

水素ステーションの
社会総合リスクアセスメントガイドライン
Version 3.2

2019 年 2 月 18 日（月）

横浜国立大学 先端科学高等研究院/リスク共生社会創造センター

本ガイドラインは、横浜国立大学が作成した先端科学技術のリスクアセスメントガイドラインを水素ステーションに関して適用したものである。

内容

はじめに	5
1. 社会総合リスクとリスク共生社会	7
1.1. 社会総合リスクの導入	7
1.2. リスク共生社会の考え方	10
1.3. 社会総合リスクアセスメントによる課題解決	11
2. ガイドラインの使い方	13
2.1. 概要	13
2.2. 主体の整理と使用イメージ	14
2.2.1. 主体の分類と整理	14
2.2.2. 主体別の使用イメージ	16
2.2.3. 主体間のリスクコミュニケーション	17
2.3. 社会実装の段階の整理とリスクアセスメントを行う時期	18
2.3.1. 計画/導入/普及の各段階の分類と整理	18
2.3.2. リスクアセスメントを行う時期	18
3. リスクアセスメントの手順	20
3.1. 目的の設定	21
3.2. リスクの主体、影響分野の整理	24
3.2.1. 主体分野	25
3.2.2. 影響分野	26
3.3. リスク特定	27
3.3.1. 体系的なリスク特定	27
3.3.2. リスク分析対象とするリスク特定	30
3.4. リスク分析	31
3.4.1. リスク分析の手順	31
3.4.2. リスク分析における留意点	31
3.5. リスク評価	35
3.5.1. リスク評価の手順	35
3.5.2. リスク評価における留意点	35
3.6. 総合評価	37
3.6.1. 総合評価を行う意義	37
3.6.2. 総合評価の方法	38
3.6.3. 総合評価の手順例	39
3.6.4. 総合評価の実施に向けて	41
4. リスクアセスメントの主体別・段階別の重点	42

4.1.	各段階に備えて実施すべきリスクアセスメントステップの解説	42
4.1.1.	計画段階に備えたリスクアセスメント	42
4.1.2.	導入段階に備えたリスクアセスメント	45
4.1.3.	普及段階に備えたリスクアセスメント	46
4.2.	各主体によるリスクアセスメントの要点	47
4.2.1.	行政や国などのアセスメントの要点	47
4.2.2.	事業者のアセスメントの要点	51
4.2.3.	市民のアセスメントの要点	55
4.3.	リスクアセスメントにおけるリスクコミュニケーション	57
5.	リスクアセスメント結果の活用	58
5.1.	リスク対応への活用	58
5.1.1.	リスク対応案の検討	59
5.1.2.	リスク対応案の選定	59
5.2.	リスクコミュニケーションへの活用	60
5.2.1.	対話のためのリスクコミュニケーション	60
5.2.2.	伝達のためのリスクコミュニケーション	60
参考資料 1 :	用語と略語の定義	61
参考資料 2 :	社会的価値の構造の例 個人指標	63
参考資料 3 :	社会的価値の構造の例 社会指標	64
参考資料 4 :	社会的価値の重み付け 個人指標	65
参考資料 5 :	社会的価値の重み付け 社会指標	66
参考資料 6 :	社会総合リスクマトリックスの例	67

はじめに

過去の安全対策は、科学技術システムの社会実装に伴って生じた問題を、一つずつ対処することにより進められてきた。しかし、現代社会は複雑かつ有機的に結びついているために、事故や災害によってもたらされた影響は、想定外の大きさや波及効果が生じることから、直面した問題を対象とする安全対策のみでは不十分である。例えば、日本のガソリン自動車は1900年代前半から長い年月をかけ普及してきた技術であることから、その普及に伴い道路などの基盤を含めた技術開発や規制の適正化により安全対策を講じてきた。その一方で、現在普及が期待されている電気自動車や燃料電池自動車は、技術革新や政策の後押しに加えて、すでにガソリン自動車関連の基盤技術がすでに存在することから比較的短期間に普及する可能性がある。しかし、過去の自動車技術や関連する技術を対象とした分析のみでは、想定外の事故や災害に十分に対応できない可能性がある。

社会総合リスクアセスメントガイドラインは、このような未知性が大きい先端科学技術を対象とし、事故や災害を経験する前に社会へ与える大きな影響を予測し、未然防止に加えて、被害の拡大防止、緊急対応、復旧までの方策をとるために、リスクの概念を導入し、社会に対する信頼性を確保することを目的としている。そのため、対象とする影響分野を科学技術やシステム単体だけでなく、環境、経済、社会制度などの影響に加えて、事故や災害による生活、人心、社会活動などへの影響も考慮する社会総合リスクという新たな概念を用いている。また、本ガイドラインのリスクの定義は、ISO31000に従い、先端科学技術がもたらす正の影響と負の影響の両方を考慮している。従来のリスク分析は、事故の発生確率やその被害の大きさなど負の影響を対象とすることが多いが、本ガイドラインでは正負両方の影響を考慮し、社会としてのバランスのとれた意思決定に資するリスクアセスメントを行うことを目的としている。

本ガイドラインは、水素ステーションを対象とし、その特徴を反映した構成をしている。水素エネルギーはこれまでに工場や事業所といった特定の場所で使用されてきたため、技術、システム自体に特別な新規性はない。しかし、水素ステーションや燃料電池自動車といった市民が生活する範囲での活用が想定されるため、本ガイドラインの先端科学技術として取り扱う。

本ガイドラインにより得られる総合リスク評価の結果は、リスク対応やリスクコミュニケーションの際に用いることができる情報であり、社会全体のマネジメントに貢献するものである。

水素ステーションの社会総合リスクアセスメントガイドラインは、全部で5章の構成となっている。第1章では、社会総合リスクという考え方及び社会総合リスクアセスメントについてまとめている。第2章では、本ガイドラインの使い方について紹介している。第3章

では社会総合リスクアセスメントの手順自体を、第 4 章では社会総合リスクアセスメントを実施する際に重要な点について手順に則って説明している。第 5 章は、社会総合リスクアセスメントの結果を活用したリスク対応およびリスクコミュニケーションについて示している。

本書のリスクアセスメントとは、主にリスク特定、分析、評価の三段階で構成され、その結果はリスク対応、コミュニケーションへ資するものである。また、**国/行政、事業者、市民が必要とするリスク対応やコミュニケーションの判断材料として貢献することを主たる目的としている。**

1. 社会総合リスクとリスク共生社会

要点

- ・ 社会実装に関する意思決定は、リスク共生概念に基づいた総合的なリスクアセスメント結果を参考として行う
- ・ 個別事象のみに囚われず、総合的視点に基づくリスクアセスメントを実施するために社会総合リスクを導入する

本章は、社会総合リスクおよびリスク共生といった、本ガイドラインを使用する上で、重要となる概念について概説する。

水素ステーションの社会実装においては、水素の特性から、有事の火災・爆発に関する保安防災リスクがまず挙げられる。従業者や利用者、周辺地域の安全に係る保安防災リスクの評価はどのような場合においても行う必要があることは言うまでもない。しかし、そういった安全性以外にも、水素ステーションが社会にもたらす影響は極めて多様である。例えば、利用者の利便性・事業の継続性・環境影響などであり、これら各分野のリスクは別の分野のリスクとトレードオフの関係にある場合もある。これらを総合的にマネジメントすることで、水素ステーションのみならず水素ステーションの周辺地域から社会全体までの信頼性を確保する必要がある。ここに社会総合リスクマネジメントの必要性がある。

1.1. 社会総合リスクの導入

- 社会総合リスクとは、生命/健康/環境等の安全に関する影響に加えて、生活や社会活動・価値に影響を与える影響もあわせた、社会の安全と活動に関する総合リスクである。
- 社会総合リスクアセスメントはリスク共生の考え方に基づいたリスクアセスメントのことである。
 - 本ガイドのリスクの定義は、目的に対する不確かさの影響とし、影響は正負両方の影響が含まれている。
 - 本ガイドの不確かさは、事象、その結果又はその起こりやすさに関する、情報、理解又は知識が、たとえ部分的にでも欠落している状態である。

本ガイドラインでは、最新のマネジメント規格である ISO31000 に従い、**リスクを目的に対する不確かさの影響と定義し、正負両方の影響と定義することで社会総合リスク**という新しい概念を採用する。具体的に、**社会総合リスクは、工学と社会科学の視点を組み合わせたリスクの捉え方で、従来システム内あるいはシステム周辺の人身等に対する安全の問題としてリスクを対象とすることが多かった中、先端科学技術の社会実装による社会全体の**

リスクに主眼を置いており、市民、事業者、行政などのステークホルダーが意思決定プロセスを共有化するための概念である。

リスクという概念は人が創った概念であり、確率や被害の大きさの定量化は、客観的な判断が出来るという利点がある一方で、定量化できない確率や影響が評価に含まれない点に注意しなければならない。また、基本的には事故の発生確率やその被害の大きさ等、負の影響を中心に考えており、技術が社会にもたらす利便性の向上や経済効果など正の影響は同時に議論することが難しい。

従来の安全工学の分野では、リスクという概念を用いているものの、その範囲は限定的であり、実際に事業者や行政が行って来た対策の多くは、再発防止策によるものが多い傾向にあった。また、先端科学技術を対象とした安全性評価やリスク評価は、システム内あるいはシステム周辺の人身等に対する安全の問題としてリスクを対象とすることが多く、社会全体のリスクを取り上げることが非常に少ない。この要因は、前述したリスクの定義が限定的な範囲を示していたことに加え、科学技術を中心としたリスクやそこから生じる影響を、科学技術を中心に積み上げ式に捉えているためである。その一方で、社会科学の視点からは、工学的な視点より広い視点からリスクを捉えているものの、抽象的な評価になる傾向があり、具体的な個別の安全性評価や安全対策と結びつきにくい傾向があった。

そこで、社会総合リスクという概念の導入により、従来の工学的なアプローチによる安全性評価やリスク評価に加え、従来抽象的だった社会学的なリスク評価をあわせ社会全体のリスクを把握することができるようになる。社会のあらゆるステークホルダーが社会総合リスクを共通言語に、意思決定を行うことを目標とする（図 1-1）。

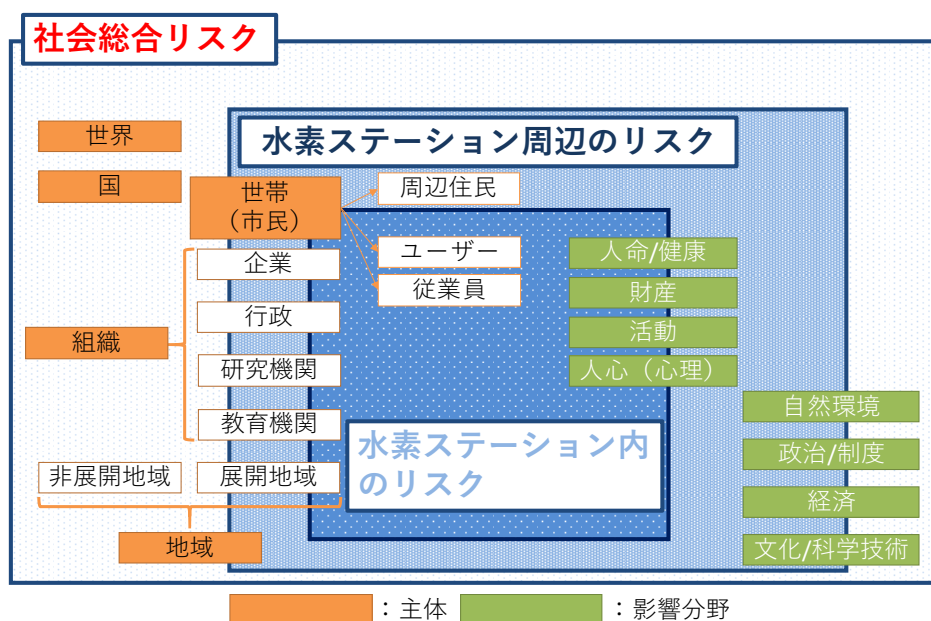


図 1-1 社会総合リスクの対象範囲

社会総合リスクを用いた分析や評価は、リスク共生という考え方に基づいている。これは、リスクを生み出している対象の本質が、その対象の価値をも生み出しているので、リスクを0にすれば、その対象の価値も0になるので、一定のレベルで選択し受け入れるという考え方である。事項で詳述する。

1.2. リスク共生社会の考え方

- リスクソースから好ましい影響と好ましくない影響を選択し、両影響のバランスがとれた社会のことリスク共生社会と呼ぶ（図 1-2）
- リスク共生社会では、好ましい影響のみを享受することは原理的に不可能である

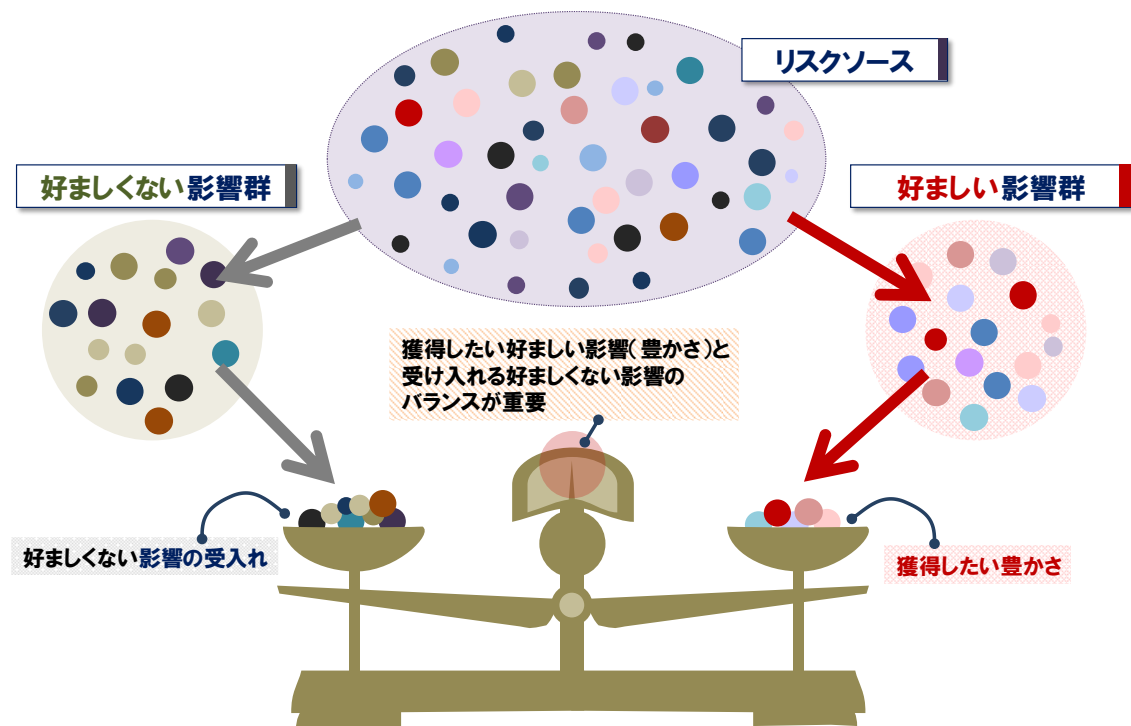


図 1-2 リスク共生の概念図

水素ステーションシステムの導入を検討する際には、多くのリスクが想定される。これらのリスクの集合体をリスクソースと呼ぶ。技術を導入する主たる目的を好ましい影響とすれば、それと同等の好ましくない影響を考える必要がある。一般的に、科学技術により獲得したい豊かさが大きいほど、好ましくない影響も増加する。こうしたリスクソースから好ましい影響と好ましくない影響を選択し、両影響のバランスがとれた社会のことリスク共生社会と定義している。

例えば、より広い視点から水素エネルギーシステム導入の好ましい影響を考えると、大気汚染の改善や、新規産業の創出などが挙げられる。これに対して、好ましくない影響として社会全体のコスト増加や規制適正化などに必要な時間と費用が挙げられる。いずれの影響も、水素エネルギーシステムが大規模に導入されればされるほど増加する。

1.3. 社会総合リスクアセスメントによる課題解決

現代社会は複雑かつ有機的に結びついているため、先端科学技術を取り巻く事故や災害が生じた場合、その影響は爆発的に広がり社会的に多大なる被害を及ぼす可能性がある。これまでに、原子力発電所や化学プラント等の科学技術を対象とした安全性評価は数多く行われてきた。しかし、**事故や災害によってもたらされた好ましくない影響は、想定外の大きさや波及効果が生じていることから、現状の顕在化した問題を対象とした分析や評価のみでは水素ステーションシステムの安全性評価は不十分である。**特に、大規模な影響が生じると、科学技術そのものの持続的な運用が出来なくなる可能性があり、可能な限りそのような状況を起こさないような方策が必要である。一方、好ましい影響についても同様であり、**先端科学技術が導入されたことによる好ましい影響は直接的な影響のみならず、バリューチェーンが生み出す波及効果も現状の技術導入における検討では不十分である**と考えられ、**好ましくない影響と好ましい影響双方のリスクの波及とどう共生していくかの検討が必要である。**

本ガイドラインが目指す社会総合リスクアセスメントは、こうした現代社会が直面する課題を解決するための手法である。

以下に、社会総合リスクアセスメントで考慮できる視点・課題の例を示す。

- 影響の大きさに関しては、人心への影響、物理的被害の影響のほか、環境（生態系、動物）・社会・地域・生活・組織等への影響も評価すること
- 安全性評価にとどまらず、どこまでいけば危険かという危険性を評価し限界を見極めること
- 非定常時のリスク評価も行うこと
- 経験した災害・事故・トラブルに限定することなく、可能性を洗い出すように努めること
- 対象とする製品・システムに関しては、製造から廃棄までのリスクを総合的に評価すること
- 設備・部材・製品の故障・経年劣化を反映すること
- ヒューマンファクターを考慮すること
- ソフトウェアリスクを考慮すること
- 変更管理によるリスクを考慮すること
- 不確かさの高いパラメータは、その設定の考え方について明らかにすること（原則として、希望的観測にもとづきリスクを小さく評価しないように注意すること）
- 最新の知識や環境の変化を反映すること
- 自然災害等との複合事故も想定すること

- 事故拡大防止対策の失敗確率を考慮すること
- 使用する情報の公開性・検証性を確保すること
- リスク論的目標設定を行うのは、対象システム等の現状リスクが検証できる範囲に限るものとする

2. ガイドラインの使い方

要点

- ・リスクアセスメントは各主体の視点を適切に踏まえる必要がある
- ・水素ステーションの社会導入の段階及び各段階に向けたリスクアセスメントの実施時期によって考慮すべき事項も異なる

2.1. 概要

ガイドラインは、あらゆる主体のあらゆる段階におけるリスクアセスメントに利用されることが想定されている。また、主体は単独でのリスクアセスメントのみならず、複数の主体で合意形成をするために用いることも想定される。各主体によってリスクアセスメントの目的や捉えるべきリスクは異なり、リスクアセスメントの実施においては自身及び他の主体にとってのリスクを適切に把握することが重要である。主要な主体におけるリスクアセスメントのあり方を、以下表 2-1 に示す。

本章では、ガイドラインを適切に利用するために主要な主体と段階でリスクアセスメントを整理する。

表 2-1 主要な主体におけるリスクアセスメントのあり方

	行政	事業者	市民
	社会リスク	事業リスク	市民リスク
リスクアセスメントで達成すべきこと	社会ビジョン構築	将来のビジネス構築	生活の豊かさと安全の両立
捉えるべきリスク例	・ 新たな政策が社会にもたらすインパクト ・ 新規技術・事業開発リスク	・ 新たな事業が社会にもたらすインパクト ・ 新規技術・事業開発リスク	・ 生活にもたらされるインパクト ・ 自身がもたらすリスク

2.2. 主体の整理と使用イメージ

2.2.1. 主体の分類と整理

リスクアセスメントガイドラインでは、水素ステーションのリスクアセスメントを自ら行う可能性の高い主体に応じて、行政、事業者、市民の三区分に分けてリスクの捉え方やガイドライン利用における重点を主に第4章で整理する。

ただし、これは各主体で分散してリスクアセスメントを行うことを推奨するものではなく、本来社会総合リスクはあらゆるステークホルダーが意思決定プロセスにおける認識を共有可能にするものであり、各主体は協働してリスクアセスメントを行い社会における先端科学技術の導入について議論をすることが望ましい。

1) 行政

行政には大きく推進行政と規制行政が存在する。

① 推進行政

推進行政は、水素ステーションによる経済産業伸長の達成を目指している行政である。こうした推進行政は、技術システム導入によって目指すべき経済産業伸長を持続可能なものとするために、安全等諸条件を調査し安全を確保するためにリスクアセスメントを実施する必要性が発生する。また、推進にあたっては正負の影響をどちらも考慮し、負の影響に対する正の影響の大きさを議論することが非常に有用であり、社会総合リスクアセスメントを導入することは有用である。

② 規制行政

規制行政は、推進行政が進める水素ステーションの導入によって、社会への負の影響がない状態の実現を目指す行政である。ただし、社会への負の影響をゼロにすることは現実的に困難なので、水素ステーションの正の影響を必要以上に阻害しない程度の規制の実現を目指すことになり、そのためには正負双方の影響を考慮する社会総合リスクアセスメントを行うことが望ましい。

2) 事業者

事業者は、水素ステーションのサプライチェーンに関わる事業を計画している事業者のことであり、水素ステーション事業による新たなサービス提供、また業績向上を目指している。事業者としては、まず法令等の遵守を大前提とし、事業活動の展開を持続可能なものとするために、安全等諸条件を調査し安全を確保するために社会総合リスクアセスメントを行うことが事業検討において有効であると考えられる。

3) 市民

市民は、普及段階における最終的な受益者となる。自らの生活圏に水素ステーションが導入される可能性がある場合、その生活にどのような影響がもたらされるのかを検討し、当該地域に居住する市民で新たな技術導入について議論を行う場合などにおいて、社会総合リスクアセスメントは議論材料の一つとして機能できるものと考えられる。

2.2.2.主体別の使用イメージ

1) 行政

主体例 : 水素エネルギー普及に前向きな政令指定都市の担当局

直面する状況想定 :

- ①水素社会に向けて水素ステーションの導入を考えたときに、どういった機関・企業と事前協議が必要か、事業者や住民の目線も含めた要検討事項の洗い出しをしたい
- ②水素ステーションを事業者が設置する際に、事業者に遵守・報告あるいは留意させるべき事項を整理したい

2) 事業者

主体例 : 水素ステーション事業者

直面する状況想定 :

- ①事業実施に際し、実証実験地域を中心とする各主体への説明が求められる。その説明の根拠材料として社会的影響を含めた把握をしたい
- ②投資家向けに水素ステーション事業の説明をするために、多様な社会的価値と効果、(負の)リスクを把握したい

3) 市民

主体例 : エリアマネジメント団体・協議会

直面する状況想定 :

当該エリア内への水素ステーションの進出が検討されたとき、域内の住民・企業と議論をするために、エリアにどのような影響（正負含む）があり得るのかを把握したい

2.2.3.主体間のリスクコミュニケーション

主体は、他の主体とコミュニケーションを取りながら水素ステーションの社会実装に関する検討及びその検討プロセスにあるリスクアセスメントを行うべきである。この際、各主体は自身として重要視するリスクや価値観を基にリスクアセスメントを行うが、社会としての意思決定を行うためには、各主体にとってもリスクを相互に理解し合意形成することが必要となる（図 2-1）。

上記に加え、より社会的な合意形成に資するリスクアセスメント実現のために、あらゆる主体が同じテーブルにつきコミュニケーションができるリスクコミュニケーションの中立的プラットフォームの実現が望まれる。リスクアセスメントにおけるリスクコミュニケーションの詳細は、4.3.で記述する。

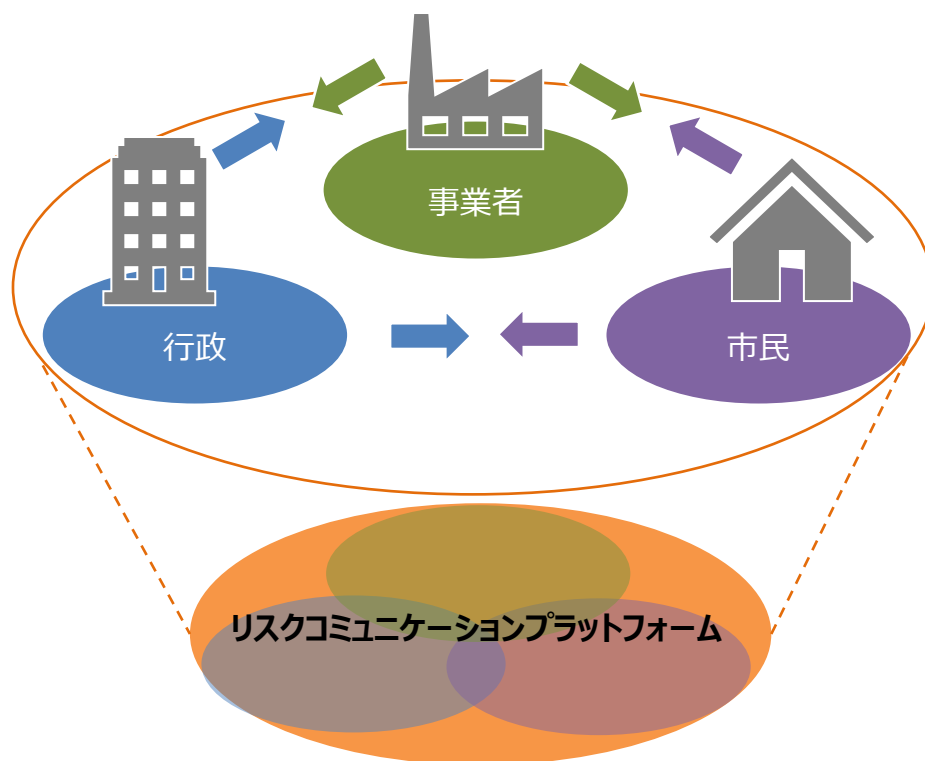


図 2-1 各主体間のコミュニケーションの姿

2.3. 社会実装の段階の整理とリスクアセスメントを

行う時期

2.3.1. 計画/導入/普及の各段階の分類と整理

リスクアセスメントガイドラインでは、水素ステーションの社会実装の段階に応じて、計画、導入、普及の三段階に分けて構成している。

1) 計画（実験/開発）段階

計画段階とは、水素ステーションが社会導入目的のために必要な要素技術を開発・整備する実験開発段階を指す。一般市民が関与しない、パイロットプラントレベルまでの検討は計画段階に含まれる。この段階を対象としたリスクアセスメントは、水素ステーションの社会導入実現性を評価すると共に、水素ステーションが社会へ導入された場合の影響を、導入、普及段階まで考慮し、国あるいはシステム単位で網羅的に評価する。

2) 導入（実証実験）段階

導入段階とは、対象とする水素ステーションが特定の地域や都市において実証実験される段階を指す。限定的ではあるが、社会実装後を想定した、一般市民やユーザーを交えた検討を行う。この段階では、実証実験から得られた具体的な情報を考慮して重要な影響を詳細に分析評価する。また、計画段階で扱えなかったリスクについても取り扱う。

3) 普及（商業化）段階

普及段階とは、補助金や規制適正化により、多くの一般市民が水素ステーションを利用できる社会を目指す段階を指し、計画、導入段階で行った評価を軸に、国あるいはシステム単位で社会全体への影響を網羅的に評価する。また、可能な範囲で、水素エネルギー技術が衰退する状況（競合エネルギーシステムの進歩など）についても考慮する。

2.3.2. リスクアセスメントを行う時期

図 2-2 は各段階の位置づけと、それらを対象としたリスクアセスメントを行う時期を示している。いずれの段階のリスクアセスメントも、科学技術が実際にその段階に入る以前に取り組む必要がある。

計画段階のリスクアセスメントは、水素ステーションの導入が意図された最初期より取

り組むことが推奨される。

導入段階のリスクアセスメントは、計画段階のリスクアセスメントを踏襲し、計画段階の後期から導入段階の初期までの間に、具体的かつ詳細に分析するリスクを選定し分析する。また、実際に水素ステーションが導入（実証実験）段階に入った際には、導入段階で取り組んだリスクアセスメントを再検証する。

普及（商業化）段階のリスクアセスメントは、水素ステーションの普及開始前(導入段階)において、水素ステーションが国レベルで普及した状況のリスクアセスメントを行う。

全段階において、リスクアセスメントの前提となる技術状況や社会状況に変化があった場合は、アセスメント結果に与える影響について遅滞なく再検証する必要がある。

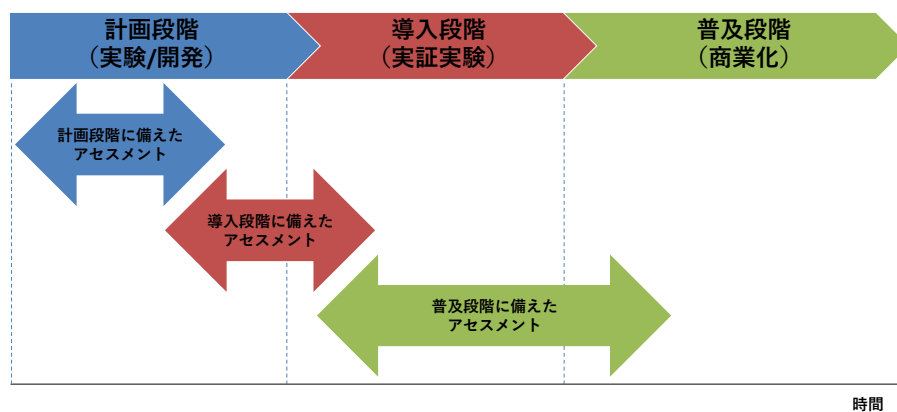


図 2-2 各段階のアセスメントを行う目安

3. リスクアセスメントの手順

要点

- ・ リスクアセスメントは、リスク情報の活用およびリスクの総合評価のために実施する
- ・ 段階および影響分野に応じて、適するリスク分析手法を選択する
- ・ 総合リスク評価結果は、技術システムの計画、導入、普及における意思決定を支援する

本章は、リスクアセスメントの概要を段階別、ステップ別に解説する。

図 3-1 は、ISO31000 を参考にし、計画、導入、普及の 3 段階に共通したリスクアセスメントのステップを示している。社会総合リスクのリスクアセスメントのステップは、目的の設定からリスク評価まで主に 5 ステップで構成される。

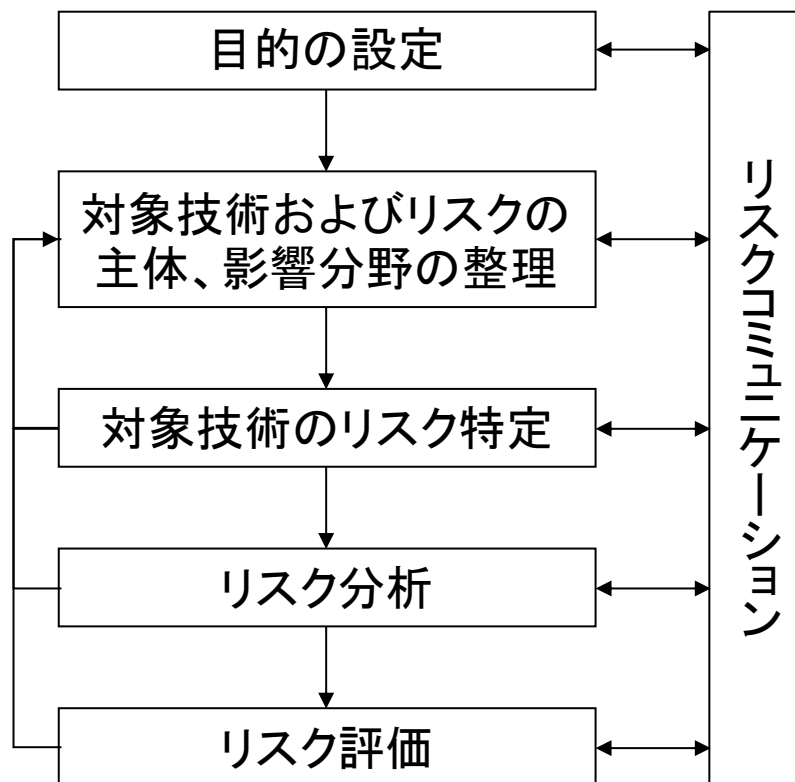


図 3-1 社会総合リスクアセスメントのステップ

3.1. 目的の設定

目的の設定は、社会総合リスクアセスメントを行う際に最も重要なステップである。

- **目的の設定は、技術システムによって達成したい社会目標を明確にする、およびアセスメントされたリスク情報を用いて何を達成するのかを明確にすることである。**

また、リスクアセスメントではリスク基準をもとに各種評価が行われる。社会実装によって達成する目的が不明確であると、その後の分析や評価されるリスク（正の影響、負の影響）の受容可否に関するリスク基準が曖昧になり、適切かつ妥当なガイドラインの活用が困難になる。地域、日本、世界など対象とする範囲が変わると、必然的に目的も変わる。

社会目標とは、その主体にとって技術システムを導入することにより得たい効果や、効果によって変わる社会の姿である。どのような社会になりたいのか、またそのような社会になるためにどのような効果を技術システムから得たいのかを明確にすることにより、リスク基準を定めることができる。これがリスクアセスメントの第一歩となる。これは、その技術システムがそもそも社会にもたらすであろう効果がありその中から自身が享受するであろうもの・享受したいものを抽出することで導くことができる。

リスク基準は、社会目標に向かって技術システムの導入におけるリスクアセスメントを行うための基準として設定する。

リスク基準の決定は、以下のことを行う。

- 原因、発生しうる結果の性質および種類、並びにその見積方法を決定する。
- 発生確率を表現する方法を決定する。
- リスクレベルを決定する。
- リスク対応が必要となるときに、それを決定する基準を作成する。
- どのようなときに、リスクが許容可能となるかを決定するための基準を決定する。
- 複数のリスクの組合せを考慮する。
- 複数のリスクの組合せ算出方法を決定する。
- ステークホルダーの見解を考慮する。

リスク基準は、次のような資料に基づいて決定する。水素ステーションの場合、既にガソリンスタンドやCNGスタンドといった類似施設が社会に普及しているため、それらと比較しリスク基準を設定してもよい。

- 設定した目的
- 仕様に明示された基準
- 法令、規則の要求事項
- 類似技術システムのリスク基準
- 国等の公共機関が定めるリスク基準
- 一般的なデータ源
- 安全度水準のような、一般に受け入れられている工業基準
- 特定の機器又は適用に対する法的又はその他の要求事項

水素ステーションのフィジカルリスクにおいては、火災や爆発災害の頻度と影響度から算出されたリスクに対して、日本学術会議で議論されている工学システムに対する社会の安全目標や、ALARP (As low as reasonably practicable) の考え方をリスク基準の参考にすることもできる。また、死亡リスクなどもリスク基準を決定するうえで参考にすることができる。さらに、水素ステーションの場合は、既存のガソリンスタンドや CNG スタンドなどの類似施設が社会に普及しているため、それら施設の現状リスクを整理し、その最も厳しいリスクレベルをリスク基準とするような考え方もある。

社会・経済面のリスクにおいては、同様の利用形態の既存科学技術を基準として議論することができる。例えば、経済波及効果や雇用創出などの影響は、新規産業の育成や失業率対策としての効果としてみれば正の影響である。しかし、この正の影響は先端科学技術への投資により引き起こされており、視点を変えると社会的な費用負担増という負の影響が増加ことを意味している。また、先端科学技術の導入や需要増加により生じる既存科学技術への需要減少も十分に考慮する必要がある。

環境面のリスクにおいても、同様の利用形態の既存科学技術や、その他の代替技術を基準とすることが多い。この比較の際には、調査、設備製造、設備建設（組み立て）、運用、廃棄等のライフサイクルの視点が非常に重要である。例えば、燃料電池自動車の走行（運用）時に排出される物質は水のみであるため、一般的に環境にやさしい技術であるとされる。しかし、走行に使用される水素は、火力発電を含んだ電力による電気分解や化石燃料の改質などの化学反応により生産されており、燃料製造の過程で環境負荷物質が生じている。また、燃料電池自動車や化学反応を起こすための設備機器の製造、建設（組み立て段階）でも、多くの電力や化石燃料が投入されているため、環境負荷物質は生じている。従って、先端科学技術の環境面の議論する際には、ライフサイクルの視点が非常に重要である。このような考え方の一例として、ISO140001 のライフサイクルアセスメントがある。この企画は、目的お呼び調査範囲の設定、インベントリ分析、影響分析、結果の解釈で構成されており、多くの科学技術やエネルギーシステム分析に用いられている方法である。

生活面のリスクにおいても、環境・社会・経済面と同様に、他の科学技術と比較した場合が一つの基準となる。

3.2. リスクの主体、影響分野の整理

水素ステーションのような先端科学技術の最も大きな特徴は、社会実装する際に生じる影響の未知性にある。リスク自体を捉える前に、まず影響を受ける主体分野と影響の分野の整理が必要となる。主要な留意点は以下の通り。

- 水素ステーションの社会総合リスクアセスメントでは、望ましい状況に対する影響についてその種類を「直接的な正負の影響」「間接的な正負の影響」の2つを考慮する。
- 影響の発生可能性として、「個別技術・個別システムの影響」、「システムの全体の影響」の2つを考慮する。
- 対象とする技術やシステムのサプライチェーン、システム導入の動機、システムの状態を考慮する。

3.2.1.主体分野

- ① 社会総合リスクでは、先端科学技術から影響を受ける主体で構成される社会構造を「個人・世帯」「組織」「地域」「国」「世界」で区分する（図 3-2）。
- ② 階層は所属する主体の規模、もしくは存在する範囲で変わるものとし、所属する主体はあくまで人（個人・あるいは団体）を基準に整理する。
- ③ 地域は、自治体レベルの地域を代表する組織として行政組織（都道府県、市区町村等）をこの主体に含める。
- ④ 組織の範囲を超えるが地域の範囲を超えない先端科学技術の地域周辺の協議会等は組織、地域の範囲を超える技術の導入地域同士の地域共同体や業界、日本国内市場等は国に属すものとする。
- ⑤ 推進行政と規制行政は規制環境ではなく中央政府であり、ここは国に属す。

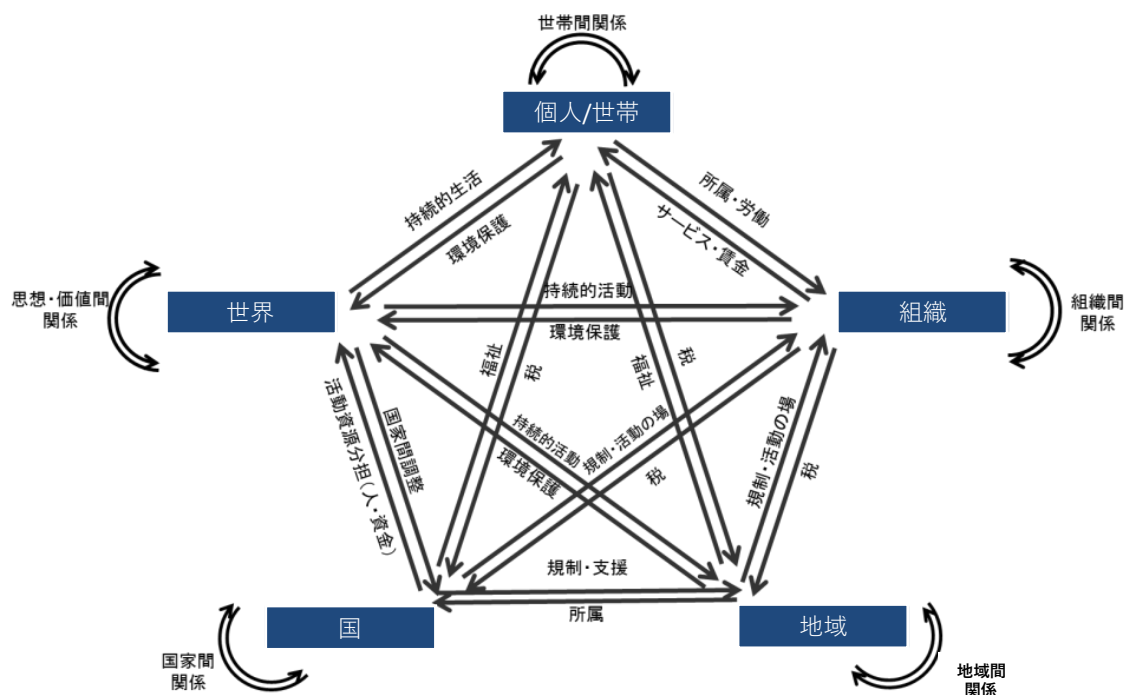


図 3-2 社会構造各主体の関係性

3.2.2.影響分野

- ① 先端科学技術の社会総合リスクでは、影響分野として、「主体内影響」と、「主体外の影響」の2つを前提としている。前者は「人命/健康」「財産」「生活/生産活動」「人心」で構成され、後者は「自然環境」「社会環境」に分割される。さらに、「社会環境」は「政治/制度」「経済」「文化/科学技術」に分割して構成した。
- ② 水素ステーションの社会総合リスクを検討する上では、技術に関連する社会影響を多岐に渡り検討することが必要となるため、世界経済フォーラム(2015)を参考にグローバルな視点からローカル・個人の視点までを含む影響を扱えるよう改変することで枠組みを作成した。
- ③ この枠組みの十分性・妥当性については国連の SDGs: Sustainable Development Goals として『誰も取り残されない』世界を実現するため持続可能な開発のための17の目標と比較することで検証した。図 3-3 は整理した社会総合リスクの影響分野とSDGs の関係を示している。

主体内の影響				主体外の影響				その他
人命/健康	財産	生活 /生産活動	人心	自然環境	社会環境			
					政治/制度	経済	文化 /科学技術	
1 健康も なくそう	7 エネルギーをみんなに そしてクリーンに	8 働きがいも 経済成長も	8 働きがいも 経済成長も	6 安全な水とトイレ を世界中に	1 健康も なくそう	8 働きがいも 経済成長も	7 エネルギーをみんなに そしてクリーンに	17 パートナーシップで 目標を達成しよう
2 飢餓を ゼロに	13 気候変動に 具体的な対策を	11 住み続けられる まちづくりを	16 平和と公正を すべての人に	7 エネルギーをみんなに そしてクリーンに	2 飢餓を ゼロに		9 産業と技術革新の 基盤をつくろう	
3 すべての人に 健康と福祉を	14 海の豊かさを 守ろう			13 気候変動に 具体的な対策を	4 質の高い教育を みんなに		11 住み続けられる まちづくりを	
4 質の高い教育を みんなに	15 陸の豊かさ を守ろう			14 海の豊かさを 守ろう	5 ジェンダー平等を 実現しよう		12 つくる責任 つかう責任	
				15 陸の豊かさ を守ろう	6 安全な水とトイレ を世界中に	12 つくる責任 つかう責任	14 海の豊かさを 守ろう	
					10 人や国の不平等を なくそう	16 平和と公正を すべての人に	15 陸の豊かさ を守ろう	

UNIC: 2030アジェンダからロゴを引用

図 3-3 影響分野の枠組みと SDGs の関係

3.3. リスク特定

リスクアセスメントを開始するにあたっては、対象とする水素ステーションとそのシステムから影響を受ける主体分野と影響分野の関係の整理が必要である。対象システムに関わる主体として、ユーザーや事業者のみならず、国や地域など意図的/非意図的に関わる可能性がある主体を列挙する。また、リスク源と考えられる分野は、主体に内在する影響分野と外部環境の影響分野の2つを考慮する必要がある。

従来のリスク特定はハザード特定が主体であり、社会全体のリスクを対象としている点、対象としたリスクから詳細に分析を絞り込むリスク特定を採用している点が本ガイドラインの特徴である。

3.3.1.体系的なリスク特定

- 技術から影響を受けるステークホルダーを各主体分野の中から特定する。ステークホルダーは個々に列挙するのではなく、全てのステークホルダーを分割する視点で行う。
- 各ステークホルダーの視点を設定する。
- 影響分野を決定する。この際に、主体に対するリスクの影響と主体外に対するリスクの影響の2つを考慮する
- ブレインストーミング方式により、生じる可能性の影響を記載する。この時、事業者、行政、市民など、なるべく多くのステークホルダーに参加してもらうことが望ましい。
- 技術状況、社会状況を十分に考慮する

表 3-1 は、社会総合リスクマトリックスの一例である。前項で整理した主体・影響分野によるマトリックスを基礎に、対象とする技術や目的とする社会像を十分に考慮し、マトリックスを分割や拡張することを検討する必要がある。

表 3-1 ステークホルダーと影響分野の整理の例

		視点	影響分野							
			主体内の影響				主体外の影響			
			人命/健康	財産	生活 /生産活動	人心	自然環境	社会環境		
								政治/制度	経済	文化 /科学技術
主体	個人/世帯									
	組織									
	地域									
	国									
	世界									

表 3-2 は、各主体が生産活動を行う際の視点、望ましくないリスクの影響（例）、望ましいリスクの影響（例）を示している。この各主体の視点やリスクの影響例を参考に、表 3-1 のマトリックスに体系的にリスクを整理することが重要である。

リスクアセスメント実施者はマトリックスの構成からリスク項目の特定まで、複数の主体とのリスクコミュニケーションを行いながら作成することが推奨される。

表 3-2 各主体の一般視点の設定の例

				各主体の視点	視点の構成要素(例)	望ましくない リスクの影響（例）	望ましい リスクの影響こと（例）
			個人・世帯	豊かな生活の追求	・ものや家計の豊かさ ・時間の豊かさ ・心身健康の豊かさ ・人間関係の豊かさ ・感性や知性の豊かさ	死亡、負傷、財産喪失 不安 不便	利便性、快適性 財産の増加
			組織	組織目的・事業の達成、継続	・組織内関係の豊かさ ・組織の活動の豊かさ ・組織の資源の豊かさ ・組織間関係の豊かさ	資本・労働力の被害 事業活動への支障 競争力の低下	事業の拡大、継続 利益の増大 構成員の幸福への寄与
			地域	地方自治の確保 構成員の福祉増進	・安定した経済基盤 ・社会の安全・安心 ・信頼できる社会制度	住民・地域内資産の被害 地域生活への支障 地域の存続困難	地域全体の便益向上 税収の増加 構成員の幸福への寄与
			国	自治の確保 基本的人権の尊重 公共の福祉の確保	・安定した経済基盤 ・社会の安全・安心 ・信頼できる社会制度	国民の便益の偏り 国民の負の影響の偏り 国家全体の非効率、不正義	国全体の便益向上 税収の増加 構成員の幸福への寄与
			世界	国際平和・安全の維持 諸国の友好 人権及び基本的自由の尊重	・持続可能な社会 ・良好な国際関係	経済的、社会的、文化的または人道的性質を有する国際問題 諸国の行動の不調和	持続可能な社会

3.3.2. リスク分析対象とするリスク特定

全ての社会総合リスクマトリックスについて詳細に分析することは時間的/コスト的に現実的でない場合もある。その場合は、詳細に分析する必要があるリスクについて優先順位をつけても良い。ただし、**優先順位をつける際には、市民、行政、事業者がそれぞれ有する価値観を反映する必要がある。**

- 体系的に取りまとめた影響の中から、詳細な分析を行う優先順位が高いセルを決定する。
- この時、事業者、行政の視点のみではなく、必ず技術を利用する市民の視点を考慮する。
- リスクアセスメントの対象とする技術について新たに調査や分析を行うことが望ましいが、現実的でない場合、後述する一般化された生活と社会の価値の重みなど一般化された結果を用いる。
- 絞り込みの根拠として、定量的な結果のみならず、定性的な結果も十分に考慮する。

3.4. リスク分析

リスク分析は、リスク評価及びリスク対応の必要性、並びに最適なリスク対応の戦略及び方法に関する意思決定のための判断材料を提供する。意思決定のために、選択が必要であり、選択肢に異なったリスクの種類及びレベルが含まれる場合には、リスク分析は、その意思決定のための判断材料を提供できる。

水素エネルギーは、これまでに工場や研究施設など管理区域内で利用されてきたエネルギーである。それ故に、個別の技術そのものは新しくはない。しかし、水素ステーションや燃料電池自動車など、市民の生活や生活圏で利用する形態が新しい。本節では、リスク分析の手順、留意点に加えて、水素ステーションシステムの導入の際に重要なフィジカルリスクアセスメントについて詳述する。

3.4.1. リスク分析の手順

- ① 以下の順序でリスクの概要を把握する。
 1. リスクの原因及びリスク源
 2. リスクの好ましい結果及び好ましくない結果
 3. これらの結果が発生することがある起こりやすさ
- ② 結果及び起こりやすさに影響を与える要素を特定する。
- ③ 結果及び起こりやすさ、並びにリスクのその他の属性（誤差、前提条件等）を決定する。
- ④ リスクの種類、リスク分析に利用可能な情報、及びリスクアセスメントからのアウトプットを使用する目的を反映し、結果及び起こりやすさを表す方法、並びにリスクレベルを決定するためにこの二つを組み合わせる方法を決定する。
 - これらはすべて、リスク基準と矛盾しないものであることが望ましい。

3.4.2. リスク分析における留意点

以下、リスク分析を実施する際の留意点を挙げる。具体的なリスクアセスメント手法に関しては、付録にも手法の概要を記載しているが、さらに詳細な情報については、ISO 31010:2009 リスクマネジメントーリスクアセスメント技法（JIS 31010:2012）を参照されたい。

- 一つの事象が複数の結果をもたらし、複数の目的に影響を与えることがあること

を考慮する。

- 既存の管理策並びにそれらの有効性及び効率を考慮する。
- 異なったリスク及びそれらのリスク源の間の相互依存性を考慮することも重要である。
- リスクレベルの決定に対する確信、並びに必要条件及び前提に対する機微性は、リスク分析の中で考慮し、意思決定者及び適切な場合にはその他のステークホルダーに効果的に伝達されることが望ましい。
- 専門家の間の意見の相違、情報の不確かさ、利用可能性、品質、量、現況性、モデル化の限界などの要素は、明記することが望ましく、強調されることがある。リスク分析がどの程度まで詳細に実行されるかは、リスク自体、分析の目的並びに利用可能な情報、データ及び資源によって、様々である。
- 分析は、周辺状況によって、定性的、半定量的、定量的、又はそれらを組み合わせた形で行うことができる。
- 結果及びその起こりやすさは、一つ以上の事象の結末をモデル化することによって、又は実験調査若しくは利用可能なデータから外挿することによって、決定されることがある。結果は、有形及び無形の影響として表現されることがある。場合によっては、異なった時間、場所、集まり、状況における結果及びその起こりやすさを規定するために、複数の数値又は記述用語が必要となる。
- 限定された範囲のリスクに対して、リスクアセスメントを実施する場合もある。

1) フィジカルリスク

リスク分析では、特定された個別のリスクに対するリスクアセスメントを実施する場合もある。特に水素ステーションシステムにおいて、フィジカルリスクアセスメントは重要である。以下にフィジカルリスクに対するリスク分析の重要な3つのプロセスを示す。

- ① フィジカルリスク特定：ハザード特定、リスク顕在化シナリオの抽出
- ② フィジカルリスク分析：各シナリオの影響度と発生確率の定性的および／または定量的な推定
- ③ フィジカルリスク評価：許容可能かを決定するためのリスク基準との比較

① フィジカルリスク特定

フィジカルリスク特定では、人体や建物に影響を与えるシナリオを特定する。シナリオの特定に備えて、以下の情報の取得・整理を行う。

- ・水素ステーションの設備の構成、仕様、運転条件、安全対策

- ・水素ステーションの外部環境（電気、ガス、水道、道路等のインフラ、周辺環境）との関係性

- ・化学物質（水素、メチルシクロヘキサン、トルエン、熱媒）の危険性

上記の情報を基に、原因から起こり得る結果に至るまでのシナリオを抽出する。水素ステーションで特に考慮すべき事象、原因、起こり得る結果を以下に示す。シナリオの抽出手法としては、Hazard identification (HAZID) study、Hazard and operability study (HAZOP)、Failure mode and effect analysis (FMEA)等が挙げられる。

【事象】

- ・爆発災害
- ・火災
- ・漏洩

【原因】

- ・水素ステーションに内在する要因（設備故障、ヒューマンエラー等）
- ・水素ステーションに外在する要因（自然災害、もらい事故、テロ等）

【起こり得る結果】

- ・人の死亡
- ・人のケガ（火傷、鼓膜損傷等）
- ・人の疾病
- ・建物の損壊

なお、上記ではハザード特定から起こりうる結果としてリスクを特定するアプローチをとっている。工学的リスクアセスメントにおいては、このように原因（ハザード等）を特定し、これを分析することでリスクを特定することが多い。一方で、リスクアセスメントの目的に沿って検討対象とするリスクの諸条件（例えば人的被害であれば、死亡／火傷／鼓膜損傷等の被害の種類・度合い、従業員／一般市民等の属性、波及影響の考慮の有無等）を詳細に特定してから、原因となる事象の分析を行うというアプローチもある。

② フィジカルリスク分析

抽出したシナリオに対して、定性的および／または定量的な分析を行う。シナリオの数が多い場合等には、まず定性的または半定量的な分析および評価を行い、高いレベルだと考えられるシナリオを抽出した上で、定量的な分析および評価を行ってもよい。

【影響度の分析】

各シナリオの影響度を、実験やシミュレーションを用いて推定する。特に重要な影響を以下に示す。

- ・人体、建物への爆風の影響
- ・人体、建物への火炎の影響
- ・人体への急性毒性影響
- ・人体への慢性毒性影響

【発生確率の分析】

各シナリオの発生確率を、Event tree analysis (ETA)やベイズ統計等を用いて推定する。アメリカのサンディア国立研究所のデータベースや、オランダの国立公衆衛生環境研究所のパープルブック等を参照することも可能である。

③ フィジカルリスク評価

フィジカルリスクのリスク基準は、他のリスクとのバランスを考え設定することが望ましい。リスク基準を設定するにあたっては、社会受容性を調査することは有効な手段の一つである。水素ステーションの場合、既にガソリンスタンドやCNGスタンドといった類似施設が社会に普及しているため、それらと比較し許容基準を設定してもよい。日本学術会議で議論されている工学システムに対する社会の安全目標や、ALARP (As low as reasonably practicable) の考え方を参考にすることもできる。

2) 環境・社会・経済リスク

社会総合リスクマトリックスにおける「経済」「環境」「社会制度」の分野を対象としたバランスの取れた分析を行うために、水素エネルギーシステムを導入した際の、環境・社会・経済に対するリスクアセスメントも必要である。

- 科学技術のライフサイクル全体（調査、設備製造、設備建設、運用、廃棄）の事象を考慮する。

3.5. リスク評価

リスク分析の結果を基に、リスクの大きさを見積もり、リスク基準と比較することでリスクを評価する。リスク評価の目的は、どのリスクへの対応が必要か、対応の実践の優先順位はどうするかについて意思決定を手助けすることである。リスク評価は、周辺状況によって、定性的、半定量的、定量的、又はそれらを組み合わせた形で行う。

3.5.1. リスク評価の手順

- ① リスク基準と、リスク分析プロセスで発見されたリスクを比較する。

リスク及び／又はその大きさが許容可能かを決定する。この比較に基づいて、対応の必要性について考慮する。

- ② リスク評価の結果、必要に応じて更なるリスク分析を実行する。

- ③ リスク対応に関する選択肢がある場合は、その有効性を評価する。

リスク評価の結果、そのリスクについては、既存の管理策を維持する以外はいかなる対応もしないという意思決定が行われることもある。

リスク対応自体が生じさせるリスクや影響についても十分に議論することに注意する必要がある。

- ④ リスク対応について意思決定を手助けする

リスクのより広い範囲の状況を考慮し、そのリスクから便益を得る組織以外の、他者が負うリスクの許容度についても考慮する。

意思決定が、法律、規制及びその他の要求事項に従っているかを確認する。

3.5.2. リスク評価における留意点

1) フィジカルリスク

- ① リスク基準と、リスク分析プロセスで発見されたリスクを比較する。

➤ リスクのレベルは発生頻度と影響度の組合せで見積もる。

➤ 評価は、リスクシナリオの特性に応じて、定性的、半定量的、定量的、又はそれらを組み合わせた形で行う。特に、システム由来のリスクなど、定量化可能なリスクは定量的に算出する。リスク及び／又はその大きさが、許容可能かを決定す

る。

② 安全対策等のリスク対応に関する選択肢がある場合は、その有効性を評価する。

- リスク評価結果は次のリスク対応を協議する際の重要資料となる。
 - ・ 保安防災およびセキュリティ上重要な設備の特定
 - ・ 安全対策案の策定
 - ・ 技術指針案の策定
 - ・ 危機対応体制の策定
 - ・ 事業継続計画の策定
 - ・ リスクコミュニケーション
- 甚大な被害を与えるリスクシナリオ(特に激甚災害)については、その発生確率に関わらず、リスク顕在化時の対応について策定する。

③ リスク対応(安全対策等)について意思決定を手助けする。

- 既存の管理策や安全対策等のリスク対応策が、高圧ガス保安法、消防法、建築基準法等の法律および規制に従っているかを確認する。

2) 環境・社会・経済リスク

水素ステーションシステム導入の環境・社会・経済リスクを対象とした詳細な分析は、限られた情報や強い前提条件の下に行われる。しかし、技術の影響は社会全体に及ぶ点から全体的な視点から捉える必要がある。

- 特定の技術、特定の地域への影響のみならず、社会の視点から環境・社会・経済影響を考慮する。特に水素ステーションシステムの場合、水素エネルギーのみならず化石燃料や再生可能エネルギーなどエネルギーシステム全体への影響を考慮する。
- 評価基準の一例として、同様の利用形態である既存科学技術と比較する方法がある。ただし、全てにおいて先端科学技術が既存科学技術よりも正の影響が大きい必要はない。
- 補助金や税制優遇などの経済的支援が減少あるいは無くなる将来像（技術状況、社会状況を含む）を想定して、持続的に運営可能かどうかを時間軸に従って考慮する。
- 科学技術のライフサイクル全体（調査、設備製造、設備建設、運用、廃棄）の影響を考慮する。
- 上記の評価は必ず不確実性（感度分析などによる振れ幅）を考慮した分析結果を用いて評価を行う。

3.6. 総合評価

リスクへの対応についての判断を支援する評価には、個々のリスク毎の評価と複数のリスクの総合評価がある。

3.6.1. 総合評価を行う意義

社会活動や事業活動において明確な要求のある重要なリスクに関しては、個々のリスク毎に精緻なリスク評価を行うことになるが、水素ステーションシステムの多様なリスクのすべてのリスクを個別に最適化を行っても、その成果として水素エネルギーシステム全体として最適化できているとは限らない。

水素エネルギーシステム全体としてのリスク最適化を行うためには、多様な価値の視点からみたリスクの総合評価を行う必要がある。

リスク評価技術の観点から、総合評価を行う理由を以下に示す。

- ① 社会の求めるリスク基準は複数あり、一つの指標を満足したとしても他の指標を満足していないシステムは受容できないために、安全の判断に必要な指標を全て検証する必要がある。
- ② 社会に存在する多様なリスクは、独立ではなく、あるリスクを小さくすれば、別のリスクが大きくなるという関係がある。そのために最終的にどのリスクをどのようなバランスで受け入れるかを選択する必要がある。
- ③ 全てのリスクを理想的な状況にコントロールをすることは難しく、社会に有意義な工学システムを活用するためには、社会や組織運営において、ある種のリスクと共生をする必要がある。

3.6.2.総合評価の方法

総合指標の使用フェーズは、水素ステーションシステムの開発時、行政の規制時、既存のシステムの変更時等の幾つかのフェーズがある。

総合指標の設定のために実施すべきことには、以下の二つのステップがある。

1) 第1ステップ

対象とする水素ステーションシステムが社会にもたらす全ての重大な影響に関する指標（リスク指標）を整理し、それぞれのリスクを検討することである。

この検討すべき影響には、以下の事項が含まれる。

- ・ 生命、心身の健康（短期、長期の健康被害・傷害・障害の視点も重要）
- ・ プライバシー
- ・ 事業利益、財産
- ・ 環境への影響
- ・ 情報（喪失、漏洩）
- ・ 経済影響
- ・ 物理的被害
- ・ 社会的混乱
- ・ 日常生活の不便 等

2) 第2ステップ

異なるリスクを比較可能な形に正規化して評価する。正規化する方法として、重み付けを行う方法や金銭的価値に換算する方法がある。今回は、前者の手順を以下に示す。

① 総合評価のためには、リスクを検討する価値の重みを評価する。

企業で判断する場合は、経営者の価値観を反映することになり、社会としての判断の場合は、市民価値を含めた社会全体の影響・利益に鑑みてその社会の価値を反映することになる。

重みの設定は、各リスクの価値観を階層分析法等で社会価値を定量化してリスクの重みとする方法がある。

② 価値の重みを勘案したリスクの総合評価を行う。

総合評価の方法には、リスクをその影響の共通なものを同じカテゴリーとして整理してリスクのランク評価を行い、カテゴリー間の重みを設定しリスクのランクにカテゴリーの重みを考慮して、そのリスクを評価する方法や、すべてを金銭等の単一の指標に変換する等の幾つかの手法がある。

3.6.3.総合評価の手順例

総合評価を行う際の具体的な手順の一例を示す。なお、前節のステップに沿った方法であれば、必ずしも本手順に従う必要はない。

① 価値の構造化

水素ステーションシステムを評価する視点として、水素ステーションシステムを実装する社会においてどのような価値が存在するか、価値項目を洗い出す。その際、出来る限り漏れなく・重複なく価値項目を洗い出し、価値の全体像を表現できるよう、階層化を行いながら抽出する。事業者が事業検討のために評価を行う場合などは、価値は社会ではなく事業者自身にとっての価値に限定して行うなど、対象とする価値の範囲は主体が決定する。なお、価値の構造の例を参考資料 2・3 に示す。

② 価値項目の重み付け

それぞれの価値項目について、階層別にどの項目をより重視するか、市民アンケートによる一対比較を行う。結果を AHP（階層分析法：Analytic Hierarchy Process）の考え方に基づいて項目間の重みに変換し、全回答者の平均をとることで、社会的価値の項目間の重み付けを行う。なお、価値項目の重み付けについて、市民アンケートを用いて設定を試行した例を参考資料 4・5 に示す。

③ 価値項目に基づく評価指標の構築

それぞれの価値項目について、水素ステーションシステムを評価することを念頭に置いた場合に考えられる評価観点を評価指標として抽出する。

④ 価値項目と水素ステーションシステムの関係整理

上記で抽出した評価指標を参考として、評価対象とする水素ステーションシステムと価値項目の関係有無を判断する。判断にあたっては、当該水素ステーションシステムや、その社会との関係について一定の知見を持つ有識者に判断を依頼する。出来る限り多様な有識者に判断を依頼することが望ましい。有識者による関係有無判断を平均化することで、価値項目と水素ステーションシステムの関係有無を定量化する。

⑤ 価値項目に基づく個別評価値の算出

水素ステーションシステムとの関係があると判断した価値項目について、評価指標に基づく評価を行う（個別の評価指標の算出は、フィジカルリスク、環境影響、経済効果など各分野における適切な算出方法による）。この際、既存の他のシステムとの比較評価を行うことにより、水素ステーションシステムと既存システムを多様な価値に基づいて体

系的に比較評価することができる。

⑥ 評価値の総合化

個別評価値を相対値に変換、あるいは基準に対する到達割合の形に変換する等、項目間の総合が可能な形に規格化を行った上で、ここまでに算出した価値項目の重み、価値項目と水素ステーションシステムの関係有無を項目別に乘じ、合計することで、水素ステーションシステム及び比較対象システムの総合評価値を算出する。

3.6.4.総合評価の実施に向けて

総合評価の難しさは、多様なリスクのバランスを考えた総合指標の設定の難しさで、評価対象とするリスクの種類が異なるため、単なる数値やランクの加算等で評価するというわけにはいかないことである。

総合指標の考え方は複数あり、対象とする工学システムや領域によって、より適した手法を活用することでよい。

総合評価の考え方は、評価主体が水素ステーションシステムのリスクをどのように考えるかというリスク構造の表明でもある。

計画、導入、普及段階において、詳細なリスクアセスメントの結果から、総合的に評価を行うことは、水素ステーションの社会実装には有効である。

4. リスクアセスメントの主体別・段階別の重点

要点

- ・ リスクアセスメント実施時の留意点について示した
- ・ 計画/導入/普及の三段階に分けてリスクアセスメントの留意点を示した
- ・ 行政や国、事業者、市民が技術を評価する際の留意点を示した

本章では、ガイドラインで用いる社会実装の定義から使用方法まで記載する。具体的には、4.1.ではリスクアセスメント実施時の留意点、4.2.では対象とする技術の社会実装の段階別分類を示す。4.3.では各段階におけるリスクアセスメントステップの解説、4.4.では主体が本ガイドラインを用いて水素ステーションのリスクを評価する際の要点を示す。

4.1. 各段階に備えて実施すべきリスクアセスメントステップの解説

水素ステーションの社会実装のためには、計画、導入、普及の各段階において、実施すべき社会総合リスクアセスメントを理解して、実施することが必要である。以下に、各段階の要点を記す。

4.1.1. 計画段階に備えたリスクアセスメント

1) 水素ステーションを含む水素エネルギーシステムの推進の是非を検討するためのリスクアセスメント

この段階では、水素ステーション、および水素ステーションシステムが社会に実装された際に、どのような影響を社会に与えるかということを事前に把握し、その是非を検討する必要がある。そのためには、リスクや影響ごとに概括的な評価を実施し、大きな影響をもたらす可能性のあるリスクを把握することが重要である。

① 水素ステーションの多様なリスクを多様な視点から可能な限り洗い出しておく。

この時点で、水素を含むエネルギーシステム動向や水素ステーションのライフサイクルについての概括的リスクアセスメントを行うことが望ましい。

- ② リスクや影響ごとに簡易評価を実施し、大きな影響をもたらす可能性のあるリスクを把握する。
- ③ 推進により発生する課題が大きい場合は、その影響を緩和する施策を検討する必要があり、推進はその施策の効果を検証してその実装スケジュールに反映させる。
- ④ 新たな対策、またその対策の効果が明確でない状況では、推進施策自体を見直す。

2) 非定常時、事故時を想定したリスクアセスメント

この段階においては、導入段階において大きな好ましくない影響を起こさないために、リスク対応の優先順位を定めて、そのリスクの詳細な分析から対応の効果を検証していくことが重要である。

- ① 人身や環境へ大きな影響をもたらすリスクに対する詳細な分析を行う。
- ② 機器故障、自然災害に加えて、操作ミスやテロに対するリスクも分析する。
- ③ 水素ステーションの定常、非定常、事故状態だけでなく、周辺環境による価値観の変化やリスク状況の変化の評価を考慮する。
- ④ リスクの顕在化防止に加えて、事故が発生した際の対応に関するリスクも検討を行う。

4.1.2.導入段階に備えたリスクアセスメント

1) 導入期間のリスク対応検討のための評価

- ① 計画時に導入に先立て実施すべきリスクアセスメントの未実施事項の実施。(4. 1. 1. 参照)
- ② 導入を行うことによって得られた知見を基に、リスクアセスメントの修正を行う。

2) 普及の前に実施すべきリスクアセスメント

この段階においては、計画段階、導入段階よりも、多くの市民が水素ステーションを利用できる状況にあり、計画段階、導入段階よりも大規模な対応が必要となる可能性がある。

- ① 導入時に対応が検討できていないより小さなリスクが、技術やシステムが普及することで大きな影響を与える可能性について検討する。
- ② 競合する技術やシステムとのトレードオフ状況について社会全体の視点から分析する。

4.1.3.普及段階に備えたリスクアセスメント

1) 普及期間のリスク対応検討のための評価

- ① 導入時に普及に先立て実施すべきリスクアセスメントの未実施事項の実施。(4. 1. 2. 参照)
- ② 普及を行うことによって得られた知見を基に、リスクアセスメントの修正を行う。

2) システムの収拾の前に実施すべきリスクアセスメント

普及が拡大していても、いずれ代替システムへの転換が行われ、水素エネルギーシステムの廃棄が実施される。普及が進むにつれて、システムの廃棄に関するリスクアセスメントを実施する必要がある。

- ① 代替システムへの転換に関するリスクアセスメントの実施。
- ② 水素エネルギーシステムを全面廃棄するについてのリスクアセスメントの実施。

4.2. 各主体によるリスクアセスメントの要点

リスクアセスメントは、行政（国・地域）、事業者、市民等の様々な立場で実施されるが、その目的はリスクアセスメントの結果を参考にして様々な判断を行うことである。リスクアセスメントを実施する者は、分析に先だちその結果に関して、先入観を持たず、論理的に判断を行う必要がある。

以下、主体毎の要点を記す。

4.2.1. 行政や国などのアセスメントの要点

行政や国の科学技術システムに関する活動には、推進行政と規制行政の二種類がある。この二つの行政は、互いに連携して目指す社会を創造していくものであり、それぞれが実施するリスクアセスメントを有効かつ実効可能であるものとするためには、目指すべき社会像を共有することが望ましい。また、それぞれが実施したリスクアセスメントの結果は、互いに参照できる状況であることが望ましい。

本ガイドでは、以下に、それぞれの行政において実施すべきリスクアセスメントの要点を記す。

1) 推進行政

科学技術の推進行政の目的を達成する為には、その推進に影響を与える要因を分析して、事前に対応を検討することが望ましい。

そのためには、まず対象とする水素ステーションを含む水素エネルギーシステムを推進することにより達成したいと考える社会状況を設定する必要がある。そして、その社会状況の達成に影響を与えるものをリスクとして特定し、検討する必要がある。このリスク特定に際しては、本ガイドラインの参考資料6：社会総合リスクマトリックスの例を参考にされたい。

推進行政においては、水素エネルギーシステムの推進の効果と共に、社会総合リスクの中で大きな影響を受ける項目を明らかにして、その対応を考慮する必要がある。

そのためには、以下の事項に留意する必要がある。なお、ここでいうリスクとは、生活や社会活動に対する好ましくない影響と好ましい影響をいう。

推進行政に関わるリスクアセスメントの事項を以下に記す。

① 目的の設定

水素エネルギーシステムを推進すべきと考える要因となった社会の課題を整理し、水素エネルギーシステムを推進することにより達成したいと考える社会状況と目的を明確にする。さらにその目的をステークホルダーで共有する。その際に、事業者や市民などの様々なステークホルダーを巻き込んで決定することが望ましい。

② 主体と影響分野の整理

設定されたアセスメント目的に従い、リスク主体と影響分野を整理する。特に、次の社会、経営、技術等の各分野から要求される事項を考慮する必要がある。

③ リスク特定

①で設定した目的の達成に影響を与えるものをリスクとして特定し、検討を行う。必要な技術とその開発状況を整理して、ボトルネックとなる技術を洗い出す。その技術の開発が、衰退をもたらす事業や製品を整理し経済的影響を検討する。その他のリスク特定に際しては、本ガイドラインの参考資料 6：社会総合リスクマトリックスの例を参考にされたい。

水素ステーションの場合、新たに市民が関与する範囲が大きいため、市民の価値観を十分に考慮した上で詳細な分析を行うリスクを決定する。

④ リスク分析

上記で特定されたリスクについて、分析を行う。分析法はアセスメント目的に応じて、十分な精度で結果を与える手法を選択するように留意する。具体的な方法は 3.4. リスク分析を参照されたい。

⑤ リスク評価

リスク分析結果をリスク基準と比較する。その際に、規制や法律などが設定したリスク基準のみならず、他のリスク主体のリスク基準と比較することが望ましい。特に、後述する規制行政への影響を十分に考慮し、リスク対応とコミュニケーションの際に齟齬が生じないように留意する。また、水素エネルギーシステムの推進の効果と共に、社会総合リスクの中で大きな影響を受ける項目を明らかにして、優先順位と各リスクの対応を検討する。

2) 規制行政

規制行政においては、社会に大きな影響を与えるリスクに対して、十分な対応を検討する必要がある。この際に、個々の課題を順番に対応することで、新たに発生するリスクにも配慮する必要がある。

規制として設定するリスク対応には、制度、マネジメント、設備要件、運用等に関する要求を明らかにする必要がある。

また、規制においては、リスクの顕在化防止に加えて、事故等が発生した際の脆弱性に対する対応も検討する必要がある。その際、事業者に要求する活動内容と、行政によって実施すべき活動、事業者と行政とで共同で実施すべき活動を明確にして、政府、自治体等に対する要求も明確にしておく必要がある。

規制が実施すべきリスクアセスメントの事項を以下に記す。

① 目的の設定

推進行政が設定した目的を背景に、水素エネルギーシステムの規制要件の候補となる課題を整理する。前記の課題に対し安全等の規制として設定する要件を、制度、マネジメント、設備要件、運用等に関してリスク分析を行う。システムの安全性には、そのバランスを取ることが重要であり、リスク分析の前提である要求の全体像を整理しておく必要がある。

② 主体と影響分野の整理

設定されたアセスメント目的に従い、リスク主体と影響分野を整理する。特に、次の社会、経営、技術等の各分野から要求される事項を考慮する必要がある。

③ リスク特定

規制行政においては、リスクの顕在化防止に加えて、事故等が発生した際の脆弱性に対する対応もリスク分析の対象とする。水素ステーションは市民の生活にも直接的に影響を与えるため、利便性、環境性、安全性、経済性など多面的な要素をバランスよく考慮する。

④ リスク分析

規制が要求する事項の実効性に関してリスク分析を行う。ある事項への規制がもたらす他の事項への負の影響に関するリスク分析を行う。上記で特定されたリスクについて、分析を行う。その際、事業者に要求する活動内容と、行政によって実施すべき活動、事業者と行政とで共同で実施すべき活動を明確にして、政府、自治体等に対する要求も明確にしておく。

分析法はアセスメント目的に応じて、十分な精度で結果を与える手法を選択するように留意する。具体的な方法は 3.4.リスク分析を参照されたい。

⑤ リスク評価

リスク分析結果をリスク基準と比較する。その際に、規制や法律などが設定したリスク基準のみならず、他のリスク主体のリスク基準と比較することが望ましい。特に、後述する推進行政への影響を十分に考慮し、リスク対応とコミュニケーションの際に齟齬が生じないように留意する。また、水素エネルギーシステムの推進の効果と共に、社会総合リスクの中で大きな影響を受ける項目を明らかにして、優先順位と各リスクの対応を検討する。

4.2.2.事業者のアセスメントの要点

事業者が実施すべきリスクアセスメントの要点を以下に記す。

① 目的の設定

アセスメント目的の設定と次の主体および影響分野の整理は、リスクアセスメントの成否を決定する重要事項である。事業者は、**関連法規等を満足するだけでなく、多くの可能性をリスクとして検討する必要がある**。事業者が新たな水素ステーションを含む水素エネルギーシステムを開発運営する際には、**技術システムの開発リスクに加えて、そのシステムを運用する際のリスクを幅広く検討する必要がある**。

リスク目的に応じて、リスク基準を設定する。リスク基準を設定する際は、次のリスク主体、影響分野の整理結果についても考慮する必要がある。

② 主体と影響分野の整理

設定されたアセスメント目的に従い、リスク主体と影響分野を整理する。特に、次の社会、経営、技術等の各分野から要求される事項を考慮する必要がある。

i) 社会からの要求事項

- 一般市民の生命を著しく脅かす可能性について検討する
- 一般市民の財産を著しく損ねる可能性について検討する
- 特定の個人または事業者等が得/損することがあるか検討する
- 憲法および法律や一般的な社会通念/道徳から逸脱する可能性について検討する
- 公的な資金投入を必要とするかについて、その適切性も含めて検討する。
- 社会生活や環境の変化について検討する（変化項目、変化量および変化速度等）
- 巨大な自然災害にも耐えられるのかについて検討する
- 他の技術と比べて、社会実装を優先すべきかについて検討する
- 社会実装までのプロセスが一般市民や行政と共有できるかについて検討する
- 一般市民および行政が社会実装を拒否又は保留することが可能かについて検討する

水素ステーションシステムは社会に導入され始めているものの、多くの一般市民にとっては未知性が高い科学技術である。その一方で、行政や事業者にとっては従来から化学プラント等で水素エネルギーを利用しているため、一般市民と比べると未知性は低い。このようにこれから導入・普及が検討されている科学技術の未知性がステークホルダーによって大きな差が存在する場合、一か所あるいは一度の事故によ

り技術そのものの信頼性が著しく損なわれる可能性がある。しかし、水素ステーションシステム全体で生じる事故やトラブルの全てを事前に対応することは不可能である。そこで、**事故やトラブルに対してどこまで想定し、どこまで対応していたのかを明確に示しておく必要がある**。また、**行政や市民などステークホルダー間で、想定と対応のプロセスを計画段階から共有しておく必要があり、そのような場を提供しておくことが望まれる**。

ii) 経営からの要求事項

- 企業価値を高めるかについて検討する
- 事業実現性があるかについて検討する
- 事業継続性と発展性があるかについて検討する
- 急激な社会変化に対応できるかについて検討する
- 事業から撤退することは可能かについて検討する

事業者にとって利益の追求は最重要の目的である。近年では長期、中期、短期的な目標に分けて経営計画を立てるあるいは意思決定を行うことが増えている。しかしながら、多くの先端科学技術には多くの投資が必要であり、その投資をいかに早く回収するかが経営判断で重要である。また、経営者や意思決定者は短い時間に投資額を回収することが事業者内や社会的に評価される傾向にある。しかし、本書の冒頭で述べたように短時間での導入や普及、それに伴う利益の追求はより一層リスクソースの増大を生み、選択するべきリスクが多くなることを念頭に入れなければならない。また、リスクアセスメントは時間と費用を割いたとしても、事故やトラブルが起きなければ対価が得られない性質をもつため、積極的に行われる可能性は低い。しかし、前述した一か所や一度のトラブルによってその後の技術の導入や普及が社会的に非常に困難になる可能性があることもまた事実である。従って、**リスクアセスメントによるリスク情報にどこまで投資するべきか、長期・中期・短期的な視点から経営計画を立案もしくは見直す必要がある**。

iii) 技術からの要求事項

- 現状の技術で何が可能で、何が不可能かの整理ができているかについて検討する
- ライフサイクルを見通した技術開発ができているかについて検討する
- 社会および経営からの要求事項に技術的に対応し、わかりやすく説明する

水素ステーションシステムの安全性や経済性は、社会と経営の要求を満たすために必要不可欠である。エネルギー技術やエネルギーシステムを開発する場合、導入初期の

段階では補助金や政策などによる経済的な援助があり成立しており、短期的かつ独立した経営は不可能である。それ故に、短期的な技術開発の場合、補助金や政策があることを前提に安全性、効率性、環境性などを重視する傾向がある。もちろん、**科学技術の発展や技術革新については非常に重要な取り組みである。しかしながら、こうした安全性、効率性などは技術の導入や普及する際の検討事項の一つの要素であるため、経済性などを含めた科学技術の持続可能な運用も同時に議論する必要がある。**

一つの分野のリスク低減や改善は返って他のリスクの増加や改悪を起こす可能性がある。技術の安全性や効率性などの特定分野の最大化は、科学技術の発展にとっては非常に重要である。従って、社会への導入や普及を議論する際には、各ステークホルダー、各影響分野の一つが最大化される状況は少ないということを念頭に置かなければならない。

③ リスク特定

上記で整理された周辺状況を基に、リスクアセスメント目的と照らし合わせて、分析が必要なリスクを特定する。特に以下のリスクについては分析が必要なリスクとして特定されることが多い。

- i) 既存の規制の要求に関するリスクに関する分析を実施する。
- ii) 将来強化される規制に関する検討を行い強化される可能性が高い場合は、その視点でのリスク分析も実施する。
- iii) 安全に関するリスク分析の実施
- iv) 自社の安全目標にそって、リスク分析を行う。
- v) 水素ステーションのライフサイクルに関するリスク分析を行う。
- vi) 水素ステーションシステムのステークホルダーの視点で必要と考えるリスク分析を行う。(社会総合リスクの項参照)

ライフサイクルの各ステージにおいて、事業の継続や社会に対し大きな影響をもたらすリスクを検討し、その対応の十分性に関する検討を行うことが必要である。さらには、展開しようとする水素ステーションおよび水素エネルギーシステムに関して同じ目的を有する既存のシステムや代替システムのリスクとの比較を行い、新システムの成立性を検討する必要がある。

運用に関するリスクでは、システムへの被害、従業員への被害、市民生活に関するリスクの様に、まず社会に直接的に好ましくない大きな影響を与えるリスクに対する検討を行う必要がある。このリスクをもたらす原因としては、機器の故障の他、操作ミス、自然災害、テロ等の多様な原因に対するリスク評価を行う必要がある。

また、事故や災害に遭遇した際の、事故対応や復旧におけるリスク評価も重要であ

る。リスク分析に先だち、事業者としてのリスク基準を設定しておくことが重要である。分析したリスクが、そのリスク基準を満足できない場合は、その対応を検討し対象となるリスクに関して基準を満足する状態にすることが必要になる。

テロ等の発生確率の想定が難しい状況であってもリスク分析は重要であり、様々な状況に置けるシステムの弱点を把握しておくことが必要になる。

④ リスク分析

上記で特定されたリスクについて、分析を行う。分析法はアセスメント目的に応じて、十分な精度で結果を与える手法を選択するように留意する。具体的な方法は 3.4. リスク分析 を参照されたい。

⑤ リスク評価

リスク分析結果をリスク基準と比較する。その際に、事業者自身の設定したリスク基準のみならず、他のリスク主体のリスク基準と比較することが望ましい。

4.2.3.市民のアセスメントの要点

市民が実施すべきリスクアセスメントの要点を以下に記す。

① 目的の設定

市民はまず水素ステーションの導入を検討する生活と生活圏内の状況を把握する必要がある。その上で、生活の視点、生活圏の視点を考慮して目的を設定する必要がある。その一方で、行政や事業者が主導して目的を設定した場合は、その目的がどのような背景で設定されたかを十分に検証する。

② 主体と影響分野の整理

市民は、水素ステーションを取り巻く重要なステークホルダーの一つである。市民はこの段階で、自分たちの生活や生活圏は、水素ステーションシステムを通して地域、国、世界とつながっている点に十分に留意する。

③ リスク特定

市民のリスク特定は、市民のリスクアセスメントにおける最重要項目である。水素ステーションシステムの社会実装について、**市民は市民視点のリスクを特定するためのリスクを洗い出すことが重要である。また、市民視点のリスクが事業者や行政を含んだ社会へ与える影響を十分に考慮する必要がある。また、市民は、受け入れられない影響や懸念される影響を列挙し、それに対する不安があることを意思表示し、詳細分析を実施、もしくは事業者や行政に要求することである。**一方で、積極的に受け入れる影響や、受け入れを許容できる影響についても、整理が必要である。さらに、それら影響について、市民の視点から可能な範囲で許容基準を設定することが望ましい。ここで特定されたリスクについて、事業者や行政と共にリスクアセスメント結果を基にコミュニケーションを行う。これらは順次見直しすることができるものとする。

以下にリスク特定の手順概要とその留意点を示した。詳細手順は 3.3. リスク特定 を参照されたい。

- i) 水素ステーションとの関係性(ユーザー、周辺住民、利害関係者等)を明確にする。
- ii) 水素ステーションによって受ける影響を列挙する。

その際に、水素ステーションが実装されることによるリスクと共に、水素ステーションを実装しないときのリスクも整理を行う。ここで、水素ステーション

ンが生活や社会に影響を与える可能性に関しては社会総合リスクを参考にして整理することが望まれる。

iii) 上記で列挙したリスクから、懸念するリスクについて特定する。

iv) リスク基準を設定する。

④ リスク分析

市民は、行政や事業者が実施するリスクに関する分析に関心を持つと同時に、自分自身が検討した方が良いと考えるリスクに関しては、積極的にリスク分析に関わることが求められる。しかし、**市民自身でリスクアセスメントを実施することが不可能であったり、困難であったりする場合も多い。そのような場合は、大学、NPO等の機関に協力を要請する方法や、行政、事業者に対して要求を行う方法がある。**

⑤ リスク評価

新しい科学技術システムが社会活動や生活にもたらす影響は、好ましいものだけと言うことはあり得ない。**市民は、科学技術のシステム・製品を活用した豊かな社会生活を行うに際して、理解すべき科学技術のリスクとその受容のあり方に関して常に関心を持つことが必要である。**そして、社会総合リスクの視点では、全てのリスクを十分に小さくすることは難しい場合が大半で有り、**どのリスクをどのレベルで受容するかということを検討する必要がある。**

4.3. リスクアセスメントにおけるリスクコミュニケーション

本ガイドラインの、リスク評価やリスク管理の全過程において、リスク評価者、リスク管理者、消費者、事業者、研究者、市民、その他の関係者の間で、相互に情報の共有や意見の交換を行う。

リスクコミュニケーションは、これまで原子力システムや化学物質の環境リスク分野で多く行われてきた。リスクコミュニケーションは、1970年代に、米国で生まれ、専門家のリスク評価を市民に教育・説得する活動として開始された。20年間の活動で見直しが始まり、ステークホルダー間の相互信頼関係を築く活動として進展してきた。そして、リスクアセスメントを効果的に実施するために、リスクアセスメントに先だって実施するものと、その考え方は拡張されてきている。

本来コミュニケーションとは、**リスクアセスメントを行う前の前提の共有化とリスクアセスメントの結果を共有する二つに大別される。過去の多くのコミュニケーションは、前者を行わずに、後者のみを行うことが多い傾向にあった。**このような問題の要因は、技術の導入や政策が決定した後、すなわち導入段階や普及段階に環境リスクの結果を用いている点にある。その一方で、計画段階では、行政や事業者は何をどのようにリスク分析すればよいのかが不明確であり、また一般市民は行政や事業者に何を要求すればよいのか不明確である。例えば、化学物質に関する環境リスクとは、化学物質などによる環境汚染が人の健康や生態系に好ましくない影響を与えるおそれのことをいい、化学物質の有害性の程度と、それにどのくらいさらされているか（暴露量）によって決まる。しかし、これらの環境リスクの推計結果は、事業者や行政が、住民を説得するために用いられることが多く、コミュニケーション本来の意味に沿って用いられていないことが多かった。**従って、リスクコミュニケーションとは、様々なステークホルダーが計画段階から、対象とする技術が社会にどのような影響があるのかを議論し、最終的な意思決定をするための場であることを再度認識する必要があり、前提と結果の共有化を一貫して行う必要がある。**

コミュニケーションを行う目的は、コミュニケーションの結果に基づき判断や施策を変更することにある。そのためには、リスクコミュニケーションでは、実施するタイミングが重要であり、施策を決定する前にリスクコミュニケーションを実施する必要がある。

本ガイドラインでは、**これら3つのステークホルダー（行政、事業者、市民）が、計画段階、導入段階、普及段階のそれぞれの段階で留意すべき事項を記載している。**従って、本ガイドラインをリスクコミュニケーションに用いることで、水素ステーションを社会実装する際の課題とリスク、リスク対応をステークホルダーで共有化することができる。

5. リスクアセスメント結果の活用

要点

- ・リスクコミュニケーションには、価値観や知識の共有のために実施するものと、リスク評価の結果を共有するためのものがある
- ・対話を行うタイミングは、結論を出す前に実施する必要がある
- ・対策の技術の実効性や実現性、必要となる費用や期間、そして対策が生み出す新たなリスク等を踏まえたうえで、対策の優先順位を再検討し、必要に応じてはリスク評価の見直しを行う場合もある

5.1. リスク対応への活用

リスクへの対応は、リスク評価に基づいて一つまたは複数の選択肢を選び出し、実施するものである。リスク対応においては、その対策の効果を検証しリスク基準を満足する結果となることを確認する必要がある、そのためには、あるリスク対応の分析を実施しその効果を検証し新たなリスク対応を策定する、という循環プロセスも対応策の検討に含まれてはならない。

また、最適なリスク対応選択肢の選定においては、水素ステーションに関する法規、社会の水素ステーションを含む水素エネルギーシステムへの要求等を尊重しつつ、得られる便益と実施費用・労力との均衡を取ることが求められる。一方、対応の意思決定においては、経済的効率性より重要な社会的要求があることを念頭に置いておく必要がある。

対応計画では、気づいた順番に対応を実施するのではなく、対応策全体の中から個々のリスク対応を実施する優先順位を明確に記述しておくことが望ましい。

そして、リスク対応は、それ自体が諸々のリスクを派生させることがあることに注意を要する。

リスク対応の実施に際しては、対策の技術の実効性や実現性、必要となる費用や期間、そして対策が生み出す新たなリスク等を踏まえたうえで、対策の優先順位を再検討し、必要に応じてはリスク評価の見直しを行う場合もある。

5.1.1. リスク対応案の検討

リスク対応の検討方針は、以下の通りである。

- ① リスク対応には、あるリスク対応の分析を実施し、その効果を検証し、新たなリスク対応を策定する、という循環プロセスが含まれる
- ② 最適なリスク対応選択肢の選定においては、法規、社会の要求等を尊重しつつ、得られる便益と実施費用・労力との均衡を取る
- ③ 意思決定では、経済的効率性より重要な社会的要求がある
- ④ 対応計画では、個々のリスク対応を実施する優先順位を明確に記述しておくことが望ましい
- ⑤ リスク対応それ自体が諸々のリスクを派生させることがある事に注意する必要がある

5.1.2. リスク対応案の選定

リスク対応は、リスクを加減するための一つまたは複数の選択肢を選び出し、実施する。リスク対応手段は、以下の通りである。

- ① リスクを回避する：リスクを生じさせる活動を開始又は継続しない
- ② 機会の追求のためリスクを取る又は増加させる
- ③ リスク源を除去する
- ④ 起こりやすさを変える
- ⑤ 結果を変える
- ⑥ 他者とそのリスクを共有する
 - ・ 契約及びリスクファイナンスを含む
- ⑦ 情報に基づいた意思決定によりリスクを保有する

5.2. リスクコミュニケーションへの活用

リスクコミュニケーションには、リスクアセスメントのプロセスにおいて実施するものと、リスク評価の結果を共有するためのものがある。両者とも結論や合意を前提に行わないことに留意する。前者は、4.3. リスクアセスメントにおけるリスクコミュニケーションを参照してもらいたい。以下、リスク評価結果におけるリスクコミュニケーションについて記載する。

5.2.1. 対話のためのリスクコミュニケーション

伝達のためのリスクコミュニケーションの手段は、以下の通りである。

- ① 対話を行うタイミングは、結論を出す前に実施する
- ② 情報や意見をわかりやすく伝える、互いの意見を理解しようとする
- ③ 違いを強調するのではなく、同意できる事象をなるべく多く創り出す。
 - 専門家と市民の間で互いの主張をわかりやすく解説を行うコーディネーターを設置することも有効
- ④ 互いを信頼する事が重要であり、水素ステーションシステムに関する技術だけでなく、互いの組織・グループが信用できる状況を作っておく
- ⑤ 行政や事業者は、リスクコミュニケーションの結果を政策や事業方針に反映する仕組みを持つ

5.2.2. 伝達のためのリスクコミュニケーション

伝達のためのリスクコミュニケーションの手段は、以下の通りである。

- ① 事実を伝える
- ② 情報の位置づけを明確にする
 - 過去との違いを明確にする
 - 法規の位置づけを明確にする
- ③ 集団のリスクコミュニケーションでは、相手を意図的に選択しない
- ④ 聞き手が知りたい情報をわかりやすく発信する
- ⑤ 相手の発言の真意を理解する

参考資料 1：用語と略語の定義

本ガイドラインは、非常に幅広い分野を対象としており、同じ用語を用いても主体や影響分野、学術分野によってその定義は異なる。そこで、表 1-2 に本ガイドラインで使用している用語と略語をまとめる。

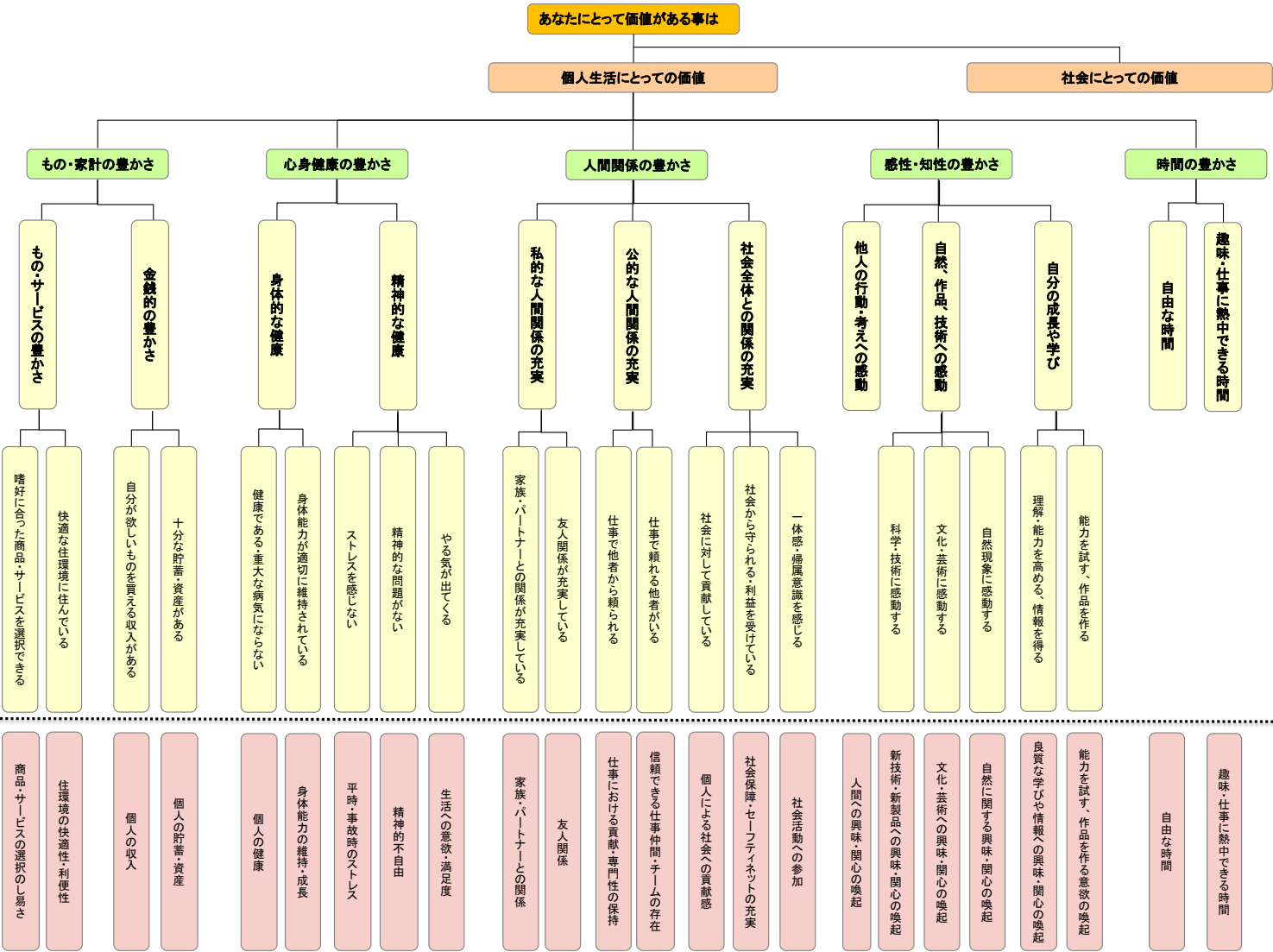
表 本ガイドラインの用語と略語の定義

用語・略語	解説
リスク (Risk)	目的に対する不確かさの影響。ただし、フィジカルリスクを対象とする場合は、発生確率×影響度を示す。
不確かさ (Uncertainty)	事象、その結果又はその起こりやすさに関する、情報、理解又は知識が、たとえ部分的にでも欠落している状態
影響 (Effect)	期待されていることから、よい方向及び／又は悪い方向に乖離すること
社会総合リスク (Social comprehensive risk)	生命/健康/環境等の安全に関する影響に加えて、生活や社会活動・価値に影響を与える影響もあわせた、社会の安全と活動に関する総合リスク
フィジカルリスク (Physical risk)	物理的、化学的に人や建物に影響を与えるリスク
環境・社会・経済リスク (Environmental and Socio-economic risk)	生活よりも広い社会全体への環境・社会・経済へ影響を与えるリスク
リスク源 (Risk source)	それ自体又はほかとの組み合わせによって、リスクを生じさせる力を本来潜在的にもっている要素。なお、「ハザード」はリスク源の中の特に好ましくない影響にあたる
リスク特定 (Risk identification)	リスクを発見、認識及び記述するプロセス。
リスク分析 (Risk analysis)	リスクの特質を理解し、リスクレベルを決定するプロセス
リスク評価 (Risk evaluation)	リスク分析の結果に基づき、どのリスクへの対応が必要か、対応の実践の優先順位はどうするかについて意思決定を手助けするプロセス。
リスクアセスメント (Risk Assessment)	リスク特定、リスク分析、リスク評価の総称
リスクマネジメント (Risk management)	リスクアセスメント、リスク対応、リスクコミュニケーションの総称

リスクレベル (Risk level)	リスクの大きさを示す階層的な区分
水素ステーション (Hydrogen refueling station)	オンサイト型水素ステーションとオフサイト型水素ステーション両方が含まれる
水素ステーションシステム (Hydrogen refueling station system)	水素ステーションと水素エネルギーキャリアの輸送。これまでの工業用水素の利用方法と異なり、一般市民が影響を受ける可能性が高い範囲
水素エネルギーシステム (Hydrogen Energy System)	水素生産から消費までのサプライチェーン全体のシステム
社会実装 (Social implementation)	科学技術やシステムを社会で使えるように、計画、導入、普及すること
段階 (Stage)	時代や技術の普及度合いを示す
計画段階 (Planning stage)	実験/開発段階
導入段階 (Introduction stage)	特定の地域や都市を対象とした実証実験段階
普及段階 (Diffusion stage)	補助金や規制適正化により、多くの一般市民が対象技術を利用できる段階
ステップ (Step)	手法の手順
主体 (Entity)	科学技術やシステムに直接間接的に関係がある個人や集団
主体分野 (Entity category)	社会構造に則した主体の区分
影響分野 (Affected areas)	各影響の範囲と領域
ステークホルダー (Stake holder)	科学技術システムにより直接的・間接的に影響を受ける市民、事業者、行政などの組織やその構成員
サプライチェーン (Supply chain)	科学技術に関係する原料の段階から製品やサービスを利用するまでのプロセス
ライフサイクル (Life cycle)	科学技術の計画、調査、設備製造、設備建設、運用、廃棄段階
行政 (Administration)	公共の意思や目的に従い執行する国や地域の組織
事業者 (Implementer)	水素ステーションシステムに係る事業活動を営利目的で実施する組織
市民 (People)	上記、行政と事業者以外の主体
定常状態 (Steady state)	科学技術を正常に運用している状態。ただし、通常のシステムの起動作業、停止作業、停止状態が含まれる
非定常状態 (Non-steady state)	科学技術のメンテナンスや修繕のための停止状態などが含まれる。
事故状態 (Accident State)	科学技術の事故が発生してから定常状態までの状態

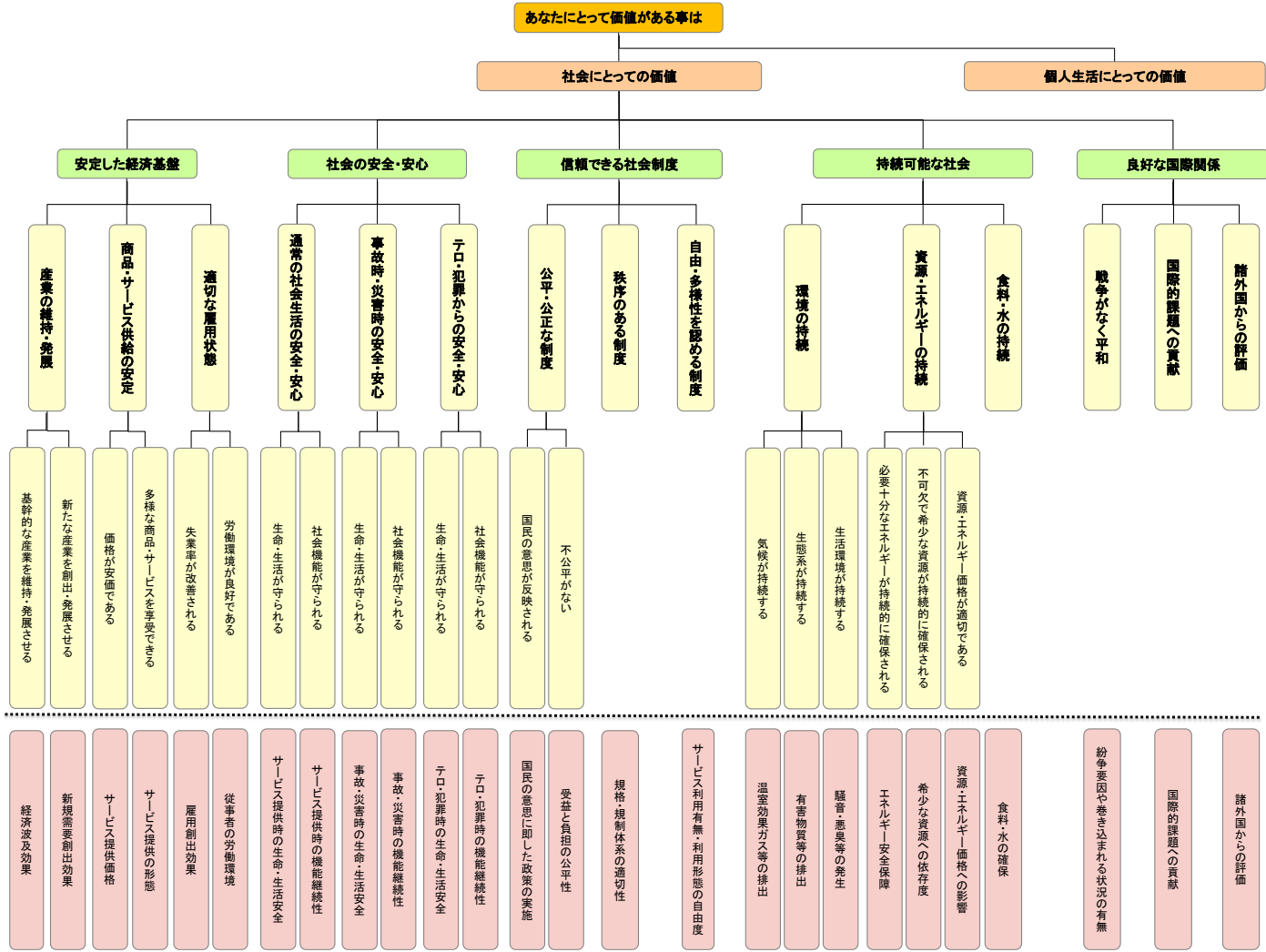
参考資料 2 : 社会的価値の構造の例 個人指標

個人指標



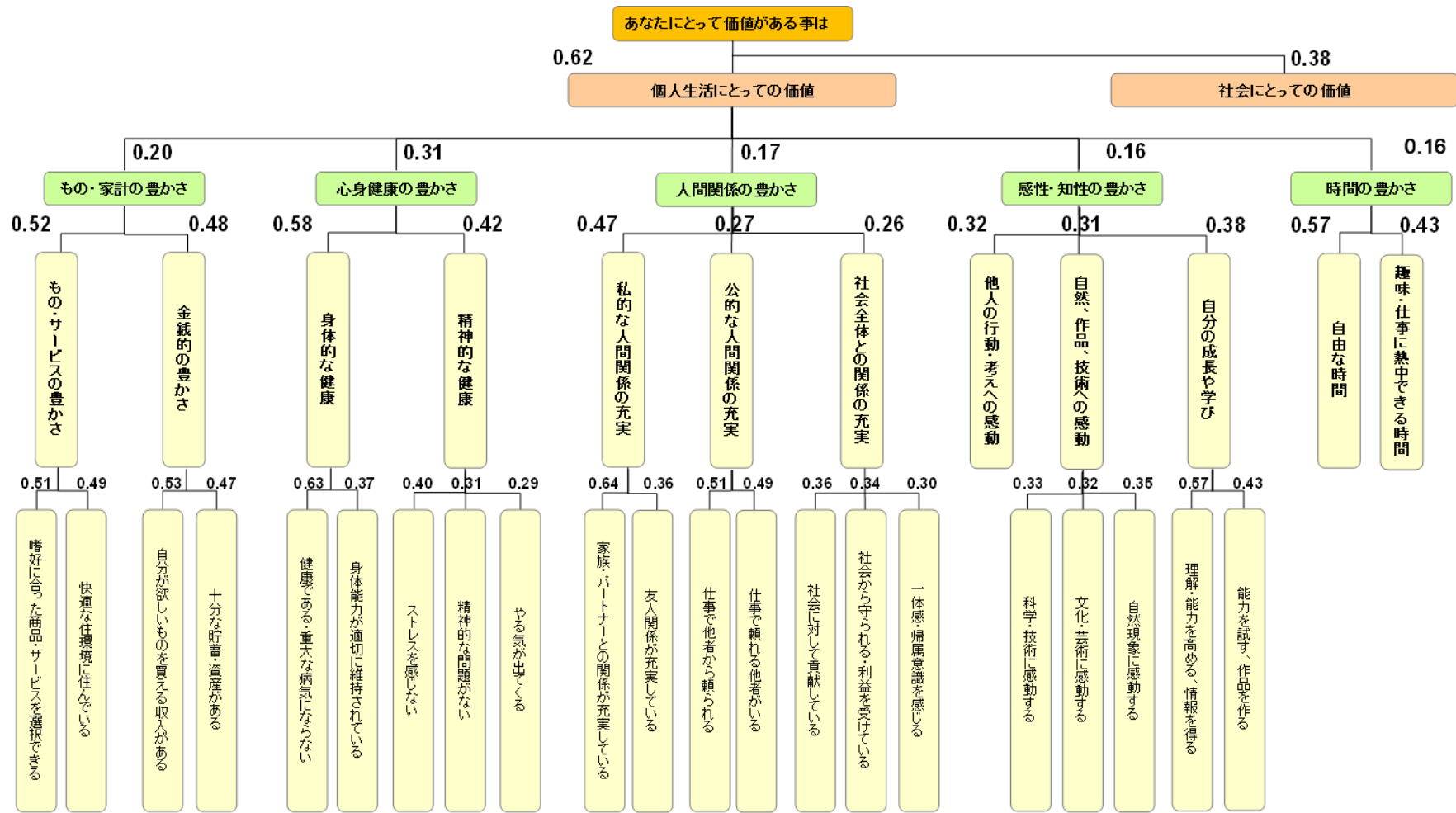
参考資料 3：社会的価値の構造の例 社会指標

社会指標



参考資料 4：社会的価値の重み付け 個人指標

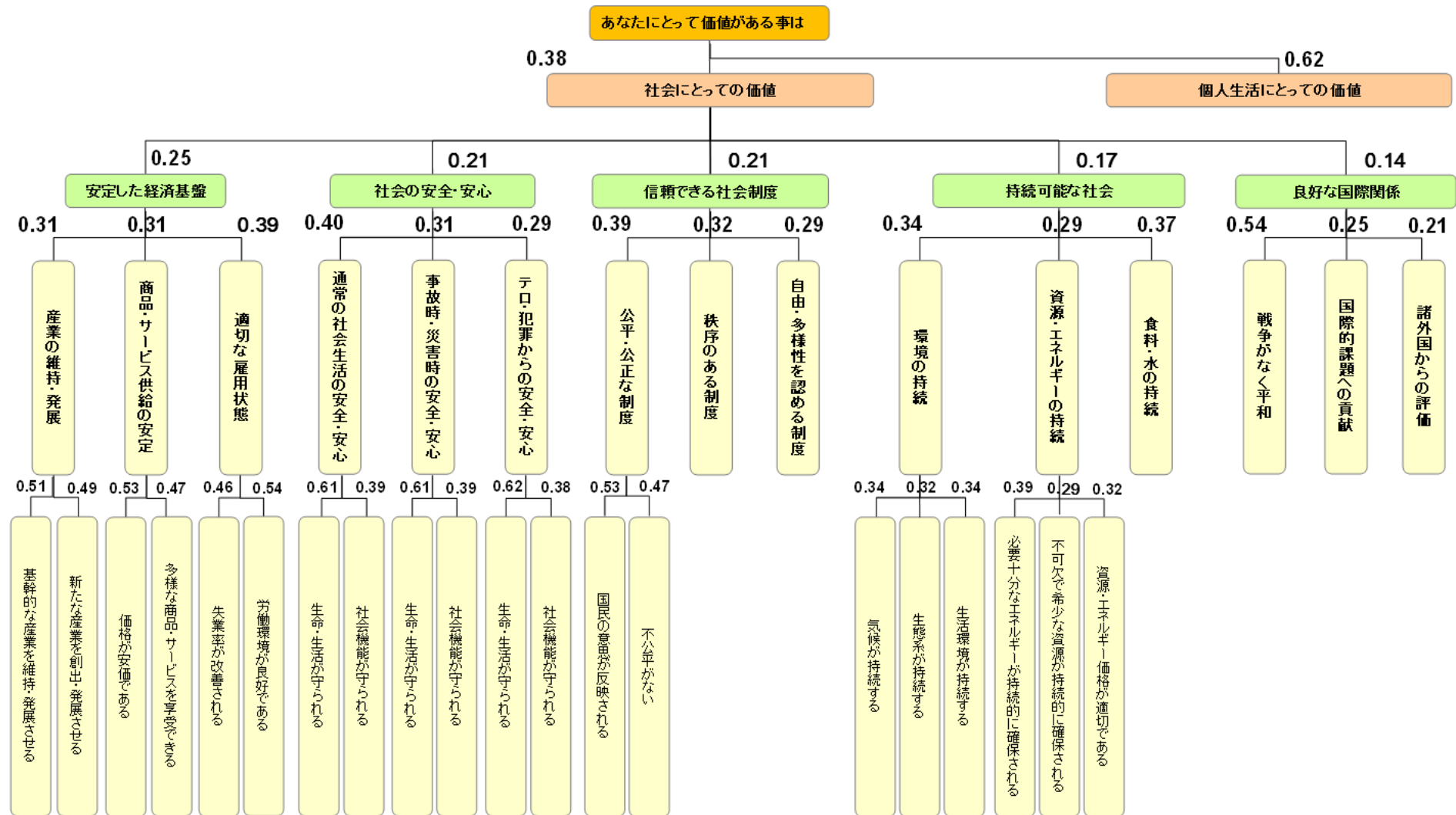
個人重み



※四捨五入により合計が合わない場合がある。

参考資料 5：社会的価値の重み付け 社会指標

社会重み



※四捨五入により合計が合わない場合がある。

参考資料 6：社会総合リスクマトリックスの例

■直接的な影響 □間接的な影響			視点	影響分野									
				主体内の影響				主体外の影響					
				フィジカル		生活/生産活動	人心	自然環境	社会環境			その他	
				人命/健康	財産				政治/制度	経済	文化・科学技術		
主体	個人/世帯	一般市民	■死亡の影響 ■ケガの影響 ■健康影響 ・毒性物質（急性、慢性）	■所有財産の影響	■活動範囲の影響 ・避難等による制約 ■習慣の影響 ・ライフスタイルの変化	■死亡、ケガ、障害等の心理的影響 ・健康、安全対策、事故対応などへの不安 ・近隣に燃料電池自動車が増える不安 ・近隣に水素ステーションが建設される不安 ・生活の質の向上への期待 ・水素技術を利用している誇りが生まれる ■事業者への期待/不安影響 ■環境/エネルギーへの関心の変化影響 ■モラルの変化影響 ■将来世代への影響	□住環境からの影響	□個人/世帯の生活を有利/不利にする政治力からの影響	□景気/市場環境からの影響 □雇用環境/賃金動向からの影響	□自身や家族が接する文化からの影響 □個別の物質/技術に内在する物理的危険性からの影響 □科学技術システムに内在する複雑性/相互作用等からの影響	□家族間/親戚/近所/友人関係に係る影響		
		ユーザー（ドライバー、乗客）	■死亡の影響 ■ケガの影響 ■健康の影響 ・毒性物質（急性、慢性）	■所有財産の影響	■移動（行動）範囲の影響 ・水素ステーション、ガソリンスタンドの有無 ■水素供給停止による生活/生産活動の影響 ■災害時の応急的な活用の影響 ・非常用電源としての活用 ■新たな技術への未対応によるトラブルの影響 ・運転方法、事故/故障発生時の対応 ■新たな技術獲得負荷による影響	■死亡、ケガ、障害等の心理的影響 ・健康、安全対策、事故対応などへの不安 ・近隣に燃料電池自動車が増える不安 ・近隣に水素ステーションが建設される不安 ・生活の質の向上への期待 ・水素技術を利用している誇りが生まれる ・未知の技術を取り扱う期待/不安 ・ガソリン車、ハイブリッド車との違い ・新しい人脈の形成による自己実現への影響（満足度向上） ・燃料電池自動車への書きこみ、あおられる ・水素技術を利用している誇りが生まれる ■身近に環境/エネルギー技術への心理的影響 ・関心の変化							
		現地従業員（ステーション、運転手、水素製造所）	■死亡の影響 ・有害物質（急性） ・火災 ・爆発 ・労働災害 ■ケガの影響 ・有害物質（急性） ・火災 ・爆発 ・労働災害 ■健康の影響 ・有害物質（慢性） ・労働災害	■所持品の影響 ・衣服、時計、通勤車両への影響	■労働環境の影響 ・新システムによる業務負荷への影響	■死亡、ケガ、障害等の心理的影響 （健康、安全対策、事故対応など） ・事故時、災害時の対応 ・事故時の復旧対応 ・水素技術を利用している誇りが生まれる ■近隣での事故(事故誘発の不安)							
	組織	事業者	水素エネルギーシステム事業者 総合エネルギー事業者 その他事業者	■事故の影響 ■死亡 ■ケガ ■健康影響 ・有害物質、毒性物質（急性、慢性）	■所有財産の影響 （所有財産のうち、 ■建物の影響 ■液化水素ローリー、有機ハイドライドの影響 ■トルエンのタンクローリーへの影響	■事業戦略の影響 ・既存事業への影響 ・新規事業の機会 ■トラブルやその対処方法の影響 ・影響マネジメント ・危機管理 ■セキュリティ、セーフティの影響 ・テロ、盗難、自然災害対策 ■事故や、その恐れによる生産活動停止影響 ■復旧遅れによる活動停止継続影響 ■従業員の教育、新技術へ対応するため経済的な影響	■水素エネルギーシステムに対する心理的影響 ・健康、安全対策、事故対応などへの期待/不安	■環境/温室効果ガス対策の影響 □事業場の周辺環境からの影響	■既存ルールの見直しの影響 ■新たなルールの策定の影響	■新技術に対する規制の影響 ■事故による対応と対応策の影響	■新技術/システム開発の影響 ■科学技術の知見の信頼性に関する影響 ■既存技術やシステムの技術革新の影響 ■既存技術やシステムの劣化/衰退の影響 □個別の物質/技術に内在する物理的危険性からの影響 □科学技術システムに内在する複雑性/相互作用等からの影響 □科学技術の発展段階/成熟度からの影響	□統合関係に係る影響 □提携関係に係る影響	
		地方行政/消防/警察	総合エネルギー事業者 その他事業者		■事故対応職員の死亡、ケガ、健康被害の影響	■所有財産の影響 ・消防自動車、パトカーなど	■事故やその恐れによる活動の影響 ・新たな対応策の影響 ■復旧遅れによる活動停止継続の影響	■水素エネルギーシステムに対する心理的影響 ・健康、安全対策、事故対応などへの期待/不安	■化学物質対策の影響 □事業場の周辺環境からの影響	■新技術に対する規制の影響 ■事故による対応と対応策の影響	■行政予算の影響	□個別の物質/技術に内在する物理的危険性からの影響 □科学技術システムに内在する複雑性/相互作用等からの影響 □科学技術の発展段階/成熟度からの影響	□統合関係に係る影響 □提携関係に係る影響
	行政/立法/司法 規制/法律機関		・組織目的/事業目的に係る影響								□個別の物質/技術に内在する物理的危険性からの影響 □科学技術システムに内在する複雑性/相互作用等からの影響 □科学技術の発展段階/成熟度からの影響	□統合関係に係る影響 □提携関係に係る影響	
	研究/教育機関/その他機関			■研究員/職員の死亡、ケガ、健康被害の影響	■所有財産の影響	■事故やその恐れによる影響 ・研究活動の推進/後退	■水素エネルギーシステムに対する心理的影響 ・健康、安全対策、事故対応などへの期待/不安	■環境負荷低減の技術開発研究の影響 ■エネルギー効率の向上などの技術開発研究の影響	■評価と実態との関係による専門性に対する信託性の影響 ■新技術に対する教育の影響	■従業員の教育、新技術へ対応するための経済的な影響	■水素エネルギーシステム関連の技術開発研究の影響 ■水素エネルギーシステムを題材とした教育活動の影響 ■科学のモラルや倫理的影響 ・遺伝子組み換えなど ・テロ活動、兵器への技術転用 □個別の物質/技術に内在する物理的危険性からの影響 □科学技術システムに内在する複雑性/相互作用等からの影響 □科学技術の発展段階/成熟度からの影響		
	地域	水素システム展開地域		・地清自治や構成員の福祉、地域全体の便益に係る影響	■所有財産の影響	■新しい技術利用による生活/生産活動の影響 ・分散保管/非常用電源利用による防災力向上 ■インフラ（水道、電気、ガス）の影響 ■交通（鉄道、バス、航空機、船舶）の影響	■新しい技術利用による心理的な影響 ■テロの標的となることへの心理的な影響	■事故時の有機溶剤流出の影響 ■動植物の影響 ■水/土壌の影響（海、河川、上下水道） ■大気の影響（二酸化炭素、二酸化窒素、粒子状物質、鉛など） ■産業物の影響 ■景観/土地利用の影響 ■海、山、川、森などの自然の影響 ■都市/地域開発の影響 ・環境負荷の低い社会 ・高エネルギー効率 □国内外の環境からの影響	■新たな規制/法律/補助金の影響	■エネルギー価格の影響 ■新ライフスタイルの影響 ■ガソリンスタンドの減少の影響	■科学技術意思の公平性への影響（新たな技術の恩恵を受ける/受けない） □組織をとりまく商習慣/業界の文化からの影響 □個別の物質/技術に内在する物理的危険性からの影響 □科学技術システムに内在する複雑性/相互作用等からの影響 □科学技術の発展段階/成熟度からの影響		□地域間関係に係る影響
水素システム未展開地域		■所有財産の影響	■新しい技術利用ができない生活の影響 ■インフラ（水道、電気、ガス）の影響 ■交通（鉄道、バス、航空機、船舶）の影響		■新しい技術利用ができない人心の影響								
国	・公共の福祉、人権、国全体の便益に係る影響		■所有財産の影響	■所有財産の影響	■水素技術で先導を行く日本への誇りの影響	■事故時の有機溶剤流出の影響 ■動植物の影響 ■水/土壌の影響（海、河川、上下水道） ■大気の影響（二酸化炭素、二酸化窒素、粒子状物質、鉛など） ■産業物の影響 ■景観/土地利用の影響 ■海、山、川、森などの自然の影響 ■都市/地域開発の影響 ・環境負荷の低い社会 ・高エネルギー効率 □国内外の環境からの影響	■水素エネルギーシステムに関する新たな社会制度の導入の影響 ・社会/生活に関する規制/法律への影響 ■環境/エネルギーに関する税金の影響 ・CO2/GHG排出量などの環境税 ・ガソリン税 ■目指す社会像の影響 ■新秩序に対する影響 ■新しい技術導入成功/失敗の影響 ■規制の成功/失敗の影響 ■新たな規制/法律/補助金などの影響 □国家が関係する民族/宗教からの影響 □他の主体の社会的背景からの影響 □国内外各政党/団体の活動からの影響 □国家の活動に係る国際的制約などからの影響	■政策の影響 ・自然災害対策、防災政策への影響 ・エネルギー政策への影響 ■エネルギー価格への影響 ■産業構造の影響 ■雇用状況の影響 ■投入される資源/エネルギー量と質の影響 ■レアメタルの消費の影響 ■環境に関する税収の影響 □国内外経済からの影響	■科学技術政策の影響 ■政策の成否による科学技術政策の影響 ■適切なエネルギー技術の評価の影響 ■新たな科学技術産業の成長の影響 ■スピノフ効果の影響 ■環境負荷低減の影響 ■エネルギー効率向上の影響 ■科学技術政策の影響 ■科学技術の適切な評価の影響 ■利便性への影響 □国の文化からの影響 □組織をとりまく商習慣/業界の文化からの影響 □個別の物質/技術に内在する物理的危険性からの影響 □科学技術システムに内在する複雑性/相互作用等からの影響 □科学技術の発展段階/成熟度からの影響	□国家間関係に係る影響			
世界		・世界の平和、諸外国友好、持続可能な社会に係る影響 ・人間の安全保障	■所有財産の影響	■所有財産の影響	■安全性/影響認識による心理的な影響 ・観光 ・ビジネス ・留学など	■安全性/影響認識による心理的な影響 ・観光 ・ビジネス ・留学など	□地球内外の環境からの影響	■目指す社会像の影響 ■新しいモラルの影響 ■他国に対するリーダーシップ、優位性への影響 ■排出権取引の影響 □世界の人口/民族/宗教/地域/発展段階/同盟関係など国家を超えた主体からの影響 □個別の個人/組織/地域/国の社会的背景からの影響 □国際条約などからの影響	■エネルギー価格の影響 ■エネルギー問題に対する影響 ・輸入水素の供給停止 ■科学技術の輸出入の影響 □世界各国の社会資本/ストックからの影響 □世界各国の経済からの影響	■科学技術の取り組みに対する影響 ■科学技術の輸出入の影響 □人類文化からの影響 □組織をとりまく商習慣/業界の文化からの影響 □個別の物質/技術に内在する物理的危険性からの影響 □科学技術システムに内在する複雑性/相互作用等からの影響 □科学技術の発展段階/成熟度からの影響			

著作権者

〒240-8501 神奈川県横浜市保土ヶ谷区常盤台 79-5 自然科学系総合研究棟 I 501 号室
先端科学高等研究院/リスク共生社会創造センター事務室

利用に関する注意

本書の複製・転載，および記載内容に関するご意見・ご要望は，横浜国立大学 先端科学高等研究院/リスク共生社会創造センターまでお問い合わせください。

＜問い合わせ先＞ Email: risk.center@ynu.ac.jp

本書は，戦略的イノベーション創造プログラム（SIP）エネルギーキャリア
「エネルギーキャリアの安全性評価研究」の成果です。