

# 放射性廃棄物保管施設の立地と事故時の影響評価

京都大学工学部  
京都大学工学部

井上頼輝  
○森澤真輔

## I. はじめに

廃棄物管理施設の立地・廃棄・貯蔵管理等によって生じる環境影響は平時時に出現する影響と事故時に出現する影響とに分けられる。前者の影響はほぼ定常的に生じるものに対し、後者の影響は事故発生時に限って出現する。廃棄物管理施設の立地・運用は、平常時の環境影響や経済性だけでなく、事故時の環境影響にも配慮して合理的に計画されねばならない。廃棄物の焼却工場・埋立処分場、下水道の終末処理場等の施設は人の生活環境に高度以上の汚染を防護することと直接の目的としておりながら、同時に二時的な環境汚染源にもなっている。このようなことも原因して、これらの施設は年々立地が困難になり、それ故汚染防止設備を強化しつつ既存の施設を拡大し、関連施設も集中立地せざるを得ないことにより大規模化の傾向を呈しつつある。施設の規模が大きくなり大量の環境汚染原因物（例：埋立処分場の廃棄物）が一箇所に集中するようになると、事故発生時に生じる環境影響はそれだけ大きくなる可能性がある。

本研究では廃棄物の保管施設が、地震、津波、台風、集中豪雨、洪水等の稀な現象によって破壊・破損する事故について、事故時の影響の大きさを確率的な期待値（リスク）を指標として評価する方法について検討する。評価対象施設としては、公営の資料は比較的良好である放射性廃棄物の陸上保管施設を主とする。

## II. 評価の方法

工業製品の品質管理、システムの信頼性評価等の分野では例えはシステムの構成要素に故障が生じた場合にその影響がシステム全体にどのような波及する、あるいは当該構成要素などの故障の程度で交換するの希望等が検討されている。このような信頼性解析の手法にイベント・ツリー手法、フォールト・ツリー手法と呼ばれる手法がある。システムに生ずる事故（イベント）を全て挙げて、これらを配列することによりシステムに生じる事故も「事故の列（イベント・シーケンス）」として同定し、各事故の発生頻度を評価するの用に用いられるのがイベント・ツリー手法である。一方、フォールト・ツリー手法はシステムの構成要素の故障率等から、イベント・ツリーで構成する各イベントの生じる頻度を評価するための手法である。これらの手法を用いて事故の影響を評価しようとする試みは原子力の分野では軽水炉（原子力発電炉）の安全評価研究が最初であるが、最近では各国で廃棄物の保管施設、処分施設に對しても試みられている。図-1に同手法を用いて放射性廃棄物の陸上保管施設の事故時の影響を評価する場合の手順（フローチャート）を示す。本研究の評価対象は地上に設けられる保管施設と地表直下に設けられる保管施設とし、保管される廃棄物によって火と共に環境中へ放出する場合の影響について検討する。すなわち、大気発生時の影響の評価対象とする。また、保管施設に事故が発生し施設の運用が停止することにより生じる影響の評価は別の機会に検討することとする。保管施設に既存の

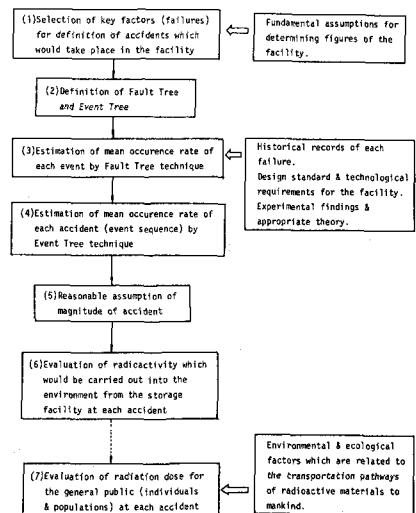


図-1 リスク評価の手順（フローチャート）

ものではなく、我関に蓄積する放射注廃棄物の集約的に停居する仮想の施設と評価対象にする。すなわち、直接評価の対象とするのは停居施設内の1停居室である(停居施設は複数種の停居室で構成される)。

### 1. リスクの定義

放射注廃棄物の停居施設に停居することにより生じる潜在的な影響の程度を評価する指標として用いるリスクを次のように定義する。

$$(\text{リスク}) = (\text{事故の発生確率}) \times (\text{事故の影響})$$

### 2. イベント・ツリー

停居室に停居している放射注廃棄物の環境中に漏洩するに至るイベントとして、停居室破壊、火災発生、消火失敗、浸水、停居体破壊、処理不能の6つを挙げる。ここで、停居体とは適切な容積に収められた廃棄物の容積とよび呼ぶ場合を呼称である。これらのイベントをこの順序に配列し、エピソードに停居室が破壊するに至る原因事故を停居室破壊のイベントの前に配列し、ツリーを構成するイベントの数 $N$ であるが、ツリーによって同定される事故(イベント・シーテンス)の数は $2^N = 64$ 個になる。但し、このようにして同定される事故の内には無意味なものも含まれる。例えば、消火失敗のイベントは問題になるのは火災が発生する場合に限る。つまり火災が発生しない場合の消火失敗は考えなくてもよい。またここで、停居室が破壊する場合には復旧に時間がかかる、その間の降水による浸水は避けられないと考えられている。つまり、停居室が破壊し浸水を生じないという事故は考えなくてもよいことになる。無意味な事故を整理して簡潔に1つのイベント・ツリーを図-2に示す。図-2が本研究で用いる基本イベント・ツリーである。

イベント・ツリーで同定される事故の内容は以下のようである。

例えば、図-2のイベント・シーテンス(事故)番号1で同定される事故は、停居室が破壊し同時に火災が発生し、消火に失敗し浸水を生じ、同時に停居室内に停居している廃棄物の停居体が破壊される、処理不可能な事故である。その他の事故についても同様に同定されることになる。

### 3. フォールト・ツリー

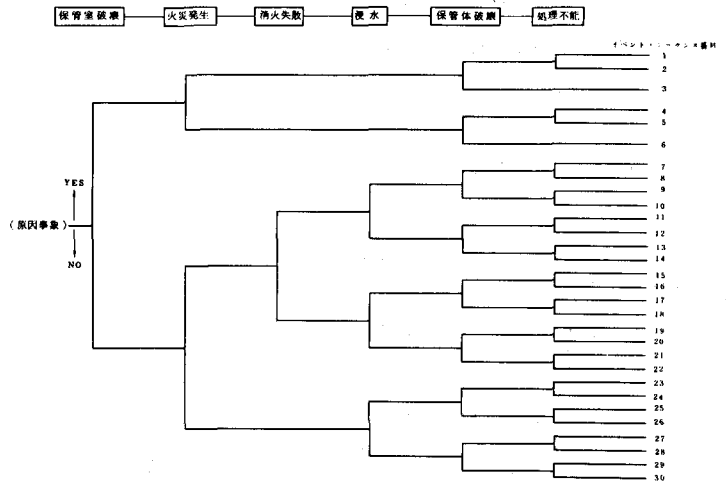


図-2 評価のための基本イベント・ツリー

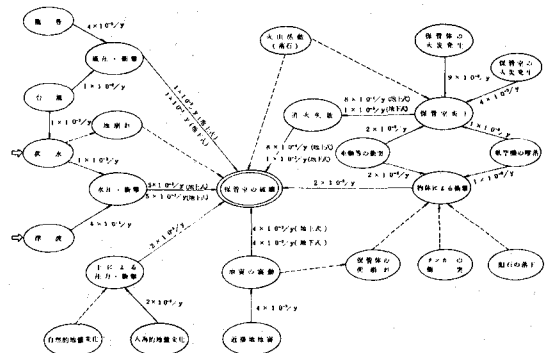


図-3 停居室破壊のフォールト・ツリー

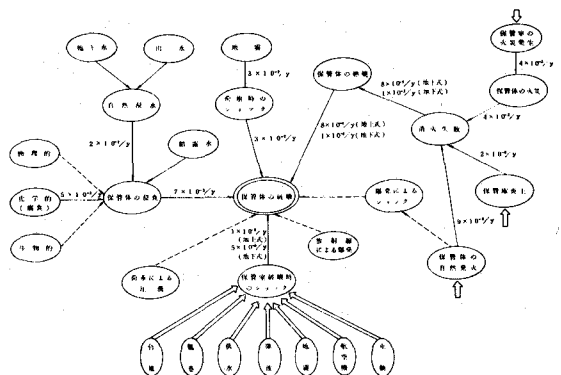


図-4 停居室破壊のフォールト・ツリー

イベント・ツリーを構成する各イベント（事象）の発生頻度を評価するためにフォールト・ツリーの手法を用いる。フォールト・ツリーは当該イベントの発生する原因を細分し、細分された原因の発生イベントの発生に随ひて道筋をツリー状に配列したものである。貯蔵庫破壊の頻度を評価するためのフォールト・ツリー、貯蔵庫破壊の頻度を評価するためのフォールト・ツリーをそれぞれ図-3、図-4に示す。図中、太い矢印は別のフォールト・ツリーより情報インプットされることを、細線の矢印は当該フォールト・ツリーで評価されるフォールトを、細線の矢印は（主に）発生頻度が極めて小さいと思われるため）今回の検討範囲からは除外されたフォールトを示す。例えば、図-3において、津波が半壊し貯蔵庫に水圧・衝撃を与えよるフォールト（1年当り）平均発生回数 $4 \times 10^3$  (1/yr)、同じく洪水による貯蔵庫に水圧・衝撃を与える平均回数は $1 \times 10^3$  (1/yr)、それと水圧・衝撃による貯蔵庫が破壊するのは地上式・地下式貯蔵庫とも $5 \times 10^3$  (1/yr)と評価されることになる。津波の発生回数、洪水の発生回数等は従来の気象記録、洪水発生に両期間に亘る報告通（河川堤防の設計基準確率洪水）等から定める。本研究により得られるリスクの評価値の信頼度は、フォールト・ツリーに与える各フォールトの平均発生頻度の評価値の精度・信頼度により大きく依存するといえる。フォールト・ツリーに与える数値の精度・信頼度が不十分で、かつ、津波の発生や洪水の発生等比較的信頼度が高いものもあれば、航空機が墜落や消火の失敗等その頻度が正確に評価される場合にはデータ数が不足してゐるもの、貯蔵庫の維持管理の程度等により、発生頻度の評価値が大きく変化するものもある。

フォールト・ツリーの手法を用いて推定・評価された各イベントの発生頻度を用いるとイベント・ツリーの平均により、各事象の発生頻度を推定することとなる。貯蔵庫破壊の原因事象が水に起因する場合（例えば、津波、洪水等）の地上式貯蔵庫に於ける事象の発生頻度（年間平均発生回数）を評価するためのイベント・ツリーを図-5に示す。また、地下式貯蔵庫、原因事象が水に起因しない場合（例えば、火災、地震の震動、圧力等）の事象の発生頻度の評価例も含めて整理して表-1に示す。

#### 4. リスク評価のためのモデル

仮定するように、放射性廃棄物を貯蔵庫に貯蔵することにより生じるリスクを人へ与えるものとして、放射性物質 $D_0$  (mrem/yr) が計量する場合に、リスク（被曝率 $\mu$ ）は貯蔵庫から漏れ出す放射性汚染量に比例すると考えてよい。ここでは、貯蔵庫から漏れ出す放射性汚染量の期待値でリスクを評価することとする。

放射性汚染種の漏れ量を評価するために用いる数値モデルは以下の通りである。

$$A(t) = \sum_j A_j(t) \quad \dots\dots\dots (1)$$

$$A_j(t) = \sum_k q_{j,k}(t) \cdot g \cdot \{d_k \cdot k_{j,k} + (1-d_k) \cdot \overline{k_{j,k}}\} \cdot S \cdot P(t) \quad \dots\dots\dots (2)$$

ここに  $A(t)$ : 時刻 $t$ に生じる事象時に水による貯蔵庫から運び込まれる放射性汚染量の期待値 (Ci/yr)。

$A_j(t)$ : 同じく水による運び込まれる $j$ 汚染種の期待値 (Ci/yr)。

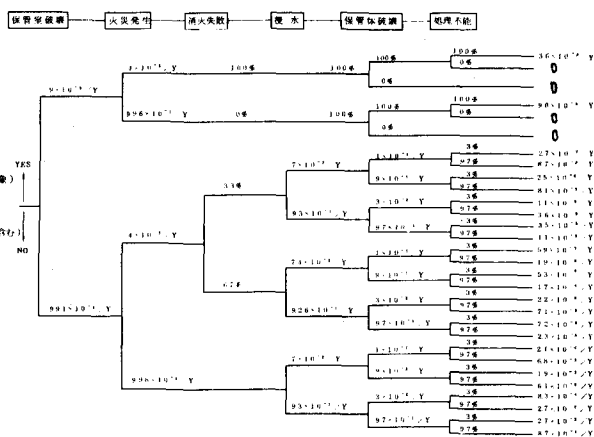


図-5 地上式貯蔵庫に発生する事象の発生頻度の評価例

$q_{j,k}(t)$ : 時刻  $t$  に第  $k$  層管内に存在する第  $j$  放射能種量 ( $G$ )。

$g$ : 事故時に水没・水漏する層管の百分率 (-)。

$dk$ : 事故時に破壊する第  $k$  層管の百分率 (-)。

$p_{j,k}$ : 破壊した第  $k$  層管の水漏した場合に水中へ漏れ出す第  $j$  種の割合 (漏れ量/層管内保有量)。

$\overline{p_{j,k}}$ : 層管が破壊した場合の  $p_{j,k}$ 。

$S$ : 事故時に層管室内に浸入した水の内部層管外へ流出する水量の比率 (流出水量/流入水量)。

$P(t)$ :  $t$  年以内に当該事故 (イベント・シーケンス) が発生する確率。

$j$ : 放射能種に区別する番号。

$k$ : 層管を区別する番号。

$t$ : 時間スケール。層管終了時  $t=0$  とする。

式 (2) 中の  $q_{j,k}(t)$  は式 (3) で与えられる。

$$q_{j,k}(t) = Q_k \cdot f_j \cdot \exp(-\lambda_j \cdot t) \quad \dots\dots\dots (3)$$

また、式 (2) 中の  $P(t)$  は層管の層管数  $t$  年目における当該事故が発生する確率は、当該事故の発生がポアソン分布に従うと考えると式 (4) で与えられる。

$$P(t) = 1 - \exp(-\beta \cdot t) \quad \dots\dots\dots (4)$$

ここに、 $Q_k$  は層管終了時に層管室内にある第  $k$  層管中の総放射能 ( $G$ )、 $f_j$  は  $Q_k$  中に占める第  $j$  種の割合 (-)、 $\lambda_j$  は第  $j$  種の崩壊定数 ( $1/y$ )、 $\beta$  は当該事故の 1 年当り平均発生回数 (表-1 参照) である。

### 5. 事故規模の想定

式 (1)・式 (4) を用いて放射能種の層管室への漏れ量を推定するためには、当該事故の規模を想定する必要がある。すなわち、上式中に現れる  $g, dk, p_{j,k}, \overline{p_{j,k}}, S$  の値を定める必要がある。 $p_{j,k}$  の数値を定めるのに、多く報告されている各層管室の  $j$  の種の漏れ率値

表-1 各イベントシーケンスの年平均発生回数

| イベント・シーケンス | 地上式保管室                  |                         | 地下式保管室                  |                         |
|------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|
|            | 原因事象が地震・台風・洪水・地表面沈下等の場合 | 原因事象が地震・台風・洪水・地表面沈下等の場合 | 原因事象が地震・台風・洪水・地表面沈下等の場合 | 原因事象が地震・台風・洪水・地表面沈下等の場合 |
| 1          | $3.6 \times 10^{-3}$    | $5.6 \times 10^{-3}$    | $3.6 \times 10^{-3}$    | $2.0 \times 10^{-3}$    |
| 2          | 0                       | 0                       | 0                       | 0                       |
| 3          | 0                       | 0                       | 0                       | 0                       |
| 4          | $9.0 \times 10^{-3}$    | $1.4 \times 10^{-2}$    | $9.0 \times 10^{-3}$    | $5.0 \times 10^{-3}$    |
| 5          | 0                       | 0                       | 0                       | 0                       |
| 6          | 0                       | 0                       | 0                       | 0                       |
| 7          | $2.7 \times 10^{-2}$    | $2.7 \times 10^{-2}$    | $4.2 \times 10^{-2}$    | $1.2 \times 10^{-1}$    |
| 8          | $8.7 \times 10^{-3}$    | $8.7 \times 10^{-3}$    | $1.4 \times 10^{-2}$    | $1.4 \times 10^{-2}$    |
| 9          | $2.5 \times 10^{-3}$    | $2.5 \times 10^{-3}$    | $4.2 \times 10^{-3}$    | $3.8 \times 10^{-3}$    |
| 10         | $8.1 \times 10^{-3}$    | $8.1 \times 10^{-3}$    | $1.4 \times 10^{-2}$    | $1.2 \times 10^{-2}$    |
| 11         | $1.1 \times 10^{-2}$    | $1.1 \times 10^{-2}$    | $1.7 \times 10^{-2}$    | $1.7 \times 10^{-2}$    |
| 12         | $3.6 \times 10^{-3}$    | $3.6 \times 10^{-3}$    | $5.5 \times 10^{-3}$    | $5.5 \times 10^{-3}$    |
| 13         | $3.5 \times 10^{-3}$    | $3.5 \times 10^{-3}$    | $5.8 \times 10^{-3}$    | $5.4 \times 10^{-3}$    |
| 14         | $1.1 \times 10^{-3}$    | $1.1 \times 10^{-3}$    | $1.9 \times 10^{-3}$    | $1.7 \times 10^{-3}$    |
| 15         | $5.9 \times 10^{-7}$    | $5.9 \times 10^{-7}$    | $4.4 \times 10^{-7}$    | $4.4 \times 10^{-7}$    |
| 16         | $1.9 \times 10^{-5}$    | $1.9 \times 10^{-5}$    | $1.4 \times 10^{-5}$    | $1.4 \times 10^{-5}$    |
| 17         | $5.3 \times 10^{-4}$    | $5.3 \times 10^{-4}$    | $4.0 \times 10^{-4}$    | $4.0 \times 10^{-4}$    |
| 18         | $1.7 \times 10^{-4}$    | $1.7 \times 10^{-4}$    | $1.3 \times 10^{-4}$    | $1.3 \times 10^{-4}$    |
| 19         | $2.2 \times 10^{-6}$    | $2.2 \times 10^{-6}$    | $1.7 \times 10^{-6}$    | $1.7 \times 10^{-6}$    |
| 20         | $7.1 \times 10^{-5}$    | $7.1 \times 10^{-5}$    | $5.5 \times 10^{-5}$    | $5.5 \times 10^{-5}$    |
| 21         | $7.2 \times 10^{-5}$    | $7.1 \times 10^{-5}$    | $5.3 \times 10^{-5}$    | $5.4 \times 10^{-5}$    |
| 22         | $2.3 \times 10^{-3}$    | $2.3 \times 10^{-3}$    | $1.7 \times 10^{-3}$    | $1.7 \times 10^{-3}$    |
| 23         | $2.1 \times 10^{-4}$    | $2.1 \times 10^{-4}$    | $2.1 \times 10^{-4}$    | $2.1 \times 10^{-4}$    |
| 24         | $6.8 \times 10^{-3}$    | $6.8 \times 10^{-3}$    | $6.8 \times 10^{-3}$    | $6.8 \times 10^{-3}$    |
| 25         | $1.9 \times 10^{-3}$    | $1.9 \times 10^{-3}$    | $1.9 \times 10^{-3}$    | $1.9 \times 10^{-3}$    |
| 26         | $6.1 \times 10^{-2}$    | $6.1 \times 10^{-2}$    | $6.1 \times 10^{-2}$    | $6.1 \times 10^{-2}$    |
| 27         | $8.3 \times 10^{-4}$    | $8.2 \times 10^{-4}$    | $8.3 \times 10^{-4}$    | $8.3 \times 10^{-4}$    |
| 28         | $2.7 \times 10^{-2}$    | $2.7 \times 10^{-2}$    | $2.7 \times 10^{-2}$    | $2.7 \times 10^{-2}$    |
| 29         | $2.7 \times 10^{-2}$    | $2.7 \times 10^{-2}$    | $2.7 \times 10^{-2}$    | $2.7 \times 10^{-2}$    |
| 30         | $8.7 \times 10^{-1}$    | $8.7 \times 10^{-1}$    | $8.7 \times 10^{-1}$    | $8.7 \times 10^{-1}$    |

表-2 破壊した層管の百分率

| 破壊の原因 | 保管室 | セメント拘束 |      | アスファルト |     | 鉄骨コンクリート |      |
|-------|-----|--------|------|--------|-----|----------|------|
|       |     | 固定     | 変位   | 固定     | 変位  | 固定       | 変位   |
| 保管室   | 保管室 | 地震の震動  | 10   | 10     | 10  | 10       | 10   |
|       |     | 洪水     | 10   | 10     | 10  | 10       | 10   |
|       |     | 地震     | 100  | 100    | 100 | 100      | 100  |
|       |     | 地震の震動  | 0.1  | 0.1    | 0.1 | 0.1      | 0.1  |
|       |     | 航空機墜落  | 10   | 10     | 10  | 10       | 10   |
|       | 保管室 | 地震     | 1    | 1      | 1   | 1        | 1    |
|       |     | 洪水     | 1    | 1      | 1   | 1        | 1    |
|       |     | 火災     | 1    | 10     | 10  | 1        | 1    |
|       |     | 野火     | 0.01 | 1      | 1   | 0.01     | 0.01 |
|       |     | 雷火     | 0.01 | 1      | 1   | 0.01     | 0.01 |
| 保管室   | 保管室 | 雷火     | 0.01 | 0.1    | 0.1 | 0.01     | 0.01 |
|       |     | 雷火     | 0.01 | 0.1    | 0.1 | 0.01     | 0.01 |
|       |     | その他    | 0.01 | 0.1    | 0.1 | 0.01     | 0.01 |
|       |     | 自然発火   | 0    | 0.1    | 0.1 | 0        | 0    |
|       |     | 火災     | 0    | 0.1    | 0.1 | 0        | 0    |
|       | 保管室 | 雷火     | 0.1  | 0.1    | 0.1 | 0.1      | 0.1  |
|       |     | 雷火     | 0.1  | 0.1    | 0.1 | 0.1      | 0.1  |
|       |     | 自然発火   | 0.1  | 0.1    | 0.1 | 0.1      | 0.1  |
|       |     | 火災     | 0.1  | 0.1    | 0.1 | 0.1      | 0.1  |
|       |     | 雷火     | 0.1  | 0.1    | 0.1 | 0.1      | 0.1  |

(注) 水没する保管室は保管室の種類によらず、つまり保管室の保管方法には関係なく、水没するものと仮定する。

(注) 鉄骨コンクリートは重量が 5cm の鉄筋コンクリートで内張りした重量 200kg のドラム缶を想定している。

を用いたのは、当該事故の特性を考慮して適切に想定した。事故時に保  
 存容器が破壊する本数割合の想定値を表-2に示す。また保存容器の浸水  
 時に水没・水漏りする保存容器の本数割合を表-3に、保存容器に侵入した  
 水の処理が不可能な場合に貯蔵と貯蔵水が保存容器より環境中へ移行  
 する割合の想定値も保存容器の種類、浸水のパターン毎に整理して表-4  
 に示す。1種の保存容器に保存される放射能の量は、セメント均一固体化  
 、アスファルト多重固化、圧縮的多重固化（不燃物・可燃物）等と  
 合わせて合計 12,000 本、総放射能量は 1080 Ci であるとした。

これらの保存容器中に占める放射能の種類の内分率は  
 $^{238}\text{Pu}$  が 0.18,  $^{60}\text{Co}$  が 0.27,  $^{137}\text{Cs}$  が 0.33,  $^{90}\text{Sr}$  が 0.22  
 であるとした。

## Ⅲ. 評価結果

保存容器の種類、原因事象の割合毎に評価した放射  
 能の漏れ量や移行量を整理して表-5に示す。同表  
 には、廃棄物の保存が終了した100年後に事故が発生す  
 る場合、100年以内に初めて事故が発生する場合と  
 ついての計算結果を示している。

本評価によって得られた主要事象を整理すると以  
 下のようになる。

### 1. 各イベント発生の主原因について

フォールト・ツリーによる解析によって、各イ  
 ベント（事象）の主要な発生原因を何個かを評価するこ  
 とができる。すなわち、①地上式保存容器の主要な破壊原  
 因は台風時の強風、地下式保存容器では浸水・津波等  
 による水圧・衝撃であると思われる。②保存容器と土の  
 主原因は、両保存容器の場合とも、電気火災（漏電等）で  
 あると思われる。③消火失敗は主として火災時の放射  
 能降塵の可燃性あるいは火災現場への物理的接近不可能に起因すると思われ  
 る。④保存容器浸水の主原因は集中豪  
 雨時の地表面浸水、保存容器コンクリート壁の浸食等であると思われ  
 る。⑤保存容器に保存された保存容器が破壊し主  
 として保存容器（200t鋼製ドラム缶）の化学的腐食、保存容器破壊時の  
 衝撃荷重、保存容器の腐蝕による衝撃荷  
 重等によって生じたと考えられる。⑥保存容器内に侵入した水の処理不能  
 主として廃棄物の腐敗等によって生  
 じたと考えられる（保存容器が破壊する場合も常に処理不能を考慮して  
 る）。

### 2. 環境中へ漏れする放射能の種類について

①保存容器より環境中へ漏れ出される放射能の種類は大部分（97%）は  
 廃棄物のセメント固体化による放射能である。セメント固体化による放射能の  
 量は約 1/200 程度になる。②保存容器より環境中へ漏れ出される放射能の  
 種類は大部分は  $^{137}\text{Cs}$  と  $^{90}\text{Sr}$  である。例として、No.1 イベント・シー  
 ーズの場合、浸水した放射能の種類は 86% は  $^{137}\text{Cs}$ 、13% は  $^{90}\text{Sr}$  に  
 なっている。③100年以内に生じた事故によって環境中へ漏れ出される放射能  
 の量は1年以内に生じた事故によって漏れ出される放射能の量の約 1/10  
 程度である。④100年以内に生じた事故によって環境中へ漏れ出される放射能  
 の量は1年以内に生じた事故によって漏れ出される放射能の量の約 1/10  
 程度である。⑤100年以内に生じた事故によって環境中へ漏れ出される放射能  
 の量は1年以内に生じた事故によって漏れ出される放射能の量の約 1/10  
 程度である。⑥100年以内に生じた事故によって環境中へ漏れ出される放射能  
 の量は1年以内に生じた事故によって漏れ出される放射能の量の約 1/10  
 程度である。⑦100年以内に生じた事故によって環境中へ漏れ出される放射能  
 の量は1年以内に生じた事故によって漏れ出される放射能の量の約 1/10  
 程度である。⑧100年以内に生じた事故によって環境中へ漏れ出される放射能  
 の量は1年以内に生じた事故によって漏れ出される放射能の量の約 1/10  
 程度である。⑨100年以内に生じた事故によって環境中へ漏れ出される放射能  
 の量は1年以内に生じた事故によって漏れ出される放射能の量の約 1/10  
 程度である。⑩100年以内に生じた事故によって環境中へ漏れ出される放射能  
 の量は1年以内に生じた事故によって漏れ出される放射能の量の約 1/10  
 程度である。

表-4 保存容器に侵入した水の処理不能による放射能の移行割合

| 浸水のパターン       | 地上式保存容器 |         |
|---------------|---------|---------|
|               | 地上式保存容器 | 地下式保存容器 |
| 浸水・漏水等の事象によって | 100     | 100     |
| 地震・高水等の事象によって | 100     | 100     |
| 地震・高水等の事象によって | 100     | 100     |
| 地震・高水等の事象によって | 100     | 100     |
| 地震・高水等の事象によって | 100     | 100     |
| 地震・高水等の事象によって | 100     | 100     |
| 地震・高水等の事象によって | 100     | 100     |
| 地震・高水等の事象によって | 100     | 100     |
| 地震・高水等の事象によって | 100     | 100     |
| 地震・高水等の事象によって | 100     | 100     |

表-5 事故時に水による保存容器への放射能の移行量

(単位: Ci)

| イベント<br>シーケンス<br>番号 | 1 年 後                  |                        | 100 年 後                |                        |
|---------------------|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|
|                     | 地上式保存容器                | 地下式保存容器                | 地上式保存容器                | 地下式保存容器                |
| 1                   | 1.3 × 10 <sup>3</sup>  | 2.5 × 10 <sup>4</sup>  | 1.3 × 10 <sup>3</sup>  | 2.5 × 10 <sup>4</sup>  |
| 2                   | 0                      | 0                      | 0                      | 0                      |
| 3                   | 0                      | 0                      | 0                      | 0                      |
| 4                   | 3.3 × 10 <sup>-1</sup> | 6.2 × 10 <sup>-1</sup> | 1.3 × 10 <sup>-1</sup> | 1.1 × 10 <sup>-1</sup> |
| 5                   | 0                      | 0                      | 0                      | 0                      |
| 6                   | 0                      | 0                      | 0                      | 0                      |
| 7                   | 9.5 × 10 <sup>-7</sup> | 1.6 × 10 <sup>-7</sup> | 2.3 × 10 <sup>-8</sup> | 4.9 × 10 <sup>-8</sup> |
| 8                   | 0                      | 0                      | 0                      | 0                      |
| 9                   | 8.8 × 10 <sup>-8</sup> | 1.5 × 10 <sup>-7</sup> | 2.3 × 10 <sup>-8</sup> | 4.9 × 10 <sup>-8</sup> |
| 10                  | 0                      | 0                      | 0                      | 0                      |
| 11                  | 0                      | 0                      | 0                      | 0                      |
| 12                  | 0                      | 0                      | 0                      | 0                      |
| 13                  | 0                      | 0                      | 0                      | 0                      |
| 14                  | 0                      | 0                      | 0                      | 0                      |
| 15                  | 2.5 × 10 <sup>-8</sup> | 6.9 × 10 <sup>-8</sup> | 2.6 × 10 <sup>-8</sup> | 1.0 × 10 <sup>-7</sup> |
| 16                  | 0                      | 0                      | 0                      | 0                      |
| 17                  | 2.2 × 10 <sup>-8</sup> | 6.4 × 10 <sup>-8</sup> | 2.3 × 10 <sup>-8</sup> | 9.4 × 10 <sup>-8</sup> |
| 18                  | 0                      | 0                      | 0                      | 0                      |
| 19                  | 0                      | 0                      | 0                      | 0                      |
| 20                  | 0                      | 0                      | 0                      | 0                      |
| 21                  | 0                      | 0                      | 0                      | 0                      |
| 22                  | 0                      | 0                      | 0                      | 0                      |
| 23                  | 7.4 × 10 <sup>-4</sup> | 1.2 × 10 <sup>-3</sup> | 1.2 × 10 <sup>-3</sup> | 2.5 × 10 <sup>-3</sup> |
| 24                  | 0                      | 0                      | 0                      | 0                      |
| 25                  | 6.7 × 10 <sup>-3</sup> | 1.1 × 10 <sup>-2</sup> | 1.1 × 10 <sup>-2</sup> | 2.2 × 10 <sup>-2</sup> |
| 26                  | 0                      | 0                      | 0                      | 0                      |
| 27                  | 0                      | 0                      | 0                      | 0                      |
| 28                  | 0                      | 0                      | 0                      | 0                      |
| 29                  | 0                      | 0                      | 0                      | 0                      |
| 30                  | 0                      | 0                      | 0                      | 0                      |

(注1) 水に関係する原因事象とは、洪水、津波、異常降雨による地表面浸水等保管容器破壊  
 の原因の浸水と関係のある事象をいう。水と無関係の事象とは台風、地震、火災時の  
 地震、火災時の地震、地震の震動等保管容器破壊の原因の浸水と無関係の事象をいう。

(注2) イベント・シーケンス番号については図-2 参照

いような維持管理をすれば汚染漏量の期待通り、特に100年以後の事故に対して小さくなる。

### 3. 廃炉安全管理の指針

本研究の検討より、廃炉物貯蔵室の安全管理の指針をなすに際しては、廃炉室より環境中へ移行する放射能汚染量を少なくするために有効な管理の指針を得て整理すると以下のようになる。すなわち、①地上式貯蔵室の場合には耐圧強度に配慮し、地下式貯蔵室の場合には火災時の耐熱強度に配慮して設計すること。②貯蔵室には遠隔操作可能あるいは自動的に作動する消火設備を設けること。③貯蔵室は浸水しにくい構造にすること、また浸水した場合に感度よく検知できる装置を設けること。放射能汚染の環境中への漏出量は廃炉物の固形材によっても大きく変化する。貯蔵室の放射能汚染の浸出量を小さくするためには固形材としてセメントを用いるよりはアスファルトを用いる方が望ましい。ただし、アスファルトは火災時に溶ける可能性があるため、空気と共に放射能汚染が環境中へ漏れ出す場合についてもリスクの評価が必要である。

## IV. 考 察

すでに述べた評価結果等より考察して、本研究で採用した手法は改良の余地はあるものの、廃炉廃棄物の管理施設の安全面を評価する場合にありとあらゆる場合、火災時の安全化(リスク)を評価する方法として有効であると思われる。すでに述べたように、ファールト・ツリーに記入した数値の精度・信頼度は高くない。すなわち、各数値の内には想定値として与えられたものもあること等が原因で、例えば表-5に整理された評価結果の数値の絶対値には現状ではあまり意味がな(信頼度が低い)と考えらるべきである。むしろこれらの評価結果を相対的に比較して、安全化を要する要因が何であるか、どの様な対策で安全化をより向上させるためにより有効であるか等の指針を得るのに用いるべきである。

廃炉物の貯蔵施設に保管することのリスクを、人々受ける放射能汚染率で評価するために、貯蔵室より漏出した放射能汚染の環境中での移行を評価しなくてはならない。例えば、貯蔵室より環境中へ漏出する放射能汚染により、公衆の摂取量が受ける放射能汚染 $D_s$ は一般的に次式で与えられる。

$$D_s = \sum_j D.F_j \cdot a_j(t) \quad \dots\dots\dots (5)$$

ここに、 $D.F_j$ は第j汚染源単位量に環境中へ漏出した場合に人々受ける放射能汚染を表す汚染係数である。この汚染係数は貯蔵室と環境との環境特性、汚染の移行経路、同じに居住する人の生活習慣等によって大幅に変動する。例えば、貯蔵室より水漏れして運ばれた水が95%以上で中へ浸透し地下水層中の150m移動して海水中へ流入するとき、当該海域で採取される海産物を摂取する場合の $D.F_j$ は1.5 mrem/ciとなる。さらに汚染係数を評価することによって、放射能汚染率、例えば死亡率の増加、しべ半の増加等に換算することによって、廃炉物を貯蔵することによるリスクを他の種類のリスク、例えば交通事故による死亡率のリスク、成人病による死亡率のリスク等と比較することによって、廃炉物貯蔵の妥当性をよりたゞ立場から評価してよりなるものと期待される。

## V. おわりに

非常に多くの仮定に基づいて放射能廃炉物の貯蔵によって生じるリスクを評価した。本研究で示したリスクの評価例は事故時の影響を評価する場合に有用であると思われる。最後に本研究は、筆者等が日本原子力研究開発機構、東海研究所、和歌山県、加藤清内氏と共に科学技術庁昭和54年度廃炉物処理分科会調査研究費の交付を受けた(財)原子力安全研究協会に設けられた放射能廃炉物処理分科会委員会の活動の一環として実施されたことを記して関係者各位に深く感謝致します。

## VI. 参考文献 (1) 原子力安全研究協会：“放射能廃炉物の陸地貯蔵施設の基準化のための調査研究”(1974)

(2) U.S.AEC: "Reactor Safety Study" WASH-1400, (Draft), (1974)

(3) Y. Inoue & S. Morisawa: "Survey on the Relative Safety of Waste Management Sites" (Prepared for Publication)