



人間侵入に関する安全評価手法の開発 その2

－放射性廃棄物処分における人間侵入シナリオ評価コードの開発－

(受託研究)

Development of Safety Assessment Method for
Human Intrusion Scenario in Japan Part II
- Development of a Human Intrusion Scenario Evaluation Code
in Radioactive Waste Disposal -
(Contract Research)

武田 聖司 佐々木 利久 長澤 寛和 木村 英雄

Seiji TAKEDA, Toshihisa SASAKI, Hirokazu NAGASAWA and Hideo KIMURA

安全研究センター
サイクル施設等安全研究ユニット

Fuel Cycle Safety Research Unit
Nuclear Safety Research Center

November 2010

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

© Japan Atomic Energy Agency, 2010

人間侵入に関する安全評価手法の開発 その2
－放射性廃棄物処分における人間侵入シナリオ評価コードの開発－
(受託研究)

日本原子力研究開発機構 安全研究センター サイクル施設等安全研究ユニット
武田 聖司・佐々木 利久^{*1}・長澤 寛和^{*1}・木村 英雄

(2010年8月20日受理)

高レベル放射性廃棄物の地層処分や原子炉解体廃棄物等の余裕深度処分の安全評価では、考慮すべき影響要因の1つとして「人間侵入」がある。諸外国の安全評価において必ずしも人間侵入の評価対象とするシナリオの範囲は共通ではないものの、処分サイトでの偶発的なボーリング掘削に関するシナリオ（ボーリングシナリオ）は、多くの国において人間侵入の影響評価の対象として位置づけられている。諸外国の評価の現状から、ボーリングシナリオは、ボーリング掘削によりバリアシステムが損傷するシナリオと廃棄体へ人間が直接接近するシナリオに大別され、将来の HLW 等の地層処分や余裕深度処分に対する安全規制の観点から、ボーリングシナリオに対する安全評価手法の整備は必要と考えられる。そこで、諸外国のボーリングシナリオの安全評価事例の情報とわが国で実施されたボーリング掘削の実態に関する情報を基に、わが国に対応したボーリングシナリオの被ばく経路を設定するとともに、ボーリングにより廃棄体へ直接接近するシナリオに関する放射線影響を評価するためのモデル及びコード（HUINT）を整備した。本報告では、整備した人間侵入シナリオ評価コード HUINT における評価モデル、入力ファイル仕様、実行方法、及び HUINT による計算機能の検証結果について取りまとめた。

本研究は、原子力安全・保安院「平成 18 年度放射性廃棄物処分の長期的評価手法の調査」として実施した。

原子力科学研究所（駐在）〒319-1195 茨城県那珂郡東海村白方白根 2-4

※1 特定課題推進員（㈱間組）

*1 ㈱ヴィジブル インフォメーション センター（元特定課題推進員）

Development of Safety Assessment Method for Human Intrusion Scenario in Japan Part II
- Development of a Human Intrusion Scenario Evaluation Code in Radioactive Waste Disposal -
(Contract Research)

Seiji TAKEDA, Toshihisa SASAKI*¹, Hirokazu NAGASAWA*¹ and Hideo KIMURA

Fuel Cycle Safety Research Unit
Nuclear Safety Research Center
Japan Atomic Energy Agency
Tokai-mura, Naka-gun, Ibaraki-ken

(Received August 20, 2010)

In safety assessment of a deep geological disposal or an intermediate depth disposal, human intrusion has been treated as one of external factors in the disposal site. According to the recent assessment for the human intrusion in some nations, the evaluated exposure scenarios are not necessarily common, however, of most nations, the radiological effects of human intrusion have been evaluated for the scenario of accidental drilling action into the disposal site (drilling scenario). The types of the evaluated drilling scenarios are divided between the damage to the barrier system and the direct proximity of a human to the radioactive waste. Viewed the safety regulation in future, it is necessary to develop the evaluation code of radiological effect from the human intrusion into radioactive waste disposal system.

The evaluation code of the human intrusion scenario of direct proximity with the drilling (HUINT) is developed on the basis of the information on the exposure pathways of drilling scenarios estimated by some nations and on a series of the drilling actions in Japan. This report provides the descriptions of mathematical models on the drilling scenario, input specification and user information for execution of HUINT (user manual), and the result of verification for calculation with the models in HUINT.

Keywords : Human Intrusion, Drilling Scenario, Deep Geological Disposal, Intermediate Depth Disposal, Safety Assessment, User Manual, Mathematical Model, Code

This work was performed by JAEA under contract with Nuclear and Industrial Safety Agency (NISA) in Ministry of Economy, Trade and Industry (METI).

※1 Special Topic Engineer (Hazama Corporation)

* 1 Visible Information Center Inc. (Former Special Topic Engineer)

目次

1. はじめに.....	1
2. 評価シナリオ.....	2
3. 評価モデル.....	4
3.1 ソースタームモデル.....	4
3.2 生物圏モデル.....	9
4. 評価コード.....	14
4.1 評価コードの概要.....	14
4.2 入力ファイルの仕様.....	20
4.2.1 実行制御モジュール (MASTER)	20
4.2.2 サブモデルに関するモジュール.....	22
4.2.3 パラメータサンプリングに関するモジュール.....	22
4.2.4 統計解析に関するモジュール.....	24
4.3 ライブラリファイル仕様.....	25
5. 実行手順.....	28
謝辞.....	30
参考文献.....	31
Appendix 1 MASTER モジュールにおけるコマンド一覧.....	32
Appendix 2 ソースタームモデルに関する入力ファイル仕様.....	37
Appendix 3 生物圏モデルに関する入力ファイル仕様.....	40
Appendix 4 各サブモデルにおけるパラメータの定義文字列.....	48
Appendix 5 生物圏モデルにおける出力項目.....	53
Appendix 6 評価モデルの検証計算.....	54

Contents

1. Introduction	1
2. Scenarios	2
3. Methods.....	4
3.1 Methods for Source Term Model	4
3.2 Methods for Biosphere Model.....	9
4. Code	14
4.1 Abstract of HUINT.....	14
4.2 Input File Specification	20
4.2.1 Execution Control Module (MASTER)	20
4.2.2 Module for Submodels	22
4.2.3 Module for Parameter Sampling	22
4.2.4 Module for Statistics analysis.....	24
4.3 Library File Specification.....	25
5. Execution Method	28
Acknowledgement.....	30
Reference.....	31
Appendix 1 Command List for MASTER Module	32
Appendix 2 Input File Specification for Source Term Model	37
Appendix 3 Input File Specification for Biosphere Model	40
Appendix 4 Definition Character String for Probabilistic Analysis	48
Appendix 5 Output Item for Biosphere Model.....	53
Appendix 6 Verification for Calculation with the Models	54

1. はじめに

高レベル放射性廃棄物（以下、HLW）等の地層処分の安全評価シナリオの中で考慮すべき「将来の人間の行為」とは、地下深部の処分システムに直接あるいは間接的な影響を与える様々な土地利用や掘削などの開発行為のこと^{(1),(2)}であり、その代表的なものとして、処分場サイトに人間が偶発的に侵入することを想定した人間侵入がある。人間侵入の評価に関し、ICRP（International Commission on Radioactive Protection） Publ.81(3)では、科学的な根拠により将来の人間侵入の確率を予測することはできないものの、人間侵入は自然過程のシナリオと明確に区別した評価を必要とし、また、偶然の人間侵入の確率あるいはその影響を減らすための合理的な手段（深部への処分施設の設置、強固な設計特徴の採用、能動的および受動的な制度的管理など）をとる必要性が述べられている。なお、制度的管理に関して、わが国では、地層処分を対象とした“特定放射性廃棄物の最終処分に関する法律（特廃法）”において土地利用の制限に関連する記載があり、同法律による国の制度的管理により処分サイトでのボーリング掘削などの人間活動の行為が制限されることが予想される。

国際機関及び諸外国における人間侵入の評価に関して、まず、ICRP⁽³⁾では、偶発的な人間侵入の発生を全く除外することはできないことから、潜在的な人間侵入に対する処分場の抵抗力を評価できるよう典型的なもっともらしい様式化された人間侵入のシナリオを設定し、評価することを求めている。米国 NAS（National Academy of Sciences）⁽⁴⁾では、人間侵入に対する処分場の抵抗力を評価するため、1本のボーリング孔が処分場を貫通し処分場のバリア機能が低下することを想定した様式化したシナリオを勧告している。スウェーデン（SSI）の指針 SSI FS 2005:5⁽⁵⁾では、偶発的な人間侵入を対象として、1つの処分場へのボーリングによる直接的な侵入のシナリオと、処分場及びその周辺の地下水の化学的特性や水理条件などの変化のような、処分場の防護能力の低下を生じさせる間接的な複数の人間活動のシナリオを含むべきとしている。また、防護能力への影響については最大の被ばくを受けると考えられるグループの個人の線量に基づいて評価することが示されているが、処分場に侵入する個人に対する直接的な影響の評価は必要ないとしている。また、フィンランド（STUK）の指針 YVL 8.4⁽⁶⁾では、長期安全性を損なう発生確率の低い破壊的事象の中に、人間侵入に関する事象として、処分サイトにおける深井戸のボーリング掘削と廃棄物キャニスタを貫通するコアボーリングを評価する必要性を示している。さらに、カナダ（CNSC）の G-320⁽⁷⁾の指針では、人間侵入の評価は、侵入によりバリア機能が損傷し、核種がバリアの外に広がることによる人間と環境の放射線影響を評価する必要があるとし、また、偶発的な人間侵入の侵入者の被ばくを評価するべきとしている。一方、わが国では、原子力安全委員会において、一般の地下利用に対し十分に余裕を持った深度への処分（以下、余裕深度処分）を対象とした管理期間終了後の安全評価の考え方の報告書⁽⁸⁾の中で、「偶発的な人為事象シナリオ」として考慮する事象として、ボーリング等による地表からの掘削活動、トンネル等の地下空間における掘削活動、及び地表における大開発土地利用等のための掘削活動を挙げ、放射線防御上の観点から処分システムの設計がその影響を適切に緩和しうるものかを確認するためのシナリオとしての位置づけを示している。

以上のように、必ずしも人間侵入の評価対象とするシナリオの範囲は共通ではないものの、処

分サイトでの偶発的なボーリング掘削に関するシナリオは、多くの国において人間侵入の影響評価の対象として位置づけられている。上述のような人間侵入の評価の現状から、ボーリング掘削を想定した人間侵入のシナリオは、ボーリング掘削によりバリアシステムが損傷するシナリオと廃棄体へ人間が直接接近するシナリオに大別され(以下、両者を「ボーリングシナリオ」と呼ぶ)、将来の HLW 等の地層処分や余裕深度処分に対する安全規制の観点から、ボーリングシナリオに対する安全評価手法の整備は必要と考えられる。

日本原子力研究開発機構安全研究センターでは、諸外国のボーリングシナリオの安全評価事例の情報とわが国で実施されたボーリング掘削の実態に関する情報を基にわが国に対応したボーリングシナリオの被ばく経路を設定した。また、ボーリングシナリオのうちボーリング掘削によりバリアシステムが損傷するシナリオは、サイトの地質環境条件や処分システムに固有の評価となるため対象外とし、廃棄体へ人間が直接接近するシナリオを対象に、線量評価のモデル化及び人間侵入シナリオ評価コード(HUINT: Evaluation Code of Radiological Effect from Human Intrusion into Radioactive Waste Disposal System、以下 HUINT コードとする)の整備を行った。人間侵入シナリオ評価コードは、HLW 地層処分及び余裕深度処分におけるボーリングシナリオの評価に用いられる各パラメータの不確かさが線量に与える影響を評価可能とするため、モンテカルロ法による確率論的解析の機能を備えている。なお、ボーリングシナリオの評価モデルに使用するパラメータについては、“人間侵入に関する安全評価手法の開発(1)ーボーリングシナリオを対象としたデータベースの整備ー”⁽⁹⁾にて報告する。

本報告では、HUINT コードの対象となる評価シナリオ、評価モデル、入力ファイルの仕様、実行方法、及び評価モデルによる計算機能の検証結果について取りまとめた。

2. 評価シナリオ

HUINT コードは、ボーリング掘削により廃棄体(ガラス固化体)が掘削ズリやボーリングコアとして地上に取り出されることを想定した、ボーリングシナリオに対する被ばく線量を計算する。

諸外国のボーリングシナリオの安全評価事例の情報とわが国で実施されたボーリング掘削の実態に関する情報を基に、わが国に対応したボーリングシナリオの被ばく経路を設定した⁽⁹⁾。HUINT コードでは、ボーリングシナリオとして Fig. 2.1 に示す①コア又は掘削ズリ観察シナリオ、②コア保管シナリオ、③コア試験シナリオ、④掘削ズリ再利用シナリオの4つのシナリオを対象とする。このうち、①から③のサブシナリオは、ボーリング掘削に係る作業者に対するものであり、④のサブシナリオは、掘削ズリ再利用に伴う建設作業員、農耕作業者及び居住者に対するものである。

「ボーリングシナリオ」は、Fig. 2.2 に示すように、ソースタームモデルと生物圏モデルから成る。ボーリング掘削のソースタームモデルでは、ガラス固化体の溶解、人工バリア内の移流・分散による核種移行などを考慮して廃棄体又はガラス固化体の核種量を求め、ボーリング掘削時に廃棄体又はガラス固化体を貫通することに伴い線源となるコア及び掘削ズリの核種濃度を計算する。ボーリング掘削の生物圏モデルでは、ボーリング掘削時の掘削ズリの再利用に伴う埋め戻しサイトの土壌中の核種移行(④のシナリオ)、及び種々の被ばく経路(①から④のシナリオ)に対し、

Table 2.1 ボーリングシナリオにおける被ばく経路一覧⁽⁹⁾

シナリオ		評価対象者	被ばく形態	経路 No.
コア又は掘削ズリ観察シナリオ	ボーリングコア又は掘削ズリの観察による被ばく	掘削作業者	外部被ばく	1
			直接摂取・内部被ばく	2
掘削ズリ再利用シナリオ	地上に排出されたボーリング掘削ズリを中間処理した後再利用することに伴う被ばく	建設作業者	塵埃吸入・内部被ばく	3
			外部被ばく	4
			ラドンガス吸入被ばく	5
		周辺居住者	外部被ばく	6
			ラドンガス吸入被ばく	7
		農耕作業者	塵埃吸入・内部被ばく	8
			外部被ばく	9
			ラドンガス吸入被ばく	10
農作物摂取者	農作物摂取・内部	11		
畜産物摂取者	畜産物摂取・内部	12		
コア保管シナリオ	調査・分析のために保管したボーリングコアからの被ばく	コア保管者	塵埃吸入・内部被ばく	13
コア試験シナリオ	汚染したボーリングコアを用いた室内試験に伴う被ばく	室内試験者	外部被ばく	14

3. 評価モデル

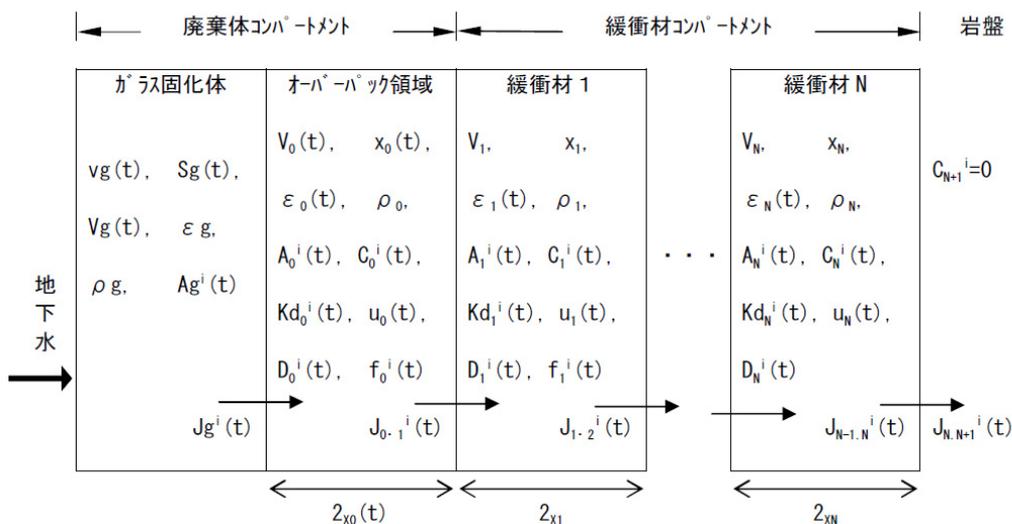
HUINT コードにおける「ボーリングシナリオ」の具体的なモデル式を以下に示す。以下のモデル式は、ボーリングが年間あたり 1 本の頻度で発生するとした場合の、ボーリング 1 本あたりの年間被ばく線量を求めるものである。

3.1 ソースタームモデル

HUINT コードのボーリング掘削のソースタームモデルは、廃棄体へのボーリングの貫通によって生じるボーリングコア及び掘削ズリ中の放射性核種の濃度を計算するモデルである。廃棄体については、HLW 地層処分と余裕深度処分に対応している。以下に、それぞれのモデルについて示す。

【HLW 地層処分】

HLW の地層処分において、GSRWPSA⁽¹⁰⁾と同様に、人工バリアの各構成材料に対しコンパートメントによるモデルを採用し、Fig. 3.1 に示すようなガラス固化体、オーバーパック領域（キャニスタおよびオーバーパックの領域）、緩衝材および岩盤からなる一次元体系を考える。各コンパートメント中での核種濃度および核種の物性は空間的に均質とする。そのうえで、各コンパートメント間の移流-拡散および崩壊による物質収支に基づいて人工バリア中の核種移行を評価する。



ここで

$v_g(t)$: ガラス固化体の溶解速度 [kg/m²/y]

$S_g(t)$: ガラス固化体の表面積 [m²]

$V_g(t)$: ガラス固化体の体積 [m³]

ϵ_g : ガラス固化体の間隙率 [-]

ρ_g : ガラス固化体の真密度 [kg/m³]

$A_g^i(t)$: ガラス固化体内における核種 i のインベントリ [atom]

$V_0(t)$: オーバーパック領域の体積 [m³]

V_k : 緩衝材領域 k の体積 [m³] ($k=1, \dots, N$)

$2x_0(t)$: オーバーパック領域の長さ [m]

$2x_k$: 緩衝材領域 k の長さ [m] ($k=1, \dots, N$)

$\epsilon_k(t)$: 緩衝材領域 k の間隙率 [-] ($k=0, \dots, N$)

ρ_k : 緩衝材領域 k の真密度 [kg/m³] ($k=0, \dots, N$)

$A_k^i(t)$: 緩衝材領域 k における核種 i の核種量 [atom] ($k=0, \dots, N$)

$C_k^i(t)$: 緩衝材領域 k における核種 i の水中核種濃度 [atom/m³] ($k=0, \dots, N$)

$Kd_k^i(t)$: 緩衝材領域 k における核種 i の分配係数 [m³/kg] ($k=0, \dots, N$)

$u_k(t)$: 緩衝材領域 k における実流速 [m/y] ($k=0, \dots, N$)

$D_k^i(t)$: 緩衝材領域 k における核種 i の拡散係数 [m²/y] ($k=0, \dots, N$)

$f_k^i(t)$: 緩衝材領域 k における核種 i の溶解度限度 [atom/m³] ($k=0, 1$)

$J_g^i(t)$: ガラス固化体からオーバーパック領域への核種 i のフラックス [atom/y]

$J_{k,k+1}^i(t)$: 領域 k から領域 $k+1$ への核種 i のフラックス [atom/y] ($k=0, \dots, N$)

である。ただし、 $k=0$ はオーバーパック領域、 $K=1 \sim N$ は緩衝材、 $N+1$ は岩盤領域をあらわす。

Fig. 3.1 ソースタームモデル (HLW 版) の概念図

ガラスの溶解に伴うガラス固化体からオーバーパック領域への核種フラックスは式(3-1)により求める。

$$J_g^i(t) = \frac{v_g(t) \cdot S_g(t)}{\rho_g V_g(t) \cdot (1 - \epsilon_g)} A_g^i(t) \dots\dots\dots (3-1)$$

ここで、ガラス固化体の核種量 $A_g(t)$ は、式(3-2)を満たすものとする。

$$\frac{dA_{g,i}(t)}{dt} = -J_{g,i}(t) - \lambda_i \cdot A_{g,i}(t) + Br_{i-1 \rightarrow i} \cdot \lambda_i \cdot A_{g,i-1}(t) \dots\dots\dots (3-2)$$

ここで、

- $A_{g,i}(t)$: ガラス固化体の核種量 (Bq)
- $J_{g,i}(t)$: ガラス固化体からの移行フラックス (Bq/y)
- $Br_{i-1 \rightarrow i}$: 放射性核種 i-1 から放射性核種 i への分岐比 (-)
- λ_i : 崩壊定数 (1/y)

である。

オーバーパック領域および緩衝材のコンパートメントにおける物質収支は、移流、拡散および崩壊を考慮して式(3-3)のように記述される。なお、緩衝材コンパートメントは、最大 10 個のサブコンパートメントに分割でき、緩衝材の空間的な変質現象の不均質性を考慮できる。

$$\frac{dA_{k,i}}{dt} = -J_{k,k+1,i} + J_{k-1,k,i} - \lambda_i \cdot A_{k,i} + Br_{i-1 \rightarrow i} \cdot \lambda_i \cdot A_{k,i-1} \quad k = 0, \dots, N \dots\dots\dots (3-3)$$

$$\lambda_i = \frac{\ln 2}{y_i} : \text{崩壊定数} \quad y_i : \text{半減期}$$

ここで、オーバーパック領域は領域番号0とし、 $J_{-1,0}^i$ はガラス固化体からオーバーパック領域へ

のフラックス J_g^i を表す。

ボーリングが貫通する HLW の廃棄体はガラス固化体及びオーバーパックからなることを想定し、HLW の廃棄体中の核種濃度は、ガラス固化体とオーバーパック領域を考慮して式(3-4)により求める。また、本コードでは HLW の廃棄体中の核種濃度をガラス固化体のみによる核種濃度として計算することもオプションにより可能である。

$$C_{w,i}(t) = \frac{A_{g,i}(t) + A_{0,i}(t) - C_{l,i}(t) \cdot V_0(t) \cdot \varepsilon_0(t)}{V_g(t) \cdot \rho_g \cdot \{1 - \varepsilon_g(t)\} + V_0(t) \cdot \rho_0 \cdot \{1 - \varepsilon_0(t)\}} \dots\dots\dots (3-4)$$

ここで、

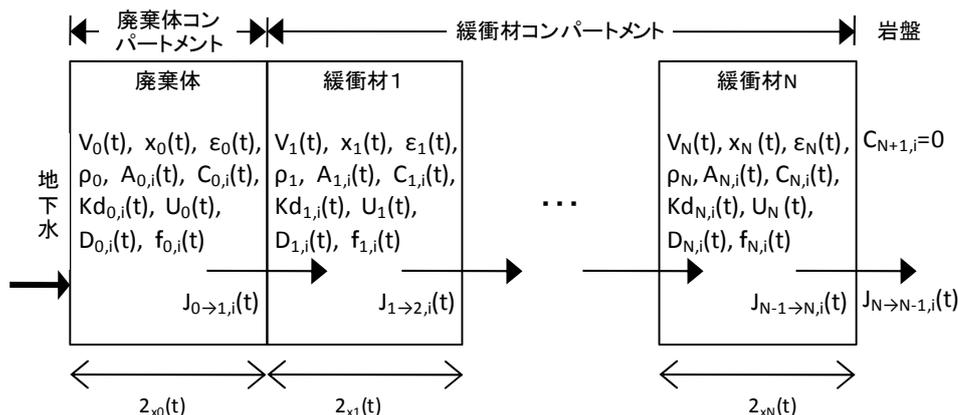
- $C_{w,i}(t)$: HLW 廃棄体中の核種濃度(Bq/g)
- $A_{0,i}(t)$: オーバーパック領域の核種量 (Bq)
- $C_{l,i}(t)$: オーバーパック領域の水中の核種濃度(Bq/m³)
- $V_0(t)$: オーバーパック領域の体積 (m³)
- $\varepsilon_0(t)$: オーバーパック領域の間隙率 (-)
- ρ_g : ガラス固化体の真密度 (g/m³)
- $V_g(t)$: ガラス固化体の体積 (m³)
- $\varepsilon_g(t)$: ガラス固化体の間隙率 (-)

ρ_0 : オーバーパック領域の真密度 (g/m^3)
 である。

なお、ボーリングが貫通した HLW 廃棄体中の核種濃度の計算では、ガラス固化体の溶解やオーバーパック領域の移流-分散による核種移行を考慮しないことで、崩壊による減衰のみを仮定した保守的な核種濃度を求めることが可能である。

【余裕深度処分】

HLW 地層処分と同様に、余裕深度処分において想定される人工バリアの各構成材料に対しコンパートメントによるモデルを採用し、Fig. 3.2 に示すような廃棄体、緩衝材および岩盤からなる一次元体系を考える。各コンパートメント中での核種濃度および核種の物性は空間的に均質とする。そのうえで、各コンパートメント間の移流-拡散および崩壊による物質収支に基づいて人工バリア中の核種移行を評価する。緩衝材としてのコンパートメントは最大 10 個を設定することが可能であり、想定する人工バリア材としてセメント系材料が対象となる場合、これらの緩衝材コンパートメントの一部をセメント系材料のコンパートメントとして設定し、解析を行うことが可能である。



ここで、

- $V_k(t)$: 人工バリア構成材の体積 [m^3] ($k=0, \dots, N$)
- $x_k(t)$: 人工バリア構成材の長さ [m] ($k=0, \dots, N$)
- $\epsilon_k(t)$: 人工バリア構成材の間隙率 [-] ($k=0, \dots, N$)
- ρ_k : 人工バリア構成材の真密度 [kg/m^3] ($k=0, \dots, N$)
- $A_{k,i}(t)$: 人工バリア構成材内における核種*i*のインベントリ [atom] ($k=0, \dots, N$)
- $C_{k,i}(t)$: 人工バリア構成材における核種*i*の水中核種濃度 [atom/m^3] ($k=0, \dots, N$)
- $Kd_{k,i}(t)$: 人工バリア構成材における核種*i*の分配係数 [m^3/kg] ($k=0, \dots, N$)
- $U_k(t)$: 人工バリア構成材における実流速 [m/y] ($k=0, \dots, N$)
- $D_{k,i}(t)$: 人工バリア構成材における核種*i*の拡散係数 [m^2/y] ($k=0, \dots, N$)
- $f_{k,i}(t)$: 人工バリア構成材における核種*i*の溶解度限度 [atom/m^3] ($k=0, \dots, N$)
- $J_{k \rightarrow k+1,i}(t)$: 人工バリア構成材*k*から*k+1*への核種*i*のフラックス [atom/y] ($k=0, \dots, N$)

である。ただし、 $k=0$ は廃棄体、 $k=1 \sim N$ は緩衝材、 $k=N+1$ は岩盤を表す。

Fig. 3.2 ソースタームモデル (余裕深度処分版) の概念図

また、廃棄体の核種量 $A_0(t)$ は、式(3-5)を満たすものとする。

$$\frac{dA_{0,i}(t)}{dt} = -J_{0,i}(t) - \lambda_i \cdot A_{0,i}(t) + Br_{i-1 \rightarrow i} \cdot \lambda_i \cdot A_{0,i-1}(t) \dots\dots\dots (3-5)$$

ここで、

- $A_{0,i}(t)$: 廃棄体の核種量 (Bq)
- $J_{0,i}(t)$: 廃棄体からの移行フラックス (Bq/y)
- $Br_{i-1 \rightarrow i}$: 放射性核種 i-1 から放射性核種 i への分岐比 (-)
- λ_i : 崩壊定数 (1/y)

である。

緩衝材のコンパートメントにおける物質収支は、移流、拡散および崩壊を考慮して式(3-6)のように記述される。

$$\frac{dA_{k,i}}{dt} = -J_{k,k+1,i} + J_{k-1,k,i} - \lambda_i \cdot A_{k,i} + Br_{i-1 \rightarrow i} \cdot \lambda_i \cdot A_{k,i-1} \quad k = 0, \dots, N \dots\dots\dots (3-6)$$

ここで、廃棄体は領域番号0とする。

ボーリングが貫通する廃棄体中の核種濃度は式(3-7)により求める。なお、ボーリングが貫通した廃棄体中の核種濃度の計算では、廃棄体の移流-分散による核種移行を考慮しないことで、崩壊による減衰のみを仮定した保守的な核種濃度を求めることが可能である。

$$C_{w,i}(t) = \frac{A_{0,i}(t) - C_{l,i}(t) \cdot V_0(t) \cdot \varepsilon_0(t)}{V_0(t) \cdot \rho_0 \cdot \{1 - \varepsilon_0(t)\}} \dots\dots\dots (3-7)$$

ここで、

- $C_{w,i}(t)$: 廃棄体の核種濃度(Bq/g)
- $A_{0,i}(t)$: 廃棄体の核種量 (Bq)
- $C_{l,i}(t)$: 廃棄体の水中の核種濃度(Bq/m³)
- $V_0(t)$: 廃棄体の体積 (m³)
- $\varepsilon_0(t)$: 廃棄体の間隙率 (-)
- ρ_0 : 廃棄体の真密度 (g/m³)

である。

HLW 地層処分及び余裕深度処分とも、ソースタームモデルでは、連立微分方程式に対する数値逆ラプラス変換法 (FILT 法)⁽¹¹⁾を用いた解法を採用している。また、コンパートメント内の核種量と水中核種濃度は、式(3-8)で関係づける。

$$C_{k,i} = \frac{A_{k,i}}{V_k \varepsilon_k R_{k,i}} \dots\dots\dots (3-8)$$

- ここで、 $C_{k,i}$: コンパートメント k における核種 i の水中濃度 (Bq/m³)
- V_k : コンパートメント k の体積 (m³)
- ε_k : コンパートメント k の間隙率 (-)

$R_{k,i}$: コンパートメント k における核種 i の遅延係数 (-)

$$R_{k,i} = 1 + \frac{1 - \varepsilon_k}{\varepsilon_k} \rho_k Kd_{k,i}$$

ρ_k : コンパートメント k の真密度 (kg/m^3)

$Kd_{k,i}$: コンパートメント k における核種 i の分配係数 (m^3/kg)

である。

低溶解度核種を対象とする場合、全量が水中に溶けて収着平衡に達すると仮定すること（分配平衡モデル）は、過剰に保守的になるため、HLW 地層処分及び余裕深度処分に対応した各コンパートメント（HLW：オーバーパック領域及び緩衝材、余裕深度処分：廃棄体及び緩衝材）において水中核種濃度がその元素の溶解度によって制限される場合（溶解度限度モデル）を考慮して解析できるようになっている。ただし、緩衝材コンパートメントでは、最初のサブコンパートメントのみが溶解度限度モデルを適用可能で、残りのサブコンパートメントでは常に分配平衡モデルが適用される。

ボーリングコア及び掘削ズリ中の放射性核種の濃度 $C_{bw,i}(t)$ は、ボーリング掘削発生時間 T_b におけるガラス固化体中の核種濃度 $C_{w,i}(T_b)$ であるとして、以下の生物圏モデルにおける被ばく線量計算に用いる。

3.2 生物圏モデル

ボーリングシナリオに対する生物圏モデルでは、2章の Table2.1 に示したように、偶発的なボーリング掘削が生じ廃棄体に人間が接近する4種類のシナリオに対し、合計14経路の被ばく線量を計算する。以下に各シナリオの線量評価モデルを示す。

(1) ボーリングコア又は掘削ズリ観察シナリオ

ボーリングコア又は掘削ズリ観察シナリオでは、ボーリング掘削作業時及びボーリングコア又は掘削ズリ観察時における外部被ばく経路（経路 No.1）と汚染物質の直接摂取による内部被ばく被ばく経路（経路 No.2）を想定する。

ボーリングコア又は掘削ズリ観察シナリオにおける経路 No.1 と No.2 の被ばく評価では、ボーリング掘削が発生する時間 T_b において、各作業者に対する被ばく線量を計算するものとする。

①外部被ばく（経路 No.1）

ボーリング掘削作業時及びボーリングコア又は掘削ズリ観察時における汚染したボーリングコアからの放射線による外部被ばく（経路 No.1）は、以下のように与えられる。

$$D_{ext,i}(T_b) = C_{wb,i}(T_b) \cdot F S_b \cdot t_{b,ext} \cdot DF_{w,ext,i} \dots\dots\dots (3-9)$$

ここで、

$D_{ext,i}(T_b)$: ボーリング掘削及び観察時の核種 i による外部被ばく線量(Sv/y)

T_b : ボーリング掘削発生時間 (y)

$C_{wb,i}(T_b)$: ボーリング掘削発生時間 T_b における線源となるボーリングコア又は掘削

ズリ中の核種 i 濃度 (Bq/g)
 FS_b : ボーリング掘削及び観察時における外部被ばくに関する遮へい係数(-)
 $t_{b, ext}$: ボーリング掘削及び観察時の外部被ばく時間 (h/y)
 $DF_{w, ext, i}$: ボーリング掘削及び観察時における核種 i の外部被ばく線量換算係数 ((Sv/h)/(Bq/g))

である。

②汚染物質の直接摂取による内部被ばく (経路 No.2)

ボーリング掘削作業及びボーリングコア観察に伴い汚染した土が手に付着し、それを摂取することによる内部被ばく (経路 No.2) は、以下の式により与えられる。

$$D_{ing, i}(T_b) = C_{wb, i}(T_b) \cdot t_{b, ing} \cdot QS_b \cdot DF_{ing, i} \dots\dots\dots (3-10)$$

ここで、

$D_{ing, i}(T_b)$: ボーリング掘削及び観察時の汚染した土の摂取に伴う核種 i による内部被ばく線量(Sv/y)
 $t_{b, ing}$: 汚染したボーリング掘削及び観察時の観察時間 (h/y)
 QS_b : 作業者の土の摂取率(g/h)
 $DF_{ing, i}$: 核種 i の経口摂取による内部被ばく線量係数(Sv/Bq)

である。

(2) 掘削ズリ再利用シナリオ

掘削ズリ再利用シナリオは、ボーリング掘削ズリを中間処分した土壌を、任意のサイトにおいて土壌材料として再利用することでそのサイトが汚染され、建設作業、居住、農耕作業により被ばくする経路、さらに、その汚染された土壌で生産した農畜産物を摂取することにより被ばくする経路を想定する。

掘削ズリを再利用した土壌を1つのコンパートメントとして表し、その土壌中の核種濃度は、降雨による深部土壌への浸透、土壌への収着、物理崩壊を考慮し計算する。掘削ズリを再利用した土壌コンパートメントにおける物質収支は式(3-11)により与えられる。

$$\frac{dC_{s, i}(t)}{dt} = -(K_i + \lambda_i) \cdot C_{s, i}(t) + Br_{i-1 \rightarrow i} \cdot \lambda_i \cdot C_{s, i-1}(t) \dots\dots\dots (3-11)$$

$$K_i = \frac{P_s}{H_s \cdot (\epsilon_s + \rho_s \cdot Kd_{s, i})} \dots\dots\dots (3-12)$$

$$C_{s, i}(T_b) = C_{wb, i}(T_b) \cdot F_b \dots\dots\dots (3-13)$$

ここで、

$C_{s, i}(t)$: ボーリング掘削発生時間 T_b 以降の掘削ズリ再利用時の土壌中の核種 i 濃度 (Bq/g)
 K_i : 核種 i の灌漑土壌からの浸透による減衰率 (1/y)
 λ_i : 核種 i の崩壊定数 (1/y)
 P_s : 土壌への降雨浸透水量 (m/y)
 ϵ_s : 土壌間隙率 (-)
 $Kd_{s, i}$: 土壌に対する核種 i の分配係数 (ml/g)
 F_b : 掘削ズリの中間処理及び埋め戻し時の混合による希釈割合 (-)

である。

式(3-13)により、ボーリングコア及び掘削ズリ中の放射性核種濃度に対して、掘削ズリの中間処理及び埋め戻し時の混合による希釈を考慮し、掘削ズリを再利用した際の土壌中の核種濃度を求める。式(3-13)の核種濃度は、式(3-11)のコンパートメントモデルによる計算の初期条件となる。

以下に示す一連の掘削ズリの再利用に関するシナリオの線量評価では、ボーリング掘削の発生時 T_b 以降の被ばく事象の経時変化を計算し、子孫核種のビルドアップの影響も含めた評価とし、最大となる被ばく線量が現れるまで評価する。

①掘削ズリ再利用時の塵埃吸入による内部被ばく（経路 No.3、No.8）

掘削ズリ再利用時に発生する塵埃を吸入することによる内部被ばく（建設作業：経路 No.3、農耕作業：経路 No.8）は、以下の式により与えられる。

$$D_{inh,i}(t) = C_{s,i}(t) \cdot Cd_b \cdot Br_b \cdot t_{b,inh} \cdot DF_{inh,i} \dots\dots\dots (3-14)$$

ここで、

- $D_{inh,i}(t)$: 掘削ズリ再利用時の塵埃吸入による核種 i の内部被ばく線量(Sv/y)
- $t_{b,inh}$: 各作業時の吸入被ばく時間 (h/y)
- Cd_b : 各作業時の空气中ダスト濃度(g/m³)
- Br_b : 各作業者の呼吸量(m³/h)
- $DF_{inh,i}$: 核種 i の吸入経路による内部被ばく線量係数(Sv/Bq)

である。

②掘削ズリ再利用時の汚染土壌からの外部被ばく（経路 No.4、No.6、No.9）

掘削ズリ再利用時（建設作業、居住、農耕作業時）の外部被ばく評価式は、汚染したボーリングコア又は掘削ズリからの放射線による外部被ばく（経路 No.1）の評価式と基本的に同じであり、経路に応じたパラメータ及び線源の核種濃度を使用する。

$$D_{ext,i}(t) = C_{s,i}(t) \cdot Fs_b \cdot t_{b,ext} \cdot DF_{w,ext,i} \dots\dots\dots (3-15)$$

ここで、

- $D_{ext,i}(t)$: 掘削ズリ再利用時の核種 i の外部被ばく線量(Sv/y)
- Fs_b : 掘削ズリ再利用時（建設作業、居住、農耕作業時）における外部被ばくに関する遮へい係数(-)
- $t_{b,ext}$: 掘削ズリ再利用時（建設作業、居住、農耕作業時）の外部被ばく時間 (h/y)
- $DF_{w,ext,i}$: 掘削ズリ再利用時（建設作業、居住、農耕作業時）における核種 i の外部被ばく線量換算係数((Sv/h)/(Bq/g))

である。

③掘削ズリ再利用時のラドンガス吸入による内部被ばく（経路 No.5、No.7、No.10）

掘削ズリ再利用時のラドンガス吸入による内部被ばく（経路 No.5、No.7、No.10）は、以下の式により与えられる。

$$D_{Rn}(t) = \{R_r \cdot Co_{Rn}(t) \cdot Fo + (1 - R_r) \cdot Ci_{Rn}(t) \cdot Fi\} \cdot K \cdot t_{b,Rn} \dots\dots\dots (3-16)$$

ここで、

- $D_{Rn}(t)$: ボーリング掘削発生時間 T_b 以降におけるラドンの吸入による内部被ばく線量(Sv/y)
- R_r : 居住係数 (屋外にいる割合) (-)
- $Co_{Rn}(t)$: ボーリング掘削発生時間 T_b 以降における屋外大気中ラドン濃度(Bq/m³)
- Fo : 屋外平衡ファクター(-)
- $Co_{iRn}(t)$: ボーリング掘削発生時間 T_b 以降における屋内大気中ラドン濃度(Bq/m³)
- Fi : 屋内平衡ファクター(-)
- $t_{b, Rn}$: ラドンガスの吸入による被ばく時間 (h/y)
- K : 線量換算係数 (Sv/h per Bq/m³)

である。

なお、屋外及び屋内大気中ラドン濃度を算出するためのモデル式の詳細については、既往のJAEA-Data/Code2006-003⁽¹²⁾の中に記載しており、生物圏モデルのモジュール内に格納されている。

④掘削ズリ再利用時の農作物摂取による内部被ばく (経路 No.11)

掘削ズリ再利用時の農作物摂取による内部被ばく (経路 No.11) は、以下の式により与えられる。

$$D_{ING,i}(t) = \sum_j C_{j,i}(t) \cdot Q_j \cdot G_j \cdot \exp\left(-\frac{\lambda_i \cdot t_{v,j}}{365}\right) \cdot DCF_{ING,i} \dots\dots\dots (3-17)$$

ここで、

- $D_{ING,i}(t)$: ボーリング掘削発生時間 T_b 以降における核種 i の経口摂取による内部被ばく線量 (Sv/y)
- $C_{j,i}(t)$: ボーリング掘削発生時間 T_b 以降における農作物 j の可食部における核種 i 濃度 (Bq/g)
- Q_j : 農作物 j の1年間の摂取量 (g/y)
- G_j : 農作物 j の市場係数 (-)
- λ_i : 核種 i の崩壊定数 (1/y)
- $t_{v,j}$: 農作物 j の輸送時間 (d)

である。ただし、農作物の可食部における核種濃度 $C_{j,i}(t_2)$ は、経根吸収による農作物への移行のみを考慮して、以下の式により求める。

$$C_{j,i}(t) = C_{s,i}(t) \cdot T_{j,i} \dots\dots\dots (3-18)$$

ここで、

- $C_{j,i}(t_2)$: ボーリング掘削発生時間 T_b 以降における農作物 j の可食部における核種 i 濃度 (Bq/g)
- $T_{j,i}$: 核種 i の土壌から農作物 j への移行係数 (Bq/g per Bq/g)

である。

⑤掘削ズリ再利用時の畜産物摂取による内部被ばく (経路 No.12)

掘削ズリ再利用時の畜産物摂取による内部被ばく (経路 No.12) は以下の式により与えられる。

$$D_{ING,i}(t) = \sum_n C_{Fn,i}(t) \cdot Q_n \cdot G_n \cdot \exp\left(-\frac{\lambda_i \cdot t_{Fn}}{365}\right) \cdot DCF_{ING,i} \dots\dots\dots (3-19)$$

ここで、

- $D_{ING,i}(t)$: ボーリング掘削発生時間 T_b 以降における核種 i の経口摂取による内部被ばく線量 (Sv/y)
- $C_{Fn,i}(t)$: ボーリング掘削発生時間 T_b 以降における飼料を経由した畜産物 n 中の核種 i 濃度 (Bq/g または Bq/L)
- Q_n : 畜産物 n の1年間の摂取量 (g/y または L/y)
- G_n : 畜産物 n の市場係数 (-)
- λ_i : 核種 i の崩壊定数 (1/y)
- t_{Fn} : 畜産物 n の輸送時間 (d)
- $DCF_{ING,i}$: 核種 i の経口内部被ばく線量係数 (Sv/Bq)

である。ただし、飼料を経由した畜産物中の核種濃度 $C_{Fn,i}(t)$ は、以下の式により求める。

$$C_{Fn,i}(t) = T_{n,i} \cdot M_F \cdot C_{j,i}(t) \cdot Q_{Fn} \dots\dots\dots (3-20)$$

ここで、

- $T_{n,i}$: 核種 i の飼料及び飼育水から畜産物 n への移行係数 (d/g または d/L)
- M_F : 放射性核種を含む飼料の混合割合 (-)
- $C_{j,i}(t)$: ボーリング掘削発生時間 T_b 以降における飼料 j における核種 i 濃度 (Bq/g)
- Q_{Fn} : 畜産物 n を生産する家畜の飼料摂取量 (g-dry/d)

である。

(3) コア保管シナリオ

コア保管シナリオは、ボーリング掘削時に採取したボーリングコアの保管に起因する被ばく経路を想定する。コア保管時の塵埃吸入に伴う内部被ばく（経路 No.13）の評価式は、掘削ズリ再利用時に発生する塵埃の吸入による内部被ばく（経路 No.3、No.8）の評価式と基本的に同じであり、以下の式により計算する。

$$D_{inh,i}(T_b) = C_{wb,i}(T_b) \cdot Cd_b \cdot Br_b \cdot t_{b,inh} \cdot DF_{inh,i} \dots\dots\dots (3-21)$$

ここで、

- $D_{inh,i}(T_b)$: コア保管時の塵埃吸入による核種 i の内部被ばく線量(Sv/y)
- $t_{b,inh}$: コア保管時の吸入被ばく時間 (h/y)
- Cd_b : コア保管時の空气中ダスト濃度(g/m³)
- Br_b : コア保管者の呼吸量(m³/h)
- $DF_{inh,i}$: 核種 i の吸入経路による内部被ばく線量係数(Sv/Bq)

である。

コア保管時の塵埃吸入による被ばくは、ボーリング掘削の発生時間 T_b において生じるものとする。

(4) コア試験シナリオ

コア試験シナリオは、ボーリングコアの試験に起因する被ばく経路を想定する。試験時の供試体からの外部被ばく（経路 No.14）の評価式は、ボーリングコア又は掘削ズリからの放射線による

外部被ばく（経路 No.1）の評価式と基本的に同じであり、以下の式により計算する。

$$D_{ext,i}(T_b) = C_{wb,i}(T_b) \cdot F_{S_b} \cdot t_{b,ext} \cdot DF_{w,ext,i} \dots\dots\dots (3-22)$$

ここで、

- $D_{ext,i}(T_b)$: コア試験時の核種 i による外部被ばく線量(Sv/y)
- F_{S_b} : コア試験時における外部被ばくに関する遮へい係数(-)
- $t_{b,ext}$: コア試験時の外部被ばく時間 (h/y)
- $DF_{w,ext,i}$: コア試験時における核種 i の外部被ばく線量換算係数((Sv/h)/(Bq/g))

である。

試験時の供試体からの外部被ばくは、ボーリング掘削の発生時間 T_b において生じるものとする。

上記の被ばく経路の評価式で考慮していない任意の希釈係数や濃縮係数といったパラメータを、ユーザーが任意に設定できるように、汎用無次元係数を用意している。汎用無次元係数は、最大 5 個までの乗算となるパラメータである。

人間侵入シナリオ評価コード HUINT の上記の各評価モデルに関しては、数学的表記が HUINT において適切にコード化され、解が得られているかを検証 (Verification) する必要がある。HUINT 内の一連の評価モデル (ソースタームモデル、生物圏モデル) に関して検証計算を行った結果については Appendix-6 に記載した。

4. 評価コード

本章では、HUINT コードにおける各サブモデルの計算を実行するためのモジュール構成、入力ファイルの仕様、実行方法などについて記述する。

4.1 評価コードの概要

HUINT コードにおける「ボーリング掘削評価」の解析のためのモジュールと入力・出力との関係を示した概念図を、Fig. 4.1 に示す。図中のモジュールとは、Table 4.1 に示したある一連の処理機能の単位ことであり、ユーザーは、これらのモジュールを選択・組み合わせて使用することにより、解析の目的に応じた計算結果を得ることが可能である。HUINT コードは、Table 4.1 に示すように 5 つのモジュールにより構成され、そのうち 3 章において述べた「ソースタームモデル」および「生物圏モデル」の各解析を行うモジュールは 2 つである。

また、MASTER モジュールは、これらの 2 つの各モジュールへの実行に必要な情報の提供、各モジュールの計算実行や確率論的な計算実行の制御、ライブラリファイルに関する制御を行う (以下、「実行制御モジュール」)。

LHS モジュールはパラメータサンプリングに関するモジュールであり、Iman, et al.⁽¹³⁾による LHS コード (Code System to Generate Latin Hypercube and Random Samples) を実行し、LHS コードの出力結果から HUINT の確率論的解析で使用するサンプリングパラメータデータファイルを作成するためのモジュールである。LHS コード⁽¹³⁾は、各サブモデルに使用されるパラメータのうち

不確かさ（変動幅）が想定されるパラメータに対して、サンプル数、確率密度関数の変動幅と分布型（線形一様分布、線形正規分布、対数一様分布及び対数正規分布）を設定することで、Latin Hypercube Sampling (LHS) 法に従ったパラメータデータセットを作成する。ここで、LHS 法とは、各パラメータの確率密度関数が等面積になるようにサンプル数で分割し、その分割された各領域内から代表値をランダムに1つ選択し、最終的にパラメータ数に応じたパラメータ値の組み合わせを決定する手法である。各パラメータは基本的に独立（無相関）にサンプリングされるが、オプションとしてパラメータ間に相関を持たせることも可能である。また、LHS モジュールでは、LHS コードにはないいくつかのオプションを使用することが可能である。

SPOP モジュールは統計解析に関するモジュールであり、Saltelli, et al.⁽¹⁴⁾による SPOP コード (Statistical POstProcessor) を実行し、確率論的解析の結果を統計処理するためのモジュールである。SPOP コード⁽¹⁴⁾は、確率論的解析におけるサンプル数分の解析結果（核種移行フラックスや被ばく線量）に対して、統計解析手法を適用することにより、解析結果の分布特性（累積分布関数 CDF(Cumulative Distribution Function)、補累積分布関数 CCDF(Complementary Cumulative Distribution Function)、頻度分布(Frequency Distribution)等) や、パラメータの重要度に関する情報（パラメータと解析結果との偏順位相関係数 PRCC(Partial Rank Correlation Coefficient)等) を出力することが可能である。

決定論的解析を行う場合は、MASTER モジュールおよび2つのサブモデルのモジュールを使用し、確率論的解析を行う場合は、さらに LHS モジュールと SPOP モジュールを使用する。

Table 4.1 に示した5個のモジュールの入出力ファイルおよびライブラリファイルに関する情報の一覧を Table 4.2～Table 4.6 に示す。

Table 4.1 HUINT コードにおけるモジュール一覧

モジュール名称	HUINTコード内での主なモジュールの役割	モデルとの関係
MASTER	以下のソースタームモデル、生物圏モデルに関する全体の計算実行の制御(各モジュールの呼び出し)、各モジュール間で入出力やライブラリファイルに関する制御を行う	—
CMMAIN	ボーリングコア中及び掘削ズリ中の核種濃度の計算	ソースタームモデル
HUMAN	ボーリング掘削線量評価モデルによる被ばく線量の計算	生物圏モデル
LHS	各パラメータのばらつきを確率密度関数により与え、既往の公開コードであるLHSコード ⁽¹⁰⁾ のLatin Hypercube Sampling法を用いて解析用のデータセットを作成する	—
SPOP	LHSモジュールによりサンプリングされたパラメータセットに対する地下水移行による核種濃度や線量の解析結果を統計処理する	—

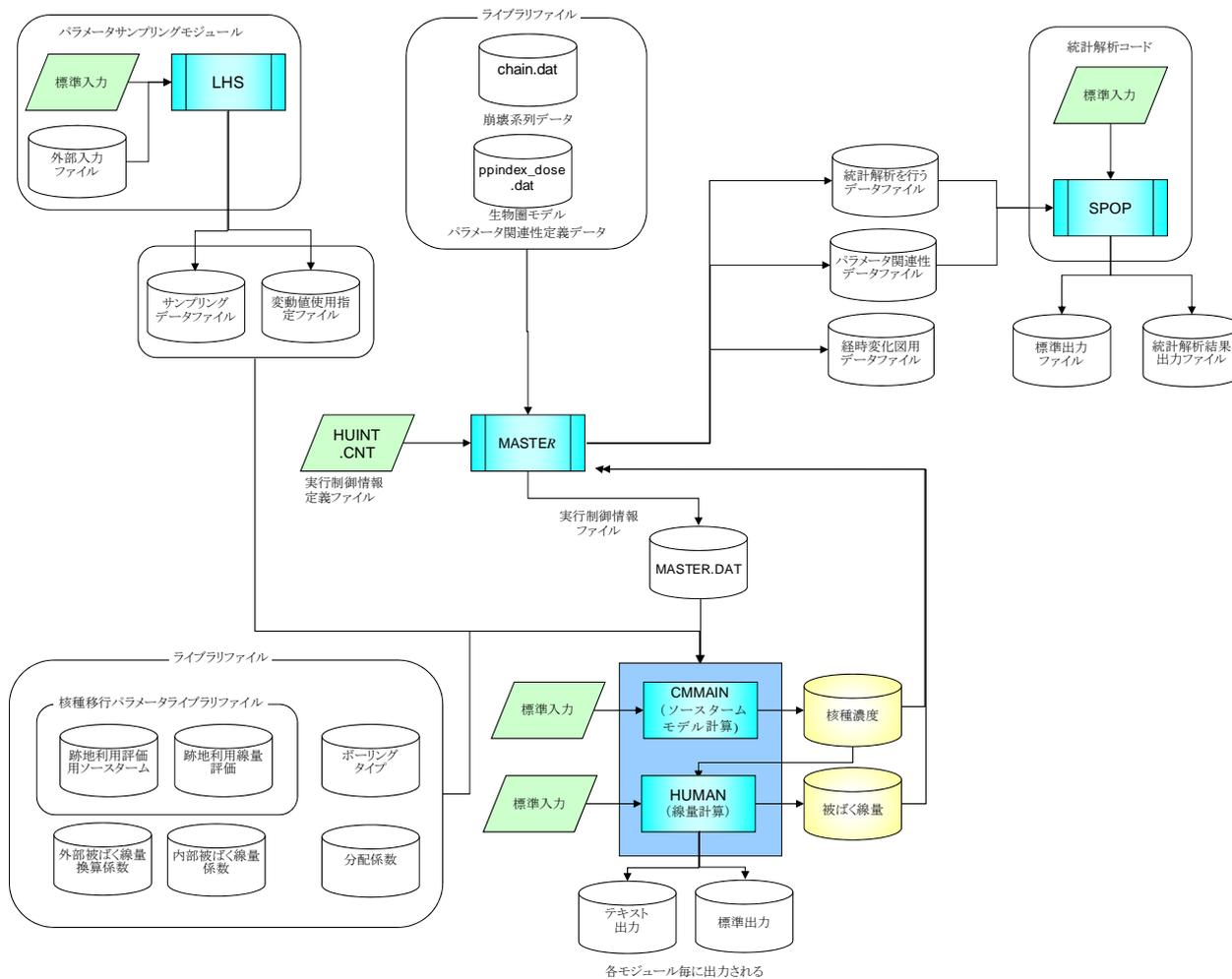


Fig. 4.1 HUINT コードにおけるモジュールと入出力との関係

Table 4.2 MASTER モジュール（実行制御モジュール）の入出力ファイル一覧

No.	ファイルの種類	格納サブフォルダ	ファイル名例	内容
1	入力ファイル	dat¥case¥hint (case は任意)	hint.cnt	実行制御情報定義ファイル(必須)
2		インストールフォルダ	master.ini (ファイル名は固定・編集不可)	コード実行のための環境設定ファイル
3		インストールフォルダ	master.dat (ファイル名は固定・編集不可)	コード実行のための補助ファイル(コードにより自動的に作成される)
4		dat¥case¥lhs* ¹	lhs.dat* ²	サンプリングパラメータデータファイル(確率論的解析を行う場合は必須)
5		dat¥case¥lhs* ¹	lhs.prm* ²	サンプリングパラメータ指定ファイル(確率論的解析を行う場合は必須)
6	ライブラリファイル	lib* ¹	chain.dat (ファイル名は固定)	AUTOCHAIN コマンドで崩壊系列を自動的に生成するための核種崩壊データライブラリファイル(AUTOCHAIN コマンドを使用する場合は必須)
7		lib* ¹	ppindex_human.dat (ファイル名は固定・編集不可)	生物圏モデルパラメータ関連性データ
8	出力ファイル	dat¥case¥hint (case は任意)	human.out	標準出力ファイル(ダミー)
9	SPOP モジュール 関連ファイル * ³	dat¥case¥hint* ¹	*-forspop-??.flx *-forspop-??.dat	MASTER モジュールの POST コマンドにより作成する SPOP 用データ入力ファイル(統計解析する変動パラメータ値と移行フラックスあるいは線量)
10		dat¥case¥hint* ¹	*-post-??.flx *-post-??.dat	MASTER モジュールの POST コマンドにより作成する変動パラメータに関する情報の出力ファイル(特に使用しない)

*1: DIR コマンドで指定したパス

*2: PROB コマンドで指定したファイル名

*3: SPOP モジュール関連ファイルのファイル名は、*が解析対象となる任意のファイル名(拡張子除く)、??が解析対象ファイル内での核種記載順の二桁の連番となり、核種数(線量の場合は、最後に合計線量が追加されるため、核種数+1)分作成される。また、出力結果が核種の移行フラックスの場合に拡張子は“.flx”となり、線量の場合に“.dat”となる。

Table 4.3 CMMAIN モジュール (ソースタームモデル) の入出力ファイル一覧

No.	ファイルの種類	格納サブフォルダ	ファイル名例	内容
1	入力ファイル	dat¥case¥huint* ¹	cmmain.inp	ソースタームモデル用標準入力ファイル(必須)
2	ライブラリファイル	lib* ¹	migcm.dat	ソースタームモデル用核種移行関連パラメータライブラリファイル(ライブラリファイルを使用する場合は必須)
3		lib* ¹	boringtype.dat	ボーリング形状ライブラリファイル(ライブラリファイルを使用する場合は必須)
4	出力ファイル (出力の有無は任意)	dat¥case¥huint* ¹	cmmain.out	標準出力ファイル
5		dat¥case¥huint* ¹	cmmain.txt	テキスト出力ファイル
6		dat¥case¥huint* ¹	cmmain.bin	バイナリ出力ファイル(被ばく線量評価におけるボーリングコア及び掘削ズリ中の核種濃度として使用するため、接続計算を行う場合は必須。また、確率論的解析結果の統計的解析を行う場合は必須。)
7		dat¥case¥huint* ¹	cmmain.bin_	確率論的解析のための補助ファイル(確率論的解析の場合は自動的に作成される)

*1: DIR コマンドで指定したパス

Table 4.4 HUMAN モジュール (生物圏モデル) の入出力ファイル一覧

No.	ファイルの種類	格納サブフォルダ	ファイル名例	内容
1	入力ファイル	dat¥case¥huint* ¹	huint.inp	生物圏モデル用標準入力ファイル(必須)
2	ライブラリファイル	lib* ¹	exdose.dat	外部被ばく線量換算係数ライブラリファイル(必須)
3		lib* ¹	indose.dat	内部被ばく線量換算係数ライブラリファイル(必須)
4		lib* ¹	trans.dat	生物圏モデル用核種移行パラメータライブラリファイル(掘削ズリ再利用サブシナリオでライブラリファイルを使用する場合は必須)
5		lib* ¹	kd.dat	分配係数ライブラリファイル(掘削ズリ再利用シナリオでライブラリファイルを使用する場合は必須)
6		lib* ¹	boringtype.dat	ボーリング形状ライブラリファイル(ライブラリファイルを使用する場合は必須)
7	出力ファイル (出力の有無は任意)	dat¥case¥huint* ¹	huint.out	標準出力ファイル
8		dat¥case¥huint* ¹	huint.txt	テキスト出力ファイル
9		dat¥case¥huint* ¹	huint.bin	バイナリ出力ファイル(確率論的解析結果の統計的解析を行う場合は必須。)
10		dat¥case¥huint* ¹	huint.bin_	確率論的解析のための補助ファイル(確率論的解析の場合は自動的に作成される)

*1: DIR コマンドで指定したパス

Table 4.5 LHS モジュール (パラメータサンプリングモジュール) の入出力ファイル一覧

No.	ファイルの種類	格納サブフォルダ	ファイル名例	内容
1	入力ファイル	dat¥case¥lhs (case は任意)	lhs.inp	LHS 用標準入力ファイル(必須)
2		dat¥case¥lhs (case は任意)	obs.inp	LHS 用外部入力ファイル(任意)
3	出力ファイル	dat¥case¥lhs (case は任意)	lhs.dat	サンプリングパラメータデータファイル
4		dat¥case¥lhs (case は任意)	lhs.prm	サンプリングパラメータ指定ファイル

Table 4.6 SPOP モジュール（統計解析モジュール）の入出力ファイル一覧

No.	ファイルの種類	格納サブフォルダ	ファイル名例	内容
1	入力 ファイル	dat¥case¥spop (case は任意)	spop.inp (ファイル名は固定)	SPOP 用標準入力ファイル(必須)
2		dat¥case¥gsagcl (case は任意)	*-forspop-??.flx *-forspop-??.dat	SPOP 用データ入力ファイル(必須)
3	出力 ファイル	dat¥case¥spop (case は任意)	spop_*-forspop-??.flx spop_*-forspop-??.dat	標準出力ファイル
4		dat¥case¥spop (case は任意)	stat_*-forspop-??.flx stat_*-forspop-??.dat	統計解析結果出力ファイル

4.2 入力ファイルの仕様

MASTER モジュールの実行制御情報の入力、各サブモデルにおける標準入力、パラメータサンプリングに関する LHS モジュールおよび統計処理のための SPOP モジュールにおける入力の仕様について以下に示す。

4.2.1 実行制御モジュール (MASTER)

実行制御モジュール MASTER が担っている主な機能を以下に記述する。

- 実行制御情報定義ファイル HUINT.CNT を読み込み、全てのサブモデルの計算実行を制御する。
- ファイル環境や実行制御情報（決定論的解析・確率論的解析の選択、確率論的解析のサンプル数）を基に、自動的に実行制御情報ファイル MASTER.DAT を作成し、その情報を各サブモデルに対するモジュールへの入力として与える。
- HUINT.CNT において指定された最上位核種および半減期と、崩壊系列データライブラリファイルから、崩壊系列データを自動作成する。
- 崩壊系列データに基づき、核種移行解析の対象外となった子孫核種の各線量換算係数を、その親核種の線量換算係数に合算する。
- 核種移行解析の対象となった核種に対応する核種・元素依存パラメータを指定されたライブラリファイルから読み込み、その情報を各サブモデルに対するモジュールの入力ファイルとして作成する。
- 各サブモデルの出力であるバイナリファイルから、確率論的解析より得られる核種移行フラックスや線量の最大値およびその出現時間を取得し、統計解析のための SPOP モジュールへの入力ファイルを作成する。
- さらに、確率論的解析に使用したパラメータの確率密度関数に関する情報をパラメータサ

ンプリングのモジュールの出力ファイルから抽出し、統計解析のための SPOP モジュールへの入力ファイルを作成する。

こうした必要な解析機能を実行するために、MASTER では入力としての実行制御情報定義ファイル HUINT.CNT において、9 種類の本コード専用のコマンドと、各コマンドに必要とされる情報（引数）を入力する。コマンドは2種類に大別され、1つは各サブモデルのモジュールによる計算を実行するためのコマンドであり、もう1つは各サブモデルのモジュールに関する入出力ファイル作成の前処理・後処理を制御するコマンドである。

HUINT コードに専用のコマンドとその各機能の一覧を

Table 4.7 に示す。また、各サブモデルによる具体的な決定論的解析および確率論的解析の実行のための入力について、次項にて述べる。

なお、個々のコマンドに必要とされる情報（引数）については、Appendix-1 に記述した。

Table 4.7 HUINT コードに専用のコマンドとその各機能の一覧

No.	コマンド名		機能の概要	入力規則
1	パスの設定	DIR	No.5~6のサブモデルのコマンド実行時に使用する入出力ファイルやライブラリファイル、確率論的解析用データファイルのパスを指定する。	必須である。コマンド入力の最初に必要である。
2	評価対象核種に関する処理	AUTOCHAIN	評価対象となる核種を指定し、その機能を親核種として、崩壊系列データファイルのライブラリの情報を基に、ある半減期以上の核種を子孫核種とする崩壊系列を自動的に生成する。崩壊系列は4系列まで取り扱うことができる。	子孫核種とする崩壊系列を自動的に生成する場合に使用する。使用する場合はDIRコマンドの後に設定する。
3	確率論的解析の実行の設定	PROB	確率論的解析を行う場合に設定する。本コマンドを設定しない場合は決定論的解析を行う。	確率論的解析を行う場合は必須である。本コマンドは、サブモデルのコマンド入力(No.5~No.6)の前に必要である。
4	廃棄体中核種濃度の指定	RESTART	生物圏のサブモデルに対して、ボーリングコア中及び掘削ズリ中の核種濃度として使用するバイナリファイルを指定する。本コマンドを設定しない場合は、直前のボーリングコア中及び掘削ズリ中の核種濃度の計算結果を使用する。	既に計算済みの廃棄体中核種濃度の結果を使用する場合に設定する。本コマンドは、生物圏モデルのコマンド入力の前に必要である。
5	ソースタームモデルの計算	HMINTRS	ボーリングコア中及び掘削ズリ中の核種濃度計算の実行	対象核種や解析条件を変えたケースなどに応じた計算の場合、並列的に複数のサブモデルを設定する。コマンドNo.3以降に適宜設定する。
6	生物圏モデルの計算	HUMAN	ボーリング掘削による線量評価モデルの計算の実行	基本的にソースタームモデルの後に入力する。RESTARTを設定しない場合に、直前に設定したソースタームモデルの結果がボーリングコア中及び掘削ズリ中の核種濃度として使用される。コマンド5以降に適宜設定する。
7	出力ファイルの編集	MERGE	各サブモデルによって計算された複数の結果(濃度や線量)をそれぞれ合計したい場合に、本コマンドにより、これらの出力ファイルを作成する。この際、同一核種の解析結果は合計処理される。	ソースタームモデルによって計算された複数のボーリングコア中及び掘削ズリ中の核種濃度の結果を統合して、線量の計算に用いたい場合に設定する。コマンドNo.6以降に適宜設定する。
8	確率論的解析の計算結果の後処理	POST	確率論的解析による出力ファイルから、統計処理のためのモジュール(SPOP)の入力ファイルを作成する。	前にPROBコマンドの設定が必須である。MERGEコマンド以降に適宜設定する。
9	入力情報終端の指定	EXIT	入力情報の終端を指定する。	必須である。コマンド入力の最後に必要である。

4.2.2 サブモデルに関するモジュール

ソースタームモデルおよび生物圏モデルの各解析を行うモジュールは、以下の2つである。

- ソースタームモデルに関するモジュール：CMMAIN
- 生物圏に関するモジュール：HUMAN

実行制御モジュール MASTER がこれらの各サブモデルのモジュール用に出力した実行制御情報ファイル MASTER.DAT を読み込む。さらに、そこに記述された標準入力ファイルを基に各モジュールが計算を行う。また、確率論的解析の場合には、LHS モジュールによるパラメータサンプリングに関する情報も MASTER.DAT に格納される。なお、MASTER.DAT の情報は、MASTER モジュールの実行時に自動的に作成される。各サブモデルのモジュールに対する標準入力ファイルの具体的な仕様は、以下のように各 Appendix に記載した。

- ソースタームモデルに関するモジュールの入力仕様：Appendix-2
- 生物圏に関するモジュールの入力仕様：Appendix-3

4.2.3 パラメータサンプリングに関するモジュール

パラメータサンプリングに関するモジュール（LHS モジュール）では、各パラメータのばらつきを確率密度関数により与え、Latin Hypercube Sampling 法を用いて解析用のデータセットを作成する。LHS モジュールの入力ファイルには、標準入力ファイルとしての LHS.INP とデータセットの外部入力からパラメータのばらつきを直接入力するための OBS.INP の2種類がある。以下、LHS.INP と OBS.INP の入力仕様について述べる。

(1) 標準入力ファイル (LHS.INP)

LHS モジュールの標準入力ファイルである LHS.INP は、ヘッダ部分と各パラメータの確率密度関数に関する設定部分に大別される。LHS.INP の入力仕様を Table 4.8 に示す。入力ファイルは、ある特定のキーワード (Table 4.8 参照) の後に必要な項目を入力する仕様であり、ヘッダ部分は Table 4.8 のキーワードの No.1~6 までである。ヘッダ部分では、キーワード入力後、それぞれ定められた文字列の後に空白をおいて、その後に入力情報を並べることにより、それらを認識する。

ヘッダ部分の入力以降に各パラメータの確率密度関数に関する設定を行う。各パラメータの設定では、分布型のキーワードの入力以降に、パラメータの変動を想定するパラメータ名称を「パラメータラベル」として入力し、これは LHS モジュール内におけるユーザーの出力情報の判別のためであり、基本的に自由な文字列を定義できる。

さらに、個々のパラメータラベルに対し、ソースタームモデル、生物圏モデルの各サブモデルの中で使用するパラメータとの関連付けをするため、「定義文字列」と呼ぶパラメータの識別のための文字列を入力する。「定義文字列」は、各モジュール単位で個々のパラメータに対し定義しており、それらの一覧は Appendix-4 に示した。パラメータラベルと定義文字列を組み合わせることで、モジュール間で共通なパラメータに対し同一の設定をすることが可能になる。

さらに、以下に示すように、次の行において個々の確率密度関数における変動幅の最小値およ

び最大値を入力する。

(分布型のキーワード)	(パラメータラベル)	(定義文字列)
(最小値)	(最大値)	

Table 4.8 LHS モジュールの標準入力ファイル LHS.INP の入力仕様

No.	キーワード	内容	形式	備考
1	TITLE	LHS.DAT、LHS.OUTおよび LHS.PRMIに出力されるタイトル	文字列	
2	RANDOM SEED	乱数発生用シード	整数	動作環境における整数型の範囲内
3	NOBS	パラメータのサンプリング数	整数	最大5000セット
4	OUTPUT	LHS.OUTに出力されるデータ 情報の種類を設定する(複数 選択可)	文字列	キーワードの後に、以下の文字列を入力 CORR: 相関係数 HIST: ヒストグラム DATA: 各パラメータのサンプリングされたデータ
5	NEGTOZERO	変動幅に負の値を入力した場 合に、負の値を0値としての処 理を実行する	整数	0値としての処理を実行するパラメータの数の後、該 当するパラメータ番号(*1)をパラメータ数だけ記述 する
6	CORRELATION MATRIX	パラメータ間の順位相関係数 を設定する	整数 および 実数	順位相関を設定するペアのパラメータ番号の数の後 に、その数分のペアのパラメータ番号と相関係数を 記述する
各パラメータの確率密度関数の設定では、以下のキーワードから分布型を選択して設定する(*2)				
7	NORMAL	正規分布サンプルを生成	文字列 および 実数	キーワードの後に、変動を想定するパラメータに対し ユーザー定義のパラメータラベル(*3)を入力し、さら に、各モジュールで使用するパラメータとの関連性を 表す定義文字列を入力する。次の行に変動幅の最 小値および最大値を以下のように入力する 正規・対数正規分布: 0.1と99.9のパーセントタイル値 一様・対数一様分布: 最小値と最大値
8	LOGNORMAL	対数正規分布サンプルを生成		
9	UNIFORM	一様分布サンプルを生成		
10	LOGUNIFORM	対数一様分布サンプルを生成		

(*1)パラメータ番号とは、LHS.INP 内のパラメータラベルの設定順を表す

(*2)上記キーワードは解析において使用される主な分布型を示した。その他の分布型に対するキーワードおよびその設定方法は参考文献(10)を参照

(*3)パラメータラベルは、最大 10 文字までで、半角のアンパサンド(「&」)を含んではならない

(2) 外部入力ファイル (OBS.INP)

OBS.INP は、任意のパラメータについて、あらかじめそのばらつきを推定したパラメータセットを外部入力として読み込み、確率論的解析に使用する際の入力ファイルである。OBS.INP の入

力仕様を Table 4.9 に示す。OBS.INP を使用する際には、標準入力ファイルである LHS.INP において設定したパラメータラベル名と同一のものを使用する必要がある。このとき、LHS.INP の同じパラメータラベルの確率密度関数の設定は無視され、OBS.INP の入力置き換わる。

Table 4.9 OBS.INP の入力仕様

カード番号	入力内容	設定に関する備考
1	外部入力の有無に関するオプション	=0:有効としない =1:有効とする
2	外部入力するパラメータラベル(Card5)のうち、パラメータセットの並びの関係を保存する(グループ化する)パラメータラベルの数と、そのグループ化対象のパラメータが最初にあらわれる順番を設定	「GROUP」という文字列の入力後、グループ化するパラメータラベルの数、そのグループ化対象のパラメータ番号の最初の番号(Card5 の設定において、グループ化対象のパラメータが最初にあらわれる順番)を設定する(*)
3	パラメータのサンプリング数	標準入力ファイル LHS.INP において設定したパラメータのサンプリング数と同一でなければならない
4	外部入力するパラメータラベルの数	
5	外部入力するパラメータラベル名の入力	標準入力ファイル LHS.INP において設定したパラメータラベル名と同一でなければならない
6	各パラメータラベルに対するパラメータの値	パラメータの値をサンプリング数(Card3)分の行数で入力する

(*)グループ化対象のパラメータラベルは、Card5 において連続した入力で行なければならない

4.2.4 統計解析に関するモジュール

統計解析に関するモジュール (SPOP モジュール) は、各サブモデルによる計算された核種移行フラックスや線量の結果から、累積分布関数 (CDF : Cumulative Distribution Function) や補累積分布関数 (CCDF : Complementary Cumulative Distribution Function) を作成する。また、パラメータの変動がこれらの解析結果に与える影響を評価するため、標準順位回帰係数、偏順位相関係数などのパラメータと解析結果の間の相関係数を算出する。なお、これらの係数は、任意の評価結果の合計についても評価することができる。SPOP モジュールの標準入力ファイルの仕様を Table 4.10 に示す。

Table 4.10 統計解析のための SPOP モジュールの標準入力ファイル仕様

カード番号	入力変数	単位	内容
1	N_OUT	—	統計解析出力数 統計解析を行う出力ケースの数を入力する
2	N_PATH(I), I=1, N_OUT	—	合計経路数 各出力ケースにおいて、合計する被ばく経路の数を入力する(N_OUT個入力する)
3	N_OUT行繰り返す I_PATH(J), J=1, N_PATH(I)	—	経路番号 核種出力ケースにおいて加算する経路番号を、各出力ケースにおいてN_PATH個入力する(この入力はN_OUT個繰り返す)

4.3 ライブラリファイル仕様

HUINT コードでは、核種の半減期や分岐比、線量換算係数、緩衝材中の分配係数、農作物への移行係数など、核種および元素に依存したパラメータについては、データ管理の利便性を鑑み、データライブラリ形式を導入した。また、これらの核種および元素に依存するパラメータをライブラリファイルに保存することにより、各サブモデルのモジュールによる解析において、その解析対象の核種や元素に依存したパラメータの情報をライブラリファイルから自動的に取得する仕様となっている。HUINT コードにおいて利用可能なライブラリファイルは7であり、各ファイルの仕様を以下の Table 4.11～Table 4.17 に示す。ポーリング形状ライブラリファイルでは、ポーリングの全長や段数、ポーリングの各段の長さや半径に関する情報を設定する。

- 核種崩壊データライブラリファイルTable 4.11
- 核種移行パラメータライブラリファイル（ソースタームモデル）Table 4.12
- 核種移行パラメータライブラリファイル（生物圏モデル）Table 4.13
- 外部被ばく線量換算係数ライブラリファイル.....Table 4.14
- 内部被ばく線量換算係数ライブラリファイル.....Table 4.15
- 分配係数ライブラリファイル（生物圏モデル）Table 4.16
- ポーリングタイプライブラリファイルTable 4.17

Table 4.11 核種崩壊データライブラリファイル仕様

カード番号	入力変数	単位	内容
必要な核種数分 Card 1 を繰り返す			
1	FORMAT(A5,A1,F10.3,1X,A2,3X,A2,F10.3,2X,I3,A2,1X,I1)		
	NUCL	-	核種の質量数(核子数)と元素名
	NMPI	-	状態(核異性体の場合 'M'、それ以外はブランク)
	HLFI	HUNIで設定	核種の半減期
	HUNI	-	核種の半減期の単位(NS, US, MS, S, M, H, D, Y)
	RADI	-	崩壊形式(A, B-, B+, IT, EC)
	RATI	-	分岐比
	NZDI	-	NUCLの生成核種の質量数
	NADI	-	NUCLの生成核種の元素名 (NADI, NZDI)は安定核種。準安定核種の場合には、Card 2に記述する。
IM	-	(NADI, NZDI)以外の生成核種への分岐数	
IM≠0のとき(生成核種が複数あるとき)Card 2を入力する			
2	IM回入力する		
	FORMAT(E10.3,4X,E10.3,2X,A2)		
	RATJ	-	(NADI, NZDI)以外の生成核種への分岐比
	HLFJ	HUNJで設定	(NADI, NZDI)以外の生成核種の半減期
HUNJ	-	半減期HLFJの単位(NS, US, MS, S, M, H, D, Y)	

Table 4.12 核種移行パラメータライブラリファイル（ソースタームモデル）仕様

カード 番号	入力変数	単位	内容	
1	TITLE	-	ライブラリのタイトル	
2	NKD	-	パラメータの項目(列)数=6	
3	必要な元素数分 Card 3 を繰り返す FORMAT (A2, 3X, 20E10.2)			
	NNN	-	元素記号	
	AKD(I) I=1, NKD	IUNIT (*1)		オーバーパック領域(HLW)または廃棄体層(余裕深度処分対応)の溶解度限度初期値
		IUNIT (*1)		緩衝材の溶解度限度初期値
		m ² /y		オーバーパック領域(HLW)または廃棄体層(余裕深度処分対応)の拡散係数初期値
		m ² /y		緩衝材の拡散係数初期値
		m ³ /kg or -(*2)		オーバーパック領域(HLW)または廃棄体層(余裕深度処分対応)の分配係数または遅延係数初期値
m ³ /kg or -(*2)			緩衝材の分配係数または遅延係数初期値	

*1: 標準入力ファイルのCard 2、IUNITで決定される。

*2: 標準入力ファイルのCard 2、IKDRTで決定される。

Table 4.13 核種移行パラメータライブラリファイル（生物圏モデル）仕様

カード 番号	入力変数	単位	内容
1	TITLE1	-	ライブラリのタイトル
2	TITLE2	-	項目名
3	IL	-	移行係数の項目数
4	必要な元素数分 Card 4 を繰り返す FORMAT (A2,13E9.2)		
	FRIL	-	核種の元素記号
	FTRC(I), I=1,IL	kg/kg	項目Iの移行係数または濃縮係数

Table 4.14 外部被ばく線量換算係数ライブラリファイル仕様

カード番号	入力変数	単位	内容
1	タイトル(コメント行として処理)		
2	NFERT	—	客土厚さ条件数(最大10) (跡地利用生物圏モデルの場合有効。水系生物圏モデルの場合はダミーとなる)
3	HFERT(I), I=1,NFERT	m	客土厚さ (跡地利用生物圏モデルの場合有効。水系生物圏モデルの場合はダミーとなる)
4	必要な核種数分 Card 4 を繰り返す(跡地利用生物圏モデルの場合、最大200) FORMAT(A2,I3,A1,10E11.3)		
	NNN	—	核種の元素記号
	NNA	—	核種の質量数
	NNM	—	核異性体の場合Mを入力、それ以外はブランク
	DCFEXT(I), I=1,NFERT	μ Sv/h per Bq/g	外部被ばく線量換算係数 水系生物圏モデルの場合は1列目のデータが使用される。 跡地利用生物圏モデルの場合は、標準入力で指定した列、もしくは客土厚さに対して内挿された値が使用される

Table 4.15 内部被ばく線量換算係数ライブラリファイル仕様

カード番号	入力変数	単位	内容
1	タイトル(コメント行として処理)		
2	必要な核種数分 Card 2 を繰り返す FORMAT(A2, I3, A1, 2(2X, E8.2))		
	NNN	—	核種の元素記号
	NNA	—	核種の質量数
	NNM	—	核異性体の場合Mを入力、それ以外はブランク
	DCFING	Sv/Bq	経口摂取内部被ばく線量換算係数
	DCFINH	Sv/Bq	吸入摂取内部被ばく線量換算係数

Table 4.16 分配係数ライブラリファイル(生物圏モデル)のファイル仕様

カード番号	入力変数	単位	内容
1	TITLE (A80)		ライブラリのタイトル
2	NS		土壌の種類数
3	必要な回数入力 DISELM, KD(I), I=1, NS (A2, 3X, 10E10.2)		
	DISELM		元素記号
	KD	[ml/g]	Kd 値

Table 4.17 ボーリング形状ライブラリファイル仕様

カード 番号	入力変数	単位	内容
1	TITLE (A120)	—	ライブラリのタイトル
2	COMMENT1(A120)	—	入力項目のコメント
3	COMMENT2(A120)	—	
4	COMMENT3(A120)	—	
5	必要なボーリング半径の異なる段数分を繰り返す BODH, NSTEPB, (TB(I), RB(J), J=1, 5)		
	BODH	m	ボーリングの深度 (ボーリング全長)
	NSTEPB	—	ボーリング段数
	TB(J),	m	ボーリング J 段目の長さ
	RB(J)	mm	ボーリング J 段目の半径

5. 実行手順

Windows 環境において、HUINT コード内のサブモデルによる計算モジュール、パラメータセットを作成する LHS モジュールと、解析結果を統計処理する SPOP モジュールを実行するための付属のバッチファイルがある。以下に各モジュールに対するバッチファイルによる実行手順を示す。

HUINT コード内の各サブモデルのモジュールを実行する場合には、付属のバッチファイル MAS.BAT を使用する。MAS.BAT を使用する場合のデフォルトのフォルダ環境を Fig. 5.1 に示す。

MAS.BAT は、Fig. 5.1 に示した「実行形式ファイル格納フォルダ」(“%huint%\bin”) へのパスの定義、MASTER モジュールの起動などを行う。

まず、計算実行の準備として、Fig. 5.1 に示したフォルダ環境を作成し、4 章に述べたファイル仕様に基づき、計算の内容に応じて必要なファイル（実行制御情報定義ファイル、各モジュールの標準入力ファイル）と各種のライブラリファイルを作成する。

次に、MS-DOS プロンプトを起動し、CD コマンドを使用して、カレントフォルダ（実行フォルダ）を本コードをインストールしたフォルダ (“%huint”) とする。コマンドプロンプトから、バッチファイルを実行するために、以下のようなコマンドを入力する。

```
MAS [dir] [name]
```

ここで、[dir]は dat フォルダ内にある計算ケース別フォルダ名 (Fig. 5.1 の「case1」や「case2」) である。また、[name]は、Fig. 5.1 の“huint\dat\[dir]\huint”フォルダにおいてユーザーが作成した“[name].cnt”という実行制御情報定義ファイルから拡張子を除いたものである。上記のコマンド

入力により、“huint¥dat¥[dir]¥huint”フォルダにある “[name].cnt” の実行制御情報定義ファイルがカレントフォルダ (“¥huint”) へ HUINT.CNT としてコピーされ、計算に使用される。

また、パラメータサンプリングに関するモジュール（以下、LHS モジュール）を実行する場合には、付属の LHS モジュール起動用バッチファイル（以下、LHS.BAT）を使用する。LHS.BAT は、Fig.5-1 に示した「LHS モジュール関連ファイル格納フォルダ」 (“¥huint¥dat¥[dir]¥lhs¥”) へのパスの定義、LHS モジュールの起動などを行う。

まず、計算実行の準備として、Fig.5-1 に示したフォルダ環境を作成し、4 章に述べた入力ファイル仕様に基づき、計算の内容に応じて必要なファイル（LHS モジュールの標準入力ファイルおよび外部入力ファイル）を作成する。

次に、MS-DOS プロンプトを起動し、CD コマンドを使用して、カレントフォルダ（実行フォルダ）を本コードのインストールフォルダ (“¥huint”) とする。コマンドプロンプトから、バッチファイルを実行するために、以下のようなコマンドを入力する。

```
LHS [dir] [name]
```

ここで、[dir] は、dat フォルダ内にある計算ケース別のフォルダ名 (Fig.5.1 の「case1」や「case2」) である。また、[name] は、Fig.5.1 の “huint¥dat¥[dir]¥lhs” フォルダにおいてユーザーが作成した “[name].inp” という標準入力ファイルから拡張子を除いたものである。また、“huint¥dat¥[dir]¥lhs” フォルダに外部入力ファイル (“obs.inp”) が存在する場合、自動的に読み込まれる。上記のコマンド入力により、“huint¥dat¥[dir]¥lhs” フォルダにある標準入力ファイル (“[name].inp”) および外部入力ファイル (“obs.inp”) がカレントフォルダ (“¥huint”) へコピーされ、LHS モジュールが実行される。

なお、LHS.BAT の下記の箇所を示される “rem” を削除することにより、LHS コードの標準出力ファイルを残すことも可能である（ただし、LHS の標準出力ファイルの仕様は、LHS コードのコードマニュアル⁽¹³⁾を参照すること）。

```
if exist lhs.echo (
rem    copy lhs.echo %DDAT%¥¥2.out
    del  lhs.echo
)
```

SPOP モジュールを実行する場合には、付属のバッチファイル SPOP.BAT を使用する。SPOP.BAT を使用する場合のデフォルトのフォルダ環境は MAS.BAT と同様である。

MAS.BAT と同様に MS-DOS プロンプトを起動し、MAS.BAT と同じフォルダをカレントフォルダとする。コマンドプロンプトから、バッチファイルを実行するために、以下のようなコマンドを入力する。

SPOP [dir] [name1] [name1]

ここで、[dir]は dat フォルダ内にある計算ケース別フォルダ名 (Fig. 5.1 の「case1」や「case2」) である。また、[name1]は、Fig. 5.1 の”huint¥dat¥[dir]¥huint”フォルダに MAS.BAT で実行した計算により出力された SPOP 用のファイル名 (拡張子も含む) である。さらに、[name2]は、Fig. 5.1 の”huint¥dat¥[dir]¥huint”フォルダにおいて MAS.BAT で実行された計算に使用したサンプリングパラメータ指定のファイル名 (拡張子も含む) である。

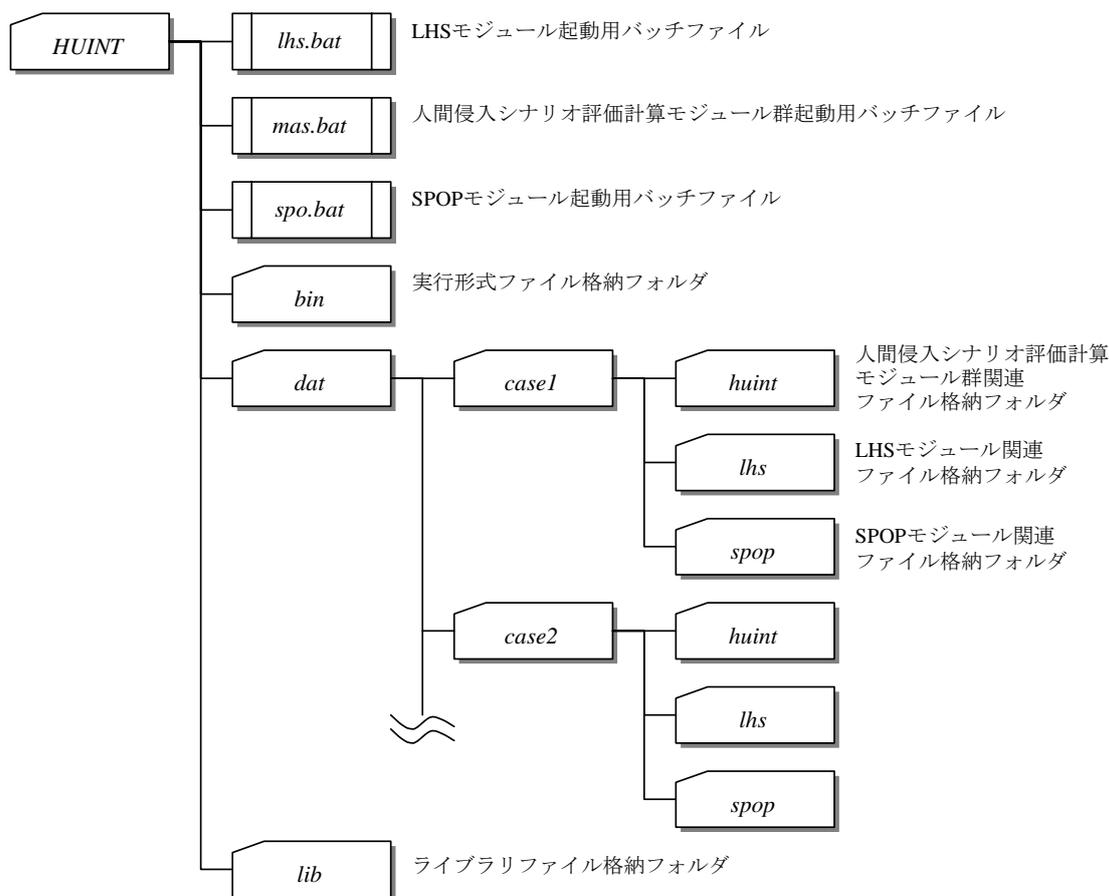


Fig. 5.1 人間侵入シナリオ評価コード HUINT のデフォルトファイル環境

謝辞

本コードの作成にあたり、ご助力をいただいた (株) ヴィジブルインフォメーションセンターの黒澤直弘氏、菅野光大氏に感謝いたします。

参考文献

- 1) OECD/NEA, Safety Assessment of Radioactive Waste Repositories An International Database of Features, Events and Processes, A report of the NEA Working Group on the development of a database of features, events and processes relevant to the assessment of post-closure safety of radioactive waste repositories, 1999.
- 2) 総合資源エネルギー調査会原子力安全・保安部会、廃棄物安全小委員会報告書 - 高レベル放射性廃棄物処分の安全規制に係る基盤確保に向けて、2003.
- 3) ICRP, Radiation Protection Recommendations as Applied to the Disposal of Long-Lived Solid Radioactive Waste, ICRP Publication 81, Annals of the ICRP, 1998.
- 4) NAS, Technical Bases for Yucca Mountain Standards, Committee on Technical Bases Yucca Mountain Standards, National Research Council, National Academy Press, 1995.
- 5) SSI, The Radiation Protection Authority's guidelines on the application of the regulations (SSI FS 1998:1) concerning protection of human health and environment in connection with the final management of spent nuclear fuel and nuclear waste, SSI FS 2005:5, 2005.
- 6) STUK, Long-Time Safety of Disposal of Spent Nuclear Fuel, YVL 8.4, 2001.
- 7) CNSC, Regulatory Guide, G-320, Assessing the Long Term Safety of Radioactive Waste Management, 2006.
- 8) 原子力安全委員会、余裕深度処分の管理期間終了以後における安全評価に関する考え方、2010.
- 9) 長澤寛和、武田聖司、木村英雄、佐々木利久、人間侵入に関する安全評価手法の開発 その 1 - ボーリングシナリオを対象としたデータベースの整備 -、JAEA-Data/Code 2010-018、2010.
- 10) 武田聖司、木村英雄、確率論的評価手法 GSRW-PSA による地層処分システムの不確かさ解析：パラメータ不確かさおよび天然バリアの概念モデル不確かさの検討、JAERI-Research 2002-014、2002.
- 11) Hosono, T., Numerical inversion of Laplace transform and some applications to wave optics, International U.R.S.I.-Symposium 1980 on Electromagnetic Waves, Munich, 1980.
- 12) 武田聖司、菅野光大、佐々木利久、水無瀬直史、木村英雄、ウラン及び TRU 核種を含む放射性廃棄物に対するクリアランスレベル評価コードシステム PASCLR 第 2 版の開発、JAEA-Data/Code 2006-003、2006.
- 13) R. L. Iman and M. J. Shortencarier, "A FORTRAN 77 Program and User's Guide for the Generation of Latin Hypercube and Random Samples for Use with Computer Models", NUREG/CR-3624, 1984.
- 14) A. Saltelli, THOMMA, "LISA PACKAGE USER GUIDE Part III, SPOP (Statistical POst Processor) Uncertainty and Sensitivity Analysis for Model Output. Program Description and User Guid" EUR 13924 EN (1992)

Appendix-1 MASTER モジュールにおけるコマンド一覧

HUINT コードにおけるコマンドは2種類に大別され、1つは各サブモデルのモジュールに関する入出力ファイル作成の前処理・後処理を制御するコマンドであり、もう1つは各サブモデルのモジュールによる計算を実行するためのコマンドである。ここでは、前者に関する7種類の各コマンドの入力仕様と後者のコマンド実行の入力仕様について記述する。

(1) DIR コマンド

DIR コマンドは、ソースタームモデル、生物圏モデルの各サブモデルのコマンド実行時に使用する入出力ファイルやライブラリファイル、確率論的解析用データファイルのパスを指定する。DIR コマンドで必要な入力仕様を TableA1-1 に示す。DIR コマンドでは、TableA1-1 に示すような3種類のパスが必要である。ここでいうパスとは、実行フォルダ（4. 実行手順を参照）を起点とし、ソースタームモデル、生物圏モデルの各サブモデルのコマンド実行時に使用する入出力ファイルやライブラリファイル、確率論的解析用データファイルが格納されているそれぞれのフォルダまでを示したものである。

パスの入力は、フォルダ名の後ろに円マーク ‘¥’ を入れてフォルダ間の区切りとし、60 文字以内とする。なお、パスは引用符 ‘ ’ で囲み、空白により3種類のパスの区切りとする。また、パスとファイル名（拡張子までを含む）は合わせて120 文字以内とする。

TableA1-1 DIR コマンドの入力仕様

Entry	内容
Incmnd	DIR
dir_dat	ソースタームモデル、生物圏モデルの各サブモデルのコマンド実行時に使用する入出力ファイルのパス
dir_lib	ライブラリファイルのパス
dir_lhs	確率論的解析用データファイルのパス

(2) AUTOCHAIN コマンド

AUTOCHAIN コマンドは、評価対象となる核種を指定し、その核種を親核種として、崩壊系列データファイルのライブラリの情報を基に、ある半減期以上の核種を子孫核種とする崩壊系列を自動的に生成する。また、崩壊系列は4 系列まで入力することができる。

AUTOCHAIN コマンドの入力仕様を TableA1-2 に示す。なお、AUTOCHAIN を使用する場合、各サブモデルのモジュールによる計算を実行するためのコマンドの入力情報（引数）の最後に、ライブラリファイル名の入力が必要となる。

TableA1-2 AUTOCHAIN コマンドの入力仕様

Entry	内容
incmnd	AUTOCHAIN
nchain	崩壊系列数(4 系列まで入力可能)
iuni	評価対象核種を選別する半減期フラグ =-1:10年以上 =0:1年以上 =1:100日以上 =2:10日以上 =3:1日以上 =4:10時間以上 =5:1時間以上
nametop(i)i=1,nchain	最上位核種名(6文字まで、ライブラリファイル内の核種名)

(3) PROB コマンド

確率論的解析を行う場合に TableA1-3 に示した入力仕様を基に設定する。決定論的解析を行う場合には、PROB コマンドを設定しない。

TableA1-3 PROB コマンドで必要な入力情報

Entry	内容
incmnd	PROB
fnlhs	サンプリングデータファイル名(拡張子を含む)(*1)
fnprm	変動値使用指定ファイル名(拡張子を含む)(*1)
is	計算を開始するサンプル番号(*2)
ie	計算を終了するサンプル番号(*2)

*1:DIR コマンドの変数 dir_lhs で入力したパスが付けられて使用され、パスを含めて 120 文字以内が有効である。LHS モジュールによって出力されるファイルである。

*2:LHS モジュールにより生成したサンプル番号のうち、確率論的解析として is と ie で指定した範囲のサンプル番号のみ計算を行う。

(4) RESTART コマンド

RESTART コマンドは、生物圏のサブモデルに対して、入力フラックスとして使用するバイナリファイルを指定する。本コマンドを設定しない場合は直前のサブモデルの結果を入力フラックスとして使用する。

RESTART コマンドの入力仕様を TableA1-4 に示す。RESTART コマンドは、既に計算済みのソースタームモデルによる計算結果を次の計算の入力フラックスとして使用する場合に設定する。また、「ソースタームモデル」(CMMAIN モジュール) を用いた複数崩壊系列の計算を行う場合、CMMAIN モジュールでは同時に複数の崩壊系列の計算が可能であるが、生物圏モデルでは単独の崩壊系列に対する計算であるため、TableA1-4 の「ichain」において、生物圏モデルで対象とする 1 つの崩壊系列を指定する。さらに、生物圏モデル実行に関するコマンドを崩壊系列の数だけ設定し、複数の崩壊系列の計算を実行できる。

TableA1-4 RESTART コマンドの入力仕様

Entry	内容
incmnd	RESTART
fn_preprcs	上流側の計算結果バイナリファイル名(拡張子を除く)(*1)
ichain	崩壊系列番号。fn_preprcsで指定したデータに複数の崩壊系列のデータがある場合、計算に使用する系列の番号を指定する.(*2)
id_nb_area	0とする。

*1: DIR コマンドの変数 dir_dat で入力したパスと拡張子 '.bin' が付けられて使用され、パスと拡張子を含めて 120 文字以内が有効である。

*2: 「ソースタームモデル」(CMMAIN モジュール)の場合、標準入力ファイルにおける系列の番号を指定する。それ以外のサブモデルでは、「1」を入力する。

(5) MERGE コマンド

MERGE コマンドは、各サブモデルによって計算された複数の線量結果をそれぞれ合計したい場合に、本コマンドによりこれらの出力ファイルを 1 つに統合した新たな出力ファイル (バイナリ形式ファイル) を作成する。この際、同一核種の解析結果は合計処理される。MERGE コマンドの入力仕様を TableA1-5 に示す。

TableA1-5 MERGE コマンドの入力情報

Entry	内容
incmnd	MERGE
fn_new	統合処理結果を格納するファイル名(拡張子を除く)(*1)
n_merge	絶対値が統合処理を行うファイルの数(2から4つのファイルまで)。被ばく線量の合計の場合は負の値を入力する。
ismpl_out	確率論的解析の際に、統合処理結果を標準出力ファイル(gstagcl.out)に出力するサンプル番号(決定論的解析の場合は、常に出力される)
(fn_mertge(i), fact(i), i=1, n_merge	
fn_merge	統合処理を行うファイル名(拡張子を除く)(*1)
fact	fn_mergeで指定した線量の計算結果に対して乗ぜられる係数

*1: DIR コマンドの変数 dir_dat で入力したパスと拡張子 '.bin' が付けられて使用され、パスと拡張子を含めて 120 文字以内が有効である。

(6) POST コマンド

POST コマンドは、確率論的解析による出力ファイルから、統計処理のためのモジュール (SPOP) の入力ファイルを作成する。POST コマンドの入力仕様を TableA1-6 に示す。

TableA1-6 POST コマンドの入力仕様

Entry	内容
incmnd	POST
fnstat	計算結果バイナリファイル名(拡張子を除く)(*1)
itype	fnstatで指定した各モジュールの計算結果の種類 =1: ポーリングコア及び掘削ズリ中の核種濃度 =4: ポーリングシナリオの被ばく線量
fnfsp	統計解析用データ出力ファイル名(拡張子を除く)(*2)
fntim	経時変化用データ出力ファイル名(拡張子を除く)(*3)
pflag	濃度あるいは被ばく線量の最大値出現時間の算出方法選択フラグ =0: 対数平均による算出(ある時間範囲で最大値が一定であるとみなし、その時間範囲の対数平均を最大値の出現時間とする) =1: ピーク直前の時間を算出
rpeak	最大値出現時間の算出用差分値。pflag=0の場合に有効で、最大値×(1-rpeak)以上であれば一定であるとみなして最大値が一定であるとみなす時間範囲を求める。

*1: DIR コマンドの変数 dir_dat で入力したパスと拡張子 '.bin' が付けられて使用され、パスと拡張子を含めて 120 文字以内が有効である。

*2: DIR コマンドの変数 dir_dat で入力したパスと fnfsp で入力したファイル名の後ろにハイフン '-' と崩壊系列の上位核種からの序列番号を 2 桁の数値(01, 02, 03,...)として付け、さらに itype に対応した拡張子(=1: '.flx'、=2: '.con'、=3: '.dat'、=4: '.dat')を付けて使用され、全てを含めて 120 文字以内が有効である。

*3: DIR コマンドの変数 dir_dat で入力したパスと fntim で入力したファイル名の後ろにハイフン '-' と崩壊系列の上位核種からの序列番号を 2 桁の数値(01, 02, 03,...)として付け、さらに itype に対応した拡張子(=1: '.ftm'、=2: '.ctm'、=3: '.tim'、=4: '.tim')を付けて使用され、全てを含めて 120 文字以内が有効である。

(7) EXIT コマンド

EXIT コマンドは、実行制御情報の終わりを意味する。EXIT コマンドのみを入力し、1つの実行制御情報ファイルには必ず必要となる。

(8) 各サブモデルのモジュールによる計算を実行するためのコマンド

各サブモデルのモジュールによる計算を実行するためのコマンドは、HMINTRS、HUMAN の 2 種類 (Table 4.7 HUINT コードに専用のコマンドとその各機能の一覧を参照) である。各サブモデルのモジュールによる計算を実行する。各サブモデルのモジュールによる計算を実行するためのコマンドの入力仕様を TableA1-7 に示す。

TableA1-7 各サブモデルのモジュールによる計算を実行するためのコマンドの入力仕様

Entry	内容
incmnd	HMINTRS、HUMANの2種類 (Table4.7参照)
ソースタームモデルの場合	
fn_inp	標準入力データのファイル名 (拡張子を含む) (*1)
fn_out	計算結果出力の出力ファイル名 (拡張子を除く) (*2)
fn_lib	ライブラリファイル名 (拡張子を含む) (*3)
生物圏モデルの場合	
fn_inp	標準入力データのファイル名 (拡張子を含む) (*1)
fn_out	計算結果出力の出力ファイル名 (拡張子を除く) (*4)

*1: DIR コマンドの変数 dir_dat で入力したパスが付けられて使用され、パスを含めて 120 文字以内が有効である。

*2: DIR コマンドの変数 dir_dat で入力したパスと拡張子 (標準出力ファイルが '.out'、経時変化用データ出力ファイルが '.txt'、計算結果のバイナリファイルが '.bin') を付けて使用され、パスと拡張子を含めて 120 文字以内が有効である。

*3: DIR コマンドの変数 dir_lib で入力したパスを付けて使用され、パスを含めて 120 文字以内が有効である。なお、ライブラリファイルは、AUTOCHAIN コマンドを使用する場合に必要である。

*4: DIR コマンドの変数 dir_dat で入力したパスと拡張子 (標準出力ファイルが '.out'、経時変化用データ出力ファイルが '.txt') を付けて使用され、パスと拡張子を含めて 120 文字以内が有効である。

Appendix-2 ソースタームモデルに関する入力ファイル仕様

TableA2-1 ソースタームモデルの標準入力ファイル仕様 (1/3)

Card	入力変数	単位	内容
1	TITLE	—	ジョブタイトル
2	NUCL	—	核種数 >0: 核種数 <0: 核種・元素依存のパラメータをライブラリから取得する。また、AUTOCHAIN コマンドを設定する必要がある (Appendix-1 参照)
	IUNIT	—	単位フラグ IUNIT = I3×100+I2×10+I1 I1 出力フラックス (0:atom/y, 1:Bq/y, 2:Ci/y, 3:g/y, 4:mol/y) I2 対象核種の元素の溶解度 (0:atom/kl, 1:Bq/kl, 2:Ci/kl, 3:g/kl, 4:mol/kl) I3 初期量 (0:atom, 1:Bq, 2:Ci, 3:g, 4:mol)
	ITIM	—	出力時間刻みデータ数: Card5 で設定する出力する時間刻みを変える時刻の数
	IPRINT	—	印刷フラグ =0:印刷無し >0:入力データと結果 <0:入力データ
	IFILF	—	テキスト出力ファイル =0:出力無し >0:出力あり
	IFILB	—	バイナリ出力ファイル =0:出力無し >0:出力あり
	I IPT	—	入力フラグ (1 を入力)
	3	IKBN	—
IBFN		—	緩衝材領域数 (0 の時、IBFN=1 とする。1~10 まで有効)
IEPSMD		—	間隙率変化方法 (0:単純, 1:粒子量保存, 2:厚み変化, 3:遅延係数保存)
LLENG		—	ダミー (1 を入力)
4	JFLAG1	—	廃棄体モデル =0: 余裕深度処分対応 >0: HLW地層処分対応 (ガラス溶解モデル) =1: パラメータはすべて独立 =2: ガラス溶解速度および表面積は独立
	JFLAG2	—	ガラス固化体体積 Vg とオーバーパック領域体積 Vo の関係 (JFLAG1=1 の場合に必要) 1: Vg+Vo=一定 2: Vo/Vg=一定 3: Vo と Vg は独立
	JKBN	—	ガラス溶解モデル区分点数 (パラメータが時間変化する点数、JFLAG1>0 の場合に必要) (IKBN と合計して最大 200)
	KDIV	—	連続変動区間分割数 (JFLAG1=2 かつ JFLAG2=1or2 必要)
	JOPT	—	HLW の廃棄体中の核種濃度の計算方法 (1: ガラス固化体のみ, 2: ガラス固化体+オーバーパック領域)

(つづく)

TableA2-1 ソースタームモデルの標準入力ファイル仕様 (2/3)

Card	入力変数	単位	内容
5	TIM(I), I=1, ITIM	y	出力する時刻刻みを変える時刻
6	IDL(I), I=1, ITIM	—	時刻 TIM(I-1)~TIM(I)の間の時間刻み (最大出力数は 10000)
Card 7-1 は、廃棄体掘削シナリオ評価時に入力する			
7-1	TBR	—	0 とする
7-2	CTIME	y	オーバーパックの寿命
8	NCHAIN	—	0 : 従来計算 (崩壊系列無し)、>0 : 崩壊系列数
9	NNUCCH(K) K=1, NCHAIN	—	系列 K に含まれる核種の数
10	IKBN>0 のとき、IKBN 回繰り返す (K=1, IKBN)		
	ATIM(K)	y	パラメータ変化時間
NUCL>0 のとき、Card 11~14 は NUCL 回繰り返す。(I=1, NUCL)			
11	NUCNAM(I)	—	核種名
	NNA(I)	—	質量数
	HLIFE(I)	y	半減期
	AMMASS(I)	(iunit)	初期量
12	ALIM(I, K, J), J=0, 1	(iunit)	対象核種の元素の溶解度。 HLW 地層処分対応の場合 : J=0 はオーバーパック領域、J=1 は緩衝材。 余裕深度処分対応の場合 : J=0 は廃棄体、J=1 は緩衝材。 このカードは IKBN+1 回 (K=0~IKBN) 繰り返す。
13	AD(I, K, J), J=0, IBFN	m ² /y	実効拡散係数。 実効拡散係数は一箇所 0 であれば全ての領域で 0 となる。このカードは IKBN+1 回 (K=0~IKBN) 繰り返す。
14	AKD(I, K, J), J=0, 1	m ³ /kg	分配係数。 このカードは IKBN+1 回 (K=0~IKBN) 繰り返す。
NUCL<0 のとき、Card 11 のみを次の通り入力する。			
11	QINI	(iunit)	初期量。全核種に共通。
15	XLEN(J), J=0, IBFN	m	人工バリア構成材の長さ (人工バリア構成材における核種移行の距離)。
16	VOL(J), J=0, IBFN	kl	人工バリア構成材の体積。
17	RHO(J), J=0, IBFN	kg/kl	人工バリア構成材の真密度。
18	ESP(K, J), J=0, IBFN	—	人工バリア構成材の間隙率。 このカードは IKBN+1 回 (K=0~IKBN) 繰り返す。
19	VEL(K, J), J=0, IBFN	m/y	人工バリア構成材の実流速。 このカードは IKBN+1 回 (K=0~IKBN) 繰り返す。

(注) HLW (JFLAG1>0) の場合、J=0 はオーバーパック領域、J=1~IBFN は緩衝材となる。余裕深度処分対応 (JFLAG1=0) の場合、J=0 は廃棄体、J=1~IBFN は緩衝材となる。

(つづく)

TableA2-1 ソースタームモデルの標準入力ファイル仕様 (3/3)

Card	入力変数	単位	内容
Card 20～26 は HLW (JFLAG1>0 : ガラス溶解モデルを使用) の場合に必要。 Card 26 は JFLAG1=2 の場合に必要。			
20	JKBN>0 のとき、JKBN 回繰り返し (K=1, JKBN)		
	BTIM(K)	y	ガラス溶解モデルのパラメータ変化時間。
21	VG(K), K=0, JKBN	kg/m ² y	ガラス溶解速度。このカードは JKBN+1 回 (K=0～JKBN) 繰り返す。K>0 の値は初期値に対する倍数。
22	SG(K), K=0, JKBN	m ²	ガラス固化体表面積。このカードは JKBN+1 回 (K=0～JKBN) 繰り返す。K>0 の値は初期値に対する倍数。
23	VOLG(K), K=0, JKBN	m ³	ガラス固化体体積。溶解モデル=1 の場合このカードは JKBN+1 回 (K=0～JKBN) 繰り返す。K>0 の値は初期値に対する倍数。 溶解モデル=2 の場合は K=0 のカードのみ必要。
24	RHOG	kg/kl	ガラス固化体真密度。
25	ESPG	—	ガラス固化体間隙率。
26	VOLSLD(K), K=0, JKBN	m ³	オーバーパック領域体積。 このカードは IKBN+1 回 (K=0～IKBN) 繰り返す。溶解モデル使用で JFLAG2 が 3 の場合のみ必要。
27	FIL_A	—	FILT 法の A パラメータ (5)
	FIL_B	—	FILT 法の B パラメータ (0)
	FIL_NP	—	FILT 法の NP パラメータ (5 0)
	FIL_K1	—	FILT 法の K 1 パラメータ (8 0)
	FIL_K2	—	FILT 法の K 2 パラメータ (0)

(注) Card27 の FILT 法のパラメータは、逆ラプラス変換の数値積分の精度に関する係数であり、括弧内が推奨値である。なお、変更する場合には、A パラメータは 5～12 の範囲、NP パラメータと K1p パラメータは 20 以上で設定すれば、結果に対し十分な計算精度が期待できる。

Appendix-3 生物圏モデルに関する入力ファイル仕様

TableA3-1 生物圏モデルの標準入力ファイル仕様 (1/8)

CARD	パラメータ	単位	内容
1	case_selct	-	計算ケース選択フラグ ケース1: ・ボーリング引き上げ時の線量計算 ・コアの調査のための保管または調査による被ばく線量計算 ・地下水の水質調査に伴う被ばく線量計算 =1 : ケース1選択 (Table2.1の経路No.1,2,13,14) ケース2: ボーリングに起因する土壤汚染による被ばく線量計算 =2 : ケース2選択 (Table2.1の経路No.3~12)
			濃度入力方法選択フラグ =1 : カードから入力 =2 : ファイルから入力
	iprint	-	結果印刷フラグ (0: 印刷無し、>0: 有り) * ケース1の時は、被ばく線量結果印刷しない * ケース2の時は土壤評価時間の濃度計算結果及被ばく線量結果印刷しない
	ifout	-	テキスト出力ファイル (0: 無し、>0: 有り)
	ibout	-	バイナリ出力ファイル (0: 無し、>0: 有り)
	comflag1	-	年間被ばく時間設定フラグ (経路別に被ばく時間を設定するか、1~3で指定した経路の被ばく時間を全ての経路の被ばく時間とするかの選択) =0 : 各経路の入力値 =1 : 吸入の時間を使用 =2 : 外部の時間を使用 =3 : ラドン吸入または経口摂取の時間を使用
	comflag2	-	居住係数または遮蔽係数設定フラグ (直接線外部、ラドンガス吸入) ケース1の時はダミー =1 : 遮蔽係数 fs を使用 ((直接線外部) =2 : 居住係数 resid_out を使用 (ラドンガス吸入)
	timelag	y	ボーリングを行なわない期間 (ボーリング開始時期)

(つづく)

TableA3-1 生物圏モデルの標準入力ファイル仕様 (2/8)

CARD	パラメータ	単位	内容
核種設定 CARD2~CARD6 は、cin_sel= 1 の時入力			
2	nucl	-	核種数 (最大個数 10)
3	nucn(i) i=1, nucl	-	核種名 (A6:'#####')
4	cwcon(i) i=1, nucl	Bq/g	廃棄体中の核種濃度
5	clcon(i) i=1, nucl	-	ダミー入力
6	coll(i) i=1, nucl	y	核種 i の半減期
廃棄体の時間ループに関する出力時間の設定値 CARD7~CARD9 は、cin_sel= 1 の時入力			
7	itim	-	出力の時間データ数 ($1 \leq itim \leq 10$)
8	tim(i) i=1, itim	y	時間刻みをかえる時刻
9	idl(i) i=1, itim	-	時刻 tim(i-1)~tim(i)の間の時間刻み
10	drill_k	1/m ² /y	廃棄体の埋設深度以上のボーリング掘削が生じる頻度
	sdis	m ²	廃棄体の平面図における投影面積
11	nextsel1	-	外部被ばく線量換算係数選択 No. を設定 (0<nextsel1<5) ケース 1 : 掘削作業の設定 ケース 2 : ケース 2 の設定
	nextsel2	-	外部被ばく線量換算係数選択 No. を設定 (0< nextsel 2<5) ケース 1 : コア保管又は調査の設定 ケース 2 の時はダミー
	nextsel3	-	水質調査における外部被ばく線量換算係数選択 No. を設定 ケース 2 の時はダミー (0< nextsel 3<5)
12-1	nbose1	-	ボーリング形状に関するデータ入力方法を設定 =0 : カード入力 (Card 12-3~12-4) >1 : ボーリング深度に基づきライブラリから選択
	nbocal	-	掘削ズリの混合による希釈割合の算出設定 =1 : 廃棄体の埋設深度より深い部分の掘削ズリを考慮しない =2 : 廃棄体の埋設深度より深い部分の掘削ズリを考慮
	dw	m	廃棄体の厚さ
	dh	m	廃棄体の埋設深度 (地表面から廃棄体底面までの深さ)
	bodh	m	ボーリングの深度 (ボーリング全長)
12-2	nstepb	-	ボーリング段数 (最大 5)
12-3	このカードは、nsetpb 回数繰り返す (i=1, nstepb)		
	tb(i)	-	ボーリングの深度に対する段階 i の長さの割合 注) 最後の段は、ボーリング深度から上段までの合計深度を差し引いた値とするので、ダミー値となる。
	rb(i)	mm or -	1 段目はボーリング半径 2 段目以降は上段のボーリング半径に対する割合 (例) 2 段目のボーリング半径 = rb(1) × rb(2)

(つづく)

TabelA3-1 生物圏モデルの標準入力ファイル仕様 (3/8)

CARD	パラメータ	単位	内容
12-4	dilin(i) i=1,5	-	i=1:掘削ズリの中間処理及び埋め戻し時の混合による希釈割合 i=2,5:掘削時の掘削ズリ中の核種濃度に乗じる汎用無次元係数 考慮しない場合は1.0と入力する。(パラメータ数:5)
12-5	dilin_w(i) i=1,5	-	汚染水中の核種濃度に乗じる無次元係数 考慮しない場合は1.0と入力する。(パラメータ数:5)
粉塵吸入による被ばく線量計算パラメータ (掘削作業) case_selct=1の時Card13を設定			
13-1	tbinh_digg	h	掘削作業時間による吸入被ばく時間
	cdb	g/m ³	作業時の空气中ダスト濃度
	brb	m ³ /h	作業者の呼吸量
13-2	dilin_inh1d (i), i=1,5	-	吸入による被ばく線量に乗じる汎用無次元係数 考慮しない場合は1.0と入力する。(パラメータ数:5)
外部被ばく線量計算パラメータ (掘削作業) case_selct=1の時設定			
14-1	fsb	-	掘削作業時における外部被ばくに関する遮へい係数
	tbext_digg	h	掘削作業時の外部被ばく時間
14-2	dilin_ext1d (i), i=1,5	-	外部被ばく線量に乗じる汎用無次元係数 考慮しない場合は1.0と入力する。(パラメータ数:5)
経口摂取による被ばく線量計算パラメータ (掘削作業) case_selct=1の時設定			
15-1	tbing_digg	h	掘削作業の時間
	qsb	g/h	掘削作業に伴う土の年間摂取率
15-2	dilin_ing1d (i), i=1,5	-	経口摂取による被ばく線量に乗じる汎用無次元係数 考慮しない場合は1.0と入力する。(パラメータ数:5)
粉塵吸入による被ばく線量計算パラメータ (保管作業または調査作業員) case_selct=1の時設定			
16-1	tstinh	h	作業時の吸入被ばく時間
	cdst	g/m ³	作業時の空气中ダスト濃度
	brst	m ³ /h	作業者の呼吸量
16-2	dilin_inh1k (i), i=1,5	-	吸入による被ばく線量に乗じる汎用無次元係数 考慮しない場合は1.0と入力する。(パラメータ数:5)
外部被ばく線量計算パラメータ (保管作業または調査作業員) case_selct=1の時設定			
17-1	fsst	-	作業時における外部被ばくに関する遮へい係数
	tstex	h	作業時の外部被ばく時間
17-2	dilin_ext1k (i), i=1,5	-	外部被ばく線量に乗じる汎用無次元係数 考慮しない場合は1.0と入力する。(パラメータ数:5)
粉塵吸入及び外部による被ばく線量計算パラメータ (保管作業または調査作業員) case_selct=1の時設定			
18	tst_inv	y	ポーリング掘削開始からコア調査開始までのコア保管期間 * 調査作業員の計算の時は、値を0にする
外部被ばく線量計算パラメータ (水質調査員) case_selct=1の時設定			
19-1	fsan_wat	-	水質調査時における外部被ばくに関する遮へい係数
	tanex_wat	h	水質調査時の外部被ばく時間
	tst_wat	y	ポーリング掘削から水質調査開始までのコア保管期間
19-2	dilin_ext1w (i), i=1,5	-	外部被ばく線量に乗じる汎用無次元係数 考慮しない場合は1.0と入力する。(パラメータ数:5)

(つづく)

TabelA3-1 生物圏モデルの標準入力ファイル仕様 (4/8)

CARD	パラメータ	単位	内容
汚染土壌の評価時間ループにおける出力時間の設定値 CARD23~25 は、case_selct=2 の時設定			
20	itims	-	出力の時間データ数 ($1 \leq itims \leq 10$)
21	tims(i) i=1, itims	y	時刻刻みをかえる時刻
22	idls(i) i=1, itims	-	時刻 tims(i-1)~tims(i)の間の時刻刻み
ラプラス変換法の設定値 case_selct=2 の時設定			
23	a	-	FILT 法パラメータ A(10)
	b	-	FILT 法パラメータ B(0)
	np	-	FILT 法パラメータ NP(20)
	k1	-	FILT 法パラメータ K1(0)
	k2	-	FILT 法パラメータ K2(20)
土壌濃度計算パラメータ case_selct=2 の時設定			
24	optn	-	初期濃度算出方法 (=2 で固定) 掘削ズリの濃度で均一に汚染されるとする場合も考慮した計算
	case1	-	濃度の計算処理 =0 : Card20 から 22 で設定した汚染土壌の評価時間の最後まで計算を行なう =n : n 回連続で全核種の濃度が低下の傾向を示したら Card20 から 22 で設定した汚染土壌評価計算の打ち切り
	depth	m	実効土壌深さ
	dns	g/cm ³	掘削ズリ嵩密度
	ss	m ²	土壌面積
	vir	m/y	土壌への降雨浸透水量
	dnb	g/cm ³	土壌嵩密度
	wb	g	掘削ズリの量
	ib	-	1 とする
	es	-	土壌間隙率
	qlb	-	1 とする
	tbw	-	1 とする

(注) Card23 の FILT 法のパラメータは、逆ラプラス変換の数値積分の精度に関する係数であり、括弧内が推奨値である。なお、変更する場合には、A パラメータは 5~12 の範囲、NP パラメータと K1 パラメータは 20 以上で設定すれば、結果に対し十分な計算精度が期待できる。

(つづく)

TabelA3-1 生物圏モデルの標準入力ファイル仕様 (5/8)

CARD	パラメータ	単位	内容
土壌分配係数 case_selct=2 の時設定			
25	ns	-	土壌分配係数 分配係数を使用する土壌番号 ns > 0 : ライブラリファイル内の使用する土壌番号(列番号) を入力する ns < 0 : ns の絶対値を、次のカードで入力する元素数とする
CARD26~27 は、ns < 0 の時入力する			
26	diselm(i) i=1, ns	-	土壌分配係数を設定する元素名 (A2:'##')
27	kd(i) i=1, ns	ml/g	土壌分配係数
粉塵吸入による被ばく線量計算パラメータ (建設作業員・周辺居住者・農耕作業員) m=1:建設作業員, m=2:周辺居住者, m=3:農耕作業員 CARD28~30 は、case_selct=2 の時設定			
28	time_inh(m) m=1, 3	h	被ばく対象者の吸入被ばく時間
29	cd(m) m=1, 3	g/m ³	被ばく経路における空気中ダスト濃度
30-1	br(m) m=1, 3	m ³ /h	被ばく対象者の呼吸率
30-2	dilin_inh2c (i), i=1, 5	-	粉塵吸入による被ばく線量に乗じる汎用無次元係数 考慮しない場合は 1.0 と入力する。(パラメータ数:5)
外部被ばく線量計算パラメータ (建設作業員・周辺居住者・農耕作業員) m=1:建設作業員, m=2:周辺居住者, m=3:農耕作業員 CARD31~32 は、case_selct=2 の時設定			
31	fs(m) m=1, 3	-	被ばく経路における外部被ばくに関する遮へい係数
32-1	time_ext(m) m=1, 3	h	被ばく対象者の外部被ばく時間
32-2	dilin_ext2c (i), i=1, 5	-	外部被ばく線量に乗じる汎用無次元係数 考慮しない場合は 1.0 と入力する。(パラメータ数:5)

(つづく)

TabelA3-1 生物圏モデルの標準入力ファイル仕様 (6/8)

CARD	パラメータ	単位	内容
ラドンガス吸入による被ばく線量計算パラメータ (建設作業員・周辺居住者・農耕作業員) m=1:建設作業員, m=2:周辺居住者, m=3:農耕作業員 CARD33~41は、case_selct=2の時設定			
33	nucl_soil	-	廃棄物中ラジウム濃度として使用する核種の名前 入力(A5) : '*****'
	thick_w	m	汚染土壌厚さ
	frac_w	-	汚染土壌中における土壌層混合割合
	frag	-	散逸能
	diff_w	m ² /s	汚染土壌の実効拡散係数
	dens_w	kg/m ³	汚染土壌密度
34	thick_c(m) m=1,3	m	覆土層厚さ (汚染土壌の上の非汚染土壌層で3層まで考慮できる)
35	diff_c(m) m=1,3	m ² /s	覆土層の実効拡散係数
36	vent_floor	s ⁻¹	床下空間の換気率
	h_floor	m	床下空間高さ
	rinv_floor	s ⁻¹	床下空間から屋内へのラドン侵入率
	h_in	m	屋内空間高さ
	vent_in	s ⁻¹	屋内換気率
37	model_out	-	屋外ラドンガス濃度を求めるモデル選択フラグ = 0 : ボックスモデル = 1 : パフモデル(最初に地表面からの放出率 1.0 [Bq/g] のときの屋外ラドン濃度を計算しておき、後はこの比を用いて各計算時間に対する屋外ラドン濃度を算出する) = 2 : パフモデル(各計算時間で個別にパフモデルによる屋外ラドン濃度を算出する)
	h_eval	m	評価高さ ・ ボックスモデルの場合は、評価領域の最大高さ ・ パフモデルの場合は、鉛直方向の評価位置
	wind	m/s	風速
	fac_len	m	ラドン発生源長さ (断面方向長さ)

(つづく)

TabelA3-1 生物圏モデルの標準入力ファイル仕様 (7/8)

CARD	パラメータ	単位	内容
CARD38 はパフモデル (model_out=1 or 2) のとき入力する			
38	fac_width	m	パフモデルにおける処分場幅 (パフモデルでのラドン発生源設定)
	num_len	-	断面方向長さ分割数 (パフモデルでのラドン発生源設定)
	num_width	-	処分場幅分割数 (パフモデルでのラドン発生源設定)
	index_tur	-	ターナーの拡散パラメータ算出式の選択フラグ = 0 : 秒単位式 = 1 : 時間単位式
	istab	-	大気安定度 (ターナーの大気安定度 (1~7)) = 1 : (A) 強不安定 = 2 : (B) 不安定 = 3 : (C) やや不安定 = 4 : (D) 中立 = 5 : (E) やや安定 = 6 : (F) 安定 = 7 : (G) 強安定
	x_min	m	評価地点の範囲の最小下流地点
	x_max	m	評価地点の範囲の最大下流地点
	num_x	-	評価地点の範囲の分割数 [x_min, x_max] の範囲を num_x 分割した num+1 点を評価地点として、この地点での最大濃度を屋外ラドン濃度とする。 = 0 : のとき、x_min = x_max でなければならない。
	puff_int	s	パフの放出時間間隔
	num_err	-	パフモデルの計算打ち切り幅の設定 = 0 : 10 ⁻² = 0 : 10 ⁻³ = 0 : 10 ⁻⁴ = 0 : 10 ⁻⁵
39	equil_in	-	屋内の平衡ファクター
	equil_out	-	屋外の平衡ファクター
	conv	Sv/ (Bq·h·m ⁻³)	線量換算係数
40	resid_out(i) i=1,3	-	屋外の居住係数 (屋内の居住係数は 1.0-resid_out)
41-1	time_inh_rn (m) m=1,3	h/y	ラドンガス吸入に関する年間被ばく時間
41-2	dilin_rn2c(i) i=1,5	-	ラドンガス吸入による被ばく線量に乗じる汎用無次元係数 考慮しない場合は 1.0 と入力する。 (パラメータ数:5)

(つづく)

TabelA3-1 生物圏モデルの標準入力ファイル仕様 (8/8)

CARD	パラメータ	単位	内容
農耕物摂取による被ばく線量計算パラメータ (農耕物摂取者) CARD42~48 は、case_selct=2 の時設定			
42	n_agr	-	農作物数
43	ge_agr (j) j=1, n_agr	kg or L	農作物 j の 1 年間の摂取量
44	k_agr (j) j=1, n_agr	-	農作物 j の市場係数
45-1	tra_agr (j) j=1, n_agr	d	農作物 j の輸送時間
45-2	dilin_ing2ag(i), i=1, 5	-	農作物摂取による被ばく線量に乗じる汎用無次元係数 考慮しない場合は 1.0 と入力する。(パラメータ数:5)
CARD46~48 は、n_agr 回数繰り返す			
46	flaga	-	土壌から農作物への移行係数に関するフラグ flaga > 0 : ライブラリファイル内の使用する土壌番号(列番号)を入力する flaga < 0 : flaga の絶対値を次のカードで入力する元素数とする
47	agrnf(i) i=1, flaga	-	移行係数を設定する元素名 (A2:'###') flaga > 0 の時は、入力しない
48	sc_a (j) j=1, flaga	Bq/kg per Bq/kg	土壌から農作物 j への移行係数 flaga > 0 の時は、入力しない
畜産物摂取による被ばく線量計算パラメータ (畜産物摂取者) CARD49~57 は、case_selct=2 の時設定			
49	n_stock	-	畜産物数
	ifeed_stock	-	農作物の飼料番号
50	ge_stock(n) n=1, n_stock	kg or d/L	畜産物 n の 1 年間摂取量
51	k_stock(n) n=1, n_stock	-	畜産物 n の市場係数
52	tra_stock(n) n=1, n_stock	d	畜産物 n の輸送時間
53	flags	-	飼料及び飼料水から畜産物への移行係数に関するフラグ flags > 0 : ライブラリファイル内の使用する土壌番号(列番号)を入力する flags < 0 : flags の絶対値を次のカードで入力する元素数とする
CARD54~55 は、flaga < 0 の時入力する			
54	stonff(i) i=1, flags	-	移行係数を設定する元素名 (A2:'###') flags > 0 の時は、入力しない
55	sc_stk(n) n=1, flags	d/kg or d/L	飼料及び飼料水から畜産物 n への移行係数 flags > 0 の時は、入力しない
56	feed_mix	-	放射性核種を含む飼料の混合割合
57-1	q_feed(n) n=1, n_stock	kg-dry/d	畜産物 n を生産する家畜の飼料摂取量
57-2	dilin_ing2st(i) i=1, 5	-	畜産物摂取による被ばく線量に乗じる汎用無次元係数 考慮しない場合は 1.0 と入力する。(パラメータ数:5)

Appendix-4 各サブモデルにおけるパラメータの定義文字列

LHS モジュールの標準入力ファイルである LHS.INP では、LHS モジュール内におけるユーザーの出力情報の判別のために、パラメータの変動を想定するパラメータ名称を「パラメータラベル」として入力する。さらに、個々のパラメータラベルに対し、ソースタームモデルと生物圏モデルの中で使用するパラメータとの関連付けをするため、「定義文字列」と呼ぶパラメータの識別のための文字列を入力する。

「定義文字列」は、各モジュール単位で個々のパラメータに対し定義しており、それらの一覧について、以下の TableA4-1～TableA4-2 に整理した。

定義文字列の入力では、各要素を半角のコロン「:」で接続し、空白の入らない一続きの以下の文字列を作成する。

name:ichain:id_var[:arg1[:arg2[:arg3[:arg4]]]][:c_arg]

ここで、

- name : モジュール名
- ichain : 同一のモジュールを連続実行する場合のその順番
- id_var : 各モデルにおけるパラメータの変数番号 (TableA4-1～TableA4-2 を参照)
- arg1～arg4 : 各パラメータの整数型引数 (オプション)
- c_arg : 各パラメータの文字型引数 (オプション)

である。arg1～arg4 の各パラメータの整数型引数とは、そのパラメータが対象とする種類数や領域などの違いによる細分化を識別するための引数であり、c_arg の各パラメータの文字型引数とは、元素や核種の違いによる細分化を識別するためのものである。

また、定義文字列の機能として、複数の定義文字列を、前後に空白のある半角のアンパサンド「&」により連結して定義することにより、異なるパラメータに対して同一の LHS モジュールにより作成されたパラメータセットの出力結果を適用することが可能である。さらに、ichain および arg1～arg4 において、数値の代わりに半角のシャープ「#」を設定することにより、#の部分の入力が必要な全てのパラメータに対して同一の LHS モジュールにより作成されたパラメータセットの出力結果が適用される。一方、文字型引数の c_arg では、半角のアットマーク「@」により同様の機能を設定できる。その際には、各モジュールにおいて設定した元素や核種の文字情報と同一でなければならない。

TableA4-1 ソースタームモデル (CMMAIN モジュール) の定義文字列の例

No.	定義文字列の例	内容	単位	引数1	引数2	文字型 引数
1	cmmain:1:1	オーバーパック寿命	y			
2	cmmain:1:2:1	ガラス溶解モデル以外のパラメータを変化させる時間 (*3)	y	時間区分 番号		
3	cmmain:1:3:U234	初期量 (初期インベントリ)	(iunit)			核種名
4	cmmain:1:4:1:U	廃棄体中の元素の溶解度 (*1)	—	時間区分 番号		元素名
5	cmmain:1:5:1:U	緩衝材中の元素の溶解度 (*1)	—			
6	cmmain:1:6:1:U	廃棄体中の実効拡散係数 (*1)	m ² /y		緩衝材層 番号	
7	cmmain:1:7:1:1:U	緩衝材中の実効拡散係数 (*1)	m ² /y			
8	cmmain:1:8:1:U	廃棄体中の分配係数 (*1)	kl/kg		緩衝材層 番号	
9	cmmain:1:9:1:1:U	緩衝材中の分配係数 (*1)	kl/kg			
10	cmmain:1:10:1	人工バリア構成材の長さ	m	層番号 (*2)		
11	cmmain:1:11:1	人工バリア構成材の体積	kl			
12	cmmain:1:12:1	人工バリア構成材の真密度	kg/kl			
13	cmmain:1:13:1:1	人工バリア構成材の間隙率 (*1)	—	時間区分 番号	層番号	
14	cmmain:1:14:1	廃棄体中の地下水実流速 (*1)	m/y			
15	cmmain:1:15:1:1	緩衝体中の地下水実流速 (*1)	m/y		緩衝材層 番号	
16	cmmain:1:16:1	ガラス溶解モデルのパラメータを変化させる時間 (*3)	y			
17	cmmain:1:17:1	ガラス溶解速度 (*1)	kg/m ² y or [—]			
18	cmmain:1:18:1	ガラス固化体表面積 (*1)	m ²			
19	cmmain:1:19:1	ガラス固化体体積 (*1)	m ³			
20	cmmain:1:20	ガラス固化体真密度 (*1)	kg/kl			
21	cmmain:1:21	ガラス固化体間隙率	—			
22	cmmain:1:22:1	ガラス固化体体積 (*1)	m ³	時間区分 番号		

(*1) 時間区分番号が0のときは各項目の初期値を、時間区分番号が1以上のときはその時間区分における初期値に対する変化比を設定する。

(*2) 0が廃棄体、1が緩衝材を示す。

(*3) 1つ前の時間区分からの時間増分 (時間区分番号が1のときは0年からの増分)

(*4) 上記の「廃棄体」は、ガラス固化体の場合は「オーバーパック」、余裕深度処分の場合は「廃棄体」となる。

TableA4-2 生物圏モデル (HUMAN モジュール) の定義文字列の例 (1/3)

No.	定義文字列の例	内容	単位	引数1	文字型 引数
1	human:1:1	廃棄物層深度以上のボーリング掘削が生じる頻度	1/m ² /y		
2	human:1:2	廃棄物層の平面図における投影面積	m ²		
3	human:1:3	廃棄物層の厚さ	m		
4	human:1:4	廃棄物層の深さ	m		
5	human:1:5	ボーリングの深度	m		
6	human:1:6:1	ボーリング深度に対する各段階の割合 注1) nbosel = 0 の時に入力する。	—		
7	human:1:7:1	・1 段目のボーリング半径 ・2 段目以降は、前段のボーリング半径に対する割合 注1) nbosel = 0 の時に入力する。	mm or —	ボーリング 段数番号	
8	human:1:8:U234	外部被ばく線量換算係数 1 ケース 1: 掘削作業の設定 ケース 2: ケース 2 における設定	(Sv/y) / (Bq/kg)		核種名
9	human:1:9:U234	外部被ばく線量換算係数 2 ケース 1: コア保管又は調査の設定 ケース 2: ダミー値			
10	human:1:10:234	外部被ばく線量換算係数 ケース 1: 水質調査の設定 ケース 2: ダミー値			
11	human:1:11:1	掘削時の掘削ズリ中の核種濃度に乗じる無次元係数	—	無次元数 番号	
12	human:1:12:1	汚染水中の核種濃度に乗じる無次元係数	—	無次元数 番号	
13	human:1:13	掘削作業時間による吸入被ばく時間	h		
14	human:1:14	作業時の空气中ダスト濃度	g/m ³		
15	human:1:15	作業者の呼吸量	m ³ /h		
16	human:1:16:1	吸入による被ばく線量に乗じる無次元係数 (掘削作業者)	—	無次元数 番号	
17	human:1:17	掘削作業時における外部被ばくに関する遮へい係数	—		
18	human:1:18	掘削作業時の外部被ばく時間	h		
19	human:1:19:1	外部被ばく線量に乗じる無次元係数 (掘削作業者)	—	無次元数 番号	
20	human:1:20	掘削作業の時間	h		
21	human:1:21	掘削作業に伴う土の年間摂取率	g/h		
22	human:1:22:1	摂取による被ばく線量に乗じる無次元係数 (掘削作業者)	—	無次元数 番号	
23	human:1:23	作業時の吸入被ばく時間 (保管作業者または調査作業員)	h		
24	human:1:24	作業時の空气中ダスト濃度 (保管作業者または調査作業員)	g/m ³		
25	human:1:25	作業者の呼吸量 (保管作業者または調査作業員)	m ³ /h		
26	human:1:26:1	吸入による被ばく線量に乗じる無次元係数 (保管作業者または調査作業員)	—	無次元数 番号	

(つづく)

TableA4-2 生物圏モデル (HUMAN モジュール) の定義文字列の例 (2/3)

No.	定義文字列の例	内容	単位	引数1	文字型 引数
27	human:1:27	作業時における外部被ばくに関する遮へい係数(保管作業員または調査作業員)	—		
28	human:1:28	作業時の外部被ばく時間 (保管作業員または調査作業員)	h		
29	human:1:29:1	外部被ばく線量に乗じる無次元係数 (保管作業員または調査作業員)	—	無次元数 番号	
30	human:1:30	ボーリング掘削開始からコア調査開始までのコア保管期間	y		
31	human:1:31	平衡ファクター	—		
32	human:1:32	作業時間	h		
33	human:1:33	線量換算係数	(Sv/h) / (Bq/m ³)		
34	human:1:34	ボーリングコア半径	m		
35	human:1:35	ボーリング長さ	m		
36	human:1:36	屋内空間容積	m ³		
37	human:1:37	屋内換気率	s ⁻¹		
38	human:1:38	ボーリング密度	kg/m ³		
39	human:1:39	散逸能	—		
40	human:1:40	ボーリングコアの拡散係数	m ² /s		
41	human:1:41:1	ラドンガス吸入による内部被ばく線量に乗じる無次元係数 (保管作業員または調査作業員)	—	無次元数 番号	
42	human:1:42	水質調査時における外部被ばくに関する遮へい係数	—		
43	human:1:43	水質調査時の外部被ばく時間	h		
44	human:1:44	ボーリング掘削から水質調査開始までのコア保管期間	y		
45	human:1:45:1	外部被ばく線量に乗じる無次元係数 (水質調査員)	—	無次元数 番号	
46	human:1:46:1	被ばく対象者の吸入被ばく時間	h	対象者 番号	
47	human:1:47:1	被ばく経路における空気中ダスト濃度	g/m ³		
48	human:1:48:1	被ばく対象者の呼吸率	m ³ /h		
49	human:1:49:1	吸入による被ばく線量に乗じる無次元係数 (汚染した土壌からの被ばく)	—	無次元数 番号	
50	human:1:50:1	被ばく経路における外部被ばくに関する遮へい係数	—	対象者 番号	
51	human:1:51:1	被ばく対象者の外部被ばく時間	h		
52	human:1:52:1	外部被ばく線量に乗じる無次元係数 (汚染した土壌からの被ばく)	—	無次元数 番号	
53	human:1:53	汚染土壌層厚さ	m		
54	human:1:54	汚染土壌層中における土壌層混合割合	—		
55	human:1:55	散逸能	—		
56	human:1:56	汚染土壌層の実効拡散係数	m ² /s		
57	human:1:57	汚染土壌密度	kg/m ³		

(つづく)

TableA4-2 生物圏モデル (HUMAN モジュール) の定義文字列の例 (3/3)

No.	定義文字列の例	内容	単位	引数1	文字型 引数
58	human:1:58:1	覆土層厚さ	m	対象者 番号	
59	human:1:59:1	覆土層の実効拡散係数	m ² /s		
60	human:1:60	床下空間の換気率	s ⁻¹		
61	human:1:61	床下空間高さ	m		
62	human:1:62	床下空間から屋内へのラドン侵入率	s ⁻¹		
63	human:1:63	屋内空間高さ	m		
64	human:1:64	屋内換気率	s ⁻¹		
65	human:1:65	評価高さ	m		
66	human:1:66	風速	m/s		
67	human:1:67	処分場長さ	m		
68	human:1:68	処分場幅	m		
69	human:1:69	パフの放出時間間隔	s		
70	human:1:70	屋内の平衡ファクター	—		
71	human:1:71	屋外の平衡ファクター	—		
72	human:1:72	線量換算係数	Sv/ (Bq· h·m ⁻³)		
73	human:1:73:1	屋外の居住係数	—	対象者 番号	
74	human:1:74:1	ラドンガス吸入に関する年間被ばく時間	h		
75	human:1:75:1	ラドンガス吸入による内部被ばく線量に乗 じる無次元係数	—	無次元数 番号	
76	human:1:76:1	農作物の1年間の摂取量	kg	農作物 番号	
77	human:1:77:1	農作物の市場係数	—		
78	human:1:78:1	農作物の輸送時間	d		
79	human:1:79:1:U	核種iの土壌から農作物jへの移行係数	Bq/kg per Bq/kg		元素名
80	human:1:80:1	農作物摂取による被ばく線量に乗じる無次 元係数	—	無次元数 番号	
81	human:1:81:1	畜産物の1年間摂取量	kg or L	畜産物 番号	
82	human:1:82:1	畜産物の市場係数	—		
83	human:1:83:1	畜産物の輸送時間	d		
84	human:1:84:1:U	核種iの土壌から畜産物への移行係数	d/kg		元素名
85	human:1:85:1	畜産物を生産する家畜の飼料摂取量	kg-dry/d		
86	human:1:86	放射性核種を含む飼料の混合割合	—		
87	human:1:87:1	畜産物摂取による被ばく線量に乗じる無次 元係数	—	無次元数 番号	
88	human:1:88	実効土壌深さ	m		
89	human:1:89	掘削ズリ嵩密度	g/cm ³		
90	human:1:90	土壌面積	m ²		
91	human:1:91	土壌への降雨浸透水量	m/y		
92	human:1:92	土壌嵩密度	g/cm ³		
93	human:1:93	掘削ズリの量	g		
94	human:1:94	泥水の放出水量	m ³		
95	human:1:95	土壌間隙率	—		
96	human:1:96	掘削時に注入される非汚染水との混合割合	—		
97	human:1:97	汚染水の放出時間	h		
98	human:1:98:U	核種iの土壌分配係数	ml/g		元素名
99	human:1:99	ボーリングを行なわない期間	y		

Appendix-5 生物圏モデルにおける出力項目

生物圏モデルは被ばく経路毎に出力項目（各被ばく経路に対する線量）が存在するため、統計処理コードに受け渡される統計処理用ファイルにおいて、出力された結果に応じて出力項目ラベルがつけられている。出力項目ラベルとその内容を TabelA5-1 に示す。

TableA5-1 出力項目ラベル

シナリオ	No.	出力項目ラベル	評価対象者	出力内容
コア又は掘削ズリ観察シナリオ	1	INH-DI	掘削作業者	吸入による被ばく線量
	2	EXT-DI		外部被ばく線量
	3	ING-DI		経口摂取による被ばく線量
	4	SUM-DI		3 経路の被ばく線量合計
コア保管シナリオ	5	INH-IN	コア保管者又はコア調査員	吸入による被ばく線量
	6	EXT-IN		外部被ばく線量
	7	RAD-IN		ラドンガスの吸入による被ばく線量
	8	SUM-IN		3 経路の被ばく線量合計
コア観察シナリオ	9	EXT-WT	水質調査員	外部被ばく線量
掘削ズリ再利用シナリオ	1	INH-CO	建設作業者	吸入による被ばく線量
	2	INH-RE	周辺居住者	
	3	INH-FA	農耕作業者	
	4	EXT-CO	建設作業者	外部被ばく線量
	5	EXT-RE	周辺居住者	
	6	EXT-FA	農耕作業者	
	7	RAD-CO	建設作業者	ラドンガスの吸入による被ばく線量
	8	RAD-RE	周辺居住者	
	9	RAD-FA	農耕作業者	
	10	SUM-CO	建設作業者	3 経路の被ばく線量合計
	11	SUM-RE	周辺居住者	
	12	SUM-FA	農耕作業者	
	13	ING-CR	農作物摂取者	経口摂取による被ばく線量
	14	ING-ST	畜産物摂取者	経口摂取による被ばく線量

Appendix-6 評価モデルの検証計算

人間侵入シナリオ評価コード HUINT の各評価モデルに関しては、本文において示した数学的表記が HUINT において適切にコード化され、解が得られているかを検証 (Verification) する必要がある。以下、HUINT 内の一連の評価モデル (ソースタームモデル、生物圏モデル) に関して検証計算を行った結果について示す。

1. ソースタームモデルに関する検証

人間侵入シナリオ評価コードのソースタームモデルでは、ボーリング掘削時にガラス固化体 (あるいは廃棄体) を貫通することに伴い線源となるボーリングコア中の核種濃度を計算する。ボーリングコア中の核種濃度について、HUINT における数値逆ラプラス変換法 (FILT 法) による解析と解析解による計算の比較を行った。HLW におけるガラス固化体へのボーリング掘削を想定した場合と余裕深度処分における廃棄体へのボーリング掘削を想定した場合において行った検証計算の結果例を以下に示す。

(1) HLW ガラス固化体の場合

ガラス固化体に対するボーリング掘削がなされた場合のコア中の核種濃度は、式(App6-1)のようになる。

$$C_{w,i}(t) = \frac{A_{g,i}(t)}{V_g(t) \cdot \rho_g \cdot (1 - \varepsilon_g)} \dots\dots\dots (App6-1)$$

ここで、

- $C_{w,i}(t)$: ガラス固化体中の核種濃度(Bq/g)
- $A_{g,i}(t)$: ガラス固化体の核種量 (Bq)
- ρ_g : ガラス固化体の真密度 (g/m³)
- $V_g(t)$: ガラス固化体の体積 (m³)
- ε_g : ガラス固化体の間隙率 (-)

である。

ガラス固化体を起源とするボーリングコア中の核種濃度は、ガラス固化体のサイズやガラス溶解に関するパラメータの条件により決められる。物理崩壊による減衰を想定した場合とガラス溶解に伴う核種の漏洩を想定した場合について検証した。なお、対象核種は Se-79 (半減期 : 2.95E5 年) とした。ガラス固化体の体積及び表面積を一定と仮定するとガラス固化体の核種量は次式により求められる。

$$A_{g,i}(t) = A_{g,i}(0) \cdot \exp\{-(\lambda_i + \lambda_g) \cdot t\}$$

$$\lambda_g = \frac{v_g \cdot S_g}{\rho_g \cdot V_g \cdot (1 - \varepsilon_g)} \dots\dots\dots (App6-2)$$

ここで、

- $A_{g,i}(0)$: ガラス固化体の初期核種量 (Bq)
- λ_i : 核種 i の崩壊定数 (1/y)

である。

式(App6-1)及び式(App6-2)により計算されるガラス固化体中の核種濃度と HUINT による計算結果との比較を、以下の解析条件により行った。

- ・ガラス固化体の核種量 : 1 Bq (初期値)
- ・ガラス固化体の真密度 : 1000 g/m³
- ・ガラス固化体の体積 : 1 m³
- ・ガラス固化体の間隙率 : 0
- ・ガラス溶解速度 : 1E-3 kg/m²/y
- ・ガラス表面積 : 1 m²

両者の計算結果の比較を TableA6-1 と TableA6-2 に示す。各表は 10,000 年までの経時変化の比較を示しており、両者の差は有効数字 3 桁まで一致した結果が得られ、HUINT によるガラス固化体に対するボーリング掘削がなされた場合のコア中の核種濃度の計算が妥当であることを確認した。

TableA6-1 ボーリングコア中の核種濃度 (物理崩壊のみ)

評価時間 (年)	A:計算コード結果 (Bq/kg)	B:解析解結果 (Bq/kg)
1.0E+00	1.000E+00	1.000E+00
1.0E+01	9.999E-01	1.000E+00
1.0E+02	9.997E-01	9.998E-01
1.0E+03	9.976E-01	9.977E-01
1.0E+04	9.767E-01	9.768E-01

TableA6-2 ボーリングコア中の核種濃度 (物理崩壊+ガラス溶解)

評価時間 (年)	A:計算コード結果 (Bq/kg)	B:解析解結果 (Bq/kg)
1.0E+00	9.990E-01	9.990E-01
1.0E+01	9.900E-01	9.900E-01
1.0E+02	9.046E-01	9.046E-01
1.0E+03	3.670E-01	3.670E-01
1.0E+04	4.435E-05	4.435E-05

(2) 余裕深度処分の廃棄体の場合

余裕深度処分に対するボーリング掘削がなされた場合のコア中の核種濃度は、式(App6-3)のようになる。

$$C_{w,i}(t) = \frac{A_{0,i}(t) - C_{l,i}(t) \cdot V_0(t) \cdot \varepsilon_0(t)}{V_0(t) \cdot \rho_0 \cdot \{1 - \varepsilon_0(t)\}} \dots\dots\dots (App6-3)$$

ここで、

- $C_{w,i}(t)$: 廃棄体の核種濃度(Bq/g)
- $A_{0,i}(t)$: 廃棄体の核種量 (Bq)
- $C_{l,i}(t)$: 廃棄体の水中の核種濃度(Bq/m³)
- $V_0(t)$: 廃棄体の体積 (m³)
- $\varepsilon_0(t)$: 廃棄体の間隙率 (-)
- ρ_0 : 廃棄体の真密度 (g/m³)

である。

式(App6-3)における廃棄体の核種量について、HUINT の FILT 法による結果と解析解との比較を行った。溶解度を考慮しない場合の解析解では、基本方程式を整理した次の連立常微分方程式を解くことで、核種量を求めることができる (添え字の w は廃棄体を、 b は緩衝材を表す)。

$$\frac{dA_w^i(t)}{dt} = -a_w^i A_w^i(t) + b_w^i A_b^i(t) + \lambda^{i-1} A_w^{i-1}(t) \dots\dots\dots \text{(App6-4)}$$

$$\frac{dA_b^i(t)}{dt} = a_b^i A_w^i(t) - b_b^i A_b^i(t) + \lambda^{i-1} A_b^{i-1}(t) \dots\dots\dots \text{(App6-5)}$$

ただし、

$$a_w^i = \frac{De_{wb}^i S_{wb} / x_{wb} + \varepsilon_w v_w S_w}{\varepsilon_w V_w R_w^i} + \lambda^i \dots\dots\dots \text{(App6-6)}$$

$$b_w^i = \frac{De_{wb}^i S_{wb} / x_{wb}}{\varepsilon_b V_b R_b^i} \dots\dots\dots \text{(App6-7)}$$

$$a_b^i = \left(\frac{De_{wb}^i S_{wb} / x_{wb} + \varepsilon_w v_w S_w}{\varepsilon_w V_w R_w^i} \right) \dots\dots\dots \text{(App6-8)}$$

$$b_b^i = \frac{De_{wb}^i S_{wb} / x_{wb} + De_b^i S_b / x_b + \varepsilon_b v_b S_b}{\varepsilon_b V_b R_b^i} + \lambda^i \dots\dots\dots \text{(App6-9)}$$

$$\frac{De_{wb}^i S_{wb}}{x_{wb}} = \frac{De_b^i S_b De_w^i S_w}{De_b^i S_b x_w + De_w^i S_w x_b} \dots\dots\dots \text{(App6-10)}$$

ここで、

- $A_k^i(t)$: 時間 t における領域 k 中の核種 i の核種量 [Atom]
- De_k^i : 領域 k における核種 i の実効拡散係数 [m²/y]
- S_k : 領域 k の断面積 [m²]
- $S_k = \frac{V_k}{L_k} = \frac{V_k}{2 \cdot x_k}$
- V_k : 領域 k の体積 [m³]
- L_k : 領域 k の厚さ [m]
- ε_k : 領域 k の間隙率 [-]
- v_k : 領域 k における実流速 [m/y]
- λ^i : 核種 i の崩壊定数 [1/y]
- R_k^i : 領域 k における核種 i の遅延係数 [-]

$$R_k^i = 1 + \frac{1 - \varepsilon_k}{\varepsilon_k} \rho_k K d_k^i$$

ρ_k : 領域 k の真密度 [kg/m³]

$K d_k^i$: 領域 k における核種 i の分配係数 [m³/kg]

λ^{i-1} : 親核種 i-1 の崩壊定数 [1/y]

$A_k^{i-1}(t)$: 時間 t における領域 k 中の親核種 i-1 の核種量 [Atom]

式(App6-4)および式(App6-5)の一般解は、それぞれ、

$$A_w^i(t) = c_1^i e^{m^i t} + c_2^i e^{n^i t} + \alpha e^{m^{i-1} t} + \beta e^{n^{i-1} t} \dots\dots\dots (App6-11)$$

$$A_b^i(t) = \frac{(m^i + a_w^i)}{b_w^i} c_1^i e^{m^i t} + \frac{(n^i + a_w^i)}{b_w^i} c_2^i e^{n^i t} + \frac{\{(m^{i-1} + a_w^i)\alpha - \lambda^{i-1} c_1^{i-1}\}}{b_w^i} e^{m^{i-1} t} + \frac{\{(n^{i-1} + a_w^i)\beta - \lambda^{i-1} c_2^{i-1}\}}{b_w^i} e^{n^{i-1} t} \dots\dots\dots (App6-12)$$

ただし、

$$\alpha = \frac{\lambda^{i-1} \left(m^{i-1} + b_b^i + b_w^i \frac{m^{i-1} + a_w^{i-1}}{b_w^{i-1}} \right) c_1^{i-1}}{(m^{i-1})^2 + (a_w^i + b_b^i) m^{i-1} + (a_w^i b_b^i - a_b^i b_w^i)} \dots\dots\dots (App6-13)$$

$$\beta = \frac{\lambda^{i-1} \left(n^{i-1} + b_b^i + b_w^i \frac{n^{i-1} + a_w^{i-1}}{b_w^{i-1}} \right) c_2^{i-1}}{(n^{i-1})^2 + (a_w^i + b_b^i) n^{i-1} + (a_w^i b_b^i - a_b^i b_w^i)} \dots\dots\dots (App6-14)$$

となる。ここで、 c_1^i および c_2^i は任意定数である。

任意定数 c_1^i および c_2^i を一意に決定するため、初期条件として、 $A_w^i(0) = N^i$ (N^i は定数) および $A_b^i(0) = 0$ が与えられたとすると、任意定数 c_1^i および c_2^i は、

$$c_1^i = \frac{(n^i + a_w^i)(N^i - \alpha - \beta) + (m^{i-1} + a_w^i)\alpha + (n^{i-1} + a_w^i)\beta - \lambda^{i-1}(c_1^{i-1} + c_2^{i-1})}{(n^i - m^i)} \dots\dots\dots (App6-15)$$

$$c_2^i = N^i - \alpha - \beta - c_1^i \dots\dots\dots (App6-16)$$

となり、これらを一般解に代入すると、特解が得られる。

計算条件を TableA6-3 に示す。2 核種からなる崩壊系列 (核種 1→核種 2) を想定し、廃棄体に TableA6-3 に示した初期インベントリが与えられているものとした。

計算ケースにおける解析解とサブモデルの計算結果の比較を TableA6-4 に示す。表は核種 1 及び核種 2 に対する 10,000 年までの廃棄体中の核種濃度の経時変化を示しており、両者の差はほぼ有効数字 4 桁まで一致した結果である。以上の比較結果より、HUINT を用いた余裕深度処分の廃棄体に対するボーリング掘削がなされた場合のコア中の核種濃度の計算が妥当であることを確認

した。

TableA6-3 計算条件

パラメータ		単位	廃棄体	緩衝材
初期 インベントリ	核種 1	Bq	1E+10	-
	核種 2		1E+09	-
厚さ		m	0.5	1.0
体積		m ³	0.5	1.0
断面積		m ²	1.0	1.0
真密度		kg/m ³	2700	2700
間隙率		-	0.5	0.5
実流速		m/y	0.1	0.01
溶解度		mol/m ³	可溶	可溶
実効拡散係数		m ² /y	0.01	0.001
分配係数		m ³ /kg	0.01	0.001

※核種 1 と核種 2 の半減期はそれぞれ、1000 年、100 年を仮定した

TableA6-4 余裕深度処分の廃棄体の場合における解析解と HUIINT の比較

(a) 核種 1

(b) 核種 2

評価時間 (年)	A:計算コード結果 (Bq/kg)	B:解析解結果 (Bq/kg)	評価時間 (年)	A:計算コード結果 (Bq/kg)	B:解析解結果 (Bq/kg)
1.0E+00	1.469E+07	1.470E+07	1.0E+00	1.562E+05	1.562E+05
1.0E+01	1.367E+07	1.367E+07	1.0E+01	2.202E+05	2.202E+05
1.0E+02	6.862E+06	6.862E+06	1.0E+02	3.906E+05	3.906E+05
1.0E+03	1.002E+05	1.002E+05	1.0E+03	1.112E+04	1.112E+04
1.0E+04	0.000E+00	0.000E+00	1.0E+04	0.000E+00	0.000E+00

2. 生物圏モデルに関する検証

人間侵入シナリオ評価コードの生物圏モデルでは、わが国において想定されるボーリング掘削に伴う 4 つの評価シナリオ、①コアまたは掘削ズリ観察シナリオ、②掘削ズリ再利用シナリオ、③コア保管シナリオ、④コア試験シナリオの被ばく線量を計算する。①、③、④のシナリオに対する線量計算では、その線源がボーリングコアであり、ソースタームモデルにより計算されたボーリングコア中の核種濃度を計算に用いる。②掘削ズリ再利用シナリオでは、ボーリング掘削ズリを中間処分した土壌を、任意のサイトにおいて土壌材料として再利用することでそのサイトが汚染され、建設作業、居住、農耕作業により被ばくする経路、さらに、その汚染された土壌で生産した農畜産物を摂取することにより被ばくする経路を想定しており、生物圏モデルではその線源として掘削ズリを再利用した土壌中の核種濃度を計算している。

生物圏モデルの検証として、掘削ズリ再利用シナリオの評価に必要な掘削ズリを再利用した土

壤中の核種濃度計算の検証と、各シナリオの被ばく線量計算の検証を行う。

(1) 掘削ズリを再利用した土壌中の核種濃度

HUINT では掘削ズリを再利用した土壌を1つのコンパートメントとして表し、その土壌中の核種濃度は、降雨による深部土壌への浸透、土壌への収着、物理崩壊を考慮し、数値逆ラプラス変換法 (FILT 法) により計算する。また、「3. 評価モデル」において示した土壌中の核種濃度に対する常微分方程式 (3-11) から導き出される解析解は以下のようになる。

$$C_{s,i}(t) = C_{s,i}(0) \cdot \exp \left\{ - \left(\frac{P_s}{H_s \cdot (\epsilon_s + \rho_s \cdot Kd_{s,i})} + \lambda_i \right) \cdot t \right\} \cdot F_b \dots\dots\dots (\text{App6-17})$$

ここで、

- $C_{s,i}(t)$: ボーリング掘削発生時間 T_b 以降の掘削ズリ再利用時の土壌中の核種 i 濃度 (Bq/g)
- λ_i : 核種 i の崩壊定数 (1/y)
- P_s : 土壌への降雨浸透水量 (m/y)
- H_s : 実効土壌深さ (m)
- ϵ_s : 土壌間隙率 (-)
- $Kd_{s,i}$: 土壌分配係数 (ml/g)
- F_b : 掘削ズリの中間処理及び埋め戻し時の混合による希釈割合 (-)

である。

以下の解析条件のもと、HUINT の FILT 法による結果と式(App6-2)の解析解との比較を行った。

- ・ 土壌嵩密度 : 1.82 g/cm³
- ・ 土壌間隙率 : 0.3
- ・ 土壌への降雨浸透水量 : 0.4 m/y
- ・ 土壌実効深さ : 0.15 m
- ・ 分配係数 : 1800 ml/g
- ・ 掘削ズリの中間処理及び埋め戻し時の混合による希釈割合 : 1.1E-4

両者の計算結果の比較を TableA6-5 に示す。各表は 10,000 年までの経時変化の比較を示しており、両者の差は有効数字 3 桁まで一致した結果が得られた。よって、HUINT による掘削ズリを再利用した土壌中の核種濃度の計算が妥当であることを確認した。

TableA6-5 土壌コンパートメントによる土壌中核種濃度の結果

評価時間 (年)	A:生物圏計算結果 (Bq/g)	B:解析解結果 (Bq/g)
1.0E+00	1.100E-07	1.099E-07
1.0E+01	1.092E-07	1.091E-07
1.0E+02	1.015E-07	1.014E-07
1.0E+03	4.867E-08	4.863E-08
1.0E+04	3.138E-11	3.136E-11

(3) 被ばく線量

被ばく線量計算に関する検証については、第2章のTable 2.1に示した14の評価経路に対して実施した。ここでは、①コア観察時の汚染物質の直接摂取による内部被ばく（経路 No.2）、②掘削ズリ再利用時の塵埃吸入による内部被ばく（経路 No.3）、③コア保管シナリオの塵埃吸入による内部被ばく（経路 No.13）、の3経路を代表としてその検証計算の結果を以下に示す。なお、その他の評価経路に対しても、以下に示す同様の検証計算を行い、HUIINTの線量計算が妥当な結果を得ることを確認した。

① コア観察時の汚染物質の直接摂取による内部被ばく

コア観察時の汚染物質の直接摂取による内部被ばく線量については、第3章に示した式(3-7)をもとにTableA6-1のボーリングコア中の核種濃度及び以下の条件に対し計算を行い、HUIINTの計算結果と比較した。その結果をTableA6-6に示す。

- ・ボーリングコアの観察時間 : 1h
- ・作業者の土壌摂取率 : 0.00114 g/h
- ・経口摂取による線量係数 : 2.9E-9 Sv/Bq

その結果、HUIINTの計算結果と確認計算の結果は一致し、HUIINTによる本評価経路の線量計算が妥当であることを確認した。

TableA6-6 汚染物質の直接摂取による内部被ばく

評価時間 (年)	A:計算コード結果 (Sv/y)	B:確認計算結果 (Sv/y)
1.0E+00	3.306E-15	3.306E-15
1.0E+01	3.306E-15	3.306E-15
1.0E+02	3.305E-15	3.305E-15
1.0E+03	3.298E-15	3.298E-15
1.0E+04	3.229E-15	3.229E-15

② 掘削ズリ再利用時の塵埃吸入による内部被ばく

掘削ズリ再利用時の塵埃吸入による内部被ばくについては、第3章に示した式(3-11)をもとにTableA6-5の土壌中核種濃度及び以下の条件に対し計算を行い、HUIINTの計算結果と比較した。その結果をTableA6-7に示す。

- ・空気中ダスト濃度 : 5E-4 g/m³
- ・呼吸量 : 1.2 m³/h
- ・被ばく時間 : 500 時間
- ・吸入による線量係数 : 1.1E-9 Sv/Bq

その結果、HUIINTの計算結果と確認計算の結果は一致し、HUIINTによる本評価経路の線量計算が妥当であることを確認した。

Table6-7 コア保管シナリオの塵埃吸入に伴う内部被ばく

評価時間 (年)	A:計算コード結果 (Sv/y)	B:確認計算結果 (Sv/y)
1.0E+00	5.022E-16	5.022E-16
1.0E+01	5.022E-16	5.022E-16
1.0E+02	5.021E-16	5.021E-16
1.0E+03	5.010E-16	5.010E-16
1.0E+04	4.905E-16	4.905E-16

③ コア保管シナリオの塵埃吸入による内部被ばく

コア保管シナリオの塵埃吸入による内部被ばく線量については、第3章に示した式(3-18)をもとにTableA6-1のボーリングコア中の核種濃度及び以下の条件に対し計算を行い、HUINTの計算結果と比較した。その結果をTableA6-9に示す。

- ・コア保管時の空气中ダスト濃度 : 5E-4 g/m³
- ・コア保管作業者の呼吸量 : 1.2 m³/h
- ・コア保管時の被ばく時間 : 1 時間
- ・吸入による線量係数 : 3.1E-9 Sv/Bq

その結果、HUINTの計算結果と確認計算の結果は一致し、HUINTによる本評価経路の線量計算が妥当であることを確認した。

TableA6-9 掘削ズリ再利用時の塵埃吸入による内部被ばく

評価時間 (年)	A:計算コード結果 (Sv/y)	B:確認計算結果 (Sv/y)
1.0E+00	3.630E-17	3.627E-17
1.0E+01	3.603E-17	3.600E-17
1.0E+02	3.348E-17	3.345E-17
1.0E+03	1.606E-17	1.605E-17
1.0E+04	1.036E-20	1.035E-20

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
物質的量	モル	mol
光度	カンデラ	cd

表2. 基本単位を用いて表されるSI組立単位の例

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

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

表3. 固有の名称と記号で表されるSI組立単位

組立量	SI組立単位			
	名称	記号	他のSI単位による表し方	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, 電流量	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)	°C		K
光照度	ルーメン	lm		cd sr ^(c)
放射線量	ルクス	lx		lm/m ²
放射線種の放射能 ^(f)	ベクレル ^(d)	Bq		m ² cd 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、ベクレルは放射性核種の統計的過程についてのみ使用される。
 (e) セルシウス度はケルビンの特別な名称で、セルシウス温度を表すために使用される。セルシウス度とケルビンの単位の大きさは同一である。したがって、温度差や温度間隔を表す数値はどちらの単位で表しても同じである。
 (f) 放射性核種の放射能 (activity referred to a radionuclide) は、しばしば誤った用語で"radioactivity"と記される。
 (g) 単位シーベルト (PV,2002,70,205) についてはCIPM勧告2 (CI-2002) を参照。

表4. 単位の中に固有の名称と記号を含むSI組立単位の例

組立量	SI組立単位		
	名称	記号	SI基本単位による表し方
粘力のモーメント	パスカル秒	Pa s	m ⁻¹ kg s ⁻¹
表面張力	ニュートンメートル	N m	m ² kg s ⁻²
角速度	ニュートン毎メートル	N/m	kg s ⁻²
角加速度	ラジアン毎秒	rad/s	m m ⁻¹ s ⁻¹ =s ⁻¹
熱流密度, 放射照度	ラジアン毎秒毎秒	rad/s ²	m m ⁻¹ s ⁻² =s ⁻²
熱容量, エントロピー	ワット毎平方メートル	W/m ²	kg s ⁻³
比熱容量, 比エントロピー	ジュール毎ケルビン	J/K	m ² kg s ⁻² K ⁻¹
比エネルギー	ジュール毎キログラム毎ケルビン	J/(kg K)	m ² s ⁻² K ⁻¹
熱伝導率	ジュール毎キログラム	J/kg	m ² s ⁻²
体積エネルギー	ワット毎メートル毎ケルビン	W/(m K)	m kg s ⁻³ K ⁻¹
電界の強さ	ジュール毎立方メートル	J/m ³	m ¹ kg s ⁻²
電荷密度	ボルト毎メートル	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 ² 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	ヨタ	Y	10 ⁻¹	デシ	d
10 ²¹	ゼタ	Z	10 ⁻²	センチ	c
10 ¹⁸	エクサ	E	10 ⁻³	ミリ	m
10 ¹⁵	ペタ	P	10 ⁻⁶	マイクロ	μ
10 ¹²	テラ	T	10 ⁻⁹	ナノ	n
10 ⁹	ギガ	G	10 ⁻¹²	ピコ	p
10 ⁶	メガ	M	10 ⁻¹⁵	フェムト	f
10 ³	キロ	k	10 ⁻¹⁸	アト	a
10 ²	ヘクト	h	10 ⁻²¹	ゼプト	z
10 ¹	デカ	da	10 ⁻²⁴	ヨクト	y

表6. SIに属さないが、SIと併用される単位

名称	記号	SI単位による値
分	min	1 min=60s
時	h	1h=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=1l=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。
ベベル	B	
デジベル	dB	

表9. 固有の名称をもつCGS組立単位

名称	記号	SI単位で表される数値
エルグ	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 ⁻⁴ cd m ⁻²
ファ	ph	1 ph=1cd sr cm ⁻² 10 ⁴ lx
ガラ	Gal	1 Gal=1cm s ⁻² =10 ⁻² ms ⁻²
マクスウェル	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 ^(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), 4.1868J (「IT」カロリ) 4.184J (「熱化学」カロリ)
マイクロン	μ	1 μ=1μm=10 ⁻⁶ m

