

## 「見直されるバイオマス燃料（Ⅱ）」

### ～RDF化による省エネと二酸化炭素削減について～

環境計画センター技術士（衛生工学・環境・建設）鍵谷 司

最近、途上国の経済発展とともにエネルギーが高騰し、温室効果ガスによる地球温暖化対策が世界的な課題になる中、鳩山新政権では条件付きながらCO<sub>2</sub>排出量を2020年までに1990年比で25%削減（9億4,600万トン）を国際公約し、その実現に向けた取り組みが最重要課題の一つとなっている。CO<sub>2</sub>排出量はほとんどエネルギー消費に伴うものであり、これを抑制するためにはエネルギー消費量を抑制することが必要である。エネルギー消費は経済活動に直結することから対応が非常に難しい。

このようなエネルギー源供給の不安定さとCO<sub>2</sub>削減の国際的な約束を背景として、安価なエネルギー源であり、かつCO<sub>2</sub>排出係数の小さなバイオマスがクローズアップされている。とくに、近隣で大量に発生し、エネルギー源であり、かつ生物由来のバイオマスを含み、安定的に供給が可能である一般廃棄物や下水汚泥が注目され始めている。木質系燃料やRDFの需要が拡大し、販売価格も上昇しており、この1年でRDFを巡る状況が大きく

変わる兆しが見られる。その動向については、「環境施設」（vol.119、2009.9）において寄稿した「見直されるバイオマス燃料～RDF等の最近の動向と展望～」と題して紹介した。

今回は、「見直されるバイオマス燃料（Ⅱ）」と題して、廃棄物由来のバイオマスであるRDFの有する潜在的なエネルギー価値とCO<sub>2</sub>削減効果について検討したので紹介する。

#### （1）わが国の二酸化炭素排出量と国際公約について

##### 〈わが国のCO<sub>2</sub>排出量の現状について〉

温室効果ガス（CO<sub>2</sub>、メタン、一酸化二窒素、代替フロン3種類の6種類のガス）について先進国の法的拘束力のある排出量の削減目標が定められており、日本については、2008年～2012年の間に基準年（1990年）の6%が削減目標となっている。

この目標達成のために、国内での温室効果ガスの削減のほかに森林等吸収源や「京都メカニズム」と呼ばれる3つの制度が用意されている。具体的には、①先進国と途上国の間で省エネプロジェクト等を共同で実施し、温室効果ガスの削減量を移転する仕組み（クリーン開発メカニズム；CDM）、②先進国間で省エネプロジェクト等を共同で実施し、温室効果ガスの削減量を移転する仕組み（共同実施）、③先進国間で数値目標の割当量を売買する仕組み（排出量取引）がある。

「日本国温室効果ガスインベントリ報告書」（以下、インベントリ報告書と記す）の速報値によると、わが国の2008年度における温室効

#### 〔本論文の目次〕

- （1）わが国の二酸化炭素排出量と国際公約について
- （2）廃棄物処理に伴う温室効果ガス排出量の実態について
- （3）廃棄物処理とごみ発電の実態について
- （4）廃棄物処理における二酸化炭素排出量について
- （5）石炭火力発電所におけるRDFの利用性について
- （6）今後の廃棄物エネルギー利用の方向性について

果ガス総排出量は、12億8,600万トンであり、2007年度と比較して約1億3,000万トン急減した。その理由は、世界金融危機の影響を受けて経済状況が悪化したことにより、化石エネルギー使用量が激減し、エネルギー部門のCO<sub>2</sub>排出量が大きく減少したためである。<sup>※1)</sup>

また、基準年比(12億6,100万トン)と比較すると、1.9%の増加となっており、削減約束(11億8,600万トン)と比べるとまだ6,800万トンの削減が求められる。削減約束を遵守するために、下記に示した森林等吸収源対策や京都メカニズムの活用による削減を目指している。以下に温室効果ガス排出量の実態と約束を遵守するために削減量等をまとめて示す。なお、温室効果ガス総排出量は、それぞれのガスごとに温室効果が異なるので、排出量の95%を占めるCO<sub>2</sub>に換算して示したものである。

なお、インベントリ報告書とは、気候変動枠組条約事務局に報告するための温室効果ガス等の排出・吸収に関する目録(インベントリ)である。

- ①京都議定書基準年(1990年度)の排出量；12億6,100万トン〈ただし、フロオロカーボン等は1995年度の排出量を採用〉

- ②京都議定書削減約束(2008～2012)；11億8,600万トン(基準年比；6.0%減)  
 ③2007年度排出量；13億7,100万トン(基準年比；8.7%増)  
 ④2008年度排出量；12億8,600万トン(基準年比；2.0%増)〈前年度よりも8,500万トンの減少〉  
 ⑤京都議定書削減約束(2008～2012)遵守のために1億トンの削減が必要であり、次の対応が検討されている。  
 ・排出量の削減；約3,200万トン(2.5%削減)  
 ・森林吸収源対策による削減；約4,800万トン(3.8%削減)  
 ・京都メカニズム；約2,000万トン(1.6%削減)  
 ⑥鳩山新政権による2020年度25%削減目標；9億4,600万トン(推算値)〈2008年度より3億4千万トン削減する必要がある〉

#### 〈電力業界における二酸化炭素排出量の実態について〉

2007年度における部門別の直接CO<sub>2</sub>排出量は図-2に示した通り、電力等のエネルギー転換部門が33.8%で、全体の1/3に相当する4億4千万トン程度排出している。発電総量

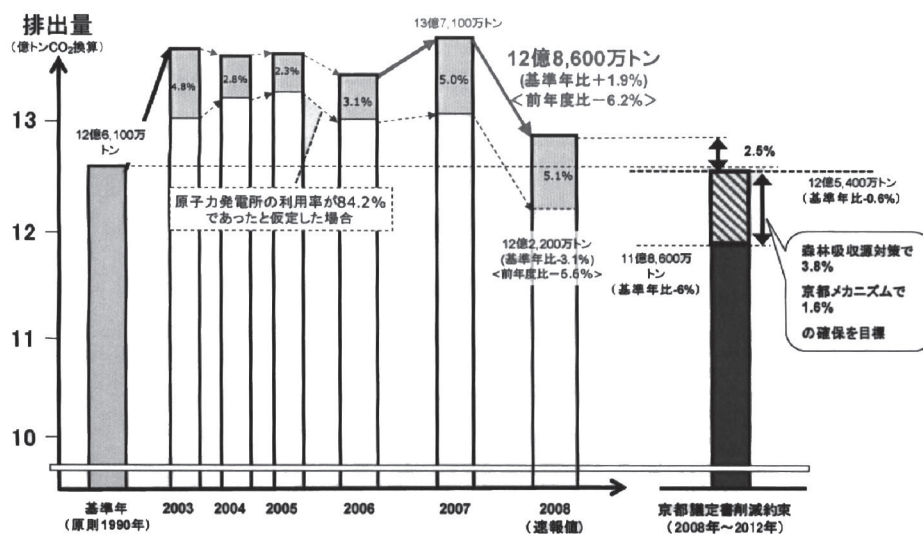


図-1 わが国の温室効果ガス排出量の推移と削減対応<sup>※1)</sup>

は約1兆kWhであり、燃料別発電量はLNG(27.2%)、石炭(25.2%)、原子力(27.2%)、石油(13.3%)等であった。これに基づいて各化石燃料別の発電量を算定し、発電量(kWh)当たりのCO<sub>2</sub>排出原単位を乗じることにより、燃焼時におけるCO<sub>2</sub>排出量を算定することができる。<sup>※2)</sup>

その結果、石炭燃焼に伴うCO<sub>2</sub>排出量は2億5千万トン(設備・運用含む)であり、石炭火力発電所からの排出量が電力等のエネルギー転換部門の半分以上を占めるものと推算される。

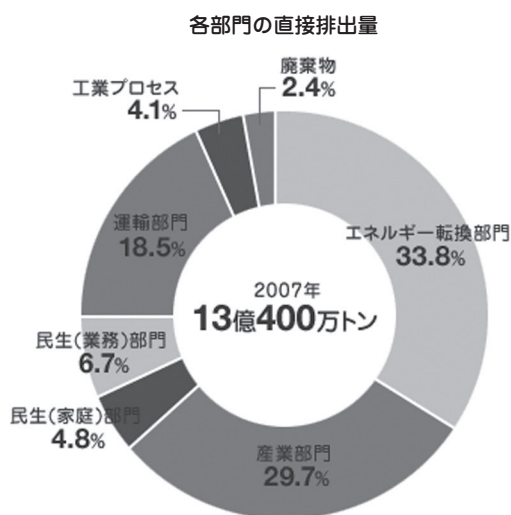


図-2 わが国の部門別二酸化炭素の直接排出量(2007年度)

石炭火力発電所のCO<sub>2</sub>排出量の削減は、排出量が非常に多いことから緊急の課題であり、発電効率のさらなる向上やCO<sub>2</sub>回収などの技術開発に取り組まれている。しかしながら、耐用年数が40年以上と言われる発電所の更新あるいはCO<sub>2</sub>回収などの新技術の実用化には中長期的な対応が必要であり、短期的には難しい。現実的な対応としては、CO<sub>2</sub>排出量の少ないバイオマスと石炭との混焼利用が有望であり、すでに実用化され普及しつつある。その実態等については前回の寄稿で詳細に紹介した。

## (2) 廃棄物処理に伴う温室効果ガス排出量の実態について

2007年度より廃棄物の焼却に伴う温室効果ガス排出量の算定区分が変更され、廃棄物分野における温室効果ガス排出量は、エネルギー回収を伴わない廃棄物焼却(単純焼却)のみが計上されている。廃棄物のエネルギーが回収や利用された場合にはエネルギー分野に計上された。当稿では廃棄物の効率的な利用によりどの程度の温室効果ガスを削減できるかについて検討するので、エネルギー分野に分類されている廃棄物焼却に伴う温室効果ガス排出量についても併せて算定した。<sup>※1)</sup>

一般廃棄物、産業廃棄物、特別管理廃棄物の焼却、埋立、排水処理等に伴って温室効果ガスであるCO<sub>2</sub>、メタン(CH<sub>4</sub>)、一酸化二窒素(N<sub>2</sub>O)が発生する。それぞれの発生量をインベントリ報告書より算定して表-1に示した。2007年度のエネルギー分野を含むごみ焼却により温室効果ガスは約3,320万トン排出されており、わが国の総排出量の2.4%を占める。さらに埋立、排水処理等から排出される約760万トンを含めると実質排出量は約4,080万トンであり、わが国の総排出量の3.0%を占める。廃棄物分野(エネルギー分野のごみ焼却含む)に占める焼却に伴う温室効果ガスが81%強であり、このうち、CO<sub>2</sub>排出量が91%強を占める。<sup>※1)</sup> なお、表-2で示したCH<sub>4</sub>及びN<sub>2</sub>Oは、地球温暖化係数を乗じてCO<sub>2</sub>換算したものである。

大きくまとめると次の通りである。

- ①エネルギー回収を伴わない廃棄物焼却(単純焼却)：約1,650万トン(40.5%)
- ②廃棄物が焼却される際にエネルギーが回収：約860万トン(21.1%)
- ③廃棄物が燃料として直接利用：約670万トン(16.4%)
- ④廃棄物が燃料に加工された後に利用：約130万トン(3.3%)

表－１ 廃棄物分野の温室効果ガスの発生状況（2007年度）

※単位：千トン

| 廃棄物の焼却形態                | CO <sub>2</sub> | CH <sub>4</sub> | N <sub>2</sub> O | 総合計    | 割合       |
|-------------------------|-----------------|-----------------|------------------|--------|----------|
| エネルギー回収を伴わない廃棄物焼却（単純焼却） | 14,227          | 10              | 2,296            | 16,533 | 49.8%    |
| 廃棄物が焼却される際エネルギーが回収      | 8,066           | 11              | 554              | 8,631  | 26.0%    |
| 廃棄物が燃料として直接利用           | 6,577           | 75              | 33               | 6,685  | 20.1%    |
| 廃棄物が燃料に加工された後に利用        | 1,340           | 0.1             | 8                | 1,347  | 4.1%     |
| 焼却総合計                   | 30,210          | 96              | 2,890            | 33,196 | 100.0%   |
| 温室効果ガス排出割合              | 91.0%           | 0.3%            | 8.7%             | 100.0% | (81.5%)  |
| 6A.埋立（CH <sub>4</sub> ） | 0               | 4,517           | 0                | 4,517  |          |
| 6B.排水の処理                | 0               | 1,369           | 1,159            | 2,528  |          |
| 6C.その他                  | 560             | 17              | 15               | 592    |          |
| 焼却以外の発生量の合計             | 560             | 5,903           | 1,174            | 7,637  | (18.5%)  |
| 総合計（エネルギー分野を含む）         | 30,770          | 5,999           | 4,064            | 40,833 | (100.0%) |

※「日本国温室効果ガスインベントリ報告書 2009年4月」Ver.5 より筆者が作成した。

### （３）廃棄物処理とごみ発電の実態について

ごみ焼却処理に伴って大量の熱が発生するが、一般廃棄物の約７割が温水、蒸気、発電等に利用されている。燃焼により発生するCO<sub>2</sub>のうち、排出量として計上されるCO<sub>2</sub>は廃プラスチックや合成繊維に由来するものに限られる。しかしながら、この熱エネルギーを発電や熱供給に利用した場合には、発電量等に応じて石炭等の化石燃料を節約できるとともに、CO<sub>2</sub>排出量の控除（削減）に寄与することになる。

平成17年に改正された地球温暖化対策に関する法律に基づく「温室効果ガス排出量の算定・報告・公表制度」において温室効果ガスの算定方法が定められており（以下、算定マニュアルと記す）<sup>※3)</sup>、この中で、他人に供給した発電又は熱に伴う排出量についてはCO<sub>2</sub>排出量を控除されるとしている。

以下に可燃性ごみの排出状況とごみ発電の実態についてまとめた。

#### 〈可燃性ごみ量の現状について〉

一般廃棄物と産業廃棄物のごみ排出状況の

うち、とくに可燃性廃棄物に主眼をおいてまとめ表－２に示した。<sup>※4)</sup>

①一般廃棄物：2007年度の排出総量は、集団回収量を含めて約5,090万トンであった。このうち、可燃ごみの処理量は約4,120万トンであり、焼却及び燃料利用される可燃ごみ量は約3,750万トンになる。

すなわち、可燃ごみは総ごみ量の約81%を占め、このうち約74%に相当する約3,750万トンが燃焼処理された。仮に低位発熱量を2,100kcal/kgに設定し、容器包装リサイクル法に基づく分別収集された紙製とプラスチック製の廃棄物の発熱量をそれぞれ4,700kcal/kgと8,000kcal/kgに、石炭の低位発熱量を6,100kcal/kgに設定し、石炭量に換算すると約1,440万トンに相当する。

②産業廃棄物：2006年度における排出総量は4億1,850万トンであり、このうち、可燃ごみの排出量は2,260万トンであった。なお、汚泥は1億8,500万トンであるが、無機性と有機性が区分されていないこと、ならびにその含水率が不明であり、固形分量が不明であるので、除外した。各可燃物の低位発熱量を表－２の備考欄に示した数値に、石炭の低位発熱量を6,100kcal/kgに設定する



と、石炭換算量で約2,140万トンに相当する。

なお、算定マニュアルやJISなどで掲載されている石炭の発熱量は高位発熱量であることに留意する必要がある。実際の燃焼時には、含有する水素分から生成した水及び含有する水分は凝縮することなく、そのまま蒸気として排出されるので、低位発熱量を用いる必要がある。

以上のように、汚泥を除いて現状でリサイクルされているものを含めた可燃ごみの総量は約6,400万トンに達し、発熱量で石炭に換算すると約3,600万トンに相当する。発電に使用されている石炭使用量は約1億トンであり、36%に相当するエネルギーを潜在的に有すると算定される。

表－２ 可燃性廃棄物の排出状況

(単位：万トン)

| 廃棄物の種類 | 明 細       | 処理量      | 備 考                    |
|--------|-----------|----------|------------------------|
| 一般廃棄物  |           |          | ※環境省データ；2007年度（平成19年度） |
|        | 排出総量      | 5,087.2  |                        |
|        | 焼却量       | 3,873.7  | ※標準低位発熱量を2,100kcal/kg  |
|        | 単純焼却      | 544.6    | ※上記より推算値               |
|        | 余熱利用      | 707.3    | ※上記より推算値               |
|        | 発電利用      | 2,621.8  | ※上記より推算値               |
|        | RDF化处理    | 71.2     | ※環境省データより              |
|        | 堆肥化处理     | 12.9     | ※環境省データより              |
|        | その他（メタン等） | 2.5      | ※環境省データより              |
|        | 容り法       | 160.9    | ※紙製、プラ製容器包装            |
|        | 合 計       | 4,121.2  | ※石炭換算で1,440万トン         |
| 産業廃棄物  |           |          | ※2006年度（平成18年度）        |
|        | 廃プラスチック   | 609.4    | ※8,000（kcal/kg）に設定     |
|        | 木くず       | 585.2    | ※4,500（kcal/kg）に設定     |
|        | 紙くず       | 166.4    | ※4,700（kcal/kg）に設定     |
|        | 繊維くず      | 8.0      | ※5,300（kcal/kg）に設定     |
|        | 廃油        | 340.6    | ※8,300（kcal/kg）に設定     |
|        | 動植物性残渣    | 300.8    | ※2,100（kcal/kg）に設定     |
|        | 動物系固形物    | 10.4     | ※6,000（kcal/kg）に設定     |
|        | ゴムくず      | 4.8      | ※8,500（kcal/kg）に設定     |
|        | 動物の死体     | 234.0    | ※5,000（kcal/kg）に設定     |
|        | 小 計       | 2,259.6  | ※石炭換算で約2,140万トン        |
| 可燃廃棄物  | 総合計       | 6,380.8  | ※石炭換算で3,580万トン         |
|        | 汚泥        | 18,532.7 | ※含水率不明につき、参考値          |

※発電利用は、発電効率、標準発熱量、総発電量より算定。

※単純焼却と余熱利用は、発電以外のごみ焼却量（1,250万トン）をそれぞれの施設数で案分した。

※余熱なし（429）が43.5%、発電以外の余熱あり（558）が56.5%とし、発電以外の処理量（1,250万トン）に案分した。

※石炭の低位発熱量を6,100（kcal/kg）に設定した。

### 〈ごみ発電の現状について〉

廃棄物のエネルギー利用として廃棄物発電が推進されてきた。環境省資料<sup>\*4)</sup>によると2007年度における家庭ごみ中の可燃ごみ量は約4,120万トンであり、これを1,285か所の焼却施設で処理している。このうち、発電設備を設置している焼却施設は298箇所であり、その発電能力は160万kWhであった。年間の総発電量は71.3億kWhで、わが国における総発電量の0.7%程度を占める。また、発電効率は11%強で、ごみ処理量当たりの発電量は273kWで

あった。新エネルギー導入目標によると、2010年度における廃棄物発電を417万kWhとしているが、2007年度における実績は160万kWhであり、目標達成は厳しい状況にある。

ところで、ごみ発電に伴うCO<sub>2</sub>削減量を算定するためには、ごみ1トン当たりの発電量を明らかにする必要がある。環境省資料によると発電効率11.14%は次式で算定したとあるので、ごみ発電施設で処理したごみ焼却量を推算した。

ごみ発熱量は、標準ごみ質における仕様

$$\text{発電効率 (\%)} = \frac{\{860 \text{ (kcal/kWh)} \times \text{総発電量 (kWh/年)} \times 100\}}{\{1000 \text{ (kg/t)} \times \text{ごみ焼却量 (t/年)} \times \text{ごみ発熱量 (kcal/kg)}\}} \quad \text{---- (1)}$$

値、公称値等あるいは実績値を用いたとあるが、数値は明記されていない。ここで、ごみ発熱量を2,100 (kcal/kg) に想定すると、ごみ焼却量は2,620万トンと算定される。総ごみ焼却量は3,870万トンであることから発電に利用されたごみは約68%に相当する。また、環境省資料ではごみ処理量当たりの発電電力量を187 (kWh/トン) としているが、検証するとごみ焼却施設における年間ごみ処理量当たりの発電量である。発電していないごみ処理施設における焼却量を含んでおり、意味不明である。発電に利用されたごみ量 (2,620万トン) と年間総発電量を用い、低位発熱量を2,100 (kcal/kg) に設定すると、実際のごみトン当たりの発電量は272 (kWh/トン) と算定される。

ところで、新エネルギー導入目標では、廃棄物発電の発電能力を設定したものであり、ごみ焼却施設において消費されるエネルギーが考慮されていない。発電能力が大きくても消費電力が上回ればごみ発電の意義は失われかねない。後述するが文献によると、ごみ発電では300トン/日以上以上の施設では有効であるが、これ以下の施設では、むしろエネルギー効率が低く、さらに灰溶融処理を行うとエネルギー多消費することが報告されている。

今後、エネルギー多消費型の焼却方式から省エネ型の焼却施設の技術を推進すべきであり、これによりCO<sub>2</sub>削減に寄与することは自明であろう。

### 〈RDF発電の現状について〉

RDF発電は、単に焼却していた廃棄物の熱エネルギーを回収し、良質なエネルギーである電気として有効に利用できること、廃棄物の保有するエネルギーで発電した分、石油や石炭の化石燃料を節約できること、保管・貯蔵や運搬が容易であることから比較的安定した燃料である。しかしながら、廃棄物をRDF化する工程で石油や電気を消費することから、RDF発電は無駄であり、推進すべきではないとの意見もある。さて、RDF発電は本当に無駄なのであろうか！

仮に、一般廃棄物の有するエネルギーを石炭に換算すると、表-2に示したように1,440万トンに相当する。わが国の石炭火力発電所で使用される石炭量は約1億トンであり、一般廃棄物の熱量だけでも14%を占めることになる。ここでは廃棄物の潜在的なCO<sub>2</sub>排出削減(控除)効果を試算する目的で、すべての廃棄物を発電に利用した場合とRDF発電した場合のCO<sub>2</sub>排出量を算定し、その優位性を比

較検討した。

RDF化方式は常にごみ処理という使命を担っているのですが、単純にエネルギー効率の視点からのみ判断すべきではないことは明らかである。RDF化工程の破碎、乾燥、成形にエネルギーを使うことに目を奪われることなく、従来の焼却処理や溶融処理などの稼働実績に基づいて物質収支、エネルギー収支、施設整備状況（埋立地の有無など）ならびにリサイクルの取組み方針などを比較検討した上で、社会的にどのような方式が適切であるかについて評価すべきである。

平成14年12月からごみ焼却施設の排ガス中のダイオキシン類規制が強化されたことから、

この時期に合わせて焼却処理方式からRDF化方式を選択し、全国60数箇所においてRDF化施設が建設された。ごみ処理に換算すると日量3,500トンに達する。また、家庭ごみを炭化する施設も数箇所稼働し、化石燃料の代替製造として有効利用されている。

とくに、RDFを安定的に消費するために、RDF発電所が建設された（表－3）。

RDF発電所は、現在5箇所稼働しており、その総発電能力は62,650kWhであり、RDF専焼能力が約1,229トン/日で、ごみ換算量で約2,500トン/日に相当する。

表－3 RDF発電事業の実施状況（稼働当初）

| 主要項目     | 茨城県                         | 三重県                     | 福岡県             | 石川県                    | 広島県              |
|----------|-----------------------------|-------------------------|-----------------|------------------------|------------------|
| 事業主体     | 鹿島共同資源化センター                 | 三重県企業庁                  | 大牟田リサイクル発電(株)   | 石川県北部RDF広域処理組合         | 福山リサイクル発電(株)     |
| RDF専焼能力  | 200t/日<br>(RDF：100、<br>他産廃) | 240t/日<br>(120 t × 2 炉) | 315t/日<br>(1 基) | 160t/日<br>(80 t × 2 炉) | 314t/日<br>(1 基)  |
| 発電能力     | 3,000kW                     | 12,050kW                | 20,600kW        | 7,000kW                | 約20,000kW        |
| 発電効率     | 16.1%<br>(蒸気利用有)            | 約28%                    | 約30%            | 約21%                   | 28%以上            |
| 専焼炉形式    | キルンストーカ                     | 外部循環流動床                 | 内部循環流動床         | 流動式<br>ガス化溶融           | シャフト炉型<br>ガス化溶融炉 |
| プラントメーカー | 日立造船(株)                     | 富士電機(株)                 | 川崎重工業(株)        | 日立造船(株)                | 日本鋼管(株)          |
| 稼働年月     | 平成13年4月                     | 平成14年12月                | 平成14年12月        | 平成14年12月               | 平成16年4月          |

※三重県RDF発電所は平成15年8月に火災事故を起こしたが、現在、稼働している。



家庭ごみ等から製造した各種RDF



大牟田RDF発電所の全景

#### (4) ごみ処理における二酸化炭素排出量について

RDF発電におけるCO<sub>2</sub>排出量の削減効果を評価するに当たっては、可燃ごみの焼却、ごみ発電、RDF化及びRDF発電に伴うCO<sub>2</sub>排出量を算定することが基本である。いずれの算定においても対象となるごみ質、処理能力及び処理方式により大きく変動すると考えられるが、概要を把握することは難しいことではない。

##### 〈ごみ焼却及びごみ発電時における二酸化炭素排出量について〉

###### ①単純焼却における二酸化炭素排出原単位について

算定マニュアルで示されている一般廃棄物の焼却に伴うCO<sub>2</sub>排出量の算定根拠は、一般廃棄物中に含まれる廃プラスチックを18.1%、合成繊維くずを6.65%で、このうち合成繊維の割合を53.2%とし、いずれも実績に基づいた湿潤ベースのデータであり、含水率を20%としている。<sup>※3)</sup>

その結果、一般廃棄物の焼却量当たりのCO<sub>2</sub>排出量は、廃プラスチックでは2.69t-CO<sub>2</sub>/t、

合成繊維では2.29t-CO<sub>2</sub>/tとしている。すなわち、一般廃棄物中の廃プラスチックと合成繊維くずの焼却に伴って排出される二酸化炭素は、ごみトン当たり排出量は454.3kg-CO<sub>2</sub>/tと算定される。

なお、上記数値は、算定マニュアルに掲載された数値から算定したものであり、引用したデータの根拠は上記のとおりであるが、基本的には一般廃棄物の組成調査等により把握するとしている。

###### ②ごみ発電における二酸化炭素排出原単位について

発電kWh当たりのCO<sub>2</sub>排出量は、単に燃焼時に伴うCO<sub>2</sub>排出量のみではなく、発電効率がCO<sub>2</sub>排出量に大きく影響を及ぼす。つまり、同じ熱量を供給した場合には、発電効率が高いほど発電kWh当たりのCO<sub>2</sub>排出量は低下する。低位発熱量と発電効率から発電量kWh当たりのCO<sub>2</sub>排出量は次のように概算される。

なお、以下はごみ焼却に伴うCO<sub>2</sub>排出量を算定したものであり、設備・操業に伴って消費されるエネルギー消費に伴うCO<sub>2</sub>排出量を含んでいない。ごみ低位発熱量が変動した場合の発電量当たりのCO<sub>2</sub>排出量を、発電効率と同じとして図-3に示した。なお、ごみトン当たりのCO<sub>2</sub>排出量は454kg-CO<sub>2</sub>/tを用いた。

$$\text{発電量 (kWh/t)} = \frac{\{1000 \text{ (kg/t)} \times \text{ごみ発熱量 (kcal/kg)} \times \text{発電効率 (0.1114)}\}}{860 \text{ (kcal/kW)}}$$

$$\text{発電量当たりのCO}_2\text{排出量 (g-CO}_2\text{/kWh)} = 454 \text{ (kg-CO}_2\text{/t)} \times 1000 / \text{発電量 (kWh)}$$

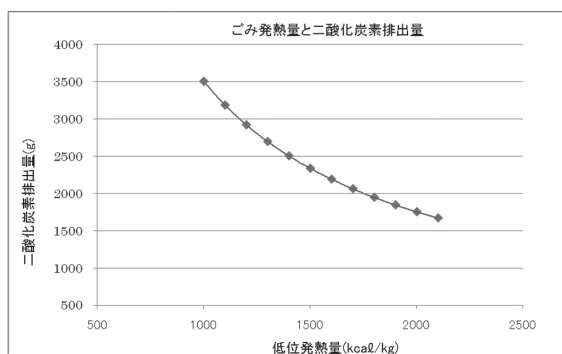


図-3 ごみ発熱量と発電量 (kWh) 当たりのCO<sub>2</sub>排出量の相関



また、RDF発電時における単位発電量当たりのCO<sub>2</sub>排出量を下記により推算した。

○RDF製造で排出されるCO<sub>2</sub>排出量；258kg  
⇒0.55トンのRDFが製造される。1トンのRDFを製造した場合の排出量は469kgである。

○RDF燃焼に伴うCO<sub>2</sub>排出量；759kg

○RDFトン当たりの発電量；1,500kWh

したがって、単位発電量当たりのCO<sub>2</sub>排出量は、818g-CO<sub>2</sub>/kWhとなる。

上記で試算したようにごみの低位発熱量が低下するに従って発電量当たりのCO<sub>2</sub>排出量（以下、発電原単位と記す）は多くなり、低位発熱量が2,100（kcal/kg）の場合には、RDF発電の約2倍のCO<sub>2</sub>を排出するものと推算される。また、現状のごみ発電方式でRDF発電と同等の発電原単位を達成するためには、発電効率を22%以上に向上させなければならない。発電効率の高い300トン/日以上的大型ごみ発電を目指してはいるが、今後の推進に当たっては、広範囲な中小都市からのごみ収集が必要であり、収集運搬に伴うCO<sub>2</sub>排出量の増加や発熱量の低下が懸念される。ごみの発熱量が低下した場合には、発電効率が低下すると考えられるので、図-3に示した以上のCO<sub>2</sub>が排出されることに留意する必要がある。

#### 〈ごみ発電における二酸化炭素排出量について〉

ごみ発電においては燃焼方式、処理規模などに区分して統計的に電力・エネルギー収支をまとめた資料は少なく、ごみ発電の評価は明確でなかった。最近、守岡修一、藤原健史、田中勝；研究論文「低炭素社会における廃棄物発電の評価に関する研究—維持管理データ分析による電力・エネルギー収支—、環境技術、Vol.38、No.9、p.624-632（2009）において電力・エネルギー収支に関する論文が注目される。<sup>※5）</sup>

この論文では、2007年度までに稼動している廃棄物発電の発電量、購入電力量、消費電力量、化石燃料使用量の維持管理データを調

査し、焼却能力が小さいほど消費電力量が増加し、灰溶融にエネルギーを多消費しており、発電はしているもののエネルギー消費型の施設となっていること、今後、広域化により300トン/日以上以上の施設を増やすことや灰溶融を含めた灰処理のみを集合化する必要があるとしている。

ごみ焼却施設で消費する電力は、ごみ質、処理能力や処理方式以外に排ガス高度処理、灰溶融処理や白煙防止等により大きく変動する。本稿では、ごみ発電を実施している事例を焼却処理能力別のごみトン当たりの消費電力及び処理方式別の電力収支に注目して引用し、ごみ発電におけるCO<sub>2</sub>排出量算定の基礎データとした。

比較対象とした方式ならびにデータを採用した施設数は下記の通りであり、次の傾向が読み取れるので、参考にさせていただきたい。

- ①ストーカ方式（灰溶融なし）；64箇所
- ②流動床方式（灰溶融なし）；23箇所
- ③ストーカ方式（電気式灰溶融あり）；25箇所
- ④流動床方式（電気式灰溶融あり）；5箇所
- ⑤ストーカ方式（燃料式灰溶融あり）；2箇所
- ⑥ガス化流動床方式（灰溶融）；7箇所
- ⑦ガス化キルン方式（灰溶融）；6箇所
- ⑧ガス化シャフト方式（灰溶融）；16箇所

図より読みとった結果は次の通りである。

○処理能力と処理方式により実績消費電力（kWh/ごみt）は大きく変動する。とくに、300（トン/日）以下の発電施設の消費電力は約100～500（kWh/ごみt）で大きく変動する。

○売電できる方式は、灰溶融のないストーカ方式が135（kWh/ごみトン）であり、流動床では10（kWh/ごみトン）であった。灰溶融付設のほとんどの施設では70～97（kWh/ごみトン）を買電しており、発電方式の多くはエネルギー消費型である。

○灰溶融付設した場合の消費電力をストーカ方式の①灰溶融なしと③灰溶融あり、及び流動床方式の②灰溶融なしと④灰溶融あり

を比較すると、灰溶融設備を付設した場合の消費電力は152～184 (kWh/ごみトン) で、加重平均で約160 (kWh/ごみトン) であり、なしの場合は309～349 (kWh/ごみトン) で、その加重平均は約315 (kWh/ごみトン) である。したがって、灰溶融にはおおよそ155 (kWh/ごみトン) を消費することがわかる。

#### 〈RDF製造時及びRDF発電時における二酸化炭素排出量について〉

##### ①RDF製造時における二酸化炭素排出量について

環境計画センターでは、平成12年度に環境事業団地球環境基金助成金により全国の48か所のRDF施設の維持管理状況について調査を実施した。その結果を環境事業団に報告するとともに下記に発表した。

○鍵谷司；ごみ固形燃料の有用性と環境保全—RDF施設の維持管理状況について—「環境の計画」、p.74-87 (2001.6)

○鍵谷司、川口晃司；ごみ固形燃料の有用性と環境保全に関する調査研究 (I) —RDF施設の維持管理状況について—、第12回廃棄物学会研究発表会講演論文集p.250-252 (2001.10-11)※<sup>6)</sup>

維持管理費のうち、CO<sub>2</sub>排出量に注目してごみ処理量1トン当たりの電気消費量と燃料(灯油)消費量を抜粋して以下に示す。

○電気消費量は、82.5～1,248kWで、平均が270.4kWであった。なお、極端に高い数値は、リサイクル施設等と併用して買電したものであり、これを除外すると150kW程度である。なお、管理棟での電気使用を含む。

○燃料消費量は、2～128リットルであった。灯油は、ごみの乾燥用バーナ及び高温脱臭

炉での使用であり、ごみの水分率に大きく影響される。なお、RDF燃焼による乾燥の事例では極端に少なくなる。これら、特殊な事例を除外すると、おおよそ70リットル弱である。

算定マニュアルで定める電気消費及び灯油消費に伴うCO<sub>2</sub>排出係数は、それぞれ0.555kg-CO<sub>2</sub>/kWh及び2.49kg-CO<sub>2</sub>/ℓである。つまり、ごみトン当たりのCO<sub>2</sub>排出量は、両者を合計すると、258kg-CO<sub>2</sub>/tとなる。

なお、発電に伴うCO<sub>2</sub>控除量は、他人に供給した場合に算定されるか、潜在的な価値を評価する視点で検討した。

電気消費に伴うCO<sub>2</sub> = 150kW/ごみt × 0.555kg-CO<sub>2</sub>/kWh = 83.3kg-CO<sub>2</sub>/t

灯油消費に伴うCO<sub>2</sub> = 70ℓ/t × 2.49kg-CO<sub>2</sub>/ℓ = 174.3kg-CO<sub>2</sub>/t

##### ②RDF発電時における二酸化炭素排出量について

算定マニュアルでは、RDF燃焼時におけるCO<sub>2</sub>排出係数を759kg-CO<sub>2</sub>/RDF-tと定めている。また、RDF発電所の稼働に伴い、RDF搬送、燃焼空気送風、排ガス処理や灰溶融処理などで電気を消費するが、280kW/RDF-tに想定すると、155kg-CO<sub>2</sub>/RDF-tになる。つまり、1トンのRDF燃焼により914kg-CO<sub>2</sub>/RDFを排出するものと推算される。

他方、RDFの燃焼により発電した場合には、発電量に応じてCO<sub>2</sub>排出量が控除されるとした。RDFトン当たりの発電量を算出すると、おおよそ1,500kWとなり、CO<sub>2</sub>控除量は833kg-CO<sub>2</sub>/RDF-tとなる。

つまり、RDF発電を行った場合には約81kg-CO<sub>2</sub>/RDF-tを排出することになる。

なお、単純焼却施設とごみ発電施設の操業

$$\begin{aligned} \text{発電量 (kWh/t)} &= \frac{\{1000 \text{ (kg/t)} \times \text{発熱量 (4600kcal/kg)} \times \text{発電効率 (0.28)}\}}{860 \text{ (kcal/kW)}} \\ &\approx 1,500\text{kW/RDF} \end{aligned}$$

に伴って排出されるCO<sub>2</sub>排出量を同じとした。

#### 〈ごみ発電とRDF発電における二酸化炭素排出量について〉

ごみを原料としてRDFを製造する場合、ごみ中の含水率及びRDF不適物の割合により異なるが、1トンのごみから0.55トンのRDFが製造されるとして各方式のCO<sub>2</sub>排出量は次のようになる。

- ①単純ごみ焼却；629kg-CO<sub>2</sub>/ごみt（灰溶融あり）
  - ・ごみ焼却に伴う排出量；454kg-CO<sub>2</sub>/ごみt
  - ・ごみ焼却施設操業に伴う排出量；175kg-CO<sub>2</sub>/t（315kWh/t）
- ②ごみ発電；478kg-CO<sub>2</sub>/t（灰溶融あり）
  - ・ごみ焼却に伴う排出量；454kg-CO<sub>2</sub>/ごみt
  - ・ごみ発電施設操業に伴う排出量；175kg-CO<sub>2</sub>/t（315kWh/t）
  - ・ごみ発電に伴う控除量；－151kg-CO<sub>2</sub>/t（272kWh/t）（低位発熱量；2,100kcal/kg）
- ③RDF製造；257kg-CO<sub>2</sub>/ごみt⇒0.55トンのRDF製造
  - ・操業時の電気使用に伴う排出量；83kg-CO<sub>2</sub>/ごみt（150kWh/t）
  - ・乾燥時の灯油使用に伴う排出量；174kg-CO<sub>2</sub>/ごみt（70ℓ/ごみt）
- ④RDF発電；81kg-CO<sub>2</sub>/RDF-t⇒45.0kg-CO<sub>2</sub>/ごみ-t
  - ・RDF燃焼に伴う排出量；759kg-CO<sub>2</sub>/RDF-t
  - ・RDF発電施設操業に伴う排出量；155kg-CO<sub>2</sub>/RDF-t（280kWh/RDF-t）
  - ・RDF発電に伴う控除量；－833kg-CO<sub>2</sub>/RDF-t（1,500kWh/RDF-t）（低位発熱量；4,600kcal/kg、発電効率；28%）
- ⑤RDF製造及びRDF発電；258kg-CO<sub>2</sub>/ごみt＋45kg-CO<sub>2</sub>/ごみ-t＝303kg-CO<sub>2</sub>/ごみ-t

将来のごみ処理の方向を検討するにあたり、従来の単なる衛生的な見地や無害化・安定化

の視点だけではなく、エネルギー源及びCO<sub>2</sub>排出量からの視点から一般廃棄物の可燃ごみ総量である4,000万トンのすべてを各方式で処理を実施した場合の総CO<sub>2</sub>排出量を概算すると次のようになる。

○単純焼却；2,520万トンCO<sub>2</sub>/年

○ごみ発電；1,910万トンCO<sub>2</sub>/年

○RDF発電；1,210万トンCO<sub>2</sub>/年

つまり、すべての一般廃棄物の単純焼却からごみ発電することによりCO<sub>2</sub>排出量は約610万トンを削減でき、さらにRDF発電により700万トンの排出削減が潜在的に可能である。

#### （５）石炭火力発電所におけるRDFの利用性について

すでに明らかなように発電時におけるCO<sub>2</sub>排出量は、発電効率に大きく依存するので、より発電効率の高い火力発電所において利用することが有効である。国においてもごみ発電効率の向上を目指した取り組みが行われているが、ごみ発電所自体の消費電力が大きいので、その意義について詳細に評価した上で推進の適否を評価すべきであろう。

一方、石炭火力発電所から排出されるCO<sub>2</sub>排出量は電力分野の50%以上を占めており、短期的な削減は緊急の課題である。その発電効率は40～45%であり、さらに発電効率が50%以上の新技術の開発が行われているが、石炭火力発電の耐用年数が40年以上であり、短期的な対応は非常に困難であろう。短期的にCO<sub>2</sub>排出量を削減するためには、バイオ燃料との混焼利用が、発電時の排出原単位を下げるとともに、石炭消費量を節約できることから一石二鳥の効果が期待できる。すでに、木質チップや下水汚泥炭化物の石炭火力での利用が実用化され、関心が高まっている。

石炭火力発電所での利用には、大量のバイオマスの安定的な供給が大きな課題であることから、近隣で発生する都市ごみや下水汚泥が注目される要因であろう。とくに、廃棄物



そのものは腐敗性など取り扱いに問題があるが、ごみを加工して製造したRDFであれば、保管や運搬が容易であり、形状・大きさや発熱量が均一化されているので石炭とRDFの混焼利用は難しいことではない。



M火力発電所の全景（インターネットより）  
 ・発電所出力：50万kWh×2基＝100万kWh  
 ・石炭使用量：約230万トン/年  
 （利用率70%の場合）

以下にすべての一般廃棄物をRDF化して石炭火力発電所で利用した場合の省エネ効果とCO<sub>2</sub>排出量について算定した結果を示す。なお、火力発電所操業に伴うCO<sub>2</sub>排出量についてはRDFについても同じとして燃焼時の排出量及び発電に伴う控除量を算定した。

①石炭節約の節約量は混焼したRDFの低位発熱量に相当する分が節約になる；

ごみ4000万トン×RDF化率0.55×発熱量(4,600/6,100)≒1,660万トンの節約

なお、石炭1,660万トンを燃焼した場合のCO<sub>2</sub>排出量は約4,000万トンになると算定される。〈=1,660万トン×2.4t-CO<sub>2</sub>/t≒4,000万トン〉

②石炭火力発電所でのRDF利用時の二酸化炭素排出量；80万トン

○RDF製造；258kg-CO<sub>2</sub>/ごみt；4,000万トンのごみをRDF化する過程でCO<sub>2</sub>排出量は1,028万トンと算定される。⇒0.55トンのRDF製造（2,200万トン）

○RDF全量（2,200万トン）を燃焼した場合のCO<sub>2</sub>排出量；－950万トンの削減

・RDF燃焼に伴う排出量；759kg-CO<sub>2</sub>/RDF-tより1,670万トン

・発電に伴う控除量；－1,190kg-CO<sub>2</sub>/RDF-t(2,140 kWh/t)より－2,620万トン  
 （低位発熱量；4,600kcal/kg、発電効率；40%）

○RDF混焼時のCO<sub>2</sub>排出量；

（RDF製造時のCO<sub>2</sub>排出量；1,030万トン＋燃焼時のCO<sub>2</sub>排出；1,670万トン－発電に伴う控除量；2,620万トン＝80万トン）

以上の検討結果より一般廃棄物可燃ごみをすべてRDF化し、石炭火力発電所で利用した場合には、石炭の消費量約1,700万トンを節約でき、これは発電用石炭使用量の17%に相当し、CO<sub>2</sub>排出量を4,000万トン程度が削減可能である。現状では、大型ごみ発電で約70%が利用されていることから中小規模の単純焼却や発電以外の予熱利用施設におけるごみの全量をRDF化して利用したとしても、上記試算の1/3程度の削減効果ではあるが、これに産業廃棄物系可燃ごみを含めると施策の変更により大きな効果が期待できる。

しかしながら、石炭火力発電所において石炭よりも発熱量の低いバイオ燃料を混焼した場合には、発電効率が低下することが明らかにされており、1%の混合率でおおよそ0.08%低下するといわれている。また、RDFの塩素含有が大きな問題であり、大量に使用することは塩類による設備の腐食などが起こりやすいので混焼率の向上は難しいと言われている。今後、塩素濃度を低くしたRDFの製造が不可欠であり、利用拡大の鍵をにぎることになる。

低塩素化RDFを製造するためには、分別収集の変更やごみ処理の変更が必要不可欠である。とくに、塩素の由来となる生ごみの洗浄あるいは分別は必須であり、その処理方法の確立が重要である。当環境計画センターが4月9日（金）（京大会館）において計画してい



るバイオマス技術セミナーにおいて紹介したい。

## (6) 今後の廃棄物エネルギー利用の方向性について

以上、従来の廃棄物発電の維持管理など操業実態によると、300トン/日以上以上の施設において有効であり、これ以下の施設では、発電の有用性が見いだせないことが読みとれる。また、灰溶融処理が推進された結果、ごみ焼却施設がエネルギー多消費施設となっており、改善が求められている。このような状況の中でも国は、広域化によるごみ発電並びにエネルギー多消費する灰溶融を推進しており、CO<sub>2</sub>排出量25%削減の視点に欠けている。新政権においてもCO<sub>2</sub>排出量25%削減を短期間に行うのであれば、経済活動に大きな影響を及ぼさないと考えられるごみ処理の在り方を物質リサイクルからエネルギー利用へ転換すべきであろう！！

つまり、現実的に発電利用として問題の多い中小規模の施設では、すべてRDF化とし、RDF発電あるいは石炭火力発電所において燃料として有効利用することが最も効率的に利用することが可能であることを示唆している。

RDF利用に当たっては、排ガス高度処理及び残さの処分等が必要であり、取扱い性に劣

るため、安価で取引されてきたが、CO<sub>2</sub>削減に大きな効果があることから、これらのマイナス条件が解消されうる可能性がある。とくに、電力業界における石炭火力発電所及び石炭ボイラを使用するなどCO<sub>2</sub>排出量の算定、報告義務者にあつては、排出量の削減は義務であり、排出権を購入してでも削減が求められることになる。つまり、長期的に安定したCO<sub>2</sub>削減に寄与するバイオ燃料を確保することは事業を展開する上で必須条件であり、バイオ燃料の価格は確実に上昇するものと推測される。

以上の検討結果より化石燃料の節約並びにCO<sub>2</sub>削減対策としてバイオマスの利用拡大は必須である。諸外国においても石炭使用量は増えており、CO<sub>2</sub>削減が求められることから、当面、バイオマスとの混焼が主たる対応になるので、バイオマスの確保が大きな課題になることは必須である。

都市ごみや下水汚泥は、日常生活から排出されるので、安定したバイオマスの供給源である。発電効率の低いごみ発電あるいはRDF発電を見直し、発電効率の高い石炭火力発電所において混焼することがエネルギー節約およびCO<sub>2</sub>削減の視点から最も有効な利用方法であり、国が主導して「ごみ焼却システム」からの脱却をはかる選択枝の一つとして試行すべきであろう。

## 【引用文献】

- ※ 1) 「日本国温室効果ガスインベントリ」：報告書2009年4月 温室効果ガスインベントリオフィス (GIO) 編 独立法人国立環境研究所 地球環境研究センター
- ※ 2) 「日本のエネルギー2009」：経済産業省 資源エネルギー庁
- ※ 3) 「温室効果ガス排出量算定・報告マニュアル」Ver.2.4：平成21年3月 環境省 経済産業省
- ※ 4) 「日本の廃棄物処理」：平成21年9月 環境省大臣官房廃棄物・リサイクル対策部廃棄物対策課
- ※ 5) 守岡修一、藤原健史、田中勝；研究論文 低炭素社会における廃棄物発電の評価に関する研究—維持管理データ分析による電力・エネルギー収支—、環境技術、Vol.38, No.9, p.624-632 (2009)
- ※ 6) 鍵谷 司、川口晃司；ごみ固形燃料の有用性と環境保全に関する調査研究 (I) —RDF施設の維持管理状況について—、第12回廃棄物学会研究発表会講演論文集p.250-252 (2001.10-11)