

## “M-SHEL” 視点によるシステム安全

○渡辺 顯 (日本ヒューマンファクター研究所)

渡利邦宏 (日本ヒューマンファクター研究所)

### 1. まえがき

全てのシステムは、企画・設計から製作、運用、整備・保守、さらにリサイクル・廃棄までの段階を経たシステムライフサイクルがあり、どの段階でも人間が関与している。完全自動化と言われるシステムでも、その設計や運用時の作動開始・停止には人間が関与する。

システムが故障無く作動すれば良いが、設計不良、整備不良、誤操作、経年変化などの理由で、廃棄に至る迄に、多くの場合、なにがしかのシステム不具合が起きてくる。その不具合が、人的にも物的にも、被害・損害を与えることが無いように、事前に種々の対策を取ることは不可欠である。

システムライフサイクルにも関与する「人間の行動特性」を良く表すものとして M-SHEL モデルがある。本報告では、この M-SHEL モデル視点より工学システムの安全性確保について検討した概要を述べる。

### 2. システムとは

「システム」を名称に組み込んだ例としては、機械システム、情報システム、社会システム、宇宙システム、など非常に多くある。一方、これと似た名称として「組織」があり、会社組織、官僚組織、プロジェクト組織、細胞組織、鉱物組織など、こちらも種々ある。

システムと組織の違いを、人間との関連から見た場合、鉱物組織は別として、概略次のように仕分けることができる。

#### ○システム

人間が(思想的にも物理的にも)構想/構築した集合体

#### ○組織

人間(もしくは人間の一部分)が内在する集合体

システムには、人間も構成機能要素として含まれる場合もあるが、多くは、組織とは違い、人間はシステムを利用する側として振る舞う。

システムを機能的な面で定義すると、以下に示す4条件を満たすものとなる<sup>1)</sup>。

#### ○システム成因の条件

第1条件：目的を持っている。

第2条件：2つ以上の要素からなる。

第3条件：要素は部分的あるいは全体的に結合しあっている。

第4条件：時間的に作動している。

### 3. システムライフサイクルと人間の関与

システムは、図1に示すように、人間により設計され、製造、設置を経て、運用され、目的

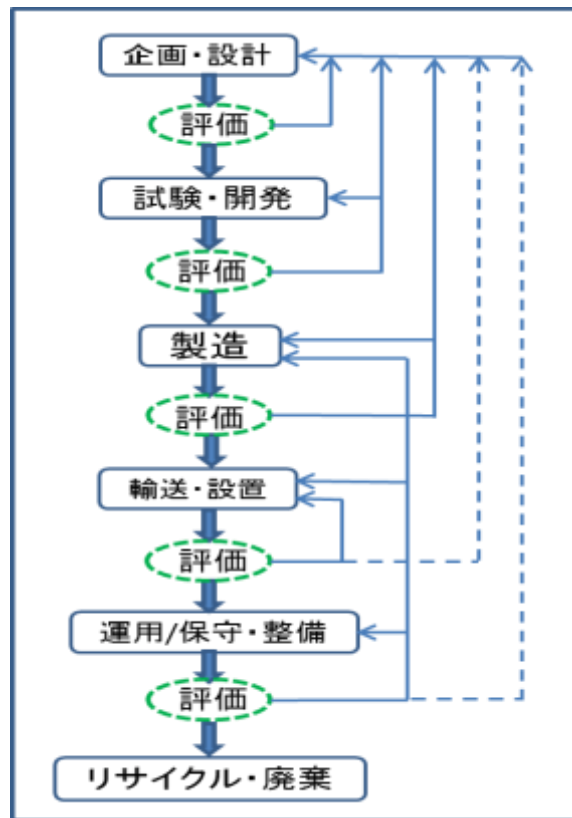


図1 システムのライフサイクル過程

の機能を発揮して利用される。効率よくかつ安全に利用するためには、保守や整備が欠かせない。古くなり、整備しても故障が増え、機能も陳腐化してくると、リサイクルが検討され、終焉として廃棄される。このどの過程においても人間が関与し、人間による評価があり、不具合が見つかりと通常は前段にフィードバックされ、致命的であると設計に戻されたり、場合により廃棄となる。評価内容としては生産性や運用効率の向上、安全性確保・向上が主要な課題である。

#### 4. 人間の資質と行動および結果

システムライフサイクルに関与する人間の行動特性を図2に示す。システムを利用した作業では、自身が本来保有する資質のほか、行動時の意識水準や環境などの様々な行動形成因子の影響を受けている。

人間（ヒューマン）は行動を起こすとヒューマンエラーを起こす可能性はあるが、それでも通常は本来の目的に対応する成果を得ている。偶然、期待に反した結果が発見や発明に繋がることもあるが、懸念する状況も生じ、不幸にしてアクシデント(事故)になる場合もある。この不安全な事象を防ぐのは人間の役割である。図1に示すシステムライフサイクルの各過程では、

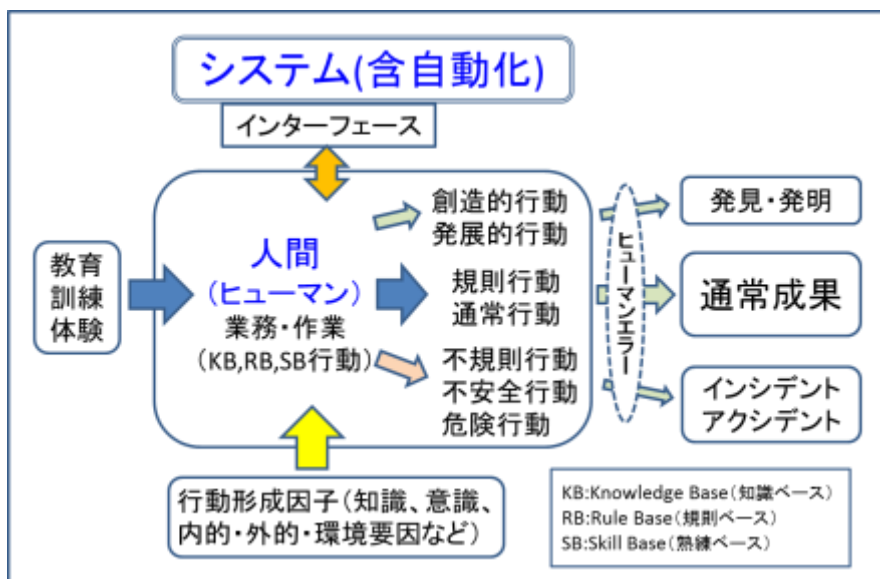


図2 人間の行動特性と結果

評価段階を含めて、図2に示す人間の行動特性を有する人間が関与するが、インシデントや事故を防ぐシステム構築・運用では人間の特性を踏まえることが重要である。この人間行動を良く捉えたものとしてM-SHELモデルがある。

#### 5. M-SHELモデルとその視点

ICAO(国際民間航空機関)は1975年にヒューマンファクターの概念を示すモデルとしてSHELモデルを採択し<sup>2)</sup>、それにマネジメントを加えたm-SHELモデルが1994年に東京電力から提唱された<sup>3)</sup>。さらにこれを一部改変し“M-SHEL”モデル<sup>4)</sup>として1998年に日本ヒューマンファクター研究所が構築した。図3にそのモデルを示す。



図3 M-SHELモデル

各要素記号のM, S, H, E, Lの意味を表1に示す。

表1 M-SHEL要素

<b>M</b> : Management
組織、運営など
<b>S</b> : Software
マニュアル、情報など
<b>H</b> : Hardware
機器、装置、システムなど
<b>E</b> : Environment
環境、風土など
<b>L(周囲)</b> : Liveware
同僚、関係者、相手など
<b>L(中央)</b> : Liveware
本人、当事者

中心のLは、通常、行動(作業)している当事者をさし、外周の要素とは波形面で接している。

例えば、環境Eとしては、室内か戸外か、暑いか寒いか、明るいか暗いかなど、その時々で変化し、本人Lも体調などで変化する。この時の各要素間の整合の様子を波形が示している。不整合があるとヒューマンエラーを発生する場合がある。

M-SHEL モデルは応用範囲が非常に広く、最大に素晴らしい点は、人間の行動を的確にとらえる視点が含まれていることである。人間が行動している時は、自分の周囲の状況を絶えず考慮している。通常の行動であれ、非常時の行動であれ、行動する自分(当事者L)は、その時に、どの様なソフトウェア (S)、ハードウェア (H) を利用しているか、またどの様な環境 (E) で誰 (L) と行動しているか、さらに、その行動に関連する組織の管理 (M) がどの様であるかなどを考慮している。その要素間の関連状況の例を表2に示す。

表2 M-SHEL 各要素相互間の内容例

M	目的達成に相応しい管理体制か。
L-S	無理なく効率的で安全な手順か。
L-H	操作しやすい装置か。
L-E	作業しやすい環境か。
L-L	コミュニケーションは良好か。
L	自身の教育・訓練は十分か。

この M-SHEL モデルは、従来、事故を含む不具合事象の主要分析法として広く利用され<sup>4) 5)</sup>、システム利用時に事故が起きると、まず調査・分析が行われ、このモデルも利用されて、直接原因、間接要因(背後要因)、さらには組織管理要因が検討され、効果的となる対策が立てられる<sup>6)</sup>。

### 6. M-SHEL 視点によるシステム安全

システムの安全対策<sup>7), 8)</sup>は、システム自体の安全性を確保し、運用することは当然である。

システムのライフサイクルと人間との関係は、図1にみるように、どの段階でも人間が関与していることが分かる。このため、安全性確保の点から、人間中心の視点が重要となり、多くの検討課題が考えられる。

M-SHEL モデルは人間中心の視点を含んでおり、システムの設計から廃棄までの各過程での安全性に関する検討課題を、このモデルの視点から検討することは非常に有効となる。工学システムに関して、M-SHEL 視点による、主な安全検討課

表3 各過程でのシステム安全に対するM-SHEL視点 例

システムライフ過程	M(管理)	L-S(ソフト)	L-H(ハード)	L-E(環境)	L-L(関係者)	L(当人)
企画・設計	・企業安全方針 ・安全要件(法基準、顧客安全仕様) ・安全対策費 ・安全対応と納期 ・全過程の安全課題 ・過去の不安全事象 ・入札、談合	・本質安全、機能安全 ・安全対策マニュアル ・全過程での安全指標状況 ・安全性規格	・安全装置、自動化 ・フェールセーフ構造 ・フルブルー構造 ・アフォーダンス ・発熱、振動、ノイズ等の考慮	・環境危険要因対策 ・バリアフリー ・温湿度、照明、耐熱 ・振動、音響等対策	・人間中心設計 ・ユニバーサルデザイン ・運用、保守時の必要人数 ・保守員の質 ・整備員の質	・使用者特質想定(性別、身体特性、経験年数など) ・使用形態(単独/複数)使用 ・ヒューマンエラー
試験・開発	・開発時の安全対策検討	・安全操作	・安全材料・器具	・不具合発生時の安全対策		・安全知識
製造	・安全作業の徹底 ・安全対策コスト ・納期	・製造時安全対策 ・製造物安全対策 ・品質	・材料、発熱 ・安全試験	・作業場 ・設置場所の安全性	・製造、運用時人数、経験	・作業員、利用者(単独・複数)
輸送・設置		・運搬・輸送方法 ・設置時安全確保	・輸送手段安全性 ・設置工具の安全性	・輸送経路 ・設置場所、配送法 ・設置時間(夜間)	・設置員人数	・安全に対する技量 ・経験
運用	・安全コスト ・リスクマネジメント ・安全保険 ・アフターサービス	・運用安全マニュアル ・安全操作 ・リスク評価 ・故障率	・危険箇所 ・点検箇所 ・点検器具等	・ハザードマップ ・環境状況	・作業チーム構成	・単独/複数作業 ・ヒューマンエラー ・リスクテイキング
保守・整備	・保守・整備体制	・設計図と実システム照合 ・安全分析	・定期整備 ・点検器具 ・予備部品	・使用環境保全	・整備体制人数 ・整備カレベル	・作業員自身の安全対策・意識
リサイクル・廃棄	・関連法規 ・廃棄コスト	・関連法規適合性	・廃棄運搬	・廃棄場所	・処理人数	
法的規則など	・労働安全衛生法 ・ISO安全規則 ・リスクアセスメント	・各分野の安全規則 ・安全指標 ・IEC 61508等	・ISO/IEC Guide 51等	・ISO14001等	・チームマネジメントスキル	

題の例を表3に示す。各 M-SHEL 項目内の検討課題は特に斬新なものでは無いが、各過程で関与する人間は、自身がどの業務(例えば設計、運用)を行っているか踏まえて、その横の列に記されている課題を考慮して安全対策を検討・実施する。

各段階での主要注視点を次に示す。

- ① 絶えず後段の状況を推測して安全対策を施す。
- ② システムは多くの要素の結合で有り、この構成を全て分かるのは設計段階であり、この段階は後段の運用状況などを考慮して安全性を最大限に確保することが重要である。
- ③ 製造段階では、効率よく組み上げること以前に、利用時の安全性確保のため、保守や整備効率を上げ易い構造を重視する。各要素の故障が他要素への波及しない構造や材料利用を考慮する。
- ④ 設置では、保守・整備の容易性を重視する。
- ⑤ 運用／保守・整備段階では、内部構造は分かっても、システムが複雑になると、奥深い要素の点検は容易ではないため、視点が多くなる。
- ⑥ 多くのシステムは複雑で、かつ作動時の内部状況は主要項目のみの表示が多い。安全性確保は作動状態の常時監視で、異常もしくは緊急状況への変動兆候を早期に知り、当該要素の停止が第一に検討されよう。
- ⑦ 全ての段階で多くの人間が関与するが、安全に対するスキル向上と安全なチーム作業が不可欠である。

## 7. あとがき

本報告では、システムの企画・設計から製造、運用／保守・整備、さらには廃棄までの全ての段階において、人間中心での安全性を確保・向上させるために、M-SHEL モデル視点からの検討が有効であることを提案した。ただし、システムは多種多様であるため、全てのシステムの安全性確保・向上に同一手法で対応できるわけでは無い。

多くの不具合は運用段階で表面化するので、この段階での安全視点が多くなるが、この段階では時間的ゆとりが少ないため、システム安全対策と

しては、特に設計段階が重要と見る。後段の状況を良く踏まえて設計し、運用時に多く起こる不具合を減少させることが重要である。表3のような課題を検討し対策をとれば、安全性はかなりの確率で向上すると考える。ただし、表に示す課題は例であり、実際にはそのシステムに精通している人間が検討課題を抽出することが大切である。

組織安全では内部の人間の行動が大きな視点となるが、工学システムは、多くの場合、人間が外部から関与するとみて良い。システムライフサイクルのどの段階に関しても、M-SHEL モデル視点から検討することで、システム安全に関する考慮点、検討課題の抜けが少なく、安心して品質の良いシステム構築が可能となる。これより、そのシステムを安全で長期の利用が可能となろう。

なお、M-SHEL モデルは、今後の主要な根本分析法である R C A (Root Cause Analysis) でも重視され、システム安全対策同様に、重要な役割を果たすとされている。

## 参考文献

- (1) 渡辺茂編著：システムとはなにか、共立出版、1974
- (2) F.H.ホーキンス著、黒田監修：ヒューマンファクター、成山堂、1992
- (3) 東京電力ヒューマンファクター研究室：Human Factors TOPICS, 1994.
- (4) 日本ヒューマンファクター研究所：品質とヒューマンファクター、日科技連、2012
- (5) 日本ヒューマンファクター研究所：ホームページ、<http://www.jihf.com/>
- (6) 国交省：事故の再発防止に資する事故調査のあり方、Web 資料、2012
- (7) R.A.Stephans、System Safety for the 21<sup>st</sup> Century、John Wiley & Sons、2004
- (8) 門脇、他 4 名：安全工学最前線 -システム安全の考え方-、日本機械学会（編）、共立出版、2011