

ロボットコンテストにおける自動ロボットの開発

田中将樹・西野智路・中嶋龍一朗・奈良雄斗*
松橋達也*・保坂真志*・渡部秀崇・伊藤大地

Development of a Robot Using Positioning Control System for the Robocon Competition

Masaki TANAKA, Tomomichi NISHINO, Ryuichiro NAKAJIMA, Yuto NARA*,
Tatsuya MATSUHASHI*, Masashi HOSAKA*, Hidetaka WATANABE and Daichi ITOH

(平成 30 年 12 月 21 日受理)

This report presents an outline of our robots, which participated in the NHK Kosen Robocon competition in 2018, and describes the development of the automated robots. We attempted to manufacture robots that can have their positions controlled by rotary encoders. A proportional–differential (P–D) controller was adopted for the automatic robot positioning. The pulses of two rotary encoders were counted to assess P–D controller effects on forward and backward movement and on the lateral movement of the automatic robot. Good rectilinearity was obtained using the P–D controller. Positioning of the robot was realized at this Robocon competition.

1. はじめに

高専ロボコン（アイデア対決・全国高等専門学校ロボットコンテスト）は、全国から 57 校 62 キャンパスの高等専門学校が参加する教育イベントで、1988 年から始まり 2017 年に 30 周年を迎えた大会である。これまで本校は、第 1 回大会を除くすべての大会に参加し、9 回の全国大会出場を果たしている。2006 年に東北地区大会で優勝してからはしばらくの期間、全国大会からは遠ざかっていたが^{1)~3)}、2015 年、2017 年と全国大会に出場し、東北地区大会でもここ数年はベスト 4 以上や各賞を受賞する結果を残してきている。

2018 年 11 月 4 日に鶴岡市で開催された高専ロボコン東北地区大会では、出場した二チームとも残念ながら予選リーグ敗退であったが、B チームはデザイン賞と特別賞を受賞した。

本稿では、今年度のロボットコンテストで製作したロボットのうち、自動ロボットに焦点を当ててロータリーエンコーダによる位置制御の概要を述べ、実験による検討を加えてまとめた。

2. 競技課題の概要と自動ロボットの検討

今年の高専ロボコンの競技課題は、「ボトルフリップ・カフェ」というテーマで、1 チーム 2 台までのロボットが自陣の 8 つのテーブルに向かってペットボトルを投げてテーブル上に立たせるという競技内容であった。今回の競技課題は高専ロボコンで初めてロボットの自律化・自動化の課題が課され、2 台のロボットを使う場合、1 台のロボットは自動ロボットとすることとなった。高専ロボコンでは、2001 年の大会より無線コントロールが義務化されて以降、コントローラーを使用しない課題やロボット同士が通信する課題等があったが、今回の大会で自動ロボットがルールに記され、こ

*秋田高専学生

の「自律化・自動化」の流れは来年以降の競技課題にも続くとされている。

これまで本校では、操縦者の操作を補助するための半自動化したロボットを作製した経験はあるものの、完全な自律型自動ロボットの製作は未経験でその周辺技術の蓄積も乏しいものであった。ロボット製作におけるアイデア検討の段階で、自動ロボットの自動認識や位置制御に使用するセンサモジュールとしてロータリーエンコーダの他、超音波センサ、赤外線センサ、カメラを利用した画像検出、kinect センサなどが候補としてあげられた。最終的には両チームとも、扱い易さおよび外乱に対する安定性を考慮して、これまでの大会で使用実績のあるロータリーエンコーダ、超音波センサ、接触センサ（マイクロスイッチ）を採用し³⁾、これらのセンサからのデータを組み合わせることでロボットの位置制御を試みた。自動ロボットは従動輪に取り付けたロータリーエンコーダの出力パルス数から移動距離を算出し、超音波センサによりテーブルまでの距離を測定して速度制御を行い、接触センサでテーブルの土台およびフェンスを検知することを繰り返すことで移動させた。図 1 に今回作製した自動ロボットの外観を示す。

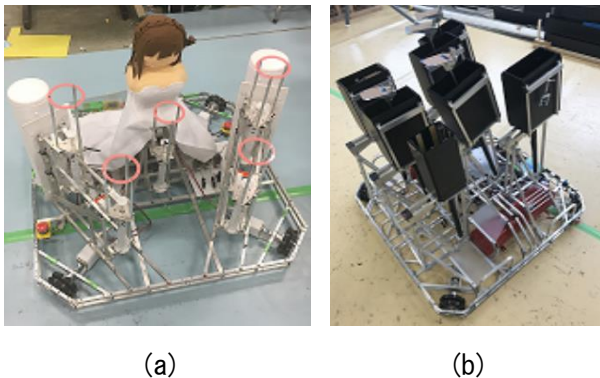


図 1 自動ロボット (a) A チーム, (b) B チーム

3. ロボットの各部の詳細

3.1 ロボットの概要

本年度のロボコンの競技課題では、手動ロボッ

トはスタート時に縦 1200 mm×横 1200 mm×高さ 1000 mm のサイズに収まっている必要があり、ロボットの重量は射出するペットボトルを含めずに 35 kg 以下となっている。また自動ロボットは縦 1000 mm×横 1000 mm×高さ 1000 mm のサイズに競技中を通じて収まっている必要があり、ロボットの重量は 30 kg 以下となっている。秋田高専では、東北地区大会に二チーム (A チーム : B-ride, B チーム : JK-ff) が出場した。ロボットの駆動輪は、両チームとも手動ロボットは横方向の移動のためホイールタイヤを、自動ロボットは前後左右の平行移動をするためオムニホイールを採用した。ペットボトルの射出機構には、B チームの手動ロボットは定荷重バネを利用したが、それ以外のロボットはエアシリンダによる押し出し機構を採用した。また、自動ロボットの位置制御の要となるロータリーエンコーダは、A チームは X, Y 軸に各 1 個、B チームは X, Y 軸に各 2 個使用した。結果としてエンコーダを 4 個使用した B チームの自動ロボットの方が比較的精度良く位置制御することができた。

3.2 自動ロボットの概要

図 2(a) に B チームの自動ロボットの足回りの CAD 図面を、(b) にホイールとロータリーエンコーダの位置関係を表した概略図を示す。駆動輪となるオムニホイールは直径 100 mm の 4 輪で、ロボットの四隅の対角位置に配置されている。これによりロボットは車体の向きを変えずに前後左右に移動することが可能となる。今回の競技課題における自動ロボットの競技中の動きを表した概略図を図 3 に示す。スタート時、ロボットはテーブルの方向を向いており、競技開始後は横方向に移動する。テーブルがある位置まで移動後、ロボットは前進してテーブルに接近する。このとき、ロボット前部に設置した超音波センサによりロボットとテーブル土台の距離を測定しながら進み、テーブルに近づくに従って減速させた。そしてテーブル

土台にロボット前部のバンパーが接触すると接触センサからの信号によりロボットを停止させてペットボトルを射出させた。射出後、ロボットをフェンスまで後退させて次のテーブル位置まで横移動させた。以後同じ動作を繰り返させて、最後はスタートゾーンに戻る動作をさせた。

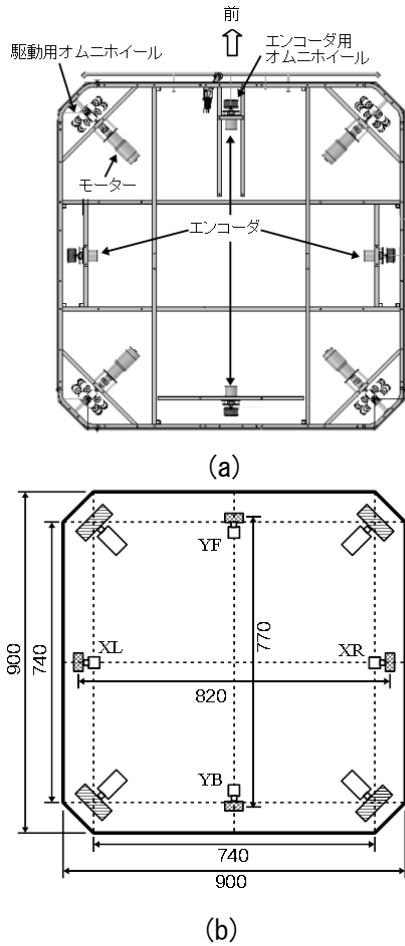


図2 Bチーム自動ロボットの足回り (a) CAD 図面, (b) エンコーダの位置

図4にロータリーエンコーダとオムニホイールを取り付けた足回り部分の写真を示す。ロータリーエンコーダは光学式エンコーダ RE30E-100-213-1(日本電産コパル電子社)を、オムニホイールは直径 38 mm のものを使用し、床面の凹凸を吸収するためスライドレールを介してロボットの本体に取り付けた。ロータリーエンコーダの分解能は 100 P/R (パルス/回転) である。4つのエンコーダは図2(b)に示すように駆動用オムニ

ホイールの中間となる位置に設置した。ロボットの前後方向の移動時は XL と XR の 2 つのエンコーダからのパルス信号を、横方向の移動時は YF と YB の 2 つのエンコーダからのパルス信号をマイコンに入力し、比例微分 (P-D) 制御による補正処理を行い、駆動用オムニホイールのモータ出力へフィードバックさせた。

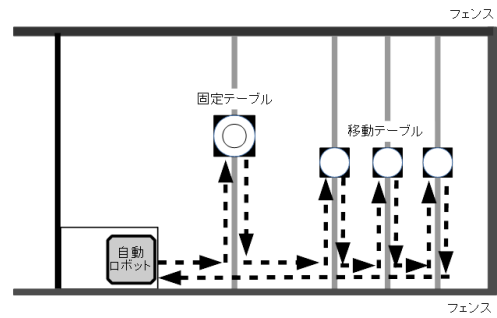


図3 自動ロボットの動作図

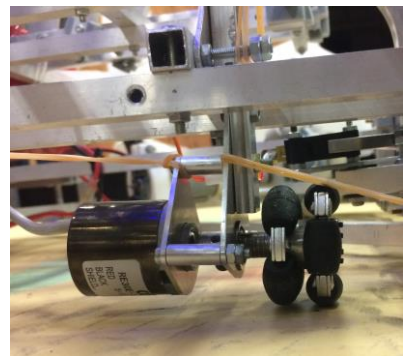


図4 ロータリーエンコーダ

3.3 自動ロボットの位置制御

自動ロボットの位置制御は、4つのエンコーダから出力されたパルス信号をマイコンに入力し、P-D 制御による補正処理をしてモータドライバへの PWM 出力に反映させた。マイコンは外部割り込みに利用できるピン数とプログラムに対してのメモリ容量の大きさから STM32F303RET6 (ST マイクロエレクトロニクス社) を使用した。図5にロボットが進行方向に直進するためにエンコーダからの信号を使った P-D 制御のフローチャートを示す。当初は積分制御を含めた PID 制御を試みたが、積分制御の効果が小さかったためプログラムの実行

回数を上げることを優先して積分制御部分は削除した。進行方向に対して左右のエンコーダのパルス数の差（偏差）が 0 となることを目標値にし、P-D 制御を施してモータへの出力量の調整を行い、これを目的のパルス数になるまで繰り返した。比例ゲイン KP および微分ゲイン KD は、偏差と操作量を予測して決定後、実際にロボットを動かしながら試行錯誤して調整した。P-D 制御のループの処理にかかる時間はロボット動作に係る他の処理も含めて約 30 ms であった。

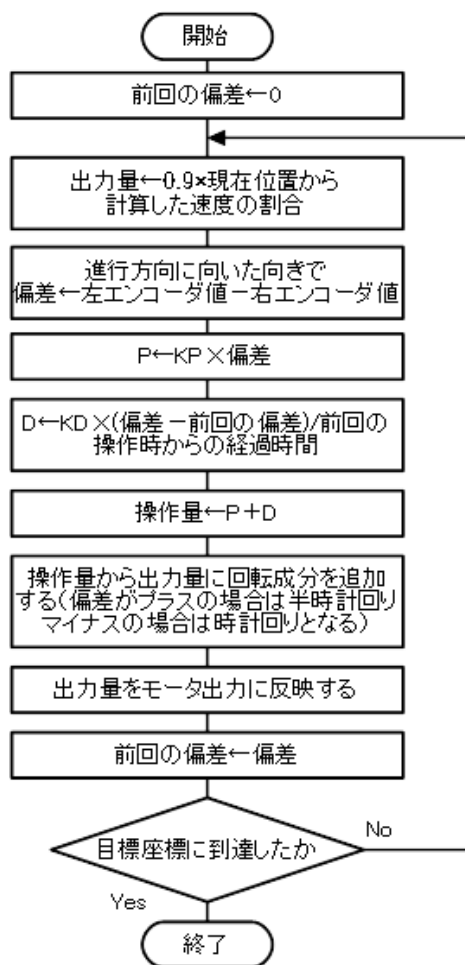


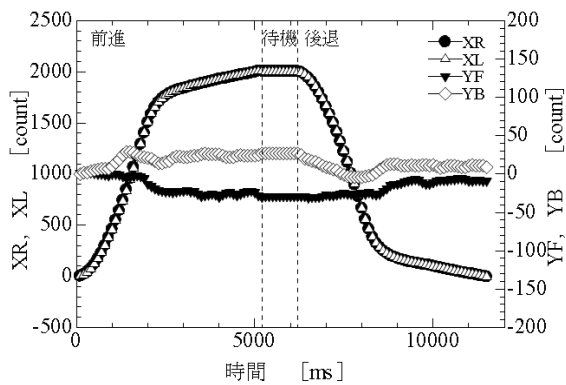
図 5 エンコーダによる制御のフローチャート

4. 実験

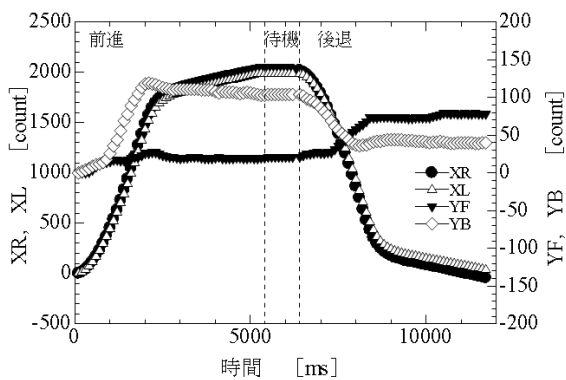
B チームの自動ロボットの前後移動および横移動における P-D 制御による影響について検討するためロータリーエンコーダのパルス数の測定を行

った。床面は大会時と同じロンリウムシート上で、ロボットを前進、待機、後退あるいは右移動、待機、左移動させた場合の 4 つのロータリーエンコーダのパルス値を 100 ms 毎に記録した。

図 6(a)にロボットを前後移動させた時の P-D 制御による補正がある場合のエンコーダのパルス数の変化を、(b)に補正がない場合のパルス数の変化を示す。前後移動の時、制御に利用する左右のエンコーダ XR および XL のパルス数は、補正がある場合はほぼ同じ値を示している。一方、P-D 制御による補正がない場合は XR, XL で若干の値のズレが生じていることがわかる。図 7 に左右のエンコーダのパルス数の差（偏差）の変化を示す。補正がある場合、偏差 XR-XL は 0 に近い値を示しており、自動ロボットが直進できていることがわかる。補正がない場合、偏差は 50 以上の値を示しており、エンコーダの分解能を考慮すると半回転分のズレが生じていることが推測できる。また、1500 ms 付近および 7500 ms 付近で偏差の増加が見られる。これは、ロボットが目的とする移動距離に近づいた時に減速させているタイミングで生じているが、この急激な変化に対しても約 1 s 程度で偏差を 0 に近づけることができている。この現象は加速時にも生じるものと思われる。本実験ではロボットの停止状態からの加速のみであるため顕著に現れていないが、ロボットが運動状態から加速した場合でも起こり得ると考えられる。これを改善させるには、各ゲインの最適化を行うか減速時のモータへの出力 PWM 信号の Duty 比を調整することが必要と考えられる。さらに、今回の制御方式では進行方向に対して左右の二つのエンコーダのみ使用しているが、ロボットが前進状態から減速した時、前部のエンコーダ YF 用従動輪に荷重がかかり、後部 YB が浮き上がり回転していることがわかる。これは図 6(b)の補正がない場合で顕著に現れた。この改善策として、ロータリーエンコーダを駆動輪に取り付けて 4 個のエンコーダからの値を補正に利用する方式を考えている。



(a)



(b)

図6 前後移動時のエンコーダのパルス数

(a) P-D 制御による補正あり, (b) 補正なし

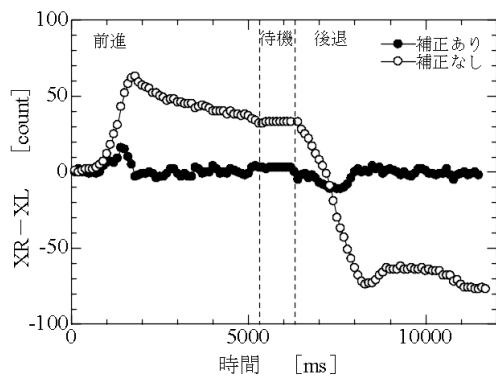
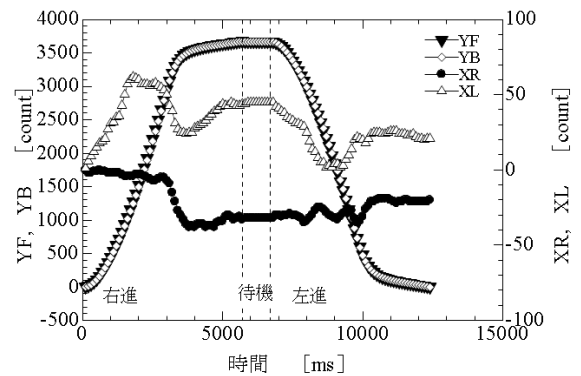


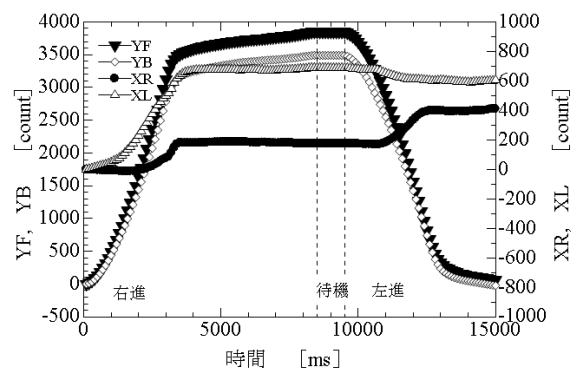
図7 前後移動時の偏差

図8(a)にロボットを横移動させた時のP-D制御による補正がある場合のエンコーダのパルス数の変化を, (b)に補正がない場合のパルス数の変化を示す。横移動の時, 制御に利用する進行方向に対して左右の位置関係となるエンコーダ YF および

YB のパルス数は, 前後移動時と同様, 補正がある場合はほぼ同じ値を示しているが補正がない場合は大きく値がズレていることがわかる。図9に左右のエンコーダの偏差 YF-YB の変化を示す。補正がある場合, ロボットの減速時に偏差の増加が見られるが, ほぼ0に近い値を示している。補正がない場合, 前後移動時と比べて偏差が大きくなっている。これはロボットの上部に設置しているペットボトルの射出機構やエアシリンダを動かすためのエアタンクの配置のバランスが関係していると思われる。Bチームの自動ロボットは左右の対称性が高いが, 前後では重量バランスの中心が後部寄りであるため, 前後移動より横移動で偏差が大きくなっていると考えられる。しかしながら, 今回使用したP-D制御により, 前後方向, 横方向いずれの方向にもロボットを直進させることができた。



(a)



(b)

図8 横移動時のエンコーダのパルス数

(a) P-D 制御による補正あり, (b) 補正なし

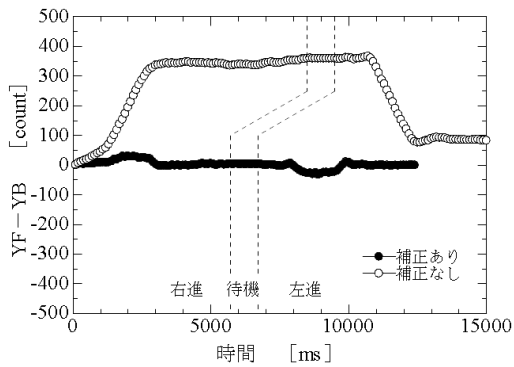


図9 横移動時の偏差

5. まとめ

本稿では、高専ロボコンに出場したロボットのうち自動ロボットの位置制御の機構と P-D 制御による実験結果について報告した。本年度の競技課題では、自動ロボットの動きを前後移動と横移動の繰り返すことで単純化し、採用した P-D 制御で比較的良好な直進性を得ることができ、ロボットの位置制御を実現することができた。しかしながら、ロボットの自律化・自動化を掲げた今後の競技課題では動的物体に対する反応なども求められることが予想され、自動ロボットの制御はより複雑になる。今回開発したロボットの位置制御に加

え、他のセンサからの情報を組み合わせたさらに高度な自動ロボットの開発が課題である。

謝辞

ロボコン活動において、ご協力頂いた本校教職員の方々に心より感謝申し上げます。

参考文献

- 1) 西野智路, 小林義和, 田中将樹: 秋田高専におけるロボットコンテストの取り組みと課題, 秋田工業高等専門学校研究紀要, 46, pp. 90-94, (2011)
- 2) 小林義和, 西野智路, 田中将樹, 増田周平, 岡部克利, 辻尚史: 秋田高専におけるロボットコンテストの取り組みと課題第 2 報 二足歩行ロボットの改良と活動体制の強化, 秋田工業高等専門学校研究紀要, 47, pp. 31-37, (2012)
- 3) 田中将樹, 西野智路, 小林義和, 松尾幸二郎, 辻尚史, 新井場貴寛: 秋田高専におけるロボットコンテストの取り組みと課題 第3報 ロボコン活動と地域イベントへの協力, 秋田工業高等専門学校研究紀要, 48, pp. 34-39, (2013)