

木質ペレットボイラーの開発*

堀田 昌宏**、米倉 勇雄**、生駒 哲勝****、北田 佳晴***、仁木 備介***

近年、全国各地で木質バイオマスに関する取り組みが盛んに行われている。岩手県でも「環境首都いわて」の実現を目標に、関連部署が木質バイオマスエネルギー利用に関する様々な取り組みを行っている。今回、その更なる利用拡大策として、小型木質ペレットボイラーを試作開発し、そのボイラーを組み込んだシステムを用いて、融雪の実証試験を行った。

キーワード：木質バイオマスエネルギー、ペレットボイラー

Development of the Wood Pellet Boiler

HOTTA Masahiro, YONEKURA Isao, IKOMA Hirokatsu,
KITADA Yoshiharu and NIKI Yousuke

Recently, the approach concerning the wood biomass is actively done in nationwide various places. A related post is doing various approaches concerning the wood biomass energy use also in Iwate Prefecture aiming at the achievement of "Environmental capital". This time, the examination of the melting of snow was done by making for trial purposes developing the small wood pellet boiler as the further use expansion plan, and using the system incorporating the boiler.

key words : wood biomass energy, pellet boiler

1 緒 言

近年、全国各地で木質バイオマスに関する取り組みが盛んに行われ、その内容も学習や普及、啓発の段階からペレットストーブ製造やボイラー開発、導入、さらには発電利用等具体的応用段階に入っている¹⁾。岩手県でも「環境首都いわて」の実現を目標に、関連部署が木質バイオマスエネルギー利用に関する様々な取り組みを行っており、当センターでもその一環としてサンボット（株）との共同研究により樹皮ペレットを燃料とした「いわて型ペレットストーブ」の開発を行った²⁾。更なる利用拡大策として、平成 15 年～平成 16 年の 2 カ年間に木質ペレットボイラー（以下、ペレットボイラー）を開発し、平成 17 年度にこれを利用して道路の消融雪システムを構築し、道の駅「種山ヶ原」（岩手県気仙郡住田町世田米字子飼沢 30-39）にて実証試験を行うことを目的に、サンボット（株）と共同研究を進めてきた。

本報では、開発期間平成 15 年～平成 17 年の 3 カ年で実施したペレットボイラーの開発経過と性能及び実証試験結果について報告する。

2 開発ボイラー仕様

開発するペレットボイラーの仕様を表 1 に示す。従来、市販ペレットボイラーは出力が大きいこともあって学校や保育園、温水プール等比較的多くの熱需要が見込まれる施設に設置されている。更なる利用拡大には、家庭への普及が不可欠と考え、設置床面積を可能な限り小さく

することを目標とした。また、監督官庁などによる検査が義務付けられていない簡易型ボイラーに分類される仕様に設定した³⁾。着火方式はペレットストーブと同様にセラミックヒータを熱源とした熱風による自動着火方式である。この方式の場合、ヒータが直接ペレットに触れないため、安定かつ高寿命な着火機構が実現できる。

表 1 開発ペレットボイラーの仕様

燃料	木質ペレット
出力	50kW
出力範囲	30%～100%
暖房効率	61%以上
外形サイズ	W700mm×D1000mm×H1500mm程度
排気温度	260℃以下
伝熱面積	10m ² 以下
電源	AC100V 50/60Hz
その他	耐震自動消火装置、空だき防止装置

3 結果及び考察

3-1 装置構成

開発したペレットボイラーの構造図を図 1 に示す。本装置はペレットタンク、搬送用モータ、スクリュューフィーダー、点火ヒータ、燃焼筒、燃焼筒回転用モータ、熱交換器、灰受け BOX、給排気ファン、制御装置から構成される。外観はガンタイプバーナー形状をなしており、この形状は熱交換器が収納される既存缶体に装脱着が容易であり、メンテナンス性に配慮している。

3-2 燃料供給部

図 1 において、上部に設置されている燃料タンクから

* 木質バイオマス融雪システム実用化研究

** 電子機械技術部

*** サンボット株式会社

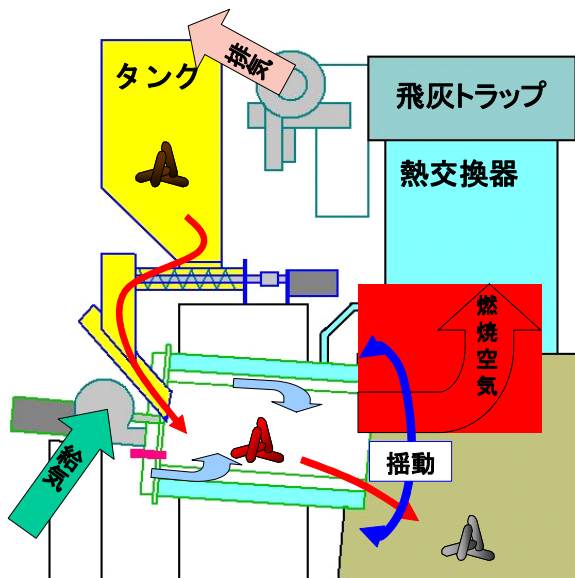


図1 ペレットボイラー構造図

ペレットがスクリューフィーダーにより水平搬送され、その後スクリューフィーダー出口から斜路を通り燃焼筒内筒に供給される。ペレットの供給量は搬送用モータ(連続稼動)のOn-Off動作時間設定により決定されており、その供給量とモータ動作時間の関係を表2に示す。

表2 モータ動作時間によるペレット供給量

供給モータ動作時間		供給量	供給熱量	
On時間[s]	Off時間[s]	[kg/h]	MJ/h	(kw)
0.1	2.9	1.78	33.3	9
0.3	2.7	4.10	76.7	21
0.5	2.5	5.86	109.6	30
0.7	2.3	7.50	140.5	39
0.9	2.1	9.21	172.4	48
1.1	1.9	10.57	197.9	55
1.3	1.7	12.34	231.0	64
1.5	1.5	13.40	250.8	70

ペレット発熱量を 18720kJ/kg として計算

3-3 燃料供給部

燃焼部は、熱変形に強い円筒形状をしており、ペレットが燃焼する内筒と、燃焼空気を利用した空気断熱で内筒を保護する外筒の二重構造で構成される。

一般に、固体燃料用燃焼機の火格子燃焼率は自然通風の場合、120~200 kg/m²hであるが、給排気ファンによる燃焼方式ではその1.2~1.5倍となる⁴⁾。よって、ペレット発熱量を 18.4MJ/kg(4400kcal/kg)とすると、必要発熱量は 180.0MJ/kg(50kW)であるので、火格子面積は約 0.12m²が必要と算出される。今回の設計において、内筒面積は 0.52 m² (直径 276mm、長さ 600mm)とし、有効面積率 1/3 (円周 360°、揺動角度 120°より)より、実際の火格子面積は 0.17m²となり、必要以上であることを確認した。また、予備試験において出力をあげるため燃料投入量を多くすると、未燃焼ペレットも多くなり、失火する問題が発生した。そこで、検討した結果、内部に蓄

熱体を設置した場合、燃焼温度も上昇し、未燃焼ペレットも低下することがわかったので、内筒内部に蓄熱体を設置することとした。

燃焼部外筒は、燃焼筒内に供給される燃焼空気によって冷却される空冷方式を採用することより、特に熱対策を施さなくても十分であると考えていたが、予備試験を行った際に表面温度が最大 320℃近くとなった。JIS「S3021」では手が触れる恐れがある部分の表面温度は 150℃以下⁵⁾と規定されており、この段階では基準をクリアしていないため、外筒壁面を二重構造に変更し、その隙間に熱交換用の水を満たす水冷方式を採用した。その結果、表面温度は最大 40℃以下と対策前より大きく低下し、基準を十分クリアすることができた。この外筒と熱交換器は配管接続されているため、外筒は燃焼筒の冷却機構と1次熱交換器の役目を兼用するものである。

内筒でペレットを燃焼させた場合、燃料灰(以下、灰という)をそのままの状態にしておくと、灰に含まれるケイ酸(SiO₂)等が熱せられることによりガラス化し、その際生じる燃焼生成物や灰が炎孔(燃焼空気孔)を塞ぐことによって燃焼空気が供給されず、最後に失火する現象が発生する。そのため、燃焼部内筒に灰が停留することを避け、燃焼部内筒自体が回転して灰を外部に排出する構造とした。

また、燃焼筒の動作についても検討を行った結果、燃焼部内筒の回転を一定方向ではなく振って戻す動き(以下、揺動という)に変更した方が火床の上にペレットが落下して燃焼すること、内筒の揺動と側面からの送風により出口へ灰が排出されることが確認できた。そのため、燃焼部内筒を燃焼筒回転用モータで揺動させることとした。

なお、この構造について、共同研究企業であるサンボット(株)と平成17年11月24日に共同で特許出願を行った(特願 2005-338698号)。

3-4 性能試験

開発したペレットボイラーについて各種性能試験を実施した。燃焼排ガス分析は、ポータブルガス分析計(堀場製作所製 PG-250)を用いて測定した。

排気温度、熱出力、出湯効率の時間変化を図2に示す。最高熱出力及び出湯効率は 51.2kW(184.5MJ/h)、82.6%となり、排気温度も最高 227.9℃となった。このことから表1に示す仕様を満足することがわかった。スモークスケールも試験開始当初は高かったが、排気温度が高くなるにつれて低下し、安定燃焼時には1となった。

酸素(O₂)、一酸化炭素(CO)、窒素化合物(NO_x)の排ガス中濃度の時間変化を図3に示す。試験開始から200分経過後、燃料投入量を一定にしても排気温度が上昇するに依りO₂濃度及びCO濃度は減少していくのがわかる。

これは燃焼部に蓄熱体を設置しており、その蓄熱体温度の上昇により、燃焼反応が促進され燃焼速度が上昇したためと考えられ、このことによりCO/CO₂比が改善さ

れていくと思われる。ところで、 NO_x 濃度は差がほとんど見られない。一般に NO_x は燃焼温度が高いほど多く発生するが、今回は木質燃料であるペレットを用いているため、燃料由来の NO_x は生成しないことから低い値を示したと考えられる。

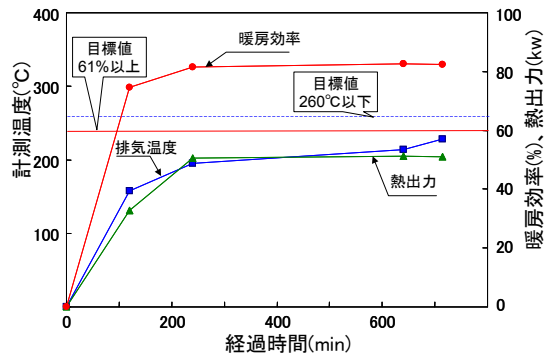


図2 熱出力、暖房効率及び排気温度の時間変化

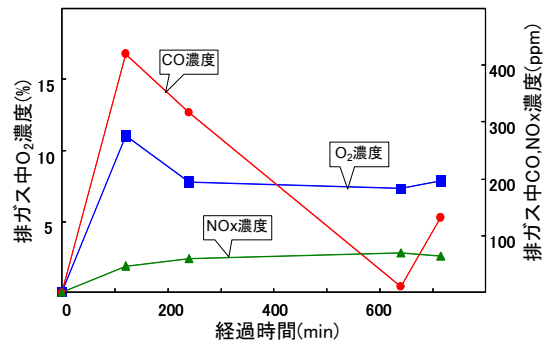


図3 各種気体における排ガス中濃度の時間変化

3-5 実証試験

平成17年12月上旬にペレットボイラーを組み込んだシステムを道の駅「種山ヶ原」に設置し、自動運転モードに移行するための調整作業を行ってきた。しかし、ボイラー本体等の不具合及び調整修理作業が発生したため、実質的に夜間運転も可能な状態となったのは平成18年2月15日からである。なお、試験時の前提条件として、降雪が期待できる前日夜間からボイラーが稼働しないように停止し、試験開始と同時にボイラー稼働（地温はほぼ0°Cの状態から熱供給開始）することとした。

融雪面の表面温度変化を把握するため、赤外線放射温度計（NEC 三栄製 TH3104MR）を用い、放射率（ ϵ ）を0.87に設定して測定した。また、システム各箇所の温度データ収集には、熱電対（Tタイプ、Kタイプ）とデータロガー（グラフテック製 GL450）を用いた。

3-5-1 人工融雪試験

最初に、融雪面の一部を用いた人工融雪試験を実施したところ、以下のことが判明した（平成18年3月2日）。なお、融雪状態と路面の温度変化を図4に示す。

①試験開始時、融雪面の表面温度は8°C近辺であり、路面はかなり温まった状態である。地温は測定時10~12°C程度であった。

②融雪開始後、約65分後に人工雪塊は消滅した。

以上のことから、路面がかなり温まった状態ではある程度の雪塊に対する融雪能力は十分あると考える。

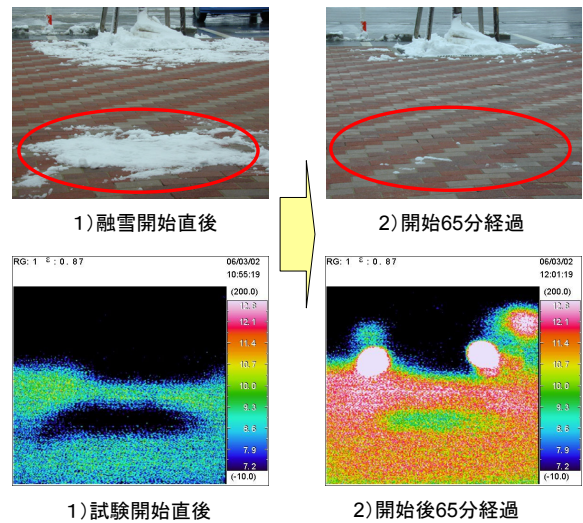


図4 融雪状態と路面の温度変化

3-5-2 自然融雪試験

次に積雪5cm状態で実験したところ、以下のことがわかった（平成18年3月13日、場所：休憩所トイレ前）。この時の路面の温度変化、および温度測定結果を図5、図6に示す。

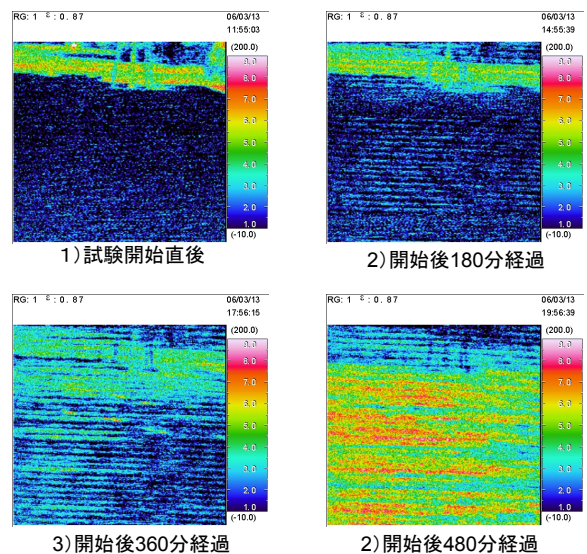


図5 融雪路面の温度変化

- ①積雪状態からの融雪開始では、本燃焼6時間内では完全融雪に至らない。地温は、開始時0°Cに対し終了時12°Cに到達した（ボイラー全稼働時間8時間）。
 - ②路面の所々には筋上に融雪されている部分が見えるが、融雪面全体はまだ溶けていない。
 - ③融雪路面の表面温度変化を見ると、全体的に開始時ほぼ0°C近辺に対し終了時最低3°C以上となっている。融雪パイプが敷設されている路面は、他の路面の周囲温度より2°C以上高いことがわかる。
- 今回、事前調査により融雪面に使用されているインタ

ーロッキングブロック（以下、ILB という）の熱伝導率を熱伝導率計（昭和電工製 QTM-D1）で測定すると1.365W/mkであった。この値はコンクリートとほぼ同等の値であるが、道の駅に敷設されている ILB は歩道用（厚さ 60mm）ではなく車道用（厚さ 80mm）であることが判明した。そのため、ILB の熱伝導があまり良くなく融雪パイプが通っている上に設置されている ILB の部分とされていない部分との溶け具合に差が生じたと思われる。

このことから、路面がかなり冷えた状態（地温が 0℃以下）から実施すると、ILB の熱伝導があまり良くないため溶けムラが生じることがわかった。

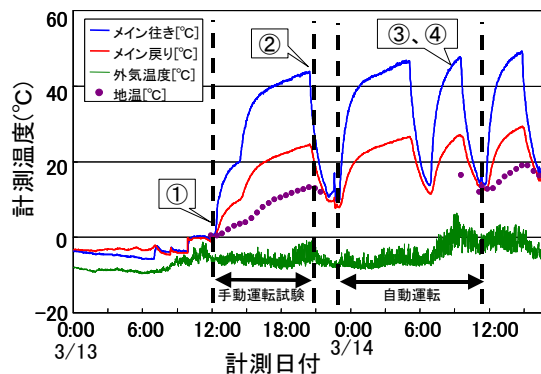


図6 実証試験計測データ

3-5-3 連続稼働試験

夜間でも降雪センサでシステムが稼働する状態にして実験したところ、以下のことがわかった。図7に試験直後から翌朝までの融雪状態を示す。



気象条件：3/13 昼間，最高気温-5℃風速 5m/s

3/14 朝，積雪 12cm 気温-5℃

図7 試験直後から翌朝までの融雪状態

- ①融雪対象路面の雪はむらなく溶け、全面的に雪がない状態となった。
- ②融雪面上に所々雪の塊が残っており、その部分の雪を取り除いてみると、汚水用蓋、道路区分杭が下にあることがわかった。その部分にはどうしても熱は伝わらないため、融雪されない部分が残ることは避けられないと考えられる。

このように、ILB が前日から熱を与えられた状態からシステムが稼働したため、全面的に融雪が進行し、前日見られた様な溶けムラが生じなかったと考えられる。

3-5-4 試験結果

これらの実証試験結果から、以下のことがわかった。

- ①路面がかなり冷えた状態（地温が 0℃以下）から実施すると、ILB の熱伝導があまり良くないため、溶けムラが生じる。
- ②本システムが連続稼働した場合、熱伝導率が悪い ILB が敷設されている路面でも十分溶かす能力がある。

また、使用するペレットを完全燃焼させるために、燃焼部内に長時間滞留させると、燃焼灰が長時間高温状態にさらされることにより、クリンカーが生成する問題が発生した。このクリンカーが原因で燃焼部内筒が熱変形を起こした。

そこで、クリンカー発生を抑制するためには、灰を燃焼部内から短時間に排出させることが条件となるが、未燃分（炭）がまだ含まれている状態なので、結果的に灰と炭化物が多くなる。そのため、燃焼部内に長時間滞留させてできるだけ灰中の未燃分を少なくするように、かつできるだけクリンカーを生成しないような燃焼条件を実証試験中に検討し対策を施した。これにより、灰の量は半分以下となり問題は解決した。

4 結 言

木質ペレットボイラーを試作開発し、そのボイラーを組み込んだシステムを用いて融雪の実証試験を行った結果、以下のことがわかった。

- 1)開発したペレットボイラーについて各種性能試験を実施したところ、最高熱出力及び出湯効率は 51.2kW(184.5MJ/h)、82.6%となり、開発仕様を満足するものとなった。
- 2) 本システムが連続稼働した場合、熱伝導率が悪い ILB が敷設されている路面でも融雪能力が十分である。

今回、道の駅の実証試験において、新規開発ペレットボイラーを用いた消融雪システムの有効性が立証できた。

しかし、ペレット性状変更に起因する不具合も発生したことから、来シーズンの本格稼働に向けては更なるシステムの成熟が必要である。

文 献

- 1)原後雄太他：バイオマス産業社会，築地書館，40（2002）
- 2)園田哲也：岩手工技セ研究報告，10，9（2002）
- 3)日本ボイラ協会：ボイラー及び圧力容器安全規則，日本ボイラ協会，3（1980）
- 4)JIS S3021：油だき温水ボイラ，日本規格協会，3（2002）
- 5)日本機械学会編：燃焼工学ハンドブック，日本機械学会，177（1995）