

Society 5.0 時代の工学システムに關与する人の安全性に関する一考察

○渡辺 顯（日本ヒューマンファクター研究所）

本江 彰（日本ヒューマンファクター研究所）

1. はじめに

新しい時代の社会構想 Society5.0 が内閣府を中心に検討・公表され、我が国の多分野について、AI や IoT/IOE、ICT を有効に活用した数十年後の未来社会のあり方を想定して示している¹⁾。その内容はまだ変化しており検討中と言えよう。同様の構想は、特に工業社会の変遷としてドイツなど欧米でも報告されている²⁾。しかし、どの構想も安全・安心の面からの検討、特にシステムに關与する人間の安全性に注視した検討報告はあまり多く見られない。

本報告は、Society5.0 時代に工学システムの設計、製造、運用・整備などで働く人々について、環境変容（工学システム新技術や少子高齢化、外国人労働者の増加などその作業形態の変容）要因および、作業する人間の変容（人の安全意識、新技術への対応など）要因を考慮し、その安全性に關してヒューマンファクターの視点（M-SEHL 視点活用、付録参照）より検討した一考察を示す。

2. Society 各時代の状況

2.1 各時代の状況

我が国は、狩猟時代、農耕時代を経て、工業時代さらに情報時代へと変遷してきているとされ、その後、さらに工業・情報の高機能化が進み、利用形態も進展し、超スマート時代になるとされる。

各時代の形態、発祥時期、継続期間、その時代の人間の状況は表1のように見られ、Society5.0 新時代の継続期間は不明であるが、ここでは数十年を想定する。このような短期間では人間の進化はほとんど無いと見るが、新技術への対応には人間の意識および行動に変容はあると考える。

2.2 Society5.0 新時代の工学システムの状況

総務省、文科省、経産省が連携して2016年に設立した「人工知能技術戦略会議」において、AI

を主要要素とした将来の社会システム構想を描いている³⁾。Society5.0 が何年後からであるかは明確には示されていないが、技術的システムの変遷は早いと見て、ここでは近未来である2025年頃以降を想定する。

IoT/E は、コンピュータ機器に加え、電化製品、自動車、医療機器など、多くの工学システムがインターネットに接続され、さらに、「ヒト」「プロセス」「データ」「場所」など多種多様なものを接続させることを前提とし、通信速度が現在の100倍以上とされる5G高速通信網も駆使して相互に情報をやり取りするシステムを描いている。これにより、より価値のある、便利なサービス形態が可能になるとされる。

利用するデータに關しては、可能な範囲のデータを収集し、ビッグデータとして、AIによりその分析・評価し、現状に利用可能な方策を見出して、データ駆動型の制御システムが実行される。この変遷は、現状でも急速に進展しているが、利用する状況を踏まえないと、安心して利用することにならない。また、このような工学システムの製作側、利用側とも人間で有り、この作業時の安全性を確保しての活用が重要である。

さらに、信頼性向上、セキュリティ強化、安全性強化が同時に進展しないと利用も進まない。自動化、無人化であっても、緊急時や故障時などでは人間が対応するので、人間の特性をよく知った上でシステムを構築することが安全上重要である。

3. Society5.0 時代の主要技法と

その工学システム安全課題

新時代の主要工学技術としてシステムの新技術の特徴は次のものがある。

(1) AI とビッグデータ

AI は、深層学習による推論機能、知能化が進展し、工学システムの設計、製造、運用などで

表1 各Society の状況

時代	形態	発祥時期	継続期間	人間の作業、機能、行動
Society1.0	狩猟時代	紀元前2万年前	～1万年	狩り、食希求、力作業
Society2.0	農耕時代	紀元前1万年前	～1万年	耕作、頭脳利用、集団・チームワーク
Society3.0	工業時代	西暦1800年～	～200年	創造・考案、機械化、貨幣、分業
Society4.0	情報時代	西暦1980年～	～50年	知能化、知識、深層学習、システム共存
Society5.0	超スマート時代	2025年以降?	～**年	高度知能化、グローバル化、システム依存

さらに活用され、主役的な面が増えよう。このAIを支えるビッグデータは、その収集技術が進み、文字データ以外、画像データ、五感データセンサーが多用され、かつセンサーも多地点で利用されよう。AIの利便性が進む中、利用するデータの信頼性が安全を阻害しないかの分析評価が必要である。

(2) IoT/E、ICT

インターネットの活用は、そのインフラ整備がさらに進展し、世界的、地域的、工場内、家庭内など、どこでも利用が無線/有線を問わず進むと見られる。また、5Gと言われる通信技術は速度限界まで高速化し、利用環境もインターネットとの併用で基幹技術となろう。

(3) 工学システムの高機能化

工学システムは、自律化、高度化、自動化が進み、無人化、多システム結合、複雑化、ロボット多用、IoT/E接続でその活用が進展するであろう。この時、有効性が向上する反面、故障、不具合発生時の人間の対応を考慮しないと重大事故を招くことになる。

(4) 設計・運用でのAI活用

高度・複雑化、開発時間の長期化、分担化、サイバー攻撃対策、工学システムの設計から製造、運用、保守・整備などの業務を行う人間(集団も含む)の技術能力は新時代となり、変容する可能性は高いが、次章で示す人間行動特性を踏まえて、安全面を十分検討することが不可欠である。

4. 人間の行動特性と安全対応

4.1 人間行動時に影響する人間の特性

人間の特性は行動に影響を与える。その主要な特性要因を表2に示す。

- ①シングル情報処理特性は、同時処理は難しいことを示し、システムが複雑並行処理型に構成されると、不注意が発生する可能性が高い。
- ②エネルギー温存特性は、省エネ特性を示すが、楽な仕事に傾倒し、複雑な業務は一部に手抜きがでてくる。
- ③自己主体で自己都合を優先すると、チーム作業

表2 人間の行動特性

1	シングル情報処理	・一度に1つの仕事、他の情報に不注意
2	エネルギーの温存	・仕事を楽に、時として手抜きの原因
3	昼行性(概日性)	・明るい時間帯に活動、未明は不活発
5	2種の記憶保持	・短期記憶と長期記憶および忘却
6	錯覚、錯視	・視覚機能の変移現象
7	自己主体、能動的	・自己都合による見聞き、解釈 ・中断せず前進し、完遂願望
8	安全確保対応能力	・不安全事象時の無意識あるいは反射的保身対応
9	レジリエンス能力	・新しい局面や困難時の適応能力

では不一致行動を生ずることがある。

- ④レジリエンス能力があることは、新技術や新方策の導入時の困難な局面でも立ち直り、安全を確保することが期待できる。

このような特性を踏まえて、人間はSociety5.0時代の新技術、新システムに対応する。しかし、人間は常時健全・万能では無いため、ヒューマンエラーを含め、不安全事象発生は避けがたい。

4.2 工学システム安全性確保向上に有効な対応

(1) Safety First(Safety Priority)

1900年代初め、米国の製鉄会社USスチール社長E.H.Garyは、当時の経営方針を、抜本的に変革し、「安全第一、品質第二、生産第三」とした。この方針により労働災害は急激に減少し、品質・生産も向上した。我が国では、現在は「安全最優先」を標語とし、安全意識を高めている。

(2) Safety-I、-IIとその対応

人間の安全への対応特性としては、不安全事象発生時と、まだ何も発生していない段階に発揮する能力があるとされ、オランダのE.Hollnagelは、以下の様に2つのタイプとして分類している⁴⁾。

(表記は主旨を反映)

- ①Safety-I: 物事が不安全な方向へ向かうことを避ける。
- ②Safety-II: 物事が正しく、安全な方向へ向かうよう遂行する。

人間はこの2つを補完しながら安全性向上に対処し、新時代にも有効と見る。

(3) Safety2.0にみる安全対応

安全に対するSafety2.0構想⁵⁾では、人と機械の協調による安全、人領域のリスク最小化、人と機械の共存を可能に、機械領域を主対象にリスク最小化を目指している。

(4) リスクおよびヒューマンエラーの対応

- ①リスクマネジメントと危機管理では、その不安全要因の特定および影響などは推定できても、その発生時刻は不明であり定期的なリスクマネジメントの実行が不可欠である。自然災害(地震、津波、噴火など)での被災は大規模になるのでその防災、危機管理を重視することが不可欠である。

②ヒューマンエラー対策⁶⁾

作業に人間が関与する限り、ヒューマンエラーによる不安全事象発生は避けられない。このエラーを誘発する要因を少なくするヒューマンエラーマネジメントの実行が大きな対策となる。

表3 Society5.0時代の工学システムに関する安全課題と対策

分類視点	安全に関する主要対象	安全対応上の利点	工学システムライフサイクル全過程での不安全要因	安全性向上人的対策案
M (管理)	安全組織体制管理	組織的安全推進向上	不況時に体制維持できず	安全管理組織訓練の定期実施
	安全推進方策維持管理	無事故操業堅持	無事故期待過多 安全管理に一部手抜き発生	HF研修による安全意識管理 自身の安全意識向上
	安全対策費確保	安全最優先堅持	不況時安全経費削減	組織の安全対策費常時維持
	防災管理、危機管理	事前防災の推進・向上	危機管理体制維持低下	防災システムの整備強化
S (ソフト)	AI、ビッグデータ	全方位データの収集可能	膨大データ処理困難で一部手抜き データ過信、シンギュラリティ到来	データ検証法検討改善
	巨大複雑なシステムソフト	あらゆる機能処理可能	設計限界、全データ処理に抜け発生 複雑・巨大システム構築多々困難	分散化実施とその安全対策確実な検証
	安全マニュアル チェックリスト	安全確保に抜け無く対応可	量が多いと一部無視	確実な実施訓練 定期的見直し
	リモート制御	遠隔管理可能 省力化推進容易	現場状況不明で制御	現場状況定期的確認実施
H (ハード)	デジタル化システム	小型高寿命	高度、複雑、微細でバグが残りやすい	検証を確実に
	ネット環境、IoT/E、ICT	全システム結合容易 遠隔監視容易	一部誤使用による誤動作拡散 サイバー空間完全監視は困難	分散化による監視の容易化 訓練経費確保・監視定期的実施
	VR/AR	遠隔からの状況確認容易	仮想と現実の混在	利用環境を確認
	5G、高速通信	超高速伝送	故障時膨大データ喪失など影響大	多重スマートシステム構成で故障影響削減
	高度警報システム	安全警報による注意喚起	高速作動時監視対応能力低下・不安 監視は単調作業で安全意識低下	複数人作業体制でお互い安全確認 協働作業安全行動訓練強化
高度自動化、複雑化	省力化推進	故障要因増大	故障時レジリエンス能力による対応	
E (環境)	リスク要因	新発明、新発見	巨大システムはリスクが多様多様有り、 発生も多発 事前対策不足懸念 リスク管理訓練不足	リスクマネジメント定期的かつ確実実施 リスク、不安全事象への対策早期実施
	不安全事象		設計・製作当初に全ての不安全事象 特定は困難 システム稼働時に不安全部所放置	
	自然災害(地震、津波、 噴火、火災)		リスク対応不足 リスク管理訓練不足	リスク・危機管理整備 対策環境整備
	人的作業時間	作業時間短縮、適正化	長時間労働、不規則時間、時差	十分な休息確保、特に深夜早朝に留意
	AIシンギュラリティ到来 多重防護	豊かな作業環境へ 事故事象発生防止	人間性無視 経費増大、安全意識低下	常時人間の関与体制確保 安全最優先の徹底
	快適性確保	作業効率向上	経費増大	各自の趣向、快適性確保
	コミュニケーション	情報共有、雰囲気良好	常時良好保有は難しい面有り	
L (人的)	少子化	自動化促進 ロボット多用	人的技能・技術伝承困難あり	教育訓練を早期に開始 十分な訓練時間の確保
	高齢化	高齢者職場拡大	作業効率およびスキル低下 安全意識低下 特に新テクノロジーに対応困難	ゆとりある十分な作業時間の確保
	外国人就労	労働力拡大 異文化交流 新発想法導入	コミュニケーション困難、意識共有困難有り 操作技術レベル維持・向上課題有り	教育・訓練常時実施、 かつ十分な時間を確保
	安全意識	安全性向上に寄与	多忙時は安全意識低下	注意喚起警報システム活用
		人はシステムからの指示に 適正、適宜対応	安全意識常時維持は困難	複数人作業体制でお互い安全確認 協働作業安全行動訓練強化
		システム安全確保向上により 依存増大	安全意識・注意意識の常時維持困難	複数人体制確保により対応
	安全確保	安全に対する人間の基本特性の 活用期待	安全対応意識は変化 システム安全を過信	複数人体制による安全対応冗長性確保 高度な自動化で対応
		安全に関する倫理観対応	個人的・組織的倫理観の違い表面化	倫理教育常時実施
		総合判断にゆとり	安全システムに依存度増大し、注意低下	高度な自動化での対応必要 ゆとりある安全体制常時確保
		システム自動化で行動にゆ とりができ効率的作業促進	業務多忙時は安全確保低下 手抜き作業発生	定期的安全意識喚起
SafetyI,IIの発揮	多重化、防護壁によりシス テム安全性増大	システム安全対策に期待し、安全対応能 力低下 全ての故障を検知するのは困難	安全情報共有化 緊急時対応訓練強化	
	システム安全確保強化	システム安全機能と人間対応がバッテ ィングする懸念	システム監視方策訓練の強化	
	人間による安全確保は最後の 砦	高度な技術システムの完全な安全対応 には困難有り	複数人によるバックアップ体制強化	
ヒューマンエラー対応	安全対処能力常時保有	疲労時に低下	複数人体制で組織・チームで保持	
	人間らしい安全確保発揮 行動時の安全確保	心理変化時に安全性変化(低下) 緊急時に安全行動放棄	作業時の常時健全状態確保 複数人体制	
LL (チーム)	チーム形態	協働作業で安全性向上	どこの作業過程でも発生	バックアップ、複数人体制確保 ヒューマンエラー管理訓練強化
		安全監視増強	外国人との協調性不足懸念 お互いが相手に期待し、安全対応低下	異文化の理解、多国籍チームの理解促進 孤立集団の有無常時監視
	チーム共同作業	総合判断強化推進	各人の自己主体表面化で違和感発生	常時良好なコミュニケーション維持訓練
		分業化により負荷適正配分	常時体制維持不明 負荷変動時に、安全性低下部所発生	孤立集団排除 協同協調体制確保の常時訓練
	緊急時対応増強	他者への依存性増大し、全体の安全意 識低下	チームでの緊急時対応常時訓練	

5. Society5.0時代の工学システムに関する安全課題と対策

新しい技術を駆使したシステムの利用は、適応の幅の広がり、技術革新に期待し、作業効率向上を第一に目指すが、安全最優先で安全面を十分に保証したもので無ければ、安心して長期的利用とはならない。

新技術に関する安全性対策について、M-SHEL視点(人間行動に関する総合的な面を含んでいる。付録参照)による仕分けを利用して検討した。そのまとめ概要を表3に示す。特に人的(L)要因に関して詳細に検討し、その対策を示した。

5.1 人間に関する安全性確保

IoT/Eシステムは大規模となり、その欠陥や不整備での不安全事象発生は大きな被害を発祥する。安全対策として人間のもつ能力の活用が重要で、表3には、人間に関しての検討を多く含めてある。人間の基本的行動特性(表2)は今後数十年程度で進化するとは考えられないが、Society5.0時代の新しい(工学システム)環境では、これまでに経験の無い局面があり、そこでの行動の変容は考えられる。

- ①システム高機能化を必要以上に急ぐと、安全性確保が追いつかず、その低下を招く恐れがある。
- ②少子高齢化は作業人手不足を招き、組織・チーム構成が変容し安全面低下をきたす。
- ③人手不足解消にロボット多用でも、安全対応力を持つ人間の監視能力は最後の砦であり、その活用は重要である。
- ④自動化システムで、人間のシステム依存度が増えると、人間監視機能が低下し、安全性低下が問題となる。
- ⑤外国人とのチーム行動では安全文化の違いに留意が必要となろう。
- ⑥安全確認はダブルチェックが効果的で、監視は複数人体制を活用することが有効である。

5.2 長期間経過後に表面化する安全阻害事象

プラスチック汚染、化学物質事故、複合汚染、大型航空・船舶事故などに見られるように、当初開発時には想定していない、あるいは見逃した安全阻害要因がその後の利用時に発生し、時として大不祥事、大惨事となる。新技術導入も当初の安全対策を十分講じたとしても、見逃す可能性は否定できない。このため、システム利用に当たっては、安全管理を定期的に実行することが非常に重要である。

6. まとめ

新しい時代 Society5.0 環境における工学システムの概況を想定し、それを利用して作業・行動している人間の安全確保に関して、ヒューマンファクターの視点から考察した。

人間は今後の30年程度では進化はないとしても、安全確保の面からみて、環境変化に対応して自身の行動、思考、意識の変容はありえる。

自動化や無人化と言っても、人間の監視、関与は不可欠で、特に災害、故障時など緊急時には、人間のもつ優れた安全対応能力を有効に活用することが安全確保の上から不可欠で、かつ、安全判断を確実にするためには、複数人によるチーム体制での危機管理が有効で重要である。

今後は、新技術が具体化されるにつれて、安全面での評価もなされるので、その結果も踏まえて更なる検討が重要と考える。

付録：ヒューマンファクターモデル M-SHEL 視点

M-SHELモデルは、人間の行動(思考過程も含む)を機能的に示すもので、人間行動のあらゆる視点を含んでいる^{7),8)}。

M-SHEL は人間の特性、行動を表すモデル
M : Management 管理、
S : Software ソフト、
H : Hardware ハード、
E : Environment 環境、
L : Liveware 人間 (チームを含む)



で構成される。この M, S, H, E, L を視点として活用する。

[参考文献・資料]

- (1) 内閣府：Society5.0、科学技術政策、
https://www8.cao.go.jp/cstp/society5_0/index.html
- (2) 永野博：ドイツの科学技術政策における Industrie4.0、2016.4
- (3) 人工知能技術戦略会議：工知能技術戦略実行計画、2018.8
<https://www8.cao.go.jp/cstp/tyousakai/jinkochino/keikaku.pdf>
- (4) E. Hollnagel：Safety-I から Safety-II へーレジリエンス工学入門一、オペレーションズ・リサーチ、2014.8
- (5) 向殿政男：安全学、東洋経済新報社、2016.3.
- (6) J. リーゾン著、林監訳：ヒューマンエラー認知科学的アプローチ、海文堂、2000.10.
- (7) 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
- (8) 渡辺顯、渡利邦宏：M-SHEL 視点によるシステム安全、安全工学シンポジウム、2014.7