

氏 名 (本籍)	吹 田 和 嗣
学 位 の 種 類	博 士 (工 学)
学 位 記 番 号	博 甲 第 10017 号
学位授与年月日	令和 3 年 3 月 25 日
学位授与の要件	学位規則第4条第1項該当
審 査 学 術 院	理工情報生命学院
学位論文題目	人と安全に共存・協働するためのロボットシステムと 実生産ラインへの応用に関する研究
主 査	筑波大学 教授 博士 (工学) 相山 康道
副 査	筑波大学 教授 博士 (工学) 鈴木 健嗣
副 査	筑波大学 准教授 博士 (工学) 河本 浩明
副 査	筑波大学 教授 博士 (工学) 中内 靖
副 査	名古屋大学 教授 工学博士 山田 陽滋

論 文 の 要 旨

製造の現場は少品種の長期間大量生産から大きく変わり、多品種を短期間に少量ずつ作る状況へと変化している。このため従来の自動化手法では対応できず、製造コストの上昇が問題となっている。近年、ロボットによる完全自動化ではなく、人とロボットが協働して生産を行う COBOT が注目されている。ただし、人とロボットが直接的、物理的に共存・協働するためには、人の安全の確保が絶対的な条件となる。このために本論文では、

- ・人の身体的安全性を確保するために、人の感じる痛みの感覚をアラート指標とすること
- ・上記の指標を満たして安全に人とロボットが接触可能とするロボットシステムの構築
- ・実際の生産ラインへの導入を実施し、安全性と生産性の両立の実証

という三段階の提案、システム構築を行っている。

まず、アラート指標として痛覚を採用することを提案し、人体 12 箇所へ一定面積で荷重を加えていき、人が痛みを感じる荷重の測定を行った。この最低荷重として、静的にも動的にも 50[N]という指標を設け、人とロボットの接触力をこの範囲内に収まるようにすることを提案している。

次に、人とロボットが不意の接触をした際にもこの指標を満たすためのロボットシステムの設計を行っている。瞬間的な撃力を小さく抑えること、接触荷重の検出をできるだけ早めること、という二つの目標に対し、それを満たすロボット表面素材の粘弾性特性を選択することで安全な接触が可能となることを示している。

これらの成果を基に、それまで人手で行っていた生産工程を対象として、リスクアセスメントを実施し、安全基準を満たしながら生産性を確保し、人の作業手順数を 40%以上削減する、人とロボットの協働システムが構築可能であることを実証した。

審 査 の 要 旨

【批評】

この論文は、吹田和嗣氏がおおよそ 25 年前から手掛けてきた、人とロボットの安全な協働作業に関する研究をまとめたもので、近年の最新の実証研究事例までを含めた優れた論文である。吹田氏は産業用ロボットを利用した生産技術に長く携わる技術者であるが、協働ロボット元年と呼ばれる、協働ロボットが多くリリースされるようになった 2015 年よりも、20 年も以前から人間とロボットが協働作業を行うために必要な条件を検討、提案している点は、先見の明があるものと大いに評価できる。

まず第 2 章において、人間とロボットが共存・協働するためには人間の安全確保が絶対条件であり、そのための指針作りが重要であると指摘し、その指針として、痛覚を採用することを提案し、実験により、誰もが耐えられる痛みの力の基準値を示している。この考え方は、その後 ISO における人協働ロボットの指針としても採用され、2016 年に ISO/TS15066 として成文化されており、大きな貢献を果たしている。

第 3 章では、2 章で提案した指標に基づいて、人とロボットの共存を可能とするために、所定の力に接触力を抑え、かつ、挟圧力を抑えるために速やかな接触検知を実現するためのロボットシステム（ロボット被覆および制御系）の設計を行い、実機実験により検証を行った。このような接触検出に基づく制動により人との接触を安全に行う考え方は現在の人協働ロボットにも多く採用されており、この点についても、早くから必要性を提唱し、実証していることは大いに評価に値する。

第 4 章では、近年リリースされた人協働ロボットを用いて、実際の生産工程において人とロボットの共存・協働システムを構築している。人協働ロボットを用いるだけで安全なシステムを構築できるわけではないことを提起し、エンドエフェクタ部によるリスクを検討し、指先をはさまれた際の発生する力を計測する手段を開発し、危険源としてその対策を施している。これにより、安全性と生産性という二つのぶつかり合う評価を満たしつつ、人が負担を感じる作業を減らし、人とロボットの共存・協働が有効な手段となり得ることを示したことは、今後の人協働ロボット及びロボットシステムの発展のために大来な影響を与えると考えられる。ただしこれが、今回の工程に対してのみ有効だったのか、汎用的に展開可能なのか、今後さらなる検討がなされるとより良いものになると思われる。

以上より、本論文は博士学位論文として十分な内容を持つと判断される。

【最終試験の結果】

令和 3 年 2 月 9 日、理工情報生命学院において、学位論文審査委員の全員出席のもと、著者に論文について説明を求め、関連事項につき質疑応答を行った。この結果とシステム情報工学研究群知能機能システム学位プログラムにおける達成度評価による結果に基づき、学位論文審査委員全員によって、合格と判定された。

【結論】

上記の学位論文審査ならびに最終試験の結果に基づき、著者は博士（工学）の学位を受けるに十分な資格を有するものと認める。