

OCT. 1984

RIIS-RR-32-5

UDC 614.8 : 007.5 : 007.2 : 005

産業安全研究所研究報告

RESEARCH REPORT OF
THE RESEARCH INSTITUTE OF INDUSTRIAL SAFETY

RR-32-5

マイクロエレクトロニクスを用いた自動生産システム
の安全性評価 (第1報)

——エネルギー転移連鎖と産業用ロボットの潜在危険——

佐藤吉信
杉本旭
前郁夫

労働省産業安全研究所
MINISTRY OF LABOUR
THE RESEARCH INSTITUTE OF INDUSTRIAL SAFETY

マイクロエレクトロニクスを用いた自動生産 システムの安全性評価 (第1報)

—エネルギー転移連鎖と産業用ロボットの潜在危険—

佐藤吉信
杉本旭
前郁夫

Safety Assessment of Automated Production Systems Using Microelectronics
(First Report)

—Energy-Transfer Chains and Hazards of Industrial Robots—

Yoshinobu SATO*, Noboru SUGIMOTO*, Ikuo MAE**

It is apparent that we have to receive some risks when we use the Industrial robots for production, because several cases of the injury accidents caused by robots have been already given in Japan.

The technologies to apply ME (microelectronics) to the automatic machines or apparatus like industrial robots have greatly progressed and the usage of them are increasing rapidly.

And it seems that the technologies for the application of ME to the production systems will progress further more in the near future.

Then it is necessary to achieve the safety assessment of the automated production systems using ME to prevent the accidents that will be caused in the systems.

In this report, the first step of the safety assessment for the potentially hazardous innovations such as the technique to apply ME to the automated production, the hazard identification method and its application are discussed.

Firstly we gave the strict definitions for the concepts "hazard" and "the production process".

Next we examined the patterns of the energy transfer chains that result in injury accidents related to a system element. (Fig. 3).

And we proposed the concepts "Hazards related directly to a system element" and "Hazards related indirectly to a system element" that are derived from the patterns of the energy transfer chains.

Then for the case study of the application of this hazard identification method, the energy forms which are assumed to be possessed by industrial robots-persons-peripheral elements systems and to produce the hazards to a person were examined and the types of the injury accidents caused by the hazards were identified by using this method. (Table 1)

And it was concluded that the next step of the safety assessment process of potentially hazardous innovations or systematical analysis of the hazards will be effectively derived from the result of the hazard identification using this method.

* Mechanical Engineering Research Division **Director of M. E. R. Division

1. まえがき

近年、マイクロエレクトロニクスの進歩により、生産機械、運搬機械あるいは搬送機械などのメカトロ化が進展している。

その中でも急速に設置台数を増大させている産業用ロボットを例にとり、産業安全の立場からみると、これが危険・有害作業の代替機能を持つ一面と、その危険性(Risks)の両面が問題とされていることについては、産業用ロボットによる災害事例などからも明らかであろう¹⁾。

産業用ロボット等のいわゆるメカトロ機器を用いた生産システム(作業者等の人間も含む、以下同様)の安全性を論ずるには、まず、それらのシステムに生ずる潜在危険(Hazards)を同定することが必要である。

本研究は、潜在危険の概念の明確化を計り、その同定法を確立することを目的とする。また、その適用事例として産業用ロボットの潜在危険の同定を試みた。

2. 潜在危険の概念と定義

一般的に、生産システム²⁾において、災害を発生させる条件を解析し、その安全性を評価するためのアプローチとして、大別すると二つの方式が考えられる。

その一つは、すでにその生産システムでの災害事例が十分得られている場合で、その資料を統計的手法などにより解析し、システムの安全性を評価する方式³⁾である。これは、いわば結果評価型方式と言えるものである。

また、もう一つは、災害事例などの資料が不十分な場合や、新技術を用いた生産システムのために、その運用が未経験か経験に乏しく、本質的に上記資料の入手が困難となる場合における、いわば予測評価型方式とも言える安全性の評価方式である。

産業用ロボット(以下単にロボットと言う)等のメカトロ機器の安全性を評価しようとする場合、これらが産業界に登場してまだ日が浅く、災害事例などの資料も多少得られているものの、統計的処理を行う程には十分でない。さらにメカトロ機器を用いた生産システムが日進月歩の進展をしている新技術から成り立っているため、

1) 文献1) 参照
 2) ここでの生産システムとは、労働災害の発生し得る作業を含む全ての業種における生産または作業現場を意味する。以下同様とする。
 3) この方式を用いた研究としては、例えば参考文献2),3)等があげられる。

現時点では本質的に予測を含んだ評価方式、すなわち後者のアプローチの方式を適用するのが妥当であると考えられる。

2.1 エネルギーの望ましくない転移と潜在危険

生産システムの安全性を予測評価型方式で検討しようとする場合、その評価プロセスが、Fig.1に示すように、大きく区分けして三つのステップから成り立つものと考えられる。

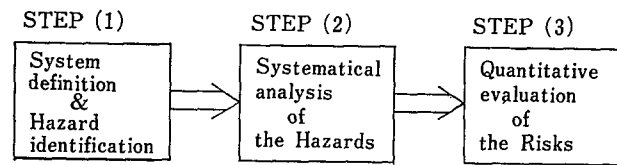


Fig.1 Safety assessment process of the prediction type
 予測型安全性評価のプロセス

すなわち、システム内に生ずる潜在危険を同定する(ステップ1)、それらの潜在危険の発生条件や抑制方法を系統的に検討する(ステップ2)、さらに解析結果に実際の数値を代入するなどを行い、危険性の定量的評価を行う(ステップ3)の各段階が考えられる。ここで、ステップ1はその結果が後続の各ステップの基礎になるので最も基本的で重要である⁴⁾。

ここで潜在危険(Hazards)とは、「生産システム内の人間・機械・装置などの各要素間で生ずる、過誤・見落とし・変化そしてストレスなどの一連の事象の連鎖が、結果的に、人間・物またはプロセスに損害を与えるかもしれない、すなわちエネルギーの望ましくない転移を生じさせる潜在性」などとして定義されている⁵⁾。

この定義は、災害が、生産システム内のいくつかの要素間での何らかのエネルギー伝達により、最終的に人間や物などに、それが望ましくない態様で作用する結果発生するものであるという事実を反映している。

人間-ロボットまたはある着目要素-周辺要素のような複合システム⁶⁾の潜在危険を同定するために、この概念をさらに詳細に定義することが有用である。

そこで本研究では、以下のような概念の定義を行う。

4) 参考文献6) p.245 参照
 5) 参考文献6) p.247 参照
 6) ここで周辺要素とは考察しているシステム内の潜在危険の発生に関与するシステム要素のうち、人間およびロボット(または、ある着目要素)以外の要素とする。

2.2 潜在危険の厳密な定義

Fig. 2 は、生産システム内のある要素AとBとの間で行なわれるエネルギー⁷⁾の伝播と変換の形態を示したものである。

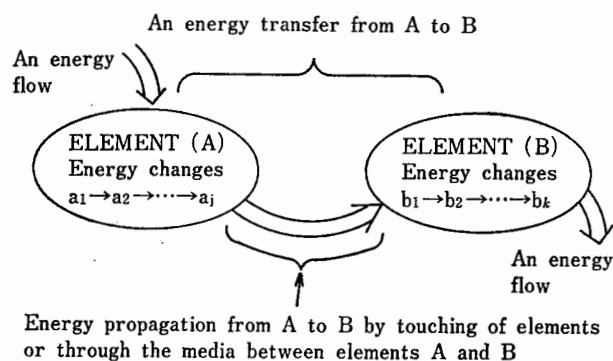


Fig. 2 An energy transfer (Propagation & Changes)
エネルギーの転移（伝播と変換）

生産システムでは、作業を行ったり、物を生産するために、システムを構成するいくつかの要素の間でエネルギーの伝播と変換が行なわれるため、システム内のいくつかの要素が何らかのエネルギーを保有している瞬間が存在する。このエネルギーの適正な管理が達成されない時に潜在危険が発生するのである。

システムを構成する要素は、具体的なシステムにおいて、適宜決定されるものであるが、要素のとり方については、エネルギーの伝播が後述の条件を満足するよう行なわれるものとする。

さて、システム内において、要素Aは、他の要素よりエネルギーの伝播を受け（図中 \Rightarrow 印がエネルギーの作用とその方向を示す）、要素内部で $a_1 \rightarrow a_2 \rightarrow \dots \rightarrow a_j$ (a_r はエネルギーの性質と強度を示す) というエネルギー変換を行い、さらに要素Bへエネルギーの伝播を行う。

これにより、要素Bもさらに要素内部で $b_1 \rightarrow b_2 \rightarrow \dots \rightarrow b_k$ とエネルギー変換を行い、他の要素へエネルギーを伝播したり放出または蓄積を行うものとする。

これらの過程で、

エネルギーの直接伝播という術語を定義し、これをエネルギーの直接接触伝播と直接媒体伝播とに分類する。

エネルギーの直接接触伝播という術語を機械的エネルギーのように物と物との接触により伝わるエネルギーが、システム内の要素の介在無しで直接システム内の2要素間で伝播されること」と定義する。

エネルギーの直接媒体伝播という術語を「音波のよう

に媒体を伝わるエネルギーが、増加されることなくその性質⁸⁾をそのまま保って、媒体を通して、システム内の2要素間で他の要素の介在を経ずに直接伝播されること」と定義する。

仮に、要素AとBの間の媒体伝播において、エネルギーが増加したり、その性質が変化した場合には、要素AとBの間に他の要素が介在したと考え、要素AとBの間にその要素を導入する。また逆に、システム内の要素はエネルギー伝播からみて隣り合った要素が、直接伝播を行うところまで分割するものとする。

エネルギー変換という術語を「エネルギーの性質を変化させる、または、エネルギーを増加や減衰させること」と定義する。

エネルギーの転移という術語を「システムの要素間でエネルギーの伝播と変換を行う一連のプロセス」と定義する。

要素Aから要素Bへのエネルギーの直接転移という術語を「要素Aから要素Bへエネルギーが直接伝播行なって転移すること」と定義する。

エネルギーの転移連鎖という術語を「システムの中のいくつかの要素間で行われる一連のエネルギー転移の連鎖」として定義する。

一連のエネルギー転移連鎖において、要素Aが要素Bの原因系に在るとは「要素Aが要素Bよりも、エネルギーの伝播方向（作用方向）において、すぐ前に位置するか、または、システムの他の要素を介在して元に在ること」と定義する。

一連のエネルギー転移連鎖において、要素Bが要素Aの結果系に在るとは「要素Bが要素Aよりも、エネルギーの伝播方向において、すぐ後か、あるいは他の要素を介在して末に在ること」と定義する。

エネルギーの望ましくない転移連鎖を「結果的に人間や物に損害を与える可能性のある一連の管理を逸脱したエネルギー転移連鎖」と定義する。

損害の直接原因となるエネルギーの直接転移を「ある要素Aからある要素Bへのエネルギーの直接転移のうち、Bに損害が生ずる場合の直接転移」と定義する。

要素Aが関連する潜在危険を「エネルギーの望ましくない転移連鎖の原因系に要素Aが含まれ、これにより要素に損害の直接原因となるエネルギーの直接転移が生ずる潜在性」と定義する。

要素Bに対する潜在危険を「一連のエネルギーの望ましくない転移連鎖によって、要素Bに損害の直接原因と

7) エネルギーの概念中にはいわゆる情報も含まれるものとし、以下同様とする。

8) ここで性質とは例えば、電気的エネルギー、熱的エネルギー、機械的エネルギー等々を意味する。

なるエネルギーの直接転移が生ずる潜在性」と定義する。

3. 産業用ロボットの潜在危険の同定

3.1 潜在危険を生ずるエネルギー転移連鎖の型

ここではロボット⁹⁾、人間そして周辺の機器や装置など周辺要素を有する生産システムにおいて、望ましくないエネルギーの転移連鎖と災害の直接原因となるエネルギーの直接転移との関係を考察し、これらをパターン化し分類する。

ただし、本研究では、特にロボットと人間とのかかわりあい人間に生ずる災害を問題としているので、エネルギー転移連鎖において、人間に直接災害を与えるエネルギーの直接転移が発生する位置よりも、ロボットが原因系に在るものだけ考えることとする。

Fig.3 は、上記条件を満足する各要素間のエネルギーの望ましくない転移のパターンを図示したものである。

図中において、各要素間でのエネルギーの直接伝播の方向が矢印⇒で描かれている。また、このうち特に、人間に直接災害を与えるエネルギーの直接伝播が斜線の入った矢印⇨で描かれている。

図中、①型は、例えば人間がロボット¹⁰⁾に打ち当たるような、人間自身の所有しているエネルギーが、ロボットとの干渉により、反作用的にロボットから人間に反転伝播することにより災害が発生するエネルギー転移連鎖形式を示す。

②型は、ロボットの所有するエネルギーが人間に直接伝播し、その結果災害が生ずる転移連鎖形式を意味する。

③型は、例えば人間が直接ロボットによって押されるなどして、周囲の装置に打ち当たるような、ロボットの所有するエネルギーが、人間に対して望ましくない直接伝播を行い、人間が望ましくないエネルギーを持つことにより、他の要素に干渉し、反作用的にそれが人間に反転伝播することにより災害が発生する転移連鎖形式を意味する。

④型は、例えば、人間がロボットに押され、周辺の機器に巻き込まれるなどの、ロボットのエネルギーが人間に対して、望ましくない直接転移を行い、人間が望ましくないエネルギーを持つことにより、他の要素に干渉を行う。その結果、その要素の所有するエネルギーが、人間に対して直接転移し災害を生じさせるエネルギー転移連鎖のパターンを意味する。

⑤型は、ロボットの所有するエネルギーが、周辺要素に望ましくない転移を行い、その結果、その要素から災害を生じさせるエネルギーが人間に直接転移されるパターンを示す。この際、周辺要素は単独とは限らず、いくつかの要素間にエネルギーの望ましくない転移が行なわれ、その結果、災害を生じさせるエネルギーが人間に直接転移されることもある。

⑥型は、ロボットの所有するエネルギーが周辺要素にエネルギーの望ましくない転移を行うことにより、人間が周辺要素よりエネルギーの望ましくない直接転移を受ける。その結果、人間が周辺要素に干渉することにより、その要素から災害を生じさせるエネルギーが人間に直接転移されるエネルギー転移連鎖のパターンを示している。ここでもロボットと人間の間に介在する周辺要素が単独とは限らないことは、⑥型と同様である。

⑦型は、災害を直接生じさせるエネルギーが①型や③型と同様に人間に所有されるものであるが、他のエネルギーの望ましくない転移連鎖の部分は⑥型と同じパターンであることを意味している。

3.2 ある要素が直接関連する潜在危険と間接関連する潜在危険

ここで以上検討してきたロボットに関連した災害を生じさせるエネルギー転移連鎖の各型を次の2通りのカテゴリーに分類することが有用である。

(I) 産業用ロボット（または、システム内のある要素）が直接関連した人間に対する潜在危険

(II) 産業用ロボット（または、システム内のある要素）が間接関連した人間に対する潜在危険

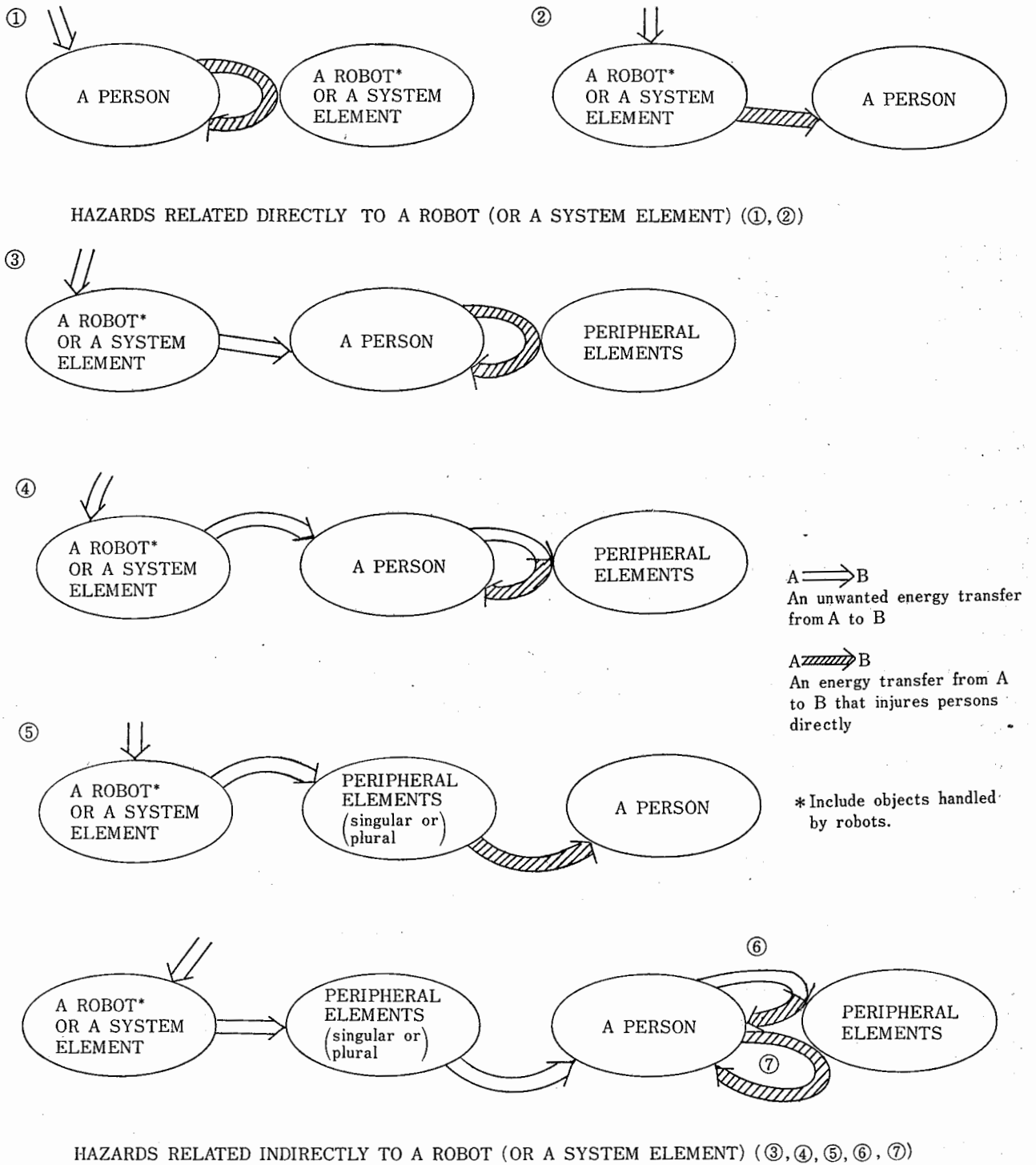
ここで(I)のカテゴリーを「ロボット¹¹⁾（ロボットが取り扱う物も含む、以下同様とする）と人間の間で、人間が結果系となるエネルギーの直接伝播があって、そのエネルギーが災害の直接原因となるエネルギーの直接転移を行うエネルギーの転移連鎖形式を生じさせる潜在性」と定義する。

(II)のカテゴリーを、「最終的に人間に災害を与える

9) 潜在危険を生ずるエネルギー転移連鎖の型においては、システム内の注目する要素をロボット以外の要素で置き換えても同様の議論が成立する。しかし、ここでは、議論に具体性を与えるため以下においてシステム内の注目する要素をロボットで代表させる。

10) ロボットの取り扱い物（ワーク、ツール、材料等）も含める。以下同様とする。

11) または、システム内のある要素、以下同様とする。



HAZARDS RELATED INDIRECTLY TO A ROBOT (OR A SYSTEM ELEMENT) (③, ④, ⑤, ⑥, ⑦)

Fig. 3 Patterns of the energy-transfer chains that result in injury accidents related to the industrial robots

産業用ロボットに関連した災害を生ずるエネルギー転移連鎖の型

エネルギーの直接転移を生じさせる、一連のエネルギーの望ましくない転移連鎖の、原因系の要素としてロボッ

トが存在し、かつ (I) を除くエネルギーの転移連鎖形式を生じさせる潜在性」として定義する。

3.3 産業用ロボット、人間及び周辺要素の所有する潜在危険を生ずるエネルギー形式

ここで産業用ロボットの概念を明確にしておく必要があるが、前述のように、この分野での技術革新は今後もひき続いて進展すると思われるので、時代とともにロボットの概念も変化することも考えられる。

そこで本研究は、文献1)、文献8)などの産業用ロボットの定義を踏まえ、さらに出現しつつある移動型ロボット等も検討範囲に含むこととした。

ここで産業用ロボット(以下単にロボット)の所有する潜在危険を生ずるエネルギー形式という概念を「ロボットが元来所有していたか、他の要素からの転移により所有することになったエネルギーのうち、システム内のある要素に望ましくない形で転移する可能性のあるエネルギーの形式」という意味で用いる。

また人間の所有する潜在危険を生ずるエネルギー形式という概念を「人間が元来所有していたか、システム内の他の要素からエネルギーの転移を受け所有することになったエネルギーのうち、他の要素または反作用的に自分自身に望ましくない形で転移する可能性のあるエネルギーの形式」という意味で用い、さらに周辺要素の所有する潜在危険を生ずるエネルギー形式という概念を「周辺要素が元来所有していた、またはシステム内の他の要素からエネルギーの転移を受け、所有することになったエネルギーのうち他の要素に望ましくない形で転移する可能性のあるエネルギー形式」という意味で用いる。

ただし、ロボットの所有する潜在危険を生ずるエネルギー形式のカテゴリーには、ロボットが作業等を行うために用いるワーク・ツールまたは材料などの取り扱い物の所有するエネルギーも含まれるものとする。

また、人間の所有する潜在危険を生ずるエネルギー形式のカテゴリーには、人間が作業等を行うために所持しているワーク・ツールまたは材料などが所有するエネルギー形式は含ませず、これらはシステム内での他の要素の所有するエネルギー形式として考えることとする。

3.3.1 産業用ロボットが所有する潜在危険を生ずるエネルギー形式

ロボットは機械としては構造を持つため、質量を有しこれが重力・高さ結びつくことにより位置エネルギーを有し、いわゆる落下や転倒という形でエネルギーの望ましくない転移を行う。

ロボットが仕事を遂行するために、移動したり、その腕やマニプレータを運動させる。またそれによって、ロボットの所有する取り扱い物も運動する。これらの現象

によって、ロボットは、物質が運動する時に生ずる機械的エネルギーを所有する。

それらの運動を制御したり駆動するための動力源として、電気的エネルギー、油圧または空圧によるポテンシャルエネルギーを所有する 경우가多く、電気的エネルギーは、溶接用ツールなどにも用いられる。

ロボットが、鋳造や熱処理作業などで高温物を取り扱ったり、低温物を取り扱う場合には、熱的エネルギーを所有する。

放射性物質を取り扱うロボットでは、その放射性物質の発する放射線とともに、汚染されたロボットが発する放射線も考慮しなければならない。その他、センサーまたは工具など特定の取り扱い物から発して、人間の目や耳などの特定の器官に悪影響を与える可能性のある紫外線・赤外線・超音波またはレーザー光線などを考慮する必要がある。これらは、放射エネルギーとして分類する。

酸などの腐食性物質を取り扱うロボットでは、腐食性エネルギー(化学的エネルギー)を所有することとなる。

さらに、有害性物質や病原菌などを取り扱うロボットでは、その取り扱い物質の毒性・発病性とともに、汚染されたロボットの影響も考えねばならない。これらを、中毒・疾病発生性エネルギーとして分類する。

3.3.2 人間が所有する潜在危険を生ずるエネルギー形式

人間も物体として質量を有し重力及び高さ結びつくことにより、墜落や転倒を行う位置エネルギーを所有する。

さらに、移動や運動と質量が結びついて、機械的エネルギーを有し、条件によっては、静電気などの電気的エネルギーも有する。

3.3.3 システム内の周辺要素が所有する潜在危険を生ずるエネルギー形式

これらの要素は非常に範囲が広いのでほとんど全てのエネルギー形式を含むと想定される。すなわち、質量・重力・高さによる位置エネルギー、機械的エネルギー、電気的エネルギー、油圧・空圧エネルギー、熱的エネルギー、放射的エネルギー、腐食性(化学的)エネルギー、毒性・発病性エネルギーは勿論の事、爆発・燃焼エネルギーやエネルギー欠損型¹²⁾についても想定しなければならない¹³⁾。

12) この術語の概念については、参考文献5) p.121~122 参照

13) 各エネルギー形式中には、いわゆる情報としてのエネルギーも含まれる。

3.4 産業用ロボットが関連した人間に対する潜在危険の同定と想定される災害の型

ここでは、Fig. 3 に示した、災害を生ずるエネルギーの望ましくない転移連鎖の各型に対して、ロボット、人間、周辺要素の所有するエネルギーの各形式によって生ずる災害の型を同定する。

3.4.1 ロボットが直接関連した人間に対する潜在危険と想定される災害の型

(イ) 人間の所有するエネルギーが、反作用的に、災害となるエネルギーに直接転移されるもの (Fig. 3, エネルギー転移の型①)

〔質量・重力・高さによる位置エネルギー〕

①型：「作業者のロボット¹⁴⁾上への墜落災害」「作業者が転倒して、ロボットに接触する事による打たれ、切られ災害」が想定される。

〔機械的エネルギー〕

①型：「作業者の不注意な動作によってロボットに打ち当たることによる打たれ、切られ災害」「悪い姿勢や過重な条件でロボットと接触することによる腰痛災害」などが想定される。

(ロ) ロボットの所有するエネルギーが災害となるエネルギーとして人間に直接転移するもの (Fig. 3, エネルギー転移の型②)

〔質量・重力・高さによる位置エネルギー〕

②型：「ロボットやその取り扱い物の落下や転倒による作業者の押し潰され、打たれ、切られ災害」

〔機械的エネルギー〕

②型：「移動や動作を行っているロボットやその取り扱い物に作業者が接触する事による、打たれ、ひかれ、巻き込まれ、押し潰され災害」が想定される。

〔電氣的エネルギー〕

②型：「ロボットから漏電による感電災害や感電による火傷災害」が想定される。

〔高圧媒体のポテンシャルエネルギー〕

②型：「ロボットの圧力容器の破裂による破裂災害」「ロボットの油・空圧供給ホース中の高圧媒体の漏れによって生ずるむち打ち現象による打たれ、巻き込まれ災害」が想定される。

〔熱的エネルギー〕

②型：「ロボットまたはその取り扱い物の高温部分に作業者が触れることによる火傷災害」が想定される。

〔放射的エネルギー〕

②型：「ロボットまたはその取り扱い物の放射する放

射線、紫外線、赤外線、レーザー光線または超音波などに作業者が接触することによる、放射線障害、難視、難聴、火傷災害」が想定される。

〔腐食性（化学的）エネルギー〕

②型：「ロボットが取り扱う酸などの危険物と作業者が接触することによる火傷災害」が想定される。

〔中毒・疾病発生性エネルギー〕

②型：「ロボットが取り扱う毒性・有害物質やそれらに汚染されたロボットと作業者が干渉することにより生ずる中毒災害または疾病」が想定される。

3.4.2 ロボットが間接関連した人間に対する潜在危険と想定される災害の型

(イ) 人間の所有するエネルギーが災害となるエネルギーとして反作用的に直接転移されるもの (Fig. 3, エネルギー転移の型③⑦)

〔質量・重力・高さ（人間に所有される）による位置エネルギー〕

③型：「作業者が高所でロボットに押されることによる墜落災害」「作業者が、ロボットに押されて転倒することによる打たれ、切られ災害」「作業者が高所でロボットから感電することによる墜落災害」その他の、ロボットからの直接の影響による作業者の墜落・転倒災害」が想定される。

⑦型：「ロボットが周辺の装置を壊す→その上にいた作業者の転落や転倒による打たれ、切られ災害」「ロボットが周辺の装置に触れる→周辺の装置の不意の動作→その上にいた作業者の転落や転倒による打たれ、切られ災害」などが想定される。

〔機械的エネルギー〕

③型：「作業者がロボットに押されるなどして周囲の構造物に接触することによる打たれ、切られ災害」などが想定される。

⑦型：「ロボットが周辺の装置に望ましくない干渉を行う→それにより周辺の装置が急に作動する→作業者がそれに押され→よるめきながら周囲物体に当たることによる打たれ、切られ災害」などが想定される。

(ロ) 周辺要素の所有するエネルギーが災害となるエネルギーとして人間に直接転移するもの (Fig. 3, エネルギーの転移型④⑤⑥)

〔質量・重力・高さ（周辺要素の所有する）による位置エネルギー〕

⑤型：「ロボットが構造物を破壊する→構造物の落下→作業者がそれに当たることによる押し潰され、打たれ、切られ災害」, 「ロボットが機器を転倒させる→転倒する機器に作業者が当たることによる押し潰され、

14) ロボットの取り扱い物も含む、以下同様とする。

Table 1 Identification of the hazards related to industrial robots and impending over persons
産業用ロボットに関連した人間に対する潜在危険の同定

Energy sources possessed by robots (handling objects)	Hazards related directly to robots		Hazards related indirectly to robots	
	Transfers of energy	Assumed types of injury accident	Transfers of energy	Assumed types of injury accident
Mass, Gravity, Height	Falls (of itself or handling objects) Toppling and Propagation by touching	Being crushed Being struck Being cut	Falls→Destruction of structures→ Falls or Topplings of structures or personnel Falls→Mechanical or electrical sparks →Flammable vapor→Explosion Falls→Switch on of other system→ Faulty movement of it	Being crushed Being struck Being cut Falls※ Fire and blast effects Falls※ Being caught Being struck Being cut Falls※
Kinetic	Move Movement of arms Movement of handling objects and Propagation by Touching	Being struck Being run over Being caught Being crushed	Move or movement→Destruction of structures→Falls or Topplings of structures or personnel Move or movement→Collisions→ Falls down of collided objects Move or movement→Switch on of other systems→Faulty movement of them Move or movement→Persons are pushed into machines Movement of arms with handling object→Objects get out of the place →They come flying→Destruction of structures Move or movement→They touch live wires→electric leakage	Being crushed Being struck Being cut Falls※ Being crushed Being struck Falls※ Being caught Being struck Being cut Falls※ etc. Being crushed Being cut Being struck Being cut Getting an electric shock
Electrical	Leakage of electricity Short circuits Electrical sparks and Propagation by touching/ through media	Getting an electric shock Getting scalded	Electrical sparks→Flammable vapor →Explosion Short circuit or sparks→Electrical noise→Faulty signals in circuits→ Abnormal movement of peripheral systems	Fire and blast effects Falls※ Being caught Being struck Being cut Falls※ etc.
Pressure-volume	Wriggling of hoses, Burst and Prop. by touch./ through media	Being struck Burst effects	Burst→Something comes flying→It affects near systems→They get out of order→Faulty movement of systems	Being caught Falls※ etc.
Thermal Casting Hot faging Hot working Welding, etc.	Conduction Transmission Convection	Getting burned Getting scalded	Conduction→Disorder of circuits→ Faulty movement of systems	Being caught Being struck etc.

Continue to next page

Radiant Radioactive Ultraviolet Infrared rays Ultrasonic waves Laser etc.	Transmission	Radiation sickness Loss of eyesight Being scorched Hard of hearing	Transmission of sensors of other systems → Faulty signals → Faulty movement of systems	Being caught Being struck Falls※ etc.
Corrosive	Corrosion	Getting scalded	Corrosion of circuits → short circuits → Abnormal movement of systems Corrosion of wiring → Leakage of electricity → Electrical sparks → Flammable vapor → Explosion	Being struck etc. Electrical shocks Fire and blast effects
Toxic pathogenic	Contamination	Poisoning Contagions Infections		
(Possessed by persons) Mass, Gravity, Height Kinetic Electrical	[Falls Toppling and Propagation by touching Move Movement and Prop. by touching Poor posture Over stress Static discharge and Propagation by touching/through media	Falls Striking Cutting Striking Cutting Lumbago	(Hazards related directly to robots) [Movement → Touch on switches or sensors → Faulty movement of robots And Propagation by touching [Static discharge → Electrical noise → Faulty signals in circuits → Abnormal movement of robots And Propagation by touching	Being struck Being crushed Being caught Being cut etc. Being struck etc.

※ also include the meanings of such injury accidents "Getting burned, scalded" "Drowning" and so forth that are caused by falls.

打たれ、切られ災害」などが想定される。

〔機械的エネルギー〕

④型：「作業者がロボットに押される → 作業者がよろめいて周辺の機器・装置に巻き込まれて、打たれたり、切られる災害」などが想定される。

⑤型：「ロボットが周辺の機器・装置に望ましくない干渉を行う → 周辺の機器・装置が突然作動することによる作業者の押し潰され、打たれ、切られ、巻き込まれ災害」などが想定される。

⑥型：「ロボットが周辺の機器・装置に望ましくない干渉を行う → 周辺の機器・装置が不意に作業者を押す → 作業者がよろめいて他の機械の中に巻き込まれて、押し潰されたり、打たれたり、切られる災害」などが想定される。

〔電気的エネルギー〕

④型：「ロボットが作業者を不意に押す → 作業者が

よろめいて高圧活線に触れることによる感電、火傷災害」などが想定される。

⑤型：「ロボットが周辺の機器に望ましくない干渉を行う → 周辺の機器の不意の作動により作業者が押される → 作業者が活線に触れることによる感電・火傷災害」などが想定される。

〔高圧媒体エネルギー〕

⑤型：「ロボットが圧力容器等に望ましくない干渉を行う → 圧力容器の破裂による作業者の破裂災害」が想定される。

〔熱的エネルギー〕

④型：「ロボットが不意に作業者を押す → 作業者がよろめいて、周辺の高温物質と接触することによる火傷災害」などが想定される。

⑤型：「ロボットが高温（低温）物質を処理する周辺の機器・装置に望ましくない干渉を行う → 高温（低

温)物質が跳ね出し、作業者がこれと接触することによる火傷(凍傷)災害」などが想定される。

⑥型:「ロボットが周辺の機器に望ましくない干渉を行う→周辺の機器の不意の作動によって作業者が押される→作業者がよろめいて、周辺の高温(低温)物質と接触することによる火傷(凍傷)災害」などが想定される。

〔放射エネルギー〕

省略

〔腐食(化学的)エネルギー〕

④型:「ロボットが作業者を押す→作業者がよろめいて周辺の腐食性物質と接触することによる火傷災害」などが想定される。

⑤型:「ロボットが腐食性物質処理装置に望ましくない干渉を行う→処理装置の不意の作動などにより、腐食性物質がこぼれ出し作業者と接触することによる火傷災害」などが想定される。

⑥型:省略

〔中毒・疾病発生性エネルギー〕

省略

〔爆発・燃焼エネルギー〕

④型:「ロボットが不意に作業者を押す→作業者がよろめいて燃焼炉中へ転落することによる火傷災害」などが想定される。

⑤型:「ロボットによる電気的または機械的スパーク→爆発・可燃性雰囲気→爆発による災害」などが想定される。

⑥型:「ロボットが周辺の機器に望ましくない干渉を行う→周辺の機器が不意に作動することにより作業者がよろめく→作業者が燃焼炉中へ転落することによる火傷災害」などが想定される。

〔エネルギー欠損型〕

④型:「ロボットが不意に作業者を押す→作業者が水中へ転落することによる溺災害」などが想定される。

⑤型:「ロボットが作業者へのユーティリティ供給装置を破壊する→作業者のユーティリティ欠乏¹⁵⁾による窒息、火傷、凍傷災害」などが想定される。

⑥型:「ロボットが作業者の足場を破壊する→作業者が水中に転落することによる溺災害」などが想定される。

以上、産業用ロボットの潜在危険の同定と想定される災害の型について検討したが、これらをまとめて Table 1 に示すものとする。

15) 作業者のユーティリティとは例えば、潜水作業中における呼吸気や保温用エネルギーなどを示す。

4. ま と め

本報では、新技術を用いた生産システムの安全性を予測評価型方式で行うための第一段階である、システムに生ずる潜在危険の同定を行うために、先ず潜在危険の概念を明確に定義した。この結果、システムの要素間でのエネルギーの直接伝播、エネルギーの直接接触伝播と直接媒体伝播、エネルギー変換、エネルギー転移、エネルギー転移連鎖などの概念が新たに導入され、その定義が与えられた。

以上の潜在危険の概念の明確化により、潜在危険を生ずるエネルギー転移連鎖の型が吟味され、潜在危険が「システム内のある要素が直接関連する潜在危険および間接関連する潜在危険」とにカテゴリー化された。

これによって、システム内の各要素に所有されるエネルギー形式を考慮することにより、システム内のある要素に関連する潜在危険と、それによって発生する想定される災害の型が、効果的に同定され得ることが産業用ロボットの適用例からも判明した。

さらに、本報による潜在危険の同定論が、潜在危険の発生過程に明確な論理基盤を与えているため、これによる同定結果は、安全性評価の第2ステップである。潜在危険発生条件のシステムの解析に対して良い結果を及ぼすであろうと期待される。

参 考 文 献

- 1) 川口, 杉本, 佐藤, 袴塚, 「産業用ロボットの危険性と FTA」産業安全研究所技術資料 RIIS-TN-82-1
- 2) 佐藤, 近藤, 桑川, 杉本, 前, 山野, 「産業災害の数量モデル化——情報量を用いた属性の多変量解析法による危険性評価とその事例研究——」産業安全研究所研究報告 RIIS-RR-24-3
- 3) 佐藤, 深谷, 江川, 「木工機械作業における安全対策の MORT によるシステムの検討」産業安全研究所特別研究報告 SRR-82-1
- 5) 井上編訳「ハインリッヒ産業災害防止論」(1982)海文堂
- 6) W.G. Johnson "MORT Safety Assurance Systems" (1980) MARCEL DEKKER, INC.
- 7) 労働省安全衛生部安全課編「58 年改正安衛則通覧(ロボット条項)」(昭和 58.9)労働基準調査会

(59 年 3 月 29 日受付)

産業安全研究所研究報告 RIIS-RR-32-5

昭和59年10月15日 発行

発行所 労働省産業安全研究所

〒108 東京都港区芝5丁目35番1号

電話 (03) 453-8441(代)

印刷所 新日本印刷株式会社

UDC 614.8 : 007.5 : 007.2 : 005

マイクロエレクトロニクスを用いた自動生産システムの安全性評価 (第1報)

—エネルギー転移連鎖と産業用ロボットの潜在危険—

佐藤吉信 杉本 旭 前 郁夫

産業安全研究所研究報告

RIIS-RR-32-5 (1984)

本報では ME 化自動生産システムの安全性評価の第1ステップに必要とされる, 潜在危険の概念に厳密な定義が与えられ, その同定論が研究された。次に, 代表的な ME 機器である産業用ロボットを例にとり, これを用いた生産システム内で生ずる, 望ましくないエネルギー転移連鎖の型, 潜在危険を生ずるエネルギー形式およびそれによって生ずる災害の型が検討された。そして, ここで得られた研究結果により, 安全性評価の次のステップである, 潜在危険性条件のシステムの解析が効果的に行なわれるであろうと結論された。

(3 Figures, 1 Table)



UDC 614.8 : 007.5 : 007.2 : 005

SAFETY ASSESSMENT OF AUTOMATED PRODUCTION SYSTEMS USING MICROELECTRONICS. (FIRST REPORT)

—Energy-Transfer Chains and Hazards of Industrial Robots—

by Y. SATO, N. SUGIMOTO and I. MAE

Research Report of the Research Institute of Industrial Safety

RIIS-RR-32-5 (1984)

In this report, the hazard identification method and its application to industrial robots are discussed.

The strict definitions for the concepts "hazard" and "the producing process" were given.

And the patterns of the energy transfer chains which result in injury accidents were examined.

Then for the case study of the application of this hazard identification method, the energy forms assumed to be possessed by the robot working systems and to produce the hazards to a person were examined, and types of injury accidents that will be caused in the systems were identified.

It is concluded that the next step of the safety assessment process (:systematical analysis of the hazards) will be effectively derived from the result of the hazard identification using this method.

(3 Figures, 1 Table)

