



JAEA-Data/Code

2008-032

JAEA-
Data/
Code

オーバーパックデータベースの基本構造の検討

Development of Basic Structure for Overpack Database

谷口 直樹 中村 有夫*

Naoki TANIGUCHI and Ario NAKAMURA*

地層処分研究開発部門
ニアフィールド研究グループ

Near-Field Research Group

Geological Isolation Research and Development Directorate

March 2009

Japan Atomic Energy Agency

日本原子力研究開発機構

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

独立行政法人日本原子力研究開発機構 研究技術情報部 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

オーバーパックデータベースの基本構造の検討

日本原子力研究開発機構 地層処分研究開発部門
地層処分基盤研究開発ユニット

谷口 直樹、中村 有夫*

(2008年12月19日受理)

高レベル放射性廃棄物の地層処分におけるオーバーパックには所定の期間、地下水とガラス固化体の接触を確実に防ぐ機能が要求されている。現時点ではオーバーパックの設計寿命を1000年間とし、オーバーパックの設計手法、製作技術等の整備や設計・製作に反映させるための試験、長期信頼性向上のための試験研究等が行われている。これらの成果は、検討を実施した機関により報告書等の形で取りまとめられてはいるものの、実際の処分サイト条件に対応したオーバーパック設計、オーバーパックに関わる規格や基準の制定のほか、汎用的な用途として有効に活用させていくためには、これらの成果を体系的にとりまとめ、実用的な知識ベースとして整備する必要がある。そこで、これまでに検討されてきたオーバーパック設計の考え方、設計・製作に関わる技術、オーバーパックの基本特性に関する試験データなどを体系的にとりまとめるデータベースとしての検討を行っている。本報ではこのオーバーパックデータベースの基本構造と、市販のデータベースソフトウェアを用いた検討状況を報告する。また、データベース上で提示する予定の試験データや技術開発成果をデータシート状にまとめた技術メニューの一部を例示した。

Development of Basic Structure for Overpack Database

Naoki TANIGUCHI and Ario NAKAMURA*

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

(Received December 19, 2008)

In geological disposal of high-level radioactive waste, overpack is required to prevent vitrified waste from the contacting groundwater with during a certain period of time. At present, the period is defined as 1000 years for complete containment and developments of technologies for design, manufacturing and quality assurance and researches for improving long-term performance have been carried out. Each R&D results have been published as a reports or journal papers by each individual institute. However, it is necessary to integrate these results so as to develop a practical knowledge base that would be useful for design of an overpack for a specific repository site, establishment of the codes and standards or other general purposes. Accordingly, we have been developing a database, which integrate R&D results on design concepts of overpack, technologies for design and manufactureing, test data of the characteristics as an overpack and so on. This report presents a current status of the overpack database using a commercial application software basic structure and an example of a menu for the database.

Keywords: Overpack, Database, Design, Manufacturing

*Radioactive Waste Management Funding and Research Center

目 次

1. はじめに -----	1
2. データベースの基本構造 -----	2
3. データベースの検討-----	6
4. おわりに -----	12
参考文献 -----	13

Contents

1. Introduction -----	1
2. Basic Structure of Database -----	2
3. Development of Database -----	6
4. Summary -----	12
References -----	13

This is a blank page.

1. はじめに

高レベル放射性廃棄物の地層処分におけるオーバーパックには所定期間、地下水とガラス固化体の接触を確実に防止する機能が主に要求されている。現時点ではオーバーパックによる閉じ込め期間として、ガラス固化体中核種の崩壊熱による発熱が十分減衰するまでの 1000 年間が設定されている¹⁾。このような長期の期間、閉じ込め機能が要求されている金属製の容器は地層処分以外では例が無く、信頼性の高い設計や長期健全性評価が求められるとともに、溶接・検査などの製作／品質保証についての技術的な成立性を明示する必要がある。これまで、オーバーパックの設計や、製作の技術の整備やそのための試験方法²⁾、長期信頼性向上のための試験研究等が進められており³⁾、個別の成果は、検討を実施した機関により報告書や論文の形で取りまとめられている。しかし、将来行われる実際の処分サイト条件に対応したオーバーパック設計、オーバーパックに関わる規格や基準の制定のほか、汎用的な用途として成果が有効に活用されるとともに、一般の幅広い理解を得るために、これらの成果を体系的にとりまとめ、実用的な知識ベースとして整備する必要がある。そこで、これまでに検討されてきたオーバーパック設計の考え方、設計・製作に関わる技術、オーバーパックの基本特性に関する試験データなどを体系的にとりまとめるデータベースの検討を行っている。本報では既往のオーバーパック設計に関わる検討結果⁴⁾⁵⁾を基にデータベースの基本構造を例示した。また、市販のデータベースソフトウェア Microsoft Access®用いてデータベースの検討を行った。さらに、本データベース上で提示予定のデータの例として、緩衝材中における炭素鋼の腐食データ⁶⁾、オーバーパックの溶接・検査に適用可能な技術とその技術開発成果をデータシート状にまとめた溶接検査技術メニュー²⁾の表示例を示した。

2 データベースの基本構造

2.1 基本構造の考え方

前章で述べたとおり、オーバーパックの設計や、製作の技術の整備やそのための試験方法²⁾、長期信頼性向上のための試験研究等が進められている³⁾。その成果のうち、技術開発状況を統一的なフォームでまとめた技術メニューや試験条件と結果が表形式でまとめられた試験データが実用的に利用しやすい形態と考えられる。しかし、これらをデータベース化するうえで、項目ごとに漫然と羅列したのみではデータが十分活用されない可能性がある。そこで、それぞれのデータがオーバーパック設計や長期健全性評価においてどのように用いられるのか理解できる構造となることを考慮した。また、いずれもオーバーパックの要件、前提条件に基づいて試験条件等を設定して得られた成果であり、背景としてこれらの情報も提示することとした。

以上のように、試験データや技術メニューのほか、その背景や反映先などオーバーパック設計との関連がわかる構造を検討した。まず、オーバーパック設計において条件設定や検討の必要な項目とその基本的なフローを検討し、これをメインの画面で提示した。次に各項目の中に更に細分化した項目や関連するデータ、情報を格納した。これによりオーバーパック設計とデータや情報を関連づけた。また、将来的にデータベースが公開された場合を考慮すると、地層処分以外の分野で活用するユーザーを想定する必要もあり、主要なデータや情報についてはメイン画面から直接的にアクセス可能な構造を検討した。

2.2 オーバーパック設計の基本フローとメイン画面での提示項目

第2次取りまとめにおける処分概念を想定したオーバーパック設計の考え方は本間ら⁴⁾によつてまとめられている。また、オーバーパックの溶接検査技術開発⁵⁾においても整理されており、それらを参考に、オーバーパック設計の概略的な基本フローを図2.1のように整理した。基本フローは以下の主要項目からなり、実際のデータベース作成にあたってはこれらをメイン画面で提示した。

- 1) 設計要件
- 2) 設計条件
- 3) 基本仕様
- 4) 詳細仕様
- 5) 製作（溶接）
- 6) 検査
- 7) 品質、長期健全性確認

2.3 基本フローにおける各項目の細分化

図2.1中の各項目について、以下に例示するように、更に細分化し、最小項目に対してデータや情報を入力することとした。ただし、この細分化の仕方については検討段階であり、一部未定である。また、各項目とも適宜見直す予定である。

1) 設計要件

- (a) 安全確保のための要件
- (b) 人工バリアが成立するための要件

2) 設計条件

- (a) ガラス固化体
 - a) インベントリー
 - b) 発熱量
 - c) キャニスター形状　・・等
- (b) 緩衝材
 - a) 密度
 - b) 配合
 - c) 間隙水組成　・・等
- (c) 地質環境
 - a) 岩盤種類
 - b) 埋設深度
 - c) 地下水組成　　等

3) 基本仕様

- (a) 基本形状
- (b) 材料選定
- (c) 板厚の設定
 - a) 耐圧厚さ
 - b) 腐食しろ
 - b)-1 炭素鋼
 - ・ 腐食形態
 - ・ 全面腐食
 - ・ 孔食すきま腐食　・・等
 - b)-2 チタン
 - ・ すきま腐食
 - ・ 水素脆化　・・等
 - b)-3 銅
 - c) 遮蔽厚さ

4) 詳細仕様

- (a) オーバーパックの構造

(b) 組成

(c) 製作方法、熱処理条件など

5) 溶接

(a) 溶接方法

(b) 開先形状、溶接条件など

6) 検査

(a) 検査方法

(b) 定量可能な最小きずの高さなど

7) 品質、長期健全性

なお、7) 品質、長期健全性については今後、項目の詳細化、細分化を行う。品質管理項目については本間ら⁴⁾による検討例があるものの、圧力容器への適用例など既存の手法や考え方が適用可能な項目があり、「オーバーパックデータベース」で提示すべき情報の範囲について検討が必要である。また、オーバーパックに特有な品質管理については手法や考え方などさらに整理が必要である。長期健全性について従来は、耐圧厚さが確保されていればオーバーパックの寿命は腐食によって決まるという考え方に基づき、設計寿命に対応した腐食しろの設定によって閉じ込め性能を維持することを基本としてきた¹⁾。一方、朝野ら⁷⁾は亀裂進展の観点から溶接構造物としての長期健全性評価の考え方を提示するとともに、地震の扱い、中性子照射脆化の評価法など今後検討すべき課題を指摘している。

以上のように、今後従来の考え方の見直しや新たな視点からの考え方を含めて品質管理や長期健全性評価の考え方を整理し、データベースの基本構造を検討する。

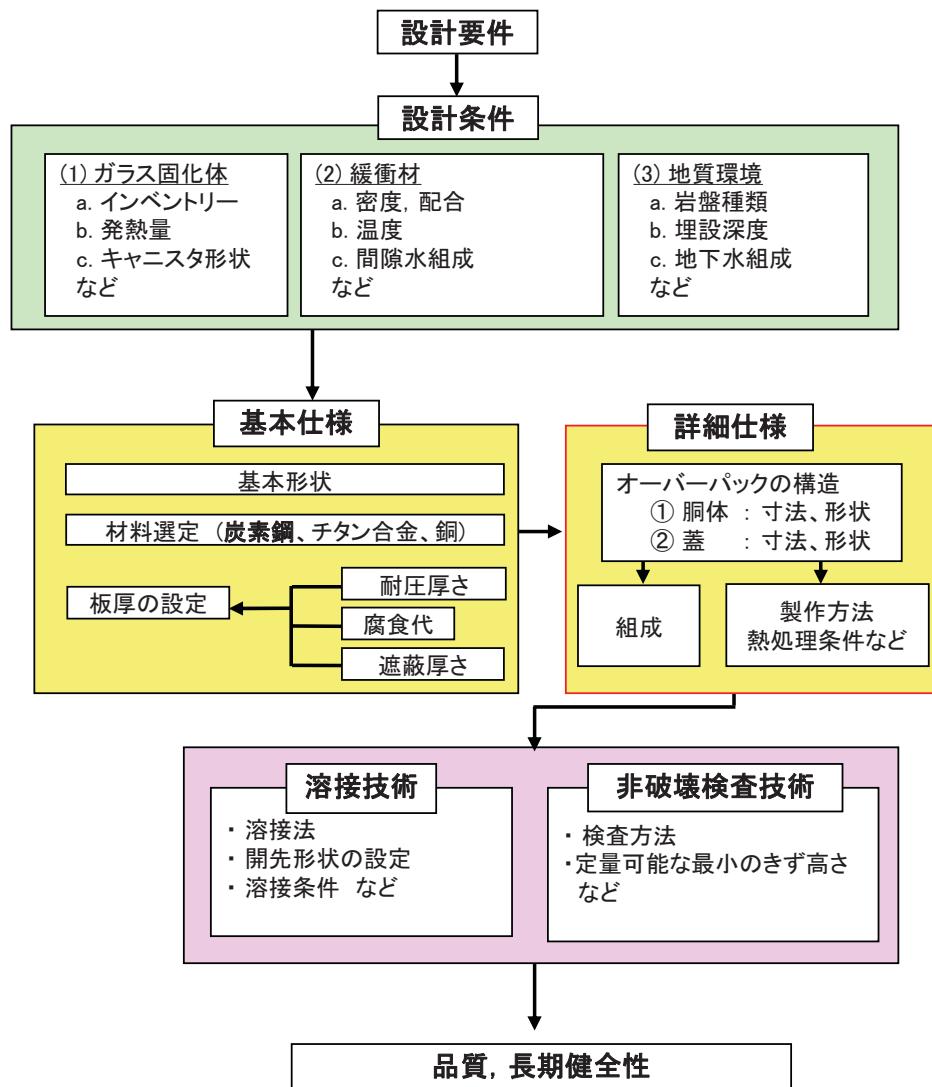


図 2.1 オーバーパック設計における検討項目と基本フロー

3 データベースの検討

実際のデータベース化にあたり、市販のソフトウェア Microsoft Access®を用いた。基本フローに基づくメイン画面を図 3.1 に示す。パソコン上でこの画面中の各項目をクリックすることによって、より細分化した項目または関連する情報やデータが表示される。例えば、「基本要件」をクリックすると、図 3.2 に示すように、2.3 で細分類化した「安全確保のための要件」と「人工バリアが成立するための要件」に対して情報が表示される。また、「基本設計」をクリックすると、図 3.3 に示すように、細分化された項目が表示され、これらをクリックすると、その項目がさらに詳細化され、最終的にデータや既往の情報が表示される。

これら基本フローに沿ったデータや情報の追跡のほか、オーバーパックに関するこれまでの研究開発において主要な成果である腐食データと溶接検査に関する技術メニューについてはメイン画面から直接的にアクセスできるよう、画面上に「腐食データベース」と「溶接・検査技術メニュー」のボタンを追加した。例えば、「腐食データベース」をクリックすると、図 3.4 に示すように、候補材料毎のデータベースの入口が表示され、「炭素鋼オーバーパック」のボタンの先では図 3.5 のように腐食シナリオと個別の腐食モードのボタンが表示される。ここで例えば「全面腐食(水素発生型)」を選ぶと、図 3.6 のような試験データが表示される。また、「溶接・検査技術メニュー」では、図 3.7 に例示するような溶接検査に関わる技術開発成果が表示される。

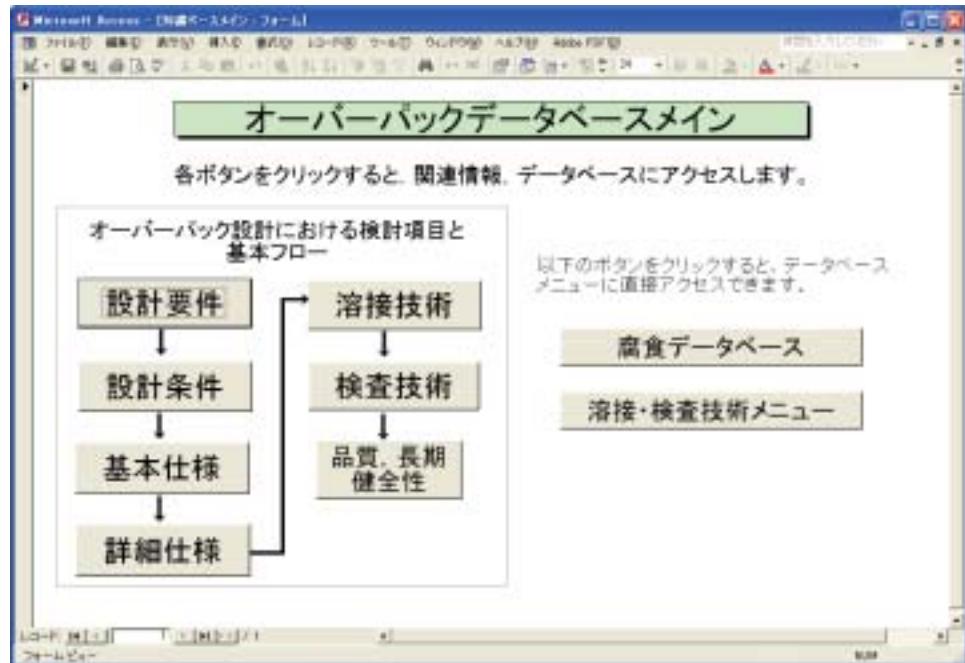
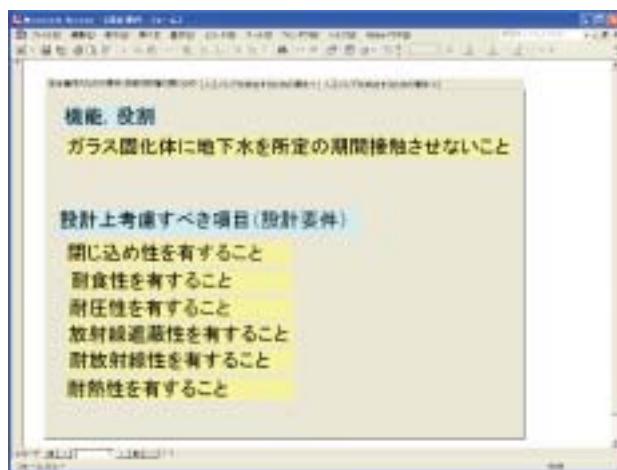
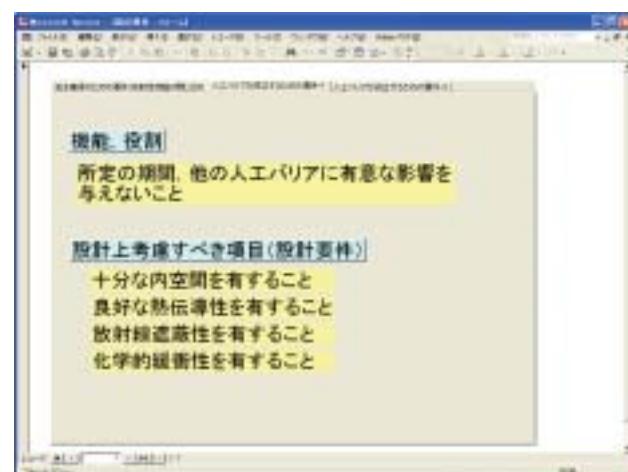


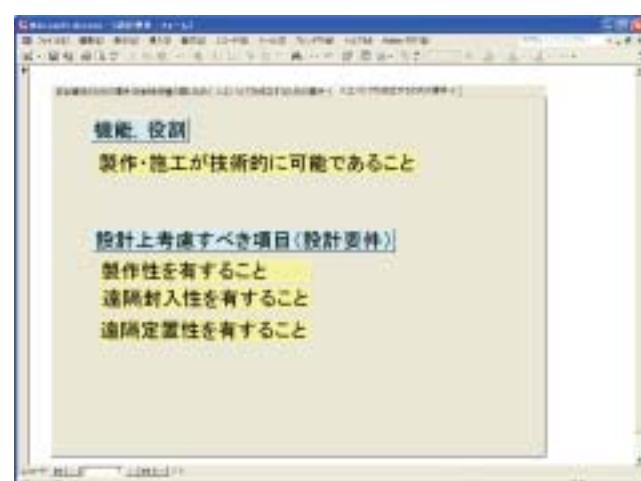
図 3.1 オーバーパックデータベースのメイン画面



(1) 安全確保のための要件



(2) 人工バリアが成立するための要件-1



(3) 人工バリアが成立するための要件-2

図 3.2 「設計要件」選択後の表示例

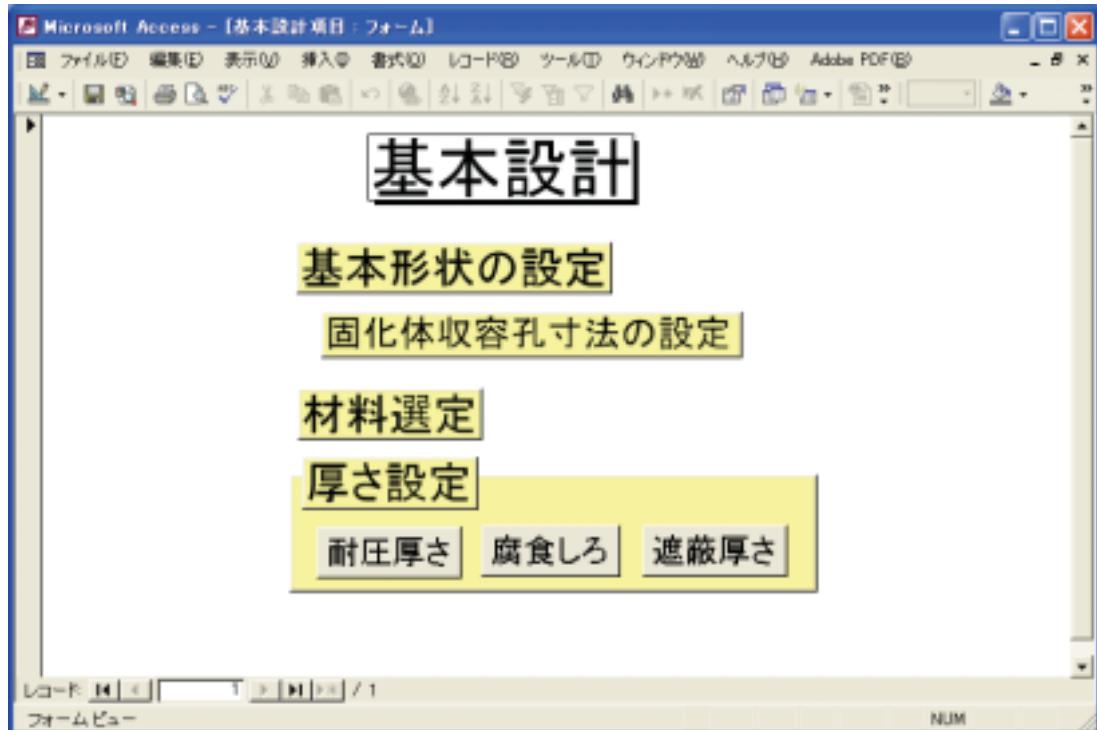


図 3.3 「基本設計」選択後の表示例

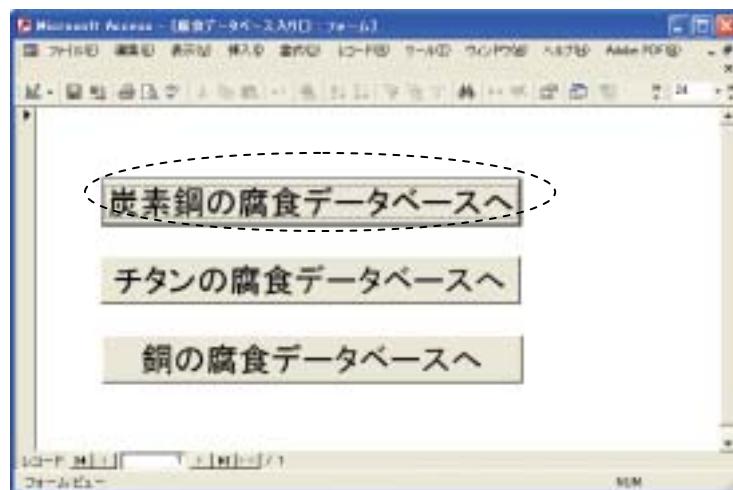


図 3.4 「腐食データベース」選択後の表示画面

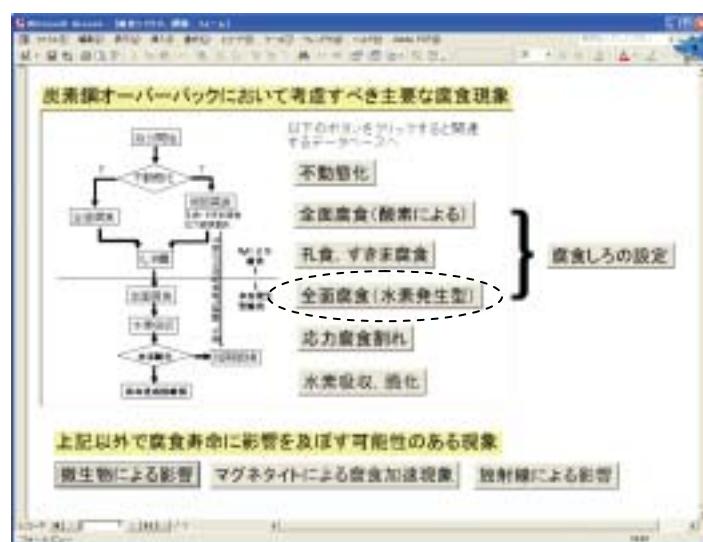


図 3.5 「炭素鋼の腐食データベースへ」選択後の表示画面

レコード番号	試験方法	温度	試験時間	ヘリオサイト	環境	試験装置	腐食速度(mm/yr)
400	18 CCSM	60	1008	クニグリV	乾燥	カラム	385E-03
404	18 CCSM	60	1008	クニグリV	乾燥	カラム	371E-03
405	18 CCSM	60	1008	クニグリV	乾燥	カラム	270E-03
407	18 CCSM	60	1008	クニグリV	乾燥	カラム	260E-03
408	18 CCSM	60	1008	クニグリV	乾燥	カラム	290E-03
409	18 CCSM	60	1461	クニグリV	乾燥	カラム	387E-03
410	18 CCSM	60	1461	クニグリV	乾燥	カラム	290E-03
500	18 鋼CU/C03	60	1461	クニグリV	乾燥	カラム	143E-03
501	18 鋼CU/C03	60	1461	クニグリV	乾燥	カラム	158E-03
502	18 HC03	60	1461	クニグリV	乾燥	カラム	123E-03
503	18 HC03	60	1461	クニグリV	乾燥	カラム	141E-03
504	18 鋼CU/C03	60	1008	クニグリV	乾燥	カラム	129E-03
505	18 鋼CU/C03	60	1008	クニグリV	乾燥	カラム	120E-03
506	18 鋼CU/C03	60	1008	クニグリV	乾燥	カラム	127E-03
507	18 SFM	60	1008	クニグリV	乾燥	カラム	279E-03
508	18 SFM	60	1008	クニグリV	乾燥	カラム	280E-03
509	18 SFM	60	1008	クニグリV	乾燥	カラム	280E-03
510	18 CCSM	60	1008	クニビアフ	乾燥	カラム	327E-03
511	18 CCSM	60	1008	クニビアフ	乾燥	カラム	314E-03
512	18 CCSM	60	1008	クニビアフ	乾燥	カラム	300E-03
513	18 CCSM	60	1008	クニグリV	大気	カラム	300E-03
514	18 CCSM	60	1008	クニグリV	大気	カラム	300E-03
515	18 CCSM	60	1008	クニグリV	大気	カラム	381E-03

図 3.6 「全面腐食（水素発生型）」選択後の表示画面

(1) 溶接性 (溶接検査用)		溶接性検査／耐久性試験	
溶接性 (溶接品質)	溶接性 (溶接機器)	溶接性 (溶接品質)	溶接性 (溶接機器)
1. TIG溶接 (溶接品質)	溶接距離: 100mm 溶接速度: 150mm/min 溶接電流: 150A 溶接电压: 24V 溶接時間: 約2.4分 (約3kg / 45kg/CL)	溶接距離: 100mm 溶接速度: 150mm/min 溶接電流: 150A 溶接电压: 24V 溶接時間: 約11.0分 (約3kg / 25kg/CL)	溶接距離: 100mm 溶接速度: 150mm/min 溶接電流: 150A 溶接电压: 24V 溶接時間: 約20.0分 (約3kg / 45kg/CL)
2. MAG溶接 (溶接品質)	溶接距離: 100mm 溶接速度: 150mm/min 溶接電流: 150A 溶接电压: 24V 溶接時間: 約0.9分 (約3kg / 12kg/CL)	溶接距離: 100mm 溶接速度: 150mm/min 溶接電流: 150A 溶接电压: 24V 溶接時間: 約1.5分 (約3kg / 12kg/CL)	溶接距離: 100mm 溶接速度: 150mm/min 溶接電流: 150A 溶接电压: 24V 溶接時間: 約2.4分 (約3kg / 12kg/CL)
3. MIG溶接 (溶接品質)	溶接距離: 100mm 溶接速度: 150mm/min 溶接電流: 150A 溶接电压: 24V 溶接時間: 約1.5分 (約3kg / 12kg/CL)	溶接距離: 100mm 溶接速度: 150mm/min 溶接電流: 150A 溶接电压: 24V 溶接時間: 約1.5分 (約3kg / 12kg/CL)	溶接距離: 100mm 溶接速度: 150mm/min 溶接電流: 150A 溶接电压: 24V 溶接時間: 約10分 (約3kg / 12kg/CL)
4. 焊接機器 (溶接機器)	溶接距離: 100mm 溶接速度: 150mm/min 溶接電流: 150A 溶接电压: 24V 溶接時間: 約2.4分 (約3kg / 45kg/CL)	溶接距離: 100mm 溶接速度: 150mm/min 溶接電流: 150A 溶接电压: 24V 溶接時間: 約11.0分 (約3kg / 25kg/CL)	溶接距離: 100mm 溶接速度: 150mm/min 溶接電流: 150A 溶接电压: 24V 溶接時間: 約20.0分 (約3kg / 45kg/CL)

図 3.7 溶接検査技術メニューの表示例（溶接技術の一例）

5. おわりに

オーバーパック設計の基本フローに基づき、オーバーパックに関わる研究開発成果に加え、オーバーパックの設計要件や前提条件などを含めてデータや知見の体系的な整備を行ってきた。これまでに基本構造を検討し、実際に市販のソフトウェア、Microsoft Access® を用いてデータベースの試作を行った。

今後、引き続きデータベースへのデータや情報の入力、取り込みを行うとともに、公開に向けたデータベースシステムの構築を実施していく予定である。

参考文献

- 1) 核燃料サイクル開発機構：“わが国における高レベル放射性廃棄物地層処分の技術的信頼性地層処分研究開発第 2 次取りまとめ 分冊 2 地層処分の工学技術”、JNC TN1400 99-022(1999).
- 2) 原子力環境整備促進・資金管理センター：平成 16 年度地層処分技術調査等遠隔操作技術高度化調査報告書（2005）.
- 3) 核燃料サイクル開発機構：“高レベル放射性廃棄物の地層処分技術に関する知識基盤の構築－平成 17 年取りまとめ一分冊 2 工学技術の開発－JNC TN1400 2005-015 (2005)
- 4) 本間信之、千葉恭彦、棚井憲治：“オーバーパック設計の考え方”JNC TN8400 99-047(1999).
- 5) 原子力環境整備促進・資金管理センター：高レベル放射性廃棄物処分事業推進調査報告書－遠隔操作技術高度化調査（2002）.
- 6) 谷口直樹、川崎学、川上進、久保田満：“還元性雰囲気における緩衝材中での炭素鋼の腐食挙動”、JNC TN8400 2003-040(2003).
- 7) H. Asano, S. Kataoka, K. Maeda and M. Aritomi: Long-Term Integrity of Waste Package Final Closure for HLW Geological Disposal,(IV);Influence of Welding and Prediction of Long-Term Integrity of Weld Joint, J. Nucl. Sci. Technol., 43[8],924-936 (2006).

This is a blank page.

国際単位系 (SI)

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

組立量	SI 基本単位	
	名称	記号
面積	平方メートル	m^2
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	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)	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) とも呼ばれる。

(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	$\text{m}^{-1}\text{kg s}^{-2}$
エネルギー、仕事、熱量	ジュール	J	Nm	$\text{m}^2\text{kg s}^2$
仕事を、工率、放射束	ワット	W	J/s	$\text{m}^2\text{kg s}^{-3}$
電荷、電気量	クーロン	C		s A
電位差(電圧)、起電力	ボルト	V		$\text{m}^2\text{kg s}^{-3}\text{A}^{-1}$
静電容量	ファラード	F		$\text{m}^2\text{kg}^{-1}\text{s}^4\text{A}^2$
電気抵抗	オーム	Ω		$\text{m}^2\text{kg s}^{-3}\text{A}^2$
コンダクタンス	ジーメンス	S		$\text{m}^2\text{kg}^{-1}\text{s}^3\text{A}^2$
磁束密度	ウエーブ	Wb		$\text{kg s}^{-2}\text{A}^{-1}$
磁束密度	テスラ	T	Wb/m^2	$\text{kg s}^{-2}\text{A}^{-1}$
インダクタンス	ヘンリリー	H		Wb/A
セルシウス温度	セルシウス度 ^(e)	°C		K
光束度	ルーメン	lm	$\text{cd sr}^{(e)}$	cd
放射性核種の放射能 ^(f)	ルクス ^(d)	lx	lm/m^2	m^{-2}cd
吸収線量、比エネルギー分与、カーマ	ベク렐 ^(d)	Bq		s^{-1}
線量当量、周辺線量当量、方向性線量当量、個人線量当量	グレイ	Gy	J/kg	m^2s^{-2}
酸素活性	シーベルト ^(g)	Sv	J/kg	m^2s^{-2}
	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 および 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렐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數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
速度	立法メートル	m^3
速さ	メートル毎秒	m/s
加速	メートル毎秒毎秒	m/s^2
波数	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)	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

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}	ゼット	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	°	$1^\circ=(\pi/180) \text{ rad}$
分	'	$1'=(1/60)^\circ=(\pi/10800) \text{ rad}$
秒	"	$1''=(1/60)'=(\pi/648000) \text{ rad}$
ヘクタール	ha	$1\text{ha}=1\text{hm}^2=10^4\text{m}^2$
リットル	L	$1\text{L}=1\text{dm}^3=10^3\text{cm}^3=10^{-3}\text{m}^3$
トン	t	$1\text{t}=10^3\text{kg}$

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	$1\text{eV}=1.602\ 176\ 53(14)\times 10^{-19}\text{J}$
ダルトン	Da	$1\text{Da}=1.660\ 538\ 86(28)\times 10^{-27}\text{kg}$
統一原子質量単位	u	$1\text{u}=1\text{Da}$
天文単位	ua	$1\text{ua}=1.495\ 978\ 706\ 91(6)\times 10^{11}\text{m}$

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	$1\text{bar}=0.1\text{MPa}=100\text{kPa}=10^5\text{Pa}$
水銀柱ミリメートル	mmHg	$1\text{mmHg}=133.322\text{Pa}$
オングストローム	Å	$1\text{\AA}=0.1\text{nm}=100\text{pm}=10^{-10}\text{m}$
海里	M	$1\text{M}=1852\text{m}$
バーン	b	$1\text{b}=100\text{fm}^2=(10^{-12}\text{cm})^2=2\times 10^{-28}\text{m}^2$
ノット	kn	$1\text{kn}=(1852/3600)\text{m/s}$
ネーピル	Np	1Np は SI 単位との数値的な関係は、対数量の定義に依存。
ベル	B	
デジベル	dB	

(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	Ci	$1\text{Ci}=3.7\times 10^{10}\text{Bq}$
レントゲン	R	$1\text{R}=2.58\times 10^{-4}\text{C/kg}$
ラド	rad	$1\text{rad}=1\text{Gy}=10^{-2}\text{Gy}$
レム	rem	$1\text{rem}=1\text{cSv}=10^{-2}\text{Sv}$
ガンマ	γ	$1\gamma=1\text{nT}=10^{-9}\text{T}$
フェルミ	fm	$1\text{フェルミ}=1\text{fm}=10^{-15}\text{m}$
メートル系カラット		1メートル系カラット = 200 mg = $2\times 10^{-4}\text{kg}$
トル	Torr	$1\text{Torr}=(101\ 325/760)\text{ Pa}$
標準大気圧	atm	$1\text{atm}=101\ 325\text{ Pa}$
力口リ	cal	$1\text{cal}=4.1858\text{J}(\text{「}15^\circ\text{C}\text{「}カロリー), 4.1868\text{J}(\text{「IT「}カロリー), 4.184\text{J}(\text{「}熱化学「}カロリー)$
ミクロン	μ	$1\mu=1\mu\text{m}=10^{-6}\text{m}$

