

長期管理

英原子力公社による廃棄体パッケージの ライフタイム管理—中間貯蔵とそれ以降

UKAEAは、英国の廃棄物処分場の操業開始時期が不確かなために、放射性廃棄物を格納し、管理するだけでなく、現在廃棄物が梱包されているステレンス鋼容器が貯蔵中劣化しないことを保証しなければならない。

マイケル・ワイズ (Michell Wise)

英原子力公社 (UKAEA) は、原子炉システム、燃料・再処理技術、核融合をはじめとする、原子力の研究全般を推進するために1940年代以降、さまざまな原子力施設の建設と操業に携わっている。これらの施設は、カルハム (Culham)、ドーンレイ (Dounreay)、ハーウェル (Harwell)、ウィンズケール (Windscale)、ウィンフリス (Winfrith) にある社有地にあり、多様な複合施設となっている。UKAEAは、これらの原子力施設から発生する廃棄物の管理を引き受けている。

UKAEAの任務は、安全確実な方法でこれらの施設の環境を修復することであるが、この修復が環境に対して責任をもち、修復費用に見合う価値を提供し、一般に受け入れられるようにしなければならない。この修復では、余分なすべての施設の廃止措置や撤去、政府の政策に従って長期貯蔵と最終処分のために受動安全性の廃棄物パッケージをもたらす上でこの過程で発生する廃棄物の処理なども行われる。

ナイレックス (Nirex) 処分場プロジェクトの頓挫により、このような廃棄物の長期管理計画について英国の原子力産業界全体で明確しなければならない必要に迫られていた。環境・食糧・地域問題省が

最近発表した諮問 (協議) 文書「放射性廃棄物の安全管理」は、今後の方法について決定に至るまでの長期管理に対する懸念を高めている。UKAEA計画では、少なくとも50年間、廃棄物を廃棄物発生者のサイトに貯蔵することを検討しなければならないことが明らかとなっている。また、この貯蔵期間が、将来可能な深地層処分場で実際に廃棄物が埋設されるまでに100年間延長されるかもしれない。

このような不確かな状況のために、UKAEAは、放射性廃棄物が現在格納されているステレンス鋼容器が貯蔵中に劣化せず、これらの廃棄物パッケージの長期にわたる回収と取り扱いを困難にしないようにしなければならない。長期貯蔵期間中の環境に配慮した貯蔵状態とパッケージの健全性への監視を検討するために、原子力産業界は、多くの作業を行っている。しかし、廃棄物発生者は、ステレンス鋼容器が絶対に腐食を起さないように、廃棄物の梱包過程のすべての段階で (初期の製造から将来可能な処分場の閉鎖まで) ステレンス鋼容器の貯蔵と取り扱いについて十分に検討しなければならないという認識をますます高めている。

本文は、廃棄物容器の目的と、廃棄物容器の製造のためにステレンス鋼を使用することについて述

べ、梱包過程の各段階で容器の健全性に影響を及ぼす大きな問題について要点を示し、このような問題をいかにして克服できるかを探る。



表面のきれいな傷のない廃棄物貯蔵ドラム缶

廃棄物と周囲環境の一時的な橋渡し役

放射性廃棄物管理の最も重要な目標は、放射能の生物圏への放出を防ぐことである。地上ないし地下貯蔵中、廃棄物容器は、廃棄物と周囲環境との一次的な橋渡し役となる。現行のNirexの段階的処分計画では、安全への基本原理は、廃棄物を隔離するために複数の人工バリアや化学バリアを利用することである。

廃棄物容器は、放射性核種を格納するだけでなく、廃棄物の取り扱いや輸送を容易にし、万一要求されるのであれば、貯蔵所や段階的処分施設から廃棄物の回収が可能となる。また、この容器は、移送中や取り扱い中の

衝撃に対して適度に耐えることができないなければならない。

Nirexは、放射性廃棄物を梱包する一連の標準容器を指定した。Nirexが中レベル放射性廃棄物容器として目下指定する4種類の標準容器は、表1に記載している。

アロイ304タイプとアロイ316タイプは、標準オーステナイトグレードであり、今日使用されておる最も一般的なステンレス鋼である。316グレードでモリブデンを添加したことで、局所腐食に対して優れた耐性が備わる。Lという名称は、それぞれのアロイの低炭素種のことを示すものであり、溶接構造物の耐食性を約束するのに必要なものである。

多くの廃棄物容器でステンレス鋼が選択される大きな理由は、コストと加工性に加え、優れた耐食性である。ステンレス鋼は、空気環境や貯蔵環境での全体的な腐食率が極めて低いという利点があり、容器に収納される廃棄物に対する耐食性も良好である。ステンレス鋼のクロム含有量が高ければ、空気や水に接触するとクロムを多量に含む薄い粘着性の酸化膜が自然に形成される。この酸化膜は、周囲環境との更なる反応に対して下層の金属を保護し、「パッシブ型」と呼ばれている。この酸化膜が摩耗で損傷しても直ちに復元する。

ステンレス鋼のこのパッシブ膜が、表面全体の全体的な、または均一な腐食を抑制する。しかし、一部の環境では、このパッシブ膜が小さく分解して、局所腐食につながる可能性がある。自然な表面では、局所腐食は、表面の小さな窪みや穴となって現れるか、または片方の表面間に割目に生じることがある(割目腐食)。局所腐食の最も一般的な原因は、水溶性塩化イオンの存在であり、このパッシブ膜を破壊

表 1

廃棄物容器	代表的な内容物	全体寸法	材 料	壁 厚 (mm)
550lドラム缶	固体、液体、スラッジの稼働中ILW	直径800mm× 高さ1200mm	オーステナイト系 ステンレス鋼	2.5
3m ³ ボックス	稼働中および廃止措置中の固体ILW	1720mm× 1720mm× 高さ1255mm	オーステナイト系 ステンレス鋼	6
3m ³ ドラム缶	稼働中および廃止措置中の液体・スラッジILW	直径1720mm× 高さ1255mm	オーステナイト系 ステンレス鋼	5
4m ³ ボックス	廃止措置中の廃棄物大型品目	4013mm× 平面2438mm× 高さ2200mm	オーステナイト系 ステンレス鋼	3

することができる。したがって、容器の表面が塩化イオンで汚染されないようにすることが大切であり、容器が保管される環境をコントロールしてステンレス鋼の表面での結露の発生を最低限に抑えることである。問題となると思われる部分については、後で詳しく述べる。

廃棄物パッケージの最終処分オプションがどんなものであれ、廃棄物パッケージの寿命期間中においていくつかの段階は、はっきりしている。製造後、容器は使用前に保管される。その後、廃棄物梱包工場で固定化放射性廃棄物が充填され、数十年間に及ぶ期間貯蔵される専用の建屋に設置される。ある段階では、Nirexが計画中の段階的処分計画で考えられていることを含め、このパッケージが処分施設へ移送される場合もある。再び数十年続くと思われる処分場の稼働期間中、この処分施設は、廃棄物パッケージが監視かつ回収可能となる地上貯蔵施設に似たようなものになるであろう。可能と思われる手入れと維持管理を行った後、計画では、密閉前に、このパッケージの腐食を防ぐ機能をもつセメント基剤の裏込め材で囲む。このパッケージと容器は、廃棄物パッケージの寿命期間のどの段階でも不変でなければならない。

規制問題

原子力施設検査局（NII）は、最近、検査官を対象として、許認可原子力施設での放射性廃棄物管理の指導を行った。NIIによると、ILWの長期貯蔵に使用される建屋は、廃棄物パッケージの寿命を最大限に伸ばし、適時、処分施設への安全な移送を円滑にするために、貯蔵された廃棄物を手厚く保護しなければならないという。このために、貯蔵建屋の環境の管理と監視が求められる。これは、受動安全の要件と相反するかもしれないが、廃棄物パッケージ自体は、本来安全に対して受け身であり、数日間ないし数週間、換気が機能しなくとも直ちに安全面への何らかの影響は生じることない。

また、NIIによると、貯蔵建屋や貯蔵構造物の設計は、要求されている予想貯蔵期間中に廃棄物の受動安全な貯蔵を行うという目的に適合していなければならないという。UKAEAは、貯蔵について、最低50年間廃棄物の貯蔵が可能になるように設計し、さらに100年間維持できるようにすべきであると認



腐食したドラム缶

識している。

容器の手入れと取り扱い

容器の寿命を最大限に引き伸ばすために、廃棄物が詰め込まれた容器を貯蔵する環境の管理にあらゆる努力をこれまで注いできた。ステンレス鋼の腐食過程への知識と理解が深まるにつれ、廃棄物発生者は、製造から最終処分までこのパッケージの寿命全体を考慮しなければならないことが明らかとなった。容器の腐食は、廃棄物が詰め込まれる前に始まると思われる。孔食割れまたは応力腐食割れが始まると、徹底管理の環境条件でも亀裂の進行を抑えることは難しいのではないかと。

UKAEAは、Nirex標準ステンレス鋼容器の手入れと取り扱いの原則について以下の項目を検討している。

- ステンレス鋼は、耐食性を最大限に高めるために表面の汚れをきれいに除去する。
- ステンレス鋼は、使用前、乾燥させ、可能ならば、表面を塵や埃の汚染から保護する。埋込まれた不活性の粒子でも割目が生じて腐食の原因となる。
- 塩化物の移動を防ぐために、ポリエチレン手袋を使うなど、容器表面に手が触れるのを避ける。
- 容器表面が、塩化物が含まれている可能性のある材料で汚れたり、汚染したりした場合、主として、洗剤または酸性液で容器を洗い、その後に水洗いし

た方がよい。溶剤を使わなければならない場合、溶剤から塩素を取り除かなければならない。

●工具や取り扱い装置からの鉄粉が圧力のかかった箇所でステンレス鋼の表面に埋込まれて、腐食を受ける可能性がある。鉄分の腐食により、下層のステンレス鋼の腐食が始まる。大切なことは、ステンレス鋼が埋込まれた鉄分で汚染されないようすることである。これは、貯蔵施設のすべての取り扱い機器が、ステンレス鋼容器と軟鋼または他の陽性金属との接触を防ぐように設計されなければならないことを意味する。

容器の手入れと取り扱いは、品質管理対策、運転手順、是正措置との兼ね合いである。問題点の一部、これらの対策や措置を実施する段階の一部は、表2に詳しく記載している。

このようなプロセスの各段階や問題点の詳細は、以下の通りである。提案されている管理対策は、目的に適した品質管理体制の下で行うべきである。

容器の製造

英国には、放射性廃棄物の梱包に使われるステン

レス鋼容器を製造する2大メーカーがあるが、廃棄物発生源の中には、零細メーカーを単発で利用することもある。製造中、ステンレス鋼と、同じ施設で使用中またはローラーコンベヤーやフォークリフトなどの容器取り扱い機器の軟鋼とが交差して相互に汚染しないように注意を払わなければならない。前述のように、鉄分の腐食により、下層のステンレス鋼の腐食が始まる。また、軟鋼の腐食による汚れが誤解され、廃棄物パッケージの健全性への懸念を高める恐れがある。

この懸念は、通常、製造工程の隔離と管理で払拭される。また、容器は、製造後、洗剤と水、またはビードプラストで洗浄される。

容器の製造後、その取り扱いでも懸念が生じることもある。廃棄物充填後の貯蔵環境が入念に管理、監視され、パッケージの健全性を確保していることを示すために、数多くの作業を行った。しかし、新規に製造された容器が、放置された「物置」に貯蔵しなければならないこともある。このような容器の貯蔵状態には注意を払う必要がある。容器は、汚れない乾燥した状態を維持しなければならない。容器は、通常、ある種のプラスチックで圧縮包装して

表 2

工程段階	問題点	管理対策
容器の製造	・ 製造中、ステンレス鋼と軟鋼との交差汚染 ・ 容器メーカーの施設で新規容器の保管 ・ 粘着テープや粘着ラベルの化学物質によるステンレス鋼表面の汚染	・ 製造工程の隔離と管理 ・ 製造後、容器の洗剤・水またはビードプラストによる洗浄 ・ 容器貯蔵状態の管理 ・ 容器のポリエチレン圧縮包み
サイトへの移送	・ 容器の取り扱いに使うフォークリフトの軟鋼とステンレス鋼の交差汚染 ・ 容器の汚染	・ 特殊パレットによる容器の移動 ・ ゴム手袋着用オペレーターによる容器の取り扱い
使用前の保管	・ 容器の取り扱いに使うフォークリフトの軟鋼とステンレス鋼の交差汚染 ・ 使用前の保管 ・ 容器の汚染	・ 特殊パレットによる容器の移動 ・ UKAEAは、新規容器の保管専用施設の建設を検討中。この貯蔵所の環境状況と容器取り扱いを管理する。 ・ 容器は、使用前に酸性洗浄する。
容器の使用	・ ステンレス鋼と容器をプラント内で移動する装置の軟鋼との交差汚染	・ 移動装置（ローラーコンベヤーまたはトロリー）の材料をステンレス鋼にする。 ・ 廃棄物充填後、容器を洗浄する。
容器の貯蔵	・ 容器の腐食	・ 貯蔵所の環境状況を管理する。 ・ 貯蔵中、パッケージの監視

特別な保護膜を作る。このプラスチックは、ポリエチレンであり、塩化物を含むある種のポリマーでないことを保証しなければならない。

UKAEAは、新規容器貯蔵専用施設の建設にメリットがあるかどうか、目下検討中である。この施設の建設により、UKAEAは、腐食開始を防止するために容器を貯蔵および取り扱う状況を管理することができるようになる。

サイトへの移送

ここでも、軟鋼によるステンレス鋼の交差汚染の可能性への懸念がある。この汚染が生じるのは、フォークリフトが容器を持ち上げて別の場所へ移動させる場合、または移送される容器の両側に衝撃が加わり、容器が損傷する場合である。UKAEAは、容器の移送と取り扱いに特殊なパレットと使用している。このパレットを使うと、フォークリフトのステンレス鋼への接触を防ぐ。

オペレーターが素手で容器を取り扱う場合、容器表面の塩化物汚染の可能性への懸念もある。操作手順では、ポリエチレン手袋着用オペレーターしか容器の取り扱いができませんようにすべきである。容器のプラスチック包装も別途の保護対策とすべきであるが、このプラスチック包装の取り外しには注意を要する。

使用前に貯蔵

容器使用前の貯蔵段階においても、製造と移送に関する問題点がいくつか生じる。UKAEA内では、

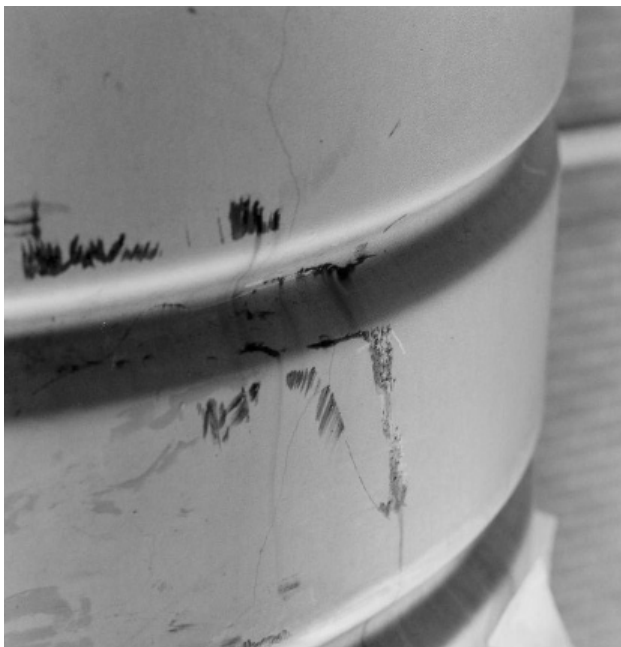
新規容器は、セメント塗り施設のセルルーフの上、またはセメント塗り施設の外側のトラックの上に保管することができる。容器が軟鋼や塩化物で汚染する事例とは別に、床磨き剤や塗料など他の製品による容器の汚染も考えられる。

容器は、このような汚染源による腐食の潜在的なリスクを低減するために使用前に洗浄可能である。UKAEAは、容器のビードブラスト、酸性洗浄、水洗いなど容器の様々な洗浄法について目下検討中である。このような可能性のある洗浄法のそれぞれには一長一短がある。例えば、ビードブラストは、処理しなければならない他の廃物を発生し、オペレーターは、ビード自体の汚れにより状態を悪化させないように注意しなければならない。

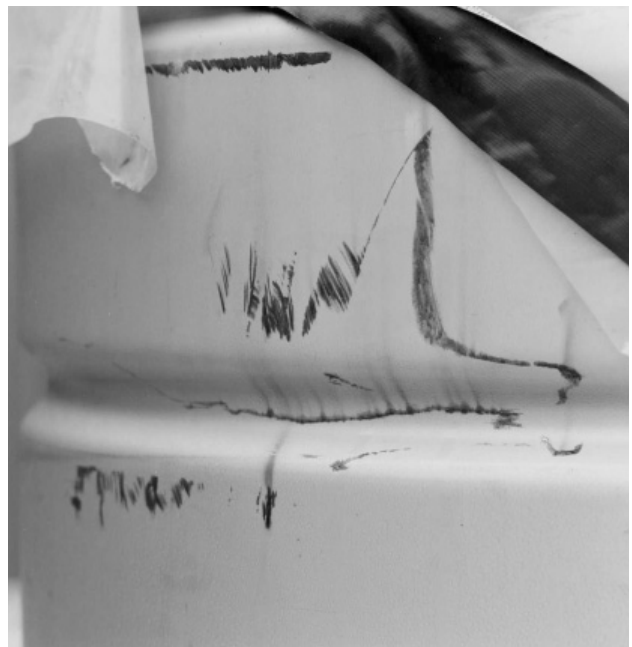
貯蔵時に考えられるもう1つの問題点は、容器表面に接着テープや接着ラベルが貼られているということである。接着テープや接着ラベルは、大量のハロゲン化合物、特に塩化物を含んでいることがある。塩化物は、識別用の接着剤、テープやラベル、インクに含まれている。原則として、テープやラベルは、ステンレス鋼容器の表面に直接貼るべきではない。

容器使用中

容器は、通常、ローラーコンベヤーまたはトロリーで廃棄物処理・セメント塗りセルまたは地下セルの中へ運ばれる。このような容器移動法は、容器と軟鋼との交差汚染を防止するように工夫しなければならない。全力を投入して、容器の外側表面が汚染しないようにすべきである。容器が実際にセルの中に詰め込まれる場合、貯蔵前に、容器洗浄施設で



廃棄物ドラム缶の腐食例



容器を洗浄してもよい。塩化物を含む洗剤で絶対に洗浄しないようにする。多分、脱塩水が最適な洗浄剤であろう。

容器に廃棄物や基材が充填されると、これはパッケージとしてみなされる。容器で廃棄物と基材の相互作用やパッケージの耐食性に及ぼす何らかの影響に対する懸念が生じるのではないか。この点については本文では言及しないが、Nirex意見書の一部として通常取り組んでいる。

パッケージの貯蔵

これまで述べたように、充填容器は、処分施設が稼働するまでの相当な期間、サイトに貯蔵される。廃棄物発生者は、パッケージの寿命を最大限伸ばすために、貯蔵環境を必ず制御しなければならない。また、パッケージは、是正措置が取られるように潜在的な劣化を早期に発見するために、貯蔵期間中、監視すべきである。

貯蔵環境の目標やパッケージ監視の具体的な提案について述べているが、これらは目標であり、これに止まるわけではないということに注意する。

温度

温度は、多くの形で腐食率に影響を及ぼす。温度は、空気の相対湿度、露点、含水液が利用できる時間に影響する。

結露を防止するために、貯蔵温度は、16-18℃に維持する。18℃を越えると、アルミニウムやマグネシウム切屑などの封入金属を含む廃棄物で腐食率が上昇する可能性がある。温度が16℃未満になると、容器表面で結露が生じ、腐食する。

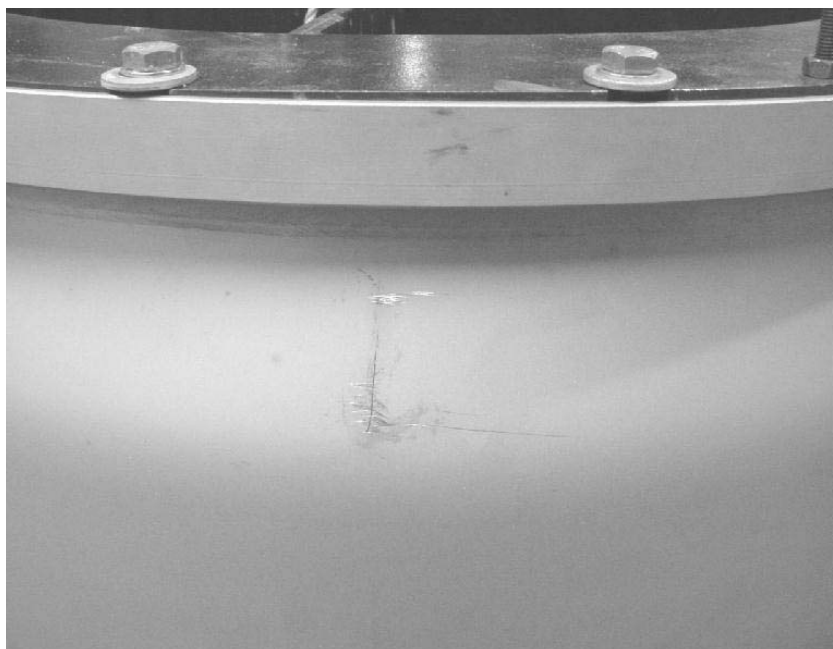
相対湿度

相対湿度により、腐食を促す容器表面に生じる水分量が決まる。湿潤空気が暖まると相対湿度が下がる。

貯蔵所の空気の相対湿度は、50-70%に維持しなければならない。湿度が70%を越えると、容器表面が湿り、全体腐食と点食が発生する。湿度が50%未満になると、空気中に多量の塩化物も含まれている場合、応力腐食割れが生じる。

塩化物濃度

局所腐食の一般的な誘導物質は、水溶性塩化物イオンである。塩化物イオン濃度が上昇すれば、局所



引っかき傷のついた廃棄物ドラム缶

腐食の可能性が高くなる。局所腐食は、表面が水に浸されているとき、または空気中に曝されているときに発生する。

塩化物の表面汚染限度に関する確定的な数量データはない。入手可能な最適な数値は、目標値1平方センチメートルあたり10 μ gである。これは、この塩化物濃度を越えると点食や錆による染色の恐れがあるという証拠に基づくものである。

空気中の塩化物濃度は、貯蔵所の位置によって異なる。予想されているように、ドーンレイやウィンズケールなどの沿岸に位置する貯蔵所は、空気中の塩化物濃度が高い。しかし、空気中の塩化物は、工場や発電所の排出物など数多くの発生源から生じる。したがって、海岸から離れた一部の地方の塩化物濃度は、予想以上に高いこともある。貯蔵環境での塩化物濃度を確認するために、塩化物の監視を行うべきである。

ろ過

建物や通気坑を空気が取り抜けると、空中の粒子が降下する恐れがある。貯蔵所の空気入口システムをろ過して、廃棄物パッケージの表面に付着するかもしれない塩化物や他に有害と思われる粒子の進入を防止する。

環境状態の監視

貯蔵所内の状態を常時監視するために、監視装置を配備する。この装置の測定結果が、容器周辺の状態を示すものであることを立証しなければならない。

この結果は、1年間の貯蔵環境状態の傾向を検討

する上で、表計算ソフトに入力できるように電子媒体で提供すればメリットがあるであろう。この監視記録は、容器の記録とともに、容器パッケージが、処分時に移送に適合しているという証拠の一部としてみなされるよう、保管しなければならない。

パッケージの監視

貯蔵中のパッケージを監視する上で多数の手法が利用できる。どの手法を選択するかは、廃棄物の性質や貯蔵状態により異なる。これらの手法として以下のものがある。

- 目視検査-染色、孔食、割目腐食、埋込み鉄分の腐食を探す。

- 塗布－表面の塩化物汚染度を調べる。

- 腐食試験片-全体腐食、孔食、割目腐食、応力腐食割れを調べるために使う。試験片を使用する基準がある。

- 染色浸透剤試験-応力腐食割れの検査に使う。しかし、この手法では、オペレーターがパッケージの近くへ立ち入らなければならない。したがって、ILWパッケージを遠隔操作する場合には、この手法は不可能となる。

- 渦電流試験-亀裂や他の欠陥を点検するのに利用する。

- 空気腐食プローブ

貯蔵中のILWパッケージに対して現在行われている監視では、これらの手法を組み合わせる使わなければならないものと思われる。

もう1つの容器試験法は、パッケージのダミーを使うことである。このダミーは、不活性な廃棄物偽物パッケージで、多分、不活性な試運転中に発生するものと思われ、貯蔵所で活性廃棄物パッケージと一緒に貯蔵される。これらは、前述のように、非破壊試験のために定期的に取り出したり、または容器や廃棄物形態が移送に適した状態であることを確認するために、破壊試験のために処分場へこのパッケージを送出する前に取り出したりすることができる。

パッケージ記録の長期保管

廃棄物パッケージの長期貯蔵の必要性に伴う他の問題も生じている。この問題の1つとして、パッケージ記録の長期保管が求められることである。英国の廃棄物発生者やNirexは、最近、簡単だが重要な以下の項目を含む、記録管理のための長期要件の検討に着手した。

- 電子媒体または紙で記録を保管すべきか？

- 紙による記録は、化学物質を含まない特殊な紙に保持し、化学物質が含まれていない段ボール箱に保

管する。

- ホッチキスの針やプラスチックカバーを使わない。

- インクプリンタではなく、レーザージェットプリンタを使う（レーザージェットは、インクジェットで使う染料ではなく、顔料を使う。染料は時間の経過とともに退色する）。

このような廃棄物パッケージを処分施設へ引き渡すときにパッケージ記録が分かりやすい形で保管されるように、別途作業が必要となる。Nirexは、パッケージ記録でどのような情報が必要なのか、最近、廃棄物発生者に対して指導を行った。この情報として、廃棄物の中身に関する情報だけではなく、発電所運転手順、品質保証計画、容器調達仕様などの裏付け文書に関する情報も含む。Nirexは、今年、パッケージ記録の長期管理について指導を行う（2003年）。

マイケル・ワイズ (Michell Wise) は、UKAEAの主要プロジェクト・技術部門廃棄物・環境技術課課長である。本文は、ネバダ州リノで8月4－8日に開催されたスペクトラム2002で行われた発表に基づくものである。