

◆チーム紹介、目標、意気込み◆

私たち からっ風産学隊2018 は、**群馬大学の学生** と **両毛システムズの若手社員** で構成されたチームです。

去年、地区大会で敗れた悔しい思いをバネに、
見事今年は CS大会への出場 を果たしました！

次は全国制覇を目指すため、私たちは目標を

Rコースリザルトタイム ≤ -8 秒

とし、汗と涙を流しながら日々努めてきました。

◆モデルの概要◆

- 2017年の規約との違いに対する 変化点 について、特に柔軟に対応した以下の2点をまとめました。
 - より複雑なルールとなった ブロック並べゲーム のゲームの要素定義を、忠実にモデリングしました。特に、規約などの可視できない関連についてはより綿密に表現しました。
 - 走行体のタイヤが新しくなったため、それに合わせた制御方法を提案しました。年々改良を重ねているため、より精度の高い走行が可能となるよう構成されています。
- ブロック並べゲーム の移動経路の決定の際、コストを効率的に求めるために「からっ風コード」という独自の座標を提案しました。これにより、複雑な計算を抑え、かつ移動経路の算出も行いやすくなりました。

◆モデルの構成◆



- 要求分析
 - 理論的に算出した数字を基に、以下の達成要件を得て目標とした
 - 走行タイム ≤ 20 秒
 - ボーナスタイム 28秒 獲得
- 分析モデル
 - 規約や走行体の制約を踏まえ、「からっ風コード」を採用し、独自の移動コスト算出方法を提案した
 - ブロックの運搬・設置を安全・確実に行えるよう、特殊ケースを想定し、対応策を記載した
- 設計モデル
 - 分析結果を基に、動的なシステムの動きを表現するため、パッケージを用意した。また、状態の変化による切り替えを可視化するため、ステートマシン図を用意した。
- 制御モデル
 - フィルタの特性を活かした制御を行うことで、ロバスト性の高い走行を可能とした

トレーサビリティを確保しやすいよう、エリアと要素技術に対してアイコンを設定した。

各アイコンは右表の通りである。

※要素技術についてはP.2
目標及びP.6制御をご参照
ください

表1 要素技術とアイコン

アームモーター制御	後退制御	走行距離算出	車体方位算出	キャリブレーション	PD制御	移動平均フィルタ	一次遅れフィルタ	色空間の変換(HSV)	初期位置コード復号器	経路探索アルゴリズム
										

要求

分析

設計

制御

からっ風産学隊2018

目標

我々はCS大会で高得点を確実に獲得することによって全国制覇できると考え、目標を「Rコースリザルトタイム ≤ -8」とした

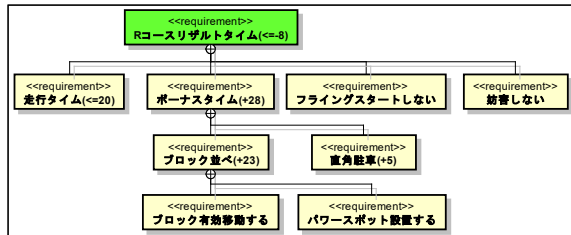


図2.1 要求図：目標の構成

ブロック並べエリアでは、ブロック有効移動かつパワースポット設置をすべてのブロックに対して行うことでボーナスタイム23秒を獲得することができる。

また、走行タイムは、コースの形状から算出した走行時間の誤差を±20%としたときの最も遅いタイムを目標に設定した。(走行タイム：p6参照)以上から、Rコースリザルトタイムの目標を-8秒以下とした。

紙面の都合上、直角縦列駐車についての記述は割愛する(以後、省略)

ユースケース

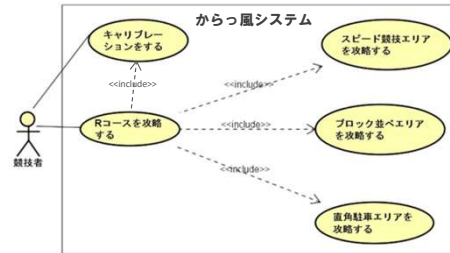


図2.2 ユースケース図：アクターとシステムの関係

目標から本システムを実現するために必要なユースケースを抽出した(図2.2)。また、各ユースケースに対してユースケース記述を用いてより詳細な分析を行った(表2.1)。

表2.1 ユースケース記述：Rコース攻略

ユースケース	Rコースを攻略する
概要	システムがRコースを攻略する
アクター	競行者
不変条件	システムの電源がONである
事前条件	システムが正常に起動していること
事後条件	システムがRコースを攻略していること
基本フロー	<ol style="list-style-type: none"> 1. 競行者はRコース競技の準備を開始する 2. 競行者がシステムのキャリブレーションを実施する 3. 競行者はシステムにRコースの走行開始を指示する 3. システムはRコースの走行を開始する 4. システムはスピード競技エリアを攻略する 5. システムはブロック並べエリアを攻略する (A1, E1) 6. システムは直角駐車エリアを攻略する 7. 本ユースケースを終了する
代替フロー	A1. キャリブレーション時にパワースポットを算出できなかった場合、ブロックの運搬先をあらかじめ指定した「ブロック有効移動」となる位置とする
例外フロー	E1. 確保したいブロックが移動先になかった場合、ブロック並べエリアを脱出し、直角駐車に移行する

要求分析

目標・ユースケースをブレイクダウンして、機能要求・非機能要求・要素技術を抽出した。

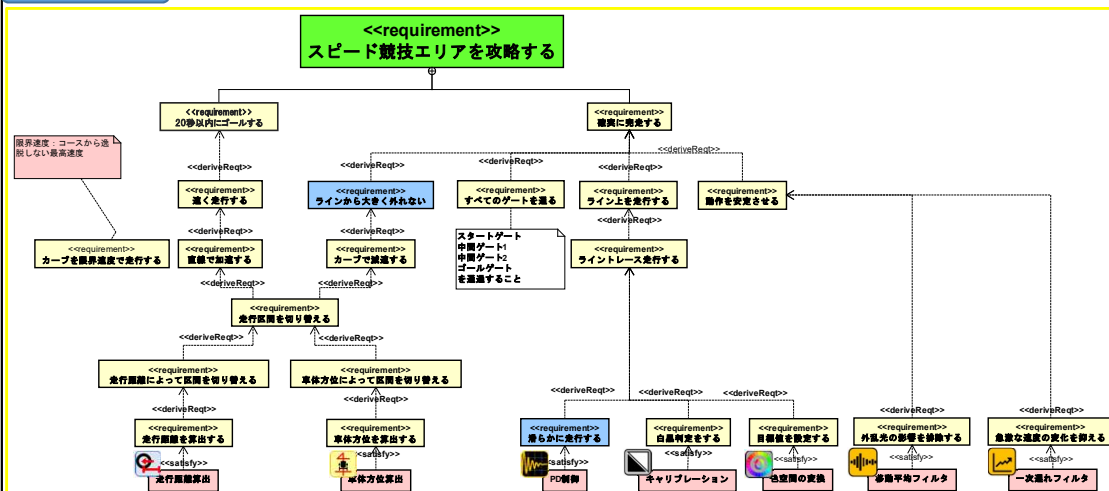


図2.3 スピード競技エリア要求図：ゲームクリアに必要な要求とそれを成立するための要素技術

まず、上位要求として目標を達成するために実現したいことをユースケースを用いてブレイクダウンした。

エリア分け(図2.5)より、スピード競技エリア、ブロック並べエリアの2つに分解して分析を行った。次に、要求図を用いて、競技においてそれらを実現するために必要な機能を求めた。

最後に、それら機能を実現するための技術について選出した。(図2.3, 図2.4)

○エリア分けについて

Rコースについて、以下のようにエリア分けを行い、それぞれに必要な機能を求めた。(図2.5)

- ・・・スピード競技エリアとする
- ・・・ブロック並べエリアとする

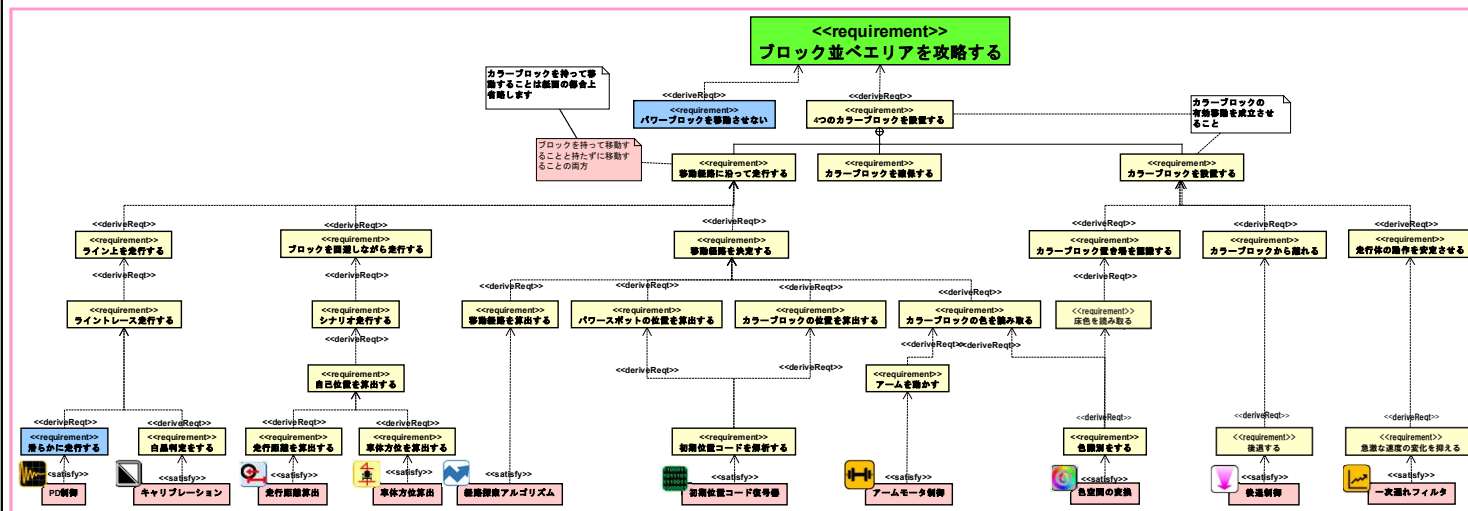


図2.4 ブロック並べエリア要求図：ゲームクリアに必要な要求とそれを成立するための要素技術

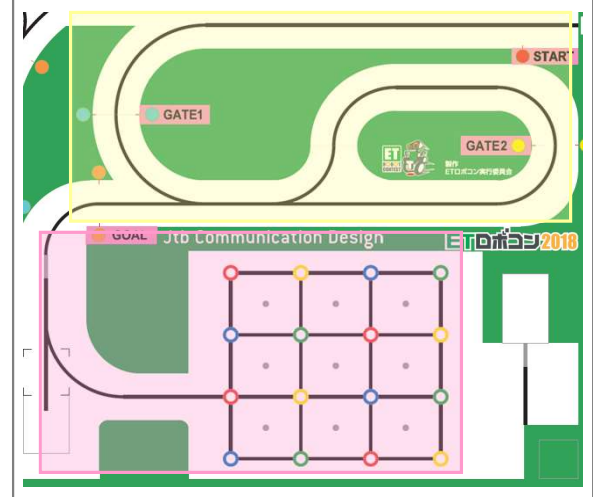


図2.5 コースエリアの名称

ゲームの要素定義

ブロック並べエリアのゲームの構成要素をクラス図で表した。また、コースのブロック配置時の様子をオブジェクト図で定義した。

※以下の3点において、紙面の都合上割愛する
・カメラシステム
・初期設置済座標コードその2～4
・空白エリアのカラーブロック置き場や線分との関連

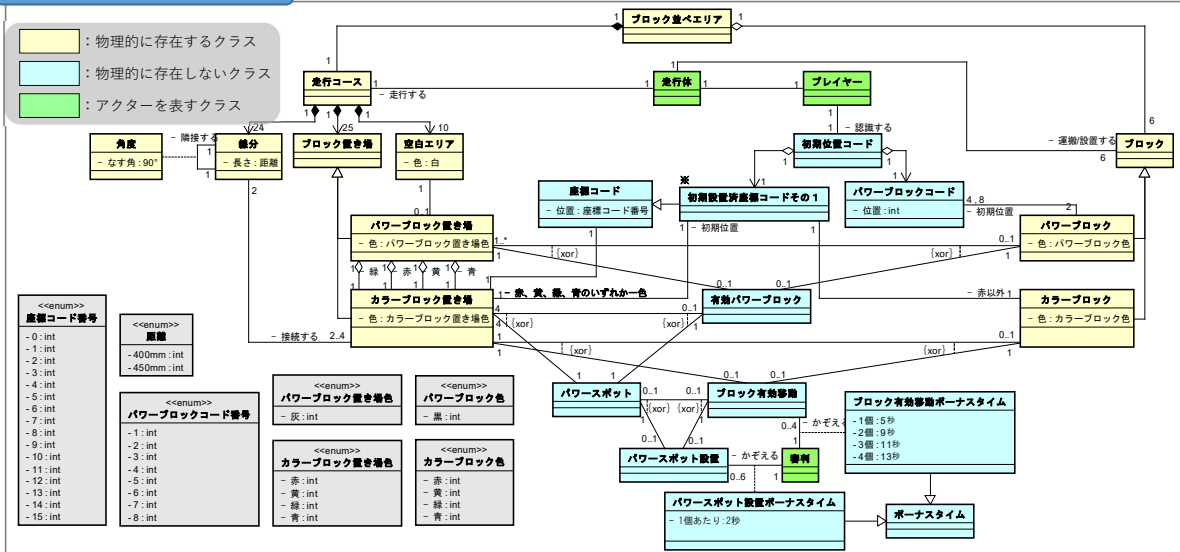


図3.1 クラス図：ゲームの要素定義

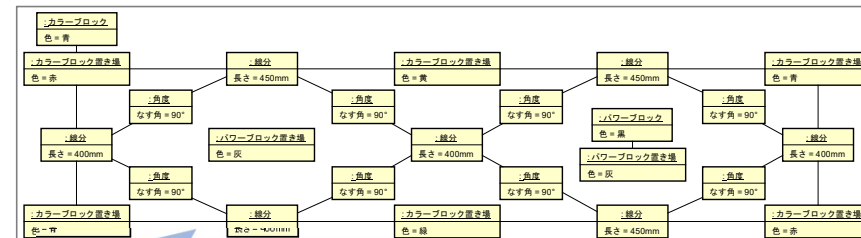


図3.3 オブジェクト図：ゲームの要素定義

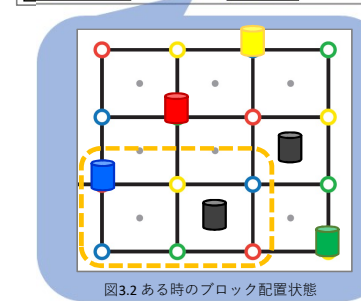


図3.2 ある時のブロック配置状態

2つの有効パワーブロックに囲まれた1つのパワースポットを「ダブルパワースポット」とした。

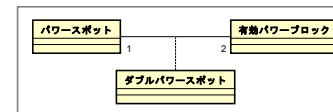


図3.4 クラス図：ダブルパワースポット

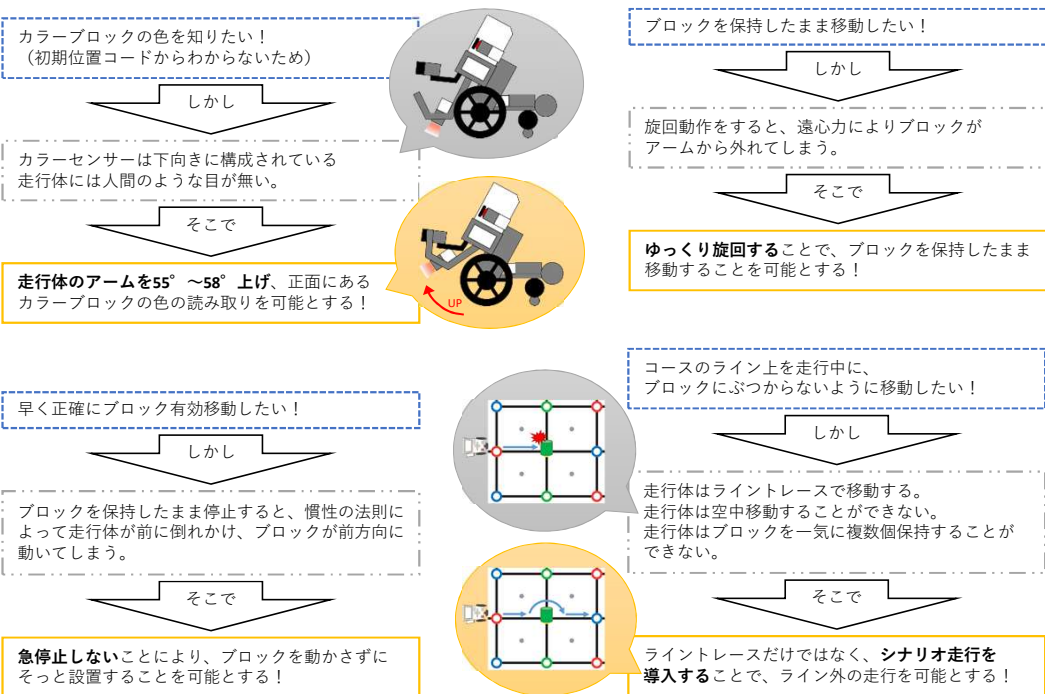
走行体の動作定義

「プレイヤーの要求」と「走行体の制約・制限」を前提とした上で、走行体の動作定義とする「システムの仕様」を決定した。

プレイヤーの要求

システムの仕様

走行体の制約・制限



指針



開発目標の検討の中で、ブロックを確実にパワースポットに設置することを目標として設定した。また、ダブルパワースポットへの設置は必ず行う。ブロックがどのような初期位置でも、パワースポットに設置するために、ゲーム攻略の指針として、初期位置からパワースポット設置までの運搬順序と移動経路について検討する。

ブロックの運搬順序

各ブロックの移動先は一意に決定する。
運搬順序は、ブロックの色が不明なため、走行体自身の自己位置から一番近いブロックを次に運搬するブロックとして決定する。なお、p4の解法に示すような特殊ケース①、②の場合は、ブロック運搬順序が前後することがある。
また、パワーブロックは移動させることで、ダブルパワースポットを増やすことができ、高得点を狙えるが、安全性を考慮してパワーブロックの運搬は行わない。

目標の得点配分

目標とするブロック並べゲームのボーナスタイムを 23秒 とした。

内訳は以下の通りである。

- ・ブロック有効移動 ボーナスタイム : 4個 → 13秒
- ・パワースポット設置 ボーナスタイム : 3個 → 6秒
- ・ダブルパワースポット パワースポット設置 ボーナスタイム : 1個 → 4秒

移動コストの計算

ブロック並べエリアに対し、図3.5のようにx方向・y方向を定義し、ブロック置き場に座標を定義した。
この座標を「からっ風コード」と定義する。からっ風コードを使用することで、以下のように、移動方向およびコストを容易に算出することが可能となる。

コスト計算方法

【例：座標コード「8」から「7」へ行きたい時】

$$\begin{matrix} (3,1) & - & (0,2) & = & (3,-1) \\ [7] & - & [8] & & \text{移動分} \end{matrix}$$

(3, -1) : X軸方向へ「3」、Y軸方向へ「-1」移動すれば良い

$$\text{コスト} : |3| + |-1| = 4$$

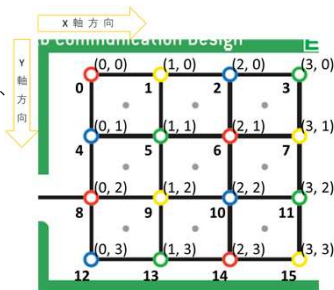


図3.5 からっ風コード

要求

分析

設計

制御

からっ風産学隊2018

分析／解法

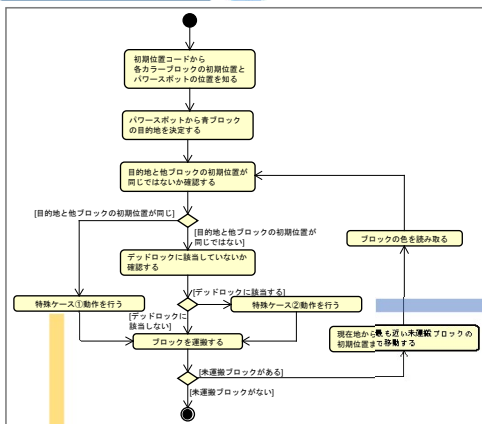


図4.1 アクティビティ図：ブロックの運搬順序・移動経路の決定

ブロックを運搬するにあたり、ブロックの運搬順序・移動経路の決定のためのアクティビティ図、及びクラス図を図4.1、4.2に示す。

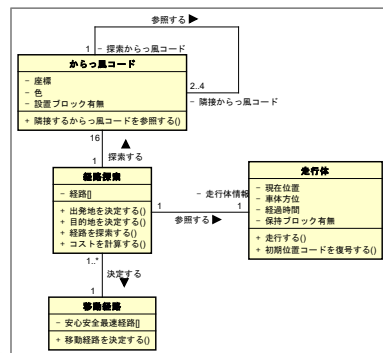


図4.2 クラス図：経路探索の関連

特殊ケース①時の動作例

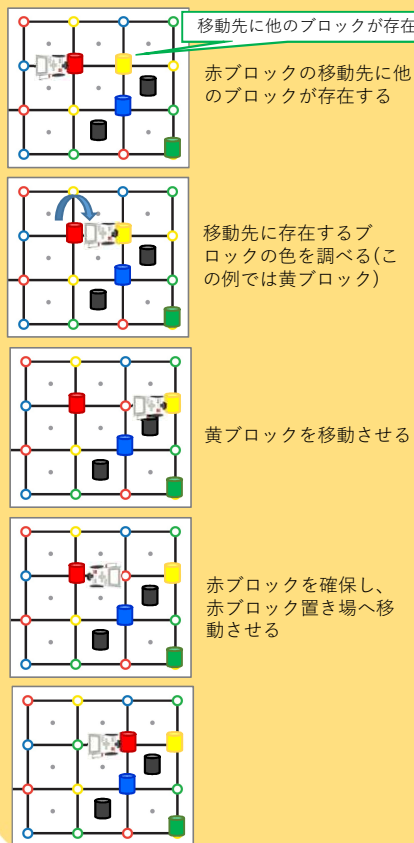


図4.3 パッケージ図

設計／パッケージ構造

設計したシステムの構造を4つのパッケージに分解している(図4.3)。また、各パッケージの債務を示す(表4.1)。

表4.1 パッケージ債務

パッケージ	債務
コントローラ	情報や判定結果から自己位置やブロック位置を算出し、移動経路を決定して動作を指示する
動作	設定されたパラメータをもとに動作を行う
判定	設定された条件をもとに、各種判定を行う
情報	走行体の現在情報を提供する

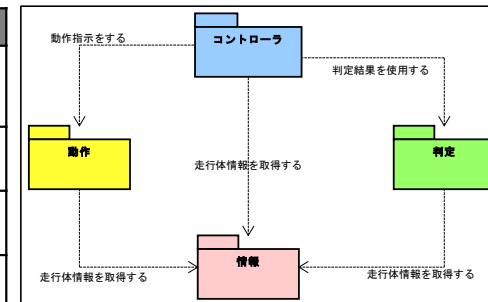


図4.3 パッケージ図

設計／クラス構造

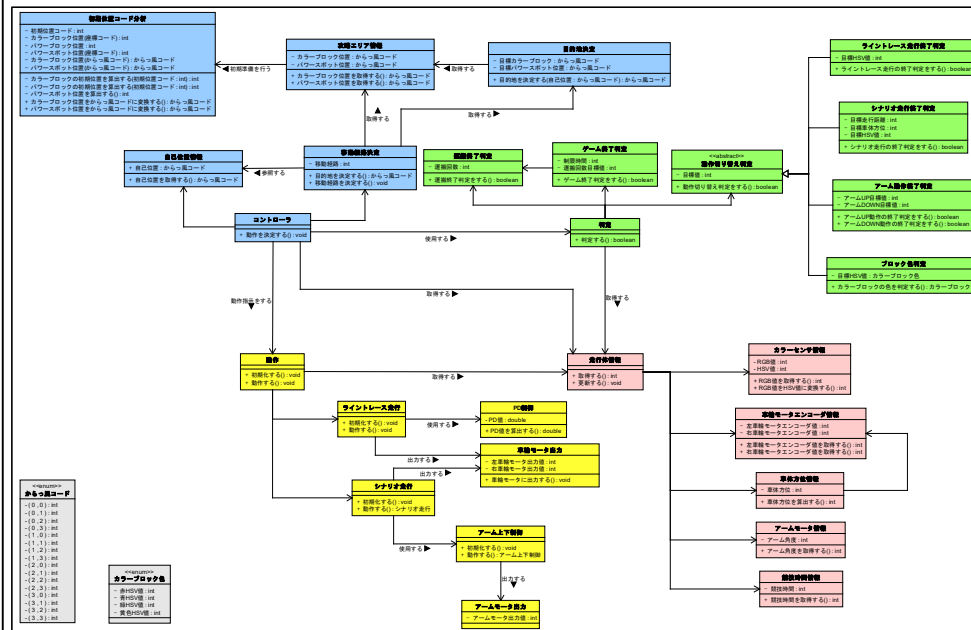


図4.4 クラス図

- **コントローラ**は初期位置コードを分析してカラーブロック位置やパワースポット位置を算出する。ゲームの進行に伴ってブロックの位置が移動した場合も情報や判定結果を使用してブロック位置を算出して対応する。また、移動経路を決定し動作を指示する
- **動作**はコントローラから指示を受けて、ライトレース走行またはシナリオ走行を行う。情報を使用することで指示された動作を実現する
- **判定**は動作切り替え判定や運搬終了判定、ゲーム終了判定を行う。情報を取得し、条件と照らし合わせることで判定を行う
- **情報**は走行体のセンサ情報やエンコーダ情報などを取得する

振る舞い

ブロック並べゲーム全体の流れをp.3のパッケージに注目して表す(図3.3)。

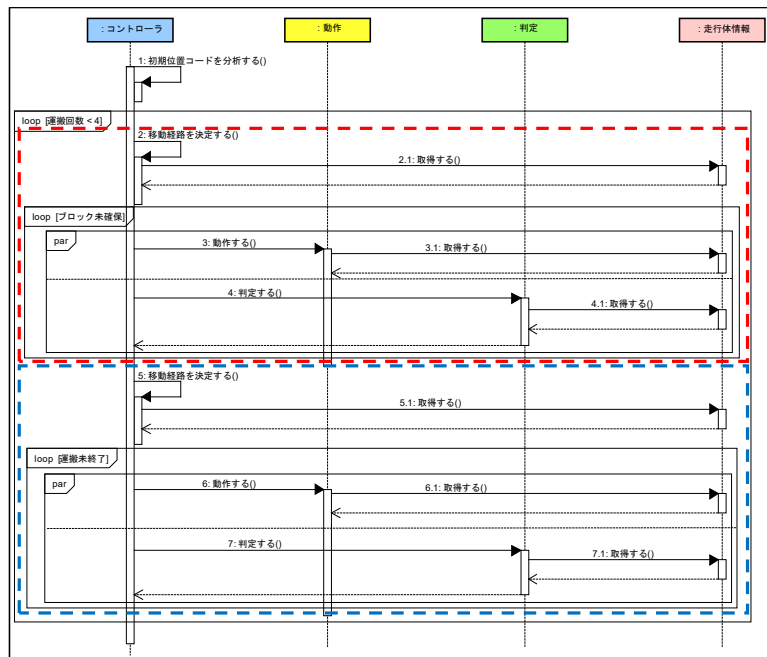


図5.1 シーケンス図:ブロック並べゲーム

また、コントローラ、動作、判定、走行体情報のクラスにおける状態遷移を可視化するためにステートマシン図を以下に示す。

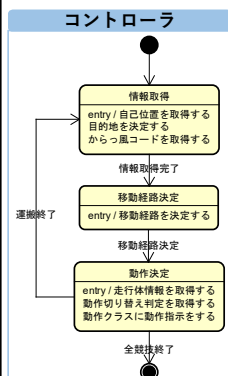


図5.2 コントローラのステートマシン図

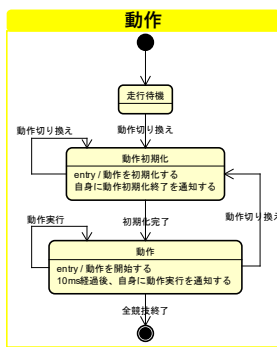


図5.3 動作のステートマシン図

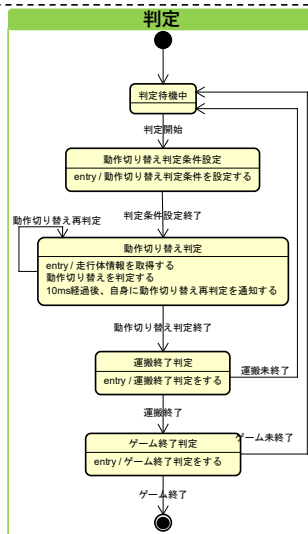


図5.4 判定のステートマシン図

細かい点(引数や返り値の表記など)については省略する。

初めに初期位置コードを分析し、カラーブロックの初期位置やパワースポット位置を算出する。
赤の枠で囲まれているのがブロック確保に関する部分、青の枠で囲まれているのがブロック運搬に関する部分である。
それぞれ移動経路を決定し、条件を満たすまで動作と判定を繰り返し行う。判定結果をもとにライトレース走行とシナリオ走行を切り替える。
また、ブロックの運搬回数が4回以上となるとゲームは終了する。
(※一定時間が経過した場合もゲームを終了するが、図5.1では紙面の都合上省略する)

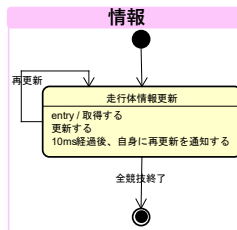


図5.5 走行体情報のステートマシン図

移動経路決定

ブロック並べゲーム攻略において最も重要だと考えられる移動経路決定に関する部分について、シーケンス図を用いて表す。

(※その他の部分については紙面の都合上省略する)

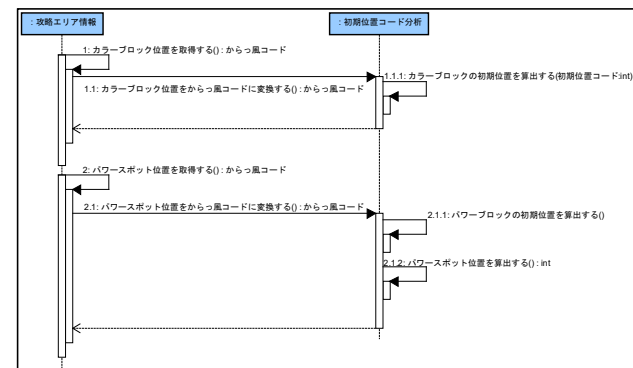


図5.6 シーケンス図:初期準備

ゲーム攻略のために初期準備として行う**初期位置コードの分析**について示す(図5.6)。

初期位置コードを分析しカラーブロックの初期位置を算出する。
また、パワースポットの初期位置を算出することで、パワースポットの位置を算出する。

この動作シーケンスは1回だけ行われる。

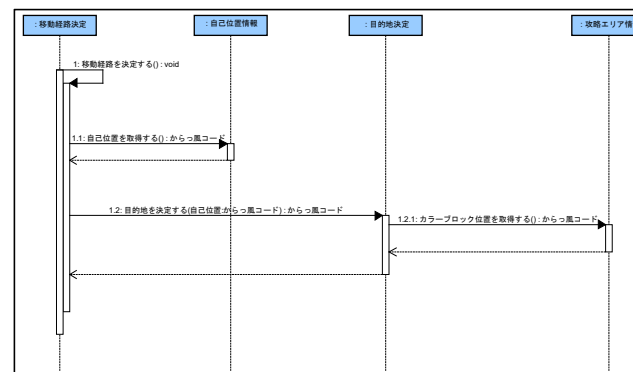


図5.7 シーケンス図:移動経路決定(ブロック確保)

次に**運搬するカラーブロックまでの移動経路決定**について示す(図5.7)。

自己位置を取得し、カラーブロックの位置と照らし合わせて、次に運搬するカラーブロックを決定する。
そのカラーブロックのある置き場を目的地とし、自己位置から目的地までの移動経路を決定する。

(※図5.1では情報を取得しているが、その点に関する記載は紙面の都合上省略する)

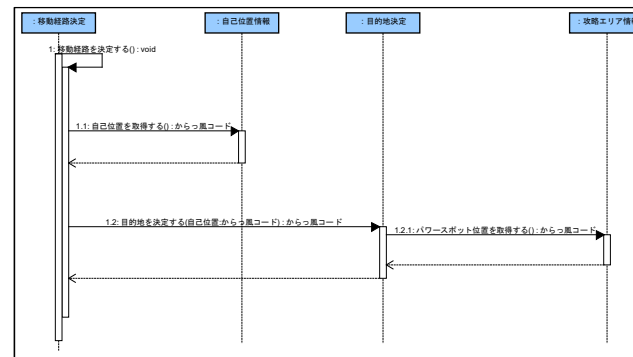


図5.8 シーケンス図:移動経路決定(ブロック運搬)

運搬するカラーブロックを確保した後に行う**運搬先までの移動経路決定**について示す(図5.8)。

自己位置を取得し、パワースポットの位置と照らし合わせて、運搬先とするパワースポットを目的地とし、自己位置から目的地までの移動経路を決定する。

(※図5.1では情報を取得しているが、その点に関する記載は紙面の都合上省略する)

スピード競技エリア



要素技術

6.1.1 移動平均フィルタ

目的: 外乱光やコースのしわの影響を低減する
手法: カラーセンサの取得値に移動平均フィルタを適用し、環境による取得値の急激な変化を抑える

コースには他チームの走行により、しわが寄ってしまうことが考えられる。また、今年の走行体は去年よりも高い位置にカラーセンサがあるため、外乱光の影響を受けやすい。これらが原因でカラーセンサの取得値が急激に変化することがあり、走行体の動作が不安定になってしまう。そこで、移動平均フィルタを適用することで取得値の急激な変化を抑えることができ、安定した走行が可能となる。

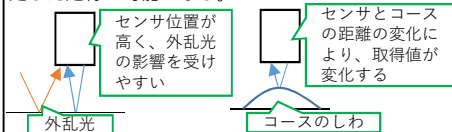


図6.1.1.1 外乱光の影響

図6.1.1.2 コースのしわの影響

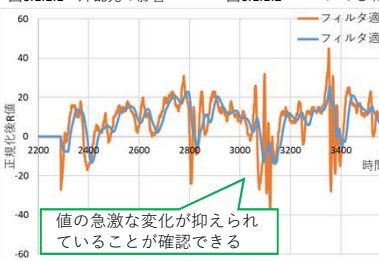


図6.1.1.3 移動平均フィルタ適用結果

6.1.2 走行距離・車体方位算出

目的: スタート地点から現在地点までの走行距離と走行体の車体方位を算出する
手法: オドメトリ法を使用する

コース上で動作を切り替えるにあたり、走行体の自己位置から判断することが重要となる。そこで、図6.1.2.1に示す走行体の物理的な関係から、走行体の走行距離・車体方位を算出する。これにより、走行体の移動距離・回転角度を指定することができ、動作の切り替えを行う判定条件として指定することができる。図6.1.2.2に、走行距離・車体方位から算出した移動軌跡を示す。図6.1.2.2より、誤差はあるものの、走行体の走行距離および車体方位を算出できていることがわかる。

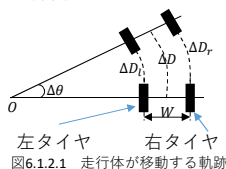


図6.1.2.1 走行体が移動する軌跡

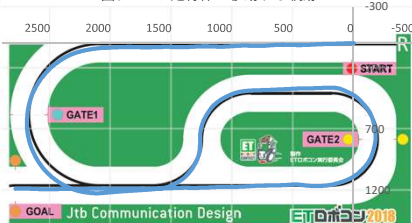


図6.1.2.2 走行距離・車体方位より算出した走行体の移動軌跡

制御戦略

6.1.3 コースの形状に合わせた走行

コース上の走行はPD制御を用いたライントレース走行で行う。カーブ走行時に最速で走行させると、例えば以下のような状態になる。
 ・右モータは、最大指令値(PWM) + PD制御量
 ・左モータは、最大指令値(PWM) - PD制御量
 モータの出力には限界があるため、最大指令値以上となっても、出力はそれ以上がらない。よって、以上のような状態になった場合、左右モータの差が大きくなり、カーブを曲がり切れな可能性が。そこで、カーブの曲率を考慮した速度で走行させることを考える。
 カーブの曲率と左右タイヤの移動速度の関係から、走行体の速度を算出することで、高速にカーブを走行することを可能とした(この速度を限界速度とする)。また、移動平均フィルタを適用することにより、安定かつ安全に走行させることが可能となる。それぞれの区間は、走行距離・車体方位を終了判定条件として区間の切り替えを行う。
 スピード競技区間を曲率ごとに8つの小区間に分け(図6.1.3.1参照)、それぞれの速度を求めた結果を表6.1.3.1に示す。PWM値については、速度とPWM値の関係を実測値より求めた。



図6.1.3.1 スピード競技エリアの8つの小区間

表6.1.3.1 スピード競技エリアの8つの小区間における限界速度

区間	曲率半径(m)	速度(m/s)	PWM	走行時間(s)
①	※	0.657	100	3.059
②	0.564	0.575	70	3.081
③	※	0.657	100	0.761
④	0.372	0.493	60	1.185
⑤	0.372	0.493	60	1.185
⑥	※	0.657	100	0.989
⑦	0.372	0.493	60	2.371
⑧	※	0.657	100	3.896
スピード競技エリア走行時間				16.527

※PWM値80～の角速度は「ほぼ」一定であるため、直進ではPWM値100とする方が最速で走行できる

ブロック並べエリア



要素技術

6.2.1 光の正規化・色空間の変換(HSV)

目的: 色を正しく認識する
手法: カラーセンサから取得したRGB値を正規化し、さらにHSV値に変換することで色の誤判定を防ぐ

コース上およびブロックの色を測定した結果を図3.1.4及び表3.1.4に示す。カラーセンサで取得するRGB値はそれぞれの分解能に差があり、上限は255ではないことが確認できた。そこで、取得したRGB値に上限値を255とする正規化を導入した。次に、RGB値を色相H・彩度S・明度Vとして識別できるHSV色空間への変換を行った。これにより、色を容易に識別することが可能となった。なお、床色はブロック置き場に到達したかを判断するために彩度S、ブロック色は明確に4色を識別するために色相H・明度Vを用いて判断する。

表6.2.1.1 カラーセンサによる床色測定結果

床色	R	G	B	正規化R	正規化G	正規化B	彩度
黒	9	6	11	0	0	0	0
白	122	113	201	255	255	255	0
赤	109	16	19	226	24	11	215
緑	23	63	45	32	136	46	104
青	12	35	123	7	69	150	144
黄	112	92	23	232	205	16	216

表6.2.1.2 カラーセンサによるブロック色測定結果

ブロック色	R	G	B	正規化R	正規化G	正規化B	色相	明度
黒	0	2	2	0	0	0	0	0
赤	113	16	5	240	35	4	8	240
緑	5	42	10	11	99	11	121	99
青	2	39	55	4	92	76	167	76
黄	126	111	7	255	255	7	60	255

床色に関しては、ブロック置き場に到達したかを判断するだけであり、床色が何色化を判断する必要はない。そのため、白黒とその他4色で明確に差のある彩度Sを用いる

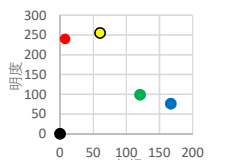


図6.2.1.1 ブロック色の色相/明度

白ブロックが存在しないため、正規化に使用する白の値は床色を使用する

6.2.2 一次遅れフィルタ

目的: 急発進・急停止(減速)による走行体のぶれを抑える
手法: モータへの入力値に一次遅れフィルタを適用する

今年の走行体は去年と比べてタイヤが大きくなり、重心が高くなった。これにより、急発進・急停止(減速)により前後に大きく揺れて動作が不安定になる。そこで、走行体の左右モータに与えるPWM値に一次遅れフィルタを適用することで、一次遅れ系のステップ応答となり、速度の急激な変化が抑えられ、安定した走行を可能とした。

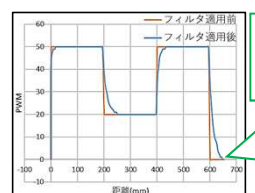


図6.2.2.1 PWM値:一次遅れフィルタ導入結果

一次遅れフィルタの導入により、走行体のぶれが小さくなっていることが確認できる

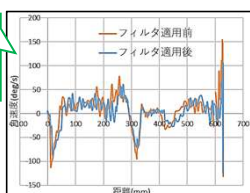
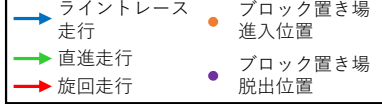


図6.2.2.2 ジャイロセンサ値:一次遅れフィルタ導入結果

制御戦略

6.2.3 ブロック並べエリア走行方法



6.2.3.1 ブロック置場地上を走行

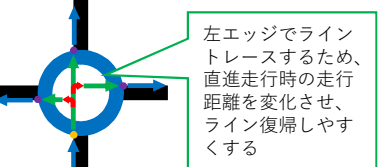


図6.2.3.1.1 ブロック置場地上を走行

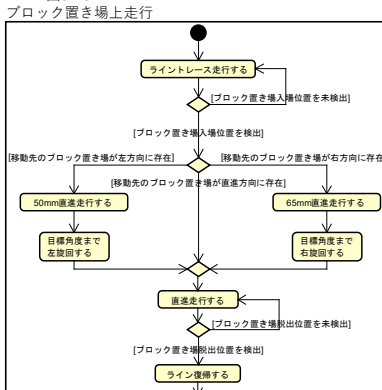


図6.2.3.1.2 アクティビティ図:ブロック置場地上の走行

6.2.3.2 ブロック回避走行

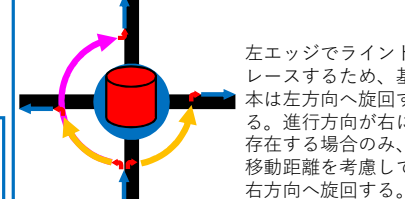


図6.2.3.2.1 ブロック回避走行

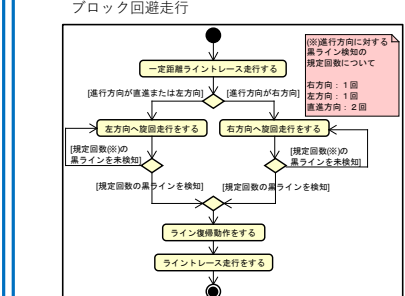


図6.2.3.2.2 アクティビティ図:ブロック回避走行

6.2.3.3 ブロック配置時の走行



図6.2.3.3.1 ブロック配置時走行

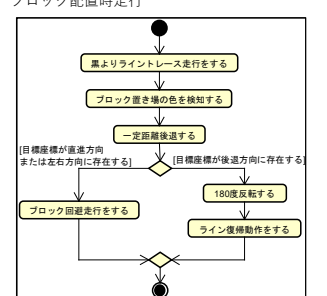


図6.2.3.3.2 アクティビティ図:ブロック配置時の走行

6.2.3.4 ブロック確保・配置時のライントレース方法

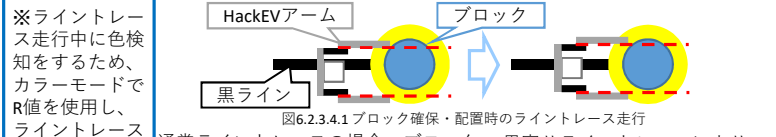


図6.2.3.4.1 ブロック確保・配置時のライントレース走行

※ライントレース走行中に色検知をするため、カラーモードでR値を使用し、ライントレース走行する

通常ライントレースの場合、ブロックの中心からアームが離れてしまう。黒寄りライントレースにより、ブロックの確保、配置が安定する