

## (7) ごみ燃料化工場における原料ごみとごみ燃料の特性に関する研究

Characteristics of Raw Refuse and RDF (Refuse Derived Fuel) in RDF Production Plant

金 羸載\* 松藤敏彦\* 田中信寿\*

KIM Youngjae\*, MATSUTO Toshihiko\*, TANAKA Nobutoshi\*

**ABSTRACT;** One and half year long survey was done for Sapporo RDF plant, in which RDF is produced from wood, paper, plastics commercial & industrial refuse. Physical composition of raw materials were determined for samples taken at outlets of the shredders, the storage silos and the mixing-feeder, and properties of RDF, such as calorific value, moisture and ash content, were measured. Though large fluctuations in the compositions and RDF properties were found on an hourly basis, RDF properties except bulk density, were rather stable on monthly basis. The calorific value of RDF increases as the plastics content increases, or as the incombustible content decreases. The bulk density of RDF increased as the moisture and wood content decreased. The sampling and measuring method employed in this study can be applied to other RDF plants, and the mass flow rate in the plant was determined by least square method using the composition data and plant operation data.

**KEYWORDS;** RDF, calorific value, bulk density, shredded refuse, short and long-term fluctuation, mass flow rate

### 1. はじめに

ごみ量の急増に伴って、ごみ処理問題は重要な社会問題となった。ごみのリサイクルや減量化は緊急の社会的要請であるが、発生したごみを資源として十分に利用し尽すことも必要である。その意味において、ごみ焼却炉における排熱利用は社会的に成功した技術であるが、大規模な焼却炉においてのみ経済的に成立する。同じようにごみの持つ熱エネルギーを利用しようとする技術として、ごみ燃料 (Refuse Derived Fuel、以下 RDF という) 製造がある。この技術は中小の都市にも適用できる可能性があり、その早急な研究が望まれる。

化石燃料に比べ、RDF は多種多様かつ不均質なごみを原料とするため、生産時間や季節により特性が大きく変化することが予想される。従って、RDF 製造・利用施設における運転・維持管理、および効率よい燃焼のためには、原料ごみのプロセス内での流れや RDF 性状の変動特性が最も基本的な情報として必要である。RDF 特性に関する従来の研究には、RDF の熱的性質を扱ったもの<sup>1) 2)</sup>、RDF 製造・利用施設における問題点を扱ったもの<sup>3) 4) 5)</sup>、RDF の物理的性質、燃料としての性質、および貯蔵性などを扱った研究<sup>6) 7) 8) 9)</sup>がある。また、RDF 製造施設の運転特性および工場の物質収支に関する報告がある<sup>5) 10) 11) 12) 13)</sup>。しかし、これまでの RDF 性状および破碎ごみ質の特性に関する研究は系統的なものでなく、比較的短期間でのサンプルを用いて行われた考察であり、年間を通しての変動に関する情報は見られない。また、原料となるごみの特性は国によって異なるが、我が国における RDF の研究は、まだ十分に行われていない。

本研究は RDF 製造施設における基礎的研究として、事業系一般廃棄物を原料とする札幌市ごみ燃料化工場を対象とし、プロセス内の原料ごみ流量および RDF 性状の変動特性を明らかにし、RDF 性状を変動させる要因について検討したものである。

\*北海道大学工学部衛生工学科 (Department of Environmental and Sanitary Eng., Hokkaido Univ.)

2. 調査概要

2. 1 ごみ燃料化工場の概要

札幌市ごみ燃料化工場は、処理能力200t/13hで、平成2年4月より稼働しており、事業系一般廃棄物を原料として固形燃料を製造する。石倉ら<sup>5)</sup>、国貞<sup>14)</sup>はその概要について紹介している。図1にRDF生産フローの概略を、細部を省略して示す。また、設備の概要を表1に示す。

搬入されるごみは、建築廃材や廃プラスチックなどを主とする自己搬入ごみや、事務所ビルなどから排出される段ボールを含む紙くず、プラスチックなどの多い許可収集ごみであり、搬入されたごみの種類に応じて木主体、紙主体、プラスチック主体の各ラインに投入され、それぞれ破碎・選別（トロンメルあるいは振動ふるい）・貯留された後、混合・圧縮され、固形燃料（設計値：直径40mm、長さ100mmの円柱形）が製造される。ふるい選別によりラインから除去された残渣（不適物と呼ぶ）は隣接の焼却工場で焼却され、回収された鉄・アルミは売却される。生産されたRDFは北海道熱供給公社のほか製紙工場で年間を通じてほぼ一定量使用されている。

Table 1 Description of RDF preparation equipment in Sapporo plant

|                    | Wood line                                                                                                                                           | Paper line                                                                                                                                                       | Plastics line                                  |
|--------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------|
| Primary shredder   | 280kW vertical shaft hammer mill, 590rpm, 10t/hr                                                                                                    | 110kW vertical shaft hammer mill, 960rpm, 5t/hr                                                                                                                  | 15kW horizontal 2 shafts shear shredder, 1t/hr |
| Separator          | 1) 2.2kW disk screen; 30×1500mm punched on plate<br>2) 3.3kW 2 steps rotary screen, 11t/hr: first step $\phi$ 25mm, secondary step $\phi$ 5mm holes | 1) air classifier: 30kW fan of 150Nm <sup>3</sup> /min flow, 5t/hr<br>2) 7.5kW trommel screen, 5t/hr: first position $\phi$ 20mm, secondary position 120mm holes |                                                |
| Secondary shredder | 45kW horizontal hammer mill, 8t/hr 1500~1800rpm,                                                                                                    | 110kW horizontal hammer mill, 5t/hr 1500~1800rpm                                                                                                                 |                                                |
| Storage silo       | storage capacity 100m <sup>3</sup>                                                                                                                  | storage capacity 200m <sup>3</sup>                                                                                                                               | storage capacity 150m <sup>3</sup>             |
| Densifier          | 500mm I.D. die, $\phi$ 45mm holes, 300rpm mixer screws - 280kW, 10kW heater, 3t/hr/densifier×5                                                      |                                                                                                                                                                  |                                                |

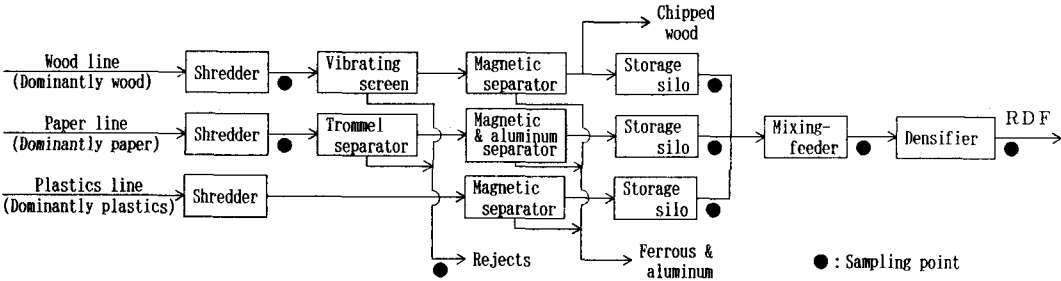


Fig. 1 Flow diagram of Sapporo RDF plant

2. 2 調査方法

RDFについては平成3年11月より平成5年4月までの18か月間調査を行い、破碎された後の原料ごみ（破碎ごみという）および不適物は平成4年5月から1年間、月1回（1日に、2~3.5時間分）定期的に調査を行った。

月1回の定期調査の方法は次の通りである。破碎ごみは各ラインの破碎機出口と貯留サイロ出口、および分給機において40分ごとに20L程度ずつ3~5回採取し、それらを混合・縮分し約5Lを分析試料とする。不適物は、40Lを一度に採取した。これらのサンプルについて物理組成（湿ベースで、木、紙、プラスチック、不燃物に分類し、不燃物についてはさらに、金属、土砂その他に2分類した）、水分を測定した。なお、物理組成分析において細かいものは分類できないので、木ラインおよび分給機のサンプル、不適物は2mm、紙ラインおよびプラスチックラインのサンプルは5mmのふるいにかかけ、ふるい上のみ組成分類し、ふるい下については可燃分、灰分を測定し、可燃分は木ラインサンプル・分給機サンプル・不適物では木とし、紙ラ

インでは紙、プラスチックラインではプラスチックであるとした。灰分は土砂その他であるとした。

RDFは10分ごとに10Lバケツ一杯分を採取し、重量を測定してかさ密度を算出した。(30cmの高さから3回落下させても容積変化はなかった。)次に、4回分のサンプルをハンマーで碎いて混合し、約3kgまで縮分した(混合サンプルと呼ぶ)。1日のうちに連続して3～5の混合サンプルを得、それぞれをさらに破碎・縮分し、約100gを測定試料とした。その後、研究室でこのうち約50gをさらに2mm以下に粉碎し、乾燥して乾ベースの可燃分(灰分=1-可燃分である)、揮発分および高位発熱量を測定し、残り50gより水分を求めた。

固体燃料の水分および水素量が、各々 $w$  [kg/kg・燃料]、 $h$  [kg/kg・燃料]であるとき、高位発熱量 $H_h$  [kcal/kg]、低位発熱量 $H_l$  [kcal/kg]および乾ベースの高位発熱量 $H_{hd}$  (ボンブ型熱量計により測定)の間に次のような関係がある。

$$H_l = H_h - 600 (w + 9h) \quad (1) \quad H_h = H_{hd} (1 - w) \quad (2)$$

発熱量は低位で表すのがよいが、水素含有量を測定していないので高位発熱量で結果を表すこととした。熱供給公社の元素分析結果によると水素は5.9～6.4% (乾ベース) でほぼ一定しており、水分 $w$  が分かれば容易に $H_l$ を計算できる。

### 3. 破碎ごみ質およびRDF性状の短期変動

平成4年5月に破碎機出口、貯留サイロ出口において40分ごとに20Lずつ5回、また分給機出口破碎ごみおよびRDFは10分ごとにそれぞれ20L、10Lずつ20回、同時刻にサンプリングを行い、破碎ごみ質の短期変動を検討した。測定方法は、2.2に述べたものと同じであるが、サンプルは混合せずに分析した。なお、この時は、プラスチックラインの破碎後についてもサンプリングを行った。

#### 3.1 破碎ごみの物理組成および水分

破碎ごみの物理組成の変動を図2に示す。横軸はサンプリング開始後の経過時間である。図2の(a)で、3種のラインのうちプラスチックラインの組成変動が著しく大きい、これはプラスチックラインには多量の包装資材が投入されることが多く、プラスチックのみのものや紙にプラスチックをコーティングしたものなど、その組成、特に紙の割合が資材の種類により異なるためと思われる。プラスチックラインの破碎機出口では不燃物は2回目のサンプルを除けばほとんど含まれておらず、また、組成の偏りは貯留サイロを経ても解消されない(図2(b))。一方、紙ラインの組成は、破碎機出口において不燃物(主に空き缶)が多く、変動も大きい、平均18% (5回のサンプルの平均) 含まれていた金属が磁選別により除かれたのちの貯留サイロにおける組成は、主成分の紙が87%程度でほぼ一定している。木ラインの組成変動は、紙、プラスチックラインに較べて小さく、貯留サイロ出口では主成分の木が90%程度含まれている。しかし、選別された後の貯留サイロ出口においても、不燃物が平均4.3%程度残っている。

各ラインの水分の短期変動を図3に示すが、木、紙ラインの水分の変動は大きい。一方、木ラインの貯留サイロ出口においては水分が高いほど、不燃物(図2(b))が多くなる傾向があり、木に付着する土砂量と水分には密接な関係のあること

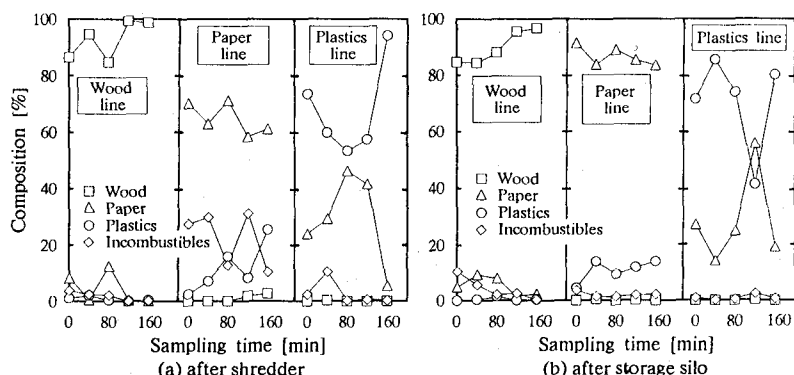


Fig. 2 Short-term fluctuation of physical composition of shredded refuse after shredder and storage silo (May 1992)

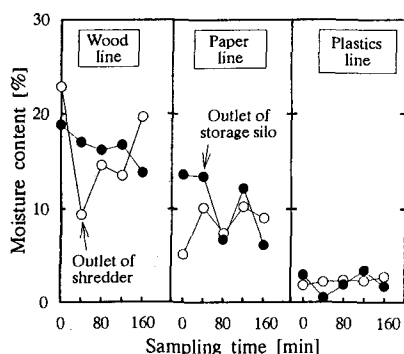


Fig. 3 Short-term fluctuation of moisture content of shredded refuse after shredder and storage silo (May 1992)

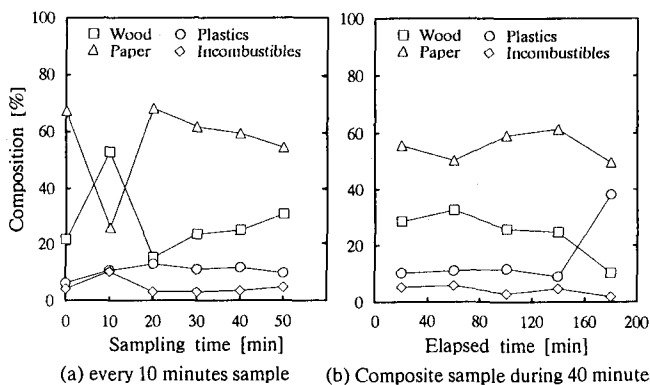


Fig. 4 Short-term fluctuation of physical composition of mixed refuse after mixing-feeder (May 1992)

が分かる。また、プラスチックラインの水分は低く、安定している。

分給機出口の細かい変動をみるため、最初の6回の10分ごとの試料の測定結果を図4(a)に示す。図2(b)の貯留サイロ出口において木、紙ラインの主組成はほぼ一定であるが、分給

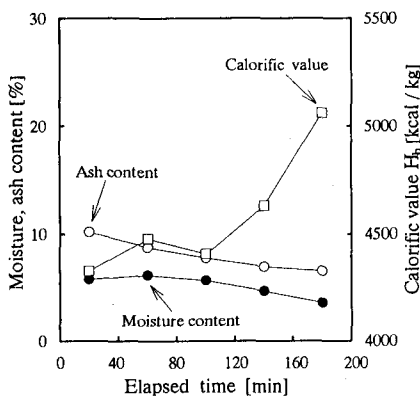


Fig. 5 Short-term fluctuation of calorific value, moisture content and ash content of RDF (May 1992)

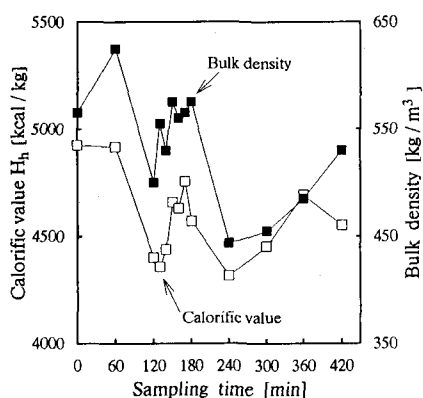


Fig. 6 Short-term fluctuation of calorific value and bulk density of RDF (September 1991)

機出口における木、紙の割合は大きく変動している。このことは各ラインから成形機への供給割合が時間的にかなり大きく変動することを示している。次に10分ごと4回分の混合サンプルを分析した結果を図4(b)に示す。平均化されるため、図4(a)より変動が小さくなっているが、160~190分の混合サンプルのプラスチック割合が大きい。

### 3.2 RDF性状

図5にRDFの水分、灰分、高位発熱量 $H_h$ の短期変動を示す。各点は40分間4回分の混合サンプルを分析したものであり、前述の分給機における組成分析結果(図4(b))と対応している。図より水分、灰分には大きな変動は見られないが(それぞれ平均5.2%、8.7%である)、発熱量には差がみられる。特に、160~190分の混合サンプルの発熱量は通常の測定結果に比べて非常に高いが、これはプラスチック混入割合(図4(b))が高いことによると思われる。

定期調査を行う前の平成3年9月、RDFのサンプリング方法を定めるためにRDFの時間変動を調べている。図6に高位発熱量 $H_h$ およびかさ密度の短期変動を示す。図中の各点は、その時刻にRDF 10Lを取り、それを分析したものである。120~180分の間は10分ごとに採取した。発熱量の変動係数(=標準偏差/平均)は4.1%だが、時々刻々の変動はかなり大きい。前述のように40分間の混合サンプルをとることとしたのは、この調査結果による。また、かさ密度の変動係数は9.2%で発熱量の変動より大きい。

#### 4. R D F 性状および破碎ごみ質の長期変動

##### 4. 1 破碎ごみの物理組成および水分

破碎ごみの水分の長期変動を、ライン別に図7に示す。8月は木ラインの破碎機が整備中であり、隣接のチップ工場で製造したチップを選別機を経ずに直接貯留サイロに投入していたため、データが1つ欠けている。木ラインに搬入されるごみは屋外で発生する建築廃材が主で、降雨の影響を受ける。また、木くずの搬入量が減少する冬には、夏場に工場内の屋外貯留ヤードにためておいたものを使用するが、やはり天候の影響を受ける。これが木ラインの水分変動を大きくしている。それに対して紙、プラスチックラインにおける水分の変動は小さい。また、紙ラインの平成5年3、4月のデータを例外として、木、紙ラインとも破碎機と貯留サイロの間で水分の大きな変化は見られない。なお、貯留サイロにおける年間平均水分は木ライン24.0%、紙ライン9.6%、プラスチックライン2.0%であった。

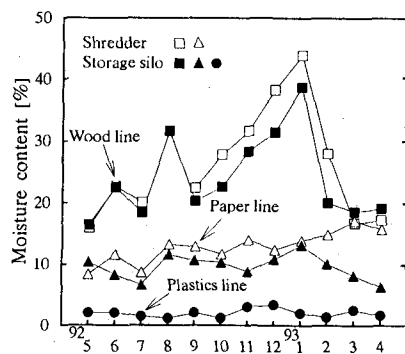


Fig. 7 Long-term fluctuation of moisture content of shredded refuse after shredder and storage silo (May 1992 ~ April 1993)

各ラインごとの主組成（例えば木ラインの木）割合の変動を

図8(a)に、不燃物の変動を図8(b)に示す。破碎機出口において紙ラインの組成変動が図2(a)の短期変動よりはるかに大きいのは、空き缶などの金属混入割合が季節的に変動するためであり、選別（磁選別およびトンネル）を経た貯留サイロ出口における紙の割合は安定しており（平均90.2%）、不燃物の割合も低い値で安定している。

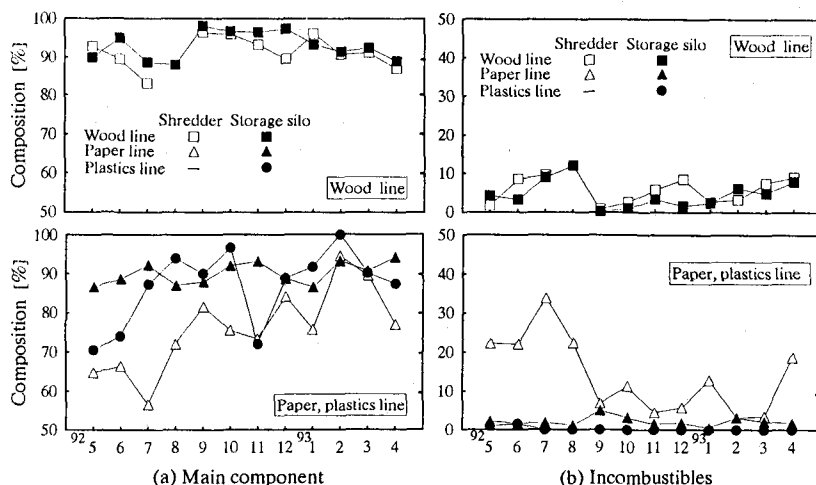


Fig. 8 Long-term fluctuation of physical composition of shredded refuse (May 1992 ~ April 1993)

一方、木ラインの破碎機

出口および貯留サイロ出口における不燃物割合は比較的大きいが、その大部分は土砂であり（8月の高い値はチップが選別されずに直接投入され、混入土砂量が多かったためである）、木ラインにおいて破碎機と貯留サイロの間で不燃物（土砂）割合に大きな変化が見られないのは、振動ふるい選別機において土砂がうまく除去できないためである。

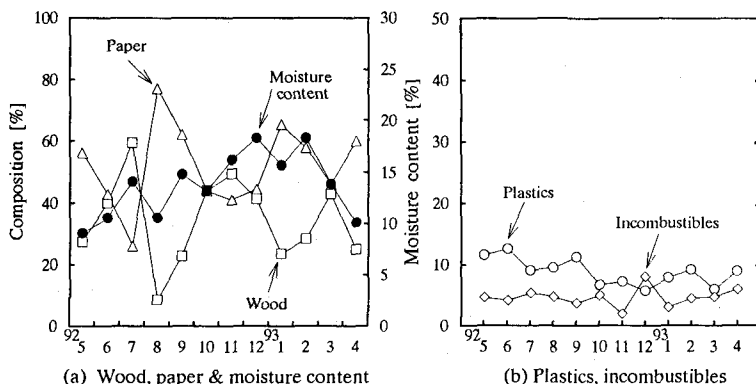


Fig. 9 Long-term fluctuation of physical composition and moisture content of mixed refuse after mixing-feeder (May 1992 ~ April 1993)

また、時期により土砂の混入量が異なることが分かる。プラスチックラインにおける組成変動は、3.1で述べたように、包装資材の種類が月により偏るためと思われ、不燃物はほとんど含まれていない。

図9には分給機出口における物理組成と水分の変動を示すが、木、紙の割合は大きく変動している。これは木、紙の各ラインからの分給機への供給割合の変動（すなわち、混合割合の変動）によって生ずると思われる。図2(a)で貯留サイロ出口においてはプラスチックラインの組成変動が大きかったが、原料ごみに占めるプラスチック割合が小さいため（6～12%）、分給機出口における組成変動は小さい。不燃物割合は2～8%程度でほぼ一定である。一方、水分は9～18%程度でほぼ一定であるが、11月～2月の間は木の水分の影響のため高い。

#### 4.2 不適物の物理組成および水分

不適物中の木と土砂の割合、および水分の変動を図10に示す。紙、プラスチック、金属は図には示していないが、平均してそれぞれ26.3%、6.9%、8.0%を占めている。また、破碎時に問題を引き起こす布、皮と厨芥が少量含まれている。

不適物の水分は、3つのラインのうち最も水分の高い木ライン（図7）の影響を大きく受ける。一方、土砂の大部分は木に附着して投入されるものであるが、図10で木の割合と土砂割合の変動は一致しない。これは分給機における木の割合（図9）のほか、木ライン中の土砂の割合（図8(b))の変動、および水分の変動

（図7）による選別効率の変動が影響するためと考えられる。

#### 4.3 RDF性状

図11にRDF性状の月変動を示す。各プロットは3～5個の混合サンプルの平均値である。RDFの高位発熱量 $H_h$ 、水分、灰分の変動幅はそれぞれ、高位発熱量4,000～4,650

kcal/kg（平均4,340 kcal/kg）、水分5.2～11.1%（平均8.3%）、灰分6～11.7%（平均8.6%）であり、大きな変化はみられない。したがって40分程度のRDFサンプルでは $H_h$ の変動は大きい（図5、6）が、120～200分間程度のサンプルであるとその変動は小さく、

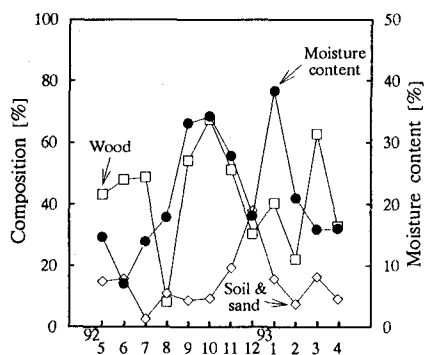


Fig. 10 Long-term fluctuation of physical composition and moisture content of rejected materials (May 1992 ~ April 1993)

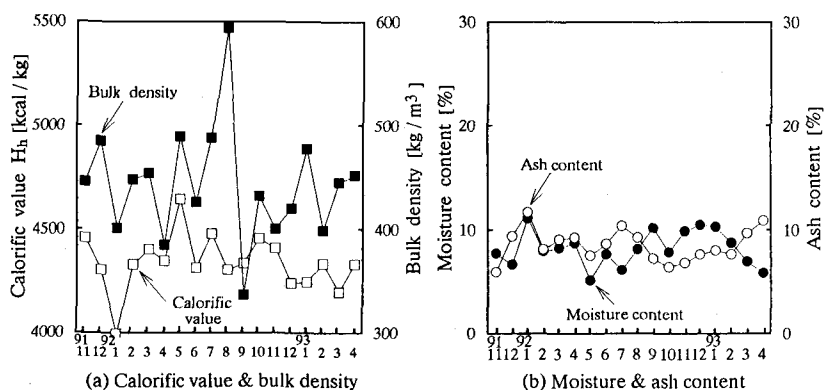


Fig. 11 Long-term fluctuation of calorific value, moisture content, ash content and bulk density of RDF (November 1991 ~ April 1993)

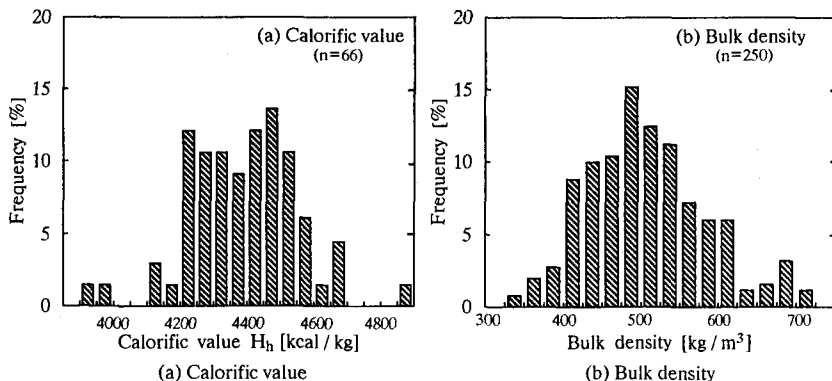


Fig. 12 Histogram of calorific value and bulk density of RDF (November 1991 ~ April 1993)

年間を通して安定した発熱量、水分、灰分のRDFが生産できている。一方、図よりかさ密度は337～594 kg/m<sup>3</sup>（平均452kg/m<sup>3</sup>）であり、短期変動の場合と同様にやはり変動は大きい。

図12(a)はRDF混合サンプル（n=66）の高位発熱量のヒストグラムを示す。ヒストグラムは正規分布形をしており、平均は4,340kcal/kg、変動係数は4.2%である。

図12(b)はRDFのかさ密度のヒストグラムを示す。かさ密度は10分ごとにRDFの採取直後に測定したため、データ数は発熱量の約4倍（n=250）である。ヒストグラムは発熱量と同様に正規分布形をしている。ボイラーなどの燃焼機は燃料を体積ベースで供給するため、かさ密度が大きく、かつその変動が小さいことが望ましい。かさ密度の平均は480kg/m<sup>3</sup>（石炭の60%）であり、また、変動係数は16.3%と発熱量のそれに比べてはるかに大きい。

## 5. ごみ燃料化工場における物質流量の推定

工場の運転を適切に評価するためには、各プロセスの物質流量を把握する必要があるが、ベルトコンベアなどによって運ばれる物質量を直接計測することは難しい。そこで、前述した組成分析の結果および、RDF生産量P'、不適物量R<sub>0</sub>、鉄・アルミ量M<sub>0</sub>、燃料チップ量Zのデータの実績値（8月を除く年平均値）を用い、物質収支式を解いて各ラインの物質流量を求めた。用いたデータを表2に、11個の未知物質流量Y<sub>1</sub>、Y<sub>2</sub>、Y<sub>3</sub>、R<sub>1</sub>、R<sub>2</sub>、M<sub>1</sub>、M<sub>2</sub>、M<sub>3</sub>、X<sub>1</sub>、X<sub>2</sub>、X<sub>3</sub>の記号の意味は図13に示す。なお、以下では湿ベースでの物質流量を考えるが、RDFの平均含水率は8.3%で、分給機出口における破碎ごみの平均含水率14.0%より小さく、成形機での水分蒸発がある。そこで、分給機出口での流量を $P = P' (1 - 0.083) / (1 - 0.140)$ とし破碎機から分給機までの間で物質収支をとる（この間、水分蒸発はないと考える）。計算に用いた物質収支式は次のようである。

$$\text{木ラインの収支: } \vec{b}_1 Y_1 - \vec{c}_1 R_1 - \vec{d}_1 M_1 - \vec{f} Z = \vec{a}_1 X_1 \quad (3)$$

$$\text{紙ラインの収支: } \vec{b}_2 Y_2 - \vec{c}_2 R_2 - \vec{d}_2 M_2 = \vec{a}_2 X_2 \quad (4)$$

$$\text{不適物量の収支: } \vec{c}_1 R_1 + \vec{c}_2 R_2 = \vec{c}_0 R_0 \quad (5)$$

$$\text{回収金属収支: } \vec{d}_1 M_1 + \vec{d}_2 M_2 = \vec{d}_0 M_0 \quad (6)$$

$$\text{分給機の収支: } \vec{a}_1 X_1 + \vec{a}_2 X_2 + \vec{a}_3 X_3 = \vec{e} P \quad (7)$$

ここで、 $\vec{b}_1$ 、 $\vec{b}_2$ などは各サンプリング位置における組成ベクトルを表し（表2）、式(3)～(7)はそれぞれ各組成に関する5本の式をまとめて示している。これに各ラインの全組成合計流量の式：

$$Y_1 - R_1 - M_1 - Z = X_1 \quad (8) \quad Y_2 - R_2 - M_2 = X_2 \quad (9)$$

$$R_1 + R_2 = R_0 \quad (10) \quad M_1 + M_2 = M_0 \quad (11)$$

$$X_1 + X_2 + X_3 = P \quad (12)$$

を加えた計30本の式の中から、すべての係数が0でない25本の式を用い、各式の両辺の差の2乗和を最小にするよう11個の未知数を決定した。なお、以上の計算において次の仮定をおいた。1) 工場の運転データによると不適物中には手選別と機械選別によるものの両者が含まれており、それらを区別することができないため機械選別による割合は全不適物量の20%であるとした。2) プラスチックラインの磁選別により選別される金属量はわずかなので $M_3 = 0$ とし、よって破碎機における組成は貯留サイロ出口のそれと同じとした（ $X_3 = Y_3$ ）。3) 木、紙ラインから除去される不適物は直接測定できないので $\vec{c}_1$ 、 $\vec{c}_2$ を表2のように仮定した。4)  $\vec{d}_0$ 、 $\vec{d}_1$ 、 $\vec{d}_2$ における金属分の割合を1、 $\vec{f}$ 中の木の割合も1であるとした。

計算結果を、破碎機に投入されるごみ量の合計を100として図13に示している。Z、R<sub>0</sub>、M<sub>0</sub>、Pはそれぞれ(8)、(10)、(11)、(12)により再計算し、P'および水分蒸発量は前述のPとの関係により求めた。選別により不適物となる量は木、紙ラインからほぼ同じであり、投入量のそれぞれ6.2%、8.4%が不適物として除かれる。こうした選別を経て、成形機に投入される原料の木、紙、プラスチックラインからの供給割合はそ

プラスチック10±5%であるので、木が少なく紙が多いが、プラスチックは設計範囲内であることが分かる。

Table 2 Data used for estimation of mass flow rate

| Component                             |                         | Composition [-] |       |              |                    |                    | Symbol                |
|---------------------------------------|-------------------------|-----------------|-------|--------------|--------------------|--------------------|-----------------------|
|                                       |                         | Wood            | Paper | Plastics     | Ferrous & aluminum | Dust & grit        |                       |
| Wood line                             | after shredder          | 0.914           | 0.025 | 0.006        | 0.002              | 0.053              | $\vec{b}_1$           |
|                                       | after storage silo      | 0.935           | 0.020 | 0.004        | 0.000              | 0.041              | $\vec{a}_1$           |
| Paper line                            | after shredder          | 0.010           | 0.763 | 0.095        | 0.078              | 0.054              | $\vec{b}_2$           |
|                                       | after storage silo      | 0.013           | 0.904 | 0.060        | 0.002              | 0.021              | $\vec{a}_2$           |
| after plastics line                   |                         | 0.000           | 0.135 | 0.863        | 0.000              | 0.002              | $\vec{b}_3=\vec{a}_3$ |
| after mixing-feeder                   |                         | 0.368           | 0.497 | 0.088        | 0.005              | 0.042              | $\vec{e}$             |
| Rejects                               |                         | 0.466           | 0.240 | 0.067        | 0.079              | 0.148              | $\vec{c}_0$           |
| Assumed Constants                     | Rejects from wood line  | 0.900           | 0.010 | 0.010        | 0.000              | 0.080              | $\vec{c}_1$           |
|                                       | Rejects from paper line | 0.010           | 0.200 | 0.090        | 0.350              | 0.350              | $\vec{c}_2$           |
| Operating data of RDF plant [t/month] |                         | RDF production  |       | Chipped wood | Rejects            | Ferrous & aluminum |                       |
|                                       |                         | 2.209.1         |       | 580.1        | 218.1              | 85.5               |                       |

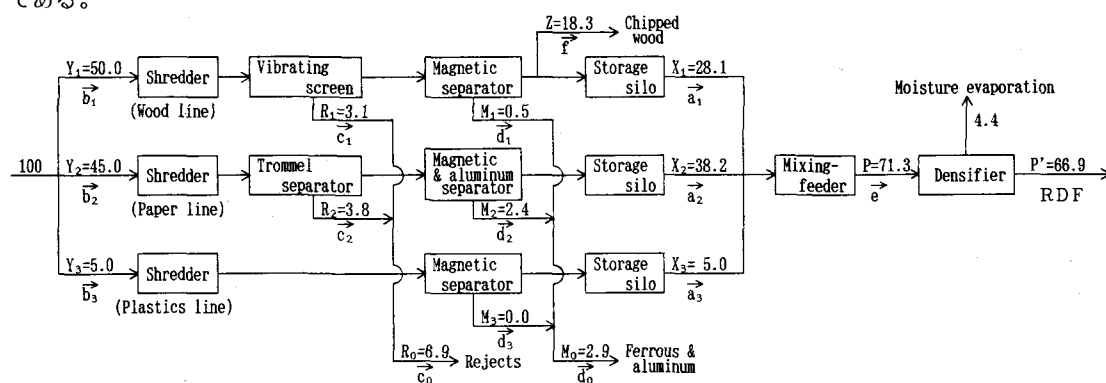


Fig. 13 Estimated mass flow rate in Sapporo RDF plant(May 1992 ~ April 1993)

## 6. RDF性状の変動要因

## 6. 1 発熱量

高位発熱量 $H_h$ は原料となるごみの組成( $H_{ha}$ が変化する)と同時に水分の影響を受ける。図11に示したように発熱量は灰分、水分が低いとき高くなっており、この2つが発熱量の変動要因と考えられる。

この考察のため平成3年9月に貯留サイロ出口からライン別に各々約20L採取し、それらの主組成（例えば木ラインの木）について縮分・粉碎し、発熱量、灰分を測定した。その結果を表3に示すが、木、プラスチックの灰分は1.0%、2.1%であるのに対し、紙は7.5%と高い。プラスチック割合を設計値である10%とし、木と紙の割合が1:1と1:1.5として計算すると灰分はそれぞれ4.1%、5.7%となり（水分ゼロとして）、その差は小さく、灰分の変動は木と紙の割合比で変化するのではなく、主として土砂を含めた不燃物の混入割合の変動により生じている。水分の影響を除くため乾ベースでの高位発熱量と可燃分の関係を見ると図14のようになり、両者の相関係数は0.70と高く（1%で有意）、灰分の差により発熱量が変動していることが分

かる。

一方、原料が木、紙、プラスチックのみであるとし、その組成を仮定すると、表3の数値を用いて可燃分B'、発熱量 $H_{hd}$ 'が計算できる。これに土砂などの不燃物が混入するとき、可燃分B、発熱量 $H_{hd}$ は次式のように低下する。

$$H_{hd} = (B/B') H_{hd}' \quad (13)$$

$$B = B' / (1 + A) \quad (14)$$

ここで、Aは原料を1としたときの混入不燃物量である。図14に示したように $H_{hd}$ は一つの直線にのらず、これは木、紙に比べて発熱量の高いプラスチックの割合が変化しているためと考えられる。いま、プラスチック割合を5、10、15%と変え、残りの木と紙の割合を前節の終わりで示した乾ベース割合1:1.6と仮定し、不燃物の混入を想定して可燃分Bを変化させると、図14中の実線が得られる。図よりプラスチック割合は6~15%の間で変動していることが分かる。図14から乾ベース発熱量 $H_{hd}$ に対する影響度は、不燃物混入割合、プラスチック割合ともに同程度と言える。

## 6.2 かさ密度

かさ密度の変動要因としては水分、成形機の運転状態、バインダーとしてのプラスチックの割合および木と紙の割合などが考えられる。

RDFの固まり具合を表す指標として小片率を用い、それとRDFの発熱量(乾ベース)の関係を図15に示す(平成4年10月のデータ)。小片率を、1個ずつのRDF質量を測定し、20g以下のものの全量に対する割合と定義する。RDFが20g以下のものはぼろぼろの状態であり、RDFのハンドリング時にほこりの原因となると考えられる。なお、この時RDF1個の平均重量は90g/個であった。図中の各点は、同時刻に約30分ごとに3回、4台の成形機から同時にサンプリングしたものを記号を変えて示したものである。

図15より時間と共に小片率が異なることが分かる。また、発熱量が高い3回目のサンプルでは小片率は5%以下と低い。これは時間により成形機への供給原料の組成が異なり、バインダーとしての役割を持つプラスチックが多くなるほど固まり具合がよくなることを示している(図14のプラスチックの混合割合で示すと17.5%に相当する)。一方、1、2回目のサンプルの発熱量はほぼ一定であるにもかかわらず、小片率はかなりの差が見られる。木の供給量が少なかった平成4年8月(図9(a))においてかさ密度が特に高かったことから(図11(b))、木の割合が少ないとかさ密度が高く、小片率の少ないRDFが作られると考えられる。

成形機の運転状態を表す指標としては成形速度がある。その違いによるRDF性状に及ぼす影響を検討するため、成形機において単位時間当たりの成形量を調べ(平成4年1月)、成形速度に差のあった二つの成形機のRDF性状を調べた(表4)。表に示したように発熱量はほぼ同じであるにもかかわらずかさ密度に

Table 3 Properties of main composition sampled from each line(September 1991)

| Component                 | Ash content [%] | Calorific value $H_{hd}$ [kcal/kg] |
|---------------------------|-----------------|------------------------------------|
| Wood in wood line         | 1.0             | 4,560                              |
| Paper in paper line       | 7.5             | 4,180                              |
| Plastics in plastics line | 2.1             | 10,128                             |

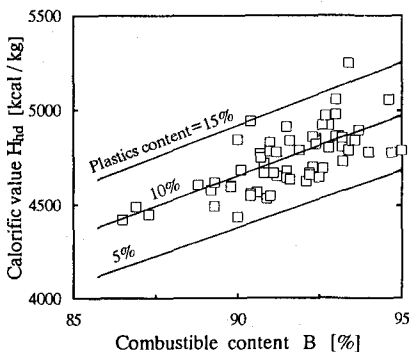


Fig. 14 Relationship between combustible content and calorific value of RDF(November 1991 ~ April 1993)

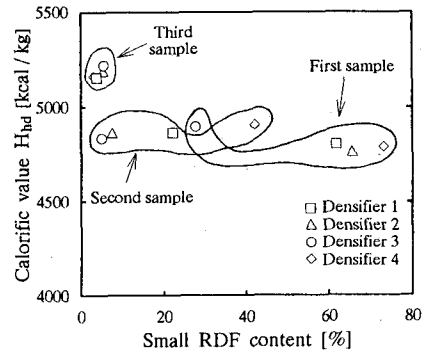


Fig. 15 Relationship between small RDF content and calorific value(October 1992)

は約2倍の差が見られる。そのときの成形速度にも約3倍の差があり、加圧時間が長いほどうまく固まり、かさ密度が高くなることが分かる。

さらに、水分の影響を検討するため、10分ごとに測定したかさ密度と水分との関係を図16に示す。相関係数は $-0.50$  ( $n=66$ ) で負の相関(1%有意)があった。水分が高いと圧縮成形時に摩擦熱の吸収および摩擦力の減少が起こり、RDFがうまく固まらないことがわかる。RDF水分の変動は上述のように加圧される時間の差によっても生ずるが、主要因は木ラインの水分変化(図8参照)によると考えられる。以上のことから、原料ごみ中の木の割合と水分がRDFのかさ密度変動の主要因子であり、木の割合や水分が多くなると、かさ密度は小さく、小片率は高くなり、RDF製品としては劣ることになる。また、この水分は主として木ラインから入ってくるので、これを管理することが重要である。

Table 4 Influence of RDF production rate on RDF properties(January 1992)

|             | Production rate<br>[kg/hr] | Bulk density<br>[kg/m <sup>3</sup> ] | Moisture content<br>[%] | Higher calorific value $H_{h,s}$<br>[kcal/kg] |
|-------------|----------------------------|--------------------------------------|-------------------------|-----------------------------------------------|
| Densifier 1 | 3,204                      | 381                                  | 10.4                    | 4,491                                         |
| Densifier 2 | 1,170                      | 605                                  | 7.3                     | 4,508                                         |

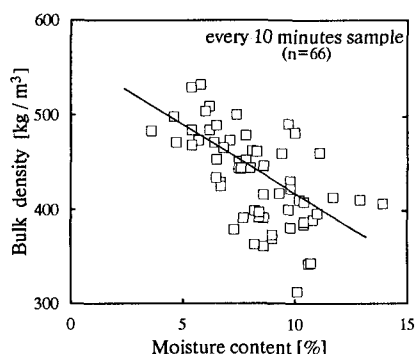


Fig. 16 Relationship between moisture content and bulk density of RDF(November 1991 ~ April 1993)

## 7. おわりに

事業系ごみから木、紙、プラスチック主体ごみを集めてRDFを製造する札幌市ごみ燃料化工場において1年半にわたって、搬入ごみが破碎・選別・貯留・混合といったプロセスを経てRDF製造に至るまでの各部位におけるサンプリング・分析を系統だてかつ継続的に行った。得られた知見をまとめると以下になる。

- 1) RDFの性状は短期的には大きく変動するが、分給機における木、紙、プラスチックの混合割合の変化が主要な要因である。しかし、サンプリングを2~3時間にわたって行えば安定した値が得られ、また、実際の利用においては貯蔵・搬出、および燃焼機への供給時に、それぞれRDFが混合、平均化されるためにRDFの短期的変動は問題とは思われない。
- 2) 年間を通してみれば、RDFの発熱量、灰分、水分は安定していると言える。月平均データから算出した年平均±標準偏差は、高位発熱量は $4,340 \pm 131$  kcal/kg、灰分 $8.6 \pm 1.5\%$ 、水分 $8.3 \pm 1.6\%$ である。一方、かさ密度は $452 \pm 53$  kg/m<sup>3</sup>であり、その変動は他の特性に比べて大きく、燃焼の難しさ、利用時のほこりの発生、輸送効率の悪さが問題になる場合には改善しなければならない。かさ密度は原料の水分(水分大のとき小)、原料の組成(木が多いとき小、プラスチックが多いとき大)などに影響される。
- 3) 原料ごみに含まれている金属は、選別によってその大部分が除去される。RDF中不燃物の大部分は土砂であり、屋外で発生する木くずに付着する土砂がその由来であり、振動ふるいにより十分除くことができていない。
- 4) RDFの発熱量は、主として原料中のプラスチック割合、土砂の混入割合により定まり、両者の影響の大きさは同程度である。変動の大きさは利用に支障があるほどではないが、より高い発熱量とかさ密度を得るため工場ではプラスチック破碎機の増設を計画している。一方、土砂は、特に水分が高いときに選別効率が悪くなり、運転上の課題として残されている。
- 5) RDF性状の変動要因は、主として水分、灰分、プラスチックなどであり、水分、灰分(土砂)は木ラインに投入される木に付着しており、これの管理が重要である。また、プラスチック含有量を10%からさらに高めること、木と紙の混合割合を一定にすることが、良質なRDFを作る上で重要である。
- 6) システム内で測定されているのは、RDF生産量、不適物量など、ごく限られているが、組成分析結果

をもとにシステム内での物質収支を計算し、物質の流れを明らかにすることができた。

7) サンプルング手順や測定項目など、他の施設にも適用できる測定方法を提案した。

最後に、調査にあたって多大なご協力をいただいた札幌市清掃部、札幌市環境事業公社、極東開発工業（株）、および当学科清掃工学講座松尾孝之氏、山口直久氏に感謝します。

#### 参考文献

- 1) Savage, G.M.: Thermal conductivity and specific heat of densified refuse derived fuel, Waste Management & Research, Vol.7, pp.83-92 (1989)
- 2) Agrawal, R.K.: Composition analysis of solid waste and refuse derived fuel by thermogravimetry, ASTM, STP 997, pp.259-271 (1988)
- 3) Ohlsson, O.O.: A review of refuse derived fuel(RDF) facilities; Design consideration and opportunities, US DOE Report CONF-8904197-1, pp.1-31 (1989)
- 4) Jackson, D.V.: A review of developments in the production and combustion of RDF, Energy Recovery Waste Combust., pp.73-82 (1988)
- 5) 石倉長治郎、及川克弘、富樫善昭：札幌市ごみ燃料化工場の稼働状況と技術的課題、PLASPIA No.75 (1991)
- 6) Ohlsson, O.O., K.E.Daugherty and B.J. Venables: Densified refuse driven fuel-an alternative energy source, Strateg Energy Effic Plants Intell Build; World energy congress 9th, pp.539-597 (1987)
- 7) Steverson, E.M., J.A. Goldsberry and J.L. Mayberry: The densification of Refuse-Derived Fuel: A state of the art assessment, US DOE Report CONF-8909109-1, pp.1-15 (1989)
- 8) Alter, H. and J.A. Campbell: The preparation and properties of densified RDF, Thermal Conversion of Solid Wastes and Biomass(symposium), pp.127-142 (1980)
- 9) 田村光政、大西保人、田内一成：ポリエチレンをバインダーとした木質系粒状固形燃料（ペレット）の特性：木質系およびポリエチレン廃棄物の有効利用、公害、第19巻第5号、pp.25-31 (1984)
- 10) Barton, J.R. and P.A. Wheeler: The Byker refuse derived fuel plant, Eng. Profit Waste; proceedings of the Institution of Mechanical Engineers conference, pp.71-78 (1991)
- 11) Williams, D.B. and D.J. Leech: The manufacture of refuse derived fuel and plant modification needed to make a competitive product, Eng. Profit Waste; proceedings of the Institution of Mechanical Engineers conference, pp.79-84 (1991)
- 12) 村上 満：固形燃料化実証プラントの実証実験結果について、都市と廃棄物、Vol.19 No.9, pp.43-49 (1989)
- 13) 石井義明、石井 昇、近藤和博、飯田裕一、新保秀人、岡本恭一、郷家千賀男：都市ごみの固形燃料化システム、エバラ時報、No.141、pp.27-33 (1988)
- 14) 国貞 彪：廃プラスチックの燃料化技術、都市清掃、第43巻第177号、pp.28-35 (1991)