JAEA-Technology
2017-002
DOI:10.11484/jaea-technology-2017-002

東日本大震災に伴い被災した保管体の復旧作業について

Rearrangement Works of Unbalanced Waste Packages by Influence of the Great East Japan Earthquake

石原 圭輔　金澤 真吾　小澤 政千代　森 優和
川原 孝宏

Keisuke ISHIHARA, Shingo KANAZAWA, Masachiyo KOZAWA, Masakazu MORI and Takahiro KAWAHARA

原子力科学研究部門
原子力科学研究所
バックエンド技術部

Department of Decommissioning and Waste Management
Nuclear Science Research Institute
Sector of Nuclear Science Research

March 2017
Japan Atomic Energy Agency
日本原子力研究開発機構

JAEA-Technology

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

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

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

© Japan Atomic Energy Agency, 2017

JAEA-Technology 2017-002

東日本大震災に伴い被災した保管体の復旧作業について

日本原子力研究開発機構　原子力科学研究部門
原子力科学研究所　バックエンド技術部

石原　圭輔、金澤　真吾、小澤　政千代、森　優和、川原　孝宏

（2017 年 1 月 11 日受理）

原子力科学研究所の保管廃棄施設（廃棄物保管棟・Ⅰ、廃棄物保管棟・Ⅱ及び解体分別保管棟）では、鋼製のパレットに 200L ドラム缶等の放射性廃棄物保管体（以下、「保管体」という。）を積載し、高さ方向に 2 段積から 4 段積で保管を行っている。

平成 23 年 3 月 11 日に発生した東日本大震災では、この保管廃棄施設において、パレットが横滑りし、保管体が斜めに傾いて折り重なり（以下、「荷崩れ」という。）、床に落下する等の被害が生じた。荷崩れ・転倒した保管体を原状に復旧する作業は、これまでに経験の無いものであり、放射線災害や労働災害防止の観点から、本件に特化した、綿密な作業工程や作業手順の立案が必要となった。このため、詳細な作業要領書を作成し、予めモックアップ試験を重ね、作業者の習熟及び作業手順を確立した上で、平成 23 年 4 月から再配置作業に着手した。最終的に、保管廃棄施設の運用を継続しつつ、平成 27 年 9 月に約 4 年半にわたる再配置作業を無事故で終了し、すべての保管体について原状復旧を完了できた。

本稿は、原状復旧を行うに当たり実施した放射線災害防止対策や労働災害防止対策等を中心に報告を行うものである。

原子力科学研究所：　〒319-1195　茨城県那珂郡東海村大字白方 2-4

JAEA-Technology 2017-002

Rearrangement Works of Unbalanced Waste Packages by Influence of the Great East Japan Earthquake

Keisuke ISHIHARA, Shingo KANAZAWA, Masachiyo KOZAWA,
Masakazu MORI and Takahiro KAWAHARA

Department of Decommissioning and Waste Management
Nuclear Science Research Institute
Sector of Nuclear Science Research
Japan Atomic Energy Agency
Tokai-mura, Naka-gun, Ibaraki-ken

(Received January 11, 2017)

At radioactive waste management facilities in the Nuclear Science Research Institute, solid radioactive wastes are stored by using containers such as 200L drums and pallets to tier containers in 2 to 4 stacks in the height direction in waste storage facilities (Waste Storage Facility No.1, Waste Storage Facility No.2 and Waste Size Reduction and Storage Facility).

On March 11, 2011, the Great East Japan Earthquake was happened, and some waste packages dropped from their pallets and large number of waste packages moved from their original position and inclined due to the influence of the earthquake in the waste storage facilities. There was no experience of rearrangement works to set those dropped and unbalanced waste packages in their original position and it was necessary to prepare detailed work procedures and progress for this task to prevent the occurrence of industrial accidents. Therefore, we prepared detailed work manual and repeatedly carried out mock-up test. And then, we started rearrangement work from April 2011 after confirmation of worker's skill and adequacy of the work manual. Finally, all rearrangement works for stored waste packages took about four and half years and were completed in September 2015 without any accident and shutdown of storage function.

This report summarizes the countermeasures to reduce exposure doses of workers and to prevent the occurrence of industrial accidents during the rearrangement works.

Keywords: Radioactive Waste, Rearrangement, Waste Packages, The Great East Japan Earthquake

目　　次

1. はじめに……1
　1. 1 背景 ……1
　1. 2 保管体の被災状況 ……1
2. 保管廃棄施設及び保管体の概要……1
3. 全体工程の立案……2
4. 復旧作業の基本的な考え方……2
　4. 1　ドラム缶及び角型鋼製容器の復旧 ……2
　4. 2　コンクリートブロック体の復旧 ……2
5. 作業体制の構築……3
6. 作業に係る創意工夫……3
　6. 1　重機の活用 ……4
　6. 2　モックアップ試験 ……5
　6. 3　二次災害の防止 ……5
　6. 4　被ばく管理 ……5
7. 作業実績……6
　7. 1　実施期間、工数 ……6
　7. 2　被ばく線量 ……6
　7. 3　再発防止対策 ……6
8. まとめ……7
謝辞 ……7

Contents

1. Introduction ……1
1. 1 Background ……1
1. 2 Damage Situations of Waste Packages ……1
2. Outline of Waste Storage Facilities and Waste Packages ……1
3. Preparation of Whole Process ……2
4. Basic Concept for Rearrangement Work ……2
4. 1 Rearrangement of 200L Drums and Steel Rectangular Containers ……2
4. 2 Rearrangement of Concrete Block Waste Package ……2
5. Establishment of Work System ……3
6. Inventive Ideas for Rearrangement Work ……3
6. 1 Use of Heavy Machine ……4
6. 2 Mock-up Test ……5
6. 3 Prevention of the Secondary Disaster ……5
6. 4 Strict Exposure Control ……5
7. Records of Rearrangement Work ……6
7. 1 Work Period and Man-hour ……6
7. 2 Exposure Doses of Workers ……6
7. 3 Recurrence Prevention Measure ……6
8. Summary ……7
Acknowledgement ……7

表リスト

表 1　保管廃棄施設の概要 ……8
表 2　保管体の仕様 ……8
表 3　再配置作業を実施した保管体の個数、重量及び表面線量当量率 ……9
表 4　再配置作業手順 ……10
表 5　再配置作業の実績 ……14

図リスト

図 1　再配置作業フロー ……15
図 2　作業計画の一例 ……16
図 3　金具によるパレット連結 ……17

写真リスト

写真 1　東日本大震災直後の荷崩れ状況（コンクリートブロック体） ……18
写真 2　パレットの破損状況 ……18
写真 3　東日本大震災直後の荷崩れ状況（コンクリートブロック体上部） ……19
写真 4　東日本大震災直後の荷崩れ状況（ドラム缶） ……19
写真 5　東日本大震災直後の荷崩れ状況（角型鋼製容器） ……20
写真 6　パレットの横滑りによる位置ずれ ……20
写真 7　油圧ジャッキの使用 ……21
写真 8　クレーン機能付油圧ショベルによる吊上げ ……21
写真 9　排気ガス排出用ダクトの設置 ……22
写真 10　パレット積載用治具 ……22
写真 11　回転機能付バッテリーフォークリフトの使用状況 ……23
写真 12　高所作業車の使用状況 ……23
写真 13　モックアップ試験の状況 ……24
写真 14　緩衝体 ……24
写真 15　遮へい体 ……25
写真 16　再配置後の積載状況（コンクリートブロック体） ……25
写真 17　再配置後の積載状況（ドラム缶） ……26
写真 18　再配置後の積載状況（角型鋼製容器） ……26
写真 19　パレットの構造変更 ……27

Table List

Table 1 Outline of Waste Storage Facilities ……8
Table 2 Specifications of Waste Packages ……8
Table 3 Number, Weight and Surface Dose Rate of Waste Packages ……9
Table 4 Flow of Rearrangement Work ……10
Table 5 Records of Rearrangement Work ……14

Figure List

Fig.1 Flow of Rearrangement ……15
Fig.2 Example of Work Plan ……16
Fig.3 Connection of Pallets by Metal Fitting ……17

Photo List

Photo 1 Situation of Inclined Concrete Block Waste Packages by Influence of the Great East Japan Earthquake (Concrete Block) ……18
Photo 2 Damage Situations of Pallet ……18
Photo 3 Situation of Inclined Concrete Block Waste Packages by Influence of the Great East Japan Earthquake (Top layer) ……19
Photo 4 Inclined Drums by Influence of the Great East Japan Earthquake (Drums) 19
Photo 5 Inclined Steel Rectangular Containers by Influence of the Great East Japan Earthquake (Steel Rectangular Containers) ……20
Photo 6 Shifting in Position by Laterally Sliding of Pallet ……20
Photo 7 Use of Hydraulic Jack ……21
Photo 8 Lifting Hydraulic Shovel with Crane Function ……21
Photo 9 Installed Exhaust Gas Duct ……22
Photo 10 Loading Tool for Pallet ……22
Photo 11 Usages of Rotary Type Battery Forklift ……23
Photo 12 Usages of High Lift Work Vehicle ……23
Photo 13 Situation of Mock-up Test ……24
Photo 14 Cushioning Object ……24
Photo 15 Shielding Object ……25
Photo 16 Situation after Rearrangement Work (Concrete Block) ……25
Photo 17 Situation after Rearrangement Work (Drums) ……26
Photo 18 Situation after Rearrangement Work (Steel Rectangular Containers) ……26
Photo 19 Structural Modification of Pallet ……27

1. はじめに

1.1 背景

原子力科学研究所（以下、「原科研」という。）の保管廃棄施設は、主に原科研での研究開発活動に伴い発生する放射性廃棄物を保管廃棄する施設であり、建家式と半地下ピット式に大別される。東日本大震災により保管体の荷崩れ及び転倒が発生した建家式の保管廃棄施設は、廃棄物保管棟・Ⅰ、廃棄物保管棟・Ⅱ及び解体分別保管棟であり、廃棄物を封入した容器が 200L ドラム缶換算で約 60,000 本保管されている。容器の種類は、200L ドラム缶の他、コンクリートブロック体及び角型鋼製容器であり、保管方法は、保管体を専用の鋼製パレット（以下、「パレット」という。）に積載し、高さ方向に 2 段積から 4 段積で保管を行っている。そのため、被害の大半は、上段に積載されているパレットが横滑りし、保管体の荷崩れ、転倒及びパレットの位置ずれが生じたものである。

1.2 保管体の被災状況

東日本大震災直後の保管体の被災状況を以下に示す。

廃棄物保管棟・Ⅰ、廃棄物保管棟・Ⅱ及び解体分別保管棟に保管していた約 60,000 本の保管体の容器別の内訳は、ドラム缶が約 42,000 本、コンクリートブロック体が約 1,100 体（200L ドラム缶換算で約 5,500 本）、角型鋼製容器が約 2,200 基（200L ドラム缶換算で約 11,000 本）であり、その殆どに、荷崩れ、転倒又は位置ずれが生じた。

コンクリートブロック体の荷崩れ状況は、写真 1 に示すとおりであり、殆どのものが、写真 2 に示すとおりパレットが破損し、写真 3 のように斜めに寄り掛かっている状態であった。なお、コンクリートブロック体の一部が破損したが放射性物質の漏えいは無かった。

ドラム缶及び角型鋼製容器の荷崩れ状況は、写真 4 及び写真 5 に示すとおりであり、殆どのものは、写真 6 に示すようにパレットの横滑りによる位置ずれが生じたものであった。なお、ドラム缶及び角型鋼製容器についても放射性物質の漏えいは無かった。

2. 保管廃棄施設及び保管体の概要

保管体の荷崩れ、転倒、位置ずれが生じた保管廃棄施設は、いずれも保管体をパレットに積載した後のパレット相互の連結が不十分であり、また、複数の保管体を固縛する等の荷崩れ防止対策は行っていなかった。

保管廃棄施設の概要を表 1 に、また、保管体の仕様を表 2 に、保管体の本数、重量、表面線量当量率を表 3 に示す。

3. 全体工程の立案

原状復旧のための作業工程を立案するに当たっては、以下に留意する必要があり、計画では、1 棟あたりに要する期間を約 2 年と想定し、3 棟全ての原状復旧が完遂するには約 6 年の期間を要する工程とした。

・原科研の研究開発活動を停滞させないためには、廃棄物の受け入れを並行して行う必要があった。

・保安上のリスクが高く、経験の無い作業であることから、受注する業者は無い状況であり、内作により、復旧を進めざるを得ない状況であった。

4. 復旧作業の基本的な考え方

4.1 ドラム缶及び角型鋼製容器の復旧

保管体のうち、ドラム缶及び角型鋼製容器については、パレットの位置ずれが大半であり、また、容器表面における線量当量率も低いことから、従来から保管体の移動や配置のために使用していたフォークリフトを活用し、以下の手順を基本として作業を進めることとした。

(1) パレットの位置ずれが生じているものについては、写真 7 に示すように油圧ジャッキ等を使用し、位置ずれの進行を防止する。

(2) フォークリフトによりパレットごと保管体を積み降ろす。

(3) 当該保管体を仮置きエリアに一時保管する。

(4) パレットに破損が生じているものについては、健全なパレットに交換する。

(5) 保管体の積み降ろしが完了したエリアから、フォークリフトにより奥から順に 3 段積から 4 段積で再配置する。

(6) 段積したパレットの外周を、連結金具で固定する。

4.2 コンクリートブロック体の復旧

保管体のうち、コンクリートブロック体についても、ドラム缶や角型鋼製容器のように、位置ずれ程度であれば、フォークリフトを活用することとしたが、殆どに荷崩れ、転倒等が生じており、パレットの破損も散見されたことから、図 1 の作業フローに従い、フォークリフトに加え、クレーン機能付油圧ショベル、回転機能付フォークリフト及び高所作業車（以下、「重機」という。）を活用することとした。以下にフォークリフト及び重機を活用した基本的な作業手順を示す。

(1) 当日の作業手順等を示した作業計画を作業者に周知するとともに、作業に必要な吊具等の資材を準備する。

(2) パレットの位置ずれが軽微である場合は、油圧ジャッキ等により位置ずれの進行を防止し、フォークリフトにて仮置きエリアまで移動する。

(3) 荷崩れ等によりフォークリフトでの移動が困難な場合は、重機によりコンクリートブロッ

ク体を吊上げる。なお、吊上げることにより、周囲のコンクリートブロック体が荷崩れするおそれがある場合は、吊上げ前に荷崩れの可能性ある周囲のコンクリートブロック体をナイロンスリング、チェーンブロック等の固縛資材にて固縛し、近傍の柱等に固定する。

(4) 重機により吊上げたコンクリートブロック体は、健全なパレットに積載し直す。

(5) フォークリフトによりコンクリートブロック体を仮置きエリアに一時的に保管する。

(6) 保管体の積み降ろしが完了したエリアから、フォークリフトにより奥から順に 2 段積から 3 段積で再配置する。

(7) 段積したパレットを相互に連結金具で固定する。

(8) 吊上げの順番、荷崩れの可能性のある範囲を示した次回の作業計画を立案する。

5. 作業体制の構築

作業は、保管廃棄施設の保守管理を担当する放射性廃棄物管理第 1 課運搬貯蔵チームの職員と保管廃棄施設での保管体の移動等の作業経験がある高減容処理技術課前処理チームの職員が中心となり共同で作業を実施することとした。また、事前調査により、受注可能な業者は極めて少ないとの感触を得ていたことから、高減容処理施設の運転管理に従事する年間常駐請負業者を中心に作業体制を構築した。特に、前処理、解体分別に従事する作業者については、保管廃棄施設における保管体の移動、運搬、入れ替えに関し、豊富な経験を有していたことから、これらの知見を有する作業者を選抜した。

作業エリアは、コンクリートブロック体等の影響により、空間線量当量率が高く、過度の被ばくのおそれがあったことから、被ばく線量の低減化を考慮し、3 グループ（6 名/1 グループ）を編成し、1 グループが約 2 週間程度の期間で適宜交替して作業に当たることとした。

1 グループ当たりの作業体制は、作業責任者が 1 名、クレーン機能付油圧ショベル運転者が 1 名、フォークリフト運転者が 1 名、高所作業車運転者が 1 名、玉掛け作業者等が 2 名を基本とした。

6. 作業に係る創意工夫

作業を行うに当たっては、「4.」に示した基本的な考え方に基づき、「5.」に示す体制を構築した上で、作業手順を詳細化し、要領書を作成した。表 4 に要領書における詳細な作業手順を示す。また、担当職員及び年間常駐請負作業者が、作業の効率化、労働災害や放射線災害防止の観点から、以下に示す多くの創意工夫を見出し、実用化を行い、要領書の作成や改訂に反映させた。

6.1 重機の活用

(1) クレーン機能付油圧ショベル

クレーン機能付油圧ショベルは、保管室内の狭隘なエリアでも、十分に稼働できるよう、標準のものからアームを短くしたショートリーチに変更した。また、吊り具を使用して、コンクリートブロック体を吊上げられるよう、アームの先端にクレーンフックを装備した。更に、万一、コンクリートブロック体が崩れ落ちた場合に、運転者へ衝突することを防止するため、運転席前面に、保護用鉄格子を設置した。これにより、狭隘なスペースでコンクリートブロック体を安全に吊上げることが可能となった。写真 8 にクレーン機能付油圧ショベルを示す。また、クレーン機能付油圧ショベルはエンジン式であり、作業場所である保管室には、排気設備がなく、排気ガスによる一酸化炭素中毒等のリスクがあったことから、写真 9 に示すように、マフラー部に耐熱性のフレキシブルダクトを接続し、排風機により強制的に屋外へ排気することで、作業者の安全を確保した。

また、クレーン機能付油圧ショベルで、コンクリートブロック体をパレットに積載する作業は、作業者がコンクリートブロック体に接近して位置決め（微調整）を行うため、外部被ばくの要因と考えられた。このため、写真 10 に示すように、パレット中央部に積載できる専用の治具を考案し、内作にて製作を行った。この治具を活用することにより、作業者がコンクリートブロック体に接近せずに、遠隔でパレット中央部へ積載することが可能となり、外部被ばくの防止に大いに役立った。

(2) 回転機能付バッテリーフォークリフト

被災により、パレットの多くが傾いていたため、通常のフォークリフトでは、パレットの差し込み口に、フォークを挿入することができないことから、回転機能付バッテリーフォークリフトを採用した。回転機能付バッテリーフォークリフトは、パレットの傾きに応じて、フォークを回転することが可能であり、フォークを差し込んだ後に、パレットを水平に戻すことで、以降は、通常のフォークリフトと同様に、パレットの積載に活用できた。写真 11 に回転機能付バッテリーフォークリフトを示す。

(3) 高所作業車

クレーン機能付油圧ショベルで、コンクリートブロック体を吊上げる場合には、作業者が荷崩れしているコンクリートブロック体上部に登る等して、吊具の設置、玉掛けを行う必要があった。これらの作業では、コンクリートブロック体が再度、荷崩れし、作業者が転落等により負傷するリスクがあったことから、写真 12 に示す高所作業車を使用することとした。高所作業車は、作業者を乗せたバケットを地上から約 12m の高さまで昇降できる機能を有している。作業者はバケットに乗ったまま、コンクリートブロック体上部まで接近し、吊具の設置、玉掛けを行うことが可能となる。これにより、作業者は、荷崩れしている不安定なコンクリートブロック体に登る必要がなくなり、玉掛け等を安全に実施することが可能となった。

6.2 モックアップ試験

クレーン機能付油圧ショベルを狭隘なスペースにおいて、荷崩れしたコンクリートブロック体を対象として使用した実績は無いことから、屋外において、習熟を兼ねたモックアップ試験を実施した。写真 13 に示すとおり、実物と同じ形状の模擬のコンクリートブロック体を使用し、パレットを傾ける等被災状況を可能な限り再現することで、より効果的で、実効性のあるモックアップ試験を実施した。これにより、クレーン機能付油圧ショベル等の運転操作技能が向上した。

また、荷崩れにより傾いたコンクリートブロック体に吊具を設置する玉掛け作業は、相当な時間を要し、外部被ばくの主たる要因と考えられた。このため、このモックアップ試験において、様々な荷崩れ状態を模擬し、玉掛けの訓練を行い、当該作業の迅速化を図った。この結果、短期間で玉掛けを完了できるようになり、外部被ばくの防止に大いに役立った。

6.3 二次災害の防止

荷崩れしたコンクリートブロック体を無作為に吊上げれば、当該ブロック体に傾いて接触していた他のコンクリートブロック体に荷崩れ等が生じ、被害の拡大が予測された。このため、作業の都度、荷崩れによる傾きの程度、傾きの方向、吊上げ対象物の周囲の状況を確認し、吊上げの順番、吊上げによる再荷崩れの範囲を予測した作業計画を作成することを要領書に定めた。作業計画の一例を図 2 に示す。これにより、予め作業者に吊上げ作業に係るリスクを周知することが可能となった。例として写真 14 に示すような木製の緩衝体を内作にて製作し、再度、荷崩れの可能性のある場所へ設置することで、二次災害を防止するための安全対策を予め考案でき、吊上げ作業に係る労働災害を防止することができた。

なお、作業時に、地震が発生、又は緊急地震速報が発表された場合には、直ちに作業を中断し、予め設定した安全ゾーンに退避することとし、作業期間中、定期的に訓練を実施した。

6.4 被ばく管理

コンクリートブロック体が荷崩れしたエリアは、空間線量当量率が高いことから、作業者には、鉛エプロン（0.5mmPb）の着用を義務づけた。また、作業エリアの一部に、写真 15 に示す遮へい体（鉄製：厚さ 50mm）を設置し、その区画内を作業者の一時的な待機場所とした。

また、鉛エプロンを着用することから、定常作業時に着用するガラスバッジ及び電子ポケット線量計に加え、不均等被ばく測定用ガラスバッジ及び警報付電子ポケット線量計を着用し、外部被ばく線量を厳重に管理することとした。更に、作業責任者は、作業者の警報付電子ポケット線量計が発報した場合や、作業中であっても、所定の線量に達している場合には、作業を中断するか又は作業者を交替する等して、個人の被ばく線量が計画被ばく線量を超えないよう管理を行った。

7. 作業実績

7.1 実施期間、工数

作業は、平成 23 年 4 月より開始し、平成 27 年 9 月に終了した。当初は、これまでに経験の無い作業であり、保管廃棄施設の運用を継続しつつ、狭隘な作業スペースにおいて実施しなければならないため、約 6 年の作業工程を立案したが、以下に示す作業者の習熟に伴う効率化により、工期を約 1 年半短縮することができた。

・モックアップ試験を実施することにより作業者を習熟させた。
・作業者の習熟度に応じて、グループを細分化し、作業を実施している当該フロア以外の場所においても並行して作業を実施した。
・日々達成目標を定め、作業内容に応じて作業者数を増減させる等の対策を講じ、遅延を極力防止し、工程の前倒しを実現した。

表 5 に作業実績を示す。また復旧後の保管体の積載状況を写真 16～18 に示す。

7.2 被ばく線量

作業のうち、高線量であるコンクリートブロック体の復旧においては、以下の対策を実施することにより、計画被ばく線量に対して被ばく線量を大幅に削減することができた。ある作業者の一例を示すと、計画被ばく線量 3.8mSv に対し、被ばく線量を 2.4mSv に削減することができた。

・コンクリートブロック体へ接近しての作業を極力防止するために、モックアップ試験において、玉掛け作業等の習熟を図り、作業効率を大幅に改善した。また、内作により、パレット積載用治具を製作し、パレットへの位置決めを容易にする等、作業時間の短縮を実現した。
・鉛エプロン等の着用や待機場所の設置により、放射線の遮蔽を強化した。
・重機を活用することで、コンクリートブロック体の吊上げ作業を遠隔化した。
・作業者を、所定の期間でローテーションし、個人の被ばく線量を低減化した。
・警報付電子ポケット線量計を装着することで被ばく線量を常時監視するとともに、可搬型エリアモニタを活用することにより、作業エリアの線量当量率を常時表示した。

7.3 再発防止対策

今回の荷崩れ等の主な要因は、パレットの強度不足とパレットの横滑りであるため、パレットの構造を改良し、写真 19 に示す許容積載荷重を強化したパレットを新たに作製した。また、パレットに横滑りが生じないよう、パレット相互を金具（ボルト・ナット方式、またはクランプ方式）で連結した。連結金具の設置状況を図 3 に示す。

8. まとめ

狭隘で、且つ、高線量という特殊な環境下において、放射性廃棄物の受け入れを継続しつつ、安全に復旧作業を完遂できたことは、高い安全意識と高度な技術力を有する職員及び年間常駐請負業者の努力の結果である。約 4 年半の工期をもってしても、実作業でしか得られない貴重な経験や多様な知見を習得できたことは、今後の原子力施設でのリスク対応に大いに反映できると確信している。特に、これらの経験等は、今後の処分に向けての高線量保管体等の取出し、運搬及び処理に反映できるものであり、創意工夫を積み重ね作業手順を確立したプロセスは、経験の無い作業を行う上での貴重な教訓と成り得る。

一方で、保管体をパレットに積載し、積み重ねて保管する場合のリスクが現実となったことから、再発防止対策は実施したものの、今後もより効果的で有効な手段を検討し、継続的な改善を実施していく所存である。

謝辞

労働災害及び放射線災害を防止し、原状復旧の完遂に主体的に取り組んでいただいた原子力エンジニアリング株式会社及びその技術者、並びに放射線管理について助言をいただいた放射線管理部　放射線管理第 2 課に深く感謝の意を表します。

表 1　保管廃棄施設の概要

保管廃棄施設名	廃棄物保管棟・Ⅰ	廃棄物保管棟・Ⅱ	解体分別保管棟
構造	地下 1 階、地上 3 階 鉄筋コンクリート造	地下 1 階、地上 3 階 鉄筋コンクリート造	地下 1 階、地上 2 階 鉄筋コンクリート造
建設年	1979 年	1989 年	1998 年
保管能力 （200L ドラム缶換算）	約 18,000 本	約 23,000 本	約 22,000 本
保管方法	専用のパレット（寸法：縦 130cm、横 130cm、高さ 15cm）に積載し、2 段積から 3 段積で保管	専用のパレット（寸法：縦 130cm、横 130cm、高さ 15cm）に積載し、2 段積から 3 段積で保管	専用のパレット（寸法：縦 130cm、横 130cm、高さ 15cm）に積載し、3 段積から 4 段積で保管

表 2　保管体の仕様

保管体種類	ドラム缶	角型鋼製容器	コンクリート ブロック体
寸法	・200L ドラム缶： φ600×H880mm ・300L ドラム缶： φ690×H1,010mm	W1,000×D1,000 ×H1,000mm	φ1,060×H1,200mm
材質	炭素鋼 またはステンレス鋼	炭素鋼	鉄筋コンクリート
容器重量	・200L ドラム缶： 約 20kg ・300L ドラム缶： 約 50kg	約 450kg	約 2,100kg
主な内容物	・各施設の運転等で発生する雑固体廃棄物 ・処理済み廃棄物	・廃止措置等で発生する大型廃棄物	・第 2 廃棄物処理棟で圧縮処理を行った比較的線量の高い雑固体廃棄物

表３　再配置作業を実施した保管体の個数、重量及び表面線量当量率

保管廃棄施設名	保管体種類	数　量	重量	表面線量当量率
解体分別保管棟	ドラム缶	約 15,000 本	30kg ～ 1,100kg	0.2 μ Sv/h ～ 1,900 μ Sv/h
	角型鋼製容器	約 900 基	500kg ～ 5,000kg	0.2 μ Sv/h ～ 1,600 μ Sv/h
	コンクリート ブロック体	約 400 体	2,300kg ～ 3,000kg	70 μ Sv/h ～ 1,600 μ Sv/h
廃棄物保管棟・Ⅰ	ドラム缶	約 13,000 本	30kg ～ 1,000kg	0.2 μ Sv/h ～ 1,900 μ Sv/h
	角型鋼製容器	約 500 基	500kg ～ 4,500kg	0.2 μ Sv/h ～ 1,000 μ Sv/h
	コンクリート ブロック体	約 400 体	2,300kg ～ 3,000kg	4 μ Sv/h ～ 1,900 μ Sv/h
廃棄物保管棟・Ⅱ	ドラム缶	約 14,000 本	30kg ～ 1,100kg	0.2 μ Sv/h ～ 1,900 μ Sv/h
	角型鋼製容器	約 800 基	500kg ～ 4,000kg	0.2 μ Sv/h ～ 800 μ Sv/h
	コンクリート ブロック体	約 300 体	2,400kg ～ 3,000kg	20 μ Sv/h ～ 1,200 μ Sv/h

表 4 再配置作業手順（1/4）

項　目	作業手順	備考
１．作業前準備	1)作業当日までに、保管体の保管状況、線量分布及び作業手順及び荷崩れの可能性のある範囲を示した作業計画を作成する。	
	2)保管体の保管状況を確認するとともに作業計画に基づき当日の作業内容を確認し、作業者全員で KY/TBM を実施し情報の共有を図る。	・作業場所にある消火栓等の周辺機器を損傷させないよう位置を確認し、必要に応じ保護措置を施す。
	3) 作業に必要な吊具等の資材を準備する。	・各資機材が健全であることを確認する。
	4)現場責任者は、作業者全員の装備の確認を行う。	
	5)使用する重機等（クレーン機能付油圧ショベル、フォークリフトび高所作業車）の始業点検を実施し異常のないことを確認する。	・点検結果は別途記録する。
	6)作業場所及びその周辺の線量当量率を測定し、必要に応じ紙等に線量当量率を記載し掲示する。	・高線量保管体(300μSv/h 以上)及び手の届かない箇所の測定にはﾃﾚﾃｸﾀｰを使用する。
	7)クレーン機能付油圧ショベルの排ガス対策用の排風機を起動する。	・ｸﾚｰﾝ機能付油圧ｼｮﾍﾞﾙのﾏﾌﾗｰにﾌﾚｷｼﾌﾞﾙﾀﾞｸﾄ（排ガス対策）が確実に取り付けられていることを確認する。
２．保管体戻し作業 （パレットを水平にすることにより、フォークリフトにてパレットごと移動できる場合）	1)近傍に壁がある場合は、壁とパレットの間に油圧ジャッキを設置する。	・油圧ジャッキ及びチェーンブロック等での作業時は、落下の可能性がある範囲外に離れること。 （油圧ｼﾞｬｯｷによる押込みｲﾒｰｼﾞ）
	2)油圧ジャッキを操作し、下段のパレットの端付近まで水平方向に押し込む。	
	3)近傍に壁が無い場合は、スリング及びチェーンブロック等で近傍の柱等とパレットを結びつける。	

表 4 再配置作業手順（2/4）

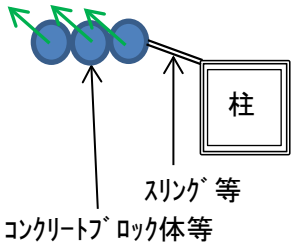
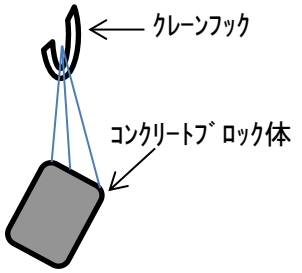
項　目	作業手順	備考
	4) チェーンブロックを操作し、下段のパレットの端付近まで水平方向に引き込む。	（ﾁｪｰﾝﾌﾞﾛｯｸによる引込みｲﾒｰｼﾞ）
3．吊上げ作業 （保管体の荷崩れ等により、フォークリフトでの移動が困難な場合）		（固縛方法のイメージ）
3-1. 落下防止対策 （保管体を吊上げることにより周囲に積載されている保管体が崩れるおそれがある場合に適用）	1) シャックル、ナイロンスリング、レバーブロック等をコンクリートブロック体吊部に設置し、傾きと反対方向にある柱等に固定する。固縛作業には必要に応じ高所作業車を使用する。	傾き方向 
	2) 保管体の損傷を防止するため、作業計画に明示した荷崩れの可能性がある範囲の床等に角材等の緩衝材を設置する。	・作業計画にて予め設置方法を検討し、迅速に作業する。
3-2. 吊上げ	1) 作業計画に示した吊上げ順序に基づき吊上げ対象保管体を選定し、クレーン機能付油圧ショベルを吊上げ対象保管体の近傍に配置する。作業計画に明示した荷崩れの可能性がある範囲には配置しない。	・作業を迅速に行うため、必要に応じ模擬体を使用した訓練を実施する。
	2) 保管体吊部に損傷のないことを確認後、高所作業車を使用し保管体上部に登り、保管体吊具（専用吊具、チェーンブロック等）により玉掛けを行う。傾いている保管体については、傾いた状態で吊上げるため、予めチェーンの長さを調整する等の措置を行う。	（傾いた状態での吊上げｲﾒｰｼﾞ） 

表 4 再配置作業手順（3/4）

項　目	作業手順	備考
	3) 玉掛け後は速やかに保管体から離れる。玉掛け作業者が退避したこと及びクレーンモードであることを確認してから、クレーン機能付油圧ショベルにより吊上げる。その後、周囲の保管体に接触しないよう慎重に後退または旋回する。	・コンクリートブロック体が積載されていたパレットの落下に注意する。
	4) 床面に近い位置まで吊下げる。傾きが大きいものまたは倒れているものについては、所定の場所まで移動させ、一旦床面に横置きし、その後専用吊具等を用いて垂直に立てる。	・傾きが少ないものについては、そのままパレットに積載する。
	5) 準備したパレットに積載後、保管体の外観点検を行い、著しい損傷等がないことを確認する。損傷が確認された場合は、汚染のないことを確認後、補修等の措置を施す。	
	6) 破損したパレットは汚染のないことを確認し、作業に支障のない場所に移動する。	・破損したパレットも原則としてクレーン機能付油圧ショベルにより吊り降ろす。
４．仮置き	1) フォークフトにて、保管体を仮置きエリアにパレットごと順次移動させ、2 段積する。	
５．保管体の積載（再配置）		
5-1　１段目及び２段目の積載（3.5t 又は 5t フォークリフトを使用）	1) 保管体を移動して空いたエリアの奥から順に 3.5t 又は 5t フォークリフトにてパレットごと保管体を 2 段積する。なお、2 段目積載時は、1 段目のコンクリートブロック体上面が 2 段目のパレット下部にあるズレ防止用ガイド内に確実に収まっていることを確認する。	
	2) 2 段積したパレット相互を連結バー及びボルトナットで連結する。	・ボルトナットでのパレットの連結は、パレット相互が接する全ての面に対し行う。

表 4 再配置作業手順（4/4）

項　目	作業手順	備考
5-2　3段目の積載 **5-2-1　5t フォークリフトを使用する場合**	1)2 段積されたコンクリートブロック体上部に 5t フォークリフトにて 3 段目を積載する。なお、3 段目積載時は、2 段目のコンクリートブロック体上面が 3 段目のパレット下部にあるズレ防止用ガイド内に確実に収まっていることを確認する。	
	2)3 段積したパレット相互を連結バー及びボルトナットで連結する。	・ボルトナットでのパレットの連結は、パレット相互が接する全ての面に対し行う。
5-2-2　クレーン機能付油圧ショベルを使用する場合	1) 3.5t フォークリフトにて 3 段目の積載に使用するパレットのみを 2 段積されたコンクリートブロック体上部に積載する。	
	2)段積したパレット相互を、予め連結バー及びボルトナットで連結する。	・ボルトナットでのパレットの連結は、パレット相互が接する全ての面に対し行う。
	3)3 段目に積載するコンクリートブロック体をクレーン機能付油圧ショベルにて吊上げ、予め積載した 3 段目のパレット上に積載する。積載時はパレット上部のズレ防止用ガイド内に確実に収める。	
６．作業終了後の措置	1)作業場所が整理され、資材等の置忘れ等が無いことをチェックリストで確認する。	・必要に応じ、フォークリフト及び高所作業車はバッテリーの充電、油圧ショベルは燃料を補給する。
	2)車両運転者は、車両の終業時点検を行い、点検結果を車両記録に記録する。	
	3)エンジン停止後、約 20 分は換気設備により保管室内の換気を行う。	・被ばく線量管理記録には、不均等被ばく測定用のポケット線量計及び胸部に着用したポケット線量計それぞれの値を記録する。
	4)現場作業責任者は、作業内容及び作業者のポケット線量計の値を取りまとめ、保管体再配置作業日報及び被ばく線量管理記録に記録する。	
	5)作業者全員で次回の作業内容の検討を行う。	・作業内容を変更する必要がある時は、作業計画の見直しを行う。

表 5　再配置作業の実績

施設	階	保管体種類	再配置対象数	平成 23 年度	平成 24 年度	平成 25 年度	平成 26 年度	平成 27 年度
解体分別保管棟	2 階	ドラム缶	約 8,100 本	←				
	1 階	ドラム缶	約 6,100 本			←	→	
		角型鋼製容器	約 250 基					
	地階	ドラム缶	約 1,200 本		←	→		
		角型鋼製容器	約 660 基					
		ｺﾝｸﾘｰﾄﾌﾞﾛｯｸ体	約 380 基					
廃棄物保管棟・Ⅰ	3 階	ドラム缶	約 3,900 本			←	→	
	2 階	ドラム缶	約 4,200 本				← →	
	1 階	ドラム缶	約 4,300 本			←	→	
		角型鋼製容器	約 100 基					
	地階	ドラム缶	約 660 本				←	→
		角型鋼製容器	約 400 基					
		ｺﾝｸﾘｰﾄﾌﾞﾛｯｸ体	約 370 基					
廃棄物保管棟・Ⅱ	3 階	ドラム缶	約 5,700 本		←	→		
	2 階	ドラム缶	約 3,400 本	←	→			
	1 階	ドラム缶	約 3,000 本			←	→	
		角型鋼製容器	約 550 基					
	地階	ドラム缶	約 1,700 本			←	→	
		角型鋼製容器	約 220 基					
		ｺﾝｸﾘｰﾄﾌﾞﾛｯｸ体	約 310 基					

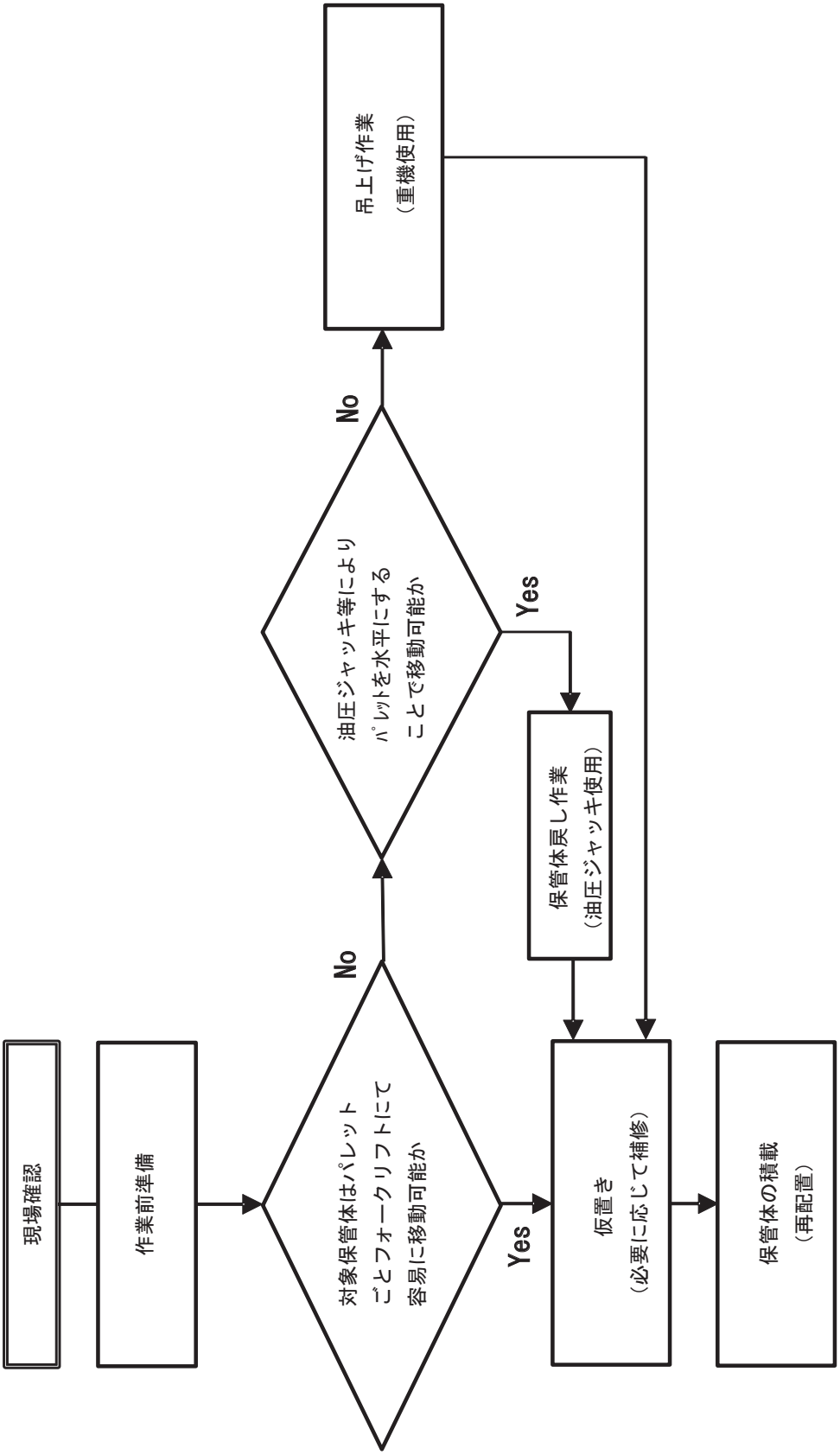

現場確認
作業前準備
対象保管体はパレット
ごとフォークリフトにて
容易に移動可能か
No
Yes
油圧ジャッキ等により
パレットを水平にする
ことで移動可能か
No
Yes
吊上げ作業
（重機使用）
保管体戻し作業
（油圧ジャッキ使用）
仮置き
（必要に応じて補修）
保管体の積載
（再配置）

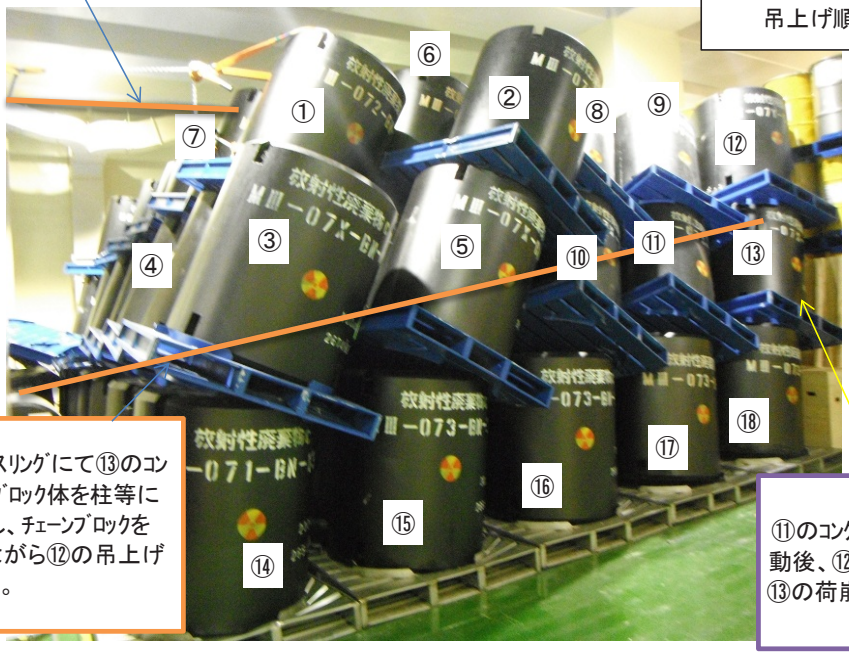
図１ 再配置作業フロー

作　業　計　画

移動順序

⑬のｺﾝｸﾘｰﾄﾌﾞﾛｯｸ体の転倒防止と200ℓドラム缶の保護を目的に緩衝材を設置

①のｺﾝｸﾘｰﾄﾌﾞﾛｯｸ体を移動前に、⑦のｺﾝｸﾘｰﾄﾌﾞﾛｯｸ体をﾅｲﾛﾝｽﾘﾝｸﾞにて柱に固縛する。

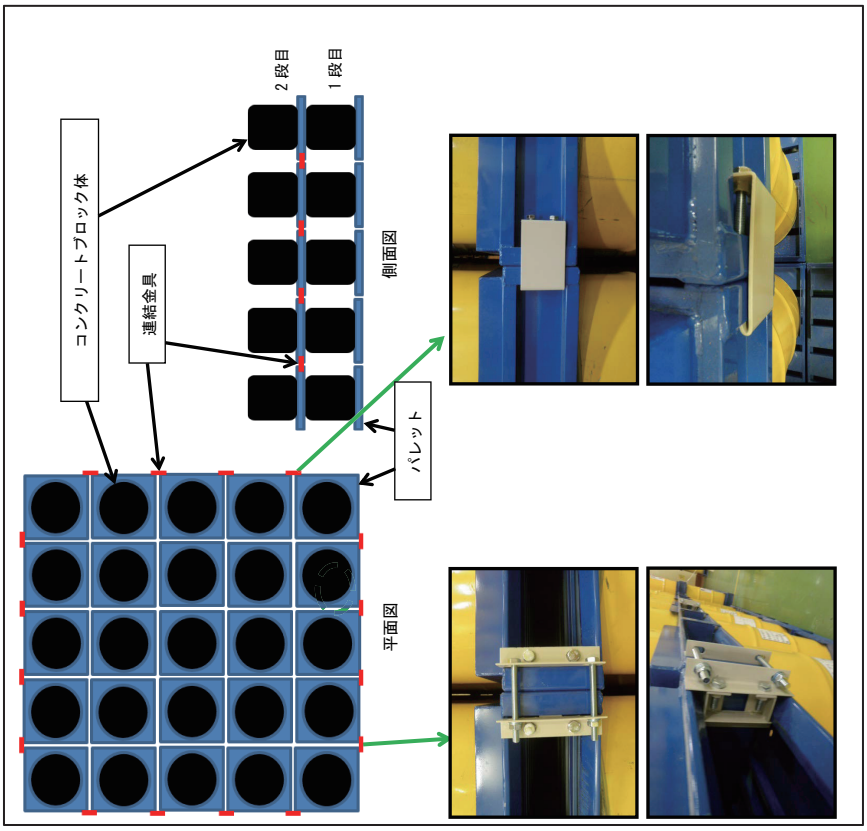


ﾅｲﾛﾝｽﾘﾝｸﾞにて⑬のｺﾝｸﾘｰﾄﾌﾞﾛｯｸ体を柱等に固縛し、ﾁｪｰﾝﾌﾞﾛｯｸを張りながら⑫の吊上げを行う。

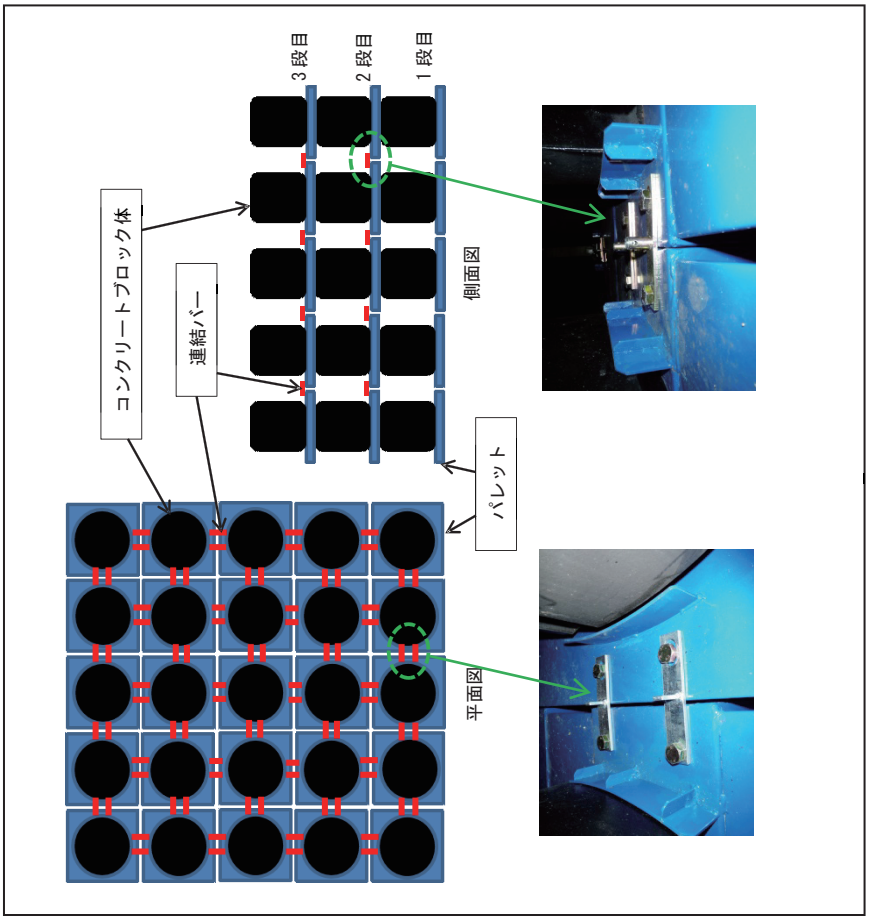
⑪のｺﾝｸﾘｰﾄﾌﾞﾛｯｸを移動後、⑫の吊上げ前に⑬の荷崩れ対策を施す。

備考　⑫のコンクリートブロック体を吊上げることにより⑬のコンクリートブロック体が奥にあるドラム缶に接触する可能性があるため注意する。

図 2 作業計画の一例



（クランプ方式）



（ボルト・ナット方式）

図３ 金具によるパレット連結

写真１　東日本大震災直後の荷崩れ状況（コンクリートブロック体）

写真２　パレットの破損状況

写真３　東日本大震災直後の荷崩れ状況（コンクリートブロック体上部）

写真４　東日本大震災直後の荷崩れ状況（ドラム缶）

写真５　東日本大震災直後の荷崩れ状況（角型鋼製容器）

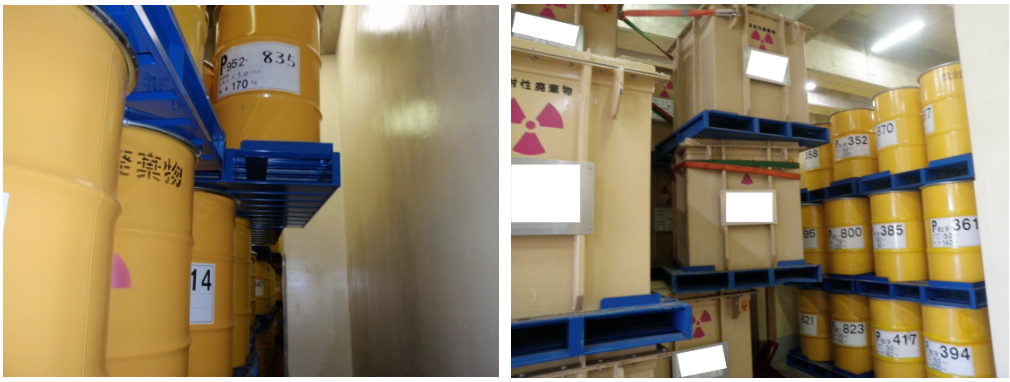


写真６　パレットの横滑りによる位置ずれ

写真７　油圧ジャッキの使用

写真８　クレーン機能付油圧ショベルによる吊上げ

写真 9　排気ガス排出用ダクトの設置

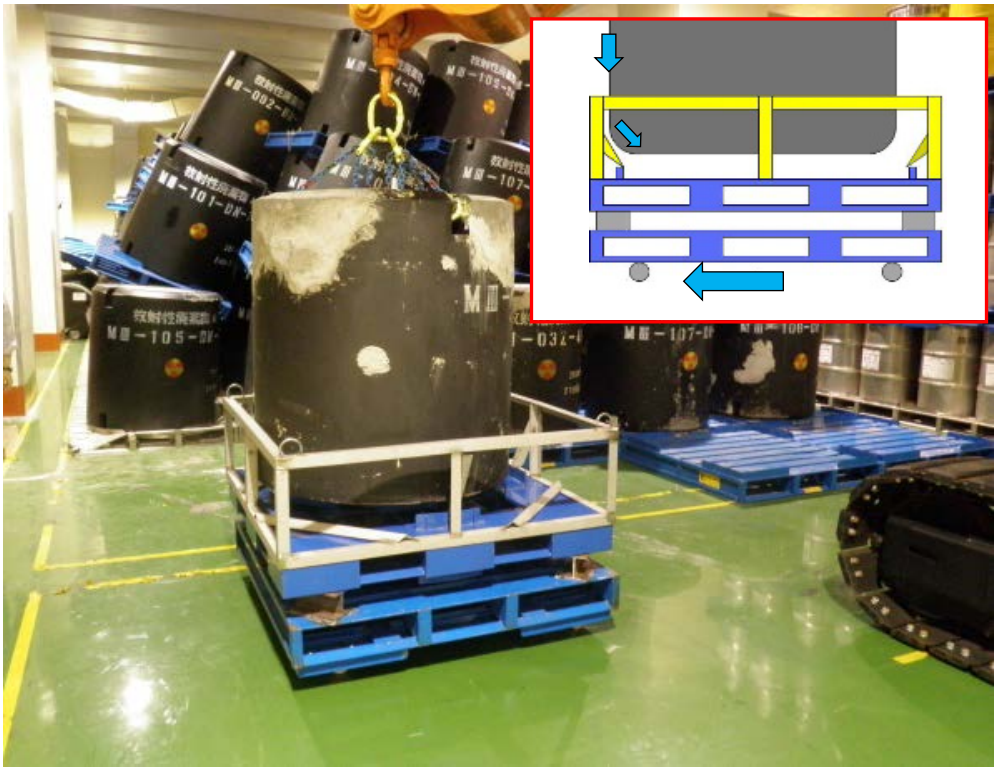


写真 10　パレット積載用治具

写真 11　回転機能付バッテリーフォークリフトの使用状況

写真 12 高所作業車の使用状況

写真 13 モックアップ試験の状況

写真 14 緩衝体

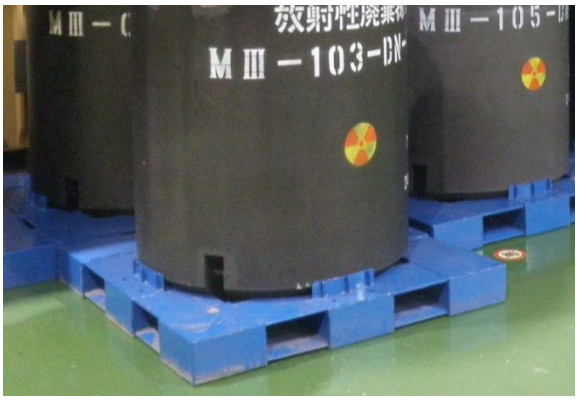
写真 15 遮へい体

写真 16 再配置後の積載状況（コンクリートブロック体）

写真 17 再配置後の積載状況（ドラム缶）

写真 18 再配置後の積載状況（角型鋼製容器）

（旧型パレット）



（新型パレット）

写真 19 パレットの構造変更

This is a blank page.

国際単位系（SI）

表１．SI 基本単位

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

表２．基本単位を用いて表されるSI組立単位の例

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

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

表３．固有の名称と記号で表されるSI組立単位

組立量	SI 組立単位			
	名称	記号	他のSI単位による表し方	SI基本単位による表し方
平面角	ラジアン(b)	rad	1(b)	m/m
立体角	ステラジアン(b)	sr(c)	1(b)	m^2/m^2
周波数	ヘルツ(d)	Hz		s^{-1}
力	ニュートン	N		m kg s^{-2}
圧力，応力	パスカル	Pa	N/m^2	m^{-1} kg s^{-2}
エネルギー，仕事，熱量	ジュール	J	N m	m^2 kg s^{-2}
仕事率，工率，放射束	ワット	W	J/s	m^2 kg s^{-3}
電荷，電気量	クーロン	C		s A
電位差（電圧），起電力	ボルト	V	W/A	m^2 kg s^{-3} A^{-1}
静電容量	ファラド	F	C/V	m^{-2} kg^{-1} s^4 A^2
電気抵抗	オーム	Ω	V/A	m^2 kg s^{-3} A^{-2}
コンダクタンス	ジーメンス	S	A/V	m^{-2} kg^{-1} s^3 A^2
磁束	ウエーバ	Wb	Vs	m^2 kg s^{-2} A^{-1}
磁束密度	テスラ	T	Wb/m^2	kg s^{-2} A^{-1}
インダクタンス	ヘンリー	H	Wb/A	m^2 kg s^{-2} A^{-2}
セルシウス温度	セルシウス度(e)	℃		K
光束	ルーメン	lm	cd sr(c)	cd
照度	ルクス	lx	lm/m^2	m^{-2} cd
放射性核種の放射能(f)	ベクレル(d)	Bq		s^{-1}
吸収線量，比エネルギー分与，カーマ	グレイ	Gy	J/kg	m^2 s^{-2}
線量当量，周辺線量当量，方向性線量当量，個人線量当量	シーベルト(g)	Sv	J/kg	m^2 s^{-2}
酸素活性	カタール	kat		s^{-1} mol

(a)SI接頭語は固有の名称と記号を持つ組立単位と組み合わせても使用できる。しかし接頭語を付した単位はもはやコヒーレントではない。
(b)ラジアンとステラジアンは数字の１に対する単位の特別な名称で、量についての情報をつたえるために使われる。実際には、使用する時には記号rad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、ベクレルは放射性核種の統計的過程についてのみ使用される。
(e)セルシウス度はケルビンの特別な名称で、セルシウス温度を表すために使用される。セルシウス度とケルビンの単位の大きさは同一である。したがって、温度差や温度間隔を表す数値はどちらの単位で表しても同じである。
(f)放射性核種の放射能（activity referred to a radionuclide）は、しばしば誤った用語で"radioactivity"と記される。
(g)単位シーベルト（PV,2002,70,205）についてはCIPM勧告2（CI-2002）を参照。

表４．単位の中に固有の名称と記号を含むSI組立単位の例

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

表５．SI 接頭語

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

表６．SIに属さないが、SIと併用される単位

名称	記号	SI 単位による値
分	min	1 min=60 s
時	h	1 h =60 min=3600 s
日	d	1 d=24 h=86 400 s
度	°	1°=(π/180) rad
分	’	1’=(1/60)°=(π/10 800) rad
秒	”	1”=(1/60)’=(π/648 000) rad
ヘクタール	ha	1 ha=1 hm^2=$10^4$$m^2$
リットル	L, l	1 L=1 l=1 dm^3=$10^3$$cm^3$=$10^{-3}$$m^3$
トン	t	1 t=10^3 kg

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

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

表８．SIに属さないが、SIと併用されるその他の単位

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

表９．固有の名称をもつCGS組立単位

名称	記号	SI 単位で表される数値
エルグ	erg	1 erg=10^{-7} J
ダイン	dyn	1 dyn=10^{-5}N
ポアズ	P	1 P=1 dyn s cm^{-2}=0.1Pa s
ストークス	St	1 St =1cm^2 s^{-1}=$10^{-4}$$m^2$ s^{-1}
スチルブ	sb	1 sb =1cd cm^{-2}=10^4cd m^{-2}
フォト	ph	1 ph=1cd sr cm^{-2} =10^4lx
ガル	Gal	1 Gal =1cm s^{-2}=$10^{-2}$$ms^{-2}$
マクスウエル	Mx	1 Mx = 1G cm^2=10^{-8}Wb
ガウス	G	1 G =1Mx cm^{-2} =10^{-4}T
エルステッド(a)	Oe	1 Oe ≙ (10^3/4π)A m^{-1}

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

表10．SIに属さないその他の単位の例

名称	記号	SI 単位で表される数値
キュリー	Ci	1 Ci=3.7×10^{10}Bq
レントゲン	R	1 R = 2.58×10^{-4}C/kg
ラド	rad	1 rad=1cGy=10^{-2}Gy
レム	rem	1 rem=1 cSv=10^{-2}Sv
ガンマ	γ	1 γ=1 nT=10^{-9}T
フェルミ		1 フェルミ=1 fm=10^{-15}m
メートル系カラット		1 メートル系カラット= 0.2 g = 2×10^{-4}kg
トル	Torr	1 Torr = (101 325/760) Pa
標準大気圧	atm	1 atm = 101 325 Pa
カロリー	cal	1 cal=4.1858J（「15℃」カロリー），4.1868J（「IT」カロリー），4.184J（「熱化学」カロリー）
ミクロン	μ	1 μ =1μm=10^{-6}m

（第8版，2006年）