

# 高温ガス化直接溶融炉による 飛散性アスベスト廃棄物の溶融無害化処理

## Vitrification of Asbestos Wastes

## by JFE High-Temperature Gasifying and Direct Melting Plant

明石 哲夫 AKASHI Tetsuo JFE エンジニアリング 環境プラント事業部 設計部開発グループ  
多田 光宏 TADA Mitsuhiko JFE エンジニアリング 技術研究所 環境技術研究部  
内山 武 UCHIYAMA Takeshi JFE エンジニアリング 技術研究所 環境技術研究部

### 要旨

高温ガス化直接溶融炉の実施設にて通常廃棄物と飛散性アスベスト廃棄物との併せ処理を行った結果、アスベスト廃棄物は安全に処理されることを確認した。処理後のスラグ、飛灰および排ガス中にはアスベストは検出されず、電子顕微鏡 (SEM, TEM) による観察においてもアスベスト繊維の存在は認められなかった。アスベスト廃棄物の無害化メカニズムについては、アスベストが加熱によって他の高融点の鉱物形態に変化するものの、通常廃棄物のスラグと共融して融点が低下し、スラグ浴に全量が溶融したものと考えられる。また、作業環境や敷地境界においてもアスベストは検出されず、周辺環境に影響がないことを確認した。

### Abstract:

Tests for vitrification of asbestos wastes were carried out with JFE High Temperature Gasifying and Direct Melting plant. The asbestos wastes, such as sprayed-on asbestos and thermal insulation, were vitrified with industrial and municipal waste materials. It is confirmed that the asbestos fibers do not remain in the molten slag and the levels of asbestos fibers in exhaust gas and fly ash are less than the minimum limit of determination. Asbestos is decomposed into oxides, which have relatively high melting point, and vitrified into the slag in the furnace. It is confirmed that the asbestos fibers did not remain in the molten slag obtained by high-temperature melting, and the levels of asbestos in the emission gas were satisfactorily low. The treatment of asbestos wastes in the high-temperature gasifying and direct melting furnace is proved to be an adequate process to convert them into the non-hazardous material.

## 1. はじめに

アスベストは耐熱性・耐摩擦性および耐薬品性などの優れた性質を有する天然の鉱物繊維であり、安価に入手することができたため多様な分野で使用されてきた。しかし、一方で肺線維症 (じん肺)、悪性中皮腫あるいは肺がんを起こす可能性が指摘され、現在は原則使用が禁止されている。国内のアスベスト廃棄物のストック量は4100万トンを超え、特に飛散性の特別管理産業廃棄物となる廃石綿などは数10万トンと見込まれており、2030年頃まで排出が継続すると予測されている<sup>1)</sup>。環境省はアスベスト廃棄物の高温溶融などによる無害化促進の方針を示しているが、いまだ埋め立て処理が主流となっている。

JFE エンジニアリングは廃棄物の直接溶融プロセスとして独自のシャフト炉方式である JFE 高温ガス化直接溶融炉<sup>2,3)</sup>を商品化し、(財)茨城県環境保全事業団「エコフロンティ

アかさま」に納入した。同施設では、2005年の操業開始時からアスベスト廃棄物を受け入れ、一般廃棄物および各種産業廃棄物とともにアスベスト廃棄物を混合して高温ガス化直接溶融炉にて溶融処理を行っている。

本報では、飛散性アスベスト廃棄物 (廃石綿等) と一般廃棄物および産業廃棄物とを混合して、実機の高温ガス化直接溶融炉において溶融処理を行った際の溶融処理物の安全性と作業環境安全性を調査した結果について報告する。

## 2. JFE 高温ガス化直接溶融炉

### 2.1 JFE 高温ガス化直接溶融炉の概要

JFE 高温ガス化直接溶融炉は鉄鋼で培われた高炉の溶融技術にごみ焼却分野で実績のある流動層技術を組み込んだ点に特徴があり、1つの炉で廃棄物中の不燃分を無害な溶融スラグにして利材化することができる。

炉内は1600~2000℃の高温かつ還元雰囲気下にあるため、有害な重金属類は揮発して溶融スラグ中にほとんど含

表 1 エコフロンティアかさまの設備概要  
Table 1 Facilities of Eco-frontier KASAMA

Furnace type	JFE High Temperature Gasifying & Direct Melting furnace
Capacity	145t/d (72.5 t/d×2 furnaces)
Preparation yard	65.6 t/d
Gas cooling system	Economizer, Gas cooling tower
Boiler	3.8 MPa×370°C
Electric power generation	7 200 kW
Exhaust gas treatment	Bag filter, Slaked lime and activated carbon injection system
Wastes	Municipal solid wastes, Shredded dusts, Plastics wastes, Papers, Bottom ash, Fly ash, Polluted soil, Sludge, Waste oil, Medical wastes, Asbestos wastes, etc.

まれず、またダイオキシン類の生成も抑制されていることが特長である。このため、本炉は幅広い廃棄物の溶融無害化処理に適しており、アスベスト廃棄物の難処理物への適応も期待できる。

## 2.2 本試験を実施した施設の概要

今回試験を実施したエコフロンティアかさまの溶融処理施設は、(財)茨城県環境保全事業団が茨城県における総合的な廃棄物対策の一環として循環型社会の形成に向けた廃棄物の適正処理を推進するために建設した施設である。表 1 に本施設の設備概要を示す。

本施設では、多種多様な廃棄物を受け入れる際に処理不適物を排除あるいは破碎するために、事前にごみを検査する展開検査ヤードがある。当ヤードは、通常廃棄物（一般廃棄物および産業廃棄物）のごみピットへの投入量を調整して、溶融炉へ供給されるごみの性状を調整する役割を担っている。

ごみピットに投入された通常廃棄物は、クレーンにて攪拌混合して性状を安定させた後、給じん機を通して溶融炉に供給される。

アスベスト廃棄物は、廃石綿等処理マニュアルに準じて 2 重袋に入れられ、さらに所定のプラスチックケースに密封された状態で施設に搬入される。これらを医療系廃棄物と同様に自動倉庫に受け入れ、コンベヤで専用の投入口まで移送してそのまま溶融炉に供給している。

溶融施設にて処理された廃棄物は、最終的に溶融スラグ、メタルおよび飛灰となり施設より搬出される。溶融スラグは隣接する最終処分場の覆土材として有効利用され、メタルは有価材として売却されている。

## 3. ガス化溶融炉でのアスベスト投入試験

### 3.1 アスベスト投入試験方法

アスベスト廃棄物は飛散性アスベストの吹付け材と保温

材に識別した後、通常廃棄物とともに投入した。図 1 に施設のフローと測定場所の概要を示す。アスベスト廃棄物は、通常廃棄物の投入口とは別に設けた医療系廃棄物投入口から一定速度で投入した。5～6 時間を要する計測時間を考慮し、投入時間は約 8 時間とした。

アスベスト廃棄物には、表 2 に示す飛散性アスベストである吹き付け材（ケースⅡ）と保温材（ケースⅢ）を用いた。比較として通常廃棄物のみを投入したときの測定も合わせて実施した（ケースⅠ）。投入装置の制約もあり、アスベスト廃棄物の投入比率は、通常廃棄物とアスベスト廃棄物を合わせた重量の 3.0～5.4% であった。

アスベスト廃棄物を投入している時間帯に排ガス中のアスベスト濃度をボイラー出口と煙突で測定した（JIS K 3850 に準拠）。また、その時間帯に溶融炉の出滓口から排出した水砕スラグとバグフィルターで捕集された飛灰を採取しアスベストの分析を行った（JIS A 1481 に準拠）。さらに、スラグおよび飛灰については、水分散法と溶出法による前処理を施した後、計数法による分析と電子顕微鏡（SEM および TEM）による計測を行った。また、作業環境大気はアスベスト廃棄物の保管場所と投入場所、溶融炉のスラグ出滓口付近および飛灰処理装置付近において採取し、分析した。敷地境界（風上、風下）におけるアスベスト濃度の測定も合わせて実施した。

今回試験に供したアスベスト廃棄物の外観例を写真 1 に示す。また、これらアスベスト廃棄物中のアスベストの含有率を表 3 に、分散染色法による顕微鏡写真を写真 2、3 に示す。

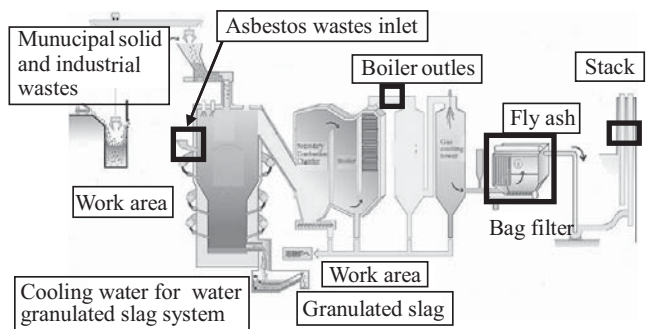


図 1 高温ガス化直接溶融システムのフローと測定位置  
Fig.1 Flow diagram of high-temperature gasifying and direct melting furnace, and sampling points

表 2 投入条件  
Table 2 Experimental conditions

	Asbestos wastes	
	Input (kg/h)	Ratio (mass %)
Case I ; Municipal and industrial wastes (Base)	0	0
Case II ; Base+sprayed-on asbestos	163.6	5.4
Case III ; Base+thermal insulation material	99.0	3.0

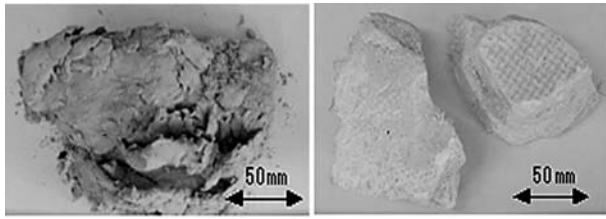


写真1 アスベスト廃棄物の外観例 (吹き付け材, 保温材)

Photo 1 Outside view of the asbestos wastes (Sprayed-on asbestos and thermal insulation material)

表3 アスベスト廃棄物中のアスベスト含有率

Table 3 Content of asbestos in asbestos wastes

Case	Material	Asbestos Type	Content (mass%)
Case II	Sprayed-on asbestos	Chrysotile	41.5 mass%
Case III	Thermal insulation material	Amosite	4.9 mass%

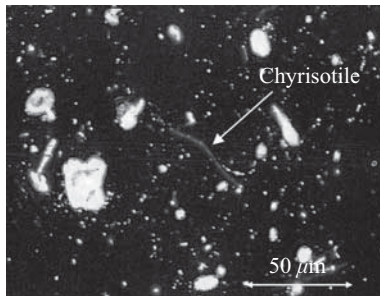


写真2 投入物 (吹き付け材) の分散染色法による顕微鏡写真 (屈折率 = 1.550, 青~赤紫色)

Photo 2 Microscope image of the asbestos waste (sprayed-on asbestos) before heating by dispersion staining method (Refractive index = 1.550, Blue-red dish-violet)

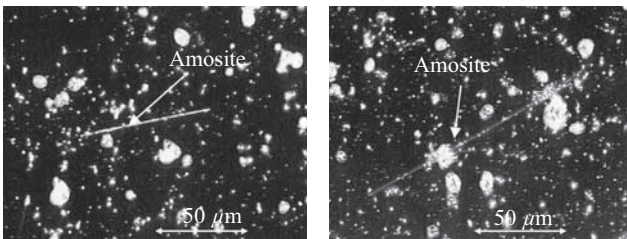


写真3 投入物 (保温材) の分散染色法による顕微鏡写真 (屈折率 = 1.680, 桃色 (左); 1.700, 青色 (右))

Photo 3 Microscope images of the asbestos waste (thermal insulation material) before heating by dispersion staining method (Refractive index = 1.680, Pink (left); 1.700, Blue (right))

アスベスト廃棄物中にクリソタイルとアモサイトが含有されていることを確認した。アスベストの国内使用量としては、クリソタイルが全体の90%程度で、アモサイト、クロシドライトがそれぞれ残り10%程度といわれている。今回試験に供したアスベスト廃棄物は、これらを含む一般的なものと考えられる。

### 3.2. 試験結果と考察

#### 3.2.1 スラグおよび飛灰中のアスベスト分析結果

スラグおよび飛灰中のアスベスト分析結果を表4に示す。

表4 スラグおよび飛灰中のアスベスト分析結果

Table 4 Results of asbestos analysis in slag and fly ash

Case		JIS A 1481	Water dispersion method (Mf/g)	Leaching method (Mf/g)	SEM-EDX	TEM
I	Slag	ND	—	—	ND	ND
	Fly ash	ND	—	—	—	—
II	Slag	ND	<0.014	<0.0029	ND	ND
	Fly ash	ND	<0.014	—	—	—
III	Slag	ND	<0.014	<0.0029	ND	ND
	Fly ash	ND	<0.014	—	—	—

ND: Not detected Mf/g: Million fibers per dry gram

アスベスト廃棄物を投入したケースII, ケースIIIにおいて, JIS A 1481 による分析法ではいずれもアスベストは検出されなかった。

次に, 水分散法および溶出法で前処理を行い計数法にて繊維数を測定したが, いずれも0.014 Mf/g 未満であった (MF/g は million fibers per dry gram)。

さらに, 電子顕微鏡 (SEM および TEM) による計測を行ったところ, いずれもアスベストと思われる繊維状物質は観察されなかった。一例として, ケースIIの吹き付け材の投入時に採取したスラグおよび飛灰の電子顕微鏡 (SEM) 観察結果を写真4, 5に示す。電子顕微鏡による高倍率の観察を行ってもアスベストは認められなかった。

クリソタイルは加熱すると, 800℃前後で (1) 式に示す反応が進行し分解する<sup>4, 5)</sup>。この時生成する酸化物である Mg<sub>2</sub>SiO<sub>4</sub> および SiO<sub>2</sub> は, それぞれ融点が1910℃および1713℃と比較的高く, 単独では容易に溶融しない。

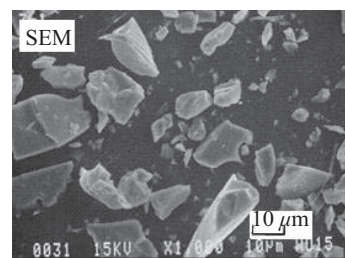


写真4 スラグの電子顕微鏡 (SEM) 観察結果 (ケースII)

Photo 4 SEM image of slag (Case II)

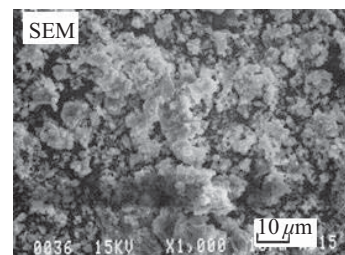


写真5 飛灰の電子顕微鏡 (SEM) 観察結果 (ケースII)

Photo 5 SEM image of fly ash (Case II)

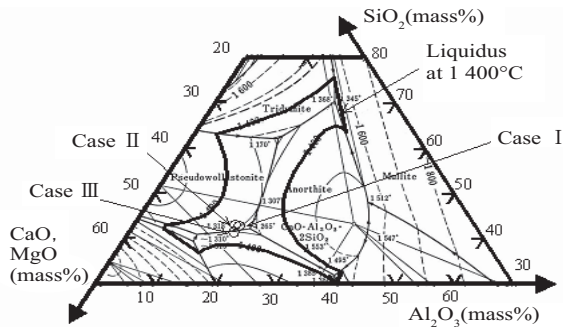
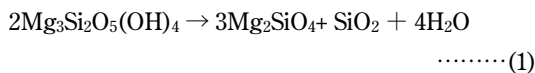
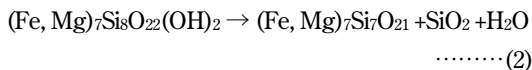


図2 1400°Cでの液相線温度とケースI～IIIのスラグ組成  
Fig. 2 Phase diagram for (CaO, MgO)-SiO<sub>2</sub>-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> system



一方、アモサイトに関しても(2)式に示す反応が進行する。同様に生成されるSiO<sub>2</sub>などの酸化物は比較的に高融点で、単独では容易には溶融しない。



溶融炉で得られるスラグは、CaO-SiO<sub>2</sub>-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>系を主成分としている。1400°Cでの液相線温度と今回の試験で実施したケースI～IIIのスラグ組成を図2のCaO-SiO<sub>2</sub>-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>系状態図に示す。このとき塩基性組成であるMgOとCaOは合計してプロットしている。

上記のように、溶融炉に投入されたアスベスト廃棄物は加熱によってMg<sub>2</sub>SiO<sub>4</sub>やSiO<sub>2</sub>などの比較的高融点の酸化物に変化するが、これらアスベスト廃棄物のスラグ組成は通常廃棄物を溶融したスラグ組成とほぼ同等の1400°Cの液相線内にあることから、炉内のスラグ浴中で通常廃棄物のスラグ成分と共融して円滑に溶解し、安定的に溶融スラグとして排出されると思われる。

### 3.2.2 排ガス・作業環境大気および敷地境界大気におけるアスベスト濃度測定

溶融炉の排ガス系統において、ボイラー出口と煙突にて排ガス中のダスト採取を行い、アスベスト濃度を測定した。表5に示すように、計数法による繊維数濃度はいずれの場合も定量下限未満であり、また分散染色法による計数法においてもアスベストは認められなかった。

アスベスト廃棄物の保管場所、投入場所、溶融炉のスラグ出滓口付近および飛灰処理装置付近において作業環境大気中のアスベスト濃度を測定したところ、いずれも定量下限値(0.3f/l)未満であった。また、敷地境界大気中のアスベスト濃度の測定においても、定量下限値(0.3f/l)未満であり、アスベストは検出されず周辺環境に影響がないことを確認した。

なお、水砕水は位相差顕微鏡による直接計数法で分析し

表5 ボイラー出口と煙突のアスベスト分析結果

Table 5 Results of asbestos analysis in exhaust gas

Case		Number of fibers by fiber count measurement		Dispersion staining method	
		(f)	(f/l)	(f)	(f/3 000 particles)
I	Boiler	0	<1.1	0	0
	Stack	0	<0.26	0	0
II	Boiler	0	<0.77	0	0
	Stack	0	<0.28	0	0
III	Boiler	0	<0.61	0	0
	Stack	0	<0.24	0	0

f: fibers

ており、いずれの場合も定量下限値(0.036Mf/l)未満であった。

## 4. おわりに

高温ガス化直接溶融炉において一般廃棄物と産業廃棄物およびアスベスト廃棄物(飛散性アスベスト)とを合わせて処理した結果、スラグ、飛灰、および排ガス中にはアスベストは認められず、アスベストが無害化されたことを確認した。また、作業環境大気および敷地境界大気においてもアスベストは検出されず、周辺環境に影響がないことを確認した。

以上により、高温ガス化直接溶融炉においてアスベスト廃棄物は無害化され、安全に処理されることが分かった。

最後に今回の測定に御協力いただいた(財)茨城県環境保全事業団の各位に謝意を表す。

### 参考文献

- 1) 石綿含有建築材料廃棄物量の予測量調査結果報告書. 日本石綿協会. 2003.
- 2) 松平恒夫, 須藤雅弘, 山川裕一. JFE高温ガス化直接溶融炉の実機操作結果. JFE技報. 2004, no. 3, p. 14-19.
- 3) 西野雅明, 西村貞彦, 片淵真人. JFE環境ソリューションズの各種ごみ溶融システム. JFE技報. 2008, no. 19, p. 49-52.
- 4) 寺園淳, 酒井伸一, 高月紘. アスベスト廃棄物の溶融処理に関するラボプラント実験. 京都大学衛生工学研究会第13回シンポジウム講演論文集. 1991, p. 252-257.
- 5) 眞保良吉, 渡辺薫生, 鈴木眞夫, 星野重夫. クリソタイルおよびクロシドライトの熱分解と結晶形態変化. 資源と素材. 2005, vol. 121, p. 538-543.



明石 哲夫



多田 光宏



内山 武