

氏名	佐藤吉信
学位の種類	工学博士
学位記番号	論工博第2447号
学位授与の日付	平成3年3月23日
学位授与の要件	学位規則第5条第2項該当
学位論文題目	人間-ロボット系の安全性評価に関する研究

論文調査委員 (主査) 教授 井上 紘一 教授 吉川 恒夫 教授 片山 徹

論文内容の要旨

本論文は、人間-ロボット系の事前安全性評価を行うためのシステム工学的的方法論に関する研究をまとめたもので、7章から成っている。

第1章は緒論であり、研究の背景と目的および本研究の位置づけを示すとともに、論文の構成を説明している。

第2章では、人間-ロボット系に生ずる潜在危険の同定について論じている。柔軟で多機能な系では、潜在危険を系統的に同定する必要がある。このための方法として、毀損生成過程を系の要素間での作用の授受とそれによる要素の変化および作用の連鎖としてモデル化し潜在危険を同定する「作用-変化と作用連鎖モデル」を提案している。作用を、能動（エネルギー伝播、情報伝達、作因物転移、供給阻害、存在形態）形作用と機能不履行形作用とに分類し、これを用いて、人間-ロボット系に生ずる潜在危険を系統的かつ包括的に同定している。

第3章では、潜在危険抑制措置の構築を系統的に行うための方法を論じている。潜在危険抑制過程を、(1)作用源の排除、(2)変化の抑制、(3)系の毀損生成相遷移の禁止、(4)系の毀損生成相からの遷移、の潜在危険抑制原理としてまとめ、抑制原理(3)および(4)を実現する潜在危険抑制措置の構成法を、潜在危険制御系による作用鎖の解離法則として体系化している。これにより、フェール・セーフ・システムおよびフォールト・トレラント・システムを一般化し、それらシステムの構成条件を明らかにしている。また、自律移動ロボットの潜在危険制御系を構成し、フェール・セーフ・システムの適応範囲を示している。

第4章では、「人がロボットに打たれる災害」を対象として災害発生機構の包括的論理モデルをフォールト・ツリーの形式で展開している。この論理モデルを個々の系の具体的な諸条件に従って特殊化することにより、その系における災害発生論理が得られる。論理モデルに基づく定量的評価を単純化するための手段として系の相分割を行う方法を示している。さらに、代表的な系の相における主要な最小カット集合を求め、それらカット集合を構成する各事象のツリー構成上の構造的な重要度を考慮することにより、系の各相において考慮すべき潜在危険抑制措置について論じている。

第5章では、系の要素の故障発生順序が系の故障発生に本質的な影響を及ぼす、いわゆる順序依存形故障論理が必要とされる場合が多いことを、人間-ロボット系において具体的に示している。そして、フォールト・ツリーから得られる最小カット構造への入力修復事象で、それらが互いに統計的に独立であるとした条件下で、順序依存形故障論理の定量化アルゴリズムを提案している。このアルゴリズムにより、最小カット構造出力事象の時刻 t で生起している確率、およびその単位時間あたりの発生回数の期待値が簡便に計算できることを示している。また、入力事象が n 個である場合の、それら定常状態での一般解および近似的非定常一般解を与えている。

第6章では、これまでに論じられた方法およびアルゴリズムを適用して具体的な系の安全性を評価している。典型的な産業用ロボットを用いた無人加工セルにおいて生ずる潜在危険を同定し、それらの潜在危険に対して潜在危険制御系を系統的に構成している。ついで、系の災害発生論理を、包括的論理モデルを特殊化したフォールト・ツリーとして展開し、基本事象の発生順序を考慮した最小カット構造を得ている。さらに、順序依存形故障論理の定量化アルゴリズムにより、頂上事象発生回数の期待値を求め、全体としての系の安全性を評価するとともに潜在危険抑制措置に要求される仕様条件について論じている。

第7章は結論であり、本研究で得られた成果をまとめたものである。

論文審査の結果の要旨

多機能で融通性の高いロボットでは、多様な潜在危険が生成される可能性があるため、系統的な安全性評価を実施し、事前にその安全性を確保することが重要である。本論文は、人間-ロボット系の安全性を評価するためのシステム工学的的方法論に関する研究をまとめたものであり、得られた成果の主なものは次の通りである。

1. 毀損発生過程を、系の要素間での作用の授受とそれによる要素の変化および作用の連鎖として表現する「作用-変化と作用連鎖モデル」を提案し、これにより人間-ロボット系に生じ得る潜在危険を系統的かつ包括的に同定している。

2. 「作用-変化と作用連鎖モデル」に基づいて、潜在危険の抑制過程および潜在危険制御系の構成法について考察し、潜在危険抑制措置の系統的な構築方法を与えている。

3. 人がロボットに打たれる災害を対象として、災害発生機構を解析するための包括的論理モデルをフォールト・ツリーの形式で展開している。これを解析するための手段として相分割という概念を導入し、各相における潜在危険抑制措置を導いている。

4. 人間-ロボット系のみならず、人間が関与する系に広く適用可能な順序依存形故障論理の定量化アルゴリズムを導出している。

5. 具体例として、産業用ロボットを用いた加工セルの安全性評価を実施し、提案された方法の適用可能性と有効性を確認している。

以上要するに、本論文は、人間-ロボット系の安全性評価に必要となる、潜在危険の同定、その抑制措置の構築、定性的および定量的安全性解析において新たな方法論を提案し、その適用可能性と有効性を確認したものであって、学術上、實際上寄与するところが少なくない。よって、本論文は工学博士の学位論

文として価値あるものと認める。

また、平成2年12月26日、論文内容とそれに関連した事項について試問を行った結果、合格と認めた。