

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成24年 5月 7日現在

機関番号：13101

研究種目：基盤研究（C）

研究期間：2009～2011

課題番号：21510080

研究課題名（和文） 熔融高炉スラグからの高度熱回収プロセス

研究課題名（英文） Process to recover heat from melted blast furnace slag

研究代表者

清水 忠明（SHIMIZU TADAAKI）

新潟大学・自然科学系・教授

研究者番号：10211286

研究成果の概要（和文）：高炉式製鉄法では、スラグは 1500℃程度の高温熔融状態で排出される。本研究では、流動層を用いた熔融スラグ熱回収プロセスを提案した。コールドモデル実験では、低温で熔融する模擬スラグを流動層内に滴下して、固化物への流動媒体取り込み量を評価し、模擬スラグ物性との関係を調べた。1400℃程度で熔融した実際のスラグを 600～800℃の固化スラグ粒子流動層に滴下し、固化物の形態に及ぼす流動層温度の影響を調べた。

研究成果の概要（英文）：A novel fluidized bed system is proposed to recover heat from melted blast furnace slag. Fundamental study was conducted using a fluidized bed cold model and simulated melted slag. Effect of the properties of melted material on the inclusion of bed material to the solidified simulated slag was investigated. Also hot fluidized bed experiments were carried out using real melted slag (at 1400 °C) and high-temperature bed material (600 - 800 °C). Effect of bed temperature on the shape of the solidified material was investigated.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2009年度	1,100,000	330,000	1,430,000
2010年度	1,000,000	300,000	1,300,000
2011年度	1,000,000	300,000	1,300,000
年度			
年度			
総計	3,100,000	930,000	4,030,000

研究分野：複合新領域

科研費の分科・細目：環境学、環境技術・環境材料

キーワード：省エネルギー技術、高炉スラグ、流動層、熱回収、固化物

1. 研究開始当初の背景

本研究の背景は、地球温暖化問題ならびにエネルギー資源枯渇問題を解決するための一つの方法として、未利用エネルギー源を有効に利用する社会的ニーズである。製鉄における高炉法でも、エネルギー消費の低減が喫緊の課題である。高炉式製鉄プロセスの未利用廃熱のうち大きなものとして、高炉スラグの持つ熱の有効利用がある。高炉スラグは銑鉄

1t 当たり約 290kg 生成し、炉からは約 1500℃の融けた状態で排出される。我が国では平成 17 年に約 2,400 万トンのスラグが生成した。もし、熔融高炉スラグの持つ熱の 55%が回収できれば、回収熱量は石炭換算で年間約 100 万トンに相当する。通常の熱回収装置では伝熱面にスラグが付着するので、現状では熱回収ができていないので、新規なプロセスを提案する必要がある。

2. 研究の目的

申請者は、流動層内に熔融スラグを滴下して固化させつつ、流動層の流動媒体を通じて伝熱管へ熱を伝えて発電用レベルの高温高压蒸気として熱を回収する方式を提案した。本研究は、この熱回収の実用化に向けた課題を解決することを目的としている。本研究で明らかにすることは、液状スラグからの熱回収を流動層式熱回収装置で行う方式の小型装置による実証と、流動不良など運転上の課題を起ささないようにするための解決手法の開発である。

3. 研究の方法

融点が比較的低いワックスなどを用いたコールドモデル試験を行い、熱バランスの取得、液体が固化して生成するときどれだけ周囲の流動媒体を取り込むかの定量的評価を行う。また、流動不良が起きた場合の早期発見をコールドモデル試験装置を用いた圧力変動測定から行う。また、実スラグを用いたスラグ滴下装置を開発し、高温の流動層に滴下して生成物の大きさ、形態などを観察する実験を行う。

4. 研究成果

(1) 新規流動層式熔融スラグ熱回収装置の提案を行った(図1)。ここでは、プロセスの概念設計を通じて、熔融スラグから高温高压水蒸気の形態で熱回収を行うための装置の伝熱管配置、回収水蒸気で駆動するタービンの出力などを計算で求め、本プロセスの実現可能性を論じた。

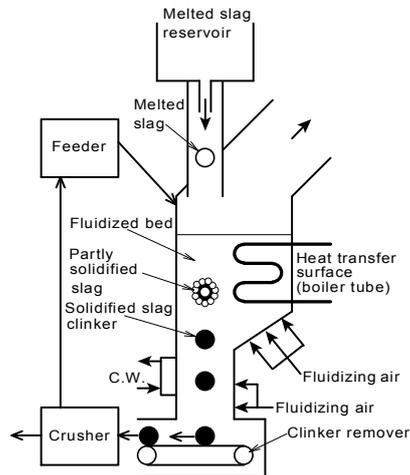


図1 提案されたプロセスの概念図

図2には概念設計で得られた装置サイズの概算結果を示す。大型高炉で通常見られる毎時100tのスラグ排出に適合する装置サイズとして、床面積27m²、高さ3mの装置が必要であることがわかり、この大きさは現実的なものであることが分かった。

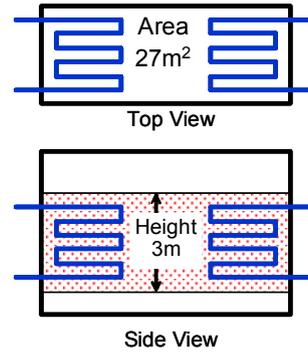


図2 概念設計に基づく装置サイズの概算

(2) コールドモデルを用いた研究

図3に示すような亚克力製コールドモデルを用いて、ワックスを模擬スラグとして滴下し、常温の砂の中でワックスを固化させる実験を行い、温度上昇、内部の圧力変動などを測定した。温度上昇については理論モデルを作製し、実測値と比較した。

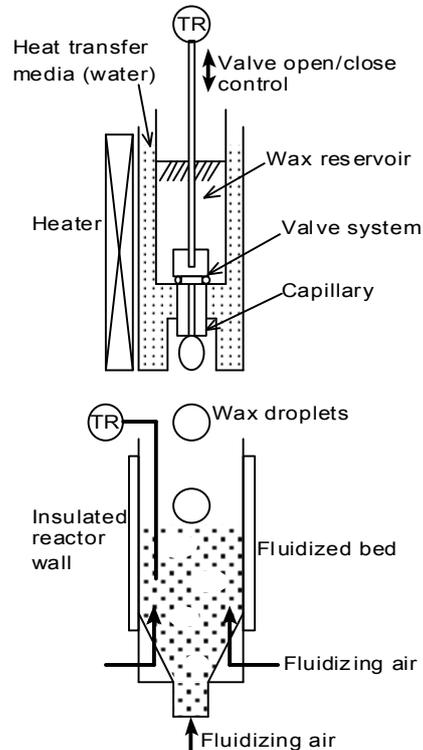


図3 コールドモデル試験装置

図4は温度上昇の実測結果と理論予測である。装置内に蓄積した模擬スラグの量が少ないうちは理論予測と実測がよく一致した。しかし、蓄積量が増えると流動不良を起こして実測と理論が大幅に違うようになることが分かった。したがって、蓄積による流動不良を外部からの測定によって検出する必要がある。このためには、圧力変動を測定し、その周波数スペクトルを調べるのが提案された。

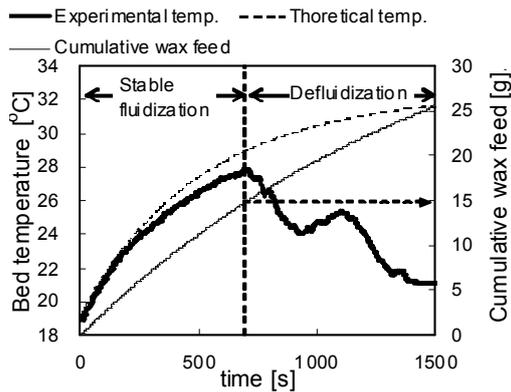


図4 コールドモデル実験結果と理論予測

図5には装置内に固化物が蓄積することによる圧変動スペクトルの変化を示す。圧変動周波数が変わることから、固化物の蓄積を検出することができ、流動不良を未然に防ぐ方法とすることができると考えられる。

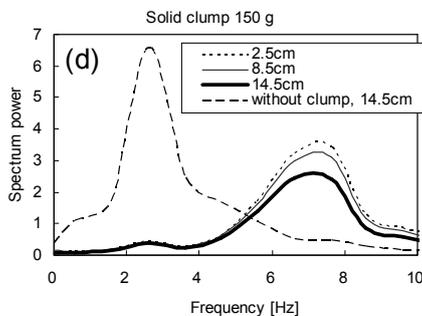


図5 圧変動に及ぼす固化物蓄積の影響

なお、溶融物が固化する際に周囲の流動媒体が一部取り込まれるが、その取り込み量を決定するメカニズムを解明するため、数種類の溶融物を用い、溶融物温度を変えて実験を行った。温度が高くなると流動媒体取り込み量が増加する傾向はいずれの溶融物でも見られた。しかし、それぞれの溶融物の粘度、表面張力の影響を測定し、取り込み量との関係を調べたものの、単一の因子では取り込み量を説明することはできなかった。複合因子を用いた解析は、現在検討中である。

(3) 高温スラグを用いた実験

電気炉加熱式ステンレス製流動層実験装置を用いて 600~800°Cで粉碎スラグ粒子を空気中で流動化させた。その中に 1400°Cで溶融させたスラグ液滴を滴下し、流動層内で固化させた。固化物を取り出して形態観察、粒子取り込み量の測定を行った。固化物形態は、流動層温度によって大きく異なり、700°C以下では楕円形の外形をしており、内部はガラス上固化物でありその周囲を付着粒子が覆ったものが得られた。一方、800°Cでは、平たい形となり内部構造も中まで粒子が入っ

たものとなった。

また、固化物粒径分布にも流動層温度が影響し、800°Cでは0.6g以下の細かい固化物が多く生成したが、低温では大きな固化物が多く生成した(図6)。これらの結果からは、液状スラグが固化する前に流動化粒子によってせん断を受けたか、それとも温度が低い場合にはせん断される前に急冷固化したかの違いがあったものと考えられる。今後の装置設計ならびに運転方法の確立に向けて重要なデータが得られた。

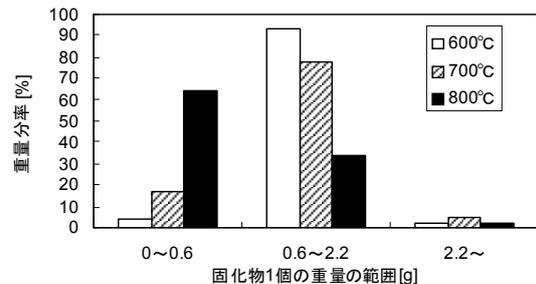


図6 粒径分布に及ぼす流動層温度の影響

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)

[学会発表] (計5件)

- ① Shimizu, T., Mikami, G., Horinouchi, K., Takahashi, T., Li, L., Kim, L., Heat recovery from melted blast furnace slag using fluidized bed - A fundamental study using cold model -, Fluidization '10. Science and Technology (10th China-Japan Symposium), 2010年11月17日, pp.43~48
- ② 清水 忠明、三上 剛、堀之内 健治、高橋 貴之、流動層を用いた高炉スラグからの熱回収、第47回石炭学会議、2010年9月21日、No.49
- ③ Shimizu, T., Haga, D., Mikami, G., Takahashi, T., Horinouchi, K., Heat recovery from melted blast furnace slag using fluidized bed, Fluidization XIII (Proc. 13th Int. Conf. on Fluidization), 2010年5月16日, pp.615~620
- ④ 三上剛, 清水忠明、流動層を用いた溶融高炉スラグからの熱回収、第15回流動化・粒子プロセッシングシンポジウム、2009年12月10日、pp.33-36
- ⑤ 清水忠明・芳賀 大輔、流動層を用いた溶融スラグからの熱回収装置、化学工学会第41回秋季大会、2009年9月16日、G121

[産業財産権]

○出願状況 (計2件)

名称：熔融スラグ熱回収装置
発明者：清水 忠明
権利者：国立大学法人新潟大学
種類：特許
番号：特願 2009-115888
出願年月日：2009 年 5 月 12 日
国内外の別：国内

名称：Device for recovering heat of molten
slag technical field
発明者：Tadaaki Shimizu
権利者：Niigata University
種類：Patent
番号：PCT/JP2010/057972
出願年月日：2009 年 5 月 12 日
国内外の別：国内

[その他]

ホームページ等

<http://tshimizu.eng.niigata-u.ac.jp/>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

清水 忠明 (SHIMIZU TADAAKI)
新潟大学・自然科学系・教授
研究者番号：10211286

(2) 研究分担者 なし ()

研究者番号：

(3) 連携研究者 なし ()

研究者番号：