

24. 組み込みシステムに関する知識 I

1. 科目の概要

組み込みシステムの基本的な構造と活用方法、組み込みシステムを構成するハードウェア、ソフトウェア、OS など様々な要素の役割や特徴について解説する。

2. 習得ポイント

本科目の学習により習得することが期待されるポイントは以下の通り。

習得ポイント	説明	シラバスの対応コマ
I-24-1. 組み込みコンピュータシステム	組み込みコンピュータシステムとは何か、基本的な概念を説明する。組み込みコンピュータシステムにおけるハードウェア、ソフトウェア、ネットワークの全体的なアーキテクチャを解説する。	1
I-24-2. 組み込みシステムとOSSの関係、活用事例	組み込みシステムにおける数多くのOSS活用事例を紹介し、組み込みシステムの構築にOSSの活用が有効であることを説明する。また組み込みシステムにおけるOSS活用時の留意点についても解説する。	1
I-24-3. 組み込みシステムの制限と設計方法論	組み込みシステムにおいてはハードウェア、ソフトウェア、ネットワークのリソースが限られていることを示し、組み込みシステムにおける各種の制限について説明する。さらに、その条件下でうまくシステムを構築するための設計方法を解説する。	2
I-24-4. 組み込みコンピュータの要件	組み込みコンピュータの基本構成と特徴について述べ、組み込みコンピュータに求められる要件として、接続性、信頼性、効率性、移植性などがあることを示し、それらの内容について説明する。	3
I-24-5. 組み込みシステムのCPU、OS、ネットワーク機能	組み込みシステムに利用される代表的なCPU、OS、ネットワーク形態を紹介する。またそれらの特徴を解説し、組み込みシステム特有の課題や対応方法(低消費電力など)についても述べる。	3
I-24-6. 組み込みシステムにおけるハードウェアの基本構成	組み込みコンピュータハードウェアの基本構成と役割、特徴を説明する。中心となるCPUのアーキテクチャ、システムバスのアーキテクチャ、バスを介したデータのやりとりとCPUにおける演算処理の実際等について概説する。	4
I-24-7. 組み込み向けCPUのアーキテクチャ	組み込みコンピュータの中核となるCPU内部のアーキテクチャについて、詳細な説明を行う。また命令セットやメモリとの接続、メモリ管理方式等についても解説を加え、さらに、代表的な組み込み向けプロセッサのいくつかについて、そのアーキテクチャを紹介する。	5
I-24-8. 組み込み向けソフトウェアの基本	組み込み向けソフトウェアの役割と特徴を説明する。組み込み向けソフトウェア処理の基本として、タスクとスケジューリングを説明し、並行処理のアーキテクチャに関する基本的な方式とタスク管理方法などに関する話題にも触れる。	6
I-24-9. 組み込みOSカーネルの機能	組み込み向けOSのカーネルに関して、その機能と役割、特徴を解説する。組み込みOSカーネルに求められる機能や制御対象、タスク制御に関わる組み込み特有の問題、排他制御の必要性とその具体的な実装方法などを説明する。	7
I-24-10. リアルタイムシステムの処理方法と設計	組み込みシステムの特徴のひとつであるリアルタイム性について説明する。リアルタイムシステムが備える機能と、リアルタイム処理の特徴について説明し、さらに、アプリケーションのリアルタイム設計方法、時間制御と優先度といったトピックを紹介する。	8

【学習ガイダンスの使い方】

- 「習得ポイント」により、当該科目で習得することが期待される概念・知識の全体像を把握する。
- 「シラバス」、「IT 知識体系との対応関係」、「OSS モデルカリキュラム固有知識」をもとに、必要に応じて、従来の IT 教育プログラム等との相違を把握した上で、具体的な講義計画を考案する。
- 習得ポイント毎の「学習の要点」と「解説」を参考にして、講義で使用する教材等を準備する。

スキル区分	OSS モデルカリキュラムの科目	レベル
組み込み分野	24 組み込みシステムに関する知識 I	基本
習得ポイント	I-24-1. 組み込みコンピュータシステム	
対応する コースウェア	第1回（組み込みコンピュータシステムとは何か）	

I-24-1. 組み込みコンピュータシステム

組み込みコンピュータシステムとは何か、基本的な概念を説明する。組み込みコンピュータシステムにおけるハードウェア、ソフトウェア、ネットワークの全体的なアーキテクチャを解説する。

【学習の要点】

- * 組み込みコンピュータシステムは、コンピュータに処理を行わせることで、対象としている機器の利便性を高めるものである。
- * 組み込みコンピュータシステムの例として、飛行機に搭載される各種機器、携帯電話、オーディオ機器が挙げられる。今後、組み込みコンピュータシステムの活用される領域はさらに広がることが予想される。
- * 組み込みコンピュータシステムは、ボード(基盤)上に CPU、入出力デバイスなどのコンピュータ部品を配置しているハードウェア部分と、コンピュータシステムを制御するソフトウェア部分からなる。

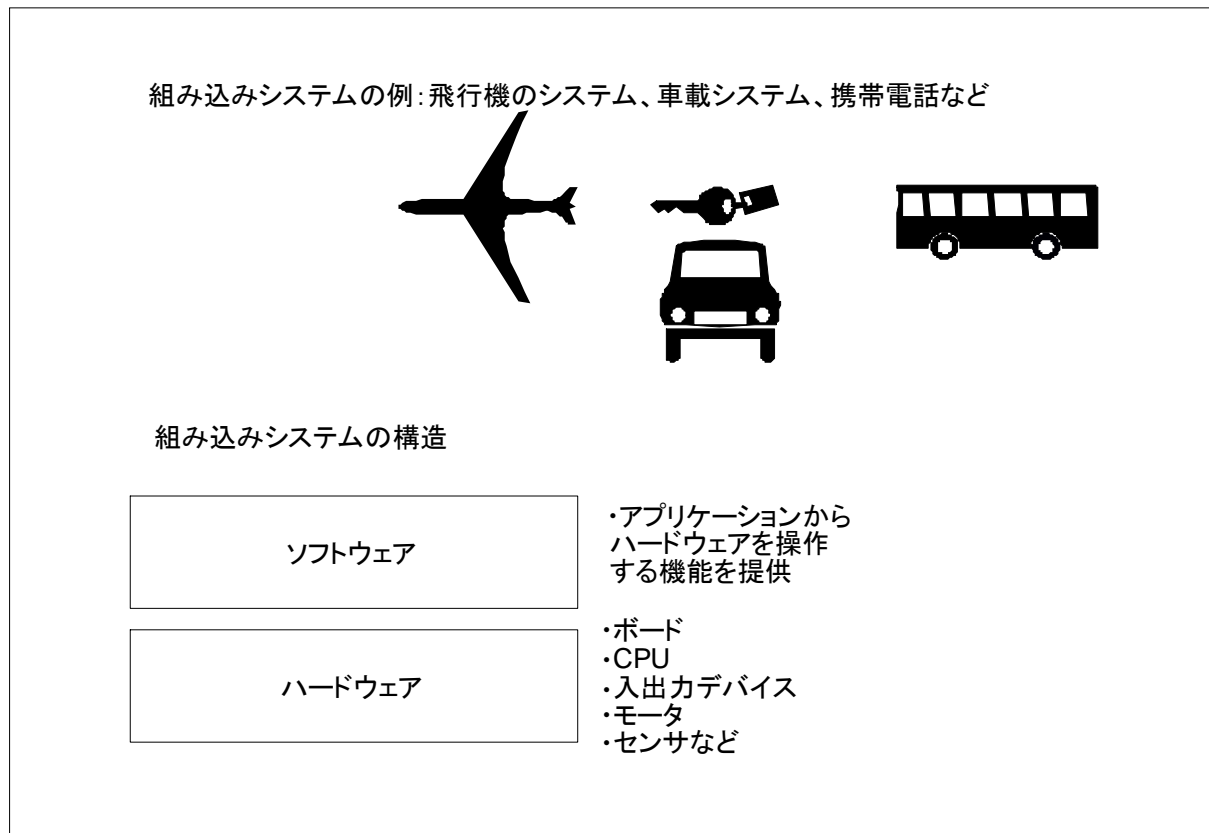


図 I-24-1. 組み込みシステムの例と構造

【解説】

1) 組み込みコンピュータシステムとは

- * 組み込みコンピュータシステムは、コンピュータに処理を行わせることで、対象としている機器の利便性を高めるものである。
- * 組み込みコンピュータシステムの活用例
人工衛星、飛行機、自動車のような航空・運輸機器、携帯電話、テレビ、オーディオ機器のような家電機器に組み込まれるシステムなど、幅広い適用領域がある。
- * 組み込みコンピュータシステムのアーキテクチャ
 - 組み込みコンピュータシステムは、ハードウェア部分とソフトウェア部分からなる。
 - 組み込みコンピュータシステムにおけるハードウェア部分は、組み込みシステムを制御する機能を持ち、ボード(基盤)上に、CPU、入出力デバイスなどのコンピュータ部品を配置している。
 - 組み込みコンピュータシステムにおけるソフトウェア部分は、主にコンピュータシステムを制御し、アプリケーションからハードウェアを制御するための仕組みを提供する。

スキル区分	OSS モデルカリキュラムの科目	レベル
組み込み分野	24 組み込みシステムに関する知識 I	基本
習得ポイント	I-24-2. 組み込みシステムと OSS の関係、活用事例	
対応する コースウェア	第1回（組み込みコンピュータシステムとは何か）	

I-24-2. 組み込みシステムと OSS の関係、活用事例

組み込みシステムにおける数多くの OSS 活用事例を紹介し、組み込みシステムの構築に OSS の活用が有効であることを説明する。また組み込みシステムにおける OSS 活用時の留意点についても解説する。

【学習の要点】

- * 組み込みシステムにおいて、数多くの OSS が活用されている事例が存在する。
- * オープンソース組み込み OS として、Linux、T-Kernel、eCos、TOPPERS/OSEK が著名であり、携帯電話や薄型テレビなどでの実績を多く持つ。また組み込み DB として Oracle Berkeley DB、SQLite などが利用できる。
- * OSS を活用した組み込みコンピュータアーキテクチャの事例として、ユビキタスセンサシステム、ネットワークコントロールシステムなどが挙げられる。
- * 組み込みシステムにおける OSS 活用時には、サポートや、再配布・改変の際のライセンス形態に留意する必要がある。

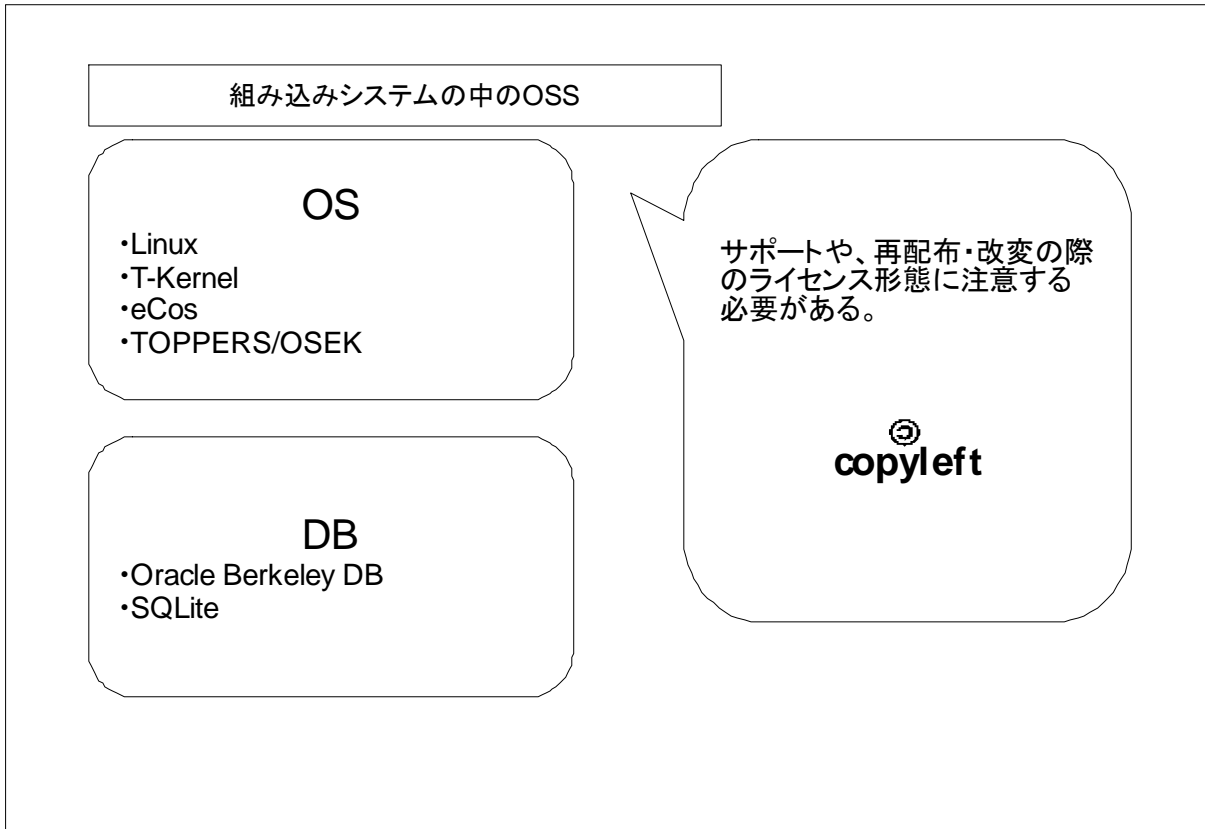


図 I-24-2. 組み込みシステムの中の OSS

【解説】

1) 組み込みコンピュータシステムと OSS の関係

* OSS の必要性

- 従来、組み込みシステムにはメーカーが独自に開発した OS を採用することが多かった。
- 現在は、CPU 性能の向上に伴い、Linux のような汎用 OS を修正して採用するケースが増えている。
- 開発・保守コスト、互換性、カスタマイズ性などの観点から OSS の組み込み OS の重要性が増している。

* OSS の OS・DBMS

- オープンソース組み込み OS として、Linux、T-Kernel、eCos、TOPPERS/OSEK が著名であり、携帯電話や薄型テレビなどでの実績を多く持つ。
- オープンソース組み込み DB として Oracle Berkeley DB、SQLite などが利用できる。

* OSS の活用事例

- ユビキタスセンサシステム、ネットワークコントロールシステムなどが挙げられる。

* OSS 活用時の留意点

- 組み込みシステムにおける OSS 活用時には、サポートや、再配布・改変の際のライセンス形態に留意する必要がある。

スキル区分	OSS モデルカリキュラムの科目	レベル
組み込み分野	24 組み込みシステムに関する知識 I	基本
習得ポイント	I-24-3. 組み込みシステムの制限と設計方法論	
対応する コースウェア	第 2 回 (組み込みコンピュータのアーキテクチャ)	

I-24-3. 組み込みシステムの制限と設計方法論

組み込みシステムにおいてはハードウェア、ソフトウェア、ネットワークのリソースが限られていることを示し、組み込みシステムにおける各種の制限について説明する。さらに、その条件下でうまくシステムを構築するための設計方法を解説する。

【学習の要点】

- * 組み込みシステムには厳しい信頼性が要求される。しかし、ハードウェアは厳しいコスト要求に合わせて、コンピュータ能力は製品要求を満たす最低限にまで引き下げる必要がある。また、消費電力などの様々な要求に応じて使われるハードウェア部品は多種多様になる。
- * ハードウェアを制御するソフトウェアも同様に多種多様な機能を求められる。必要最低限のコンピュータ資源しか与えられない状況下で要求を満たす最善のパフォーマンスを出すことが要求される。
- * システム設計では、要求仕様から機能設計を導き出し、機能設計を実現するための概要設計を行う。機能設計の各要件をハードウェアとソフトウェアでどのように実現するかといった要求の振り分けや CPU の選定が行われる。

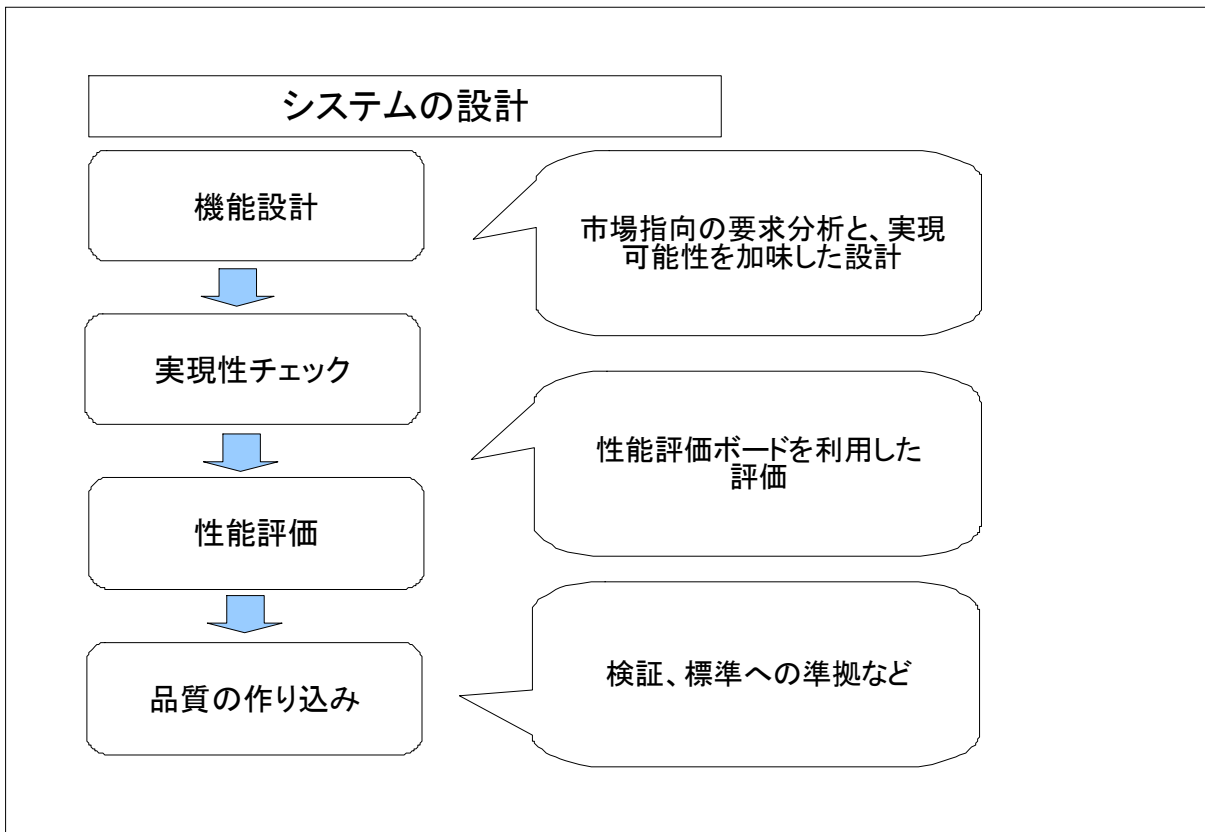


図 I-24-3. 組み込みシステムの設計手順

【解説】

1) 組み込みコンピュータシステムの設計の考え方

多種多様のハードウェアを使うことが要求され、ソフトウェアへの要求も多岐にわたる。しかし、コストへの要求などから必要最低限の資源しか与えられないことが多く、ハードウェア、ソフトウェア、ネットワークの利用には制限がかかる。

* ハードウェアの制限

- コストや電力消費を抑えるために、通常は必要最低限のハードウェア性能しか利用できない。
- 特に大量生産を行う場合には、制限が厳しくなる。

* ソフトウェアの制限

- 汎用系のシステムと違い、OS の機能に制限が加わることがしばしばある。
- 例えばウィンドウシステム、アイルシステム、通信システムなどが無いという条件で開発する場合もある。
- また、データベースなどのミドルウェアも同様に常にあるとは限らない。

2) 組み込みコンピュータシステムの設計方法の概要

システムの設計段階では、設計基準に基づくシステムの概念設計を行う。

* 機能設計

- 市場重視(ニーズ指向)の要求仕様を導き出す。
- 実現可能性を考慮した設計を行う(シーズ指向)。

* 実現性チェック

- 機能設計の各要件をハードウェアとソフトウェアでどのように実現するかといった要求の振り分けや CPU の選定が行われる。

* 性能評価

- 半導体メーカーなどから提供される評価用のコンピュータシステムを用いて CPU や入出力の性能評価を行う。この評価用コンピュータシステムを特に評価ボード(エバボード、Evaluation Board)と呼ぶ。

* 品質の作りこみ

- 検証仕様を作成する工程の準備をする。
- 標準規格に準拠する計画の策定をする。

スキル区分	OSS モデルカリキュラムの科目	レベル
組み込み分野	24 組み込みシステムに関する知識 I	基本
習得ポイント	I-24-4. 組み込みコンピュータの要件	
対応する コースウェア	第 3 回（組み込みシステムの基本構成）	

I-24-4. 組み込みコンピュータの要件

組み込みコンピュータの基本構成と特徴について述べ、組み込みコンピュータに求められる要件として、接続性、信頼性、効率性、移植性などがあることを示し、それらの内容について説明する。

【学習の要点】

- * 組み込みコンピュータの基本構成は、CPU、メモリ、操作ボタン・表示器などとの入出力インターフェイスであり、これらの間ではシステムバスを使って情報のやり取りをする。
- * 接続性の要求は、ネットワークを介したメンテナンス、情報更新、機能更新が組み込みシステムの情報機器化に伴い不可欠となることによる。
- * 信頼性の要求は、点検コストや問題による自主回収のコストを避けるために、メンテナンスを極力排する必要があることによる。
- * 効率性の要求は、リアルタイム処理により応答時間を一定範囲内にするというものである。
- * 移植性の要求は、短期間で開発や製品化が行われることに対応するため、ハードウェアやソフトウェアの再利用が必要ということである。

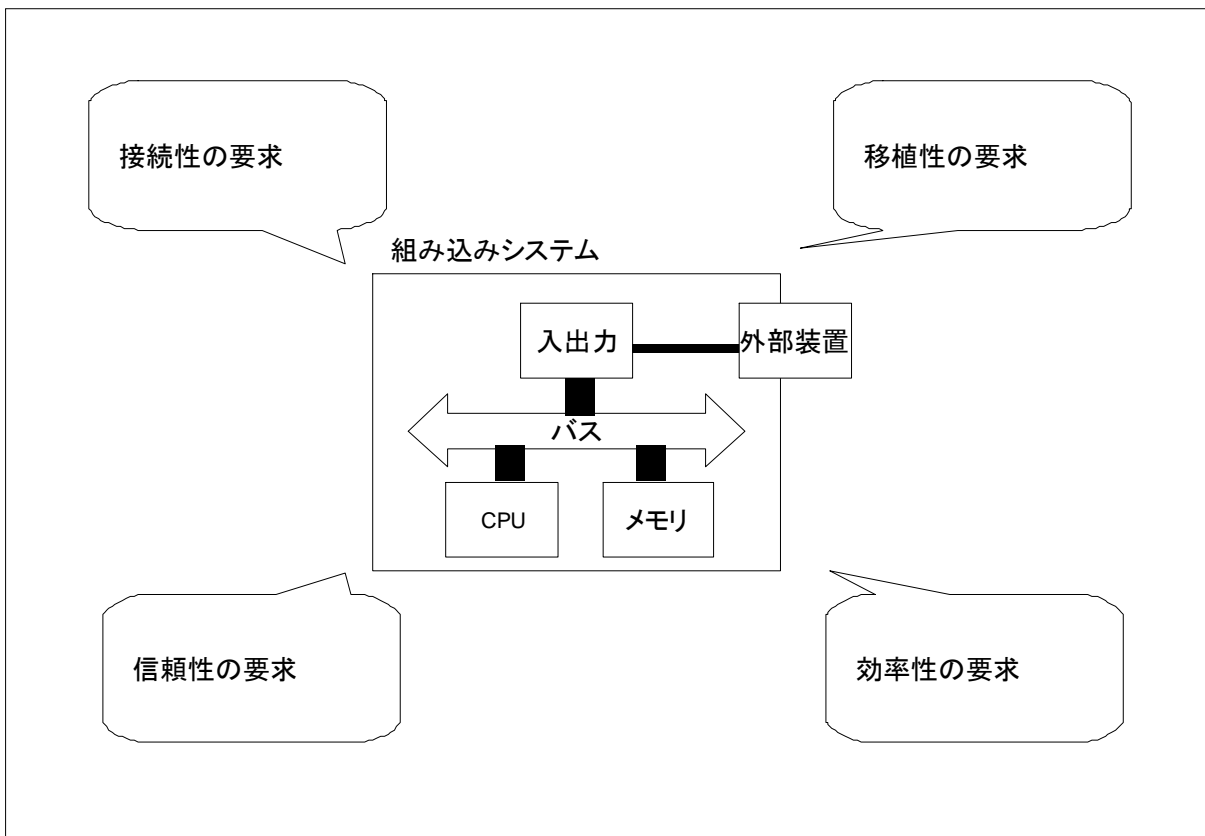


図 I-24-4. 組み込みコンピュータの要件

【解説】

1) 組み込みコンピュータハードウェアの特徴

- * 組み込みコンピュータの基本構成は、CPU、メモリ、操作ボタン・表示器などの入出力インターフェイスであり、これらの間ではシステムバスを使ってやり取りをする。
- * ハードウェアの組み合わせは目的に応じて多岐にわたる。たとえば、入出力機器として、ロボットなどを動かすモーターや、温度・照度・音声・磁力などを読み取るためのセンサなどが接続される。
- * 情報家電のネットワーク化などが進み、ネットワーク接続を要求される組み込みシステムが増えている。DLNA(Digital Living Network Alliance)や ZigBee(IEEE 802.15.4)などの進展も影響していくと考えられる。。

2) 組み込みコンピュータアーキテクチャの必要要件

組み込みコンピュータアーキテクチャには、接続性、信頼性、効率性、そして移植性という4つの要件がある。

- * 接続性
 - ネットワークを介したメンテナンス、情報更新、機能更新が組み込みシステムの情報機器化に伴い必要となる。
- * 信頼性
 - 点検コストや問題による自主回収のコストを避けるために、メンテナンスを極力排する必要がある。
- * 効率性
 - リアルタイム処理により応答時間を一定範囲内にする必要がある。
- * 移植性
 - 短期間で開発や製品化が行われることに対応するため、ハードウェアやソフトウェアの再利用が必要となる。

スキル区分	OSS モデルカリキュラムの科目	レベル
組み込み分野	24 組み込みシステムに関する知識 I	基本
習得ポイント	I-24-5. 組み込みシステムの CPU、OS、ネットワーク機能	
対応する コースウェア	第 3 回（組み込みシステムの基本構成）	

I-24-5. 組み込みシステムの CPU、OS、ネットワーク機能

組み込みシステムに利用される代表的な CPU、OS、ネットワーク形態を紹介する。またそれらの特徴を解説し、組み込みシステム特有の課題や対応方法(低消費電力など)についても述べる。

【学習の要点】

- * 組み込みシステムには多種多様な CPU、OS、ネットワーク形態が存在している。
- * CPU の代表例としては、ARM9、XScale、MIPS、SH、VR、MP、68000 が挙げられる。
- * OS の代表例としては ITRON 系、Linux、T-Kernel、VxWorks、Windows CE 系が挙げられる。
- * ネットワーク形態としては、有線による LAN、無線(赤外線、微弱無線)などを用い、接続インターフェイスはバス方式が代表的である。
- * 組み込みシステム特有の課題の代表例として、低消費電力への要求がある。CPU やメモリの省電力制御には PMU(Power Management Unit)が使用される。

CPUの代表例	<ul style="list-style-type: none"> ・ARM9 ・XScale ・MIPS ・SH ・VR ・MP ・68000
OSの代表例	<ul style="list-style-type: none"> ・ITRON系 ・Linux ・T-Kernel ・VxWorks(商用) ・Windows CE系(商用)
ネットワーク形態	<ul style="list-style-type: none"> ・有線によるLAN ・無線(赤外線、微弱無線) ・接続インターフェイスはバス方式が代表的

図 I-24-5. 代表的な組み込み向け CPU、OS、ネットワーク形態

【解説】

1) 代表的な組み込みシステムの CPU

- * ARM9(英国 ARM 社)
- * XScale(米国 Intel 社から米国 Marvell Technology Group に売却;2006 年)
- * MIPS(米国 MIPS Technologies 社)
- * SH(日立製作所からルネサステクノロジ社に分離、移管;2003 年)
- * VR(NEC 社)
- * 68000(米国 Motorola 社から Freescale Semiconductor 社に分離、移管;2004 年)

2) 組み込みシステム OS の要件

- * 組み込みシステムの OS の特徴的な機能
 - 複数のプロセスを並列に実行させる機能(マルチプロセス)
 - 複数のプロセスをスケジューリングし、必要に応じて優先的に CPU を使った処理を行う機能(リアルタイム処理)
- * 組み込みシステムの OS の役割と制約
 - 組み込みシステムでは、ROM や RAM のリソースに制約がある。
 - このため、OS の役割として求められるファイルシステム、日本語処理システム、通信制御システム、GUI、デバイスドライバは必要に応じて組み込まれる。
- * 代表的な組み込み OS
 - ITRON 実装系、Linux 系、BSD 系、Windows 系、T-Kernel、VxWorks、eCos など。

3) 組み込みシステムのネットワーク形態

- 組み込みシステムのネットワークとしては、LAN、無線(赤外線など)が用いられる。
- 接続インターフェイスとしては、はバス方式が代表的である。

4) 低消費電力

- 組み込みシステムはバッテリー駆動する状況をしばしば想定しているため、低消費電力への要求がある。
- CPU やメモリの省電力制御には PMU(Power Management Unit)が使用される。

スキル区分	OSS モデルカリキュラムの科目	レベル
組み込み分野	24 組み込みシステムに関する知識 I	基本
習得ポイント	I-24-6. 組み込みシステムにおけるハードウェアの基本構成	
対応する コースウェア	第 4 回(組み込みコンピュータハードウェアの基本)	

I-24-6. 組み込みシステムにおけるハードウェアの基本構成

組み込みコンピュータハードウェアの基本構成と役割、特徴を説明する。中心となる CPU のアーキテクチャ、システムバスのアーキテクチャ、バスを介したデータのやりとりと CPU における演算処理の実際等について概説する。

【学習の要点】

- * 組み込みハードウェアアーキテクチャを理解する上で CPU アーキテクチャとバスアーキテクチャの理解は不可欠である。CPU は処理機能の中心であり、バスは各種の LSI を有機的に接続し、各機能を果たさせる。
- * CPU は、算術論理演算ユニット(ALU: Arithmetic Logic Unit)などから構成される、プログラムを実行していくための処理機構である。
- * システムバスはアドレスバス、データバス、コントロールバスの 3 つのバスの総称である。アドレスバスはやり取りの対象を特定するものであり、データバスは実際のデータのやり取りを行うものである。また、コントロールバスは制御情報のやり取りに使われる。

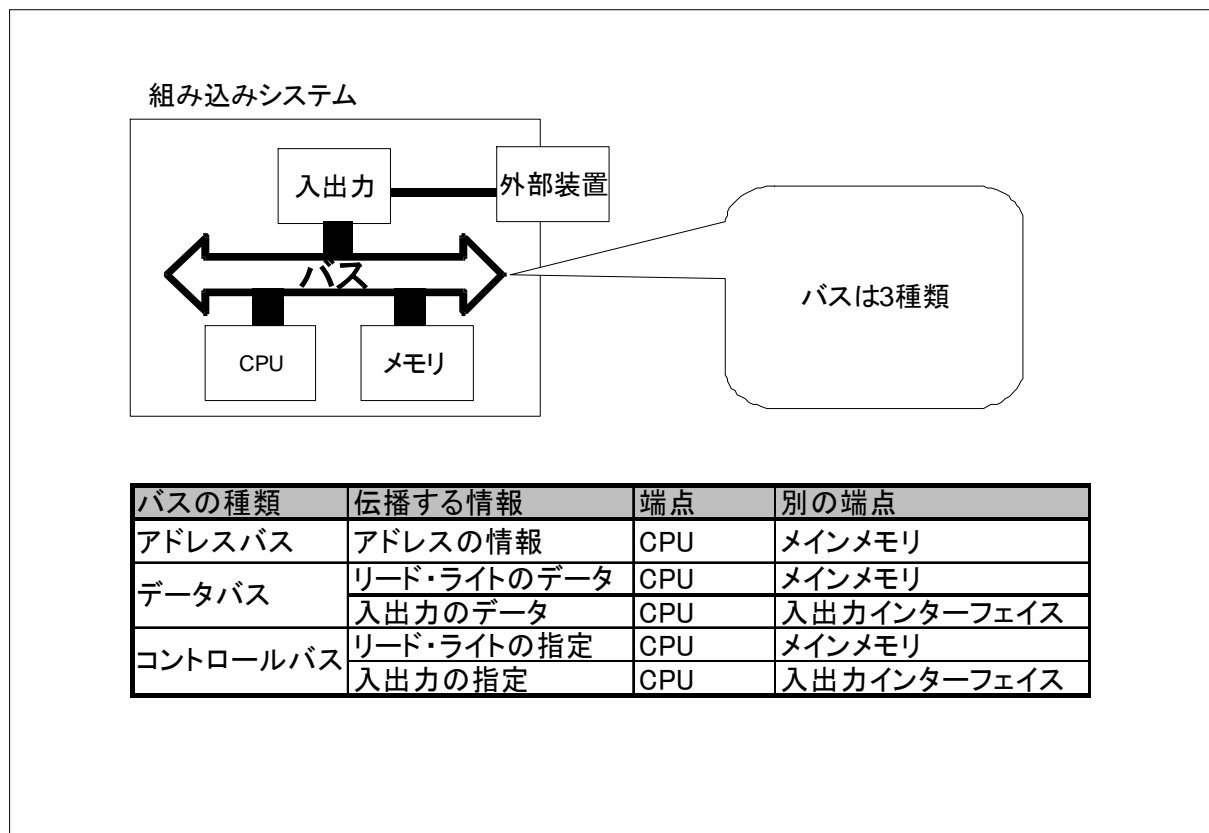


図 I-24-6. 組み込みシステムにおけるバス

【解説】

1) 組み込みハードウェアアーキテクチャの概要

CPU は処理機能の中心であり、バスは各種のコンピュータ部品を有機的に接続し、各機能を果たさせる。CPU はメモリ上の命令の読み込み、解釈、実行、の命令サイクルを繰り返している。

* CPU アーキテクチャの基礎

- シングルチップの組み込みコンピュータ

システム LSI では、ひとつの IC チップ上に CPU、RAM、ROM、および各種入出力装置などを搭載することで、基盤に載せる部品の数を減らしている。

- アーキテクチャ上の制約

基盤などの物理的なサイズの他、コストと発熱による制約を受ける。ROM および、RAM の容量が大きいほど価格が上がる。また CPU の動作クロック周波数が高いほど価格と発熱量が上がる。

* CPU 内部のアーキテクチャ

以下の 5 つの構成要素は多くの CPU で共通のものとされる。

- コントローラ

プロセッサの中心的な役割を担い、プログラムを実行していくための調整を行う。

- 算術論理演算ユニット(ALU: Arithmetic Logic Unit)

加算、減算、ビットシフトなどの演算を行う。

- 内部データ記憶装置

ALU の入出力データなどを保持する。

- 内部バス

プロセッサ内部の他のハードウェアユニットとの間で値を転送する。

- 外部インターフェイス

プロセッサ外部のコンピュータシステム部分との通信を処理する。

* バスアーキテクチャ

- 組み込みシステムの基盤上の LSI はシステムバスにより接続されている。

- システムバスはアドレスバス、データバス、コントロールバスの 3 つのバスの総称である。

- アドレスバスはやり取りの対象を特定するものであり、データバスは実際のデータのやり取りを行うものである。また、コントロールバスは制御情報のやり取りに使われる。

スキル区分	OSS モデルカリキュラムの科目	レベル
組み込み分野	24 組み込みシステムに関する知識 I	基本
習得ポイント	I-24-7. 組み込み向け CPU のアーキテクチャ	
対応する コースウェア	第 5 回 (CPU アーキテクチャの基本)	

I-24-7. 組み込み向け CPU のアーキテクチャ

組み込みコンピュータの中核となる CPU 内部のアーキテクチャについて、詳細な説明を行う。また命令セットやメモリとの接続、メモリ管理方式等についても解説を加え、さらに、代表的な組み込み向けプロセッサのいくつかについて、そのアーキテクチャを紹介する。

【学習の要点】

- * CPU はメモリ上の命令の読み込み、解釈、実行、の命令サイクルを繰り返している。
- * CPU には命令セットの性質によって CISC(Complex Instruction Set Computer)タイプと RISC(Reduced Instruction Set Computer)タイプとに分けられる。
- * CISC は比較的複雑な処理を行う命令セットも用意し、CPU で行う処理を増やすことによって、処理効率を上げるように設計されている。
- * RISC は複雑な処理をソフトウェアに任せ、シンプルな命令セットを用意することで命令サイクルの速度を高めるよう設計されている。組み込みシステムでは RISC を選択する場合が多い。

プロセッサの分類	説明
CISC	単独で複雑な計算を行う命令を複数用意している
RISC	全ての命令が1クロックで実行できるように設計されている

RISCが組み込み系では多い
例: ARM、MIPS、SH、IBM
Power PC

図 I-24-7. CISC と RISC

【解説】

1) CPU 内部のアーキテクチャと動作

- * CPU 内部のコントローラは以下の実行サイクルを繰り返す。
 - メモリから読み込んだ命令を命令レジスタに読み込む (Fetch)。
 - 命令を解釈する (Decode)。
 - 解釈した命令の処理に必要な信号を生成して、命令を実行する (Execute)。
- * 割り込み制御、I/O 制御方式
 - CPU には、演算エラーや周辺機器から入出力の処理要求が送られるなどした際に、実行中のプログラムを中断して事前に登録されたプログラムを呼び出す割り込み機構がある。
 - 割り込みが発生する際に、CPU は実行中のプログラムが扱っているデータなどをメモリ上に退避した後、割り込み処理を行う。
 - 割り込み処理を終了した後、退避していたデータを復帰させ、プログラムの実行を再開する。

2) 命令セットアーキテクチャ

- * 命令セット
 - ハードウェアの認識する演算群を命令セットと呼び、それぞれの演算を命令と呼ぶ。
- * CPU の選択基準
 - CPU には命令セットの性質によって CISC (Complex Instruction Set Computer) タイプと RISC (Reduced Instruction Set Computer) タイプとに分けられる。
 - CISC は比較的複雑な処理を行う命令セットも用意し、CPU で行う処理を増やすことによって、処理効率を上げるように設計されている。Intel 社の Pentium プロセッサなどで採用されている。
 - RISC は複雑な処理をソフトウェアに任せ、シンプルな命令セットを用意することで命令サイクルの速度を高めるよう設計されている。ARM、MIPS、SH などの CPU に採用されている。

3) メモリと CPU

- * メモリと CPU の接続
 - メモリと CPU はシステムバスで接続されている。
 - プロセッサの動作周波数クロックとメモリのクロックの速さが異なる場合、遅延が生じる。同期したクロックシステムを用いるメモリでは、その遅延を取り除いている。この方式は、SDRAM (Synchronized DRAM)、SSRAM (Synchronized SRAM) で用いられている。
- * メモリのデータ保護
 - SRAM (Static RAM) は不揮発性メモリであり、電源をオフにしても記憶を保持し続ける。
 - プログラムを動的にロードする場合、プログラムの暴走により SRAM などのデータ領域を破壊しないように保護する必要がある。

スキル区分	OSS モデルカリキュラムの科目	レベル
組み込み分野	24 組み込みシステムに関する知識 I	基本
習得ポイント	I-24-8. 組み込み向けソフトウェアの基本	
対応する コースウェア	第 6 回（組み込みソフトウェアの概要）	

I-24-8. 組み込み向けソフトウェアの基本

組み込み向けソフトウェアの役割と特徴を説明する。組み込み向けソフトウェア処理の基本として、タスクとスケジューリングを説明し、並行処理のアーキテクチャに関する基本的な方式とタスク管理方法などに関する話題にも触れる。

【学習の要点】

- * 処理内容を実現するプログラムに対して、その実行の単位をタスクと呼ぶ。
- * どのタスクを実行するか決定することをタスクスケジューリングと呼ぶ。タスクスケジューリングはリアルタイム OS では特に重要な機能である。
- * 優先度に従ったタスクのスケジューリングでは、システムコールをトリガとしてタスクの実行状態を実行待ちに変化させ、順に処理されるようにする。
- * スケジューラが必要な際に実行中のタスクを強制的に中断し、別のタスクを実行に移すことをプリエンプションと呼ぶ。

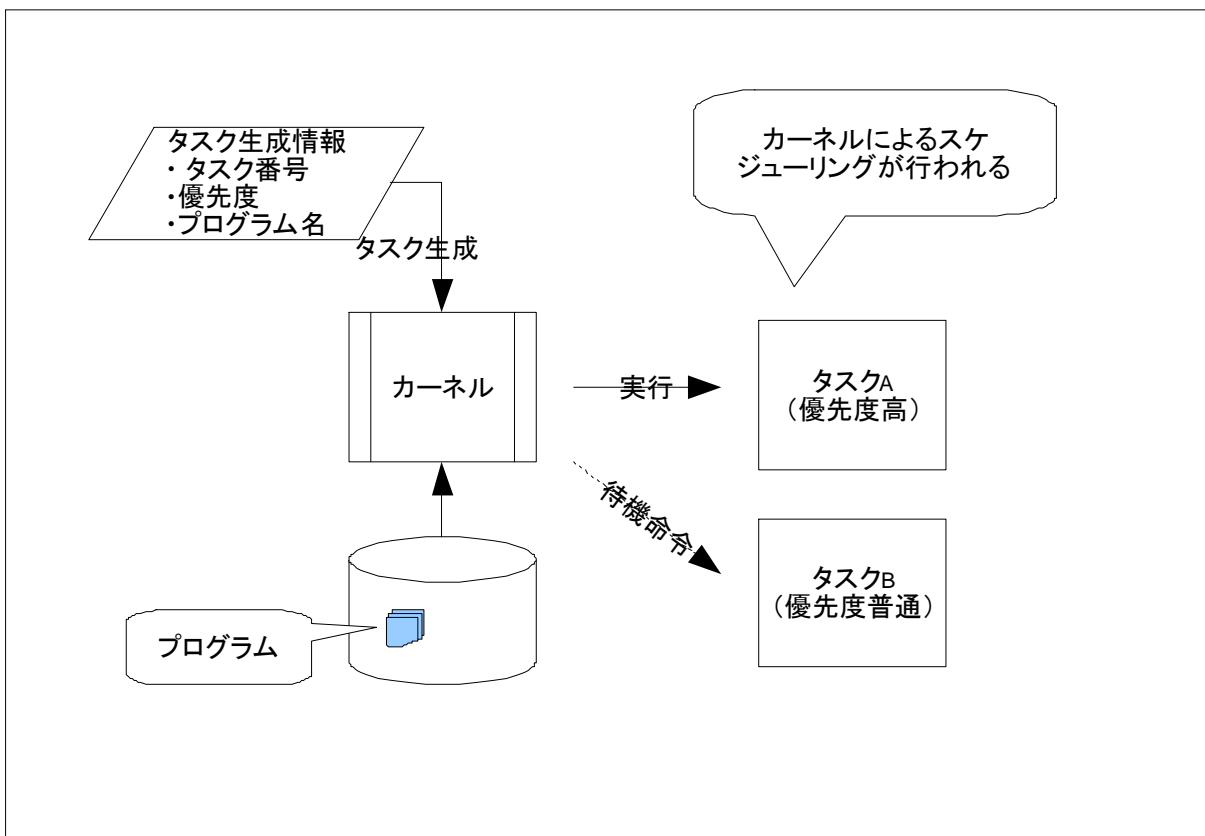


図 I-24-8. カーネルによるタスク管理

【解説】

1) ソフトウェア処理の基本

* タスク

- 処理内容を実現するプログラムに対して、そのスケジュール可能な実行の単位をタスクと呼ぶ。リアルタイム OS においてはスレッドと同等の意味合いで用いられる。
- カーネルによっては、プロセスと呼ばれる別のスケジュール可能な実行の単位を提供している。プロセスには固有のアドレス空間やメモリなどの実行環境が与えられる。

* タスクスケジューリング

- どのタスクを実行するか決定することをタスクスケジューリングと呼ぶ。
- 優先度に従ったタスクのスケジューリングでは、システムコールをトリガとしてタスクの実行状態を実行待ちに変化させ、順に処理されるようにする。
- スケジューラが必要な際に実行中のタスクを強制的に中断し、別のタスクを実行に移すことをプリエンプションと呼ぶ。

2) 並行処理のアーキテクチャ

* 並行処理の処理概要

- 並行処理は複数の相互に影響を及ぼしあう処理を同時並行に実行することを指す。
- タイムクオンタム方式では、各タスクにタイムクオンタムという一定の CPU 時間を順番に割り当てて処理を進めていく。
- タスクコントロールブロック(TCB:Task Control Block)は、カーネルがタスク固有の情報を保持するデータ構造であり、タスクの実行中に動的に切り替わるコンテキスト情報を保持する。

* タスクの管理方法

- 生成されたタスクの情報をリングバッファなどでバッファリングすることで、タスクのスケジューリングを行う。

スキル区分	OSS モデルカリキュラムの科目	レベル
組み込み分野	24 組み込みシステムに関する知識 I	基本
習得ポイント	I-24-9. 組み込み OS カーネルの機能	
対応する コースウェア	第 7 回 (カーネル処理の概要)	

I-24-9. 組み込み OS カーネルの機能

組み込み向け OS のカーネルに関して、その機能と役割、特徴を解説する。組み込み OS カーネルに求められる機能や制御対象、タスク制御に関わる組み込み特有の問題、排他制御の必要性とその具体的な実装方法などを説明する。

【学習の要点】

- * 組み込み OS のモジュールであるカーネルは利用形態に応じたプログラムの実行制御を行う機能を持つ。機能としては、プログラム実行を制御する実行制御機能と、システムコール機能がある。
- * タスクには優先度をつけ、余裕時間(制限時間-コンピュータ処理時間)が短いものを優先する。カーネルは優先度を使って、タスクの優先度順実行を制御する。

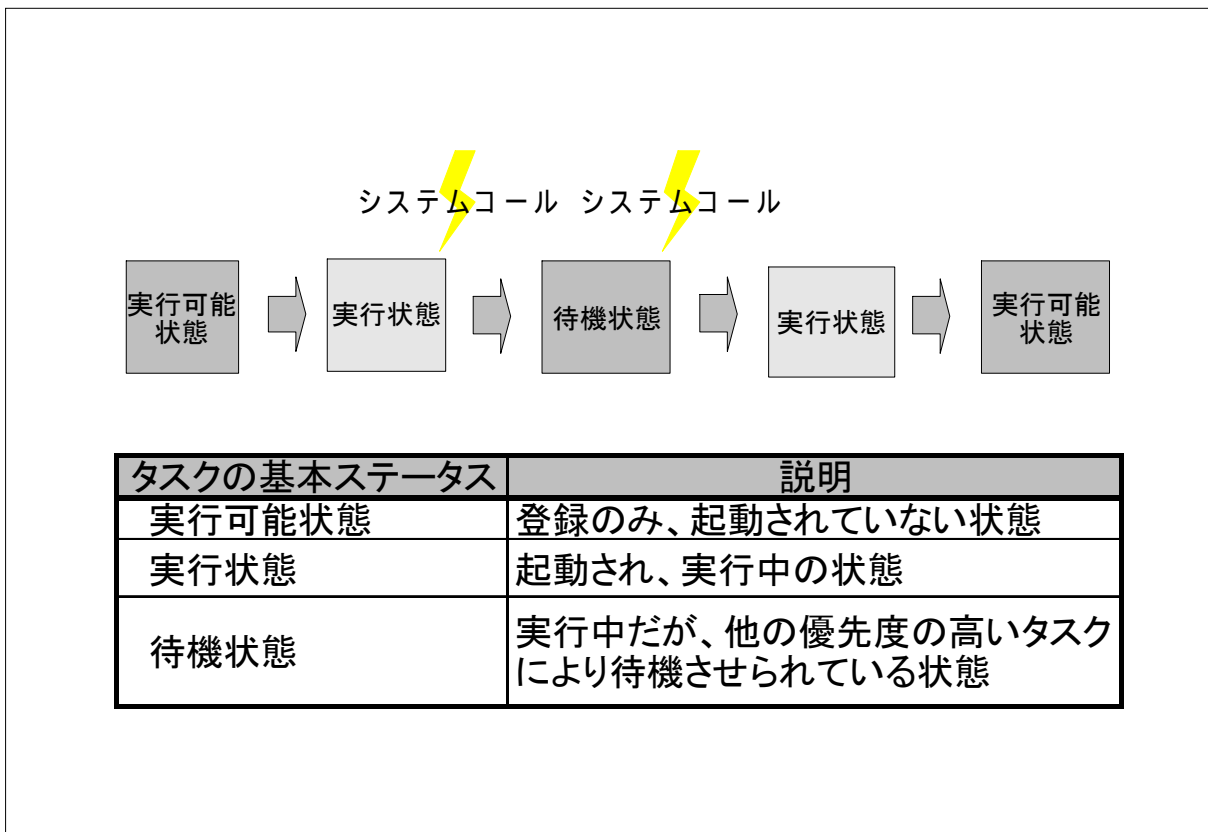


図 I-24-9. タスクの実行状態とシステムコール

【解説】

1) リアルタイムカーネル

- * リアルタイムカーネルとは処理を優先度順に実行させる汎用的な機構を、割り込みから独立した形で提供するソフトウェアモジュールである。
- * カーネルが管理する処理のことをタスクと呼ぶ。

2) カーネル処理の概要

* タスクの制御

- タスクは実行可能状態、待機状態、実行状態のいずれかの状態で存在する。
- 待機状態では、他のより優先度の高いタスクの実行終了を待機している。
- 実行可能状態では、現在利用できないリソースにアクセスしようとして、イベント待ちか一定時間待機するように求められている。
- 実行状態では、最も高い優先度を持って実行している。

* 排他制御

- クリティカルセクションとは割り込みが発生することによって共有資源に問題を発生させる可能性のある状態である。
- 排他処理はクリティカルセクション実行中に、同じ資源に対するクリティカルセクションを実行させないための仕組みである。このことをアトミックな処理の実行と呼ぶ。
- 排他制御の必要な例としては、センサタスクが共有メモリ領域にデータを書き込み中の状態で、表示タスクがデータを表示するという場合が考えられる。表示タスクは意図しないデータを表示してしまう可能性がある

* 排他制御の必要性

- 共有リソースへの同時アクセスによる問題を回避するために、クリティカルセクションの実行は排他的に行う必要がある。
- スピンロック方式では、ある処理がクリティカルセクションに入る直前にフラグをチェックして、他の処理がクリティカルセクションに入る前にフラグをチェックし続けるが、単一 CPU 間では無限にループすることになってしまうため利用できない。
- デッカーのアルゴリズムではクリティカルセクションに入る権利を譲り合う排他制御のためのソフトウェアアルゴリズムである。しかし、三つ以上の処理間の排他制御を実装するのは困難である。
- 単一 CPU では割り込み禁止による排他制御がとられる場合が多いが、他のタスクのリアルタイム性を損ねる恐れがあるなど、システムへの影響が大きい。

* 排他制御の方法

- Test and Set 命令は、スピンロック方式のフラグのチェックとセットをアトミックに行うためのハードウェアサポートである。
- セマフォは、共有資源ごとに排他制御を行うために用意されたカーネルの機構である。クリティカルセクションに入る前にセマフォの P 操作のシステムコールを行い、クリティカルセクションから出る際に V 操作のシステムコールを行う。あるタスクが P 操作をして V 操作をしていない時に他のタスクが P 操作をした場合は、後のタスクが待機させられる。

スキル区分	OSS モデルカリキュラムの科目	レベル
組み込み分野	24 組み込みシステムに関する知識 I	基本
習得ポイント	I-24-10. リアルタイムシステムの処理方法と設計	
対応する コースウェア	第 8 回 (リアルタイムシステムの構成と仕組み)	

I-24-10. リアルタイムシステムの処理方法と設計

組み込みシステムの特徴のひとつであるリアルタイム性について説明する。リアルタイムシステムが備える機能と、リアルタイム処理の特徴について説明し、さらに、アプリケーションのリアルタイム設計方法、時間制御と優先度といったトピックを紹介する。

【学習の要点】

- * リアルタイム処理とは、制限時間を守ることを義務付けられた処理であり、組み込みシステムでは必須の処理となる。割り込みと優先度制御を使うことによりリアルタイム処理は実現される。
- * リアルタイム処理の設計として、入出力の待ち時間を利用することも行われる。

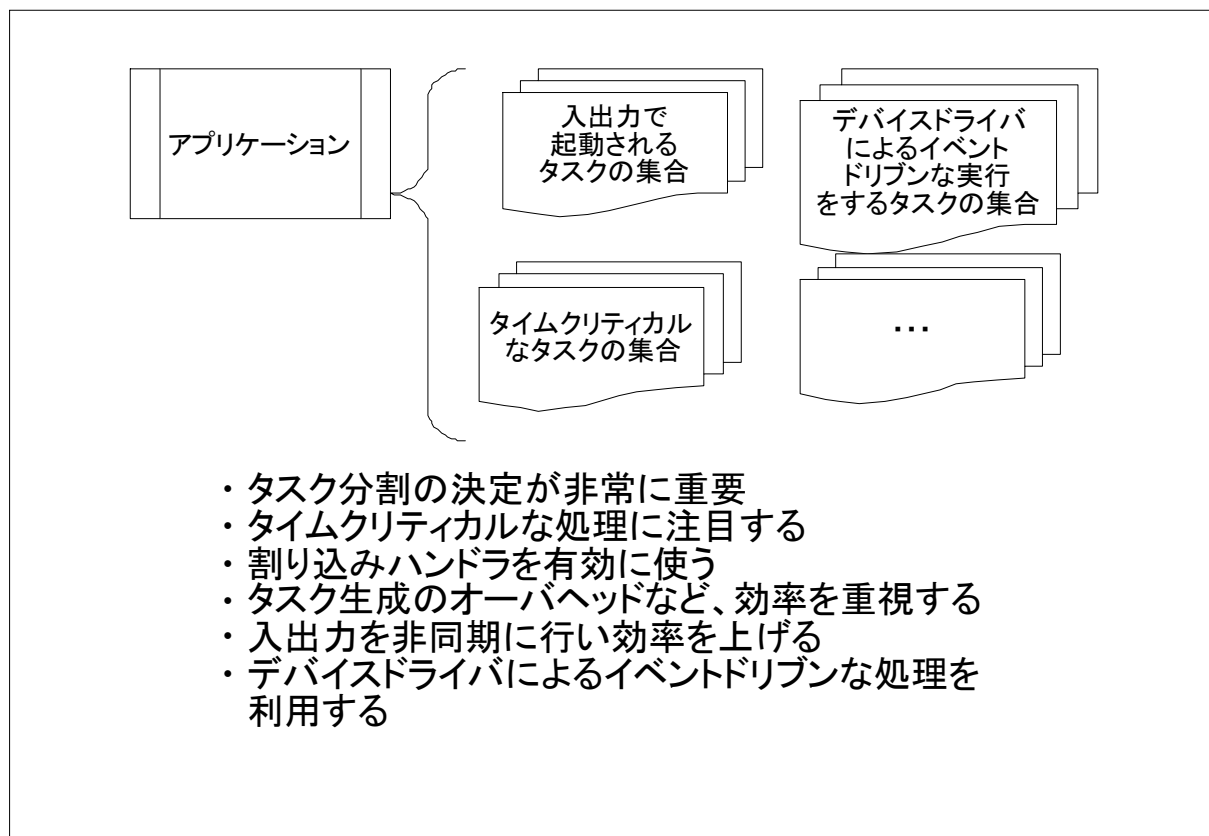


図 I-24-10. リアルタイムシステムの設計の特徴

【解説】

1) リアルタイム処理とは

リアルタイム処理とは、制限時間を守ることを義務付けられた処理であり、組み込みシステムでは必須の処理となる。

* リアルタイム処理の実行アーキテクチャ

- リアルタイム処理は、各タスクの時間制約を守るように適宜タスクを切り替えながら実行していくことにより実現される。
- リアルタイム処理は、割り込みの機構を利用してタスクの優先度に応じた切り替えを行うことによりある程度実現できる。しかし、割り込み要因が増えるなど、制御が複雑になった際に割り込みだけでリアルタイム処理を実現することは困難になる。
- リアルタイムカーネルを利用してプログラムを管理することにより、割り込みによるリアルタイム処理の困難さを解決することができる。

* リアルタイム処理の設計パターン

- 割り込みによって、入出力の待ち時間を有効に利用する設計ができる。
- デバイスドライバは、入出力装置を扱うプログラムをタスクから独立して切り出したモジュールである。デバイスドライバには割り込みハンドラが実装され、イベントドリブン機能が提供される。

2) アプリケーションのリアルタイム設計

- * アプリケーションのリアルタイム設計においてはタスク分割の決定が非常に重要となる。
- * 割り込みハンドラを有効に使うなど、タイムクリティカルな処理に注目した設計が要求される。
- * デバイスからの入力イベントや入力データを待つタスクをあらかじめ生成して、入力イベントを待たせる処理を行う方が、入力イベントの発生ごとにタスクを生成するよりも効率的である。
- * 入出力の完了を待たずに次の処理に進めるように設計した方が、リアルタイム処理の制約を満たしやすい。完了を待つ間の入出力データやイベントはキューの中で処理を待たされる。
- * タイムクリティカル処理を設計する上で、デバイスドライバにより実現されるイベントドリブン機能は非常に重要となる。