

原子力設備のコンクリート放射化低減技術

Radioactive Waste Reduction at Decommissioning of Nuclear Facilities

林 克己 金野 正晴
Hayashi Katsumi Kinno Masaharu

地球温暖化ガス削減の面からもエネルギーセキュリティの面からも、原子力が今まで以上に重要になってきている。原子力設備を60年間使用するとすれば20年後にはリプレースも次々と行われることになる。解体時に発生するコンクリート廃棄物のうち原子炉に近い部分の放射化を低減する技術開発についてその現状と展望を紹介する。

To use nuclear energy is now very important because it reduces global greenhouse gas and establishes energy security. However after 20 years later many nuclear power plants must be reconstructed when we assume their life to be 60 years. Parts of the concrete near a reactor vessel are radioactive at decommissioning phase. In this paper, the authors describe a research and development to reduce radioactivity in the concrete.

キーワード：原子力設備，地球温暖化ガス，エネルギーセキュリティ，コンクリート廃棄物

はじめに

1.1 地球温暖化ガスの発生抑制

現在日本の原子力発電所は55基が運転されており、総発電電力量の約3分の1を担う基幹電源となっている。図1の各種電源別のCO₂排出量に示すように原子力発電の排出量は化石燃料に比べて非常に低い。

この結果、すべて石油火力、石炭火力で発電したときと比べ、CO₂排出量は実際には図2に示すように半分以下となり、その大部分は原子力発電による抑制効果である。(2004年度実績)

また、日本のエネルギー自給率は4%と低い

ため、エネルギーセキュリティの観点からも偏在資源である化石燃料の割合を減らし、準国産エネルギーである原子力発電を増やしていく必要がある。さらに今後核燃料サイクルを推進して高速増殖炉(FBR)が導入されれば半永久的な国産エネルギー確保が可能となる。

1.2 原子力発電所のリプレース

ここで、現在の供給計画どおり原子炉新設が進められたとしても、2030年前後から予想される既存炉の本格的なリプレースが行われないと急激に原子力比率は落ちこむ。したがってリプレースが順調に行われることが新設と同様重

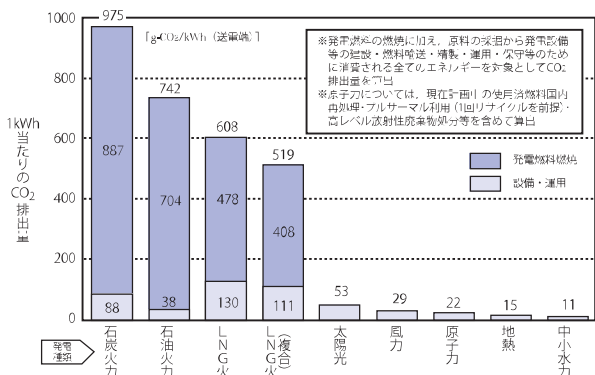


図1 各種電源別のCO₂排出量 (出典：電力中央研究所報告書他)

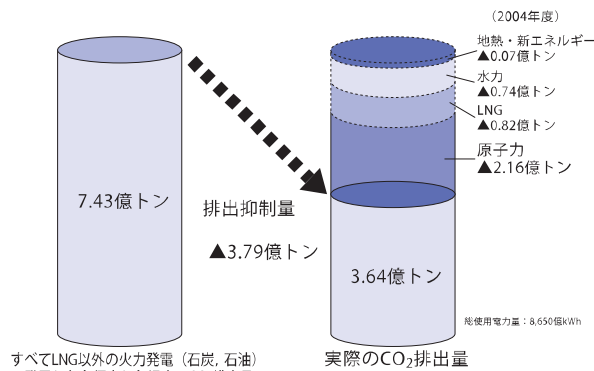


図2 原子力発電によるCO₂排出量の抑制 (出典：電気事業連合会試算)

要となる。

リブレースは、既存発電施設の廃止措置を伴う。廃止措置では建物解体に伴いコンクリート廃棄物が発生する。コンクリートのうち一部は低レベル放射性廃棄物となる。将来のプラントでは、この低レベル放射性廃棄物も大幅に削減でき再利用可能なものに変えることが望ましい。

筆者らは平成16年度の経済産業省革新的実用原子力技術開発費補助事業「クリアランスレベル以下にするための低放射化設計法に関する技術開発」でフィージビリティスタディを行い、平成17年度から4年間の予定で技術開発(総括代表:東北大学・長谷川晃 助教授)¹⁾を行っている。本稿では、その概要について紹介する。

2 原子力発電施設の解体

2.1 クリアランス

自然界には天然放射性物質や宇宙線に起因した自然放射線があり、日常生活で年間約2.4mSv(ミリシーベルト)の放射線を受けている。ある物質に含まれる微量の放射性物質に起因

する線量が、自然放射線に比べて充分小さければ当該物質を放射性物質として扱う必要がないとして、放射線防護に係る規制の枠組みから外するという考え方を「クリアランス」という。

また、放射性物質として扱う必要がないレベルをクリアランスレベル²⁾といい、その目安は年間10μSv(マイクロシーベルト)に対応する値として設定されている。これは自然界からの線量の1/100以下であり、国際放射線防護委員会(ICRP)で「人の健康に対するリスクが無視される線量」とされている。

2.2 解体に伴うコンクリート廃棄物

原子力発電施設の解体に伴い発生するコンクリート廃棄物の量を表1に示す。110万kWクラスの沸騰水型原子炉の例ではコンクリート約

表1 廃止措置に伴い発生する廃棄物等の発生量(推定)³⁾ (万トン)

放射能レベル区分	BWR (110万kW級) 〔沸騰水型原子炉〕			PWR (110万kW級) 〔加圧水型原子炉〕			GCR (110万kW級) 〔ガス冷却炉〕		
	金属	コンクリート	計	金属	コンクリート	計	金属	コンクリート	計
	低レベル放射性廃棄物	0.9	0.4	1.3	0.4	0.2	0.6	0.3	1.8
放射性物質として扱う必要のない物	2.1	0.7	2.8	0.3	0.8	1.2	0.6	3.6	4.2
放射性廃棄物でない廃棄物	0.8	48.7	49.5	3.4	44.3	47.7	1.0	11.9	12.9
合計	3.8	49.8	53.6	4.1	45.4	49.5	1.9	17.3	19.2

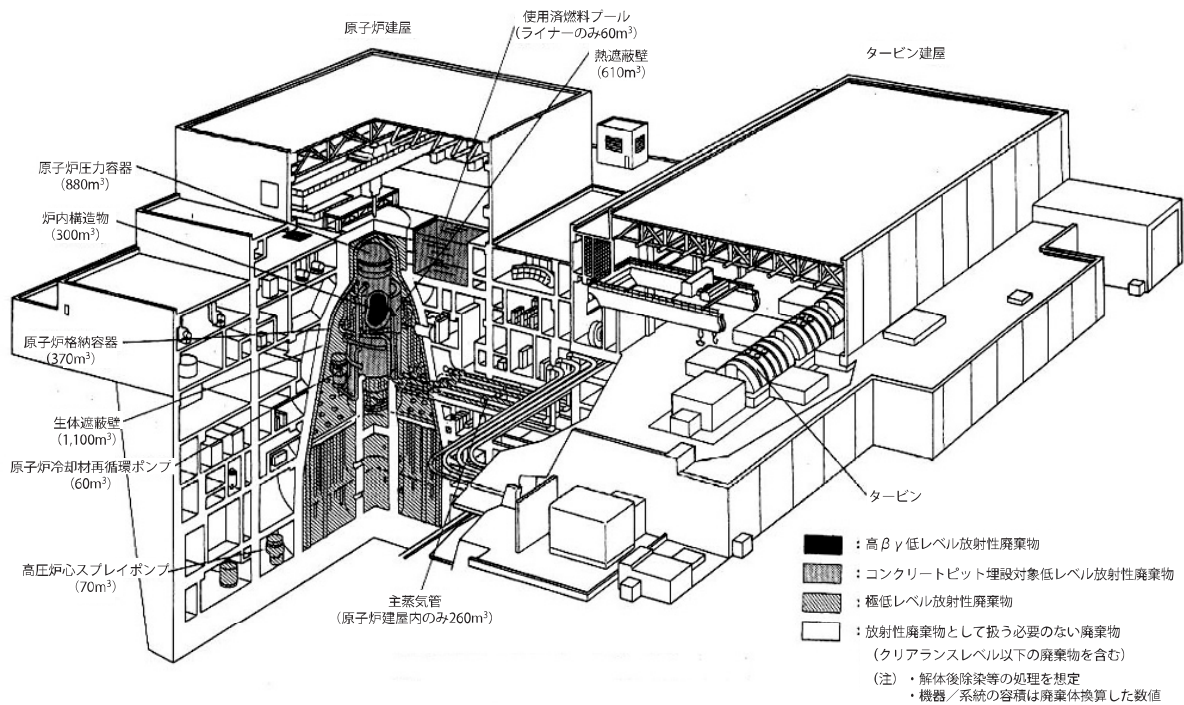


図3 沸騰水型原子力発電施設のレベル区分例³⁾

50万トンが廃棄物として発生するが、その大部分は一般廃棄物であり、0.7万トンは放射性物質として扱う必要のない物(クリアランスレベル以下)である。しかし炉の近くの一部コンクリート構造物(図3)0.4万トンが運転中の中性子により放射化され低レベル廃棄物となる。

全体から見ても量は少なく低レベルの放射化廃棄物ではあるが、処分場に管理保管することになる。処分場をできるだけ効率よく使うためには保管するものの体積を減らすなどの工夫が必要だが、最も根本的な解決方法は最初から放射化が少ない材料で施工し、クリアランスレベル以下にする方法である。

3 コンクリート放射化低減技術

3.1 放射化とは？

一般に、原子炉など中性子が発生する装置の遮蔽体の中では、中性子との核反応により放射性同位元素が生成している。この現象を放射化という。重要なことは、それが短半減期のものであればすぐに減衰してなくなってしまうためほとんど問題にならないが、長半減期のものになると運転経過とともに遮蔽体中に蓄積し、運転を止めた後も長い間残留するようになる、という点である。このような現象は、原子炉に限らず、例えば、病院などのがん診断PET薬剤製造用の小型サイクロトロンのような小さな加速器の遮蔽体の中でも起こっている。⁴⁾

原子炉周りの遮蔽コンクリートには、主に¹⁵²Eu(半減期13.54年)、⁶⁰Co(半減期5.27年)、³H(半減期12.33年)などが蓄積する。

3.2 低放射化設計

このような長半減期の放射性同位元素の生成を基準レベル以下に抑える設計を低放射化設計という。低放射化設計は、図4に示すように、中性子エネルギー束 ϕ と材料中の標的元素の数 N と機能・コストとの重ね合わせの部分で、基本的には、材料学と中性子工学を複合した新しい工学分野である。

一般に、コンクリート構造物のような複合材料

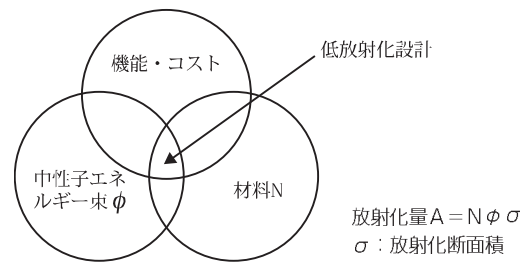


図4 低放射化設計

の低放射化設計は、骨材、セメント、鉄筋などの材料から比較的容易に機能・コストを評価できるため、中性子エネルギー束 ϕ と材料中の標的元素の数 N を変数にした問題として単純化することができる。中性子エネルギー束 ϕ と放射化断面積 σ の精度向上に関しては、すでに日本の評価済み核データファイルJENDL3.3*¹を元に183群(熱中性子のみで10群)の詳細断面積データセットを開発した⁵⁾。2次元あるいは3次元形状を扱う輸送計算コードを使うことにより、必要な部位における詳細な中性子エネルギー束 ϕ を求めることができる。しかし、材料中の標的元素の数 N に関しては、現存するデータが非常に少ないため、新規にデータベースを構築する必要がある。骨材中のEu-Co含有分布の例を図5に示す。鉄筋や鋼材も含め、1,500種類の材料のサンプリングと分析を行う計画である。

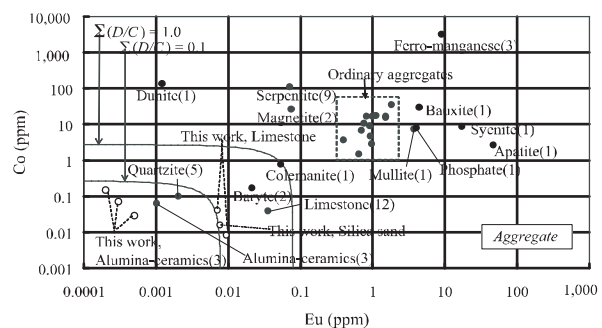


図5 骨材中のEu-Co含有分布⁶⁾

また、これらを統合した「処理処分区分マップ作成システムの開発」と「材料選定評価システムの開発」を現在進めている。

3.3 低放射化材料の創製

もし、EuやCoなどの標的元素の数 N を可能な

* 1 JENDL3.3 ~ Japanese Evaluated Nuclear Data Library Version 3.3

限り少なくした材料を開発できれば、材料の選択肢が飛躍的に多くなり、低放射化設計の幅が画期的に広がり弾力的になる。そのため、現在「低放射化セメントの開発」、「低放射化鉄筋の開発」、「低放射化中性子遮蔽材料の開発」を遂行中である。

低放射化セメントの開発については、放射化指標 ($\Sigma D/C^{*2}$) が普通ポルトランドセメントに比べ 1/3 の低放射化低熱ポルトランドセメントの開発の見通しが得られ、低放射化鉄筋の開発についても、 $\Sigma D/C$ が通常の鉄筋に比べ 1/30 までの鉄筋の開発の見通しが得られている。低放射化中性子遮蔽材料の開発に関しては、局所遮蔽用としてホウ素入りの低放射化重量モルタルやホウ素入り低放射化コンクリートパネルの開発の見通しが得られている。

3.4 リプレース原子炉遮蔽コンクリートへの適用

原子炉遮蔽体の各部位の中性子エネルギー束に応じて、現在使用されている普通コンクリートと比較し、 $\Sigma D/C$ がそれぞれ 1/10, 1/30, 1/300 の低放射化コンクリートが開発されつつある。強度、耐久性などは既存のコンクリートと同等である。例えば、沸騰水型原子炉の生体遮蔽体に $\Sigma D/C$ が 1/30 の低放射化コンクリートを適用すれば、リプレース時にそのほぼ全てがクリアランスレベル以下になり、生体遮蔽体コンクリートの再利用の道が拓かれるようになる。リプレース原子炉ではこのような低放射化コンクリートの適用で、コンクリート部のほぼ全てをクリアランスレベル以下に設計することが可能である。最終目標として、放射化による放射性廃棄物の総量の半減、を目指している。

4 おわりに

以上のように、将来の原子力発電所のリプレースに向けて、低放射化設計や低放射化材料の代替で設備そのものをクリアランスレベル以下にすべく低放射化設計技術の開発が進行中である。開

発の基本理念として、子孫への負の遺産を可能な限りつくりたくないこと、再利用可能なものでむしろ「後世への贈り物」とすること、をあげている。低放射化設計は、開発当初においては少し建設コストが高むという難点があるが、ライフサイクルコストまでを考慮すれば有益になると試算されている。近い将来、本技術開発の成果がごく一般的な技術として広まることを期待している。

このようなコンクリートの放射化低減技術開発を着実に進め、日本から発信できる国際規格としていきたいと考えている。

<参考文献>

- 1) クリアランスレベル以下にするための低放射化設計法に関する技術開発，革新的実用原子力技術開発費補助事業平成 17 年度成果報告書，平成 18 年 3 月
- 2) 経済産業省 総合資源エネルギー調査会 原子力安全・保安部会 廃棄物安全小委員会：原子力施設におけるクリアランス制度の整備について，平成 16 年 12 月 13 日
- 3) 通商産業省 総合エネルギー調査会 原子力部会 中間報告：商業用原子力発電施設解体廃棄物の処理処分に向けて，平成 11 年 5 月 18 日
- 4) 金野正晴：低放射化コンクリートの開発の現況，コンクリート工学，Vol.42, No.6, pp.3-10, 2004.6
- 5) 林克己他：クリアランスレベル以下にするための低放射化設計法に関する技術開発（15）放射化詳細評価用多群断面積ライブラリ作成，日本原子力学会 2006 秋の大会，北海道大学，2006.9
- 6) クリアランスレベル以下にするための低放射化設計法に関する技術開発，革新的実用原子力技術開発費補助事業平成 16 年度成果報告書，平成 17 年 3 月

林 克己 (はやし かつみ)
技術士 (原子力・放射線/応用理学/
総合技術監理部門)，工学博士

原子力・放射線部会長
(株) 日立製作所 原子力プラント部
e-mail : katsumi.hayashi.dt@hitachi.com



金野 正晴 (きんの まさはる)
技術士 (建設部門)，工学博士

(株) フジタ 技術センター
e-mail : kinno@fujita.co.jp



* 2 $\Sigma D_i/C_i \sim D_i$: 放射性同位元素 i の放射能濃度
 C_i : 放射性同位元素 i のクリアランスレベル