

高等教育機関での機械安全教育の普及を目指して

(独) 労働者健康安全機構労働安全衛生総合研究所 統括研究員

濱島 京子 *Kyoko Hamajima*

長岡技術科学大学 名誉教授

福田 隆文 *Takabumi Fukuda*

職業能力開発総合大学校 教授

中村 瑞穂 *Mizuho Nakamura*

久留米工業高等専門学校 准教授

南山 靖博 *Yasuhiro Minamiyama*

1. はじめに

産業安全を推進するためには、学校における体系的な安全教育プログラムの構築が不可欠である¹⁾。特に高等教育機関において、学生が安全に関する基本的な知識およびリスク管理の方法を習得することは、将来的に労働災害を防止するための基礎となる。しかしながら、現状では多くの学校で安全教育は実験や実習における安全に関する事項が中心で、産業界で必要とする安全の基礎教育が十分に実施されておらず、未来の技術者が現場で直面する課題に対して十分な準備ができていない現実がある。

厚生労働省が第13次労働災害防止計画²⁾に基づき、機械設計技術者を目指す学生向けに開発した教育教材^{3)、4)}は、このような課題を解決するための重要なリソースである。この教材は、理工系大学等で学ぶ学生が機械安全設計の基礎知識を習得し、卒業後の実務において技術者として活躍できるように作成されている。同時に、高等教育機関に産業安全教育の重要性を認識してもらい、学校での教育が果たすべき役割を強調するものでも

ある。

本稿では、筆者らが作成に携わった教育教材の内容を、機械安全に関する基礎教育の必要性を踏まえながら紹介する。なお、この教材は、現役技術者にも有用であり、産業分野に関わらず共通する基礎的な内容を含んでいるため、あわせて本稿で解説する。

2. 機械安全教育の必要性と現状課題^{※1}

(1) 基礎教育の必要性

大学等で実施される基礎教育は、技術者がそのキャリアを通じて直面する様々な課題に対応するための土台を築くものである。例えば、後述する危険源の概念、スリーステップメソッド、安全確認型の概念などを学ぶことで、技術者は機械設計における潜在的な危険源を特定し、それに対して適切な保護方を講じる能力を身につける。そればかりではなく、このような基礎知識は、技術の進展に伴う新たなリスクに対応するための判断基準となる。IoT (Internet of Things) を用いて機械設備がネットワークに接続されるように

なっても、機械安全の基本は変わらないためである。基礎力が不足している技術者は、新しい技術やリスクに対応する際に、安全対策の本質を見誤る可能性がある。

(2) 社会全体の課題

現在、多くの大学等の機械工学系カリキュラムでは、設計理論や基礎工学の教育が中心となっており、安全設計に関連した教育は十分に行われていないのが現実である。学生が卒業後に従事する設計業務には、製品の安全性を確保するための知識と技術が必要であるが、それを習得する機会が不足しているため、安全性の確保が不十分な設計をしてしまう要因の一つとなっている。

さらに、労働災害の防止に関する教育も不足しているため、学生は、法的・倫理的な責任を十分に理解していないことが懸念されることから、将来的に、企業が直面する可能性のある法的リスクや社会的批判に対する準備不足を招く可能性がある。安全教育の充実は、学生個人のキャリアだけでなく、企業や社会全体にとって非常に重要な課題である。

3. 機械安全教育教材の構成と特徴

(1) 教材構成

厚生労働省が提供する機械安全教育教材^{3),4)}は、大学等での教育内容を補完し、学生が卒業後に必要となる安全設計の知識を提供するものである。図1³⁾に、教材の構成を示し、以下に教材の特徴を述べる。

図1 機械安全教育テキスト教材の目次

第1章 労働災害とは
1. 労働災害とは / 2. 製造現場に潜む危険 / 3. 労働災害の発生状況 / 4. 労働災害の事例
第2章 労働災害の責任
1. 事業者の責任 / 2. 設計技術者の責任 / 3. 設計製造者の安全に関する責任
第3章 労働災害防止論
1. 安全とリスク / 2. 安全確保の考え方 / 3. 安全管理の考え方 / 4. 労働災害発生原因 / 5. リスクアセスメント
第4章 労働災害を減少させるために
1. 機械災害の実態 / 2. ミスや故障を起こしても災害にならない工夫 / 3. 機械設備のリスクアセスメント / 4. リスク低減策 / 5. 作業環境や作業手順の改善 / 6. 安全教育 / 7. 保護具の使用 / 8. 機械の安全設計の考え方 / 9. 演習 / 10. 設備による安全が優先される / 11. 使用上の情報の意味 / 12. 機能安全
第5章 化学物質による労働災害の防止
第6章 健康に働くためには
第7章 機械・建設安全のための人間理解

斜体は筆者らの執筆担当外であることを示す。

(2) 特徴1 自学自習の支援

教材はテキスト教材³⁾と動画教材⁴⁾の2種を作成し、それぞれ学生が主体的に学習を進められるよう配慮した。図2左のテキスト教材では、理解しやすいように出来るだけ平易な文章での説明を心がけ解説イラストを多用している。図2右の動画教材では、視聴しやすいよう単元毎に区分けして30本の動画による構成とした。なおどちらの教材もインターネットに公開しており参考文献に示したURL^{3),4)}からアクセスできる。また、演習問題を設け、学生が自ら考え、解決策を見出すプロセスを重視した。このアプローチにより、学生は単なる知識の暗記に留まらず、実際の設計業務で直面する課題を体験することができる。

(3) 特徴2 化学、人間工学および衛生工学の取り入れ

設計を行う上で必要となる安全衛生に関する知識を体系的に網羅するため、化学物質取り扱いに伴うリスク(主に有害性)、人間工学、労働衛生の内容も教材に取り入れられている。これらの内容は、各分野の専門家が執筆

図2 テキスト教材と動画教材



テキスト教材³⁾

動画教材再生リスト⁴⁾

図3のステップ1からステップ3に示す優先順位^{3),5)}がある。

保護方策は技術者の経験と洞察力で決めると考える者が多いのが現状なので一現に設計に従事している者であっても一安全対策の例を数多く示すよりも、(i) → (ii) の流れを理解し、「リスクアセスメントが安全対策のスタート」と理解させることを狙った。

を担当した。機械設計においては、リスクアセスメントを通じて機械設備の使用環境や使用者に関する情報を収集し、使用条件を細かく想定していくことが求められる。これらの分野の知識は、多角的な視点を持つことを可能にし、さまざまな情報を幅広く収集する力を養うものである。

4. 初学者に向けて考慮した事項

はじめて機械安全を学ぶことを考え、個々の知識ではなく、機械安全設計の流れと大事な概念を理解させることを意識した⁵⁾

(1) 機械安全設計の流れ

機械の安全対策（保護方策）は、(i) 設計者が機械に潜在する危険源を調べ上げ、その影響の大きさを評価することから始まる（危険源同定→リスクアセスメント）。その次に、(ii) 同定した危険源に対して保護方策を検討する。このとき、設計段階での保護方策実施には、スリーステップメソッドと称される

(2) 安全の言葉の意味

産業安全教育において、「安全」という概念を正確に理解することは、学生にとって非常に重要である。機械設計における「安全」には、一見単純に見える言葉ながら、実際には異なる2つの意味がある。この違いを理解することが、設計者としての責任を果たすための第一歩となる。

まず1つ目の「安全」はリスクアセスメントにおける「安全」である。この文脈での「安全」は、許容不可能なリスクが存在しない状態を指す。2つ目の「安全」は保護方策を検討する際に用いられる「安全」であり、設計によって実現すべき「安全の状態」を指す⁶⁾。この「安全の状態」とは、①危険源がない状態、または、②危険源があっても人間が危害を受けることのないように対策がなされ、そのことが確認されている状態、のことを言う。労働災害とは、「危険源が有する危険・有害なエネルギーが人間に到達して危害が及ぶこと」であることから、危険・有害なエネルギーを除去する、または、危険・有害なエネルギーが存在していても、そのエネルギーが労働者に

到達しない状態、すなわち「安全の状態」を設計にて実現することがスリーステップメソッドによる保護方策の根底にある概念である。

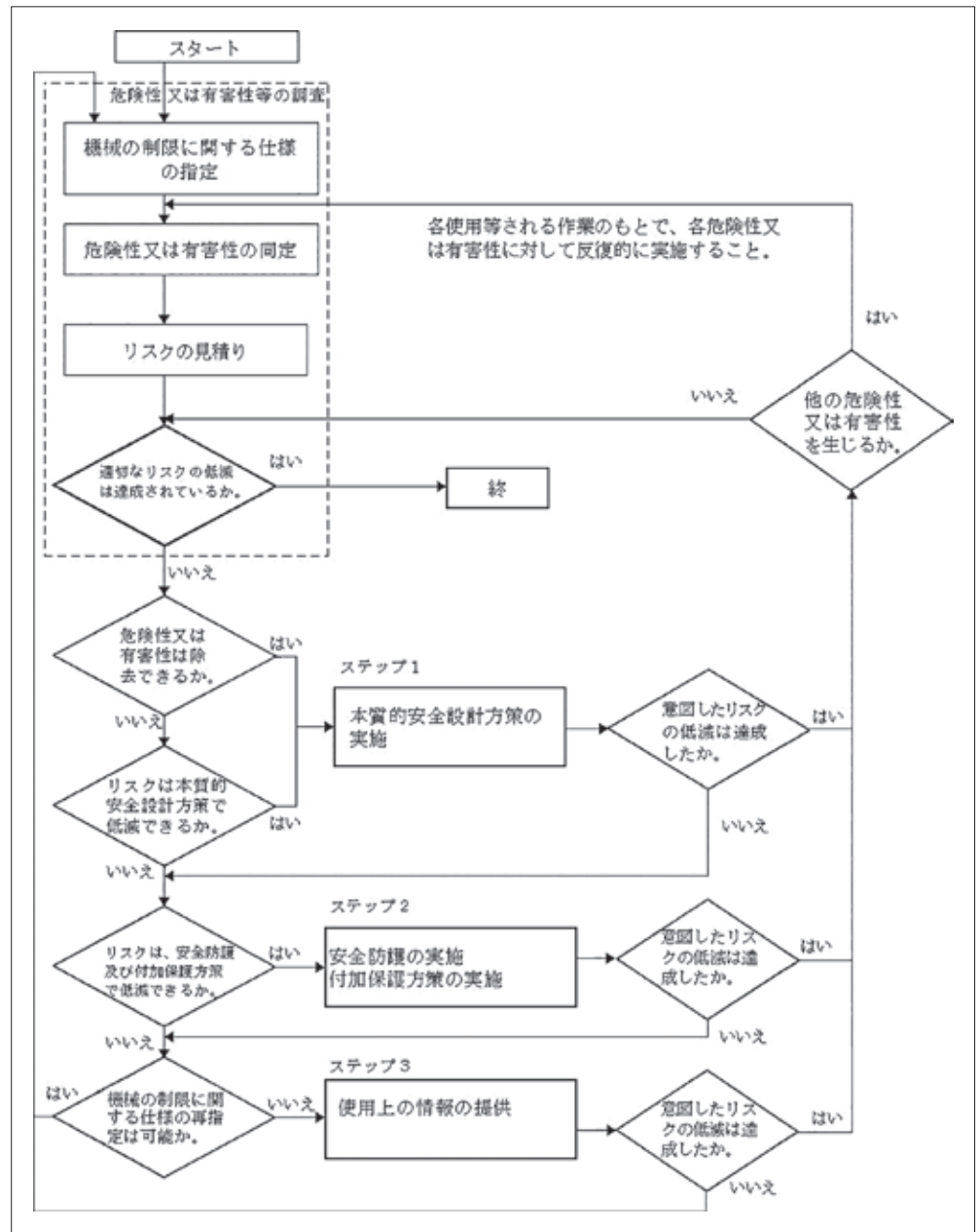
(3) 安全確認型の考え方

機械の起動と運転継続（以下、起動で代表して記す）と停止を適切に行うことは、安全確保の要である。起動の条件は作業者が危険区域にいない、つまり安全が確保できたときであり、停止は作業者が危険区域に進入したときである。以下の議論は、安全な状態が設計で確保され、危険な状態がリスクアセスメントで同定されていることが前提である。これを分類すると次の2つの方法が考えられる。

- ① 安全が確認できたので起動し、安全が確認できなくなったので停止する。
- ② 危険が検出されないので起動し、危険が検出されたので停止する。

どちらも正しいようであるが、安全装置の故障を考慮すると大きな違いがある。①の場合、実際には安全であっても、安全装置の故障が原因で安全を確認できないときは、機械は起動できない。②の場合、実際には危険であっても、安全装置の故障が原因で危険を検出できないときは、機械は起動でき、稼働中であれば機械は停止することはない。図4は、①と②の違いを、危険な場所における人の存在検知を例に描いたものであり、①を安全確認型、②を危険検出型と呼ぶ。①と②を理解

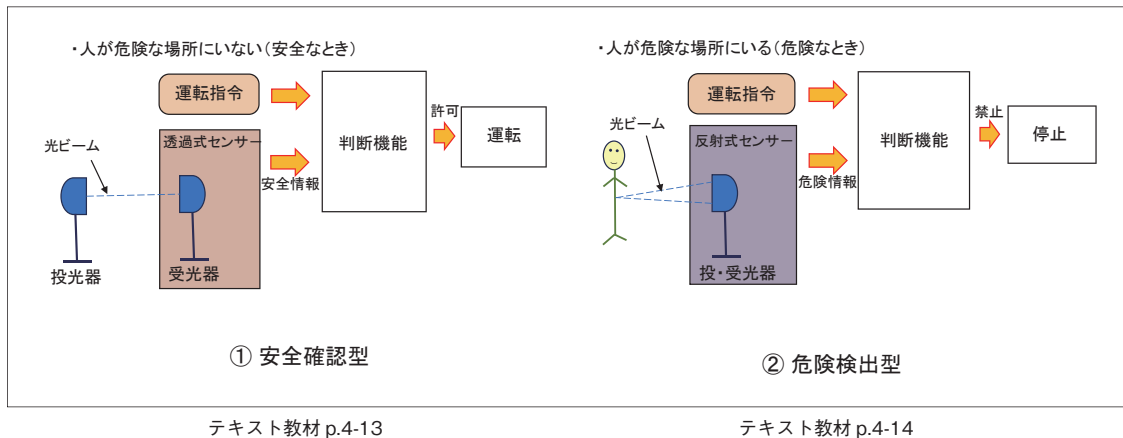
図3 リスクアセスメントとリスク低減プロセスの実施フロー



テキスト教材 p.4-20 出典：厚生労働省「機械の包括的な安全指針」別図

する上で大事なことは、透過式や反射式などのセンサ方式ではない。「安全な状態」すなわち「人がいないこと」をエネルギーの有無で確認している点である。①では投光器または受光器が故障して高エネルギー（光ビーム）の存在が確認できなければ、安全が確認できなくなると判断される。では、安全な場所に存在している人を確認^{※2}したい場合には、透過式センサと反射式センサのどちらを用いると安全確認型となるか、考えてみていただきたい。

図4 安全確認型と危険検出型の違い



基づく訴訟事例を取り上げた。厚生労働省の「機械の包括的な安全基準に関する指針^{※3}」を根拠に製造物責任法3条にいう欠陥があると認められた事例を紹介している。

図5 演習問題

The screenshot shows a textbook page titled '9. 演習' (Exercise) with the sub-section '(1) 演習と解説' (Exercise and Explanation). The main task is '演習1 身近な機械の設計' (Exercise 1: Design of a familiar machine), specifically '●洗濯機を設計してみましょう' (Let's design a washing machine). The text describes the requirements for a washing machine, including functions like washing and rinsing, and lists constraints such as users being middle school students or older, and the machine being used in a home setting. It also includes a diagram of a washing machine (Figure 4-30) and a schematic diagram of its electrical control system.

テキスト教材 p.4-62

5. 演習問題

修得した基礎知識が実務でどのように使われるのかを理解するには、実践的な演習を通して学生に安全設計を体感させることが効果的である。そこで、学生が誰でも知っている家庭用洗濯機を題材に、設計で行うリスクアセスメントと保護方策を検討する演習問題を設けた(図5)。演習問題の流れは以下のとおりである。

- ① 機能だけを有する洗濯機を設計
- ② その洗濯機のリスクアセスメントを行い、危険源を同定
- ③ 同定した危険源に対する保護方策をリリースステップメソッドに則って検討

上記の①から考えることが重要である。学生はこの検討を経て、洗濯機の周囲カバーが「見てくれを良くするためのもの」ではなく実は保護方策の一つであったことを③で理解する。

この理解を実務につなげれば、機械設備の筐体(ケース)が洗濯機カバーと同じ役割を有することに気付ける。また、洗濯機の機能上、ベルトに引き込まれる危険源は残らざるを得ず、修理作業時にはこの危険源による危害が想定されることを説明し、保全や廃棄などを含めた全ライフサイクルに渡ったリスクア

(4) 設計技術者の責任と倫理

安全設計は、単なる技術的な課題ではなく、設計者としての倫理観や社会的責任を伴う重要な課題である。本教材では、この倫理観や責任を具体的に理解させ、設計上の決定がいかに多くの人々の安全に影響を与えるかを知ってもらうために、産業用機械設備で生じた切断事件に対するPL(製造物責任)法に

セメントが必要なことを述べている。

なお、本演習問題は動画教材でも解説しているが、学生が考える時間を適宜設けている。

6. リカレント教育での活用

教材はリカレント教育の一環としても活用できるため、技術者がキャリアを通じて継続的に学び続けるためのツールとしても有効である。機械安全教育が必要なのは機械工学系技術者だけではない。たとえば近年、IoT技術の進展により、機械がインターネットを介して他のシステムと接続されることが増えている。このようなシステムを安全に設計し、安全に運用するためには、複数の技術分野に詳しい技術者の存在が欠かせない。このため本教材を用いて、情報工学系の技術者が機械安全の基礎を学ぶことなども想定される。

7. まとめ

高等教育機関での機械安全教育の重要性と現状課題について述べ、厚生労働省事業にて作成した機械安全教育教材が果たす役割とその内容を紹介した。この教材を通じて学生は安全確認における安全の意味、リスクアセスメントを実施しスリーステップメソッドに基づく保護方策を検討することの重要性を理解し、その手法を学ぶことができる。今後、この教材が大学等での機械安全教育を推進し、未来の技術者が社会全体の安全性向上に寄与できることを期待する。

参考文献

- 1) 田村昌三：産業安全の推進に向けた人材育成を考える—産業安全教育の体系化および共有化と学校安全教育の構築—, セーフティエンジニアリング, 51 (1), 215, 10-15, 2024.
- 2) 厚生労働省：第13次労働災害防止計画, <https://www.mhlw.go.jp/stf/seisakunitsuite/bunya/0000197309.html> (参照日：2024年8月24日)
- 3) 厚生労働省：設計・施工管理技術者向け安全衛生教育支援事業～機械設計編～機械設計を学ぶ方のために テキスト

- 教材, <https://www.mhlw.go.jp/content/000909981.pdf> (参照日：2024年8月23日)
- 4) 厚生労働省：安全衛生を学ぼう（機械設計編）～学生を対象とした安全衛生教育教材～動画教材, <https://www.youtube.com/playlist?list=PLMG33RKISnWhjuomLR-Am92glX4nQD6ov> (参照日：2024年8月23日)
- 5) 中村瑞穂, 濱島京子, 福田隆文：厚生労働省が推進する「設計・施工管理を行う技術者等に対する安全衛生教育の支援事業」取り組み報告その3—機械工学を学ぶ学生向け教材の開発・検証一, 安全工学シンポジウム2022予稿集, 454-457, 2022.
- 6) (社) 実践教育訓練研究会編：安全基礎工学入門 労働災害の原因と対策, 工業調査会, 1999.

脚注

※1

機械安全教育の必要性と現状課題

本文書の一部は生成 AI (ChatGPT) を使用して作成した。主に2章の教育の必要性や現状課題の箇所にて、生成 AI で文章を推敲している。

※2

安全な場所に存在している人を確認

安全な場所に人がいることを確認する場合は、反射式センサを用いることが安全確認型である。なぜ、危険な場所における人の存在検知の場合と逆になるのか、分かりますか。

※3

機械の包括的な安全基準に関する指針

ISO12100 (JIS B9700) 機械類の安全性—設計のための一般原則—リスクアセスメント及びリスク低減と実質同一の内容である。2001年に制定、2007年に改正されている。

はまじま ● きょうご

東京電機大学大学院工学研究科電子工学専攻博士後期課程修了。労働省産業安全研究所（現在の独立行政法人労働者健康安全機構 労働安全衛生総合研究所）入所。明治大学理工学部非常勤講師。

ふくだ ● たかふみ

横浜国立大学大学院工学研究科修士課程機械工学専攻修了。東洋電機製造（株）、横浜国立大学勤務後、長岡技術科学大学で機械安全の教育・研究に従事。定年後、名誉教授。日本機械工業連合会、日本食品機械工業会等工業会、人事院等の安全委員を歴任。

なから ● みすま

茨城職業能力開発短期大学校生産技術科卒業、三和工機株式会社、茨城大学工学部システム工学科卒業、(独) 高齢・障害・求職者雇用支援機構採用後、ポリテクセンター・ポリテクカレッジで機械設計・製図に関する職業訓練に従事、長岡技術科学大学大学院工学研究科機械創造専攻 博士課程前期修了、明治大学大学院理工学研究科新領域創造専攻修了して、現在、職業能力開発総合大学校 教授として機械安全・労働安全に関わる教育訓練・研究活動に従事している。

みなみやま ● やすひろ

呉工業高等専門学校機械工学科卒業、九州大学工学部機械航空工学科機械コース卒業、九州大学大学院工学府知能機械システム専攻修士課程修了、北九州市立大学大学院 国際環境工学研究科博士後期課程修了、久留米工業高等専門学校機械工学科准教授。