

諸外国で安全審査に適用されている 基準等における放射線防護に係る 記載について

平成22年1月29日

原子力安全委員会事務局

アメリカ(原子力施設に対する規制)

アメリカの原子力施設における規制は、原子力規制委員会(NRC:Nuclear Regulatory Commission)が定める連邦規則(10 CFR)、規制指針(Regulatory Guide)、NUREG等の文書に基づき実施されている。

- ・ 発電用原子炉の安全設計基準、放射線防護等に関連する主要な文書は10 CFRとして示されている。

- 安全設計基準
10 CFR Part 50 (DOMESTIC LICENSING OF PRODUCTION AND UTILIZATION FACILITIES)
- 放射線防護基準
10 CFR Part 20 (STANDARDS FOR PROTECTION AGAINST RADIATION)
- 立地基準
10 CFR Part 100 (REACTOR SITE CRITERIA)

- ・ 上記文書を補足する解説書として以下のRegulatory Guide、NUREGがある。

- ・ REGULATORY GUIDE 1.195 (METHODS AND ASSUMPTIONS FOR EVALUATING RADIOLOGICAL CONSEQUENCES OF DESIGN BASIS ACCIDENTS AT LIGHT-WATER NUCLEAR POWER REACTORS (軽水炉で設計基準事故の放射線影響を評価するための方法と仮定))
- ・ REGULATORY GUIDE 1.183 (Alternative Radiological Source Terms for Evaluating Design Basis Accidents at Nuclear Power Reactors(原子力発電用原子炉で設計基準事故を評価するための代替の放射線ソースターム))
- ・ NUREG-0800 (Standard Review Plan for the Review of Safety Analysis Reports for Nuclear Power Plants: LWR Edition (原子力発電所のための安全解析報告のレビューのための標準のレビュープラン: 軽水炉版))
- ・ NUREG-1860 (Feasibility Study for a Risk-Informed and Performance-Based Regulatory Structure for Future Plant Licensing, Volumes 1 and 2 (今後のプラント認可のためのリスク情報に基づくパフォーマンスベースの規制構造のための実行可能性調査))

アメリカ（通常運転）

原子炉の通常運転時における公衆被ばくを合理的に達成可能な限り低減する(ALARA)ため、線量限度のほかに、排出される放射性物質の放出管理装置に対する運転規制を設けている。(10 CFR Part 50.34a)

軽水炉についてALARAを満足するための設計目標及び運転制限条件の数値ガイドはPart 50 Appendix I

設計目標

※ 原子炉一基当たり

年線量又は線量預託（排水によるもの）全被ばく経路	全身3mrem、臓器10mrem
年線量（排気によるもの）	γ 線10mrad、 β 線20mrad
年線量(放射性ヨウ素と微粒子状放射性物質の排気)全被ばく経路	臓器15mrem

※ 原子炉50マイル以内の公衆に対しての線量低減に効果のある費用対効果の高い技術の導入についても言及

アメリカ（設計基準事故（1））

対応する事故事象ごとに線量限度を定めている。

事故、ケース	実効線量当量 (TEDE)(mSv)
冷却材喪失事故（LOCA）	250
BWR主蒸気管破損－燃料破損or異常な過度事象	250
－放射平衡状態のよう素の影響	25
BWR制御棒落下事故	63
小規模配管破損事故	25
PWR蒸気発生器伝熱管破断－燃料破損or異常な過度事象	250
－同時に起こるよう素事象	25
PWR主蒸気管破損－燃料破損or異常な過度事象	250
－同時に起こるよう素事象	25
PWRローター軸固着事故	25
PWR制御棒飛び出し事故	63
燃料取扱事故	63

注1：1997年1月10日以前に適用される原子炉については、上記表とは以下の点が異なる

・線量限度の単位が実効線量当量（TEDE：Total effective dose Equivalent）ではなく、全身と甲状腺の線量限度が個別に設けられている。

注2：ソースタームは、1997年1月10日以前についてはTID-14844、1997年1月10日以後についてはNUREG-1465を適用

出典：1997年1月10日以前については、REGULATORY GUIDE 1.195(METHODS AND ASSUMPTIONS FOR EVALUATING RADIOLOGICAL CONSEQUENCES OF DESIGN BASIS ACCIDENTS AT LIGHT-WATER)

1997年1月10日以後については、REGULATORY GUIDE 1.183(ALTERNATIVE RADIOLOGICAL SOURCE TERMS FOR EVALUATING DESIGN BASIS ACCIDENTS AT NUCLEAR POWER REACTORS NUCLEAR POWER REACTORS)

アメリカ（設計基準事故（2））

想定された原子炉事故に関して、プラント設計上、放射線照射による公衆のリスクが低いことを保証するために線量限度を定めている。

線量の根拠

- ・ 全身25rem・・・従事者の生涯一度の緊急時線量に数値的に対応するが、事故時に公衆に許容される緊急時線量を意味しない*1
（仮定された原子炉事故に関して、プラント設計上、放射線照射による公衆のリスクが低いことを保証するための評価に使用できる基準値）*1
- ・ 全身2.5rem、甲状腺30rem・・・全身25rem、甲状腺300remの10% *2
- ・ 全身6.3rem、甲状腺75rem・・・全身25rem、甲状腺300remの25% *2

出典： *1 NRC 10 CFR Part 50.34 (Contents of applications; technical information)

*2 Standard Review Plan for the Review of Safety Analysis Reports for Nuclear Power Plants: LWR Edition — Transient and Accident Analysis (NUREG-0800, Chapter 15) 15.0.3

Design Basis Accident Radiological Consequences of Analyses for Advanced Light Water Reactors)

アメリカ (NUREG-1860: 将来炉の審査に向けて検討されている基準案(1))

原子炉施設周辺の公衆(個人)に対して過度の危険を与えないため、通常運転(発生頻度1)及び事故の発生頻度に対応して基準となる線量範囲を示している。

線量範囲	発生頻度(年あたり)	備考
1mrem-5mrem	1E+0	10CFR 50 App I のALARA線量として5mrem/y
5mrem-100mrem	1E-2	10CFR 20 の公衆の線量限度として1mSv/y
100mrem-1rem(1)	1E-3	EPA防護活動ガイドラインにオフサイトのトリガーとして1rem/y
1rem-25rem(1)	1E-4	10CFR 100の立地基準として25rem/y
25rem-100rem	1E-5	確定的影響(骨髄の造血系の機能低下)として50rem
100rem-300rem	1E-6	早期致死しきい値を超える線量範囲
300rem-500rem	5E-7	300-400rem以上では早期致死がかなり起こり得る
>500rem	1E-7	非常に高い確率で早期致死が起こる

上記の表を提案する上でNRCの安全目標の健康目標値である以下の項目を遵守

- ・ 原子炉事故による原子炉施設周辺の個人の即時死亡リスクが、その他の事故によるリスクの合計の0.1%を超えないこと。
- ・ 原子炉の運転による敷地外の個人のがん死亡リスクが、その他の原因によるがん死亡リスクの合計の0.1%を超えないこと。

アメリカ (NUREG-1860: 将来炉の審査に向けて検討されている基準案(2))

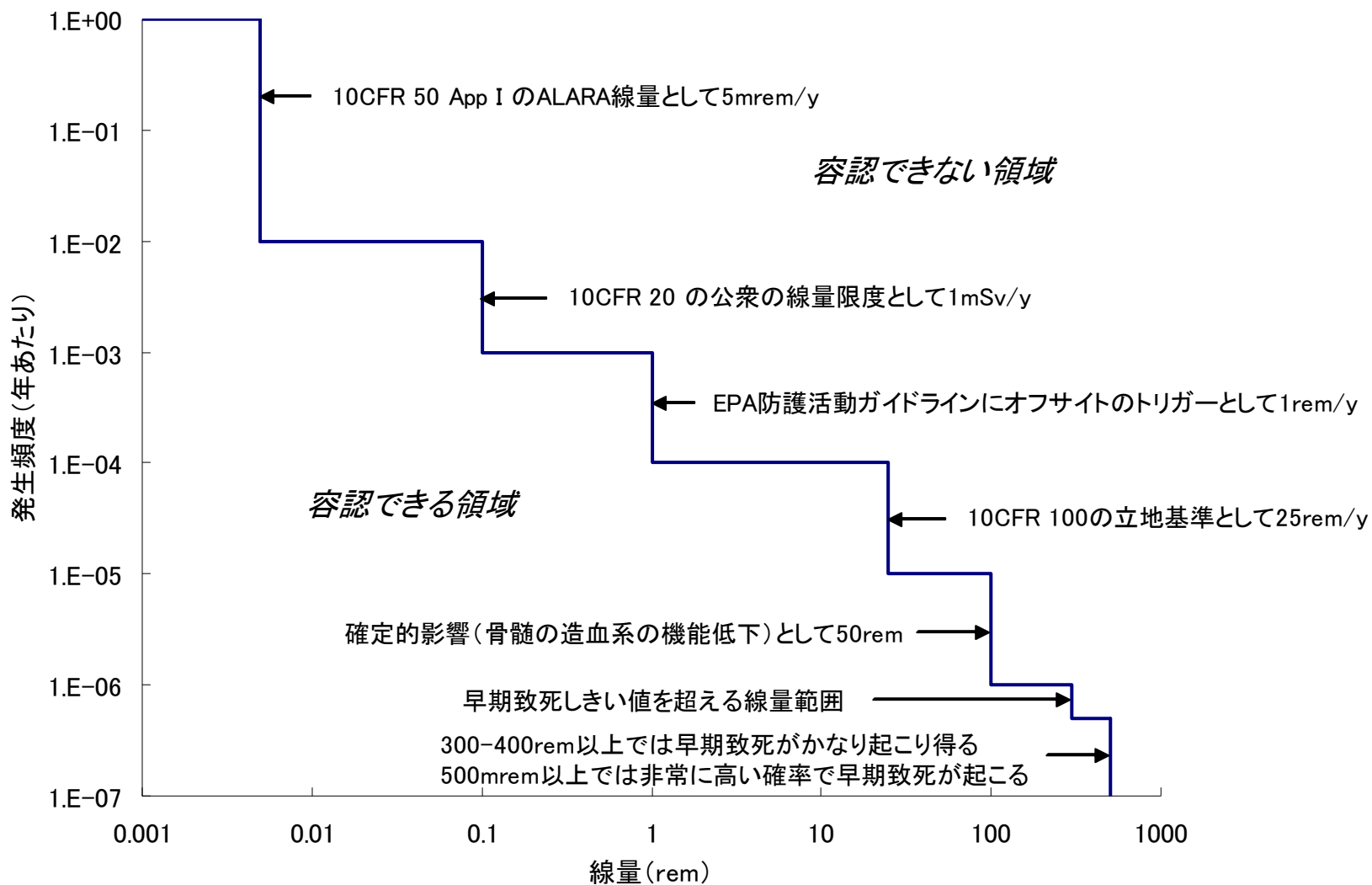


図 アメリカ(NUREG-1860)におけるFrequency-Consequence Curve (F-C曲線)

イギリス（原子力施設に対する規制）

イギリスの原子力施設における規制は、原子力施設法に基づいて、運輸地域省(DTLR)の保健安全執行部(HSE: Health and Safety Executive)が実施している。

- ・安全規制における許認可プロセスにおいては、HSEが定めた安全評価原則(SAP: Safety Assessment Principles)に基づき審査(安全規制に関する文書として、SAP2006年版がある)
- ・その際、SAPの解釈等として、技術評価指針(TAG: Technical Assessment Guides)を援用

イギリス(通常運転・設計基準事故)

Basic Safety Level(BSL)及びBasic Safety Objective(BSO)による枠組みを用いて、通常運転及び設計基準事故について事象の発生頻度に応じて目標値を設定している。

- ※ BSL:「容認不可(Unacceptable)」と「受忍可能(Tolerable)」の境界
- BSO:「受忍可能(Tolerable)」と「広く容認可能(Broadly acceptable)」の境界

(単位:年間mSv)

	通常運転時(敷地外の個人)	設計基準事故時(敷地外の個人)
BSL	1	1~100(※)
BSO	0.02	0.01

(参考)

1. 通常運転時における放射線防護と事故時における放射線防護は頻度のスケールで連続している(頻度の非常に高い事故に求められる防護のレベルは通常運転時における防護と同等)。
2. 線源に対しては0.3mSvの線量拘束値がIRRガイダンスにより示されている(590段落)。
3. 具体的事象についての規定はなし。設計基準解析時の注意事項についてはSAP512-526段落参照。

(※)

年間発生頻度	年間実効線量
1×10^{-4} 未満	100mSv
$1 \times 10^{-3} \sim 10^{-4}$	10mSv
1×10^{-3} より大きい	1mSv

ドイツ(原子力施設に対する規制)

ドイツの原子力施設における通常運転時、設計基準事故時の放射線防護の行政命令については、原子力法に基づいて規定された放射線防護令に基づき実施されている。

- ・ 原子力施設の安全規制の実務は、連邦環境・自然保護・原子力安全省（BMU）が州政府所轄官庁に委託し、原子炉施設における規制を実施

ドイツ(通常運転)

通常運転時における公衆の放射線防護を最適化するため、実効線量、等価線量の上限を設けている。

○ 通常運転(放射線防護令 第47条)

- ・ 公衆の中で最大の被ばくをするグループの被ばく量が、実効線量、等価線量の上限を上回らないこと

実効線量(うち排気・排水によるもの)	0.3mSv
等価線量(生殖腺、子宮、赤色骨髄)	0.3mSv
等価線量(大腸、肺、胃、膀胱、肝臓、食道、甲状腺等)	0.9mSv
等価線量(骨表面、皮膚)	1.8mSv

※ 線量限度は実効線量1mSv

※ 排出物に対して0.3mSvの割当(線量拘束値相当)

ドイツ(設計基準事故(1))

設計基準事故として以下の事象を想定している。

○ 設計基準事故

- (1) 運転時の異常な過渡変化(Transients)
 - － 反応度投入事象(Reactivity accidents)
 - － 格納容器貫通部バルブの誤った閉鎖による主蒸気シンの喪失
 - － 主給水流量喪失(Loss of the main feedwater supply)
- (2) 冷却材喪失事故(Loss of coolant accidents)
 - － 冷却材圧力バウンダリにおける典型的な部位の破損による漏出
- (3) 代表的な事故(Radiologically representative accidents)
 - － 漏出等による冷却材喪失
 - － 燃料要素取り扱い事故(燃料要素外におけるすべての燃料棒の損傷)
 - － 補助システム(排出ガス処理装置等)の故障
- (4) 内部の衝撃(Internal impacts)
 - － 原子炉冷却材バウンダリの外のパイプの漏出による水害
 - － プラント内部の火災
 - － 故障の結果による高い熱的エネルギーによる断片(例:タービンブレードの故障)
- (5) 外部の衝撃(External impacts)
 - － 自然により引き起こされる立地地域に特異的な事象(地震、水害等)

ドイツ(設計基準事故(2))

想定された設計基準事故について、事故1回当たりの計画値として基準を設けている。

○ 設計基準事故時の計画値(事故1回当たり)(放射線防護令 第49条)

実効線量	50mSv
等価線量(甲状腺、水晶体)	150mSv
等価線量(皮膚、手、前腕、足、足首)	500mSv
等価線量(生殖腺、子宮、赤色骨髄)	50mSv
等価線量(骨表面)	300mSv
等価線量(大腸、肺、胃、膀胱、乳房、肝臓、食道等)	150mSv

フランス(原子力施設に対する規制)

フランスの原子力施設における規制は、公衆衛生法等に基づいてフランス原子力安全機関(ASN)が実施している。

- ・ASNは大統領直轄の独立行政府。原子力安全・情報開示法に基づき、2006年から新しい機関として活動。規則の提示を行うほか、様々な技術項目について基本安全規則を発行し、活動と施設の管理等を行う。
- ・ASNの支援組織として原子力安全・放射線防護研究所(IRSN)があり、技術的評価及び研究に関する責任を負う。

フランス(通常運転)

公衆の放射線防護を行うため、原子力活動については実効線量、等価線量の上限を設けている。

○ 放射線防護の一般原則(公衆衛生法 法律の部 第L1333-1条)

・ 正当化の原則

「原子力活動または介入はその健康上、社会的、経済的あるいは科学的な便益が人が電離放射線に被曝することに内在する危険の元でも正当化されるときに限り着手または実行することができる」

・ 最適化の原則

「原子力活動の結果としての人の電離放射線の被曝は、現在の技術、経済的、社会的要因及び該当する場合は医療目的をも勘案して、合理的に達成可能な限り低く保たなければならない」

・ 線量限度

「原子力活動の結果としての個人の電離放射線の被曝は、医療または生物医学的研究目的の被曝を除き、線量の合計を規則で定めた限度を超えさせるものであってはならない」

○ 通常運転(公衆衛生法 規則の部 第R1333-8条)

- ・ 原子力の活動により、公衆の一人が受ける線量は以下を越えてはならない

実効線量	1mSv/年
等価線量(水晶体)	15mSv/年
等価線量(皮膚、任意の皮膚1cm ² の平均値)	50mSv/年

フランス（通常運転・設計基準事故）

フランス電力会社(EDF)に対するASN承認の基準は以下の通り。
事象の発生頻度に応じて線量限度を設定。

頻度のカテゴリー	年間の発生頻度	線量限度等
カテゴリー1 (通常の運転状況)	1 (通常運転)	1年間の流出物の放出許可 限界(10 μ Sv)の遵守
カテゴリー2 (小さいが度々起きる事象)	事象あたり 1 ~ 10 ⁻²	事象あたりの流出物の放出 許可限界(10 μ Sv)の遵守
カテゴリー3 (ありそうもない事象)	事象あたり 10 ⁻² ~ 10 ⁻⁴	全身で5mSv以下 甲状腺で15mSv以下
カテゴリー4 (限定的な失敗)	事象あたり 10 ⁻⁴ ~ 10 ⁻⁶	全身で150mSv以下 甲状腺で450mSv以下

※ 具体的な設計基準事象

カテゴリー2: 極端な負荷増加、タービントリップ、蒸気ジェネレーターの主な給水供給の損失、
加圧器弁の短い不注意な開放、二次系システム弁の不注意な開放 等

カテゴリー3: 根本的な冷却材の損失・小さい故障、加圧器弁の長期の不注意な開放、
化学物質タンク等の破裂 等

カテゴリー4: 冷却材喪失事故、燃料取り扱い事故 等

ICRP(計画被ばく)

計画被ばく状況において、公衆の放射線防護の最適化のため、評価対象を代表的個人、個別の線源に関連した線量拘束値を設ける。

(線量限度)

- 計画被ばく状況 (被ばくが生じる前に被ばくの大きさと範囲を合理的に予測でき、放射線防護を計画することができる状況) における公衆の線量限度：
年間実効線量1mSv (ある特別な事情においては、定められた5年間にわたる平均が年1mSvを超えないという条件付きで、年間の実効線量としてより高い値も許容される。) (第245、253段落)

(線量拘束値)

- 計画被ばく状況における公衆被ばくの線量拘束値 (防護の最適化において個人間の不公平さを制限するために導入する線源関連の限定)：
年間1mSv以下 (個人にとってほとんどまたは全く便益はないが、社会一般にとって便益があるかもしれない場合) (第232、239段落、表5※)
 - ・ 廃棄物処分に伴う公衆被ばくの管理については年間約0.3mSvを超えない線量拘束値が適切。(第260段落)

ICRP(潜在被ばく)

潜在被ばくについて、公衆に適用される線量基準は、事故の発生確率を考慮することによって、リスク拘束値から導かれるべきとしている。

- 公衆の潜在被ばく（計画された操作手順からの逸脱や事故による、被ばくが生じることは合理的に予想できるが、起こることが計画されていない被ばく）に対するリスク拘束値（防護の最適化において個人間の不公平さを制限するために導入する線源関連の限定）：年間 1×10^{-5} （第232、262、268段落）
- 潜在被ばくの受容性についての決定は、被ばくが起こる確率とその大きさの両方を考慮すべき。1年間にある線量を受ける確率と、その線量による放射線関連死亡の生涯確率との積により得られる確率はリスク拘束値と比較することができる。確率がリスク拘束値よりも低い場合、それは耐容できる。（第267段落）
- 潜在被ばくに適用される線量基準は、その事故の発生確率を考慮することによって、リスク拘束値から導かれるべきである。（第270段落）

IAEA

- 全ての運転状態において、一般公衆及び発電所従業員の被ばくに対する線量が定められた制限値を超えず、かつこれを合理的に達成できる限り低く抑えなければならない。
- (設計基準事故及び選ばれたシビアアクシデントに対して)一般公衆と発電所従業員に対する潜在的放射線被ばくは許容限界値を超えることなく、かつ、これを合理的に達成できる限り低く抑えなければならない。
- 大量の放射線被ばく、または、放射性物質の放出に至る可能性のある設備状態は非常に低い発生頻度に抑えられなければならない、発生頻度の非常に高い発電所状態における潜在的な放射線影響はほんの小さいものでなければならない。

まとめ(通常時)

日本、アメリカ(現状、NUREG-1860(基準案))、フランスは10~50 μ Svの線量目標値等を設定。イギリス、ドイツは公衆被ばくの上限として0.3mSvを設定している。

基準線量

日本	アメリカ	アメリカ (基準案)	イギリス	ドイツ	フランス	ICRP
<p>線量限度:年間 実効線量1mSv</p> <p>設計時の線量 目標値:実効線 量で年間 50 μ Sv</p> <p>通常運転時の 放射性物質の 放出管理にお いては、線量目 標値の達成を 可能とする範囲 内の年間の放 出量又は平均 放出率を放出 管理の目標値 (管理目標値)と して定め、これ を超えることの ないように努め る。</p>	<p>線量限度:年間全 実効線量当量 (TEDE)1mSv</p> <p>(設計目標)</p> <ul style="list-style-type: none"> ・排水によるもの 全身3mrem (30 μ Sv) 臓器10mrem (100 μ Sv) ・排気によるもの γ線10mrad, β線20mrad ・放射性よう素と微 粒子状放射性物質 の排気 臓器15mrem (150 μ Sv) 	<p>線量限度:年間 全実効線量当 量(TEDE)</p> <p>1mSv</p> <p>(設計時)</p> <p>年間の発生頻 度1の事故(通 常運転時に相 当)における年 間線量範囲</p> <p>1-5mrem (10-50 μ Sv)</p>	<p>BSL: 年間実効線量 1mSv</p> <p>BSO: 年間実効線量 0.02mSv</p> <p>個別の線源に 対しては0.3mSv の線量拘束値 をガイダンスと して示している</p>	<p>線量限度:年 間実効線量 1mSv</p> <p>設計時及び通 常運転時の計 画被ばくでの 放射性物質の 放出による公 衆被ばくの上 限: 年間実効線量 0.3mSv(甲状 腺0.9mSv等組 織毎に線量を 規定)</p>	<p>線量限度:年間実 効線量1mSv</p> <p>通常運転時の計 画被ばくでの放射 性物質の放出に よる公衆被ばく の上限: 年間等価線量 (水晶体15mSv等 組織毎に線量を 規定)</p> <p>年間の発生頻度 1(通常運転時に 相当)における流 出物の放出許可 限界: 10 μ Sv</p>	<p>(線量限度)</p> <ul style="list-style-type: none"> ・計画被ばく状況にお ける公衆の線量限 度:年間実効線量 1mSv(特別な事象 においては定めら れた5年間にわたる 平均が年1mSvを超 えないという条件付 きで、年間の実効線 量としてより高い値 も許容される。) <p>(線量拘束値)</p> <ul style="list-style-type: none"> ・計画被ばく状況にお ける公衆被ばくの線 量拘束値:年間 1mSv以下 ・廃棄物処分に伴う公 衆被ばくの管理に ついては年間約 0.3mSvを超えない 線量拘束値が適切。 (第260段落) <p style="text-align: center;">20</p>

まとめ(事故時)

日本、アメリカ、ドイツは特定の事故事象を想定して基準線量を設定。イギリス、アメリカ(NUREG-1860(基準案))、フランスは事故発生頻度ごとに基準線量等を設定している。

	日本	アメリカ	アメリカ (基準案)	イギリス	ドイツ	フランス	ICRP
事故発生頻度	原子炉施設の寿命期間中に予想されるよりも更にまれな頻度	規定なし	年間 ① 10^{-2} , ② 10^{-3} ,③ 10^{-4} , ④ 10^{-5} ,⑤ 10^{-6} , ⑥ 5×10^{-7} , ⑦ 10^{-7}	BSL: 年間 ① 1×10^{-4} 未満 ② $1 \times 10^{-3} \sim 10^{-4}$ ③ 1×10^{-3} より大きい	規定なし	年間 ① 1×10^{-2} 未満 ② $1 \times 10^{-2} \sim 10^{-4}$ ③ $1 \times 10^{-4} \sim 10^{-6}$	規定なし
事故内容	放射性気体廃棄物処理施設の破損、主蒸気管破断等	冷却材喪失事故、主蒸気管破損、制御棒落下事故等	規定なし	規定なし	運転時の異常な過渡変化、冷却材喪失事故等	①極端な負荷増加等 ②根本的な冷却材の損失・小さい事故等 ③冷却材喪失事故等	規定なし
発生事故当たりの基準線量	実効線量当量の評価値 5mSv(発生頻度が極めて小さい事故の場合は5mSv以上)	線量限度(実効線量当量) 2.5rem(25mSv)~25rem(250mSv)	年間線量範囲 ①5-100mrem(50 μ Sv-1mSv) ②100mrem-1rem(1-10mSv) ③1rem-25rem(10-250mSv) ④25rem-100rem(250mSv-1Sv) ⑤100rem-300rem(1~3Sv) ⑥300rem-500rem(3~5Sv) ⑦500rem(5Sv)より大きい	BSL: 年間実効線量 ① 100mSv ② 10mSv ③ 1mSv BSO: 年間実効線量 0.01mSv	実効線量の計画値 50mSv(甲状腺150mSv等組織毎に計画値を規定)	年間実効線量 ①事象あたりの流出物の放出許可限界(10 μ Sv)の遵守 ② 全身で5mSv、甲状腺で15mSv以下 ③ 全身で150mSv、甲状腺で450mSv以下	潜在被ばくに適用される線量基準は、事故の発生確率を考慮して、公衆の潜在被ばくのリスク拘束値(年間 1×10^{-5})から導かれるべき(第268,270段落)