

第 6 章

6

処分技術に関する基礎的研究
および将来技術

第6章 処分技術に関する基礎的研究および将来技術 目次

我孫子研究所地質部 上席研究員 馬原 保典
我孫子研究所構造部 主任研究員 広永 道彦
横須賀研究所電力部 上席研究員 天川 正士
横須賀研究所電力部 主任研究員 足立 和郎
横須賀研究所電力部 主任研究員 安井 晋示

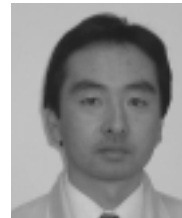
6 - 1 溶存ガスを活用した地下水調査手法の開発65
6 - 2 低アルカリ性セメントの開発67
6 - 3 低レベル放射性雑固体廃棄物のアークプラズマ溶融処理技術68

馬原 保典（50ページに掲載）

広永 道彦（50ページに掲載）



天川 正士（1984年入所）
アークプラズマを用いた放射性廃棄物の溶融処理に関する研究に従事している。特に、溶融固化体の核種閉じ込め性を解明してきた。他に、アークプラズマの輸送特性や陽極現象のモデリングなどに携わってきた。



足立 和郎（1986年入所）
アークプラズマを用いた放射性廃棄物の溶融処理に関する研究に従事している。特に、溶融固化体の強度や均質性を解明してきた。また、溶融時のアークプラズマの安定性に関する研究を実施している。



安井 晋示（1989年入所）
アークプラズマを用いた放射性廃棄物の溶融処理に関する研究に従事している。特に、可燃物の熱分解機構を解明してきた。また、溶融時の核種挙動に関する研究を実施している。

6 - 1 溶存ガスを活用した地下水調査手法の開発

放射性廃棄物の処分のためのサイト調査や安全評価において重要な地下水の滞留時間の推定、地下水の流動特性を調べたり地下水の入れ物としての地下の構造を把握したりするために地下水に溶けている希ガスをトレーサとして地下水の動きを調査している。

本研究の目的は次のとおりである。

高レベル廃棄物処分のための候補地選定やサイトの特性調査において、

- ① 地下水の年代(地下での滞留時間)を推定する、
- ② 火山活動の影響が及ぶ範囲を推定し火山活動の中心からサイトを離すべき距離に関する基準策定の情報を与える。

これまでに、

- ① 地下水に溶けているヘリウムガスの量とヘリウム同位体比を基に地下水中に蓄積されたヘリウム量を測定し、別途推定した1年間に地下水中に蓄積されるヘリウム量を基に地下水の地下での滞留時間を評価した。
- ② 同位体比($^3\text{He}/^4\text{He}$)の違いから地下水に含まれる溶存ヘリウム成分の違いを分別し、ヘリウムの起源を推定する。火山の活動に伴うヘリウム成分は、ヘリウムの同位対比が高いという特徴をもっているため、ヘリウム濃度と同位体比を基に、火山活動の影響範囲

を推定した。

6-1-1 地下水年代測定

溶存ヘリウム濃度を基にした地下水年代測定法の技術的な妥当性を確認するために、地下水の流れの方向および地下水の構造が古くからの調査で確認されており、地下水年代測定法の検証には理想的な地下水盆であるオーストラリア大鑽井盆地の地下水を対象に溶存ヘリウム蓄積法を解析法、 ^{14}C 年代測定法、 ^{36}Cl 法と比較し、溶存ヘリウム蓄積法が有効なことを確認した(図6-1-1)。

6-1-2 火山活動影響範囲の推定

岩手山において溶存ヘリウム量と同位体比の連続観測を行った結果、湧水(浅層地下水)と深層地下水の起源・流動系が大きく異なり(図6-1-2) 山麓の湧水に火山活動の影響がいち早く現れることを確認した。また、He同位体比は火山の活動性を鋭敏に反映しており、岩手山の東側を走る火山フロントより外側(海溝側)でHe同位体比が著しく小さくなる(つまり、マグマの活動が低い)ことを考慮すると、その地下深部には火山活動からの影響が直接及ばない地域が存在する可能性が示唆される(図6-1-3)。

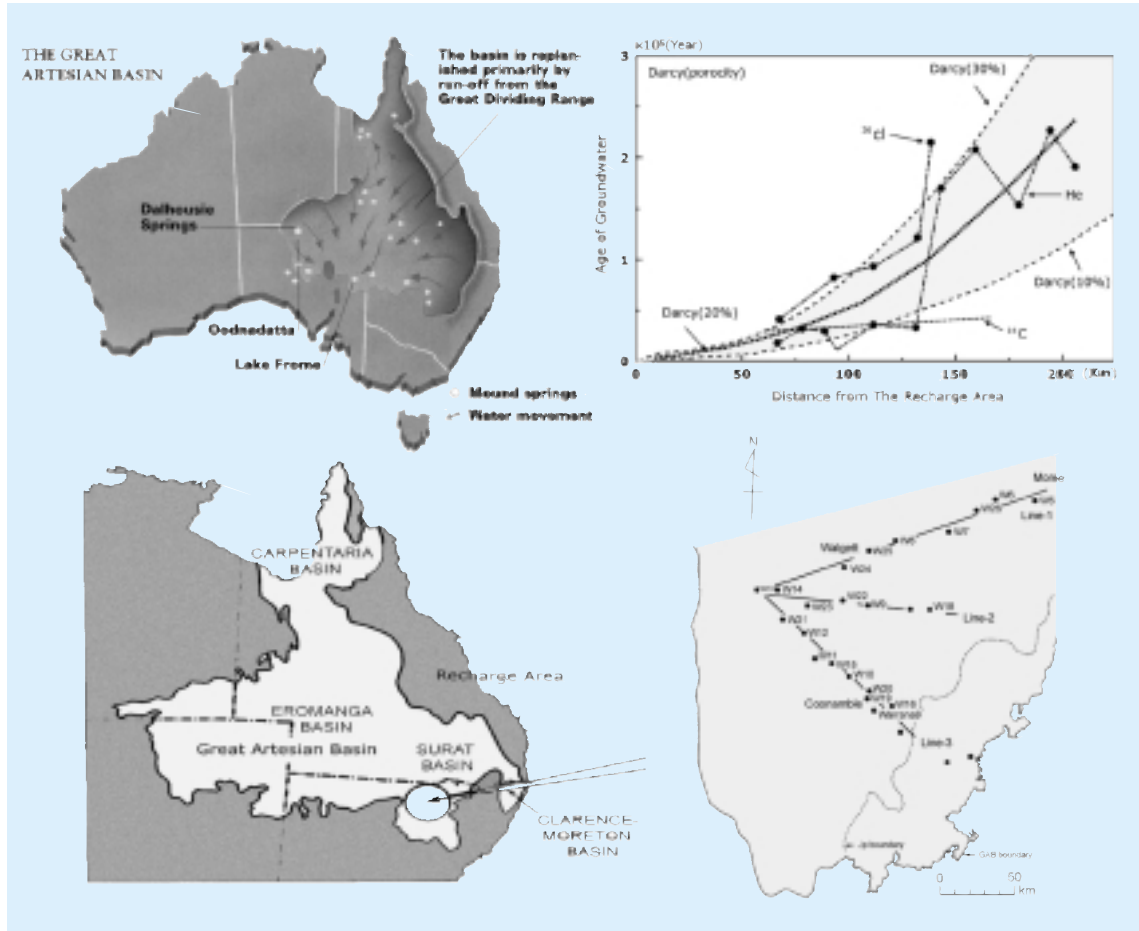


図6-1-1 オーストラリア大讃井盆地における溶存ヘリウム蓄積法と他地下水年代測定法の検討比較

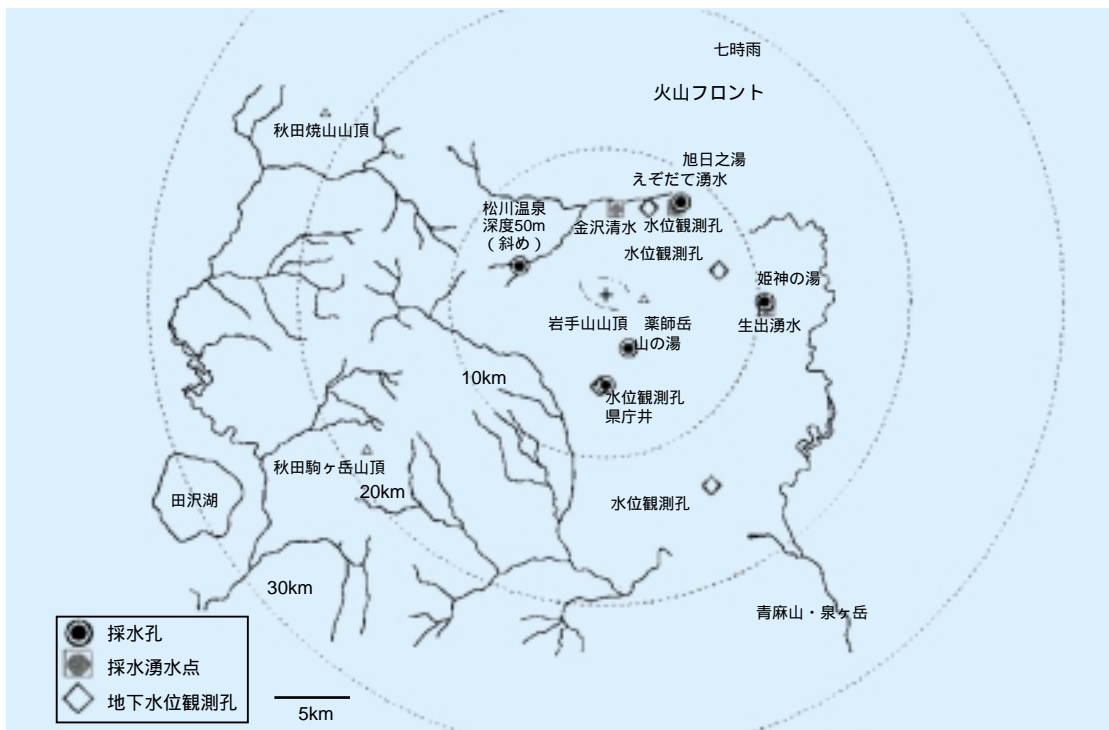


図6-1-2 岩手山周辺における温泉深井戸・湧水・浅層地下水調査のために配置した採水地点と地下水位観測孔

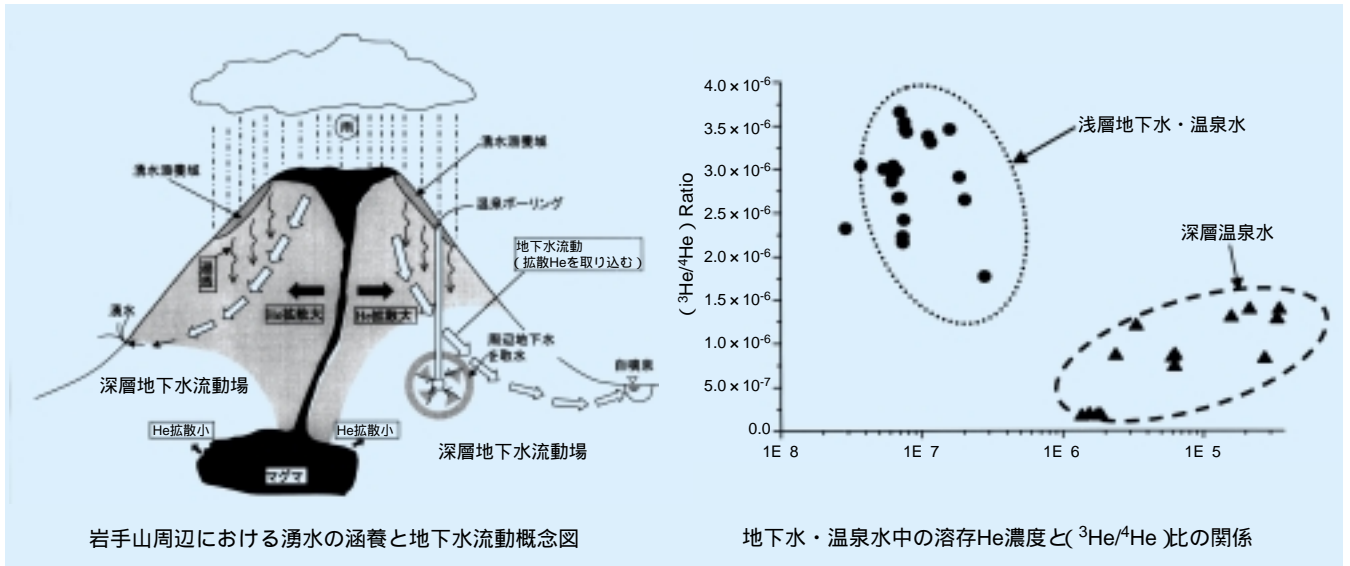


図6-1-3 岩手山周辺の地下水流動・He拡散概念と溶存He濃度と同位体の違いを基にした深層・浅層地下水の区分

6 - 2 低アルカリ性セメントの開発

セメント系材料は、放射性廃棄物処分施設における充填材、支保材およびグラウト材などの複数の部位に使用されることが想定されている。セメント系材料を用いることにより生ずることになる高アルカリ性環境は、他の処分施設構成材料に影響を与え、ガス発生量の増加、腐食環境の変化、ベントナイトの変質などを引き起こすことが懸念される。セメント系材料の各使用部位における要求性能は明確化されつつあるが、他のバリア材への影響軽減のために、セメントのpHを調整する技術として低アルカリ性セメントの開発が望まれている。

本研究の目的は次のとおりである。

一般的なセメントのpHは12.5～13.0程度であるが、そのpHを10.0～10.5程度に低下するようコントロールできる方策を検討するとともに、品質的に安定性があり、経済的に認知されやすい低アルカリ性セメントを提案し、その物理的・化学的基礎データを取得する。

これまでに得られた主な成果は次のとおりである。

- ① 既存の各種セメントのpHを支配している因子を整理し、低アルカリ化方策として以下の2項目を抽出

した。

- ・水和物中に水酸化カルシウムを生成させない
 - ・カルシウムシリケート水和物を低カルシウム型にする。
- ② 原材料組成から焼成過程を変えることにより、水和物中に水酸化カルシウムが生成せず、代わりにエトリンサイトが生成するセメント(LAC-C)を開発した。
 - ③ LAC-Cにシリカフュームを混合することにより、カルシウムシリケート水和物中のカルシウム-シリカモル比を下げ、低カルシウム型にしたセメント(LAC-S)を開発した。
 - ④ LACの製造方法は、一般のセメントと比べ特殊な工程はなく、通常のプラントで対応可能である。
 - ⑤ これらの低アルカリ性セメントについて物理試験および化学試験を実施中であるが、現状までのデータではpHが10.0～10.5程度という目標は達成できた(図6-2-1)。その他の性状についても、スランプなどのフレッシュ性状および短期的な強度等については、一般的なコンクリートと比べて遜色がないことを確

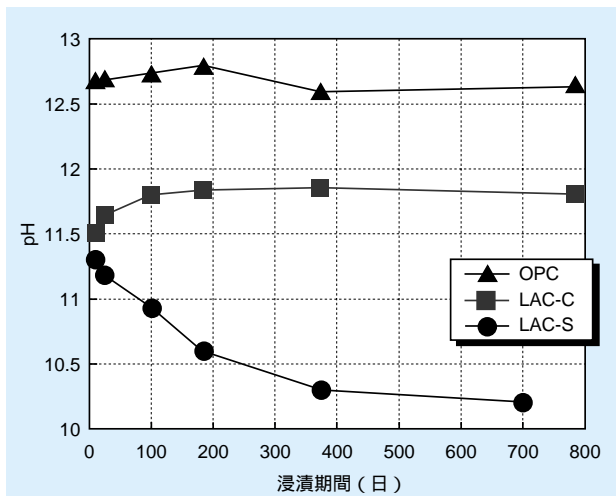


図6-2-1 水中浸漬による低アルカリセメントのpH変化

かめた。

今後の展開は次のとおりである。

開発した低アルカリ性セメントについて物理試験および化学試験を実施中であり、その結果により処分施設への適用性の評価を行う。またその際には、長期的な評価モデルを適用することが必要となるため、評価モデルで用いる固相の設定や平衡定数等に関わるデータを取得していく。

6-3 低レベル放射性雑固体廃棄物の アークプラズマ溶融処理技術

6-3-1 アークプラズマ加熱技術

アーク放電の温度は、5,000 ~ 20,000K と非常に高い。アーク放電をノズルやガス流で拘束すれば、一層の高温と高い指向性が得られる。これをアークプラズマと呼ぶ。アークプラズマ加熱技術は、①超高温を容易に発生できる、②エネルギー密度が高い、③加熱エネルギーが加熱の場で進行する化学反応に影響されにくい、④排ガスが少ない、⑤加熱エネルギーの管理と制御が容易である、⑥クリーンな加熱ができる、という特長を有する。

6-3-2 低レベル放射性雑固体廃棄物

原子力発電所の運転や定期点検等に伴って、固体状で発生する低レベルの放射性廃棄物(低レベル放射性雑固体廃棄物)は、炭素鋼等の金属類、保温材やコンクリート等の不燃物、ビニールやゴム等の可燃物のように種々雑多であり、発生量が多い。低レベル放射性廃棄物は、六ヶ所村で最終処分が進められており、最終

処分の前に固形化が義務付けられている。この際、廃棄物を減容できれば、最終処分のコストを大幅に低減できる。

6-3-3 低レベル放射性雑固体廃棄物への適用性評価

上述の特長を有するアークプラズマ加熱技術は、低レベル放射性雑固体廃棄物の一括溶融処理に有望である。このために、プラズマトーチ、プラズマ炉、排ガス浄化装置、計測システム等から構成される100kW級プラズマ溶融処理実験設備を設置した。プラズマトーチは、当所の設計によるもので、電極冷却構造などを工夫し長寿命化を図った。この設備を用いて、溶融時の炉内の雰囲気や金属、不燃物、可燃物の廃棄物の組成を変えて、放射性核種を模擬する非放射性的Coやセシウム(Cs)等と共に、一括溶融する実験を行い、アークプラズマ加熱技術の適用性を評価してきた。評価の視点は、主として、超高温で溶融しても放射性核種が安定に溶融固化体に捕捉されること、得られた溶融固化体が最終処分に適することである。

模擬核種は安定に溶融固化体に捕捉された。最終処分前に行う放射エネルギーの計測に重要な核種で、沸点の低いCsも50%以上捕捉できることを明らかにした。ただし、Csのスラグ層への捕捉率は、加熱雰囲気を実時還元性とした場合に低下したことから、炉内を連続的な還元性の雰囲気としない運転法が推奨される。

溶融固化体は、比重の違いから上部がスラグ、下部が金属の2層構造となる。脆いスラグ層でも、既に最終処分が実施されているセメント均質固化体より強い圧縮強度を有すること、いずれの層でも模擬核種の分布は均一で、処分前の放射エネルギーの計測が容易になること、いずれの層も地下水に晒されても核種を安定に閉じ込められることが明らかになった。以上から、最終処分に適した溶融固化体が作製できることを明らかにした。

一連の溶融実験において、金属、不燃物、可・難燃物のほとんどが容易に一括してプラズマ溶融処理できた。しかし、超高温のアーックプラズマを用いても溶融が難しい廃棄物があった。その一つが、セラミックフィルターエレメントである。これは、原子力発電所に設置されている焼却設備の集塵装置の濾材で、2,200 で昇

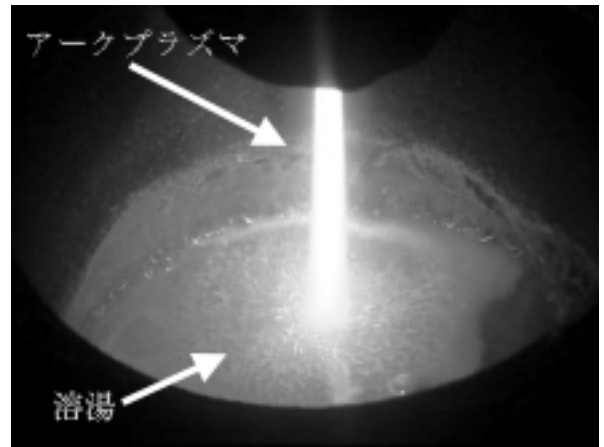


図6-3-1 飛灰を溶融している炉内の状況

華が始まるSiCが主成分である。しかし、炉内の酸素濃度を適切な値に保つことによりSiO₂、Si、CO₂等に分解・溶融できることを明らかにした。

以上から、アーックプラズマ加熱技術は、低レベル放射性雑固体廃棄物の溶融・減容処理へ適用できることを明らかにした。また、これらの研究成果は、低レベル放射性雑固体廃棄物の一括プラズマ溶融処理技術の実用化進展に貢献した。