

報 告 書

平成 29 年度「当別町産木質ペレット製造実証事業」

当別町経済部エネルギー推進室
主幹 吉野 裕宜

1. はじめに

国土の約 7 割が森林である我が国は、戦後植林した森林がまさに利用期を迎えている。国の森林・林業基本計画では、木質バイオマス燃料化拡大のため、平成 26 年度実績で 200 万 m³に対し、平成 37 年度には 800 万 m³とする目標を立て、需要拡大を進めている。

当別町においても、利用期を迎えた森林の整備が急務であり、間伐による森林整備、林道整備を進めているところである。また、木材のバイオマス利用として、地域資源である木質バイオマスを地域で活用するエネルギーの地域循環を目指し、取り組みを進めているところである。

本町が木質バイオマスの熱利用を進めていく際の課題として、コストを抑えた林地未利用材の回収、コストを抑えた安定した品質の木質燃料の製造を想定している。これらの課題を解決するため、本実証では、伐採から燃料製造までの工程を、実際に近い状態で行い、各種測定・分析を行ったので報告する。

2. 実証概要

間伐時に発生する林地未利用材を町有林地から回収し、チップ化のあと、乾燥、おが粉、ペレットと、その工程ごとに、原料の含水率や熱量等を分析した。また、製造したペレットについて、(一社)日本木質ペレット協会の品質規格に沿って分析を行い、品質の確認を行った。

3. 実証結果

3-1 林地未利用材の回収

平成 28 年 10 月に町有林において間伐を行った際、作業道造成時に発生した支障木が、林地未利用材として、間伐時に使用していた土場に堆積しており、今回の実証事業では、その林地未利用材を回収し、使用することとした。回収は、4t ユニック車 1 台、作業員 2 名で実施した。



図 1 林地未利用材



図 2 4t ユニック車

林地未利用材は、伐採後、約6か月経過していた。回収は、平成29年5月1日に実施し、積み込みは、2時間程度で完了した。作業日前日に0.5mm程度の降雨があったが、土場は乾いた状態であった。

回収した樹種は、トドマツ、カラマツ、ミズナラ、シラカバ、イタヤ、ハウノキの6種類であり、樹種ごとに2本のサンプルを測定した。また、町有林の針葉樹における賦存量が最も多いトドマツについては、皮付き、皮無しの2種類についてサンプルを測定した。測定結果を表1に示す。

原木重量の総計は0.752t、材積の総計は0.867m³であり、単位重量が一番重いのは、カラマツであり、一番軽いのはハウノキであった。

| 樹種 | 元口直径 | 末口直径 | 長さ | 重量 | 材積 (末口 二乗法) | 樹種別 重量計 | 樹種別 材積計 | 単位重量 | |
|-----|-----------|------|-----|-------|-------------------|------------|----------------|------------------|------|
| | mm | mm | mm | t | m ³ | t | m ³ | t/m ³ | |
| 1-1 | トドマツ(皮付き) | 200 | 170 | 1,740 | 0.048 | 0.050 | 0.087 | 0.102 | 0.85 |
| | | 220 | 180 | 1,600 | 0.039 | 0.052 | | | |
| 1-2 | トドマツ(皮無し) | 160 | 130 | 2,270 | 0.033 | 0.038 | 0.074 | 0.077 | 0.96 |
| | | 170 | 140 | 1,990 | 0.041 | 0.039 | | | |
| 2 | カラマツ | 210 | 170 | 2,400 | 0.089 | 0.069 | 0.163 | 0.156 | 1.04 |
| | | 230 | 190 | 2,400 | 0.074 | 0.087 | | | |
| 3 | イタヤ | 220 | 180 | 2,400 | 0.085 | 0.078 | 0.126 | 0.126 | 1.00 |
| | | 170 | 140 | 2,460 | 0.041 | 0.048 | | | |
| 4 | ハウノキ | 190 | 160 | 2,370 | 0.044 | 0.061 | 0.113 | 0.178 | 0.63 |
| | | 270 | 220 | 2,420 | 0.069 | 0.117 | | | |
| 5 | シラカバ | 200 | 170 | 2,400 | 0.056 | 0.069 | 0.102 | 0.138 | 0.74 |
| | | 200 | 170 | 2,400 | 0.046 | 0.069 | | | |
| 6 | ミズナラ | 180 | 150 | 2,440 | 0.054 | 0.055 | 0.087 | 0.090 | 0.97 |
| | | 140 | 120 | 2,440 | 0.033 | 0.035 | | | |
| 計 | | - | - | - | 0.752 | 0.867 | 0.752 | 0.867 | 0.88 |

表1 サンプルの測定結果

3-2 チップ化

回収した林地未利用材は、回収した日の翌日の平成29年5月2日に、樹種ごとにチップ化を行った。町内にチップ化の設備がないため、三笠市の堀川林業(株)の協力にて実施した。チップは切削チップである。



図3 皮むき機(トドマツのみ)



図4 原木を帯鋸盤にてカット



図5 切削チップ機にてチップ化



図6 チップをフレコン詰め

チップ化の後、分析用のサンプリングを行った。林地未利用材回収の翌日にチップ化を行っていることから、チップの分析データを原木のデータとみなすこととした。含水率は、材料に含まれる水分の割合をいい、ウェットベースで算出した。灰分は、燃やした後に残る灰の量の割合で、少ないと灰の掃除の頻度が少なくなるなどのメリットがある。樹種ごとの分析結果を表2に示す。

チップ化後の総重量は、0.659tとなり、原木重量の12%減となった。これは、切削時に粉末となるなど、回収しきれなかった分があると推測する。

含水率については、トドマツ（皮付き）が48.8%と一番高く、シラカバが32.2%と一番低い結果となった。また、灰分は、イタヤが一番高く、カラマツが一番低い結果となった。発熱量については、ほとんど差はない結果となった。

| 樹種 | | 重量 | 含水率 | 灰分 | 発熱量 |
|-----|-----------|-------|------|-----|--------|
| | | t | % | % | MJ/t |
| 1-1 | トドマツ(皮付き) | 0.071 | 48.8 | 0.6 | 20,190 |
| 1-2 | トドマツ(皮無し) | 0.063 | 44.6 | 0.4 | 20,140 |
| 2 | カラマツ | 0.144 | 33.8 | 0.1 | 20,180 |
| 3 | イタヤ | 0.114 | 38.5 | 1.0 | 19,430 |
| 4 | ハウノキ | 0.102 | 37.7 | 0.6 | 20,070 |
| 5 | シラカバ | 0.088 | 32.2 | 0.2 | 19,640 |
| 6 | ミズナラ | 0.077 | 39.5 | 0.6 | 19,650 |
| 計 | | 0.659 | 39.3 | 0.5 | 19,900 |

表2 チップの分析結果

3-3 チップ乾燥

チップは、その後の乾燥及びペレット製造のため、同日旭川市にある（地独）北海道立総合研究機構林産試験場に運搬した。林産試験場では、乾燥を促すため、場内のビニールハウスに格納した。また、ビニールハウス内で均一に乾燥させるため、簡易的に攪拌を行った。



図 7 チップの乾燥小屋への運搬



図 8 林産試験場内のビニールハウス

乾燥状態の確認は、平成 29 年 5 月 23 日に行った。その際のチップの含水率変化を表 3 に示す。5 月 2 日から 21 日経過後の状態では、おおむね 20%以下まで含水率が低下した。

ペレット化に最適なおが粉の含水率は 10%から 15%が目安であることから、チップからおが粉に破碎の際の乾燥を考慮すると、十分な含水率と判断し、順次おが粉化を行った。

| No | 樹種 | 含水率 | |
|-----|-----------|------|-------|
| | | % | |
| | | 5月2日 | 5月23日 |
| 1-1 | トドマツ(皮付き) | 48.8 | 20.8 |
| 1-2 | トドマツ(皮無し) | 44.6 | 10.9 |
| 2 | カラマツ | 33.8 | 13.8 |
| 3 | イタヤ | 38.5 | 14.1 |
| 4 | ハウノキ | 37.7 | 19.0 |
| 5 | シラカバ | 32.2 | 14.8 |
| 6 | ミズナラ | 39.5 | 9.6 |
| | 平均 | 39.3 | 14.7 |

表 3 チップの含水率変化

3-4 おが粉化

林産試験場の協力にて 6 月から 7 月にかけてチップのおが粉化を実施した。平成 29 年 8 月 15 日時点のおが粉の含水率を表 4 に示す。

平均含水率は、7.9%であった。ペレット化に最適な原材料の含水率は 10%から 15%が目安であることから、過乾燥となっていた。そのため、製造過程で加水し水分調整することとした。

| No | 樹種 | 含水率 |
|-----|-----------|-------|
| | | % |
| | | 8月15日 |
| 1-1 | トドマツ(皮付き) | 10.0 |
| 1-2 | トドマツ(皮無し) | 8.0 |
| 2 | カラマツ | 11.4 |
| 3 | イタヤ | 6.4 |
| 4 | ハウノキ | 6.8 |
| 5 | シラカバ | 6.5 |
| 6 | ミズナラ | 6.3 |
| | 平均 | 7.9 |

表 4 おが粉の含水率



図9 おが粉製造機



図10 製造したおが粉

3-5 ペレット製造

平成29年8月15日から8月17日の日程で、ペレット製造を行った。製造は、おが粉に重量比10%の水を加えて、攪拌後、ペレット製造機に投入した。本来、おが粉の含水率に合わせ、水分調整を行うのが良いが、今回は簡易的に一律10%とした。その後、冷却し、サンプリングを行い各種試験を実施した。

【ペレット製造フロー】



図11 ペレット製造フロー図

ペレット製造は、樹種ごとに加え、針葉樹・広葉樹の重量比で、1:2 及び 1:1 で混ぜ合わせたサンプルも用意した。

すべての樹種について、ペレット成形することができたが、広葉樹は針葉樹に比べて柔らかく、全体的に粉分が多かった。

ペレット製造の効率を把握するため、原料に対してどのくらい製品として出来上がるかの割合を示す製品化率を算出した。表5にペレットの製品化率を示す。

製品化率が一番高いのはカラマツで、一番低いのはミズナラとなった。また、全体の平均製品化率は77.8%となった。

| No | 樹種 | おが粉 kg | ペレット kg | 重量差分 | おが粉-ペレット 減量率 % | 原木-おが粉 減量率 % | 製品化率 (対原木) % |
|-------|-------------|-----------|------------|-------------|----------------------|--------------------|--------------------|
| | | | | 粉・形崩れ kg | | | |
| 1-1 | トドマツ(皮付き) | 39.3 | 37.2 | 2.1 | 94.7 | 81.6 | 77.3 |
| 1-2 | トドマツ(皮無し) | 35.2 | 32.1 | 3.1 | 91.2 | 85.1 | 77.6 |
| 2 | カラマツ | 38.9 | 38.2 | 0.7 | 98.2 | 88.3 | 86.7 |
| 3 | イタヤ | 53.5 | 48.0 | 5.5 | 89.7 | 90.5 | 81.2 |
| 4 | ホウノキ | 41.0 | 36.2 | 4.8 | 88.3 | 90.3 | 79.7 |
| 5 | シラカバ | 38.9 | 36.5 | 2.4 | 93.8 | 86.3 | 80.9 |
| 6 | ミズナラ | 24.1 | 16.7 | 7.4 | 69.3 | 88.5 | 61.3 |
| 7 | 針葉樹・広葉樹 1:2 | 9.9 | 7.9 | 2.0 | 79.8 | - | - |
| 8 | 針葉樹・広葉樹 1:1 | 4.4 | 3.3 | 1.1 | 75.0 | - | - |
| 計(平均) | | 285.2 | 256.1 | 29.1 | 86.7 | 87.2 | 77.8 |

表 5 ペレットの製品化率



図 12 ペレット計測(長さ・直径)



図 13 ペレット計測(重量)



図 14 機械的耐久性試験



図 15 樹種ごとのチップ・おが粉、ペレット

3-6 ペレットの品質について

測定及び分析は、全ての樹種で燃料特性を主とする分析を行った。また、将来的な商業利用を目的とした木質燃料製造の可能性を考慮し、代表的な樹種であるトドマツ（皮付き）と、広葉樹を活用した針葉樹・広葉樹(1:1)について、重金属分析を行った。

針葉樹と針葉樹・広葉樹(1:1)の分析結果を表6に示す。トドマツは、皮付きのほうが機械的耐久性が高く、カラマツは、トドマツ皮付きより機械的耐久性が高い結果となった。実際のペレットを触った感覚でもカラマツのペレットのほうが固く、形崩れしにくい印象であった。トドマツの皮付きでは、カラマツ、トドマツ皮なしと比べ灰分が高い結果となった。

| | 木質ペレット品質基準 | | | | | トドマツ(皮付き) | | 針葉樹・広葉樹(1:1) | | トドマツ(皮なし) | | カラマツ | |
|---------|------------|-------------------|------------|---------|---------|-----------|------|--------------|------|-----------|------|--------|------|
| | 項目 | 単位 | 基準 | 基準 | 基準 | 測定値 | 基準判定 | 測定値 | 基準判定 | 測定値 | 基準判定 | 測定値 | 基準判定 |
| | | | A | B | C | | | | | | | | |
| 性状・燃料特性 | 直径 | mm | 6±1 | | | 6.2 | A | 6.05 | A | 6.04 | A | 6.16 | A |
| | 長さ | mm | 3.15<L<40 | | | 21.49 | A | 21.58 | A | 21.76 | A | 21.57 | A |
| | かさ密度 | kg/m ³ | 650≤BD≤750 | | | 672 | A | 666 | A | 705 | A | 684 | A |
| | 水分 | % | M≤10 | | | 10.0 | A | 7.3 | A | 8.0 | A | 11.4 | 基準外 |
| | 微粉 | % | F≤1.0 | | | 0.03 | A | 0.12 | A | 0.06 | A | 0.01 | A |
| | 機械的耐久性 | % | DU≥97.5 | | DU≥96.5 | 97.2 | C | 87.9 | 基準外 | 93.7 | 基準外 | 98.8 | A |
| | 低位発熱量 | MJ/kg | ≥16.5 | | ≥16.0 | 20.4 | A | 20.0 | A | 20.5 | A | 20.4 | A |
| | 添加物 | % | ≤2.0 | | | 0 | A | 0 | A | 0 | A | 0 | A |
| | 灰分 | % | AC≤0.5 | 0.5<AC≤ | 1.0<AC≤ | 1.1 | C | 0.4 | A | 0.6 | B | 0.2 | A |
| | 硫黄 | % | S≤0.03 | | S≤0.04 | 0.01未満 | A | 0.01未満 | A | - | - | 0.01未満 | A |
| | 窒素 | % | N≤0.5 | | N≤1.0 | 0.1 | A | 0.10 | A | - | - | 0.05 | A |
| | 塩素 | % | Cl≤0.02 | | Cl≤0.03 | 0.02 | A | 0.01未満 | A | - | - | 0.01未満 | A |
| 重金属 | ヒ素 | mg/kg | As≤1 | | | 0.1未満 | A | 0.1未満 | A | | | | |
| | カドミウム | mg/kg | Cd≤0.5 | | | 0.1未満 | A | 0.1未満 | A | | | | |
| | 全クロム | mg/kg | Cr≤10 | | | 2未満 | A | 2未満 | A | | | | |
| | 銅 | mg/kg | Cu≤10 | | | 2未満 | A | 2未満 | A | | | | |
| | 水銀 | mg/kg | Hg≤0.1 | | | 0.01未満 | A | 0.01未満 | A | | | | |
| | ニッケル | mg/kg | Ni≤10 | | | 2未満 | A | 2未満 | A | | | | |
| | 鉛 | mg/kg | Pb≤10 | | | 2未満 | A | 2未満 | A | | | | |
| 亜鉛 | mg/kg | Zn≤100 | | | 8 | A | 5 | A | | | | | |

表6 針葉樹ペレットの品質結果

次に、広葉樹の分析結果を表7に示す。広葉樹は、針葉樹と比較して機械的耐久性が低い結果となった。一般的にシラカバは、固まりにくいと言われているが、今回の実証では特に問題は見られなかった。

| | 木質ペレット品質基準 | | | | | イタヤ | | ホウノキ | | シラカバ | | ミズナラ | |
|---------|------------|-------------------|------------|---------|---------|--------|------|--------|------|--------|------|--------|------|
| | 項目 | 単位 | 基準 | 基準 | 基準 | 測定値 | 基準判定 | 測定値 | 基準判定 | 測定値 | 基準判定 | 測定値 | 基準判定 |
| | | | A | B | C | | | | | | | | |
| 性状・燃料特性 | 直径 | mm | 6±1 | | | 6.02 | A | 6.06 | A | 6.08 | A | 6.04 | A |
| | 長さ | mm | 3.15<L<40 | | | 19.45 | A | 19.66 | A | 19.52 | A | 21.35 | A |
| | かさ密度 | kg/m ³ | 650≤BD≤750 | | | 673 | A | 665 | A | 653 | A | 675 | A |
| | 水分 | % | M≤10 | | | 6.4 | A | 6.4 | A | 6.5 | A | 6.3 | A |
| | 微粉 | % | F≤1.0 | | | 0.05 | A | 0.09 | A | 0.10 | A | 0.11 | A |
| | 機械的耐久性 | % | DU≥97.5 | | DU≥96.5 | 95.0 | 基準外 | 91.1 | 基準外 | 90.3 | 基準外 | 88.5 | 基準外 |
| | 低位発熱量 | MJ/kg | ≥16.5 | | ≥16.0 | 19.6 | A | 20.1 | A | 20.0 | A | 19.6 | A |
| | 添加物 | % | ≤2.0 | | | 0 | A | 0 | A | 0 | A | 0 | A |
| | 灰分 | % | AC≤0.5 | 0.5<AC≤ | 1.0<AC≤ | 0.7 | B | 0.5 | A | 0.3 | A | 0.8 | B |
| | 硫黄 | % | S≤0.03 | | S≤0.04 | 0.01未満 | A | 0.01未満 | A | 0.01未満 | A | 0.01未満 | A |
| | 窒素 | % | N≤0.5 | | N≤1.0 | 0.1 | A | 0.19 | A | 0.13 | A | 0.15 | A |
| | 塩素 | % | Cl≤0.02 | | Cl≤0.03 | 0.01未満 | A | 0.01未満 | A | 0.01未満 | A | 0.01未満 | A |

表7 広葉樹ペレットの品質結果



図 16 トドマツ(皮あり)のチップ・おが粉・ペレット



図 17 カラマツ(皮なし)のチップ・おが粉・ペレット



図 18 カラマツのチップ・おが粉・ペレット



図 19 イタヤのチップ・おが粉・ペレット



図 20 ホオノキのチップ・おが粉・ペレット



図 21 シラカバのチップ・おが粉・ペレット



図 22 ミズナラのチップ・おが粉・ペレット



図 23 製造したチップ・おが粉・ペレット

4. まとめ

本実証では、間伐時に発生する林地未利用材からペレットを製造し、原木、チップ、ペレットに至るまでの原料の状態の変化や、製造したペレットの成分などを明らかにした。

全体を通して、おが粉の含水率調整など製造時の工夫は必要だが、本実証で使用した針葉樹、広葉樹について、ペレット製造は可能であり、品質に大きな問題はなかった。

また、チップの乾燥工程で、ビニールハウスを利用したが、燃料を使わず太陽熱など再生可能エネルギーを利用した乾燥方法の可能性があったことがわかった。以下、要点をまとめる。

- ・林地未利用材は、土場に集積していたこともあり、保管状態が良く、泥などの付着がほとんど見られなかった。引き上げについても、効率よく回収できたことから、間伐時の作業の工夫により、林地未利用材を土場に集積することで、品質の良い林地未利用材を容易に回収することが出来ることがわかった。

- ・チップからおが粉にする工程では、特に大きな問題は見られなかった。ただし、かさ比重の大きいおが粉は広い置場スペースが必要となるので注意が必要である。

- ・ペレット製造では、機械的耐久性について、ペレットの品質基準では規格外となることが多かったが、林産試験場のアドバイスとして、製造時におが粉の水分調整の精度を高めることで、品質を向上させることができるとのこと、また、ペレット製造機のリングダイ（圧縮器）の穴の大きさ、長さ、形状によっても、ペレット性状の調整が可能とのことなので、参考に記す。

- ・ペレットの成分分析は、燃料特性を示す硫黄、窒素、塩素の3要素、燃焼灰の利用が出来るかを示す重金属の含有量について分析を行ったが、いずれも基準値以内となった。

製造時のおが粉の水分調整で改善の余地があるが、機械的耐久性（カラマツは水分）を考慮に入れない場合の各樹種の品質基準ランクを表8に示す。

| | 樹種 | 品質基準ランク | 備考 |
|-----|--------------|---------|----------------|
| 針葉樹 | トドマツ（皮付き） | C | |
| | トドマツ（皮無し） | B | 機械的耐久性の改善の余地あり |
| | カラマツ | A | 水分の改善の余地あり |
| | 針葉樹・広葉樹(1:1) | A | 機械的耐久性の改善の余地あり |
| 広葉樹 | イタヤ | B | 機械的耐久性の改善の余地あり |
| | ホウノキ | A | 機械的耐久性の改善の余地あり |
| | シラカバ | A | 機械的耐久性の改善の余地あり |
| | ミズナラ | B | 機械的耐久性の改善の余地あり |

表8 今回製造したペレットの品質基準ランク



図24 林地未利用材の積込



図25 専門家による樹種の特定



図26 ペレットの振るい分け

5. 今後の展望

5-1 チップの低含水率化によるメリット

木質燃料は、水分量の違いにより発熱量が大きく異なるため、コストをかけずに含水率を下げる工夫により、燃料コストを下げるができる。参考まで、含水率と発熱量の関係を図 27 に示す。

チップを燃料として用いる場合、含水率の低い安定したチップを利用することにより、固定床燃焼方式を採用する小型で安価なボイラを選択することが可能となり、導入費の低減など様々なメリットがある。

今回の簡易的なビニールハウス内の乾燥は、攪拌などの手間がかかるものの、乾燥にかかる燃料費の抑制などの面で、十分有効的な手段である。

また、ペレット製造に関しても、含水率の低いチップを利用することで、乾燥工程の燃料費を抑え、品質の安定したペレットを作ることができる。一般的なペレット製造は、乾燥工程で多くのエネルギーを使うため、チップの低含水率化はこれにかかるコストの削減につなげることができる。

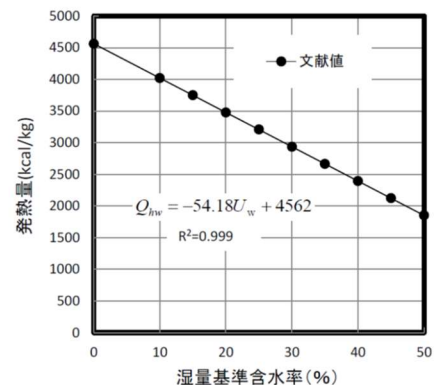


図 27 含水率と発熱量の関係

5-2 林地未利用材の低含水率化

林地未利用材の置き場所にもよるが、原木の含水率の変化は、6ヶ月までは減少し、1年経過から徐々に増加する傾向にある。図 28 に林地未利用材の長期含水率変化を示す。

原木の含水率は、季節や土場の状況など変動要因が多く、どれが最良の方法か特定するのが難しい。今後も、原木の含水率変化を調査し、検討を行っていききたい。

(データ提供：林産試験場)

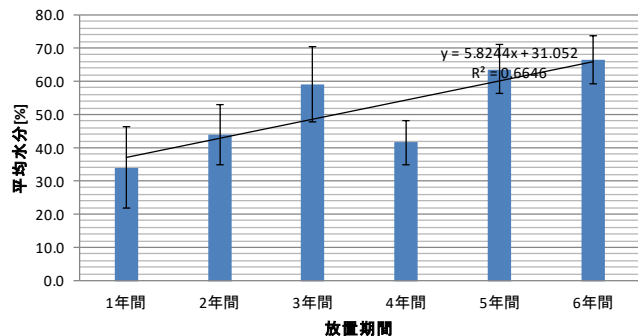


図 28 林地残材の長期含水率変化

6. 謝辞

本実証事業において、ご多忙中、ご協力していただいた堀川林業（株）様、（地独）北海道立総合研究機構森林研究部林産試験場様に、感謝の意を表します。

【参考文献】

図 27 全国木材チップ工業連合会 木材チップ等原料転換型事業 調査・分析報告書から抜粋

図 28 (地独)北海道立総合研究機構森林研究部林産試験場 提供