

## 未利用バイオマス資源の有効活用による森林の整備と資源循環型社会の構築

愛媛大学農学部 枝重有祐

現代社会はその活動源を主に化石燃料の多量消費することで得ており、特に石油なしでは日々の生活も成り立たない。石油は偏在する資源であるため、その安定確保を狙った思惑がしばしば地域紛争を引き起こす。さらに、化石燃料は枯渇する資源であり、過度に依存することはエネルギーの安全保障上の問題も大きい。また、化石燃料の消費で大量に発生する廃棄物は様々な環境問題を惹起し、農業分野では石油を使って作られる肥料の過剰投与や大型動力を使った過剰灌漑で農地は過度に収奪され疲弊し始めている。石油から作られる合成樹脂等の代替素材が台頭することで木材の価値の価値が下落、人工林や竹林は管理不足となって荒廃し、そのことから林地の保水力が低下して土砂災害が発生する危険性も増大している。化石資源の大量消費から来る様々な危機を乗り切るには、化石資源の利用が原因で荒廃した環境を修復し、石油に過度に依存することなく、環境には負荷の少なく枯渇もしないエネルギー資源の開発とその積極的な利用が必要となる。バイオマス(未利用の動植物資源)は化石資源に代替し得る唯一の資源ある。なぜなら、バイオマスは自然の力で再生産されるため、需給のバランスを維持すれば無限量の資源となるからである。また、燃料としての利用できるばかりでなく、熱分解等の手段で処理することで石油化学製品と同等品を製造するための原料に変換することもできる。日本でもバイオマスの重要性が認識され、国家プロジェクト「バイオマスニッポン総合戦略」が推進されている。このプロジェクトではバイオマスのガス化、バイオマス発電、液体燃料化、水熱反応を利用したガス化などが研究されている。しかし、これらの技術の多くは大規模な施設と多量のバイオマスの安定供給を必要とするが、バイオマスの多くは得られる季節が限られ、分散して存在するため、そのような手法では限られた種類のバイオマスにしか利用できない。分散して存在すし利用するに不利な条件の多いバイオマス資源を有効活用するには、特に収集と運搬コストを削減するため、里山のようなバイオマスの発生地域に移動可能で小型のプラントを設置でき、資源の状況に応じて変換処理を実施することもでき、さらにその製品は周辺地域で消費できなくてはならない。また、環境への負荷が大きい手法はバイオマス利用技術としてふさわしくなく、森林等の整備や環境改善に貢献する技術であることも求められる。最近、北欧やカナダ、日本では北海道や東北地方で暖房用燃料として木質ペレットの利用が推奨され

ている。木質ペレットは間伐材や樹皮等の未利用材を粉碎後、熱圧成形してペレット（直径 5 mm x 1cm）にしたもので、薪や木材チップよりもコンパクトで、発熱量が大きい。この技術は小型で可搬性のあるプラントで実施でき、製造コストも安価なため、木質バイオマスの有効利用法として可能性の高いものの一つである。また、木質以外のバイオマスも 10 数%程度の含水率まで乾燥すれば、同様の手法で燃料用ペレットに加工できる。現在のところ、木質ペレットは暖房用としてのみ使用されているが、暖房需要の少ない温暖な地域では、それでは大きな需要は望めない。そのため、木質ばかりでなく様々なバイオマスからペレットを作成し、暖房以外での新たな利用法を開発して需要を掘り起こし、ペレットをバイオマスの利用法として普及させる必要がある。そのためには高い品質のバイオマスペレットを安定して製造する方法を確立し、燃料以外の利用法について検討しなければならない。しかし、これまでの木質ペレットの製造は経験を基に実施されており、より高品質のペレットの製造を安定して行うことや木質以外のバイオマスを使ってペレットを製造するには技術的蓄積が不足している。高品質のペレットの製造や木質以外のバイオマスをペレット化するには材料に応じた最適のプレス圧、温度の設定が必要で、様々な条件で製造したペレットの性質を比較・検討しなければならない。本研究では、様々な条件でのペレット製造を少ないサンプルで実施できる小型の治具を用いてペレット製造を行い、製品の性能比較を行って、高品質のペレットを製造するための製造条件、特に熱圧条件を決定することを目指す。さらに暖房以外の用途開発のため、ペレット化したバイオマスのもつ土地改良材としての効果も検討する。

### バイオマスペレットの高機能化

現在、粉碎処理した木質ならびにバイオマスを連続的にペレット化するペレタイザーが開発され、ペレットストーブやボイラー用の燃料が生産量は少ないものの、生産・出荷されている。ペレタイザーはダイスの孔に多量のバイオマスの粉体を通過させることで圧縮・成形してペレットに加工するが、その運転は経験的に行われ、圧縮・成形時の圧力、温度等の適性値はわかっていない。そのため、ペレットの品質（発熱量、密度等）のバラツキが大きく、使用する際の問題となっている。また、バイオマスには親水性のものが多いため吸湿し易く、湿度が 100%に近い状態では吸湿して膨張し形状が崩れることもある。ペレット化したバイオマスの用途が拡大するには、様々な製造条件を検討して高密度、高発熱量で耐久性の高い製品の製造を目指す必要がある。

る。ペレタイザーはペレットを連続的に大量に生産するには好適だが、温度や圧力を制御しながら様々な製造条件を検討するには不適である。様々な条件で分析に必要な量のペレットを調製できる小型プレス機に設置可能な小型のダイス(図1)を(株)新興工機(愛媛県松山市)の協力を得て製作した。

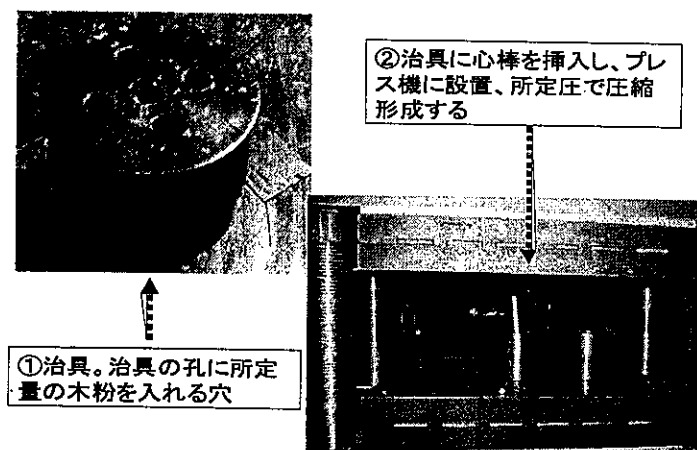


図1. 治具とプレス機を用いたペレットの製作工程

この装置では、所定量の乾燥したバイオマスの粉末をダイスの孔に挿入後、心棒を挿入し、所定圧と温度で熱圧成形してペレットを製造できるため、熱圧と得られるペレットの密度、発熱量と吸湿性の関係を検討することが可能になる。この装置を使って密度と発熱量が高く、吸湿性が低く崩れにくいペレットの製造条件を検討した。ペレタイザーでは加温せずペレットを製造するが、これはダイスの孔を多量の試料が通過するために圧縮と摩擦が起こり発熱することが原因で、今回提案する装置では加熱する必要がある。しかし、加熱温度をペレタイザーの原料供給量と関連づけて考察することは可能である。様々な粒度のスギ木粉でペレットを作成し(加熱: 100 °C、圧力: 1.5 MPa/cm<sup>2</sup>)、走査電子顕微鏡でペレットの断面を観察したところ、木粉の粒度が大きい程空隙ができやすく、密度が低下することがわかった。100 mesh 通過の細かい木粉では空隙は大幅に減少した(図2)。

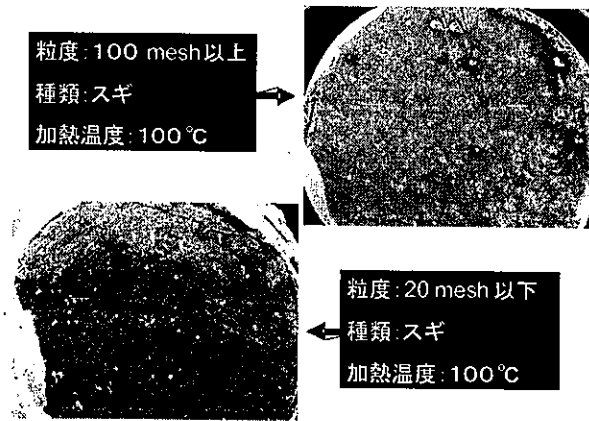


図2. 木質ペレット断面の走査電子顕微鏡写真

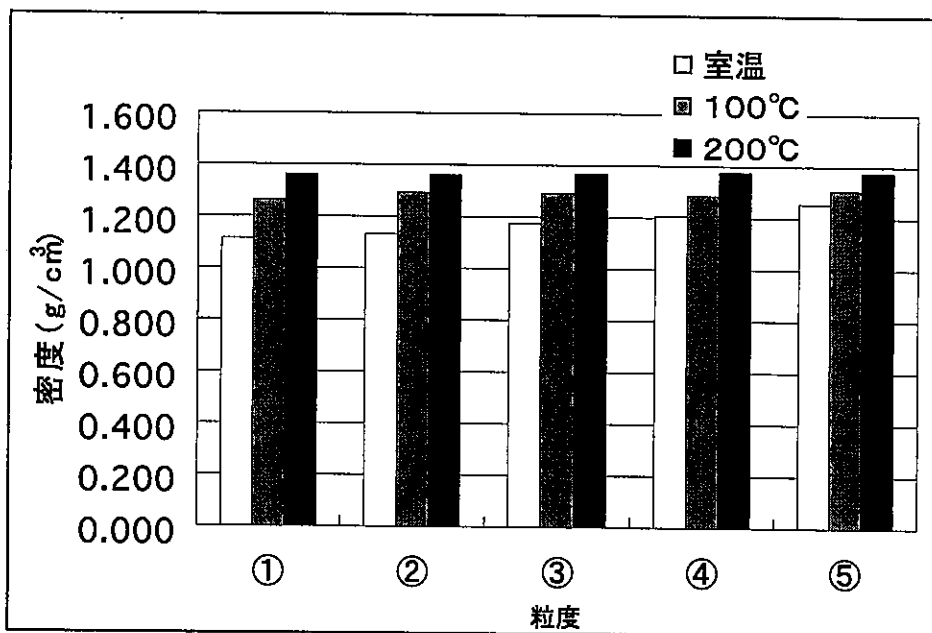


図3. 木紛の粒度とダイスの加熱温度がペレットの密度に与える影響

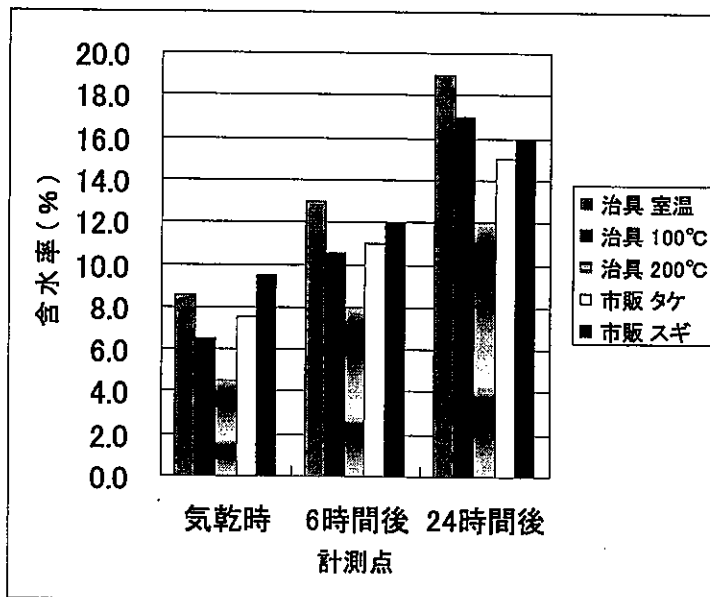
注 1) 右上の温度表記は圧縮時に治具を加熱した温度を示す。

注 2) 横軸の数字①~⑤については粒度差を表す。

- ① 100 mesh 以上   ② 100~60 mesh   ③ 60~40 mesh   ④ 40~20 mesh  
 ⑤ 20 mesh 以下

木紛の粒度ならびにダイスの加熱温度とペレットの密度の関係を図3に示す。粒が細かく、加熱温度が高くなるとペレットの密度が高くなった。さらに、200℃に加熱して圧

縮成形すると木紛の粒度の差による密度差が小さくなった。このことは加熱により木材成分、とくにリグニンが熱により軟化し、ペレット中の空隙を埋めたことが原因と考えられる。バイオマスをペレットとして使う場合、輸送や野外の放置に耐える堅牢なものでなくてはならない。また、そのペレットを土壌改良材として使う場合でも、長期にわたり効果の持続することが求められるため、土壌中で放置しても当分の間形状を維持できなくてはならない。しかし、バイオマスの多くは親水性であるため、吸湿によりペレットが膨張し、崩れる可能性が高い。そのため、湿度に対する耐久性を向上させるため、様々な条件で調製したバイオマスのペレットを湿度 100% 雰囲気下に置き、含水率の変化を調べた(図4)。室温そして 100°C に加熱して圧縮成形して得たペレットを湿度 100% 雰囲気下に 24 時間置くと含水率が上昇、膨張した形状となり、強度が著しく低下した。しかし、200°C に加熱して調製したペレットは含水率の上昇や膨張が少なく、形状を維持できた。このペレットは市販ペレット(スギ、モウソウチク)と比較しても含水率の上昇が少なく、耐久性の高いペレットと言える。従って、圧縮成形時の条件の工夫で現在の市販品よりも優れた品質のペレットが製造可能と推察される。



注1) 6時間後:湿度 100%雰囲気下に6時間放置

注2) 24時間後:湿度 100%雰囲気下に24時間放置

注3) 右枠内は木質ペレットの製造条件を示す

図4. 高湿度雰囲気下での木質ペレットの含水率の変化

ペレットの発熱量は、試料中の炭素含量が大きく、また密度が高い程、大きくなる。針葉樹(スギ)と広葉樹(ブナ)のペレットの発熱量を比較すると、針葉樹ペレットの方の

発熱量が高くなった(図5)。

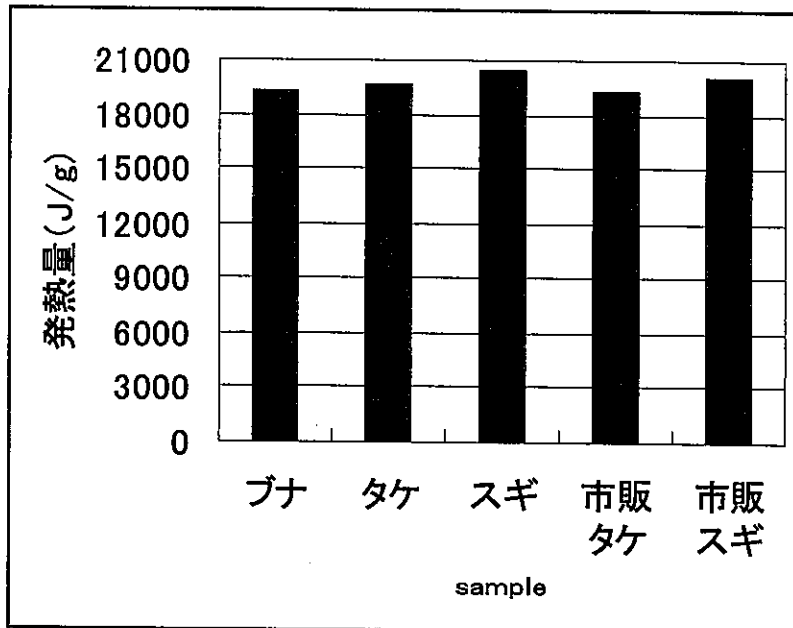


図5. 市販品と治具で調製した木質ペレットの発熱量の比較

注)ブナ(治具で製造した全サンプルの平均値)発熱量 19,259.80 J/g

タケ(治具で製造した全サンプルの平均値)発熱量 19,675.03 J/g

スギ(治具で製造した全サンプルの平均値)発熱量 20,418.68 J/g

市販タケペレット、発熱量 19,300.99 J/g

市販スギペレット、発熱量 20,079.83 J/g

これは発熱量の高いリグニンの含量が針葉樹の方が高いことが原因を思われる。粉碎したブナ、タケ、スギを室温、100℃、200℃の熱圧で成形して得たペレットの発熱量を図6に示す。加熱温度が高くなる程、発熱量が高くなった。とくに 200℃まで加熱し熱圧すると試料の脱水が起こり、体積あたりの発熱量が向上したことが原因かもしれない。これらのことから、ペレタイザーを用いたペレット燃料製造でも、製造条件の精査を行うことで、高密度、高発熱量で耐久性の高いペレットが製造可能と考えられる。熱圧条件と得られたペレットの品質を考慮するとペレタイザーで製造したペレットは100～200℃で製造したペレットに相当し、200℃で製造したものよりも品質が劣っていた。従って、ペレタイザーのダイスに加温するか供給するサンプル量を制御することでより品質の高いバイオマスペレットを製造できるものと推察される。

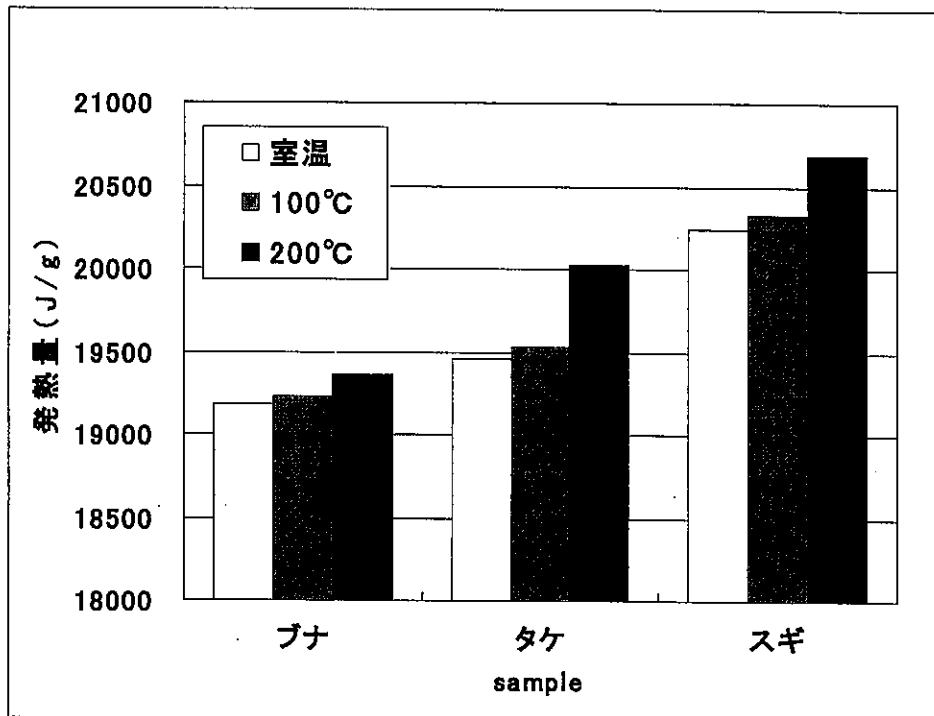


図6. 治具の加熱温度が木質ペレットの発熱量に与える影響

注: 枠内の温度は圧縮成形時の加熱温度を示す。

### バイオマスペレットの土地改良材としての利用

樹皮堆肥は、主に土壌の柔軟性を維持するほか植物の成長に欠かせないミネラル分を保持させるための土壌改良資材として広く使用されている。近年、バイオマスをペレットする技術が進み、樹皮やタケも容易にペレット化できるようになり、取り扱いの容易なペレット状の土壌改良材として製品化することが検討されている。破碎しただけの樹皮やタケは運搬性が悪く、施用時の作業も複雑になる。ペレット化すれば破碎物と比較すると多量に運搬できるとともに、かき起こしなどの作業が軽減され省力化が可能になる。本研究では、キャベツ栽培土壌にペレット化した樹皮および竹粉を施用し、キャベツの生育収量および雑草抑制に与える効果を検討した。

ペレット状バーク堆肥施用実験 愛媛大学農学部附属農場の畑土壌試験圃場(褐色台地土)においてキャベツ(*Brassica oleracea* var. *capitata* Brassica)を栽培した。処理

区は、無処理、牛糞堆肥(牛糞)、針葉樹樹皮堆肥、ペレット状針葉樹樹皮堆肥、ペレット状針葉樹樹皮堆肥+リグニン、広葉樹樹皮堆肥(広バーク)、ペレット状広葉樹樹皮堆肥、ペレット状広葉樹樹皮堆肥+リグニンの8処理区とした。各堆肥とも、 $20\text{Mg ha}^{-1}$ を鋤込み、施肥は全処理区に化学肥料をナトリウム、リン酸、カリウムで各 $200\text{kg ha}^{-1}$ 施用した。反復数は、各処理区とも5反復とした。栽培は2005年10月19日に、各種バーク堆肥および化学肥料を施用し、24日に定植、2006年2月17日に収穫を行った。ペレット状竹粉碎物施用実験 上記実験と同様の条件において、ペレット状竹粉およびペレット状牛糞堆肥を $20\text{Mg ha}^{-1}$ 表面施用した。

ペレット状針葉樹樹皮堆肥施用は、全生育期間にわたり、無施用に比べてN index(球径×葉色値)を増加させる傾向を示した。ペレット化することにより、窒素吸収が若干高くなる傾向が見られた。ペレット状広葉樹樹皮堆肥においてもほぼ、同様な傾向が見られた。しかしリグニンの添加効果は判然としなかった。

収穫時の新鮮重量について見ると、無処理区に比べて樹皮堆肥および牛糞を施用した処理区で地上部および地下部新鮮重が高くなった。地上部では、スギ樹皮ペレット+リグニン区が最も高くなり、地下部は牛糞区が最も高くなった。針葉樹および広葉樹バークともペレット化して施用することにより、より高い効果が得られた。ペレット状堆肥は約2倍に圧縮されているために、同重量を施用しても、施用後に水分を含むことにより膨潤し、2倍量施用したことと同等の効果を持つものと考えられた。樹皮のみではペレット化し難く、製造効率を高めるためにリグニンを添加したが、キャベツ新鮮重に与える影響は、針葉樹樹皮と広葉樹樹皮で異なり、一定の傾向は得られなかった。

ペレット状竹粉を表面施用した場合、収穫時の球径は、無処理区とほぼ同等であった。しかし、雑草抑制効果は高く、無処理区の6%となった。ペレット状牛糞堆肥も明らかな抑草効果を示した。

これらもことから、樹皮等をペレット化した土壤改良材には一定の効果があるものと推察される。運搬と省力化効果を考慮すると、バイオマスペレットの土壤改良材としての利用は、有用な手段のひとつになるものと考えられる。

#### まとめ

森林や里山地域に分散して存在するバイオマスの収集と運搬を容易にし、地産地消型の活用に適したバイオマスのペレット化とその土地改良材としての利用について検



討した。本研究では、とくに用途拡大のためのバイオマスペレットの品質向上を目指し、小型治具を用いて様々な条件でペレットを調製、その密度、発熱量と吸湿性を調べた。その結果、治具を200°Cに加熱することで、市販品よりも高密度で発熱量が高く、耐久性の高いペレットが調製できることがわかった。高密度で発熱量が高くなることはボイラー燃料としての適性が高いことを示し、耐久性の向上は土地改良材等のエネルギー以外の用途に利用する場合の利点となる。従って、現在のペレタイザーでの熱圧成形時の温度を高めることでより品質が高く、用途の広いバイオマスのペレットが製造できると推察される。

バイオマスペレットの用途の開発を行うために、利用価値の低い針葉樹や広葉樹の樹皮やタケをペレット化し、その土壌改良効果を検討した。バイオマスをペレット化することで作業を省力化でき、植栽植物の成長を促進することがわかった。バイオマスには木材のほか、農産廃棄物、水産廃棄物や食品加工残さがある。これらの多くは腐敗し易いため、現在のところ、産業廃棄物として処理するしかない。しかし、ペレット化することで腐敗を抑制でき、輸送も容易になるため、エネルギー以外の様々な用途に利用可能となる。例えば、木質バイオマスと食品加工残さを混合してペレットとすることで保存性が高く取り扱いの容易な固形試料に加工できるほか、ペレット製造時に高温・高圧になることを利用し、腐敗しやすい食品加工残さを殺菌することができるかもしれない。バイオマスのペレット化は地産地消型の利用には欠かせない処理法といえる。

#### 謝辞

ペレット製造用治具の製作と市販の木質ペレットをご提供いただきました(株)新興工機の田所研氏ならびにペレットの土地改良効果の検定について多大なご助力を頂きました愛媛大学農学部附属助教授上野秀人氏に感謝いたします。