

浴場ボイラーの燃料種類別ばいじん排出特性について

Characteristics of Dust Emissions in some Fuel Types from Hot-water Supply Boilers

井上俊明 Toshiaki INOUE
 広瀬健二 Kenji HIROSE
 安藤仁 Hitoshi ANDO
 緒方行治 Yukiji OGATA

1 はじめに

浮遊粒子状物質削減対策を進める上で、固定発生源からのばいじん排出量強度を求める必要があるが、排出量実態の未知のものも多く、中でも市街地に散在する浴場ボイラーについては、測定調査の実績もない現状である。

そこで、川崎市内の浴場ボイラーを対象に使用燃料種類別のばいじん排出実態について平成4年9月より平成5年6月にかけて調査を実施し、あわせて一部施設について窒素酸化物濃度を調査し、若干の知見を得たので報告する。

2 調査対象施設

浴場ボイラーにおける使用燃料種類を廃材専焼、廃油専焼、A重油専焼、廃材・A重油混焼、廃材・

表1 調査対象浴場ボイラー一覧表

施設番号	使用燃料種類	調査項目
1	A重油	ばいじん
2	A重油	ばいじん・NO _x
3	A重油	ばいじん
4	A重油	ばいじん
5	A重油	ばいじん
6	廃材	ばいじん・粒子分布・NO _x
7	廃材	ばいじん
8	廃材	ばいじん
9	廃材	ばいじん
10	廃材	ばいじん
11	廃油	ばいじん・NO _x
12	廃油	ばいじん
13	廃油	ばいじん
14	廃材・A重油	ばいじん・NO _x
15	廃材・廃油	ばいじん・NO _x

廃油混焼に分け、合計15施設について調査を行った。

調査対象施設一覧表を表1に示した。

3 測定方法

ばいじん濃度：JIS Z 8808-1986

「排ガス中のダスト濃度の測定方法」

動圧式平衡形試料採取装置

粒度分布：アンダーセン・スタック・サンプラー法

元素成分：蛍光X線分析装置(理学RIX3000)

炭素成分：CHN計(柳本MT-3)

窒素酸化物濃度：JIS B 7982-1988

「排ガス中の窒素酸化物自動計測器」

化学発光方式

酸素濃度：JIS B 7983-1979

「排ガス中の酸素自動計測器」

磁気力方式

4 燃焼計算

使用燃料別に主成分、熱量、理論空気量(A₀)、理論燃焼排ガス量(G₀)について示した。

(1) 廃材(柱材)

主成分 セルロース・セミセルロース：50%、
 リグニン：35%、水分(W)：15%として

これより

C = 45.0%, H = 5.0%, O = 35.0%,
W = 15.0%

熱量 3850 Kcal/kg

A₀ = 4.167 m³/kg

G₀' = 4.132 m³/kg

(2) 廃油

主成分 C = 86.0%, H = 14.0%, S = 0.5
%, N = 0.05%

比重 0.897

熱量 9,130 Kcal/kg

A₀ = 11.40 m³/kg

G₀' = 10.61 m³/kg

(3) A重油

主成分 C = 86.11%, H = 13.8%, S =
0.09%, N = 0.01%

比重 0.871

熱量 10,725 Kcal/kg

A₀ = 11.343 m³/kg

G₀' = 10.569 m³/kg

5 結果と考察

5.1 ばいじん排出量調査結果

浴場ボイラーのばいじん排出量実態調査結果を
表2に示した。

ここで表中の燃料使用量については、A重油、
廃油とも流量計の設置してある施設はなく、また
廃材については作業者の独自の判断(感)で炊い
ているものが大半であり、的確な使用量につかめ
ないため、燃焼排ガス量(実測値)から算出した
推定値を用いた。

ばいじん濃度をO₂=0%換算値で見るとA重
油専焼の5施設では、0.004~0.069g/Nm³で平
均値は0.017g/Nm³であった、廃材専焼の5施
設では、0.187~1.050g/Nm³で平均値は0.560g
/Nm³であった、廃油専焼の3施設では、0.062

表2 浴場ボイラーばいじん排出量実態調査結果

施設 番号	燃料種類	燃料使用料	使用熱量	ばいじん濃度	O ₂ 濃度	ばいじん	燃焼排ガス量	ばいじん	原単位	
		L/h	×1000 kcal/h	g/Nm ³	%	O ₂ =0%換算 g/Nm ³	Nm ³ /h	排出量 g/h	g/1000kcal	
1	A重油	55.5	518.5	0.002	9.8	0.004	992	1.98	0.0938	
2	A重油	55.9	522.5	0.005	11.8	0.011	1223	6.12	0.0117	
3	A重油	41.0	383.0	0.004	13.0	0.011	1035	4.14	0.0108	
4	A重油	42.8	399.8	0.018	15.5	0.069	1583	28.51	0.0713	
5	A重油	49.8	465.2	0.005	13.8	0.015	1402	7.01	0.0151	
AV	A重油AVG	49.0	457.7	0.007	12.8	0.017	1247	8.48	0.0185	
燃料種類		kg/h								
6	廃材	83	319.6	0.086	16.6	0.410	1655	142.33	0.4454	
7	廃材	124	477.4	0.395	13.1	1.050	1375	543.13	1.1377	
8	廃材	104	400.4	0.053	15.3	0.195	1594	84.48	0.2110	
9	廃材	141	542.9	0.366	10.0	0.641	1119	375.98	0.6926	
10	廃材	129	496.7	0.048	15.6	0.187	2092	100.42	0.2022	
AV	廃材	116	447.4	0.181	14.1	0.560	1567	287.70	0.6431	
燃料種類		L/h								
11	廃油	49.5	405.4	0.051	14.0	0.153	1482	75.58	0.1864	
12	廃油	40.0	327.6	0.033	9.8	0.062	739	24.39	0.0744	
13	廃油	21.1	172.8	0.041	18.1	0.319	1547	68.07	0.3939	
AV	廃油AVG	36.9	301.9	0.043	14.0	0.127	1256	53.59	0.1775	
燃料種類		kg/h, L/h								
14	廃材・A重油燃焼									
	廃材	144	438.9	0.070	16.2	0.306	2068	144.76	0.3298	
	A重油	87.3	815.5	0.043	10.3	0.084	1684	72.41	0.0888	
燃料種類		kg/h, L/h								
15	廃材・廃油燃焼									
	廃材	102	392.7	0.023	17.4	0.134	2486	57.18	0.1456	
	廃油	33.6	275.2	0.052	14.5	0.168	1086	56.47	0.2052	

～0.319g/Nm³で平均値は0.127g/Nm³であった、ここでは使用燃料種類によるばいじん濃度の差が大きく現れていた。

1000Kcal当たりのばいじん排出量原単位については、燃料種類による差は大きく出ているが、使用熱量とばいじん排出量との間に比例関係は見られなかった。

ばいじん排出量について施設別に図1に示した。

ここで施設番号1～5はA重油専焼施設、施設番号6～10は廃材専焼施設、施設番号11～13は廃油専焼施設のそれぞれ時間当たりのばいじん排出量を示し、AVはその平均値を示した。

また施設番号14及び15は廃材・A重油、廃材・廃油の混焼施設であるが、それぞれ左に廃材単独燃焼時のばいじん排出量を示し、右にA重油もしくは廃油単独燃焼時のばいじん排出量を示した。

これより、廃材燃焼施設については施設によるばいじん排出量の差が大きく現れていた。

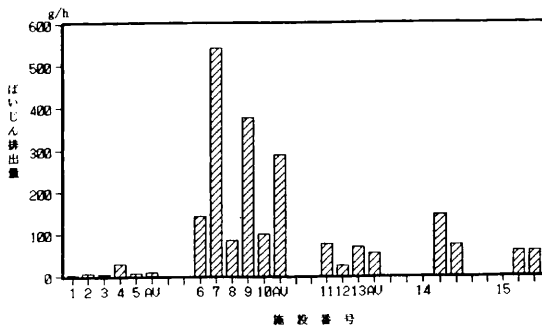


図1 施設別ばいじん排出量

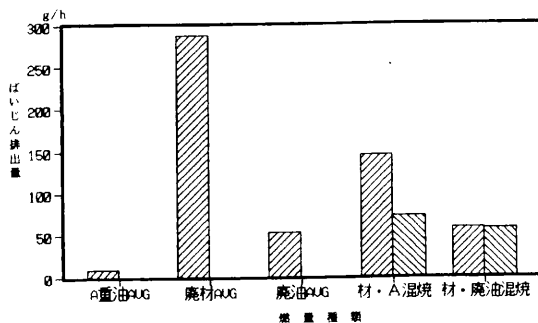


図2 燃料種類別ばいじん排出量

燃料種類別のばいじん排出量について、その平均値を図2に示した。ただし、混焼施設については1施設ずつなのでそのままの数値を示した。

ここで、ばいじん排出量は廃材がもっとも高く、次が廃油でA重油がもっとも低い値であった。

しかし、廃材・A重油混焼施設のA重油単独燃焼時のばいじん排出量がかなり高い値を示しているが、これは廃材燃焼時に炉及び煙道内に残留

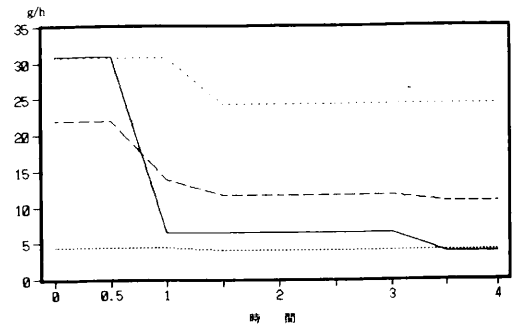


図3 ばいじん排出量経時変化 (A重油)

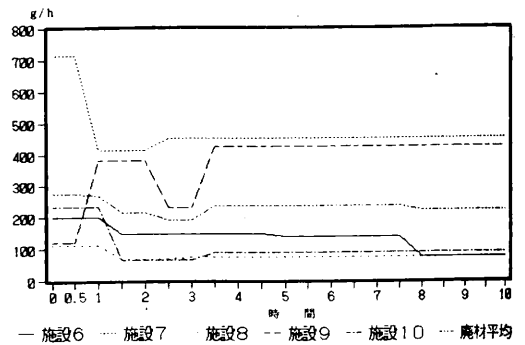


図4 ばいじん排出量経時変化 (廃材)

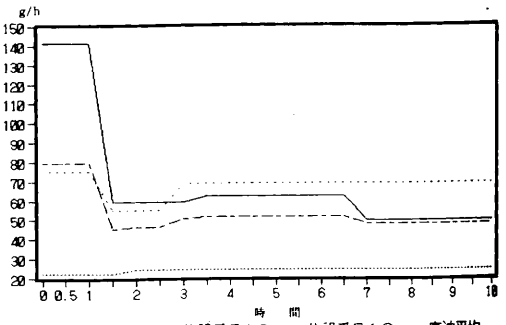


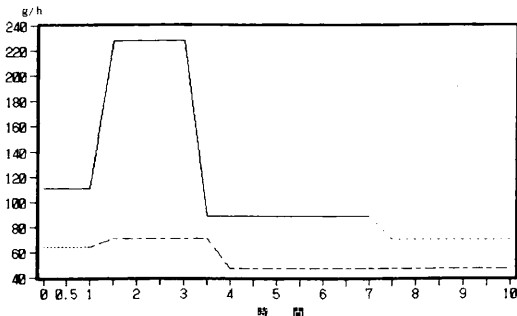
図5 ばいじん排出量経時変化 (廃油)

したばいじんがA重油燃焼に切り替えた後に排出されたものと考えられる。

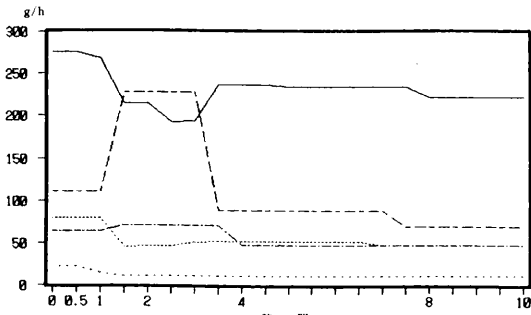
ばいじん排出量の経時変化について、A重油、廃材、廃油燃焼の各施設別に図3～5に示した。

また混焼燃焼施設については、図6に示した。ここで施設番号14については、炊き始めから中盤まで廃材燃焼で後半のみA重油に切り替えられている、施設番号15については、炊き始めのみ廃材でその後は廃油燃焼であった。

これらを燃料別に集計したものを図7に示した。ここから解るようにばいじん排出量は、ボイラー



— 施設14廃材 施設15廃材 施設14A重油 - - 施設15廃油
図6 ばいじん排出量経時変化(混焼)



— 廃材平均 廃油平均 A重油平均 - - 廃材A重油 - - - 廃材廃油
図7 ばいじん排出量経時変化(燃種別)

の炊き始め30分位が最も高く1時間以上経過すると低くなりその後は安定してくる傾向が見られた。しかし廃材燃焼施設では、時間経過に関わりなく、ばいじん排出量の高低が繰り返される施設も見受けられた。

この傾向を示した施設は、施設番号9と施設番号14ではばいじん排出量も比較的多めであった。

5.2 窒素酸化物排出量調査結果

浴場ボイラーの窒素酸化物排出量実態調査結果を表3に示した。窒素酸化物排出量調査を行った施設数は、4施設で燃料種類としてはA重油、廃油が1施設、廃材が3施設であった。

ここでNOx排出量原単位をみると廃油燃焼施設が最も高く次にA重油燃焼施設で廃材燃焼施設が最も低い値を示している。

このNOx排出量原単位を燃料種類別に図8に示した。

浴場ボイラーは燃焼空気の取り入れが自然通風のもので多く使用燃料種類に係わりなくO₂濃度は高めであった。従って、A重油燃焼施設でも過

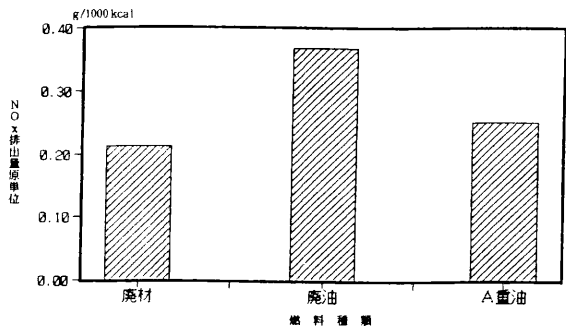


図8 窒素酸化物排出量原単位

表3 浴場ボイラ窒素酸化物排出量実態調査結果

燃料種類	施設数	燃料使用量 L/h, kg/h	使用燃料 ×1000 kcal/h	NOx平均 ppm	O ₂ 濃度 %	NOxO ₂ =0 ppm	NOx排出量 Nm ³ /h	原単位 g/1000kcal
廃材	3	99.7	383.7	24.3	16.0	101.4	0.0398	0.213
廃油	1	33.6	275.2	49.5	14.5	159.9	0.0495	0.369
A重油	1	55.9	522.2	54.3	11.8	123.9	0.0638	0.251

去に調査した¹⁾小型ボイラーの平均値 (NOx 排出量原単位 0.199g/1000Kcal) より NOx 排出量原単位は高めであった。廃油についても同様と考えられるが、さらに燃料中の N 分が A 重油より多いことも起因していると思われる。廃材燃焼ボイラーにおいては炉内での燃焼温度が重油等と比べて低いためサーマル NOx の生成が抑えられ NOx 排出量原単位が低めになったものと考えられる。

5.3 ばいじんの成分分析結果

浴場ボイラーの燃料種類別ばいじん成分分析結果を表 4 に示した。分析法は、Carbon が CHN 計 (orgC:550℃ He, eleC:900℃ O₂-He) で、その他の元素成分は全て蛍光 X 線分析装置で行っ

た結果である。

廃材燃焼ボイラーのばいじんの成分組成は、Total C:7.7%でその他含有量の多いものは Cl:14%, Na:9.8%, K:6.4%であった。廃油燃焼ボイラーのばいじんの成分組成は、Total C:4.5%でその他 P:5.8%, Ca:3.8%等が多く含まれていた。A 重油燃焼ボイラーばいじんの成分組成は、Total C:43.5%でその他 Fe:2.7%, S:1.0%等が多めであった。

また、比較のために過去に本市で調査をした²⁾重油燃焼ボイラー及び都市ゴミ焼却炉のばいじんの成分組成について表 4 の右側に示した。

浴場ボイラーの A 重油燃焼施設と一般の重油燃焼ボイラーのばいじんの成分組成との比較では、ほぼ同様の結果となっているが、浴場ボイラーの

表 4 燃料種類別ばいじん成分分析結果

成分	浴場ボイラー			一般ボイラー	焼却炉
	燃料種類			重油	都市ゴミ
	廃材	廃油	A重油		
Na	9.8	—	0.8	2.1	11
Mg	0.121	0.83	0.009	—	—
Al	0.04	0.026	0.3	0.26	0.67
Si	0.11	0.35	0.079	—	—
P	0.023	5.8	0.003	—	—
S	1.6	1.3	1.0	—	—
Cl	14	0.18	0.004	—	30
K	6.4	0.23	0.05	0.078	16
Ca	0.38	3.8	0.07	0.25	3.9
Cr	—	—	0.01	0.08	0.03
Mn	0.015	0.018	0.01	0.011	0.01
Fe	0.014	0.014	2.7	2.6	0.92
Ni	—	—	0.05	0.42	0.02
Cu	0.002	0.027	—	0.035	0.09
Zn	0.045	0.75	0.02	0.04	3.5
Pb	0.003	0.011	—	0.006	1.2
Total C	7.7	4.5	43.5	36.0	3.5
org C	1.2	2.6	1.8	3.0	1.3
ele C	6.5	1.9	41.7	33.0	2.2

表 5 ばいじん粒度分布の調査結果

測定回数	ばいじん濃度 g/m ³ N	粒度分布		乾き排ガス量 m ³ N/h	排ガス温度 ℃
		<1 μm %	<5 μm %		
一回目	0.090	88.4	97.1	1813	86
二回目	0.039	90.0	97.7	1214	78
三回目	0.062	87.2	97.5	1581	74

廃材燃焼施設のばいじん成分組成は一般ボイラーよりむしろ都市ゴミ焼却炉に類似しており、Na、Cl、K及びTotal C等が同程度の含有量であった。

但し、都市ゴミ焼却炉に特徴的なZn、Pb等の成分は廃材燃焼施設のばいじんには少量しか含まれていなかった。

5.4 ばいじんの粒度分布調査結果

ばいじんの粒度分布調査は、今回調査した施設の中でばいじん排出量の最も多い廃材燃焼ボイラーについて行った。

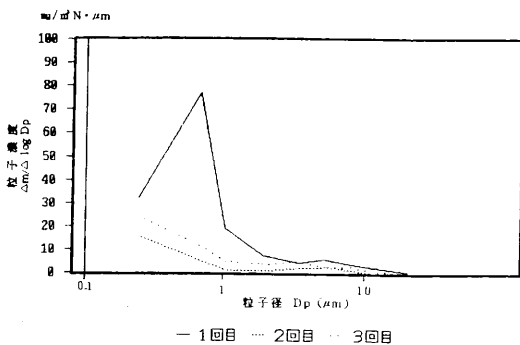


図9 粒度分布(廃材燃焼ボイラー)

調査は、ばいじん排出量の最も多いボイラー着火直後(1回目)、その後の低減時(2回目)、及び浴場開店後の定常時(3回目)について粒度分布調査を行い、その結果を表5に、また、粒度分布図を図9に示した。

表5より粒度分布の測定結果は、 $1\mu\text{m}$ 以下の粒子が87~90%、 $5\mu\text{m}$ 以下の粒子が97%であり、極端に微小粒径に偏っていた。また、図9の粒度分布図より着火直後の1回目から定常状態になる3回目までのパターンを比較すると着火直後の1回目は、粒径 $0.7\mu\text{m}$ 付近に大きなピークを持つパターンを示したが2回目、3回目は、このピークがなく微小粒径から粗大粒径にかけてなだらかに下がるパターンを示した。このことから、ばいじんはボイラー着火直後に多く排出されるが、これらのばいじんの多くは、粒径 $0.7\mu\text{m}$ 付近の

微小粒子であると考えられる。

6 まとめ

(1) ばいじん濃度($\text{O}_2=0\%$ 換算値)は、A重油専焼施設平均で $0.017\text{g}/\text{Nm}^3$ 、廃材専焼施設平均で $0.560\text{g}/\text{Nm}^3$ 、廃油専焼施設では $0.127\text{g}/\text{Nm}^3$ であり、使用燃料種類によるばいじん濃度の差が大きく現れていた。

(2) 廃材燃焼施設のばいじん排出量は、施設固有の差が結果に大きく現れていた。このことは、ばいじん排出量強度(emission factor)を求める上で留意すべきことであり、さらに詳細な調査も必要と思われる。

(3) ばいじん排出量経時変化は、ボイラー炊き始めから30分位までが最も排出量が多く、1時間以上経過すると下がりその後は安定してくる傾向が見られた。

(4) 窒素酸化物排出量原単位については、廃油燃焼施設が最も高く $0.369\text{g}/1000\text{Kcal}$ 、次にA重油燃焼施設が $0.251\text{g}/1000\text{Kcal}$ で、廃材燃焼施設が $0.213\text{g}/1000\text{Kcal}$ と最も低い値であった。

(5) 廃材燃焼ボイラーのばいじんの成分組成は、Total C:7.7%でその他含有量の多いものはCl:14%、Na:9.8%、K:6.4%であった。廃油燃焼ボイラーのばいじんの成分組成は、Total C:4.5%でその他P:5.8%、Ca:3.8%等が多く含まれていた。A重油燃焼ボイラーばいじんの成分組成は、Total C:43.5%でその他Fe:2.7%、S:1.0%等が多めであった。

(6) 粒度分布の測定結果は、 $1\mu\text{m}$ 以下の粒子が87~90%、 $5\mu\text{m}$ 以下の粒子が97%であり、極端に微小粒径に偏っていた。

文 献

- 1) 井上俊明, 広瀬健二, 緒方行治: 郡小ボイラーに係る窒素酸化物排出量実態調査について, 川崎市公害研究所年報, 19, 16~24(1993)
- 2) 柴田幸雄, 井上俊明, 松尾清孝, 林久緒, 黒沢芳則, 志水正樹, 中村清治: 固定発生源から排出されるばいじんの成分組成について, 川崎市公害研究所年報, 11, 59~71(1984)
- 3) 飯豊修司: 固定発生源から排出される粒子の評価, 千葉県公害研究所研究報告, 21(1), 1~17(1989)
- 4) 真室哲雄, 溝畑朗, 久保田寅英: 都市廃棄物焼却炉より放出される浮遊粒子の元素組成, 大気汚染学会誌, 14(5), 190~196(1979)
- 5) 佐保満夫: 固定発生源から排出されるばいじん(粒度分布)調査報告書, 横浜市公害研究所資料, 33, 1~133(1982)