

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 28 年 6 月 8 日現在

機関番号：34310

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2013～2015

課題番号：25420075

研究課題名(和文) 産業用ヒト型双腕ロボットの巧みなプレート操り動作による転がりボールの運動制御

研究課題名(英文) Control of ball rotating motion based on skillful plate motion control with a dual arm robot

研究代表者

廣垣 俊樹 (HIROGAKI, Toshiaki)

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) 3,900,000円

研究成果の概要(和文)：産業用双腕ロボットの両腕で作業プレートを保持してのプレート旋回運動の制御に関する研究に取り組んだ。本研究では、プレート上に置かれた鋼球(直径20mm)をプレートの旋回運動で転がり円運動を与えて、その転がり軌跡の指令予想値との誤差について考察した。その結果、軌跡誤差を解析することでプレート旋回運動の運動精度の診断が可能であることが示された。さらに診断結果に基づいて、プレート操り運動の運動精度の改善も可能であることが示された。これらの成果により、双腕ロボットがプレートを操る作業動作における高精度化・高速化のための新しい技術を構築し、さらに工場現場における次世代の自動化技術も構築することができた。

研究成果の概要(英文)：This research work dealt with controlling a rolling motion of working plate by cooperating dual arms with a dual arm industrial robot. We investigated a rolling locus error of a ball (diameter 20mm) on the plate caused by the plate rolling motion. Here, the error was defined the deference between the simulated ball rolling locus on the plate and the experimental one. As a result, it could be seen that the monitor of locus error made it feasible to estimate the rolling motion error of plate. Moreover, it was demonstrated that its estimation made it possible to improve the accuracy of the plate rolling motion. We therefore constructed a novel technology to achieve the high accuracy and the high speed operation of the working plate with a dual arm industrial robot and to develop a novel factory automation technology in the next generation.

研究分野：生産システム

キーワード：産業用ロボット 自動化 モーションコントロール 工場 生産システム

1. 研究開始当初の背景

世界に先駆け、日本において産業用双腕ロボットが開発された。その応用で日本の製造業が、ロボット技術で世界に向けてのイニシアティブを一層示すための嚆矢と期待されていた。すなわちファクトリーオートメーション (FA) の分野におけるドラスティックな変革期を向かえようとしていた。

その一方で、サービスロボットなどを中心にして二足歩行などの研究開発は盛んであったが、ロボットの双腕を協調した動作の高度化に関する体系的な先行研究はほとんどなされていなかった。さらに産業用を想定した双腕の協調動作を応用した自動化技術の研究はなされていなかった。

2. 研究の目的

製造現場においてヒトとロボットが協調する新しい生産システムの技術の開発が求められている。ヒトのロボットが共存するためには、現場で用いる道具を共有する技術開発が重要である。そこで本研究では、製造現場で用いられる道具の中でもパレットなどに代表される作業プレートに着目して、双腕ロボットの双腕にそのプレートを保持して閉リンク機構を構成し、双腕協調の動作でプレートに巧みな操り動作を具現化する手法の開発に取り組んだ。また高度なプレート操り動作の一種として、プレート上に不安定な物体の代表としてボールを置き、そのボールの転がり運動軌跡の制御の達成を目標とした。

3. 研究の方法

図1に示すように、双腕ロボットの双腕で作業プレートとしてアクリル板プレート (600×450mm程度) を保持し、その上にボール (直径 20mm 程度の鋼球) を配置した。その後プレートに双腕協調の動作で2軸の旋回運動の組み合わせでボールに転がり運動を創成する制御手法に取り組んだ。

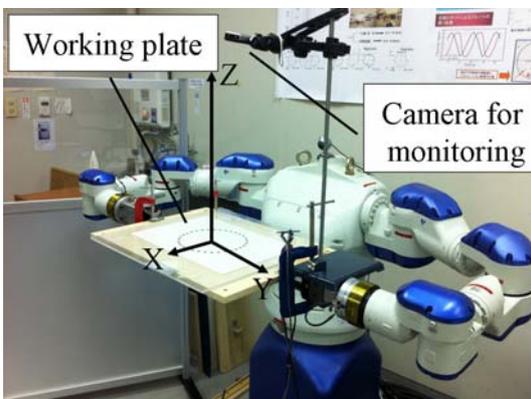


図1 双腕ロボットによるプレート操り

4. 研究成果

制御特性を評価するための基本はステップ応答および周波数応答である。そのために

ボールの転がり円運動の創成に取り組んだ。その結果、ステップ応答に対しては図2に示すようにプレート上でボールの転がり開始点から定常的な転がり円運動に達すまでのプレート操り制御特性を評価して、指令入力に対する実際の転がり運動軌跡から考察を進めた。その結果、プレート旋回角速度により生じる遠心力を考慮することがボール転がり運動制御において重要であることを解明することができた。

さらに定常応答に該当する転がり円運動においては、実際のボールの転がり軌跡が図3の例のようにだ円になり、その軌跡と指令値で予想される転がり円との差の分析により、双腕協調動作のサーボ系の誤差の診断が可能であることを解明することができた。またボールの転がり円弧補間運動に対する基礎動作を解明することができた。

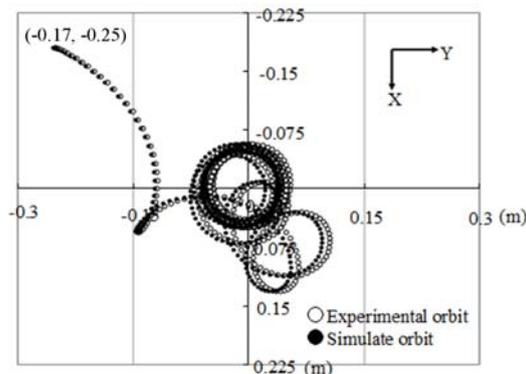


図2 ボールの転がり過渡応答特性の評価

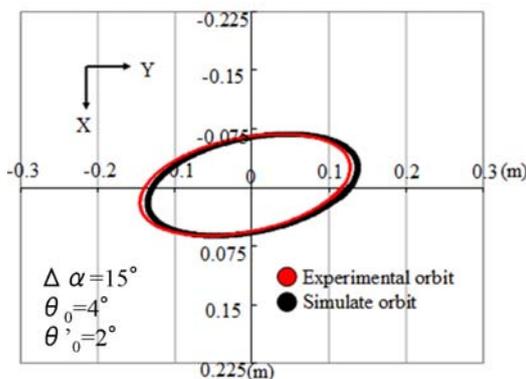


図3 プレート操り誤差を含む場合のボールの転がり円運動

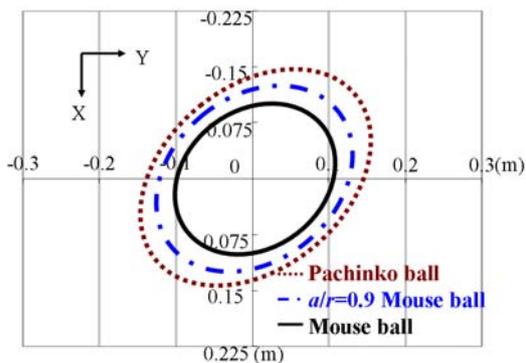


図4 ボールの違いによる転がり軌跡の差

図4は、操るボールの種類を変化させて場合の転がり軌跡の違いを示す。鋼球の直径を変化させる（直径10%減の鋼球 $a/r=0.9$ や直径10mm程度のパチンコの小径鋼球）と転がり運動における減衰係数が変化して、転がり円運動の軌跡の直径も変化することがわかった。すなわち、転がり運動の制御においてボールとプレートの減衰係数（＝転がり抵抗）が重要なパラメータとなることもわかった。逆に、サーボ系の運動誤差の診断に用いる場合は、予想される運動誤差に合わせたボールの選定が重要であることも解明できた。

さらに正方形のボールの転がり運動軌跡を対象にして、プレートとの操り運動制御について考察を進めた。その結果、奇数次の高調波成分を旋回運動指令に含めることが当該の運動制御において重要であることが判明した。図5に旋回運動に含める高調波成分（ m 次）の次数と転がり運動軌跡の関係を示す。本提案では $m=13$ 次まで高調波化することで正方形に近い転がり軌跡が具現化できることがわかった。図6に示すようにロボットの運動誤差に起因して、頂点部での転がり運動の応答性には若干の改善の余地があるが、かなりの精度でボールの転がり運動の生成が可能であることがわかった。またこれら結果より、ボールの転がり微小線分かつ直線補間運動に対する基礎動作を解明することもできた。

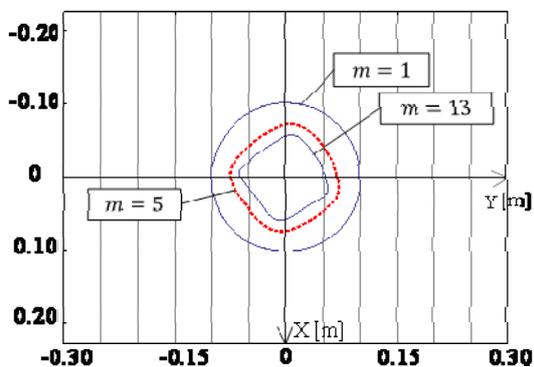


図5 旋回運動の高次成分の含有とボールの転がり軌跡の関係

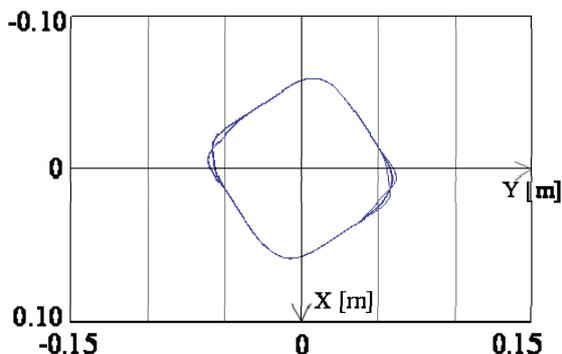


図6 ボールの転がり四角形軌跡の生成と頂点位置に残る誤差

以上、これらの成果により産業用双腕ロボットの双腕協調運動に基づく巧妙なプレート操り制御で、プレート上のボールの転がり軌跡として円弧補間および直線補間の運動の生成に関する基礎的な知見を得ることができた。

またこれらの成果は、いわゆる工業メーカーだけでなく食品や農業などの各種産業の自動化にも寄与すると考えられ、幅広い分野において応用展開できる可能性を示すことができた。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕（計5件）

(1) 堀角優一, 呉魏, 廣垣俊樹, 青山栄一, Motion control of working plate supported with dual-arm robot with various postures, Proc. of 8th Int. Conf. on Leading Edge Manufacturing in 21st Century (LEM21)

(2015), No. 0401, 1-6, 査読あり

(2) 堀角優一, 呉魏, 廣垣俊樹, 青山栄一, Proc. of Aeronautics, Nano, Bio, Robotics and Energy (ANBRE15), (2015), RR701_1964, 1-14, 査読あり

(3) 木下俊, 呉魏, 廣垣俊樹, 青山栄一, 双腕ロボットの複雑なプレート操り動作における動的精度の研究, 機械学会論文集 Vo 1. 81, No.822, (2015)

DOI-10.1299/transjsme.2014-00486, 1-15, 査読あり

(4) 呉魏, 木下俊, 廣垣俊樹, 青山栄一, Detection of Motion Error under Synchronous Two-Axis Control of a Dual Arm Robot Based on Monitoring of Ball Rolling Motion on a Plate, International Journal of Automation Technology, Vol.9 No.1, (2015), 33-42, 査読あり

(5) 木下俊, 廣垣俊樹, 青山栄一, 呉魏, Skillful Operating of Working Plate to Control Ball Rolling Motion with a Dual Arm Robot, Proc. of the ASME 2013 International Mechanical Engineering Congress and Exposition

IMECE2013, IMECE2013-64084, (2013), 1-7, 査読あり

〔学会発表〕（計6件）

(1) 堀角優一, 木下俊, 呉魏, 廣垣俊樹, 青山栄一, 双腕ロボットの各種姿勢のプレート2軸旋回運動制御の運動誤差, 日本機械学会関西支部第90期定時総会講演会, 2015年3月16日, 京都市・京都大学

(2) 木下俊, 呉魏, 廣垣俊樹, 青山栄一, 双腕ロボットの協調動作での複雑なプレート操りにおけるボールの多角形転がり運動制御とその精度に関する研究, 第16回国際工作機械技術者会議(IMEC)講演論文集, 2014年10月30日, 東京都・東京ビックサイト

(3)木下俊, 呉魏, 廣垣俊樹, 青山栄一, 双腕ロボットの複雑なプレート操り動作における動的精度の研究, 日本機械学会 Dynamics and Design Conference 2014, 2014 年 8 月 26 日, 東京都・上智大学

(4)堀角優一, 木下俊, 呉魏, 廣垣俊樹, 青山栄一, 産業用双腕ロボットの各種姿勢のプレート 2 軸旋回運動制御の運動誤差とプレート上のボールの転がり運動の考察, 精密工学会 2014 年度関西地方定期学術講演会, 2014 年 7 月 4 日, 66-67 東大阪市・近畿大学

(5)呉 魏, 木下 俊, 廣垣俊樹, 青山栄一, 双腕ロボットによるプレート操り制御におけるプレート支持位置の影響, 精密工学会秋季大会学術講演会, 2013 年 9 月 12 日, 大阪市・関西大学

(6)木下俊, 呉魏, 廣垣俊樹, 青山栄一, 複雑な入力における双腕ロボットのプレート操りによるボールの転がり運動制御, 精密工学会 2013 年度関西地方定期学術講演会, 2013 年 6 月 14 日, 大阪市・大阪工業大学

〔図書〕(計 0 件)

〔産業財産権〕

○出願状況 (計 0 件)

名称 :

発明者 :

権利者 :

種類 :

番号 :

出願年月日 :

国内外の別 :

○取得状況 (計 0 件)

名称 :

発明者 :

権利者 :

種類 :

番号 :

取得年月日 :

国内外の別 :

〔その他〕

なし

6. 研究組織

(1) 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

(2) 研究分担者

なし ()

研究者番号 :

(3) 連携研究者

なし ()

研究者番号 :