

「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、エネルギー源の高騰と温室効果ガスの削減がわが国の重要課題の一つになっている。CO₂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須である。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。

このようにエネルギー供給の不安定さとCO₂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、かつCO₂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であり、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。

ここでは、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CO₂削減効果について検討したので、その概要を紹介する。

- (1) 廃棄物のエネルギー価値について
- (2) RDFの二酸化炭素削減効果について
- (3) 今後の廃棄物エネルギー利用の方向性について

(1) 廃棄物のエネルギー価値について

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て表-1に示した。^{*1)}

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-1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。

表-1 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(平成19年度)
	排出総量	5087.2	
	焼却量	3873.7	※標準低位発熱量を2100Kcal/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	2621.8	※上記より推算値
	RDF化処理	71.2	※環境省データより
	堆肥化処理	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	4121.2	※石炭換算で1440万トン	
産業廃棄物			※2006(平成18年度)
	廃プラスチック	609.4	※8000(Kcal/Kg)に設定
	木くず	585.2	※4500(Kcal/Kg)に設定
	紙くず	166.4	※4700(Kcal/Kg)に設定
	繊維くず	8.0	※5300(Kcal/Kg)に設定
	廃油	340.6	※8300(Kcal/Kg)に設定
	動植物性残渣	300.8	※2100(Kcal/Kg)に設定
	動物系固形物	10.4	※6000(Kcal/Kg)に設定
	ゴムくず	4.8	※8500(Kcal/Kg)に設定
	動物の死体	234.0	※5000(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(1250)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(1250万トン)に案分した。

※石炭の低位発熱量を6,100(Kcal/Kg)に設定した。

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。

(2) 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CO₂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CO₂排出量を算定する必要がある。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、ここでは大雑把に概要について検討した。

<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CO₂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。^{※3)}

その結果、一般廃棄物の焼却量当たりのCO₂排出量は、廃プラスチックでは2.69 t-CO₂/t、合成繊維では2.29 t-CO₂/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、ごみトンあたりの排出量は454.3 Kg-CO₂/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る。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あたりのCO₂排出量は、単に燃焼時に伴うCO₂排出量のみではなく、発電効率がCO₂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あたりのCO₂排出量は低下する。低位発熱量と発電効率から発電量KwhあたりのCO₂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CO₂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CO₂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CO₂排出量を、発電効率が同じとして図-3に示した。なお、ごみトン当たりのCO₂排出量は454 Kg-CO₂/tを用いた。

$$\text{発電量(Kwh/t)} = \frac{\{1000(\text{Kg/t}) \times \text{ごみ発熱量(Kcal/kg)} \times \text{発電効率}(0.1114)\}}{860(\text{Kcal/ Kw})}$$

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

また、RDF発電時における単位発電量当たりのCO₂排出量を下記により推算した。

○RDF製造で排出されるCO₂排出量;258Kg ⇒0.55トンのRDF製造される。

1トンのRDFを製造した場合の排出量は469 Kgである。

○RDF燃焼に伴うCO₂排出量;759 Kg

○RDFトン当たりの発電量;1,500 Kwh

したがって、単位発電量当たりのCO₂排出量は、818 g-CO₂/Kwhとなる。

試算によると、ごみの低位発熱量が低下するに従って発電量当たりのCO₂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CO₂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300t/日以上的大型ごみ発電を目指してはいるが、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CO₂排出量の増加や発熱量の低下が懸念される。

<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>

① RDF 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。その結果は次の通りであった。^{*6)}

維持管理費のうち、CO₂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、2~128lであり、平均で72l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CO₂排出係数は、それぞれ0.555Kg-CO₂/Kwh及び2.49 Kg-CO₂/lである。つまり、ごみトン当たりのCO₂排出量は、両者を合計すると、258 Kg-CO₂/tとなる。

電気消費に伴うCO₂=150Kw/ごみt×0.555Kg-CO₂/Kwh=83.3 Kg-CO₂/t

灯油消費に伴うCO₂=70 l/t×2.49 Kg-CO₂/l=174.3 Kg-CO₂/t

RDF製造に伴うCO₂排出原単位=258 Kg-CO₂/tと

② RDF 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CO₂排出係数を759 Kg-CO₂/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、これを280KW/RDF-tに想定すると、155 Kg-CO₂/RDF-tになる。つまり、1トンのRDF燃焼により914 Kg-CO₂/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CO₂排出量が控除される。RDFトンあたりの発電量を算出すると、おおよそ1,500Kwとなり、CO₂控除量は833Kg-CO₂/RDF-tとなる。

つまり、RDF発電を行った場合には約81Kg-CO₂/RDF-tを排出することになる。なお、単純焼却方式とごみ発電方式の施設操業に伴って排出されるCO₂排出量と同じとした。

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

<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CO₂排出量は次のようになる。

①単純ごみ焼却；634 Kg-CO₂/ごみ t (灰溶融あり)

- ・ごみ焼却に伴う排出量；454 Kg-CO₂/ごみ t
- ・ごみ焼却施設操業に伴う排出量；180 Kg-CO₂/t(325Kwh/t)

②ごみ発電；483 Kg-CO₂/t (灰溶融あり)

- ・ごみ焼却に伴う排出量；454 Kg-CO₂/ごみ t
- ・ごみ発電施設操業に伴う排出量；180 Kg-CO₂/t(325Kwh/t)
- ・ごみ発電に伴う控除量；-151 Kg-CO₂/t(272Kwh/t) (低位発熱量；2,100Kcal/Kg)

③RDF製造；257 Kg-CO₂/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；83 Kg-CO₂/ごみ t (150 Kwh/t)
- ・乾燥時の灯油使用に伴う排出量；174 Kg-CO₂/ごみ t(70 l /ごみ t)

④RDF発電；81 Kg-CO₂/RDF-t ⇒ 45.0 Kg-CO₂/ごみ-t

- ・RDF燃焼に伴う排出量；759 Kg-CO₂/RDF-t
 - ・RDF発電施設操業に伴う排出量；155 Kg-CO₂/RDF-t(280Kwh/RDF-t)
 - ・RDF発電に伴う控除量；-833 Kg-CO₂/RDF-t(1,500 Kwh/t)
- (低位発熱量；4,600Kcal/Kg、発電効率；28%)

⑤RDF製造及びRDF発電；258 Kg-CO₂/ごみ t + 45 Kg-CO₂/ごみ-t
=303 Kg-CO₂/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CO₂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CO₂排出量を概算すると次のようになる。

- 単純焼却；2,540万トンCO₂/年
- ごみ発電；1,930万トンCO₂/年
- RDF発電；1,210万トンCO₂/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CO₂排出量は約610万トン削減でき、さらにRDF発電により720万トンの排出削減が潜在的に可能である。

<重油使用とRDF使用時の二酸化炭素排出量について>

発熱量あたりの二酸化炭素の排出量は次のとおりである。

- ①石炭使用時の二酸化炭素炭素の排出量；0.379 g・CO₂/Kcal
- ②A重油使用時の二酸化炭素炭素の排出量；0.290 g・CO₂/Kcal
- ③軽油使用時の二酸化炭素炭素の排出量；0.287 g・CO₂/Kcal
- ④灯油使用時の二酸化炭素炭素の排出量；0.284 g・CO₂/Kcal
- ⑤RPF炭使用時の二酸化炭素炭素の排出量；0.249 g・CO₂/Kcal
- ⑥RDF使用時の二酸化炭素炭素の排出量；0.161 g・CO₂/Kcal

なお、いずれも燃焼時の二酸化炭素排出量であり、化石燃料の掘削、運搬、破碎、保管あるいはRPF、RDFの製造時の二酸化炭素排出量を含まない。

参 考 各種エネルギー源の二酸化炭素排出係数

エネルギー源	単位発熱量	単位発熱量	排出係数	排出係数
	GJ/ t	Kcal/Kg	g-CO ₂ /Kcal	t-CO ₂ / t
一般炭	25.7	6,148	0.379	2.33
コークス	29.4	7,033	0.451	3.17
ナフサ	33.6	8,038	0.279	2.24
灯油	36.7	8,780	0.281	2.46
軽油	37.7	9,019	0.287	2.58
A重油	39.1	9,354	0.290	2.71
B. C重油	41.9	10,024	0.299	3.00
天然ガス；LNG	54.6	13,062	0.207	2.70
廃油	34.7	8,300	0.352	2.92
合成繊維	22.2	5,300	0.432	2.29
廃ゴムタイヤ	35.5	8,500	0.202	1.72
産廃廃プラ	33.4	8,000	0.319	2.55
一廃廃プラ	33.4	8,000	0.346	2.77
ごみ固型燃料(RPF)	25.1	6,000	0.262	1.57
ごみ固型燃料(RDF)	18.8	4,500	0.172	0.775

※RDFの二酸化炭素排出係数が小さい理由は、含まれているバイオ成分が二酸化炭素排出量に計上されないためである。

(3) 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 t / 日以上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報告されている。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、CO₂排出量25%削減の視点に欠けている。新政権においてもCO₂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、CO₂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CO₂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CO₂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CO₂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、CO₂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CO₂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肢の一つとすべきであろう。

引用文献

- ※1) 「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
- ※2) 守岡修一、藤原健史、田中勝；研究論文 低酸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)
- ※3) 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)