

7

リスク工学シリーズ

エネルギーシステムの 社会リスク

工学博士 内山 洋司
博士(工学) 羽田野祐子 共著
博士(工学) 岡島 敬一

コロナ社

「リスク工学シリーズ」編集委員会

編集委員長 岡本 栄司 (筑波大学)
委 員 内山 洋司 (筑波大学)
(五十音順) 遠藤 靖典 (筑波大学)
鈴木 勉 (筑波大学)
古川 宏 (筑波大学)
村尾 修 (筑波大学)

(所属は 2008 年 2 月現在)

刊行のことば

世界人口は現在 65 億人を超え、わずか 100 年で 4 倍にまで増加し、今も増え続けています。この間の経済成長は、日本を例にとると 44 倍にまで達しています。現代社会は約 80 万年の人類史上から見ると凄まじい成長を遂げており、その成長はグローバル化の進展と技術革新によって加速されています。

膨張し続ける社会の人間活動によって世界の持続可能な発展が懸念されています。地球規模ではエネルギーの大量消費による地球環境問題や資源ナショナリズムが台頭し始めています。一方、国レベルでは都市化の進展によって交通渋滞、地震や洪水被害の拡大、水・環境汚染といった問題が発生しています。また、変化の速さがあまりにも速いために経済や技術の格差が社会にもたらされています。そういったひずみは世界各国にさまざまなリスクを生み出しています。グローバル経済による金融リスク、グローバル化した人や物の移動による BSE や鳥インフルエンザなどの感染症リスク、情報化によるサイバーリスクなど人為的なリスクも広がっています。リスクの不確実性と影響の大きさは増大する傾向にあり、それぞれが複雑に絡み合っています。

世界が持続可能な発展を遂げていくためには、地球規模かつ地域で直面しているさまざまなリスクを解決していくための処方箋を何枚も何枚もつくり、解決に向けて行動していかなければなりません。また、多様なリスクを科学的・工学的な方法により解明できる能力をもった研究者や技術者の養成も求められています。

そういった社会のニーズに応えるために、筑波大学では 2002 年に全国の大学で初めてリスク工学専攻を設置しました。専攻の教育目標として、① リスク工学の解析と評価のための基礎理論と情報処理技術の習得、② 現実のリスク問題

についての豊富な知識の習得，③ リスク問題に対して広い視野と強いリーダーシップをもって問題設定から解決までの一連のプロセスを理解し，具体的な解決手段を考案・開発する能力育成，を掲げています。設立から6年が経ちカリキュラムも次第に充実してきており，これを機会に，本専攻で実施されている教育内容を本学以外の多くの学生や研究者にも役立たせたいと考えました。

本シリーズ発行の目的は，社会のリスク問題を工学の立場から解決していくことに関心のある人々に役立つテキストを世に出すことです。本シリーズは全10巻から構成されています。1巻から4巻まではリスク問題を総論的に捉えており，リスク工学の勉強を登山に例えれば，1巻は「登山の楽しさ」，2巻は「どんな山があるのか」，3巻は「山に登るための道具」，そして4巻は「実際に登るときの道具の使い方」に対応しています。5巻から10巻までは各論として，「トータルリスクマネジメント」，「環境・エネルギーリスク」，「サイバーリスク」，「都市リスク」の四つの専門分野からリスク工学の基礎と応用を幅広く紹介しています。

本シリーズは，大学生や大学院修士課程の学生はもとより，リスクに関心のある研究者や技術者，あるいは一般の人々にも興味をもていただけるよう工夫した画期的なものです。このシリーズを通じて，読者がリスクに関する知識を深め，安全で安心した社会をどのように築いていけばよいかを考えていただければ幸いです。

2008年2月

リスク工学専攻長 内山 洋司

ま え が き

現在、日本ではエネルギーは水や空気と同じように無意識かつ大量に利用されている。わが国が消費するエネルギーの85%は石油や石炭などの化石燃料である。化石燃料は枯渇資源であり、いずれは利用できなくなる。また、世界のエネルギー消費の約4割を供給している石油資源は、その多くが中東地域に偏在しており、供給途絶や価格高騰といった安定供給を脅かす問題がつねにある。21世紀に入ってから、中国やインドなどの新興国、アフリカなど開発途上国の経済成長が著しくなっており、それに伴ってエネルギー需要が急増している。急激な消費は、需給を逼迫し価格を高騰するだけでなく、資源ナショナリズムを台頭させる恐れもある。

一方で、新興国や開発途上国において経済発展に伴うエネルギー消費の増加は、地域と地球規模の環境問題を深刻にしている。1960年代から70年代にかけて公害問題として騒がれた大気汚染が、中国やインドなどで顕在化している。都市部では、製鉄所、発電所、工業用ボイラ、あるいは自動車から排出されるNO_x、SO_x、ばいじんが原因で、人々の健康被害が増加している。また、化石燃料の燃焼によって温室効果ガスである二酸化炭素が大気中に大量に放出されており、地球温暖化が進行しつつある。

エネルギーを社会に大量に供給し続けるためには、供給技術の安全性も大切になる。エネルギーを利用していくには、人々が安心して生活できるように技術や施設の「安全性」を確保する必要がある。石油の利用には油田からの原油流出や石油タンカーの座礁、石炭は炭坑での爆発や落盤事故、天然ガスはガス漏れや火災といった事故が発生する可能性がある。原子力の利用も発電所や核燃料サイクル施設の安全性、それに放射性廃棄物の安全な処理・処分が重要になる。

エネルギーの供給には、資源、経済、技術、環境、安全の面においてつねに

リスクがある。本書は、エネルギー供給に係るさまざまなリスクについて、それらを定量的に分析する方法を解説したものである。第1章では、リスクの概要とエネルギーシステムの基本的なリスクを述べている。第2章では、資源から見たリスクとして、化石燃料価格の変動リスクを分析するポートフォリオ理論と枯渇資源の経済分析について解説する。第3章では、エネルギー技術の選択を経済面から分析する技術経済の基礎である現在価値と均等化の概念を最初に説明し、続いて発電プラントのキャッシュフローから発電コストを計算する方法を解説している。第4章の技術から見たリスクでは、最初に信頼度の基礎的な分析方法を説明し、つぎに確率論的安全評価を太陽光発電と原子力発電に適用した事例を紹介している。第5章の環境から見たリスクでは、エネルギーの環境汚染問題として、化石燃料の燃焼によって発生する大気汚染物質の拡散モデルと、原子炉事故発生に伴う放射性物質の移送モデルを紹介する。最後の第6章は、エネルギーシステムのリスクを総合的に分析する方法として、最初にエネルギー技術、特に発電システムを中心にライフサイクル評価(LCA)の分析法と分析事例を紹介する。また、LCAを理論的に発展させたマトリックス法と産業連関表からトップダウン・アプローチとして分析する産業連関分析法について解説する。さらに、環境汚染が社会へ与える影響を分析する影響評価と、影響の大きさを経済価値に換算する外部コストについて説明する。

高度技術によって成り立っている現代社会。社会はエネルギーなくして成り立たない。安定したエネルギー供給、安価なエネルギー価格、そして安心できるエネルギーサービスが必要になる。しかし、そういったエネルギーの基本要件は完全に満たされるものではなく、それぞれにリスクが存在している。リスクをゼロにすることはできない。複雑化する社会でリスクをいかにして最小化するかが大切になっている。本書で紹介するエネルギーに関連したリスク分析手法が、そういった目標の一助になれば幸いである。

2012年3月

内山 洋司

目 次

1. 概 論

1.1 リスクの概要	2
1.2 エネルギー供給システムのリスク	7
1.2.1 エネルギー供給の基本要件	7
1.2.2 システムとしてのリスク	12
章 末 問 題	15

2. 資 源 リ ス ク

2.1 短期の価格リスク（ポートフォリオ理論）	18
2.2 長期の資源枯渇	27
2.3 枯渇性資源の経済	30
2.4 ホテリングの定理	34
章 末 問 題	37

3. 技 術 経 済 リ ス ク

3.1 現在価値と均等化計算	39
3.2 建設費と発電コスト	42
3.2.1 建設費	42
3.2.2 習熟効果とスケール効果	45

3.2.3 発電プラントの総費用	47
3.3 発電システムと限界費用	61
章 末 問 題	67

4. 技 術 リ ス ク

4.1 信 頼 度 分 析	70
4.1.1 信頼度と信頼度関数	70
4.1.2 故障率関数とバスタブ曲線	72
4.1.3 アベイラビリティ	74
4.2 リスク要因分析	76
4.2.1 フォルトツリー解析 (FTA)	77
4.2.2 イベントツリー解析	78
4.3 確率論的安全評価 (PSA)	79
4.3.1 PSA 評価レベルと枠組み	79
4.3.2 福島第一原発事故における電源喪失	81
4.4 研究事例 1：太陽光発電システム信頼性の検討	83
4.4.1 対称システム構成と評価概要	83
4.4.2 対象システム構成と評価概要	85
4.4.3 システム故障フローの検討	87
4.4.4 フォルトツリー解析によるサブシステム故障評価	88
4.4.5 故障率の算出	90
4.4.6 PV システム信頼性評価結果	91
4.4.7 故障率に対する分析	94
4.5 研究事例 2：PSA による原子力プラントの信頼性解析とその活用	97
4.5.1 トラブルマップの作成と対象系統の選定	97
4.5.2 対象系統の選定	98

4.5.3 レベル 1 PSA の枠組みに基づく評価の実施	100
4.5.4 原子力発電所安全対策に関する意識調査への活用	102
章 末 問 題	106

5. 環 境 リ ス ク

5.1 エネルギーと大気環境	107
5.2 大気拡散モデル	110
5.2.1 ガウシアンブルームモデル	111
5.2.2 パフ モ デ ル	113
5.2.3 沈着と再浮遊	114
5.3 研究事例 - 原子力災害	115
5.3.1 何がどのくらい放出されるのか	115
5.3.2 放出された核種はどうなるのか	118
章 末 問 題	121

6. エネルギーシステムのリスク分析

6.1 LCA の 概 要	122
6.2 インベントリ分析	126
6.2.1 積 み 上 げ 法	126
6.2.2 マトリックス法によるプロセス分析	139
6.2.3 産 業 連 関 分 析	146
6.3 影 響 評 価	154
6.3.1 環 境 影 響	154
6.3.2 大気汚染物質の環境影響	157
6.3.3 放射性物質の環境影響	159

6.4 外部性と経済的価値づけ	162
6.4.1 外部性	162
6.4.2 経済的価値づけ	165
6.4.3 支払意思額の推計方法	169
章末問題	179

おわりに

引用・参考文献	182
章末問題解答	185
索引	194

1

概

論

18世紀にヨーロッパで生まれた産業革命以降、科学技術の発展は、これまでの人類史上では考えられない物質的な豊かさと便利さを社会にもたらしている。機械や電気などの技術発展によって肉体労働は機械に置き換えられ、情報技術の発展によって精神労働までもがコンピュータによって処理されるようになった。科学技術の発展は留まることがない。ナノテク技術、情報通信技術、バイオテクノロジーなど技術の高度化が進んでおり、グローバル化と情報化によってそれらが世界へ普及するスピードも速まっている。

このように人間活動が膨張し続ける一方で、世界の持続可能な発展が懸念されるようになってきた。科学技術による産業社会は、基本的には物質の大量消費によって成り立っている。エネルギーなどの鉱物資源や木材・食糧などの生物資源の消費量は毎年、増加し続けている。資源の大量消費によって地球環境問題や資源ナショナリズムが台頭し始めている。国レベルで見ると、都市化の進展によって交通渋滞、地震や洪水被害の拡大、水・環境汚染といった問題が発生している。また、変化の速さがあまりにも速いために経済や技術の格差が社会にもたらされている。

そういった歪みによって世界各国には、さまざまなリスクが発生している。グローバル経済による金融リスク、人や物の移動による感染症リスク、情報化によるサイバーリスクなど人為的なリスクも広がっている。それぞれのリスクは複雑に絡み合っており、リスクの不確実性と影響の大きさが増進している。世界が持続可能な発展を遂げていくためには、私たちが直面しているグローバル、かつローカルなリスクを客観的に明らかにし、その解決に向けた処方箋を何枚

も何枚もつくり、リスク回避に向けた対策や行動が求められている。ここでは、最初に現代社会が直面しているリスクの概要を説明し、つぎにエネルギー供給システムに焦点を当てて、さまざまなリスク要因を解説していく。

1.1 リスクの概要

私たちは一般に、危険、あるいは損失、傷害、不利益、破壊に身をさらされたときにリスク (risk) という言葉を使っている。リスクに似た言葉に、ペリル (peril) とハザード (hazard) がある。ペリルとは「不測の事態」とされる事故を指し、台風や洪水といった天災による偶発事故である。ハザードは、ペリルを発生させる原因のみならず、ペリルの被害の程度を大きくする要因を含む概念である。例えば、偶発的に起きた山火事はペリルであり、山火事の被害を拡大する原因となった空気の乾燥はハザードである。欧米のリスク・マネジメント論では、ハザードは、「脅威」を第一義訳とするスレット (threat) と併記される場合がある。ハザードとスレットのいずれも「事故の原因または事故の被害拡大要因」ということである。被害の対象によって、健康、安全、環境については「ハザード」を、防御、防衛、投資、ビジネスについては「スレット」を使い分ける傾向があるが、使い分けは必ずしも明確ではない。

リスクの中でも「被害が大きく、受容できる範囲を超えた事象」を指す言葉に危機 (crisis) がある。典型的な例として、電気、ガス、水道、通信などライフラインが断絶し多数の死傷者が出る大地震による災害がある。大地震のみならず、被害が広範囲に及ぶ津波、台風、ハリケーンなどの自然災害や、戦争、暴動、テロなどの人災も危機に該当する。危機が発生した場合、その影響をできるだけ最小限に留める行動を危機管理という。それに対して、リスク管理は、通常、被害の大きさが危機にまで至っていない事象のリスクを最小にする行動をいう。事象によっては、被害の大きさがリスクにならないものもある。株価の小幅な変動、環境基準値以下の汚染物質、クリアランスレベル以下の放射能レ

ベルなどは、人々が受容できる被害の大きさであると判断されており、リスクとはいわない。

リスクの概念は、もともと経営や保険の分野から登場したものである。金融機関や保険会社では早くから投資や株、それに保険料の算定などにおいてしばしばリスクという言葉が使われてきた。その後、リスクを使う範囲は、経済、食品、医療、技術、環境、情報などの分野へと広がっており、今ではリスクという言葉は人々に日常的に使われるようになってきている。現代のグローバル化した高度技術社会では、リスクの種類は多種多様で、現代社会が直面しているリスク事象を挙げると表 1.1 のような事例がある。

表の事象は社会全体から見た被害規模と範囲の大きさによって二つに分類さ

表 1.1 現代社会が直面しているさまざまなリスク事象

	事 象	
	被害規模・範囲が小さい	被害規模・範囲が大きい
事 故	交通機関（自動車、鉄道、船舶）、工場災害、橋梁、火災、爆発、通信途絶、ハンググライダー、放射性物質の漏洩	大型タンカー事故、原子炉重大事故、大規模化学プラント事故、大型ダムが決壊
テロ・戦争	小規模軍事衝突、小規模内乱	核兵器、生物兵器、化学兵器、テロ行為
自然災害	豪雨、冷害、暴風、異常乾燥	大洪水、台風、大干ばつ、地震、津波、大規模火山噴火、巨大隕石落下
感染症	結核、マラリア、梅毒・淋病	パンデミック（BSE、鳥インフルエンザ、新型インフルエンザ）、HIV/AIDS
生 物	生物資源の乱獲、干潟の喪失、電磁界影響	多様性喪失、機能喪失、遺伝子組換植物の意図的拡散、熱帯林破壊
化学物質	食品添加物、アスベスト、浮遊粒子状物質、NOx、光化学スモッグ	環境ホルモン、海洋汚染、酸性雨
気象・気候	猛暑、極寒、気象予報	地球温暖化、エルニーニョ、オゾン層破壊、砂漠化
経 済	株取引、燃料価格の高騰、敵対的買収	経済恐慌
生 活	食品中毒、離婚、入試、就職、医療ミス、賭博、宝くじ、テクノストレス	
社 会	風評被害、過失責任、性風俗、犯罪	大停電
情 報	情報ウイルス、迷惑メール、キャッシュカード偽造、マスコミ誤情報	大規模サイバーリスク

れているが、規模や範囲は実際には状況によって異なるために明確に分けることはできない。表に示されたリスク事象には、損失・被害・災害の可能性、期待された結果と現実の差異、期待したものと異なった結果が生じる可能性など不確実であいまいな面がある。

リスクの性質には、「その事象が顕在化したときに発生する望ましくない影響」と「その事象がいつ顕在化するかが明らかでないという発生の不確実性」がある。望ましくない影響は、受け手の持つ価値や選好が様相によって左右される内容のもので、しかも、主体はつねに同じ価値や選好の意識を持っているのではなく、個人的、社会的状況によってリスクの大きさは変化する。すなわち、物理的に観測・推定される客観的リスク評価と主観的リスク評価とは一致しないことが少なくない。不確実性は、あいまい性とは異なり、確率的なもの、偶発的なもの、未解明のもの、予見不能なもの、交渉条件的なものを指している。その推計にはエントロピー関数や統計的決定理論などが使われている。

リスクを一義的に定義することは難しいが、それらに共通するのは負の要因である「損失」が含まれることである。リスクとは、現時点より先に起こり得る可能性がある事象の「損失」の大きさを定量的に表すことと考えられる。被害規模を損失の大きさと捉える考えは、人間活動で対応できる範囲に事象を絞るということである。これからリスクを判断する基準は、被害に対して対応可能な範囲、すなわち我慢できる範囲をいい、危機や破局のように対応不可能な被害や、それとは逆に広く受け入れられている程度の被害はリスクと見做されない。

ISO/IEC Guide73¹⁾によると、リスクは「事象 (event)」「発生確率 (probability)」「結果 (consequence)」という概念の組み合わせと定義されている。

これを定式化すると、式 (1.1) のようにリスクは発生確率と被害規模の関数になる。

$$\text{リスク} = f(\text{発生確率}, \text{被害規模}) \quad (1.1)$$

上式でリスクを発生確率と被害規模の積になると仮定すると、リスクの大きさ

は図 1.1 に示す長方形の面積となる。リスクの低減とは、長方形の面積を小さくすることであり、それには事象の発生確率と被害の大きさである被害規模をできるだけ小さくしなければならない。

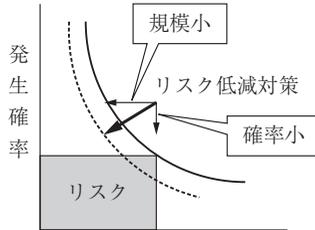


図 1.1 リスクの低減

被害には人々の健康影響だけでなく、被害を受けた人の経済損失も含まれる。被害の対象が生態系であれば、生態系が破壊されたことによる損失、あるいはそれをコストに換算した経済損失となる。例えば、原子力発電所の事故で避難を余儀なくされた人には、健康被害への補償だけでなく、避難している間の生活や企業活動の停止によって発生した経済的な補償も必要になる。被害規模は、事象の影響範囲で被害を受けた人々の経済損失を含めた被害の総和となる。もし、被害の大きさが一人当たり平均値で示されていれば、その値と人数の積になる（生態系であれば個体当たり被害度と個体数の積）。人や生態系への被害は、空間や時間によって変化する。放射線被曝のように影響が長時間にわたって続く事象の場合、被害規模は大きくなる。

被害規模は、一般に損失余命（LLE: loss of life expectancy）や損害額など客観的な指標によって定量化が可能である。しかし、リスクの認知になると、それは人の意思によるもので、科学的な方法で客観的に指標化することは難しい。人が感じる被害の大きさは事象の種類によってしばしば異なる。リスクはつぎに示す要因によってその認知の大きさが変わる。

- ① 自発的か強制的か（ロッククライミングは自発的なリスクであり、登山者はリスクが大きくても登る。泳ぐのが不得手な子に、浮き輪なしで泳がせたとき、その子は泳ぐことへのリスクを大きく感じる。）

- ② 親近感（自動車は身近で親近感がある乗り物であるため、リスクが大きくても乗る。しかし、たまにしか乗らない航空機には親近感がないため、大きなリスクがあると思う。）
- ③ 時間軸（現在、発生している事象である大気汚染、BSE、鳥インフルエンザなどのリスクは大きく感じるが、喫煙、飲酒、エイズ、さらには地球温暖化など将来の事象になるとリスクへの認知は小さくなる。）
- ④ 表現方法（恐怖を煽る専門家によって、リスクの情報が歪曲される。）

上に示す事象は、人によってそのリスクを認知する度合いが異なる。事象について経験が豊富な人ほど、またリスク情報を正確に理解している人ほど、当該事象のリスクは小さく感じる。かといって、すべての人々があらゆる事象について正しいリスク情報を理解していることはあり得ない。そのため、風評被害のように、報道の仕方によってはリスクの大きさが過大に伝わることで、被害の規模が拡大することもある。風評被害を避けるためには、報道関係者は過大報道にならないように、正しいリスク情報を人々に伝達しなければならない。

このようにリスクは、発生側の事象の発生確率や直接的な被害規模だけでなく、受け手側のリスクの認知によっても、その大きさが変わる。後者の認知されるリスクの大きさは、事象の種類、報道内容、人の属性（性別、年齢、所得、病歴、思想など）に依存しており、客観的な立場から数量化し指標化することが難しい。

リスクの低減には、発生確率と被害規模を小さくするだけでなく、人々のリスクに対する認知を低減する努力が求められる。リスクの情報を公にしなければリスクへの認知は下がることになるが、リスク情報の隠蔽だけは避けるべきである。情報の隠蔽は、リスクを軽減する解決にはならない。情報が公になったとき、隠した組織への不信感は増大し、社会的にも大きな事件へと発展する。むしろ、情報を積極的に開示することで、人々のリスクに対する理解を高めていく必要がある。リスク情報を関係者である市民、行政、専門家、企業に広く公開することで、関係者間の意思疎通と合意形成が求められる。公の立場から

索引

【あ, い】

アベイラビリティ	74
硫黄酸化物 (SO _x)	107
イベントツリー解析	76
移流方程式	120
インベントリ分析	124, 126

【う, え】

受入意思額	15, 165
影響経路	160
影響項目	124, 155
影響度	155
影響評価	124
エスカレーション	43
エネルギー収支	69
エネルギー収支比	129, 132
エネルギー収支分析	129
エネルギー消費原単位	131
エネルギーセキュリティ	17
——の確保	7
エネルギーチェーン	13

【お, か】

温暖化ポテンシャル	156
外生的リスク	12
開発による便益	165
外部効果	162
外部性	162
外部費用	163
ガウシアンブルームモデル	110, 111
確定的影響	160
核分裂収率	116

核分裂生成物	115, 118
確率論的安全評価	79
確率の影響	160
確率密度関数	71
可採年数	27
ガス火力	174
化石燃料	8

活動量	140
可変費	47
下方半分散	23
火力発電	139, 153
環境財	166
環境負荷因子	135
環境負荷行列	141
環境負荷分析	134
環境マネジメント技法	122
乾性沈着	114
間接費用	43

【き】

起因事象	79
危機	2
危機管理	2
技術行列	140
技術選択問題	58
期待効用理論	168
期待収益率	21
基本建設費	43
基本事象	77
客観的リスク	4
キャリング・キャパシティー	29
供給基盤の整備	7
競争輸入型産業連関表	148

共分散	21
均等化経費率	54
均等化コスト	40
均等化発電コスト	55
金利	48

【く, け】

偶発故障	73
限界運転費用	61
限界費用曲線	163
限界容量費用	64
減価償却	49
現在価値	39
現在価値係数	40, 54
現在価値法	39
顕示選好アプローチ	169
原子力	8
原子力施設情報公開 ライブラリー	97
原子力発電	139, 152, 174
建設中利子	43
建設費	42

【こ】

効用曲線	166
国際原子力評価尺度	98
故障分布関数	71
故障率	72
コスト低減係数	45
固定資産税	52
固定費	47
コモنزの悲劇	28
コンジョイント法	169

【さ】

最終需要部門 147
 再生可能エネルギー 8, 139
 再遊避 114, 115
 サーマル NOx 107
 産業連関表(取引基本表) 147
 産業連関分析 126
 産業連関分析法 146
 酸性雨 108

【し】

しきい値 161
 事業税 52
 事業報酬率 48
 時系列産業連関表 151
 資源残存量 30
 資源の生産速度 30
 事故シーケンス 80
 市場価格 30
 市場財 166
 市場の失敗 163
 指数分布 74
 湿性沈着 114
 支払意思額 15, 165
 資本回収率 40
 資本費 47
 社会的価値 34
 社会的純価値 35
 社会的な受容 8
 収益率 21
 ——の分散 21
 習熟係数 45
 習熟効果 45
 修繕費 51
 修復率 76
 修理系 74
 主観的リスク 4
 寿命分布 70
 需要関数 35
 需要曲線 163
 純価値 35
 純ロイヤリティ 36

消費者余剰 33
 上方半分散 23
 正味エネルギー収支 129, 134
 初期故障 73
 人件費 51
 信頼度 71
 信頼度関数 71

【す, せ】

水力発電 154
 スレット 2
 生産費用関数 35
 正則行列 141
 正方化 141
 製油所 143
 石炭火力 174
 石油火力 174
 設備利用率 75
 選好アプローチ 169
 線量応答関数 155

【そ】

総収入 65
 総費用 47, 65
 粗価値 34
 粗付加価値部門 147
 損失余命 5

【た】

対策費用 10
 太陽光発電システム 83
 多重化 97

【ち】

地球温暖化現象 109
 窒素酸化物(NOx) 107
 中間事象 77
 中間需要(中間投入)部門 147
 頂上事象 77
 帳簿価値 48
 直接費用 43
 沈着 114

【つ, て】

積み上げ法 126
 定額法 50
 定率法 50
 電力供給不足確率 64

【と】

等価余剰 167
 統計的生命の価値 165
 投資比率 21
 特性化 156
 土地価格法 170
 トップダウン手法 126
 トラベルコスト法 169

【な, ね, は】

内生的リスク 12
 年経費率 53
 配分問題 128
 ハーヴェル軌道モデル 159
 ハザード 2
 バスキル-ギフォード線図 111
 バスタブ曲線 73
 バタフライ効果 12
 発電コスト 52
 発電電力量 55, 131
 パフモデル 110, 113
 ハロルド・ホテリング 34
 半分散 23

【ひ】

被害費用 10
 ビグーの外部不経済論 163
 非修理系 74
 非選好アプローチ 169
 ヒートアイランド現象 109
 費用最小化計画 63
 表明選好アプローチ 169

【ふ】

フィックの法則 158

—— 著者略歴 ——

内山 洋司 (うちやま ようじ)

- 1976 年 東京工業大学工学部金属工学科卒業
- 1978 年 東京工業大学大学院理工学研究科修士課程修了 (原子核工学専攻)
- 1981 年 東京工業大学大学院理工学研究科博士課程修了 (原子核工学専攻)
工学博士
- 1981 年 財団法人電力中央研究所
- 2000 年 筑波大学教授
- 2004 年 筑波大学大学院教授
現在に至る

羽田野 祐子 (はたの ゆうこ)

- 1988 年 東京大学工学部原子力工学科卒業
- 1990 年 東京大学大学院工学系研究科修士課程修了 (原子力工学専攻)
- 1990 年 東京大学大学院工学系研究科博士課程中退 (原子力工学専攻)
- 1990 年 東京大学助手
- 1997 年 米国ロスアラモス国立研究所研究員
- 1997 年 博士 (工学) (東京大学)
- 2000 年 筑波大学助教授
- 2004 年 筑波大学大学院助教授
- 2007 年 筑波大学大学院准教授
現在に至る

岡島 敬一 (おかじま けいいち)

- 1993 年 東京大学工学部化学工学科卒業
- 1995 年 東京大学大学院工学系研究科修士課程修了 (地球システム工学専攻)
- 1998 年 東京大学大学院工学系研究科博士課程単位取得退学 (化学システム工学専攻)
- 1998 年 静岡大学助手
- 1999 年 博士 (工学) (東京大学)
- 2005 年 筑波大学大学院講師
現在に至る

エネルギーシステムの社会リスク

Social Risk of Energy System © Uchiyama, Hatano, Okajima 2012

2012年5月11日 初版第1刷発行

検印省略

著者 内山洋司
羽田野祐子
岡島敬一
発行者 株式会社 コロナ社
代表者 牛来真也
印刷所 三美印刷株式会社

112-0011 東京都文京区千石 4-46-10

発行所 株式会社 コロナ社
CORONA PUBLISHING CO., LTD.

Tokyo Japan

振替 00140-8-14844・電話(03)3941-3131(代)

ホームページ <http://www.coronasha.co.jp>

ISBN 978-4-339-07927-2 (柏原) (製本:愛千製本所)

Printed in Japan



本書のコピー、スキャン、デジタル化等の無断複製・転載は著作権法上での例外を除き禁じられています。購入者以外の第三者による本書の電子データ化及び電子書籍化は、いかなる場合も認めておりません。

落丁・乱丁本はお取替えいたします