

(原 著)

高カロリーごみ燃焼にともなうクリンカの発生防止対策について

Note on the formation of clinker generated by high-calory refuse combustion and its countermeasure

岩永 宏平* 大沢 正明* 大橋 正二郎*

Kohei IWANAGA, Masaaki OSAWA and Shojiro TSUCHIHASHI

はじめに

わが国の都市ごみは年々高質化の傾向が進み、特に近年はプラスチック飲料容器の普及、資源回収事情の変化等社会情勢によるもののほかに、粗大ごみ処理施設建設に伴って排出される高カロリーの破砕可燃物を混焼するという処理形態の変化にも影響されて、ますます高カロリー化が顕著になってきている。

一方、ごみ焼却施設の設計条件も年々高域側に移行しているが昭和50年代前半に建設されたものの多くは、設計値を越える高カロリーごみが搬入されているようである。

このように計画以上の高質ごみを焼却すると、燃焼温度が上昇し、「処理能力の低下」「NO_x、HCl等有害ガスの発生」「クリンカの発生」等の問題を引き起こすことになる。前二者については、厚生省委託調査「プラスチックごみの混合焼却に伴う排ガス対策技術等に関する調査¹⁾」において、燃焼技術面あるいは設計面からも充分対応が可能であるとの考え方が示されたが、クリンカに関しては、発生機構・対策ともに充分解明されているとはいえず、多くの自治体がその対策に苦慮しているところである。

このような状況のもとで今回筆者らはクリンカ発生メカニズムを把握し、防止対策を検討することを目的として、アンケート調査ならびに燃焼実験等を実施した。その結果各種の知見が得られたので、ここに報告する。

* (財)日本環境衛生センター九州支局環境科学部
Department of Environmental Science, Kyushu Branch, Japan Environmental Sanitation Center

1. 調査方法

「クリンカ発生状況」「発生メカニズム」「防止対策」の3点を把握・検討することを目的に、図-1に示す項目を調査した。調査方法の概要は以下のとおりである。

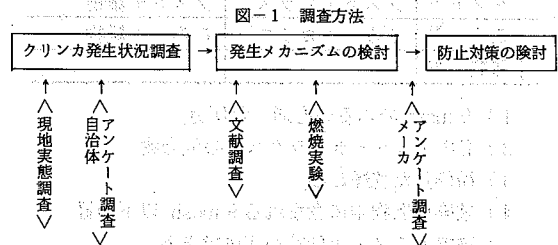


図-1 調査方法

(1) 現地実態調査

昭和61年から破砕可燃物を混焼している福岡市東部清掃工場(300t/日×2基)において、主に炉壁部のクリンカ生成状況を調査した。

(2) 自治体アンケート調査

クリンカトラブルの発生状況等を把握するために全国の18の自治体を対象にアンケート調査を実施した。

調査対象施設は破砕選別処理施設を併設している連続式焼却炉(全連17, 準連1)とし、調査方法は調査票の郵送による。

(3) メーカーアンケート調査

クリンカ防止対策の実施例等を調査するために、ごみ焼却施設設計施工メーカー4社にアンケート調査を行っ

た。調査方法は調査票の郵送によった。

(1000℃以上) TOYO製 CB-20-S,
(精度±25℃)
CP-6S

(4) 燃焼実験

クリンカ生成の原因物質、生成温度等を把握するために、電気炉を使用した実験を行った。

① 試料

実験に用いた試料は表-1に示す10種類であり、試料の採取は福岡市東部清掃工場で行った。

② 条件

加熱温度、時間等は以下のとおりである。
温度-900, 1000, 1100, 1200℃の4種類(熔融結果によってさらに細分化した)
時間-最長5時間加熱とし、クリンカが生成したものについては時間を短縮した。
蓋 -るつば蓋の有無

表-1 実験試料

標準試料	混合試料 ⁵⁾	
焼却灰 ¹⁾	焼却灰+ガラス ⁶⁾	焼却灰+雑物
ダスト ²⁾	ダスト+ガラス	ダスト+雑物
ごみ ³⁾	ごみ+ガラス	ごみ+雑物
雑物 ⁴⁾	—	—

- 1) 9 mesh のふるいを通った灰分。
- 2) EPダスト・ボイラダストの混合物。
- 3) 粉碎した乾燥ごみ。
- 4) 破碎可燃物中に含まれる9 mesh 以下の雑物でガラス・土砂等が主体である。
- 5) 混合比は東部清掃工場の平均搬入量比による。
- 6) 一般に売られている飲料ガラス容器を微粉化した。

③ 実験器具

るつば-石英るつば, 100cc, 50cc,
電 炉-(1000℃以下) ヤマトエンジニアリング製 FM-31

(5) クリンカ等の成分分析

ごみ、雑物、ダスト、焼却灰、硬質クリンカ、軟クリンカの種類の成分分析を行った。分析方法は表-2のとおりである。

2. 調査結果

2.1 クリンカ発生状況

(1) 現地検査結果

福岡市東部清掃工場は昭和51年10月から本格稼働を開始している全連続燃焼式焼却炉であるが、昭和61年10月の破碎施設稼働に伴い、破碎可燃物を混焼するようになった。以来、クリンカトラブルが急激に増加し昭和61年以降1年間で3回計8日間の休炉を余儀なくされている。同施設の破碎可燃物の混入率は、全焼却量の約10%程度で、またその性状は表-3のとおりである。

他施設と比較し「その他(5 mesh以下の雑物)」が非常に多いが、これは爆発防止対策として破碎機内部に蒸気吹込を行っているため、破碎可燃物に微細雑物が付着しやすくなったことによると考えられる。

クリンカは図-2に示したように燃焼段側壁および後燃焼ストーカ上に付着・生成している。燃焼段側壁レンガは、ストーカ面より約2mが炭化珪素レンガで、それより上は粘土質レンガを積んでいる。クリンカはこの2種類のレンガの境目あたりから、炭化珪素質レンガに覆いかぶさるような形で層状に成長している。

表-2 分析方法

Ignition Loss	800℃, 2時間熱灼
Si	炭酸ナトリウム融解-重量分析
Ca, Al	炭酸ナトリウム・ほう酸融解-原子吸光法(亜酸化窒素-アセチレン炎)
Fe, Mg	炭酸ナトリウム・ほう酸融解-原子吸光法
Na, K	硝酸・過塩素酸・ふっ化水素酸分解-炎光光度法
Zn, Cu, Pb, Mn	硝酸・過塩素酸・ふっ化水素酸分解-原子吸光法
Ti	炭酸ナトリウム・ほう酸融解-ジアンテピリルメタン吸光光度法

表-3 破碎可燃物性状比較

項目	施設名	福岡市 東部 300t/D	A市 50t/D	B市 30t/D	C組合 30t/D	D組合 40t/D
	無 類 組 成 (%)	可 燃 物	62.6	73.5	79.4	65.6
紙 ・ 布 類		34.1	17.7	15.3	13.8	14.1
合 成 樹 脂 類		15.8	7.5	15.4	27.7	25.0
木 ・ 竹 類		12.7	48.5	48.7	24.1	20.4
不 燃 物		8.0	18.5	11.0	32.5	36.9
鉄		2.5	3.1	5.5	18.7	15.8
非 鉄 金 属		2.2	0.2	1.6	13.0	18.1
ガ ラ ス ・ 陶 器		3.3	15.2	3.9	0.8	3.0
理 化 学 的 性 状	そ の 他 ¹⁾	29.4	8.0	9.6	1.9	3.6
	水 分 (%)	16.5	30.9	7.2	13.3	7.3
	可 燃 分 (%)	44.3	46.1	77.5	44.6	45.5
	灰 分 (%)	39.2	23.0	15.3	42.1	47.4
	低位発熱量 (kcal/kg)	2,440	1,960	3,350	2,720	2,670
検 体 数		6	3	2	3	1

1) 5Mesh以下

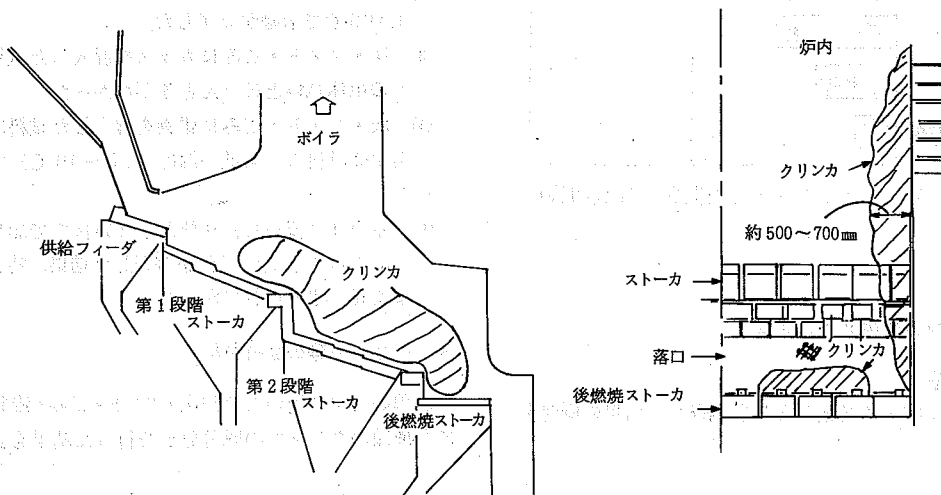


図-2 クリンカ生成状況

(2) アンケート調査結果

破碎選別処理施設を併設している連続炉18施設を対象にアンケート調査を行った結果の概要を以下に示す。

- ① 過去にクリンカトラブルを生じたことがある施設は18施設中12施設 (67%) にものぼっている。
- ② クリンカの生成箇所は図-3に示すように、燃焼工程が最も多い。

- ③ クリンカの生成によって生じた障害としては、図-4に示すように焼却量が減少したとの回答が最も多く (4施設)、このうち炉停止に至ったケースが1施設で、時間あたり処理量が減少したケースが3施設であった。
- ④ クリンカ生成の原因として、破碎可燃物の混入によるとしている施設が6施設で、このうち4施設が混入による高カロリー化を理由にあげている。

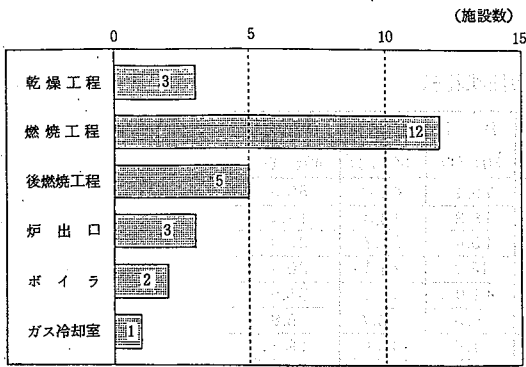


図-3 クリンカ生成箇所 (複数回答)

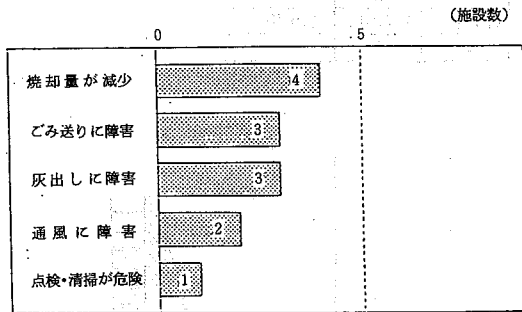


図-4 クリンカにより生じた問題 (複数回答)

2.2 クリンカ発生メカニズム

(1) 文献調査

クリンカに関する各種の文献を調査した結果の概要を以下に示す。

- ① レンガ壁のクリンカは、飛灰が耐火物に付着・溶融しレンガと化学的に溶け合い、さらにこれを核として飛灰をとりこみ成長する。
- ② 飛灰の熔融温度は、1,000~1,500℃、特に1,100~1,200℃としている文献が多い。
- ③ クリンカになりやすいごみの成分は、5mm以下の雑物とガラス類である。⁴⁾
- ④ 還元雰囲気で熔融温度が下がる。²⁾

(2) クリンカ生成実験

電気炉を使用して、クリンカの生成温度等に関する実験を行った結果、表-4ならびに以下のような結果が得られた。

- ① 灰・ダスト・ごみの各々の単体試料は、いずれも1,100℃から軟化し始め、1,140℃1hで完全に溶融した。
- ② 雑物は熔融温度が低く900℃から軟化し、1,000~1,100℃で溶融が完了した。
- ③ 灰・ダスト・ごみにガラスを混入した試料は、各々の単体試料とほとんど差がなかった。
- ④ 灰・ダスト・ごみに雑物を混入した試料はいずれも単体試料よりも低い温度(20~40℃)で溶融した。
- ⑤ るつばに蓋をした状態としない状態で加熱することによって空気の影響を調査した結果、特に明らかな差異は認められなかった。

(3) クリンカ等の成分分析

前項の実験に用いた焼却灰・ダスト・ごみ・雑物ならびに2種類のクリンカの成分分析を行った結果を表-5に

表-4 クリンカ生成実験結果

試料	加熱条件	900℃ 5h	1000℃ 5h	1100℃ 1h	1120℃ 1h	1140℃ 0.5h	1140℃ 1h	1150℃ 1h	1200℃ 1h
焼却灰		-	-	△	○	○	●	●	●
焼却灰+ガラス		-	-	△	○	○	●	●	●
焼却灰+雑物		-	-	○	●	●	●	●	●
ダスト		-	-	-	△	○	●	●	●
ダスト+ガラス		-	-	-	△	○	●	●	●
ダスト+雑物		-	-	△	○	●	●	○	●
ごみ		-	-	-	△	○	●	●	●
ごみ+ガラス		-	-	-	△	○	●	●	●
ごみ+雑物		-	-	-	△	●	●	●	●
雑物		△	○	●				●	●

- : 原試料状態
 △ : 固化状態
 ○ : 半溶融状態
 ● : 完全溶融状態

表-5 成分分析結果

Result of Elemental Analysis (Metal Base)

(重量割合)

	IgLoss (%)	Si (%)	Ca (%)	Mg (%)	Fe (%)	Al (%)	Na (%)	K (%)	Ti (mg/kg)	Zn (mg/kg)	Cu (mg/kg)	Pb (mg/kg)	Mn (mg/kg)
ごみ (7月)	1.3	20.3	19.1	1.4	4.7	3.9	4.3	2.0	6,400	2,400	1,100	1,200	1,600
ごみ (8月)	1.7	21.8	18.3	1.4	3.6	3.9	4.1	2.1	6,600	2,100	810	920	1,600
雑物 (7月)	9.2	26.7	8.9	0.5	3.4	2.5	5.2	1.4	1,800	2,200	450	3,600	2,000
雑物 (8月)	8.3	25.6	8.8	0.5	2.4	2.3	5.5	0.9	2,000	3,000	330	6,100	2,100
ボイラダスト	9.6	10.4	15.3	1.9	2.9	5.9	4.3	3.4	7,900	1,500	840	6,600	1,400
焼却灰 (7月)	11.0	11.6	20.5	1.5	11.8	5.4	3.1	1.3	5,700	3,900	3,300	1,200	1,300
焼却灰 (8月)	13.1	14.5	18.7	1.8	8.6	5.4	2.8	1.1	6,300	4,800	3,000	2,000	3,000
硬質クリンカ	2.7	15.6	12.6	1.2	21.1	7.4	3.0	0.9	3,900	3,200	4,200	820	2,100
軟質クリンカ	0.1	24.3	13.4	1.0	6.1	5.2	4.4	1.2	4,100	4,400	980	1,400	1,500

Result of Elemental Analysis (Oxide Base)

(単位%)

	IgLoss	SiO ₂	CaO	MgO	Fe ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	Na ₂ O	N ₂ O	TiO ₂	ZnO	CUO	PbO ₂	MnO ₂	合計
ごみ (7月)	1.3	43.4	26.7	2.4	6.7	7.4	5.8	2.4	1.1	0.3	0.1	0.1	0.3	98.0
ごみ (8月)	1.7	46.7	25.6	2.4	5.1	7.4	5.5	2.5	1.1	0.3	0.1	0.1	0.3	98.7
雑物 (7月)	9.2	57.1	12.5	0.8	4.9	4.7	7.0	1.7	0.3	0.3	0.1	0.4	0.3	99.3
雑物 (8月)	8.3	54.8	12.3	0.8	3.4	4.3	7.7	1.1	0.3	0.4	0.0	0.7	0.3	94.3
ボイラダスト	9.6	35.1	21.4	3.2	4.1	11.2	5.8	4.1	1.3	0.2	0.1	0.8	0.2	97.1
焼却灰 (7月)	11.0	24.8	28.7	2.5	16.9	10.2	7.2	1.6	1.0	0.5	0.4	0.1	0.2	102.1
焼却灰 (8月)	13.1	31.0	26.2	3.0	12.3	10.2	3.8	1.3	1.1	0.6	0.4	0.2	0.5	103.7
硬質クリンカ	0.0	33.4	17.6	2.0	30.2	14.0	4.1	1.1	0.7	0.4	0.5	0.1	0.3	104.3
軟質クリンカ	0.1	52.0	18.8	1.7	8.7	9.8	5.0	1.4	0.7	0.5	0.1	0.2	0.2	100.2

示す。

各試料とも Si, Ca が主成分であるが、硬質クリンカは Fe が最も多く、他の試料とは異なった性状であった。

雑物は他試料に比べ Si が多く、微少なガラス、陶器などが主成分と考えられるが、今後は熔融温度を下げる原因物質についてさらに調査が必要であろう。

2.3 クリンカ防止対策

以上の調査結果およびメーカーアンケート調査結果から、クリンカ発生メカニズムを図-5のように仮定し、「高温雰囲気抑制」「低融点の誘引物質の除去」「レン

ガ壁への付着防止」の3点に関して具体的な対策を検討する。

(1) 高温雰囲気抑制

ダスト・焼却灰の熔融温度が 1,140℃であったことからクリンカの発生を防止するためには燃焼温度をそれ以下に維持する事が必要になる。通常、燃焼室出口温度は 950℃以下で運転するよう設計されているが、ごみ質・量の調節のいかんによっては一時的に 1,000℃を越えるような場合も多く、また、950℃以下で抑制されている場合でも、局所的にはかなり高温になっていることも考えられる。従って、高温雰囲気抑制策としては、「燃

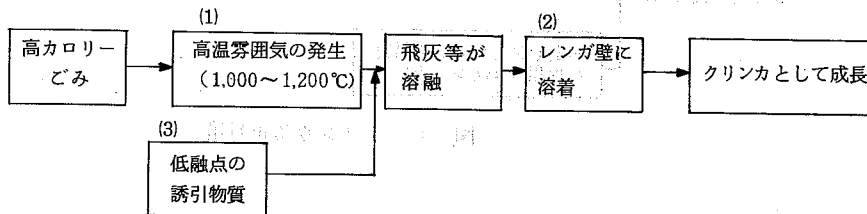


図-5 クリンカ生成フロー

焼室出口温度制御」と「局所高温現象の抑制」の2面から検討することが必要である。アンケート調査等から、現在、具体的に試みられ、ある程度効果をあげている方法を図-6に示した。

(2) 原因物質の除去

破碎施設から排出される破碎可燃物に付着している微細雑物はそれ自体の融点が低く飛灰・焼却灰に含まれるとそれらの溶融点をも下げるといふ傾向がある。従って、微細雑物の混入を極力少なくすることが重要になる。

現在、破碎後に可燃物と不燃物を選別する方式として振動方式と回転方式が一般的に採用されているが、これらの構造、ふるい目寸法等に関して留意が必要にならう。

また、爆発防止対策として蒸気を吹込んでいる場合は、使用方法等に関して留意が必要にならう。

(3) レンガ壁への付着防止対策

クリンカが生成した場合でも、レンガに付着し成長しなければ、特に大きなトラブルを生じることがないとの観点からの対策であり、方法としては、「クリンカが付着しにくい耐火物材質とすること」「耐火物の表面温度をクリンカの生成温度よりも低くしてやることの2種類がある。前者については、SiCレンガが有効であると多くの文献に述べられているところであるが、福岡市東部清掃工場の例にも見られるように、その施工範囲については、十分な留意が必要であらう。後者については、図-6に示すような方法が現に採用され、メーカーによってその評価の程度は異なるがいずれも有効との報告がなされている。今後は、個々の方法毎に調査し、定量的な評価を行って行くことが必要であらう。

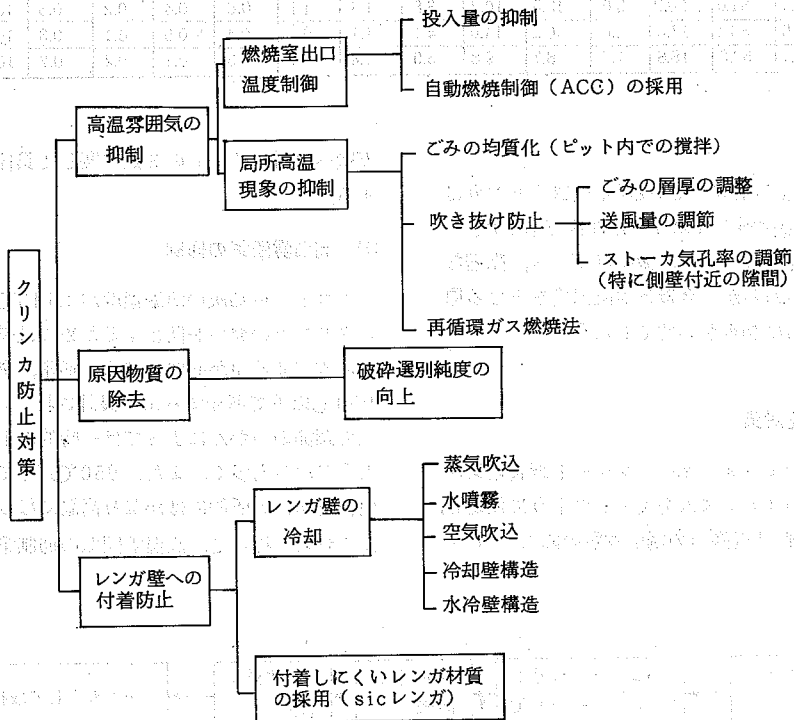


図-6 クリンカ防止対策

3. ま と め

クリンカの発生原因および防止対策に関し、アンケート調査、グリーンカ生成実験等を行ったところ、以下のような結果が得られた。

- ① 破碎施設を併設している連続炉を対象にアンケート調査を行った結果、18施設中12施設が焼却能力の減少等のクリンカトラブルを経験していた。また、クリンカ発生の原因が破碎可燃物混焼等によるごみ質の高カロリー化とらえている施設が多かった。
- ② 電気炉を使用したクリンカ生成実験を行ったところ、焼却灰・ダストともに1,140℃1時間で完全に溶融した。このことから、クリンカの発生を抑制するためには、燃焼室全域を1,140℃以下に制御することが必要となる。
- ③ 焼却灰・ダストに破碎可燃物中に含まれる9メッシュ以下の微細雑物を混入したところ、溶融温度が数十度低下した。このことから、クリンカの発生を抑制するためには 破碎設備の選別純度を向上させることが必要となる。

④ アンケート調査によるとクリンカの成長防止対策として、数種のレンガ壁冷却方式が試みられている。

なお、今後は以下の3点についてさらに調査検討を進めていきたいと考えている。

- ① 燃焼室内の温度分布を実測すること。(たとえば、燃焼室出口温度を950℃に維持した場合、燃焼室内のどの部所が溶融温度1,140℃を越えているか)
- ② 破碎可燃物に付着した雑物が焼却灰等の溶融温度を下げるメカニズムを解明すること。
- ③ レンガ壁冷却構造別のクリンカ除去効果を実施設において比較・評価すること。

引用文献

- 1) プラスチックごみの混合焼却処理に伴う排ガス対策技術等に関する研究(昭和62年度)：(社)日本機械学会
- 2) 吉本文平：耐火物工学(石炭灰の性質), 676~681
- 3) 占部武生：ストーカ炉の腐食等に関する基礎的研究 廃棄物処理対策全国協議会, 35, 86-90, 1984
- 4) 日本環境衛生センター：ごみ焼却施設の維持管理, 664~665, 1981

項目	内容
調査施設数	18
クリンカ発生施設数	12
調査項目	発生原因、発生量、発生時期、発生場所、発生状況
調査結果	発生原因は破碎可燃物混焼等による高カロリー化、発生場所は燃焼室出口付近、発生時期は冬期、発生状況は発生頻度が高い

項目	内容
調査施設数	18
クリンカ発生施設数	12
調査項目	発生原因、発生量、発生時期、発生場所、発生状況
調査結果	発生原因は破碎可燃物混焼等による高カロリー化、発生場所は燃焼室出口付近、発生時期は冬期、発生状況は発生頻度が高い