

クマイザサを原料としたペレット燃料成型に関する研究

Studies on Production of Pellet Fuel from *Sasa senanensis*三木 康臣 *¹

Yasutomi MIKI

Abstract

The purpose of this study is to analyze the mechanism of pellets production from *Sasa* species using the roller desk type pelleting machine. In this study, *Sasa senanensis* and *Sasa kurilensis* were used, which has grown in almost forest area of Hokkaido.

Quantitative determinations of some physical properties of fuel pellets such as density, bulk density, mechanical strength such as compression strength and stretch strength were performed. And calorific heating values and fuel industrial chemical analysis were also examined.

The results showed that at 100°C the disintegrated dust of culms of *Sasa senanensis* under 16mm of particle size were successfully cast into pellets reasonably strong with a density of 1.2g/cm³. Calorific heating values compared favorably with those of pellets from the sawdust of tree trunk of both Todomatsu and Karamatsu, which are common conifers in Hokkaido. Pellets from culms of *Sasa senanensis* showed a lot of volatile portions and showed slightly rich in ash portions, but poor compared with pellets from the bark meal of both Todomatsu and Karamatsu. *Sasa* culms containing leaves by nine percent, fifteen percent and thirty percent were successfully cast into pellets strong compared favorably with *Sasa* culms containing no leaves.

キーワード：バイオエネルギー、クマイザサ、ペレット成型機、ペレットの物性、発熱量

Key Words : Bioenergy, *Sasa senanensis*, Pelleting machine, Property of pellets, Mechanical strength, Calorific heating value

1. 緒言

2005年2月16日に京都議定書が発効され、地球温暖化防止および化石燃料資源の枯渇問題上からも、再生可能なバイオマス、とりわけ、膨大な蓄積を誇りカーボンニュートラルな木質バイオマスが注目されている。

林野庁の調査で、最近5年間で我が国の竹林面積は61%増加したとされ⁽¹⁾、放置竹林は植生景観の単純化や多様性の低下といった点で里山の生態系を破壊し⁽²⁾、農地、住宅地への侵食までに及んでいる。タケは、木と草の間隔的な特性を示し、成長の早さ、価格面でも優位であることから、木材代替材料、工業用原料としても注目されている。我が国では厄介者扱いのタケではあるが、その利活用を見出すことは、竹林の維持管理、里山の生態系を守ることからも重要であり、世界的に見ても極めて豊富な第二の持続的再生産可能な森林バイオマスである。

さて、北海道の森林では、下層植生としてササが広く分布し、その蓄積量は、乾重量で7,500万トンと推定され、これは道内の林木蓄積の約28%⁽³⁾、我々の調査でも利用可能料は281万トンと道内の木質バイオマス利用可能量の半数に相当している。⁽⁴⁾ なお、道内のササについては、1984年の林業試験場北海道支場の調査⁽³⁾以降、実態が把

握されていないのが現状で、タケと同様の状況にあるかどうかは今後の調査を待たねばならない。

資源基盤の脆弱なわが国において、ササは魅力的な未利用木本バイオマスであるが、現在、ササ茶、ササエキスなどの健康食品、たけのこ、手漉き紙原料、農作物の支柱などに一部利用されているものの⁽⁵⁾、資源の大半は未利用のままである。

本研究では、道内に広く分布するササのエネルギー的活用の一環として、ペレットストーブや小型ボイラー用のペレット成型を初めて試み、その成型条件と特性の一部を明らかにしたので、報告する。

2. 実験方法

2-1 ペレットの成型方法

常呂町国有林内のクマイザサを用いた。クマイザサを天日乾燥あるいは電気乾燥した後、グリーンミルにより一次破碎をする。その後、ロートプレックスで二次破碎を行い、ペレットの原材料とする。なお、一次破碎あるいは二次破碎したもので所定の水分調整をした。ペレットの成型には不二パウダル(糊製ディスクダイ型ペレタイザー(写真1))を用い、今回は、穴径6mm、有効厚さ30mmのダイスで成型した。ササの含水率が10から30%の範囲ではリグニンの軟化温度は約70°Cであることから⁽⁶⁾、成型温度は70°C以上でなるべく低い温度であることが望ま

*1 北見工業大学工学部助教授
(〒090-8507 北見市公園町165番地)
e-mail: mikiyt@mail.kitami-it.ac.jp
(原稿受付: 2006年1月19日)

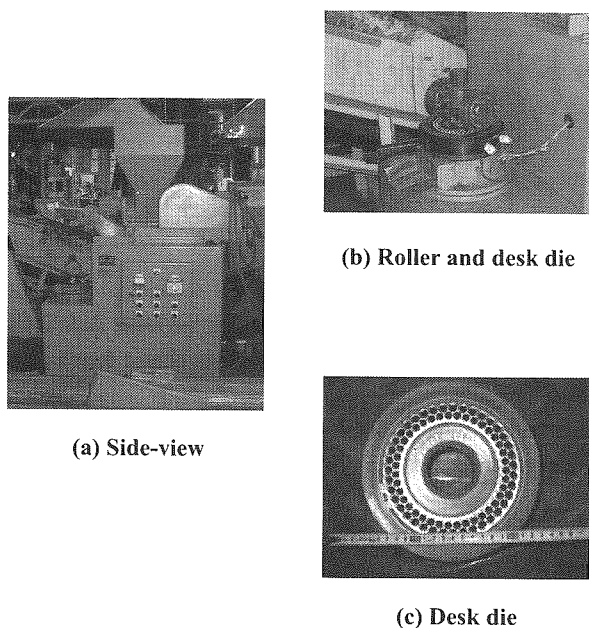


Photo. 1 Outline of the roller desk type pelleting machine

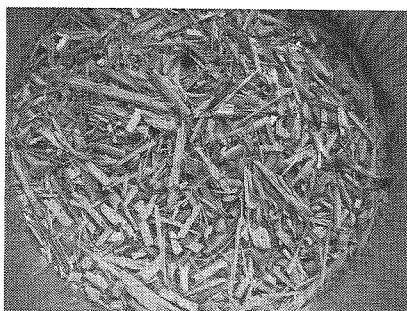


Photo. 2 Raw material from Sasa senanesis

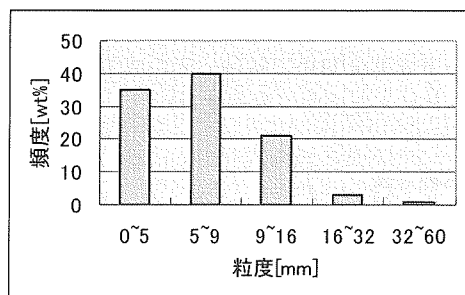


Fig.1 Particle size histogram of raw material from Sasa senanesis

しいが、原材料の投入によるダイスの温度低下を考慮して、経験的に決定されるべきである。今回は、成型温度は約 100℃一定とし、モーターが過負荷にならないように原材料供給を調整した。なお、商業的な生産においては、110~120℃に設定されているようである。

2-2 測定項目

成型されたペレットの含水率（ドライベース）、比重、長さ、かさ密度、成形率、圧縮引張り強度を測定した。圧縮引張り強度試験には、榎今田製作所製引張り圧縮試験機 SV-301 を使用した。

図 1 に、原材料の粒度分布の一例（クマイザサ・稈）を示す。今回は粒度分布の影響は考慮しなかった。

また、約一ヶ月室内に放置して気乾した後、JIS M8812、M8814 に準じて工業分析、総発熱量の測定を行った。

3. 実験結果ならびに考察

3-1 クマイザサ・稈ペレットの外観と原材料含水率

写真 2 に、クマイザサ・稈を原材料としたペレットを示す。原材料の含水率が 13~43% でペレット成型が可能と判断された。なお、図 2~図 6 の相関図はクマイザサ・稈について示した。

3-2 原材料とペレットの含水率の相関

原材料の含水率とペレットの含水率の相関を図 2 に示す。原材料はダイスの孔を通過する間にダイスの温度および成型孔内壁との摩擦熱によって水分が蒸発し、成型されたペレットの含水率は原材料を下回った。図では、原材料の含水率の上昇によってペレットの含水率もわずかに上昇している。ペレットの含水率は 6~13.6% の間になった。

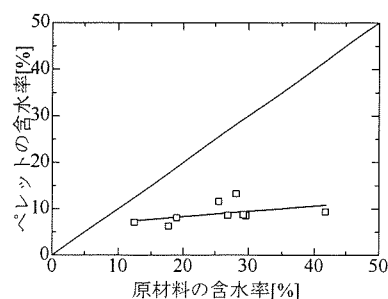


Fig.2 Relation between moisture content of raw material and moisture of pellets

3-3 原材料およびペレットの含水率とペレットの密度の相関

ペレットの含水率とペレットの密度の相関を図 3 に示す。ペレットの含水率が減ると、ペレットの密度は大きくなり、約 1.3g/cm³ で飽和する。

また、原材料の含水率とペレットの密度の相関を図 4 に示す。二次粉碎後の含水率が増すと、ペレットの密度は小さくなっている。

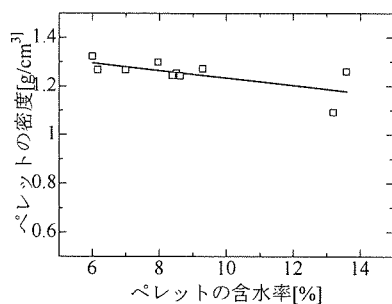


Fig. 3 Relation between density of pellets and moisture of pellets

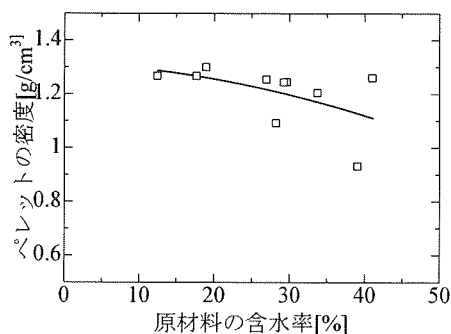


Fig. 4 Relation between moisture content of raw material and density of pellets

3-4 原材料の含水率とペレットの嵩密度の相関

原材料の含水率とかさ密度の相関を図5に示す。ササ粉砕物 (0.08g/cm^3 、平均4mm粒度⁽⁷⁾)の約9倍に相当する。原材料の含水率が増加するにしたがってかさ密度は小さくなる傾向がある。また、振動フィーダを通した場合の嵩密度は約 0.07g/cm^3 大きくなった。

3-5 原材料の含水率と成型率の相関

原材料の含水率と成型率の相関を図6に示す。ここで、成型率とは原材料から成型されるペレットの割合を意味し、未成型分はダストと呼ばれている。含水率が25~30%で成型率はピーク値を持つ。

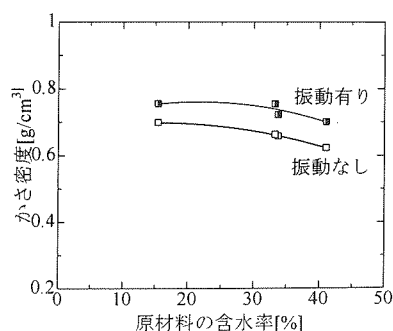


Fig. 5 Relation between moisture content of raw material and bulk density of pellets

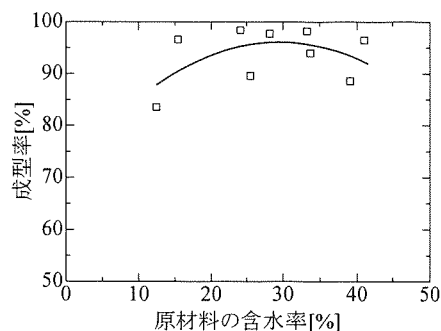


Fig. 6 Relation between moisture content of raw material and the ratio of production of pellets

3-6 総発熱量と工業分析値

道内のササは、クマイザサとチシマザサで全体の97%を占めるが⁽¹⁾、滝上産のチシマザサを原材料として同様のペレットを作成した。表1によれば、クマイザサおよびチシマザサのリグニンの含有量は、種間および器官部位で大きな差異はない。また、クマイザサ、チシマザサ共に、稈部で約2%、葉部で約12%の灰分を含んでいる。なお、ササの稈は伸長するにしたがって木化が進み、次第にリグニンの量が増し⁽⁸⁾、ササの葉は伸長するにしたがって、次第に灰分が増すことも相馬⁽⁹⁾により指摘されている。灰分の割合はササ生育地の地質にもよると大原久友氏が指摘している。⁽⁸⁾

Table 1 Chemical composition of Sasa-Bamboos

原料	リグニン [%]	ホロセル ロース[%]	灰分 [%]
クマイザサ・稈 ⁽¹⁰⁾	20.0	—	1.9
〃・葉 ⁽¹⁰⁾	20.6	—	12.2
チシマザサ・稈	20.2-21.6	63.8-68.1	1.4-1.6
(8)(10)	20.0	75.3	2.0
〃・葉 ⁽¹⁰⁾	18.8	—	11.0
ドドマツ・樹幹	29.2	74.5	0.52
ミズナラ・樹幹	23.1	82.0	0.58

表2によれば、総発熱量(絶乾重量ベース)は、クマイザサとチシマザサの種間で差はない。葉の割合にも依存しない。木質ペレットよりは若干総発熱量は少ない。ササ・稈ペレットの灰分(絶乾重量ベース)は、樹幹ペレットの約10倍大きく、樹皮ペレットの2/3以下で、葉付枝条ペレット程度である。葉の割合を増やすと灰分は増加し、全木では樹皮ペレットを約2割上回る。なお、オーストリア連邦農林省によるバイオマス燃料の規格(ガイドライン UZ38)⁽¹¹⁾によれば、パークペレットの灰分は6%以下なので、クマイザサの葉の混入率は15%程度にすればこの規格をクリアできる。また、ササ・幹ペレ

ットでは、揮発分は樹幹ペレットより小さく、樹皮ペレットより大きい。

3-7 圧縮・引張り強度

図7、図8にクマイザサ・稈およびクマイザサ・9%葉入を原材料とした場合の圧縮、引張り強度を示す。両者ともに、無作為に抽出した10個の試料に対して測定した。図7によれば、圧縮、引張り強度ともに原材料の含水率が約22%を境にそれを超えれば減少する。また、22%を下回ると飽和状態になると考えられる。写真2の如く、圧縮、引張り強度ともに大きく上回る25%の方は目視でも表面に樹脂状の光沢があるのが観察できる。なお、31.6%の方は、成型約二ヶ月後にはかびの発生が確認された。

また、図8によれば、図7の傾向と類似し、その境となるペレットの含水率は8.5%となる。クマイザサの稈に

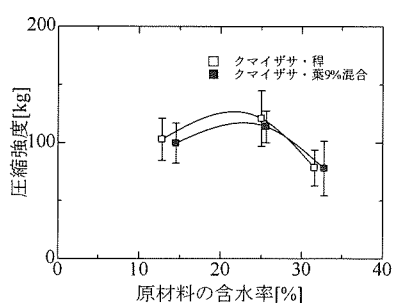
葉を9%混入させることにより、ペレットの含水率が10%を超える範囲では、圧縮、引張り強度が低下しているように見受けられる。次に、クマイザサ・15%葉入とクマイザサ・全木（葉の割合は約30%）を原材料とした場合の圧縮、引張り強度を示す。ただし、成型温度を115℃とした。図9、図10によれば、クマイザサの稈に葉を15%混入させることが、圧縮、引張り強度に与える有意な差は見受けられない。全木の場合の圧縮、引張り強度は若干低下する傾向がある。圧縮、引張り強度が極大となる原材料の含水率への成型温度の影響は今後の課題とする。

また、図9によれば、杉・樹皮を原材料としたペレットと比較して、クマイザサペレットは圧縮・引張り強度は遜色ないか、あるいはむしろ上回っているようである。原材料となる樹種によっては、ペレットの結合力に差が

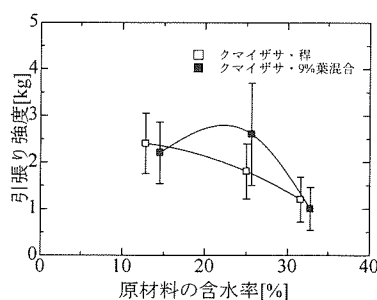
Table 2 Calorific heating values and fuel composition of pellets from woody material in Hokkaido

原料	総発熱量 [MJ/kg]	水分 [%]	灰分 [%]	揮発分 [%]	固定炭素 [%]	燃料比
クマイザサ・稈	19.1	5.1	4.1	77.8	18.1	0.23
〃・葉15%	19.5	6.7	5.1	77.1	17.8	0.23
〃・全木	19.2	6.6	8.1	74.7	17.2	0.23
チシマザサ・稈	19.4	4.1	2.6	80.6	16.9	0.21
トドマツ・樹幹 ⁽¹²⁾	20.1	7.5	0.3	84.1	15.6	0.19
〃・樹皮 ⁽¹²⁾	19.7	9.3	6.6	76.3	17.1	0.22
〃・葉付枝条 ⁽¹²⁾	21.3	8.9	2.7	77.9	19.6	0.25
カラマツ・樹幹 ⁽¹²⁾	19.9	7.4	0.3	84.7	15.0	0.18

※ 太字は本研究による値を示す。また、燃料比とは固定炭素/揮発分を意味する。

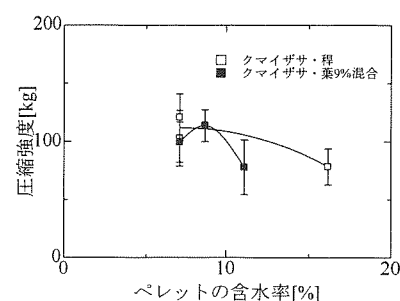


(a) Compression strength

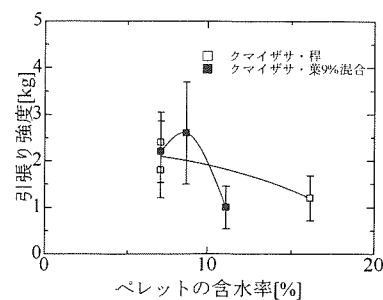


(b) Stretch strength

Fig. 7 Relation between moisture content of raw material and mechanical strength

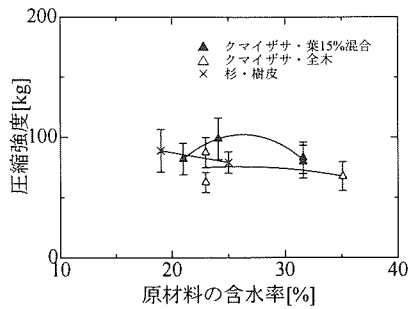


(a) Compression strength

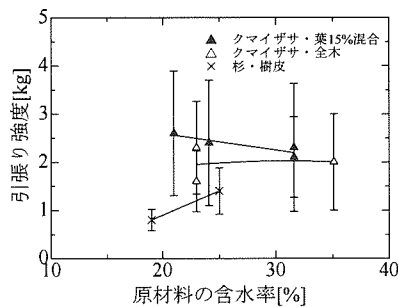


(b) Stretch strength

Fig. 8 Relation between moisture content of pellets and mechanical strength

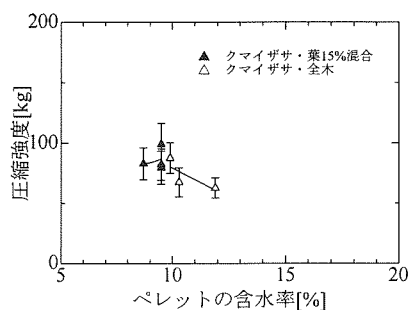


(a) Compression strength

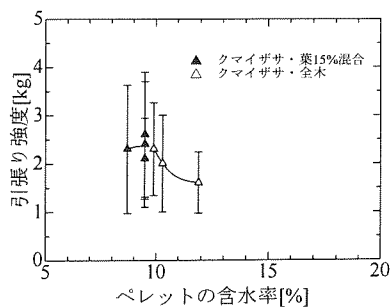


(b) Stretch strength

Fig. 9 Relation between moisture content of raw material and mechanical strength

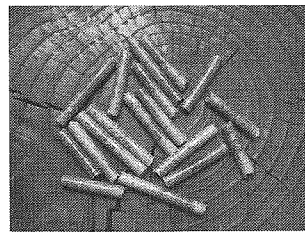


(a) Compression strength

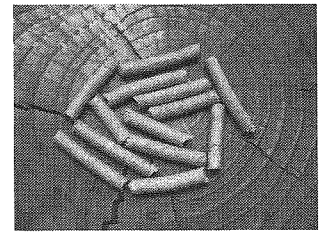


(b) Stretch strength

Fig. 10 Relation between moisture content of pellets and mechanical strength

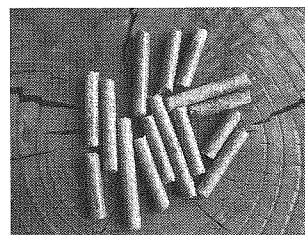


(a) Moisture content: 25.0%

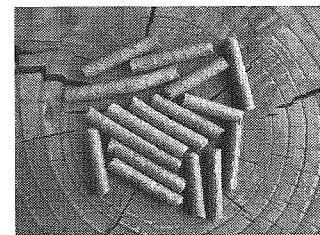


(b) Moisture content: 31.6%

Photo.2 Pellets from Sasa senanesis culms



(a) From Sasa senanesis including 15% leaves (Moisture content: 24.1%)



(b) From whole Sasa (Moisture content: 23%)

Photo.3 Pellets from Sasa senanesis including leaves

あることを示している。

写真4には、原材料の含水率が類似のクマイザサ・15%葉入とクマイザサ・全木を原料としたペレットの外観を示す。葉の割合が増すにつれて、トドマツ・葉付枝条を原料としたペレットの外観の如く色彩を持つようになる。

4. 環境コストと経済計算

図11に2005年12月現在の道内における熱量単価を示す。ペレットは灯油と競争可能で、チップはA重油と競争可能である。

表3に道内の一般家庭において1年間に消費される灯油の環境コストとペレットで代替した場合の経済計算を示す。ここで、育成林1ha当たりでは1年間に6.49[ton]

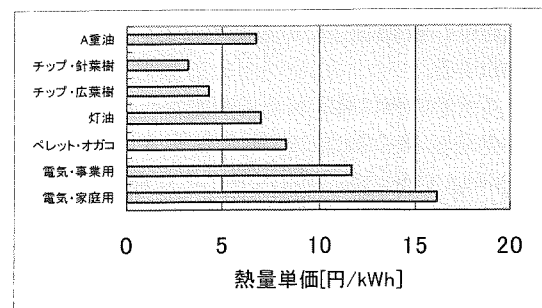


Fig. 11 Comparisons of cost of 1kWh heat from various fuels

計算条件 灯油 72.0 円/L A 重油 61.2 円/L ペレット・樹幹 42 円/kg チップ(広葉樹)15,878 円/絶乾ト チップ(針葉樹)12,530 円/絶乾ト ※ 2005 年 11 月現在

Table 3 Ecological cost and economical cost of kerosene consumption by dwellings in Hokkaido

環境コスト	1 世帯当り [ha]	0.739
	全世帯 [ha]	1,889,489
灯油	1 世帯当り [円]	137,643
購入代金	全世帯 [億円]	3,469.7
ペレット	1 世帯当り [円]	162,189
購入代金	全世帯 [億円]	4,088.4

計算条件 灯油消費量 1,911.7L/世帯・年 灯油の CO₂ 排出換算係数 2.51kg/L 育成林の CO₂ 吸収換算係数 6.49tCO₂/ha・年 灯油 72.0 円/L ペレット・樹幹 42 円/kg

の CO₂ を吸収しながら成長する⁽¹³⁾として、環境コストを森林面積という単位で表すことにする。その結果、道内における一般家庭の灯油消費起源の CO₂ 排出量は、道内森林面積の 33.9%に相当することになる。また、仮にペレット焚き暖房給湯器具の一般家庭への普及目標を 10%として、潜在的市場は約 350 億円の経済規模となる。

5. 結言

本研究では、道内に自生する未利用の膨大なササを原料として燃料用のペレットを初めて成型した。特に、クマイザサについて、含水率が与える影響を実験的に求め、成型されたペレットの特性の一端を数量的に明らかにした。クマイザサとチシマザサについて、総発熱量の測定、工業分析も行った。得られた知見を以下に要約する。

- (1) クマイザサのみを原材料とした場合、原材料の含水率が 13~43%でペレット成型は可能であるが、含水率が 31%では保存中にかびの発生が観られた。成型されたペレットの含水率は 6~13.6%であった。
- (2) ペレットの含水率が減ると、ペレットの密度は大きくなり、約 1.3g/cm³で飽和する。
- (3) 原材料の含水率が減ると、ペレットのかさ密度は大きくなり、振動させながら詰めると、約 0.75g/cm³で飽和する。
- (4) クマイザサの稈に葉を加えて成型されたペレットの総発熱量は葉の割合には殆ど影響されず、19.1~19.5MJ/kg であった。チシマザサとの差異はない。
- (5) クマイザサの稈に葉を加えて成型されたペレットの灰分(絶乾重量ベース)は葉の割合が増すと増加し、4.1~8.1%であった。
- (6) クマイザサの稈に葉を加えて成型されたペレットの圧縮、引張り強度は殆ど変化が確認されなかった。

道内の冬季の暖房時の熱需要と昨今の灯油価格の上昇を鑑みるに、ササペレットを適正価格で商業生産することが可能になれば、道内経済と大気中の CO₂ 削減に与える影響が大いに期待できる。

謝辞

本研究の遂行にあたって、北海道立林産試験場の山田敦物性利用科長、北海道森林管理局の枝澤則行氏、東京農業大学の北原理作氏の協力を得た。ペレットの機械的強度試験に関して、北見工業技術センター運営協会の太友秀之氏の助力を得た。佐藤貴宏氏(当時、北見工業大学)には、データ取得に関して、協力を得た。また、本研究は、一部北海道木質バイオマス研究会との共同研究(平成 17~18 年度)として実施された。

本報に関連した既発表文献

- ・ 三木康臣他 3 名、ササを原料とするペレット燃料成型に関する研究、太陽/風力エネルギー講演論文集(2005)、447.
- ・ 三木康臣他 2 名、道産ササを原料としたペレット燃料製造に関する研究、北海道エネルギー資源環境研究発表会、(2006)、335.

参考文献

- (1) 林野庁、竹林化防止の対応策(2005)、16.
- (2) 脇元理恵他 1 名、竹の侵入が環境に及ぼす影響—植生と土壌の特徴—、金沢大学植物園報、No.24(2002)、11.
- (3) 豊岡洪他 2 名、北海道ササ分布図概説(1983)、1
- (4) Y.MIKI et al., Assessing potential supply of woody biomass in Hokkaido and central Okhotsk district, Proc. of The Sixth KSME-JSME Thermal and Fluids Engineering Conference, JK05(2005).
- (5) 川瀬清、森からのおくりもの、北海道大学図書刊行会(1989)、21.
- (6) N.TAKAMURA, Studies on Hot Pressing and Drying Process In the Production of Fibreboard. III. Softening of Fibre Components in Hot Pressing of Fibre Mat, 第 14 巻 2 号、木材学会(1968)、75.
- (7) 遠藤展、ササの利用再び、林産試だより、9 号(1989).
- (8) 川瀬清他 1 名、ササの資源化に関する研究(2) 利用の基礎となる稈と葉の性質、Bamboo Journal、No.3(1983)、65
- (9) 相馬幸作他 5 名、クマイザサの成分組成および in vitro 乾物消化率の生育時期別変化、北畜会報、No.41(1999)、76.
- (10) 津田真由美他 3 名、ササの化学組成、林産試験場報、No.471(1995).
- (11) 熊崎実、国によって違うペレットの規格、木質エネルギー、No.10、(2006)、20.
- (12) 山田敦他 3 名、北海道産バイオマスを原料とした木質ペレット燃料の製造、日本木材学会大要旨集(2004)、743.
- (13) 環境省、第一回地球環境保全と森林に関する懇談会資料(H14 年 5 月 28 日)、林野庁ウェブサイト
- (14) 内村悦三、タケと竹を活かす タケの生態・管理と竹の利用、全国林業改良普及協会(2005).