

5. RDF 燃焼時におけるダイオキシン類の挙動調査

5.1 調査目的

本調査は、固形燃料（RDF）を利用している施設においてダイオキシン類の発生等の状況を把握し、今後の検討の基礎資料とするものである。

5.2 調査方法

本調査は、RDFを燃料としているボイラ施設（2カ所）及び小型焼却炉において、同一工場で製造された固形燃料で燃焼試験を行いダイオキシン類の発生等の状況を調査した。平均的なRDFの性状と分析値を表2-5-1～表2-5-2に示す。

表 2-5-1 RDFの性状

原 料	形 状	嵩比重	発熱量
木 約 50% 紙 約 40% 廃プラ 約 10%	ペレット状 40φ 長さ 100mm	0.45～0.55	4,000～5,000kcal/kg

表 2-5-2 RDF分析値

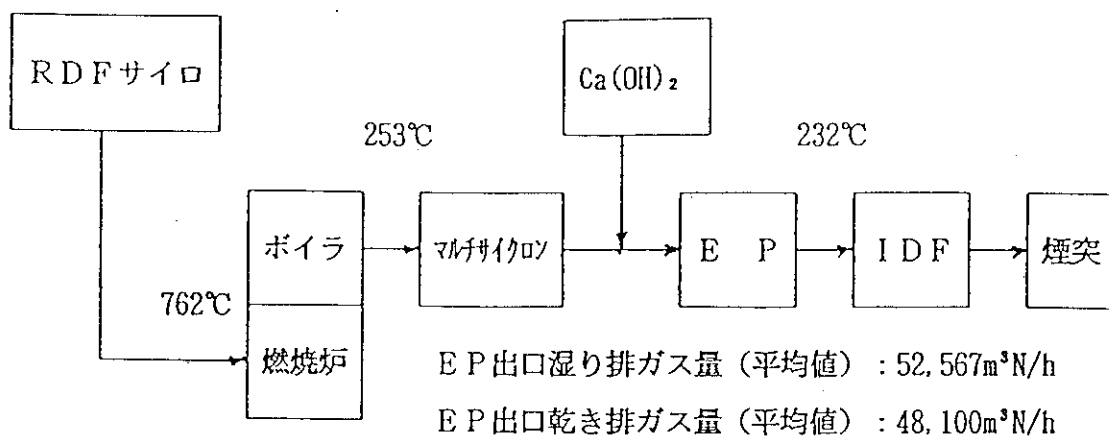
元素分析値 (wet base) %					水 分 %	灰 分 %	可燃分 %
炭 素	水 素	窒 素	全塩素	全硫黄			
43.7	6.1	0.2	0.3	0.05	6.3	5.0	88.7

燃焼試験を行った施設の概要を表2-5-3に、プラントフローを図2-5-1に示す。

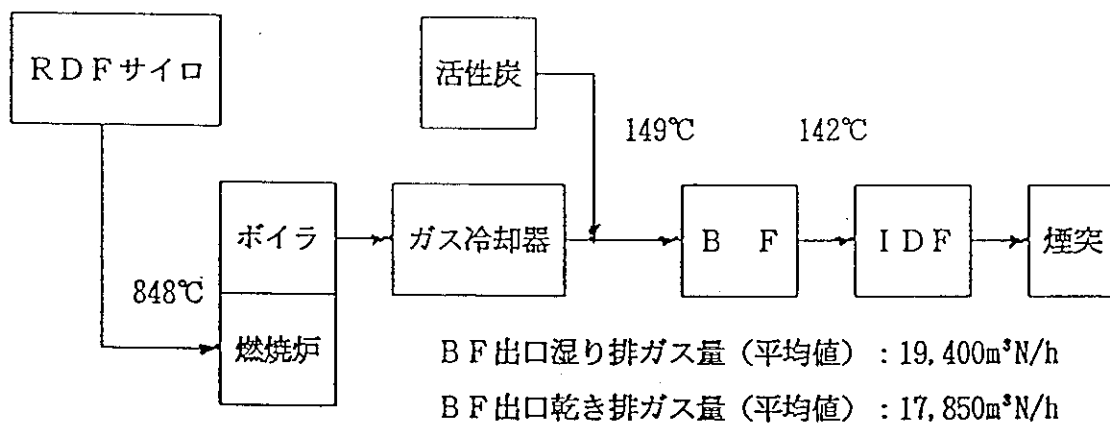
表 2-5-3 燃焼設備の概要

	A施設	B施設	C施設
炉形式	全連続炉	全連続炉	バッチ炉
燃焼装置型式	火格子方式	ストーカー式	固定床
ボイラ形式	水管式コナチュブ	煙管式	—
RDF燃焼量	6.3t/h	40t/d	98kg/h
排ガス処理設備	マルチサイクロン+EP (消石灰吹込)	バグフィルター (活性炭吹込)	—

〔A施設〕



〔B施設〕



〔C施設〕

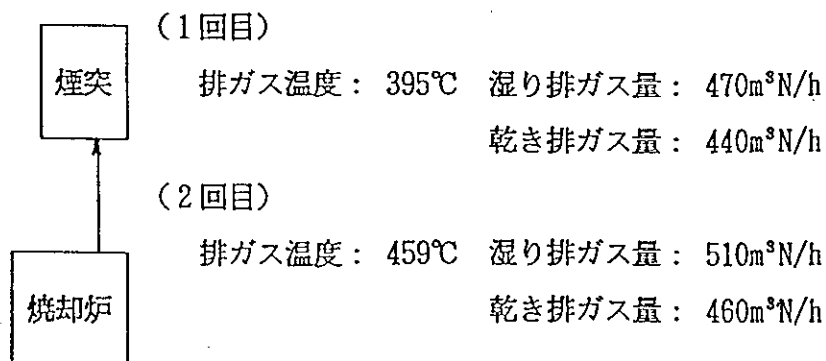


図 2-5-1 各施設の概略フロー図

5. 3 調査結果

試験結果の概要を表 2-5-4 に示す。

表 2-5-4 燃焼試験結果

			A 施設	B 施設	C 施設
R D F 処理量 t/h			4. 310	1. 508	0. 0425
排ガス量 (dry) Nm ³ /h			48, 100	17, 850	450
ダイ オキ シン 類	排 ガ ス 中	範 囲 平均値 ng-TEQ/m ³ N	0. 83 ~1. 5	0. 0053~0. 011	32~58
		ng-TEQ/m ³ N	1. 21	0. 00815	45
	生成量 μg-TEQ/RDF t	13. 50	0. 096	476. 5	
	灰 中 ng-TEQ/g	0. 0020	0. 0015	0. 035	
	飛灰中 ng-TEQ/g	9. 2	0. 61	—	
Co o p c b	排ガス中 ng-TEQ/m ³ N	0. 0080~0. 015	0. 0000027 ~0. 0000037	0. 91~0. 76	
	灰 中 ng-TEQ/g	0. 0000021	0. 000024	0. 0014	
	飛灰中 ng-TEQ/g	0. 095	0. 0052	—	

注) 排ガス中濃度はO₂12%換算値

5. 4 考察

通常の R D F を燃焼した場合、排ガス中のダイオキシン類濃度は0. 1~0. 5ng-TEQ/m³Nである報告が多いが、いずれも排ガス処理に B F を用いた場合である。この値に対して、本調査研究の施設 A ではやや高く (1. 21ng-TEQ/m³N) 、施設 B では低い (0. 008ng-TEQ/m³N) 値となっている。この理由は、施設 A では B F ではなく E P を使用していることが考えられる。また、R D F にあらかじめ消石灰を 2 % 程度添加しておくこととダイオキシン類の削減効果があるとされており、本調査研究で使用した R D F には消石灰が添加されていなかったことも要因として考えられる。一方、施設 B では極めて低いダイオキシン類濃度となっているが、活性炭吹き込みの効果が出ているものと考えられる。

施設 C では、排ガス中のダイオキシン類濃度が45ng-TEQ/m³Nと、かなり高い値になっているが、バッチ炉の場合、特に燃焼条件が不十分である場合には、R D F の場合でもこのような高濃度に達することを示している。文献でも、排ガス処理設備のない実験室規模の小型焼却炉において R D F を燃焼した場合、R D F 中の金属濃度が高いと220ng-TEQ/m³N のレベルのダイオキシン類濃度の報告例がある。

本調査研究における R D F の燃焼実験では、排ガス処理条件によってダイオキシン類濃度が大きく変わることを示しているが、排ガス処理条件以外にも、R D F 中の C a 濃度、金属濃度、塩素濃度によるダイオキシン類濃度の変動が報告されており、今後さらに検討を進める必要がある。

6. くん焼状態でのダイオキシン類発生状況の把握研究

6. 1 研究目的

ごみが焼却炉で燃える場合、空気の供給不足などにより有炎燃焼を伴わない燃焼形態であるくん焼状態が部分的に現れることがある。一種の不完全燃焼であるくん焼は、火炎に比べて低い温度で燃焼反応が進み気相中の燃焼生成物の濃度も高いが、ダイオキシン類発生に及ぼす影響は十分に調べられていない。本研究では、くん焼状態に起因するダイオキシン類の発生状況の把握を目的に、くん焼で燃え進む状態を小規模な燃焼装置でつくり燃焼ガスや灰に含まれるダイオキシン類の分析を行った。

6. 2 実験の概要

実験は、図 2-6-1 に示す燃焼装置を用いて行った。装置は、縦置き円筒型燃焼室とその上にとりつけた、接続部（中間部）、電気ヒーターで一定温度に保たれる加熱室、燃焼ガス排出部で構成され、この内部を空気および燃焼ガスが上に向かって流れる。これらはガラス製で、断熱材のカバー内に設置される。カバーには縦長のスリット状の観察窓があり、内部の様子を観察ができる。実験結果の解釈を容易にするために、試料には単純化した組み合わせのものを用意した。

主要部の寸法は次の通り。

- ・ 燃焼室：円筒部分はφ200×300（試料層充てん高さ約 285 mm）
- ・ 加熱室：円筒部分はφ150×260

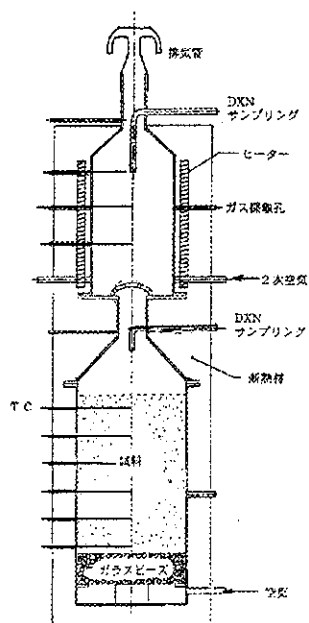


図 2-6-1 燃焼装置概要

実験では、燃焼室内に充てんされた試料層の上端に着火してくん焼状態を起こした後、上方の加熱室を所定の条件に保ちながら燃焼室出口付近と加熱室上部の2カ所で燃焼ガス中のダイオキシン類のサンプリングを行った。焼却灰についてもあわせてダイオキシンの測定を行った。主な位置の温度は熱電対で測定した。なお、一部、参考に主要気体成分のガスクロ分析も行った。

実験は4種類の試料について条件を変えて計7run行った。用いた試料の性状を表2-6-1に、また実験条件を表2-6-2に示す。おがくずには原木を直接加工したものをを用いた。

表 2-6-1 試料の性状

試料名	性 状
S 1	おがくず*1.24 kg
S 2	おがくず* 1.24 kg + 銅粉 5 g (1.24kg の 0.4%相当)
S 3	おがくず 95%+PVC 粉**5% 計 1.24kg
S 4	〔おがくず 95%+PVC 粉 5% 計 1.24kg〕 + 銅粉 5 g

* プナのおがくずで10~30メッシュ間の粒子範囲を使用。かさ密度約0.136 g/cm³

** PVC 粉は塩ビ板を削って作成。

表2-6-2のように、実験はRun 6を除き2次空気を導入しない方式とし、Run 1~Run 4では試料S1~S4について空気流量条件と加熱室の条件を同一として実験を行い、次にRun 5~Run 7で試料S4に対し加熱室の条件を変えて実験を行った。空気流量は、くん焼の安定維持に適した流量範囲から5L/minを基本設定とし、燃焼途中から熱分解による発生ガスと層内流動抵抗の減少を考慮して2倍に増やしている。5L/minのとき、燃焼室では流入空気の室温換算した断面内平均流速（円筒断面積で割った値）は約0.27 cm/sとなる。

表 2-6-2 実験条件の設定*

	Run 1	Run 2	Run 3	Run 4	Run 5	Run 6	Run 7**
試料	S 1	S 2	S 3	S 4	S 4	S 4	S 4
加熱室温度	600℃	600℃	600℃	600℃	900℃	600℃	300℃
2次空気	—	—	—	—	—	1次×1.2	—

* 1次空気流量は、ダイオキシン測定開始後2.5時間まで5L/min、その後10L/minに変更。

** Run 7のみ焼却灰のダイオキシン測定を省略。

加熱室の温度600℃は小型焼却炉を、900℃は都市ゴミ焼却炉を模擬し、300℃はダイオキシンが再合成しやすい温度として選んだ。

ダイオキシン類の分析に十分な量のサンプリングガス量を確保するため、サンプリング時の吸引ガス流量（サンプリングライン下流で測定、室温換算値）は2つのラインとも、多めの最大3~3.5 L/minを目安とした。このときのサンプリング合計流量は1次空気流量

5L/min を上回るが、熱分解ガスの発生が十分な間は上部排気管からの空気の逆流を起さずにこの範囲の吸引量が維持できる。途中から熱分解ガス発生量が減少するため吸引可能流量が減少するが、サンプリング開始後 2 時間 30 分後から空気流量を 2 倍に増やし、その後は初期吸引流量にもどしてサンプリングを行った。サンプリングは開始から 4 時間行ない、吸引総体積は、それぞれ約 0.6m³N 程度であった。

サンプリング開始後、5 時間目にヒーターを切り、6 時間目に空気を窒素に切り替えて完全に燃焼を停止させ、温度が下がった後に焼却灰サンプルの採取を行った。

6. 3 実験結果の概要と考察

燃焼状態の時間推移をみると、着火に引き続き酸化発熱的な熱分解領域が 400~500℃程度の最高温度で上流に伝ばし、着火後 1 時間強で炭化層先端が試料層下端に達する。その後、最高温度 500~700℃程度で進行する炭化層の表面反応がしだいに主反応となった。燃焼室および加熱室ともサンプリング流路出口で調べた酸素濃度は、燃焼期間の最後に近い場合を除き 1%弱から数%程度の範囲であり極めて低い。また、一酸化炭素濃度は 4~6%程度であった。2 次空気吹き込みの場合、加熱室上部でも酸素濃度は低く、このとき加熱室で酸素を消費する反応が起きていたことがうかがえる。熱分解反応が支配的な間は、タール分を多く含むガスが発生する。サンプリング終了時以前に炭化が終了しているとみられ、サンプリング終了までに 8 割以上の質量が燃焼で失われていると考えられるが、この間の 1 次空気の全流量は約 2m³N 以下で、完全燃焼に必要な空気量約 6m³N よりも少ない。

表 2-6-3 に、燃焼ガスのダイオキシン類の毒性等価換算濃度の測定結果を示す。酸素濃度による換算は行っていない。また、図 2-6-2 には、Total TEQ の実験条件および測定位置による変化を図示した。

表 2-6-3 燃焼ガスのダイオキシン類の毒性等価換算濃度 (ng-TEQ/m³N [WHO-TEF])

実験番号 試料/加熱室条件		Run 1 S1/600℃	Run 2 S2/600℃	Run 3 S3/600℃	Run 4 S4/600℃	Run 5 S4/900℃	Run 6 S4/600℃ 2 次空気	Run 7 S4/300℃
燃焼室 出口	Total PCDD TEQ	0.034173	0.19128	23.7227	346.16	1218.49	843.25	2110.92
	Total PCDF TEQ	0.07692	0.140373	42.5568	876.43	3578.42	2313.43	5587.9
	Total TEQ*	0.11	0.33	66	1200	4800	3200	7700
加熱室 上部	Total PCDD TEQ	0.3152	0.08936	6.1357	329.37	331.69	266.3	3151.2
	Total PCDF TEQ	0.285089	0.11216	18.93158	1856.46	1608.94	1176.35	6794
	Total TEQ*	0.60	0.20	25	2200	1900	1400	9900

* Total TEQは有効数字 2 桁で表示

燃焼室出口で計られた燃焼直後の燃焼ガス中のダイオキシン類の Total TEQ (単位は ng-TEQ/m³N) は、おがくずのみの試料 S1 の場合 (Run 1) には 0.11、銅粉を混入した試料

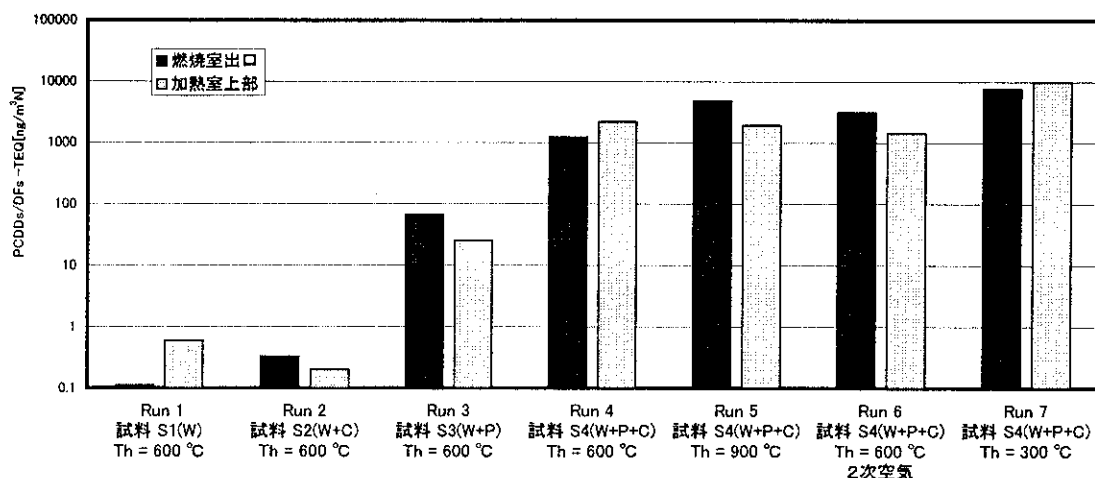


図 2-6-2 燃焼ガス中のダイオキシン類毒性等価換算濃度
(W:おがくず, P:PVC 粉, C:銅粉; T_h :加熱室設定温度)

(Run2)では0.33, おがくずとPVC粉末からなる試料S3では66, 試料3に銅粉加えた試料S4 (Run 4)では1200であり, それらの比率はおおよそ, 1:3:600:11000となっている。これらのことから, くん焼による燃焼現象においてもダイオキシンが発生すること, および発生ガス中の毒性等価換算濃度は試料中に塩素元素および触媒作用に關与する金属が存在すると大きく増加する場合があることがわかる。今回の一連の実験では, PVC粉を含む試料において顕著に銅粉の影響が現れている。毒性等価換算濃度におよぼすダイオキシンとフランの寄与をみると, Run 2の燃焼室出口を除きフランの寄与の方が大きい。

Run 4からRun 7は試料が共通 (S4)であり, 燃焼室出口では本来近い値の濃度になるはずであるが濃度の分析結果には最大6.4倍程度の開きがみられた。この中でRun 4が他の3ケースに比べて小さいのが目立つが, この実験では表面反応が主体の時間帯において燃焼室下端中央付近の気相に微弱な青白い発光が分布しているように見えており, 部分的に多少異なった燃焼状況が生じてダイオキシン類の発生量に影響を与えた可能性がある。

燃焼室出口における同族類の分布をみると, フランでは, 全体に低塩素化物が高い傾向にあったが, ダイオキシンでは, 銅粉を添加しない場合に低塩素化物が多く, 銅粉を添加した場合に, 中塩素化物あるいは高塩素化物の濃度が高くなる傾向がみられた。

加熱室条件の影響をみると, 同一の加熱室条件 (600°Cで2次空気なし)において行った4実験のうち, Run 1, 4では燃焼室より濃度が増加し, Run 2, 3で減少する逆の結果となっており, 明瞭な傾向がみられない。加熱室が900°C (Run 5)では約6割減少し, 300°C (Run 7)では3割程度増加し温度の影響が認められる。しかしその度合いはそれほど顕著ではないと考えられる。600°Cで2次空気を吹き込んだ場合には, 見かけ上約半分以下に減

少しているが、2次空気による希釈の影響を考慮すると加熱室内ではダイオキシン類の分解はほとんど起きていないと考えられる。900℃の高温でもダイオキシン類の分解が十分に進まなかった理由のひとつとして、燃焼帯の途中から下流側においては酸素濃度が低かったことの影響が考えられる。

表2-6-4 おがくずと焼却灰のダイオキシン類の毒性等価換算濃度 (ng-TEQ/g [WHO-TEF])

実験番号 試料/加熱室条件	おがくず	Run 1 S1/600℃	Run 2 S2/600℃	Run 3 S3/600℃	Run 4 S4/600℃	Run 5 S4/900℃	Run 6 S4/600℃ 2次空気
Total PCDD TEQ	0	0	0	0.000025	0.0000954	0.348011	0.0059336
Total PCDF TEQ	0	0	0	0.01375549	0.0054083	1.208314	0.0188465
Total TEQ*	N. D.	N. D.	N. D.	0.014	0.0055	1.6	0.025

* Total TEQは有効数字を2桁で表示

表2-6-4に、おがくずと焼却灰のダイオキシン類の濃度を示した。毒性等価換算濃度は、おがくずとRun 1, 2でN. D.となっているが、PCDDs/DFsの実測濃度(単位 ng/g)は、それぞれ0.017, 0.021, 0.037で、Run 3~6で、それぞれ0.62, 0.41, 64, 1.3となっている。灰として残った全質量を考慮すると、灰に残留したダイオキシン類の総量はおがくずと比べ、PVC粉を含まないRun 1, 2では大きく減って、Run 3~6で同程度か高い値と推定される。Run 5のみ特に高い値となったが、加熱室900℃としたこの実験の場合、燃焼室内上部壁面にガラス状物質が付着・堆積しその一部が落下等により灰に大量に紛れ込んでおり、この物質中に比較的高濃度のダイオキシン類が含まれていたものと考えられる。

6. 4 まとめと今後の課題

本研究では、一種の不完全燃焼であるくん焼状態での燃焼実験を行うことにより、この燃焼形態においてダイオキシン類が発生すること、およびその発生量は試料の内容物の構成によりごく低い濃度から極めて高い濃度まで極端に変化することが明らかになった。実験はすべての試料内容物を粉末状としてごく低流速下で行ったため、得られたダイオキシン類濃度の値の相対的関係が一般の廃棄物焼却過程にそのまま適用されるわけではないが、局所的にせよ極めて高いダイオキシン類濃度となる領域が生じることから、炉内でのダイオキシン類の発生の積極的抑制をはかる場合にはこの種の燃焼形態の出現の防止、影響にも十分留意すべきと考えられる。

本研究で行った実験条件の範囲はまだ限られており、今後内容物の含有率の影響も含めより定量的な調査検討を積み重ねる必要があると考えられる。さらに、くん焼状態でのダイオキシン類発生メカニズムの解明をめざした研究の進展も望まれる。

平成11年度

総括報告書

第1章 調査研究の目的と概要

1. 調査目的

本調査研究は、1997年1月に通知された「ごみ処理に係るダイオキシン類発生防止ガイドラインーダイオキシン類削減対策プログラム（新ガイドライン）」、および、その後実施された法規制によるダイオキシン類削減対策の効果を事後評価することを主目的とし、効果確認の作業の機能を担いつつ、厚生科学研究としての「ダイオキシン類総合対策研究」の一環として調査研究を進めた。

2. 調査全体計画

本調査研究で取り組む課題は、新ガイドラインにおいて今後の課題とされた項目の中から下記（1）～（4）の項目に分けて調査研究を行う。

- (1) 廃棄物の組成とダイオキシン類の生成に関する研究
- (2) ごみ処理施設から排出されるダイオキシン類の挙動に関する研究
- (3) ごみ処理施設におけるダイオキシン類排出削減のための改造とその効果に関する研究
- (4) ダイオキシンを含む灰の処理とリサイクルに関する研究

(1) 廃棄物の組成とダイオキシン類の生成に関する研究では、基礎的な燃焼実験をキルン回転型電気炉および円筒型くん焼炉により、焼却過程におけるダイオキシン類の生成に関する調査と削減対策を考察するとともに、RDF燃焼時におけるダイオキシン発生状況をダイオキシン対策充実炉、従来対策炉および小型炉でRDFを燃焼し、ダイオキシン類発生挙動を把握する。また、海外におけるダイオキシン類の生成に関する研究動向について情報収集を行う。

(2) ごみ処理施設から排出されるダイオキシン類の挙動に関する研究では、ダイオキシン類の環境中での挙動について、排ガス中や灰中のダイオキシン類がどのような過程を経て土壌や水系に移行するかを検討し、この検討結果をもとにダイオキシン類の年平均最大着地濃度、沈降沈着量等を予測するとともに、土壌に蓄積されるダイオキシン類の量及び分布状況を予測する手法を開発する。

(3) ごみ処理施設におけるダイオキシン類排出削減のための改造とその効果に関する研究では、新ガイドライン及びその後実施された法規制等によるダイオキシン類削減の効果を事後評価することを目的とする。

(4) ダイオキシン類を含む灰の処理とリサイクルに関する研究では、ダイオキシン類を含む灰の安定化・減容化処理技術及び灰溶融システムによるダイオキシン類排出削減効果とリサイクルに関する調査研究を行なうものである。

なお、本報告書は、(1) 廃棄物の組成とダイオキシン類の生成に関する研究の部分を取りまとめている。

3. 調査研究概要

1) ダイオキシン類縁化合物に関する海外動向調査

昨年度はポリ塩化ビニル等の塩素含有樹脂とダイオキシン類の生成との関係およびそれを踏まえた廃棄物処理に関する欧州の最新動向について調査を行なったが、それに引き続いて、今年度はダイオキシン類の枠を広げてPOPsに関する海外の動向を調査した。調査は独バイロイト大学のDr. Fiedlerに依頼した。

(1) 国際条約の概況

国連環境計画（UNEP）の理事会は、1995年5月25日の決定の中で、12種類の残留性有機汚染物質（POPs）に対する国際的措置に関する勧告および周知を徹底するよう、国際機関（IOMC、IPCS、IFCS）に要請した。1996年6月、POPsに対する国際的措置計画を勧告するのに十分な証拠がIFCS（政府間化学物質安全性フォーラム）に集められた。1997年2月7日の決定19/13Cの中で、UNEP理事会は、UNEP理事長に対して、以下のことを行うべく政府間交渉委員会（INC）を招集するよう求めた。すなわち、1) 国際的措置を実施するために国際的に法的拘束力のある協定を作成し、それをまず12種類の特定のPOPsから始めること、2) 科学に基づいたクライテリアや今後の国際的措置における候補としての追加のPOPsを決めるための手続きを作り上げるため、専門家グループを設置すること、である。

POPsが問題になるのは、それらが毒性を持ち環境中に残留し、動物およびヒトの脂肪組織に蓄積されるからであり、また地球上の遠隔地域にまで移動する可能性があるためである。最初の措置は、下記12種類のPOPsのリストから開始される予定である。

- ・ 8種類の有機塩素系農薬：アルドリル、クロルデン、DDT、ディルドリン、エンドリン、ヘプタクロール、マイレックス、トクサフェン。
- ・ 2種類の工業用化学物質：ヘキサクロロベンゼン（HCB）、ポリ塩化ビフェニル。
- ・ 2種類の好ましくない副生物：ダイオキシン、フラン。

現在（1999年11月）までに、今後のPOPs条約交渉のために、3回の協議が行なわれた。政府間交渉委員会（INC）の第1回会合は1998年7月モンテリオールで、第2回INCは1999年1月ナイロビで、第3回INCは1999年9月ジュネーブでそれぞれ開催された。第4回INCは2000年3月にボン（ドイツ）で開催される予定であり、また第5回INCは

2000 年末に南アフリカで開催されることが暫定的に決められている。外交官会議は、2000 年 5 月 21 日～23 日、スウェーデンのストックホルムで予定されている。これまでの同様の協定に関する経験からは、POPs 条約はおそらく 2004 年中に施行されることになるだろう。

ダイオキシン類はバーゼル条約においても、コード Y43 および Y44 として指定されており、欧州の長距離大気汚染条約における 16 の指定物質にも含まれている。この条約は 1979 年に署名され、1983 年に発効されているが、この中に POPs に関する 1998 年オルフス議定書が含まれている。16 の指定物質は、11 種類の農薬、ヘキサクロロベンゼン、ヘキサプロモビフェニル、PCBs、ダイオキシン類、PAHs である。この条約と連携して欧州大気汚染物質長距離移動監視評価共同プログラム (EMEP) がある。このプログラムは次の 3 つの要素に依っている。(1) 排出データの収集、(2) 大気および降水の質の測定、(3) 大気汚染物質の空中移動および沈降沈着のモデリング。これら 3 つの要素の組み合わせによって、EMEP は同プログラムに要求されている、大気汚染物質の排出、濃度および/または沈降沈着に関する評価および定期的報告、さらに越境流量、臨界負荷および閾値に関する超過の量とその重大性についての、評価および定期的報告を実行しているのである。これらの要素の組み合わせはまた、EMEP の算定値の評価および修正にとっても有用な基準となっている。

1999 年、専門的報告書『バルト諸国の残留性有機汚染物質の循環』が、EMEP プロジェクトの方法論、成果、および結論に関する詳細な情報を提供している。このレポートの冒頭で、欧州における POPs に関する排出データベースが詳しく述べられている。POPs 排出目録は、可能なときにはいつでも各国のデータを用いて作成されてきた。さらに、既存の目録は再検討され、専門家にも問い合わせが行われている。こうした情報源に基づいて、1970 年から 1995 年までの期間の 5 年ごとの排出目録が制定されており、ダイオキシン類に関する結果は表 1-1 のとおりである。

欧州環境庁の報告によると、ダイオキシン類の排出は総合公害防止規制や諸施策によって削減されてきた。EU においては、2010 年にかけて更に削減が進むことが予想される。しかし、その一方で、PAHs および臭素系難燃剤については、欧州の多くの地域で排出の増加が予想されている。

表 1-1 1970～1995 年の欧州諸国における PCDD/PCDF 排出量

単位：ng-TEQ/年

国名	1970	1975	1980	1985	1990	1993-1995
アルバニア	1.684	1.976	7.658	4.328	2.967	2.672
オーストリア	438.550	491.794	555.350	296.242	139.519	121.017
ベラルーシ	51.630	56.362	59.816	65.248	106.764	52.843
ベルギー	899.083	909.915	1,068.030	468.636	510.887	483.720
ブルガリア	60.431	66.475	72.035	77.399	68.811	60.792
チェコスロバキア	262.621	288.236	330.448	328.025		
チェコ共和国					216.058	163.094
スロバキア共和国					74.611	79.571
デンマーク	181.989	192.399	224.043	197.337	77.219	49.870
エストニア	15.013	16.522	16.945	15.978	14.940	12.430
フィンランド	418.736	437.907	496.371	337.979	185.581	68.505
フランス	5,364.138	5,336.516	5,993.457	2,481.609	1,214.659	1,118.883
ドイツ					1607.440	840.041
東ドイツ	1,748.608	1,745.303	1,813.262	957.653		
西ドイツ	4,248.556	4,447.01	5,040.836	2,220.438		
ギリシャ	226.038	287.699	347.715	201.110	154.782	122.044
ハンガリー	99.610	103.794	106.844	100.098	75.964	64.624
アイルランド	44.859	45.285	54.811	31.194	17.439	14.283
イタリア	1,687.663	2,085.709	2,296.292	118.696	870.208	798.845
ラトビア	20.874	18.780	16.963	14.036	13.345	12.387
リトアニア	39.645	33.857	32.229	25.866	23.678	12.016
ルクセンブルク	356.143	450.858	373.175	121.607	55.325	49.975
モルドバ	9.174	15.554	17.611	19.030	17.858	9.675
オランダ	542.578	542.758	602.249	366.990	372.565	136.966
ノルウェー	108.026	100.686	108.861	100.250	44.648	41.135
ポーランド	421.358	462.236	661.991	603.009	424.868	394.288
ポルトガル	84.177	86.857	89.396	64.075	41.010	34.444
ルーマニア	94.984	129.332	161.973	180.732	129.039	81.263
ロシア	1,492.736	1,685.063	1,730.189	1,809.543	1,848.567	1,198.409
スペイン	633.457	965.376	1,185.155	520.159	299.444	304.722
スウェーデン	1,004.080	1,199.026	774.682	576.116	271.443	198.535
スイス	416.137	423.476	483.836	439.332	242.369	181.481
ウクライナ	845.232	845.232	899.924	962.728	925.442	571.058
イギリス	3,020.523	2,385.001	2,002.711	889.040	973.456	868.397
ユーゴスラビア	73.123	73.810	81.912	104.544	101.678	118.601
合計	24,911	25,931	27,707	15,699	11,123	8,267

(2) 欧州環境庁からの報告

有害物質の拡散—今世紀の変わり目における欧州の環境に関する欧州環境庁による報告により、以下のようなことが指摘されている。

- ・さまざまな規制方法が化学物質のリスクを減らし、残留性有機汚染物質および重金属の排出量と環境中の濃度はいくらか減少しつつある。しかし、市場に多く出回っている化学物質の 75% に関しては、最小限度のリスクアセスメントを支援するのに有効な毒性および生態毒性分析が十分ではない。

- ・交通量や農業生産量を含めた経済活動の総合的増大によって、再生利用のような方法による化学物質の排出削減効果は薄くなっている。したがって、化学産業の生産高の 30% から 50% の上昇に伴って、化学物質の年間総排出量は 2010 年まで増加し続けることが予想される。

- ・総合的汚染防止および規制 (IPCC) の指令とこれまでの諸施策の実施によって、発電施設、製錬施設および廃棄物焼却施設からの、ポリ塩化ビフェニルおよびダイオキシン類の排出が削減されている。再生利用は必ずしもヒトおよび環境の曝露全体を減らすものではない。というのも、再処理過程で生じる、より多くの排出要因が避け難いと思われるからである。

- ・ダイオキシン類の濃度および堆積が、EU 内で 1990 年から 2010 年の間に、現行の政策および提案された政策の実施によって減少することが予想される一方で、ベンゾピレンおよびその他の多環式芳香族炭化水素、プラチナ (触媒コンバーターからの) および臭素化難燃剤については、欧州の多くの地域で増加が予想されている。

2) 燃焼過程における塩素源とダイオキシン類の生成挙動調査

焼却能力1～2 kg/hrのラボスケール炉の実験装置を使用し、実際の都市ごみをベースにした試料で燃焼実験を実施し、ごみ組成や一次燃焼条件（燃焼温度、空気比）によるダイオキシン類の生成挙動について調査した。一次燃焼条件と実験結果の概要を表2-1（排ガス）と表2-2（焼却残渣）にまとめる。燃焼条件として、一次燃焼条件（燃焼温度900℃、空気比1.5）は都市ごみ焼却炉を、一次燃焼条件（燃焼温度600℃、空気比7.0）は小型焼却炉を模擬した。

（1）一次燃焼条件による影響

一次燃焼炉出口排ガスや焼却残渣において、PCDDs/DFsやCo-PCBsについて一次燃焼温度や空気比による顕著な濃度の差は見られなかった（Run5とRun11、Run6とRun11の比較）。焼却残渣の熱灼減量がRun11で非常に高かったことや、排ガス中のHClやSOxがRun5やRun6と比べてRun11において低濃度であったことから、Run11では実験試料が十分に焼却されておらず、Run11（一次燃焼温度600℃、空気比1.5）は燃焼条件として適切でないと考えられた。

表 2-1 排ガスの分析結果

Run No.		Run5				Run6				Run11			
実験試料		RDF試料+プラスチック試料+重金属試料											
一次燃焼条件		燃焼温度900℃ 空気比1.5				燃焼温度600℃ 空気比7.0				燃焼温度600℃ 空気比1.5			
排ガス *1		一	二	ガ	吸	一	二	ガ	吸	一	二	ガ	吸
HCl濃度	ppm	200	210	180	25	310	250	210	35	19	5.4	—	1.7
SOx濃度	ppm	34	28	24	1.5	37	24	9.4	ND	4.5	0.95	—	1.2
PCDDs/DFs	ng/Nm3	29,000	7,200	9.7	11	22,000	4,200	100	69	16,000	330	7.2	2.4
Co-PCBs	ng/Nm3	650	43	7.1	3.7	1,300	40	36	12	1,600	26	3.9	0.83
TEQ *2	ngTEQ/ Nm3	310	64	0.27	0.14	510	36	1.9	0.99	240	5.9	0.15	0.042
PCBs	ng/m3N	6,400	510	93	62	18,000	600	780	230	25,000	170	70	31

*1. 一：一次燃焼炉出口 二：二次燃焼炉出口
ガ：ガス冷却ダクト出口 吸：活性炭吸着塔出口

*2. TEQ：PCDDs/DFs+Co-PCBs

表 2-2 焼却残渣の分析結果

Run No.		Run5	Run6	Run11
実験試料		RDF試料+プラスチック試料+重金属試料		
一次燃焼条件		燃焼温度900℃ 空気比1.5	燃焼温度600℃ 空気比7.0	燃焼温度600℃ 空気比1.5
熱灼減量	%	4.1	4.1	30.7
PCDDs/DFs	ng/g	320	18	210
Co-PCBs	ng/g	13	0.91	18
TEQ *2	ngTEQ/g	7.3	0.31	3.7
PCBs	ng/g	250	9.1	85

*2. TEQ : PCDDs/DFs + Co-PCBs

(2) PCDDs / DFs 排出係数

本研究において小型焼却炉を想定した一次燃焼条件（燃焼温度600℃, 空気比7.0）でのH10年度の実験に対して、PCDDs/DFs排出係数にて整理し、また野焼きを模擬して小型焼却炉等を使用して燃焼実験を行った他の研究例との比較を行った。

本研究で小型焼却炉出口に相当すると考えられる一次燃焼炉出口において、投入Cl濃度と排ガスにおけるPCDDs/DFs排出係数との関係について相関が認められた（図2-1の▲, ×, □, ◇印）。廃ガス処理によりPCDDs/DFs排出係数が大きく低減され、活性炭吸着塔出口では投入Cl濃度との明確な関係は見られなかった（図2-2）。

野焼きを模擬したIkeguchiら¹⁾の研究においても、小型焼却炉を使用した燃焼実験において、本研究同様、投入Cl濃度と排ガスにおけるPCDDs/DFs排出係数の関係に相関が見られた（図2-1の●印）。

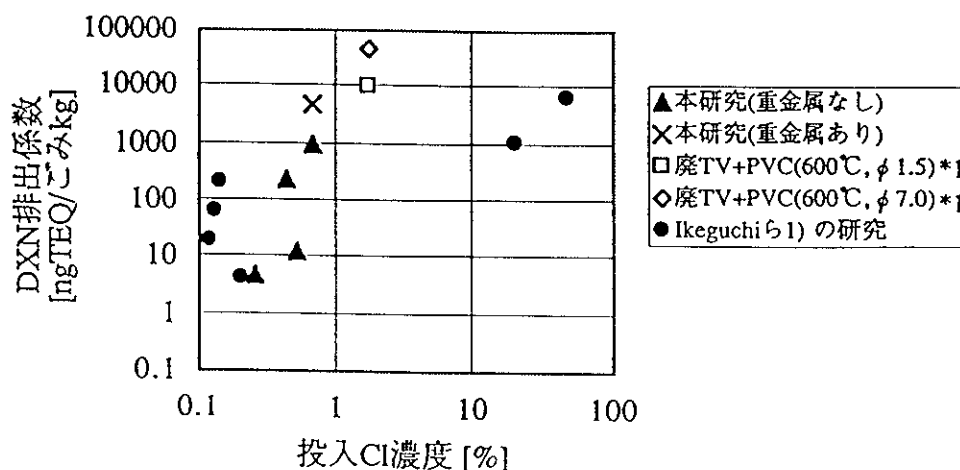


図 2-1 投入Cl濃度と排ガスにおけるPCDDs/DFs排出係数の関係

*1. (財) 廃棄物研究財団のH11年度の「廃棄物処理過程におけるダイオキシン類縁化合物の挙動と制御に関する研究」における実験データ

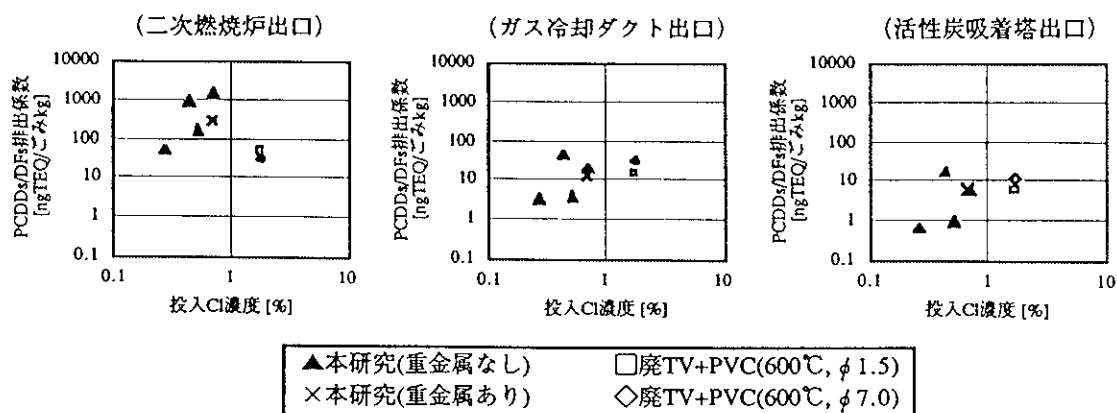


図 2-2 排ガスフローにおける投入Cl濃度とPCDDs/DFs排出係数の関係

また、野焼きを模擬して小型焼却炉等を使用して燃焼実験を行ったLemieuxら²⁾の研究、Gullettら³⁾の研究では、PCDDs/DFs排出係数は排ガスで8.1~2,800[ngTEQ/ごみkg]、焼却残渣で330~890[ngTEQ/ごみkg]であり、投入試料中のPVC濃度に比例していた。本研究と比較すると、排ガスについては本研究とオーダーが一致、焼却残渣については本研究の方が1オーダー小さかった。本研究の焼却残渣において実際の野焼きよりも燃焼状態が良かった要因の可能性が考えられた。

参考文献)

- 1) T. Ikeguchi and M. Tanaka; Experimental study on dioxins emission from open burning simulation of selected wastes; Organohalogen Compounds, vol.41, 507-509(1999)
- 2) Paul M. Lemieux; Evaluation of Emissions from the Open Burning of Household Waste in Barrels; EPA/600/SR-97/134
- 3) Brian K. Gullett, Paul M. Lemieux, Christopher C. Lutes, Chris K. Winterrowd, Dwain L. Winters; PCDD/F emissions from uncontrolled, domestic waste burning; Organohalogen Compounds, vol.41, 27-30(1999)

3) RDF 燃焼時におけるダイオキシン類の挙動調査

(1) 調査目的

本調査は、固形燃料（RDF）を利用している施設においてダイオキシン類の発生等の状況を把握し、今後の検討の基礎資料とするものである。

(2) 調査方法

本調査は、RDFを燃料としているボイラ施設（2カ所）及び小型焼却炉において、同一工場で製造された固形燃料で燃焼試験を行いダイオキシン類の発生等の状況を調査した。平均的なRDFの性状と分析値を表3-1～表3-2に示す。

表3-1 RDFの性状

原料	形状	嵩比重	発熱量
木 約50% 紙 約40% 廃プラ 約10%	ペレット状 40φ 長さ 100mm	0.45～0.55	4,000～5,000kcal/kg

表3-2 RDF分析値

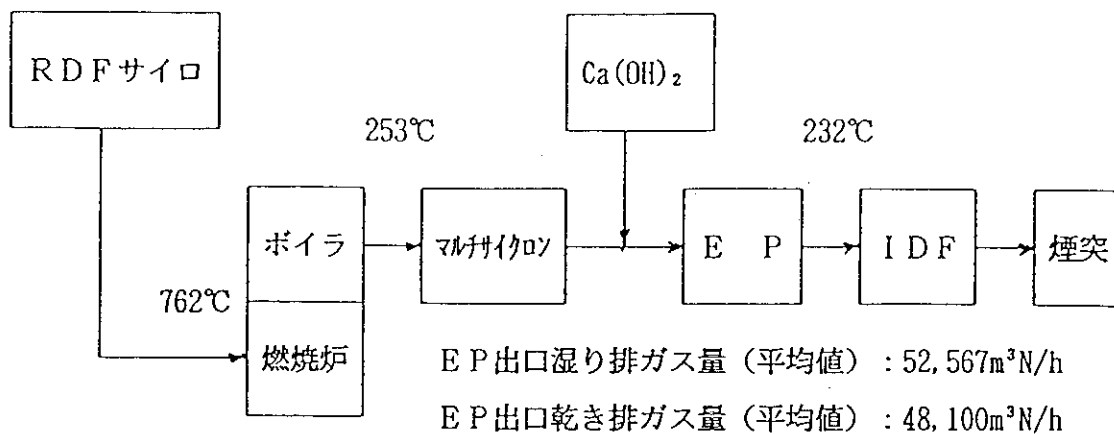
元素分析値 (wet base) %					水分 %	灰分 %	可燃分 %
炭素	水素	窒素	全塩素	全硫黄			
43.7	6.1	0.2	0.3	0.05	6.3	5.0	88.7

燃焼試験を行った施設の概要を表3-3に、プラントフローを図3-1に示す。

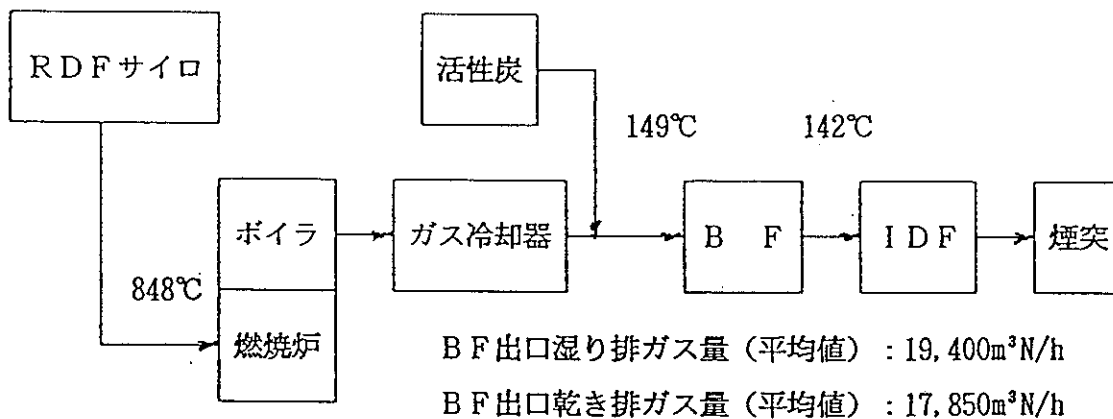
表3-3 燃焼設備の概要

	A施設	B施設	C施設
炉形式	全連続炉	全連続炉	バッチ炉
燃焼装置型式	火格子方式	ストーカー式	固定床
ボイラ形式	水管式コナチュブ	煙管式	—
RDF燃焼量	6.3t/h	40t/d	98kg/h
排ガス処理設備	マルチケム+EP (消石灰吹込)	バグフィルター (活性炭吹込)	—

〔A施設〕



〔B施設〕



〔C施設〕



図3-1 各施設の概略フロー図

(3) 調査結果

試験結果の概要を表3-4に示す。

表3-4 燃焼試験結果

			A施設	B施設	C施設	
RDF処理量 t/h			4.310	1.508	0.0425	
排ガス量 (dry) Nm ³ /h			48,100	17,850	450	
ダイオキシン類	排ガス中	範囲	ng-TEQ/m ³ N	0.83 ~1.5	0.0053~0.011	32~58
		平均値	ng-TEQ/m ³ N	1.21	0.00815	45
	生成量	μg-TEQ/RDF t	13.50	0.096	476.5	
	灰中	ng-TEQ/g	0.0020	0.0015	0.035	
	飛灰中	ng-TEQ/g	9.2	0.61	—	
Co P C B	排ガス中	ng-TEQ/m ³ N	0.0080~0.015	0.0000027 ~0.0000037	0.91~0.76	
	灰中	ng-TEQ/g	0.0000021	0.000024	0.0014	
	飛灰中	ng-TEQ/g	0.095	0.0052	—	

注) 排ガス中濃度はO₂12%換算値

4.4 考察

通常のRDFを燃焼した場合、排ガス中のダイオキシン類濃度は0.1~0.5ng-TEQ/m³Nである報告が多いが、いずれも排ガス処理にBFを用いた場合である。この値に対して、本調査研究の施設Aではやや高く(1.21ng-TEQ/m³N)、施設Bでは低い(0.008ng-TEQ/m³N)値となっている。この理由は、施設AではBFではなくEPを使用していることが考えられる。また、RDFにあらかじめ消石灰を2%程度添加しておくことでダイオキシン類の削減効果があるとされており、本調査研究で使用したRDFには消石灰が添加されていなかったことも要因として考えられる。一方、施設Bでは極めて低いダイオキシン類濃度となっているが、活性炭吹き込みの効果が出ているものと考えられる。

施設Cでは、排ガス中のダイオキシン類濃度が45ng-TEQ/m³Nと、かなり高い値になっているが、排ガス処理設備のない小型焼却炉では、RDFの場合でもこのような高濃度に達することを示している。文献でも、排ガス処理設備のない実験室規模の小型焼却炉においてRDFを燃焼した場合、RDF中の金属濃度が高いと、220ng-TEQ/m³Nのレベルのダイオキシン類濃度の報告例がある。

本調査研究におけるRDFの燃焼実験では、排ガス処理条件によってダイオキシン類濃度が大きく変わること示しているが、排ガス処理条件以外にも、RDF中のCa濃度、金属濃度、塩素濃度によるダイオキシン類濃度の変動が報告されており、今後さらに検討を進める必要がある。