廃熱回収器内における不純物の堆積挙動

Dust Deposition of the Flow in a Reclaimer of Waste Heat

○ 学 原 卓也 (兵庫県大院) 正 本田 逸郎 (兵庫県大)
正 河南 治 (兵庫県大)

Takuya Hara, Itsuro Honda and Osamu Kawanami
University of Hyogo, Shosha 2167, Himeji-shi, Hyogo 671-2201

The waste heat utilization has lately attracted considerable attention to efficiently use energy. The thermal energy of the exhaust gas is recovered by the heat recovery steam generator in the plant. However, the accumulation of impurities in the heat exchanger inside the steam generator and the fall in heat exchange performance are becoming to soot and dust are contained in the exhaust gas. In order to solve these problems, it is necessary to estimate the deposition behavior of impurities and the heat transfer efficiency. The purpose of this research is the quantitative deposition assessment of impurities and visualization of deposition behavior.

Key Words: waste heat, heat exchange, deposition

1 緒言

近年、エネルギー資源の枯渇、化石燃料の燃焼による二酸化炭素排出量の増加、福島での原子力発電の事故による電力の供給不安などが問題となっており、エネルギーを効率よく活用することが求められている。しかしながら、現状では、工場施設や設備で「廃熱」という形で多くのエネルギーを無駄にしている。このような廃熱を有効利用するために、廃熱回収ボイラにより、排気ガスの熱エネルギーを回収する方法が実施されてきているが、排気ガスには煤塵が含まれるため、ボイラ内の熱交換器に不純物が堆積し、熱伝達率が低下することで、熱交換性能が悪化する問題が発生している⁽¹⁾。この問題を解決するためには、不純物の堆積形態、それによる伝熱性能の劣化の予測が必要不可欠である。

このような不純物の堆積挙動に関してはほとんど研究がなされていない。そのため、熱交換器内での不純物の堆積形態や伝熱性能の劣化を定量的に評価する方法の開発が望まれている。本研究では、不純物としてガラスビーズを用いることで、流路内における不純物の定量的な堆積評価およびその可視化を行うことを目的としている。本稿では、堆積評価実験装置の開発および評価方法と結果について述べる。

2 ガラスビーズ堆積実験

2.1 実験装置

本研究では、ガラスビーズを不純物と見立て、ガラスビーズの堆積実験を行い、不純物の堆積挙動の可視化、および定量的な評価を行った。Fig. 1 にガラスビーズの堆積実験の実験装置の概略図を示す。

実験装置は、上流側のタンクと下流側のタンクの間に流路を通してあり、この流路内でガラスビーズの堆積挙動の可視化を行う。流路は、断面が100 mm×100 mm、長さが900 mmである。作動流体は水であり、下流側のタンクに溜まった水をポンプを用いて上流側のタンクに水を戻すことで実験装置内の水を循環させている。ポンプにはバルブを取り付けており、バルブを閉鎖することにより流量の調整を行っている。また、観測部の流路底部からLEDライトにより光を照射し、流路上部に設置したカメラで撮影することにより、堆積挙動を非接触、かつ定量的に可視化することを可能とした。

Fig. 1: Experimental device of deposition

2.2 実験方法

堆積実験は、流路内の流れが安定した後、上流側のタンクにガラスビーズを投入し、60 分間実験を行った。このとき、流路上部のカメラで、ガラスビーズの堆積状態の撮影を行う。

撮影した白黒濃淡の画像を256 階調に画像解析することで、ガラスビーズを透過する光の輝度を数値的に算出した。その輝度から堆積高さに変換することにより、堆積状態を非接触で測定できる。ある瞬間の画像から堆積高さが測定可能なため、非定常の堆積挙動の計測も可能である。

2.3 実験結果・考察

流路に物体を設置した場合の堆積挙動を観察するために、幅が54 mm、高さが31 mm、厚みが4 mmの長方形の物体を設置し、その周りに堆積するガラスビーズの堆積挙動の可視化を行った。実験に用いたガラスビーズは直径50 μmである。また、レイノルズ数は、代表流速は流入速度、代表長さは長方形の高さとして、約2200である。

Fig. 2 に60 分間ガラスビーズを堆積させた後の堆積結果を示す。

Fig. 2: Experimental result of deposition

Fig. 2 の検査領域のみを取り出し、堆積高さに変換した図を Fig. 3 に示す。

Fig. 3: Experimental result of depositional height

Fig. 2, Fig. 3 の物体前方および側面においてガラスビーズが堆積していないことから、これは物体周りに形成される馬蹄渦の影響であると推測される。さらに、物体後方においてガラスビーズの堆積量が少なくなっている。これは越流の影響でガラスビーズが溜まりにくくなったと考えられる。

3 ガラスビーズ伝熱実験

3.1 実験装置

不純物が堆積することで、熱交換器内ではプレートと流体の間に熱伝導が非常に低い不純物の層が生成される。また、不純物の堆積形態により熱交換器内の流れも変化する。そのため、不純物の堆積により伝熱性能が劣化することが考えられ、伝熱性能の劣化の予測は熱交換性能を向上させるためにも必要不可欠である。そこで、本研究ではガラスビーズの熱伝導実験について報告する。Fig. 4 にガラスビーズの熱伝導実験の実験装置の概略図を示す。

実験装置の伝熱面は長さが 300 mm、幅が 200 mm、厚みが 0.04 mm のステンレス箔を用い熱流束一定の伝熱面を製作した。また、伝熱面には 3 つの熱電対を挿入することにより、伝熱面の温度を計測できるようにした。

3.2 実験方法

Fig. 4 の伝熱面の周りに高さが 10 mm のフレームを取り付け、その中にガラスビーズを一様に敷くことでガラスビーズの熱伝導実験を行う。加熱面の熱流束が定常となったときのガラスビーズ表面の温度分布を赤外線カメラにより撮影を行った。

Fig. 4: Experimental device of heat transfer

また、ガラスビーズ上に熱電対を置き、上からテープで止めることにより、ガラスビーズの表面温度を熱電対でも測定している。

3.3 評価方法・考察

伝熱計測は、供給電圧が 2 V、供給電流が 1.2 A の電力を供給したときの実験結果を報告する。実験時の外気温度は 26.5 °C であり、定常状態での伝熱面の温度は 34.3 °C であった。

Fig. 5 に定常状態における赤外線カメラにより撮影したガラスビーズ表面の温度分布を示す。

Fig. 5: Temperature distribution of glass beads surface

Fig. 5 のように赤外線カメラを用いることでガラスビーズ表面の温度分布を測定することが可能となった。そのため、この温度分布を用いてヌセルト数を算出することにより、熱交換器内の不純物堆積における伝熱性能の劣化を評価することが可能となると考えられる。

4 結言

本研究では、熱交換器内部の不純物の堆積形態と伝熱性能の劣化を定量的に評価するために実験装置の開発および評価方法を検討した。ガラスビーズを不純物とみなすことで、不純物の堆積挙動を非接触、かつ定量的に可視化することを可能とした。また、不純物の堆積による伝熱性能の劣化は赤外線カメラを用いることで評価が可能になる。

参考文献

(1) 柴崎嘉隆, 杉茂篤, 後藤直哉, 新井雅隆, ディーゼル機関用 EGR クーラ内部の堆積物評価 (第 1 報、評価手法の開発), 自動車技術会論文集, vol.40, No.5 p1229-1234, (2009)。