

令和 4 年 6 月 3 日現在

機関番号：34310

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2019～2021

課題番号：19K04115

研究課題名(和文)協働双腕スカラーロボットの巧妙俊敏なプレート操りグラスプレス・ハンドリング

研究課題名(英文)Graspless handling based on skillful operation of working plate with a collaborative dual-arm SCARA robot

研究代表者

廣垣 俊樹 (HIROGAKI, Toshiki)

同志社大学・理工学部・教授

研究者番号：80275172

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,400,000円

研究成果の概要(和文)：工場の作業現場での活用を目指して、協働人型双腕スカラーロボットに着目した研究である。双腕で作業プレートを保持して、プレートに巧妙で俊敏な操り動作を創成することで、プレート上の物体に触れることなく物体の移動運動の制御を具現化するグラスプレスハンドリングの研究開発を遂行した。すなわちプレートの面外操りによる重力と水平面内操りによる慣性力の適切な組み合わせにより、プレート上でグラスプレスハンドリングによる物体の任意の移動の具現化が可能であることを示すことができた。

研究成果の学術的意義や社会的意義

産業用ロボットが双腕で高度なプレート操り動作を遂行することで、食品など直接把持が難しい対象物に対して高度なハンドリングが可能であることを示すことができた。食品産業だけでなく、ゲル状などの医薬品なども含め、従来は難しい直接把持が難しい対象物に対する新たなハンドリング技術の可能性を示すことができた。すなわち新たな工場作業などの現場における自動化技術として、今後の発展が期待できる。

研究成果の概要(英文)：We focus on a humanoid collaborative dual-arm SCARA robot as a useful robot in the manufacturing factories. In the research work, we attempt to construct a grasp-less handling technology to control the motion of workpiece on the working plate without contacting it, based on skillful operation of working plate supported by dual-arm. As a result, it is demonstrated that a motion control of the object on the working plate is performed by grasp-less handling based on the suitable combination of inertia force in the in-plane and gravity force in the out-of-plane due to the plate operation.

研究分野：自動化

キーワード：グラスプレスハンドリング 産業用ロボット 協働ロボット 双腕ロボット スカラーロボット

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属します。

1. 研究開始当初の背景

我が国のものづくり産業は、道具と熟練技能者・技術者の知恵の進化により生産性を飛躍的に向上させてきた。その一方で、日本の労働人口の減少に対してヒトの生産性を高める技術の研究開発が求められ、成長戦略として2015年5月に政府のロボット改革イニシアティブ協議会が発足した。その中で工業に加えて3品産業(医薬品・化粧品・食品;ヒトとの協働が必要とされる)の製造現場に対して、新たに上市されてきた協働ロボット(安全柵を必要とせず、ISO10218規格に準じてTCPで速度 v ; 250mm/s以下かつヒトが誤って接触した時にセンサーが外力(75N以下)を検知して自動で急停止させる機能を有し、ヒトと同じ空間で安全に作業が可能)の導入が着目されている。ラインによる全自動化(例えば、自動車製造の溶接専用ロボットのよう専用治具で流れ作業を遂行する場合など)ではなく、ヒトとロボットが道具を共用して協働する作業現場で容易に活用できる各種の「easy to use」技術で製造現場のイノベーションを起こすことである。ロボット大国として協働ロボットを活用しながら、「ヒトが主役となる新たなものづくり技術」を提案し、製造業の確固たる国際競争力の確保のための協働ロボットに関する技術が望まれている。

一般にロボットは量産工場におけるピック・アンド・プレイス(対象物を把持・グラスプ=Graspして移動させる)で活用される場合が多く、学術的な研究も当該またはその応用による組み立て作業などに関するものが大半である。しかしながら、把持できない不定形物体(顆粒やゼリー状など)を扱う場合が多い3品産業でのロボットの応用を飛躍的に増大させるためには、それら不定形物体をプレート操りで対象物の運動制御するグラスプレス・ハンドリングの新しい概念とその体系的な研究が不可欠であるが、その学術研究は見られない。そこでプレート上に形状が不定である液状の物体を混ぜながら均一に整列させる双腕協調による日本の伝統的技術である和紙すきの匠動作に着目し、最新の協働型ロボットの安全機能で自己停止する限界内の制約の下、プレートに面外および面内の運動を組み合わせたグラスプレス・ハンドリングに取り組む。

2. 研究の目的

垂直多関節を2台組み合わせた産業用ヒト型双腕ロボットは、2008年頃より日本の大手産業用ロボットメカ各社から世界に先駆けて上市し、ロボット改革イニシアティブ協議会の製造業分野におけるコアとなることが確実な方向性であるが、ISO安全基準に準拠した「協働ロボット」の導入例はまだ少なく、作業現場での設置には安全柵が必要で「easy to use」の障壁となっていた。

近年、産業用の双腕型かつスカラー型(水平多関節)を2台組み合わせた協働型双腕スカラーロボットが上市されたが、その応用に関する先行研究はない。ロボットの協働に向け、ヒトサイズのスカラー双腕の協調の動作で協働ロボットがプレート(道具)を操る先行する研究報告は全くない。またその応用となるグラスプレス・ハンドリングは申請者が提案する世界で唯一の手法と認められ、それを和紙すきの動作の解析に基づき不定形物体のハンドリングに発展させた例はなく、世界的に極めて高い独自性を有する。一方で、その高度な潜在技術は最新のオーダメイド医薬品製造の現場で多く用いられており、ハンドリング対象の性質に近い化粧品等の製造現場における新たな技術に資すると考えられ、それら関連の波及効果は厚生労働省予測2020年の世界のガン医療市場60兆円/年、サニタリー市場26兆円/年と極めて大きい技術でもある。

3. 研究の方法

グラスプレス・ハンドリングの基礎研究として、作業プレートを双腕ロボットが把持して、プレートに面外および面内の運動を与えることで、プレート上にある対象物体をプレート上で運動制御する場合を対象にして研究を進める。協働ロボットを用いることで、工場等の作業現場で人とロボットが協調して作業する場合を想定する。制御対象は球体として基礎研究を進める。本研究では直径10~20mm程度のベアリング球などを用いる。作業プレートは500×400×20mm程度の工場現場の汎用パレットとする。

双腕多関節ロボットを用いた場合の実験例を図1に示す。図中のロールおよびピッチ各が与える面外運動の例となる。プレートの傾斜によりプレート上のボールが転がり運動し、その運動をプレートの面外の旋回操り動作で制御している。ボールの運動はプレート上に設置したCCDカメラで撮影して、画像処理で軌跡トレース

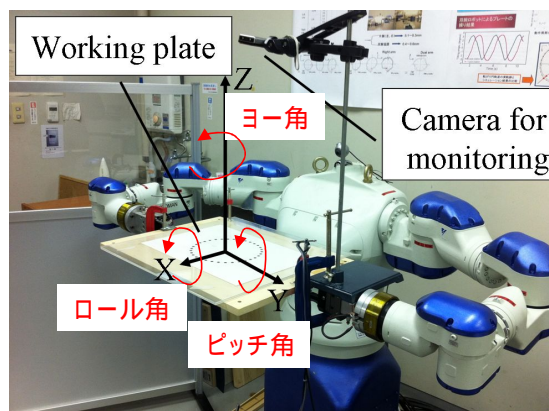


図1 垂直多関節双腕ロボット

することで分析している．図1における，y軸まわりの旋回(ピッチ角)に対するボールの X_m 方向の応答のブロック線図を図2に示す．ここで m はボールの質量， c は減衰である．

次に双腕スカラーロボットを用いた場合の実験例を図3に示す．スカラーロボットは面内運動が得意であるので，保持したプレートに面内の操り動作を主に与え，慣性力でプレート上のボールとプレート間に相対運動を生じるようにしている．

その場合のプレートの X_m 方向の運動 X_p とその運動に対するボールの上の運動を X_m とした応答のブロック線図を図4に示す．ハンドリングを具現化している．ただし面外の旋回運動も可能なようにしてある．

制御動作の基本は周波数応答であるので，プレート上でボールに等速円運動を生じるように操り動作を与え，プレートに与えた動作に対するボールの転がり軌跡で運動精度を評価した．

さらに高度なグラスプレス・ハンドリングとして，各種のリサージュ図形を運動制御の基準線として，ボールの転がり運動軌跡の解析も試みた．

作業プレート上にはジャイロセンサを搭載して，直交3軸の直進加速度および旋回速度を計測しながら，双腕協調におけるロボットの運動精度とグラスプレス・ハンドリングとなるプレート上のボールの運動軌跡との関係を検討した．

図5は作業プレート上に8の字でのリサージュ転がり運動を遂行している場合の例である．理論線が実線で示され，画像処理結果が点線である．プレートの操り運動誤差により，グラスプレス・ハンドリングの軌跡にも誤差が生じていることがわかる．またこの検討により，リサージュ図形のゆがみおよび交差点の位置の解析により，ロボットの運動精度診断も可能であることが判明している．

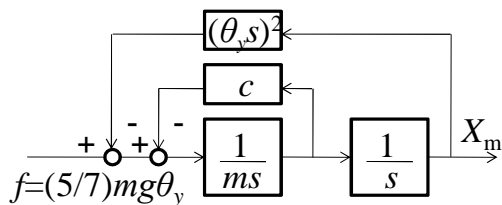


図2 面外操り時の応答



図3 双腕スカラーロボット

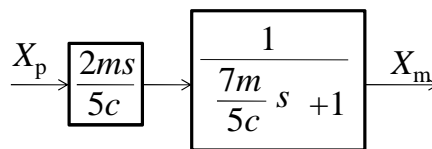


図4 面内操り時の応答

4. 研究成果

双腕ロボットに作業プレートを保持して，その上に存在する対象に対して，プレートの面外および面内の操り動作を与える手法に取り組んだ．その結果，プレート上にあるボールをロボットが直接接触することなく，プレート上で移動するグラスプレス・ハンドリングが可能であることが判明した．

またプレートの面外操り動作では，図6に示す周波数応答のボード線図が得られた．すなわちローパスフィルターに近い特性であり，比較的低周波でなめらかな運動，すなわち巧妙さを具現化するグラスプレス・ハンドリングとなることが判明した．

ただし非線形であるが二次振動系に近い応答となるため，系の物理的な減衰が十分でない場合，固有振動数で共振が生じる可能性もあり，そのような動作に近い場合に安定性を事前に調べて用いるか，または当該振動数付近は避けるような対策が必要であることもわかった．

次にプレートの面内操り動作では，図7に示す周波数応答のボード線図が得られた．すなわちハイパスフィルターに近い特性であり，いわゆる高周波での運動，すなわち俊敏さを具現化するグラスプレス・ハンドリングとな

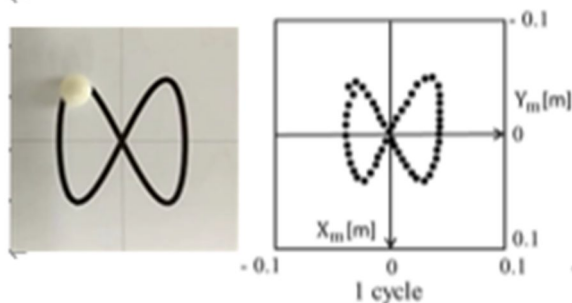


図5 プレート上のボールの転がり軌跡例

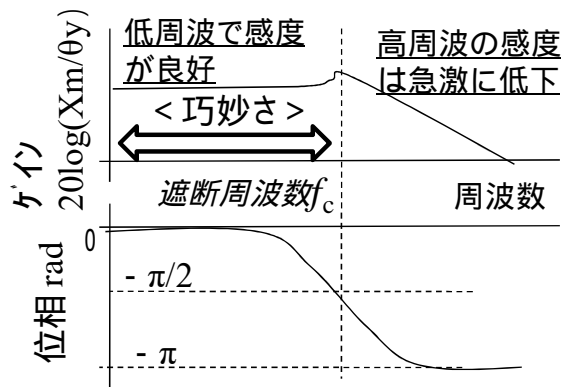


図6 面外操り時のボード線図

ことが判明した。遮断周波数 f_c より高周波となる高速なグラスプレス・ハンドリングには、この手法が不可欠であることも判明した。

さらに本手法での別の応用として、図 5 でも示したように、等速転がり円運動の指令に対する転がり軌跡の誤差、さらにリサーチ転がり運動の指令に対する転がり運動の軌跡の誤差を分析することで、双腕ロボットの双腕操り運動における協調動作などの運動誤差の診断も可能であることが判明した。産業用ロボットの動的な運動誤差の診断に対して、新しい指針を示すものであり、この面での今後の発展の可能性も発掘できた。

以上の成果は、産業用協働双腕ロボットの新しいハンドリング技術や運動精度の診断技術を示すものであり、一部は既に「産業用双腕ロボットのプレート操り動作に基づくグラスプレス・ハンドリングによるボールのリサーチ転がり運動精度に関する研究」(廣垣俊樹, 青山栄一, 水谷優太, 中村匡利, 間瀬貴大) 設計工学, Vol.57, 2, (2022) 79-94, DOI:10.14953/jjsde.2021.2917, で学術論文として掲載済みであり, 工場の新たな自動化技術の高度化に寄与することを示している。

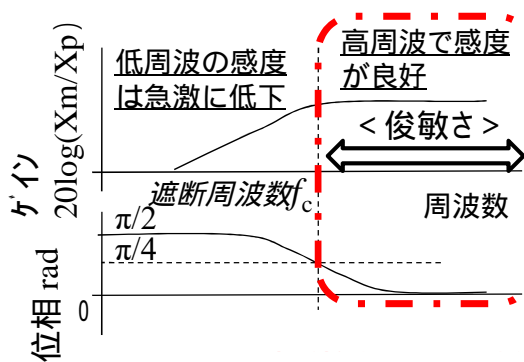


図 7 面内操り時のボード線図

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計1件（うち査読付論文 1件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 1件）

1. 著者名 廣垣俊樹, 青山栄一, 水谷優太, 中村匡利, 間瀬貴大	4. 巻 57
2. 論文標題 産業用双腕ロボットのプレート操り動作に基づくグラスプレス・ハンドリングによるボールのリサージョ 転がり運動精度に関する研究	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 設計工学	6. 最初と最後の頁 79-94
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.14953/jjsde.2021.2917	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

〔学会発表〕 計10件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 3件）

1. 発表者名 北畑遼, 間瀬貴大, 尾崎信利, 吳魏, 廣垣俊樹, 青山栄一
2. 発表標題 産業用ロボットのプレート操り動作によるボール転がり運動制御とその制度の改善方法
3. 学会等名 精密工学会秋季大会学術講演会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 清水康平, 尾崎信利, 廣垣俊樹, 青山栄一
2. 発表標題 双腕スカラロボットによるプレート把持姿勢変化に伴う水平面内動作での運動解析
3. 学会等名 精密工学会秋季大会学術講演会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 間瀬貴大, 北畑遼, 廣垣俊樹, 青山栄一
2. 発表標題 産業用双腕ロボットのプレート操りに基づくグラスプレスハンドリングに向けたボールの運動制御方法の考察
3. 学会等名 日本機械学会2020年次大会講演会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 北畑遼, 真瀬貴大, 尾崎信利, 吳魏, 廣垣俊樹, 青山栄一
2. 発表標題 産業用ロボットのプレート操り動作におけるモータ消費電力と運動誤差の考察
3. 学会等名 精密工学会春季大会学術講演会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 清水康平, 林間達志, 廣垣俊樹, 青山栄一
2. 発表標題 双腕スカルロボットのプレート把持姿勢とボールのグラスプレスハンドリングに向けたプレート操り動作の検討
3. 学会等名 精密工学会春季大会学術講演会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 間瀬貴大, 北畑遼, 廣垣俊樹, 青山栄一
2. 発表標題 Investigation of novel teaching method for skillful operation of working plate with an industrial dual arm robot
3. 学会等名 20th Int. Conf. on Control, Automation and Systems (ICCAS2020) (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 林間達志, 尾崎信利, 清水康平, 中川正夫, 廣垣俊樹, 青山栄一
2. 発表標題 Estimation of Working Plate Control with Dual-Arm Scalar Robot based on Image Processing of Rolling Ball
3. 学会等名 18th Int. Conf. on Precision Eng. (ICPE2020) (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 林間達志, 中川正夫, 尾崎信利, 廣垣俊樹, 青山栄一
2. 発表標題 双腕スカラーロボットのプレート面内操り動作によるボール転がり運動制御の検討
3. 学会等名 精密工学会秋季大会学術講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 林間達志, 中川正夫, 尾崎信利, 廣垣俊樹, 青山栄一
2. 発表標題 Investigation of Cooperative Motion Error and Working Plate Control with Dual-Arm Scalar Robot
3. 学会等名 Advances in Materials and Processing Technologies Conference (AMPT2019) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 林間達志, 廣垣俊樹, 青山栄一, 尾崎信利, 清水康平
2. 発表標題 双腕スカラーロボットによるプレート面内操り動作とプレート上のボールの転がり軌跡の考察
3. 学会等名 日本機械学会関西支部第95期定時総会講演会
4. 発表年 2019年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
---------------------------	-----------------------	----

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8 . 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------