

森林総合研究所での木質バイオマス研究

山本 幸一

(森林総合研究所木質バイオマス利用研究コーディネータ)



はじめに

日本国内で利用可能なバイオマスの量を「バイオマス・ニッポン総合戦略」等の数値（乾燥重量）で見よう¹⁾。木質バイオマスの発生量は、紙が3,600万トン（古紙として回収されない1,600万トンが焼却されるが7割は余熱が利用される）、製紙工場のパルプ生産で1,400万トン（エネルギー利用されている。現状ではクラフトパルプ廃液として900万トン程度と考えられる）、製材工場等からの残材が500万トン（ほぼ利用されている）、林地残材が370万トン（ほとんど利用されていない）、建築発生木材（60%が再資源化されている）が460万トンで、合計は6,330万トンとなっている。一方、家畜排泄物、食品廃棄物、下水・し尿汚泥、稲わら・もみ殻などの合計は22,800万トンとなっている。古紙や残材として発生する木質バイオマスの量は決して多くはないが、近年、バイオマス発電、石炭混焼、液体燃料用の資源として、木質バイオマスへの期待は増大している。そのため、「森林・林業基本計画」にある2025年の国産材供給目標である2,900万m³の供給体制確立を目指し²⁾、付随して発生する間伐材・林地残材、製材端材の生産量を増大させ、更には、個別技術の効率化を進め、旺盛な木質バイオマス需要に応える必要がある。

森林総研で行われてきた木質バイオマス研究

1973年と1979年の2度の石油ショックを受けて、

農林水産省では1981年～1990年に「バイオマス変換計画」を行い³⁾、森林総研も参画した。成果の概要は、①シラカンバ、ポプラ類、ユーカリ、ギンネム、モリシマアカシアの生産増大を目的として交配と選抜を行い、ドロノキの年成長量を8.2m³/haから16.9m³/haに増大させたことや、ポプラ超短伐期林の投入経費と生産量の把握、②ササ、ポプラ・カンバ類の効率的な収穫・運搬システムを開発するため、急傾斜不整地走行の連結車両や、立木の伐採・玉切りを行う収穫機のアタッチメント装置の試作、③シラカンバを蒸煮処理（高温高圧で煮る）して家畜の飼料化を行い、肥育試験や実用化に向けた飼養



図1 台切り後に萌芽した3年生のエゾノキヌヤナギ（4万本/ha）

マニュアルを作成、等であった。

1991年～2000年の農林水産省「バイオルネッサンス計画」では、①エゾノキヌヤナギの選抜2クローンで、植栽密度によっては年間平均生長量が30m³/haに近い値を達成し(図1)⁴⁾、また、雄株で幹・枝の生産性が高いこと、②成長が早いヤナギなどの小枝を割裂して接着剤で積層成型し、次世代木材SSTを開発、③樹皮タンニンの有効利用のため、ポリウレタン発泡体、液状炭化物を製造する、等の成果を得た。

2000年からは農林水産省「農林水産バイオリサイクル研究」等の中で、①亜臨界水による木材の糖化、②リグニン分解物の微生物変換によるプラスチック原料化、③廃材を含めた木材の日本国内での流れ図の作成、④木質廃材からの木質ボード(床下地用30mmパーティクルボード:Green Base 30として実用化)や木材セメント複合材料(図2)の製造、⑤オゾンによるリグニン分解前処理を行った木材からのエタノール製造、等について研究を進めた。更に、NEDOプロジェクト等で、耐乾性などの耐ストレス性遺伝子を付与した新樹木を作り出す技術、それらを植林する技術、世界の荒廃地における持続可能なバイオマスエネルギー資源創出を目指した研究も進めた(図3)⁵⁾。

現在の木質バイオマス研究

現在、交付金プロジェクト(所内予算による)や農林水産省「地域活性化のためのバイオマス利用技術の開発」等で、バイオマス利用のための粉碎・乾

燥技術、ペレット成型機構の解明、アルカリ前処理と同時糖化発酵による木質バイオマスからのバイオエタノール製造技術、高耐候性木質プラスチック複合材料の開発、リグニンからのバイオプラスチック製造技術、木質バイオマスの地域利用システム等の研究を進めている。以下、バイオエタノール研究を中心に幾つかのトピックを紹介する。

バイオエタノール製造:2006年1月の米国の一般教書演説で示されたバイオエタノール政策の強化に影響を受け、日本でも2006年11月に国産バイオ燃料の大幅な生産拡大が打ち出された⁶⁾。その生産目標は、2030年には600万kLに拡大され、そのうちの1/3は原材料を木質系で賄うことになっている⁷⁾。

これまでに、建築解体木材を原料として、濃硫酸や希硫酸(酸糖化法)により、木材に含まれるセルロースやヘミセルロースといった多糖を加水分解して単糖を生成させ、酵母や他の微生物を用いてエタノールを製造する実証事業が行われている。酸糖化法では、酸の回収や酸廃液の処理コストなど幾つか

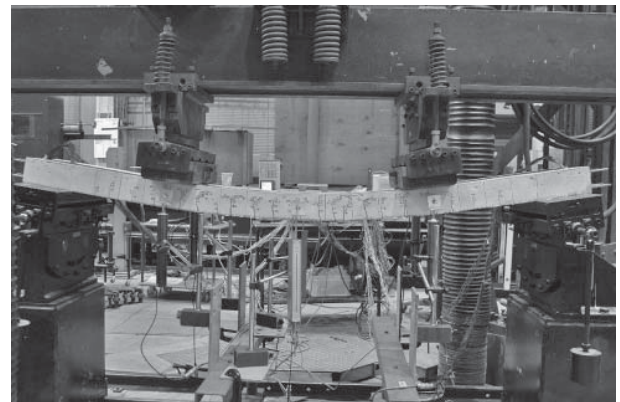


図2 木材繊維で補強したセメント複合材料の実大曲げ試験

荒漠地タイプとその面積及び生産樹種

荒漠地タイプ (分布域)	面積(百万 ha)	割合(%)	バイオマス植林樹種
ハードパンタイプ乾燥地域 (低緯度)	419.4	10	ユーカリ
塩集積地域 (低緯度)	326.7	8	ユーカリ
塩集積地域 (高緯度)	76.5	2	ポプラ、ヤナギ
酸性地域 (低緯度)	140.6	3	ユーカリ
酸性地域 (高緯度)	255.4	6	ポプラ
乾燥・半乾燥砂地 (高緯度)	1746.1	43	ポプラ、ヤナギ
半乾燥砂地 (低緯度)	730.3	18	アカシア、ユーカリ
その他	342.6	8	
合計	4037.5	100	

図3 世界の荒漠地のタイプとその面積及びバイオマス植林樹種

の難点も指摘されており、酸を用いない酵素糖化法も試みられている。酵素糖化法による場合は、多糖と絡み合っているために糖化酵素の反応を阻害するリグニンを、木材から除去するなどの前処理法が必要となり、蒸煮・爆砕処理、メカノケミカル処理（微粉碎）、オゾン処理、アルカリ蒸解処理等が試みられている。

オゾン (O₃) による前処理では、酵素糖化の邪魔になるリグニンを選択的に壊し、糖化原料となるセルロース・ヘミセルロースを得ることができる。スギ鋸屑に対してオゾン処理を進める（オゾン消費量を増す）ことで、酵素糖化率を向上できた（図4）⁸⁾。糖化が達成されれば、あとは発酵によりバイオエタノールが製造できる。

水酸化ナトリウム（蒸解助剤としてアントラキノ

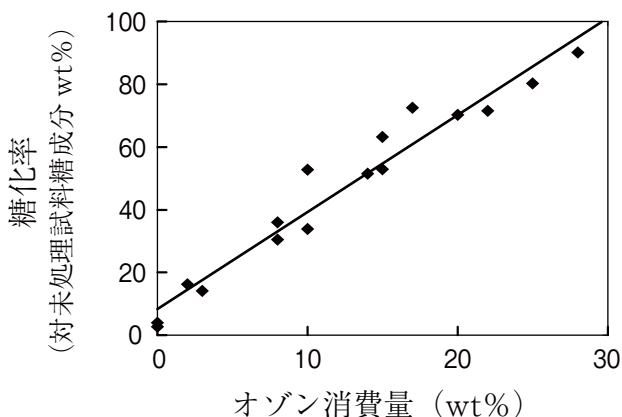


図4 オゾン前処理を行ったスギ鋸屑の酵素（セルラーゼ）による糖化率

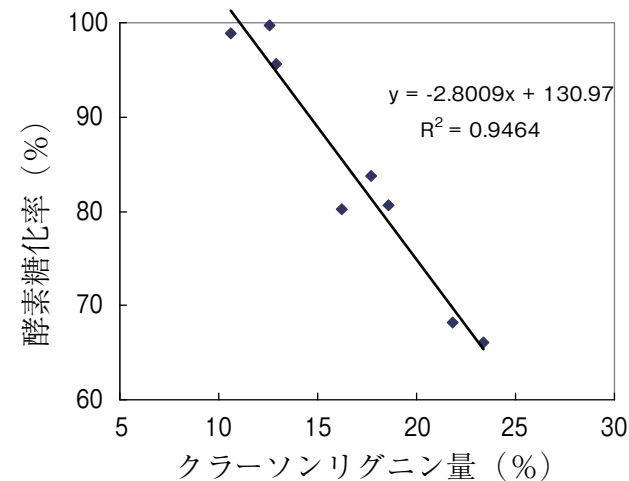


図5 アルカリ前処理によるリグニン除去の程度と酵素糖化率

ンを加える）によるアルカリ前処理では、スギチップをパルプ化し、木材中のリグニンの一部を除去することができる。リグニン除去の程度は、その後の酵素糖化率に大きく影響し、リグニン量を10%にまで低下させれば、酵素糖化率はほぼ100%を達成されることが解った（図5）⁹⁾。アルカリ処理による木材のパルプ化は、大量の木材チップを短時間で処理する製紙工場の生産技術を応用できるので、木質バイオマスからのバイオエタノール生産に適した前処理法であるといえる。木質バイオマスからのエタノール製造は糖や澱粉を原料とした第一世代の製造技術に対し、第二世代のバイオエタノール変換技術といわれ、いまだ基礎研究段階であるといわれているが¹⁰⁾、本課題では研究の加速化をはかり、実証レベルのプラント製造を早期に実現する計画である。

木質バイオマスの収集・運搬や地域利用システム：

近年、木質バイオマスを利用した発電量が拡大し、建築廃材の不足が懸念され¹¹⁾、林地残材の供給が期待されている。久保山の試算では¹²⁾、遠野市の針葉樹人工林3カ所の素材生産現場の土場で発生した端材の供給コストは、3.3円/kg-50%（木材の含水率が50%の意味）である。ボイラー用燃料チップの価格は6円/kg-50%以下であれば採算がとれるとすると、粉碎コスト（2円/kg-50%）を加味しても供給可能な価格となっている。この試算は、用材用丸太から取り除かれた根曲がり部、幹曲がり部など、土場残材の値ではあるが、林地残材を燃料チップとして供給する可能性を示すものである。

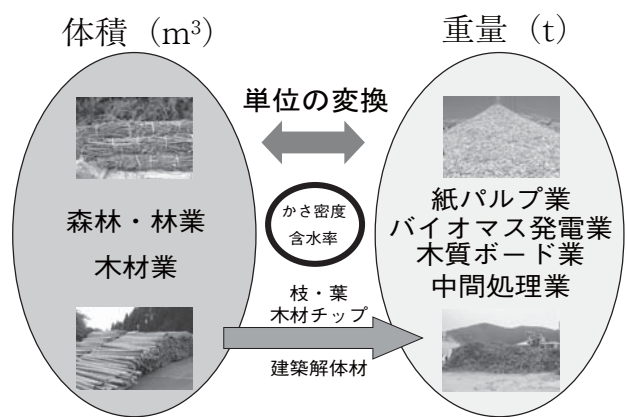


図6 木質バイオマスの川上と川下の計量単位の相違と変換

そのため、林業バイオマスを安定して供給するための効率的な収穫・運搬システムやバイオマス収穫に適した林業機械の開発を進めている¹³⁾。併せて、木質バイオマスは、川上と川下で計量単位が違っており、統一的な原単位（木質バイオマスの実質の重さ）を示す必要があり、計測手法のマニュアル化を行っている（図6）。

チップ化・ペレット化：木質バイオマスを燃焼してエネルギー利用するためにも、化学的な処理を施しバイオエタノールを製造するためにも、まずは、木材をチップ様の小片に切削・粉碎する必要がある、その消費エネルギー削減が求められている。スギ製材あるいは熱処理した製材をディスクチッパーあるいは1軸せん断式粉碎机で粉碎し消費電力量を測定した。熱処理はディスクチッパーによる粉碎の消費エネルギーを10%、1軸せん断式粉碎机によるそれを6%低減させた（図7）。また前者は後者の約1/3の消費エネルギーであった¹⁴⁾。

再生可能なエネルギー比率を向上させる政策や石油価格の上昇により、ペレットやチップを直接燃やして熱を得る方法は、市場競争力があり、欧州諸国

での導入例が増えており、日本も例外ではない¹⁵⁾。ペレットの成型機構（接着剤は無添加）は明確ではないことから、成型に対する木材中の水分や化学成分、成型中の温度・圧力の影響を、所内プロジェクトにより解明中である。

木質バイオマスからのマテリアル製造に関する研究：リグニンからのバイオプラスチック製造¹⁶⁾、木質バイオマスからのレブリン酸製造とリグニンの有効利用¹⁷⁾ などについては、紙面の都合で割愛するの

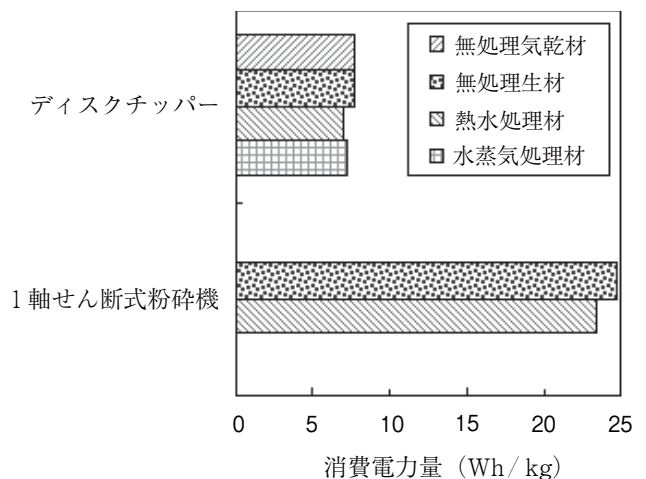


図7 粉碎机別の消費電力量（木材1kg（全乾重量）あたり）

で、森林総研の HP を参照されたい。

おわりに

2007年6月のG8ハイリゲンダムサミットでは、世界全体の温室効果ガスの排出量を2050年までに半減させる目標が設定され、日本は革新的技術・社会システムづくりをもって、率先して取組むことを宣言した。2007年2月には、「バイオマス・ニッポン総合戦略推進会議」から国産バイオ燃料の大幅な生産拡大が示された。木質バイオマスはこれらに対応するための重要なメニューの一つであるが、バイオマス利用の流れを社会の中に築くには時間がかかることが予想される。18年度の林業白書では、国産材の利用拡大を軸とした林業・木材産業の再生が強く示されている¹⁸⁾。利用拡大には、需要者ニーズに対応する国産材の供給体制づくりがその鍵になるが、併せて、林地残材や製材端材等をバイオマスとして総合的に活用し、産業としての採算性を向上させることが重要と述べている。森林総合研究所は、バイオマス研究と林業研究を融合し、木質バイオマスをブームで終わらせることなく、バイオマス利用を林業生産活動の拡大と連動させた成果としなければならない。

<参考文献>

- 1) 「バイオマス・ニッポン総合戦略」平成18年3月31日(http://www.maff.go.jp/biomass/pdf/h18_senryaku.pdf)
- 2) 「森林林業基本計画」農林水産省、平成18年9月8日(<http://www.rinya.maff.go.jp/seisaku/kihonkeikaku/kihonkeikaku.pdf>)
- 3) 農林水産省農林水産技術会議事務局編：バイオマス変換計画、豊かな生物資源を活かす、光琳、平成3年3月28日
- 4) 丸山温：新需要創出計画成果リーフレット、スーパーツリーヤナギ、農林水産技術会議事務局及び森林総合研究所北海道支所樹木生理研
- 5) 田内裕之：荒廃地における持続可能型バイオマスエネルギー資源創出技術の研究開発、森林総合研究所所報、2006年6月号(<http://ss.ffpri.affrc.go.jp/shoho/n63-06/063-3.htm>)
- 6) 末松広行：国産バイオ燃料の大幅な生産拡大、STAFF newsletter, 18(5), 1-2 (2007) .
- 7) バイオマス・ニッポン総合戦略推進会議：国産バイオ燃料の大幅な生産拡大、平成19年2月(http://www.maff.go.jp/www/press/2007/20070227press_1.html)
- 8) 杉元倫子、真柄謙吾：研究の森から、No.154、森林総合研究所、平成18年11月30日(<http://www.ffpri.affrc.go.jp/labs/kouho/mori/mori154/mori-154.pdf>)
- 9) 池田努、杉元倫子、野尻昌信、真柄謙吾：第2回バイオマス科学会議発表論文集、76-77、平成19年1月16-17日、日本エネルギー学会。
- 10) 前田征児：エネルギー資源作物とバイオ燃料変換技術の研究開発動向、科学技術動向、No.75、11-27、2007
- 11) 榎本茂樹：木質バイオマス発電事業について、木質エネルギー、10号、5-8 (2006)
- 12) 久保山裕史：日本の木質バイオマス発電と林地残材利用、水、691号、63-67 (2006)
- 13) 陣川雅樹：研究プロジェクト「木質バイオマス地域利用システムの開発」の紹介、森林総合研究所所報、2006年8月号(<http://ss.ffpri.affrc.go.jp/shoho/n65-06/065-3.htm>)
- 14) 藤本清彦、伊神裕司、吉田貴紘、高野勉、木質バイオマスの低コスト・高効率粉碎技術の開発(1)-水蒸気および熱水処理による省エネルギー効果、日本木材学会大会研究発表要旨集(CD-ROM), 57, F08-1115, 2007.08
- 15) 日本住宅・木材技術センター：木質ペレット利用推進対策事業報告書、農林水産省補助事業間伐等地域材実需拡大支援事業、平成18年3月
- 16) 中村雅哉ほか：微生物機能を利用した木質バイオマス資源からの新規プラスチック原料の開発、研究の森から、No142 (<http://www.ffpri.affrc.go.jp/index-j.html>)
- 17) 山田竜彦、久保智史：レブリン酸収率の画期的な向上、森林総合研究所平成18年度研究成果選集 (<http://ss.ffpri.affrc.go.jp/labs/kouho/seika/2006-seika/p10-11.pdf>)
- 17) 林野庁林政部企画課：平成18年度 森林林業白書の概要、山林1477号、36-45 (2007)