F153

研究室規模の実験炉から実機ボイラまで適用可能な微粉炭燃焼モデル

A pulverized coal combustion model applicable to the simulation from a laboratory scale furnace to commercial boilers

正○山本 研二 (日立) 正 谷口 正行 (日立) 正 伊藤 修 (日立)

正 木山 研滋 (バブ日立) 正 工藤 一彦 (北大)

Kenji Yamamoto, Masayuki Taniguchi, Osamu Itou, Kenji Kiyama and Kazuhiko Kudo,

832-2 Horiguchi, Hitachinaka-shi, Ibaraki-ken, Japan

We examined the applicability of a coal combustion model to commercial boilers. The coal combustion model, which has char and NO_x reaction models, has been developed on the basis of experimental data obtained by using a drop tube furnace (coal feed rate: 0.6kg/h). We applied the coal combustion model to the simulation from a laboratory scale furnace (coal feed rate 25kg/h) to commercial boilers (coal feed rates: 100 to 300t/h). 1) The model was applicable to any size furnaces. 2) Reduction reactions by hydrocarbon radicals were important to predict NO_x concentration. 3) The predicted furnace exit gas temperatures were in agreement with the measured ones with less than 30 °C.

Key Words: Pulverized Coal, Combustion, Numerical Simulation, Boiler, NO_x

1. 緒言

微粉炭焚きボイラでは、排出 NO_x 濃度の低減が要求されている。さらに NO_x 濃度を低減するためには、NO_x 濃度に重要な還元雰囲気燃焼メカニズムを解明することが必要である。また、新しいボイラを効率的に設計するためには、実機の NO_x 濃度・ガス温度・燃焼率を予測可能な燃焼解析プログラムが必須である。

今までに数多くの微粉炭燃焼解析プログラムが開発されてきたが、実機ボイラの NO_x 濃度・ガス温度・燃焼率を精度良く予測できるものは無かった。また、これらのプログラムが研究室規模の実験炉から実機まで適用可能であるか調べられたことは無かった。

我々は、電気加熱炉で測定した実験データを基に、チャーの燃焼モデル・NO_x 反応モデルを開発した⁽¹⁾。また、このモデルを組み込んだ微粉炭燃焼解析プログラムを開発した。本研究の目的は、このプログラムが燃焼炉の規模によらず適用可能であるかを調べることである。

2. チャー燃焼モデル

石炭供給量 0.6kg/h の電気加熱炉で測定したデータを基に、チャーの燃焼モデルを開発した⁽¹⁾。測定した条件は、空気比 0.4~1.6、温度 900~1400℃、石炭の燃料比 1.0~8.7 である。モデルの特徴は、チャーの酸化反応だけではなく、ガス化反応も同時に測定した点である。測定したガス化反応速度の活性化エネルギーは、従来の窒素雰囲気中で測定されたものよりも低かった。酸素の共存によりガス化反応が加速されたと考えられる。

この開発したチャーの燃焼モデルの予測精度を図 1 に示す。開発した燃焼モデルの測定値との誤差は 3%以下であった。図 1 にガス化反応を考慮しない場合の結果も示す。温度が低い場合(900℃)は、ガス化反応を考慮しなくても誤差は、10%以下であった。しかし、温度が高く粒径が小さい場合は、誤差が 20%以上になった。特に、空気比の低い条件で誤差が大きかった。一般的に低 NO_x の条件では空気比が低いので、低 NO_x の予測にはガス化反応速度が重要であることが分かった。

Fig. 1 Comparison between measured and calculated coal burnout of a drop tube furnace

3. NO_x 反応モデル

我々は、チャーの燃焼モデルの開発に使用したものと同一電気加熱炉で測定した NO_x 濃度を基に NO_x 反応モデルを開発した⁽²⁾。開発した NO_x モデルの概要を図 2 に示す。揮発分の反応経路として、Fenimore モデルを組み込んだ。さらに、炭化水素ラジカル(Chi)による還元反応(R6)、チャー中の N 分の酸化(R4)、サーマル NO_x(R9)の評価に拡大ゼルドビッチモデルを組み込んだ。開発したモデルの特徴は、熱分解だけでなく、チャーの酸化・ガス化により炭化水素ラジカルが生成すると仮定した点である(R8)。

本モデルの NO_x 濃度の予測精度を図 3 に示す。NO_x 濃度の予測誤差は、平均 17%であった。また、R8 の反応がない場合の結果も、1 炭種について図 3 に示す。温度が高い 1400℃の場合は、空気比が低く NO_x 濃度が低い条件で誤差が非常に大きくなった。すなわち、NO_x 濃度の予測には、温度の高い条件でチャーから発生する Chi の NO_x 還元反応(R6,R8)が重要であることが分かった。

Fig. 2 Reaction model of NO_x formation and reduction

Fig. 3 Comparison between measured and calculated NO_x concentration of a drop tube furnace

4. 実機ボイラにおける検証

開発したチャーの燃焼モデルと NO_x 反応モデルを組み込んだ乱流燃焼解析プログラム⁽³⁾を開発し、実機ボイラの性能を予測した。この乱流燃焼解析プログラムでは、ガス燃焼に渦消散モデルを、流れの計算には SIMPLE 法を使用した。NO_x の計算に重要なガス温度を正確に予測するには、輻射計算の精度を高める必要がある。本研究では、精度が高く計算時間の短い DT 法を用いた。本プログラムは、石炭供給量 25kg/h の燃焼炉において検証し、NO_x 濃度だけではなく CO 濃度やシアン、アンモニアの濃度も予測できた⁽³⁾。

NO_x の検証には、発電機出力 265MW から 1000MW までのボイラ火炉で測定されたデータを用いた。これら全てのボイラは低 NO_x パーナを使用している。これらのボイラの石炭供給量は、約 100~300t/h である。使用した石炭の燃料比は 1.1 から 2.2 の範囲である。また、ボイラの負荷は 20%~100% の範囲で変化したデータを含む。燃焼率は、ボイラ A の測定値を使って検証した。

図 4 は燃焼率の予測精度を示す。実機ボイラでは、未燃分の低い運転をしているので、燃焼率は 99.5% 以上である。計算でも、実機と同様に燃焼率が高い特性を再現した。また、燃焼率は電気加熱炉と同様に、予測誤差 3% 以下であった。

図 5 は火炉出口の NO_x 濃度の予測精度を示す。記号は、ボイラの種類を示す。ボイラの出力、石炭の種類、負荷によらず誤差 ±20% 以下で予測できることが分かった。NO_x の誤差は、電気加熱炉で検証した場合と同レベルであり、

開発した NO_x モデルは、実機ボイラの予測に適用できることが分かった。また、ボイラ A、負荷 100% の条件で R8 の反応を考慮しない計算をした。NO_x 濃度の誤差は、+68% であった。実機でも、チャーから発生する CHi の NO_x 還元反応(R6,R8)が低 NO_x 燃焼の予測に重要であることが分かった。

また、図には示さないが火炉出口のガス温度についても、計算と実機で比較した。ボイラの出力、石炭種、負荷によらず、火炉出口ガス温度を誤差 ±30℃ 以下で予測した。これは、燃焼モデルの精度が高いことを示していると考えられる。

Fig. 4 Comparison between measured and calculated coal burnout of a commercial boiler

Fig. 5 Comparison between measured and calculated NO_x concentration of commercial boilers

6. 結 言

電気加熱炉で測定した燃焼率と NO_x 濃度のデータを基に開発した、チャー燃焼と NO_x 反応のモデルの実機ボイラへの適用性について調べた。本モデルは、石炭供給量 25kg/h の燃焼炉であったも、100~300t/h の実機ボイラであっても適用可能であることが分かった。低 NO_x 燃焼の予測には、チャーから発生する炭化水素ラジカルによる NO_x 還元反応が重要であることが分かった。開発した燃焼解析プログラムは、火炉出口ガス温度を ±30℃ 以下の誤差で予測できた。

参考文献

- (1)山本ら, 機論 (B 編), 65, 637(1999), 260.
- (2)Taniguchi et al., FUEL, 81(2001), 363
- (3)Yamamoto et al., RAN2001, 1-B-5