

## 10. マンマシンシステムの最適設計を目的とした 安全設計支援システムの開発に関する研究\*

清水尚憲\*\*, 梅崎重夫\*\*

### 10. Development of the Safety Design Supporting System for the Purpose of the Optimum Design of Man-Machine System\*

by Shoken SHIMIZU\*\* and Shigeo UMEZAKI\*\*

**Abstract:** This report proposes a new safety design supporting system which is called the "information shared development model". The conventional safety design process depended on intuition and experience of the personal. Safety measures were sometimes not proper in this case for that reason. The new systematic safety design supporting system was developed for that purpose.

The "information shared" means that the machine designer and user share the information by using the latest information technology such as the database(DB) and the virtual factory(VF). The systematic cooperated safety design between designer and user was executed by sharing the database of labor accidents or safety measures. The evaluation of safety design was also executed by sharing the software tools of virtual factory. It could estimate the defect in the layout, the work load for the operator, the easiness of the maintenance work, and the effectiveness of safety measures.

The "development" means that the supporting system develops itself by the integration of the knowledge of safety design. The design principle of new supporting system was based on that the knowledge developed by the interaction of the inside of the database and the inside of the head of the designer. The self-developed spiral model was proposed based on such principles.

The new supporting system was applied to the real production line or robot systems, and it was proved that this system has a ability to evaluate not only the validity of safety design but also the appropriateness of human suitability.

**Keywords;** Safety design, Database, Virtual factory, Safety education, Information technology

#### 1. まえがき

近年、我が国で発生した機械設備による死亡災害では、発生原因の 27.1 %が安全制御システムの不備によるものとなっている。また、これまで実施してきた安全対策のみでは、災害をこれ以上減らすことは困難な状況である。

そこで、最近整備されてきた ISO 規格、IEC 規格や EN 規格などを考慮した安全対策の実施が我国でも強く望まれている。さらに平成 13 年 6 月 1 日付け基発第 501 号通達として厚生労働省から公表された

「機械の包括的な安全基準に関する指針」は製造者による安全な機械の製造及び事業者による機械の安全な使用を促進して機械による労働災害防止を目的としたもので、これらの安全に関する規格、指針等に従って今後よりいっそうの機械災害低減を進めて行くことが強く求められている。そのためには、労働災害情報と、安全対策やその手段に関する情報の共有化ならびに設計段階におけるリスクアセスメント等を個々の作業現場において適用できる能力を養成することが必要である。しかしながら、これらの規格や指針の実施に必要な情報は膨大であり、この

\* 日本信頼性学会誌及び日本機械学会第11回交通物流部門大会（2002年12月）において一部発表予定

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

対策に利用できる安全技術情報等も十分整備されていないことから、先進的な対策も実際には個々の設計者の勤や経験に依存しているのが現状である。そこで、本研究では、国際水準の設備安全対策をシステムティックに実行するための事前設計支援ツールを開発する。これは、安全技術情報のデータベース、労働災害データベースと、製造ラインを製造する際の事前検証するための3Dシミュレータ、さらに実際の作業現場を模擬した生産ラインでの実地検証システムで構成される。以下これらのシステムを安全設計支援システムと呼ぶ。

## 2. 安全設計支援システムの教育ツールとしてのコミュニケーション形態

現在、生産ラインの設計者、製造者、または使用者を対象とした安全な作業環境の構築を支援するための安全教育システムはさまざまな形態が存在している。それらの教育コミュニケーションモデル形態は大きく分類して、以下の3つの形態がある。

### 1) 一方向型情報伝達モデル

このモデルは、Fig. 1に示すように、従来から行なわれている書籍、資料の配布、講演会、また、一部の博物館・資料館での展示教育形態がこれに相当する。これは従来から行われている伝統的なコミュニケーションモデルで、伝達する側と受け取る側という2極間でのコミュニケーションモデルである<sup>1)~3)</sup>。

### 2) フィードバック型情報伝達モデル

このモデルは、Fig. 2に示すように上記モデルに「フィードバック機能」を備えた循環型モデルである。これは講習会、実地研修、演習、または、ほとんどの博物館等教育施設に見られる教育コミュニケーション形態で、常に受け手側のニーズを考慮しながら伝達する側は、その情報を修正、追加、削除しながら適用するモデルである。

### 3) 情報共有発展型モデル

このモデルは、Fig. 3に示すように、伝達する側、受け手側で必要な情報を共有化し、共同でシステムを発展させていく自己発展型モデルである。このコミュニケーション形態では、共有する情報そのものが生きた情報として扱われ、常に受け手側、送り手側双方のニーズを満足させることができるものである。

安全設計支援システムでは、常に産業現場への適用を考慮した新しい安全技術情報のデータベース構築と、その情報をフィードバックしたマン・マシ

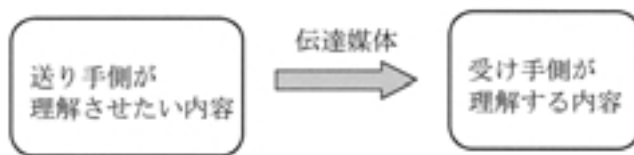


Fig. 1 One direct data communication model.  
一方向性情報伝達モデル

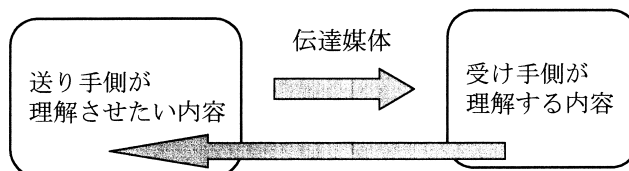


Fig. 2 For feedback data communication model.  
フィードバック型情報伝達システム

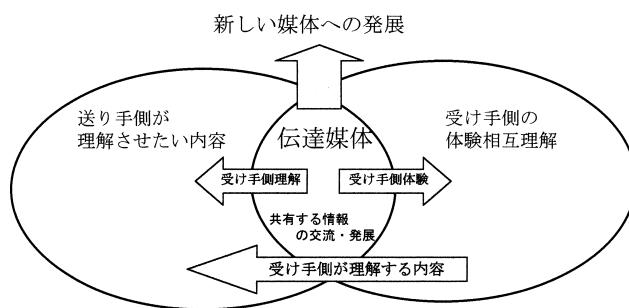


Fig. 3 Common information development model.  
情報共有発展型モデル

ン・3Dシミュレーションのバージョンアップ、さらに実際の製造ラインによる安全対策検証システムにおいて検証する安全方策の追加作業等が必要なことから、本システムのコミュニケーション形態は、情報共有発展型モデルとする。

## 3. 安全設計支援システムの機能とシステム構成

本システムは下記に示す各要素から構成される (Fig. 4, Photo 1 参照)。

### 1) 事前安全設計検証システム

#### ①労働災害データベース

これは、我国の労働災害の発生原因や改善処置等の情報を含んだデータベースである。

#### ②安全技術情報データベース

これは、各種安全手段 (ガード類, 安全装置類,

部品類等)や安全化手法(適切なレイアウト,安全作業管理等)に関連した安全技術情報データベース。

### ③マン・マシン・シミュレータ

これは,作業者があたかも実際の作業を行なっているかのような臨場感を得ながら,機械設備等のレイアウト,保全容易性,作業負荷,安全装置の効果等に関する定量的評価が可能な装置である。なお,シミュレータは下記の3つのコンポーネントで構成される。

a) Motion Star: 磁場を使った計測システムで,5個のセンサーを人体に装着(頭,右手,左手,腰,右足,左足)し,作業姿勢を計測するMS-DOSベースのパソコン+計測機器である。

b) ERGO Capture: 本シミュレータのユーザーインターフェイスにあたる。センサー値を取り込み,シミュレーション・ソフト(IGRIP)に受け渡す。プラットフォームは, windows (Win95, 98, Me, 2000, NT 4.0)で動作する。

c) IGRIP: 人体モデルを使ったシミュレーション・ソフトセンサー値から作業姿勢を作成し,作業のシミュレーションを行なう。プラットフォームは Windows (Win 2000, NT 4.0)で動作する。

### 2) 安全対策実証システム

これは,2箇所ロボット加工ライン(複合ロボット加工ライン,危険点近接作業環境)とその間を無人搬送台車で連結したシステムで構成される製造加工模擬ラインで,予め事前安全設計検証システムにて安全性をシミュレートされた結果について,実際の製造加工における取扱い,安全性等における効果を実体験できるものである。現段階では, **Table 1**

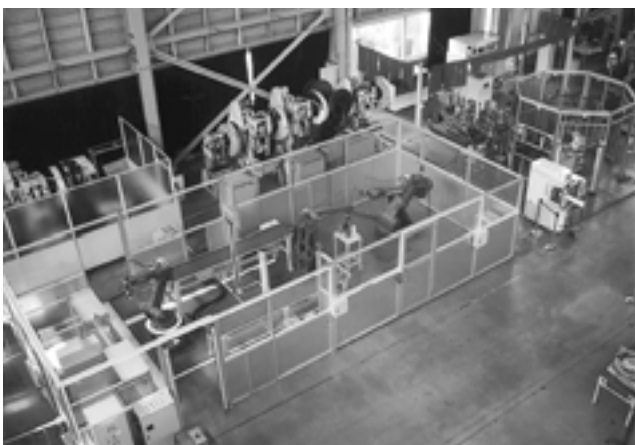


Photo 1 Substantiation system for confirming safety measures.  
安全対策実証システム

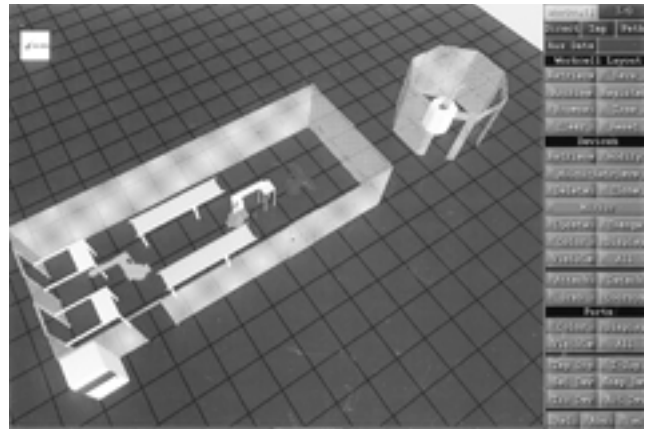


Photo 2 3D model of production line.  
安全対策実証システム



Photo 3 An assumed actual work form.  
想定される実作業形態



Photo 4 Evaluation by a man-machine simulator.  
マン・マシン・シミュレータによる評価

に示す安全手段を用意している。また,安全手段によっては故障モードによりいくつかのリスクカテゴリーを構成するための要素を別途用意している。

## 4. システム運用手順

Fig. 5に本研究で開発したシステムの運用手順を

Table 1 List of safety measures  
安全対策の一覧

安全手段の名称	概要	対象となる適用例
ライトカーテン	多光軸を利用して2次元のエリアを監視するセンサ。光が遮断された時に人や物体の存在を検出する。	プレス機械、ロボット加工ラインの開口部
レーザ式エリアセンサ	レーザ光を用いて広領域を監視するセンサ。	一般工作機械、ロボット加工ラインの開口部
マットセンサ	マットに作用する圧力の変化を利用して、人や物体の存在を検出するセンサ。	ロボット加工ラインの開口部
エッジセンサ	感圧ゴムを押すことにより人や物体の存在を検出するセンサ。	自動ドア、シャッター 安全バンパ
ワイヤ式緊急停止装置	作業者がワイヤと接触することにより、人や物体の存在を検出するセンサ。	加工ラインの非常停止装置
ロックアウト・キー	作業者が機械の可動部に入る時、必ず鍵をかけて全員が鍵を外さない限り、電源の投入を許可しない機構。	機械の電源
ドアスイッチ	ガードの開閉に伴うアクチュエータの作用により、スイッチ内部のカムを使い接点を強制的に開閉するスイッチ。	可動ガード、非常停止装置
リミットスイッチ	アクチュエータの作用により、スイッチ内部の接点を開閉するスイッチ。	可動ガード、加工ラインの物体位置検出
プラグスイッチ	鍵となっているプラグを差し込まなければ機械を起動できないようにするためのスイッチ。	可動ガード
ロープ式スイッチ	ロープを引く事によって結ばれているカムの作用で接点を強制的に引き離すスイッチ	コンベアの進入監視 ロボット加工ラインの進入監視
非常停止ボタン	非常時に人が押す事により、接点を強制的に引き離し機械を停止させるスイッチ。	非常停止
イネーブルスイッチ	予め定められた状態を保持するかぎり機械の作動を可能にするための手押しボタンスイッチ	ロボットティーチング作業
メカニカルインタロック	予め定められた条件、順序でしか抜き差しできない複数のキーの組み合わせによるキーシステム	定常作業のインタロックシステム。

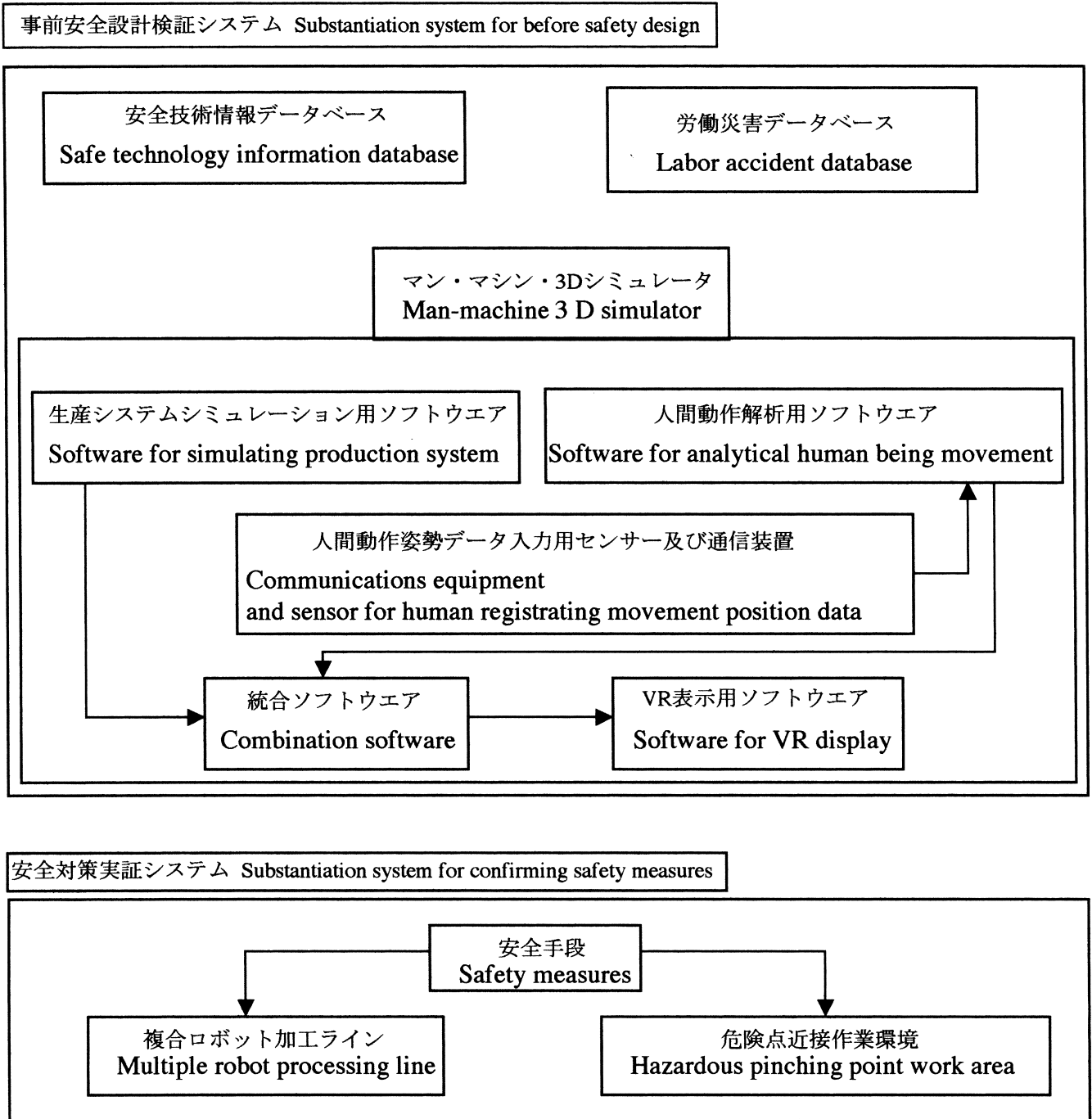


Fig. 4 Structure of safety design supporting system.  
開発した安全設計支援システムの基本構成

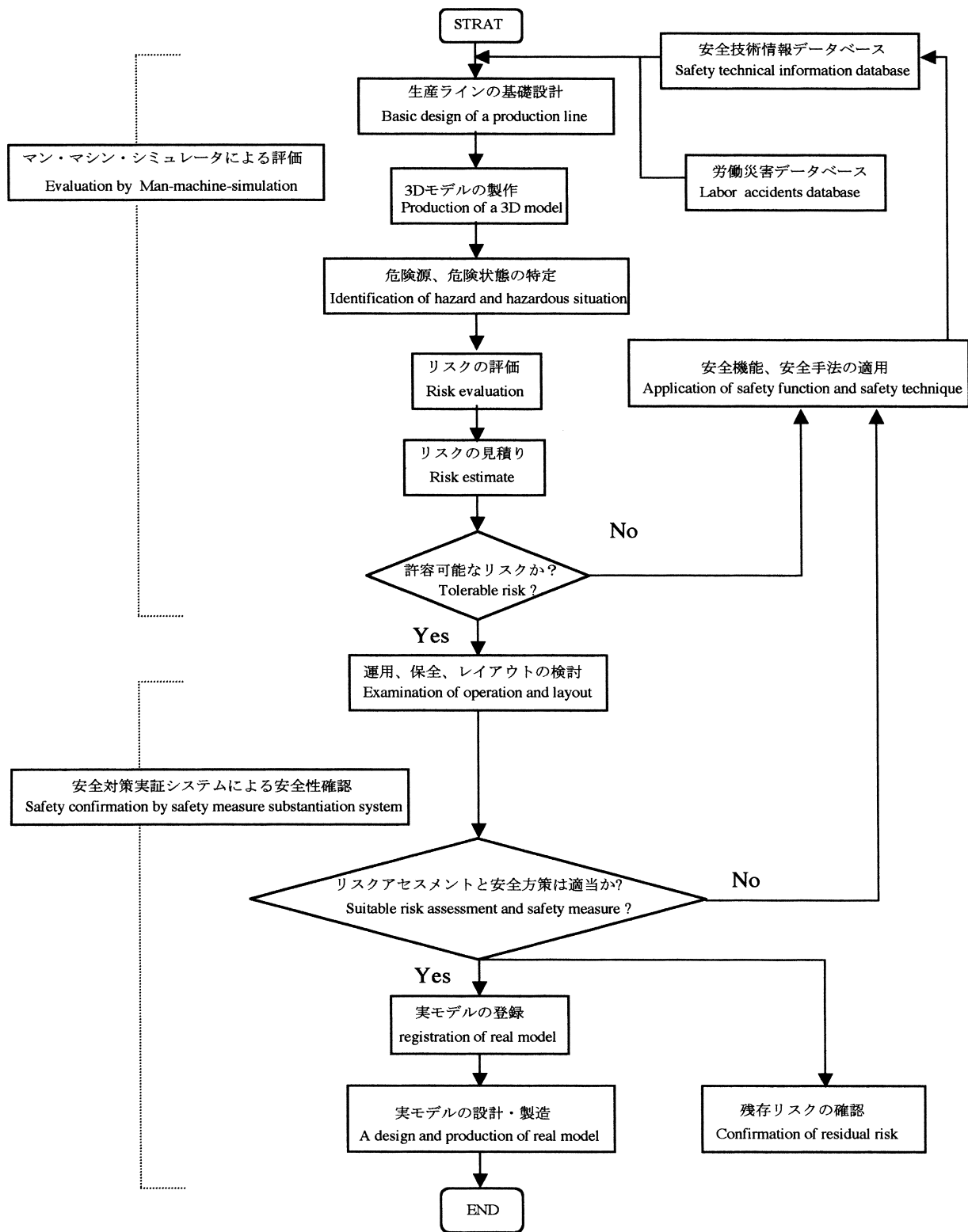


Fig. 5 Operation process of the safety design supporting system.  
安全設計支援システムの運用手順

示す。本システムは、生産加工ラインの設計・製造を行なう際に予めコンピュータ上に模擬した生産ラインの3Dモデルを製作し、危険源または危険状態を特定する。また、特定された危険源または危険状態については、必要ならばリスクアセスメントを行ない、過去の安全対策情報からの対策や、リスクレベルに合わせた安全方策の導入を検討する。また、導入した安全方策については、その動きをシミュレーションすることで、安全性の事前検証を行なうことができる。その際、機械設備の動きと、作業者の行動パターンから想定されるリスクをシミュレートするために画面上に作業者を配置して作業をシミュレーションする (Photo 2, 3, 4 参照)。

事前検証された安全方策の実際の効果を安全対策実証システムの加工ラインによって実証する。またその際、生産ラインの安全性と生産性の問題や、新たに発生する問題に関しては改善方法を含めてその都度安全技術データベースにデータを入力した後、再びラインの再検討を行なう。最終的に生産ラインにおける運用を含めたリスクが現在考えられる許容リスクを下回ることを確認した後、実モデルとして登録し、実際の設計・製造を開始する。

## 5. おわりに

従来、生産ラインの安全上の不具合やレイアウト、保全等の問題は、ラインを稼動した後に新たに発生した問題として処理することが多かった。したがってその際に生じる労働災害や生産の一時的停止等再構築に伴う経済的損害はある意味やむをえない事態として容認されてきた。これに対して本研究で開発したシステムは、事前に国際規格や従来からの産業現場において経験等で培われた災害防止対策や安全方策を検討することにより、実際のライン稼動後における経済損失を減少できるばかりか、なによりも、事前に許容可能なリスクまで安全性を向上させることができる。また、現在産業現場で問題となっている安全技術情報の空洞化や安全技術伝承の問題を解決するデータベースツールとしても期待できる。

平成13年6月に策定された「機械の包括的な安全基準に関する指針」の現場への具体的適用を推進するには、対象となる危険点に存在するリスクを査定し、そのリスクに合わせた安全方策を適切に設計

に反映させるためのリスクアセッサーとしての能力が必要となる。したがって、本システムは、これらの設計・製造現場における作業者の安全教育を支援するツールとして参加体験型の自己研修型教育支援ツールを提案した。

作業現場における労働災害の直接的原因は、一見、作業者のミスによるものが多いように見受けられるが実際に良く災害を分析してみると、潜在的に機械設備に危険源が存在し、その危険源に適切な安全方策を事前にとっていれば、仮に作業者がミスをしても災害には至らなかったという事例は少なくない<sup>4)</sup>。

今後は、実際の運用時におけるユーザーからの各種情報収集手法や、インターネットやアンケート等を利用した各種安全手段に関する情報収集、安全化手法に関する情報の充実を図る予定である。また、産業現場に適用できる安全技術情報を伝達するための安全設計支援システムとしての体裁を整えるとともに、他の作業形態への応用を提案し、従来からの危険性の高い特定の機械を中心とした安全教育のみならず、全ての機械設備に適用できる包括的な安全設計支援システムを提案していく予定である<sup>5)</sup>。

## 謝辞

本装置の開発に当たり、住商エレクトロニクス(株)内田致之氏と高橋雄二氏に多大な御協力を頂いた。誌上を借りて、深い感謝を表する。

## 参考文献

- 1) 加藤有次, その他: 博物館機能論, 雄山閣出版 (1999).
- 2) 加藤有次, その他: 博物館情報論, 雄山閣出版 (1999).
- 3) 石森秀三: 博物館経営・情報論, 日本放送出版協会 (2000).
- 4) 平成14年度版 安全の指標, 中央労働災害防止協会.
- 5) 清水尚憲, 梅崎重夫: 安全設計支援システムの概念提案とプロトタイプ的设计, 日本機械学会第10回交通・物流部門大会講演論文集, (2001) pp.253~254.

(平成14年8月26日受理)