

熱回収の基準に関する指摘事項について

1. 食品リサイクル法における食品循環資源の熱回収の考え方

食品循環資源の「熱回収」は、循環型社会形成推進基本法の基本原則に即し、再生利用の次の順位に位置づけられるもので、再生利用と同じ「循環的利用」である。なお、食品循環資源の単純な焼却処分は、同法において「循環的利用」とは区別される「処分」に分類されるものである。

「熱回収」が再生利用の次の順位に位置づけられることを食品リサイクル法の施行に当たって具体化するため、熱回収の基準において、「熱回収」は、食品循環資源の再生利用が以下の事由により困難である場合に選択可能であることとし、再生利用の次善の有効利用の手段としての「熱回収」の位置づけを明確化する。

再生利用施設の立地条件により困難であること

又は、

再生利用施設の以下のいずれかの受入状況により困難であること

(イ) 再生利用が施設の受入能力を超過

(ロ) 食品循環資源の種類のために再生利用施設での受入不可

(ハ) 食品循環資源のあらかじめ備わった性状のために再生利用施設での受入不可

上記の考え方で「熱回収」が許容される食品循環資源について、「熱回収」を行おうとする場合には、出来る限りエネルギー利用が有効に行われるようにすべきである。このため、熱回収の基準において、エネルギー回収及び利用が一定の水準で行われる「熱回収」のみが選択可能であることとし、単純な焼却処分とは区別される有効利用の手段としての「熱回収」の位置づけを明確化する。

2. 食品循環資源の分類について

(1) 熱回収からみた分類方法の考え方

食品循環資源の「熱回収」は、食品循環資源を燃焼させて、熱をボイラー等により回収し、発電又は熱のまま利用するということである。したがって、食品循環資源を分類し、分類別にどのような熱回収が可能かどうかを検討するに当たっては、食品循環資源の種類及び食品循環資源を燃焼させる施設側の両方の事情を考慮する必要がある。

まず、現実には、どのような施設で熱回収が可能かという視点から考えると、混合焼却系を前提とした廃棄物発電と、固体又は液体の燃料を用いるボイラーの二つが主な施設である。

そして、混合焼却系を前提とした廃棄物発電では、基本的に広範な種類の食品循環資源を混合焼却させることができる。一方、ボイラーにおいては、基本的に

均質性の高い単品の食品循環資源を他の燃料と混合または食品循環資源単独で燃焼させることができる。

また、廃棄物発電にせよ、ボイラーにせよ、燃焼によって食品循環資源からエネルギーを回収、利用できるかどうか、エネルギー利用に関する効率がどうなるかは、食品循環資源の性状（含水率や発熱量など）に左右される。

以上を考慮して、熱回収を行う施設として、廃棄物発電とボイラーに大別し、それぞれで熱回収可能な食品循環資源の種類を検討することによって、熱回収からみた食品循環資源の分類を行うことが適切と考えられる。

(2) 具体的な分類

具体的な分類は、現時点でのデータの蓄積状況を考慮し、次のとおりとすることが適切と考えられる。

種類	発生量概算 (万t)	廃棄物発電での熱回収	ボイラーでの熱回収	熱回収の基準における考え方
外食の食べ残り・調理くず	304	可能性あり	想定しにくい	廃棄物発電を前提とした基準値 160MJ/t を適用する。 なお、含水率が様々であること（参考資料1：食品循環資源の含水率の測定例）を踏まえ、今後、熱回収の実績や含水率等のデータを蓄積し、最新の知見に照らして基準の妥当性をフォローアップすることが重要。
小売の調理くず・売れ残り	263	可能性あり	想定しにくい	
売れ残り (単品の製品が発生する形態)	(25) (製造工程で発生するもの内数)	可能性あり	可能性あり	飼料化への仕向けが拡大することが期待され、熱回収ニーズが必ずしも大きくないため、今後の実態を踏まえ、必要に応じてボイラー熱源利用を前提とした基準値を検討する。当面は、廃棄物発電を前提とした基準値 160MJ/t を適用する。
製造工程で発生するもの	495	可能性あり	可能性あり	
直接燃焼により燃料利用できる廃食用油等	45	可能性あり	可能性あり	ボイラー熱源利用を前提とした基準値を適用する。(本資料の3.)

「4.(1)感度解析的な分析結果」に示すように含水率の大小、発熱量の高低によって、廃棄物発電による熱回収の可否が決まる。

ボイラーの場合は、固形状の食品循環資源を固体燃料用のボイラーで、液状の食品循環資源を液体燃料用のボイラーで熱源利用する可能性がある。

3. 廃食用油等に係るエネルギー利用に関する効率の基準(案)

(1) エネルギー効率の評価の方法

投入したエネルギー（ボイラー熱利用では生成する水蒸気はガスとして放出され、潜熱回収はされないため低位発熱量を基準とする）から正味でどれくらいエネルギーが回収され、利用できるかを表すエネルギー効率を中心に評価する。

また、同じエネルギーの量でも、高い温度の水と低い温度の水ではエネルギーの質が異なるように、あるいは電気エネルギーと熱エネルギーではエネルギーの質が異なるように、エネルギー量が同じでもできる仕事に違いがあることに着目した「有効エネルギー（エクセルギー）」の効率も補完的に評価する。

80のお湯1と20のお湯1が持っていたエネルギーと50のお湯2が持っているエネルギーは、量は同じでも、質が異なる。また、電気エネルギー1Jはモーターを駆動させて物を持ち上げる仕事ができるが、1Jのエネルギーを持つ70のお湯では同じ仕事はできない。

(2) 評価の対象とするシステム及び評価の試算条件

食品循環資源の混合焼却系による熱回収の評価に当たっては、メタン化システムを比較対象としたが、廃食用油等の熱回収の評価に当たって、差し当たり比較対象とすることが可能なエネルギー利用システムは、バイオディーゼル燃料化システムであると考えられる。

廃食用油等の熱回収システムは、工場に設置されている生産用のプロセス蒸気を供給する一般的なボイラーを想定することとする。このようなボイラーでの熱利用の比較対象としては、バイオディーゼル燃料化し、ディーゼルエンジンでコージェネレーションを行ってプロセスへ電力と熱を供給するシステムを想定することが適切であるが、現状ではこのような事例はまれであると考えられる。このため、ボイラーによるエネルギー変換システムとメチルエステル化によってバイオディーゼル燃料化するエネルギー変換システムを比較評価し、併せてBDFをディーゼル自動車の燃料として利用することを考慮する。

廃食用油の発熱量、バイオディーゼル燃料化システムの効率等の評価の試算条件は表1のとおりとする。

(3) エネルギー効率を中心とした評価

廃食用油等の食品循環資源をボイラーで焚いて、得られた蒸気をプロセス用に利用することは、1.の考え方に沿って再生利用が困難な場合に限定して行うことを前提とすれば、廃食用油等の食品循環資源の有効利用の一形態であると考えられる。この場合のエネルギー効率は蒸気温度によらずボイラーの熱効率から80%となる。

一方、バイオディーゼル燃料化システムのエネルギー効率は、

$$\left(\text{BDFの低位発熱量 (MJ/kg-BDF)} - \text{メチルエステル化システムのエネルギー消費量 (MJ/kg-BDF)} \right) \times \text{歩留 (kg-BDF/kg-Oil)} \div \text{廃食用油の低位発熱量 (MJ/kg-Oil)} = 82\%$$

したがって、ボイラー熱利用とバイオディーゼル燃料化システムのエネルギー効率は、80%と82%は大きな違いはなく、概ね同等であるといえる。

表1 評価の試算条件

項目	試算条件	根拠
廃食用油の発熱量	43.3MJ/kg (高位) 41.1MJ/kg (低位)	京都市の廃食用油の性状 ただし、他のデータでは36MJ/kg (低位)程度
廃食用油のエクセルギー量	42.2MJ/kg	上記及び Rant の近似計算式から計算
メチルエステル化システムの効率等	歩留： 0.98kg-BDF/kg-Oil エネルギー消費量： 6.3MJ/kg-BDF エクセルギー損失量： 6.7 MJ/kg-BDF	京都市施設の実績値 同上(投入メタノールを含む) 総合資源エネルギー調査会燃料政策小委員会の資料によると、5.3~20.1(平均9.4)MJ/kg-BDF
BDFの発熱量	42.8MJ/kg (高位) 40.7MJ/kg (低位)	京都市のBDFの性状 38MJ/kg程度というデータもあり
BDFのエクセルギー量	41.7MJ/kg	上記及び Rant の近似計算式から計算
ディーゼル自動車の効率	12.5%	DE車の一般的な性能から設定
ボイラーの熱効率	80%	ボイラーの一般的な性能から設定
蒸気温度	100 ~ 260	プロセス用蒸気温度

また、ボイラーで得られる蒸気の利用は、蒸気温度の違いによってエネルギーの質が異なることから、補完的評価のため、エクセルギー効率を試算すると、100 の蒸気のエクセルギー率0.108、260 の蒸気のエクセルギー率0.263から、100 ~ 260 のエクセルギー率は、8.6%~21%となる。

廃食用油をメチルエステル化して得られたBDFをどのように使うかによって、エクセルギー評価は異なってくる。工場内でのエネルギー利用を想定する場合、蒸気利用と比較評価すべきはディーゼルエンジンコージェネであるが、このような事例はまれである。このため、厳密にはエクセルギー効率評価の比較対象とはならないことに留意しつつ、BDFの通常の使用形態として想定される自動車の燃料として利用する場合のエクセルギー効率を試算すると、入力に対して自動車が駆動することでできる仕事から、

$$\begin{aligned} \text{廃食用油 1kg 当たり出力エクセルギー (正味)} &= \\ &(\text{BDF1kg 当たりエクセルギー量} - \text{BDF1kg 当たり製造時エクセルギー損失量}) \\ &\times \text{BDF 歩留} \times \text{ディーゼル自動車の効率} = 4.3\text{MJ/kg} \end{aligned}$$

入力エクセルギー41.1MJ/kgで除して、エクセルギー効率は約10%となる。

これらの結果から、廃食用油のボイラー熱利用（蒸気利用）のエネルギー利用に関する効率は、バイオディーゼル燃料化システムと同等であるといえる。

ここで、廃食用油と同程度の発熱量を持つ食品循環資源（例えばしょうゆ油低位発熱量37.5MJ/kg）についても、同様にボイラー熱源として利用され、得られた蒸気がプロセス用蒸気として利用されている。このような場合を考慮すると、廃食用油と同程度の発熱量を有する食品循環資源については、同程度の発熱量を有する廃食用油と同等のエネルギー利用の効率で利用されるべき（結果的にバイオディーゼル燃料化と同等）と考えられる。廃食用油と同程度の発熱量としては、廃食用油の発熱量データも多少のばらつきがあることを考慮し、低位発熱量35MJ/kg以上とする。

なお、廃食用油等をボイラー熱源とする場合で、蒸気タービン方式により発電することも技術的には可能であるが、エネルギー効率の観点から見ると、ボイラー・蒸気タービン方式で発電するよりも、バイオディーゼル燃料化してディーゼルエンジンで発電利用する方が有利になるので、ボイラー・蒸気タービン方式の発電利用を廃食用油等の熱回収として位置づけることは適切でない。

(4) 結論及び今後の課題

バイオディーゼル燃料化システムと同等以上となる廃食用油及び同程度の発熱量（35MJ/kg（低位））を有する食品循環資源のボイラー熱源利用・プロセス用蒸気利用の具体的内容としては、廃食用油等1トン当たり28,000MJ（35MJ/kg×1000kg/t×0.8）のエネルギーを回収し、熱利用できるとすることが適当である。

バイオディーゼル燃料化システムの運転成績や、廃食用油等の食品循環資源の発熱量等のデータを蓄積し、最新の知見に照らして、基準の妥当性をフォローアップすることが重要である。特に、バイオディーゼル燃料化システムはグリセリンが発生することから、その用途開発のニーズがあり、フォローアップに当たっては今後の用途開発の進展を踏まえていくことが適切である。

このほか、今後は、温室効果ガスの観点からの評価を行うことも重要である。

4. その他の指摘事項について

(1) 感度解析的な分析

第2回合同会合資料2別添2（以下「前回資料」という。）では、メタン化と同等以上のエネルギー利用に関する廃棄物発電の効率の検討結果を示したが、その際、食品循環資源の水分等の重要なパラメータについての感度解析的な分析が課題として残された。そこで、今回、混合焼却系である廃棄物発電におけるエネルギー利用に関する効率に影響を与えると考えられるパラメータをいくつか選び、パラメータの数値を変動させて、エネルギー効率等に与える影響を分析した。

食品循環資源の水分の影響

前回資料では、混合焼却する食品循環資源の含水率を生ごみ等の含水率デ

ータから 80%に設定したが、これを 70%~85%まで変動させて、そのときの廃棄物発電のうち生ごみ寄与分の正味エネルギー効率及び正味エクセルギー効率並びに生ごみ 1 トン当たりのエネルギー回収量の計算結果を図 1 に示す。

食品廃棄物の低位発熱量の影響

前回資料では、混合焼却する食品循環資源の低位発熱量（乾ベース）を R P S 法のバイオマス比率算定方法で用いられている値を用い、17,300kJ/kg と設定した。これを - 2000 ~ + 1000kJ/kg の範囲で変動させて、そのときの廃棄物発電のうち生ごみ寄与分の正味エネルギー効率及び正味エクセルギー効率並びに生ごみ 1 トン当たりのエネルギー回収量の計算結果を図 2 に示す。

混合焼却相手の低位発熱量の影響

前回資料では、混合焼却する相手側のごみの低位発熱量（乾ベース）をそれぞれの廃棄物発電施設の実測データを基に設定したが、これを - 4000 ~ + 2000kJ/kg の範囲で変動させて、そのときの廃棄物発電のうち生ごみ寄与分の正味エネルギー効率及び正味エクセルギー効率並びに生ごみ 1 トン当たりのエネルギー回収量の計算結果を図 3 に示す。

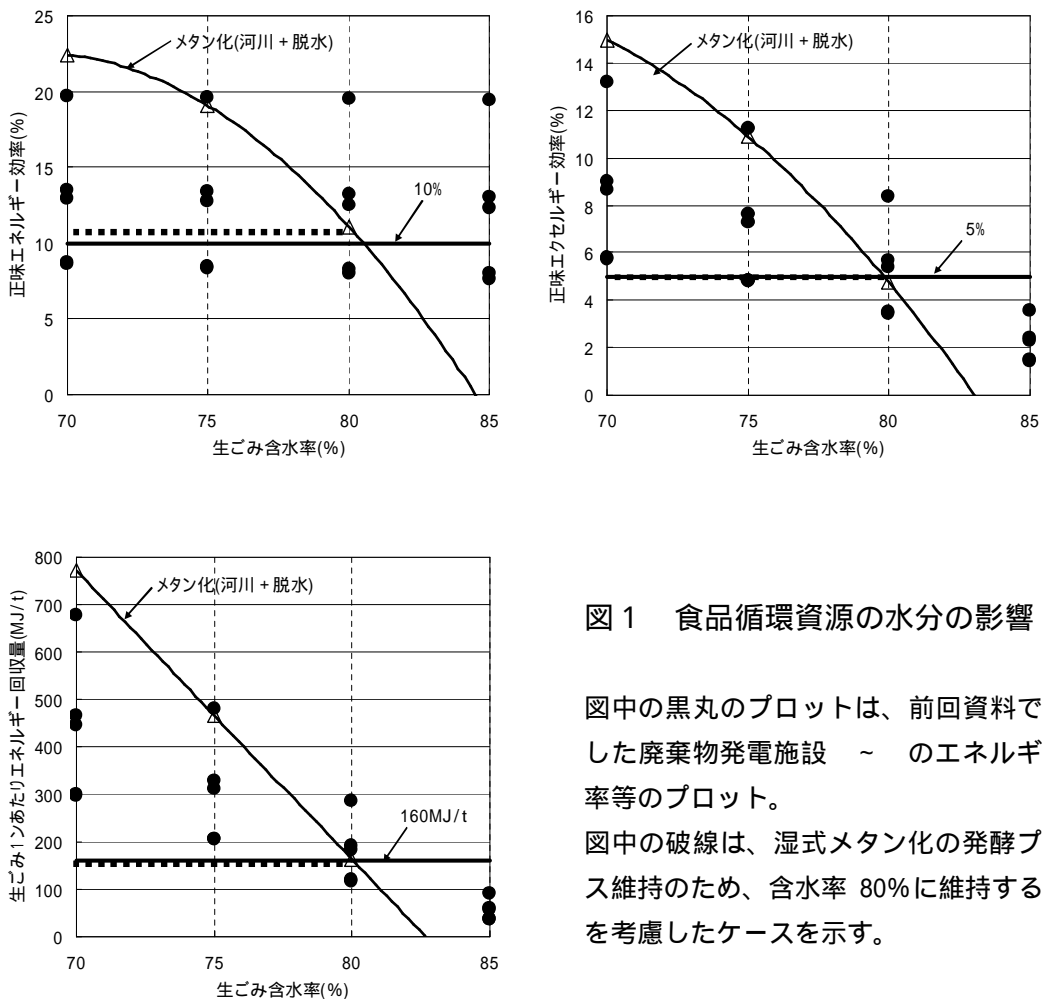


図 1 食品循環資源の水分の影響

図中の黒丸のプロットは、前回資料で試算した廃棄物発電施設 ~ のエネルギー効率等のプロット。

図中の破線は、湿式メタン化の発酵プロセス維持のため、含水率 80%に維持することを考慮したケースを示す。

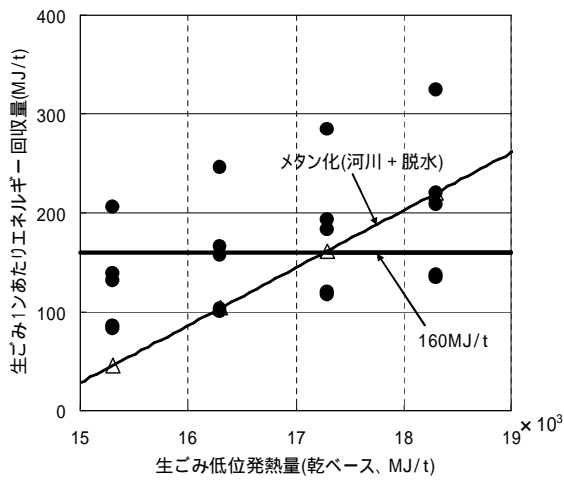
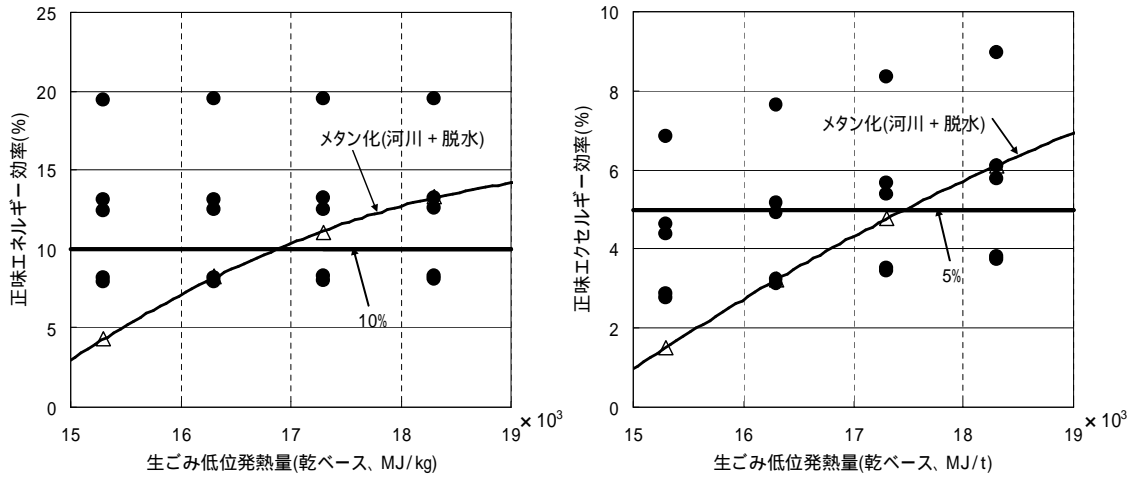


図2 食品循環資源の低位発熱量 (乾ベース) の影響

黒丸のプロットは、前回資料で試算した廃棄物発電施設 ~ のエネルギー効率等のプロット

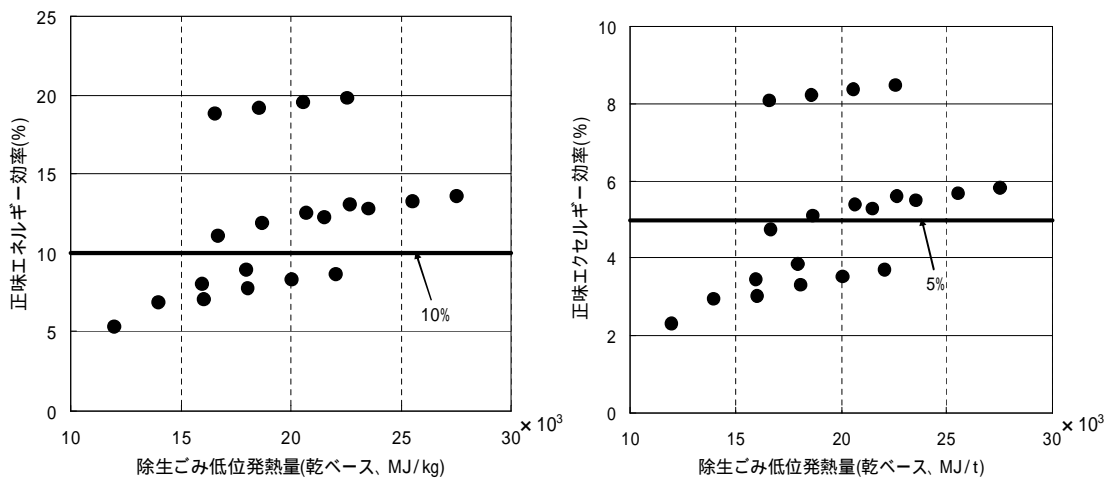


図3 混合焼却相手の低位発熱量 (乾ベース) の影響

黒丸のプロットは、前回資料で試算した廃棄物発電施設 ~ のエネルギー効率等のプロット

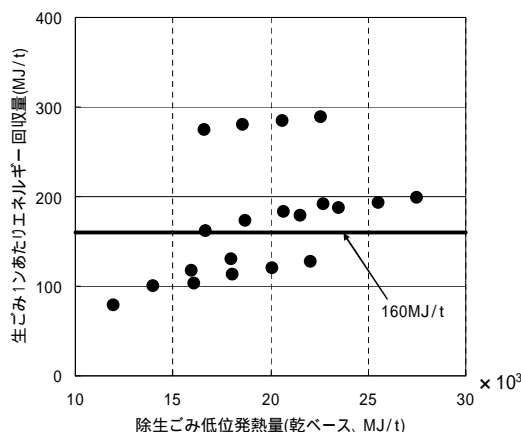


図3 混合焼却相手の低位発熱量
(乾ベース)の影響(つづき)

黒丸のプロットは、前回資料で試算した廃棄物発電施設 ~ のエネルギー効率等のプロット

(2) 感度解析的な分析のまとめ

前回資料では、廃棄物発電のエネルギー利用に関する効率について、メタン化と同等以上の基準値を設定するに当たり、生ごみの含水率、生ごみの低位発熱量(乾ベース)等をそれぞれの一般的な値を基に一定の値に固定し、熱回収先として想定しうる都市ごみ発電施設において試算を行ったところである。

そして、今回は、含水率、低位発熱量等の重要なパラメータを変動させて、エネルギー利用に関する効率がどのように影響を受けるかを試算した。得られた試算結果をまとめると次のとおりである。

生ごみの含水率が上昇すれば、廃棄物発電によるエネルギー利用に関する効率は低下し、基準値案である 160MJ/t を下回る。食品循環資源の含水率が高くなり過ぎれば、正味でエネルギーを回収・利用することが困難となることは当然の結果である。一方、生ごみの含水率が下がれば、廃棄物発電によるエネルギー利用に関する効率は上昇する。

比較対象となるメタン化システムは、湿式で河川放流まで水処理を行い、残渣を脱水する構成のシステムであるが、含水率の増減により、水処理のエネルギー消費が増減するため、メタン化システムのエネルギー利用に関する効率も変動する。含水率の低い領域では、メタン化システムの効率が廃棄物発電を常に上回る結果となっているが、湿式のメタン化システムの湿式発酵のプロセス維持のため、含水率には下限(80%前後)があることを考慮すると、両者のエネルギー利用に関する効率の高低関係には大きな変化はない。

生ごみの低位発熱量(乾ベース)が減少すれば、廃棄物発電によるエネルギー利用に関する効率は低下し、基準値案である 160MJ/t を下回る。食品循環資源の発熱量が下がれば、正味でエネルギーを回収・利用することが困難となることは当然の結果である。一方、生ごみの低位発熱量が上がれば、廃棄物発電によるエネルギー利用に関する効率は上昇する。

比較対象となるメタン化システムも、低位発熱量の増減により、バイオガス発生によるエネルギー量が増減するため、エネルギー利用に関する効率は変

動する。低位発熱量の低い領域では、メタン化システムの効率が廃棄物発電を常に下回る結果となっていることは、今後、メタン化システムの運転成績と食品循環資源の発熱量データを蓄積しフォローアップしていくべき点であるが、この点を除けば、両者のエネルギー利用に関する効率の高低関係には大きな変化はない。

混合焼却する相手側の低位発熱量（乾ベース）の増減により、廃棄物発電によるエネルギー利用に関する効率は増減するが、その傾向は緩やかで、基準値案である 160MJ/t との高低関係に大きな影響はない。

この結果を踏まえて、160MJ/t の基準値案を評価すると次のとおりである。

含水率の高い食品循環資源の場合を考慮して、基準値をさらに下げるとは、エネルギー回収・利用に不向きな性状の食品循環資源を熱回収に仕向け、廃棄物発電全体のエネルギー利用に関する効率を低下させることとなることから適切とはいえない。

含水率の低い食品循環資源の場合には、今後は対応するメタン化システムとして乾式システムが有力な選択肢となりうる可能性があり、今後のフォローアップの中で乾式システムの導入動向には留意する必要がある。

低位発熱量の低い領域でのメタン化システムの効率低下については、今後メタン化システムの運転成績と食品循環資源の発熱量データを蓄積し、フォローアップしていくべきである。

以上から、基準値案の 160MJ/t については、食品循環資源の含水率や低位発熱量について標準的な設定を行い試算した結果得られたものであるから、現時点では、妥当な水準であると考えられる。

(3) 廃棄物発電における生ごみ分の寄与の配分の方法

前回資料では、廃棄物発電の正味の出力エネルギーのうち生ごみ分の寄与を算出するに当たって、発電した電力量や廃棄物発電施設内の消費電力量（所内電力量）に対する寄与の配分の方法は、廃棄物の有する熱量（低位発熱量）に着目して配分している。発電した電力量については低位発熱量ベースで配分することが素直な方法といえるが、廃棄物発電施設内の電力消費量（所内電力量）は、廃棄物の搬送装置、送風機、補機類等の廃棄物発電施設内の関連設備ごとに、低位発熱量ベースでの配分とするか、廃棄物の重量ベースでの配分とするかを検証することが、より厳密な評価の観点から重要である。

そこで、所内電力量を系統別、機器別に分類し、低位発熱量・廃棄物重量のいずれでの配分が合理的であるかを検証した（参考2）ところ、消費電力量あるいは機器容量の 50% 以上は、発熱量ベースで配分することが妥当な系統・機器であることが確認できた。

(参考 1)

食品循環資源の含水率の測定例

90%以上	漬物用野菜カットくず(93.9~97.4)
	焼酎粕(液状)(90.2~95.3)
	野菜くず(92.5~94.1)
90%	中華レストラン調理くず・残飯・だしがら(86.9)
~	馬鈴薯残さ(生口ス、皮)(83.5)
80%	
80%	弁当小売ごはん他(79.4)
~	出し汁絞り粕(76.1)
	おから(73.1~84.6)
70%	和食レストラン残飯(73.3)
70%	お茶がら(69.7~70.4)
	コーヒー粕(64.7~65.5)
	魚のあら等(60.2~70.8)
~	ハム等の加工時の肉くず(63.9)
	玉子焼き(63.2)
	ジャム残さ(61.7)
60%	ファミリーレストラン残飯(60)
60%	ごはん(58.3~58.9)
~	清酒酒かす(52.5~60.4)
50%	
50%	もろみ搾り粕(49.2)
~	
40%	

資料提供：国立環境研究所

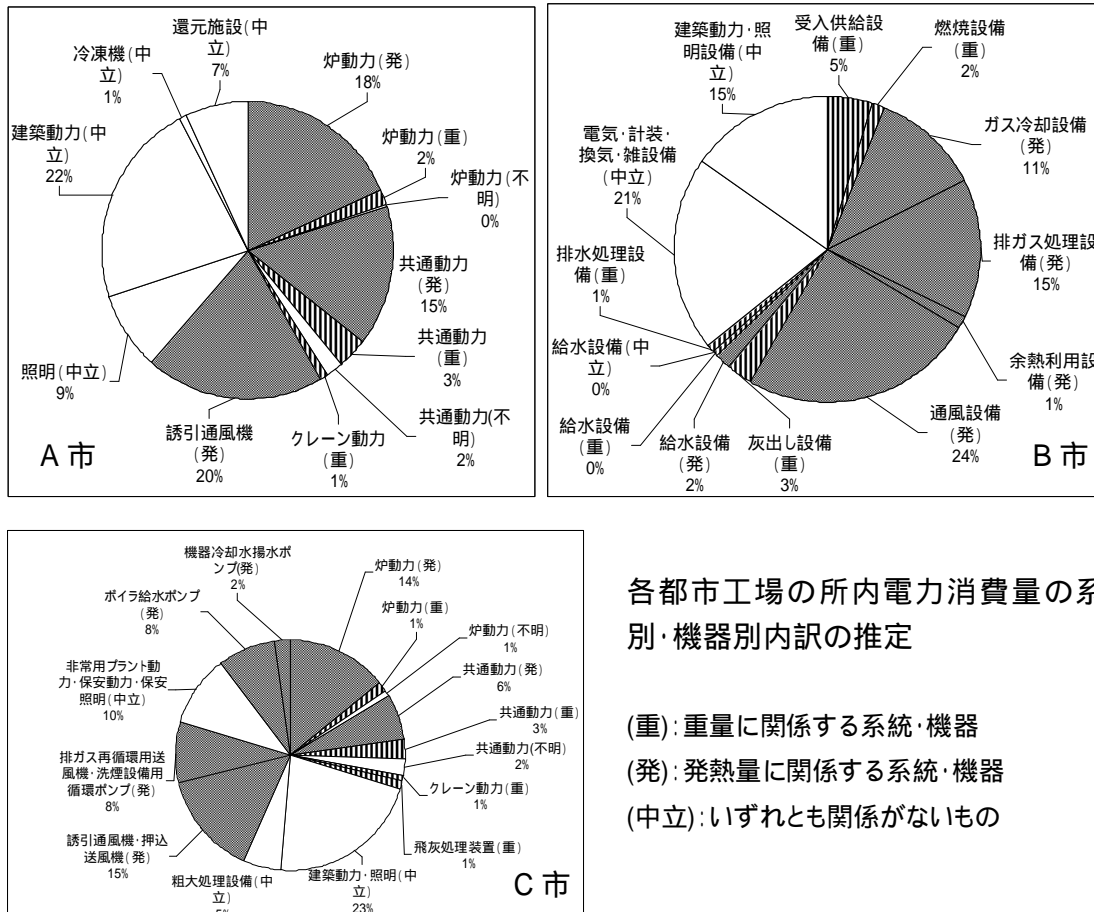
(参考2)

都市ごみ発電施設の所内消費電力の機器別内訳の試算

都市ごみ発電施設における所内消費電力について、実際の都市の施設におけるデータに基づいて、機器の系統別又は種類別に把握又は推定し、機器の機能・特質が、ごみの重量に関係するのか、ごみの発熱量に関係するのか等を区分した。

A市及びC市では、所内電力消費量の系統別内訳として、炉動力、共通動力、クレーン動力、誘引通風器等の別に年間消費電力量の実績値を把握している。また、炉動力と共通動力の機器別内訳は、定格30kW以上の機器の定格から主要な機器別の年間消費電力量を計算により推定(定格出力×推定年間運転時間【24時間×稼働日数と仮定】)した。また、B市の清掃工場において把握されている所内電力の消費機器について機器別の出力(2炉運転時の負荷。常用機器のみ)をもとに、系統及び機器の機能が、ごみ発熱量・ごみ重量のいずれと関係が深いかによって出力を仕分けした。

これら三都市の工場のデータから、発熱量に関係する系統・機器の寄与割合が半数を超え、いずれでも説明可能なもの(中立)が3分の1程度、重量に関係するものが10%程度となっていることがわかる。このことから、所内消費電力の全体について、バイオマス分の寄与を配分する便宜的な方法として、発熱量で配分することは妥当であると考えられる。



各都市工場の所内電力消費量の系統別・機器別内訳の推定

- (重): 重量に関係する系統・機器
- (発): 発熱量に関係する系統・機器
- (中立): いずれとも関係がないもの

機器種類別の区分（重量・発熱量）の設定

系統	機器種類	分類	機器能力と関係するごみ質
炉動力内 訳(定格 30kW以 上)	ストーカー油圧ポンプ	重量	重量
	押し込み送風機	発熱量	空気比
	炉温調送風機	発熱量	排ガス温度
	排ガス循環送風機	発熱量	排ガス温度
	減温水ポンプ	発熱量	排ガス量
	減湿水ポンプ	発熱量	排ガス量
	減湿用冷却気ファン	発熱量	排ガス量
共通動力 内訳(定 格30kW 以上)	飛灰空気輸送用空気圧縮機	重量	灰分
	飛灰処理装置	重量	灰分
	洗浄用ポンプ	重量	施設全体
	雑用コンプレッサ	重量	施設全体
	投入扉油圧ポンプ	重量	重量
	計装コンプレッサ	重量	施設全体
	蒸気コンデンサファン	発熱量	蒸発量
	純水装置	発熱量	蒸発量
	ボイラ給水ポンプ	発熱量	蒸発量
	脱気器給水ポンプ	発熱量	蒸発量
	タービン冷却水ポンプ	発熱量	蒸発量
プラント冷却水ポンプ	発熱量	施設全体	