

加湿フライアッシュからの重金属類溶出特性に関する長期モニタリング

川口 正人 村田 博一 浅田 素之 遠藤 裕人 栃山 広幸
(技術研究所) (技術研究所) (技術研究所) (土木営業本部) (土木営業本部)

Long term monitoring of heavy metal leaching from pre-wetted fly ash from coal combustion

Masato Kawaguchi, Hirokazu Murata, Motoyuki Asada, Hiroto Endoh and Hiroyuki Tochiyama

石炭火力発電はわが国のベース電力供給を担っている。石炭火力では石炭の燃焼エネルギーを水蒸気タービンにより電気に変換するが、その際には原料の石炭のおよそ10%の燃焼残渣が発生する。この量は平成28年の一般社団法人石炭エネルギーセンターによる統計調査資料によれば1,272万tに及ぶ。セメント工業の原料や、コンクリートの添加資材などへの有効利用が図られているが、2%の24.9万tは発電所近傍の石炭灰処分場に埋め立てられている。埋め立てられた石炭灰は、湿潤化されて処分場に保管されているため、埋め立てられる前の灰(新生灰)とは異なった性状を呈すると考えられる。

本報告では、この埋め立てられた石炭灰の有効利用を図るため、全国の発電所から発生した石炭灰を加湿し模擬貯蔵灰(エージング灰)を作成し、貯灰場で保管されている間の性状変化を長期に亘り調査した結果を報告する。

Since the Great East Japan Earthquake, coal-fired electricity generating plants have become one of the major base-load sources of power in Japan. In these plants, coal is burnt to produce steam that drives turbines. Unfortunately, a by-product of coal burning is coal fly ash (CFA), that amounts to around 10wt% of the raw coal used. In fiscal 2016, 12 million tons of CFA was produced by Japan's power plants. Although a large amount of CFA is recycled as a raw material for the cement industry and as a concrete additive, 2wt% of the total produced, around 0.25 million tons, was dumped at industrial waste landfill sites.

In preparation for dumping at a landfill, CFA is generally pre-moistened. The chemical and physical characteristics exhibited by raw CFA and pre-moistened CFA are likely to be different. In this study, we investigate changes in characteristics of landfilled pre-wetted CFA from power plants nationwide over a period of three years using a simulated CFA landfill site. The hope is to encourage more effective use of this landfilled CFA.

1. はじめに

東日本大震災以降、再生可能エネルギーの利用が進められているがまだその割合は低く、石炭など化石燃料による火力発電が主なベース電源としての役割を担っている。特に、石炭は豊富な賦存量があることや、政情等において安定した地域に広く算出すること、国内にも石炭火力の発電所が多く立地していることなどもあり、今後も石炭火力により発電が継続される。石炭は他の化石燃料による発電プロセスとは異なり、燃料が固体である。また燃焼後にはおおよそ原料炭の10重量%程度の焼却残渣(石炭灰)が副製される。震災前のその量は年間1,000~1,100万t程度であったが震災後には1,260~1,290万tに増加した¹⁾。副製された石炭灰の大半はセメ

ント産業の原料として再利用されているが、すでにその受入量の伸びは期待できないため、今後の有効利用量の増加には別の有効利用先を探す必要がある。海面埋め立て利用も実施されているが、最終的に利用先のない石炭灰が年間20~40万t程度、陸域に設置されている貯灰場に埋め立て処分されている。震災後、貯灰場への埋立量が増加の中、地盤沈下による沿岸部の嵩上げや築堤など、多量の資材需要の増加に伴って、過去に貯灰場へ搬入された既成灰(以下、エージング灰と表記)の掘り起し利用のニーズが高まってきている。

貯灰場に埋め立てられる前の乾燥した石炭灰を新生灰(以下、FFAと表記)、埋立てにより湿潤化した石炭灰をエージング灰と分類する。表-1にこの石炭灰種別を示す。

表-1 石炭灰種別

| 石炭灰 | 略称 |
|----------|------|
| 新生灰 | FFA |
| 模擬エージング灰 | SAFA |

FFA については今までに、資源化再利用に関する多くの知見^{2)・7)}があり、また、重金属類についての不溶化検討がされている。

火力発電所から副製された FFA は、加湿され貯灰場に埋め立てられている。埋め立て保管されているエージング灰は、その加湿された条件下で長期保管されることにより、含有する重金属類の溶出特性が変化し、溶出量が低く抑えられる。このことは、石炭灰を有効利用する際に、FFA を直接様々な建設資材化利用するのではなく、一旦エージング灰として保管した後に改めて利用する方が、より重金属類による溶出リスク低減に配慮した資材化利用が可能となることを示唆している。

エージング灰について、筆者らは物理特性と化学特性に関する確認を進めてきており、これまでの研究結果^{8)・9)}から都市基盤整備資材としての物理的な要求事項は、セメント等の適切な配合により満足することを示してきた。一方、エージング灰の溶出特性に関する研究は、筆者ら¹⁰⁾の他、井野場ら¹¹⁾や斉藤ら¹²⁾の研究などにより実施されているものの、再利用に向けてはさらに多くの種類の石炭灰に関するエージングの効果を広く確認する必要がある。

本研究では陸域における石炭灰処分場に一旦埋め立てられたエージング灰を改めて掘り起こし、土工用の資材としての有効利用を目指しその加湿された環境下で埋め立て保管されることによる溶出挙動の変化に及ぼす効果(エージング効果)について評価を行うことを目的とする。

エージング灰は石炭火力発電所に併設されている灰処分場からサンプルを収集することは物理的には可能である。しかし、処分場によってはいつ頃どのあたりを埋めたという記録が残っていることもあるが、当該場所にどのような物理化学的性状を有した FFA が埋め立てられたのか詳細に遡り調査することは現実的に不可能である。そのため、FFA からエージング灰に変化していく過程は不明である。

そこで、エージング灰の利用促進を目的に、エージング灰利用のメリットとして期待する重金属溶出抑制挙動を明らかにするため、性状が明らかな 20 種類の FFA を加湿後、室内で長期養生した室内模擬エージング灰(以下 SAFA と表記)を経時的にサンプリングし、そこから溶出してくる重金属の挙動を 3 年間に亘り調査した。その結果、石炭灰の pH の相違により、重金属類の溶出抑制挙動に違いが生じることを把握した。本報告ではこの結果を取りまとめ報告する。

2. 試験方法

2.1 使用した石炭灰

SAFA を調製するためには原料となる FFA が必要となる。この FFA は経済産業省資源エネルギー庁から委託された石炭利用技術振興費補助事業¹³⁾等で日本全国から収集したものである。20 種類の FFA に対して、主要元素の組成分析(JIS R 5204: 蛍光 X 線分析、ガラスビード法)、強熱減量(JIS R 5204: 975°C、1 時間)、含水比(JIS A 1203: 110°C、24 時間)、pH 測定(JIS Z 8802)を実施し、FFA の初期状態を把握した。なお、含水比で求めた値は本報告中では含水率に変換している。これらの分析結果を表-2 に示す。

表-2 使用した石炭灰(FFA)の性状

| FFA 種類 | A | B | C | D | E | F | G | H | I | J | K | L | M | N | O | P | Q | R | S | T | |
|--------------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| SiO ₂ | 60.3 | 66.0 | 56.0 | 57.7 | 53.4 | 62.8 | 61.3 | 45.4 | 62.9 | 67.0 | 52.2 | 52.8 | 61.3 | 57.8 | 60.2 | 62.8 | 56.1 | 66.4 | 50.9 | 47.6 | |
| Al ₂ O ₃ | 24.9 | 22.0 | 23.3 | 17.9 | 23.6 | 23.4 | 26.1 | 28.0 | 22.8 | 18.8 | 28.2 | 25.8 | 24.6 | 25.4 | 29.8 | 24.5 | 24.2 | 14.6 | 23.1 | 18.6 | |
| CaO | 2.0 | 1.2 | 6.9 | 9.8 | 5.4 | 2.0 | 2.8 | 9.5 | 2.0 | 1.8 | 4.5 | 6.9 | 2.2 | 2.1 | 0.7 | 1.8 | 6.0 | 3.4 | 7.2 | 10.9 | |
| Fe ₂ O ₃ | 4.1 | 4.3 | 4.7 | 6.1 | 5.5 | 4.0 | 2.8 | 7.7 | 5.0 | 4.3 | 6.1 | 5.4 | 4.1 | 5.3 | 3.3 | 3.6 | 4.6 | 4.4 | 7.5 | 12.9 | |
| MgO | 1.6 | 0.7 | 1.3 | 1.7 | 1.2 | 0.6 | 1.1 | 0.4 | 1.2 | 0.9 | 0.7 | 1.9 | 1.0 | 0.7 | 0.3 | 0.8 | 0.9 | 1.8 | 2.5 | 4.5 | |
| Na ₂ O | 0.7 | 0.4 | 0.4 | 0.5 | 0.9 | 0.3 | 0.7 | 0.3 | 0.5 | 0.4 | 0.6 | 1.0 | 0.3 | 0.4 | 0.1 | 0.4 | 0.2 | 0.6 | 0.6 | 0.2 | |
| K ₂ O | 2.5 | 1.2 | 1.0 | 1.3 | 1.4 | 1.0 | 0.7 | 0.6 | 1.4 | 1.2 | 0.8 | 1.3 | 1.0 | 1.3 | 0.4 | 1.3 | 0.9 | 0.8 | 1.8 | 1.0 | |
| TiO ₂ | 1.1 | 1.1 | 1.0 | 0.6 | 1.1 | 1.2 | 1.6 | 2.1 | 1.1 | 0.9 | 1.2 | 1.2 | 1.3 | 1.0 | 1.8 | 1.2 | 1.5 | 0.7 | 1.0 | 1.1 | |
| MnO | 0.0 | 0.0 | 0.1 | 0.1 | 0.1 | 0.1 | 0.0 | 0.1 | 0.0 | 0.0 | 0.1 | 0.1 | 0.0 | 0.1 | 0.0 | 0.0 | 0.1 | 0.0 | 0.1 | 0.1 | |
| P ₂ O ₅ | 0.7 | 0.3 | 0.7 | 0.2 | 0.6 | 0.5 | 0.1 | 0.1 | 0.3 | 0.2 | 1.0 | 0.6 | 0.3 | 0.5 | 0.3 | 0.4 | 1.3 | 0.1 | 0.3 | 0.1 | |
| SO ₃ | 0.1 | 0.2 | 0.3 | 0.8 | 0.7 | 0.2 | 0.2 | 1.0 | 0.3 | 0.2 | 0.2 | 0.2 | 0.3 | 0.3 | 0.1 | 0.1 | 0.7 | 0.2 | 0.5 | 0.6 | |
| 強熱減量 | wt% | 1.2 | 1.8 | 2.7 | 1.8 | 4.0 | 2.1 | 1.1 | 2.8 | 1.6 | 3.2 | 3.2 | 1.7 | 1.6 | 3.6 | 1.7 | 2.0 | 1.6 | 5.4 | 3.4 | 1.0 |
| 含水率 | wt% | 0.1 | 0.2 | 0.2 | 0.2 | 0.3 | 0.2 | 0.2 | 0.3 | 0.2 | 0.3 | 0.2 | 0.2 | 0.2 | 0.3 | 0.2 | 0.2 | 0.2 | 0.3 | 0.2 | 0.1 |
| pH | - | 9.5 | 8.7 | 7.0 | 12.9 | 12.1 | 8.8 | 10.4 | 12.9 | 9.8 | 10.3 | 11.6 | 12.0 | 7.2 | 9.8 | 7.2 | 10.6 | 11.6 | 11.9 | 11.7 | 11.2 |

2.2 模擬エージング灰(SAFA)の調製方法

エージングによる重金属の挙動変化を把握するため、20種のFFAを加湿し、SAFAを調製した。

SAFAは、貯灰場のエージング灰含水率24wt%¹⁰⁾にあわせ精製水を用い加湿した。調製したSAFAは水分の蒸散を防止した湿潤状態を保つため密閉容器に入れ、これを20°Cの恒温室にて養生保管した。

2.3 重金属溶出試験方法

重金属類の挙動変化を把握するため、FFA 20種と湿潤化したSAFA 20種の溶出試験を実施した。

2.1で調製したSAFA 20種の養生期間は6ヶ月、12ヶ月、36ヶ月とした。これらの試料に対して、環境庁告示第46号(JLT46)に準拠した検液を作成し、JIS K 0102:2013により、重金属類を測定した。ところでJLT46では溶出操作の前に試料を風乾処理する様に規定されている。しかし、SAFAは湿潤であることが特徴であり、利活用時にはわざわざ乾燥させず、そのまま資材化することが一般的なプロセスである。このことから、本検討では風乾処理をしない試料を評価試料とした。なお、12ヶ月、36ヶ月のSAFAはJLT46に従い風乾後の溶出操作も合わせて実施した。以下に溶出検液作成手順を記す。

【溶出試験検液作成手順】

- ① 湿潤試料は乾燥をせずそのままの状態でも溶出した。なお、風乾試料は1週間の自然乾燥の後に溶出した。
- ② 試料は乾燥重量を基準に精製水を重量体積比10%の割合(1:10)で混合し、懸濁液を作成した。
- ③ 常温常圧下で振とう幅4~5cm、振とう回数200回/分で、懸濁液を6時間振とうし、30分静置させた後、その上澄み液を孔径0.45μmのメンブレンフィルタ(東洋濾紙株式会社製セルロース混合エステルタイプメンブレンフィルタA045A047A)でろ過し、検液とした。

なお、これまでの研究¹⁰⁾において、総水銀(T-Hg)と鉛(Pb)の溶出量は全て検出下限値以下であったことから、溶出試験項目は、六価クロム(Cr(VI))、セレン(Se)、ヒ素(As)、フッ素(F)、ホウ素(B)の5種類とした。

2.4 溶出抑制効果の評価方法

各種石炭灰ごとの各溶出試験項目の溶出量は多様であることから、エージング効果による溶出挙動を

無次元化しその傾向を評価するため下記に示す式(1)により、溶出量の比を算出した。

$$\text{溶出量の比} = \frac{\text{SAFA(材令6,12,36ヶ月)の溶出量(mg/L)}}{\text{湿潤前のFFAの溶出量(mg/L)}} \quad \dots (1)$$

例えば、SAFAの溶出量が湿潤前のFFAの溶出量の50%であれば溶出量の比は0.5となる。湿潤前のFFAの溶出量を基準として比較し溶出量の比をもとめていることから、材令0ヶ月の溶出量の比は全ての試料(A~T)において1.0となる。これを各試料の溶出量の比の初期値とした。エージング後の溶出量の比が初期値の1.0以下の場合には重金属溶出抑制に関するエージング効果があることを示している。

3. 試験結果

3.1 試験に供した新生灰(FFA)主成分及び性状

20種類のFFAに対して実施した主成分分析等の試験結果を表-2に示す。ガラスビート法によるXRF分析の結果からいずれも最も多い成分は酸化ケイ素であった。その他、酸化アルミニウム、酸化カルシウムや酸化鉄が続く。この4成分の合計は87.9~94.0wt%を占め、それ以外には酸化マグネシウムやアルカリ金属酸化物などが含まれている。強熱減量は1.0~5.4wt%、pHは7.0~12.9であった。従来の石炭灰は強いアルカリ性を示すことが一般的であったが、弱アルカリから中性に近い灰も出てきており、石炭灰の性状は多様化してきている。これは、有効利用の際には、この多様性に合わせた配合設計が必要となってきていることを示している。また、現在では国産の石炭はほぼ無く、本邦の火力発電所は輸入炭に頼っている。そのため、同じ発電所でも定常的に一様な灰を産出せず、さらにブレンドした石炭を燃焼することもある。このように同一の火力発電所から発生する石炭灰であっても、利用するタイミングによって多様性があることを意識することが今後は特に大切になっていくことが示されている。なお、今回の調査で使用した20種の灰の傾向は近年の石炭灰のキャラクターゼーション調査結果と同様であり、国内の一般的な石炭灰を用いた調査となっている¹⁴⁾。

図-1にSiO₂含有量、アルカリ金属やアルカリ土類金属の酸化物の総和量(塩基性酸化物の総和: K₂O + Na₂O + MgO + CaO)およびAl₂O₃やFe₃O₄などの他の成分の三成分系相図を示す。特にFFAのpHはばらつきが大きいことから、アルカリ灰pH<11と

強アルカリ灰 $\text{pH} \geq 11$ とに区分して示している。図-1より、塩基性酸化物の含有量が多くなる左下や、 SiO_2 が少なくなる下に移行するにつれ、灰のアルカリ性は強くなるが見られる。一方、その他の成分の増減である右下方向は pH との強い相関性は見られない。

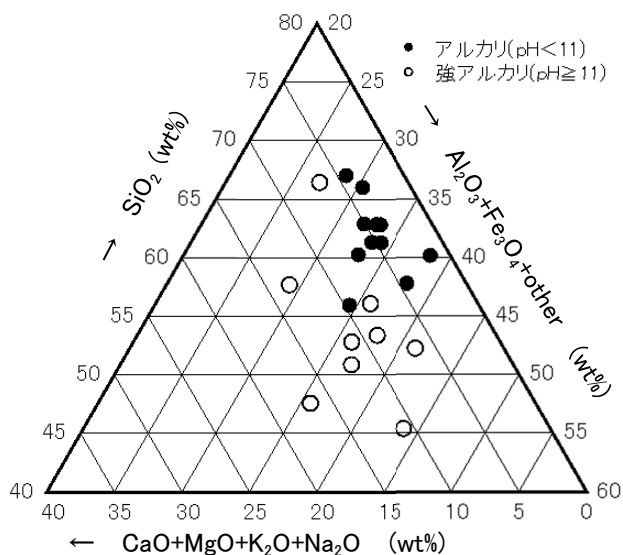


図-1 FFAの組成(三成分系相図)

収集した20種の灰を写真-1に示す。また、強熱減量測定後の試料を写真-2に示す。FFAは全体的に濃淡はあるものの未燃カーボンの影響により、灰色を呈しているが、未燃カーボンが分離されると、灰に含まれる酸化物由来の色を呈してくる。火力発電所の燃焼効率がさらに上がり、未燃カーボンが灰中に含まれないような状態となっていくと、二次製品等の色調も変化することが予測される。

写真-1 全国石炭灰サンプル

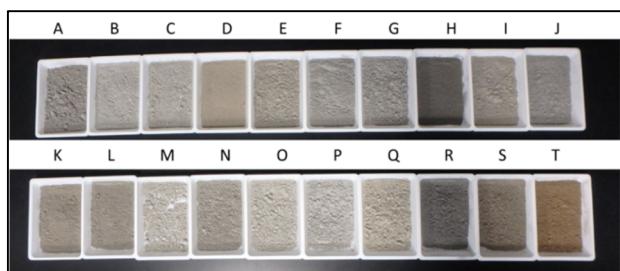
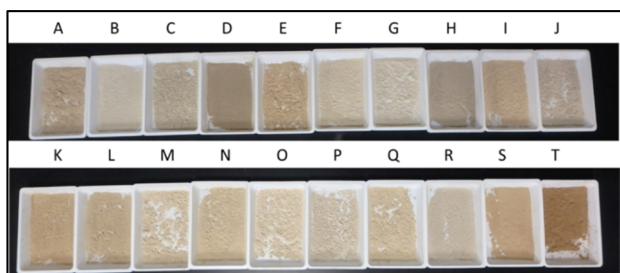


写真-2 強熱減量分析後の全国石炭灰サンプル



3.2 長期養生試料の溶出試験結果

2.4に示した式(1)によりそれぞれの材令における溶出量を初期濃度との比として無次元化し、この溶出量の比が1を下回った頻度(試料数の割合)と溶出量の比の平均値を表-3に整理した。

表-3 溶出抑制がみられた試料数割合と溶出量の比の平均値

| | 養生期間 | 重金属類 | | | | |
|--------------------|------|--------|------|------|------|------|
| | | Cr(VI) | Se | As | F | B |
| 溶出抑制が見られる試料数の割合(%) | 6ヶ月 | 50 | 100 | 85 | 100 | 85 |
| | 12ヶ月 | 50 | 100 | 80 | 100 | 75 |
| | 36ヶ月 | 30 | 100 | 90 | 100 | 75 |
| 溶出量の比の平均値 | 6ヶ月 | 0.89 | 0.14 | 0.58 | 0.15 | 0.39 |
| | 12ヶ月 | 0.98 | 0.19 | 0.55 | 0.15 | 0.52 |
| | 36ヶ月 | 1.44 | 0.2 | 0.35 | 0.09 | 0.62 |

FFAがSAFAに変化するエージング効果によって、今回調査対象とした5つの重金属類(Cr(VI)、Se、As、F、B)はいずれも溶出する重金属を低減する効果があることが示された。特に、SeとFはすべてのFFAに対してその効果が現れており、またその効果について長期継続することも確認されている。

Asは実験した石炭灰の80~90%において、Bでは75~85%、Cr(VI)では30~50%において溶出量低減効果が見られ、エージング処理は石炭灰の有効利用における重金属溶出低減に対する効果があるということが示唆された。

溶出量の比の平均値に着目すると、Seでは0.14~0.20、Fでは0.09~0.15と顕著にその効果が現れている。この2つの重金属類の溶出低減割合がいずれも100%であることを鑑みれば、エージング効果による溶出リスクの低減は大きく寄与すると考えられる。

AsやBでは、それぞれ溶出量の比の平均が0.35~0.58、0.39~0.62といずれも1/3~2/3程度の溶出量低減が確認されている。特にヒ素は時間経過とともに溶出抑制の割合も増加していることもあわせると、長期保管することで、より溶出抑制が進むということが示唆される。

Cr(VI)は溶出量の比の平均が0.89~1.44とエージングによる溶出抑制効果は大きく見られず、養生期間の長期化に伴って溶出量が増える傾向も見られる。

SAFA溶出検液のpH変化を図-2に示す。横軸にFFAの溶出検液のpHを、縦軸にそれぞれの材令のSAFA溶出検液のpHをプロットした。石炭灰の6ヶ月間のエージング処理により、弱アルカリのFFAのpHは上昇する。逆に強アルカリの灰は小さくなる。中間領域のFFAはほぼ同等レベルのpHと

なる。FFAの溶出検液はpHが7~13と幅広い特性を示していたが、エージング処理により、おおむね9~12の間に収まってきており、pHのレンジは狭められる。その後12ヶ月、36ヶ月とエージング期間が長期化するにつれ、pHは全体的に低下していく。そのレンジは8~10程度に低下していくことがわかる。エージング処理は、石炭灰が持つ強いアルカリ性を緩和させる。逆に中性に近い灰はやや高いpHの領域に収束していくことがみられる。このpHの変化は様々な重金属類の溶出特性に影響を及ぼす要因となる。なお、今回の一連の実験は密閉された樹脂製容器にSAFAを入れ保管したものだが、定期的な取り出し時などは空気との接触があった。pHの低下は、水和反応の進行によるアルカリ成分の溶出性の変化のほか、僅かであろうが、容器内のCO₂との接触なども影響していると思われる。実際の埋立地では降雨により、CO₂を含んだ水分が浸透していくことが推測されることから、より炭酸化によるpHの変化が予測される。

各材令におけるSAFAのpHとCr(VI)の溶出量の比を図-3に示す。材令6ヶ月では比較的高いpHの灰も材令が進むにつれ低pHに移行していく。全体的な傾向として、pHの低下に伴いCr(VI)の溶出性が高まっていくことがみられる。図-4に横軸をFFAのpHとしてCr(VI)の溶出量の比を整理したものを示す。FFAのpHが11以上の強アルカリ性を示した灰は、エージングによるCr(VI)の溶出抑制効果が比較的多く見られる。一方、11以下の灰は溶出抑制効果が強アルカリ灰に比べ低いことがわかる。図-2のFFAとSAFAの相関を見ると、pH(FFA)>11を示す灰は36ヶ月の材令においてもpH(SAFA)>9となっている。図-3のpH(SAFA)>9では、溶出量の比が概ね1.5程度以下であるが、pH(SAFA)=8近傍では溶出量の比が2.5を超えるケースも示しており、弱アルカリ性領域のpH(SAFA)を示す場合は溶出性が高まっていることがわかる。

このような大きな溶出量の比を示すSAFAはFFAのpH<11の灰が多く示されること、pH>11の灰は溶出量の比が比較的大きくないことから、初期の灰性状によってその後の溶出抑制が異なる傾向を示すことがわかった。すなわち、強アルカリの灰はCr(VI)のエージングによって溶出性はそれほど大きく変化しないFFAが多いが、FFAのpHが高くない灰の場合、エージングによって溶出性が高くなることが見られる。FFAの溶出量が多く、またpHが高くない場合は、長期エージングによる養生よりも、

早期の利用が望ましいこと、溶出抑制に配慮した配合の重要性が高まると考えられる。

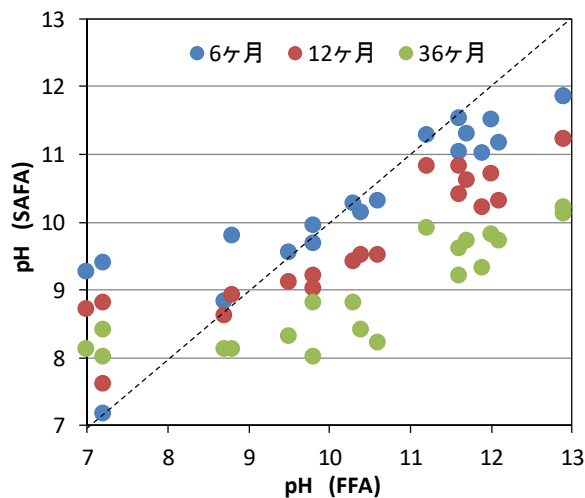


図-2 FFAとSAFAのpHの相関

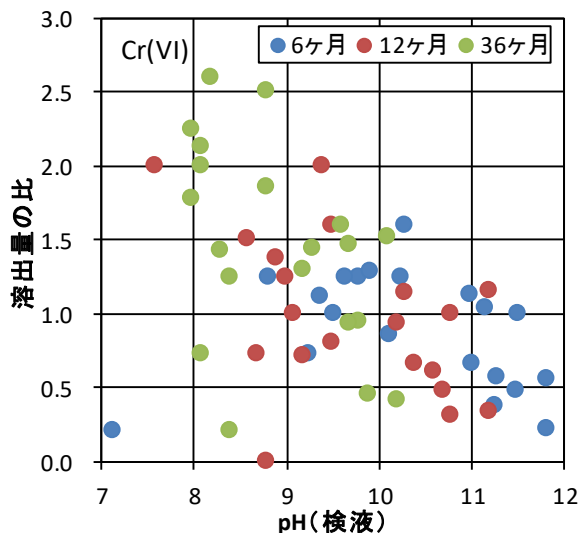


図-3 SAFAのpHとCr(VI)の溶出量の比

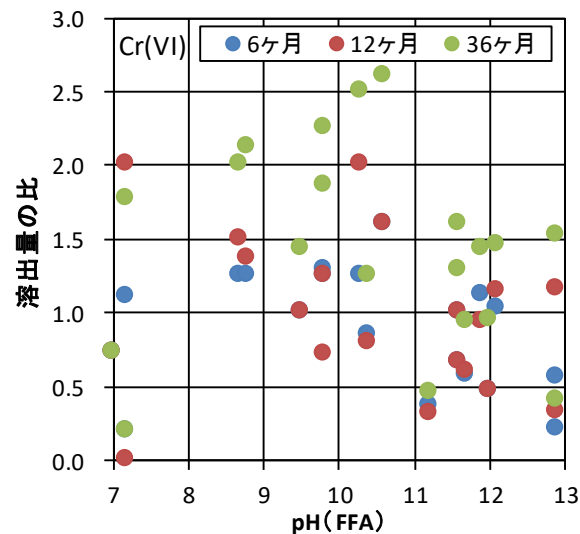


図-4 FFAのpHとCr(VI)の溶出量の比

pHの高低により溶出量の比に違いがあるものの、Cr(VI)はエージング養生期間が長くなるにつれて、全体的に溶出量の比が高くなる傾向が見られる。これは水分の出入りのない密閉用期中における養生によって徐々に進む水和反応に必要な水分が不足したりなど、水和反応の進行が鈍化することなどが予測されるが、核心に至る知見がまだ得られていない。当該領域についての検討は今後の課題である。

Se,As,F,Bの重金属類についてpH(SAFA)と各材令における溶出量の比を図-5~8に示す。pH(SAFA)と溶出量の比の間にはCr(VI)のような明確な相関性は見られない。横軸をpH(FFA)とした溶出量の比を図-9~12に示す。Se, Fは双方とも、pH(FFA)との相関性も明確には見られないがAs,BはCr(VI)とは逆にpH(FFA)>11の場合は溶出量の比が大きく、pH(FFA)<11は溶出量の比が小さくなり、概ね1.0以下となる傾向が見られる。このことから、FFAの段階でpH(FFA)>11の場合は、Cr(VI)の溶出性が高い石炭灰において、pH(FFA)<11の場合は、As,Bが高濃度に溶出する灰において、エージング処理することで溶出のリスクが低減効果が大きいことが示される。なお、Se,FはpH(FFA)の大小にかかわらず、エージング処理は溶出リスク低減に効果的である。

3.3 溶出前処理(風乾)による溶出試験結果

長期養生材令12ヶ月、36ヶ月において、SAFAからの溶出試験を一般的な土壌環境評価にて実施する風乾操作を実施した抽出液(風乾試料)と地盤材料として利用している環境を模擬し湿潤した状態で

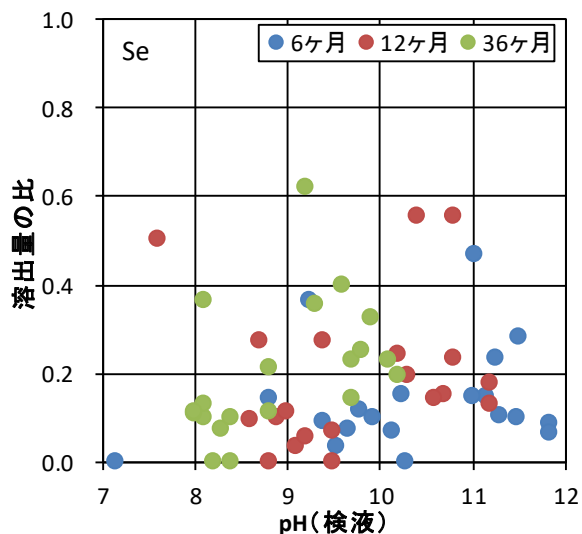


図-5 SAFAのpHとSeの溶出量の比

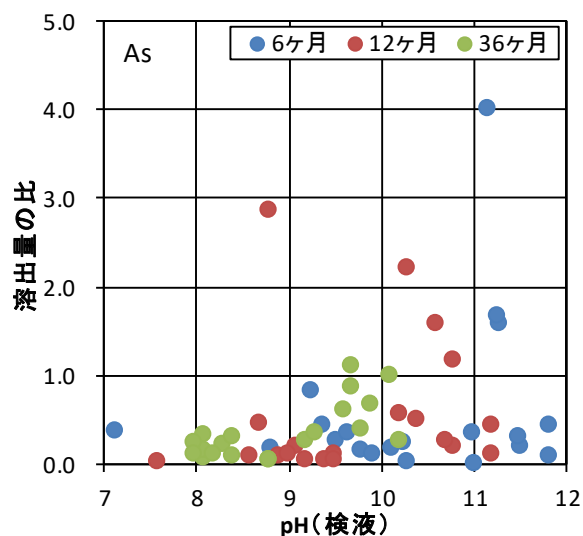


図-6 SAFAのpHとAsの溶出量の比

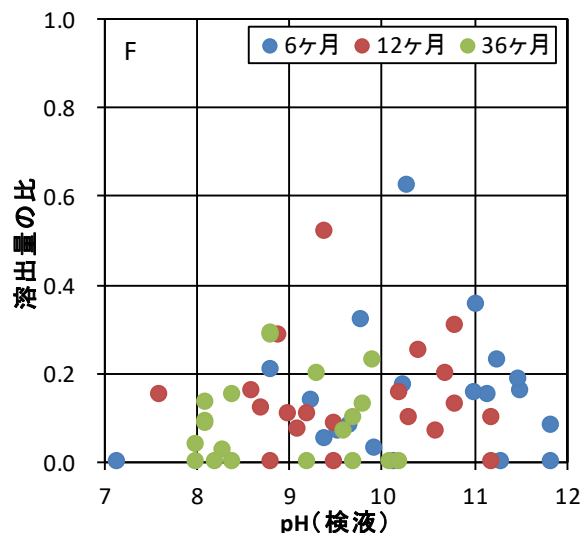


図-7 SAFAのpHとFの溶出量の比

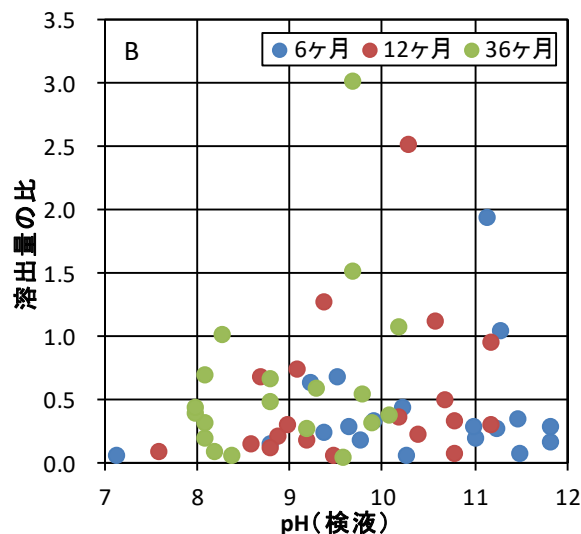


図-8 SAFAのpHとBの溶出量の比

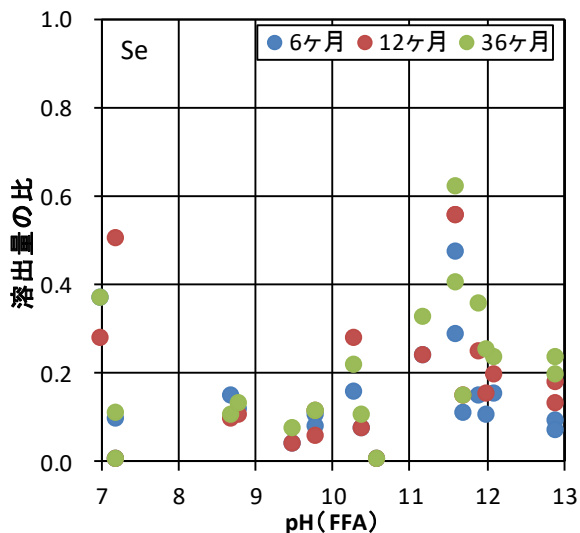


図-9 FFAのpHとSeの溶出量の比

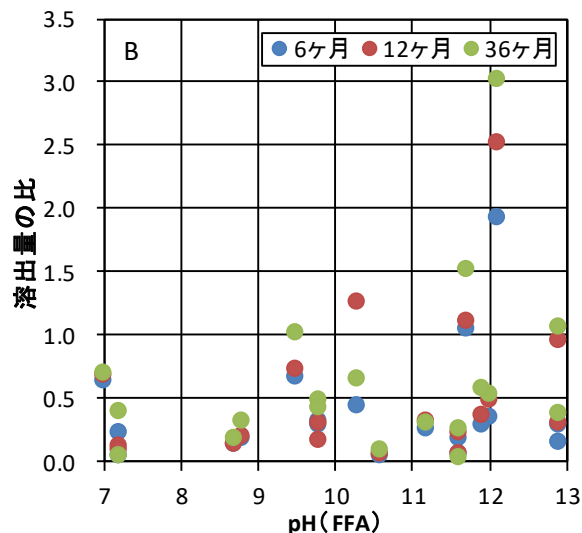


図-12 FFAのpHとBの溶出量の比

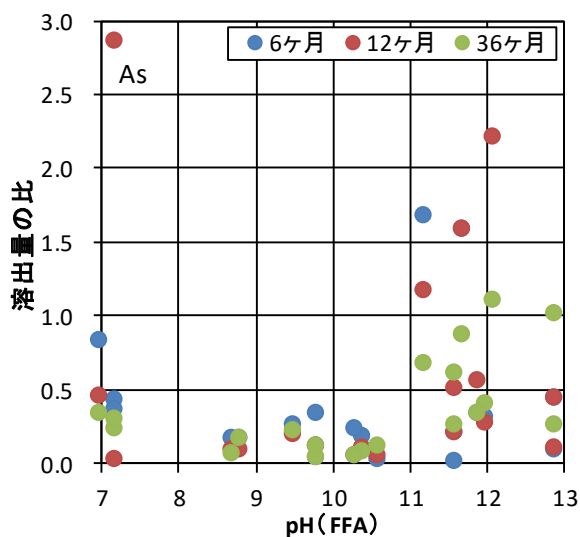


図-10 FFAのpHとAsの溶出量の比

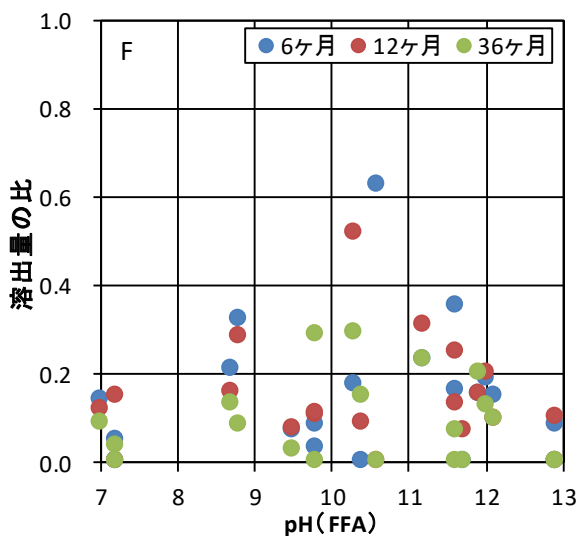


図-11 FFAのpHとFの溶出量の比

再資源化するようなSAFAを想定し、風乾操作をせず、そのまま溶出した抽出液(湿潤試料)を作成し、その抽出液中の各重金属濃度を分析評価した。横軸に風乾試料による溶出量の比を、縦軸に湿潤試料による溶出量の比をプロットし、それぞれの重金属毎の相関を図-13~17に示す。

全体的に湿潤試料に比べ風乾試料の溶出量の比が高い値を示している。一方、長期材令になるとその差は全体的に減少する傾向が見られる。いずれにしても、エージング灰の有効利用に際しては溶出リスクが高まる風乾ではなく湿潤のまま有効利用していくプロセスが環境影響リスク回避の為には有効であるという知見を得た。

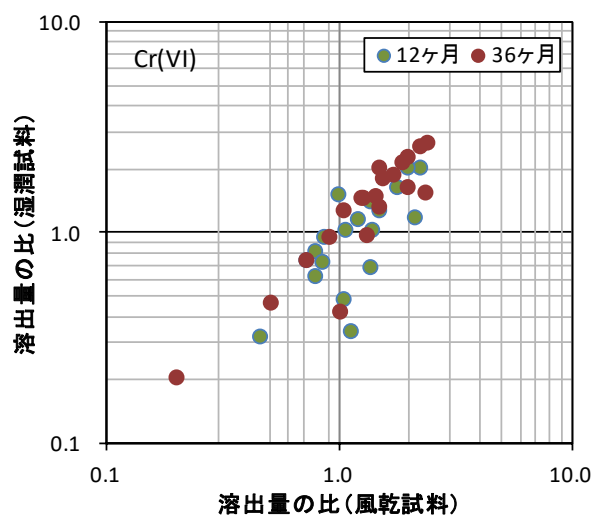


図-13 風乾時と湿潤時のCr(VI)の溶出量の比の相関

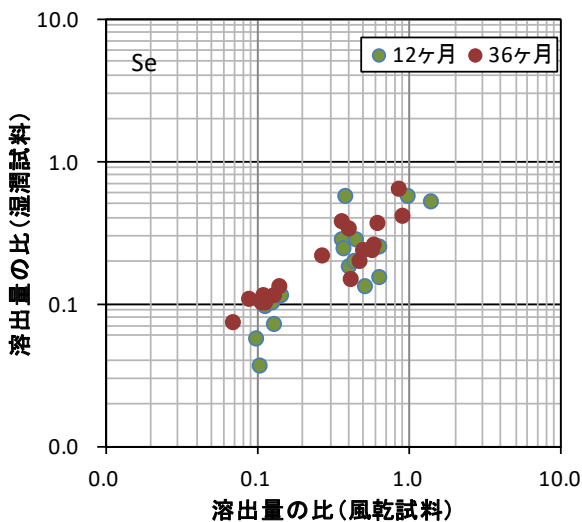


図-14 風乾時と湿潤時の Se の溶出量の比の相関

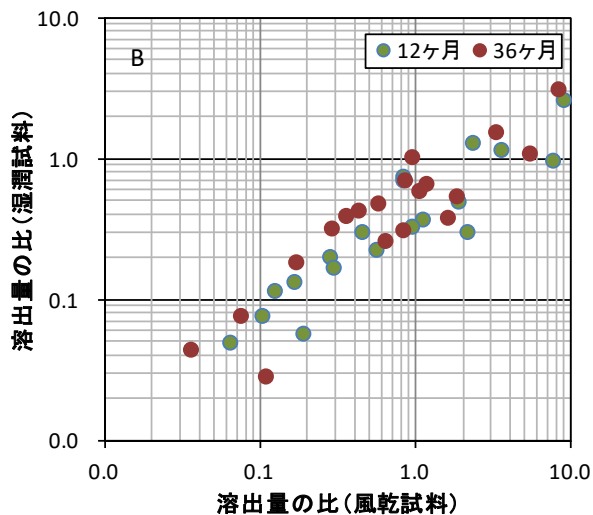


図-17 風乾時と湿潤時の B の溶出量の比の相関

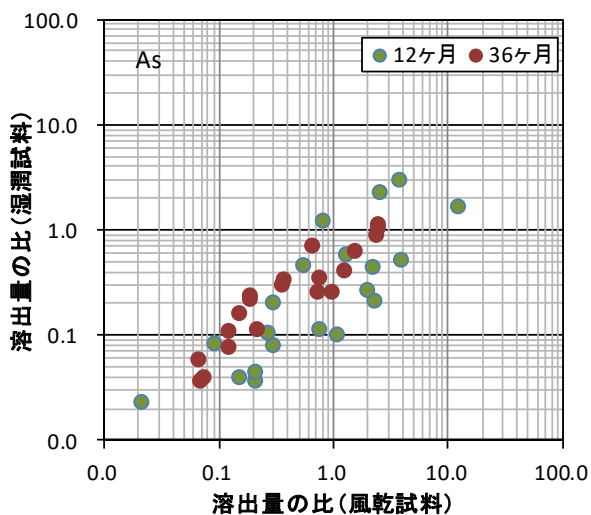


図-15 風乾時と湿潤時の As の溶出量の比の相関

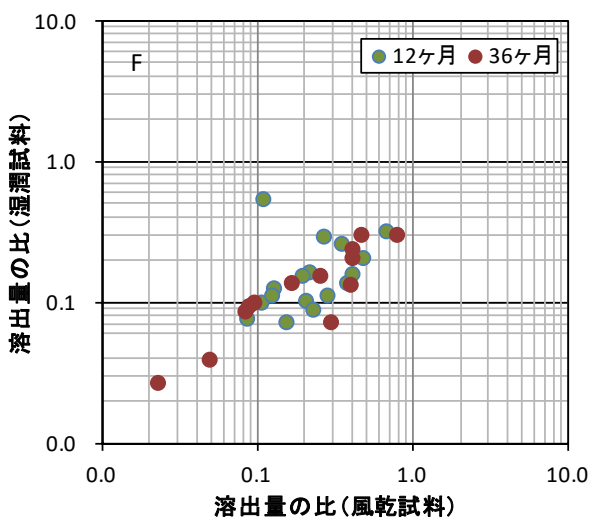


図-16 風乾時と湿潤時の F の溶出量の比の相関

4. まとめ

20箇所の国内の火力発電所から発生した石炭灰(フライアッシュ)をもとに、処分場に運搬される前の新生灰に比べ処分場内保管されることによってどのように溶出性状が変化するか把握するため、室内で処分場に保管されている灰を模擬して加水した石炭灰を調製、水分の出入りを防ぐため密閉容器内に保管し、これを経時的にサンプリングし評価した。その結果を以下に示す。

- ① FFAに含まれる塩基性成分の量が多いほど、また、SiO₂含有量が少ないほど強アルカリを示す。
- ② Se,Fは短期～長期まですべてのSAFAでエージングによる溶出抑制効果が得られた。
- ③ As,Bは75～90%のSAFAで溶出抑制の効果が得られた。
- ④ Cr(VI)のエージング効果はpH(FFA)>11の石炭灰では、溶出抑制効果が見られる。

<参考文献>

- 1) 一般財団法人石炭エネルギーセンター：“石炭灰全国実態調査報告書(平成27年度実績)”，2017
- 2) 川口正人，浅田素之，堀内澄夫，堀尾正毅：“前処理を変化させたセメント系固化材改良土の六価クロム溶出特性”，廃棄物学会論文誌，Vol.15，No.1，pp.37-44，2004.
- 3) 林錦眉，長岡壮明，田野崎隆雄，佐伯竜彦：“石炭灰フライアッシュからの重金属溶出について”，土木学会第60回年次学術講演会講演概要集，pp.859-860，2005.

- 4) 田島隆俊, 井手一貴, 千野裕之, 山田祐樹, 佐々木徹, 熊谷祐一: “石炭灰の重金属不溶化と改良盛土材の環境安全性”, 大林組技術研究所報, No.79, p.35, 2015.
- 5) 一般財団法人石炭エネルギーセンター: “港湾工事における石炭灰混合材料の有効利用ガイドライン”, 2011.
- 6) 一般財団法人石炭エネルギーセンター: “石炭灰混合材料有効利用ガイドライン(震災復興資材編)”, 2014.
- 7) 一般財団法人石炭エネルギーセンター: “石炭灰混合材料有効利用ガイドライン(高規格道路編)”, 2015.
- 8) 東北電力株式会社, 清水建設株式会社: “平成26年度石炭灰利用技術振興費補助事業 調査報告書 石炭灰有効利用調査(都市基盤整備資材としての利用に関する基礎調査)”, 2015.
- 9) 一般財団法人石炭エネルギーセンター: “石炭灰混合材料有効利用ガイドライン(エージング灰(既成灰)編)”, 2017.
- 10) 村田博一, 浅田素之, 川口正人: “エージング石炭灰からの重金属類溶出特性”, 第12回環境地盤工学シンポジウム発表論文集, pp.161-168, 2017.
- 11) 井野場誠治, 下垣久: “埋立処分された石炭灰の再資源化に関する研究—既成灰の性状と土工材料としての適用性”, 電力中央研究所報告, No.V08031, 2009.
- 12) 斉藤栄一, 叶琢磨, 島岡隆行: “エージング作用による石炭灰中の有害元素の不溶化効果とセレン(Se)の挙動に関する研究”, 環境工学研究論文集・第47巻, pp.615-625, 2010.
- 13) 一般財団法人石炭エネルギーセンター: “平成23年度石炭灰利用技術振興費補助事業 試験研究成果報告書 石炭灰の有効利技術に関する研究(石炭灰有効利用促進調査 石炭灰基礎特性等調査)”, 2011.
- 14) 渡辺芳史, 田野崎隆雄: “日本における石炭灰フライアッシュの最新のキャラクターに関して”, 土木学会第63回年次学術講演会(平成20年9月)3-398, pp.795-796, 2008

