

京都大学	博士（工学）	氏名	土橋 宏規
論文題目	ロボットセル生産システムのための汎用ハンドに関する研究		
<p>（論文内容の要旨）</p> <p>本論文は、ロボットセル生産システムにおける組立作業において、多種多様な形状の部品の初期位置・姿勢の不確定性をロバストに吸収し、最終的に組み付けに必要な精度での把持を確実に達成することができるような汎用ハンドの設計と、その把持戦略の計画を系統的に行うための基礎的な手法について述べたものであって、6章からなっている。</p> <p>第1章は序論であり、研究背景ならびに関連研究について概説するとともに、本論文の目的について述べている。</p> <p>第2章では、組立作業を遂行可能な汎用ハンドを系統的に設計するための素地として、組立作業を行うために汎用ハンドに必要なとされる機能・機構の明確化を行っている。手段としては、実製品を人がどのように組み立てるのかを仔細に観察し、その観察結果から人が手のどのような機能を用いて組立作業を行っているのかを見出している。そして、見出した個々の機能が組立作業を行うために必要な汎用ハンドの機能であると位置づけ、それを汎用ハンドで実現させるための機構について議論している。さらに、汎用ハンドの機構の基本的な設計手法を提案し、具体例として実製品の組立作業を対象とした汎用ハンドの機構の設計例を示している。</p> <p>第3章では、第2章における議論から見出された機構を有する汎用ハンドによって対象部品の初期位置・姿勢の不確定性、すなわち初期誤差を吸収するアライメントが行われるフェーズをハンドの複数の指による対象物体の「押し操作」と捉え、これを準静的に解析している。そして、その解析結果に基づき、ある与えられた把持戦略で汎用ハンドの指を動かしたときに、対象物体がどのように動くのかをシミュレートするための把持シミュレータを構築している。また、これを用いることで与えられた把持戦略が吸収できる対象物体の初期誤差の範囲、すなわち許容初期誤差範囲を求める方法を示している。さらに、シミュレーションで求めた許容初期誤差範囲が実環境においても妥当であることを実機実験によって確認している。</p> <p>第4章では、第3章において対象物体の運動が準静的であるとして無視していた物体の慣性やハンドの指との衝突といった動力学的な要素が、把持戦略のロバスト性にどのような影響を与えるのかについて考察している。具体的には、押し操作を慣性や衝突を考慮して動力学的に解析し、その解析結果に基づく把持シミュレータを構築している。また、これを用いて対象物体の許容初期誤差範囲を求めている。さらに、許容初期誤差範囲を用いることで把持戦略のロバスト性に対する動力学的要素の影響について考察するとともに、動力学的解析と準静的解析の結果を比較することで準静的解析の適用性について検証している。</p> <p>第5章では、三次元形状を含む多形状部品の組立作業を実現できるようなロバストな把持戦略を計画するための手法を提案している。この手法では、多形状部品のロバスト把持を実現するため、アライメントから組み付けのための最終的な把持ま</p>			

京都大学	博士 (工学)	氏名	土橋 宏規
<p data-bbox="188 277 1399 488">でを単一の把持戦略で行う 1 ステップ・ロバスト把持と、ある把持戦略でアライメントを行った後に持ち直しによって最終的な把持を行う 2 ステップ・ロバスト把持を導入している。そして、具体例として立体パズルの組立作業をとりあげ、提案手法に基づいて計画した把持戦略が立体パズルの個々のピースの初期不確定性を吸収し、組立作業を遂行することができることを実機実験により確認している。</p> <p data-bbox="188 501 1399 577">最後の第 6 章は結論であり、本論文で得られた成果の要約と今後の課題について述べている。</p>			

## (論文審査の結果の要旨)

本論文は、ロボットセル生産システムにおける組立作業において、多種多様な形状の部品の初期位置・姿勢の不確定性をロバストに吸収し、最終的に組み付けに必要な精度での把持を確実に達成することができるような汎用ハンドの設計と、その把持戦略の計画を系統的に行うための基礎的な手法について研究した成果についてまとめたものであり、得られた主な成果は次のとおりである。

1. 人の手による組立作業の観察結果に基づき、組立作業を行うために汎用ハンドに必要となる機能が‘Grasp’、‘Apply’、‘Support’の三種類に大別されることを見出すとともに、個々の機能を実現するためのハンドの機構を考案した。さらに、組立作業の個々の工程に必要な機構を集約することにより汎用的な機構を設計するという汎用ハンドの設計手法を提案した。また、提案手法に基づき、実製品を対象として組立作業を行うための汎用ハンドの機構の設計例を示した。

2. 汎用ハンドによる対象部品のアライメントを「押し操作」と捉え、これを準静的に解析した。そして、その解析結果に基づき、把持戦略としての指の運動を入力として対象物体の運動を出力する準静的把持シミュレータを構築した。さらに、把持戦略のロバスト性を定量的に表すものとして、与えられた把持戦略が吸収できる対象物体の初期誤差の範囲すなわち許容初期誤差範囲を、把持シミュレータを用いて求める方法を示した。さらに、シミュレーションで求めた許容初期誤差範囲が実環境においても妥当であることを、円柱物体の把持を対象として実機実験によって確認した。

3. 準静的解析では考慮していない対象物体の慣性やハンドの指との衝突といった動力学的な要素を加味し、押し操作の動力学的解析を行った。そして、その解析結果に基づく動力学的把持シミュレータを構築し、これを用いて対象物体の許容初期誤差範囲を導出できることを示した。さらに、二つの異なる把持戦略による長方形物体の把持を具体例として、対象物体と指との反発係数、対象物体と支持面の動摩擦係数、指の速さを表すパラメータが把持戦略のロバスト性に与える影響を分析し、把持戦略によって個々のパラメータの影響が異なることを示した。なお、特に把持動作の過程で対象物体がハンドの指に囲まれる領域から逸脱しにくいような把持戦略であれば、そのロバスト性は動力学的要素の影響を受けにくいことが示唆された。また、動力学的解析によって先述のパラメータの把持戦略のロバスト性に対する感度を調べることで、準静的手法が適用可能なパラメータ範囲を求めた。その結果、準静的手法が広い範囲のパラメータの値に対して十分適用可能であることが示唆された。

4. 三次元形状部品をロバストに把持するためのアプローチとして、アライメントから組み付けのための最終的な把持までを単一の把持戦略で行う1ステップ・ロバスト把持と、ある把持戦略でアライメントを行った後に持ち直しによって最終的な把持を行う2ステップ・ロバスト把持を提案するとともに、三次元形状部品のアライメントフェーズを解析するための方法を示した。そして、それらに基づいて組立作業を遂

氏名	土橋宏規
----	------

行することができるような把持戦略を計画するための手法を提案した。また、具体例として立体パズルの組立作業をとりあげ、提案手法に沿って把持戦略の計画を行った。さらに、計画した把持戦略の実環境におけるロバスト性を、汎用ハンドを用いた実機実験によって確認するとともに、実際にロバスト把持戦略を用いて立体パズルの組立作業を行い、個々の部品の初期位置・姿勢に不確定性があっても組立作業の遂行が可能であることを示した。

以上のように本論文は、現状のロボットセルで課題となっている多種多様な部品形状に対して汎用性を有するハンドの機構と、個々の部品の初期位置・姿勢の誤差に対してロバストに目的の把持を実現可能な把持戦略の計画を系統的に行うための基礎的な手法を提案しており、学術上、實際上寄与するところが少なくない。よって、本論文は博士（工学）の学位論文として価値あるものと認める。また、平成24年1月24日、論文内容とそれに関連した事項について試問を行って、申請者が博士後期課程学位取得基準を満たしていることを確認し、合格と認めた。