都市・建築・材料に関わる放射能汚染の現状とその対応に関する報告書

日本建築学会　材料施工委員会

二次提言 WG 委員一覧

主査	早川　光敬	東京工芸大学
幹事	今本　啓一	東京理科大学
sWG1 主査	野口　貴文	東京大学
sWG2 主査	丸山　一平	名古屋大学
sWG1 幹事	北垣　亮馬	東京大学
sWG2 幹事	山田　一夫	（独）国立環境研究所
sWG1、sWG2	小山　明男	明治大学
sWG1	西脇　智哉	東北大学
sWG1	中島　史郎	（独）建築研究所
sWG1	板垣　直行	秋田県立大学
sWG2	川口　正人	清水建設（株）
sWG2	橘高　義典	首都大学東京
sWG2	入江　正明	（独）原子力安全基盤機構
sWG2	大越　実	（独）日本原子力研究開発機構
sWG1、sWG2	桜本　文敏	鹿島建設（株）

放射能汚染物質処理 sWG2 委員一覧

sWG2 主査	丸山　一平	名古屋大学
sWG2 幹事	山田　一夫	（独）国立環境研究所
sWG1、sWG2	小山　明男	明治大学
sWG2	川口　正人	清水建設（株）
sWG2	橘高　義典	首都大学東京
sWG2	入江　正明	（独）原子力安全基盤機構
sWG2	大越　実	（独）日本原子力研究開発機構
sWG1、sWG2	桜本　文敏	鹿島建設（株）

はじめに

2011 年 3 月 11 日午後に発生した 2011 年東北地方太平洋沖地震に関連した、日本建築学会は 2011 年 9 月 9 日に第一次提言を公表した。その後、地震・津波・原子力災害からの復旧・復興はなされているところであるが、改めて 2013 年 3 月中に日本建築学会から第二次提言を公表することとなった。この日本建築学会第二次提言についてとりまとめる目的で、材料・施工委員会の中に東日本大震災材料施工分野二次提言ワーキンググループを設置した。その中で、特に放射能汚染の問題が顕在化していることから、放射能汚染対策に関わる問題について整理することを目的にさらに放射能汚染物質処理サブワーキンググループを設置した。本報告書は、そのサブワーキンググループの報告書である。

建築業界において取り扱われた経験の少ない放射能および放射線の問題について、今後建築学会主導で取り組んでいくためには、基礎的な理解が不可欠である。その観点から、本報告書では初等的問題について、平易に記載することに努めた。また、関連分野は膨大であるが、福島第一原子力発電所事故以降の対応として政府が取ってきた対策、その報告書、関連法規、ガイドライン等について極力参考文献として記載し、読者がすぐに情報にアクセスできるよう努めた。

また、原子力分野、環境分野の観点から正しい記載が必要とされたので、（独）原子力研究開発機構、（独）原子力安全基盤機構、（独）国立環境研究所の皆様に協力を得た。また、除染事業に実際に関わっている企業の方にも執筆をお願いした。

今後の活動は、多くの方々との協力の上に成り立つものということが本活動からも分かった。本報告書をもとに建築学会の会員の皆様、および建築に住まう人々が、各自に理解し、考え、復興を目指すための一助となれば幸いである。

2013 年 3 月 14 日

丸山　一平

目次

1. 放射能汚染と建築生産・維持管理に関わる全体像と問題点 2
1.1 はじめに 2
1.2 原発事故対処に必要な事項 4
1.3 放射能汚染を受けた状況での建築生産と維持管理 5
2. 放射能汚染とその影響を判断するに資する基礎的事項 8
2.1 ICRP の事故後の放射線防護の考え方 1) 8
2.2 放射線影響・リスクの考え方 8
2.3 クリアランスの考え方 9
2.4 空間線量率の測定及び被ばく線量の推定 14
2.5 放射性廃棄物の処理・処分 16
3. 汚染の状況 18
3.1 広域レベルの汚染、ホットスポットの状況 18
3.2 建築物における汚染の状況、周辺環境、建築物の部位別汚染、その他 20
3.3 資材・建材の汚染状況 23
3.4 汚染領域の探索・評価 27
4.1 はじめに 29
4.2 汚染材料と部位の評価 29
4.3 廃棄処分への流れ 29
5. 建材利用、再利用、および建築物継続利用に関する課題と提言 32
５．１ 汚染リスク部位・部材の整理 32
５．２ 建築部材線量測定手法の標準化 32
５．３ 建築内放射線安全評価手法の標準化・簡易化 32
５．４ 再利用のあり方 33

1. 放射能汚染と建築生産・維持管理に関わる全体像と問題点

1.1 はじめに

東日本大震災に伴う福島第一原子力発電所の事故により、福島県を中心に東北から関東圏域などに及ぶ広域な放射性物質汚染が生じた。建築の立場から放射能汚染と向き合う場合、種々の面に対する詳細な提言の前に、何が問題であるのかを整理してみたい。

なお、放射性物質の基本的内容は各種の図書を参照いただきたい(例：日本原子力文化振興財団による書籍類)。廃棄物処分の観点から簡便にまとまっている資料も紹介する。

・日本原子力文化振興財団、「事故と放射線に関する基礎知識」[1)]
・国立環境研究所、「放射性物質を含む廃棄物の適正な処理処分（技術資料：概要版）」[2)]
・環境省　「除染や廃棄物処分に関する法規やガイドライン」[3)]

関連法規上の表記は、耳慣れない言葉であり、記憶と理解が容易ではないが、本提言の主旨理解には必要が無いので、あえてここではそれらを表記・説明しない。また、本報告書は東京電力株式会社福島第一原子力発電所サイト外の比較的放射能汚染レベルが低い生活可能圏内を中心として議論を行うが、除染活動を行う地域についても議論することとする。

(1) 放射能汚染の特徴

今回の福島第一原子力発電所施設における事故の結果生じた放射能汚染は、目に見えない放射性物質が広範囲を汚染し、長期に渡る事故となった。これは、公的機関と学識経験者があらかじめ予測をしていた地理的、時間的規模を超えたものとなっている。今回の放射能汚染の現状に起因して、原子力発電所関連施設および設備に関する地震影響の評価・予測に問題があると考えられ、関係者(サービスの提供者)の信用が失われた。その結果、何を信頼してよいのか分からない、という市民(サービスの利用者)の恐怖感と怒りを引き起こした。特に放射能は目に見えず、微量の放射能の場合にはその影響もすぐに顕在化するわけでもなく、また、その影響に関する定量的評価は学術的にもまだ定まっていないという背景から、市民は、自分の理解を超えたものに対して恐怖を感じた。

東日本大震災以降の福島第一原子力発電所に関わる事故は、社会が容易に忘れられない傷跡を残し、責任を問う対象が存在している人災の形で認識されることとなった。

阪神大震災と比較してみると、阪神大震災の被害は地震動と火災によるものであり、原因と危険度は直感的に理解できた。容易ならざるとしても、克服すべき復興の対象は理解することができ、地震への備えが不十分であったとしても、その技術的限界を誰かに追及することはなかった。高速道路の大規模な倒壊を引き起こした地震は日本国民の予期し得ない規模の天災だったと理解されたわけである。

しかし、東日本大震災以降の、福島第一原子力発電所に関わる放射能汚染は、目に見えず、内容が分

---

[1] http://www.jaero.or.jp/data/02topic/fukushima/knowledge/index.html（2012 年 11 月 5 日確認）
[2] http://www.nies.go.jp/shinsai/techrepo_publicver_120725ss.pdf　（2012 年 11 月 5 日確認）
[3] http://www.env.go.jp/jishin/rmp.html　（2012 年 11 月 5 日確認，このリンク以下を参照）
[4] 朽山修(原子力安全研究協会)、地層処分の実施に向けて進むべき道、バックエンド部会セッション、日本原子力学会、2012 年秋の大会

からず、いつまで続くのか見通せないという事実の上、誰かの利益の犠牲者となった、という感情を市民に引き起こす結果となった。

市民の感情を考えると、このような放射能汚染に関わる特徴的な事項だけではなく、専門家を信用せざるを得ない巨大システムがはらむ別のリスクが見えてくる[4)]。

(2) 技術とリスク

どのような技術であれ、予期せぬ欠陥が存在する可能性は必ず存在する。事故を通して技術はより安全で信頼性が高いものへと発展して来た。まずは、この事実を技術サービスの提供者と利用者が受け入れるべきである。自動車のリコールはしばしば、しかも大規模に行われるが、一時的信頼欠如から回復している。航空機事故は何度も繰り返され、内在するリスクを排除して来た。技術の向上だけではなく、利用する環境についても、事故を通してより安全なシステム構成を構築する努力を継続することで市民の安心を高めている。例えば、飲酒運転の罰則の強化であり、シートベルトの義務化、バスへの自動停止装置導入、などである。

技術が内包する欠陥を回避する最も確実な方法は一切その技術を用いないことであるが、技術がもたらす便益を享受するには、隣り合わせたリスクを正当に評価し、便益とリスクのバランスを考えることが重要である。市民は無意識にそれらを考慮してサービスを利用している。

このバランスを考える上で、技術が高度に複雑化し分業化してくると、情報はサービスの供給者である専門家に偏り、情報弱者となる一般市民にはリスクを理解することは難しくなってくる。そうなると専門家を信頼する以外に方法がなくなってしまう。

ここで考慮すべきリスクの原因となる不確実性には二種類あることを理解せねばならない。ひとつは技術的不確実性であり、もうひとつは経済的不確実性（意図）である。技術的に予期せぬ現象はおきえる。鉄筋コンクリートの塩害やアルカリ骨材反応が明らかになったのは 1970～1980 年代である。その現象の原因が研究され対策が提案されて来た。しかし、塩害やアルカリ骨材反応による劣化がなくなったわけではない。より確実に防止する方法があったとしても、経済的に実施が困難な手法を採ることはできない。技術的不確実性は一定の客観性を持って説明できるが、妥当性は専門家以外には判断しにくい。

経済的不確実性（意図）は、経済的合理性の範囲内における技術の利用判断に伴う不確実性といえる。現状で理解できる技術的不確実性と技術利用による便益技術的対策と照らし合わせた判断では、技術的不確実性の全体の枠組みが不完全なものと多くの場合に想定されるので、客観性を持って説明することは難しい。この判断は、多くの経験を有する権威者の判断にゆだねることが合理的であると考えられている。しかし、権威者の立場は、サービスの供給者の便益を優先し、利用者のリスクを増すことも可能であるので、権威者の判断の妥当性確保の問題は、事故原因と対策の情報公開による継続的努力によって克服するしかないと考えられる。

ひとたび事故が起きると、情報弱者である市民には、事故の原因が技術的不確実性にあったのか経済的不確実性（意図）にあったのか判断がつかない。被害の回復という観点からは、原因が後者であれば、責任の追及が可能となる。そのために、人為的誤りや利益誘導の疑いが注目されることとなるが、そのような状態にある市民は、冷静な判断は困難であると推察される。

今回の事故では、放射能汚染災害においては、リスクの理解に専門家に頼らざるをえなかったはずが、事故の発生に伴って頼るべき専門家の信用が失われ、市民にとっての情報の拠り所を失ってしまった。この状態をもたらした原因は、リスクを説明することなく、安全性のみを強調してきたことにある。サ

ービスの提供者は無謬性を謳い、利用者も無謬性を求めてきた。

サービスの無謬性が虚実であるという当然のことが明るみに出たが、利用者がリスクを忘れて無謬性を求める態度は急には変化できない。そのため、サービスの提供者への信頼を失ったまま極端な安全性を求めることになる。

この状況を打破するには、リスク情報の徹底的な公開による信頼回復以外にはない。無用な混乱を招くという理由から、もしくは従来の方針と矛盾するからという理由（これらは経済的不確実性（意図）に関わる）で情報を制御（悪意ではないので隠蔽とは呼ばない）することは多いが、原発事故後、技術的不確実性と経済的不確実性（意図）の区別がつかない状況では、これらの理由は特定の関係者の利益誘導と疑われることになろう。

(3) 建築技術者からの放射能汚染への提言

建築学分野から放射能汚染に起因する社会的問題の解決に貢献するためには、上記のような背景があることを理解することがまずは重要である。

建築学会の会員の多くは、放射能の専門家でも、リスクコミュニケーションの専門家でもなく、この提言を行うことになった原因の原子力発電のサービスの利用者である。ゆえに、まずはその困難な状況を理解し、建築材料の分野からどのような情報を提供し、今後、何ができるかを考えていく必要がある。

事故の後、原子力発電所は運転再開に向けて、高さを増した津波堤防を突貫工事で作り上げ、新たなる多重安全性を準備した。しかし、市民が求めているのはそういう対応ばかりではなく、納得できるような情報開示も含めての透明性・説明性に立脚した考えた方の集積である。

本報告書では、まず、放射能汚染に関連する日本の総力戦ともいうべき知見の成果・現状について理解するにたる情報ソースについてできるだけまとめて公開することとした。これらの情報を通して、放射能汚染が生じた現実の中、建築学会会員と建築を用いる市民が関心を持つだろう項目についてさらに要点をまとめ、会員各位が自分で考えていただく材料となることを期待した。また、これらを元に、今後、社会的問題の解決に貢献するだろう課題群についてとりまとめた。

1.2 原発事故対処に必要な事項

放射能汚染は東日本一帯に広く広がった。その定量的情報は文部科学省の航空機モニタリングの結果により理解できる[1)]。また、その汚染の状況は日本原子力研究開発機構により実施された除染モデル実証事業によっても確認できる[2)]。ここで得られた知見を下記にとりまとめる。

- 航空機モニタリングでごく低レベルとなっていても、事故後の放射性物質の漏洩シミュレーションによると、東日本一帯は程度の違いこそあれ、放射能汚染があると考えられる。
- 放射能汚染は、可溶性の放射性セシウム（Cs-137 および Cs-134）としてもたらされ、放射性セシウムを吸着する物質により現在も環境に多くが捕捉されている。
- 環境中の放射性セシウムは主には土壌中の特定の粘土鉱物と植物の中に存在する。ゆえに粘土がたまっている樋の下部や周辺、および側溝には放射性セシウムが濃縮している可能性がある。一般に、道路面よりは周辺の植生部分で汚染度が高い。
- 人間活動以外にも、降雨による土壌の移動、生物による土壌の擾乱などにより、現在も放射性セシ

---

[1] http://ramap.jaea.go.jp/map/ （2012 年 11 月 24 日確認）

[2] http://www.aec.go.jp/jicst/NC/iinkai/teirei/siryo2012/siryo12/siryo1-2.pdf 及び http://www.jaea.go.jp/fukushima/kankyoanzen/d-model_report/app_1.pdf（2012 年 11 月 24 日確認）

ウムは移動濃縮を起こしている。

- 人間活動では、除染、下水、廃棄物処分(特に剪定枝などの草木類の焼却)により、放射性セシウムは濃縮している。
- 既存建築物への汚染は、放射性セシウムが吸着しにくい塗料・外装材ではすでに洗い流されているが、コンクリート表面、舗装表面、骨材(もしくは採石山)表面など、非常に小さい空隙を有し、吸着しやすい材料を有した建材中には、現在も残存している。なお、内部への浸透は限定的と考えられる。

以上の放射能汚染状況の事実を受け入れると、建築に関わるすべての建築物と建築材料について放射能汚染を疑うことが必要となることがわかる。

1.3 放射能汚染を受けた状況での建築生産と維持管理

(1) 全体像

図 1-1 に放射能汚染事故以後の状況における建築生産と維持管理に関わる全体スキームを示す。この図では、汚染の有無があるかないかもわからないところから、建築物中に用いられた材料がどのような評価・判断にしたがって、利用、継続利用、再生利用、廃棄されるかということについて、とりまとめたものである。

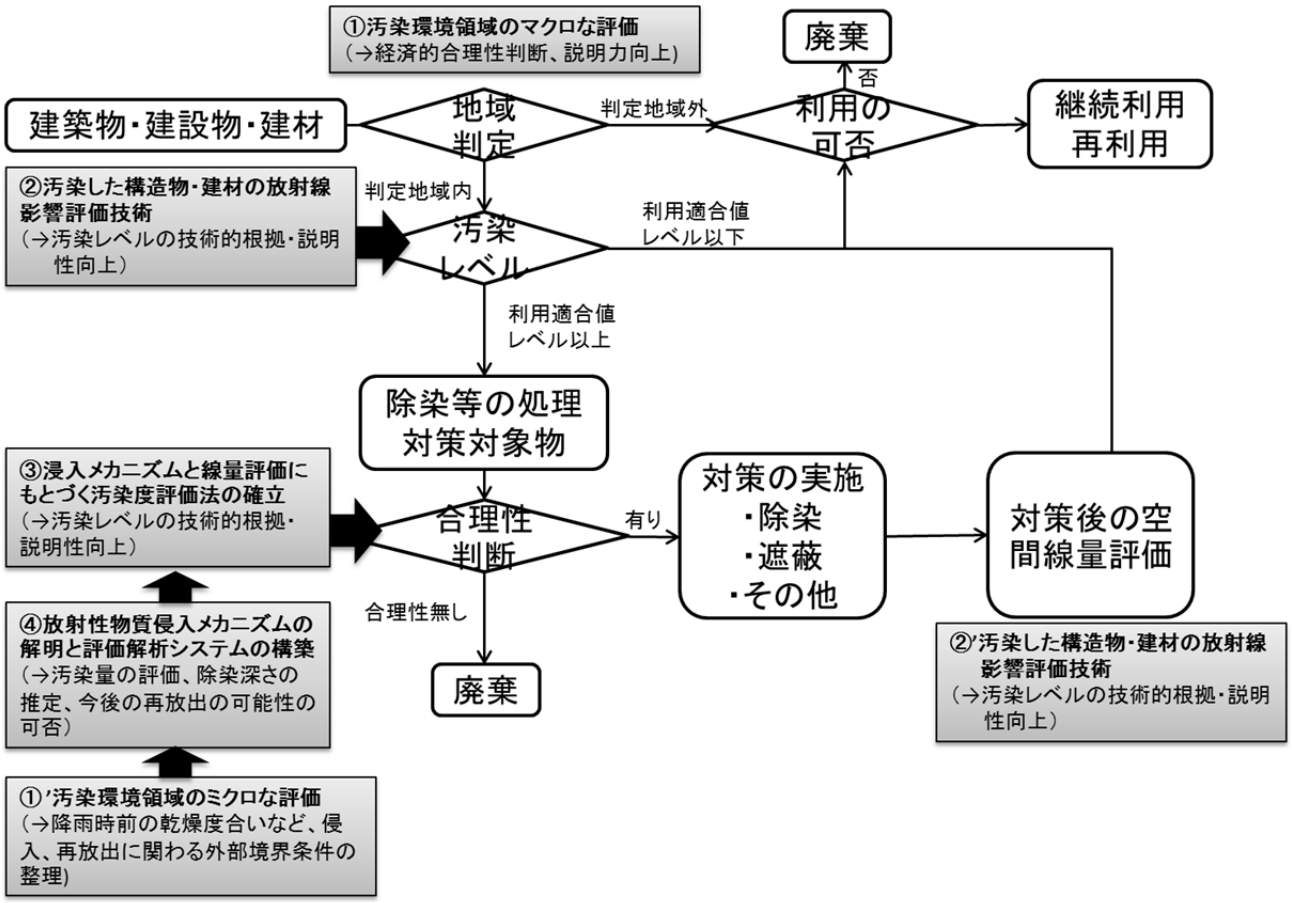

図 1-1　放射能汚染を受けた状況での建築生産と維持管理に関わる全体スキーム

ここでは、東日本大震災以前にすでに確立された原子力発電所施設内での建材の再利用方法などの流れを参考としている。原子力発電所内部において、放射能汚染の有無、汚染レベルの程度を判断し、再利用する制度がある。例えばある明らかに放射能で汚染されていないと考えられるコンクリートは、N.R.（Not Radiated）と区別され、自由に原子力発電所施設の外部でも再利用できる。しかし、何らかの放射能汚染の可能性が考えられる場合については、放射能による被曝のリスク評価が必要になる。たとえば、放射線遮蔽に用いられるコンクリートについては、放射化したり、汚染したりしたコンクリートの再利用のシナリオが考慮される。現状では、100Bq/kg 未満の放射性物質含有量であれば問題は無いと考えられ、自由に再利用されることになる。この制度をクリアランス制度と呼ぶが、詳細を第 2 章に記載する。

(2) 地域による放射能汚染の可能性の判断

東日本に属する地域であれば、放射能汚染の可能性は存在すると考えたほうがよい。例えば、国立環境研究所の調査によれば、航空機モニタリングで空間線量が高い地域から排出される一般廃棄物の焼却飛灰中の放射能濃度は高くなっている[1)]。放射性セシウムの濃縮場所は、除染事業の報告から、ある程度類推できるので、本報告書において後述する情報を参考にリスクの高い場所を調査する必要があろう。

(3) 汚染レベルの判断

まったく放射能汚染の可能性が無いとはいえないとなると、被曝の評価が必要である。社会的に合意できる数字として 0.01mSv/y（無視しえるレベル）や 1mSv/y（公衆被ばくの線量限度）がある[2)]。放射能含有量としての 100Bq/kg だから安全というのではなく、建材が利用された状態を想定した被曝量を評価することが、安全性評価の原則である。これは同じ放射能濃度でも使用方法により、被曝リスクは異なるためである。このことは、汚染レベルが許容できるものであるかどうかの判定手法の整備が必要なことを意味している。現時点では、この評価は、原子力分野の専門家にゆだねるしかない。評価手法については 2 章に記載した。

汚染レベルが許容できる場合には、構造性能を評価してその後の対応を判断することとなろう。

(4) 除染などの処理の合理性の判断

建築物や建築材料の汚染レベルが分かった場合には、除染（例えばウォータージェットによる汚染部除去、汚染濃度が高い骨材の細粒部分の除去）や遮蔽（例えば駐車場の天地返し）により、利用継続や再利用について検討することになる。その際には、原発から放出された放射性セシウムがエアロゾルとして拡散し、主に降雨により地上にもたらされた過程と各種素材表面へ固定化されている状況を考慮し、合理的な除染を行う必要がある。例えばコンクリートへの浸透深さを環境線量率との相関から見積もることができれば、必要除染深さが分かるようになる。

建築物には遮蔽性能が求められることもある。遮蔽性能については、すでに十分な解析がなされている。標準的なコンクリートであれば、厚さ 15cm でおおよそ 90%の Cs-137 からのガンマ線を遮蔽できる。厚さを 2 倍の 30cm にすれば、 99%の遮蔽効果を持つ。Cs-137 のガンマ線に対する遮蔽効果は遮蔽物の密度に単純に比例すると考えて大きな誤りはない。密度 2.3g/cm^3 のコンクリートに対し、密度 11.3g/cm^3 の鉛は、約 5 倍弱の遮蔽性能を持つ。逆に言えば、1/5 の厚さで同等の遮蔽性能が得られる。しかし、鉛

---

[1] 放射性物質の挙動からみた適正な廃棄物処理処分（技術資料）第二版 / 第 10 章追補版 http://www.nies.go.jp/shinsai/techrepo_r2_s10+_120416.pdf （2012 年 11 月 24 日確認）

[2] ICRP: 原子力事故または放射線緊急事態後の長期汚染地域に居住する人々の防護に対する委員会勧告の適用, Publication 111、日本アイソトープ協会、(2012)

を使ったからといって特に軽量になるわけではないので遮蔽の効果を建築部材に求めるときには、荷重、強度について総合的に判断する必要がある。

(5) 対策後の安全性の評価

除染モデル事業の結果でも確認されているように[1)]、除染を実施したとしても、多孔質材料内に吸着した放射性物質を完全に除去することは難しい。そのため、放射能で軽度に汚染された物を継続利用したり、汚染された材料で建築物を建設したりする場合については、汚染レベルの判断と同じく、放射線に対する安全性評価が必要となる。

(6) 廃棄

除染を行った結果、放射能濃度のより高い廃棄物が生じる。これらは環境省の廃棄物処理のガイドラインに沿って処分する必要がある[2)]。除染作業自体も環境省のガイドラインにしたがって進めなければならない。これは、作業者の被爆など、多くのことを勘案してのことである。

(7) 測定法

上記のフローの多くの場面で、放射能濃度の測定が必要となる。放射性セシウムの偏在が多くの場面で想定されるので、評価法については、サンプリングを含めて、サンプルが代表性を持つように注意が必要である。また、サンプリングができない部材の評価についても、バックグラウンド等の評価が重要となる。計測・評価に関わる具体的手順は、環境省や国立環境研究所からも示されているので参考とされたい[3)、4)]。

なお、今後、建築業界における放射能としては、特に半減期の長い Cs-137 の影響を重点的に評価すべきであると考えられる[5)]。そのため、3 章以降の検討は、放射性セシウムを念頭において記載したものとなっているので（2.4 参照）、その点、留意されたい。

---

1 http://www.aec.go.jp/jicst/NC/iinkai/teirei/siryo2012/siryo12/siryo1-2.pdf （2012 年 11 月 24 日）

2 環境省，原子力発電所事故による放射性物質対策，http://www.env.go.jp/jishin/rmp.html (2012 年 11 月 24 日確認)

3 環境省，廃棄物関係ガイドライン，第五部　放射能濃度等測定方法ガイドライン，http://www.env.go.jp/jishin/rmp/attach/haikibutsu-gl05_ver1.pdf （2012 年 11 月 24 日確認）

4 国立環境研究所，廃棄物等の放射能調査・測定法暫定マニュアル，http://www.nies.go.jp/shinsai/radsurvey_111111.pdf (2012 年 11 月 24 日確認)

5 東京電力(株)，福島第一原子力発電所事故　環境への影響 http://www.jaero.or.jp/data/02topic/fukushima/effect/index.html （2012 年 11 月 24 日確認 ）

2. 放射能汚染とその影響を判断するに資する基礎的事項

2.1 ICRP の事故後の放射線防護の考え方 [1)]

国際放射線防護委員会（ICRP）は、放射線の被ばくを低減するための防護方策を必要とする被ばく状況を大きく 3 つの状況、すなわち、「計画被ばく状況」、「緊急時被ばく状況」と「現存被ばく状況」に区分している。この区分を東京電力福島第一原子力発電所に適用すると、2011 年 3 月 11 日以前の管理がなされ、安定に運転をしていた状態は「計画被ばく状況」に該当し、事故発生後に避難指示が出された地域の状況が「緊急時被ばく状況」に、そして、避難指示が解除され居住や就労が認められた地域の現在の状況が「現存被ばく状況」に該当するものと考えられる[1)]。

ICRP は、現存被ばく状況を、管理についての決定がなされる時点で既に線源が存在している状況であり、放射線防護方策を正当化するか、あるいは少なくとも放射線防護方策を考えなければならないほど高い被ばくを生じる状況として定義している。また、汚染地域内において居住し、もしくは労働することは、現存被ばく状況とみなされる。被ばく自体に便益はないが、その状況において居住し続けることは、住民、社会双方とも便益を見出せる可能性がある場合に生ずる状況である。一方、被ばくは、線源もしくは被ばく経路における対策によって制御することが可能であるとしている。

ICRP は、現存被ばく状況は前もって管理することができないので線量限度(一般公衆に対しては年間 1mSv)は適用されないとしている。代わりに、現存被ばく状況においては、個人年間実効残存線量(mSv/年)で設定された参考レベル[2)]を用いることを勧告している。また、ICRP は、参考レベルは、社会生活、経済生活等の持続可能性や、地域住民の健康等を考慮し、年間 1～20mSv のバンド(線量域)から選ぶべきであるとしている。さらに、参考レベルの選定に当たっては、事故等による汚染からの現存被ばく状況の長期目標が「通常とみなせる状況に近い又はそれと同等のレベルまで被ばくを低下させること」であることから、参考レベルの範囲の下方部分から選定すべきである、としている[3)]。

2.2 放射線影響・リスクの考え方

ICRP によると、放射線の人体への影響のあり方には「確定的影響」と「確率的影響」がある。

確定的影響とは、一定量の放射線を受けると、必ず影響が現れる現象をいう。また、受けた放射線の

---

[1] 原子力安全委員会は、「緊急時被ばく状況にある地域は、原子力発電所からの放射性物質の放出が制御された状態となり、さらに、残留した放射性物質による被ばくが一定レベル以下に管理可能となった段階をもって、現存被ばく除去へ移行するとしている。一方、このような地域とは別に、放出された放射性物質の残留により、緊急時被ばく状況を経ることがなく現存被ばく状況に至ったと考えられる地域がある。すなわち、現段階においては、福島第一原子力発電所の周囲に、依然として緊急時被ばく状況にある地域と現存被ばく状況にあると考えられる地域が併存している」としている（原子力安全委員会「今後の避難解除、復興に向けた放射線防護に関する基本的考え方について」平成 23 年 7 月 19 日）。このことから、引き続き避難指示が出されている地域については、緊急時被ばく状況にあると考える。

[2] 現存被ばく状況と緊急時被ばく状況の場合には、参考レベルとは、線量を制限する役割を果たす線量の判断基準を意味する[※)]。選択された参考レベルは、社会的および経済的因子を考慮に入れて、それを上回らないように、また全員の個人被ばくを合理的に達成可能な限り低くこのレベル未満に引き下げるよう努めるべき線量のレベルを示す。また、ICRP は、参考レベルを下回る被ばくを無視すべきではなく、防護が最適化されているかどうか、または更なる防護対策が必要かどうかを確かめるために評価も行うべきである、としている。

※：ICRP: 原子力事故または放射線緊急事態後の長期汚染地域に居住する人々の防護に対する委員会勧告の適用, Publication 111、日本アイソトープ協会、(2012)

[3] ICRP は、過去の経験から、長期の事故後の状況を管理するために当局が選定した代表的な線量値は 1 mSv/年に近いか等しいとしている。

量が多くなるほど、その影響度（障害）も大きくなる。確定的影響は数多くの細胞が放射線によって傷ついたときに生じ、脱毛、白内障等の障害が発生する。確定的影響は、放射線を受ける量を一定量（しきい値）以下に抑えることで防ぐことができる。

一方、確率的影響とは、一定量の放射線を受けたとしても、必ずしも影響が現れるわけではなく、「放射線を受ける量が多くなるほど影響が現れる確率が高まる」現象をいう。しきい値がないと仮定する影響であり、がんや白血病が確率的影響の代表例である。しかし放射線の量が多くなったからといって、症状が重くなるわけではない。

ICRP[1)]によると、事故で汚染した地域に長期に居住するにより長期被ばくすることを想定しても、確定的影響に関するしきい値は、年実効線量 100mSv 以上であるとしている。また、確率的影響に関しても、長期間にわたり 100mSv を被ばくすると、生涯のがん死亡のリスクが約 0.5%増加するとしている[2)]。

2.3　クリアランスの考え方

(1)　クリアランス及びクリアランスレベルとは

原子力発電、放射性同位元素の利用等に伴って、放射性物質を含んだ物が発生してくる。このような放射性物質を含んだ物の中には、放射線防護の観点から管理すべき物が存在している。その一方で、含まれている放射性物質の量がごくわずかで、その物を処分、再利用又は再使用したとしても、それらの行為に関与する者の被ばく線量が無視できるような状況も存在している。このような状況(物)までも厳重に管理をすることは、管理に利用可能な経済的・人的資源が有限であることから、必ずしも合理的とはいえない。

このため、このような物を規制管理の対象から取り除くための概念、基準などについて、国際原子力機関(IAEA)等において、検討が実施されてきた。このような概念及びその用語は、検討が進むに従って変化してきており、1996 年以降は、既に規制の対象となっている物について放射線防護の観点からの規制を解除することを指して、クリアランス(clearance)という用語が使用されるようになった[3)]。また、その際の判断基準として使用される放射性核種の濃度等をクリアランスレベルとよんでいる。表 2-1 に、原子炉等規制法に定められた[4)]福島第一原子力発電所の事故に伴い環境中に放出された主要な放射性核種の半減期及びクリアランスレベルを示す。

表 2-1　主要な放射性核種の半減期及びクリアランスレベル

核種名	半減期	クリアランスレベル (Bq/g)
Sr-90	28.78 年	1
I-131	8.021 日	10
Cs-134	2.065 年	0.1
Cs-137	30.07 年	0.1

[1] ICRP: 長期放射線被ばく状況における公衆の防護、Publication 82、日本アイソトープ協会、(2002)

[2] ICRP は、1990 年勧告(Publication 60)で、低線量・低線量率での放射線被ばくの確率的影響に関する線量－効果関係に基づき単位線量当たりの致死的リスクを推定して、これを名目致死確率係数として示した。名目確率致死確率係数は、放射線防護の目的のために、男女の区別なく、広い範囲の年齢を含んだ集団に適用できる単一の数値であり、およそ $5\times10^{-5}mSv^{-1}$ である。

[3] IAEA: International Basic Safety Standards for Protection against Ionizing Radiation and for the Safety of Radiation Sources, Safety Series No.115, (1996)

[4] 「核原料物質、核燃料物質及び原子炉の規制に関する法律」（原子炉等規制法）の「放射能濃度についての確認等」に関する規則（経済産業省令第 112 号及び文部科学省令第 49 号）の第二条において定められている。

(2)　クリアランスレベルの算出方法

クリアランスの判断基準となる被ばく線量としては、10μSv/年が国際的に広く使用されている[1)]。クリアランスの線量基準（10μSv/年）は、取るに足らない個人の年線量のレベルについて、リスクに基づく考察を基礎とし、さらに自然バックグラウンド放射線を考慮して導かれている。具体的には、①個人が関心を持たない年リスクのレベルはおよそ 10^{-6}～10^{-7} と考え、②自然バックグラウンド放射線の取るに足らない変化は年当たり≒2.4mSv[2)]という平均値の数%のオーダーと考え、両方を考慮して 1mSv の数百分の一のオーダーの年線量は取るに足りない線量と考えている。これを基に、最終的に、10μSv/年を線量基準として選定している[3)]。

10μSv/年は非常に小さな量であり直接測定することが困難なため、測定可能な量である放射能濃度、すなわちクリアランスレベルに置き換える必要がある。このため、クリアランスレベル(Bq/g 等で表現される)は、クリアランスされた物を処分又は再利用することにより発生することが想定される被ばく事象に対して、10μSv/年の線量基準を下回る放射能濃度を計算することにより設定されている。クリアランスレベルを算出するための基本的な流れと基本式を図 2-1 及び図 2-2 にそれぞれ示す。

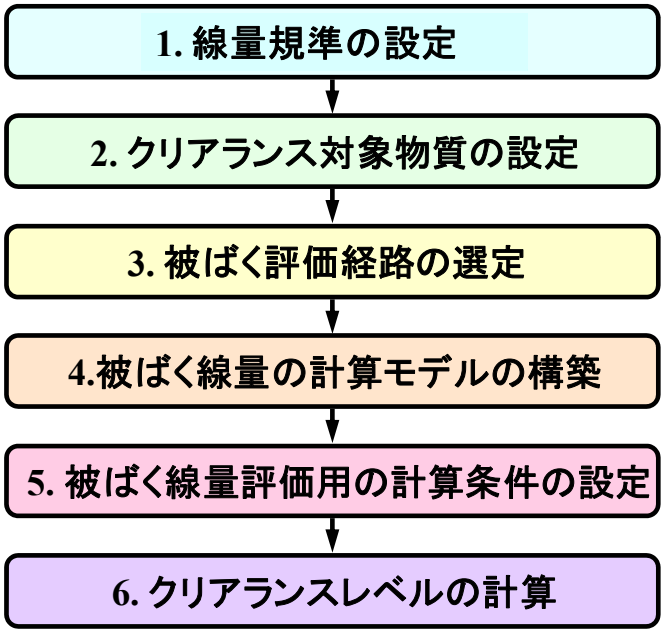

図 2-1　クリアランスレベルを算出するための基本的な流れ

クリアランスレベルの算出については、我が国では原子力安全委員会[4)]が、国際的には IAEA[1、2)]と欧

---

[1] IAEA: International Basic Safety Standards for Protection against Ionizing Radiation and for the Safety of Radiation Sources, Safety Series No.115, (1996)

[2] 世界平均の自然線源からの年平均実効線量はおよそ 2.4mSv であり、その内訳は、宇宙線による被ばくが 0.39mSv、地殻からのγ線による被ばくが 0.46mSv、体内の放射性核種（ラドンを除く）による被ばくが 0.23mSv、ラドン及びその崩壊生成物による被ばくが 1.3mSv となっている。
日本の県別の自然線源からの年平均実効線量の最小（神奈川県）と最大（岐阜県）の差は、約 0.4mSv である。

[3] ICRP: 長期放射線被ばく状況における公衆の防護、Publication 82、日本アイソトープ協会、(2002)

[4] 原子力安全委員会放射性廃棄物・廃止措置専門部会: 原子炉施設及び核燃料使用施設の解体等に伴って発生

州委員会(EC)[3]が中心となって検討が進められた。なお、我が国の法令に取り入れられたクリアランスレベルは、クリアランスされた物が国際的に流通する可能性を考慮に入れて、最終的には、IAEA が算出した値が使用された[4]。

図 2- 1 及び 2-2 からわかるように、クリアランスレベルは放射性核種の種類に依存することに加えて、想定している被ばく経路（シナリオ）での希釈・濃縮、被ばく時間、線源形状等に依存している。このため、設定に当たっては、クリアランスされた物の処分又は再利用に伴い発生することが想定される被ばく事象を網羅的に考慮するとともに、その評価条件（被ばく時間等）を想定している。

なお、図 2-2 において、「経路での希釈・濃縮係数」とは、クリアランスされた物を再利用する過程での放射性物質を含まない他の物質との混合や処理プロセス(例えば、金属くずの溶融処理)での放射性物質の濃縮状況を考慮して算出される係数である。

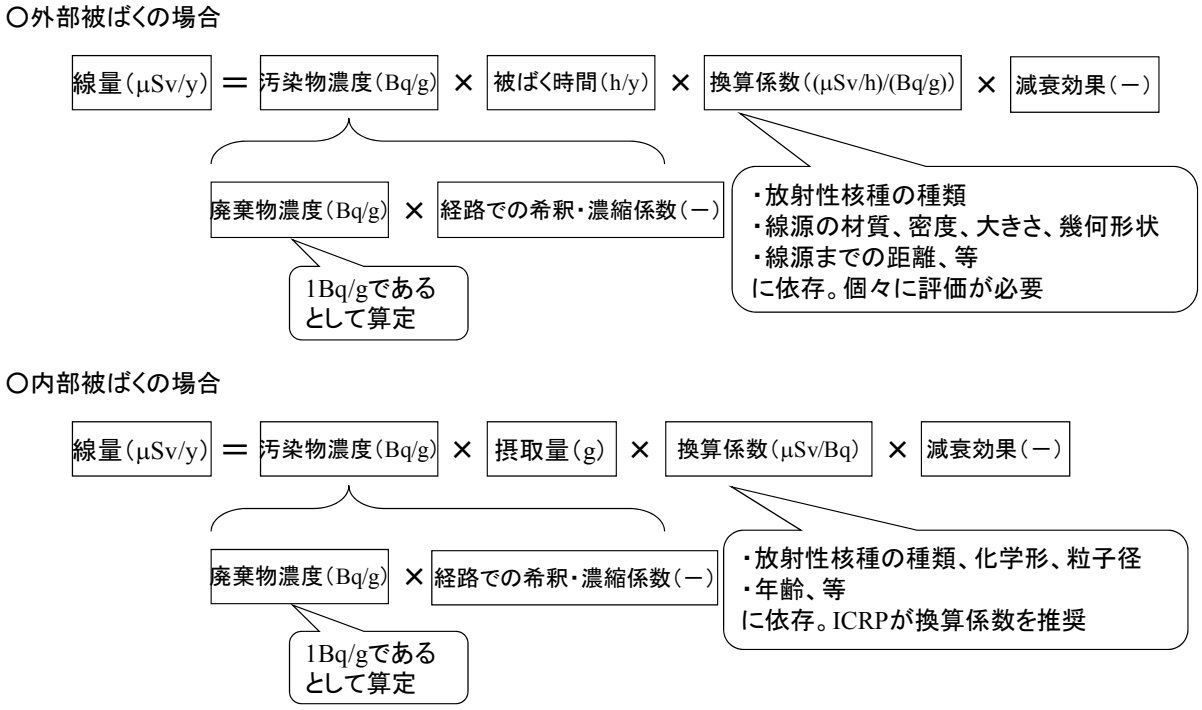

図 2-2　クリアランスレベルを算出するための基本式

具体的な算出方法としては、IAEA は、全ての固体状物質(all material)を対象に、外部被ばく、ダスト吸入及び経口摂取（直接及び間接）を包含するように選定された典型的な被ばくシナリオ(表 2-2 参照)の評価結果に基づいて算出している[5]。一方、原子力安全委員会は、原子力施設の廃止措置に伴って発生す

するもののうち放射性物質として取り扱う必要のないものの放射能濃度について, (2004)

[1] IAEA: Application of the Concepts of Exclusion, Exemption and Clearance, IAEA Safety Standards Series, Safety Guide RS-G-1.7, (2004)

[2] IAEA: Derivation of Activity Concentration Levels for Exclusion, Exemption and Clearance, Safety Report Series No.44, (2005)

[3] EC: Practical Use of the Concepts of Clearance and Exemption –RP 122 Part I, Guidance on General Clearance Levels for Practice, (2000)

[4] 原子力安全委員会放射性廃棄物・廃止措置専門部会: 原子炉施設及び核燃料使用施設の解体等に伴って発生するもののうち放射性物質として取り扱う必要のないものの放射能濃度について, (2004)

[5] IAEA: Derivation of Activity Concentration Levels for Exclusion, Exemption and Clearance, Safety Report Series

るコンクリートと金属くずを対象に、それらの物質を埋設処分或いは再利用した場合を想定して、成人及び子供(1-2 歳)を対象に、外部被ばく、内部被ばく及び皮膚被ばく(全 73 経路)について評価を行っている。

表 2-2　IAEA がクリアランスレベルの算出で考慮したシナリオ[1)]

シナリオの内容	評価対象者	関連する被ばく経路
処分場又は鋳物工場以外の施設の作業者	作業者	処分場での外部被ばく
		処分場での吸入摂取
		汚染した物質の直接摂取
鋳物工場の作業者	作業者	装置又はスクラップの山からの鋳物工場での外部被ばく
		鋳物工場での吸入摂取
		汚染した物質の直接摂取
その他の作業者(e.g.トラック運転手)	作業者	装置又はトラックの積荷からの外部被ばく
処分場又は鋳物工場以外の施設の周辺居住者	子供(1-2 歳)と成人(>17 歳)	処分場又は鋳物工場以外の施設の周辺での吸入摂取
		汚染した土地で栽培した食物の経口摂取
鋳物工場の周辺居住者	子供 (1-2 歳)	鋳物工場周辺での吸入摂取
汚染した材料で建設した家の居住者	成人 (>17 歳)	家屋内での外部被ばく
汚染した材料で建設した公共の場の周辺居住者	子供 (1-2 歳)	公共の場での外部被ばく
		汚染したダストの吸入摂取
		汚染した物質の直接経口摂取
個人用井戸からの水を使用又は汚染した川からの魚を消費している居住者	子供(1-2 歳)と成人(>17 歳)	汚染した飲料水、食物及び魚の経口摂取
鋳物工場等の作業者	作業者	手等へのダストの沈着に伴う被ばく(皮膚被ばく)

表 2-3 及び表 2-4 に、IAEA と原子力安全委員会が Cs-134 と Cs-137 のクリアランスレベルを算出した際のシナリオと条件をそれぞれ示す。表 2-3 に示したシナリオは、IAEA と原子力安全委員会が複数想定したシナリオのうち、Cs-134 と Cs-137 について、単位放射能濃度当たりの被ばく線量が最も大きくなるシナリオ、すなわち決定シナリオである。

No.44, (2005)

1 IAEA: Derivation of Activity Concentration Levels for Exclusion, Exemption and Clearance, Safety Report Series No.44, (2005)

表 2-3　IAEA と原子力安全委員会が想定をしたシナリオ

機関名	IAEA[1)]	原子力安全委員会[2)]
想定したシナリオの概要	汚染した材料(建物の瓦礫、スラグ、フライアッシュ)が、コンクリートの骨材又はセメントの代替材料に使用され、これらの材料で建設された家の居住者(成人)が被ばくすることを想定している。	原子力発電所の解体に伴って発生したコンクリートを壁材等の建築材料に再利用した建物の居住者(成人)が被ばくすることを想定している。

表 2-4　IAEA と原子力安全委員会が算出に使用したパラメータの値

パラメータ	単位	IAEA[1)]	原子力安全委員会
年間被ばく時間	h/y	4500	6000
クリアランス物以外との混合割合	-	0.1[*1]	0.0065[*2]
被ばく開始までの放射能の減衰期間	d	100	0
被ばく期間中の放射能の減衰期間	d	365	365
物質の密度	g/cm^3	2.3	2.3
線源の幾何形状	-	・$3\times4m^2$、高さ 2.5m の壁 2 面と床及び天井 ・壁の厚さ 20cm	・$9\times9m^2$、高さ 2.4m の壁 3 面と床及び天井 ・壁の厚さ 15cm、床及び天井の厚さ 20cm
線源までの距離	m	不明	部屋の中心で 1m

*1：他の建築材料との混合割合

*2：原子力施設解体時における汚染していないコンクリートとの混合割合（0.1）に加えて、コンクリート建造物を建築する際のクリアランス物で製造された再生粗骨材の使用割合（0.15）と粗骨材使用量（$1g/cm^3$）を考慮した値

(3)　クリアランスの適用上の留意事項[3)]

クリアランスレベルは、対象物中に存在する放射性核種の種類が 1 種類の場合にはそのまま適用できるが、複数の核種が存在する場合は以下の式を満足する必要がある。

[1] IAEA: Derivation of Activity Concentration Levels for Exclusion, Exemption and Clearance, Safety Report Series No.44, (2005)

[2] 原子力安全委員会放射性廃棄物・廃止措置専門部会: 原子炉施設及び核燃料使用施設の解体等に伴って発生するもののうち放射性物質として取り扱う必要のないものの放射能濃度について, (2004)

[3] IAEA: Application of the Concepts of Exclusion, Exemption and Clearance, IAEA Safety Standards Series, Safety Guide RS-G-1.7, (2004)

$$\sum_{i=1}^{n} \frac{D_i}{C_i} \leq 1$$

ここで、

Di：対象物中の i 番目の核種の濃度(Bq/g)

Ci：i 番目の核種のクリアランスレベル(Bq/g)

である。

なお、クリアランスレベルを適用する際には、以下の点についても留意をする必要がある。

- 食物、飲料水、動物の飼料及び食物又は動物の飼料に使うことを意図された材料には適用しない
- 汚染された土地の再使用には適用しない
- クリアランスレベルを満足するために、汚染したものと汚染していないものを意図的に混合しないこと

(4) 事故汚染物へのクリアランス概念の適用

福島第一原子力発電所の事故に伴い、広域に放射性物質が放出された。その結果、表 2-1 に示したクリアランスレベルを超える大量の物質が広範囲に存在している状況が発生している。原子力安全委員会は、「今回の事故の影響を受けた廃棄物の一部は、再利用に供することが考えられる。これらを再利用して生産された製品は、市場に流通する前にクリアランスレベルの設定に用いた基準（10μSv/年）以下になるように、放射性物質の濃度が適切に管理されていることを確認する必要がある。」としている[1)]。

このため、汚染物を再利用するに当たって、表 1 に示したクリアランスレベルを準用してもよいし、具体的な汚染物の再利用方法を勘案して、クリアランスレベルの設定に用いた基準（10μSv/年）を下回る濃度基準を個別に設定することも可能である。

このような基準例としては、環境省が定めた管理された状態での災害廃棄物（コンクリートくず等）の再生利用に関する基準がある。コンクリートくずの再生利用に当たり、遮蔽効果を有する資材により地表面から 30cm の厚さを確保することで、放射性セシウムの平均濃度が 3000Bq/kg 程度までの資材は利用可能であるとしている[2)]。

2.4 空間線量率の測定及び被ばく線量の推定

(1) 空間線量率の測定方法

福島第一原子力発電所の事故に伴い環境に放出された放射性物質のうち、現時点での主たる放射性物質は Cs-134 と Cs-137 であり、これらの放射性核種はガンマ線を放出する。一般用の簡易線量計に多い GM 型の測定器では、ガンマ線のエネルギーに対する校正の問題から高めの値を表示する傾向があり、正確に測定できない可能性がある。一方、電離箱式の線量計は正確であるが、感度がやや低くなる。現在問題になっているセシウムによるガンマ線を計測するには、シンチレーション式の測定器が最も適して

---

1 原子力安全委員会: 東京電力株式会社福島第一原子力発電所事故の影響を受けた廃棄物の処理処分等に関する安全確保の当面の考え方について（平成 23 年 6 月 3 日）

2 環境省: 管理された状態での災害廃棄物（コンクリートくず 等）の再生利用について（平成 23 年 12 月 27 日）

いる。このため、空間線量率の測定に当たっては、可能な限り、シンチレーション式の測定器を使用することが環境省により推奨されている。

具体的な空間線量率の測定手順やその際の注意事項については、文部科学省と日本原子力研究開発機構が取りまとめた測定のためのガイドライン[1), 2)] が参考となる。なお、正しい測定結果を得るためには、適切に校正をされた放射線計測器を使用することが必須であるので、使用前に校正が確実に実施されていることを確認する必要がある。

居住空間の空間線量率の測定に当たっては、分布(例えば、1 階と 2 階、窓際と部屋の内部、等)が存在していると推定されるので、滞在時間が長くなる場所を中心に複数の場所の空間線量率を測定し、平均的な値を求める必要がある。また、測定は、測定点の高さを一定に保つとともに、各測定点で線量率の測定値が最大となる検出器の向きで行う。

(2)　被ばく線量の推定

外部被ばくに伴う個人の被ばく線量は、個人積算線量計を着用することにより、測定することができる。個人積算線量計を利用できない場合には、(1)で述べた空間線量率の測定結果を基に推定することも可能である。

簡易的には、被ばく線量(μSv/年)は、測定によって得られた空間線量率(μSv/時)に、当該測定場所での年間の滞在時間を乗じることにより下式により推定することができる。

被ばく線量＝（空間線量率－自然由来の放射線量率）×滞在時間

また、被ばく源となる物質中の放射性物質の濃度及び分布、物質の材質、寸法等の被ばく評価に必要な各種情報が既知である場合には、計算コードを使用してガンマ線による被ばく線量の評価を行うことが可能である。このような計算を行うための手法としては、以下の 3 つの方法が代表的である[3)]。

1)　簡易計算法（点減衰核法）
2)　ボルツマン輸送方程式を決定論的手法（例えば、離散座標 S_N 法）で解く手法
3)　ボルツマン輸送方程式を確率論的手法（モンテカルロ法）で解く方法

1）は簡易的な計算方法ではあるが、高精度の解が得られる手法であり、広く遮蔽計算に使用されている。点減衰核とは、点状線源からの非散乱ガンマ線の減衰を記述する式であり、距離の逆二乗則による項と γ 線が遮蔽体に衝突することによる指数関数減衰による項の積として表わされる。点減衰核法は点状線源を前提とした計算式であるので、本手法で体積線源を取り扱うためには、有限の体積線源を微小な体積要素に分割し、それぞれの要素を点線源とみなして点減衰核法により評価点での線量を各々計算し、最後に全ての線源体積要素による線量を加え合わせることにより、体積線源に対する評価点における線量を求める。点減衰核法に基づく代表的な計算コードとしては QAD コードがあり、本計算コードは、

---

[1] 文部科学省、日本原子力研究開発機構: 放射線測定に関するガイドライン、http://radioactivity.mext.go.jp/ja/contents/1000/108/24/111021Radiation_measurement_guideline.pdf、（2011）（2012 年 11 月 24 日確認）

[2] 文部科学省、日本原子力研究開発機構: 学校等における放射線測定の手引き、http://radioactivity.mext.go.jp/ja/8849/8850/8864/1000_082614_3.pdf、（2011）(2012 年 11 月 24 日確認)

[3] 小佐古・笹本共編: 原子力教科書　放射線遮蔽、オーム社、（2010）

高度情報科学技術研究機構より入手することが可能である。

2）と 3）のボルツマン輸送方程式を解く方法は詳細計算法とも呼ばれる。ボルツマン輸送方程式は、放射線を粒子とみなして、ガンマ線と物質との相互作用の結果生ずる放射線のエネルギーおよび空間（位置、方向）に関する輸送現象を記述するための式である。ボルツマン輸送方程式の数値解法には、微分積分方程式を解く型（決定論型）と乱数を使い確率論的に解く型の二種類に大別される。さらに、決定論的に解く手法には、差分方程式から解く手法と有限要素法を用いて解く手法がある。また、確率論的に解くための手法としては、モンテカルロ法がある。

モンテカルロ法は、計算時間が長くかかる等の欠点はあるが、三次元複雑形状のモデル化が容易なこと、また、放射線の衝突、散乱などの物理現象の忠実な模擬が可能であることから、最も高精度な計算結果が得られる手法である。本計算コードの代表例としては、MCNP コードがある。

(3)　推定した被ばく線量の意味合い

(2)の放射線測定器を用いて得られる空間線量率(Sv/時)の測定結果は、人体への放射線影響を評価するための実効線量(Sv)と同じ単位が使用されてはいるものの、「周辺線量当量」を示している。周辺線量当量とは、実際の放射線管理や規制の場面で用いるために導入されたもので、同じ条件では実効線量よりも高い値となる。ただし、被ばく影響を評価するためには、これらの値に放射線が身体に当たる状況やガンマ線のエネルギーを考慮した換算係数を乗じ、実効線量に換算する必要がある。放射線医学総合研究所の評価[1)]によると、今回の事故によって環境中に放出された放射性核種の種類を考慮すると、安全側に評価をして、0.6 という換算係数を乗じて実効線量(被ばく線量)を評価することを推奨している。このため、(2）に示した計算式で得られる被ばく線量は、約 1.7 倍安全側の評価結果となっている。

また、推定した被ばく線量は外部被ばくによるもののみであり、放射性物質を吸入又は経口摂取することによる内部被ばくは含まれていない。ただし、Cs-134 と Cs-137 による内部被ばくの影響は外部被ばくによる影響に比して小さい[2]。さらに、内部被ばくが問題となる Sr-90 等の放射性物質の放出量はセシウムに比べて少なく、その影響も小さい[3)]。

2.5　放射性廃棄物の処理・処分

放射性廃棄物の処理・処分は、「核原料物質、核燃料物質及び原子炉の規制に関する法律（昭和 32 年 6 月 10 日法律第 166 号）（以下「炉規法」と呼ぶ）に基づき原子力発電所内（以下「サイト内」と呼ぶ）

---

[1] 放射線医学総合研究所: 外部被ばく線量の推計について；外部被ばく線量評価システムの概要と避難行動のモデルパターン別の外部被ばく線量の試算結果、
http://www.pref.fukushima.jp/imu/kenkoukanri/231213senryosuikei.pdf、（2011）(2012 年 11 月 24 日確認)

[2] 厚生労働省が平成 23 年の 9 月と 11 月に東京都、宮城県、福島県で実際に流通している食品を調査し、食品からの放射性セシウムによる被ばく線量を評価したところ、年間 0.002~0.02mSv の評価結果を得ている（厚生労働省医薬食品局食品安全部「食品中の放射性物質の新たな基準値」)。

[3] 「原子力安全に関するＩＡＥＡ閣僚会議に対する日本国政府の報告書-東京電力福島原子力発電所の事故について-」（平成 23 年 6 月原子力災害対策本部）によれば、大気中への放射性物質の放出量（合計）は、Cs-134 が 1.8×10^{16}Bq、Cs-137 が 1.5×10^{16}Bq に対し、Sr-90 が 1.4×10^{14}Bq でセシウムの 100 分の 1 程度、Pu-239 が 3.2×10^{9}Bq、Pu-240 が 3.2×10^{9}Bq とセシウムの 1000 万分の 1 程度である。また、平成 24 年 4 月 1 日から施行された食品中の放射性物質の新たな基準値では、セシウム以外の半減期が 1 年以上の全ての放射性核種を含めても被ばく線量が 1mSv/年を超えないように基準値が設定されている。

で発生した放射性廃棄物について規定されている。しかし、平成 23 年 3 月 11 日に発生した東北地方太平洋沖地震に伴う原子力発電所の事故により放射性物質が原子力発電所の内外に放出されたことからサイト内を規定した炉規法のみでは対応が出来ないことから、「平成 23 年 3 月 11 日に発生した東北地方太平洋沖地震に伴う原子力発電所の事故により放出された放射性物質による環境の汚染への対処に関する特別措置法（平成 23 年法律第 110 号）（以下「特措法」と呼ぶ）」が制定され、原子力発電所の敷地の外（以下「サイト外」という」）にある放射性物質に汚染された災害廃棄物の処理について規定がなされた。その後、サイト外の災害廃棄物の処理については空間線量が高い地域に関しては放射能汚染物質の除染等が行われることが決定され、「除染に係る緊急実施基本方針（平成 23 年 8 月 26 日原子力災害対策本部決定）により災害廃棄物の具体的処理方法が規定された[1)]。図 2-3 は、福島県内の災害廃棄物の処理フローを示したもので、廃棄物の線量によりその扱いが決められている。

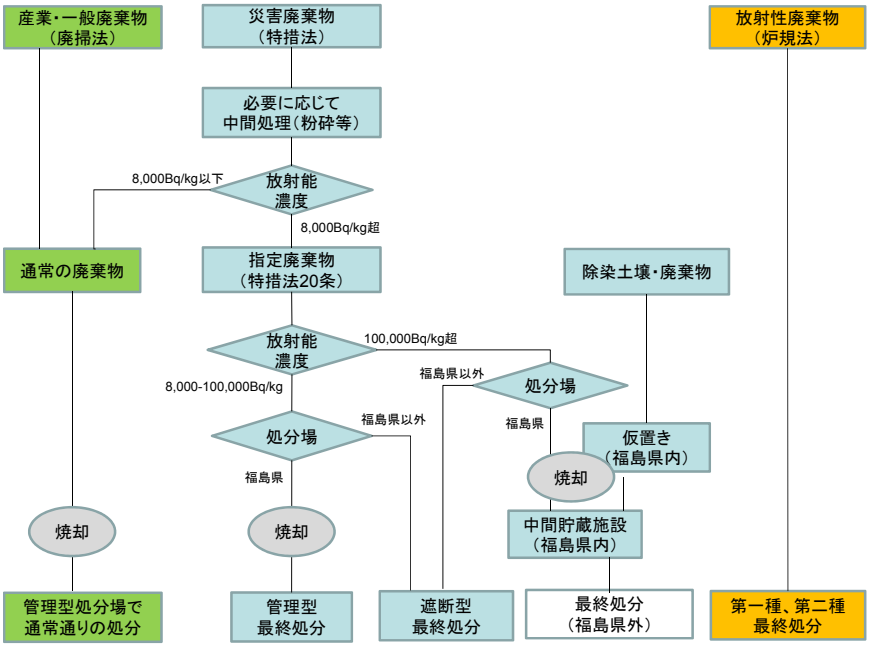

図 2-3　特定廃棄物及び除染に伴う廃棄物処理フロー

1 環境省，東京電力福島第一原子力発電所事故に伴う放射性物質による環境汚染の対処において必要な中間貯蔵施設等の基本的考え方について，平成 23 年 10 月 29 日

3. 汚染の状況

3.1 広域レベルの汚染、ホットスポットの状況

文部科学省では福島第一原子力発電所の事故により飛散した放射性物質が、地表に落下し、住民の健康への影響と環境への影響を将来に亘って継続的に確認するために測定を重ねている。具体的には、原子力発電所から 100km 圏内において、放射線量等分布マップを地表を一定のメッシュに区分し、GPS により測定点を特定し、その場所における空間線量率（校正済みの NaI(Tl)シンチレーション式サーベイメータ（≦30μSv/h）、校正済みの電離箱式サーベイメータ（＞30μSv/h））、及び表土の核種分析（校正済みのゲルマニウム半導体検出器を用い、I-131、CS-134、Cs-137 を測定））行った結果を踏まえて、地図データとして作成している。合わせて、走行サーベイマップとして、主要道路を γ 線測定機器（車内に設置した NaI(Tl)シンチレーション式サーベイメータ）を搭載した車両を走行させ継続的に測定し、その車外 1m高さの空間線量率を算出し地図上のデータとして作成したものである。更に、広域の情報として、高度約 150~300mにおいて、航空機（ヘリコプター）に高感度の γ 線計測機器を搭載し、地表面約 300~600m の範囲に沈着した放射性物質からのガンマ線を測定し、専用の計算ソフトウエアを用いて地表面に沈着した放射性物質の概要と地表から 1mの高さの空間線量率の計算結果を地図データとして作成している。なお飛行経路外は内挿法により算出している[1)]。広域レベルの汚染状況は当該データベースにより総括的に把握することが可能である。一例を図 3-1 に示す。

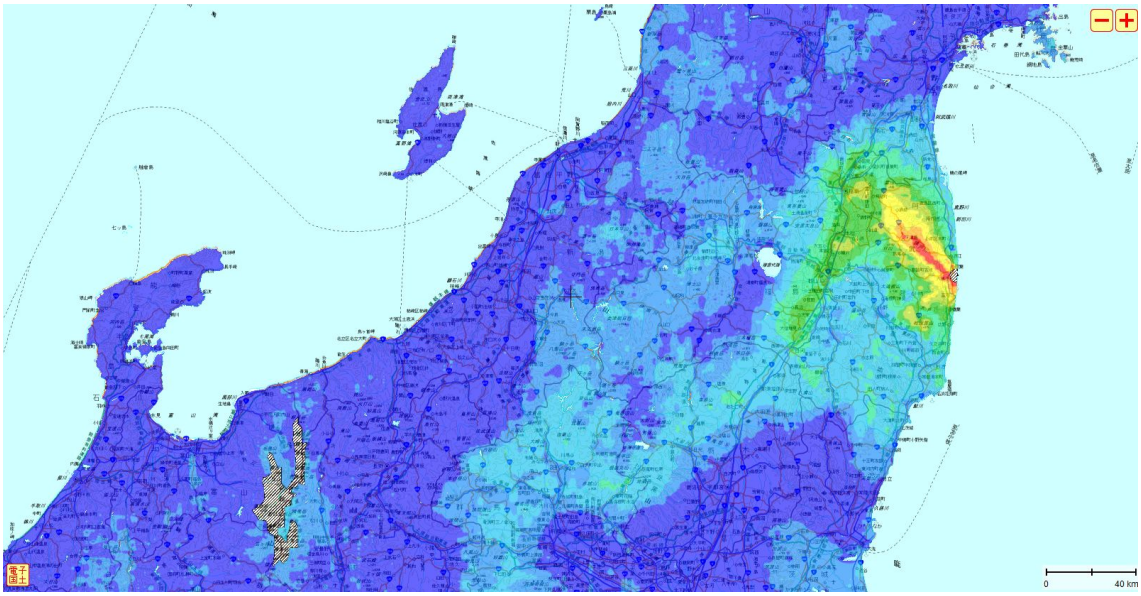

図 3-1　文部科学省放射線量等分布マップ拡大サイト/電子国土表示例 [1)]

局部的に放射線量が高い箇所（ホットスポット）については、定義が具体的に明確にされていないが、文部科学省の放射線量等分布マップの作成等に係る検討会においては、議論の中で航空機でサーベイできるような大きなホットスポットという表現がされており、また別の部分では（マイクロ）ホットスポットという表現もされているが、いずれも対象とする範囲を明確には示していない[2)]。空間線量率が

---

1 文部科学省放射線量等分布マップ拡大サイト/電子国土
http://ramap.jaea.go.jp/map/mapdf/agreement.html （2012 年 11 月 24 日確認）

2 文部科学省放射線量等分布マップの作成等に係る検討会（第 12 回）議事要旨
http://www.mext.go.jp/b_menu/shingi/chousa/gijyutu/017/gijiroku/1313378.htm(2012 年 11 月 24 日確認)

0.23μSv/h を越える場合を除染対象とすることから、そのような場所が存在する場所であって一定の面的な広がりを持つ場所をホットスポット、雨樋の下など局部的に空間線量率が 0.23μSv/h を越える場所をマイクロホットスポットと表現することが多いようである。柏市による調査結果の一例を図 3-2 に示す[1)]。図 3-3 に同位置の文部科学省放射線量等分布マップ拡大サイト/電子国土による航空機モニタリングによる結果を示す。0.2～0.5μSv/h の単一色による表示となっており、概ねの値の巾は同じであるが、その中における細かな大小の存在については表現されていないことが解る。一方いわゆるマイクロホットスポットについては、非常に細かな測定となってくることから、個別の建物所有者等による調査や、除染作業の前後において除染実施状況の把握などの観点から測定されたデータから、判明することなどが多いが、測定された機器種類や使用条件が不明、校正されているかどうか不明という場合など、信頼性の高いデータであるかどうかの判別が難しいことや個人所有物の情報の取扱いとなることなどもあり、公開されたデータは少ない。

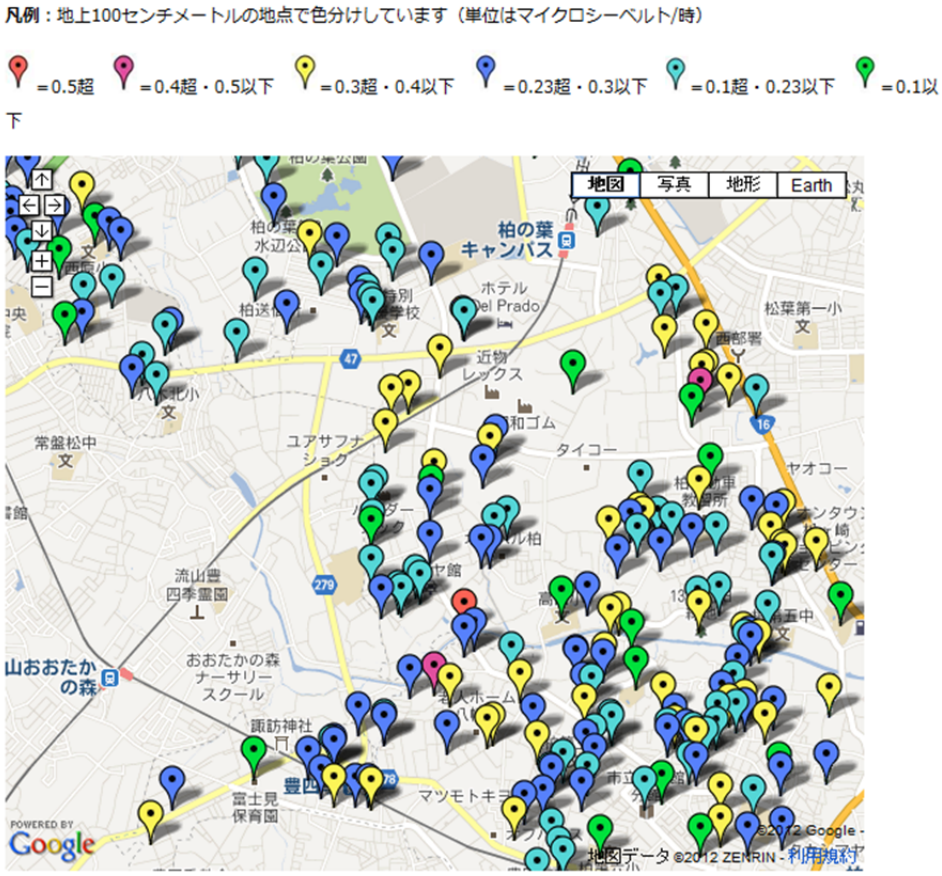

図 3-2　ホットスポット調査結果（一例）[1)]

1 柏市空間放射線量マップ（西部）http://www.city.kashiwa.lg.jp/soshiki/kashiwa/p010320.html (2012 年 11 月 24 日確認)

図 3-3　図 3-2 と同位置付近の文部科学省放射線量等分布マップ拡大サイト/電子国土による表示例[1)]

3.2　建築物における汚染の状況、周辺環境、建築物の部位別汚染、その他

個別の建築物に対する放射性物質による汚染状況の調査については、3.1 節にも示したとおり、それぞれの建物所有者の情報となることから取扱いが難しく、また系統的な調査結果は多くは報告されていない。その中で、JAEA が国から委託され実施した「福島第一原子力発電所事故にかかる避難区域等における除染実証業務報告書（概要）」[2)]には、家屋の各部位における放射性セシウムの付着状況の評価として表 3-1 が示されている。また、同報告書の屋根の素材による違いを評価した結果を図 3-4 に示す。

表 3-1　家屋各部位の放射性セシウム付着状況 [2)]

○　部位による汚染状況

		A市町村（2μSv/h程度）	B市町村（9μSv/h程度）
建物	屋根	5,000cpm	7,800cpm
	壁	700cpm	2,300cpm
	雨樋	3,700cpm	11,000cpm
屋外	庭土	3,900cpm	9,100cpm
	舗装	4,400cpm	12,000cpm

注：屋根は粘土瓦（つや無）計測結果

---

1 文部科学省放射線量等分布マップ拡大サイト/電子国土
http://ramap.jaea.go.jp/map/mapdf/agreement.html　(2012 年 11 月 24 日確認)

2 JAEA 福島第一原子力発電所事故にかかる避難区域等における除染実証業務報告書
http://www.jaea.go.jp/fukushima/kankyoanzen/d-model_report.html(2012 年 11 月 24 日確認)

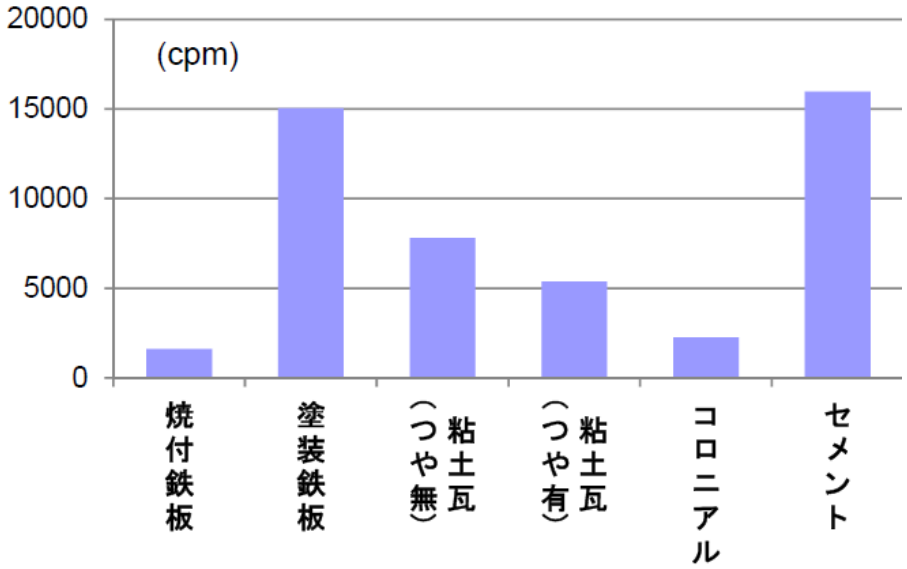

図 3-4　家屋屋根の素材の違いによるセシウム付着量の違い[1)]

（注：セメントはセメント瓦、コロニアルは平面スレート瓦を指す）

これによれば同一建物であっても、屋根面や雨樋は高く、壁面は低い汚染状況であることが解る。一方、同じ屋根であっても大きく付着度合いが異なることが解る。特に同一素材である鉄板屋根の場合であっても、焼付鉄板と塗装鉄板では大きく異なった結果となっており、表面の仕上げが大きく寄与していることが解る。

同委託事業に関する報告書を環境省も纏めている[2)]。これによれば、宅地では土埃等が雨の流れによって溜まるところ（雨樋、雨だれ部）に特に多く残留している。また、雨水が溜まる場所以外おいては、宅地の庭の土面、土間コンクリート、アスファルト部に付着残留しやすい傾向が見られる。土埃等が流れ落ちる壁面は表面汚染密度は比較的低い。家屋屋根の材質の違いによれば、いぶし瓦、釉薬瓦、セメント瓦、トタンではセメント瓦が最も残留しているが、これは表面劣化・中性化が影響していると考えられる。焼付鉄板、スレートは比較的残留が少ない。材料の違いだけでなく部位によっても特徴があり、屋根部材の重ね合わせ部、表面加工の剥離部、腐食部、屋根汚れ部、樹液付着部、雪留め部材などに残留付着の傾向が見られる。以上のことから、材料とその使用状態の組み合わせで、汚染状況が異なり、更に、表面の状態によっても大きく異なることが示唆される結果が得られている。建築物の各部位のモニタリング結果を図 3-5 に示す。

同報告では、大型建物についても同様に調査されており、以下の結果が得られている。雨の流れによって溜まる箇所（雨樋、雨だれ部）に多く残留し、雨水が流れるだけで溜まらない箇所は比較的残留が少ない。雨水排水経路上で土砂堆積や苔が生えている箇所では周辺よりも高い線量が確認されている。建物の壁は土間や床に比べて表面汚染密度が低いが、雨だれ等の状況によっては汚染している壁もあった。

---

1 JAEA 福島第一原子力発電所事故にかかる避難区域等における除染実証業務報告書
http://www.jaea.go.jp/fukushima/kankyoanzen/d-model_report.html(2012 年 11 月 24 日確認)

2　環境省警戒区域及び計画的避難区域等における除染モデル実証事業報告の概要（最終版）
http://josen.env.go.jp/material/download/pdf/model004.pdf (2012 年 11 月 24 日確認)

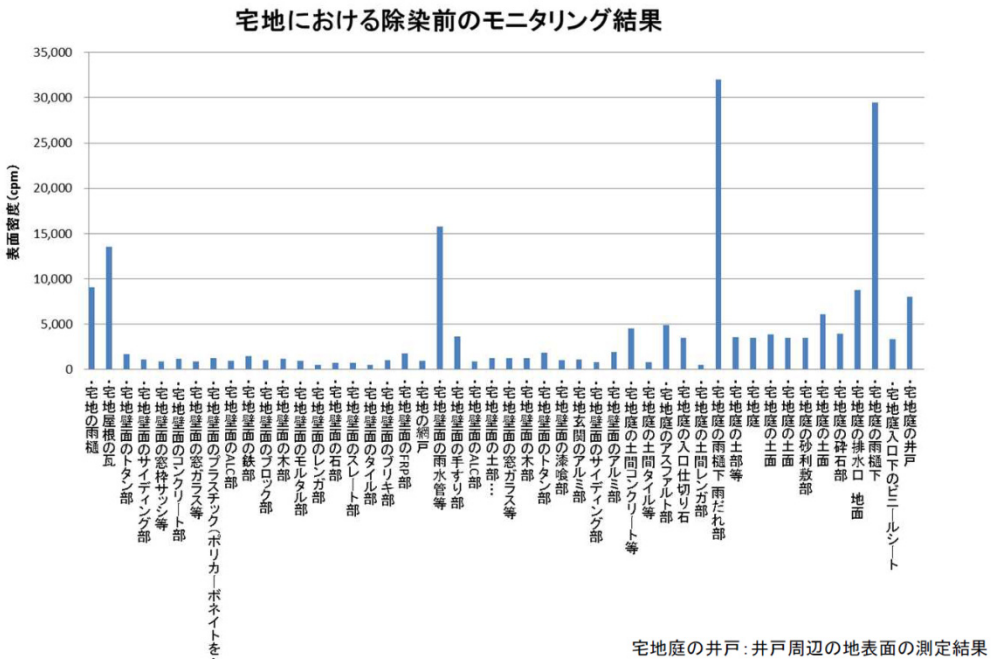

図 3-5　モデル実証各部位の汚染状況調査結果（宅地建物）[1)]

[1] JAEA 福島第一原子力発電所事故にかかる避難区域等における除染実証業務報告書 http://www.jaea.go.jp/fukushima/kankyoanzen/d-model_report.html(2012 年 11 月 24 日確認)

3.3　資材・建材の汚染状況

建設材料の種類は多いので、種類ごとに汚染状況は異なる。広範囲にわたる測定データは公表されていないので、素材ごとに測定例を示すと共に注意点を示したい[1)]。表 3-1 および表 3-2 はそれぞれ災害廃棄物および産業廃棄物中の放射性セシウムの含有量の測定事例結果である。ここでは、これらの廃棄物の測定結果を通じて実際に利用されているさまざまな建材の汚染状況が理解できることからここで引用した。

表 3-1　災害廃棄物の放射性セシウム含有量の例 [1)]

表 4.6　災害廃棄物の試験結果(2011 年 7 月 1 日採取)

(合計値は Cs134 と Cs137 を単純合計した値。値に"<"を付した数値は検出限界以下。)

	放射性 Cs 含有量 (Bq/kg-wet)				JIS K0058-1 有姿撹拌試験							
					放射性 Cs 溶出濃度 (Bq/L)			放射性 Cs 溶出率 (%)			pH	EC (mS/m)
	Cs134	Cs137	合計	含水率	Cs134	Cs137	合計	Cs134	Cs137	合計		
大谷石	14400	16200	30600	6	<8.8	<9.0	<17.7	<0.6	<0.6	<0.6	7.4	1.8
セメントブロック	2990	3470	6460	3.6	<8.2	<9.8	<18.0	<2.7	<2.8	<2.8	9.5	4.7
スレート瓦	3000	3550	6550	1.2	<8.8	<7.9	<16.7	<2.9	<2.2	<2.5	8.3	5.3
木材	3480	4070	7550	9.1	<8.6	<8.4	<17.0	<2.5	<2.1	<2.2	6.7	1.7
トタン	4510	5020	9530	0	<8.3	<10.5	<18.8	<1.8	<2.1	<2.0	7.3	1.8
石膏ボード	120	136	256	18.2	<8.1	<7.8	<15.9	<67.7	<57.3	<62.1	7.2	227
瓦	597	672	1269	1.6	<8.2	<8.3	<16.5	<13.7	<12.3	<13.0	7.5	1
塩化ビニール管	6560	7290	13850	0.5	<9.4	<9.1	<18.5	<1.4	<1.2	<1.3	7.3	2.6

表 3-2　産業廃棄物の放射性セシウム含有量の例 [1)]

表 4.7　安定品目の産業廃棄物とその再生品の試験結果(2012 年 1 月 11 日採取)

(合計値は Cs134 と Cs137 を単純合計した値。値に"<"を付した数値は検出限界以下。カッコ内の数値は検出下限濃度未満の生データで，有効数字 1 桁で表示)

	放射性 Cs 含有量 (Bq/kg-wet)				JIS K0058-1 有姿撹拌試験				
					放射性 Cs 溶出濃度 (Bq/L)			pH	EC (mS/m)
	Cs134	Cs137	合計	含水率	Cs134	Cs137	合計		
混廃フルイ下	525	687	1212	18.6	<9.2 (0)	<7.5 (0.5)	<16.7	7.3	220
混廃可燃物	627	979	1606	15.5	<10.2 (0)	<8.0 (1)	<18.2	6.6	260
廃プラ（安定型）	1880	2480	4360	2.6	<8.4 (0)	<8.0 (4)	<16.4	7.8	69.3
通常アスコン	214	280	494	1.0	<9.8 (0)	<7.5 (0)	<17.3	7.1	1.6
透水性アスコン	894	1160	2054	1.6	<8.4 (0)	<9.6 (0)	<18.0	7.4	1.9
出荷アスコン	17.6	19.4	37.0	1.0	<9.3 (0)	<8.9 (0)	<18.2	9.0	3.0
コンガラ	238	317	555	4.0	<10.1 (0)	<8.9 (0)	<19.0	8.9	8.4
再生路盤材	354	462	816	8.2	<8.4 (0.9)	<9.3 (0)	<17.7	10.4	10.1
再生路盤材	314	400	714	7.0	<6.9 (2)	<8.4 (0.5)	<15.3	11.1	25.3
アスコン骨材 (RC-13)	191	253	444	1.7	<9.6 (0)	<8.5 (0)	<18.1	8.9	4.5
再生砕石	161	241	402	8.5	<8.4 (0)	<8.9 (0)	<17.3	10.8	17.8
木材チップ（建材）	378	583	961	13.7	<7.8 (7)	<6.8 (7)	<14.6	6.6	26.3
廃瓦	123	148	271	5.7	<7.8 (0)	<9.3 (0)	<17.1	6.5	0.3

[1] 国立環境研究所　放射性物質の挙動からみた適正な廃棄物処理処分（技術資料）第二版 http://www.nies.go.jp/shinsai/techrepo_r2_120326s.pdf　(2012 年 11 月 24 日確認)

ここに示されているように、物質を吸着しやすい大谷石などをはじめ、多くの廃棄物中において、放射性セシウムが含有されていることが明らかになっている。

(1) 木材・木質材料

植物は汚染土壌からセシウムを吸収し、内部に蓄える。これは植物としてカリウムが必須栄養成分であるが、イオンとしての挙動が類似しているセシウムがカリウムと同時に吸収されるからであると考えられる。この理由から、主には成長部位にセシウムは濃縮している[1)]。また、木材となる樹木の内部にも樹皮の 1/100 以下ではあるがセシウムが存在しており、1.3(2)で述べたように、放射能汚染の可能性がある地域では、セシウム濃度を測定してから使用することが必要である。

さらに放射性セシウムの存在可能性が高いのが、木片によるパーティクルボードである。樹木のより外部に近い部位を使用する可能性が高いので、放射能汚染のリスクは高くなり、汚染レベルの評価は重要である。

直接建築とは関わらないが、薪ストーブの燃料として汚染木材を用いる場合についても同様である。木材片としては汚染レベルが低くとも、焼却により灰に放射性セシウムが高度に濃縮し、1 万 Bq/kg オーダーに濃縮することが報告されている[2)]。

(2) 無機系材料

セシウムはある種の粘土鉱物と強く相互作用し固定化されることが知られている。ゼオライトに特異的に吸着されるが、ベントナイトにはあまり吸着されない。また、フレイドエッジと呼ばれる雲母の局所風化物にも強固に固定化される。

風化鉱物を多く含む大谷石は多孔質であることもあり、事故後に屋外にあったものは高い汚染レベルが懸念される。その他、瓦、骨材、コンクリートブロックなど、事故後の調査では相当程度の汚染があったことがわかっている（表 3-1 参照）。

これらの材料は、当時に屋外にあったものが問題なのであるが、放射性セシウムは再溶出しないことから、他の材料への汚染の拡大は限定的と考えられ、事故時に屋外にあったものを中心に評価することが必要といえる。

(3) セメント

セメントをはじめ、大規模な生産が行われている工場では、入荷原料も出荷製品も放射能濃度測定が定常的に実施されており、放射能汚染のリスクは制御されている。風評被害拡大による災害廃棄物処理の妨げとならないように、ユーザは過度な安全性の要求(例えば可能な限り 0Bq/kg に近いものや各種廃棄物の利用制限をした製品の出荷要請)を行うことは、非合理的であることを認識して行動する必要があると言える。

(4) 骨材

福島第一原子力発電所事故後、汚染した骨材を用いたコンクリート構造物の汚染が問題となった。経済産業省から、「放射線量が高い地域からの砕石の流通に係る対応について」提示されている[3)]。図 3-6

---

1 日本原子力開発機構　除染モデル事業報告書
http://www.jaea.go.jp/fukushima/kankyoanzen/d-model_report/2.4_1.pdf p.74 (2012 年 11 月 24 日確認)

2 薪ストーブ 等を使用した際に発生する灰 の取扱い について
http://www.env.go.jp/jishin/rmp/attach/no120119001.pdf （2012 年 11 月 24 日確認）

3 放射線量が高い地域からの砕石の流通に係る対応について

は様々な採石場における骨材の線量率評価結果である。汚染レベルが高い地域の骨材はやはり高濃度に汚染されている。

一方で、それ以外の地域の骨材については、100Bq/kg もしくは表面線量率 0.23μSv/hr 以下であることを確認することとなった。現在は、放射能濃度が確認され出荷されている。採石場の汚染状況によっては、局所的に高濃度となる場合も想定できるので、製造者は採取に今後も一定の注意を払う必要がある[1)]。

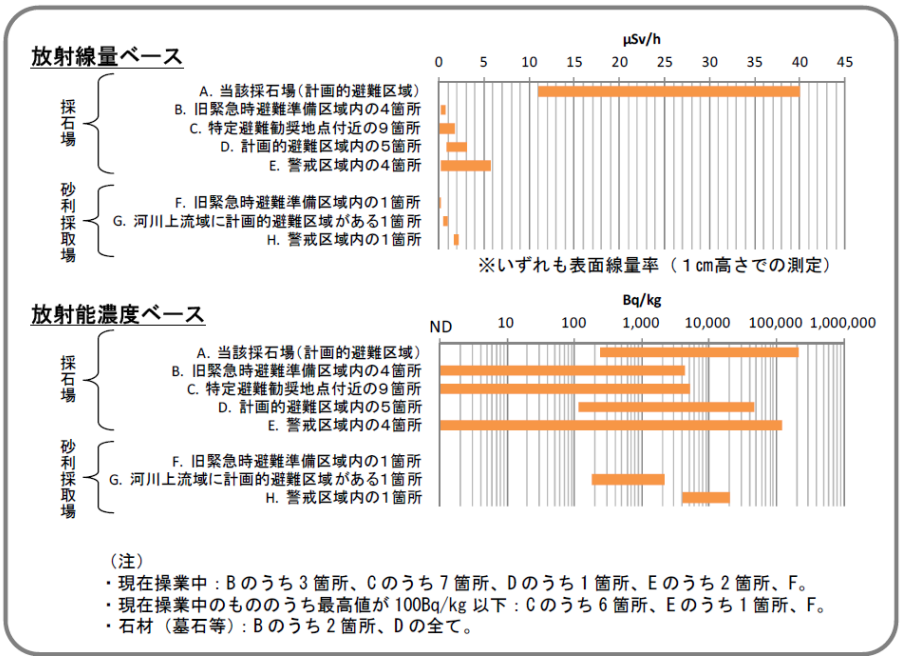

図 3-6　事故後の骨材における線量率評価結果[1)]

(5) アスファルトコンクリート

一般に同じ地域において、汚染レベルは、コンクリートよりもアスファルトコンクリートのほうが高い。アスファルトは再生利用される割合が高いので、汚染地域からの再利用品には一定の注意が必要である。

(6)その他の材料、およびクリアランス制度との整合性

浄水からの発生土及び下水焼却灰又はスラグの再生利用に際しては、原子力災害対策本部から放射性物質が検出された上下水処理等副次産物の当面の取扱いに関する考え方が示されており、その中では、当該発生物が利用される段階（市場に粒筒する段階）で合理的にクリアランスレベル（Cs-134 および Cs-137 の合計値が 100Bq/kg）以下であることが確保されている場合においては利用して差し支えないと

---

http://www.meti.go.jp/policy/mono_info_service/mono/jyutaku/investigation.html (2012 年 11 月 24 日確認)

[1] 砕石及び砂利の出荷基準及び細則について
http://www.meti.go.jp/policy/mono_info_service/mono/jyutaku/investigation/120410/120410_regulation.pdf (H24.3.22) (2012 年 11 月 12 日確認)

されている[1)]。

廃棄物等の再利用に関する観点から定められている値は、核原料物質、核燃料物質及び原子炉の規制に関する法律（いわゆる炉規法）によって定められている。当該法律の規則として定められている核原料物質、核燃料物質及び原子炉の規制に関する法律第六十一条の二第四項において、製錬事業者等における工場等において用いた資材その他の物に含まれる放射性物質の放射能濃度についての確認等に関する規則のなかで、値は核種毎に定められている[2]。

一般的に今回の事故によって放出された放射性物質については、留意すべきものとしてセシウムが注目されており、この観点で見れば Cs-134 及び Cs-137 双方とも 0.1Bq/g (100Bq/kg)と定められている。

複数の物質が混在する場合は、それぞれの核種毎に基準値で除し、その和が 1 を越えないようにする必要がある。特定原子炉設置者が原子炉を設置した工場等において用いた資材その他の物のうち金属くず、コンクリートの破片及びガラスくず（ロックウール及びグラスウールに限る。）に含まれる放射性物質の放射能濃度については表 3-3、加工事業者が加工施設を設置した工場等（ウラン・プルトニウム混合酸化物燃料材を取り扱うものを除く。）において用いた資材その他の物のうち金属くずに含まれる放射性物質の放射能濃度については表 3-4 に示される値以下であれば一般的な資材として処理処分（すなわち再生材料としての流通を意味する）が可能となる。現在の資材に関して、それぞれの細かい基準は詳細に規定されていないが、概ねこの考え方を適用して、出荷・受入れ基準と考えることが一般的である。

表 3-3　原子炉からの廃棄物クリアランス基準

放射性物質の種類	放射能濃度（Bq／g）	放射性物質の種類	放射能濃度（Bq／g）
^{3}H	100	^{106}Ru	0.1
^{14}C	1	^{108m}Ag	0.1
^{36}Cl	1	^{110m}Ag	0.1
^{41}Ca	100	^{124}Sb	1
^{46}Sc	0.1	^{123m}Te	1
^{54}Mn	0.1	^{129}I	0.01
^{55}Fe	1000	^{134}Cs	0.1
^{59}Fe	1	^{137}Cs	0.1
^{58}Co	1	^{133}Ba	0.1
^{60}Co	0.1	^{152}Eu	0.1
^{59}Ni	100	^{154}Eu	0.1
^{63}Ni	100	^{160}Tb	1
^{65}Zn	0.1	^{182}Ta	0.1
^{90}Sr	1	^{239}Pu	0.1
^{94}Nb	0.1	^{241}Pu	10
^{95}Nb	1	^{241}Am	0.1
^{99}Tc	1		

1 原子力対策本部通知：放射性物質が検出された上下水処理等副次産物の当面の取扱いに関する考え方 http://www.meti.go.jp/press/2011/06/20110616006/20110616006.html （2012 年 11 月 12 日確認）

2 総務省：法令データ提供システム：核原料物質，核燃料物質及び原子炉の規制に関する法律第六十一条の二第四項に規定する製錬事業者等における工場等において用いた資材その他の物に含まれる放射性物質の放射能濃度についての確認等に関する規則 http://law.e-gov.go.jp/cgi-bin/idxselect.cgi?IDX_OPT=2&H_NAME=&H_NAME_YOMI=%82%a0&H_NO_GENGO=H&H_NO_YEAR=&H_NO_TYPE=2&H_NO_NO=&H_FILE_NAME=H17F15001000112&H_RYAKU=1&H_CTG=1&H_YOMI_GUN=1&H_CTG_GUN=1

表 3-4　燃料加工工場からの廃棄物クリアランス基準

放射性物質の種類	放射能濃度（Bq／g）
^{232}U	0.1
^{234}U	1
^{235}U	1
^{236}U	10
^{238}U	1

廃棄物に関しては一般流通とは異なった管理された場所に収蔵されるという観点から、Cs-134 と Cs-137 の合計値が 8000Bq/kg 以下であれば、通常の廃棄物処分として取り扱ってよいとされている。本件の判断については環境省廃棄物・リサイクル対策部からコメントが出されており、それぞれの基準値である 100Bq/kg は「廃棄物を安全に再利用できる基準」であり、8000Bq/kg は「廃棄物を安全に処理するための基準」と区別している。

3.4　汚染領域の探索・評価

広域の汚染状況の測定等については 3.1 節に記載しているので、ここでは、個別の建物の周囲環境や建物部位に関する調査方法について述べる。

特措法に基づき、0.23μSv/h 以上の地域を市町村単位で汚染状況重点調査地域として環境大臣が指定し、指定を受けた市町村単位で汚染の状況について調査測定する。その値が、0.23μSv/h 以上と認められた区域に対して除染実施計画を定め除染を実施する。ここまでの調査では、空間線量率によって除染作業実施の要否等を判断することになる。空間線量率を測定する方法は校正済みのシンチレーション式サーベイメータ（原則エネルギー補償型）を用いて、ガンマ線の空間線量率を計測する。測定は、地表 50cm（幼児低学年等の生活空間）から 1m（原則）で行う。除染実施計画策定区域決定の調査測定は区域の平均的な空間線量率に基づいて判断するため、測定箇所はいわゆるマイクロホットスポットと予想されるくぼみ、建造物の近く、樹木の下や近く、建造物からの雨だれの跡・側溝・水たまり、草地、花壇の上、石塀の近くは避けるとされている。

装置の取扱いは、測定プローブが放射性物質で汚染されてしまうと正しい測定結果を得られなくなることから、ポリ袋等で覆うことが大切である。なお、30μSv/h を越えるような高い線量下における空間線量率の測定は、シンチレーション式サーベイメータでは不向きとなり、電離箱式サーベイメータを使用する。

放射線物質の汚染の状況を表す指標としては、上記の空間線量率の他、表面汚染濃度、放射性物質濃度がある。表面汚染濃度を測定するためには一般的に GM（ガイガーミューラー）管サーベイメータを使用する。地表面の汚染状況や作業員等の衣服、マスクスクリーニング、道具類の計測等に用いる。放射性物質濃度を測定に際して、ゲルマニウム半導体検出器などを用いて核種毎の定量が可能である。主に土壌、水、灰、堆積物、汚泥等などの測定に使用される。

除染を実施する建物（１つの所有者の建物と庭や納屋などの周辺附帯施設及び家屋附帯の後背林など）を想定した場合、当該建物と土地だけでなく連続的に拡がる周辺の家屋や土地、樹木などによってもたらされる空間線量を考慮しなくてはならない。これらの周囲環境によってもたらされる空間線量の影響

から、具体的な除染対象部位の汚染状況の真値を得るためには、周辺からの影響を断って対象面からの放射線を測定する必要がある。そのために測定器のプローブは、測定対象物から直接のガンマ線を測定し、かつ、周囲の放射性物質からのガンマ線を遮断可能なように、対象面以外の部位については遮蔽物で取り囲む。一般的な遮蔽物は可搬用のハンドルが取り付けられていて、中央にプローブを入れる穴が開いた肉厚のパイプ状に加工された鉛製の遮蔽体である。対象物にこの遮蔽物を設置し、プローブを挿入することで周囲からのガンマ線の影響を排除する。周辺が高い線量で汚染されている場合は、遮蔽効果の大きな遮蔽体を用いないと、汚染の状況を正確に測定することができない。

市井には多種の遮蔽体が供給されているが、測定しようとする地域のバックグラウンドの空間線量を考慮し、遮蔽体の厚さ、仕様を選定する必要がある。高性能のものは低線量のバックグラウンドの場所においても効果は得られるが、非常に重くなり可搬性に劣ることになる。効率の良い測定を実施するためには適したものを選定することが大切である。

測定においては、遮蔽体を用いるとともに、適切な時定数を設定し計測を行う必要がある。また、遮蔽体を使用した場合は計測機と遮蔽体のセットで調査対象場所の各所を測定した旨の記録をすべきである。

建物の各所の汚染状況を把握し、その結果から対象とする物質に合わせた除染方法（用具、用法、度合いなど）を選択し、実施計画を策定する。図 3-7 に詳細調査の模式図を示す[1)]。図内で①に示した場所は、空間線量率を測定し、②については表面の汚染度を測定するポイントである。表面汚染度の測定は、遮蔽体を用いて、周辺からのもれこみガンマ線を除去し、表面からの線量を測定する方法と、使用しない方法とを実施することが多い。これは、バックグラウンドの影響を明らかにするためである。記載内容としては、測定日時、天候、測定者、測定機器名（製造番号）、測定方法（遮蔽体の有無、使用した遮蔽体の仕様）、時定数、測定結果、備考などである。

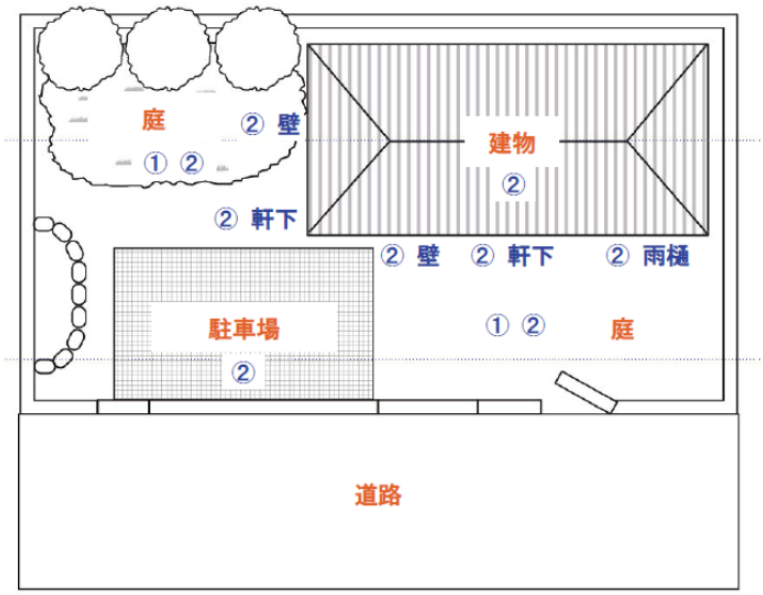

図 3-7　建物等の詳細調査に関する測定ポイントの例

1　環境省 除染関係ガイドライン http://www.env.go.jp/press/press.php?serial=14582 (2012 年 11 月 24 日確認)

4. 除染についての課題

4.1 はじめに

除染技術に関しては、ＪＡＥＡ及び環境省によりモデル実証試験を実施しており、詳細に報告がなされている[1), 2)]。また、除染に関する方法については、環境省から除染関係ガイドラインとして詳細に纏められている[3)]。ここでは、これらに関する建築分野で今後考慮すべき課題についてとりまとめる。

4.2 汚染材料と部位の評価

3 章で示したように、建材および建築材料、および部位に着目すると影響の大きい汚染の形態が見えてきている。多孔材料においては、降雨前の乾燥状態、非定常の移流・拡散現象、および材料表面における吸着・収着の程度というデータをとりまとめる必要がある。これらが集中的に生じるか否かは建物周囲の水まわりの処理などに起因しており、普遍性を述べられる状態には無いが、雨樋、庇、換気扇下の結露水等によって濃縮箇所が判断可能と推察される。垂直面よりは水平面の方が汚染が大きく、汚染雨水の滞留時間などを推察して汚染部位を特定する必要があろう。

木材については、生育前の環境に応じた処置が重要であり、樹皮の処理が要となる。幹にも若干ながら汚染があるので、それらについては空間線量評価が必要となろう。

除染後、線量は多かれ少なかれ減少する。しかし、除染後の線量評価だけでなく、その後の経過を予測した上で安全性を評価する必要がある。加えて、多孔材料に吸着された放射性セシウムについては、材料表面の状況を考えて、再溶出シナリオを含めて、安全評価を実施する必要がある。

4.3 廃棄処分への流れ

建築物について除染が行われる場合には、建築の専門家が文献 1、2 に示されるような除染の状況を理解した上で、さらに、除染後の処置についても一定の理解が必要である。そこで、汚染廃棄物の処理に関する基本知識を以下に簡単にとりまとめる。

(1) 廃棄物の区分

特措法上の区分は耳慣れない言葉であり理解が難しい面もある。大きくは、国が処理するものと、自治体と事業者が処理するものに分かれる。全体像については、2.5 に示したとおりであるが、分類は図 4-1 に示すとおりである。国が処理するものを特定廃棄物と呼び、対策地域内廃棄物と指定廃棄物からなる。自治体と事業者が処理するものはガイドラインで定義されるが、特定一般廃棄物(例えば一般ごみの焼却灰)と特定産業廃棄物(例えば下水道汚泥焼却灰)である。ただし、両者のうち、8000Bq/kg 以上のものは指定廃棄物となる。除染によって出てくる除染土壌・廃棄物については、福島県内にある仮置き場にまずは集約することとなっている。正確な定義は環境省のガイドラインを参照されたい[4)]。

---

1 JAEA 福島第一原子力発電所事故にかかる避難区域等における除染実証業務報告書
http://www.jaea.go.jp/fukushima/kankyoanzen/d-model_report.html （2012 年 11 月 24 日確認）

2 環境省警戒区域及び計画的避難区域等における除染モデル実証事業報告の概要（最終版）
http://josen.env.go.jp/material/download/pdf/model004.pdf （2012 年 11 月 24 日確認）

3 環境省：除染関係ガイドライン http://www.env.go.jp/press/press.php?serial=14582

4 環境省，廃棄物関係ガイドライン，第一部　汚染状況調査方法ガイドライン
http://www.env.go.jp/jishin/rmp/attach/haikibutsu-gl01_ver1.pdf （2012 年 11 月 24 日確認）

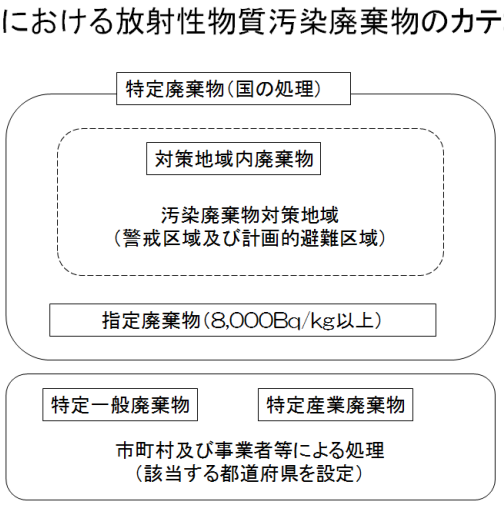

図 4-1　特措法における放射性物質汚染廃棄物のカテゴリー

(2) 仮置き場

災害がれきも除染廃棄物もまずは仮置き場に集積される。この仮置き場の確保が難しい現状があり、がれき処理や除染の推進の最大のハードルとなっている。建築物の除染時や除染後の廃棄の際に特に注意が必要なのは、放射能の遮蔽のみならず、建築材料特有の危険性を考慮しなくてはいけない点である。それらは、たとえば、アスベスト建材からのアスベストの飛散、規制前の建築物からのシックハウス症候群を引き起こす原因物質の再放出、可燃性材料の過度の積載による火災、などである。これらを合わせた総合的判断が除染作業後においても考慮される必要がある。

(3) 中間貯蔵

福島県内の除染廃棄物や 10 万 Bq/kg を越える焼却飛灰などの廃棄物は中間貯蔵施設へ搬入されることになる。環境省 HP[1]にその構想や、候補地、施設概要[2)]が掲載されているが、詳細は決まっていない。

(4) 最終処分

最終処分は二種類の廃棄物について個別に考えられる。ひとつは、各県に設けられる指定廃棄物の最終処分場である。もうひとつは、中間貯蔵施設に保管される廃棄物の最終処分場である。

前者については、環境省から候補地が提示され[3)]、受け入れ可能性について議論がなされていると共に、施設概要が示されている[4)]。コンクリートはひび割れるものとして位置づけられており、「水密性を有する耐久性に優れた鉄筋コンクリート製（JIS A 1108（コンクリートの圧縮強度試験方法）により測定した一軸圧縮強度が 25N/mm^2 以上で、 厚さが 35cm 以上）とする」とされるが、放射性物質の漏洩防止機能は期待されていない。漏洩防止は防水シートとコンクリート周囲に充填されるベントナイト混合土層

1 http://www.env.go.jp/jishin/rmp/attach/roadmap111029_a-0.pdf

2 なお、建築分野からの貢献として，比較的環境放射線量率が高い条件での、耐震性、遮蔽性、耐久性を満足する安全な貯蔵施設の仕様策定などが考えられている。焼却飛灰は、塩分濃度が高く、貯蔵においては鉄筋コンクリート中の鉄筋の腐食の問題などが懸念され、耐久性の観点からの検討が必要不可欠であることが指摘されている。

3 環境省，指定廃棄物の最終処分場の候補地提示　http://www.env.go.jp/jishin/rmp/waste_fds-candidate.html (2012 年 11 月 24 日確認)

4 指定廃棄物の最終処分場等の構造に関する考え方について
http://www.env.go.jp/jishin/rmp/attach/waste_fds-candidate_tochigi120914-01.pdf (2012 年 11 月 24 日確認)

に期待されている。後者については具体的な議論はなされていない。

5. 建材利用、再利用、および建築物継続利用に関する課題と提言

ここでは、2 章から 4 章においてとりまとめてきた議論の中から、特に、今後の復興の際に必要とされる材料施工分野における課題点をあらためて記載するとともに、提言をとりまとめた。

５．１　汚染リスク部位・部材の整理

除染モデル事業の報告書に見られるように、宅地では雨の流れるところに多くの放射性セシウムが観察されている。また、材料と溶解した放射性セシウムが相互作用するために、材料によって放射性セシウムの含有量が異なることもわかっている。こうした汚染量を評価するためには、部位別の雨水の評価方法、各建材の吸着・収着特性のデータの取得およびデータベースの整備が必要である。これらの物性値の取得は、解析手法を考慮した速度論・平衡論に立脚した手法が取られるべきであり、従来のような実験毎に変化する特性値の取得は建材同士の相対的比較が論じられるだけであるので、事態の改善には貢献しにくいことに注意を払うべきである。

多孔材料の場合は、吸着挙動のみならず内部への物質の移動に際して、非定常移流・拡散挙動の評価方法について理解されていることが重要となる。多孔材料中の物質移動は、空隙の大小、連続性、連結空隙量と非連結空隙量の比、表面の親水性、水と相互作用する反応の介在、を想定・考慮する必要があり、健在毎に整理する現象は異なる場合がある。代表的な無機系外装材、木材、塗料について、水分移動特性、透水性に関する物性値を整理するとともに、乾湿繰り返しを境界条件を与えた際の内部水分分布を評価する実験を行い、モデルデータを蓄積することが必要である。あわせて水熱連成解析手法とその検証を各建材について実施する必要があり、これらは放射性物質の内部浸透量の予測、除染時の水分の影響によるさらなる放射性物質の移動、除染後の再溶出危険性を評価する場合の基盤となる。

５．２　建築部材線量測定手法の標準化

放射性物質の含有量とその分布を評価・予測した後、実際に建築物の汚染状況を確認するためには、線量評価が必要となる。この線量評価は、建築物の場合、食品などと異なり部材を取り出して、粉砕して、内部の放射性物質量を評価することはできない点に注意する必要がある。

現地での状況をそのままに線量評価し、除染手法の検討、再利用の可否等に資するものとしなくてはいけない。

以上を考えた場合、バックグラウンドの考え方、測定位置、回数、場所などの代表性の問題はあきらかでないのでこれらについて標準化した手法を整理・提案する必要がある。

測定した結果は、汚染した材料を用いた場合、除染しても若干の汚染が存在する場合、の評価において今後の使用可否判断に用いられる。

５．３　建築内放射線安全評価手法の標準化・簡易化

除染を完全に実施することは難しい。また、一部の地域では、微量ではあるが汚染した材料を用いて建築物を建築する必要が生ずる。こうした場合、安全評価が必要である。現状では、専門家によってしか判断ができない。微量の汚染が生じた建築物や建設物の付近に滞在する時間と距離を設定して、簡易に安全評価ができるツールの構築が復興上重要である。

また、汚染した材料を用いる場合、あるいは故意ではなく使用されてしまった場合にも、自己遮蔽効

果を考慮した簡易な線量予測手法の提案が必要であり、この予測手法と上述の安全評価の連携により継続利用可否判断が可能となると考えられる。

簡易な線量予測手法においては、特にガンマ線の遮蔽効果を定量評価する場合には物質の密度、元素構成比のデータが必要となる。そのため、代表的な建築外皮、躯体、その他、建築物内の人体に放射線が届く経路にありうる建材については、見掛け密度、真密度、元素構成比のデータベース構築を行うべきである。加えてモンテカルロ・シミュレーションなどによって代表的な建材のガンマ線の非衝突線に関する減衰係数を整理剃る必要がある。なお、主なものについては、すでに放射線遮蔽マニュアルにおいて取りまとめられている。

5．2　において測定された放射線量に基づき、内部の放射線物質量の分布、存在量予測手法の構築は継続利用判断上重要な位置づけとなる。5．1 に示した、水熱連成解析と物質の拡散・移動・収着・吸着挙動に着目した解析と線量評価を連成させ、内部の物質量の予測を実施する手法を構築する必要がある。

加えて、継続利用判断時には、建材内部の放射性物質が再度移動し、人体におよぼす放射線量を増大させる可能性について評価・予測することが不可欠である。

５．４　再利用のあり方

空間線量率およびその将来の予測から安全評価が実施した場合、線量や放射能量を制御する技術も同時に必要となる。汚染した建築材料における希釈のあり方、空間の線量を制御する手法についての各種材料設計手法が無くては、空間線量評価・安全評価法は現実的には無意味なものとなってしまう。ガンマ線の遮蔽効果のおおよそは質量に依存することを考えると、遮蔽においては荷重増加を伴ってしまうので、一般的には材料の組合せ、希釈によって放射能量を制御する考え方が必要となる。

微量に汚染された材料は、安全性を議論する以前に利用者の感情として受け入れがたい。再利用するのではなければ除染されることもなく、廃棄される。しかし、社会の再構築を考えた場合、すべてを拒絶するのではなく、その影響度を適切に評価し、受入れ可能なものについては再利用するのが資源循環の観点からも望ましい。これらは、最終処分場や中間貯蔵施設はいうに及ばす、短期間とはいえ仮置き場への負担軽減にも貢献する。復興における汚染と建材の利用のあり方を提案することは建築学会の役割であると考えられる[1)、2)]。

また、すべてを性能設計とすることは難しい。この観点から、一般的な建築物のあり方を想定した、放射能量の許容値、設計値、および設計手法を検討することも必要と考えられる。

---

[1] 汚染材料の有効利用については，福島県に限定して，管理された状況で一定レベルの汚染材料を再生利用することが可能であるとされている。公共の道路の路盤材に 3000Bq/kg 以下の再生骨材を路面から 30cm 以上の下の下部路盤層とすることはできる。この判断は追加被ばく線量 0.01mSv/y を判断基準として定められている。
http://www.env.go.jp/jishin/attach/concrete-waste111227.pdf
廃棄物の再利用に関しては，環境省から「東日本大震災からの復旧復興のための公共工事における災害廃棄物由来の再生資材の活用について」（通知）において，以下「復旧復興のための公共工事に活用する災害廃棄物由来の再生資材であって廃棄物に該当しないものの要件」が示されている。
http://www.env.go.jp/jishin/attach/no120525001.pdf

[2] 産学連携組織「災害がれきと産業副産物のアロケーション最適化コンソーシアム（がれき処理コンソーシアム）」の情報によると岩手・宮城地区のコンクリートがらの放射能レベルは 100Bq/kg をすべて下回っている。多量に発生するコンクリートがらはすべてが再利用される見込みである。