

人間機械系におけるヒューマンエラー Human Error in Human-Machine System

吉川 榮和 Hidekazu YOSHIKAWA Member
京都大学大学院エネルギー科学研究科

Basic knowledge on human error in human-machine system is first explained from three different views of human error in psychology: behavioristic, cognitive and organizational psychologies. And then, two different countermeasures are discussed for the prevention and mitigation of human error in the human-machine system. One is the improvement of human-machine interface for coping with cognitive error, while the other, enhancement of safety culture in the organization for preventing workers from violating social norm.

Keywords : Human error, Human-machine system, Cognitive error, Violation, Safety management

1. はじめに

科学技術の急速な進展に伴い、人間が社会の福祉利益のために発明した機械システムは益々大規模化・複雑化し、システムの安全管理面で人間機械系でのヒューマンエラーの問題が浮上してきた。とくに原子力、電力系統等社会の基盤を支えるエネルギー技術では、安全と信頼性の維持向上はなによりも優先され、とくにヒューマンエラーを防止する人的要因対策は、今日の世界的な重要課題となっている。何故ヒューマンエラーが問題になるのか、その一例として米国と日本での原子力発電のトラブルでのヒューマンエラー寄与率を表-1に示す¹⁾。

表-1 原子力発電プラントの故障・事故におけるヒューマンエラー寄与率の比較

プラント作業の区別	ヒューマンエラーの寄与率
保守, 校正, 試験	42~65%
通常時運転	8~30%
異常時運転, 事故時運転	1~8%

表-1より、通常時運転でのヒューマンエラーは保守作業時のそれより少ないし、異常時・事故時運転では大変少ない。しかし、プラント保守時のヒューマンエラーは、プラント運転時の操作失敗に繋がるし、まして異常時・事故時の運転失敗の根本原因にもなるこ

とは銘記すべきである。また、例え、事故時・緊急時運転のヒューマンエラーが極めて少ないとしても、もし運転員がそのときに致命的な操作失敗を犯したなら、プラント内部だけでなく周辺環境にも重大な影響が及ぶ可能性がある。だから保守作業にヒューマンエラーが多いことは原子力発電の安全性、信頼性維持の上でゆゆしい問題なのである。

「過ちを犯す、それは人間の性だ」、ということわざもあるように、人のエラーを根絶することは大変難しい。しかし、人間機械系の中でのヒューマンエラーの基本的な特性を理解すれば、ヒューマンエラーの発生を防止し、また、例えヒューマンエラーが起こってもその影響を軽減することができる。

2. ヒューマンエラーの3つの観点

私たちは日常生活で、ヒューマンエラーと言う言葉を様々な見方、意味で用いている。人間を対象にする心理学でも同様である。ここでは人間機械系での議論に限定するため、ヒューマンエラーを「ヒューマンエラーとは、規範としての望ましく正しい行為に照らして、それから逸脱する人間の行為である」と定義しておく。しかし、このように定義しても、心理学の3つの異なった学派、行動主義心理学、認知心理学、組織心理学によって3つの異なったヒューマンエラーの見方がある。

これらの3つの異なったヒューマンエラーの見方

表-2 マンマシンシステムの人間要素とヒューマン・エラーの見方

	行動主義心理学	認知心理学	組織心理学
理論的枠組みと人間行動を見る力点	機械の運動のように、外から観察できる人間の行為だけを対象とする	人の行動の意図を形成する内面過程に注目する	集団としての社会が個々の人の行為に影響を及ぼすことに注目する
ヒューマンエラーの視点	観察できる人間の行為を基準となる正しい行為に比較し、成功しているか、失敗しているかに分類する	何故そうしようと思いついたかに注目する	実際の人の行為に影響を与える動機に注目する
ヒューマンエラーの分類	なすべきことをしない（オMISSION）と余計なことをする（COMMISSION）に分ける	意図の形成は正しかったが実際は思ったようにしていない（スリップとラプス）と意図の形成が誤っていた（ミステーク）に分ける	情報処理上の誤り（過誤）と良くない動機による行為（違反）に分ける

を、表-2に対比する。この表では、人間の行動を見る理論的枠組みと人間の行動を取り扱う上での力点、ヒューマンエラーを見る視点とそれに基づくヒューマンエラーの分類について、3つの心理学の流派を対比している。

3. 人間の行動モードとその特性

機械を操作する人間の行動モードは、ヒューマンエラーの形式に大きな影響を与えるが、人間の行動モードの見方も、表-1に示したヒューマンエラーの見方の相違で異なる。認知心理学では、タスクの習熟度によって異なる内面的な認知処理のモードに注目し、一方、組織心理学では、人間の行動を制御するモードが人間を取り巻く環境・文脈によって変えられることに注目する。以下、双方の人間の行動モードの見方を個々に説明する。

3-1) 運転員の3つの認知行動モード

インタフェースにおける人間の認知行動は、操作者の習熟度によってその認知行動モードが異なり、それに応じてヒューマン・エラーの特性も変わる。J.Rasmussenは、「習熟度の相違でインタフェースの提示情報の見え方がsignal, sign, symbolの3つのいずれかとして知覚され、その後の認知行動は知覚のパターンに応じて行動モードが異なる」として、無意識的な反射行動であるスキルベース行動、意識的だがパターン化されたルールベース行動、意識的で抽象的論理的思考を行う知識ベース行動の3つに分類した^[2]。図-1にJ.Rasmussenによる運転員の3つの行動モデルを示す。

ReasonとEmbreyは、この行動モデルをもとに時間的効果を考慮した定性的な運転員行動モデル（GEMSダイナミクスモデル）を提起し、その中で運転員の犯

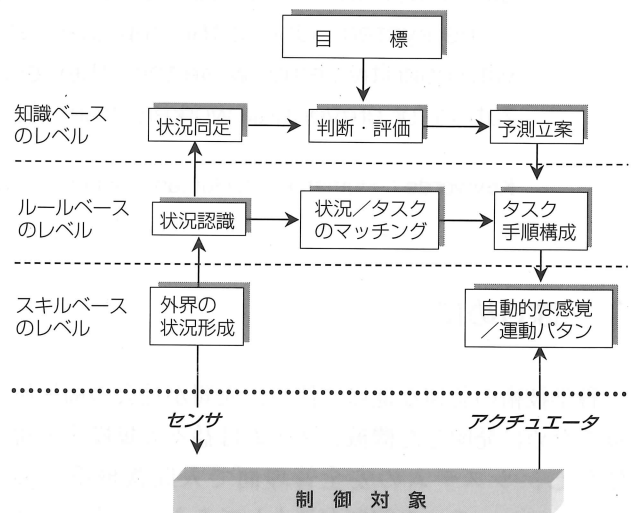


図-1 運転員の3つの行動モード

しうるヒューマン・エラーの形態を、①通常監視でのスキルベース過誤（スリップ）、②異常時対応でのルールベース、知識ベースの過誤（ミステーク）に分類し、3つの行動モードの特性を表-3のように示している^[3]。

3-2) 行動の制御モード

「急いでは何をし損じる」ということわざがある。同じことをするのも、時間が十分あればきちんとできて時間がないと慌ててしまう。タスクを実行する際の時間的な余裕度が最も運転員の行動に影響を与える。しかし時間的余裕がすべてではない。Hollnagelは、時間的余裕以外の要因として、人的タスクを取り巻く要求と負荷、物理的環境、組織・社会環境などを挙げ、これらの文脈によって人が行動する際の制御モードが変わるとして、戦略的制御モード、戦術的制御モード、機会主義的モード、混乱状態モード

表-3 3つの行動モードの特性

	スキルベース行動	ルールベース行動	知識ベース行動
行動タイプ	ルーチン行動	問題解決行動	
	なじみのある状況 滑らかで労力がかからない		なじみのない新規な状況 遅くて断続的
入力となる情報	連続的なSignalとして使用	行動プランを変更しないし活性化させるSignとして使用	メンタルモデルを駆使するSymbolとして使用
注意の焦点	目下のタスク以外のもの		関与している問題に向いている
制御のモード	主として並列的な自動処理 (スキーマ) (内蔵ルール)		資源制約的で意識的な直列処理
エラータイプの予測性	大抵予測可能、強い習慣性の侵入による strong-but-wrong エラー (行為) (ルール)		変動的 初心者のエラー
ストレスに対する感度	低い	中程度	高い
エラー発生時の潜在的機会数と実際の生起回数との比	実際の生起回数の絶対数は大きい。しかし、エラーの潜在的機会数との比は小さい。		絶対数は小さい。しかし、比で見ると大きい。
状況要因の影響	低いか中程度 内在的要因(以前の使用頻度)が支配的		外的要因が支配的
エラー生起の引き金となる外界の変化との関連性	外界変化に関する知識が適切なタイミングで活性化されない	想定される外界変化がいつどのように起こるかの知識が欠如している	外界変化に関する知識がないか、想定していない
検出の容易さ	大抵迅速で効率的に検出できる		困難。外からの介入によって検出されることが多い

表-4 行動の制御モードとその特性

制御モード	戦略的制御	戦術的制御		機会主義的	混乱状態
意味	全体状況を把握し将来目標を含めて長期的視野にたつて行為が選択されている	何らかの計画、手順、規則に従って堅実に行動している状態		状況を理解する時間の不足などで目を引くサインや経験的なヒューリスティックによる行動	パニック状態の人の行動で、行き当たりばったりの状態
		意識的	無意識的		
主観的な余裕時間	十分ある	少ないが十分	十分ある	短いか不十分	極めて少ない
状況へのなじみ度	ルーチンないし新規	ルーチンないし重要なタスク	非常になじみがあるかルーチン的で退屈	ややなじみがあるだけでよくわかっているわけではない	状況が皆目認識されていない
注意のレベル	中-高	中-高	低	高	注意過剰
目標の数	数個	1,2が競合	1,2が競合	数個に限定	1つ
次の行為の選択	予測ベース	立案ベース	ルーチンの立案ベース	連想ベース	ランダム
結果の評価	洗練されている	正常で詳細にわたる	正常だがおざなり	具体的	状況が皆目認識されていない

に分類している^[4]。これらの制御モードの意味と文脈の特性との関係を表-4に示す。

4. ヒューマンエラーの図式

4-1) 観察されるヒューマンエラーを内面的な認知処理機構から説明する分類図式

行動主義心理学と認知心理学のヒューマンエラーの見方を組み合わせると、ヒューマン・エラーには、①エラーの原因、②エラーを犯す人の行為を事象として捉える、③観察できる失敗という形での行為の結果に

注目する、の3つの側面がある。これは時間的な因果関係から見たものだが、とくに人間の行為をその結果からみると、正しく実行された行為、そうでない行為、の二つに分けられる。そして後者の行為は時間的に正しくない実行結果が直ちに顕在するか、あるいは潜在化するかで、さらに①エラーが検出されて回復された行為、②エラーが検出されても許容される行為、③エラーが検出されて回復されない行為、④エラーが検出されない行為、に分けられる。

以上のような目に見える結果としてのエラーをもたらす人の、内面的な行動機構やそれに影響を与える環

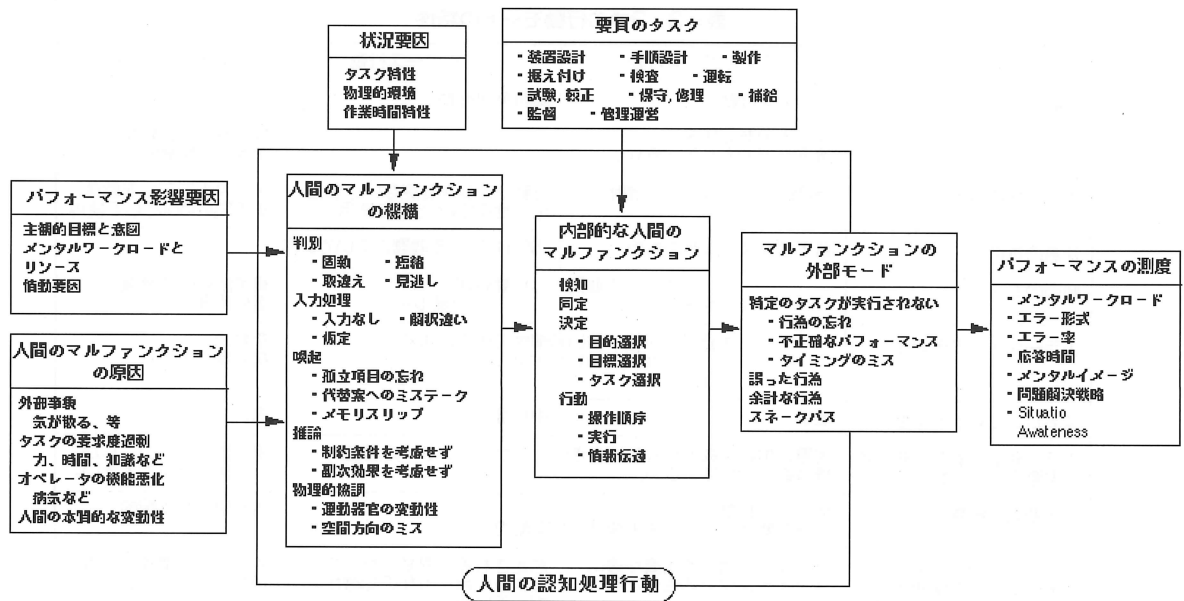


図-2 ヒューマン・エラーの構造の図式

境要因に着目して、ヒューマン・エラーの構造を図式化すると、図-2のようになる。なお、図-2はもとはJ.Rasmussenの提起した図式^[2]に、筆者が人間のパフォーマンスを計測し、分析するための測度を付加したものである。図-2には顕在化したエラーの表面形態、内面の認知処理段階でのマルファンクションの機構、それらに影響を及ぼす諸要因を整理するとともに、インタフェースの性能評価に多用される代表的な人的要因の指標を示した。

4-2) システム安全から見たヒューマンエラーの分類図式

システムの安全管理から眺めると、4-1) での外面的な観察から、オMISSIONないしCOMMISSIONに分類するヒューマンエラーを、人の内面的な認知処理の誤り機構に帰結させる見方より、むしろ人によって結果としてシステムに不安全な行為が加えられたか否か、それは意図的に行っているのか、いやそうではなくて、自分はちゃんとするつもりだったのに結果として不安全な行為をしてしまっていたのか、を考える方が大事である。

組織心理学者のJ.Reasonは、4-1) での分類では、人が不安全な行為を行う上での動機の良し悪しまでは考えていない、と考えた。そして、不安全な行為を意図的行為か、意図しない行為かの観点で分類すべきと考

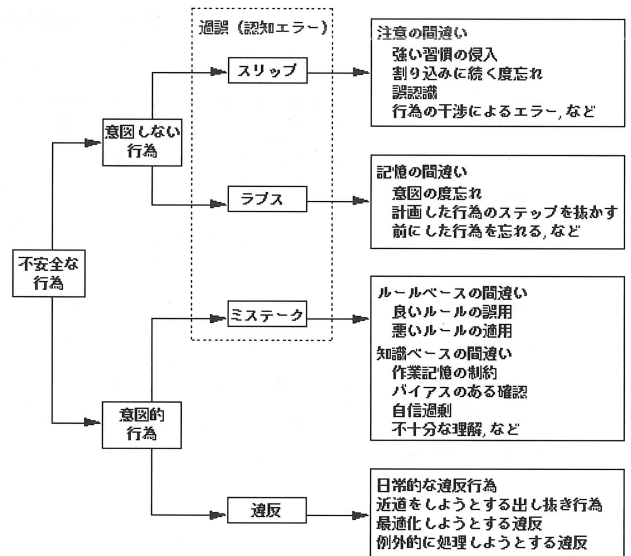


図-3 不安全な行為の分類

えて、図-3のようなヒューマンエラーの分類図式を提唱している^[5]。図-3では、不安全な行為を、意図しない行為、意図的行為に分けて、4-1) でのヒューマンエラーの分類である、スリップとラプスは、意図しない行為だが、ミステークは意図的行為だ、としている。そして、これらは過誤であり、認知エラー、すなわち内面的な情報処理過程の誤りであって、社会規範に違反する積もりでやったわけではない。一方、意図

的行為として、人は社会規範に反することを知りながら、わざととする違反行為も、社会的文脈では随分行われている、と考えた。

なお、図-3の右側の4つのボックスには、4つのヒューマンエラーである、スリップ、ラプス、ミステーク、違反の具体的な行いを例示している。

さらにReasonは、過誤をもたらす状況要因と、違反をもたらす状況とを、それぞれ表-5と表-6にリストアップしている。表-5での各項目の括弧内の数字は、それぞれの状況要因がない場合のヒューマンエラー率を増加させる乗数を示したものである。つまりこの表中の上位の状況要因が多くあればあるほど、それだけヒューマンエラーを起こしやすい。これらの過誤は、認知エラーであるから、基本的にはインタフェースの改善でヒューマンエラー対策を講じることが可能である。

一方、表-6での各項目は、英国での各種産業事故や交通事故の統計から状況要因として抽出されたものであり、順序には意味はない、としている。Reasonは、意図的行為として犯罪的意図で行う行為までは含めていないが、意図的行為には違反を入れている。違反というからには社会的規範の存在を仮定しているのである。そしてとくに悪いと知りながら違反を犯す人の性向にもメスを入れている。勿論、その裏には、社会的規範そのものにも、人に違反を強いるだけの要因がありうることを示唆している。

表-5 過誤をもたらす条件

<ul style="list-style-type: none"> ・習熟不足 (×17) ・時間切迫 (×11) ・S/N比小 (×10) ・貧弱なインタフェース (×8) ・設計者とユーザとの不調和 (×8) ・取り返し、やり直しがきかないこと (×8) ・情報過多 (×6) ・正反対に伝達する (×5) ・リスクの過誤 (×4) ・フィードバックに乏しいこと (×4) ・経験不足 (×3) ・指示、手順の不徹底 (×3) ・不十分なチェック (×3) ・教育上の不調和 (×2) ・男性的文化/危険なインセンティブ (×2) ・睡眠パタンの妨害 (×1.6) ・単調、退屈 (×1.1) <p>(括弧内の数字は、最悪のケースでの正規過誤率への乗数値)</p>
--

表-6 違反をもたらす条件

<ul style="list-style-type: none"> ・組織的な安全文化の明白な欠如 ・労働者と経営者間の敵対的關係 ・モラルの低下 ・貧弱な監督とチェック ・違反を大目にみる作業グループの規範 ・リスクの誤認識 ・管理上の手当てと配慮の欠如 ・労働に対する熱意や誇りに乏しい ・悪い結果にはならないという信念 ・自己尊重が低い ・身についたどうしようもなさ ・規則を曲げることを許す風土 ・明確さに欠けるか、明らかに無意味な規則 ・年齢、性 (若者は違反しがち) <p>(交通事故調査では、過誤より違反の方が事故に結びつきやすい)</p>
--

4. ヒューマン・エラー対策

ヒューマン・エラーを含め一般的にシステムの安全対策を考える場合、システムの状態を望ましくない状況に導く前駆事象 (Carrier) に対して、事前予防のための Preventive barrier と、例えトラブルが発生してもそれが重大な事故へ発展するのを防止するための Protective barrier の二つの防護策が考えられる。Hollnagelはこのような防護策を、①物理的防壁 (壁、フェンス、安全ベルト、安全帽など) ②機能的防壁 (ブレーキ、インターロック、パスワード、距離を置いて隔離、など) ③シンボリック防壁 (信号、警報、ラベル、指示、手順書、許可証など) ④抽象的防壁 (規則、禁止、法律など) の4つに分類している^[6]。そして、これらを効率性、頑健度、導入までの時間、必要な資源量、安全上重要なタスクへの適用性、効果立証の評価のしやすさの観点から分類すると表-7のよう

表-7 システム安全への4つの防壁と特性

	物理的防壁	機能的防壁	シンボリック防壁	抽象的防壁
効率性	高	中-高	低-中	低
頑健度	中-高	中-高	低-中	低
導入までの時間	長	長	中	短
必要な資源量	中-高	中-高	中	低
安全上重要なタスクへの適用性	低	中	低	低
効果立証の評価のしやすさ	容易	中	容易	困難

になる、としている。この表-7より、機能的防壁以外は、人間機械系の中で安全上重要でクリティカルな人的タスクへの適用性は低い。とくに規則、禁止、法律などの導入は、効率性、頑健性、必要な資源量の点で効果が薄く、導入までの時間は短くてもその効果を立証することは難しい。

以上ではシステム安全対策全体として分類したが、とくにヒューマン・エラー対策のあり方についてはJ.Reasonによる不安全な行為の分類をもとに考えることが重要である。図-3ではスリップ、ラプス、ミステークのような認知エラーは過誤に一括しており、違反とは区別している。過誤はおもに人の行う情報処理上の問題で、個人レベルで理解可能であり、その対策は、再訓練、作業環境の再設計、記憶の支援、良質な情報提供、知識の向上のようなインタフェースの改善が中心である。一方、違反はおもに人の行動の動機の問題であり、それは社会的文脈の中でのみ理解する。J.Reasonは、安全作業の規範に対して、それに違反する行為の及ぼす悪影響を考えてもいないし、予期もしていないで巧く立ち回る行為が多いため、その対策には、態度の変容、信念の変容、規範の変容、士気の変容、文化の改善、つまり安全文化を醸成することの重要性を指摘している^[5]。

6. 結び

本稿では、人間機械系の中でのヒューマンエラーについて、その心理学的理論の系譜とそれに基づくヒューマンエラー対策の基本的な知識を概説した。なお、違反行為に関わる対策としての、安全文化の醸成は如何にあるべきか、つまり組織事故への対策については話が長くなるので、Reasonによる成書^[7]を挙げるに留める。

発展する現代技術社会の歴史的傾向として、1回の重大事故発生の背景に29回の軽微な事故、そして約300回のニアミス事故があるという有名なハインリッヒの法則がある。機械システムの運用では、機械は運転期間を経るに従い、部品が摩耗してくるし、人間はときとして操作を誤るのは避けがたい。その現実を理解し、絶えず現実に学ぶ創造的取り組みが求められる。それは、システムの運転保守に関わるすべての人々が知恵を集め、常に人間機械系全体としての品質向上を図る日常活動にかかっている。

参考文献

- [1] J.Reason & A. Hobbs: Managing Maintenance Error A Practical Guide, Ashgate (2003) Table 1.1 in Page 1.
- [2] J.Rasmussen: Information Processing and Human-Machine Interaction, An Approach to Cognitive Engineering, North-Holland (1986).
- [3] D.E.Embrey & J.Reason: Proc. ANS Int'l Topical Mtg on Advances in Human Factors in Nuclear Power Systems, Knoxville, (1986), p.292.
- [4] E.Hollnagel: Human Reliability Analysis: Context and Control, Academic Press, London (1993).
- [5] J.Reason: Human Error, Cambridge University Press (1990).
- [6] E.Hollnagel: Accident and Barriers, In: ..J.M. Hoc, P.Millot, E. Hollnagel, & P.C. Cacciabue (Eds), Proc. Les Vallenciennes, 28, Presses Universitaires Vallenciennes (1999), pp.175-182.
- [7] J. Reason: Managing the Risk of Organizational Accidents, Ashgate (1997).

(平成18年2月10日)