

脚光を浴びる亜臨界反応によるバイオ燃料化 (RDF) 技術

環境計画センター・環境カウンセラー（事業者部門）
技術士（衛生工学部門、建設部門、環境部門）等

専任理事 鍵谷 司（かぎや つかさ）

はじめに

1. 亜臨界処理技術について
 2. 高温高压水処理実証プラントの視察について
 3. 北海道白老町バイオマス燃料化事業について
 4. 高温高压水処理反応によるバイオ燃料の燃料特性について
- おわりに

はじめに

平成15年8月19日に発生した三重県RDF発電所貯蔵サイロにおける火災・爆発・炎上事故によりRDF技術の普及はほぼ完全に停止した。その後、各地のRDF貯留サイロにおいて発煙事故が多発したが、現在では様々な安全対策を講じて5箇所のRDF発電所（大牟田リサイクル発電（株）、福山リサイクル発電（株）、三重県、石川県北部RDF広域処理組合、鹿島共同再資源化センター）は大きなトラブルもなく稼働している。

一方、昨年当たりから原油が異常に高騰したことに伴い、廃棄物由来の燃料が注目され、廃プラスチックを原料としたRPFが普及し、原料となる廃プラスチックが不足している。合わせて、RDFについても、従来大量使用先が遠方に位置していたために、運搬費が高すぎて逆有償状態であったが、かなり改善されているといわれている。

ところで、ダイオキシン類削減対策を契機に、国は広域化による大型焼却施設の整備を基本として24時間運転ができる日量100トン以上の大型化を推進している。しかし、広域化できない中小自治体にとっては、中小型焼却炉は国の方針とは合致しないことや住民の理解が得られないことで建設は難しい状況である。RDF化が選択肢の一つであったが、

その利用先でトラブルが多発したこと、利用時にダイオキシン対策が必要なこと、あるいはRDF技術の中には稚拙なものがあり、数年で停止するなど問題が多発し、検討すら難しい状況にある。なお、RDF施設にはこれまで10年以上にわたって大きなトラブルも無く順調に稼働している事例も多い。すべてのごみをリサイクルすることは出来ないもので、中小自治体におけるごみ処理方策が窮地に陥っている。

平成20年5月に全国紙に、「列島発 北海道白老町 ごみ9割再利用に道 官民で燃料化 新方式」との見出しで「白老方式」として高温高压処理技術によるごみ燃料化施設が来春稼働に向けて近く着工、との記事が掲載された。高温高压処理技術については、関心をもって追跡していたが、30気圧もの高压であることから自治体での採用は難しいと考えていた。が、新しいRDF化技術との認識があり、実証プラントの視察あるいは様々な情報を探索した結果、破碎・乾燥・圧縮成型からなる従来のRDF化技術に変わる次世代のRDF化技術であるとの感触をもち、今後、大きく普及する可能性がある判断し、関係者にご協力をいただき、さらに新聞記事やインターネット情報を収集し、緊急に寄稿することにした。

1. 亜臨界処理について

(1) 亜臨界処理によるバイオ燃料製造技術とは！

従来のごみ固形燃料 (RDF) は可燃ごみを破碎、乾燥、圧縮したもので、物質としてはごみのままである。一方、亜臨界処理とは、水を高温高压状態で有機物を分解し、分子構造を変化させることで、別の物質に変えて燃料化したものである。

RDF化技術およびその普及の推移から分類すると、第一世代を、家庭ごみを対象とした破碎・熱風乾燥・圧縮成型方式のRDF化技術と位置付けると、これまでの技術と全く異なる高温高压処理によるRDF化方式であり、第二世代のRDF技術に分類できよう。

【亜臨界水 (Sub-Critical Water) と化学反応について】

当該技術の特徴は、有機物を高温高压状態の亜臨界状態の水と反応させて、高分子状態の有機物の分子構造を変化させてバイオ燃料を生成する技術である。

以下に水の状態変化と亜臨界状態における化学反応性などについて紹介する。情報は主にインターネットで収集したフリー百科事典「ウイキペディア」及び巻末の資料を参照にして解説する。

<水の状態変化>

水は温度と圧力の条件により、固体、液体、気体の3相の状態を呈する。このような相変化の関係は図-1に示され、状態図あるいは温度-圧力曲線という。水は、0.01℃、0.006気圧では固体、液体、蒸気が共存する三重点が存在するが、大気圧の下では0℃以下では氷(固体)として存在し、温度をあげて0℃以上にすると融解して水(液体)となり、100℃を越えると水蒸気(気体)になる。さらに、温度をあげていくと過熱蒸気となり、無

酸素状態で乾燥、焼成などができるため、食品加熱、焙煎、殺菌、あるいはごみ炭化処理技術として実用化されている。これは単なる高温蒸気であって亜臨界水や超臨界水の化学的性質とは全く異なり、有機物を溶解して加水分解したりする能力は非常に小さい。

一方、圧力を高くすると、蒸発が抑えられるので、液化して液体として存在する。このように物質は、温度と圧力により気体になったり、液体になったり、相変化をするが、相変化が起こらない温度と圧力が存在する。つまり、液体でも気体でもない特殊な状態が存在し、この点を臨界点 (critical point) といい、水の場合、臨界温度は374℃、臨界圧力は218気圧である。一般的に臨界点以下における飽和蒸気圧以上の高い圧力の水を亜臨界水といい、液体の高温高压水で、反応性は著しく大きい。

当該高温高压処理技術は、約30気圧、250℃程度で有機物を処理しているので、臨界点よりはるかに低圧である。しかし、飽和蒸気圧以上の圧力下の反応であり、生成物の性状などから判断すると亜臨界水と同様な化学反応が起っていると考えられる。亜臨界状態の温度や圧力に関する定義は明確でないので、この処理条件がただちに亜臨界状態とは言い難いので、この条件下における水の密度、粘度、誘電率、イオン積などのデータを把握することが望まれる。

<亜臨界水の化学反応性について>

一般的に固液化学反応は溶媒(物を溶かす物質；ここでは水)を用いて液相で行うが、化学反応を行わせるためには、反応基質(ここでは有機物)をよく溶かす必要がある。しかしながら、高分子量体の有機物は通常の水にはほとんど溶けないので、反応はほとんど起らない。たとえば、高分子量体であるセル

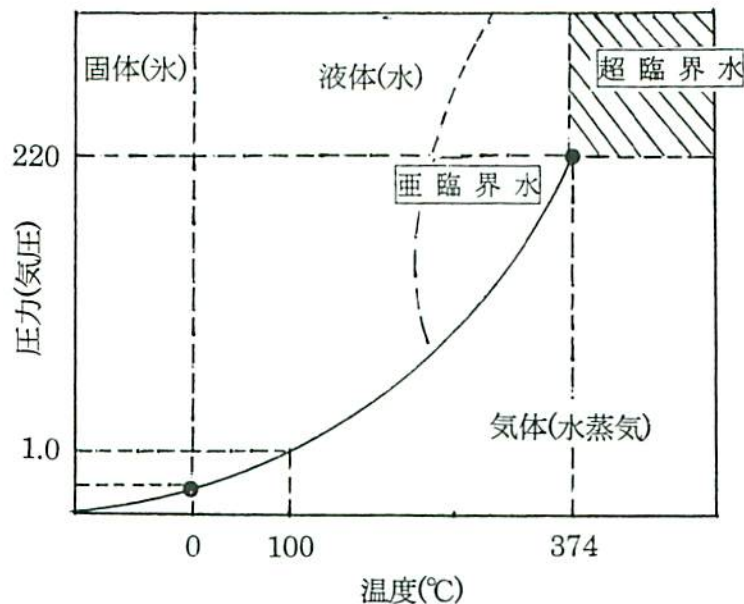


図-1 水の飽和蒸気圧曲線

※飽和蒸気圧曲線；液体や固体には蒸発する圧力（蒸気圧）があるので、温度を上げると密閉容器内では空間（気相）の圧力が上昇する。液体と固体の蒸気圧と気相の圧力が平衡になった状態を飽和状態といい、このときの蒸気圧が飽和蒸気圧である。この蒸気圧は温度の上昇とともに増加するので、温度変化を表す曲線を飽和蒸気圧曲線という。これは沸点が圧力により変化することを意味し、圧力が高くなると沸点も高くなる。

ロース主体の木材やプラスチックを溶かすためには、強いアルカリ剤あるいはベンゼンやキシレンなどの有機溶剤が使われる。

ところが、臨界点付近になると、水は気体でも液体でもない状態になり、液体と気体の性質を持った特殊な性質を持つ。臨界点を越えた領域の臨界水による反応では主に熱分解（酸化）反応が起こり、臨界点よりも温度・圧力の低い熱水（亜臨界水）による反応は主に水熱反応（加水分解）が起こる。水の物性は、物質を溶かす力となる密度、移動や細孔への浸透する力となる粘度や拡散係数が大きくなり、化学反応を促進する誘電率、イオン積、密度などが大きく変化するので、従来の水では起らなかった化学反応が高速で起こることが特徴である。

とくに、亜臨界水は、水の誘電率が温度の上昇と共に小さくなるので、有機物を良く溶かすようになるが、逆に無機物はほとんど溶けないという普通の水とは逆の性質を持つ。しかしながら、酸化力が小さいので、二酸化炭素の発生量は少ない。逆に、臨界点に

近づくと加水分解力が低下し、熱分解力が強くなる。例えば、水のイオン積が最大となる247°C付近では加水分解力が最大になり、有機物は高速で加水分解して有機物を構成していた小さなタンパク質やペプチド、アミノ酸、有機酸、糖などに分解される。また、水には溶けないプラスチックは、エーテル結合、エステル結合、酸アミド結合を持った縮合系ポリマーは、容易に加水分解してモノマーを生じる。PETは、エチレングリコールとテレフタル酸に分解される。

亜臨界領域における化学反応性は大きく変動するので、原料となるごみ組成に対応した適切な温度・圧力の条件を検証・確認することが重要になる。

(2) RDF製造における高温高压水処理技術と従来技術との比較について

家庭ごみを原料とした高温高压水処理によるバイオ燃料は、従来の破碎・熱風乾燥・圧縮成形で製造されたごみ固形燃料（RDF）とは異なり、やや炭化したような黒色の粉体物

として生成する。この生成物は粉状RDFであり、これまで製造されている圧縮成形されたRDFとは形状が異なる。また、その利用先は、白老町では隣接する日本製紙白老工場の新型ボイラで固形燃料として利用するケースもあるが、生成したバイオ燃料を粉体状態で燃焼させて蒸気製造に利用することも想定される。

RDFについては、従来の処理技術に基づいて規定されたJIS規格（TR情報含む）及び廃棄物処理施設整備国庫補助事業に係るごみ処理施設性能指針（平成14年11月15日）において定義等が規定され、「ごみ固形燃料の適正管理方策について」のガイドライン（平成15年12月25日）、廃棄物処理法施行規則（一般廃棄物処理施設の技術上の基準）においてRDF技術の構造基準及び維持管理基準が規定されている。

しかしながら、高温高压水処理技術は従来技術とは全く異なることから、これらの規定に必ずしも適合しない項目が現れる。逆に、無理に従来技術に適用される基準に合致させようとすると、例えば、RDFとは圧縮成形することと規定しているが、粉体で製造されたものを圧縮成形し、使用時には再度粉砕する必要がある、建設費や維持管理費の高価格化

を招くなど極めて不合理な状況が生まれる。

本来、RDFのJIS化については平成9年10月～平成14年3月にかけて委員会で検討され、平成11年5月にTR（標準情報）として公表された。筆者も委員および作業部会員として審議に加わった。RDFの定義は、すでに実用化されて商取引が行われていたRDFについて標準化の必要性があったことや、RDFは単なるごみではなく、加工された燃料であることを明確にする意味で圧縮成形されたものであるとされた。これに各種の試験法則や試験方法は引用規格や引用標準情報の規格の一部により構成されている。

高温高压水処理技術では、このように従来技術とは全く異なる新技術により廃棄物から燃料が製造されるのであり、従来の処理技術に基づいて規定されたJIS、ごみ処理施設性能指針、ガイドラインや構造基準及び維持管理基準と必ずしも一致しない項目が生じる。しかしながら、性能指針はもともと新技術が導入されやすいように配慮する必要があることに鑑みて、性能に関する事項とその確認する方法を示したものである。所定の規模の実証プラントによる性能が確認された場合には、その主旨に合致していれば当然廃棄物処理施設として認められるべき技術であろう。

2. 高温高压水処理実証プラントの視察結果について

北海道白老町にお願いし、洞爺湖サミット終了直後の7月11日に、クボタ環境サービス㈱が試験を行っている実証プラントを視察した。視察に当たっては、原料（家庭ごみ）投入時から搬出時まで全工程に立会った。とくに、これまで十数年にわたって取り組んできたRDF化方式は、破碎・熱風乾燥・成型方式であり、技術的な違いや安全性並びに生成物の特性などに注目して視察した。なお、物質収支、熱バランス、水収支やランニングコストなどについては、すでに様々な原料（廃

棄物）を用いて実験データが蓄積されている。これらのデータは、処理条件により異なるので、ここでは掲載を差し控える。

(1) 高温高压処理施設；実証プラントについて
実証施設のシステム概要と特徴をパンフレットおよびヒアリングより抜粋して、以下に示す。

- ① 試験場所：北海道白老郡白老町字白老777（環境衛生センター内）
- ② 試験期間：平成19年12月下旬から平成

21年3月予定

- ③ 試験装置：高温高压処理装置（本体内容積：3 m³、最大使用圧力：本体3.0MPa（30気圧）、ジャケット：1.0MPa（10気圧）、燃料：灯油）

- ④ 実施方法：

- 投入物：家庭系一般廃棄物、廃プラ、動植物性残渣、チップダスト、製紙スラッジ等
- 総投入量：500～900Kg／1バッチ
- 稼働時間：4～6時間／1バッチ
- 反応条件
反応温度：235℃、反応圧力：3.0MPa（30気圧）

- ⑤ 高温高压処理システムのフロー図

<処理フロー>

以下にパンフレットより抜粋して高温高压処理システムを図-2に示す。

このシステムは、飽和蒸気を用いた加圧条件下で、ほとんどの有機物を水熱反応により加水分解し、減容・無菌化するとともにその生成物の燃料化、資源化を合わせて持った処理技術とある。

高温高压処理装置は、1サイクルが4～6時間のバッチ方式により運転し、減圧後の乾燥時間を確保することで、生成物の含水率を低下させることができる。装置の反応容器はジャケット構造となっており、熱源である飽和水蒸気は容器内部（水熱反応）とジャケット（保温・乾燥用）の双方に導き、内部において軸に取り付けられた攪拌羽根で内容物を混合・攪拌しながら水熱反応を促進させる。生成物は攪拌羽根を逆転することにより排出する。

(2) 実証プラント（高温高压処理施設）の試運転について

平成20年7月11日（金）に実施した実証プ

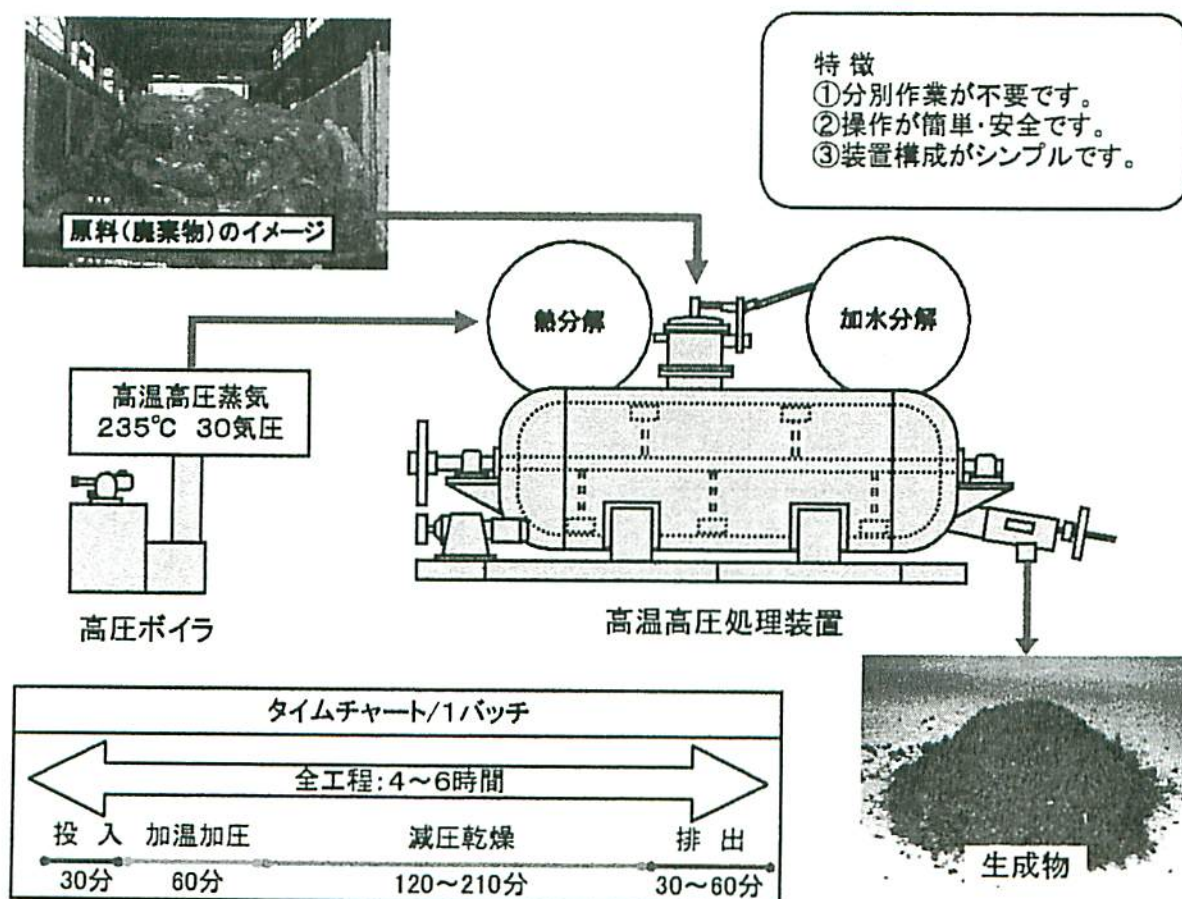


図-2 高温高压処理装置の特徴とタイムチャート

ラントの運転時の状況についてまとめた。

1) 実験装置の概観 (写真-1)

① 原料 (廃棄物) 供給設備

実証プラントであり、原料投入ライン、搬出ラインは簡略化されて手動で行う方式である。(写真-2)

ごみ収集袋数十袋を地上で大型箱に入れ、これを地上から約4メートルに位置する投入場所にフォークリフトで持ち上げて、ここで袋を直接圧力容器内へ手で投入する。落下後に容器内部に設置された攪拌羽根 (パドル) により圧縮送入される。

② 高温高压処理設備

投入後に圧力蓋を閉じた後にジャケットに低圧蒸気が注入され間接的に原料を加温し、その後、本体内部に高温蒸気が注入され、攪拌羽根で攪拌しながら有機物の水熱反応が行われる。所定の温度に到達した後、高温蒸気を排気して内部圧力を減圧し、反応物をゆっくりと乾燥させる。

③ 汚染防止設備

排気した水蒸気中には反応物等が溶解しているので、これを復水器で冷却して蒸気を凝縮水とする。これらは汚水となり、BODが数千ppmに達するので、液中膜を用いた活性汚泥処理を行う。なお、復水後の排ガスは、生物脱臭処理および活性炭処理を行う。

④ 搬出設備

処理終了後には、圧力容器内の攪拌羽根を逆転させて、排出口より生成物を搬出する。これを15mm目開きの金網に落として篩い、生成物と不適物に手選別する (写真-3)。生成物 (写真-4) は1 m³のフレコンバッグに充填して保管する。

2) 実験の経緯；

① 実験日：

平成20年7月11日 (金)；小雨、外気温；20℃程度

○ 原料供給

写真-1に示すように収集した家庭ごみ

をごみ袋そのまま投入口から投入する。投入口の口径はおおよそ60cm程度であり、ごみ投入及び内部点検時の点検口である。ごみ種類は、主にプラスチック類、紙ごみや厨芥類であった。おおよそ700Kgを約30分で投入した。なお、投入時の見掛け比重は0.1程度であるが、圧力容器内に設置した攪拌羽根により圧入され、投入後の見掛け比重は大きくなる。投入後、投入口を耐圧用の特殊な蓋を閉めるが、操作は手動で簡単である。

○ 予備加熱と本加熱

圧力容器は二重構造になっており、ジャケット部は10気圧で150℃程度の蒸気が注入され、これにより圧力容器内部が加熱される。原料投入時には圧力容器内部は80～100℃程度に予備加温される。なお、蒸気は、灯油を燃料とした高圧蒸気ボイラ (製造能力1トン/hr) で製造され、これが蒸気ヘッドを経由して圧力容器内へ供給される。一部は減圧されジャケットへ供給される。

② 反応開始

圧力容器の蓋を閉めて密閉した後に容器内部へ高温蒸気が注入され、約1時間で最大圧力が30気圧で、約235℃に達した。この条件に達した後、保持することなく、内部蒸気を約3時間かけてゆっくり排気して減圧する。これにより処理物は乾燥される。減圧乾燥時間は2～3時間であるが、放置するだけで作業はほとんどない。

③ 生成物の取り出し

原料投入後、約5時間後に圧力蓋を開き、圧力容器内部の生成物をサンプリングし、生成の程度を確認した。その後に攪拌羽根を逆転して処理物を排出した。

実証プラントであるので、搬出や選別は手動であり、粉塵を伴って黒い粉体の生成物が目開き15mmの篩に落下し、手選別された。(写真-3)

④ 生成物の性状 (写真-4)

生成物は、黒い粉砕物であり、投入原料

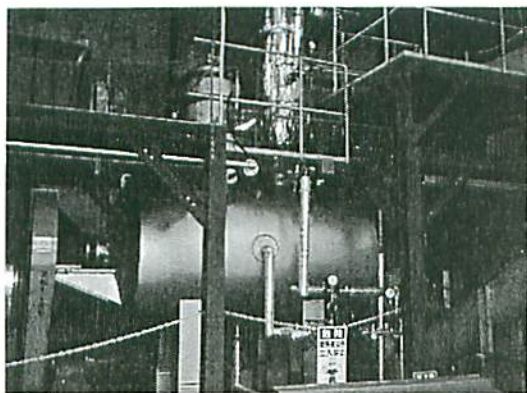


写真-1 プラントの全景



写真-2 ごみ投入状況



写真-3 手選による篩選別作業



写真-4 篩選別後の生成物

(700Kg) に対しておおよそ400Kgであった。その水分率はおおよそ20%以下と見受けられた。これをフレコンバッグ(容量;

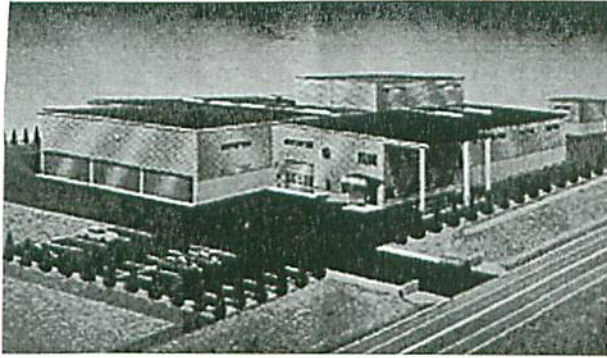
1 m³) に充填して保管した。なお、保管時の初期温度は80℃程度で高温である。

3. 白老町バイオマス燃料化事業について

世界で初めてとなる実用化施設となる高温高压処理技術によるバイオ燃料化施設が白老町において建設中である。家庭ごみを燃料化する施設であるが、用地は利用先である日本製紙白老工場より無償貸与を受け、工場内敷地に建設中である。製造した粉体のバイオ燃料は他の可燃物と混合して圧縮成型し、RDFとして利用する計画とある。一般廃棄物の他に木くずを使用する事により農林水産省の助成をうけ、施設としては国庫補助対象として建設されている。

以下に、掲載された新聞記事およびインターネットで収集した情報に基づいて事業の概要を紹介する。

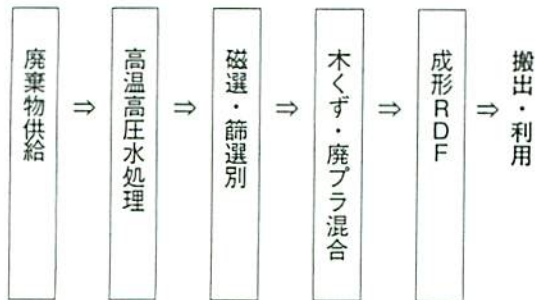
- ① 名称：白老町バイオマス燃料化施設
 - 住所：北海道胆振支庁白老町北吉原 (株) 日本製紙白老工場内
 - プラントメーカー：クボタ環境サービス(株)
 - 着工：平成20年6月30日
 - 竣工：平成21年3月予定
 - 敷地面積：約14,340m²・建屋面積：約3,200m²
 - 総事業費：約14億円(半額を農林水産省の補助、残りを起債)
- ② 処理方式等
 - 亜臨界処理方式；高温高压反応装置3機によるバッチ運転(24時間稼動)
 - ※家庭ごみ等の有機系ごみを高温高压亜



白老町バイオマス燃料化施設の完成予想図

臨界状態で有機物を加水分解する方式で、ごみは黒い粉体（バイオ燃料）になる。

○処理フロー：



(約10m³×3基)

○処理条件

高温高圧反応容器内は、ジャケットに150℃程度の蒸気を注入して数十度に予備加熱されており、原料投入から約1時間で最大30気圧、最高温度235℃に達し、その後、ゆっくりと減圧する。ごみ供給から生成物の取り出しまでおおよそ4～5時間を予定。

○対象物

家庭ごみが約3,400トン/年、事業系廃棄物が約1,540トン/年、食品残さ、家畜排泄物や製紙スラッジが約5,000トン/年の合計約9,950トン（約37.5トン/日）。

○処理量

家庭ごみ等高温高圧処理量が9,950トンと成型時混合物が6,200トンの合計約16,000トン

○RDF製造量：

- ・バイオ燃料製造量：粉体燃料4,770トン
 - ・混合物：木くずが約4,100トンと廃プラスチックが約2,100トンの合計約6,200トン
- バイオ燃料と混合物を混合して圧縮成形してRDF化する；合計約11,000トン（木くず；紙製造工程で発生する、廃プラ；原料輸送などで使用された廃プラ袋）

③ 施設運営

- ・公設民営方式
- ・RDF販売単価；未定

④ 利用先：日本製紙白老工場の新型ボイラ

この新型エネルギーボイラは約90億円を投入して平成20年8月に完成した。高温高圧型の循環流動層ボイラで石炭や木くず、RPF（古紙で製造した固形燃料）などを主燃料としており、オイルレスボイラである。建屋の高さは51メートルで、90メートルの煙突を備える。従来、工場の蒸気は、重油ボイラ1基、石炭ボイラ4基で賄っていたが、重油ボイラへの依存度が高いのに加え、4基の石炭ボイラが老朽化に伴ってコスト高がネックとなっていた。新ボイラ1基の導入により、重油使用量は年間5万5,000キロリットル削減、投資効果は20数億円になるという。

白老町が同工場敷地内で工事を進めているバイオマス燃料化施設は、一般廃棄物から固形燃料を製造する。平成21年4月の完成後はこれを使用するので、町のバイオマス事業とも大きくかわりを持ち、循環型社会にも大きく貢献する。^{※1)}

4. 亜臨界反応によるバイオ燃料の燃料特性について

亜臨界反応によるバイオ燃料の特性は処理条件により大きく変わると考えられる。こ

のためには、実用プラントによる様々な処理条件で生成したバイオ燃料の特性を把握す

ることが最も実用的ではあるが、現時点で詳細はまだ公表されていない。データは少ないが、同じ家庭ごみを原料としたバイオ燃料、RDF燃料やごみ炭化燃料と比較するとつぎのような特性があると言える。

(1) バイオ燃料の性状（水分率と発熱量等）について

ごみ処理性能指針やTR（標準情報）では、RDFの定義を圧縮成型したものとしているが、当該処理物は生成時には黒い粉体であり、そのまま粉体燃料として利用することができる。利用先のボイラの燃焼形式により圧縮成型して供給することも容易であるが、成型するための設備費や維持管理費が余分に必要となる。なお、ごみ炭化物については定義や形状等の規定はない。

また、これらの基準では、水分含有率を10%以下としているが、速やかに利用される場合、又は生活環境保全上、支障を生じるおそれのない保管施設がある場合には20%以下であることと規定されている。RDF化では乾燥工程が、炭化では加熱工程がある。当該工程では、高温高压処理時に減圧工程があり、減圧時間の調整により水分調整ができる。また、燃料として最も重要な項目に発熱量がある。JISでは、総発熱量で3,000 (Kcal/Kg) 以上であると規定しているが、これは

高位発熱量である。実際の燃焼時には発生する水分はそのまま蒸発するので、蒸発潜熱を除外した低位発熱量で表示すべきである。測定データは少ないもののバイオ燃料の低位発熱量は、5,000から6,000 (Kcal/Kg) 程度が期待できるので、RDFよりも熱的に優れた燃料であると言える。

(2) 燃焼特性について

バイオ燃料は生成時には真っ黒な粉体であり、見た目には炭化物に類似している。炭化の定義は明確ではないが、少なくとも固定炭素が揮発分よりも多いことが必須であることを考慮すると、固定炭素と揮発分の比（燃料比）が0.5以上であることが求められる。数少ないデータではあるが、バイオ燃料の燃料費は0.25程度であり、RDFよりは大きい。炭化物の1/10くらいである。ほとんど炭化していないことを示している。つまり、当該バイオ燃料は、見かけは真っ黒い粉体であり、一見、ごみ炭化物の様相ではあるが、元素分析値や燃料比から判断すると揮発分が高く、むしろRDFに近い燃料特性であることが分かる。

ところで、燃料比が高くなることは、炎燃焼のしやすい揮発分が除外されて燃焼性の劣る固定炭素分が残ったことを意味する。これは、着火温度と燃料比の関係を図-3に示し

表-1 RDF およびバイオ燃料の燃料特性（数値は目安）

比較項目*	RDF*	バイオ燃料*	炭化物*
水分率 (%)	10% >	20% >	10% >
JIS 及び性能指針	(速やかに使用する場合)		
低位発熱量 (Kcal/Kg)	3,000 > (JISではRDFの総発熱量で規定)		
(実態)	3,800 ~ 4,800	5,000 ~ 6,000	4,000 ~ 5,000
炭素分 (Dry%)	40.8 ~ 56.8	55.1	45 ~ 55
塩素分 (Dry%)	0.3 ~ 3.0	0.5 ~ 1.5	0.3 ~ 0.6 (洗浄)
	(60検体)	(数検体)	1.0 ~ 3.0 (未洗浄)
固定炭素 (%)	9.6	16.4	45 ~ 52
揮発分 (%)	76.7	72.1	10 ~ 20
燃料比 (固定炭素/揮発分)	0.1 ~ 0.2	0.2 ~ 0.3	1.5 ~ 5

※原料はいずれも家庭ごみ。炭化物中の塩素分は、洗浄と未洗浄では大きく異なる。

※手持ち資料などから筆者が作成した。

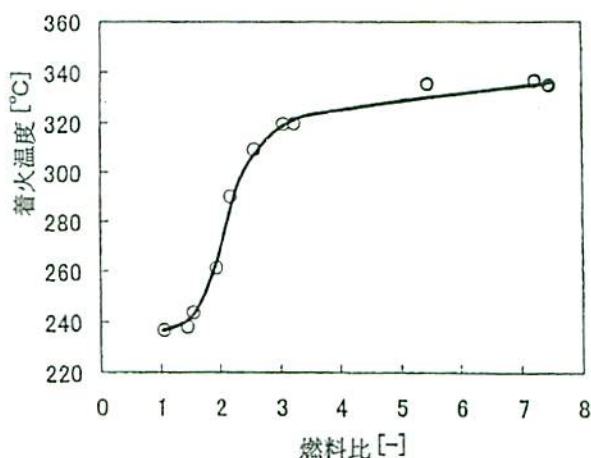


図-3 着火温度と燃料比の関係

たように、燃料比が高くなることは着火温度が上昇することになり、バイオ燃料はRDFに比べて、同じ条件で保管した場合には自然発火に対してはやや安全性が高まることを示す。

塩素分については、原料となる廃棄物中の塩素濃度に大きく依存するが、いずれの処理においても塩素はほとんど除去されない。なお、炭化物は揮発分が大量に除去されるので、結果的に濃縮されることになり、未洗浄炭化物は高くなる。一般的に水洗浄により低下する。

(3) 保管時の発熱特性について

バイオ燃料は固体の燃料(有機物)であるので、RDFと同じように醗酵や酸化反応による発熱が起る。当然、廃プラスチック、木くず、紙くず、繊維くずなどすべての有機物(可燃物)は醗酵や酸化反応が起りうるので発熱する。これら有機物は炭素、酸素、水素などから構成される高分子量体であり、製造から廃棄、RDF製造の過程で切断・破碎・粉碎、加熱や圧縮などの外部エネルギーにより分子切断が起る。切断された分子はラジカル(遊離基)が生成し易いので、空気中の酸素と反応して反応性の高い過酸化物が生成すると考えられる。

つまり、分子を傷つけた場合には、水分との反応や熱分解性の大きい過酸化物による酸化反応が起りやすくなる。有機物の酸化反応が急速に起った状態が燃焼であり、非常に大

きな熱や光が発生する。一方、常温でゆっくりと反応が起った場合にもわずかながら発熱する。したがって、これら有機物を保管した場合に、発熱が放熱よりも大きい条件になると蓄熱して自然発火を起こすことになる。なお、同じ燃料であっても気体や液体も同様に酸化反応が起り、わずかながら温度は上昇するが、対流により放熱しやすいので、蓄熱することはほとんどない。また液体では内部への酸素の供給が難しいことや主に表面で酸化反応が起り、放熱が大きいのでほとんど蓄熱しないと考えられる。

RDF保管時における発熱原因については、平成15年8月に起こった三重県RDF発電所火災事故を契機に多くの調査・研究が行われてきた。当初は、醗酵による発熱が原因であるとの結論であったが、醗酵では合理的に説明しきれない多くの現象や実験データが存在し、最近では、醗酵が起こったであろうが、むしろRDFの酸化反応により蓄熱することにより自然発火したとの見解に至っている。^{※2)}

高温高圧水による処理では、生ごみを含む家庭ごみを約30気圧、240℃の高温高圧水によりごみを構成する有機物を加水分解する方法であり、微生物等は完全に滅菌される。仮に、保管中のバイオ燃料から微生物が検出されたとしたら空気中などから混入したものと考えられる。

なお、従来の破碎・熱風乾燥・圧縮成型方法では、表面に付着した微生物類は滅菌されたとしても、水分が高い場合には気化熱により局所的にごみ自体の温度が上がらないことやごみ内部まで熱風に曝されることはないことで、微生物類は生存する可能性は高い。

① 醗酵試験

実験中ではあるが、バイオ燃料の細菌増殖試験結果を提供していただいたので紹介する。なお、試験は三重県RDF貯蔵槽事故原因調査報告書およびRDFのJIS化検討委員会で採用された方法に準じて細菌増殖試験が行われた。^{※3)～6)}

○ 実験結果

水分率を7%～25%に調整したバイオ燃料を30日間にわたって保管し、一般細菌と大腸菌群を測定した結果では、試料1gあたりの細菌数は 10^2 /g以下であり、とくに増殖は認められなかった。また、バイオ燃料の水分率と菌数とは明確な相関性はなかった。

○ コメント

一般に食品分野では、食品中のカビや微生物の生育には、水分率が15%程度必要である。また、食品衛生法では、細菌数が 10^5 /g以下を目安にしており、一般細菌による腐敗は 10^7 /g程度以上であるといわれている。

RDFの細菌数は、原料、形状や処理工程が異なるため大きく変動する。三重県RDF発電所事故調査委員会による報告によれば、製造直後の細菌数が 10^5 /gであったが、水分を6日間添加して培養した結果、 10^8 /gまで増加することが確認されたとある。一方、類似施設の大牟田リサイクル発電所の事例では、サイロ内の発熱箇所で採取したRDFの菌体数はおおよそ 10^2 /g以下とされている。RDFの発酵試験によるとガス発生を伴う発酵には水分率が30%程度の十分な水分状態になることが必要であると報告されている。

これら結果からも当該バイオ燃料の菌数は極端に少なく、水分率を高めて30日間放置しても増殖はわずかであった。このレベルは清涼飲料水程度の細菌数であり、微生物発酵はほとんど起らないことを示して

いる。

② 蓄熱試験

実験中であるが、バイオ燃料もRDFに類似した燃料特性を有するので、酸化反応が起こりうるので、当然、保管量や保管方法により蓄熱が起こりうる。

ところで、保管実験で用いられているバイオ燃料は黒い粉体であり、圧縮成形されたRDFとは形状が異なる。燃焼反応からみると粉体にすると空気との接触面積が大きくなるので反応は速くなると考えられる。しかしながら、保管時の空気の供給は燃料充填時に混入するものと考えられるので、燃焼とは大きく異なる。

RDFを保管した場合には、空隙率が約半分であるので、大量の空気が存在する。一方、粉体のバイオ燃料は密に充填されるので、空隙率は0.1～0.3であり、含まれる空気量は少ない。また、酸素が消費されると、空隙が小さいので空気の供給が抑制され、酸素濃度が低下し、酸化反応が抑制されることも想定される。

したがって、粉体であることが直ちに発熱・蓄熱に結びつくものではない。また、RDFの表面状態により酸素の供給能力が異なると考えられるので、形状から判断することはできない。今後、これらの比較実験などによるデータに注目したい。なお、自然発火の程度を確認するためには「危険物の輸送に関する国連勧告に基づく試験」などに順じてRDFとバイオ燃料とを比較した実験等が求められる。^{※4)～7)}

おわりに

有機系廃棄物の高温高压処理によるバイオ燃料化は、次世代のRDF化方式として脚光を浴びつつある。しかしながら、30気圧という高压下での処理技術についてはその実用

性は難しいのではないかと懸念を持っていたが、すでに北海道白老町では実用施設建設中である。

この方法の最大の長所は、感染性廃棄物を

含むすべての有機系廃棄物を高温高压処理装置内で水熱反応により簡単に細粒化し、安定化させるとともにバイオ燃料として利用できることであり、燃焼工程がないので排ガスやダイオキシン類の生成が無いことであろう。一方、短所としては、現状では連続運転が難しいので、バッチ運転となることから大型の処理施設への適用は難しい。また、長期的な運転実績がないことから、高温高压処理装置の部材の耐食性、耐摩耗性、および生成したバイオ燃料の安定需要の確保が最大の課題といっても過言ではない。白老町の事例にあるようにバイオ燃料の利用が容易な条件が揃った場合に極めて有効である。

稼動状況の視察を行った結果では、特に重大な技術上の欠点は見当たらない。今後、安全性に注意した運転実績の積み重ねが重要になる。また、生成物は排出直後には80℃程度と高温であるので、大量保管時には自然発火の可能性について十分検討した上で、冷却などの対策を講じる必要がある。当該高温高压処理方式において危険性が高いと考えられるプロセスは耐圧容器である。これについては、長年にわたる技術の積み重ねがあることや反応器本体が第1種圧力容器として高压ボイラとして労働安全衛生法に基づくボイ

ラ及び圧力容器安全規則などにより高压容器に関する強度や定期点検などが規定されており、かつ安全対策が講じられていることから大きな事故が起る可能性は低いと考えられる。身近な高温処理技術として1,500℃以上で実施されているごみ熔融処理技術が実用化されているが、これと比較して安全性や取り扱いの容易であるとの見解である。

今後、さらなる技術の安全性の精査と改善並びに生成物の運搬時や保管時の安全性、とくに、発熱に関する多くのデータを蓄積し適切な対応策の検証・確認を行うことが重要である。第二のRDF火災事故が発生しないように万全を期すこと並びに熱源として安定的な需要の確保がこの技術の普及の鍵を握るものとする。

なお、亜臨界水（高温・高压処理）反応を利用した再資源化技術の事例としては、「大阪府エコタウンプラン～近畿環境興産(株)の事例～」がある。これは有機塩素系の液体廃棄物を亜臨界水で日量70トン処理して再生する事業である。平成18年12月より稼動している施設である。平成20年8月26日に視察を行い、環境計画センターのホームページ（EPCコーナ）で紹介してあるので、参照してください。

参考文献

- ※1) 室蘭民法；平成20年8月29日掲載記事および同社のホームページを参照した。
- ※2) 宮腰ら；一般廃棄物のガス化熔融処理における熱分解条件の評価、廃棄物学会論文誌、13-3、pp.161-168（2002）
- ※3) 社団法人 全国都市清掃会議；一般廃棄物に係る新基準策定調査報告書 平成16年3月（平成15年度環境省請負業務報告書）
- ※4) 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
- ※5) 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 独立法人 消防研究所
- ※6) 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
- ※7) 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）