

令和5年度秋期 応用情報技術者試験 午後問7（組込みシステム）完全復習レポート

1. はじめに：本問の戦略的意義と学習目標

近年の農業分野における労働力不足と高齢化は喫緊の社会課題であり、その解決策として自律型農作業ロボットの実用化が急がれています。本問で題材となっている「トマトの自動収穫ロボット」は、動的な環境下で物理デバイスを精密に制御する組込みシステムの典型例です。本問を攻略することは、単に試験の得点を得るだけでなく、物理空間の挙動をいかに論理的なソフトウェア仕様に落とし込むかという、実務的かつ高度な設計能力を養うことに繋がります。出題趣旨に基づき、本問を通じて習得すべきスキルを以下に特定します。

- **要求仕様の精緻な読解力：** 本文、図表、状態遷移図に分散した仕様を統合し、システムの正確な挙動を定義する力。
- **ハード・ソフトの統合設計能力：** アクチュエータやセンサーの物理的特性を理解し、タスク間連携を通じて目的の動作を実現する設計視点。
- **物理制約下での論理的計算力：** ロボットの移動や音速といった物理事象に基づき、ソフトウェアが処理すべき数値を正確に導き出す力。それでは、まずはシステムの「骨格」であるハードウェア構成とソフトウェアタスクの役割分担から分析を開始しましょう。

2. ターゲットシステムの構造分析：ハードウェアとタスク構成

組込みシステムの設計において、物理的構造とソフトウェアの役割分担（タスク構成）を整理することは、仕様把握の出発点です。各ハードウェア要素がどのタスクによって制御され、どのような情報を出力するのかを構造的に理解する必要があります。ソースの「図1」「図2」「表1」および各タスクの説明に基づき、システムの構成要素を整理します。

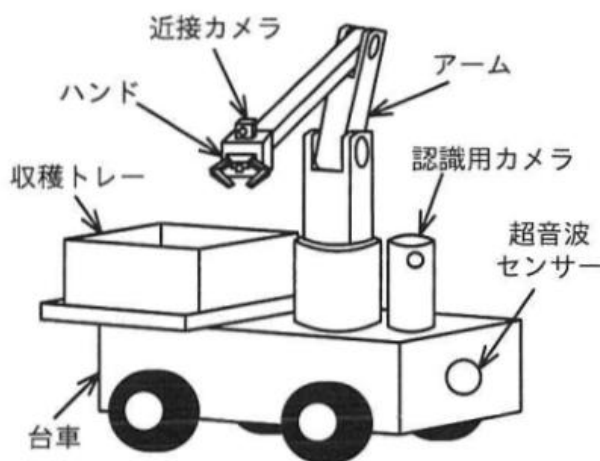
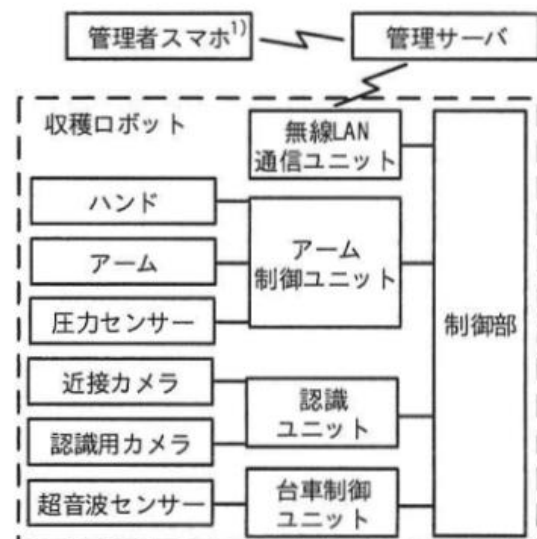


図1 収穫ロボットの外観



注¹⁾ 管理者が持つスマートフォンである。

図2 収穫ロボットのシステム構成

表 1 収穫ロボットの主な構成要素

構成要素名	機能概要
制御部	・ 収穫ロボット全体を制御する。
アーム制御ユニット	・ アームとハンドによる収穫動作を制御する。
認識ユニット	・ 認識用カメラで撮影した画像を処理する。 ・ 近接カメラで撮影した画像を処理する。
台車制御ユニット	・ 台車の走行を制御する。 ・ 超音波センサーの検知結果を処理する。
無線 LAN 通信ユニット	・ 制御部と管理サーバとの通信を制御する。

表1：収穫ロボットの構成要素と役割・出力情報の整理

構成要素名, 物理デバイス, 主な機能概要, 対応タスク, 主な出力情報（通知内容）

制御部, プロセッサ、OS, システム全体の統括・状態管理, メインタスク, 状態遷移の指示、動作指令

アーム・ハンド系, アーム、ハンド、圧力センサー, 収穫動作、トマトの把持・切断, アーム制御タスク, 収穫成否の通知

認識系, 認識用カメラ、近接カメラ, トマト検出、空き領域判定, 認識タスク, トマトの個数、トレイ空き領域

走行系, 台車、超音波センサー, 指定経路の移動、障害物検知, 台車制御タスク, 異常（障害物検知）の通知

通信系, 無線LANユニット, 管理サーバとの情報送受信, 無線LAN通信タスク, 動作状況、サーバからの指示

「So What?（設計の意図を読み解く）」

この設計の肝は、**「情報の局所化とトリガーの集中」**にあります。認識タスクが画像処理という重い負荷を担い、その結果得られた「トマトの個数」や「収穫トレイの空き領域」という判断材料のみをメインタスクへ通知します。メインタスクはこれらの情報を受け取り、システム全体の「状態」を切り替える司令塔として機能します。例えば、収穫トレイに空きがなくなった瞬間に、未収穫のトマトが残っていても強制的に「開始/終了状態（終了処理）」へ遷移させる判断を行うのはメインタスクの責務です。次に、これら構成要素が時間軸の中でどのように「状態」を変化させていくのか、遷移ロジックの核心に迫ります。

3. 状態遷移ロジックの徹底検証（設問1・設問2関連）

組込みシステムにおいて、「状態」を厳密に管理することは、安全性と作業効率の要です。本システムでは、物理的な位置（収穫経路）と作業状況の組み合わせによって状態が遷移します。

(1) 「開始/終了状態」への遷移条件

設問1(1)に関連する動作終了の判断基準を検証します。このロボットは収穫終了位置に到達した際、単純に動作を止めるわけではありません。

- **判断基準：** ソーステキストの記述に従えば、**「収穫終了位置で、収穫に適したトマトを検出していない場合」**に、収穫を終了して待機位置への移動（開始/終了状態への遷移）が発生します。
- **論理構造：** この「開始/終了状態」は、現在のフェーズが「開始前」か「収穫後」かによって役割が切り替わるトグル的な性質を持っており、正確な条件判定が不可欠です。

(2) 連続収穫時の状態遷移フロー（設問1(2)）

トマトが2個ある状況で、2個目の把持に失敗した場合の挙動をステップバイステップで解析します。

1. **収穫中状態（1個目）：** トマトを検出し、移動を停止して収穫を開始。
2. **積載中状態（1個目成功）：** 切り離しに成功したため、トレーに載せるために遷移。
3. **収穫中状態（2個目）：** トレーに載せた後、まだトマトが残っているため再度遷移。
4. **開始/終了状態（2個目失敗時）：** 2個目の把持に失敗した場合、ソースには「収穫中状態のまま、検出している次のトマトの収穫を行う」とありますが、今回は2個ですべてのため、収穫動作を終えて**「開始/終了状態」**へ遷移します。
 - **ポイント：** 成功すれば「積載中」を経由しますが、失敗時は「収穫中」から直接次の判断へ進むという論理構造を読み取れるかが正解（解答：イ）への分かれ道です。

タスク間連携のインパクト

認識タスクからメインタスクに通知される「トマトの個数」は、収穫ループを継続するか、あるいは「開始/終了状態」へ遷移して業務を完了するかを決定する決定的なフラグとなります。ロジックの理解を深めたところで、次はアームを物理的に駆動させる計算メカニズムを解析します。

4. アクチュエータ制御：PWMによる角度計算のメカニズム（設問3関連）

ソフトウェアの指令を物理的なアームの動きに変えるのがPWM（パルス幅変調）制御です。本問では「信号幅と回転角の比例関係」を正確にモデル化する能力が問われます。

計算ロジックの体系化

まず、仕様（表2）から変化の基準となる「ゲイン」を導出します。

- **対応関係の整理：**
 - パルス幅 1.0ミリ秒 = 制御角 -90度（ベースライン）
 - パルス幅 11.0ミリ秒 = 制御角 +90度
- **変化比率（度/ミリ秒）の算出：**
 - 角度の変化範囲： $+90 - (-90) = 180$ 度

- パルス幅の変化範囲： $11.0 - 1.0 = 10.0$ ミリ秒
- 1ミリ秒あたりの変化量： $180 \div 10.0 = 18$ 度/ミリ秒

各軸の変化解析（図5の入力例）

計算を確実にするため、以下の一般式を用います。 **最終角度 = (入力パルス幅 - 1.0ms 基準) × 18度/ms + (-90度初期値)**

- 軸1 (6ミリ秒入力)： $(6 - 1) \times 18 - 90 = 5 \times 18 - 90 = 90 - 90 = 0$ 度 (中心位置、つまり初期位置から90度変化した姿勢)
- 軸2 (10ミリ秒入力)： $(10 - 1) \times 18 - 90 = 9 \times 18 - 90 = 162 - 90 = 72$ 度
- 軸3 (3ミリ秒入力)： $(3 - 1) \times 18 - 90 = 2 \times 18 - 90 = 36 - 90 = -54$ 度
- 結果： 解答群「ウ」の姿勢と一致します。

「So What? (実務的視点)」

実務では、1.0msをベースライン (-90度) とするオフセット管理が重要です。組込みソフトウェア側のわずかなタイマー誤差が、物理空間では1ミリ秒あたり18度という巨大なズレを招くため、正確なパルス幅管理こそが姿勢制御の精度を担保します。最後に、もう一つの動的計算である「超音波センサーによる障害物検知」を解析します。

5. 物理現象の解析：超音波センサーによる障害物検知の高度計算（設問4関連）

自律走行システムにおいて、自身の移動速度を考慮した検知計算は安全設計の根幹です。超音波が往復する間に、ロボット自身も前進しているという「動的モデル」を構築する必要があります。

計算モデルの構築

ソースSOURCE_IMAGE_19に基づき、変数を定義して方程式を立てます。

- 音速： $V_s = 340$ m/秒
- ロボット速度： $V_r = 0.5$ m/秒 (\$50\$ cm/秒)
- 検知時の障害物との距離： 1 m
- 超音波が戻ってくるまでの時間： t (秒)
- ロボットが時間 t の間に進む距離： $x = 0.5t$ (m) 超音波の走行距離は、**「ロボットの現在地から1m先の障害物まで（往路）」と「障害物から、移動後のロボットまで（復路）」**の合計です。
- 往路距離： $1 + x$
- 復路距離： 1 (※障害物から見て、戻ってきた音波をロボットが検知する位置までの相対距離) したがって、超音波の全走行距離は $$(1 + x) + 1$$ となります。
 $340t = (1 + x) + 1$ $340t = 2 + 0.5t$ $339.5t = 2$ $t = 2 \div 339.5 \approx 0.00589101...$ 秒

計算の厳密性と試験の作法

1. ミリ秒換算： $5.89101...$ ミリ秒

2. **端数処理：** 指示に従い**「小数点第3位を切り上げ、第2位まで」**求めます。 5.891 → 小数点第3位の「1」を切り上げ → 5.90実務的な設計視点に立てば、本来はソフトウェアの処理時間やセンサーの応答ラグも考慮すべきですが、試験では「指示された制約条件（ソフトウェア処理時間は考えない等）」を忠実に守ることが合格への鉄則です。

6. 総括：組込みシステム設計における「正確な仕様把握」の教訓

本問は、応用情報技術者として「ハードウェアの物理特性をソフトウェアで制御し、現実世界の課題を解決する力」を問う良問でした。本問から得られる教訓を3点にまとめます。

1. **「変化の基準（オフセット）」を見逃さない：** PWM計算のように、単なる数値ではなく「基準点からの変化量」を抽出する癖をつけてください。
2. **タスク間の通知内容（トマトの個数等）を状態遷移のトリガーとして捉える：** 各タスクが何を判断材料としてメインタスクに渡しているのか、その情報流（データフロー）を意識してください。
3. **物理事象のモデル化：** センサー計測において「自身が動いている」といった物理的な制約を、正確な方程式（往復経路の可視化）に落とし込む訓練が必要です。組込みシステムの醍醐味は、ソフトウェアという論理が物理的なアームや台車を完璧に御し、安全に動作させることにあります。本問の理解を、高度なシステム設計能力への第一歩としてください。