46. 放射性固体廃棄物焼却処理装置 の除染性能試験

町田 忠司*, 古平 登**

(1975年 9月5日 受理)

Decontamination Factor of an Incinerator for Radioactive Solid Wastes

By Chuji MACHIDA and Noboru KODAIRA

An incinerator for the treatment of low-level radioactive solid wastes was installed in Tokai Research Establishment, JAERI, 1966. The incinerator was equipped with a scrubber, cyclone, electrostatic precipitator and HEPA filter. The retention factor (*R.F.*) of the furnace as well as the decontamination factors (*D.F.*) of each dust collector were measured using ^{32}P as a tracer under various conditions. It was found that the overall *D.F.* of the incinerator was improved by the increase of the temperature in the furnace, decrease of the off gas flowrate, increase of the charged voltage of the electrostatic precipitator and by the increase of the liquid gas ratio of the scrubber. The overall *D.F.* of the incinerator (including the *R.F.* in the furnace) on the standard operating conditions was 9.1×10^6 .

KEYWORDS: decontamination factor, incinerators, radioactive solid wastes, phosphorus 32, retention factor, dust collectors, performance, tracer techniques

I. は し が き

本試験は、日本原子力研究所東海研究所廃棄物処理場に設置された焼却処理装置の試運転時(1966年)における除染性能試験に関するものである。その一部分はすでに発表されているが⁽¹⁾、ここに未発表分に新たに考察した結果を加えて報告する。

この焼却処理装置は、焼却炉と集塵系からなる。このうち焼却炉は平炉型で、50 kg/hr の処理能力を持つ。集塵系はいわゆる湿式であって、スクラバ、サイクロン、電気集塵器 (Electrostatic precipitator, 以下 E.P. と略)、プレフィルタおよび HEPA フィルタからなる。フィルタ系の前に除湿のための冷却器とリヒータが設けてある⁽²⁾(第1図および第1表参照)。

この焼却処理装置はわが国で最初に設置された実用規模の装置で、その集塵装置は一般公害物質に対する知見を基礎にして設計したものである。放射性物質に対してどれだけの除染能力を有するかを確認し、その結果によって最適運転条件を定める必要があった。このために ^{32}P をトレーサとして、焼却処理装置の除染

性能試験を行なった。本報はその除染性能試験に関する包括的な報告である。

II. 試験の目的

新設の焼却処理装置の定常運転に先立って、運転条件の変動が装置の除染係数(*D.F.*)に及ぼす影響を明らかにするとともに、焼却処理装置の総合除染能力を把握することを目的として実験を行なった。このため焼却処理装置で放射性廃棄物を燃焼させて、集塵装置の除染係数を測定した。試験において変動させる運転条件およびそれに対する測定項目を次に示す。

- (1) 燃焼温度： 燃焼室の残存係数(Retention factor, 以下 *R.F.* と略)**、スクラバ、サイクロン、E.P., プレフィルタ、HEPA フィルタの *D.F.*
- (2) 排ガス流量： *R.F.* とスクラバ、サイクロン、

* 日本原子力研究所(Japan At. Energy Res. Inst.)

** 動力炉・核燃料開発事業団 (Power Reactor & Nucl. Fuel Develop. Corp.)

** 残存係数 = $\frac{\text{燃焼室へ供給された放射能量}}{\text{燃焼室内に残った放射能量}}$

第1図 焼却処理装置フローシート

E.P. の D.F.

(3) スクラバの水量: スクラバ, サイクロン, E.P. の D.F.

(4) E.P. の印加電圧: E.P. の D.F.

第1表 焼却処理装置の概要

焼焼炉	
焼却能力	50 kg/hr
焼焼室面積	0.93 m ²
火格子面積	0.50 m ²
焼焼室容積	0.74 m ³
補助燃料	白灯油 20 l/hr ロータリー・バーナ
スクラバ	
型 式	ミストキャッチャ付きベンチュリー
洗浄水槽	5 m ³ (循環式)
電気集塵器	
集塵板面積	2.6 m ² ×10=26 m ²
集塵極数	13×5=65
印加電圧	20~35 kV
排ガス流速	~0.2 m/sec
布フィルタ	
戸 材	フランネル
戸過面積	1.3 m ² ×8=10.4 m ²
HEPA フィルタ	
フィルタの寸法	600×600×300 mm
フィルタ個数	4
排風器	
型 式	ルーツ・ブロア
能 力	1,200 Nm ³ /hr, 4,000 mmAq

(1)の試験によって, 焼却処理装置全体の除染能力を表わす総括除染係数を求めることができる。HEPAフィルタの D.F. 測定には多量の放射性物質を使用しなければならないので, (2)~(4)の試験ではこれを省き, E.P. までの D.F. 測定にとどめることとした。

Ⅲ. 試験の方法

試運転は定格値, すなわち燃焼温度は850°~950°C, 排ガス流量は排気口において850 Nm³/hr, スクラバのスプレイ水量は400 l/hr, E.P. の印加電圧は25 kVに設定し, 試験対象項目だけを, 下記の範囲内で変動させることとした。

- (1) 燃焼室温度: 700, 800, 900, 1,000 (°C)
- (2) 排ガス流量: 700, 850, 1,000, 1,200 (Nm³/hr)
- (3) スプレイ水量: 200, 300, 400, 500 (l/hr)
- (4) 印加電圧: 15, 20, 25, 30, 35 (kV)

なお, 燃焼温度の制御は補助燃料の供給量の調節によって行なった。定格運転時における装置内各部分における排ガスの流量を第2表に示す。

供試放射性可燃性固体廃棄物(以下, 廃棄物と呼ぶ)は, 18 l 入りの紙バケツ中に新聞紙1 kg をつめ, これに ³²P(塩酸中正リン酸の水溶液, キャリヤフリー) 2 mCi/200 ml または 20 mCi/200 ml を散布後密封したもので, 燃焼速度は6 kg/hr (個/10min) である(処理能力は50 kg/hr)。20 mCi はフィルタの D.F. 測定時に使用した。

放射能の測定は, 各集塵器前後の煙道に設けたサンプリング孔に吸引管を入れ, 吸引量は流量に合わせて

第2表 定格運転における焼却処理装置内の排ガス流量

装置内位置	増減の原因	増減量 (Nm ³ /hr)	流量 (Nm ³ /hr)	温度 (°C)	流量 (m ³ /hr)
燃焼室入口	空気の供給	640	640	20	687
燃焼室出口	燃焼ガスの発生	65	705	900	3,029
スクラバ入口	冷却	—	705	560	2,151
スクラバ出口	蒸発†	115	820	150	1,271
電気集塵器内	碍子への送風	92	912	115	1,296
冷却器等	凝縮††	-62	850	—	1,006
煙突	—	—	850†††	50	943

† 蒸発量: 92 kg/hr, †† 凝縮量: 50 kg/hr, ††† 排ガス定格量

10~40 l/hr で排ガスを採取して放射性エアロゾルを濾紙で捕集し、その放射能量を2π ガスフローカウンタで計測した。D.F. は集塵装置前後のガス中放射能濃度比で表わすこととし、上記の測定値を吸引量で除したものの比から求めた。R.F. は炉へ投入した放射能量と、炉スクラバ間煙道の排ガス中放射能量の比で表わした。

IV. 試験の結果と考察

1. 燃焼温度と除染係数*

燃焼温度を700°~1,000°Cまで上昇させたときのR.F. およびスクラバ、サイクロン、E.P.、プレフィルタ、HEPA フィルタのD.F. を第2図に示す(ただし便宜上R.F. もD.F. として表示する)。試験の結果は、まず³²PのR.F. は温度が変化しても、一定値を保ち変動しないことを示している。ただ、一般に

第2図 燃焼温度と集塵装置の除染係数

³²Pの炉内へのR.F. は大きく20以上に達すると報ぜられている⁽³⁾⁽⁵⁾のに比べると、この結果はやや低く8.5(88%)である。その原因は、定格量に対してこの試験の廃棄物の供給量が少ないため(50 kg/hr に対し6 kg/hr)、灰分から排ガス中へ移行するフライアッシュが増え、これに伴われて炉外へ移動する³²P量も増加したためと考えられる。

スクラバのD.F. は27~50で高い除染能力を持つが、これに比べ通常5以上のD.F. が期待できるサイクロンが⁽⁶⁾⁽⁷⁾わずか1.6~2程度のD.F. しかない。これは、サイクロンに施工上の不具合があり流速が低く設計値どおりの性能を発揮できなかったためと考えられる。また、スクラバとサイクロン間の煙道が短く、スクラバから入る排ガスの流れが乱れていることに起因する測定誤差による影響も考えられる。

E.P. のD.F. は燃焼温度の上昇に伴って増加し、そのD.F. 値は26から40に達した。E.P. は一般に、ガス中水分が多いほど捕集効率が増すことが知られている⁽⁶⁾。スクラバからは水分が蒸発するが、その量はガス温度が高いほど多い。これが燃焼温度の高いほどE.P. のD.F. が大きい理由である。

プレフィルタのD.F. は2~1.5、HEPA フィルタは104~200であって、ともに1,000°Cに対してはD.F. がわずかに減少している。プレフィルタはフランネル製で、もともとHEPA フィルタの保護のためのもので、設計上高いD.F. を期待していない。しかしHEPA フィルタのD.F. は0.3 μmのエアロゾルに対して 3.3×10^3 といわれるのに対し、ここでは 2×10^3 しかない。したがって、期待された値より1桁以上低い

* D.F.(R.F.) を f で、捕集効率を $\eta \times 100(\%)$ で表わすと、 f - η の間に次の関係が成り立つ。

$$\eta = \frac{f-1}{f} \times 100, \quad f = \frac{1}{1-\eta/100}$$

ことが明らかになった。その原因は密着性の不良である。

2. 排ガス流量と除染係数

排ガス流量の変動に対する炉の $R.F.$ とスクラバ、サイクロンの $D.F.$ を第3図に示す。当初予定では $E.P.$ の $D.F.$ も測定する予定であったが、 $E.P.$ が動作不安定のため、測定値を得ることができなかったのて除外した。

第3図 排ガス流量と集塵装置の除染係数

まず、流量と $R.F.$ との関係は排ガス流量の増加に反比例して $R.F.$ が減少している。すなわち、700 Nm^3/hr で10の $R.F.$ が、1,200 Nm^3/hr では4である。燃焼室内の放射性物質は、気体状にならない限り周囲に存在する物質、すなわち灰や未燃焼物に伴われて挙動する場合が多い。燃焼室内のガス流量が増加すればガスの流速が大きくなり、炉内の灰などがガスに伴われて煙道へ移行する量が増加する。 $R.F.$ が排ガス流量の増加に逆比例して減少するのは以上の理由による。

スクラバの $D.F.$ は700 Nm^3/hr で66であるが、流量が増加すると次第に下降し、1,200 Nm^3/hr では11に下がる。700, 850, 1,000, 1,200 Nm^3/hr に対応するノド部流速は、35, 43, 51, 60 m/sec である。一般に、ベンチュリー・スクラバは60 m/sec 以上の流速を要求するので、この流速の範囲では流量の増加が捕集効率に悪影響を与えるとは考えられない。

他方、スクラバのノド部から噴出するスプレイ水の影響を調べるために、水量と排ガス流量との比(液ガス比)を計算する。400 l/hr がベンチュリーのノド部か

ら噴出するので、ベンチュリーの液ガス比は、排ガス温度を560°Cとすると、それぞれ0.23, 0.19, 0.16, 0.13 (l/m^3) である*。この量はベンチュリーに要求される0.3 l/m^3 に比べて低く、流量が増加するほど液量不足が顕著になる。スクラバでスプレイ水が不足すれば、 $D.F.$ が低下するのは当然である。 $D.F.$ 低下の原因は、設計値以上に排ガスを増加したためであることがわかった。

サイクロンの最適風速は入口で10~25 m/sec である⁽⁴⁾。サイクロンの排ガスには、スクラバで蒸発した水蒸気加わることを考慮して(第2表)、700, 850, 1,000, 1,200 Nm^3 に対応する入口風速を計算すると**、14.5, 17.6, 20.1, 24.8 m/sec となり、不適当な風速とはいえない。それにもかかわらずサイクロンの $D.F.$ は、既述のように1.6~3(捕集効率4~6.7%)と低い値である。そこで測定上の問題を補うため、サイクロンとスクラバの $D.F.$ と合併した結果を第3図上に点線で示した。この $D.F.$ の折線はスクラバのそれに類似しているが、排ガス流量に逆比例する傾向をいっそう明確に示し、スクラバの効果が支配的で逆にサイクロンの効果が少ないことを表わしている。

第4図 スプレイ水量と集塵装置の除染係数

* 排ガス流量850 Nm^3/hr の時、ノド部の流量は705 Nm^3/hr (第1表参照)。排ガス温度は560°C、ノド部断面積は0.14 m^2 である。

** 排気口排気ガス流量850 Nm^3 の時サイクロン入口流量を820 Nm^3 、排ガス温度150°Cで、スクラバの蒸発量は排ガス量に比例するものとする。サイクロン入口面積は0.02 m^2 である。

3. スプレイ水量と除染係数

スクラバのスプレイ水量の変化に対するスクラバ、サイクロン、E.P. の $D.F.$ を第4図に示す。サイクロンは前の試験同様 $D.F.$ が低い。

排ガス流量の増加による液ガス比の減少がスクラバの $D.F.$ 低下をもたらすことはすでに述べたが、排ガス流量を定格値に保ちスプレイ水量を減少させた場合にも、同様の結果となることを第4図が示している。

液ガス比と捕集係数の理論的關係については、水滴による捕集効率を示す式⁽⁷⁾

$$\eta = (1 - e^{-kL\eta_T/r}) \times 100 \quad (\%)$$

がある。 η (捕集効率) は η_T (1 個の水滴による衝突捕集効率)、 L (液ガス比)、 r (水滴半径) の関数である。 k は装置によって決まる係数である。この式は水滴径には η_T/r の項が、また水滴量には L の項が関連して、 η_T/r が一定の場合には液ガス比の増加が捕集効率を向上させることを示している。

ガス中の水分が増えると E.P. の $D.F.$ が増加することを IV-1 節で述べたが、スプレイ水量の増加はガス中水分量を増加させるので、同様の現象が認められる。

実験では、200~500 l までは理論どおり増加を示し 18 から 46 に達するが、600 l では 28 (96%) に下降した。それは E.P. の不調により火花放電が開始したため、水分量の増加によるものではない。

4. 印加電圧と除染係数

E.P. は実験の途中から集塵極 (A1 箔巻取り式) 平面の維持が不良となり、火花放電開始電圧が低下したため、予定した電圧の全範囲について測定を行うことが

できなかった。そこで集塵極改造後に実施した試験結果⁽³⁾と理論値を試験結果に加えて第5図に示した。

まず実験では、印加電圧 15 kV から開始し、5 kV ずつ昇圧し 25 kV に達した。その測定結果を第5図の折線 I に示す。15 kV における $D.F.$ は 7.2 であるが、昇圧により $D.F.$ は急速に増加し 25 kV では 31 に達する。しかし、30 kV に達する前に火花放電によって $D.F.$ は 4.3 へと急減した。

改造後に実施した実験結果を折線 II で示す。改造は巻取り式の集塵極を固定式の金属板にただけで、集塵面積、放電極部には大きな変更がない。実験条件は排ガス流量 (800 Nm³/hr)、スプレイ水量 (1,200 l/hr) が異なるので多少 $D.F.$ が大きい、電圧の上昇に対する $D.F.$ の増加率はほぼ一致した。改造後の火花放電開始電圧は 35 kV である。

E.P. の捕集効率 η を、エアロゾルの集塵極への移動速度 v (cm/sec) と集塵極面積 A (cm²) と排ガス流量 V (cm³/sec) とで表わした Deutsch の理論式⁽⁴⁾

$$\eta = (1 - e^{-v(A/V)}) \times 100$$

がある。 v は電界強度したがって印加電圧に比例する。そこで、ある印加電圧におけるエアロゾル速度 v を知れば、この式から各印加電圧における η を計算することができる。25 kV における $D.F. = 31$ ($\eta = 96.8\%$)、 $A = 2.08 \times 10^5$ cm² および $V = 3.6 \times 10^5$ cm³/sec を上式に代入すると、 $v = 5.9$ cm/sec を得る。印加電圧範囲 15~35 kV にわたって 5 kV ごとに v を求め、 $D.F.$ を計算して 1 点鎖線 II で図示した。II と I および III の勾配はよく一致しているので、この E.P. の $D.F.$ を III によって求めて差し支えない。

V. まとめ

本試験の結果から、焼却処理装置の総括除染係数と最適運転条件について、次の結論を得ることができた。

- (1) 総括除染係数を $R.F.$ と各集塵装置の $D.F.$ との積で表わし、定格運転における総括除染係数を第3表に示す。これによれば、この焼却処理装置の総括除染係数は 9.1×10^8 に達していることが明らかになった。
- (2) 空气中放射濃度の平均値を 10^{-11} $\mu\text{Ci}/\text{cm}^3$ 以下に抑えるという条件で、1 hr に処理できる廃棄物中の放射エネルギー A を計算すると、 $A = 92$ mCi/hr を得る。装置の処理能力は 50 kg/hr であるから、廃棄物中の放射性物質平均含有量は 1.6 mCi/kg までよいという結果になる。

第5図 電気集塵器の印加電圧と除染係数

第 3 表 定格運転における除染係数

	燃 焼 室†	スクラバ	サイクロン	電気集塵器	布 フィルタ	HEPA フィルタ
個別除染係数	8.5	35	1.7	29	3.1	200
累積除染係数	8.5	3.0×10^2	5.1×10^2	1.5×10^4	4.5×10^4	9.1×10^{11} ††

定格運転 燃焼温度: 900°C, 排ガス流量: 850 Nm³/hr, スプレイ水量: 400 l/hr, 電気集塵器印加電圧: 25 kV

† 炉内残存係数, †† 総括除染係数

本試験は ³²P について行なった結果であって、他の核種に対して同じ結果が得られない場合がある。したがって、この結果を他核種に用いるときは、その核種の特性とくに R.F. について充分に注意しなければならない。

さらに本試験の結果、燃焼室温度の増加とスクラバのスプレイ水量の増加が、ともに排ガス中水分量の増加をもたらす結果 E.P. の D.F. を向上させるという点で、類似の効果があることが明らかになった。同様に排ガス流量の減少とスプレイ水量の増加とが、ともにスクラバの液ガス比を増加させる結果、スクラバの D.F. を増加させる点で類似効果が認められた。

最後に、本稿をまとめるにあたり、焼却処理装置の試運転に参加し、除染係数に関するデータを測定され

た日本原子力研究所放射性汚染処理課の諸氏に深い謝意を表する。

— 参 考 文 献 —

- (1) 杉本仙市, 古平 登, 他: 大型焼却炉の性能試験, 第4回理工学同位元素研究発表会要旨集, 39, (1967).
- (2) 平山勝嘉: 東海研究所における放射性廃棄物処理関係設備の概要, JAERI-4049, (1967).
- (3) 加藤 清, 他: 原研東海研究所における放射性固体廃棄物処理装置の排ガス除染性能, 保健物理, 9[2], 81 (1974).
- (4) 平山勝嘉: 東海研究所における低レベル固体廃棄物の処理, 焼却処理, 圧縮処理, JAERI-memo 4053 (公開), (1970).
- (5) BUSH, D., HUNDAL, R.S.: The fate of radioactive materials burnt in an institutional incinerator, Health Phys., 24, 564 (1973), Pergamon Press.
- (6) 井伊谷綱一: “集塵装置”, (1963), 日刊工業新聞社.
- (7) 化学工学協会編: “化学工学便覧”, (改訂3版), (1968), 丸善.

正 誤 表 (Errata)

Vol.17, No.11 (1975)

誤

正

p. 615 (43) 右欄下から3行目 …緻密な層は2〜3 μ… を …緻密な層であり、外層は2〜3 μ…