

ヒューマンファクターズの最近の話題

ー 工学分野における安全やヒューマンエラー研究を中心に ー

下田 宏（京都大学大学院エネルギー科学研究科）

1. はじめに

ヒューマンファクターズ(Human Factors, Ergonomics; 人間工学)は、人間の認知や身体特性と、人工物・技術・組織・環境との適合性を扱う学際分野であり、広義には人間社会と科学技術のより良い関係を追及する視点ともいえる。近年、生成 AI(Artificial Intelligence; 人工知能)をはじめとする各種 AI 技術、協働ロボット、デジタルツインのような技術の急速な発展により、ヒューマンファクターズでも研究領域が変わりつつある。ヒューマンファクターズの主要な研究者 20 名が執筆したレビュー論文[1]では、そのグランドチャレンジとして、(1)社会的思考の進化、(2)インダストリー5.0 における人間の労働の未来、(3)気候変動と持続可能性、(4)教育・研修の未来、(5)個別化医療の未来、(6)生命・テクノロジーとメタバースの 6 つの分野が挙げられているが、一方で、ヒューマンファクターズ研究は AI 革命の速度に追いついておらず、存在感が薄れつつある、という指摘もある[2]。

以下では、ヒューマンファクターズの研究領域から特に工学分野における安全やヒューマンエラーに関わる研究を中心に、直近の研究トピックを整理する。

2. AI によるヒューマンエラーの検知・予測・軽減

原子力、航空、化学プラント等の安全が重視される工学分野において、AI を用いてヒューマンエラーをモデル化し、その予測や検知に活用しようとする研究が盛んである。Grusel らのレビュー論文[3]では、AI がヒューマンエラーの理解・分類・軽減にどのように活用されているのかの観点から、関連研究を(1)記述的(descriptive)、(2)予測的(predictive)、(3)処方的(prescriptive)、(4)生成的(generative)にモデル化するものとして分類している。一方、Xiao らのレビュー論文[4]では、人間信頼性解析(Human Reliability Analysis; HRA)、AI、人の認知モデルの研究が今後どのようにヒューマンエラーの抑制に貢献できるかについて論じており、ここでは認知モデルと AI によるリスク情報に基づきヒューマンエラーの予測精度を高めることが可能としている一方で、より豊富なデータセットや透明性の高いアルゴリズム、厳密な検証が必要であるとも指摘している。航空分野でも、AI がコックピットでの機長や副操縦士らの会話を分析して疲労や認知過負荷の兆候を早期に検知する取り組みが進んでおり、人間の判断を AI に置き換えるのではなく、あくまで人間の補助として活用すべきとしている[5]。

3. 人間と自動化・AI の信頼

機械制御において AI や自動化の導入が進展した場合、過信(overtrust)や自動化バイアスも、不信(undertrust)による自動化の不使用も、いずれも安全上のリスクとなる。そのため、人間がどの程度自動化や AI を信頼するかという信頼度を、実際の自動化や AI の信頼性に一致させる信頼キャリブレーション(trust calibration)が非常に重要であり活発に研究されている。Mehrotra らの人間と AI との協働に関する研究のレビュー論文[6]では、信頼キャリブレーションが今後の中心的研究課題として示されている。この分野の研究として、例えば、Wen ら[7]は人間からの信頼度を自動化の信頼性の関数としてモデル化する定量的枠組みを提案し、不信こそが高リスク状況における安全側のデフォルトであることを示している。また、自動運転のシミュレーション研究[8]では、説明可能性を高めることで信頼誤差が 42.5%減少し、過信や不信の双方を有意に抑制できることを示している。これに関連して、人間の認知特性に合わせて説明可能 AI(Explainable AI; XAI)を設計する研究も進められており、ユーザの認知的・感情的ニーズに適応した説明を提供することが、信頼形成と信頼バイアス低減に有効であることが示されている[9]。さらに、自律的にタスクを遂行する AI エージェントの普及に伴い、人間の監督権限と介入タイミングの設計も新たな論点となっている[10]。

4. 安全とレジリエンス

従来の事故後に原因を追究して対策を立てるアプローチ(Safety-I)に代わり、うまくいった事例を分析して強化するアプローチ(Safety-II)が、原子力、航空、化学プラント等の安全が重視される工学分野において注目されている。ここで重要となるのは「レジリエンス」の視点である。レジリエンスエンジニアリングでは、予測(anticipation)、監視(monitring)、対応(response)、学習(learning)の 4 つの能力を軸に、システムの変動性を前提とした安全管理を指向している[11]。例えば、石油化学プラント建設現場を対象とした実証研究[12]では、認知的レジリエンスが高い労働者ほど不安全行動が少ないということが示されている。

一方、安全文化のような組織要因に目を向けると、WHO の 2024 年患者安全報告書[13]によれば、患者安全文化を醸成できている国は全体の 25%、ヒューマンファクターズ・アプローチを採用している国は 23%にとどまっており、安全文化の国際的な底上げが引き続き課題であるとしている。航空分野では、不十分な人間工学的設計、シフト勤務、懲罰的な組織文化が潜在的なミス(latent failure)を生む原因として、ICAO(International Civil Aviation Organization; 国際民間航空機関)がヒューマンファクターズに基づく組織的介入策を示している[14]。

5. 人間信頼性解析(Human Reliability Analysis; HRA)

原子力分野では、原子力発電所運転員の心理的ストレスの要因を質的研究の一つであるグラウンデッド・セオリー(Grounded Theory)で分析した研究[15]があり、ここでは(1)イ

インタフェース管理負荷、(2)タスクの複雑性、(3)アラーム発生時の負荷、(4)過渡時／緊急時のタスク負荷、(5)シフト勤務の負荷、(6)エラー対応時の負荷、(7)コミュニケーション時の負荷の 7 要因が心理的ストレスとして特定されている。また、2010～2017 年に発生した 137 件のヒューマンエラー報告を統計分析し、実行エラー・診断エラー・認知エラーのパターンと、安全文化・訓練・手順・ヒューマンインタフェース・能力・精神状態といった影響要因との因果モデルを構成した研究[16]も報告されている。

アメリカの原子力規制機関である原子力規制委員会(Nuclear Regulatory Commission; NRC)では、デジタル計装制御システムの劣化が運転員パフォーマンスに与える影響についてのガイダンスを開発中であり[17]、次世代の先進原子炉を対象とした人間信頼性解析についても専門家の意見の収集や検討が進められている[18]。経済協力開発機構の原子力機関(OECD/NEA)でも、人的・組織的要因を継続的な優先活動領域として位置付けている[19]。

6. まとめと今後の展望

以上を俯瞰すると、工学分野における安全やヒューマンエラーに関わる現在の研究の柱は大きく次の 3 つに整理できる。

(1) AI と人間の協働における信頼・監督・エラー検知

AI によるヒューマンエラーの検知・予測と、それに伴う信頼キャリブレーション、説明可能 AI の設計論

(2) Safety-II への転換とレジリエンス

レジリエンスエンジニアリングと安全文化研究による、予防型から適応型への安全管理観の変化

(3) 原子力や航空等の高信頼性システムにおける人間信頼性解析の深化

デジタル化・自動化が進む中での運転員のストレス、疲労、認知負荷の理解と低減

著者は工学分野の安全研究に携わるものであり医療安全については詳しくないが、医療分野でも近年では工学分野での安全研究の成果を援用し、例えば SEIPS(Systems Engineering Initiative for Patient Safety)[20]のように、作業システム、プロセス、アウトカムの 3 要素とそのフィードバックループを記述するマクロ人間工学的アプローチも進んでいると聞く。一方で、電子カルテのユーザビリティや情報過多は医療分野で特に取り上げられている問題であり、独自に研究が進んでいる。工学分野と医療分野では、安全の対象となるものの数、複雑性、前提条件が大きく異なるが、共通する部分も少なくない。今後は、分野間の垣根を超え安全を指向する研究開発とその実践が望まれる。

参考文献

[1] Karwowski, W., et al.: Grand challenges for human factors and ergonomics, Theoretical

- Issues in Ergonomics Science, Vol. 26, No. 4, pp.361-456 (2025).
<https://doi.org/10.1080/1463922X.2024.2431336>
- [2] de Winter, J.C.F., Eisma, Y.B.: Ergonomics and human factors: still fading—and why we need to embrace the AI revolution, *Ergonomics*, Vol. 69, No. 3, pp.418-424 (2025).
<https://doi.org/10.1080/00140139.2025.2509352>
- [3] Gursel, E., et al.: The role of AI in detecting and mitigating human errors in safety-critical industries: A review, *Reliability Engineering & System Safety*, Vol. 256 (2025).
<https://doi.org/10.1016/j.ress.2024.110682>
- [4] Xiao, X., et al.: A Comprehensive Review of Human Error in Risk-Informed Decision Making: Integrating Human Reliability Assessment, Artificial Intelligence, and Human Performance Models, *arXiv* (2025). <http://www.arxiv.org/abs/2507.01017> (*Preprint, Not reviewed*)
- [5] TechJournal.uk: Artificial Intelligence and Human Factors Unite to Strengthen Aerospace Safety, <https://www.techjournal.uk/p/artificial-intelligence-and-human> (Access on August 21st, 2026).
- [6] Mehrotra, S., et al.: A Systematic Review on Fostering Appropriate Trust in Human-AI Interaction: Trends, Opportunities and Challenges, *ACM Journal on Responsible Computing*, Vol. 1, No. 4, pp.1-45 (2024). <https://doi.org/10.1145/3696449>
- [7] Wen, H., Mounir, A.: Mathematical Modeling of Trust Calibration for Human–Automation Safety, *WCX SAE World Congress Experience*, Detroit, Michigan, United States, April 14 (2026). <https://doi.org/10.4271/2026-01-0530>
- [8] Hani, S., et al.: When to Trust the Machine: A Simulation Framework for Human–AI Collaboration, *Intelligent Human Systems Integration (IHSI2026)*, pp.362–372 (2026)
<https://doi.org/10.54941/ahfe1007095>
- [9] Myakala, P.K., Jonnalagadda, A.K., Bura, C.: The Human Factor in Explainable AI Frameworks for User Trust and Cognitive Alignment, *International Advanced Research Journal in Science, Engineering and Technology*, Vol. 12, No. 1, pp.80-93 (2025).
<https://doi.org/10.17148/IARJSET.2025.12110>
- [10] Ugo-Enyinnah, C., Iwobi, I.: Between autonomy and oversight: Trust calibration and human controllability in agentic AI systems, *Global Journal of Engineering and Technology Advances*, Vol. 27, No. 3, pp.27-36 (2026).
<https://doi.org/10.30574/gjeta.2026.27.3.0137>
- [11] Valente, M., Ricci, F., Cozzani, V.: A systematic review of Resilience Engineering applications to Natech accidents in the chemical and process industry, *Reliability Engineering & System Safety*, Vol. 255 (2024).
<https://doi.org/10.1016/j.ress.2024.110670>

- [12] Larestani, A., et al.: Mitigating Cognitive Failures and Unsafe Acts Through Cognitive Resilience: A Study in the Petrochemical Construction Sector of Asaluyeh, Iran, Indian Journal of Occupational and Environmental Medicine, Vol, 29, No. 2, pp.160-166 (2025). https://doi.org/10.4103/ijoem.ijoem_138_24
- [13] WHO: Progress on patient safety across health systems around the world, <https://www.who.int/news/item/23-05-2025-progress-on-patient-safety-across-health-systems-around-the-world> (accessed on August 21st, 2026).
- [14] ICAO: Human factors in civil aviation safety oversight, Working Paper, A42-WP/455, https://www.icao.int/sites/default/files/Meetings/a42/Documents/WP/wp_455_en.pdf, (Accessed on August 21st, 2026).
- [15] Wang, Y., et al.: Identifying NPP operator stressors using grounded theory. Scientific Reports, Vol. 15, 30618 (2025). <https://doi.org/10.1038/s41598-025-16193-0>
- [16] Wang, Y., et al.: Human Error Analysis and Mitigation Strategies in NPPs, Social Science Research Network(SSRN), https://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract_id=5093930 (2025). (*Preprint, Not reviewed*)
- [17] NRC: "Managing the Effects of Degraded Digital I&C Conditions on Operator Performance" (NUREG/CR-7264) (2025). <https://www.nrc.gov/reading-rm/doc-collections/nuregs/contract/cr7264/index>
- [18] Arigi, A.M.: Expert Perceptions on Human Reliability Analysis for Advanced Reactors, European Safety and Reliability Conference (ESREL 2026), pp.492-499 (2026). https://doi.org/10.3850/ESREL2026061419_esrel26-p26592-cd
- [19] OECD/NEA: Human and organisational factors, https://www.oecd-neo.org/jcms/pl_26323/human-and-organisational-factors (Accessed on August 21st, 2026).
- [20] Carayon. P., et al.: SEIPS 3.0: Human-centered design of the patient journey for patient safety, Applied Ergonomics, Vol. 84, 103033 (2020). <https://doi.org/10.1016/j.apergo.2019.103033>