JAEA-Data/Code
2017-014
DOI:10.11484/jaea-data-code-2017-014

JAEA-Data/Code

堆積岩類及びセメント系材料に対する収着・拡散データの調査・評価

（NUMO-JAEA 共同研究報告書：2016-2017 年度）
（共同研究）

Investigation and Evaluation of Sorption and Diffusion Data for Sedimentary Rocks and Cementitious Materials
(Report on NUMO-JAEA Collaborative Research in FY2016-2017)
(Joint Research)

浜本 貴史　松原 竜太　澁谷 早苗　陶山 忠宏
舘 幸男

Takafumi HAMAMOTO, Ryuta MATSUBARA, Sanae SHIBUTANI, Tadahiro SUYAMA and Yukio TACHI

バックエンド研究開発部門
核燃料サイクル工学研究所
環境技術開発センター
基盤技術研究開発部

Radioactive Waste Processing and Disposal Research Department
Nuclear Backend Technology Center
Nuclear Fuel Cycle Engineering Laboratories
Sector of Decommissioning and Radioactive Waste Management

March 2018
Japan Atomic Energy Agency
日本原子力研究開発機構

本レポートは国立研究開発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。

国立研究開発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大字白方 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, 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, 2018

JAEA-Data/Code 2017-014

堆積岩類及びセメント系材料に対する収着・拡散データの調査・評価
（NUMO-JAEA 共同研究報告書：2016-2017 年度）
（共同研究）

日本原子力研究開発機構
バックエンド研究開発部門 核燃料サイクル工学研究所 環境技術開発センター
基盤技術研究開発部

浜本　貴史[*1]，松原　竜太[*1]，澁谷　早苗[*1]，陶山　忠宏[*2]，舘　幸男

（2017 年 12 月 18 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），セメント及び岩石中での収着・拡散は，核種移行を支配する重要な現象の一つである。これらバリア材中の核種の収着・拡散現象の理解を深め，収着・拡散データを集約したデータベース並びに現象理解に基づく評価モデルを開発することは，性能評価において様々な地球化学条件を考慮して核種移行パラメータ設定を行う上で重要となる。この目的のために，日本原子力研究開発機構（JAEA）では，ベントナイト，セメント及び岩石等を対象として，収着・拡散パラメータに関するデータベース（収着データベース SDB 及び拡散データベース DDB）の開発を進めており，今後の性能評価における多様なニーズへ対応するため，データの拡充やデータの信頼度評価を含む，データベースの更新を継続的に実施してきた。

現在，原子力発電環境整備機構（NUMO）と JAEA では，地層処分の安全評価に資するため，国内外の最新の知見を踏まえた核種移行パラメータ設定手法の構築を，共同研究として実施している。本報では，この共同研究の一環として実施した，国内外の最新の収着・拡散データの調査と信頼度評価の結果を報告する。今回の調査では，堆積岩類とセメント系材料を中心に文献収集と信頼度評価を行った。収着データとしては，文献数 19 件，データ数 1,746 件，拡散データとしては，文献数 25 件，データ数 593 件分について，収着・拡散データベースにおいて利用可能な形式で情報を整備した。

本研究は，日本原子力研究開発機構と原子力発電環境整備機構の協力協定に基づいて実施した共同研究の成果である。

核燃料サイクル工学研究所：〒319-1194　茨城県那珂郡東海村村松 4-33

*1 原子力発電環境整備機構

*2 検査開発株式会社

JAEA-Data/Code 2017-014

Investigation and Evaluation of Sorption and Diffusion Data for Sedimentary Rocks and Cementitious Materials

(Report on NUMO-JAEA Collaborative Research in FY2016-2017)

(Joint Research)

Takafumi HAMAMOTO[*1], Ryuta MATSUBARA[*1], Sanae SHIBUTANI[*1],
Tadahiro SUYAMA[*2] and Yukio TACHI

Radioactive Waste Processing and Disposal Research Department, Nuclear Backend Technology Center,
Nuclear Fuel Cycle Engineering Laboratories,
Sector of Decommissioning and Radioactive Waste Management
Japan Atomic Energy Agency
Tokai-mura, Naka-gun, Ibaraki-ken

（Received December 18, 2017）

Sorption and diffusion of radionuclides in buffer materials (bentonite), cement materials and rocks are the one of key processes in the safe geological disposal of radioactive waste, because migration of radionuclides in these barrier materials is expected to be diffusion-controlled and retarded by sorption processes. It is therefore necessary to understand the sorption and diffusion processes and develop database compiling reliable data and mechanistic/predictive models, so that reliable parameters can be set under a variety of geochemical conditions relevant to performance assessment (PA). For this purpose, Japan Atomic Energy Agency (JAEA) has developed databases of sorption and diffusion parameters in bentonites, cements and rocks (Sorption Database: SDB and Diffusion Database: DDB).

Nuclear Waste Management Organization of Japan (NUMO) and JAEA have conducted a collaborative research project for developing the parameter setting approaches of radionuclides migration for the safety assessment based on international state of the art knowledge. The present report focuses on investigation of sorption and diffusion data reported and their QA evaluation for updating SDB and DDB as the collaborative research project between NUMO and JAEA. This report includes sorption and diffusion data for mainly sedimentary rocks and cement materials. As a result, 1,746 sorption data from 19 references and 593 diffusion data from 25 references were extracted and prepared in the datasheet of SDB and DDB.

Keywords: Sorption, Diffusion, Database, Distribution Coefficient, Diffusivity, Cement, Rock, Geological Disposal

---

This work has been performed based on the cooperation agreement.

*1 Nuclear Waste Management Organization of Japan (NUMO)

*2 Inspection Development Company Ltd.

目次

1．はじめに 1
2．堆積岩類およびセメント系材料に対する収着データの調査及び整理 2
2.1 収着データの調査対象文献の選定 2
2.2 収着データの調査及び整理 3
2.3 収着データの信頼度評価 7
3．堆積岩類およびセメント系材料に対する拡散データの調査及び整理 11
3.1 拡散係数データの調査対象文献の選定 11
3.2 拡散係数データの調査及び整理 12
4．まとめ 17
謝辞 17
参考文献 18
付録　収着データベースの信頼度評価のガイドライン
付録　データファイル CD

Contents

1．Introduction 1
2．Investigation of sorption data on sedimentary rock and cementitious materials.... 2
2.1 Selection of references and sorption data 2
2.2 Investigation and arrangement of sorption data 3
2.3 QA evaluation of sorption data 7
3．Investigation of diffusion data on sedimentary rock and cementitious materials.. 11
3.1 Selection of references and diffusion data 11
3.2 Investigation and arrangement of diffusion data 12
4．Summary 17
Acknowledgements 17
References 18
Appendix　Guideline of QA Evaluation for SDB
Appendix　Data file CD

表目次

表 2.1-1　堆積岩類およびセメント系材料に対する収着分配係数の調査対象文献 3
表 2.2-1　分配係数データテーブルの構成 4
表 2.2-2　分配係数データテーブルの入力例 5
表 2.3-1　収着データベースの信頼度情報テーブル 7
表 2.3-2　クライテリアⅢの例 8
表 2.3-3　分配係数の信頼度情報テーブルの入力例 9
表 3.1-1　堆積岩類およびセメント系材料に対する拡散係数の調査対象文献 11
表 3.2-1　拡散係数データテーブルの構成 13
表 3.2-2　拡散係数データテーブルの入力例 15

1. はじめに

放射性廃棄物の地層処分の閉鎖後長期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）やセメント材，天然バリアである岩石中での核種の収着・拡散は，核種移行を支配する重要な現象の一つである。収着・拡散現象は，バリア材特性，間隙水水質等の様々な条件によって大きく変化する。このため安全評価の対象となる地質環境やバリア概念，地下水等の地球化学条件，それらの長期変遷等を考慮して，核種の移行挙動を評価するための収着・拡散パラメータを設定する必要がある。この設定のために，従来から採用されてきた手法は，様々な核種と環境条件を対象に取得された実測データや，実測データから導かれた環境条件に対する依存性を考慮したモデル等に基づく方法である。高レベル放射性廃棄物を対象とした第 2 次取りまとめ [1)], TRU 廃棄物に関する第 2 次 TRU レポート [2)] においても，国内外で蓄積された実測データを，収着・拡散データベースとして整備したうえで，このデータベースをもとにパラメータを設定した [3,4)]。これらの取りまとめ以降，日本原子力研究開発機構（以下，JAEA）では，データの信頼度評価等を含む情報や機能を拡充した収着・拡散データベース（JAEA-SDB/DDB）を整備・公開するとともに [5)]，国内外の最新データの導入を継続して進めてきた [6,7)]。データベースの対象とする固相についても，セメント系材料の収着データを集約したデータベース [8)]を追加するなど拡充を図ってきた [9)]。また，海外の安全評価研究における先行事例を反映しつつ，分配係数の実測データに対して環境条件の違いを補正する条件変換手法の適用性を検討してきたほか [10,11)]，現象論的収着・拡散モデルについても，ベントナイトや粘土質岩を対象に適用性評価を進めてきた [12,13)]。さらに，このような条件変換手法やモデル等の複数の手法を適用した収着・拡散パラメータ設定と不確実性評価の方法論の体系化についても検討を進めてきた [11,14,15)]。

現在，原子力発電環境整備機構（以下，NUMO）では，包括的技術報告書の取りまとめを進めており [16)]，その安全評価において，地質環境や地下水条件のバリエーション，それらの長期変遷等を考慮しつつ，収着・拡散データベースを利用して収着・拡散パラメータを設定してきた [17-19)]。これらの設定において，地質環境や地下水条件，システムの状態設定等の考慮すべき条件の多様性を考慮すると，パラメータ設定に必要なデータが十分には揃っていない場合もあり，その場合は化学アナログの適用や傾向性に基づく推定等を適用した。

現在実施中の NUMO 及び JAEA の共同研究「ニアフィールドシステムの長期挙動評価及び核種移行挙動評価」では，地質環境条件や地下水条件，システムの状態設定等を想定した際の多様な環境条件に対応できるよう，収着・拡散データについての既存データの調査・評価，不足するデータの実験による取得，多様な環境条件に対する収着・拡散パラメータ設定手法の改良などに取り組んでいる。本報告は，この共同研究の一環として進めている既往の収着・拡散データの調査・評価に関する成果である。具体的には，NUMO の包括的技術報告書の検討を通じて情報が不足していると確認された堆積岩類とセメント材を対象に実施した国内外の最新の収着・拡散データの文献収集と信頼度評価，及びそれらを収着・拡散データベースの形式で整理した結果について報告する。

2. 堆積岩類およびセメント系材料に対する収着データの調査及び整理

上記したように，NUMO の包括的技術報告書の検討を通じて情報が不足していると確認された堆積岩類とセメント材への収着分配係数を，優先度の高い調査対象データとして選定した。これらのデータについて，「調査対象文献の選定」を行った上で，「データの調査および整理」，「データ信頼度の評価」を実施した。

「調査対象文献の選定」では，諸外国の最新の収着パラメータの設定レポートにおいて扱われている文献を優先的に選定した。これら以外についても，国際原子力情報システム（INIS）等の文献検索サイトから要旨や原著の情報を参照して文献の選定を行った。

「データの調査および整理」では，選定した文献の内容を精査して，対象パラメータの実測値や試験に関する付帯情報の確認を行った。その結果を踏まえ，JAEA-SDB に記載すべき試験条件[5)]の情報が充実している文献については，データベースへの入力作業を実施した。一方，情報の網羅性や信頼性が著しく不足する文献については，この後の信頼度評価対象から除外することとした。

「データ信頼度の評価」では，各データの信頼度情報を所定フォーマットに入力した。分配係数データについては，信頼度評価のガイドライン[5)]に基づいて信頼度情報を整理した。

2.1 収着データの調査対象文献の選定

堆積岩類およびセメント系材料を対象とした収着分配係数データについて，諸外国の最新の技術レポートにおいて扱われている文献に加え，INIS を使用した文献検索から抽出された文献を調査対象文献として選定した。堆積岩類については，NUMO の包括的技術報告書で処分場定置区画として想定された泥岩，及び，堆積岩類において主要な収着媒体と想定される粘土鉱物のデータを拡充するものとし，スイス Nagra の最新の粘土岩系の収着パラメータ設定レポート[20)]，カナダ NWMO の技術レポート[21)] の引用文献を抽出した。セメント系材料については，Nagra の最新の収着パラメータ設定[22)]に加え，ベルギーの ONDRAF の最新の収着パラメータ設定及び関連データが取りまとめられた著書[23)]を参照し，引用文献から分配係数データについての報告文献を抽出した。

抽出した文献について，JAEA-SDB の格納状況を確認するとともに，対象パラメータの実測値や試験に関する付帯情報等の収着データベースへの反映を判断するための情報の確認を行った。ここで，実測値が報告されていない，もしくは計算で求めた推定値や他文献の引用値のみ報告されている場合については，詳細調査の対象外とし，データベースへの入力作業は実施しないこととした。最終的に今回文献収集・信頼度評価を実施し，収着データベースへ導入する文献として選定された文献の一覧を表 2.1-1 に示す。

表 2.1-1 堆積岩類およびセメント系材料に対する収着分配係数の調査対象文献

ID	Reference
1	Aggarwal, S., Angus, M.J., Ketchen, J. (2000) : Sorption of radionuclides onto specific mineral phases present in repository cements, NSS/R312, AEA-DandR-0395.
2	Atkinson, A. and Nickerson, A. (1988) : Diffusion and sorption of cesium, strontium, and iodine in water saturated cement, Nuclear Technology, 81, pp.100–113.
3	Bonhoure, I., Wieland, E., Scheidegger, A.M., Ochs, M., Kunz, D. (2003): EXAFS study of Sn(IV) immobilization by hardened cement paste and calcium silicate hydrates, Environmental Science and Technology, 37, pp.2184-2191.
4	Höglund, S., Eliasson, L., Allard, B., Andersson, K., Torstenfelt, B. (1985) : Sorption of some fission products and actinides in concrete systems, Materials Research Society Symposium Proceedings, 50, pp.683–690.
5	Mace, N., Landesman, C., Pointeau, I., Grambow, B., Giffaut, E., (2007) : Characterisation of thermally altered cement pastes. Influence on selenite sorption, Advances in Cement Research, 19, 4, pp.157-165.
6	Nagasaki, S., Saito, T., Yang, T.T. (2016) : Sorption behavior of Np(V) on illite, shale and MX-80 in high ionic strength solutions, Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry, 308, 1, pp.143-153.
7	Ochs, M. & Talerico, C. (2006): Development of models and datasets for radionuclide retention by cementitious materials. ANDRA Report, C.RP. 0BMG.06.0001A, Paris, France.
8	Pointeau, I., Landesman, C., Giffault, E., Reiller, P. (2004a): Reproducibility of the uptake of U(VI) onto degraded cement pastes and calcium silicate hydrate phases, Radiochimica Acta, 92, pp.645-650.
9	Pointeau, I., Landesman, C., Coreau, N., Moisan, C. & Reiller, P. (2004b): Etude de la retention chimique des radionucléides Cs(I), Am(III), Zr(IV), Pu(IV), Nb(V), U(VI) et Tc(IV) par les matériaux cimentaires degradés. Rapport Technique RT DPC/SECR 03-037. CEA, Saclay, France.
10	Pointeau, I., Coreau, N., Reiller, P. E.(2008): Uptake of anionic radionuclides onto degraded cement pastes and competing effect of organic ligands, Radiochimica Acta, 96, pp.367-374.
11	Sugiyama, D., Chida, T., Cowper, M.(2008): Laser ablation microprobe inductively coupled plasma mass spectrometry study on diffusion of uranium into cement materials, Radiochimica Acta, 96, pp.747-752.
12	Tits, J., Wieland, E., Dobler, J.-P., Kunz, D. (2004) : The uptake of strontium by calcium silicate hydrates under high pH conditions: an experimental approach to distinguish adsorption from co-precipitation processes, Material Research Society Symposium Proceedings, 807, pp.689–694.
13	Tits, J., Iijima, K., Wieland, E., Kamei, G. (2006) : The uptake of radium by calcium silicate hydrates and hardened cement paste, Radiochim. Acta, 94, pp.637–643.
14	Tits, J., Fujita, T., Tsukamoto, M., Wieland, E. (2008) : Uranium(VI) uptake by synthetic calcium silicate hydrates, Materials Research Society Symposium Proceedings, 1107, pp.467–474.
15	Vilks, P., Miller, N.H. (2014) : Sorption Studies with Sedimentary Rock under Saline Conditions, NWMO TR-2013-22.
16	Vilks, P., Miller, N.H., Felushko, K. (2011) : Sorption experiments in brine solutions with sedimentary rock and bentonite, NWMO TR-2011-11.
17	Wieland, E., Tits, J., Spieler, P., Dobler, J.-P. (1998) : Interaction of Eu(III) and Th(IV) with sulphateresisting Portland cement, Materials Research Society Symposium Proceedings, 506, pp.573–578.
18	Wieland, E., Tits, J., Kunz, D., Dahn, R. (2008) : Strontium uptake by cementitious materials, Environ. Sci. Technol., 42, 403–409.
19	Zuo, R., Teng, Y., Wang, J., Hu, Q. (2010) : Factors influencing plutonium sorption in shale media, Radiochimica Acta, 98, pp.27-34.

2.2 収着データの調査及び整理

2.1 で選定した対象文献について，表 2.2-1 に示す収着データベースにおける分配係数データテーブル（入力する情報一覧）の構成 [5)]に従って，固相，液相，その他試験条件および文献等の各情報を入力した。セメント系材料を対象とした分配係数については，収着データベースへのセメント系データ導入時に設定したルール [9)]に従い，note_Solid（固相に関する補足情報）に，セメントの種類，混和材や骨材の種類と割合，試料作製時の水セメント比や養生条件，粒子サイズに関する情報などを記載した。今回入力したデータテーブルについては，付録データファイル CD（収着データベーステーブル）に整理した。収着データベースの一例を表 2.2-2 に示す。

表 2.2-1 分配係数データテーブルの構成 [5)]

分類	項目(単位)	内容
番号	Save No	管理番号
元素情報	Element	元素記号
	redox	価数
固相情報	Solid Phase Group	固相グループ
	Solid Phase	岩石, 粘土鉱物, 鉱物等の固相名称
	Specific Surface Area(m^2/g)	比表面積
	CEC(meq/100g)	陽イオン交換容量
	note_Solid	固相に関する補足情報
液固比情報	Solution/Solid(mL/g)	液固比
	Solution(mL)	液相量
	Solid(g)	固相量
液相情報	Water Type	液相種類
	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)	イオン強度
	DOC(ppm)	溶存有機物濃度
	note_Water	液相に関する補足情報
試験条件情報	pH init	初期 pH
	pH end	最終 pH
	Eh init(mV)	初期 Eh
	Eh end(mV)	最終 Eh
	atm/redox condition	試験雰囲気
	C init(mol/L)	核種初期濃度
	temp(degC)	試験温度
	Contact time(d)	試験期間
	Separation	固液分離方法
分配係数情報	K_d(m^3/kg)	分配係数
	error	誤差
	Data type	表示形式など
	replicates, n	試験繰返し数
文献に関する情報	Reference	出典
	Author	著者
	Publication year	発行年
	Title	タイトル
	Journal	雑誌名
	Publisher	出版した組織
	Vol	巻
	No	号
	Page	頁
	Note_Reference	文献に関する補足情報
その他	additional/information	その他補足情報

表 2.2-2 分配係数データテーブルの入力例

	元素情報		固相情報					液固比情報			液相情報															
Save No	Element	redox	Solid Phase Group	Solid Phase	Specific Surface Area (m^2/g)	CEC (meq/100g)	note_Solid	Solution /Solid (mL/g)	Solution (mL)	Solid(g)	Water Type	Ca(ppm)	Na(ppm)	K(ppm)	Mg(ppm)	Cl(ppm)	HCO_3 (ppm)	SO_4 (ppm)	F(ppm)	SiO_2 (ppm)	Fe(ppm)	NO_3 (ppm)	ClO_4 (ppm)	Ionic strength (mol/L)	DOC (ppm)	note_Water
1	Cl	-I	Cementitio	HCP			Blast Furnac	50			concrete-	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.			n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	
2	Cl	-I	Cementitio	HCP			Blast Furnac	50			concrete-	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.			n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	
3	Cl	-I	Cementitio	HCP			Pulverised Fu	50			concrete-	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.			n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	
4	Cl	-I	Cementitio	HCP			Pulverised Fu	50			concrete-	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.			n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	
5	Cl	-I	Cementitio	HCP			6:1 Limeston	50			concrete-	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.			n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	
6	Cl	-I	Cementitio	HCP			Nirex Backfil	50			concrete-	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.			n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	
7	Cl	-I	Cementitio	CSH frrom			Ca/Si ratio 0	50			concrete-	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.			n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	
8	Cl	-I	Cementitio	CSH frrom			Ca/Si ratio 0	50			concrete-	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.			n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	
9	Cl	-I	Cementitio	CSH frrom			Ca/Si ratio 0	50			concrete-	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.			n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	
10	Cl	-I	Cementitio	CSH frrom			Ca/Si ratio 0	50			concrete-	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.			n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	
11	Cl	-I	Cementitio	CSH frrom			Ca/Si ratio 1	50			concrete-	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.			n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	
12	Cl	-I	Cementitio	CSH frrom			3.0, pure C3S	50			concrete-	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.			n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	
13	Cl	-I	Cementitio	CSH frrom			3.0, pure C3S	50			concrete-	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.			n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	
14	Cl	-I	Cementitio	Hydrotalcit				50			concrete-	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.			n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	
15	I	-I	Cementitio	HCP			Blast Furnac	50			concrete-	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.			n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	
16	I	-I	Cementitio	HCP			Blast Furnac	50			concrete-	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.			n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	
17	I	-I	Cementitio	HCP			Pulverised Fu	50			concrete-	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.			n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	
18	I	-I	Cementitio	HCP			Pulverised Fu	50			concrete-	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.			n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	
19	I	-I	Cementitio	HCP			6:1 Limeston	50			concrete-	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.			n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	
20	I	-I	Cementitio	HCP			Nirex Backfil	50			concrete-	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.			n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	
21	I	-I	Cementitio	HCP			Nirex Backfil	50			concrete-	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.			n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	
22	I	-I	Cementitio	CSH frrom			Ca/Si ratio 0	50			concrete-	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.			n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	
23	I	-I	Cementitio	CSH frrom			Ca/Si ratio 1	50			concrete-	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.			n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	
24	I	-I	Cementitio	CSH frrom			Ca/Si ratio 2	50			concrete-	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.			n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	
25	I	-I	Cementitio	CSH frrom			3.0, pure C3S	50			concrete-	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.			n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	
26	I	-I	Cementitio	Ettringite				50			concrete-	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.			n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	
27	Pu	IV	Cementitio	HCP			Blast Furnac	50			concrete-	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.			n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	
28	Pu	IV	Cementitio	HCP			Blast Furnac	50			concrete-	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.			n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	
29	Pu	IV	Cementitio	HCP			Blast Furnac	50			concrete-	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.			n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	
30	Pu	IV	Cementitio	HCP			Blast Furnac	50			concrete-	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.			n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	
31	Pu	IV	Cementitio	HCP			Blast Furnac	50			concrete-	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.			n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	
32	Pu	IV	Cementitio	HCP			Blast Furnac	50			concrete-	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.			n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	
33	Pu	IV	Cementitio	HCP			Pulverised Fu	50			concrete-	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.			n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	
34	Pu	IV	Cementitio	HCP			Pulverised Fu	50			concrete-	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.			n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	
35	Pu	IV	Cementitio	HCP			Pulverised Fu	50			concrete-	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.			n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	
36	Pu	IV	Cementitio	HCP			Pulverised Fu	50			concrete-	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.			n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	
37	Pu	IV	Cementitio	HCP			Pulverised Fu	50			concrete-	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.			n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	
38	Pu	IV	Cementitio	HCP			Pulverised Fu	50			concrete-	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.			n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	
39	Pu	IV	Cementitio	HCP			6:1 Limeston	50			concrete-	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.			n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	
40	Pu	IV	Cementitio	HCP			6:1 Limeston	50			concrete-	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.			n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	
41	Pu	IV	Cementitio	HCP			6:1 Limeston	50			concrete-	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.			n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	
42	Pu	IV	Cementitio	HCP			Nirex Refere	50			concrete-	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.			n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	
43	Ni	II	Cementitio	HCP			Blast Furnac	50			concrete-	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.			n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	
44	Ni	II	Cementitio	HCP			Blast Furnac	50			concrete-	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.			n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	
45	Ni	II	Cementitio	HCP			Pulverised Fu	50			concrete-	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.			n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	
46	Ni	II	Cementitio	HCP			Pulverised Fu	50			concrete-	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.			n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	
47	Ni	II	Cementitio	HCP			6:1 Limeston	50			concrete-	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.			n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	
48	Ni	II	Cementitio	HCP			Nirex Backfil	50			concrete-	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.			n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	
49	Ni	II	Cementitio	HCP			Nirex Backfil	50			concrete-	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.			n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	
50	Ni	II	Cementitio	CSH frrom			Ca/Si ratio 0	50			concrete-	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.			n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	

2.3 収着データの信頼度評価

2.2 において，収着データベース入力用にデータ整理を実施した収着データに対し，付録に示す信頼度評価のガイドライン [5)]に基づき，各データの信頼度情報を整理した。収着分配係数の信頼度評価は，文献記載情報の網羅性・追跡性（クライテリア I），実験方法や条件の信頼度（クライテリア II），データ相互間の整合性（クライテリア III）の大きく 3 つの視点から評価ガイドラインに沿って実施した。信頼度評価の項目や内容の概略を表 2.3-1 に示す（詳細は付録に示す信頼度評価ガイドライン [5)]を参照）。

最初にクライテリア I の情報の網羅性を確認したうえで，実験方法や条件の信頼度に係るクライテリアⅡについて詳細な評価を行い，項目毎の評価結果を Rating として整理する。さらに，評価項目毎の信頼度評価上の重要性に従って，重み付けファクターを考慮したうえで，クライテリア II の各項目の合計点を導出し，6 つのレベルにクラス分けする。

クライテリア III では，類似した試験条件の K_d との整合性について，クライテリア II のクラス分け評価結果も考慮して，信頼度を総合評価する。クライテリア III の例を表 2.3-2 に示す。

今回実施した信頼度評価の結果を整理したデータテーブルについては，付録データファイル CD（信頼度評価データテーブル）に整理した。信頼度評価の一例を表 2.3-3 に示す。

表 2.3-1 収着データベースの信頼度情報テーブル [5)]

クライテリア分類/項目		内容	SDB 関連項目	Rating	
【クライテリア Ⅰ：情報の網羅性】					
I-a.1	情報の網羅性	K_dと取得条件に係る基本情報の有無	表 2.2-1 の情報	Yes/No	
I-a.2	単位の記載	分配係数等の単位情報の有無	同上	Yes/No	
I-b	K_dの表示形式	図，表，数値，対数値	type of information	class 1-6	
【クライテリア Ⅱ：各情報の記述の適切性】				Rating	重要度
Ⅱ-a	固相	構成鉱物の組成，不純物，表面特性	solid phase, specific surface area, CEC	A, B, C/D	×2
Ⅱ-b	pH の調整と制御*	pH の制御，pH の測定値，pH 緩衝液	pH init, pH end	A, B, C, D	×8
Ⅱ-c	酸化還元状態*	酸化還元状態の制御，還元剤	atm/redox condition, redox	A/B, C/D	×8
Ⅱ-d	最終の溶液組成*	最終試験液組成の分析結果の有無 データ毎の計算評価が必要な場合有	solution composition	A/B, C/D	×8
Ⅱ-e	温度	温度の制御，室温での試験	temperature	A/B, C/D	×1
Ⅱ-f	固液比と粒子サイズ	固相の表面積，固相重量	solution/solid, specific surface area	A/B, C/D	×2
Ⅱ-g	収着率	収着率の計算	K_d, solution/solid	A, B, C/D	×2
Ⅱ-h	核種の初期濃度*	溶解度の以下での初期濃度設定の確認（計算の実施，類似条件での試験結果も利用）	Cinit, Solution Composition, pH など	A, B, C/D	×8
Ⅱ-i	固液分離方法*	固液分離方法，複数の種類での確認	separation	A, B, C/D	×8
Ⅱ-j	反応時間*	平衡状態の確認，収着反応速度（時間依存）データの取得	contact time	A/B, C/D	×2
Ⅱ-k	攪拌方法	攪拌の有無と方法		A/B, C/D	×1
Ⅱ-l	核種の添加量	核種添加量の妥当性，収着等温線の有無	solution/solid, C init,	A, B, C/D	×2
Ⅱ-m	反応容器	容器材質，容器壁への収着量の補正		A, B, C/D	×1
Ⅱ-n	不確実性の評価	繰り返し試験数，不確実性の幅（誤差）	error, replicates (n)	A, B, C, D	×2
Ⅱ-o	パラメータ変化	主要パラメータの変動による影響確認	C init, pH init, pH end, solution/solid	A, B, C, D	×8
【クライテリア Ⅲ：データ相互間の整合性】					
Ⅲ	データ間の整合性の観点からK_dの信頼度を評価* 別の類似した試験条件のK_dと明らかに不整合があり，その理由が説明されていない場合は unreliable と分類		K_d	reliable, unreliable	

＊ unreliable の評価がある項目

表 2.3-2 クライテリア III の例

Ni/Bentonite に関するデータ間の整合性

Bentonite（Na-Swy-1 montmorillonite，Ca-montmorillonite 等）に対する Ni の分配係数の pH 依存性を図 1 に示す。JAEA-SDB に登録されたデータから，pH（10 以下）の増加に伴い，分配係数が増加する傾向がみられる。Vilks et al.(2011)[24]は，比較的イオン強度の高い条件（＞0.2M）で得られた値であり，他のデータに比べると小さい。Vilks et al.(2011)の分配係数の変動は，核種初期濃度，イオン強度，液固比，反応時間等の違いによるものである。

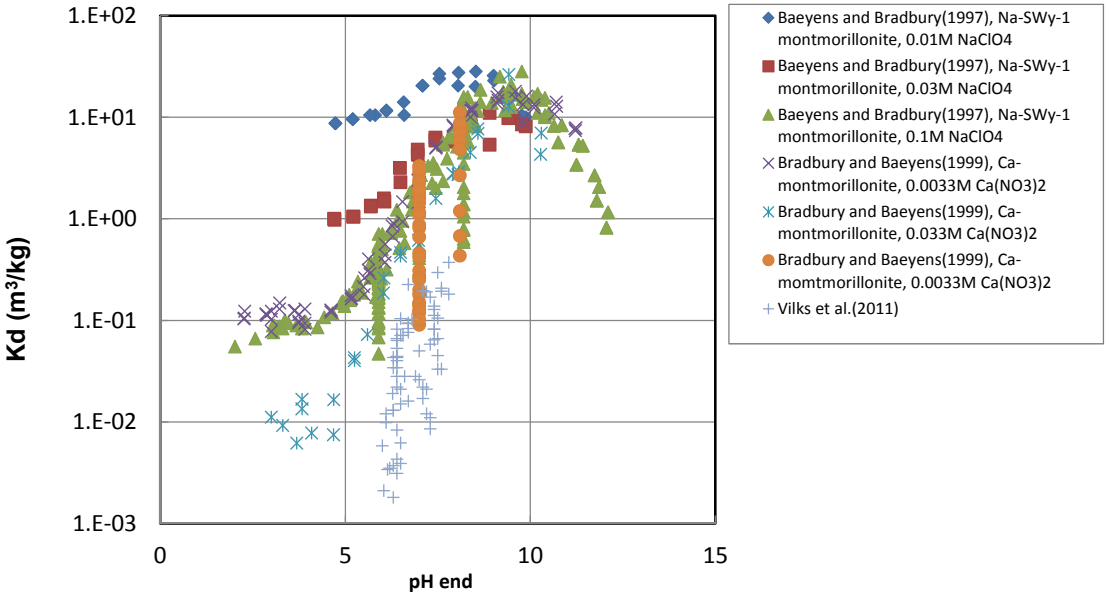

図 1 Ni/Bentonite に関する分配係数の pH 依存性

Ni/Mudstone に関するデータ間の整合性

Mudstone に対する Ni の分配係数について，JAEA-SDB に利用可能なデータは登録されていない。

Ni/Limestone に関するデータ間の整合性

Limestone に対する Ni の分配係数について，JAEA-SDB に利用可能なデータは登録されていない。

表 2.3-3 分配係数の信頼度情報テーブルの入力例

	クライテリアI						クライテリアII																		
Save No	I-a.1	Rating_ I-a.1	I-a.2	Rating_ I-a.2	I-b	Rating_ I-b	II-a Solid phase	Rating_ II-a	II-b pH	Rating_ II-b	II-c Redox conditions	Rating_ II-c	II-d Final solution composition	Rating_ II-d	II-e Temperature	Rating_ II-e	II-f Solid/water ratio and grain size	Rating_ II-f	II-g Sorption value	Rating_ II-g	II-h Initial RN concentration	Rating_ II-h	II-i Phase separation	Rating_ II-i	II-j Reaction time
1	All mandato	Yes	All mandato	Yes	A Table wit	class1	Details on	A	Final pH is	A	It is indicate	A/B	Initial solut	C/D	Temperatu	A/B	A solution/	A/B	Sorption va	B	The initial	A	An efficier	B	Contact tir
2	All mandato	Yes	All mandato	Yes	A Table wit	class1	Details on	A	Final pH is	A	It is indicate	A/B	Initial solut	C/D	Temperatu	A/B	A solution/	A/B	Sorption va	B	The initial	A	An efficier	B	Contact tir
3	All mandato	Yes	All mandato	Yes	A Table wit	class1	Details on	A	Final pH is	A	It is indicate	A/B	Initial solut	C/D	Temperatu	A/B	A solution/	A/B	Sorption va	B	The initial	A	An efficier	B	Contact tir
4	All mandato	Yes	All mandato	Yes	A Table wit	class1	Details on	A	Final pH is	A	It is indicate	A/B	Initial solut	C/D	Temperatu	A/B	A solution/	A/B	Sorption va	B	The initial	A	An efficier	B	Contact tir
5	All mandato	Yes	All mandato	Yes	A Table wit	class1	Details on	A	Final pH is	A	It is indicate	A/B	Initial solut	C/D	Temperatu	A/B	A solution/	A/B	Sorption va	B	The initial	A	An efficier	B	Contact tir
6	All mandato	Yes	All mandato	Yes	A Table wit	class1	Details on	A	Final pH is	A	It is indicate	A/B	Initial solut	C/D	Temperatu	A/B	A solution/	A/B	Sorption va	B	The initial	A	An efficier	B	Contact tir
7	All mandato	Yes	All mandato	Yes	A Table wit	class1	Details on	A	Final pH is	A	It is indicate	A/B	Initial solut	C/D	Temperatu	A/B	A solution/	A/B	Sorption va	B	The initial	A	An efficier	B	Contact tir
8	All mandato	Yes	All mandato	Yes	A Table wit	class1	Details on	A	Final pH is	A	It is indicate	A/B	Initial solut	C/D	Temperatu	A/B	A solution/	A/B	Sorption va	B	The initial	A	An efficier	B	Contact tir
9	All mandato	Yes	All mandato	Yes	A Table wit	class1	Details on	A	Final pH is	A	It is indicate	A/B	Initial solut	C/D	Temperatu	A/B	A solution/	A/B	Sorption va	B	The initial	A	An efficier	B	Contact tir
10	All mandato	Yes	All mandato	Yes	A Table wit	class1	Details on	A	Final pH is	A	It is indicate	A/B	Initial solut	C/D	Temperatu	A/B	A solution/	A/B	Sorption va	B	The initial	A	An efficier	B	Contact tir
11	All mandato	Yes	All mandato	Yes	A Table wit	class1	Details on	A	Final pH is	A	It is indicate	A/B	Initial solut	C/D	Temperatu	A/B	A solution/	A/B	Sorption va	B	The initial	A	An efficier	B	Contact tir
12	All mandato	Yes	All mandato	Yes	A Table wit	class1	Details on	A	Final pH is	A	It is indicate	A/B	Initial solut	C/D	Temperatu	A/B	A solution/	A/B	Sorption va	B	The initial	A	An efficier	B	Contact tir
13	All mandato	Yes	All mandato	Yes	A Table wit	class1	Details on	A	Final pH is	A	It is indicate	A/B	Initial solut	C/D	Temperatu	A/B	A solution/	A/B	Sorption va	B	The initial	A	An efficier	B	Contact tir
14	All mandato	Yes	All mandato	Yes	A Table wit	class1	Details on	A	Final pH is	A	It is indicate	A/B	Initial solut	C/D	Temperatu	A/B	A solution/	A/B	Sorption va	B	The initial	A	An efficier	B	Contact tir
15	All mandato	Yes	All mandato	Yes	A Table wit	class1	Details on	A	Final pH is	A	It is indicate	A/B	Initial solut	C/D	Temperatu	A/B	A solution/	A/B	Sorption va	A	The initial	A	An efficier	B	The conta
16	All mandato	Yes	All mandato	Yes	A Table wit	class1	Details on	A	Final pH is	A	It is indicate	A/B	Initial solut	C/D	Temperatu	A/B	A solution/	A/B	Sorption va	A	The initial	A	An efficier	B	The conta
17	All mandato	Yes	All mandato	Yes	A Table wit	class1	Details on	A	Final pH is	A	It is indicate	A/B	Initial solut	C/D	Temperatu	A/B	A solution/	A/B	Sorption va	A	The initial	A	An efficier	B	The conta
18	All mandato	Yes	All mandato	Yes	A Table wit	class1	Details on	A	Final pH is	A	It is indicate	A/B	Initial solut	C/D	Temperatu	A/B	A solution/	A/B	Sorption va	A	The initial	A	An efficier	B	The conta
19	All mandato	Yes	All mandato	Yes	A Table wit	class1	Details on	A	Final pH is	A	It is indicate	A/B	Initial solut	C/D	Temperatu	A/B	A solution/	A/B	Sorption va	A	The initial	A	An efficier	B	The conta
20	All mandato	Yes	All mandato	Yes	A Table wit	class1	Details on	A	Final pH is	A	It is indicate	A/B	Initial solut	C/D	Temperatu	A/B	A solution/	A/B	Sorption va	B	The initial	A	An efficier	B	The conta
21	All mandato	Yes	All mandato	Yes	A Table wit	class1	Details on	A	Final pH is	A	It is indicate	A/B	Initial solut	C/D	Temperatu	A/B	A solution/	A/B	Sorption va	C/D	The initial	A	An efficier	B	The conta
22	All mandato	Yes	All mandato	Yes	A Table wit	class1	Details on	A	Final pH is	A	It is indicate	A/B	Initial solut	C/D	Temperatu	A/B	A solution/	A/B	Sorption va	A	The initial	A	An efficier	B	The conta
23	All mandato	Yes	All mandato	Yes	A Table wit	class1	Details on	A	Final pH is	A	It is indicate	A/B	Initial solut	C/D	Temperatu	A/B	A solution/	A/B	Sorption va	B	The initial	A	An efficier	B	The conta
24	All mandato	Yes	All mandato	Yes	A Table wit	class1	Details on	A	Final pH is	A	It is indicate	A/B	Initial solut	C/D	Temperatu	A/B	A solution/	A/B	Sorption va	C/D	The initial	A	An efficier	B	The conta
25	All mandato	Yes	All mandato	Yes	A Table wit	class1	Details on	A	Final pH is	A	It is indicate	A/B	Initial solut	C/D	Temperatu	A/B	A solution/	A/B	Sorption va	B	The initial	A	An efficier	B	The conta
26	All mandato	Yes	All mandato	Yes	A Table wit	class1	Details on	A	Final pH is	A	It is indicate	A/B	Initial solut	C/D	Temperatu	A/B	A solution/	A/B	Sorption va	A	The initial	A	An efficier	B	The conta
27	All mandato	Yes	All mandato	Yes	A Table wit	class1	Details on	A	A final pH i	B	It is indicate	A/B	Initial solut	C/D	Temperatu	A/B	A solution/	A/B	Sorption va	C/D	The initial	A	An efficier	B	The conta
28	All mandato	Yes	All mandato	Yes	A Table wit	class1	Details on	A	A final pH i	B	It is indicate	A/B	Initial solut	C/D	Temperatu	A/B	A solution/	A/B	Sorption va	C/D	The initial	A	An efficier	B	The conta
29	All mandato	Yes	All mandato	Yes	A Table wit	class1	Details on	A	A final pH i	B	It is indicate	A/B	Initial solut	C/D	Temperatu	A/B	A solution/	A/B	Sorption va	C/D	The initial	A	An efficier	B	The conta
30	All mandato	Yes	All mandato	Yes	A Table wit	class1	Details on	A	A final pH i	B	It is indicate	A/B	Initial solut	C/D	Temperatu	A/B	A solution/	A/B	Sorption va	C/D	The initial	A	An efficier	B	The conta
31	All mandato	Yes	All mandato	Yes	A Table wit	class1	Details on	A	A final pH i	B	It is indicate	A/B	Initial solut	C/D	Temperatu	A/B	A solution/	A/B	Sorption va	C/D	The initial	A	An efficier	B	The conta
32	All mandato	Yes	All mandato	Yes	A Table wit	class1	Details on	A	A final pH i	B	It is indicate	A/B	Initial solut	C/D	Temperatu	A/B	A solution/	A/B	Sorption va	C/D	The initial	A	An efficier	B	The conta
33	All mandato	Yes	All mandato	Yes	A Table wit	class1	Details on	A	A final pH i	B	It is indicate	A/B	Initial solut	C/D	Temperatu	A/B	A solution/	A/B	Sorption va	C/D	The initial	A	An efficier	B	The conta
34	All mandato	Yes	All mandato	Yes	A Table wit	class1	Details on	A	A final pH i	B	It is indicate	A/B	Initial solut	C/D	Temperatu	A/B	A solution/	A/B	Sorption va	C/D	The initial	A	An efficier	B	The conta
35	All mandato	Yes	All mandato	Yes	A Table wit	class1	Details on	A	A final pH i	B	It is indicate	A/B	Initial solut	C/D	Temperatu	A/B	A solution/	A/B	Sorption va	C/D	The initial	A	An efficier	B	The conta
36	All mandato	Yes	All mandato	Yes	A Table wit	class1	Details on	A	A final pH i	B	It is indicate	A/B	Initial solut	C/D	Temperatu	A/B	A solution/	A/B	Sorption va	C/D	The initial	A	An efficier	B	The conta
37	All mandato	Yes	All mandato	Yes	A Table wit	class1	Details on	A	A final pH i	B	It is indicate	A/B	Initial solut	C/D	Temperatu	A/B	A solution/	A/B	Sorption va	C/D	The initial	A	An efficier	B	The conta
38	All mandato	Yes	All mandato	Yes	A Table wit	class1	Details on	A	A final pH i	B	It is indicate	A/B	Initial solut	C/D	Temperatu	A/B	A solution/	A/B	Sorption va	C/D	The initial	A	An efficier	B	The conta
39	All mandato	Yes	All mandato	Yes	A Table wit	class1	Details on	A	A final pH i	B	It is indicate	A/B	Initial solut	C/D	Temperatu	A/B	A solution/	A/B	Sorption va	C/D	The initial	A	An efficier	B	The conta
40	All mandato	Yes	All mandato	Yes	A Table wit	class1	Details on	A	A final pH i	B	It is indicate	A/B	Initial solut	C/D	Temperatu	A/B	A solution/	A/B	Sorption va	C/D	The initial	A	An efficier	B	The conta
41	All mandato	Yes	All mandato	Yes	A Table wit	class1	Details on	A	A final pH i	B	It is indicate	A/B	Initial solut	C/D	Temperatu	A/B	A solution/	A/B	Sorption va	C/D	The initial	A	An efficier	B	The conta
42	All mandato	Yes	All mandato	Yes	A Table wit	class1	Details on	A	A final pH i	B	It is indicate	A/B	Initial solut	C/D	Temperatu	A/B	A solution/	A/B	Sorption va	C/D	The initial	A	An efficier	B	The conta
43	All mandato	Yes	All mandato	Yes	A Table wit	class1	Details on	A	A final pH i	A	It is indicate	A/B	Initial solut	C/D	Temperatu	A/B	A solution/	A/B	Sorption va	C/D	The initial	A	An efficier	B	The conta
44	All mandato	Yes	All mandato	Yes	A Table wit	class1	Details on	A	A final pH i	A	It is indicate	A/B	Initial solut	C/D	Temperatu	A/B	A solution/	A/B	Sorption va	C/D	The initial	A	An efficier	B	The conta
45	All mandato	Yes	All mandato	Yes	A Table wit	class1	Details on	A	A final pH i	A	It is indicate	A/B	Initial solut	C/D	Temperatu	A/B	A solution/	A/B	Sorption va	C/D	The initial	A	An efficier	B	The conta
46	All mandato	Yes	All mandato	Yes	A Table wit	class1	Details on	A	A final pH i	A	It is indicate	A/B	Initial solut	C/D	Temperatu	A/B	A solution/	A/B	Sorption va	C/D	The initial	A	An efficier	B	The conta
47	All mandato	Yes	All mandato	Yes	A Table wit	class1	Details on	A	A final pH i	A	It is indicate	A/B	Initial solut	C/D	Temperatu	A/B	A solution/	A/B	Sorption va	C/D	The initial	A	An efficier	B	The conta
48	All mandato	Yes	All mandato	Yes	A Table wit	class1	Details on	A	A final pH i	A	It is indicate	A/B	Initial solut	C/D	Temperatu	A/B	A solution/	A/B	Sorption va	C/D	The initial	A	An efficier	B	The conta
49	All mandato	Yes	All mandato	Yes	A Table wit	class1	Details on	A	A final pH i	A	It is indicate	A/B	Initial solut	C/D	Temperatu	A/B	A solution/	A/B	Sorption va	C/D	The initial	A	An efficier	B	The conta
50	All mandato	Yes	All mandato	Yes	A Table wit	class1	Details on	A	A final pH i	A	It is indicate	A/B	Initial solut	C/D	Temperatu	A/B	A solution/	A/B	Sorption va	C/D	The initial	A	An efficier	B	The conta

3. 堆積岩類およびセメント系材料に対する拡散データの調査及び整理

収着データ調査の場合（2 章）と同様に，堆積岩類及びセメント系材料を対象として拡散データの調査を実施した。既往の拡散データについて「調査対象文献の選定」を行った上で，「データの調査および整理」を実施した。なお，拡散データベースの「データ信頼度の評価」については，詳細な信頼度評価手法は構築されておらず，これまでと同様に [25]，信頼度評価に係る重要な情報をデータベース項目の付加情報として整理した。

3.1 拡散係数データの調査対象文献の選定

堆積岩類およびセメント系材料を対象とした拡散データに関する文献の抽出と選定は，収着データの選定方法と同じように行った。ただし，拡散データについては，堆積岩類やセメント系材料を対象とした最近の拡散パラメータ設定レポートが存在しないため，主に INIS の検索情報に基づき文献抽出を実施した。

抽出した文献について，JAEA-DDB の格納状況を確認するとともに，対象パラメータの実測値や試験に関する付帯情報等の拡散データベースへの反映を判断するための情報の確認を行った。ここで，実測値が報告されていない，もしくは計算で求めた推定値や他文献の引用値のみ報告されている場合については，データベースへの入力作業は実施しないこととした。最終的に今回調査・評価を実施し，拡散データベースへ導入する文献として選定された文献の一覧を表 3.1-1 に示す。

表 3.1-1 堆積岩類およびセメント系材料に対する拡散係数の調査対象文献(1/2)

ID	Reference
1	Barone, F.S, Rowe, R.K., Quigley, R.M. (1989) : Laboratory determination of chloride diffusion coefficients in an intact shale, Can. Geotech., 27, pp.177-184.
2	Bejaoui, S., Bary, B. (2007) : Modeling of the link between microstructure and effective diffusivity of cement pastes using a simplified composite model, Cement and Concrete Research, 37, pp.469-480.
3	Chambers, A.V., Green, A., Harris, A.W., Heath, T.G., Hunter, F.M.I., Manning, M.C., Williams, S.J. (2006) : The diffusion of radionuclides through waste encapsulation grouts, Materials Research Society Symposium Proceedings, 932, pp.705-712.
4	Chida, T., Sugiyama, D. (2006) : Diffusion of organic carbon through hardened cement paste, CRIEPI Research Report, L05012.
5	Chida, T., Sugiyama, D. (2008a) : Diffusion of organic carbon and iodine in low-heat portland cement containing fly ash, CRIEPI Research Report, L07018.
6	Chida, T., Sugiyama, D. (2008b) : Observation of diffusion behavior of trace elements in hardened cement pastes by LA-ICP-MS, Materials Research Society Symposium Proceedings, 1107, pp.585-592.
7	Chida, T., Yoshida, T. (2012) : Diffusion behavior of anion in hardened low-heat portland cement paste containing fly ash -Dependence of effective diffusion coefficient on pore structure-, CRIEPI Research Report, L11008.
8	Choi, Y.S., Yang, E.I (2013) : Effect of calcium leaching on the pore structure, strength, and chloride penetration resistance in concrete specimens, Nuclear Engineering and Design, 259, pp.126-136.
9	El-Kamash, A.M., El-Naggar, M.R., El-Dessouky, M.I. (2006) : Immobilization of cesium and strontium radionuclides in zeolite-cement blends, Journal of Hazardous Materials, B136, pp.310-316.
10	Jakob, A., Sarott, F.A., Spieler, P. (1999) : Diffusion and sorption on hardened cement pastes -experiments and modelling results, Nagra Technical Report 99-06.
11	Loomer, D.B., Scott, L., Al, T.A., Mayer, K.U., Bea, S. (2013) : Diffusion–reaction studies in low permeability shale using X-ray radiography with cesium, Applied Geochemistry, 39, pp.49-58.
12	Lovera, P., Galle, C., Le Bescop, P. (2001) : Towards an intrinsic relationship between diffusion coefficients and microscopic feature of cements?, Materials Research Society Symposium Proceedings, 663, pp.81-88.
13	Mell, P., Megyeri, J., Riess, L., Lazar, K., Mathe, Z., Hamos, G. (2006) : Diffusion of Sr, Cs, Co and I in argillaceous rock as studied by radiotracers, Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry, 268, 2, pp.411-417.
14	Mihara, M., Torii, K. (2009) : Study on pore structure and diffusion coefficient of chloride ion in hardened low-alkaline cement, JAEA-Research 2008-109.

表 3.1-1 堆積岩類およびセメント系材料に対する拡散係数の調査対象文献(2/2)

ID	Reference
15	Peterson, V.K., Prince, K.E., Ray, A., Bertram, W.K., Aldridge, L.P. (1999) : Caesium diffusion through cement paste cured at different temperatures, The 11th Australian Conference on Nuclear Techniques of Analysis and the 5th Vacuum Society of Australia Congress. Proceedings, pp.258-261.
16	Sarott, F.A., Bradbury, M.H., Pandolfo, P., Spieler, P. (1992): Diffusion and adsorption studies on hardened cement paste and the effect of carbonation on diffusion rates, Cement and Concrete Research, 22, pp.439-444.
17	Savoye, S., Beaucaire, C., Fayette, A., Herbette, M., Coelho, D. (2012a) : Mobility of cesium through the Callovo-Oxfordian claystones under partially saturated conditions, Environmental Science and Technology, 46, pp.2633-2641.
18	Savoye, S., Frasca, B., Grenut, B., Fayette, A. (2012b) : How mobile is iodide in the Callovo-Oxfordian claystones under experimental conditions close to the in situ ones?, Journal of Contaminant Hydrology, 142, pp.82-92.
19	Savoye, S., Beaucaire, C., Grenut, B., Fayette, A. (2015) : Impact of the solution ionic strength on strontium diffusion through the Callovo-Oxfordian clayrocks: An experimental and modeling study, Applied Geochemistry, 61, pp.41-52.
20	Seki, S., Ouchi, K., Hisa, I., Ito, A. (1978) : Radioactivity leach tests under high hydrostatic pressure on full size monolithic cement packages of LWR wastes for sea dumping, Journal of the Atomic Energy Society of Japan, 20, 12, pp.887-896.
21	Sugiyama, D., Chida, T., Cowper, M. (2008) : Laser ablation microprobe inductively coupled plasma mass spectrometry study on diffusion of uranium into cement materials, Radiochimica Acta, 96, pp.747-752.
22	Tits, J., Jakob, A., Wieland, E., Spieler, P. (2003): Diffusion of tritiated water and 22Na+ through non-degraded hardened cement pastes, Journal of Contaminant Hydrology, 61, pp.45-62.
23	Vilks, P., Miller, N.H. (2007) : Evaluation of Experimental Protocols for Characterizing Diffusion in Sedimentary Rocks, NWMO TR-2007-11.
24	Yoshida, T., Chida, T., Kurashige, I., Sugiyama, D. (2008) : Diffusion of organic carbon through thermal altered hardened cement paste, CRIEPI Research Report, L07009.
25	公益財団法人 原子力環境整備促進・資金管理センター(2015) : 平成 26 年度　管理型処分技術調査等事業　地下空洞型処分施設閉鎖技術確証試験　平成 19 年度～平成 26 年度の取りまとめ　報告書.

3.2 拡散係数データの調査及び整理

3.1 で選定した対象文献について，表 3.2-1 に示す拡散データベースにおける拡散係数データテーブル（入力する情報一覧）の構成[25)]に従って，固相，液相，その他試験条件および文献等の各情報を入力した。今回入力したデータテーブルについては，付録データファイル CD（拡散データベーステーブル）に整理した。拡散データベースの一例を表 3.2-2 に示す。

表 3.2-1 拡散係数データテーブルの構成(1/2)[25)]

分類	項目(単位)	内容
番号	Record No	管理番号
元素情報	Element	元素記号
	Species	化学種
	Species Info	化学種の決定方法
	Ion Charge	イオン電荷
固相情報	Rock type	固相グループ
	Solid	岩石，粘土鉱物，鉱物等の固相名称
	Solid Info	固相に係る付加情報
	Dry Density(Mg/m^3)	乾燥密度
	Porosity(%)	間隙率
	Smectite density(Mg/m^3)	部分スメクタイト密度
	Smectite Contents(%)	スメクタイト含有率
	Sand Mixture(%)	ケイ砂混合率
	Density and Porosity Info	固相に係る付加情報
試験方法	Experimental Method	試験方法
	Experimental Method Info	試験方法に係る付加情報
拡散係数情報	D_e(m^2/s)	実効拡散係数
	D_e Info	実効拡散係数導出に係る付加情報
	D_a(m^2/s)	見かけの拡散係数
	D_a Info	見かけの拡散係数導出に係る付加情報
	Rock capacity factor	収着容量
	Rock capacity factor Info	収着容量導出に係る付加情報
	K_d(m^3/kg)	収着分配係数
	K_d Info	収着分配係数導出に係る付加情報
	D_0(m^2/s)	自由水中の拡散係数
	D_0 Info	自由水中の拡散係数導出に係る付加情報
	Formation factor	形状因子
	Formation factor Info	形状因子導出に係る付加情報
	Geometric factor	幾何学因子
	Geometric factor Info	幾何学因子導出に係る付加情報
液相情報	Solution	液相種類
	Additional note about solution	液相に係る付加情報
	Ionic strength(mol/L)	イオン強度
	Concentration of K^+(M)	K 濃度
	Concentration of Na^+(M)	Na 濃度
	Concentration of Ca^{2+}(M)	Ca 濃度
	Concentration of Cl^-(M)	Cl 濃度
	Concentration of HCO_3^-/CO_3^{2-}(M)	HCO_3／CO_3 濃度
	Concentration of SO_4^{2-}(M)	SO_4 濃度

（網掛けは今回考慮しない項目）

表 3.2-1 拡散係数データテーブルの構成(2/2)[25)]

分類	項目（単位）	内容
試験条件情報	pH	pH
	pH Info	pH に係る付加情報
	Redox condition	酸化還元条件
	Redox condition Info	酸化還元条件に係る付加情報
	Tracer	トレーサ情報
	Tracer Info	トレーサ情報に係る付加情報
	Diffusion time (d)	拡散時間
	Diffusion time Info	拡散時間に係る付加情報
	Temperature(degC)	試験温度
	Temperature Info	試験温度に係る付加情報
文献情報	Reference	出典
	Author	著者
	Title, Vol., Num, etc.	タイトル，雑誌名，巻，ナンバー，等
	Publication year	発行年
その他	Others	その他補足情報
	Quality Info	データ品質に係る補足情報

表 3.2-2 拡散係数データテーブルの入力例

番号	元素情報				固相情報									試験方法		拡散係数情報										
Record No	Element	Species	Species Info	Ion Charge	Rock type	Solid	Solid Info	Dry Density (Mg/m³)	Porosity (%)	Smectite density (Mg/m³)	Smectite Contents (%)	Sand Mixture (%)	Density and Porosity Info	Experimental Method	Experimental Method Info	De (m²/s)	De Info	Da (m²/s)	Da Info	Rock capacity factor	Rock capacity factor Info	Kd (m³/kg)	Kd Info	D0 (m²/s)	D0 Info	Formation factor
1	Cl	Cl-	-	-1	Mudstone	Queenstor	The sample	2.55	10.8				The porosi	Out-diffus	Tests were	1.40E-10	Calculated	-	not reporte	-	not reporte	-	not reporte	-	not reporte	-
2	Cl	Cl-	-	-1	Mudstone	Queenstor	The sample	2.55	10.8				The porosi	Out-diffus	Tests were	1.60E-10	Calculated	-	not reporte	-	not reporte	-	not reporte	-	not reporte	-
3	Cl	Cl-	-	-1	Mudstone	Queenstor	The sample	2.55	10.8				The porosi	Out-diffus	Tests were	1.50E-10	Calculated	-	not reporte	-	not reporte	-	not reporte	-	not reporte	-
4																										
5	H	HTO	-	0	Cementitio	OPC ceme	Hardened (	2.52	21				Porosity w	Through-d	Sample is	5.60E-13	When the s	2.65E-12	Da was cal	0.21	RC was es	-	not reporte	-	not reporte	-
6	H	HTO	-	0	Cementitio	OPC ceme	Hardened (	2.46	23				Porosity w	Through-d	Sample is	1.14E-12	When the s	4.95E-12	Da was cal	0.23	RC was es	-	not reporte	-	not reporte	-
7	H	HTO	-	0	Cementitio	OPC ceme	Hardened (	2.37	26				Porosity w	Through-d	Sample is	2.67E-12	When the s	1.03E-11	Da was cal	0.26	RC was es	-	not reporte	-	not reporte	-
8	H	HTO	-	0	Cementitio	OPC ceme	Hardened (	2.32	28				Porosity w	Through-d	Sample is	3.39E-12	When the s	1.23E-11	Da was cal	0.28	RC was es	-	not reporte	-	not reporte	-
9	H	HTO	-	0	Cementitio	OPC ceme	Hardened (	2.29	29				Porosity w	Through-d	Sample is	3.60E-12	When the s	1.26E-11	Da was cal	0.29	RC was es	-	not reporte	-	not reporte	-
10	H	HTO	-	0	Cementitio	OPC ceme	Hardened (	2.25	30				Porosity w	Through-d	Sample is	3.97E-12	When the s	1.34E-11	Da was cal	0.30	RC was es	-	not reporte	-	not reporte	-
11	H	HTO	-	0	Cementitio	OPC ceme	Hardened (	2.21	31				Porosity w	Through-d	Sample is	5.04E-12	When the s	1.62E-11	Da was cal	0.31	RC was es	-	not reporte	-	not reporte	-
12	H	HTO	-	0	Cementitio	OPC ceme	Hardened (	2.13	33				Porosity w	Through-d	Sample is	8.59E-12	When the s	2.58E-11	Da was cal	0.33	RC was es	-	not reporte	-	not reporte	-
13	H	HTO	-	0	Cementitio	OPC ceme	Hardened (	2.00	38				Porosity w	Through-d	Sample is	1.47E-11	When the s	3.91E-11	Da was cal	0.38	RC was es	-	not reporte	-	not reporte	-
14	H	HTO	-	0	Cementitio	OPC ceme	Hardened (	1.94	39				Porosity w	Through-d	Sample is	1.97E-11	When the s	5.01E-11	Da was cal	0.39	RC was es	-	not reporte	-	not reporte	-
15	H	HTO	-	0	Cementitio	BFS-PFA (	Pastes mix	2.23	23				Porosity w	Through-d	Sample is	1.64E-13	When the s	7.14E-13	Da was cal	0.23	RC was es	-	not reporte	-	not reporte	-
16	H	HTO	-	0	Cementitio	BFS-PFA (	Pastes mix	2.15	26				Porosity w	Through-d	Sample is	2.44E-13	When the s	9.42E-13	Da was cal	0.26	RC was es	-	not reporte	-	not reporte	-
17	H	HTO	-	0	Cementitio	BFS-PFA (	Pastes mix	2.10	27				Porosity w	Through-d	Sample is	3.15E-13	When the s	1.15E-12	Da was cal	0.27	RC was es	-	not reporte	-	not reporte	-
18	H	HTO	-	0	Cementitio	BFS-PFA (	Pastes mix	2.07	29				Porosity w	Through-d	Sample is	3.03E-13	When the s	1.06E-12	Da was cal	0.29	RC was es	-	not reporte	-	not reporte	-
19	H	HTO	-	0	Cementitio	BFS-PFA (	Pastes mix	2.04	30				Porosity w	Through-d	Sample is	3.55E-13	When the s	1.20E-12	Da was cal	0.30	RC was es	-	not reporte	-	not reporte	-
20	H	HTO	-	0	Cementitio	BFS-PFA (	Pastes mix	2.00	31				Porosity w	Through-d	Sample is	4.08E-13	When the s	1.31E-12	Da was cal	0.31	RC was es	-	not reporte	-	not reporte	-
21	H	HTO	-	0	Cementitio	BFS-PFA (	Pastes mix	1.93	33				Porosity w	Through-d	Sample is	5.27E-13	When the s	1.58E-12	Da was cal	0.33	RC was es	-	not reporte	-	not reporte	-
22	H	HTO	-	0	Cementitio	BFS-PFA (	Pastes mix	1.81	37				Porosity w	Through-d	Sample is	7.38E-13	When the s	1.97E-12	Da was cal	0.37	RC was es	-	not reporte	-	not reporte	-
23	H	HTO	-	0	Cementitio	BFS-PFA (	Pastes mix	1.76	39				Porosity w	Through-d	Sample is	8.15E-13	When the s	2.07E-12	Da was cal	0.39	RC was es	-	not reporte	-	not reporte	-
24	H	HTO	-	0	Cementitio	BFS-PFA (	Pastes mix	1.71	41				Porosity w	Through-d	Sample is	8.65E-13	When the s	2.10E-12	Da was cal	0.41	RC was es	-	not reporte	-	not reporte	-
25	H	HTO	-	0	Cementitio	3:1 BFS-P	a 3:1 mix o	-	30				Porosity w	Through-d	Sample is	2.00E-13	Once the	2.10E-12	Da was cal	0.3	Listed in T	-	not reporte	-	not reporte	-
26																										
27	H	HTO	-	0	Cementitio	3:1 BFS-P	a 3:1 mix o	-	30				Density no	Through-d	Sample is t	1.00E-13	Once the	3.33E-13	Da was cal	0.3	Listed in T	0	estimated	-	not reporte	-
28	H	HTO	-	0	Cementitio	3:1 BFS-P	a 3:1 mix o	-	30				Density no	Through-d	Sample is t	2.00E-13	Once the	6.67E-13	Da was cal	0.3	Listed in T	0	estimated	-	not reporte	-
29	H	HTO	-	0	Cementitio	3:1 BFS-P	a 3:1 mix o	-	5				Density no	Through-d	Sample is t	3.00E-13	Once the	6.00E-12	Da was cal	0.05	Listed in T	0	estimated	-	not reporte	-
30	H	HTO	-	0	Cementitio	3:1 PFA/O	a 3:1 mix o	-	5				Density no	Through-d	Sample is t	8.00E-13	Once the	1.60E-11	Da was cal	0.05	Listed in T	0	estimated	-	not reporte	-
31	H	HTO	-	0	Cementitio	3:1 PFA/O	a 3:1 mix o	-	25				Density no	Through-d	Sample is t	4.00E-13	Once the	1.60E-12	Da was cal	0.25	Listed in T	0	estimated	-	not reporte	-
32	H	HTO	-	0	Cementitio	3:1 PFA/O	a 3:1 mix o	-	30				Density no	Through-d	Sample is t	5.00E-13	Once the	1.67E-12	Da was cal	0.3	Listed in T	0	estimated	-	not reporte	-
33	Cs	Cs+	-	1	Cementitio	3:1 BFS-P	a 3:1 mix o	-	30				Density no	Through-d	Sample is t	4.00E-13	Once the	-	-	0.05	Listed in T	-	not reporte	-	not reporte	-
34	Cs	Cs+	-	1	Cementitio	3:1 PFA/O	a 3:1 mix o	-	30				Density no	Through-d	Sample is t	4.00E-15	Once the	-	-	0.05	Listed in T	-	not reporte	-	not reporte	-
35	H	HTO	-	0	Cementitio	3:1 BFS-P	a 3:1 mix o	-	10				Density no	Through-d	Sample is t	2.00E-13	Once the	2.00E-10	Da was cal	0.1	Listed in T	0	estimated	-	not reporte	-
36	H	HTO	-	0	Cementitio	3:1 PFA/O	a 3:1 mix o	-	10				Density no	Through-d	Sample is t	5.00E-13	Once the	5.00E-10	Da was cal	0.1	Listed in T	0	estimated	-	not reporte	-
37																										
38	C	CH3COO-	CH3COON	-1	Cementitio	OPC70	OPC, W/C	-	49.0				Porosity w	Through-d	Sample is	6.73E-11	-	-	not reporte	-	not reporte	-	not reporte	-	not reporte	-
39	C	CH3COO-	CH3COON	-1	Cementitio	OPC70	OPC, W/C	-	49.0				Porosity w	Through-d	Sample is	7.12E-11	-	-	not reporte	-	not reporte	-	not reporte	-	not reporte	-
40	C	CH3COO-	CH3COON	-1	Cementitio	FAC70	FAC: Low-	-	52.0				Porosity w	Through-d	Sample is	3.48E-12	-	-	not reporte	-	not reporte	-	not reporte	-	not reporte	-
41	C	CH3COO-	CH3COON	-1	Cementitio	FAC70	FAC: Low-	-	52.0				Porosity w	Through-d	Sample is	3.76E-12	-	-	not reporte	-	not reporte	-	not reporte	-	not reporte	-
42	C	CH3COO-	CH3COON	-1	Cementitio	FAC35	FAC: Low-	-	31.0				Porosity w	Through-d	Sample is	1.95E-13	-	-	not reporte	-	not reporte	-	not reporte	-	not reporte	-
43	C	CH3COO-	CH3COON	-1	Cementitio	FAC35	FAC: Low-	-	31.0				Porosity w	Through-d	Sample is	5.64E-13	-	-	not reporte	-	not reporte	-	not reporte	-	not reporte	-
44																										
45	C	CH3COO-	CH3COON	-1	Cementitio	OPC35	OPC, W/C	-	16.0				Porosity w	Through-d	Sample is	3.50E-12	(3.4~3.6)E-	-	not reporte	-	not reporte	-	not reporte	-	not reporte	-
46	C	CH3COO-	CH3COON	-1	Cementitio	OPC70	OPC, W/C	-	48.0				Porosity w	Through-d	Sample is	6.90E-11	(6.7~7.1)E-	-	not reporte	-	not reporte	-	not reporte	-	not reporte	-
47	C	CH3COO-	CH3COON	-1	Cementitio	OPC100	OPC, W/C	-	56.0				Porosity w	Through-d	Sample is	9.60E-11	(0.92~1.0)E-	-	not reporte	-	not reporte	-	not reporte	-	not reporte	-
48	C	CH3COO-	CH3COON	-1	Cementitio	FAC35	FAC: Low-	1.96	32.0				Porosity w	Through-d	Sample is	7.05E-14	Initial (0.99	-	not reporte	-	not reporte	-	not reporte	-	not reporte	-
49	C	CH3COO-	CH3COON	-1	Cementitio	FAC70	FAC: Low-	1.41	52.0				Porosity w	Through-d	Sample is	3.65E-12	(3.5~3.8)E-	-	not reporte	-	not reporte	-	not reporte	-	not reporte	-
50	I	I-	KI	-1	Cementitio	OPC35	OPC, W/C	-	16.0				Porosity w	Through-d	Sample is	3.90E-12	(3.5~4.3)E-	-	not reporte	-	not reporte	-	not reporte	-	not reporte	-

4. まとめ

地層処分の安全評価においては，地質環境や地下水条件のバリエーション，それらの長期変遷等をより現実的に考慮して，収着・拡散パラメータを設定することが課題である。この課題へ対応するため，現在進めている NUMO 及び JAEA の共同研究として取り組んだ，堆積岩類およびセメント系材料への収着・拡散データの情報収集と信頼度評価，及びそれらを収着・拡散データベースへ導入するための整理を実施した。今回の調査・評価によって，収着データとしては，文献数 19 件，データ数 1,746 件，拡散データとしては，文献数 25 件，データ数 593 件分について，収着・拡散データベースへの追加が可能となった。

謝辞

今回のデータ調査については，三菱マテリアル株式会社の関岡靖司氏，スイス Arcadis 社の Michael Ochs 氏に協力を頂きました。ここに記して感謝の意を表します。

参考文献

1) 核燃料サイクル研究開発機構：“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－地層処分研究開発第 2 次取りまとめ－ 分冊 3　地層処分システムの安全性”，核燃料サイクル開発機構技術資料, JNC TN1400 99-023, (1999), 526p.
2) 電気事業連合会，核燃料サイクル開発機構：“TRU廃棄物処分技術検討書－第2次TRU廃棄物処分研究開発取りまとめ－”，JNC TY1400 2005-013, FEPC TRU-TR2-2005-02 (2005).
3) 澁谷朝紀，陶山忠宏，柴田雅博：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，JNC TN8400 99-050, (1999), 260p.
4) 三原 守弘：“TRU 廃棄物処分システムの安全評価における核種移行データセット”，JAEA-Review 2006-011, (2006), 51p.
5) 舘幸男，栃木善克，陶山忠宏，齋藤好彦，Michael OCHS，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), 36p.
6) Tachi, Y. and Suyama, T. : Development of JAEA Sorption Database (JAEA-SDB): Update of Sorption data/QA Data in FY2015, JAEA-Data/Code 2015-028, (2016), 60p.
7) 舘幸男，陶山忠宏：“緩衝材及び岩石中の拡散データベース(JAEA-DDB)の整備－2015 年度におけるデータ拡充－”，JAEA-Data-Code-2015-027, (2016), 40p.
8) 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”，JNC TN8400 2001-029, (2002), 42p.
9) 陶山忠宏，舘幸男：“収着データベース(JAEA-SDB)の開発：土壌及びセメント系を含む収着データの拡充”，JAEA-Data-Code-2011-022, (2012), 34p.
10) Ochs, M. , Tachi, Y. , Trudel, D. and Suyama, T. : K_d setting approaches for Horonobe mudstone system: Applications of TSMs and semi-quantitative estimation procedures, JAEA-Research 2012-044, (2013), 144p.
11) 舘幸男，陶山忠宏，澁谷早苗：“地層処分性能評価のための岩石に対する収着分配係数の設定手法の構築：花崗岩を対象とした適用性評価”，原子力バックエンド研究, vol.24, No.2 (2017).
12) Tachi, Y. , Yotsuji, K. , Suyama, T. and Ochs, M. : Integrated sorption and diffusion model for bentonite. Part 2: porewater chemistry, sorption and diffusion modeling in compacted system, Journal of Nuclear Science and Technology, vol.51, No.10, (2014), pp.1191-12014.
13) Tachi, Y. , Suyama, T. , Yotsuji, K. , Ishii, Y. and Takahashi, H. : Clay-based modelling approach for diffusion and sorption in the argillaceous rock from the Horonobe URL: Application for Ni(II), Am(III) and Se(IV), CMS workshop lecture series 21 (Filling the gaps - from microscopic pore structures to transport properties in shales), Chap. 19, (2016), pp.241-250.
14) 日本原子力研究開発機構：“わが国における使用済燃料の地層処分システムに関する概括的評価－直接処分第1次取りまとめ”，JAEA-Research 2015-016, (2015), 327p.
15) 柴田雅博 他：“概要調査段階における設計・性能評価手法の高度化(その3)－NUMO-JAEA共同研究報告書(2013年度) (共同研究)”，JAEA-Research 2014-030, (2015), 457p.
16) 藤山哲雄，出口朗，梅木博之：“地層処分セーフティケースー進捗状況－ (1)セーフティケース構築の考え方とプローチ”，原子力学会，2017 年秋の大会，1A_PL01 (2017).
17) 藤崎淳，黒澤進，澁谷早苗，石田圭輔，浜本貴史，稲垣学，石黒勝彦，梅木博之；“地層処分セーフティケースー進捗状況－ (5)閉鎖後長期の安全性の評価”，原子力学会，2017 年秋の大会，1A_PL05 (2017).
18) Hamamoto, T. , Kunimaru, T. , Shibutani, S. , Kurosawa, S. , Tsukamoto, M. and McKinley, I. : Setting performance assessment parameters for Safety Case development, 16th International High-level Radioactive Waste Management Conference (2017).
19) Hamamoto, T. , Shibutani, S. , Ishida, K. , Fujisaki, K. , Yamada, M. and Tachi, Y. : Assessment of sorption and diffusion in the rock matrix in the NUMO safety case, Proceedings of EAFORM2017: 6th East Asia Forum on Radwaste Management Conference (2018), 4A-2.
20) Baeyens, B. , Thoenen, T. , Bradbury, M. H. and Marques Fernandes, M. : Sorption Data Bases for Argillaceous Rocks and Bentonite for the Provisional Safety Analyses for SGT-E2, Nagra Technical Report 12-04, (2014), p.76.
21) Vilks, P. : Sorption of Selected Radionuclides on Sedimentary Rocks in Saline Condition – Literature Review, NWMO TR-2011-12, (2011), 90p.

22) Wieland, E. : Sorption Data Base for the Cementitious Near Field of L/ILW and ILW Repositories for Proviisional Safety Analyses for SGT-E2, Nagra Technical Report 14-08, (2014), p.104.
23) Ochs, M. , Mallants, D. and Wang, L. : Radionuclide and Metal Sorption on Cement and Concrete, Topics in Safety, Risk, Reliability and Quality, Volume 29 (2016).
24) Vilks, P. , Miller, N. H. and Felushko, K. : Sorption experiments in brine solutions with sedimentary rock and bentonite, NWMO TR-2011-11 (2011).
25) 栃木善克，舘幸男：“緩衝材及び岩石中で核種の拡散データベースの整備－海外の緩衝材データの拡充とその活用法－”，JAEA-Data-Code-2009-029, (2009), 39p.

This is a blank page.

付　録

収着データベースの信頼度評価のガイドライン

1. クライテリアI：報告書などの記述（実験方法，実験条件など）の網羅性の確認

このクライテリアでは，まず，K_dの出展となった報告書（文献）に書かれている記述（実験方法，実験条件等）の網羅性が十分であるか？を確認し，K_dの信頼度評価の対象とするデータを選定する（クライテリアI-a）。この過程で，記述の網羅性が不十分と判断されたデータは，信頼度評価の対象外のデータとなるため，以降の評価作業（すなわち，K_dの報告形態に基づく信頼度評価，クライテリアIIおよびIIIによる評価）は実施しない。

次に，文献中でK_dがどういう形で報じられているかに応じてデータの信頼度を評価する（クライテリアI-b）。例えば，表形式でデジタル値のK_dが報告されている場合，グラフにより収着量を%単位で表示されている場合に比べて信頼度は高くなる。これは，後者の場合，収着量をグラフから読み取り，収着量と液固比からK_dを算出する作業が必要であり，グラフからのデータの読み取りの際に誤算が生じる可能性が高いと考えられるためである。

以下にクライテリアI-aおよびI-bにおける評価項目，評価にあたっての判断基準について述べる。

1) クライテリアI-a

クライテリアI-aは，各入力カラムや文献における記述の網羅性についての確認（I-a.1）と単位記述の有無の確認（I-a.2）からなる。

クライテリアI-a.1では，JAEA-SDBの入力カラムに含まれる以下の項目について，必要なデータが全て入力されているかどうか，出展となった文献に記述があるかどうかについて確認する。

- 元素
- 固相
- 溶液組成
- 試験雰囲気
- pH（またはpH緩衝性に関係する情報：例えば，portlandite equilibrium）
- pe／酸化還元状態（酸化還元に敏感な系の場合のみ）
- pe制御方法（酸化還元に敏感な系で還元条件を必要とする場合のみ）
- 初期放射性核種濃度（溶解度制御を必要としない放射性核種は除く。）
- 固液分離方法
- 試験のタイプ（バッチ試験と異なる試験の場合のみ）

仮に，必要なデータが入力されていない場合や文献中に記述が無い場合，対象となるK_dの信頼度は無いものと判断され，以降の評価作業は実施されない。全ての必須項目に対する情報が網羅されていれば，次の評価であるクライテリアI-a.2による評価を実施する。

クライテリアI-a.2では，単位に関する記述の有無の確認を行う。単位に関する情報が無い場合，対象となるK_dの信頼度は無いものと判断され，以降の評価作業は実施されない。

2) クライテリアI-b

ここでは，文献中でのK_dの報告形態をもとに，データの信頼度評価を以下の判断基準に基づき行ない，クラス1～6の6段階にランク付けする。信頼度はクラス番号が小さいほど相対的に高い。

- クラス1：表形式でK_dの値が与えられている場合
- クラス2：表形式で収着%として与えられている場合，または表形式で残留濃度が与えられている場合
- クラス3：K_dが線形グラフで与えられている場合
- クラス4：収着%が線形グラフで与えられている場合，または残留濃度が線形グラフで与えられている場合
- クラス5：K_dが対数グラフで与えられている場合
- クラス6：収着%が対数グラフで与えられている場合，または残留濃度が対数グラフで与えられている場合

2. クライテリアII：実験方法・実験条件などに基づく個々の収着データの信頼度の確認

II-a：固相

固相の同定および固相の表面特性の把握が十分に行なわれているかを評価する上での注意点を以下にまとめる。この信頼度評価は，測定されたK_d値の使用のためだけでなく，適切な試験条件等を検討する上でも重要である。固相の特性の把握が十分かどうかの判断にあたっては，以下の3つの重要な情報が必要である。

・主要な構成鉱物の組成に関する情報。
・随伴鉱物或いは不純物に関する情報。
・表面特性に関する情報：最低でも，陽イオン交換容量（以下，「CEC」と記す）の様な固相の単位重量当り収着容量の測定値，或いは単位重量当りの異なるサイト密度測定値が必要。

しかしながら，固相の特性を十分に把握するために必要となる情報は，固相の複雑さにも依存する。

固相の同定は，単一・単純な固相の場合は容易であるが，複合・複雑な固相では難しい。以下に固相情報が十分であるかどうかを判断する際の注意点をまとめる。

1) 単一・単純な固相であるか，或いは不純物や随伴鉱物を含んでいるかどうかを確認する。ちなみに，固相の表面特性に関する情報（例えば，CEC）は，試験条件等を検討する際，適切な核種添加量を決定する上でも必要な情報である。
2) 単一・単純な固相である場合，固相の同定という観点では，他に補足する情報は無い。
3) 複合・複雑な固相の場合（例えば，多量の不純物を含む場合や幾つかの異なる鉱物から構成されている場合），構成鉱物に関する補足情報が必要である。この場合には，天然の固相試料などが該当する。
4) 固相試料に対し，粉砕や篩い分けといった処理が行なわれている場合，粒子サイズに関する情報も必要となる（II-f 参照）。また，化学的な処理が施されている場合（例えば，方解石を除去するための酸洗浄および酸化還元に鋭敏な固相の場合における酸化還元状態の変化など），施された処理方法や処理後の鉱物に関する情報も必要である。
5) 商用的に幅広く用いられている固相（例えば，MX-80，Kunigel V1，粘土鉱物学会により標準的粘土鉱物とされているSWy-1，Min-U-Sil SiO_2 等）については，この様な固相に関する詳細情報は広く知られており，文献で確認することができる。従って，JAEA-SDBの中に含まれるこの様な固相の場合，もし文献中に固相情報の記述が無い場合でも，そのデータはレベルAまたはレベルBと評価する。但し，この判断は，この様な固相が一般的に標準とされている状態で用いられている場合にのみ適用される。固相の洗浄などが行われた場合は，その方法やその結果どの様な変化が生じたかについての情報が必要である。

以上の様な注意点を踏まえ，収着試験における固相情報の記述の適切性に関しては，以下の基準をもとに3 つの信頼度レベルを付与する。

A) 固相の表面特性に関する情報だけでなく主要・微量の鉱物に関する情報も判っている場合。例えば，単一・単純な固相の場合。或いは複合・複雑な固相で，固相の同定が十分に行なわれている場合。いずれの場合についても，固相試料に対して何の処理も施されていないか，処理が施されていても処理方法や処理後の鉱物に関する情報が記述されている場合。
B) 固相の表面特性に関する情報だけでなく主要鉱物に関する情報も判っている場合。例えば，単一・単純な固相であるが，不純物を含む可能性がある場合（例えば，未精製の粘土などで情報が記述されていない場合）。或いは，複合・複雑な固相であり，付随する不純物を含む可能性がある場合。また，固相試料の処理が施されていて，鉱物組成にマイナーな変化が生じている可能性がある場合。
C/D) 主要鉱物もしくは固相の表面特性に関する情報が欠けている場合。例えば，CECの情報が無い場合（或いは収着能力を示す様な他の測定値が無い場合），或いは天然の粘土試料の様に含

まれる粘土鉱物がスメクタイトなのかカオリナイトなのかイライトなのかについて不明な場合。固相の同定が行なわれていない土壌試料・粉砕された岩石試料の場合。また，固相試料の処理により，鉱物組成に顕著な変化が生じていると考えられ，そのことが記述されていない場合。

II-b：pHの調整と制御

核種の収着試験におけるpHの調整と制御に関する情報を評価する上での注意点を以下にまとめる。

放射性核種の収着を制御する重要な溶液パラメータの1つはpHである。収着試験におけるpHは，K_dの評価や試験条件の適切性を確認する上で重要なパラメータであり，炭酸塩鉱物の安定性や放射性核種の溶解度を評価する上でも重要である。また，pHは，収着反応を平衡に保つため，試験期間中ほぼ一定に保たれなければならない。収着試験におけるpHの調整と制御の方法としては，以下の2通りの場合が挙げられる。

1) pHの制御は行なわれていないが，試験系は平衡状態であり，試験の最後にpHが測定されている場合。この場合，試験後のpHが試験前の値と比べて大きく変化していないことが重要である。
2) 酸－塩基やpH緩衝液の添加により，試験期間中，pHが制御されている場合。この方法は，pHを関数とし，複数のK_dを測定したい場合に用いられる。この場合，用いられる酸－塩基やpH緩衝液が放射性核種の化学形，固相表面での放射性核種の収着挙動に影響を与えないことが記述されていることが必要である。仮に，K_dに影響を与える可能性がある緩衝液（不活性ではない緩衝液）が添加量の記述も無く用いられている場合，この様な方法で得られたK_dの信頼度は低いと判断する。

収着試験におけるpHの調整と制御に関する記述情報の適切性については，以下の基準をもとに4つの信頼度レベルを付与する。

A) 平衡に達していること，または少なくとも準平衡で安定した状態に達しており，pHの値が試験後に測定されている場合。または，pH調整のために用いられた緩衝液が不活性である（すなわちK_dに影響を与えない。）ことが判っている場合や緩衝液が放射性核種の収着挙動に影響を与えないことが溶存化学種計算により示されている場合。或いは緩衝液の使用の有無にかかわらず，同じK_dが得られている場合。なお，不活性ではないpH緩衝液が添加されている試験系でもレベルAに該当する場合もあり得る（レベルCのチェックポイントにおけるK_dが炭酸濃度を関数として測定されている場合の記述を参照）。
B) 試験後のpH値を記述しているが，pHの範囲（1 pH 単位以内）で記述されている場合。または，pHの測定は試験前のみだが，試験系のpHが良く緩衝されている場合（すなわち，不活性な緩衝剤が用いられている場合）。
C) pHの制御が行われておらず，試験前のpHだけが記述されている場合。または，不活性ではないpH緩衝液が添加されている場合（例えば，酢酸塩の様に錯体形成を引き起こす緩衝液が添加された場合）。但し，K_dが炭酸濃度の関数として測定されており（K_dへの炭酸塩の効果が記述されている。），炭酸濃度が，同時にpHを制御するために用いられている場合，結果として，試験系のpHが炭酸により制御されているため，レベルAに評価される。
D) pHの制御が行われておらず，試験前のpHの範囲（1 pH 単位以内）だけが記述されており，試験後のpHに関する情報が記述されていない場合。

注釈）レベルDで要求される条件にも適していない場合，K_dデータの信頼性は低いと判断し，unreliableなデータとして，信頼度評価の対象データから除外する。また，もしK_dに影響を与える可能性がある緩衝液（不活性ではない緩衝剤：例えば，酢酸塩や炭酸塩）が添加量の記述も無く用いられている場合も，この様な試験条件で得られたK_dの信頼性は低いと判断し，unreliableなデータとして，信頼度評価の対象データから除外する。

II-c：酸化還元状態
核種の収着試験における酸化還元状態に関する情報の記述の適切性について判断する上での注意点を以下にまとめる。

1) まず，試験系が酸化還元状態に鋭敏な系なのかどうかに着目する必要がある。酸化還元状態に鋭敏な系の場合，試験対象となる放射性核種のみが酸化還元状態に鋭敏なのか，或いは他の成分（例えば，固相や溶存化学種）も酸化還元状態に鋭敏なのか確認する必要がある。
2) 上記の様な観点で言えば，このチェックポイントでは，収着性核種の酸化還元状態のコントロールについて対象とするものであり，試験系全体の酸化還元状態のコントロールについて言及するものではない。
3) もし試験系に酸化還元状態に鋭敏な溶存成分（例えば，有機物）や固相（例えば，Fe, Mnを含む固相）が含まれている場合，最初の状態と酸化還元状態が異なることにより，同時に，多数の酸化還元平衡に影響を与える可能性がある。その様な場合，平衡状態を確認することや，どの様な固相が存在しているかを判別することは困難である。なお，固相や溶液組成への影響については，II-a やII-d のチェックポイントで確認する。
4) このチェックポイントにおいて，“試験のために強いられた酸化還元状態”は，必ずしも還元剤を加えたことにより強いられた酸化還元状態だけを意味するのではなく，例えば天然で還元状態にあった堆積物を室内に持ち込むことによる酸化（酸化還元状態の変化）といった強いられた酸化状態の意味も含んでいる。
5) 先にも述べた様に，このチェックポイントでは，収着性核種の酸化還元状態のコントロールに着目しており，データの品質に関しては，以下の2つの要求事項が挙げられる。信頼度レベルは，次の2つの情報の信頼性に対する記載レベルの違いにより付与する。
   ①収着性核種の酸化還元状態のコントロールおよび酸化還元状態の確認に関わる情報の信頼性。
   ②還元剤を加えることによる放射性核種のspeciation変化の様な影響が生じていないことに関わる情報の信頼性。

以上の様な観点を踏まえ，収着試験における酸化還元状態に関する記述の適切性について，以下の基準をもとに2つの信頼度レベルを付与する。

A/B) 上記の①および②に関する情報が網羅されている場合。これは以下の様な場合を含んでいる。
- 試験系が収着の観点で酸化還元状態に鋭敏でなく，還元剤も使用されていない場合（すなわち，収着性の放射性核種はある1つの酸化還元状態のみである場合）。
- 酸化還元に鋭敏な試験系は，（試験前から既に）平衡状態にあり，周囲の状態により維持されている場合。
- 酸化還元状態に鋭敏な放射性核種に対して酸化還元状態をコントロールした試験であり，複数の還元剤により，同様な結果が得られている場合。

C/D) 上記の①および②に関する情報が評価できる場合。これは，以下の様な場合を含んでいる。
- 1種類の還元剤を用いて酸化還元状態に鋭敏な放射性核種に対する酸化還元状態のコントロールを行っても効果的であることが試験や文献等で評価できる場合，また，放射性核種の収着挙動への影響も十分に小さいことが評価できる場合。
- 複雑な（影響を及ぼす可能性のある）還元剤が用いられているが，還元剤による放射性核種のspeciationへの影響が評価できる場合。
- レベルA/Bほど，還元状態が明確に定義されていないが，核種の酸化還元状態が別途測定されている場合。放射性核種の酸化状態が，独立して測定されている場合（例えば，放射性核種の酸化状態を確認した低酸素条件の試験）。この様な測定における酸化還元状態の信頼度評価については，評価者（operator）のエキスパートジャッジが必要である。

注釈）酸化還元状態に関する記述がC/Dのレベルを満たしていない場合，unreliableなデータとして，信頼度評価の対象データから除外される。例えば，酸素の存在を最小にすることによってのみ還元状態を達成しようとする場合（例えば，窒素雰囲気で試験する場合）は，一般的にunreliable

なデータとして分類する（レベルC/D に記述があるように核種の酸化状態がある程度確認できるような場合を除く）。また，（多くの有機酸に認められる様な）非常に錯形成能の高い還元剤が濃度を特定すること無く用いられている場合，この様な条件で得られたデータは，unreliableなデータとして，信頼度評価の対象データから除外する。

II-d：最終の溶液組成

溶液が炭酸を含んでいる場合，試験条件が炭酸分圧で示されているケースもある。試験系のpHや酸化還元状態を調整・制御している場合，用いられた酸－塩基，pH緩衝液や還元剤に関する情報も溶液組成に影響を与えるため重要である。

収着試験における溶液組成に関する情報の記述の適切性について，以下の基準をもとに2つの信頼度レベルを付与する。

A/B) 最終の溶液組成が明確であり（直接分析されている場合，或いは初期の試験条件と speciation の計算により評価されている場合），平衡状態に達しているか，試験系が良く制御されている場合。溶液組成には，主要成分が全て含まれており，また溶液中に収着挙動に影響を与えると考えられる微量成分（炭酸塩や他の錯形成塩など）が含まれている可能性がある場合，それらが評価されていることが必要である（微量成分の中には不明なものも含まれている可能性はある）。天然の地下水試料が用いられている場合，溶液の電荷バランスは±5 %以内に収まっていることが必要である。最終の溶液組成情報が次の①または②を使って得られる場合。①実際の収着試験サンプル溶液の分析結果。②実際の収着試験前の平衡前溶液についての分析結果。

C/D) クリティカルな主要溶液組成が分かっているか，若しくは，概ね評価することが可能であるが，溶液組成の一部が不明確である場合。例えば，溶液の主要成分の一部が分析されていない場合や溶液中に収着挙動に影響を与えると考えられる微量成分が含まれている可能性があるにも拘らず，評価がされていない場合。天然の地下水試料が用いられている場合，溶液の電荷バランスは±10 %以内に収まっていることが必要である。

注釈）溶液組成に関する記述がC/Dのレベルを満たしていない場合，その様な条件で得られたK_dの信頼性は低いと判断し，unreliableなデータとして，信頼度評価の対象データから除外される。

II-e：温度

ここでは，収着試験における温度に関する情報の記述の適切性について，以下の基準をもとに2つの信頼度レベルを付与する。

A/B) 温度が特定され，一定である場合（例えば，室温など）。または，試験系の温度が調整・制御されている場合。

C/D) 温度が特定されていない場合。

II-f：固液比と粒子サイズ

核種の収着試験における固液比と粒子サイズに関する情報の記述の適切性について評価する上での注意点を以下にまとめる。

・容器壁面への核種の収着によるK_dへの影響を防ぐため（II-m 参照），また，粒度分布範囲が広い固相試料に対する再現性（reproducibility）と代表性（representativeness）を確保するためにも，試料の粒子サイズにも依存するが少なくとも100 mgの固相試料が用いられていることが必要である。

ここでは，収着試験における固液比と粒子サイズに関する情報の記述の適切性について，以下の基準をもとに2つの信頼度レベルを付与する。

A/B) 十分な量の固相試料がそれぞれの反応容器に加えられており，a)固相の表面積が容器壁面の表面積よりはるかに大きい場合（少なくとも固相の表面積は5 m^2以上であること）。なおかつ，b)固相試料の再現性と代表性が確保されている場合。十分な量の固相試料とは，表面積と均一

性に明らかに依存する。上記の2つの要求を満足することは，大きな表面積を持ち，比較的均一な粘土やベントナイトのような固相では，特に問題にはならない（ここで，“十分な量”とは少なくとも100 mgの固相試料を用いていることを意味する）。一方，岩石（表面積，粒子サイズ，固相試料の複雑性にもよるが）の場合は“十分な量”とは1gから数gを意味する。

C/D) 上記A/Bに該当しない場合。

II-g：収着率

核種の収着試験における収着率に関する情報の記述の適切性について評価する上での注意点を以下にまとめる。

収着率が小さ過ぎる場合および大き過ぎる場合（収着量が0%や100%に近い場合）は，測定誤差が大きくなるため，これを避けるような適切な試験条件が選定されているかどうか確認することが必要である。収着率に関しては，適切な固液比（II-f 参照）や適切な初期濃度（II-h 参照）に設定することで，調整することも可能である。しかしながら，放射性核種の選定によっては，核種の溶解度や分析下限により，制約を受けることもある。

ここでは，収着率に関する情報の記述の適切性について，以下の基準をもとに3つの信頼度レベルを付与する。

A) 収着率が5～95%の範囲に入る場合。

B) 収着率が2～5%または95～98%の範囲に入る場合。

C/D) 上記AおよびBに該当しない場合。

II-h：核種の初期濃度

核種の初期濃度のチェックポイントは，収着試験において，核種の沈殿による影響の有無を確認する上で重要な項目である。ここでは，収着試験における核種の初期濃度に関する記述の適切性について，以下の基準をもとに3つの信頼度レベルを付与する。

A) 放射性核種の濃度が溶解度により制限されない場合。または，核種の初期濃度が明らかに溶解度以下である場合（少なくとも溶解度の1/5以下の濃度である場合）。例えば，ある核種の溶解度が10^{-6}から10^{-8} Mの幅で不確実性がある場合，核種の初期濃度が2×10^{-9} M以下であることが必要である。

B) 核種の初期濃度は明らかに溶解度以下であるが，溶解度の1/5以上の濃度である場合。

C/D) 核種の初期濃度が非常に低く，かつ，核種の溶解度制限固相に関する熱力学データが無く，溶解度が確認できない場合。

注釈）

・溶解度は熱力学計算，または，収着試験と同じ試験条件下で得られた溶解度試験のどちらかで定めることができることに注意する。

・核種の初期濃度が溶解度を越えている場合，得られたK_dの信頼性は低いと判断されるため，unreliableなデータとして，信頼度評価の対象データから除外される。

II-i：固液分離方法

収着試験において，コロイドやフィルターへの収着等の影響がある場合，固液分離方法の違いにより異なった結果が得られる。従って，異なった固液分離方法で同一，或いは非常に近い結果が得られれば，コロイドやフィルターへの収着等による影響が無いことが確認できる。その様な研究はレベルAにランクされる。コロイドの影響が取り除かれていると推定されるが，レベルAの様な直接的な証拠が無い場合，レベルBにランクされる。ここでは，収着試験における核種の固液分離方法に関する記述の適切性について，以下の基準をもとに3つの信頼度レベルを付与する。

A) 異なった固液分離方法を用いて，同一，或いは非常に近い結果が得られている場合。この場合，少なくともコロイドを取り除く方法の1つとして，限外濾過または高速遠心分離といった方法が適用されている必要がある。従って，限外濾過と高速遠心分離といった2つの効果的な方法

でデータが比較されている場合が最適である。なお，このような固液分離方法の比較がそれぞれのK_d値に要求されているわけではない。例えば，効果的な固液分離方法と標準的な固液分離方法を比較する試験が代表的なサンプルで行われ，コロイドの様な小さな粒子が無いことが確認されている場合，固液分離方法が標準的な方法のみであったとしても，全データについてレベルAを付与する。

B) 固液分離方法としては，1種類の方法だけが適用されているが，超遠心分離や限外濾過といった方法が用いられ，コロイドの様な小さな粒子による影響やフィルターへの収着の影響が無いことが確認されている場合。

C/D 固液分離方法としては，1種類の方法だけが適用されており，遠心分離や公称0.01～0.45μmのメンブランフィルターといった通常の固液分離方法であり，コロイドの様な小さな粒子による影響やフィルターへの収着による影響が無いことが確認されていない場合。なお，岩石を対象とした高イオン強度溶液での試験の様にコロイドの影響がないことが明らかな場合，通常の固液分離方法が適用されていてもレベルAとする。

注釈）固液分離方法についての具体的記述が無い場合やコロイドやフィルターへの収着等の影響があると考えられる場合，そのK_dの信頼性は低いと判断されるため，unreliableなデータとして，信頼度評価の対象データから除外する。

II-j：反応時間

収着試験における反応時間が適切に設定されているかどうかを評価する。収着試験における反応時間に関しては，以下の基準をもとに2つの信頼度レベルを付与する。

A/B) 異なる反応時間で同等もしくはそれに近い結果が得られている試験の場合。または，試験系が平衡に達していることが，別途，速度論的な試験により示されている場合。

C/D) 反応時間の設定は1ケースであるが，十分に長い反応時間が設定されている場合。一般的に試験系が平衡に達したと考えられる反応時間は，収着する固相の複雑さと収着の強さによって異なる。イオン交換反応による純粋な粘土鉱物へのSrの収着挙動は，1日程度で平衡に達すると見積もられる。一方，複雑な固相への3価のアクチニドの収着挙動は，平衡に達するまでに数日から数週間の時間を要する場合も想定される。従って，速度論的なデータが無い場合，このチェックポイントには，評価者（operator）によるエキスパートジャッジが必要になる。

注釈）レベルC/Dの要求に合わない場合，すなわち，反応時間がリーズナブルに長く，試験系が平衡に達したと考えられない場合，unreliableなデータとして信頼度評価の対象データから除外される。

II-k：撹拌方法

収着試験における攪拌方法が適切かどうかを評価する。収着試験における攪拌方法に関しては，以下の基準をもとに2つの信頼度レベルを付与する。

A/B) 速度論的情報により十分平衡に達していることが示されている場合以外は，すべてのケースで適切な攪拌が要求される。攪拌の方法としては，振とうによる方法が最も好ましい。撹拌棒による攪拌は，試料の摩耗が起こるため好ましくないが，アルミナのような単一・単純な結晶化した固相や容易に懸濁する非常に小さい粒径の固相の場合は問題ない。

C/D) 上記 A/B に該当しない場合。

II-l：核種の添加量

収着試験における核種の添加量が適切かどうかを評価する。

収着試験において，理想的には，核種の添加量に応じてK_dの値が求められている場合や核種の添加量が少ない場合が望ましい。一般に，収着サイトが過剰に存在し，核種の収着しているサイトの影響が小さい場合，ラングミュアー型の収着等温線（線形収着）で収着挙動の評価が可能である。単純な固相（ある種のベントナイトも含まれる）では，かなり高濃度の核種添加量の領域

まで，線形な収着等温線が適用可能である。一方，他のケースでは，K_dは核種添加量に大きく影響される。

ここでは，収着試験における核種添加量の適切性について，以下の基準をもとに3つの信頼度レベルを付与する。

A) 溶液組成および固液比が一定の条件で, 少なくとも1つの収着等温線が決定されており, かつ, 少なくとも幾つかの試験データは微量の放射性核種濃度において取得されている場合（すなわち，少なくとも幾つかのデータは線形収着領域に含まれる場合）。
B) 収着等温線は求められていないが, 少なくとも放射性核種の初期濃度や固液比を変えた試験が行われている場合。そして，幾つかのデータは微量の放射性核種濃度において取得されている場合（すなわち，幾つかのデータは線形収着領域に含まれる場合）。
C/D) 上記A，Bの様に条件を変えた試験が行われていない場合。

II-m：反応容器

収着試験において，反応容器として適切な材質の容器が選定されているか，また容器に核種が収着した場合の補正が正しく行なわれているかを評価する。以下に，幾つかの代表的な材質を例に収着試験における容器材質としての適切性や容器へ核種が収着した場合の補正の重要性および注意点について述べる。

収着試験における反応容器の材質としては，高密度ポリエチレン樹脂（HDPE）やテフロンが最も好ましい。次いで，ポリエチレン樹脂（PE）が好ましい。ガラスは，高pHや低pH条件では溶解する可能性がある。但し，ガラスは，ポリエチレンよりも気密性が高いという特性がある。容器壁への核種の収着量の補正は，もし，ブランク試験によってその補正が無視できることが示されれば，必ずしも必要なことでは無い。但し，以下の様な場合，正確にK_dを測定するためには，容器壁への核種の収着量の補正が必要になる。

・容器への収着が固相への収着より強い場合。
・固相の表面積に比べ，容器の表面積の方が大きい場合。

上記の様な場合を除けば，固相への収着の方が容器への収着より，はるかに大きい。また容器への収着が, i)固相が存在しない場合:ブランク試験（固相と放射性核種との間で競合が無い場合）と，ii)固相が存在する場合（固相と放射性核種との間で競合が有る場合）で同じではない。容器壁面への収着は，通常，固相が存在しない場合より，固相が存在する場合の方が小さい。従って，ブランク試験での容器壁面への収着量をもとに，容器壁面への収着が補正された場合，容器壁面への収着を無視した場合よりも誤差が大きくなる可能性がある。

もし，容器壁への収着の影響を正確に把握するなら，試験後に（例えば，酸による洗浄により）容器壁に収着した放射性核種を脱離し，試験前後でのマスバランスを確認することが必要である。

ここでは，収着試験における反応容器に関する情報の適切性について，以下の基準をもとに3つの信頼度レベルを付与する。

A) 適切な反応容器が使用されている場合（試験によっては，収着性だけでなくO_2やCO_2に対する密閉性も考慮されている）。反応容器壁への核種の収着量の補正が行われているか，或いは，反応容器壁への収着が無視できることが示されている場合。もし，容器壁への収着の影響が補正される場合，試験後に容器壁に収着している放射性核種を（例えば，酸洗浄で）脱離し，試験前後でのマスバランスを確認していることが必要である。なお，反応容器壁への核種収着量の影響が明らかにK_d値に比べ低いため（K_dに換算して，少なくても2桁程度低い），反応容器壁への核種の収着量の補正が行われていない場合もレベルAとする。
B) 適切な容器が使用されているため，容器壁への収着補正が行われていない場合。
C/D) 適切な容器が使用されていない場合（これは，試験条件によるが，しばしばガラスの場合にあてはまる）。或いは，容器壁への収着の補正がブランク試験のみに基づいて行われている場合（すなわち，固相が存在した場合の容器壁への収着量の影響について確認していない場合。この場合，容器壁への収着を過剰に見積もることになる）。

II-n：不確実性の評価

一般的に，繰り返し行われた収着試験に基づく不確実性は，誤差に伴う不確実性よりも好ましい。従って，ここでは，信頼度レベルの違いは，主に，繰り返し測定により得られた実際の情報量の違いに基づき判断する。例えば，レベルAでは，全ての試験がそれぞれ繰り返されている場合；レベルBでは，サンプリングと分析が繰り返されている場合；レベルCでは，繰り返し試験が行われていない場合である。

繰り返し行われた試験に基づくK_d値は, 1回のみの試験で得られた値よりも信頼性が高い。但し，この項目で対象とする試験値は，ある一点の条件で得られたK_d値（single-point K_d Value）であるため，「再現性が良く，系統的な誤差が明確に示される様なpHエッジ，等温線，速度論データを求める試験の場合」においては，この項目は実質的に不要になると考えられる（II-o 参照）。

ここでは，収着試験における不確実性の評価について，以下の基準をもとに4つの信頼度レベルを付与する。

A) K_dの不確実性が繰り返し行われた収着試験に基づき求められている場合。（繰り返し数は，少なくともn=2以上）。
B) K_dの不確実性が繰り返し数n=1の収着試験で，繰り返しサンプリングおよび分析に基づき求められている場合。この場合の不確実性は，測定および分析の誤差に起因するものであると考えられる。
C) K_dの不確実性が分析または試験方法の不確実性に基づき評価されている場合。
D) 誤差の評価，繰り返しサンプリングが行なわれていない場合。

II-o：パラメータ変化

収着挙動に影響を与える主要なパラメータ（例えば，放射性核種の濃度，pH，炭酸分圧，液固比，固相を粉砕した場合の粒径など）を系統的に変化させた試験により得られたK_dは，単にある一点の条件で得られたK_dよりも信頼度が高い。特に，主要なパラメータを変化させることで，試験上の問題点や系統的な誤差（systematic errors）を見出せる。系統的な誤差は，同一条件での繰り返し試験では，見出せないため，パラメータを変化させた試験が有効である。

収着試験の信頼度評価にこの項目を適用する場合，対象とする試験系の特性について注意を払わなければならない。例えば，複雑な試験系で明確な傾向性を示すためには，単純な試験系と比べて，より多くのパラメータ変化が必要になる。一方，方解石が共存する試験における pH や炭酸濃度は，方解石によりコントロールされるため，変化できるパラメータが限られてくる。

ここでは，収着試験におけるパラメータ変化に関する適切性について，以下の基準をもとに4つの信頼度レベルを付与する。

A) pH，炭酸分圧およびNa濃度（イオン交換反応の場合）の様な化学的なパラメータだけでなく，放射性核種の添加量（収着等温線）も系統的に変化させた試験も実施している場合。
B) 化学的なパラメータ（例：pH，炭酸分圧，Na濃度など）あるいは放射性核種の添加量（収着等温線）のうち，少なくとも2つのパラメータを変化させた試験を実施している場合。これらのパラメータの変化は，レベルAの場合よりも系統立てて行なわれていなくても良いが，パラメータ変化により，傾向が把握できることが必要である。
C) 上記Bと同様の要件であるが，変化させているパラメータが1つの場合。
D) パラメータを変化させた試験が行われていない場合。

3. クライテリアIII：データ相互間の整合性の観点からのランク付け

前述の2つのクライテリアが，JAEA-SDBに登録されたK_dの信頼度を報告書（文献）に書かれている記述の網羅性の確認や記述内容の技術的および科学的観点から信頼度を評価することに対し，クライテリアIIIでは，データ相互間の整合性の観点からK_dの信頼度を評価する。類似の試験条件でK_dと不整合があれば，出典となった元文献に遡って充分にその信頼度を検討しなければならない。

“データ相互間の整合性がある”とは，他の類似した試験条件の文献におけるK_dと比較し，JAEA-SDBに登録されたK_dの値が大きく異ならないで，同様な傾向が見られるということである。例えば，K_dのpH依存性のある放射性核種の場合，類似する試験条件に対して同じ様な試験結果（K_d）になることである。また，複数の文献においてTh(IV)の収着よりU(IV)の収着の方が強いことを示している場合，それに反対の試験結果を示している報告があれば，その理由が適切に説明されている必要がある。その理由が適切に説明されていない場合には，評価対象のK_dの信頼度は低くなり，unreliableと判断される。

→クライテリアIIIの評価結果はコメント形式で記述する。クライテリアIIIの評価対象には，「各チェックポイントでレベル付けした一覧表」と「クライテリアIIに基づく信頼度のクラス分け結果」も含まれる。

→もし，評価しているK_dが信頼できる類似した試験条件の試験結果（文献）としてのK_dと明らかに整合性がなく，かつ，その理由が説明されていない場合は，評価対象のK_dはクライテリアIIIにおいてunreliableと判断される。

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 組立単位	
	名称	記号
面積	平方メートル	m^2
体積	立方メートル	m^3
速さ，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	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	ジーメンス	S	A/V	$m^{-2}\ kg^{-1}\ s^3\ A^2$
磁束	ウエーバ	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	$m^2\ kg\ s^{-2}\ A^{-2}$
セルシウス温度	セルシウス度[e]	℃		K
光束	ルーメン	lm	cd sr[c]	cd
照度	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	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
粘度	パスカル秒	Pa s	$m^{-1}\ kg\ s^{-1}$
力のモーメント	ニュートンメートル	N m	$m^2\ kg\ s^{-2}$
表面張力	ニュートン毎メートル	N/m	$kg\ s^{-2}$
角速度	ラジアン毎秒	rad/s	$m\ m^{-1}\ s^{-1}=s^{-1}$
角加速度	ラジアン毎秒毎秒	rad/s^2	$m\ m^{-1}\ s^{-2}=s^{-2}$
熱流密度，放射照度	ワット毎平方メートル	W/m^2	$kg\ s^{-3}$
熱容量，エントロピー	ジュール毎ケルビン	J/K	$m^2\ kg\ s^{-2}\ K^{-1}$
比熱容量，比エントロピー	ジュール毎キログラム毎ケルビン	J/(kg K)	$m^2\ s^{-2}\ K^{-1}$
比エネルギー	ジュール毎キログラム	J/kg	$m^2\ s^{-2}$
熱伝導率	ワット毎メートル毎ケルビン	W/(m K)	$m\ kg\ s^{-3}\ K^{-1}$
体積エネルギー	ジュール毎立方メートル	J/m^3	$m^{-1}\ kg\ s^{-2}$
電界の強さ	ボルト毎メートル	V/m	$m\ kg\ s^{-3}\ A^{-1}$
電荷密度	クーロン毎立方メートル	C/m^3	$m^{-3}\ s\ A$
表面電荷	クーロン毎平方メートル	C/m^2	$m^{-2}\ s\ A$
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	ファラド毎メートル	F/m	$m^{-3}\ kg^{-1}\ s^4\ A^2$
透磁率	ヘンリー毎メートル	H/m	$m\ kg\ s^{-2}\ A^{-2}$
モルエネルギー	ジュール毎モル	J/mol	$m^2\ kg\ s^{-2}\ mol^{-1}$
モルエントロピー, モル熱容量	ジュール毎モル毎ケルビン	J/(mol K)	$m^2\ kg\ s^{-2}\ K^{-1}\ mol^{-1}$
照射線量（X 線及びγ線）	クーロン毎キログラム	C/kg	$kg^{-1}\ s\ A$
吸収線量率	グレイ毎秒	Gy/s	$m^2\ s^{-3}$
放射強度	ワット毎ステラジアン	W/sr	$m^4\ m^{-2}\ kg\ s^{-3}=m^2\ kg\ s^{-3}$
放射輝度	ワット毎平方メートル毎ステラジアン	$W/(m^2\ sr)$	$m^2\ m^{-2}\ kg\ s^{-3}=kg\ s^{-3}$
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	名称	記号	乗数	名称	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=60 s
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/10 800) rad
秒	”	1”=(1/60)’=(π/648 000) rad
ヘクタール	ha	1 ha=1 $hm^2=10^4m^2$
リットル	L, l	1 L=1 l=1 $dm^3=10^3cm^3=10^{-3}m^3$
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=0.1MPa=100 kPa=10^5Pa
水銀柱ミリメートル	mmHg	1 mmHg≈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
バーン	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。
ベル	B	
デシベル	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
エルグ	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}=10^4cd m^{-2}
フォト	ph	1 ph=1cd sr cm^{-2} =10^4lx
ガル	Gal	1 Gal =1cm s^{-2}=$10^{-2}ms^{-2}$
マクスウエル	Mx	1 Mx = 1G cm^2=10^{-8}Wb
ガウス	G	1 G =1Mx cm^{-2} =10^{-4}T
エルステッド[a]	Oe	1 Oe ≙ $(10^3/4\pi)$A m^{-1}

(a) 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		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= 0.2 g = 2×10^{-4}kg
トル	Torr	1 Torr = (101 325/760) Pa
標準大気圧	atm	1 atm = 101 325 Pa
カロリー	cal	1 cal=4.1858J（「15℃」カロリー），4.1868J（「IT」カロリー），4.184J（「熱化学」カロリー）
ミクロン	μ	1 μ =1μm=10^{-6}m

（第8版，2006年）