

新方式木質チップボイラーの開発*

園田 哲也**、米倉 勇雄**、齊藤 博之***、
新里 光男****、川村 浩****、齋藤 健司****、下河原 哲也*****

木質バイオマスエネルギーは「持続可能な循環型社会」を形成する上で、地球環境への負荷を抑制し、資源の有効活用を促進する事から、日本各地で利活用に関する取り組みが急速に進展している。本研究では木質バイオマスエネルギーの利用拡大を目的として、高含水率木質チップに対応可能な小型かつ安価なチップボイラー開発を行った。

キーワード：木質バイオマスエネルギー、木質チップ、木質チップボイラー

Development of New Wood Chips Fired Boiler

SONODA Tetsuya, YONEKURA Isao, SAITO hiroyuki, NIISATO Mitsuo,
KAWAMURA Hiroshi, SAITO Takeshi and SHIMOKAWARA Tetsuya

An approach of using the wood biomass spreads in all of Japan. Because of wood biomass energy inhibits loads to the earth environment and promotes effective use of resources. Our project is engaged on develop of wood chips boiler to extend the use of wood biomass. This boiler is capable of burning high moisture content wood chips. In addition, it is small and low-priced.

key words : wood biomass energy, wood chips, wood chips fired boiler

1 緒 言

岩手県では「環境首都いわて」の実現を目標に、地球温暖化対策と循環型社会の形成に向け、環境負荷の小さい新エネルギーの導入に向けた取り組みを行っている。その中でも県土の約 8 割が森林で森林面積でも国内第 2 位を誇る岩手では、木質バイオマスエネルギーの利活用を県施策の大きな柱とし、環境側面のみならず、衰退が著しい木材業界、林業界の救済及び工業振興策として捉え、導入に向けた積極的な取り組みを行なっている。

木質バイオマスエネルギーの利用形態として代表的なものに、木質ペレットと木質チップがある。ペレットは、ストーブ等小規模な燃焼機に用いるには、ハンドリング性、品質の安定性等から非常にすぐれた燃料であるが、ボイラー等ある程度規模の大きい燃焼器に対しては、燃料コスト、燃料供給体制等の優位さから木質チップの利用が望まれている。

一方国内のバルブ用材需要の落ち込みから、木質チップの余剰生産能力が拡大しており、バイオマスエネルギー利用への転換が望まれている。国内における燃焼器開発は欧米と比較し大きく遅れており、導入には高価な海外製ボイラーしか選択肢が無いのが現状である。また日本国内でボイラー利用を考えた場合、北欧諸国のような地域熱供給型の利用は難しく、当面は小規模分散型での利用が主体になると予想されるが、その際必要となる小規模且つ高含水率に対応可能な国産ボイラーは存在しない。

い。

このような背景から本研究は、開発期間 H15～16 の 2 ヶ年で、小型かつ安価な高含水率木質チップに対応した、出力 100kW の木質チップボイラーを開発することを目的とした。

2 木質チップ燃料及び開発ボイラー仕様

2-1 含水率

木質チップを燃料とした場合、含水率の高い木質チップに対応できることが重要なポイントとなる。含水率の定義方法は、全量基準、乾燥重量基準の 2 種類あるが、木材業界では乾燥重量基準により、含水率を定義するのが一般的なことから、本報では下記に定義される乾燥重量基準により定義する。

$$\text{含水率} = \frac{\text{水分重量}}{\text{乾燥重量}} \times 100 [\%] \quad (1)$$

今回開発を行なうボイラーの対応含水率を決定するに際し、現在流通している木質チップの調査を実施した。その結果から次に挙げる 3 点を考慮し、対象含水率を決定した。

- 1) チップ工場から出荷される木質チップの含水率は広葉樹、針葉樹ともにおおよそ 100%前後である。
- 2) 間伐材として資源量が豊富である唐松生チップの含水率は、80%～100%である。

* 木質チップボイラー開発事業

** 電子機械技術部

*** プロジェクト研究推進監

**** オヤマダエンジニアリング株式会社

***** 株式会社小山田工業所

- 3) 生丸太からチップ化した場合、樹種により含水率が100%を超えるものがある。

以上の調査結果より、標準対応含水率100%とし、最高で含水率130%までの対応を目標とした。

2-2 発熱量

木材の化学組成は樹種により異なるが、元素組成は、樹種のいかに問わずおよそ一定であることが知られている。

このことから、木質チップの発熱量試算の為、木材の平均的な燃料組成として表1の通り設定した。

表1 木質チップ燃料組成 (%)

灰分	C	H	O	N	S
0.4	51	6.1	42.3	0.1	0.1

表1の組成から、木質チップ含水率に対する発熱量を算出した結果を図1に示す。グラフより含水率に対する発熱量は指数関数的に減少することがわかる。この発熱量計算値を基準として、各出力における燃料供給量を設定した。

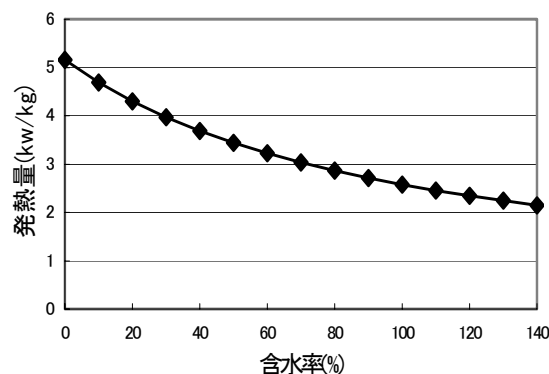


図1 含水率に対する発熱量

2-3 木質チップボイラー開発仕様

表2に本チップボイラーの開発仕様を示す。本ボイラーの型式は温水を大気圧下において沸点温度以下で使用する無圧式温水発生器とし法規上の「ボイラー」には該当せず、取扱者の資格免許は必要としない。熱出力は最大100kWとし、熱損失係数2.7W/m²、温度差25℃とした場合約1,500m²の暖房能力となる。伝熱面積は10m²以下であるため、大気汚染防止法により規制されるばい煙発生施設には該当せず、ばい煙測定義務等の規制も適応されないことから、設置者に対する負担も少ない。

本ボイラーは灯油バーナーを搭載することで、短時間での炉内昇温が可能であり、従来の高含水率チップボイラーでは苦手とされていた、断続運転にも対応可能である。またチップ切れ等の緊急時には、灯油バーナー単独での運転も可能なことから、バックアップボイラー設置の必要も無い。安全面に関しては、感震器による耐震自

動消火機能、液面計による空焚き防止機能、温度調節弁を利用した逆火防止機能、その他各部温度を監視し、運転制御を行う。

表2 木質チップボイラー開発仕様

型 式	無圧式温水発生器
対 象 チ ッ プ	推奨乾量基準含水率100%以下 (含水率130%まで対応可能)
熱 出 力	30kW～100kW (暖房能力1500m ²)
外 形 寸 法	H2325mm×W900mm×D1600mm
燃 料 消 費 量	16.5kg/h～55kg/h
伝 熱 面 積	8.6m ²
ボイラー効率	80%以上
そ の 他	灯油バーナー搭載のハイブリッド型 自動着火機能、対震自動消火機能、 逆火防止機能

2-4 実験装置

今回開発したチップボイラーの構造を図2に外観を図3に示す。本ボイラーは、燃料供給部、燃焼炉、熱交換部より構成される。木質チップはホッパーからスパイラルスクリューにより炉内へ供給され、スロープをへて火格子へ供給される。ホッパー内にはブリッジ防止のため、攪拌スクリューを取り付けた。

火格子の上には、200mmストロークで往復動作を行なうプッシャーを取り付け、燃料の押し出し、燃焼灰の排出、乾燥を促進させる為の燃料の攪拌を行なうことその他、出力および含水率に応じた動作間隔を設定することで、火格子上で燃料層の厚さを制御する。炉内壁には耐火キャストブルを使用し、一次燃焼室と二次燃焼室の仕切には同キャストブルをアーチ状に成型した。

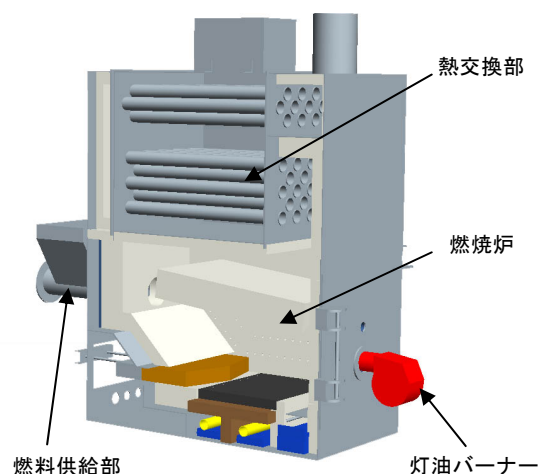


図2 木質チップボイラー構造図



図3 木質チップボイラー外観図

燃焼空気量の制御は、押し込みファン、誘引ファンをそれぞれインバータ制御することにより行う。押し込みファンによる通風箇所の切り替えは、押し込みファン下流に設置された、3台のダンパーモーターにより行う。

熱交換部は、2パス方式で合計38本の煙管群より構成され熱交換部上部には開放タンクを設け、缶体を無圧化した。

正面扉中央に、出力100kwの灯油バーナーSPT-15（小片鉄工製）を設置し、着火時及びバーナー単独運転時に使用する。

ボイラーの制御は全てシーケンサーKV700（KEYENCE製）により行い、運転パラメーターの入力及び、運転状況のモニタリングには、タッチパネルVT2-8TB（KEYENCE製）を使用した。

燃焼排ガスは、ポータブル型排ガス分析計Testo350M/XL（榊テスト製）を使用し、煙道にプローブを挿入し計測を行なった。

3 結果及び考察

3-1 燃焼炉検討

3-1-1 火格子面積及び燃焼炉容積検討

木質系燃料の火格子燃焼率は自然通風方式で（単位面積あたりの燃料供給量）は120～200kg/hr/m²程度であるが、ブローアによる押し込み通風方式の場合はこれより1.2～1.5倍の値を採用するのが一般的¹⁾であるため、180～300kg/hr/m²となる。100%含水率の木質チップ発熱量を2.56kw/kgとすると、100kWの熱出力を得る為の燃料供給量（水分蒸発熱量0.65kW/kg、ボイラー効率80%）は、55.3kg/hとなり、上記の設計指針に従い本ボイラーの火格子面積を、0.5m×0.6m=0.3m²とした。

同様に一般的な木質系燃料の火炉熱負荷率（単位容積あたりの燃焼量）は、160～270kW/hr/m³程度であることから、一次燃焼室、二次燃焼室の合計必要炉容積は、0.6

～1.1m³の範囲となる。これより本ボイラーの燃焼炉容積を0.65m³とした。

3-1-2 高含水率木質チップ乾燥方法

内部に水分を含む燃料の燃焼プロセスは次の通りである。

- 1) 燃料表面の水分蒸発
- 2) 燃料内部の水分（結合水、内部自由水）蒸発
- 3) 木質チップ内低温揮発成分のガス化
- 4) 空気中の酸素と可燃ガスが混合し着火、炎燃焼へ移行

上記プロセスからもわかる通り、燃焼反応に至るまでには、水分乾燥工程が不可欠である。ましてや今回対象としている高含水率の木質チップを、限られた炉内で燃焼させるためには、効率的な乾燥手段が必要となる。本ボイラーは、チップ供給スクリー出口からプッシャー間にスロープを設け、そのスロープ上を燃焼ガスが通過する過程で、未燃チップを乾燥させる方法を用いている。さらにプッシャーが往復動作をすることで、プッシャー上にある未燃チップが、火格子に押し出される際にチップが攪拌され、より乾燥を促進させる構造とした。

3-1-3 燃焼室

図4に燃焼室断面図を示す。火格子燃焼において、UGA（火格子下部からの一次空気）とOFA（燃焼用二次空気）の供給位置、供給配分が重要となる。

本ボイラーの一次燃焼室内でのUGAとOFAの供給方式について説明する。本ボイラーの燃焼方式は、一段の押し込みプッシャーを利用した固定床方式である。固定床方式の場合、燃焼出力、燃料含水率の違いにより火格子上での燃焼位置が順次変化する。

低出力、または低含水率の燃料が供給された場合、火格子手前側（燃料供給側）で燃焼反応が見られ、高出力または高含水率の燃料が供給された場合、火格子奥側で燃焼が見られるが、この燃焼状態に応じ、UGAの供給を制御する必要がある。

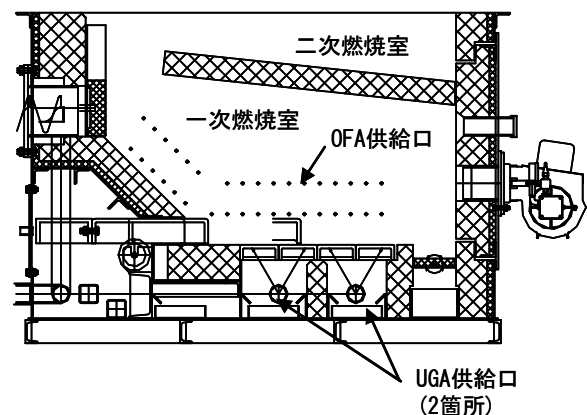


図4 燃焼室断面

このため、火格子下にUGA供給パイプを2本配置し、それぞれにダンパーモーターを取り付け、燃焼出力に応

じUGAを分割投入可能な構造とした。次にOFAの投入方法について説明する。OFAはUGAによって火格子上で吹き上げられた可燃ガスを、二次燃焼させる役割を持つため、炉内でのガス混合を考慮した配置にする必要がある。本ボイラーはOFA噴出し口を、図4に示す通り、φ10mmの穴を炉壁に2列配置した。炉壁両サイドから、OFAを供給することで、火格子上部でOFAが対抗し燃焼ガスが旋回流となる。この燃焼ガスはドラフトにより、煙道方向に旋回しながら引き込まれ、炉内にスワールが発生し、燃焼ガスの炉内滞留時間を増やし、排ガス中の未燃分を減少させる燃焼構造となっている。

以上の方式により供給されるUGA、OFAの供給配分を燃焼出力毎に制御し、排ガス中の未燃分が最小となる条件を求めた。

3-2 燃料供給部

木質チップは形状が不定形なことから、ホッパー内でのブリッジおよび、搬送系内部での詰まり、ひっかかり等の防止策を検討する必要があり、スクリュースクリュー形状及び搬送パイプ形状について検証を行なった。

最初に、製造コストが安価であるスプリングスクリュースクリューを使用し、スプリング径φ140mm、搬送パイプ内径φ155mmで搬送試験を行なった。結果スプリングと搬送パイプ間のクリアランスが狭く、スクリュースクリューとパイプ間でチップの噛み込みと、それに伴う異音が発生した。そのため、パイプ内径φ180mmに変更しスクリュースクリューとパイプ間のクリアランスを十分に確保した所、噛み込みは減少するものの、搬送パイプ内でスプリングが上下左右にあばれ、同様に異音が発生し、供給量にもばらつきがみられた。

次にスパイラルスクリュースクリューでの検証を行なった。スクリュースクリュー外径φ110mm、搬送パイプ内径φ155mmで試験を行なった所、噛み込み、異音の発生は見られないが、搬送パイプ底に木質チップの取り残しが多くみられた。そのためスクリュースクリューを搬送パイプ中心に対し、10mm下方向にオフセットし取り付けたとこ、取り残しも減少し定量性も向上した。

図5に定量供給試験結果を示す。図からもわかるように、各出力において安定したチップの定量供給を実現している。

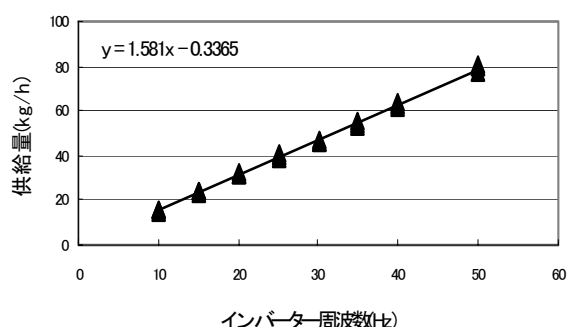


図5 定量供給試験結果

3-3 含水率推定方法

木質チップは、樹種、部位、伐採時期等の違いにより、含水率にばらつきが生じる。この含水率のばらつきは、木質チップの着火性、燃焼性に大きく影響を及ぼすため、含水率に応じた燃焼制御が必要となる。本研究では対象とする木質チップを50の規定容器に充填し、その重量を測定し、あらかじめ算出した絶乾チップ重量を基準とした換算表により、木質チップの含水率を算出し、対象チップを、低含水率(80%以下)、標準含水率(80%~100%)、高含水率(100%~130%)の3種類に分類し、それぞれの含水率に応じて制御パラメーターを設定した。

3-4 ボイラー制御

図6に制御フローチャートを示す。本ボイラーの運転モードは下記の4モードより構成される。

- ① 着火モード (着火バーナーによる燃料への着火)
- ② 予備燃焼モード (投入燃料を段階的に増加させ、効率よく炉内昇温を行う)
- ③ 本燃焼モード (缶水温度を制御パラメーターとし、出力調整を行う)
- ④ 消火モード (炉内の燃料を全て燃焼し、ポストバーンを行う)

着火モードは灯油バーナーを使用し、木質チップを着火させるモードであるが、含水率によりチップの着火性が異なるため、含水率に応じ、灯油バーナーの運転時間を設定した。このことにより、灯油バーナーの過剰な使用を抑えることができる。灯油バーナー停止後、一定時間が経過した後、熱交換部入り口に設置された熱電対の出力が、所定の温度以下となった場合は、未着火と判断し、再度着火バーナーを点火する。設定条件温度を満たせば着火モードを抜け、予備燃焼モードへ移行する。

予備燃焼モードは、炉内温度を効率よく立ち上げるモードである。着火モード終了後、急激に燃料供給量を増加させた場合、特に含水率の高い木質チップでは失火の可能性があるので、炉内温度を検知しながら、段階的に燃料を増加させる。燃料の増加率も、含水率に応じて変動させるため、幅広い含水率に対して効率よく炉内昇温を行うことが可能である。

本燃焼モードは、設定缶水温度に対して温度制御を行うモードである。目標缶水温度との温度差により低燃焼、中燃焼、高燃焼の3段階の出力調整を行う。この他本モードには暖房負荷が小さく低燃焼での連続運転が困難な場合、断続的に燃料を供給し缶水温度の上昇を抑制する燃焼維持モード。低含水率チップ燃焼時に発生する、過剰燃焼を抑制する燃焼抑制モードがあり、缶水温度、燃焼ガス温度を検知しながら、それぞれの運転モードが選択される。

外部からの消火命令、または、異常発生に伴う強制消火命令が入力されることにより、消火モードへ移行する。消火モードでは、炉内に残された燃料を全て燃焼させ、その後炉内の燃焼ガスの排出と、炉内冷却を目的とした

ポストバージを行い、炉内温度が設定値以下となると、運転を停止する。

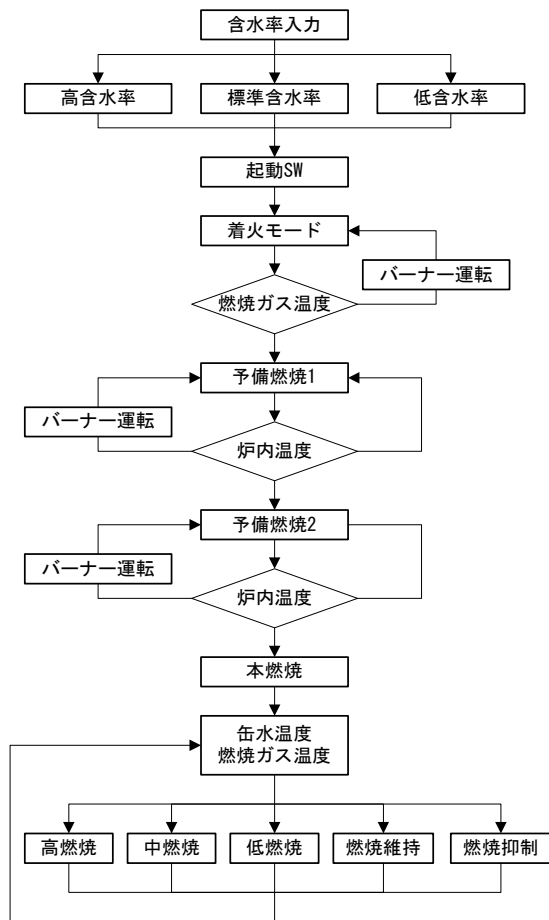


図6 制御フローチャート

3-5 燃焼試験

図7、図8に燃焼排ガス中の酸素濃度及び一酸化炭素濃度の時間変化を示す。

O_2 濃度を見ると、排ガスの温度上昇に伴い、ゆるやかに減少していくのがわかる。これは、炉内温度の上昇により、燃焼反応が促進され燃焼速度が増加する為と考えられる。安定燃焼時の O_2 濃度は4~6%となった。次にCO濃度変化を見ると、安定燃焼前の温度上昇時 3,000~4,000ppmという高い値を示すが、排ガス温度が550℃を超えた付近から急激なCO濃度の減少が見られる。その後排ガス温度の安定に伴い、CO濃度も安定し、最終的には200ppm以下での燃焼となり、目標値である500ppm以下を十分にクリアする数値となった。

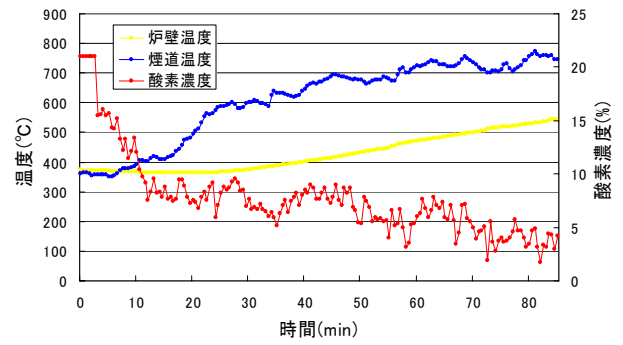


図7 排ガス中 O_2 濃度の時間変化

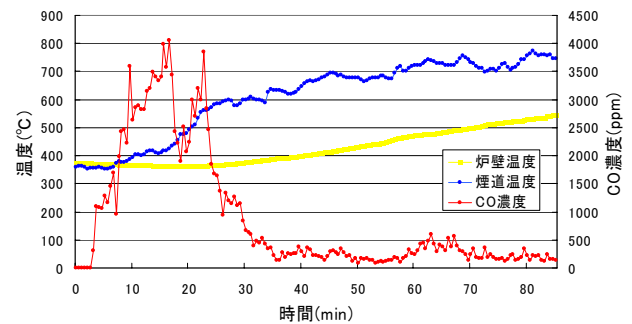


図8 排ガス中CO濃度の時間変化

4 結 言

100kw出力の高含水率チップに対応した木質チップボイラーを開発し以下の成果を得た。

- 1) 含水率100%の質チップを対象とした、最適火格子面積、炉容積の設計を行なった。
- 2) スパイラルスクリューを使用し、定量安定供給可能な燃料供給部を開発した。
- 3) 含水率に応じた燃焼制御を行う、ボイラー制御プログラムを開発した。
- 4) 排ガス中のCO濃度200ppm以下の低CO燃焼を実現した。

本事業により開発した木質チップボイラーは、共同研究企業である、オヤマダエンジニアリング㈱より“いわて型チップボイラー エコモス”として平成17年4月製品化された。

文 献

- 1) 日本機械学会編：燃焼工学ハンドブック，177（1995）