

7. 結 論

桑川 壯一*, 杉本 旭*

7. Conclusions

by Soichi KUMEKAWA* and Noboru SUGIMOTO*

Abstract: In this report, the safety control, technology on the principles of safety is evolved. The safety condition is logically defined in an operation requiring safety, and the definition of 'safety control system' is presented on condition that the safe operation is secured. In the defined safety control system, interlocking as a fundamental structure is logically developed using an energy transmitting model.

Safety control system has an interlocking structure, and elements for the system, i.e. AND gates and safety sensors, must have fail-safe characteristics. Fail-safe AND gates, fail-safe safety sensors and fail-safe signal processing circuits were developed.

The pneumatic manipulator whose output force and compliance can be controlled by servomechanism was developed. This can promote the reliability of supplementary interlocking. In this interlocking scheme the manipulator does not impair the safety of the operator even if he makes mistakes. Because of the decrease in operator's load, aged workers can operate the manipulator.

The safety control technology is applied to the following industrial systems.

- 1) Trouble-shooting in load transferring operation
- 2) Wire-sling operation
- 3) Safe operation of self-maneuvering transportation
- 4) Indicator lamps on the operation panel
- 5) Double CPU system
- 6) Signal diagnosis for noise rejection
- 7) Three dimensional human-detection system
- 8) Safety operation system of automatic guided vehicles

Systematic safety assessment of movable lifters is implemented using an A-C model.

以上述べたように本研究は、高年齢作業者に広く使用されている ME 機器の安全性、操作性の向上等を目的として実施されたが、それらの研究において得られた主な成果等をまとめると、次のとおりである。

<安全の基本原理の展開>

高年齢者が ME 機器を扱う場合には、例えミスを生じて安全であるように作業システムが構成されていなければならない。この安全の保証は事故の発生

確率が小さいだけでは達成されない。すなわち、安全は事故の後処理により生じるものではなく、危険を予測して講ずるべきであり、あらかじめ安全が証明されていなければならない。

そこで本研究では、安全を高年齢作業者の注意力に依存することなく、機械の側で講ずることを目的として、安全をあらかじめ証明するための原理（安全の原理）を作り上げ、さらに、その原理に従って安全を技術として実現するための基礎理論を展開した。なお、

*機械研究部, Mechanical Safety Research Division

これらの安全の原理と基礎理論は、本研究において、具体的安全機器の開発や、システムへの適用を実現する場合の安全にかかわる共通的基盤をなした。

<安全制御技術の確立>

マスコミによる事故の報道に見られるように、これまでは最終的な安全の責任はシステムを運用する者が負ってきた。しかしながら、本報告で明らかにしたように、安全を守るためには継続的な安全確認が必要であり、これを人間に求めることには限界があった。これは、ヒューズによる過電流監視の仕事を人間が行うことを考えてみれば明らかである。人間にとって過酷であり、確実に達成することが不可能である任務も、本報告で示すように、安全制御技術を用いることで、今や機械の側で確実に達成できるようになった。従って、作業システムにおける人間と機械の間の役割分担を再度見直すことが必要な時がきていると思われる。

<安全制御用基本デバイスの開発>

安全作業システムの基本構成要素となるインタロックでは、人間側に危険な誤りが生じた時だけでなく、インタロック（またはその構成要素）自身に誤り（故障など）が生じた場合にも、誤って機械側の運転出力を生じない特性が要求される。そこで、本報告では、インタロック自身に故障や劣化、外乱、内部雑音、電源異常等の誤りが生じた場合にも、誤って機械側の運転出力を生じないための各種のインタロック構成要素（デバイス）を開発した。このような要素を実際の産業機器に適用することによって、現場の機械作業における作業者の安全を確保することができることとなる。

<順応型マニピュレータの開発>

高年齢熟練者の技能を生かす手段の一つであるマニュアルマニピュレータを構成する場合、人間の操作ミス、指令の曖昧さに対して安全確保のためマンマシン・インタロックが必要となる。そこで、人間が操作する以上、接触（事故）は避けられないという立場に立ちマニピュレータ側でそれを保証する機能として、空気圧式の順応性のあるマニピュレータを開発した。

これは、マニピュレータのコンプライアンスを適応的に変化できるものであり、柔らかい状態つまり高コンプライアンス状態を作り出すことにより、人間は安全でかつ負担のない操作が可能となる。そのための要素

として、空気絞り弁、および圧力制御回路を開発し、人工筋を持つマニピュレータに適用してコンプライアントな位置制御を実現した。また、同じ空気圧制御により、2本指と3本指の人工指を開発した。

<産業現場への適用>

以上の基礎理論と基本構成要素を基にして、産業現場への適用をめざした各研究の成果の概要は、以下のとおりである。

1) 荷ずれ処理用作業システムの開発

空気圧式順応型マニピュレータを、自動倉庫における荷ずれ処理作業に適用した。人間はTVモニターを見ながら、手動でマスターアームを操作して荷姿の修正作業を行う形態をとる。人間の操作ミスにより生ずる位置ずれに対して、マニピュレータは高コンプライアンス状態で対処するため、荷を壊すことなく安全に作業を遂行できる。

また、コンプライアンスを人間が変化させることができるため、作業遂行時間の短縮等の作業の最適化が図れる。

2) 玉掛け作業用安全システムの開発

ワイヤ2本吊り作業における吊り荷の自動バランスシステムを開発した。本システムを用いることにより、高齢者や経験の浅い作業員であっても、安全に効率よく玉掛け作業を遂行できることを確認した。

3) 昇降用リフタの安全作業システムの開発

本研究では、まず、従来、個別かつ経験的に論議されていた移動機構の安全を一般的に議論するために、移動機構の人間・機械系モデルを新たに提案し、これを基に①搭乗者、②周辺作業員、③環境系の3つの観点から高年齢作業員の機能低下を配慮した安全作業の条件を論理的に導出した。

次に、これを基に昇降用リフタの安全作業システムを開発し、実際の産業現場にも十分適用できるものであることを確認した。

4) 操作パネル盤の表示ランプの適正化

LEDは白熱ランプに比較して消費電力が低く耐久性が長い利点を持つが、併せて輝度が低く明るい照明環境下では点灯がわかりにくい欠点を持つ。

しかし、実験の結果、赤のLEDは1ピース内に4個の発光ダイオードを組み込んだものを使用し、緑はそれにハイカーボネイトのフィルターを装着して使用し、さらに黄は高輝度LEDにハイカーボネイト

トのフィルターを装着して使用すれば白熱ランプと同程度の輝度を得られ、LEDの欠点を改善できることが分かった。

5) 二重CPU制御方式

ME機器の信頼性向上の手法として、二重CPUを考案した。また、二重CPUを搭載したME機器の一つとしてサーボ制御モータを製作し、この装置の性能について検討した。その結果、本装置は、一方のCPUが電磁ノイズなどに起因して暴走しても他方のCPUがそれを検出し、機器の暴走を制御することができ、CPUが一つの場合に比べてより信頼性の高い機器となることが実証され、高齢者等が使用する機器として望ましいことが判明した。しかし、2重CPUが共にノイズによって暴走する確率は零とはならないので、危険な機械の制御には同様にフェール・セーフなインタロックを不可欠とすることが判明した。

6) 自己故障診断装置

自己故障診断装置の一つとして、ME機器のノイズに対する信頼性を向上させるため面積法によるノイズ診断装置を考案した。同装置についてその動作特性をみると、ノイズが伝送信号ラインに重畳した場合はノイズ診断装置は有効に動作し、ノイズ診断が可能であることが判明した。従って、本装置をME機器に装着することにより、より一層信頼性の高い機器となることが実証された。

7) 三次元人体検出装置の適用

ME機器の可動範囲に誤って進入すること等によって発生する作業者の労働災害防止対策として、作業者の機器への侵入を検知し、機器を停止させる三次元人体検出システムを開発した。同装置は、さまざまな形態で作業者が進入した場合の性能を調べた結果、人を検知できない事態を生じることから安全

装置というよりは警告装置として位置づけるべきことが明かとなった。

8) 無人搬送車の安全作業システムの開発

フェールセーフな構成を大きな質量を持つAGVに適用する場合、運転の停止に要する時間を考慮しなければならないことを示した。すなわち、いつ生じるか分からない故障に対して、安全な停止ができることを常に証明しながら運転を実行する構成とし、そのためには、安全確認は予測を伴うものでなければならないことを明らかにした。

さらに、本研究では、AGVのための安全システムを構成するために、階層インタロックの概念を導入したが、AGVに限らず一般の安全システムにも展開できるように理論的展開を行った。また、これをAGVにおける安全の予測機能の要件に展開し、速度と監視位置との関係を明らかにすることにより、安全バンパと非接触センサとの組み合わせによるフォールト・トレラントシステムの構成法を示した。

<システムの安全性評価>

移動機構の安全性をシステムの運用時を対象として確率論的な評価を試み、残存リスクの評価を行った。

本研究を遂行し、以上のように多くの成果を得ることができた。本研究は、高齢作業者を対象としたものであるが、その成果はME機器を扱う作業における若壮年齢作業者の安全確保の手段としても広く活用できるものである。本報告が産業現場の安全手段の構成に資され、ME機器作業の安全化を技術的に達成することにより、高齢者の方々が安心して就業できる職域の拡大を実現するため、今後の努力が必要である。

(平成2年11月30日受理)