

4. ヒューマン・エラー予測評価装置の開発*

呂 健**, 梅崎重夫***, 深谷 潔***

4. Development of a Human-error Prediction Estimator

by Jian LU**, Shigeo UMEZAKI*** and Kiyoshi FUKAYA***

Abstract: As for recent labor accidents, it is said that, while the accidents which originate from equipment defects decrease relatively, the accidents which originate from human factor such as the human-error of the worker increase. However, even as for the accidents that seem to originate from human error, it is not rare that the equipment defects are found still to be the basic reason, after some detailed investigation.

In this research, for large-scale production and construction systems, such as automatic building construction systems, and logistic lines in Factory Automation (FA), a real scale simulation system is developed. Being capable of extracting equipment defects that may trigger the human-error of workers, this system is called as "Human-error Prediction Estimator". With the latest Virtual Factory (VF) technology, this system can be used to verify beforehand the prevention measures against human-error and the defect in the layout, and to verify the easiness of the maintenance work and the effectiveness of safety methods of equipment.

In this paper, the necessity, the function, the structure and the operation procedure of the estimator are described. In addition, as the estimator is considered also to be applicable to integrated support system for safety design which is to be developed according to our future research plan, the related consideration is also examined for constructing the system.

Keywords; Human-error, Virtual factory, Factory automation, Automatic building construction system.

1. はじめに

最近の労働災害では、作業者のヒューマン・エラー等の人的要因に起因する災害が過半数を占めていると言われている¹⁾。しかし、表面上はヒューマン・エラーと見えるものでも、詳細に検討してみると実際には設備上の欠陥が労働災害の根本原因となっている場合も多い。

そこで、本研究では、FA工場の物流ラインやビル自動施工システム等の大規模な生産・施工システムを対象に、作業者のヒューマン・エラーの誘因となる設備上の欠陥を抽出する装置の構成について基礎的検討を行った。以後、この装置を「ヒューマン・エラー予測評価装置」と呼ぶ。

これは、最新のVF(バーチャル・ファクトリー)技術を用いて、発生するヒューマン・エラーの根本原因(これには、レイアウトの欠陥、過大な作業負荷、保全作業の困難性なども含まれる)の抽出と、設備的な安全方策の妥当性等の事前検証を行う装置である。

以下、本装置を必要とする背景と、装置の機能、構成及び運用手順について述べる。

* 日本機械学会第8回交通物流部門大会(1999年12月)において一部発表した。

** 物理工学安全研究部 Physical Engineering Safety Research Division

*** 機械システム安全研究部 Mechanical and System Safety Research Division

2. ヒューマン・エラー予測評価装置の必要性

産業安全の分野では、作業者の教育・訓練を目的として様々な運転シミュレータが開発されてきた。この具体例に、自動車、クレーン、建設機械、化学プラント、原子力発電所等の運転シミュレータがある(補足1参照)。そして、最近では、この分野で蓄積された技術を基に、ヒューマン・エラーの予測評価にも、これらの技術を応用していこうとする動きが出てきている。

この背景には、最近の産業現場での「ヒューマン・エラーを原因とする労働災害の相対的な増加」という認識がある。しかし、中央労働災害防止協会が最近の機械設備による死亡労働災害を分析した結果²⁾では、ヒュー

マン・エラーが関連する災害であっても、災害の8割以上は設備対策に問題があったことが指摘されている(補足2参照)。このことは、単にヒューマン・エラーだけに注目して対策を実施しても、設備の根本的な欠陥を是正しない限りは、労働災害の画期的な減少は困難であることを示唆している。

そこで、本研究では、ヒューマン・エラー予測評価装置の機能として、単に作業者のヒューマン・エラーの探索に留まるのではなく、このエラーの背後に存在する設備上の根本問題を抽出するとともに、設備的な安全方策の妥当性を検証できる装置の開発を目的として研究を行った(Fig.1参照)。

3. ヒューマン・エラー予測評価装置の機能

本研究で開発するヒューマン・エラー予測評価装置は、以下の機能の実現を目的としている。

1) 物流ラインを対象とした予測評価装置³⁾

これは、FA工場の自動倉庫、ロボットによる搬送等の物流ラインを対象とした予測評価装置である(Photo 1(a)参照)。

この装置では、これらの物流ラインで発生するヒューマン・エラーの態様、レイアウトの欠陥、保全作業の容易性、設備上の安全方策の妥当性等に関するシミュレーション実験を行う。

2) ビル自動施工システムの予測評価装置

これは、ビル自動施工システムと、その主要構成要素である搬送クレーンを対象とした予測評価装置である(Photo 1(b)参照)。

この装置では、当該システムで発生するヒューマン・エラーの態様、作業者と搬送クレーンの接触防止条件、

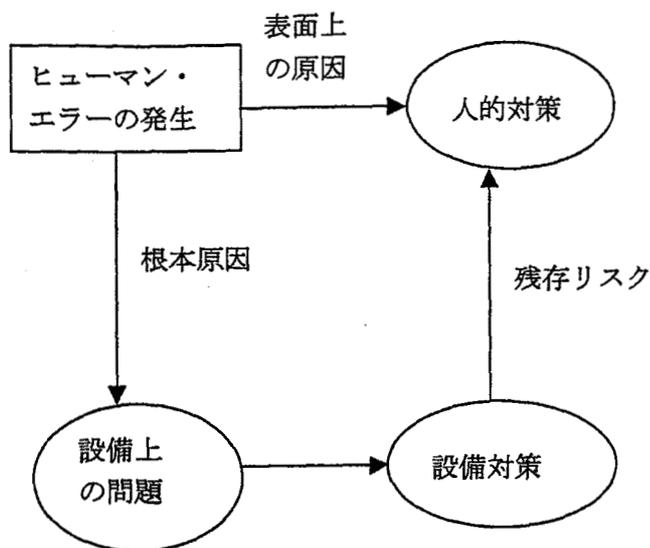


Fig. 1 Human-error and equipment measures. ヒューマン・エラーと設備対策

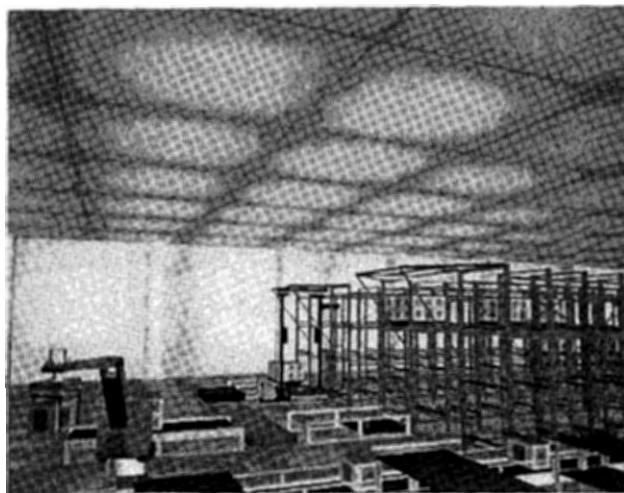
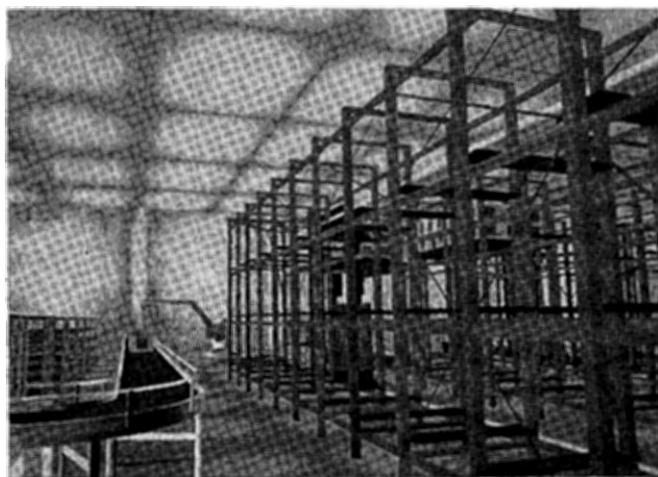


Photo 1(a) Examples of prediction estimation. — (a) Logistics lines. 予測評価の具体例 — (a) 物流ライン

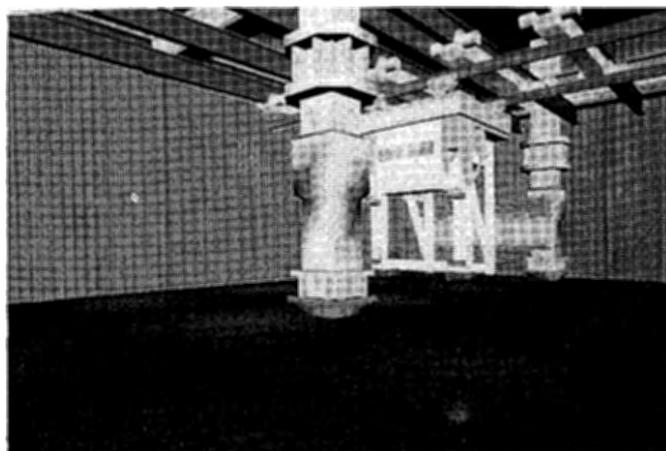
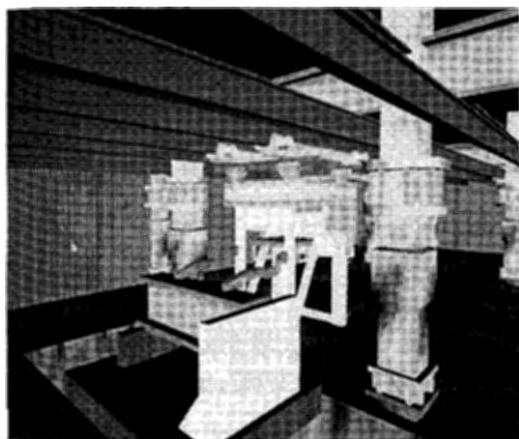


Photo 1(b) Examples of prediction estimation. — (b) Automatic building construction systems.
予測評価の具体例 — (b) ビル自動施工システム

搬送クレーンの接触防止用安全システムの効果等に関するシミュレーション実験を行う。

3) 大規模土木工事現場の予測評価装置

これは、大規模土木工事現場で使用する建設機械を対象とした予測評価装置である。

この装置では、建設機械使用時に発生するヒューマン・エラーの態様、運転視界や操作装置の最適設計条件、挟まれ防止用安全装置の効果等に関するシミュレーション実験を行う。

4 システムの構成

本システムは、以下の各要素から構成される (Fig. 2 参照)。

1) 画像処理装置

これは、各種の生産・施工システムを模擬した立体視画像を作成する汎用ワークステーションである。使用機種は、シリコングラフィックス社製の ONYX INFINITE REALITY である。

CPU を R10000、毎秒ポリゴン処理速度を 1100 万以上として、多数の画面使用時でも 50msec に一回以上の画像更新レートを目指す。

2) スクリーン

これは、立体視画像を表示するための全周囲 (360 度) 7 面スクリーンである。スクリーンには、120 インチのものを 8 枚使用する。前方のみ上下 2 枚とし、他の 6 面は一枚とする。

3) プロジェクタ

これは、立体視画像を表示するための 3 管式プロジェクタであり、背面投影方式とする。

4) 画像作成用ソフトウェア

これは、立体視画像の生成や実験シナリオの構築を行うための実験用ソフトウェアである。

基本ソフトウェアには、マイクロソフト社の Soft-Image とソリッドレイ研究所の RealMaster を使用する。また、アプリケーション・プログラムとして、FA 工場、ビル自動施工システム、大規模土木工事現場を対象に、画像作成用ソフトウェアを製作する。

5) 三次元シミュレーション・モデル

これは、FA 工場、ビル自動施工システム、大規模建設工事等のシステムや、当該システムで作業する作業者の三次元シミュレーション・モデルである。

6) 音声発生装置

これは、作業時に発生する音や周辺環境音を模擬する音声発生装置である。

7) 液晶式シャッタメガネ

これは、被験者が画像の立体視を行うための液晶式シャッタメガネである。

5. システムの運用手順

Fig. 3 に、本研究で開発したシステムの運用手順を示す。このシステムでは、システムの利用者はコンピュータ上に生産・施工システムを模擬した仮想モデル (三次元モデル) の構築を行い、このモデル上で作業者に様々な想定作業を行わせる。この想定作業は、一定のシナリオをプログラムすることで作成しても良いし、使用者が直接仮想作業者の視点や位置、姿勢等を操作しても良い。

次に、ヒューマン・エラー予測評価装置を使用して実際の検証実験を行うのであるが、この場合の用途は、一般に次の 4 種類に大別される。

1) ヒューマン・エラーの予測評価

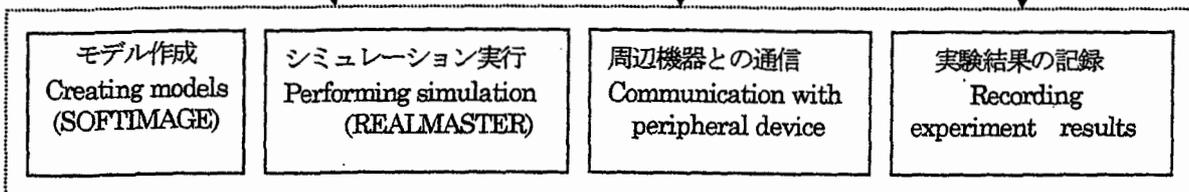
作業者に様々な想定作業を行わせることによって、発生するヒューマン・エラーの態様を抽出し、この結果に基づいて仮想モデルの設備の改善を行う。

応用プログラム

Application program

<p>FA工場の物流ライン Logistic line in automated factory</p>	<p>ビル自動施工システム Automatic building construction system</p>	<p>大規模土木工事現場 Large scale construction work field</p>
<ul style="list-style-type: none"> ・ ヒューマンエラーの態様 Situation of Human-error ・ レイアウトの欠陥 Layout defects ・ 保全作業の容易性 Easiness of maintenance work ・ 安全装置の効果 Effectiveness of safety device 	<ul style="list-style-type: none"> ・ ヒューマンエラーの態様 Situation of Human-error ・ 人間とロボットの接触防止条件 Prevention method for Human-robot collision ・ 安全システムの効果 Effectiveness of safety systems 	<ul style="list-style-type: none"> ・ ヒューマンエラーの態様 Situation of Human-error ・ 運転視野の最適設計 Optimal design in operation view ・ 操作装置の最適設計 Optimal design in operation device ・ 安全装置の効果 Effectiveness of safety device

基本プログラム
System program



画像処理装置
Image process equipment

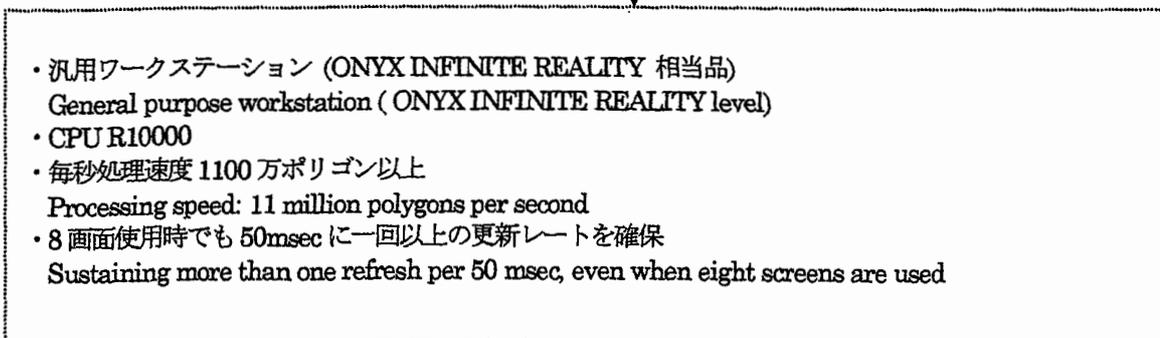


Fig. 2 Structure of the human-error prediction estimator developed.
開発したヒューマン・エラー予測評価装置の基本構成

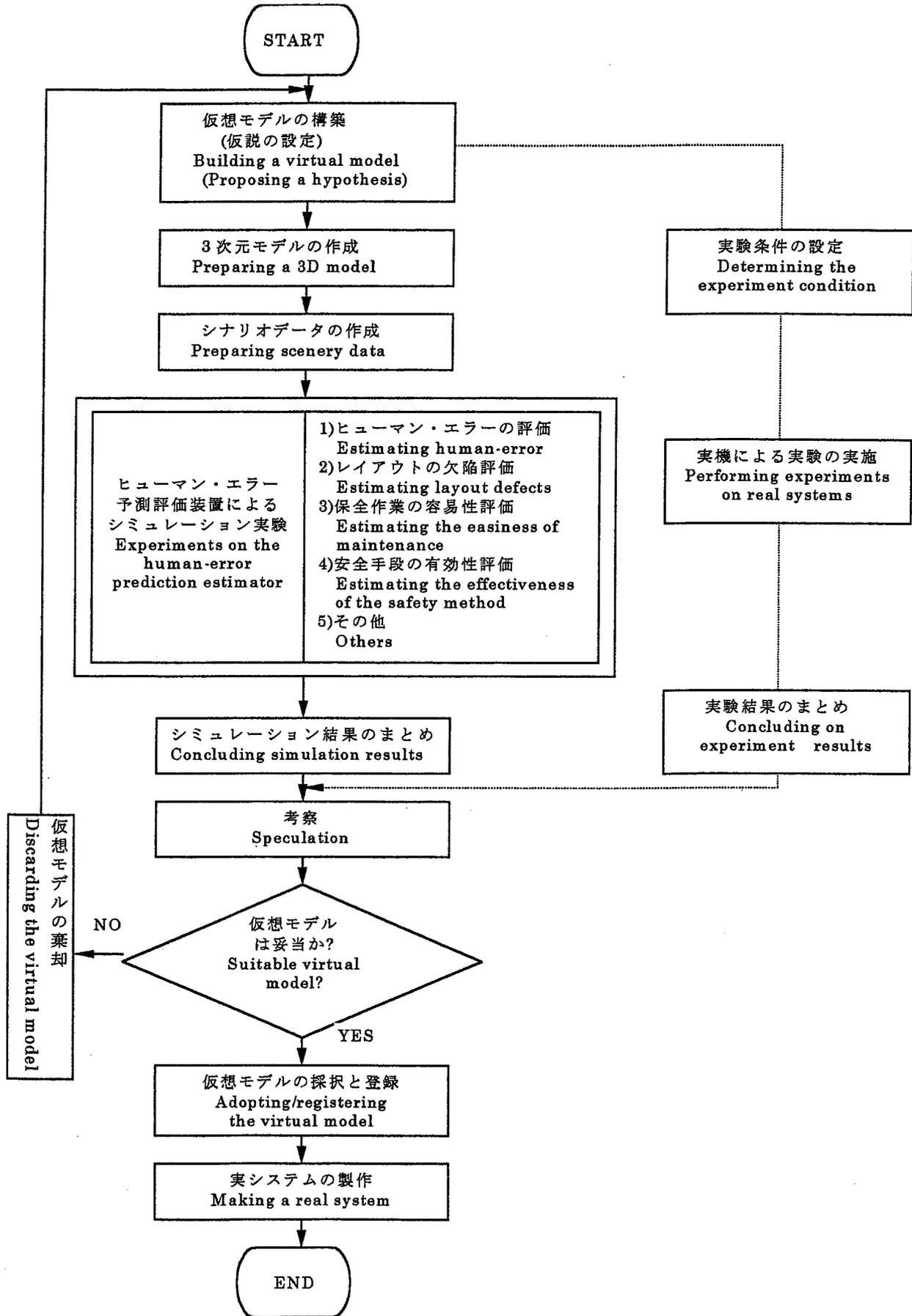


Fig. 3 Operation process of the human-error prediction estimator.
ヒューマン・エラー予測評価装置の運用手順

2) レイアウトの欠陥評価

仮想モデルのレイアウト上の欠陥を抽出し、この結果に基づいて仮想モデルの設備の改善を行う。

3) 保全作業の容易性評価

作業者に仮想の保全作業を行わせることによって、作業負荷等を算定し、この結果に基づいて仮想モデルの設備の改善を行う。

4) 安全手段の有効性評価

各種の安全手段（固定ガード、可動ガード、安全装置等）を仮想モデル上に設定し、作業者に様々な想定作業を行わせることによって、その妥当性を検証する。この結果に基づいて仮想モデルの設備の改善を行う。

以上の結果は、実際の実機による評価結果と突き合わせを行い、この結果に基づいて最終的に仮想モデルが採択されるまでシミュレーションを続行する。

6. おわりに

従来、生産・施工システムに安全上の不都合が認められた場合は、作業者の注意力に依存してシステムの安全を確保するという方法が一般的であった。また、仮に設備対策が講じられた場合でも、後付的な対策は効果的でない場合も多く、設備の改造に必要な費用も膨大となる欠点があった。

これに対し、本研究で提案する対策では、実際のシステムを製作してしまう前に設備上の不都合を徹底的に抽出できるため、本質的かつ効果的な設備対策が可能となる。また、対策に要する費用も安価になる可能性がある。

以上が本システムの概要であるが、本システムは現段階で基本的部分が完成したに止まっており、各種の生産・施工システムを対象とした三次元データの作成や、実環境下のシミュレーションに耐えうる作業モデルやシミュレーションソフトウェアの作成など、残された課題は多い。今後は、これらの残された課題の

達成に努めるとともに、本システムを実際のヒューマン・エラー予測評価、レイアウト設計、保全設計、安全手段設計等に応用し、その有効性を十分検証する必要がある。

謝 辞

本装置の開発にあたり、(株)ソリッドレイ研究所の斎藤史彦、山形浩、石田滋、原智彦の諸氏に多大な御協力を頂いた。誌上を借りて、深い謝意を表する。

参考文献

- 1) 日沖勝哉, 現場における非正常作業の安全管理, 安全, Vol. 45, No. 10, pp. 14-17 (1998).
- 2) 機械類の包括的安全基準に関する調査研究委員会報告書, 中央労働災害防止協会 (1999).
- 3) 呂 健・梅崎重夫・深谷 潔, FA 工場の物流ライン等を対象とした実規模シミュレーターの開発, 日本機械学会第 8 回交通・物流部門大会講演論文集, pp. 303-306 (1999).

(補足 1)

この具体例に、ソリッドレイ研究所が開発した自動車運転シミュレータ、三菱プレジジョンが開発したクレーン・シミュレータ、当研究所が開発した建設機械用シミュレータなどがある。

(補足 2)

文献 2) によれば、固定ガードの不備に起因する災害が 34%、可動ガードの不備に起因する災害が 39%、安全装置の不備に起因する災害が 20%、制御機構の不備に起因する災害が 27%であり、これらの設備対策のいずれかに問題があって発生した災害が 82%である。

(平成 12 年 1 月 11 日受理)