

資 料

広島県における固定発生源からの温室効果ガスの排出状況

大原 俊彦, 河村 敏成*

Greenhouse Effect Gas Emission from Fixed Source in Hiroshima Prefecture.

TOSHIHIKO OOHARA and TOSHINARI KAWAMURA*

(Received Oct.30, 1998)

温室効果ガスには様々な発生源があり、燃焼施設などの固定発生源もその一つである。固定発生源から排出される温室効果ガスのなかで、排出状況の把握が不十分な成分として亜酸化窒素、メタン、一酸化炭素があり、これらの成分の排出量を推定するためには、各種施設ごとの排出係数を把握する必要がある。このための調査を広島県内の固定発生源16施設で行った。

亜酸化窒素の排出係数が高いのは焼却炉および流動床ボイラー、メタンと一酸化炭素の排出係数が高いのは流動床方式の焼却炉、焼結炉および骨材乾燥炉であり、これらの施設が三種類の温室効果ガスの主な発生源であることを明らかにした。

キーワード；温室効果ガス、亜酸化窒素、メタン、一酸化炭素、固定発生源

緒 言

1997年12月京都で国連気候変動枠組条約第3回締約国会議（UNFCCC/COP3）が開催され、この会議において温室効果ガスの削減目標が決定された[1]。削減対象となった温室効果ガスの中で、亜酸化窒素とメタンについては発生源が自然由来、燃焼施設由来など様々であり、これらの発生源からの発生量については十分に把握されていない。また、亜酸化窒素とメタンは二酸化炭素などとは異なり、燃焼施設等からの排出量をエネルギー使用量等から推定することが困難であるため、排出量の推定を行うためには各種施設ごとに排出状況を把握する必要がある。

広島県内の固定発生源16施設を対象にして、亜酸化窒素とメタン、および一酸化炭素の三種類の温室効果ガスの排出実態を調査し、排出係数を算出したので結果を報告する。

方 法

1. 施設

調査は排出状況の把握が不十分であった施設について1994年9月～1996年3月の期間行った。調査を行った施設の一覧を表1に、調査当日の施設の運転状況を表2に示す。

2. 試料採取

試料採取は排出口煙道で行い、同時に排ガス組成、排ガス量の測定も行った。なお、調査を行った施設のうちNo.1, No.3, No.13については、排ガス処理装置による低減効果を調べるため、排ガス処理装置の前でも試料採取を行った。

3. 採取装置

調査対象物質のうち亜酸化窒素については、排ガス試料をポリフッ化ビニル製バッグ（以下「バッグ」という）に採取したまま放置しておくとし、試料中に共存する窒素酸化物、硫黄酸化物等の酸性ガスと水分によって二次生成することが報告されている[3-5]。このため試料採取は図1に示す装置を用いて2L/minの流速で酸性ガスおよび水分を除去しながら行った。各採取口において3試料採取しこれを1検体とした。

4. 測定

測定はガスクロマトグラフィーにより行った。亜酸化窒素とメタンは、ガスクロマトグラフにバルブシステムを組み込み、サンプルループを用いて試料を導入した[2]。一酸化炭素はメタナイザーを使用し、ガスタイトシリンジを用いて試料を導入した[2]。

各成分のガスクロマトグラフィーの測定条件を表3に示した。

*広島県県民生活部環境政策課：Environmental Policy Division, Citizens Affairs Department, Hiroshima Prefecture.

表1 調査施設一覧

No.	施設	燃料等	燃料等使用量	排ガス処理
1	微粉炭ボイラー	石炭	254 t/h	脱硝装置 脱硫装置 電気集塵機
2	流動床ボイラー	石炭	4 t/h	炉内脱硫 バグフィルター
3	流動床ボイラー	石炭	136 t/h	炉内脱硫 脱硝装置 電気集塵機
4	焼結炉	Cガス	2,500 m ³ _N /h	電気集塵機
5	コークス炉	混合ガス (C, B ガス)	60,800 m ³ _N /h	
6	焙焼炉	灯油	570 L/h	サイクロン
7	高炉熱風炉	混合ガス (C, B ガス)	198,700 m ³ _N /h	
8	金属加熱炉	C重油	15,000 L/h	
9	金属加熱炉	混合ガス (C, B, LD ガス)	26,700 m ³ _N /h	二段燃焼
10	骨材乾燥炉	A重油	770 L/h	バグフィルター
11	焼却炉 (准連続, 流動床炉)	廃棄物 (可燃物)	47.5 t/day	消石灰噴霧 電気集塵機
12	焼却炉 (機械化バッチ炉)	廃棄物 (可燃物)	30 t/day	電気集塵機
13	焼却炉 (准連続, ストーカー炉)	廃棄物 (可燃物)	60 t/day	消石灰噴霧 バグフィルター
14	焼却炉 (機械化バッチ炉)	汚泥 灯油	214 t/year (脱水しき) 702 t/year (乾燥汚泥)	消石灰噴霧 電気集塵機
15	ディーゼル機関	A重油	113 L/h × 3基	
16	ガス機関	プロパン	175 L/h (重油換算値)	脱硝装置

表2 測定時の施設運転状況

No.	施設	燃料等供給量	燃焼室等温度 (°C)	乾き排ガス量 (m ³ _N /h)	酸素濃度 (%)
1	微粉炭ボイラー	233 t/h	—	2,080,000	4.1
2	流動床ボイラー	4.32 t/h	890 (脱硫室)	31,900	4.8
3	流動床ボイラー	142.2 t/h	836	1,043,000	5.7
4	焼結炉	782 m ³ _N /h	—	1,010,000	7.5
5	コークス炉	61,910 m ³ _N /h	1,109	130,000	4.2
6	焙焼炉	281 L/h	667	1,430	7.3
7	高炉熱風炉	151,570 m ³ _N /h	1,296	243,000	0.97
8	金属加熱炉	4,900 L/h	1,148	46,400	7.9
9	金属加熱炉	11,200 m ³ _N /h	1,213	60,000	10
10	骨材乾燥炉	265 L/h	—	17,100	16
11	焼却炉 (准連続, 流動床炉)	2.32 t/h	782 (炉頂) 714 (炉床)	21,300	14
12	焼却炉 (機械化バッチ炉)	4.5 t/h	—	24,000	16
13	焼却炉 (准連続, ストーカー炉)	2.56 t/h	754	38,400	16
14	焼却炉 (機械化バッチ炉)	脱水しき 102kg/h 乾燥汚泥 708kg/h 灯油 575L/h	740	3,540	12
15	ディーゼル機関	231 L/h	—	7,410	13
16	ガス機関	120 m ³ _N /h	—	4,240	13

表3 ガスクロマトグラフィー測定条件

亜酸化窒素	
検出器	電子捕獲検出器
メインカラム	Molecular sieve 5A 30/60mesh SUS 2m×3mm ID
プレカラム	Molecular sieve 5A 30/60mesh SUS 2m×3mm ID
カラム温度	260℃
注入口温度	200℃
検出器温度	300℃
キャリアーガス	Ar/5%CH ₄
メタン	
検出器	水素炎イオン化検出器
メインカラム	Molecular sieve 5A 30/60mesh SUS 2m×3mm ID
プレカラム	Porapak N 50/80mesh SUS 1m×3mm ID
カラム温度	120℃
注入口温度	150℃
検出器温度	190℃
キャリアーガス	N ₂
一酸化炭素	
検出器	水素炎イオン化検出器
カラム	Molecular sieve 13X
カラム温度	70℃
注入口温度	200℃
検出器温度	200℃
メタナイザー温度	420℃
キャリアーガス	N ₂

5. 排出係数の算出方法

各成分の排出係数等は次の計算式により算出した [1] [5]. 排出係数の算出には廃棄物処理量, エネルギー使用量が必要であるが, これらについては測定当日の廃棄物処理量, 燃料使用量及び燃料発熱量から計算した.

$$D_s = \frac{B_s \times (1 - D_{CO_2} / 100)}{1 - B_{CO_2} / 100}$$

$$C_s = \frac{(D_s - X) \times 21}{(21 - D_{O_2}) + X}$$

$$G_{dry}(O_2 = 0\%) = \frac{G_{dry} \times (21 - D_{O_2})}{21}$$

$$\text{排出量}(O_2 = 0\%) = \frac{C_s \times G_{dry}(O_2 = 0\%) \times Y}{22.4 \times 10^3} \quad [g-S/h]$$

$$\text{排出係数}(O_2 = 0\%) = \frac{\text{排出量}(O_2 = 0\%)}{\text{エネルギー使用量}(GJ/h)} \quad [g-S/GJ]$$

$$\text{排出係数}(O_2 = 0\%) = \frac{\text{排出量}(O_2 = 0\%)}{\text{廃棄物処理量}(t/h)} \quad [g-S/t]$$

B_s : 試料濃度 (バッグ測定値) [ppm]

D_s : 試料濃度 (煙道測定値) [ppm]

C_s : 試料濃度 (O₂ = 0%) [ppm]

B_{CO₂} : 二酸化炭素濃度 (バッグ測定値) [%]

D_{CO₂} : 二酸化炭素濃度 (煙道測定値) [%]

D_{O₂} : 酸素濃度 (煙道測定値) [%]

X : 空気中の成分濃度 (亜酸化窒素: 0.31, メタン: 1.8, 一酸化炭素: 0.3) [%]

Y : 成分の分子量 (亜酸化窒素: 44, メタン: 16, 一酸化炭素: 28)

G_{dry} : 乾き排ガス量 [m³_N/h]

G_{dry} (O₂ = 0%) : 乾き排ガス量 (O₂ = 0%) [m³_N/h]

結果および考察

1. 亜酸化窒素

亜酸化窒素の調査結果を表4に示す. 排出濃度が測定した施設の中で最も高かったのはNo.3の流動床ボイラーで91ppm, 続いてNo.14の焼却炉が58ppm, これらに続きNo.11の焼却炉, No.6の焙焼炉, No.2の流動床ボイラー, No.13の焼却炉でも高い濃度は認められた. これらの施設の特徴は燃焼室等温度が700~900℃と, 調査施設の中では低い方に属していること,

およびNo. 2, No. 3, No.11の施設が流動床方式をとっていることである。したがって、燃焼室等温度が700~900℃付近の施設、あるいは流動床方式の施設では亜酸化窒素排出濃度が高くなるものと考えられる。

排出係数については、No.11の焼却炉が211g-N₂O/t, No.14の焼却炉が210g-N₂O/t, No.13の焼却炉が

164g-N₂O/tであり、焼却炉が高い値を示した [7]。また、一般の燃焼施設ではNo. 3の流動床ボイラーが37g-N₂O/GJ, No. 2の流動床ボイラーが12.3g-N₂O/GJと比較的高い値を示した。

2. メタン

メタンの調査結果を表5に示す。排出濃度が測定し

表4 亜酸化窒素の濃度, 排出量および排出係数

No.	施設	濃度 (ppm)	排出量 (g-N ₂ O/h)	排出係数 (注)
1	微粉炭ボイラー	0.21	650	0.0975
2	流動床ボイラー	29.4	1,450	12.3
3	流動床ボイラー	91	150,000	37
4	焼結炉	2.2	1,300	1.52
5	コークス炉	0.38	78	0.26
6	焙焼炉	35	85	8
7	高炉熱風炉	0.03	15	0.02
8	金属加熱炉	0.57	32	0.17
9	金属加熱炉	0.16	9.7	0.07
10	骨材乾燥炉	0.67	4.47	0.434
11	焼却炉 (准連続, 流動床炉)	35.1	490	211
12	焼却炉 (機械化バッチ炉)	6.4	76	17
13	焼却炉 (准連続, ストーカー炉)	23	419	164
14	焼却炉 (機械化バッチ炉)	58	171	210
15	ディーゼル機関	5.81	31.4	3.49
16	ガス機関	3.31	10.8	0.959

(注) 排出係数の単位: 焼却炉 (No.11~14) g-N₂O/t
その他の施設 g-N₂O/GJ

表5 メタンの濃度, 排出量および排出係数

No.	施設	濃度 (ppm)	排出量 (g-CH ₄ /h)	排出係数 (注)
1	微粉炭ボイラー	-0.12	-138	-0.0207
2	流動床ボイラー	87.3	1,550	13.2
3	流動床ボイラー	5.0	2,900	0.74
4	焼結炉	509	105,000	130
5	コークス炉	80.1	5,940	19.7
6	焙焼炉	0.82	0.8	0.07
7	高炉熱風炉	0.0	0.0	0.0
8	金属加熱炉	-0.72	-10	-0.08
9	金属加熱炉	-0.39	-10	-0.08
10	骨材乾燥炉	260	634	61.6
11	焼却炉 (准連続, 流動床炉)	161	818	353
12	焼却炉 (機械化バッチ炉)	1.3	5.8	1.3
13	焼却炉 (准連続, ストーカー炉)	6.4	41	16
14	焼却炉 (機械化バッチ炉)	11	12	15
15	ディーゼル機関	0.36	0.704	0.0783
16	ガス機関	10.8	12.8	1.14

(注) 排出係数の単位: 焼却炉 (No.11~14) g-CH₄/t
その他の施設 g-CH₄/GJ

表6 一酸化炭素の濃度, 排出量および排出係数

No.	施設	濃度 (ppm)	排出量 (g-CO/h)	排出係数 (注)
1	微粉炭ボイラー	6.00	11,400	1.71
2	流動床ボイラー	906	28,200	240
3	流動床ボイラー	277	281,000	72
4	焼結炉	38,800	14,000,000	16,000
5	コークス炉	1,140	149,000	494
6	焙焼炉	65	103	9
7	高炉熱風炉	72	21,400	34
8	金属加熱炉	13	480	2.6
9	金属加熱炉	67	2,610	20
10	骨材乾燥炉	7,490	32,000	3,100
11	焼却炉 (准連続, 流動床炉)	1,680	14,900	6,420
12	焼却炉 (機械化バッチ炉)	93	710	158
13	焼却炉 (准連続, ストーカー炉)	159	1,810	703
14	焼却炉 (機械化バッチ炉)	1,180	2,220	2,740
15	ディーゼル機関	338	1,160	129
16	ガス機関	2,240	4,460	411

(注) 排出係数の単位: 焼却炉 (No.11~14) g-CO/t
 その他の施設 g-CO/GJ

た施設の中で最も高かったのはNo.4の焼結炉で509ppm, 続いてNo.10の骨材乾燥炉の260ppmであった。高い濃度はNo.11の焼却炉, No.2の流動床ボイラー, No.5のコークス炉でも認められた。一般にメタンは不完全燃焼により発生するため, これらの施設では不完全燃焼がおこっている可能性がある。また, No.4の焼結炉とNo.5のコークス炉は燃料ガスにメタンが含まれており, この影響もあるものと考えられる。

排出係数については, No.11の焼却炉が353g-CH₄/t, No.4の焼結炉が130g-CH₄/GJ, No.10の骨材乾燥炉が61.6g-CH₄/GJと高い値を示した。

3. 一酸化炭素

一酸化炭素の調査結果を表6に示す。排出濃度が測定した施設の中で最も高かったのはNo.4の焼結炉で38,800ppm, 続いてNo.10の骨材乾燥炉の7,490ppmであった。高い濃度はNo.16のガス機関, No.11の焼却炉, No.14の焼却炉, No.5のコークス炉でも認められた。一般に一酸化炭素はメタンと同様に不完全燃焼により発生するため, これらの施設では不完全燃焼がおこっている可能性がある。また, No.4の焼結炉とNo.5のコークス炉は燃料ガスにかなりの濃度で一酸化炭素が含まれており, これによる影響もあるものと考えられる。

排出係数については, No.4の焼結炉が16,000g-CO/GJ, No.11の焼却炉が6,420g-CO/t, No.10の

骨材乾燥炉が3,100g-CO/GJ, No.14の焼却炉が2,740g-CO/tと高い値を示した。

4. 排ガス処理装置の効果

排ガス処理装置による低減割合は表7に示すように, これらの施設の排ガス処理装置は, 温室効果ガスの排出削減を目的として設置されたものではないが, 低減効果が認められた。No.13の施設は消石灰噴霧およびバグフィルターとなっているが, 排ガス処理前試料の採取位置は消石灰噴霧の後ろであり, バグフィルターのみでの低減効果である。この施設においては3つの成分すべてに低減効果が認められた。No.1とNo.3は同じ石炭焚流動床ボイラーであるが, 全体的にNo.1の施設の低減効果が大きく, 成分別に見るとメタンの低減割合の差が大きい。これら2つの施設で異なっているのは脱硫方式であり, No.1の施設が独立した脱硫装置(湿式石灰石膏法)を設置しているのに対し, No.3の施設は炉内脱硫である。排煙脱硫及び脱硝装置の大型ボイラーへの設置と共に大気中の二酸化炭素濃度の増加率が減少しているとの指摘もあり[8], 温室効果ガスの削減には, 独立した排ガス処理装置の効果が大きいものと考えられる。

まとめ

排出実体の把握が不十分な固定発生源16施設について調査を行い, 亜酸化窒素, メタン, 一酸化炭素の排

表7 排ガス処理装置における低減割合

No.	施設	項目	煙道 (ppm)	排ガス処理装置前 (ppm)	低減割合 (%)
1	微粉炭ボイラー	亜酸化窒素	0.21	0.45	53
		メタン	-0.12	0.21	157
		一酸化炭素	6.00	8.52	30
3	流動床ボイラー	亜酸化窒素	91	111	18
		メタン	5.0	5.1	2
		一酸化炭素	277	356	22
13	焼却炉 (准連続, ストーカー炉)	亜酸化窒素	23	34	32
		メタン	6.36	8.60	26
		一酸化炭素	159	339	53

出係数を求め以下の結果を得た。

- 1) 亜酸化窒素の排出係数が最も高いのは流動床方式の焼却炉であり、以下、汚泥焼却炉、ストーカー式焼却炉、石炭流動床ボイラーであった。これらの施設が亜酸化窒素の主な発生源と考えられる。一方、金属加熱炉、高炉熱風炉のように1,200℃付近の高温で燃焼を行う施設では亜酸化窒素の排出係数が非常に小さかった。
- 2) メタンの排出係数が最も高いのは流動床方式の焼却炉であり、以下、焼結炉、骨材乾燥炉であった。
- 3) 一酸化炭素の排出係数が最も高いのは焼結炉であり、以下、流動床方式の焼却骨材乾燥炉であった。
- 4) メタンと一酸化炭素の結果はほぼ一致しており、これらの施設におけるメタンと一酸化炭素の排出係数が高い原因は不完全燃焼によるものと考えられる。

謝 辞

本調査は平成6年度、7年度に環境庁委託事業として行った「固定発生源からの温室効果ガス排出係数調

査」の結果を取りまとめたものである。

調査にあたり試料採取にご協力いただいた、企業、市町村、県環境保全課、および関係保健所・支所の方に深く感謝いたします。

文 献

- [1] 田中聰志訳：環境研究, No109, 14-25 (1998).
- [2] 大気汚染研究協会：温室効果ガス排出量推計手法調査報告書, p11-66 (1995).
- [3] 兵庫県：固定発生源からの温室効果ガス測定法指針作成調査報告書, p11-39 (1990).
- [4] 秋山薫, 岩崎好陽, 辰市祐久：東京都環境科学研究所年報, 1991, p3-8.
- [5] 兵庫県：固定発生源からの温室効果ガス排出係数作成調査報告書, p13-20 (1993).
- [6] 広島県：固定発生源からの温室効果ガス排出係数調査報告書, p16 (1996).
- [7] 安田憲二, 斎藤邦彦, 代田寧, 高橋通正：第36回大気環境学会講演要旨集 p335 (1995).
- [8] 指宿堯嗣：日本エネルギー学会誌, 73, 632-640 (1994).

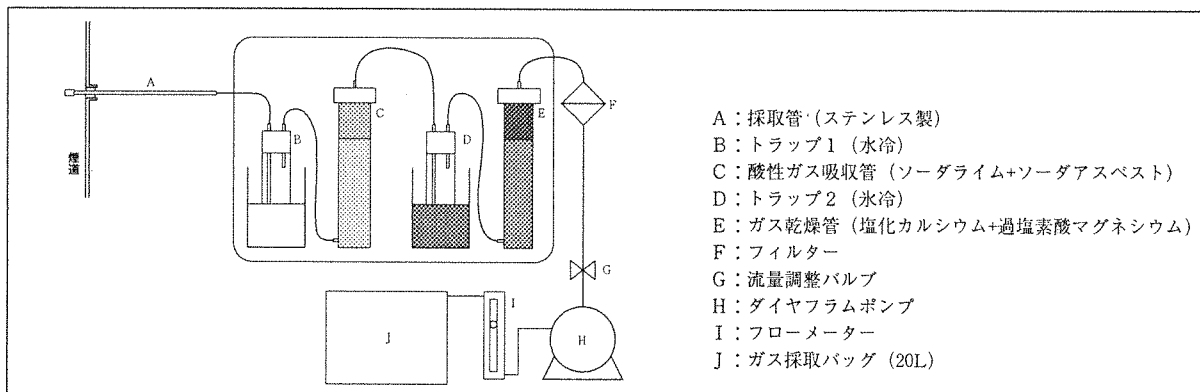


図1 試料採取装置