

Ⅲ. 事故原因の究明調査

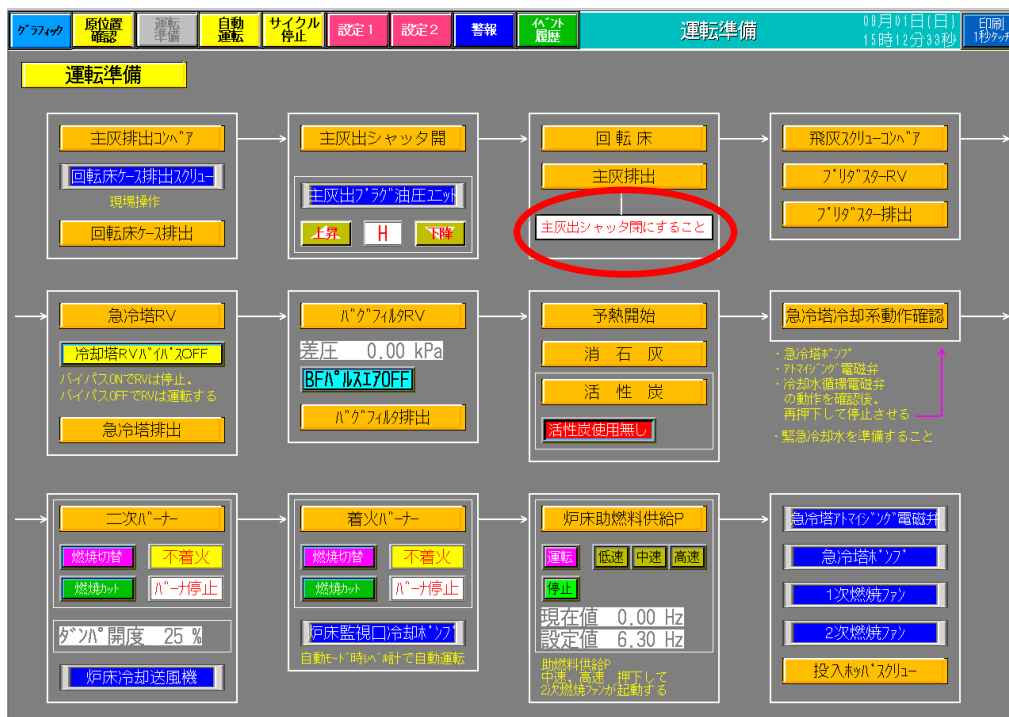
今回の事故がどのように起こったのか、詳細を把握し、原因を究明するため、平成 25 年9月2日に公表した「農林業系副産物等処理実証事業 主灰コンベア破損事故の原因調査結果(第1次報告)」(以下「第一次報告」といいます。)以降、詳細な原因調査を継続しました。また、事故原因の究明に当たっては、外部有識者にヒアリングを行い、指導・助言をいただきました。

1-1. ゲート（仕切り弁）の開閉について

(1) 規定のゲート（仕切り弁）の開閉操作

本焼却炉の下部に設置されているゲート（仕切り弁）は、焼却炉と主灰コンベアの間を遮断するものです（図Ⅲ-2 参照）。

運転マニュアルでは、焼却炉運転開始前にゲートを「開」にして前日の主灰を排出し、その後ゲートを「閉」にしてから運転することとしています。また、制御室の運転準備画面でも、運転中はゲートを「閉」にすることを注意喚起しています。



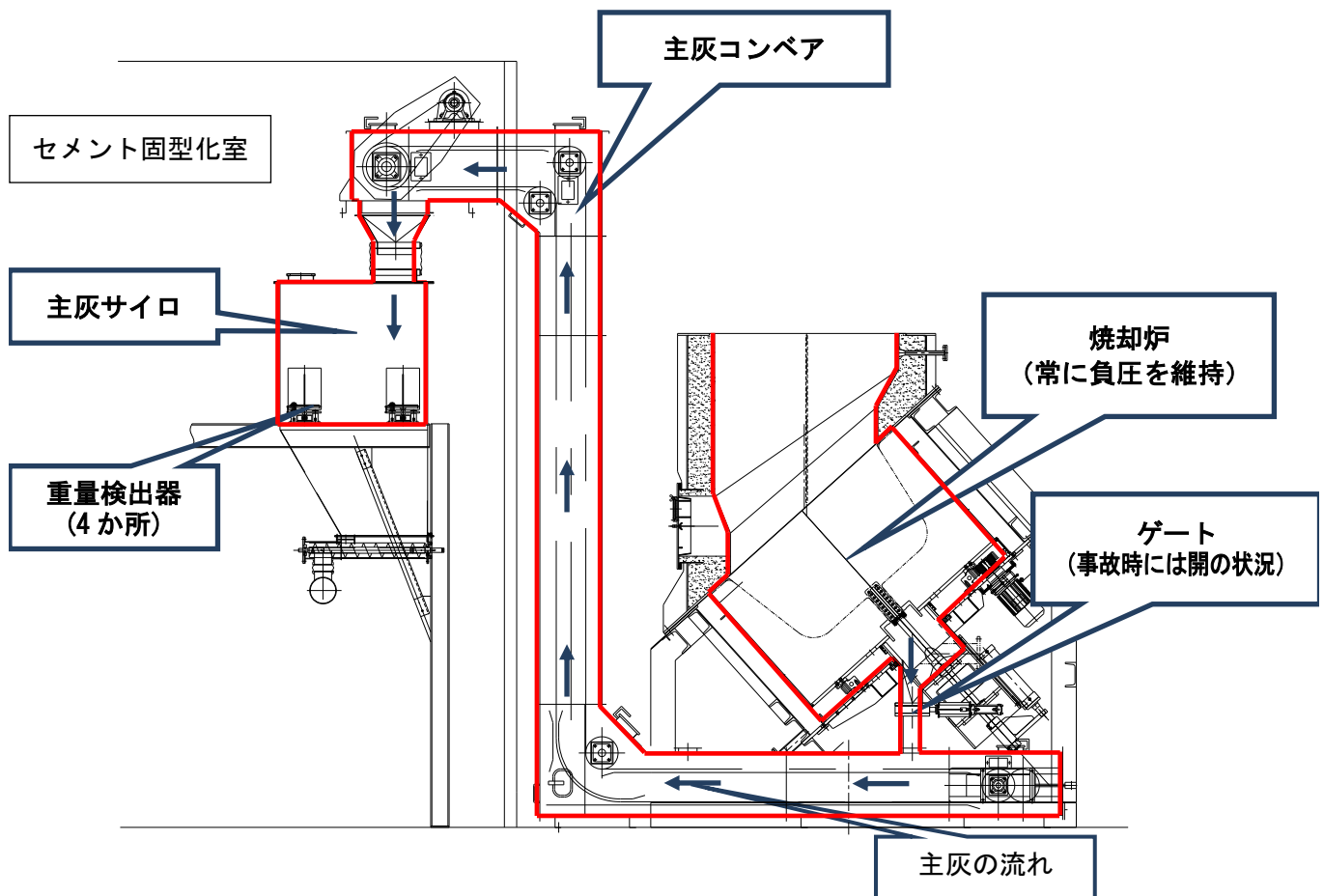
注：上記の運転準備画面では、「ゲート」を「主灰出シャッタ」と表記しています。

図Ⅲ-1 運転準備画面

(2) 運転データの調査によるゲートの開閉の状況

焼却炉内の圧力である「炉内圧力」と、主灰の送り先である主灰サイロ内の「主灰量」との関係性を調べました。「主灰量」とは、主灰サイロに設置した重量検出器（ロードセル：荷重を電気信号に変換して出力するセンサー）の検出値です。

焼却炉内と主灰サイロとは、通常、ゲートで仕切られていますが、ゲートが開いていれば、焼却炉内と主灰サイロは、主灰コンベアを通じてつながるため、炉内圧力に連動して主灰サイロの圧力が変動することになります。運転中の焼却炉は常に外気よりも低い圧力（以下「負圧」といいます。）に維持されていますが、燃焼状態によって炉内圧力は変動します。その結果、主灰サイロの圧力が連動して変動し、主灰量の重量検出器にかかる荷重を変化させるため、「炉内圧力」と「主灰量」との値が連動することになります（例えば炉内圧力が低くなると、重量検出器にかかる圧力が弱くなって検出される重量が軽くなるなど）。



図Ⅲ－２ 焼却炉、ゲート、主灰サイロの位置関係図

調査の結果、8月26日から29日は、「炉内圧力」と「主灰量」との値に高い連動性がありました。

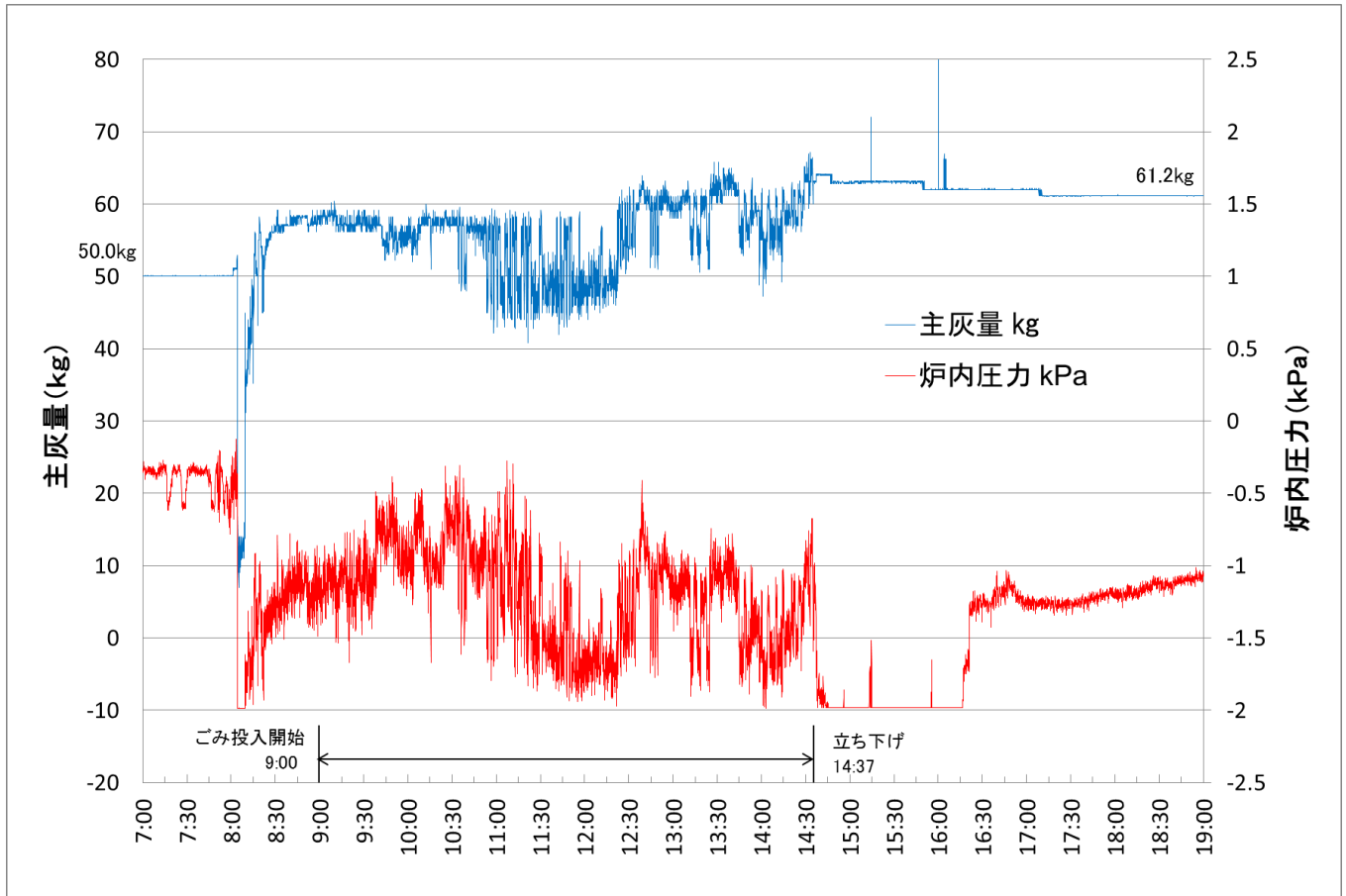
表Ⅲ－1 炉内圧力－主灰量間の相関係数の変化

計算期間		相関係数					
開始	終了	22日	23日	26日	27日	28日	29日
8:00	8:30	0.14	0.42	-0.23	-0.36	0.76	0.63
8:30	9:00	-0.06	0.27	0.12	0.46	0.69	0.50
9:00	9:30	-0.35	0.13	-0.10	0.33	0.50	0.40
9:30	10:00	0.24	-0.19	0.59	0.57	0.26	-0.06
10:00	10:30	-0.13	-0.17	0.56	0.93	0.34	0.25
10:30	11:00	0.18	0.35	0.17	0.90	0.57	0.83
11:00	11:30	0.35	-0.25	0.41	0.95	0.33	0.81
11:30	12:00	0.00	-0.11	0.18	0.92	0.45	0.83
12:00	12:30	-0.05	0.03	0.68	0.89	0.54	0.87
12:30	13:00	0.06	-0.04	0.54	0.58	0.37	0.88
13:00	13:30	0.01	0.13	0.78	0.89	0.74	0.90
13:30	14:00	-0.01	-0.06	0.71	0.90	0.89	0.92
14:00	14:30	-0.05	0.13	0.64	0.93	0.92	0.89
14:30	15:00	-0.04	-0.07	0.79	0.91	0.88	-
15:00	15:30	0.07	0.07	0.75	0.68	0.86	-
15:30	16:00	-0.13	-0.08	0.78	0.42	0.72	-
8:00	16:00	-0.38	-0.24	0.11	0.61	0.45	-
8:00	14:30		-	-	-	-	0.55

注1：炉内圧力と主灰量との連動性を調べるため、8月22、23、26～29日の期間について両者の相関係数を30分間隔で算出した。算出にはExcelのCORREL関数を使用した。

注2：相関係数は、絶対値が1に近いほど強い相関がある。

注3：赤太字は、相関係数が0.4以上、赤丸は、相関係数が0.7以上の時間帯



図Ⅲ－３ 炉内圧力と主灰量の運転データ（8月29日）

また、ゲートの操作及び灰搬出操作に関する関係者の3名からヒアリング結果も踏まえ、8月26日から29日までの間は、主灰サイロと焼却炉とを仕切るゲートを「開」にした状態で焼却炉を運転していたと考えられます。

(3) ゲートを開けていた理由

第一次報告では、ゲートを開けていた理由を閉め忘れとしていましたが、その後の調査の結果から、(2)で示したとおり、8月26日以降、常時「開」にしたままで運転していたと考えられることが判明しました。

その理由は、焼却炉内で処理対象物を十分に攪拌することを目的として、8月26日以降、前日の灰を炉内に一定量残したままで運転することにしたため、回転炉床と主灰排出プラグ（焼却炉を回転させる軸）の若干の隙間（5～10mm）から焼却炉下部に継続的にこぼれ落ちてくる灰の量が増加し、ゲート上部で灰が固まること等を懸念したことによるものと考えられます。

なお、この操作は、運転操作者の独自の判断で実施され、所長や技術管理者に知らされていませんでした。

1-2. 主灰コンベアが破損・変形に至った現象について

今回の事故は、可燃性ガスが異常燃焼して温度が上昇し、主灰コンベア内部の気体の圧力が上昇して起きた現象と考えられます。

(1) 可燃性ガスの発生源

主灰コンベア内で燃焼した可燃性ガスは、①焼却炉からの流入、②主灰コンベア内及び主灰サイロ内の主灰から生成、のいずれかにより生じたと考えられます。

第一次報告においては、セメント混練機上部点検口を開けたままにしていたため、負圧で管理されている灰固型化室の圧力と連動して主灰コンベア内も負圧になり、その結果、炉内から主灰コンベア内に可燃性ガスが漏えいしたと推測していました(上記①の発生源)。

しかし、その後の調査の結果、

ア 焼却炉の運転中にゲートを開けていた8月26日から29日までの間、運転時の炉内の負圧が継続して維持されていたこと(主灰コンベア側から、炉内よりもさらに低い負圧で引かない限り漏えいしない)

イ 焼却炉と主灰コンベア間には相当な圧力損失があったこと(焼却炉と主灰コンベア内に圧力差が生じて、漏えいしにくい)

ウ 主灰サイロ下部に主灰が堆積し、主灰サイロとセメント混練機の間を遮断していたため、主灰コンベア内は閉鎖空間であったと考えられること(灰固型化室内の負圧は、主灰コンベア内には影響しない)

から、①の発生源(焼却炉から可燃性ガスの主灰コンベア内への流入)は生じなかったと考えられます。

一方、主灰コンベアと主灰サイロにおける残存物を採取し、未燃炭素含有量[※]を測定した結果、主灰コンベア立ち上がり部や主灰サイロの残存物に可燃分が含まれていました(表Ⅲ-2)。このことは、残存物から可燃性ガスが生成していた可能性を示しており、②の発生源(主灰コンベア内及び主灰サイロ内の主灰から生成)であった可能性があります。

※ 未燃炭素含有量は、灰中に含まれる燃える可能性のある炭素の灰全量に対する割合。

表Ⅲ-2 残存物の元素分析及び未燃炭素含有量の分析結果

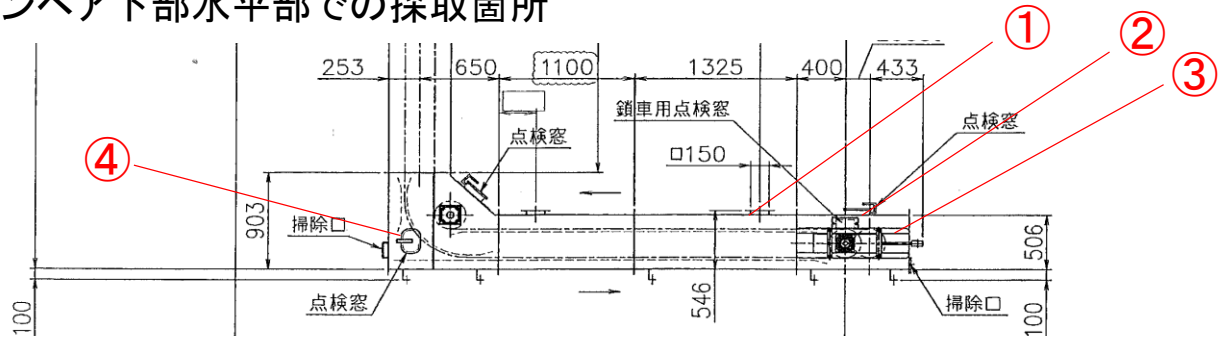
項目	単位	①炉直下 バケツ	②コンベア 終端バケツ	③コンベア終端 底部堆積物	④立ち上がり 底部堆積物	⑤主灰サイロ	⑥飛灰サイロ	⑦焼却 対象物	定量下限値	
元 素 分 析	炭素(無水)	%	<0.6	1.0	<0.6	3.8	2.7	10	41	0.6
	水素(無水)	%	0.3	0.1	<0.1	0.3	<0.1	0.6	5.3	0.1
	窒素(無水)	%	<0.3	<0.3	<0.3	<0.3	<0.3	<0.3	2.1	0.3
	酸素(無水)	%	—	1.6	—	3.4	1.3	7.7	41	—
	塩素(無水)	%	0.041	0.39	0.081	0.054	0.029	5.2	0.49	0.002
	硫黄(無水)	%	0.031	0.13	0.047	0.037	0.042	0.95	0.21	0.002
灰分(無水)	%	99	97	99.0	92	96	75	10	0.1	
未燃炭素含有量	%	0.58	0.55	0.54	2.92	3.93	5.55	—	—	

注1：酸素=100-(炭素+水素+窒素+灰分+硫黄+塩素)

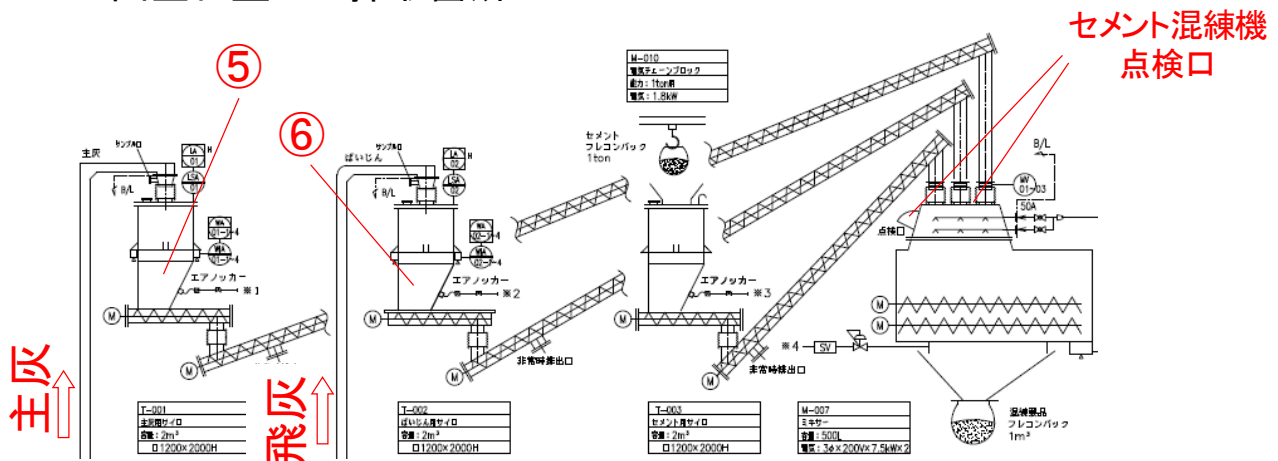
注2：定量下限値以下の数値は、定量下限値を適用し計算。

注3：差分がマイナスになる場合は「—」と表記。

主灰コンベア下部水平部での採取箇所



セメント固型化室での採取箇所



※⑦焼却対象物は貯留ヤードから採取

図Ⅲ-4 残存物の採取場所

一般に、今回のような固形の焼却対象物が燃焼する場合、高温の炉内に投入されると、まずは焼却対象物に含まれている水分が蒸発し、その後、熱分解によって、メタン等の炭化水素、水素及び一酸化炭素といった可燃性ガスが発生します。そして、熱分解の後、揮発しにくい固形の炭素が、その表面でじわじわと燃焼（表面燃焼）しながら、一酸化炭素などを放出し、灰になります。

残存物に含まれる可燃分の割合は、固定炭素の割合と同じであり（表Ⅲ-3）、可燃分が実質的に固定炭素であるといえることから、熱分解途中のものではなく表面燃焼の状態であった固形の炭素が焼却炉内から排出されていたと考えられます。したがって、異常燃焼を引き起こした主な可燃性ガスは、この炭素の表面燃焼で生じる一酸化炭素が主であると考えられます。

表Ⅲ-3 残存物の3成分、固定炭素及び発熱量

項目		単位	①炉直下 バケツ	②コンベア 終端バケツ	③コンベア終端 底部堆積物	④立ち上がり 底部堆積物	⑤主灰サイロ	⑥飛灰サイロ	⑦焼却 対象物	定量下限値
3 成 分	水分	%	0.7	4.6	0.9	21	0.4	1.9	38	0.1
	灰分(無水)	%	99	97	99.0	92	96	75	10	0.1
	可燃分	%	0.65	3.35	0.98	6.3	4.5	24	56	0.1
揮発分		%	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	0.1
固定炭素		%	0.65	3.35	0.98	6.3	4.5	24	55.6	0.1
発熱量		cal/g	<500	<500	<500	<500	<500	510	3340	500
		kJ/kg	<2000	<2000	<2000	<2000	<2000	<2000	2100	14000

注1：可燃分=100 - (水分+灰分)

注2：固定炭素=100 - (水分+灰分+揮発分)

注3：揮発分はすべて<0.1であり、実質的に可燃物=固定炭素

(2) 可燃性ガスの濃度

可燃性ガスが異常燃焼するためには、可燃性ガスが空気と混合して、燃えることができる濃度（可燃限界濃度）に達することが必要です。異常燃焼の原因と考えられる一酸化炭素の場合、可燃限界濃度の下限は12.5%（体積%、1気圧、25℃）であり、この濃度に達することが必要となります。

一酸化炭素について、主灰コンベア及び主灰サイロの内部の空間（コンベア自体等の内容物を無視した容積4.4m³）全体において、この濃度に達するには、一酸化炭素を生じる炭素量が約270gあれば可能と計算されました。

主灰サイロから採取した残存物の分析値から、主灰中には約4%の未燃炭素が残っており、主灰の発生量から考えて、可燃限界濃度に達する一酸化炭素を生じるのに十分な量の未燃炭素があったものと考えられます。

(3) 火種

火種については、8月26日から事故当日29日までの間は、焼却炉と主灰サイロとを仕切るゲートを「開」にした状態で焼却炉を運転していたため、焼却炉下部に主灰が継続的にこぼれ落ち、それが主灰コンベアにて主灰サイロに連続的に運ばれている状況にありました。この主灰は、可燃分を含んでいること（表Ⅲ-2）、また、強制的に冷却されていたわけではないことから、燃焼状態の炭素を含んでいた可能性が高く、火種となり得ます。

(4) まとめ

以上の調査結果から、主灰コンベアが破損・変形に至った現象は、焼却炉と主灰サイロとを仕切るゲートを「開」にした状態で焼却炉を運転したことにより、

- ① 焼却炉の下部にあるプラグの隙間から可燃分を含む灰が主灰コンベアにこぼれ落ち、
- ② 主灰コンベア内やコンベアによって運ばれた先の主灰サイロ内でくすぶって一酸化炭素を主体とする可燃性ガスが発生し、
- ③ 閉鎖空間であった主灰コンベア内や主灰サイロ内に時間をかけて滞留して可燃限界濃

度に達し、

- ④ 焼却炉からこぼれ落ちた灰が火種となって着火し、一気に異常燃焼し、
- ⑤ 主灰コンベア内の圧力の上昇を招き、破損・変形に至ったものと推定されます。

2. 事故発生後の連絡の不行き届き

(1) 緊急対応連絡網による連絡要領

緊急対応連絡網では、緊急時において、現場運転事務所から、鮫川村、消防署・棚倉消防署鮫川分署、警察署・棚倉警察署鮫川駐在所及び環境省に連絡することが記載されています。

併せて、緊急時の対応として「順次停止ボタンを押したとき」は、上記の関係機関に連絡するというルールが決められていました。

(2) 事故当日の対応状況

事故当日の対応状況として、現場事務所から消防署及び警察署への連絡が行われていませんでした。

運転所長からの聞き取りによると、その理由は次のとおりです。

- ① 主灰コンベア内における瞬時の異常燃焼であり継続して燃えていなかったため、火災として消防へ緊急通報することは不要と思った。
- ② 人的被害や事件性はなく警察への連絡は、思い浮かばなかった。

なお、事故直後に、鮫川村から現場事務所に対し確認の電話が入ったため、鮫川村への現場事務所からの緊急連絡の第一報は、村からいただいた電話を介して行われました。