

## [技術資料]

# 都市ごみ焼却施設における 一酸化炭素排出特性に関する調査研究

A study on CO generation mechanism in the combustion  
process of M.S.W incineration plants

尾崎 朋広<sup>\*</sup>, 藤吉 秀昭<sup>\*\*</sup>, 秋月 祐司<sup>\*\*</sup>

Tomohiro OZAKI, Hideaki FUJIYOSHI and Hiroshi AKIZUKI

## 1. はじめに

最近、都市ごみ焼却施設の排ガスや製紙工場の排水などからダイオキシン類が検出されたとの報道があり、ダイオキシン問題に対する関心が高まっている。

海外においては、ベトナム戦争の枯れ薬作戦で使用された除草剤にダイオキシン類が含まれていたことやイタリアのセベソにある農薬工場での爆発事故により大量のダイオキシン類が飛散したこと、米国のラブキャナルで農薬埋立地からダイオキシン類の溶出が発生したことなど、深刻な環境問題にまで発展した。

一方、我国においては、昭和58年<sup>\*</sup>愛媛大学農学部立川教授らの調査により、都市ごみ焼却施設の排ガスや焼却残渣にダイオキシン類が存在することが明らかにされ、大きな社会問題となった。これに対し厚生省は、諸外国の文献調査や実態調査の結果から都市ごみ焼却炉の排ガスや焼却灰には微量のダイオキシン類が存在するとしながらも直接人体に影響を与えるものではないとの見解を昭和59年5月に出した。

その後、社会の環境に対するより高度の要求を背景として、都市ごみ焼却炉から排出されるダイオキシン類をさらに低減化するための研究が続けられた。その結果、都市ごみ焼却炉で発生するダイオキシン類の大半は、未燃ガス中に含まれる前駆体と排ガス中の塩化水素などが反応して生成することが分かった。さらに、これらの前駆体は800℃以上の高温域では比較的短時間に分解し、またダイオキシン類の生成は、500～300℃の温度領域で

最も効率よく行われるとの報告がある。したがってダイオキシン類の発生を防止するためには、炉内での排ガスの完全燃焼の徹底を図ること及び生成温度領域における排ガスの滞留時間を極力短縮することが必要となってくる。

燃焼状態の指標としては連続測定が可能であり、ダイオキシン類発生量と高い相関関係があると言われている一酸化炭素(CO)が有効であるとされている。このようなことから平成2年12月26日付で厚生省から示された「ダイオキシン類発生防止等ガイドライン」によると、新設・既設を問わずCOの連続測定が義務付けられており、燃焼方式別に具体的な基準値が示されている。

しかし、既存の都市ごみ焼却炉についてCOの排出実態を調査した例は少なく、実際の運転管理面でCOを低減するための方策はほとんど示されていない。

そこで筆者は、いくつかの都市ごみ焼却施設においてCOの連続測定を行い、その測定値のコンピュータによる解析、並びにごみ質の分析や運転状況等の情報の解析により、都市ごみ焼却施設におけるCOの排出特性と、その低減化の方策について若干の知見を得たので報告する。

## 2. 調査方法

### 2.1 調査対象施設

調査対象施設として、それぞれ異なるメーカーのストーカ式焼却炉2施設、流動床式焼却炉2施設、回転燃焼ストーカ式焼却炉1施設を選定した。各施設の概要を表2-1に示す。なお、測定場所は空気の漏入による排ガス希釈の影響を避けるため、極力上流側(焼却炉に近い部分)にある排ガス測定口とした。

### 2.2 試料採取装置

試料採取装置は、パイレックス製ガス採取管(シリカ製円筒ろ紙付き)、耐圧ゴムホース、コンデンサ、ドレントラップ、ダイヤフラムポンプよりなる。試料採取装置

<sup>\*</sup> 北里大学衛生学部

School of Hygienic Science, KITASATO University

<sup>\*\*</sup> 財団法人環境衛生センター 東日本支局環境工学部

Department of Environmental Engineering, East Branch, Japan Environmental Sanitation Center

表2-1 測定対象施設の概要

	A施設	B施設	C施設	D施設	E施設
処理能力	75 t / 24 h × 2炉	75 t / 24 h × 2炉	69 t / 24 h × 2炉	60 t / 16 h × 3炉	120 t / 24 h × 2炉
燃焼方式	ストローカ式	ストローカ式	流動床式	流動床式	回転燃焼ストローカ式
処理方式	全連続燃焼式	全連続燃焼式	准連続燃焼式	准連続燃焼式	全連続燃焼式
受入れ・供給設備	ビット&クレーン式	ビット&クレーン式	ビット&クレーン式	ビット&クレーン式	ビット&クレーン式
前処理設備	なし	なし	破砕機	破砕機・破砕ビット	なし
燃焼設備	乾燥：揺動ストローカ 燃焼：揺動ストローカ	乾燥：揺動ストローカ 燃焼：揺動ストローカ	散気管式流動床式	散気管式流動床式	乾燥：回転ストローカ 燃焼：回転ストローカ
ガス冷却設備	後燃焼：揺動ストローカ 廃熱ボイラ	後燃焼：揺動ストローカ 水噴射式	水噴射式	水噴射式	廃熱ボイラ（過熱器付き）
排ガス処理設備	電気集じん器 乾式HCl除去装置	電気集じん器 乾式HCl除去装置	電気集じん器 乾式HCl除去装置 （炭酸カルシウム混焼式）	電気集じん器 乾式HCl除去装置 （炭酸カルシウム混焼式）	電気集じん器 乾式HCl除去装置
通風設備	平衡通風方式	平衡通風方式	平衡通風方式 （二次送風機付き）	平衡通風方式 （二次送風機付き）	平衡通風方式
灰出し設備	ビット&クレーン式	ビット&クレーン式	乾式パケットコンベヤ 灰バンカ	乾式パケットコンベヤ 灰バンカ	ビット&クレーン式

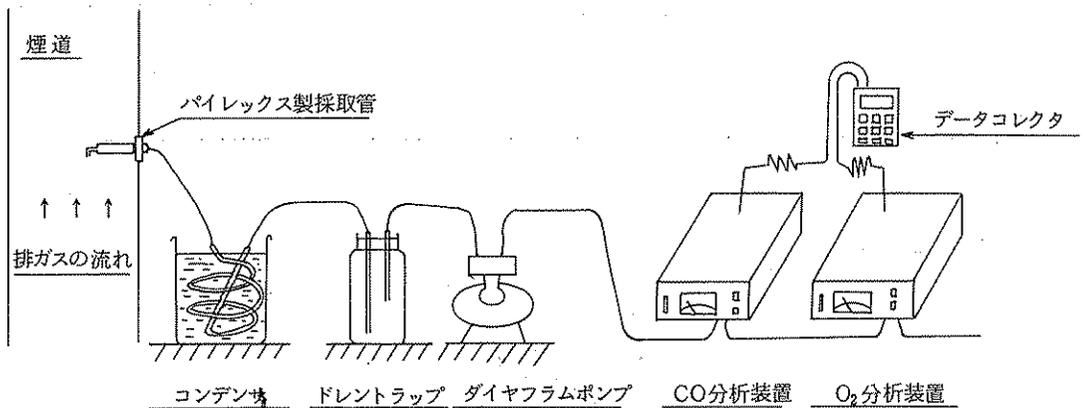


図2-1 試料採取装置の概要

の概要を図2-1に示す。

使用チャンネル数：2チャンネル（CO及びO<sub>2</sub>各1チャンネル）

2.3 測定装置

サンプリング間隔：4秒

① CO分析装置

収集データ数：CO、O<sub>2</sub>3,600各個（4時間分）以上

型式：島津製作所 CGT 101 A

測定方法：非分散赤外線吸収方式

測定レンジ：0～1,000 ppm及び0～5,000 ppm

測定レンジは各施設のCO排出状況により、適宜切り替えた。

アナログ出力：フルスケール1,000 mV

② 酸素（O<sub>2</sub>）分析装置

型式：島津製作所製 POT 101

測定方法：磁気式

測定レンジ：0～5%及び0～25%

測定レンジは、0～25%を用いた。

アナログ出力：フルスケール1,000 mV

2.4 データ収集装置

型式：安立計器製データコレクタ AM-7102

3. 測定結果の概要

データコレクタに収集されたデータをパソコンに転送し、その経時的変化を出力したものを図3-1～7に示す。CO濃度の発生の仕方の特徴として、A・E施設のように、ピークの重なりによる大きなうねりを示すものとC・D施設のようにピークが単独で鋭く尖った形をするものがある。また、ベースラインとして高いもの（E施設）、低いもの（B施設）とがある。また、O<sub>2</sub>濃度は施設毎にかなり異なり、経時的な変化も大きい。これは、空気による排ガスの希釈が状況により異なることを示している。このため測定されたCO濃度はそのままでは、直接的な比較が出来ない。

そこで収集した全てのCO測定値を次式に従って、O<sub>2</sub>一定濃度のもとにおける濃度に換算し、解析においては

この値を用いることにした。

$$CO = CO_s \times \frac{21 - O_N}{21 - O_s}$$

CO : CO 換算値

CO<sub>s</sub> : CO 測定値

O<sub>N</sub> : 標準酸素濃度

O<sub>s</sub> : O<sub>2</sub> 測定値

なお、標準酸素濃度はガイドラインでの基準が O<sub>2</sub> 12% 換算値となっていることから本研究においても 12% を用いた。

各施設の測定時間帯における CO 濃度の平均値・標準偏差・変動係数を表 3-1 に示す。平均値は 59~328 ppm と B 施設を除いて高い値を示した。変動係数を見ると B・

E 施設以外は 100% 以上となりバラツキが大きかった。

表 3-1 CO 測定結果の概要

測定施設	連続測定 時間 (hr)	平均値 (ppm)	標準偏差 (ppm)	変動係数 (%)	ガイドライン 基準値 (ppm)
A 1	7.37	110	170	164	100以下
A 2	6.59	160	260	163	100以下
B 1	3.26	72	34	47	100以下
B 2	3.23	59	20	34	100以下
C	4.05	250	530	211	200以下
D	5.33	140	510	364	200以下
E	4.31	330	260	79	100以下

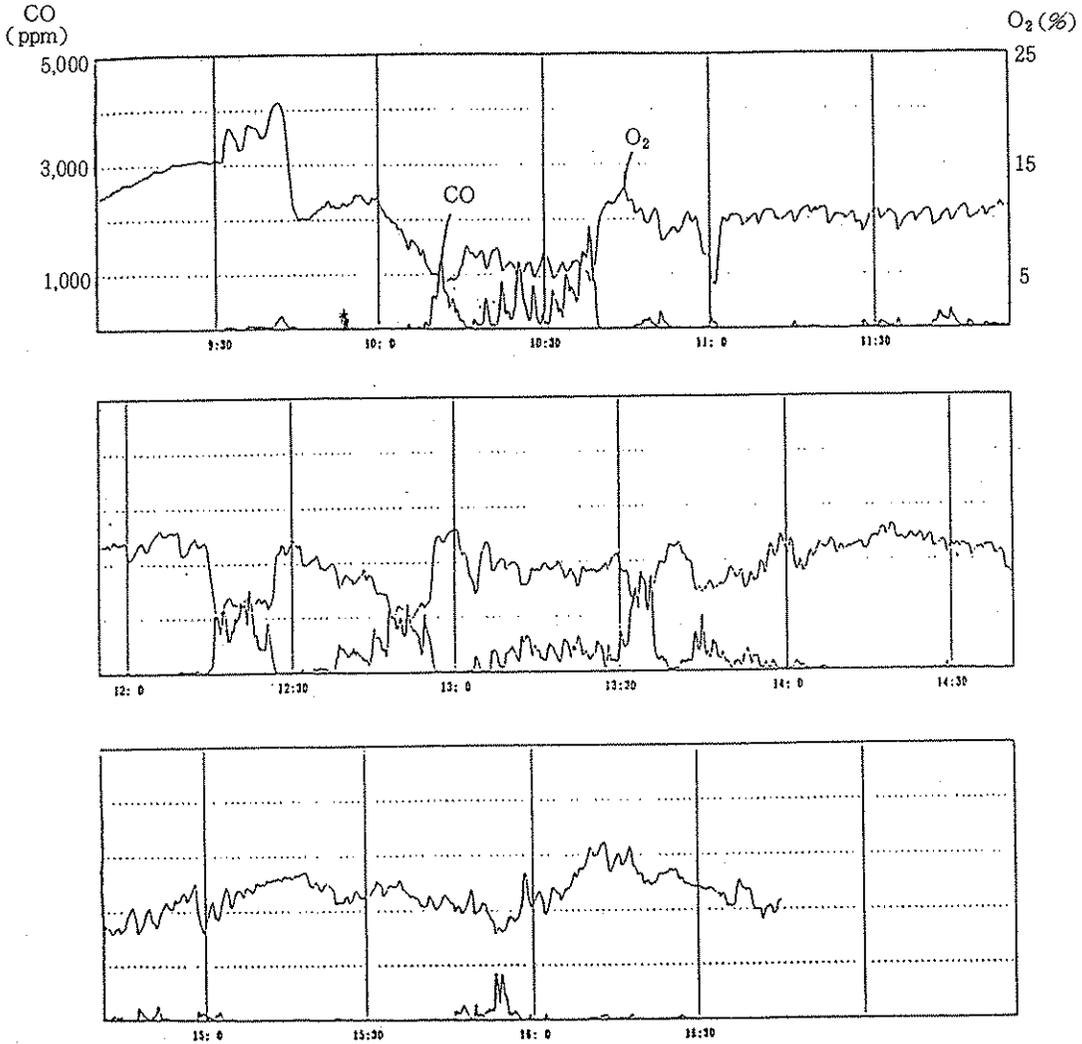


図 3-1 CO 濃度と O<sub>2</sub> 濃度の経時的変化 (A 1 施設)

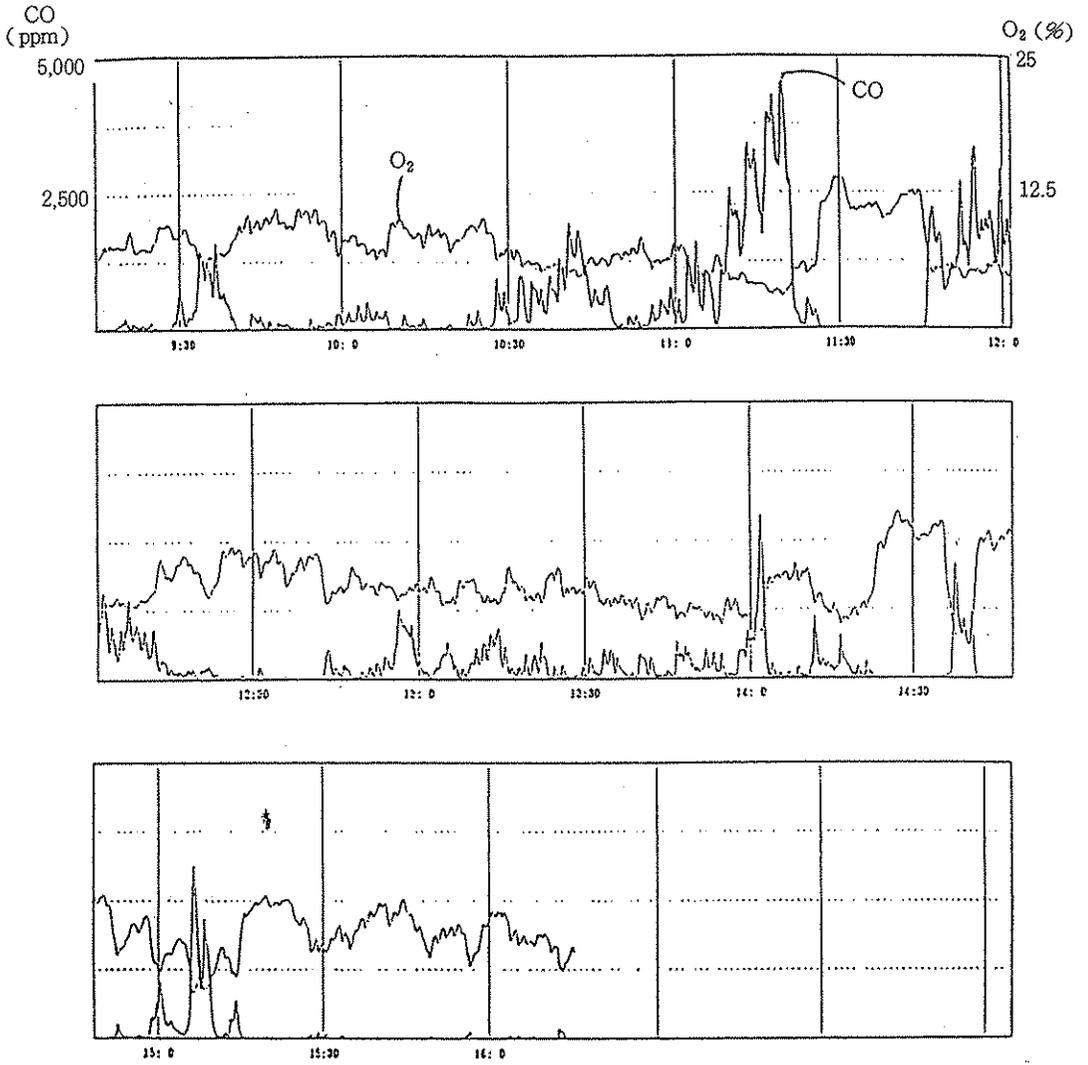


図3-2 CO濃度とO<sub>2</sub>濃度の経時的变化 (A2施設)

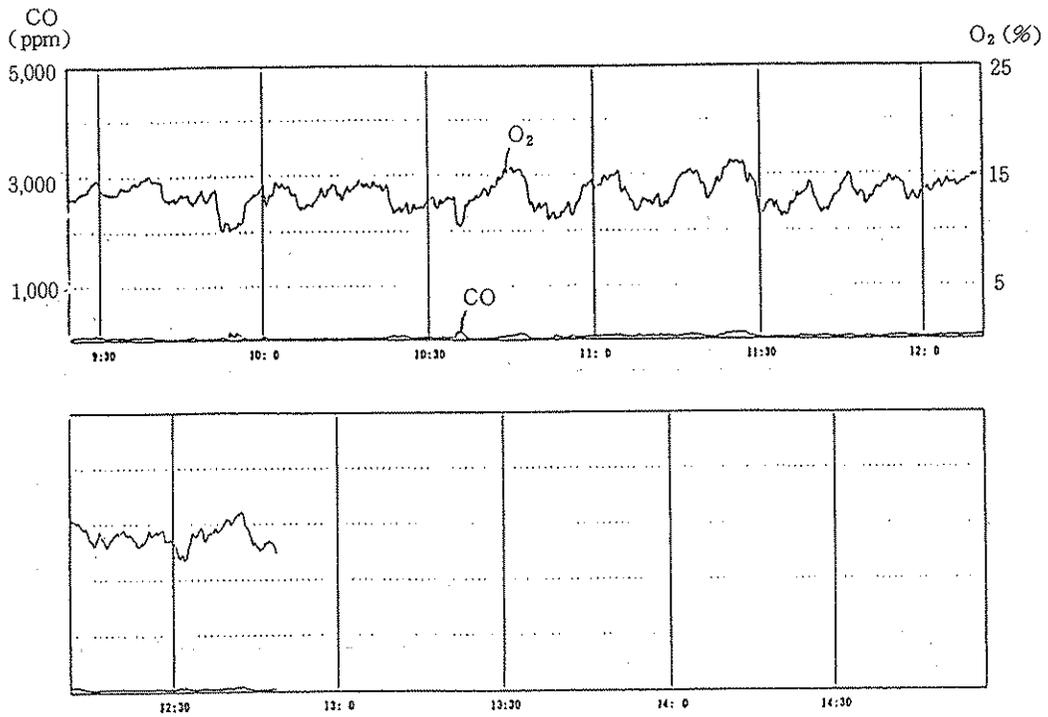


図 3-3 CO 濃度と O<sub>2</sub> 濃度の経時的変化 (B 1 施設)

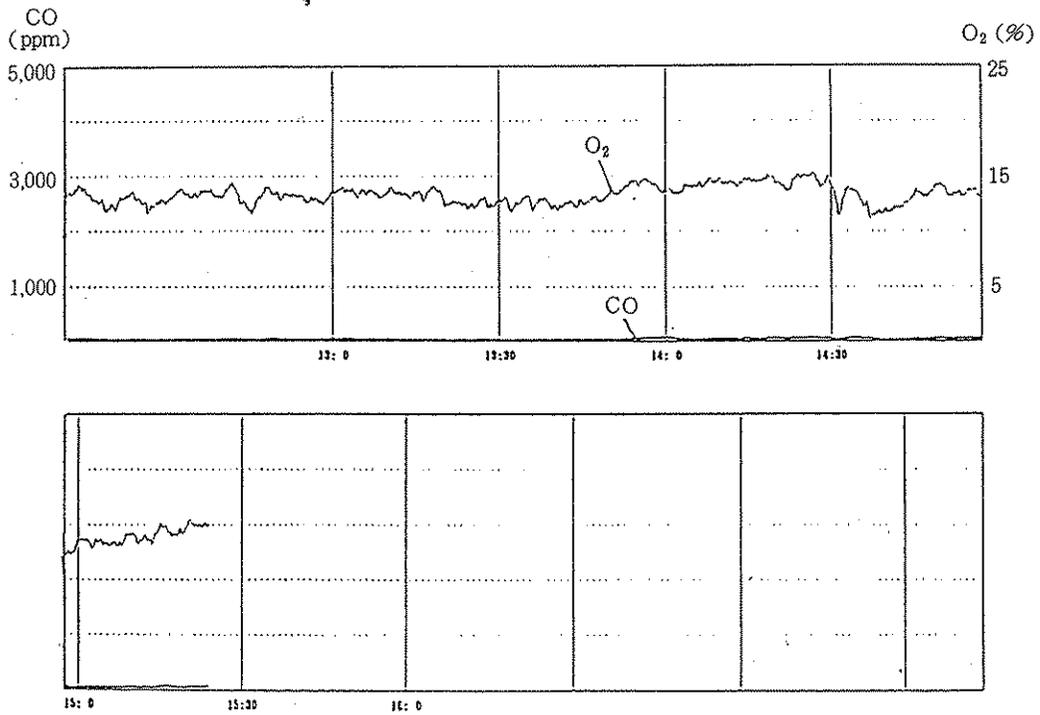


図 3-4 CO 濃度と O<sub>2</sub> 濃度の経時的変化 (B 2 施設)

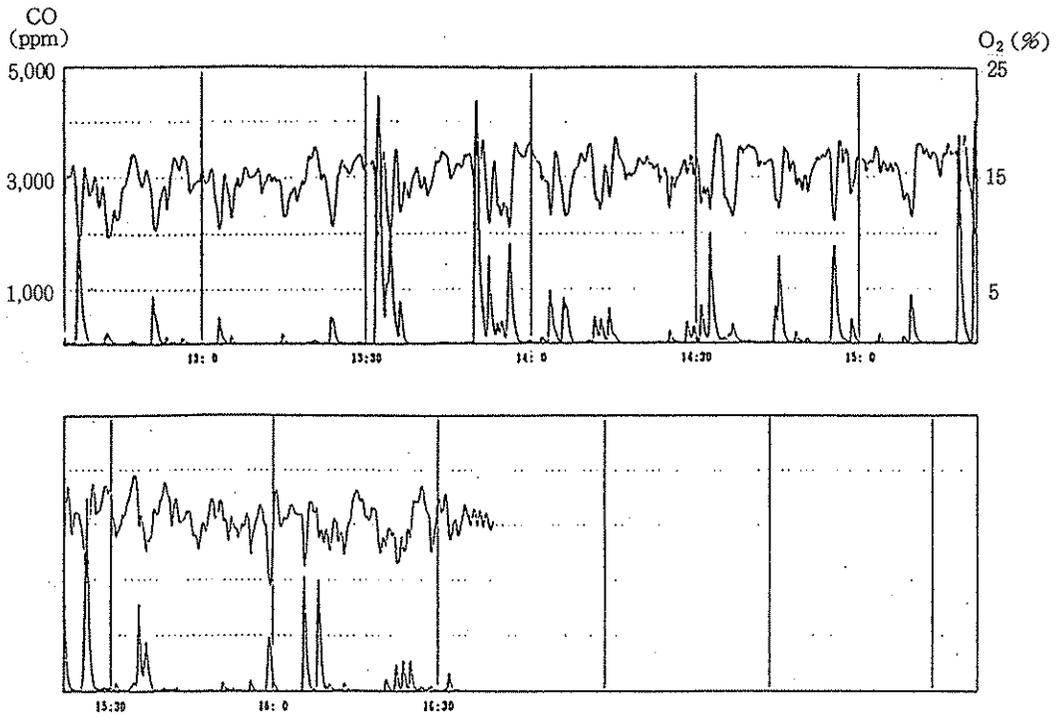


図3-5 CO濃度とO<sub>2</sub>濃度の経時的変化 (C施設)

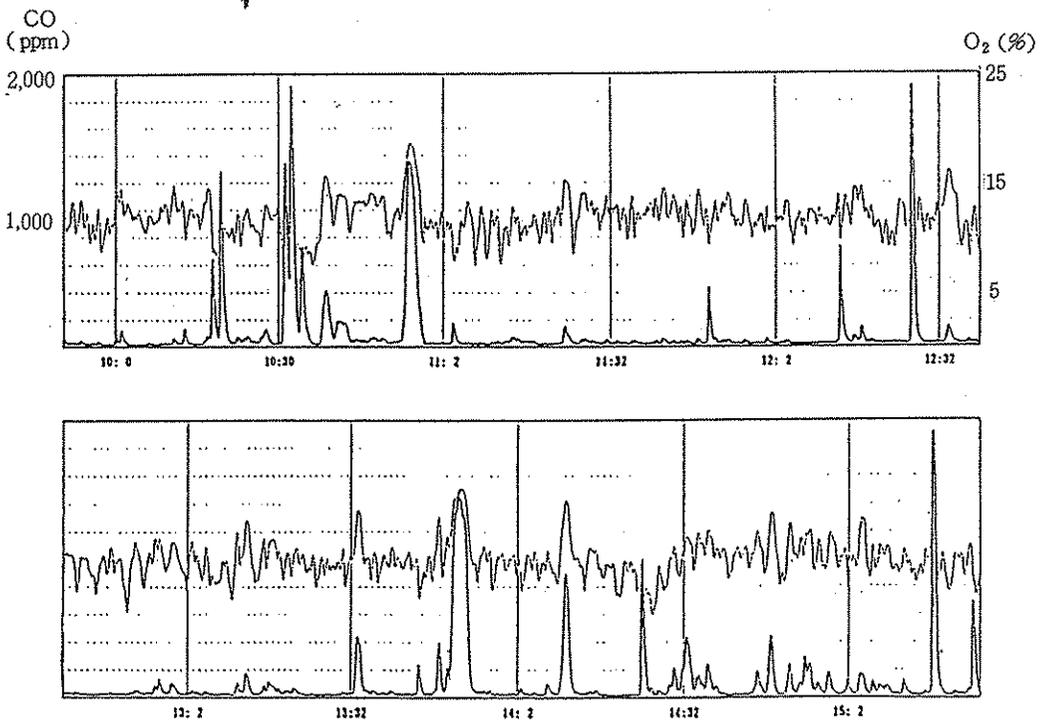
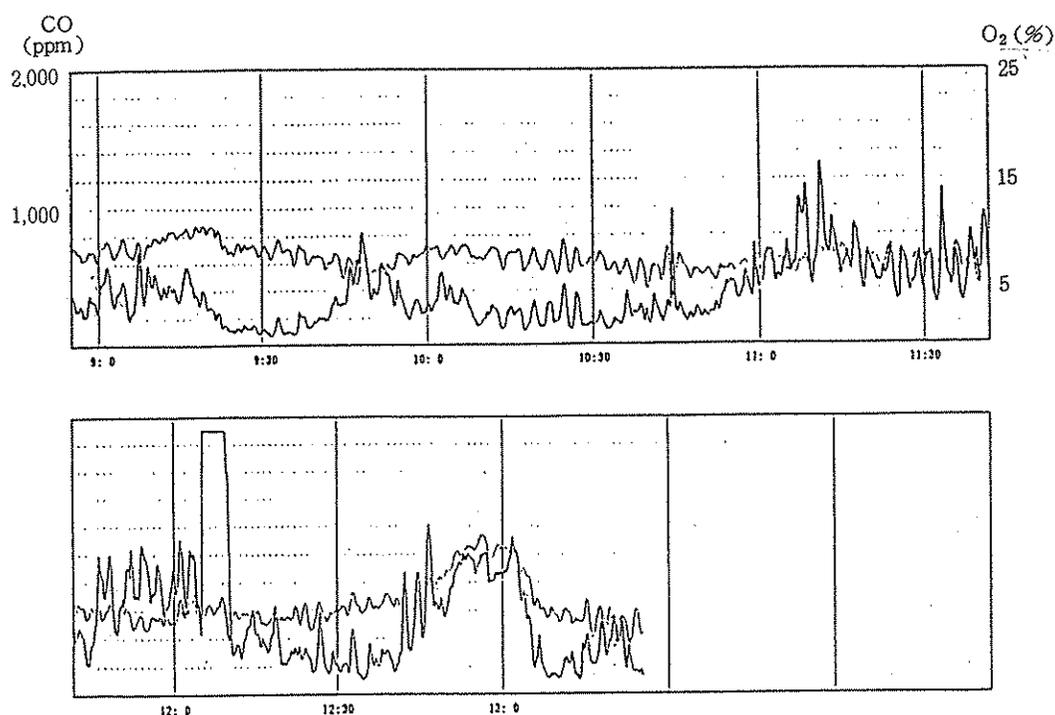


図3-6 CO濃度とO<sub>2</sub>濃度の経時的変化 (D施設)

図3-7 CO濃度とO<sub>2</sub>濃度の経時変化（E施設）

なお、CO濃度の平均値とガイドラインの比較を行うとB・D施設以外はガイドラインの基準値を超えている。

また、CO濃度のヒストグラムを作成した（図3-8～14）ところ全ての施設で高い値の方に尾を引く形になり対数正規分布をうかがわせる。そこで、CO濃度の累積相対度数を対数正規確立紙にプロットした。（図3-15～21）。その結果、D施設を除きほぼ一直線上に並ぶため、CO濃度は対数正規分布に従うと判断される。D施設については、低濃度部と高濃度部で傾きが異なりやや特殊な分布型を示している。

これらのことから、データの代表値としては、算術平均を求めるよりも幾何平均を求めた方が妥当と思われる。各施設の幾何平均値を求めた結果を表3-2に示す。算術平均値と幾何平均値を比較すると、B施設以外の施設において算術平均値に対する幾何平均値は、3分の1～5分の1となり、E施設以外はガイドラインの基準値内に収まっている。

表3-2 CO濃度の幾何平均値

測定施設	幾何平均値 (ppm)	90%非超過確率 (ppm)
A 1	28	320
A 2	47	510
B 1	66	100
B 2	55	86
C	58	710
D	34	210
E	260	650

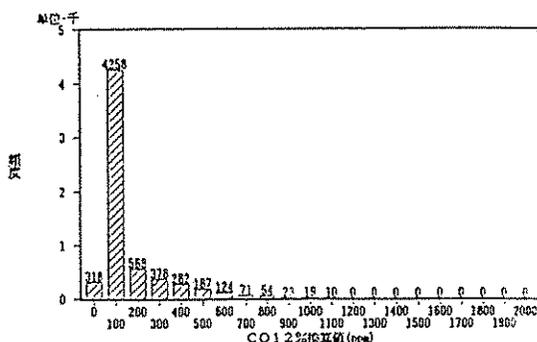


図 3-8 CO12%換算値のヒストグラム (A1施設)

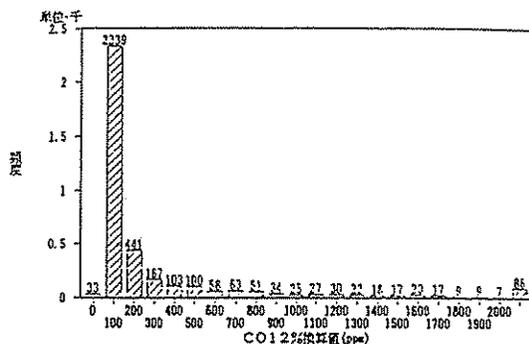


図 3-12 CO12%換算値のヒストグラム (C施設)

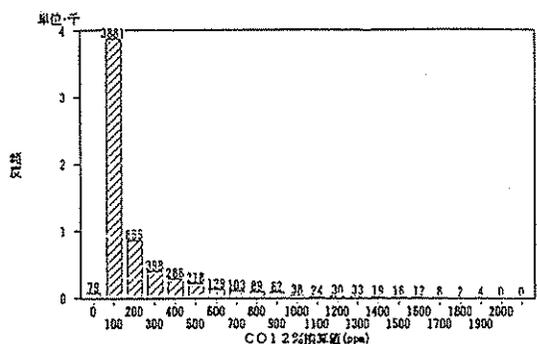


図 3-9 CO12%換算値のヒストグラム (A2施設)

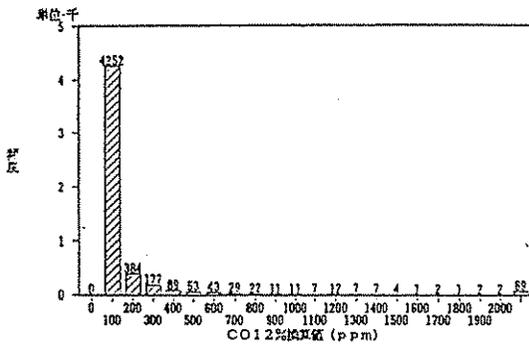


図 3-13 CO12%換算値のヒストグラム (D施設)

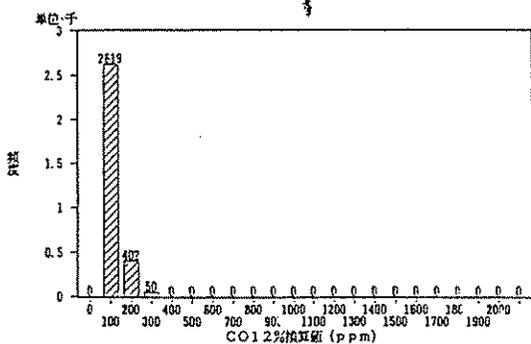


図 3-10 CO12%換算値のヒストグラム (B1施設)

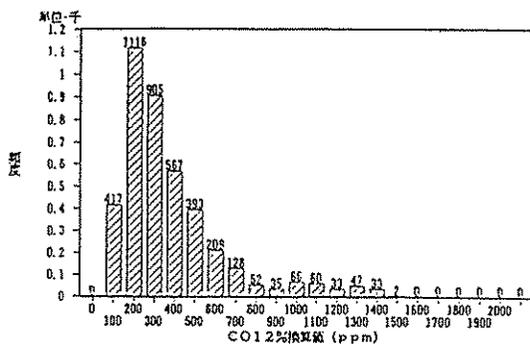


図 3-14 CO12%換算値のヒストグラム (E施設)

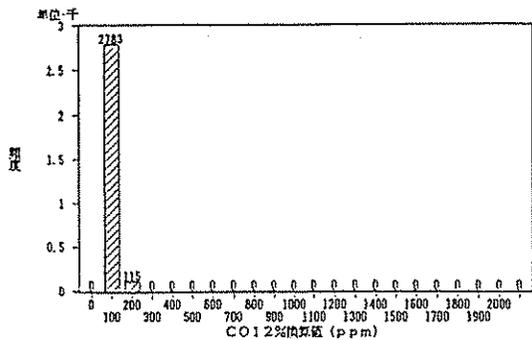


図 3-11 CO12%換算値のヒストグラム (B2施設)

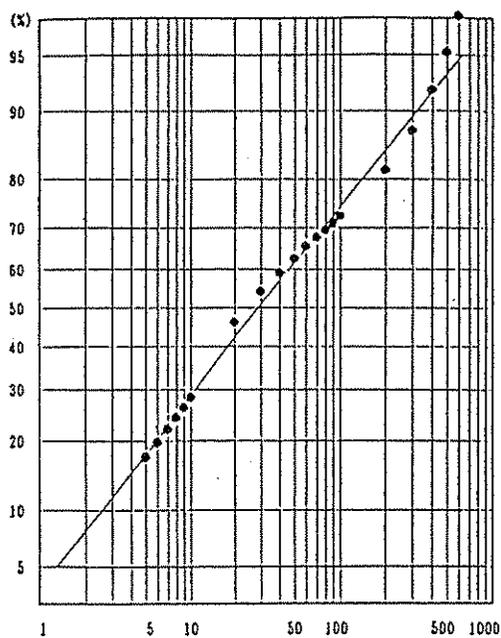


図 3-15 分布型の検討 (A 1 施設)

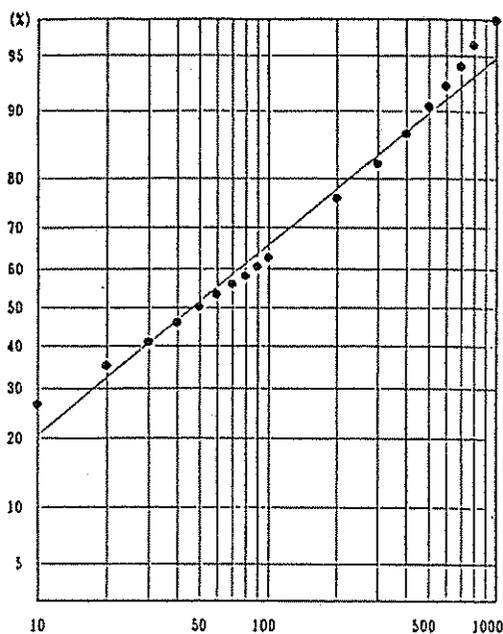


図 3-16 分布型の検討 (A 2 施設)

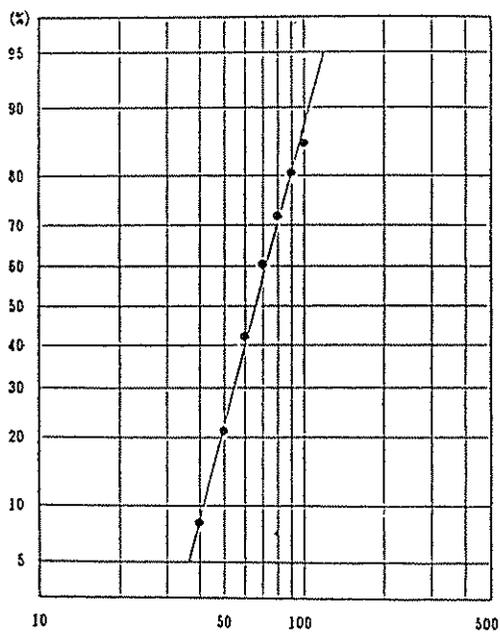


図 3-17 分布型の検討 (B 1 施設)

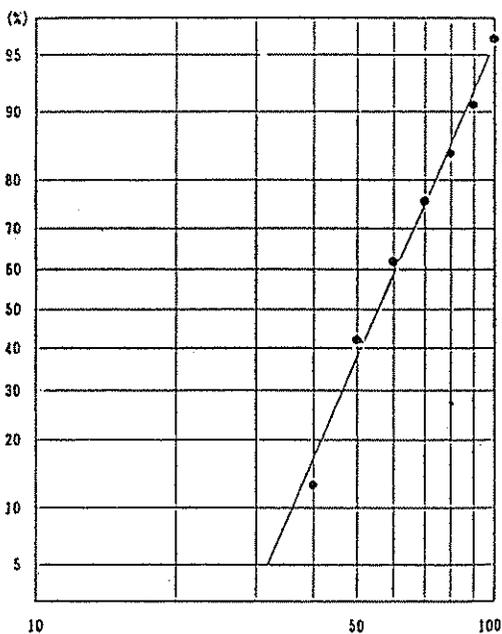


図 3-18 分布型の検討 (B 2 施設)

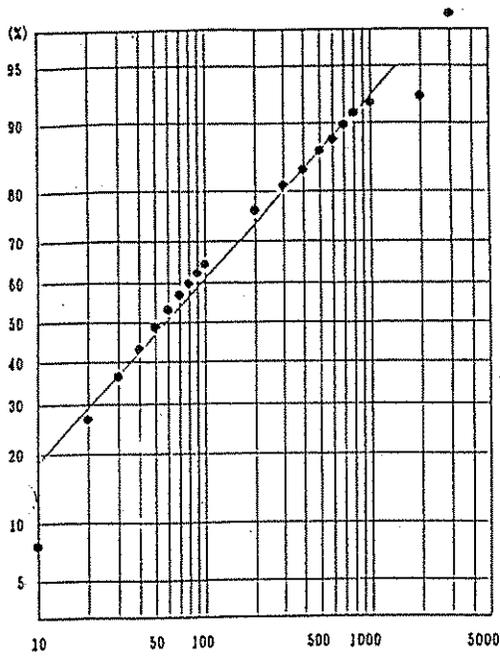


図 3-19 分布型の検討 (C施設)

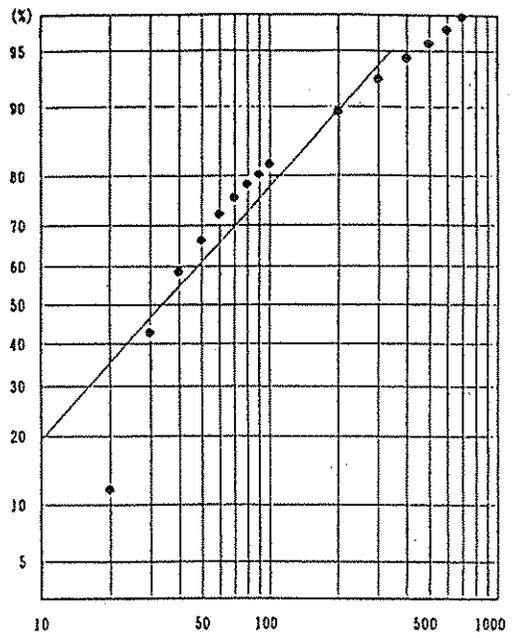


図 3-20 分布型の検討 (D施設)

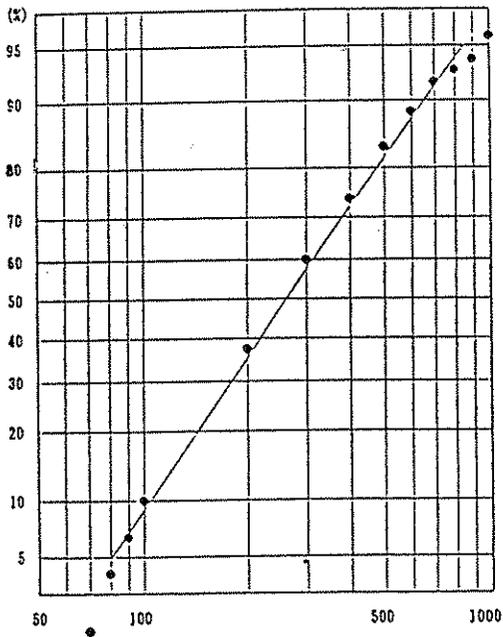


図 3-21 分布型の検討 (E施設)



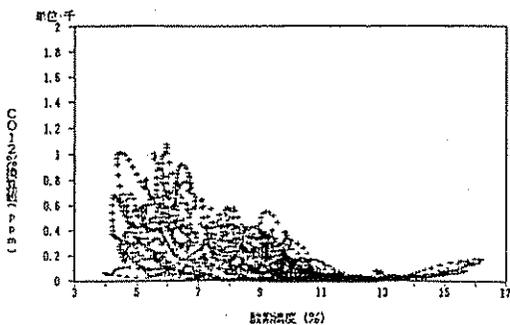


図 4-1 CO 濃度と O<sub>2</sub> 濃度の散布図 (A 1 施設)

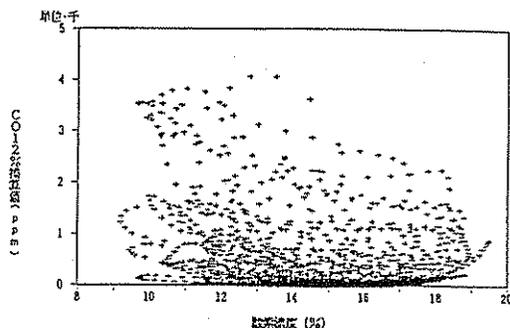


図 4-5 CO 濃度と O<sub>2</sub> 濃度の散布図 (C 施設)

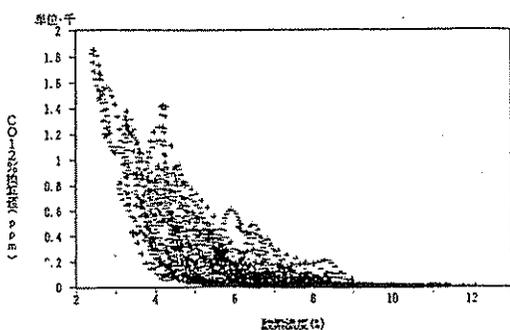


図 4-2 CO 濃度と O<sub>2</sub> 濃度の散布図 (A 2 施設)

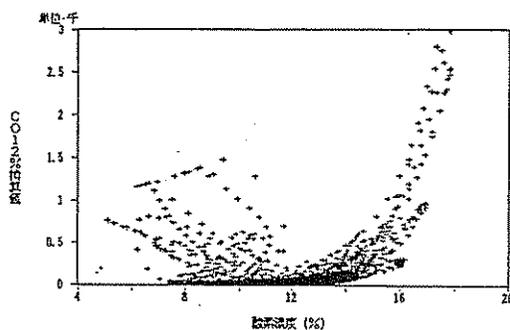


図 4-6 CO 濃度と O<sub>2</sub> 濃度の散布図 (D 施設)

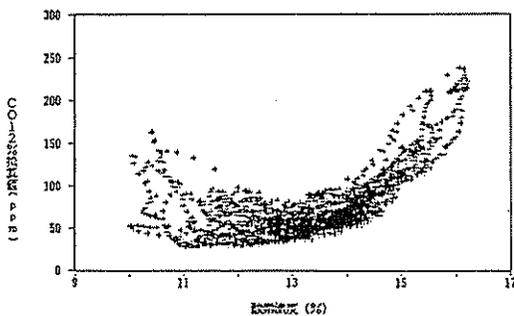


図 4-3 CO 濃度と O<sub>2</sub> 濃度の散布図 (B 1 施設)

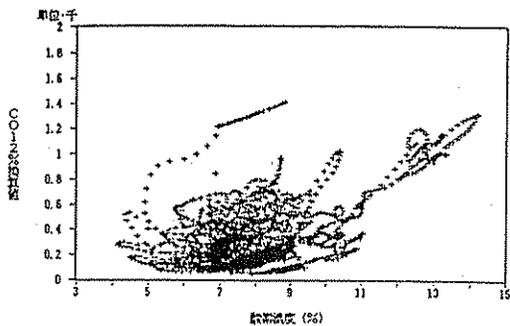


図 4-7 CO 濃度と O<sub>2</sub> 濃度の散布図 (E 施設)

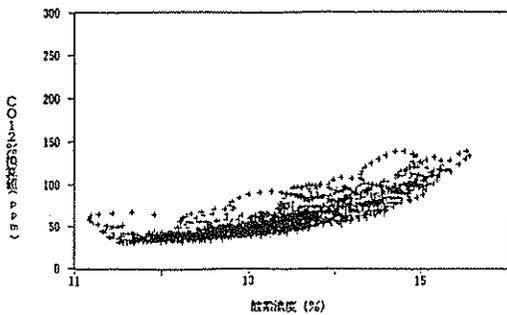


図 4-4 CO 濃度と O<sub>2</sub> 濃度の散布図 (B 2 施設)

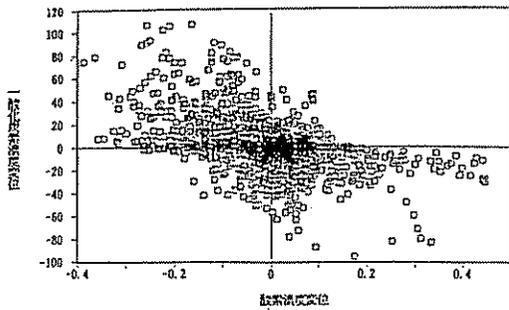


図4-8 CO濃度とO<sub>2</sub>濃度の変化率散布図 (A1施設)

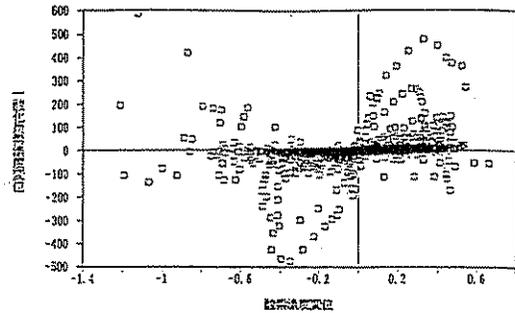


図4-12 CO濃度とO<sub>2</sub>濃度の変化率散布図 (E施設)

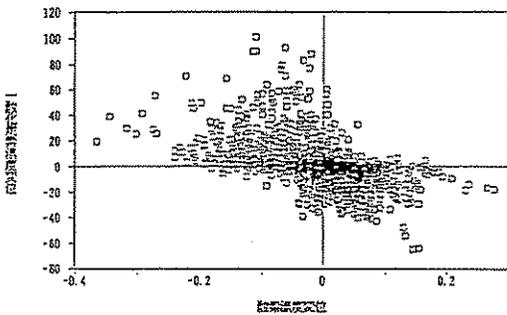


図4-9 CO濃度とO<sub>2</sub>濃度の変化率散布図 (A2施設)

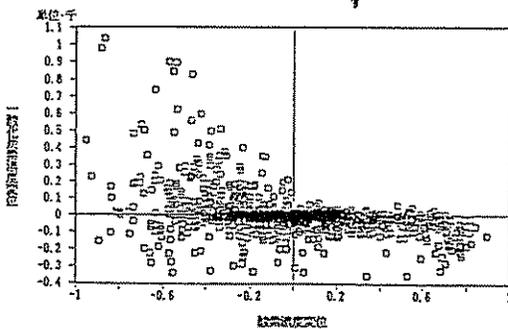


図4-10 CO濃度とO<sub>2</sub>濃度の変化率散布図 (C施設)

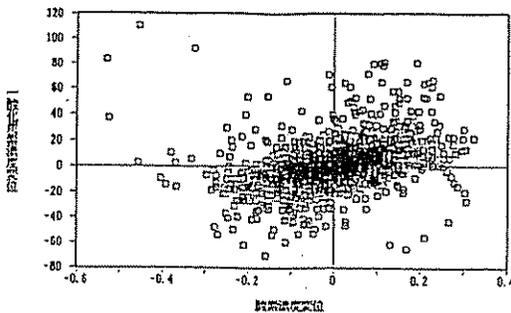


図4-11 CO濃度とO<sub>2</sub>濃度の変化率散布図 (D施設)

#### 4.5 E施設

本施設のCO濃度の平均値は328ppmと調査を行った5施設の中で最も高く、ガイドライン基準値の100ppmを大きく超えていた。これは、表4-1に示すように一次燃焼用空気（回転ストーカに供給される空気の空気過剰率が0.89と低いために恒常的な空気不足となり、回転ストーカ内で高い濃度のCOが発生するものと考えられる。しかも、空気過剰率が1.64と他施設と比較して極端に小さいとは言えない状況にもかかわらず炉の構造上、他の部分（後燃焼ストーカや炉出口部）に供給される空気が、回転ストーカからの燃焼ガスと混合しにくいために十分な二次燃焼が行われないことも大きな要因と考えられる。なお、CO濃度とO<sub>2</sub>の関係は図3-7に示すように定量的でないが、各々の時間に対する変化率の関係をみると図4-12に示すようにO<sub>2</sub>濃度が上昇するとCO濃度も上昇すると言った関係が明らかに認められる。これについては、燃焼用空気の供給先の配分の問題が関係すると思われるが、はっきりしたことは分からない。

又、図3-7のCO濃度とO<sub>2</sub>濃度の経時の変化と図4-13の温度チャートを比較してみると炉内温度が低い場合にCO濃度が高くなっている。特に700℃以下ではCO濃度が急激に高くなっている。このことから、燃焼室温度が低くなりすぎると、不完全燃焼を起こしCOの生成が増加するものと考えられる。

表 4-1 焼 却 量 と 焼 却 条 件

測定施設	A 1	A 2	B 1	B 2	C	D	E
焼却処理能力 (kg/h)	3,125	3,125	3,125	3,125	2,875	3,750	5,000
焼却量 (kg/h)	2,740	3,270	2,500	2,500	2,802	3,990	4,404
処理率 (%)	87.7	104.6	80.0	80.0	97.5	106.4	88.1
水分 (%)	55.9	55.9	38.5	38.5	43.8	44.1	42.1
灰分 (%)	5.2	5.2	7.4	7.4	5.7	8.8	5.6
可燃分 (%)	38.4	38.4	54.1	54.1	50.5	47.1	51.9
低位発熱量 (kcal/kg)	1,560	1,560	2,440	2,440	2,040	2,060	2,380
炭素 (%)	20.1	20.1	29.0	29.0	25.4	25.4	27.2
水素 (%)	3.2	3.2	4.3	4.3	3.9	3.7	3.9
窒素 (%)	0.9	0.9	0.7	0.7	0.6	0.6	0.6
酸素 (%)	13.9	13.9	19.9	19.9	20.2	17.2	19.9
硫黄 (%)	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0
塩素 (%)	0.3	0.3	0.2	0.2	0.3	0.2	0.3
火格子面積 (m <sup>2</sup> )	20.93	20.93	18.7	18.7	5.94	8.44	27.6
燃焼室容積 (m <sup>3</sup> )	78.0	78.0	55.6	55.6	87.7	78.0	123.5
一次送風機容量 (m <sup>3</sup> /h)	16,800	16,800	12,800	12,800	6,000	8,670	26,590
二次送風機容量 (m <sup>3</sup> /h)	—	—	8,940	8,940	7,020	12,860	—
誘引送風機容量 (m <sup>3</sup> /h)	25,700	25,700	29,700	29,700	29,000	41,450	34,060
火格子燃焼率 (kg/m <sup>2</sup> ·h)	131	156	134	134	472	472	160
燃焼室熱負荷 (kcal/m <sup>2</sup> ·h)	55,000	65,000	107,800	107,800	65,000	105,000	85,000
燃焼用理論空気量 (m <sup>3</sup> /h)	5,970	7,130	7,650	7,650	7,369	10,661	12,300
一次燃焼用空気量 (m <sup>3</sup> /h)	—	—	—	—	6,000[0.81]	8,500[0.80]	10,900[0.89]
二次燃焼用空気量 (m <sup>3</sup> /h)	—	—	—	—	5,400	10,145	8,800
燃焼用空気量合計 (m <sup>3</sup> /h)	11,600[1.94]	10,500[1.47]	17,600[2.30]	17,600[2.30]	11,400[1.54]	18,645[1.75]	19,700[1.60]
炉内水噴霧量 (kg/h)	0	0	0	0	856	1,200	0
炉出口ガス量 (m <sup>3</sup> /h)	14,200	13,700	19,800	19,800	15,000	23,700	23,600
炉出口ガス温度 (°C)	平均 905	平均 895	平均 935	平均 975	平均 839	平均 880	平均 806
炉内ガス滞留時間 (sec)	4.6	4.8	2.3	2.3	5.2	2.8	4.8
備 考	炉内ガス滞留時間は燃焼室容積で計算。B、D施設は再燃焼炉で有り、高温ガス滞留時間は延長。[ ]内は空気過剰率						

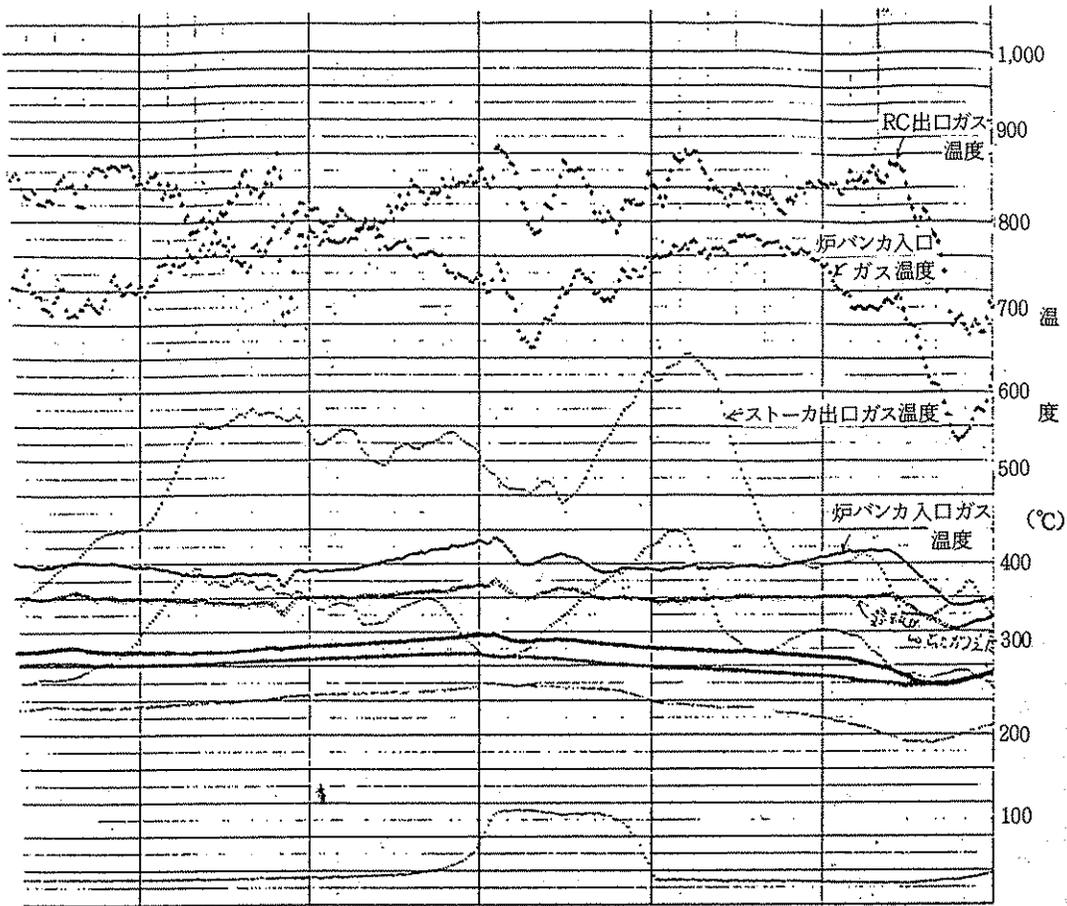


図4-13 温度チャート (E施設)

## 5. 結論及び考察

各施設でのCO発生挙動の解析から、CO発生パターンは、以下のように分類できる。

- ① 瞬間的なO<sub>2</sub>不足により発生するもので他のピークと重なり合わずに単独で発生するもの。
- ② 活発な燃焼が数分～数十分間持続し、その間の継続的なO<sub>2</sub>不足により発生するものでピークが互いに重なり合って大小のうねりとなるもの。
- ③ O<sub>2</sub>濃度の上昇をともなって発生するピークで、多くは鈍いピークとなるもの。
- ④ 1日中、慢性的なO<sub>2</sub>不足によりベースラインそのものが高いレベルで推移するもの。

これらの発生パターンの原因と対策については以下のように考えられる。

①に関して、ストーカー炉の場合は、ストーカーが動いたときに燃焼が活発になって発生したものと考えられ、流

動床炉の場合は、定量供給性の不良により、一時的に多量のごみが炉内に供給されるために発生したものと考えられる。これらは、炉構造そのものに由来するものであり運転管理面で発生を防止することは困難と思われる。しかし、B施設の例のように、空気過剰率を上げることによって必要空気量の変動が吸収でき、ある程度防止できる可能性があると考えられることから、対策として、排ガス中のO<sub>2</sub>、COのモニタリングを行い、適正空気量が常に炉内に供給されるよう注意して運転することが有効であると考えられる。

②に関しては、本調査ではストーカー炉でのみ観察された現象である。このうち、数分程度の小さなうねりを示すピークは、ストーカー段差部でごみが落下したときにごみがはぐれ活発な燃焼が短時間持続する事により、O<sub>2</sub>不足となって発生したものと考えられる。このピークも、炉構造そのものに由来するために改善は困難と思われる。しかし、①と同様に空気過剰率を上げることによって必

要空気量の変動が吸収でき、ある程度改善できると考えられる。又、数十分持続する大きなうねりをするピークは、ごみ質や空気の絞りにすぎによって発生したものと考えられる。これは、流動床炉でも発生する可能性があるが、この場合、燃焼が早いためにうねりとはならず単独のピークが連続して多数出現するものと予想される。対策として、ピット内での十分なごみの攪拌や $O_2$ 、COのモニタリングを行うことによって、かなりの改善が期待できる。したがって、このようなパターンが頻繁に発生する施設では、ある程度運転管理面の改善により大幅なCO濃度の低減化が達成できるものと考えられる。

③に関しては、D、E施設で見られたがDとE施設では、発生メカニズムが違おうと思われ、いずれもはっきりした原因は分からなかった。したがって、対策もはっきりとは言えないが、このパターンに関しては、更に調査が必要である。

④に関しては、慢性的な空気不足によって発生したもので、これは、空気供給量の不適切や二次空気との混合不良が原因と考えられる。この原因は、炉構造上の問題が関係してくるので運転管理面で発生を防止することは困難と思われる。しかし、時間焼却量の低減を行い相対的に空気過剰率を上げる運転を行うようにすることによって、ある程度の抑制が可能と考えられる。

以上のように、COの発生原因はいろいろあると考えられるが、大部分は $O_2$ 不足によるものである。

根本的な解決は、炉構造やごみ供給装置等の改善を必要とする場合が多いが、ピット内におけるごみの十分な攪拌や $O_2$ 、COのモニタリング、並びに適正な焼却量の管理等の運転管理面での改善により、ピーク状のCO発生がある程度抑制されれば、平均値としては相当の低減化が可能と考えられる。

## 6. まとめ

ダイオキシン排出量と強い相関があると言われるCOの排出特性を調べるために、5ヶ所の都市ごみ焼却施設でCOの連続測定を行い、そのデータについて解析を行った。その結果、以下のことが言える。

今回、調査対象となった焼却施設のCO濃度の平均値は比較的高く、「ガイドライン」の基準値に適合する施設は、2施設のみであった。しかし、慢性的にCOが高い施設は、1施設のみであり他の施設は時折発生するCO

のピークまたはピーク群によって平均値が高くなっている。したがって、多くの施設はこれらのピーク状のCO発生を抑制することでCO濃度をガイドライン値より低いレベルに制御することが可能と思われる。

CO発生パターンには、①瞬間的な $O_2$ 不足により発生するもので、他のピークと重なり合わずに単独で発生するもの、②活発な燃焼が持続し、継続的な $O_2$ 不足により発生するものでピークが互いに重なり合って大小のうねりとなるもの、③ $O_2$ 濃度の上昇をともなって発生するピークで、多くは鈍いピークとなるもの、④慢性的な $O_2$ 不足によりベースラインそのものが高いレベルで推移するもの、があった。これらのCOの発生原因はいろいろあると考えられるが、大部分は $O_2$ 不足によるものである。

根本的な解決は、炉構造や供給装置の改善等を必要とする場合が多いが、 $O_2$ 、COのモニタリングや適正な焼却量の維持によって各施設において適切な空気過剰率を保つなど、運転管理面での改善により相当の低減化が可能と考えられる。

## 7. 謝 辞

本研究の実施に当たり、調査に快く御協力いただいた各焼却施設管理者の方々、並びにご指導頂いた財団法人日本環境衛生センター矢込理事及び環境工学部二課の藤吉課長、秋月主任をはじめ環境工学部の方々に深く感謝いたします。

## 8. 参考文献

- 1) 厚生省水道環境部、ダイオキシン類発生防止等ガイドライン、平成2年12月26日衛環260号
- 2) 武田信生：“ダイオキシン類”環境衛生工学研究第5巻
- 3) 平岡正勝：“廃棄物処理におけるダイオキシン類の生成と抑制”，廃棄物学会誌，Vol.1，No.1，p20-37 (1990)
- 4) 森本 林：“ごみ焼却処理の現状と課題”産業公害，Vol.27，No.11，p20-27 (平成3年11月)
- 5) 岩井重久，他：“都市ごみ処理ガイドブック” p522-538，発行所；環境技術研究会