

無断使用をお断りします。日科技連出版社

安全学入門

【第2版】

安全を理解し、確保するための基礎知識と手法

古田一雄・齊藤拓巳・長崎晋也 [著]



日科技連

まえがき

大学における工学系学部専門教育での講義の教科書として本書を出版してから15年が経過した。この間、東日本大震災とそれに伴う福島原子力災害、熊本地震、新型コロナウイルスによるパンデミックなどを経験し、現代社会がさまざまな脅威にさらされており、安全がいかに重要であるかを人々がさらに認識するようになった。

世界的にも2015年の国連総会で「持続可能な開発目標(SDGs)」が採択され、目標11「持続可能な都市」において安全な都市の実現が唱えられているほか、目標3「保健」、目標6「水・衛生」、目標7「エネルギー」、目標9「インフラ、産業化、イノベーション」、目標13「気候変動」、目標14「海洋資源」、目標15「陸上資源」、目標16「平和」などの達成にも安全の確保は不可分にかかわっている。そもそも初版の前書きでも述べたように、現代の安全をめぐる問題の全体像はあまりにも大きく、人間、社会、環境の側面を巻込んで非常に広い領域に関連しているので、SDGsのすべての目標は安全抜きには達成し得ないといってもよいであろう。

本書は、安全管理に携わる専門家や組織の決定に責任を有するリーダーが、こうした広範囲にわたる安全問題の全体像を把握するための入門書として執筆したものであり、その基本的考え方は15年経っても大きくは変わっていない。ただ、初版で用いた事例や文献には時代遅れのものが見られるようになり、また初版ではやや構成上改善した方がよい点もあったので、このたびそれらの点を改めて改定版を出す運びとなった。同時に、さらにコンパクトにするために、産業分野によって具体的状況が異なる安全規制に関する章や、付録など一部を割愛した。

最後に初版の注意書きを繰り返すと、限られた頁数で非常に広範な安全学の全領域の詳細を網羅することは不可能であり、著者が重要と思った項目の基本概念だけを解説するに止めざるをえなかった。また、大学での講義の教科書に使うことを前提としているが、企業や行政機関などの安全管理担当者や決定責任者の独習用にも役立つように配慮したつもりである。ただし、実務の手引き

まえがき

にできるほど詳細には触れていないので、さらに詳細な知識が必要な場合には参考文献にあたってください。また、特に東日本大震災の後で関心を集めるようになったレジリエンスの概念は本書で扱う安全の範囲を超える話題なので、レジリエンスについて知りたい読者はさらにそれを扱った専門書にあたってほしい。

本書の第1章は導入であり、安全学の定義と安全学で扱われる重要概念を紹介し、第2章ではリスクの表現法と安全管理の基本になる安全目標について述べた。第3章から第5章は、産業現場や科学技術システムにおける安全管理の基本的な方法について論じた章である。第6章から第8章では、有害物質にかかわる環境安全の問題を解説した。第9章では安全の人間に関する問題であるヒューマンファクターを、第10章ではリスクマネジメントにおける重要項目を解説した。第11章は安全の社会的側面であるリスクコミュニケーションの問題をとりあげた。なお、執筆は第6章を齊藤が、第7～8章は齊藤・長崎、それ以外を古田が担当した。

本書が少しでも安全に関心を持つ諸兄のお役に立てば幸いである。

2023年2月

古田一雄

安全学入門【第2版】

安全を理解し、確保するための基礎知識と手法

目次

まえがき…………… iii

第1章 安全の基本概念……………1

- 1.1 安全学とは…………… 1
- 1.2 ハザードとリスク……………3
 - 1.2.1 ハザードとは……………3
 - 1.2.2 リスクとは……………4
- 1.3 安全バリア……………5
 - 1.3.1 顕在化プロセスと安全バリア……………5
 - 1.3.2 4種類の安全バリア……………6
- 1.4 管理システム…………… 7
- 1.5 深層防護……………8

第2章 リスク表現と安全目標……………11

- 2.1 リスク表現……………11
- 2.2 リスクプロフィール……………13
- 2.3 安全目標……………15
- 2.4 リスクの許容限度……………17
- 2.5 幅を持った安全目標と分布型安全目標……………19
- 2.6 費用効果分析……………21

目次

- 2.7 リスクの保有と移転……22
- 2.8 リスクトレードオフ……23
 - 2.8.1 目標リスクと対抗リスク……23
 - 2.8.2 さまざまなリスクトレードオフ……23

第3章 ハザードの同定……25

- 3.1 リスク評価……25
 - 3.1.1 リスク評価の2つのアプローチ……25
 - 3.1.2 定性的手法と定量的手法……26
- 3.2 失敗モード影響解析(FMEA)……27
 - 3.2.1 FMEA の手順……27
 - 3.2.2 対象システムの理解……29
 - 3.2.3 失敗モードの抽出……31
 - 3.2.4 影響の予測……32
 - 3.2.5 重大性の評価……33
 - 3.2.6 原因と対策の検討……33
- 3.3 ハザード操作性解析(HAZOP)……35

第4章 確率論的安全評価……37

- 4.1 事故シーケンスと起因事象……37
- 4.2 イベントツリー解析(ETA)……38
 - 4.2.1 ETA の手順……38
 - 4.2.2 ET の作成と評価……38
- 4.3 フォールトツリー解析(FTA)……40
 - 4.3.1 FTA の手順……40
 - 4.3.2 FT(フォールトツリー)の作成……41

| | | |
|-------|---------------|----|
| 4.3.3 | ミニマルカットセットの導出 | 42 |
| 4.3.4 | 頂上事象発生確率の計算 | 43 |
| 4.3.5 | ET-FT 解析 | 44 |
| 4.4 | 基本事象発生確率の評価 | 44 |
| 4.4.1 | 常用系機器の信頼性 | 44 |
| 4.4.2 | 待機系機器の信頼性 | 47 |
| 4.4.3 | 荷重強度システムの信頼性 | 48 |
| 4.5 | 不確かさ解析 | 49 |
| 4.6 | 従属性解析 | 52 |
| 4.7 | 定量的リスク評価の意義 | 54 |

第5章 事故分析

| | | |
|-------|----------------|----|
| 5.1 | 事故の因果モデル | 57 |
| 5.2 | 事故分析手法 | 59 |
| 5.2.1 | 事故分析の手順 | 59 |
| 5.2.2 | 事象の把握 | 59 |
| 5.2.3 | 問題点の抽出 | 61 |
| 5.2.4 | 背後要因の分析 | 62 |
| 5.2.5 | 対策の列挙 | 64 |
| 5.2.6 | 対策の評価 | 65 |
| 5.3 | 事故報告システム | 67 |
| 5.3.1 | 事故報告の対象 | 67 |
| 5.3.2 | 事故報告システムの構築と運用 | 68 |

第6章 化学物質の環境・生体動態解析

| | | |
|-----|----------------|----|
| 6.1 | 化学物質による環境汚染の実例 | 73 |
|-----|----------------|----|

目次

- 6.1.1 水銀汚染……………73
- 6.1.2 アジア地域におけるヒ素汚染……………73
- 6.1.3 プルトニウムによる汚染……………74
- 6.1.4 マイクロプラスチックによる汚染……………74
- 6.2 環境動態……………75
 - 6.2.1 化学物質の環境への放出と分配……………75
 - 6.2.2 化学物質の環境動態……………78
 - 6.2.3 土壌の構成成分と吸着反応……………78
- 6.3 物質輸送……………81
 - 6.3.1 化学物質の移動としての環境……………81
 - 6.3.2 地圏、水圏における物質移動……………82
 - 6.3.3 移流拡散(分散)方程式……………84
 - 6.3.4 大気中での物質輸送……………85

第7章 毒性評価……………87

- 7.1 化学物質と放射線の影響……………87
 - 7.1.1 化学物質と生体反応……………87
 - 7.1.2 放射線と生体反応……………90
- 7.2 生体内の物質動態モデルと蓄積量評価……………93
 - 7.2.1 化学物質の体内動態……………93
 - 7.2.2 生理学的薬物動態モデル……………94
- 7.3 有害物質の毒性評価……………97
 - 7.3.1 毒性試験……………97
 - 7.3.2 曝露量－反応の関係……………99
 - 7.3.3 毒性試験と毒性指標……………100
 - 7.3.4 毒性試験の注意点……………102
- 7.4 疫学による毒性評価……………103

- 7.4.1 疫学調査……………104
- 7.4.2 疫学調査とバイアス……………106

第8章 化学物質による環境リスク……………109

- 8.1 化学物質の環境影響……………109
 - 8.1.1 ハザード、リスク、エンドポイント……………109
 - 8.1.2 発がんリスク……………110
 - 8.1.3 非がんリスク……………111
 - 8.1.4 環境・食品基準……………113
 - 8.1.5 リスク指標－損失余命と QALY……………114
 - 8.1.6 リスク許容水準に関する考え方……………115
- 8.2 生態系への影響……………116
 - 8.2.1 生態系のリスク評価におけるエンドポイント……………116
 - 8.2.2 生態系の影響リスク評価方法－絶滅確率以外の評価……………117
- 8.3 環境リスク評価……………119
 - 8.3.1 環境リスク評価の流れ……………119
 - 8.3.2 環境リスク評価における不確実性……………121
 - 8.3.3 放射性廃棄物処分の安全評価……………122

第9章 ヒューマンファクター……………127

- 9.1 ヒューマンファクターとは……………127
- 9.2 ヒューマンエラーの考え方と分類……………128
- 9.3 人間信頼性解析……………129
 - 9.3.1 THERP……………129
 - 9.3.2 エラーモードと基本エラー率……………131
 - 9.3.3 作業イベントツリー……………131

目次

| | | |
|-------|-------------------|-----|
| 9.3.4 | 行動形成因子(PSF)..... | 132 |
| 9.3.5 | 従属性モデル..... | 134 |
| 9.3.6 | 時間信頼性相関(TRC)..... | 135 |
| 9.4 | ヒューマンエラーの心理学..... | 136 |
| 9.4.1 | SRK モデル..... | 136 |
| 9.4.2 | 不安全行為の分類..... | 138 |
| 9.4.3 | 不安全行為の正しい考え方..... | 139 |
| 9.5 | ヒューマンエラー防止対策..... | 141 |

第10章 リスクマネジメント.....145

| | | |
|--------|----------------------|-----|
| 10.1 | リスクマネジメントのプロセス..... | 145 |
| 10.2 | リスクマネジメントのための組織..... | 146 |
| 10.3 | 技術システムの安全設計..... | 148 |
| 10.3.1 | 安全余裕と冗長性..... | 148 |
| 10.3.2 | フェイルセーフとフルプルーフ..... | 149 |
| 10.4 | 保全活動..... | 150 |
| 10.5 | 教育訓練..... | 152 |
| 10.5.1 | 体系的訓練手法(SAT)..... | 152 |
| 10.5.2 | 教育訓練と人事、資格制度..... | 153 |
| 10.6 | 安全文化..... | 154 |
| 10.6.1 | 組織事故..... | 154 |
| 10.6.2 | 安全文化の階層..... | 155 |
| 10.6.3 | 安全文化のエンジニアリング..... | 156 |
| 10.7 | 危機管理..... | 158 |
| 10.7.1 | 事前準備..... | 158 |
| 10.7.2 | 緊急事態対応..... | 161 |
| 10.7.3 | 復旧..... | 162 |

第11章 リスクコミュニケーション……………163

11.1 リスクコミュニケーションとは……………163

 11.1.1 リスク情報の伝達……………163

 11.1.2 リスクコミュニケーションが必要な状況と目的……………164

11.2 一般市民のリスク認知……………165

 11.2.1 リスクイメージ……………165

 11.2.2 認知バイアスとヒューリスティクス……………167

 11.2.3 フレーミング効果……………169

11.3 コミュニケーションデザイン……………170

 11.3.1 感化技法……………170

 11.3.2 失敗するリスクコミュニケーション……………173

 11.3.3 リスクメッセージの組立て……………175

11.4 参加型意思決定……………177

 11.4.1 ポストノーマルサイエンス……………177

 11.4.2 手続き的正当化論……………178

 11.4.3 リスク協議……………180

参考文献……………183

索引……………189

第 1 章

安全の基本概念

1.1 安全学とは

われわれの暮らす現代社会は、自然災害、設備災害(事故)、労働災害、健康リスク、環境破壊、経済リスク、情報リスク、社会リスクなど、さまざまな危険に取り巻かれている。われわれはこれらを日常的に意識しないことが多いが、これらの危険が顕在化し、人や社会に深刻な損害を与えることも珍しくはない。

安全(safety)とは、これらのさまざまな危険から免れている安らかな状態のことをいう。一方、英語の“safe”は“solid”や“soldier”などとともにラテン語の“solidus”を語源とするが、“solidus”は無傷で健康な身体状態を意味する。したがって、英語の“safe”とは損害のない健全な状態を意味する。技術的に安全は、「人への危害または資材の破損の危険性が、許容可能な水準に抑えられている状態(JIS Z 8115)」と定義される。

安全学(safety studies)は、安全の原理やこれを達成するための方法論を構築し、安全に関する決定に提言を行うことを目的とする学術分野である。科学哲学者の村上は、安全概念が人の価値観に依存し、価値中立であるべき科学が扱う範囲を超えていると考えた。それゆえ、安全に関する目的論的選択、提言の学問として安全学を提唱したのである^[1]。この村上の考え方にない本書では、安全の技術的側面のみならず社会的側面をも包括的に扱う学術分野として、「安全学」を用いることにする。

身の回りの日用品、道具、工業製品、建造物など、人によって作られた実体をとともなう対象を人工物と呼ぶことにする。従来から、工学諸分野では安全な人工物を設計、製造することが実践的に行われてきた。これらの実践を管理するためのノウハウを統合し、安全な人工物を実現するための一般的方法論に関する分野として安全工学が成立した。この安全工学では、高信頼性システムを実現するための信頼性工学、故障の発生原理を解明して防止するための故障物

第1章 安全の基本概念

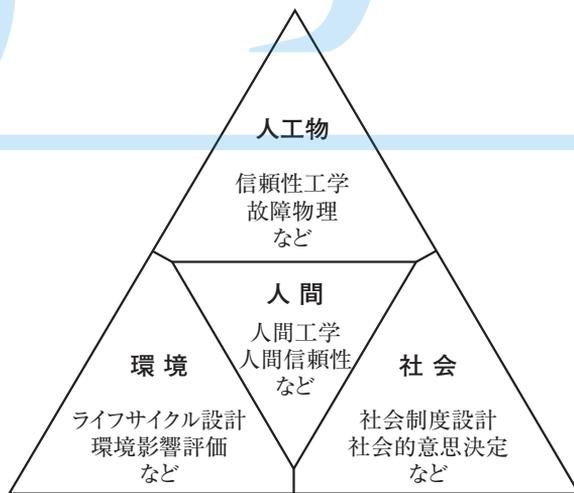
理、人工物の寿命予測、確率論的安全評価などの技術が発展した。

しかし安全を達成するためには、人工物だけを対象とするのではなく、それを利用する人のことも考慮しなければならないことは明らかである。どんなに信頼性の高い丈夫な人工物を作っても、それを利用する人が操作を誤ったり違反を犯したりしたのでは、安全が達成できない。そこで安全学では、人の特性に合った人工物を設計するための人間工学や、人間行動の信頼性評価など、人に関する因子を扱う必要がある。

安全にかかわる個人や集団の行動は社会的背景によって左右される。したがって、社会的因子も検討されなければならない。また、安全規制や災害時の危機対応など、安全確保には個人や集団のレベルを超えた社会的取組みが必要になることが多い。安全のための社会制度設計なども安全学の対象になる。安全にかかわる社会的決定をいかに行うべきか、も難しい問題になりつつある。

さらに、現代では環境に対する配慮が安全を考えるうえで重要である。さまざまな危険から護るべき対象として人の生命、財産とならんで環境が注目を集めている。環境に配慮した人工物のライフサイクル設計、環境影響評価、環境シミュレーション、マクロエンジニアリングなどの分野は環境を通して安全に関係する。

以上のように、安全学は人工物、人間、社会、環境を主な対象とし、いくつ



図表 1.1 安全学が扱うべき領域の全体像

もの分野にまたがっている。さらにそれらの境界領域を含む非常に多様な学術分野である。安全学が扱うべき領域の全体像を図表 1.1 に示す。

ところで、安全と対比してその社会的側面を問題にする際に日本では安心という概念がよく用いられる^[2]。安心は安全に関する主観的感情であり、安全が確保され自分自身に人的、経済的損害が発生しないと見込まれる心理状態をいう。人々が客観的にも主観的にも危険がないことを納得した場合に安心が得られる。しかし、安全な状態と人々が安心してしている状態とは必ずしも一致しないので、注意が必要である。安全でないにもかかわらず人々が安心してしている状態は、正しい情報を知らない状況であって非常に問題である。安全であることは、安心を得るための大前提でなければならない。逆に、風評被害の発生などに見られたように、科学的には安全であるにもかかわらず社会的に安心が得られないことも珍しくない。この場合には社会的決定を困難にすることがある。安全と安心を一致させるためにはリスクコミュニケーション(risk communication)が重要であるが、これについては第 11 章で扱う。

1.2 ハザードとリスク

1.2.1 ハザードとは

安全が問題にされるのは、世の中に危険な存在があるからである。安全学では危険な存在をハザード(hazard)と呼ぶ。より厳密には、「人や人が価値をおく対象に対して損害その他の望ましからざる結果を及ぼす可能性のある実体、行為、現象」とハザードを定義する^[3]。

人が価値をおく対象といった場合、何に価値を認めるかは人の価値観に依存する。人の生命と健康はおそらく万人が価値を認める対象である。安全を議論する際には、人の生命、健康を暗黙の対象とすることが多い。しかし、人の生命、健康以外にも人が価値を認める対象は多様にある。人の生命、健康が損なわれなければ、それですべてよいとは限らない。経済的利益は、比較的よく考慮の対象になる価値である。これ以外にも、文化、地域社会、理念、信条などの抽象的価値対象がある。ときには個人の生命よりも、それが崇高だとされることさえある。また、最近では地球環境や生物多様性などに価値を認める動きが顕著である。

このように、安全学は人の多様な価値観に立脚しており、時代とともに変化

第1章 安全の基本概念

するので、その社会的調整は科学的な議論だけでは解決できない。

ハザードとしては、まず物質などの形ある実体があげられる。具体的には、毒性のある薬品や化学物質、放射性物質などが最も理解しやすい。爆発事故の原因となる爆発物や高圧ガス、火事の原因となる火気や可燃物などもハザードである。交通事故を起こす自動車、溺死事故につながる水、猛獣や細菌などの生物も危険である。犯罪や環境破壊を起こす人そのものも危険な存在であるといえる。

実体はないものの、人の行為もハザードである。戦争は人が行う最も危険な行為であろう。道路を横断したり航空機に搭乗したりすることによって、事故に遭うこともある。ジョギングは、スキューバダイビングほどではないにしろ危険なスポーツである。入浴中や睡眠中に亡くなる人がいることを考えれば、これらの日常的な行為もハザードである。

さらに、世の中で起こるさまざまな自然現象、社会現象もハザードである。地震、台風などの気象現象、燃烧、爆発、破損などの物理現象、発病などの生命現象、景気変動などの社会現象は、これらすべてが社会に損害を与える可能性をもつハザードである。

以上のように見ると、およそこの世界にはハザードでない存在はない。一見、安全に見える存在であっても、考えようと思えば、それによって人や社会に損害を及ぼすことは可能である。例えば食塩には毒性がないが、摂りすぎれば成人病になって寿命を縮める。このように、この世界にハザードでない存在がないとするならば、本質的に危険なものとそうでないものとに分類して、前者を排除しようという考え方は意味をなさない。それでは全存在を排除しなければならなくなり、生活が成り立たなくなるからである。

1.2.2 リスクとは

世界がハザードに満ちているにもかかわらず、われわれはその損害を常に被っているわけではない。安全に暮らしているのは、通常では損害が潜在的なものにとどまっており、顕在化していないからである。したがって、安全学ではハザードの存在そのものだけでなく、損害が顕在化する条件について議論しなければならない。

そこで導入されたのが、リスク (risk) という概念である。リスクとは、人や人が価値をおく対象に対して危害を及ぼす物、力、状況などを特徴づける概念

索引

【数字】

1日摂取許容量 111、112
 1日耐用使用量 112
 4M分類 62

【A-Z】

ADI 112
 ALARP 20
 ASRS 68
 CCDF 14
 CRM 153
 CRO 148
 DDT 87
 EFC 140
 ET 38、44、131
 ETA 38、44
 ET-FT解析 44
 FMEA 27
 FT 40、44
 FTA 40、44
 H2-SAFER 59
 HAZOP 35
 HEP 132、135、140
 HF 127
 HI 112
 HQ 112
 HRA 129
in vitro 試験 97、98
in vivo 試験 97、98、102
 IRIS 110
 J-HPES 59
 Kdモデル 77
 LLE 12
 LOAEL 101、102
 LOEL 101
 MCS 42、53
 m-SHELモデル 62、64

MTBF 45
 MTTR 46
 NOAEL 101、102
 NOEL 101
 OJT 153
 PBPKモデル 95、96
 PDCAサイクル 8、145、152、161
 PRA 37
 PSA 37、40、44、53、129
 PSF 132、134
 QALY 114、115
 QOL 13、115
 RCA 59
 RCM 151
 RIM 151
 SAT 152
 SRKモデル 136
 TDI 112
 THERP 129
 TRC 135、142
 VPC 140、141

【あ行】

亜急性 100
 アベイラビリティ 45、47
 アンアベイラビリティ 45、47
 安心 3
 安全 1、5
 安全学 1
 安全管理委員会 147
 安全管理責任者 147
 安全管理組織 147
 安全工学 1
 安全バリア 5、7、38、40、58、154
 安全文化 58、154、157
 安全防護障壁 6
 安全目標 15、19、23、55、145

索引

- 安全余裕 148
 イオン交換モデル 76
 違反促進情況 140、141
 イベントツリー 38、131
 移流拡散(分散)方程式 84
 インタフェース 63、133、141
 インターロック 150
 うっかりミス 138
 影響緩和 8、35
 疫学調査 104
 エラーファクター 50
 エラーモード 31、129、131、134
 エンドポイント 110
 恐ろしさ因子 165
 オミッションエラー 131
 オンコンディション保全 150
- 【か行】**
- 間接要因 62
 ガイドワード 35
 概念的バリア 7
 化学物質 75
 化学物質の環境動態 78
 化学物質の体内動態 93
 拡大抑制 8、35
 確率分布 48、50、135
 確率密度 14、48、135
 確率論的安全評価 37、129
 確率論的リスク評価 37
 過誤強制情況 140
 荷重強度システム 48、148
 価値観 1、11、18、55、157、167、178
 カットセット 42
 過渡モデル 96、97
 我慢できる領域 19
 感化 164、171
 感化技法 170
 看過原因 62
 環境 2、7、32、48、63、71、87、109
 環境汚染 72
 環境基準 113
 環境リスク評価 72、119
 感作性 101
 間接原因 62
 感度解析 51
 管理システム 8、145、155
 起因事象 37、44
 危機管理 22、145、158
 危機管理計画 160
 危機管理組織 159
 記号的バリア 7
 技術官僚モデル 179
 技術システム 6、29、145、148
 機能的バリア 7
 基本エラー率 131
 基本事象 40、44、50、53
 基本的エラータイプ 138
 吸着等温線(式) 76
 吸着反応 78
 吸着離脱 76
 急性毒性 100
 教育訓練 63、152、160
 共通原因 52、149、155
 恐怖喚起コミュニケーション 172
 緊急事態対応 159、161
 緊急保全 150、151
 金属 88
 偶然的不確実性 122
 クロス表 105、106
 ケースコントロール研究 104、105
 原因関連図 62、63
 顕在化プロセス 5、8、37、58、155
 光化学反応 78
 航空安全報告システム 68
 行動形成因子 132、134
 合目的性違反 139
 交絡 107
 故障 1、27、31、40、44、52、58、64、67、148、150
 故障モード 31
 故障率 45、47、49
 コホート研究 104
 コミッションエラー 131
 固有安全性 149
 コンパートメントモデル 123
 根本原因分析 59

【さ行】

最小影響量 101
 最小毒性量 101
 最高責任者 68、147
 再発防止 25、57、59、64、67、
 128
 作業イベントツリー 131
 作業環境 58、130、141
 作業負荷 133、141
 サボタージュ 139
 参加型意思決定 177、181
 残留リスク 22
 時間計画保全 150
 時間信頼性相関 135
 しきい値 90、99、110、111
 シグモイド曲線 99
 刺激性 101
 事故 25、37、57、61、67、71、
 127、140、154、158
 事故シーケンス 37、44、50
 事故の因果モデル 57、128
 事故分析 57
 事故報告システム 67
 事後分析的なリスク評価 25、57
 事後保全 150
 自主的報告 68
 事象関連図 60
 事前準備 158
 失敗 28、33、38、44、132
 失敗確率 40、44、130、134
 失敗モード 28、31、35
 失敗モード影響解析 27
 自発的リスク 18、167
 死亡率 11、114
 市民 15、165、179
 社会的合意 5、16、18、55
 社会的リスク 13、20
 従属故障 52
 従属性解析 52、53
 従属性モデル 134、135
 重大性 5、11、14、28、33、128、
 165
 種間外挿 103
 シミュレーションヒューリスティックス
 169

昇華 75
 情況 140
 常習的違反 139
 状態監視保全 150
 冗長性 148
 情報管理 159、161
 情報提供 164
 蒸発 75
 情報バイアス 107
 常用系 45
 食品基準 113
 深層防護 8、154
 深層防護の誤謬 155
 シンボル 138
 信頼性重視保全 151
 水銀汚染 73
 スイスチーズモデル 154
 水平展開 25
 スキルベース 137
 スリップ 138
 生活の質 13、115
 成功基準 38
 生態系のリスク評価 116
 生理学的薬物動態モデル 94
 絶滅確率 117
 ゼロリスク 167
 専門家による判断 49、54
 全水頭 83
 相関係数 50
 組織管理 58、61、143
 組織事故 154
 ソフトバリア 6
 損失余命 12、114

 【た行】
 ダイオキシン 88
 待機系 47
 体系的訓練手法 152
 対向リスク 23
 対策の評価 65、66
 対策の列举 64、65
 代表性バイアス 106
 代表性ヒューリスティックス 168、
 169
 多重性 148

索引

- タスク 29
 多様性 148、149
 ダルシー則 83
 断面研究 105
 知識ベース 137
 頂上事象 40、43
 直接原因 62
 通常事後保全 150、151
 定常モデル 95、96
 定性的リスク評価 26
 定量的リスク評価 26、54、176
 手続きの正当化 179
 点検 7、47、152、160
 点推定 50
 伝統科学 177
 伝播型故障 52
 統計的サンプリング 51
 統計的不確実性 49
 等リスク原則 116
 等リスク線 21
 毒性試験 97、99
 毒性指標 99、100
 毒物学 87
 匿名報告 68
 トラブル 67
 トランスサイエンス 178
- 【な行】**
 ニアミス 67
 入手性ヒューリスティックス 169
 人間信頼性解析 129
 認識論的不確実性 122
 認知バイアス 167
 認知メカニズム 129、136、140
 ネガティブフレーム 170
 年間死亡率 11、16
 ノーマルサイエンス 177
- 【は行】**
 バイアス 106
 バイオレーション 139
 背後要因 25、59、62、64、128
 ハインリッヒ 67
 曝露 6、37
 曝露量 99
- ハザード 3、5、12、25、37、58、
 71、109、145、164、176
 ハザード指標 112
 ハザード操作性解析 35
 ハザード比 112
 発がん物質 89
 発がんリスク 110
 発生防止 8、28、35
 ハードバリア 6
 幅を持った安全目標 19
 パラメトリック手法 53
 バリエーションツリー 59
 非がんリスク 111
 非自発的リスク 106、166、176
 ヒ素汚染 73
 必然的違反 139
 ヒヤリハット 67
 ヒューマンマシンインタフェース
 133、141
 ヒューマンエラー 28、31、37、40、
 44、49、54、59、67、128、136、138、
 149
 ヒューマンエラーデータベース 131
 ヒューマンエラー防止 141
 ヒューマンエラー率 132
 ヒューマンファクター 127
 ヒューリスティックス 168
 標準偏差 50
 費用効果分析 21
 表面錯生成モデル 76
 不安全行為 58、138、154
 フィックの法則 83
 フェイルアズイズ 149
 フェイルセーフ 149
 フォールトツリー 41
 不確定性 49
 不確かさ 5、19、27、48、49、54、
 109、112、121、148、161、171、176、
 178
 不確かさ解析 27、49、130
 不確かさ伝播解析 51
 不具合 25、57、67、127、150
 復旧 34、159、162
 物質移行係数 82
 物質移動 81、82

- 物質輸送 81
 物理的バリア 6
 フールプルーフ 149
 フレーミング効果 169
 プレーンストーミング 31、35
 フロイドリッヒの式 76
 プロセスパラメータ 35
 プルトニウム 74
 分布型安全目標 19
 平均故障間隔 45
 平均修復時間 46
 ベータ係数法 54
 便益 12、22、90、101、112、116、
 164、167、176
 ヘンリー定数 76
 報告書様式 69
 防災 158、
 放射性廃棄物処分の安全評価 125
 放射線 90
 放射線影響 90
 ポジティブフレーム 170
 ポストノーマルサイエンス 177
 保全 150、155
- 【ま行】**
 マイクロプラスチック 74
 慢性毒性 100
 ミステイク 138
 未然防止的なリスク評価 25
 未知性因子 165
 ミニマルカットセット 42
 無影響量 101
 無毒性量 101
 明示的手法 53
 免疫毒性 101
 免責 68
 メンタルモデル 138、142
 目標設定 145
 目標リスク 23
 モデル化 27、49、51、53、95、
 118
 モニタリング保全 150
- モンテカルロシミュレーション 51
- 【や行】**
 誘発原因 62
 予防保全 150
 余累積分布関数 14
- 【ら行】**
 ライフサイクル管理 151
 ラプス 138
 ラングミュアの式 76
 リスク 1、3、11、25、33、37、49、
 54、71、109、145、163
 リスク移転 22、24
 リスクイメージ 165
 リスク回避性 21
 リスクカテゴリ 33
 リスク協議 180
 リスク許容水準 115
 リスクコミュニケーション 163
 リスク受容 16
 リスク情報 163、171、
 リスク相殺 23
 リスクトレードオフ 23、109、176
 リスク認知 165、167
 リスクの許容限度 16、17、19、166
 リスクの梯子 171
 リスクの保有 22
 リスク評価 25、33、35、98、116、
 119、180
 リスク表現 11
 リスク負担 22、165、167、176
 リスクプロフィール 13、20
 リスク便益原則 116
 リスクマトリックス 33
 リスクマネジメント 15、22、25、
 57、67、87、98、113、117、120、
 145、177
 リスクマネジメント組織 147
 リスクメッセージ 163、171、175
 ルールベース 137
 ロジスティック曲線 99

著者紹介

古田 一雄(ふるた かずお)

東京大学大学院工学系研究科教授。

1981年 東京大学工学部原子力工学科卒業

1986年 東京大学大学院工学系研究科原子力工学専攻博士課程修了、工学博士

(財)電力中央研究所研究員、東京大学工学部講師、同助教授、同大学院新領域創成科学研究科教授を経て2003年より東京大学大学院工学系研究科教授。

安全・安心な工学システムを創出するための理論構築と技術実現を目指して、ヒューマンモデリングなど認知システム工学の研究を行っている。さらに最近では、想定外の状況に遭遇しても機能を維持・回復する能力を有する技術社会システムを実現するための、レジリエンス工学の研究に取り組んでいる。

主な著書に『ヒューマンファクター10の原則』、日科技連出版社、2008年(共著)、『レジリエンス工学入門』、日科技連出版社、2017年(共著)などがある。

執筆担当：第1～5章、第9～11章

齊藤 拓巳(さいとう たくみ)

東京大学大学院工学系研究科教授。

2000年 東京大学工学部システム量子工学科卒業

2005年 東京大学工学系研究科システム量子専攻 博士課程修了 博士(工学)

東京大学大学院工学系研究科(原子力国際)専攻助教、東京大学大学院工学系研究科(原子力国際専攻)特任助教などを経て2015年、東京大学大学院工学系研究科(原子力専攻)准教授、2022年より東京大学大学院工学系研究科(原子力専攻、原子力国際専攻)教授。

地球化学、物理化学を専門として、有害元素の環境動態や放射性廃棄物処分にに関する研究を行っている。特に、天然に存在する有機物と元素の反応に関する研究や福島第一原子力発電所事故で環境中に放出された放射性セシウムの環境動態に関する研究を手掛け、また、分光分析と多変量解析を組み合わせた分析手法の開発も行っている。

主な著書に『土のコロイド現象』、学会出版センター、2003年(共著)、『新しい分散・乳化の科学と応用技術の新展開』、テクノシステム、2006年(共著)がある。

執筆担当：第6章、第7章(7.2節、7.3節)、第8章(8.3節)

長崎 晋也(ながさき しんや)

McMaster大学(カナダ)工学部教授。

1986年 東京大学工学部原子力工学科卒業

1988年 東京大学大学院工学系研究科修了、工学博士

四国電力株式会社入社。その後、東京大学工学部助手、同講師、東京大学大学院工学系研究科助教授、同教授などを経て、現在、McMaster大学(カナダ)工学部教授。

物理や化学、数学とともに倫理学や文明史学、国際政治学もカバーする放射性廃棄物処分子学を提唱し、安全で合理的な放射性廃棄物の最終処分の実現に寄与する工学研究に従事。現在、放射性廃棄物処分子学の一形態として、未来環境問題の立場から、放射性物質や化学物質による環境リスク評価における不確かさの科学の確立を目指している。

主な著書に『土のコロイド現象』、学会出版センター、2003年(共著)、『人工環境学 環境創造のための技術融合』、東京大学出版会、2006年(共著)、『新しい分散・乳化の科学と応用技術の新展開』、テクノシステム、2006年(共著)がある。

執筆担当：第7章(7.1節、7.3節、7.4節)、第8章(8.1節、8.2節)

無断使用をお断りします。日科技連出版社

安全学入門【第2版】

安全を理解し、確保するための基礎知識と手法

2007年3月30日 第1版 第1刷発行
2019年1月28日 第1版 第7刷発行
2023年3月31日 第2版 第1刷発行

著者 古田 一雄
齊藤 拓巳
長崎 晋也
発行人 戸羽 節文

発行所 株式会社 日科技連出版社

〒151-0051 東京都渋谷区千駄ヶ谷5-15-5
DSビル
電話 出版 03-5379-1244
営業 03-5379-1238

検印
省略

Printed in Japan

印刷・製本 河北印刷株式会社

© Kazuo Furuta, Takumi Saito, Shinya Nagasaki 2007, 2023

ISBN978-4-8171-9773-3

URL <https://www.juse-p.co.jp/>

本書の全部または一部を無断でコピー、スキャン、デジタル化などの複製をすることは著作権法上での例外を除き禁じられています。本書を代行業者等の第三者に依頼してスキャンやデジタル化することは、たとえ個人や家庭内での利用でも著作権法違反です。