

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 27 年 6 月 11 日現在

機関番号：12701

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2012～2014

課題番号：24560222

研究課題名(和文)高温水蒸気を用いた伝熱促進機構の構築とその解明

研究課題名(英文) Constitution and Declaration of Heat Transfer Enhancement Mechanism Using High-Temperature Water Vapor

研究代表者

酒井 清吾 (Sakai, Seigo)

横浜国立大学・工学(系)研究科(研究院)・准教授

研究者番号：70323110

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 4,200,000円

研究成果の概要(和文)：水蒸気は、地球温暖化ガスの一つとして知られるように、ふく射を放射吸収し再放射する。したがって、水蒸気濃度の変化は熱移動に影響を与える。また、高温の水蒸気を生成することにより、体積が膨張することで流れが加速される。これら2つの特長を用いて、燃焼場に高温水蒸気を導入すれば伝熱が促進される可能性がある。本研究では、工業用加熱炉に高温水蒸気加熱機構を構築することを目的とし、らせん流路導入の効果、実機における水蒸気導入の影響を評価した。その結果、適度な水分を装置内に導入すれば、高温水蒸気が生成され、伝熱促進されることがわかった。また水蒸気は、対流伝熱よりもふく射伝熱に対して効果があることがわかった。

研究成果の概要(英文)：Water vapor is known as one of the non-gray gases, and absorbs and re-emits radiation. Therefore, the change of water vapor concentration influences heat transfer. An increase in flow velocity is also achieved due to fluid volume expansion by the generation of high-temperature water vapor. From these two characteristics, generation of high-temperature water vapor to the combustion field have potential to contribute to heat transfer enhancement. This study aims to apply high-temperature steam heating mechanism to an industrial furnace. In this study, it is intended to brush up efficient heat transfer mechanism with using spiral flow path, and also assess the impact of water vapor by experiment using the actual device.

Results show that generation of high-temperature water vapor by the addition of appropriate quantities of water contributes to heat transfer enhancement. It is found that radiative heat transfer is more dominant compared with convective heat transfer.

研究分野：熱流体工学

キーワード：エネルギー利用 ふく射 対流 水蒸気

1. 研究開始当初の背景

金属溶融炉やボイラー等工業的に多く使用されているバーナー加熱機構は、排気が大幅に熱を持ち去り熱効率が約 35%程度と低い。そのため効率の向上が課題である。この課題解決策として、水蒸気を持つ温室効果、環境負荷が低いと云う特性に着目した。水蒸気の温室効果により供給された熱量は水蒸気の中に蓄えられ、排気による熱量の逃げを最小限に防ぎ、対流・ふく射熱伝達の効果により効率の向上が可能となる。しかし、水蒸気利用に関しては、過熱水蒸気生成における装置のコストが高い、大規模化してしまうと云った欠点がある。その欠点を改善する為、バーナーの火炎中に水を通す流路を作り、水蒸気を直接発生させ、そのまま被加熱物を覆い、熱回収のシステムを導入せず飛躍的に伝熱を促進させる新しい装置の開発に向けた研究を行った。

2. 研究の目的

本研究室での過去の研究で、解析による結果からふく射・対流熱伝達のそれぞれにおいて適量の水分量であると伝熱が促進される事が確認出来ている。本研究では実際の装置を用いて実験を行い、水の影響を確認し、また螺旋流路を導入し伝熱効率が最も高くなる装置の構造解明に向け、研究を行った。

3. 研究の方法

3.1 実験装置

Fig.1 に示すつぼ炉を用いて実験を行う。直径 60cm、高さ 75cm の耐熱煉瓦の装置内に直径 30cm、高さ 40cm のるつぼ型の炉を設置した。装置内部の底面にバーナーがあり、火炎部の側面に水の供給口を設け流量計で測定した量の水を投入する。装置の各所にシース K 型熱電対を、また火炎部に最も近い部分では R 型熱電対を設け温度を測定する。

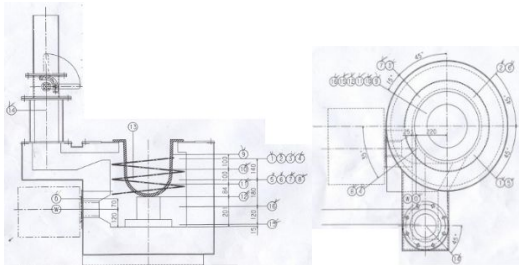


Fig.1 Experimental apparatus

3.2 実験方法

今回の実験ではガス燃焼の際に生成される水蒸気量、大気中に含まれる水蒸気量、水道から供給する水分量と 3 種類の水について考える必要がある。今回用いたガスバーナーは出力が一定である為、後者 2 点の水について供給量を調整し、その変化による伝熱促進効果の検証を行った。

また、既往の研究から被加熱空間の体積が 0.0208 m^3 である場合、 $0 \sim 15 \text{ ml/min}$ 程度の

水分を供給する事で伝熱促進効果が確認されており、本研究の実験装置内体積が 0.0184 m^3 と解析モデルとほぼ同体積であるため、同じ水分供給の条件で実験を行った。

また Fig.2 に示すらせん流路をつば周辺に配置し、装置内の熱風の流れに伴う温度変化も確認した。



Fig.2 Spiral channel

なお、室温、装置各所の温度は各実験開始時に 20°C 近傍に揃えている。

Fig.3 に実験装置の外観を示す。

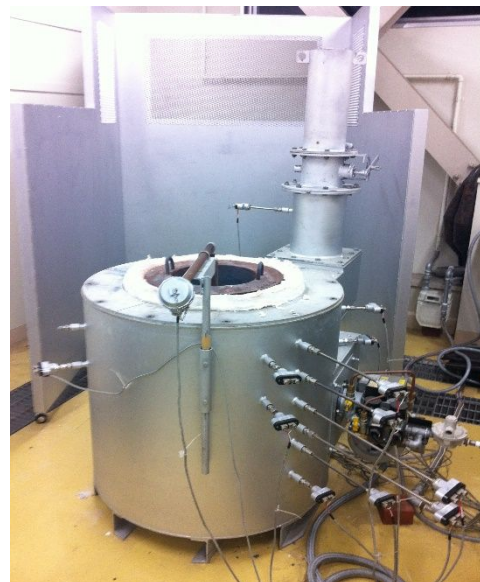


Fig.3 Photo of experimental apparatus

溶融物は Fig.4 に示す融点が 660°C のアルミニウム ADC-12 を使用し、各実験すべて炉内温度が融点を超えるまで測定した。

4. 研究成果

Fig.5 は、まず螺旋流路による効果の検証を行った結果である。螺旋流路自体に熱が奪われ、立ち上がりこそ悪いものの、先に 700°C に達している事から、排気口に至るまでつ



Fig.4 Aluminum ingot as a melt

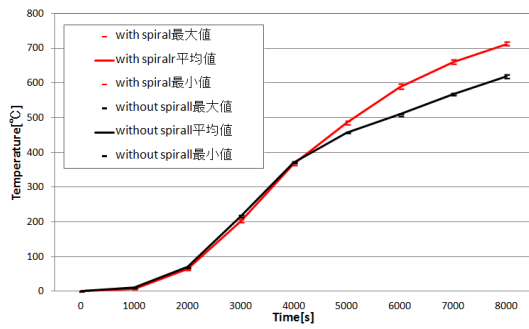


Fig.5 Furnace temperature with and without spiral channel

ば炉の周囲から効率的に熱交換できている事がわかる。
以降全ての条件で螺旋流路を使用した。

Fig.6は大気中に含まれる水蒸気量と水道からの供給量との合算の値によって 0~15ml/min の範囲内でいくつかの値を取り、炉内温度を比較したグラフである。結果は 4.34ml/min の水分存在時が、溶かす事を考えれば最も炉内温度の上昇速度が大きくなった。以降 7.73ml/min、1.03ml/min と続き、10ml/min 以上供給した場合は供給量が増えるにつれ上昇速度が小さくなった。

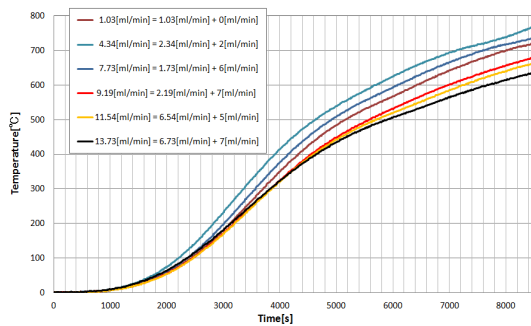


Fig.6 Furnace temperature transition with changing the amount of water injection

Fig.7 は Fig.6 の立ち上がり時間近傍を拡大したものであり、供給量が多いほど傾きが

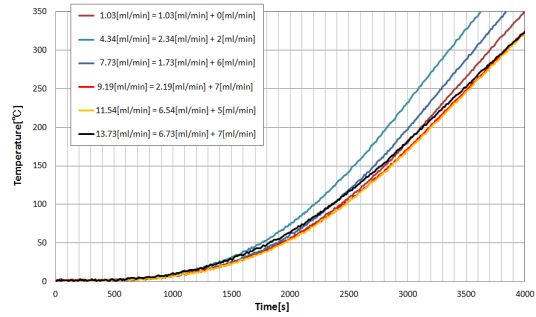


Fig.7 Initial furnace temperature transition

大きく、ある温度以降小さくなるという特性があり、温度毎に水蒸気量の最適値がある事がわかる。

Fig.8 は水蒸気量の条件毎の単位時間に対する炉内温度上昇の傾きを表したものである。実験毎に傾きのピークは 3000 秒前後で迎えており、この時の炉内温度は 200 前後である。また初期の立ち上がりは水蒸気量が多い条件が良く、以降水蒸気量の最適値が減少している事がわかる。

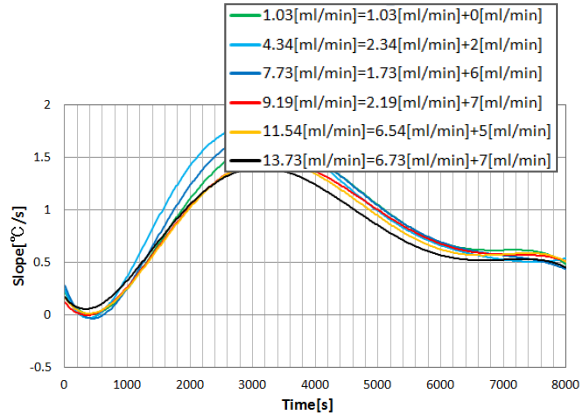


Fig.8 Furnace temperature gradient

Fig.9 は 4000 秒以降、大気中に含まれる水蒸気量のみにした場合との比較である。5000 秒以降傾きが再び大きくなり、最も大きい温度上昇速度を観測した。

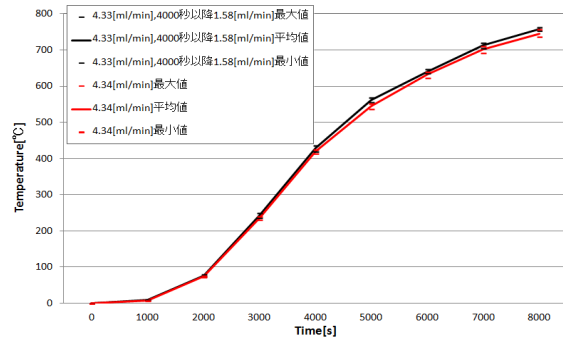


Fig.9 Furnace temperature transition with and without water injection after 4000sec

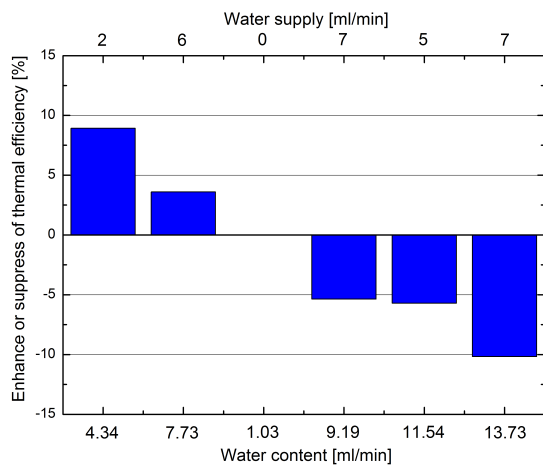


Fig.10 Comparison of thermal efficiency

Fig.10 は、水蒸気総量もしくは水道からの水の供給量に対する熱効率の変化を示す。水蒸気の総量が大きくなると、水を供給しない場合に比べて効率は 10%程低下してしまう。また、同程度の水の供給量でも水蒸気総量が適度であれば効率は増大し、今回の研究では最大 8%程向上した。したがって、熱効率を向上させるには、水の供給量だけでなく、燃焼用空気に含まれる水分、燃焼によって生成した水蒸気との総量を制御する必要があることがわかった。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

〔雑誌論文〕(計 1 件)

Seigo Sakai, EVALUATION OF RADIATIVE HEAT TRANSFER EFFECT ON FIRE WHIRLWIND, International Journal of Aerospace and Lightweight Structures, Vol. 3, No. 3, 2013, pp.373-384.

〔学会発表〕(計 3 件)

Seigo Sakai, Proposal of Thermal Efficient Heating Mechanism Using Water Vapor for Industrial Furnace, International Scientific Conference on Engineering and Applied Sciences (ISCEAS) 2015, 29th-31st July 2015, Okinawa, accepted.

Seigo Sakai, Prediction of Fog Layer Formation and Extinction Using Numerical Analysis of Radiative-Conductive Heat Transfer, International Conference on Engineering and Applied Sciences (ICEAS) 2015, 20th-22nd July 2015, Hokkaido, accepted.

Seigo Sakai, Evaluation of radiative heat transfer effect on fire whirlwind, APCOM & ISCM, 11-14th December 2013, Singapore, ID-1106.

〔図書〕(計 1 件)

Seigo Sakai, Effect Evaluation of Radiative Heat Transfer and Horizontal Wind on Fire Whirlwind, Earthquake Engineering - From Engineering Seismology to Optimal Seismic Design of Engineering Structures, Chapter 14, InTech, (2015), pp.357-378.

〔産業財産権〕

出願状況 (計 0 件)

名称：
発明者：
権利者：
種類：
番号：
出願年月日：
国内外の別：

取得状況 (計 1 件)

名称：加熱装置
発明者：酒井清吾、奥山邦人
権利者：国立大学法人横浜国立大学
種類：F27B 14/14
番号：特開 2012 - 21684
出願年月日：平成 22 年 7 月 13 日
取得年月日：平成 24 年 2 月 2 日
国内外の別：国内

〔その他〕

ホームページ等

6. 研究組織

(1)研究代表者

酒井清吾 (Seigo Sakai)
横浜国立大学・工学研究院・准教授
研究者番号：70323110

(2)研究分担者

なし

(3)連携研究者

なし