

313 排熱を利用した木質燃料ボイラーの燃料乾燥に関する基礎研究

A basic study on fuelwoods dryer using waste heat from boiler

○学 佐藤 耕史郎 (室工大・院) 正 媚山 政良 (室工大)
 正 榎 清 (室工大) 清野 勝博 (檜崎製作所)
 片岡 貴志 (檜崎製作所) 学 千葉 篤 (室工大)

SATO Koshiro, Muroran Institute of Technology, 27-1 Mizumoto, Muroran
 KOBIYAMA Masayoshi, do.
 ENOKI Kiyoshi, do.
 SEINO Katsuhiko, Narasaki Seisakusyo Co.,Ltd
 KATAOKA Takashi, do.
 TSIBA Atsushi, Muroran Institute of Technology, 27-1 Mizumoto, Muroran

Key Words: Fuelwoods, Woodybiomass, Bark, Drying, Waste heat recovery

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。日本国内において林地残材、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¹⁾がある。それらを廃棄物とせず、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。さらに、木質バイオマス燃料は、追加的な CO₂ が発生しない「カーボンニュートラル」な資源である²⁾と言える。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。

本研究では樹皮のチップ材であるパーク材を温水ボイラーの燃料と考え、実験を行っている。過去の研究より含水率 40% 程度のパーク材は燃焼状態が悪く、排出ガスが汚れていることが分かった。したがって、ボイラーからの排出ガスの顕熱を熱交換器により回収し、パーク材の乾燥に利用することを考え実験を行った。本報告では排出ガスの流量を一定とし、乾燥用空気流量の調整を行った時のパ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

実験装置概略図を Fig.1.1, Fig.1.2 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。

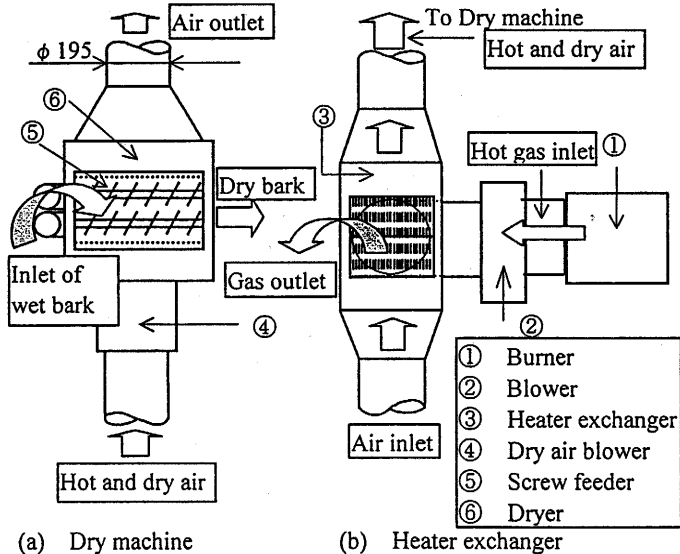


Fig.1.1 Outline of experimental device (1)

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。熱交換器は熱貫流率 17.6 [kcal/m²h°C]、伝熱面積 9.9 [m²] の静止型プレート式顕熱交換器、乾燥器の乾燥用空気入口、排気出口には、 544×970 [mm²] 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。乾燥器の被乾燥物出口に 2 本のスクリーフィーダーが設けられており、それによって被乾燥物を外部へ排出できる構造となっている。

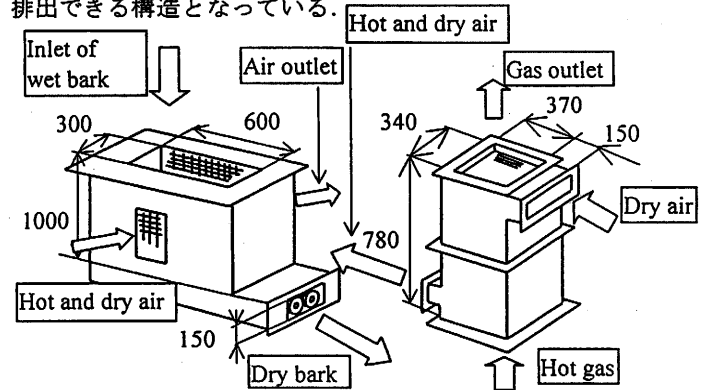


Fig.1.2 Outline of experimental device (2)

3. 実験方法

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パ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、被乾燥物はパーク材とした。

3-1 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 乾燥器

- (1) 被乾燥物(パーク材)の湿量基準含水率を 50 [%] 程度に調整する。
- (2) 被乾燥物で乾燥器内を満たす。
- (3) 乾燥器出口の 2 本のスクリーフィーダーを被乾燥物排出量が乾重量で 20.5 [kg/h] となるよう調整する。
- (4) バーナー点火と同時にスクリーフィーダーを作動さ

せ、被乾燥物を排出量と等量、連続供給する。

- (5) パーナー点火から 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

熱交換器の性能計算に η (熱通過有効度)³⁾ を使用した。計算式を次に示す。

$$\eta = c_{pc} G_c (t_{c2} - t_{c1}) / [(c_p G)_{\min}(t_{h1} - t_{c1})] \dots \dots \dots (1)$$

ただし、 η [-] : 熱通過有効度, c_p [kcal/kg.°C] : 流体の比熱
 t [°C] : 温度, 添え字 1, 2 : 熱交換器出入口, 添え字 h , c : 排ガス, 乾燥用空気

Table1 一定とした諸量

| 気温[°C] | 相対湿度[%] | 絶対湿量[kg/kg(DA)] | G_h [kg/s] |
|--------|---------|-----------------|--------------|
| 22.8 | 82 | 0.01428 | 0.21 |

5. 結果及び考察

5-1 熱交換器

熱交換器の諸量を Table2 に示す。その結果熱交換器の断熱に不備があったためか排気ガスの放熱量と乾燥用空気の受熱量の比が 1/4 程度であった。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 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。

Table2 熱交換器の乾燥用及び排気ガスに関する諸量

| 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 | 0.4 |
| t_{h1} [°C] | 323.7 | 324.2 | 324.3 | 322.6 | 322.6 | 325.6 |
| t_{h2} [°C] | 168.8 | 172.9 | 169.9 | 165.1 | 161.6 | 170.8 |
| t_{c1} [°C] | 27 | 23.2 | 24.1 | 23.8 | 23.7 | 22.7 |
| t_{c2} [°C] | 53.6 | 52.1 | 52.6 | 50 | 46.8 | 48.8 |
| Q_h [kcal/s] | 8.13 | 7.94 | 8.11 | 8.27 | 8.45 | 8.13 |
| Q_c [kcal/s] | 2.11 | 2.36 | 2.53 | 2.33 | 2.16 | 2.51 |
| η [-] | 0.135 | 0.149 | 0.161 | 0.149 | 0.138 | 0.158 |

ここで、 u : 風速, Q : 受熱, 放熱量

5-2 乾燥器での乾燥状況

Table3 より、乾燥用空気の乾燥器入口から出口への風速が減少していることがわかる。これは、圧力損失の影響も考えられるが、被乾燥物の乾燥器出口からの漏れが大きいと思われる。また、被乾燥物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正常であるためである。その原因は、Fig.2 に示すように、被乾燥物がブリッジを形成するためであると考えられる。この問題はパーク材を取り扱う上で大きな問題である。被乾燥物の流量調整が困難であったため、被乾燥物の流量を各条件においても一定に保つことが困難であった。Table3 の乾燥器出入口の w (湿量基準含水率) の値と Table4 の x_g (乾燥器排気の絶対湿度) の値より被乾燥物を乾燥していることはわかるが、目標としている湿量基準含水率は 0.20 [-] であるため、目標を達成できていない。また、 ϕ (乾燥器排気の相対湿度) の値から、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。そのことから、熱交換器の放熱量を抑え、パーナー排気ガスと乾燥用

空気の熱収支をとり、乾燥用空気の温度と風量を上昇させること、および乾燥器の乾燥用空気漏れを抑えることが必要である。

Table3 被乾燥物(パーク材)の諸量

| u_c [m/s] | 9.35 | 9.63 | 10.38 | 10.41 | 11.02 | 11.26 |
|--------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| u_g [m/s] | 7.28 | 6.85 | 7.47 | 7.55 | 7.89 | 7.88 |
| W_1 [kg/h] | 50 | 56 | 33.6 | 31.2 | 50 | 53.1 |
| W_2 [kg/h] | 39.3 | 42.8 | 37.7 | 27.7 | 40.2 | 39 |
| w_1 [-] | 0.558 | 0.528 | 0.543 | 0.456 | 0.539 | 0.549 |
| w_2 [-] | 0.468 | 0.414 | 0.427 | 0.348 | 0.373 | 0.426 |
| M_1 | 22.1 | 26.4 | 15.4 | 17 | 23 | 23.9 |
| M_2 | 20.9 | 25.1 | 21.6 | 18.1 | 25.2 | 22.4 |
| m_1 [-] | 1.262 | 1.121 | 1.182 | 0.835 | 1.174 | 1.222 |
| m_2 [-] | 0.88 | 0.705 | 0.745 | 0.53 | 0.595 | 0.741 |

ここで、 W : 被乾燥物の全重量, w : 被乾燥物の湿量基準含水率, M : 被乾燥物の乾重量, m : 被乾燥物の乾量基準含水率, 添え字 $g, 1, 2$: それぞれ、乾燥用空気の乾燥器出口の諸量, 被乾燥物の乾燥器入口出口

Table4 乾燥用空気の乾燥器出口諸量

| u_c [m/s] | 9.35 | 9.63 | 10.38 | 10.41 | 11.02 | 11.26 |
|-------------------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| u_g [m/s] | 7.28 | 6.85 | 7.47 | 7.55 | 7.89 | 7.88 |
| G_g [kg/h] | 936 | 864 | 972 | 972 | 1008 | 1008 |
| t_g [°C] | 31.9 | 31.2 | 30.6 | 32.1 | 29.6 | 30.1 |
| ϕ [%] | 99 | 99 | 99 | 88 | 94 | 99 |
| x_g [kg/kg(DA)] | 0.03011 | 0.02889 | 0.02787 | 0.02694 | 0.02487 | 0.02705 |

ここで、 ϕ : 相対湿度, x : 絶対湿度



Fig.2 乾燥器内におけるブリッジ形成の様子

6. 結言

樹皮のチップ材であるパ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以下に示す改善すべき問題が明らかとなった。

- 1) 熱交換器でより有効に熱交換を行うために熱交換器の有効な断熱方法を模索する必要がある。
- 2) 乾燥器に流入する乾燥用空気の漏れを改善すべく乾燥器形状、または、乾燥用空気の流れを変える必要がある。
- 3) 被乾燥物を定常的に流れるようにするため乾燥器内でのブリッジ形成を抑える方法を模索する必要がある。

参考文献

- 1) 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
- 2) 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, pp 23-25
- 3) 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