

森林総合研究所

第2期中期計画成果集

重点課題アアb

木質バイオマスの変換・利用技術及び地域利用システムの開発



独立行政法人 森林総合研究所
Forestry and Forest Products Research Institute

第2期中期計画成果集 アアb

目次

スギ林地残材からの木質バイオエタノール製造技術の開発	4
国内未利用バイオマス資源中、最大であるスギ林地残材からのバイオエタノール製造技術を開発しました。	
木質バイオエタノール製造実証プラントでのエタノール生産	6
秋田県北秋田市に木材チップ 1.5t / 日の処理能力を持つプラントを建設し、アルカリ蒸解・酵素糖化法によるバイオエタノール製造実証試験を行いました。	
オイルパーム廃材をしばってバイオエタノールを製造する	8
オイルパームの幹は熱帯産未利用バイオマスであり、その材をしばって得られる液がバイオエタノール製造の有力な糖原料となりうることを明らかにしました。	
リグニンから鉛電池の充電性能改善剤を製造する	10
バイオマス成分であるリグニンを化学的に改質することで、鉛電池の充電性能を改善する負極添加剤を開発しました。	
リグニンの両親媒性化で木質バイオマス総合利用を推進	12
両親媒性リグニンはコンクリート混和剤や酵素安定化剤として高度利用可能でバイオマス総合利用に貢献します。	
バイオプロセスを用いたリグニンからのグリーンプラスチックの製造	14
木質バイオマスの構成成分であるリグニンから、組換え微生物バイオリクターを用いてプラスチック原料となる PDC (2-ピロン-4,6-ジカルボン酸) を大量に生産し、それを原料にした高強度エポキシ接着剤、伸縮性ポリウレタンの製造に成功しました。	
高性能な木材・プラスチック複合材（混練型 WPC）の製造	16
未利用木材と廃プラスチックから高い耐候性や熱流動性を持つ複合材を開発しました。	
経済的な林地残材のエネルギー利用とは	18
木質バイオマスは、チップボイラーによる熱利用の経済性が最も高く、燃料チップが 10 円 / 生kg 以下であれば A 重油（70 円 / L）と対抗できることがわかりました。	
木質バイオマスの供給ポテンシャルが大きい地域はどこか？	20
木質バイオマスの発生量と供給コストからその経済的供給ポテンシャルを推計した結果、大規模プラントの設置に適した 6 つの地域が明らかとなりました。	
林業バイオマスを収集・運搬する機械の開発	22
造材作業と破碎作業の 2 工程処理が可能なチップパー機能付きプロセッサ、林地残材の減容化が可能なバイオマス対応型フォワーダを開発しました。	
岐阜中山間地域における木質バイオマスの有効利用モデルの開発	24
高山市をモデルとして、木質バイオマスの供給、需要、利用技術を組み合わせたバイオマス利用モデルを構築し、樹皮を用いたガス化プラントの実証試験を通してモデルの評価を行います。	
バイオマス資源作物「ヤナギ」は初期生長が早く生産性が大きい	26
北海道下川町で育成したエゾノキヌヤナギは、年間 8-12ton（乾燥重量）成長します。3 年毎の収穫、21 年間で 7 回の収穫作業を想定すると、生産コストは 1 万円 / ton になります。	
木材利用による二酸化炭素削減効果の定量的評価	28
木材を積極的に使うことによりどのぐらいの二酸化炭素削減効果が得られるかをシミュレーションしました。	

中国・アセアン諸国における未利用バイオマス資源有効利用のための連携	30
アジアにおける持続可能な木質バイオマス利用技術を開発するため、各国の研究組織と連携して木質バイオマス利用の現状の調査を行いました。	

木質ペレットの LCA（ライフサイクルアセスメント）と高性能化	32
木質ペレットの製造エネルギーを明らかにするとともに、熱処理を施すことで高性能な木質ペレットをつくることができました。	

スギ林地残材からの木質バイオエタノール製造技術の開発

きのこ・微生物研究領域
バイオマス化学研究領域

野尻昌信、林 徳子、澁谷 源、下川知子
真柄謙吾、池田 努

未利用バイオマス資源の中で最も大量に存在するスギの林地残材を液体燃料に変換することは、二酸化炭素の排出を抑制するとともに、林業の活性化や山村地域での雇用の創出という面で期待されています。森林総合研究所で開発した技術では、スギ林地残材をバイオエタノールに変換する時にスギ中のエタノールに変換できないリグニンという木材成分をエタノール製造用エネルギーに活用することにより、石油資源をほとんど使わずにバイオエタノールを製造することができます。特に低コストでバイオエタノールを生産するため、木材成分のセルロースやヘミセルロースを分解する酵素を安価に生産する技術、酵素使用量を削減する技術、エタノール収率を向上する技術を付加しています。

この技術を用いた木質バイオエタノールの製造は、低炭素社会を実現し、林地残材を有効に活用することで間伐などの森林整備を進めていくことを目的にしています。

木質系バイオマスは適正な管理の下に収穫と育林を実施することで、二酸化炭素が増加しないカーボンニュートラルで持続可能なエネルギー原料として注目を集めています。また、国内には、材として利用されず山に残されている林地残材が毎年約800万トン発生していると試算されています。この未利用資源を活用してガソリン代替燃料に変換する政府方針が平成19年2月に立てられ、原油換算で120～130万キロリットルのバイオエタノールを生産する技術開発が進められています。

森林総合研究所では、この政府方針に基づき、資源量が多い人工林の主要樹種であるスギをターゲットとして、バイオエタノール製造時に外部からのエネルギーの投入が少なく、低コストのバイオエタノール生産技術を開発しました（特開2008-92910，特開2010-136702）。これは、エタノールの原料となる木材の主成分であるセルロースやヘミセルロースをカビが生産する酵素によりブドウ糖などに分解し、それを酵母の発酵によってエタノールに変換する技術です。木材の場合、そのままではカビの酵素が作用できないため、細胞壁からリグニンという成分を除去する前処理が重要です。

製造エネルギーは木材成分を活用する

第一工程としてスギを高温の水酸化ナトリウム溶液（アルカリ）で処理すると、酵素反応を阻害する細胞壁中のリグニンが溶け出てきます（図1）。「黒液」と呼ばれるこの液体は、燃焼させるとバイオエタノールを製造するためのエネルギー（林地残材の運搬を含む）の約9割をまかなえる計算になり、他からのエネルギーを使わずに済みます。また燃焼後に灰としてアルカリ薬剤を回収し再利用することができます。

酵素使用量を削減し、エタノール収率も向上する漂白処理

アルカリ処理でスギからリグニンを除いた後、酸素で処理すると残っているリグニンがさらに分解され白く（漂白）なります（図2）。この漂白処理された繊維は少ない酵素量でも分解でき、酵素使用量を約5分の1に削減することができました。また分解できずに残ってしまう繊維の量を大幅に削減することができました（図3）。分解性が向上したことにより、エタノール生産量も増加しました（図4）。

カビが木材成分を糖化しグルコースに変換する

アルカリ処理や漂白処理によりリグニンが除かれたセルロースやヘミセルロースは、そのままでは酵母が発酵に利用できないため、ブドウ糖のような単糖に分解しなければなりません。熱や化学薬剤を使って分解することもできますが、生物が作る酵素の働きを使って分解する方が環境負荷が少なくなります。そこで、この酵素を生産する特別なカビ（トリコデルマ）を安価に培養して酵素を生産し、低コスト化を図っています。また、別のカビ（アスペルギルス）の作る酵素を合わせると分解性が大きく向上することが分かりました（図5）。これらを組み合わせることでバイオエタノールの生産効率を上げています。このような技術を組み合わせることで、エタノール収率が1.4倍に増加し、現在のところ、スギ材1kgからバイオエタノールが210ml生産できています。また、酵素コストが7分の1に削減でき、エタノールの目標コスト100円/ℓに近づいてきています。

詳しい資料：日本エネルギー学会誌、87（1）68～71（2008）



図1 スギの水酸化ナトリウム処理により溶出されるリグニン



図2 アルカリで処理したスギとそれを漂白処理したもの

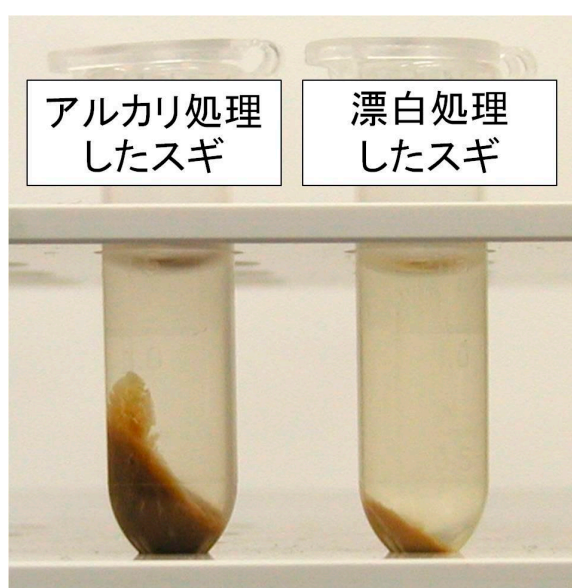


図3 分解後に残ってしまうバイオマス量の比較
酵素分解後に残ってしまうバイオマスが漂白処理により減少する。

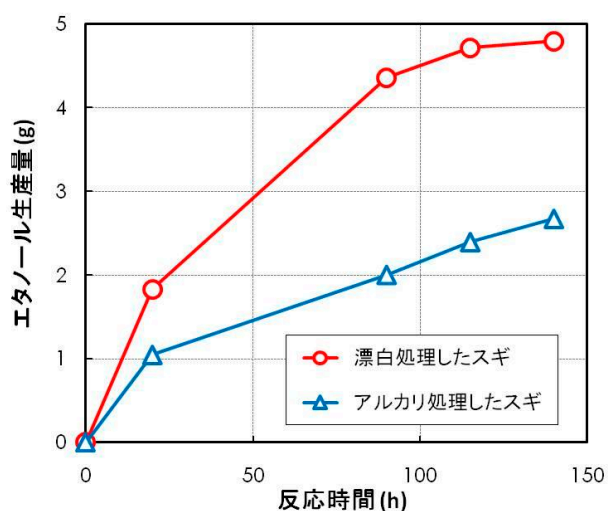


図4 酵素漂白処理によるエタノール生産量の増加
グルコース10gを含むバイオマスからのエタノール生産量を比較した。

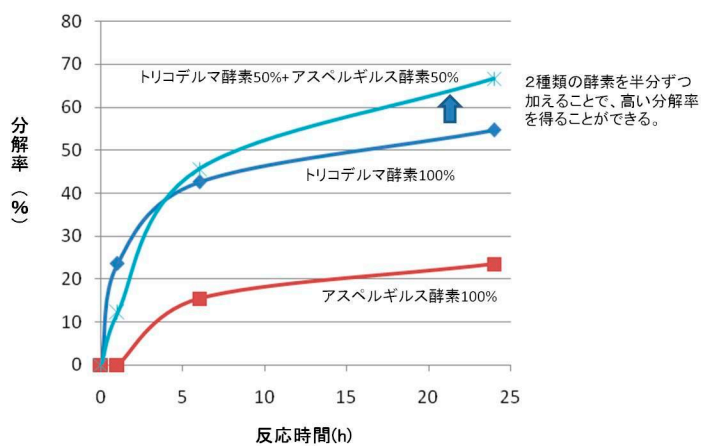


図5 2種類のカビの酵素を組み合わせた場合のバイオマス分解率

木質バイオエタノール製造実証プラントでのエタノール生産

バイオマス化学研究領域
きのこ・微生物研究領域

真柄謙吾、池田 努
野尻昌信、渋谷 源

森林総合研究所は、林地残材利用の一環として木質バイオマスを原料としたアルカリ蒸解・酵素糖化法によるバイオエタノール製造法（特開 2008-92910）を開発しました。この技術を実証するために、林野庁による平成 20 年度森林資源活用型ニュービジネス創造対策事業の下で、秋田県北秋田市に木材チップ 1.5t / 日の処理能力を持つ木質バイオエタノール製造プラントを建設し、エタノール 100 円 / L を目指して平成 21 年 6 月より製造技術の実証試験を行っています。このプラントでは、木材中でエタノールの原料にできないリグニンをアルカリ薬剤で取り除き、黒液として排出しています。平成 22 年度からは林野庁森林整備効率化支援機械開発事業の下でこのリグニンの有効利用も含めた木質バイオマスの総合的な成分分離（バイオリファイナリー）とその用途開発を進めていきます。

プラントの概要

本プラントは、1 日 1.5t の乾燥木材チップを高温の水酸化ナトリウムで処理してリグニンを除き、繊維（パルプ）化して酵素で糖化し酵母菌で発酵してエタノールを生産しています（写真 1、図 1）。またこのプラントは、脱リグニン、酵素糖化および発酵を行う本体架台と、糖液濃縮棟、リグニン（黒液）濃縮装置、排水タンクおよびボイラーなどの各種ユティリティーで構成されています（図 2）。

アルカリでリグニンを除く

木材中には、エタノールの原料になる糖分のセルロース、ヘミセルロースと、原料にできないリグニンが含まれています。このうちリグニンは、原料にならないだけでなく酵素の働きを妨害するので、酵素糖化の前に取り除かねばなりません。本プラントでは紙パルプ工場とよく似たプロセスを用い、高温の水酸化ナトリウムでリグニンを取り除いて木材をパルプ化し、酵素糖化し易い形に変換しています（写真 2）。

酵素糖化

木材中のセルロースやヘミセルロースをカビの出す酵素で分解して発酵可能な形にすることを酵素糖化と言いますが、ここで問題になるのは市販されている酵素の価格が非常に高いことです。そこで本プラントでは、酵素を出す特別なカビをプラント内で培養し、自前で酵素を生産しています（写真 3）。また、後に続く発酵や蒸留プロセスのためにはなるべく高い濃度の糖液が有利です。

しかし、パルプの濃度が高くなると投入した酵素の多くがパルプに吸着し、酵素の働きが鈍くなるので、本プラントでは薄いパルプ濃度で糖化を行い酵素の働きを維持しています。

糖液濃縮とアルコール発酵

薄い糖液を発酵させると、エタノール濃度は糖濃度のさらに半分程度に薄まります。これを蒸留すると多くのエネルギーが必要になります。そこで本プラントでは、発酵前に薄い糖液を逆浸透膜で濃縮しています（写真 4）。また、アルコール発酵に使う酵母菌も、酵素と同様にプラント内で生産してコストダウンを図っています。

リグニン利用に向けて

本プラントではリグニンを黒液として排出しています。紙パルプ工場ではこの黒液を燃やしてエネルギーと使用した薬剤を回収しており、同じアルカリを使う本プラントでも非常に重要な意味を持っています。その一部を取り出してリグニンを回収し、接着剤や界面活性剤、土壌改良材などの高付加価値な機能性材料の開発を行っています。将来的にこれらリグニン製品はエタノールの製造コストを補助し、アルカリ法による木質バイオエタノール製造プラントをバイオマスタウンなど地域バイオマス利用の拠点に押し上げてくれるものと期待します。

「パルプ製造技術を用いたバイオエタノール生産」、真柄謙吾、池田努、野尻昌信：紙パルプ技術協会誌 Vol.64(5)3-9(2010)



写真1 プラント竣工式の全景

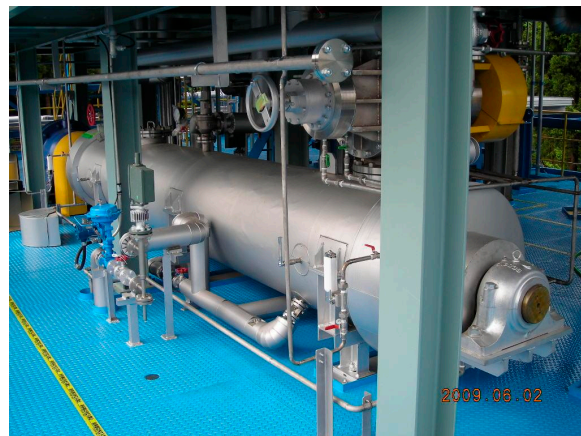


写真2 高温のアルカリで木材からリグニンを除く装置

アルカリによるリグニン除去

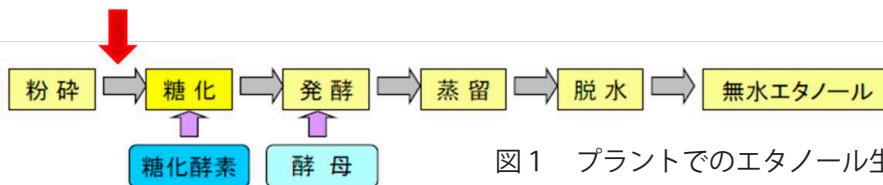


図1 プラントでのエタノール生産工程

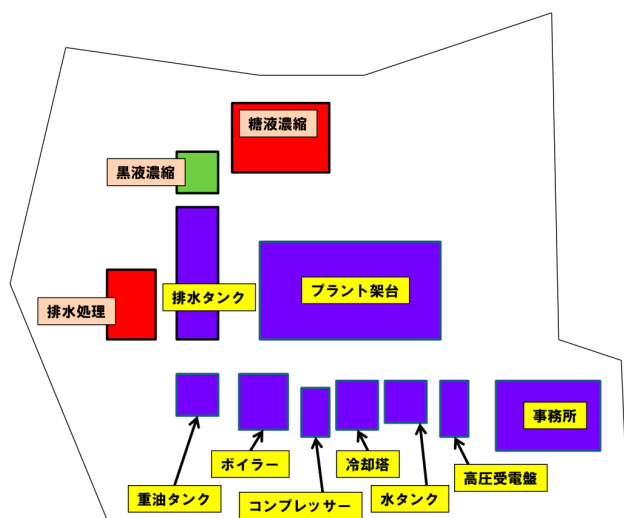


図2 プラント平面図

道路



写真3 酵素と酵母菌を生産するタンク



写真4 膜で糖液を濃縮する装置

オイルパーム廃材をしばってバイオエタノールを製造する

バイオマス化学研究領域	田中良平、戸川英二、河村文郎
加工技術研究領域	藤本清彦
林業工学研究領域	陣川雅樹
木材特性研究領域	外崎真理雄、安部 久、黒田克史
複合材料研究領域	渋谷龍也、宮本康太
企画部	高野 勉
研究コーディネータ	大原誠資
東北支所	山本幸一
国際農林水産業研究センター	森 隆、小杉昭彦、村田善則、荒井隆益

パームオイルは、世界で最も利用されている植物油脂の一つです。その油を取る実がなるヤシ、すなわちオイルパーム（油ヤシ）はマレーシアなど熱帯諸国で栽培され、およそ25年ごとに切り倒して植え替えをする必要があります。しかしながら、オイルパームの幹は水分が多く材質が柔らかいため丸太としての利用価値が乏しく、未利用のまま放置されているのが現状です。そこで、幹の水分に糖分が多く含まれていることに着目し、この廃材からバイオエタノールを作るための研究開発を行ないました。ここでは幹をしばって得られた液体（搾汁液）に関する分析結果と、エタノール原料としての可能性について報告します。この研究成果は、未利用資源であるオイルパーム材を有効活用する技術の確立に結びつけることができます。

オイルパーム幹の含水率と糖濃度

オイルパームの幹は直径30～60cm、樹高は高いものでは12mにも達します（図1）。植え替えのために伐採された幹から円板（約5センチ厚）を切り出し、中心、中間、外側（樹皮は含まず）に分けてそれぞれの含水率と糖濃度を測定しました。

国産木材の含水率は樹種や部位によって異なるものの、およそ50～200%（全乾重量基準）の範囲内にあります。一方、オイルパームは部位毎の含水率が210～470%の範囲にあり、木材に比べて非常に水分が多く、しかも中心部分に向かうほど含水率が高くなることがわかりました。次に、幹に含まれる搾汁液を圧搾により採取して、そこに含まれる糖分を測定しました。その結果、各部位ともに1mL中におよそ20～100mgのエタノールに変換しうる糖（シュクロース、グルコース、フルクトースなど）を含むことが明らかになりました。しかも、その濃度は中心に近い部分ほど高い傾向にあり、幹を部位別に分けることにより、効率よく糖濃度の高い樹液を採取することがわかりました。

このオイルパーム幹に含まれる糖分ですが、伐採後にしばらく貯蔵（熱帯地域、屋根付き屋外）しておくことによって糖濃度が上昇するということがわかりました。伐採後30日程度経過すると、糖濃度は伐採直後の1.8倍に上昇し、その後は徐々に低下する傾向が見られました。これは貯蔵中に幹中の炭水化物が分解するためと考えられ、この性質を利用することによってさらに効率よくパーム幹中の糖分を採取することが可能になりました。

エタノールへの変換とその生産量

幹の中心部分から得た搾汁液を清酒製造用の酵母によりエタノール発酵を行なったところ、糖に対して重量割合で50～60%のエタノールができることがわかりました。仮に一本のオイルパーム幹が直径40cm、長さ8mとすると、その重さは約1トンです。これに含まれる糖はおよそ30kgですので、15kg（＝19L）ほどのエタノールが生産可能です。サトウキビは1トン当たり約110kgの糖を含みますので、原料当たりの糖含有量はオイルパーム幹の場合その1/3程度にすぎませんが、現状では廃棄物となっているパーム幹が有望なバイオエタノール原料となりうるということがわかりました。

本研究は、NEDO 提案公募型開発支援研究協力事業「マレーシアにおけるオイルパーム幹（トランク）からの効率的燃料用エタノール製造技術の研究開発」によりマレーシア理科大学、マレーシア森林研究所と共同で実施されました。この研究成果は、未利用のオイルパーム材を有用資源に変換する新たな技術開発に繋がることが期待できます。

詳しい情報源

A. Kosugi et al, (2010) Ethanol and lactic acid production using sap squeezed from old oil palm trunks felled for replanting, Journal of Bioscience and Bioengineering, 110 (3), 322–325.

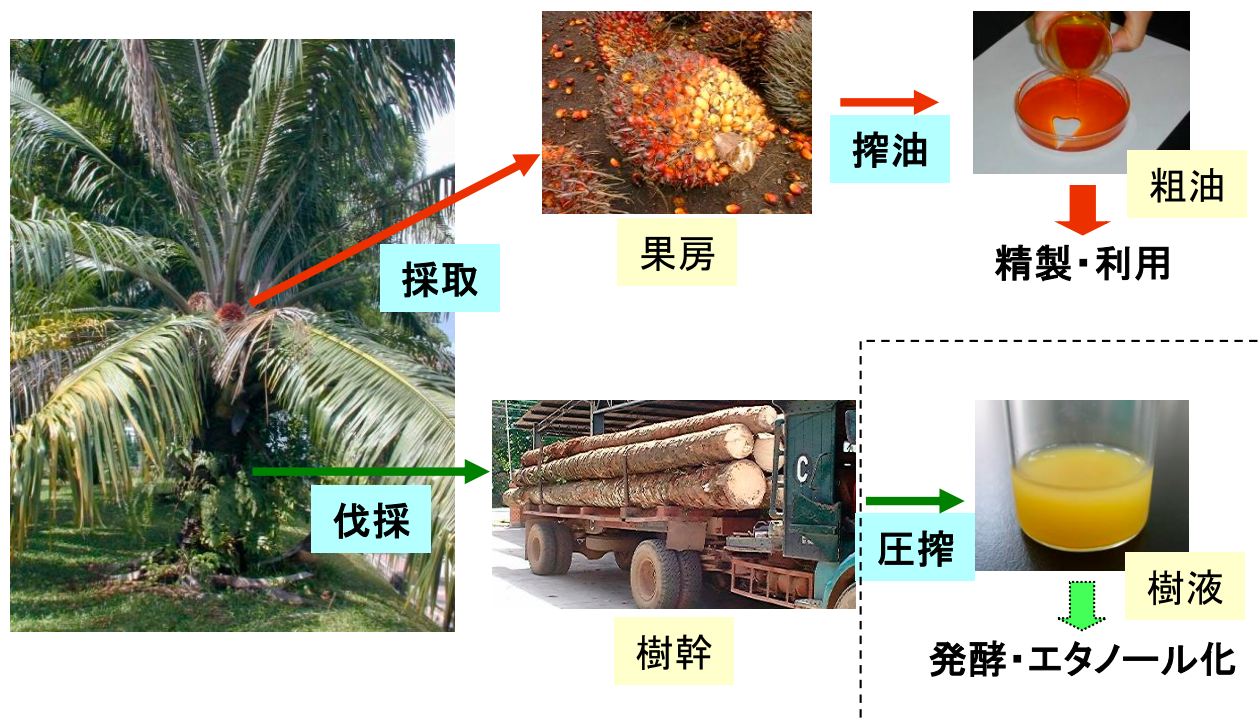


図1. オイルパームからの油採取と幹の利用

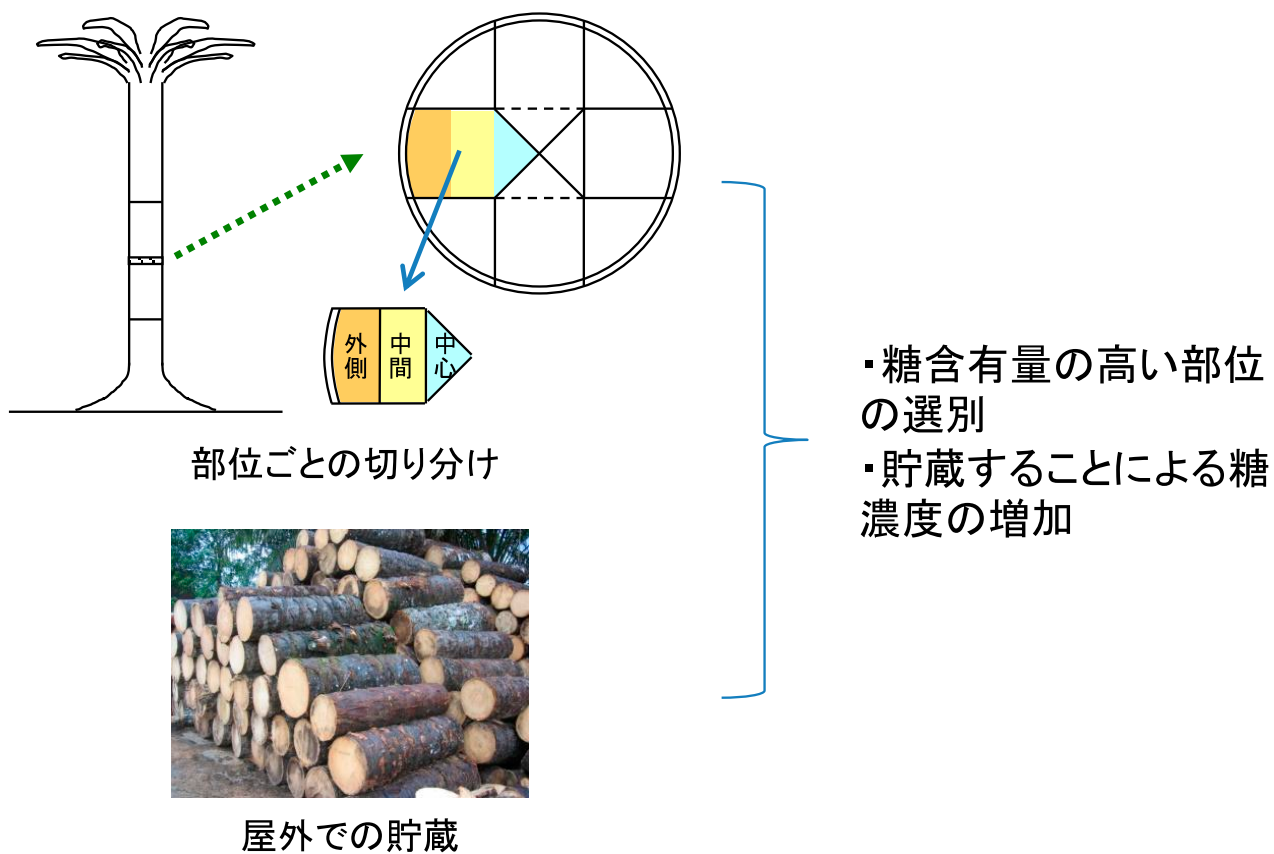


図2. オイルパーム幹からの効率的な糖分採取

リグニンから鉛電池の充電性能改善剤を製造する

バイオマス化学研究領域

久保智史、池田 努、眞柄謙吾

地球温暖化をはじめとする環境問題の深刻化から、化石資源への依存度を低減するための技術開発が求められています。森林総合研究所では、木材をはじめとするバイオマスから化石資源を代替できる新規材料を開発すると共に、省資源技術の開発にも取り組んでいます。我々が今回研究対象とした鉛電池は自動車用バッテリーとして広く用いられる、最も生産量の多い電池です。鉛電池は他の電池に比べて優れた放電特性を持ちますが、その反面充電性能に劣るという短所があります。その短所を克服し鉛電池のエネルギー効率を改良するために、本研究では木材主成分の一つであるリグニンを化学修飾することで、鉛電池の充電容量を改善できる添加剤を開発しました。

鉛電池添加剤リグニン

リグニンは木材を構成する主成分の一つで、我が国においても潜在的には毎年数百万トンの生産が可能な有機資源です。現在の工業システムでは、全体量からするとほんの僅かな量のリグニンしか材料利用されていませんが、その一部は鉛電池の負極添加剤として利用されています。鉛電池は高い放電力を持ちますが、その放電力はリグニンを添加することでさらに向上するために、私たちは気温の低い冬季でも苦勞せずにエンジンを始動させることができます。しかし鉛電池は他の電池に比べて充電性能に劣るという短所を持っています。そこで我々は、鉛電池の優れた放電性能を損なうことなく充電性能を改善できる新規鉛電池添加剤リグニンの開発に取り組みました。

鉛電池中でのリグニンの役割

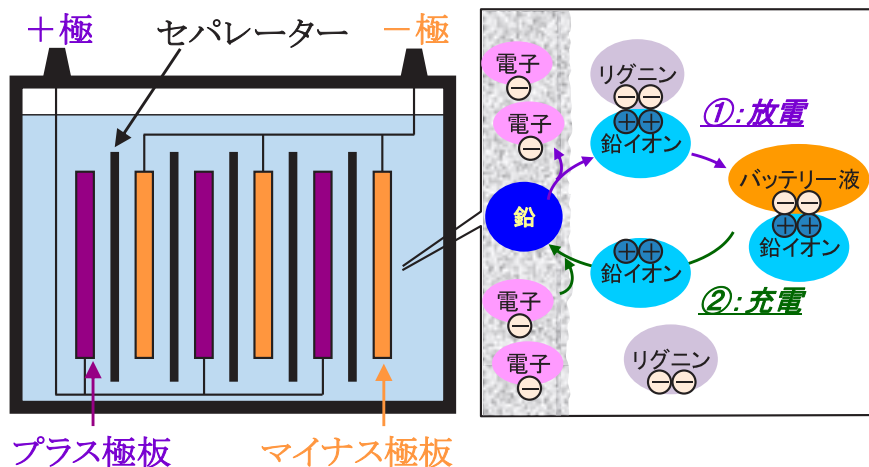
鉛電池添加剤リグニンの開発には鉛電池の中でリグニンがどのような働きをしているかを知る必要があります。鉛電池にリグニンを添加することで電極の表面積の低下や収縮を防ぐなどの効果があることが知られています。しかしながら、鉛電池の放電および充電の際に電極で起こる化学反応にリグニンがどのように関係しているかは明らかになっていません。鉛電池の電極では図1に示した化学反応が起こることで電流が発生します。リグニンが添加されているマイナス電極では鉛(Pb)が電子(e^-)を放出して鉛イオン(Pb^{2+})に変化するとき放電が起こります。我々が行った研究からは、放電の初期に生成した鉛イオンをリグニンが強く吸着することで、図1中

の①の反応の進行を助けていることが示唆されました。

化学修飾リグニンによる鉛電池充電性能の改善

鉛電池の充電性能改善のためには、上の反応とは逆に図1中の②の反応を促進させる必要があります。反応が進むためには硫酸鉛($PbSO_4$)を構成している、硫酸イオン(SO_4^{2-})と Pb^{2+} を引き離す必要があります。我々はプラスに帯電した化合物を添加すれば、硫酸鉛から硫酸イオンを引き離す反応を手助けできるのではないかと考えました。この推測を基に、様々な化合物を添加し実験を繰り返したところ、四級アンモニウム塩(図2中の化学構造)が鉛電池の充電受け入れ性能の改善に効果的であることが分かりました。実験室の測定では、四級アンモニウム塩を添加することで鉛電池の充電受け入れ性能が60%以上改善できる事が分かりました。また、四級アンモニウム塩で化学修飾したリグニンを調製し、実際の鉛電池に添加したところ、急速放電性能を損なうことなく、鉛電池の充電容量を20%以上改善できることができました。本研究の成果は、鉛電池の性能改善と共に、未利用バイオマスであるリグニンの付加価値的用途の開発につながると考えています。詳しい情報は、特開2008-152973「鉛蓄電池用電解液、鉛蓄電池用負極、該電解液及び／又は該負極を備えた鉛蓄電池、並びに鉛蓄電池用添加剤」をご参照下さい。

本研究は、大阪大学マテリアル生産科学専攻の平井信充先生との共同で(独)新エネルギー産業技術総合開発機構の助成を受け行われたものです。



充電(還元)

放電(酸化)

マイナス極板: $\text{Pb} + \text{SO}_4^{2-}$

①

$\rightleftharpoons$

$\text{PbSO}_4 + 2\text{e}^-$

②

プラス極板: $\text{PbO}_2 + 4\text{H}^+ + \text{SO}_4^{2-} + 2\text{e}^-$ $\rightleftharpoons$ $\text{PbSO}_4 + 2\text{H}_2\text{O}$

全体: $\text{Pb} + \text{PbO}_2 + 2\text{H}_2\text{O}$ $\rightleftharpoons$ $2\text{PbSO}_4 + 2\text{H}_2\text{O}$

図1. 鉛電池の構造と極板で起こる反応

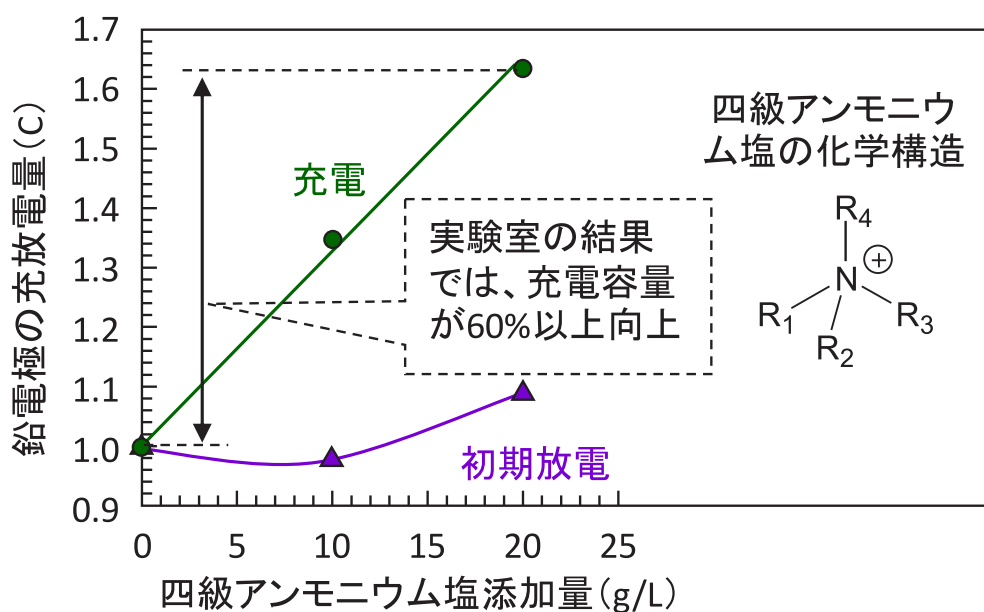


図2. 四級アンモニウム塩の化学構造と鉛電極の充放電容量に対する添加量の影響

リグニンの両親媒性化で木質バイオマス総合利用を推進

バイオマス化学研究領域
きのこ・微生物研究領域
北海道大学大学院農学研究院

山田竜彦、久保智史
野尻昌信
浦木康光

木質バイオマスを構成する化学成分には、セルロースやヘミセルロースのような糖系の成分に加え、約30%程度のリグニンが含まれています。糖系の成分は紙パルプやバイオエタノールとして有効利用可能ですが、リグニンの有効利用法は確立していません。当研究ではリグニンに水にも油にも溶ける性質（両親媒性）を付与することに成功しました。両親媒性リグニンは、高性能なコンクリート混和剤として利用可能でした。加えて、バイオエタノール製造に使用する酵素の働きを促進させたり、再利用を可能にするような酵素安定化剤としても利用できました。今まで未利用であったリグニンを高付加価値製品として展開することでバイオマスの総合利用の促進が期待されます。

リグニンの両親媒性化に成功

両親媒性は水にも油にも溶ける物質の性質で、身近な両親媒性物質には、石鹸や家庭用洗剤などの界面活性剤があります。リグニンは化学的には主に芳香核という構造から成る有機高分子で、基本的には水に溶け難い物質です（疎水性物質）。今回、比較的容易な方法で、リグニンに水に溶けやすい物質（親水性物質）を結合させることに成功しました。生じたリグニンは水にも油にも溶ける性質（両親媒性）を示し、文字どおり「両親媒性リグニン」の製造が可能となりました（図1）。

リグニン系コンクリート混和剤

両親媒性リグニンの用途の一つに、コンクリート用化学混和剤があります。コンクリート用化学混和剤とは、少量の添加で、コンクリートの施工性等を改質する化合物で、代表的なものに「減水剤」があります。減水剤とは、コンクリートの粒子を分散させ、流動性を与えて、施工性を高める混和剤です。図2にコンクリートのフロー試験（流動性の試験）の結果を示します。今回調製した新規のリグニン系コンクリート混和剤は市販の混和剤と比較して、圧倒的に高い流動性を示しました。流動性の改善はコンクリート施工で最も重要で、ほぼすべてのコンクリートには混和剤が使用され、市場規模は年間400～500億円にのぼります。当成果は大量に副産するリグニンの有効利用法として大いに期待できます。

リグニン系酵素安定化剤

両親媒性リグニンには、酵素を安定化させる機能があることがわかってきました。木材等セルロース系のバイ

オマスからバイオエタノールを製造する際に、セルロースを酵素でグルコースに分解します。ところが、酵素はリグニンが存在すると活性を低下させることが知られています。そのため、木質バイオエタノール製造では前もって大部分のリグニンを取り除くのですが、すべてを取り除くことは難しいとされています。残留したリグニンが酵素の活性低下の要因の一つなのですが、ここに両親媒性リグニンを加えて試験したところ、酵素の活性の向上が確認されました。更に、酵素反応後に酵素の活性がどのくらい残っているかを調べた結果、酵素の約7割が活性を保っており、酵素の再利用も可能となることがわかりました（図3）。両親媒性リグニンにより酵素のリサイクル利用の可能性が出てきたことで、バイオエタノール製造コストの低減に大きく貢献すると考えられます。

以上の成果は、これまでエネルギー源として以外に利用されてこなかったリグニンの高付加価値利用を可能とするものであり、バイオマス総合利用への貢献が期待されます（図4）。当研究は農林水産省委託プロジェクト研究「地域活性化のためのバイオマス利用技術の開発」による成果です。

詳しい情報源

山田竜彦、リグニンのマテリアル利用による木質バイオマス総合利用の推進、平成22年度独立行政法人森林総合研究所公開講演会＋オープンラボ要旨集、pp29-34 (2010), <http://www.ffpri.affrc.go.jp/pubs/kouenyoushi/documents/h22.pdf>

水にも油にも溶ける機能性リグニン(両親媒性リグニン)の製造に成功！

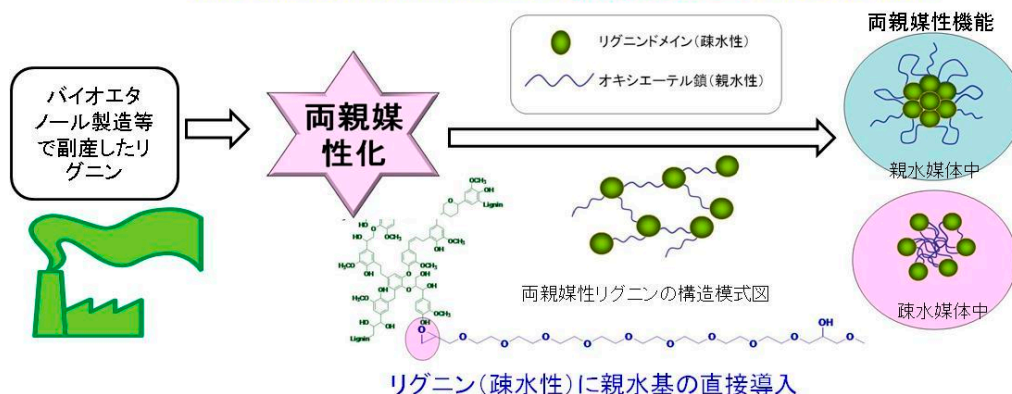
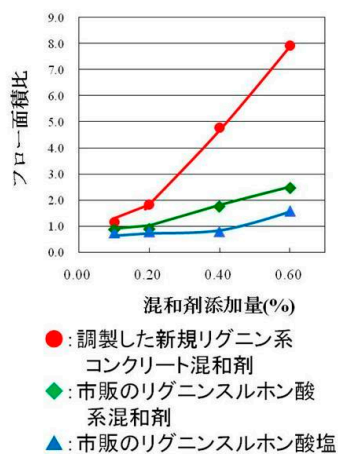
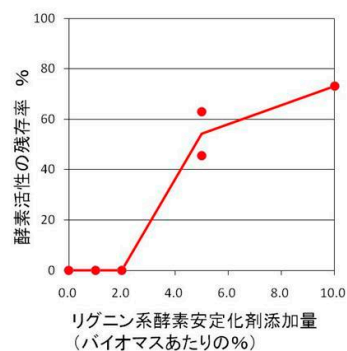


図1 リグニンの両親媒性化に成功



市販品より高性能！

図2 混和剤の添加量に対するコンクリートの流動性 (フロアー面積比は減水効果の指標となる。)



酵素糖化反応後も酵素活性が
7割も残存
(酵素のリサイクル利用が可能に！)

図3 リグニン系酵素安定化剤の添加による酵素反応後の酵素活性残存率への影響

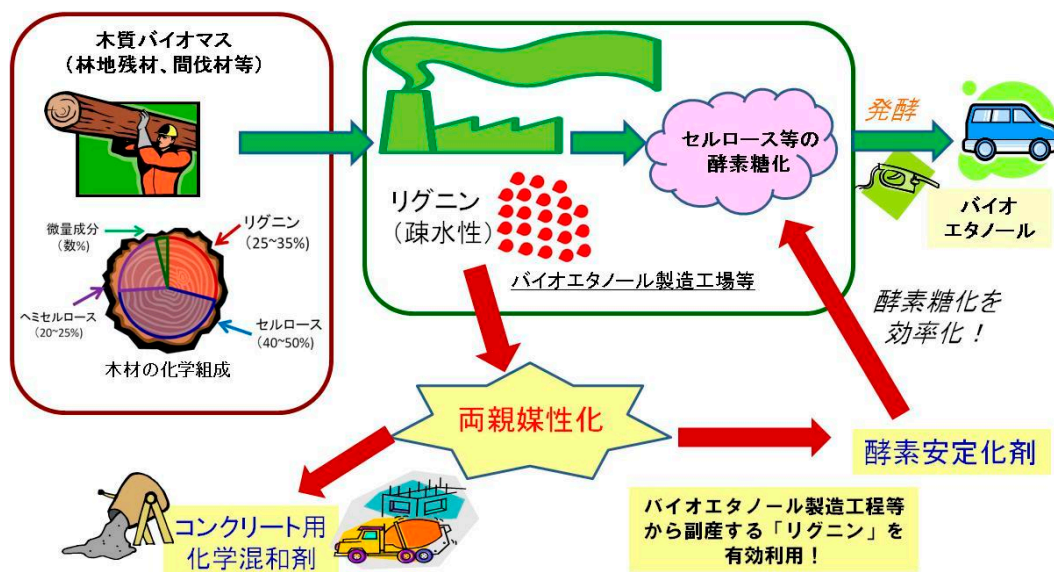


図4 木質バイオマスから生じるリグニンの変換と応用

バイオプロセスを用いたリグニンからの グリーンプラスチックの製造

きのこ・微生物研究領域
バイオマス化学研究領域
研究コーディネータ

中村雅哉
大塚祐一郎
大原誠資

木材を構成する成分の約30%を占めるリグニンは天然の芳香族高分子です。リグニンは石油、石炭に含まれる成分に類似したベンゼン環を有する化合物から構成されているため、効率的に均一な化学構造を有する物質に変換することが出来れば、化石資源に代わるグリーンマテリアル素材となる得るバイオマス資源です。しかし、リグニンは極めて複雑な化学構造であることから製紙工場等で燃料としての利用以外はほとんど利用されて来ませんでした。森林総合研究所では、リグニン分解微生物の研究から、代謝系遺伝子を操作することにより、リグニンからグリーンプラスチック原料となる2-ピロン-4,6-ジカルボン酸(PDC)と言う単一の化合物の大量発酵生産を確立し、さらに、PDCを化学処理して、接着性を発現できるエポキシ誘導体からの高性能接着剤の製造や、酸アジド誘導体から伸縮性を有するPDCポリウレタンの製造に成功しました。PDCは石油化学に取って代わるグリーンマテリアル素材として非常に大きいポテンシャル有することから、化学工業関連企業と連携することにより製品開発、実用化を目指します。

リグニンからグリーン素材(PDC)への変換

リグニン分解微生物のリグニン分解・代謝遺伝子を操作した組換え微生物を用いることにより、複雑な構造を有するリグニンを均一で単一の有用化合物に変換することを目的に研究を進めた結果、土壌細菌 *Sphingobium* sp.SYK-6 が多様な低分子リグニン分解物を2-ピロン-4,6-ジカルボン酸(PDC)と言う中間代謝物を経て、最終的に二酸化炭素と水に分解することを見出しました(図1)。そして、この菌のPDC生成に関与する各反応段階の酵素遺伝子を解明し、リグニン分解・代謝系遺伝子を再構成した組換え微生物バイオリクターを作成して、低分子リグニン分解物を代謝させることにより、PDCを大量に生産・蓄積させることに成功しました。PDCは、分子内に二つのカルボキシル基を有し、典型的な重合反応によって様々なポリマーを製造することが可能な化合物であり、様々なグリーンプラスチック材料の製造が可能な素材です(図1)。

高強度PDCエポキシ接着剤の製造

PDCのエポキシ誘導体を合成し、それを無水マレイン酸等の硬化剤と反応させることにより、PDCエポキシ接着剤を製造しました(図2)。この接着剤は、ステンレス同士の接着で最大90MPa(1cm²当たり約900kgの力)、鉄同士の接着では115MPaの接着強度を示す高性能なものでした。この強度は、鉄板(幅8cm、厚さ8mm、長さ15cm)二枚の端面同士を接着したものを橋渡しして、上に人が乗っても破断しないほど強力なもので(図2)、市販の石油系エポキシ接着剤の接着強度(30MPa程度)と比較すると、およそ3倍の強度となります。この接着剤は金属の他に、ガラス、セラミックス、耐熱性

の難接着性プラスチックにも適用可能であり、接着剤以外に、塗料や電気・電子材料への用途が期待されます。

伸縮性PDCポリウレタンの製造

PDCの酸アジド誘導体を合成し、様々な炭素数のジオール(アルコール)を結合させることで、炭素数に応じた様々な物性を有するPDCポリウレタンを製造することが出来ました。比較的短い炭素数のジオール(m=6~7)から調製したPDCポリウレタンからは、伸縮性に富むフィルムが得られました(図3)。このフィルムは4倍まで伸長させても断裂せず、元の長さに戻ろうとする性質がありました。これらのPDCポリウレタンは、衝撃吸収材、自動車内装材への用途が期待されています。

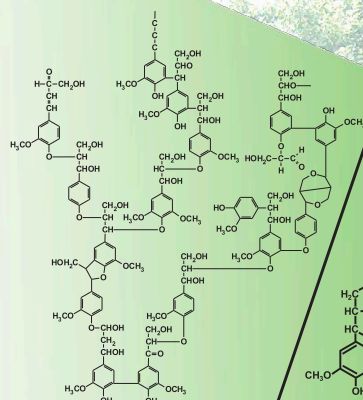
このようにPDCは、その分子構造を少し変えた誘導体とすることにより、様々なグリーンプラスチック材料として幅広く展開することが可能で、近い将来、石油資源に依存しないバイオマス利用による循環型社会の実現が可能となります。現状では価格的に石油製品にかないませんが、近年、PDC発酵生産工程を見直すことで生産コストが下がり、商業化ベースの大量生産が視野に入りつつあります。

この研究は東京農工大学大学院、長岡科学技術大学との共同研究で行いました。

主な発表文献

中村雅哉, 大塚祐一郎, 大原誠資, 片山義博, 重原淳孝, 政井英司 微生物機能を用いた木質系芳香族バイオマス資源からのプラスチック原料の開発 木材工業(Wood Industry)、Vol.63:296-300 2008

リグニン



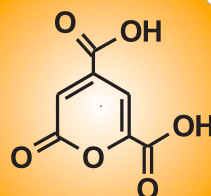
ベンゼン環化合物を
構成成分とする
天然高分子

低分子リグニン

リグニン分解微生物
による分解・代謝

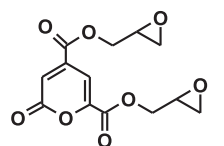
PDC

2-ピロン-4,6-ジカルボン酸



特徴
二つのカルボキシル基の存在
↓
重合反応による
様々なポリマー製造が可能

図1. リグニンからバイオプロセスにより得られる
2-ピロン-4,6-ジカルボン酸 (PDC)

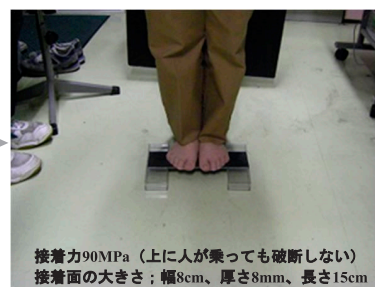
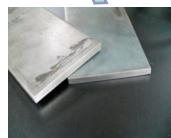


PDCエポキシ誘導体

+ 硬化剤

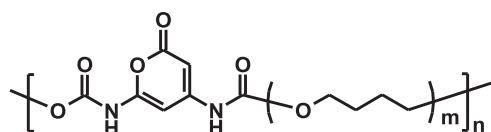
高強度エポキシ接着剤

接着!

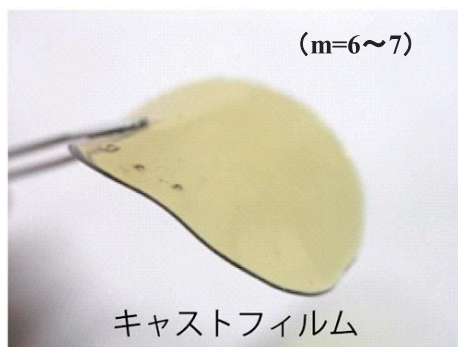


接着力90MPa (上に人が乗っても破断しない)
接着面の大きさ: 幅8cm、厚さ8mm、長さ15cm

図2. PDCエポキシ接着剤で接着したステンレス金属板



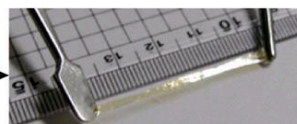
PDCポリウレタンの一般構造式



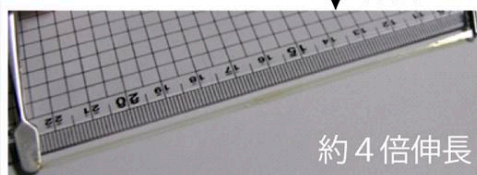
キャストフィルム

(m=6~7)

切り取り



伸長



約4倍伸長

図3. 柔軟性、伸縮性を持つPDCポリウレタン

高性能な木材・プラスチック複合材（混練型 WPC）の製造

木材改質研究領域 木口 実、片岡 厚、川元スミレ、小林正彦、松永浩史、松井宏昭

木質系バイオマスの利活用の加速化が強く求められています。このため、エネルギー変換技術と共に、石油系プラスチックに代わる高付加価値機能性素材への変換・利用技術となるマテリアル利用技術の開発が重要です。建築解体材等の廃木材と工場から出る廃プラスチックとを混ぜ合わせて成形された“混練型WPC”は、高い耐水性と耐腐朽性を持つためデッキ等のエクステリア製品として使用され始めています。しかし、屋外での使用によって表面に粉を吹いたようなチョーキング現象が問題となっています。このため、表面の劣化メカニズムを明らかにすると共に、表面処理や光安定化剤の添加により屋外用の混練型 WPC の耐候性を大幅に向上させることに成功しました。また、木粉の熱可塑性を向上させることで高い木質含有率を持つ混練型WPCの開発を行っています。これによって様々な形状の製品が製造できるため、現在使用されている石油系プラスチックの代替となることが期待できます。

研究の背景

利活用が進んでいない林地残材や建築廃材などの木質系バイオマスを有効利用するために、エネルギーとして利用するだけでなく、付加価値の高い新素材や石油化学製品の代替品などのマテリアル（材料）として利用する必要があります。このため、農林水産省委託プロジェクトに参画し、「木質バイオマスを利用したマテリアル製造の低コスト化・機能性向上技術の開発」に取り組んでいます。

混練型WPCとは？

木粉と熱可塑性（熱で柔らかくなる）プラスチックとの複合材である混練型 WPC（Wood Plastic Composite；以下 WPC と略す）は、木質バイオマスを木粉にしてこれにオレフィンと呼ばれるポリエチレンやポリプロピレン等の熱可塑性プラスチックを熱して混ぜ合わせ、成型し製造される様々な形状及び性質を持つ新しい複合材料です（図1）。北米では、年間100万トンの規模でデッキ材等として使用されていますが、わが国ではエクステリア木材の市場が小さく耐候性や寸法安定性等の問題があるため5万トン程度しか使用されていません。森林総研では、①長期間の耐候性を持つエクステリア用のWPCの開発と②木質の割合を70%以上に高めて射出成型（鋳型に噴射して様々な形状の物ができる）により石油系プラスチックの代替を目指したWPCの開発を行っています。

高耐候性WPC

WPCは、疎水性（水をはじく性質）のプラスチックが木粉を取り囲むように成型されるため高い耐水性とこれによる耐久性が期待されています。しかし、木材やプラスチックは光に弱いため屋外での使用によって変色や粉を噴いたような「チョーキング現象」などの表面劣化が問題となっています。私たちのグループでは、塗装による表面処理や紫外線吸収剤及び光安定化剤を最適配合することによって、WPCの耐候性を大幅に向上させることに成功しました（図2）。紫外線吸収剤等の添加はコストアップになりますが、添加剤を配合した複合物を表層部のみに形成する2層成形押出技術により、コストアップ最小限に抑えることができます。

これまでエクステリア用材料の多くは、熱帯雨林からの貴重な広葉樹材や石油由来のプラスチック材料、あるいは金属、コンクリートが使われていましたが、この技術の開発により屋外のデッキなど多くの場所にWPCが使えるようになります。

石油由来プラスチックに代わるWPC

木粉はプラスチックのように加熱しても柔らかくならないので、木材とプラスチックとの複合材は木粉の割合を増やすと流動性が低下して製品の成型が困難となります。このため、木材を湿らせた状態で加熱する湿熱処理によって木粉の熱可塑性を向上させ（図3）、高い木質含有率を持つWPCの開発に成功しました。熱流動性が向上することによって射出成型が可能となり、様々な形状の製品が製造できるため、日用品等で大量に使用されている石油系プラスチックの代替が可能です。木質割合が多いWPCは、化石資源である石油を原料としている従来のプラスチック製品と比べて二酸化炭素の排出を大幅に抑制できます。また、石油系プラスチックに比べて価格変動が小さく安い木粉が7割程度を占めるため、価格は従来のプラスチック製品と同等以下の設定が可能です。

これらの技術開発により、林地残材などの未利用木質バイオマスの大規模な需要先が生まれ、林業の活性化と共に中山間地域に新たな産業が生まれることが期待されます。これは、化石資源由来製品の使用量を低減させることによる温室効果ガスの削減、低炭素社会の構築にも寄与するものです。

新しい情報源

- 1) 木口実：未利用木質バイオマスを利用した木材・プラスチック複合材料（混練型 WPC）の開発、季刊森林総研、第10号、9-11（2010）
- 2) 木口実、小林正彦、川元スミレ、片岡厚：木質バイオマスからの新規成型材料の開発 2. 木材・プラスチック複合材（混練型 WPC）の高性能化、平成22年度独立行政法人森林総合研究所公開講演会+オープンラボイノベーションでリードする木材需要の創出 ―国産材・木質バイオマス利用拡大戦略のための研究開発― 要旨集、（独）森林総合研究所、67-71（2010）

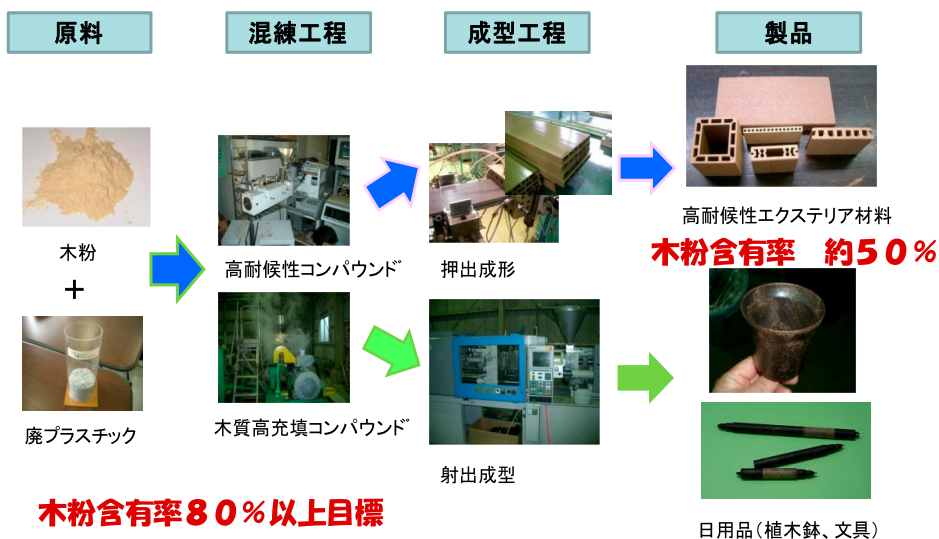


図1 高性能化した混練型 WPC
(高耐候性 WPC (上) と 木質高充填 WPC (下))

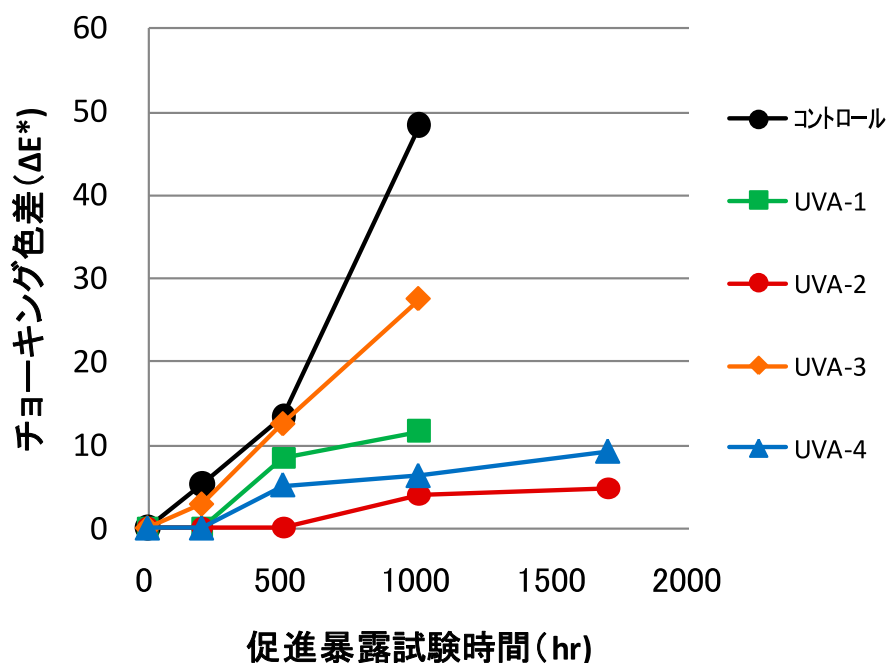


図2 4種類の紫外線吸収剤の添加による WPC の高耐候化例

注) UVA: 紫外線吸収剤
 チョーキング色差: 試験後の試験片を白布で擦って付着したチョーキング物質の色調を数値化したもの(値が大きいほどチョーキングが激しい)

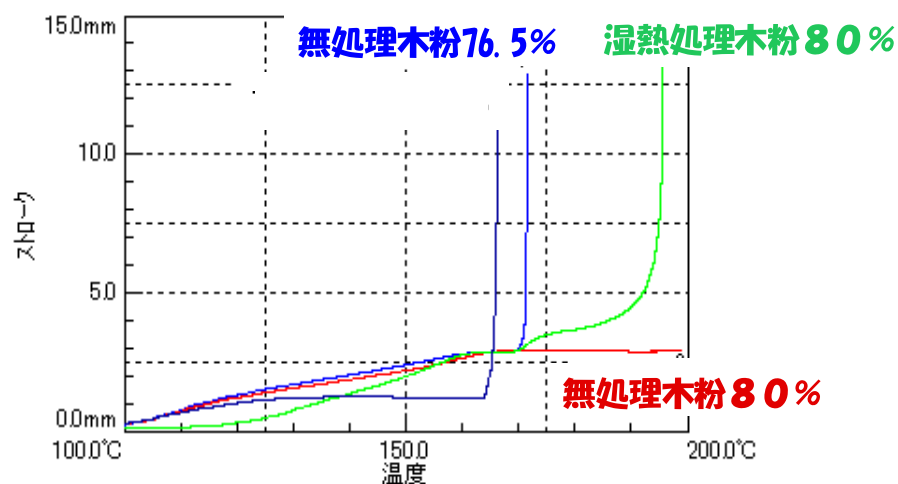


図3 木粉の湿熱処理による木質高充填コンパウンドの熱流動性向上例
 注) 上方向が流動方向

試験条件: 荷重100kg/cm²、ノズル径3mm、昇温速度5°C/分

経済的な林地残材のエネルギー利用とは

林業経営・政策研究領域
企画部研究企画科
林業機械研究領域
温暖化影響担当 COD

久保山裕史
高野 勉
陣川雅樹
松本光朗

地球温暖化防止に向けた再生可能エネルギー利用の拡大は、重要な課題となっています。中でも、木質バイオマスの活用はとて期待されていますが、建築廃材の発電利用の急拡大の一方で、林地残材は未利用のままとなっています。その要因としては、林地残材のエネルギー利用が経済的に成り立つかどうか不明なことが考えられます。そこで、実際に用いられている、チップボイラーによる熱利用、小・中規模ガス化電熱併給施設、大規模蒸気式発電施設を取り上げて、それらの経済性について評価しました。その結果、チップボイラーによる熱利用の経済性が最も高く、燃料チップ価格が10円/生kg以下であればA重油(70円/L)と十分に対抗できることが明らかになりました。

主な木質バイオマスである、建設発生木材、製材工場等残材、林地残材は、それぞれ1180万 m^3 、1070万 m^3 、約2000万 m^3 発生しています(平成22年版森林・林業白書)。このうち発生量が最大である林地残材はほとんど未利用のままであり、利用拡大が重要な課題となっています。林地残材が使われないのは、収集や運搬にかかる費用よりも買い取り価格が低いためであると考えられます。これに対して、どのようなエネルギー利用を行えば、林地残材に対してより高いお金を支払うことができるのかということについて、経済的に評価しました。

林地残材とは、写真1のように林業活動に伴って発生する端材(用材にならない短尺材)や枝葉、梢端部です。林地残材から生産された燃料チップは、①チップボイラー(写真2)、②小規模ガス化電熱併給装置*) (写真3)、③中規模ガス化電熱併給装置(写真4)、④大規模蒸気式発電施設(写真5)で利用されています。①では熱(温水や蒸気)、②と③は電気と熱の両方、④は電気のみを利用を行う場合を考えました。

政府が固定価格買い取り制度を検討していることから、バイオマス発電電力は20円/kWhで販売できるものとし、上昇しつつある重油価格は70円/Lと仮定しました。燃料チップ(乾量換算で水分を100%含む)の価格が変化した場合の経済性を比較した結果を表1に示しました。燃料チップが2円/生kgで手に入る場合には、すべての利用方法は経済的に成り立ちました。しかし、チップ価格が上昇すると、小規模ガス化電熱併給、大規模蒸気式発電、中規模ガス化電熱併給の順に経済的に成り立たなくなり、チップボイラーだけが10円/生kgでも経済的に成り立ちました。

大規模蒸気式発電の経済性が低いのは、エネルギー効率(=得られたエネルギー/投入したエネルギー $\times 100$)が低いことが一因です。チップボイラーで生産した蒸気や温水をそのまま熱利用すれば、エネルギー効率は85%前後となります。これに対して、ボイラーで生産した蒸気を発電タービンですべて使ってしまう場合、エネルギー効率は25%前後となってしまいます。エネルギー効率を引き上げることができれば、経済性は向上しますが、石炭火力発電所と同水準の40%に

なったとしても、燃料チップの買い取り価格は9円/生tにこたまりました。

欧州では、電力の固定買い取り制度の対象施設に電熱併給を義務づけているように、蒸気の一部を熱利用に回して、製紙会社のプラントのようにエネルギー効率75%前後を達成することができれば経済性は格段に向上します。その場合、大量の熱需要を確保する必要がありますが、発電出力3000kWといった比較的規模の小さいプラントでも9円/生tで採算をとることができるという結果となりました。

以上の結果は、前提となる電気の買い取り価格やA重油の値段によって大きく違ったものとなります。つまり、バイオマスのエネルギー利用は、エネルギー価格の変動リスクにさらされているといえます。この点、政策的に高く設定された電力の買い取り価格は、将来低下する可能性があります。一方、A重油を用いた熱供給の場合は、A重油価格が下がる可能性もありますが、景気回復や円安による原油価格の上昇、さらには炭素税の導入等によって価格がさらに上昇する可能性もあり、木質バイオマスで代替するのに適していると考えられます。

限りあるバイオマス資源を有効活用する上で、チップボイラーによる熱利用は、経済性だけでなくエネルギー効率も高い優れた利用方法であるといえます。今後は、林地残材の利用拡大に向けて、生チップでも高効率で燃焼できる高性能ボイラーの導入を進めていくことが重要です。

参考文献：久保山裕史(2009)木質バイオマスエネルギーの経済的な利用方法について、生物資源 Vol.3(1)：8～13

用語解説

*) 電気と熱を同時に生産利用することを「電熱併給(CHP)」といいます。ガス化電熱併給装置は、木材を高温の状態で取り出した可燃性ガスを用いてガスエンジン(ガスタービン)を回して発電し、高温の排気ガスを用いて蒸気や温水を生産し、熱利用も行います。



写真1. 林業活動に伴って発生した林地残材

高性能林業機械が走行する集材路や丸太を運搬するトラックがやってくる山土場において、枝葉や梢端部の小径材、端材（用材にならない短尺材）などの林地残材が発生します。



写真2. チップボイラー

国内外で生産されている高性能チップボイラーは含水率100%を超す生チップでも高効率・全自動燃焼が可能です。



写真3. 小規模ガス化電熱併給装置

理科実験の乾留のようにチップを蒸し焼きにすることによって、可燃性ガスを取り出し、そのガスでエンジンを回すことによって電気と熱を取り出します。含水率の高いチップは乾燥させてから使う必要があります。



写真4. 中規模ガス化熱併給装置

原理は小規模のものと同様です。アップドラフト方式の装置は生チップを効率よく利用できます。



写真5. 大規模蒸気式発電施設

大規模なチップボイラーを用いて高温・高圧の蒸気を発生させ、その蒸気を蒸気発電タービンに投入することによって発電を行っています。ここでは、蒸気発電タービンからは低温・低圧の蒸気を取り出すため熱利用は行わないことを前提としましたが、製紙工場などでは中温・中圧の蒸気を取り出して加圧や加熱に利用する電熱併給を行っています。

表1. 木質バイオマスエネルギー利用の採算性²⁾比較結果

利用形態	チップボイラー 熱供給	小規模ガス化 電熱併給システム	中規模ガス化 電熱併給システム	大規模蒸気発電
定格出力 燃料チップ価格	熱1400kW _{th}	電気140kWe および熱270kW _{th}	電気2000kWe および熱6800kW _{th}	電気10000kWe
2円/生kg ¹⁾	○	○	○	○
4円 //	○	△	○	○
6円 //	○	×	○	△
8円 //	○	×	○	×
10円 //	○	×	△	×

注1) 燃料チップの含水率はすべて乾量基準100%と仮定した。

注2) 設備補助は50%、熱価格は重油70円/L相当とし、売電価格はすべて20円/kWhとした。

木質バイオマスの供給ポテンシャルが大きい地域はどこか？

林業経営・政策研究領域
東北支所長

久保山裕史、上村佳奈
山本幸一

木質バイオマスをエネルギー利用すると二酸化炭素を排出しますが、再び樹木が二酸化炭素を固定するので、大気中の二酸化炭素は増加しません。そのため、化石燃料の代わりに利用すれば温暖化防止に役立ちます。一方、林地残材や製材工場等の木質バイオマスはどれだけ供給できるかよくわからないため、その利用は拡大していません。そこで、残材の発生場所と道路の分布を地図上で把握し、チップ化や運搬等に関する供給コストを聞き取り調査等から推計して、経済性を考慮した供給ポテンシャルを推定する手法を開発しました。その結果、経済的な木質バイオマスの供給ポテンシャルが大きく、大規模プラントの設置に適した、6つの地域が明らかとなりました。

木質バイオマスのエネルギー利用は、発生させた二酸化炭素を、再び樹木に吸収させることができるので、空気中の二酸化炭素を増やしません。そのため、化石燃料の代わりに木質バイオマスを利用すれば地球温暖化防止に役立ちます。しかし、大量に発生している林地残材はあまり利用されていません。その原因の一つに、そうした木質バイオマスがどこでたくさん集められるのかがよくわかっていないということがあります。そこで、発生場所・量と供給コストから、木質バイオマスの経済的な供給ポテンシャルを推定する手法を開発し、大量に供給できる地域を特定しました。

木質バイオマスの発生量は、伐採地の場所と伐採量、また、製材工場等の場所と製品の生産量から推計できます。それらの分布については、政府の統計を用いて推定しました。また、道路のデータを用いて、図1の4つの集荷範囲（25、50、75、100 km）を設定し、全国の市町村を対象に、距離別の木質バイオマス発生量を推計しました（表1左側）。

供給コスト（収集、チップ化、輸送費の合計）は、日本の機械システム（現状型）と、高効率チップトラック（写真1）等を用いた場合（欧州型）について、聞き取り調査などから推定しました（表1右側）。

大分県日田市の推計結果を表1に示しました。例えば、10000円/乾燥t以下での木質バイオマス供給ポテンシャルは、現状型供給コストの青色の部分に対応する発生量を合計することによって、29971乾燥tと推計できます。さらにコストを4000円/乾燥t上げることにより、緑色、黄色、オレンジ色の部分まで供給可能になります。この

ようにして、供給ポテンシャルが5万乾燥t以上ある市町村についてみると、図2のように10000円/乾燥t以下では13カ所しかありませんでしたが、18000円/乾燥t以下では100カ所以上となりました。

次に、14000円/乾燥t以下での供給ポテンシャルが大きい地域を色分けした結果が図3です。現状型で5万乾燥t以上供給可能と推計されたのは、製材生産の盛んな8つの地域でした。ただし、最大と推計された広島県臨海部では、製材工場における残材の多くは製材乾燥等の熱源として利用されています。そのため、プラントの建設を計画する場合には、地域の状況について詳細に調査を行う必要があります。

欧州型では、林地残材の供給ポテンシャルは大幅に増加し、林業・林産業の盛んな6地域で20万乾燥tを越えました。これらの地域では、大規模プラントの設置可能性がでます。また、大部分の地域で供給ポテンシャルは5万乾燥t以上となり、中小規模の利用であれば全国的に可能であるという結果が示されました。

本手法によって、プラントの設置候補となる市町村を、バイオマスの供給コストを考慮して選定することができました。また、異なる供給コストでシミュレーションすることもできました。ただし、供給ポテンシャルの大きな市町村は、隣り合う形で選ばれるので、大規模プラント設置の際には調整が必要となるでしょう。

上村佳奈・久保山裕史・山本幸一（2009）北東北三県における木質バイオマス供給可能量の空間的推定、日本エネルギー学会誌 Vol.88:877～883

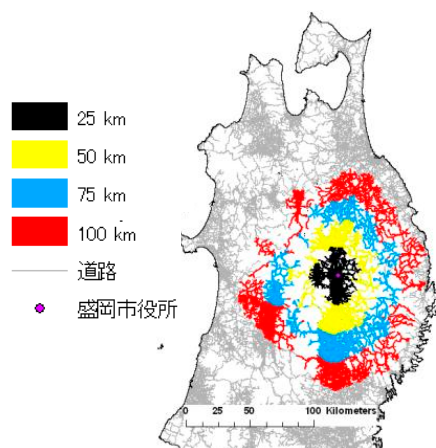


図1. 盛岡市からの木質バイオマス集荷範囲
黒色の部分は 25 km、黄色、青色、赤色はそれぞれ 50 km、75 km、100 km の集荷範囲である。



写真1. チップトラック

10 tトラックの荷台にドラムチップパーとクレーンが架装されているため機動性が非常に高い。360 馬力前後の高出力のためチップ生産能力が 10 乾燥 t / h 前後と高いことも特徴である。

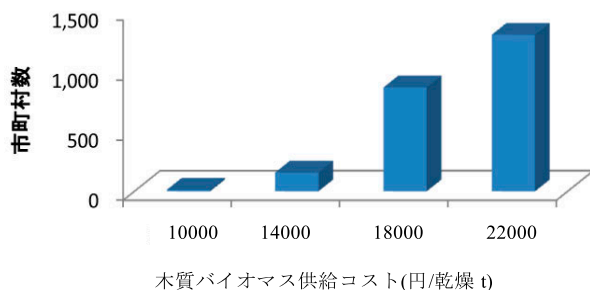


図2. 木質バイオマスの経済的な供給ポテンシャルが 5 万乾燥 t 以上である市町村数

現状においては、燃料チップの価格が 14000 円 / 乾燥 t 以下で木質バイオマスを大量に供給できる場所はわずかであるが、18000 円 / 乾燥 t で買い取ることができれば、大幅に増えることが予想される。

表1. 集荷範囲別木質バイオマスの発生量と供給コストの推計結果(大分県日田市の例)

木質バイオマスの種類	集荷範囲ごとの木質バイオマス発生量(t-dry)				収集・粉砕・輸送コスト(円/t-dry)							
	25km	50km	75km	100km	現状型				欧州型			
林地												
残材												
材												
針葉樹残材	21,650	44,478	41,908	43,923	27,313	30,932	32,198	35,531	20,519	23,074	24,198	26,629
広葉樹残材	28,230	44,074	37,643	36,154	14,349	17,968	19,234	22,568	9,451	12,005	13,129	15,560
針葉樹チップ	920	3,722	4,450	3,225	11,421	15,040	16,306	19,640	7,786	10,340	11,465	13,896
針葉樹チップ	14,192	7,979	7,205	5,033	4,457	8,076	9,342	12,676	3,176	5,730	6,854	9,285
広葉樹チップ	354	239	452	1,015	6,357	9,976	11,242	14,576	5,076	7,630	8,754	11,185
工場												
残材												
材												
針葉樹チップ	20,639	11,237	9,420	6,852	10,357	13,976	15,242	18,576	9,076	11,630	12,754	15,185
広葉樹チップ	61,118	35,608	34,862	25,045	16,357	19,976	21,242	24,576	15,076	17,630	18,754	21,185
合計	1,158	2,361	4,725	11,815	22,357	25,976	27,242	30,576	21,076	23,630	24,754	27,185
合計	148,260	149,698	140,666	133,062								

針葉樹残材の4割はフォワーダ搬送(現状型 1464 円 / t、欧州型 832 円 / t)し、林地残材は道端でチップ化(現状型 3532 円 / t、欧州型 2355 円 / t)するものとした(切り捨て間伐は、集材等に 3 千円 / m³ かかるとした)。トラック輸送は、現状型の 50 km 圏内は 6 t、それ以上は 11 t 積載、それぞれ料金は 5 万円、7 万円 / 日とし、欧州型では、積載量を 8.5 t と 19 t とした。輸送回数 = 7 時間 ÷ (平均輸送距離 ÷ 平均時速 30 km + 荷上げ下ろし 30 分)。輸送コスト = 料金 ÷ (輸送回数 × 積載量)。なお、針葉樹バーク、広葉樹バーク、木屑・鋸屑、針葉樹製紙用チップ、広葉樹製紙用チップの工場発価格は、それぞれ 100 円、2 千円、6 千円、1.2 万円、1.8 万円 / 乾燥 t とした。

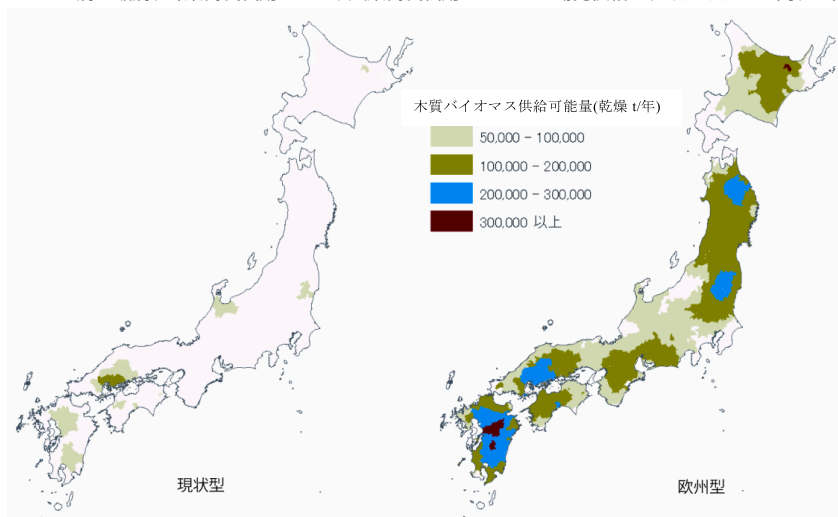


図3. 14,000 円 / 乾燥 t 以下での木質バイオマス供給ポテンシャル(左: 現状型、右: 欧州型)

林業バイオマスを収集・運搬する機械の開発

林業工学研究領域
加工技術研究領域
林業経営・政策研究領域
東京農工大学大学院
岐阜県森林研究所
株式会社南星機械
株式会社諸岡

陣川雅樹、毛綱昌弘、吉田智佳史、中澤昌彦
伊神裕司
久保山裕史
岩岡正博
古川邦明、臼田寿生
草野喜行、田中誠一郎
諸岡正美、諸岡 昇

木材を収穫する際に大量に発生する枝葉や端材などの林業バイオマスは、収集・運搬するためにコストがかかり、なかなか利用できません。そこで、効率的な機械と作業システムを開発して収集・運搬を低コスト化し、林業バイオマスを化石燃料に代わるエネルギー資源として有効利用するために、用材（丸太）生産と同時にバイオマスを小さく破碎する機能を持ったプロセッサと、バイオマスを圧縮する機能を搭載したフォワーダを開発しました。これらの機械を使うことにより、用材はもとより、林業バイオマスも効率的に収集・運搬することが可能となります。

バイオマス収集・運搬システムの開発

森林作業にともなって発生し、森林に広く・薄く存在している林業バイオマスの収集・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かかわらず供給体制の整備が進まない状況にあります。そこで、用材生産の際に発生する林業バイオマスを集材作業と同時に収集・運搬することができる新しい機械を開発し、効率的なバイオマス収集・運搬システムを開発しました。

チップパー機能付きプロセッサ

用材生産の際に発生する末木・枝条、端材などの林業バイオマスを効率的に収集するために、造材作業機械であるプロセッサにチップパー機能を付加することにより、造材作業時にはソーチェーンによる玉切り作業を、破碎作業時にはチップパー機構による粗破碎作業を行い、1台の機械で造材と破碎の2つの工程を処理する作業機械を開発しました（写真1、2）。これにより、通常の造材作業（用材生産）を行いながら、端材はそのままバイオマス資源として、また末木・枝条についてはチップパー機構により粗破碎を行い、これらの端材とチップをフレキシブルコンテナ（フレコン）等に投入し、バイオマス資源として利用することができます。

バイオマス対応型フォワーダ

作業路網の発達にともない、フォワーダによる用材の運搬性能の向上が求められています。同様に、林業バイオマスの運搬においても低コスト化を目指したフォワーダの性能向上が不可欠であり、加えて、端材・枝条・チ

ップなど形状がばらばらであり、かさばる林業バイオマスを可能な限り積載しなければなりません。そこで、用材を積載する機能はそのままに、かさ高い末木や枝条等を出来るだけ多く積載するため、荷台フレームが伸縮し、横方向および上方向から圧縮をすることによって積載量を確保することができる圧縮機能を装備したバイオマス対応型フォワーダを開発しました（写真3）。実作業現場において枝条と端材の混合物を荷台に満載する試験（写真4）を行った結果、2.2～3.3トンの積載が可能であることが確認されました。

なお、本研究は林野庁森林整備効率化支援機械開発事業「木質バイオマス収集・運搬システムの開発」による成果です。現在、機械性能や生産性の向上、製品化に向けた改良のため、実証試験を継続して行っているところです。

成果の利活用

用材とバイオマスという森林資源を統合的に扱うトータル収穫作業システムが確立され、安価な原料供給、供給量の定量化により、森林資源の利用率の増加、林業収益性の改善が期待でき、バイオマスプラントの設置計画を立案する際にも活用できます。

詳しい情報源

平成21年度森林整備効率化支援機械開発事業「木質バイオマス収集・運搬システムの開発」報告書、森林総合研究所、2010年3月。



写真1 チッパー機能付きプロセッサ



写真2 末木・枝条の破碎作業



写真3 バイオマス対応型フォワーダ



写真4 林業バイオマスの圧縮運搬作業

岐阜中山間地域における木質バイオマスの有効利用モデルの開発

林業工学研究領域	陣川雅樹
加工技術研究領域	伊神裕司、藤本清彦、吉田貴紘
企画部研究企画科	高野 勉
林業経営・政策研究領域	久保山裕史
森林管理研究領域	西園朋広
四国支所	今富裕樹
岐阜県森林研究所	古川邦明、臼田寿生
中外炉工業株式会社	笹内謙一、西山明雄、平田大記

バイオマスを持続的に利活用していくためには、その生産・収集・変換・利用等の各段階を有機的につなげ、地域活性化に貢献し、地域全体として経済性のあるシステムを構築する必要があります。そこで、岐阜県中山間地域（高山市）を対象として、木質バイオマスの供給、需要を調査・分析し、バイオマスをエネルギーやマテリアルとして利用する技術を適切に組み合わせた木質バイオマス利用モデルを構築するとともに、ガス化プラントによる熱電併給システムを実証し、モデルの評価を行います。これらの成果は、バイオマスタウン構想の策定に欠かせないデータやシミュレーションに活用することができます。

木質バイオマスの供給

木質バイオマスを収集・運搬・保管する時に問題となるかさ密度と含水率を計測しました。トラックに積載した時の平均かさ密度は、枝条<枝条・端材混合<チップ<端材の順番であり（図1）、枝条は破碎した方が、端材はそのまま積載した方が輸送に関して有利であることが分かりました。また、自然乾燥による含水率の推移をみると、枝葉は100日で20%（dry）まで下がりますが、チップは山積みにより空隙がなくなるため200日以上経過しても30%までにしか乾燥しませんでした。

バイオマス施設導入メリットを判定する評価ツール

事業者で使われている化石燃料をバイオマス燃料に切り替えた時の、バイオマス施設導入のメリットを判定する評価ツールを開発しました。現在使用している施設とそのエネルギーの利用状況、燃料単価、希望する投資回収年数を入力すると、バイオマス施設を導入するメリットがあるか、ないか、を判定することができます（図2）。これを高山市の事業者体に適用したところ、大型工場の蒸気利用1件と滞在型施設の温水利用3件でチップボイラー導入が経済的に可能であることが分かりました。

ガス化プラントの実証試験

製材工場で発生する樹皮や端材を原料として熱と電気を作り、製材工場内のエネルギー源として活用するため、製材工場内にガス化プラントを設置しました（写真1）。現在、さまざまな原料を投入して、その適応性や熱・電気の出力の安定性に関する実証試験を行っています。また、熱の有効利用方法として、丸太の乾燥・凍結防止などを検討しています。

なお、本研究は農林水産省委託プロジェクト研究「地域活性化のためのバイオマス利用技術の開発（バイオマス利用モデルの構築・実証・評価）」による成果です。

成果の利活用

高山市で検討されているバイオマスタウン構想へ、具体的なデータやシミュレーション結果を提供しています。

詳しい情報源

久保山裕史：林地残材チップのエネルギー利用についてコスト面から見た実現可能性を探る，現代林業，No.522，21-27，2009年12月。



図1 バイオマスの種類ごとのかさ密度の違い

事業形態	工場	
熱需要形態	蒸気	
燃料種、量	燃料種 A重油(L/年)	量 4,123,000
ボイラ等稼動状況	機器の年間運転日数 330	機器の1日運転時間 24
化石燃料単価	50 円/L	
バイオマス燃料	生チップ	
バイオマス単価	7 円/kg	
投資回収年数	10 年	
サイロ貯蔵日数	7 日	
灰の処理費用	有(費用入力)	3000 円/t
クリア		
計算開始		

入力:

- ・ 燃料の単価
- ・ 希望する投資回収年数

出力:

- ・ 導入メリットの判定

出力項目	
導入規模	5,365 kW
概算導入費	357,137 千円
化石燃料削減量	3,298,400 L
バイオマス必要量	18,058 t/年
サイロ容量	1,532 m3
バイオマス価格	7 円/kg
化石燃料価格	50 円/L
新規導入後経費(補助50%)	192,772 千円/年
(補助33%)	198,844 千円/年
(補助無)	210,629 千円/年
従来ベース経費	206,150 千円/年
導入メリット(補助50%)	13,378 千円/年
(補助33%)	7,306 千円/年
(補助無)	-4,479 千円/年
CO2削減量	8,939 t-CO2/年

図2 バイオマス施設導入メリットを判定する評価ツール



写真1 小型ガス化熱電併給装置

バイオマス資源作物「ヤナギ」は初期生長が早く生産性が大きい

北海道支所
林野庁

宇都木玄、上村 章、関 剛、相澤州平、阪田匡司
丸山 温

低炭素社会の構築に向けて、バイオマスの利用促進が大きな課題です。バイオマスの中でも「資源作物」は、未利用地や遊休地等、食料生産と競合しない土地を利用して生産されます。ヤナギは温帯の代表的な資源作物であり、造成や収穫が容易で、繰り返し生産・収穫ができるという特徴があります。本研究ではヤナギの中でもエゾノキヌヤナギが最も成長が旺盛で、1ヘクタールあたり、年間8-12ton(乾燥重量)成長することがわかりました。3年毎に収穫をおこない、21年間で7回の収穫作業を想定すると、現状では1ton生産するのに1万円以上かかります。今後は施肥の効率化や収穫機械の改良を図っていく必要があります。

はじめに

地球温暖化防止や循環型社会に向けてバイオマスの利用促進が大きな課題です。バイオマスは廃棄物系バイオマス、未利用系バイオマス、資源作物、新作物の4つに区分されます。廃棄物系バイオマスの8割は既にエネルギーとして利用され、未利用系バイオマスは急峻な日本の地形から、効率よく収集・運搬する技術に大きな課題があります。新作物は遺伝子組み換えが必要となり、今後半世紀に渡る研究が必要になるでしょう。資源作物の利用には、食料生産と競合しない未利用地や遊休地を利用し、造成や収穫の効率が良いこと、繰り返し生産できる持続性を備えていること、周辺環境に影響を及ぼさないことが求められます。コストとしては工場着きで7500円/ton以下が必要です。こうした資源作物として、温帯ではヤナギやポプラが考えられます。

ヤナギ

本研究では北海道で利用できる資源作物としてヤナギに着目しました。ヤナギは河川敷や耕作放棄地に広く生育していますが、これまでは大部分は未利用のまま放置されていました。しかし挿し木が容易で成長が早く、萌芽更新が旺盛と言う特性を備えており、これを利用しない手はありません。これまでの研究からエゾノキヌヤナギとオノエヤナギの成長が良く、本研究では両樹種の合計18クローンについて研究を行いました(写真-1)。

成長と経費

ヤナギの生産では、栽培[1.林地造成 2.挿し穂作成

3.植栽 4.除草 5.施肥]と、伐採搬出[6.収穫 7.運搬]の作業を行います。栽培後1年間の成長を比較すると、1haに4万本植栽した区画で4.1-13.2ton(乾燥重量)の成長、同2万本植栽した区画で2-9.8tonの成長を示しました(図-1)。このことから1haにより高密度で植栽した方が、多くの収穫を見込めます。またクローン間差が大きいため、地域に合ったクローンを選別することが重要です。次に栽培経費を見てみましょう。ここでは3年に一度収穫し、それを7回(21年間)続けた場合を想定しました(図-2)。栽培に必要な経費は全体経費の55%を占め、特に「5.施肥」に関する経費が全体の31%を占めました。最大の経費は「6.収穫」で、全体の33%を占めていました。今後ヤナギの生産を効率よく進めるためには、収穫機械の開発と、機械化に適した植栽方法の確立、そして肥料として堆肥や産業廃棄物等の有効利用を進めていくことが必要です。

成果の利活用

本研究は、(独法人)NEDO技術開発機構及びバイオエタノール革新技術研究組合による「セルロース系エタノール革新的生産システム開発事業」に引き継がれ、草本植物の活用と協調して効率的なバイオマスエネルギー利用開発に活用されます。

注脚：萌芽更新・・・切った樹体から芽が出て再生する更新方法、クローン・・・ある個体をその穂から増殖させた個体群



写真1. エゾノキヌヤナギの1年間の成長。成長期間は5月から10月の6ヶ月間ですが、1年間で人の背を軽く超えるほどの旺盛な成長を示します。

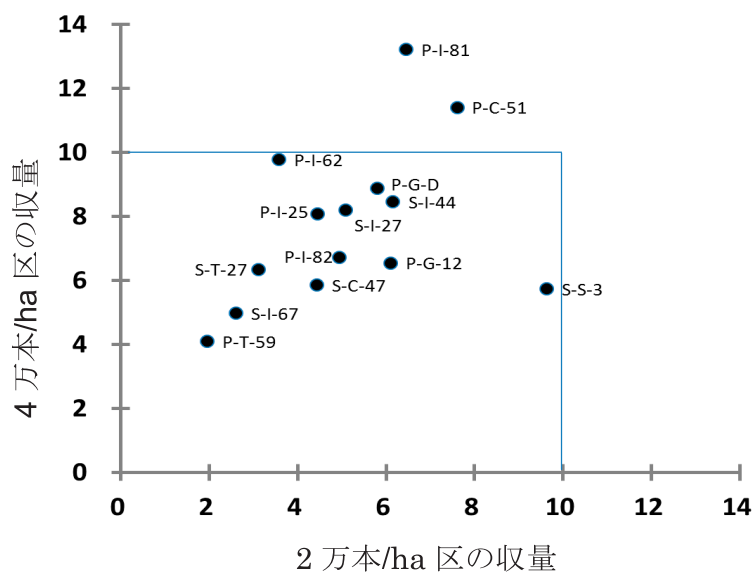


図1. エゾノキヌヤナギ・オノエヤナギの、植栽密度別の収穫量。データラベルの先頭文字は、P（エゾキヌ）、S（オノエヤナギ）を表し、残りの英数字はクローン番号です。4万本植栽区で収量が大きくなります。

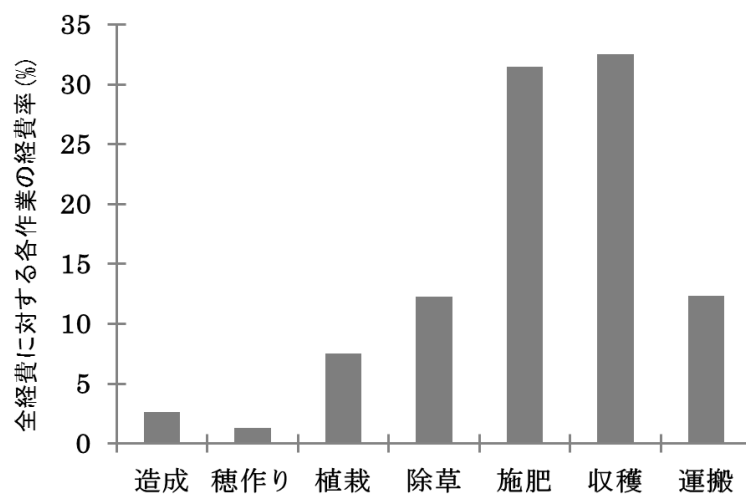


図2. 各作業工程にかかる経費の全体経費に対する割合。施肥と収穫に多くの経費がかかっていることがわかります。

木材利用による二酸化炭素削減効果の定量的評価

構造利用研究領域
木材特性研究領域

恒次祐子
外崎真理雄

木材中には樹木が大気中から吸収した CO_2 が炭素として貯蔵されており、木材を多く使うとその分 CO_2 削減につながります。今後木材利用による削減量を国際的に報告することが求められる可能性があり、その定量的な予測が急務となっています。

本研究では木材利用による CO_2 削減効果を計算しました。その結果、木材利用が現状のまま続くとほとんど吸収効果が得られないのに対し、積極的に木材を使うことにより 2050 年には 1990 年の排出量の 1.5% もの削減効果が得られることが分かりました。持続的な森林経営をしながら木材をなるべく多く使っていくことが温暖化防止に大きく貢献するといえます。

CO_2 を吸収してつかまえておく～炭素貯蔵効果～

木材は自分が樹木であったときに吸収した CO_2 を貯蔵しています。例えば木造の建物が増えると、その分 CO_2 貯蔵量が増加するので大気中から CO_2 を取り除いたことになります。京都議定書第一約束期間中は、このような木材利用の効果はカウントしないルールになっていましたが、今後木材利用による削減量を国際的に報告する可能性が出てきました。日本全体でどのぐらいの炭素が蓄えられているのかを将来にわたって予測することが必要となっています。

本研究では建築物、家具、紙の存在量を毎年の生産量と廃棄量から計算するモデルを組みました。今後の建築物、家具、紙の生産量は 2050 年までの人口や経済の予測に基づき推測しました。

木造建築物の割合が増えると・・・？～省エネ効果～

建築物や家具を木材で作ることにより CO_2 をたくさん貯蔵することができます。また同じ柱でも木材で作れば他材料よりもずっとエネルギーが少なくてすむので、木造建築物を建てる方がエネルギーが少なくてすみます(省エネ効果、図 1)。現在毎年作られる建築物や家具のうち木造・木製は 35% ですが、この傾向が続く現状シナリオと、2050 年までに木造・木製率が 70% になる振興シナリオを比較しました(図 2)。

燃やしても役に立ちます～化石燃料代替効果～

木材を大事に使った後燃料として利用すれば、その分化石燃料を使わなくてすみます。木材の燃焼により排出される CO_2 は次の世代の森林に吸収されると考えられる

ので大気の CO_2 濃度を上昇させません。削減した化石燃料の量はそのまま CO_2 削減量とみなすことができます。ここでは建築物や家具の生産・廃棄過程から得られた廃木材を全て燃料利用した場合の効果を計算しました。

もっと木材を！

2050 年に向けて建築物、家具、紙が全体的に減っていくことから、現状シナリオの場合は炭素貯蔵量が徐々に減少し、2017 年以降は排出になるという結果となりました(図 3 左)。化石燃料代替効果によりトータルとしては吸収になっていますが、それも徐々に減っていきます。一方振興シナリオでは、2050 年には 3 つの効果で合計約 500 万炭素トンの削減が得られることが分かりました。これは削減目標基準年である 1990 年の総排出量の 1.5% 程度にあたります。低炭素社会の実現のために、循環型資源である木材を積極的に活用していくことが重要です。

本研究は環境省地球環境研究総合推進費「S-3 脱温暖化社会に向けた中長期的政策オプションの多面的かつ総合的な評価・予測・立案手法の確立に関する総合研究プロジェクト」による成果です。

詳しい情報源

Tsunetsugu Y and Tonosaki M: Quantitative estimation of carbon removal effects due to wood utilization up to 2050 in Japan: effects from carbon storage and substitution of fossil fuels by harvested wood products, Journal of Wood Science, 56(4): 339-344, 2010

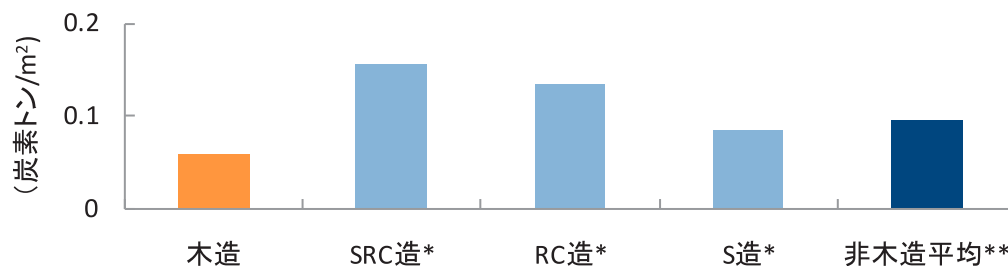


図1 建築物建設のための資材生産エネルギー

出典：酒井寛二他、環境システム研究、25: 525-532、1997
 *SRC：鉄骨鉄筋コンクリート，RC：鉄筋コンクリート，S：鉄骨
 ** 各種非木造建築物の3階建て以下面積比で重み付けした平均値

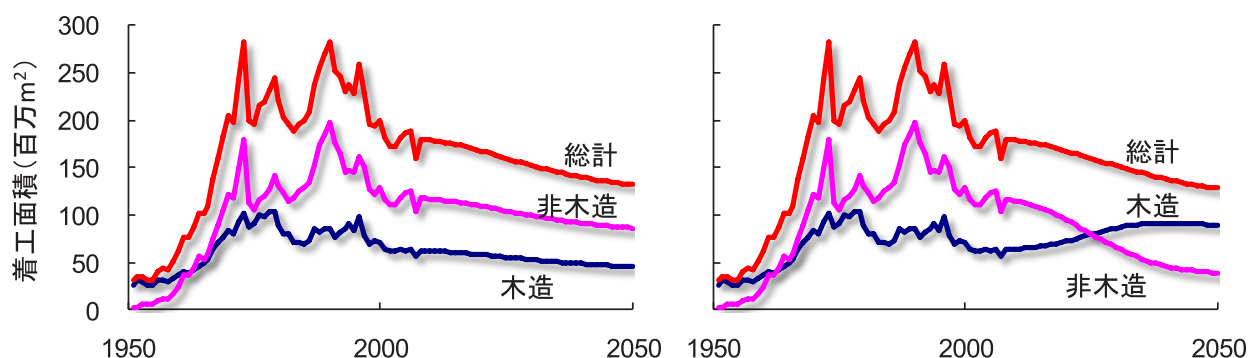


図2 2050年までの建築物着工面積のシナリオ

(左：現状シナリオ：木造建築物の着工量が全着工量の35%のまま推移する場合、
 右：振興シナリオ：木造建築物が2050年までに70%になる場合。
 どちらのシナリオでも総着工面積は人口・世帯数の減少に伴い減少していく)

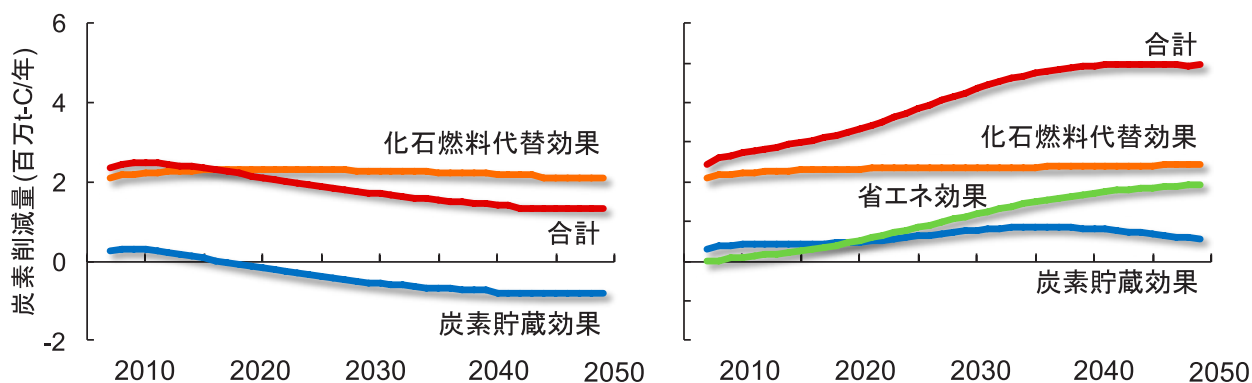


図2 木材利用によるCO₂削減効果（炭素換算）

(左：現状シナリオ：木造建築物、木製家具の生産量が全体生産量の35%のまま推移する場合、
 右：振興シナリオ：木造建築物、木製家具の生産量が2050年までに70%になる場合。
 振興シナリオの「省エネ効果」は現状シナリオを0としたときの値)

中国・アセアン諸国における 未利用バイオマス資源有効利用のための連携

バイオマス化学研究領域	田中良平、戸川英二
林業工学研究領域	陣川雅樹、鈴木秀典
木材改質研究領域	原田寿郎
木材特性研究領域	外崎真理雄
加工技術研究領域	吉田貴紘
林業経営・政策研究領域	宮本基杖、久保山裕史
国際連携推進拠点	藤間 剛
東北支所	山本幸一
国際農林水産業研究センター	杉元倫子

アジアは、農業系及び林産系バイオマスが豊富に存在する地域として重要視されています。アジアにおける持続可能な木質バイオマス利用技術を開発するため、国内及び各国の研究組織と連携してバイオマス利用の現況調査を行いました。木材工業から発生する残廃材資源は、多くの場合既に有効利用されていました。今後の木質系バイオマス資源としては、豊富に存在する人工林と林地残材、オイルパームやジャトロファの幹や枝と搾油後の残渣が重要な資源であることが分かりました。これらの資源を活用するため、アジア各国では様々な木質廃材を収集し、木質ペレット燃料を製造するシステム作り、低質な人工林材や林地残材を用いた地域での小規模バイオマス発電等のエネルギー利用が進められています。持続可能なバイオマスのマテリアル利用やエネルギー利用を進めるため、今後もアジアでの国際連携を進めていきます。

地域ごとのバイオマス利用の特徴

本プロジェクトでは、バイオマスアジアリサーチコンソーシアム日本版（（独）産業技術総合研究所、（独）国際農林水産業研究センター、（独）森林総合研究所、東京大学など）を立ち上げ、アジア地域を①タイ・ベトナムを想定したシュガー・ライスコンプレックスモデル、②マレーシア、インドネシアを想定したパームエネルギーコンプレックスモデル、③中国を想定したハイブリッド農産廃棄物リファイナリーモデル毎にバイオマス利用の最適化を示しました。①では、バイオマス発電の燃料となる籾殻の価格高騰、不足、季節的な偏りを補うために、バイオマス資源として人工林資源を組み込む体制作りが必要です。一方、タイでは人工林の林地残材を利用して、木質バイオマスガス化発電所（1千kW規模）を、地方に分散して建設する計画が進められています（図1）。大量にバイオマス利用を行う際には、大規模産業植林では気象や病虫による災害への対処と土地の持続性を確保すること、地域社会による小規模植林地からの資源供給を行うことが持続性にとって重要となります。②では、膨大に存在する未利用オイルパーム残渣やインドネシアで育成と利用が推進されているジャトロファに大きな期待が寄せられています。ジャトロファやパーム残渣については、高熱量化のためにペレット化の実験を進め、その性能を明らかにしました（表1）。③では、木質廃材はほぼ完全に木質ボードなどの原料として利用され、未利用な廃材は見られません。しかし近年は木質バイオマスのカーボンニュートラル性に注目が集まり、各種廃材や従来の木質ボード原料が木質ペレット原料に振り向けられる状況も生まれ（写真1）、中国では輸出を目的とした燃料用の木質ペ

レット生産量が2008年には50万トンに達したとも言われています。

バイオマスアジアワークショップの開催

プロジェクトでは2004年以降、東京、タイ、つくば、マレーシア、中国、広島、インドネシアと7回に渡って、上記のバイオマスアジアリサーチコンソーシアム日本版と海外版（各国の研究機関から構成）が共同してバイオマスアジアワークショップを開催し（写真2）、国際連携と共同研究の成果の各国への受け渡しを行ってきました。木質系バイオマスに関しては、ポゴール農科大、ガジャマダ大、マレーシア理科大、マレーシア森林研、カセサート大、タイ森林工業協会、ベトナム林業大、中国木材工業研究所、北京リバーランド社などとの連携体制をプロジェクト期間中に築き、今後のアジアでのバイオマス研究の基盤を構築することが出来ました。

本研究は、文部科学省科学技術振興調整費「ASEANバイオマス研究開発総合戦略（平成16-18年度）」及び同「アジアの持続可能バイオマス利用技術開発（平成19-21年度）」による成果です。

詳しい情報源

Takahiro Yoshida, Tetsuya Sano,
Koichi Yamamoto, Erliza Hamnali: Characteristics of pellet from oil palm and *Jatropha* residues, Abstracts of Sixth Biomass-Asia Workshop, Hiroshima, Japan, p82, 2009.12

表1 各種原料から製造した木質ペレットの性能

	窒素量 (%)	灰分量 (%)	密度 (g/cm ³)	カロリー (MJ/kg)	製造時のエネルギー消費量 (Wh/kg) (%)*	
オイルパームの幹	0.2	3.1	0.75	17.0	121	2.6
オイルパームの中果皮の繊維	2.2	12.2	0.53	17.1	65	1.4
ジャトロファの果実の絞りカス	6.8	8.6	0.63	16.3	25	0.6
もみ殻	0.4	16.9	0.68	15.1	87	1.4

*ペレット自体のエネルギー量に対する製造時のエネルギー消費量の割合



図1 タイにおける未利用人工林資源を用いたバイオマス発電計画



写真1 中国河北省の木質ペレット製造のための各種原料



写真2 第6回バイオマスアジアワークショップ

木質ペレットのLCA（ライフサイクルアセスメント）と高性能化

加工技術研究領域
木材特性研究領域
木材改質研究領域
バイオマス化学研究領域
立地環境研究領域
多摩森林科学園
研究コーディネータ

吉田貴紘
黒田克史、久保島吉貴
上川大輔
久保智史
金子真司、三浦 寛、古澤仁美
井上真理子
大原誠資

木質ペレットを高効率に活用すべく、製造におけるLCA分析と改質を行いました。まず簡単なLCA分析として、実験林内のスギ間伐材を原料に、伐倒からペレット化に至るまでのエネルギー（製造エネルギー）試算を行いました。その結果、製造エネルギーはペレットの持つエネルギー（発熱量）の約9%に相当し、少ないエネルギーで製造出来ることがわかりました。

木質ペレットには幾つかの弱点があり（発熱量が低い、水に弱い等）、これを改良すべく、熱処理による改質ペレットの作成を行いました。その結果、熱処理で外へ逃げる分をできるだけ少なくしながら、木材のエネルギーを約20%向上させつつ、さらに水に強いペレット（ハイパー木質ペレット）を作成できました。

木質ペレット（図1）は木屑を円柱状に固めたもので、燃料としてストーブやボイラー用として需要が伸びています。特徴として取り扱いやすく輸送に便利、火力が一定（水分が一定）などがあります。当所では4年前にペレット製造機（ペレタイザー）を導入し、実験林からの間伐材などを原料にしてペレット製造研究を行っています。その中で、木質ペレット製造における簡単なLCA分析（製造に必要なエネルギー試算）を行いました。

実験林内のスギ間伐材を原料にし、伐倒、薪割り、破碎（チップ状にする）し、ペレット化するまでのガソリン、電気などの使用量を記録し、その合計を製造エネルギーとしました。図2に結果を示します。ペレット製造に必要なエネルギーはペレットの持つエネルギーの約9%に相当し、少ないエネルギーで加工できることがわかりました。

しかし木質ペレットにも弱点があります。例えば、エネルギー（発熱量）が灯油の半分程度と低いこと、水に弱いこと（水や湿気で簡単に崩れる）が挙げられます。この弱点を改良すべく、当所では熱をかけること（熱処理）に着目しました。古くから木材に800～1000℃の熱をかけて木炭（炭化）にすることで、エネルギーを高められることが知られていますが、実は完全な炭にしてしまうと木材の持つエネルギーの2/3は外に逃げています。

そこで、お茶やコーヒー豆を「ほうじる」イメージで「ほどほどに熱をかける」ことにしました。これにより、外へ逃げる分をできるだけ少なくしながら、木材のエネルギーを約20%向上させつつ、さらに水に強い性質を付与できることがわかりました。ここで得られる高性能なペレットを「ハイパー木質ペレット」（図3）と名付け、燃え方などの性能や燃えた後の灰の肥料成分の評価を行っています。

最近、木質ペレットを発電用燃料（石炭火力発電所での混焼）として大規模に使う動きがあります。我が国で石炭は電力の1/4を担うほど大量に使われていて、仮に全ての石炭火力発電所でペレットが使われるとなると、600万トン程度の需要があると考えられています。ハイパー木質ペレットはエネルギーに優れるだけでなく、保管性も良いことから、今後の利用が期待されています。

なお、ペレット高性能化の研究は、農林水産省の実用技術開発事業にて福井県総合グリーンセンターと共同で行いました。

詳しい情報源

吉田貴紘、高性能木質ペレットの製造と利用、平成22年度 独立行政法人 森林総合研究所 公開講演会+オープンラボ要旨集、p81-84、2010。



図1 木質ペレット
(スギ木部ペレット)



燃料、電力消費から製造エネルギーを計算

各エネルギー消費量	伐倒～薪割り	一次破碎	二次破碎	ペレット化
燃料消費量 ($\times 10^3 \text{ L/kg}$)	4.4	0.85	-	-
電力消費量 (Wh/kg)	-	-	51.5	110.0
エネルギー換算量 (kJ/kg)	160.2	30.9	475.0	1015.4

合計: 1681 kJ/kg-pellet (ペレットの有するエネルギーの9.2%)

図2 ペレット製造に LCA 評価
(製造に要するエネルギー)



図3 ハイパー木質ペレット
(スギチップを 300℃近くに熱処理したのち、ペレットにしたもの)

Memo.

森林総合研究所

第2期中期計画成果集

発行日	平成23年3月
編集・発行	独立行政法人 森林総合研究所 茨城県つくば市松の里1 電話 029(873)3211 (代表)
お問い合わせ	企画部研究情報科
メールアドレス	kanko@ffpri.affrc.go.jp
ホームページ	http://www.ffpri.affrc.go.jp
印刷所	筑波印刷情報サービスセンター協同組合

森林総合研究所

第2期中期計画成果集

独立行政法人 森林総合研究所

茨城県つくば市松の里1 URL <http://www.ffpri.affrc.go.jp/>

リサイクル適性の表示:紙へリサイクル可