室蘭工業大学
学術資源アーカイブ
Muroran Institute of Technology Academic Resources Archive

排熱を木質燃料乾燥に使用した木質燃料ボイラーに関する基礎研究

メタデータ	言語: jpn 出版者: 北海道開発技術センター 公開日: 2012-09-05 キーワード (Ja): キーワード (En): 作成者: 佐藤, 耕史郎, 媚山, 政良, 榎, 清, 清野, 勝博, 片岡, 貴志, 千葉, 篤 メールアドレス: 所属:
URL	http://hdl.handle.net/10258/1628

第21回　寒地技術シンポジウム
2005年12月 5，6，7日

CTC05－I－087

排熱を木質燃料乾燥に使用した木質燃料ボイラーに関する基礎研究

佐　藤　耕史郎（室蘭工業大学機械システム工学専攻）
媚　山　政　良（　〃　）
榎　　清（　〃　）
清　野　勝　博（楢崎製作所）
片　岡　貴　志（楢崎製作所）
千　葉　　篤（室蘭工業大学機械システム工学科）

A basic study on fuel woods boiler using waste head to dry fuel woods

K. Sato　(Muroran Institute of Technology)
M. Kobiyama　(Muroran Institute of Technology)
K. Enoki　(Muroran Institute of Technology)
K. Seino　(Narasaki Seisakusyo Co., Ltd.)
T. Kataoka　(Narasaki Seisakusyo Co., Ltd.)
A. Chiba　(Muroran Institute of Technology)

COLD REGION TECHNOLOGY CONFERENCE 2005

1. 緒言

化石燃料の代替エネルギーとして木質バイオマス燃料があげられる．日本国内の森林面積は，国連食料農業機構の統計データ(1990 年)によると 25 万 m^2 である．これから全森林面積を利用したエネルギー生産可能量の概算値は，22.63×10^{14}[kJ/年]となる．これは日本国内の一次エネルギー総供給の 10[%]にあたる[1]．また，林地残材，未利用間伐材，建築廃材，解体木材など，一般に廃棄物として扱われる木材[2]がある．それらすべてを燃料として使用することができるわけではない．また，エネルギー密度の小さから装置の小型化が困難であるが，熱エネルギーに変えられる資源として有効に利用すべきである．これらの燃料の利点として追加的な CO_2 が発生しない「カーボンニュートラル」な資源である[3]ということが挙げられる．したがって，化石燃料に替わり，木質バイオマス燃料を燃焼することは，地球温暖化防止につながる．

本研究では木質燃料ボイラーの製品化を目的としている．樹皮のチップ材であるバーク材を温水ボイラーの燃料と考え，実験を行っている．そこで，ボイラー燃焼試験を行い，発熱量，排気ガスの分析などのデータについて考察をした．また，木質燃料の湿量基準含水率が 40[%]程度では燃焼状態が悪く，排気ガスが汚れていることが過去の研究から判明している．そのことから，排気ガスの顕熱を熱交換器により回収し，バーク材の乾燥に利用することを考えて実験を行った．本報告では，木質燃料ボイラーの燃焼試験による考察と，排気ガスを一定とし，乾燥用空気流量を調整した時のバーク材乾燥に及ぼす影響を実験的に調査した．

2. 実験装置

2.1. ボイラー

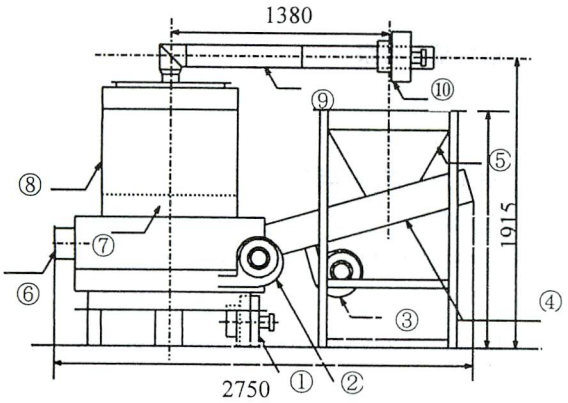
ボイラーの実験装置概略図を Fig.1 に示す．本実験では旋回流式の木質燃料ボイラーを使用している．燃焼用の 1 次空気を送り，さらに燃料であるバーク材を炉内で旋回させるための 2 次空気を別の送風機により強制的に送る．さらに燃料サイロ内での逆火防止用に強制的に空気が送られるシステムとなっている．

2.2. 乾燥装置

乾燥装置の実験装置概略図を Fig.2.1，Fig.2.2 に示す．本装置はバーナー，排煙ファン，熱交換器，乾燥用空気送りファン，2 本のスクリューフィーダー，乾燥器から構成されている．バーナーの排気ガスでボイラー排気ガスを模擬している．本実験装置をボイラーに組み込むことによって乾燥器は燃料サイロも兼ねることができる構造となっている．バーナーの燃料供給量は 1.26×10^{-3}[kg/s]で灯油を使用した．

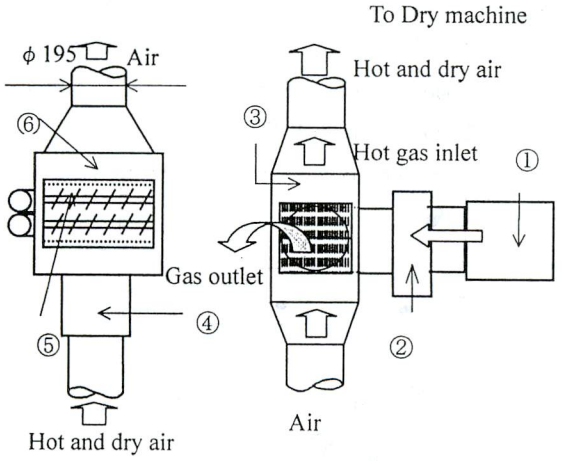
佐藤　耕史郎／室蘭工業大学
(〒050-8585　室蘭市水元町 27 番 1 号　　TEL 0143-46-5307 FAX0143-46-5310　E-mail:s1222036@mmm.muroran-it.ac.jp)

熱交換器は熱貫流率 0.02[kJ/m^{2}s℃]，伝熱面 9.9[m^2] の静止型プレート式熱交換器である．乾燥器の乾燥用空気入口，出口には，544×970[mm^2] のパンチングプレートが設けられており，径が 3[mm] の穴がピッチ 4[mm]で敷き詰められている．乾燥器の被乾燥物(バーク材)出口に 2 本のスクリューフィーダーが設けられており，それによって被乾物を外部へ排出できる構造となっている．



①Blower for the first combustion
②Blower for the second combustion
③Blower for back fire prevention ④Screw feeder
⑤Fuel silo ⑥Blast box ⑦Combustion chamber
⑧Pipe and Water room ⑨chimney ⑩Blower

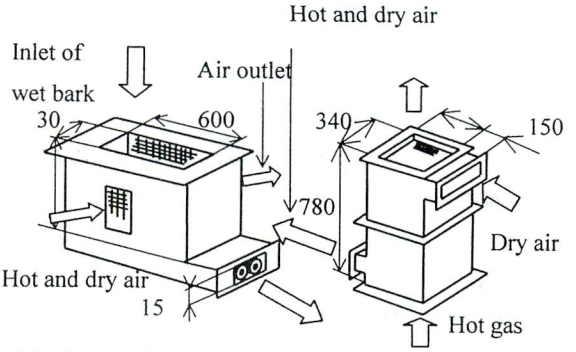
Fig.1 Outline of experimental device (Boiler)



①Burner ②Blower ③Heater exchanger
④Dry air blower ⑤Screw feeder ⑥Dryer

(a) Dry machine (b) Heater exchanger

Fig.2.1 Outline of experimental device (1)



(a) Dry machine (b)Heater exchanger

Fig.2.2 Outline of experimental device (2)

3. 実験方法

3.1. ボイラー実験方法

ボイラー燃焼実験は以下の手順で行った．

(1) バーク材を含水率 20[%]程度まで下げる．
(2) 循環ポンプのスイッチを入れタンクに水を張る．
(3) バーク材をスクリューフィーダーでボイラー本体に搬送する．
(4) 排煙ファンを作動させる．
(5) 点火バーナー(灯油)で燃料を着火させる．
(6) 1 次燃焼用空気，2 次燃焼用空気を送入する．
(7) 点火バーナー停止
(8) 15 分おきにデータを測定する．

3.2. バーク材乾燥実験

本装置はボイラー始動から 1 時間は燃料として乾燥させる必要のないバーク材を使用することを想定している．そのため，計測はバーナー点火後 1～2 時間後の間で行った．なお，被乾燥物はバーク材とした．

3.2.1. 熱交換器

(1) 乾燥用空気流量を設定する．
(2) バーナーを点火させる．
(3) 熱交換器の排気ガス，乾燥用空気出入口の温度を計測する．

3.2.2. 乾燥器

(1) バーク材の湿量基準含水率を 50[%]程度に調整する．
(2) 乾燥器出口の 2 本のスクリューフィーダーをバ

ーク材排出量が乾重量で 20.5[kg/h]となるよう調整する．

(3) バーナー点火と同時にスクリューフィーダーを を排出量と等量，連続供給する

バーナー点火から 1～2 時間後までに排出された被乾燥物の平均湿量基準含水率を計測する．

4. 計算式

4.1. ボイラー燃焼試験

ボイラーの性能計算において，H_h ，H_l ，m[4] ，L，η_{th}[5] ，W 以下の計算式を使用した．

$$H_h[\mathrm{MJ/kg}] = 4.19\times10^{-3} \times\left\{8100c+34200\left(h-\frac{o}{8}\right)+2500s\right\} \cdots\cdots (1)$$

$$H_l[\mathrm{MJ/kg}] = H_h - 4.19\times10^{-3}\times600\times(9h+w) \cdots\cdots (2)$$

$$m[-] = \frac{(O_2)\times(A_0-G_{d0})-0.209A_0}{A_0\{(O_2)-0.209\}} \cdots\cdots (3)$$

$$L[\mathrm{MJ/kg}] = (T_g-0) \times\left(c_{pw}G_{w0}+4.19c_{pair}(m-1)A_0\right) \cdots\cdots (4)$$

$$\eta_{th}[\%] = \frac{H_l-L}{H_l} \cdots\cdots (5)$$

$$W[\mathrm{kW}] = BH_l\eta_{th} \cdots\cdots (6)$$

ただし，H_h：木質燃料の高位発熱量，H_l：木質燃料の低位発熱量，c，h，o，s，w[kg/kg]：燃料 1[kg]中の炭素，水素，酸素，硫黄，水分の量，m：空気過剰率，(O_2)[-]：乾き排気ガス 1[kg]当りの酸素量，A_0[Nm^3/kg]：理論燃焼空気量，G_{d0}[Nm^3/kg]：燃料 1[kg]当りの理論乾き排気ガス量，L：燃料 1[kg]当り湿り排気ガスが持つ熱エネルギー，T_g[℃]：排気ガス温度，c_{pw}[MJ/Nm^3.K]：理論湿り排気ガスの平均定圧比熱，G_{w0}[Nm^3/kg]：燃料 1[kg]当りの理論湿り排気ガス量，c_{pair}[MJ/Nm^3.K]：排気ガス中の空気の定圧比熱，

η_{th}[%]：熱効率，W：熱出力，B[kg/s]：燃料供給量

4.2. バーク材乾燥試験

熱交換器の性能計算にη_{ex}[6]通過有効度)[%]を使用した．計算式を次式に示す．尚，熱通過有効度は，乾燥用空気が受熱した量を，無限の伝熱面積を持つ純交流型熱交換器で熱交換し得る最大の熱量で除した，値となっている．

$$\eta_{ex} = 100\times\frac{c_{pc}G_c(t_{c2}-t_{c1})}{(c_pG)_{\min}(t_{h1}-t_{c1})} \cdots\cdots (7)$$

ただし，c_p[kJ/kg.K]：流体の定圧比熱，t[K]：温度，添え字 1，2：熱交換器出入口，添え字 h，c：排気ガス，乾燥用空気

5. 実験結果と考察

バーク材含水率は 20[%]である．また，燃料供給量は 60[kg/h]である．

5.1. ボイラー燃焼試験

(1) 理論値

バーク材燃焼に関する理論値を Table1 に示す．

Table1 Teory value on combustion of bark

A_0 [Nm^3/kg]	G_{d0} [Nm^3/kg]	G_{w0} [Nm^3/kg]	H_l [MJ/kg]	H_h [MJ/kg]
3.61	3.59	4.36	12.37	13.93

(2) 空気過剰率と排気ガス中の CO 濃度の関係

気過剰率と排気ガス中の CO 濃度，CO/CO_2 の関係を表すグラフを Fig.3.1 に示す．CO 濃度は空気過剰率が 1.5 以下になると増加している．CO/CO_2 は燃焼の良否を表している．この値は，空気過剰率 2.21 から上昇傾向にある． Fig.3.1 より，空気過剰率は 1.5～2.2 が妥当であると考えられる．

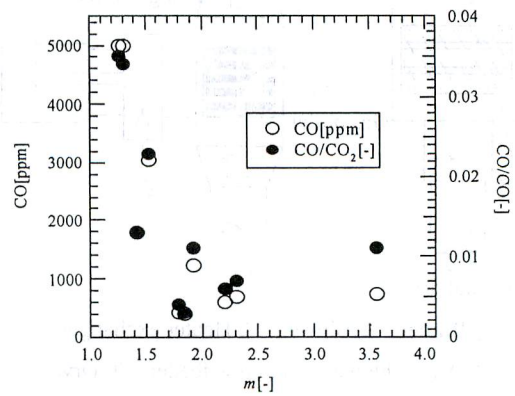


Fig.3.1 Relation between rate of air excessive andCO[ppm],CO/CO_2[-]

(3) 燃焼温度と NO_x

燃焼温度 T_c[℃]と NO_x[ppm]の関係を Fig.3.2 に示す．NO_x は，空気過剰率，空気予熱温度，また，特に，温度に影響を受ける．空気過剰率上昇により，NO_x は増加し，燃焼温度は減少する．また，燃焼温度上昇により NO_x は増加し，ある温度になると，指数関数的に上昇する．本実験では燃焼温度 T_c の上昇による NO_x 排出量の上昇傾向は見られない．また，すべてのデータにおいて，350[ppm]を下回っている．

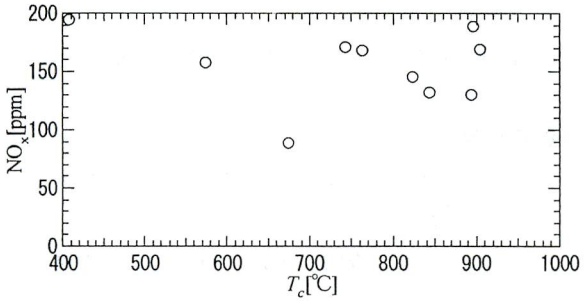


Fig.3.2 Relation between combustion temperature and NO_x

(4) 空気過剰率と熱効率，熱出力

空気過剰率と熱効率，熱出力の関係を Fig.3.3 に示す．熱効率は空気過剰率 1.84 で最高値 84.2[%]を示している．その時の熱出力は 173.59[kW]である．また，空気過剰率 1.5～2.2 の間において，排気ガスが持つ 0[℃]を基準とした熱量は，57.34[kW]であった．この熱量を持った排気ガスを用いてバーク材乾燥を試みることを考えた．

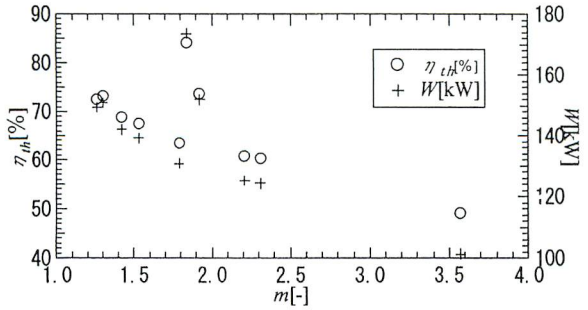


Fig.3.3 Relation between rate of air exccesive and thermal efficiency,thermal power

5.2. バーク材の乾燥試験

排気ガス流量は 0.21[kg/s]に固定した．

(1) 熱交換器

熱交換器に諸量を Table2.1 に示す．ボイラー排気ガスの代わりにバーナーの排気ガスを使用した．その結果 0[℃]を基準としたバーナー排気ガスの持つ熱量は最小で 70.96[kW]であり，実際のボイラー排気ガスより 13.62[kW]小さいが，ボイラー排気ガスを模擬するとした．乾燥用空気の風速が大きいほど流量，熱伝達率が大きくなる．よって，熱交換器において，乾燥用空気が排気ガスから得る熱量は上昇するはずである．しかし，空気流量が多きすぎると熱交換器出入口での温度上昇が小さくなるため，乾燥用の空気として適さなくなり，その逆では，乾燥器内の途中で空気中の水分が飽和するため含水率に斑ができる．このことから乾燥用の空気流量に適正値があると考えられる．Table2.1 においてデータ数が少ないためかその現象は見られなかった．また，熱通過有効度が小さいことから，熱交換器の改良が求められる．

Table2.1Various amounts of heat exchanger

u_c[m/s]	9.35	9.63	10.38	10.41	11.02	11.26
G_c[kg/s]	0.33	0.34	0.37	0.37	0.39	0.40
t_{h1}[℃]	323.7	324.2	324.3	322.6	322.6	325.6
t_{c2}[℃]	53.6	52.1	52.6	50.1	46.8	48.8
Q_h[kW]	34.06	33.27	33.98	34.65	35.41	34.06
Q_c[kW]	8.84	9.89	10.60	9.76	9.05	10.52
η_{ex}[%]	13.5	14.9	16.1	14.9	13.8	15.8

ここで，u：風速，Q：受熱，放熱量

(2) 乾燥器

乾燥器の諸量を Table2.2 に示す．目標とするバーク材の含水率は湿量基準で 20[%]である．いずれの風速においてもバーク材が減湿しているため，乾燥器としての性能は見受けられる．しかし，目標とする含水率には達していない．また，バーク材乾重量の収支がとれていない．これは被乾燥物の流れが非定常であるためである．その原因は，Fig.4 に示すように，バーク材がブリッジを形成するためであると

考えられる．バーク材は細長いチップ状で，バーク材同士が絡まりやすく，また，柔軟性がある．このため，ブリッジを動力無しで崩壊させること，また，動力を使用しても崩壊させることは困難である．この問題はバーク材を取り扱う上で大きな問題である．よって，動力の使用有無に関わらず，ブリッジを形成しない方法を試みているが，乾燥器形状など，良い方法を発見することが困難である．

Table2.3 に乾燥器から排出される空気の諸量を示す．乾燥器排気の相対湿度が，99,88,94[%]となっていることから，乾燥器の排気ガスは飽和状態に達していることがわかる．よって，熱交換器でバーナーの排気ガスからより高い熱量を回収することが求められている．

Table2.2　Various amounts of dryer(1)

u_c[m/s]	9.35	9.63	10.38	10.41	11.02	11.26
w_1[%]	55.8	52.8	54.3	45.6	53.9	54.9
w_2[-]	46.8	41.4	42.7	34.8	37.3	42.6
M_1[kg/h]	22.1	26.4	15.4	17.0	23.0	23.9
M_2[kg/h]	20.9	25.1	21.6	18.1	25.2	22.4

ここで，w：バーク材の湿量基準含水率，M：バーク材の乾重量，添え字 1,2：バーク材の乾燥器入口出口番号

Table2.3　Various amounts of dryer(2)

u_c[m/s]	9.35	9.63	10.38	10.41	11.02	11.26
t_g[℃]	31.9	31.2	30.6	32.1	29.6	30.1
ϕ[%]	99	99	99	88	94	99

ここで，添え字 g：乾燥器から排出される空気番号 ϕ：乾燥器から排出される空気の相対湿度

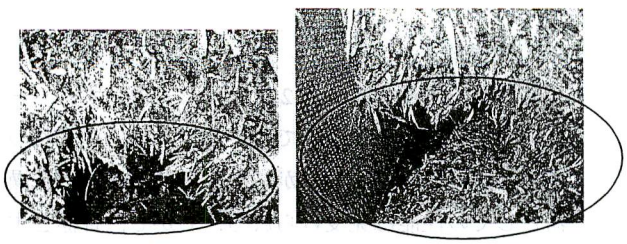


Fig.4　Appearance of bridge

6. 結言

木質燃料ボイラーの開発の一環として，樹皮のチップ材であるバーク材を燃料とするボイラーの性能試験とバーク材を排気ガスにより減湿させる乾燥器の開発を試みた．乾燥器としての可能性は認められたものの改善すべき問題が明らかとなった．以下にボイラーの性能と，乾燥器の改善すべき問題を示す．

1) 本実験で使用したボイラーは空気過剰率 1.5～2.2 で運転することが望ましい．
2) NO_x の排出量は基準値を下回っている．
3) 空気過剰率 1.84 で熱効率 84.2[%]，熱出力 173.59[kW]の性能が出る．
4) 排気ガスからより高い熱量を回収すべく熱交換器の改良が必要である．
5) 乾燥器内でのブリッジ形成対策が急務である．

参考文献

1) 講座　現代エネルギー・環境論　第 2 版，エネルギー教育研究会，1999，pp72
2) 三木　康臣，森國　大地，道内および中央オホーツク圏における木質バイオマス資源の賦存量の精査，第 20 回　寒地技術シンポジウム，2004，pp523-528
3) 木質バイオマス燃焼ボイラ，株式会社よしみね産業機械，2004，pp23-25
4) 吉田　高，燃焼工学，共立出版，1971，pp26-37
5) 吉田　高，燃焼工学，共立出版，1971，pp56-57
6) 空気調和衛生工学便覧　I 基礎篇，社団法人空気調和・衛生工学会，1991，pp204