

# 木質バイオマス発電の環境性能を高めるために

利用部 資源・システムグループ 古俣寛隆

## ■はじめに

再生可能エネルギーの固定価格買取制度（以下、FITといいます）により木質バイオマス発電が注目されています。木材の燃焼により発生した二酸化炭素は、森林資源が持続的に管理されているのであれば、カーボンニュートラルの概念に従ってカウントされません。しかし、丸太生産、輸送およびチップ製造等の工程では化石燃料が消費されます。よって、木質バイオマス発電所でつくられた電力についても、ライフサイクルアセスメント（Life Cycle Assessment, 以下、LCAといいます）を用いて全工程で環境負荷を定量的に評価し、石炭火力発電等の商用電力（以下、系統電力といいます）と比較する必要があります。近年では、ヨーロッパの環境フットプリント制度にみられるように、影響領域を地球温暖化のみに限定せず、大気汚染や廃棄物処理など可能な限り多くの影響領域を考慮したライフサイクル影響評価（Life Cycle Impact Assessment, 以下、LCIAといいます）も広まっています<sup>1)</sup>。

一方、木材のエネルギー利用においては、電力のみを製造するより、電力と熱を同時に製造する熱電併給の方がエネルギー利用効率は高いため、森林資源の有効利用という観点から熱電併給を推進すべき

との声があります。LCAの視点から見て、熱電併給システムは発電だけのシステムに対してどのくらい優れているのでしょうか？

そこで、以下の2点について評価を行いました。

- 1) 現実的に想定される規模と条件で、化石燃料による発電および熱電併給のシステムに対する各木質バイオマスエネルギーシステムの環境性能を評価しました。
- 2) 木質バイオマスによる発電システムと熱電併給システムの環境性能を比較し、総合的な環境影響の面から熱電併給の優位性を検証しました。

## ■方法

### ●評価範囲

評価範囲を図1および図2に示しました。原料に木質バイオマスを利用したシステム（以下、木質バイオマスのシステムといいます）には、発電のシステムとしてシステムB1、熱電併給のシステムとしてシステムB2を設定しました。これら木質バイオマスのシステムの代替システムとして、日本平均の系統電力および重油による蒸気製造システムをそれぞれ設定しました（以下、化石燃料のシステムといいます）。

化石燃料のシステムには、系統電力のシステムと

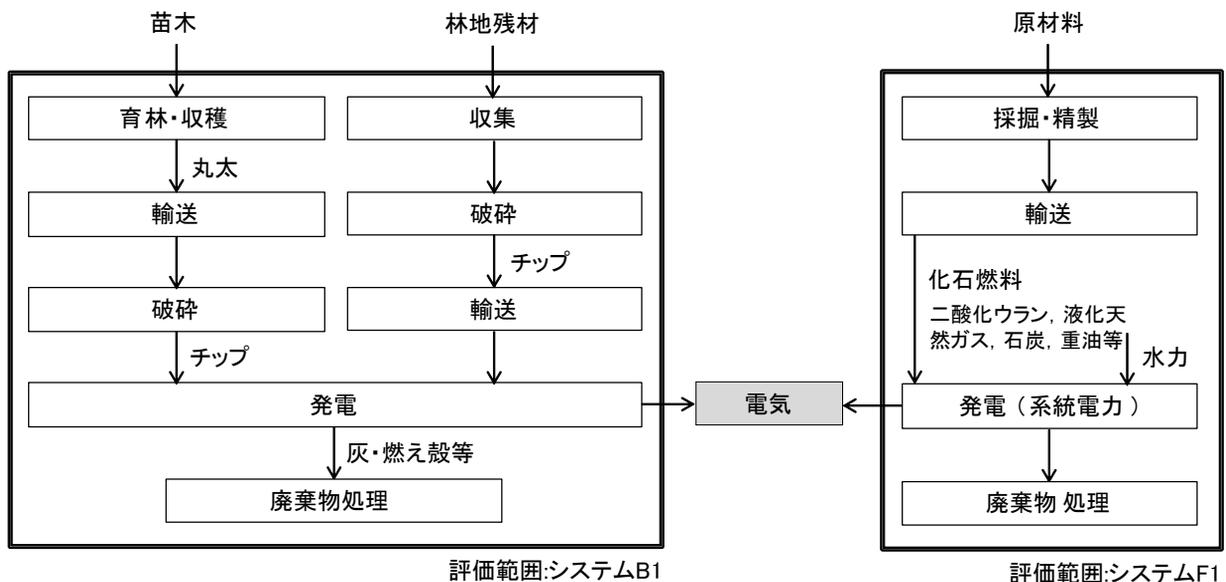


図1 発電のシステムにおける評価範囲

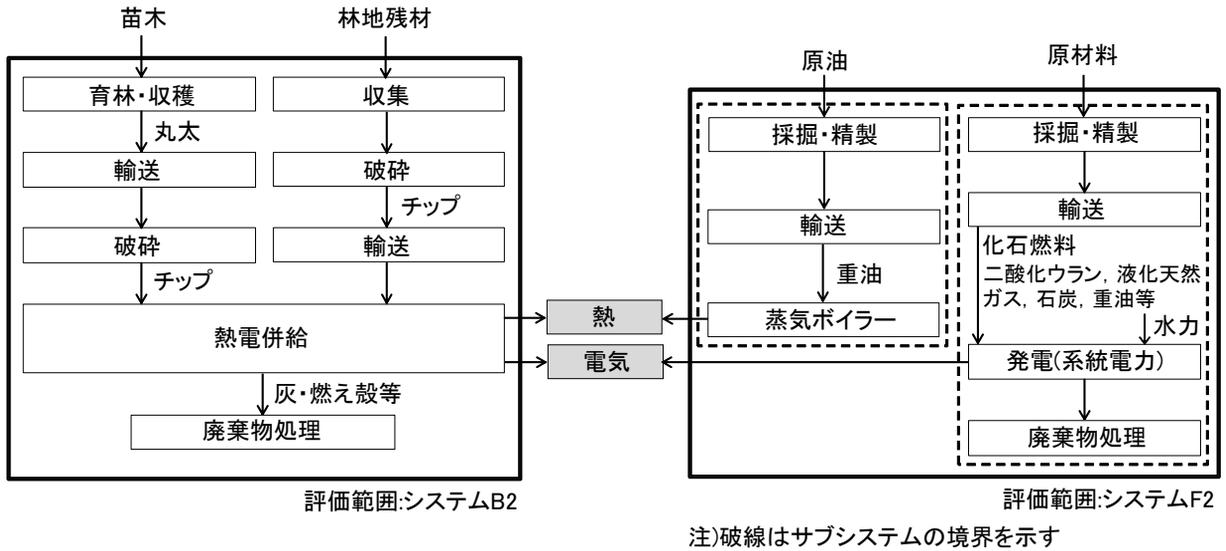


図2 熱電併給のシステムにおける評価範囲

してシステムF1を、系統電力と重油ボイラーで構成されるシステムにシステムF2を設定しました。システムF1およびF2は、電力のみを製造するシステムB1、熱および電力を製造するシステムB2をそれぞれ代替します。いずれのシステムにおいても、木質バイオマスの調達から各エネルギー製造を経て廃棄物の処理までを評価範囲としました。比較を行う単位は、各システムから製造される1kWhのエネルギー需要としました。なお、各システムから製造される1kWのエネルギーについて、システムB1およびF1は電力であり、システムB2およびF2は熱と電気のミックスとなります。

●発電所や熱電併給プラントの条件

木質バイオマスのシステムにおけるプラントの規模は、木質バイオマスの年間消費量を丸太換算で10万m<sup>3</sup>としました。全ての木質バイオマスは、FITの原料区分において間伐材等由来の木質バイオマス（針葉樹）に該当するものとします。

電気のみを製造するシステムB1のプラントの発電出力は、5700kW、設備利用率は80%としました。システムの年間の発電量は(1)式に基づいて算出しました。

$$\text{年間発電量 [kWh/y]} = \text{発電出力 [kW]} \times 24[\text{h/d}] \times 365[\text{d/y}] \times \text{設備利用率 [\%]} \div 100 \quad (1)$$

熱電併給であるシステムB2のプラントの発電出力および熱出力については以下のように設定しました。熱はタービンから蒸気の一部を抽気して利用するこ

ととします。具体的には、圧力0.6MPa、温度159℃の飽和蒸気を流量10t/hで抽気し、製材の乾燥のために利用します。なお、この抽気蒸気を用いて針葉樹板類の乾燥を行う場合、必要となる平均蒸気量<sup>2)</sup>と乾燥のサイクルタイム（乾燥機への出し入れを含め6日間）から推定すると、最大で年間8万m<sup>3</sup>程度の乾燥製材の生産が可能です。プラントの発電出力および熱出力は、エネカルクVer. 3の計算シート「蒸気タービン」<sup>3)</sup>（以下、エネカルク計算シートといいます）を用いて算出しました。システムB2のボイラー主蒸気条件はシステムB1と同一としました。タービンの内部効率エネカルク計算シートに主蒸気、圧力損失、復水器の真空度の条件を入力し、発電出力が5700kWとなるように調整して求めました。システムB2の設備利用率もシステムB1と同じ80%とし、年間の発電量は(1)式に基づいて、製造熱量は(2)式に基づいて算出しました。

$$\text{年間製造熱量 [kWh/y]} = \text{熱出力 [kW]} \times 24[\text{h/d}] \times 365[\text{d/y}] \times \text{設備利用率 [\%]} \div 100 \quad (2)$$

各システムにおける出力、年間の発電量、製造熱量およびエネルギー利用率を表1に示しました。本稿におけるエネルギー利用率の定義は(3)式の通りです。

$$\text{エネルギー利用率 [\%]} = \text{エネルギー製造量 [kWh/y]} \div \text{エネルギー投入量 [kWh/y]} \times 100 \quad (3)$$

表1 各システムにおける出力、年間の発電量、熱製造量およびエネルギー利用効率

		システムB1	システムB2
定格出力	電気*1)	kW	5,700
	熱*2)	kW	-
	計	kW	5,700
エネルギー投入量	木材	MWh/年	164,991
エネルギー製造量	電気	MWh/年	39,946
	熱	MWh/年	-
	計	MWh/年	39,946
エネルギー利用効率*3)	電気	%	24.2
	熱	%	-
	計	%	24.2

\*1) 発電端

\*2) 抽気端

● LCAの方法 LCA算定支援ソフトMiLCA Ver. 1.2.6<sup>4)</sup>

(以下、MiLCAといいます)を用いました。環境負荷原単位には、MiLCAに搭載されるデータベースIDEA Ver. 1.1.0<sup>5)</sup>を使用しました。影響領域には、地球温暖化、資源消費、酸性化、廃棄物、光化学オキシダント、富栄養化、人間毒性、生態毒性(大気および水圏)、エネルギー消費、都市域大気汚染を設定しました。環境負荷の重み付け係数にはLIME2 (LIME: Life cycle Impact assessment Method based on Endpoint modelingの第2版)<sup>6)</sup>を利用し、統合化における単一指標には外部コスト(円)を採用しました。外部コストの定義に関しては、文献<sup>6)</sup>をご参照ください。ここでは簡単に、“外部コスト=環境被害額”と考えていただければ結構です。

用いたデータは以下のとおりです。木質バイオマスは、間伐材・主伐材を由来とする丸太と林地残材(通常は伐採現場に放置される残材)の2種類とし、原料比率(熱量基準)を、間伐材・主伐材:林地残材=8:2に設定しました。破碎はタブグラインダーを利用することとしました。その他に、ボイラー給水や冷却等に消費される工業用水とプラント内の運搬用車両に消費される軽油を考慮しました。木質バイオマスの燃焼による灰と燃え殻の発生割合は、木質バイオマスの絶乾質量の2%として、全量を産業廃棄物として埋め立てることとしました。木質バイオマスの調達場所(間伐材・主伐材は木材市場、林地残材は山土場とする)からプラントまでの輸送条件およびプラントから埋立地までの灰と燃え殻の輸送条件はそれぞれ、往路は積載率80%の10トントラックによ

り50km、復路は空荷で50kmの合計100km運搬することとしました。

木質バイオマスボイラーにおける木材燃焼の環境負荷原単位について、温室効果ガス以外の大気汚染物質(ばいじん、窒素酸化物、塩化水素)は、2箇所の木質バイオマス発電所の環境アセスメント事後評価報告書<sup>7,8)</sup>に基づき推計した値を用いました。

化石燃料のシステムも同様にMiLCAを用いてモデル化しました。系統電力の原単位については、震災前の2004年から2009年までの6カ年の平均データを用いました。この原単位は受電端の値であるため、送配電損失率を4.8%として送電端電力量1kWhあたりに換算しました。蒸気製造の原単位はIDEAより、蒸気エンタルピーをシステムB2における抽気蒸気と同様の2.9MJ/kgとして単位の換算を行いました。システムF2における機能単位あたりの熱と電力の内訳は、表1のシステムB2における熱と電力のエネルギー製造の配分比率を用い、各発電量にそれぞれの原単位を乗じてシステムF2における入力データを算出しました。

木質バイオマス発電システムに対する熱電併給システムの優位性は、代替されるそれぞれの化石燃料のシステムとの外部コストの比較を通じて評価しました。評価の模式図を図3に示します。初めに、システムF1とB1、システムF2とB2の機能単位あたりの外部コストの差を取り、代替される化石燃料のシステムに対する木質バイオマスのシステムの外部コスト削減額をそれぞれ求めます。次に、これらを表1に示した各木質バイオマスのシステムにおける年間エネルギー製造量に乘じ、最後に、それぞれの外部コス

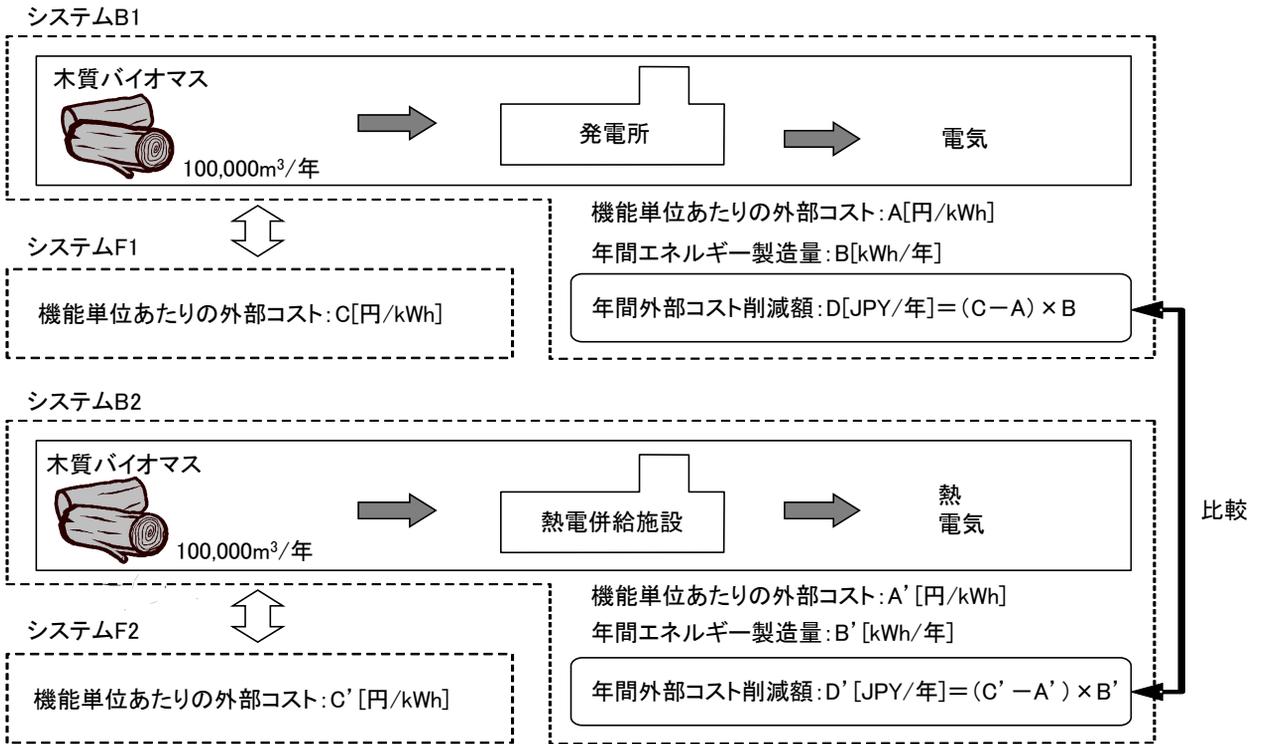


図3 木質バイオマス発電システムと熱電供給システムの比較模式図

トの年間削減額を比較してシステムB1とB2の環境性能の優劣を判断しました。

### ■結果と考察

統合化評価の結果を図4に示しました。木質バイオマスのシステムの外部コストは、電力のみが製造されるシステムB1で1.27円/kWhと算出されました。対して、システムF1の外部コストは2.02円/kWhと算出され、システムF1に対するシステムB1の外部コストの削減額は0.75円/kWh、削減割合は36.8%となりました。一方、熱および電力が製造されるシステムB2の外部コストは0.56円/kWhと算出されました。システムF2 (2.04円/kWh) に対する削減額は1.48円/kWh、削減割合は72.4%となりました。木質バイオマスのシステムにおける外部コストで大きな割合を占めた影響領域は、廃棄物 (57.8%)、地球温暖化 (16.9%)、都市域大気汚染 (11.5%)、酸性化 (9.3%) でした。廃棄物について、木質バイオマスのシステムにおける廃棄物の負荷のほとんど全ては、エネルギー製造プロセスにおいて木材の燃焼に伴って発生する灰と燃え殻が占めました。

一方、化石燃料のシステムでは、1) 熱は重油ボイラーから製造されており燃焼時の廃棄物は発生しな

いこと、2) 電力は日本の平均的な電源構成に基づいて算出されており、その大部分は灰や燃え殻が発生する発電システムではない(電源構成の3割弱を占める石炭火力発電においても、石炭灰は法律により有効利用が義務付けられているために埋め立て処理が回避されていること) から廃棄物の影響は非常に小さくなったと考えられました。

木質バイオマス発電のシステムによるシステムB1とシステムF1の外部コストが逆転する場合のB1のエネルギー利用効率を求めたところ15.3%となりました。つまり、木質バイオマス発電の発電効率が15.3%より低くなる場合には、製造された電力の外部コストが系統電力のそれよりも高くなる可能性があります。

化石燃料のシステムに対する木質バイオマスのシステムの外部コストの削減額は、システムB1が29.7百万円/年、システムB2が133.5百万円/年となり、削減額は熱電供給であるシステムB2の方が4.5倍大きいことが分かりました(表2)。以上の結果から、木質バイオマスを原料とするエネルギー製造システムは化石燃料のそれに対して環境性能が高く、また、発電のみ行うよりも熱電供給により熱と電力を製造する方がより多くの外部コストを削減できる可能性が示されました。

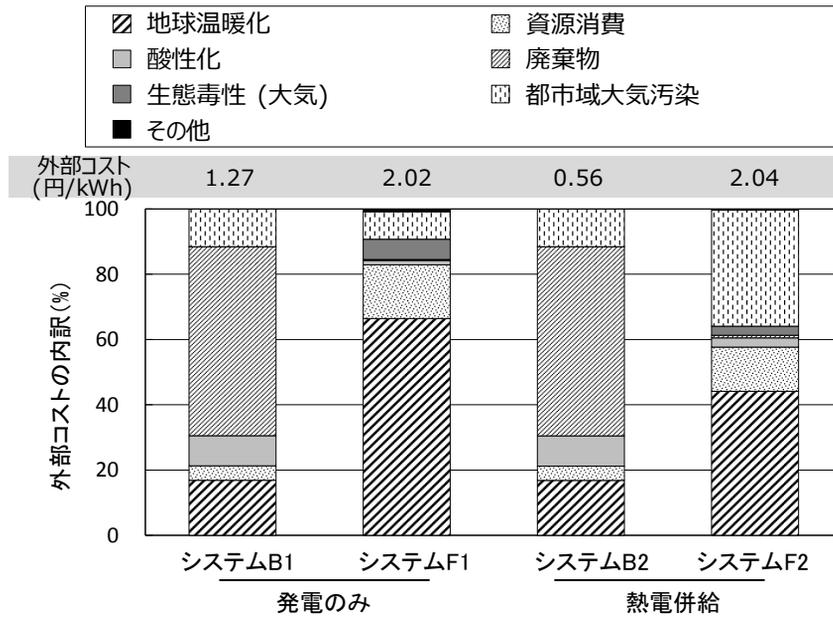


図4 統合化評価の結果

表2 発電システムと熱電併給システムの優位性比較

		システムB1	システムB2	
製造エネルギー		電気	熱, 電気	
エネルギー製造量		39,946	90,214	MWh/年
外部コスト	対化石燃料のシステム	0.74	1.48	円/kWh
削減額	年間削減額	29.7	133.5	百万円/年

■まとめ

外部コスト算出の結果から、木質バイオマスのシステムによるエネルギーの環境負荷削減のためには廃棄物の発生量を減らすことが重要であることが示唆されました。FITの導入前までは、建築解体材を用いた発電がほとんどであったため、重金属および有害化学物質等混入の懸念から発生する灰と燃え殻のほとんど全ては産業廃棄物として処理されるのが一般的であり、それらのリサイクルの機運はなく、また市場も形成されてきませんでした。しかし、間伐材等のバーゲン木材の灰と燃え殻にはそのような危険性はないと考えられます。石炭灰は法律によりリサイクルが推進されており、その利用率は非常に高くなっています。仮に、セメント材料等へのリサイクルの環境負荷が埋め立てよりも低いのであれば、灰と燃え殻の埋め立てを回避するため、リサイクルの取り組みを積極的に行う必要があると考えられます。また、外部コスト全体に占める酸性化および都市域大気汚染の影響割合も20%程度と無視できない

ため、ボイラー排出ガス中のばいじん、窒素酸化物濃度を低減させる取り組みも効果的と考えられます。

■文献

- 1) 岩下果林, EC環境フットプリントとScope3 (スコープ3) について, LCA日本フォーラムホームページ, 入手先  
(<http://lca-forum.org/seminar/pdf/20130315/3-SCOPE3-mizuno.pdf>), (参照2018-1-26)
- 2) 日本木材加工技術協会 (2012): 木材乾燥講習会テキスト平成24年度, 41pp.
- 3) 小西二郎 (2010): 省エネ計算ツールエネカルク Ver. 3 (CD-ROM), 一般財団法人省エネルギーセンター出版部, 東京
- 4) 産業環境管理協会: MiLCA Ver1. 2. 6
- 5) 産業技術総合研究所, 産業環境管理協会: IDEA Ver1. 1. 0
- 6) 伊坪徳宏, 稲葉 敦 (2010): LIME2 意思決定を支援する環境影響評価手法, 社団法人産業環境管理協会

, 東京, 600-605pp.

7) 日本ノボパン工業株式会社, ノボパン木屑リサイクル事業に係る事後評価報告書 (平成21年7月~9月分), 大阪府ホームページ

8) 株式会社吾妻バイオパワー, 吾妻木質バイオマス

発電事業に係る環境影響評価事後調査報告書, 株式会社吾妻バイオパワーホームページ, 入手先  
<[http://agatsuma.orix-eco.jp/files/130809\\_ORIXJ.pdf](http://agatsuma.orix-eco.jp/files/130809_ORIXJ.pdf)>, (参照2018-1-26)