

# 低レベル放射性廃棄物のスラグセメント減容固化処理技術†

佐々木忠志††、三原茂††、鈴木和則††、唐沢義光†††、池田浩一†††

アルカリ活性スラグセメント（以下スラグセメント、AASCと略す）による放射性廃棄物固化処理を研究した。原子力発電所や再処理施設から発生する濃縮廃液、イオン交換樹脂、焼却灰、HEPAフィルタの固化処理、雑固体廃棄物の充填用モルタルの適用に関して、ピーカー試験、パイロット試験を実施し、高充填で良好な物性をもつ固化体の作製、良好なモルタル特性が確認できた。さらに各固化体の核種保持性能データを取得した結果、埋設場受け入れ基準を満足できることがわかった。

本論では、スラグセメントを用いた各廃棄物の固化特性試験結果、スラグセメントによる総合的な固化処理システム、既存技術との比較等について報告する。

**Keywords :**スラグセメント、アルカリ活性、放射性廃棄物、固化、濃縮廃液、イオン交換樹脂、焼却灰、HEPAフィルタ、モルタル、核種保持性能

A study of solidification of radioactive wastes by a tailored alkali activated slag cement (AASC) was carried out in both bench size tests and pilot plant tests.

The target wastes were concentrates, ion exchange resin, incinerator ash and HEPA filter in nuclear power stations and reprocessing facilities. In addition, an application of AASC was studied to be used in the cement grouting. It was confirmed that the solidified waste forms have a high content of each waste and suitable physical and chemical properties.

The data of retention ability of radionuclides in the waste forms were obtained experimentally and it was suggested that the waste forms have the satisfactory retention required for safety operations in LLW disposal site.

In this paper, the solidification behavior of AASC for the each waste was reported and an integrated treatment system was discussed and compared with the current solidification systems.

**Keywords :**slag cement, alkali activated, radioactive wastes, solidification, concentrates, ion exchange resin, incinerate ash, HEPA filter, mortor, radionuclide retention

## 1. まえがき

原子力発電所の低レベル放射性廃棄物は種々の化学形態で発生するが、固化処理された後、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埋設されている。埋設地に放射性核種を閉じ込め、より安全に埋設するために、廃棄物固化処理にセメント系固化材が使用されている。しかし、従来のセメント固化処理では十分な減容性が得られていない問題がある[1]。さらに、今後埋設されるであろうアルミニウムを含む廃棄体はピット（埋設設備）のコンクリートとの反応による水素ガスの発生が考えられることから、現状では適切な固化処理技術が整備されておらず、ガス発生を抑制する安定化処理技術開発が検討されている[2,3]。

本論ではBWR、PWR発電所、再処理施設の低レベル放射性廃棄物に対して、従来のセメント固化の減容性を改善し、また、アルカリ性廃棄物に対しても急結せず固化できる特徴をもつアル

カリ活性スラグセメント（以下スラグセメント、AASCと略す）を利用した固化処理適用研究結果を報告する。さらに、一つの固化技術によるいろいろな廃棄物が一括処理でき、かつ、簡単な前処理だけで固化処理できるスラグセメント固化処理総合システム化についても検討した。

## 2. アルカリ活性スラグセメント

本研究は日揮（株）と日本化薬（株）が共同開発したセメント系の新規固化材であるアルカリ活性スラグセメントを使用する固化処理である。このスラグセメントの主成分である非結晶の高炉水碎スラグ ( $\text{SiO}_2$  39 %,  $\text{CaO}$  39 %,  $\text{Al}_2\text{O}_3$  12 %,  $\text{MgO}$  6 %) がアルカリ剤と反応することにより活性化され、水和反応が生じて硬化する（図1）。このため、潜在的に水和する能力を有することから「潜在水硬性セメント」に分類される[4]。スラグセメントは微粉の水碎スラグとシリカフューム、分散剤の混合物にて構成されており、ポルトランドセメントの成分は含まれていないが、結晶マトリックスは普通ポルトランドセメントで生成する水和物の一種と同様の C-S-H（珪酸カルシウム水和物）であり[5,6]、得られる硬化物は緻密で高い強度、張力を有している（図2）。

低レベル放射性廃棄物処理に適用されるセメントについては「告示第4条第1号イ」により、JIS R 5201相当の物性が必要と

† Solidification of Low Level Radioactive Waste by Alkali Activated Slag Cement with Hight Volume Reduction, by Tadashi Sasaki, Shigeru Mihara, Kazunori Suzuki, Yoshimitsu Karasawa, Koichi Ikeda,

†† 日揮株式会社 技術開発本部 大洗原子力技術開発センター 原子力・環境技術開発部 Nuclear & Environmental Technology Development Department, Oarai Nuclear Research Center, Research & Development Division, JGC Corporation, 茨城県東茨城郡大洗町成田町2205

††† 日本化薬株式会社 高崎研究所 Takasaki Research Laboratories, NIPPON KAYAKU CO.,LTD. 群馬県高崎市岩鼻町219番地

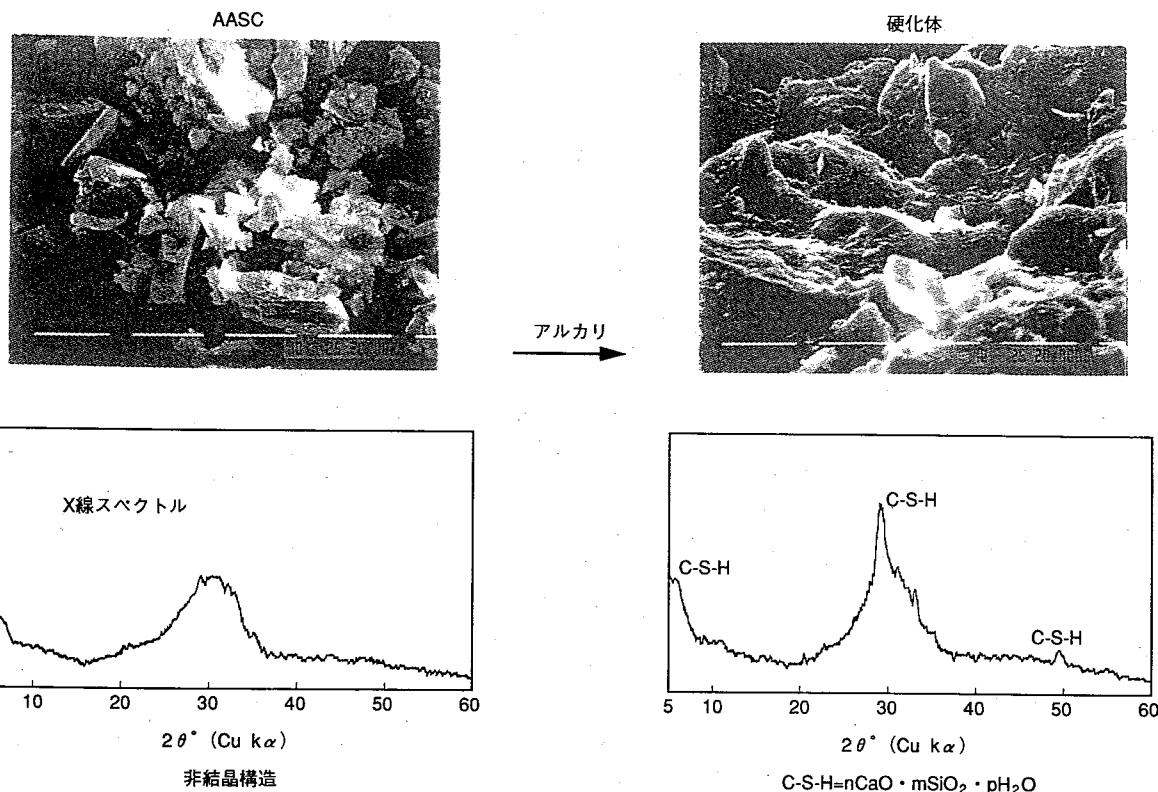
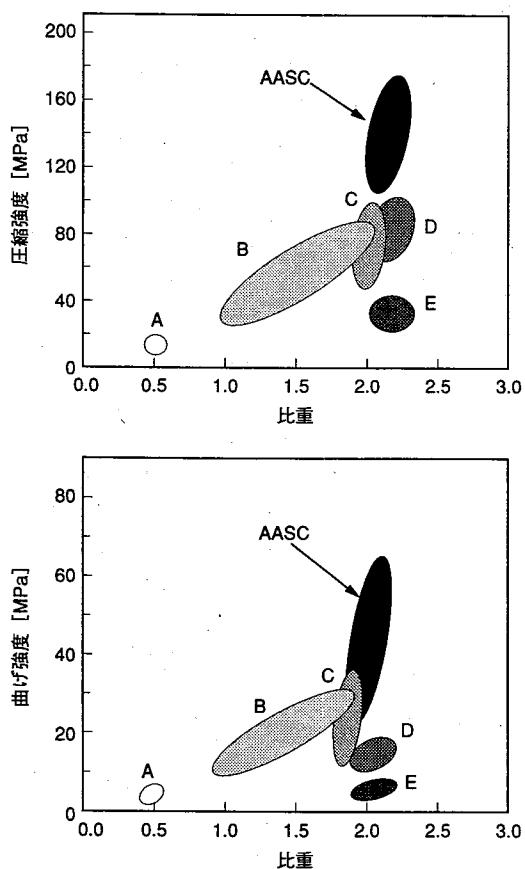


図1 AASCの硬化原理



A : ALC (Autoclaved Light Weight Concrete) [7]  
 B : 押し出し成形モルタル [7]      C : 繊維補強モルタル [8]  
 D : 高強度コンクリート [9]      E : コンクリート [7]  
 AASC : スーパーセメント建材利用時の強度

図2 AASCの強度特性

なっている。本研究のスラグセメントについて、JISに準拠した圧縮強さ試験を行った結果、JIS基準値を満足することを確認できた(図3)。

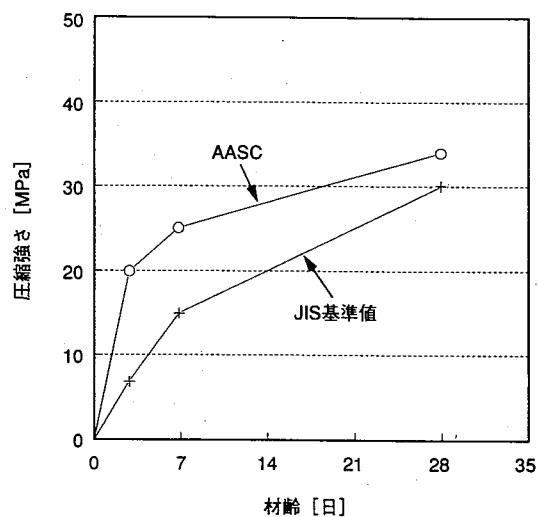


図3 AASCの圧縮強度 (JIS準拠性)

### 3. スラグセメント固化

代表的な低レベル廃棄物である硫酸ソーダ廃液をスラグセメントにて固化したところ、普通ポルトランドセメントや高炉C種セメント（スラグ含有率60~70 wt%）の固化処理と大差ない廃液充填量、固化体物性となった。しかしながら、無水硫酸ソーダ粉体をスラグセメントにて固化したところ、その粉体の充填量が多くなっても良好な硬化反応、固化体物性が得られ、従来のセメントに比べ2~3倍量の高い充填の可能性が示された。ホウ酸ソーダ、イオン交換樹脂に対しても従来のセメント固化で得られない高い充填量、前処理の単純化の可能性が示された。

この高充填の可能性はスラグセメントの硬化マトリックスが示す高強度、高張力性に加え、硬化に必要な水分量が通常のセメントの約1/2と少ない事も寄与していると考えられる。そこで、スラグセメントの利用によりセメント固化処理の減容性を大幅に改善できることを確認するため、各種廃棄体の硬化特性、固化体物性試験を実施した。以下に各廃棄物毎にその結果を報告する。

なお、超濃縮直接固化ではパイロット試験装置を使用し、その他の混練固化では2リットルサイズの万能ミキサーを用い、物性試験用小サイズ供試体を作製した。

### 4. 放射性廃液超濃縮・直接固化

BWR発電所では硫酸ソーダを主成分とする濃縮廃液、PWR発電所ではホウ酸を主成分とする廃液が発生する。

スラグセメント固化では硬化に必要な水分量が低減できるため、廃液の超濃縮、晶析スラリー濃縮とセメント混練固化の組合せを検討した。図4に示す均一混練性に優れたヘンシェル混練

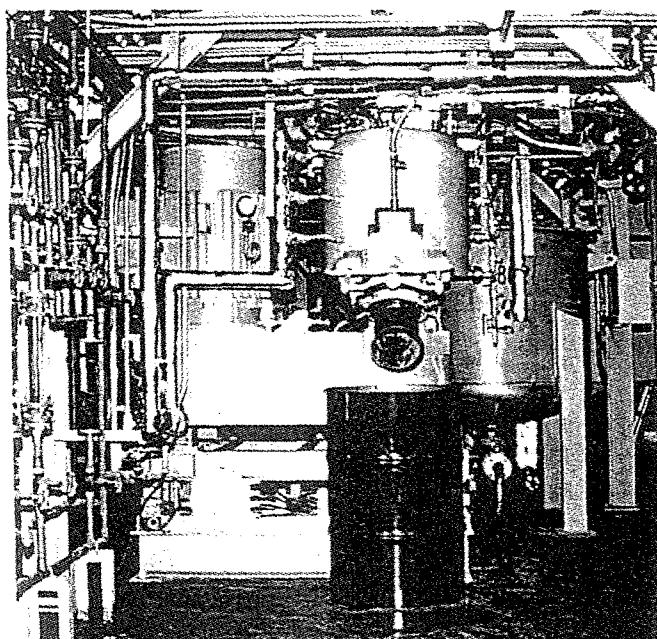


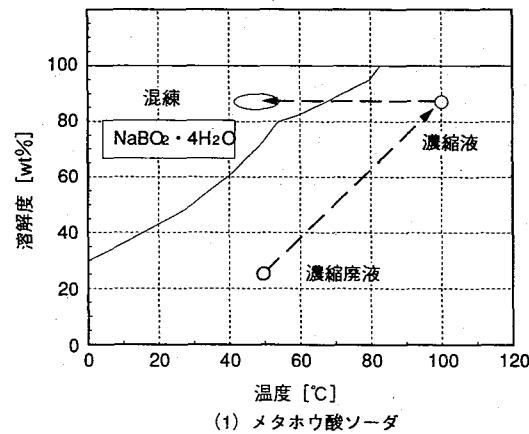
図4 AASCパイロット装置外観

機を使用し、そのミキサー槽外部にスチームジャケットを付設し、蒸発機能を付帯したパイロット装置にて試験した。

メタホウ酸ソーダ ( $\text{NaBO}_2$ )、硫酸ソーダ ( $\text{Na}_2\text{SO}_4$ ) の溶解度-温度関係、超濃縮処理の操作条件を図5に示す。原子力発電所ではメタホウ酸ソーダ廃液は通常ホウ素濃度で約2%まで濃縮されており、 $\text{Na}/\text{B}$ モル比=1のメタホウ酸ソーダ・4水塩換算濃度は約20%前後となる。メタホウ酸ソーダ廃液は溶解度が高いため、蒸発混練機にて90 wt%程度に超濃縮すると粘性は高くなるが塩は溶解状態にある。この超濃縮液を50 °C程度まで冷却すると発熱をともなった晶析が起こりメタホウ酸ソーダのスラリーとなる。このスラリーとスラグセメントは直接混練でき良好な固化処理ができる（図6）。

一方、硫酸ソーダは飽和溶解度が約30 wt%であるため超濃縮中にすでに晶析スラリー状態となるが、約60 wt%まで濃縮後、ホウ酸ソーダ同様に50 °C程度に冷却し、スラグセメントと混練固化できる（図7）。

パイロット装置を使用して、超濃縮直接固化で作製した100リットルサイズ固化体からコアボーリング（直径50 mm）試料を採取し比重分布を測定した。図8に示すように固化体の上下部、左右部で比重の違いは見られず、均一性は良好である。



(1) メタホウ酸ソーダ

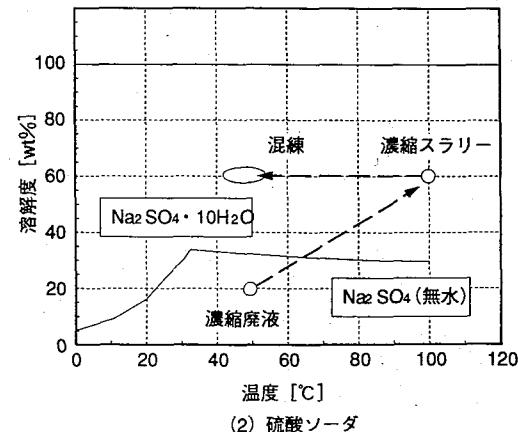


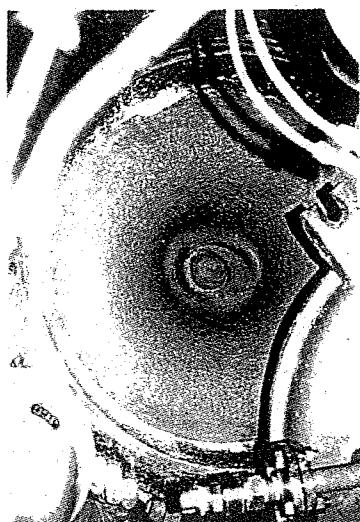
図5 超濃縮晶析と固化条件



濃縮終了  
メタホウ酸ソーダ4水塩  
88 wt%濃縮液 (100 °C)



冷却後  
晶析スラリー化  
(50 °C)

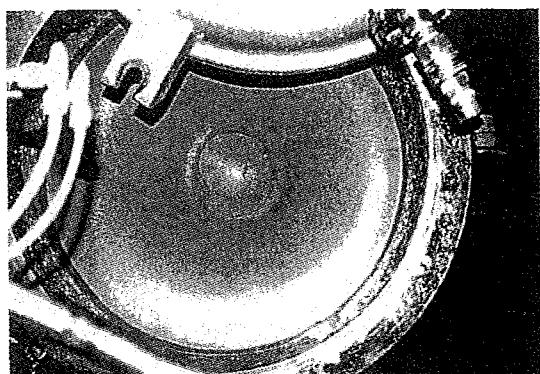


混練  
スラグセメント固化  
(50 °C)

図6 ホウ酸ソーダの超濃縮・AASC固化



濃縮終了  
硫酸ソーダスラリー  
塩濃度 60 wt%溶液



混練  
スラグセメント固化  
充填率 30 wt%

図7 硫酸ソーダの超濃縮・AASC固化



ホウ酸ソーダ固化水



硫酸ソーダ固化体

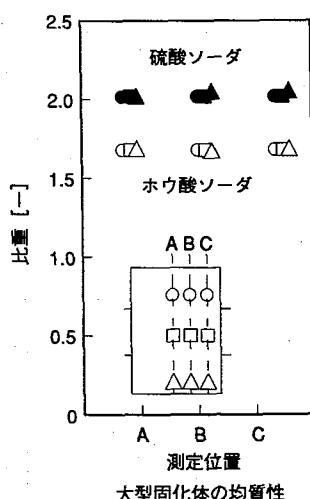


図8 大型AASC固化体の外観及び均質性

## 5. イオン交換樹脂固化

廃イオン交換樹脂の従来のセメント固化では膨潤、クラック発生などの耐水性の問題から充填可能な量が制約されている[10]。

スラグセメントによる粒状樹脂（カチオン／アニオン混合比=1/1：交換容量基準）の固化を実施し、図9に示すように固化適正領域—ブリージング領域—樹脂分離領域の関係を得た。この関係から、スラグセメントとの混練物中の水分量が25～30 wt%となる条件では、流動性が良好でブリージングもなく、従来の充填量の約2倍強の55～65 kg（200リットル固化体相当換算）の良好な固化体が作製できる。

表1にスラグセメントによる廃イオン交換樹脂固化体の物性試験結果を示す。固化体は耐水性にも優れ、十分な強度の物性を有している。なお、粒状樹脂はアンバーライト IR-120B、IRA-400、粉状樹脂はパウデックス PCH、PAOを使用した。

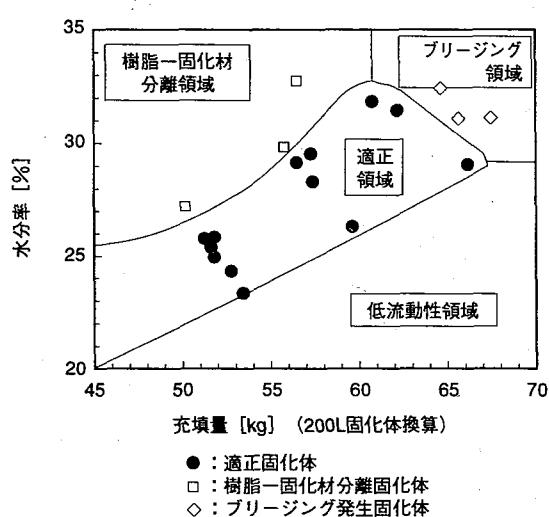


図9 粒状樹脂(C/A=1/1)の固化条件

表1 AASCによる廃イオン交換樹脂固化体物性

イオン交換樹脂種類	充填量 (kg/200L)	圧縮強度 (MPa) <sup>a)</sup>	耐水性 重量変化 (%) <sup>b)</sup>
粒状樹脂 H/OH=1/1	55	10.4	+1.9 膨潤なし
粒状樹脂 H/OH=2/1	55	11.0	+0.7 膨潤なし
粒状樹脂 Na/SO <sub>4</sub> =1/1	55	13.9	+1.7 膨潤なし
粉状樹脂 Powdex H/OH=1/1	55	13.3	+0.5 膨潤なし

a) 養生: 60°C, 24hr

b) 4週

## 6. 乾燥粉体固化

### 6.1 硝酸ソーダ

日本原燃(株)六ヶ所村の再処理工場から発生する低レベル硝酸ソーダ廃液は乾燥機で粉体化処理される計画である。このため硝酸ソーダ模擬粉体のスラグセメントによる固化特性を調べた。充填率30～70 wt%固化体の圧縮強度を図10に示す。60%充填率まで約20 MPaの圧縮強度が得られた。硝酸ソーダは溶解しやすい塩であるが、水浸漬による供試体（直径50 mm、高さ100 mmサイズ）の重量減少は60 wt%の充填率でも4 wt%程度であり、良好な耐水性を持つことが示された。同図中に粒径の大きい高炉水碎スラグ（比表面積が基準の1/2）で調整したスラグセメントの固化体結果を併記する。この比較により、良好な耐水性は固化マトリックスが緻密な構造にあり、水の浸入が効果的に抑制されているためと考えられる。

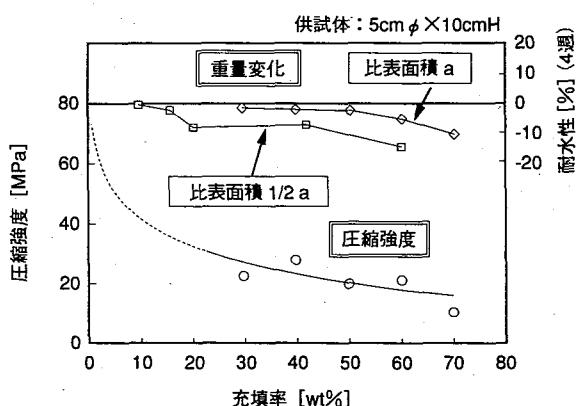


図10 硝酸ソーダ粉体のAASC固化体特性

### 6.2 リン酸カルシウム

再処理工場から発生する主要な廃棄物のひとつにTBP廃溶媒があり、熱分解処理され、リン酸カルシウムとして粉体化される予定である。熱分解処理ではピロリン酸カルシウム( $\text{Ca}_2\text{P}_2\text{O}_7$ )が主成分の粉体が生成され[11]、水酸化カルシウムの添加によりリン酸三カルシウム( $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$ )も混在することが予測される。ここでは、両リン酸カルシウムの混合系について調べるために、ピロリン酸カルシウムとリン酸三カルシウムを任意の範囲で混合した。模擬粉体は市販の塩を熱分解処理温度500 °Cにて加熱乾燥した。この粉体をスラグセメントと混練、固化し、材齢28日後の固化体の圧縮強度を測定した。図12に固化体の圧縮強度特性を示す。充填率40 wt%の一定条件ではピロリン酸カルシウムは16 MPaの強度が得られた。リン酸三カルシウムはスラグセメント混練中に凝集を起こすため、充填率が増加するに従い、水の添加量を増加する必要があり、そのため、リン酸三カルシウムの充填量に比例して固化体強度は低下する。混合物中のリン酸三カルシウムが30 wt%以下の混入であれば10 MPa以上の圧縮強度である。

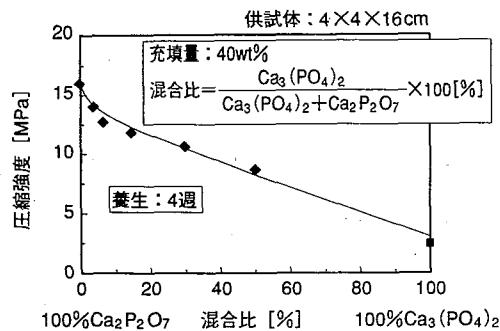


図11 リン酸カルシウムAASC固化体物性

### 6.3 硫酸ソーダ

BWR発電所から発生する硫酸ソーダ廃液は粉体化される場合があるため、硫酸ソーダ模擬粉体をスラグセメントにて固化し固化特性を調べた。図12に示すように硫酸ソーダの充填量が30～50 wt%では圧縮強度は30 MPa以上でほぼ一定であり、耐水性における重量変化は小さく、高充填でも良好な物性をもつ固化体となっている。

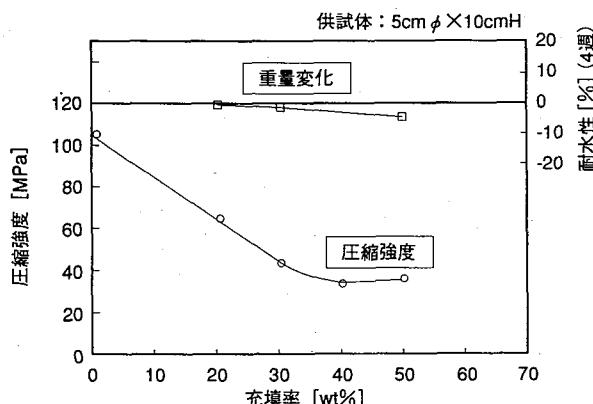


図12 硫酸ソーダ粉体のAASC固化体物性

### 6.4 焼却灰

原子力発電所では、紙ウエスや養生シート等の可燃性廃棄物は焼却処理され、その焼却灰が固体廃棄物として発生する。焼却灰の成分は珪素、アルミニウム、マグネシウム等の酸化物が主成分であるが、セメント固化に影響を与えるアルミニウムや亜鉛などの金属も混在している。アルミニウム含有の焼却灰をポルトランドセメントで混練すると、セメントのアルカリ溶出成分がアルミニウムと反応し、固化体中に水素ガス気泡を生じ、膨潤やクラック発生の可能性があり、良好な固化体が作製できない課題がある。そのため、種々の前処理研究が行われている[2,12]。

スラグセメント固化はアルカリ硬化液を使用するため、この液で廃棄物中のアルミニウム等の金属をアルカリ溶解前処理し、前処理後アルカリ液が残留したままでスラグセメントを加え直接固化處理することができる。このため水素ガス発生の問題を解決できる。実焼却灰の組成分析から調製した模擬焼却灰の固化特性を調べた結果、この方法を用いることにより良好な固化体が得られ、200リットルドラム当たりの充填量は約130 kg、圧縮強

度は14 MPaであった。

以上のようにスラグセメントを用いることにより高濃度スラリー塩廃液や乾燥粉体廃棄物をセメント固化して、従来のセメントでは達成できない高充填で良好な物性の固化体を作製することができることを確認できた。

## 7. HEPAフィルタ

原子力発電所の気体浄化系にはアルミ薄シートとガラス繊維層で構成されるHEPAフィルタが広く用いられている。

このHEPAフィルタ中のアルミ薄シートはセメントのアルカリ溶出液と反応して水素ガスを発生する。そのため、この廃棄物の埋設ではモルタルピット構造である低レベル放射性廃棄物理設地の長期安全性の観点から、廃棄体中のアルミニウムの量が一定の制約を受けると考えられている。そこでスラグセメントがアルカリ硬化液を必要とする特徴を生かし、HEPAフィルタを予めアルカリ溶解処理し、水素ガスを完全に除去した後、スラグセメントで直接混練固化し、均一固化体化することについて検討した。

HEPAフィルタのアルミニウム部分のアルカリ溶解処理を調べると、図13のような水素ガス発生と時間の関係が得られた。アルミニウムはアルミニ酸ソーダに酸化され、理論量の水素ガスが発生する。さらに、ガラス繊維層はアルミニウム溶解後のアルカリ加熱溶解によりスラリー状となる。このアルミニ酸ソーダ含有のスラリー液はアルカリ残分を中和せず、スラグセメントで直接混練固化でき均一固化体になる。図14にHEPAフィルタの溶解、固化処理フローを示す。

アルミニウム、HEPAフィルタ、アルミニウム片含有焼却灰の充填率、固化体の物性について表2に示す。HEPAフィルタの圧縮強度は10 MPaであり、標準サイズのHEPAフィルタ8個分が200リットルサイズの均一固化体として固化処理できる。

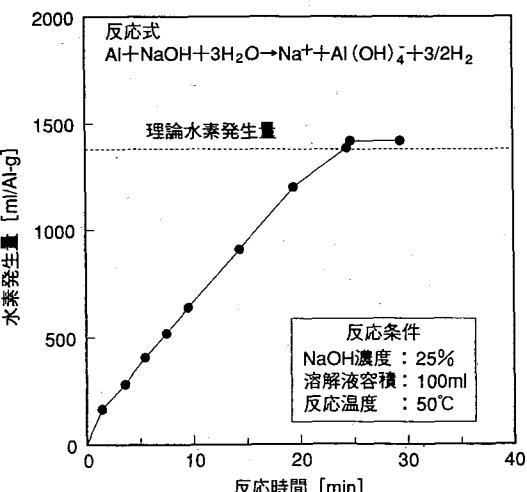


図13 HEPAフィルターのアルカリ溶解反応

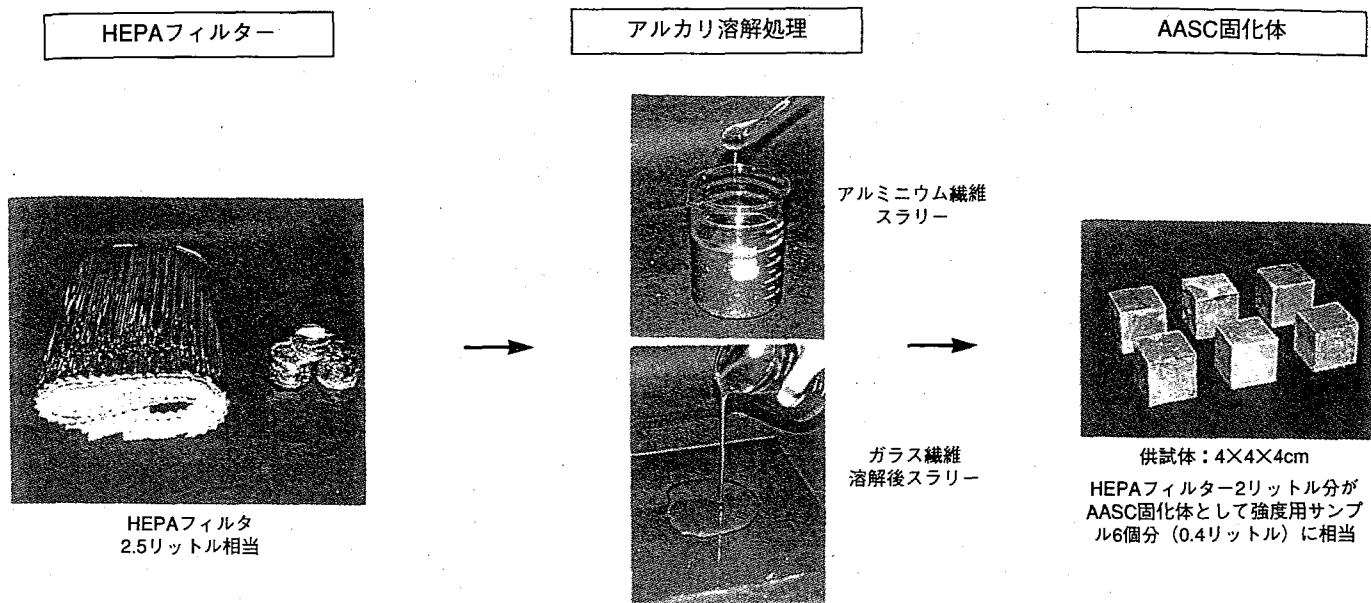


図14 HEPAフィルターの固化処理フロー

表2 アルミニウム含有廃棄物のAASC固化体物性

項目	充填率 [wt%]	比重	圧縮 強度 [MPa]	耐水性 [wt%] (4週)	200L ドラム 充填量
アルミニウム	6.5	1.8	40	+0.5	23 kg アルミニウム
HEPA フィルター	12	1.8	10	+0.5	8 個 600×600 ×300
焼却灰	39	1.8	14	+0.14	130kg

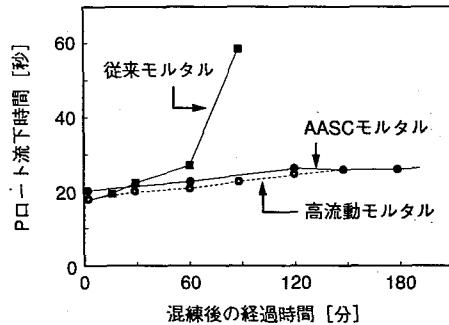


図15 AACモルタルの流動性の経時変化

## 8. 充填固化用グラウト

原子力発電所では運転保守に伴って金属配管、ポンプ、機器部品等の多種の雑固体廃棄物が発生する。これらの廃棄物はドラム缶に保管されている。この廃棄物処理の一つとしてセメントモルタルによる充填固化安定処理が考えられている。充填固化では雑固体が収納されたドラム缶内の空隙をモルタルで満たす必要があるので、流動性が重要な要因となる。流動性についてはモルタルのPロート値が指標になり、その目標値は16秒～50秒である[13]。

スラグセメントは高い流動性を持つため充填モルタルとしての応用が考えられる。その特性についてW/C(水/セメント比)を変化させ、流動性(Pロート値)、流動性保持時間、ブリージングの関係を調べた。この試験ではセメントペーストのみのグラウトを調整した。結果を図15、図16に示す。従来のモルタルに比べ、流動性保持時間が長く(180分後でもほぼ一定)、高流動性モルタルに比べると水分量が大きく変動してもブリージングが全く見られない特徴が見い出され、かつ、Pロート値も一定で安定していることが確認できた。

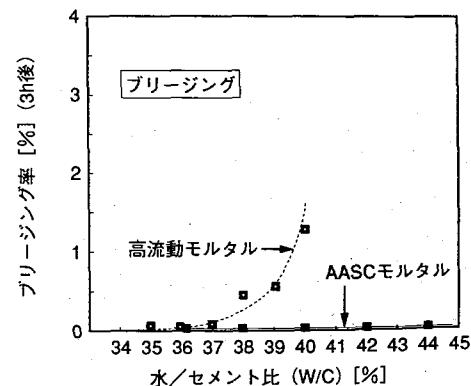
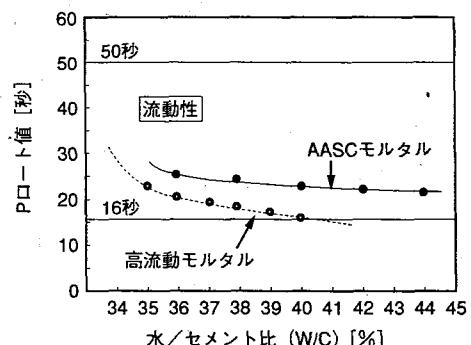


図16 W/Cと流動性、ブリージングの関係

## 9. スラグセメント固化体の核種保持性能

廃棄物埋設では放射性核種の保持性能が重要な安全評価項目であることから、スラグセメント固化体についてその保持性能を調べた。各核種トレーサーを含有した各種の廃棄物のスラグセメント固化体を作製した。これらを細かく碎いたものを粉体試料とし、この試料を水に浸漬し、固相と液相での核種の分配割合を測定して分配係数を求めた。固液比は1:10、温度20°Cで一週間の浸漬条件にて実施した結果を表3に示す。いずれの固化体でも埋設センター安全評価の核種保持性能目標値[14]を満足しており、良好な性能を有していることが確認できた。

表3 各種AASC固化体の核種保持性能(分配係数)

固化体種類	充填率 [wt%]	分配係数(mol/g)						
		$^{60}\text{Co}$	$^{63}\text{Ni}$	$^{89}\text{Sr}$	$^{137}\text{Cs}$	$^{241}\text{Am}$	$^{14}\text{C}$	$^{90}\text{Tc}$
硫酸ソーダ	30	200	3,000	500	10	30,000	500	700
イオン交換樹脂	20	10,000	500	5,000	50	30,000	1,000	20,000
ホウ酸ソーダ	38	200	500	1,000	5	30,000	500	100
硝酸ソーダ	50	200	5,000	300	5	30,000	500	1,000
焼却灰	39	500	300	500	200	20,000	500	30
申請書(廃棄体) <sup>(22)</sup>	—	100	300	30	3	10,000	500	0.5

## 10. 総合処理システム

上記一連の結果から、スラグセメントは各種の廃棄物を効果的に固化処理する性能のあることがわかった。PWR発電所及びBWR発電所の廃棄物処理に適用した場合の総合固化システムを検討した。図17に示すようにそれぞれの廃棄物に対し、超濃縮、脱水、アルカリ溶解処理等の前処理を行ないスラグセメントで直接固化することができる。さらに、これまで安定固化処理できなかったHEPAフィルタの均一固化処理や配管、溶融体等の難固体のセメント充填固化処理にも適用できる。

この固化処理による各種廃棄物の充填可能量、従来型のセメント固化との減容性の比較を表4に示す。スラグセメント固化を用いることにより高減容性が得られ、従来型のセメント固化に比べ1~3倍の高充填に改善されている。

一方、スラグセメント固化の基本プロセスフローを図18に示す。主要な機器はヘンシェル型蒸発濃縮機のみであるためシステム機器構成が簡素化できる。さらに、図19に固化処理プロセス構成について比較した結果を示す。スラグセメント固化ではPWR発電所ホウ酸塩廃液の改良型セメント固化処理に比べ、超

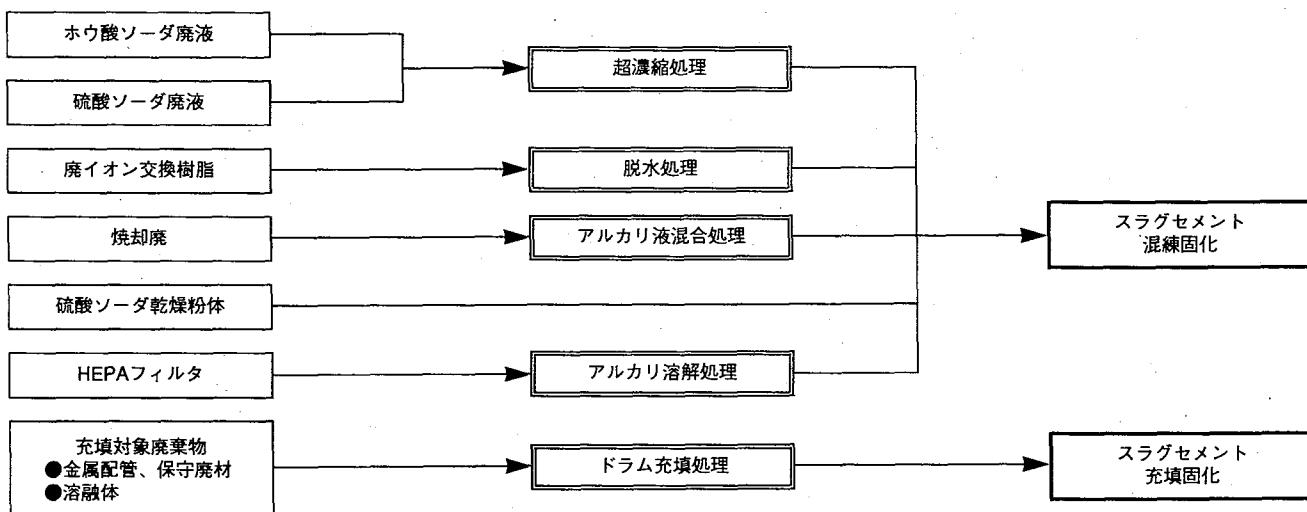


図17 AASC固化の総合処理システム

表4 減容性の比較

廃棄物	充填量 [kg/200L drum]	充填量比
ホウ酸ソーダ	200	1 *1)
硫酸ソーダ	100	3.5 *2)
イオン交換樹脂	55	2.5 *2)
焼却灰	130	1.5 *2)
HEPAフィルタ	43	8 *3)

\*1) 改良型セメント固化基準[1]  
 \*2) 従来型セメント固化基準[15]  
 \*3) HEPAフィルタ個数

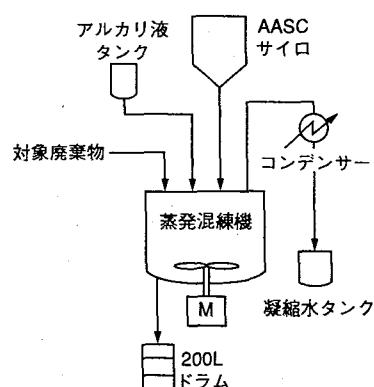


図18 AASC固化処理フロー

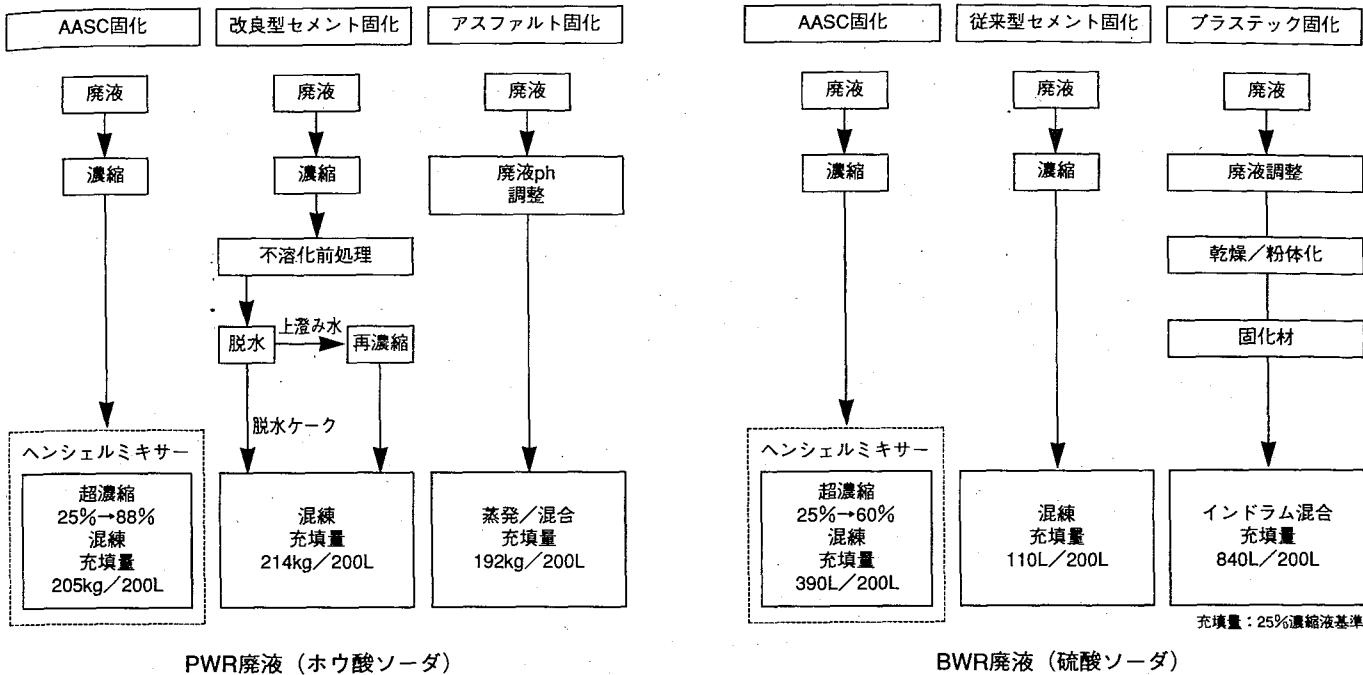


図19 固化処理プロセスの比較

濃縮前処理だけで高減容が可能であり、処理プロセスが大幅に簡素化される。BWR発電所廃棄物ではプラスチック固化処理に比べ硫酸塩廃液の充填量は半減になるが、乾燥機、粉体ハンドリング等の複雑なプロセス機器を使用せず30 wt%充填が可能である。

この総合システムによりこれまでのセメント固化処理にない幅広い廃棄物に適用でき、高充填、良好な核種保持性能、設備の低コスト化等を図ることができる。

## 11. あとがき

本報ではアルカリ活性スラグセメントによる低レベル放射性廃棄物固化処理について記述した。このセメントの主成分である高炉スラグは鉄鉱産業からの廃棄物であり、これにより核燃料サイクルからの放射性廃棄物を処理することは「廃棄物で廃棄物を制する」理想的な廃棄物マネジメントと考えられる。スラグセメント固化処理技術はすでにパイロット試験段階にあり、実用化の確証研究を進めており、原子力発電所および再処理施設から発生する種々の廃棄物を総合的にセメント固化処理できるシステム性能を有する技術になることが期待できる。

## 参考文献

- [1] Iji, T. et al.: Advanced cement solidification process, *Waste Management '85*, Tucson, Arizona, USA, March 24-28 Vol.2, pp.211-216 (1985).
- [2] 松田将省 他: 原子力発電所廃棄物の一括セメント固化

技術. 火力原子力発電 47, 54-59 (1996).

- [3] 小畠政道 他: 高周波誘導加熱方式による溶融体の核種拳動. 日本原子力学会1996秋の大会、L30 (1996).
- [4] 窯業協会編: 窯業工学ハンドブック (新版)、技報堂、pp.1617-1621 (1982).
- [5] 滝沢和佳子 他: スラグーアルカリセメントの水和におよぼすシリカヒュームおよびポリアクリル酸ソーダ添加の影響. *Inorganic Materials*, 2, 465-472 (1995).
- [6] 坂田昭 他: スラグーアルカリセメントにおけるスラグのMgO含有率の影響. 第48回セメント技術大会講演集、pp.254-259 (1994).
- [7] 馬場明生 他: 自動化連合型鉄筋コンクリート構法の開発 (10) 構法システムの提案. 日本建築学会大会学術講演梗概集、1401 (1992).
- [8] コンクリート材料・工法ハンドブック編集委員会編: コンクリート材料・工法ハンドブック、(株)建設産業調査会、pp.325-333 (1981).
- [9] 松本雅之 他: 高強度コンクリートの調合方法に関する実験. 日本建築学会大会学術講演梗概集、1400 (1991).
- [10] Christensen, H.: Cement Solidification of BWR- and PWR-Bead Resins, IAEA-SR-57/32, pp.59-60 (1981).
- [11] 桜木直彦 他: ボール型乾留処理 (第二報). 日本原子力学会1987春の年会、名大、J10 (1987).
- [12] Shimizu, T. et al.: High Volume Reduction Solidification of Radioactive Waste with Cement, *The 1991 International Waste Management Conference*, Seoul, Vol.1, pp.441-447 (1991).

- [13] 三原茂 他：雑固体廃棄物充填固化技術の開発—高流動モルタルの開発—、日本原子力学会1995秋の大会、J3 (1995).
- [14] 日本原燃産業株式会社：六ヶ所低レベル放射性廃棄物貯蔵センター 廃棄物埋設事業許可申請書（一部補正）、平成元年10月(1989).
- [15] 永倉正 他：転換期を迎えた「放射性廃棄物対策」、日本原子力情報センター No.8012124 pp.11～13 (1980).