

都市ごみ中の水銀における処理及び管理手法に関する調査研究（3）

寺嶋有史・辰市祐久・飯野成憲・小泉裕靖

【要約】『水銀に関する水俣条約』が発効し、国内で新たに大気への水銀の排出基準による規制が施行された（平成30年4月1日）。本報では、代表的なガス状水銀である塩化第二水銀について実験室レベルの吸着・反応処理実験装置を開発するとともに、その装置を用いて乾式処理での各種活性炭の性能を把握することを試みた。その結果、一般臭気用活性炭においては160℃以上の高温では水銀を除去することは困難であるが、水銀除去用活性炭においては160℃まで顕著に効果があることが明らかになった。

【目的】

都市ごみ焼却排ガス中の代表的なガス状水銀である塩化第二水銀（ HgCl_2 ）について、活性炭処理に関する基礎的検討を行い、その排出の効果的な抑制と管理に関する技術情報を提供することを目的とした。

【方法】

前報¹⁾で報告した「ガス状水銀（金属水銀）の吸着・反応処理実験装置」を基本として、 HgCl_2 の供給パーツを工夫・追加して新たな実験装置を開発するとともに、 HgCl_2 に対する各種活性炭の吸着・反応性能を評価した。

【結果の概要】

(1) 「ガス状水銀（ HgCl_2 ）の吸着・反応処理実験装置」の開発について

HgCl_2 は昇華性粉末であり、室温近くでも本実験で使用する濃度レベルでは揮散制御可能と考えられたため、金属水銀（ Hg^0 ）の場合と同様に、揮散した HgCl_2 蒸気を窒素ガスで希釈・移送した後、三方コックにより主流路中に導入した。本方法により、 HgCl_2 単体本来の安定性を維持しつつ、 HgCl_2 のみを純粹にかつ簡便な操作によって供給することが可能となった。ただし、 HgCl_2 は Hg^0 と異なり配管素材への吸着が確認されているため²⁾、 HgCl_2 が通過する流路全体をリボンヒーターにより保温した（120℃以上）。 HgCl_2 の供給パーツを追加した「ガス状水銀の吸着・反応処理実験装置」の全体図を図1に示す。

(2) 供試活性炭におけるガス状水銀（ Hg^0 、 HgCl_2 ）の排出挙動について

供試活性炭はすべて一般に入手可能な粒状（メッシュ：4～8/10）で、一般臭気用1種（無添着、A）と水銀除去用4種（添着型：B～E、添着剤： CaCl_2 、S、 FeSO_4 、KI、 I_2 、 FeCl_3 など）である。それぞれの活性炭において、各ガス温度で得られた HgCl_2 の水銀除去率を次頁の定義式（1）により計算した。

図2に示すように、本装置では“ブランク”状態においても入口から出口に至る配管中の吸着が避けられず、その吸着分による“水銀除去効果”を除くため、出口の積算値のみ補正（160℃の補正係数：1.07）し、各種活性炭の水銀除去率（ HgCl_2 ）を算出した。各種活性炭における排出挙動の全体像を把握するために、 Hg^0 （前報¹⁾）と HgCl_2 において得られた水銀除去率をまとめて表2に示す。

表2によれば、 Hg^0 については、前報に結果を示した活性炭A～Dに加え、今回新たに活性炭Eの実験を行ったが、160℃までは除去率100%であった。200℃の実験は今後行う予定である。

HgCl_2 については、保温時（120℃以上）においても配管素材への吸着等が避けられなかったため、ガス温度は160℃、200℃で実測した。その結果、160℃において、活性炭Aの水銀除去率は25.8%、活性炭BからEのそれはほぼ100%であり、200℃においては活性炭Aの水銀除去率は大きく低下したが、活性炭Bではほぼ100%であった。活性炭C、Dは、添着剤の流出のため測定不能であった。なお、活性炭Eについての200℃での実験は今後行う予定である。

ガス状水銀（ Hg^0 、 HgCl_2 ）の排出挙動を検討した結果、水銀除去用活性炭（B～E）は Hg^0 及び HgCl_2 のどちらに対しても除去率が高く、一般的な活性炭Aに比べて顕著な効果を示した。なお、ガス状水銀と添着剤などとの反応・吸着については、本実験装置を用いた実験及び熱力学的な検証も含めてさらに検討する予定である。

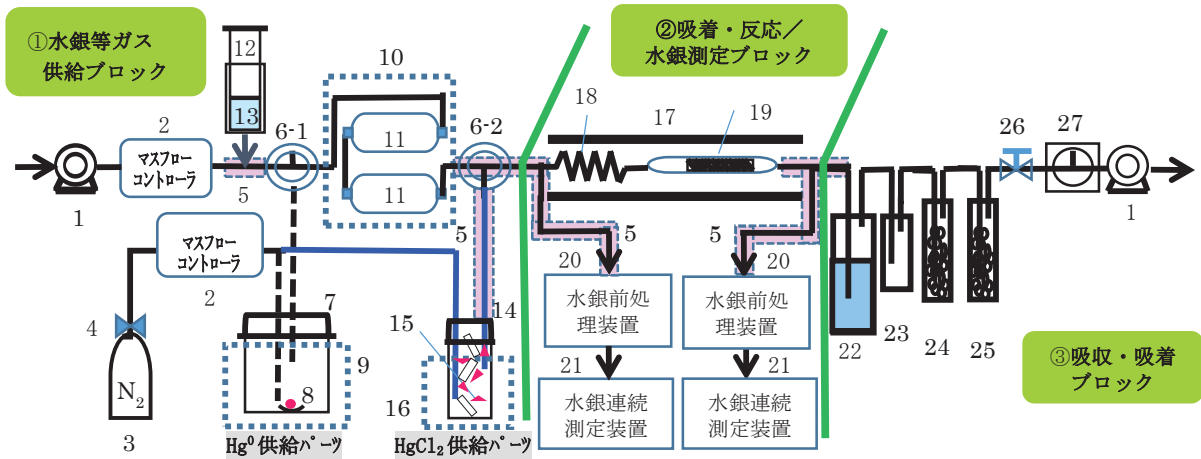


図1. ガス状水銀の吸着・反応処理実験装置 (全体図)

1: エアポンプ (タ イプラム型)、2: マスフローコントローラ、3: 高圧ガスボンベ、4: 圧力調整器、5: 保温ヒーター、6-1: 三方コック(コック部: PTFE)、6-2: 三方コック(コック部: ガラス)、7: Hg⁰ 蒸気発生器 (ガラス製、50)、8: 金属水銀、9: 恒温槽 (冷却水循環式)、10: 恒温槽、11: ガス予熱・混合管 (ガラス製、1ℓ×2本)、12: ガラスタイシリンジ (マイクロファイバー制御、水分率の調節)、13: 蒸留水、14: HgCl₂ 蒸気発生器 (ガラス製)、15: 塩化第二水銀 HgCl₂ (粉末、▲)、16: 湯浴、17: 筒状電気炉、18: ガラス管またはコイルチューブ (テフロン製)、19: 吸着・反応管、20: 排ガス中水銀前処理装置、21: 水銀連続測定装置、22: インヒンジャー (硫酸酸性 KMnO₄)、23: 水分トラップ、24: インヒンジャー (CaCl₂)、25: インヒンジャー (水銀除去用活性炭)、26: 流量調整コック、27: ガスフローメーター (湿式)

$$\text{水銀除去率 (\%)} = \frac{(\text{測定された吸着・反応管入口の水銀濃度の積算値} - \text{同出口の積算値})}{\text{測定された吸着・反応管入口の水銀濃度の積算値}} \times 100 \quad (1)$$

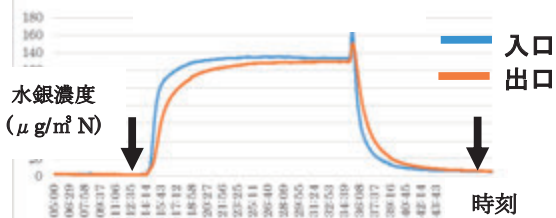


図2. “ブランク” (160°C)における水銀 (HgCl₂) 排出挙動

図2は吸着・反応管 (図1: 19) に何も充てんしていない“ブランク”状態でガス状水銀 (HgCl₂) を供給した際に、吸着・反応管の入口と出口で測定された水銀濃度 [μg/Nm³] のグラフを示す。

*: 図中矢印は積算に使った測定時間の範囲

表2. 供試活性炭における水銀除去率 (Hg⁰、HgCl₂)

ガス温度(°C)	室温	100		160		200	
		Hg ⁰	Hg ⁰	Hg ⁰	HgCl ₂	Hg ⁰	HgCl ₂
ガス状水銀	Hg ⁰	Hg ⁰	Hg ⁰	Hg ⁰	Hg ⁰	Hg ⁰	HgCl ₂
活性炭A	85.6	65.4	5.7	25.8	9.3	0.3	
活性炭B	100	100	100	99.6	100	99.8	
活性炭C	100	100	100	98.6	*	*	
活性炭D	100	100	100	99.7	*	*	
活性炭E	100	100	100	99.4	96.1	99.2	

・ 供試活性炭 (5種) : 吸着塔に用いられるタイプで、通常室温~80°C程度で使用

・ ガス温度 : 清掃工場における排ガス乾式処理の温度 (通常 150~200°C) を考慮して設定

・ 表中*印 : 添着剤の流出のため、測定不能

【参考文献】

- 1) 寺嶋有史ら : 東京都環境科学研究所年報 2017、pp. 16-17 (2017)
- 2) 野田直希ら : 電力中央研究所報告 研究報告 : W01002 (2001)