

〔報告〕

停泊中船舶からの炭化水素の排出状況

飯村 文成 星 純也 天野 冴子 樋口 雅人 石井康一郎
 鮫島 弘尚* 藤田 昌廣* 市橋 玄吾* 芳住登紀子*
 (*環境改善部)

1 はじめに

東京都では平成 16 年度に、学識者並びに船舶関係者からなる「船舶等による大気汚染対策検討委員会」を設置して、停泊中船舶からの排ガスの現状把握及び削減手法等について検討を行った¹⁾。同委員会において行った停泊中船舶からの NOx 等の排出実態調査に合せて、VOC を含む炭化水素についても測定を行ったので報告する。

について、補機から排出される排ガスを測定した。調査対象船舶の概要及び測定時の負荷を表 1 に示した。このうち VOC 等を測定したのは 7 隻である。

排ガスの測定（採取）は、船舶の最上部にある補機の排気口から加熱導管（20 m、PFA フッ素樹脂製）を経由して行った。測定対象成分及び採取・分析方法の概要を表 2 に、詳細を以下に示す。

① 総炭化水素（THC）

加熱導管からの排ガスを氷冷トラップを通して除湿し、10 ℓテドラーバッグに減圧採取した。これを速やかに実験室に持ち帰り、炭化水素計にシリンジで直接注入し測定した。

2 方法

(1) 停泊中船舶の排ガス測定

平成 16 年 7 月 30 日から 9 月 15 日の間に東京港に停泊した船舶のうちで、大型のものを中心とした 15 隻

表 1 測定対象船舶

船種・No.		総トン数	竣工年	補機エンジン仕様等				測定項目		
				使用油種	定格出力 (kW)	調査時の負荷率 (%)	排ガス温度* (℃)	炭化水素類	OC, EC, PAH	PM, NOx, SO2
コンテナ船	1	34,000t	1987	C 重油	1,324	35.1	279	○	○	○
	2	75,000t	2003	C 重油	2,960	60.8	394	○	○	○
	3	61,000t	1992	C 重油	1,880	62.6	331	—	○	○
貨物船・RORO 船	1	13,000t	2002	C 重油	1,300	29.6	303	○	○	○
	2	8,300t	1999	C 重油	698	48.4	302	○	○	○
	3	13,000t	2000	C 重油	1,214	40.0	294	—	○	○
油タンカー船	1	3,200t	1986	A 重油	221	25.3	278	—	○	○
	2	2,500t	1994	A 重油	265	46.0	287	—	○	○
	3	240t	1990	A 重油	405	40.1	207	—	○	○
客船	1	11,000t	1996	A 重油	846	44.7	278	○	○	○
	2	6,700t	1997	C 重油	883	38.3	263	○	○	○
	3	5,000t	1992	C 重油	662	42.6	318	—	○	○
砂利等運搬船・セメント船	1	8,600t	1998	A 重油	458	37.8	292	—	—	○
	2	5,000t	1992	A 重油	736	45.5	254	—	—	○
	3	4,100t	1996	A 重油	662	64.2	370	○	○	○
合計		—	—	—	—	—	—	7	13	15

* 排ガス温度は排気口（PM 採取位置）で測定

表 2 測定項目及び方法

	測定項目	採取方法 (媒体)	採取時間	分析方法 (装置)	調査数
①	総炭化水素 (THC)	10ℓ テドラー バッグ	約 1 分間 × 2 検体	炭化水素計 (島津 HCM-1B)	7 隻
②	VOC 等 59 成分			GC-FID (島津 GC-9A) 及び GC-MS (HP-6890/5972A)	
③	アルデヒド類	DNPH 捕集管	約 5 分間 × 2 検体	HPLC (HP-1100)	
④	多環芳香族炭化水素 (PAH)	石英繊維ろ紙 47mm φ	約 10 分間	HPLC (日本分光 LG-2080 システム)	13 隻
⑤	元素炭素 / 有機炭素 (EC/OC)			熱分離分解法 (理学電気製 RF-8900 システム)	
⑥	ばいじん (PM) *			JIS Z 8808	15 隻
⑦	二酸化硫黄 (SO ₂) *	連続・10 秒毎		非分散型赤外線吸収法 (堀場製作所 VIA510-SO ₂)	
⑧	窒素酸化物 (NO _x) *	〃		減圧式化学発光法 (柳本製作所 ECL-88A0)	
⑨	酸素 (O ₂) *	〃		磁気力式 (〃)	

*結果は既報¹⁾を参照のこと。

② VOC 等 59 成分

①の試料から、0.5 ～ 5 ml をシリンジで測定機に直接注入して測定した。メタン、エタン、エチレン、プロパン、アセチレン、プロピレンについては GC-FID により、それ以外の 53 成分については GC-MS により測定した。装置及び測定条件は既報²⁾に準じた。

③ アルデヒド類

加熱導管からの排ガスを、結露を防ぐためリボンヒーターで加温した 2 連の DNPH 捕集管に導入し、約 0.2 ℓ/分で 1.0 ℓ 採取した。その際、捕集管の後にシリカゲル充填管を接続して流量計付ポンプで吸引し、乾きガス流量を求めた。採取後の捕集管を速やかに実験室に持ち帰り、前・後段それぞれをアセトニトリル 5 ml で溶出し、HPLC で分析した。装置及び測定条件は既報³⁾に準じた。

④ 多環芳香族炭化水素 (PAH)

補機の排気口から PM 採取管を挿入し、47 mm φ の石英繊維ろ紙に約 10 分間、約 200 ℓ 吸引した。採取したろ紙の約半量をジクロロメタンで高速溶媒抽出し HPLC で測定した。装置及び測定条件は既報⁴⁾に準じた。なお、排ガス温度はいずれも 200 ℃ 以上 (表 1) であり、PAH の多くはガス化して捕捉されなかった可能性があるため、結果は参考値として示す。

⑤ 有機炭素 (OC)、元素炭素 (EC)

④のろ紙から 10 mm φ を打ち抜き、さらにその 1/4 ～ 1/2 を分析試料とした。理学電気製 RF-8900 システムで酸素存在窒素気流下に試料をおき、350 ℃ までの昇温・保持時間 (5 分間) 内に発生した二酸化炭素

(CO₂) 量から OC、さらに 850 ℃ までの昇温・保持時間 (5 分間) 内に発生した CO₂ 量から EC を求めた。

3 結果

(1) VOC 等の濃度及び組成

表 3 に排ガス中の VOC 等の濃度及び A、C 重油別の燃料当たり排出係数、THC 比を示す。排ガス濃度の表示は、酸素濃度 13 % の状態に換算した。VOC 成分の上位はエチレン、メタン、プロピレン、ベンゼン、アセチレン、トルエン、キシレンなどで、これら 7 項目 (9 成分) で、測定した 59 成分の 80 % 以上を占めていた。

なお、有害大気汚染物質についても優先取組物質を中心に測定したが、ベンゼン以外はほとんど検出されず、表中に示した 1,3-ブタジエンも一部の船舶で検出されたに過ぎなかった。

参考文献

- 1) 東京都環境局：平成 16 年度船舶等による大気汚染対策検討委員会報告書、(2005)
- 2) 木下輝昭ら：東京都における環境大気中の炭化水素成分について、都環研年報 2004、pp59-64、(2004)
- 3) 東京都：平成 16 年度環境省委託業務結果報告書「有害大気汚染物質モニタリング実施事業報告書」、(2005)
- 4) 天野冴子ら：都内環境大気における多環芳香族炭化水素について、都環研年報 2004、pp94-98 (2004)

表 3 排ガス濃度及び燃料当り排出係数

		排ガス濃度 (O ₂ 13%換算) : μg/m ³ (< >内を除く)				燃料当たり排出係数 : μg/kg-燃料 (< >内を除く)		
		全 船 舶 (*:n=13, 其他:n=7)		C重油使用 (*:n=8, 其他:n=5)	A重油使用 (*:n=5, 其他:n=2)	C重油使用 (*:n=8, 其他:n=5)	A重油使用 (*:n=5, 其他:n=2)	
		最小～最大	平均					
①総炭化水素 THC*		32,500 ～ 69,900	46,800	49,700	39,400	1,297	1,052	
②VOC等59成分 計		1,610 ～ 19,500	7,920	8,600	6,200	224.91	165.49	
< THC比 >		-	<16.9%>	<17.3%>	<15.7%>	<17.3%>	<15.7%>	
アルカン (直鎖)	Methane < THC比 >	501 ～ 3,940	1,370 < 2.9%>	1,630 < 3.3%>	700 < 1.8%>	42.40 < 3.3%>	18.78 < 1.8%>	
	Ethane	0 ～ 415	90	130	0	3.32	0.00	
	Propane	0 ～ 97	14	19	0	0.50	0.00	
	Butane	5 ～ 56	23	27	15	0.70	0.38	
	n-Pentane	0 ～ 23	12	15	7	0.39	0.17	
	n-Hexane	5 ～ 90	36	42	18	1.11	0.48	
	Heptane	4 ～ 43	20	16	28	0.43	0.73	
	n-Octane	4 ～ 52	25	17	43	0.45	1.14	
	Nonane	4 ～ 118	56	39	101	1.02	2.72	
	n-Decane	4 ～ 236	91	77	125	2.01	3.39	
	n-Undecane	3 ～ 176	78	65	109	1.71	2.98	
アルカン (側鎖)	Isobutane	2 ～ 23	10	11	6	0.29	0.15	
	Isopentane	2 ～ 17	9	11	7	0.27	0.18	
	2,2-Dimethylbutane	0 ～ 11	3	2	6	0.06	0.17	
	2-Methylpentane + 2,3-Dimethylbutane	0 ～ 10	5	5	6	0.13	0.17	
	3-Methylpentane	0 ～ 11	5	4	6	0.11	0.17	
	2,4-Dimethylpentane	0 ～ 4	1	1	2	0.02	0.05	
	2-Methylhexane	0 ～ 12	5	4	8	0.11	0.21	
	2,3-Dimethylpentane	1 ～ 17	10	10	10	0.26	0.25	
	3-Methylhexane	0 ～ 19	7	6	12	0.15	0.31	
	2,2,4-Trimethylpentane	0 ～ 3	1	1	2	0.02	0.04	
	2,3,4-Trimethylpentane	0 ～ 4	1	0	2	0.01	0.05	
環状 アルカン	2-Methylheptane	2 ～ 23	9	7	16	0.18	0.41	
	3-Methylheptane	0 ～ 21	8	5	15	0.13	0.40	
	Cyclopentane	0 ～ 3	1	0	1	0.00	0.04	
	Methylcyclopentane	0 ～ 11	5	5	6	0.12	0.15	
アルケン	Cyclohexane	2 ～ 11	5	4	7	0.12	0.19	
	Methylcyclohexane	4 ～ 29	11	8	20	0.20	0.52	
	Ethylene	0 ～ 7,060	2,920	3,245	2,101	84.89	56.31	
	Propylene	0 ～ 3,000	1,320	812	534	35.75	32.11	
	1-Butene	4 ～ 390	187	192	175	5.03	4.57	
	1,3-Butadiene	0 ～ 97	29	40	2	1.06	0.05	
	t-2-Butene	1 ～ 65	35	39	27	1.01	0.70	
	c-2-Butene	1 ～ 40	22	22	22	0.57	0.56	
	1-Pentene	3 ～ 151	78	78	77	2.05	2.00	
	2-Methyl-1,3-butadiene	0 ～ 1	0	0	0	0.01	0.00	
	t-2-Pentene	0 ～ 22	9	11	4	0.28	0.12	
芳香族	c-2-Pentene	0 ～ 12	5	5	4	0.14	0.09	
	2-Methyl-1-pentene	2 ～ 117	45	51	30	1.33	0.78	
	Acetylene	0 ～ 1,510	450	492	345	12.82	9.47	
	Benzene	8 ～ 1,730	435	547	154	14.26	4.07	
	Toluene	10 ～ 369	135	156	80	4.09	2.11	
	Ethylbenzene	4 ～ 40	25	24	26	0.63	0.68	
	p,m-Xylene	14 ～ 137	42	23	89	0.61	2.44	
	o-Xylene	3 ～ 35	25	22	35	0.57	0.92	
	Styrene	0 ～ 4	1	1	2	0.02	0.06	
	Isopropylbenzene	2 ～ 9	5	5	5	0.13	0.14	
	n-Propylbenzene	1 ～ 19	12	11	17	0.28	0.45	
その他	p,m-Ethyltoluene	8 ～ 279	57	18	153	0.48	4.25	
	1,3,5-Trimethylbenzene	2 ～ 55	19	11	38	0.29	1.05	
	o-Ethyltoluene	2 ～ 63	21	13	41	0.34	1.11	
	1,2,4-Trimethylbenzene	5 ～ 196	64	37	131	0.98	3.57	
	1,2,3-Trimethylbenzene	3 ～ 72	26	16	52	0.41	1.41	
	m-Diethylbenzene	2 ～ 29	10	6	19	0.15	0.53	
	p-Diethylbenzene	3 ～ 95	31	19	63	0.49	1.73	
	a-Pinene	0 ～ 0	0	0	0	0.00	0.00	
	b-Pinene	0 ～ 1	0	0	0	0.00	0.01	
	(非メタン炭化水素 NMHC ※2)		-	45,430	48,070	38,700	1,254	1,033
	③アルデヒド類 計		1,160 ～ 59,800	12,100	14,700	5,660	385.59	151.38
Formaldehyde		488 ～ 59,600	10,700	13,900	2,680	365.82	73.22	
Acetaldehyde		152 ～ 4,340	1,390	759	2,980	19.78	78.16	
④多環芳香族炭化水素 PAH※3 計		* 3.6 ～ * 187	* 56	* 33	* 93	* 1.00	* 0.35	
Benzo[a]anthracene		* 0 ～ * 8.2	* 2.0	* 1.3	* 3.3	* 0.05	* 0.00	
Chrysene		* 0 ～ * 42	* 6.0	* 3.9	* 9.3	* 0.16	* 0.03	
7,12-Dimethyl[a]anthracene		* 0 ～ * 0.17	* 0.01	* 0.02	* 0.00	* 0.00	* 0.00	
Benzo[b]fluoranthene		* 0 ～ * 20	* 5.0	* 3.4	* 7.5	* 0.13	* 0.00	
Benzo[k]fluoranthene		* 0.23 ～ * 7.7	* 1.8	* 1.3	* 2.6	* 0.05	* 0.01	
Benzo[a]pyrene		* 0.10 ～ * 13	* 3.0	* 1.8	* 5.0	* 0.06	* 0.01	
Dibenz[ah]anthracene		* 0 ～ * 3.6	* 1.0	* 0.6	* 1.6	* 0.01	* 0.00	
3-Methylcholanthrene		* 0 ～ * 0.20	* 0.03	* 0.04	* 0.00	* 0.00	* 0.00	
Benzo[ghi]perylene		* 0.92 ～ * 82	* 21	* 11	* 37	* 0.20	* 0.06	
Benzo[e]pyrene		* 0 ～ * 16	* 5.3	* 5.1	* 5.8	* 0.14	* 0.00	
Benzo[j]fluoranthene		* 0 ～ * 22	* 3.0	* 2.8	* 3.4	* 0.11	* 0.24	
Indeno[1,2,3-cd]pyrene		* 0 ～ * 49	* 8.2	* 2.1	* 17.9	* 0.09	* 0.00	
⑤総炭素 TC (OC+EC)		* 3,430 ～ * 64,200	* 25,100	* 25,500	* 24,400	* 665	* 692	
有機炭素 OC		* 422 ～ * 4,630	* 2,030	* 2,300	* 1,500	* 61	* 45	
元素炭素 EC		2,690 ～ 63,500	23,000	23,100	22,900	604	647	

※1: JIS B 8008-1 往復動内燃機関-排出物測定- に従いC:H=1:1.90として計算。

※2: 非メタン炭化水素は、総炭化水素THCからMethaneを差し引いたもの。

※3: PAHは、PM測定用試料(高温の排ガス中の粒子)を分析したため参考値。