

# 木質バイオマス利用の現状と課題

久保山 裕 史

(森林総合研究所林業経営・政策領域)



## 1 はじめに

年頭に原油価格が100ドル/バレルの大台にのり、地球温暖化防止だけでなく、重要なエネルギー源としての木質バイオマスに対する期待も高まる一方の状況にある。しかし、日本における主な木質バイオマス供給源である、建築廃材460万t(乾重)、製材残材500万t、林地残材370万tのうち、近年利用が急拡大したのは建築廃材のみである。

一方、近年の欧州では建築廃材や製材残材はすでに利用が進み、林地残材のエネルギー利用が拡大している。これは①原燃料の低コスト安定供給、②低コスト・高効率変換技術、③高い販売価格と大きな需要という3つの条件がそろって、林地残材利用の経済性が確立していることが大きい。日本では、製材残材はすでになんらかの利用がされているが、チップ・鋸屑を除けばただ同然の状態であり、林地残材はほぼ未利用の状態にある。こうした状態にとどまっているのは、①の原料供給システムが未整備であることもさることながら、②と③の条件が欠如していることも大きいと考える。

そこで本論では、エネルギー利用を中心に、木質バイオマスの現状と可能性について、特に林地残材の利用拡大に必要と思われる課題について、欧州の事例を交えながら述べたい。

## 2 木質バイオマス利用拡大とチップ価格

建築廃材は、大規模プラントにおける発電用燃料

の利用が急拡大した。この背景には、建設リサイクル法の制定等によって、建築廃材のいわゆる静脈流が整備され、低価格で大量供給されるようになったことが大きい。同時に新エネルギー利用促進法(RPS法)により、電力会社に再生可能電力の買い取りが義務づけられたことや化石燃料の高騰によって需要が拡大したことも影響している。また発電に用いられた技術は、大型ボイラーで発生させた蒸気で発電用タービンを回すというすでに確立された方法であり、先述の3つの条件がすべてそろったからである。

こうして建築廃材は、一部では奪い合いとなっている。この大きな要因は、建築廃材や廃パレット等を粉砕して生産される燃料チップ(以下、建廃チップ:ここでは製紙・ボード原料用の高品質チップを除く)の価格が2,000円/t以下と低いことによる(全国木質資源リサイクル協会連合会、2007)。これは、含水率20%(以下、ウェットベース)とすると、熱単価は520円/MWh以下と計算でき、最も安価な石炭の1,400円/MWh前後と比べて半分以下である。

建廃チップの価格上昇によって、利用拡大の見込みがでてくるのは製材残材といえる。バークや端材は引き取り手のない工場も多く、これを無償で引き取って粉砕利用するものとし、その費用が4,000円/t-50%(50%は含水率)であるとする、1,900円/MWhと計算でき、石炭よりもやや高い程度におさまる。それでは、用材丸太はどうであろうか。最も安価な針葉樹パルプ材から生産したチップでさ

えも、3,800 円 / MWh と計算され、石炭価格の 3 倍に近く、現実的ではなさそうである。

このことから、価格の高い用材（切り捨て間伐材も含む）のエネルギー利用は現段階では困難であるということがわかっていく。森林系バイオマス供給を増加させるには、用材生産を目的とする伐出システムとうまく関係させて、端材や枝葉といった林地残材を低コスト収集する必要があるということがいえそうである。筆者（2004）は、岩手県遠野市における

試験から、条件のよい場所であれば、林地残材チップを 6,000 円 / t - 50% で供給可能な見通しを得た。これによって、約 2,800 円 / MWh までコストを引き下げられるが、それでも石炭価格の 2 倍になってしまうので、石炭との競争は難しそうである。

### 3 木質バイオマスの発電利用

建廃チップを利用する大規模バイオマス発電は、蒸気タービンの形式等で図 1 のように大きく 3 通りに分けることができる。図の例は、すべてエネルギー効率 85% のバイオマスボイラーで生産した 17 気圧、240℃ の蒸気を利用することを前提としており、(a) ではすべての蒸気を背圧タービンに通して 1MW (= 1,000kW) の発電を行い（発電効率 6%）、タービン排気口からでてくる 3 気圧の蒸気 15MW 相当を熱利用する熱電併給（CHP）である。総合熱効率は 85% である。

(b) では、蒸気の半分を復水タービンに通して 1MW の発電を行い（発電効率 13%）、残りの半分の 8MW を熱利用するという熱電別給（SHP）とでもいべき利用方法であり、総合熱効率は 52% となる。復水タービンは、発電効率は高いが、排気中のエネルギーが小さいため熱利用には適さない。そのため、蒸気をすべて復水タービンに通す (c) の場合、発電量は 2.5MW と最大になる（発電効率 16%）が、総合熱効率は 13% と低い。このように、発電のみを行う場合、もともと木質バイオマスがもっていたエネルギーのわずかしかが利用されないことがわかる（蒸気タービンの発電効率は、大規模なものほど向上するので、一般的にもっと規模は大きい、10 倍の発電規模でも総合熱効率は 25% 程度にとどまる。

他方、経済的には電気と蒸気の価格を考える必要がある。電気は様々な仕事や冷暖房にも使えるため質の高いエネルギーである。そして、販売価格も 10 ~ 20 円 / kWh と高く、蒸気の価格は圧力や温度によって異なるが、重油 35 円 / L、熱変換効率 85% で計算すると 3.8 円 / kWh と電気の 1 / 3 程度と安い。電力価格の高さが、発電プラント建設の要因の一つと考えられるが、売電価格が最大の 20 円 / kWh であったとしても、(c) の収入は 5 万円 / 時間

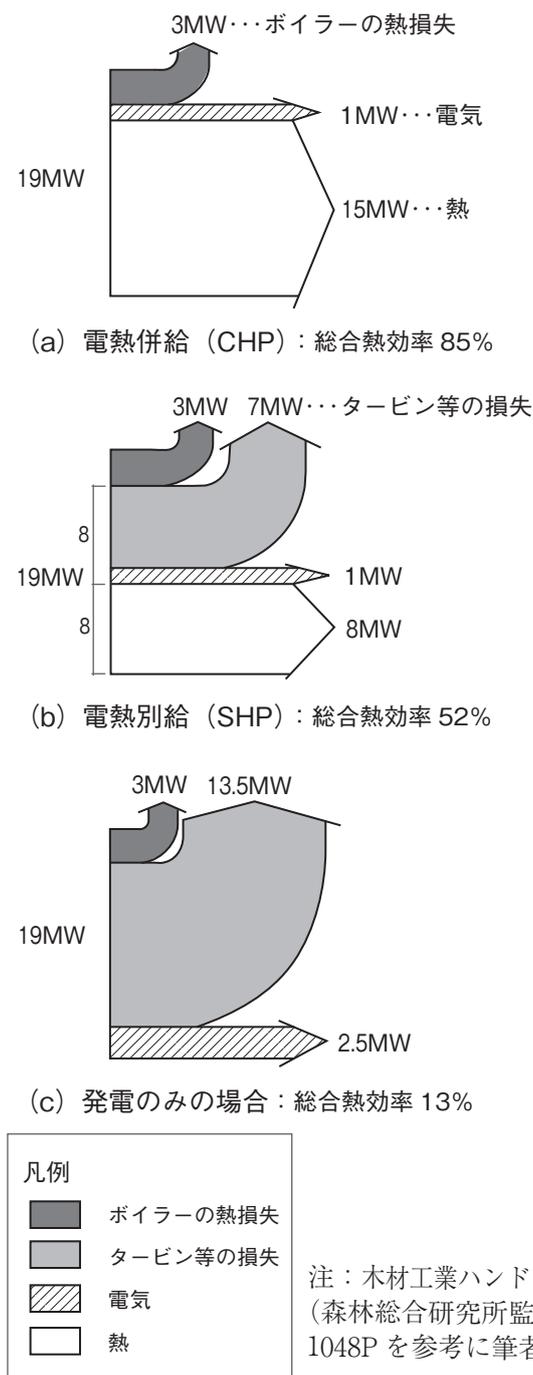


図1 蒸気式発電の種類と特徴

であるのに対して、(a) は 7.7 万円/時間と大きい。やはり、総合熱効率の高い利用方法が経済的に有利になることを示している。電力会社のバイオマス電力の買い取り価格が平均 7.7 円/kWh にとどまっていることや、重油価格が 70 円/L 以上に上昇していることから、エネルギー効率の重要性は一層高まっている。

この点、欧州の木質バイオマス電力の約 75% は熱電併給プラントにおいて生産されており、電気とともに生産される熱は工場や地域熱供給等で利用されている (EurObserv' ER, 2006)。これに対して、日本では製紙等の産業以外ではそれほど CHP が普及していない。それは、プラントを大規模にすると発電効率が上がって、経済性が高まる一方で、大きな熱需要を確保する必要があるという難題に直面するからであろう。

このようにして建設された発電のみのプラントは、熱販売収入がない等の要因から、林地残材の集荷を行える燃料チップ買い取り価格の提示は困難であると推察される。それでは、製紙会社等のバイオマス CHP はどうであろうか。発電が経済的に成り立つ規模のプラントで用いられるボイラーは、廃プラや廃タイヤ、さらには石炭等の燃料を利用できるものが多く、それらとの競争によって価格が抑えられる可能性が高い。

こうした問題を打開するべく、ガス化・ガスエン

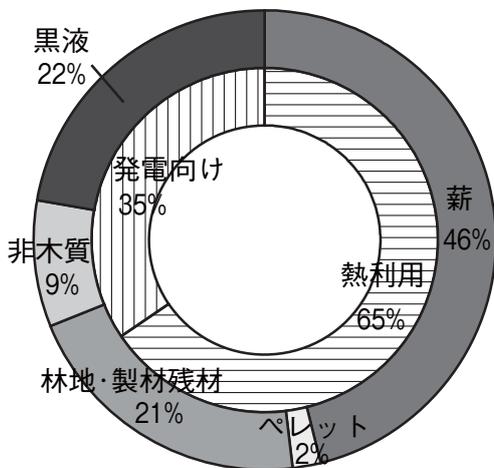


図2 EUにおける2005年の固形バイオマス燃料による一次エネルギー生産量 (石油5,870万t相当) の内訳  
出典: EurObserv' ER (2006)  
注: 発電向けのエネルギー量は筆者推計値

ジンあるいはガス化・ガスタービン CHP の開発が進められている。ガスエンジンやガスタービンを使えば、数百 kW の発電規模でも発電効率が 30% を越えるので、まとまった熱需要の乏しい日本には適している。しかし、電力 1kWe あたりの設備費用が 100 万円前後と高価 (蒸気式は 30 ~ 50 万円) であることや、売電価格が低いこと、工場等における自家消費とすると夜間需要がなく日中運転 (DSS) となる等によって経済性が低下し、今ひとつ普及していないというのが実態ではなかろうか。一段のコストダウンと、小型・高効率化、そして高含水率チップへの対応が進めば、そうした小規模 CHP における林地残材利用につながるものと期待している。

#### 4 木質バイオマスの熱利用

ここまで発電利用を中心に述べてきたが、発電を伴わない熱利用はどうであろうか。蒸気や温水は、先述の通り価格は安いが生産コストも低いことから、比較的高い燃料価格を提示できる可能性がある。欧州においても、図 2 の通り、建築廃材や都市ゴミを除く木質バイオマスエネルギー供給量 (石油 5870 万 t 相当) の 6 割以上が発電を伴わない熱利用となっている。それらは、ストーブやボイラーにおける薪利用やチップボイラーを核とした小・中規模地域熱供給事業等によるものである。

中・小規模ボイラーの排煙装置は、一般的に簡素なものが多く、廃棄物や石炭の燃焼を念頭においていない。もともと、石炭は公害の問題もあって、地域においては重・灯油等を燃料とする中・小規模ボイラーが利用されているのが現状であろう。林地残材はクリーンな燃料なので、中小規模プラントで安心して利用でき、それらをターゲットとすれば石炭と競争しなくすむのではなかろうか。

北欧で林地残材が石炭と競争できているのは、石炭に半分近い高率の課税がされているからである。確かに、温暖化防止のためには安易な石炭利用は避けるべきであり、石炭への課税によって建廃チップ以外のバイオマス利用も拡大する可能性は高いと考えられる。しかし、それを待っているのは林地残材の利用拡大は遅れるばかりであろう。

これに対して、日本には地域熱供給を背景とする大規模 CHP はないかわりに、出力 500kW 以上（電熱面積 10m<sup>2</sup> 以上）の化石燃料ボイラーは全国に 3 万台以上存在する（日本ボイラ協会、2006）ので、これを高性能チップボイラーで代替していくという方法が考えられる。ボイラーの 78% は重・灯油を使用しており、50 円/L の重油は 4,600 円/MWh なので、林地残材でも対抗可能かもしれない。

そこで、燃料チップの供給コストがどの程度であれば採算がとれるかということについて、エネルギー利用形態別に推計を行った。採算性は、初期投資額（自己負担額）を単年度収支（電熱販売収入－支出合計）で除した投資回収年数で評価した。投資回収年数が短いほど採算性が高く、この年数が減価償却期間（耐用年数）よりも短い事業は持続可能と考えられる。表 1 に示した通り、燃料チップが無償で手に入る（自給できる）場合には、すべての形態で採算がとれたが、価格が上昇すると熱利用を行わない大規模発電事業、ガス化発電小規模、同中規模の順に採算がとれなくなった。チップボイラーによる熱供給事業では、燃料チップが 6,000 円/t-50% でも回収可能であるという結果となった。また、重油価格が 60 円/L に上昇すると、9,000 円/t-50% でも重油に対抗可能であった。ちなみに、売電価格が 10 円/kWh に上昇すると、大規模発電事業の採算は燃料チップ 4,000 円/t-50% でとれるという結果であった。

## 5 まとめ

バイオマス利用の拡大を考える上で、その利用価値（エネルギーではエクセルギーあるいは有効エネルギー）の大きさもさることながら、総合効率を高めるエネルギー利用を考える必要性を指摘した。これは、ペレットやエタノールの生産に関してもあてはまる。つまり、製造に必要なエネルギーが自給できたとしても、それが多く必要であれば、もともとバイオマスがもっていたエネルギーをロスし、それだけ経済性も低下するということになる。ペレットについては、発生してしまう製材工場の鋸屑やかんな屑を原料とすればこれを回避することができるが、エタノールに関しては、革新的な製造技術の開発が必要といえそうである。

発電利用に関しては、売電価格の引き上げも必要であるが、やはり CHP が望ましい。そのためには大量の熱需要を確保する必要があり、熱消費企業との連携や送熱ネットワークの整備を行う必要があると考える。

現時点では、チップボイラーの経済性が最も高く、その普及によって林地残材利用の拡大をはかる必要があることを指摘した。しかしチップボイラーの普及は日本ではほとんど進んでいない。これは、①数年前まで重油価格が 40 円/L 以下と安かったことや、②バイオマスボイラーは化石燃料ボイラーの数倍の初期投資とスペースが必要になること、さらに、③不定形・高含水木質燃料に対応した高性能小・中規

表1 木質バイオマスエネルギー利用の採算性比較結果  
(○: 持続可能、△: 持続不可能(単年度黒字)、×: 単年度赤字)

利用形態	チップボイラー	小規模ガス化電熱併給	中規模ガス化電熱併給	大規模蒸気発電
定格出力 燃料チップ価格	熱 1400kW <sub>th</sub>	電 140kWe & 熱 270kW <sub>th</sub>	電 2000kWe & 熱 6800kW <sub>th</sub>	電 10000kWe
0 円/kg- 50wt%	○	○	○	○
2 円	○	○	○	△
4 円	○	△	○	×
6 円	○	×	△	×

注 1: 投資回収年数=設備コスト×(1-補助率) / エネルギー販売(収入-支出)

注 2: すべての施設は 1 日 24 時間、年 300 日稼働とし、50% 補助、金利 2%、重油価格 50 円/L、電力 16 円/kWh とした。また、ガス化電熱併給システムの設備費は 100 万円/kWe、発電(端) 効率 17%、総合熱効率: 中 75%、小 50% として計算した。

模ボイラーが存在しなかったことが影響している。

①については、重油価格が40円/Lでも単年度赤字にはならないので、長期的にはなんとかかなりそうである。②のスペースの問題については、ある程度代替できる化石燃料ボイラーは限られてこよう。初期投資の問題については、欧州においてもボイラーを核とする地域熱供給事業費の50%前後を補助しており、同様の支援が必要であると考え。③については、熱出力300kW以下の小型ボイラーは、含水率が50%以下で定形に切削されたチップにしか対応していないものが多く、それより大きなタイプでは、含水率60%、長さ10cm前後の不定形チップを、総合熱効率90%前後で全自動無人運転できる装置が欧州では多数開発されている。

熱需要の確保および経済性向上の観点からは、できるだけ規模の大きなボイラーの代替が望ましい。小規模のものでは、安価な製材残材の供給で足りて

しまうからである。ただし、昼夜・通年の稼働がより経済性を高めることから、完全に代替するのではなく、チップボイラーでベースの熱供給を行い、既存の化石燃料ボイラーと併用する形で地域に複数台導入するという方法がより現実的かもしれない。このように、需要を確保しながら、用材生産連係型の林地残材供給システムを整備していけば、新たなバイオマス需要への対応も可能になるものと考え。

キーワード：木質バイオマス、林地残材、熱供給、総合熱効率、発電、経済性

#### <参考>

全国木材資源リサイクル協会連合会(2007)平成19年度木質チップ等生産会員実態調査～結果～、<http://www.woodrecycle.gr.jp/H19chousa.pdf>

久保山裕史(2004)林地残材の低コスト収集の可能性について、第13回日本エネルギー学会大会講演要旨集：p224 - 225

EurObserv' ER(2006) SOLID BIOMASS BROMETER 2006

