

# 協働ロボット用ボトル箱詰めアダプタの開発

## Development of the bottle packing adapter for collaborative robot

電子・機械技術部 ロボット・制御科 松本聖可 安藤久人

応募企業では、人手で行っている製品ボトルの箱詰め作業を協働ロボットに置き換えることを検討している。しかし、ロボットのハンドと箱の接触や、箱詰め速度に課題があった。そこで、箱と接触しない、かつ複数のボトルを同時に保持できる専用アダプタを開発するとともに、このアダプタを用いての箱詰め動作を実験により評価した。結果、人と同程度の箱詰め速度を実現することができ、協働ロボットが適用可能であることを示した。

Key words: 協働ロボット、箱詰め、アダプタ

### 1. 緒言

近年、生産現場での人手不足への具体的な対策として、AI や IoT、ロボット等を積極的に導入し工場の自動化・省力化を進める動きが活発になっている。世界的にもロボット産業の伸び率が高まっており、世界の産業用ロボット販売台数は2013年から2017年の5年間で2倍に増加、今後も年平均1.4%増の見込みである。特に、自動車産業や電気・エレクトロニクス産業でロボット導入が増えている。他方、前者と比較して食品等の三品産業<sup>注1)</sup>では導入が進んでいない<sup>1)</sup>。

応募企業の内池醸造株式会社では、人手で行っている製品ボトルの箱詰め作業を協働ロボットに置き換えることを検討している。この実現のために、導入検証サポートとして協働ロボット (UR10e、ユニバーサルロボット製)、を使ってボトルの箱詰めを試行した。その結果、ロボットのハンドと箱の接触や、箱詰め速度に課題があることが分かった。

そこで、本研究では、「箱と接触しないハンド、及び保持方法」を検討し、「協働ロボット用のボトル保持アダプタ」を開発した。開発したアダプタを用いて、ボトルが落下しないような動作を検証し、「箱詰め動作時のボトル揺れ」を数値化したグラフで評価した。以上により、開発したアダプタの有効性を確認した。

### 2. ボトルの箱詰め

本研究の対象はボトルの箱詰め動作である。ハンドリング用2つ爪グリップ等では、箱と接触すること、1本ずつしか箱詰めができず時間がかかることが課題であった。これら課題を解決するため、

①箱と接触しない

②人と同程度の箱詰め速度 (目標: 30[s/箱])

を目標とした協働ロボット用ボトル箱詰めアダプタを開発することとした。

### 3. 専用アダプタの開発

#### 3. 1. 既存ハンドの適合性

図1に示すように、3種類のボトルとダンボールの組み合わせで実験を行った。ボトル保持に使用したハンド (Hand-E、2F-85、AirPick: ロボティック社製) を図2に示す。表1にはボトルとダンボールの組み合わせの条件、表2には今回検討したハンドの仕様を示す。



図1 ボトルとダンボールの組み合わせ  
(左: ①1,800[ml]、中: ②1,000[ml]、右: ③200[ml])



図2 検討ハンド  
(左: Hand-E、中: 2F-85、右: AirPick)

表1 ボトル、ダンボールの条件

	①	②	③
内容量[ml]	1,800	1,000	200
ダンボールサイズ (横×高さ×奥行[mm])	335×340× 230	270×285× 180	250×160× 195
ボトルの並び[本]	3×2	3×2	4×3

表2 ハンドの仕様

	Hand-E	2F-85	AirPick
ストローク [mm]	50	85	-
把持力 [N]	20~185	20~235	-
グリップ重量 [g]	1,000	900	332
閉速度 [mm/s]	20~150	20~150	-
エネルギー源	-	-	圧縮空気
最大真空フロー [L/min]	-	-	52.7

実験状況を図3に、実験結果を表3に記す。

Hand-E、2F-85 では、箱の隅にハンドが接触すること、1本ずつ保持するためタクトタイムが長いことから、目標を達成できないことが分かった。AirPick も一部、箱と接触したが、真空パッドの長さを延長することで、箱と接触しないボトルの箱詰めが実現可能であると判断した。また、ボトルを複数本同時に保持することで、タクトタイムを短縮できると判断した。

以上より、本研究ではAirPickを用いて複数本同時保持可能なアダプタを開発することとした。

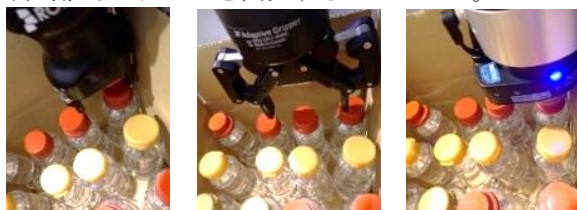


図3 ハンド選定 実験状況 (一例 (200[mL]))  
(左: Hand-E、中: 2F-85、右: AirPick)

表3 ハンド選定 実験結果

ボトル容量	Hand-E	2F-85	AirPick
①1,800[mL]	接触	接触	非接触
②1,000[mL]	接触	接触	非接触
③200[mL]	接触	接触	接触

### 3. 2. 協働ロボット用のボトル保持アダプタ開発

3. 1. の結果より、箱と接触せず、かつ複数本同時保持が可能なアダプタを開発した。設計にて3DCADソフト (SOLIDWORKS Professional 2022 SP3.1、ダッソー・システムズ(株)製)、造形にて3Dプリンタ (AGILISTA-3200、(株)キーエンス製) を用いた。

ハンドと箱の接触を防ぐため、真空パッドの長さを延長した形状のアダプタを設計した。組立結果を図4に示す。基本的な形状は統一し、箱の大きさによってプレートサイズを変更した。プレートの中心に溝を切り、真空パッドの位置を変更できる仕組みとした。また、同時に保持する本数によって真空パッドの個数を変更できる構造とした。アダプタ総重量は約1.4[kg]であった。

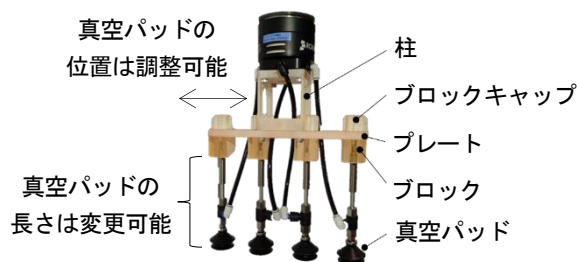


図4 組立結果 (一例 (200[mL]用))

## 4. 実験

### 4. 1. 実験条件

表1に示した3種類のボトルの箱詰め実験を行った。タクトタイムは、ロボット内蔵のタイマー機能にて測定した。

表1①、②の実験は3本同時保持“2回搬送”で完結するため、ロボットの最大動作加速度の70%程度で目標タクトタイムを達成できると考え、ボトル搬送時のロボットの動作加速度は900[mm/s<sup>2</sup>]とした。

表1③の実験は4本同時保持“3回搬送”で完結するため、ボトル搬送時のロボットの動作加速度は最大動作加速度である1,285[mm/s<sup>2</sup>]とした。実験状況は図5のとおりである。



図5 ボトルの箱詰め 実験状況 (一例 (200[mL]))

## 5. 結果

### 5. 1. 箱とアダプタの接触確認

箱とボトル、及び開発したアダプタの接触について、図6に示す三面図で確認した上で実際の箱詰め実験を行い、接触は確認されなかった。

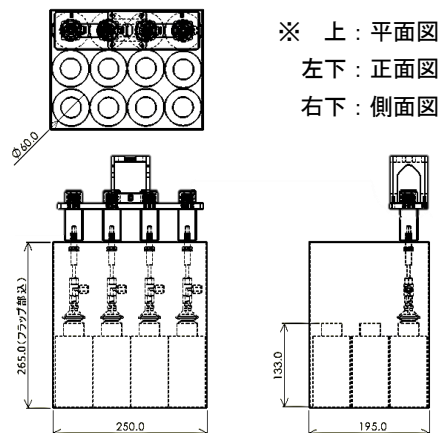


図6 アダプタ接触確認 三面図 (一例 (200[mL]))

## 5. 2. 人と同程度の箱詰め速度の実現

ボトル搬送の実験結果を表4に示す。3種類すべてのボトルで、目標である「人と同程度の箱詰め速度を実現（目標：30[s/箱]）」が達成できた。

表4 ボトル搬送結果

	①1,800[ml]	②1,000[ml]	③200[ml]
ボトル搬送時の加速度[mm/s <sup>2</sup> ]	900	900	1,285
箱詰め所要時間[s]	28.4	25.7	26.6

## 6. 考察

### 6. 1. ボトル搬送時の揺れの計測

ボトルの箱詰めの際、箱と接触しないアダプタの設計を行い、実験でも接触しないことを確認できた。また、箱詰め速度についても表4に示したとおり、すべてのボトルについて、目標の30[s/箱]を達成できた。

しかし、実験時、ボトル搬送の際に揺れが発生した。今後箱詰め速度をさらに上げた場合、箱詰め時における箱のフラップ部とボトルの接触や、搬送時におけるボトルの落下等が懸念される。

そこで、揺れの傾向を確認するため、図7に示すように協働ロボット内蔵の力覚センサからハンド先端の中心部分であるTCP (Tool center position) に作用する力 ( $F_x$ ,  $F_y$ ,  $F_z$ ) [N]とトルク ( $T_x$ ,  $T_y$ ,  $T_z$ ) [Nm]を測定した。アダプタの根元にかかる力はボトルの重さや、ボトル搬送時の揺れによって変動する。そのため、アーム先端に加わる力から「ボトル搬送時のボトルの揺れ」として間接的に評価した。

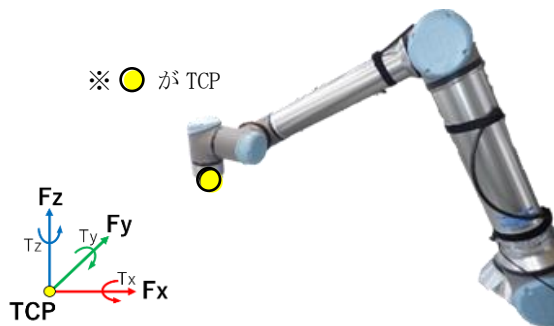


図7 TCP座標

### 6. 2. 箱詰め動作時のボトル揺れの数値化

表1の条件に記載した3種類のボトルの箱詰め実験の、アーム軌道とボトルの揺れについて、協働ロボット内蔵の力覚センサからアーム先端に加わる力により間接的に数値化したグラフで評価した。図8、9に結果を示す。

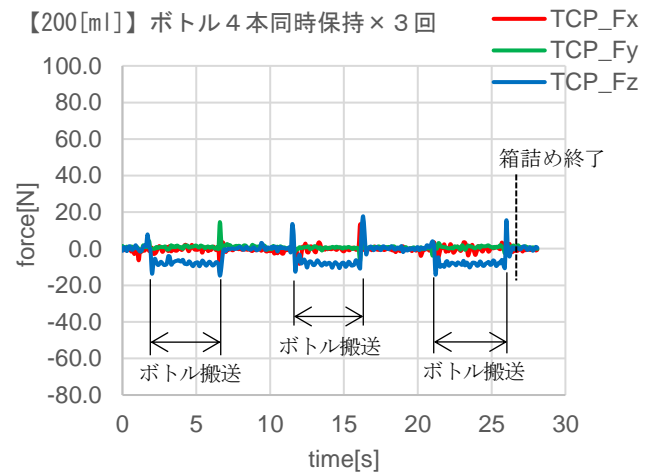
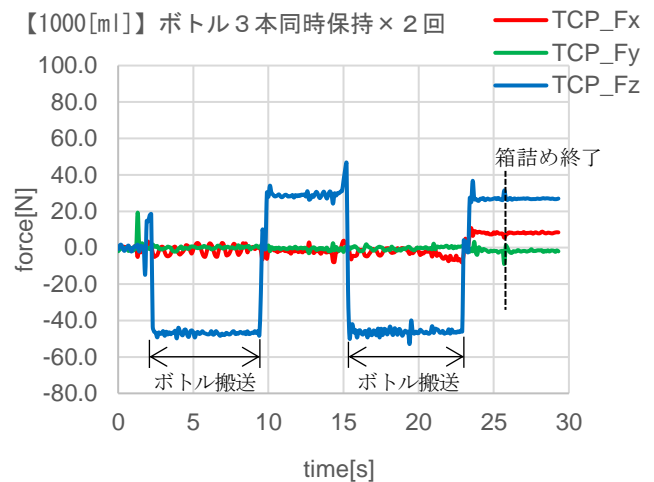
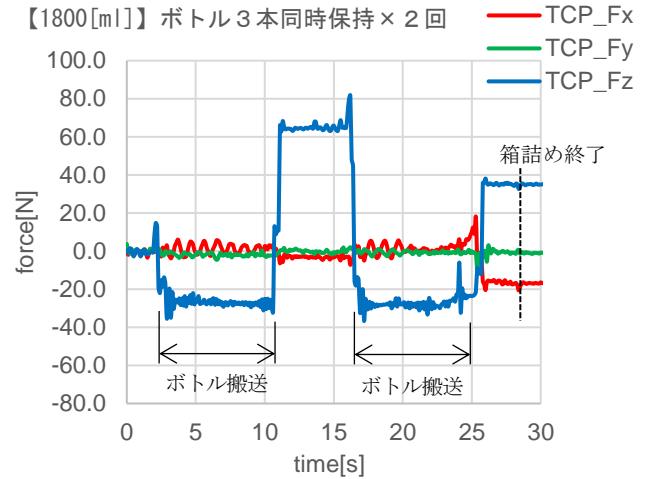


図8 箱詰め動作時の力の時間変化

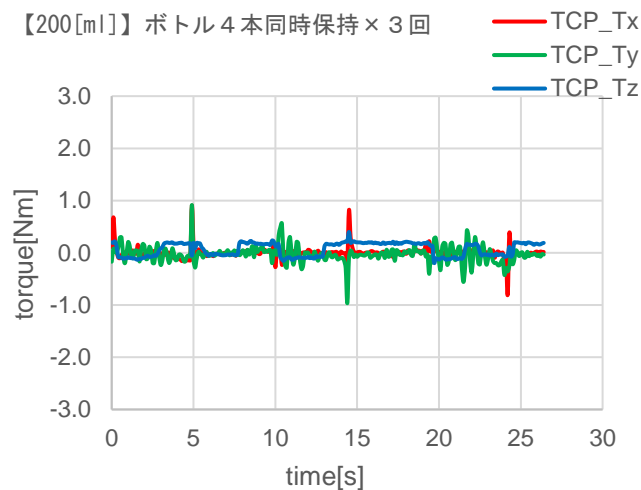
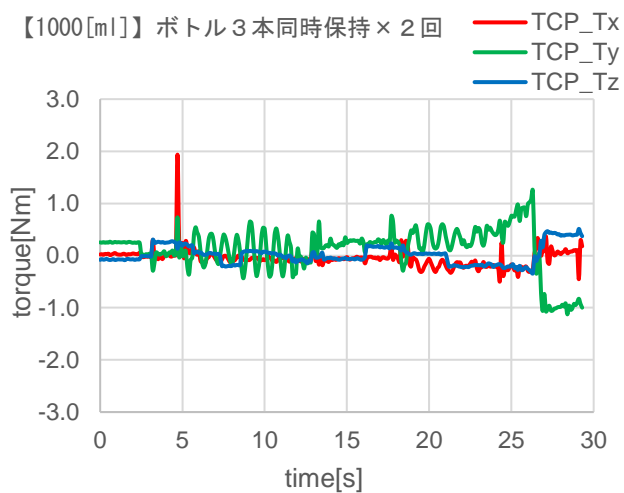
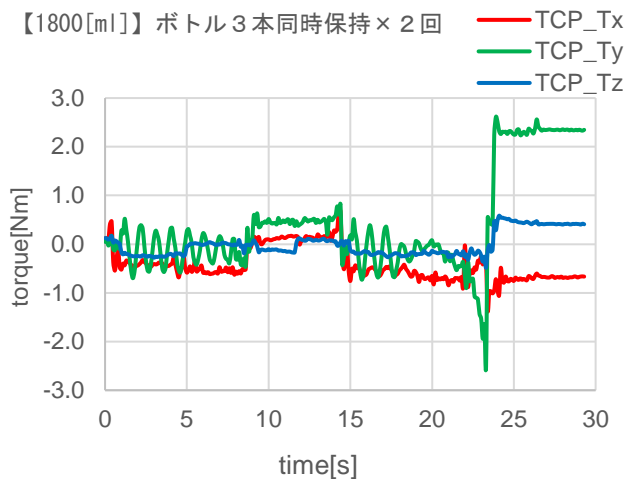


図9 箱詰め動作時のトルクの時間変化

図8より、ボトルを保持した直後、離れた直後にTCPにかかる力の変動が大きいことが確認できた。また、重量のあるボトルほどTCPにかかる力が大きいことが確認できた。さらに、ロボットのy軸方向にかかる力(Fy)は比較的小さいことが確認できた。これは、ボ

トル搬送時にy軸方向にはロボットを動かさなかったためと考えられる。

図9より、ロボットのy軸まわりにかかるトルクが大きいことが確認できた。ボトルを持ち上げたタイミングに加え、ボトル搬送時にトルクが大きく変動していることが分かった。このことから、トルクを小さくして揺れを抑えるためには、ボトルの初期位置が重要であると考えられる。

## 7. 結言

箱と接触しないハンド及び保持方法を検討し、協働ロボット用のボトル保持アダプタを開発し、本研究の目標とした「箱と接触しない」「人と同程度の箱詰め速度(目標:30[s/箱])」を実現した。以上により、開発したアダプタの有効性を確認した。

また、箱詰め時のロボットにかかる力をロボット内蔵の力センサにより測定し、この力を間接的に「箱詰め動作時のボトル揺れ」として評価した。今回の結果から、力やトルクが大きくかかる点では揺れが大きくなることが確認できた。

これら結果を基に、アダプタの構造や箱詰め動線等について検討することで、安定した箱詰めにつながると考えられる。

以下に要約を整理する。

- ・真空パッドを延長させた複数本同時保持アダプタを開発した。
- ・箱詰め時のロボットにかかる力を測定し間接的に揺れを評価した。
- ・開発したアダプタの有効性を確認した。
- ・振動を抑えて安定した箱詰めを実現させるため、アダプタの構造改良や箱詰め動線については今後の課題である。

## 参考文献

1) “ロボットを取り巻く環境変化と今後の施策の方向性”, ロボットによる社会変革推進会議(2019年7月). p2. [https://www.meti.go.jp/shingikai/mono\\_info\\_service/robot\\_shakaihenkaku/pdf/20190724\\_report\\_01.pdf](https://www.meti.go.jp/shingikai/mono_info_service/robot_shakaihenkaku/pdf/20190724_report_01.pdf),

## 注釈

注1) 三品産業は、食品などの「品」がつく産業のこと。特に、食品・医薬品・化粧品を指す。