

〈特集〉 廃棄物編

東日本大震災における災害廃棄物の焼却処理

高岡昌輝¹⁾、古林通孝²⁾、小北浩司³⁾
三好裕司⁴⁾、増田孝弘⁵⁾

¹⁾ 京都大学大学院地球環境学学地球益学廊

(〒615-8540 京都市西京区京都大学桂Cクラスター E-mail: takaoka.masaki.4w@kyoto-u.ac.jp)

²⁾ 日立造船(株) 環境・エネルギー・プラント本部開発センター EfW プロジェクトグループ
(〒551-0022 大阪市大正区船町2丁目2番11号 E-mail: furubayashi@hitachizosen.co.jp)

³⁾ (株)タクマ環境技術1部2課
(〒660-0806 尼崎市金楽寺町2丁目2番33号 E-mail: kogita@takuma.co.jp)

⁴⁾ 川崎重工(株) プラント・環境カンパニー環境プラント総括部環境プラント部プロジェクト課
(〒650-8670 神戸市中央区東川崎町3丁目1番1号 E-mail: miyoshi_y@khi.co.jp)

⁵⁾ (株)タクマ環境技術1部2課
(〒660-0806 尼崎市金楽寺町2丁目2番33号 E-mail: takahiro@takuma.co.jp)

概要

東日本大震災により発生した膨大な可燃性廃棄物を焼却処理するため、宮城県、岩手県、福島県において平成26年3月時点で34基の仮設焼却炉が建設されている。処理対象物に起因する不具合や燃焼不良（発熱量低下等）による助燃量増大はあるものの、様々な工夫により困難を克服して概ね順調に稼働した。いずれの施設も排ガス規制値を満足し、排ガス中の放射性セシウム濃度は検出下限未満であった。焼却灰中の放射性セシウム含有量は最終処分場の埋立基準を下回っていた。

将来の災害時の仮設焼却炉の設置については、事前に仕様を検討し、設置スペースを把握しておくことは重要で、そのためにも標準仕様化を行っておくこと、また設置に関する諸手続きに関する特例対応が望ましいと考えられた。

キーワード：災害廃棄物、焼却、東日本大震災、仮設焼却炉、広域連携

原稿受付 2014.3.31

EICA: 19(1) 6-9

1. はじめに

東日本大震災からの早期の復興を促すためには発生した約3000万tの膨大な災害廃棄物等を処理せねばならない。平成26年3月末までの処理完了を目指し、処理が始まったが、被災地だけでは処理が間に合わず、また最終処分場も容量が不足している状況にあるため、広域処理が求められた。しかしながら、福島第一原子力発電所事故に伴う放射性物質の影響により、広域処理は進まず、最終的には63万t程度にとどまっている。このような状況の中で、膨大な廃棄物を処理するためには被災地区内に破碎、選別、焼却などのプロセスを含む大規模な災害廃棄物処理プラントが必要となり、建設が進められた。今回の災害廃棄物では最大限リサイクルすることが指向され、岩手県で83%、宮城県で86%という高い再生利用率であるが¹⁾、なお膨大な可燃性廃棄物が存在し、その処理については既存の施設での焼却・溶融処理に加えて、複数の仮設焼却炉が設置されて処理がなされた。より迅速に復旧、復興を果たす上で仮設焼却炉の果たす役割は非常に大き

い。

本報では、東日本大震災で発生した災害廃棄物等の全体の処理に関する事項は他報に譲り、焼却処理、特に仮設焼却炉による処理に焦点を当てて、その状況について紹介する。

2. 災害廃棄物の焼却・溶融処理状況

平成26年3月26日現在における、仮置場以降の災害廃棄物の焼却・溶融処理状況¹⁾をTable 1に示す。

岩手県では処理能力1,063t/日（仮設焼却炉2基、既設炉5基）、宮城県では処理能力4,724t/日（仮設焼却炉29基、既設炉3基）、福島県では処理能力613t/日（仮設焼却炉3基、既設炉2基）の施設によって、災害廃棄物の焼却・溶融処理が実施されている。この内、宮城県内の処理はすべて完了し、岩手県についても目標どおり平成26年3月までにほぼ処理が完了する見込みである。一方、福島県については、新地町および相馬市では国が設置した仮設焼却炉により着実に処理が進められ、広野町では国の代行事業により仮設

Table 1 Incineration and Melting Treatment of Disaster Waste Transported from Temporal Storage Site as of March 26, 2014¹⁾

		機 種	処理規模 [t/日]	処理期間	
岩 手 県	久慈地区	ストーカ (既設炉 60 t/日×2 炉)	2.5	H23.9~H26.3 予定	
	宮古地区	ストーカ (47.5 t/日×2 炉)	95	H24.3~H26.3 予定	
		流動床 (既設炉 93 t/日×2 炉)	55	H23.4~H26.3 予定	
	釜石地区	シャフト (旧炉 100 t/日×1 炉) シャフト (既設炉 73.5 t/日×2 炉)	100 60	H24.2~H26.3 予定 H23.5~未定	
大船渡地区		セメントキルン (既設炉 2 炉) 生産能力 (2 炉) : 約 180 万 t/年	750	H23.6~完了 H23.12~未定	
宮 城 県	気仙沼 ブロック	気仙沼処理区	階上地区 ストーカ (219 t/日×1 炉)	219	H25.3~H25.11 完了
			キルン (219 t/日×1 炉)	219	H25.4~H25.11 完了
		小泉地区	ストーカ (219 t/日×1 炉)	219	H25.4~H25.8 完了
			キルン (109 t/日×1 炉)	109	H25.4~H25.8 完了
	南三陸処理区	ストーカ (既設炉 81 t/日×2 炉)	5	H23.4~H24.12 完了	
		堅型ストーカ (95 t/日×3 炉)	285	H24.12~H25.10 完了	
	石巻ブロック	キルン (300 t/日×2 炉)	600	H24.6~H26.1 完了	
		ストーカ (329.5 t/日×3 炉)	989	H24.9~H26.1 完了	
		ガス化溶融 (既設炉 115 t/日×2 炉)	30	H24.6~H25.7 完了	
	宮城東部ブロック	ストーカ (110 t/日×1 炉)	110	H24.10~H25.10 完了	
		キルン (210 t/日×1 炉)	210	H24.11~H25.10 完了	
	松島町・利府町		ストーカ (既設炉 90 t/日×2 炉)	30	H23.3~H25.3 完了
亘理名取 ブロック	名取処理区	ストーカ (95 t/日×2 炉)	190	H24.5~H25.10 完了	
		ストーカ (50 t/日×2 炉)	100	H24.6~H25.10 完了	
	岩沼処理区	キルン (95 t/日×1 炉)	95	H24.6~H25.10 完了	
		ストーカ (105 t/日×5 炉)	525	H24.4~H25.11 完了	
山元処理区	キルン (200 t/日×1 炉)	200	H24.5~H25.12 完了		
	ストーカ (109.5 t/日×1 炉)	109.5	H24.7~H25.12 完了		
仙台市		荒浜 キルン (300 t/日×1 炉) 井土 ストーカ (90 t/日×1 炉) 蒲生 キルン (90 t/日×1 炉)	300 90 90	H23.12~H25.9 完了 H23.10~H25.9 完了 H23.10~H25.9 完了	
福 島 県	新地町・相馬市		ストーカ (150 t/日×2 炉) ストーカ (270 t/日×1 炉)	300 270	H25.2~未定 H25.2~未定
	南相馬市 (対策地域を除く)		仮設焼却炉 (国代行予定) : 設置に向けて準備中		
	広野町		仮設減容化施設 (国代行) : 設置に向けて準備中		
	いわき市	ストーカ (既設炉 130 t/日×3 炉)		26	H24.9~未定
		民間焼却炉		17	H25.6~未定

* “未定” は完了時期が記載されていない意である。

減容化処理施設を設置し、平成 27 年 4 月の処理開始が目指されている。また、南相馬市でも国への災害廃棄物処理の代行要請 (仮設処理施設による処理) が予定されている。

3. 仮設焼却炉による処理

3.1 構 造

Table 1 に示したように、既設炉も活用されているが、圧倒的な規模で仮設焼却炉が建設された。仮設焼却炉として採用された焼却炉は、ストーカ式とキルン式が多く、シャフト式については、震災直前に休止となった都市ごみ溶融施設を震災後に整備し直して災害廃棄物処理に活用した例であり、いわゆる仮設焼却炉とは異なる。一般論として、ストーカ式は比較的発熱量が高いごみを対象とし、キルン式は発熱量が低く、不均質なごみの処理にも対応可能である。ひとつの処理区で複数の仮設焼却炉を建設したところでは、ス

トーカ式とキルン式といったように異なる形式の焼却炉を採用した事例が多くみられる。その理由として焼却対象物の質の変動リスクや個別の焼却対象物 (木質専用など) を想定して使い分けすることが考慮されていたためと考えられたが、実稼動においては、炉形式による対象物の選択は行われていない場合もあった。

Fig. 1 に仮設焼却炉の標準的な処理フローを示す。焼却炉に投入された焼却対象物は炉内で燃焼し、燃焼ガスは水噴射式ガス冷却塔で急冷され、バグフィルタに送られる。バグフィルタではばいじんが除去される

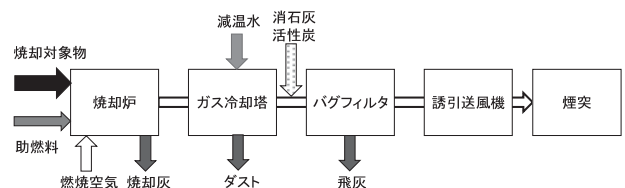


Fig. 1 The Flow Diagram of Typical Temporal Incinerator for Disaster Waste

ほか、手前の煙道に投入された粉末消石灰との反応により、酸性ガスである硫黄酸化物と塩化水素が中和除去され、また活性炭によりダイオキシン類が吸着除去される。清浄になった排ガスは、誘引送風機を経て、煙突から放出される。

焼却対象物の炉への投入は、仮設焼却炉では重機とコンベヤによる投入となっており、コストや工期の圧縮が図られている。また、排ガス冷却を廃熱ボイラ方式とし、熱回収や蒸気タービンによる発電を行うことも技術的には可能ではあるが、コストや工期、および仮設であり数年の限られた期間の稼働となることが考慮され、水噴射式が採用されたと考えられる。

水噴射式にとっては、給水が重要であるが、井水や工業用水を使用する施設が多く、一部は上水の供給も併用していた。用地確保の容易性や処理対象物搬送ルートの適正化等の理由から、多くの仮設焼却炉は沿岸部に設置された。中には、立地条件に起因して井水や工業用水に含まれる塩分や濁質の濃度が高い施設があった。そのような施設では、ガス冷却ノズルやストレーナの詰まり等の問題が発生し、水処理設備の増設や改造、上水混合比率増加等の対応が取られている。

3.2 焼却対象物

筆者らの調査から、宮城県6処理区（8処理区のうち設計ごみ質が確認できた処理区のみ）と仙台市2処理区の設計ごみ質と実測値を **Table 2** に示す。設計ごみ質に比べて実測値では、灰分、水分がそれぞれ19.6%から26.5%に、27.8%から32.9%に増加し、可燃分が52.6%から40.6%に減少しており、実際の処理対象物は想定よりも発熱量が3割程度低かったといえる。

したがって、多くの場合助燃が必要となり、助燃量は、A重油換算量として、ストーカ式がごみ1tあたり0~160 L (N=8, 平均値40, 標準偏差54)、キルン式がごみ1tあたり0~100 L (N=7, 平均値49, 標準偏差38)であった。

天候や処理対象物によって変動が大きく、土砂の量による変動もある。処理の進展に伴い、木くず等の割合の減少とともに土砂類の割合が増加し、発熱量が低下する傾向がみられた。津波堆積物の処理等、海水由

来の塩の影響が懸念され、前処理を行う所もあったが、多くの処理区では塩対策を行わなかったが、大きな問題はなかったようである。

仮設焼却炉における不具合の多くは、焼却対象物によるものである。したがって、大型木材の破碎、設備損傷に繋がる金属類や長尺物等の除去、焼却対象物受入寸法の遵守、付着土砂の低減、肥料や漁網の錘（鉛製）の混入防止などが求められた。

3.3 排ガス性状

処理後の煙突排出ガスは、いずれも基準値を下回った運転となっており、ばいじん、硫黄酸化物、窒素酸化物、ダイオキシン類は十分に低い値であった。また、煙突排ガスの放射性物質についてはすべての測定データが不検出であった。排ガス基準値の設定は、大気汚染防止法等の規制以下になっていたが、通常の都市ごみ焼却施設に比べて高めの設定であり、法規制に近い数値となっているところが多い。仮設焼却炉の設置目的を考慮すると、法規制より厳しい基準値を設定して高度な排ガス処理システムを採用するよりも、法規制を順守した上で早期処理を目指した方が合理的と考えられる。

以上のように、燃焼制御、水噴射による急冷、消石灰および活性炭噴霧による乾式排ガス処理、バグフィルタによる除じんというシステムでもって、各排ガス基準値を満足しており、今後も通常の災害廃棄物を焼却する際の仮設焼却炉においても同様の排ガス処理で対応して差し支えないものと考えられる。なお、建設予定の福島県の放射性物質による汚染の程度が高い地域における仮設焼却炉についてはバグフィルタを2段にするなどの配慮が検討され、システムの冗長性が高められている。

3.4 灰性状

廃棄物を焼却すると、主灰、飛灰などの残渣が発生する。主灰の有効利用方法、処分方法としては、宮城県の処理区において、造粒固化後、土木資材として使用されて（基準不適合品は最終処分）おり、岩手県、仙台市では最終処分、福島県では場内貯留されている。飛灰は、福島県を除いて、薬剤処理後、最終処分されている（福島県は場内貯留）。

焼却灰の扱いにおいても放射性物質の影響は大きく、主灰の方が飛灰よりも放射性セシウム含有量は少ない。焼却灰中の放射性セシウムについては、福島第一原子力発電所に近いほど、高くなる傾向にあったが、主灰、飛灰とも最終処分場の埋立基準である8000 Bq/kgを十分に下回っていた。

Table 2 Planned Waste Composition and Measured Values

	単位	設計ごみ質		実測値	
		平均	標準偏差	平均	標準偏差
低位発熱量	kJ/kg	10.277	2.552	7.418	2.802
可燃分	%	52.6	12.6	40.6	7.1
水分	%	27.8	6.2	32.9	7.1
灰分	%	19.6	13.3	26.5	4.2

* 宮城県（8処理区のうち設計ごみ質が確認できた6処理区）および仙台市（2地区）の計8か所の平均値

3.5 運転計画と実際

施設計画時点の計画稼働率について、筆者らの調査では、稼働率 80~90% で計画している施設が多かった。稼働率の計算は、公表されているデータの種類によって、以下の 2 種類のいずれか一方を適宜用いて行った。

計算方法①：稼働率(%) = 計画焼却量(t) ÷ 計画稼働期間(日) ÷ 処理能力(t/日) × 100

計算方法②：稼働率(%) = 計画年間運転日数(日/年) ÷ 365 × 100

仮設焼却炉の運転は、数週間程度の比較的短期間運転後、数日間休止して点検補修を行うことが多く、稼働期間が 1~2 年程度のため、大掛かりな補修は不要である。

宮城県 4 ブロックについて実績を計算してみると、各ブロックでの災害廃棄物等の県処理対象量は 980 万 t であり、そのうち焼却量を仮設焼却炉による処理量と考えると、146 万 t であった¹⁾。災害廃棄物等の約 15% が焼却処理されたと言える。4 ブロックにおける仮設焼却炉の能力は **Table 1** より 4180 t/日であることがわかる。処理開始は平成 24 年 4 月~平成 25 年 4 月であり、処理完了は平成 25 年 8 月~平成 26 年 1 月であることから実際の稼働期間は 4 か月程度~19 か月程度である。1 か月を 30 日として計算した場合の稼働率(実際焼却量(t) ÷ 推定稼働日数(日) ÷ 処理能力(t/日) × 100) は 80.6% と試算されることから、メンテナンス等を考えると順調に安定的に稼働したことがわかったとともに、この実績からも 4 ブロックで 4180 t/日の規模の仮設焼却炉の建設が妥当であったことを意味している。

4. おわりに

東日本大震災の災害廃棄物処理において仮設焼却炉による焼却処理は、処理対象物に起因する不具合や燃焼不良(発熱量低下等)による助燃量増大はあるものの、概ね順調に稼働したことがわかった。これらは様々な工夫により困難を克服して処理が実施されたことを意味している。

将来の災害において発生する廃棄物の焼却処理を考えた場合、まずは、通常使用している既存施設を使うことを想定すべきである。仮設焼却炉に比べ、既存施設は十分な構造物の強度があり、環境への負荷も配慮されている。ごみの減量化も進行し、比較的余力があると考えられ、災害廃棄物の焼却処理の受け皿としての機能を発揮すると思われる。しかしながら、災害の

あった地域における既存施設の余力は限られるとともに、被災地における物流にも様々な障害が発生すると考えられる。したがって、広域的な連携が必要となる。特に南海トラフ地震で発生が予想される災害廃棄物量は東日本大震災以上に膨大である。市町村及び都道府県での災害廃棄物対策指針に基づいた準備は不可欠であるとともに、より広域の地域ブロックレベルでの広域連携を事前に調整しておくことが必要であると考えられる。自らの地域が、被災することを想定するだけでなく、別の地域が被災した場合にどのような支援を迅速に発動し、廃棄物処理を受け入れることができるかといった体制も含まれる。また、今回の震災での広域処理では民間の受け入れが 70% 以上を占めていた。したがって、産業廃棄物処理業界などの民間受け入れ先との連携も重要である。

このような体制が準備されたとしても迅速に処理していくためには、被災地における仮設焼却炉の設置が必要となる。万一の震災発生時に仮設焼却炉の設置を早急に行うためにも、事前に仕様を検討し、設置スペースを把握しておくことは重要であると考えられる。そのためにも仮設焼却炉の標準仕様化を行っておくことが望ましい。また、東日本大震災時には、通常通りの諸手続きが必要なため時間を要したという事例があったことから、非常時には特例対応を行うという取り決めを事前に検討しておくことも必要であると考えられる。

最後に、本原稿は筆者らが所属する廃棄物資源循環学会の廃棄物焼却研究部会における調査、報告²⁻⁵⁾をベースに再構成し、加筆・修正したものであり、より詳細については、参考文献 2-5) を参照されたい。

間接的にはありますが、調査にご協力頂きました宮城県、仙台市を含む関係自治体および各 JV、プラントメーカーの関係者の方々に感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 環境省：災害廃棄物等処理の進捗状況(3 県沿岸市町村(避難区域を除く))(平成 26 年 3 月 26 日)
<http://kouikishori.env.go.jp/link/pdf/shori140326.pdf>
- 2) (社)廃棄物資源循環学会 学術研究委員会 廃棄物焼却研究部会：災害廃棄物の焼却処理、第 24 回廃棄物資源循環学会研究発表会(2013)
- 3) 小北浩司、増田孝弘、高岡昌輝：仮設焼却炉調査結果報告、環境技術、Vol. 43, No. 5, pp. 272-278 (2014)
- 4) 古林通孝、高岡昌輝：東日本大震災により発生した災害廃棄物の焼却処理の全体概要、環境技術、Vol. 43, No. 5, pp. 264-271 (2014)
- 5) 三好裕司、高岡昌輝：南海トラフ地震を見据えた次の災害に備えて、環境技術、Vol. 43, No. 5, pp. 279-285 (2014)