

放射性セシウムの影響を受けた廃棄物由来再生製品の 利用に対する線量評価

Dose Estimation for the Use of Recycled Products from Waste Affected
by Radioactive Cesium

高井 静霞 武田 聖司 木村 英雄

Shizuka TAKAI, Seiji TAKEDA and Hideo KIMURA

安全研究・防災支援部門

安全研究センター

環境安全研究ユニット

Environmental Safety Research Unit

Nuclear Safety Research Center

Sector of Nuclear Research and Emergency Preparedness

February 2015

Japan Atomic Energy Agency

日本原子力研究開発機構

本レポートは独立行政法人日本原子力研究開発機構が不定期に発行する成果報告書です。
本レポートの入手並びに著作権利用に関するお問い合わせは、下記あてにお問い合わせ下さい。
なお、本レポートの全文は日本原子力研究開発機構ホームページ (<http://www.jaea.go.jp>)
より発信されています。

独立行政法人日本原子力研究開発機構 研究連携成果展開部 研究成果管理課
〒319-1195 茨城県那珂郡東海村白方白根2 番地4
電話 029-282-6387, Fax 029-282-5920, E-mail:ird-support@jaea.go.jp

This report is issued irregularly by Japan Atomic Energy Agency.
Inquiries about availability and/or copyright of this report should be addressed to
Institutional Repository Section,
Intellectual Resources Management and R&D Collaboration Department,
Japan Atomic Energy Agency.
2-4 Shirakata Shirane, Tokai-mura, Naka-gun, Ibaraki-ken 319-1195 Japan
Tel +81-29-282-6387, Fax +81-29-282-5920, E-mail:ird-support@jaea.go.jp

© Japan Atomic Energy Agency, 2015

放射性セシウムの影響を受けた廃棄物由来再生製品の利用に対する線量評価

日本原子力研究開発機構 安全研究・防災支援部門 安全研究センター 環境安全研究ユニット
高井 静霞・武田 聖司・木村 英雄

(2014年12月12日受理)

福島第一原子力発電所事故に伴い大気中に放出された放射性セシウム (Cs-134、Cs-137) によって、福島県外を含む広範囲の周辺環境が汚染された。そのような環境中にある廃棄物 (震災による災害廃棄物を含む) はその量が膨大であるため、物量低減及び資源の有効活用のために可能な範囲で再資源化され、再生製品として利用されている。

現在、震災による災害廃棄物を再利用してできた製品に対する放射性セシウム濃度の基準値は、100Bq/kg と設定されているが、環境省の調査では、金属スクラップや再生アスファルト混合物等の一部の再生製品から 100Bq/kg を超える放射性セシウム濃度が検出された。

本研究では、環境省の調査で高い放射性セシウム濃度が検出された再生製品を対象に、それらを利用した場合の作業員及び公衆に対する線量を解析し、被ばく対象者の安全性について検討した。本解析では、環境省の調査結果及び既往の線量評価に基づき再生製品の利用に伴う被ばく経路及び評価に使用するパラメータを設定し、測定された再生製品中の放射性セシウム濃度に対応した各被ばく経路での線量を求めた。

その結果、調査された再生製品の再利用に伴う被ばく線量は、再生アスファルト混合物の1検体を除く全ての再生製品に対し、線量のめやす値 $10 \mu\text{Sv/y}$ を下回る結果となった。再生アスファルト混合物の1検体に対しては、再利用に伴う被ばく線量が $26 \mu\text{Sv/y}$ となったが、この結果は ICRP Pub.104 で示されている取るに足らない些細な年間個人リスク ($10^{-6} \sim 10^{-7}$) に相当する $10 \sim 100 \mu\text{Sv/y}$ の範囲内に収まっており、調査された再生製品の再利用に対する安全性は担保できていると考えられる。

Dose Estimation for the Use of Recycled Products from Waste Affected by Radioactive Cesium

Shizuka TAKAI, Seiji TAKEDA and Hideo KIMURA

Environmental Safety Research Unit
Nuclear Safety Research Center
Sector of Nuclear Research and Emergency Preparedness
Japan Atomic Energy Agency
Tokai-mura, Naka-gun, Ibaraki-ken

(Received December 12, 2014)

A large amount of waste contaminated by radioactive cesium (cesium-134 and cesium-137) released by Fukushima Daiichi Nuclear Power Station has been recycled as much as possible in order to reduce the quantity to be disposed of and to use resources effectively. At present, a standard concentration of radioactive cesium for recycled products from disaster waste is defined as 100Bq/kg. The Ministry of the Environment conducted a survey on recycled products. The survey found that a portion of products such as metal scrap and recycled asphalt had relatively high radioactive cesium concentration. In this study, we specified exposure pathways to calculate doses for using the recycled products detected high cesium concentration in the survey and calculated the doses based on the survey of concentration of the recycled products. It was shown that the calculated doses were less than a dose criterion of $10 \mu\text{ Sv/y}$ for all samples of recycled products except for one sample of recycled asphalt. The calculated dose for the sample of recycled asphalt was $26 \mu\text{ Sv/y}$, which is within a range of 10 to $100 \mu\text{ Sv/y}$ corresponding to trivial individual risk of 10^{-6} to 10^{-7} indicated in ICRP Pub. 104 and safety for reuse of recycled products in the survey was confirmed.

Keywords: Dose Estimation, Recycled Products, Radioactive Cesium, Fukushima Daiichi Nuclear Power Station

目 次

1. はじめに.....	1
2. 評価方法.....	1
2.1 再生製品中の放射性セシウム濃度の測定結果.....	1
2.2 評価経路.....	4
2.3 評価モデル.....	5
2.4 評価パラメータ.....	6
3. 解析結果.....	10
3.1 金属スクラップに対する解析結果.....	10
3.2 再生アスファルト混合物に対する解析結果.....	10
4. まとめ.....	11
謝辞.....	11
参考文献.....	12

Contents

1. Introduction.....	1
2. Methodology.....	1
2.1 Measurements of concentration of radioactive cesium in recycled products.....	1
2.2 Exposure pathways.....	4
2.3 Model and code.....	5
2.4 Parameter setting.....	6
3. Results.....	10
3.1 Results for metal scrap.....	10
3.2 Results for recycled asphalt.....	10
4. Conclusions.....	11
Acknowledgement.....	11
References.....	12

This is a blank page.

1. はじめに

福島第一原子力発電所事故に伴い大気中に放出された放射性セシウム（Cs-134、Cs-137）によって、福島県外を含む広範囲の周辺環境が汚染された。そのような環境中にある廃棄物（震災による災害廃棄物を含む）はその量が膨大であるため、物量低減及び資源の有効活用のために可能な範囲で再資源化され、再生製品として利用されている。

このような汚染された廃棄物の再利用に対して、原子力安全委員会では「東京電力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」¹⁾において、汚染された廃棄物を再利用して生産された製品が、市場に流通する前にクリアランスレベル^{2,3)}の設定に用いた線量基準（ $10\mu\text{Sv/y}$ ）（以下、「めやす値」という。）以下になるように、放射性物質の濃度等が適切に管理されていれば再生利用が可能であるとしている。この線量のめやす値を満たす基準として、震災による災害廃棄物の再利用に対しては、再利用してできた製品の放射性セシウム濃度が 100Bq/kg と設定されている⁴⁾。

環境省では、流通している廃棄物由来の再生製品に含まれる放射能濃度等の実状を把握するため、関東東北地方の 42 事業所で再生された製品を対象に、再生製品中の放射性セシウム濃度や利用用途等に関する調査を行った^{5,6)}。その結果、大部分の再生製品中の放射性セシウム濃度は 100Bq/kg を下回ったものの、金属スクラップや再生アスファルト混合物等の一部の再生製品から 100Bq/kg を超える放射性セシウム濃度が検出された。

本研究では、環境省の調査で高い放射性セシウム濃度が検出され、現在流通されている再生製品の利用に伴う作業員及び公衆の安全性についての検討を行った。本検討では、環境省の調査結果及び既往の線量評価に基づき再生製品の利用に伴う被ばく経路及び評価に使用するパラメータの設定を行うとともに、各被ばく経路における被ばく線量を求め、導出した線量とめやす値（ $10\mu\text{Sv/y}$ ）の比較を行った。

2. 評価方法

2.1 再生製品中の放射性セシウム濃度の測定結果

環境省は平成 25 年 2～3 月において、流通している廃棄物由来の再生製品に含まれる放射能濃度等の実状の把握を目的として、汚染された廃棄物を再利用して出来た再生製品の実態調査を行った。取りまとめられた実態地調査結果^{5,6)}について、以下に示す。

調査は、①製品の原材料として使用される再生製品、及び、②屋外の公共工事等で使用される再生製品の計 8 品目、61 検体に対して実施された。放射能濃度を調査した再生製品の一覧を、表 1 に示す。

表1 調査を実施した再生製品の一覧⁵⁾

再生製品		再利用される廃棄物	検体数
①製品の原材料として使用される再生製品	再生石膏	・廃石膏ボード	8
	木質チップ	・木くず	6
	金属スクラップ	・金属くず	6
	圧縮・粉砕プラスチック	・廃プラスチック ・発泡スチロール・塩ビ	8
②屋外の公共工事等で使用される再生製品	再生路盤材	・コンクリートがら ・アスファルトがら ・がれき類	7
	再生アスファルト混合物	・スラグ・鉱さい ・ガラスくず	16
	再生砂	・瓦・スレート	5
	再生改良土	・汚泥・建設汚泥	5
計			61

これらの再生製品中に対し、放射性セシウム濃度の測定が行われた。放射性セシウム濃度の分析条件を表2に、測定結果を図1及び図2に示す。

表2 放射性セシウム濃度の分析条件

放射線検出器	前処理	測定用容器	測定時間	検出下限	備考
ゲルマニウム半導体検出器	なし又は粉砕	U-8容器(95mL) マリネリ容器(2L)	1,000秒以上	50Bq/kg以下	検出下限値は試料密度により変動する。また、検出下限値以上で検出値が得られる場合は、この検出下限値を適用しないものとする。

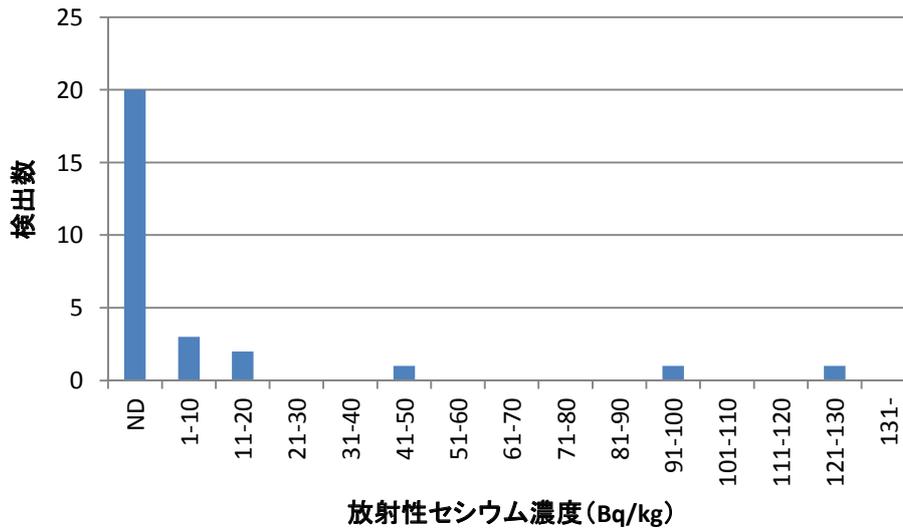


図1 製品の原材料として使用される再生製品の放射性セシウム濃度⁵⁾

※検出下限値未満をNDとした。検出されなかった検体の検出下限値は、Cs-134=4~28Bq/kg、Cs-137=5~29Bq/kg

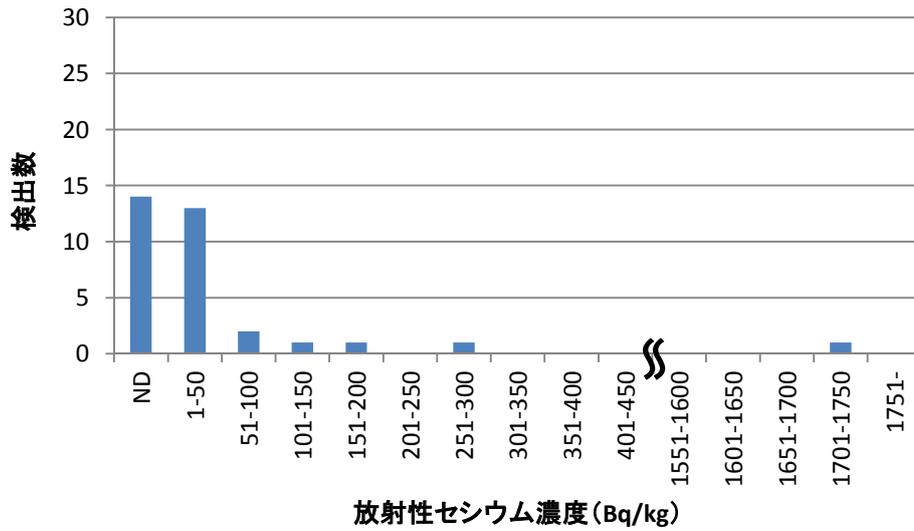


図2 屋外の公共工事等で使用される再生製品の放射性セシウム濃度⁵⁾

※検出下限値未満をNDとした。検出されなかった検体の検出下限値は、Cs-134=5~10Bq/kg、Cs-137=6~10Bq/kg

図1及び図2に示すように、調査対象となった再生製品の約9割からは、環境省が示した再利用を可能とするめやす濃度 100Bq/kg 以下の放射性セシウム濃度が検出されたが、一部の検体から100Bq/kg より高い値が検出された(①製品の原材料として使用される再生製品: 1検体(金属スクラップ)、②屋外の公共工事等で使用される再生製品: 4検体(再生アスファルト混合物: 3検体、再生改良土: 1検体))。

これらの100Bq/kg より高い濃度が検出された検体に対する調査結果⁶⁾を、表3に示す。

表3 100Bq/kg より高い濃度が検出された検体の放射性セシウム濃度 (Bq/kg) 及び使用用途

再生製品	検体数	100Bq/kgを超えた検体数	100Bq/kgを超えた検体の検出濃度値(Bq/kg)		使用用途
			A	B	
金属スクラップ	6	1	124		他の原材料と混合され(混合率0.04%)、鉄鋼等の原材料となり様々な用途に使用された。
再生アスファルト混合物	16	3	A	138	他の原材料と混合され(最大混合率30%)、道路の舗装に使用された。
			B	190	他の原材料と混合せず、歩道・農道の舗装下の下層路盤材に使用された。
			C	280	他の原材料と混合され(最大混合率40%)、道路の舗装に使用された。
再生改良土	5	1	1710		他の原材料と混合せず、表面から約30cm以上の下層に路盤材として使用された。

2.2 評価経路

本評価では、表2に挙げた100Bq/kgより高い放射性セシウム濃度が検出された検体を評価対象とする。ただし、再生改良土は評価対象から除外する。既往の評価によるとコンクリートがれきを道路又は歩道に使用する場合、道路表面から30cm下に2,700Bq/kg以下の再生資材を用いる場合であれば、最も被ばく線量の影響が大きい「道路の周辺居住者（子ども）の外部被ばく」について、線量のめやす値 $10\mu\text{Sv/y}$ を下回ることが確認されている⁷⁾。線量の高かった再生改良土は表面から約30cm以上の下層に路盤材として使用されており、その検出濃度値1,710Bq/kgは2,700Bq/kgを下回っているため、再生改良土に対しては安全が確認されているとして評価を行わない。

金属スクラップ及び再生アスファルト混合物に対する被ばく経路を以下に示す。

(1) 金属スクラップ

環境省の調査結果⁶⁾から、放射性セシウム濃度の高かった金属スクラップは鉄鋼等の原材料として使用され、製品化後様々な用途に利用されたことが確認されている。そのため、この金属スクラップの利用に対する安全性を確認するためには、製品化後の想定しうる利用用途を考慮した被ばく経路に対し線量を評価する必要がある。再利用用途を網羅的に考慮した金属スクラップに対する評価は、災害廃棄物の処理・処分方策の検討のため実施された線量評価⁸⁾（以下、「既往の災害廃棄物に対する線量評価」という。）において行われている。既往の災害廃棄物に対する線量評価では、金属スクラップの再利用に伴う被ばくのプロセスとして、再利用のための処理作業（前処理、溶融・鋳造によるインゴットの製造、不純物として発生するスラグの処理、及び、加工）、インゴットから加工された製品の利用、及び、スラグの再利用を考慮している。そこで本評価では、同評価で最も被ばく線量の影響が大きくなった、「スラグをアスファルトへ再利用した駐車場における作業員の外部被ばく」を金属スクラップに対する評価経路として、線量評価を行う。

(2) 再生アスファルト混合物

環境省の調査結果⁶⁾から、放射性セシウム濃度の高かった再生アスファルト混合物は、道路の舗装材、及び、歩道または農道の舗装下の下層路盤材として使用されたことが確認されている。上述したように、既往の災害廃棄物に対する線量評価においてすでに、放射性物質によって汚染されたおそれのある災害廃棄物を道路及び歩道に下層路盤材として地面から30cm下に再利用したときの線量評価が行われており、最も被ばく線量の影響が大きくなる経路は完成した道路の周辺居住者（子ども）の外部被ばくであり、道路表面から30cm下に2,700Bq/kg以下の再生資材を用いる場合であれば再利用に伴って受ける線量が $10\mu\text{Sv/y}$ を下回ることが示されている⁷⁾。今回対象とする再生アスファルト混合物の検体の濃度はいずれも数百Bq/kg程度であり2,700Bq/kgを下回っているが、調査によると検体AおよびCは道路表面のアスファルトとして、検体Bは道路表面から14cm下（環境省私信）に下層路盤材として使用されているため、これらの検体の再利用に伴って受ける被ばく線量が $10\mu\text{Sv/y}$ を上回るおそれがある。

そこで本評価では、道路及び歩道への再利用に関しては周辺居住者（子ども）の外部被ばく経路を評価対象として、再生アスファルト混合物を使用した場合の被ばく線量の評価を行う。また、農道に関しては、農耕作業員が農道から受ける外部被ばく経路を評価対象とした。以上より、「完成した道路（舗装材としての利用）の周辺居住者（子ども）の外部被ばく」及び「歩道の周辺居住者（子

ども)及び農耕作業者の外部被ばく(ともに下部路盤材としての利用)」を再生アスファルト混合物に対する評価経路として、線量評価を行う。

2.3 評価モデル

金属スクラップ及び再生アスファルト混合物の利用に対するモデル式は、既往のクリアランスレベル評価^{2,3)}で使用されたモデル式を用いて、原子力機構で開発したPASCLR2⁹⁾により評価した。また、外部被ばく線量の計算に必要な外部被ばく線量換算係数((Sv/h)/(Bq/kg))は、点減衰核積分法による遮へい計算コードQAD-CGGP2R¹⁰⁾を用いて算出した。

金属スクラップを用いて作られたスラグをアスファルトへ再利用した駐車場作業員の外部被ばく線量 $D_{ext,i}$ は、被ばく中の期間における時間経過による減衰や再利用される段階での他の原材料との混合による希釈を考慮し、式(1)より求める。また、式(1)の計算で必要となるスラグ中の核種 i の濃度 $C_{s,i}$ は、対象とする金属スクラップが熔融段階で汚染されていない金属スクラップと混合されること、及び、スラグへの核種の移行割合を考慮し、式(2)により求める。

$$D_{ext,i}(t) = C_{s,i}(0) \cdot D_m \cdot F_s \cdot t_e \cdot DF_{ext,i} \cdot \frac{1 - \exp(-\lambda_i t)}{\lambda_i t} \quad (1)$$

$$C_{s,i}(t) = C_{m,i}(t) \cdot F_{wc} \cdot TF_{s,i} \cdot CF_s \quad (2)$$

- $D_{ext,i}$: 核種 i による外部被ばく線量(Sv/y)
- t : 被ばく中の減衰期間(y)
- $C_{s,i}$: スラグ中の核種 i の濃度(Bq/kg)
- D_m : 他の原材料との混合による希釈係数(-)
- F_s : 遮へい係数(-)
- t_e : 年間作業時間(h/y)
- $DF_{ext,i}$: 核種 i の外部被ばく線量換算係数((Sv/h)/(Bq/kg))
- λ_i : 核種 i の崩壊定数(1/y)
- $C_{m,i}$: 汚染された金属スクラップ中の核種 i の濃度(Bq/kg)
- F_{wc} : 汚染されていない金属スクラップとの混合率(-)
- $TF_{s,i}$: 核種 i のスラグへの移行割合(-)
- CF_s : スラグへの見かけの濃縮係数(-)

再生アスファルト混合物を用いて作られた道路、歩道及び農道の周辺居住者、農耕作業者の外部被ばく線量 $D_{ext,i}$ は式(1)と同様に、被ばく中の期間における時間経過による減衰等を考慮して、式(3)により求める。ここで、式(3)のパラメータで以下に説明しないものは、式(1)におけるパラメータと同義である。

$$D_{ext,i}(t) = C_{a,i}(0) \cdot D_m \cdot F_s \cdot t_e \cdot DF_{ext,i} \cdot \frac{1 - \exp(-\lambda_i t)}{\lambda_i t} \quad (3)$$

- $C_{a,i}$: 汚染された再生アスファルト混合物中の核種 i の濃度(Bq/kg)
- t_e : 年間居住時間(h/y)(道路及び歩道の周辺居住者評価時)または年間農耕作業者時間(h/y)(農耕作業者評価時)

2.4 評価パラメータ

本評価で再生製品の利用に対する線量評価を行う際に使用するパラメータ及び外部被ばく線量の計算で用いる体系は、既往のクリアランスレベル評価を踏襲できると考えられるもの（溶融過程における Cs のスラグ中への移行割合、スラグへの見かけの濃縮係数、スラグを再利用した駐車場作業員に対する外部被ばく線量の計算体系、遮へい係数、年間作業時間及び年間居住時間）は、既往の設定と同一の値を使用した⁸⁾。各検体の利用実態に合わせて評価上新たに設定する必要があるパラメータや外部被ばく線量の計算で用いる体系は、調査結果に基づき各検体の使用状況の実状に応じて設定した。表4及び表5に、本解析のために使用したパラメータの一覧を、図3及び図4に外部被ばく線量の計算に用いた体系を示す。また、各検体の実態に合わせて新たに設定したパラメータについて、以下に選定値及び選定根拠を示す。

(1) 金属スクラップ

- ・汚染されていない金属スクラップとの混合率 (F_{wc}) : 0.0004

対象とする金属スクラップの検体は、環境省の調査結果⁶⁾によると鉄鋼等の原材料として使用されている。その調査によると、金属スクラップの処理を行ったリサイクルプラントから出荷された鉄スクラップの精錬業者の原材料に占める割合は、0.04%であった。

よって、汚染されていない金属スクラップとの混合率 F_{wc} を、0.0004と設定した。

(2) 再生アスファルト混合物

- ・他の原材料との混合による希釈係数 (D_m) : 検体A=0.3、検体B=1.0、検体C=0.4

対象とする再生アスファルト混合物の検体A～Cに対する他の原材料との混合割合は、環境省の調査結果⁶⁾によると検体A：最大混合率30%、検体B：他の原材料との混合なし、検体C：最大混合率40%であった。

よって本評価では保守的に、汚染された再生アスファルト混合物の混合割合が最も高い場合を想定し、他の原材料との混合による希釈係数 D_m を、検体A=0.3、検体B=1.0、検体C=0.4と設定した。

- ・外部被ばく線量換算係数 $DF_{ext,i}$

対象とする再生アスファルト混合物は、環境省の調査⁶⁾によると検体A：道路の舗装、検体B：歩道・農道の舗装下の下層路盤材、検体C：道路の舗装に使用されている。これらの道路、歩道及び農道の使用に伴う外部被ばく線量換算係数 $DF_{ext,i}$ の計算体系は、道路によってその幅や厚さにばらつきがあることから、本評価では保守的に国または福島県で定められている道路等の設計条件の最大値を表5のように設定した。またアスファルトや路盤材の密度については、文献による調査結果を基に一般に使用されている平均値を表4のように設定した。

これらの計算体系に基づき、点減衰核積分法による遮へい計算コード(QAD-CGGP2R⁹⁾)を用いて外部被ばく線量換算係数を導出した。

表4 金属スクラップの評価に使用したパラメータ

名称	記号	単位	選定値	選定根拠				
汚染されていない金属スクラップとの混合率	F_{wc}	—	0.0004	環境省の調査結果 ⁶⁾ に基づき、スラグの原材料に対する汚染された金属スクラップの混合率を設定した。				
溶融過程におけるCsのスラグ中への移行割合	TF_s	—	1	IAEA SS. No.111-P-1.1 ¹¹⁾ に示されたCs-137に対するスラグへの移行割合の値を設定した。				
溶融過程におけるスラグへの見かけの濃縮係数	CF_s	—	10	IAEA SS. No.111-P-1.1 ¹¹⁾ において、溶融時に鉄くずの10%がスラグになるとされているため、見かけ上のスラグへの元素の濃縮比は10となる。				
他の原材料との混合による希釈係数	D_m	—	0.25	アスファルト舗装駐車場へのスラグの混入割合については、「アスファルト舗装要綱」(社団法人日本道路協会、丸善(株)、1992) ¹²⁾ より最大50%と想定されるが、アスファルト舗装に使用される粗骨材全てが汚染されたスラグに起因することは想定しにくいことから0.25と選定した。従来のクリアランスレベル評価においても、0.25の設定である。				
遮へい係数	F_s	—	1	駐車場作業員に対する遮へいはないものとした。				
年間作業時間	t_e	h/y	1,000	年間労働時間の内、半分の時間を駐車場で作業すると仮定して選定した。				
外部被ばくに対する線量換算係数(スラグ再利用駐車場)	DF_{ext}	$\mu\text{Sv/h per Bq/g}$	<table border="1" style="display: inline-table; vertical-align: middle;"> <tr> <td>Cs-134</td> <td>1.5E-01</td> </tr> <tr> <td>Cs-137</td> <td>5.5E-02</td> </tr> </table>	Cs-134	1.5E-01	Cs-137	5.5E-02	従来のクリアランスレベル評価で設定されている換算係数を設定した。条件は以下の通りである。 線源の形状: 半径10m、高さ0.04mの円柱 線源のかさ密度: 2.1g/cm^3 線源材質: アスファルト(骨材) 評価点: 表面中央から高さ1.0m 以上の条件でQAD-CGGP2Rコードにより算出されている。
Cs-134	1.5E-01							
Cs-137	5.5E-02							
被ばく中の減衰期間	t	y	1	IAEA RS-G-1.7 ¹³⁾ では、各評価経路について被ばく期間(1年)の減衰を考慮しており、本試算でも被ばく期間(1年)中の放射能の減衰を考慮することとした。				

表5 再生アスファルト混合物の評価に使用したパラメータ

名称	記号	単位	選定値	選定根拠	
被ばく中の減衰期間	t	y	1	IAEA RS-G-1.7 ¹³⁾ では、各評価経路について被ばく期間(1年)の減衰を考慮しており、本試算でも被ばく期間(1年)中の放射能の減衰を考慮することとした。	
他の原材料との混合による希釈係数	D _m	—	A:0.3	環境省の調査結果 ⁶⁾ に基づき、検体A,B,Cに対する混合率を設定した。	
			B:1.0		
			C:0.4		
居住時の遮へい係数	F _s	—	0.2	IAEA-TECDOC-401 ¹⁴⁾ から、居住時間の20%を戸外で過ごすとして仮定した。	
年間居住時間	t _e	h/y	8760	保守的に、1年間絶えず道路周辺に居住しているとした。	
道路利用時における遮へい係数	F _s	—	1	保守的に遮へいを考慮しないものとした。	
年間作業時間(農耕)	t _e	h/y	500	「日本の統計1997年版」(総務庁統計局編、1998年) ¹⁵⁾ に記載されている平成6年度の1戸当たりの平均経営耕地面積173a(水田率54.4%)、水稲10a当たりの労働時間37.6時間、小麦10a当たりの労働時間6.6時間を基に算出し、値に裕度を持って選定した。 (173×0.544×3.76+173×(1-0.544)×0.66=406(h/y))	
外部被ばくに対する線量換算係数(道路周辺居住者(子ども))	DF _{ext}	μSv/h per Bq/g	Cs-134	1.9E-01	以下の条件で換算係数を導出した。ただし、道路を構成する各部材の幅及び厚さ等は、福島県における県道の設計条件 ¹⁶⁾ の最大値を設定した。 線源の形状:幅9m、奥行き100m、高さ0.1mの直方体 線源のかさ密度:2.2g/cm ³ 線源材質:アスファルト(骨材) 換算係数はQAD-CGGP2Rコードにより算出した。評価体系および評価点を図3に示す。なお、子どもの外部被ばく線量換算係数として計算値を1.3倍した。
			Cs-137	8.6E-02	
外部被ばくに対する線量換算係数(歩道周辺居住者(子ども))	DF _{ext}	μSv/h per Bq/g	Cs-134	3.6E-02	以下の条件で換算係数を導出した。ただし、歩道を構成する各部材の幅及び厚さ等は、福島県における県道の設計条件 ¹⁶⁾ の最大値を設定した。 線源の形状:幅5.5m、奥行き100m、高さ0.3mの直方体 線源のかさ密度:2.0g/cm ³ 線源材質:アスファルト(骨材) 換算係数はQAD-CGGP2Rコードにより算出した。評価体系および評価点を図4に示す。なお、子どもの外部被ばく線量換算係数として計算値を1.3倍した。
			Cs-137	1.3E-02	
外部被ばくに対する線量換算係数(農耕作業)	DF _{ext}	μSv/h per Bq/g	Cs-134	2.8E-02	以下の条件で換算係数を導出した。ただし、農道を構成する各部材の幅及び厚さ等は、「土地改良事業計画設計基準・設計「農道」」 ¹⁷⁾ の最大値を設定した。 線源の形状:幅8.5m、奥行き100m、高さ0.3mの直方体 線源のかさ密度:2.0g/cm ³ 線源材質:アスファルト(骨材) 換算係数はQAD-CGGP2Rコードにより算出した。評価体系および評価点を図4に示す。
			Cs-137	9.9E-03	
不透水性アスファルト(道路)のかさ密度		g/cm ³	2.2	「日本道路協会:舗装施工便覧」 ¹⁸⁾ に示された密粒度アスファルト混合物の空隙率の範囲(3~6%)とアスファルト量の範囲(5~7%)を満足する「小谷昇他著:アスファルト混合物の知識(改訂3版)」 ¹⁹⁾ に示された「密粒度アスファルトの混合物の配合例」を元に、平均比重2.45程度の再生骨材を使用するものと想定して算定した真密度2.27g/cm ³ とこの配合における空隙率3.8%から算出した。	
路盤材(道路・歩道共通)のかさ密度		g/cm ³	2.0	浸透施設の設計に用いられるクラッシュランの骨材空隙率10%(静岡市 ²⁰⁾ 、小牧市 ²¹⁾ 等)と、再生砕石(路盤材)の絶対密度2.25g/cm ³ (井本興業HP ²²⁾ より)から算出した。	
透水性アスファルト(歩道)のかさ密度		g/cm ³	2.0	「よくわかる透水性舗装(山海堂、1997.7)」 ²³⁾ に示された「東京都の定めるアスファルト透水性舗装の表層(4cm)の混合物(開粒2号)」の値を採用した。	

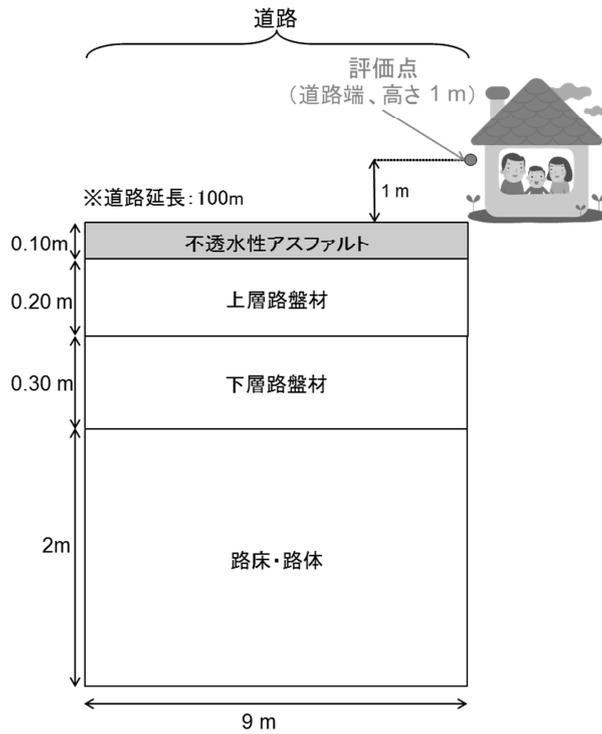


図3 道路の周辺居住者の評価体系
(再生混合アスファルト混合物の道路 (不透水性アスファルト) への再利用)

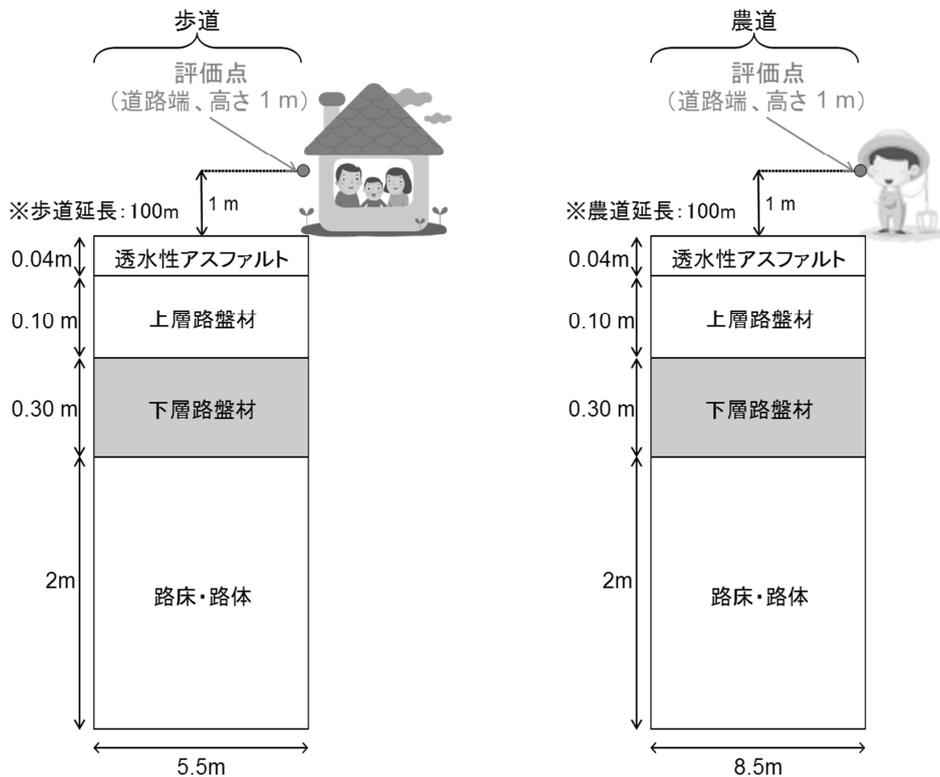


図4 歩道の周辺居住者及び農耕作業者の評価体系
(再生アスファルト混合物の歩道及び農道の下層路盤材への再利用)

3. 解析結果

前節で示した評価方法に基づき、全 Cs 濃度が単位濃度 (1Bq/kg) の再生製品を再利用した場合に作業者及び公衆が受ける各評価経路における年間被ばく線量を評価した。ただし、全 Cs 濃度に対する被ばく線量は、Cs-134 と Cs-137 のそれぞれに対して求めた被ばく線量を、事故当初のそれぞれの存在比が等しいと仮定した場合の事故 2 年後の存在比 (Cs-134/Cs-137=0.535) を用いて導出した。

3.1 金属スクラップに対する解析結果

金属スクラップの再利用に伴って受ける被ばく線量 (被ばく経路: スラグをアスファルトへ再利用した駐車場における作業者に対する外部被ばく) の評価結果を、表 6 に示す。表 6 より、放射性セシウム濃度の最大値が検出された金属スクラップ (124Bq/kg) に対する年間被ばく線量は 8.9E-3 μ Sv/y であり、被ばく線量のめやす値 10 μ Sv/y を下回った。

表 6 スラグをアスファルトへ再利用した駐車場における作業者に対する外部被ばく線量

金属スクラップ中の単位濃度あたりの年間被ばく線量 (μ Sv/y per Bq/kg)			検出濃度値に対する年間被ばく線量 (μ Sv/y)		
Cs-134	Cs-137	Cs(134+137)	Cs-134	Cs-137	Cs(134+137)
9.2E-05	5.2E-05	7.2E-05	1.1E-02	6.4E-03	8.9E-03

3.2 再生アスファルト混合物に対する解析結果

再生アスファルト混合物を道路の舗装に使用した場合の線量 (被ばく経路: 道路の周辺居住者 (子ども) に対する外部被ばく) の評価結果を、表 7 に示す。表 7 より、高い濃度が検出された再生アスファルト混合物に対する年間被ばく線量は、検体 A (138Bq/kg) : 9.7E+00 μ Sv/y、検体 C (280Bq/kg) : 2.6E+01 μ Sv/y であり、検体 C では被ばく線量のめやす値 10 μ Sv/y を上回った。

表 7 道路の周辺居住者 (子ども) に対する外部被ばく線量

検体	不透水性アスファルト中における汚染された「再生アスファルト混合物」の混入割合 (%)	再生アスファルト混合物中の単位濃度あたりの年間被ばく線量 (μ Sv/y per Bq/kg)			検出濃度値に対する年間被ばく線量 (μ Sv/y)		
		Cs-134	Cs-137	Cs(134+137)	Cs-134	Cs-137	Cs(134+137)
A	30	1.0E-01	4.4E-02	7.0E-02	1.4E+01	6.1E+00	9.7E+00
C	40	1.4E-01	5.9E-02	9.4E-02	3.9E+01	1.7E+01	2.6E+01

再生アスファルト混合物を歩道及び農道の下層路盤材に使用した場合の線量 (被ばく経路: 歩道の周辺居住者 (子ども)、及び、農耕作業者に対する外部被ばく) の評価結果を、表 8 に示す。表 8 より、高い濃度が検出された再生アスファルト混合物 (検体 B (190Bq/kg)) に対する年間被ばく線量は、歩道周辺居住者 (子ども) : 7.0E+00 μ Sv/y、農耕作業者 : 1.5E+00 μ Sv/y であり、被ばく線量のめやす値 10 μ Sv/y を下回った。また、検体 B は検体 A 及び C とは異なり他の混合物との希釈な

しに歩道及び農道に使用されているが、検体 B に対する被ばく線量は検体 A 及び C に比べ 1 桁程度小さい。これは、検体 A 及び C がアスファルトとして道路表面に使用される一方、検体 B は下層路盤材として道路表面から 14cm 下に使用されるためである。

表 8 歩道の周辺居住者（子ども）及び農耕作業者に対する外部被ばく線量の解析結果

検体	経路	再生アスファルト混合物中の単位濃度あたりの年間被ばく線量 ($\mu\text{Sv/y per Bq/g}$)			検出濃度値に対する年間被ばく線量 ($\mu\text{Sv/y}$)		
		Cs-134	Cs-137	Cs(134+137)	Cs-134	Cs-137	Cs(134+137)
B	歩道周辺居住者(子ども)・外部	5.4E-02	2.2E-02	3.7E-02	1.0E+01	4.2E+00	7.0E+00
	農道周辺農耕作業者・外部	1.2E-02	4.9E-03	8.0E-03	2.3E+00	9.3E-01	1.5E+00

4. まとめ

環境省が実施した再生製品の放射性セシウム濃度等の調査結果のうち、高い濃度が検出された再生製品（金属スクラップ、再生アスファルト混合物）に対し、それを利用したときの作業員及び公衆が受ける被ばく線量を導出した。その結果、再生アスファルト混合物の 1 検体（検体 C）を除く全ての検体に対し、それらの利用に伴う年間被ばく線量が線量のめやす値 $10 \mu\text{Sv/y}$ を下回る結果となり、これらの再生製品の利用に対する安全性が確認された。再生アスファルト混合物の検体 C（道路の舗装に利用）に対する線量は、他の原材料との希釈係数や外部被ばく線量換算係数の計算条件（道路の幅及び厚さなど）に対する保守的なパラメータ設定のもとで $26 \mu\text{Sv/y}$ であり、線量のめやす値 $10 \mu\text{Sv/y}$ を上回った。しかしながら ICRP Pub.104 では、 $10^{-6} \sim 10^{-7}$ の年間個人リスクは些細なものであり、このリスクに相当する $10 \sim 100 \mu\text{Sv/y}$ は取るに足らない些細な被ばく線量であると述べられている²⁴⁾。さらに、自然放射線による平均的な被ばく線量が 2mSv/y であることを考えると、その 1～数%にあたる $20 \sim 100 \mu\text{Sv/y}$ は些細な線量であることも述べられている²⁴⁾。したがって、再生アスファルト混合物の検体 C の再利用に対する線量結果である $26 \mu\text{Sv/y}$ は、ICRP Pub.104 が示している些細な線量レベルの範囲内に収まっており、安全性に大きな影響を与えることはないと考えられる。

今回の調査はごく一部の再生製品に対し行われたものあり再生製品の一般的な状況を代表するものではない。このため、高濃度の放射性セシウム濃度の再生製品が流通していないことを把握するために、このような定期的なモニタリングを行っていくことが重要である。

謝 辞

本報作成にあたって、日本原子力研究開発機構の田中忠夫氏には御指導・御協力を賜りました。また、環境省様には情報収集にご協力を賜りました。ここに記して深く感謝の意を表します。

参考文献

- (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）」（2011）。
- (2) 原子力安全委員会：「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廃棄物として取り扱う必要のないものの放射能濃度について（平成 16 年 12 月 16 日，平成 17 年 3 月 17 日一部訂正及び修正）」（2004）。
- (3) 文部科学省科学技術・学術政策局放射線安全規制検討会：「放射線障害防止法に規定するクリアランスレベルについて（平成 22 年 11 月 1 日，平成 24 年 3 月 27 日一部訂正）」（2010）。
- (4) 環境省：「災害廃棄物の広域処理の推進について（東日本大震災により生じた災害廃棄物の広域処理の推進に関わるガイドライン）、平成 23 年 8 月 11 日、一部改訂 平成 23 年 10 月 11 日、一部改訂 平成 23 年 11 月 18 日、一部改訂 平成 24 年 1 月 11 日」（2011）。
- (5) 中外テクノス株式会社：「平成 24 年度放射性物質の影響を受けた廃棄物由来再生製品調査業務報告書（再生製品編）（平成 25 年 3 月）」（2013）。
- (6) 環境省：「再生製品（金属スクラップ、再生アスファルト混合物等）の放射能濃度等の調査結果について」（2013）。
- (7) 「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）」環境省 HP（<http://www.env.go.jp/jishin/attach/concrete-waste111227.pdf>）、2014 年 6 月 11 日閲覧。
- (8) 日本原子力研究開発機構 安全研究センター 廃棄物安全研究グループ：「福島県の浜通及び中通り地方（避難区域及び計画的避難区域を除く）の災害廃棄物の処理・処分における放射性物質による影響の評価について（平成 23 年 6 月 19 日，平成 23 年 11 月 15 日一部修正）」（2011）。
- (9) S. TAKEDA, M. KANNO, T. SASAKI, N. MINASE and H. KIMURA; Development of PASCLR code system version 2 to drive clearance levels of uranium and trans uranium waste, JAEA-Data/Code 2006-003, (2006),137p.
- (10) Y. SAKAMOTO and S. TANAKA; QAD-CGGP2 and G33-GP2: Revised versions of QAD-CGGP and G33-GP, JAERI-M 90-110 (1990).
- (11) International Atomic Energy Agency (IAEA); Application of exemption principles to the recycle and reuse of materials from nuclear facilities, Safety Series No. 111-P-1.1, (1992).
- (12) 社団法人日本道路協会：アスファルト舗装要綱、丸善（1992）。
- (13) International Atomic Energy Agency (IAEA); Application of the concepts of exclusion, exemption and clearance, Safety Guide No. RS-G-1.7, (2004).
- (14) International Atomic Energy Agency (IAEA); Exemption of Radiation Sources and Practices from Regulatory Control: Interim Report, TECDOC-401, (1987).
- (15) 総務庁統計局：日本の統計 1997 年版、大蔵省印刷局、（1998）。
- (16) 「土木設計マニュアル〔道路編〕（平成 17 年 5 月，平成 22 年 4 月一部改正）」福島県 HP、（<http://www.pref.fukushima.lg.jp/uploaded/attachment/43199.pdf>）、2014 年 6 月 11 日閲覧。
- (17) 農林水産省農村振興局整備部設計課：土地改良事業計画設計基準・設計「農道」基準書・技術書、農業土木学会、（2005）。
- (18) 社団法人日本道路協会：舗装施工便覧（平成 18 年版）（2006）。

- (19)小谷昇, 森田幸義, 井田敏行: アスファルト混合物の知識 (改訂3版)、技報堂出版、(1994) .
- (20)「雨水浸透阻害行為の許可等のための雨水貯留浸透施設設計・施工技術指針(巴川流域編)第5章 浸透施設の設計」静岡市 HP (<http://www.city.shizuoka.jp/000145958.pdf>)、2014年5月12日閲覧.
- (21)「雨水流出抑制対策施設の設計について(平成17年11月25日改訂)」小牧市 HP、(http://www.city.komaki.aichi.jp/dbps_data/_material/_files/000/000/001/864/usuisekkei.pdf)、2014年5月12日閲覧.
- (22)株式会社井本興業 HP (<http://www.imoto-s.jp/macadam.html>)、2014年5月12日閲覧.
- (23)水と舗装を考える会: よくわかる透水性舗装、山海堂、(1997) .
- (24) ICRP; Scope of radiological protection control measures, ICRP Publication 104 (2007).

This is a blank page.

国際単位系 (SI)

表1. SI 基本単位

基本量	SI 基本単位	
	名称	記号
長さ	メートル	m
質量	キログラム	kg
時間	秒	s
電流	アンペア	A
熱力学温度	ケルビン	K
物質の量	モル	mol
光度	カンデラ	cd

表2. 基本単位を用いて表されるSI組立単位の例

組立量	SI 基本単位	
	名称	記号
面積	平方メートル	m ²
体積	立法メートル	m ³
速度	メートル毎秒	m/s
加速度	メートル毎秒毎秒	m/s ²
波数	毎メートル	m ⁻¹
密度, 質量密度	キログラム毎立方メートル	kg/m ³
面積密度	キログラム毎平方メートル	kg/m ²
比体積	立方メートル毎キログラム	m ³ /kg
電流密度	アンペア毎平方メートル	A/m ²
磁界の強さ	アンペア毎メートル	A/m
量濃度 ^(a) , 濃度	モル毎立方メートル	mol/m ³
質量濃度	キログラム毎立方メートル	kg/m ³
輝度	カンデラ毎平方メートル	cd/m ²
屈折率 ^(b)	(数字の)	1
比透磁率 ^(b)	(数字の)	1

(a) 量濃度 (amount concentration) は臨床化学の分野では物質濃度 (substance concentration) ともよばれる。
 (b) これらは無次元量あるいは次元1をもつ量であるが、そのことを表す単位記号である数字の1は通常は表記しない。

表3. 固有の名称と記号で表されるSI組立単位

組立量	SI 組立単位		
	名称	記号	他のSI単位による表し方
平面角	ラジアン ^(b)	rad	1 ^(b)
立体角	ステラジアン ^(b)	sr ^(c)	1 ^(b)
周波数	ヘルツ ^(d)	Hz	s ⁻¹
力	ニュートン	N	m kg s ⁻²
圧力, 応力	パスカル	Pa	N/m ²
エネルギー, 仕事, 熱量	ジュール	J	N m
仕事率, 工率, 放射束	ワット	W	J/s
電荷, 電気量	クーロン	C	s A
電位差 (電圧), 起電力	ボルト	V	W/A
静電容量	ファラド	F	C/V
電気抵抗	オーム	Ω	V/A
コンダクタンス	ジーメン	S	A/V
磁束	ウェーバ	Wb	Vs
磁束密度	テスラ	T	Wb/m ²
インダクタンス	ヘンリー	H	Wb/A
セルシウス温度	セルシウス度 ^(e)	°C	K
光線	ルーメン	lm	cd sr ^(c)
放射線	ルクス	lx	lm/m ²
放射性核種の放射能 ^(f)	ベクレル ^(d)	Bq	s ⁻¹
吸収線量, 比エネルギー分与, カーマ	グレイ	Gy	J/kg
線量当量, 周辺線量当量, 方向性線量当量, 個人線量当量	シーベルト ^(g)	Sv	J/kg
酸素活性	カタール	kat	s ⁻¹ mol

(a) SI接頭語は固有の名称と記号を持つ組立単位と組み合わせても使用できる。しかし接頭語を付した単位はもはやコヒーレントではない。
 (b) ラジアンとステラジアンは数字の1に対する単位の特別な名称で、量についての情報をつたえるために使われる。実際には、使用する時には記号rad及びsrが用いられるが、習慣として組立単位としての記号である数字の1は明示されない。
 (c) 測光学ではステラジアンという名称と記号srを単位の表し方の中に、そのまま維持している。
 (d) ヘルツは周期現象についてのみ、ベクレルは放射性核種の統計的過程についてのみ使用される。
 (e) セルシウス度はケルビンの特別な名称で、セルシウス温度を表すために使用される。セルシウス度とケルビンの単位の大きさは同一である。したがって、温度差や温度間隔を表す数値はどちらの単位で表しても同じである。
 (f) 放射性核種の放射能 (activity referred to a radionuclide) は、しばしば誤った用語で"radioactivity"と記される。
 (g) 単位シーベルト (PV.2002.70,205) についてはCIPM勧告2 (CI-2002) を参照。

表4. 単位の中に固有の名称と記号を含むSI組立単位の例

組立量	SI 組立単位		
	名称	記号	SI 基本単位による表し方
粘力のモーメント	パスカル秒	Pa s	m ⁻¹ kg s ⁻¹
表面張力	ニュートンメートル	N m	m ² kg s ⁻²
角速度	ニュートン毎メートル	N/m	kg s ⁻²
角加速度	ラジアン毎秒	rad/s	m m ⁻¹ s ⁻¹ = s ⁻¹
熱流密度, 放射照度	ラジアン毎秒毎秒	rad/s ²	m m ⁻¹ s ⁻² = s ⁻²
熱容量, エントロピー	ワット毎平方メートル	W/m ²	kg s ⁻³
比熱容量, 比エントロピー	ジュール毎ケルビン	J/K	m ² kg s ⁻² K ⁻¹
比エネルギー	ジュール毎キログラム毎ケルビン	J/(kg K)	m ² s ⁻² K ⁻¹
熱伝導率	ジュール毎キログラム	J/kg	m ² s ⁻²
体積エネルギー	ワット毎メートル毎ケルビン	W/(m K)	m kg s ⁻³ K ⁻¹
電界の強さ	ジュール毎立方メートル	J/m ³	m ⁻¹ kg s ⁻²
電荷密度	ジュール毎立方メートル	J/m ³	m kg s ⁻³ A ⁻¹
電表面積	クーロン毎立方メートル	C/m ³	m ⁻³ s A
電束密度, 電気変位	クーロン毎平方メートル	C/m ²	m ⁻² s A
誘電率	クーロン毎平方メートル	C/m ²	m ⁻² s A
透磁率	ファラド毎メートル	F/m	m ⁻³ kg ⁴ s ⁴ A ²
モルエネルギー	ヘンリー毎メートル	H/m	m kg s ⁻² A ²
モルエントロピー, モル熱容量	ジュール毎モル	J/mol	m ² kg s ⁻² mol ⁻¹
照射線量 (X線及びγ線)	ジュール毎モル毎ケルビン	J/(mol K)	m ² kg s ⁻² K ⁻¹ mol ⁻¹
吸収線量率	ジュール毎キログラム	C/kg	kg ⁻¹ s A
放射線強度	ワット毎ステラジアン	W/sr	m ² s ⁻³
放射線輝度	ワット毎平方メートル毎ステラジアン	W/(m ² sr)	m ⁴ m ⁻² kg s ⁻³ = m ² kg s ⁻³
酵素活性濃度	カタール毎立方メートル	kat/m ³	m ⁻³ s ⁻¹ mol

表5. SI 接頭語

乗数	接頭語	記号	乗数	接頭語	記号
10 ²⁴	ヨタ	Y	10 ¹	デシ	d
10 ²¹	ゼタ	Z	10 ²	センチ	c
10 ¹⁸	エクサ	E	10 ³	ミリ	m
10 ¹⁵	ペタ	P	10 ⁶	マイクロ	μ
10 ¹²	テラ	T	10 ⁹	ナノ	n
10 ⁹	ギガ	G	10 ¹²	ピコ	p
10 ⁶	メガ	M	10 ⁻¹⁵	フェムト	f
10 ³	キロ	k	10 ⁻¹⁸	アト	a
10 ²	ヘクト	h	10 ⁻²¹	ゼプト	z
10 ¹	デカ	da	10 ⁻²⁴	ヨクト	y

表6. SIに属さないが、SIと併用される単位

名称	記号	SI 単位による値
分	min	1 min=60s
時	h	1 h=60 min=3600 s
日	d	1 d=24 h=86 400 s
度	°	1°=(π/180) rad
分	'	1'=(1/60)°=(π/10800) rad
秒	"	1"=(1/60)'=(π/648000) rad
ヘクタール	ha	1 ha=1 hm ² =10 ⁴ m ²
リットル	L, l	1 L=1 dm ³ =10 ³ cm ³ =10 ⁻³ m ³
トン	t	1 t=10 ³ kg

表7. SIに属さないが、SIと併用される単位で、SI単位で表される数値が実験的に得られるもの

名称	記号	SI 単位で表される数値
電子ボルト	eV	1 eV=1.602 176 53(14)×10 ⁻¹⁹ J
ダルトン	Da	1 Da=1.660 538 86(28)×10 ⁻²⁷ kg
統一原子質量単位	u	1 u=1 Da
天文単位	ua	1 ua=1.495 978 706 91(6)×10 ¹¹ m

表8. SIに属さないが、SIと併用されるその他の単位

名称	記号	SI 単位で表される数値
バール	bar	1 bar=0.1 MPa=100 kPa=10 ⁵ Pa
水銀柱ミリメートル	mmHg	1 mmHg=133.322 Pa
オングストローム	Å	1 Å=0.1 nm=100 pm=10 ⁻¹⁰ m
海里	M	1 M=1852 m
バイン	b	1 b=100 fm ² =(10 ¹² cm) ² =10 ⁻²⁸ m ²
ノット	kn	1 kn=(1852/3600) m/s
ネーパ	Np	SI単位との数値的関係は、 対数量の定義に依存。
ベール	B	
デジベル	dB	

表9. 固有の名称をもつCGS組立単位

名称	記号	SI 単位で表される数値
エル	erg	1 erg=10 ⁻⁷ J
ダイン	dyn	1 dyn=10 ⁻⁵ N
ポアズ	P	1 P=1 dyn s cm ⁻² =0.1 Pa s
ストークス	St	1 St=1 cm ² s ⁻¹ =10 ⁻⁴ m ² s ⁻¹
スチルブ	sb	1 sb=1 cd cm ⁻² =10 ⁴ cd m ⁻²
フオト	ph	1 ph=1 cd sr cm ⁻² =10 ⁴ lx
ガリ	Gal	1 Gal=1 cm s ⁻² =10 ⁻² ms ⁻²
マクスウェル	Mx	1 Mx=1 G cm ² =10 ⁻⁸ Wb
ガウス	G	1 G=1 Mx cm ⁻² =10 ⁻⁴ T
エルステッド ^(c)	Oe	1 Oe _e =(10 ³ /4π) A m ⁻¹

(c) 3元系のCGS単位系とSIでは直接比較できないため、等号「△」は対応関係を示すものである。

表10. SIに属さないその他の単位の例

名称	記号	SI 単位で表される数値
キュリー	Ci	1 Ci=3.7×10 ¹⁰ Bq
レントゲン	R	1 R=2.58×10 ⁻⁴ C/kg
ラド	rad	1 rad=1 cGy=10 ⁻² Gy
レム	rem	1 rem=1 cSv=10 ⁻² Sv
ガンマ	γ	1 γ=1 nT=10 ⁻⁹ T
フェルミ	f	1 フェルミ=1 fm=10 ⁻¹⁵ m
メートル系カラット		1メートル系カラット=200 mg=2×10 ⁻⁴ kg
トル	Torr	1 Torr=(101 325/760) Pa
標準大気圧	atm	1 atm=101 325 Pa
カロリ	cal	1 cal=4.1858 J (「15°C」カロリ), 4.1868 J (「IT」カロリ), 4.184 J (「熱化学」カロリ)
マイクロ	μ	1 μ=1 μm=10 ⁻⁶ m

