

The Championship of Robotics Engineers

革新的技術賞 応募シート

チーム名：TKG (Tou-Kai-Group)

本文書では、チーム目標とそれを実現する革新的なアイデアを説明する。なお、革新性を有するアイデアを青字の下線部(イ)～(ト)で示す。

1. 概要

CoRE2023 の弊チームは、アタッカーの飛距離こそ参加チーム上位であったが、以下の点から同盟戦では主力として活躍できなかった(右図赤線)。

- ・各要素の信頼性が乏しく試合ごとに発揮できる能力にばらつきがあった。
- ・車体制御性能が低く相手鎧を正確に狙えなかった。

よって、2023 年度の反省点は「**性能を優先した結果、安定性の育成が不十分であった結果、同盟戦で主力として活躍できなかった**」ことである。よって、2024 年度のチーム目的を「**同盟戦で主力となって活躍できる**」こととした。

また、オートタレットの開発を進めるチームが増加しており、オートタレットの性能が自同盟の戦力に与える影響が大きくなると予想される。


以上から、本年度は同盟戦で主力となって活躍するためにチーム目標を「**アタッカー育成、オートタレット開発**」として右図青線のチーム構成を目指す。



1.1 アタッカー育成

アタッカーの育成項目は、「射角」、「位置決め」、「安定性」、「強化素材対応」である。実績値や他チーム調査結果から、表 1 の目標値を設定し、実現のためのアイデアを提案した。

表 1 アタッカー育成項目

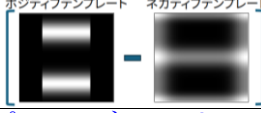
	目標	機構の概要と実現のためのアイデア
射角	本陣上部のダメージパネルを狙えること	従来相当の投射能力を有したまま本陣上部のダメージパネルを狙える <u>跳ね上げ式射角調整機構</u> (イ)
位置決め	角度制御精度 1deg 以内	車体を低速でも精密に制御できる <u>起動トルク補償器</u> (ロ)
安定性	MTBF※1 3 試合	インシュロックにかかる衝撃を吸収して破損を防止するための <u>ローラーゴム縫い付け用インシュロックへの弾性接着剤の塗布</u> (ハ) 
強化素材対応	回収/設置 20sec 以内	ラフな車体位置決めでも容易に強化素材を回収できる <u>ハンド部の揺動誘い構造</u> (ニ)

※1 MTBF: Mean Time Between Failure, 平均故障間隔

1.2 オートタレット開発

オートタレットには、目標のダメージパネル位置をリアルタイムかつ正確に検出するダメージパネル検出、目標位置にボールを当てるために必要なジンバル角度やローラー回転速度を生成する指令生成、指令に高速かつ正確に追従する機構制御が必要である。

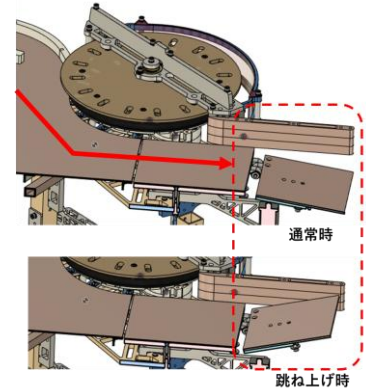
表 2 オートタレット開発項目

	目標値	機構の概要と実現のためのアイデア
ダメージパネル検出	検出周期 20Hz	<u>ポジティブ・ネガティブテンプレートを</u> <u>用いたテンプレートマッチング</u> (ホ)による高速・高精度なダメージパネル認識 
指令生成	有効射程 3m	<u>空気抵抗を考慮した射出角をルックアップテーブルによる</u> <u>目標指令(ジンバル角度、ローラ回転数)の生成</u> (ヘ)
機構制御	定常偏差 0.7deg 以内	静止摩擦力による位置決め精度の劣化を改善するためのジンバル制御における <u>静止摩擦力を考慮した LQR 制御</u> (ト)

2. アタッカー育成の詳細

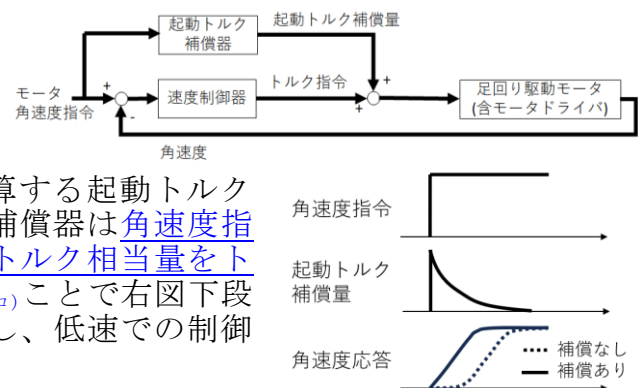
2.1 跳ね上げ式射角調整機構

昨年までの投射機構では本陣の上側に設置されたダメージパネルを狙うことができなかった。そこで、右図の赤枠のように投射機構の先端部に跳ね上げ式の角度調整機構を取り付ける(イ)ことで、高いところのダメージパネルを狙えるようにした。通常時はフライングディスクの威力を減衰させないために”通常時”のように飛翔するフライングディスクとフライングディスクの経路(赤線)が干渉しないよう位置決めし、本陣のダメージパネルを狙う際のみ”跳ね上げ時”のように上向きにフライングディスクを投射することで、相手アタッカー等との交戦時にも従来同等の投射能力を維持できる機構である。



2.2 起動トルク補償器

投射方向の微調整や、強化素材に対する位置決めでは車体を微速動作できることが望ましい。一方、PID 制御器ではモータや地面の静止摩擦の影響で指令に対する追従性が低下する。そこで、静止摩擦トルクに相当するトルク指令値を始動時にトルク指令値に加算する起動トルク補償器を実装した。右図のように起動トルク補償器は角速度指令が 0 から変化した時点を起点に、静止摩擦トルク相当量をトルク指令値に加算し、一定時間で漸減させる(ロ)ことで右図下段のように静止摩擦トルクから抜け出しやすくし、低速での制御性能を改善した。



2.3 ローラーゴム縫い付け用のインシュロックに弾性接着剤を塗布

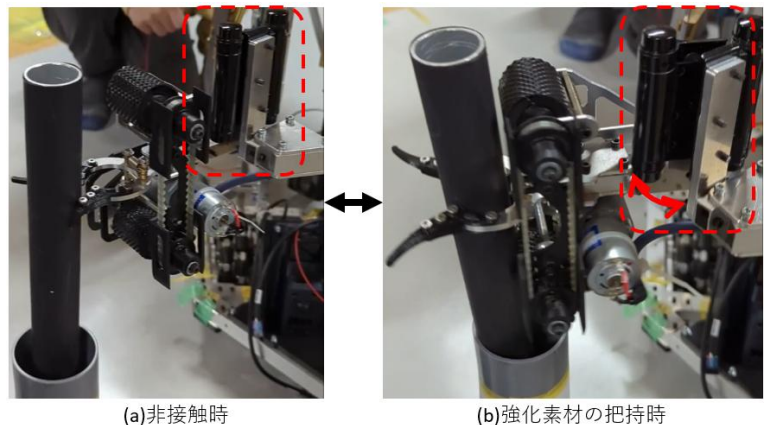
投射ローラーに取り付けるゴムを固定しているインシュロックが投射ローラーの高速回転時に振動によって外れる課題があった。そこで、インシュロックのロック部に弾性接着剤を塗布する(ハ)ことで高速回転時の振動下でもインシュロックが外れなくなり、安定性を向上できた。



2.4 ハンド部の揺動誘い構造

試合中は、短時間で強化素材を回収し据え付ける必要がある。そこで、強化素材を回収するハンド部に受動的な揺動構造を設ける(ニ)ことで対処した。

具体的な構造を右図に基づき説明する。右図の赤枠内がばねを有する受動的な蝶番である。強化素材と接触していない状態のハンドは右図(a)の状態にある。それに対して、強化素材と接触しその移動方向と把持方向一致しなかった場合には右図(b)赤矢印のようにハンド全体が受動的に揺動することで進行方向にずれがあっても強化素材を回収できる。

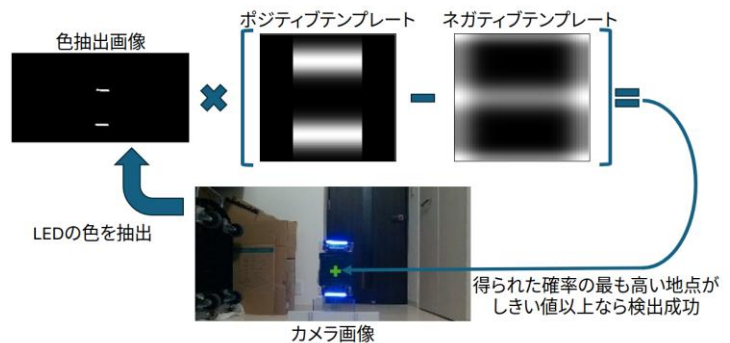


3. オートタレット開発の詳細

3.1 ポジティブ・ネガティブテンプレートを用いたテンプレートマッチング

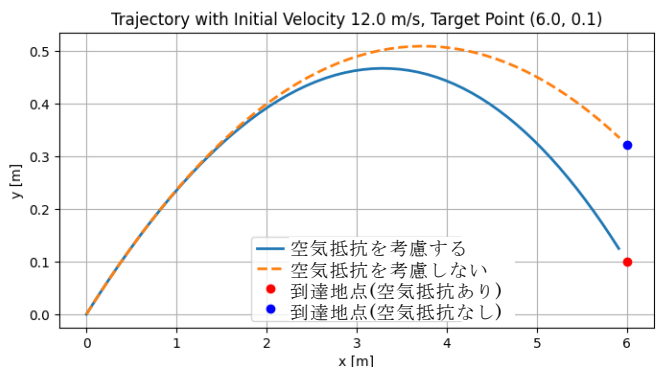
ダメージパネルの検出は可能な限り高速であることが望ましい。一方、オートタレットの計算資源は限られるため、AI による手法よりも古典的な画像処理を用いることが適切である。しかし、典型的な手法であるテンプレートマッチングは、ロボットの移動によるダメージパネルの角度変化によって、カメラ画像中のダメージパネルとテンプレート画像との類似度が逐次変化するため、安定した検出が難しかった。

そこで、カメラ画像から対象のダメージパネルの LED の色のみを色抽出画像として抽出し、その画像に対して、ダメージパネルの LED の存在確率密度分布（ポジティブテンプレート、右図中央）と非存在確率密度分布（ネガティブテンプレート、右図右）をテンプレートとしてテンプレートマッチングを行う^(ホ)ことで、柔軟性の確保と誤検出の低減を実現した。



3.2 空気抵抗を考慮したローラー回転数指令およびジンバル角度指令の生成

オートタレットから発射されたボールは、短距離では初等物理における斜方投射問題の解析解に従う。しかし、飛距離が長くなるにつれ空気抵抗の影響を無視できなくなるため、ローラー回転数やジンバル角度を算出するためには、空気抵抗を考慮する必要がある。一方、空気抵抗を考慮した場合は解析的に解くことは難しく、最適化計算により近似解を求める手法も計算時間がかかりリアルタイム性を維持することができない。そこで、予め計算したルックアップテーブルを用いることで空気抵抗を考慮したローラー回転数およびジンバル角度の指令生成を実現^(ハ)した。これにより、右図の同一射角における投射距離と到達高度の関係において、青線の空気抵抗を考慮した到達位置の予測による指令生成を実現し、リアルタイム性も確保した。



3.3 静止摩擦力を考慮した LQR 制御

遠距離までボールを正確に命中させるためにはローラー回転数とジンバルの角度の制御が重要となる。例えば、6m 先のダメージパネル(□150mm)に命中させるためには誤差 0.7 ($\approx \text{atan}((0.15/2)/6)$)度以下の位置決め性能が必要である。しかし、微小範囲の位置決めは摩擦力、特に静止摩擦力によりその位置決め性能が劣化することが知られており、前記性能を達成するための阻害要因となっている。一方、サンプルとなる姿勢制御プログラムは PID 制御を使用しており摩擦がある場合も定常偏差なく制御できるが、最適なパラメータ調整に職人技が必要であり、調整に膨大な工数が必要となる。

そこで、最適制御手法の一種である LQR 制御によりパラメータ調整工数を削減しつつ、LQR 制御単体では静止摩擦力によって生じる残差を、静止摩擦力をハイパボリックタンジェントと動き出し開始時点を 0 度した角度 θ を用いた式(1)により算出したトルク T_s (指令角速度)をフィードフォワードトルクとして補償^(ト)することで、0.5 度以内まで残差を減らすことができた。

$$T_s(\text{指令角速度}) = -\text{最大静止摩擦力} \times \exp\left(\frac{\text{指令角速度}}{\text{ストライベック角速度}}\right)^2 \tanh\left(\frac{\theta}{\epsilon}\right) \dots (1)$$

ϵ : 十分に小さい値