

チーム紹介、目標、意気込み

KatLabは、ソフトウェア工学の研究室に所属する学生のチームです。ETロボコンには毎年、研究室の有志メンバーで参加しています。今年は学部生3人、修士課程の学生6人で参加しています。主にモデル作成を行う設計チーム、実装や要素技術の検証を行う実装チーム、開発の効率化を目的とした生産性向上チームの3チームで開発を行っています。

今年の目標は、**CS大会の総合で3位以内に入賞**することです。KatLabは、2018年から7年連続CS大会に出場しているものの、CS大会での成績は停滞気味で、今年はワイルドカードでの出場となりました。しかし！今年こそは！！総合での入賞を目指します！！

モデルの概要

※主にロボコンスナップNEOについて記載

信頼性と保守性を重視したシステム

- 走行体の競技動作を実現するためにCommandパターンを採用することで、**システムの拡張性を上げ、効率的な開発ができる**ようにした。
- 今年の競技固有の機能と、汎用的な機能を別のパッケージに分離し、レイヤー構造を採用することで、**来年以降も再利用しやすい**構造にした。
- 走行時に算出したPWM値や取得したRGB値などを可視化するツールを開発することで、**調整が必要な箇所の特定を容易**にした。
- コースアウトを検知し、線上に復帰するラインレース復帰動作を実装することで、**走行精度が25%向上**した。
- 配置エリアAにおける撮影に機械学習および走行体の向き補正を用いることで、**ベストショット成功率が20%向上**した。

モデルの構成

※主にロボコンスナップNEOについて記載

1. 要求分析

- 目標リザルトポイント**61pt以上**を達成するために、各ゲーム課題攻略のための要求を導出した。
- 要求図では、確実にロボコンスナップで22pt獲得するために、信頼性に関する非機能要求を重点的に導出した。
- 開発期間に関する制約から、保守性や移植性に関する非機能要求を導出し、設計方針を定めた。

2. 分析モデル

- リアルタイムな制御が必要な走行体の動作に関する処理はC++で実装し、画像に関する処理は優れたライブラリが豊富なPythonで実装する。
- 走行体内で画像処理を完結することによって、無線通信デバイスとの通信にかかる時間の削減を図る。

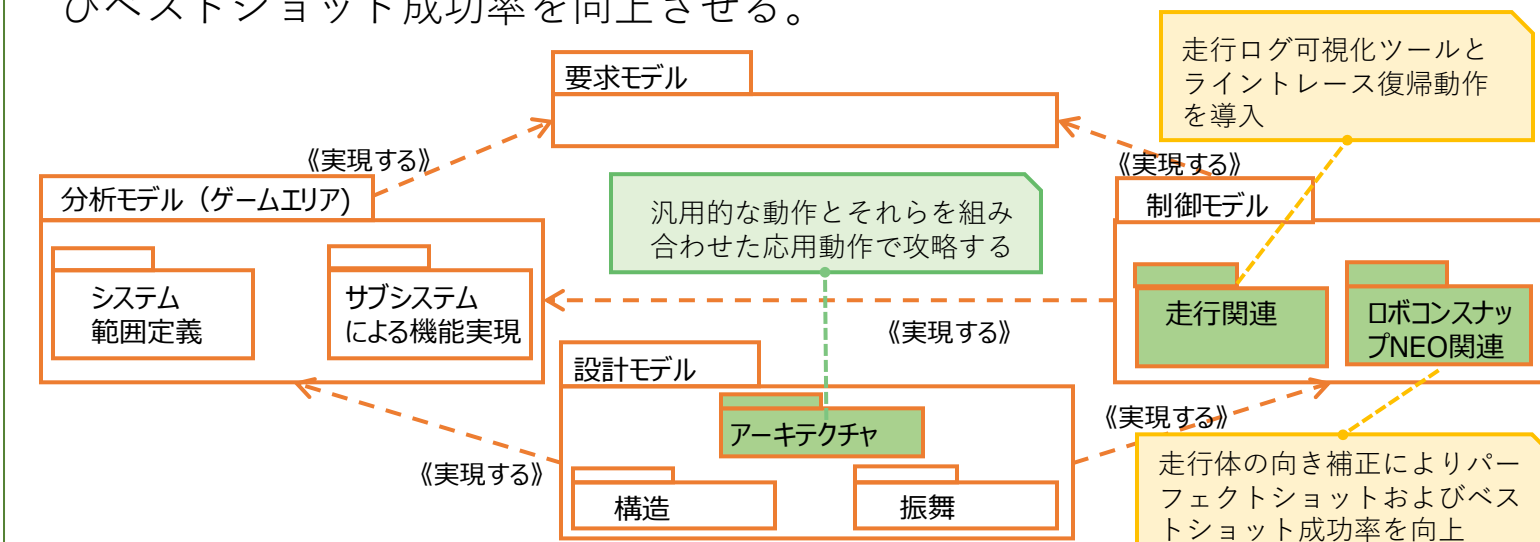
3. 設計モデル

- 今年の競技固有の機能と、汎用的な機能を別のパッケージに分離し、複雑なパッケージでは、Facadeパターンを採用することによって拡張性および保守性を向上させる。
- Commandパターンを採用し、汎用的な基本動作を組み合わせた、競技特有の動作を実現する応用動作を用いることで、拡張性を向上させる。

4. 制御モデル

以下の事項を実現するために、制御戦略を立てた。

- 走行に関する制御戦略により、走行精度を向上させる。
- ロボコンスナップNEOに関する制御戦略により、パーフェクトショットおよびベストショット成功率を向上させる。



1.1 開発目標

開発目標：CS大会で総合3位以内に入賞する

今年は、昨年以上の成績を残すために、CS大会で総合3位以内に入賞することを目標とする。地区大会の上位3チームのリザルトポイントを参考に、各目標ポイントを検討する。ポイント獲得対象に対する目標ポイントを、表1.1-1に示す。

目標リザルトポイント：61pt以上

地区大会の上位3チームの平均リザルトポイントは59.1ptであった。地区大会では、KatLabの目標リザルトポイントを、昨年CS大会上位3チームの平均リザルトポイントから、56ptに設定した。CS大会では、さらにスマートキャリーで5pt以上を獲得した61pt以上の獲得を目標に設定する。

目標走行ポイント：15pt以上

地区大会では、LAPゲートを実際に通過することを優先した。KatLabの走行タイムは14.6sであった。CS大会でも地区大会と同じ速度で走行し、LAPゲートを確実に通過することを目標とし、15pt以上獲得を目標に設定する。

目標ボーナスポイント：46pt以上

目標リザルトポイントから目標走行ポイントを引くと、46pt獲得する必要がある。中間ゲート通過とLAPゲート通過で1ptずつ、ゴールで5pt獲得を前提として、ロボコンスナップNEOで22pt、ダブルループNEOで12pt、スマートキャリーで5pt以上獲得することを目標に設定する。デブリリムーバルは攻略しない。

表1.1-1. 目標ポイント

ポイント獲得対象			目標ポイント
中間ゲート通過			1pt
LAPゲート通過			1pt
走行ポイント			15pt
ダブルループNEOチェックポイント通過			3pt × 4箇所
ロボコン スナップ NEO	楕円		7pt
	真円	背景	5pt
		ブラレール	8pt
		パーフェクトショット	2pt
デブリリムーバル			0pt
スマートキャリー			5pt
ゴール			5pt
合計			61pt

1.2 ユースケース分析

開発目標を実現するためのユースケースを、図1.2-1に示す。「LAPゲートまで走行する」「ゴールまで走行する」および「スマートキャリーを攻略する」のユースケース記述については、紙面の都合上省略する。ロボコンスナップNEOとダブルループNEO攻略後、デブリリムーバルでデングジャボトルを避け、スマートキャリーでキャリーボトル移動を成立させてゴールまで走行することで開発目標を実現する。

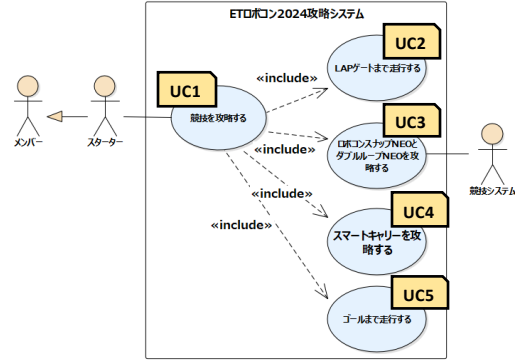


図1.2-1. 目標を達成するために必要な機能

1.3 要求分析

1.2節のユースケース分析を基に導出した、開発目標を満たすための要求を、図1.3-1に示す。さらに、図1.3-1の各要求ごとに、下位要求を導出した。以降、紙面の都合から、ロボコンスナップNEOの攻略に関する要求を中心に記載する。

非機能要求は、ISO/IEC25010が定義する製品品質モデルの品質特性に基づいて分類した。品質特性を、表1.3-1に示す。なお、セキュリティと使用性、互換性の品質特性については、今回の競技では使用しないため省略する。

ユースケースとは別に、開発時間に限りがあるという制約から、開発効率に関する下位要求を導出した。開発効率に関する要求図を図1.3-2に、ダブルループNEOに関する要求図を図1.3-3に、ロボコンスナップNEOに関する要求図を図1.3-4に、それぞれ示す。

また、本モデル内の関連を表す凡例を図1.3-5に、要求図の凡例を図1.3-6に、それぞれ示す。

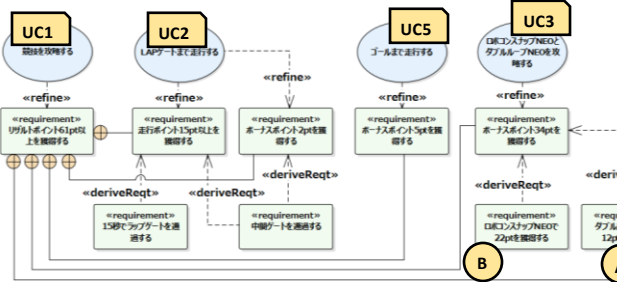


図1.3-1. ユースケースを基に導出した要求

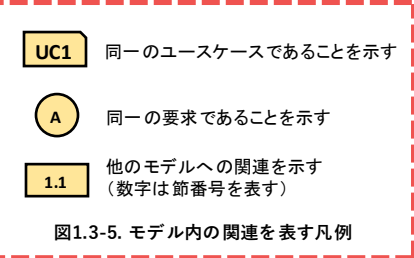


図1.3-5. モデル内の関連を表す凡例

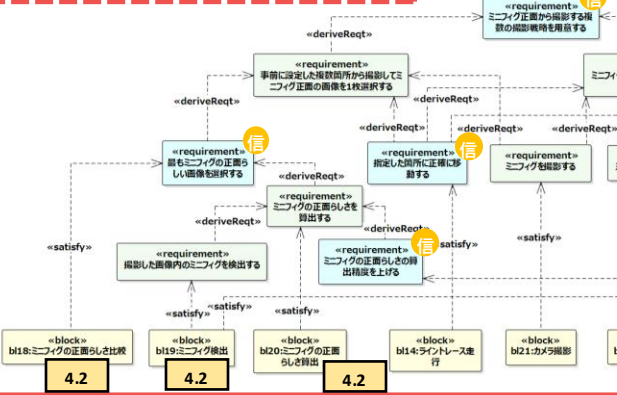


図1.3-4. ロボコンスナップNEOに関する要求図

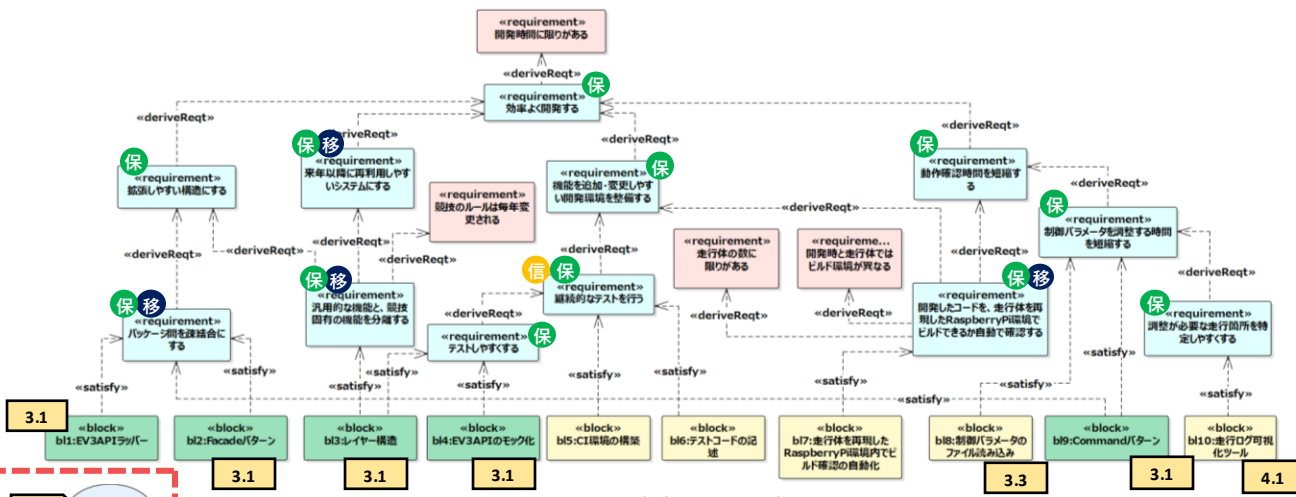


図1.3-2. 開発効率に関する要求図

表1.3-1. 品質特性

品質特性	概要	アイコン
機能適合性	目的に対する機能の適切さ	機
性能効率性	システムの処理能力やリソース活用の適切さ	性
信頼性	正しく機能できる度合、異常発生時の回復しやすさ	信
保守性	保守・修正のしやすさ	保
移植性	異なる環境にシステムを移す時の効率化	移

図1.3-6. 要求図の凡例

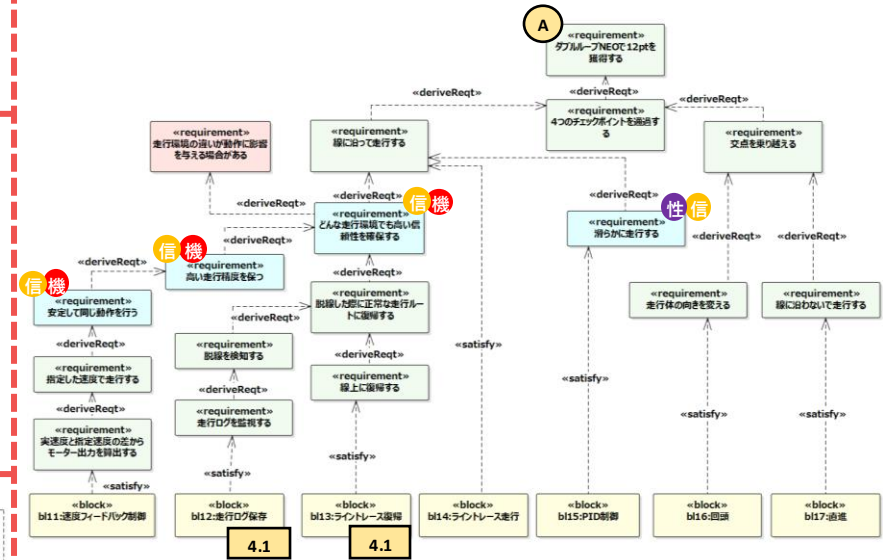


図1.3-3. ダブルループNEOに関する要求図

2.1 静的構造の概要

システム分析による静的構造の概要

ETロボコン2024競技規約より、競技チームと競技フィールドの関係を示した図を、図2.1-1に示す。図2.1-1を踏まえ、ETロボコンを構成する要素の静的構造の概要を表すブロック定義図を、図2.1-2に示す。

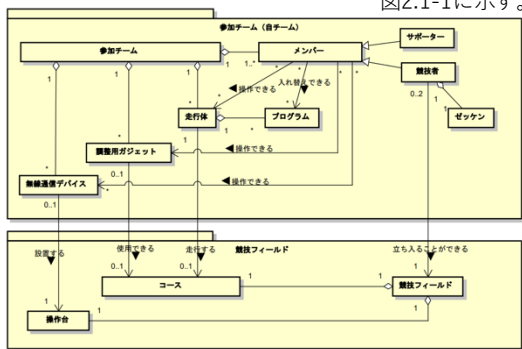


図2.1-1. 競技チームと競技フィールドの関係 (ETロボコン2024競技規約より)

競技規約より
導出

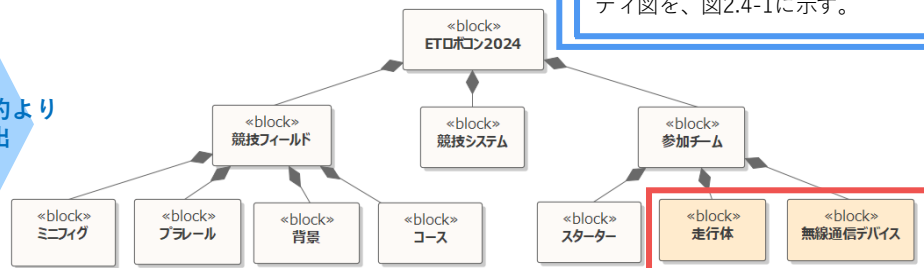


図2.1-2. システム分析による静的構造の概要

開発対象

2.2 コンテキスト分析

システム間の関係

図2.1-2より、コンテキスト分析を行い、それぞれの関係性を分析した。ETロボコン2024における各システム間の関係性を表す内部ブロック図を、図2.2-1に示す。さらに、図2.2-1の走行体ブロック内部のシステム間の関係性を図2.2-2に示す。図2.2-2より、走行体内部におけるソフトウェア開発対象を詳細に絞り込むことができる。

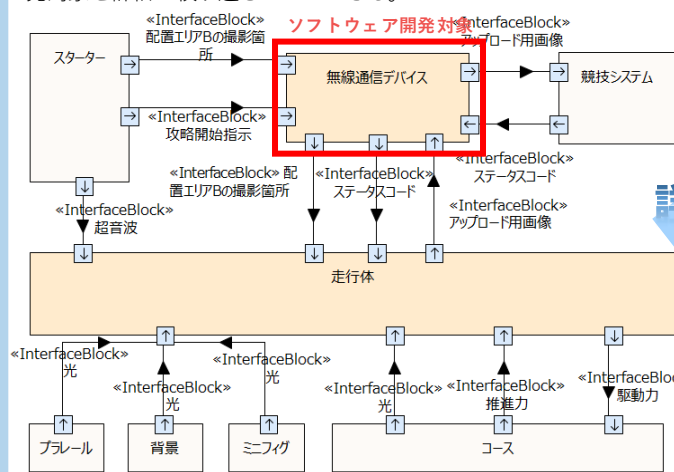


図2.2-1. ETロボコン2024におけるシステム間の関係性

詳細化

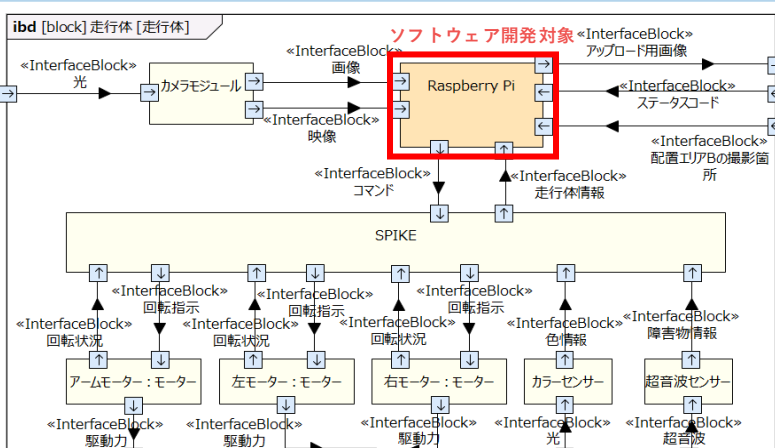


図2.2-2. 走行体に注目したシステム間の関係性

2.3 システム範囲定義

サブシステムの定義

1.3節で導出した要求と2.2節のソフトウェア開発対象を基に、サブシステムを定義した。各サブシステムの基になる要素技術のブロック番号と、各サブシステムの役割を、表2.3-1に示す。

サブシステムの静的振舞

2.2節のコンテキスト分析および表2.3-1で定義したサブシステムを基に、定義したサブシステムをソフトウェア開発対象であるRaspberry Piと無線通信デバイスのそれぞれに配置した。ロボコンスナップNEOの攻略に関するサブシステムに限定し、Raspberry Pi、および無線通信デバイスに配置するサブシステム間の関係を表す内部ブロック図を、それぞれ図2.3-1、図2.3-2に示す。

リアルタイムな動作制御を必要とするため、C++で実装。

考慮すべき事項①

画像処理などに優れたライブラリが豊富に存在するPythonで実装。

画像アップロードのために、無線通信デバイスを経由する必要がある。

考慮すべき事項③

Raspberry Piで画像処理等を行うことで、アップロード用画像のみを送信できる。これにより、画像送信失敗のリスクを最小限にすることができる。

サブシステム
配置

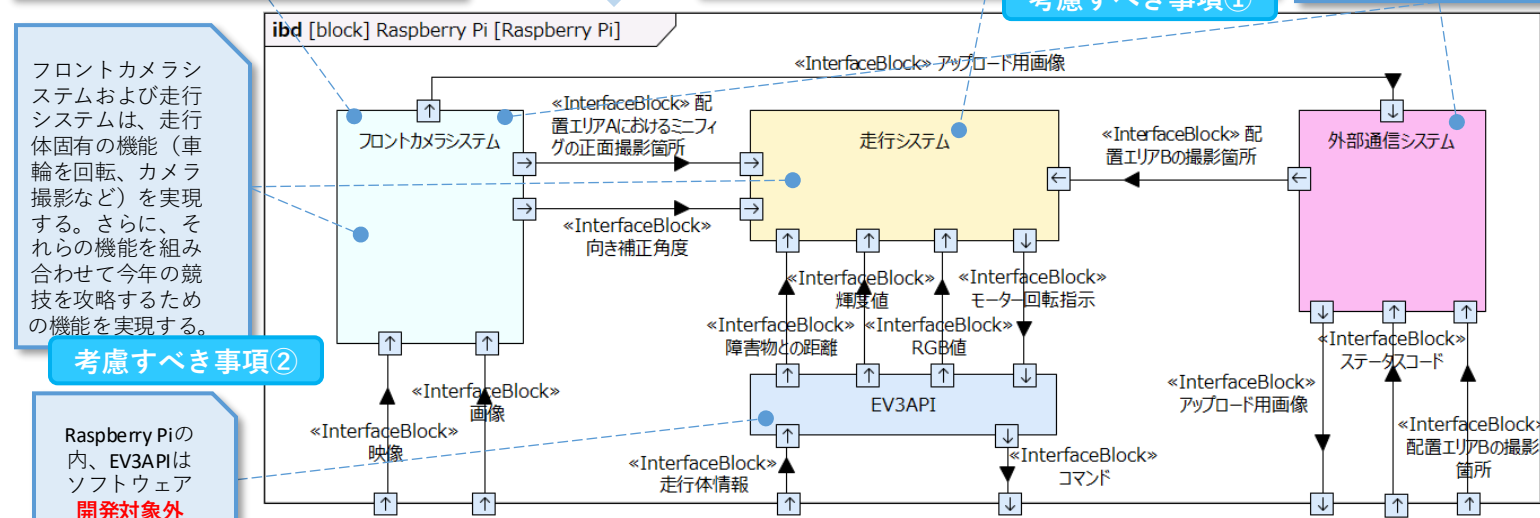


図2.3-1. Raspberry Piに配置するサブシステム間の関係

考慮すべき事項②

Raspberry Piの内、EV3APIはソフトウェア開発対象外

2.4 競技全体の攻略フロー

スタート合図後の各要素間の振舞

競技攻略中における各システム間の振舞を概要レベルで表すアクティビティ図を、図2.4-1に示す。

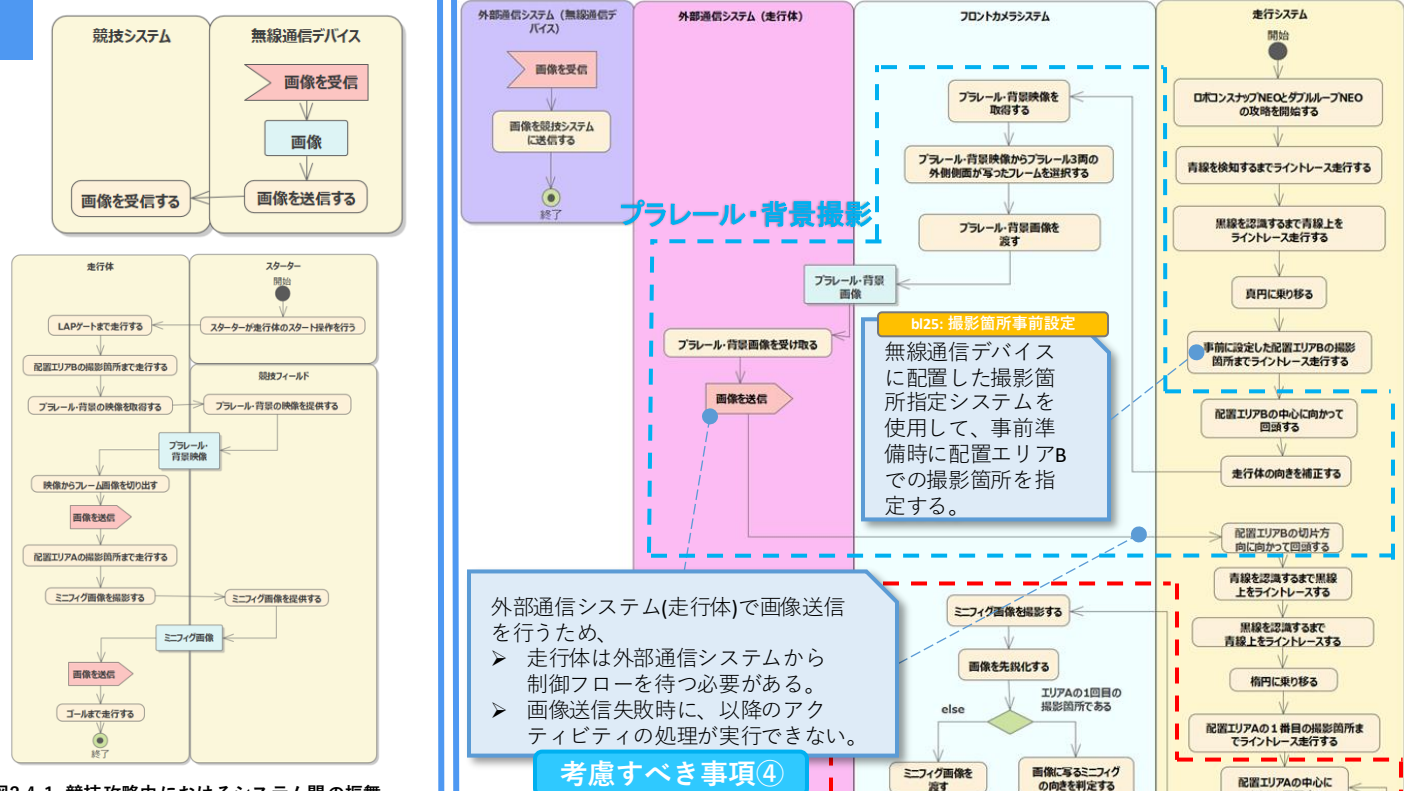


図2.4-1. 競技攻略中におけるシステム間の振舞

2.5 サブシステムによる機能実現

ロボコンスナップNEOにおけるシステム間の振舞

2.3節にて定義したサブシステムを使って重要なユースケースであるロボコンスナップNEOの攻略を実現できるか確認するためのアクティビティ図を、図2.5-1に示す。

表2.3-1. サブシステムの定義		
基になる要素技術のブロック番号	サブシステム名	役割
bl11 bl13 bl14 bl15 bl16 bl17	走行システム	コースを走行する
bl18 bl19 bl20 bl21 bl22 bl23 bl24 bl26 bl27 bl28 bl29	フロントカメラシステム	フロントカメラを用いた競技攻略のための画像処理等を行う
bl30 bl31 bl32 bl33 bl34	外部通信システム (走行体)	無線通信デバイスとの通信を行う
bl33 bl34 bl35	外部通信システム (無線通信デバイス)	走行体および競技システムとの通信を行う
bl25	撮影箇所指定システム	スターターからの撮影箇所入力を受け付ける

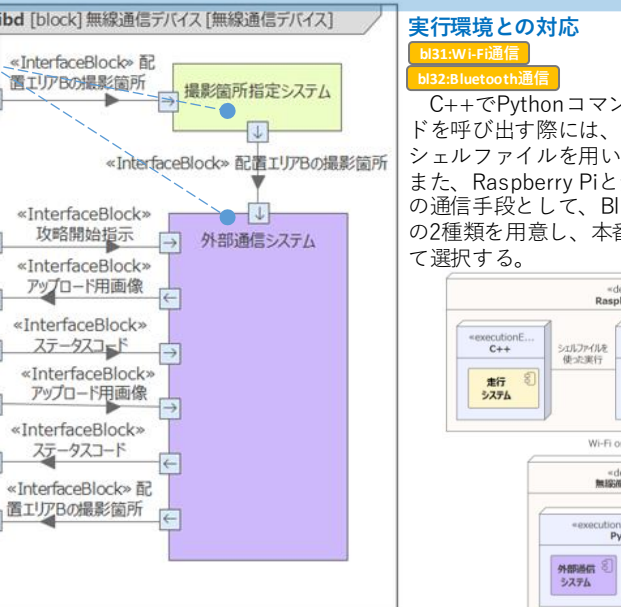


図2.3-2. 無線通信デバイスに配置するサブシステム間の関係

実行環境との対応

bl31:Wi-Fi通信
bl32:Bluetooth通信
C++でPythonコマンドを呼び出す際には、シェルスクリプトを用いる。また、Raspberry Piと無線通信デバイス間の通信手段として、BluetoothおよびWi-Fiの2種類を用意し、本番の通信環境に応じて選択する。

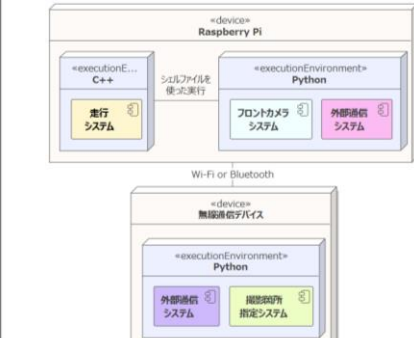


図2.3-3. Raspberry Piと無線通信デバイスの配置図

ミニフィグの向きを特定できない場合は、4つの撮影候補箇所すべてでミニフィグの画像を撮影する。(詳細は4.2節を参照)

撮影前に回頭した方向(配置エリアAの中心に向かって回頭した方向)とは逆に回頭し、ライトレース走行へ移る。

ライトレースや直進など、類似したアクションが複数回存在する。

考慮すべき事項⑤

図2.5-1. ロボコンスナップNEO攻略におけるサブシステム間の振舞

3.1 アーキテクチャ

1章の要求モデルで抽出したソフトウェア設計に関する要求、および、2章のシステム全体の分析から抽出した考慮すべき事項を基に、ロボコンスナップNEOとダブルループNEOを攻略する上で検討すべき事項を抽出し、設計方針を決定した。決定した設計方針を、表3.1-1に示す。

表3.1-1に記載した設計方針に基づき、アーキテクチャ設計を行った。開発するシステム全体のパッケージ図を、図3.1-1に示す。また、各パッケージの責務を、表3.1-2に示す。

表3.1-1. システムの設計方針

根拠となる要求・分析	検討すべき事項	設計方針
bl9: Commandパターン bl8: 制御パラメータのファイル読み込み 考慮すべき事項① 考慮すべき事項⑤	競技を攻略する上で、共通する処理や動作が複数回存在する。また、大会当日の限られた時間で目標リザルトポイントを達成できるよう調整する必要がある。しかし、走行システムにC++を採用したため、変更を加えるたびにビルドする必要があり、調整に時間がかかる。	①競技動作をクラスとして実装し、 各競技の攻略は競技動作のインスタンスを組み合わせて実現 することにより、システムの拡張性を向上させる。また、競技動作を表す「動作コマンド」を定義し、C++ソースコードから独立した動作コマンドリストのCSVファイルを実行時に読み込み、競技動作に変換する。これにより、 制御パラメータを調整する度にビルドする必要がなくなり、調整時間を短縮 できる。
bl3: レイヤー構造 bl2: Facadeパターン bl1: EV3APIラッパー 考慮すべき事項②	各年共通の走行体を持つ汎用的な機能と、今年の競技において実現したい機能の両機能を含むフロントカメラシステムおよび走行システムは、保守性と拡張性を高くしたい。	②各年共通の汎用的な機能を集約したパッケージと、今年の競技特有の機能を実現するパッケージに分割することで、 サブシステムの再利用性と拡張性を向上 させる。 ③フロントカメラシステムにおいて、競技攻略が必要となるカメラを用いた複数の処理を、シンプルな1つの窓口から利用できるようにすることで、 保守性と拡張性を向上 させる。 ④運営が提供する外部パッケージであるEV3APIのラッパーを実装することで、 影響範囲を最小限に集約 する。
bl34: 再アップロード機能 考慮すべき事項③ 考慮すべき事項④	ロボコンスナップNEO攻略時、画像は走行体で撮影し、無線通信デバイスを経由して競技システムにアップロードする。そのため、会場の通信環境によっては、画像の送信に失敗する可能性がある。また、画像の送信失敗が、その後の競技攻略に影響を与える可能性がある。	⑤ステータスコードを確認し、画像送信に失敗した際には再度送信することで、 信頼性を向上 させる。 ⑥フロントカメラシステムと外部通信システム（走行体）間の画像送信を非同期処理で実装することで、 他競技を攻略する時間を確保し、与える影響を小さく する。
bl13: ライントレース復帰	走行環境の違いから、大会本番では高い信頼性の走行を実現できず、最低限のリザルトポイントも獲得できない可能性がある。	⑦走行体が意図しない脱線を検知した場合、ライントレース復帰によって 線上に復帰 する。これによりシステムの信頼性を向上させる。詳細は4.1.5節に後述する。紙面の都合上、3章ではライントレース復帰に関する記述を省略する。

3.3 構造設計

3.1節のアーキテクチャを踏まえて、ソフトウェア構造を設計した。走行体内のソフトウェア構造を図3.3-1に、無線通信デバイス内のソフトウェア構造を図3.2-2（次ページに記載）に、それぞれ示す。ソフトウェア構造は、以下のルールの下で記述する。

- setter及びgetterの操作については省略する。
- ロボコンスナップNEOの攻略に関係しない部分の記載は省略する。

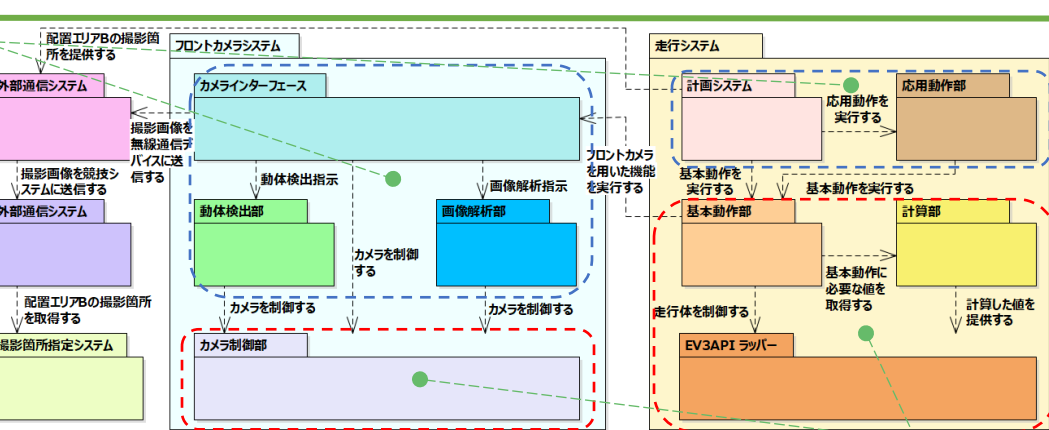
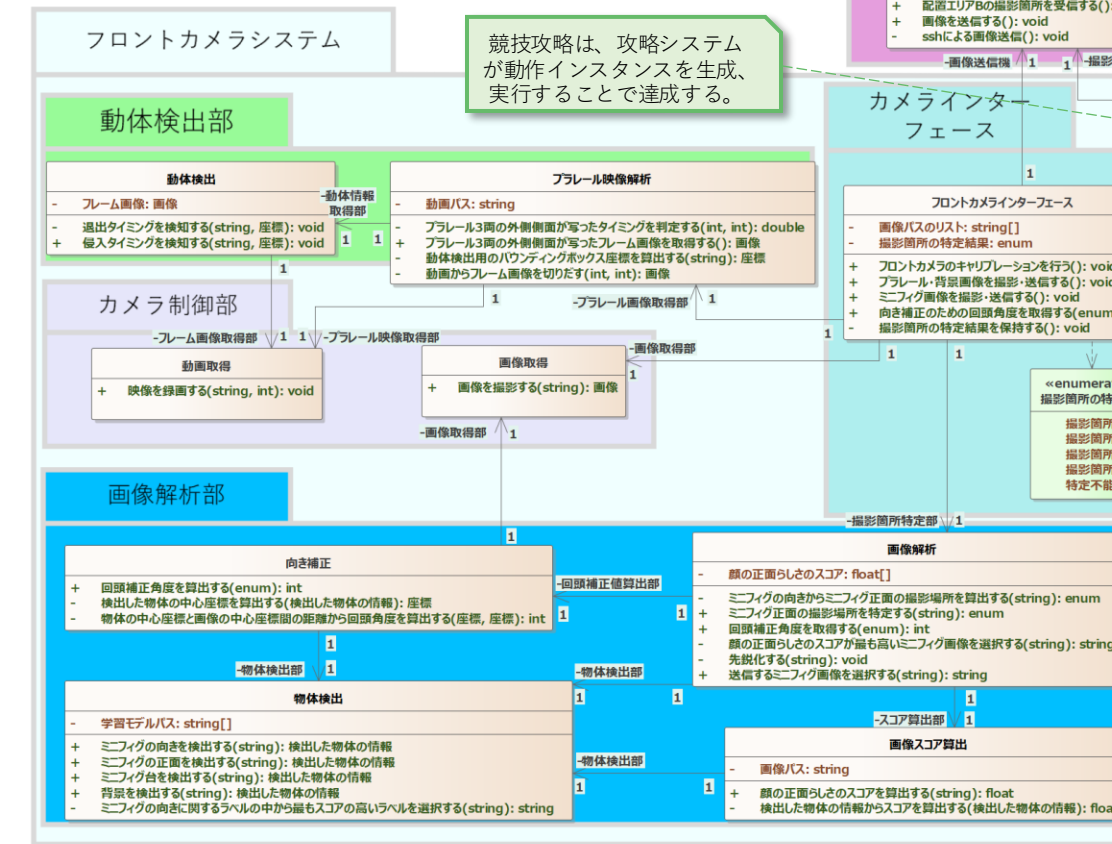


図3.1-1. システムの依存関係を表したパッケージ図

3.2 ユースケースの実現

設計方針①に基づき、競技攻略に必要な競技動作とコマンドを決定した。その対応表を、表3.2-1に示す。競技攻略を達成できることを確認するために、表3.2-1で定義した競技動作を用いた競技攻略のシナリオを、図3.2-1に示す。なお、動作コマンド「BC」を用いる位置は、事前準備として競技攻略のキャリブレーション開始前に設定する。各動作コマンドを実現できることは、3.4節で確認する。

表3.2-1. コマンドと競技動作の対応表

コマンド	基本動作	説明
DL	距離指定ライントレース	指定距離走行するまでライントレースする
CL	色指定ライントレース	指定色を認識するまでライントレースする
DS	距離指定直進	指定距離走行するまで直進する
CS	色指定直進	指定色を認識するまで直進する
PR	回頭	指定角度回転するまで回頭する
EC	エッジ変更	指定したエッジに切り替える
コマンド	応用動作	説明
AC	ミニフィグ撮影	配置エリアAでミニフィグ画像を撮影し、競技システムへアップロードする
BC	ブラレール・背景撮影	配置エリアBでブラレール・背景画像を撮影し、競技システムへアップロードする

表3.1-2. システムのパッケージ説明		
パッケージ名		責務
フロントカメラシステム		フロントカメラを用いて競技攻略を行う
	カメラインターフェース	フロントカメラや画像処理に関する処理を行う
	カメラ制御部	画像や映像の撮影に関する処理を行う
	画像解析部	画像を解析することで競技攻略に必要な機能を提供する
	動体検出部	動体を検出することで競技攻略に必要な機能を提供する
外部通信システム（走行体）		走行体と無線通信デバイス間の通信を制御する
走行システム		コマンドファイルを基に競技攻略を行う
	計画システム	コマンドファイルから競技動作を生成し、順次実行する
	基本動作部	競技攻略に必要な基本動作を行う
	応用動作部	競技攻略に必要な応用動作を行う
	計算部	基本動作の実現に必要な計算を行う
	EV3APIラッパー	EV3APIを呼び出す
撮影箇所指定システム		スターターから競技攻略に必要な情報を取得する
外部通信システム（無線通信デバイス）		無線通信デバイスと走行体間、無線通信デバイスと競技システム間の通信を制御する

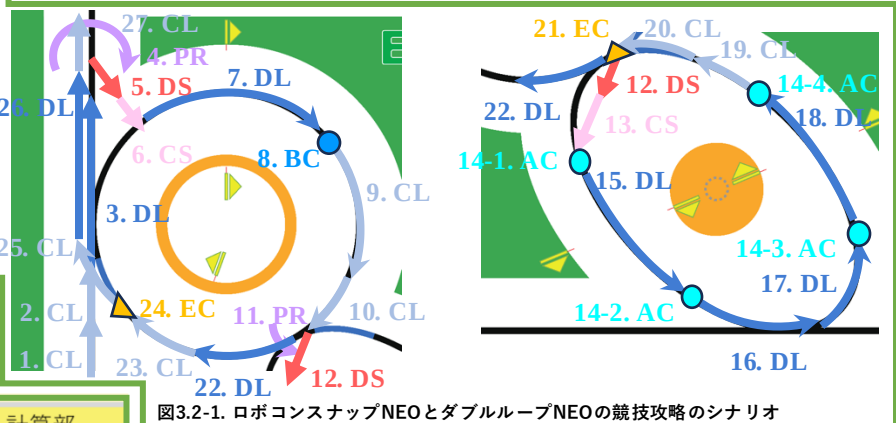


図3.2-1. ロボコンスナップNEOとダブルループNEOの競技攻略のシナリオ

図3.3-1. 走行体内のソフトウェア構造を表したクラス図

3.3 構造設計 ～続き～

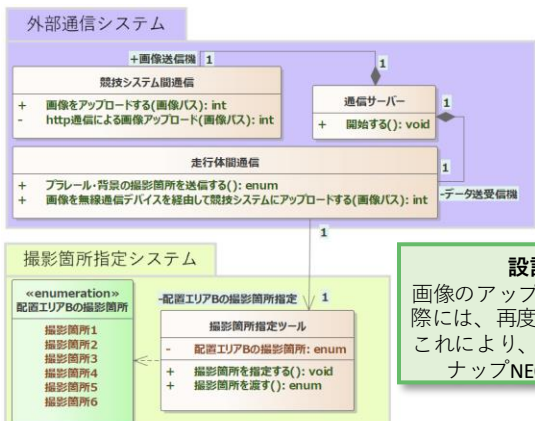


図3.3-2. 無線通信デバイスのソフトウェア構造を表したクラス図

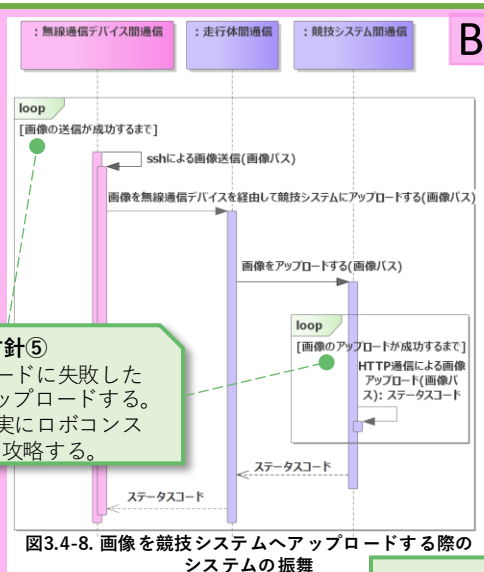


図3.4-8. 画像を競技システムへアップロードする際の
システムの振舞

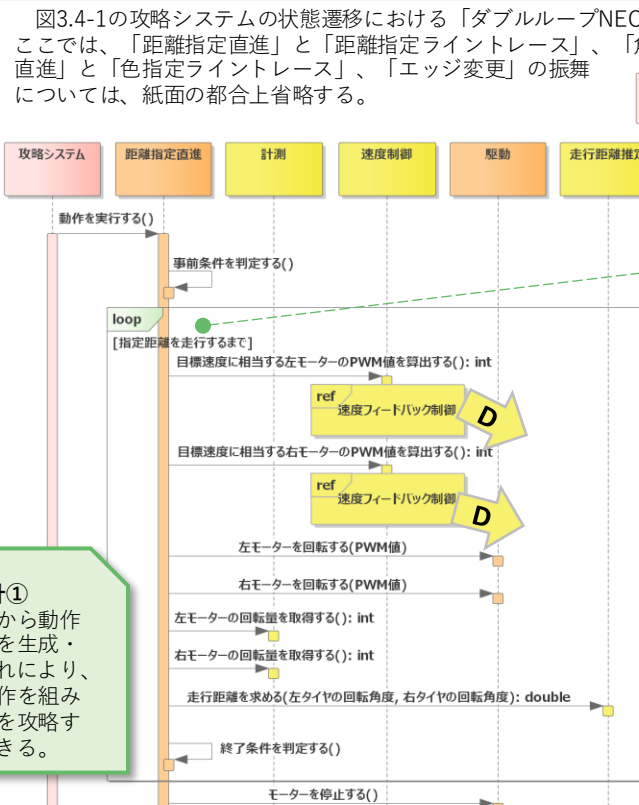


図3.4-9. 距離指定直進の振舞

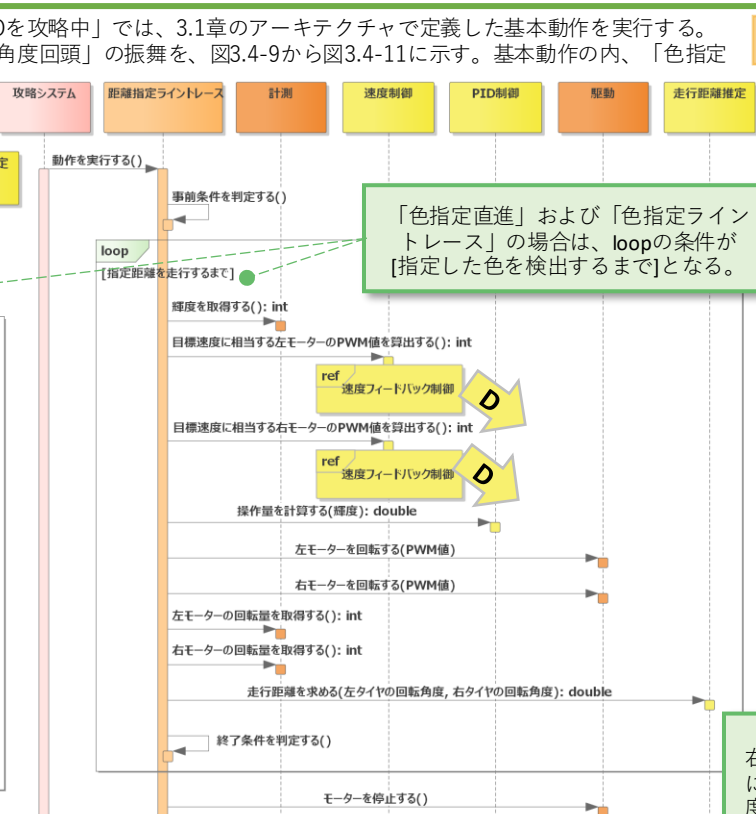


図3.4-10. 距離指定ライトレースの振舞

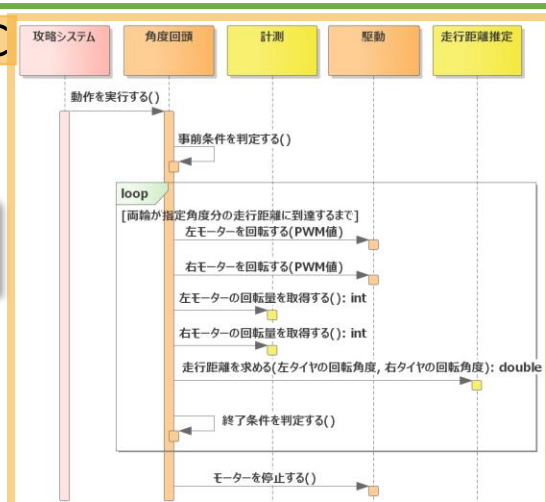


図3.4-11. 角度回頭の振舞

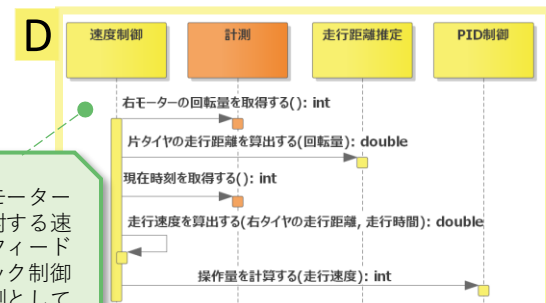


図3.4-12. 速度フィードバック制御の振舞

3.4 振舞設計

3.3節で定義したソフトウェアの構造設計において、走行システムの**攻略システム**クラスは、コマンドファイルに存在する動作コマンドのリストから競技動作のインスタンスを生成し、順次実行することで、ETロボコンの競技攻略を主導する。そこで、ロボコンスナップNEOとダブルループNEOの競技攻略における**攻略システム**クラスの状態遷移を図3.4-1に、**攻略システム**クラスの振舞を図3.4-2に、それぞれ示す。

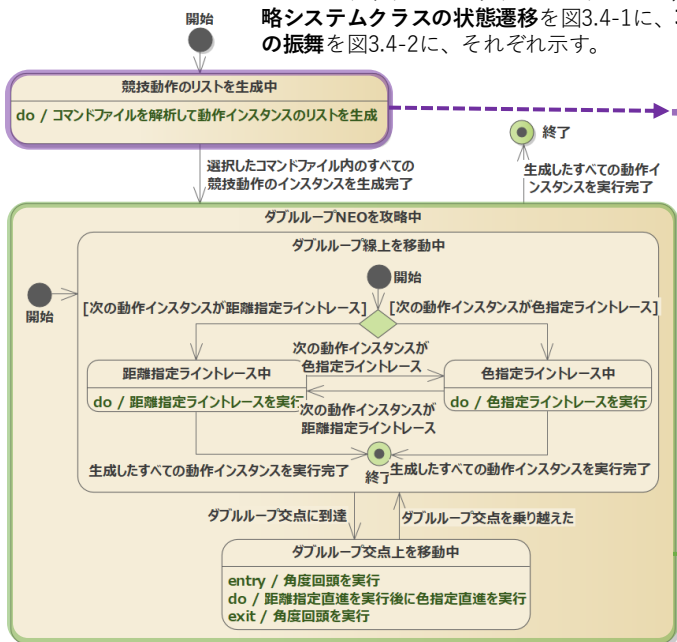


図3.4-2. 攻略システムクラスの振舞

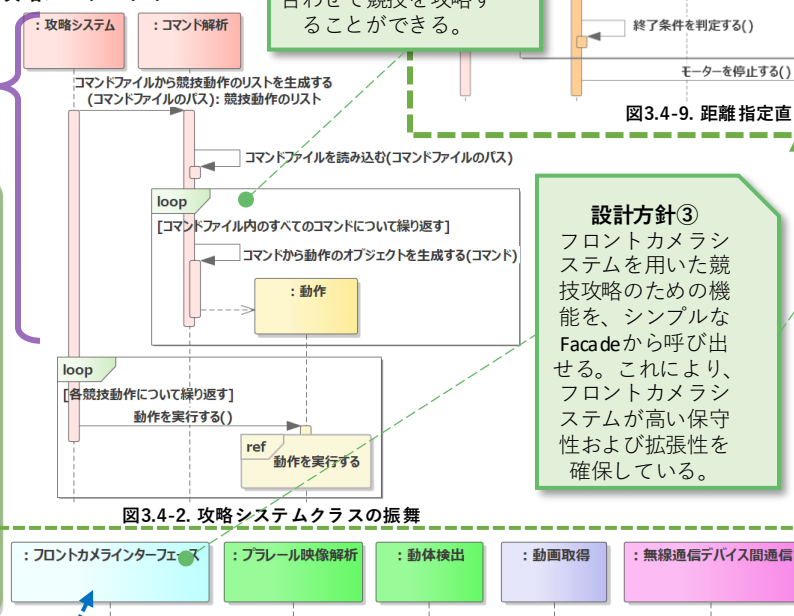


図3.4-2. 攻略システムクラスの振舞

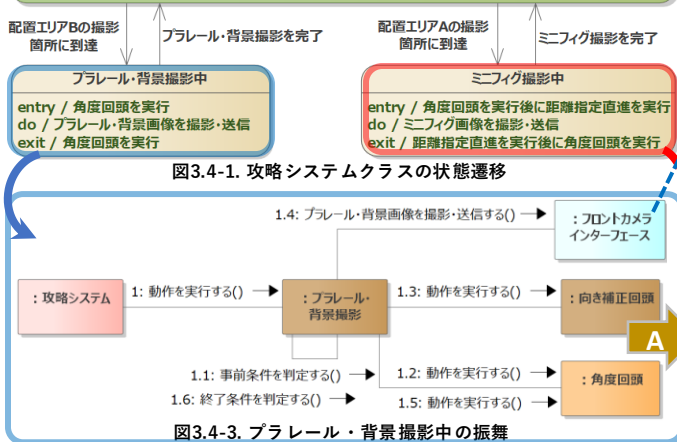


図3.4-1. 攻略システムクラスの状態遷移

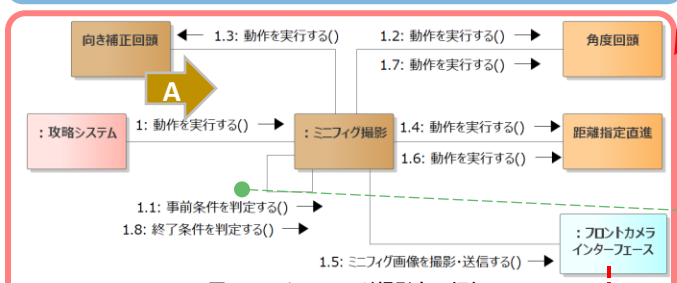


図3.4-4. ミニフィグ撮影中の振舞

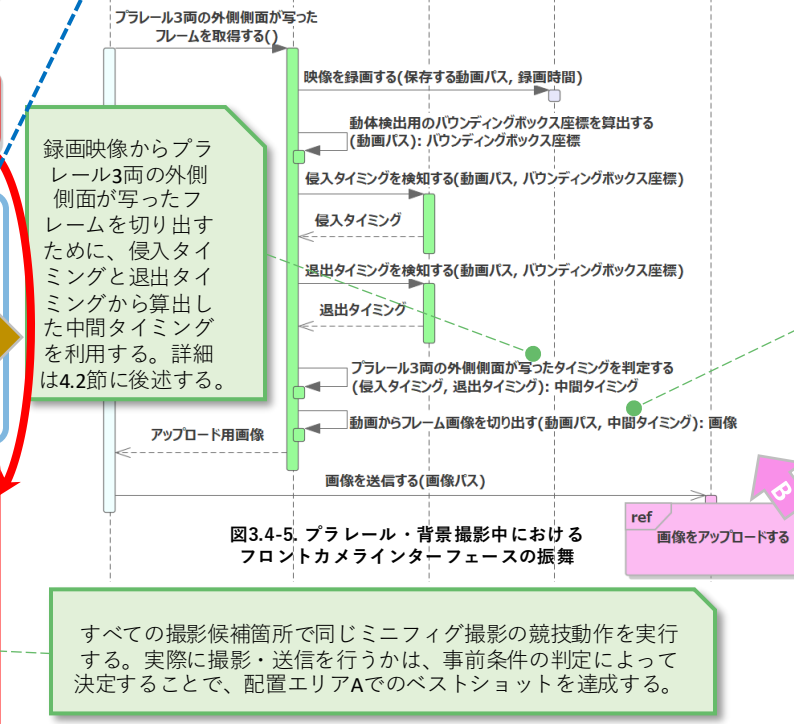


図3.4-5. プラレール・背景撮影中における
フロントカメラインターフェースの振舞

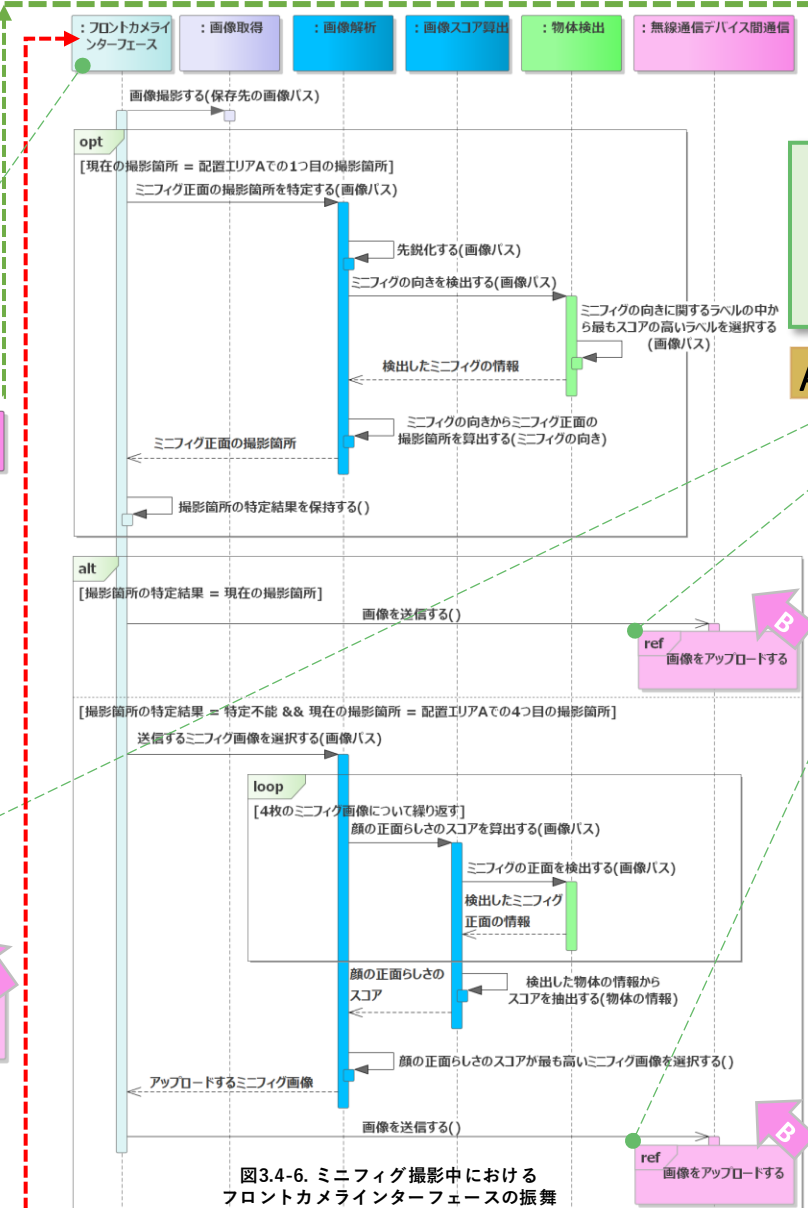


図3.4-6. ミニフィグ撮影中における
フロントカメラインターフェースの振舞

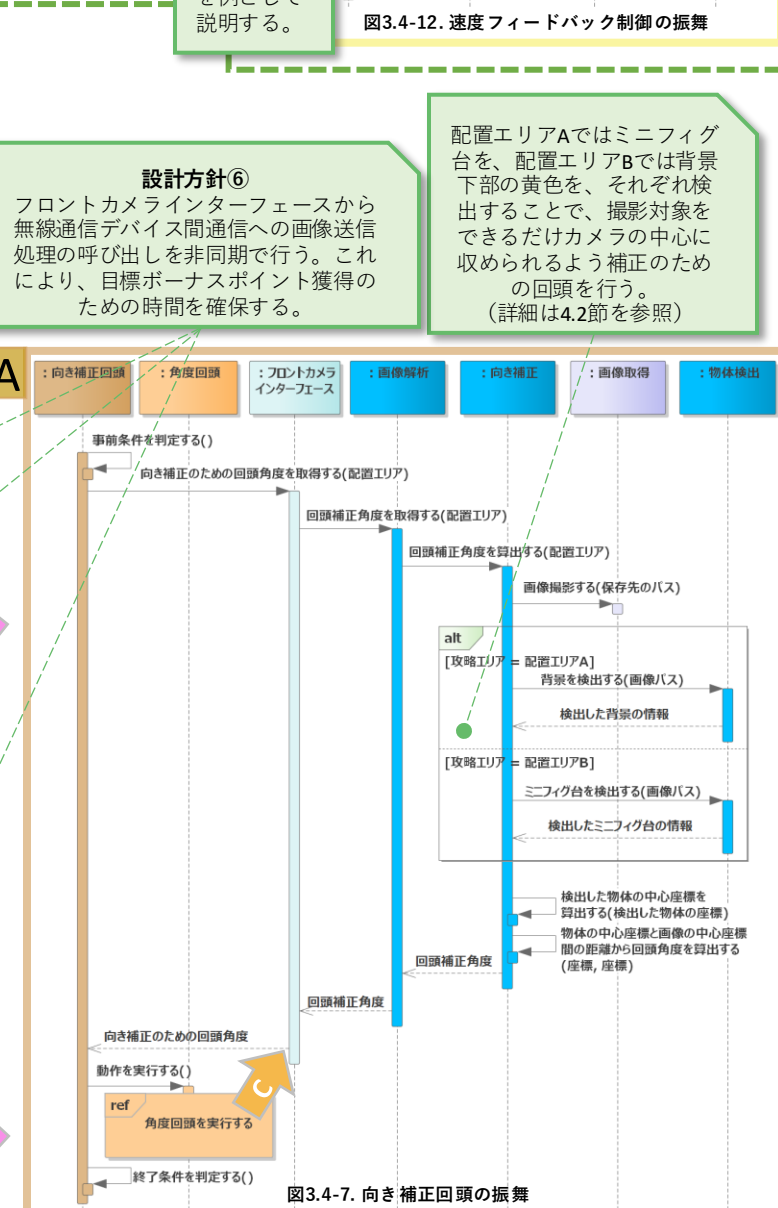


図3.4-7. 向き補正回頭の振舞

設計方針⑥
フロントカメラインター無線通信デバイス間通信処理の呼び出しを非同期により、目標ボーナスポイントの時間を確保

配置エリアAではミニフィグ
台を、配置エリアBでは背景
下部の黄色を、それぞれ検
出することで、撮影対象を
できるだけカメラの中心に
収められるよう補正のため
の回頭を行う。
(詳細は4.2節を参照)

4.1 走行に関する制御戦略

4.1.1 制御戦略

bl9: Commandパターン
bl15: PID制御
bl14: ライントレース走行
bl17: 直進

走行を細かく分割し、走行体の動作や制御パラメーターを変更することで、走行経路や黒線の形状に応じて動作を実行する。それら動作をコマンドとして表現し、コマンドファイルとして管理することで、各エリアにおける走行を実現する。例として、LコースのLAPゲートまで走行する際の動作の組み合わせであるコマンドファイルを、図4.1-1に示す。

また、走行経路や黒線の形状に対応して滑らかに走行するために、PID制御や速度制御を利用したライントレース走行と直進を行う。

```
DL,2730,420,0,0.12,0.10,0.03,第一直線ライントレース
DL,460,200,-7,0.90,0.50,0.20,第一カーブライントレース
DL,1675,420,6,0.12,0.10,0.03,第二直線ライントレース
DL,450,200,-7,0.90,0.50,0.20,第二カーブライントレース
DL,200,300,-5,0.12,0.10,0.03,第三直線ライントレース
CL,BLUE,200,-10,0.15,0.05,0.1,青まで指定色ライントレース
```

図4.1-1. LコースのLAPゲートまで走行する際のコマンドファイル

4.1.4 走行ログ可視化ツール

bl10: 走行ログ可視化ツール
bl12: 走行ログ保存

機能

- 走行ログ（PWM値、輝度値、RGB値）のグラフ描画
- グラフ描画の対象（PWM値、輝度、RGB値）選択機能
- データポイントの値と対応コマンド表示機能（図4.1-3）
- 過去の走行ログ確認機能

走行ログの可視化手順

- 走行体から得た走行ログをCSV形式で保存する
- CSVファイルをサーバーにアップロードする
- JSON形式に変換し、グラフを描画する

検証

実験において、LAPゲートまでの走行とダブルループNEOの走行について、調整メンバーにより、1か月以上に渡って、ツールを用いた調整を行ってもらった。その結果、以下に示すフィードバックが得られた。

- グラフにより意図しないPWM出力を一目で特定できる
 - 対応コマンド表示機能によって、PWM値に対応するコマンドを素早く特定できる
 - 走行後すぐにグラフを確認できる
 - 可視化により、**走行動作失敗の原因を特定**できた
- フィードバックより、走行ログ可視化ツールを使用することで課題が解決できたと言える。

4.1.5 ライントレース復帰動作

bl12: 走行ログ保存
bl13: ライントレース復帰

実現方法

4.1.4節の走行ログ可視化ツールにより、ライントレースで意図せず脱線した場合、走行区間に応じて、走行体が取得する輝度値やRGB値に**特定の傾向が存在**することを確認した。そこで、走行区間ごとに脱線を検知する**トリガー**と、線上に復帰する**ライントレース復帰動作**を実装する(表4.1-1、図4.1-4)。

脱線してしまった走行区間は、最低限のポイントを獲得し、次の走行区間に繋げることを目的とする

調整環境と異なる本番の走行環境では、走行ログ可視化ツールを用いて、これらの数値は適切な値に再設定する

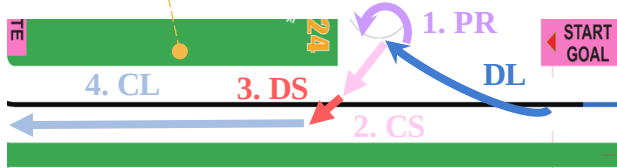


図4.1-4. ライントレース復帰動作の例

検証結果

ライントレース復帰動作を用いる場合と用いない場合で、**LAPゲートまでの走行**および**ダブルループNEOの走行**を10回ずつ行った。それぞれの走行成功率を表4.1-2に示す。表4.1-2より、以下の効果を確認できた。

4.1.2 2つの課題

走行精度 25% アップ！

制御戦略を用いた走行精度向上には、以下に示す課題がある。

- 調整が必要な箇所の特定が難しい**
走行精度向上に向けて、動作コマンドごとにPID制御の各パラメーターを調整する必要がある。しかし、パラメータだけでなく、**走行体が取得する輝度値やRGB値・左右輪のPWM出力が走行に影響を与える場合もあり、走行失敗の原因特定が難しい。**
- 高い走行精度を保つことが難しい**
大会本番では、取得できる輝度値やRGB値が調整環境とは異なることで、**ライントレースで脱線する恐れがある。**

4.1.3 課題に対する解決策

- 走行ログ可視化ツールの開発**
調整が必要な箇所の特定が難しいという課題解決のために環境による差を受けにくいWebアプリとして開発する。加えて、ログを可視化することで、走行動作失敗時に走行ログの傾向分析を支援する。
- ライントレース復帰動作の実装**
大会本番での、輝度値やRGB値が調整環境とは異なることによる**高い走行精度を保つことが難しい**という課題を解決するために実装する。

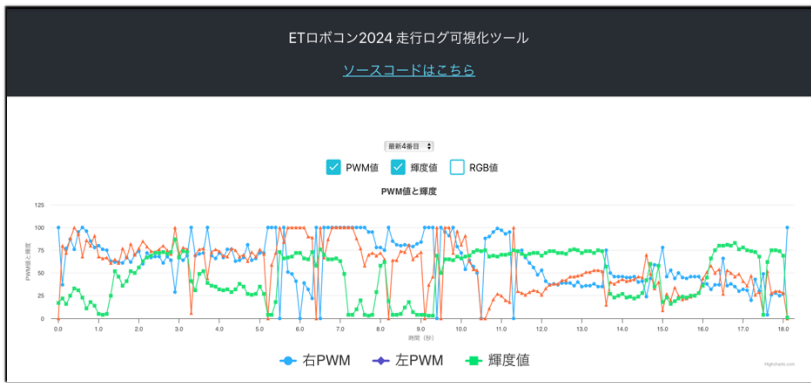


図4.1-2. 走行ログ可視化ツールの外観

グラフの傾きより、動作失敗の原因が取得輝度値の大幅な変化であることを特定でき、対応コマンドの輝度値に関するパラメーターを調整することで、**安定した走行を実現できた。**よって、走行ログ可視化ツールを使用することで、**走行精度の向上が期待できる。**

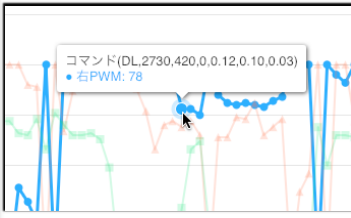


図4.1-3. マウスホバーした際の様子

LAPゲート通過
成功率100% 達成！

ダブルループNEO
成功率70% 達成！

表4.1-1. スタートからLAPゲート通過までの走行区間におけるトリガーおよびライントレース復帰動作

トリガー		ライントレース復帰動作
①	輝度値75以上で 走行距離500mm経過	1. 反時計回りに90度回頭する 2. 黒線まで色指定直進する 3. 黒線を乗り越えるための距離指定直進する 4. 確実に走行できる速度で色指定ライントレースする
②	カラーセンサーが緑色を検知	1. 走行ログを解析することで左右のどちらに脱線したかを判定する 2. 1.の判定結果を基に決定した方向に90度回頭する 3. 黒線まで色指定直進する 4. 1.の判定結果に応じて黒線を乗り越えるための距離指定直進する 5. 確実に走行できる速度で色指定ライントレースする

表4.1-2. 走行成功率

ライントレース復帰動作	LAPゲート通過の成功率	ダブルループNEOの成功率
有	100%	70%
無	80%	40%

LAPゲート通過：成功率80%⇒100% !!
ダブルループNEO：成功率40%⇒70% !!

4.2 ロボコンスナップNEOに関する制御戦略

4.2.1 制御戦略

配置エリアBにおける戦略 プラレール・背景

配置エリアBに設置された背景の向きは、競技本番前に分かる。よって、背景の撮影でベストショットを成立させるために、背景正面方向を撮影できる撮影候補箇所を6箇所、図4.2-2のように設定し、設定した6箇所から撮影箇所を本番走行前に1つ指定する。指定した箇所から撮影動作を行い、競技システムに画像をアップロードする。撮影候補箇所の決定にあたり、検証を行い、以下のことを確認した。

- 図4.2-1. より、撮影にあたって行う回頭の精度との関係上、背景のベストショットを達成するには、1周を60度ずつ分割できる**最低限6箇所からの撮影が必要**である。
- プラレールの周回方向は、走行開始まで分からない。よって、**周回方向に影響を受けず、確実にプラレールのベストショット画像を取得する必要がある。**

配置エリアAにおける戦略 ミニフィグ

配置エリアAに設置されたミニフィグの向きは、走行開始まで分からない。そのため、ミニフィグ撮影でベストショットを成立させるために、ミニフィグの正面方向を撮影できる撮影候補箇所を4箇所、図4.2-4のように設定し、撮影候補箇所から必要な要素（ミニフィグの両目、口）を含んでいる画像を取得する撮影動作を行い、競技システムに画像をアップロードする。

撮影候補箇所の決定にあたり、検証を行い、以下のことを確認した。

- 顔の向きが分からないミニフィグの両目と口を写した画像を撮影するには、**最低限4箇所からの撮影が必要**である。
- 黒線上からはミニフィグの全身が画角に収まらない場合があるため、走行体をミニフィグに近づける必要がある。
- 撮影動作にはラインを外れることによるコースアウトのリスクがある。**

以上を踏まえ、リスクを最小限にしつつ、確実にベストショットを達成する。

4.2.2 プラレール・背景画像取得

bl26: 背景下部の黄色検出
bl27: 映像録画
bl28: フレーム切り出し
bl29: 動体検出

画像取得方法 プラレール・背景

- フロントカメラで映像を録画する。
- 録画データ解析
 - 背景下部の黄色い矩形の下に動体検知用のバウンディングボックスを配置する。
 - 動体検知用バウンディングボックスへの侵入タイミングと退出タイミングを計測する。
- 侵入タイミングと退出タイミングの中間フレームを切り出し、パーフェクトショット画像を取得する。

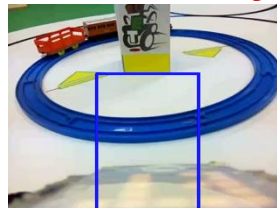


図4.2-5. 動体検知用バウンディングボックス配置画像

検証結果

黄色検知→動体検知用バウンディングボックス配置→中間フレーム切り出しに分割し、順次処理することで、**周回方向に影響を受けず、確実にプラレールのベストショット画像を取得することができる。**

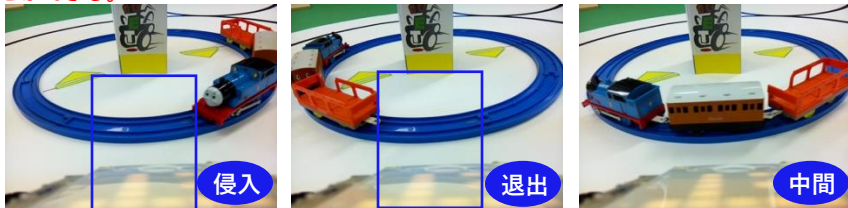


図4.2-6. ボックス侵入・ボックス退出・中間フレームの画像

4.2.3-1 ミニフィグの向き判定

bl19: ミニフィグ検出
bl22: ミニフィグの向き判定

機能 ミニフィグ

ミニフィグの正面(front)・右面(right)・背面(back)・左面(left)を学習させたYOLOv5を用いてミニフィグ画像を物体検出し、ミニフィグの向きを判定する(図4.2-7)。

検証結果

図4.2-4の1番目の赤丸で向き判定成功時、**撮影回数を4回から最大1回に減らす**ことができた。これにより、**コースアウトのリスク減少を期待**できる。



図4.2-7. 正面・右面・背面・左面を検出した画像

4.2.3-2 ミニフィグの正面らしさ算出

機能 ミニフィグ

図4.2-8より、正面方向の特定に失敗した場合に発動する。4箇所から撮影したミニフィグ画像に対して、ミニフィグ(Fig)、正面顔(Frontal Face)、横顔(Profile)の3つのラベルを学習させたYOLOv5を用い、物体検出したラベルの信頼度スコア(0から1までの数値)を算出する。正面顔>横顔の優先順位に従って比較し、一番スコアが高い画像を選ぶ。

検証結果

図4.2-9のように、ミニフィグの顔を正面顔と横顔の2種類のラベルに分けた効果で、**ベストショットに適した画像をより正確に選択**することができる。

bl18: ミニフィグの正面らしさ比較
bl20: ミニフィグの正面らしさ算出



[1] 正面顔を検出した画像例 [2] 横顔を検出した画像例
図4.2-9. 表4.2-3のラベルを用いて物体検出した検証結果

パーフェクトショット
成功率 90% 達成！

ミニフィグベストショット
成功率 85% 達成！

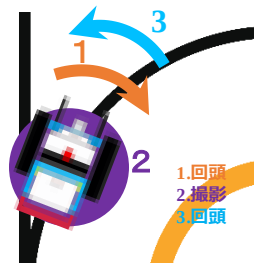


図4.2-1. 撮影動作のイメージ

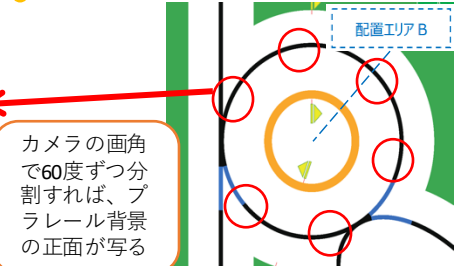


図4.2-2. 配置エリアBにおける撮影箇所

配置エリアAのミニフィグは走行開始まで向きが分からない

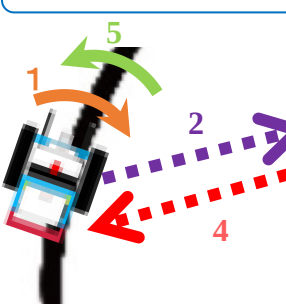


図4.2-3. 撮影動作のイメージ

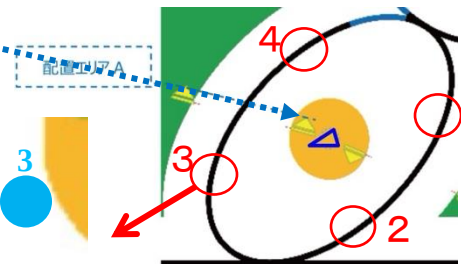


図4.2-4. 配置エリアAにおける撮影候補箇所
図4.2-4における赤丸の撮影候補箇所での撮影動作（回頭・前進・撮影・後退・回頭）を行う。（詳細は3.4節を参照）

4.2.4 走行体の向き補正

bl24: 走行体の向き補正

機能 プラレール・背景 ミニフィグ

撮影対象を画角中心に収めるための回頭補正角度を算出し、回頭補正角度の分だけ回頭する。

検証結果 1

向き補正無しと向き補正有りのそれぞれで、20回の検証を行った結果、**パーフェクトショット成功率：55% ⇒ 90%にUP !!**

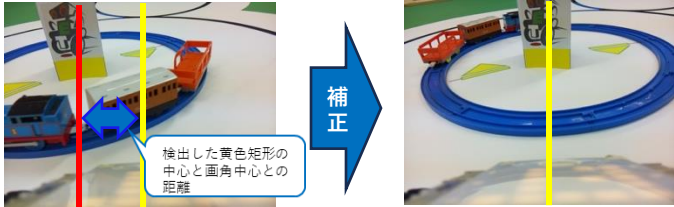


図4.2-10. 向き補正前のプラレール・背景画像(左図)と向き補正後のプラレール・背景画像(右図)

検証結果 2

向き補正無しと向き補正有りのそれぞれで、20回の検証を行った結果、**ベストショット成功率：70% ⇒ 85%にUP !!**

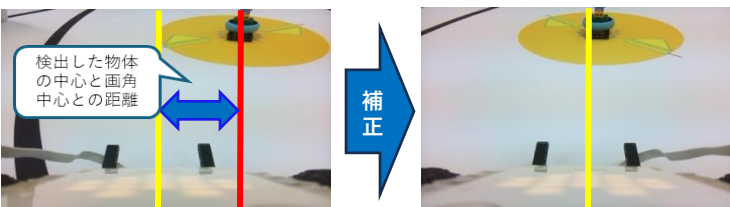


図4.2-11. 向き補正前のミニフィグ画像(左図)と向き補正後のミニフィグ画像(右図)