

はじめに

平成9年1月に厚生省より「ごみ処理に係るダイオキシン類発生防止等ガイドライン」(新ガイドライン)が示され、また、平成11年7月に「ダイオキシン類対策特別措置法」が公布され、我が国の廃棄物処理における環境保全対策は新しい局面を迎えることとなった。

このガイドラインでは、ごみ処理に係るダイオキシン類の排出削減のための総合的なプログラムが盛り込まれており、廃棄物処理過程におけるダイオキシン類の排出削減対策の推進を図るとともに対策の推進状況について継続的にフォローアップすることが極めて重要な意味を持つことが示されている。

以上の状況を踏まえ、本研究では、ダイオキシン類の排出削減対策のフォローアップ検証、環境中のダイオキシン類の挙動調査、焼却対象物とダイオキシン生成の関係及び新たなダイオキシン類の処理・削減技術等の廃棄物処理におけるダイオキシン類の発生と挙動に関する総合的な調査・研究を、平成9年度から3ヵ年計画で実施した。

本研究の実施に当たっては、厚生省から厚生科学研究費補助金を受け、当財団内に学識経験者、地方自治体及び民間企業からなる「廃棄物処理におけるダイオキシン類の発生と挙動に関する調査研究委員会」を設置し、共同研究を行った。

ここに、本研究をご指導いただいた酒井委員長をはじめ、参画された各委員並びに貴重なご意見・ご助言を戴いた関係各位に厚くお礼申し上げる次第である。

平成12年3月

財団法人 廃棄物研究財団
理事長 山村勝美

廃棄物処理におけるダイオキシン類の発生と挙動に関する研究委員会名簿

	氏名	所属
委員長	酒井伸一	京都大学 環境保全センター 助教授
委員	岩本文哉	兵庫県生活文化部環境局環境整備課産業廃棄物対策室長
"	柴田真年	北海道環境生活部環境室廃棄物対策課一般廃棄物係長
"	大迫政浩	国立公衆衛生院 廃棄物工学部 主任研究官
"	岡島重信	立命館大学 総合理工学研究機構 エコ・テクノロジー研究センター 客員研究員
"	川本克也	関東学院大学 工学部建築設備工学科 教授
"	栗原英隆	横浜市環境事業局施設部 部次長兼施設課長
"	小林陽一	仙台市環境局環境部環境計画課 計画係長
"	佐藤研二	東邦大学 理学部物理学科 教授
"	澤地 實	大阪市環境事業局 処理技術担当部長
"	塩崎良治	大津市環境部環境企画課 参事
"	田辺信介	愛媛大学 沿岸環境科学研究センター 教授
"	中村一夫	京都市環境局環境企画部地球環境政策課 担当課長
"	藤吉秀昭	(財)日本環境衛生センター 環境工学部 次長
"	安田憲二	神奈川県環境科学センター 環境工学部 副部長
"	渡辺 功	大阪府立公衆衛生研究所 環境衛生課 主任研究員

廃棄物の組成とダイオキシン類の生成に関する研究

平成9～11年度 総合報告書

目次

	頁
第1章 調査研究の目的と概要	
1. 調査目的	1
2. 調査全体計画	1
第2章 廃棄物の組成とダイオキシン類の生成に関する研究	
1. 塩素源とダイオキシン類生成との関係に関する文献調査	3
2. ダイオキシン類生成に関する海外動向調査	7
3. 実焼却炉における焼却物の組成とダイオキシン類の生成との関係	9
4. 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	14
5. RDF燃焼時におけるダイオキシン類の挙動調査	17
6. くん焼状態でのダイオキシン類発生状況の把握研究	20

平成11年度 総括報告書

目次

	頁
第1章 調査研究の目的と概要	
1. 調査目的	25
2. 調査全体計画	25
3. 調査研究概要	26
第2章 廃棄物の組成とダイオキシン類の生成に関する研究	
1. ダイオキシン類生成に関する海外動向調査	41
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	49
3. RDF燃焼時におけるダイオキシン類の挙動調査	73
4. くん焼状態でのダイオキシン類発生状況の把握研究	85

平成9～11年度

総 合 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）の研究テーマに分け、さらに表 1-1 に示すように分割し調査研究をおこなった。

- （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排出削減の改造とその効果に関する研究
- （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

調査研究の実施にあたり、「廃棄物処理におけるダイオキシン類発生と挙動に関する研究委員会」を組織し、平成9年度から平成11年度の3年間の調査研究を行った。なお、平成11年度については、本研究の一部について「廃棄物処理残さ物のダイオキシン類対策に関する研究委員会」を組織し調査研究を行った。

表 1-1 廃棄物処理におけるダイオキシン類の発生と挙動に関する調査研究項目

調査研究項目	平成 9年度	平成 10年度	平成 11年度
廃棄物の組成とダイオキシン類の生成に関する研究			
<ul style="list-style-type: none"> ・塩素源とダイオキシン類生成との関係に関する文献調査 ・ダイオキシン類生成に関する海外動向調査 ・実焼却炉における焼却物の組成とダイオキシン類の生成との関係 ・燃烧過程における塩素源とダイオキシン類の生成挙動調査 ・RDF 燃烧時におけるダイオキシン類の挙動調査 ・くん焼状態でのダイオキシン類発生状況の把握 	○ ○	○ ○	○ ○ ○
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			
<ul style="list-style-type: none"> ・ダイオキシン類の大気沈降沈着解析 ・ダイオキシン類の拡散予測モデル ・廃棄物焼却施設からのダイオキシン類環境影響把握調査 ・豊能郡美化センターにおけるダイオキシン類の発生と挙動調査 	○	○ ○ ○ ○	○ ○ ○
ごみ処理施設におけるダイオキシン排出削減の改造とその効果に関する研究			
<ul style="list-style-type: none"> ・ごみ焼却施設からのダイオキシン類総排出量実態調査 ・ごみ焼却施設からの総排出量実態調査 ・設備改造によるダイオキシン類削減調査 ・活性炭吸着による排ガス中のダイオキシン類分解処理技術 ・ごみ焼却施設周辺環境等のダイオキシン類調査 ・ごみ焼却施設の改善効果に関する研究 ・大阪湾等のダイオキシン類歴史トレンド解析 ・コンポストによるリサイクルフローの解析 ・広域化等によるシステムの経済性の検討 	○ ○ ○ ○ ○ ○ ○	○ ○ ○ ○ ○ ○ ○	○ ○ ○ ○ ○
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			
<ul style="list-style-type: none"> ・集じん灰処理方式によるダイオキシン類等溶出抑制効果 ・焼却残渣のダイオキシン類と循環・安定化手法の検討 ・超臨界水による飛灰処理技術 ・溶融脱塩素化に関する調査 ・廃水処理汚泥の安定化処理に関する研究 ・処理過程でのダイオキシン類の挙動に関する研究 ・ダイオキシン類を含む残渣物の実態、低減化技術に関する調査 ・処理した残渣物のリサイクルに関する調査 ・ダイオキシン類特別措置法と現状対策技術を比較した対応策の検討 ・洗煙排水処理の高度化に関する研究 	○ ○	○ ○	○ ○ ○ ○ ○ ○

(注) ○印は調査研究の実施を示す。

第2章 廃棄物の組成とダイオキシン類の生成に関する研究

1. 塩素源とダイオキシン類生成との関係に関する文献調査

塩素源とダイオキシン類の生成に関する内外の文献、約70件を収集し、整理した。焼却物の塩素含有量あるいはそのパラメータである焼却排ガス中の塩化水素濃度とダイオキシン類生成量との関係に関する報告は比較的多い。

主な文献レビューを表2-1-1に示すが、焼却物の組成とダイオキシン類の生成に関する最初のレビューは、1987年のMageeらによるものである。著者らの結論は、PVC含有量とダイオキシン類生成量との間に相関関係は認められないとするものであった。その後、1994年にThomasらは、米国における各種焼却物の燃焼結果を総合して、塩素含有量とダイオキシン類の生成との間に相関関係があるとしている。ただし、この報告は統計的な解析がなされておらず、複数の研究者から異論が提出されている。すなわち、Thomasらによる個々のデータを再分析すると、塩素含有量とダイオキシン類生成量との間には統計的に意味のある関係が認められないとしている。最も最近の包括的な報告は、米国機械工学会の委託によるRigoらの1995年の報告である。この報告は169施設による1,900のデータを調査対象とし、投入塩素量とダイオキシン類が同時に測定された107基の設備について統計的な解析を実施したものである。その結論は、「塩素量がダイオキシン濃度に及ぼす影響が如何なるものであれ、それは他の要因（排ガス処理条件、灰の化学的組成、燃焼条件、測定精度、局部流動等）の影響に比べるとはるかに小さい」とし、塩素濃度とダイオキシン濃度との相関関係があるとは言えないとしている。この結論に対して、グリーンピースは、個々の施設における塩素濃度とダイオキシン類濃度との相関係数をみると、負の相関より正の相関が優勢であり、したがって両者の間には相関関係があると主張している。これに対してRigoらは、塩素濃度以外の要因を無視した相関係数による判断には誤りがあり、それらの要因を考慮した厳密な統計的解析が必要であり、Rigoらの分析はそのような厳密な統計分析による結論であるとしてグリーンピースに反論している。

上記のような総括的な解析、あるいはレビューの他に、個々の単発的な実験データによる報告も少なくない。しかし、その内容を吟味すると、数少ないデータから結論を引き出しているもの、塩素濃度が高い場合と低い場合との燃焼条件が異なっているものな

どの問題点があるものもあり、結論をそのまま受け入れにくい報告も散見された。これらの報告も含まれるが、全体的には、塩素（塩化水素）濃度とダイオキシン類との相関関係に関する各文献の結論はまちまちであった。すなわち、相関関係がないとする文献数は全体の半数近くを占めるが、相関関係があるとする文献も3割程度は占めている。残りの文献は相関関係がないとは言えないが不明確であるとするものであった。

このうち、特にPVCと都市ごみとの実機による焼却データに限定すると9件の報告（表2-1-2参照）があるが、PVCとダイオキシン類との相関を認めている報告は2件であった。9件の報告のうち、最も計画的にかつ大規模に行われた実験は1987年の米国ピッツフィールドにおける実験であるが、この実験による結論では、PVCとダイオキシン類との関係は認められていない。

以上のように、各報告の結論はまちまちであり、文献調査の結果からは、PVC等の塩素濃度とダイオキシン類との関係の有無を一義的に決めることはできない。しかし、全体を通して言えることは、データのばらつきがきわめて大きいということである。この理由は、ダイオキシン類生成に対する要因が多いことにある。中でも燃焼条件や排ガス処理条件が重要であり、これらの変動によりダイオキシン類の生成量が大きく変化する。その結果、塩素あるいは塩化水素濃度のダイオキシン類生成に対する影響があったとしても、他の要因の変動に比較して小さく検出されにくいということになる。このことは、塩素濃度の制御よりも他の重要な要因に留意すべきであるとする主張につながり、それを結論としている文献も少なくなかった。その代表的な例は、欧州の専門家会議が1991年に示した、「都市ごみ焼却のダイオキシン類生成を低減する最善の方法は、ある種の廃棄物を事前除去する方向よりは、良好な制御条件下の燃焼、すなわち十分な高温、適切な滞留時間、過剰酸素、混合とガス処理設備によるのが適切である」という見解であろう。

なお、食塩などの無機塩素源からも燃焼系で塩化水素が発生することが知られており、無機塩素からのダイオキシン類の生成に関する報告もある。都市ごみ中の無機塩素に起因するダイオキシン類の生成についても留意する必要がある。

表 2-1-1 塩素源／ダイオキシンに関する主な文献レビュー

<p>表題：焼却プロセスからのダイオキシンの放散；供給原料組成の役割 出典：Magee, R. S., et al. : Conf. Curr. Concerns Toxic, Vol. 3, 81-95, 1987. 要旨：1987年当時の文献レビュー。結論として、都市ごみ中のPVC含有量はダイオキシン生成量には関係しない。</p>
<p>表題：ダイオキシンの測定と制御に関する専門家の見解 出典：Vereniging LUCHT, Society for Clean Air in The Netherlands, Nov. 1991. 要旨：塩素濃度のダイオキシン生成に対する影響は小さく、ダイオキシンを低減する最善の方法は適切な燃焼条件と排ガス処理条件が重要である。</p>
<p>表題：都市ごみの焼却におけるPVC類のダイオキシンの発生に及ぼす影響 出典：Solid Waste Assoc. : US DOE Rep., NREL-TP-430-5518, 1993. 要旨：ダイオキシンの抑制には燃焼条件が重要であり都市ごみからPVCを除去してもダイオキシンは減少しない。</p>
<p>表題：米国におけるPCDD/F排出；歴史と燃焼物の塩素との関係 出典：Thomas, V., et al. : Organohalogen Compounds, Vol. 20, 367-372, 1994. 要旨：燃焼物中の塩素濃度とダイオキシン排出係数には両対数スケールで関係がある。特に悪い燃焼条件下では両者の相関関係がある。</p>
<p>表題：種々の燃焼形態におけるダイオキシン排出係数と塩素との関係 出典：Carroll, Jr. W. F. : Organohalogen Compounds, Vol. 27, 122-126, 1996. 要旨：上記Thomasらの示した結果の原データを相関検定したところ、14ppm以上の塩素濃度ではダイオキシン排出係数との相関関係はなかった。</p>
<p>表題：塩素はダイオキシン発生に連動するか？ — そんな単純ではない 出典：Shaub, W. M. : Resour. Conserv. Recycl., Vol. 14, No. 2, 157-170, 1995. 要旨：燃焼物中の塩素含有量とダイオキシン発生量との因果関係は不明確であり燃焼条件等、他に重要な要因がある。</p>
<p>表題：英国における廃棄物焼却プラントからのダイオキシン類の排出 出典：P. W. Cains, et al. : Chemosphere, Vol. 28, No. 12, 2101-2119, 1994. 要旨：HC1濃度とダイオキシン濃度との単純な相関は認められない。ダイオキシン類抑制のためには更に基本的なメカニズムの探究が必要</p>
<p>表題：廃棄物中の塩素と焼却排ガスによるダイオキシン類排出との関係 出典：H. G. Rigo, et al. : ASME Research Report, CRTD-Vol. 36, 1995. 要旨：各種施設の1900点以上のデータを解析、塩化水素、投入塩素量とダイオキシンとの相関があるとは言えない。</p>
<p>表題：廃棄物焼却炉における投入塩素とダイオキシン排出との関係 出典：Pat Costner (Greenpeace) : IEA-ISWMG/JWRF Seminar, 1997. 要旨：上記Rigoらの原データを再解析し、HC1/DXNの正相関が優先しており塩化水素濃度の増加が高ダイオキシン濃度につながると主張</p>

表 2-1-2 PVCとダイオキシン類との関係 (都市ごみ焼却炉)

<p>表題：都市焼却炉中でのPVCからダイオキシン等の生成に関するガスクロマトグラフィー 出典：Karasek, F. W., et al. : Chromatogr., Vol. 270, 227-234(1983) 要旨：都市ごみ焼却炉に通常のPVC濃度(1%)の3倍のPVCを添加したが、飛灰中のダイオキシン濃度は上昇しなかった。</p>
<p>表題：マサチューセッツ州ピッツフィールドにおけるVICON焼却炉の燃焼及び放出試験結果 出典：Nyserda : NYSERDA Report 87-16, July(1987) 要旨：ダイオキシン生成には燃焼温度の影響が最も大。PVC含有量の影響はなかった。</p>
<p>表題：都市固形廃棄物におけるPVCの環境問題に対するビニル工業の応答 出典：Roy T. Gottesman, et al. : Energy Prog., Vol. 8, No. 3, 148-153(1988) 要旨：PVCの含有量とダイオキシン生成との間には統計的に明確な関係がなかった。</p>
<p>表題：都市ごみ焼却炉におけるPCDD/F生成に対する影響 出典：Nottrodt, A., et al. : Chemosphere, Vol. 19, No. 1-6, 309-316(1989) 要旨：各焼却物(都市ごみ、PVCを取り除いた都市ごみ、紙、紙+PVC等)とも、ダイオキシンの生成レベルは同じであった。</p>
<p>表題：有機塩素(PVC)含有量の大きい都市固体廃棄物の焼却からのダイオキシン類及び関連化合物の排出 出典：Giugliano, M., et al. : Chemosphere, Vol. 19, No. 1/6, 407-411(1989) 要旨：都市ごみにPVCを10%まで添加しても、ダイオキシン類の濃度はN. D.であった。</p>
<p>表題：都市ごみ焼却炉におけるダイオキシン類生成に対する塩素源の重要性 出典：Vikelsoe, J., et al. : Organohalogen Compounds, Vol. 3, 307-310(1990) 要旨：PVCの負荷を2倍量にしたときのダイオキシン類が$3.2 \pm 1.0\%$増加し、PVCの影響が認められた。</p>
<p>表題：医療廃棄物及び都市ごみ焼却炉：廃棄物中のPVCと排出される有機微量有害物質との相互関係 出典：Boschi, G., et al. : Organohalogen Compounds, Vol. 9, 37-38(1992) 要旨：都市ごみ、医療廃棄物を処理している二つの焼却炉の17ヶ月間のデータ解析。PVC1~2%の添加によるダイオキシン生成増はなかった。</p>
<p>表題：分別プラスチックごみ混焼時の都市ごみ焼却炉における投入物質、固形残留物及び排ガス中PCDD/F 出典：W. Funcke, et al. : Emission Control, Vol. 23, 461-466(1995) 要旨：都市ごみ中のプラスチック含有量とダイオキシン生成量との間には関係がなかった。</p>
<p>表題：プラスチック分別による焼却炉のダイオキシン類低減効果に対するごみ組成からの検討 出典：佐藤茂夫ら：第7回廃棄物学会研究発表会論文集, 178-180(1996) 要旨：都市ごみからプラスチック類を分別することにより、ダイオキシン類が$1/3 \sim 1/9$に減少した。</p>

2. ダイオキシン類生成に関する海外動向調査

海外におけるダイオキシン類の生成に関する研究動向及び廃棄物の処理動向について、欧州の動向を中心にした調査を行った。調査結果の概要は以下のとおりである。

2. 1 PVC製品中及びPVCの製造過程におけるダイオキシン類

最初に、PVCあるいはその原料である塩化ビニルモノマーの製造過程で排出されるダイオキシン類については、その排出量は非常に低いことが確認されている。いくつかのデータがあるが、たとえば米国においては、PVCやその原料の製造過程で排出されるダイオキシン類の総量は、ダイオキシン類の各発生源からの総排出量の1%以下であるという試算例がある。一方、PVC製品中に含まれるダイオキシン類の濃度の測定例もあるが、そのレベルは不検出か0.04pg-TEQ/gのレベルであり、PVC製の包装材料から食品中に移行するダイオキシン類の量は問題になるほどの値ではない。

2. 2 PVCとダイオキシン類生成との関係

次に、PVCあるいはPVCを含む廃棄物を焼却した場合のダイオキシン類の生成について考察する。ダイオキシン類の生成メカニズムについては、まだ完全に解明されているわけではないが、燃焼温度、滞留時間、酸素、焼却排ガスの冷却温度、触媒となる金属、廃棄物中の硫黄の含有量等の数多くの要因がダイオキシン類の生成に関係している。このうち塩素源について言えば、PVCが塩素源になることはもちろんであるが、無機塩素も同様に塩素供給源となること、無機塩素から転化した塩化水素の量だけでも、通常のダイオキシン類の生成量より数オーダー高い塩素量であることが指摘できる。

以上のような結論は独バイロイト大学のDr. Fiedlerの見解であり、これまでの文献調査の結果に基づくものである。

2. 3 欧州におけるダイオキシン類の規制と削減動向

EUの計画では、ダイオキシン類の排出量を1985年当時のレベルの90%を2005年には削減することとなっている。EUのダイオキシン類排出基準値は0.1ng-TEQ/m³Nであるが、規制の対象は有害廃棄物の焼却施設に限定されている。しかし、ダイオキシン類の各排出源のうち、非有害性廃棄物の焼却施設が総排出量40%を占めているという試算例も

あり、特に旧型の都市ごみ焼却施設は重要な排出源の一つである。このため、オーストリア、オランダ、ドイツではEUの基準値をすべての焼却施設に適用している。EUにおいても1998年のプロトコルにおいて、毎時3tを越える都市ごみ焼却施設においては、ダイオキシン類の排出基準値を0.1ng-TEQ/m³Nにすることが提案されている。

ドイツにおける都市ごみ焼却施設からのダイオキシン類の平均排出濃度と排出量の実績及び予測は表2-2-1に示すとおりである。

表 2-2-1 ドイツにおける都市ごみ焼却施設からのダイオキシン類排出量

	1990	1995	2000
平均濃度 (ng-TEQ/m ³ N)	8	0.5	0.05
排出量 (g-TEQ/y)	400	30	1.3

なお、ドイツにおける廃棄物政策の基本は、①廃棄物排出量の削減、②廃棄物のリサイクル又はエネルギー回収の二つである。廃棄物焼却の条件は、850℃、2秒以上(酸素濃度6%)に規制されており、ダイオキシン類の測定は年1回であるが、サンプルは異なった3日に採取、採取時間は6～16時間とされている。

一方、英国における1996年の都市ごみ焼却施設からのダイオキシン類の排出は、旧プラントで510-2400g-TEQ/y、新プラントで14-38g-TEQ/yと試算されている。ただし、旧プラントは1996年末には閉鎖又は改造されている。

2.4 PVC製品の使用規制に関する動向

ドイツのいくつかの地方自治体において、PVCの建築分野での使用の禁止あるいは使用制限が実施されつつあり、このことに関するEUの公式な判断を問う質問状が1998年6月に、委員会に提出された。これに対するEU委員会の判断はまだ出ていないが、現在調査中であり、調査結果が出しだい報告されることになっている。

3. 実焼却炉における焼却物の組成とダイオキシン類の生成との関係

3. 1 目的

事業所用小型焼却炉及び大型都市ごみ焼却施設の、規模の違う2つの焼却施設において、組成を変えたごみを焼却した際の測定を行う。ダイオキシン類生成と制御に係る「ごみ分別の効果」の不明な部分について調査し、プラスチック類の混入を避けたときの効果など、「ごみの分別」が「ダイオキシン類生成の潜在的可能性の低減」に繋がるかどうかを、実際のごみを用いて調べ、定量的にその根拠を示すデータを得ようとするを目的とする。

3. 2 事業所用小型焼却炉での測定結果およびごみ質調査

1) 測定概要

測定場所	某社 A事業所 小型焼却炉 固定床、バッチ投入、平衡通風、乾式サイロン；能力80kg/h、バッチ2～3時間
測定条件	RUN1：塩化ビニール混入なしの理想条件＝梱包木材と回収古紙のみ
	RUN2：日常的に処理しているごみ
	RUN3：RUN2＋「模擬ごみ＝農業用塩化ビニールと新聞紙の混合ごみ」

2) 測定結果

本実験におけるごみ質の分析結果を表2-3-1に、定常時の排ガス分析結果並びに焼却灰・集塵灰中のダイオキシン類濃度を表2-3-2に示す。

表2-3-1 ごみ質分析結果

		一般ごみ		梱包木材	回収古紙	模擬ごみ	廃ワックス
		RUN2	RUN3				
三成分 [%]	可燃分	85.2	80.6	84.6	94.2	85.9	92.1
	灰分	3.7	8.2	6.3	5.6	11.9	3.6
	水分	11.1	11.2	9.1	0.2	2.2	4.3
元素組成 *1 [%]	炭素	40.49	37.62	40.44	41.41	35.85	59.80
	水素	5.40	5.14	4.74	5.35	4.58	6.04
	窒素	0.41	0.50	0.46	<0.01	<0.01	0.23
	硫黄	0.02	0.01	<0.01	0.09	0.05	0.01
	塩素	0.66	0.50	0.39	0.67	19.89	0.72
	酸素	38.22	36.87	38.57	46.68	25.54	25.31
物理組成 *2 [%]	紙類	84.1	72.1	/	/	/	/
	厨芥類	1.3	0.2				
	布類	0.0	0.1				
	草木類	0.4	1.8				
	プラスチック類	13.6	22.3				
	ゴム・皮革類	0.0	0.1				
	金属類	0.5	3.4				
	ガラス類	0.0	0.0				
	陶器・石類	0.0	0.0				
その他	0.1	0.0					
低位発熱量 [kcal/kg]		3990	4280	3870	3710	5060	8010
見掛比重 [kg/l]		0.035	0.053	0.138	0.400	/	/

※1：元素組成は可燃分中組成（湿物基準）

※2：物理組成は乾燥物あたりの値

表2-3-2 排ガス分析結果及び灰中ダイオキシン類濃度

	RUN 1	RUN 2	RUN 3
炉出口ガス温度 [°C]	729	733	901
煙突中間ガス温度 [°C]	465	537	584
煙突出口ガス温度 [°C]	273	310	306
湿り排ガス量 [m³N/h]	2,540	2,510	2,530
乾き排ガス量 [m³N/h]	2,480	2,410	2,370
水分率 [%]	2.7	4.2	6.4
O ₂ [%]	19.0	15.9	17.0
SO _x * [ppm]	38	39	31
NO _x * [ppm]	105	91	<10
HCl* [mg/m³N]	<30	257	4,580
ばいじん* [g/m³N]	0.170	0.278	1.43
HCN [ppm]	<0.15	<0.15	<0.15
CO [ppm]	11	140	202
CBs [μg/m³N]	13.4	77.9	20.9
CPs [μg/m³N]	2.32	130	44.9
ダイオキシン類 [ng-TEQ/m³N]	4.3	86	29
焼却灰中ダイオキシン類 [ng-TEQ/g]	0.048	0.21	1.4
集塵灰中ダイオキシン類 [ng-TEQ/g]	0.024	0.44	0.27

※排ガス中SO_x, NO_x, HCl, ばいじん, ダイオキシン類濃度はO₂12%換算値

3. 3 大型都市ごみ焼却施設での測定結果およびごみ質調査

1) 調査概要

(1) 供試施設

施設名称：Aクリーンセンター

焼却能力：125t/24h×3系列=375t/d（測定は2号炉）

炉形式：火格子

排ガス処理：無触媒脱硝+乾式消石灰噴霧+バグフィルタ

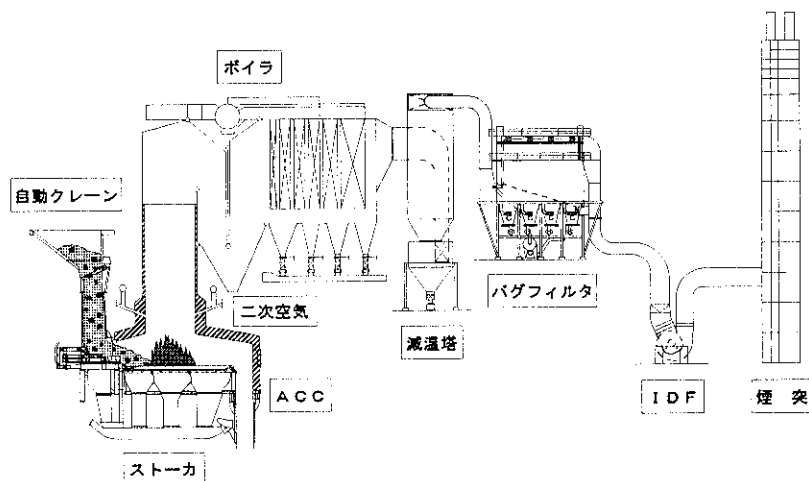


図2-3-1 Aクリーンセンター概略図

(2) 運転条件

RUN 4 (定常運転時)、RUN 5 (減温塔出口温度の低減下での排ガス測定)、
 RUN 6 (ごみ中への廃プラスチック添加率 10%での排ガス測定) の 3 条件のもと
 での排ガス測定、及び RUN 1 におけるごみ質分析。

2) 測定結果

ごみ質の測定結果を表 2-3-3 に、排ガス測定結果を表 2-3-4 に示す。

表2-3-3 ごみ質測定結果

項 目	湿重量比 (湿%)	乾重量比 (乾%)	種 類 別 分 析 値				
			水 分 湿 %	可燃分 湿 %	灰 分 湿 %	塩 素 乾 %	低位発熱量 (kcal/kg)
紙 類	54.24	56.50	43.48	49.75	6.77	0.12	1,710
木・竹・わら	3.13	2.50	56.62	42.21	1.17	0.16	1,450
繊維・布・皮革類	4.36	4.91	39.06	59.01	1.93	0.33	2,270
厨 芥 類	21.70	14.12	64.48	30.14	5.18	0.21	1,050
塩化ビニール	0.45	0.54	36.44	62.51	1.05	28.35	3,790
塩化ビニリデン	0.11	0.11	45.65	53.24	1.11	59.47	1,790
P E T	0.26	0.45	4.55	95.45	0.00	0.27	8,910
PO (PP/PE/PS)	8.26	11.41	25.00	73.02	1.98	0.18	6,810
その他のプラスチック	1.36	1.76	29.69	67.34	2.97	0.56	6,100
(プラスチック類小計)	(10.44)	(14.27)	25.85	72.14	2.01	1.77	—
その他(複合物)	3.76	3.08	43.00	49.63	7.37	0.68	2,910
金 属 類	0.97	1.46	17.48	12.27	70.25	—	—
土 砂 ・ 石	1.42	2.23	15.00	18.88	66.12	—	—
合 計	100.00	100.00	45.75	47.23	7.02	0.40	—

(上記からの計算値)

	ご み 中 (乾/湿%)	可燃分中 (%)	プラスチック中 (乾/乾%)
塩素濃度	0.21	0.46	1.77
塩化ビニール	0.29	0.62	3.79
塩化ビニリデン	0.58	0.13	0.79
塩化ビニール+塩化ビニリデン	0.87	0.75	4.58

廃プラスチックごみ (リサイクル施設から排出されたプラスチックごみ) の種類組成 (乾重量%)

塩化ビニール	4.6
塩化ビニリデン	0.1
P E T	29.0
PO (PP/PT/PS)	64.3
その他のプラスチック	2.0

表2-3-4 排ガス測定結果

	RUN 4		RUN 5		RUN 6	
混合前プラスチック含有率 [%]	-		10.8		10.8	
廃プラ添加率 [%]	添加なし		添加なし		ごみ：廃プラ=10：1	
混合後プラスチック含有率 [%]	(約15)* ¹		10.8		(18)* ²	
推定ごみ発熱量 [kcal/kg]	2,400		2,200		2,500	
推定ごみ処理量 [t/h]	4.7		5.0		4.6	
二次燃焼室温度 [°C]	845		821		844	
バグフィル入口温度 [°C]	160		150		150	
	ボイラ出口	煙突	ボイラ出口	煙突	ボイラ出口	煙突
湿ガス量 [m ³ N/h]	29,100	39,500	36,000	40,000	32,000	36,000
乾ガス量 [m ³ N/h]	22,700	35,100	27,000	32,000	24,000	28,000
水分率 [%]	21.9	11.3	23.6	19.8	23.0	21.7
酸素濃度 [%]	7.1	10.7	7.3	12.2	7.7	10.9
排ガス温度 [°C]	184	147	201	132	211	132
ダスト濃度 [g/m ³ N]* ³	-	0.0002	2.32	0.0014	2.06	0.0045
硫黄酸化物濃度 [ppm]	-	0.6	-	0.4	-	0.3
塩化水素濃度 [mg/m ³ N]	657	4.7	398	30	651	12
弗化水素濃度 [mg/m ³ N]	-	-	<0.3	<0.3	<0.3	<0.3
窒素酸化物濃度 [ppm]	-	64.7	-	64.9	-	61.6
一酸化炭素濃度 [ppm]	-	5.0	-	7.3	-	10.8
ダイキシン類 [ng-TEQ/m ³ N]	1.5	0.082	2.3	0.39	1.7	0.29

* 1. RUN 0ではごみ質を測定していないので、ボイラ出口塩化水素濃度からの推定値

* 2. 廃プラ中のプラスチックの割合を90%として計算した推定値

* 3. ダスト濃度は実測値、その他の濃度はO₂12%換算値

3.4 考察

ごみ中塩素濃度とダイオキシン類排出濃度との関係を見ると、小型焼却炉においては、紙と木のみを焼却したRUN 1では、ごみ中塩素濃度が極めて低く排ガス中の塩化水素濃度も検出限界値 (30 mg/m³N) 未満で、ダイオキシン類は1時間値 4.3 ng-TEQ/m³Nと低濃度であった。一方、RUN 2とRUN 3では、塩素濃度の影響よりも別のパラメータ (排ガ

ス温度、CO濃度など)の影響の方が顕著であるため、排ガス中の塩化水素濃度を 257mg/m³N から 4,580 mg/m³N と極端に上げたにもかかわらず、ダイオキシン類は 86ng/m³N から 29 ng/m³N に逆に低下した。

大型都市ごみ焼却施設では、RUN 5とRUN 6とで、ごみ中の塩素濃度を変えてダイオキシン類の排出濃度の変化を見ようと試みたが、結果的には両者ともほぼ同じレベルとなった。ボイラ出口の塩化水素濃度の値は、RUN 6が 651 mg/m³N となり、RUN 5の 398 mg/m³N より約1.5倍になったが、ダイオキシン類の濃度においては顕著な差は見られなかった。

以上のことから、ダイオキシン類の発生においては、ごみ中の塩素含有率より、燃焼制御など他の要因の方がより大きな影響を与えると推測される。

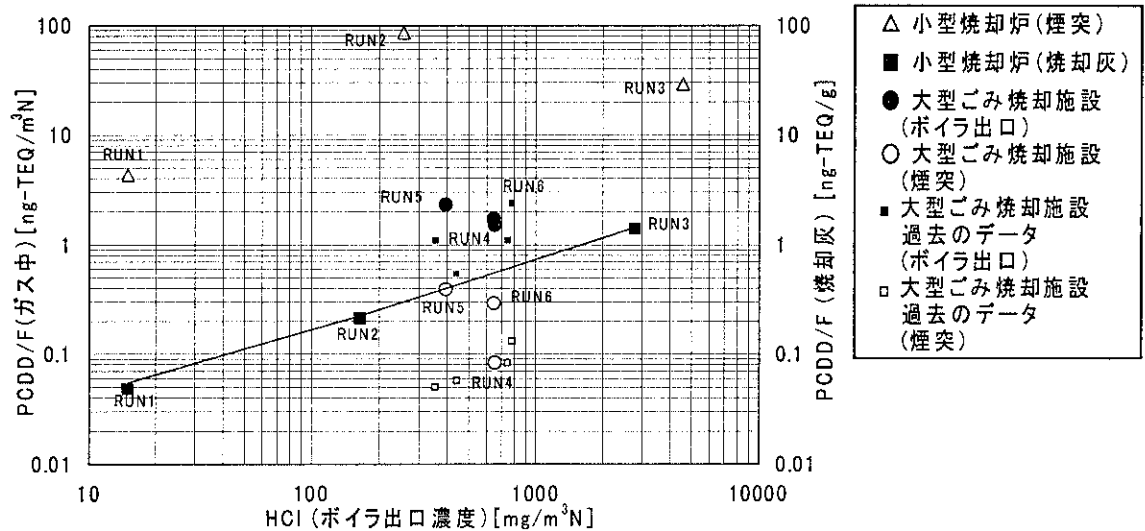


図2-3-2 ボイラ出口塩化水素濃度とダイオキシン類濃度の関係

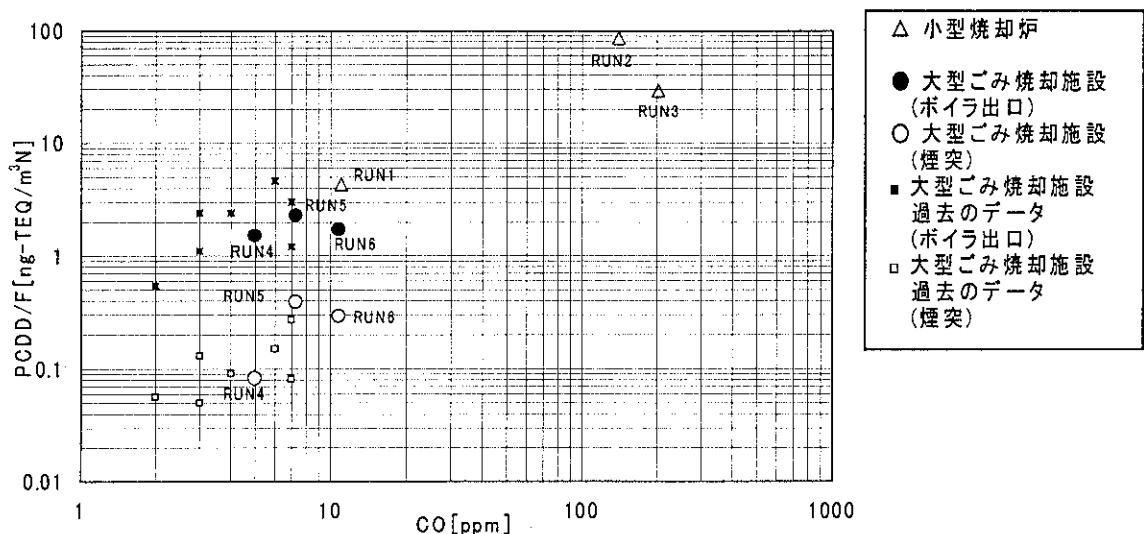


図2-3-3 CO濃度とダイオキシン類排出濃度の関係

4. 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

ごみ焼却施設からのダイオキシン類の挙動を調査するために、自治体が実際に収集したごみを試料として実験装置で燃焼実験を行い、ごみ中の塩素量や重金属類混入の影響を調査した。実験装置はキルン回転型一次焼却炉、竪型二次燃焼炉、ガス冷却ダクト、排ガス処理装置のスクラバ及び活性炭吸着塔より構成される装置を用いた。実験条件は塩素量や重金属の混入量を変えたごみ試料と燃焼条件の組合せにより、表2-4-1に示す実験条件を設定した。ここで、一次燃焼温度900℃は都市ごみ焼却炉を、一次燃焼温度600℃は小型焼却炉を模擬したものである。実験結果の概要は以下のとおりである。

4. 1 投入塩素濃度の影響

一次燃焼条件にかかわらず、投入試料の全塩素濃度、揮発性塩素濃度、無機塩素濃度のそれぞれに対して、一次燃焼炉出口排ガスのダイオキシン類濃度との間に正の相関が見られた。すなわち、ごみ試料中の無機塩素が等しい場合は、プラスチック試料を混入し、揮発性塩素濃度が高い方が一次燃焼出口のダイオキシン類濃度も高濃度であったが（図2-4-1のRun7とRun8, Run1とRun3, Run9とRun10, Run2とRun4の比較）、ごみ試料中の揮発性塩素が等しい場合は、無機塩素濃度の高い方がダイオキシン類濃度も高濃度であった（図2-4-1のRun7とRun1, Run8とRun3, Run9とRun2, Run10とRun4の比較）。ただし、一部矛盾したデータも存在した。また、揮発性塩素、無機塩素のいずれがダイオキシン類濃度と関係が深いかについては、明確な結論は得られなかった。排ガス処理後の活性炭吸着塔出口排ガスでは相関が見られず、ダイオキシン類濃度も低かったことから、適切な排ガス処理により、投入塩素の影響は低減されると考えられる。焼却残渣中のダイオキシン類と投入塩素濃度の間にはほとんど相関は見られなかった。

4. 2 重金属類混入の影響

投入金属濃度の増加に伴い、一次燃焼炉出口排ガス及び焼却残渣中のダイオキシン類濃度が増加した。この重金属混入の影響は、排ガス処理後の活性炭吸着塔出口

では低減されて、顕著ではなかった（図2-4-2, 2-4-3参照）。

今後の課題として、燃焼過程におけるダイオキシン類の生成挙動の解明のため、一次燃焼温度や空気比のみを単独で変化させた場合のダイオキシン類の生成挙動が重要であると考えられる。

表2-4-1 実験条件一覧

Run No.		Run 1	Run 3	Run 5	Run 2	Run 4	Run 6	Run 7	Run 8	Run 9	Run 10
投入試料		S1	S1+S2	S1+S2+S3	S1	S1+S2	S1+S2+S3	S1b	S1b+S2	S1b	S1b+S2
実験試料 供給量	RDF(dry) kg/hr	1.82	1.82	1.82	1.25	1.25	1.25	2.27	2.27	1.56	1.56
	RDF(wet) kg/hr	2.27	2.27	2.27	1.56	1.56	1.56	2.73	2.73	1.88	1.88
	水分割合 %	20	20	20	20	20	20	17	17	17	17
	PVC試料 g/hr	—	12.6	12.6	—	8.6	8.6	—	15.9	—	10.9
	PVDC試料 g/hr	—	2.6	2.6	—	1.8	1.8	—	3.2	—	2.2
	鉄 g/hr	—	—	30.9	—	—	21.3	—	—	—	—
	銅 g/hr	—	—	3.1	—	—	2.1	—	—	—	—
投入試料中 濃度	揮発性塩素 %DB	0.20	0.41	0.41	0.20	0.41	0.41	0.24	0.45	0.24	0.45
	無機塩素 %DB	0.23	0.27	0.27	0.23	0.27	0.27	0.02	0.06	0.02	0.06
	全塩素 %DB	0.43	0.69	0.67	0.43	0.69	0.67	0.26	0.52	0.26	0.52
	鉄 %DB	0.095	0.095	1.8	0.095	0.095	1.8	0.071	0.071	0.071	0.071
	銅 %DB	0.0090	0.0090	0.18	0.0090	0.0090	0.18	0.010	0.010	0.010	0.010
一次燃焼炉 燃焼条件	出口温度 ℃	900			600			900		600	
	空気比 —	1.5			7			1.5		7	
	燃焼空気量 Nm ³ /hr	12.3			39.5			12.3		39.5	
	出口O ₂ 濃度 %	7.1			18.1			7.1		18.1	
二次燃焼炉 燃焼条件	出口温度 ℃	900			900			900		900	
	滞留時間 sec	2			1			2		1	
	空気比 —	0.5			0			0.5		0	
	燃焼空気量 Nm ³ /hr	4.1			0			4.1		0	
	出口O ₂ 濃度 %	10.7			18.1			10.7		18.1	
ガス冷却 ダクト条件	出口温度 ℃	200						200			
	滞留時間 sec	2						2			

(※) S1: RDF試料 (紙類、木、竹、わら、厨芥類) S1b: 低Cl-RDF試料 (紙類、木、竹、わら)
S2: プラスチック試料 (PVC、PVDC) S3: 重金属類 (Fe、Cu)

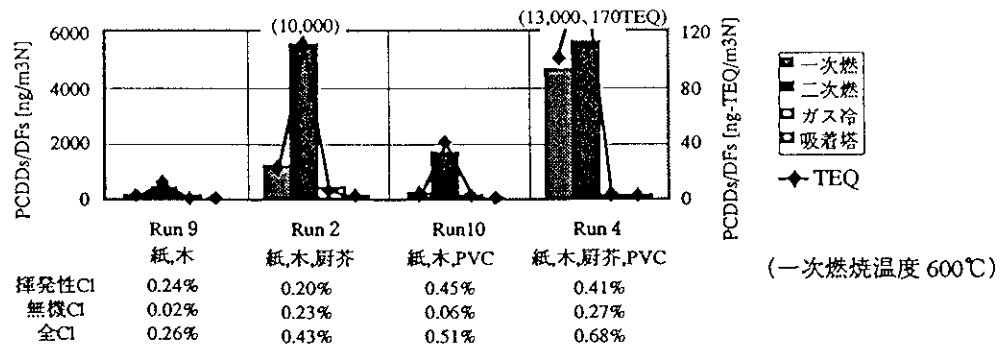
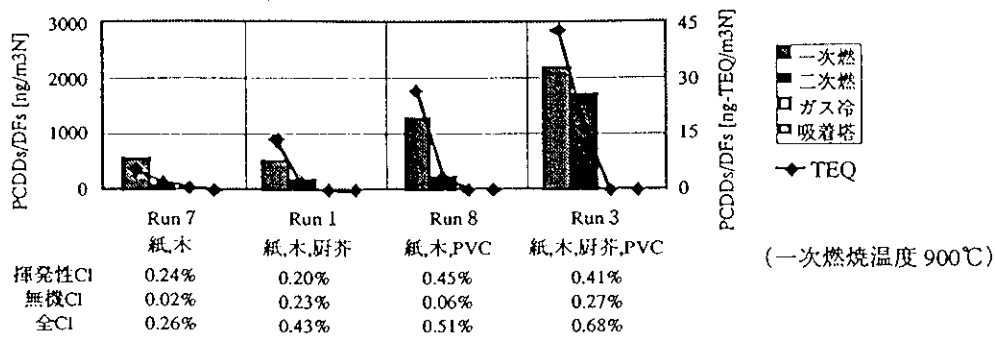


図2-4-1 排ガス中のダイオキシン類濃度

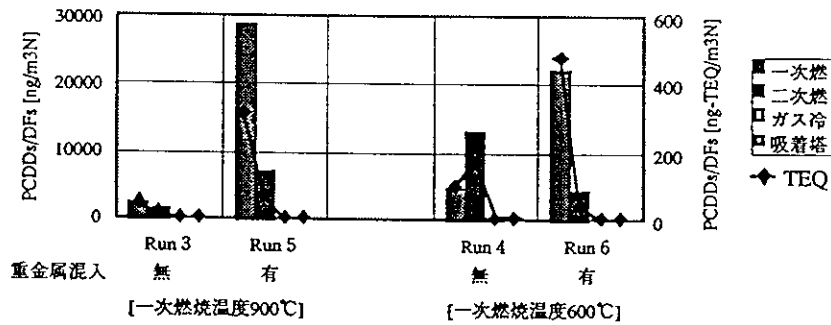


図2-4-2 重金属混入の有無による排ガス中のダイオキシン類濃度

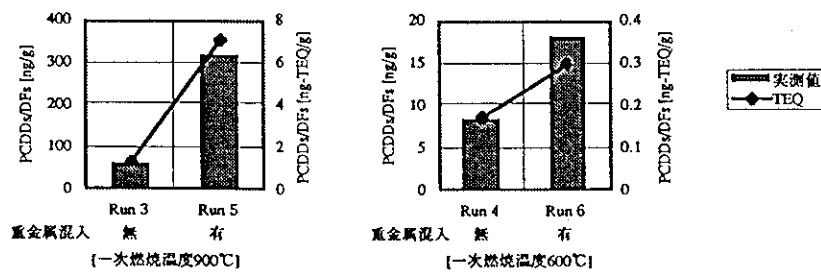


図2-4-3 重金属混入の有無による焼却残渣