

# ごみ固形燃料の適正管理方策について

平成15年12月25日

ごみ固形燃料適正管理検討会

## ごみ固形燃料適正管理検討会

### 座 長

武田 信生 京都大学大学院工学研究科教授

### 委 員

荒井喜久雄 東京二十三区清掃一部事務組合建設部建設調整課長

井上 雄三 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  
最終処分技術研究開発室長

大谷 英雄 横浜国立大学大学院工学研究院助教授

大宮 邦雄 三重大学生物資源学部資源循環学科教授

酒井 伸一 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長

永田 勝也 早稲田大学理工学部教授

藤吉 秀昭 財団法人日本環境衛生センター環境工学部長

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

### オブザーバー

梅原 直 総務省消防庁危険物保安室長

福島 章 経済産業省原子力安全・保安院電力安全課長

# 目 次

	頁
1 . はじめに	. . . 1
2 . ごみ固形燃料の利用に関する基本的な考え方	. . . 1
3 . ごみ固形燃料の製造・利用に関する課題	. . . 2
3 - 1 . ごみ固形燃料利用施設	. . . 2
3 - 1 - 1 . 事故・トラブルの概要	. . . 2
3 - 1 - 2 . 事故・トラブルの原因	. . . 3
3 - 1 - 3 . ごみ固形燃料利用施設における現状と問題点	. . . 4
3 - 2 . ごみ固形燃料化施設における現状と問題点	. . . 6
4 . ごみ固形燃料の製造・利用に関するガイドライン	. . . 9
4 - 1 . ごみ固形燃料の性状管理のあり方	. . . 9
4 - 2 . ごみ固形燃料化施設における対策	. . . 10
4 - 3 . ごみ固形燃料利用施設における対策	. . . 12
5 . 今後の課題	. . . 15

## 【資料集】

資料 1	ごみ固形燃料の概要
資料 2	ごみ固形燃料化施設の整備状況
資料 3	ごみ固形燃料の性状
資料 4	ごみ固形燃料化施設の概要
資料 5	ごみ固形燃料発電施設の概要
資料 6	ごみ固形燃料関連施設の対策のイメージ
資料 7	ごみ固形燃料発熱・発火とその対策に関連する実験的知見

## 1. はじめに

近年、廃棄物の排出量の高水準での推移、最終処分場の残余容量のひっ迫等廃棄物処理をめぐる様々な問題が生じている。天然資源の消費が抑制され、環境への負荷ができる限り低減される循環型社会の形成を目指して、廃棄物の排出抑制を進めつつ、適正な循環的利用や処分を推進していくことが必要であり、その基盤として、廃棄物の適正な処理体制を確保することが重要である。

他方、廃棄物は、一般に、性状の異なる雑多な種類のごみが混在した状態で排出されるものであるため、その処理過程等において火災等の事故が発生する潜在的危険性を有している。このため、廃棄物処理施設においては、受け入れピットにおける火災、破碎施設における爆発等の事故が発生しており、廃棄物の取り扱いについては十分な注意が必要である。そのため廃棄物処理の現場においては経験則も踏まえ様々な取組みがなされてきている。

ごみ固形燃料については、昭和59年に東京都青梅市で施設が整備されて以来、ごみの熱回収を推進するため、各地で施設整備が行われてきた。また近年は、平成14年12月からのダイオキシン類排出規制強化に対応するため、一般廃棄物処理施設の再整備が進められる中で、ごみ固形燃料を広域的に収集し、発電を行う事業が開始され、ごみ固形燃料化施設も増加している。

このような状況の下、平成15年8月に三重県企業庁のごみ固形燃料の保管設備において爆発が生じ、死傷者が出る事故が発生した。また、福岡県及び石川県においても、ごみ固形燃料の大量保管設備内で発熱・発火が生じるトラブルが発生した。これらの事故やトラブルは、ごみ固形燃料にとどまらず、廃棄物処理技術全体に対する不安感及び不信感に繋がっており、発生原因の究明と再発防止対策の検討が急務となっている。

このため、本検討会では、三重県ごみ固形燃料事故調査専門委員会による事故原因の調査結果を踏まえつつ、ごみ固形燃料の製造、保管、性状管理方法等について検討を進め、廃棄物処理に対する国民の信頼の回復に資するべく、ごみ固形燃料の適切な管理方策についてガイドラインを取りまとめた。ごみ固形燃料の製造、利用にあたっては、技術管理者をはじめとして関係者に本ガイドラインが十分に周知徹底され、ごみ固形燃料の安全な製造、利用システムが確保されることを期待するものである。

## 2. ごみ固形燃料の利用に関する基本的な考え方

大量生産、大量消費、大量廃棄型の社会から脱却し、持続可能な循環型社会を実現するためには、循環型社会形成推進基本法に基づき、第1に発生抑制、第2に再使用、第3に再生利用、第4に熱回収、最後に処分という優先順位にしたがい、適正な循環的利用と処分を推進する必要がある。

したがって、再使用や再生利用が困難な廃棄物については、できる限り熱回収を行った上で適正に処分することが望ましいが、小規模な焼却施設において効率的な熱回収を行うことは技術的・経済的に困難であるため、人口の少ない市町村にあっては効率的な熱回収の実施が困難な場合も多い。

ごみ固形燃料は、腐敗性が少なく、比較的長期の保管が可能であること、通常のごみと比較して、減容化、減量化されるため、運搬が容易であること、形状、発熱量がほぼ一定

となるため安定した燃焼が可能であること等の特徴を有している。このため、ごみを直接焼却して熱回収することが困難な市町村等においては、ごみを適正に固形燃料化することにより、地域内の事業場や広域的な発電施設等における燃料として利用する方法が、循環型社会の形成に資するごみ処理システムの選択肢の一つとして考えられてきているものである。

すなわち、ごみ固形燃料製造・利用システムは人口の少ない市町村において発生するごみを安全・確実に処理するとともに、小規模施設では実現できない熱回収を可能にするという点に特色がある。しかしながらここで注意しなければならないのは、このシステムの第一義的役割は廃棄物の安全・確実な処理にあり、熱回収はこれに続く第二義的役割であることである。発電効率や売電の経済性に重点をおき過ぎ、安全・確実な処理が疎かにされてはならない。直接焼却による十分な熱回収・発電が可能な規模であっても固形燃料化が行なわれている例や、固形燃料の長期保存を前提とした単炉構成システムとなっている例が見られるが、ごみ固形燃料製造・利用システムの歴史が浅く、十分な知見が得られていない現段階ではその運用において十分な注意を払うとともに、今後の計画においては、より一層慎重な検討が望まれるところである。

このような考え方を踏まえると、ごみ固形燃料については、通常のごみの保管と比べ保管期間があまりにも長期に及ぶことのないようにし、速やかに焼却処理を行っていくことを基本としつつ、どうしても長期に保管せざるを得ない場合には、ごみ固形燃料の状態を確認し、発熱・発火防止のための措置を十分に講ずる必要がある。特に、数十トン/日程度未満の小規模な施設を除き、規模が大きくなればなるほど、このことに留意する必要がある。

既に述べたとおり、循環型社会の形成を推進していくためには、発生抑制、再使用、再生利用、熱回収、適正処分の優先順位に基づき取り組んでいく必要があるが、これらの施策を進めていく中であっても、廃棄物の処理を行っていることを十分認識し、取組みを進める必要がある。

### 3．ごみ固形燃料の製造・利用に関する課題

#### 3 - 1．ごみ固形燃料利用施設

##### 3 - 1 - 1．事故・トラブルの概要

###### (1) 三重県企業庁

三重県企業庁の三重ごみ固形燃料発電所（三重県桑名郡多度町）において、平成14年12月23日、ごみ固形燃料を保管するサイロ下部で一部のごみ固形燃料が発火し、サイロ内への散水等により消火するという事故が発生した。

このため、サイロの使用を休止し、槽内のごみ固形燃料の取り出し及び点検を行うとともに、再発防止のために搬入するごみ固形燃料の性状改善対策を要請した後、平成15年2月26日からサイロによる保管を再開した。

しかしながら、平成15年7月27日、サイロ内のごみ固形燃料の発熱・発火が確認された。発熱・発火したごみ固形燃料の取出し及びサイロの冷却を実施しようとするも難航していたところ、平成15年8月14日、サイロ内での爆発により作業員4名が負傷する事故が発生した。さらに、消火作業中の8月19日、サイロが爆発し、屋根が吹き飛ばす事故が発生し、3名の死傷者が出た。

###### (2) 大牟田リサイクル発電㈱

大牟田リサイクル発電(株)による「大牟田リサイクル発電所」(福岡県大牟田市)においては、平成15年9月23日、ごみ固形燃料を保管するサイロ貯蔵槽(三重ごみ固形燃料発電所のサイロと同種のもの)の内部のセンターコーン(サイロ貯蔵槽内底部中央の突起状設備をいう)付近の温度が、約2 上昇する異常を確認した。

このため、貯蔵槽下部コンベアの点検孔を開けたところ白煙を確認し、さらに、底部の払出コンベアから炭化したごみ固形燃料が搬出されていることを確認した。

そのため、サイロ貯蔵槽底部から窒素ガスの注入を行いつつ、槽内のごみ固形燃料を取り出し、11月23日、取出しを完了した。

### (3) 石川北部アール・ディ・エフ広域処理組合

石川北部アール・ディ・エフ広域処理組合が設置する「石川北部RDFセンター」(石川県羽咋郡志賀町)において、平成15年10月15日、ごみ固形燃料を保管するサイロ貯蔵槽(三重ごみ固形燃料発電所のサイロと同種のもの)の上部温度が数 上昇する異常を確認した。そこで、上部のごみ固形燃料の表面温度を測定したところ、40 程度(通常は室温程度)になっていることを確認した。

このため、窒素ガスを注入しつつ、ごみ固形燃料の取り出しを行ったところ、平成15年10月16日に底部の払出しコンベアから燻った状態のごみ固形燃料が搬出されていることを確認した。

その後、取り出し作業を中止して窒素ガスの注入を継続し、酸素濃度や温度が低下し安定した状態になったことを確認した後、取り出しを再開した。

## 3-1-2. 事故・トラブルの原因

三重県のごみ固形燃料発電所事故調査専門委員会の最終報告書においては、貯蔵槽(サイロ)における発熱・発火の原因について、貯蔵槽が空気の流入しうる構造であったこと、スweep装置の稼働実績がなくデッドスペース部分にごみ固形燃料が長期滞留していた可能性が考えられること、定期点検時にごみ固形燃料が完全に排出されないまま再投入されたこと、別倉庫で長期保管されていたごみ固形燃料を投入したこと等から、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、ごみ固形燃料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る、また、貯蔵槽内に少なくとも600~700トンのごみ固形燃料が保管されており、極めて熱が逃げにくい状況にあったため、発酵で発熱したごみ固形燃料がさらに有機物の化学的酸化(低温酸化)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る、としている。

また、爆発については、貯蔵槽で受入れが停止される7月21日以前から貯蔵槽上部の一酸化炭素濃度が測定限界の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等、十分な対応がなされていない状況の下で、貯蔵槽内が長期間高温状態におかれていたことから、熱分解等様々な反応により可燃性ガスが発生し、それがごみ固形燃料を抜き出した空隙や上部空間に充満し、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察している。

保管設備における発熱・発火の原因については、これらの事故原因の他、ごみ固形燃料化施設の成形機における摩擦熱等により蓄熱した後、冷却不十分なごみ固形燃料が保管設備内に搬入され、有機物の低温酸化により蓄熱し、発火に至る可能性や、保管設備のごみ固形燃料搬出コンベアの摩擦熱によって発熱・発火する可能性も指摘されており、留意が必要である。

### 3 - 1 - 3 . ごみ固形燃料利用施設における現状と問題点

#### ( 1 ) 性状管理

搬入時に水分、温度等の性状の管理体制が十分でない場合、不適切な性状のごみ固形燃料が搬入され、保管設備における発熱等の原因となる可能性がある。以下、項目毎に留意すべき事項を示す。

##### 水分

ごみ固形燃料については、腐敗防止等の観点から「廃棄物処理施設整備国庫補助事業に係るごみ処理施設の性能指針」（以下、「性能指針」という。）や「標準情報（TRZ0011）廃棄物固形化燃料」（以下、「標準情報」という。）において、含水率を10%以下等とすることが定められている。

全国の固形燃料化施設（55施設）におけるごみ固形燃料の測定結果によれば、含水率の平均値は4.5%程度であるが、長期保管を行わず速やかに利用する形態であること等を理由に20%を超過する状態で製造・利用している施設もある。

ごみ固形燃料中の水分が高まり、微生物が活動しやすい状態になると、発酵、発熱の要因となる。なお、プラスチック類の混入率が高いごみ固形燃料については、平均含水量が10%以下であっても、部分的には10%以上の含水率となる可能性がある。また、梅雨期のように、高温多湿の天候状態のときには、ごみ固形燃料は大気中の水分を吸湿する傾向がある。

##### 温度

ごみ固形燃料が十分冷却されず、熱を有した状態で保管設備に搬入された場合、ごみ固形燃料は熱伝導率が低いため、蓄熱しやすく、有機物の酸化が進み、発火するおそれがある。

特に、ごみ固形燃料化施設とごみ固形燃料発電施設が隣接して設置され、ごみ固形燃料が直接搬入される場合には、注意が必要である。

##### 粉化度

ごみ固形燃料の強度が不足している場合、輸送中や保管設備内でごみ固形燃料が粉化する。この場合、ごみ固形燃料と水分や空気との接触面積が多くなり、微生物による発酵や酸化等を促進する要因となる。また、ごみ固形燃料の固着や蓄熱の促進要因にもなりうる。

ごみ固形燃料の粉化に関する指標としては、振動や衝撃によるごみ固形燃料が破碎、粉砕される程度として、JISZ7302-10により粉化度の試験方法が定められている。

全国の固形燃料化施設（19施設）におけるごみ固形燃料の測定結果によれば、粉化度の平均値は2.6%程度であるが、水分同様、長期保管を行わず速やかに利用する形態であること等を理由に、20%を超過する状態で製造・利用している施設もある。

##### カルシウム

pHを上げることによる微生物の活動の抑制等を目的として、ごみ固形燃料には、消石灰の場合は1～2%程度、生石灰の場合は5%程度が添加されている場合が多い。

消石灰を4%添加することにより、発酵抑制効果が認められたとする報告がある一方、消石灰は空気中の二酸化炭素等で炭酸化されるために、発酵抑制効果は意外と少ないとの見解もある。なお、カルシウムの添加は焼却残渣等の増加を招く。また、生石灰は水分と反応すると発熱する点に注意する必要がある。

##### 金属成分等

ごみ固形燃料には、元来ごみ中に含まれていたアルミニウム・鉄等の金属が含まれ

ている。ごみ固形燃料に関する実態調査では、元素組成分析を行っていた施設における分析結果として、アルミニウムが平均1.4%(12施設)、鉄が平均0.3%(8施設)含まれていた。金属アルミニウムは、アルカリと反応して発熱することが知られているが、実際にごみ固形燃料を用いた実験結果から、この反応による発熱の影響はほとんどないと考えられる。ただし、金属成分はごみ固形燃料の低温酸化を促進する可能性がある。

#### 発酵特性

生ごみを利用して固形燃料化している場合は、発酵の可能性に十分留意する必要がある。

### (2) 受入工程

ごみ固形燃料をトラック等で遠隔地から搬入する場合、その輸送工程及び搬入工程における雨水等による湿潤対策が十分でなければ、ごみ固形燃料の水分上昇を招く可能性がある。

隣接する固形燃料化施設からコンベア等で直接搬入する場合にも、保管設備への受け入れ部分における湿潤対策が十分でなければ、水分上昇の問題が生じる可能性がある。

### (3) 保管工程

ごみ固形燃料利用施設の保管設備として利用事例の多い、サイロ方式については、以下のような現状と課題がある。

#### 容量等

一箇所に大量の保管が行われた場合、蓄熱し易くなり、また万一の火災時には消火が困難になることから危険性が高まる可能性がある。

また、大型の保管設備においては、ごみ固形燃料の投入時に落差によってごみ固形燃料が粉化する可能性がある。

#### 保管期間

ごみ固形燃料の保管が長期にわたった場合、外気の湿気や温度等の影響によるごみ固形燃料の水分上昇や、堆積圧密による粉化の進行等の性状の変化が起きる可能性がある。

また、現在、ごみ固形燃料発電施設で使用されているサイロは、底面がフラット、胴部は円筒の形状となっており、下部コンベヤから連続的にごみ固形燃料を排出する構造となっているが、このような構造では、サイロ内にデッドスペースが発生し、一部の固形燃料が長期間滞留することとなり、発熱の原因となる可能性がある。

#### 清掃

定期的な底部等の清掃が行われていない場合、ごみ固形燃料が長期間滞留し、水分上昇や蓄熱等の原因となる可能性がある。また、形成されたブリッジ等により、ごみ固形燃料の搬出が困難になる可能性がある。

#### 吸湿対策

サイロ内の換気対策が不十分な場合、サイロ内の空気の停滞や温度差が生じることで結露が発生し、ごみ固形燃料の水分上昇等の原因となる可能性がある。

サイロは、鋼板の二重構造とすること等により断熱性を高めている場合が一般的であるが、これが十分でない場合、直射日光による温度上昇や結露の発生等により、ごみ固形燃料の性状を変化させる可能性がある。一方、断熱性が高いことは自然発火を起こし易くする。

#### 換気

閉鎖された空間に、異常により発生した可燃性ガスが滞留した場合、爆発限界濃度



を超え、かつ、火源が存在すれば、爆発にいたることとなるため、滞留ガスを交換できる換気設備が必要である。

#### 計測装置

蓄熱による自然発火には長時間を要し、また、発火直前まで発熱が局所的であることが多いので、適切な温度測定を行わないと発火直前まで温度上昇が検知できないこともある。

このような問題も含め、温度や一酸化炭素等のガス濃度に関する適切な計測装置が設置されていない場合、保管状態の監視が困難になるとともに、万一、発熱等の異常が生じた際の発見や対応の遅れにつながる可能性がある。

加えて監視装置が自動遠隔監視でない場合は、異常の発見の遅れ等上記と同様の問題が生じる可能性がある。

#### 消火

ごみ固形燃料が発熱した場合の消火方法の検討が十分でない場合や適切な消火設備の設置が行われていない場合、消火作業が困難となり、事故の拡大につながる可能性がある。発熱・発火の状況に応じて適切な消火方法を選択する必要があり、水没による迅速な消火ができない構造の保管設備においては、消火のための放水が可燃性ガスの発生につながる可能性がある。

また、発熱等の異常が生じた際、保管設備からのごみ固形燃料を安全に取り出す方法等が考慮されていない場合、対応が遅れ、事故の拡大を招く可能性がある。

なお、一部のごみ固形燃料利用施設においては、ピット方式による保管が行われている。ピットは、四方と底面がコンクリート製で、升状の形状となっており、外気の流入する開放された空間で保管されることになるため、一定期間保管したごみ固形燃料は吸湿、発酵すること、クレーンバケットが届き難いピットの隅部・底部にはごみ固形燃料が長期間滞留すること等を前提に管理する必要がある。ただし、万一、発熱・発火に至ったとしても、サイロ方式と比較して、搬出や消火作業は比較的容易と考えられる。

また、監視装置としては、ピット表面温度の上昇を検知するため、赤外線温度検知器が設置されている。

### 3 - 2 . ごみ固形燃料化施設における現状と問題点

ごみ固形燃料の製造フローは、大きく分けて、原料となるごみの受入、破碎、選別、乾燥、成形（固形化）、冷却及び保管の各工程からなる。

また、製造フローは、「乾燥工程と成形工程の順序」及び「添加物の有無と添加の位置」の相違から、おおむね以下の3種類に分類される。（**破碎・選別**は「破碎」、「選別」又は「破碎と選別」を意味する。）

乾燥後に成形（固形化）工程がある方式

添加剤

**ごみ受入** **破碎・選別** **乾燥** **選別** **成形** **冷却** **保管**

（乾燥機出口温度約130 ）（成形機出口温度約80～90 ）

乾燥前に成形（固形化）工程がある方式  
添加剤

ごみ受入 破砕・選別 選別 成形 乾燥 冷却 保管  
(反応工程含) (成形機出口温度約80~90 )  
(乾燥機出口温度約130 )

乾燥工程及び添加剤を使わない方式

(腐敗しにくいごみのみを処理対象とする場合や、製造後すぐに利用する等、ごみ固形燃料を長期間保管する必要がない場合に用いられる。)

ごみ受入 破砕・選別 混合 成形 保管  
(成形機出口約80~90 )

以下、これらの工程別に事故やトラブルの発生状況と問題点について記述する。

### (1) ごみ受入工程

収集されたごみを受入れ、貯留し、次の破砕・選別工程に送る工程である。通常、ごみピット&クレーン又はヤード&ショベルカー、及びごみ搬入計量設備等の設備で構成される。

ごみ受入工程における異常発生は、廃プラスチックのみを固形燃料化する施設において原料の廃プラスチックから出火する異常が1件報告されている。

### (2) 破砕・選別工程

受入ごみを乾燥や成形に適した大きさとなるよう砕くとともに、ごみ中のアルミニウム分、鉄分等の金属類やガラス、陶磁器類等の不燃物を磁力選別、風力選別等により取り除く工程である。選別は、乾燥後に行う場合もある。

破砕機には、通常、回転式破砕機が用いられている。回転式破砕機は低速回転式と高速回転式に分類され、近年は、低速回転式の二軸剪断式破砕機が多くの施設で使用されている。

ごみ中にあった金属類が、破砕される際に生じた火花により原料のごみが発火する異常発生が報告されているが、比較的発生件数は少ない。

なお、異物の噛み込みやひもの巻き付き、布類のからみ等で処理が中断することがある。

### (3) 乾燥工程

ごみまたは成形品を高温熱風等により乾燥する工程である。乾燥は、熱風で行う場合が多く、乾燥機にごみを投入し、入口より熱風を吹き込みながらごみを回転させて乾燥する形式が多い。この場合、熱風の出口温度は130 前後に制御している場合が多い。

乾燥機内へのごみ供給不足やごみの乾燥機内での長時間滞留あるいは乾燥用熱風の温度制御の不調、停電による乾燥機稼働停止等に起因する「投入ごみの過乾燥」による火災や可燃性ガス（一酸化炭素）の発生等、乾燥機内の不適切な運転管理や停電時の安全対策の不備等が原因と考えられる異常発生が報告されている。

また、マッチ等の発火しやすい可燃物の混入による乾燥中の発火や、長尺物(長い布等)等のごみが回転体に巻き付くことによる過熱やプラスチック類が回転壁面に溶着するこ

とによる燻り等、ごみの性状に起因した異常発生もある。

#### (4) 薬剤添加工程

成形の前工程において、成形品の腐敗防止や利用施設での塩化水素発生に対する中和対策を目的に添加剤（消石灰あるいは生石灰）を加える工程である。

消石灰の場合、添加率は原料ごみに対して1～2%添加するのが一般的である。

生石灰を添加する場合、ごみ中の水分との反応熱で乾燥を促進することを意図している。

停電や夜間の操業停止等、製造ラインが比較的長時間停止している際、反応工程に滞留したごみが、生石灰との異常反応により過熱した事例が報告されている。

#### (5) 成形工程

ごみを一定の形状に成形加工する工程である。成形方法は、スクリーやローラーによる加圧押し出しにより成形するものが一般的である。

成形機内でのごみの滞留による発熱、金属類等の異物混入による目詰まり等による異常な摩擦熱の発生、ごみの供給不足によるカラ運転等により、成形機内に残されたごみや塵が過熱、炭化して発火に至る事例がある。

また、破砕機における刃の摩耗が布類、ひも類の切断不良の原因となり、成形機内でのトラブルのもとになることがある。

#### (6) 冷却工程

成形直後のごみ固形燃料は表面温度で約80～90℃の温度を持つ。成形物は断熱効果が高い性状であるため、高温のまま保管すると酸化反応熱等によって蓄熱が起これ、発火に至る恐れがある。このため、成形品を保管する前に、空気送風等により冷却する工程である。

成形機での過熱により炭化したごみ固形燃料が火種となって冷却工程における送風により発火した事例や、冷却機内に成形直後のごみ固形燃料が滞留しているにもかかわらず冷却ファンを停止したため蓄熱により発火に至った事例等、成形工程での異常監視や冷却工程での冷却方法、また終業時の作業手順が課題となる異常発生が報告されている。

#### (7) 保管・搬出工程

製造された成形品を利用施設に搬送するまでの間、一時的に保管する工程である。保管方法は、サイロまたはホッパで一時的に貯留し、搬出用トラックやフレコンバックに積み換える方法による場合が多い。サイロ等の保管容量は、製造側の処理量の変動を考慮して1日当たりの処理量の7日分程度、保管期間は通常2、3日～1週間程度と少量かつ短期間の場合が多い。

保管ヤードでの貯留及びフレコンバックで保管中に発火した異常発生が2件報告されている。発火原因としては、成形工程の摩擦熱で炭化した又は蓄熱したごみ固形燃料が混入したことが指摘されている。

#### (8) その他の工程

乾燥機出口や成形機等の排気ダクト内に堆積した綿ぼこり状態のダストは過熱や蓄熱により発火しやすくこれが火種となって後段のバグフィルターでろ材を焼損したトラブル事例が報告されている。

## 4．ごみ固形燃料の製造・利用に関するガイドライン

### 4 - 1．ごみ固形燃料の性状管理のあり方

ごみ固形燃料の保管時の発熱・発火等を防止するため、ごみ固形燃料の性状については、以下の事項に留意し、管理する必要がある。

#### ( 1 ) 水分

性能指針や標準情報に規定されているとおり、腐敗や発酵を防止する観点から、ごみ固形燃料の水分は10%以下に管理すべきである。この場合、ごみ固形燃料化施設からの搬出時に10%以下の状態を保つとともに、ごみ固形燃料の搬送時及び利用施設における保管時にも10%以下の状態を保持できるよう適切に管理する必要がある。

ただし、利用施設において、保管を行わず、速やかにごみ固形燃料を利用する形態にある等、発酵による発熱を考慮する必要がないと認められる場合には、この限りではない。

#### ( 2 ) 温度

ごみ固形燃料が十分冷却されず、熱を有した状態で保管設備に搬入された場合、ごみ固形燃料は熱伝導率が小さく、蓄熱しやすい特性をもつことから、発火するおそれがある。したがって、保管設備に搬入するごみ固形燃料の温度は、外気温度程度に冷却しておく必要がある。ただし、ごみ固形燃料を保管せず、直接焼却する場合等、特別な利用状況にある場合は、この限りではない。

#### ( 3 ) 粉化度

発酵や酸化を促進することのないよう、各ごみ固形燃料化施設の特性を踏まえた粉化度に関する指標値を設定し、適切に管理することが望ましい。指標値としては、例えば、現在のごみ固形燃料化技術からみて達成可能なレベルにある粉化度1～2%以下とすること等が考えられる。ただし、水分同様、ごみ固形燃料の利用状況からみて、粉化度の管理の必要がないと認められる場合には、この限りではない。

#### ( 4 ) カルシウム添加量

カルシウムを添加することでごみ固形燃料のpHが上がり、発酵が抑制されるとする知見を踏まえれば、ごみ固形燃料化施設において、適切な量の消石灰等のカルシウムを添加することが望ましい。

なお、添加量については、ごみ固形燃料の製造工程や利用状況等を踏まえ、判断する必要がある。

#### ( 5 ) 金属成分(アルミニウム・鉄等)

保管設備における発熱に寄与する可能性が低いとの実験結果を踏まえ、ごみ固形燃料中に含まれるアルミニウム・鉄等の無機化合物について、現時点で基準値等を設定する必要は低いと考えられるが、アルミニウム等の金属成分は、ごみ固形燃料中の不純物であるとともに、固形燃料化施設の破碎工程や成形工程等において、摩擦熱による発火の原因となる可能性や低温酸化を促進する可能性があるため、できる限り低減しておくことが望ましい。

## 4 - 2 . ごみ固形燃料化施設における対策

### ( 1 ) ごみ受入工程

搬入されるごみには、ガスボンベ、スプレー缶、塗料缶、花火、ガソリン、灯油等の爆発性あるいは引火性の高い危険物、また消火不十分な燃えがらや自然発火物等が含まれることが予想される。このため、これらの危険物等が施設に持ち込まれないよう、市民に対する啓発等により分別の徹底を図ることが重要である。なお、搬入されるごみの性状は、ごみ固形燃料の性状に大きく影響するため、発火の危険性の高いごみだけでなく、燃焼に寄与しないガラス、金属類等の不燃物の分別の徹底も図るべきである。

また、搬入ごみは、収集地域や気候・天候によって大きく変わることが予想される。ごみ性状の変動は、固形燃料製造過程での不安定要因となるため、受入工程ではごみをよく攪拌し、できるだけ均一なごみ性状にしておく必要がある。

更に、万一の出火時の対応策として、受入ピット等には散水装置、消火栓、消火器等を適切に配置しておくことが必要である。

### ( 2 ) 破碎・選別工程

破碎機内では、ごみの種類によっては発火又は爆発の恐れがあるため、破碎機入口付近の状況を監視カメラにより常時監視する必要がある。

また、高速回転式破碎機の場合は、蒸気噴霧、窒素等の不活性ガスの封入、又は強制換気等により、破碎機内部を発火しにくい環境にしておくとともに、爆発による被害を防止するため、圧力放散孔を要所に設置しておく必要がある。

更に、出火時の対策として、機器設置室内に煙感知器又は熱感知器等を備えるとともに、散水装置、消火栓、消火器等を適切に配置しておく必要がある。

また、成形工程等において、不純物として含まれる金属類の摩擦熱が原因となって発火が生じるおそれがあるため、可能な限り選別を徹底することが望まれる。

### ( 3 ) 乾燥工程

熱風の温度及び乾燥時間の管理が十分でない場合、ごみの性状の不均一さと相まって、過乾燥の状態になりやすく、乾燥機内で発火する危険性が高いため、乾燥機出口排ガス温度及び簡易測定による乾燥ごみの水分量指標の監視を連続的かつ確実にを行うとともに、予め設定した管理範囲を逸脱しないように運転する必要がある。また、一酸化炭素濃度による燻りの検知が有効である場合には、同濃度の連続監視を行うことが望ましい。

また、一時的な操業停止（昼休み）等により、乾燥途中のごみが乾燥機内に滞留した場合、機内の余熱による過乾燥が生じやすく、発火する恐れがあるため、稼働停止時には、機内にごみが残留しない構造又は作業手順とするか、機内に残留したごみに水噴霧等を行うべきである。

また、定期的に排気ダクト内を清掃し、発火の原因となる塵の除去を行うべきである。

なお、乾燥機設置室内に煙感知器や熱感知器を設置しておく必要がある。

### ( 4 ) 薬剤添加工程

原料のごみと消石灰等の添加剤の混合が不十分である場合、添加剤が偏在し、ごみ固形燃料中の微生物の増殖防止効果を減じることとなる。薬剤が生石灰の場合その添加反応工程において発火する恐れがあるため、添加工程は、ごみと添加剤が十分混合できる容積と時間が取れるよう適切に設計するとともに、ごみ量と添加剤との混合割合が均一となるよう制御することが必要である。

## (5) 成形工程

成形直後のごみ固形燃料は、押し出される際の摩擦熱で高温状態になっており、供給する廃棄物の量や温度の管理が適切でないと高温の成形物が原因となって次の冷却工程や貯留工程で発熱・発火等の異常を引き起こす恐れがあるため、以下のような対策を講じる必要がある。

発火や燻りを検知し、管理するため、成形機出口排気等の温度や一酸化炭素濃度を連続測定すること。

立ち上げ時には、予め塵の除去を行うとともに、適切な量のごみの供給に特に注意すること。

成形機設置室内には、煙感知器や熱感知器を設置すること。

また、成形されたごみ固形燃料が粉化すると、貯留槽内でブリッジやチャンネリング（空隙部分）を形成したり、発酵や酸化反応の一因となる可能性があるため、適度な硬さを持つよう成形する必要がある。

## (6) 冷却工程

製造されたごみ固形燃料は、製造時の熱が蓄積されやすく、酸化反応の進行により更に温度が上昇し、やがては発火に至る恐れがあるため、冷却工程では時間をかけて固形燃料内部まで十分に冷却できるよう、冷気を適切に分散させ、効率的に外気温度程度まで冷却（放熱）すべきである。

冷却工程では、工程出口側の温度管理を厳密に行うことが重要である。また、成形時の異常等による炭化物（火種）の混入や停電等により、冷却用送風が停止した場合等の発火防止を考慮して以下の対策をとる必要がある。

冷却機入口及び出口の空気温度を連続測定し、厳密に管理すること。

冷却機内の一酸化炭素濃度や空気温度の連続測定を行い、発火や燻り状態を事前に検知すること。

成形機の稼働開始時には強い摩擦熱により高温のごみ固形燃料が製造される場合があるので、十分な冷却に注意すること。

稼働停止時に冷却機内にごみ固形燃料が残留しない構造又は作業手順とするか、冷却機内の空気温度又は一酸化炭素濃度の連続測定装置と連動した自動水噴霧設備等を設置し、残留したごみ固形燃料の発火防止対策を講じること

トラブル等でやむをえず除去した冷却工程の残留物を保管する場合には、他のごみ固形燃料と分けて、少量ずつ保管すること。

冷却機設置室内に煙感知器や熱感知器を設置し、室内のダストによる誤作動に注意しつつ運用すること。

## (7) 保管・搬出工程

ごみ固形燃料の保管・搬出に当たっては、ごみ固形燃料が、乾燥した可燃物であること、熱伝導率が低く蓄熱しやすいこと、高温のまま保管された場合発火する可能性があること、吸湿した場合発酵する可能性があること等に留意し、適切に取り扱う必要がある。

ごみ固形燃料化施設での保管は、搬出までの間、サイロ又はフレコンバック等において短期間、比較的少量の保管を行うことが一般的であり、このような保管・搬出に関しては、以下のような事項に留意すべきである。なお、長期間、大量に保管する場合の対策は、4 - 3 (3) に記述するごみ固形燃料利用施設での保管時の対策に準ずることが適当である。

貯留ホッパやサイロは、できるだけ屋内に設置し、雨水等の浸入を遮断すること。

フレコンバックで保管する場合、保管場所は雨水等が浸入しない室内とすること。ホッパやサイロ等の貯留槽内及びフレコンバックを保管する場所は、槽内や室内の温度に偏りが生じないように換気すること。

サイロ等閉鎖型の設備で保管する場合には、一酸化炭素濃度及び温度の連続測定を行うこと。また、万一、発熱や発火等が生じ、ごみ固形燃料の取出しが必要になった場合に、迅速な取出しが可能な構造及び空間を確保すること。

フレコンバックで保管する場合には、適切に選定したバック毎に温度測定を行うこと。また、バック間の通気による放熱効果を得るため、過密な積載による保管を行わないようにすること。

保管期間は、概ね1週間以内とすること。やむをえず保管期間が長期に及ぶ場合には、冷却工程への返送や切り返し、入れ替え等により放熱させるとともに、搬出後、速やかに利用させること。

隣接するごみ固形燃料利用施設に搬出する場合も含め、冷却工程を経た後のごみ固形燃料は、外気温度と同程度に冷却したことを確認した後、搬送すること。

万一、出火した場合に備えて、散水装置、消火栓、消火器等を適切に配置しておくこと。

搬送トラックへの積み替えは雨天時に雨がかけられ吸湿することのないように、できるだけ屋内で行うこと。また、有蓋車両やシート掛け等降雨対策を講じた車両での搬送とすること。

#### (8) 搬出時の性状管理

4-1に示した性状管理に関する留意事項を踏まえ、各固形燃料化施設における製造フローや利用施設における保管や利用等の特性に応じた管理指標値を定め、ごみ固形燃料を定期的に測定・監視していく必要がある。また、その結果、指標値を満足しなかったごみ固形燃料については、製造工程に戻す等の対応を徹底すべきである。

水分、温度については、毎日、日本工業規格 Z7302-1 の 6.1 の方法にしたがい、製造したごみ固形燃料を適切にサンプリングし、適切な簡易測定方法等により指標値を遵守しているか確認すべきである。特に、隣接する利用施設の保管設備にコンベア等で直接搬送する場合にあっては、表面温度の連続監視を行うべきである。また、粉化の程度についても、毎日、目視により確認すべきである。なお、施設運転立上げ直後の製品や製造工程異常時の不良品の発生に関しては特に注意して監視する必要がある。

その他、月1回程度、日本工業規格 Z7302 の方法により、ごみ固形燃料の性状管理のための測定を行い、指標値を遵守していること等について確認することが望ましい。この場合、ごみ固形燃料は性状の変動が大きいことに留意し、変動幅を考慮して管理すべきである。

なお、これらの測定や監視の結果については、台帳を設け、記録・保存しておくべきである。

#### 4-3 . ごみ固形燃料利用施設における対策

##### (1) 受入・保管時の性状管理

各利用施設における保管や利用等の特性に応じた受入基準値を定め、定期的に測定、監視する必要がある。また、その結果、基準値を満足しなかったごみ固形燃料については、予め取扱い方法を定め、貯蔵することなく、焼却炉に直接投入する等の措置を徹底したり、固形燃料化施設に返品して、再製造を行わせる等の措置を取るべきである。

また、保管設備から搬出されるごみ固形燃料を定期的にサンプリングし、保管期間中

における性状変化を管理することとし、万一、保管上の支障を生じる可能性のある性状変化が認められた場合には、できる限り速やかに保管設備から搬出、処理する等の対策を構じるべきである。

水分等の各項目に関する測定、監視の方法や頻度等の考え方は、4 - 2 ( 8 ) と同様である。

## ( 2 ) 受入工程

ごみ固形燃料の水分を適正な状態に管理するために、車両からの荷下場所は、屋根付きのアプローチや屋内エリア等を十分確保し、強い風雨の際にも雨水等による湿潤を防止できる構造とする必要がある。

固形燃料化施設からごみ固形燃料を直接搬送する場合にも、搬送工程や保管設備への受入部分において、風雨等による湿潤を防止できる構造とする必要がある。

## ( 3 ) 保管工程

ごみ固形燃料の保管に際しては、保管設備への搬入量及び搬出量を記録し、保管量及び保管期間を把握しておくことが必要である。

保管設備については、ピット方式とすることが望ましい。ピットの構造、維持管理等に関する留意事項は、通常のごみ焼却施設におけるピットに準ずるほか、以下の事項に留意すべきである。

### 容量等

大量保管については、発火した場合に一定の危険性を有すること、定期的な清掃を実施すべきであること等の観点から、適切な規模の複数のピットを設けることが望ましい。

### 保管期間・清掃

概ね3ヶ月に1回程度、ピットの底部を清掃するべきである。なお、ピット内清掃にあたっては、酸素欠乏危険場所での作業であることを踏まえ、労働安全衛生対策に十分留意する必要がある。

さらに、利用施設が稼働を停止した場合、必然的にごみ固形燃料の保管量が増加し、保管期間の長期化につながることから、焼却炉・ボイラー等のオーバーホールや点検を着実に実施し、施設の保守に努めるべきである。

### 蓄熱防止対策

「後入れ先出し」型の構造であることを踏まえ、保管中のごみ固形燃料の放熱を促すため、満遍なく攪拌するとともに、定期的に積み替える必要がある。

### 換気

ガスの滞留による爆発の危険性を回避するため、滞留ガスを常時交換できる設計、運転とする必要がある。なお、換気したガスは、燃焼用空気に用いるか、一定の排ガス対策を施した後、大気放出すべきである。

### 計測装置

保管設備内の状況を適切に把握し、ごみ固形燃料の発熱等の異常を早期に発見し、適切な対策を講ずるため、ピット表面の温度上昇を検知する赤外線温度検知器、ピット内部の温度変化を把握する温度計を設置する必要がある。

### 消火設備

小規模な出火については、発火したごみ固形燃料の焼却炉への投入により対処可能と考えられるが、万一、火災となった場合を想定し、大量の散水が可能な設備を設置しておく必要がある。



また、ごみ固形燃料をサイロ等の閉鎖型の保管設備において、1週間以上の期間にわたり、大量に保管する場合に留意すべき事項は以下のとおりである。なお、小規模な利用施設等において少量保管する場合の留意事項については、4-2(7)に準ずることが適当である。

#### 容量等

ごみ固形燃料を大量に保管すると万一発火した場合の危険性が高くなること、定期的な清掃が必要であること、投入時の落差による粉化の進行を防止する必要があること等の観点から、複数の保管設備を設けることにより、1設備当たりの容量を小さくすることが望ましい。

#### 保管期間・清掃

長期保管に伴うごみ固形燃料の性状変化による発熱等を防止するため、保管期間については、最長貯留期間を設定し管理することとし、定期的に内部のごみ固形燃料を搬出するとともに、内部を清掃することが必要である。なお、最長貯留期間については、他の対策との併用による実効性の検証や実証実験の結果を踏まえて設定することが適当である。

また、できる限り保管期間を短くする観点から、先入れ先出しが確実に行われるような構造とすることが望ましい。

さらに、利用施設が稼働を停止した場合、必然的にごみ固形燃料の保管量が増加し、保管期間の長期化につながることから、焼却炉・ボイラー等のオーバーホールや点検を着実に実施し、施設の保守に努めるべきである。

なお、万一、長期の保管を行わなければならない場合には、入れ替え等により放熱させるとともに、搬出後、速やかに利用すべきである。

#### 湿潤防止対策

日射や結露等による影響を防止するため、鋼板製の場合、壁面を二重構造とする又は屋内に設置する等の適切な対策を講じるべきである。

#### 酸化・蓄熱防止対策

常時、窒素等の不活性ガスを充填し、サイロ内を希薄酸素環境で維持する等により、ごみ固形燃料の酸化による発熱及び蓄熱を防止するための適切な措置を講じることが必要である。なお、不活性ガスを充填する場合には、点検・整備作業時の酸欠対策など労働安全衛生対策に十分留意すべきである。

また、不活性ガスの充填以外の方法についても、今後の知見の充実や実証実験結果等を踏まえ、実効性を確認した上で、適用していくことが考えられる。

#### 計測装置

保管設備内の状況を適切に把握し、ごみ固形燃料の発熱等の異常を早期に発見し、適切な対策を講ずるため、保管設備内の温度、湿度、一酸化炭素、二酸化炭素及び全炭化水素等を適切に選択し、連続的に監視する必要がある。

これらの計測装置は、適切なアラームを備えた遠隔自動監視が可能なものとすべきである。

各計測センサーは、サイロ上部、中部、下部、搬入・搬出コンベヤ部、センターコーン部等の主要な区分に応じ、保管設備内の全体的な状況が適切に監視できるよう配置すべきである。特に、センターコーン近傍の温度監視に十分留意する必要がある。

#### 消火設備

異常発熱時に、不活性ガスを注入し、保管設備内を不活性雰囲気にすることができるよう注入設備を設けるとともに、非常時に使用する不活性ガスの入手方法をあらかじめ検討しておくことが必要である。

また、注入した不活性ガスを速やかに保管設備内に充填するため、排気口から内部のガスを強制吸引する方法も検討しておくべきである。

## 5．今後の課題

廃棄物処理施設については、廃棄物の性状や処理工程の特性から、従来より、火災・爆発等の事故やトラブルの発生が報告されており、事故発生を防止し、安全・適正な処理を確保するため、機械・設備や維持管理面での対策が検討され、実施されてきたところである。

ごみ固形燃料については、近年、広域利用による大規模なごみ固形燃料発電事業が開始され、サイロによるごみ固形燃料の大量・長期保管が行われるようになったことに伴い、予期しなかった発熱・発火が生じ、爆発事故に至る一因となった。ごみ処理の原点に立ち返り、安全な処理を確保するための施設・設備や運転管理のあり方を見直し、事故再発防止に万全を期す必要がある。

また、ごみ固形燃料の特性、性状管理や製造、保管、利用のあり方に関しては、引き続き、科学的知見や技術情報の集積に努め、これらを踏まえた技術管理者の知識の充実を含め、各種対策の充実を図っていくことが望まれる。最長貯留期間については、他の対策との併用による実効性の検証や実証実験の結果を踏まえて今後設定する必要がある。ごみ固形燃料化施設においては、火災・爆発等の事故やトラブルが発生していることを踏まえ、これらの経験を関係者が共有できる体制を整備することを目指して、情報収集の方法や提供すべき情報の内容等について、今後、検討を進めていくことが望まれる。

# 資料集

## 資料 1 ごみ固形燃料の概要

## 資料 2 ごみ固形燃料化施設の整備状況

製造能力  
処理対象廃棄物  
運転開始年度  
ごみ固形燃料の搬出・利用先

## 資料 3 ごみ固形燃料の性状

水分  
粉化度  
鉄分・アルミ分

## 資料 4 ごみ固形燃料化施設の概要

施設の概要  
事故・異常の発生状況  
事故・異常の対応措置の内容

## 資料 5 ごみ固形燃料発電施設の概要

ピット方式の場合  
サイロ方式の場合

## 資料 6 ごみ固形燃料関連施設の対策のイメージ

ごみ固形燃料化施設における対策のイメージ  
ごみ固形燃料利用施設における対策のイメージ

## 資料 7 ごみ固形燃料発熱・発火とその対策に関連する実験的知見

(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)

## ごみ固形燃料の概要

### 1. ごみ固形燃料とは

可燃ごみ（生ごみ、紙ごみ、廃プラスチック等）を破碎、選別、乾燥、固形化し、利用しやすい性状の固形燃料にしたものである。



ごみ固形燃料

### 2. ごみ固形燃料の特徴

腐敗性が少ないため比較的長期の保管が可能。

生ごみに比較して1/5～1/7に減容化（嵩比重が0.4～0.6程度）され、輸送が容易。乾燥・成形によって、形状、熱量がほぼ一定となるため、安定した燃焼が可能。

### 3. ごみ固形燃料の性状

#### 1) 水分

水分含有率が多い場合、かびの発生や腐敗が進みやすくなることから、一定水準以下に乾燥させることが必要である。ごみ処理施設性能指針及び日本工業標準調査会の標準情報（TR）では水分含有率の水分は10%以下とされている。

#### 2) 形状

一般的な形状は直径10から50mm程度の円柱状である。

#### 3) 単位体積重量

単位体積重量が大きいほど設備容量が小さくなり、取り扱いが容易となる。一般的な数値は0.3～0.7t/m<sup>3</sup>程度である。

#### 4) 低位発熱量

ごみ固形燃料の発熱量はごみの成分に依存するものであり、特にプラスチック成分の影響が大きい。一般的に、厨芥類は17,000 KJ/Kg<sub>dry</sub>程度の発熱量に対して、プラスチックは21,000から42,000KJ/Kg<sub>dry</sub>程度である。

(参考) 廃棄物固形化燃料 TR Z0011:2002

品質項目	品質（表示）規格
発熱量	12,500kJ/kg(3,000kcal/kg)以上
水分	10%以下
灰分	20%以下
金属含有量・全塩素分・硫黄分・窒素分・かさ密度・粉化度	金属含有量、全塩素分、硫黄分、窒素分、かさ密度及び粉化度の既定値は定めないが、試験した値を報告する。

## ごみ固形燃料化施設の整備状況（一般廃棄物関係施設）

（調査対象施設数：58）

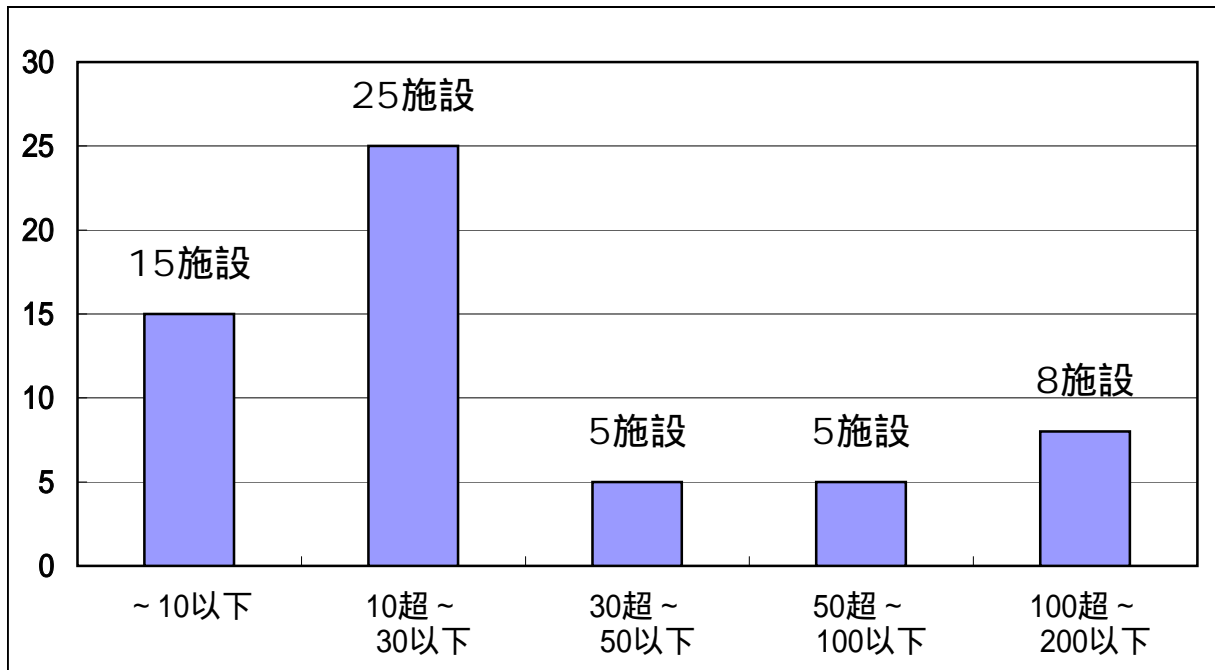


図2-1 ごみ固形燃料化施設の製造能力(t/日)

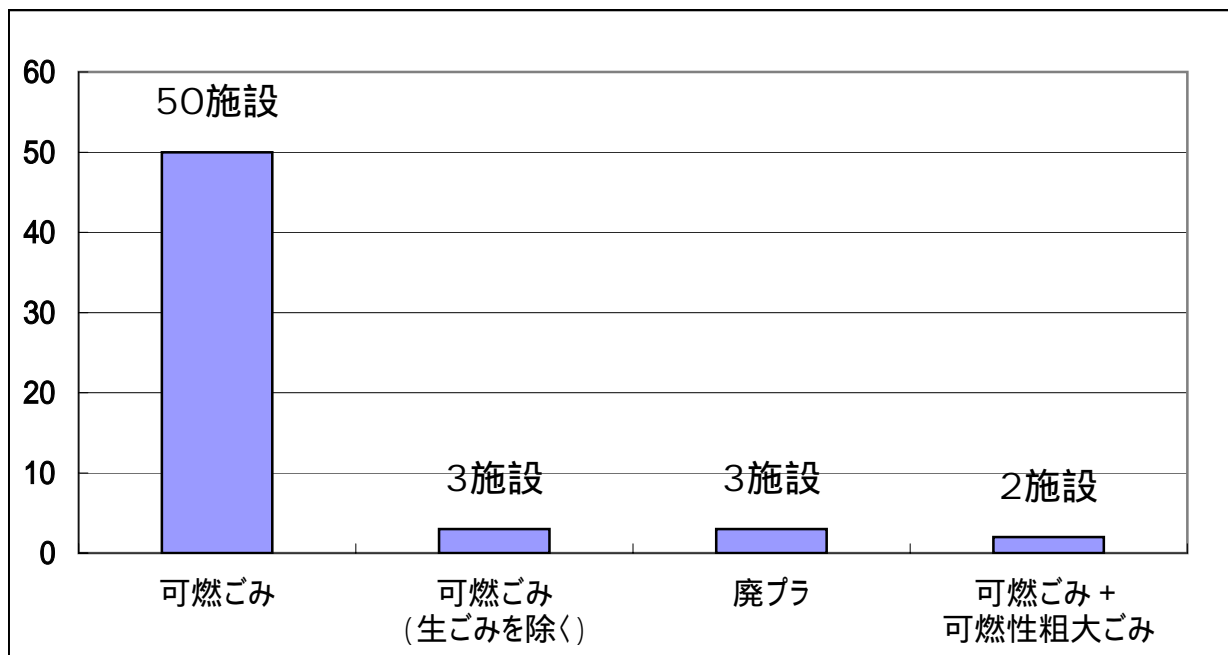


図2-2 ごみ固形燃料化施設の処理対象廃棄物

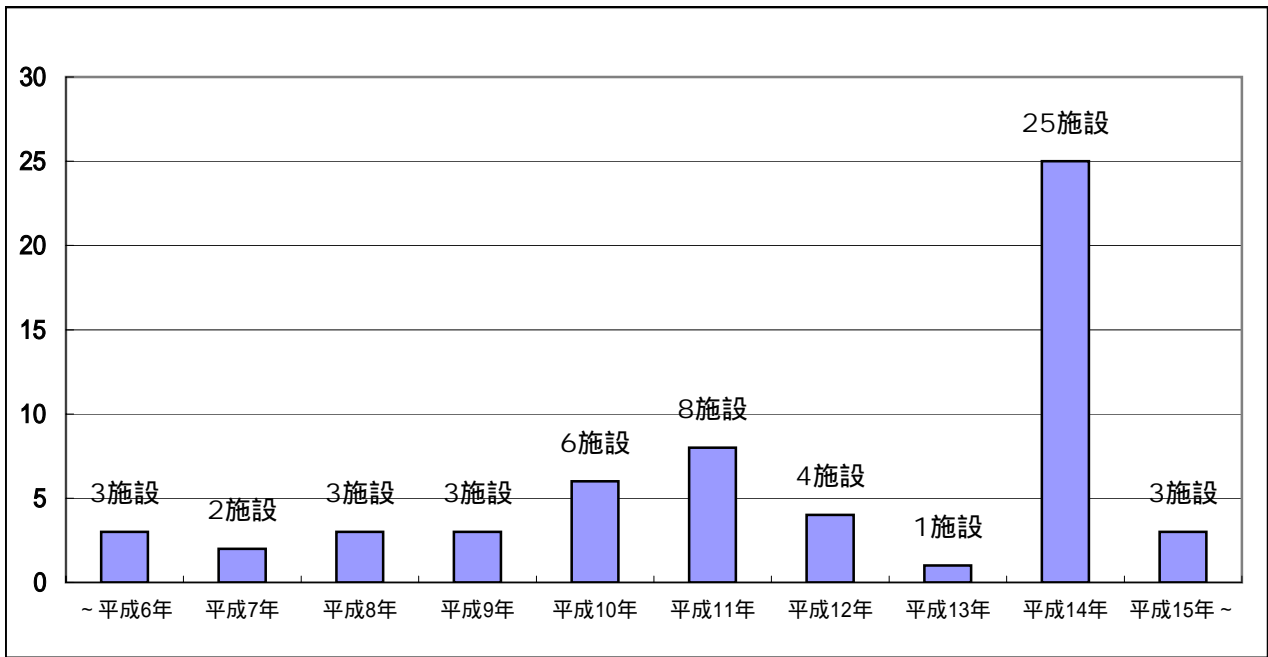


図2-3 ごみ固形燃料化施設の運転開始年度

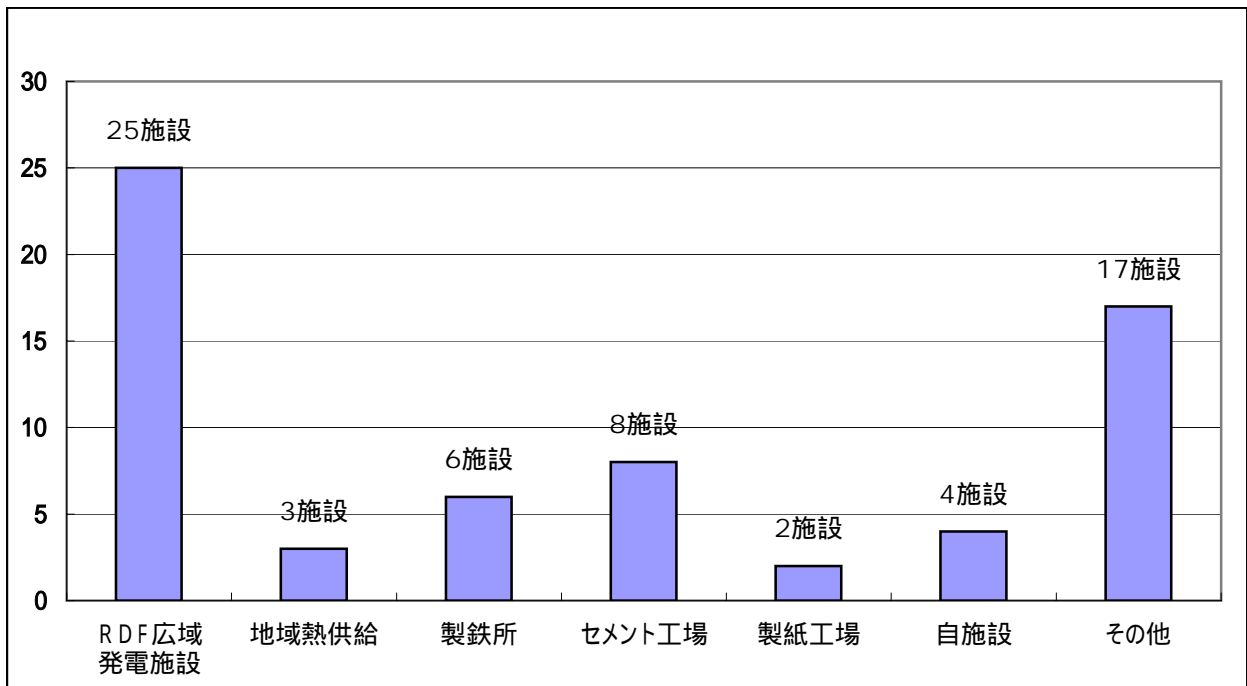


図2-4 ごみ固形燃料の搬出・利用先

## ごみ固形燃料の性状（一般廃棄物を原料とするもの）

「最大」「平均」「最小」「施設数」が示す内容は以下の通りである。

最大：全施設の分析結果の「最大」の回答のうちの最大

平均：全施設の分析結果の「平均」の回答に、試験回数の重みをかけて算出している

$$(\text{平均}_{a\text{施設}} \times \text{回数}_{a\text{施設}} + \text{平均}_{b\text{施設}} \times \text{回数}_{b\text{施設}} + \dots + \text{平均}_{n\text{施設}} \times \text{回数}_{n\text{施設}}) \div \text{回数}_{n\text{施設}}$$

最小：全施設の分析結果の「最小」の回答のうちの最小

施設数：1回以上分析試験を行った施設数（異常値を回答した施設を除く）

### （1）水分

最大値	平均値	最小値	施設数
34.20%	4.45%	0%	55

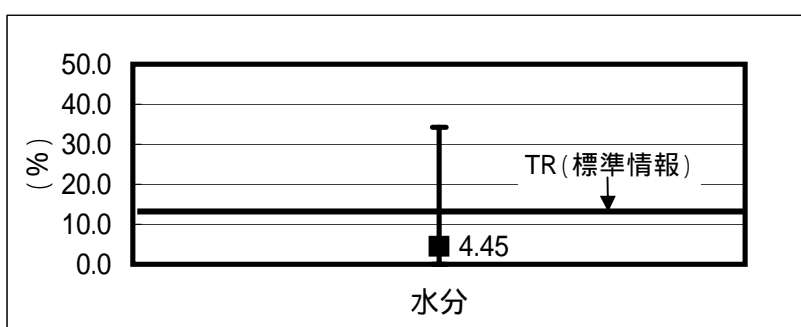


図3-1-1 水分の分布図

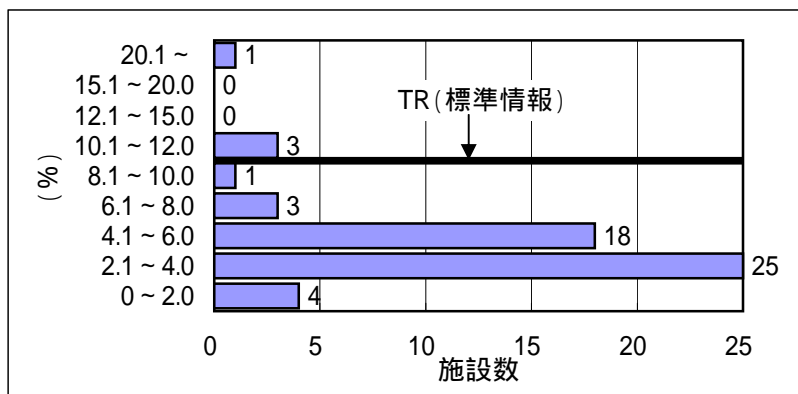


図3-1-2 水分(平均値)の分布図

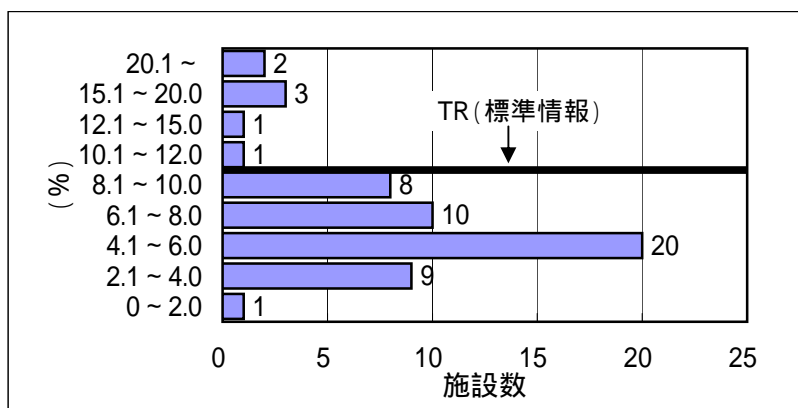


図3-1-3 水分(最大値)の分布図

## ( 2 ) 粉化度

最大値	平均値	最小値	施設数
29.80%	2.64%	0.10%	19

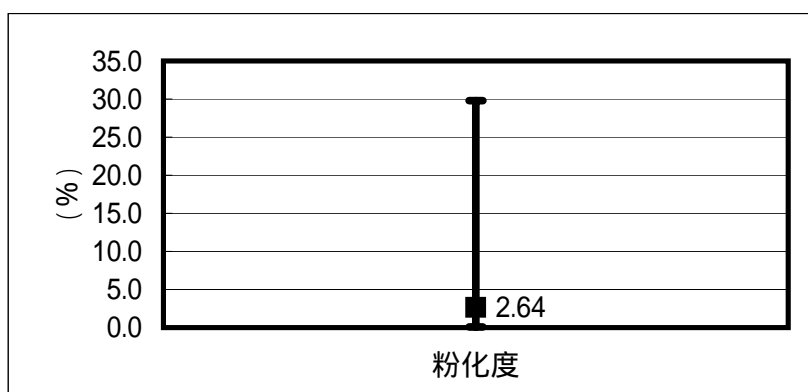


図3-2-1 粉化度の分布図

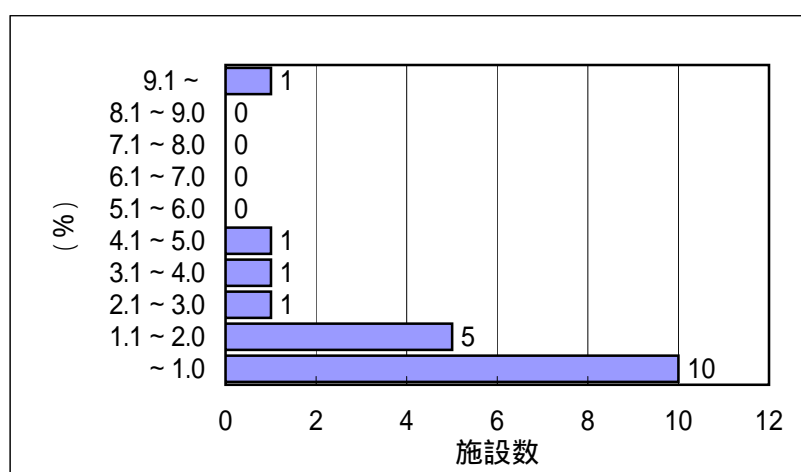


図3-2-2 粉化度(平均値)の分布図

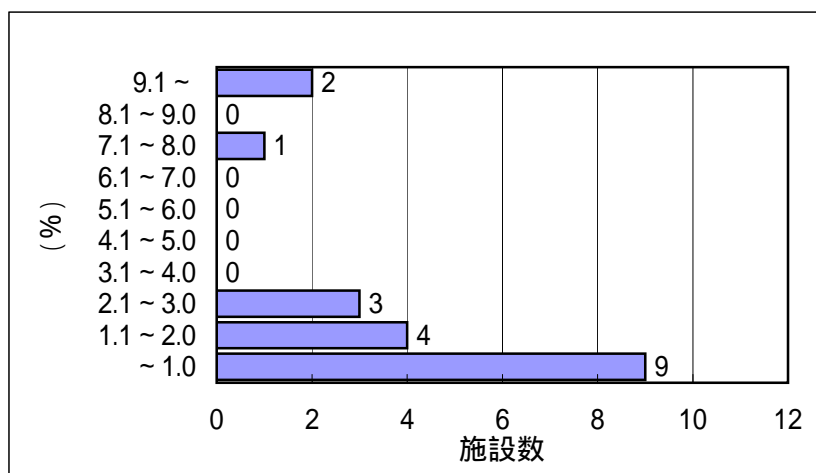


図3-2-3 粉化度(最大値)の分布図



### (3) 鉄分・アルミ分

	最大値	平均値	最小値	施設数
鉄分	0.7	0.29	0	8
アルミ分	2.7	1.4	0.03	12

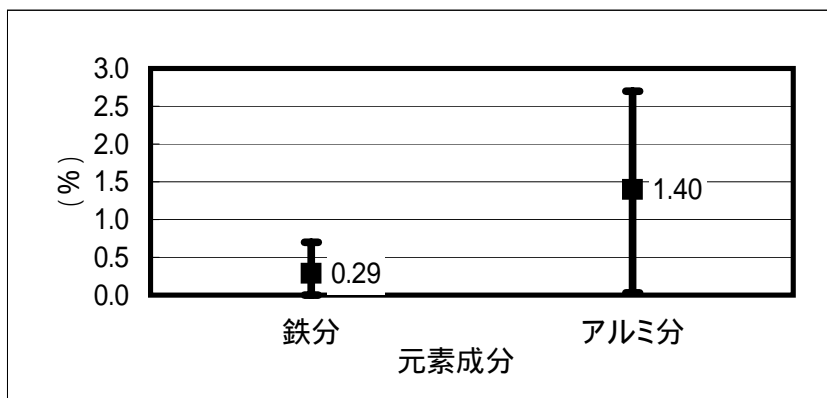


図3-3-1 鉄分・アルミ分の分布図

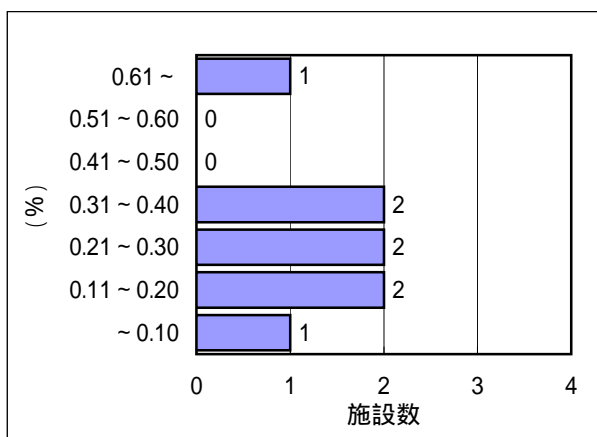


図3-3-2 鉄分(平均値)の分布図

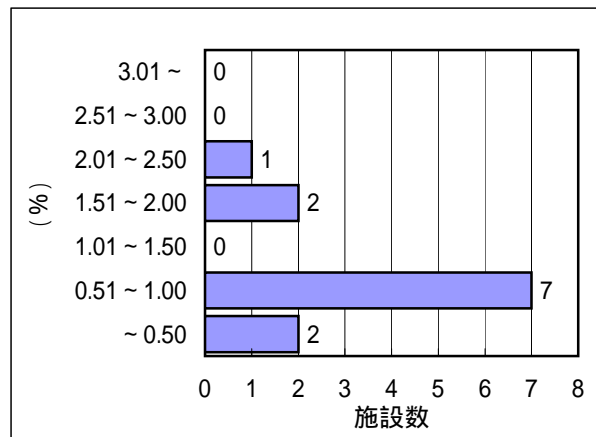


図3-3-4 アルミ分(平均値)の分布図

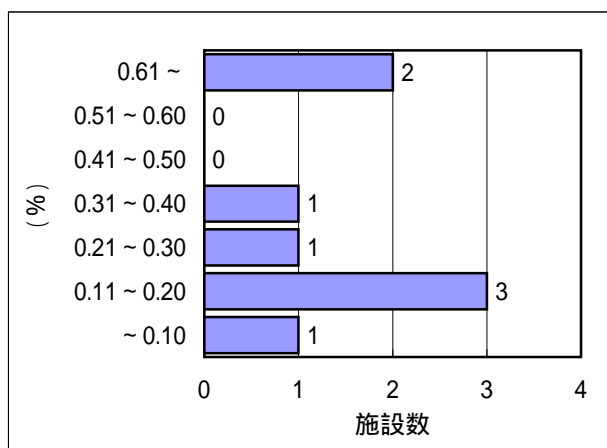


図3-3-3 鉄分(最大値)の分布図

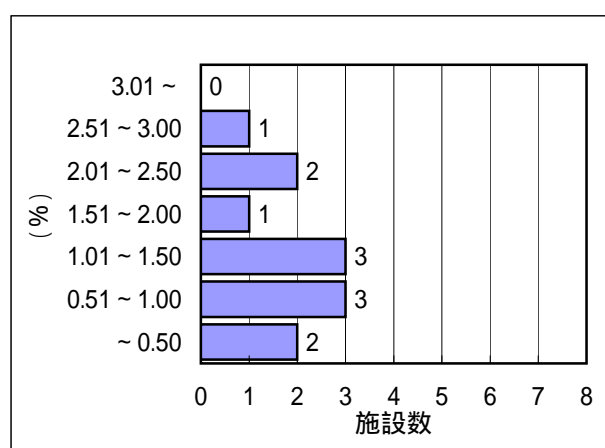


図3-3-5 アルミ分(最大値)の分布図

## ごみ固形燃料化施設の概要（一般廃棄物関係施設）

### （1）施設の概要

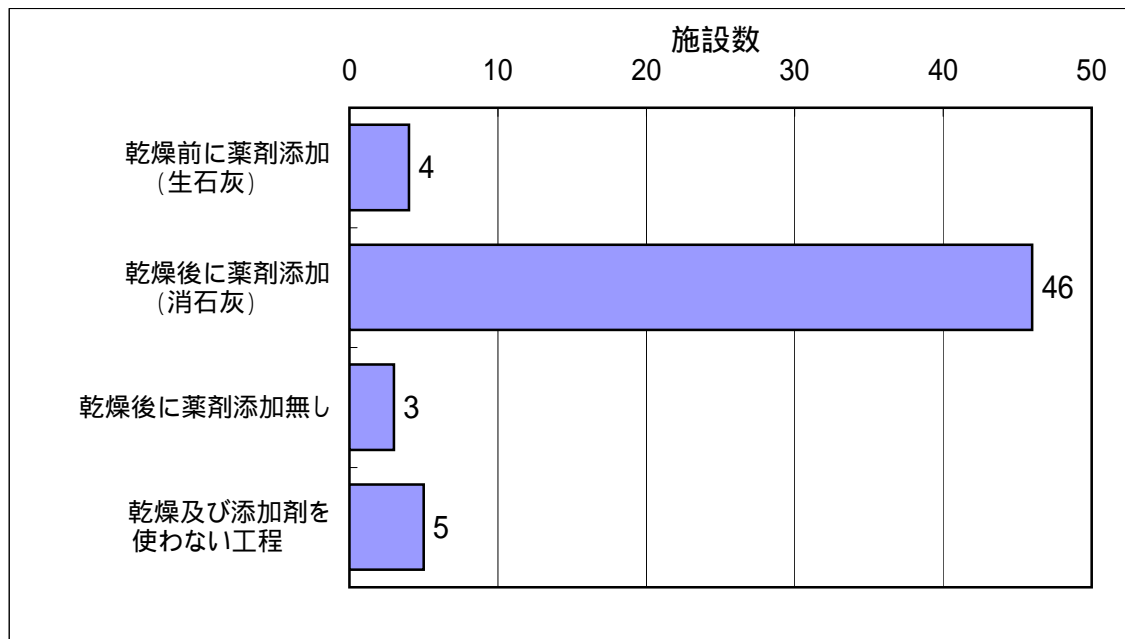


図4-1 ごみ固形燃料化施設の製造フロー

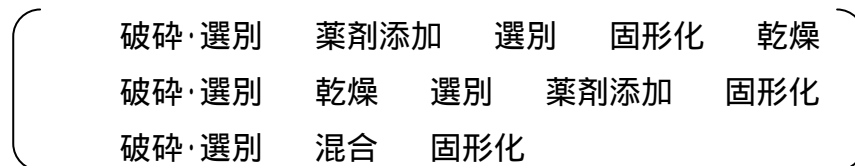


表4-1 保管設備の保管方式

保管方式	施設数
サイロ方式	31
ばら積み方式	9
バンカー方式	1
フレコンバッグ方式	14
クローズコンテナ方式	1
ホッパ方式	2
合計	58

## ( 2 ) 事故・異常の発生状況

(調査対象施設 58 回答施設数 26 回答数 32件 (複数回答有))

表4-2-1 事故・異常の発生場所

発生場所	件数
原料廃棄物保管場所	1
前処理工程	1
乾燥機	8
成形機	5
冷却機	8
比重差選別機	1
主反応器	1
ダクト・バグフィルター	5
保管ヤード	2
合計	32

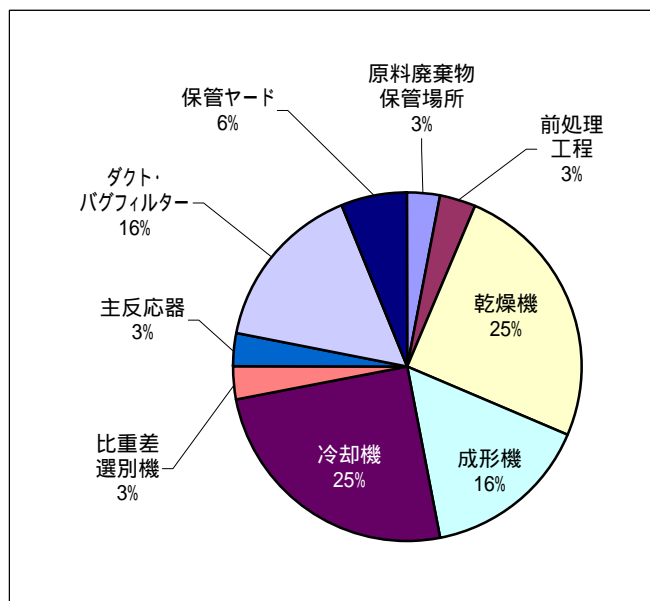


図4-2-1 ごみ固形燃料化施設の事故発生場所

表4-2-2 事故・異常の発生原因

発生原因	件数
問題RDF、炭化物の搬入	8
金属による火花	4
過加熱	5
ちりの発熱	4
成形時の蓄熱	4
処理困難廃棄物の搬入	2
機器の空回り	2
その他	3
合計	32

「その他」は、

- ・ 立ち上げ時の作動不良
- ・ 停電による冷却停止
- ・ 原料廃棄物の出火

である。

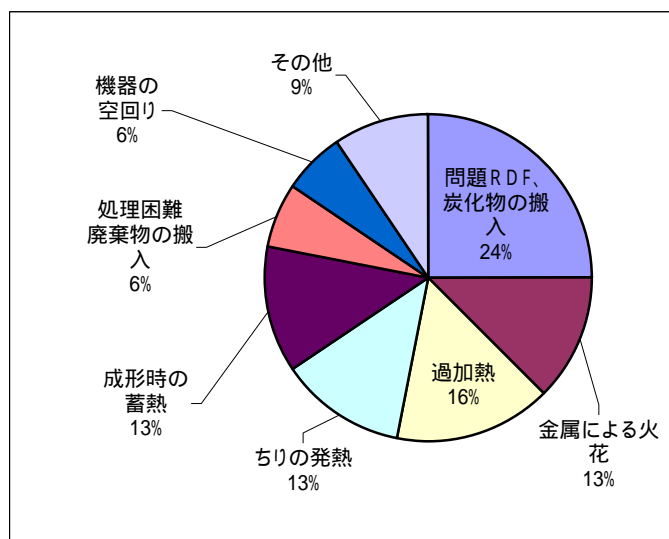


図4-2-2 ごみ固形燃料化施設の事故発生原因

### ( 3 ) 事故・異常の対応措置の内容

(回答施設数 26 回答数 55 (複数回答有))

表4-3 事故・異常の対応方法

対応方法	件数
スプリンクラーの設置・増設	12
施設改善・修理	12
監視体制(夜間警備等)	9
温度センサーの設置	7
清掃の実施	6
CO計の設置	2
炎探知機の設置	2
その他	5
合計	55

「その他」は、

- ・冷却工程の改善
  - ・自動停止機能の付加
- 等である。

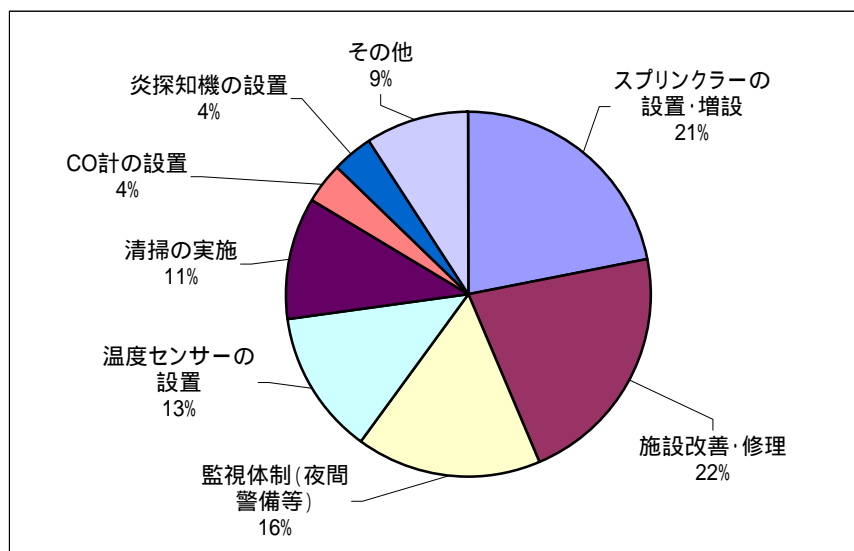


図4-3 事故・異常の対応方法

# ごみ固形燃料発電施設の概要

10

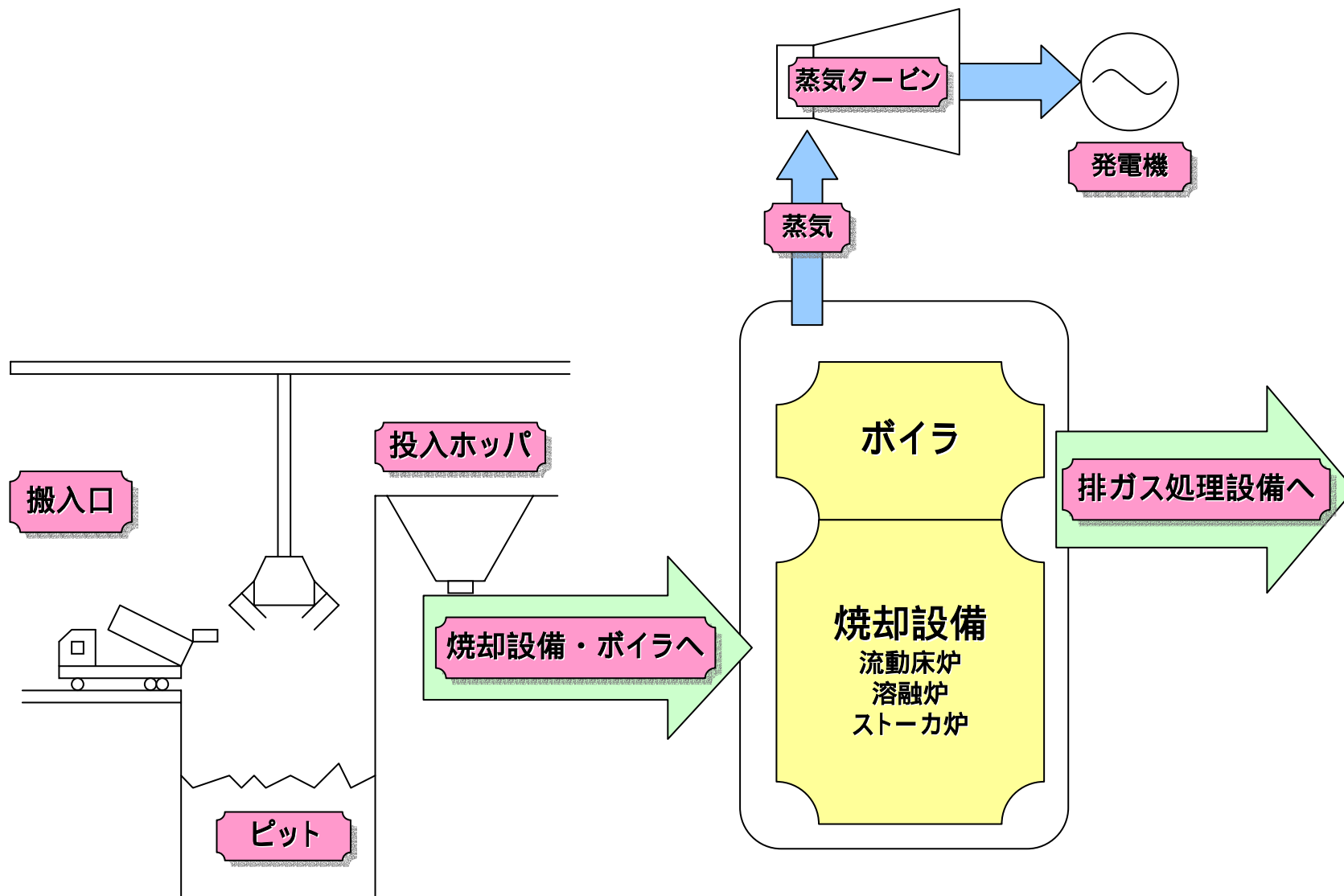


図5-1 ピット式の場合

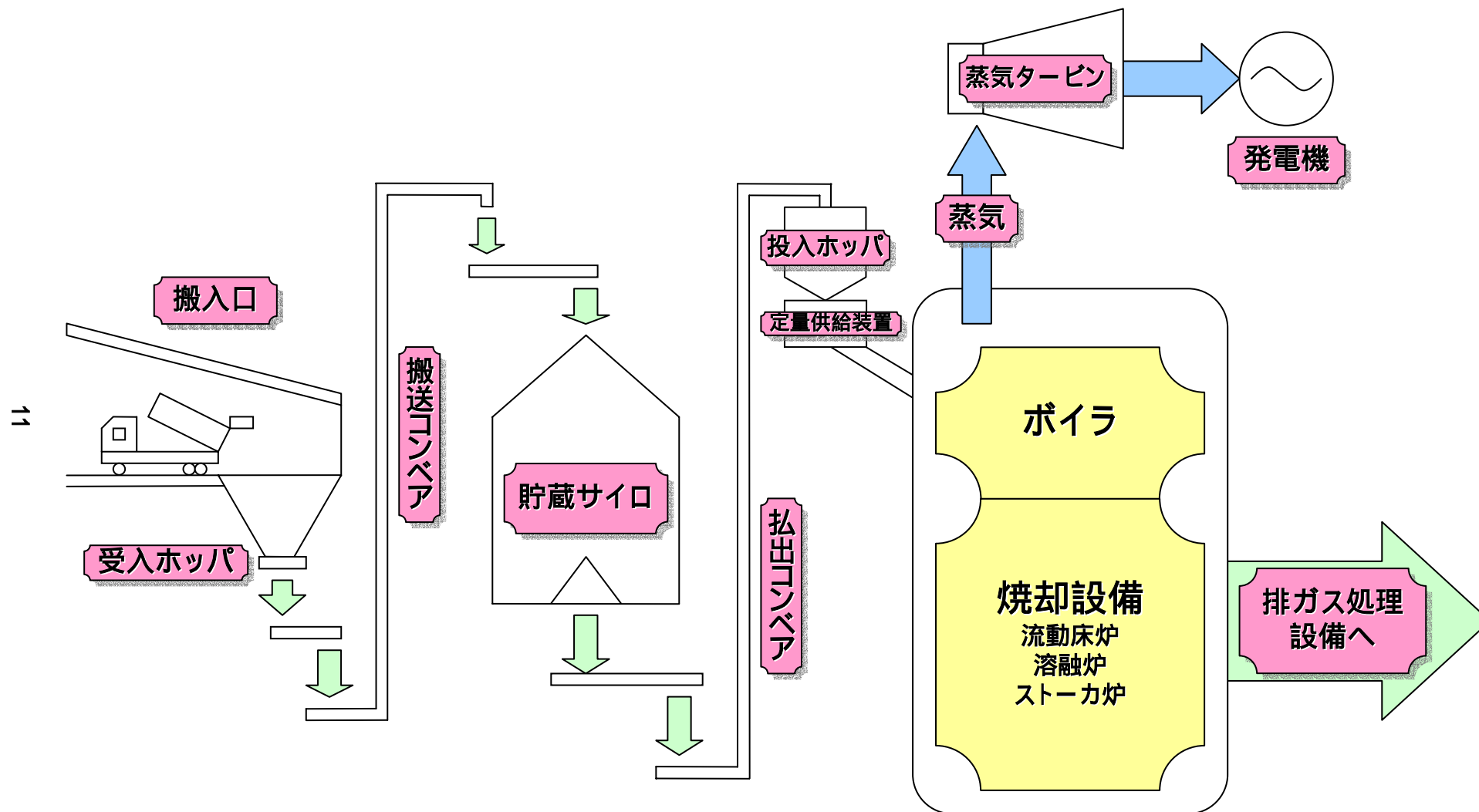


図5-2 サイロ式の場合

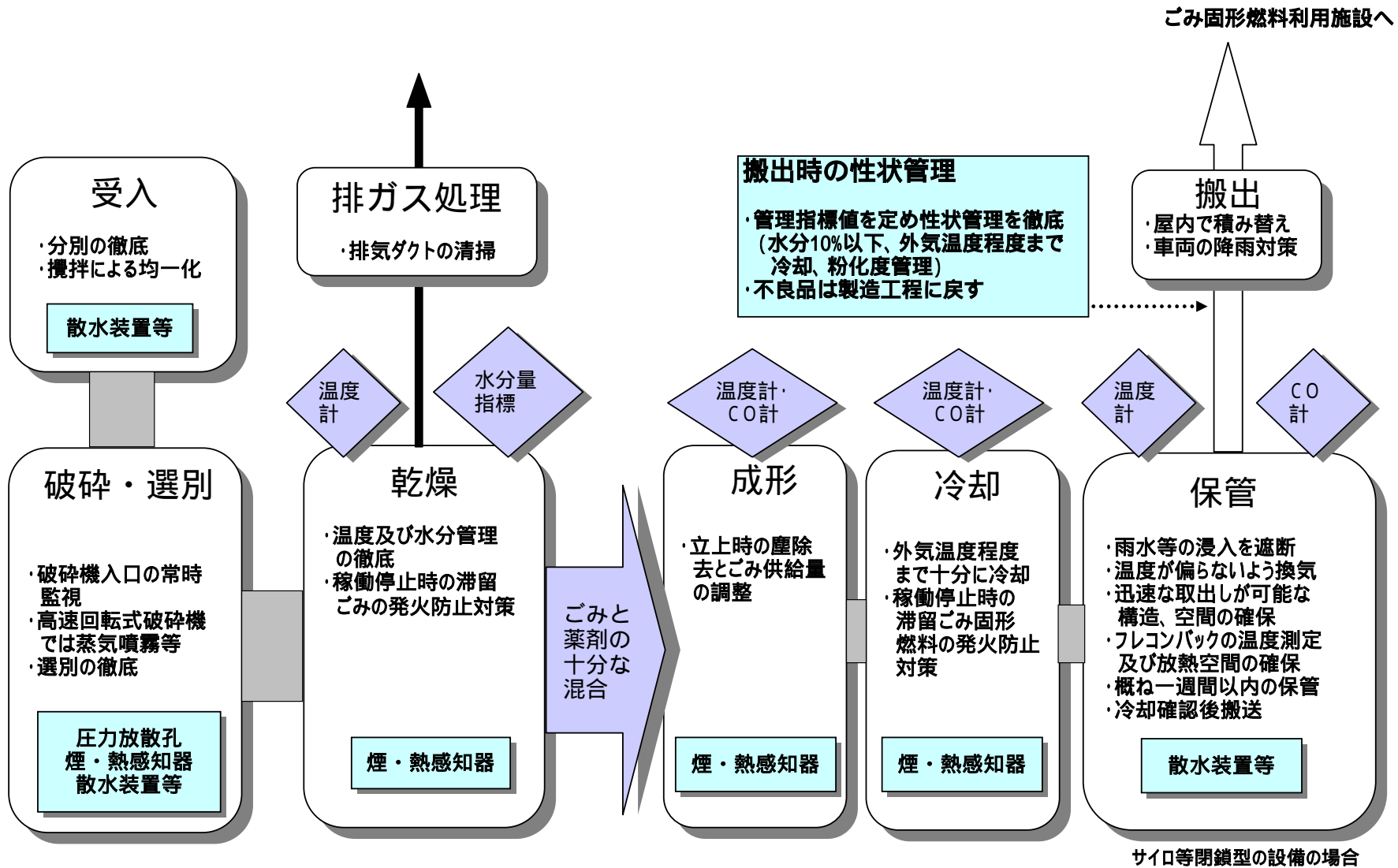


図6-1 ごみ固形燃料化施設における対策のイメージ

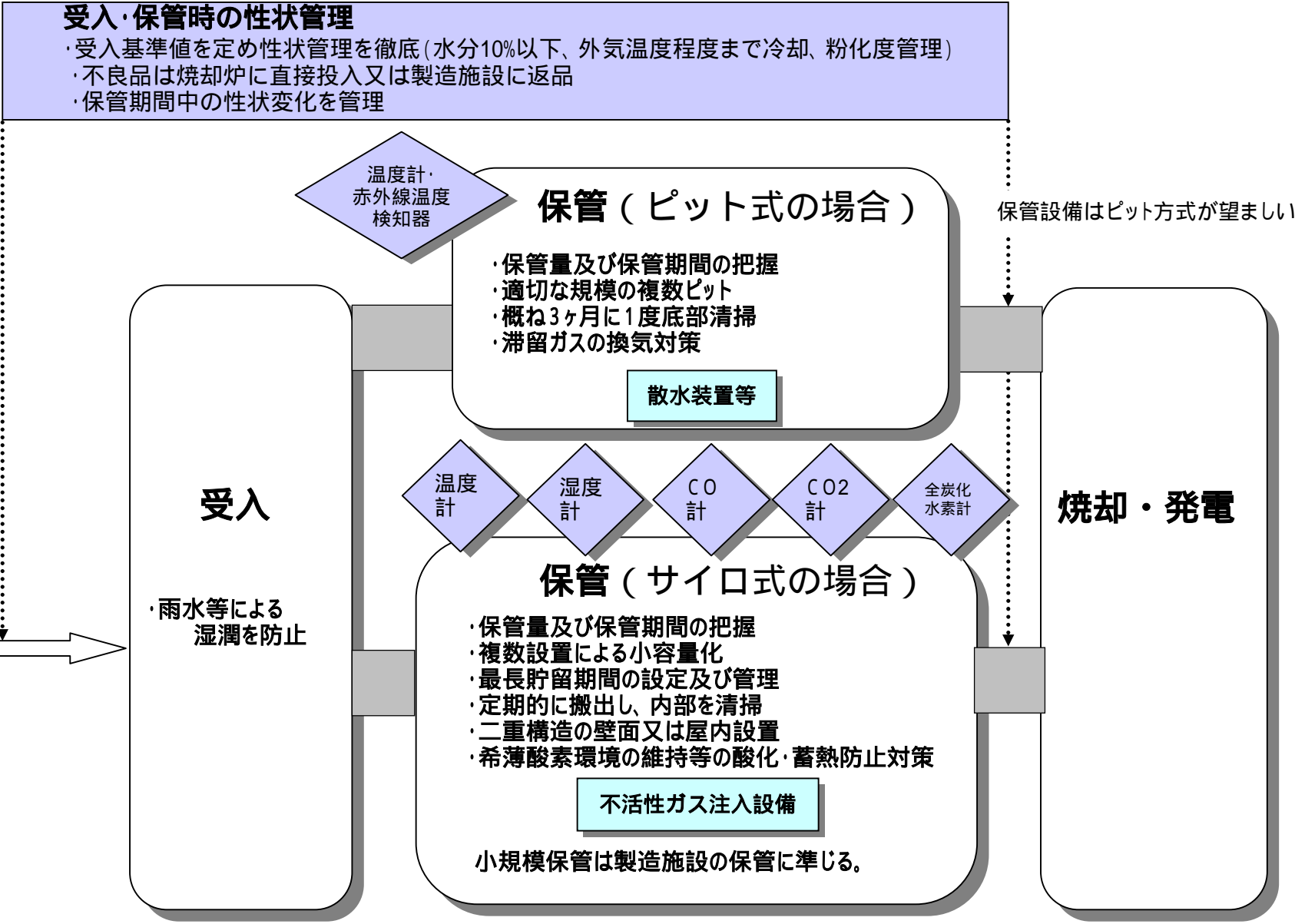


図6-2 ごみ固形燃料利用施設における対策のイメージ



RDF 発熱・発火とその対策に関連する実験的知見  
(環境省 RDF 検討会への報告)

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

本報告は RDF が発熱・発火に至るメカニズムを解明すべく、(独)国立環境研究所で行った実験の結果を中心に、緊急的にまとめたものである。

1. RDF の性状と物性について

実験に使用した RDF の性状と物性を表 1 に示した。

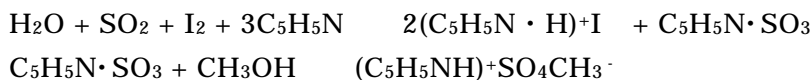
表 1 実験に使用した RDF の性状など

事業所名		富山県:南砺リサイクルセンター	三重県上野市:さくらリサイクルセンター	三重県:香肌奥伊勢資源化広域連合	滋賀県:湖東広域衛生管理組合リバースセンター
製造年月日		H15.9	H15.10.21	H15.10.15 前後	H15.10
ごみ組成分析 (事業者提供)	紙・布類	30.0~64.4%	25.8	33.3~63.6	54.84
	合成樹脂・ゴム類	23.7~55.3%	12.1	13.1~32.5	24.60
	木・竹・わら類	0.6~8.3%	7.2	1.2~9.9	1.61
	厨芥類	4.7~19.4%	50.3	7.6~36.8	7.66
	不燃物類	0~0.6%	3.4	0.6~3.3	6.45
3成分 (事業者提供)	水分(%)	29.4~58.7	57.6	48.2~56.3	53.82
	灰分(%)		4.5	4.9~7.5	7.52
	可燃分(%)		37.9	38.8~46.6	38.66
RDF 性状データ (事業者提供)	水分(%)		5.6	8.40	2.3~2.9
	灰分(%)		9.7	11.32	8.8~10.3
	可燃分(%)				86.8~87.9
	寸法(mm)		16.5 × 44.0	20 × 36	
	かさ密度(g/cm <sup>3</sup> )		0.57	0.44	0.527~0.573
	粉化度(%)		0.51	1.63	
元素分析値 (事業者提供)	炭素(%)			40.17	44.2~46.5
	水素(%)			5.64	5.8~6.5
	窒素(%)		1.45	1.19	0.73~1.6
	酸素(%)				32.2~35.9
	塩素(%)		0.77	0.20	0.64~0.79
	イオウ(%)		0.01 未満	0.10	0.31~0.53

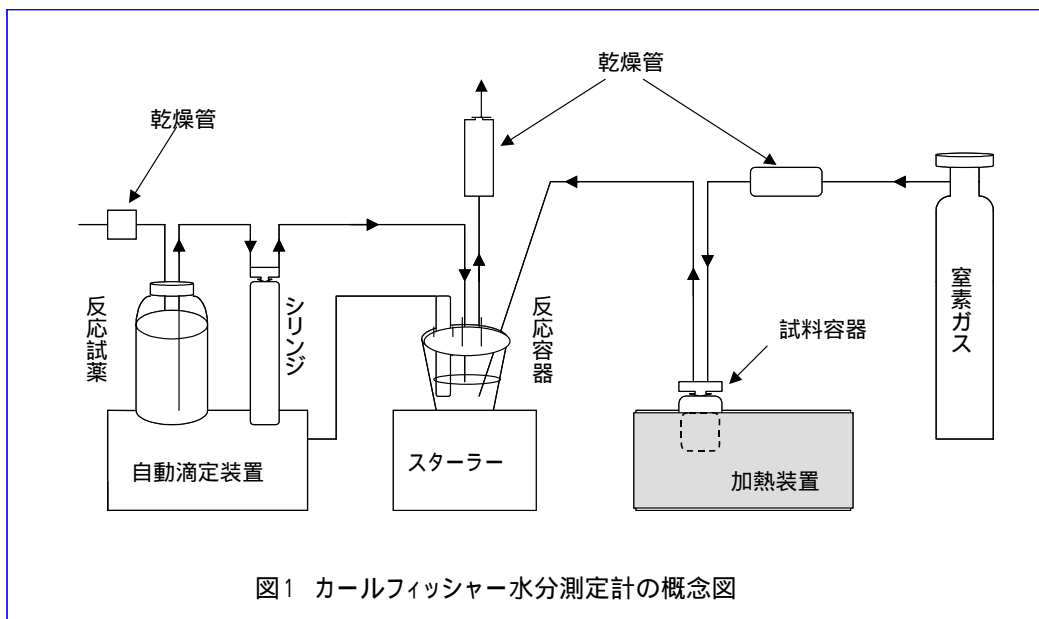
化学分析値 (事業者提供データ)	Ca 含量 (%)		2.4	0.91	
	Cd (mg/kg)		2.5	<3	<0.5
	Pb (mg/kg)		45	8.8	61
	As (mg/kg)		0.5 未満	<0.5	<2
	全水銀 (mg/kg)		0.18	<0.05	<0.1
	Se (mg/kg)		0.1	<0.03	<0.5
	全クロム (mg/kg)		54	14	22
	Al (mg/kg)		6000	2000	
水分： 国環研	水分 (%) JIS 法	3.07	3.80	5.64	3.28
	水分 (%) C-F 法*	3.98	5.23	8.15	4.49
元素分析値： 国環研	炭素 (%)	47.48	49.73	44.77	46.59
	水素 (%)	7.00	7.48	6.26	6.73
	窒素 (%)	1.08	1.11	1.02	1.18
熱分析	発火点 ( )	493.1	475.5	491.6	472.8
溶出試験：無機イオン， 国環研	アモニウムイオン(mg/kg)	72.5	297	509	106
	塩化物イオン(mg/kg)	4500	3190	3900	4770
	硝酸イオン (mg/kg)	171	139	130	296
	硫酸イオン (mg/kg)	850	1020	903	976
ICP 分析結果： 国環研	Al (mg/kg)	8400	6400	14100	7400
	As (mg/kg)	0.6	0.6	0.6	0.5
	B (mg/kg)	9	9	35	14
	Ba (mg/kg)	54	109	153	73
	Ca (mg/kg)	26700	19800	31200	19700
	Cr (mg/kg)	38	70	46	44
	Cu (mg/kg)	37	80	490	38
	Fe (mg/kg)	1290	3960	2200	1700
	K (mg/kg)	6800	7400	5100	6600
	Mg (mg/kg)	1500	1500	1600	1700
	Mn (mg/kg)	60	110	60	150
	Na (mg/kg)	5200	3000	4100	5400
	Pb (mg/kg)	23	52	90	26
	Sb (mg/kg)	150	22	38	15
	Se (mg/kg)	0.2	0.1	0	0.1
	Si (mg/kg)	5900	5400	5800	5900
Sr (mg/kg)	42	36	65	30	
Zn (mg/kg)	190	210	190	270	

\* C-F 法：カールフィッシャー法（詳細は後述）

含水率が生物発酵における重要な因子であるため、カールフィッシャー法による水分測定を行った。カールフィッシャー法は JIS で定めている水分測定法で、原理的には下記の反応で消費されるヨウ素量を測定するものである。



今回使用した装置の概要を図 1 に示した。



### 粉砕試料調製について

各種測定において、使用した粉砕試料は下記の 4 種類のいずれかである。

一次粉砕試料：粗粉砕機を用いて粉砕し、10mm の篩いを通過したもの

二次粉砕試料：一次粉砕試料を常温で、微粉砕機で粉砕し、2mm の篩いを通過したもの。

三次粉砕試料：二次粉砕試料を液体窒素で凍結し、超遠心粉砕機（Retsch 社製 ZM100、ローター回転数 14000rpm）で粉砕し、0.25mm の篩いを通過したもの。液体窒素を使用するため、含水率の測定には使用できない。

微塵切り試料：包丁を使い、料理の微塵切りと同じ要領で裁断したもの。一次粉砕と二次粉砕の中間レベル。

粉砕での問題点：RDF を粉砕する段階で、RDF の水分は空気中の水分と平衡になるようとするため、粉砕度を上げれば上げるほど、真値とのずれが大きくなる。

### カールフィッシャー法と JIS 法の比較

乾燥した二次粉砕試料に約 10% 前後の純水を染みこませ、密栓した状態で 1 時間放置後、カールフィッシャー法で水分を測定した。平均回収率は 94% であった。

また、同一 RDF（富山）の一次粉砕試料と二次粉砕試料をカールフィッシャー法でそれぞれ 5 回

ずつ測定した結果ならびに JIS 法での結果は下記の通りであった。なお、JIS 法とは、JISZ7302-3 に規定された廃棄物固形化燃料中の水分試験方法で、二次粉砕した RDF 試料を温度が  $107 \pm 2$  に調節された乾燥室で 1 時間乾燥し、乾燥前後の重量差を水分として計算する方法である。

カールフィッシャー法： 一次粉砕試料の含水率 3.85%、相対標準偏差 3.17%  
 二次粉砕試料の含水率 4.57%、相対標準偏差 5.47%  
 JIS 法： 一次粉砕試料の含水率 2.92%、相対標準偏差 2.21%  
 二次粉砕試料の含水率 3.07%、相対標準偏差 2.00%

カールフィッシャー法では試料の加熱温度や通気ガスの種類や通気速度、測定時間を自由に設定できるように、富山 RDF の二次粉砕試料を用い、JIS 法と類似した条件で測定し、JIS 法と比較した。JIS 法では  $107$ 、1 時間恒温乾燥して重量差から含水率を計算した。カールフィッシャー法では、 $107$ 、1 時間、窒素ガスを  $50\text{mL}/\text{min}$  で通気して、揮散してくる水分量を測定した。

JIS 法での含水率は  $3.07\%$

カールフィッシャー法での含水率は  $4.25\%$

#### カールフィッシャー法における粉砕度と加熱温度の影響

RDF の粉砕度およびカールフィッシャー法での加熱温度が含水率測定に及ぼす影響を表 2 に示した。

表 2 粉砕度と加熱温度が含水率測定に及ぼす影響

RDF 種類	加熱温度 ( )	測定された含水率 ( % )	
		一次粉砕物	二次粉砕物
富山	130	測定せず	3.95
	150	3.67	3.98
	170	3.85	4.57
三重・香肌	130	5.69	7.65
	150	7.22	8.15
三重・上野	130	4.18	4.46
	150	4.37	5.23
滋賀・湖東	130	3.34	4.28
	150	3.84	4.49
	170	3.77	4.65

窒素ガス流量：  $50\text{ mL}/\text{min}$ 、測定時間：  $20\text{ min}$

温度を高くすると、熱分解の起こる可能性もあることから、特に断らない限り加熱温度を  $150$  とすることにした。

## JIS 法における粉砕度の影響

RDF の粉砕度が含水率測定に及ぼす影響を表 3 に示した。

表 3 粉砕度が JIS 含水率測定に及ぼす影響

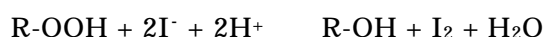
RDF 種類	測定された含水率 (%)	
	一次粉砕物	二次粉砕物
富山	2.92	3.07
三重・香肌	6.59	5.64
三重・上野	3.75	3.80
滋賀・湖東	3.04	3.28

## 含水率測定のまとめ

JIS 法では加熱乾燥による重量差を基本にしているが、正確な水分測定法であるカールフィッシャー法の値から判断する限り、過熱乾燥による重量差法は少し低めの値となる。しかし、RDF 中に含まれるプラスチック類は吸湿性が乏しく、また RDF は不均質であることを考えれば、正確な水分含量の測定は本質的に難しく、簡便な現在の JIS 法で日常的に測定することの意義はあると考える。ただ、JIS 法による水分測定は真値よりも低めにであることを意識しておくことは大切である。

## 過酸化作物価の測定

台所ごみに含まれる油分が過酸化物を生成しやすい可能性があるとの判断で、食品衛生試験法で定めている試験法に準拠した方法で分析した。過酸化作物価とは試料中の過酸化物の量を表す値であり、規定の方法により測定したとき、試料 1 kg によってヨウ化カリウムから遊離されるヨウ素のミリ当量数で表される。化学反応式と具体的な分析手順は下記の通り。



二次粉砕した RDF (滋賀県・湖東) 約 30 g を共栓付き三角フラスコ (300 mL) にとり、検体が浸る量の精製エーテルを加え、ときどき振り混ぜながら約 1 時間室温暗所に放置した。つぎに固形物が流出しないようにろ紙でろ過し、フラスコ中の検体に精製エーテルを前の約半量加えて振り混ぜた後、同じろ紙を用いてろ過した。両ろ液を合わせ、無水硫酸ナトリウムで脱水した後、ロータリーエバポレーターでエーテルを完全に除き、残留物を試料とした。この試料に、酢酸・クロロホルム (3:2) 25 mL を加え、微かに加温した後、沈殿物と一緒に共栓付き三角フラスコに速やかに移した。フラスコ内の空気を窒素ガスで置換した後、用時調製した飽和ヨウ化カリウム溶液 1mL を加え、ただちに栓をしてゆるく振り混ぜたのち、暗所に 10 分間放置し、水 30mL を加えて激しく振り混ぜた後、でんぷん溶液 1mL を指示薬として 0.01N チオ硫酸ナトリウム溶液で滴定した。補正のために空試験を行った。計算は下記の式に従った。

$$\text{過酸化作物価 (meq/kg)} = \left[ \frac{(a-b)F}{\text{試料採取量 (g)}} \right] \times 10$$

ここで a は 0.01N チオ硫酸ナトリウム溶液の滴定数 (mL), b は空試験における 0.01N チオ硫酸ナトリウム溶液の滴定数 (mL), F は 0.01N チオ硫酸ナトリウム溶液のファクター。なお、食品

衛生試験法では脂肪分 1 g 当たりの値として表示しているが、この実験では RDF の量を分母にした場合と抽出物量を分母にした場合の値を求めたところ、それぞれの過酸化価は 0.0289 meq/kg-RDF (平均)、0.559 meq/kg-fat (平均)であった。可溶性過酸化価は小さいが、不溶性過酸化物の量を測定中であり、その結果も勘案して最終的な判断を下す必要がある。

## 熱分析結果

二次粉砕物を使い、窒素気流中と空気気流中での熱分析(熱重量変化(TG)、示差熱分析(DTA))を行った。温度条件は 24.5 から 900 まで 20 /分で昇温した。急速加熱における発火点の測定結果は表 1 に示した。図 2、3 に測定チャートの一例を示した。

窒素気流中では 300 近くから、空気気流中では 200 過ぎから熱分解あるいは酸化が始まり、急激な質量減少が観察されている。このことは発熱によって多量のガスが発生することを意味しており、RDF の事故で報告されている状況と一致している。

空気気流中ではかなりの発熱を伴う酸化が進行しているが、窒素気流中でも弱い発熱を伴う熱分解が起こっている。このことは発熱に多くの空気を必要としないことを意味している。また、発熱でいったん高温になってしまうと、空気を遮断しても熱分解が進行して、発熱が続くと思われる。

また、発熱によって炭化した RDF を熱分析した結果、発火点が約 100 近く下がっていることも判明した。つまり、発熱によって炭化した RDF は通常よりも自然発火しやすい状況になっているのである。

## 2. RDF の生物発酵と含水率・空気中吸湿との関係

### 2.1 RDF の含水率と生物発酵の関係

RDF などの腐敗しやすい有機物を含む試料はある程度以上の水分を含むと生物発酵が起こることが知られている。RDF の場合、どの水分含量あたりから生物発酵が起こり、どの程度の発熱になるのか、といった点を明確にするため、モデル実験を行った。

三重県上野の RDF を試料に選び、加湿器で時間をかけて RDF に万遍なく湿気を与え、図 4 に示す装置に充填した。好氣的条件で発熱が起こるので、図に示したような方法で通気をした。つまり、通気による熱の発散を極力防ぐために、通気ラインを確保しておき、RDF の方には空気がゆっくりと拡散する工夫をし、最終的にラインへの通気速度は 15mL/min とした。今回は温度上昇の測定を主にしたため、発生したガスの分析は行っていない。

使用した吸湿 RDF の水分含量は微塵切り裁断試料で測定した。結果は以下の通り。

コントロール試料	水分含量 5.23%
5%吸水試料(試料A)	水分含量 5.53%
10%吸水試料(試料B)	水分含量 9.74%
15%吸水試料(試料C)	水分含量 15.29%

なお、微塵切り試料(滋賀県 RDF)の含水率をカールフィッシャー法で測定した場合の精度は、5 回測定での平均値は 4.53% (二次粉砕試料での測定値は 4.49%)、相対標準偏差は 18.6%。

生物発酵による温度変化(実験途中までのデータ)を図 5 に示した。

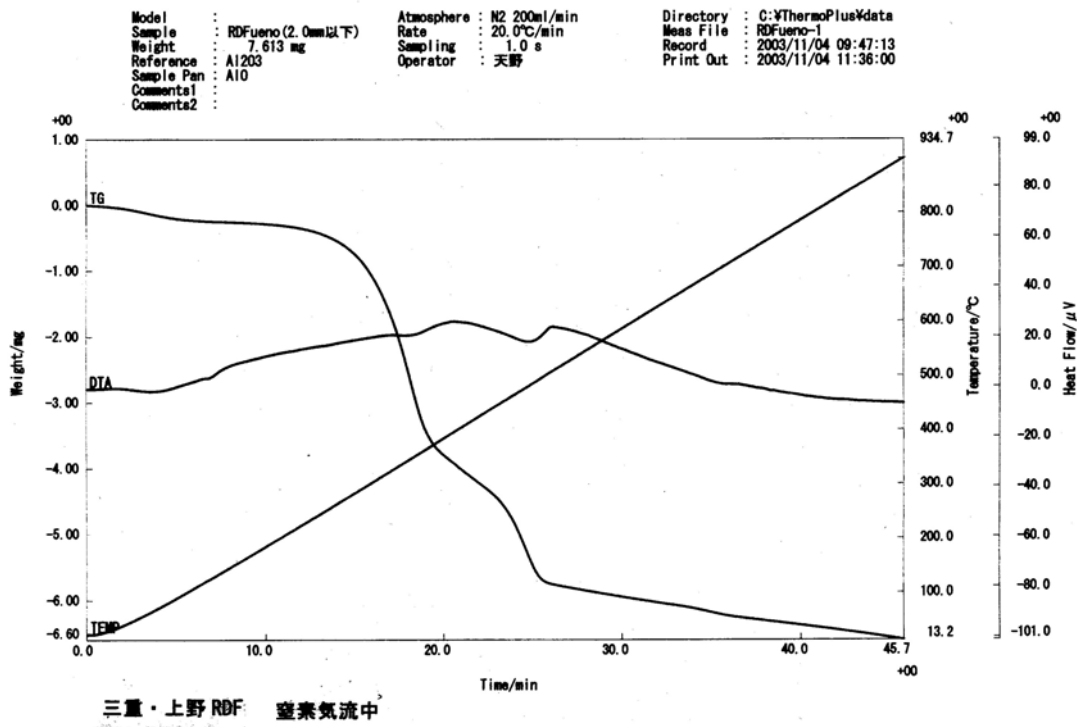


図2 熱分析 (三重上野 RDF, 窒素中)

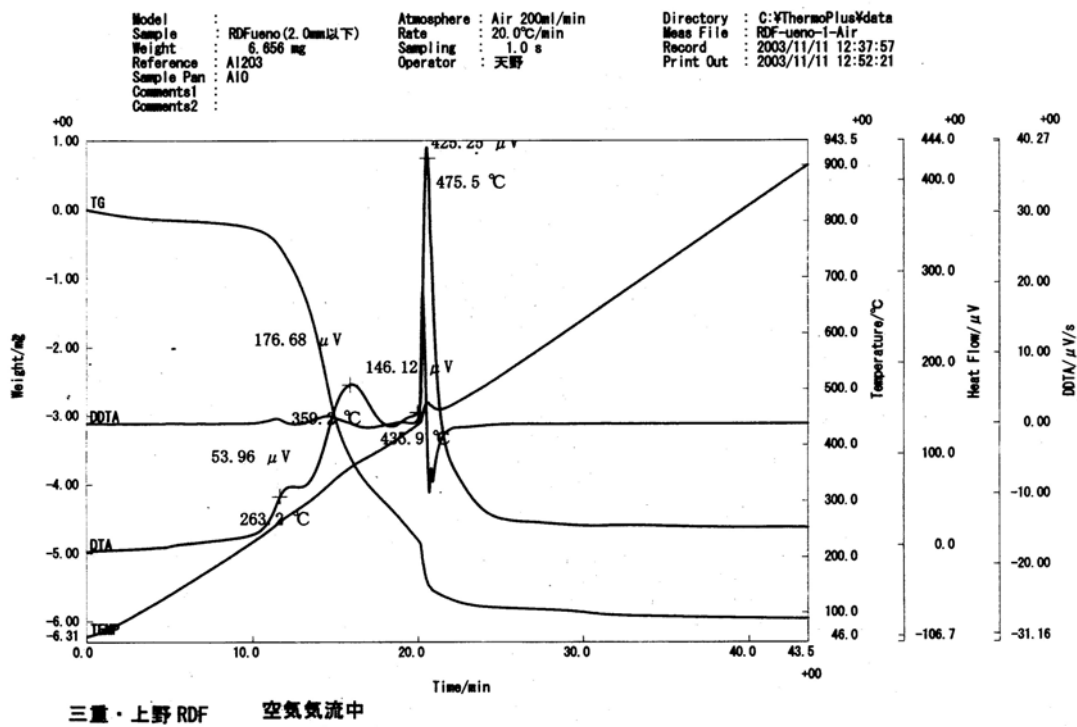


図3 熱分析 (三重上野 RDF, 空気中)

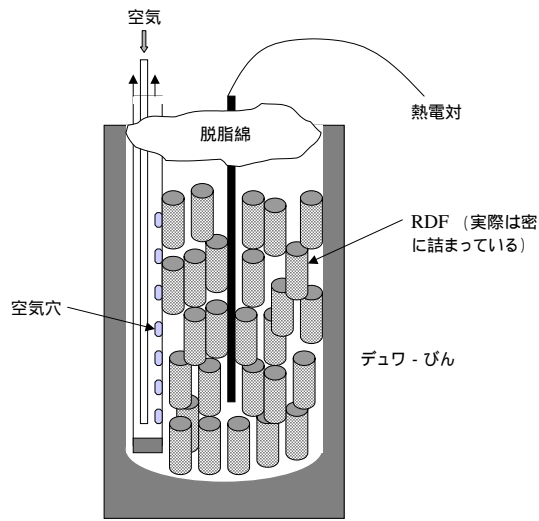


図4 生物発酵を調べた装置の概念図

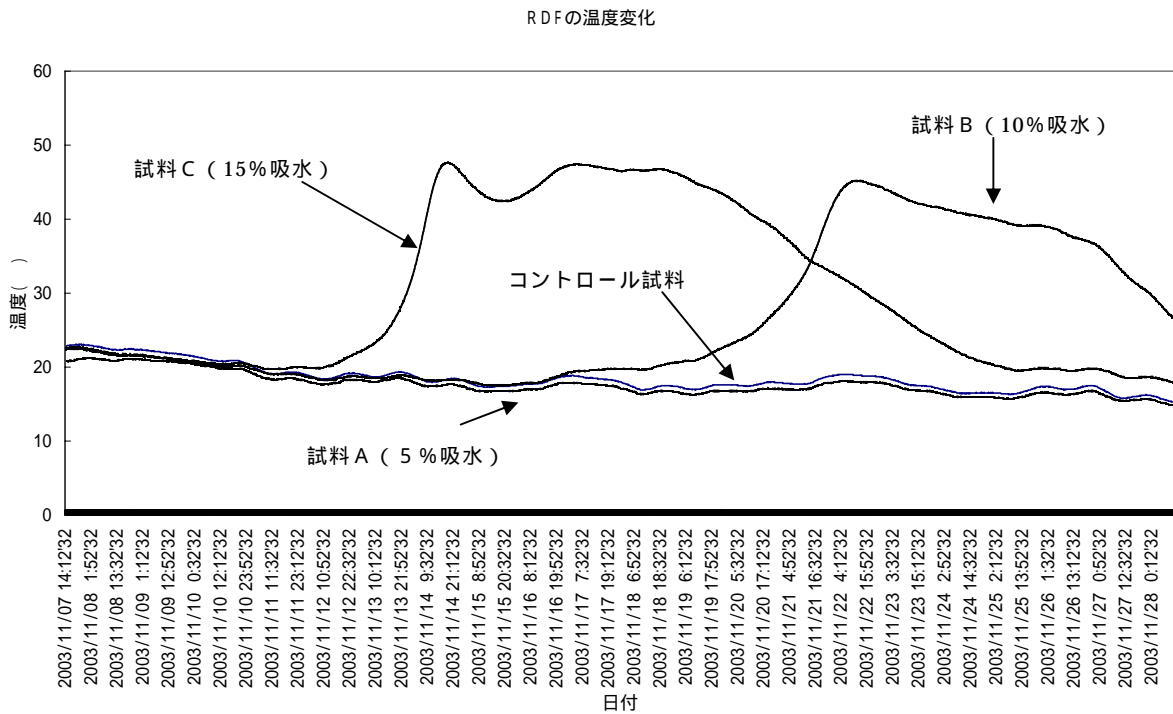


図5 吸水 RDF 試料の生物発酵によると思われる発熱現象



今回の結果から判断する限り、水分含量 10%レベルでも 11 日目辺りから生物発酵に起因すると思われる温度上昇が起こっており、水分含量 15%レベルでは温度上昇開始は 5 日目辺りとなっている。発熱による温度上昇は最大でも 40 台であった。なお、現在実施中の実験では、10%台の含水率を有し、微生物が繁殖しているにも関わらず、ほとんど発熱しない場合も観察されている。

## 2.2 RDF による空気中の水分の吸湿

RDF が空気中の水分をどの程度吸収するか、を以下の方法で調べた。恒温恒湿のボックスに富山 RDF を一層に並べたトレイを入れ、RDF の重量変化とカールフィッシャー法による含水率を毎日（土日曜日は除く）測定した。カールフィッシャー法での水分測定には微塵切り試料を用いた。温度は 40 に固定し、湿度はつくば市の 6 月の湿度に合わせて毎日（土日曜日は除く）変化させた。土日曜日は金曜日の湿度のままにした。2003 年 11 月 7 日（金）から実験をスタートさせた。10 日目に RDF の一部にカビが生え始めたので、10 日目以降はカビの生えた RDF とカビが生えていない RDF をそれぞれ分析した。実験結果を表 4 に示した。

表 4 恒温恒湿下での RDF の吸湿実験

年月日	曜日	湿度(%)	備考	C-F 法による含水率(%)	RDF 全重量(g)	初日との重量の増加率(%)
2003.11.7	金	86	二次粉碎	3.98	444.1	0
2003.11.10	月	83	カビ無	10.98	482.9	5.59
2003.11.11	火	76	カビ無	7.80	477.9	4.87
2003.11.12	水	77	カビ無	7.42	468.4	3.49
2003.11.13	木	92	カビ無	7.56	467.9	3.43
2003.11.14	金	89	カビ無	16.92	497.5	7.69
2003.11.17	月	89	カビ有	11.29	493.6	7.12
			カビ無	10.35		
2003.11.18	火	91	カビ有	10.82	492.7	6.99
			カビ無	9.53		
2003.11.19	水	88	カビ有	16.11	496.0	7.47
			カビ無	12.43		
2003.11.20	木	82	カビ有	15.51	489.2	6.50
			カビ無	6.98		
2003.11.21	金	74	カビ有	6.03	473.4	4.23
			カビ無	7.55		
2003.11.25	火	84	カビ有	9.79	460.5	2.36
			カビ無	6.31		
2003.11.26	水	92	カビ有	7.43	470.57	3.81
			カビ無	7.46		
2003.11.27 実験終了	木		一次粉碎	14.64	486.9	6.16
			二次粉碎	11.27		

RDF の品質のばらつきも考慮すると、RDF 中の水分は空気中の水蒸気との間で平衡状態にあると考えられ、湿度の高い日には吸湿し、乾燥した日には RDF 中の水分も抜けていく結果が得られた。カビが生えた状態での含水率が必ずしも高くはない。生物発酵が開始する水分含量は RDF の場合、意外と低いのかもしれない。ただ、RDF 中にはプラスチックが含まれており、プラスチックが吸湿しにくいとすると、全体としての含水率は低くても、部分的な含水率は高くなっており、生物発酵しやすい状況が発生している可能性も考慮されねばならない。

今回行った恒温恒湿での吸湿実験は、実際の現場で起こっている状況とは異なっている可能性は否定できない。実際の RDF 貯蔵施設で空中湿度が 90% 近い状況が起こっているのかどうか、調べた上でないと、今回のデータを軽々に利用することは慎重でなければならない。

### 3 . RDF 発熱にかかる物理化学的反応

#### 3 . 1 消石灰と二酸化炭素の反応による発熱

##### 3.1.1. 実験方法

RDF に消石灰(水酸化カルシウム)を約 5% 添加したものに二酸化炭素を一定濃度含む空気を通気して温度上昇を調べた。実験装置の概要を図 6 に示した。表 5 に示した 2 種類の実験を行った。

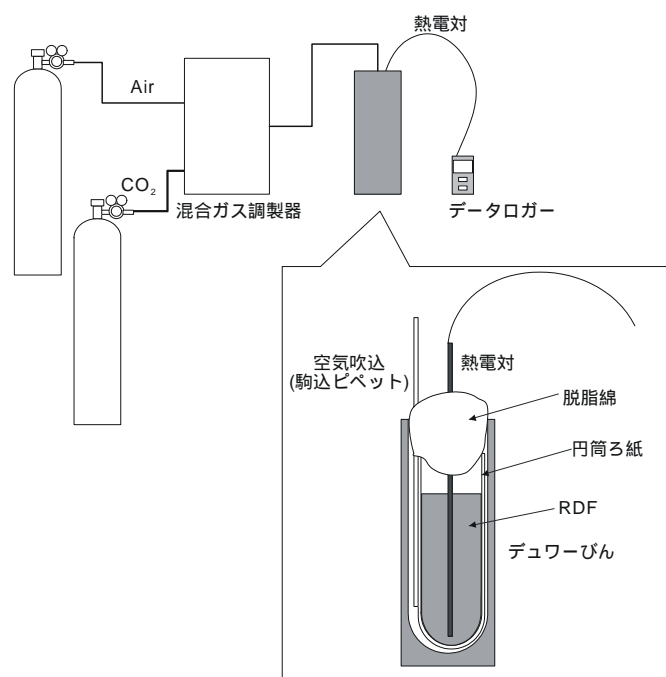


図 6 水酸化カルシウム混入 RDF と二酸化炭素との反応装置図

それぞれの RDF 試料を充填した円筒ろ紙を 1 L デュワーびんに入れ、熱電対を円筒ろ紙の底まで差し込んだ。消石灰混入 RDF 試料の方には、デュワーびんと円筒ろ紙の間に混合ガス調製装置に繋いだ駒込ピペットを差し入れ、所定濃度の二酸化炭素/空気を通気した。デュワーびんの上部は脱脂綿で栓をした。温度はデータロガーで 30 秒毎に計測した。

表5 消石灰の炭酸化反応に関する実験条件

	実験 1	実験 2
消石灰を混合した RDF	三重・上野の RDF で一次粉砕したもの (54.7 g) と消石灰 (3.1 g) をよく混合したもの, 54.3 g	三重・上野の RDF で一次粉砕したもの (54.1 g) と 10%相当の水を含ませた消石灰 (3.1 g) をよく混合したもの, 50.2 g
対照実験に使用した RDF	三重・上野の RDF で一次粉砕したもの (55.4 g)	三重・上野の RDF で一次粉砕したもの (50.1 g)
二酸化炭素濃度と通気速度	20%, 30mL/min	50%, 10mL/min

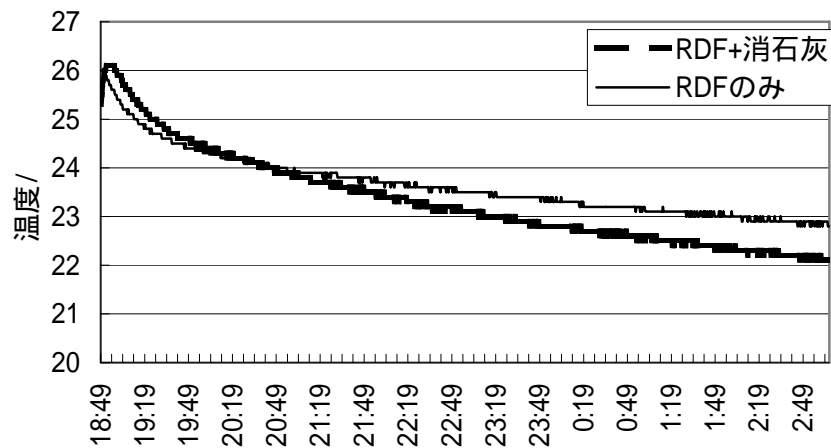


図7 実験1での各試料の温度変化

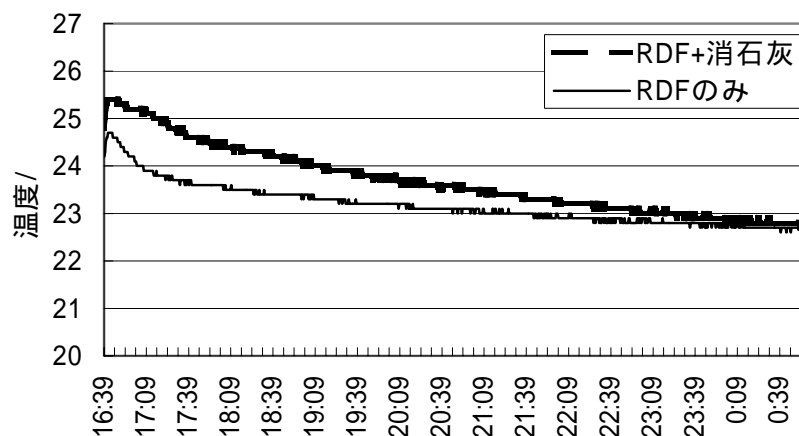


図8 実験2での各試料の温度変化

### 3.1.2. 結果

温度計測結果を図7, 8に示した。実験1, 2ともに消石灰混入 RDF において温度上昇が見られた。実験1では最大0.6、実験2では最大1.3の温度差が確認された。ただ、実験1では導入した二酸化炭素/空気の流量が多かったために熱が奪われ、実験開始後2時間以降で対照と温度が逆転した。

今回の結果より、水酸化カルシウムと二酸化炭素との反応で RDF の温度が上昇することは分かったが、今回の実験条件では温度上昇幅は小さく、この反応が発火に結びつくとは考え難い。荏原製作所の行った実験(三重県事故調査専門委員会資料)のように、RDF の量が多く、二酸化炭素濃度が高く、ガス交換によって熱が奪われることのない状況では今回以上に温度が上昇する可能性はある。

## 3.2 アルミニウムと消石灰、水の反応

### 3.2.1 実験目的と実験方法

#### (1) 実験目的

RDF の製造工程で除去される傾向の強い金属アルミニウムが残存した場合に、RDF に含まれている消石灰および水分と反応して発熱するとともに水素ガスが発生する可能性が考えられる。そこで、本実験では消石灰混入 RDF 中に金属アルミニウムが1%程度存在していると仮定した時の、化学反応による発熱ならびに発生する水素ガス量を測定し、金属アルミニウムが RDF の発熱・発火・爆発にはたす役割の重要性を評価する。

#### (2) 実験方法

含水率80%(固形物重量1g/蒸留水4g)を作成し、よく攪拌したのち30min 放置後に pH を測定する。また、溶解した有機物量を測定する。また、予備実験-2の pH も同様に測定する。

消石灰を再添加する前と再添加した後の RDF の pH を調べるために、破碎した RDF 1g に蒸留水4gを加えてよく攪拌した後、30分間放置して、pH を測定した。結果を表6に示した。

表6 RDF 及び消石灰を再添加した RDF の pH

消石灰の再添加率	0%	2%	5%
三重・香肌奥	測定せず	12.1	12.4
三重・上野市他	8.2	12.4	12.6
滋賀・湖東広域	6.6	12.4	12.6
富山県・西砺波町	10.3	12.4	12.6

滋賀・湖東広域の RDF には消石灰は添加されていない。

実験に使用した破碎 RDF は RDF を専用のミルで破碎して調製した。金属アルミニウムとして、10mm 角のアルミホイルを用いた。

図9に実験装置の概要を示した。

破碎にした RDF (100g, 消石灰添加割合は既知) に一定量(含水比25%)の蒸留水(25g)、2%相当の消石灰(2g)、3%相当のアルミホイル(3g)を添加し、三口ねじ口ビンに充填し、ビン

図のように断熱箱にいれ、温度とガス量をモニタリングした。ブランク実験として RDF のみで実験した。温度は 1 分間隔でデータロガーで連続測定した。ガスについては 30 分ごとに水素濃度と発生量を測定した。

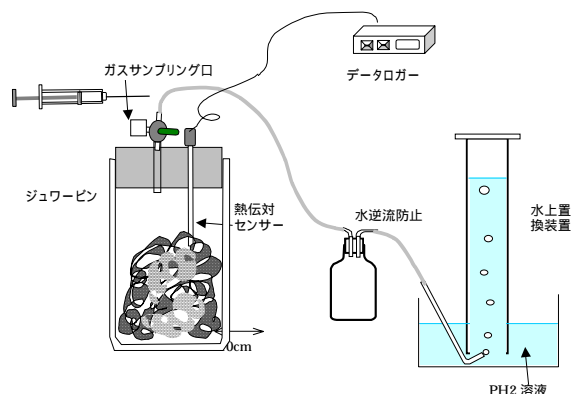


図9 実験装置の概要

### 3.2.2 実験結果と考察

#### (1) 破碎 RDF の温度変化

実験結果を図 10 に示した。温度上昇は約 1 (実験開始 6 時間経過後) であった。

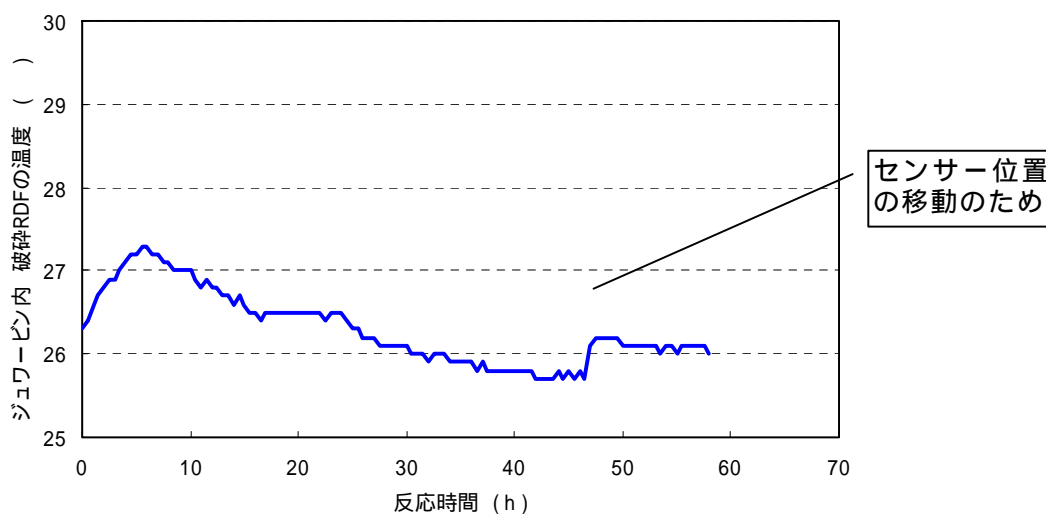
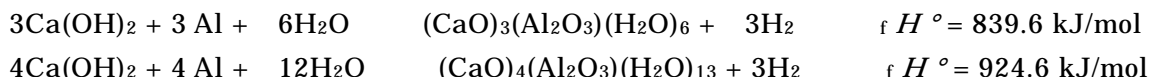


図 10 ジュワービン内破碎 RDF の温度変化

#### (2) 発生ガスおよび水素濃度

発生ガス量は 3 時間後で 130 mL、24 時間後でも 130 mL であった。また、24 時間後のガス組成は水素が 250 ppm、二酸化炭素が 150 ppm、酸素が 23%、窒素が 77% で、それ以降での組成変化はなかった。

新たに 20%の水を添加した状態で、さらに消石灰 2 g、アルミホイル 3 g を添加して、金属アルミニウムと水酸化カルシウムの反応を調べた。しかしながら、以下の反応式から計算される水素および発熱はほとんど生じないことが分かった。これらの結果より、RDF 中においてはアルミニウムと水酸化カルシウムの反応はほとんど生じないものと推察される。



理論どおりの反応が生じなかった理由としては、

反応物質の接触が悪い、

反応に関与する水分が供給されない、

等の理由が考えられる。いくら反応物質が存在していても互いに接触できなければ、反応は起こらない。溶液反応であれば接触は十分起こるが、今回の反応条件は固相反応系なので、反応速度は非常に小さいと予想される。

### 3.3 高温蓄熱性 RDF の発生と発熱の検証および対策

#### 3.3.1 高温蓄熱性 RDF の発生について

第 2 回検討会でヒアリングを行った滋賀県湖東広域衛生管理組合リバースセンターでは、定常運転時には成型後に冷却ホッパに貯留され、ホッパから切り出された RDF は空気により冷却され、通常は 26 程度で搬出される。この程度の温度では特に冷却を必要としない。しかし、操業開始時には 75~95 程度の高温 RDF が生成する。また操業終了時には成型機内へ供給されるごみ量が少なくなるので、ローラーとダイスが摩擦により高温になりやすい。このため、操業開始時と操業終了時の RDF についてはフレコンに直接充填し、一昼夜、強制冷却して 26 以下にした上で出荷している。

平成 15 年 8 月 28 日の操業開始時に搬出された高温 RDF (温度 105 ) をフレコンに充填した後、強制冷却しないで自然放冷をしたところ、最初は 10 程度の温度低下を示したが、15 時間後に温度が上昇に転じた。この時の温度変化を図 11 に示した。

発火の危険が強くなったため、実験は 33 時間で中断して、冷却した。この時の RDF の含水率は 1.7% であった。自己発熱と蓄熱の結果、温度上昇が起ったと考えられ、堆積量が多い場合は発火に至る可能性があったものと考えられる。

上記の実験で使用した高温 RDF の初期温度は 105 であったが、さらに詳細なデータを得るために、赤外線カメラで操業開始時に成型機から排出されたばかりの高温 RDF の温度を測定した。図 12 に平成 15 年 11 月 13 日 14 時 41 分に撮影した画像といくつかのポイントの温度を示した。図からも明らかのように 100 以上の部分が半分近くを占め、最高温度は 128 であった。このような高温 RDF が十分冷却されないで堆積される場合には自然発火に至る可能性があるものと思われる。

#### 3.3.2 断熱容器内の高温 RDF の発熱実験

大形の断熱容器内に約 500kg の RDF を充填したフレコンを装填し、高さ方向の各部位で温度の時間変化を測定した。定常運転時の RDF は 31~37 で、温度は徐々に低下するだけであった。

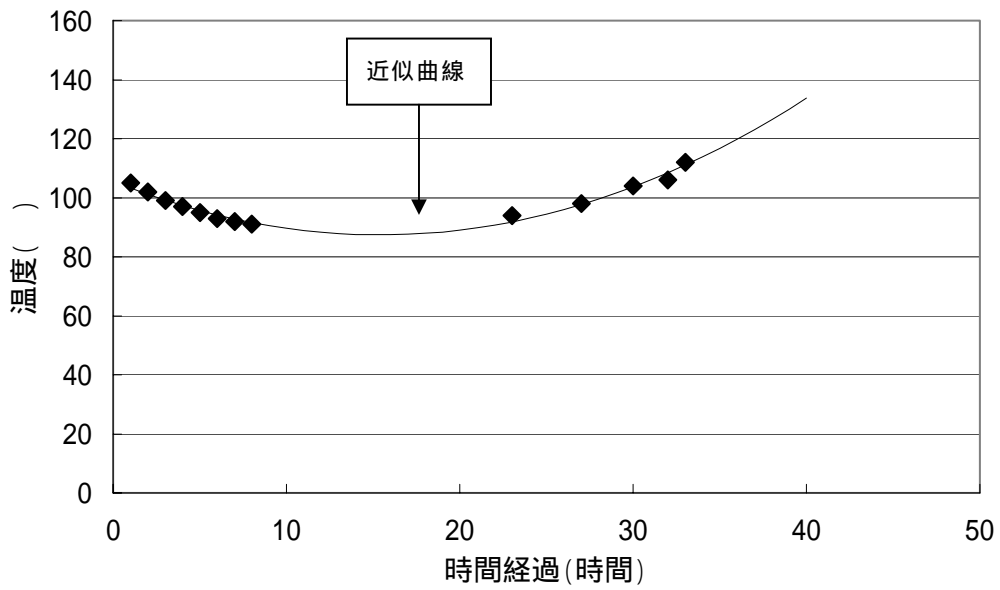


図 11 高温 RDF 貯留時の温度変化

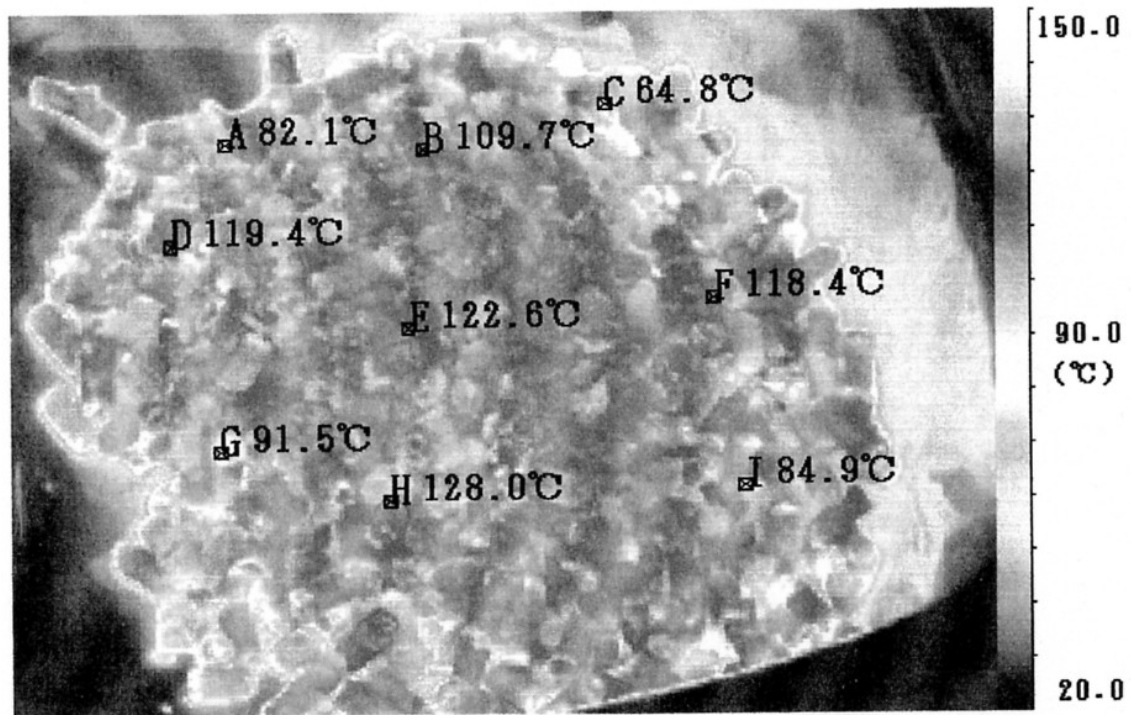


図 12 赤外線カメラで計測した高温 RDF の表面温度分布

一方、操業開始時の高温 RDF の場合について、数回、温度の経時変化を測定した。多くの場合、装填後、1 日近く経過してから温度上昇が観察されたが、その後、ゆっくりと低下していく傾向を示した。ただ、11 月 12 日の実験では、初期温度は 76～91 であったが、22 時間後に温度上昇に転じ、97.1 まで上昇した。

### 3.4 RDF 発火に至る自己発熱試験、発火試験

マントルヒーターにガラス製のセパブルフラスコ（内容積 2～3 リットル）をセットし、中に 1 kg 以上の RDF を密に充填し、フラスコの蓋はしないで、加温し、熱電対で RDF の温度変化を測定した。装置図を図 13 に示した。

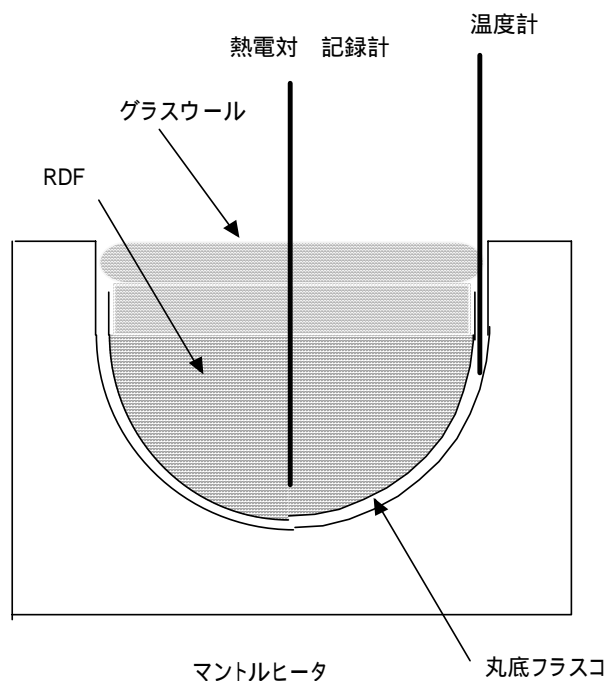


図 13 RDF 加熱実験装置図

三重県上野の RDF 約 1.4 kg を充填して 120 に加熱した時の温度変化を図 14 に示した。加熱後、数時間で自己発熱が始まり、12 時間後、約 330 付近で発火したと思われる。発煙は激しいが、表面から炎は観察されず、金属製スプーンで掻き出しをしていると、発火した RDF が出てきた。赤熱した炭のようなもので、煙は激しく出るが、炎を出すという状態ではなかった。



RDF加熱試験120

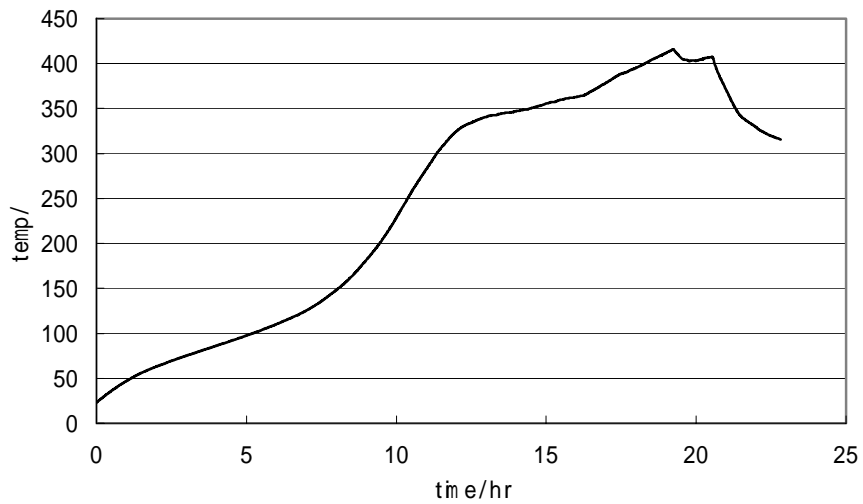


図 14 RDF の自己発熱試験結果

上野RDF, 5L

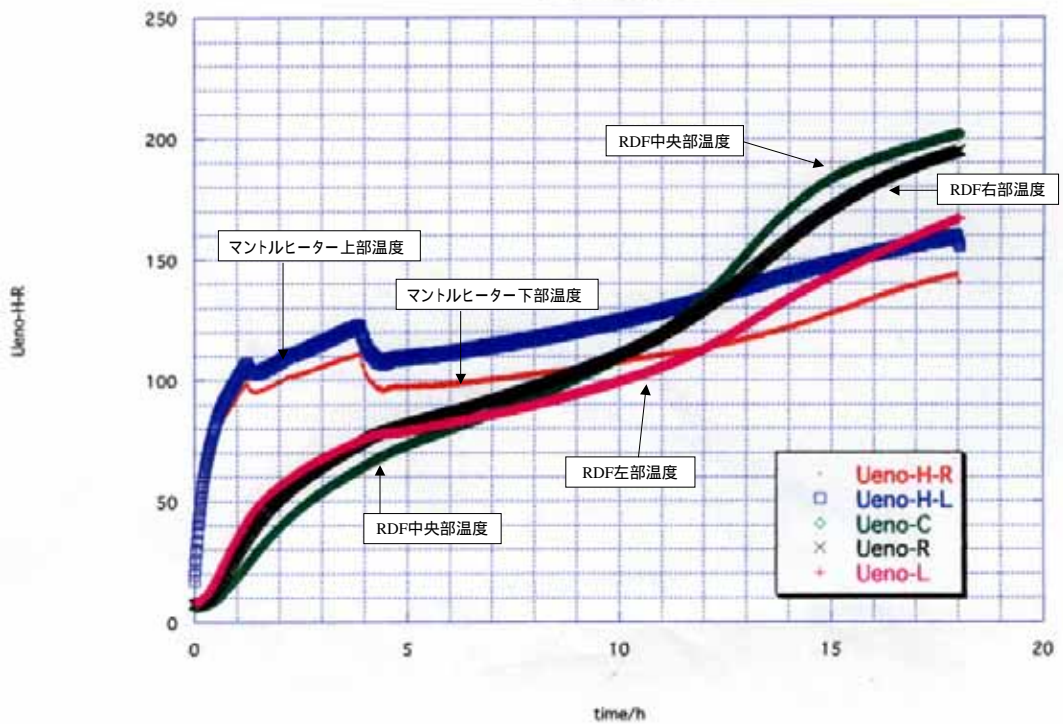


図 15 ゆっくり加熱した時の RDF の発熱状況

この実験をセパラブルフラスコの蓋をした状態で行ったが、発熱・発火が観察されなかったことから、RDF を自然通気状態に保持することが発熱・発火の重要な因子と思われた。また、三重県香肌の RDF で同様の実験（蓋なしの状態）を行ったが、発熱・発火は観察されなかった。

次に、三重上野の RDF（約 2.5 kg）を 5 リットルのビーカーに入れ、そのビーカーをマントルヒーターに装填した後、100 に加温し、ゆっくりと 150 近くまで昇温する実験を行った。その結果を図 15 に示した。130 辺りを境にして、RDF がマントルヒーターの温度以上に上昇しており、これは RDF の自己発熱の結果であると思われる。発火にはいたらなかったが、激しい発煙が観察された。

さらに、より細かい温度制御ができる装置で、自己発熱のパターンを測定中である。

#### 4 . RDF の発熱・発火に対する実験的解明のまとめ

生物発酵の条件を正確に把握するために、本実験では RDF の水分含量をカールフィッシャー法で測定したが、RDF 中のプラスチック部分は水分を含みにくいことを考えると、マクロ的には数%レベルの水分含量であっても、ミクロ的には高含水率になっている可能性が考えられる。そのような状況を勘案すると、含水率 10%程度で生物発酵が起こることは不思議ではない。ただ、今回の吸湿実験で得られた含水率は高くても 20%以下であり、30%まで含水した RDF 試料は得られなかった。

好氣的生物発酵で発熱することは確かであるが、上記のような含水率の状況では発熱までに数日かかること、温度上昇幅は 20~30 でそれほど大きくなかった。ただ、生物発酵で酸化されやすい生成物や不安定な生成物が生じて、化学的な発熱・蓄熱の原因を作る可能性は否定できない。

消石灰と二酸化炭素、アルミニウムと消石灰の反応は、水分が必要な反応であり、高含水率の RDF がほとんどないことを考えると、発火にまで繋がる発熱原因とは考えにくい。

高温の RDF が貯蔵場所に持ち込まれた場合に発熱・発火する可能性は高温蓄熱性 RDF の追跡実験から、かなり高いと判断される。現実に、このような高温の RDF がどの程度の確率で貯蔵場所に搬入されているのか、を念頭において、対策が講じられるべきである。

自己発熱の実験から判断する限り、RDF を大量に堆積したり、温度が高い状態に放置すると自然発火する可能性が高いと思われる。生物発酵した RDF が生物発酵する前の RDF より自己発熱しやすいか、否かは、今後の実験で明らかにしていく。自己発熱による自然発火に対しては、蓄熱が起これないようにするのが有効な対策であろう。大量に堆積しないこと、堆積しても短期間で使用してしまうことも重要である。やむを得ず、長期に堆積せざるを得ない場合は、適切な方法で通気を良くして、放熱を促すことが重要である。