

平成 19 年 度

独立行政法人 森林総合研究所

公 開 講 演 会

木質バイオマスのトリプル活用化戦略

講 演 要 旨 集

独立行政法人
森林総合研究所

平成 19 年度
独立行政法人 森林総合研究所

公 開 講 演 会

木質バイオマスのトリプル活用化戦略

日 時 平成 19 年 10 月 16 日（火） 13:15 ～ 16:10

場 所 イイノホール

東京都千代田区内幸町 2-1-1 イイノビル 7 階

Tel. 03-3506-3251

発 表 課 題

「バイオマスを活用して循環型社会を創るための 2050 年へのロードマップ」

山本 幸一（木質バイオマス利用研究担当 研究コーディネータ）…………… 1

「木質バイオマス利用の現状と利用拡大方向について」

久保山裕史（林業経営・政策研究領域 林業システム研究室 主任研究員）… 3

「林業バイオマスの収集・運搬の低コスト化」

陣川 雅樹（林業工学研究領域 チーム長）…………… 6

「木質バイオマスの総合利用」

ーバイオエタノール化とマテリアル原料化ー

眞柄 謙吾（バイオマス化学研究領域 木材化学研究室長）……………9

コメンテーターからの発言

「木質バイオマスは新しいエネルギー業である」

中島浩一郎 氏（銘建工業株式会社 代表取締役）……………13

「木材再資源化業の立場から」

水谷 武 氏（名古屋港木材倉庫株式会社 取締役）……………16

「木質バイオマスからのバイオ燃料製造研究」

坂西 欣也 氏（独立行政法人産業技術総合研究所 バイオマス研究センター長）…19

バイオマスを活用して循環型社会を創るための 2050 年へのロードマップ

山本 幸一（木質バイオマス利用研究担当 研究コーディネータ）

2007 年 2 月の国連『気候変動に関する政府間パネル』（IPCC）では、人為的な温室効果ガスが地球温暖化の原因である確率は「90%を超える」という結論が明確に示された。地球温暖化を和らげるために、私たちが出来ることは省エネ等色々あるが、バイオマスの利活用はその一つである。今、「カーボンニュートラル」（バイオマスは、燃料として使っても大気中の二酸化炭素を増加させないという概念）である木質バイオマスは、バイオエタノールやバイオマス発電のための資源として、大きく期待されている。

森林総合研究所は、「2050 年の森：森林を育て、有効活用するための研究開発ロードマップ」と題した研究開発ロードマップを作成しているが（図 1）、ロードマップの一つに「バイオマスを有効活用する」が有り、そこでは、木質バイオマスの長期的な供給体制と木質バイオマスの総合的な利活用システムを開発するための道筋を示している。



図1 2050年の森：森林を育て、有効活用するための研究開発ロードマップの表紙

森林総合研究所では、これまで、バイオマス林の育成（図 2）、木質バイオマスの収集・運搬、木材成分の変換（木材の粗飼料化・樹脂化・糖化・エタノール化）、木質廃材の利用など様々な木質バイオマス研究を進めてきた。本講演会では、「木質バイオマスのトリプル活用化戦略」¹⁾と題して、未利用木質バイオマスとして注目を集めている林地残材の収集・運搬とバイオマスの総合利用、その利用拡大策に的を絞って話題提供を行い、論議を深めたい。

1) トリプル化の数的根拠：林野庁資料では、17 年度の工場残材と林地残材の総発生量は 1940 万 m^3 で、そのうちの総利用量は 1030 m^3 。国産の木材供給量を、平成 16 年度の 1700 万 m^3 から、平成 37 年度 (2025) には 2900 万 m^3 (1.7 倍化) に拡大する政策目標。2025 年における工場・林地残材の発生総量は 3300 万 m^3 ($1940 \times 1.7 = 3300$) と見積られる。現在の総利用量は 1030 万 m^3 であることから、2025 年には、今の 3 倍 ($3300/1030 = 3$) 利活用出来る。

尚、講演会の論点としては、①将来的に利用可能な木質バイオマスの量：コスト的に集められる量、政策的に利用すべき量、森林の持続性・公益性を考慮した最大利用可能量、②林地残材の効率的な収集・運搬の長期的視点：土場に集積した残材をまず利用、機械化による木材・バイオマス生産量の拡大、長期的な路網整備を核とした森林整備、③木質バイオマスからエタノールを製造する要素技術の最適な組み合わせ：多糖類の酸加水分解と発酵の組み合わせ、各種前処理 (オゾン処理、メカノケミカル処理、アルカリ処理) によるリグニン除去と同時糖化発酵の組み合わせ、水熱処理や超臨界処理による糖化と発酵の組み合わせ、④ 200 万 kL が求められている木質エタノール製造の規模：世界市場における輸入品対抗、経済性確保のための大規模、地燃料的な小規模製造、等が想定される。

大きな期待がかかる木質バイオマス利活用に対して、中長期的に応えて行くためには、バイオマス研究を森林・林業・木材研究を融合し、木質バイオマスをブームで終わらせることなく、木質バイオマス利用の拡大を林業生産活動の拡大²⁾と連動させる事が重要である。

2) 「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 m^3 の供給体制確立を目指し、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る。



図2 バイオルネッサンス研究プロジェクトで
実証されたスーパーツリー・ヤナギ林

木質バイオマス利用の現状と利用拡大方向について

久保山裕史（林業経営・政策領域林業システム研究室 主任研究員）

1. はじめに

バイオマス利用拡大の基本条件は、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高い製品価格と大きな需要、の3つである。主な木質原燃料の、建築廃材、林産残材、林地残材のうち、建築廃材は利用が急拡大しているが、林産残材は利用されているもののただ同然であり、林地残材は供給体制未整備や②の欠如等からほぼ未利用のままである。そこで本報告では、利用が拡大しつつあるエネルギー利用を中心として、国内の現状について、先進国であるヨーロッパの状況と対比しつつ紹介し、林地・製材残材の利用拡大方向について提示する。

2. 木質バイオマス利用の現状

建築廃材の利用が拡大したのは、ダイオキシン類対策特別規制法（ダイオキシン規制法）、建設工事に係る資材の再資源化等に関する法律（建設リサイクル法）や廃棄物の処理及び清掃に関する法律（廃掃法）等の規制強化によって、原燃料を 500 円 / 丸太換算 m^3 前後という低価格で大量供給しうるシステムが整ったことが大きい。そして、新エネルギー利用等の促進に関する特別措置法（RPS 法）により、再生可能な資源等から生産した電力の買い取りが電力会社に義務づけられて廃棄物発電所が増加し、化石燃料の高騰により製紙会社等がボイラー燃料を重油から転換するなどして大幅に利用が拡大した。これらは、大型ボイラーで燃料チップ等を燃焼して作った蒸気でタービンを回して発電している。電熱併給の場合には、総合熱効率は 80% 前後に達するが、発電のみの場合、発電効率は 30% 以下なので残りの熱は無駄になる。にもかかわらず発電が主目的となるのは、需要が豊富で電力価格が高いことによる。ただし、発電効率はそれほど高くなく、電力会社の買い取り価格は平均 7.7 円 / kWh（資源エネルギー庁、RPS 法下における新エネルギー等電気等に係る取引価格調査結果、2007）にとどまるので、

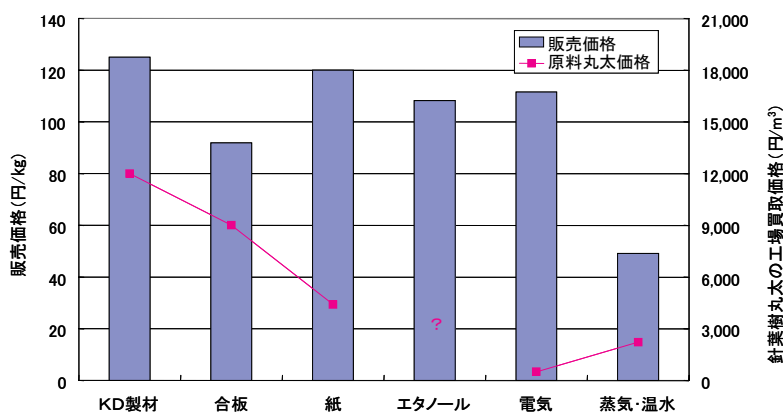


図 1 木質バイオマス製品の価格と原料丸太価格との関係

注：エネルギーについては変則的ではあるが、ガソリン（140 円 / L、8266kcal/L）を基準としてエネルギー等価換算した値を用いた（エタノール 5060kcal/L）。蒸気・温水は 6.6 円 / kWh とした。

発電のみの場合、林地残材の集荷費用を負担可能な燃料購入価格の提示は困難であろう。

森林バイオマスの利用状況について、生産物の重量あたりの販売価格と原燃料丸太の工場買取価格の関係を図 1 に示した。乾燥製材品は、最も高い製品価格および低コスト加工から、原料丸太に高い買取価格を提示できている。結果として、製材用丸太生産は現在の林業生産の主な誘因となっている。合板も、製材に次いで林業生産の誘因となっている。他方、紙の販売価格は KD 製材に次いで高くなっているが、加工コストが高いため原料丸太の買取価格は 5000 円 /m³ と低くなっている。このように、原料に対して低い買取価格しか提示できない場合、現状の伐出・運材コストが 9000 円 /m³ 前後であることから、それ自体が原料供給を誘発することは困難である。そのため、現状においては、製材・合板用の丸太生産を目的とした伐採現場における低質材の活用が中心となっている。このことは、新たなバイオマス利用の拡大のためには、③とともに②の低コスト生産技術も開発されなければ、高い原料丸太買取価格を提示することはできず、原料の大量集荷は困難であるということを意味している。

一方、エネルギー利用はいずれも膨大な需要があり、エタノールは製品価格を高くできる可能性があり、低コスト高効率の製造方法の開発が課題である。発電については先述の通りであるが、欧州において比較的規模の大きなバイオマス発電事業体は、ほとんど地域熱供給等の熱電併給を行っている。そして、千 kW 前後の小規模発電は設備投資の割に効率が悪いので、まとまった規模の電力需要が昼夜・通年存在する事業体における自己消費目的以外にはあまり行われていない。その代わりに、チップボイラーを核とした小・中規模地域熱供給事業が盛んである。図 1 で蒸気・温水の価格は低いものの、エネルギー変換が低コストで行えることからパルプ材に近い価格を提示できるので、製材残材やパルプ材として使えない端材や枝葉といった林地残材であれば活用可能であるといえる（久保山裕史、日本の木質バイオマス発電と林地残材利用、月刊「水」No.691、p63-67、2006）。

3. 木質バイオマスエネルギー利用の拡大要件

欧州で木質バイオマスのエネルギー利用が大きく展開している要因として、（ア）効率的な林業・林産業を核とした低コスト残材供給、（イ）不定形・高含水木質燃料に対応した高性能小・中規模ボイラー、（ウ）セントラルヒーティングや地域熱供給等によるまとまった熱需要の3つがそろっていることがあげられる。（ア）について、図 2 が示す通りスウェーデンにおいて流通している木質バイオマス燃料の約 2/3 は製材工場から供給されている。これは、ペレットも大型製材工場あるいはそれに隣接する工場において、

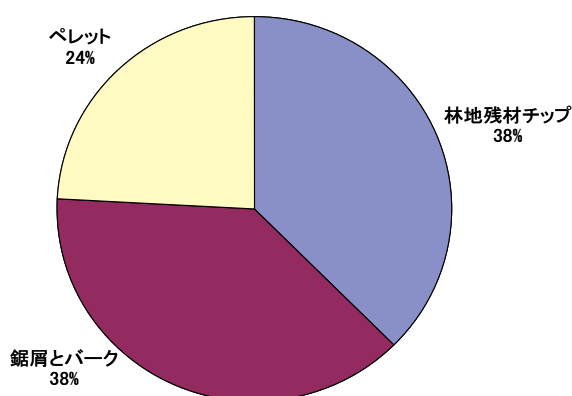


図 2 2005 年のスウェーデンにおける木質燃料の流通状況（丸太換算で 1600 万 m³ 相当 @35% WB ≒ 重油 270 万 kL）

出典：Swedish Forest Agency (2007) Swedish Statistical Yearbook of Forestry 2007

鋸屑・かんな屑等を用いて低コスト大量生産されている。つまり、製材残材の方がエネルギー利用は容易であり、日本でもこれを有効活用する必要があるということである。また、欧州ではコストを低下させながら林地残材利用を拡大し続けており、日本もこれに取り組む必要がある。在来型丸太生産と関係させれば、日本でも採算のとれる可能性が高いという実証試験結果が得られた（久保山裕史、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）。

次に、（イ）と（ウ）に関連して、エネルギー利用形態ごとの採算性を比較した結果が表 1 である。投資回収年数が短いほど採算性が高いことから、チップボイラーによる熱供給、それも規模の大きい場合の燃料購入価格提示力が最も高いという結果となった。ただし、これまでは生チップを上手に燃焼できるチップボイラーがなく、そうした利用は進まなかった。そこで今後は、高性能ボイラーの開発や輸入を通じて、全国に 4 万台以上ある化石燃料ボイラー（日本ボイラ協会、ボイラー年鑑、2006）を代替していければ、木質バイオマスのエネルギー利用を拡大させることができるのではないだろうか。

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		
定格出力 燃料チップ 価格(円/kg)	200kW _{th}	500kW _{th}	1400kW _{th}	30kW _e & 60kW _{th}	80kW _e & 150kW _{th}	140kW _e & 270kW _{th}	400kW _e & 1400kW _{th}	1200kW _e & 4100kW _{th}	2000kW _e & 6800kW _{th}
0	3	2	1	13	6	5	9	4	3
2	4	2	2	37	12	8	18	6	5
4	8	4	2	回収不能	58	21	119	11	7
6	44	8	4	回収不能	回収不能	回収不能	回収不能	45	18

表 1 投資回収年数を用いた木質バイオマスエネルギー利用（1 日 24 時間、年 300 日）の採算性評価結果（単位：年）（未発表資料）

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 50% 補助、金利 2% とし、重油価格 50 円 / L、電力 16 円 / kWh、ガス化電熱併給については、設備費 100 万円 / kW_e、発電（端）効率 17%、総合熱効率：中 75%、小 50% として計算した。

4. まとめ

1980 年代のバイオマスブームの反省から、コストを強く意識して利用拡大に取り組む必要がある。その意味で、採算性の高いチップボイラーを地域に導入して需要を確保し、これと平行して、製材残材の供給システムや林地残材を林業生産連係型で供給するシステムを確立していくのがより現実的な拡大方策であると考えられる。なお、エネルギー利用には規模の経済が働くので、より大きなプラントが望ましく、同時に昼夜・通年の稼働がより経済性を高めるといえる。なお、そうしたプラントを複数導入し、エネルギー供給のトータルコストを引き下げる必要がある。そうした、供給システムの確立は、エネルギー安全保障の向上、地球温暖化防止、地域雇用の創出、そして河川等への残材流下軽減といった一石四鳥の効果をもたらすであろう。さらに、新たなバイオマス需要への対応をも可能にすると思われるが、そうした需要が高い原料丸太買取価格を提示するようになるまでは、製材残材や林地残材の利用拡大にとって、林業・林産業の拡大が不可欠であるといえよう。

林業バイオマスの収集・運搬の低コスト化

陣川 雅樹（林業工学研究領域 チーム長）

1. 林業バイオマスの現状

地球温暖化の問題を背景として、化石燃料を代替し、地球環境にやさしいエネルギー資源としてバイオマスが注目され、すでに多くのエネルギープラントが建設・導入されているが、実態としては建築廃材・製材所廃材の利用にとどまっている。森林内に広く散在する林地残材や中山間地域の残廃材は収集・運搬コストが必要となるため、大量に発生するにもかかわらず未利用のまま放置されてきた。ところが、RPS 法（電気事業者による新エネルギー等の利用に関する特別措置法）の施行や化石燃料の高騰によって大規模な木質バイオマス発電プラントが次々と新設され、今後の廃材価格の上昇等による燃料供給不安が懸念されており、林地残材等の林業バイオマスを安定して供給する体制の確立が喫緊の課題となっている。

一方、森林作業では、高性能林業機械の導入により生産性の飛躍的な向上が図られ、プロセッサを中心とした集約的な機械作業システムが普及している。これらの伐出機械を使った作業システムでは、一箇所の土場において造材作業を行うため、端材や末木枝条などの林地残材が大量に発生・集積される。これが大雨や台風等により河川へ流出し、災害発生やダムへの流入などが問題視されており、林地残材の処理に困っているのが現状である。

2. 収集・運搬の問題点

森林で発生するバイオマスには、主伐や利用間伐による木材収集の際に林地に残された端材、末木、枝葉等の林地残材（林業バイオマス）、伐り捨て間伐による未利用間伐材、伐根等がある。これらを利用するためには、用材（丸太）と同じように山から収集し、バイオマスプラント等の施設まで輸送する必要がある（図 1）。しかし、用材に比べてかさ高い林業バイオマスや未利用間伐材を用材と同じように収集・運搬すれば、用材よりもコストがかかることは容易に想像できる。また、これまで、林業バイオマス収集・運搬に用いられてきた作業システムは、用材とは形質が大きく異なる林業バイオマスを取り扱うには効率が悪く、低コスト化を阻害する大きな要因となっている。森林に広く・薄く存在しているバイオマスの収集・運搬コストは、採算性の面で非常に厳しい状況にあり、ニーズが高まりつつあるにも関わらず供給体制の整備が進まない状況にある。例えば、我々が実施したタワーヤーダおよびフォワーダを用いたバイオマス収集・運搬作業の事例では、用材搬出の生産性に比べわずか 20%程度の低い生産性であり、用材の搬出コストの 4～5 倍の費用が必要であった。収集・運搬コストを低減するためにはバイオマスの特性に適した新たな収集・運搬方法の開発が不可欠である。

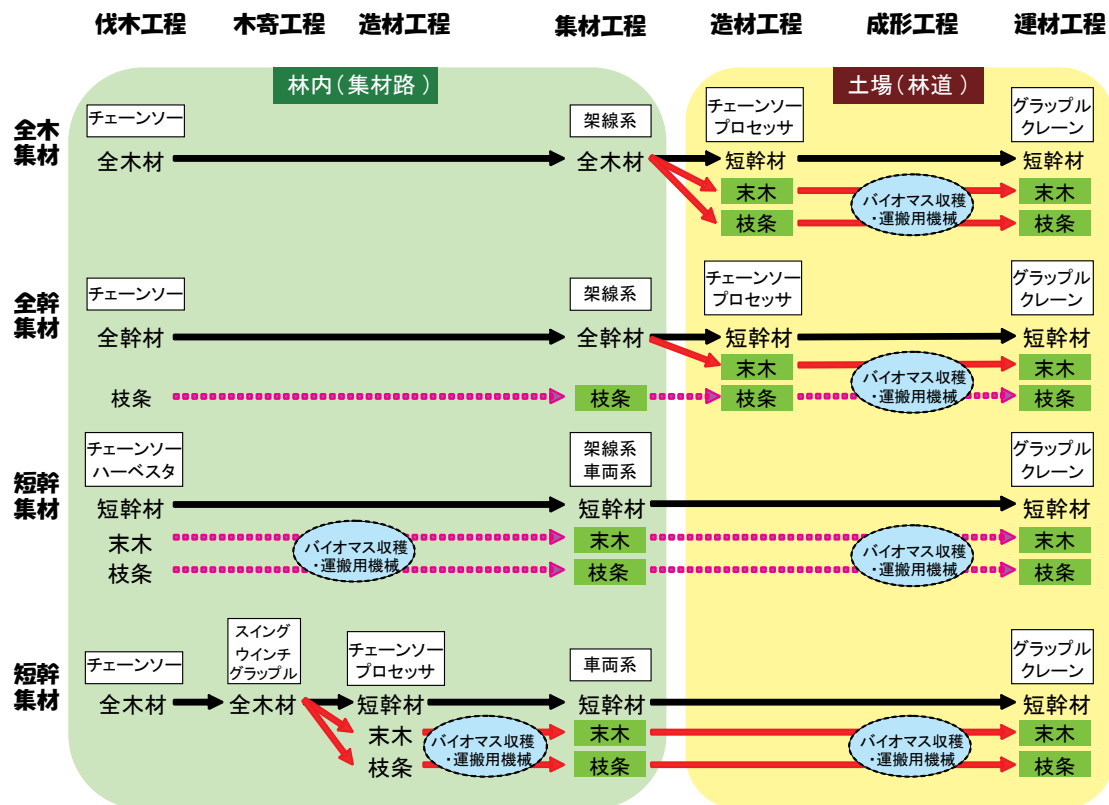


図1 用材とバイオマスの収集・運搬作業システム例

3. 新たな機械開発と収集・運搬システム

EU 諸国では森林バイオマスの活用が盛んであり、専用機械による効率的な収集・運搬システムが展開されている。収集・運搬システムを大別すると「残材のまま収集し粉碎する方法（フォワーダ+チップパー）」、「粉碎して収集する方法（チップパー付フォワーダ+トレーラ）」、「圧縮して収集する方法（バンドリングマシン）」である（写真1、2、3）。かさ高いバイオマスを粉碎する、もしくは丸太と同じ形状に圧縮・成形することによって運搬効率を上げようとするものであるが、生産性を向上させるため、いずれの機械も大型の専用機械が用いられている。

一方、わが国では、林業バイオマスを収集するための機械として唯一小型のバンドリングマシンが開発されているが（写真4）、現状では既存の林業機械（用材生産のための機械）を流用しながら収集・運搬システムを模索している状態である。また、急峻な地形の多いわが国では、比較的平坦な北欧諸国のように森林内に容易に機械が進入することができず、広く浅く散在する林地残材だけを収集する機械作業システムは採算性の面で非常に厳しい。林業バイオマスだけを収集するのではなく、用材生産の際に発生する残材を用材とともに収集する、つまり用材の集材作業と林業バイオマスの収集作業を並行して行うことが現実的であると考えられる。

しかし、林業バイオマスはこれまで扱ってきた丸太とは形や大きさ、重さが大きく異なることから、収集・運搬に適した新しい機械の開発や作業システムの構築が不可欠である。林業バイオマスを収集・運搬するための新しい機械として、たとえば、1台

の機械で用材生産とバイオマス生産の 2 つの工程を同時に進めることができるハイブリッド作業機、かさ高い林業バイオマスに対応した荷台形状や新しい機構を装備したフォワーダ、グラップルによる林業バイオマスのハンドリング操作を向上させるためのグラップル・アタッチメント等の開発が考えられている。



写真1 チッパー付フォワーダ



写真2 チッパー付フォワーダ



写真3 バンドリングマシン



写真4 国産バンドリングマシン

4. 今後の展開

森林路網の整備が進み、全木集材(図1)を前提として、林道端でのプロセッサやハーベスタ等による造材により、土場に集中して発生する末木枝条、端材等の林業バイオマスを効率的に処理する作業システムを構築していくことが当面の課題と考えられる。

また、実際に利用可能な森林バイオマスの賦存量を正確に把握することも重要な課題である。森林バイオマスを持続的に利用していくためには、新しい機械開発や作業システム構築などの収集・運搬に関わる要素技術だけではなく、低コスト収集・運搬に適した森林路網の整備手法の構築など、総合的にコスト面から評価し、利用可能な資源量を正確に把握する必要がある。

わが国では現在、約 40 億 m^3 の森林蓄積が存在している。しかし国産材として収集されて搬出されている量は毎年 1700 万 m^3 程度に過ぎない。豊富な森林資源を活用していくためには、活発な林業生産活動によって木材生産量を増やしていくことも、森林バイオマス利用にとって重要な課題である。

木質バイオマスの総合利用ーバイオエタノール化とマテリアル原料化ー

眞柄 謙吾（バイオマス化学研究領域 木材化学研究室長）

1. はじめに

私たちが使い続けてきた石油や石炭などの化石燃料は、大気中の二酸化炭素濃度を増加させ、地球温暖化という大きな問題を生み出した。この進行を食い止めるためには、一方的に二酸化炭素を出し続ける化石エネルギーから、排出した二酸化炭素を再び固定できる植物バイオマスをエネルギーへ転換するシステム化が必要である。そのため、世界中でショ糖やデンプンなどの食料を使ってエタノール（バイオエタノール）を製造し、ガソリンの一部または全部を代替しようとする試みがなされている。しかし、この試みは食料生産と競合するため、バイオエタノールを生産すればするほど食料の価格が高騰するという弊害を生み出している。これに対して、食料にできない樹木などの木質バイオマスをエタノールの製造原料とすれば、食料とは関係なく二酸化炭素の排出を抑制できるのではないだろうか。またエネルギーだけでなく、私たちの身の回りにあふれているプラスチックもガソリンと同様に石油を原料としているが、これらも木質バイオマスをマテリアル原料として作ることにはできないのだろうか。その研究開発の現状を紹介する。

2. 木質バイオマスからエタノールを製造する

現在、わが国では木質バイオマスに含まれるセルロースやヘミセルロースといった多糖類を硫酸で分解し、糖化し、これを発酵させる 3 段階を経てバイオエタノールを製造するプラントが稼動している。しかし、地震などの天災が多いわが国では、高濃度又は高温の硫酸を多量に使用する製造法より、微生物が生産する糖化酵素を用いた製造法が安全上より適していると思われる。しかし、木質バイオマス中ではリグニンという高分子物質が多糖類を守るように存在しているので、簡単に酵素で糖化することはできない。そこで、まずこのリグニンを取り除く前処理が必要となる。森林総研では、これまで高温水蒸気でリグニンを低分子化する蒸煮・爆砕処理やオゾンガスでリグニンを分解する処理を開発してきたが、20 数年後には木質バイオマスから 200 万 kL のバイオエタノールを生産するという政府の目標達成のためには、もっと大規模にしかも低コストでリグニンを除く処理法が必要となった。そこで森林総研では、製紙工場で使用されている化学パルプ製造法を応用することを考えた。化学パルプは上質紙の原料で、アルカリ薬剤とイオウを使って木材から低コストでリグニンを取り除き、かつ大量生産されているから、今必要としている酵素糖化の前処理と同じ目的を持っていることになる。しかし、紙を作る場合にはパルプ繊維の強度が重要となるのでイオウを使わねばならないが、エタノール製造ではパルプ繊維の強度は問題とならないため、その必要はなくアルカリ薬剤だけでも脱リグニンが可能となる。また、この方法の利点は、リグニンやアルカリ薬剤が含まれる排液をボイラー燃料にして、

処理に必要なエネルギーと薬剤を回収することができるので、外部エネルギーを必要とせず、また使用したアルカリ薬剤のほとんどをリサイクルできるということである(図1)。現在、スギ材や竹などを用いて試験中であるが、前処理収率約50%で製造したパルプから、酵素による糖化と酵母菌による発酵を同時に行う同時糖化・発酵法によりエタノールを製造できることを明らかにした。今後は、林地残材やリサイクルできない木質系廃材、紙ゴミなどを原料としてエタノール生産性を検討していく予定である。

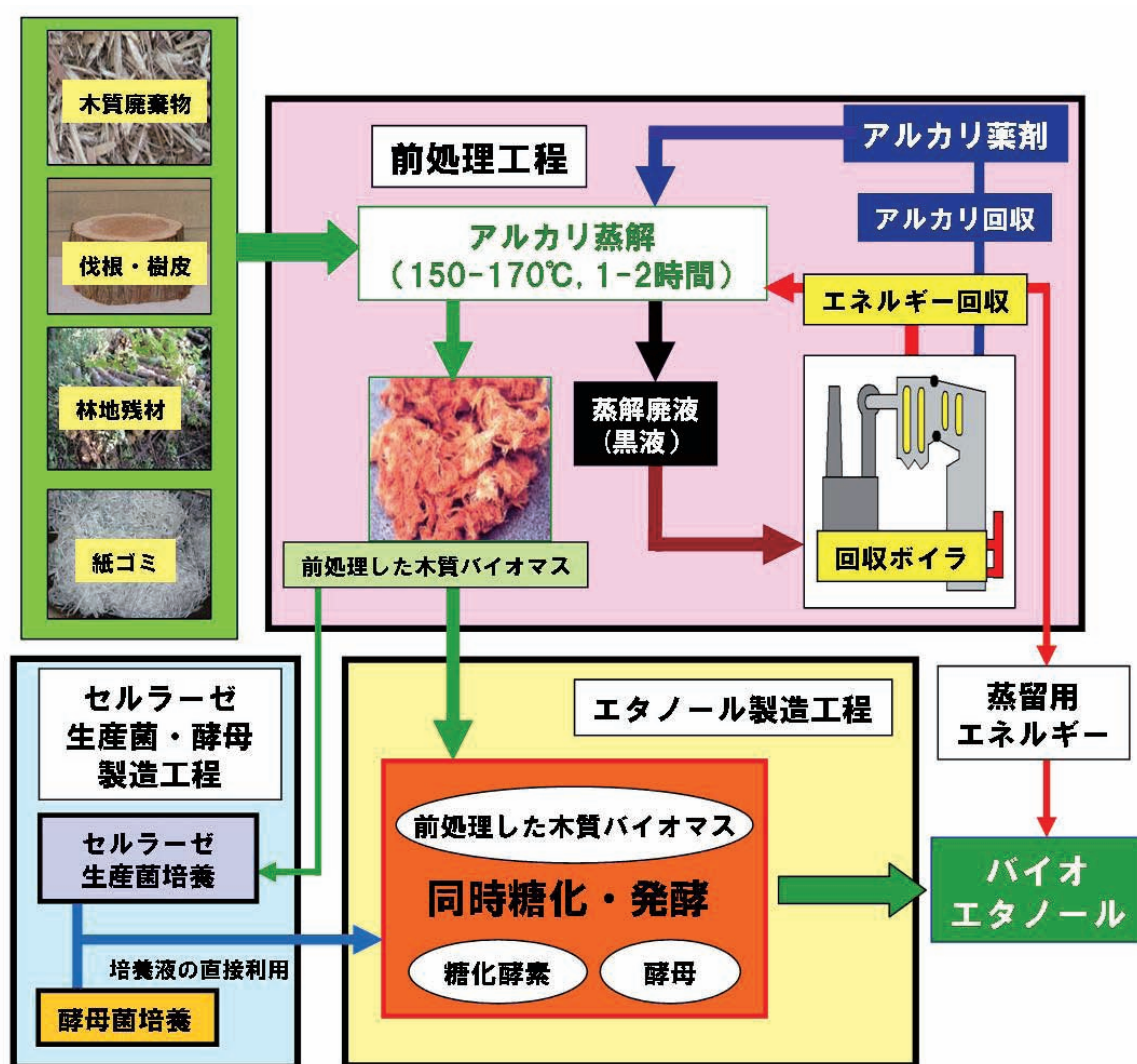


図1 パルプ製造技術を前処理に応用した、木質バイオマスの酵素糖化・発酵によるバイオエタノール生産プロセス

3. 木質バイオマスからマテリアル原料を製造する

現在でも、木材から製造したパルプを原料に、酢酸セルロースやカルボキシメチルセルロースなどのマテリアル原料が製造されている。しかしこれらは、その物性から汎用プラスチックやエンジニアリングプラスチックの代用には難しいのが現状である。そこで、森林総研ではリグニンからプラスチックを製造する技術を開発している。プラスチックは、モノマーと呼ばれる均一な構造の低分子を原料にして製造されるが、リグニンは芳香族系の三次元不定形高分子である。よって、これを化学処理と東京農工大学等との共同研究による微生物処理により低分子二塩基酸（PDC）に変換し、さらに PET（ポリエチレンテレフタレート）と同様に重縮合でプラスチック化することに成功した。また、他のマテリアル原料として、カナダブリティッシュコロンビア大学との共同研究により、リグニンを他の高分子とブレンドして熱溶解させ紡糸することを可能にし、その後の熱酸化処理によりカーボンファイバーを製造することを可能にした。さらに、大阪大学との共同研究では、自動車のアイドリングストップ用に鉛電池の充電性能を改善するリグニン添加剤も開発している（図2）。このように、リグニンの用途は未来に向けて様々に広がっていると言える。

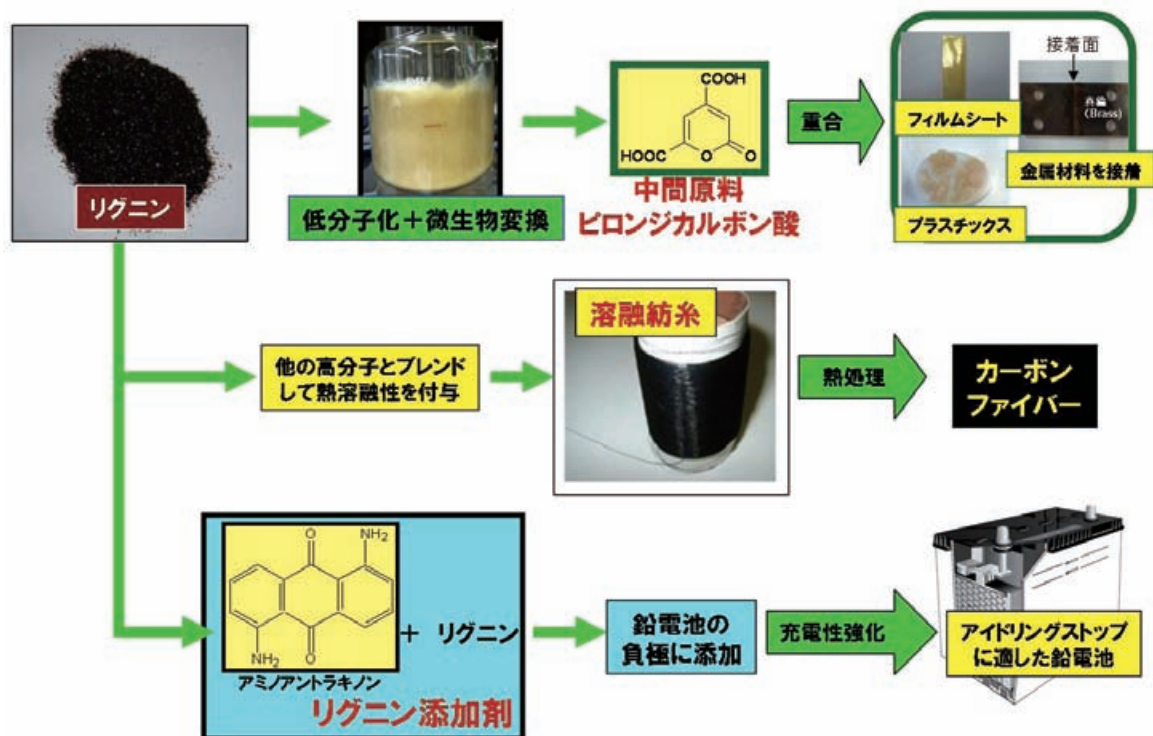


図2 リグニンから開発されるマテリアル原料

4. マテリアル原料とエタノール製造の統合

これまでリグニンを利用するための多くの研究が行われてきたが、実用化まで到達したものはほとんどない。その原因は、最も多量にリグニンを扱うパルプ工場が、それを燃料として利用しているため、原料として多量に利用できるリグニンが存在しなかったことによる。現在開発中のアルカリ薬剤による前処理も、パルプ工場に習ってリグニンを燃料とすることを前提としている。しかし、リグニンはマテリアル原料として様々な可能性を有しているので、エタノール製造プロセスで分離されるリグニンをマテリアル原料として供給できれば、今開発中の様々なマテリアル原料化技術は実用へ大きく近づく。リグニンをマテリアル原料にすると、燃料が外部から投入しなければならない。そのためには、現在まだ有効な利用法のない枝葉や樹皮などを燃料化する必要があり、収集・運搬システムや乾燥・粉碎システムとエネルギー変換効率の高いガス化炉などの開発を強化し、木質バイオマスを余すところ無く使い切る技術の開発が必要になると考える（図3）。

なお、本研究は農林水産省委託プロジェクト「地球温暖化防止」、「農林水産バイオリサイクル研究」および NEDO 産業技術研究助成事業により行った。

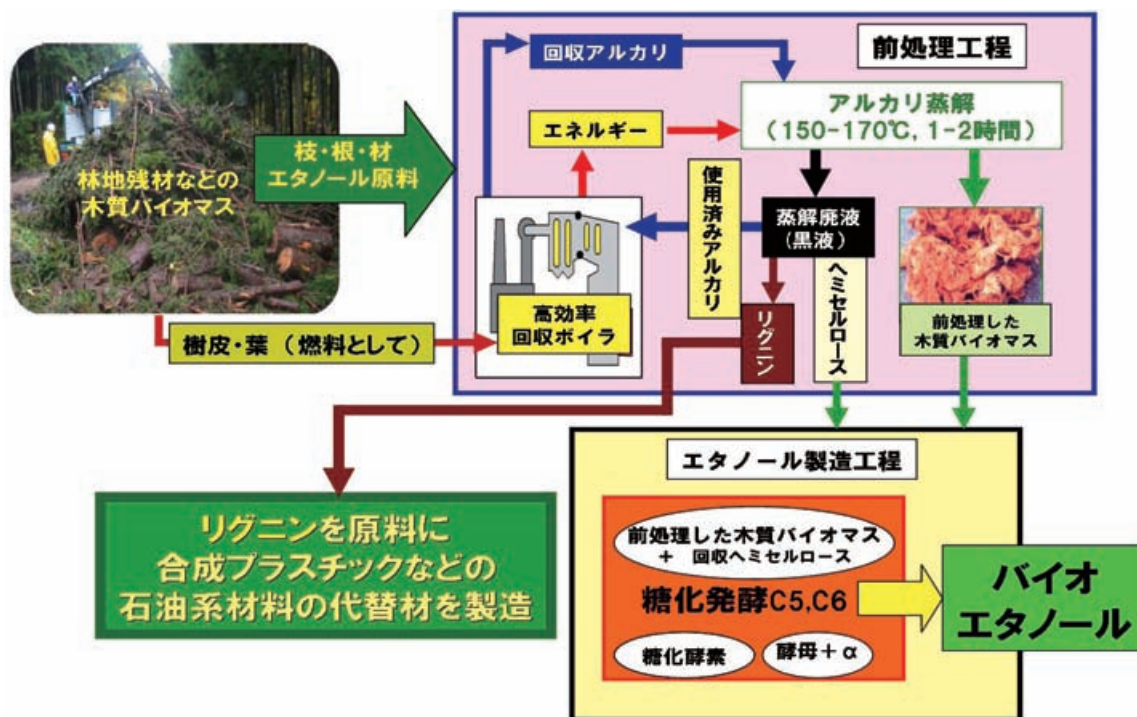


図3 木質バイオマスの総合利用

木質バイオマスは新しいエネルギー業である

中島浩一郎（銘建工業株式会社 代表取締役）

エネルギーの歴史の大半は薪に依存してきた

産業革命の前までの人類のエネルギー源は、主として薪・木炭・鯨油などでした。なかでも最も入手、利用しやすいのは、燃料用の薪でした。現在のエネルギーの主流は、石炭や石油の化石エネルギーが占めています。

薪は、今でも多用されており、殊に発展途上国では化石エネルギーが手に入らないので、調理用や暖房用に薪を用い、そのことが途上国の砂漠化をいっそう促しています。エネルギー利用の現実、南北の経済格差をそのまま反映しています。

地球は、3 億 3 千万年前から 2 億 8 千万年前にかけて、温暖な気候のもと雨の多い時期が続く、大森林が繁茂しました。これが枯れて炭素堆積物になったのが石炭です。石油はそれよりも新しいエネルギーです。2 億 7 千万年前から 6 千 5 百万年前にかけて、シダ類やソテツ、イチョウの類が繁茂し、爬虫類が全盛を極め、始祖鳥が現れ、アンモナイトが繁殖し、海の近くの動植物が腐敗して、地底深く埋蔵されたものが石油になりました。現在、化石エネルギーの消費によって、大気中に排出される二酸化炭素の量は、年間 240 億トンにも達しています。

地球温暖化防止条約の京都議定書が、2005 年 2 月 16 日に発効しました。これにより日本は、2012 年までに、1990 年レベルから 6%減の削減目標を達成しなければなりません。紆余曲折はあるでしょうが、人類にとって避けられない問題であることは確かです。

木質バイオマスの時代へ

21 世紀を前に、僅か 3 リットルのガソリンで 100 キロもの距離を走行できる自動車が現れました。こうなると、石油は石炭よりも主役でいる時間は短いのかも知れません。21 世紀も半ばになると、ガソリンスタンドは町の片隅でほそぼそと商いをするようになり、50 年前には大通りに面してあったんだよ、と孫たちに語るようになるのかも知れません。

燃料電池の開発など、科学技術の発展によるクリーンな新エネルギーの可能性に期待が寄せられていますが、太陽や風や地熱などの再生エネルギーの利用が活発に進められており、また、生命更新を繰り返す森林の循環的なプロセスにうまく人間が介入し、そのエネルギーをつかまえる試みがなされています。

私たちが進める木質バイオマスの取り組みもそのひとつです。一本の柱が生まれるには、その 1.5 倍もの余材が発生します。木質バイオマス技術は、それをゴミにしないで有効利用する方法です。完全に乾燥した木材は 1 キログラムあたり 4500 キロカロリーの熱量を持っています。このうち 40%くらいを電気に変換し、残りの 60%を暖房用の熱に変えることができます。

木質バイオマスの条件となる日本の森林面積は、2500 万ヘクタールもあり、国土の 67%を占めています。国内で燃料として用いられる木材の割合は、輸入材を含めて、木材使用量のわずか 0.01%に過ぎません。

銘建工業の工場は木質バイオマスで動いている

1970 年から製造過程で出てきた鋸屑や樹皮を燃料とする取り組みを始めています。1996 年には、本格的に木質ボイラー・発電施設を設置し、2005 年には 1 時間当たり 20 トンの水をボイラーで蒸気に変換し、タービンを回して 1950 キロワットの発電を行い、工場の必要電力のほぼ全量を賄っています。蒸気は、木材乾燥やホットプレス、工場の暖房にも利用しています。更に、発電量の 4 割強に当たる余剰電力は売電しています。

燃料となる廃材の流れを見ると、各工場で排出されるプレーナーチップ、鋸屑、樹皮、端材のうち、本社工場の 3,400 トン/月、ジョイント工場の 250 トン/月、久世工場の 165 トン/月は、サイロ（2,000 立方メートル）に投入され、その大半は木質ボイラー・発電施設に投入されます。サイロに蓄えられた内のプレーナーチップやおがくずの一部は、ペレット製造装置により木質ペレット燃料にされます。久世工場の端材 20 トン/月と大断面工場 48 トン/月は、別のサイロに投入され、小型ボイラー（蒸気量 2 トン/時間）により蒸気を発生し、両工場での木材乾燥のための熱源となります。



サイロ

木質ペレットは、暖房や給湯を変える

セピア色に変色した関東大震災後の生活を伝える写真に、七輪（土製の簡易コンロ）で夕餉（ゆうげ）の支度をする人の姿がありました。近くの井戸から水を汲み、飯盒（はんごう）（携帯用の飯炊き器）でご飯を炊いているのでしょう。

関東大震災と阪神淡路大震災や新潟県中越震災との違いを、七輪と井戸があった震災と、ライフラインが途絶して、すべてを行政や他人に委ねることでは始末できないもどかしさとの違い、と指摘した人がいます。集中型のライフラインが途絶えると、現代都市がいかに脆弱なものであるかを、私たちはこの二つの震災を通じて知りました。井戸や七輪に代わる自給型技術という点で、雨水利用や、ペレットを利用した木



ペレタイザー

質バイオマスが注目されています。薪で炊いた釜飯はおいしかったといわれますが、このエネルギー効率は 10%前後に過ぎませんでした。薪ストーヴにしても、昔のものは 20%くらいの効率でしたが、最近の触媒を用いたストーヴでは 75%くらいまで効率が高まっています。デザインも、これからもっと良くなることでしょう。

私たちでは、集成材を生産する過程で発生するプレーナーの屑を、小さく固めてペレットにしています。工場内の木質バイオマス発電は木屑をそのまま用いますが、貯蔵したり、輸送したりするにはペレット化するのが調法です。

私たちのペレットは、今は施設中心に供給していますが、将来は、各家庭で使ってもらえるようにしたいと考えています。暖房や給湯はもちろん、クッキングテーブルを利用しての直火による料理も楽しめます。

(銘建工業株式会社パンフレットより引用しています。)

木材再資源化業の立場から

水谷 武（名古屋港木材倉庫株式会社 取締役）



廃材の再資源化状況

弊社は、昭和 60 年より名古屋市内にて廃木材リサイクル工場を運営し、平成 18 年度実績では、家屋解体材を主に製紙原料チップを 37 千トン（全体比 23%）ボード用原料チップを 16 千トン（同 10%）燃料チップを 88 千トン（同 55%）及び堆肥用チップ 19 千トン計約 16 万トンを再資源化しています。

近年、産業界の木質バイオマスに対する需要は大変旺盛です。特に建設廃材は含水

率が低い（約 20% /W）ため熱エネルギーへの転用が急激に進んでおります。ちなみに、東海 4 県（27 工場）における燃料チップ使用量では、平成 18 年 8 月は 68 千トン、平成 19 年同年比較ではバイオマスボイラー新設 2 社（6 千トン）もあり 94 千トン 37%もの増加でありました。

当社が工場を開業した昭和 60 年代では、家屋解体材は市内の銭湯などでの燃料に多く利用され、良質な素材原料として有価で取引された記憶があります。

平成 14 年建設リサイクル法が施行され、一挙に廃材入荷量が増加、処理できない量を捌くのに大変苦労したのは、まだ新しい記憶です。（図 1）このような時は、廃材受入料は上がり、チップの値段はどんどん下がりました。現在はまた、10 年程前のように廃材受入料は下がり、チップの値段が上がる傾向にあります。（図 2）

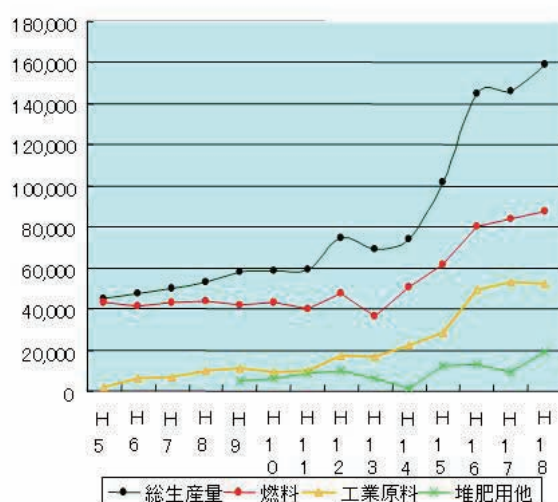


図 1 再資源化量の推移

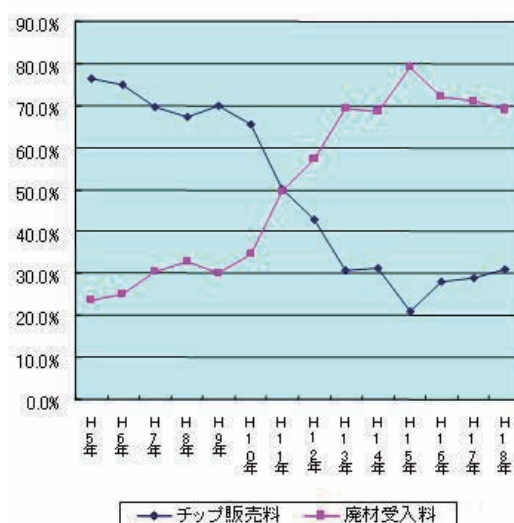


図 2 廃材受入料とチップ販売料の構成比

製紙用原料チップなどにおいても、同様です。日本の木材の需要量の 81%は海外からの輸入材です。その内パルプチップが実に 41.2%（平成 17 年度林業白書）を占めています。しかしながら産出国の違法伐採摘発などによる輸入チップ市場のひっ迫、古紙の国際的値上がりなど製紙原料の調達を取り巻く環境はきびしく建設廃材チップへの需要は活発です。



燃料チップのストック

国土交通省調査による全国建設発生木材再資源化率でも、平成 12 年度では 83%、平成 17 年度は 91%であり、特に都市型廃木材などは、すでにコンクリート魂同様 99%近いリサイクル率と言っても過言ではないと思われます。

また同省の建設解体による建設廃棄物排出量の将来予測では、平成 27 年度には平成 17 年度に比べ 5%程度の増加と予測されていますが、新築住宅着工戸数は昭和 48 年の 1,906 千戸をピークに近い将来には 800 千戸台も予測されています。木造率の低下も顕著です。昭和 48 年には 75%であった木造率が、いまでは 40%前後まで落ちています。

日本の木造住宅の平均寿命は 30 年～ 38 年といわれていますので、これらから推測すると、今が建設解体木材排出のピークにあり、今後は徐々に減少するとの推測もあり得ます。

また、都市港湾区域に散在していた多くの製材工場は、輸入丸太の極端な減少によりプレカット工場を除き、壊滅の状態であり廃木材の排出は望めません。

バイオマスは広く浅く分布し集荷には労力と費用がかかります。エネルギー密度の低いバイオマスは、ロジスティックス面で経済的ロスが大きく地産地消（燃料化を考えると地燃料）が基本ですが、都市での木質バイオマスは、同業者間に限らず素材原料（エネルギー）として、今まさに争奪戦が始まろうとしています。

私どもは、都市は第 2 の森林資源と言ってきましたが、不足する都市部の木質バイオマスの需要を満たすためには、山林資源へと向かわざるを得ません。林地残材・間伐材・枝葉（林業バイオマス）が必要な時代となってきました。昭和 40 年代までは、日本の森林資源の年間供給量は、総需要量の 90%以上（約 1 億 m^3 ）でした。今では 20%前後でしかありません。森林資源の成長は年 1 億 m^3 とも言われています。毎年すごい量が蓄積されている計算になります。

講演テーマの一つである「林業バイオマスの収集・運搬の低コスト化」は、日本のバイオマス利用にとって、避けて通れないテーマであります。愛知県の森林組合では、列状間伐・機械化を図り、6,000 円 / m^3 程度まで節減できると試算されています。これら未利用バイオマスの利用可能性の最も重要な点は、林業経営の健全化にあると

思います。

サステナブルな素材である木質バイオマスであっても、あくまでカスケード的利用が基本です。木材産業の川上での活用が活発でないと、簡単に燃してしまうことになりかねません。木質バイオマスのサーマル利用は最終であるべきなのです。

バイオエタノール製造等バイオマスを化学修飾して利用される場合には、不純物の少なく細分化したものが要求されます。木材は細分化すればするほど大きなエネルギーを必要とします。これらの要素を製造にかかるコスト計算に入れておく必要があります。更に、木質系バイオマス



異物除去装置

からのエタノール製造、他のバイオマスからのそれと比較すると、製造コスト及び投入エネルギーにおいて基本的に大変不利です。その経済収支のみならずエネルギー収支をも視点に置くことは、実用化に至る重要な因子として考えるべきです。ブラジルは日本向けにエタノールプラントを増設し、日本着輸入単価は 40 円 /L といわれています。またリグニンについても、中国からの稲藁リグニンは 500 円 /kg で入手できる現実があります。バイオエタノール製造事業化の成功の鍵は、リグニン除去、セルロースの糖化、無水精製技術などの研究開発や製造コストの低減もさることながら、国策としてのいろいろなインセンティブが必要であると思います。

森林総研の進めている、リグニンの化学パルプ製造法による低コスト製造の可能性とリグニンの多目的利用用途の開発には、大いに期待できるところと思われます。

当社としまして、木材産業、林業からの増加する木質バイオマスの利用を、今までの蓄積されたノウハウをもって、さらなる有効な再資源化に取り組んでいきたいと思っています。

木質バイオマスからのバイオ燃料製造研究

坂西 欣也（独立行政法人産業技術総合研究所 バイオマス研究センター長）

1. はじめに

産総研バイオマス研究センター（BTRC）では、地球温暖化防止及び石油代替燃料開発の観点から、バイオマス資源の中で最も炭酸ガス固定化能の高い木質系バイオマスからのエタノール製造、ならびにガス化経路の FT(Fischer-Tropsch) 合成触媒反応による BTL(Biomass To Liquids)-FT 合成燃料製造技術の開発を行っている。また、これらのバイオマス液体燃料製造プロセスのシミュレーションによるシステム評価を行うことにより循環型エネルギー社会の構築に貢献できる経済性の優れたバイオマス転換プロセスを実用化することを目指している。

さらに、日本だけでなく、バイオマス資源量の多いアジア地域を中心とした海外展開を目指し、バイオマスの有効活用を図る技術開発を海外研究機関や民間企業と連携して行うことによって、世界のバイオマスエネルギー利用技術を普及させることも重要な課題と考えている。

2. 木質バイオマスからのエタノール製造

低環境負荷で、高収率が期待できる非硫酸法と酵素糖化法の組合せによる次世代型エタノール製造技術の確立を目指している。木質系バイオマスを酵素糖化するためには、木質の前処理技術が重要であり、100℃以上の加圧熱水を用いた水熱処理およびメカノケミカル処理を複合化することにより、木質構成成分を分離して、低コスト・高効率での木質の活性化技術の研究開発を行っている（図 1）。

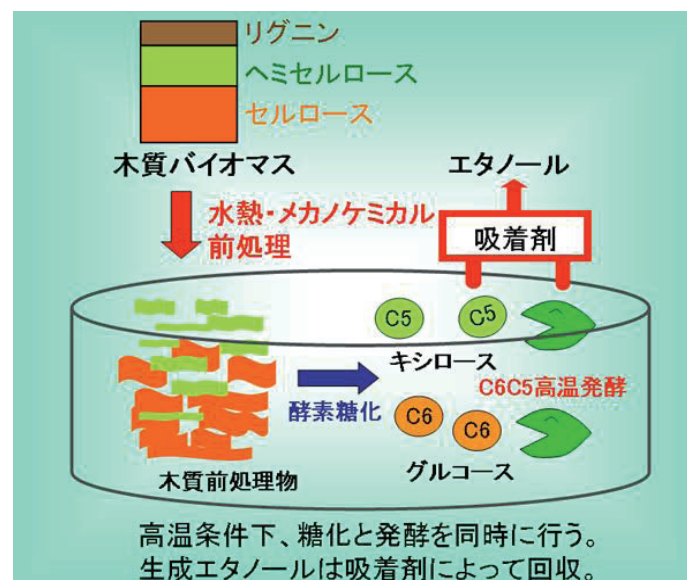


図 1 木質バイオマスからの次世代型・高収率エタノール製造スキーム

3. BTL(Biomass To Liquids)

BTL としては、これまで、ガス化により得られた合成ガスからのメタノールやジメチルエーテル製造プロセスに加えて、非石油系クリーン合成燃料として注目されている FT ディーゼル燃料製造技術について、要素技術である 1) バイオマスのガス化による合成ガス (CO/H_2) 製造、2) タールや硫黄等の微量不純物除去等のクリーニング、3) 合成ガスからのフィッシャートロプシュ (FT) 合成、4) 軽油分増加と高品質化のための水素化分解 / 異性化のトータルシステムの開発を行っている (図 2)。

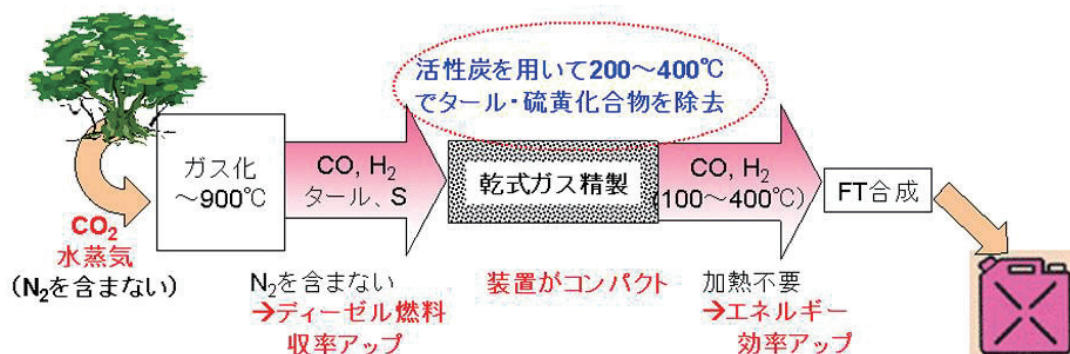


図2 ガス化・ガス精製・FT 合成触媒反応連結 BTL トータルシステムスキーム

バイオマスガス化では、小型噴流床反応装置による木質系バイオマス等のガス化では、副生タールが 0.01wt%程度と少ないことを見出している。ガスクリーニングプロセスの検討では、従来の水を使用する湿式法に対して、活性炭を用いる乾式法の検討を行い、400℃前後の高温でもタール除去や脱硫等のガスクリーニングが効果的に進行することを明らかにしている。FT 反応では、ワックス生成に有利なルテニウム系触媒を中心とした検討を行っている。

4. バイオマスシステム評価技術

種々の異なる性状のバイオマス資源から自動車用液体燃料等のエネルギーを製造し、社会に導入・普及させるためには、より高効率な要素技術の研究開発を推進するだけでなく、経済的に成り立ち得る原料収集・前処理・製造・利用等からなるバイオマス利活用トータルシステムを構築することが重要である。

特に、国内外の種々のバイオマス資源のポテンシャルを把握するための基盤となるデータベースを構築し、バイオマスシステムのプロセスシミュレーション技術を開発することが求められている。このようなシミュレーターを用いた最適化、経済性・環境適合性評価を実施することによって、種々のバイオマス利活用に最適なプロセスを設定し、より経済的なバイオマストータルシステムを構築できる。現在、開発を進めている各種バイオマスシステムの経済性・環境性のシミュレーションによるバイオマスシステム評価スキームを図3に示している。

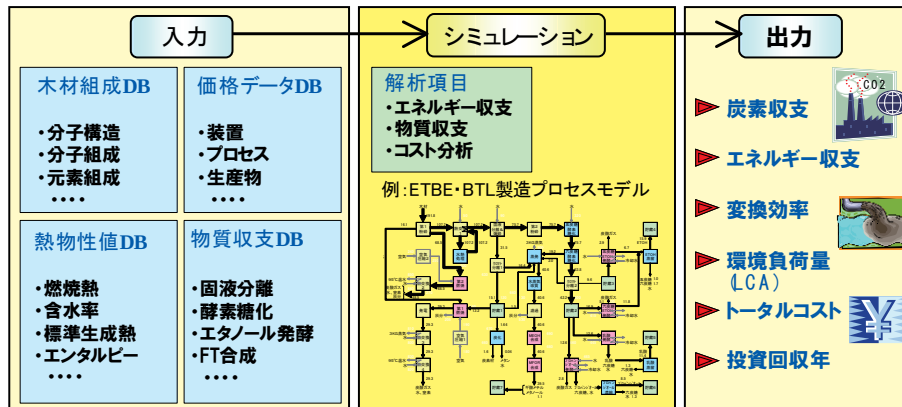


図 3 バイオマスシステム評価シミュレーションスキーム

5. まとめ

地球温暖化や大気汚染、森林破壊等の地球環境問題は、石油を中心とする化石資源に依存し過ぎた現代文明に原因があると言えよう。昨今のバイオマスを中心とする新エネルギー導入や省エネルギーの徹底への取り組みは、単に日本だけの問題ではなく、アジア諸国や世界に共通する地球規模の重要な課題である。

我々が目指している国内の地産地消型およびバイオマスアジア国際展開を含む循環型新産業のためのバイオマス全利用システムを図 4 に示している。このような国内外のバイオマスのトータルシステムの構築は、国産のバイオマス資源の高度有効利用を可能にし、農工連携に基づいた自然との共生とともに、化石資源への依存度を低減しながらエネルギー安定供給と地球環境保全を実現するための筋道を明示していると考えられる。

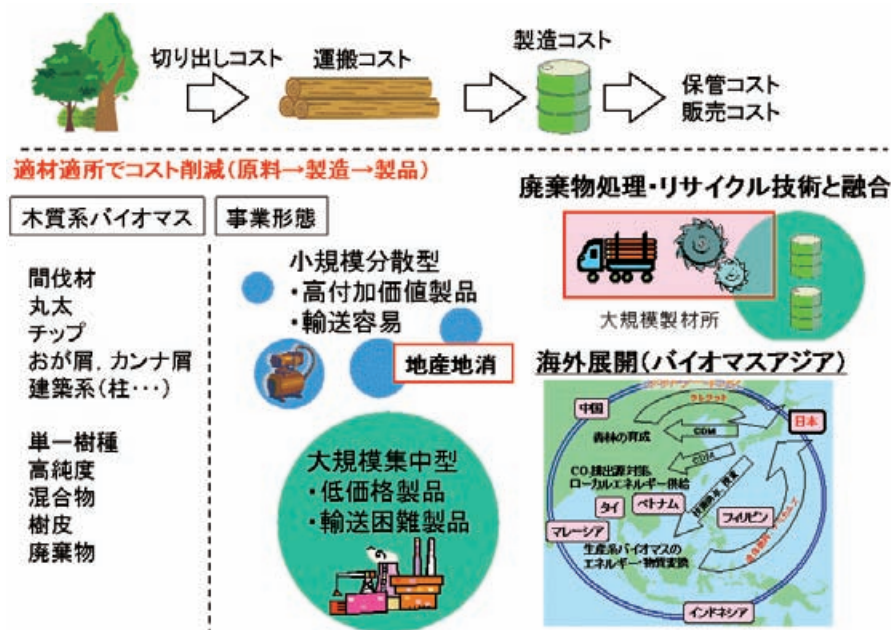


図 4 循環型新産業のためのバイオマス全利用システム

平成19年度
独立行政法人 森林総合研究所
公開講演会講演要旨集

平成19年10月16日 発行

編集・発行

独立行政法人 森林総合研究所

企画調整部 研究情報科 広報係

〒305-8687 茨城県つくば市松の里1番地

Tel 029-829-8134 Fax 029-873-0844

E-mail : kouho@ffpri.affrc.go.jp

URL : <http://www.ffpri.affrc.go.jp/>