



**収着データベース（JAEA-SDB）の開発：
土壌系及びセメント系を含む収着データの拡充**

Development of Sorption Database (JAEA-SDB) :
Update of Sorption Data Including Soil and Cement Systems

陶山 忠宏 館 幸男

Tadahiro SUYAMA and Yukio TACHI

地層処分研究開発部門

地層処分基盤研究開発ユニット

Geological Isolation Research Unit

Geological Isolation Research and Development Directorate

March 2012

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 研究技術情報部 研究技術情報課
〒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
Intellectual Resources Section, Intellectual Resources 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

収着データベース（JAEA-SDB）の開発：
土壌系及びセメント系を含む収着データの拡充

日本原子力研究開発機構
地層処分研究開発部門
地層処分基盤研究開発ユニット

陶山 忠宏^{*}，館 幸男

(2011 年 12 月 13 日受理)

放射性廃棄物地層処分の性能評価において、放射性核種の緩衝材（ベントナイト）及び岩石中での収着現象は、その移行遅延を支配する重要な現象である。この収着現象を定量的にあらわす収着分配係数（ K_d ）は性能評価における最重要パラメータの一つであり、信頼性の高い分配係数の実測データを集約したデータベースは、様々な環境条件を考慮した性能評価パラメータの設定において、また、収着モデル/予測評価手法の構築においても重要な役割を担う。このような観点から、日本原子力研究開発機構では、高レベル放射性廃棄物の地層処分性能評価の基盤整備を目的に、重要核種の緩衝材及び岩石への収着を対象として、収着データベース（JAEA-SDB）の開発を進めてきた。この収着データベースは、第2次取りまとめを契機として最初のデータベースを整備して以降、今後の性能評価におけるニーズへの対応を念頭に、データベースに含まれるデータの信頼度評価、実際の地質環境に対するパラメータ設定におけるデータベース適用等に着手して、データベースの改良・更新を継続的に実施してきた。

本報告では、TRU 廃棄物等を含む多様な低レベル放射性廃棄物の処分、さらには今般の福島第一原子力発電所事故にも関連した表層環境中の核種挙動評価への活用も念頭に、セメント材料系、土壌系の分配係数データを中心にデータの拡充を行った。セメント系と土壌系については既往のデータベースも活用しつつ、JAEA-SDB のデータベース構造に整合させつつ導入を図った。また、ベントナイト系、粘土鉱物系や岩石系など、従来より進めているパラメータ設定やモデル開発と関連する最新データの拡充もあわせて行った。今回の更新において、334 の文献から約 16,000 件の K_d データを追加し、JAEA-SDB に含まれる文献数は 684、 K_d データ数は約 46,000 件となった。今回更新された JAEA-SDB によって、より多様な放射性廃棄物等の処分検討において、有効なデータの抽出や核種移行パラメータの設定が可能となると考えられる。

Development of Sorption Database (JAEA-SDB) :
Update of Sorption Data Including Soil and Cement Systems

Tadahiro SUYAMA[※] and Yukio TACHI

Geological Isolation Research Unit
Geological Isolation Research and Development Directorate
Japan Atomic Energy Agency
Tokai-mura, Naka-gun, Ibaraki-ken

(Received December 13, 2011)

Sorption of radionuclides in buffer materials (bentonite) and rocks is the key process in the safe geological disposal of radioactive waste, because migration of radionuclides in this barrier is expected to be controlled by sorption processes. Distribution coefficient (K_d) is therefore important parameter in the performance assessment (PA) of geological disposal. The sorption database including extensive compilations of K_d data measured by batch sorption experiments plays key roles in PA-related K_d setting and predictive model development under a variety of geochemical conditions. For this purpose, Japan Atomic Energy Agency (JAEA) has developed sorption database (JAEA-SDB) as an important basis for the PA of high-level radioactive waste disposal. This sorption database was firstly developed for the H12 PA, and was improved and updated in view of potential future data needs, focusing on assuring the desired quality level and testing the usefulness of the databases for possible applications to PA-related parameter setting.

The present report focuses on updating of the sorption database (JAEA-SDB) by adding K_d data for various systems including soil and cement systems, to apply JAEA-SDB for the PA-related K_d setting for disposal of low level radioactive wastes including TRU wastes and the evaluation of radionuclide transport in surface soil systems. The updated data includes K_d data for soil and cement systems extracted from mainly previous published database, and K_d data related to our recent activities on the K_d setting and mechanistic model development. As a result, 16,000 K_d data from 334 references are added, total K_d values in the JAEA-SDB are about 46,000. The updated JAEA-SDB is expected to make it possible to obtain quick overview of the available data, and to have suitable access to the respective data for the performance assessment of various types of radioactive waste.

Keywords: Sorption Database, Distribution Coefficient, K_d , Soil, Cement, Bentonite, Rock

[※] Collaborating Engineer

目 次

1. はじめに	1
2. 固相分類の再構成	2
3. 土壌およびセメントデータの特徴と整理	4
3.1 土壌系データの特徴と整理	4
3.2 セメント系データの特徴と整理	4
4. 更新データの文献	6
4.1 土壌系データ	6
4.2 セメント系データ	11
4.3 その他のデータ	16
5. データベースの活用事例	28
6. まとめ	32
謝辞	32
参考文献	33

Contents

1. Introduction	1
2. Re-classification of solid group	2
3. Features and structures of database for soil and cement systems	4
3.1 Features and structures of database for soil systems	4
3.2 Features and structures of database for cement systems	4
4. Reference list of updated data	6
4.1 Soil data	6
4.2 Cement data	11
4.3 Other data	16
5. An example of using database	28
6. Summary	32
Acknowledgments	32
References	33

図目次

図 2-1	新旧固相グループ	2
図 2-2	従来の JAEA-SDB の操作方法	3
図 5-1	土壌系での Cs の K_d データのヒストグラム	28
図 5-2	土壌系での Cs の K_d データの pH 依存性	29
図 5-3	土壌系での Cs の K_d データのイオン強度依存性	30
図 5-4	土壌系での Cs の K_d データの Cs 初期濃度依存性	31

表目次

表 3-1	収着データベースのメインデータテーブル	5
-------	---------------------------	---

1. はじめに

放射性廃棄物地層処分の安全評価において、人工バリアである緩衝材（ベントナイト）や天然バリアである岩石中での核種の収着現象は、核種の移行遅延を支配する重要な現象である。このため、収着現象を定量的にあらわす分配係数（ K_d ）は安全評価上の重要パラメータであり、信頼性の高い実測データ等をベースに、様々な地質環境や地球化学条件、およびそれら不確実性等も考慮して、適切に設定することが重要となる。

このような観点から、日本原子力研究開発機構（以下、原子力機構）では、第2次取りまとめ（サイクル機構、1999）を契機として、緩衝材や岩石の収着分配係数の実測データを対象として国内外の幅広い文献情報を取りまとめ、分配係数データベース（澁谷ほか、1999）として整備するとともに、これらのデータベースに基づき、第2次取りまとめにおける分配係数の設定を行った（サイクル機構、1999；澁谷ほか、1999b；柴田ほか、1999）。第2次取りまとめ以降、以下に示すように、対象データの拡張や最新データの拡充を進めたほか、広く国内外の専門家が活用できるようホームページ(<http://migrationdb.jaea.go.jp>)での利用環境を整備するなど、様々な観点で収着データベース（JAEA-SDB）の更新・改良を段階的に進めてきた。

- 1) データの拡充（陶山・笹本、2004；斎藤ほか、2007；Tachi et al., 2011）
- 2) データの信頼度評価（Ochs et al., 2007; Saito et al., 2008; Ochs et al., 2010; Suyama et al., 2011, Tachi et al., 2011）
- 3) データ検索・分析機能拡充（舘ほか、2008；Tachi et al., 2011）
- 4) 実際の地質環境条件におけるパラメータ設定へのデータベース適用性（Ochs et al., 2008）

これら実測値をベースとしたアプローチに加え、収着メカニズム理解に基づく現象論的収着モデル/データベース開発が、幅広い環境条件下でのパラメータ設定及び不確実性評価を支援するアプローチとして、近年 OECD/NEA の収着プロジェクト（OECD/NEA, 2005）をはじめ、国際的にも精力的に進められている。原子力機構においても、現象論的収着モデル/データベースの開発を進めており（舘ほか、2010; Ochs et al., 2011; 原子力機構, 2011）、このモデル開発においても実測データが基礎となり、JAEA-SDB が重要な役割を担う。

本報告では、従来、放射性廃棄物、特に高レベル放射性廃棄物の地層処分を主たる対象としてデータ整備を行ってきた JAEA-SDB に対し、TRU 廃棄物を含む多様な低レベル放射性廃棄物の処分、さらには今般の福島第一原子力発電所の事故にも関連した表層環境中の核種移行評価への活用も念頭に、セメント材料系、土壌系の分配係数データを中心にデータの拡充を行った。セメント系と土壌系については既往のデータベース（武部ほか、2001a, b; 加藤ほか、2002）も活用しつつ、現状のデータベース構造に整合させつつ導入を図った。また、ベントナイト系、粘土鉱物系や岩石系など、従来より進めているパラメータ設定やモデル開発と関連する最新データの拡充もあわせて行った。

2. 固相分類の再構成

今回のデータベース更新において、土壌系およびセメント系固相を中心とした大幅なデータ拡充に伴って、従来の JAEA-SDB における固相分類を見直す必要がある。従来のデータベース（JAEA-SDB）では、8 つの固相グループに分類されていた(Basaltic rock, Bentonite(Clay minerals), Cementitious materials, Granitic rock, Mudstone(Sedimentary rock), Other minerals, Sandstone, Tuff)。セメント系は分類として設定されているが、土壌系固相は Mudstone(Sedimentary rock)に含まれていた。このため、まず、新たに「Soil」の固相グループを追加することとする。また、現象論的収着モデル開発（館ほか, 2010 ; Tachi et al., 2011 ; 原子力機構, 2011）において、各種粘土鉱物への収着モデルの開発とその岩石等への適用評価を進めており、それらの取り組みとの連携も関係も念頭に、現状 Bentonite(Clay minerals)として各種粘土鉱物も含有するグループを、「Bentonite(Smectite+Montmorillonite)」および「Clay minerals」の2つのグループに分割する。これら固相グループの変更を図 2-1 に、データベースのメイン画面を図 2-2 に示す。

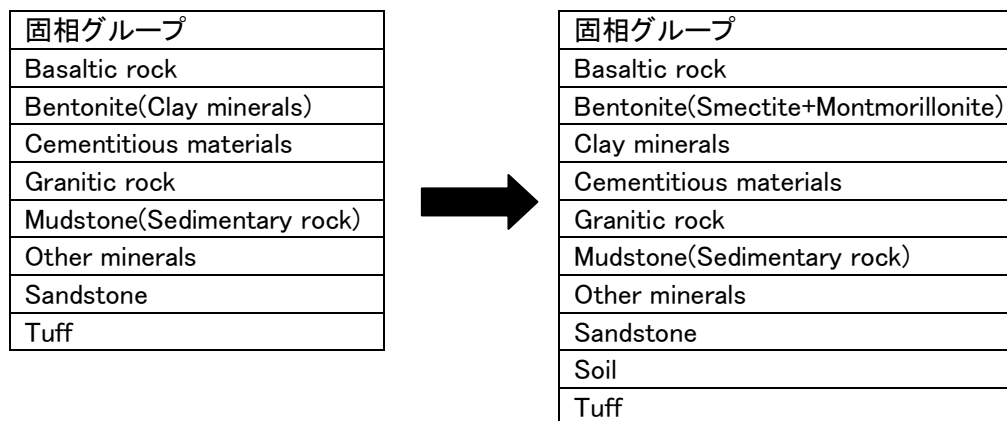


図 2-1 新旧固相グループ

独立行政法人
日本原子力研究開発機構
核種移行データベース
Nuclide Migration Database

収着データベース
Sorption Database

データ表示 クリア グラフ表示 English 終了

トップページ(検索画面)

■ 元素 ■

Gr-1

☐ Ac	☐ Am	☐ Bi	☐ Cm	☐ Cs	☐ Nb	☐ Ni	☐ Np	☐ Pa	☐ Pb	☐ Pd	☐ Po
☐ Pu	☐ Ra	☐ Sb	☐ Se	☐ Sm	☐ Sn	☐ Tc	☐ Th	☐ U	☐ Zr		

Gr-2

☐ Ag	☐ Ba	☐ Ca	☐ Ce	☐ Cl	☐ Co	☐ Eu	☐ Fe	☐ I	☐ Mn	☐ Mo	☐ Na
☐ Nd	☐ Ru	☐ Sr	☐ Zn								

操作①

■ 固相グループ ■

☐ Basaltic rocks	☐ Bentonite (Clay minerals)	☐ Cementitious materials	☐ Granitic rocks
☒ Mudstone (Sedimentary rocks)	☐ Other minerals	☐ Sandstone	☐ Tuff

■ 詳細検索条件設定 ■

固相

sediments
SHALE
shale
silt
soil

溶液種類

0.001N Na₂CO₃
0.001N Na₂SO₄
0.001N NaCl
0.001N NaHCO₃
0.005M Ca(NO₃)₂

操作②

pH		—	
Eh(mV)		—	
イオン強度(mol/L)		—	
温度(℃)		—	
液固比(mL/g)		—	
反応時間(日)		—	
初期濃度(mol/L)		—	

分離方法 ☐ 遠心分離 ☐ ろ過分離 ☐ 限外ろ過 ☐ 未ろ過 ☐ その他

雰囲気/酸化還元条件 ☐ 大気条件 ☐ 雰囲気制御条件 ☐ その他

図 2-2 従来の JAEA-SDB の操作方法

:①「固相グループ」の「Mudstone(Sedimentary rocks)」を選択する。②「詳細検索条件設定」の「固相」から「soil」を選択する。

3. 土壌およびセメントデータの特徴と整理

3.1 土壌系データの特徴と整理

土壌に対する放射性核種の分配係数としては、主に低レベル放射性廃棄物の浅地中処分の安全評価に資することを目的に、武部・阿部（2001a, 2001b）によるデータベースがある。土壌は、「地殻表面の岩石の分解によって生じた無機物が地表に堆積したもの。多くは種々の程度に腐敗、分解した動植物質を含む。粒子の大きさによって、礫、シルト、粘土に分類され、これらの混合した土壌は粘土鉱物の含有量によって更に分類される」（岩波・理化学辞典、第 5 版）とされている。これらの土壌の基本的分類に加え、産地や各種物理化学特性を含め、武部・阿部（2001a）に記載された情報を、表 3-1 に示す JAEA-SDB のメインテーブルの固相情報に記載する。また、土壌系の特徴として有機物に関する情報が含まれる場合には、液相情報の DOC（溶存有機物）や Note（備考）欄に記載する。あるいは境界の判断は困難であるが、参考とした文献に従うこととする。武部・阿部（2001a）には、バッチ法以外に、カラム法やフィールド法によって取得された K_d データも一部含まれている。従来 JAEA-SDB ではバッチ法で得られたデータを基本としていたが、ここでは、補足情報に手法を明示したうえで、バッチ法以外の手法で取得されたデータも取り込むこととした。なお、従来から土壌系データが数は少ないながらも JAEA-SDB に含まれており、それらは「Mudstone」の固相グループにおかれていた。また、砂（sand）のデータが「Sandstone」に分類されていたケースもある。これらは、今回新たに構築した「Soil」グループに分類する。

3.2 セメント系データの特徴と整理

セメント系材料への核種の分配係数としては、TRU 廃棄物処分において廃棄体や充填材、構造躯体等に使用されるセメント系材料への収着遅延を評価することを目的に、加藤ほか（2002）によって整備されたデータベースがある。セメントの種類、水／セメント比、混和材の種類および割合、細骨材および粗骨材の種類、養生方法、養生日数、養生温度、劣化処理の有無といった多種の材料特性が、収着分配係数に影響を及ぼすことが考えられる。そのため、既往の文献や上記データベースでも、この点に留意されており、これらの情報を JAEA-SDB のデータ構造（表 3-1）の固相情報の Note（備考）欄にできるだけ盛り込むこととした。収着データベースにこれらのパラメータを記載することは必要である。しかし、データベースのシステムを改良して新たに上記のパラメータ独自のカラムを組み込むことはしない。また、バッチ法による分配係数以外に、一部拡散法によって得られた K_d データが含まれるが、上記土壌系と同様に、補足情報に手法を明示したうえでデータベースに取り込むこととした。加藤ほか(2002)のデータベースには、溶解度の考慮、固液分離の妥当性、容器吸着の考慮、収着メカニズムの検討等、従来の JAEA-SDB の信頼度評価（例えば、館ほか（2008）の表 3-3 参照）として取り扱っている内容が含まれる。これらは、今後、信頼度評価として検討していくこととし、今回盛り込むことはしない。

表 3-1 収着データベースのメインデータテーブル

分類	項目		単位	内容
元素 情報	Save No.		-	管理番号
	Element		-	元素記号(基本検索条件)
	Redox		-	価数
固相 情報	Solid Phase Group		-	固相グループ(基本検索条件)
	Solid Phase		-	岩石, 粘土鉱物, 鉱物等の固相名称
	Additional Information	Specific Surface Area	m ² /g	比表面積
		CEC	meq/100g	陽イオン交換容量(Cation Exchange Capacity)
		Note	mm	固相粒径等の補足情報
		chemical/mineral composition	-	化学組成/鉱物組成(PDF 表示)
液固比 情報	Solution/Solid		mL/g	液固比
	Additional Information	Solution	mL	液相量
		Solid	g	固相量
液相 情報	water type		-	
	Additional Information	Ca	ppm	Ca 濃度
		Na	ppm	Na 濃度
		K	ppm	K 濃度
		Mg	ppm	Mg 濃度
		Cl	ppm	Cl 濃度
		HCO ₃	ppm	HCO ₃ 濃度
		SO ₄	ppm	SO ₄ 濃度
		F	ppm	F 濃度
		SiO ₂	ppm	SiO ₂ 濃度
		Fe	ppm	Fe 濃度
		NO ₃	ppm	NO ₃ 濃度
		ClO ₄	ppm	ClO ₄ 濃度
		ionic strength	mol/L	それぞれの溶存イオン濃度を計算して算出
		DOC	ppm	溶存有機物濃度
		note	-	備考
	pH init		-	初期 pH
	pH end		-	最終 pH
	Eh init		mV	初期 Eh
	Eh end		mV	最終 Eh
試験 条件 情報	atm/redox condition		-	試験雰囲気, 使用還元剤等
	C init		mol/L	核種初期濃度
	temp		°C	試験温度
	Contact time		day	試験期間
	Separation		-	固液分離方法
分配 係数 情報	Kd		m ³ /kg	分配係数
	Additional Information	error	m ³ /kg	誤差
		type of information	-	分配係数の形態及び算出方法
	replicates, n		-	試験繰返し数
文献に 関する 情報	Reference		-	データ出典文献
	Additional Information	Author	-	著者
		Year	-	文献年度
		Title	-	タイトル
		Journal	-	雑誌名
		Publisher	-	出版した組織
		Vol	-	巻
		No	-	ナンバー
		Page	-	頁
		Note	-	データベース内の項目に関する補足情報や, それ以外の文献情報。
その他	additional Information		-	分配係数測定に関わる補足的説明

4. 更新データの文献

今回のデータベース更新では、最初に記載した通り、大きく 3 つのカテゴリー：(1)土壌系，(2)セメント系，(3)その他（ベントナイト，粘土鉱物，岩石への最近のデータ，あるいはパラメータ設定やモデル化等において重要なデータ等）に分けられる。それぞれの概要，文献数とデータ数，更に対象とした文献リストを以下に示す。

4.1 土壌系データ

基本的に武部・阿部(2001a, 2000b)に含まれる文献，データを全て導入する。文献数は 93，データ数は約 4,600 である。

- Bachhuber, H., Bunzl, K. and Schimmack, W. : “Spatial Variability of the Distribution Coefficients of ^{137}Cs , ^{65}Zn , ^{85}Sr , ^{57}Co , ^{109}Cd , ^{141}Ce , ^{103}Ru , $^{95\text{m}}\text{Tc}$, and ^{131}I in a Cultivated Soil”, Nuclear Technology, p.72 (1986).
- Balogh, J.C. and Grigal, D.F. : “Soil Chromatographic Movement of Technetium-99 through Selected Minnesota Soils”, Soil Science, vol.130, pp.278-282 (1980).
- Bode, W. : “Investigations on Radionuclide Retardation at ASSE Salt Mine - R & D Program and First Results”, Proc.of the 2nd Inter.Conf.on Radioactive Waste Management, pp.121-130 (1986).
- Bors, J., Kuehn, W. and Martens, R. : “Studies on the Role of Natural and Anthropogenic Organic Substances in the Mobility of Radioiodine in Soils”, Radiochimica Acta, vol.44/45, pp.201-206 (1988).
- Bors, J., Erten, H.N. and Assemi, S. : “Studies of the Liquid-Solid Ratio Effect on the Distribution Ratio R_d in Sorption”, Abstracts of 18th International Symposium on the Scientific Basis for Nuclear Waste Management, Kyoto, pp.139-140 (1994).
- Brown, D.J. : “Migration Characteristics of Radionuclides Through Sediments Underlying the Hanford Reservation”, Disposal of Radioactive Wastes in the Ground, Proceedings of a Symposium, Vienna 29, May-2, June 1967, International Atomic Energy Agency, pp.215-228 (1967).
- Buckley, L.P., Arbique, G.M., Tosello, N.B. and Woods, B.L. : “Evaluation of Backfill Materials for a Shallow-Depth Repository”, Proc.of the 2nd Inter.Conf.on Radioactive Waste Management, pp.212-216 (1986).
- Bunzl, K. and Schultz, W. : “Distribution Coefficients of ^{137}Cs and ^{85}Sr by Mixtures of Clay and Humic Material”, J. Radioanal. Chem., Articles, 90/1, pp.23-37 (1985).
- Denham, D.H. : “Radiological Evaluations for Advanced Waste Management Studies”, BNWL-1764 (1974).
- Drndarski, N. and Golobočanin, D. : “Radionuclide Partitioning Coefficients in the Sava River Ecosystem”, J. Radioanal. Nucl. Chem., Letters 199, No.1, pp.21-26 (1995).
- Erten, H.N., Aksoyoglu, S., Hatipoglu, S. and Gokturk, H. : “Sorption of Cesium and Strontium on

- Montmorillonite and Kaolinite”, *Radiochimica Acta*, vol.44/45, pp.147-151 (1988).
- 福井正美, 桂山幸典: “飽和砂層内における Cs および Sr の吸着モデルに関する研究”, 土木学会論文報告集, vol.254, pp.37-48 (1976).
- 福井正美, 藤川陽子, 井岡達也, 木村雄一郎, 本田嘉秀, 桂山幸典: “沿岸海底土への放射性核種の分配および吸着挙動”, 日本原子力学会誌, vol.31, pp.1165-1175 (1989).
- 福井正美: “土壤中放射性ヨウ素の移行評価に Kd モデルは妥当か”, 「環境中微量物質の挙動パラメータ検討専門研究会」報告書, KURRI-KR-1, pp.37-40 (1995).
- Gillham, R.W., Cherry, J.A. and Lindsay, L.E. : “Cesium Distribution Coefficients in Unconsolidated Geological Materials”, *Health Phys.*, vol.39, pp.637-649 (1980).
- 五十嵐敏文, 馬原保典: “自然環境中の安定同位元素を用いた放射性核種分配係数測定法の提案”, 電力中央研究所報告, U95025 (1996).
- 五十嵐敏文, 河西基, 馬原保典: “バッチ試験およびカラム試験による砂の核種吸着特性”, 電力中央研究所報告, U87003 (1987).
- Igarashi, T., Mahara, Y., Ashikawa, N. and Okamura, M. : “Evaluation of Radioactive Strontium Distribution Coefficient by Analyzing Background Stable Strontium”, *J. Nucl. Sci. Technol.*, vol.35, pp.190-197 (1998).
- 五十嵐敏文, 馬原保典, 駒田広也: “自然環境中の安定核種による放射性核種分配係数推定法”, 電力中央研究所報告, U87063 (1988).
- 五十嵐敏文, 馬原保典, 河西基, 藤原靖, 今村聡, 下茂道人: “不飽和ローム層中の物質移行に関するフィールド試験 (II) 自然降雨条件下の吸着性トレーサの降下浸透特性”, 日本原子力学会誌, vol.33, No.2, pp.180-193 (1991).
- 五十嵐敏文, 馬原保典, 岡村正紀, 芦川信雄: “放射性ストロンチウムの分配係数と自然環境中の安定ストロンチウムの固液相濃度分布比との関係”, *Radioisotopes*, vol.41, pp.350-356 (1992).
- Inoue, Y. and Morisawa, S. : “On the Selection of a Ground Disposal Site for Radioactive Waste: An Approach to Its Safety Evaluation”, *Health Phys.*, vol.26, pp.53-63 (1974).
- 井上頼輝, 森澤眞輔, 馬原保典: “通気層における放射性核種の移動(I) パーコレートする液に含まれる核種の移動”, 日本原子力学会誌, vol.17, No.7, pp.376-384 (1975).
- 井上頼輝, 森澤眞輔: “帯水層における放射性核種の移動(I) 模型地層による実験的検討”, 日本原子力学会誌, vol.18, No.1, pp.42-50 (1976).
- 井上頼輝, 森澤眞輔, 宮武法善: “非イオン状 Y-90 の地中移動”, 日本原子力学会誌, vol.18, No.7, pp.445-451 (1976).
- Ito, K. and Kanno, T. : “Sorption Behavior of Carrier-Free Technetium-95m on Minerals, Rocks and Backfill Materials under both Oxidizing and Reducing Conditions”, *Journal of Nuclear Science and Technology*, vol.25, No.6, pp.534-539 (1988).
- 日本原子力研究所: “低レベル放射性廃棄物陸地処分安全性実証試験「人工バリア安全性実証試験」報告書”, 「人工バリア安全性実証試験」報告書, 日本原子力研究所 (1989).
- 日本原子力研究所: “平成4年度低レベル放射性廃棄物処分技術開発報告書”, 平成4年度低レベル放射性廃棄物処分技術開発報告書, 日本原子力研究所 (1993).
- 日本原子力研究所: “平成7年度天然バリア安全性実証試験 (PhaseII) 報告書”, 平成7年度天然バリア安全性実証試験 (PhaseII) 報告書, 日本原子力研究所 (1995).

- Johnston, H.M., Gillham, R.W. and Cherry, J.A. : “Distribution Coefficients for Strontium and Cesium in Overburden at a Storage Area for Low-Level Radioactive Waste”, *Can. Geotech. J.*, vol.22, pp.6-16 (1985).
- 神山秀雄, 山本忠利, 下岡謙司, 武部慎一, 小川弘道, 田中忠夫, 向井雅之, 古宮友和, 李書伸, 王志, 郭擇德, 李禎堂, 趙英杰, 李盛芳: “放射性各種野外移行試験一日中協力研究”, *JAERI-Research 94-009* (1994).
- Klotz, D. and Oliv, F. : “Eine einfache Methode zur Bestimmung der Verteilungskoeffizienten von Radionukliden im Grundwasser”, *Gwf-Wasser/Abwasser*, vol.124, No.3, pp.139-141 (1983).
- Lima, M.F. and Mazzilli, B.P. : “Determination of the Distribution Coefficients for ^{134}Cs , ^{60}Co and ^{234}Th in the Pinheiros River Sediment-Water”, *J. Radioanal. Chem., Articles*, 177/1, pp.139-147 (1994).
- 馬原保典, 渡部直人: “フオールアウト (放射性降下物) を利用したプルトニウムの地中移動速度の検討”, *電力中央研究所報告*, 382024 (1982).
- 馬原保典: “放射性廃棄物の浅層陸地処分のための基礎的研究 — 浅層地中での放射性核種移動に関する検討—”(1988).
- Means, J.L., Crerar, D.A. and Duguid, J.O. : “Migration of Radioactive Waste: Radionuclide Mobilization by Complexing Agents”, *Science*, vol.200, No.30, pp.1477-1481 (1978).
- Meier, H., Zimmerhackl, E., Hecker, W., Zeitler, G. and Menge, P. : “Measurement of Diffusion of Radionuclides in Sediment Rocks”, *Radiochimica Acta*, vol.44/45, pp.239-244 (1988).
- 森澤真輔: “放射性廃棄物地中処分場の立地選定(IV) 多核種が共存する場合の放射性核種地中移動”, *日本原子力学会誌*, vol.15, No.7, pp.503-508 (1973).
- 小川弘道, 長尾誠也, 妹尾宗明: “六ヶ所土壌における無機形 ^{14}C の分配係数の測定”, *日本原子力研究所, 技術資料, JAERI-Research 96-004* (1996).
- 大貫敏彦, 和達嘉樹: “砂層中における Cs-137 の移動 移動に及ぼす土壌微細粒子の影響”, *日本原子力学会誌*, vol.25, pp.486-493 (1983).
- Ohnuki, T., Tanaka, T., Ogawa, H. and Yamaoto, T. : “Retardation Factor of a Radionuclide for Undisturbed and Disturbed Sandy Soil”, *J. Nucl. Tech.*, vol.88, No.1, pp.55-63 (1989).
- 大貫敏彦: “セシウムの砂質土壌及び土壌成分への吸着挙動”, *日本原子力学会「1993 年秋の大会」予稿集*, p.655 (1993).
- 大塚芳郎, 山本忠利, 武部慎一, 和達嘉樹: “海岸砂層地域およびローム層地域の帯水層試料を用いた放射性核種移動試験”, *日本原子力学会誌*, vol.31, pp.1377-1382 (1989).
- Ohtsuka, Y. and Takebe, S. : “Migration Behavior of Radionuclides (^{60}Co , ^{85}Sr and ^{137}Cs) in Aerated Sandy Soil Layer — Difference of Migration Behavior and Desorption Process for Radionuclides”, *J. Nucl. Sci. Technol.*, vol.27, pp.750-755 (1990).
- 岡島幸雄: “数種土壌の埋め戻し材としての特性”, *陸地処分の工学バリア, RWM-87009*, pp.116-127 (1987).
- Pickens, J.F., Jackson, R.E., Inch, K.J. and Merritt, W.F. : “Measurement of Distribution Coefficients Using a Radial Injection Dual-Tracer Test”, *Water Resources Research*, vol.17, No.3, pp.529-544 (1981).
- Rancon, D. : “Comparative Study of Radioactive Iodine Behavior in Soils under Various Experimental and Natural Conditions”, *Radiochimica Acta*, vol.44/45, pp.187-193 (1988).

- Reynolds, W.D., Gillham, R.W. and Cherry, J.A. : “Evaluation of Distribution Coefficients for the Prediction of Strontium and Cesium Migration in a Uniform Sand”, Can. Geotech. J., vol.19, No.1, pp.139-141 (1982).
- Routson, R.C., Barney, G.S. and Seil, R.O. : “Measurement of Fission Product Sorption Parameters for Hanford 200 Area Sediment Types”, RHO-LD-73 (1978).
- 坂本義昭, 小西正郎, 白橋浩一, 妹尾宗明, 森山昇 : “Np の土壌及びベントナイトへの吸着挙動”, 日本原子力学会「昭 63 年会」予稿集, p.46 (1988).
- 颯田尚哉 : “野外不飽和土壌中における元素挙動と分配比の評価”, 平成 9 年度～平成 10 年度科学研究費補助金奨励研究(A) 研究成果報告書 (1999).
- Sazarashi, M. : “A Study on Adsorption of I- Ions on Natural Minerals for Geologic Disposal of 129I Wastes”, Abstracts of 18th International Symposium on the Scientific Basis for Nuclear Waste Management, Kyoto, pp.143-144 (1994).
- 九石正美, 池田泰久, 熊谷幹郎, 関李紀, 吉川英樹 : “天然鉍物及び人工吸着材へのヨウ素吸着現象”, 放射性廃棄物研究, vol.1, No.1, pp.99-105 (1994).
- 九石正美, 池田泰久, 熊谷幹郎, 林孔華, 川上泰 : “易溶性核種の挙動及びアスファルトの微生物分解挙動に関する研究”, 動力炉・核燃料開発事業団 委託研究成果報告書 産業創造研究所, PNC TJ1564 96-001 (1996).
- 妹尾宗明 : 私信, 日本原子力研究所 (1988).
- Sheppard, J.C. : “Determination of Distribution Ratios and Diffusion Coefficients of Neptunium, Americium and Curium in Soil-Aquatic Environments”, RLO-2221-T-12-2 (1976).
- Sheppard, M.I., Thibault, D.H. and Mitchell, J.H. : “Element Leaching and Capillary Rise in Sandy Soil Cores: Experimental Results”, J. Environmental Quality, vol.16, No.3, pp.273-284 (1987).
- Sheppard, S.C. and Evenden, W.G. : “The Assumption of Linearity in Soil and Plant Concentration Ratios: An Experimental Evaluation”, J. Environ. Radioactivity, vol.7, pp.221-247 (1988).
- 白橋浩一, 妹尾宗明, 森山昇 : “²⁴¹Am の砂への吸着挙動”, 日本原子力学会「昭和 62 年秋の大会」予稿集(第 2 分冊), p.227 (1987).
- Swanson, J.L. : “Effect of Organic Complexants on the Mobility of Low-Level Waste Radionuclides in Soils: Status Report”, PNL-3927 (1981).
- 高橋知之, 武部慎一, 木村英雄, 松鶴秀夫, 保田浩志, 内田滋夫, 佐伯明義, 馬場保典, 佐々木規行, 芦川信雄, 小崎完, 矢島達哉, 西高志, 大野拓郎, 豊原尚実, 本山光志 : “分配係数の相互比較実験－実験者による測定値の差異に関する検討－, 原子力研究所, 技術資料, JAERI-Research 97-089 (1997).
- 武部慎一, 山本忠利 : “通気砂層中における放射性核種の挙動－共存イオンおよびシルトの影響－”, Radioisotopes, vol.35, No.2, pp.70-76 (1986).
- 武部慎一, 山本忠利 : “⁶⁰Co の砂質土壌への吸着に関する研究”, Radioisotopes, vol.37, pp.681-684 (1988).
- 武部慎一 : 私信, 日本原子力研究所 (1992).
- Takebe, S. and Deying, X. : “Studies on Sorption Behavior of Technetium in Soils”, JAERI-Research 95-024 (1995).
- 武部慎一, 高橋知之, 木村英雄, 松鶴秀夫, 保田浩志, 内田滋夫, 馬場保典, 佐伯明義, 佐々木規行, 矢島達哉, 芦川信雄 : “分配係数の比較測定実験(4); 変動要因の検討－II”,

- 日本原子力学会「1997年春の年会」予稿集, p.551 (1997).
- 田中知, 長崎晋也, 鈴木篤之, 山口貴行, 津島悟, 山口憲司, 森山裕丈: “TRU 元素の地下環境移行挙動(3)”, UTNL-R, 東京大学, vol.371, pp.64-65 (1998).
- 田中忠夫, 山本忠利: “分配係数の土壌粒土依存性に及ぼす土壌物性の影響”, 日本原子力学会誌, vol.30, No.10, pp.933-941 (1988).
- 田中忠夫: 私信, 日本原子力研究所 (1991).
- 田中忠夫: 私信, 日本原子力研究所 (1994).
- Tanaka, T. and Ohnuki, T.: “Influence of Soil/Solution Ratio on Adsorption Behavior of Cesium on Soils”, *Geochem. J.*, vol.28, pp.369-376 (1994).
- 田中忠夫, 山本忠利: “不連続な水の流れの条件下における ^{85}Sr の移行挙動”, *Radioisotopes*, vol.43, pp.389-396 (1994).
- Tanaka, T. and Senoo, M.: “Sorption of ^{60}Co , ^{85}Sr , ^{137}Cs , ^{237}Np and ^{241}Am on Soil under Coexistence of Humic Acid; Effects of Molecular Size of Humic Acid”, *Mat. Res. Soc. Symp. Proc.*, p.353 (1995).
- 田中忠夫, 山本忠利: “地層中移行試験に用いる放射性核種供給源構成素材の核種吸着・脱離特性”, 日本原子力学会誌, vol.37, No.1, pp.51-58 (1995).
- 田中忠夫: “フミン酸共存下における土壌に対する ^{60}Co , ^{85}Sr および ^{241}Am の分配係数の評価”, *Radioisotopes*, vol.45, pp.293-302 (1996).
- Tanaka, T., Nagao, S., Sakamoto, Y., Ohnuki, T., Ni, S. and Senoo M.: “Distribution Coefficient in the Sorption of Radionuclides onto Ando Soil in the Presence of Humic Acid - Influence of the Molecular Size of Humic Acid -”, *J. Nucl. Sci. Technol.*, vol.34, pp.829-834 (1997).
- 筒井天尊, 西牧 研壮: “放射性核種の土砂への分配に関する基礎的研究; 放射性陽イオンの交換吸着体への分配係数におよぼす共存 Ca^{2+} と Mg^{2+} との影響”, KURRI-TR, p.151 (1977).
- 内田滋夫, 福井正美, 桂山幸典: “海底砂層内における ^{137}Cs の拡散挙動に関する研究—非可逆吸着モデルの適応—”, 保険物理, vol.15, pp.157-166 (1980).
- 内田滋夫, 鎌田博: “ストロンチウムの成層通気層土壌への吸着に関する研究”, 保険物理, vol.22, pp.179-187 (1987).
- 渡部輝久: “分配係数を用いる数学的方法 —分配係数法—”, 放医研環境セミナーシリーズ No.13, NIRS-M-65, pp.61-68 (1987).
- Winkler, A., Bruehl, H., Trapp, C. and Bock, W.D.: “Mobility of Technetium in Various Rocks and Defined Combinations of Natural Minerals”, *Radiochimica Acta*, vol.44/45, pp.183-186 (1988).
- 山本忠利, 武部慎一, 和達嘉樹: “通気砂層中における放射性核種の挙動 —担体濃度の影響—”, 保険物理, vol.17, No.1, pp.3-9 (1982).
- 山本忠利, 大塚芳郎, 小川弘道, 和達嘉樹: “未攪乱通気層土壌試料を用いた放射性核種移動試験”, 日本原子力学会誌, vol.30, No.10, pp.942-949 (1988).
- 山本忠利: 私信, 日本原子力研究所 (1989).
- Yamamoto, K., Yanagi, T., Senoo, M. and Sakamoto, Y.: “Sorption Behavior of Neptunium(V) Ion on Clay Sorbent”, *J. Nucl. Sci. Technol.*, vol.27, No.7, pp.626-630 (1990).
- Yamamoto, T., Takebe, S. and Ogawa, H.: “Large Column Test for Radionuclide Migration in Soil Layer”, *The Third International Symposium on Advanced Nuclear Energy Research—Global Environment and Nuclear Energy—*, vol.462, pp.420-425 (1991).

- 保田浩志, 井上頼輝, 森澤眞輔, 堀内将人, 西谷英樹 : “土壌-植物系における亜鉛の挙動に関する基礎的研究(I)”, 保険物理, vol.27, pp.123-134 (1992).
- 保田浩志, 内田滋夫 : “ストロンチウム分配係数の推定手法に関する統計的考察”, 日本原子力学会「1993 年秋の大会」予稿集, p.657 (1993).
- Yasuda, H. : “Sorption of Manganese, Cobalt, Zinc, Strontium, and Cesium onto Agricultural Soils : Statistical Analysis on Effects of Soil Properties”, Water, Air, Soil Pollution, vol.83, pp.85-96 (1995).
- Yasuda, H. : “Distribution Coefficients of Platinum Group Metals between Soil Solids and Liquid Phases”, Environmental Technology, vol.17, pp.1151-1154 (1996).
- Yoshida, S. : “Studies on the Sorption of I^- (Iodide) and IO_3^- (Iodate) onto Andsols”, Water, Air, and Soil Pollution, vol.63, pp.321-329 (1992).
- (財)原子力環境整備センター, 東芝, 日揮, 日立製作所, 三菱マテリアル, 三菱重工 : “天然バリア安全性実証試験報告書 平成 2 年度”, 天然バリア安全性実証試験報告書 平成 2 年度, 原子力環境整備センター (1991).
- (財)原子力環境整備センター : “ウラン廃棄物処理処分システム開発調査報告書”, (1997).

4.2 セメント系データ

加藤ほか(2002)に含まれる文献, データに加え, 武部・阿部(2001a, 2000b)に含まれる文献・データのうちセメント系に該当するデータ, さらに, 以降の最新データを含め, 今回導入する文献数は 76, データ数は約 3,000 である。

- Aggarwal, S., Angus, M.J. and Tyson, A. : “Phase characterization of cementitious components of a waste repository and the potential of individual phases for sorption of radioisotopes”, Waste Processing, Transportation, Storage and Disposal, Technical Programs and Public Education, vol. 2, pp.399-406(1990).
- Allard, B., Torstenfelt, B. and Andersson, K. : “Sorption studies of $H^{14}CO_3^-$ on some geologic media and concrete”, Scientific basis for nuclear waste management, vol.3, pp.465-472 (1981).
- Atkins, M., Glaster, F.P. and Jack, J.J. : “Zeolite P in cements: Its potential for immobilizing toxic and radioactive waste species”, Waste Management, vol.15, No.2, pp.127-135 (1995).
- Baker, S., McCrohon, R., Oliver, P. and Pilkington, N.J. : “The sorption of niobium, tin, Iodine and chlorine onto Nirex reference vault backfill”, Mat. Res. Soc. Symp. Proc., vol.333, pp.719-724 (1994).
- Bayliss, S., Ewart, F.T., Howse, R.M., Smith-Briggs, J.L., Thomason, H.P. and Willmot, H.A. : “The solubility and sorption of lead-210 and carbon-14 in a near-field environment”, Mat. Res. Soc. Symp. Proc., vol.112, pp.33-42 (1988).
- Bayliss, S., Ewart, F.T., Howse, R.M., Lane, S.A., Pilkington, N.J., Smith-Briggs, J.L. and Williams, S.J. : “The solubility and sorption of radium and tin in a cementitious near-field environment”, Mat. Res. Soc. Symp. Proc., vol.127, pp.879-886 (1989).
- Berry, J.A., Hobbey, J., Lane, S.A., Littleboy, A.K., Nash, M.J., Oliver, P., Smith-Briggs, J.L. and

- Williams, S.J. : “Solubility and sorption of protactinium in the near-field and far-field environments of a radioactive waste repository”, *Analyst* (Mar 1989), Vol.114(3), pp.397-347, 1989 / UK Nirex Ltd Report NSS/R122,1988 (1989).
- Brew, D.M.R. and Glasser, F.P. : “The magnesia-silica gel phase in slag cements: alkali (K, Cs) sorption potential of synthetic gels”, *Cement and Concrete Research*, vol.35, pp.77-83 (2005).
- Brown, P.L., Haworth, A., McCrohon, R., Sharland, S.M. and Tweed, C.J. : “Modelling and experimental studies of sorption in the near field of a cementitious repository”, *Mat. Res. Soc. Symp. Proc.*, vol.176, pp.591-598 (1990).
- Brownsword, M., Buchan, A.B., Ewart, F.T., McCrohon, R., Omerod, G.J., Smith-Briggs, J.L. and Thomason, H.P. : “The solubility and sorption of uranium(VI) in a cementitious repository”, *Mat. Res. Soc. Symp. Proc.*, vol.176, pp.577-582 (1989).
- Cooper, M.J. : “The nirex safety assessment research programme:Annual report for 1987/88”, NSS/R133, HARWELL (1988).
- Cowper, M.M., Baker, S., Chambers, A.V., Heath, T.G., Mihara, M. and Williams, S.J. : “The Sorption of Thorium and Americium onto Fresh and Degraded Ordinary Portland Cement and onto Green Tuff”, *Mat. Res. Soc. Symp. Proc.*, vol.932, pp.925-932 (2006).
- Ewart, F.T., Terry, S. and Williams, S.J. : “Near field sorption data for caesium and strontium”, UAKEA Report AERE-M-3452, HARWELL (1985).
- Ewart, F.T. and Tasker, P.W. : “Chemical effects in the near-field”, *Waste Management '87*, Plenum Press, vol.3, pp.71-78 (1987).
- Ewart, F.T. and McCrohon, R. : “Mechanisms of sorption in the near field”, AERE-R-13800; AEA-DIR-0013., HARWELL (1990).
- 藤原愛, 妹尾宗明, 田島孝敏, 斉藤裕司, 芦川信雄, 松岡信明 : “放射性核種の変質モルタルに対する分配係数の測定”, *日本原子力学会 1997 秋の大会要旨集*, No.12, p.644 (1997).
- 藤原啓司, 斉藤典之, 金子昌章, 豊原尚実, 三塚哲正, 富田文夫, 池永信之 : “放射性ヨウ素を含む廃棄物(7)セメント固化—セメント系材料による放射性ヨウ素の固化技術—”, *原子力バックエンド研究*, vol.6, No.1, pp.75-78 (1999).
- Gardiner, M. P. , Smith, A. J. and Williams, S. J. : “Sorption on inactive repository components”, AEA-D&R-0054,DOE/HMIP/RR/90/084 (1990).
- Gaudie, S.C., Greenfield, B.F., Spindler, M.W. and Wilkins, J.D. : “The influence of organic waste materials on the near-field source term”, *Radiochimica Acta*, vol.44/45 (pt.2), pp.251-254 (1988).
- Hietanen, R., Kaemaeraeinen, E.-L. and Alaluusua, M. : “Sorption of strontium, cesium, nickel, iodine and carbon in concrete”, *YJT-84-04* (1984).
- Hietanen, R. , Jaakkola, T. and Mietinen, J. K. : “Sorption of cesium, strontium, iodine and carbon in concrete and sand”, *Mat. Res. Soc. Symp. Proc.*, vol.44, pp.891-898 (1984).
- Holgersson, S., Albinsson, Y., Allard, B., Boren, H., Pavasars, I. and Engkvist, I. : “Effects of gluco-isosaccharinate on Cs, Ni, Pm, and Th sorption onto, and diffusion into cement”, *Radiochimica Acta*, vol.82, pp.393-398 (1998).
- Holland, T.R. and Lee, D.J. : “Radionuclide getters in cement”, *Cement and Concrete Research*, vol.22, pp.247-258 (1992).

- Idemitsu, K., Furuya, H., Tsutsumi, R., Yonezawa, S., Inagaki, Y. and Sato, S. : “Migration of cesium, strontium and cobalt in water-saturated concrete”, *Mat. Res. Soc. Symp. Proc.*, vol.212, pp.427-432 (1991).
- Iwaida, T., Nagasaki, S. and Tanaka, S. : “Sorption study of strontium onto hydrated cement phases using a sequential desorption method”, *Radiochimica Acta*, vol.88, pp.483-486 (2000).
- Iwaida, T., Yano, K., Tanaka, S. and Nagasaki, S. : “Synthesis and characterization of sulfate-iodate ettringite; and their potential role in immobilization of I-129”, *原子力バックエンド研究*, vol.7, No.1, pp.57-63 (2001).
- Jakob, A., Sarott, F.-A. and Spieler, P. : “Diffusion and sorption on hardened cement pastes - experiments and modelling results”, *PSI Bericht Nr. 99-05*, 193p. (1999).
- Jakubick, A.T., Gillham, R.W., Kahl, I. and Robin, M. : “Attenuation of Pu, Am, Cs, and Sr mobility in concrete”, *Mat. Res. Soc. Symp. Proc.*, vol.84, pp.355-368 (1987).
- Jiang, L., Huang, Y. and Liu, Y. : “Study of nuclide migration of fission products:Pt.1.Sorption of iodine on concrete”, *Journal of Nuclear and Radiochemistry*, vol.15, No.1, pp.40-45 (1993).
- Johnston, H.M. and Wilmot, D.J. : “Sorption and diffusion studies in cementitious grouts”, *Waste Management*, Pergamon Press,Ltd, vol.12, pp.289-297 (1992).
- Kaneko, S., Tanabe, H., Sasoh, M., Takahashi, R., Shibano, T. and Tateyama, S. : “A study on the chemical forms and migration behavior of carbon-14 leached from the simulated hull waste in the underground condition”, *Mat. Res. Soc. Symp. Proc.*, vol.757, pp.621-626 (2003).
- 柏木誠, 本山光志, 田部井健 : “模擬コンクリート材料での分配係数測定方法の検討(I)”, *日本原子力学会 1997 年春の年会予稿集*, p.583 (1997).
- 加藤正平, 梁瀬芳晃 : “海岸土壌及びコンクリート粉に対するコンクリート廃棄物中放射性核種の分配係数”, *JAERI-M 93-113*, JAERI (1993).
- 加藤大生, 嶺達也, 三原守弘, 大井貴夫, 本田明 : “セメント系材料に対する核種の収着データベースの整備”, *核燃料サイクル開発機構, 技術資料, JNC TN8400 2001-029*, JNC (2002).
- Komarneni, S. and Roy, D.M. : “Hydrothermal interaction of cement or mortar with zeolites or monmorillonites”, *Mat. Res. Soc. Symp. Proc.*, vol.15, pp.55-62 (1983).
- Mace, N., Landesman, C., Pointeau, I., Grambow, B. and Giffaut, E. : “Characterisation of thermally altered cement pastes. Influence on selenite sorption”, *Advances in Cement Research*, vol.19, No.4, pp.157-165 (2007).
- 前田敏克, 田中忠夫, 向井雅之, 小川弘道, 山口徹治, 宗像雅広, 松本潤子, 香西直文, 馬場恒孝, Fan, Z., Cui, A., Gu, C., Zhao, Y. and Sun, Q. : “TRU 核種に関する野外核種移行試験、(II) 通気層土壌中に埋設した人工バリア材における核種移行試験”, *日本原子力学会和文論文誌*, vol.2, No.3, pp.336-341 (2003).
- 松本潤子, 馬場恒孝, 村岡進 : “ ^{14}C のモルタルへの吸着 : ”, *日本原子力学会「1993 秋の大会」予稿集*, p.659 (1993).
- Matsumoto, J. : “Adsorption of Carbon-14 on Mortar”, *Abstracts of 18th International Symposium on the Scientific Basis for Nuclear Waste Management*, Kyoto, pp.141-142 (1994).
- Matsumoto, J., Banba, T. and Muraoka, S. : “Adsorption of carbon-14 on mortar”, *Mat. Res. Soc. Symp. Proc.*, vol.353 (1995).

- Metz, V., Luetzenkirchen, J., Vejmelka, P. and Kienzler, B. : “Np sorption onto cement and $\text{Mg}(\text{OH})_2$ - MgCl_2 -based backfill material in altered Q-brine”, FZKA-6986, pp.101-108 (2004).
- 嶺達也, 三原守弘, 伊藤勝, 加藤大生 : “種々のセメント系材料に対するヨウ素、セシウムの吸着試験”, 動力炉・核燃料開発事業団, 技術資料, PNC TN8410 97-258 (1997).
- 嶺達也, 三原守弘, 加藤大生, 伊藤勝 : “種々のセメントペーストに対する I、Cs の吸着試験”, 日本原子力学会「1997 春の大会」要旨集, p.581 (1997).
- 望月光雄, 下岡謙司, 村岡進 : “Cs、Co の分配係数に与えるコンクリートの影響”, 日本原子力学会「1991 秋の大会」要旨集, No.J21, p.569 (1991).
- 望月光雄 : 私信, 日本原子力研究所 (2005).
- 村瀬拓也, 藤原啓司, 金子昌章, 豊原尚実, 和田幹雄 : “セメントによる放射性ヨウ素の固定化(II)”, 日本原子力学会「1997 春の大会」要旨集, p.578 (1997).
- 中西潔, 塚本政樹, 藤田智成, 杉山大輔 : “セメント系材料への鉛吸着データの取得とその予測手法”, 電力中央研究所報告, No.T01048, pp.1-4 (2002).
- Nishi, T., Noshita, K., Matsuda, M. and Kikuchi, M. : “Effects of Cellulosic Materials on Distribution Coefficients of ^{60}Co and ^{241}Am in Cement”, J. Nucl. Sci. Technol., vol.31, No.2, pp.169-170 (1994).
- Noshita, K., Nishi, T., Matsuda, M. and Izumi, T. : “Sorption mechanism of carbon-14 by hardened cement paste”, Mat. Res. Soc. Symp. Proc., vol.412, pp.435-442 (1996).
- 野下健司, 西高志, 松田将省 : “セメント系材料による放射性核種の収着”, 放射性廃棄物研究, vol.3, No.2, pp.63-70 (1997).
- Noshita, K., Nishi, T., Yoshida, T., Fujihara, H., Saito, N. and Tanaka, S. : “Categorization of cement hydrates by radionuclide sorption mechanism”, Mat. Res. Soc. Symp. Proc., vol.663, pp.115-121 (2001).
- Ochs, M., Lothenbach, B. and Giffaut, E. : “Uptake of oxo-anions by cements through solid-solution formation: Experimental evidence and modeling”, Radiochimica Acta, vol.90, pp.639-646 (2002).
- Pilkington, N.J. and Stone, N.S. : “The solubility and sorption of nickel and niobium under high pH conditions”, NSS/R-186 (1990).
- Pryke, D.C., Ree, J.H. and Streeton, R.J.W. : “Determination of the solubilities and degrees of sorption of uranium, plutonium, americium and neptunium under near-field conditions for disposal”, AERE-R 11391, HARWELL (1984).
- Rudin, M.J., Johnson, W.H. and Steinberg, S.M. : “Sorption/desorption of cesium in sulfate-resistant Portland cements”, Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry, vol.264, No.2, pp.501-504 (2005).
- Sarott, F.A., Bradbury, M.H., Pandolfo, P. and Spieler, P. : “Diffusion and adsorption studies on hardened cement paste and the effect of carbonation on diffusion rates”, Cement and Concrete Research, vol.22, pp.439-444 (1992).
- Sasaki, T., Idemitsu, K., Furuya, H., Inagaki, Y. and Arima, T. : “Sorption behavior of cesium in a concrete or mortar”, 1996 SERNIA Symposium on Environmental Radioactive Nuclides Impact in Asia, pp.27-32 (1996).
- 佐伯明義, 廣永道彦 : “エチレンジアミン四酢酸と結合したコバルトのセメントとロームへ

- の吸着特性”，電力中央研究所報告，No.U00031, pp.1-4 (2001).
- Shimooka, K., Takebe, S., Li, H., Hirose, F., Yamada, K. and Miyahara, H. : “Performance Experiment of LLRW Disposal Concrete Vault — Migration Behavior of Radionuclides in Backfill and Concrete”, Low and Intermediate Level Radioactive Waste Management, ASME, vol.1, pp.581-586 (1989).
- Sugiyama, D. and Fujita, T. : “Sorption of radionuclides onto cement materials altered by hydrothermal reaction”, Mat. Res. Soc. Symp. Proc., vol.556, pp.1123-1130 (1999).
- 杉山大輔, 藤田智成, 中西潔, Berry, J. A. and Williams, S. J. : “セメント水和物へのアクチニド元素収着挙動の実験的検討—溶解によるセメント水和物変質の影響—”, 電力中央研究所報告, No.U99045, pp.1-4 (2000).
- 杉山大輔, 藤田智成, Berry, J. A. and Williams, S. J. : “収着基礎データに基づくセメント水和物への核種収着機構のモデル解析”, 電力中央研究所報告, No.T02025, pp.1-4 (2003).
- 杉山大輔, 藤田智成 : “海水系地下水におけるカルシウムシリケート水和物の化学的変質—ナトリウムの収着機構とカルシウム溶脱への影響—”, 電力中央研究所報告, No.T03056, pp.1-4 (2004).
- Sugiyama, D., Chida, T. and Cowper, M. : “Laser ablation microprobe inductively coupled plasma mass spectrometry study on diffusion of uranium into cement materials”, Radiochimica Acta, vol.96, No.9-11, pp.747-752 (2008).
- 須黒寿康, 能登屋信, 西川義朗, 中村亮将, 黒羽光彦, 澁谷朝紀, 亀井玄人, 山田一夫 : “還元環境、硝酸塩存在下における Pu のセメント材料に対する収着データ”, 核燃料サイクル開発機構, 技術資料, JNC TN8430 2004-004 (2005).
- 田中知 : “原子力固液界面プロジェクト：不均質場吸着理論の体系化と放射性廃棄物処分への適用”, 原子力研究所, 技術資料, JAERI-Tech 2002-016, pp.1-10 (2002).
- 武部慎一, 下岡謙司, 藤本譲, 和達嘉樹 : “セメントモルタル中の ^{137}Cs の拡散に関する研究”, 原子力研究所, 技術資料, JAERI-M-89-211 (1989).
- 武部慎一, 小西正郎, 小川弘道 : “セメント系材料への Cl-36 の吸着挙動”, 日本原子力学会「1999 年秋の大会」予稿集 p.764 (1999).
- Toyohara, M., Kaneko, M., Ueda, H., Mitsutsuka, N., Fujihara, H., Murase, T. and Saito, N. : “Iodine sorption onto mixed solid alumina cement and calcium compounds”, Journal of Nuclear Science and Technology, vol.37, No.11, pp.970-978 (2000).
- Wieland, E., Tits, J. and Bradbury, M.H. : “The potential effect of cementitious colloids on radionuclide mobilisation in a repository for radioactive waste”, Applied Geochemistry, vol.19, pp.119-135 (2004).
- Wieland, E., Tits, J., Ulrich, A. and Bradbury, M.H. : “Experimental evidence for solubility limitation of the aqueous Ni(II) concentration and isotopic exchange of ^{63}Ni in cementitious systems”, Radiochimica Acta, vol.94, pp.29-36 (2006).
- Wierczinski, B., Helfer, S., Ochs, M. and Skarnemark, G. : “Solubility measurements and sorption studies of thorium in cement pore water”, Journal of Alloys and Compounds, 271-273, pp.272-276 (1998).
- 山口貴行, 米山俊明, 田中知 : “セメント構成成分への Sr の吸着と表面の電氣的状態について”, 日本原子力学会「1997 年春の年会」予稿集, p.582 (1997).

山崎克男, 阿久澤尚久, 大浦広貴, 大脇英司, 新藤竹文, 平山聡, 海老根三十治, 木戸好浩: “東海発電所蒸発固化廃棄物の埋設処分適合性評価”, 日本原子力学会「2003 春の年会」要旨集, No.O23 (2003).

Zhao, P., Allen, P.G., Sylwester, E.R. and Viani, B.E. : “The partitioning of uranium and neptunium onto hydrothermally altered concrete”, *Radiochimica Acta*, vol.88, pp.729-736 (2000).

(財)原子力環境整備センター, 東芝, 日揮, 日立製作所, 三菱マテリアル, 三菱重工: “各種バリア材の分配係数について”(1989).

4.3 その他のデータ

その他, ベントナイト, 粘土鉱物, 岩石への最近のデータ, あるいはパラメータ設定やモデル化等において重要なデータ等を追加する。また, 武部・阿部(2001a, 2000b)に含まれる文献・データのうち, 土壌系, セメント系以外の固相分類に該当するデータもここで取り込むこととする。文献数は165, データ数は約 8,700 である。

Akafia, M.M., Reich, T.J. and Koretsky, C.M. : “Assessing Cd, Co, Cu, Ni and Pb Sorption on Montmorillonite Using Surface Complexation Models”, *Applied Geochemistry*, vol.26, pp. S154-S157 (2011).

秋葉健一: “岩石のイオン交換容量とセシウムの分配係数”, 陸地処分の天然バリア, RWM-86006, pp.1-11 (1986).

Akiba, K. and Hashimoto, H. : “Distribution Coefficient of Strontium on Variety of Minerals and Rocks”, *J. Nucl. Sci. Technol.*, vol.27, No.3, pp.275-279 (1990).

Akiba, K., Hashimoto, H. and Kanno, T. : “Distribution Coefficient of Cesium and Cation Exchange Capacity of Minerals and Rocks”, *J. Nucl. Sci. Technol.*, vol.26, No.12, pp.1130-1135 (1989).

Allard, B., Olofsson, U., Torstenfelt, B., Kipatsi, H. and Andersson, K. : “Sorption of Actinides in Well-Defined Oxidation States on Geological Media”, *Mat. Res. Soc. Symp. Proc.*, vol.11, pp.775-782 (1982).

Ames, L.L. and McGarrah, J.E. : “Investigation of Basalt-Radionuclide Distribution Coefficients: Fiscal Year 1980 Annual Report”, RHO-BWI-C-108, PNL--3462, p.109 (1980).

Andre, M., Malmstroem, M.E. and Neretnieks, I. : “Determining sorption coefficients in intact rock using an electrical potential gradient as a driving force for migration”, *Mat. Res. Soc. Symp. Proc.*, vol.932, pp.975-982 (2006).

Ashida, T., Miyahara, K., Uchida, M., Yusa, Y. and Sasaki, N. : “Radionuclides Sorption Testing of Granite Using Leachate from Fully Radioactive Waste Glass”, *Proceedings of the 1989 Joint International Waste Management Conference, Volume 2 High Level Radioactive Waste and Spent Fuel Management*, pp.316-322 (1989).

Baik, M.H., Hyun, S.P. and Hahn, P.S. : “Surface and bulk sorption of uranium(VI) onto granite rock”, *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry*, Korea atomic energy research institute, vol.256, No.1, pp.11-18 (2002).

Baraniak, L., Thieme, M., Bernhard, G. and Nitsche, H. : “Sorption behavior of radium on sandy and

- clayey sediments of the upper Saxon Elbe river valley”, *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry*, vol.241, No.3, pp.511-517 (1999).
- Bascetin, E. and Atun, G. : “Adsorption behavior of strontium on binary mineral mixtures of Montmorillonite and Kaolinite”, *Applied Radiation and Isotopes*, vol.64, No.8, pp.957-964 (2006).
- Baston, G.M.N., Berry, J.A., Brownsword, M., Ilett, D.J., Linklater, C.M., Tweed, C.J. and Yui, M. : “Effect of Carbonate Concentration on the Sorption of Plutonium onto Geological Materials”, *Mat. Res. Soc. Symp. Proc.*, vol.608, pp.293-298 (2000).
- Bazer-Bachi, F., Descostes, M., Meier, P., Simonnot, M.-O., Sardin, M. and Tevissen, E. : “Sulphate sorption on Callovo-Oxfordian argillite”, *Clays in Natural & Engineered Barriers for Radioactive Waste Confinement*, pp.617-618 (2005).
- Beall, G.W., Lee, W.W.L. and Van-Luik, A.E. : “Americium Speciation and Distribution Coefficients in a Granitic Ground Water”, *Mat. Res. Soc. Symp. Proc.*, vol.50, pp.501-508 (1985).
- Bell, J. and Bates, T.H. : “Distribution Coefficients of Radionuclides between Soils and Groundwaters and Their Dependence on Various Test Parameters”, *The Science of the Total Environment*, vol.69, pp.297-317 (1988).
- Berci, K., Deak, J., Friedrich, V., Hazi, E., Maleczki, E., Juhasz, J. and Mojzes, A. : “Safety Assessment and Investigations for a Shallow Land Disposal Facility in Hungary”, *Proc. of a Symp. on the Management of Low and Intermediate Level Radioactive Wastes 1988*, I, IAEA-SM-303/145, pp.163-178 (1988).
- Berry, J.A., Bourke, P.J., Coates, H.A., Green, A., Jefferies, N.L. and Littleboy, A.K. : “Sorption of Radionuclides on Sandstones and Mudstones”, *Radiochimica Acta*, vol.44/45, pp.135-141 (1988).
- Berry, J.A., Brownsword, M., Ilett, D.J., Linklater, C.M., Mason, C., Tweed, C.J. and Yui, M. : “Effect of Redox Conditions on the Sorption of Plutonium onto Geological Materials”, *Mat. Res. Soc. Symp. Proc.*, vol.713, pp.791-797 (2002).
- Bors, J., Gorny, A. and Dultz, S. : “Sorption characteristics of radioiodide on organophilic bentonite”, *Radiochimica Acta*, vol.78, pp.117-121 (1997).
- Brownsword, M., Mihara, M. and Williams, S.J. : “Sorption of Uranium and Plutonium on Bentonite Altered by Highly Alkaline Water”, *Mat. Res. Soc. Symp. Proc.*, vol.608, pp.249-254 (2000).
- Bruggeman, C., Maes, A., Vancluysen, J. and Vandemussele, P. : “Selenite reduction in Boom clay: Effect of FeS₂, clay minerals and dissolved organic matter”, *Environmental Pollution*, vol.137, pp.209-221 (2005).
- Bunatova, V. : “Interactions of radionuclide with hard rock”, *NATO Advanced Study Institute on Actinide and the Environment*; Maleme, Charles Univ., CZE, pp.313-316 (1998).
- Byegard, J., Gustavsson, E., Tullborg, E.-L. and Berglund, S. : “Bedrock transport properties Preliminary site description Simpevarp subarea - version 1.2”, SKB R-05-05, SKB (2005).
- Cho, Y.H., Park, C.K. and Hahn, P.S. : “Studies on the sorption characteristics of sup ⁹⁰Sr onto Granite and Tuff”, *Journal of the Korean Nuclear Society*, vol.29, No.5, pp.393-398 (1997).
- Cui, A., Fan, Z., Zhang, J., Gu, C., Mukai, M., Maeda, T., Matsumoto, J., Tanaka, T. and Ogawa, H. :

- “Diffusion coefficient test of ^{237}Np in bentonite backfill materials”, Proceedings of the international symposium NUCEF 2001. Scientific bases for criticality safety, separation process and waste disposal, No.735, pp.621-626 (2002).
- Cui, D. and Eriksen, T.E. : “On the sorption of Co and Cs on stripa granite fracture-filling material”, *Radiochimica Acta*, vol.79, No.1, pp.29-35 (1997).
- Ding, M., Reimus, P.W., Chipera, S. and Scism, C. : “Sorption Characteristics of Radionuclides on Clays in Yucca Mountain Alluvium”, Yucca Mountain Project, Las Vegas, Nevada (United States), p.5 (2006).
- 土井玲祐, Xia, X., 柴田雅博, 北村暁, 吉川英樹 : “幌延堆積岩への Cs 収着挙動に対するイオン交換反応に基づくモデルの適用性検討”, 日本原子力研究開発機構 技術資料, JAEA-Research 2007-007 (2007).
- Dong, W., Wang, X., Bian, X., Wang, A., Du, J. and Tao, Z.Y. : “Comparative study on sorption/desorption of radioeuropium on alumina, bentonite and red earth: effects of pH, ionic strength, fulvic acid, and iron oxides in red earth”, *Applied Radiation and Isotopes*, vol.54, pp.603-610 (2001).
- Elzinga, E.J. and Sparks, D.L. : “Reaction Condition Effects on Nickel Sorption Mechanisms in Illite-Water Suspensions”, *Soil Sci. Soc. Am. J.*, vol.65, pp. 94-101 (2001).
- Ezz, El-din, M.R., Abdal Fattai, A.A. , Ghonim, A.K. and Atta, E.R. : “Removal of Cs-134 and Co-60 from aqueous waste solutions using clay minerals”, *ISOTOPE & RAD. RES.*, vol.38, No.2, pp.405-416 (2006).
- Fujikawa, Y. and Fukui, M. : “Adsorption mechanisms of radioactive cesium and selenium in rocks”, Research Reactor Inst. Proceedings of the scientific meeting on parameters for assessing the mobility of trace substances in the environment”, KURRI-KR-1, pp.37-40 (1995).
- Fujikawa, Y. : “Radionuclide sorption to rocks and minerals: Effects of pH and inorganic anions. Pt. 2. Sorption and speciation of selenium”, *Radiochimica Acta*, vol.76, No.3, pp.163-172 (1997).
- 福井正美 : “各種測定法による溶質の K_d 比較”, KURRI KR, 京大 原子炉実験, vol.44, pp.191-196 (2000).
- García-Gutiérrez, M., Missana, T., Mingarro, M., Samper, J., Dai, Z. and Molinero, J. : “Solute transport properties of compacted Ca-bentonite used in FEBEX project”, *Journal of Contaminant Hydrology*, CIEMAT ESP, vol.47, pp.127-137 (2001).
- Geckeis, H., Schaefer, T., Hauser, W., Rabung, T., Missana, T., Degueldre, C. and Moeri, A. : “Results of the colloid and radionuclide retention experiment (CRR) at the Grimsel test site (GTS), Switzerland - impact of reaction kinetics and speciation on radionuclide migration”, *Radiochimica Acta*, vol.92, No.9-11, pp.765-774 (2004).
- Goodwin, F.E., Methew, P.M. and Serne, R.J. : “North American studies on lead mobility in simulated nuclear waste repository environments”, *Radioactive Waste Management and Environmental Restoration*, vol.19, pp.303-320 (1995).
- Graham, E.R. : “Labile Pools and Distribution Coefficients for Soil Calcium, Magnesium, and Potassium Determined with Exchange Equilibria and Radioisotopes”, *Soil Sci.*, vol.128, No.1, pp.17-22 (1979).
- Hartmann, E., Geckeis, H., Rabung, T., Luetzenkirchen, J. and Fanghaenel, T. : “Sorption of

- radionuclides onto natural clay rocks”, *Radiochimica Acta*, vol.96, No.9-11, pp.699-707 (2008).
- Hietanen, R., Alaluusua, M. and Jaakkola, T. : “Sorption of cesium, strontium, iodine, nickel and carbon in mixtures of concrete, crushed rock and bitumen”, *YJT-85-38*, p.27 (1985).
- Hoelttae, P. and Siitari, K.M. : “Na, Ca and Sr retardation on crushed crystalline rock”, *Radiochimica Acta*, vol.82, pp.279-285 (1998).
- Holgersson, S. and Albinsson, Y. : “Interactions of cement pore fluids with host rock and the effects on HTO, Na and Cs diffusion”, *Radiochimica Acta*, vol.82, pp.197-203 (1998).
- Hsu, C. and Cheng, H. : “Sorption of several safety relevant radionuclides on granite and diorite - a potential repository host rock in the Taiwan area”, *Radiochimica Acta*, vol.90, pp.659-664 (2002).
- Huie, Z., Zeng, J. and Zhu, L. : “Sorption of Radionuclides Technetium and Iodine on Minerals”, *Radiochimica Acta*, vol.44/45, pp.143-145 (1988).
- Huitti, T. and Hakanen, M. : “Sorption and desorption of cesium on rapakivi granite and its minerals”, *POSIVA 2000-03*, p.110 (2000).
- Idemitsu, K., Obata, K., Furuya, H. and Inagaki, Y. : “Sorption Behavior of Uranium(VI) on a Biotite Mineral”, *Abstracts of 18th International Symposium on the Scientific Basis for Nuclear Waste Management*, Kyoto, pp.153-154 (1994).
- Igarashi, T. and Mahara, Y. : “Evaluation of radioactive nickel distribution coefficient by analyzing background stable nickel”, *Radiochimica Acta*, vol.88, pp.695-699 (2000).
- 五十嵐敏文, 中沢俊之, 上田真三 : “酸化還元雰囲気と分配係数”, *KURRI KR, (財)電力中央研究所, 三菱マテリアル(株)*, vol.44, pp.177-182 (2000).
- 飯田芳久, 木村祐一郎, 山口徹治, 上田正人, 田中忠夫, 中山真一 : “地下の還元的な条件下でのセレンの砂質泥岩への収着分配係数”, *原子力バックエンド研究*, vol.15, No.2, pp.57-67 (2009).
- 飯島和毅, 増田嗣也, 戸村努 : “ベントナイトコロイドに対する Cs の収着挙動”, *サイクル機構技報*, pp.51-61 (2004).
- Ijima, K., Tomura, T. and Masuda, T. : “Sorption behavior of Cs onto bentonite colloid”, *Clays in Natural & Engineered Barriers for Radioactive Waste Confinement*, pp.607-608 (2005).
- 石井友章, 稲川聡, 軍司康義, 坂本義昭, 武部慎一, 小川弘道, 佐々木朋三 : “浅地中環境下におけるウラン系列核種の分配係数測定 (I)”, *原子力バックエンド研究*, vol.8, No.1, pp.55-63 (2001).
- Inoue, Y. : “Prediction of Radionuclide Migration in Ground Water at the Japan Atomic Energy Research Institute”, *Disposal of Radioactive Wastes into the Ground*, IAEA, Vienna, proc.symp., 29-May-02 (1967).
- 石川奈緒, 内田滋夫, 田上恵子 : “放射性セシウムの水田土壌への収着挙動における粘土鉱物の影響”, *Radioisotopes*, vol.56, pp.519-528 (2007).
- 伊藤勝雄 : “酸性溶液からの Tc の活性炭への吸着”, 「テクネチウムの挙動 —その今日的課題—」 専門研究会報告書, *KURRI-TR-362*, pp.60-65 (1990).
- Jan, Y.-L., Tsai, S.-C., Jan, J.-C. and Hsu, C.-N. : “Additivity of the distribution ratio of Cs and Se on bentonite/quartz sand mixture in seawater”, *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry*, vol.267, No.1, pp.225-231 (2006).

- Jan, Y.-L., Wang, T.-H. and Hsu, C.-N. : “Evaluating adsorption ability of granite to radioselenium by chemical sequential extraction”, *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry*, vol.273, No.2, pp.299-306 (2007).
- Jedinakova-Krizova, V., Jurcek, P. and Kohlickova, M. : “Retardation of long-lived radionuclides on bentonites”, *Proceedings of the workshop on long-lived radionuclide chemistry in nuclear waste treatment Paris (France)*, OECD Publications 1998, pp.99-110 (1998).
- Johansson, H., Byegard, J., Skarnemark, G. and Skalberg, M. : “Matrix diffusion of some alkali- and alkaline earth-metals in granitic rock”, *Mat. Res. Soc. Symp. Proc.*, Chalmers University of Technology, vol.465, pp.871-878 (1997).
- Johansson, H., Siitari-Kauppi, M., Skalberg, M. and Tullborg, E.-L. : “Diffusion Pathways in Crystalline Rocks -Examples from Äspö-diorite and fine-grained Granite”, *Journal of Contaminant Hydrology*, vol.35, pp.41-53 (1998).
- 加藤博康, 上田真三, 矢島達哉, 赤坂秀成 : “バーミキュライトへのセシウムの吸着特性”, 日本原子力学会「1993 秋の大会」予稿集, p.656 (1993).
- 加藤和之, 天野治, 田中知, 野下健司, 吉田拓真, 塚本政樹 : “天然バリアにおける核種収着メカニズムに関するシステムの検討(II)－岩とその構成鉱物における収着性能の関係－”, 日本原子力学会「2003 秋の大会」予稿集, No.O27, p.905 (2001).
- Kaukonen, V., Kaukonen, V., Hakanen, M. and Lindberg, A. : “Diffusion and sorption of HTO, Np, Na and Cl in rocks and minerals of Kivetty and Olkiluoto”, *POSIVA 97-07*, Univ. Helsinki, FIN, p.104 (1997).
- 川地武 : “不飽和ベントナイトの吸着特性”, 核種移行に係わる基礎データ, RWM-90014, pp.25-33 (1990).
- 北村暁, 戸村努, 佐藤治夫, 中山雅 : “海水系地下水におけるベントナイトおよび堆積岩に対するセシウムの収着挙動”, 日本原子力研究開発機構, 技術資料, JAEA-Research 2008-004 (2008).
- 小西正郎, 坂本義昭, 妹尾宗明, 森山昇 : “セメント系材料と Np(V)および Pu(IV)の相互作用”, 原子力バックエンド研究, vol.4, No.1, pp.47-55 (1997).
- Korichi, S. and Bensmaili, A. : “Sorption of uranium (VI) on homoionic sodium smectite experimental study and surface complexation modeling”, *Journal of Hazardous Materials*, vol.169, pp. 780-793 (2009).
- 香西直文, 大貫敏彦, 村岡進 : “ネプツニウムのスメクタイトへの特異吸着－カルシウムイオンの影響－”日本原子力学会「1993 秋の大会」予稿集, p.654 (1993).
- Kozai, N., Ohnuki, T. and Muraoka, S. : “Sorption Behavior of Neptunium on Bentonite -Effect of Calcium Ion on the Sorption-”, *Abstracts of 18th International Symposium on the Scientific Basis for Nuclear Waste Management*, Kyoto, pp.165-166 (1994).
- Kulmala, S. and Hakanen, M. : “Review of the sorption of radionuclides on the bedrock of Haestholmen and on construction and backfill materials of a final repository for reactor wastes”, *YJT-92-21*, p.86 (1992).
- Kulmala, S. and Hakanen, M. : “Sorption of iodine on rocks from Posiva investigation sites”, *POSIVA 98-05*, p.45 (1998).
- Kumata, M. and Vandergraaf, T.T. : “Technetium Behaviour under Deep Geological Conditions”,

- Radioactive Waste Management and the Nuclear Fuel Cycle, vol.17, No.2, pp.107-117 (1993).
- Kumata, M. : “Experimental Study on Neptunium Migration under in Situ Geochemical Conditions”, Migration'97, Sendai (1997).
- 黒澤進, 茨木希, 上田真三, 油井三和, 吉川英樹 : “亀裂性岩盤中の核種移行に及ぼすコロイドへの核種収着速度の影響 実験と数値解析”, 日本原子力学会和文論文誌, vol.3, No.3, pp.249-256 (2004).
- Latrille, C., Ly, J. and Herbette, M. : “Retention of Sn(IV) and Pu(IV) onto four argillites from the Callovo-Oxfordian level at Bure (France) from eight equilibrated sedimentary waters”, Radiochimica Acta, vol.94, No.8, pp.421-427 (2006).
- Lee, C.-P., Tsai, S.-C., Jan, Y.-L., Wei, Y.-Y., Teng, S.-P. and Hsu, C.-N. : “Sorption and diffusion of HTO and cesium in crushed granite compacted to different lengths”, Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry, vol.275, No.2, pp.371-378 (2008).
- Lieser, K.H., Gleitsmann, B., Peschke, S. and Steinkopff, T. : “Colloid Formation and Sorption of Radionuclides in Natural Systems”, Radiochimica Acta, vol.40, pp.39-47 (1986).
- Lieser, K.H. and Bauscher, C. : “Technetium in the Hydrosphere and in the Geosphere, I. Chemistry of Technetium and Iron in Natural Waters and Influence of the Redox Potential on the Sorption of Technetium”, Radiochimica Acta, vol.42, pp.205-213 (1987).
- Lieser, K.H. and Bauscher, C. : “Technetium in the Hydrosphere and in the Geosphere, II. Influence of pH, of Complexing Agents and of Some Minerals on the Sorption of Technetium”, Radiochimica Acta, vol.44/45, pp.125-128 (1988).
- Lieser, K.H. and Muehlenweg, U. : “Neptunium in the Hydrosphere and in the Geosphere—Column Experiments with Neptunium”, Radiochimica Acta, vol.44/45, pp.129-133 (1988).
- Lieser, K.H. and Steinkopff, T. : “Chemistry of Radioactive Cesium in the Hydrosphere and in the Geosphere”, Radiochimica Acta, vol.46, pp.39-47 (1989).
- Liu, D.J., Fan, X.H., Yao, J. and Wang, B. : “Diffusion of ⁹⁹Tc in granite under aerobic and anoxic conditions”, Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry, vol.268, No.3, pp.481-484 (2006).
- Lujanienė, G., Motiejunas, S., Sapolaite, J. and Kamarauskas, Z. : “Cs and Pu migration through engineered and natural barriers”, Lithuanian Journal of Physics, Lithuanian Physical Society, Lithuanian Academy of Sciences, vol.45, No.4, pp.273-280 (2005).
- Lujanienė, G., Motiejunas, S. and Sapolaite, J. : “Sorption of Cs, Pu and Am on clay minerals”, Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry, vol.274, No.2, pp.345-353 (2007).
- Marcussen, H., Holm, P.E., Strobel, B.W. and Hansen, H.C.B. : “Nickel Sorption to Goethite and Montmorillonite in Presence of Citrate”, Environ. Sci. Technol., vol.43, pp. 1122-1127 (2009).
- Marumo, J.T. and Suarez, A.A. : “The Determination of the Cesium Distribution Coefficient of the Interim Storage Soil from Abadia de Goias, GO, Brazil”, INIS-BR-2351 (1989).
- Meier, H., Zimmerhackl, E., Zeitler, G. and Menge, P. : “Significance of Electrostatic Sorption in the Retardation of Radionuclides Released from a Repository”, Abstracts of 18th International Symposium on the Scientific Basis for Nuclear Waste Management, Kyoto, pp.137-138 (1994).
- Mell, P., Megyeri, J., Riess, L., Lazar, K., Mathe, Z. and Csicsak, J. : “Sorption of Co, Cs, Sr and I onto argillaceous rock as studied by radiotracers”, Journal of Radioanalytical and Nuclear

- Chemistry, vol.268, No.2, pp.405-410 (2006).
- 嶺達也, 三原守弘, 加藤大生: “セメント系材料の影響を受けた環境条件での圧縮成型ベントナイトに対する核種の分配係数”, 核燃料サイクル開発機構, 技術資料, JNC TN8430 99-012, p.165 (1999).
- Minglu, Y., Lu, S.J., Chenkou, Q., Lihong, X., Adi, H. and Zhihua, T.: “Investigation of sorption and migration of sup ^{90}Sr on clinoptilolite and mordenite”, *Radiochimica Acta*, vol.81, pp.103-106 (1998).
- Mohamad, S., Jintoku, T., Sato, S. and Ohashi, H.: “Adsorption of Sr(II) and Eu(III) on Kaolinite as a Function of Humic Acid Concentration”, *Nihonn-Genshiryku-Gakkai-yokousyuu*, p.554 (1997).
- Molera, M. and Eriksen, T.: “Diffusion of sup $^{22}\text{Na}^+$, $^{85}\text{Sr}^{2+}$, $^{134}\text{Cs}^+$ and $^{57}\text{Co}^{2+}$ in bentonite clay compacted to different densities: experiments and modeling”, *Radiochimica Acta*, Royal Institute of Technology, vol.90, pp.753-760 (2002).
- Murali, M.S. and Mathur, J.N.: “Sorption characteristics of Am(III), Sr(II) and Cs(I) on bentonite and granite”, *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry*, vol.254, No.1, pp.129-136 (2002).
- 長崎晋也, 田中知, 鈴木篤之: “ベントナイト中における Am のコロイド形成”, 放射性廃棄物研究, vol.1, No.1, pp.91-97 (1994).
- Nakayama, S., Arimoto, H., Yamada, N., Moriyama, H. and Higashi, K.: “Column Experiments on Migration Behavior of Neptunium(V)”, *Radiochimica Acta*, vol.44/45, pp.179-182 (1988).
- Nakayama, S. and Nelson, D.M.: “Comparison of Distribution Coefficients for Americium and Curium: Effects of pH and Naturally Occuring Colloids”, *J. Environ. Radioactivity*, vol.8, pp.173-181 (1988).
- 日本原子力研究所: “平成 2 年度放射性廃棄物安全性実証試験「低レベル放射性廃棄物固化体長期浸出試験」成果報告書”, 「低レベル放射性廃棄物固化体長期浸出試験」成果報告書, 日本原子力研究所 (1990).
- 日本原子力研究所: “平成 4 年度放射性廃棄物安全性実証試験”, 「低レベル放射性廃棄物固化体長期浸出試験」成果報告書, 日本原子力研究所 (1993).
- 西川義朗, 間野正, 石川博久: “Se の花崗岩及び凝灰岩に対する収着試験”, 動力炉・核燃料開発事業団, 技術資料, PNC TN8430 94-006 (1994).
- 大江俊昭, 中岡章: “放射性核種の地中移行挙動(その 3)―土壌・岩石中でのイオン交換反応―”, 電力中央研究所報告, No.282026 (1982).
- Okamoto, A., Idemitsu, K., Furuya, H., Inagaki, Y. and Arima, T.: “Distribution coefficients and apparent diffusion coefficients of cesium in compacted bentonites”, *Mat. Res. Soc. Symp. Proc.*, Kyushu Univ., vol.556, pp.1091-1098 (1998).
- Okuyama, K., Sasahira, A. and Noshita, K.: “Cesium Sorption Rate on Non-Crushed Rock Measured by a New Apparatus Based on a Micro-Channel-Reactor Concept”, *Mat. Res. Soc. Symp. Proc.*, vol.985, pp.449-454 (2007).
- Okuyama, K., Sasahira, A., Noshita, K. and Ohe, T.: “A method for determining both diffusion and sorption coefficients of rock medium within a few days by adopting a micro-reactor technique”, *Applied Geochemistry*, vol.23, No.8, pp.2130-2136 (2008).

- Palmer, D.A. and Meyer, R.E. : “Adsorption of Technetium on Selected Inorganic Ion-exchange Materials and on a Range of Naturally Occurring Minerals under Oxidic Conditions”, *J. inorg. nucl. Chem.*, vol.43, No.11, pp.2979-2984 (1981).
- Poinssot, C., Baeyens, B. and Bradbury, M.H. : “Experimental Studies of Cs, Sr, Ni and Eu Sorption on Na-illite and the Modelling of Cs Sorption”, *PSI Bericht*, Nr. 99-06 (1999).
- Relyea, J.F. and Serne, R.J. : “Waste Isolation Safety Assessment Program - Controlled Sample Program Publication Number 2: Interlaboratory Comparison of Batch KD Values”, *PNL-2872* (1979).
- Riebe, B., Bors, J. and Dultz, St. : “Retardation capacity of organophilic bentonite for anionic fission products”, *Journal of Contaminant Hydrology*, Hannover Univ., DEU, vol.47, pp.255-264 (2001).
- Saas, A. : “Processus de Sorption et de Desorption des Radioisotopes sur les Matériaux Solides à Partir des Rejets Liquides et des Dépôts Atmosphériques”, *CEA-R-4952* (1979).
- Sabodina, M.N., Kalmykov, S.N., Artem'eva, K.A., Zakharova, E.V. and Sapozhnikov, Y.A. : “Behavior of Cs, Np(V), Pu(IV), and U(VI) in Pore Water of Bentonite”, *Radiochemistry*, vol.48, No.5, pp.488-492 (2006).
- 坂本義昭 : “花崗岩中での U(VI)の移動挙動”, 陸地処分の天然バリア, *RWM-86006*, pp.29-35 (1986).
- Sakamoto, Y., Takebe, S., Ogawa, H., Muraoka, S., Ishii, T., Inagawa, S. and Gunji, Y. : “Sorption Behavior of Radium and Actinium on Soils”, *Mat. Res. Soc. Symp. Proc.*, vol.663, pp.1207-1214 (2001).
- 佐藤治夫 : “堆積岩系岩石マトリクス中のイオンの拡散移行過程に関する研究：バッチ法による砂岩への Cs⁺及び I⁻イオンの収着分配係数の測定（研究報告）”, 核燃料サイクル開発機構, 技術資料, *JNC TN1400 2003-012* (2003).
- Savoye, S., Wittebroodt, C. and Michelot, J. L. : “Evaluation of the reversibility of iodide uptake by argillaceous rocks by the radial diffusion method”, *Radiochimica Acta*, vol.94, No.9-11, pp.699-704 (2006).
- Shimooka, K., Nakamura, H., Yanagida, T. and Muraoka, S. : “Measurement of diffusion and sorption of radionuclides in rocks”, *Journal of Nuclear Science and Technology*, vol.22, No.10, pp.833-840 (1985).
- Siitari-Kauppi, M., Hoelttae, P., Pinnioja, S. and Lindberg, A. : “Cesium sorption on tonalite and mica gneiss”, *Mat. Res. Soc. Symp. Proc.*, Univ. of Helsinki, Geological Survey of Finland, vol.556, pp.1099-1106 (1999).
- Sivaiah, M.V., Venkatesan, K.A., Sasidhar, P., Krishna, R.M. and Murthy, G.S. : “Unusual extraction behaviour of crown ether when intercalated in bentonite”, *New Journal of Chemistry*, vol.29, pp.564-569 (2005).
- Song, X., Wang, S., Chen, L., Zhang, M. and Dong, Y. : “Effect of pH, Ionic Strength and Temperature on the Sorption of Radionickel on Na-montmorillonite”, *Applied Radiation and Isotopes*, vol.67, pp. 1007-1012 (2009).
- 須黒寿康, 西川義朗, 小室崇, 加川昭夫, 柏崎博, 山田一夫 : “プルトニウムの岩石に対する収着データ；還元環境,硝酸塩存在下におけるプルトニウムの凝灰岩に対する収着試験

- 結果”, 日本原子力研究開発機構, 技術資料, JAEA-Technology 2007-058 (2007).
- Suzuki, S., Haginuma, M. and Suzuki, K. : “Study of sorption and diffusion of ^{137}Cs in compacted bentonite saturated with saline water at 60°C ”, *Journal of Nuclear Science and Technology*, vol.44, No.1, pp.81-89 (2007).
- Tachi, Y., Shibutani, T., Sato, H. and Yui, M. : “Experimental and modeling studies on sorption and diffusion of radium in bentonite”, *Journal of Contaminant Hydrology*, vol.47, pp.171-186 (2001).
- 田中知 : “地下環境中における超ウラン元素の存在化学形とその吸着現象への影響”, 「放射性廃棄物管理専門研究会」報告書, KURRI-TR-331, pp.32-50 (1990).
- Tanaka, T., Mukai, M., Zhentang, L. and Shushen, L. : “Applicability of sorption data determined by laboratory experiments for evaluation of strontium-85 mobility in subsurface field”, *JAERI-Conf 2003-010*, pp.142-149 (2003).
- Tertre, E., Berger, G., Castet, S., Loubet, M. and Giffaut, E. : “Experimental and modeling sorption of Cs^+ , Ni^+ , and Ln^{3+} onto clays minerals up to 150°C ”, *Clays in Natural & Engineered Barriers for Radioactive Waste Confinement*, pp.189-190 (2005).
- 戸村努, 澁谷朝紀, 北村暁 : “炭酸共存下における Np(IV) のスメクタイトに対する分配係数”, 日本原子力学会「2001 年秋の大会」予稿集, No.O25, p.903 (2001).
- Torstenfelt, B., Kipatsi, H., Andersson, K., Allard, B. and Olofsson, U. : “Transport of actinides through a bentonite backfill”, *Mat. Res. Soc. Symp. Proc.*, vol.11, pp.659-668 (1982).
- Torstenfelt, B. : “Migration of the fission products strontium, technetium, iodine and cesium in clay”, *Radiochimica Acta*, vol.39, No.2, pp.97-104 (1986).
- Tournassat, C., Gaucher, E., Negrel, G. and Moussay, A. : “Iodide (I^-) weak affinity for clay minerals in anoxic and abiotic conditions”, *Clays in Natural & Engineered Barriers for Radioactive Waste Confinement*, pp.187-188 (2005).
- Tsai, S.-C., Ouyang, S. and Hsu, C.-N. : “Sorption and diffusion behavior of Cs and Sr on Jih-Hsing bentonite”, *Applied Radiation and Isotopes, Industrial Technol. and Res. Inst.*, TWN, vol.54, pp.209-215 (2001).
- Tsai, S.-C., Juang, K.-W. and Jan, Y.-L. : “Sorption of cesium on rocks using heterogeneity-based isotherm models”, *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry*, vol.266, No.1, pp.101-105 (2005).
- Tsai, S.-C., Wang, T.-H., Li, M.-H., Wei, Y.-Y. and Teng, S.-P. : “Cesium adsorption and distribution onto crushed granite under different physicochemical conditions”, *Journal of Hazardous Materials*, vol.161, No.2-3, pp.854-861 (2009).
- Tsukamoto, M. and Ohe, T. : “Diffusion measurement of caesium in compacted bentonite”, *Czechoslovak Journal of Physics*, vol.53, pp.679-686 (2003).
- Tsukamoto, M., Fujita, T. and Ohe, T. : “Sorption and diffusion behaviours of strontium in sodium-type bentonite bed”, *Czechoslovak Journal of Physics*, vol.56, pp.119-128 (2006).
- 上田真三, 久野義夫 : “核種移行に関する基盤データ構築手法の検討および個別モデルの高度化に関する研究 -研究報告書-”, 核燃料サイクル開発機構, 技術資料, JNC TJ8400 2003-065 (2004).
- 上田真三 : “天然バリア分配係数の空間的分布に関する評価”, *KURRI KR*, 三菱マテリアル(株), vol.44, pp.109-118 (2000).

- Van Loon, L.R. and Eikenberg, J. : "A high-resolution abrasive method for determining diffusion profiles of sorbing radionuclides in dense argillaceous rocks", *Clays in Natural & Engineered Barriers for Radioactive Waste Confinement*, pp.493-494 (2005).
- Vejsada, J., Jelinek, E., Randa, Z., Hradil, D. and Prikryl, R. : "Sorption of Cesium on smectite-rich clays from the Bohemian Massif (Czech Republic) and their mixtures with sand", *Applied Radiation and Isotopes*, vol.62, pp.91-96 (2005).
- Vejsada, J., Vokal, A., Vopalka, D. and Filipiska, H. : "Study of Cesium Sorption on Na and Ca-Mg Bentonites Using Batch and Diffusion Experiments", *Czechoslovak Journal of Physics*, vol.56, pp.73-79 (2006).
- Vejsada, J. : "The uncertainties associated with the application of batch technique for distribution coefficients determination -A case study of Cesium adsorption on four different bentonites", *Applied Radiation and Isotope*, vol.64, pp.1538-1548 (2006).
- Vinsova, H., Koudelkova, M., Konirova, R., Vecernik, P. and Jedinakova, K.V. : "Sorption of technetium and its analogue rhenium on bentonite material under aerobic conditions", Kuruc, J. , Kufcakova, J. and Macasek, F. (eds.) (Dept. of Nuclear Chemistry, Comenius University, Bratislava (Slovakia)) Foundation Curie, Bratislava (Slovakia); Department of Nuclear Chemistry, Comenius University, Bratislava (Slovakia) Separation of Ionic Solutes. Abstracts of the 10th international conference SIS'03 Bratislava (Slovakia) Comenius University, 161p. (2003).
- Vinsova, H., Vecernik, P. and Jedinakova, K.-V. : "Sorption characteristics of ^{99}Tc onto bentonite material with different additives under anaerobic conditions", *Radiochimica Acta*, vol.94, No.8, pp.435-440 (2006).
- Waite, T.D., Fenton, B.R., Davis, J.A. and Payne, T.E. : "Approaches to modelling uranium(VI) adsorption on natural mineral assemblages", *Radiochimica Acta*, Univ. South Wales, AUS, vol.88, No.9/11, pp.687-693 (2001).
- Wang, L., Maes, A., De Cannière, P. and van der Lee, J. : "Sorption of Europium on Illite (Silver Hill Montana)", *Radiochimica Acta*, vol.82, pp. 233-237 (1998).
- Wang, X.K., Dong, W.M., Zhang, H.X. and Tao, Z.Y. : "A multitracer study on the adsorption of 36 elements on a silica : Effects of pH and fulvic acid", *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry*, Lanzhou Univ. CHN, vol.250, No.3, pp.491-496 (2001).
- Wang, X.K. : "Diffusion of ^{137}Cs in compacted bentonite:Effect of pH and concentration", *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry*, Forschungszentrum Karlsruhe, Institut fur Nukleare Entsorgung, vol.258, No.2, pp.315-319 (2003).
- Wang, X.K., Montavon, G. and Grambow, B. : "A new experimental design to investigate the concentration dependent diffusion of Eu(III) in compacted bentonite", *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry*, Laboratory SUBATECH, Groupe de Radiochimie, vol.257, No.2, pp.293-297 (2003).
- Wang, X. and Liu, X. : "Effect of pH and concentration on the diffusion of radiostrontium in compacted bentonite - a capillary experimental study", *Applied Radiation and Isotopes*, vol.61, pp.1413-1418 (2004).
- Wang, X. and Tao, Z. : "Diffusion of $^{99}\text{TcO}_4^-$ in compacted bentonite : Effect of pH, concentration,

- density and contact time”, *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry*, vol.260, No.2, pp.305-309 (2004).
- Wang, X. and Liu, X. : “Sorption and desorption of radioselenium on calcareous soil and its solid components studied by batch and column experiments”, *Applied Radiation and Isotopes*, vol.62, pp.1-9 (2005).
- Wang, X.K., Chen, C.L., Zhou, X., Tan, X.L. and Hu, W.P. : “Diffusion and sorption of U(VI) in compacted bentonite studied by a capillary method”, *Radiochimica Acta*, vol.93, No.5, pp.273-278 (2005).
- Wang, T.-H., Li, M.-H. and Teng, S.-P. : “Bridging the gap between batch and column experiments: A case study of Cs adsorption on granite”, *Journal of Hazardous Materials*, vol.161, No.1, pp.409-415 (2009).
- Wanner, H., Wieland, E. and Albinsson, Y. : “Project Caesium - An ion exchange model for the prediction of distribution coefficient of caesium in bentonite”, SKB-TR-94-10 (1994).
- Wersin, P., Soler, J.M., Van Loon, L., Eikenberg, J., Baeyens, B., Grolmund, D., Gimmi, T. and Dewonck, S. : “Diffusion of HTO, Br⁻, I⁻, Cs⁺, ⁸⁵Sr²⁺ and ⁶⁰Co²⁺ in a clay formation: Results and modelling from an in situ experiment in Opalinus Clay”, *Science Direct, Applied Geochemistry*, vol.23, No.4, pp.678-691 (2008).
- Widestrand, H., Byegaard, J., Skarnemark, G. and Skaalberg, M. : “In situ migration experiments at Aspo Hard Rock Laboratory, Sweden : Results of radioactive tracer migration studies in a single fracture”, *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry*, vol.250, No.3, pp.501-517 (2001).
- Wold, S. and Eriksen, T.E. : “Diffusion of organic colloids in compacted bentonite. The influence of ionic strength on molecular size and transport capacity of the colloids”, SKB-TR-00-19, Royal Institute of Technology, p.40 (2000).
- Xia, X., Iijima, K., Kamei, G. and Shibata, M. : “Comparative study of cesium sorption on crushed and intact sedimentary rock”, *Radiochimica Acta*, vol.94, No.9-11, pp.683-687 (2006).
- Xia, X., Kamei, G., Iijima, K., Shibata, M., Ohnuki, T. and Kozai, N. : “Selenium sorption in a sedimentary rock/saline groundwater system and spectroscopic evidence”, *Mat. Res. Soc. Symp. Proc.*, vol.932, pp.933-941 (2006).
- Xu, D., Chen, C.L. and Wang, X.K. : “Sorption and diffusion of ⁹⁰Sr²⁺ in compacted bentonite investigated by a capillary method”, *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry*, vol.267, No.2, pp.357-362 (2006).
- Xu, D., Wang, X.K., Chen, C.L., Zhou, X. and Tan, X.L. : “Influence of soil humic acid and fulvic acid on sorption of thorium(IV) on MX-80 bentonite”, *Radiochimica Acta*, vol.94, No.8, pp.429-434 (2006).
- Xu, D., Zhou, X. and Wang, X. : “Adsorption and Desorption of Ni²⁺ on Na-montmorillonite: Effect of pH, Ionic Strength, Fulvic Acid, Humic Acid and Addition Sequence”, *Applied Clay Science*, vol.39, pp. 133-141 (2008).
- Yamaguchi, T. and Nakayaka, S. : “Present status of the study on radionuclide diffusion in barrier materials”, *JAERI-Conf 2002-004*, pp.325-332 (2002).
- Yllera-de-Llano, A., Hernandez-Benitez, A. and Garcia-Gutierrez, M. : “Cesium sorption studies on spanish clay materials”, *Radiochimica Acta*, vol.82, pp.275-278 (1998).

- Yu, J.-W. and Neretnieks, I. : “Diffusion and sorption properties of radionuclides in compacted bentonite”, SKB-TR-97-12 (1997).
- Yu, S.M., Ren, A.P., Chen, C.L., Chen, Y.X. and Wang, X. : “Effect of pH, ionic strength and fulvic acid on the sorption and desorption of cobalt to bentonite”, *Applied Radiation and Isotopes*, vol.64, No.4, pp.455-461 (2006).
- 油井三和, 佐々木康雄, 澁谷朝紀, 佐藤治夫 : “ベントナイトー水反応およびベントナイト中の核種移行挙動”, *放射性廃棄物研究*, vol.1, No.1, pp.33-42 (1994).
- Zachara, J.M. and McKinley, J.P. : “Influence of hydrolysis on the sorption of metal cations by smectite: Importance of edge coordination reactions”, *Aquatic Sciences*, vol.55, No.4, pp. 250-261 (1993)

5. データベースの活用事例

今回の拡充した土壌系への Cs の分配係数データを例に、データベースの活用法を以下に例示する。Cs と Soil（土壌）で検索すると 300 超の K_d データが検出される。それらの固相名としては、Ando soil, Brown lowland soil, Fsoil, Gray lowland soil, Loam, loam lower, loam upper, Loamy_so, Lowland paddy soil, Soil, soil A, soil B, soil C, soil D, soil layer#1, soil layer#2, soil layer#3, soil layer#4, soil#1, soil#2, soil#3, Yellow_so など多様な土壌が含まれる。抽出された K_d データのヒストグラムは、図 5-1 に示すように、多様な土壌、地下水条件で得られたデータであり、幅広い分布を示す、しかしながら、6 割超のデータは $0.1\text{-}10\text{m}^3/\text{kg}$ の範囲に分布している。

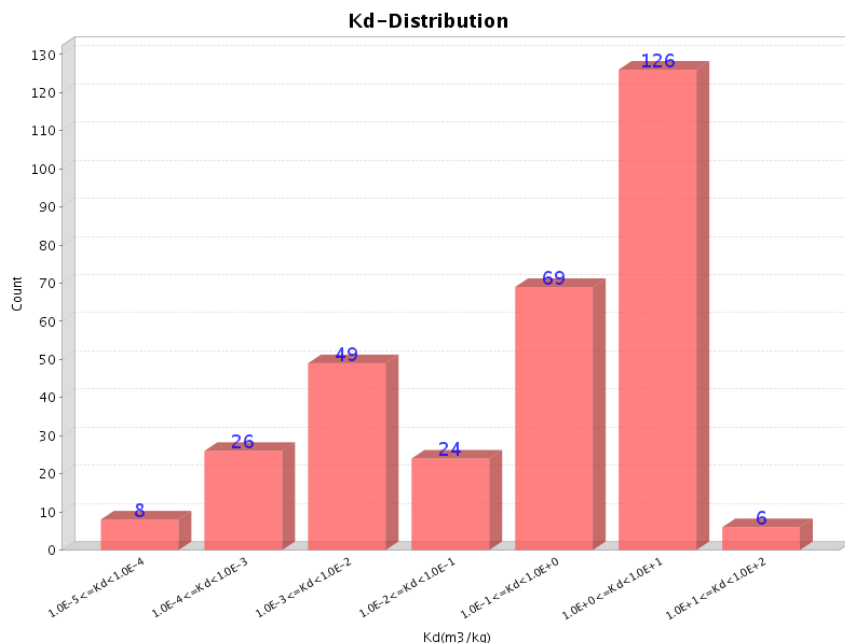


図 5-1 土壌系での Cs の K_d データのヒストグラム

このデータのばらつきは、固相や液相条件の違いによる影響を含んでおり、いくつかの条件の依存性を、JAEA-SDB の各種データ検索機能、データ傾向性評価機能（館ほか, 2009 : Tachi et al., 2011）を活用して分析した。土壌特性も重要なファクターと考えられるが、ここでは定量的な分析評価が可能な液性条件として、①pH、②イオン強度、③Cs 濃度に注目して分析を試みる。

① pH 依存性

上記で抽出された K_d データを pH に対してプロットしたものを図 5-2 に示す。Cs の収着メカニズムがイオン交換に支配されることから、pH 依存性はあまり顕著ではないことが一

般的であり、下図でもその傾向が確認される。なお、低めの K_d データを示す Kamel and Ibrahim(1998)については、後述するように、Cs 濃度が $10^{-2} \sim 10^{-4} \text{M}$ の比較的高い Cs 濃度で得られたデータであることが原因している。

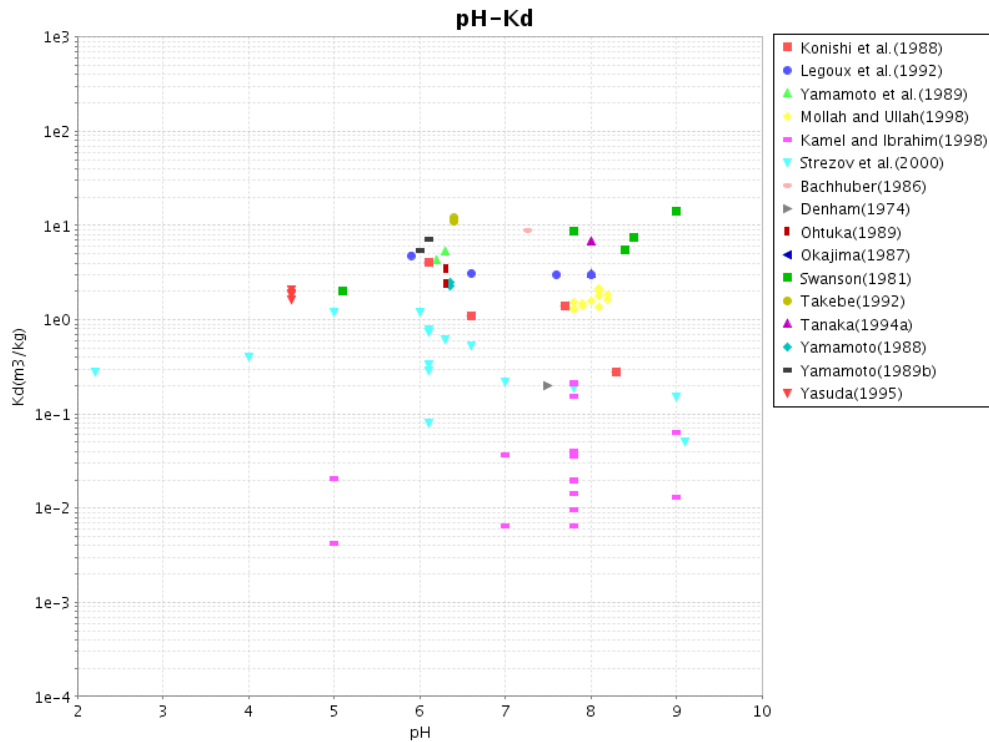
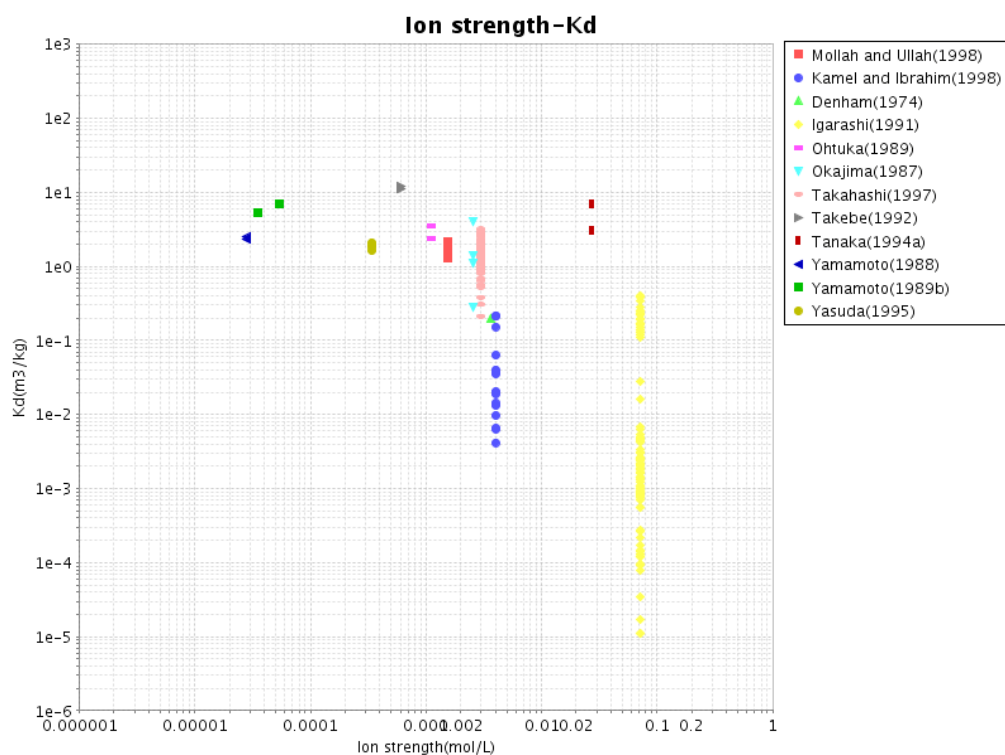


図 5-2 土壌系での Cs の K_d データの pH 依存性

②イオン強度依存性

上記で抽出された Cs の土壌への K_d データをイオン強度に対してプロットしたものを図 5-3 に示す。Cs の収着メカニズム（イオン交換）を考慮すれば、イオン強度の影響は大きいことが想像されるが、イオン強度の情報が含まれる K_d データの多くが、実環境での取得されたデータであり、また、イオン強度依存性に着目したデータがないこともあり、明瞭なイオン強度影響は確認できない。なお、幅広い分布を示す Kamel and Ibrahim(1998)は、比較的高濃度領域での Cs の濃度依存影響を含むデータであること、Igarashi(1991)は、フィールド法のデータである点を考慮する必要がある。

図 5-3 土壌系での Cs の K_d データのイオン強度依存性

③ Cs 初期濃度依存性

上記で抽出された Cs の土壌への K_d データを Cs 初期濃度に対してプロットしたものを図 5-4 に示す。Cs の K_d データが、Cs 濃度が高い部分で減少傾向を示すこと（サイト飽和効果）は、一般的に認められ傾向であり、Cs 濃度依存性を取得した Kamel and Ibrahim(1998)でもその傾向が明瞭に確認できる。一方で、同じ土壌と地下水条件での比較した低濃度条件での Cs 濃度依存を確認したデータはないが、低濃度領域では、Cs 濃度依存性は顕著ではないと考えられる。

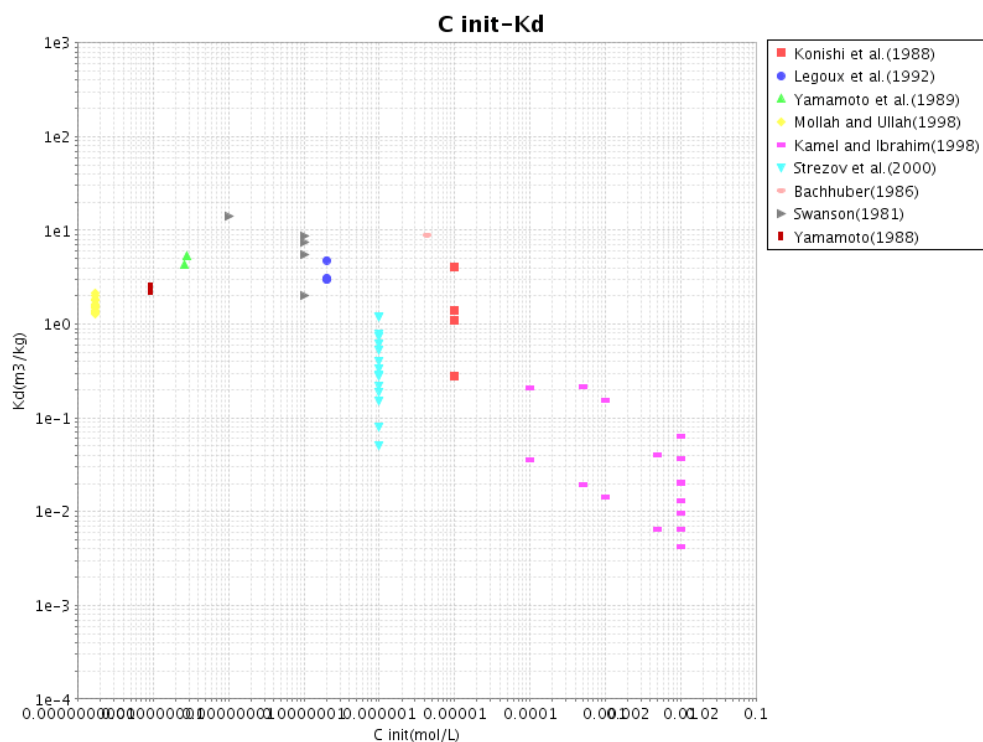


図 5-4 土壌系での Cs の K_d データの Cs 初期濃度依存性

以上のデータベースからのデータ抽出と傾向性の分析から、Cs の土壌系への分配係数としては、イオン交換が収着メカニズムに支配され、データは幅広い分布を示すものの、Cs の高濃度領域やフィールド法のデータを除けば、 $0.1\text{-}10\text{m}^3/\text{kg}$ の範囲に分布すると評価することができる。

6. まとめ

放射性廃棄物地層処分の安全評価における重要パラメータの一つである収着分配係数 (K_d) の実測データを集約した収着データベース (JAEA-SDB) を、これまで高レベル放射性廃棄物の地層処分への活用を主たる対象に構築，更新を進めてきた。今回，TRU 廃棄物を含む多種多様な低レベル放射性廃棄物の処分，さらには今般の福島第一原子力発電所の事故にも関連した表層環境中の核種移行評価への活用も念頭に，セメント材料系，土壌系の分配係数データを中心にデータの拡充を行った。セメント系と土壌系については既往のデータベースも活用しつつ，現状のデータベース構造に整合させつつ導入を図った。また，ベントナイト系，粘土鉱物系や岩石系など，従来より進めているパラメータ設定やモデル開発と関連する最新データの拡充もあわせて行った。

今回更新された文献とデータ数は，土壌系，セメント系，その他（従来から対象としているベントナイト，岩石等データ）の対象ごとに，以下に示す通りである。

- ① 土壌系：文献数 93，データ数 約 4,600
- ② セメント系：文献数 76，データ数 約 3,000
- ③ その他：文献数 165，データ数 約 8,700

全体では文献数 334，データ数約 16,000 が拡充され，JAEA-SDB に含まれる総文献数は 684，データ数は約 46,000 と大幅に拡充された。今回更新した JAEA-SDB は，ホームページ (<http://migrationdb.jaea.go.jp>)でも公開する。

今回更新された JAEA-SDB によって，より多様な放射性廃棄物等の処分検討において，有効なデータの抽出や核種移行パラメータの設定が可能となると考えられ，今後実践的な活用も図りつつ，更なる機能やデータの拡充を進めていく計画である。

謝辞

今回のデータベース更新にあたって，土壌系，セメント系，その他のデータも含めて，多数の文献・データを整理した電子データを，当機構安全研究センターの廃棄物安全研究グループから提供頂いた。今回のデータ更新は，このデータ提供に依存するところが非常に大きく，同グループの飯田芳久研究副主幹をはじめとする関係者各位に，深く感謝の意を表します。

参考文献

- 核燃料サイクル開発機構：“わが国における高レベル放射性廃棄物地層処分の技術的信頼性－地層処分開発第2次取りまとめ－ 分冊3 地層処分システムの安全評価”，核燃料サイクル開発機構技術資料，JNC TN1400 99-023 (1999).
- Kamel, N.H.M. and Ibrahim, A.S. : “Sorption of Cs Radionuclide on Compacted Egyptian Soil Samples”, Atomic Energy Authority, Cairo (Egypt) Proceedings of the international conference on hazard waste sources, effects and management, 655-664 (1998).
- 加藤大生，嶺達也，三原守弘，大井貴夫，本田明：“セメント系材料に対する核種の収着データベース整備”，核燃料サイクル開発機構，技術資料，JNC TN8400 2001-029 (2002).
- 日本原子力研究開発機構：平成 22 年度 処分システム化学影響評価高度化開発 報告書 (2011).
- Ochs, M., Saito Y., Kitamura, A., Shibata, M., Sasamoto, H. and Yui. M. : “Evaluating and Categorizing the Reliability of Distribution Coefficient Values in the Sorption Database”, Japan Atomic Energy Agency Technical Report, JAEA-Technology 2007-011 (2007).
- Ochs, M., Kunze, S., Saito, Y., Kitamura, A., Tachi, Y. and Yui, M. : “Application of the Sorption Database to K_d -setting for Horonobe Rocks”, Japan Atomic Energy Agency Technical Report, JAEA-Research 2008-017 (2008).
- Ochs, M., Suyama, T., Kunze, S., Tachi, Y. and Yui, M. : “Evaluating and categorizing the reliability of distribution coefficient values in the sorption database(3)”, JAEA Technical Report, JAEA-Data/Code 2009-021 (2009).
- Ochs, M., Tachi, Y., Ganter, C., Suyama, T. and Yui, M. : “Development of Mechanistic Sorption Model and Treatment of Uncertainties for Ni sorption on Montmorillonite/Bentonite, JAEA-Research 2010-052 (2011).
- OECD/NEA : NEA Sorption Project. Phase II: Interpretation and Prediction of Radionuclide Sorption onto Substrates Relevant for Radioactive Waste Disposal Using Thermodynamic Sorption Models, By Davis, J. , Ochs, M. , Olin, M. , Payne, T. and Tweed, C., OECD/NEA, Paris (2005).
- 齋藤好彦，Michael Ochs，陶山忠宏，北村 暁，柴田雅博，笹本 広：“収着データベースの更新：信頼性評価に伴う収録データの訂正と公開文献データの追加” 日本原子力研究開発機構報告書 JAEA-Data/Code 2007-014 (2007).
- Saito, Y., Ochs, M., Kunze, S., Kitamura, A., Tachi, Y. and Yui, M. : “Evaluating and Categorizing the Reliability of Distribution Coefficient Values in the Sorption Database (2)”, Japan Atomic Energy Agency Technical Report, JAEA-Technology 2008-018 (2008).
- 柴田雅博，佐藤治夫，小田治恵，油井三和：“地層処分研究開発第2次取りまとめにおける緩衝材への放射性元素の分配係数の設定”，核燃料サイクル開発機構技術資料，JNC TN8400 99-072 (1999).

- 澁谷朝紀, 柴田雅博, 陶山忠宏 : “核種のベントナイトおよび岩石に対する収着データベース”, 核燃料サイクル開発機構技術資料, JNC TN8410 99-050 (1999).
- 陶山忠宏, 笹本 広 : “JNC 収着データベース(JNC-SDB)の更新 : 1998 年～2003 年までに公開された文献データの追加”, 核燃料サイクル開発機構技術資料, JNC TN8410 2003-018 (2004).
- Suyama, T., Ganter, C., Kunze, S., Tachi, Y. and Ochs, M. : “Evaluating and categorizing the reliability of distribution coefficient values in the sorption database(4)”, JAEA Technical Report, JAEA-Data/Code 2010-026 (2011).
- 館 幸男, 枅木善克, 陶山忠宏, 齋藤好彦, Ochs, M., 油井三和 : “地層処分安全評価のための核種の収着・拡散データベースシステムの開発”, JAEA-Data/Code 2008-034 (2009).
- 館 幸男, 四辻健治, 陶山忠宏, Ochs, M., 油井三和 : “地層処分安全評価のために現象論的収着・拡散モデル/データベースの開発ーベントナイト系プロトタイプモデル/データベースの開発ー”, 日本原子力研究開発機構技術資料, JAEA-Research 2009-069 (2010).
- Tachi, Y., Suyama, T., Ochs, M. and Ganter, C. : “Development of JAEA Sorption Database (JAEA-SDB):Update of Data Evaluation Functions and Sorption/QA Data”, JAEA Technical Report, JAEA-Data/Code 2010-031 (2011).
- Tachi, Y., Yotsuji, K., Seida, Y. and Yui, M. : “Diffusion and sorption of Cs^+ , I^- and HTO in samples of the argillaceous Wakkanai Formation from the Horonobe URL, Japan: Clay-based modeling approach”, *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 75, pp.6742-6759 (2011).
- 武部慎一, 阿部昌義 : “分配係数に関するデータベースの開発 (1) 分配係数データの収集”, JAEI-Data/Code 2001-005 (2001).
- 武部慎一, 阿部昌義 : “分配係数に関するデータベースの開発 (2) データベースの作成”, JAEI-Data/Code 2001-006 (2001).

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량	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	キログラム毎立法メートル	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	1
比透磁率 ^(b)	(数字の) 1	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	SI基本単位による表し方
平面角	ラジアン ^(b)	rad	1 ^(b)	m/m
立体角	ステラジアン ^(b)	sr ^(c)	1 ^(b)	m ² /m ²
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	m ⁻¹ kg s ⁻²
エネルギー, 仕事, 熱量	ジュール	J	N m	m ² kg s ⁻²
仕事率, 工率, 放射束	ワット	W	J/s	m ² kg s ⁻³
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	m ² kg s ⁻³ A ⁻¹
静電容量	ファラド	F	C/V	m ⁻² kg ⁻¹ s ⁴ A ²
電気抵抗	オーム	Ω	V/A	m ² kg s ⁻³ A ⁻²
コンダクタンス	ジーメンズ	S	A/V	m ⁻² kg ⁻¹ s ³ A ²
磁束	ウェーバ	Wb	Vs	m ² kg s ⁻² A ⁻¹
磁束密度	テスラ	T	Wb/m ²	kg s ⁻² A ⁻¹
インダクタンス	ヘンリー	H	Wb/A	m ² kg s ⁻² A ⁻²
セルシウス度 ^(e)	セルシウス度 ^(e)	°C		K
光束度	ルーメン	lm	cd sr ^(c)	cd
照射度	ルクス	lx	lm/m ²	m ⁻² cd
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	m ² s ⁻²
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	m ² s ⁻²
酸素活性化	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のみ、ベクレルは放射性核種の統計的過程についてののみ使用される。
(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.2002,20,705) 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
粘着力のモーメント	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	ジュール毎平方メートル	V/m	m kg s ⁻³ A ⁻¹
表面電荷	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 ⁻¹ 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	クーロン毎キログラム	C/kg	kg ⁻¹ s A
放射線強度	グレイ毎秒	Gy/s	m ² s ⁻³
放射輝度	ワット毎ステラジアン	W/sr	m ⁴ m ⁻² kg s ⁻³ =m ² kg s ⁻³
酵素活性濃度	ワット毎平方メートル毎ステラジアン	W/(m ² sr)	m ² m ⁻² kg s ⁻³ =kg s ⁻³
	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	Y	10 ⁻¹	デ	d
10 ²¹	ゼ	Z	10 ⁻²	セ	c
10 ¹⁸	エ	E	10 ⁻³	ミ	m
10 ¹⁵	ペ	P	10 ⁻⁶	マイ	μ
10 ¹²	テ	T	10 ⁻⁹	ナ	n
10 ⁹	ギ	G	10 ⁻¹²	ピ	p
10 ⁶	メ	M	10 ⁻¹⁵	フェ	f
10 ³	キ	k	10 ⁻¹⁸	ア	a
10 ²	ヘ	h	10 ⁻²¹	ゼ	z
10 ¹	デ	da	10 ⁻²⁴	ヨ	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	1ha=1hm ² =10 ⁴ m ²
リットル	L, l	1L=11=1dm ³ =10 ³ cm ³ =10 ⁻³ m ³
トン	t	1t=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	1eV=1.602 176 53(14)×10 ⁻¹⁹ J
ダルトン	Da	1Da=1.660 538 86(28)×10 ⁻²⁷ kg
統一原子質量単位	u	1u=1 Da
天文単位	ua	1ua=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=0.1MPa=100kPa=10 ⁵ Pa
水銀柱ミリメートル	mmHg	1mmHg=133.322Pa
オングストローム	Å	1 Å=0.1nm=100pm=10 ⁻¹⁰ m
海里	M	1 M=1852m
バイン	b	1 b=100fm ² =(10 ⁻¹² cm)2=10 ⁻²⁸ m ²
ノット	kn	1 kn=(1852/3600)m/s
ネーパ	Np	SI単位との数値的な関係は、 対数量の定義に依存。
ベレル	B	
デジベール	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 =0.1Pa s
ストークス	St	1 St=1cm ² s ⁻¹ =10 ⁻⁴ m ² s ⁻¹
スチルブ	sb	1 sb=1cd cm ⁻² =10 ⁴ cd m ⁻²
フオット	ph	1 ph=1cd sr cm ⁻² 10 ⁴ lx
ガリ	Gal	1 Gal=1cm 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=1Mx cm ⁻² =10 ⁻⁴ T
エルステッド ^(c)	Oe	1 Oe ≡ (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=1cGy=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	1cal=4.1858J (「15°C」カロリー) , 4.1868J (「IT」カロリー) 4.184J (「熱化学」カロリー)
マイクロン	μ	1 μ =1μm=10 ⁻⁶ m

