

1. 序 論

池田博康 **, 梅崎重夫 **

1. Introduction

by Hiroyasu IKEDA** and Shigeo UMEZAKI**

Abstract; Rapid introduction of new type robots, such as collaborative or mobile robots, to the industrial environment is anticipated, but the diffusion of these robots is difficult under the present condition. The reason is that conventional protective measures like fences cannot be applied and moreover new types of measures instead of fences do not have been developed for practical application. On the other hand, hazardous human operations required approaching machines without stopping the machine movable parts still remain and are difficult to prevent industrial accidents by applying conventional protective measures. These operations, such as maintenance, trouble-shooting, adjustment, etc., are called "hazardous point nearby operations" which are considered one of the forms of "man-machine cooperative working systems".

To solve the above safety problems, a project research on the theme of the "Research on Fundamental Safety Technologies for Man-Machine Cooperative Working System" started in 2002, and it had tried to establish fundamental safety measures including methodologies and devices until 2007. This project research was carried out the following sub-themes:

- a) Clarification of the conditions of man-machine coexistence and collaboration and the inherent safety structure.
- b) Development a mobile object follow-up technique applied with environment recognition technology.
- c) Establishment of accident prevention measures for the hazardous point nearby operation.

This final report announces the sequel of the midterm report and is mainly concerned with new results obtained in the latter term of this project.

Chapter 2 is related to the subject a) and describes a new safety device for human-collaborative robots. This device designed according to the safety guidance for human pain tolerance reported in the midterm report functions as a normally closed type clutch, and can realize safe torque control. Its fundamental characteristics of control and safety performance were found suitable for practical robot application.

Chapter 3 and 4 are related to the subject b). Chapter 3 describes a new object detection method for man-machine coexistence systems using omni-directional vision sensors, which were proposed in the midterm report. In addition, a normality confirmation method with reference pattern comparison was discussed and experimented. Chapter 4 proposes a communication method for mobile robots by recognizing operator's gestures. This method was designed to reduce accidents caused by communication error, and the misrecognition risk of this method was evaluated.

Chapter 5 is related to the subject c). In this subject, the industrial accident analysis, the accident prevention strategies for hazardous point nearby operations and for plural workers' operations in large scaled productions are reported in the midterm report. This chapter is a follow-up of the fundamental prevention consideration for hazardous point nearby operations. On the basis of this consideration, a new protective device of wood cutting machine (circular saw) which was a typical machine used in such hazardous operations was proposed.

Keywords; Man-machine system, Collaboration, Inherent safety, Environment recognition, Gesture recognition, Risk assessment, Protective measure, Safe design

* 本稿はNIIS-SRR-No.33の序論に記載したものを一部引用した。

** 機械システム安全研究グループ Mechanical System Safety Research Group

1. はじめに

近年、ロボット工学をはじめとする先端技術分野では、人間と連携して作業を行う協調型ロボットや移動ロボットなどの開発が進められている。この分野は将来の10兆円産業とも言われており、今後、これらのシステムの産業現場への急速な導入が見込まれる。しかし、現状では、安全技術に関する十分な研究開発が実施されていないため、これらのシステムの産業現場への導入に困難を生じている。

このため、労働安全衛生総合研究所では、人間と機械が共存・協調して作業を行うシステム（以下、人間・機械協調型作業システムと呼ぶ）を対象に、保護方策の検討を進めてきた。しかし、これらのシステムでは、人間と機械の接近や直接接触を前提とするために、柵や囲いによって人間と機械を隔離するといった従来型の保護方策は適用できず、新しい基本安全技術を構築する必要がある。

一方、作業者が運転中の機械に近接して段取り、加工、調整、トラブル処理、保全、検査、修理、清掃などを行う作業（以下、危険点近接作業と呼ぶ）も、人間・機械協調型作業システムの重要な形態と考えられる。この作業でも、従来型の保護方策は適用できないことが多いために、依然として労働災害が多発しており、新しい基本安全技術の開発が急務となっている。

以上の理由から、プロジェクト研究「人間・機械協調型作業システムの基礎的安全技術に関する研究」が平成14年度から開始され、次のサブテーマについて研究を実施し、人間・機械協調型作業システムを対象とした基礎的安全技術の確立を試みた。

- a) 人間と機械の共存・協調条件と本質的安全構造の解明
- b) 環境認識技術等を応用した移動体追跡手法の開発
- c) 危険点近接作業に対する災害防止対策の確立

2. 研究概要

本研究は、平成14年度から18年度までの5年間に、以下の課題について研究を実施した。

1) 実態調査

製造業などで使用されている人間・機械協調型作業システムを対象に、労働災害の発生態様、安全技術の現状、保護方策実施上の問題点などについて調査を行った。

2) 人間と機械の共存・協調条件と本質的安全構造の解明

人間と機械との直接接触を伴う共存・協調作業を対象に、人間と機械が直接接触しても災害を生じることのない人体挟圧限界値（静的及び動的）を実験的に調べた。そして、この結果を協調型ロボットの安全設計指標として利用する戦略を提案し、人間と機械の直接接触を前提

としたマニピュレータの本質的安全構造を検討し、そのための基礎的なデバイスを開発した。

3) 環境認識技術等を応用した移動体追跡手法の開発

広大な領域内を移動する移動型機械設備を対象に、全方位視覚センサを用いた移動体の存在領域検出手法、及び移動体追跡を目的としたパターン認識手法を提案した。

また、多様な作業環境に適用可能な環境認識用ソフトウェアを開発するとともに、監視カメラの配置方法について検討を行い、移動体追跡装置の開発を試みた。

さらに、移動型機械設備におけるマンマシン・インターフェースの改善手法として、オペレータのジェスチャー認識を利用した移動ロボットとのコミュニケーション手段を検討した。

4) 危険点近接作業に対する災害防止対策の確立

災害の多発している危険点近接作業と複数作業者が大規模生産ライン内で行う作業を対象に、災害防止戦略を提案した。

また、木材加工用機械などで行われている危険点近接作業を対象に、最新の計測制御技術を応用した安全装置の開発を試みた。

3. 本報告書の構成

本報告書は、平成17年11月に中間報告書（NIIS-SRR-No.33）を発行した以降に、新たに得られた研究成果を取りまとめたものである。

以下、本報告書の概要を述べる。

3.1 人間と機械の共存・協調条件と本質的安全構造の解明

既に中間報告書では、前記2)に該当する研究として、人体痛覚耐性限界の測定とその測定結果に基づく人間協調型ロボットの安全設計指標を提案してきた。

本最終報告書では、この検討結果を踏まえた上で、痛覚耐性限界に依拠したトルク出力特性を有するロボット関節用デバイスを考案し、その基礎的な特性評価を第2章「人間共存型ロボットの安全なトルク制御のための磁気粘性流体を用いたノーマルクローズ型クラッチの開発」としてまとめた。

3.2 環境認識技術等を応用した移動体追跡手法の開発

既に中間報告書では、前記3)に該当する研究として、全方位視覚センサによる移動体存在領域検出手法とジェスチャー認識を用いたオペレータと移動ロボットとのコミュニケーション手法を提案してきた。

本最終報告書では、この検討結果を踏まえた上で、画

像センサの機能正常性を確認する手法の基礎的検討を第3章「人間と機械が混在する場での移動体検出手法と画像センサ正常性確認手段の検討」としてまとめた。また、ジェスチャーの誤認識に起因する災害を減少させるシステムの設計手法を第4章「ジェスチャー認識を利用した移動ロボットとのコミュニケーション手法の提案－誤認識リスクを低減するための設計手法－」としてまとめた。

3.3 危険点近接作業に対する災害防止対策の確立

既に中間報告書では、前記4)に該当する研究として、①産業機械の労働災害分析、②危険点近接作業の災害防止戦略に関する基礎的考察、及び③複数作業者が大規模生産ライン内で行う作業を対象とした災害防止戦略の基礎的考察を報告した。

本最終報告書では、この検討結果を踏まえた上で、上記②に関する中間報告以降の検討結果を第2報として報告する。具体的には、中間報告書で不十分であった危険点近接作業固有の災害防止条件の解明を進めるとともに、この知見を利用して、危険点近接作業の典型例である丸のこ盤で行なう作業を対象とした保護装置を提案する。

謝 辞

本研究の実施にあたって御指導戴いた明治大学の 向殿政男 教授、日本大学の 中村英夫 教授、長岡技術科学大学の 杉本旭 教授と蓬原弘一 教授、NPO安全工学研究所の 加部隆史 氏、及び平成19年度まで中央労働災害防止協会 国際安全衛生センターに所属していた糸川壮一 氏に深く感謝致します。

また、本研究の試作に御協力戴いた前重点研究支援協力員の 小林茂信 氏、ロックウェルオートメーション・ジャパンの三平律雄 氏に深く感謝致します。

(平成20年11月19日受理)