試験範囲：第1～14回
- 配点：70点満点
- GoogleClassroom 上で行う