

森林総合研究所
交付金プロジェクト研究 成果集 28

木質ペレット成型機構の解明

独立行政法人 森林総合研究所
2010. 3

序 文

バイオマスは再生可能エネルギーの中で唯一の有機資源で、中でも木質バイオマスは非食料競合で安定生産が可能な資源である。地球温暖化軽減、持続可能な社会への実現にむけて、木質バイオマスを如何に有効活用するかが、技術的、社会的にも強く求められている。

木質ペレットは、木屑を円筒状に圧縮成型した燃料で減容化、熱量安定性に優れる特徴を有している。木質ペレットは1970年代に開発され一時活況を浴びたが、原油価格の下落で一時は3工場（生産量3トン程度）までに衰退した。しかし、バイオマス・ニッポン総合戦略の政策や環境意識の高まりにより、2003年頃から工場数が急速に増加し、2008年には63工場、37,670トン（森林・林業白書平成21年版より）に達した。これまではストーブ、ボイラーといった比較的小規模の熱利用が多かったが、最近では石炭火力発電所における混焼燃料としての大規模な電力利用も始まっており、今後、木質ペレット生産量は確実な増加が見込まれている。木質ペレット品質の観点からは、(財)日本住宅・木材技術センターで木質ペレット品質規格原案が作成され、ペレット業界の自主的規格として運用されることが期待されている。現在、品質の管理が求められる中で、現場の製造技術は経験則に頼っている状況である。こうした不明瞭な技術体系を改善するには、木質科学の理論に基づいた基礎的な解析を積み上げる必要があり、特にペレットの成型（固化）機構の解明が鍵であると考えられる。製造された木質ペレットが効率的に燃焼されることは重要であるが、現状の試験方法では十分に捉えきれておらず、より詳細に評価する方法が求められている。

本研究「木質ペレット成型機構の解明」は、表記の問題の解決を目的として、森林総合研究所の運営費交付金プロジェクトとして平成19年度から20年度にかけて実施した。その成果は、木質ペレット燃料の高品質化、高効率利用に向けて、技術的な知見を与えるものである。研究の遂行に当たって、木質ペレット製造に精通した民間企業との連携の下に実施した。

ここに、本書を刊行して、広く関係者の参考に供する次第である。最後に、本研究の推進において、岩手大学名誉教授沢辺攻氏には丁寧なご指導を賜った。ここに深甚な感謝の意を表する。

平成22年 3 月

独立行政法人 森林総合研究所
理事長 鈴木 和夫

研究課題：木質ペレット成型機構の解明

目 次

研究の要約	1
Ⅰ 研究年次及び予算区分	1
Ⅱ 主任研究者	1
Ⅲ 研究場所	1
Ⅳ 研究目的	1
Ⅴ 研究方法	1
Ⅵ 研究成果	2
Ⅶ 今後の問題点	3
Ⅷ 研究発表（論文等）	3
第1章 木質ペレットの成型特性	5
第2章 加熱による木材成分間結合の変化	10
第3章 ペレット燃焼挙動の評価方法の開発	15
第4章 木質ペレットの製造・利用におけるエネルギー消費量	19

研究の要約

I 研究年次及び予算区分

平成19～20年度（2カ年）

運営費交付金（交付金プロジェクトⅠ）

II 主任研究者

主査：研究コーディネーター 山本幸一（平成19年度）

加工技術研究領域 木材乾燥研究室 主任研究員 吉田貴紘（平成20年度）

III 研究場所

森林総合研究所 本所、多摩森林科学園

委託：株式会社菊川鉄工所

IV 研究目的

木質ペレットはおが屑等を小さな円柱状に圧縮成型した固形燃料で、その取り扱いの容易さから灯油等代替の燃料として期待されている。しかし製造コストが高いうえに、その製造工程の科学的解明が遅れており、製造現場においては製造条件の設定は経験則に頼っている状況である。適切な技術体系を構築するためには、木質科学の理論に基づいた基礎的な解析を積み上げる必要があり、特にペレットの成型（固化）機構の解明が鍵であると考えられる。また木質ペレットの燃焼性は通常JIS発熱量測定により完全燃焼条件下で評価されるが、実際には固くて燃えにくいペレットも存在し、簡易かつ詳細に評価可能な方法が求められている。

本研究では、まず、木質ペレットの成型過程のうち最も重要な固化の仕方を、原料の含水率、成分の違いと成型過程の温度条件の違いと対応させながら形態学的に解析し、成型機構を解明することを目的とする。続いて、木質ペレットの燃焼特性を直接評価する手法として、材料の耐火性評価に採用されているコーンカロリメーターを用いて、ペレット燃料特性と成型特性との関連を明らかにする。さらに、試作したペレットを所内で利用し、生産から利用までのエネルギー消費量等の環境負荷を評価する。

V 研究方法

第1章 木質ペレットの成型特性

本課題では樹種、部位、製造方式が異なるいくつかの種類の木質ペレット6種類について、木質ペレットの成型特性の解析を行った。解析方法は容積密度、水膨潤性、顕微鏡観察、X線回折から行い、解析結果から成型性に及ぼす製造条件の影響を検討した。

第2章 加熱による木材成分間結合の変化

本課題ではペレットの固化に影響する水素結合の寄与を明らかにすべく、スギ試料を対象に加熱下のフーリエ変換赤外吸収スペクトル（FTIR）、および示差走査熱量分析（DSC）により行った。

第3章 ペレット燃焼挙動の評価方法の開発

本課題ではより合理的に木質ペレットの燃焼挙動特性を評価するため、コーンカロリメーターを用いる方法に注目し、試験方法の考案とその妥当性の検証を行った。原料、容積密度の異なる木質ペレットに対して一定強度で加熱下の着火・消炎時間、発熱速度、発熱量、重量等の情報から、燃焼挙動を示す指標の抽出、支配パラメータとの関係を検討した。

第4章 木質ペレットの製造・利用におけるエネルギー消費量

本課題では当研究所内で発生する間伐材等からペレットを製造した際の消費エネルギー、ペレット利用時の省エネルギー効果を評価した。消費エネルギー評価は6種類の樹種に対して電力測定や燃料消費量から行った。また、事務室の暖房をエアコンからペレットストーブに切り替えた際の省エネ効果を試算した。

VI 研究成果

第1章 木質ペレットの成型特性

まず、木質ペレットの容積密度と水膨潤特性を調べた結果、容積密度の違いが木質ペレットのほぐれやすさに影響することを明らかにした。続いて、成型された木質ペレットの内部の形態解析の結果、フラットダイとリングダイでは木粉の配向性が異なることを明らかにした。さらに、フラットダイで成型された木質ペレットでは外側と内側で成型性が異なっていた。以上の結果は木質ペレットの成型特性が燃焼性や保存性に与える影響を考慮する上で重要な知見である。

第2章 加熱による木材成分間結合の変化

木材の成分間水素結合がペレット製造温度下（フラットダイで約70～90℃）の加熱でも変化することが明らかになった。また水素結合の変化は、重水素置換を受けやすい領域でより顕著であった。ペレット製造時には温度と共に試料に大きな圧力がかかるが、加熱により成分間の水素結合力が弱まった状態に外圧が掛かることで新たな水素結合が形成され、このことがペレットの成型性が進行すると考えられる。また加熱による成分のガラス転移は観察されなかった。

第3章 ペレット燃焼挙動の評価方法の開発

コーンカロリメーターによる燃焼試験から、木質ペレットの着火時間、消炎時間、燃えきりまでの時間、有炎燃焼時の発熱量と総発熱量の比など、これまで評価されてこなかった指標について比較が可能で、これらは粒度や硬さといったペレットの特性の影響を受けることが示唆された。特に有炎・無炎の期間ごとに分けて各性状をまとめることでペレットの燃焼挙動をより適切に評価できることが示された。

第4章 木質ペレットの製造・利用におけるエネルギー消費量

研究所内のスギを原料にペレット製造した際の消費エネルギーは、原木伐倒からの積算で木質ペレット 1 kgあたり1681kJ/kg-pelletと求められ、ペレットの有するエネルギー（低位発熱量18000kJ/kgと仮定）の9.2%に相当した。また事務室の暖房をエアコンからペレットストーブに切り替えた際の省エネルギー効果は、計測方法に改善の余地があるものの、ストーブ 1 台あたり灯油

0.115L/hと試算された。

VII 今後の問題点

木質ペレットの成型特性の解析から、密度が木質ペレットの膨潤性に大きく関係することを明らかにした。膨潤性は木質ペレットの「ほぐれやすさ」を意味している。ほぐれやすい木質ペレットは燃焼性と大きく関係するとともに、保存の安定性にも影響を与える。高品質ペレットの安定した供給のために、ほぐれやすさが燃焼性あるいは保存性におよぼす影響について解明する必要がある。また木質ペレットの内部形態観察からペレットの外側と内側で成型性が異なることを明らかにした。今後、木質ペレットがなぜ成型され形状を維持できるのかについて科学的に解明するため、ペレットの外側と内側の形態的特徴以外の相違点を解明する必要がある。

木材の成分間水素結合評価で使用した実験系では、高圧条件下での木材成分の軟化を調べることができなかったことから、実際の木質ペレットの成型と木材成分の軟化現象の関係に言及することはできなかった。

コーンカロリメーター燃焼試験においては、今回用いた燃焼皿では端部での空気供給に多少問題があり、赤熱燃焼の終了が端部のみ極端に遅いなど、改善の余地があった。今後は燃焼皿と試料の配置の影響を把握して改善を図るとともに、樹種や部位、含水率などのパラメータによる燃焼性状の差異を解明していく。

木質ペレット製造時の消費エネルギーは、他の文献とは規模や設備は異なるものの、比較的高い値が得られた。この原因にペレタイザの製造規模の違いが挙げられる。また、ペレットストーブ使用時の省エネルギー効果について、エアコン消費電力を十分に測定できなかった。今後もデータを継続すると共に、所内の他の施設にもペレットストーブを設置した場合の省エネルギー効果を検討していくことにしている。

VIII 研究発表（論文等）

1. 井上真理子、吉田貴紘、藤井智之、「木質ペレットの利用におけるCO₂削減効果—多摩森林科学園の事例—」、第58回日本木材学会大会、2008年3月
2. 吉田貴紘、「木質ペレット燃料の導入動向」、グリーンスピリッツ、4(2)、8-11、2008年10月
3. Takahiro Yoshida、Daisuke Kamikawa、Mariko Inoue、Katsushi Kuroda、Satoshi Kubo、Koichi Yamamoto、「Wood Pellet Utilization -Case study in Japan」、The Fifth Biomass-Asia Workshop、p26、2008年12月
4. 黒田克史、久保智史、上川大輔、井上真理子、吉田貴紘、「木質ペレット高効率利用のための基礎研究（1）—木質ペレットの成型特性の解析」、第59回日本木材学会大会研究発表要旨集（CD-ROM）、59:PQ008、2009年3月
5. 久保智史、黒田克史、井上真理子、上川大輔、吉田貴紘、「木質ペレット高効率利用のための基礎研究（2）—加熱による木材成分間水素結合の変化」、第59回日本木材学会大会研究発表要旨集（CD-ROM）、59:PQ009、2009年3月
6. 上川大輔、井上真理子、久保智史、黒田克史、吉田貴紘、「木質ペレット高効率利用のための基礎研究（3）—ペレット燃焼挙動の評価方法の検討」、第59回日本木材学会大会研究発表要旨集（CD-ROM）、59:PQ010、2009年3月

7. 吉田貴紘、井上真理子、上川大輔、黒田克史、久保智史、「木質ペレット高効率利用のための基礎研究（４）－木質ペレットの製造・利用におけるエネルギー消費量」、第59回日本木材学会大会研究発表要旨集(CD-ROM)、59:PQ011、2009年3月
8. 吉田貴紘、井上真理子、上川大輔、黒田克史、久保智史、木質ペレット製造における消費エネルギー評価、第18回日本エネルギー学会大会講演要旨集、p126、2009年7月
9. Daisuke Kamikawa, Katsushi Kuroda, Mariko Inoue, Satoshi Kubo, Takahiro Yoshida, Valuation of combustion properties of wood pellets using a cone calorimeter, Journal of Wood Science, 印刷中

第1章 木質ペレットの成型特性

ア 研究目的

木質ペレットは輸送性、熱量安定性、ハンドリング性に優れる木質バイオマス燃料である¹⁾。この利活用を図るためには、品質の安定化、燃焼時の高効率化、利用時の環境評価等が重要である。木質ペレットは、割れが少なく、着火が容易で、火持ちのよいことが求められる²⁾。簡便な評価方法として、かさ密度や粉化度の測定あるいは吸水試験が行われている。密度や吸水性の違いは、木質ペレットの圧縮程度や繊維の方向性等の成型特性に依存する特徴と考えられる。品質の安定化などの課題を効果的に改善するためには、木質ペレットの成型特性を科学的に解明することが重要であるが、そのような研究例は少ない³⁾。

この課題では、品質が安定した木質ペレットを供給するための基礎的知見を得ることを目的として、樹種、部位、製造方式が異なるいくつかの種類の木質ペレットについて、密度、水膨潤性および木質ペレット内部の成型特性の解析を行った。

イ 研究方法

＜木質ペレット試料＞

カラマツ、スギの木部および樹皮を原料としたペレットを用いた（表1-1）。フラットダイ方式のものは森林総合研究所多摩森林科学園において菊川鉄工所KP280 型で作製した。リングダイ方式のものは市販品を用いた。

表 1-1 試験に用いた木質ペレット

樹種	部位	製造方式	密度
			(g/cm ³ ± SD)
カラマツ	木部	フラットダイ	1.29 ± 0.04
カラマツ	全木	リングダイ	1.26 ± 0.05
スギ	木部	フラットダイ	1.31 ± 0.02
スギ	樹皮	フラットダイ	1.22 ± 0.14
スギ	樹皮	リングダイ	1.20 ± 0.04

＜成型特性の評価＞

（１）水膨潤性の解析

シャーレに溶媒（水）を入れ、木質ペレットを静かに投入し、変化の様子を経時的に観察した。木質ペレットの密度は、1個あたりの重量と直径と高さを実測した。断面が平らでない場合の高さは、断面の midpoint を目測で判断した。

（２）内部形態の評価

木質ペレットが十分に入る大きさの溝がある台木に木工用ボンドを用いてしっかりとめ込み、室温で乾燥させた。丸のこ、あるいはスライディングマイクロームを用いて木質ペレットを台木ごと切削し、内部構造を走査電子顕微鏡（VE-8800, Keyence）あるいは光学・蛍光顕微鏡（BX41 蛍光顕微鏡システム, Olympus）により観察した。

(3) X線回折

(2) と同様な方法で台木に固定した試料を、丸のこを用いて両面から切削し、およそ1mmに薄板を作製した。薄板した木質ペレットからX線回折装置(RINT 2550HF, Rigaku)により、40kV、150mAで回折スペクトルを得た。

ウエ 結果および考察

(1) 水膨潤性の解析

木質ペレットの硬さと密度との関係を解析するために、水膨潤性について測定した。水膨潤の過程を図1に示す。密度がほぼ同一のカラマツ木部ペレットとスギ木部ペレット(どちらもフラットダイで製造)では、水膨潤性に違いがほとんどみられなかった(図1-1)。

スギの木部ペレットと樹皮ペレット(どちらもフラットダイで製造)を比較したところ、密度が同じ場合には樹皮ペレットの方が膨潤しにくい結果が得られた。

また同じ方式で製造した木質ペレットの中で密度が異なる場合は、密度の低いものほど水膨潤性が高い傾向がみられた。

リングダイ方式で製造された樹皮ペレットではフラットダイ方式のものに比べ、水膨潤性は低くなる傾向が明らかになった。この傾向は、密度が低い場合でも同様であった。

これらの結果から、密度が低いペレットほど水膨潤性が高く、すなわち「ほぐれやすい」ペレットであることが明らかになった。このことは密度が木質ペレットの硬さの指標となることを示唆している。一方、木質ペレットの「ほぐれやすさ」は、材料の部位の違い、製造方式の違いにも影響されることが明らかになった。このことは、製造方式や材料が異なるペレット間で、密度の違いと硬さを単純に比較できないことを示唆しており、硬さの指標として密度を用いる際には、製造条件、材料別に行う必要があるといえる。

(2) 内部形態の評価

光学・蛍光顕微鏡観察の結果、フラットダイ方式で製造された木質ペレットは横方向に、リングダイ方式で製造されたものは尖塔状に成型される傾向が見られた。蛍光顕微鏡観察の結果からは、内側と外側で明らかな成分の違いはわからなかった(図1-2)。観察に用いたペレットでは、リングダイ方式で製造されたペレットは切削により表面が崩れやすい傾向が見られた。

走査電子顕微鏡観察から、フラットダイで製造された木部ペレットでは、ペレット外側(表層付近)では内側よりも密である傾向がみられた(図1-3)。この傾向はスギでもカラマツでも同様であった。

これらの結果は、フラットダイ方式で製造した木質ペレットでは外側の密度が高くなることを示唆しており、成型性に製造方式が大きく影響することを示している。

(3) X線回折

フラットダイを用いて成型された木質ペレットの内側と外側の違いをさらに解明するために、X線回折により木質ペレット内部の木粉の方向性を解析した。その結果、木質ペレットの縦方向と横方向で軸方向((004)面)の配向性の相違が見られた(図1-4)。また、ペレット外側と内側で配向の相違が見られ、内側では木粉がペレットの縦軸に垂直に配向する傾向が明らかになった。この結

果は光学顕微鏡解析の結果と一致した（図1-2フラットダイ）。

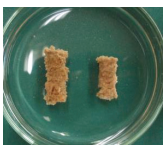
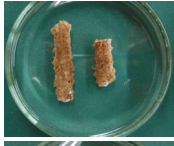
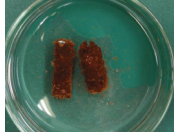
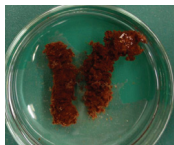
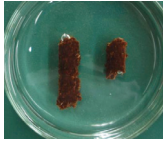
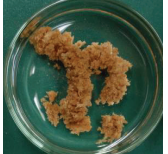
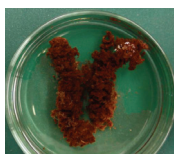
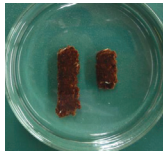
	密度 (g/cm ³)	カラマツ木部 フラットダイ	カラマツ全木 リングダイ	スギ木部 フラットダイ	スギ樹皮 フラットダイ	スギ樹皮 フラットダイ	スギ樹皮 リングダイ
		1.31, 1.34	1.27, 1.21	1.33, 1.35	1.35, 1.32	1.10, 0.98	1.26, 1.16
経過時間 (分)	0						
	2						
	5						
	15						
	30						

図 1-1 木質ペレットの水膨潤性

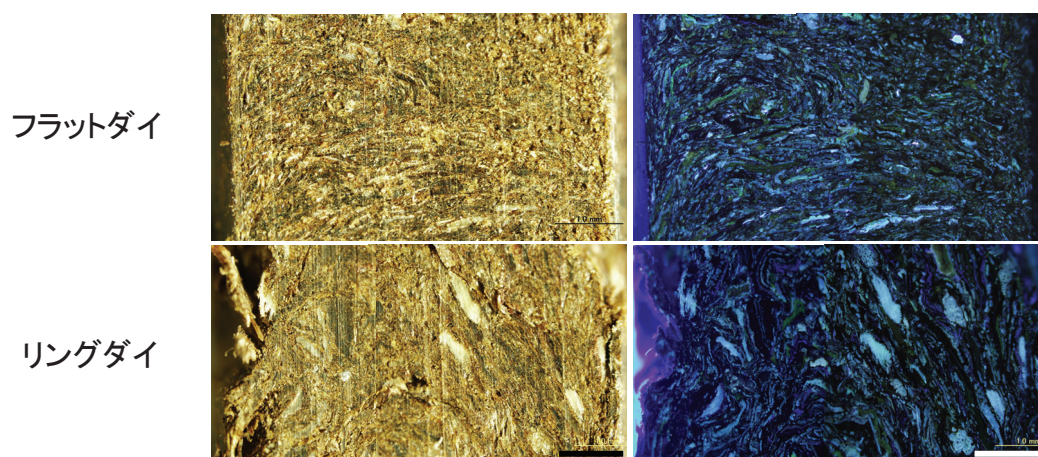


図 1-2 スギ樹皮ペレット内部の光学（左）・蛍光（右）顕微鏡像

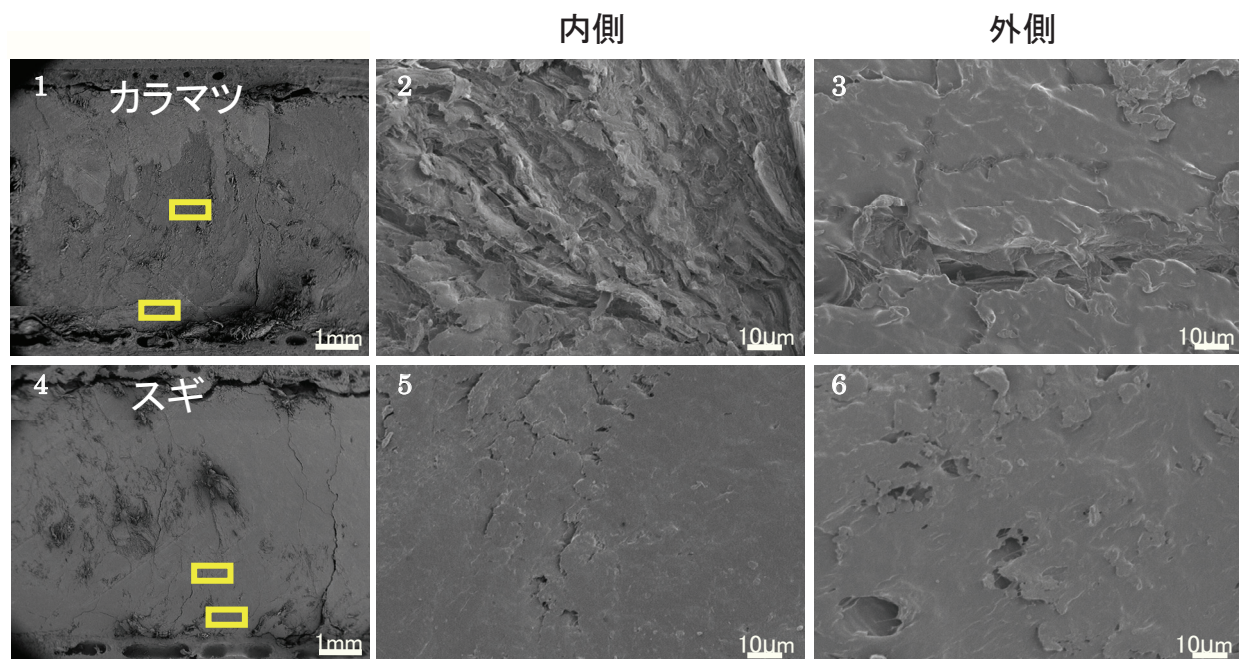


図 1-3 木部ペレット（フラットダイ）の内部形態の走査電子顕微鏡像

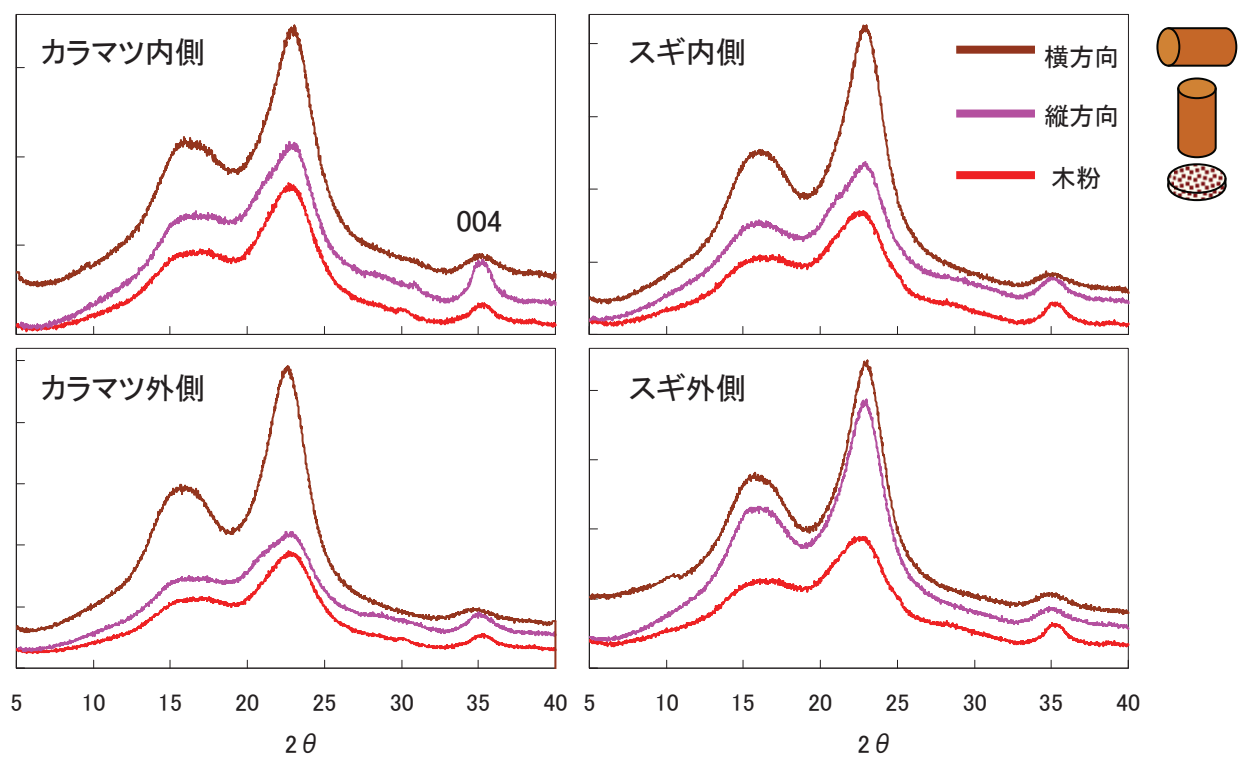


図 1-4 木部ペレット（フラットダイ）の内側および外側の X 線回折プロファイル

これらの結果は、フラットダイで製造された木質ペレットの外側と内側で木質ペレットの成型性が異なることを示しており、製造時にペレットの内側と外側で物理的な力や温度に差があることを示唆している。以上の結果はペレットの成型機構に重要な意味があると考えられる。

オ 今後の問題点

今回の研究では、密度が木質ペレットの膨潤性に大きく関係することを明らかにした。膨潤性は木質ペレットの「ほぐれやすさ」を意味している。ほぐれやすい木質ペレットは燃焼性と大きく関係するとともに、保存の安定性にも影響を与える。高品質ペレットの安定した供給のために、ほぐれやすさが燃焼性あるいは保存性におよぼす影響について解明する必要がある。

木質ペレットの内部形態を顕微鏡観察とX線回折により解析した結果、フラットダイ方式で製造した場合にはペレットの外側と内側で成型性が異なることを明らかにした。外側と内側で密度の違いについて軟X線撮影装置による解析も試みたが、試料が密であるため解析が可能な厚さまで薄切することはできず密度の実測はできなかった。木質ペレットがなぜ成型され形状を維持できるのかについて科学的に解明するために、外側と内側で形態的特徴以外の相違点を解明する必要がある。

カ 要約

この課題では、樹種、部位、製造方式が異なるいくつかの種類の木質ペレットについて、密度、水膨潤性および木質ペレット内部の成型特性の解析を行った。密度の違いは木質ペレットのほぐれやすさに影響することを明らかにした。成型された木質ペレットの内部の形態解析の結果、フラットダイとリングダイでは木粉の配向性が異なることが明らかになった。またフラットダイで成型された木質ペレットでは外側と内側で成型性が異なることが明らかになった。以上の結果は、木質ペレットの成型特性が燃焼性や保存性に与える影響を考慮する上で重要な知見である。

キ 引用文献

- 1) 日本木質ペレット協会 (2009) : 木質ペレット供給安定化事業報告書. 平成20年度農林水産省補助事業.
- 2) 日本住宅・木材技術センター (2009) : 木質ペレットのすすめ.
- 3) Nielsen NPK, Gardner DJ, Poulsen T, Felby C. (2009) : Importance of temperature, moisture content, and species for the conversion process of wood residues into fuel pellets. Wood and Fiber Science, 41(4), 414-425.

謝辞

X線回折実験およびデータ解析にあたり、きのこ・微生物研究領域 微生物工学研究室 林徳子主任研究員には多大なるご協力、ご助言を頂いた。ここに謝意を表する。

(木材特性研究領域 黒田克史)

第2章 加熱による木材成分間結合の変化

ア. 研究目的

木質ペレットは加圧処理により木粉を高密度化することで、輸送性、取り扱い性を改善したバイオマス燃料であるが、製造時の過度の高密度化は、未着火あるいは不完全燃焼等の問題を引き起こすと言われている。木質ペレットは1970年代に開発されたことから、製造開始から30年以上の歴史を持つ。しかしながらその成型機構に関しては幾つか報告があるものの¹⁾⁻³⁾、未だ明らかにされていない点が多い。今後に予想される木質ペレットの利用拡大に備えて、均質で安全なペレットを安定供給するためには、製品管理の徹底と共に成型機構の解明による製造技術の一般化が必要であると考えている。前章の実験結果からは、一旦成型されたペレットも水に浸漬すると、静置状態でも膨潤が起これペレットとしての形状を維持できなくなることが明らかになったことから、木質ペレットは比較的弱い結束により形状を維持していることが示唆された。一方で微結晶セルロースに含まれる水素結合の強度変化が比較的低温の熱処理においても起こることが報告されている⁴⁾。

本章では木質ペレットの成型性に関与する因子として水素結合に着目し、木質ペレット成型温度下でおこる木材成分間水素結合の変化をフーリエ赤外吸光スペクトル (FTIR) により追跡した。

イ. 研究方法

試料にはスギ木部を使用した。フーリエ赤外吸光スペクトル測定 (FTIR) には、木部柀目面をミクロトームで20 μ mに切削した薄切片を試料とした。薄切片は減圧下40℃で乾燥させた後、FTIR測定用加熱セル (窓材にはCaF₂を使用) に挟み込み、25℃から一定温度間隔で、高純度乾燥空気および20℃で重水あるいは軽水 (純水) を通過させた同空気気流下 (100mL/min) で測定を行った。FTIR測定には、ThermoFisher社製Nicolet 6700を使用し、積算回数256回、解像度4cm⁻¹の条件の下測定を行った。示差走査熱量分析 (DSC) には、TA-Instrument社製DSC-Q100を使用した。スギ木粉 (200メッシュ以下) をシール容器に計り取り、一定量の純水を加えたのち密閉し3日間室温で放置することで含水木粉 (MC=0~24%) を調製した。含水木粉2.00 $\pm$ 0.1 mgをDSC測定用シール皿に密閉した後、温度変調法によるDSC測定を行った (測定条件: 昇温速度=2.00℃/min、変調幅=0.265℃、変調周期=50s)。また測定温度範囲-80~95℃ではリサーチ図形が閉じていることを確認している。スギ木片のX線回折 (WAXD) はリガク社製Rint2550により行った (CuK α 線、管電圧=150kV、管電流=4mA、走査速度0.5°/min)。

ウエ. 結果および考察

(1) 加熱による成分間水素結合の変化

図2-1に乾燥スギ辺材部切片のFTIRスペクトルと、95℃まで加熱したときの水酸基バンド (ν_{O-H}) の変化を示した。早材、晩材とも加熱温度の上昇により ν_{O-H} のバンド位置が高波数側に移動することが明らかになった。木材薄片は測定前に減圧乾燥したが、1632 cm⁻¹の弱い吸収バンドから、吸着水が残存していることが示唆された⁵⁾。そこで、205℃に加熱した試料を乾燥窒素気流下で25℃に再冷却したときの ν_{O-H} の形状を加熱前の試料と比較することで、 ν_{O-H} の変化に対する吸着水の影響を検討した (図2-2)。205℃に一旦加熱した試料では1632cm⁻¹の吸光度が低下していたことから吸着水の減少が示唆されたが、 ν_{O-H} のバンドの中心位置には変化が見られなかった。よって本実験

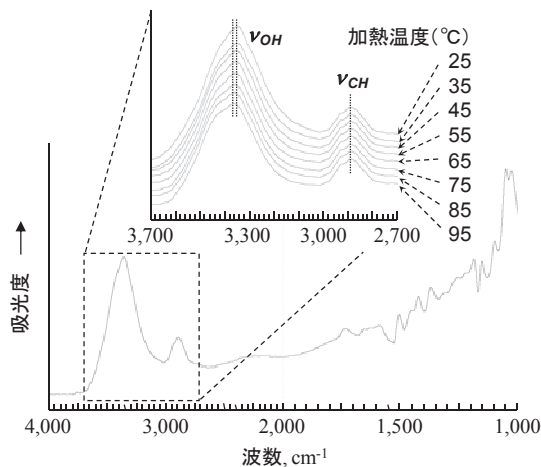


図2-1 スギ切片のFTIRスペクトルと加熱による ν_{OH} の変化

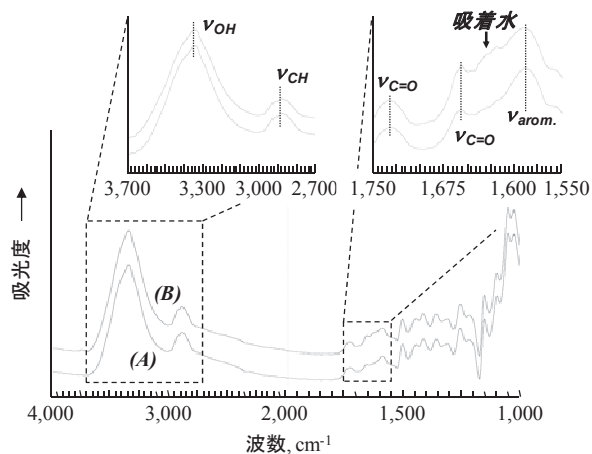


図2-2 205℃で乾燥したスギ切片のFTIRスペクトル (A: 205℃で熱処理試料、B: 熱処理前試料)

の条件では、 ν_{O-H} のバンド形状に対す吸着水の影響は無視できると考えられる。また、205℃に加熱し再冷却した試料のFTIRの他のバンド形状も、加熱前に比べてほとんど変化が無かったこと、さらにX線回折で得られたセルロース結晶の回折曲線にも変化が見られなかったことから、加熱による成分の特徴的な構造変化が観察されなかった (図2-3)。これらのことから、加熱による ν_{O-H} の移動は木材成分高分子間の水素結合様式の変化よると考えられる^{4,6)}。

つづいて図2-1において ν_{O-H} バンドの中心変化をみると、25℃から95℃まで加熱したときの波数シフトは約 10cm^{-1} であった。これは木材成分に含まれる全水酸基の平均的な水素結合の変化によると考えられるが、木材中には上述の通り非晶成分他にセルロースの結晶性成分が含まれている。セルロースの結晶領域と非晶領域に含まれる水素結合は、その結合様式および構成単位を基準とした水素結合の数において異なると考えられている^{7,8)}。したがって水素結合の加熱による変化も結晶領域と非晶領域では異なると考えられる。

気相における水酸基の重水素置換では、結晶領域の置換速度に比べて非晶領域が速いと言われている^{9,10)}。そこで木材薄片の気相重水素置換を行い、 ν_{O-H} 、 ν_{O-D} の加熱による変化をFTIRで測定した。スギ薄片試料をガス置換が可能なFTIR測定用加熱セルに挟み込み、20℃で重水 (>99% -D) を含有させた窒素気流下、25℃で12時間重水置換を行った。置換初期には ν_{O-H} バンドが減少すると共に ν_{O-D} の増加が観察されたが、12時間以上の置換を行っても ν_{O-H} 、 ν_{O-D} バンドに変化が見られなかったことから、12時間の処理で置換が飽和に達したと仮定した。図2-4に25℃で重水置換したスギ薄片のFTIRスペクトルと、95℃まで順次加熱したと

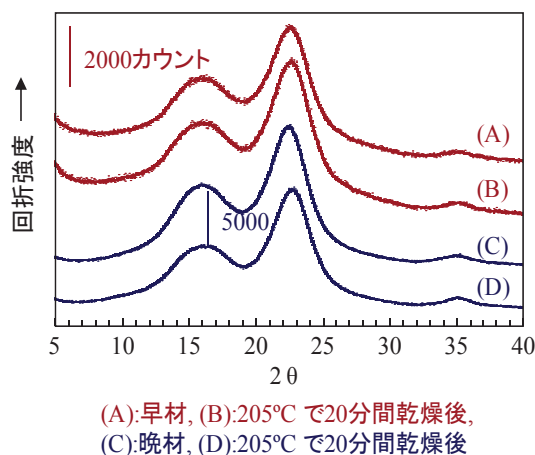


図2-3 205℃で熱処理したスギ切片のX線回折図

きの ν_{O-H} 、 ν_{O-D} の変化を示し、図2-5に各バンド中心の変化を図示した。12時間の置換処理で重水素による置換が飽和に達したと仮定したが、95℃まで加熱した後、25℃に再冷却したときの ν_{O-D} バンドは面積比で約5%増加していた。これは、加熱中にさらなる重水素による置換が進行したためと考えられるが、バンドの中心波数への影響は測定誤差の範囲に収まると考えられる。このことから、加熱測定中の置換の進行は本実験では考慮していない。図2-4および2-5から、重水素置換を行った試料の ν_{O-H} の変化は、重水素置換を行わない試料に比べて小さく、 ν_{O-D} バンドの加熱による影響は、 ν_{O-H} に比べて大きいことがわかる。このことから、加熱による水素結合の強度変化は不均一であり、重水素置換されやすい領域に含まれる水素結合が加熱により大きく影響を受けることと考えられる。

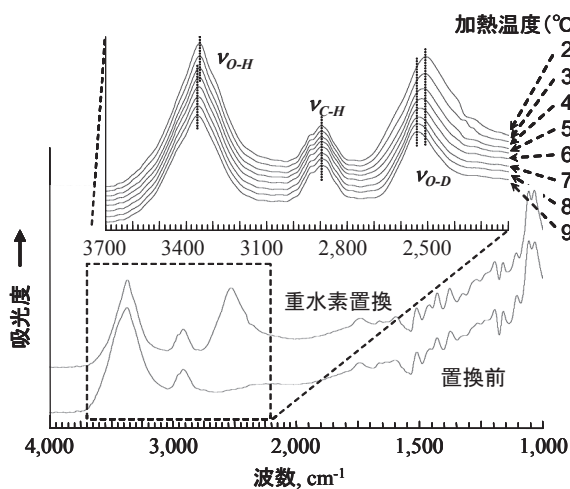


図2-4 重水素置換したスギ切片的FTIRスペクトルと加熱による ν_{OH} 、 ν_{OD} の変化

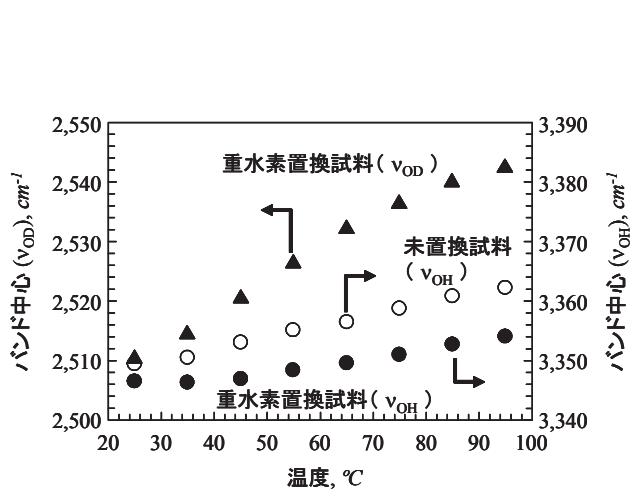


図2-5 重水素置換したスギ切片的の加熱による ν_{OH} 、 ν_{OD} のバンド中心波数の変化

本実験では重水気流下で測定を行ったため、試料に含まれる水酸基の他に重水が ν_{O-D} バンドの形状変化に関与した可能性がある。含水気流下の測定における、水の影響を確認するために、重水素置換による測定と同じ条件で調製した軽水空気気流下と乾燥空気気流下で木材薄片のFTIR測定を行ったが、95℃に加熱した場合においても、両スペクトルは、形状、バンド中心の波数位置もほぼ同じと見ることができ、このことから ν_{O-H} バンドの加熱による変化に対する測定気流の影響が無いことが確認できた(図2-6)。

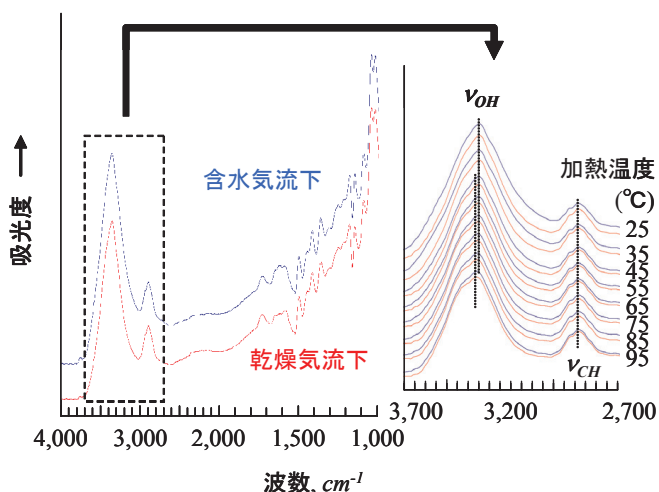


図2-6 含水及び乾燥気流下で測定したスギ切片的のFTIRスペクトルと加熱による ν_{OH} の変化

(2) 含水木粉のDSC測定

木質ペレットの成型性には、含水状態で加熱することにより起こる成分リグニンの熱軟化と関係があるという報告がある。この点を検討するために含水率を調製した木粉を調製し、温度変調型DSCによる木材の軟化挙動を検討した。図2-7(A)および(B)に全熱容量と可逆熱容量の温度変化を示した。木粉に添加した水がバルクな自由水として存在する場合には、0℃で水の融解に帰属される大きな吸熱ピークが観察されるが、図2-7(A)に示した何れのDSC曲線においても明確な吸熱ピークは観察されなかった¹¹⁾。このことから、本実験で使用した木粉に含まれる水は自由水ではないことが示唆された。含水率8%以上の試料では60–70℃温度域で、DSC曲線が吸熱側にシフトする様子が観察された。この温度域は、DTAで検出された含水木材の軟化温度に相当するが¹²⁾、容量の温度変化を示す図2-7(B)ではそのような変化が見られなかった。木材の軟化現象が木材成分のガラス転移温度(T_g)に起因するとした場合、相対する温度領域で可逆熱容量を示すDSC曲線の基線が吸熱側に移動するが、今実験ではそのような変化が見られなかった。このことから、図2-7(A)で見られたDSC曲線の吸熱側へのシフトは試料に含まれる水の蒸散に起因すると考えられる。本実験の結果からは、含水状態にある木材を加熱した場合でも、木質ペレットの成型温度下では、DSCで検出できるレベルでの木材成分のT_gによる軟化は起こっていないと考えられる。

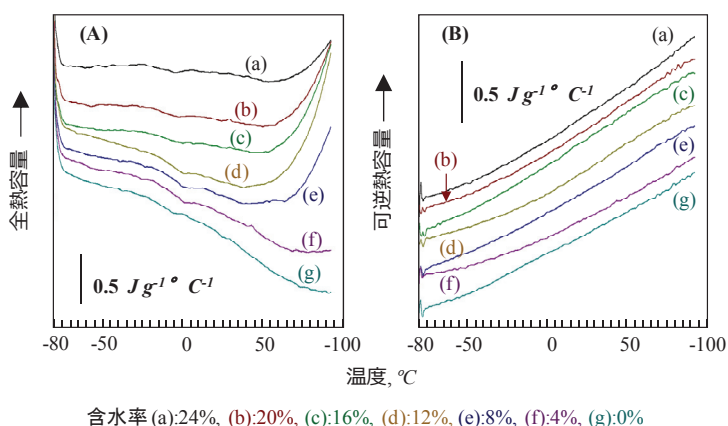


図2-7 含水木粉の温度変調型示差走査熱量分析の結果

オ 今後の問題点

本研究で使用した実験系では、高圧条件下での木材成分の軟化を調べることができなかったことから、実際の木質ペレットの成型と木材成分の軟化現象の关系到言及することはできなかった。

カ 要約

本研究の結果からは、木材の成分間水素結合がペレット製造温度下（フラットダイで約70～90℃）の加熱でも変化することが明らかになった。また水素結合の変化は、重水素置換を受けやすい領域でより顕著であると考えられる。ペレット製造時には温度と共に試料に大きな圧力がかかる。加熱により成分間の水素結合力が弱まった状態に外圧が掛かることで新たな水素結合が形成され、ペレットの成型性が進行すると推測している。また、加熱による成分のガラス転移は観察されなかった。

キ 引用文献

- 1) 沢辺攻, 齋藤尚子, 倉井昭, 中川和昭, 燃料用木質ペレットの製造条件と品質, 第55回日本木

材学会大会要旨集, p153 (2005)

- 2) 齋藤尚子, 沢辺攻, 木質ペレットの成型固化機構, 日本木材加工技術協会第23回年次大会, p67 (2005)
- 3) Holm, JK., Henriksen, UB., Hustad, JE., Sørensen, LH.: Toward an understanding of controlling parameters in softwood and hardwood pellets production, Energy & Fuels 20: 2686-2694 (2006)
- 4) Watanabe, A., Morita, S., Ozaki, Y.: Temperature-dependent structural changes in hydrogen bonds in microcrystalline cellulose studied by infrared and near-infrared spectroscopy with perturbation-correlation moving-window two-dimensional correlation analysis, Applied spectroscopy 60: 611-618 (2006)
- 5) Marchessault HR.: Application of infra-red spectroscopy to cellulose and wood polysaccharides, Pure and Applied Chemistry 5: 107-129 (1962)
- 6) Hatakeyama, H., Nakano, J., Hatano, A, Migata, N.: Variation of infrared spectra with temperature for lignin and lignin model compounds, TAPPI 52: 1724-1728 (1969)
- 7) Kondo, T., Sawatari, C.: A fourier transform infra-red spectroscopic analysis of the character of hydrogen bonds in amorphous cellulose, Polymer 37: 393-399 (1996)
- 8) Mazeau, K., Heux, L.: Molecular dynamics simulations of bulk native crystalline and amorphous structures of cellulose, Journal of Physical Chemistry B 107: 2394-2403 (2003)
- 9) Mann, J., Marrinan, HJ.: The reaction between cellulose and heavy water part 1. A qualitative study by infra-red spectroscopy, Transactions of the faraday society, 52: 481-487 (1956)
- 10) Jayme G., Roffael E., Oltus, E.: Comparison of X-ray and Infrared crystallinity of various celluloses, PAPIER, 23: 129-135 (1969)
- 11) Weise, U., Maloney, T. Paulapuro, H.: Quantification of water in different states of interaction with wood pulp fibres, 3: 189-202 (1996)
- 12) Irvine, GM.: The glass transitions of lignin and hemicellulose and their measurement dy differential thermal analysis, TAPPI J 67: 118-121 (1984)

謝辞

X線回折実験およびデータ解析にあたり、きのこ・微生物研究領域 微生物工学研究室 林徳子主任研究員には多大なるご協力、ご助言を頂いた。ここに謝意を表する。

(バイオマス化学研究領域 久保智史)

第3章 ペレット燃焼挙動の評価方法の開発

ア 研究目的

木質ペレットは輸送性、熱量安定性、ハンドリング性に優れる木質バイオマス燃料である。この利活用を図るための課題として品質の安定化、燃焼時の高効率化、利用時の環境評価等が挙げられる。燃焼時の高効率化に関連して、現在流通しているペレットの中には硬すぎて燃えにくいものも存在しており、ペレットの燃焼状態を直接評価する方法が求められている。これまではJIS発熱量法や示差熱分析（DTA）法¹⁾ が用いられてきた。しかし、これらの評価方法ではペレットの硬さや容積密度などの成型物としての性質が反映されない上、燃焼状態も実際の使用状況とは大きく異なる。今後の更なる木質ペレットの多様化、高効率化などを考えると、より適正にペレットの燃焼性状を評価・予測する方法が必要であると考えられる。

本課題では、より合理的に木質ペレットの燃焼挙動特性を評価する試験方法を導くことを目的として、コーンカロリメーターを用いる方法に注目し、試験方法の考案とその妥当性の検証を行った。さらに、考案した試験方法によって出力される情報からどのようなペレット燃焼挙動の特性が比較できるのかを検証することを目的とし、燃焼挙動を示す指標の抽出、支配パラメータとの関係を検討した。

イ 研究方法

コーンカロリメーターは従来建材等の防火材料の発燃性評価に用いられている試験装置で、目視観測による着火・消炎時間のほか、発熱速度、総発熱量、重量減少などを計測できる。本装置を用いれば、実際の使用状況に近い条件で、ある程度の量のペレット燃焼性の検討が可能な上、従来の方法と比較してより多くの指標を得ることができる。

ただし、本装置は本来板状の試験体について試験するものであるため、顆粒状のペレットについて試験するに当たってステンレス製の燃焼皿を作製し、その上にペレット試料を敷き詰めたものを試験体とした。燃焼皿は100×100mm、深さ6.5mm、厚さ1mmで、ペレット試料は図3-1に示すように1層分隙間なく敷き詰めた。

試料はカラマツ全木、スギ樹皮、スギ木部それぞれを原料とするペレットとし、市販品のほか、研究所のペレタイザ（菊川鉄工所製KP280型）で異なる作製条件で製造した各ペレットを準備した（表3-1参照）。試料を敷き詰めた燃焼皿は、板状の試験体と同じように試験機付属のステンレス製ホルダーに取り付け試験を実施した。コーンヒーターの加熱強度は通常の防火性能試験と同じ 50kW/m^2 とし、電子スパークによる口火ありの条件とした。計測事項は発熱速度、発熱量、重量のほか、目視による着火・消炎時間などである。計測は赤熱燃焼が終了するまで行った。



図3-1 燃焼皿への試料充填の様子

表3-1 試験体一覧と試験結果概要

樹種	部位	試験体情報					着火時間	消炎時間	燃えきり時間	終了時	
		試験体No.	作製温度	ダイ ^{*1}	容積密度	初期重量				総発熱量	灰分率
					(g/cm ³)	(g)					
カラマツ	全木	KA-1	市販品	R	1.19	51.69	47.3	314	1642	97.72	0.41
		KA-2	90℃	F	1.31	52.74	74.0	326	1604	91.96	0.36
		KA-3	80℃	F	1.24	56.99	68.4	372	1830	105.91	0.40
スギ	木部	SW-1	80℃	F	1.31	58.41	67.4	312	1822	104.81	0.70
		SW-2	60℃	F	1.32	59.38	60.1	344	1898	110.01	0.64
		SW-3	市販品	R	1.09	52.52	35.6	300	1672	98.94	0.76
		SW-4	92℃	F	1.28	57.41	53.6	344	1798	110.42	0.70
		SW-5		F	1.15	48.84	43.1	272	1536	94.11	0.59
		SW-6	85℃	F	1.12	51.21	47.5	288	1620	100.96	0.57
	樹皮	SB-1		F	1.30	59.91	59.7	380	2220	96.65	3.51
		SB-2	市販品	R	1.10	50.04	42.2	306	2184	94.82	3.14
		SB-3	68℃	F	1.19	48.82	63.2	352	1920	84.11	2.60
		SB-4	70℃	F	1.24	55.97	68.8	352	2168	94.48	3.95
		SB-5	84℃	F	1.32	61.13	64.4	372	2384	106.42	2.44

*1) R:リングダイ、F:フラットダイ

ウエ 結果と考察

図3-2に発熱速度・発熱量の推移と各段階での試験体の様子を、表3-1に各試験体の試験結果概要を示す。各木質ペレットは35～70秒で着火し、5分程度で消炎、その後は数十分間赤熱燃焼が継続した。懸念された灰の飛散などもなく、同試験法にて円筒状ペレットの燃料としての性状を計測可能であることを確認した。また図3-2にあるように、ペレットの発熱速度の推移などこれまで評価できなかった指標に関しても、各ペレット間の差が明確に把握できることが分かる。

図3-3は各ペレットの熱慣性 $k\rho c$ と着火時間の関係である。 k は熱伝導率(W/m・K)、 ρ は容積密度(g/cm³)、 c は比熱(kJ/kg・K)である。板状木材の着火時間については加熱強度 I (kW/m²)と熱慣性との関係が導かれており(図3-3中直線、原田²⁾、2001)、ここでは木質ペレットについても同様の関係性があるのか検証した。木質ペレットの熱伝導率に関しては既往の研究等がないため、木材の放射方向(浦上³⁾、1981)と繊維方向(Maku⁴⁾、1954)の熱伝導率の平均値とし、比熱は木材の一般的値である1.25kJ/kg・Kとした。図より、ペレットにおいても板材と同様に容積密度と着火時間に相関があることが示唆され、いずれも板状の木材より短い時間で着火することが分かった。木材の熱伝導率は密度との関係が示されているため、結局密度の高い、即ち硬いペレットほど着火しにくいということが明確に示された。各ペレットの有炎燃焼期間での発熱量が総発熱量に占める割合を図3-4に示す。有炎燃焼期間(炎をあげて燃焼する期間)に放出する発熱量の割合は容積密度に対して変化はないが、原料の部位により明確な違いがあり、スギ樹皮は小さいことが分かる。言い換えれば、スギ樹皮ペレットでは発熱量の多くが無炎燃焼で放出されることを示している。

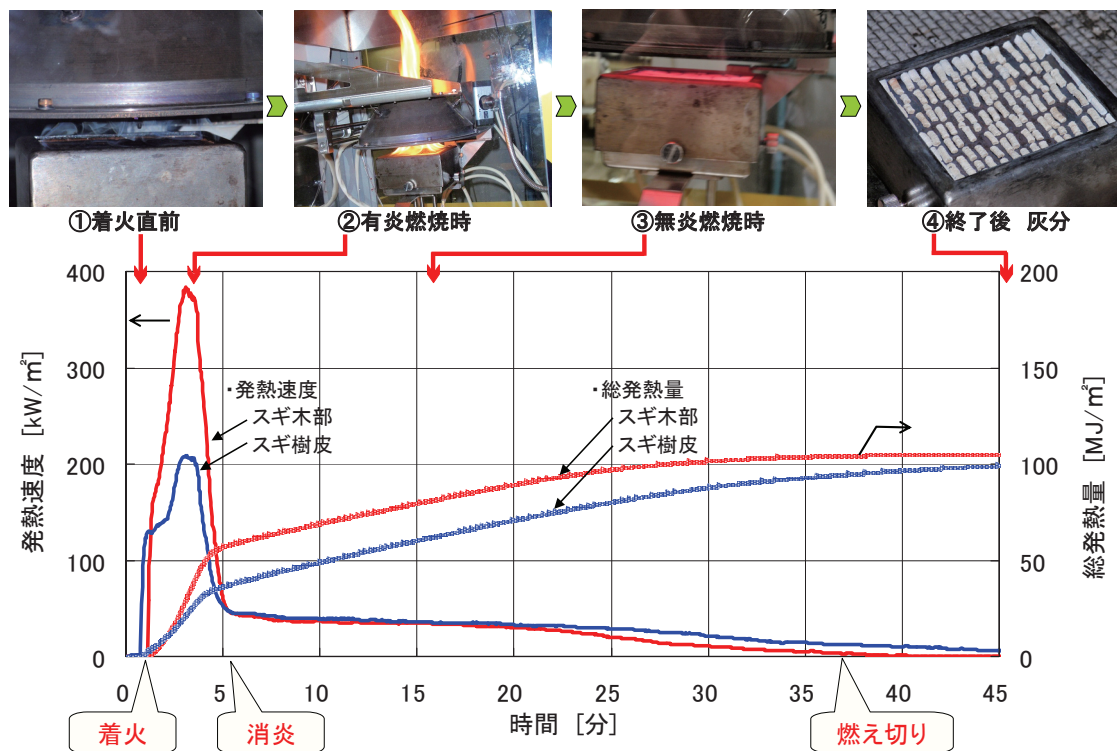


図3-2 発熱速度・発熱量の推移と試験体状況

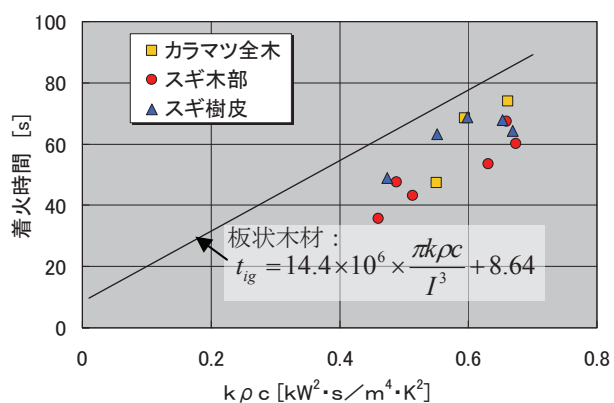


図3-3 着火時間と熱慣性 $k\rho c$

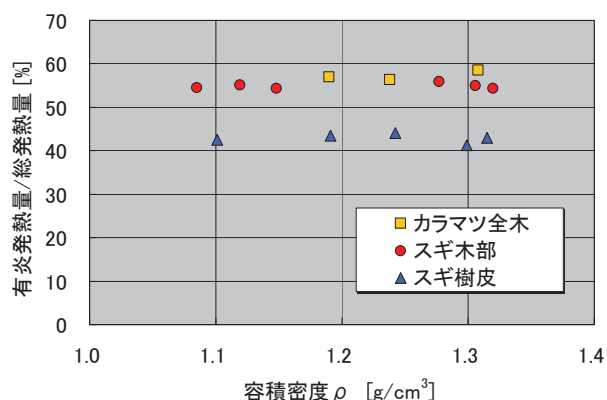


図3-4 有炎発熱量の割合

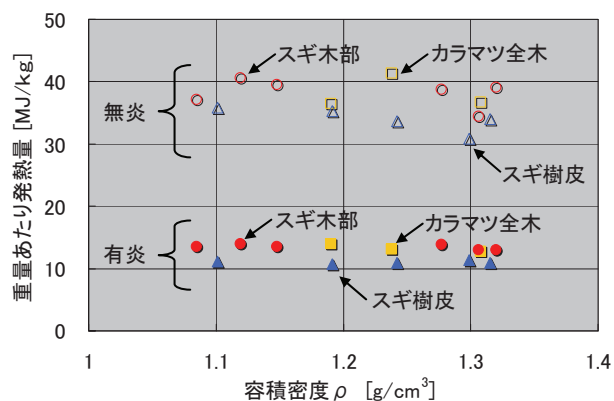


図3-5 重量減少当たりの発熱量

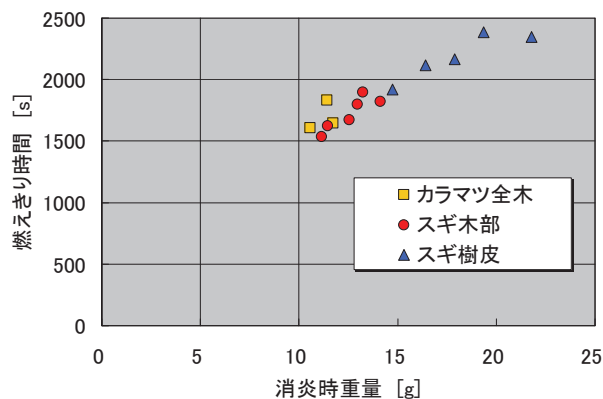


図3-6 消炎時重量と燃え切り時間

図3-5は有炎・無炎期間それぞれでの重量減少当たり発熱量である。この値は有炎・無炎により明確な違いが見られ、無炎燃焼での重量減少当たり発熱量は有炎での場合の倍以上の値となっている。また、容積密度との関係性はほぼ無いといえるが、原料の部位により若干差が見られスギ樹皮がやや小さい値となる傾向が見られる。

試験開始から赤熱燃焼がほぼ終了するまでの燃え切り時間に関して、いくつかのパラメータに関して関係性を検証した結果、消炎時の重量によって燃え切り時間がほぼ表現できることが分かった(図3-6)。消炎時の重量は、樹種や部位ごとに決まると思われる有炎燃焼割合(図3-4)と重量減少当たり発熱量(図3-5)および比重によって導くことが出来ると考えられ、これは即ち、必要なデータ整備がなされれば樹種・部位・比重が分かれば燃え切り時間が予測できることを示している。

以上のように、コーンカロリメーター試験により木質ペレットの燃焼挙動を評価する方法を検討し、抽出される情報を主に容積密度に対して整理した。特に有炎・無炎の期間ごとに分けて各性状をまとめることでペレットの燃焼挙動をより適切に評価できることが示された。

オ 今後の問題点

今回用いた燃焼皿では端部での空気供給に多少問題があり、赤熱燃焼の終了が端部のみ極端に遅いなど改善の余地があることが分かった。今後は燃焼皿と試料の配置の影響を把握して改善を図るとともに、樹種や部位、含水率などのパラメータによる燃焼性状の差異の解明が必要である。

カ 要約

高品質の木質ペレットを安定製造に資するため、木質ペレットの燃焼性を評価する方法としてコーンカロリメーターを利用する方法に注目し、試験方法、試験からペレットの特性として抽出できる情報について検討した。本試験方法により着火時間、消炎時間、燃えきりまでの時間、有炎燃焼時の発熱量と総発熱量の比など、これまで評価されてこなかった指標について比較が可能で、これらは粒度や硬さといったペレットの特性の影響を受けることが示唆された。

キ 引用文献

- 1) 吉田貴紘、野村崇、高野勉(2006) TG/DTAを用いた種々の木質ペレット試料の燃焼挙動、第56回木材学会発表要旨集、p85
- 2) Harada T. (2001) Time to ignition, heat release rate and fire endurance time of wood in cone calorimeter test. Fire Materials 25:161-167
- 3) 浦上弘幸、福山萬治郎(1981) 木材の熱伝導率に及ぼす比重の影響、京都府立大学農学部演習林報告 25 : 38-45
- 4) Maku T. (1954) Studies on the heat conduction in wood. Wood Res 13:1-80

(木材改質研究領域 上川大輔)

第4章 木質ペレットの製造・利用におけるエネルギー消費量

ア 研究目的

木質ペレットの生産量はバイオマス・ニッポン総合戦略策定以降着実に増加して2008年には63工場、37670トンに達している¹⁾。また木質ペレットの品質確保のためペレット品質に関する業界の自主品質規格が策定された²⁾。ペレットの品質を保ちながら低コストでユーザーに安定供給をすることが今後さらなる普及への主要なポイントと言えよう。さらに、低コスト変換もさることながら、ペレット変換時のエネルギー消費の最小化も重要な課題である。バイオマスの特徴にカーボンニュートラルな点が挙げられる。しかしエネルギー変換時のCO₂発生は別であり、たとえば草本系バイオマスからの液体燃料への変換時には、エネルギー収支が負になる試算例も出されている。木質ペレットの製造は粉碎、乾燥、圧縮成型という物理的な工程で製造されるので、製造時のエネルギーは比較的低いことが予想されるが、データが少ないのが現状である。

本研究では当研究所内で発生する間伐材等からペレットを製造した際の消費エネルギー、ペレット利用時の省エネルギー効果を評価したので報告する。

イ 研究方法

用いた樹種はスギ（木部、樹皮）、カラマツ（木部、樹皮）、テーダマツ（全木）、タケ（モウソウチク）、クヌギ、オイルパーム（全木）である。このうちスギ、カラマツ、テーダマツは当研究所構内からの間伐材である。いずれもチップパーで一次破碎した後、剪断式粉碎機（北進産業機械製 HSK-120）で4mm以下に二次粉碎してから用いた。得られた粉碎物に対して含水率を乾量基準で約15%（樹皮は20%）に調整してからペレット製造を行った。

ペレット製造は菊川鉄工所製のフラットダイ型ペレタイザKP280型を用いた。標準で30kg/hの生産能力を有している。用いたダイの有効厚さは28mm（一部35mmも使用）で、穴径は6.2mmである。原料供給速度は標準で10kg/hで行った。ペレタイザの消費電力測定は、クランプ式電力計（日置電機3169-01）を用いて行い、実消費電力は動作電力から空転電力を差し引くことで求めた。また、当研究所多摩森林科学園（八王子市）からの間伐材（スギ）を原料に仮定した際の、原木伐倒からペレット製造に至るまでの消費エネルギーも併せて求めた。消費エネルギーはチェーンソー、薪割り機、チップパー、運搬車（写真4-1）の燃料消費量、二次粉碎機、ペレタイザの消費電力から求めた。全消費電力量は一次エネルギー基準とし、一次エネルギーから電力（二次エネルギー）への変換効率を39%とした。なおペレタイザの原料供給速度は20kg/hと見なし、ペレットの歩留まりは80%と仮定した。



写真4-1 薪割り原木のチップ化、運搬車への積載
（多摩森林科学園）



ペレタイザ
(菊川鉄工所製KP280型)



フラットダイ

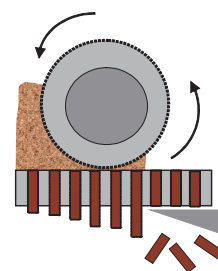


写真4-2 フラットダイ型ペレタイザ

なお今回は里山木の小規模利用を想定して、丸太の剥皮は人力で行うとした。さらに剥皮後の原料乾燥は天然乾燥（薪乾燥）で行うと見なし、乾燥時の消費エネルギー量はゼロと見なした。実際の試料乾燥は、多摩森林科学園内の温室またはビニールハウス内にチップ乾燥用の棚を設置し、棚の上にチップを敷いて数ヶ月放置（定期的に攪拌）することで行った。

さらに、暖房をエアコンからペレットストーブに切り替えた際の省エネ効果を試算した。対象場所は森林総合研究所多摩森林科学園（東京都八王子市）森の科学館事務室（レイアウトを図4-1に示す）とし、測定期間は平成21年1月下旬～3月下旬とした。基本的に月、水、金曜日の6:30-19:00にペレットストーブ（サンポット製FFP-471DF(出力1.7-4, 7kW)）を使用し、室内設定温度25℃として行った。なお、温風を効率よく循環させるため、エアコンの送風機能を利用した。火、木曜日はエアコン暖房（室内設定温度25℃）を行い、消費電力を測定した。



写真4-3 事務室内に設置したペレットストーブ

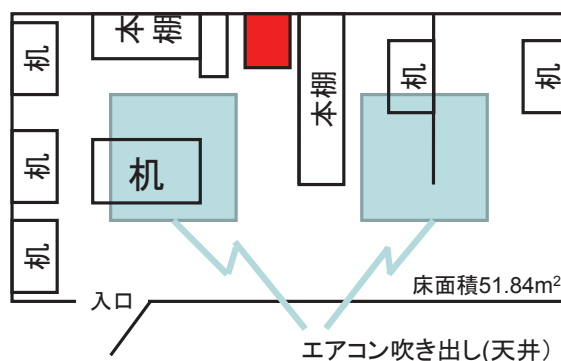


図4-1 設置場所レイアウト

ペレットストーブ使用による省エネルギー効果の計算は、以下のように行った
省エネルギー量(KJ/h)

$$= (\text{エアコン暖房消費電力}) - (\text{ペレットストーブ消費電力}) \\ - (\text{エアコン送風電力}) - (\text{ペレット製造エネルギー})$$

ウエ 結果と考察

①ペレタイザの消費電力

図4-2に各種原料を用いた時の消費電力を示す。カラマツ樹皮を除けば1.1～1.5kWの範囲で大きな違いがみられないことがわかる。続いてスギ木部に対して原料供給量を20、30kg/hと増やしたときの消費電力を測定した。その結果、ペレット1kg製造に必要なペレタイザ消費電力量は0.11～0.15kWhであった。

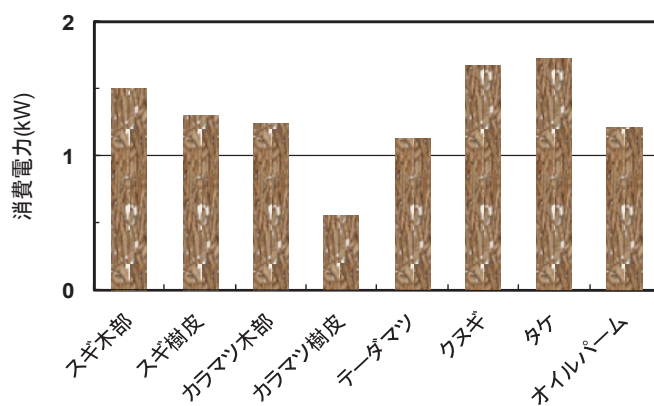


図4-2 ペレタイザー消費電力

②ペレット製造時の消費エネルギー

表1にスギペレット1kg製造に必要な消費エネルギーを示す。まず各工程におけるエネルギーをみると、二次破砕、ペレット化が全体に占める割合が高いことがわかる。これは生産規模が工場規模に比べて小さいためと考えられる。各項目を合計することにより、ペレット製造に必要なエネルギーは1681kJ/kg-pelletと求められ、ペレットの有するエネルギー（低位発熱量18000kJ/kgと仮定）の9.2%に相当することがわかった。

表4-1 ペレット1kg製造に必要なエネルギー内訳（スギの場合）

各エネルギー消費量	伐倒～薪割り	一次破砕	二次破砕	ペレット化
燃料消費量 (×10 ⁻³ 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

③ペレットストーブ使用時の省エネルギー効果

まず、ペレットストーブの消費電力は、外気の平均気温により若干の変化はみられたものの、平均で35.1Wと得られた。続いて、エアコンの消費電力は、電力計の不調により長期間のデータ

が採取できなかったが、1月22日、27日両日の電力消費（午前8時～正午）より761.2Wと推定した。また送風のみ利用時の消費電力は平均83.4Wと推算された。以上のことから、スギペレット1時間あたりの省エネルギー量は

$$\begin{aligned}\text{省エネルギー量} &= (761.2 - 83.4 - 35.1) \times 3600 / (1000 \times 0.39) - 1681 \\ &= 4,251 \text{ (kJ/h)}\end{aligned}$$

となり、灯油（低位発熱量37,000kJ/Lと仮定）換算0.115L/hに相当した。この値は、冬期間（12月～3月（月～金稼働で延べ80日）、午前中4時間使用）では約38L（18L灯油缶2.1本分）節約となる。

オ 今後の問題点

木質ペレット製造時の消費エネルギーは、他の文献では規模や設備は異なるが4.2%³⁾、7.0%（後者は炭素基準での値）⁴⁾がでており、これらに比べると今回は5または2ポイント高い値となった。また、ペレットストーブ使用時の省エネルギー効果について、エアコン消費電力を十分に測定できなかった。今後もデータを継続すると共に、所内の他の施設にもペレットストーブを設置した場合の省エネルギー効果を検討し、既往の研究結果⁵⁾等と比較していくことにしている。

カ 要約

研究所内（里山）で木質ペレット製造に要するエネルギー、ペレットストーブ利用による省エネルギー効果を調べた結果、以下の知見を得た。

- ①木質ペレット1kg製造に要するエネルギーは木質ペレット発熱量の9%に相当した。
- ②エアコンからペレットストーブに切り替えた際の省エネルギー効果を試算した。計測方法に改善の余地が残されているものの、現時点ではストーブ1台あたり灯油0.115L/hの省エネルギー効果を期待できた。

キ 引用文献

- 1) 林野庁 編, 森林・林業白書 平成21年版, 31, 2009年6月
- 2) 日本住宅・木材技術センターホームページ <http://www.howtec.or.jp/pellet/pdf/kikaku.pdf>
- 3) Risović S. et.al, Croatia Journal for Energy, 29, 95-108 (2008)
- 4) 古俣定隆, 北海道林産試験場だより, 2008年11月号, 4-6
- 5) 阿部房子, 森林バイオマスからの熱化学的研究, 林業試験場報告第352号, 1988年3月

謝辞

本課題の遂行にあたり、多摩森林科学園の職員の皆様、日本大学 千葉智史氏には多大なるご協力、ご助言を頂いた。ここに謝意を表する。

（加工技術研究領域 吉田貴紘、多摩森林科学園 井上真理子、
（株）菊川鉄工所 倉井昭）

「交付金プロジェクト」は、平成13年度に森林総合研究所が独立行政法人となるにあたり、これまで推進してきた農林水産技術会議によるプロジェクト研究（特別研究など）の一部、および森林総合研究所の経費による特別研究調査費（特定研究）を統合し、研究所の運営費交付金により運営する新たな行政ニーズへの対応、中期計画の推進、所の研究基盤高揚のためのプロジェクト研究として設立・運営するものである。

この冊子は、交付金プロジェクト研究の終了課題について、研究の成果を研究開発や、行政等の関係者に総合的且つ体系的に報告することにより、今後の研究と行政の連携協力に基づいた効率的施策推進等に資することを目的に、「森林総合研究所交付金プロジェクト研究成果集」として刊行するものである。

ISSN 1349-0605

森林総合研究所交付金プロジェクト研究 成果集 28

「木質ペレット成型機構の解明」

発 行 日 平成22年 3月 18日

編 集・発 行 独立行政法人 森林総合研究所

〒305-8687 茨城県つくば市松の里1番地

電話 . 029-873-3211 (代表)

印 刷 所 株式会社 総合印刷新報社

