

■特別寄稿：失敗に学ぶ	2
第三の発熱原因：バイオ燃料保管時に火災事故を起こさないために！ ～なぜ、三重県RDF発電所貯留サイロのみが炎上したか？～	
■検証・東日本大震災における被災3県の災害廃棄物処理	11
最終回 今後の対応について（災害記録の残し方、巨大災害への備え） ー日本環境衛生センター東日本支局 環境工学部部長 佐藤幸世氏に聞くー	
■シリーズ：産廃施設訪問	18
処理困難物の受入拡大、的確な施設改善で運営を軌道に ー神戸環境クリエイト(株)・西垣正秀工場長に聞くー	
■データ：	
循環型社会形成推進交付金等 平成27年度当初事業別内示額	24
平成26年度環境関連施設発注状況一覧	33
■連載：Front Line④	36
英国に市場拡大、ゴミ発電プラント事業 日造、新日鉄住金エンジ、JFEエンジが受注狙う	
■Topics on Waste Management	38
川重 高槻市ごみ処理施設建設受注 / 日造など 村上市ごみ処理場が竣工、運営委託開始 / 重工環境・化学エンジ 三原市清掃工場長寿命化工事受注 / 日造など 横須賀市ごみ処理施設建設受注 / 川重 草津市ごみ処理施設建設受注 / タクマ 木津川市ごみ焼却施設建設受注 / 日造など 八代市環境センター施設整備・運営受注 / メタ 守山市環境C運転管理・修繕長期包括業務受注 / 日造 萩・長門清掃組合新工場完成、運営開始 / 日造 御殿場市・小山町組合焼却センター完成 / タクマ 都市ごみ焼却施設基幹改良2件竣工 / 新日鉄住金 東部知多衛生組合ごみ処理施設建設受注	
■シリーズ：ごみ処理施設訪問	43
抽気復水タービン、アキュムレータ等を採用した高効率発電 ー秦野市伊勢原市環境衛生組合 はだのクリーンセンターー	
■シリーズ：廃棄物埋立跡地の問題と安全利用(Ⅲ)	48
埋立処分場跡地の指定区域における施行手順について	
■連載：資源循環を考える③ 石油からのプラスチック	59
阿部清一	
■Topics on Biomass	64
タクマ 三洋製紙向け大型バイオマス発電設備受注 / イーレックス 佐伯PKS発電所の建設工事に着手 / JFEエンジ 発電エンジニアリング本部新設 / 丸紅 福井県敦賀市でバイオマス発電事業実施へ / 日造 海外子会社がドイツのバイオガス精製技術取得 / 三造 飼料化・バイオガス発電の複合プラント受注 / アミタ 南三陸町バイオガスプラント建設着手 / タクマ えひめ森林発電バイオマス発電設備受注 / タクマ 花巻バイオマスエネルギー発電設備受注 / 大ガス・月島機械 大阪市下水処理場消化ガス発電事業開始 / 東芝 下水消化ガスのCO <sub>2</sub> 回収、藻類培養に有効活用 / 極東開発 コーンズと技術提携、バイオガス事業参入	
■トピックス：第14期卒業グループレポート発表会・卒業式	68
ーフォーラム環境塾・環境技術講座ー	
■随想：篠田前編集長を偲んで	73
鈴木康夫 (連載「見栄ごみ処理プラントエンジニア講座」に代えて)	
■連載コラム：多事雑言(第3回)	74
吉業正行	
■寄稿：悼む ー篠田淳司前編集長に送る言葉	78
杉島和三郎 / 野池達也 / 佐藤幸生 / 阿部清一	

## 失敗に学ぶ

### 第三の発熱原因；バイオ燃料保管時に火災事故を起こさないために！ ～なぜ、三重県RDF発電所貯留サイロのみが炎上したか？～

技術士（衛生工学・建設・環境）・環境カウンセラー等

環境計画センター専任理事 **かぎや つかさ** 鍵谷 司

#### はじめに

平成24年7月に施行された再生可能エネルギー固定価格買取制度により、自然エネルギーやバイオマス（有機物）で発電した電力は通常の電気料金よりも高い価格で売電できる。バイオマスを用いて安定的に発電するためには、発熱量の安定した燃料に加工し、大量に確保する必要がある。バイオマスを効率よく利用するためには、所定の大きさに破碎、乾燥、圧縮固化し、大量に貯留する必要がある。いわゆる、RDF化が有効である。

RDFと言えば平成15年8月に起こった三重県RDF発電所貯蔵サイロの火災・爆発事故が思い出される。三重県や国の公的機関による原因調査では、「発酵して発熱した」と結論し、発酵を抑制する措置を法律で定めた。全国紙などのマスコミで連日報道されたため、RDFは発酵する危険な燃料であるとの認識が定着し、その後のRDF普及は完全に停止した<sup>※1)</sup>。

しかしながら、RDFを大量に貯留した場合には水分率が低くても発熱・発煙すること、あるいは発酵しないはずの廃プラ固形化燃料（RPF）が発熱し、発煙、発火事故が多発している。このことは発酵を発熱原因とする対応は間違っていた可能性を示唆する。その後、RDFの主たる発熱原因は、有機物が空気中の酸素と反応して発熱し、大量保管により放熱し難くなり、温度上昇を招いて火災事故になったことが検証されている<sup>※2)</sup>。

「災害は忘れた頃にやってくる」との格言がある。RDF発電所で自然発火による爆発事故が起

こってから12年を迎えようとしている。その原因は、発酵発熱と酸化蓄熱によるされてきたが、その後の知見に基づいて原因を精査するとこれら以外の「第三の発熱原因」が浮かび上がる。これが三重県RDF発電所だけが火災・爆発に至った原因ではないかと考えている。

三重県RDF発電所の火災事故は、RDF貯蔵サイロとRDFを外部倉庫で保管した2か所で起こっている。詳細に調査検討が行われ、報告書として公表されているので解析した。

今後のバイオマス等の燃料や原料の大量保管時に発煙あるいは火災を起こさないための知見となるのではないかと思い、紹介する。

#### 1. 三重県RDF発電所貯蔵サイロにおける発熱・白煙・発火・爆発事故

##### (1) 三重県RDF発電所貯蔵サイロの概要

三重県RDF発電所貯蔵サイロにおける火災・爆発・炎上事故は平成15年8月19日に発生した。三重県により構築された事故原因究明委員会による最終報告書が公表されている。

以下に、この三重県報告書より関係部分を抜粋して紹介する<sup>※1)</sup>。

##### ①三重県ごみ固形燃料発電計画の概要

県内の複数の施設で製造されたRDFの安定的な利用先として平成11年度から県が広域的なモデル施設としてRDF発電所の整備に取り組み、平成14年12月から運転を開始した。

県下のRDF施設は7施設であり、その製造能力は465トン/日で、このうち、RDF発電所に隣接する桑名広域清掃事業組合が約半分を占める。組合施設で製造されたRDFは貯留サイロに直接投入され、他の6施設からはトラックで搬入される。

発電所の概要は次の通りである。

- 処理方式：循環型流動層ボイラー方式
- 発電出力：12,050kW（発電原単位：約1,200kW/RDF-t）
- 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

②火災事故が起こったRDF貯留サイロの概要

サイロは、底面が平底であり、底面に設置したチェーンコンベアとスイープ装置によってRDFを払い出す機構である。底部はコンクリート製、外周壁は鋼板製の二重壁、円錐形上屋は鋼板製の

重壁で、4,000m<sup>3</sup>のRDFを貯蔵できる。搬入されたRDFは最上部から投入される。（写真1、図1）

結露対策として外壁は二重構造であるが、上部のRDF投入口やエスケープ部分等から空気が流入できる構造である。なお、大型サイロを1基とし、当時の建築基準法や消防法では、スプリンクラー

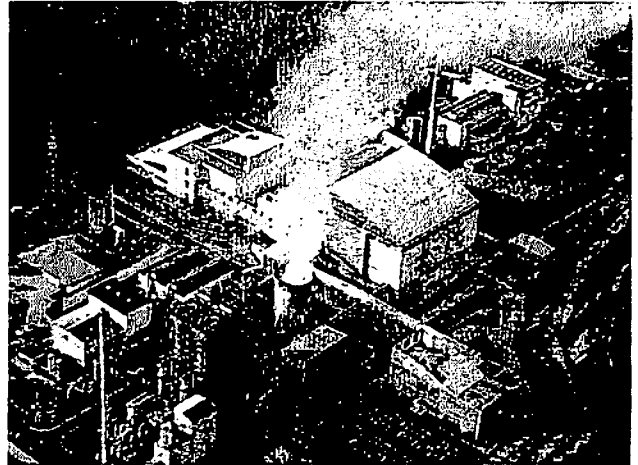


写真1 三重県RDF発電所火災事故  
（インターネットより）

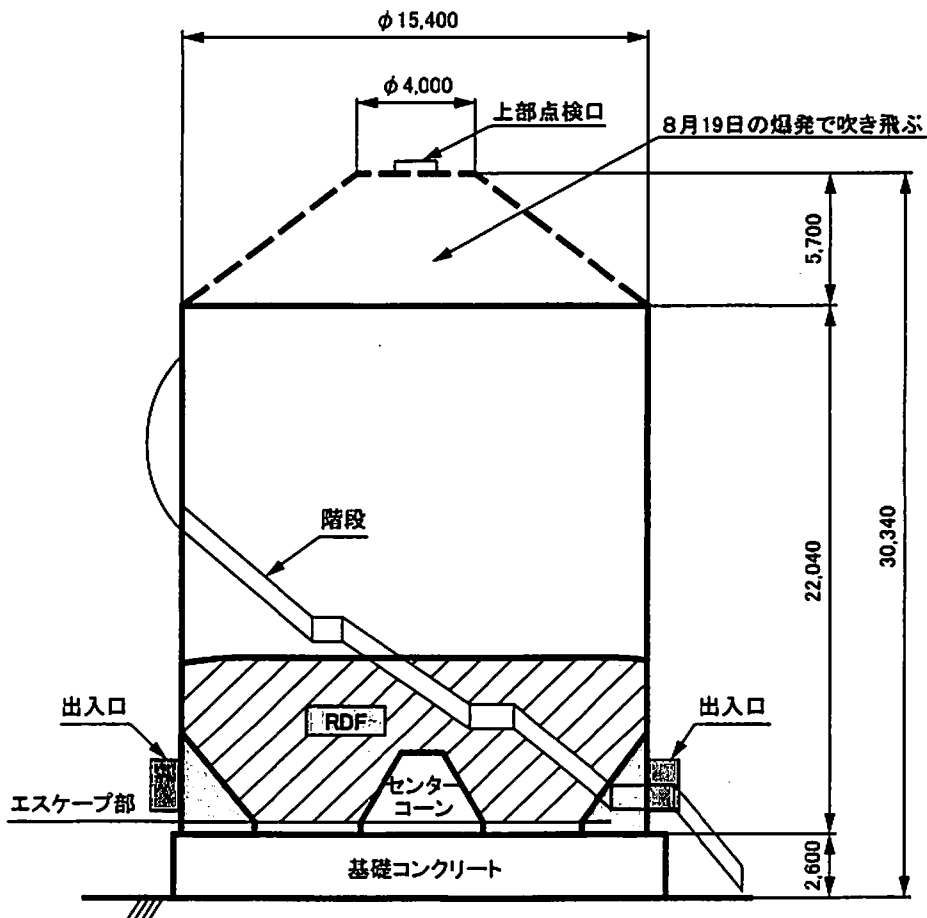


図1 RDF貯蔵サイロの概略図

などの消火設備や温度センサーなど規制はなかったもので、設置されていない。

- 形式、数量：丸形サイロ（石炭や穀物用に実績のあるアトラスサイロ）1基
- 大きさ：直径15.4m、高さ22mの円筒状の上部に高さ5.7mの蓋付
- 貯蔵容量：4,000m<sup>3</sup>（日平均RDF受入量100トンの20日分）
- 附属設備：払出機、レベル計、スリーブ装置、点検歩廊・臭気・換気対策設備、非常停止装置 各一式

## （2）三重県RDF発電所貯蔵サイロの爆発・炎上事故の経緯

貯蔵サイロには平成14年10月下旬にRDFの搬入が始まり、12月初旬に本格的に使用が始まった。数百トンのRDFが投入された12月中旬にはサイロ上部で白煙の確認、底部コンベア付近で発煙、発火が確認された。散水等により消火してすべてのRDFを外部に取り出した。このためサイロは平成15年2月25日まで使用ができなくなった。

外部に取り出したRDFは3か所の倉庫で保管され、2月26日にサイロの使用が再開された。このうちの鈴鹿市内倉庫のRDFは7月はじめにサイロへ搬出されはじめたが、7月19日に倉庫内のRDFが発熱し、発火事故が発生した。散水等により消火したRDFの残さなどはサイロへ再投入された。なお、他の保管倉庫では発火等の事故は起こっていない。

鈴鹿市内倉庫からサイロに搬入がはじまった平成15年7月～8月にサイロ内で水蒸気の発生、発熱や発火が確認されたため、再度RDFの取り出し、サイロ内部への注水により消火活動が行われた。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った。

## （3）三重県RDF発電所サイロの発熱メカニズム

三重県報告書では、貯蔵サイロの発熱等のメカニズムを次のようにまとめている。

①サイロ上部のRDF投入口やエスケープ部分などから空気が流入し、サイロ底部の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ある。

②7月～8月の発熱・発火事故では、定期点検時にRDFが完全に排出されないまま再投入が開始された。また、鈴鹿市内倉庫に長期間保管されていたRDFがサイロに投入されていた。

その結果、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。また、サイロ内に少なくとも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った。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、発火したと考えられる。

サイロでは受入が停止される7月21日以前から頂上部の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かったなど、十分な対応がされていなかった。7月27日以降、サイロ内で長期間高温状態におかれていたことから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と考えられる。

サイロ内では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して爆発限界に至り、何らかの火源により爆発したと考えられる。

## 2. 鈴鹿市内保管倉庫の概要と事故の経緯

三重県RDF発電所では、発電ボイラの運転が遅れたこと、運転直後にサイロの発熱・発火事故により使用できないことから一時的に外部に搬出して順次焼却するとし、外部の3か所のRDF保管倉庫に搬出した。このうち、鈴鹿市内倉庫だけで発熱・発煙・火災事故が起こった。

### （1）鈴鹿市内RDF保管倉庫の概要と運用

鈴鹿市内倉庫は、延べ床面積約1,344m<sup>2</sup>（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打ちであり、密閉構造にはなっていない。

サイロからの搬入は2月18日から開始され、3月には1.734トンのRDFが4～5mの高さで平積み保管されていた。自治体からの搬入も行われていた。搬入時のRDFの品質監視マニュアルはなく、また、搬入の増大に伴い、複数の自治体のRDFが混在する状況であった。

保管状況は表面付近の温度測定と目視チェックを行っていたが記録は作成されていない。

### (2) 保管倉庫における発熱事故の経緯

平成15年2月18日から搬入が始まり、3月には最大で1,700トンを超え、6月末まで搬入された。7月2日から倉庫からサイロへの搬出が始まった。表面温度の測定と目視管理をしていたが、異常の報告はない。

7月19日に白煙を確認し、重機によるRDFの攪拌作業を実施した。RDFの山を掘削したところ、頂部から2～3m下の床面からは1～1.5m上でRDFが発熱しており、炭化したRDFの小さな固まりが点在していた。

攪拌作業により一時的に発熱が収まったが初期消火では対応できなくなり、消防署による直接放水や重機で攪拌して温度を下げて消火した。なお、放射温度計による測定では燃えていないRDFの温度は35～36℃、RDFの山内部の放水・攪拌した部分は62℃であった。

### (3) 鈴鹿市内倉庫における発熱・発火原因について

報告書では、「事故原因は、吸湿によりRDF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、発火したと考えられる。なお、その後、発熱場所上部の屋根にビスの抜けた穴2か所が確認されたが、漏水の有無は確認できない。出火原因は不明」と記載されている。

その発熱メカニズムについて、鈴鹿市内倉庫に

は搬入されたRDFが約5ヶ月間もの長期間貯留された状況にあった。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る。また、倉庫内のRDFは、pH値が低くなっており、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る。なお、倉庫は密閉構造でないので、外気の影響を受けやすい状況であった。

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と考えられる。

なお、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もあるとしている。

### 3. 発熱メカニズムの矛盾と第三の原因について

以上のようにRDF貯蔵サイロ及び鈴鹿市内保管倉庫で起こった発熱、発煙、火災事故のメカニズムをすべて発酵による発熱であると結論している。そのメカニズムを構成する根拠を精査すると起こった事象をすべて説明しきれない多くの疑問点が浮かび上がる。以下、一部について解説する。

#### (1) 鈴鹿市内倉庫における発熱事故原因について

空気中の水分の吸湿あるいは雨漏りによる発熱はRDF表層で起こる。温度上昇は放熱し難い中央部で起こることが必須条件である。吸湿や雨漏りで発酵して発熱しても火災事故になることはない。

つまり、外部倉庫は3か所であり、それぞれ構造が類似した倉庫でありながら鈴鹿市内倉庫だけで火災が起こった。RDFの吸湿性が高いならば、大量保管した他の倉庫でも起こるはずである。鈴鹿倉庫では雨漏りの起こった可能性を指摘しているが、仮に雨が落下したとしても保管RDFの表層部にすぎなく、蓄熱しないのであるから火災に至ることは考えにくい。

筆者は、RDFを製造した当初、フレコンバッグに500kg充填して梅雨時期を含めて6ヶ月間にわ

たり密閉していない車庫内に保管した実験では、RDFの表層に青かびが繁殖していたがフレコンバッグの内部は青かびの繁殖や発熱は認められなかった。

鈴鹿倉庫に搬入されたRDFには、サイロの火災時に消火したはずのRDFが搬入されていた。RDFの火災では必ず無煙燃焼で炭化物が生成するので完全に消火することは難しい。いわば、種火が混入したRDF残さが搬入された可能性が高い。バーベキューの炭が注水してもなかなか消えないことはよく経験することである。

また、施設名は明記されていないが、自治体のRDFが搬入されたとある。製造直後のRDFの温度は80～100℃程度もあり、通常、20分ほどの空気で冷却してから搬出する。とくに、直径の大きなRDF及び外気温の高い夏季にはRDFの冷却が不十分であり、高い温度まま搬出されるので、保管時の熱源になることは充分にありうる。

鈴鹿市内倉庫内では、温度計で表層温度を測り、状況を視認していたとあるが、その記録は残されていない。内部温度は表層温度よりも数倍以上も高温になるので、表面での測定結果はむしろ判断を誤ませた可能性がある。

## (2) RDF貯蔵サイロにおける発熱事故原因の問題点について

異常発熱や発煙・発火が7月から起こったことから空気中の湿度や外気温の高いことを根拠にしているが、表1に示したようにサイロの使用を開始した外気温や湿度の低い12月にすでに発熱・発火が起っている。想定した発熱メカニズムの妥当性は、起こった事実を同じメカニズム(考え方)で説明できることが求められるのであり、個別の事案ごとに都合よく解釈することは真実を見誤りかねない。

### ①水分移動による発酵発熱について

雨漏りしないはずの貯蔵サイロにおいて発熱・発火が起っている。雨漏りがないので、水分供給をRDF間の水分移動によるものとしている。そ

の根拠は、サイロ内では考えられないような実験を行い、その結果を根拠に発酵が起こって発熱したと説明している。

その実験方法は、湿度が60%から90%もの雰囲気での実験である。通常、サイロ内は30～60%程度の乾燥状態である<sup>\*2)</sup>。吸湿やわずかな雨漏りで水分率が高くなり、微生物発酵したとしても保管RDFの表層に過ぎず、保管内部の中央部まで水分が移動するとは考えられない。大牟田RDF発電所における実サイロ内での検証実験では、表層でも水分移動はわずか1%程度であった<sup>\*2)</sup>。

### ②外気温の低い冬期でも発熱が起っている

サイロの発熱・火災が7～8月に起こったことから、湿度および外気温の高いことが微生物発酵を促したとあるが、表1に示したように発熱・発煙・火災事故は外気温や湿度の低い11月から12月にも起っている。また、この期間の四日市データによると、外気の湿度は70%以下で最小で40%以下である。RDFが吸湿しやすいのであるからサイロ内はより湿度が低下し、乾燥状態であると推測できる。

つまり、RDFを大量に保管した場合には季節や外気温に関係なく、何らかの発熱が起るのであり、都合のよい事実のみ取り上げて発酵発熱に執着して原因を追究することは科学的でないし、結論を誤ることになる。

### ③RDFの発酵・発熱実験に騙されていないか？

様々なRDF発熱原因に関する調査報告書の中で、RDFの発酵実験を行い、その温度を測定して70℃以上にまで発熱すると報告されている<sup>\*1)・\*4)</sup>。確かに発酵発熱により温度は上昇するが、実験に大きな欠点がある。まず、微生物が生育・増殖するためには①十分な水分供給が不可欠であるが、温度の上昇と共に水分は蒸発して失われているにもかかわらず温度上昇時の水分測定が行われていない。②微生物は50℃を超えると急速に死滅するが<sup>\*4)</sup>、各温度における微生物数が測定されていない。③メタン発酵菌は様々な温度領域で活動する

表1 発熱期間における降水量及び外気温 (桑名地域気象観測所; アメダス)

月	旬	降水量 (mm)	湿度(平均/ 最小)(%)	気温(°C)			備 考
				日平均	最高	最低	
2002							
10	下旬	28	67 (25)	14.8	22.5	7.3	28: RDF搬入開始; トラブル
11	上旬	38	69 (26)	9.9	15.9	4.4	4: RDF搬入再開 18: ボイラ試運転開始
	中旬	0	67 (29)	10	18.3	4.2	
	下旬	10	68 (29)	9.8	16.6	3.3	
12	上旬	42	73 (33)	9.3	17.9	2.6	1: サイロ本格使用(推定貯蔵量602t) 10: 水蒸気視認(1,455t) 18: 底部コンベア付近で発煙(1,989t) 23: 底部で発煙、炎確認(2,055t) RDF取出・散水して鎮火の気配 24: 窒素投入からCO <sub>2</sub> 投入に切替。 RDF搬出を中止して直接注水 26: 注水継続、RDF搬出(2/8完了) サイロ復旧工事後の2/26使用再開
	中旬	7	67 (33)	6.2	12	-0.1	
	下旬	36	71 (39)	5.5	12.4	-1.3	
2003							
1	上旬	24	66 (32)	3.4	11.2	-2.4	27: RDF搬出(竹本倉庫)~6月初旬
	中旬	1	71 (31)	4.6	12.9	-3.7	
	下旬	68	63 (17)	4	10.4	-3.1	
2	上旬	22	65 (32)	5.2	15.1	-2.4	3: RDF搬出(霞埠頭倉庫)~ 18: RDF搬出(鈴鹿倉庫)~
	中旬	17	64 (30)	6.5	12.9	0.3	
	下旬	14	59 (22)	6.6	14.2	0.3	
3	上旬	59	64 (24)	6.1	14.2	-0.6	14: 鈴鹿倉庫保管量(1,734t)
	中旬	19	55 (23)	6.9	14.5	0.6	
	下旬	22	59 (22)	10.6	19	0.5	
4	上旬	51	66 (21)	12.3	20.3	5.2	
	中旬	55	75 (25)	15.1	26.6	6.8	
	下旬	51	77 (31)	16	23.5	7.5	
5	上旬	36	71 (13)	18.5	27.4	9.6	
	中旬	39	81 (45)	18.3	24.7	12.5	
	下旬	68	76 (33)	20.5	28	13.7	
6	上旬	9	66 (18)	21.6	30.8	13.9	10: 貯蔵サイロ使用再開、市町村RDF搬入 CO濃度上昇;最大150ppm
	中旬	82	87 (54)	22.8	30.6	16.1	
	下旬	95	79 (46)	24	32.8	19.4	
7	上旬	157	85 (45)	22.9	29.8	18.5	2: 鈴鹿倉庫から貯蔵サイロへ搬出(48t) 17: 鈴鹿搬入分の増加と共にサイロのCO濃度上 昇:300ppm(測定上限値) 20: 鈴鹿で発煙/火災:重機攪拌・注水 20: サイロで白煙、RDFを直接ボイラへ 27: 上部で白煙、底部で炎確認:注水
	中旬	104	84 (54)	24.1	30.3	19	
	下旬	78	79 (45)	24.8	31.9	20.5	
8	上旬	73	82 (54)	28.1	34.7	21.7	1: RDF抜出開始。白煙継続 5: 下部で炎、注水 14: 注水継続するもサイロ内部で爆発事故発生⇒ 消防による消火活動 19: 注水継続、サイロ爆発、上屋吹飛ば 9月27日:鎮火
	中旬	145	87 (51)	24.8	33.2	20.4	
	下旬	48	78 (46)	28.4	36.1	23.8	

※湿度は、四日市観測所のデータ

が、本当に高温メタン菌がサイロ内に存在したか否か確認できていない<sup>25)</sup>。④有機物は、水分が低下し、40℃を超えると空気中の酸素と酸化反応を起し、発熱と共にCOが発生する。COは微生物活動では生成しないので、化学反応が起こっている重要な根拠であり、しかも実験条件では発火するほどの高温になりうる<sup>23)</sup>。

これらの実験は、単にRDFが微生物により発酵し、発熱したことを検証したに過ぎず、温度上昇をすべて発酵であると結論するには不十分な実験である。食品残さなどの堆肥化設備では水蒸気が発生したり、しばしば無炎燃焼による炭化物が確認される。原因は酸化反応も起こっていることの証拠でもある。

#### ④注目すべきは一酸化炭素の濃度！

RDF貯蔵サイロ内のCO濃度の測定値が公表されているので<sup>21)</sup>、その経月変化を図2に示した。なお、一般空気中のCO濃度は20ppm以下であろう。つまり、仮にRDFからCOが排出されなけれ

ば、サイロ内のCOは20ppmを超えることがないと考えられる。

貯蔵サイロは平成14年12月から平成15年6月9日まで使用ができない状態であり、6月10日から使用が再開され、自治体のRDFが搬入され始めている。サイロ内には完全に消火しきれていない残さが残っているものと推測される。残存するRDFからもCOが発生するので、保管量に応じてサイロ内CO濃度は変動し、最大150ppm強を記録している。搬入量の増加とともにしだいに高くなる傾向が認められる。さらに、発煙・火災事故のあった鈴鹿市内倉庫からの搬入が7月2日にはじまって以降、急激に濃度は上昇し、2週間後には測定器上限値の300ppmを超えている。

このことは、貯蔵サイロの火災事故が鈴鹿市内倉庫から搬入されたRDFが原因の一つとしてクローズアップされる。大牟田報告書では、サイロ内CO濃度は貯蔵されているRDFに比例し、単位当たりのRDFから発生するCO量、サイロ内温度及びサイロ空間空気量からサイロ内のCO濃度を

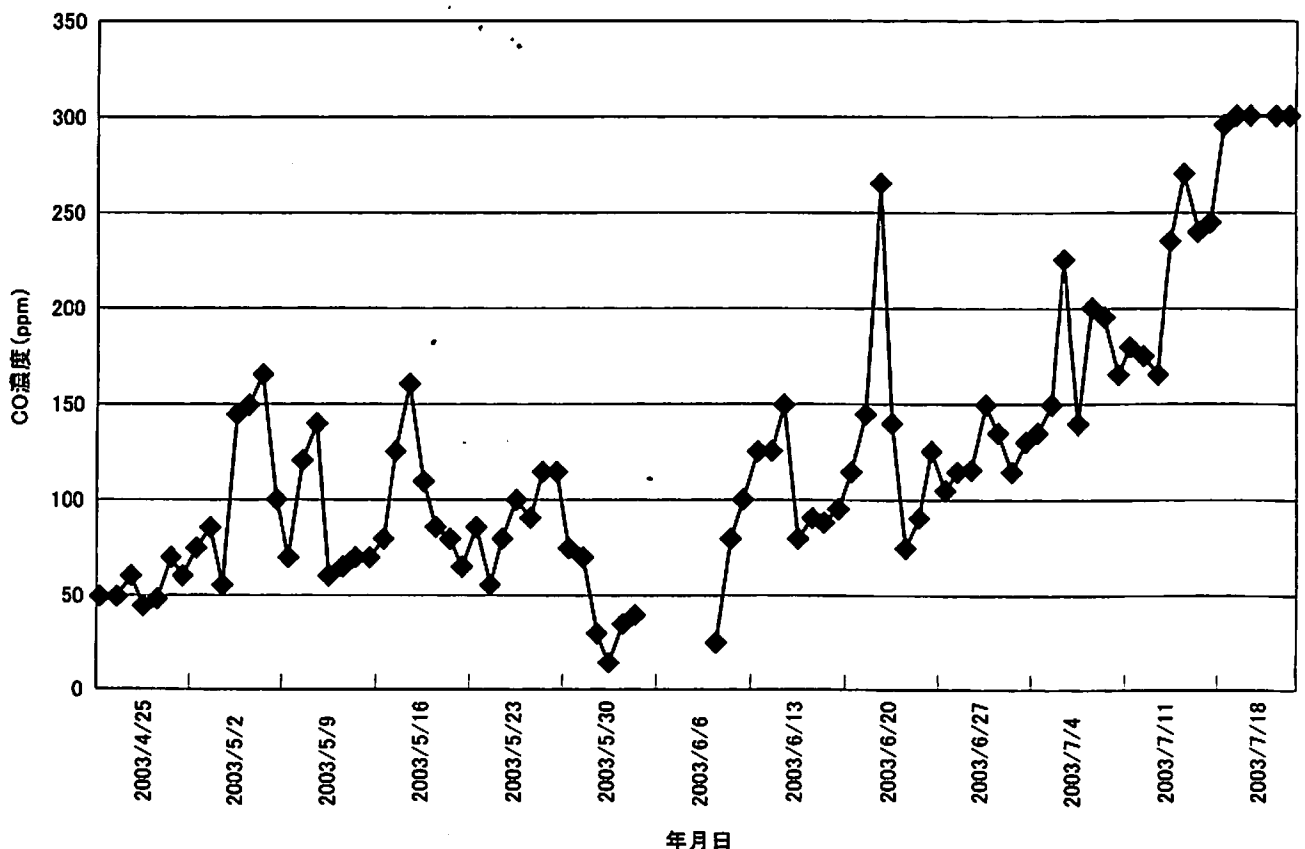


図2 RDF貯蔵サイロ内のCO濃度の推移



算定する予測式が提案されている。

資料<sup>21)</sup>には、搬入を開始したサイロへの搬入量、焼却量、保管量の推移を図示されている。RDFの焼却が行われ、保管量は1,000トン強からしだいに減少しているにもかかわらずサイロのCO濃度が300ppmを記録し、発煙が起こった時にはわずか300トンであった。正常なRDFであれば保管量が少なくなればサイロ内のCO濃度は低下するはずであるが、むしろ急激に上昇している。このように予測を超える異常値が検出されたことは、正常でないRDF、つまり、火災事故で生じた火種の残った炭化物の混入を強く示唆する。

RDFの酸化・蓄熱により発熱・発煙・発火を引き起こしたメカニズムを想定すると、冬季における発熱、倉庫保管時の発熱あるいは火災・爆発などすべての事実を矛盾することなく、合理的に説明することができる。

#### ⑤注目されるサイロ内の炭化物の分布

サイロ内では発熱に伴い無煙燃焼が起こり、いわゆる長時間にわたって燃り続けている。火災終了後にサイロ内の点検で炭化物が底部のセンターコーン付近に大量に確認されている。炭化物が大量に生成したことはその付近で発熱が始った可能性を示唆する。仮に底部で発熱が起こったとするならば、RDF投入口はサイロの上蓋付近であり、投入時に空気が流入したとしてもRDF貯留部の上部であろう。底部における発熱は発酵でも酸化蓄熱でも十分に説明しきれない。

大牟田報告書によると、サイロ底部の4本のチェーンコンベアが設置され、底部のRDFを掻き集めて払出しコンベアに送り燃焼室へ供給している。溝内に設置されたコンベアはそれぞれ個別に駆動モータにより稼働する。モータ室内はモータ駆動時の発熱により温度が高くなり、コンベア設置溝からセンターコーンに移流し40～50℃に達するので、センターコーン付近から発熱が始ったと結論している。その対策としてモータ室内にエアコンを設置して温度コントロールしてセンターコーン内部の温度を低くして以降、発熱等のトラブル

は解消されている。

つまり、RDFサイロの発熱要因として発酵や酸化反応が起こったであろうが、RDF投入直後の発熱・発煙原因はモータ室内のサイロ内への熱移流であったことが明らかにされている。

#### (3) 発熱・発火を引き起こした第三の原因について

ダイオキシン削減対策の一環としてRDF化、その利用先としてRDF発電所が整備され、類似した発電所が4か所で整備された。いずれの発電所のRDF貯蔵サイロでも発熱・白煙が起こった。とくに、三重県RDF発電所のみが炎上・爆発して死亡事故を伴う大事故を引き起こした。単なる対応の不適切が大事故の原因であったのであろうか？

三重県RDF発電所の発熱・発煙事故は、①RDF貯蔵サイロ搬入初期（平成14年12月以降）、②サイロ再開後RDF搬入（平成15年6月以降）及び③鈴鹿市内倉庫内の発熱および保管RDFの搬入後（平成15年7月以降）の3期間に区分される。それぞれの期間において起こった発熱・発煙事故を発酵発熱メカニズムで合理的に説明することは難しい。とくに、微生物反応では発生しないCO濃度の変化や濃度の上昇を説明することはできない。一方、COの発生はRDFの原料である有機物と空気中の酸素の酸化反応で発生し、同時に発熱する。

化学反応の速度は、温度が10℃上昇ごとに約2～3倍速くなることが知られている。つまり発熱時には重機による攪拌により放熱を促進あるいは注水して温度を低下させることが有効である。しかしながら、鈴鹿市内RDF保管倉庫ではこのような対応をしても発熱を止めることができず火災に至っている。また、RDF貯蔵サイロにおいて酸化反応を抑制するために窒素やCO<sub>2</sub>の不活性ガスを封入したり、注水して温度低下を試みているが、その効果は限られたもので、発煙・炎燃焼を止めることができず、爆発炎上事故を引き起こしている。

つまり、温度上昇に伴って最終的には可燃性ガスが大量に発生し、空気の流入により爆発したも

のである。発火源は、高温 RDF ではなく、空気の供給が不十分なサイロ底部において RDF の不完全燃焼により生成した無煙燃焼中の炭化物（炭）の可能性もある。

大牟田リサイクル発電所における発煙事故後に RDF を取り出したところ、底部の払出しコンベア付近が炭化物が大量に確認されている。いわば、種火が残っている残さの存在が発火源であると考えられる。CO の発火温度は 605℃ であり、RDF 炭化物の燃焼温度は数百度以上であり、十分に発火温度に達している。

すなわち、第三の原因とは、自然発火で生じた発熱・発煙、とくに火災時に不完全燃焼した RDF の炭化物が残存したものと考えられる。火種の残った炭化物は、重機攪拌して放熱して温度を下げても、不活性ガスを注入して酸素濃度を低下させても完全に燃焼を止めることは困難である。また、注水しても表層部は消えても火種の中央部まで水が浸入しないので、容易に消火させることはできない。さらに、鈴鹿市内倉庫で起こった火災後の RDF をサイロへ搬入した直後からサイロ内の CO 濃度が急激に上昇していることから炭化物の無煙燃焼が起こっていることを示唆する。逆に、鈴鹿市内倉庫の RDF の発熱・発煙・火災事故もサイロの火災事故で発生した炭化物（種火）の混合した残さを搬入したと考えられる。

種火の残った炭化物が混合した RDF 残さを搬入したため、サイロ内では無煙燃焼が起こっていたと考えられる。注水量を増やしても煙が継続していることはその証拠でもある。サイロ内の温度は炎燃焼と比較すると緩慢であるので対応が遅れた

可能性がある。しかしながら、消火が難しいので、しだいに温度が上がると燃焼速度が加速的に早くなり、対応ができなくなり、爆発に至ったと推測できる。他の発電所発煙事故と異なることは、外部倉庫の火災残さで RDF を再搬入したことが大事故の大きな原因であると深読みしている。

## 結 論

今後、大量のバイオマスや廃プラスチック、あるいはその固形物を大量に保管した場合には、酸化反応による発熱及び放熱が抑制されると蓄熱により速やかに温度が上昇することになる。

火災は消火できても、着火した炭化物が存在すると酸素濃度を下げても注水しても簡単には抑制することはできない。攪拌及び注水による温度低下により炎燃焼を止めることができるが、発煙が止まらなければ完全に消火できていない証である。その残さは直接燃焼室に投入することが望ましい。また、水没させて完全に消火あるいはドラム缶などに密閉するなど、その取扱いには十分に注意する必要がある。

## 【追記】

平成 15 年 7～8 月に三重県 RDF 発電所において火災・爆発事故が起こり、作業員の負傷事故や消防隊員の負傷・死亡事故が起りました。設計・監理した電気機器メーカーと三重県が互いに損害賠償請求を津地方裁判所に提訴し、平成 27 年 3 月 19 日に判決があり、メーカー側に 19 億 600 万円、県に 7 億 8,000 万円の支払いを命じました。平成 27 年 4 月 7 日に控訴期限が経過し、判決が確定しました。

## 〈参考文献〉

- 1) 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 (三重県) ごみ固形燃料発電所事故調査専門委員会
- 2) 大牟田 RDF 貯蔵槽安全対策の有効性実機検証試験評価報告書 平成 20 年 6 月 大牟田 RDF 貯蔵槽安全対策の有効性実機検証試験評価委員会 (委員長 松本東大大学院教授)
- 3) 鍵谷ら：RDF 保管時における発熱特性に関する研究、廃棄物学会論文誌、Vol.18、No.4、pp.264-273 (2007)
- 4) 三重県 RDF 焼却発電施設における RDF 貯蔵槽火災原因調査報告書 平成 17 年 3 月 独立行政法人消防研究所
- 5) 人見ら：有機性廃棄物メタン発酵における菌の死滅速度と温度の関係、廃棄物学会研究発表会講演論文集 ポスター I B3-6、p. 480-482 (2004)