# 論文 石炭灰フライアッシュのキャラクタリゼ-ションについて

## 田野崎 隆雄<sup>\*1</sup>・林 錦眉<sup>\*2</sup>・堀内 澄夫<sup>\*3</sup>・長瀧 重義<sup>\*4</sup>

要旨:石炭灰フライアッシュのコンクリート分野での利用に当り,有害化学物質のリスクが危惧され ている。環境影響評価の一方法として溶出試験が行われているが,化学物質の安全性評価に当たり,注 目成分の水中での「安定性」を把握するだけでなく,成分自体の「存在量」「存在状態」「存在位置」 の情報が必要である。本報告では,各種の微粉炭燃焼石炭灰フライアッシュを多方面からキャラクタ リゼーション評価した。その結果「含有量試験」値自体が誤差の大きい評価結果であること,有害元 素がガラス/鉱物相に分配あるいは付着し存在していること,同じ粒子であっても表面と内部で元素 濃度が異なることなど,フライアッシュをモノリスとして捉えることの問題点が指摘された。 キ-ワ-ド:石炭灰フライアッシュ,キャラクタリゼ-ション,化学物質,ガラス/鉱物,モノリス

## 1. はじめに

現在のところ日米欧ともコンクリート用フ ライアッシュ(微粉燃焼石炭灰)の環境影響評 価の側面からの規格化はなされていない。表-1 に JIS A6201.ASTM C618.EN450 各規格での化学 成分量の規定を示すが、各規格とも環境に影響 が大きいと思われる Pb(鉛)などの重金属類の測 定を義務付けてはいない。どのようなリスクを どのように捉え対応するかは,地域特性,ステー クホルダーとの関係により異なるからである。 しかし欧州では各種廃棄物燃料の混合燃焼も開 始され,EN450 では表-1 記載の微量成分(有害 のおそれのある)元素種の存在量を、ユーザーの 要求に応じて提供することとしている。有害成 分含有に伴う漠然たる不安による材料使用への 懸念はできるだけ払拭する必要があり、そのた め規格化とは別の材料のキャラクタリゼーショ ン(特性評価)が求められている。そこで報告 者らは,主として有害化学元素(本報告では無機 元素種)の環境影響評価という観点から,石炭灰 フライアッシュのキャラクタリゼーションを行 い.規格化評価法とは別の.自主的判断による

「指標」となるパラメータを探索することとした。規格化評価にあっては有害性評価の場合, 一項目でも基準値を超えた場合,そのフライア ッシュは使用禁止とせざるを得なくなるが,現 在のところ有害性の概念自体があいまいであり,

表-1 化学成分についてのフライアッシュの各規格値

	JIS A 6201	ASTM C 618	EN450*
Ig.loss	<3, <5, <8wt%	<6wt%	<7, <9, <11wt%
$SiO_2 Al_2O_3 Fe_2O_3$	>45%	$ \left. \begin{array}{c} F & C \\ >75wt\% > 50wt\% \end{array} \right. \right. $	>25wt% }
CaO MgO			<10wt% <4wt%
Na <sub>2</sub> O K <sub>2</sub> O		}<5wt%	}<5wt%
$SO_3$ $P_2O_5$		}<5wt%	<3wt% <0.1wt%

\*Sb,As,Ba,Cd,Cr,Co,Cu,Hg,Pb,Mo,Ni,Se,Sn,V,Zn 要求時測定

基準値策定は時期尚早である。本研究は基礎的 な評価を行い,フライアッシュに対する適切な 位置付けを与えることを目的としている。

 石炭灰フライアッシュの化学成分存在量 有害化学元素の環境影響評価に当たっては、 元素存在量の定量,存在状態の把握,存在位置の

- \*1 太平洋セメント(株) 中央研究所 理博(正会員)
- \*2 新潟大学大学院 自然科学研究科 工修(正会員)
- \*3 清水建設㈱ 技術研究所 工博
- \*4 愛知工業大学 総合技術研究所 教授 工博(正会員)

特定,材料のおかれる条件からの安定性の把握 等,各段階での情報入手が必要である。表-2 に ICP-Mass 法によりフライアッシュ中の成分量 を半定量分析した結果をまとめた。元素種を中 心とした環境影響予想では,存在量以上の環境 中への移行はないはずであり,この「存在量」に よる材料の管理度の判定が行われるケースがあ る(例えば放射性同位元素によるクリアランス レベル設定<sup>1)</sup>)。なおここで,日本の環境省告示 19 号法あるいは底質調査法(環水管 127 号法) で定義する「含有量」とは水系移行アベイラビ リテイ試験結果のことを指し,本研究が対象と している JIS A 6201 などの SiO<sub>2</sub>「元素総存在量」 と同列に比較できないので注意が必要である。

報告者らが石炭灰フライアッシュ(豪州炭使 用 I 発電所 JIS2 種灰 )を提供して、廃棄物学会試 験検査法部会で、日本国内の12試験施設で共通 分析を行った結果を表-3 に示す。表-4 に,同一 試験施設における繰り返しの評価結果を、表-5 に JIS K0060 には「産業廃棄物のサンプリング 方法」に拠り同じLotから8検体採取し同一試 験施設でアルカリ抽出分析した結果を示す。分 析施設の違いによる差も大きいが,表-4 に示す 繰り返しばらつきに比較して、表-3 の前処理方 法の差による違いが著しい。表-5と比較して平 均的にはかなり均質であろう JIS フライアッシ ュが、前処理法の違いにより、水系移行量が大き く異なることがフライアッシュの「含有量」測 定の結果であった。今後「含有量分析」結果に は、測定方法を明記したデータが重要である<sup>2)</sup>。 表-6 に報告者らが,アルカリ溶融抽出法(表-3 の最右列例)で測定した環太平洋地域産出の石 炭灰フライアッシュの有害元素の存在量の測定 結果の範囲を示す。分析数が少ないので最小値 と最大値のみを記す。

前処理法による差が顕著であるので,溶媒に 展開しない機器分析法への期待が高まっている。 中性子線照射による同位元素存在比から,元素 存在比を推定する放射化分析もそのひとつであ る。縮分により0.2gとした試料を,束密度4.7113

#### 表-2 フライアッシュ中の元素存在度(ICP-MASS 測定)

100mg/kg 以上	Na,Mg,Al,Si,P,S,K,Ca,Ti,Mn,Cu,Zn,Sr,Ba
$1 \sim 100 \text{mg/kg}$	V,Cr,Co,Ni,Ga,Ge,As,Rb,Y,Zr,Cd,Sn,La,Ce,
1~100mg/kg	Nd,Gd,Dy,Hf,Pb
1mg/kg 以下	Sc,Pd,Ag,In,Cs,Eu,Tb,Au,Th,U

#### 表-3 前処理溶媒の違いによる評価結果 (単位:mg/kg)

	- ,	HNO3		- ~		王水	A 1 10			アルカ	 リ溶融	/
	Ni	Ma	Kh	Ts	Ak	Km	Kh	Nk	Tk	W	Kh	Nk
Al	115000		16900				14200	27100	113000		122000	136900
As	46	37	29	23			31				34	41
В		62						153	3100	161		212
Ba	1480											
Be	19			<4.7								
Ca	22500	21300	11899				13800	42900	20300	18206	21800	51900
Cd	<1	0.2	2	< 0.5	<1	0.05	3	0.5	<1	16	4	
Cl		100							1800			
Co	57											
Cr	89	94	25	28	28		33	85		85	88	226
Cu	61	26	17	14	24	20	17	32	29	21	25	
F		100										43
Fe	77400	93900	28800		64000	60400	50000	75500				
Hg		0.44						0.578	0.5			0.53
K	9540	1100							11400	10900		
Mg	4910	0.23	2030				2770	8050	500	3380	4860	11700
Mn	603	460	359	283	430	411	388	1034	510	439	565	1300
Mo	<12	7.2	8	<18			9	19	10	7	3	
Na	3480	1100							9100			
Ni	192	120	71	69	76	117	59	100	170	87	183	180
Р	3070											4800
Pb	59	9.1	24	31	21	18	34	29	19	57	24	50
S		1630										
Sb	_	1.4	<2	<11			3				3	<50
Sc	<5											
Se		1.8	<1	<115			1				3	2
Si							122		258000		84900	619400
Sr	1010								1000			
Ti	100		164			81	447	-	4300		3670	115
V	130	55	65				59	23	100	111	84	117
Y	64	0	22	501	50		20		50	11.4	100	11.0
Zn	126	63	32	591	53	76	38	76	58	116	130	116
)	±∷ N	κなと	は分	·析者	名							

表-4 同一試験法による繰り返し評価結果(単位mg/kg)

	王才	<b>K</b> 1	王水	+HF	アノ	レカリ溶	融
	A1	A2	Ak1	Ak2	W1	W2	W3
В					161	172	184
Ca					18206	18,191	18885
Cd	<1	<1	<2	<2	16	8	16
T-Cr	28	16	97	92	85	95	105
Cu	24	24	54	55	21	23	24
Fe	64000	64000	62000	67000	61384	61,382	65124
K					10900	10,800	11100
Mg					3380	3,528	3717
Mň	430	430	350	390	49	450	462
Мо					7	6	8
Ni	76	76	180	180	87	90	92
Pb	21	21	47	45	57	57	49
V					111	115	118
Zn	53	76	99	74	116	118	123

表-5 同一 Lot から各検体の分析結果

検体		1	2	3	4	5	6	7	8	平均値
ig.loss		2.0	2.1	2.0	2.0	2.1	2.0	2.1	2.1	2.1
SiO2		54.9	53.6	55.1	53.8	54.7	55.6	53.1	54.2	54.4
$AI_2O_3$	%	27.1	26.4	26.9	27.6	26.5	27.4	26.8	27.2	27.0
$Fe_2O_3$	W	4.1	4.4	4.3	4.5	4.8	4.3	4.6	4.5	4.4
CaO		5.7	5.6	5.5	5.9	5.6	5.7	5.4	5.1	5.6
Na <sub>2</sub> O		0.63	0.55	0.62	0.54	0.57	0.59	0.67	0.61	0.60
Cr	g/kg	72	60	65	68	77	69	75	71	69.6
В	зш	208	255	241	234	222	246	239	225	233.8

×10<sup>14</sup>(n/cm<sup>2 ·Sec</sup>)の中性子線で20分照射し,5 日及び61日間冷却の後,線スペクトロメー タを用いて得られた計測値から算出する方法 を試みた。表-7にアルカリ溶解した 後,ICP-Mass装置で分析した結果と比較する が,三池炭100%燃焼JIS2種灰を分析したこの 結果ではEu(ユーロピウム),Co(コバルト) のICP-Mass分析による検出値は,放射化分析 の2/3程度しか検出されておらず,溶解相への 展開が十分でないことを示唆している。

蛍光 X 線分析 (XRF)によるデータの蓄積 も必要であろう。表-8 に XRF 分析による,環 太平洋地域で発生した 300Lot のフライアッ シュの,組成分析結果を示す。これは日本で発 生した石炭灰フライアッシュの上記表-5の 結果から検量線を作成し計算したものである。

3.石炭灰フライアッシュ中の元素の存在状態

全く同じ化学組成の材料であってもそのも のが経た履歴により,異なる性状を呈するよ うになる。従って材料評価に当たって履歴追 跡か,特性評価(キャラクタリゼーション)が 不可欠である。例えば同じCr(クロミウム) で検出される元素も,鉱物/ガラス相への固定 の状態によって,水中での安定性・有害性は異 なってくる。化学的安定性の評価は別途の課 題として,本報告ではまず構成鉱物/ガラス相 での存在状態を検討した。

豪州+カナダ炭混炭 T 発電所 JIS2 種フライ アッシュを含浸樹脂で固化し薄片を作製した。 それを光学顕微鏡(OM)で観察した例を図 -1 に示す。平行ニコルでは透明であり,直交 ニコルにより偏光をかけて常に消光する部分 がガラス質であるが,「フライアッシュ」では バルーン部分がガラス質であることが多い。

粉末 X 線回折法(XRD)による,ユーラン 炭使用 T 発電所原粉フライアッシュ平均の鉱 物相の同定例を図-2に示す。石英(Q),ムラ イト(M)が多く,マグネタイト(F),生石灰(L) も検出される。非晶質部分の散乱成分から結晶

#### 表-6 有害元素の含有量 n=48 含有量範囲(mg/kg) Cd 0.05~1.50 Pb 0.05~240 T-Cr 0.05~180 B 60~1800 T-Ha 0.005~0.55

表-8 XRF 分析結果

表-7 放射分析結果

	ICP-I	MASS	放射化分析			
	Eu	Co	Eu	Co		
一回目	1.66	24.4	2.45	30.1		
二回目	1.72	20.5	2.60	28.1		
三回目	1.88	25.2	2.81	31.2		

単位 mg/kg

表-10 粒度毎の化学成分の 分析結果

n=300	含有量(%)	
SiO <sub>2</sub>	25.4 ~ 73.7 56.5(10.5)	lg.lo
$AI_2O_3$	$12.4 \sim 42.3$ 26.1(6.0)	Si Al <sub>2</sub>
$Fe_2O_3$	1.8 ~ 14.3 5.5(2.0)	Fe2 Fe
CaO+MgO	0.6 ~ 36.9 8.0(7.7)	Mg
Na <sub>2</sub> O+K <sub>2</sub> O	0.3 ~ 11.3 1.8(1.0)	Na K <sub>2</sub>
$SO_3$	0.1 ~ 16.8 1.2(1.2)	E
注:()中は樽	<b>票準偏差</b>	С

		石炭灰溶 融スラグ	石炭灰フ ライアッ
Ig.Ioss SiO <sub>2</sub> Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>		0.1 43.5 18.3	1.1 43.9 17.8
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> FeO	vt%	4.3 2.3 29.3	3.9 0.3 28 9
MgO SO <sub>3</sub>	v	1.70 0.02	1.60 0.13
Na <sub>2</sub> O K <sub>2</sub> O		0.93 0.79	1.01 0.81
В	/kg	230	380
Cr	gm	51	60

表-9 結晶化率計算結果

試 科	結晶ビ - クa	錯乱ビ-クb	ガラス率b/a
0~250µ分	87mm	9mm	0.10
′1~90μ分	77	16	0.21
5~71µ分	74	18	0.24
28~45µ分	69	21	0.30
28 µ 以下	57	29	0.51
原粉	11	15	0.19



図-1 石炭灰フライアッシュの光学顕微写真



化率を計算した結果を表-9 に示すが、図-2 に記 載のフライアッシュ原粉を空気分級していった 場合,細粒になるほど非晶質部分の割合が増加 している。これは粗粒子部分に,鉱物質粒子が濃 集するためと考えられる。

図-3 に太平洋/三池炭使用 N 発電所 JIS2 種フ ライアッシュと,同フライアッシュを 1400 に て溶融させ冷却の後スラグ化した「石炭灰溶融 スラグ」の X 線チャートの比較を示す。急冷ス ラグでは結晶相は認められない。表-10 に両者 の化学成分の分析結果を示す。加熱工程によ リ,B(ホウ素)などは揮散減少している。フェ ナントロリン溶液を加え発色する FeO 量を分析 して,従来全量 Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 量として定量されてきた鉄 含有量の比較結果が表-11 である。石炭灰溶融 スラグでは FeO 比率が高くなっている。これは 還元状態におかれていることが関係すると思わ れ, Cr の安定度例えば Cr<sup>6+</sup>の生成との関連が予 想される。

従来フライアッシュの化学分析値は,すべて の元素 (Cl,Ar などを除き) が酸化物の形で存 在すると決めてかかっていた。しかし XRD よ り石膏相など同定されることもあった。そこで 陰イオン状態を推定するために,X 線光電子分 光(ESCA あるいは XPS と称す)にておおよそ の原子数比との存在状態を推定してみることに した。導電性テープに固定し ESCA による 150 µmの範囲内の、深さ方向による分析結果例を 表-12 に示す。励起 X 線源は AlK 12 であり,X 線出力は 10 k V.20A であった。中性炭素 Cis の 運動エネルギーを 1202.0eV にあわせ Si 原子 1 当たりの換算を行った。比率的に存在度は陽イ 陰イオンではまず酸化物で中和していくとして, 足りない部分はS(硫黄)及びP(燐)で配位すると、 陰イオンは、 O>>C(無定形)>SO<sub>4</sub>()>P()と 推測された。表面と全体で Si との相対比が異な っている。Ca,Fe は表面で薄く,Na,S は表面で濃 くなる傾向があったが,フライアッシュ中の無 機成分は酸化物(珪酸塩も含み)がほとんどで あり、一部硫酸塩を出現する状態とみられる。

4. 元素の存在位置の推定



図-3 石炭フライアッシュとその溶融スラグの XRD チャート 上からフライアッシュ原灰、フライアッシュ溶融スラグ(徐却)、 フライアッシュ溶融スラグ(急却)

表-11 フライアッシュ溶融スラグの化学分析結果

	FeO(%)	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)	lg.loss(%)
A 太平洋75%三池25%発電所FA	1.2	4.5	3.8
B ブレアソール炭⊺発電所FA	0.7	2.6	3.7
C 大同炭⊺発電所	1.9	10.4	5.5
D 平朔炭H発電所FA	0.8	2.2	2.8
E 豪州炭M発電所FA	0.1	2.4	24.0
A灰の石炭灰溶融スラグ	2.5	4.2	0.25

表-12 ESCA 分析結果 Si<sup>2</sup> による相対強度比

試料	C1s	01s	Al2p	Ca2p	Fe2p	K2p	Mg2s	S2p	Na1s	P2p
FA1表面	2.62	7.69	0.38	0.54	0.34	0.15	0.05	0.18	0.11	-
FA1バルク	3.00	7.42	0.28	1.35	0.42	0.07	0.03	0.10	0.06	-
FA2表面	5.38	9.15	0.43	0.53	0.31	0.11	0.08	0.19	0.14	0.07
FA3表面	2.47	7.63	0.36	0.59	0.27	0.12	0.06	0.21	0.13	-

表-13 EPMA 定量分析結果 単位% 図-4の FA は No40FA

試料名	Na <sub>2</sub> O	$AI_2O_3$	SiO <sub>2</sub>	CaO	K <sub>2</sub> O	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
No.31FA	0.0	0.3	0.1	0.1	0.0	0.037	98.0
No.31FA	0.1	7.0	10.6	32.2	0.0	0.000	51.5
No.31FA	0.5	30.9	59.2	0.4	4.8	0.000	2.5
No.32FA	0.0	2.9	0.0	0.0	0.0	0.012	100.6
No.32FA	0.0	40.1	55.8	0.5	0.2	0.000	0.8
No.32FA	0.2	33.0	49.2	5.4	1.0	0.000	2.8
No.33FA	0.4	24.0	42.0	2.0	0.6	0.040	20.3
No.33FA	0.3	24.2	50.6	19.5	0.3	0.013	2.1
No.33FA	0.0	19.7	16.7	30.7	0.0	0.024	17.8
No.40FA	0.0	0.3	0.3	0.1	0.0	0.007	100.7
No.40FA	1.0	35.8	46.0	7.9	0.2	0.026	4.2
No.40FA	0.1	25.0	37.3	20.0	0.1	0.000	6.8



図-4 EPMA 面分析結果 色が明るい程高濃度 単位 mg/kg

表面分析を,波長分散型(X線マイクロアナラ イザ(EPMA)で行った。炭素蒸着した樹脂含 浸試料に埋め込んだフライアッシュを,加速電 圧 15 k V,プローブ電流 1.5\*10<sup>-7</sup>A,プローブ径 1 μm、計時時間 60mSec でステージスキャンさ せた。三池炭 100%燃焼 M 発電所 JIS2 種フライ アッシュに適用した面分析結果を図-4 に示す。 Cr の存在が濃集,B の存在が分散( おそらく各粒 子表面に付着 ) の傾向にあることがわかる。 Bense&Albee 法による数種の石炭灰フライアッ シュの定量分析結果を表-13 に示す。Cr 含有量 の高い部位には,Fe 元素(クロマイト鉱物)あ るいは Si 元素(アルミノ珪酸塩)が共存してい た。この現象は石炭中の元素の挙動を示した横 山ほか<sup>6)</sup>の分類(図-5)における,B が揮発性元 素,Cr が非揮発性元素であり,Cr は灰中に移行し やすいという指摘と一致する。

表-14 に環境庁告示 46 号法 (L/S=10 で6時 間で振とう)評価した2種のフライアッシュを 評価前後,表-6 と同じ方法で測定した結果であ る。Cr量の変化がほとんど認められないのに対 して,B量は少なからず水へ移行している。これ はCrよりもBが遊離しやすい状態(たとえば、 鉱物/ガラス中に固定されているのではなく単 に粒子表面に付着しているだけ)で存在してい ることを示唆するものと思われる。

粒子内における深さ方向の元素割合を推定す るために、二次イオン質量分析装置(SIMS)を 利用した。一次イオン源O<sup>2+</sup>で10.5KV加速、1µ A の電流の条件である。導電性テ - プに固定 し、SIMS による150µmの範囲内の深さ方向に よる分析結果を行った例を表-15 に示す。正確 な分析深さはわからないが、B は表面に多く、Cr は内部に多く分布している傾向が伺える。長期 間に渡りポゾラン反応が進むにつれ、これら表 面が溶解するならば、まず B が放出され、その後 に Cr が徐々に放出されることになろう。

EPMA 及び SIMS による,石炭灰のような不均 質な粉体の分析は代表性に懸念があるが,今後 注目元素移行の原因究明のために重要である。 注目成分の存在量の確定,存在状態の測定,存在 位置の追求の各項において「鉱物-ガラス相」の 関係が大きく関わっていることが確認された。

5.「鉱物学的キャラクタリゼーション」の必要性



図-5横山ほか<sup>6)</sup>元素の挙動分類

表-14 溶出試験評価前後の含有量の比較

	Aフライアッシュ		Bフライアッシュ			
	評価前	評価後	評価前	評価後		
B(mg/kg)	55	42	181	146		
T-Cr(mg/kg)	62	66	91	92		

表-15 フライアッシュの SIMS 分析結果

(表面とはビームを絞り表面層のみに照射したもの、バルク

とはビームを絞らず全体層を照射し平均組成分析である)

試 料	<sup>28</sup> Si⁺	<sup>27</sup> AI <sup>+</sup>	<sup>40</sup> Ca <sup>+</sup>	<sup>56</sup> F	e*	<sup>39</sup> K+	<sup>24</sup> M g <sup>+</sup>
FA表面	1	2.2	0.3	0.	1 <sup>3</sup>	0.3	0.1 <sup>1</sup>
FAバルク	1	1.9	0.8	0.	1 <sup>5</sup>	0.21	0.10
試 料	<sup>32</sup> S <sub>1</sub> O <sub>2</sub>	<sup>+</sup> <sup>23</sup> Na	+ <sup>31</sup> F	<b>)</b> +	1	<sup>1</sup> B <sup>+</sup>	<sup>52</sup> Cr <sup>+</sup>
FA表面	4.3E-0	3 0.2	2.2E	-03	3.3	E-03	1.8E-03
FAバルク	5.9E-0	4 0.0 <sup>9</sup>	2.5 E	-03	1.5	E-03	2.7E-03

微粉炭燃焼の際生じたばいじんを電気集塵機 で回収した「フライアッシュ」を、コンクリート 分野へ利用するに当り、使用石炭種、発生したボ イラーの形式、運転状況等の条件が重要<sup>3)</sup>、とい われてきた。コンクリートの調配合を、材料の 「仕様」規定により、セメント」「水」「骨材」の ごとく品質管理された工業製品と同等に扱う観 点に立てば、当然の要求事項である。しかしこの 履歴追求型キャラクタリゼーションには限界が あろう。

一般に副産・廃棄物はその発生が不作為的で あるがために品質管理されておらず,入手する までどのような性状のものが到着するか予想で きないのが通常である。環境影響評価という観 点,例を挙げれば,使用開始後の重金属成分の一 般環境中への100年間の移行量という「性能」 を満足する「仕様」を決めよといわれても,現在 の時点で試験方法も模索の状態で策定不能なの が実情である。一方で石炭灰フライアッシュは, 良質のポゾラン質の混和材料として,50年以上 に渡り世界各地のコンクリート工学分野で利用 され,重金属類に起因する生体・生態系への環境 影響は知られていない。適度の経済性を有する ことが必要であるとの工学的観点に立つならば, 「フライアッシュ」のコンクリート分野での「安 全性」を示す「指標」に沿った「性能照査」を 行うことが実用的であろう。

化学成分に起因するインパクトの環境影響評 価にあっては、各種リーチング試験(日本では 溶出試験と行政用語で称され、学術用語では浸 出)結果が「規格」として用いられている<sup>4)</sup>。 現在欧州を中心に国際規格として検討されてい るリーチングによる材料のキャラクタリゼーシ ョンは、水系移行アベイラビリテイ、シナリオ再 現評価の併用の形に落ち着きつつある。しかし 試験方法のハーモニゼーションにあたり、客観 パラメータの検証を伴っていない。客観的パラ メータの設定により,リスク評価の正確さが増 し.合意形成が進展するのであるが.時間的制約 と各国事情が優先され、石炭灰フライアッシュ のような複雑な混合物をも「モノリス」とみなす 仮定に立ち,単純拡散とpH 変動で水系接触に おける材料の性状予想ができるとしている 5)。

しかし本研究で示したように、微細部分のキ ャラクタリゼーションの結果、フライアッシュ は、均質な性状である「モノリス」とはいえない。 微細部分のわずかな性状変動が、環境特性全体 に大きく影響を及ぼす可能性は否定できていな い。そこで報告者らは図-6に示すような、モノ リスでない石炭灰フライアッシュの捕らえ方を 提案する。例えば全体としては CaO 量で検出さ れる Ca元素も CaO(生石灰)、CaSO4(石膏)、あるい は CaAl<sub>2</sub>Si<sub>2</sub>O<sub>8</sub> (アルミノ珪酸塩ガラス)に分配 されているか、また Fe 元素の存在状態も FeO の 状態でなのか Fe<sub>3</sub>O4 か Fe<sub>2</sub>O3 かという「鉱物学 的キャラクタリゼーション」が必要と考える。

## 6. まとめ

(1)環境影響評価の一環として、石炭灰フライア ッシュのキャラクタリゼーションを行った。

全含有量							
Leaching成分or見かけLeaching量?						I	<u>吸着効果</u>
クイックライム	硫酸アルカリ	石膏	マグネサイト	石英	ムライト	ガラス	アモルファス
図-6 フライアッシュのガラス/鉱物成分と							
予想される Leaching 結果との関係							

フライアッシュが水と接触した際の,有害化 学元素の水系移行を通じた,適切な環境影響 評価の適用性を検討した。

- (2)その結果化学成分の存在量「含有量」の分析 結果には、「抽出」程度が大きく影響し、分析 施設あるいは前処理方法の記載が不可欠であ ることがわかった。
- (3)フライアッシュ中の元素の「存在状態」は、 酸化物主体で一部硫酸塩を伴う。酸化の程度 も一様でなかった。
- (4)有害元素の「存在位置」は,ガラス中に固溶, 鉱物結晶中に固定,他粒子(未燃焼カーボンな ど)表面に付着等様々な形態をとっていた。
- (5)フライアッシュを「モノリス」として「溶出 特性」を予想するには危険が残り、さらに「鉱 物学的キャラクタリゼ - ション」を伴った研 究を進める必要があることがわかった。

### 参考文献

1)原子力安全委員会放射性廃棄物安全基準専門部会:主 な原子炉施設におけるクリアランスレベルについ て,1999

2)田中勝編:廃棄物学概論,日本環境測定分析協会,19983)長瀧重義ほか:各種フライアッシュの品質とコンクリ

- -トの流動性,セメント技術年報,Vo39, p201-204,1985 4)土木学会編:コンクリ-トライブラリ 111 コンク
- リ トからの微量成分の溶出に関する現状と課 題,2003
- 5) 築谷ほか: 欧州規格による廃棄物のキャラクタリゼ-ションについて(1), 第14回廃棄物学会研究発表会論 文集, p 869-871,2003
- 6)横山隆壽:石炭火力排ガス中の微量元素のマスバラン スについて,石炭灰有効利用シンポジュウム講演 集,2003