解説

産業用ロボットとヒューマンエラー

Human Error

長 町 三 生* *広島大学工学部

Mitsuo Nagamachi* *Hiroshima University

1. ヒューマンエラーとは

1.1 逸脱した行為

ヒューマンエラー(Human error)とは, D. Meister[1]によれば「期待される行為からの逸脱」であるという。たとえば, テーブルの上にあるコップからコーヒーを飲もう(期待される行為)として手を伸ばしたところ, 手を差し出す方向と位置が悪かったためにコップをテーブルから落としてしまった(逸脱), という事例は, ヒューマンエラーのわかりやすい例である。ただし, この例でもそうであるが, 落ち着いてコップの方向を見て手を伸ばしたのであれば, ヒューマンエラーは起こらない。この場合, 他の人と話をしている手を伸ばしたとか, 二重課題(dual task)をしている場合とか, 他に気を取られていてコップを視認していなかったといった注意の逸脱があったなどの別の条件が付随している際に, ヒューマンエラーが起こるものである。この意味からいって, Meister の定義は非常にわかりやすい定義であるが, ヒューマンエラー発生の背景を述べず, 結果だけについて述べた定義である, といえる。

1.2 行動形成要因

A. D. Swain[2]らはヒューマンエラーは1つの行動タイプであるとして, ヒューマンエラーに導く要因が背景にあると考え, それを行動形成要因(Performance shaping factor-PSF)と名づけた。彼はPSFには, ①設備・環境に起因するファクター, ②マネジメントに起因するファクター, ③人的要因に起因するファクター, があるという。

たとえば, 製紙工場の紙巻き取り用ローラーで手をはさみもぎとられた災害事故を例として考えよう。ローラーが高速で回転しているので, ローラーに近づくとはね飛ばされて死亡するかもしれないので, ローラー自体は危険な物体(危険要因)である。災害事故が発生するのは高速回転時ではなくて, 巻き取り終了時にローラーが減速して間もな

く停止すると思われる時機であり, 作業員が手を出して人力で早く停めようとする時である。①の設備・環境の危険ファクターは③の人的要因に起因するファクターと結合して, ヒューマンエラーの形成要因と化する。また設備管理や従業員安全管理が不十分なマネジメントは, ヒューマンエラーの形成要因となる。結局, ①②③が相互に関連して, ヒューマンエラーという行動の形成要因となる。

1.3 3つの認知レベル

J. Rasmussen[3]は, ヒューマンエラーは起こったあとでエラーとわかるという特性をもつので定義し難いとしながらも, 「システムの目的が果されない原因のひとつ」と説明している。彼は有名な“意思決定の梯子”理論を展開して, ヒューマンエラーの“3つの認知レベル”仮説をたてている。それは①スキル・ベースの行動, ②ルール・ベースの行動, ③知識ベースの行動, のいずれか, あるいはすべての組合せで生じるヒューマンエラーで解釈できるという。

スキル・ベースの行動では, 適切なスキルをもっていないためとか, 慣れた定型的スキーマが優位となってエラーとなる, といった類のものである。

ルール・ベースの行動では, 一連の行動はルール・ベースから引き出されて発動するものであるが, 行動の途中で別のルールにスイッチングされてエラーとなるケース, が当てはまる。たとえば, 滑走路に近づいたが低すぎて「パワー全開」と機長が命じたが, 副操縦士はパワー全開とともに着陸ギアも引っ込めて胴体着陸となってしまった。離陸時のパワー全開のあとで着陸ギアの引き戻しをするというルールに入ってしまったのである。

外界状況をサインとして認識したオペレータは, 知識ベースとの照合と推論に基づいてメンタルイメージをもち, 意思決定を行うが, サインからあらゆる可能性の分析をすべきなのに, 慣れ親しんだデータだけを取り込みもって別の方法があるのに, 自己の方略に入り込んでしまう。

Rasmussen の認知レベル仮説は世界でもっとも信頼されている理論であり, Rouse, Reason と引き継がれ, Reason はGEMS(A generic error-modelling system)へと展開している[4]。

原稿受付 1995年4月12日

キーワード: Robot Safety, Human Error, Safety Guard Robot Working Area, Human-Robot Interaction

*〒739 広島市鏡山1-4-1

*Kagamiyama, Higashi Hiroshima-shi, Hiroshima

図1 ヒューマンエラーや災害事故が発生する関係図式

図2 人間の三層理論

1.4 三層理論

長町は多くのヒューマンエラーの事例研究から図1のような関連図を作った。ヒューマンエラー発生には、機器・環境側の人間工学的問題、マネジメントの欠陥、人的要因の3つの要因が絡んでいる。とくに人的要因が基盤的要因であり、それは図2のように、認知・価値志向・感情の3層をもっており[5]、認知の不適切さがスキル適用と判断の間違いを起こし、価値志向のまずさが企業内の安全ルールの適用をやめさせ、感情が自己本意な行動を触発する。この三層理論はNKY・IKY理論と名づけられて、日本と米国で知られている。

1.5 理論に基づく分析と対策

これまで述べた欧米のヒューマンエラーの理論が認知心理学の立場で構築されたものであるが、三層理論はとくに感情(Affect)を重視しており、1994年の国際人間工学会の特別講演でReasonがマネジメントと感情をとり入れるように修正すると発言し、やっと感情がヒューマンエラーのひとつの要因として考えられるようになった。

2. 産業用ロボットが関連する死亡事故

2.1 産業用ロボットによる死亡事故事例

世界中で約50万台のロボットが稼動中であり、そのうちの約半数が日本で動いているといわれている。1993年時点で長町が把握しているロボットが絡んだ死亡事故は、米国で2件、日本で17件であり、圧倒的に日本での死亡事故件数が高く、これは産業界へのロボットの普及比率からいっても、日本はロボット災害国といえる。

日本で発生したロボットに絡んだ死亡事故の一覧表が、表1である[6]。このうち、No.4及びNo.7の事例について解説する。

(1) No.4 事例

図3のように、建築材用の壁板(ベニヤ)の加工のために、積み重ねた壁板を2枚ずつ自動的にローラーコンベアに載せる作業を行っていた。バキュームハットつきのオートキャリアがプログラムに準じて移動していたが、不具合があって停止したので、オペレータが近づき、壁板の積み重ね(パイル)がずれているのに気づいてそれを手直ししていた時、不具合がなおってオートキャリアが壁板をつかみ

図3 No.4の事例

にきたのに気づかず、バキュームパッドと積み重ねられた壁板との間に頭部を押しつけられて死亡した。

(2) No.7 事例

FRP材でできた石油採掘用パイプの磨耗を示すディプスゲージ削り出し作業場での死亡事故である。ロボットであるオートローダに対する安全対策として、ロボットの作動区域を柵で囲んでいたが、事故発生当日は加工機の不具合の修理を行っていた。

パイプの磨耗を示す溝を削り出すためのミルスロットの不具合がなおったので、一度試し削りをする事になり、加工機を動かした後、オペレータが通常の状態では柵の外からディプスゲージで溝の深みを測定していた。その時に、柵の中にいた別の作業者が、深みを目視で測定しようと身をのり出した際、オートローダが下降する時であって、その作業者の頭をつかみ死亡させてしまった。

2.2 産業ロボットに関係したヒューマンエラー

表1を簡単に整理してみよう。安全衛生法施行令により産業用ロボットを使用する場合、作業者がロボット稼動中に可動区域に入れないように柵を構じインターロックを取りつけることになっている。ところが、安全柵が設置されていても死亡事故が発生しているのが、問題点なのである。

作業者がロボット可動区域に入る目的として、①教示(ティーチング)の作業及びその結果の確認のため、②作業開始の点検、定期検査のため、③調整、修理及びこれらの結果の確認のため、④運転中のトラブル発生のための応急措置のため、⑤作業者の判断ミス、と分類すると、表1のようにそれぞれの災害事故を分類することができる。

ここで、教示中の災害事故は17件中1件のみ、⑤の判断ミスは17件中3件であり、③及び④は修理もしくはトラブルシューティングが目的なので一緒にすると、17件中13件(77%)と非常に多い。法的に安全対策をしていれ

表1 産業ロボットが関係した死亡災害発生状況

No.	発生日	業 種	発 生 状 況	侵入 目的
1	1978.10.25	建設用機械製造業	コンベア上の加工不良の加工物を両手で持ち上げて除去しようと動かし、ロボット(auto-loader)の作動用のリミットスイッチが作動し、ロボットに背中を押えつけられた。	④
2	1981.7.4	輸送用機械器具製造業	機械の調整後、起動ボタンを押したところ、背後の産業用ロボット(加工材の送給・取り出し用)のマニピュレータがのびて、マニピュレータと機械の間に身体をはさまれた。	③
3	1983.6.22	包装業	新聞用のロール紙の包装の際、小口面への包装紙貼り付けを行う産業用ロボットのアームとフレームの間に頭をはさまれた。	⑤
4	1984.2.24	建築材製品製造業	アームの先にバキュームパッドをもつ産業用ロボット(auto-carrier)が壁板をローラーコンベアに乗せる作業を行っていたが、トラブルが発生し、被災者が調整を行っているところをバキュームパッドと壁板の間にはさまれた。	④
5	1984.4.26	その他の設備工事業	無人搬送を行う産業用ロボットの据え付け調整中、ロボットにエラーが生じ、自動的に原点復帰作動をして作業員をひいてしまった。	①
6	1984.9.5	コンクリート製品製造業	コンクリートブロックを数十個まとめて搬送する産業用ロボットの運転中、ブロックが正しく並んでいなかったのが被災者が修正していたところ、アームが降下してきてブロックとの間にはさまれた。	③
7	1984.11.19	一般機械器具製造業	ツールジョイント加工ラインのミルスロット(溝)加工箇所と同僚がディプスゲージで溝の深さを測定中に被災者が、その様子を見ようとして身をのり出したところ、ローダーハンドが降下して、頭部をはさまれた。	③
8	1985.7.2	自動車・同付属品製造業	クォーターアウターR搬送装置の異常原因を点検するため2階の安全構内に入っていた被災者が、下降してきたドロップリフターとレールの間に頭部をはさまれた。	③
9	1986.10.1	その他の化学工業	自動倉庫のスタッカー式クレーンを手動に切り換えてケーブルの接続チェックを2名で行っているときに端子ボックスのふたが落ちたので、これを拾うため1名が柱と端子ボックスの間に頭をはさまれた。	⑤
10	1987.1.20	自動車・同付属品製造業	自動プレスラインに設けられた自動送給装置のフィードバーに取り付けられたセンサを修理中、そのセンサの動きを確認しようとして稼働中のフィードバーとプレス下金型に設けられているガイドポストの間に頭部をはさまれた。	③
11	1987.10.31	卸売業	自動倉庫のクレーンの走行路において、走行してきたクレーン(棚に荷をのせたパレットを出し入れするクレーン)の荷台と棚の間に胸部をはさまれた。	③
12	1989.7.7	食品製造業	荷取り扱いロボットに付設されているコンベアの荷の流れ調整に際して、ロボットの運転を停止せずにロボットの可動範囲に入り、マニピュレータと荷フィーダの間にはさまれた。	③
13	1989.12.13	自動車製造業	ロボットライン工程のタイヤ取り付け工程においてナット締め付け用ロボットが異常を起こし、作動が止まったため可動範囲内に入って修理していたところ、ロボットが突然動きだしマニピュレータに胸を打たれた。	③
14	1989.9.19	自動車製造業	鋳造ラインにおいて、ワークを搬送するローダーのクランプに何らかの目的で可動区域に入った被災者がはさまれた。	不明
15	1990.6.13	木材木製品製造業	ベルトコンベア上に設けられた不良品取り出し用の産業用ロボットのスイッチを切らずにその調整を行っていた作業者が可動範囲に立ち入り、起動用リミットスイッチに触れたためマニピュレータが作動し、マニピュレータとベルトコンベアの間にはさまれた。	③
16	1990.7.9	印刷業	新聞の印刷工場において、印刷用紙(ロール紙)を自動的に接続するための仕立てを行う“巻取紙仕立装置”のアーム可動範囲に同装置を停止せずに立ち入った被災者が、アームと同装置本体との間に胸部をはさまれた。	③
17	1990.9.20	金属製品製造業	全自動式パイプベンダーの操作者が肉薄鋼管の両曲げ作業に従事中、回転する自動排出装置のアームの可動範囲に立ち入りパイプ送りローラーカバーとの間にはさまれた。	⑤

ば、産業用ロボットが稼働中に作業者がその領域にとび込むことは不可能である。ただし、ロボットに不具合が生じた場合、修理後動かして確認する必要がある、その際に災害事故が発生する可能性が生まれる。

もっと危険であるのは、ロボット用の安全対策が施されていない企業の場合には、工程の中で不具合が発生した時に、作業者がロボットの可動区域内に不用意に入ってしまう、という点である。しかも、より大きな人間工学的な問

図4 オートローダーのハンドで死亡した事例(No.7)

題点は、プロセスの不具合のためにプログラムからの命令を待っているロボットを、作業者は“停止”していると錯誤する点である。この停止は“待ちの停止”と“完了停止”との区別がつかない。経験をもっているオペレータですら、そうなのである。ここに、安全ルールを無視する人間側の感情の働きを考えることが重要になってくる。

3. ヒューマンエラーにおける感情の役割

3.1 再び三層理論

図2の人間の三層理論は、「認知(知恵)」「価値志向」「感情」で構成されていた。認知層が強くて大きければ感情層が小さくなる。つまり逆三角形の構成となり、この場合に Rasmussen のモデルが当てはまる。ところが、感情層が強くて大きいことは、情緒的自己中心的な行動をとりやすく、横着で省略行為が多くなる。この場合には、価値志向も非安全側に向き、認知層もアンバランスな特性をもつ。

ここで解説した No.4, 7 の死亡事故のうち No.4 は、作業者が不具合を発見して不用意にロボットの可動区域に侵入している。“早く手なおしをしなければ”という気持ちとロボットは“止まっている”という情緒的な作用が働いている。こうした感情のために、一時的に危険領域であることを忘れた事例が17件中13件も発生したわけである。外国の災害事例も含めて、労働災害事故を人間工学的に分析すると、感情支配による災害事故が70~80%も占めるほどである。最近発生した名古屋空港における中華航空機の墜落事故を含めて、パイロットミスによる事例の中には、感情支配から次つぎと複合なファクターを誘発している例が多い。

産業ロボットの予見行動について世界で初めて行った長町の実験によると[6]、ほんの3秒もロボットが停止すると、ロボットに近づいても大丈夫という人が非常に多い。二次元の世界で動く工作機械と比べて、ロボットの場合は時間の次元を加えて四次元の世界で動いているものだから、人間には理解できないのかもしれない。

3.2 産業ロボットのヒューマンエラー対策

ロボットは産業場面だけではなくて、ホームロボットの

開発や極限ロボットの導入などを考慮すると、今後人間はロボットと共存する空間が増えてくる。その時代になると、人間とロボットとのハード的コンフリクトはますます増大し、災害事故も増加することになるだろう。ロボットとの安全な共存を実現するには、従来のようなヒューマンエラー対策に依存しては不可能である。つまり、人間に三層理論が当てはまる限り、Rasmussen 型では限界があることになる。しかも、感情支配の対策を立てることは可能ではあるけれども(NKY・IKY)、不特定多数の人間がロボットと共存する限り、感情支配対策にも限界がある。

では、ロボットに関するヒューマンエラー対策とは、安価な知的認識システムをロボット及びロボットの可動領域に組み込むことでヒューマンエラーが発生してもエラーとしないシステムを構築することである。

長町らは、産業用ロボットの可動領域に安価なセンサを床に埋め込むことで、ロボット側が人間の動き・方向・速度を予測するシステムを作成し、シミュレーションにより両者がコンフリクトを起こさないことを確認した[7]。安価で簡単に信頼性が高い認識システムを開発することで、ヒューマンエラーが起こらないフェイル・セーフの世界を創造しなければならない。

参 考 文 献

- [1] D.Meister: "Human Factors, Theory and Practice," John Wiley & Sons, 1971.
- [2] A. D. Swain and H. E. Guttman: "Handbook of Human Reliability Analysis with Emphasis on Nuclear Power Plant Applications," U. S. NRC-NUREG/CR-1278, 1980.
- [3] J. Rasmussen: "Information Processing and Human-Machine Interaction," Elsevier, 1986 (海保博之ほか共訳: インターフェースの認知工学, 啓学出版, 1990年).
- [4] J. Reason: "Human Error," University of Cambridge Press, 1990 (林喜男監訳: "ヒューマンエラー", 海文堂, 1994年).
- [5] 長町三生: "安全管理の科学的知識," 日刊工業新聞社, 1984年.
- [6] 長町三生, 穴山恭廣: "産業用ロボットの人間工学的研究(1)", 人間工学, 19(5), 259-264, 1983.
- [7] M. Nagamachi: "An Attempt of Intelligent Implementation for Robot Safety," Presented at International Conference of Human Factors on Material Handling and Occupational Safety, 1994.

長町三生 (Mitsuo Nagamachi)

1936年2月12日生。1963年広島大学大学院博士課程修了。文学博士。広島大学工学部助手、助教授を経て1978年に教授。感性工学、人間工学、安全工学、ヒューマンインターフェースなどの研究に従事。日本人間工学会理事、電子情報通信学会、計測自動制御学会、日本経営工学会、HFES(米国)などの会員。

(日本ロボット学会正会員)