

## 11. 結 論

梅崎重夫\*

## 11. Conclusions

by Shigeo UMEZAKI\*

**Abstract:** This specific research report proposed the new safety technology for large scale industrial systems such as chemical plants, construction sites, construction robots or factory automations. Results obtained from this research are summarized as follows:

### **(1) Development of hazard evaluation technology for chemical plants**

A new retrieval method of human-error accidents database which arised in the chemical plants was developed. It was less influenced by the human judgement criteria and ability because the keyword concerning human-error was selected automatically and conjugational words using morphological analysis were normalized by the new retrieval system.

### **(2) Development of hazard evaluation technology for large scale construction systems**

The simulator to evaluate the environmental condition around the large scale construction system has been developed. This simulator was used to evaluate the wind environment around the buildings to study the effect of wind on the scaffolds quantitatively. Furthermore, based on the recently developed knowledge of the fracture mechanics, the technique to quantitatively evaluate the failure probability of the structure members in the large scale construction system was also established.

### **(3) Development of safety control technology for construction robots**

A mobile robot for construction work was developed on the concept of the safety designing based on risk assessment. This robot, taking a form of a trackless mobile robot mounted with a twin-arm manipulator, carries the object while being sign-recognized by a vision system and after stopping at a target position, sets the object in collaboration with an operator. In addition, a new EMI evaluation system for robot work places was developed and its efficiency was verified. The EMI evaluation method could be accurately simulated in an actual electromagnetic field.

### **(4) Development of safety control technology for large scale industrial systems**

The new safety control technology using the programmable electronic equipment with the triple redundancy, diversity and the self-checking mechanism was proposed. The new concept of the "distributed safety bus control" was also proposed in this study. Many safety measures such as the laser sensor for confirming safety in large scale working areas, discrimination systems between human bodies and objects, runaway monitoring systems for the robot etc. were developed. Optimum designs for man-machine systems such as the constitution methods of safe control system considering the coexistence of availability and safety, the safety design supporting system with the function of evaluating the work load, and the easiness of the maintenance were also developed.

**Keywords;** Hazard evaluation, Safety control, Human error, Chemical plant, Constructiucion robot, Factory automation

---

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

## 1. 研究成果の要約

本研究では、コンピュータ制御された自動生産システムや、建設用ロボット及び大型建造物の施工システムなどを対象に、危険性評価、安全制御及び安全立証に関する包括的な技術開発を実施した。これらの成果は、次のように要約できる。

### 1.1 化学プラントを対象とした危険性評価技術の確立

災害情報データベースは、類似災害の再発防止のために貴重な情報を提供している。しかし、膨大な災害情報データベースからヒューマンエラー関連情報を調べることは、多くの時間と労力が必要である。また、災害情報データベースは様々な人々によって記述されているため、その記述や表現は一定ではない。

そこで、化学プラントで発生するヒューマン・エラーに関連した災害を対象に、データベースを記述する者の主観や能力に左右されずに、ヒューマンエラー関連災害を客観的に抽出できる検索手法を開発した。

この手法では、災害事例の検索、分類の基となる「判断」に含まれるあいまいさを排除するために、ある概念に関連するキーワード群を、シソーラス辞書を用いてほぼ自動的に収集するとともに、形態素解析によってデータベースに記述されている活用語尾の影響を排除する。

以上の手法を当研究所が有する爆発・火災に関する災害事例データベースに適用したところ、ヒューマンエラーに関連する災害を恣意的要素を排除して検索することができた。また、化学プラントで発生する災害の年度別発生件数がこの半世紀の間に劇的に減少しているにもかかわらず、ヒューマンエラーに関連した爆発・火災災害の発生件数は殆ど減少していないことを客観的に明らかにした。

### 1.2 大規模施工システムを対象とした危険性評価技術の確立

施工現場で使用される足場は、風荷重に対する安定性が問題となっており、強風時に多くの倒壊災害が発生している。これらの中には、大規模な足場が倒壊した事例もあり、多数の死傷者を出す災害に発展したこともある。

このような足場の倒壊災害について検討すると、構造物と足場の隙間に吹き込んだ風により、足場の背面に作用する風圧力が増大し倒壊したと思われる

事例が多く見られる。しかし、このような足場の背面に作用する風荷重については特殊な例を除いて検討されていない。これは、足場に作用する風圧力に関する研究があまり行われておらず、一部の実験データしか得られていないためである。

そこで、施工環境シミュレータを用いて、足場の設置状況を考慮した風洞実験を行い、足場に作用する風圧力を測定した。実験では、ターンテーブルを用いて風向の変化も考慮した。その結果を基に、足場の危険性を評価するために開発した手法を用いて信頼性解析を行い、足場の背面に作用する風荷重の影響について検討した。

その結果、足場に風が直接当たらない場合でも、足場と建物の隙間から吹き込む風により、足場背面に大きな風圧が生じる場合もあることがわかった。また、信頼性解析の結果、このような足場の背面に作用する風圧によって足場の破壊確率が高くなる場合もあることがわかった。

さらに、最近の破壊力学的知見を用いて、大型建造物を構成する構造部材の破壊確率を定量的に評価する手法を確立した。

### 1.3 建設用ロボットを対象とした安全制御技術の開発

今後、我が国から世界へ向けて発信可能な基盤技術として、人間と混在する作業環境下で動作する建設用ロボットに必要な安全制御技術の開発を行った。この過程では、「建設用ロボットの安全制御に関する検討委員会」を開催して、このような新しい形態のロボットシステムを構築するために必要な基盤技術を抽出した。その結果を基に、改めてリスクアセスメントに基づく設計手法を導入し、機能的な安全防護から本質的な安全防護まで階層的に配置する安全防護システムを開発した。

個別安全制御要素としては、人体に過大な衝撃力を作用させない本質安全アクチュエータ、フェールセーフな軟接触式バンパースイッチなどの従来になかった安全技術の開発を進めるとともに、異種冗長構成の障害物検知システムやプログラマブルなコントローラを使用したインターロックシステムの構築を行った。さらに、標識認識と早期障害物検知機能を併せ持つビジョンシステムなどの最新技術の適用を図り、安全で、かつ作業性を低下させない建設用ロボットの安全技術を開発した。

以上の基盤技術を建設現場で屋内配管作業や内装作業を行う施工作業用ロボットに適用し、開発した技術が妥当であることを検証した。また、この過程

で、実際の現場環境下で発生する電磁ノイズの影響を正確に模擬できる新たな電磁ノイズ耐性評価手法も開発し、その有効性を確認できた。

#### 1.4 大規模生産システムを対象とした安全制御技術の開発

今後、我が国から世界へ向けて提案可能なキーテクノロジーとして、コンピュータを利用した安全制御技術に関する理論的、実践的課題を中心とした研究を実施した。

具体的には、従来の電磁リレーを中心とするハードワイヤードな安全制御システムに代わってプログラマブルな安全制御システムを構築する場合、プログラマブルな電子制御装置の異種三重化以上の冗長化と、所定の間隔を持つ自動監視機構が必須であることが判明した。

次に、以上の理論に基づいて、異種冗長化と自動監視機構を備えた汎用安全コントローラを基盤技術として、各種の産業機械を対象に安全制御システムを開発した。具体的には、人体と物体の識別を目的としたプランキング及びフローティングシステム、広大領域内の人体検出を目的としたレーザー式安全装置や複数作業用安全確認システム、機械設備の暴走監視システムなどがある。

これらの安全制御システムは、従来適切な安全装置がないために対策が遅れていた、①複数作業員による広大領域内での共同作業、②プレス機械による長尺物加工作業、③ロール機に近接して行う危険点近接作業、④暴走の可能性がある産業用ロボットなどに近接して行う保守・点検作業などの安全化を図るために必須であることが判明した。

また、これらのシステムでは、安全制御システムの設計、製造、改造などに要する時間とコストの節約だけでなく、電気配線の省線化なども図れることから、特に大規模で複雑な生産システムで応用範囲が広いことが判明した。

さらに、これらの安全制御システムの開発過程で、分散形安全バス制御という今後の安全制御システムのあり方を決定づける基本的なコンセプトを提案できた。

## 2. おわりに

以上、本研究で得た成果の概要を述べた。今後の我が国では、大規模で複雑な生産・施工システムの安全対策が従来以上に重要になると考える。

このような安全対策の高度化を図るために、本報が広く活用されることを期待する。

(平成 14 年 8 月 26 日受理)