

ごみ固形燃料発電所事故調査最終報告書

平成 15 年 11 月 22 日

ごみ固形燃料発電所事故調査専門委員会

ごみ固形燃料発電所事故調査最終報告書（要約）

1. 事故の概要

平成 15 年 7 月 20 日、RDF 貯蔵槽において水蒸気の発生を確認、7 月 27 日には発熱・発火を確認し、RDF の取りだしや RDF 貯蔵槽内部への注水による消火活動を続けていましたが、8 月 14 日及び 19 日に貯蔵槽において爆発事故が発生し、消火活動中の消防職員ら 7 名が死傷する事故となりました。

2. 三重ごみ固形燃料発電所における発熱・発火・爆発の考察と経緯

平成 15 年 7 月～8 月等に発生した三重ごみ固形燃料発電所における発熱・発火・爆発事故の原因は次のように考えられます。

RDF 貯蔵槽における発熱については、RDF 貯蔵槽は、空気が流入する構造であったこと及び定期点検時に RDF が完全排出されておらず、また、倉庫で長期保管された RDF も投入されていたことなどから、結露等により局所的な水分の集中が起こり、RDF が吸湿して有機物が発酵し、発熱したものと考えられます。

発火については、事故当時には、大量の RDF が貯蔵槽内にあり、極めて熱が逃げにくい状況であったため、さらに有機物の化学的酸化による自己発熱で高温となり、発火したものと考えられます。

爆発については、貯蔵槽内が長期間高温状態であったことから、様々な反応により可燃性ガスが発生し、RDF を抜き出した空隙や上部の空間に、可燃性ガスが充満していたところに、エスケープ部分や点検口などからの空気の流入や放水等により酸素と混合されて爆発限界に至り、何らかの火源により爆発したものと考えられます。

3. 三重ごみ固形燃料発電所における発熱・発火・爆発事故発生の背景

RDF 貯蔵槽における発熱・発火・爆発事故が発生した背景については、RDF を長期・大量に保管した実績がなく、RDF が条件によっては発熱し、発火に至るという性状認識に欠けていたこと、また、平成 14 年 12 月の事故を踏まえ、事故原因の究明や安全対策が不徹底であったこと、また、非常時を想定した安全対策が確立されていなかったことがあげられます。

さらに、事業の実施方式が一括発注方式であり、事業推進や事故防止に向けた責任体制が不明確であったこと、事故情報を積極的に公開し、事故防止にむけて組織的に解明する取り組みが不十分であったことが指摘できます。

4. 三重ごみ固形燃料発電所における発熱・発火・爆発のメカニズム

RDFが発熱・発火から爆発に至るメカニズムについての考察は、以下のとおりです。

(1) 発熱・発火のメカニズム

発熱・発火メカニズムについて、まず、原因として考えられる要素として、①有機物の発酵、②無機物の化学反応、③搬入時の初期温度、④有機物の化学的酸化等、⑤摩擦、を抽出し検討を進めました。

実証試験を通じて、RDFの発熱は、発酵に基づくものと考えられます。

RDFは、本来、長期の保管が可能ないように、変質や腐敗を防ぐことになっています。しかし、製造段階から使用までの間に水分量の増加や空気の流入によって徐々に発酵を開始し発熱します。

さらに、発酵等の作用によりRDFの温度が上昇していくと、化学的酸化反応が徐々に活発になります。そして、発熱量が放熱量を上回って蓄熱を開始すると、さらに加速度的に温度上昇し、やがて発火に至ると考えました。

なお、無機物の反応による発熱も生じて温度上昇に寄与すると考えましたが、発火に至るほどの反応は生じないと考えます。さらに、摩擦については、機械の駆動速度が遅いことや、倉庫内に保管していたRDFにおいても発熱事故が発生していることから、搬入時の初期温度についても、製造過程のRDFの冷却等により十分温度が低下していることから、原因から除外しました。

(2) 爆発のメカニズム

爆発メカニズムについては、①可燃性ガスの発生（有機物の熱分解等、微生物の発酵、アルミニウムの水和に伴う水素ガスの発生）、②空気の供給と混合、③火源等を抽出しました。

RDFが発熱・発火した段階では並行してRDFの熱分解による可燃性ガスが生じ、一部には水分を含んだRDFの嫌気性菌による発酵で生じた可燃性ガスも蓄積されていたと想定され、空気の混入、火源があれば爆発は容易に発生する状態であったと考えました。

5. 再発防止に向けて（提言）

三重ごみ固形燃料発電所の事故は、RDF貯蔵槽における発熱・発火を引き金として発生しました。

このため、事故の再発を防ぎ、施設の安全な稼働が図られるよう、RDFの製造から発電施設における貯蔵時における、発酵等による発熱を防止するための、輸送や保管に際しての品質管理の留意点を示しました。

また、緊急時への対応のため、発熱・発火時の想定した安全対策の実施や、事故の再発に向けた体制の整備として、管理体制の確立やRDF化施設、地域との連携による安全対策の実施を提言しました。

提言項目

- (1) RDFの適正な管理について
 - ①RDFの性状について
 - ②RDFの保管等の留意点
 - ③防災設備について
 - ④防災基準の設定について

- (2) 発熱・発火時の対応について
 - ①発熱・発火時の対応について
 - ②緊急時の組織体制について

- (3) 事故の再発防止に向けた体制の整備
 - ①管理運営体制の確立について
 - ②RDF化施設との連携について
 - ③周辺地域等との連携について
 - ④事故、技術等の情報集積について

目 次

はじめに	1
第1項 三重ごみ固形燃料発電所の事故経過等について	2
1. 三重ごみ固形燃料発電所の事故経過について	2
2. 三重県RDF化構想	3
3. 県内市町村のRDF化施設の状況	3
4. 三重ごみ固形燃料発電所の状況	4
第2項 三重ごみ固形燃料発電所事故における 発熱・発火・爆発のメカニズム	5
1. 事故原因の特定のための要素の抽出	5
2. 発熱から発火に至るメカニズム	5
(1) 有機物の発酵による発熱	5
① 水分量	6
② pH	7
③ 形状	7
④ 発酵温度	8
⑤ 微生物の存在	8
⑥ 堆積状況	8
⑦ 保管期間	8
(2) 無機物の化学反応による発熱	8
(3) 搬入時の初期温度の影響	9
(4) 有機物の化学的酸化による発熱	10
(5) 摩擦による発熱	11
3. 爆発に至るメカニズム	12
(1) 可燃性ガスの発生	12
① 熱分解ガスの発生	12
② 嫌気性発酵による可燃性ガスの発生	12
③ アルミニウムの水和に伴う水素ガスの発生	13
④ 可燃性ガスが発生する温度域	13
(2) 空気の供給と混合	13
(3) 火源	13
(4) 水蒸気が関与した爆発現象	14
4. RDFの発熱・発火及び爆発の可能性についてのまとめ	14
第3項 三重ごみ固形燃料発電所における 発熱・発火・爆発事故の考察と経緯	16
1. 平成14年12月のRDF貯蔵槽における発熱・発火事故	16
(1) 発熱等のメカニズムからみた事故原因の考察	16
① 吸湿及び発酵の可能性	16
② 自己発熱の可能性	16
③ その他の要因	17
(2) RDF貯蔵槽の考察	17

① 構造、仕様	-----	17
ア 設計仕様等	-----	17
イ 採用された貯蔵槽の形式等	-----	18
ウ RDFの受入、保管、ボイラへの供給	-----	18
② 運用状況	-----	19
(3) 事故の経緯	-----	19
2. 鈴鹿市内倉庫における発熱・発火事故	-----	20
(1) 発熱等のメカニズムからみた事故原因の考察	-----	20
① 吸湿及び発酵の可能性	-----	21
② 自己発熱の可能性	-----	21
③ その他の要因	-----	21
(2) 倉庫保管の考察	-----	22
① 倉庫保管を行うに至った経緯	-----	22
② 鈴鹿市内倉庫の状況	-----	22
ア 構造	-----	22
イ 運用方法	-----	22
(3) 事故の経緯	-----	23
3. 平成15年7月～8月のRDF貯蔵槽における発熱・発火・爆発事故	-----	24
(1) 発熱等のメカニズムからみた事故原因の考察	-----	24
① 発熱、発火原因について	-----	24
ア 吸湿及び発酵の可能性	-----	24
イ 自己発熱の可能性	-----	24
ウ その他の要因	-----	25
② 爆発原因について	-----	25
ア 可燃性ガスの発生	-----	25
(2) RDF貯蔵槽の考察	-----	26
① 構造、仕様(12月の事故後に変更された点)	-----	26
② 運用状況(12月の事故後に変更された点)	-----	26
(3) 事故の経緯	-----	27
4. まとめ	-----	30

第4項 三重ごみ固形燃料発電所における		
発熱・発火・爆発事故発生の背景	-----	32
1. RDFの性状認識の欠如	-----	32
2. 平成14年12月の事故後の安全対策について	-----	32
3. 非常時を想定した安全対策について	-----	33
4. 施設管理体制について	-----	34
5. 事故情報の発信について	-----	34

第5項 再発防止に向けて	-----	36
1. RDFの適正な管理について	-----	36
(1) RDFの性状について	-----	36
(2) RDFの保管等の留意点	-----	36
① RDFの輸送における留意点	-----	36
② RDFの貯蔵における留意点	-----	37

ア 温度、ガス管理について	-----	37
イ 長期保管について	-----	37
ウ 貯蔵槽の構造について	-----	38
(3) 防災設備について	-----	38
①ピット方式の場合	-----	38
②サイロ方式の場合	-----	39
(4) 防災基準の設定について	-----	39
2. 発熱・発火時の対応について	-----	39
(1) 発熱・発火時の対応について	-----	39
①ピット、平積み方式の場合	-----	39
②サイロ方式の場合	-----	39
(2) 緊急時の組織体制について	-----	40
3. 事故の再発防止に向けた体制の整備	-----	40
(1) 管理運営体制の確立について	-----	40
(2) R D F化施設との連携について	-----	41
(3) 周辺地域等との連携について	-----	41
(4) 事故、技術等の情報集積について	-----	41
おわりに	-----	42

はじめに

平成 15 年 8 月 14 日、三重県が設置運営する R D F 焼却発電施設「三重ごみ固形燃料発電所」の R D F 貯蔵槽において事故が発生し、県において R D F 発電所の一連のトラブルや事故の原因究明のため、ごみ固形燃料発電所事故調査専門委員会（以下「専門委員会」という。）が設置されました。

しかしながら、8 月 19 日に至り、同施設において消火活動中の消防職員 2 名が殉職される大規模な爆発事故が発生し、当専門委員会としては、R D F 貯蔵槽における爆発事故の原因の究明を中心に調査・審議を進めることとなり、去る 9 月 16 日に中間報告書を三重県知事に提出いたしました。

中間報告の時点では貯蔵槽内部の火災が続いており、施設の設置運営にあたる企業庁や管理を受託した富士電機㈱（当時）の関係者が事故の対応に追われ、現場の調査やヒアリング等情報の収集が十分出来ない状況にありましたが、全国的に R D F 関係施設が稼働するなかで、1 日も早く事故原因を究明し、同様の事故の再発を防止するとともに、R D F の保管等についての注意を喚起するため、調査や審議の途中ではありましたが、一定の方向が出たものを中間報告としてとりまとめました。

事故発生から 47 日目の 9 月 27 日には、R D F 貯蔵槽火災の鎮火宣言が出されました。このことを受けて、当専門委員会としては R D F 貯蔵槽の現場調査を進めるとともに、発熱・発火のメカニズムの究明のための新たな実証試験を数多く実施しました。また、事実関係の究明に向けて、企業庁や富士電機等の関係者からのヒアリングも行いました。

今回得ることができた事故当時の R D F 貯蔵槽に関する資料や、実証試験の結果、文献等を踏まえ、改めて R D F 貯蔵槽における発熱・発火・爆発のメカニズムの解明に努め、事故原因の究明を進めました。

また、再発防止に向けての安全対策については、本県の事故原因の究明結果により、まとめることといたしました。

第1項 三重ごみ固形燃料発電所の事故経過等について

1. 三重ごみ固形燃料発電所の事故経過について

平成14年12月1日の運転開始以降、三重ごみ固形燃料発電所等で発生した事故等の概要は以下のとおりです。

○平成14年12月のRDF貯蔵槽での発熱・発火事故

平成14年12月23日、三重ごみ固形燃料発電所のRDF貯蔵槽下部において発熱が認められ、一部のRDFから発火していることが判明しました。このため、施設の管理運営を受託している富士電機は、RDF貯蔵槽内への散水等により消火するとともに、すべてのRDFを外部的に取り出し、発熱状況の調査を行ないました。この事故のためRDF貯蔵槽は平成15年2月25日まで使用不能となり、この間、RDF貯蔵槽を経由しない直接投入方式により発電所の運転を継続しました。

○平成15年1月の焼却炉制御計器の異常表示

平成15年1月5日、焼却炉制御計器の異常表示が発生し、発電を停止しました。点検の結果、発電機タービン軸受けに傷を発見し復旧作業を行いました。(1月31日再稼働)

○平成15年3月のボイラ給水ポンプの修理等

平成15年3月6日、ボイラ給水ポンプ上流側配管の手直し、また、3月8日にはボイラ給水ポンプ修理のため、発電を停止しました。(3月13日再稼働)

○平成15年4月の発電機の異常

平成15年4月3日、発電機の振動過大を検出したため、点検・修理を行いました。(4月4日再稼働)

○平成15年7月の保管倉庫での発熱・発火事故

平成15年7月19日、富士電機が鈴鹿市内の倉庫に保管していたRDFの搬出作業中、少量の発煙を確認したため攪拌作業を実施しましたが、発熱・発火が収まらず、消防署に消火を依頼することとなりました。

○平成15年7月～8月のRDF貯蔵槽での発熱・発火・爆発事故

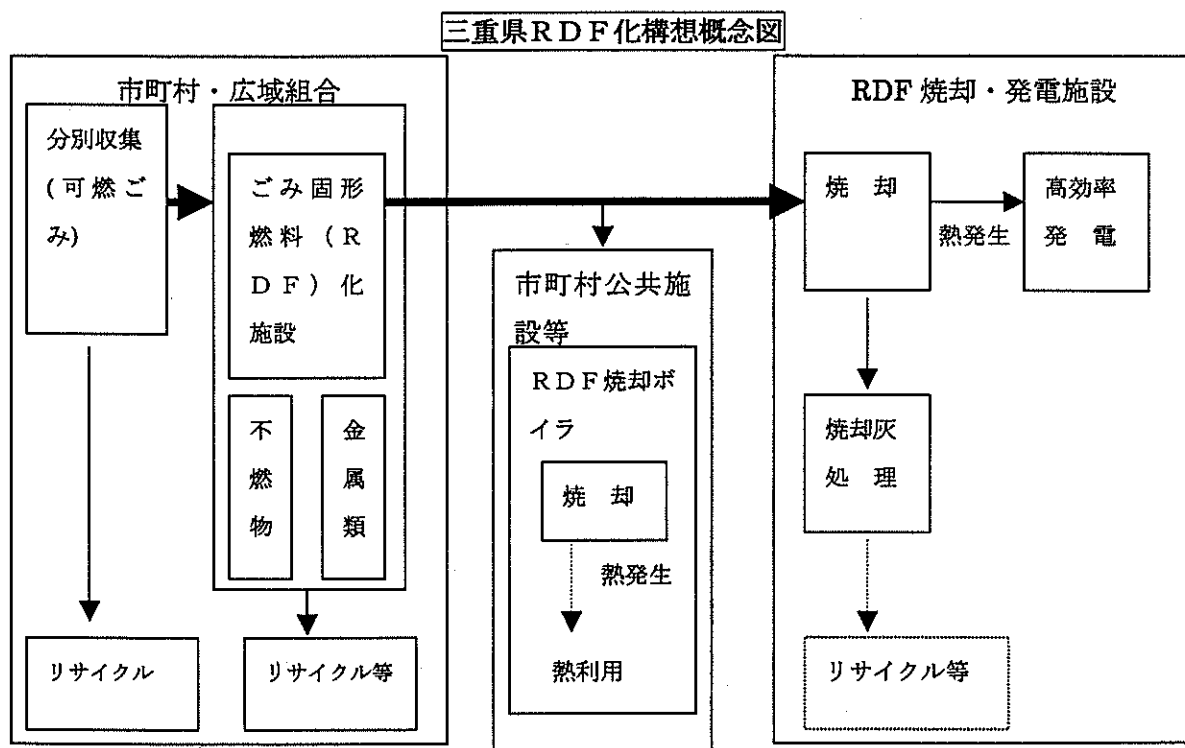
平成15年7月20日、RDF貯蔵槽において水蒸気の発生を確認、7月

27日には発熱・発火を確認し、RDFの取りだしやRDF貯蔵槽内部へ注水により消火活動を続けました。8月に入っても鎮火しなかったため消火活動を続けていましたが、14日及び19日には貯蔵槽において爆発事故が発生し、消火活動中の消防職員ら7名が死傷する事故となりました。

なお、RDF貯蔵槽等の発熱・発火・爆発事故の詳細につきましては、「第3項 三重ごみ固形燃料発電所における発熱・発火・爆発事故の考察と経緯」で記述しています。

2. 三重県RDF化構想

三重県では、ダイオキシン対策や資源循環型社会の構築を図るとともに未利用エネルギーの有効活用を促進する施策として、市町村等で焼却処理していた一般廃棄物を熱エネルギーとして活用（サーマルリサイクル）する「三重県RDF化構想」を進めてきました。



3. 県内市町村のRDF化施設の状況

県内の市町村では、3町3一部事務組合1広域連合（RDF化施設構成市町村数：26市町村）がごみ処理のRDF化を決定し、平成9年度から平成14年度にかけてRDF化施設の整備を進めてきました。平成14年12月までに7施設が稼働し、これらの施設で製造されたRDFは三重ごみ固形燃料発

電所に搬入され、発電用の燃料として利用されています。

7施設のうち、三重ごみ固形燃料発電所に隣接する桑名広域清掃事業組合は、製造したRDFをコンベアにより発電所に搬入し、他の6施設については、トラックで搬入しています。

7施設の設定の状況及び製造されたRDFの性状等については、資料1のとおりです。

【三重県内のRDF化施設】

市町村等	規模	整備期間	稼働	構成市町村
海山町	20t/日	9～11年度	12年4月	海山町
香肌奥伊勢資源化広域連合	44t/日	11～12年度	13年4月	飯南町、飯高町、勢和村、大台町、宮川村、大宮町、紀勢町、大内山村
南牟婁清掃施設組合	23t/日	12～14年度	14年9月	御浜町、紀宝町、紀和町、鶴殿村
桑名広域清掃事業組合	230t/日	11～14年度	14年12月	桑名市、多度町、長島町、木曾岬町、員弁町、東員町
上野市ほか4か町村環境衛生組合	135t/日	12～14年度	14年12月	上野市、伊賀町、阿山町、島ヶ原村、大山田村
紀伊長島町	21t/日	13～14年度	14年12月	紀伊長島町
浜島町	12t/日	13～14年度	14年12月	浜島町

4. 三重ごみ固形燃料発電所の状況

三重ごみ固形燃料発電所は、県内で製造されたRDFの安定的な受け皿として、平成11年度から県が広域的なモデル施設として整備を進めてきた施設であり、平成14年12月1日から運転を開始しています。

【三重ごみ固形燃料発電所の概要】

- 設置場所 三重県桑名郡多度町力尾地内
- 処理方式 焼却処理（循環型流動層ボイラー）方式
- 発電出力 12,050kW
- 売電電力量 約7,000万kWh/年
- RDF処理能力 240t/日（120t/日×2基）：平均処理量 200t/日
- 建設期間 平成11～15年度（平成14年12月1日運転開始）
- 事業費 約81億円（用地費除く）
- 建設及び管理運營業務委託先 富士電機㈱（社名は平成15年8月時点）

第2項 三重ごみ固形燃料発電所事故における

発熱・発火・爆発のメカニズム

1. 事故原因の特定のための要素の抽出

事故原因を特定するにあたり、原因と考えられる要素を抽出して、次のように整理しました。

まず、平成14年12月（RDF貯蔵槽内）及び平成15年7月、8月（鈴鹿市内倉庫、RDF貯蔵槽内）における発熱・発火メカニズムについては、次の要素を抽出しました。

- 有機物の発酵
- 無機物の化学反応
- 搬入時の初期温度
- 有機物の化学的酸化等
- 摩擦

また、平成15年8月14日及び19日に発生した爆発メカニズムについては、次の要素を抽出しました。

- 可燃性ガスの発生
 - ・有機物の熱分解等
 - ・微生物の発酵
 - ・アルミニウムの水和
- 空気の供給と混合
- 火源
- その他

これらの要素について、それぞれの事象が発生するための条件等について整理を行い、実際の状況と照らし合わせて検証しました。

なお、事故調査にあたって実施した試験では、三重県内のRDF化施設で製造されたRDFを用いています。

2. 発熱から発火に至るメカニズム

保管中のRDFが発熱し発火に至るメカニズムについて、個々の要素別に検討を進めました。

(1) 有機物の発酵による発熱

農業廃棄物、畜産廃棄物、汚泥、家庭ごみなどの有機系の廃棄物は、従来から堆肥として活用が図られてきました。RDFも一般廃棄物として多くの生ごみ等を含むことから、一定の条件のもとでは発酵を起こす可能性

があります。

さらに、発酵による温度上昇は、他の要素による温度上昇を誘引して発火に至る可能性があります。

本県内の施設で製造されるRDFは、腐敗を防止するために、乾燥工程により水分を除去し、消石灰を添加してpH調整を行っています。しかし、製造段階や保管中の管理方法によっては、有機物の発酵が促進される条件となり、発酵による発熱を引き起こすことが考えられます。

発酵が主な原因と考えられる発熱の例としては、次のものがあります。

○干し草の堆積やロールペール*における火災

○保管のために堆積したウッドチップからの火災

※ 家畜飼料を保存するため、干草等をロール状にしてラップフィルムを巻いたもの。

RDFが発酵するには、様々な条件が必要と考えられます。この条件は、概ね廃棄物の堆肥化に係る条件と同一と考えられます。

廃棄物の堆肥化に影響を与える因子としては、次のようなものが考えられます。

- ・水分
- ・pH
- ・形状
- ・発酵温度
- ・微生物の存在
- ・堆積状況
- ・保管期間

そこで、これらの因子のそれぞれについて、RDFに適用して検討しました。

①水分

水分は微生物の増殖速度に最も大きな影響を与える因子の1つであると考えられます。微生物は、水分が少ないと、増殖が遅くなり、限度以上に乾燥した場合には増殖が停止します。そのため、RDFの規格を定めている標準情報（TR Z0011:2002）では、RDFの水分を10%以下と定め、保管中の発酵を防止することとしており、その状態が保持されれば、RDFが発酵を開始する可能性は少ないと考えられます。

しかし、資料2に示すように、放置条件によってはRDFが吸湿して、1~2日で10%を越える水分になることがあります。水分を吸収したRDFは、かびの発生が著しいことから、微生物の発生に適当な水分となって

いると考えられます。従って、雨天が数日続いた場合などは、外気にさらされたRDF中では微生物の増殖しうる状態となる可能性があります。

また、資料3に、RDFに水分を添加し、発酵による温度上昇を測定した試験結果を示します。12%程度の水分量においても3日で発酵が認められ、水分の添加量が多いほど発酵の開始が早く、温度上昇も急激になることが確認されました。なお、この試験では、製造後のRDFに強制的に水分を添加したため、必ずしも水分が均一とはなっておらず、部分的に高い水分となっているところもあると考えられますが、傾向についてはよく反映していると考えられます。

貯蔵状態におけるRDFの水分増加の原因としては、次のようなことが考えられます。

- 外気からの水分の取り込み
- 貯蔵槽内の温度勾配による水分の移動
- 貯蔵槽内上部空間における空気中の水分の結露
- 保管や積み降ろし時等の雨水等による湿潤

② pH

三重県内の製造施設のRDFは、消石灰を添加することによりpHを上げて微生物の活動を抑制して発酵の防止を図っています。

資料4 (別紙5) に、消石灰の添加量を変えたRDFの発酵による温度変化を試験した結果を示しましたが、消石灰を添加せずに製造したRDFでは、速やかに発酵が開始して温度上昇が見られました。一方、生ごみ量に対して消石灰を4%添加したRDFでは、発酵が極めて抑制されていることが確認できました。同時に実施した、RDF中の菌数調査(資料4 (別紙8))もこれを裏付けているといえます。

また、消石灰の添加によりpHを上げて腐敗を防止したRDFにあっても、いったん緩やかに発酵を開始すると、好気性発酵による炭酸ガスの発生等により消石灰の中和が進行して、発酵が加速されることが考えられます。

③ 形状

RDFの輸送や保管中の取り扱い方によりRDFの形状が崩れると表面積が著しく増大して発酵を促進すると考えられます。なお、RDFは水蒸気の多い条件では膨張して形状が崩れ、表面積を増やしていくことになります。

④発酵温度

堆肥化では、好気性微生物の活動の結果、70～80℃まで温度が上昇します。十分に断熱された条件では、さらに温度が上昇し、資料3に示した試験においては、80℃を越える温度となることを確認しました。

⑤微生物の存在

RDFが発酵するには、微生物の存在が必要です。RDFの製造では、高温による乾燥、高圧による圧縮成型工程を経ます。RDF中には好気性微生物と嫌気性微生物が存在し、資料4(別紙8)で試験したとおり製造直後のRDFにあっても、微生物の胞子は死滅することなくRDF中に存在していることが確認できました。このことから、RDFは、水分等の条件が整えば直ちに発酵が始まる状態にあるといえます。

⑥堆積状況

RDFは、大きな貯蔵槽や高く積み上げて保管した場合には、内部の熱が逃げにくく保湿しやすいため、発酵に適した環境になります。

⑦保管期間

RDFを長期保管した場合、管理方法によっては、外気との接触による水分の増加、吸湿や放湿の繰り返しによる形状の崩れ、消石灰の炭酸化進行によるpHの低下などにより、微生物の発酵が容易な条件となっていくと考えられます。

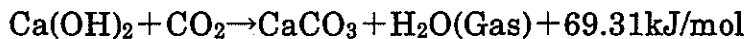
(2) 無機物の化学反応による発熱

RDFには、元来ごみ中に含まれていた物質が破碎工程等で粉碎されて分散しています。また、製造段階で消石灰(水酸化カルシウム)が添加されます。このことからRDFは、様々な化学反応を引き起こす潜在的な可能性を持っているといえます。

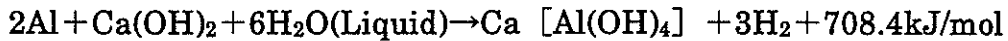
RDF中に含まれる無機物の組成について、分析した例を資料5に示します。金属類として、アルミニウムが約1.1%、鉄が約0.15%含有されていることが注目されます。また、カルシウムは試験に使用したRDFでは約2%弱でしたが、各製造施設における消石灰の添加量によって大幅に変動します。

これらの組成の組み合わせで、特に留意すべき反応として次の化学変化に着目しました。

○消石灰（水酸化カルシウム）の炭酸化



○アルミニウムとアルカリの反応



※発熱量はアルミニウムの水和エンタルピーとイオンの標準生成エンタルピーをもとに推定

なお、②については、反応に伴って可燃性の水素ガスを発生することに留意する必要があります。

これらの反応は、いずれも発熱反応で、水分存在下で反応が進むと考えられます。なお、発酵や有機物の酸化により発生する炭酸ガスは、消石灰との反応による炭酸化を加速する効果があると考えられます。

資料6に、RDFに消石灰やアルミニウムを添加して、反応の場として一定の水分条件（10%添加）を与えた状態で生じる発熱について試験した結果を示しますが、消石灰については添加量に比例した発熱が確認されましたが、アルミニウムについては明瞭な関係は見いだせませんでした。また、いずれの反応についても温度上昇は反応式から計算で予想される量を遙かに下回るものでした。

実際には、RDFに含有される物質のうちで、反応を引き起こす形態の物質の割合が少ないことや、酸化皮膜の形成などにより反がは容易に進まず、発熱量が小さくなったものと考えられます。

また、資料4に示す貯蔵発熱試験において消石灰を詰めたカートリッジを設置して形態の変化を確認したところ、資料4（別紙7）に示すように相当量の炭酸化の進行が確認されました。このことから、発酵が進んでいる条件の下では同時に消石灰の炭酸化も並行して進むことが確認されました。

(3) 搬入時の初期温度の影響

RDF貯蔵槽に投入されるRDFの温度が高い場合、内部の温度や、品温のばらつきにより、次のような現象を引き起こすことが考えられます。

- ・発酵や化学反応の促進
- ・堆積による自己発熱*の促進

※自己発熱：雰囲気温度を上げていくと、物質が酸化反応により発熱し、その熱で自身の温度を上げていく現象を指しています。

RDFの製造工程では、圧縮成型の段階で100℃を越える高温度となりますが、後段の冷却工程で常温に近い温度まで冷却されます。RDFの表面と内部の温度差を調査した例を資料7に示しますが、冷却工程を経るこ

とにより、中心部においても表面と同程度まで冷却されています。しかし、施設のトラブル等により高温度のRDFが製造される可能性も完全に否定できません。

(4) 有機物の化学的酸化による発熱

有機物は、空気との接触により酸化反応を起こしたり、分解等の化学反応によって発熱します。化学反応の速度は、その温度に深く関係しており、温度が10℃上昇する毎に反応速度は2～3倍というように増加していきます。

常温においては、殆ど反応をしない物質であっても、間接的に加熱されたり、非常に断熱性の高い条件に置かれることにより、緩やかな反応によって発生した熱が溜まり始めると、その温度上昇によってさらに反応が進んで、加速度的に高温度になっていくことが考えられます。

このような現象の例としては、

- 石炭の低温酸化反応
- 下水汚泥炭化物の発熱・発火
- 堆積したシュレッターダストや廃プラスチック類の火災
- 天ぷら油のあげかすの火災

などの事例があり、化学的酸化を原因とする発火は、比較的一般的なことがらであると考えられます。

有機物が、空気との接触等により発熱・発火を引き起こす条件として、次のような事項が考えられます。

物性について	物理的状態について
熱伝導率が小さいこと 発熱量が大きいこと 触媒となる物質の存在 不純物の存在 (粉じんなどによる汚染)	わずかな空気の流通があること 温度が高いこと 水分の存在 分解しやすい物質が粉末や繊維に含浸するなど表面積が広いこと 大量・高密度な堆積状態

(注：職場を守る爆発管理便覧 澤田誠二著 をもとに作成)

一般的なRDFの保管状態は、上記の項目の多くに該当するために、保管中の化学的酸化等による発熱が生じやすい条件となっていることが考えられます。

RDFの化学的酸化等による発熱の状況を確認するために、資料8に示

すように「危険物の輸送に関する国連勧告に基づく試験」を参考に、恒温槽の温度を段階的に変化させて内部に納めたRDFの事故発熱性試験を行いました。

下表に、恒温槽の内部温度とRDFの温度（最高温度）を比較しましたが、110℃では明瞭な発熱が見られないものが、130℃、150℃と温度が上昇するとともに急激に発熱を生じるようになっていくことが確認されました。断熱性の高い条件のもとでは、さらに低温度の領域であっても微少な発熱が蓄熱し、高温度の領域では急激な温度上昇により発火温度を越えることも考えられます。

		110℃	130℃	150℃	170℃
試料 1	上限温度	110.6	134.8	202.4	196.5
	温度差 ΔT	-0.9	3.2	50.9	24.8
試料 2	上限温度	110.7	133.3	178.6	189.7
	温度差 ΔT	-0.8	1.7	27.1	18.0
恒温槽内	温度	111.5	131.6	151.5	171.7

※試料には、場外倉庫に保管されていたRDFを使用

また、熱の放散を防止した条件を設けて、120℃における加熱試験を行ったところ、資料9に示すように、RDFが自己発熱により発火に至ることを確認しました。

この結果から、比較的低温では極めて緩やかに進行する発熱反応であっても、十分な断熱性が確保されている条件では、その発熱が自身の温度上昇を招き、さらに反応を加速して高温度に至り、発火する可能性が示されました。

なお、化学的酸化により発熱・発火する可能性がある物質を貯蔵した場合、貯蔵容積（堆積厚さ）が大きくなると、表面からの熱の放散の割合が小さくなり、より低い温度から蓄熱を開始することとなり、限界発火温度を下げる理論があります。

(5) 摩擦による発熱

RDF貯蔵槽にはRDFをボイラに供給するための機械設備として、コンベア類が装備されています。コンベアが駆動すると、RDF同士又はRDFとコンベアとの間で摩擦が発生し、熱エネルギーとなって発熱を起こすことが考えられます。

しかしながら、RDFの供給コンベアでは、

○コンベアの速度が比較的遅く、高速の回転部分等はRDFに接触して

いないこと

- コンベアに近いRDFは、すみやかに熱と共に系外に搬出されること
- コンベアは金属製であるために熱を逃がしやすいこと
- コンベアが摩擦熱を生じるような過負荷の発生により運転停止したような事例がないこと

から、通常の稼働状態において摩擦のみで発熱・発火に至るメカニズムを説明することは困難であると考えられます。

ただし、ブリッジの形成などにより、摩擦面が固定されて長時間に渡って1カ所に摩擦が集中することも想定されますが、接触面のRDFは高温度に至るまで形状を保持するほどの強度は有していないと考えられます。

3. 爆発に至るメカニズム

RDF貯蔵槽の爆発については、可燃性ガスの爆発と、他の要因による爆発現象に区別して検討する必要があります。

また、可燃性ガスの爆発については、①可燃性ガスの発生、②空気（酸素）の供給と混合、③火源 の3条件について検討します。

(1) 可燃性ガスの発生

①熱分解ガスの発生

空気が遮断された状態でRDFが加熱されると、熱分解により可燃性のガスが発生します。都市ごみによる可燃性ガスの発生は、ガス化熔融施設における熱分解工程で積極的に活用されています。資料10に、RDFを無酸素状態で加熱した場合に発生するガスの組成を試験した結果を示しますが、一酸化炭素、水素、メタン等の可燃性ガスが発生することがわかります。また、高温度の領域においては、水性ガス化反応や発生炉ガス化反応等、熱分解以外のメカニズムによって可燃性ガスが発生する可能性があります。熱分解が進行しているような高温度の状態の中では、これらの反応は並行して進行していると思われます。

②嫌気性発酵による可燃性ガスの発生

RDFが多量の水分を含んだ状態で嫌気性の条件におかれると、嫌気性菌の作用により水素ガス等の可燃性ガスを発生します。

資料11に示した試験では、RDFの嫌気性発酵により主に水素ガスと炭酸ガスが発生することが確認されました。この試験によると50gRDFから1日間で概ね約0.5L弱(1kgあたり10L/日弱に相当)の水素ガスが

発生することが確認されました。

③アルミニウムの水和に伴う水素ガスの発生

2. (2) で記したように、RDF中のアルミニウムの水和反応によって水素ガスが発生する可能性があります。しかし、RDFにおいては、資料6で試験したように反応性が低いため、可燃性ガスの発生源とはならないと考えられます。

④可燃性ガスが発生する温度域

嫌気性発酵が進行する温度範囲は、生物が生存する100℃以下の領域であると考えられます。一方で、熱分解ガスの発生等化学的な作用による可燃性ガスの発生は、より高温域で活発になります。それぞれの反応が生じる温度域は大きく異なりますが、RDFは断熱性が高いため、貯蔵槽内で火災が生じるような高温度に達していたとしても、常温に近い部分も存在していたと考えられることから、槽内には熱分解ガスが発生しやすい領域や、嫌気性発酵が生じやすい領域が混在していたと考えられます。

(2) 空気の供給と混合

可燃性ガスが爆発するためには、適切な量の酸素の供給と十分な混合拡散があり、混合されたガスが爆発を起こす限界範囲に入ることが必要です。酸素の供給源等については、次のような作用が関係していると考えられます。

- 開口部からの空気の浸入
- 貯蔵槽内部の温度上昇による上部からのガス排出に伴う下部からの空気の誘引
- 貯蔵槽内部の冷却による空気の誘引
- 放水に伴う空気の供給

(3) 火源

ガスが爆発に至るためには、火源が必要です。今回の事故で想定される火源としては次のようなものがあります。

- 燃焼しているRDFの炎
- 金属同士の接触等、摩擦や衝撃による火花
- 使用中の火気

(4) 水蒸気に関与した爆発現象

冶金・鑄造等で高温の金属や溶融塩を取り扱う事業所においては、事故により金属や溶融塩と水が接触して瞬間的に多量の水蒸気が発生し、その膨張作用による爆発現象が生じることがあります。RDF表面は固体であり、接触した水への熱の伝導の程度も低いことから、水蒸気に関与による爆発は生じにくいと考えられます。

4. RDFの発熱・発火及び爆発の可能性についてのまとめ

これまでの検討を総括すると、常温に近い状態で保管されているRDFが発熱を開始して発火に至るメカニズムについては、次のとおりであると考えられます。

RDFは、本来、長期の保管が可能のように、製造工程において乾燥、消石灰の添加、固形化、冷却を行って変質や腐敗を防ぐことになっています。

しかし、製造段階から焼却処理までの間に水分の増加等の条件が整うと、徐々に発酵を開始して発熱します。なお、発酵と並行して、消石灰の炭酸化など、無機物の反応による発熱も生じて、温度上昇に寄与していると考えられます。

通常のRDFに含まれる有機物の化学的酸化は、常温では極めて進行が遅いと考えられます。しかし、発酵等の作用によりRDFの温度が上昇していくと、化学的酸化が徐々に活発になります。そして、発熱量が放熱量を上回って蓄熱を開始すると、さらに加速度的に温度上昇し、やがて発火に至ると考えられます。

なお、RDFが好気性発酵や化学的酸化をする際には酸素が必要です。また、空気の流通は、RDFの吸湿や放熱にも関与します。貯蔵槽内への空気の流通が適切に制御されるか、或いは遮断されるか、いずれかであれば発熱は抑制できると考えられます。

また、摩擦については、機械の駆動速度が遅いことや、倉庫内に保管していたRDFにおいても発熱事故が発生していることから原因から除外できると考えられます。

爆発のメカニズムについては、RDFが発熱・発火した段階で並行してRDFの熱分解による可燃性ガスが生じ、一部には水分を含んだRDFの嫌気性菌による発酵で生じた可燃性ガスも蓄積されていたと想定され、空気の混入、火源があれば爆発は容易に発生する状態であったと考えられます。

発熱・発火・爆発メカニズムの要素のまとめ

RDFの発熱・発火原因について

要素	検討結果
有機物の発酵	<ul style="list-style-type: none"> ・干し草の堆積やロールペール、堆積したウッドチップなどからの火災の例がある。 ・水分は、微生物による発酵の大きな因子である。RDFは温度、湿度の条件により、容易に吸湿して微生物が増殖しうる状態になる可能性がある。 ・水分を含浸させたRDFにおいて、80℃を越える発熱が生じた。また、12%程度の水分量でも発熱を開始した。 ・消石灰を添加してpHを上げると発酵が抑制される。しかし、いったん発酵を開始すると、代謝による炭酸ガス等によりpHが下がり、発酵が進んだ。 ・その他、形状、発酵温度、微生物の存在、堆積状況、保管期間などが因子となる。
無機物の化学反応	<ul style="list-style-type: none"> ・RDF中に多く含まれる無機成分の中で、特に消石灰の炭酸化とアルミニウムの水和の反応が考えられる。 ・反応を引き起こす物質の割合が少ないことや酸化被膜の形成などにより、反応は容易に進まず、RDFの発熱は非常に小さい。 ・発酵をしているRDF中では、消石灰の炭酸化が並行して進行すると考えられる。
搬入時の初期温度	<ul style="list-style-type: none"> ・高温の状態でのRDFは、発酵や自己発熱を促進する可能性がある。 ・RDF製造工程では、RDFは、冷却工程で常温近くまで冷却される。中心部も同様に冷却される。
化学的酸化	<ul style="list-style-type: none"> ・石炭の低温酸化、下水汚泥炭化物の発熱、天ぷら油のあぜかすの火災など、有機物の酸化反応による発熱事例が多い。 ・堆積量が大いいと発熱量が小さくても低温度から蓄熱が進んで発火に至る可能性がある。 ・RDFの自己発熱性試験では、130℃から明瞭な発熱現象を確認した。また、120℃で断熱条件においたところ、自己発熱から発火に至る例を確認した。
RDF払出部の摩擦	<ul style="list-style-type: none"> ・コンベア等の駆動により、RDFとコンベアやRDF同士の摩擦で発熱を起こす可能性がある。 ・コンベアの駆動速度は遅く、装置が金属製であることやRDFが速やかに排出されることから熱を逃がしやすいなど、摩擦による発熱は生じにくい。 ・装置の駆動履歴では、機械的・電気的な過負荷による停止例はない。

RDFの爆発原因について

要素	検討結果
熱分解ガスの発生	<ul style="list-style-type: none"> ・高温で空気が遮断された状態になると、熱分解により可燃性ガスが発生する。 ・ごみのガス化プラントでは、この技術を積極的に活用し、水素、一酸化炭素、二酸化炭素、炭化水素類を発生させ熱源としている。RDFを熱分解した場合も同様の可燃性ガスが出る。 ・熱分解が発生する条件下では、水性ガス化反応や発生炉ガス化反応も並行して生じていると考えられる。
嫌気性発酵による可燃性ガス	<ul style="list-style-type: none"> ・嫌気性菌の作用により、水素ガスやメタンガスが発生する可能性がある。 ・RDFを水浸した試験では、40℃中性～弱酸性の条件で水素ガスと炭酸ガスが発生した。
アルミニウムの水和	<ul style="list-style-type: none"> ・アルミニウムの水和反応に伴って水素ガスが発生する可能性がある。 ・無機物の化学反応におけるように、反応は殆ど生じない。
空気の供給	<ul style="list-style-type: none"> ・貯蔵槽内に空気が供給、混合されるためには、開口部からの浸入や誘引、放水に伴う随伴などが考えられる。 ・可燃性ガスと空気が混合され、爆発を起こす限界内に入ることが必要である。
火源	<ul style="list-style-type: none"> ・火源としては、燃焼しているRDFの炎、摩擦や衝撃、使用中の火気などが考えられる。

第3項 三重ごみ固形燃料発電所における

発熱・発火・爆発事故の考察と経緯

1. 平成14年12月のRDF貯蔵槽における発熱・発火事故

(1) 発熱等のメカニズムからみた事故原因の考察

12月の発熱・発火事故の原因については、結露等によりRDFが吸湿し、有機物の発酵による発熱が生じ、さらに有機物の化学的酸化による自己発熱で高温となり、発火した可能性が考えられます。

①吸湿及び発酵の可能性

貯蔵槽には10月28日からRDFの投入が開始されており、かつ、スリープ装置の稼働実績がなかったことから、保管されていたRDFの中には最大2カ月弱貯留されていたものがあったと考えられます。

貯蔵槽は雨水が直接内部に進入しない構造となっていました。上部からベルトコンベアで搬送されたRDFを投入する構造となっており、雨天時などにはRDFとともに湿度の高い外気が内部に進入していた可能性があります。

夜間には貯蔵槽内部と外気温との温度差が生じ、貯蔵槽内で暖かい空気が上方に移動し、水分の局所的な集中や結露が起こった可能性も考えられます。

また、貯蔵槽内の温度については、基本的に運用方法が同じであることから、4月以降の温度記録から推定すると、貯蔵槽中心部（センターコーン部）は外気温より常に10℃程度高い値を示しており、実際の運用のなかでも貯蔵槽内部と外気温との温度差が生じていたと考えられます。

（資料12 貯蔵槽の温度と気温の関係（4/18～8/13））

なお、発熱・発火事故は、11月～12月の寒暖の差が大きく、結露しやすい気象条件のなかで発生しており、事故発生前には降水も認められていることから、これらが貯蔵槽内への湿気の進入や結露の促進要因となった可能性も考えられます。

（資料13 平成14年11月～12月の気象条件）

②自己発熱の可能性

RDFは断熱性が高い性質を持っています。

事故当時には、貯蔵槽内にRDFが約2,000トン保管されており、極めて熱が逃げにくい状態となっていたことから、発酵により温度が上昇した

RDFがさらに酸化反応を起こし、自己発熱に至った可能性が考えられます。

③その他の要因

無機物の化学反応による発熱については、RDFに含まれる石灰やアルミニウムの量が少ないことから、他の要因と重複することで発熱を促進することはあっても、単独で発火を引き起こすだけの発熱量はないと考えられます。

摩擦による発熱については、貯蔵槽の払出装が 11 月～12 月の事故当時まで異常なく稼働しており、摩擦熱が原因とは考えられません。

また、発煙を確認した 12 月 18 日時点で摩擦熱の影響を最も受けやすい払出コンベア付近からRDFの抜き取り検査（10 トン）を行ったものの、炭化等の異常なRDFは認められなかったことから、その可能性は低いものと考えられます。

RDF搬入時の初期温度の影響については、桑名広域清掃事業組合のRDFは製造直後に貯蔵槽に投入されており、他市町村等に比べ温度が高い状態であったと考えられますが、実際の運用のなかでは、桑名広域清掃事業組合のRDFを貯蔵槽に投入していなかった時期（4 月 18 日～4 月 21 日 17 時以前）でも貯蔵槽内部（センターコーン部）は外気温より 10℃程度高く、かつ、投入開始後の温度状況（外気温と貯蔵槽内部温度の差）にも顕著な変化はみられなかったことから、このRDFが発熱・発火の直接的原因となった可能性はないと考えられます。

（資料 14 貯蔵槽の温度と気温の関係（4/18～5/31））

（2）RDF貯蔵槽の考察

①構造、仕様

ア 設計仕様等

三重ごみ固形燃料発電所のRDF貯蔵槽は、ボイラ 1 系列の定期点検時等における停止期間においても、RDFの受入に支障が生じないように設置されたものです。（技術提案に関する条件）

また、三重県企業庁の確認仕様書における設計条件・技術仕様は以下のとおりです。

（設計条件）

- 日平均RDF受入量 100t/d を 20 日分保有容量とする。
- 先入れ・先出しができるものとし、丸形サイロ方式を基本とする。
- ブリッジ対策、結露対策、臭気・換気対策を実施する。

○排出装置は、RDFをスムーズに切出しできる構造とする。

(技術仕様)

○形式、数量：丸形サイロ方式、1基

○貯蔵容量：3,450m³

○附属設備：払出機、レベル計、スweep装置、点検歩廊・階段、
臭気・換気対策設備、防災設備、非常停止装置 各一式

イ 採用された貯蔵槽の形式等

三重ごみ固形燃料発電所に採用された貯蔵槽は、石炭や穀物用のサイロとしての実績を有するアトラスサイロです。このサイロは、底面が平底であり、底面に設置されたチェーンコンベアとスweep装置によって保管物を払い出す機構に特徴があります。

貯蔵槽の底部はコンクリート製、外周の壁は鋼板製の二重壁、円錐形の上屋は鋼板製の一重壁であり、4,000m³のRDF貯蔵が可能な設備となっていました。

また、結露対策としては、外壁を二重構造にすることで輻射熱の影響を少なくする措置が講じられていましたが、貯蔵槽上部のRDF投入口やエスケープ部分等からの空気の流入を遮断できる構造にはなっていませんでした。

さらに、技術仕様では附属設備として防災設備を設置することとなっていました。RDFが指定可燃物でなかったことから、企業庁と建設業務受託業者が協議の上、スプリンクラーなどの消火設備や温度センサーなどの監視装置を設置しませんでした。

(資料15 貯蔵槽図面)

ウ RDFの受入、保管、ボイラへの供給

桑名広域清掃事業組合以外の市町村等（以下「他市町村等」という。）から搬入されたRDFは、受入ホッパーに投入され、コンベアにより搬送された後、貯蔵槽又は直接ボイラに供給される構成となっていました。

また、桑名広域清掃事業組合については、RDF化施設からの搬送コンベアが、上記受入ホッパー付近のコンベアに接続され、他市町村等と同様に貯蔵槽又はボイラに直接供給される構成となっていました。

貯蔵槽内部のRDFは、床面に設置された3条のチェーンコンベア（幅30cm、外周部から中心部へ駆動）により払い出され、中央部のセンターコーン下部からバケットに投入された後、コンベアにより搬送され、

ボイラに供給される構造となっていました。

(資料 16 受入、貯蔵、供給設備システムフロー図)

②運用状況

平成 14 年 12 月当時は、三重ごみ固形燃料発電所で受け入れる RDF は、すべて貯蔵槽を経由してボイラに供給する運転を行っていました。

また、ボイラ 2 缶のうち 1 缶しか稼働していなかったことから、焼却できなかった RDF を貯蔵槽に保管していたため、貯蔵量は増加を続け、事故発生時には満杯の状態でした。

貯蔵槽の保管管理については、貯蔵槽内部の温度、ガス等の監視は行われておらず、また、搬入される RDF についても、マニュアル等を定めて品質検査を行うなどの体制はとられていませんでした。

貯蔵槽にはチェーンコンベアから離れた部分の貯留物を外周部から中心部に向けてかき寄せ、チェーンコンベアに投入するスweep装置が設置されていましたが、実際には稼働実績がなく、払出が困難なデッドスペースが存在した可能性が考えられます。

(3) 事故の経緯

平成 14 年

10 月 28 日 ボイラの試験運転を行うため、RDF の受入を開始
受入ホッパーに RDF 26 トンを受入後、搬送コンベアを起動し、貯蔵槽への搬入を開始したところ、約 10 分後にホッパーコンベアが過負荷停止

10 月 28 日 ホッパーコンベアユニット等の破損部分改修等を実施

～11 月 3 日 ※以後同様のトラブルは発生していない

11 月 4 日 RDF の搬入再開

11 月 18 日 2 号ボイラ試験運転開始

(1 号ボイラの試験運転開始は 1 月 7 日)

12 月 1 日 RDF 貯蔵槽本格使用開始 (貯蔵推定量 602 トン)

12 月 10 日 RDF 貯蔵槽上部ガス抜きベントから水蒸気らしきものを視認
(貯蔵推定量 1,455 トン)

12 月 18 日 RDF 貯蔵槽底部コンベアからの発煙を視認
(貯蔵推定量 1,989 トン)

12 月 23 日

11:34 頃 貯蔵槽底部払出コンベア付近で煙を発見

貯蔵槽内エスケープ部では、エスケープ下部の隙間（約 50cm）の一部で炎を視認（貯蔵推定量 2,055 トン）

※エスケープ部の場所は資料 15 貯蔵槽図面を参照

13:00 貯蔵槽排出コンベアから R D F の取り出しを開始。取り出した R D F には散水を実施

17:30 鎮火の気配がみえる状況

※現場の状況から自衛消防で対応することとし、消防署への出動要請は行わなかった。

12 月 24 日

10:30 貯蔵槽から R D F 排出を継続するとともに、貯蔵槽上部から窒素投入を開始（約 300～400m³）

煙は弱い状況

14:30 煙はなく、貯蔵槽の床面が少し暖かい状況

15:00 窒素投入を C O₂ 投入に変更し状況を監視

貯蔵槽の冷却放水を人手から固定式に変更

19:00 短時間の窒素及び C O₂ 投入では発熱現象の沈静化にあまり効果が見られないと判断して、貯蔵槽内部からの R D F 排出を中止し、貯蔵槽内の発熱部分に直接注水するため、センターコーン部に 10mm 程度の穴あけ加工を開始

21:00 開口部から順次注水開始

貯蔵槽壁面に貼り付けた温度計が注水前の 50℃ 台から 15℃ 程度に低下したため、一晩注水を継続し、様子を監視

12 月 25 日 注水を停止しても温度の再上昇が見られなかったため、既注水部分以外の部分について、貯蔵槽下部の温度（12 箇所）を測定し、注水効果の高いところを選んで順次注水作業を継続

12 月 26 日以降の状況

貯蔵槽への開口（全 23 箇所）及び注水作業を実施するとともに、R D F の排出作業を実施（作業状況は資料参照）

R D F の取り出しは 2 月 8 日に完了（鎮火）

貯蔵槽復旧工事を経て 2 月 26 日から使用を再開。

（資料 17 R D F 搬入量、焼却量、貯蔵量（10/28～12/23））

2. 鈴鹿市内倉庫における発熱・発火事故

（1）発熱等のメカニズムからみた事故原因の考察

鈴鹿市内倉庫発熱・発火事故の原因については、吸湿により R D F の水分が増加し、有機物の発酵による発熱が生じ、さらに有機物の化学的酸化による自己発熱で高温となり、発火した可能性が考えられます。

なお、出火後に行われた鈴鹿市消防本部の調査では、大量の雨漏りがあったことまでは確認できませんでしたが、発熱場所上部の屋根にビスの抜けた穴2箇所が確認されています。出火原因は不明とされています。

①吸湿及び発酵の可能性

鈴鹿市内倉庫には2月18日から3月14日までに搬入されたRDFが約5ヶ月間保管されており、長期間貯留された状況にありました。

RDFは吸湿性が高く、気温40℃湿度90%の条件下で8日間放置した場合、水分量が13.8%~19.2%まで増加する実験結果があります。

(資料2 RDFの水分量試験結果について)

当該倉庫は密閉構造とはなっておらず、空調機なども設定されていなかったころから、外気の影響を受けやすい状況にあったと考えられます。

発熱・発火事故は、梅雨で高温多湿の状況が続く時期に発生しており、吸湿が進んで水分が増加し、微生物による発酵が起こった可能性が考えられます。

(資料18 平成15年6月~7月の気象条件)

また、鈴鹿市内倉庫のRDFは約5ヶ月間保管されており、保管期間が極めて長くなっています。鈴鹿市内倉庫のRDFはサンプルによってはpH値が7.32と製造時に比べ低くなっており、微生物が増殖しやすい状態となり、発酵を促進した可能性が考えられます。

②自己発熱の可能性

鈴鹿市内倉庫のRDFは4~5mの高さに平積みされており、中心部のRDFは発酵による熱が放熱されずに蓄熱し、自己発熱に至った可能性があると考えられます。

③その他の要因

無機物の化学反応による発熱については、鈴鹿市内倉庫のRDFが、保管を始めてから約5ヶ月後に発熱・発火しており、比較的短時間で反応が進む無機物による発熱の可能性は低いものと考えられます。

また、摩擦による発熱は、倉庫内には摩擦を起こす機械装置がないことから、可能性はないと考えられます。

(2) 倉庫保管の考察

①倉庫保管を行うに至った経緯

1号ボイラの運転開始が1月7日まで遅れたこと等により、発電所の実績焼却量は12月で日平均約79トン、1月でも日平均106トンでした。一方、RDF搬入量は12月実績で日平均約140トン、1月実績でも日平均約170トンであり、RDFを全量処理できなかつたため、12月当初は一時的に貯蔵槽に保管し、順次焼却処理していくこととしました。

しかしながら、貯蔵槽の発熱・発火事故により、12月23日から2月25日まで貯蔵槽が使用できなかつたため、場外の倉庫で一時保管し、順次焼却処理していくこととしました。

一時保管を行った倉庫は以下のとおりです。

- 竹本倉庫（四日市市） : 1月27日から搬入
- 霞埠頭倉庫（四日市市） : 2月3日から搬入
- 鈴鹿市内倉庫 : 2月18日から搬入

（資料19 一時保管倉庫の搬入搬出状況）

②鈴鹿市内倉庫の状況

ア 構造

鈴鹿市内倉庫は、延べ床面積約1,344 m² (32m×42m) の鉄骨造平屋であり、屋根及び壁はスレート、床面はコンクリートたたきでした。

また、当該倉庫は通常の商品を保管する倉庫であり、密閉構造にはなっていませんでした。

（資料20 鈴鹿市内倉庫写真）

イ 運用方法

鈴鹿市内倉庫への搬入は2月18日から開始され、3月14日には1,734トンのRDFが4～5mの高さで平積み保管されていました。なお、保管されていたRDFは、搬入時期に製造されたものであり、市町村等から直送又は一旦発電所に搬入したRDFがすぐに焼却処理できないため倉庫に搬入したものです。搬入はトラックで行われ、重機による平積み作業が行われていました。

搬入時の品質監視についてのマニュアルは定められていませんでした。また、当初は市町村等別にRDFの積み場所を区分けしていましたが、搬入の増大に伴い、RDFが混在する状況となりました。

3月14日から7月1日までは新たな搬入及び搬出はありませんでした。

また、この間、富士電機からは、保管状況を確認するため、アルコール温度計による表面付近の温度測定、目視チェックを行っていたとの説明がありましたが、温度等の監視記録は作成されていませんでした。

(3) 事故の経緯

平成 15 年

2 月 18 日 鈴鹿市内倉庫へ RDF 搬入

～3 月 14 日 (この間は、日勤 2 名にてアルコール温度計による温度確認、表面の状況を毎日監視)

3 月 14 日 保管量 1,734 トン

3 月 15 日 倉庫内で RDF の切り返し作業中にローダー (作業機械) の転倒事故が発生

(3/15～4/1 までは隔日監視。4/1～6/30 までは月、水、金の週 3 回監視)

7 月 2 日 発電所へ搬出し、RDF 貯蔵槽へ投入

～7 月 10 日 (投入量計：343 トン)

7 月 19 日 発電所へ搬出 (51 トン)

※51 トンのうち 15 トンを RDF 貯蔵槽へ投入

14:00～14:30 頃

鈴鹿市内倉庫の作業員から「水蒸気らしきものが出ている」旨、発電所に連絡がある。

17:00 頃 発電所職員等が倉庫に到着。表面は熱くないが、発煙を確認

17:00～22:00

重機による RDF の攪拌作業を実施。RDF の山を掘り下げたところ、頂部から 2～3m 下、床面からは 1～1.5m 上で RDF が発熱しているのを確認。炭化した RDF の小さな固まりが点在していた。

22:00 攪拌作業により発熱が収まった状況になる。

22:19 付近住民から消防署に異臭がする旨の通報

7 月 20 日

1:00 頃 発煙と発火が生じ、ABC 粉末消火器で初期消火を実施したが、手に負えない状況となる。

1:33 消防署に出動要請

2:00～3:30

鈴鹿市消防本部による消火活動 (発火箇所に直接放水。重機で攪拌し温度を下げて消火)

※鈴鹿市消防本部による放射温度計の測定では燃えていないRDFは 35～36℃、RDFの山内部の放水・攪拌した部分は 62℃であった。
※発熱・発火したRDFは倉庫保管量の約半分の 600 トン

3. 平成 15 年 7 月～8 月の RDF 貯蔵槽における発熱・発火・爆発事故

(1) 発熱等のメカニズムからみた事故原因の考察

①発熱・発火原因について

7 月～8 月の発熱・発火事故の原因については、結露等により RDF が吸湿し、有機物の発酵による発熱が生じ、さらに有機物の化学的酸化による自己発熱で高温となり、発火した可能性が考えられます。

ア 吸湿及び発酵の可能性

貯蔵槽については、12 月の発熱・発火事故以降も、温度センサーの設置以外には構造等の変更は行われておらず、RDF 投入時における湿った空気の持ち込みや結露による局所的な水分の集中が起こり得る可能性があったと考えられます。

定期点検時に貯蔵槽量のレベルを下げていた際、貯蔵槽内部壁面に帯状に付着した RDF が視認されましたが、内部の清掃、RDF の完全排出は実施されなかったことから、長期間滞留した RDF が残存していた可能性も考えられます。

また、6 月～7 月は高温多湿の時期にあたり、水分の増加を促進する要因となったことも考えられます。

(資料 18 平成 15 年 6 月～7 月の気象条件)

さらに、貯蔵槽には、鈴鹿市内倉庫に長期保管されていた RDF が、7 月 2 日～7 月 10 日の間に 343 トン、7 月 19 日に 15 トン投入されました。

鈴鹿市内倉庫の RDF は長期保管されており、pH 値の低いサンプルもみられたことから、微生物が増殖しやすい状況にあったものと考えられます。

イ 自己発熱の可能性

RDF は断熱性が高い性質を持っています。

事故当時には、貯蔵槽内に RDF が少なくとも約 600～700 トン保管されており、極めて熱が逃げにくい状態となっていたことから、発酵により温度が上昇した RDF がさらに酸化反応を起こし、自己発熱に至った

可能性が考えられます。

ウ その他の要因

貯蔵槽の監視記録では、7月当初からCO濃度が上昇傾向を示し、7月6日には280ppmという高い値を記録しました。また、同時刻に測定した酸素濃度では、外気に比べ貯蔵槽上部の酸素濃度が約2%低い値を示しています。(外気酸素21.0% 貯蔵槽上部の酸素18.9%)

また、CO濃度はその後も全体的に高い値を示し、7月17日には測定限界(300ppm)を越える濃度に達しています。

酸素濃度や貯蔵槽上部の連続的な温度測定データがないため断定はできませんが、7月6日頃には貯蔵槽内で何らかの異常が発生しており、この異常が継続して7月27日の発火に至った可能性が考えられます。

鈴鹿市内倉庫では7月19日にRDFの発熱・発火事故が発生しており、保管中のRDF約1,300トンのうち、約半量の約600トンに対して消火活動が行われています。

時間的な経過から考えると、鈴鹿市内倉庫の事故と貯蔵槽の事故には関連性があつた可能性も考えられます。

②爆発原因について

7月27日に発火を確認した以降、8月14日まで約3週間貯蔵槽が高温状態であったことから、様々な反応により可燃性ガスが発生し、これが貯蔵槽内に充満し、何らかの火源によって爆発した可能性が考えられます。

8月14日の事故については、貯蔵槽内のRDFから発生した可燃性ガスが、RDF抜き取り作業によって生じた貯蔵槽下部の空隙に充満するとともに、貯蔵槽構造物の隙間からの空気の流入や放水等により酸素と混合され、爆発限界に至ったものと考えられます。

また、火源としては、燃焼したRDFなどの可能性が考えられます。

8月19日の事故についても、貯蔵槽内ではRDFの発熱・燃焼が継続しており、8月14日と同様に可燃性ガスが貯蔵槽上部の空間に充満し、点検口などからの空気の流入や放水等により酸素と混合され、爆発限界に至ったものと考えられます。

なお、火源については、燃焼したRDF、外壁の開口作業に使用したガスバーナーの火などの可能性が考えられます。

ア 可燃性ガスの発生

7月27日の時点でエスケープ下部の開口部からの発火が確認されてい

ます。30cm 程度の炎が上がっており、注水すると一旦消えるが、しばらくすると再燃する状況でした。また、RDFの取り出し作業中も、RDFが取り出された際、発火する現象が見られました。

これらの事象から考えれば、7月27日の時点で既にRDFから可燃性ガスが発生していたことが考えられます。

貯蔵槽からは、炭化したRDFも確認されていることから、自己発熱とともに熱分解により可燃性ガスが発生していた可能性が考えられます。

また、貯蔵槽内には7月27日以降注水を行っており、嫌気性発酵により可燃性ガスが発生していた可能性も考えられます。

貯蔵槽内には大量のRDFが保管されており、場所によって様々な生物又は化学反応が生じていた可能性が高く、これらの原因が複合して可燃性ガスが発生していたものと考えられます。

(2) RDF貯蔵槽の考察

①構造、仕様

12月の事故後に、貯蔵槽内の温度監視を行うため、センターコーン部(6箇所)及びエスケープ部(12箇所)に温度センサーが設置されました。

②運用状況

12月の事故後に以下の貯蔵槽管理基準が設定されました。

(貯蔵槽管理基準)

○貯蔵管理量：発熱から発火までを1週間程度と想定し、発熱から3～4日で排出できる量である600トン～700トン以下で運用

○貯蔵槽温度：1日3回(8時間毎)温度測定

○温度センサーの管理温度と対応方法を設定

50℃以上 貯蔵槽監視強化、排出RDF状態監視、10日以上上昇傾向が続く場合は貯蔵RDF全量排出

※管理温度は2回変更

(2/26～4月末頃40℃以上。4月末頃～6/17 45℃以上)

60℃以上・RDF貯蔵槽受入停止、貯蔵量を600～700トンから400～500トンに変更し状態の変化有無確認、排出RDF状態確認、仮設搬送ライン準備

80℃以上 貯蔵RDF全量排出

○CO濃度等の測定を実施

外気温、貯蔵槽頂上部CO濃度(4/25～6/4、6/10～7/23の測定記録有)

外気酸素、貯蔵槽頂上部最大CO濃度（4/25～6/4、6/10～6/17 の測定記録有）

貯蔵槽頂上部酸素濃度（4/25～6/4、6/10～6/17、6/20、7/6、7/7 の測定記録有）

しかしながら、現実の貯蔵槽の温度監視の状況をみると、誤作動が生じるなどの理由で、40℃であった管理温度を4月末頃から45℃に、6月18日からは50℃に引き上げています。

福岡県や石川県のRDF発電所では、貯蔵槽内部の温度が40℃を数度越えた時点で事故対応を開始していることから考えれば、管理温度を設定する際に発熱時の対応についての十分な検討がなされるべきであったと考えられます。

また、ガス濃度の監視については、管理基準の設定が行われておらず、6月18日以降は酸素濃度の測定を止め、外気温、頂上CO濃度の2項目（1日3回）しか記録していないことから、様々な測定データやトレンド変化から異常を早期発見する対応が十分でなかったと考えられます。

さらに、消火設備などの改善や消防機関との連携体制の構築など非常時を想定した安全対策が確立されていませんでした。

（資料21 頂部のCO濃度状況）

（資料22 搬入量、焼却量、保管量の推移（平成15年6～7月））

（3）事故の経緯

平成15年

6月10日 定期点検後、貯蔵槽の使用を再開

6月10日以降

市町村等から搬入されたRDFを貯蔵槽に投入

7月1日 貯蔵槽上部のCO濃度日最大150ppm

7月2日 市町村等から搬入されたRDFに加えて、鈴鹿市内倉庫から搬出されたRDFを貯蔵槽に投入開始

投入量のうち鈴鹿市内倉庫分は48トン

貯蔵槽頂上部CO濃度日最大145ppm

7月3日 投入量のうち鈴鹿市内倉庫分は37トン

貯蔵槽頂上部CO濃度日最大165ppm

7月4日 投入量のうち鈴鹿市内倉庫分は46トン

貯蔵槽頂上部CO濃度日最大175ppm

- 7月5日 投入量のうち鈴鹿市内倉庫分は51トン
貯蔵槽頂上部CO濃度日最大170ppm
- 7月6日
23:30 貯蔵槽頂上部CO濃度280ppm(日最大値)
※同時間の貯蔵槽頂上部酸素18.9%(外気酸素21.0%)
- 7月7日 投入量のうち鈴鹿市内倉庫分は37トン
7:30 貯蔵槽頂上部CO濃度測定エラー
※同時間の貯蔵槽頂上部酸素17.9%(外気酸素21.0%)
15:30 貯蔵槽頂上部CO濃度150ppm
23:30 貯蔵槽頂上部CO濃度140ppm
- 7月8日 投入量のうち鈴鹿市内倉庫分は41トン
貯蔵槽頂上部CO濃度日最大240ppm
- 7月9日 投入量のうち鈴鹿市内倉庫分は38トン
貯蔵槽頂上部CO濃度日最大205ppm
- 7月10日 投入量のうち鈴鹿市内倉庫分は45トン
貯蔵槽頂上部CO濃度日最大220ppm
- 7月11日 貯蔵槽頂上部CO濃度日最大185ppm
- 7月12日 貯蔵槽頂上部CO濃度日最大185ppm
- 7月13日 貯蔵槽頂上部CO濃度日最大170ppm
- 7月14日 貯蔵槽頂上部CO濃度日最大255ppm
- 7月15日 貯蔵槽頂上部CO濃度日最大280ppm
- 7月16日 貯蔵槽頂上部CO濃度日最大290ppm
- 7月17日 貯蔵槽頂上部CO濃度日最大300ppmオーバー
※以降、貯蔵槽頂上部CO濃度は日最大300ppmオーバー(測定限界は300ppm)
- 7月19日 投入量のうち鈴鹿市内倉庫分は15トン
- 7月20日
23:30 巡視点検中、貯蔵槽上部から水蒸気らしきものが発生しているのを発見
- 7月21日
9:00 貯蔵槽への受入及び貯蔵槽からボイラへの供給を停止
搬入されたRDFは貯蔵槽を経由せず直接ボイラに供給し、焼却を継続
RDF排出用仮設コンベア手配、組み立て
※貯蔵槽からボイラへの排出量75トン
- 7月22日 搬入されたRDFを直接ボイラに供給し焼却を継続
RDF排出用仮設コンベア手配、組み立て

- 7月23日 試験的に貯蔵槽下部の排出コンベアからRDFを抜き出し（10トン）状況を確認するが、炭化したRDFは確認されなかった。再度、貯蔵槽からボイラへの供給を開始
（ボイラへの排出量 35 トン）
Aコンベア付近のブリッジ破壊作業を実施
- 7月24日 全コンベア付近でブリッジ破壊作業を実施
（ボイラへの排出量 49 トン）
- 7月25日 全コンベア付近でブリッジ破壊作業を実施
（ボイラへの排出量 18 トン）
- 7月26日 全コンベア付近でブリッジ破壊作業を実施
（ボイラへの排出量 31 トン）
- 7月27日 貯蔵槽上部からの発煙を確認
貯蔵槽下部エスケープAコンベア部で火を確認
貯蔵槽からボイラへの供給を中止
ABC消火器及び水道水高圧ポンプの少量注水
温度の高いエスケープA部分の開口部の一部に水を含んだグラスウールを押し込み、空気の進入を制御
※現場の状況から自衛消防で対応することとし、消防署への出動要請は行わなかった。
- 7月28日 より耐熱性に優れたロックウールをエスケープ開口部のすべてに押し込む作業を実施するが、エスケープ部分の煙が多く中止
- 7月30日 エスケープ内への立入を禁止。扉（2箇所）を全開
- 7月31日 エスケープ内に排気装置を設置
- 8月1日 貯蔵槽上部、下部とも煙減少
貯蔵槽内部から仮設コンベアによるRDFの抜き出し作業を開始（排出量 15 トン）
- 8月2日 RDFの抜き出し作業を継続（排出量 10 トン）
- 8月3日 貯蔵槽上部、下部で煙
- 8月4日 貯蔵槽上部、下部で煙
- 8月5日 貯蔵槽上部、下部の煙減少
貯蔵槽下部で火（以後8/14までついたり消えたりの状態）
エスケープ内の火元に注水
Bコンベアカバーを開け水道水高圧ポンプで少量注水
温度センサー取り付け穴から注水
RDFの抜き出し作業を実施（排出量 1 トン）
- 8月6日 貯蔵槽上部、下部で煙
8月5日と同様の消火活動を継続

- 8月7日 8月5日と同様の消火活動を継続
- 8月8日 台風のため消火活動中断
- 8月9日 台風のため消火活動中断
- 8月10日 8月5日と同様の消火活動を実施
- 8月11日 貯蔵槽上部、下部の煙減少
エスケープ部（Cコンベア付近）に直径20mmの注水口4箇所及び300mm角の注水口1箇所を設置し、貯蔵槽内への注水開始
- 8月12日 エスケープ部分（A、Cコンベア付近）に直径20mmの注水口26箇所及び300mm角の注水口2箇所を追加
- 8月13日 注水作業を継続
- 8月14日 注水作業を継続
- 3:05頃 貯蔵槽内部で爆発事故発生。エスケープ下部の開口部等からRDFが外部に噴出。作業員4名が負傷
- 4:45頃 消防署に火事通報
- 5:00頃 桑名市消防本部による消火活動開始
- 8月15日 放水
- 8月16日 放水
- ～17日
- 8月18日 放水
- 15:00頃 貯蔵槽上部点検孔から内部への放水を開始
- 17:00頃 内部への放水を中断し、状況を観察
- 8月19日
- 9:40頃 内部への放水を再開し、12時頃まで継続
- 13:20頃 内部への放水を再開（放水用ホースを2本から4本に増やす）
- 14:00頃 ガスバーナーで貯蔵槽外壁に放水口を開口する作業を開始
- 14:17 貯蔵槽で爆発事故発生。貯蔵槽上屋部分が吹き飛ぶ。
消防職員2名が殉職し、作業員1名が負傷
- 9月27日 鎮火

4. まとめ

これまでの三重ごみ固形燃料発電所における発熱・発火・爆発事故の考察と経緯を総括すると、以下のとおりであると考えられます。

三重ごみ固形燃料発電所の貯蔵槽は、貯蔵槽上部のRDF投入口やエスケープ部分などから空気が流入しうる構造となっていました。このような貯蔵槽でRDFを貯蔵したことが、結果的には発熱・発火を起こす原因となった

と考えられます。

また、スリーブ装置の稼働の実績はなく、チェーンコンベアでは払出が困難なデッドスペース部分にはRDFが長期滞留していた可能性が考えられます。

7月～8月の発熱・発火事故においても、6月の定期点検時にRDFの完全排出が行われないうまま再投入が開始されており、さらに鈴鹿市内倉庫に長期間保管されていたRDFが貯蔵槽に358トン投入されていました。

こうしたことから、RDF投入時における湿った空気の持ち込みや結露による局所的な水分の集中により、RDFが吸湿して有機物の発酵により発熱したものと考えられます。

また、貯蔵槽内に少なくとも600～700トンのRDFが保管されており、極めて熱が逃げにくい状況にありました。このため、発酵で発熱したRDFがさらに有機物の化学的酸化による自己発熱で高温となり、発火した可能性が考えられます。

貯蔵槽では受入が停止される7月21日以前から、貯蔵槽頂上部のCO濃度が測定限界の300ppmを越える異常値を示しており、7月27日には火を確認したにもかかわらず、消防への通報が行われないうなど、十分な対応がなされていませんでした。

7月27日以降、貯蔵槽内が長期間高温状態におかれていたことが確認されており、熱分解など様々な反応により可燃性ガスが発生していた可能性が考えられます。

貯蔵槽内ではRDFを抜き出した空隙や上部の空間に充満した可燃性ガスが、エスケープ部分や点検口などからの空気の流入や放水等により酸素と混合されて爆発限界に至り、何らかの火源により爆発したものと考えられます。

第4項 三重ごみ固形燃料発電所における

発熱・発火・爆発事故発生の背景

第2項及び第3項における考察と、施設の運営管理を行っている企業庁、富士電機等へのヒアリングを踏まえて、平成15年7月～8月に発生したRDF貯蔵槽における事故発生の背景について整理しました。

1. RDFの性状認識の欠如

これまでRDFを長期かつ大量に保管を行った実績がなかったことから、RDFが、取扱いによっては発酵あるいは自己発熱に伴い発火や可燃性ガスの発生が起これり、条件次第で爆発する可能性を有する性状を持つとの認識が欠如していました。

このため、大型貯蔵槽の導入や運用にあたって、RDFという新たな物質を大量保管する際の安全面での検討は十分とはいえず、防災設備などの安全対策への反映も十分でなかったことが、事故発生や被害の拡大につながったものと考えられます。

2. 平成14年12月の事故後の安全対策について

平成14年12月の発熱・発火事故により、RDFが取扱いによっては発熱・発火するとの観点から一定の安全対策を講じました。

平成14年12月の発熱事故後に実施した安全対策

○RDFの形状改善の要請

三重県RDF運営協議会を通じて、RDF化施設に対して崩れ易いRDFについては形状改善を要請し、RDF化施設では、機器改修、製造方法の改善、分別収集の徹底による異物混入の抑制などの対策を実施しました。

○発電所での受入検査の実施

RDFの搬入時に、目視、触感等で水分、温度、形状（崩れ等）、臭いのチェックを行う対策を講じました。また、性状（形状）の悪いRDFが搬入された場合には、市町村等に対してサンプルを送付し、個々に形状の改善依頼を実施しました。

○貯蔵槽管理方法の変更（保管量の削減及び長期保管の回避）

貯蔵槽の管理について、貯蔵管理量を設定し、3日間程度で処理できる

600～700 トンを保管量の上限とし、長期の滞留を行わない運用を行う対策を講じました。

○温度、CO濃度等の監視の実施

貯蔵槽に温度センサーを設置し、温度監視を行うこととし、温度上昇があったときは、あらかじめ設定した管理温度（3段階：40℃、60℃、80℃）に基づく、運用面での対策も講じました。

さらに、ポータブル検知器による外気温、外気酸素濃度、外気CO濃度、貯蔵槽頂上酸素濃度、頂上CO濃度、頂上最大CO濃度の6項目を1日6回測定する対策も講じました。

しかし、平成15年7月の鈴鹿市内倉庫でのRDFの発火事故や7月～8月のRDFの発熱・発火・爆発事故の発生など、事故の再発を防ぐことはできませんでした。

12月の事故原因が発酵であると推定し、一定の改善策を講じたにも関わらず事故を防止できなかった要因としては、RDF発熱・発火事故原因の徹底した究明が行われておらず、発酵を想定したRDFの水管理など事故再発防止対策に向けた安全対策が十分に見直されていなかったことがあげられます。また、RDF化施設と連携しての、事故原因の究明に向けた組織的な取り組みも十分ではありませんでした。

これらのことが、RDFの正確な性状認識を遅らせる要因となったものと考えられます。

3. 非常時を想定した安全対策について

平成14年12月の事故により、大型貯蔵槽でRDFを貯蔵する場合には、内部を直接監視できないことから異常を早期に発見することが難しく、一旦火災が発生すると消火活動や緊急的なRDFの取り出し作業が困難であることが判明していました。このため、RDFの発熱・発火メカニズムが十分解明されるまでは、RDFの保管管理を慎重に行う必要があったと考えられます。

発酵を起こしやすい有機物をこの種のサイロで堆積貯蔵することの危険性については、海外に数多くの文献があり、万一の火災事故を想定し、消防機関などと連携し、有効な消火方法や被害拡大の防止などについての研究を進めていくべきであったと考えられます。

これらのことが、7月～8月の発熱・発火事故発生時における対応の遅れや判断の甘さにつながり、結果的に事故の拡大を招いた要因になったものと考えられます。

4. 施設管理体制について

施設の安全な運営には、管理責任を明確化するとともに、チェック体制を構築しておくことが必要です。

三重ごみ固形燃料発電所の運営において、事業者は、電気やボイラー関係の専門技術者については、関係法令での規制もあることから専任の職員を配置していましたが、ごみ処理分野の技術者については、配置していませんでした。

RDFの品質管理面では、発電所は受け入れたRDFの定期的な分析試験を行っておらず、RDF化施設の分析試験とのクロスチェックや検査頻度を増やす対策も講じられていませんでした。

また、RDFの保管管理面では、貯蔵槽内のRDFの的確な保管量の把握が行われていたとは言えません。四日市市、鈴鹿市内の倉庫では大量のRDFが保管されており（四日市竹本倉庫：最大1,694トン、鈴鹿市内倉庫：最大1,734トン）、かつ、鈴鹿市内倉庫では最大5カ月程度滞留していたことなど、管理方法の改善策が十分徹底されておらず、チェック体制も十分ではなかったものと考えられます。

RDF化施設との関係についても、RDF化施設との間で性状改善を行う上での具体的なガイドラインづくりなどの技術的な検討が十分でなく、発電所の運営にあたって、RDF化施設との連携も十分でなかったものと考えられます。

こうした事態は、事業者の事業発注方式がプラントの建設から施設の管理運営までを企業に一括発注する方式を採用しており、事業の運営に際し、相互の役割分担が明確でなく、事故原因の究明や発熱時への的確な対応が出来ない状況にあったことがあげられます。

これらのことが、チェック機能の十分な発揮を阻害し、事故の要因につながったものと考えられます。

5. 事故情報の発信について

RDFの発熱・発火メカニズムの完全な解明には、事故事例を積極的に情報発信し、全国規模で関係機関、学識経験者、研究機関、メーカーなどの協力を求めながら、継続的な研究を進めていく必要があります。

しかし、12月の事故状況についての情報発信は適切には行われておらず、このことがRDFの性状や保管についての注意喚起を遅らせ、事故のメカニズム解明に向けた研究の契機とすることができなかつたものと考えられます。

第5項 再発防止に向けて

これまで、RDF化構想の推進においては、RDFの輸送利便性や長期保管性のメリット部分が強調され、また、RDFの保管においても搬入・搬出の効率性が重視される状況にあり、今回の事故原因となる発酵や自己発熱に伴う自然発火性については、十分認識される状況にはありませんでした。

三重ごみ固形燃料発電所の事故は、RDF貯蔵槽での発熱・発火が引き金となったもので、今後、RDFの保管等における事故の再発を防ぐため、RDFの製造から貯蔵槽でのRDFの管理や、発熱・発火時の対応及び再発防止に向けた体制の整備を安全対策として提言いたします。

1. RDFの適正な管理について

(1) RDFの性状について

RDFの性状については、標準情報（TR Z0011:2002）により形状・寸法、水分、灰分、発熱量の基準が示されており、県内のRDF化施設においては、この基準をもとにRDFの製造を行っています。これらのRDFがTRの基準を満たしていることは、中間報告において示したところですが、TRに規定されている項目等も含め、発酵や自己発熱を考慮したRDFの品質管理を行っていくことが必要です。

そのため、受け入れするRDFについては、TRに基づく性状の定期的な検査を実施して、市町村等で実施している検査結果とのクロスチェックを行うとともに、水分量や粉化度、温度など、発酵や発熱に関係する項目については、簡易測定を導入も考慮して、搬入単位ごとや、日々の払出品の検査を実施していく必要があります。

また、カルシウム含有量については、RDFの発酵が抑制されるよう、添加量を確保することを求めていく必要があります。

(2) RDFの保管等の留意点

RDFの保管管理において、施設の構造や外気温等多くの要因が絡んでいることから一律の基準を示すことは困難ですが、発熱等を促進する要素を出来る限り排除するため、以下において輸送及び貯蔵での留意点を示します。

①RDFの輸送における留意点

RDFの輸送段階における性状管理として、外部からの水分流入を防止する必要があります。現在も、RDFの輸送に際しては、専用車両や防水

シートによる雨水対策が講じられていますが、輸送時及びピット等への搬入時に吸湿することの無いよう、十全の管理が必要です。

なお、輸送との関連において、ピット等の貯蔵施設内での吸湿を防ぐため、底部分を長くしピット投入時の降雨対策を講じるとともに、搬入時以外はシャッター等による雨水等の進入を防ぐなどの対策も必要です。

②RDFの貯蔵における留意点

ア 温度、ガス管理について

RDFの貯蔵に際しては、発熱の兆候を初期の段階で捉え、適切な対応処置をとることが重要となります。

貯蔵施設及び貯蔵槽内の温度等については、それぞれの施設での日常の温度等がどのようなレベルにあるかを、把握しておくことが必要です。

貯蔵施設でのRDFの温度管理については、表面温度だけでなく内部の温度管理が重要となります。

県内の倉庫に保管されていたRDFが急に発熱した事例や発酵実験結果からみて、数日の間に急激な温度上昇が見られることから、1日の内に2~3回程度の温度測定を行ない、日常の温度に比べ数度の温度上昇があれば、1日1回程度の定期的な切り返し等により内部に蓄熱された熱を放散させる必要があります。

また、温度上昇に伴い水蒸気又は白煙の発生が観察されており、RDFの表情変化についても観察する必要があります。

貯蔵槽のような密閉状態での温度管理については、石炭や穀物サイロにおける温度センサの配置方法等を参考にして、内部の温度変化の状況の監視が行えるような設備を設置し、連続測定を行うことで、内部での発酵等による温度の変化を機敏に捉えることが必要です。また、温度管理に加え、貯蔵槽内部にCOやメタン濃度のセンサを配置し、温度計測と関連づけて連続監視することでRDFの発熱・発火等をチェックすることが必要です。

なお、CO濃度については、施設ごとに目安となる管理数値を定めて管理するとともに、数値の変動に十分注意することが重要です。

イ 長期保管について

RDFの吸湿試験等の結果からみて、長期保管することにより水分濃度の上昇など発酵を促進する条件が整い易くなるため、原則として長期間保管することは避ける必要があります。

また、ピットや平積みにおいても、数メートル以上に積み上げることは蓄熱により発酵等が促進されることとなります。

このため、万一、長期保管をする必要が生じた場合は、切り返し等による温度調節をする等、慎重な管理が求められます。

特に、貯蔵槽での保管においては、先入れ先出し方式を徹底し、保管量も緊急時に数日間で排出できる量に限定するなど、緊急対応を視野に入れた管理手法を確立する必要があります。

また、定期的にRDFを全量排出することにより貯蔵槽内を空の状態にし、同一個所にRDFが長期間滞留することを防ぐ必要があります。

ウ 貯蔵槽の構造について

RDFの貯蔵については、発電事業を実施している三重県をはじめ4施設のうち3施設がアトラスサイロを貯蔵施設として使用しています。

貯蔵槽での保管は、内部のRDFがブリッジを形成し、排出が困難になることや、いわゆるデッドスペースが生まれRDFが長期間滞留する可能性があることが判明しました。

また、貯蔵槽下部等からの空気の流入により、雨天時には高湿度の空気の流入も見られ、RDFの水分濃度を上げる要因となる可能性もあります。

さらに、貯蔵槽内部での発熱等の温度変化を正確に測定し管理することが難しく、発火等に際しての緊急払出しも時間がかかること等、機敏に消火活動ができない状況も発生します。

このため、貯蔵槽下部からの空気が流入しない構造にするとともに、RDFが長期間滞留するようなデッドスペースが生じない構造上・運用上の工夫をした保管管理をしていく必要があります。また、複数の貯蔵槽を設置することにより、運用上の柔軟性を確保することも有効です。

(3) 防災設備について

RDFの発熱等に的確に対応するため、温度監視等の設備や緊急時の防災設備の設置が必要です。

①ピット方式の場合

日常的な温度管理等を行なうため、温度センサー、煙センサーを設置するとともに、消火設備としては、発火したRDFを消火できるだけの能力を有する散水設備の設置が必要です。また、温度については、人手による

巡回監視も合わせて行なう必要があります。

②サイロ方式の場合

日常的な温度管理等を行うため、温度センサー、ガスセンサーによる常時監視に加え、緊急時の消火設備として注水口や酸素濃度を低下させる窒素パージ等の設備の設置が必要です。

(4) 防災基準の設定について

従来、RDFは自然発火の可能性が低いとの認識のもとで貯蔵槽等の防災設備の設置基準が明確でなく、防災設備の設置は管理者の判断に委ねられている状況にありました。

今回の事故を契機に、RDFの保管に際しての安全基準やRDF施設の防災基準を関係機関において明確に設定されることを要望します。

2. 発熱・発火時の対応について

RDFは、一度発火すると消火が困難であり、可燃性ガスの発生により爆発の危険を生じることとなります。このため、発熱や発火時点での対応について、取りまとめました。

(1) 発熱・発火時の対応について

日常的な温度管理等において、発熱等が確認された場合の対応については、貯蔵の状況により対応も違ってきます。

①ピット、平積み方式の場合

ピット及び平積みでの保管の場合は、温度等の管理もサイロ方式に比べて比較的容易であり、温度変化等にも早期対応が可能です。発熱等の異常を発見した場合はRDFの切り返し等による熱の放散を進め、万一発火がある場合は発火場所への直接放水等により確実に消火することが必要です。

放水により吸湿したRDFは、焼却処分等により早期に措置する必要があります。

②サイロ方式の場合

サイロ方式の場合は、僅かな温度変化やガス濃度についても機敏に反応し、初期段階で適切に対応することが必要です。このため、貯蔵槽内部の温度変化やガス濃度を直接測定する手法により、常時モニターすることが必要です。

発熱段階では、ガス濃度の変化等から発火が無いことを確認し、早急なRDFの取り出し作業を進めます。

この時点で、発火が疑われる状況であれば、上部ハッチの開口等による空気の流入がないようにするとともに、窒素パージ等により酸素濃度を低下させRDFの燃焼を防ぐ措置をとる必要があります。その際に水による消火は、RDFの固着による水道（みずみち）やブリッジの形成を促進し、RDFの的確な消火に結びつかない可能性があります。

また、散水によりRDFの水分濃度を高め、発酵による可燃性ガスの発生を誘発するおそれもあることから、慎重な対応が求められます。

このことから、発熱したRDFに対して水を用いて消火を行なう場合には、短期間で大量の水を使用した完全消火と、鎮火後の速やかなRDFの排出が前提となります。

内部での発火が確認されるなかでのRDFの取り出しは、酸素濃度をコントロールし、爆発を防ぎながら行なう必要があります。

(2) 緊急時の組織体制について

発熱・発火時の緊急対応や周辺地域への安全対策を進めるため、緊急時の組織体制を整備しておく必要があります。

特に、消火活動においては、自衛消防組織の対応と消防機関に消火要請を行なう場合の対応基準の明確化や、非常時の消火方法等について、消防機関との連携を密にしておく必要があります。

3. 事故の再発防止に向けた体制の整備

三重県においては、今回の事故から得られる教訓として、事故を未然に防ぐための施設面での整備に加え、事故防止に向けた組織間の連携や、RDFの性状を十分認識したうえでの消火手法等、RDF事故についての情報の共有化等ソフト面での充実が求められます。

(1) 管理運営体制の確立について

三重ごみ固形燃料発電所の運営においては、事業の管理運営の責任を明確にするとともに、ごみ処理施設として必要な人員の配置など、管理運営体制を確立する必要があります。また、RDFの処理が滞ることのないよう発電施設の安定的な稼働に努めるとともに、市町村等からのRDFの搬入に際してはその運用の取り決めを行う必要があると考えられます。

さらに、RDFの適切な保管管理を進めるため、RDFの受入基準等を明確にするとともに、万一の事故発生に迅速に対応し、被害を最小限に抑

えるための防災マニュアルの整備を求めます。

(2) RDF化施設との連携について

発電事業は、RDF化施設と発電所側の双方が安全管理の認識を共有し、機敏に情報交換するなかで円滑な事業が進められることが望まれます。

このため、発電所とRDF化施設との人的な交流等組織体制の整備を進めるとともに、RDFの性状管理や受入時の検査基準の策定等、相互に補完できる体制づくりを求めます。

また、発電施設が円滑に機能するためには、性状の安定したRDFの供給が重要です。このことから、RDFのもとになるごみについての分別の徹底等、一層のごみ質の改善に向けた取り組みを求めます。

(3) 周辺地域等との連携について

RDFの発火時等の危険認識については、従前は十分な情報の交換がなされていない状況にありました。

今後、同種の事故を未然に防ぐとともに、地域への万全な安全対策のもとに、円滑に事業を推進する必要があります。このため、地域への十分な情報公開を進め、安全対策を確立する必要があります。

また、消防関係機関とはRDFの性状や発火時点での消火方法等について事前に十分協議をすすめ、緊急時を想定した十分な安全対策の確立を求めます。

(4) 事故、技術等の情報集積について

事故調査の過程で、発酵による発熱・発火事故やサイロでの穀物火災事故等、国内外の多くの事故事例や多くの知見の集積を得ることができました。

こうした知見は、今後の消火活動や事故防止等の安全対策に関する貴重な資料となり、関係者の情報として共有化が必要です。

今回、事故を契機として収集された国内外の事例等を、今後の事故防止や安全対策を進めるための共通したデータベースとし、関係者が共有できるシステムを構築されることを要望します。

おわりに

三重ごみ固形燃料発電所の事故を受けて、専門委員会としてはそれぞれの専門分野からの知見を持ちより、事故の技術的な側面を中心に原因究明にあたってきました。

国内でのRDFに関係する施設で初めての重大な事故であり、十分な知見の集積のない中で、可能な限り調査分析を行い、その結果、「発熱・発火・爆発のメカニズム」「発熱・発火・爆発事故の考察と経緯」「発熱・発火・爆発事故発生背景」「再発防止にむけて」の4本を柱としてまとめることができ、今後の対応の参考となる最終報告書になったものと思います。

なお、今回の調査は、三重県での事故原因を探るために行ったもので、他県施設での事故にまで普遍化することはできません。また、短期日でどこまで事故原因の究明ができたかどうかについては、今後の研究に負うところも多く、本報告書の考察が新たな事実の判明や実験結果により、訂正しなければならない所もあるかもしれません。

今後、本報告書や他の委員会等による調査結果を踏まえた再発防止対策が講じられることにより、RDF施設の安全性がより一層向上することを期待するものです。

最後に、当専門委員会の事故調査にご協力いただきました関係者の皆様に厚くお礼申し上げます。

平成 15 年 11 月 22 日

ごみ固形燃料発電所事故調査専門委員会

委員長	笠倉	忠夫
委員	藤間	幸久
委員	大宮	邦雄
委員	安原	昭夫
委員	鶴田	俊
委員	新行内	俊男
委員	男成	妥夫
委員	和田	一人

別紙1 ごみ固形燃料発電所事故調査専門委員会名簿

平成15年11月22日現在

	氏名	所属	備考
委員長	かさくら ただお 笠倉 忠夫	豊橋技術科学大学 技術開発センター 科学技術コーディネーター	燃焼工学
委員	ふじま ゆきひさ 藤間 幸久	元名古屋大学 教授	燃焼工学
委員	おおみや くに 大宮 邦雄	三重大学 生物資源学部 教授	微生物工学
委員	やすはら あきお 安原 昭夫	独立行政法人 国立環境研究所 循環型社会形成推進・廃棄物研究センター 循環資源・廃棄物試験評価研究室長	環境化学
委員	つるだ たかし 鶴田 俊	独立行政法人 消防研究所 基盤研究部 特殊火災研究グループ長・消火研究グループ長	安全工学
委員	しんぎょううち としお 新行内 俊男	総務省 消防庁 危険物保安室 課長補佐	安全工学
委員	おなり やすお 男成 妥夫	三重県科学技術振興センター 主幹研究員	合成化学
委員	わだ かずと 和田 一人	三重県環境部 主幹	工業化学

別紙 2

ごみ固形燃料発電所事故調査専門委員会の開催経過

- 第 1 回 日時 平成 15 年 8 月 22 日 (金)
 場所 桑名市内
 三重ごみ固形燃料発電所 (現地調査)
 内容 ・ 事故状況報告等について
 ・ 今後の調査検討方針について
- 第 2 回 日時 平成 15 年 8 月 29 日 (金)
 場所 名古屋市内
 内容 ・ RDF の品質から見た発熱メカニズム等の推定について
 ・ 発熱メカニズム等の検証方法について
 ・ RDF 保管上の留意点について
- 第 3 回 日時 平成 15 年 9 月 5 日 (金)
 場所 名古屋市内
 内容 ・ 低温域での発熱メカニズムについて
 ・ 発火に至るメカニズムについて
- 第 4 回 日時 平成 15 年 9 月 13 日 (土)
 場所 名古屋市内
 内容 ・ 中間報告について
- 第 5 回 日時 平成 15 年 10 月 17 日 (金)
 場所 名古屋市内
 内容 ・ 実証実験の結果について
- 第 6 回 日時 平成 15 年 10 月 29 日 (水)
 場所 名古屋市内
 内容 ・ 実証実験の結果について
- 第 7 回 日時 平成 15 年 11 月 20 日 (木)
 場所 名古屋市内
 内容 ・ 最終報告について

現地調査

日時 平成 15 年 9 月 30 日 (火)
場所 三重ごみ固形燃料発電所

関係機関ヒアリング

日時 平成 15 年 10 月 15 日 (水)
場所 桑名市内

日時 平成 15 年 10 月 23 日 (木)
場所 桑名市内

日時 平成 15 年 11 月 10 日 (月)
場所 桑名市内

日時 平成 15 年 11 月 17 日 (月)
場所 桑名市内

県外施設調査

日時 平成 15 年 11 月 6 日 (木) ~ 7 日 (金)
場所 石川県、福岡県