

平成 23 年 8 月 31 日

日本原燃株式会社

日本原燃（株）六ヶ所低レベル放射性廃棄物埋設センターにおける 低レベル放射性廃棄物の線量評価と今後の対応について

1. 経緯

日本原燃（株）六ヶ所低レベル放射性廃棄物埋設センターでは、均質・均一固化体（濃縮廃液、使用済樹脂等をセメント等を用いてドラム缶に固型化したもの）を埋設対象とする 1 号埋設施設の操業を 1992 年に開始し、充填固化体（金属類、保温材等の固体状廃棄物を分別し必要に応じて切断・圧縮・溶融処理などを行い、ドラム缶に収納した後、セメント系充填材（モルタル）で一体となるように固型化したもの）を埋設対象とする 2 号埋設施設の操業を 2000 年に開始している。それぞれの施設において 200 リットルドラム缶で約 20 万本相当の廃棄物を埋設する許可を得ており、2011 年 3 月末時点にて 1 号埋設施設では 145,275 本、2 号埋設施設では 83,872 本を埋設した。

1、2 号埋設施設に関する廃棄物埋設事業許可申請書（以下、「申請書」という。）では、主要な放射性核種に対する最大放射能濃度と総放射エネルギーを申請書本文に記載し、埋設施設の管理期間内及び管理期間終了以後について、放射線による被ばく線量の評価を行っている。主要な放射性核種の選定は、政令¹で定められた核種（C-14,Co-60,Ni-63,Sr-90,Cs-137, 核種）に加え、埋設施設の覆土²を実施した以降に、埋設施設に起因して発生すると想定される線量評価シナリオを設定し、評価を行い最大の線量を与える核種の線量評価値に対して 1%以上の線量寄与をもたらす核種を選定するという考え方に基いており、11 核種（H-3,C-14,Co-60, Ni-59,Ni-63,Sr-90, Nb-94,Te-99,I-129 Cs-137, 核種）を主要な放射性核種として選定している。

なお、1、2 号埋設施設の操業にあたっては、受け入れる廃棄体中に含まれるこれら 11 核種について、申請書記載の最大放射能濃度と総放射エネルギーを超えないことを法令に基づき確認している。

- 1 1,2 号申請時の「核原料物質、核燃料物質及び原子炉の規制に関する法律施行令第 13 条の九（昭和 62 年 3 月施行、平成 4 年 9 月改正）」で濃度上限値が示されていた核種。平成 20 年 4 月の改正により、ピット処分の濃度上限値の記載は「核燃料物質又は核燃料物質によって汚染された物の第二種廃棄物埋設の事業に関する規則」に移行し、核原料物質、核燃料物質及び原子炉の規制に関する法律施行令からは削除された。
- 2 埋設施設の管理期間内に、埋設施設の上面及び側面を土砂等で締め固めること。

一方、2007年、原子力安全委員会より低レベル放射性固体廃棄物の埋設処分に係る放射能濃度上限値の推奨値が報告され、その中で、余裕深度処分の濃度上限値推奨値に Cl-36 が算定されているが、ピット処分の Cl-36 については、他の核種にくらべデータが少なく現状では不確実性が多いことが、「低レベル放射性固体廃棄物の埋設処分に係る放射能濃度上限値について（平成19年5月21日原子力安全委員会）」に記載された。当時、データが少なかった理由としては、Cl-36 はピット処分では主要な放射性核種ではないこと、また、半減期 30 万年のガンマ線を放出しないベータ線（0.709MeV）放出核種であり、容易に測定できる核種ではなかったことによる。

このため、廃棄物発生者である電気事業者は、原子力安全委員会の報告を踏まえ、実態を把握することを目的に、ピット処分対象廃棄物中の Cl-36 を分析する手法の開発と標準化に取り組み、Cl-36 放射能濃度のデータ取得に着手した。その結果、申請当時と比較して、ピット処分対象廃棄物中に Cl-36 が多く含まれているという知見を得た。

以上より、Cl-36 に係る日本原燃（株）六ヶ所低レベル放射性廃棄物埋設センターの1、2号埋設施設への影響について、この知見に基づき評価した結果を本報告書にまとめる。

なお、現在、Cl-36 は、主に冷却材中に不純物として微量に含まれる安定な塩素（Cl-35）が炉心で放射化[Cl-35(n,)Cl-36]されて生成すると考えている。

1号埋設施設の事業許可を申請した当時は、原子炉施設の構造材材料の主要な組成は考慮していたが、冷却材中の不純物は考慮されておらず、廃棄物中の Cl-36 の総放射エネルギーを約 $1.0 \times 10^3 \text{Bq}$ と評価していたため、主要な放射性核種に選定しなかった。また、2号埋設施設申請時においては、1号埋設施設と同様であるとの考え方で11核種を選定し Cl-36 は主要な放射性核種に選定しなかった。

2. Cl-36 の放射エネルギーについて

(1) 分析手法の開発と分析結果について

電気事業者による Cl-36 の分析手法の開発及び、1 号埋設対象廃棄物と 2 号埋設対象廃棄物に対する分析結果の状況の概要を以下に示す。

- ・ 廃棄物中の Cl-36 に関する分析手法を開発し、その手法に関する妥当性の確認を（独）日本原子力研究開発機構より受けた。
- ・ 1, 2 号埋設施設対象廃棄物の汚染源となる冷却材中の Cl-36 濃度の分析がなされている。分析は、溶解性成分と不溶解性成分に分けて行われており、その結果、溶解性成分において PWR で 10^{-4} Bq/ml、BWR で 10^{-6} Bq/ml 程度の検出がみられた。一方で、不溶解性成分では検出限界値未満であった。この結果に基づき、不溶解性成分による汚染の影響を主に受ける 2 号埋設対象の固体状廃棄物では、1 号埋設対象の濃縮廃液等と比較して、Cl-36 による影響が小さいものと推定された。
- ・ 1 号埋設対象廃棄物である濃縮廃液について分析を実施したところ、有意な検出がみられたため、データの蓄積を図っており（2011 年 6 月末現在で 100 点）、その結果、PWR で $1 \times 10^2 \sim 1 \times 10^6$ Bq/t 程度、BWR で $1 \times 10^1 \sim 1 \times 10^5$ Bq/t 程度の Cl-36 が検出された。
- ・ 2 号埋設対象廃棄物である固体状廃棄物のうち、大半を占める金属廃棄物では Cl-36 は検出されなかった。本知見は、上記の冷却材の分析結果から得られた知見を裏付けるものと評価された。
- ・ なお、固体状廃棄物のうち、特に Co-60 濃度が高い PWR 液体フィルタについても分析を行い、 2.4×10^4 Bq/t 程度の Cl-36 濃度が検出された。
- ・ 東海発電所（GCR）は中性子減速材として炉内に黒鉛を配置しており、黒鉛中に不純物として存在する塩素が放射化され Cl-36 が汚染源となる。東海発電所（GCR）の溶融固化体製作時の液体放射性廃棄物の放出記録から保守的に評価し、 2.0×10^7 Bq の放射エネルギーが 144 本の溶融固化体に含まれる。

以上の知見に基づき、電気事業者は、1 号埋設施設（8 群まで：20 万本相当）、2 号埋設施設（8 群まで：20 万本相当）に対する Cl-36 の総放射エネルギーを設定した。

（添付資料－（1）、（2））

(2) Cl-36 の影響評価のための放射能量等の設定について

電気事業者による Cl-36 の総放射能量等の設定は以下のとおり。

a. 1 号埋設施設

電気事業者は、PWR（溶離処理あり／なし）、BWR（再生あり／なし）にプラントを分類し、濃縮廃液の分析結果からデータの統計処理し、原廃棄物の Cl-36 濃度を設定した。

また、東海発電所（GCR）については、上記の分類とは別に分析データから原廃棄物濃度を設定した。以上より各埋設設備群の放射能量を評価した。

その結果、1号埋設施設においては、1群が $3.7 \times 10^8 \text{Bq}$ 、2群が $2.2 \times 10^8 \text{Bq}$ 、3群が $1.6 \times 10^8 \text{Bq}$ 、4群が $2.0 \times 10^8 \text{Bq}$ 、5群が $3.3 \times 10^8 \text{Bq}$ 、将来埋設分（6～8群）については群毎に $5.4 \times 10^8 \text{Bq}$ として、1～8群の合計で $2.9 \times 10^9 \text{Bq}$ と評価した。

また、最大放射能濃度の評価値は、東海発電所（GCR）の蒸発廃液のセメント固化体で $4.2 \times 10^6 \text{Bq/t}$ であった。

b. 2 号埋設施設

電気事業者は、2号埋設施設対象廃棄物を PWR 液体フィルタ、東海発電所(GCR) の溶融固化体及びその他の固体状廃棄物に分類して評価を行った。

PWR 液体フィルタ（PWR プラントの一次冷却材の浄化及び液体廃棄物の処理のために使用されるフィルタ）は、不溶解性 Co-60 濃度が高い廃棄物として個別に分析を行い $6.5 \times 10^2 \text{Bq/本}$ と評価した。

東海発電所（GCR）から発生した 144 本の溶融固化体については、既に 2 号埋設施設の 3 群に埋設済みであり、日本原子力発電（株）は固化体製作時の液体放射性廃棄物の放出記録から保守的に想定すると $2.0 \times 10^7 \text{Bq}$ の放射能量が 144 本の溶融固化体に含まれる可能性があると評価した。

その他の固体状廃棄物については BWR、PWR の不溶解性の汚染が主体であり、一部の不溶解性 Co-60 濃度が高い廃棄物を除いて Cl-36 の影響は小さいとの分析結果に基づく推定を踏まえ保守的に $2.4 \times 10^1 \text{Bq/本}$ と評価した。

その結果、2号埋設施設においては、1・2群については群毎に $6.0 \times 10^5 \text{Bq}$ 、3群については $2.06 \times 10^7 \text{Bq}$ 、4～8群のある特定の1群のみ $3.9 \times 10^6 \text{Bq}$ 、4～8群のある特定の群以外は $6.0 \times 10^5 \text{Bq}$ として 1～8群の合計で $2.8 \times 10^7 \text{Bq}$ と評価した。

また、最大放射能濃度は、東海発電所（GCR）の溶融固化体（144本）を保守的に $2.4 \times 10^7 \text{Bq/t}$ と評価した。

（添付資料－（3））

3. Cl-36 の影響評価

2項で設定した1号埋設施設及び2号埋設施設に対するCl-36の放射エネルギーに基づき、申請書の添付書類六（ニ線量当量評価）及び添付書類七（ロ安全評価（2）その他の事故等）への影響評価を行った。

なお、評価にあたっては、「放射性廃棄物埋設施設の安全審査の基本的考え方」（昭和63年3月17日原子力安全委員会決定）に基づいて評価を実施した。

(1) 評価条件

a. 1号埋設施設

1号埋設施設のCl-36の放射エネルギーを算定し、その中で最も大きい値となる6群の放射エネルギーを8倍（8群までを想定）した値を施設全体の総放射エネルギー $5.4 \times 10^8 \times 8 = 4.32 \times 10^9 \text{Bq}$ とした。また、最大放射能濃度は、上記放射エネルギーから平均放射能濃度 $7.20 \times 10^4 \text{Bq/t}$ を算定し、申請時の11核種の設定方法²と同様に150倍した $1.08 \times 10^7 \text{Bq/t}$ に設定した。

評価シナリオ、評価モデル及びCl-36以外の評価パラメータは、申請書の添付書類六及び添付書類七と同じとし、Cl-36固有の評価パラメータは、申請時の主要な放射性核種の選定評価に使用した評価パラメータを用いた。

- 2 既申請時の政令濃度上限値と分析結果から算定した平均放射能濃度の差が、最も小さい核種であるNi-63（150倍）に合わせて、全ての核種について平均放射能濃度を150倍して設定した。

（添付資料一（4））

b. 2号埋設施設

2号埋設施設のCl-36の放射エネルギーを算定し、その中で最も大きい値となる3群と4群の合計放射エネルギーを4倍（8群までを想定）した値を施設全体の総放射エネルギー（ $6.0 \times 10^5 \times 2 + 3.3 \times 10^6 + 2.0 \times 10^7$ ） $\times 4 = 9.80 \times 10^7 \text{Bq}$ とした。

また、最大放射能濃度は、上記放射エネルギーから平均放射能濃度 $1.63 \times 10^3 \text{Bq/t}$ を算定し、申請時の11核種の設定方法³と同様に600倍した $9.80 \times 10^5 \text{Bq/t}$ に設定した。

ただし、影響評価に際しては、東海発電所（GCR）の溶融固化体を保守的に評価した $2.4 \times 10^7 \text{Bq/t}$ にて実施する。

3 2号埋設対象廃棄物は1号埋設対象廃棄物に比べ放射能濃度分布幅が広いため既申請時の政令濃度上限値と分析結果から算定した平均放射能濃度の差が、2番目に小さい核種であるCo-60（600倍）に合わせて、150倍で政令濃度上限値にほぼ達する核種（Ni-63、核種、Ni-63と同じ比率になるNi-59）を除いた8核種について平均放射能濃度を600倍して設定した。

（添付資料－（5））

評価シナリオ、評価モデル及びCl-36以外の評価パラメータは1号埋設施設と同様に申請書の添付書類六及び添付書類七と同じとし、Cl-36固有の評価パラメータは、申請時の主要な放射性核種の選定評価に使用した評価パラメータを用いた。

(2) 評価結果

埋設施設の操業中におけるCl-36の影響については、放射性廃棄物は容器（ドラム缶）に封入されており、飛散のおそれがないこと及びCl-36はベータ線核種であり、モルタル、ドラム缶で十分遮へいされることから、放射線業務従事者への被ばくの観点では問題がない。

また、管理期間内における平常時評価及び事故時評価においてはCl-36の影響は小さく問題とはならない。

管理期間終了以後及び事故時における線量評価結果を以下に示す。

a. 1号埋設施設について

1号埋設施設全体（8群まで：20万本相当）での線量評価を実施した結果、Cl-36は一般的と考えられる事象の「廃棄物埋設地近傍の沢水の飲用による内部被ばく」及び「廃棄物埋設地近傍の沢水を用いて生産する農畜産物の摂取による内部被ばく」、発生頻度が小さいと考えられる事象の「廃棄物埋設地又はその近傍における井戸水の飲用による内部被ばく」の3つの経路で主要な放射性核種に相当し、そのうち「廃棄物埋設地近傍の沢水を用いて生産する農畜産物の摂取による内部被ばく（農産物）」

「廃棄物埋設地又はその近傍における井戸水の飲用による内部被ばく」の2つの経路でわずかではあるが、CI-36の線量寄与によって申請書の値を上回る結果となった。

しかしながら、申請書の一般的と考えられる事象の最大値(約 $1.5\mu\text{Sv}/\text{年}$)及び発生頻度が小さいと考えられる事象の最大値(約 $14\mu\text{Sv}/\text{年}$)を超えるおそれはなく、それぞれ「放射性廃棄物埋設施設の安全審査の基本的考え方」の解説に示される「被ばく管理の観点からは管理することを必要としない低い線量(めやす $10\mu\text{Sv}/\text{年}$)を超えないこと」、「 $10\mu\text{Sv}/\text{年}$ を著しく超えないこと」を確認した。

その他の事故等においてCI-36に係る事象の「廃棄体の取扱いに伴う事故」については、申請書の評価値(約 $9.0\times 10^{-5}\text{mSv}$)を超えるおそれがなく、「放射性廃棄物埋設施設の安全審査の基本的考え方」の解説に示される「一般公衆に対して、著しい放射線被ばくのリスクを与えないこと」の具体的な線量($5\text{mSv}/\text{事故}$)を下まわることを確認した。

(添付資料一 (4))

b. 2号埋設施設について

2号埋設施設全体(8群まで:20万本相当)での線量評価を実施した結果、CI-36は「廃棄物埋設地近傍の沢水を用いて生産する農畜産物の摂取による内部被ばく」の経路で主要な放射性核種に相当するが、当該事象の線量の上昇はなかった。

このため、申請書の一般的と考えられる事象の最大値($0.44\mu\text{Sv}/\text{年}$)及び発生頻度が小さいと考えられる事象の最大値(約 $14\mu\text{Sv}/\text{年}$)を超えるおそれはなく、それぞれ「放射性廃棄物埋設施設の安全審査の基本的考え方」の解説に示される「被ばく管理の観点からは管理することを必要としない低い線量(めやす $10\mu\text{Sv}/\text{年}$)を超えないこと」、「 $10\mu\text{Sv}/\text{年}$ を著しく超えないこと」を確認した。

その他の事故等においてCI-36に係る事象の「廃棄体の取扱いに伴う事故」については、申請書の評価値(約 $1.9\times 10^{-3}\text{mSv}$)を超えるおそれがなく、「放射性廃棄物埋設施設の安全審査の基本的考え方」の解説に示される「一般公衆に対して、著しい放射線被ばくのリスクを与えないこと」の具体的な線量($5\text{mSv}/\text{事故}$)を下まわることを確認した。

(添付資料一 (5))

4. 今後の対応について

1 号埋設施設及び 2 号埋設施設に埋設される放射性廃棄物中の Cl-36 は 1989 年の埋設事業許可申請及び 1997 年の埋設事業変更許可申請の際に想定していた放射エネルギーよりも、多く含まれていることが、実測に基づく評価の結果から新知見として判明した。

しかし、Cl-36 による申請書の管理期間内における線量評価への影響はなく、管理期間終了以後の線量評価への影響も小さいことから、今後の対応を以下のとおりとする。

(1) 1,2 号埋設施設の操業の継続について

Cl-36 の影響について、放射性廃棄物は容器（ドラム缶）に封入されていること及び Cl-36 はベータ線核種であることから、操業時における放射線業務従事者への被ばくの観点では問題がないこと、また、管理期間内における一般公衆の線量は無視できるほど小さく、事故時の線量も問題とはならないことから、操業中の安全は確保されている。

また、管理期間終了以後における一般公衆の線量は、「被ばく管理の観点からは管理することを必要としない低い線量(めやす $10 \mu\text{Sv}/\text{年}$) を超えないこと」「 $10 \mu\text{Sv}/\text{年}$ を著しく超えないこと」を満足しており、現状の埋設施設の基本設計及び基本設計方針の変更は必要なく、よって埋設施設の変更は必要としない。

以上のことから、六ヶ所低レベル放射性廃棄物埋設センターは現行のとおりに操業を継続する。

(2) 1 号埋設施設における Cl-36 の管理について

Cl-36 の影響については、管理期間終了以後における一般公衆の線量は、申請書において評価しているシナリオの中で最大の線量に影響を与えないが、最大の線量となる評価シナリオ以外の低い線量の評価シナリオでは一部、評価した線量を超えるという結果であった。

このため、Cl-36 の影響が、今回の評価結果を超えないことを Cl-36 の放射エネルギー等にて確認していくこととし、今後の廃棄物の受入れにあたっては、既埋設分も含めた 1 号埋設施設全体として、Cl-36 の総放射エネルギー及び最大放射能濃度の管理値を設定し、廃棄物発生者である電気事業者による放射性廃棄物（固化体）中の Cl-36 放射エネルギーの評価値を基に、定期的に確認する。

(添付資料一 (6))

(3) 2号埋設施設における Cl-36 の管理について

Cl-36 の影響については、申請書における線量評価に影響を与えないとの結果であった。

しかし、東海発電所（GCR）の廃棄体と PWR 液体フィルタの受け入れ本数を制限しないと、今回の放射エネルギーの設定に影響を与えることになる。

このため、2号埋設施設における Cl-36 の今回の放射エネルギーの設定に影響を与えないように、東海発電所（GCR）の廃棄体の受け入れ制限及び PWR 液体フィルタの本数管理を実施する。

上記の管理を行なうことで、Cl-36 の放射エネルギー・濃度の把握や定期的な線量の確認は必要ない。

(添付資料－ (6))

(4) 埋設事業に係る新知見の反映

埋設事業は長期にわたる事業であり、今後も同様の知見等が得られる可能性があることから、得られた新知見の評価、反映については、今後も継続して取り組んでいく。

5. 添付資料

- (1) ピット処分対象廃棄物の Cl-36 分析手法および分析結果について
- (2) 1号・2号埋設施設の埋設実績
- (3) ピット処分対象廃棄物の Cl-36 放射エネルギーの評価について
- (4) 1号埋設施設における Cl-36 の線量評価結果について
- (5) 2号埋設施設における Cl-36 の線量評価結果について
- (6) 埋設施設における Cl-36 の管理について

以 上

ピット処分対象廃棄物の Cl-36 分析手法および分析結果について

1 はじめに

2007年、原子力安全委員会より低レベル放射性固体廃棄物の埋設処分に係る放射能濃度上限値の推奨値が報告され、その中で、余裕深度処分の濃度上限値推奨値に Cl-36 が算定されているが、ピット処分の Cl-36 については、他の核種にくらべデータが少なく現状では不確実性が多いことが、「低レベル放射性固体廃棄物の埋設処分に係る放射能濃度上限値について（平成19年5月21日原子力安全委員会）」に記載された¹⁾。この報告をきっかけとして、廃棄物発生者である電気事業者は、ピット処分対象廃棄物に対する Cl-36 分析手法を有していなかったことから、分析手法の開発を行った。以降、電気事業者は、開発した手法に基づき濃縮廃液に関する分析データの蓄積を図るとともに、2009年度以降、固体状廃棄物に関する影響の検討を行っている。

以下に、その分析手法および分析結果を取りまとめた。

2 分析手法

2.1 分析手法の概要

Cl-36は半減期30万年で β 線を放出せず、 γ 線 (0.709MeV) のみを放出する核種であり、Co-60のように容易に放射エネルギーを定量することができないため、その分析に際しては、分離処理により妨害となる核種を取り除く必要がある。

発電所にある既存の装置で分析することが可能な手法の開発を目指し、特に低エネルギーの β 線を放出し、かつ、 γ 線を放出しないもしくは放出率が低い核種に関する分離手法を重点的に検討した。

濃縮廃液中の Cl-36 の分析は、塩化物イオンを蒸留分離し、専用の回収液に捕集後、塩化銀沈殿分離法等により精製操作を行う。蒸留分離装置の概要を図1-1に示す。

β 線放出核種混入の有無と化学回収率を確認後、液体シンチレーションカウンタ等を用いて測定するが、測定に際しては、合わせて、 γ 線を放出する妨害核種の混入有無を確認する手順とした。

なお、固体状廃棄物の分析においては、対象となる廃棄物の汚染放射能を剥離し、溶液化する前処理が必要となる。前処理方法は、基本的に既申請11核種の分析手法と同様であるが、試料の溶解時に比放射能を下げる塩酸は用いず、その他の酸により溶液化して行った。

開発した分析手法を全電気事業者に展開することにより、ピット処分対象廃棄物に含まれる Cl-36 の実態把握が可能となった。

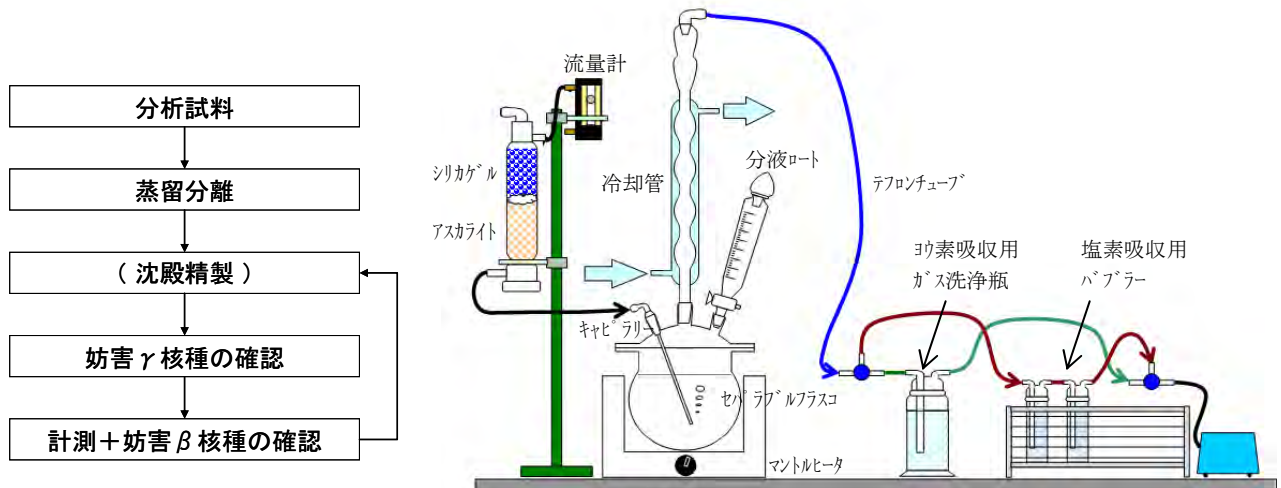


図1-1 Cl-36分析フローと蒸留分離装置の概要

2.2 分析手法の妥当性

分析手法の妥当性は、(独)日本原子力研究開発機構により確認を受けている。

具体的には、開発した電気事業者の分析手法について、塩素の移行や妨害核種の除去などの観点からレビューを受け、濃縮廃液中のCl-36を定量分析する方法として適切であるとの結論を得ている。

3 分析結果

3.1 冷却材の分析結果

1,2号埋設対象廃棄物の汚染源は一次系冷却材であるため、その性状把握を目的として冷却材の分析を行った。分析に際しては、塩素が冷却材中で塩化物イオン (Cl⁻) の形で溶存していると推定し、その確認のため、0.45 μmのろ過フィルタを用いて不溶性成分と溶解性成分に分けてCl-36の分析を行った。表1-1に分析結果を示す。

分析の結果、溶解性のCl-36が検出されたが、不溶性のCl-36は検出されなかった。これにより、冷却材中の塩素は主に溶解性であることが確認された。

検出されたCl-36の濃度 (溶解性) は、BWRで10⁻⁶ Bq/ml程度であるのに対し、PWRでは10⁻⁴ Bq/ml程度と二桁程度高い結果となった。この一因としては、PWRでは冷却材中にケミカルシムとしてほう素等を添加しているため、化学体積制御系の樹脂の塩素除去率が低くなっていることにより、冷却材中のCl-36の濃度が高くなっていることが挙げられる。

表1-1 冷却材中のCl-36の分析結果

採取元		分析結果[Bq/ml]		
		Cl-36		Co-60
		不溶解性	溶解性	不溶解性
PWR	大飯 2号機	$< 2.8 \times 10^{-5}$	2.0×10^{-4}	4.0×10^{-2}
	大飯 3号機	$< 3.6 \times 10^{-5}$	3.8×10^{-4}	5.6×10^{-2}
BWR	福島第一 1号機	$< 2.6 \times 10^{-7}$	$< 5.5 \times 10^{-7}$	2.5×10^{-1}
	福島第一 2号機	$< 2.4 \times 10^{-7}$	4.2×10^{-6}	7.4×10^{-2}
	福島第一 3号機	$< 2.8 \times 10^{-7}$	5.6×10^{-6}	1.3×10^{-1}
	福島第二 1号機	$< 5.0 \times 10^{-8}$	4.6×10^{-6}	1.2×10^{-1}
	福島第二 2号機	$< 6.4 \times 10^{-8}$	5.5×10^{-6}	2.5×10^{-1}

3.2 1号埋設対象廃棄物（濃縮廃液）に関する分析結果

電気事業者は、1号埋設対象廃棄物中に含まれるCl-36の実態を把握することを目的として、代表的な対象廃棄物である濃縮廃液の分析を実施した。なお、分析においては、他の申請核種と同様に、固型化处理直近のタンク等から濃縮廃液を採取し、試料とした。

2011年6月現在、PWR 52サンプル、BWR 47サンプル、GCR 1サンプルの計100サンプルの分析結果が得られている。（表1-2参照）

なお、100サンプルのうち、75サンプルが2004年以降に発生した廃液を分析したものである。

分析結果を図1-2に示す。PWRでは、Cl-36濃度が $1 \times 10^2 \sim 1 \times 10^6$ Bq/t程度、BWRでは $1 \times 10^1 \sim 1 \times 10^5$ Bq/t程度に分布している。

PWRプラントでは、美浜、高浜1,2号と大飯1,2号が $1 \times 10^4 \sim 1 \times 10^6$ Bq/t程度と比較的高く、それ以外のプラントでは $1 \times 10^2 \sim 1 \times 10^4$ Bq/t程度の範囲に分布している。

美浜、高浜1,2号及び大飯1,2号では、使用済樹脂の処理（溶離処理）を行っており、使用済樹脂から溶出する濃度の高いCl-36を含む廃液の混入により、濃縮廃液中のCl-36の濃度が高くなることがわかっているため、放射エネルギーの評価においては、その影響を考慮するためにプラント分類しデータ処理を実施することが必要であると考えられる。（表1-3参照。）

Cl-36は、主に冷却材の不純物として存在する塩素（Cl-35）が炉心で放射化[Cl-35(n,)Cl-36]して生成するものと推定している。冷却材中の塩素濃度は、炉内構造物の腐食低減対策の観点から管理されているため、生成されるCl-36濃度の変動は小さいものと考えられるが、前述のように濃縮廃液中のCl-36濃度は、プラント分類毎に見れば、2桁程度のバラツキが見られる。この要因を表1-4の～ に示す。

なお、溶離処理ありのプラントの場合は、年度あたりの溶離処理回数が、濃縮廃液中のCl-36濃度の変動要因となり得る。

一方、BWRでは、福島第一と東海第二で若干高い傾向がある。

これらのプラントでは、復水浄化系樹脂の薬品再生を行っているため、復水系に移行したCl-36が濃縮廃液に移行する可能性がある。復水系への移行率は小さいが、イオン交換反応により、復水浄化系樹脂に蓄積することも考えられ、放射エネルギーの評価においては、プラント分類してデータを整理することが必要である。（表1-3参照。）

BWRにおいて再生あり／なしでプラント分類した場合、データのバラツキは、敦賀1号の2点を除くと1桁程度であり、バラツキの要因としては、表1-4のとが考えられる。敦賀1号の2点のデータが、他に比べてかなり低い値になっている原因として、長期定期検査中（シュラウド交換時）に発生したCl-36濃度の低い廃液のみが濃縮されたためと推定される。

なお、東海発電所（GCR）について、1サンプルの分析結果が得られており、 $3.5 \times 10^5 \text{Bq/t}$ となっている。

表 1-2 濃縮廃液中 Cl-36 濃度分析データの取得状況

		2011年6月末	
		溶離処理あり	溶離処理なし
PWR	プラント分類		
	データ点数	18	34
	小計	52	
BWR	プラント分類	再生あり	再生なし
	データ点数	26	21
	小計	47	
GCR	データ点数	1	
	小計	1	
合計		100	

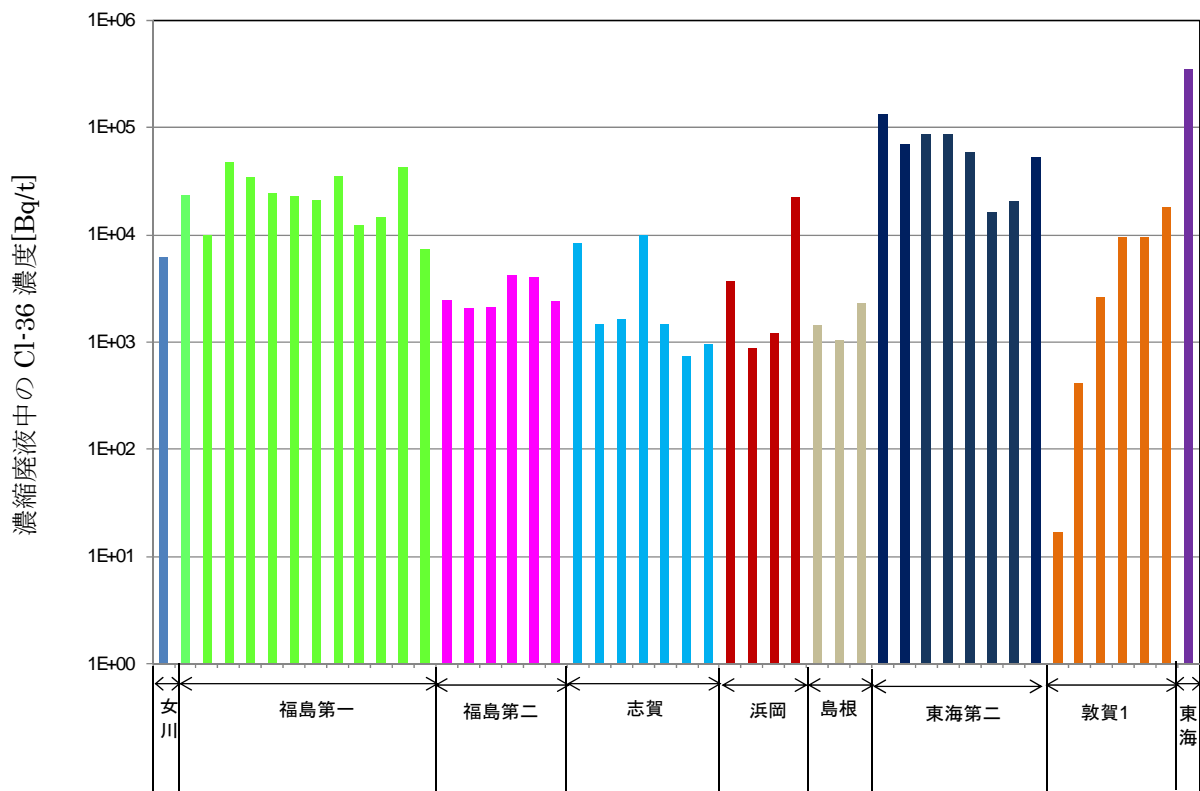
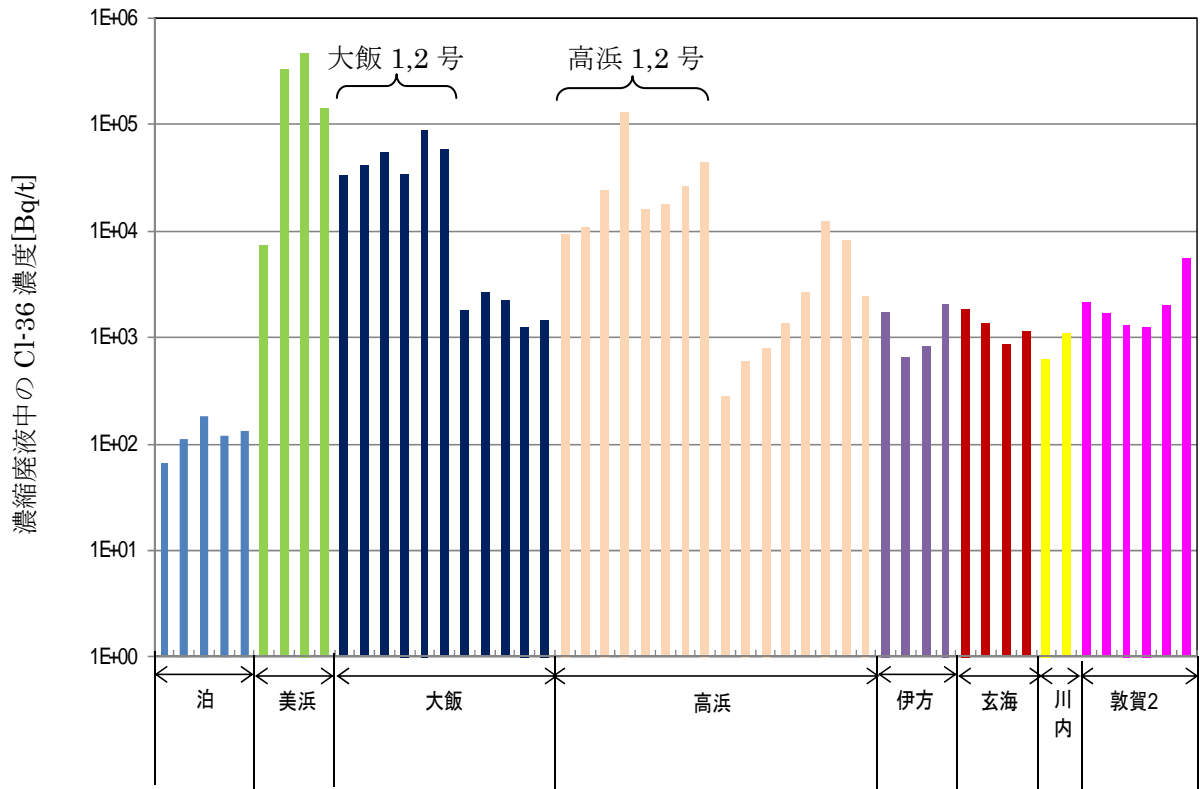


図1-2 濃縮廃液中のCl-36分析結果 (上 : PWR, 下 : BWR+GCR)

表 1-3 PWR/BWR プラント分類

発電所 (BWR)	号機	再生あり	再生なし
女川	1	—	
	2	—	
	3	—	
東通	1	—	
福島第一	1		—
	2		—
	3		—
	4		—
	5		—
	6		—
福島第二	1	—	
	2	—	
	3	—	
	4	—	
柏崎刈羽	1	—	
	2	—	
	3	—	
	4	—	
	5	—	
	6	—	
	7	—	
志賀	1	—	
	2	—	
浜岡	1	—	
	2	—	
	3	—	
	4	—	
	5	—	
島根	1	—	
	2	—	
	3	—	
東海第二	-		—
敦賀	1		—

発電所 (PWR)	号機	溶離処理あり	溶離処理なし
泊	1	—	
	2	—	
	3	—	
美浜	1		—
	2		—
	3		—
大飯	1		—
	2		—
	3	—	
	4	—	
高浜	1		—
	2		—
	3	—	
	4	—	
伊方	1	—	
	2	—	
	3	—	
玄海	1	—	
	2	—	
	3	—	
	4	—	
川内	1	—	
	2	—	
敦賀	2	—	

注：東海発電所（GCR）については上記の分類に該当しない。

表 1-4 濃縮廃液中の Cl-36 の主な変動要因

	変動要因	解説
	溶離処理のあり／なし	<ul style="list-style-type: none"> ・ PWR の使用済樹脂の処理 (溶離処理) を行うプラントでは、使用済樹脂から溶出する濃度の高い Cl-36 を含む廃液の混入により、濃縮廃液中の Cl-36 の濃度が高くなる。 ・ 溶離処理回数／年度の違いにより濃縮廃液中の Cl-36 濃度変動する。
	復水浄化系樹脂再生のあり／なし	<ul style="list-style-type: none"> ・ BWR の復水浄化系樹脂の薬品再生を行うプラントでは、樹脂に蓄積にしていた Cl-36 が濃縮廃液に移行し、濃縮廃液中の Cl-36 の濃度が高くなる。
	廃液蒸発装置における濃縮倍率	<ul style="list-style-type: none"> ・ PWR の一次系廃液の濃縮は、廃液に含まれるホウ素濃度が約 20,000ppm となるまで行っている。 ・ 濃縮廃液中の Cl-36 濃度は、廃液中のホウ素濃度に依存する。サイクル初期のホウ素濃度が約 2,000ppm、サイクル末期は約 100ppm であることから、廃液中のホウ素濃度は、10～200 倍程度になると想定され、Cl-36 濃度も同様と推定される。
	廃液の発生量	<ul style="list-style-type: none"> ・ Cl-36 を含む廃液 (主な機器ドレン、床ドレン等) の発生量は、ほぼ一定であると推定するが、Cl-36 を含まない廃液の発生量は、定期検査の工事内容等に依存する。
	樹脂の交換頻度	<ul style="list-style-type: none"> ・ 樹脂の交換頻度が高いほど廃液中の Cl-36 濃度は低くなると考えられる。 ・ 電力間において交換頻度の差異がある。

3.3 2号埋設対象廃棄物 (雑固体廃棄物) に関する分析結果

3.3.1 固体状廃棄物に関する分析結果

固体状廃棄物の代表廃棄物として一次冷却材に接しCo-60濃度が比較的高い廃棄物を選定 (PWR : 1サンプル、 BWR : 2サンプル) し、分析を行った。分析の結果は表1-5に示すとおりであり、いずれも検出限界値未満であった。

2号埋設対象の固体状廃棄物は、不溶解性の汚染が主体と考えられるため、溶解性であるCl-36は検出されなかったものとする。

表1-5 固体状廃棄物のCl-36分析結果

発電所		試料名	分析結果 (Bq/t)	
			Cl-36	Co-60
PWR	大飯	原子炉余熱除去冷却系配管	$< 1.2 \times 10^2$	3.6×10^9
BWR	福島第一	冷却材冷却浄化系配管	$< 1.7 \times 10^2$	5.3×10^9
	福島第二	原子炉計装系配管	$< 5.1 \times 10^2$	4.2×10^9

3.3.2 PWR液体フィルタに関する分析結果

2号埋設対象の固体状廃棄物の中でも特に放射能濃度が高い廃棄物であるPWRの液体フィルタ（一次冷却材の浄化および液体廃棄物の処理のために使用されるフィルタ）のエレメント部について分析を行った。その結果は表1-6に示すとおりであり、最大で 2.4×10^4 Bq/tのCl-36が検出された。

PWR液体フィルタは、エレメント内に冷却材を含んでいるため、Cl-36が検出される可能性はあるが、冷却材中のCl-36の濃度に比べて高い結果となっており、クラッド中に存在するごく微量のCl-36が捕集、蓄積された可能性がある。

表1-6 PWR液体フィルタのCl-36分析結果

発電所	分析結果 (Bq/t)	
	Cl-36	Co-60
大飯 1号機	2.4×10^4	1.2×10^{12}
大飯 2号機	1.1×10^4	6.1×10^{11}
大飯 4号機	$< 4.2 \times 10^3$	1.4×10^{11}

【参考】既許可申請書^[2]のCo-60に関する最大放射能濃度： 1.11×10^{13} Bq/t

3.3.3 東海発電所（GCR）溶融固化体に関する分析結果

東海発電所（GCR）は中性子減速材として炉内に黒鉛を配置している。溶融固化体中のCl-36は、減速材の黒鉛中に不純物として存在する塩素が放射化され、そのCl-36が配管等の機器に付着し、この雑固体廃棄物を溶融処理することにより、一部が溶融体中に残存するものと想定している。

東海発電所（GCR）から発生した144本の溶融固化体については、既に2号埋設施設の3群に埋設済みであるが、固化体製作時の液体放射性廃棄物の放出記録から保守的に想定すると、 2.0×10^7 Bqの放射エネルギーが144本の溶融固化体に含まれる可能性がある。（添付資料－3参照）

4 まとめ

2007年に第一種埋設と第二種埋設の区分値が議論されたことに端を発し、検討を開始したピット処分に関するCl-36の分析手法および分析結果を、以下にまとめる。

- ・電気事業者は、Cl-36に関する分析手法を開発し、その手法に関する妥当性の確認を（独）日本原子力研究開発機構に受けている。
- ・原子炉一次冷却材中のCl-36について、溶解性成分と不溶解性成分に分けて分析を行っており、その結果、3.1項に示すとおり、溶解性成分についてはPWRで 10^{-4} Bq/ml、BWRで 10^{-6} Bq/ml程度のCl-36濃度が検出された。一方で、不溶解性成分については検出限界値未満であった。この結果に基づき、不溶解性成分による汚染の影響を主に受ける2号埋設対象の固体状廃棄物では、1号埋設対象の濃縮廃液等と比較して、Cl-36による影響が小さいものと推定している。
- ・1号埋設対象廃棄物である濃縮廃液について分析を実施したところ、有意な検出がみられたことから、これまでデータの蓄積を図っており（2011年6月末現在で100点）、分析の結果、図1-2に示すとおり、PWRで $1 \times 10^2 \sim 1 \times 10^6$ Bq/t程度、BWRで $1 \times 10^1 \sim 1 \times 10^5$ Bq/t程度のCl-36濃度が検出された。
- ・PWRでは、使用済樹脂の溶離処理ありのプラントは、図1-2に示すとおり $1 \times 10^4 \sim 1 \times 10^6$ Bq/t程度と比較的高く、溶離処理なしのプラントは、 $1 \times 10^2 \sim 1 \times 10^4$ Bq/t程度の範囲に分布している。一方、BWRでは、樹脂の再生ありのプラントは、図1-2に示すとおり、敦賀1号の2点のデータを除くと、 $1 \times 10^3 \sim 1 \times 10^5$ 程度と比較的高く、再生なしのプラントは、 $1 \times 10^3 \sim 1 \times 10^4$ Bq/t程度の範囲に分布している。また、3.2項に示すとおり、東海発電所（GCR）について、 3.5×10^5 Bq/tとなる。
- ・2号埋設対象廃棄物である固体状廃棄物のうち、比較的Co-60濃度が高い金属廃棄物のCl-36を分析したが、結果としてCl-36は検出されなかった。本知見は上記の冷却材の分析結果から得られた知見を裏付けるものと評価している。
- ・固体状廃棄物のうち、特にCo-60濃度が高いPWR液体フィルタについても分析を行い、表1-6に示すとおり 2.4×10^4 Bq/t程度のCl-36濃度が検出された。
- ・東海発電所（GCR）は中性子減速材として炉内に黒鉛を配置しており、黒鉛中に不純物として存在する塩素が放射化されCl-36が汚染源となる。東海発電所（GCR）の溶融固化体製作時の液体放射性廃棄物の放出記録から保守的に評価し、 2.0×10^7 Bqの放射エネルギーが144本の溶融固化体に含まれる。

参考文献：

- [1] 「低レベル放射性固体廃棄物の埋設処分に係る放射能濃度上限値について」（原子力安全委員会、平成19年5月）
- [2] 「六ヶ所低レベル放射性廃棄物埋設センター 廃棄物埋設事業変更許可申請書」（日本原燃株式会社、平成9年9月）

1号・2号埋設施設の埋設実績

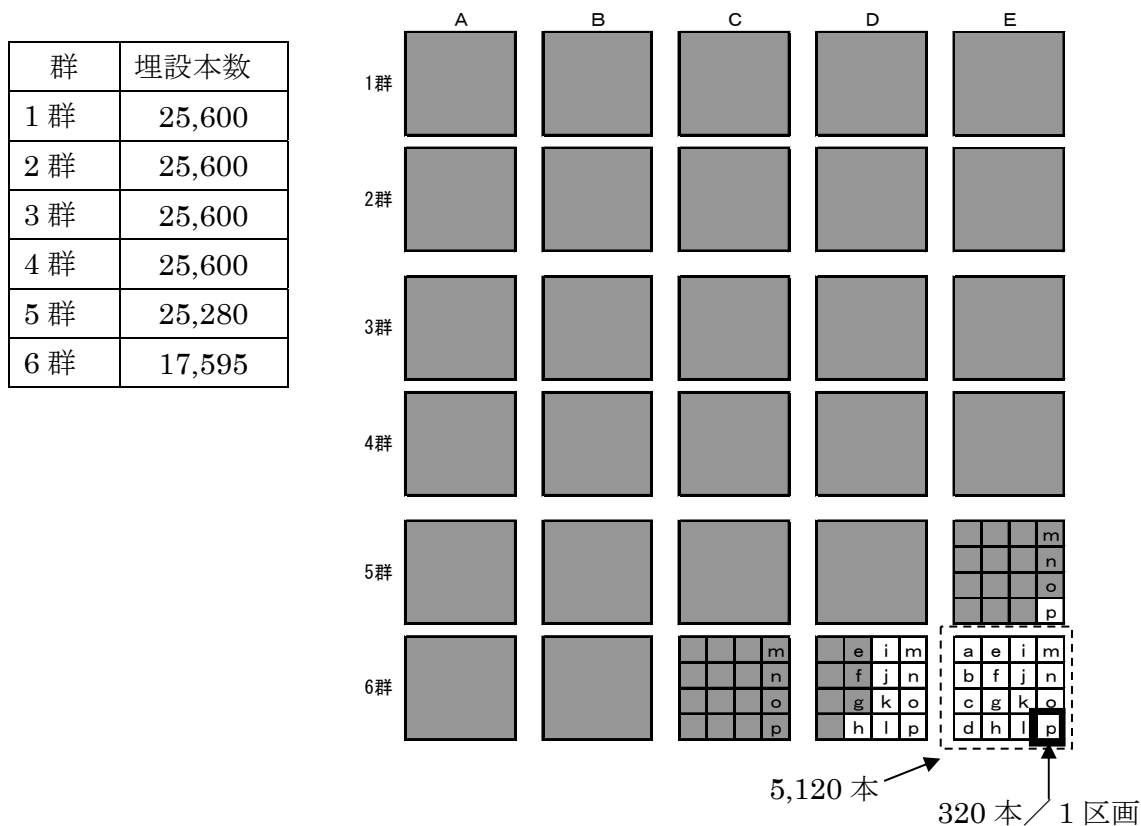


図 2-1 1号埋設施設 (2011年3月末までの埋設状況)

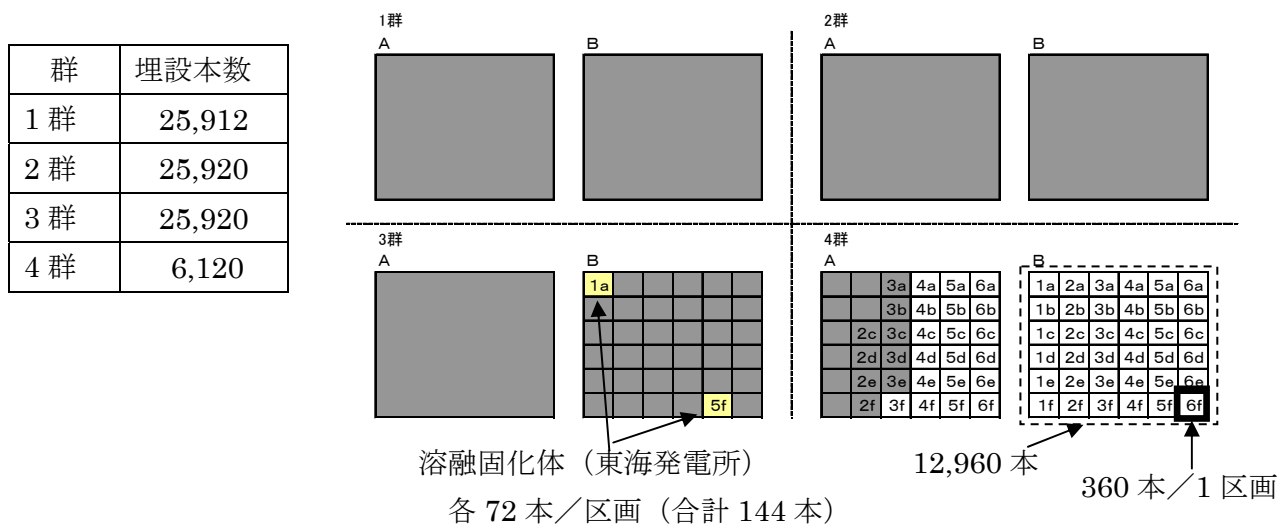


図 2-2 2号埋設状況 (2011年3月末までの埋設状況)

ピット処分対象廃棄物の Cl-36 放射エネルギーの評価について

1 はじめに

電気事業者では、開発した分析手法に基づきピット処分対象廃棄物に関する分析データの蓄積を図っている。

以下に、これらの知見に基づき、1,2号埋設施設のCl-36放射エネルギーを評価した結果をまとめる。

2 Cl-36の生成・移行挙動に関する検討状況

2.1 Cl-36の生成起源

Cl-36は、主に冷却材の不純物として存在する塩素（Cl-35）が炉心で放射化[Cl-35(n, γ)Cl-36]して生成するものと推定している。不純物塩素の供給源としては、浄化系樹脂からの脱離や、プラント停止時において周辺雰囲気中の塩素が系統内に混入する可能性などがある。

冷却材中の塩素濃度は、各プラントで管理されており、生成されるCl-36濃度の変動は小さいと考えている。BWRプラントにおいては、早くから塩素イオンが応力腐食割れ(SCC)に影響することから水質管理基準を設け管理されている。また、海水漏えいによる塩素濃度上昇を抑制するため、十分なイオン交換容量を有した復水脱塩塔を設置している。このため、海水漏えいが生じた場合でも、塩素濃度の上昇を抑制することができ、Cl-36濃度の変動も小さい。

PWRプラントにおいても、BWRと同様に応力腐食の抑制対策として塩素イオンを管理しており、冷却材中の塩素濃度ならびにCl-36濃度の変動は小さい。

上記の他、燃料漏えいにより冷却材中のCl-36濃度を上昇させる可能性もあるが、燃料中のCl-36の生成は上記の冷却材中不純物を起源とするCl-36に比べて小さいため、影響は小さい。

2.2 移行挙動

(1) 1号埋設対象廃棄物（濃縮廃液）への移行

BWR、PWR共に、原子炉内で生成されたCl-36の大半は原子炉冷却材浄化系の樹脂に捕捉される。

BWRでは、一部のCl-36は主蒸気とともに復水に移行し、復水浄化系（以下、C/D）樹脂により捕捉されるが、その移行率は、冷却材と復水（復水浄化系入口水）のCl-38（Cl-36の放射性同位体核種、半減期37.3分、 γ 線により分析可能）を分析した結果、 1×10^{-2} 以下と微小であることがわかっている。

そのため、BWR、PWR共に、濃縮廃液への移行経路としては、冷却材が機器の保守・点検時のドレン等から廃液処理系を経由して濃縮廃液に移行する経

路が主体と考えている。

なお、一部のBWRプラント（福島第一、東海第二、敦賀1号機）では、C/D樹脂の薬品再生を行っているため、復水系に移行したCl-36が濃縮廃液に移行する可能性もある。復水系への移行率は小さいが、イオン交換反応により、C/D樹脂に蓄積することも考えられ、放射エネルギーの評価においてはその影響を考慮する必要がある。

また、一部のPWRプラント（美浜、高浜1,2号機、大飯1,2号機）では図3-1に示す使用済樹脂の処理（溶離処理）を行っており、樹脂から溶出する濃度の高いCl-36を含む廃液（美浜の溶離廃液中のCl-36濃度： $7.1 \times 10^{-2} \text{Bq/ml}$ ）の混入により、濃縮廃液中のCl-36の濃度が高くなっており、放射エネルギーの評価においてはその影響を考慮する必要がある。

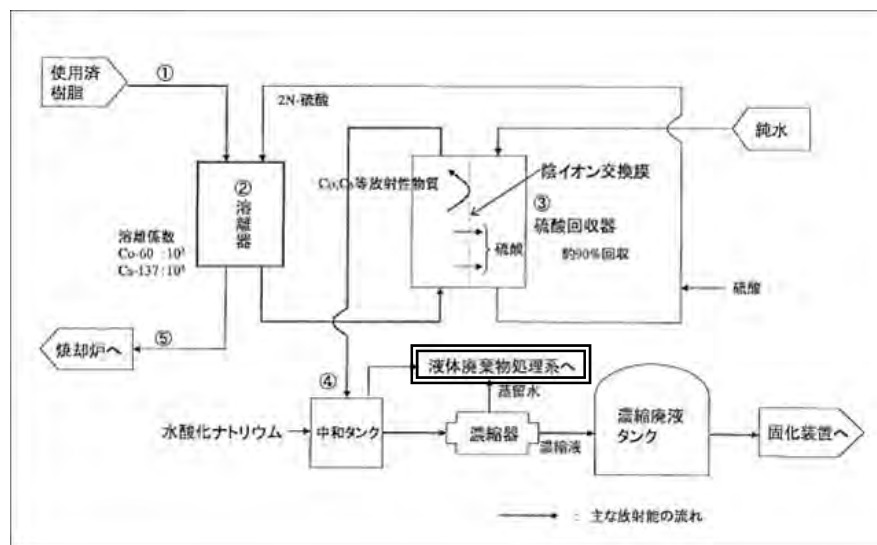


図3-1 使用済樹脂の処理

(2) 2号埋設対象廃棄物（固体状廃棄物）への移行

冷却材中のCl-36分析結果より、塩素は冷却材中で主に溶解性で移行すること及び2号埋設対象の固体状廃棄物中では不溶解性成分による汚染が主体となるためCl-36の移行はほとんどないものと想定する。

しかし、PWR液体フィルタの分析結果が示すとおり、Co-60濃度が高い廃棄物については、不溶解性のCl-36による汚染の寄与が無視できない可能性がある。

3 1号埋設施設のCl-36放射エネルギーの評価

冷却材中のCl-36分析結果から、冷却材中のCl-36は主に溶解性で移行することが確認され、濃縮廃液のCl-36分析結果から有意なCl-36濃度が確認された。このため、1号埋設施設のCl-36放射エネルギーについては、原廃棄物である濃縮廃液のCl-36を分析した結果を用いて評価することとした。

以下に、1号埋設施設のCl-36放射エネルギーの評価結果を示す。

3.1 廃棄体放射能濃度の計算方法

Cl-36の放射能評価方法としては、スケーリングファクタ法^[1]（以下、「SF法」という。）と平均放射能濃度法^[1]の適用が考えられる。

1,2号埋施設においては、Co-60やCs-137をキー核種として、SF法によりNi-63、I-129等の放射能濃度を算定している。また、海外では、Co-60をキー核種として、Cl-36の放射能濃度を算定している例もある。

一方、H-3等については、発電所ごとに廃棄物種類ごとの廃棄体放射能の測定データを用いて、平均放射能濃度法を適用して放射能濃度を設定している。

3.1.1 SF法

SF法の適用に当たり、Cl-36とCo-60の相関をプラント分類別に確認した結果の例を図3-2に示す。

PWRプラント全体としては、相関性は認められず、溶離処理ありプラント／なしプラントに分けた場合でも、溶離処理なしプラントについては、相関性が認められたが、溶離処理ありプラントについては、相関性はなかった。また、BWRプラント全体では、相関性が認められたが、再生ありプラント／なしプラントについては相関性がなかった。

以上から、Co-60とのSF法が成立するとはいえない。

次に、Cl-36とCs-137の相関をプラント分類別（PWR／BWR、PWR（溶離処理あり／なし）、BWR（再生あり／なし））に確認した結果、PWRプラント全体及び溶離処理あり／なしに分けた場合、いずれも相関性が認められた。また、BWRプラントでは、BWR全体、再生ありプラント及び再生なしプラントに分けた場合のいずれについても相関性がなかった。

以上から、PWRプラントについては、Cs-137とのSF法が成立する場合もあるが、BWRプラントについては成立するとはいえない。

したがって、PWRとBWRの全体でSF法を適用することはできないと考える。

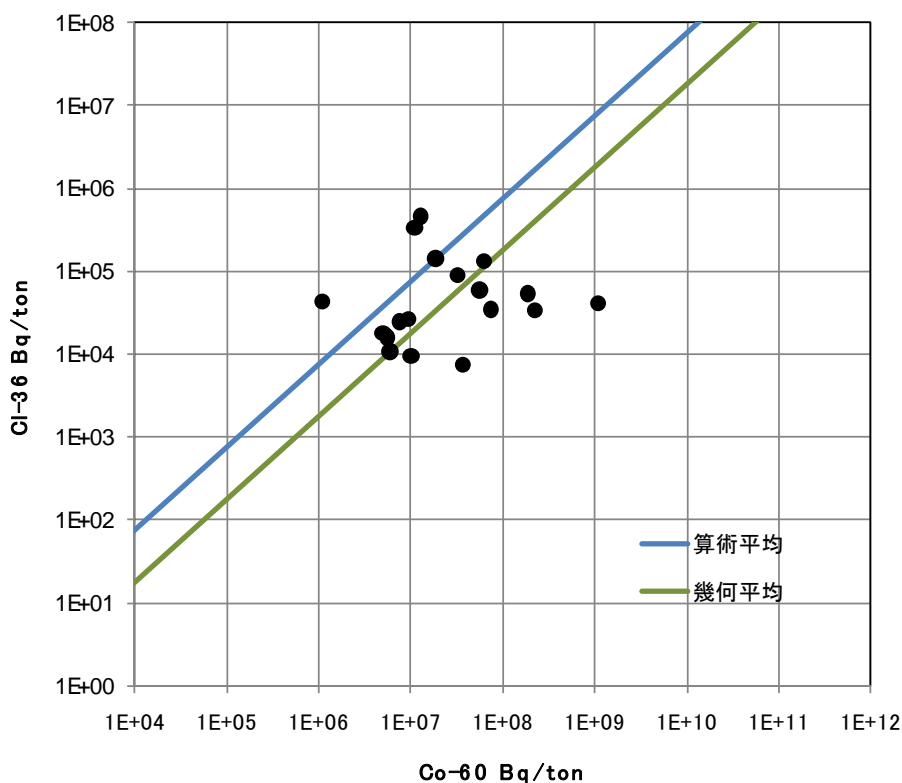


図3-2 Cl-36とCo-60の相関図（PWR溶離処理あり）

3.1.2 平均放射能濃度法

Cl-36の主な生成源は一次冷却材中の塩素であり、各発電所の冷却材中の塩素濃度は管理されており、生成量にあまり差はない。また、生成後の挙動についても、大きなプラント分類をすれば、発電所間でほとんど差異がないことから、比較的バラツキが小さくなる。

(1) 濃縮廃液Cl-36分析データの分布

各発電所の廃棄物種類ごとに分析データを整理して平均放射能濃度法を設定するには、分析データが少ないことから、全国の原子力発電所をPWRについては溶離処理あり／なし、BWRについては再生あり／なしにプラント分類して整理した。

分析データをまとめたヒストグラムを図3-3, 3-4に示す。

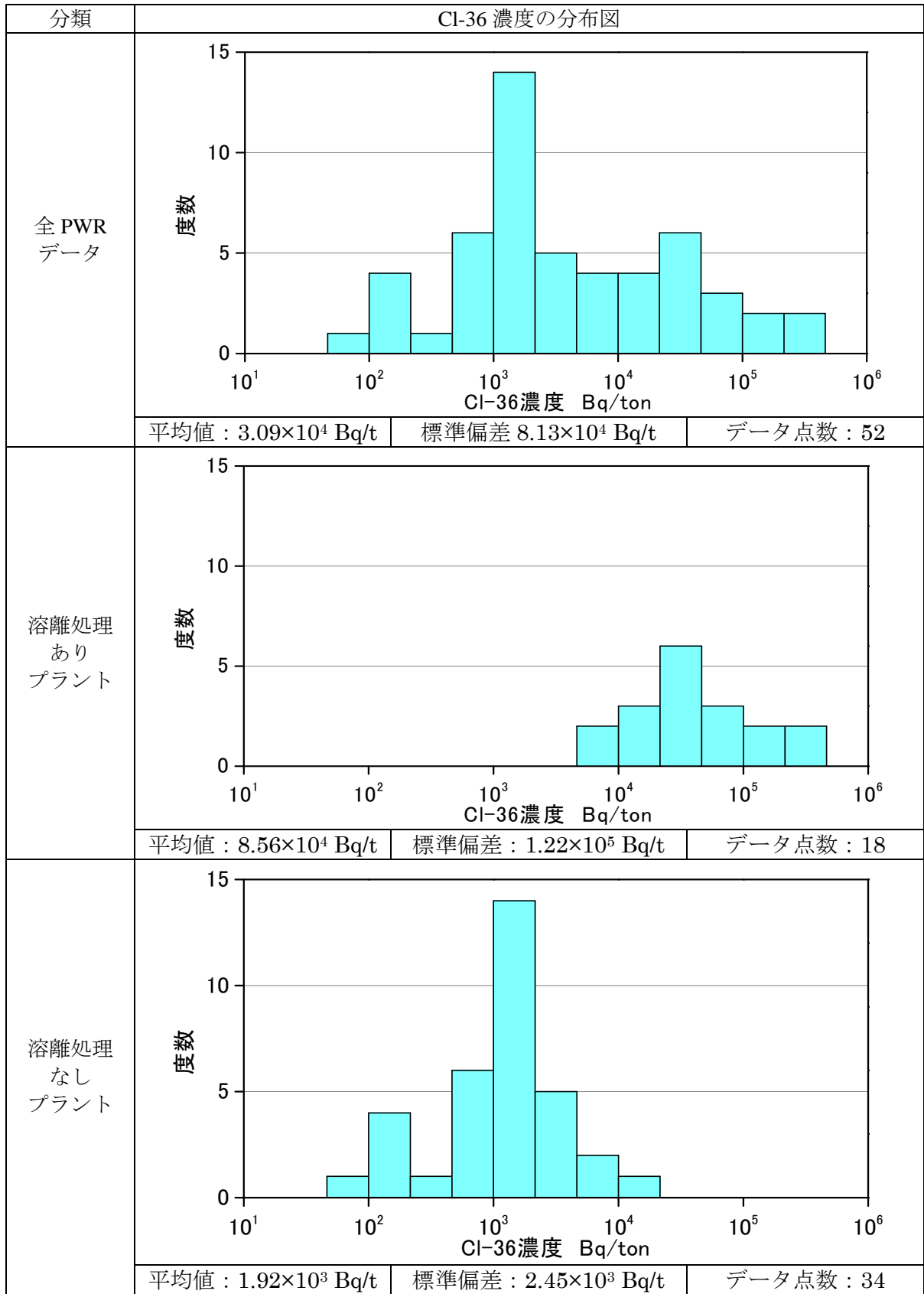


図 3-3 Cl-36 濃度のヒストグラム (PWR)

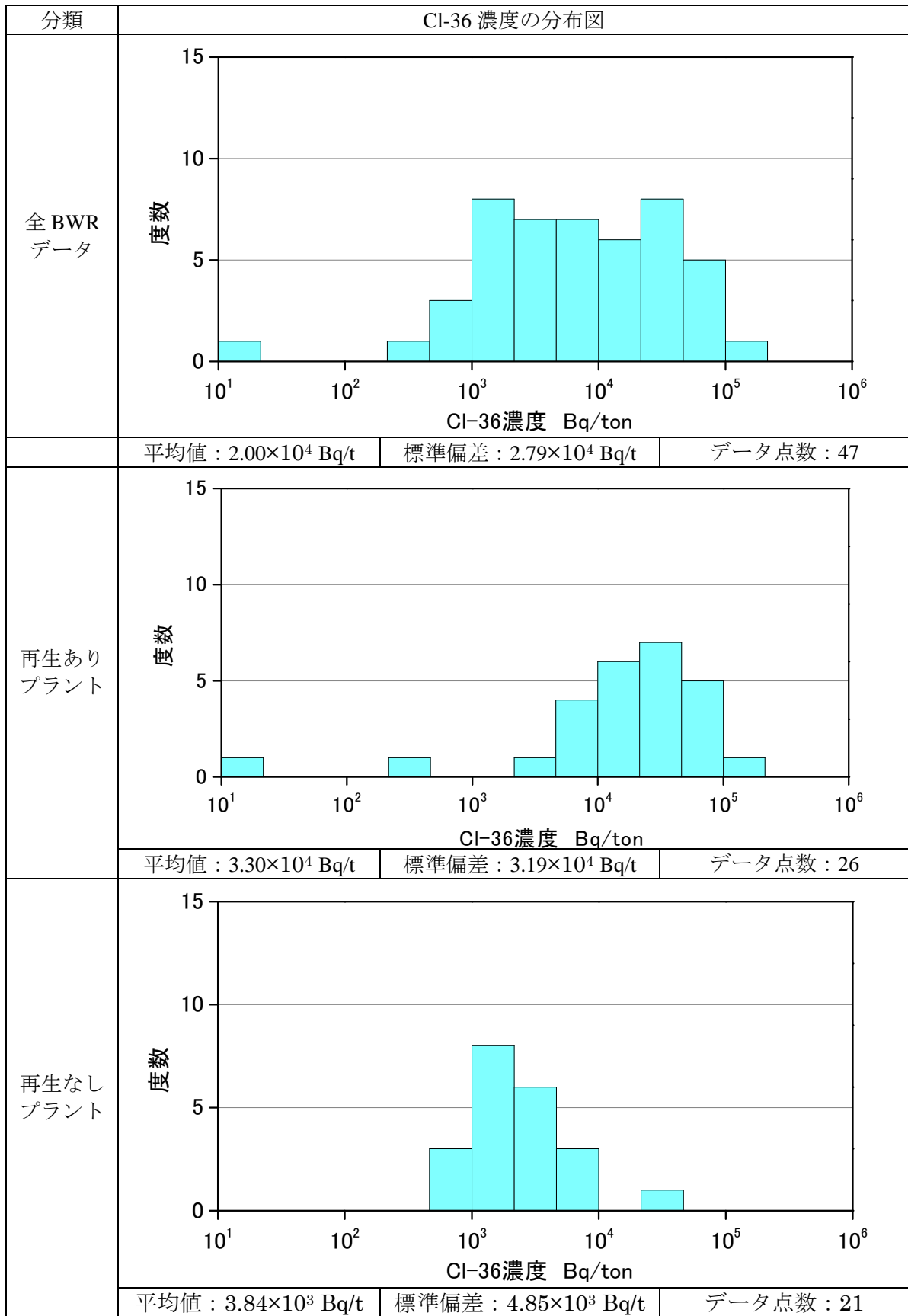


図 3-4 Cl-36 濃度のヒストグラム (BWR)

(2) Cl-36 放射エネルギーの設定

プラント分類に基づき、正規分布を仮定し、これまでに得られた99サンプルのデータを統計処理した結果を表3-1に示す。

平均値については今後も変動していくことから、算術平均値の区間推定値の上限（95%信頼上限値）の値を使用して、より保守的な値をプラント分類に応じた原廃棄物Cl-36濃度と設定する。

なお、廃棄体濃度の算定に際しては、各発電所の廃棄体製作の実態に合わせて発電所毎の廃棄物種類別に廃棄体中のCl-36濃度（Bq/本）を算出した。以下に計算方法を示すとともに、表3-2にその結果を示す。

廃棄体 Cl-36 濃度[Bq/本]

＝プラント分類に応じた原廃棄物 Cl-36 濃度×換算係数×廃棄体重量

表 3-1 プラント分類を考慮した Cl-36 濃度（単位：Bq/t）

炉型	プラント分類	平均値	95%信頼上限	データ点数
PWR	溶離処理あり	8.56×10^4	1.47×10^5	18
	溶離処理なし	1.92×10^3	2.79×10^3	34
BWR	再生あり	3.30×10^4	4.59×10^4	26
	再生なし	3.84×10^3	6.05×10^3	21

なお、東海発電所（GCR）について、PWR・BWRのプラント分類の対象とはならないため、分析データ（ $3.5 \times 10^5 \text{Bq/t}$ ）から、その値を1.2倍して原廃棄物Cl-36濃度を $4.2 \times 10^5 \text{Bq/t}$ と設定し、上記の計算方法により廃棄体中のCl-36濃度を算出した。表3-2にその結果を示す。ただし、東海発電所（GCR）の廃棄体を1号施設に搬出した実績はない（2011年6月末時点）。

表 3-2 1号埋設対象の廃棄体中の Cl-36 濃度 (2011年3月末、現在)

発電所	固型化材種類	廃棄物種類	放射能濃度 [Bq/本]	埋設本数 [本]	
泊	アスファルト	濃縮廃液	3.2E+03	1400	
美浜	セメント	濃縮廃液	2.9E+02	7014	
	アスファルト	濃縮廃液	3.0E+03	2326	
	アスファルト	濃縮廃液+溶離廃液	1.6E+05	548	
大飯	セメント	濃縮廃液	2.9E+02	5620	
	アスファルト	濃縮廃液	3.5E+03	1592	
	アスファルト	濃縮廃液+溶離廃液	1.8E+05	268	
高浜	セメント	濃縮廃液	2.9E+02	8391	
	アスファルト	濃縮廃液	5.8E+03	1785	
	アスファルト	濃縮廃液+溶離廃液	2.9E+05	-	
伊方	セメント	濃縮廃液	2.8E+02	1888	
	改良型セメント	濃縮廃液	1.7E+03	760	
	アスファルト	濃縮廃液	5.5E+03	1784	
玄海	セメント	濃縮廃液	2.9E+02	4390	
	改良型セメント	濃縮廃液 1	2.1E+03	646	
	アスファルト	濃縮廃液	2.7E+03	1820	
川内	アスファルト	濃縮廃液	2.6E+03	-	
敦賀2号	アスファルト	濃縮廃液	3.1E+03	575	
<i>PWR 小計</i>				40807	
女川	セメント	濃縮廃液	5.3E+03	-	
		ランドリー廃液	5.3E+03	1361	
		濃縮廃液+使用済樹脂 2	1.1E+04	857	
		ランドリー廃液+使用済樹脂 2	1.1E+04	3981	
		粒状樹脂 2	8.0E+03	801	
東通	セメント	濃縮廃液 3	7.5E+02	-	
福島第一	セメント	濃縮廃液	5.7E+03	57454	
		濃縮廃液ペレット (100kg)	2.3E+04	2240	
		濃縮廃液ペレット (150kg)	3.5E+04	-	
福島第二	セメント	濃縮廃液	5.8E+03	2072	
柏崎刈羽	セメント	濃縮廃液 3	7.5E+02	-	
志賀	セメントガラス	濃縮廃液ペレット	1.2E+04	-	
浜岡	セメント	濃縮廃液	6.7E+03	10691	
		スラッジ 2	6.0E+03	1946	
		濃縮廃液 (粉体充填) 2	2.7E+05	-	
島根	セメント	プラスチック	粉末樹脂 2	3.1E+05	1280
		濃縮廃液	7.9E+03	2791	
		濃縮廃液+樹脂 2	2.7E+04	345	
		粉末樹脂 2	5.4E+03	4732	
		粒状樹脂 2	7.4E+03	85	
	スラッジ 2	4.0E+03	2101		
	プラスチック	濃縮廃液	4.9E+04	3	
東海第二	セメント	粉末樹脂 2	2.2E+04	303	
		濃縮廃液	5.9E+03	5192	
		濃縮廃液ペレット	4.4E+04	376	
敦賀1号	セメント	濃縮廃液	5.8E+03	2975	
	アスファルト	濃縮廃液	5.6E+04	2882	
<i>BWR 小計</i>				104468	
東海	セメント	蒸発廃液 (蒸発固化体) 4	1.6E+06	-	
<i>合計</i>				145275	

- 1 セメントと改良型セメントの変更時期が不明のため、玄海 (3/4号) 搬出分をすべて改良型セメントとして計算
- 2 樹脂・スラッジの分析結果がないため、BWR側の最大濃度より算出
- 3 製作方法が決まっていないため、福島第一濃縮廃液セメント固化体の製造パラメータより算出
- 4 分析データ (1点) 値を1.2倍して算出

3.2 Cl-36の埋設施設への影響評価のための放射能量試算結果

1号埋設は、現在5,6群の埋設を実施中であり、添付資料(2)に示す埋設実績と6群満杯までの放射能量を評価し、7,8群については、1~6群の中で最も放射能量の多い群と同じ量が埋設されるものと仮定して放射能量を評価した。その結果を表3-3に示す。

合計放射能量は、 $2.9 \times 10^9 \text{Bq}$ となり、放射能量の最も大きい群は6群の $5.4 \times 10^8 \text{Bq}$ となった。

表3-3 1号埋設施設のCl-36の影響評価のための放射能量

群	Cl-36放射能量[Bq]
1群	3.7×10^8
2群	2.2×10^8
3群	1.6×10^8
4群	2.0×10^8
5群	3.3×10^8
6群	5.4×10^8
7群	5.4×10^8
8群	5.4×10^8
合計	2.9×10^9

7群、8群の放射能量は、1~6群の中で最大となる6群の放射能量[Bq/群]が継続すると仮定

3.3 Cl-36の埋設施設への影響評価のための廃棄体濃度

3.1で算出した廃棄体濃度を単位重量あたりに換算した場合、最大で $4.2 \times 10^6 \text{Bq/t}$ (東海発電所(GCR)の蒸発廃液のセメント固化体)である。

これは、現行の11核種の設定方法と同様の考え方で設定した最大放射能濃度 $1.08 \times 10^7 \text{Bq/t}$ (添付資料-4参照)を下回っている。

4 2号埋設施設のCl-36放射能量の評価

冷却材中のCl-36は、主に溶解性で移行することから、不溶解性の汚染が主となる2号埋設対象の固体状廃棄物へのCl-36影響は小さいと想定される。このため、2号埋設施設のCl-36放射能量を評価するにあたっては、冷却材中のCl-36濃度に基づき保守的な条件設定により評価することとした。

以下に、2号埋設のCl-36放射能量の評価結果を示す。

4.1 廃棄体放射能濃度の設定方法

4.4.1 固体状廃棄物（PWR液体フィルタ、GCR熔融固化体を除く）の放射能濃度

BWR、PWRの冷却材に関するCl-36分析結果の最大値である $3.8 \times 10^{-4} \text{Bq/ml}$ に対し、さらに保守性を考慮し $1 \times 10^{-3} \text{Bq/ml}$ の冷却材が汚染源と設定する。

冷却材によるCl-36の汚染形態としては、～の要因を想定する。

配管内面等における吸着

漏えい水や残水が蒸発乾固することに伴う二次的な汚染

不溶解性Cl-36の付着（念のため評価）

については、常時系統水と接触している金属表面を想定すると、表面に付着する汚染分は吸着平衡に達していると考えられる。

Clの吸着平衡定数を、Clと同様に溶解性の高いCsのステンレス鋼表面への吸着平衡定数の文献値（ 0.04 ml/cm^2 ）^[2]を参照して設定し、保守的な冷却材中のCl-36放射能濃度（ $1 \times 10^{-3} \text{Bq/ml}$ ）を用いて固体状廃棄物のCl-36濃度を評価すると、下式より、 $3.5 \times 10^1 \text{Bq/t}$ となる。

$$1 \times 10^{-3} \text{ Bq/ml} \times 0.04 \text{ ml/cm}^2 \times 8.8 \times 10^{-1} \text{ cm}^2/\text{g} \times 1 \times 10^6 = 3.5 \times 10^1 \text{ Bq/t}$$

1 固体状廃棄物（金属）の比表面積 PWRの場合^[3]

については、漏えいした系統水が固体状廃棄物に付着することが考えられるため、仮に全ての固体状廃棄物表面に高さ0.5mmに相当する量の炉水（ $1 \times 10^{-3} \text{Bq/ml}$ とする）が付着し、蒸発後Cl-36が残存したと想定すると、下式より、固体状廃棄物のCl-36濃度は $4.4 \times 10^1 \text{Bq/t}$ となる。

$$1 \times 10^{-3} \text{ Bq/ml} \times 0.05 \text{ ml/cm}^2 \times 8.8 \times 10^{-1} \text{ cm}^2/\text{g} \times 3 \times 10^6 = 4.4 \times 10^1 \text{ Bq/t}$$

$$2 \quad 1 \text{ cm} \times 1 \text{ cm} \times 0.5 \text{ mm}/\text{cm}^2 = 0.05 \text{ ml/cm}^2$$

3 固体状廃棄物（金属）の比表面積 PWRの場合^[3]

については、Cl-36は主に溶解性で移行すると考えられるが、念のため不溶解性として付着することも想定し、上記の汚染形態に追加した評価を行う。冷却材中の不溶解性Cl-36濃度について、液体フィルタの分析結果を用いて算出すると、下記のとおりとなる。

$$1.0 \times 10^0 \text{ Bq/ml} \times 2 \times 10^{-8} \times 5 = 2 \times 10^{-8} \text{ Bq/ml}$$

4 冷却材中の不溶解性Co-60濃度の最大値に保守性を考慮した値

5 PWR液体フィルタの分析結果に基づくCl-36/Co-60比の最大値

吸着平衡定数を40 ml/cm²（ で用いたCsの吸着平衡定数0.04ml/cm²の1000倍と仮定） とすると固体状廃棄物の不溶解性Cl-36による放射能濃度は下記のように求まる。

$$2 \times 10^{-8} \text{ Bq/ml} \times 40 \text{ ml/cm}^2 \times 8.8 \times 10^{-1} \text{ cm}^2/\text{g} \times 6 \times 10^6 = 7.0 \times 10^{-1} \text{ Bq/t}$$

6 固体状廃棄物（金属）の比表面積 PWRの場合^[3]

保守的に、全ての固体状廃棄物において、上記の 、 、 の汚染形態が共に生じるとして、廃棄体1本あたりの放射能濃度を算定すると、下式より、 $2.4 \times 10^1 \text{ Bq/本}$ となる。

$$\begin{aligned} & (3.5 \times 10^1 + 4.4 \times 10^1 + 7.0 \times 10^{-1}) \text{ Bq/t} \times 305 \times 10^3 \text{ g/本} \times 7 \times 10^{-6} \\ & = 2.4 \times 10^1 \text{ Bq/本} \end{aligned}$$

7 廃棄物収納量。文献^[4]における標準的な固体状廃棄物(金属類)の収納重量、密収納の場合の値を参照し設定

4.1.2 PWR液体フィルタ廃棄体の放射能濃度

PWR液体フィルタ（PWRプラントの一次冷却材の浄化および液体廃棄物の処理のために使用されるフィルタ）のエレメント部の放射能濃度を分析結果の最大値 $2.4 \times 10^4 \text{ Bq/t}$ に保守性を持たせ $1 \times 10^5 \text{ Bq/t}$ とし、含水時のエレメント質量（平均含水率45%としてエレメント1本で約500g）及びドラム缶当りの収納数（13本）を用いて、PWR液体フィルタ廃棄体の放射エネルギーを算出すると、 $6.5 \times 10^2 \text{ Bq/本}$ となる。

$$1 \times 10^5 \text{ Bq/t} \times 500 \text{ g} \times 10^{-6} \times 13 \text{ 本/ドラム缶} = 6.5 \times 10^2 \text{ Bq/本}$$

4.1.3 東海発電所（GCR）溶融固化体の放射能濃度

東海発電所（GCR）において、溶融体製作時（2006年3月～2010年9月）に排ガス洗浄廃液からCl-36が検出された。溶融体製作本数と排ガス洗浄廃液のCl-36放出量を図3-5に示す。

溶融体製作本数は合計157本、Cl-36放出量は合計 $3.5 \times 10^8 \text{ Bq}$ であった。

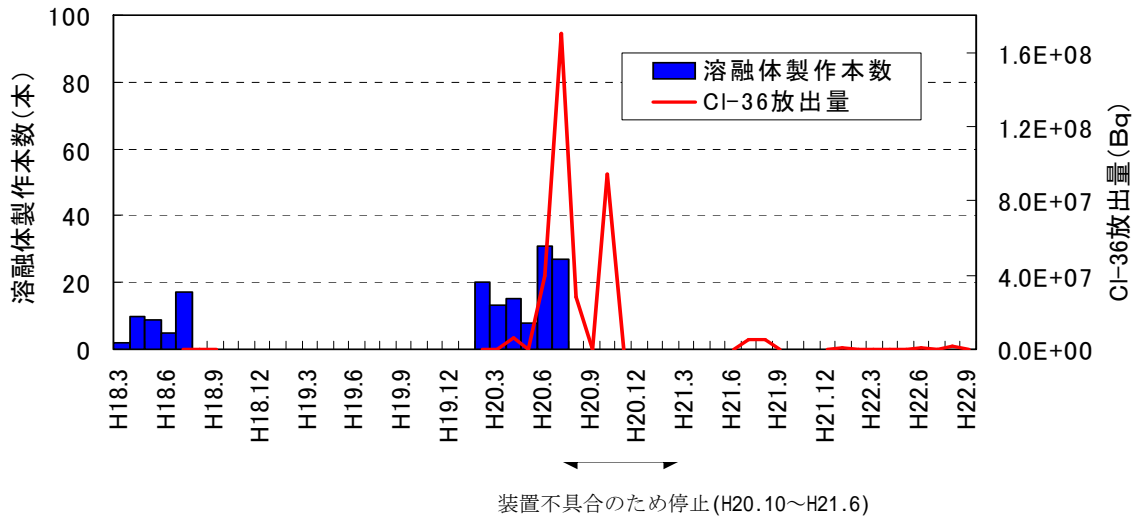


図 3-5 GCR 溶融体製作時の Cl-36 放出量

排ガス洗浄廃液のCl-36放出量と放射能の移行バランスから溶融体中のCl-36量を評価した。

評価上で必要となる溶融体中のCl残存率は、実機と同等の溶融条件によるコールドトレーサーを用いたラボ試験の結果、CaCl₂ (Cl化合物) の残存率が最も大きく1.5%であり、これを保守的にした2%を採用した。また、排ガス系のCl 除去率は、試験結果の44%を保守的に50%として評価した。なお、排気筒への移行率及び排ガス洗浄への移行率は、溶融炉試験運転結果による。

上記の評価結果から、溶融から放出までのCl-36の移行バランスを、図3-6に示す。

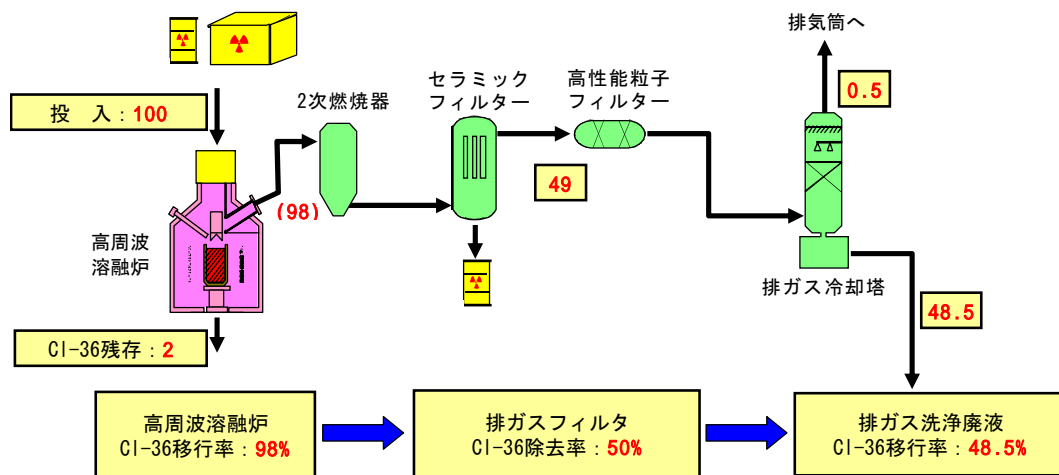


図 3-6 GCR 溶融体制作時の Cl-36 の移行バランス

溶融体製作期間中における排ガス洗浄廃液のCl-36放出量と放射能の移行バランスから溶融体中のCl-36の放射エネルギーを計算する。

排ガス洗浄廃液Cl-36放出量($3.5 \times 10^8 \text{ Bq}$) / 移行率(48.5%) × 残存率(2%) = $1.4 \times 10^7 \text{ Bq}/157 \text{ 本}$ となり、埋設済みの溶融体(144本)のCl-36放射エネルギーを保守的に、 $2.0 \times 10^7 \text{ Bq}$ と評価する。

なお、最大の放射能濃度については、Cl-36放射エネルギーの分布が不明であるため、保守的に1本の放射能濃度として $2.4 \times 10^7 \text{ Bq/t}$ と評価する。

$$2.0 \times 10^7 \text{ Bq} \div 0.851 \text{ t (144 本の廃棄体最低重量)} = 2.4 \times 10^7 \text{ Bq/t}$$

4.2 2号埋設施設のCl-36放射エネルギーの評価結果

2号埋設施設に対する線量評価を行うことを念頭に、1～8群(20万本相当)に対する放射エネルギーを評価する。

まず、各群に対し、保守的に放射エネルギーを評価した固体状廃棄物廃棄体が各群のおおよその埋設本数にあたる2.5万本分埋設されているものとした。

固体状廃棄物廃棄体(PWR液体フィルタ、GCR溶融体を除く)の寄与(各群毎)：

$$2.4 \times 10^1 \text{ Bq/本} \times 2.5 \times 10^4 \text{ 本} = 6.0 \times 10^5 \text{ Bq}$$

PWR液体フィルタについてはこれまで埋設された実績はないため、今後、埋設を行う4群～8群に埋設が行われるが、今後埋設が行われる4群以降のある特定の1つの群に全ての廃棄体が埋設されると仮定して、保守的な線量評価を行う。

PWR液体フィルタの本数は、全廃棄体数(20万本)の2%相当(1992年度末貯蔵廃棄物データでは1%)にあたる5,000本と保守的に想定した。

PWR液体フィルタを含む廃棄体の寄与(4群以降のある特定の1つの群 8)：

$$6.5 \times 10^2 \text{ Bq/本} \times 5.0 \times 10^3 \text{ 本} = 3.3 \times 10^6 \text{ Bq}$$

8 線量評価を保守的な評価とするための設定であり、実際は4群～8群に分散して埋設が行なわれる。

また、東海発電所(GCR)溶融固化体については既に3群に144本が埋設されていることからそれに相当する放射エネルギーを3群に加算する。

東海発電所(GCR)溶融固化体の寄与(3群のみ)： $2.0 \times 10^7 \text{ Bq}$

以上の結果を表3-4にまとめる。また、各発電所の廃棄物種類ごとに廃棄体中のCl-36濃度(Bq/本)を算出した結果を、表3-5に示す。

表3-4 廃棄体放射能濃度

廃棄体種類	放射能濃度[Bq/本]
固体状廃棄物	2.4×10 ¹
PWR液体フィルタ廃棄体	6.5×10 ²
GCR溶融体	2.0×10 ⁷ / (144本)

表 3-5 2号埋設対象の廃棄体中の Cl-36 濃度 (2011年3月末、現在)

発電所	廃棄体種類	放射能濃度[Bq/本]	埋設本数[本]
泊	固体状廃棄物	2.4E+01	—
	PWR 液体フィルタ廃棄体	6.5E+02	—
美浜	固体状廃棄物	2.4E+01	10584
	PWR 液体フィルタ廃棄体	6.5E+02	—
大飯	固体状廃棄物	2.4E+01	10472
	PWR 液体フィルタ廃棄体	6.5E+02	—
高浜	固体状廃棄物	2.4E+01	3440
	PWR 液体フィルタ廃棄体	6.5E+02	—
伊方	固体状廃棄物	2.4E+01	—
	PWR 液体フィルタ廃棄体	6.5E+02	—
玄海	固体状廃棄物	2.4E+01	—
	PWR 液体フィルタ廃棄体	6.5E+02	—
川内	固体状廃棄物	2.4E+01	—
	PWR 液体フィルタ廃棄体	6.5E+02	—
敦賀 2号	固体状廃棄物	2.4E+01	—
	PWR 液体フィルタ廃棄体	6.5E+02	—
PWR小計			24496
女川	固体状廃棄物	2.4E+01	—
東通	固体状廃棄物	2.4E+01	—
福島第一	固体状廃棄物	2.4E+01	31352
福島第二	固体状廃棄物	2.4E+01	10960
柏崎刈羽	固体状廃棄物	2.4E+01	—
志賀	固体状廃棄物	2.4E+01	880
浜岡	固体状廃棄物	2.4E+01	10096
島根	固体状廃棄物	2.4E+01	5768
東海第二	固体状廃棄物	2.4E+01	176
敦賀 1号	固体状廃棄物	2.4E+01	—
BWR小計			59232
東海	GCR 溶融体	2.0E+07/(144)	144
合計			83872

上記を基に、2号埋設施設のCl-36の影響評価のための放射エネルギーを表3-6に示す。

1～8群の固体状廃棄物廃棄体（PWR 液体フィルタ、GCR 溶融固化体を除く）の合計放射エネルギーは、 $4.8 \times 10^6 \text{Bq}$ となり、2号埋設施設の合計放射エネルギーは、 $2.8 \times 10^7 \text{Bq}$ となった。

表3-6 2号埋設施設のCl-36の影響評価のための放射エネルギー

群	Cl-36放射エネルギー[Bq]		
	固体状廃棄物 (右記を除く)	PWR液体 フィルタ	GCR溶融体
1群	6.0×10^5	埋設実績なし	2.0×10^7
2群	6.0×10^5		
3群	6.0×10^5		
4群	6.0×10^5	4群以降のある特定の群 3.3×10^6	当面埋設を見合わせる
5群	6.0×10^5		
6群	6.0×10^5		
7群	6.0×10^5		
8群	6.0×10^5		
小計	4.8×10^6	3.3×10^6	2.0×10^7
合計	2.8×10^7		

4.3 Cl-36の埋設施設への影響評価のための廃棄体濃度

4.1で算出した廃棄体中のCl-36濃度を単位重量あたりに換算した場合、最大で $2.4 \times 10^7 \text{Bq/t}$ （東海発電所（GCR）溶融固化体）である。

5 まとめ

2011年6月末時点までに得られた知見を基に、1号/2号埋設のCl-36放射エネルギーの評価を行った結果を、以下にまとめる。

5.1 1号埋設施設のCl-36放射エネルギー

- 2011年6月末までに得られた知見から評価しており、その結果、表3-3に示すとおり $2.9 \times 10^9 [\text{Bq}/20 \text{万本}]$ となった。

5.2 2号埋設施設のCl-36放射エネルギー

- PWR/BWRの固体状廃棄物については、冷却材中のCl-36が溶解性で移行することから影響が小さいため、冷却材中Cl-36濃度から保守的な条件設定のもと、表3-6に示すとおり $4.8 \times 10^6 [\text{Bq}]$ と評価した。
- 固体廃棄物の中で、特にCo-60濃度が高いPWRの液体フィルタについては、埋設していないものの、表3-6に示すとおり $3.3 \times 10^6 [\text{Bq}]$ と評価した。
- 既に3群に埋設済みの東海発電所（GCR）溶融固化体については、表3-6に

示すとおり 2.0×10^7 [Bq]と評価した。

- これら PWR 液体フィルタ、東海発電所（GCR）溶融固化体及び PWR/BWR のその他の固体状廃棄物について、2011 年 6 月末時点の埋設実績を踏まえて、2 号埋設の放射エネルギーを評価した結果、表 3-6 に示すとおり 2.8×10^7 [Bq/20 万本]となった。

参考文献：

- [1] 「均質・均一固化体及び充填固化体の廃棄のための確認方法について（一部改正）JNES-SS-0801」（（独）原子力安全基盤機構、2008年4月）
- [2] Sorption of selected radio nuclides on various metal and polymeric materials: Radioactive Waste Management and the Nuclear Fuel Cycle; Volume 4 Sep 1983
- [3] 「充填固化体の標準的な製作方法：Appendix-A 分別除去に関する調査結果」（平成21年11月、北海道電力株式会社、他9社）
- [4] 「充填固化体の標準的な製作方法：Appendix-D 固体状廃棄物の収納重量、固型化材料等の充填体積について」（平成21年11月、北海道電力株式会社、他9社）

1 号埋施設における Cl-36 の線量評価結果について

1. はじめに

添付資料－3 に示す Cl-36 の放射エネルギーに基づいて、事業許可申請書¹⁾（以下「申請書」）の評価方法に準じて 1 号埋施設の線量評価を実施し、申請書での評価結果に対する影響を評価する。

2. 放射エネルギー及び最大放射能濃度の設定

(1) 放射エネルギーの設定

1 号埋施設における Cl-36 の放射エネルギーを表 4-1 に示す。

申請書では埋施設（1-8 群）全体を平均化して評価しており、群毎の放射エネルギーの平均化が要件となっている。放射エネルギーに偏りがあった場合は、表 4-1 の合計値を用いた放射エネルギーでは必ずしも保守側の評価とはならないため、施設全体の放射エネルギーを最も放射エネルギーの高い群の 8 倍で評価した。

なお、この取扱いにより Cl-36 の放射エネルギーは、平均放射能濃度法を用いて設定したものに裕度を持たせたものとなり、結果として保守的な放射エネルギーを設定して線量評価を実施することとなる。

表 4-1 Cl-36 の放射エネルギー

群	Cl-36 放射エネルギー (Bq)	備考
1 群	3.7×10^8	
2 群	2.2×10^8	
3 群	1.6×10^8	
4 群	2.0×10^8	
5 群	3.3×10^8	
6 群	5.4×10^8	
7 群	5.4×10^8	
8 群	5.4×10^8	
1-8 群計	2.9×10^9	
1-8 群計	4.32×10^9 ($5.4 \times 10^8 \times 8$)	線量評価に使用

(2) 最大放射能濃度の設定

最大放射能濃度は、上記放射エネルギーの最大となる 6 群の放射エネルギー ($5.4 \times 10^8 \text{Bq}$) を 8 倍した値 $4.32 \times 10^9 \text{Bq}$ を申請書における総廃棄体重量 60,000t で除した値 $7.20 \times 10^4 \text{Bq/t}$ (平均放射能濃度) に、150 倍した $1.08 \times 10^7 \text{Bq/t}$ に設定した。

: 申請時の 11 核種の設定方法と同様。

3. 評価方法

(1) 評価シナリオ及び評価モデル

評価シナリオ及び評価モデルは申請書と同じとした。

また、線量計算は申請書の評価をほぼ忠実に再現可能な当社所有の計算ツールを用いた。

(2) 評価パラメータ

Cl-36 以外の核種に依存する評価パラメータおよび核種に依存しない評価パラメータはすべて申請書と同じ値とし、Cl-36 の評価パラメータは、申請時の核種選定評価で使用したパラメータとした。

Cl-36 の評価パラメータを表 4-2～表 4-4 に示す。いずれのパラメータも他の申請 11 核種の設定根拠としている申請書の参考文献に基づいて設定している。

表 4-2 各バリア材の Cl-36 分配係数設定値 (ml/g)

	設定値	根拠
廃棄物	2	同じハロゲンである ヨウ素の申請書の値 と同じとした
セメント系充てん材	0	
コンクリート	0	
ベントナイトを混合した覆土	0	
覆土	0.3	
岩石	0.1	

表 4-3 Cl-36 の線量換算係数

	設定値	根拠
経口摂取 (Sv/Bq)	8.2×10^{-10}	ICRP Pub.30 ^[2]
吸入摂取 (Sv/Bq)	5.6×10^{-9}	ICRP Pub.30
外部放射線 ((Sv/h)/(Bq/g))	0	NUREG/CR-4370 ^[3]

表 4-4 農畜産物・水産物への Cl-36 移行・濃縮係数

		設定値	根拠
濃縮係数 (m ³ /kg)	魚類	0.05	UCRL-50564 ^[4]
	無脊椎動物	0.1	UCRL-50564
畜産物への移行係数 (d/kg)	牛	0.3	IAEA SS No.57 ^[5] (Nb の値)
	ミルク	0.03	IAEA SS No.57 (Ag の値)
	豚	0.32	NUREG/CR-2976 ^[6] (Se の値)
	鶏	8.5	
	鶏卵	9.3	
農産物 (米) への移行係数 ((Bq/kg-農産物)/(Bq/kg-土壌))		5	IAEA SS No.57 (Tc の値)

農・畜産物への移行係数は参考文献に Cl の値がないため、他の核種の設定値のうち最大の値を設定した。

4. 評価結果

線量評価結果を表 4-5～表 4-8 に示す。

平常時評価及び事故時評価においては、CI-36 の線量寄与は小さく、問題とならない。

管理期間終了以後の評価では、「廃棄物埋設地近傍の沢水を用いて生産する農畜産物の摂取による内部被ばく（農産物）」（以下、「農産物摂取経路」）及び「廃棄物埋設地又はその近傍における井戸水の飲用による内部被ばく」（以下、「井戸水飲用経路」）において、最も線量寄与の大きい核種の 1%以上の線量となり、CI-36 の線量寄与によって合計線量が上昇した。また、「廃棄物埋設地近傍の沢水の飲用による内部被ばく」及び、「廃棄物埋設地近傍の沢水を用いて生産する農畜産物の摂取による内部被ばく（畜産物）」では、最も線量寄与の大きい核種の 1%以上の線量となったが、ピーク時期の相違により合計線量に変化はなかった。これら経路の最も線量寄与の大きい核種との線量比較を表 4-9 に、最も CI-36 の寄与の大きい農産物摂取経路の経年グラフを図 4-1 に示す。

表 4-5 平常時評価結果

線量評価経路	線量 (μSv/y)							上段：申請値 下段：再評価値
	10 ⁻⁵	10 ⁻⁴	10 ⁻³	10 ⁻²	0.1	1	10	
(a) 換気空調設備から放出される気体廃棄物中の放射性物質の移行による内部被ばく								約1.5×10 ⁻³
								約1.5×10 ⁻³
(b) 液体廃棄物中の放射性物質が移行する尾駸沼の沼産物摂取による内部被ばく								約4.4×10 ⁻⁴
								約4.4×10 ⁻⁴
(c) 地下水中の放射性物質が移行する尾駸沼の沼産物摂取による内部被ばく								約3.1×10 ⁻²
								約3.1×10 ⁻²
(d) 沢への放射性物質の移行による外部被ばく及び内部被ばく								約4.1×10 ⁻⁶
								約4.1×10 ⁻⁶
(e) 本施設に一時貯蔵及び埋設される放射性物質からの外部被ばく								約27
								約27

表 4-6 事故時評価結果

対象事象	線量 (mSv)							上段：申請値 下段：再評価値
	10 ⁻⁵	10 ⁻⁴	10 ⁻³	10 ⁻²	0.1	1	10	
廃棄体の取扱いに伴う事故 (廃棄体の落下破損)								約9.0×10 ⁻⁵
								約9.0×10 ⁻⁵

表 4-7 線量評価結果（一般的と考えられる事象）

線量評価経路	線量 (μSv/y)			上段：申請値 下段：再評価値
	0.01	0.1	1	
(a) 地下水中の放射性物質が移行する尾駁沼の沼産物摂取による内部被ばく				約7.5×10 ⁻²
				約7.5×10 ⁻²
(b) 廃棄物埋設地近傍の沢水の飲用による内部被ばく				約0.13
				約0.13
(c) 廃棄物埋設地近傍の沢水を用いて生産する農畜産物の摂取による内部被ばく	農産物			約9.1×10 ⁻²
				約0.15
	畜産物			約2.9×10 ⁻²
				約2.9×10 ⁻²
(d) 廃棄物埋設地近傍の沢水を生産に利用する農耕作業による外部被ばく及び内部被ばく				約5.5×10 ⁻²
				約5.5×10 ⁻²
(e) 廃棄物埋設地又はその近傍における住宅施設の建設工事による外部被ばく及び内部被ばく				約8.3×10 ⁻²
				約8.3×10 ⁻²
(f) 廃棄物埋設地又はその近傍における居住による外部被ばく及び内部被ばく				約1.5
				約1.5

表 4-8 線量評価結果（発生頻度が小さいと考えられる事象）

線量評価経路	線量 (μSv/y)			上段：申請値 下段：再評価値
	0.1	1	10	
(a) 廃棄物埋設地における地下数階を有する建物の建設工事による外部被ばく及び内部被ばく				約8.1
				約8.1
(b) 廃棄物埋設地における地下数階を有する建物の建設工事によって発生する土壌上での居住による外部被ばく及び内部被ばく				約14
				約14
(c) 廃棄物埋設地又はその近傍における井戸水の飲用による内部被ばく				約3.0
				約3.4

表 4-9 最も線量が大きい核種との線量比較

線量評価経路 (略して記載)	合計線量 ($\mu\text{Sv/y}$)	最も線量の大きい核種 の線量 ($\mu\text{Sv/y}$) a	Cl-36の最大線量 ($\mu\text{Sv/y}$) b	b/a	
沢水飲用	約0.13	C-14	約 3.0×10^{-2}	23%	
農畜産物 摂取	農産物	約0.15	Tc-99	約 8.1×10^{-2}	90%
	畜産物	約 2.9×10^{-2}	C-14	約 1.6×10^{-2}	57%
井戸水飲用	約3.4	C-14	約1.6	31%	

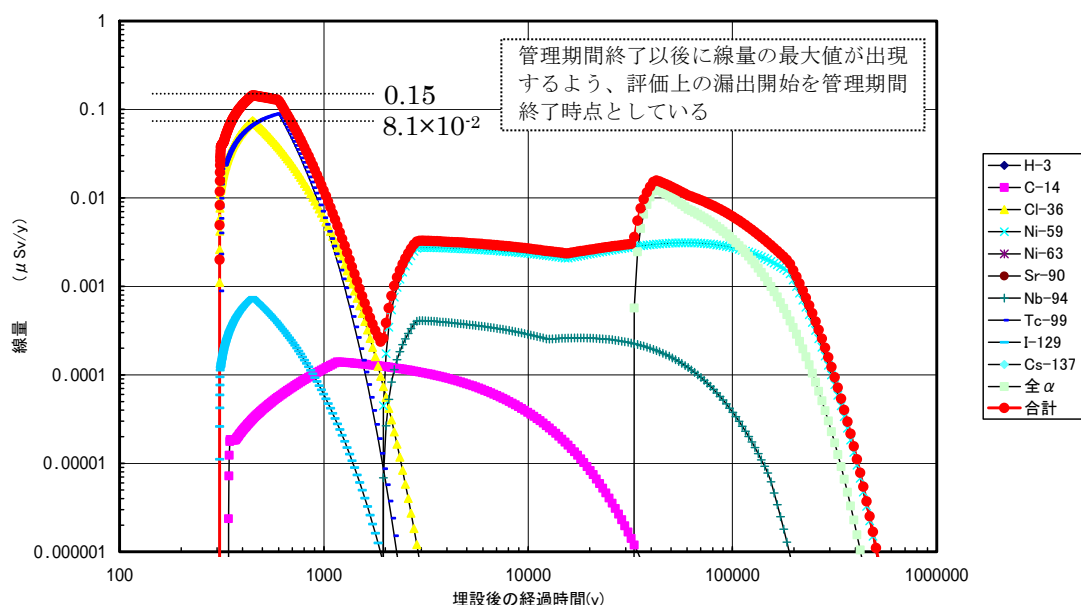


図 4-1 農産物摂取経路の線量

5. まとめ

- 平常時評価及び事故時評価においては、Cl-36 の線量寄与は小さく、問題とならない。
- 管理期間終了以後の評価において、申請書と同じ手法で Cl-36 の線量評価を行った結果、Cl-36 の線量が最大となるのは、表 4-9 に示すとおり、一般的と考えられる事象では、「農産物摂取経路」の約 $8.1 \times 10^{-2} \mu\text{Sv/y}$ 、発生頻度が小さいと考えられる事象では、「井戸水飲用経路」の約 $0.49 \mu\text{Sv/y}$ であるが、いずれも十分に線量は小さい。
- Cl-36 の線量寄与を考慮することによって、「農産物摂取経路」、「井戸水飲用経路」において、わずかではあるが申請値を超える結果となった。
- Cl-36 の線量寄与を考慮したとしてもめやす線量を超えず、また、表 4-7 に示した申請書に記載の最大線量である「廃棄物埋設地又はその近傍における居住による外部被ばく及び内部被ばく」の $1.5 \mu\text{Sv/y}$ 、表 4-8 に示した「廃棄物埋設地における地下数階を有する建物の建設工事によって発生する土壌上での居住による外部被ばく及び内部被ばく」の $14 \mu\text{Sv/y}$ も超えないため、安全性への影響は生じない。

参考文献

- [1] 「六ヶ所低レベル放射性廃棄物埋設センター 廃棄物埋設事業許可申請書」
(日本原燃産業株式会社、平成 2 年 9 月)
- [2] ICRP Pub.30; "Limits for Intakes of Radionuclides by Workers" (1978)
- [3] NUREG/CR-4370; "Update of Part 61 Impacts Analysis Methodology" (1986)
- [4] Thompson et al., UCRL-50564 Rev.1; "Concentration Factors of Chemical Elements in Edible Aquatic Organisms" (1972)
- [5] IAEA Safety Series No.57; "Generic Models and Parameters for Assessing the Environmental Transfer of Radionuclides from Routine Releases" (1982)
- [6] Ng et al., NUREG/CR-2976; "Transfer Coefficients for Assessing the Dose from Radionuclides in Meat and Eggs" (1982)

2号埋設施設における Cl-36 の線量評価結果について

1. はじめに

添付資料-3 に示す Cl-36 の放射エネルギーに基づいて、事業変更許可申請書¹¹（以下「申請書」）の評価方法に準じて 2 号埋設施設の線量評価を実施し、申請書での評価結果に対する影響を評価する。

2. 放射エネルギー及び最大放射能濃度の設定

(1) 放射エネルギーの設定

2 号埋設施設における Cl-36 の放射エネルギーを表 5-1 に示す。

申請書では埋設施設（1～8 群）全体を平均化して評価しており、東西 2 群毎の放射エネルギーの平均化が要件となっている。放射エネルギーに偏りがあった場合は、表 5-1 の合計値を用いた放射エネルギーでは必ずしも保守側の評価とはならないため、施設全体の放射エネルギーを最も放射エネルギーの高くなる可能性のある 3-4 群の 4 倍で評価した。

なお、このような設定をすることで、3-4 群以外は保守的な放射エネルギー設定となっている。

表 5-1 Cl-36 の放射エネルギー

群	放射エネルギー (Bq)			備考
	固体状廃棄物 (右記を除く)	PWR 液体 フィルタ	GCR 溶融体	
1 群	6.0×10^5	埋設実績なし	埋設実績なし	
2 群	6.0×10^5			
3 群	6.0×10^5			
4 群	6.0×10^5	4 群以降のある 特定の群 3.3×10^6	当面埋設を見合 わせる	
5 群	6.0×10^5			
6 群	6.0×10^5			
7 群	6.0×10^5			
8 群	6.0×10^5			
1-8 群計	2.8×10^7			
1-8 群計	9.80×10^7 $\{(6.0 \times 10^5) \times 2 + (3.3 \times 10^6) + (2.0 \times 10^7)\} \times 4 = 9.80 \times 10^7$			線量評価 に使用

(2) 最大放射能濃度の設定

上記放射エネルギーの最大となる 3-4 群の放射エネルギー ($2.45 \times 10^7 \text{Bq}$) を 4 倍した値 $9.80 \times 10^7 \text{Bq}$ を申請書における総廃棄体重量 60,000t で除した値 $1.63 \times 10^3 \text{Bq/t}$ (平均放射能濃度) に、600 倍した $9.80 \times 10^5 \text{Bq/t}$ に設定した。

線量評価に使用する最大放射能濃度は、この値よりも大きい GCR 溶融体の最大値 $2.4 \times 10^7 \text{Bq/t}$ を使用した。

: 申請時の 11 核種の設定方法と同様。

3. 評価方法

(1) 評価シナリオ及び評価モデル

評価シナリオ及び評価モデルは申請書と同じとした。

また、線量計算は申請書の評価をほぼ忠実に再現可能な当社所有の計算ツールを用いた。

(2) 評価パラメータ

Cl-36 以外の核種に依存する評価パラメータおよび核種に依存しない評価パラメータはすべて申請書と同じ値とし、Cl-36 の評価パラメータは、申請時の核種選定評価で使用したパラメータとした。

Cl-36 の評価パラメータを表 5-2～表 5-4 に示す。いずれのパラメータも他の申請 11 核種の設定根拠としている申請書の参考文献にもとづいて設定している。

表 5-2 各バリア材の Cl-36 分配係数設定値 (ml/g)

	設定値	根拠
セメント系充てん材 (廃棄体)	2	同じハロゲンである ヨウ素の申請書の値 と同じとした
セメント系充てん材 (埋設設備)	0	
コンクリート	0	
ベントナイトを混合した覆土	0	
覆土	0.3	
岩石	0.1	

表 5-3 Cl-36 の線量換算係数

	設定値	根拠
経口摂取 (Sv/Bq)	8.2×10^{-10}	ICRP Pub.30 ^[2]
吸入摂取 (Sv/Bq)	5.6×10^{-9}	ICRP Pub.30
外部放射線 ((Sv/h)/(Bq/g))	0	NUREG/CR-4370 ^[3]

表 5-4 農畜産物・水産物への Cl-36 移行・濃縮係数

		設定値	根拠
濃縮係数 (m^3/kg)	魚類	0.05	UCRL-50564 ^[4]
	無脊椎動物	0.1	UCRL-50564
畜産物への移行係数 (d/kg)	牛	0.3	IAEA SS No.57 ^[5] (Nb の値)
	ミルク	0.03	IAEA SS No.57 (Ag の値)
	豚	0.32	NUREG/CR-2976 ^[6] (Se の値)
	鶏	8.5	
	鶏卵	9.3	
農産物 (米) への移行係数 ($(Bq/kg\text{-農産物})/(Bq/kg\text{-土壌})$)		5	IAEA SS No.57 (Tc の値)

農・畜産物への移行係数は参考文献に Cl の値がないため、他の核種の設定値のうち最大の値を設定した。

4. 評価結果

線量評価結果を表 5-5～表 5-8 に示す。

平常時評価及び事故時評価においては、CI-36 の線量寄与は小さく、問題とならない。

管理期間終了以後の評価では、「廃棄物埋設地近傍の沢水を用いて生産する農畜産物の摂取による内部被ばく（農産物）」（以下、「農産物摂取経路」）及び「廃棄物埋設地近傍の沢水を用いて生産する農畜産物の摂取による内部被ばく（畜産物）」（以下、「畜産物摂取経路」）では、最も線量寄与の大きい核種の 1%以上の線量となったが、線量が最大となる時期の相違により合計線量に変化はなかった。これら経路の最も線量寄与の大きい核種との線量比較を表 5-9 に、最も CI-36 の寄与の大きい農産物摂取経路の経年グラフを図 5-1 に示す。

表 5-5 平常時評価結果

線量評価経路	線量 (μSv/y)							上段：申請値 下段：再評価値
	10 ⁻⁵	10 ⁻⁴	10 ⁻³	10 ⁻²	0.1	1	10	
(a) 換気空調設備から放出される気体廃棄物中の放射性物質の移行による内部被ばく								約1.5×10 ⁻³
								約1.5×10 ⁻³
(b) 液体廃棄物中の放射性物質が移行する尾駈沼の沼産物摂取による内部被ばく								約4.4×10 ⁻⁴
								約4.4×10 ⁻⁴
(c) 地下水中の放射性物質が移行する尾駈沼の沼産物摂取による内部被ばく								約7.7×10 ⁻²
								約7.7×10 ⁻²
(d) 沢への放射性物質の移行による外部被ばく及び内部被ばく								約1.1×10 ⁻⁵
								約1.1×10 ⁻⁵
(e) 本施設に一時貯蔵及び埋設される放射性物質からの外部被ばく								約25
								約25

表 5-6 事故時評価結果

対象事象	線量 (mSv)							上段：申請値 下段：再評価値
	10 ⁻⁵	10 ⁻⁴	10 ⁻³	10 ⁻²	0.1	1	10	
廃棄体の取扱いに伴う事故 (廃棄体の落下破損)								約1.9×10 ⁻³
								約1.9×10 ⁻³

表 5-7 線量評価結果（一般的と考えられる事象）

線量評価経路	線量 (μSv/y)			上段：申請値 下段：再評価値	
	0.01	0.1	1		
(a) 地下水中の放射性物質が移行する尾駸沼の沼産物摂取による内部被ばく				約0.18	
				約0.18	
(b) 廃棄物埋設地近傍の沢水の飲用による内部被ばく				約0.30	
				約0.30	
(c) 廃棄物埋設地近傍の沢水を用いて生産する農畜産物の摂取による内部被ばく	農産物				約0.14
					約0.14
	畜産物				約 6.8×10^{-2}
					約 6.8×10^{-2}
(d) 廃棄物埋設地近傍の沢水を生産に利用する農耕作業による外部被ばく及び内部被ばく				約 3.3×10^{-2}	
				約 3.3×10^{-2}	
(e) 廃棄物埋設地又はその近傍における住宅施設の建設工事による外部被ばく及び内部被ばく				約 2.5×10^{-2}	
				約 2.5×10^{-2}	
(f) 廃棄物埋設地又はその近傍における居住による外部被ばく及び内部被ばく				約0.44	
				約0.44	

表 5-8 線量評価結果（発生頻度が小さいと考えられる事象）

線量評価経路	線量 (μSv/y)			上段：申請値 下段：再評価値
	0.1	1	10	
(a) 廃棄物埋設地における地下数階を有する建物の建設工事による外部被ばく及び内部被ばく				約8.2
				約8.2
(b) 廃棄物埋設地における地下数階を有する建物の建設工事によって発生する土壌上での居住による外部被ばく及び内部被ばく				約14
				約14
(c) 廃棄物埋設地又はその近傍における井戸水の飲用による内部被ばく				約3.0
				約3.0

表 5-9 最も線量が大きい核種との線量比較

線量評価経路 (略して記載)		合計線量 ($\mu\text{Sv/y}$)	最も線量の大きい核種 の線量 ($\mu\text{Sv/y}$) a		Cl-36の最大線量 ($\mu\text{Sv/y}$) b	b/a
沢水飲用		約0.30	C-14	約0.30	約 1.8×10^{-3}	<1%
農畜産 物摂取	農産物	約0.14	Tc-99	約0.14	約 4.9×10^{-3}	4%
	畜産物	約 6.8×10^{-2}	C-14	約 6.8×10^{-2}	約 9.3×10^{-4}	2%
井戸水飲用		約3.0	I-129	約2.7	約 2.6×10^{-2}	<1%

沢水飲用経路と井戸水飲用経路は1号埋設施設で1%以上の寄与となった経路で参考として掲載

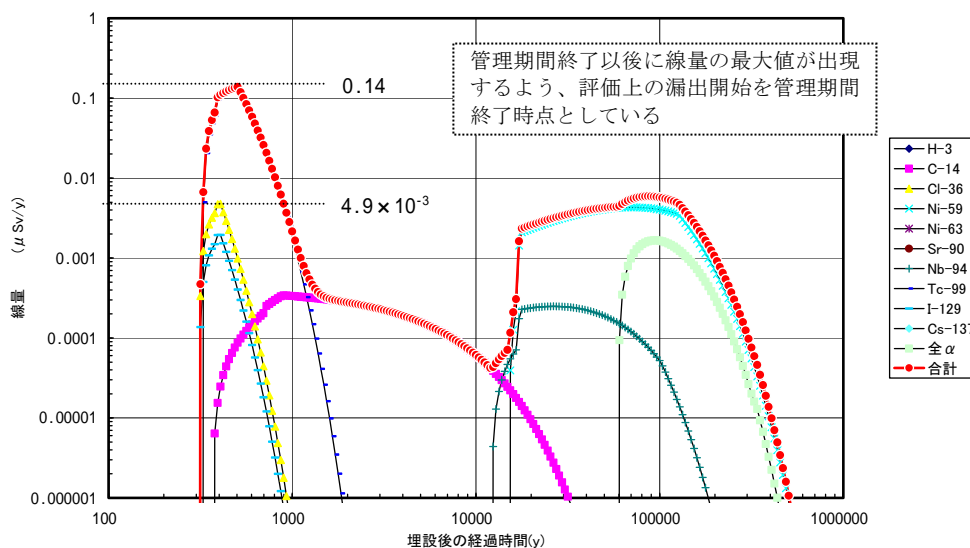


図 5-1 農産物摂取経路の線量

5. まとめ

- 平常時評価及び事故時評価においては、Cl-36の線量寄与は小さく、問題とならない。
- 管理期間終了以後の評価において、申請書と同じ手法でCl-36の線量評価を行った結果、Cl-36の線量が最大となるのは、表5-9に示すとおり、一般的と考えられる事象では、「農産物摂取経路」の約 $4.9 \times 10^{-3} \mu\text{Sv/y}$ 、発生頻度が小さいと考えられる事象では、「井戸水飲用経路」の約 $2.6 \times 10^{-2} \mu\text{Sv/y}$ であるが、いずれも十分に線量は小さい。
- 「農産物摂取経路」及び「畜産物摂取経路」において、Cl-36の最大線量は最も線量の大きい核種の1%以上の線量となるが、線量が最大となる時期の相違により申請値に影響は生じない。
- Cl-36の線量寄与を考慮したとしてもめやす線量を超えず、また、表5-7に示した申請書に記載の最大線量である「廃棄物埋設地又はその近傍における居住による外部被ばく及び内部被ばく」の $0.44 \mu\text{Sv/y}$ 、表5-8に示した「廃棄物埋設地における地下数階を有する建物の建設工事によって発生する土壌上での居住による外部被ばく及び内部被ばく」の $14 \mu\text{Sv/y}$ も超えないため、安全性への影響は生じない。

参考文献

- [1] 「六ヶ所低レベル放射性廃棄物埋設センター 廃棄物埋設事業変更許可申請書」
(日本原燃株式会社、平成9年9月)
- [2] ICRP Pub.30; "Limits for Intakes of Radionuclides by Workers" (1978)
- [3] NUREG/CR-4370; "Update of Part 61 Impacts Analysis Methodology" (1986)
- [4] Thompson et al., UCRL-50564 Rev.1; "Concentration Factors of Chemical Elements in Edible Aquatic Organisms" (1972)
- [5] IAEA Safety Series No.57; "Generic Models and Parameters for Assessing the Environmental Transfer of Radionuclides from Routine Releases" (1982)
- [6] Ng et al., NUREG/CR-2976; "Transfer Coefficients for Assessing the Dose from Radionuclides in Meat and Eggs" (1982)

埋設施設における Cl-36 の管理について

<1号埋設施設>

表 6-1 1号埋設施設における Cl-36 の放射エネルギー及び放射能濃度

項目	管理値
総放射エネルギー	4.32×10 ⁹ Bq 以下 (5.40×10 ⁸ Bq 以下/群毎)
最大放射能濃度	1.08×10 ⁷ Bq/ t 以下

<2号埋設施設>

表 6-2 2号埋設施設における Cl-36 の管理

対象	管理値
PWR 液体フィルタ を含む廃棄体	5,000 本以下
東海発電所 (GCR) から発生する廃棄体	144 本以下 (4 群以降には埋設しない)

PWR 一次冷却材の浄化および液体廃棄物の処理のために使用されるフィルタ