



防護の最適化に関する国際比較

英国

日本原子力研究開発機構
安全研究センター

高原省五

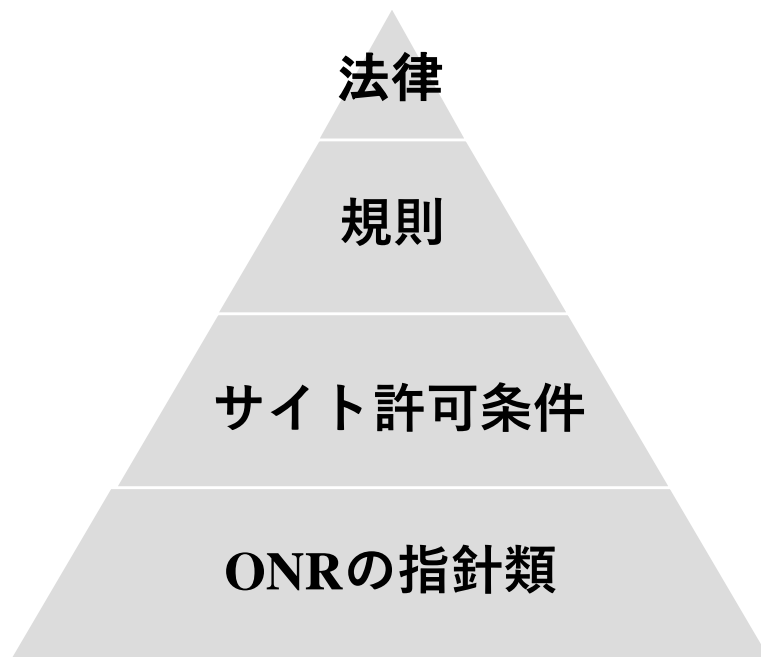
以下の方々のご協力のもと作成しました。

更田豊志(東京大学)、成川隆文(東京大学)、平野雅司(NRA)、
本間俊充(NRA)、荻野徹(京都大学)、村松健(JAEA)、鄭嘯宇(JAEA)

- 英国における原子力発電(労働安全衛生含む)と社会動向の経緯
- 英国における原子力安全法体系(労働安全衛生含む)
- 英国における原子力安全の評価と管理
 - The Tolerability of Risk from Nuclear Power Stations (1988: 1992)
 - Reducing Risks, protecting people (2001)
 - Safety assessment Principles for nuclear facilities (2014)
- まとめ

年代	炉型	備考	社会動向
1950年代	<ul style="list-style-type: none"> ■ ガス冷却炉(燃料被覆材にMg合金を使用。マグノックス炉とも呼ばれる。) <ul style="list-style-type: none"> ● 冷却材: 二酸化炭素 ● 燃料: 天然ウラン金属 ● 減速材: 黒鉛 	<ul style="list-style-type: none"> ■ 1956年 世界初の商業用原子力発電としてCalder Hall 1号運転開始 ■ 英国内に11基が建設され、1990年代まで運転。 ■ ウラン濃縮不要という利点の一方、炉や熱交換器が大きい割に出力が小さく経済性に劣る。 	<ul style="list-style-type: none"> ■ 国有の原子力公社(UKAEA)による設計・運用 ■ 1959年:「原子力施設(許可及び保健)法(Nuclear Installations (Licensing and Insurance) Act 1959)」制定
1960~1970年代	<ul style="list-style-type: none"> ■ 先進ガス冷却炉 <ul style="list-style-type: none"> ● 炉心冷却材: 二酸化炭素 ● 燃料: 濃縮ウラン ● 減速材: 黒鉛 	<ul style="list-style-type: none"> ■ 1976年、「Hinkley Point B」が初稼働。 ■ 7カ所(14基)が建設され、現在も一部が運転中。 ■ 高温運転が可能で、熱効率が向上。ただし、出力は軽水炉より小さく、建設費用も高い。 	<ul style="list-style-type: none"> ■ 1965年:「原子力施設法(Nuclear Installations Act 1965)」制定 ■ 1972年:「ローベンス報告」公開 ■ 1974年:「職場における保健安全等に関する法律(HSWA)」制定。「健康安全執行庁(HSE)」設立。原子力安全の監督機関として「原子力施設検査局(NII)」設置。 ■ 1979年:「安全評価原則(SAP)」策定(最新版は2014年)
1980~1990年代	<ul style="list-style-type: none"> ■ 加圧水型原子炉 <ul style="list-style-type: none"> ● 冷却材・減速材: 軽水 ● 燃料: 濃縮ウラン 	<ul style="list-style-type: none"> ■ 1989年、「Sizewell B」が英国初のPWRとして運転開始。 	<ul style="list-style-type: none"> ■ 1988年:「The tolerability of risks from nuclear power stations」公開(改訂版1992年)
2000年代以降	<ul style="list-style-type: none"> ■ 欧州加圧水型原子炉(EPR: European Pressurized Reactor) ■ 小型モジュール炉(SMR: Small Modular Reactor) 	<ul style="list-style-type: none"> ■ 2016年、「Hinkley Point C」建設開始(2020年代後半運転予定)。 ■ ロールス・ロイス社などがSMR開発中。 	<ul style="list-style-type: none"> ■ 2001年: TOR-ALARP の概念を国民に広く説明するための解説書「Reducing Risks, Protecting People」公開 ■ 2011年:「原子力規制庁(ONR: Office for Nuclear Regulation)」設立。(2014年正式発足) ■ 2013年:「エネルギー法(Energy Act 2013)」制定、新型炉の審査プロセス(Generic Design Assessment, GDA)を確立。

- 英国の法体系では、法律(Act)のもとに、政令(Order)や規則(Regulation)が制定して構成される。
- 原子力関連の法律: 1965年原子力施設法(NIA65)、2013年エネルギー法(EA13)、1974年労働安全衛生法(HSWA74)、1995年環境保護法(EPA95)
- 原子力関連の規則: 1999年電離放射線規則(IRR99)、1999年原子炉(廃止措置の環境影響評価)規則(EIADR99)、2017年放射線(緊急時対応・情報公開)規則、1999年労働安全衛生管理規則(MHSW99)等
- ONRは、法律・規則をもとに以下を策定。
 - サイト許可条件(LC) 原子力施設を設置・運転するために、事業者が遵守すべき一連の法的義務・運用要件)
 - 安全評価原則(SAP) 法律・規則やLCに基づいて事業者が提出する安全関連文書について評価を行う際に参照
 - 技術評価指針(TAG) 及び技術検査指針(TIG) SAPの原則に基づく評価を補完するための指針や、LCに示された規制要件への適合状況の検査を実施する際の指針として等



■ 19世紀前半「工場法」(Factory Acts)

- 当初は、綿紡績工場で働く10歳代の若年労働者の労働時間、衛生状態等を規制するものであったが、徐々に工場における労働災害を防止する規則が制定、施行され、**産業の発展とともに労働災害が多発した**ことを踏まえて、これらの労働安全衛生に関する規則は、拡充されていった。これらは、「法規遵守型」と称される労働災害防止対策であり、事業者に法的な義務として、一定の労働災害防止措置を講ずることについて罰則をもって強制するものであった。このことは、事業者による労働災害防止対策を定着させるという大きな効果があった反面、**安全衛生関係法令が膨大で、細分化され過ぎ、事業者の責任や自主的、自発的な取組みが軽視される傾向をもたらすと同時に、技術革新への迅速な対応をしにくくした**という側面がある。

■ 1972年ローベンス報告の公開⁽¹⁾

- 1972年6月にイギリスの雇用省に提出された報告。工場法以来の労働安全衛生システムの問題点等に検討し、改善策を提言。
- ローベンス報告は、**細分化し肥大化した法制度が「無気力 (apathy)」を助長し、「労働災害の最も重要な唯一の理由」であると指摘した。**

「人々は、職場の安全衛生を、外部機関によって課される細々した規則の問題であると考えるように調教されている」。このことがもたらす無気力は、「人々が、職場の安全と健康は、増え続ける検査官たちによって達成され、拡大し続ける法的規制によって確保されると考えている限り改善することはないだろう。」⁽²⁾

- 要点は、次のとおり
 - 安全衛生を所管する行政組織(8つの組織)が細分化されすぎている
 - 膨大で細分化されすぎた関係法令(8つの法律、500以上の規則類)
 - **細分化された法律、規則に依拠し過ぎて、事業者の責任や自主性、自発的な取組みが軽視される結果となっていたこと。**

(1) 概要については中央労働災害防止協会HP (https://www.jisha.or.jp/international/sougou/pdf/uk_04.pdf) を参考に作成。

(2) D. Ashton, Reflections on Robens, 2022 – fifty years after Why Robens? (<https://www.historyofosh.org.uk/robens/why-robens.html#introduction>)

- 1974年「労働安全衛生法」(Health and Safety at Work etc. Act: HSWA)
 - ローベンス報告を踏まえて、1974年に「労働安全衛生法(HSWA)」が制定され、統合された行政組織として、「保健安全委員会」(Health and Safety Commission: HSC)と、HSC下での執行機関としての「保健安全庁」(Health and Safety Executive: HSE)が発足した。
 - 基本的な考え方は以下の通り。
 - ・ 事業者の自主性を重んじた自主的対応型であること
 - ・ 法律では原則的な規定を置き、それを補完するものとして、規則、指針等が設けられていること
 - 同法の範囲は、「**就業中の人の健康、安全および福祉を確保すること**」に加え、「**就業中の人の活動に起因または関連する健康または安全に対するリスクから**就業中の人以外の人**を保護すること**」であり、作業者と公衆の双方が含まれる。
 - そのいずれも「**合理的に実行可能な限りにおいて**」(so far as is reasonably practicable: SFAIRP)との限定が付されている。
 - なお、「SFAIRP」、「ALARP」及び「ALARA」はそれぞれ互いに同じ意味で用いる(例えば、SAPの記載(ONR, 2014, 12項)によると、SFAIRPとALARPはinterchangeableで、ALARAはそれらとequivalentとある)。

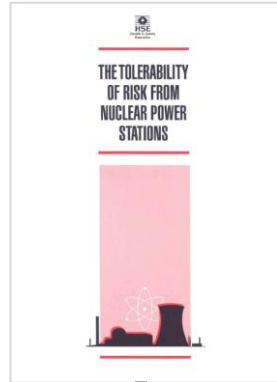
■ HSWAの概要

- 法律に対して、「合理的に実行可能な限り」、遵守されるべきことは当然であるが、規則も当然遵守されなければならない。法令違反に関する訴訟が提起されたときは、事業者は、法律で定められた義務又は要件を満たすために実際に行われたこと以外は実行不可能であったか、又は法律で定められた措置が合理的に実行不可能であり、若しくは実際に行われていたこと以上の最良の手段がなかったことを証明する義務がある(同法第40条)。
- 指針等については、事業者は、遵守することは強制されないが、もし、遵守されていない状況で災害が発生した場合には、事業者は、他の方法によってこれらの指針又は承認実施準則と同等以上の防止対策を講じていたことを証明しない限り、責任を問われることになる。

■ 本発表で、特に着目する3つの文献。

原子力施設のリスク

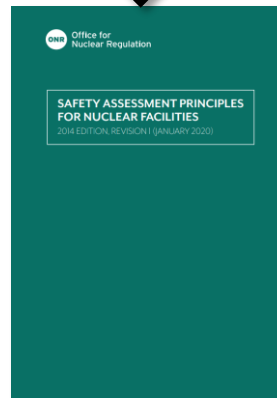
- The Tolerability of Risk from Nuclear Power Stations (1988: 1992)
- 耐容可能性 (TOR) の枠組みを原子力発電所のリスク管理に適用。
- TORに関連するリスクレベルを提案。



SAP2006

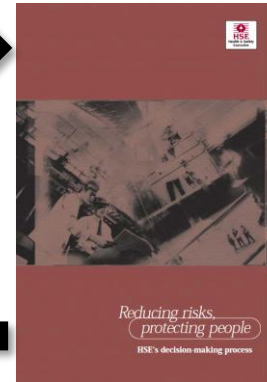
強化

- Safety assessment Principles for nuclear facilities (2014)
- 実務に適用する評価原則と数値目標。



一般的な産業施設のリスク

- Reducing Risks, protecting people (2001)
- TOR-ALARPの枠組みを一般化。
- リスク管理に関する意思決定のプロセスを明確化。



拡張

具体化



■ The Tolerability of Risk from Nuclear Power Stations (1992)

● Sizewell Bの公開調査報告書(Public Inquiry)(1986年)

- 『リスク評価の基礎となるのは公衆の意見であるべきで、原子力安全規制の根拠を理解するのに十分な公開情報は現在存在しない』とし、HSEは「原子力発電所から生じる作業員や公衆の個人的・社会的リスクの許容レベルに関するガイドラインを策定し、公表すべき」と勧告。

● リスクの耐容可能性(Tolerability)と受容可能性(acceptability)を区別

● 耐容可能なリスク

「リスクを耐容するとは、それを無視できるほど些細なことや無視してもよいものではなく、むしろ、常に注意を払い可能な限りさらに低減すべきものとして捉えることを意味する」

● 受容可能なリスク

「受容できるリスクとは、生活や仕事において、ほとんど受け入れる準備ができていないことを意味する」

● リスクに関する基本的な考察

- リスクの定義(影響と確率、**個人リスクと社会リスク**)
- リスクの基本的な特徴(「ゼロ」ということはあり得ない」、「どんなに低くても発生する可能性はある」、「リスクの程度は、個人の属性に応じて異なる」)
- リスク比較(リスクラダー)

● リスクの規制

● リスク規制に係る3つの判断

- リスクが非常に大きく、その結果も容認不可で完全に拒絶されるかどうか
- リスクが十分に低減されており、追加の予防措置は不要かどうか
- リスクが上記の中間にある場合、そのリスクは受容することから得られる便益を念頭に置き、さらなる低減の費用を考慮した上で、実行可能な最低レベルまで低減されているかどうか。HSWAで定められているのは、あらゆるリスクは合理的に実行可能な限り(あるいは、「合理的に実行可能な限り低い」レベルまで)低減されなければならない(ALARP原則)。

● リスク規制の一般的な原則

- 事業主は(operator)は、ALARP原則に従ってリスク低減する。
 - ✓ リスクに対して支出が著しく不均衡(gross disproportional)である場合を除き、事業主はその費用を負担しなければならない。
 - ✓ 事業主は安全対策に必要な費用を考慮する権利があり、規制当局が事業主に対してそれ以上の対策を要求すべきではない限界点がある。ただし、事業主は安全を重視すべき。
 - ✓ 公衆の安全が深刻な影響を受けるリスクの場合、低リスクであっても、事業主は、そのリスクの低減のために費用をかけるべきではない理由を、強く迫られることになる。

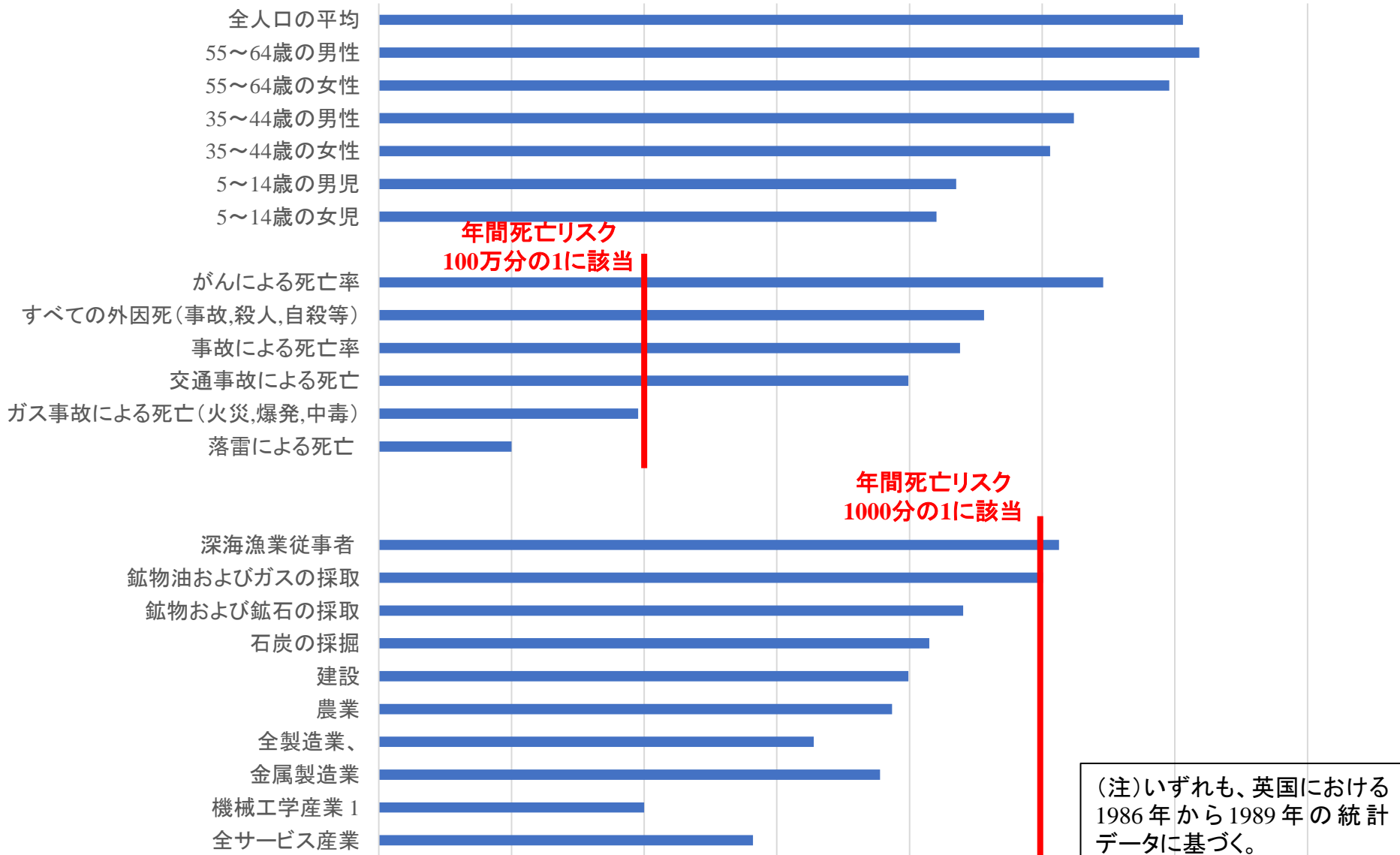
■ 個人リスク(年間死亡リスク)に対するリスクレベルの考え方とその導出根拠

年間死亡リスク	レベル	導出根拠
年間1000分の1	作業者の耐容リスクレベルの最大値	<ul style="list-style-type: none"> 英国において労働者の大多数が受け入れるリスクは、年間1000人に1人程度の死亡リスクであり、そのレベルを超えるのは一部の職業のみである。(169項)
年間1万分の1	公衆が既存の大規模施設から受けるリスクとして耐容可能な最大値	<ul style="list-style-type: none"> 単独の大規模施設(原子力発電所を含む)から公衆が受けるリスクとして耐容可能な最大レベルは、作業者の10分の1以下、すなわち年間10000分の1以下でなければならないことは明らかである。(172項)
年間10万分の1	新規の原子力発電所に対するベンチマーク	<ul style="list-style-type: none"> Hinckley Point Cの設置に関するPublic inquiryで原子力発電所から公衆が受け入れられるリスクの耐容可能な限度を作業者の100分の1(年間十万分の1)とすべきと提案。
年間100万分の1	特定の原因で死亡する個人のリスクとして広く受け入れられるレベル	<ul style="list-style-type: none"> 「予防策が維持されている限り、費用の関係からも、それ以上の水準の改善を検討することは妥当ではないとみなされるリスクのレベル」(175項)(火災あるいは家庭でのガス爆発と同程度(22項)、あるいは交通事故の100分の1程度(175項)) このレベルは、通常の生活に伴うリスクにほとんど影響を与えないことを考慮すると、年間100万分の1とみなされる可能性がある(付録2)。



100万人当たりの死亡数

0.01 0.1 1 10 100 1000 10000 100000



(注)いずれも、英国における1986年から1989年の統計データに基づく。

(1) The Tolerability of Risk from Nuclear Power Stations, 1992, Table B1をもとに作成

■ 社会的リスクの考え方 (HSE, 1992, 61項～70項)

- 原子力事故の場合、人々の死亡や健康への影響だけでなく、地域の混乱、生産性の損失、国内外での不安の増大などが生じ得る。これらを評価するために「社会的リスク」が用いられる。
- 社会的リスクは、多様なエンドポイントで評価され、共通の単位で評価する場合には貨幣価値に換算することが多い。その場合、人的コスト(人命の損失)、経済的コスト(防護費用、施設や土地の喪失等)、社会的・政治的コスト(生活の断絶・社会の混乱による費用)が含まれる。
- 施設や活動による便益と社会的リスクとを比較する際には、その発生確率を考慮する必要がある。その場合、明白な方法の一つとして、「典型的な事象」に基づく推定を行い、通常受け入れられているリスク基準との比較を行うことが考えられる。
 - 「典型的な事象」に関する指標として、「**危険な線量(dangerous dose)**」という概念がある。危険な線量とは、以下につながる線量のこと(HSE web⁽¹⁾より)
 - すべての人に深刻な苦痛をもたらす、相当数の人が医療措置を必要とする、一部の人が入院治療を必要とする、一部(約1%)が死亡する
 - 土地利用に関しては、**危険な線量を受ける可能性が年間10万分の1、及び、100万分の1を超える場所では、それぞれ住宅の建設を禁止、及び、大規模な開発には反対するとしている**(影響を受けやすい人の多い地域では300万分の1)。

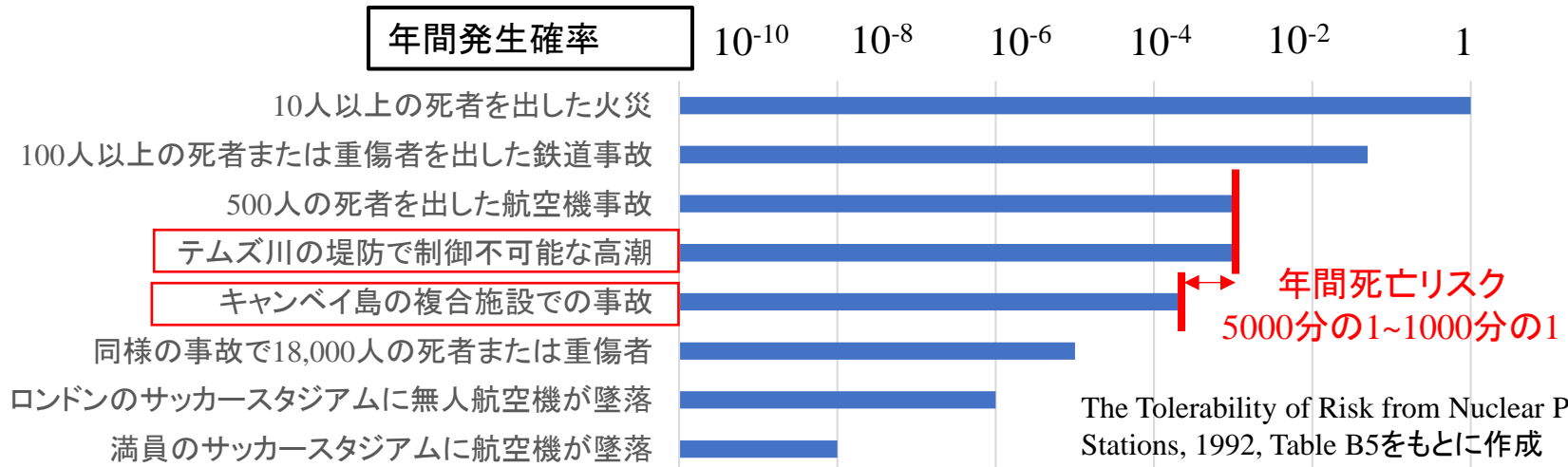
⁽¹⁾ HSE's land use planning methodology

<https://www.hse.gov.uk/landuseplanning/methodology.htm> (2025年3月11日閲覧)



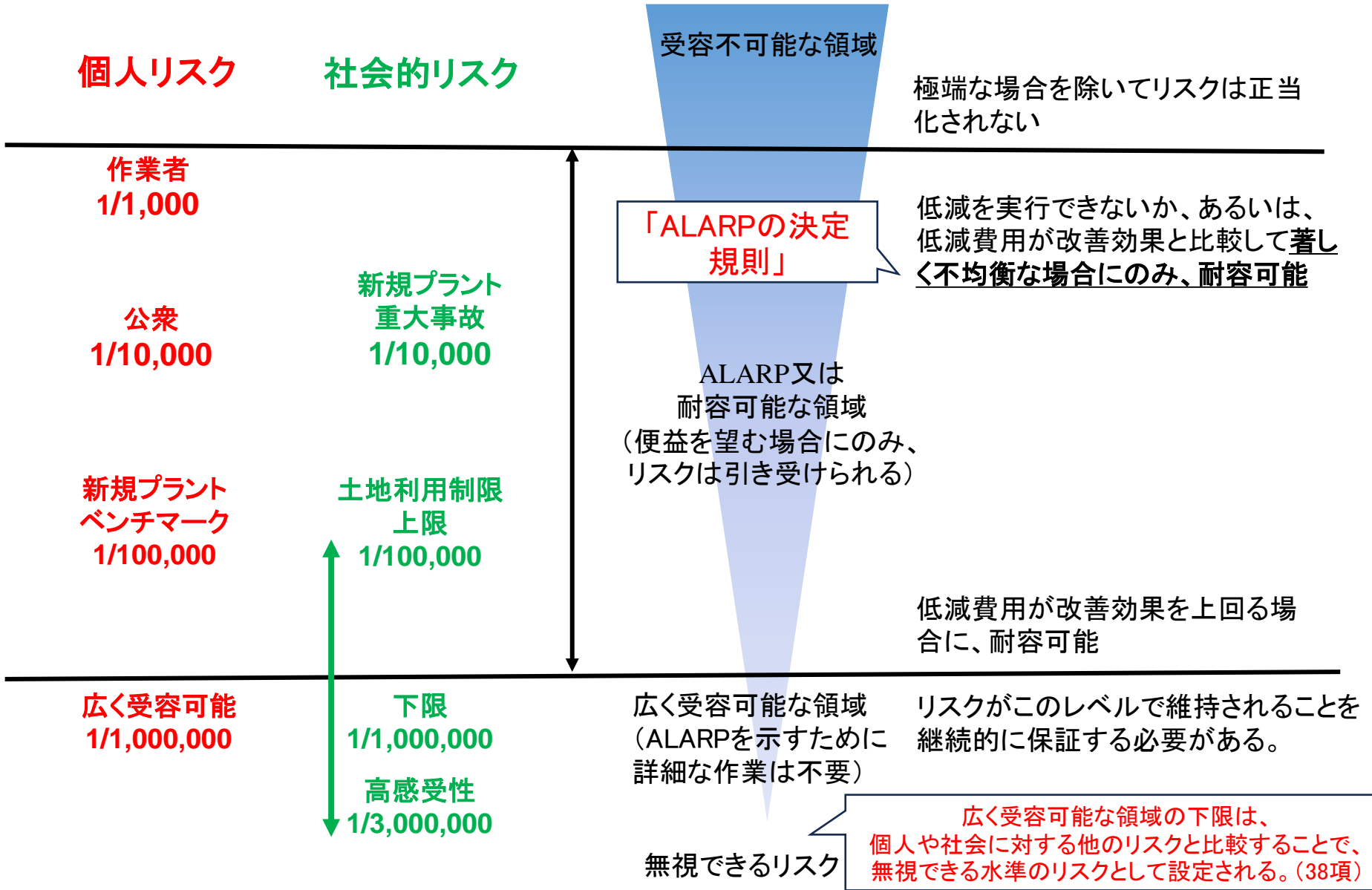
■ 社会的リスクの考え方(続)

- 社会的リスクを受け入れる以外に選択肢がない場合、その**発生確率を年間1000分の1以下に、可能であれば5000分の1以下に抑える必要がある。**
 - テムズ川防潮堤の建設の際には、越水の確率を年間1000分の1未満にすることが要求された。
 - 現在のリスク計算の手法で人間的要因を考慮した場合、20基から50基の最新型原子炉において、キャンベイ島の施設と同程度の確率で数百人の死者を出す可能性がある。
- 原子力のように、受け入れの可否についてある程度の選択肢がある場合、社会は、これよりも低いレベルのリスクを要求する可能性が極めて高い。(183項)
- **ある一基の最新型原子炉から1万年に1度、重大事故が起こるというリスクは耐容可能であると結論。**(188項)



The Tolerability of Risk from Nuclear Power Stations, 1992, Table B5をもとに作成

原子力発電所からのリスクの耐容性 (7/8) (TOR-ALARPの枠組み(キャロットモデル))



原子力発電所からのリスクの耐容性(8/8)

(ALARPと費用便益分析)

- 労働安全衛生法およびその他の安全に関する法律では、「合理的に実行可能な範囲で」安全対策を講じることを義務付けている。法律上は、被害のリスクと防止措置の費用を比較衡量する必要があり、費用がリスクと著しく不均衡な場合は、後者の措置を取る必要はない。費用を度外視して防止策を取るか、リスクを冒さないかのいずれかとなるほど大きなリスクもある。(Appendix 3, 1項)
- (ALARPの決定規則)費用を正当化するのに十分な便益があるかどうかを判断するプロセスは、「著しい不均衡」を構成するものについての判断に依存する。これは、リスクの事前レベルに依存する。これが「概ね耐容できるレベル」を上回る場合、「著しい不均衡」は本質的には、健康と安全の便益の価値に適用される係数(multiplier)という形を取り、リスクのレベルとともに増加する。この係数の正確な値は、これまで裁判所によって定義されたことはなく、規制当局も規制対象もこれを求めたことはない。(略)。(Appendix 3, 29項)

■ Reducing Risks, Protecting People (HSE, 2001)

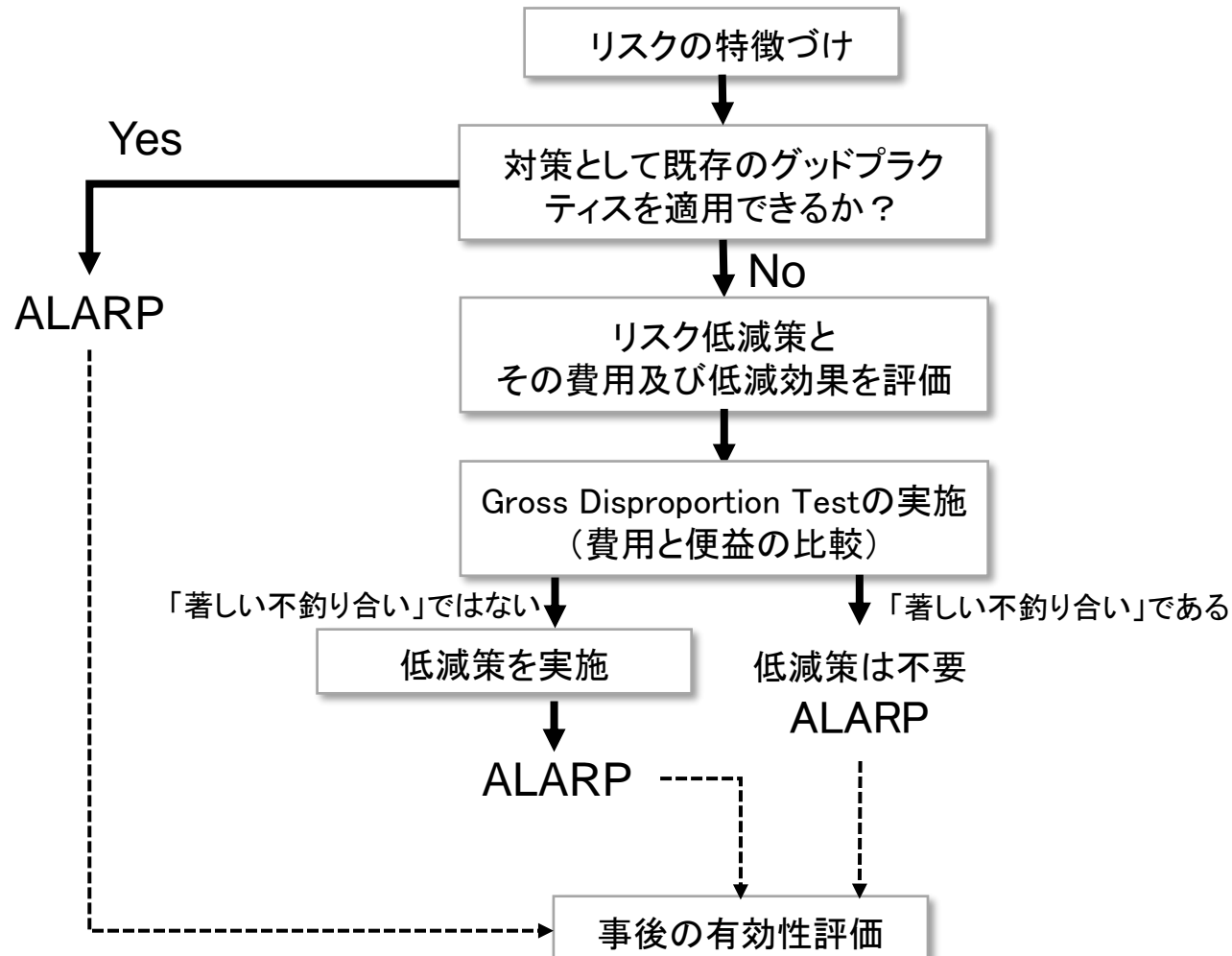
- 健康と安全に関するHSEのリスク管理方法を明示するための文書。(i)リスクとその管理の定義と論点、(ii)リスクに基づく意思決定に関するレビュー、(iii)リスクに基づく意思決定アプローチの解説で構成される。
- 「リスク管理に関する選択肢の採用」に係る基準として、健康・安全・環境分野で規制当局が使用している基準の分析結果をもとに、公平性基準 (equity)、効用性基準 (utility) 及び技術的な基準 (technology) に分類できるとした。

基準	内容	適用の限界	具体的な方法
公平性基準 (equity-based)	<ul style="list-style-type: none"> ● 全ての個人が一定水準の保護に対する無条件の権利を有することを前提とする。 ● いかなる個人もさらされてはならないリスクの最大レベルがあり、リスク低減のための追加措置を導入できない場合、これを超えるリスクは、どのような利点があろうとも容認できない。 	<ul style="list-style-type: none"> ● 非現実的な最悪ケースを想定しなければならないことが多い。 ● リスクの過大評価や、国民に過度の不安を与え、便益と不釣り合いな費用で決定が下されることになる。 	<ul style="list-style-type: none"> ● 容認不可能なリスクレベルの設定
効用性基準 (utility-based)	<ul style="list-style-type: none"> ● リスクを低減することによる便益と、その措置に要する費用とを比較し、両者の間で特定の均衡を取ることを求める。 ● 実際の運用では、便益の方に意図的に偏らせて適用される。 	<ul style="list-style-type: none"> ● 他の倫理的観点や、社会が容認不可とみなすリスクが存在することを無視する傾向がある(確率が高すぎたり、影響が大きすぎるリスク等)。 	<ul style="list-style-type: none"> ● 「著しい不均衡」に関するテストの実施
技術的な基準 (technology-based)	<ul style="list-style-type: none"> ● どのような状況下でも「最先端」の管理手段(技術的、管理的、組織的)をリスク管理に用いることで、満足できるレベルのリスク予防が達成されるという考え方。 	<ul style="list-style-type: none"> ● コストと便益のバランスを無視する傾向がある。 	<ul style="list-style-type: none"> ● グッドプラクティスとして取り入れられている



■ Reducing Risks, Protecting People (HSE, 2001) (続)

- 3つのパートのうち「(iii)リスクに基づく意思決定アプローチの解説」を基に整理すると、HSEの意思決定アプローチは以下の通りとなる。



■ R2P2では、ALARPであることを説明する義務のあるリスクは以下である。(Appendix 3, 6項)

● **合理的に予見可能な事象や行動から生じるリスク**

- 状況によっては、リスクの影響の大きさを考慮し、非常に可能性の低いリスクでも考慮する。
- 例えば、重大な危険を伴う産業の場合、大地震の影響を考慮する。ただし、一方で、TORでは、「発生確率が年間1万分の1以下と判断される激甚な地震を除き、すべての地震に安全に耐えられるよう、近代的なプラントを設計すること(141項)」を義務付けている。

● **義務者保持者の管理下にあるリスク**

- 雇用主は、事業の遂行による影響から従業員と公衆の健康と安全を確保する義務がある。一方で、派生的な影響 (distribution effect) の広がりを過度に考慮する必要はない(例えば、鉄道事業者は運賃の値上げによる社会全体で人々がより大きな危険にさらされることがないかを検討する必要ない)。

■ リスク低減策とその費用及び低減効果の評価 (Appendix 3)

- 選択肢の費用と便益を分析する際には、費用便益分析が利用されることがある。
 - 費用便益分析は、共通の単位 (通常は金銭) による明示的な価値付けが求められる。明示的に評価できない場合には、定性的な推定を行う場合もある。
 - また、日常的な危険に対しては、最新技術を活用したグッドプラクティスのような場合に、明示的な評価は必ずしも必要であるとは限らない。
 - 安全対策への大規模な投資を行わせる場合、あるいは新しい規制を導入する場合には、HSEは明示的な評価を実施する。
- 便益の評価
 - 便益を評価する場合、低減策によって予防された死亡、傷害、痛み、悲しみなどを金銭価値化することになり、簡単ではない。
 - 一方、死亡の防止に対しては、VPF (Value of preventing a fatality) という原単位が用意されており、100万ポンド (2001年時点) とされる。
- 費用の評価
 - 低減策を実施するために義務保有者が不可避免的に負担する費用。設置、運用、保守、及びその対策の導入により直接的に低下した生産性も含まれる。

■ Gross Disproportion Testの実施(費用と便益の比較)(Appendix 3)

- **健康と安全の側に明確な偏り (transparent bias) があるべきという原則に従う。** 義務保有者にとって、「著しい不均衡」のテストは、少なくとも、健康と安全の費用と便益の計算において安全側に誤る必要があることを意味している。HSEは費用と便益を比較する際にも同様のアプローチを採用しており、さらに、**偏りの程度は、事例に適用されるすべての状況と、これらの状況が正当化する予防的アプローチを考慮して検討する必要がある。** (HSE, 2001, Appendix3, 20項)
- この「明確な偏り」についてTORでは、以下の記述がある。
 - 「費用を正当化するのに十分な便益があるかどうかを判断するプロセスは、「著しい不均衡」を構成するものについての判断に依存する。これは、リスクの事前レベルに依存する。これが**「概ね耐容できるレベル」を上回る場合、「著しい不均衡」は、本質的に、健康と安全の便益の価値に適用される係数 (multiplier) という形を取り、リスクのレベルとともに増加する。**この係数の正確な値は、これまで裁判所によって定義されたことはなく、規制当局も規制対象もこれを求めたことはない。両者とも、(恣意的な) 数値によって規制しようとすることに伴う欠点があることを認識している。」(HSE, 1992, Appendix 3, 29項)

- 「明確な偏り」について(続)

- 「「著しい不均衡」は本質的には、健康と安全の便益の価値に適用される係数 (multiplier) という形を取り」という係数は、Gross Disproportion Factor (GDF) と呼ばれ様々な報告がなされている。
 - HSEのCost Benefit Analysis checklistによれば、GDFはルール化されていない(=裁判で定義されたことはない)ものの、**その値が10を超える可能性は低く、リスクが高ければ高いほどGDFも高くなる**と指摘。
 - GDFを具体的に評価する方法をGoose(2006)が提案。1事象当たり平均死亡数、年間死亡数の期待値、死者数の変動性をもとに評価。
 - ✓ 例として、塩素貯蔵設備やLPG貯蔵施設の場合、12.2や9.7などと評価。

- 英国原子力規制局 (ONR: Office for Nuclear Regulation) の**検査官が原子力施設の安全性を評価するための指針**として、「安全評価原則 (SAP: Safety Assessment Principles for Nuclear Facilities)」を作成。8つの基本原則と、約300を超える安全評価の原則で構成される。
- SAPは、1979年に初版が公開され、2006年度版においてTOR-ALARPの枠組みを導入。最新版は2014年版。**SAP2014は、TOR (HSE, 1992) 及びR2P2 (HSE, 2001) と整合性がある文書である。**
- SAPは、法律の抽象的な要件を「実際の施設でどのように適用するか」を示す技術的指針であり、原子力施設の安全を確保するための役割を担う。
 - 法律 (NIA 1965、HSA1974、IRR2017 など) が基本的な義務を定めている
 - SAPは、その義務をどのように達成すべきかの詳細な基準を提供
 - 事業者は、SAPに基づいて安全ケース (Safety Case)^(注1)を作成
 - ONRはSAPを使って安全ケースを審査し、ライセンス発行・査察を実施

(注1)「安全ケース」(safety case)という用語は、設計者、ライセンシー、または義務保有者が高水準の原子力安全および放射性廃棄物管理を実証するために作成する文書で、ONRに提出するこれらの文書のサブセット全体を包含する意味で使用される

- SAPでは、原子力施設の安全性を評価する際に使用する数値目標(Numerical Targets)を定めている。ただし、工学的及び運転安全管理における関連するグッドプラクティスを満たすことが最も重要である(ONR, 2014, 11項)。多くの場合、関連するグッドプラクティスを定める際にはALARPの考慮が含まれているため、グッドプラクティスを満たすことで法律要件を満たしていることを証明するのに十分である。
- 数値目標は、法律(主に、HSWA1974やNIA1965)に基づいて、施設の運用がALARPの原則を満たしているかを判断するために使用される。
 - 許認可段階及び10年毎に実施される定期安全レビュー(PSR)の際に、事業者に対して数値目標との比較(実質的にレベル3PRA)を要求。
 - 所内(放射線作業従事者、その他の作業員)と所外(公衆)に対する通常運転時及び事象・事故時のリスク指標として、基本安全レベル(Basic Safety Level: BSL)と基本安全目標(Basic Safety Objective: BSO)が定められている。

■ 基本安全レベル(Basic Safety Level:BSL) (ONR, 2014, 698項)

- 新規施設または活動は少なくともBSLを満たすべき。
 - BSLを満たしていても、リスクがALARPであるとは限らず、義務保有者はリスクをさらに低減しなければならない。ALARPであると判断するためには、義務保有者が、著しい不均衡に関するテストを適用し、事例ごとに正当性を立証する必要がある。
 - リスク(または危険)が高いほど適用される不均衡の度合いが大きくなり、追加の安全対策を実施しないことを正当化する論拠がより強固である必要があるので、段階的アプローチが適用されるべきである。

■ 基本安全レベル(Basic Safety Level:BSL)(続)(ONR, 2014, 699項)

- **既存の施設**は、以前の安全基準に基づいて設計・建設されているか、あるいは、安全関連の構造物、システム及びその構成部品が時間とともに劣化している可能性がある。
 - **施設の安全申立書では、1つ以上のBSLを超える可能性があり、BSLが法的制限である場合、義務保有者は遵守を回復するための措置を講じなければならない、検査官は適切な強制措置を検討すべきである。**
 - BSLが法的制限でない場合、ALARPであると判断するためには、著しい不均衡のレベルは非常に高いものでなければならない。検査官は、強固な選択肢の策定プロセスが実施されたことを事業者が証明するよう求めるべき。
 - **BSLを満たさない状態での操業が容認されるのは、事業者が短期的にリスクをさらに低減させるための合理的に実行可能な選択肢がないことを証明できる場合のみ**である。さらに、操業を継続する場合は、検査官は、合理的に実行可能な限り短期間でリスクを管理し、低減するための明確な長期計画を求めるべきである。BSLを超過した場合は、施設を閉鎖するか、活動を禁止または制限するための規制措置を検討すべきである。

Enabling
Regulation

■ 基本安全目標(Basic Safety Objective:BSO) (ONR, 2014, 701項)

- BSOは、**最新の安全基準と期待を反映したベンチマーク**を形成する。
- BSOはまた、安全ケースに関するさらなる検討がONRのリソースの合理的な使用とはならないレベルが存在することも認識している。このリソースをよりリスクの高い分野に適用することの便益と比較すると、検査官は設計者/事業者に対してさらなる改善を求める必要はなく、提示された論拠の妥当性を評価することに専念できる。
- 一方で、**義務保有者には、このレベルで止めるという選択肢は与えられていない。**
- ALARPに関する検討によっては、**義務保有者がBSOに達する前に止めることが正当化される場合もある。**しかし、**より高い安全基準を設けることが合理的に実行可能である場合、義務保有者は法律によりそれを実行しなければならない。**
- ALARPの実証は、費用便益分析(CBA)によって行われることもある。**CBAは、適切な「著しい不均衡」に関する係数を考慮した上で、安全性を向上させるためのさらなる対策を実施することの便益と、それらの安全対策を実施するためのコストを比較するものである。**CBAをALARPの論拠に用いる場合は、HSEの一般的なALARPガイダンスに従うべきである。特に、CBAはそれ単独でALARPを正当化する論拠とすべきではなく、既存の基準や関連するグッドプラクティスを損なうために用いるべきではない。(ONR, 2014, 705項)

ターゲット		BSL		BLO	
Target 1	通常運転でオンサイトの人が1暦年中に受ける実効線量	放射線業務従事者 20 mSv*	その他 2 mSv	放射線業務従事者 1 mSv	その他 0.1 mSv
Target 2	通常運転時、オンサイトの放射線業務に従事するグループに対する1暦年での実効線量の平均値	10 mSv		0.5 mSv	
Target 3	通常運転時、オンサイトで発生した放射線源からオフサイトにいる人が1暦年で受ける実効線量	1 mSv*		0.02 mSv	
Target 4	設計に基づく故障のシーケンスから生じる実効線量 年発生頻度 10 ⁻³ 以上 10 ⁻⁴ ~10 ⁻³ 10 ⁻⁵ ~10 ⁻⁴	Onsite 20 mSv 200 mSv 500 mSv	Offsite 1 mSv 10 mSv 100 mSv	Onsite 0.1 mSv	Offsite 0.01 mSv
Target 5	事故によるオンサイトの人の死亡リスク	年間10 ⁻⁴		年間10 ⁻⁶	
Target 6	オンサイトの人が被ばくする可能性のある事故の頻度 実効線量 2~20 mSv 20~200 mSv 200~2000 mSv 2000 mSv以上	年頻度 10 ⁻¹ 10 ⁻² 10 ⁻³ 10 ⁻⁴		年頻度 10 ⁻³ 10 ⁻⁴ 10 ⁻⁵ 10 ⁻⁶	
Target 7	事故によるオフサイトの人の死亡リスク	年間10 ⁻⁴		年間10 ⁻⁶	
Target 8	オフサイトの人が被ばくする可能性のある事故の頻度 実効線量 0.1~1 mSv 1~10 mSv 10~100 mSv 100~1000 mSv 1000 mSv以上	年頻度 1 10 ⁻¹ 10 ⁻² 10 ⁻³ 10 ⁻⁴		年頻度 10 ⁻² 10 ⁻³ 10 ⁻⁴ 10 ⁻⁵ 10 ⁻⁶	
Target 9	事故により即時又は最終的に100人以上の死亡が発生するリスク	年間10 ⁻⁵		年間10 ⁻⁷	

*法律で定められた限界

- Target 5とTarget 7はそれぞれ以下の手順で耐受可能なリスクから導出される。両者は同じ数字になっているものの、これらは偶然一致しただけ(通常運転時のリスクに対して、事故時のリスクが相対的に小さいためともいえる)。(Appendix 2, A45)
- Target 5「事故によるオンサイトの人の死亡リスク」(Appendix 2, A16, A36)
 - 作業者の耐受可能リスクの最大値は、年間 1×10^{-3} (TORより)
 - 通常運転時の放射線業務従事者に対するBSL(Target 1)は20mSv
 - 成人の名目リスク係数0.04/Svを用いると、 $0.04 \times 20 \times 10^{-3} = 8 \times 10^{-4}$ に相当
 - したがって、**作業者の耐受可能リスクの最大値 1×10^{-3} から通常運転時のリスク 8×10^{-4} を差し引いた残りの 2×10^{-4} を事故のリスクに割り当てることができる。ここから保守的に 1×10^{-4} が数値目標として採用された。**
- Target 7「事故によるオフサイトの人の死亡リスク」(Appendix 2, A44)
 - 公衆の耐受可能リスクの最大値は、年間 1×10^{-4} (TORより)
 - 通常運転時の公衆に対するBSL(Target 3)は 1 mSv
 - 公衆の名目リスク係数0.05/Svを用いると、 $0.05 \times 1 \times 10^{-3} = 5 \times 10^{-5}$ に相当
 - したがって、**公衆の耐受可能リスクの最大値 1×10^{-4} と、通常運転時のリスク 5×10^{-5} を合計すると、 1.5×10^{-4} となり、Target 7をわずかに上回る。しかし、この程度のずれは、事故リスクの数値予測に伴う不確実を考慮すると適切な範囲である。**

- 「BSLを満たさない状態での操業が容認される」場合の一例として、Enabling Regulationが挙げられる。
- Enabling Regulationとは、安全性やセキュリティを損なうことなく、**規制の柔軟性を高めるアプローチであり、リスク評価を行いつつ短期的なリスク増加を認める可能性がある。**
 - 短期的リスク増加を許容し、長期的リスク削減を達成するケース
 - 長期的なプロジェクトにおけるリスク管理
- **短期的なリスク増加を認める場合には、以下の条件が満たされている必要がある。**
 - **ALARPの遵守**
 - ・ リスクが適切に評価され、ALARPを満たしていることが前提。
 - ・ 「リスクが増加するが、それによって最適な解決策が得られるか？」が重要な判断基準となる。
 - **適切なリスク管理策の実施と、一時的なリスク増加があっても、それを適切に管理する手段が講じられていることが必須。**例:「移送中の放射性物質の安全監視の強化」「緊急時対応計画の改訂」など。
 - **関係者との合意形成**
 - ・ 規制当局、事業者、関係機関(政府機関、地方自治体、住民代表など)との十分な協議を行い、透明性を確保することが求められる。
 - **長期的な安全・リスク削減目標との整合性**
 - ・ 短期的なリスク増加が、長期的な安全性向上と矛盾しないことが求められる。

価値

公平、効用、技術

法律

作業者及び公衆の健康、安全及び福祉を、合理的に実行可能な限り保護すること。

基本原則

受容可能性及び耐容可能性の設定と、グッドプラクティス及び「著しい不均衡」に基づく比較考量に基づく判断。

最適化の要件

個人リスク	社会的リスク
<ul style="list-style-type: none"> ● 受容不可能なリスクに対する防護 ● 耐容可能領域においては、グッドプラクティスによるALARPの達成。 	
<ul style="list-style-type: none"> ● 「著しい不均衡」に関するテスト ● 数値目標の利用等 	

- 英国の労働安全衛生に関する法体系は、現場の「無気力」を改善し、事業者の自主性を高めることを目指して構築された。
- リスク管理の中心には、TOR-ALARPの枠組みがある。
 - 受容可能性(広く受容可能/受容不可能)と耐容可能性の考え方をもとに、リスクレベルを分類。作業者と公衆の個人リスクに加え、社会的リスクに対して数値基準が存在する。
 - これらの数値基準は、リスク比較によって定められる。作業者に対する耐容可能リスクの最大値(年間1000分の1)と、広く受容可能なレベル(年間100万分の1)が最も基本的な基準となる(他の基準は概ねここから導出できる)。
 - 耐容可能なリスクの場合には、ALARPを満たしていることを示す必要がある。これは、グッドプラクティスのほか、「著しい不均衡」に関するテストによって達成される。

- 義務保有者には、「このレベルでリスクに関する改善を止める」という選択肢は与えられていない。一方で、BSLを満たさない状態や、BSOに達する前に改善を止めることが正当化される場合もある。
- 一方、規制側にも、大規模な費用の投資や新しい規制の導入の際には費用と便益に関する明示的な評価が求められる。

■ 個人的な疑問と課題

- リスクの数値目標の導出はリスク比較によって行われる。この場合、過去の経験及び現在の実状を出発点としているので、「現状維持(改善を目指していない)にすぎないのではないか」や、「国民の側から見た場合には、積極的な合意表明にはなっておらず現状の押し付けではないのか」というような疑問や批判を持たれるのではないかと(少なくとも発表者はそう思った)。
- 課題として、「著しい不均衡」テストの実状(費用便益分析は本当に行われているか? 定性的に行う場合にはどのような実施するか? 等)について、実際の例を分析する必要がある。

HSE, 1992, The tolerability of risk from nuclear power stations.

HSE, 2001, Reducing risks, protecting people—HSE’s decision-making process.

HSE website, Cost Benefit Analysis (CBA) Checklist. (<https://webarchive.nationalarchives.gov.uk/ukgwa/20230703105705/https://www.hse.gov.uk/enforce/expert/alarp/check.htm>)

Goose M.H., 2006, ‘Gross Disproportion, Step by Step – A Possible Approach to Evaluating Additional Measures at COMAH Sites’, Health and Safety Executive: United Kingdom.

ある化学プラントにおいて、爆発した場合に、20人の死亡、40人の恒久的な障害を伴う負傷、100人の重傷、200人の軽傷が生じるものとする。この爆発が起こる確率は、年間100,000分の1であると分析されており、プラントの耐用年数は25年とする。この化学プラントを所有する事業者が、爆発のリスクを排除(ゼロに削減)するために合理的に支出できる金額はいくらか？

■ 爆発のリスクが排除された場合の便益は、以下となる。

- ✓ 死亡者: $20人 \times 1,336,800\text{£/人} \times 10^{-5}/\text{年} \times 25\text{年} = \text{£ } 6684$
- ✓ 後遺症: $40人 \times 207,200 \text{ £/人} \times 10^{-5} \times 25\text{年} = \text{£ } 2072$
- ✓ 重傷: $100人 \times 20,500 \text{ £/人} \times 10^{-5} \times 25\text{年} = \text{£ } 512$
- ✓ 軽傷: $200人 \times 300 \text{ £/人} \times 10^{-5} \times 25\text{年} = \text{£ } 15$

便益の合計 = £ 9,283

- 合理的に実行可能ではないとみなされる対策の場合、費用は便益と著しく不均衡でなければならない。これは「著しい不均衡係数(GDF)」によって考慮される。この場合、GDFはこのような爆発の結果が重大であることを反映する。10を超えるGDFは考えにくい。
- したがって、爆発のリスクを排除するために、9万3000ポンド(便益の合計 £ 9300に、GDF10を乗じた数字)程度まで支出することは合理的に実行可能であると考えられる。義務保有者は、より低いGDFを使用する正当性を説明しなければならない。

回避された健康影響	金銭価値
死亡(がんの場合は2倍)	£1,336,800
負傷	
• 恒久的な障害を伴う負傷	£207,200
• 重症(中程度の痛みが2~7日で恒久障害なし)	£20,500
• 軽度の傷害(回復が早く完治する)	£300
病気	
• 恒久的な就労不能	£193,100
• 健康障害により1週間以上の欠勤(恒久障害なし)	£2,300 (欠勤1日につき+£180)
• 軽度 1週間以内の欠勤	£530