

実用的なピック&プレイスロボットの開発

高田 実^{*1}, 勝田 勉^{*2}, 浜田 真^{*3}

Development of practical pick-and-place robot

Minoru TAKATA, Tsutomu KATSUTA and Makoto HAMADA

平成 25 年度, 開発課題のテーマとして本校初のパラレルリンクロボットが開発された. この継続テーマとして, 実際の生産現場での使用を前提とした実用性あるロボットの開発に取り組んだ. 学生には企画段階で何が「実用性」なのかを検討させ, 小型, 高精度かつ高速な移載動作が実用性であるという結論を基に開発を進めさせた. さらに, スムーズな動作の実現, 操作の容易性の確保, メンテナンス性の向上などの機能を付加しつつ実用性を向上させるように努めた. その結果, 当初の目標仕様を満足したロボットの開発に成功した.

1. はじめに

パラレルリンクロボットとは, 複数のモータが並行して動作するパラレルリンク構造を持つロボットのことを言う. 従来の多関節ロボットのようにモータの動きが直列に接続されるシリアルリンクロボットでは, どうしてもベースとなるモータが大型にならざるを得なかった. しかし, パラレルリンク方式では複数のモータの回転の合成で, 先端のエンドエフェクタを操作できることから, 比較的小型のモータによって高速動作を実現できる. さらに, 構成するモータの停止誤差が相殺される形でエンドエフェクタの繰り返し位置決め精度が決定されることから, 精度を向上させることも容易である. このような特徴から現在のところ, 主に食品や医薬品, 化粧品を高速に搬送・整列・箱詰めするといった作業に利用されている.

昨年度, 平成 25 年度にはこのパラレルリンクロボット 1 号機が本校での初の取り組みとして開発された [1]. 以降 H25 号機と称する.

H25 号機はステージ上にばらまかれた複数のジェンガを画像処理によって検出し, 決められた場所に積み上げるといった動作を行っていた. このシステムの問題点は, ①画像処理の精度が目標に達せずピッキング動作に不安が残っていること, ②ピッキングのためのハンドが脆弱であり度々破損すること, ③(モータの静荷重が大きすぎ)電源断のときにハンドがステージに衝突することであった. このままでは, 実際に産業用として用いることは困難である.

そこで今年度は「実用的なピック&プレイスロボット」というコンセプトのもと, 問題点を改善した高速・高精度のロボットを開発することを第一の目標とさせた. また, せっかく掲げた高速性, 高精度性を文字で表すだけでなく, 動く姿で現すための「デモンストレーション装置」の開発も同時に指示した.

しかも「この装置は, 説明員がずっとついていなくても, 停止命令が与えられない限り, 動作し続けること」という条件付である.

図 1 に開発が完了したシステムの全景を示す.



図 1. システム全景

2. 仕様

まず初めにテーマとして与えた「実用性」を解釈させた. その結果, 次の項目を満足することであると決定した.

- ① 高速に動作すること
- ② 高精度に動作すること
- ③ 小型で組み立てラインなどに組み込めること
- ④ 操作やプログラムが容易であること

検討の結果, 学生が最終決断を下した目標仕様は表 1 の通りである.

*1 生産電子情報システム技術科

*2 生産電気システム技術科

*3 生産機械システム技術科

表 1. 目標仕様

項目	仕様値
システム外形寸法(W×D×H) mm	770×600×1160
ロボット本体寸法(W×D×H) mm	350×350×390
最大可動範囲 mm	φ300×100
最大可搬重量 gf	30
最高往復速度 cycle/min	70
繰返し位置決め精度 mm	±0.2
駆動源	ステッピングモータ
制御方法	モーションコントロールボード
把持方法	真空吸着



図 2. ロボット本体

この段階では「実用性」に関してスムーズに案が出てこなかったため、「お菓子の箱詰工程に用いる」ことを前提として検討を進めさせた。この影響が最大可搬重量 30gf という小さな値になってしまっていたり、繰返し位置決め精度が実用上は中途半端な 0.2 mm になっていたりというところに表れている。一般的な産業用ロボットでは、ハンドが客先要求によって製作されて組み付けられることになるので、ワークとハンドの重量分として 1kgf 程度の可搬重量が欲しかったし、組立工程への適用も視野に入ると 0.05 mm 程度の精度も必要なところであろう。

制御装置がシステム中に組み込まれてしまっていることも盲点で、「実用性」を謳うならば、別置きのカビにまとめるべきである。

ロボット本体の大きさやシステム寸法は、H25 号機の仕様から逃れることができず、同程度の大きさになっている。

この表の中で「最高往復速度」は、H25 号機とそれほど大きな差がない。しかし、これも「実用性」の観点からロボットの初期位置からワークを把持、移載した後、元の位置に戻るまでを 1 往復として再度設定した値である。H25 号機とその速度を比較すれば、2 倍に向上している。

3. システム構成

3.1 機構部

ロボット本体 (図 2) は、3 組のリンクを動作させるためのステッピングモータと、そのリンクが集結するエンドエフェクタ (以下 EE)、ワークをピックアップするための吸着パッドで構成される。

また、本システムにはロボットを制御するためのモーションコントロールボードを内蔵したパソコン (以降 PC と称す)、デモンストレーションのためのベルトコンベア部、ロボットを操作するためのタッチパネル、ロボットのティーチングを行う際に用いるティーチングペンダント、吸着パッドを機能させるための真空システム部が装備されている。

(1) ロボット本体

H25 年度機の問題点としてロボットが電源断状態のときにアームがその自重で落下し作業台と衝突し EE が破損してしまうという問題があった。これは、ステッピングモータの自己保持トルクよりもアームやハンドといった負荷荷重の方が大きくなっていたために発生していることが明らかで、運動性能の向上の効果も合わせて、大幅な軽量化を設計指針とした。本体可動部の軽量化は次の手段で達成した。

- ① H25 年度号は関節部に金属性のリンクボール (113g) を使用していたが、H26 年度機は軽量化とより大きな揺動角を得るため特殊樹脂製のロッドエンドベアリング (7g) を採用し、本体全体で 1300g の軽量化を図った (図 3)。



(a) H26 号機 (b) H25 号機

図 3. 関節部の改善

- ② アルミ合金製だった第一リンクは CFRP パイプに変更した。
- ③ ワークの把持方式を、ソレノイドによる開閉ハンドだったものから真空吸着方式に変更することでソレノイドの重量分だけ軽量化した。

(2) 真空システム部

本システムではワークを真空吸着させるが、外部の圧縮空気による真空発生器を用いる方式とははたくなかったため、真空ポンプを採用した。さらにこ

のポンプを常に作動させていると騒音と振動が発生してしまうため、ロボット動作とは別に真空圧による制御系を構成した。真空タンクの圧力をセンサでモニタし、 -20kPa で真空ポンプが ON、 -70kPa で真空ポンプが OFF になるよう制御した。真空システムを図4に示す。

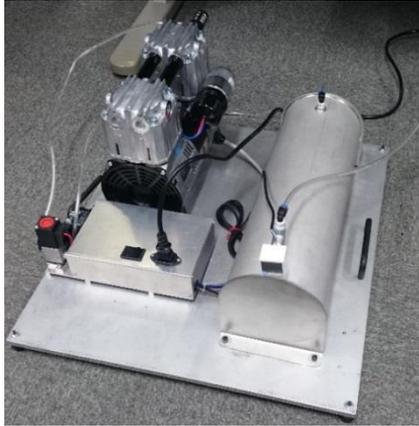


図4. 真空システム部

(3) ベルトコンベアと暗箱

デモンストレーションを行うためのベルトコンベアと画像を取得するための暗箱を製作し、システム内に設置した(図5)。カメラのシャッターには透過型光電センサを用いており、暗箱内をワークが通過する瞬間に画像を取得するようにした。これにより迷光の影響を受けることなく正確な重心取得が可能になっている。



図5. ベルトコンベアと暗箱

(4) 安全対策

ロボットは高速で動作するため、動作中に人が手を出すと怪我の危険性が高い。そこで、周りをアクリル板で覆っている(図6)。ただ、ロボットの動作中にワークがコンベアから落ちてしまったときなど人の手が必要になるのでドアを設置した。このドアには開閉センサが取り付けられており、ドアが開いている間は動作ができないよう安全対策が施されている。

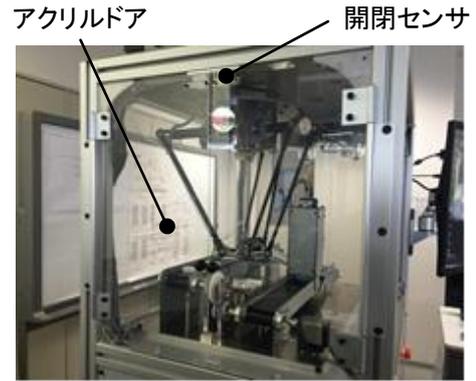


図6. アクリルドアとセンサ

3.2 制御部.

(1) 制御システム構成

本システムは図7のような制御系になっている。各モータ(EEを移動させるための3個、ワーク回転用1個、ベルトコンベア用1個、合計5個)、センサ、ワーク吸着用のバルブはすべて8軸モーションコントロールボード[2]で制御を行う。その他ユーザーが操作するタッチパネル、画像処理用のカメラ、ティーチングペダントはPCにUSBで接続し制御する。

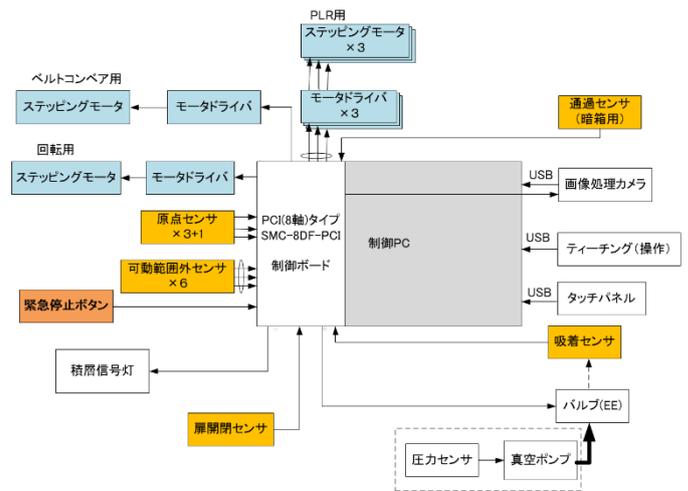


図7. 制御ブロック図

(2) 基板

電源基板, 中継基板, ドライバ変換基板(2枚)の4枚の基板を製作した。図8のようにコネクタ部に端子名を記載することにより作業中のミス無くすように工夫を施してある。

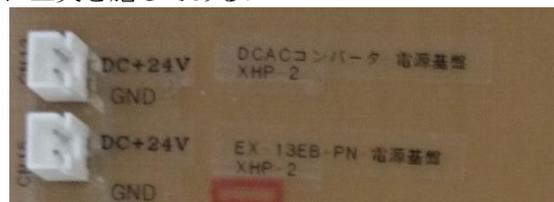


図8. 端子名の記載

また、図9のように、各センサが反応すると点灯するLEDを設け、メンテナンス性の向上を図った。



図9. ドライバ変換基板上的LED

(3) ティーチングペンダント

ロボットに座標をティーチングする際に用いるティーチングペンダントを新たに製作した(図10)。ボタンを1回押すと設定した単位移動量だけロボットが移動するようになっている。前後左右上下移動に加えエンドエフェクタの回転もできるようになっている。ケースは3Dプリンタを用いて作製した。



図10. ティーチングペンダント

(4) 配線

制御部の配線では図11のようにケーブルダクトを制御ボックスに設置し余分な配線を収納することで修正作業が容易に行えるようにしてある。

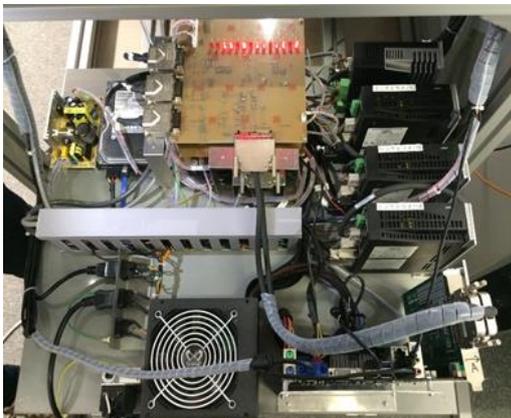


図11. 制御部配線

3.3 情報部

ロボットは、装置に設置されたタッチパネルに表

示されているプログラムを操作することにより、動作を行うことが可能である。

(1) ティーチング

今年度開発したロボットは、ティーチングによって動作を教示する。まず、ティーチングペンダントによりEEを適切な位置に移動させる。次に、その座標を登録し、移動や吸着などのロボット動作をコマンドという形で指定する。そして教示した一連の動作指示群を「コマンドファイル」として作成していく。

表2. コマンド一覧

コマンド	動作
HOME	HOME ポジションへ移動
MOVE Px	Px 点へ移動
HDon	吸着
HDOF	開放
EXDA	追従動作

(2) 動作実行

動作実行プログラムの画面は図12の通りで、まず、「コマンドファイル」を読み込む。次に、この画面上で動作速度や実行回数など必要事項を設定した後、実行へと移る。

No.	Motion	Value
1	HOME	0
2	MOVE	5
3	HDOF	0
4	HDOF	0
5	HDOF	0
6	HDOF	0
7	HDOF	0
8	HDOF	0
9	HDOF	0
10	MOVE	5
11	HDOF	0
12	MOVE	5
13	HDOF	0
14	MOVE	5
15	HDOF	0
16	MOVE	0
17	HDOF	0
18	MOVE	5
19	HDOF	0
20	MOVE	5
21	HDOF	0
22	MOVE	5
23	HDOF	0
24	MOVE	5
25	HDOF	0
26	HOME	0
27	MOVE	5
28	HDOF	0
29	MOVE	5
30	HDOF	0
31	MOVE	5
32	HDOF	0
33	MOVE	5
34	HDOF	0
35	MOVE	5
36	HDOF	0
37	MOVE	5
38	HDOF	0
39	MOVE	5
40	HDOF	0
41	MOVE	5
42	HDOF	0
43	MOVE	5
44	HDOF	0
45	MOVE	5
46	HDOF	0
47	MOVE	5
48	HDOF	0
49	MOVE	5
50	HDOF	0
51	HOME	0

図12. 動作実行画面

(3) ロボットの動作

ロボットが行う動作で、移動する際には半楕円を

描くような山形の動作を行う。指定位置に移動するこの動作は、動作実行プログラム内で算出された図13のような経路点というものを通る動作になっている。この動作により、ロボットを滑らかに動作させ、急激な加減速を抑えている。

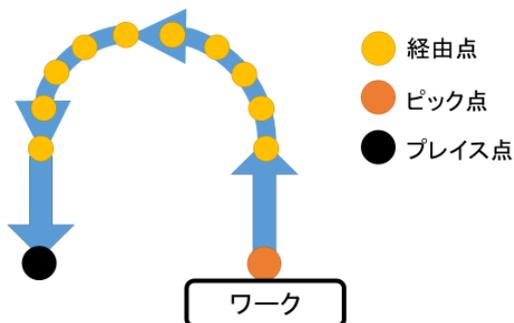


図13. 経路点を通るロボットの軌道

また、ベルトコンベア上を流れるワークをピックする動作に関しては以下の順で行う。

- ① 暗箱内を通過したワークを撮影
- ② 画像処理プログラムにより撮影した画像を処理し、傾きや重心を算出
- ③ 算出した傾きや重心位置によりピックが行えるタイミングを計算する

以上のことから、図14のように通常の山形動作とは違ったベルトコンベア上を追従するような動きでピックを行う。

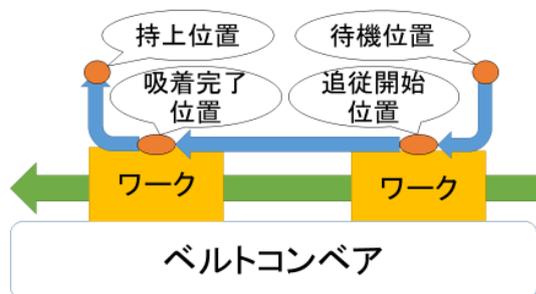


図14. ベルトコンベア上の追従動作

4. デモンストレーション

今年度はこのロボットの性能を表現すべく図15に示すデモンストレーションを行う。

- ① ワーク6個を収められる箱を2本のベルトコンベアの中央部に固定する。両コンベアの片端は滑り台でつながっている。
- ② 箱にワークが6個収まった状態でデモンストレーションを開始する。
- ③ ロボットが6個のワークを排出側のコンベアに等間隔で移載する。
- ④ 排出側のコンベア上をワークが流れ、滑り台を落ちていき供給側のコンベアへ流れる。
- ⑤ 供給側のコンベアを流れ、暗箱に入るとこの時

- の姿勢を画像処理用のカメラで撮影する。
- ⑥ 撮影画像をPCのプログラムで処理し、重心と傾きを算出する。
- ⑦ 暗箱を出るとロボットがコンベアに追従した動きでワークをピックアップする。
- ⑧ ワークの傾きを修正しながら箱の空きスペースに収める。
- ⑨ ワークを6個すべて入れ終わると②に戻る。

このときの動作速度は最高速度(70cycle/min)で、ワークと箱の隙間はわずかに片側0.5mmである。

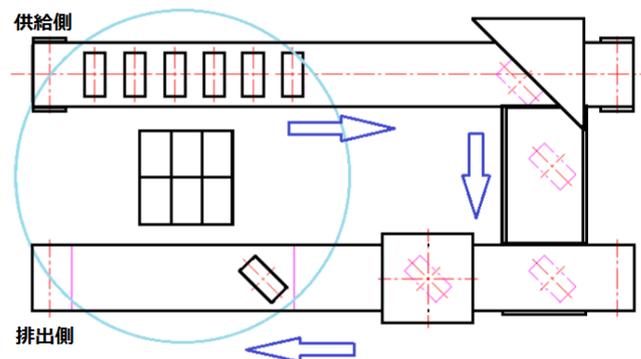


図15. デモンストレーションのイメージ

5. おわりに

パラレルリンクロボットはその特性(高速・高精度性)から、多くの工場での利用が増加している。本校ではこの背景から昨年度はパラレルリンクロボットのプロトタイプの開発に成功した。これで学生が持つ技術レベルでパラレルリンクロボットの製作が可能であることを示すことができた。引き続き今年度はその性能を改善し産業用途に「実用」可能なレベルにまで引き上げることを目標に開発に着手した。学生たちはもちろん工場で働いた経験はない。その彼らに「実用性」を検討させながら開発を進めた。すなわち、①どんな機能を持たば生産性が向上するか、②どのような場合にどれだけの精度が要求されるか、③どんな操作系であれば使いやすいか、④ロボットがミスをしたときに人はどういう反応をし、どうすれば安全か、⑤メンテナンス性をどう確保するか、⑥自分たちの設定した仕様をどのように検査・評価するか、⑦自分たちが開発したロボットの性能をどのようにアピールするかなどである。開発を進めるにしたがって明らかになる課題を一つずつこなしながら、結果的に所期の目標をすべてクリアするシステムとして完成することができた。

ただ、もちろん学生には完成してその姿が明らかにならないと分からなかった細かな問題点も残っている。これらについては、卒業までの残された時間をにらみながら今後の課題として開発を完了させた。ともあれ、着手当初、「仕様」すら決定できなかった学生諸君がここまでのシステムを完成させたことに

は敬意を表したい。彼らが企業でさらなる活躍をすることを指導員一同願ってやまない。

参考文献

- [1] 日野亮平：H25年度 パラレルリンクロボット開発課題報告書
- [2] SMC-8DF-PCI API-TOOL仕様ガイド