

清掃工場ボイラー水管の腐食減肉に関する調査

大野拓生・吉田聖・木下誠

福岡市保健環境研究所環境科学課

Survey of Corrosion Thinning of Boiler Water Pipe in Waste Incineration Plant

Takusei OHNO, Kiyoshi YOSHIDA and Makoto KINOSHITA

Environmental Science Section, Fukuoka City Institute of Health and Environment

Summary

During a regular repair of waste incineration plant A in 2016, it was observed that corrosion thinning of the boiler water pipe had significantly progressed compared to the previous year, and the cause was investigated. As the cause of the corrosion progression, we investigated temperature rise inside the waste incinerator, heat rise generated by the waste, sulfur content of the sludge generated by the urine treatment facility, and sulfur content of fly ash adhering to the water pipes. Although sludge generated by the urine treatment facility was accepted at the plant from 2015, they were considered unlikely to be the direct cause of corrosion. A scrutiny of elements other than sulfur in the fly ash adhering to the boiler water pipe showed that fly ash of waste incineration plant A in 2016 had a lower calcium content than others, and a higher proportion of corrosive elements chlorine, potassium, and heavy metals such as zinc and lead. Since the proportion of chlorine, alkali metals and heavy metals such as zinc and lead was high, it was considered likely that high-temperature corrosion due to molten salt had occurred.

Key Words: 清掃工場 waste incineration plant, ボイラー水管 boiler water pipe, 腐食減肉 corrosion thinning, 熔融塩腐食 molten salt corrosion, 硫黄 sulfur

1 はじめに

福岡市の清掃工場には、ごみ焼却処理により発生する熱量を利用し発電を行うため、焼却炉内に水管ボイラーが設置されている。水管は焼却炉内において高温下でHClやSO_x等の酸性ガスや飛灰に曝されるため、徐々に減肉（腐食）が進行することから、毎年の定期修理時に水管肉厚測定を実施している。

2016年のA清掃工場における水管肉厚測定において、多くの水管の減肉が前年度に比べ著しく進行していることが確認された。また、2016年にA清掃工場のボイラー水管に付着していた飛灰は、B清掃工場（A清掃工場と同様の種類のごみを焼却処理している清掃工場）よりも黄色味を帯びていることが確認された（Fig. 1）。通常のボイラー水管に付着した飛灰はB清掃工場の飛灰と同様であるが、2016年のA清掃工場の飛灰は前年の定期修理時までには確認できなかった黄味がかかった飛灰であった。

飛灰の黄色味の原因は、2015年11月よりし尿処理施設で発生した脱水汚泥の受入を開始していることから、汚泥中の硫黄分が原因であると推測した。

また、焼却炉内温度の上昇やごみ発熱量の上昇により強い腐食環境が形成された例の報告もあり¹⁾、硫黄以外の腐食の原因として、焼却炉内温度の上昇やごみ発熱量の上昇等も考えられた。

そこで、ボイラー水管減肉の原因を解明するため、ボイラー水管に付着した飛灰の元素分析や炉内平均温度調



Fig. 1 Fly ash adhering to the boiler water pipe

査等を行ったので、その結果を報告する。

2 調査方法

2.1 ボイラー水管減肉の進行状態

2013年から2018年までのA清掃工場におけるボイラー水管の肉厚測定結果から、ボイラー水管減肉の進行状態を確認した。

2.2 焼却炉内温度、ごみ発熱量等の変化

水管減肉原因として考えられる焼却炉内平均温度やごみ発熱量、及び炉内塩化水素ガス（腐食性ガス）濃度についても、A清掃工場のデータから経年変化を確認した。

2.3 し尿処理汚泥中の硫黄分

2016年における、し尿処理施設で発生した脱水汚泥中の硫黄含有量を調査した。分析は前報²⁾の方法で実施した。また、脱水汚泥をA清掃工場に受け入れることによる廃棄物全体における硫黄の増加割合を調査した。

2.4 ボイラー水管付着飛灰中の硫黄分

ボイラー水管に付着した飛灰中の硫黄含有量の経年変化の把握及び他の清掃工場との比較のため、2016年から2018年度にかけて採取した福岡市の各清掃工場においてボイラー水管に付着した飛灰中の硫黄含有量を調査した。分析は前報²⁾の方法で実施した。

2.5 硫黄分以外の腐食成分

硫黄分以外の腐食性元素による減肉原因を調査するため、2016年から2019年にかけて、各清掃工場で採取したボイラー水管に付着した飛灰における元素組成について蛍光X線分析装置（株）島津製作所製 EDX-7000）により分析を行った。

3 結果及び考察

3.1 ボイラー水管減肉の進行状態

A清掃工場におけるボイラー水管の肉厚測定結果（Table 1）及び減肉速度（Fig. 2）を示す。なお、表中の場所は焼却炉内の各場所（前面、左壁、右壁）の代表箇所を示している。

2016年に減肉速度が0.7~1.0 mm/年と大きくなっており（Fig. 2）、従来と比較し減肉が大きく進行していることが分かった。なお、2017年以降は減肉速度が0.0~0.3

mm/年と小さくなっていることも確認できた。なお、2016年調査後に前面の水管は取り替えた。

Table 1 Water pipe thickness measurement result of the waste incineration plant A (mm)

place	2013	2014	2015	2016	2017	2018
Front wall	4.6	4.6	4.5	3.5	6.1*	5.8
Left wall	5.4	5.4	5.3	4.5	4.5	4.5
Right wall	4.7	4.7	4.6	3.9	3.7	3.4

* Value after water pipe replacement

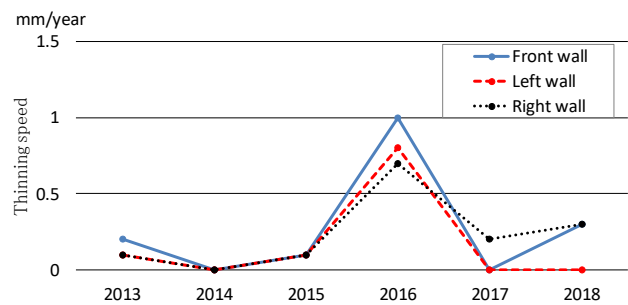


Fig. 2 Thinning speed of the waste incineration plant A

3.2 焼却炉内温度、ごみ発熱量等の変化

A清掃工場における焼却炉内平均温度（Fig. 3）、ごみ発熱量（Fig. 4）、及び炉内塩化水素ガス濃度（Fig. 5）について経年変化を調査した。

焼却炉内平均温度及びごみ発熱量は、上昇傾向であったが減肉が著しく進行した2016年のみの傾向は確認されなかった。

また、塩化水素ガス濃度は2013年から2014年にかけて上昇したが、2015年から2017年にかけて低下し、2018年に再び上昇した。しかし、2016年に特化した傾向は確

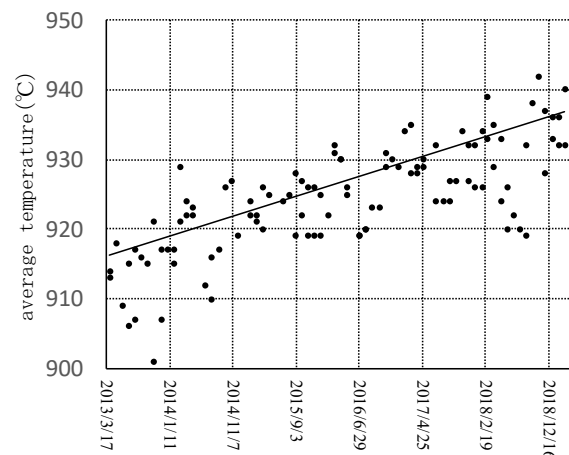


Fig. 3 Changes in average temperature in the incinerator (°C)

認められなかった。よって、これらが腐食の原因ではないと考えられた。

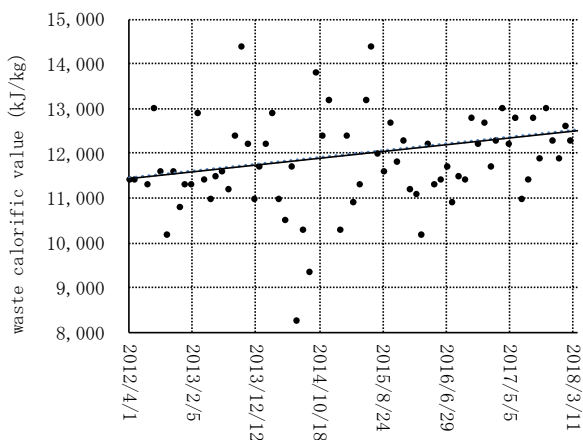


Fig. 4 Changes in waste calorific value (kJ/kg)

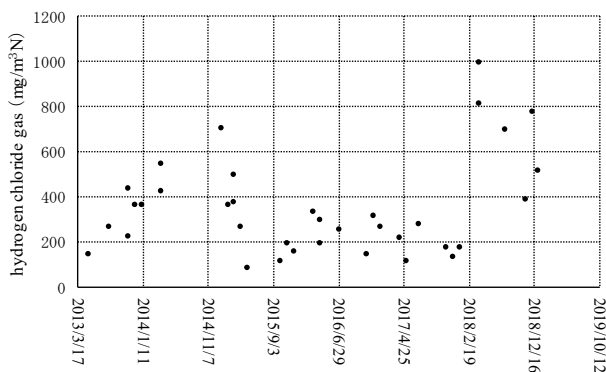


Fig. 5 Changes of hydrogen chloride gas in the furnace (mg/m³N)

3.3 し尿処理汚泥中の硫黄分

し尿処理施設で発生した脱水汚泥中の硫黄含有量等調査結果を示す (Table 2)。脱水汚泥中硫黄濃度は 1.03% であった。また、汚泥由来の硫黄量と A 清掃工場ごみ搬入量から、脱水汚泥の投入による硫黄濃度増加割合は 0.00074% と推定された。

Table 2 Survey results such as sulfur content in dehydrated sludge

Sludge acceptance amount (Dry)	0.36 t/day ^{*1}
Sulfur concentration in sludge	1.03%
Amount of sulfur derived from sludge	0.0037 t/day
Garbage carry-in amount in plant A	498 t/day ^{*1}
Rate of increase in sludge-derived sulfur concentration in the entire waste of plant A	0.00074%

*1 : 2016 average value

東京都の調査³⁾によると、ごみ中の硫黄元素組成割合は 0.02~0.06% であり、汚泥由来硫黄による 0.00074% の増加はごみ全体では僅かであると考えられた。また、2016 年以降も汚泥受入を継続しているが、2016 年以降、減肉速度は減少している (Fig. 2) ことから、し尿処理由来の硫黄分が水管減肉の直接的な原因ではないと考えられた。

3.4 ボイラー水管付着飛灰の硫黄分

2016 年から 2018 年にかけて採取した福岡市の各工場におけるボイラー水管に付着した飛灰中の硫黄含有量調査結果を示す (Table 3)。

A 清掃工場では 2016 年から 2018 年にかけて硫黄含有量が 5.1% から 2.7% に減少しており、硫黄分が減肉の原因とも考えられたが、2016 年の B 清掃工場も同様に 5% 程度の硫黄含有量であり大差はなかった。このことから、色調の違い (Fig. 1) は硫黄含有量によるものではないと考えられた。また、2018 年において、汚泥を受け入れている A 清掃工場のボイラー水管に付着した飛灰が他の清掃工場と比較し、硫黄の含有量は大差ないことが確認された。なお、2016 年以前の水管に付着した飛灰の硫黄含有量は不明である。

Table 3 Sulfur content in the fly ash from the water pipe

	2016	2017	2018
Plant A	5.1%	3.0%	2.7%
Plant B	4.9%	-	6.0%
Plant C	-	-	3.4%
Plant D	-	-	2.9%

3.5 硫黄分以外の腐食成分

2016 年から 2019 年にかけて、福岡市の各清掃工場採取できたボイラー水管に付着した飛灰における元素組成分析結果を示す (Table 4, Fig. 6)。

減肉が進行していた 2016 年の A 清掃工場ボイラー水管に付着した飛灰は、腐食性元素である塩素が 41% と他に比べ高かった。炉内塩化水素ガス濃度や飛灰中の塩素濃度はごみ組成等に依然して変化することから⁴⁾、2016 年の A 清掃工場飛灰中における塩素が高くなった要因の 1 つと考えられた。ただし、2016 年の A 清掃工場ボイラー水管に付着した飛灰のみ塩素が高くなった原因は不明である。

また、重金属である亜鉛や鉛もそれぞれ 18%、9.7% であり、他に比べ高かった。さらに、アルカリ金属であるカリウムも 20% と他に比べ高かった。付着飛灰中の主要な塩成分である塩化物等の様々な化合物が混合することによって融点低下を引き起こすとされており、特に腐

棄物中に含まれる代表的な重金属類である鉛や亜鉛の濃度上昇によって融点が低下するという報告がある⁴⁾。焼却炉内ボイラー管壁では、廃棄物に多く含まれる塩素とアルカリ金属や鉛、亜鉛等の重金属等が塩化物を形成する。これら塩化物を含む飛灰がボイラー水管に付着し、その溶融により溶融塩腐食が起こるとされている^{1, 4, 5)}

ため、これによる高温腐食が発生していると考えられた。さらに、2016年のA清掃工場におけるボイラー水管に付着した飛灰は他に比べ、カルシウムの含有割合が2.8%と低かった。炭酸カルシウムは被膜を作るため、その影響があったことも考えられる。ただし、カルシウムの含有割合が低くなった原因は不明である。

Table 4 Results of elemental composition analysis of fly ash adhering to the water pipes (quality %)

	year	Cl	S	K	Zn	Pb	Ca	Si	Al	Others
Plant A	2016	41	3.9	20	18	9.7	2.8	0.9	0.3	3.4
	2017	17	8.4	6.2	3.8	-	44	5.6	5.5	9.5
	2018	21	5.8	4.6	3.7	-	47	4.8	4.2	8.9
	2019	24	7.1	5.3	4.1	0.5	43	3.9	2.8	9.3
Plant B	2016	27	7.8-	7.3	3.8	-	39	4.0	3.4	7.7
	2018	26	7.9	9.1	11	5.4	27	3.3	2.6	7.7
Plant C	2018	33	3.4	12	9.3	2.1	25	2.6	5.1	7.5
Plant D	2018	28	4.9-	9.5	5.3	-	35	3.7	3.2	0.7

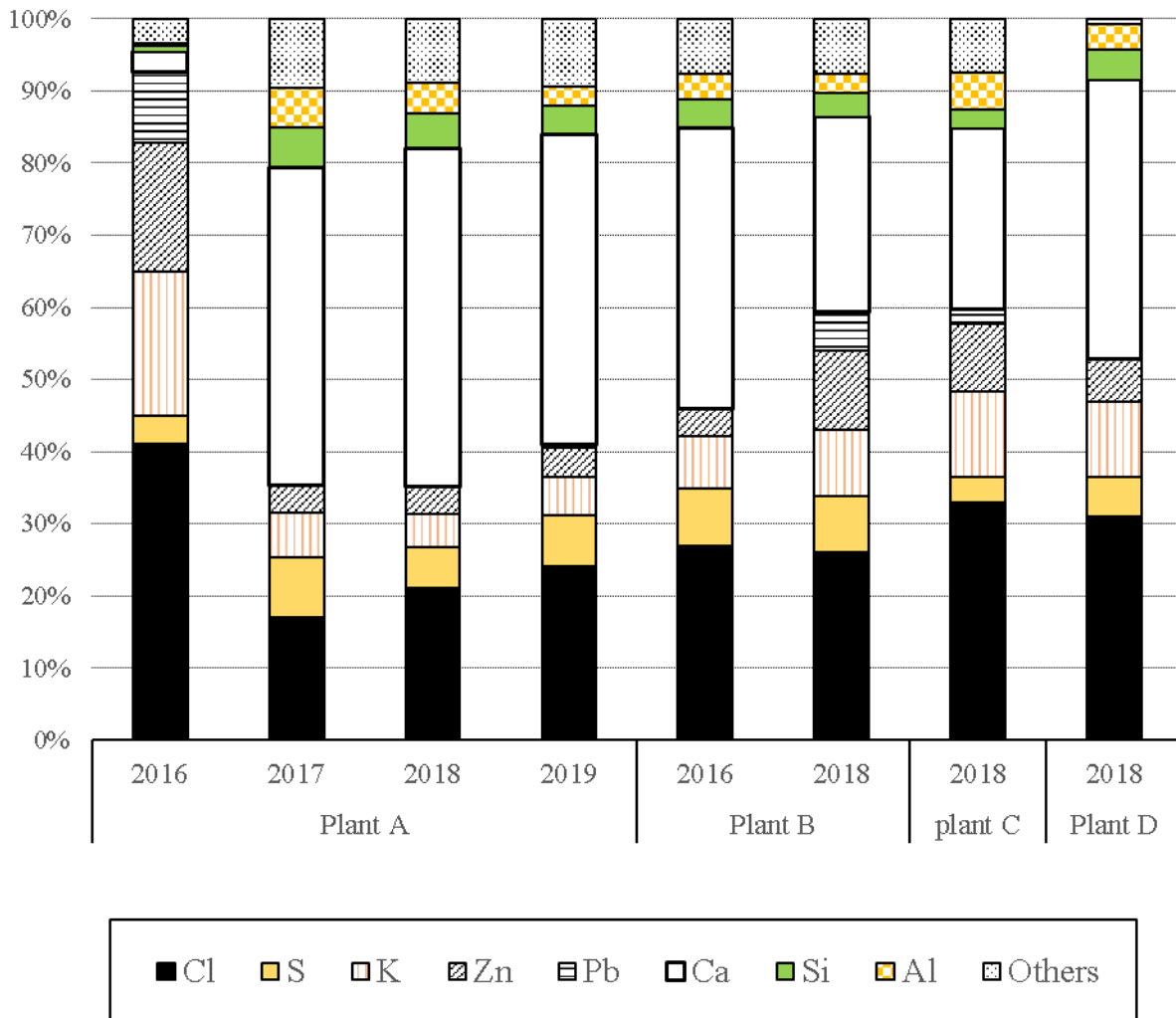


Fig. 6 Results of elemental composition analysis of fly ash adhering to the water pipes (quality %)

今回の調査では、水管の減肉が前年度に比べ著しく進行した事例が2016年A清掃工場の1事例のみであることから、今後も清掃工場における水管肉厚測定の結果から同様の事例が発生した場合には、ボイラー水管に付着した飛灰の元素組成等を調査する予定である。

4 まとめ

2016年に実施したA清掃工場の定期修理において、ボイラー水管の減肉が前年までと比べ著しく進行していることが確認されたため、その原因について調査した。

腐食進行原因として焼却炉内平均温度の上昇やごみ発熱量の上昇を確認したが、減肉が著しく進行した期間との関連は見られなかった。また、2015年から受入を開始した、し尿処理施設で発生した脱水汚泥受入によるごみ中の硫黄分増加が原因ではないかと考え、汚泥硫黄含有量を調査したところ、汚泥による硫黄増加割合は僅かであり直接的な原因ではないと考えられた。また、減肉が進行していたボイラー水管に付着した飛灰の硫黄含有量調査を行ったところ、他の清掃工場と比較して大差はなく、硫黄分が腐食の原因ではないと考えられた。

さらに、硫黄分以外のボイラー水管に付着した飛灰中の元素に着目したところ、2016年のA清掃工場ボイラー水管に付着した飛灰は他と比較し腐食性元素である塩素、

アルカリ金属であるカリウム、重金属である亜鉛や鉛の割合が高かったことから、熔融塩腐食による高温腐食が発生していると考えられた。

水管の減肉が前年度に比べ著しく進行した事例が2016年A清掃工場の1事例のみであることから、今後も清掃工場における水管肉厚測定の結果から同様の事例が発生した場合には、ボイラー水管に付着した飛灰の元素組成等を調査する予定である。

文献

- 1)川原雄三：高効率廃棄物発電プラントにおける高温腐食防止技術の変遷と今後の課題，材料と環境，54，183～194，2005
- 2)保健環境管理課廃棄物処理施設担当：ICP-MSによるボイラー水管付着飛灰中の硫黄分析法の検討，福岡市保健環境研究所報，43，113～114，2018
- 3)全国都市清掃会議：ごみ処理施設整備の計画・設計要領，211，2017
- 4)野口学，他：「腐食防食講座-高温腐食の基礎と対策技術-」第3報：廃棄物発電ボイラにおける高温腐食と対策，エバラ時報，253，23～33，2017
- 5)全国都市清掃会議：ごみ処理施設整備の計画・設計要領，320，2017

要約

2016年に実施したA清掃工場の定期修理において、ボイラー水管の腐食減肉が前年度までと比べ著しく進行していることが確認されたため、その原因を調査した。腐食進行原因としてごみ焼却炉内温度の上昇やごみ発熱量の上昇、さらに2015年から受入を開始したし尿処理施設発生汚泥及び水管に付着した飛灰の硫黄含有量を調査したが、いずれも腐食の直接的な原因ではないと考えられた。硫黄分以外のボイラー水管に付着した飛灰中の元素に着目したところ、2016年のA清掃工場は他と比較し、カルシウムの含有割合が低く、腐食性元素である塩素、アルカリ金属であるカリウム、重金属である亜鉛や鉛の割合が高かったことから、熔融塩腐食による高温腐食が発生していると考えられた。