微粉炭焚きボイラでのバイオマス利用技術

Biomass as a Substitute for Coal in Pulverized Coal Fired Boilers

大 野 恵 美 エネルギー・プラント事業本部電力事業部開発部 氣 駕 尚 志 エネルギー・プラント事業本部電力事業部開発部 次長 博士(工学) 鈴 木 孝 平 株式会社アイテック

微粉炭焚きボイラでの混合粉砕方式による木材混焼は,経済的にも効率的にも優れたバイオマス利用技術である.この方式が実現可能かどうかを検証するため,試験設備で混合粉砕試験と混焼試験を実施した.石炭に木材を3wt%混合してローラミルで粉砕すると,粉砕性は良好であったが,粉砕動力は増加する.混焼試験では,燃焼性や環境特性には問題がないことを確認できた.したがって,数wt%の混焼であれば最小限の設備機器を追加するだけで,既設微粉炭焚きボイラで木材混焼が可能である.

Co-firing coal and wood is considered to be one of the solutions to utilize the energy from wooden biomass as carbon neutral fuel. Tests on co-pulverization and co-firing of these two fuels were performed in a test facility. Wood was fed into a roller mill together with coal in amounts up to 3% by weight. Good pulverization properties were confirmed whereas the increase in power consumption was negligible. Combustion tests revealed good combustion efficiency and low NO_x emission. A small percentage of wood can be burnt in coal-firing boilers, requiring little additional equipment.

1. 緒言

バイオマスを燃焼することによって放出される CO₂ は, 生物の成長過程で光合成により大気中から吸収した CO₂ であることから,バイオマスは大気中の CO₂ を増加させ ない「カーボンニュートラル」なエネルギーであるといえ る.このバイオマスを火力発電所で化石燃料の代替燃料と して利用すれば,発電所から排出される化石燃料由来の CO₂を削減することが可能となる.例えば,石炭火力発電 所であれば石炭のハンドリング設備や灰処理設備があるた め,固体であるバイオマスを混焼するための大規模な改造 は不要となり,設備投資はバイオマス供給設備など最少で 済む.また,一般的な石炭火力の発電効率は約40%であ り,発電効率がせいぜい20%程度の従来のバイオマス発電 に比べ,石炭火力でのバイオマス混焼発電は高効率発電が 可能となる.

一方,「電気事業者による新エネルギー等の利用に関す る特別措置法: RPS 法」が施行され,2010 年には全販売 電力の 1.35%に相当する 122億 kW·h を新エネルギー等 から発電することが義務づけられた.電気事業者は, 自 ら新エネルギー等電気を発電して供給する, 他から新エ ネルギー等電気を購入して供給する, 他から新エネルギ ー等電気相当量を購入する,から選択して義務を履行しな ければならない.このため,電力会社のみならず,大規模 な石炭火力発電設備をもつ自家発電所や独立系電気事業者 (Independent Power Producer: IPP)においてもバイオ マス混焼発電への取組みが活発化してきた.

本稿では,現在の石炭火力発電所の大部分を占める微粉 炭火力発電所を対象に,バイオマス混焼の可能性を検証す るため,木材の粉砕性と燃焼性を確認する試験を実施した ので,その結果について報告する.

2. 微粉炭焚きボイラでのバイオマス混焼方法

微粉炭焚きボイラでは,石炭を微粉炭機で微細な粒子に して空気中に浮遊させながら燃焼させる.微粉炭の粒度は, 200 メッシュ(75 μ m)通過割合が70~80%,100 メッ シュ(150 μ m)通過割合が90%程度である.このため, 微粉炭焚きボイラでバイオマスを混焼するために,バイオ マスも細かく粉砕する必要がある.粉砕方式としては,**第1** 図に示す単独粉砕方式(-(a))^{(1),(2)}と石炭との混合粉 砕方式(-(b))^{(3)~(5)}が考えられる.単独粉砕方式は, 石炭の粉砕や燃焼に影響を与えることはないが,バイオマ ス専用の粉砕機やバーナを設置するため追加設備が多く, 発電所内の動力を増加させるという問題がある.

一方,石炭との混合粉砕方式は,運炭コンベヤ上などで 石炭とバイオマスを混合し,既設の微粉炭機や微粉炭バー



第1図 バイオマスの供給・粉砕方式 Fig. 1 Schematic flows of biomass feeding and pulverizing system

ナを利用できるため追加設備は少なくて済み,発電所内の 動力にも影響が少ない.つまり,石炭との混合粉砕方式は 単独粉砕方式に比べ,経済的かつ効率的であると考えられ る.そこで,石炭との混合粉砕方式でバイオマスを混焼し たときに,従来どおりの微粉炭焚きボイラの性能を確保で きるかを確認するため,発電所周辺地域から継続的かつ大 量に供給可能なバイオマスとして木材を選択し,試験設備 において微粉炭機での木材と石炭の混合粉砕試験ならびに 混合微粉を用いた混焼試験を実施した.

3. 石炭と木材の性状比較

木材は,比較的に入手が容易で有害物質を含まない製材 所副産物(スギ材が中心)を使用した.形状や種類の違い による粉砕性を確認するため,おがくず(樹皮あり)とチ ップ(樹皮なしと樹皮あり)を用意した.第2図に木材の 形状を示す.平均粒径はそれぞれ2,20,20 mm 程度であ

(a) おがくず



第2図 木材の形状 Fig. 2 Shape of wood biomass

(b) 皮なしチップ

った.

第1表に石炭と木材の性状分析を示す.木材は石炭と比 べ発熱量が低く,水分と揮発分が多い.また,灰分やN分, S分が少ないのが特徴である.マツ,スギ,カシと3種類 の木材の性状を分析したが,ほとんど性状に差異はなかっ た.

木材は繊維質で水分が多いことから,石炭に比べると微 粉砕は難しいことが予想される.しかし燃焼性については, 木材は揮発分が多いため良好で,N分やS分が少ないこと から混焼時の NO_xや SO₂の排出量は石炭専焼よりも減少 することが予想される.

4. 混合粉砕試験結果

微粉炭機にはいくつか種類があるが,我が国ではれき青 炭や亜れき青炭の粉砕に適したローラミルが主流である. 本試験では,当社のローラミル(IHI VS ミル)を使用し, 木材と石炭の混合粉砕を実施した.微粉炭機の主な仕様を 以下に示す.

| 第二 | - 表 石炭と木材の性状分析 | |
|---------|------------------------------------|----|
| Table 1 | Properties of coal and wood biomas | SS |

| 項 | 目 | 単位 | 石炭 | マッ | スギ | カシ | |
|----------|-----------------|-------|------|-------|-------|-------|--|
| 高位発 | 熱量*1 | MJ/kg | 26.9 | 18.0 | 17.8 | 16.6 | |
| 全 水 | 分 ^{*2} | % | 7.3 | 22.9 | | | |
| | 固有水分 | % | 2.7 | 12.1 | 15.9 | 15.1 | |
| | 灰分 | % | 14.4 | 0.4 | 0.4 | 0.5 | |
| 工業分析 *1 | 揮発分 | % | 27.6 | 74.1 | 68.4 | 72.7 | |
| | 固定炭素 | % | 55.3 | 13.4 | 15.3 | 11.7 | |
| | 燃料比*4 | | 2.00 | 0.18 | 0.22 | 0.16 | |
| | С | % | 71.4 | 49.9 | 52.3 | 49.2 | |
| | н | % | 4.2 | 6.1 | 6.1 | 6.1 | |
| 元素分析 *3 | N | % | 1.3 | 0.1 | < 0.1 | < 0.1 | |
| | 0 | % | 7.9 | 43.6 | 41.1 | 44.1 | |
| | S | % | 0.4 | < 0.1 | < 0.1 | < 0.1 | |
| | | | | | | | |
| *2:到着ベース | | | | | | | |
| *3:無水ベース | | | | | | -ス | |
| | *4:固定炭素 / 揮発分 | | | | | | |

(c) 皮ありチップ



| 粉 砕 方 式 | ミルローラ粉砕(3 ロール) |
|---------|-----------------|
| 標 準 容 量 | 3 000 kg/h |
| 粗粉分離方式 | 回転式分級機 |
| ローラ加圧方式 | 油匠 |

粉砕試験装置の系統図を第3図に示す.木材は微粉炭機 に直接投入し,石炭とともに微粉砕する.製造された微粉 はサイクロンとバグフィルタで補集され,微粉ビンに貯蔵 される.投入する燃料中の木材の割合(以下,木材混合率 と呼ぶ)を3wt%まで変化させ,木材と石炭の供給量は合 わせて1500kg/hに一定とした.第2図に示す3種類の木 材についてそれぞれ試験を実施した.

微粉炭機での木材と石炭の混合粉砕性は良好で,安定した運転が可能であった.第4図に石炭と木材(皮なしチップ)を混合粉砕した際の製造微粉のSEM写真を示す.肉眼ではほとんど木材の存在を確認できないが,木材と思わ



第3図 粉砕試験装置の系統図 Fig. 3 Flow diagram of pulverizing test facility



(注)皮なしチップ混合

第4図 製造微粉の SEM 写真 Fig. 4 Co-pulverized sample by SEM

れる最大 500 µm 程度の細長い粒子が観察できる.

第5 図に微粉度として, ふるい法によって100 メッシュ (150 µm)通過を計測した結果を示す. 木材混合率を増加 させると微粉度はわずかに低下する傾向にある. これは, 第4 図で観察された木材由来の大きな粒子の数が増加した ためと考える. 石炭のみを粉砕したときの微粉度は100 メ ッシュ通過が99.7%であった. 混合粉砕時も石炭の微粉度 は変わらず粗い木材のみの割合が増加したと仮定すると, 木材の微粉度は80~90%程度であると推定する.

粉砕動力の指標となるミルモータ電力は増加していく傾向があった.そこで石炭単味粉砕時のミル動力に対する混合粉砕時のミル動力の割合を相対ミル動力として,第6図に木材混合率との関係を示す.木材を3wt%混合した場



第6図 相対ミル動力 Fig. 6 Relative power for pulverizing fuel

合,石炭単味と比べ,相対ミル動力は20%以上も増加する ことが分かった.これは石炭に比べ,木材が繊維質である ため効率的に粉砕できないことに起因すると思われる.ま た,木材の形状の違いによる大きな差異はみられなかった.

以上の結果から,混合率が3 wt%程度であればローラミ ルで石炭と木材の粉砕が可能であることが分かった.ただ し,木材混合率の増加とともにミルモータ電力は増加する ので,微粉炭機のミルモータ電力の余裕を確認して木材混 合率を決定する必要がある.

5. 混焼試験結果

木材と石炭の混焼時の燃焼性および環境特性を確認する ため,反応管燃焼試験炉を用いて混焼試験を行った.燃焼 試験装置の主な仕様を以下に示す.

| 加 | 熱 | 方 | 式 | 電気炉 | | | | |
|-------------------|-------------|-------|----------|--------|-------------------|---------|-----------------|-----|
| 電 | 気炉倒 | 用温 | 謏 | 1 600 | (最高 | 高) | | |
| 二次 | 欠空気 | 调 | 位置 | 燃料ノ | ズルか | 6 300 r | nm [–] | 下流 |
| サン | ップリ | レンク | が位置 | 燃料ノ | ズルか | 6 800 r | nm [–] | 下流 |
| 燃焼 | 式 験 浅 | 置の |)系統図を | 第7図は | こ示す | . 石炭は | 前述 | のロ |
| ーラミノ | レで粉 | 砕し | たものを | 用意した | : . バ1 | イオマス | はロ | ータ |
| スピー | ドミノ | レで料 | 汾砕し , 前 | 述の粉砕 | 卆試験(| の結果な | を踏ま | もえ, |
| ふるいに | こかけ | て 2 | 200 µm 以 | 下になる | るよう言 | 周整した | :.燃 | 料流 |
| 量は 1.(|) g/m | nin I | こ一定とし | , 木材潤 | 記合率に | ま , 石炭 | 専焼 | と木 |
| 材混焼0 | の差カ | バ現∤ | こるよう15 | ,30,5 | 0 wt% | につい | て実 | 施し |
| た.電気 | 动物 | に挿 | 込された反 | 反応管温 | 度は 1 | 350 | にー | 定と |
| なるよう | う制御 | りして | こいる . 一員 | 殳燃焼の | 場合は | 空気比 | 1.2 | とな |
| るよう- | -次空 | ≧気0 |)みを供給 | し,二段 | 燃焼の |)場合は | 一次 | 空気 |
| で空気 | <u> </u> | 5 相 | 当量 , 二次 | 空気で営 | 泛 武比 | 0.35 棺 | 当量 | を供 |
| 給した | . ここ | でニ | [段燃焼と | は , 着火 | 領域に | 還元性 | の雰 | 囲気 |
| を形成し | , そ | のな | かで燃料中 | ማ N ን | うを N ₂ | にまて | 還元 | して |
| NO _x を | 低減す | する燃 | 燃焼方法でな | ある. | | | | |

第8 図に木材混合率とサンプリングしたダストの灰中 未燃分の割合を示す.一段燃焼では,木材混合率とともに 灰中未燃分が減少していく傾向にあった.一方,二段燃焼 では,木材混合率を増加させると灰中未燃分が増加する傾 向がみられた.そこで,次の(1)式によって燃焼効率を 求める.

$$\eta = \frac{A \times UC \times 100}{(100 - A) \times (100 - UC)} \quad \dots \dots (1)$$

$$\eta : 燃焼効率(%)$$

$$A : 燃料中の灰分(% dry)$$

$$UC : 灰中未燃分(%)$$

第9 図に燃焼効率と木材混合率との関係を示す.燃焼効率は一段燃焼も二段燃焼も木材混合率の増加とともに増加していることが分かる.以上から木材の燃焼性は石炭に比









べ良好であることを示している.

NO_x 排出量を第10 図に示す.二段燃焼によって NO_x が 低減していることが分かる.木材混合率が増加すると NO_x は減少し, NO_x 生成量は燃料中 N 分の減少量に一致する.

SO₂ 排出量を第 11 図に示す . NO_x と同様 , 木材混合率 が増加すると SO₂ は減少する . これは , 燃料中 S 分の低下 によるものである .

6. 実機への適用

微粉炭焚きボイラで木材混焼する場合,木材が石炭と同様に十分粉砕されていれば,燃焼効率や NO_x, SO₂の排出量に問題がないことが確認できた.

しかし, 微粉炭機による石炭と木材の混合粉砕の場合, 木材混合率が3 wt%程度であれば粉砕性は良好であるが, 粉砕動力は増加することが分かった.実機に適用する場合, 木材混合率は既設微粉炭機のミルモータの裕度に最も影響 を受けることが予想される. 微粉炭機のミルモータ電力の 余裕を確認し, 木材混合率を決定する必要がある.

現在では, RPS 法による義務量の達成を目的として, 電力会社など数社が微粉炭焚きボイラでの木材混焼実証試験を行っている段階である.

7. 結 言

試験設備を用いて木材と石炭の混合粉砕試験,木材と石炭の混焼試験を実施した結果,木材と石炭を混合粉砕する 方式によって,微粉炭焚きボイラでの木材混焼が可能であ ることを確認した.木材混合率は3 wt%までであれば混焼



Fig. 11 SO₂ missions

が可能であった.実際に既設ボイラに適用する場合には, 木材混合率は微粉炭機のミルモータの裕度によって制限されることが予想される.

今後も,木材だけでなく多様なバイオマスの混焼が可能 な微粉炭焚きボイラを提供できるよう努めていく所存である.

参考文献

(1) F. W. M. Penninks: Co-Combustion and Gasification Projects in the Netherlands, Part2 – Coal and Wood Fuel for Electricity Production – VGB Power Tech 5/2000 (2000) pp.60 - 64

- (2) A. Mory and J. Tauschitz : Co-Combustion of Biomass in Coal-Fired Power Plants in Austria VGB Power Tech 1/99 (1999) pp.50 - 55
- (3) J. A. Kostamo : Co-Firing of Sawdust in a Coal Fired Utility Boiler IFRF Combustion Journal (2000.1)
- (4) S. I. Plasynski: Biomass Cofiring in Full-

Sized Coal Fired Boilers 24th International Technical Conference on Coal Utilization & Fuel Systems (1999.3)

(5) J. Battista: Biomass Cofiring in the United States – A Survey of Past Tests – 26h International Technical Conference on Coal Utilization & Fuel Systems (2001) pp.227 - 236