

ロボットによるクリック感作業の実現*

長 井 達 一 郎**
 森 麻 里 子***
 吉 田 吏 希**
 荒 牧 重 登**

Representation of the Task with Click Action for Robot

Tatsuichiro NAGAI**, Mariko MORI***, Riki YOSHIDA** and Shigeto ARAMAKI**

Recently, the robot is advancing to man's life space. It is hoped to the robot to be able to do the work of man's daily life. There are a lot of work with the click action in daily life. For example, there is work using the punch. We enabled a robot to punch a hole using punch in paper. The click action of the punch happens because of a rapid decrease in reaction force. This experimental system can detect the click action. In this system, the click action can be detected by processing the same even by 5 sheets, 10 sheets, and 30 sheets.

Key Words : Robot Arm, Task, Click Action, Force Sensor, Punch Work

1. はじめに

ロボットは産業界において製品の塗装、組立、運搬などの作業を行い大きな成果を上げてきた。近年、ロボットは産業界の製造現場から人間の日常生活の場へも進出しつつある。そして、ロボットが人間の生活を助けることが望まれている。人間とロボットの共棲社会を実現するためには、ロボットが人間の日常生活の様々な作業を人間同様に行えることが望まれる。

日常生活の作業には、物を取ってくる、物を置く、扉をあける、スイッチを押すなど様々な作業が考えられる。本論文では、電灯のスイッチを押すなどのクリック感のある作業をロボットに行わせることを目標にする。本研究では、動作中にかけている力またはかかっている力が急激に減少する状態を伴う作業をクリック感のある作業と呼ぶ。日常生活においてクリック感のある作業は多数

あり、人間はクリック感を検出することにより作業の状態や完了を認識している。例えば、電灯のスイッチを押した場合、「カチッ」を指先に感触が返ってきたときにスイッチが入ったことを認識している。

本論文では、クリック感を穴あけパンチの作業を例に検出し、ロボットによる穴あけパンチを用いた穴あけ作業を実現する。これは、ロボットが少ない紙の枚数から数十枚の紙の枚数までクリック感を検出し穴あけ作業を行えるようにする。

2. クリック感のある作業

本研究で扱うクリック感のある作業とは、日常的では「ボタンを押す（ボタン式のスイッチを入れる）」などの作業で、「作業中の力（反力）の急激な減少」を伴う作業をクリック感のある作業という。クリック感のある動作の利点として、クリック感のある作業を人間が行うとき、そのクリック感と動作結果が同調する場合（カチッという動作と、スイッチが入るという結果が同時に起こる場合）、人間はその作業が今どのような状況にあるか認識しやすいことがあげられる。多くの場合、作業の

* 平成 22 年 2 月 1 日受付

** 電子情報工学科

*** 九州工業大学大学院生命体工学研究科

完了を意味する。また、スイッチが入った事が明確であると、それ以上スイッチを押す事はなく物を壊しにくい。

このように人間が行う際に安全性の高い動作であるといえるので、クリック感のある作業は日常において多用されている。よって、この作業をロボットが行えるようになると、ロボットの日常生活への進出がより近づくと考えられる。

クリック感のある作業例は以下のようなものがある。

- ① 穴あけパンチで紙に穴を開ける
- ② ボタンスイッチを入れる
- ③ 銀杏, 胡桃, ピーナッツの殻を割る
- ④ ステープラーで紙を留める

①は下向きの力によるものである。下向きに力がかかるクリック感のある作業は、日常生活において最も一般的な動作であると言える。②は向きにより異なるが、多くは下向きあるいは横向きの力である。クリック感のある動作においてクリック感と同時に「スイッチが入る」という作業は最も多く行われる動作である。③は指または機器で対象物を挟むときの作業である。中に実など他の物体がある場合は、殻など外側のみを割るために微妙な動作が要求される。④は①に似ており、最後に瞬間にかかっていた反力が抜けて、作業が完了する。

本論文では、①の穴あけパンチで紙に穴を開ける作業を例にロボットによるクリック感のある作業を実現させ、ロボットが作業中のクリック感を検出し作業を完了させることを目指す。

3. システム構成

ロボットでクリック感のある作業を行わせるための試作システムの構成について述べる。システム構成の概要を図1に示す。

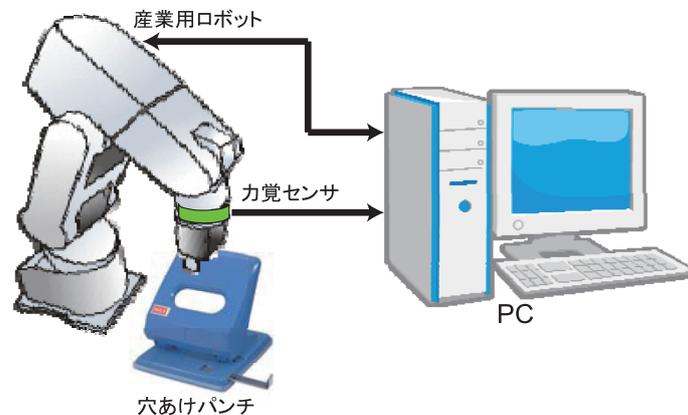


図1 システム構成

試作システムは、作業を行う産業用ロボット、力の状態を検出する力覚センサ、ロボットを制御する計算機(PC)、紙に穴を開ける穴あけパンチで構成されている。計算機は力覚センサと産業用ロボットと接続されており、力覚センサからの力の値を元に、ロボットに命令を送り作業を行わせる。産業用ロボットのハンドで穴あけパンチを下向きに押す作業を行わせる。

産業用ロボットは、三菱電機製小型産業用の垂直多関節形ロボットRV-1Aを用いた。これは6軸を有するロボットアームである。力覚センサは、ニッタ製6軸力覚センサIFS-67M25A15-I40を用いた。これは、計算機に専用のレシーバボードを接続することで値の取得が可能になる。計算機は、CPUはIntel Core2 Quad [2.66GHz]のDOS/V機でOSはMicrosoft WindowsXP、プログラム開発環境はMicrosoft VC++を採用した。穴あけパンチは、マックス社製DP-F2GFを用いた。この製品の主な特徴を以下に示す。

- ・穴あけ枚数：最大50枚(PPC用紙64g/m²を穴あけした場合)
- ・穴径：6mm
- ・間隔：80mm(穴の中心から中心まで)
- ・奥行：12mm(穴の中心まで)
- ・打ち抜き可能紙厚：約4mm
- ・プラスチックハンドル
- ・サイズ：H125×W125×D144(mm)
- ・質量：770g

4. クリック感の検出

4.1. 力覚センサの座標系

今回用いる力覚センサの拡大図を図2(a)に、力覚センサの座標系を同図(b)に示す。

力覚センサは、産業用ロボットの手首の部分に取付けであり、例えばfz方向にロボットハンドを引っ張ると、

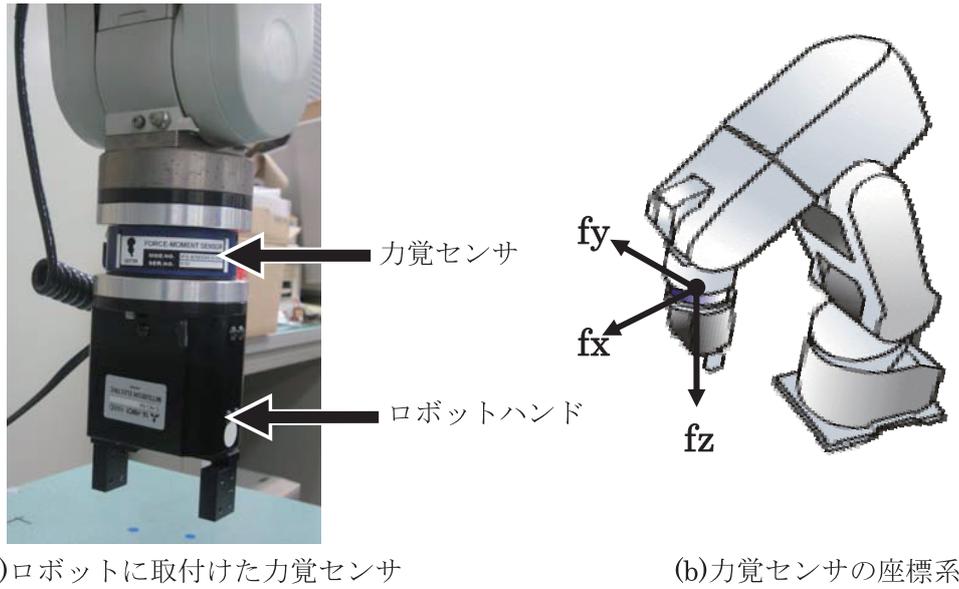


図2 力覚センサ

f_z の値は正となる。また、ロボットハンドを床などに押し付けた場合、 f_z の値は負となる。

4.2. 穴あけパンチの刃の形状と穴あけ作業の状態

穴あけパンチの作業におけるクリック感は、穴あけパンチの刃の形状が影響することが考えられる。今回用いる穴あけパンチの刃の形状を図3に示す。今回の穴あけパンチの刃は先端が滑らかな逆V字の形状になっている。

このパンチの刃を用いた穴あけ作業の状態を図4に示す。①はまだ刃と紙が接していない状態、②は刃と紙が接した状態、③は刃の先端が上から順に紙に穴を開け始めている状態、④は刃の先端が紙を貫通した瞬間の状態、⑤は刃のV字の頂点の部分が紙に穴をあけている状態、⑥は刃のV字の頂点の部分も紙を貫通した瞬間の状態、⑦は全ての紙に穴が開いてさらに刃が下に進ん

でいる状態を示す。

4.3. 穴あけ作業における力の変化

まず、ロボットを直接教示で操作してロボットハンドでパンチを押して穴あけ作業を行いロボットハンドにかかる力の変化を計測した。例として、5枚の穴あけ時の力覚センサの値のグラフを図5(a)に示す。縦軸が力覚センサの f_z 方向の力を、横軸が時間をそれぞれ表す。ロボットハンドは下向き毎秒5mmで移動し、その時のパンチのハンドル(押す部分)からの反力を1秒間に20回測定したものである。値が負に振れているほど反力が強いことを意味する。図5の①~⑦は図4の各番号の状態を示している。同図(a)のグラフでは、2回大きな反力があつたことが分かる。

クリック感を検出するためには、急激な力の減少の状態を探せばよい。力の急激な減少は次式で調べることが

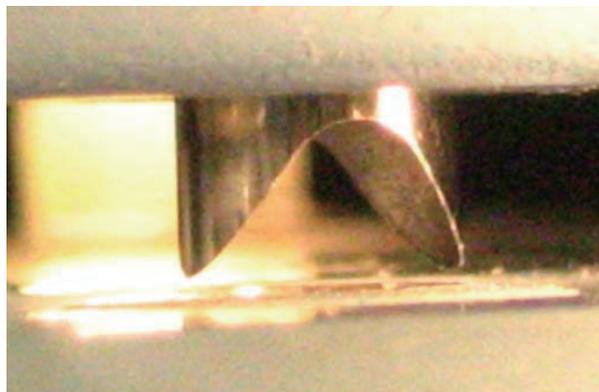


図3 穴あけパンチの刃

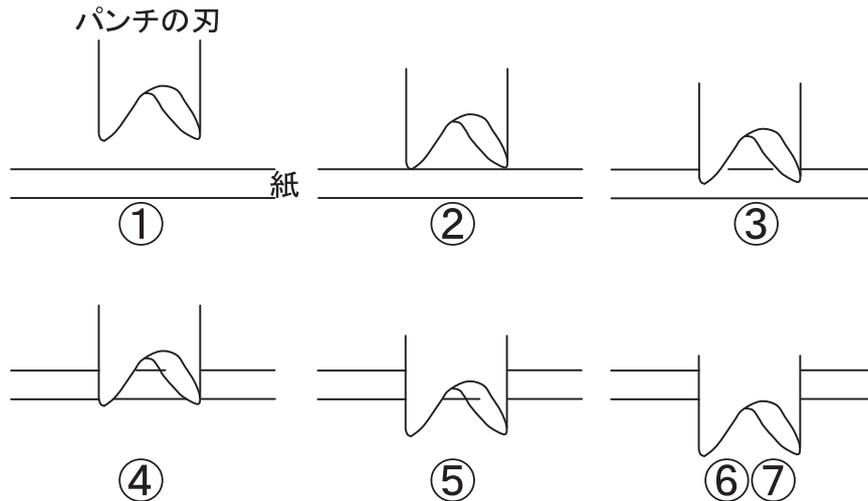


図4 穴あけ作業の状態

できる.

$$\Delta fz = \frac{dfz}{dt} = \frac{fz_n - fz_{n-1}}{t_n - t_{n-1}} \quad (n=1,2,3,\dots)$$

この Δfz の値が大きいほど、 fz は急激に減少したことを意味する. 図5(a)の値を Δfz にしたグラフを図5(b)に示す. 同グラフ中④と⑥の Δfz 値が他に比べ大きいことが分かる. この状態がクリック感が起こった瞬間と考えられる. つまり, 今回の穴あけパンチを用いた作業には, クリック感が2回ある. 1回目のクリック感の時にパンチの刃の先端部分が紙を貫通し, 2回目のクリック感の時に刃の全体が貫通し紙に穴が開く.

4.4. クリック感の検出方法

クリック感検出のために Δfz にしきい値を設定することを考える.

5枚の紙の穴あけに特化した場合は, 図5(b)において, Δfz が400を超えた時点で2回目のクリック感検出と判断し作業完了と定義できる. しかし, 5枚ならいつも1回目のクリック感の Δfz が400未満とは言えない. 1回目のクリック感の時に Δfz の値が400を超えた場合, 2回目のクリック感を検出したと間違えて作業は途中で止まってしまう. そこで, 2回のクリック感をそれぞれ検出することを考える. Δfz が300を超えたら1回目のクリック感, Δfz が400を超えたら2回目のクリック感検出で作業完了と定義できる. しかし, 1回のクリック感における Δfz のグラフの極大値の山には複数の Δfz の値が存在することがある. 例えば, 図6に示すような1つのクリック感の Δfz のグラフの場合, ①が極大値であるが, ①になる前に②, ①の後に③が検出されている. このとき, 同図のような値のしきい値がそれぞ

れ設定されていた場合, システムは②で1回目のクリック感を検出, ①で2回目のクリック感を検出してしまふ可能性がある. この場合だと, 1回のクリック感で2回分を検出して作業が止まってしまう.

そこで, 1回分のクリック感の検出において2つのしきい値を設定することを考える. 例えば, 図7に示すような Δfz のグラフがある場合, 1回目のクリック感の

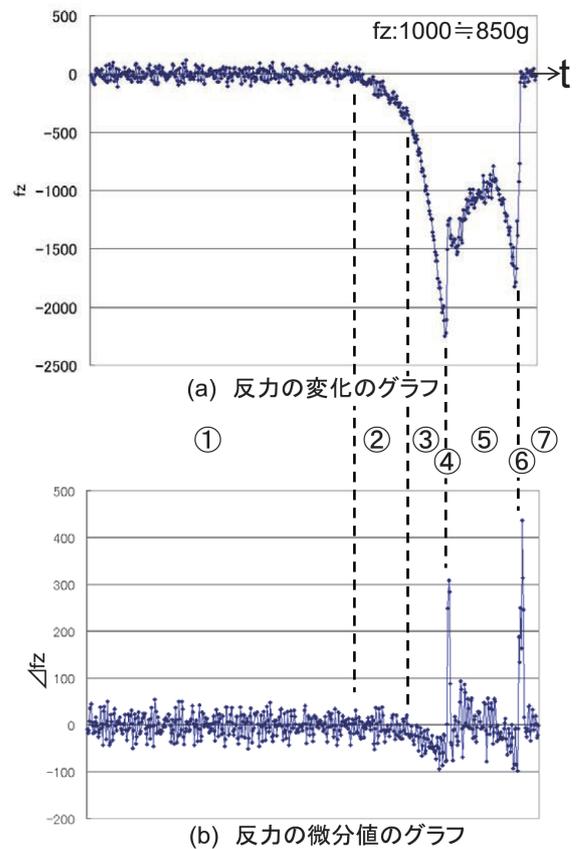


図5 5枚のときの力覚センサの値のグラフ

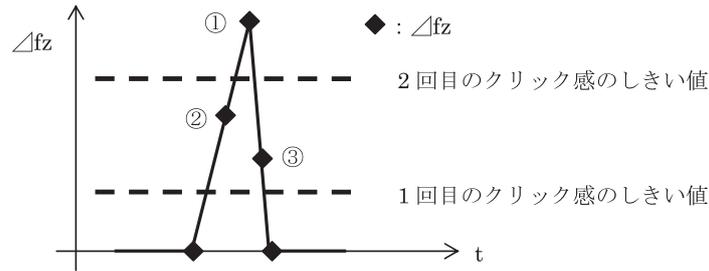


図6 Δfz としきい値

検出としきい値①を設定し、1回目のクリック感の終了を検出するためにしきい値①'を設定する。同様に、2回目のクリック感の検出にしきい値②を設定し、2回目のクリック感の終了を検出するためにしきい値②'を設定する方法を採用する。しきい値①'、②'は $\Delta fz \leq 0$ とする。

最後に、紙の枚数を汎用化するために、今まで静的であったしきい値の設定を、一部動的に変更する。図5(b)の⑤状態では、クリック感検出のしきい値に迫る値が検出されることがある。これは、紙の枚数を増やしていくとしばしば起こり、クリック感の回数の誤認識を起こす。そこで、1回目のクリック感検出時のデータから2回目のクリック感の検出のためのしきい値を動的に決定する手法を提案する。以下、図8のグラフを用いて説明する。同図は、2回のクリック感の極大値を示したグラフである。点aはしきい値①を超えた初めての Δfz である。この値を2回目のクリック感の検出に用いるしきい値②'の値として設定する。これにより、枚数によって変動する図5(b)の⑤状態の Δfz の高い値を回避し、クリック感の誤認識を防ぐ。この手法で設定されたしきい値により、点cが検出された時点で2回目のクリック感検出となる。

提案したクリック感の検出手法を用いた穴あけ作業の状態遷移図を図9に示す。5つの状態があり、最初ロボットハンドが動き出して Δfz がしきい値①を超えていない状態S1、 Δfz がしきい値①を超えて1回目のクリック感がまだ終了していない状態S2、1回目のクリック感が終了して Δfz がしきい値②を超えていない状態S3、

Δfz がしきい値②を超えて2回目のクリック感がまだ終了していない状態S4、2回目のクリック感が終了して穴あけ作業が完了した状態をそれぞれ表している。

5. 作業実験

図9の状態遷移図を元に、提案した穴あけパンチのクリック感を検出し作業を完了するシステムを試作した。比較のために、しきい値が1つの場合の2回目のクリック感しか検出しないシステムも作成し実験を行った。

用紙は、日本製紙株式会社 リボンフレンドリー A4(坪量 64g/m², 厚さ 90 μm)を使用した。

5.1. しきい値が1つの場合の実験 (静的しきい値)

まずは、しきい値が1つの場合の2回目のクリック感しか検出しないシステムの実験を行った。このシステムは Δfz が700を超えた時点で2回目のクリック感検出と判断し作業完了と定義した。

実験は、1枚から順に紙の枚数を増やして実験を行った。同じ枚数を10回ずつ行った。1, 2枚のときはクリック感がほとんど検出できず失敗した。また、10枚以上は1回目のクリック感でしきい値を超えてしまい2回目のクリック感と誤認識して失敗した。

いくつか成功した枚数の結果を表1に示す。表中、○は成功、●と×と△は失敗である。●はクリック感の検出ができずに失敗、△は完全に穴をあけ切ることができずに失敗、×はその他の失敗である。3枚以下と10枚以上はほとんど失敗した。

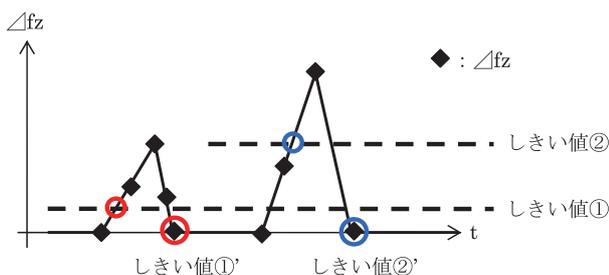


図7 4つのしきい値の設定

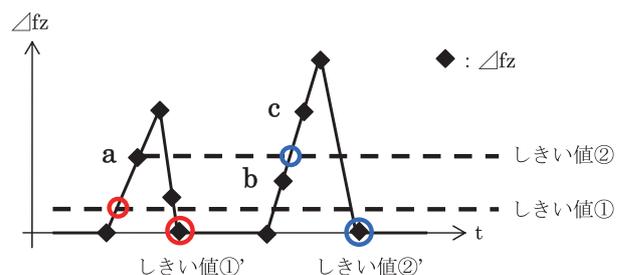


図8 動的しきい値の設定

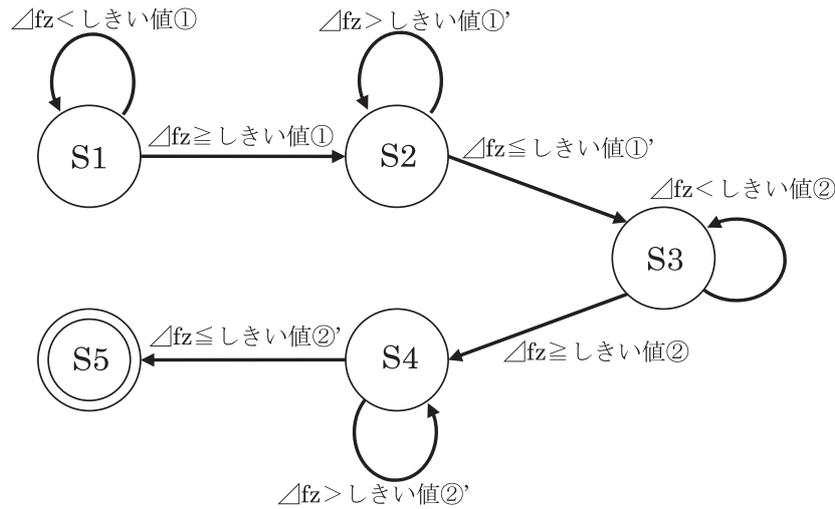


図9 穴あけ作業の状態遷移図

5.2. しきい値が4つの場合の実験 (動的しきい値)

次に、提案した4つのしきい値で、2回目のしきい値は動的に設定する手法を用いた実験を行った。状態遷移は図9の通りである。主な枚数の実験結果を表2に示す。同じ枚数を5回ずつ行った。1, 2枚の紙の場合は、クリック感が検出できず失敗したので省略した。

36枚程度までは安定して動作したが、以降は若干不安定となった。また、40枚以上の試行は行っていない。しかし、少ない枚数から多い枚数まで幅広い枚数での汎用化が行われたことがわかる。

また、本システムは主に力でロボットを制御しているため、ロボットから見て穴あけパンチの置いてある高さが多少違っていても、問題なく作業が行えることを確認した。

6. まとめ

人の日常生活に多数採用されているクリック感のある作業の1つである穴あけ作業をロボットで行わせることに成功した。ロボットは穴あけパンチを操作中に伝わっ

てくるクリック感を検出し、いろいろな枚数の紙の穴あけ作業を行うことができた。力覚センサからの反力のデータを微分することでクリック感の検出を行った。また、穴あけパンチの刃の形状と反力のグラフからクリック感が2回発生することも発見した。

このクリック感の検出手法を用いることで、微妙な力の制御が必要な他のクリック感のある作業をロボットに行わせることが可能になると考えている。

今回、1枚及び2枚という極少ない枚数は失敗した。これは、人間が作業を行ってもクリック感を得ることができないくらい小さなクリック感のためである。しかし、これらの枚数でも穴をあける瞬間に音が出る。よって、何らかの状態の変化はあるはずである。これを検出することは、現在使用している力センサでは不可能であるが、力センサのみに頼らずに複合的に判断することにより極少ない枚数でも穴をあけられるようになるかもしれない。そのためには、音センサなどを導入することも考えられる。今後、複数のセンサでのクリック感の検出が必要である。

表1 1つのしきい値の場合の実験結果

	1回	2回	3回	4回	5回	6回	7回	8回	9回	10回
3枚	●	●	○	●	●	●	●	●	●	●
4枚	●	○	○	○	×	●	○	○	○	●
5枚	○	○	×	○	○	○	○	×	○	○
7枚	○	△	○	○	○	○	△	○	○	×
10枚	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△

表2 4つのしきい値の場合の実験結果

	1回	2回	3回	4回	5回
3枚	○	○	○	○	○
4枚	○	×	○	○	○
5枚	○	○	○	○	○
6枚	○	○	×	○	○
7枚	○	○	○	○	×
8枚	×	○	○	○	○
9枚	○	○	○	○	○
10枚	○	○	○	○	○
20枚	○	×	○	○	○
30枚	○	○	×	○	○
40枚	×	○	×	×	○

参 考 文 献

- [1] MITSUBISHI 三菱電機産業用ロボットマニュアル，三菱電機，2000
- [2] レシーバボード取扱説明書，ニッタ株式会社，2006
- [3] 山崎史彦：「力センサを用いたロボットによる箱詰め作業」，平成18年度福岡大学工学部電子情報工学科卒業論文，2007
- [4] 森麻里子：「ロボットによるクリック感作業の実現」，平成19年度福岡大学工学部電子情報工学科卒業論文，2008