

論 文

平炉の空気力学的構成 (III)*

(下炉の機能)

橋 本 英 文**

AERODYNAMIC CONSTITUTION OF OPEN-HEARTH FURNACE (III)

— FUNCTIONS OF THE LOWER FURNACE —

Hidefumi A. Hasimoto

Studies with two-and three-dimensional models made clear the followings concerning fundamental features of the flow and the flow in lower furnaces:—

(1) The flow turning angle, corner, projection or hollow spot behaves as if it 'knows where it is going¹⁾'. In the dead spots of the flow secondary vortices appear.

(2) A main flow in the slag pocket passes curving in the upper space of it and three-dimensional vortices occupy the space under the main flow. The curving flow and vortices separate dusts.

(3) The fantail does not play the role of flow equalizer. It is better to decline the fantail roof toward the checker chamber in order to distribute outgoing flow uniformly to the checker and to send unbiased incoming air to the air-uptakes.

(4) The flow into the checker chamber inclines to pass through the farther side of the chamber. This inclination is rectified effectively by deflectors as shown in Fig. 10 (c), (d). Double path checker chambers answer the purpose also.

I. 緒 言

平炉本体に対してその下部構造をなす鋼滓室～格子室を下炉と総称する。これらの役割は換熱とダスト分離とであるが、炉頭において意図する燃焼気流を起した効率よい換熱を行わせるように気道あるいは格子積への流れを整えることにもある。すなわちその中心は格子室における換熱にあるが、この機能を向上しまたそれを維持するために、鋼滓室は排出気からダストを分離して流れを格子積の上面に均等に分配し（排気時）、格子室からの送気を偏りなく気道～炉頭に送る（送気時）ことを要請される。もちろん、鋼滓室は下炉において最も高温の流れの存在する所であり相当の換熱にも与つてゐることは事実である。

ダスト分離・齊流（流れの均質な分配）はいうまでもなく流れの問題であるから、下炉の本務たる換熱を効果的ならしめかつそれを維持するには下炉における流れを改善する要がある。本報文は流れの基本的な性質を簡単に説明し、下炉の機能すなわち分離・齊流・換熱作用

の改善を流れの面から検討したものである。

II. 流れの基本的性質

流れの基本的な性質について知ることは複雑な空間内の流れを理解するに必要である。そしてそれは単純な実験からえられたむしろ概括的な知識が適用される機会が多い。Chesters と Philip は二次元の平盤模型で各種の図形内の流れの様相を示し¹⁾多くの示唆を与えてゐる。ここに同様の方法により、今後に必要な二、三の点を明らかにしておきたい。

平盤模型による実験は、実際の流れが厚みの方向に一様であることおよび模型壁面の粘性の影響が少ないことを仮定している。第二の仮定は速い流れに対しては充分成立するが第一の仮定は一般の場合には必ずしも正しくはない、このことはたとえば Leys と Leigh の模型実験による炉および気道内の流速分布測定結果を示す図²⁾に

* 昭和 31 年 4 月本会講演大会にて発表

** 住友金属工業, 小倉製鉄所

もみられる。しかしながら主な流れの形をつかもうとする時には最も目的に適うものともいえ、とくに下炉を長さの方向に切った形のごとく切断箇所によつて変化の少ないものに対してはそうである。ただ、もう一つの拡りを持った空間であることをよく考えに入れて判断しなければならぬことはいふまでもないが、この考察にはやはり平盤模型によつてえられた知識が役立つのである。

1. 噴流と渦

ある空間や弱い流れの中に噴流がおかれるとき、噴流のすぐ周辺の流体がこれに伴流され、さらにその周辺の流体の一部には噴流と反対方向の流れあるいはそのような作用が起る。半平面の境界におかれた噴流 (a)、その上下を壁で限つたとき (b)、この噴流の向を斜にしたとき (c) を Fig. 1 に示す。(a) では逆流は見難いが壁に沿つて噴流に伴入される流れがみられる。空間が限られた (b) では上下の壁沿いの逆流が明白になり渦が発生している。この渦は噴流の強さおよび上下の空間が均衡を保っているときは上下対称あるいは交互に消長するのがみられるが、均衡が失われるときは一方の渦が発達し、その結果噴流の道も曲げられる。

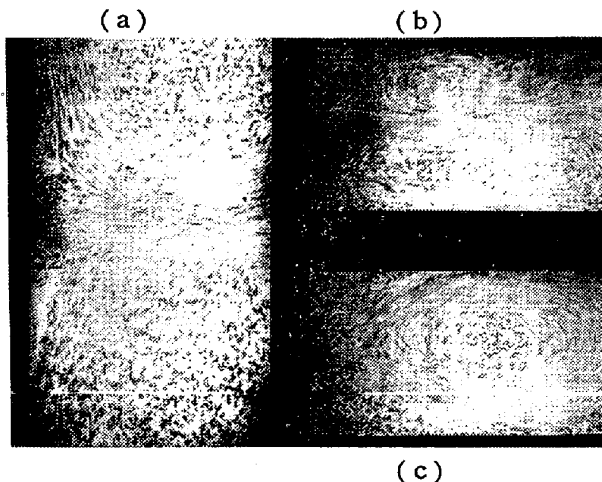


Fig. 1. Jet stream and vortices.

2. 曲る流れ

(1) 屈曲: 流路に屈曲があるとき一般に主流は隅部を迂回することなく滑らかな径路を描いて流れ、隅部や角部後方には渦が発生し、角部前方にも少くともその気配がみられる。Fig. 2 に 110° 、 90° 、 70° の屈曲部の流れを示す。(d) は (b) の隅角部を削つて流路を改善した形である。

(2) 凹凸: 流路の壁にある凹みは、とくにその位置が特別な事情のある所でない限りは、主流には大きい影響はなく³⁾、凹みの内部には独立の渦を生ずる。

流路の壁に突起の付いているとき、流れはこれに達す

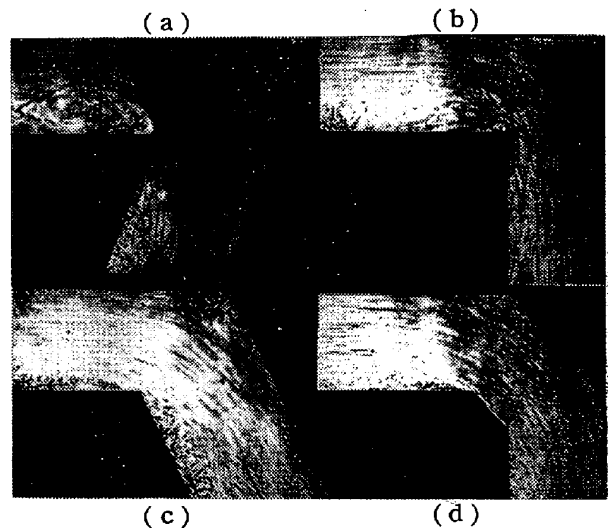


Fig. 2. Curving flow.

るより前に自分の向きを変えてこれを避けた道を描き、突起の前後の死空間には渦が発生する。

3. 流れの性質

流れの基本的性質を要約すれば:—

(1) 噴流があるときどこかにこれと逆の流れを生じ空間が限られてくると明瞭な渦の形をなす。

(2) この渦の発達する箇所は噴流に対する空間の均衡の如何によつて決り、この渦によつて噴流の向きも変えられる。

(3) 角を廻りあるいは突起に向う流れは、あだかも自分の行先を知っているかのごとく、この角や突起に達する前にその向を変える。

(4) 隅や凹みをすぎる流れは、同様に、これに流れ入ることなく流れ去り、隅部や凹み内部には二次的な渦流が現われる。

III. 鋼 滓 室

ここにおいては気道が鋼滓室に口を開くところから格子室入口までの流れを検討する。主な問題点は気道配置・鋼滓室大きさ・ファンテールの長さ・形・格子室の配置等である。

1. ファンテール

鋼滓室における主流は気道口と格子室口との間であまり寄り道をしない流路を描く、したがつて鋼滓室の大部分が二次的な渦で占められることは流れの基本的性質からも知られるところである。Fig. 3 は実験でえられた送気時の流れであり、(a) は平盤模型・(b) は立体模型でえられた中心の流れを示すが両者がよく対応する。なお (b) の外形と内部の流れは別個に撮影しおなじ印面に焼込んだものである。

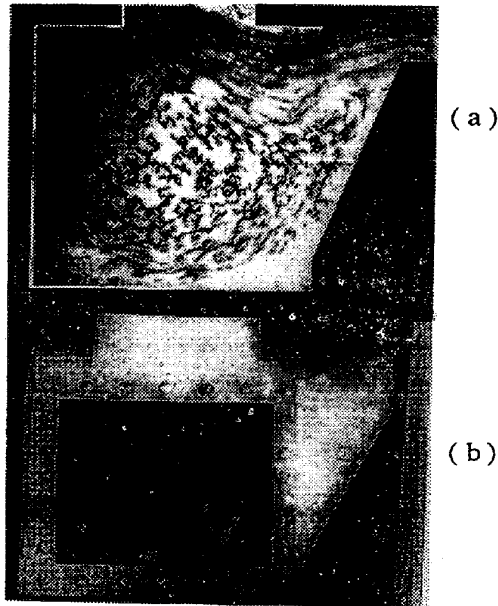


Fig. 3. Flow in the slag pocket.
 (a) 2-dimensional model.
 (b) 3-dimensional model.

気道を越えた排気が広い鋼滓室に入つて拡がり減速されてダストを放出しファンテールでふたたび集扼され齊流されて格子室に配され、格子室からの送気がファンテールで拡がり偏りなく気道に配されるということは虚妄にすぎない。すなわち Fig. 6 にもみられるごとく排気時には主流が気道を越えた所で急激に曲ることおよびその下方を占める渦によつてダストが分離され、排送気時にも主流は大して拡がることなく流れ去る。ただ鋼滓室における大きい渦動が狭いファンテール奥の通路によつて削減されることは事実である。

ファンテールの齊流作用を達成させるために Fig. 4 (a), (c) に示すごとくその天井部分の傾斜を逆にし気道に向つて上る形にした。このとき気道上昇流の偏りを減らすことができ、とくに複気道の場合に効果的な改善が行われる。この傾斜によつて格子積へ入る排気流の齊流もいくらか改善されるがなお格子流の均斉化には格子室自体の改善にまつところが多い。

2. 格子室の配置

一つの鋼滓室から二つの格子室に通じている場合の流れの分配は煩しい問題の一つである。流量の分配はほとんど換熱能力の上からのみ決められているが、この場合に両流量の比が送気時の鋼滓室内の流れにいかにか影響し気道に入る流れの均衡——ひいては炉頭・炉腔における流れ——をいかに運命付けているかを等閑視できない。

Fig. 5 はベンチュリ模型炉 (MF-5) における実験結果で、外側格子室のみ使つた場合は前気道の流れが強いが、内：外格子室の流量比を 1 : 1.35 にしたときでは

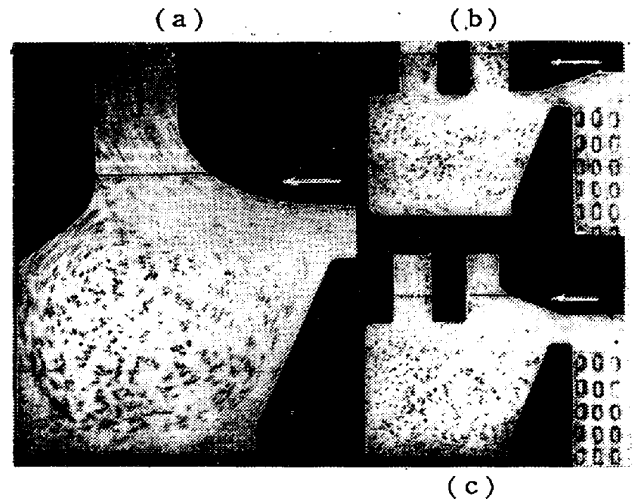


Fig. 4. Remodeling of the fantail roof.

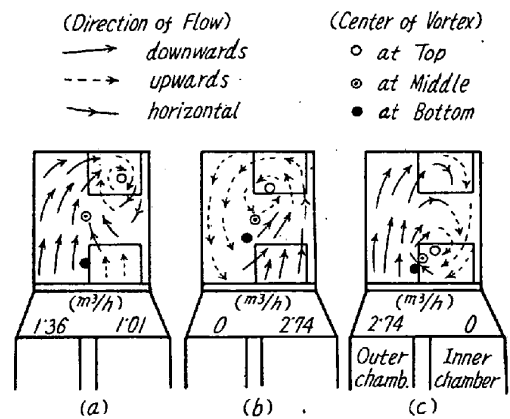


Fig. 5. Effect of flows from checker chambers

すでに後気道の流れが圧倒的になつている。

3. 気道の配置

気道の配置は全くダスト分離区間に関係すると考えられるが、それは必ずしも格子室から遠く配置される方がよいということではない。すなわちダストは気道口を越えたときの主流の曲りとその下方を占める渦とによつて分離されるのであり、この点 Fig. 6 では流路の長い (c) は (a) より主流の流過距離が大きく曲りの径はとくに大きいようではなく下部の渦の径も小さく効果的になつているが徒に距離があるときはこれらの曲りの半径を大にし遠心力を減少し分離能力を減殺することがある。

Fig. 6 は距離が流れに与える影響を示す。

複気道の時はことに然りである (Fig. 7) が、単気道の時にも後側の上昇流が強くなつている。これは鋼滓室内の流れの形から当然のことといえるが、この均斉化は炉頭・炉腔における流れ・燃焼・損傷の改善のために必要である。

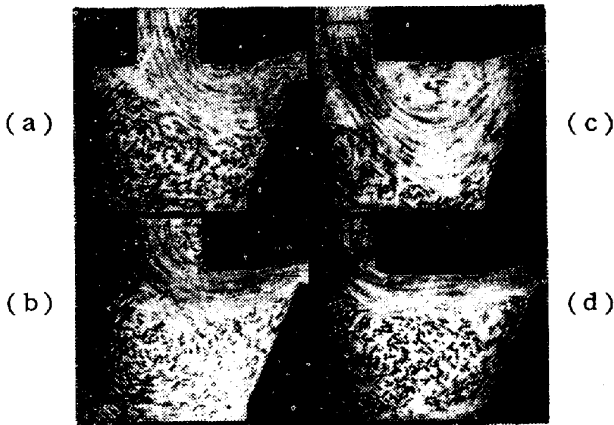


Fig. 6. Comparison of flows in the slag pocket as to their path length.

この改善方法としては:—

- (1) 格子室が二室の場合は両室からの流れを利用して前後の気道上昇流の強さを均衡させる。
- (2) ファンテール天井を気道に向つて上るようにする。
- (3) 気道口を鋼滓室長さ方向に短く巾方向に長くする。

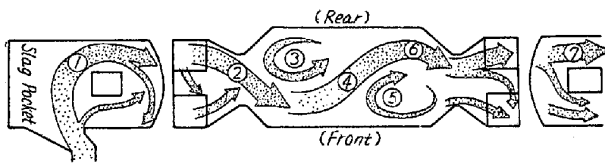


Fig. 7. Biased flow in a typical Venturi furnace. (cf. I-Fig. 4)

等が考えられるが、(1)は常に可能とは限らず(3)も上部の構造を一変させることになり、いずれも一般的な方法とはいいい難く、(2)が最も可能性の強いものである。

この効果は Fig. 4 に示した。

IV. 格子室

1. 格子室の模型

1) 格子積の影響

格子積があるときとない時では室を通る流れは異なる。すなわち Fig. 8 (a)~(d) でくらべられるごとく、格子積がある場合はこれに流入せんとする流れは格子入口面において幾分流れの不均斉を均らされ、また格子積内での大きい循環流も抑制され逆流は小となる。これは実炉においてはさらに格子が密でありより効果がでていものと考えられるが、いずれにしても流れの主傾向は変わらず、排気・送気の偏りが大きく効果的な換熱を行うには改善が必要である。

しかしながら格子室をでる流れ、あるいは入る流れに

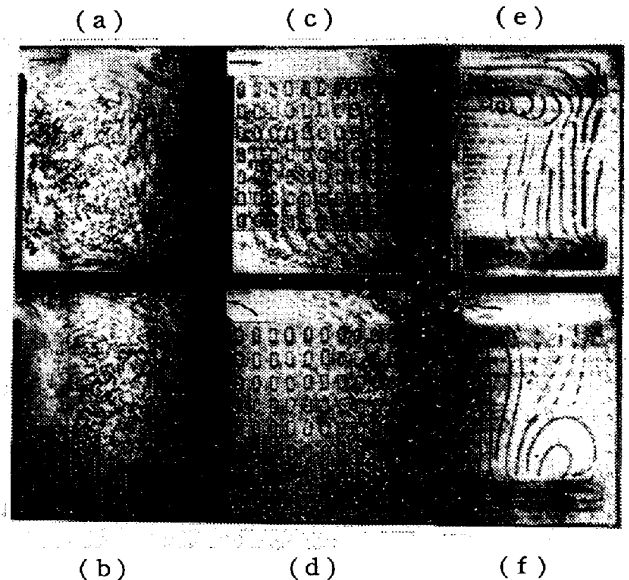


Fig. 8. Effect of the checker and its width. (a)~(d): 2-dimensional, (e)(f): 3-dimensional.

おいては差異はなく上炉の観測のための実験では格子室の格子積は省略して差支えはない。

2) 格子室巾の影響

格子室の巾方向の部位によつて流れはいくらか変わる。しかしながら鋼滓室から隔壁上部の狭い通路を通つてくる排気流にとくに強い偏りのない限り巾方向の変化は重大ではない。Fig. 8 (e), (f) は立体模型 (MF-5 の外室) における流れを外部からたどつたものであるが巾方向での差異は少なく平盤模型でよくその主な流れを表現している。したがつて格子室の流れを簡単に撮影の便利な平盤模型で検討することができる。ただし鋼滓室への出入流の巾が鋼滓室の巾よりいちじるしく小さいときは平盤模型で表現し難くまた実炉においても好ましくない流れを生ずる。

2. 流れの均斉化

格子室の流れは送排気ともに室全面に一様に配分されることがのぞましい。この目的のための種々な手段につき検討を行った。

(1) 煙突積

煙突積によつて流れを一様に配分しようとすることはほとんど効果がない。Fig. 9 (a), (b)をFig. 8 (c), (d)と比較するとき全く流れの改善はみられない。格子積の一部のみを煙突積にした区劃積も同様この面からの効果はない。

(2) 複式積

中間に上昇路を持つ複式格子積 Fig. 9 (c), (d) にすることは齊流して死空間を少なくする一方法である。ただ最も鋼滓室に近い室の格子が苛酷な条件に曝されること

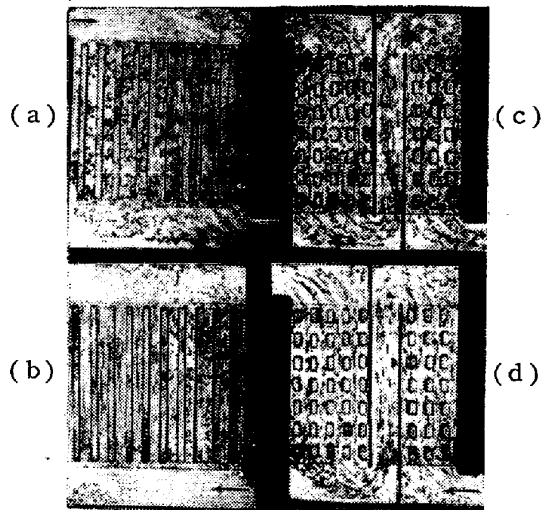


Fig. 9. Flows in checker chambers.

になる, すなわち温度・ダストともに最大であり従来の格子室をそのままの外形でこの型に改めるときには室の大きさの配分に苦感せねばならぬが, このために鋼滓室を短くすることは避けねばならない. 室の大きさについては流れが平均化して死空間がなくなれば従前に比し必ずしも不利なことはない. 適応した耐火物を使用しかつダスト掃除が充分に行えるよう配慮すべきである.

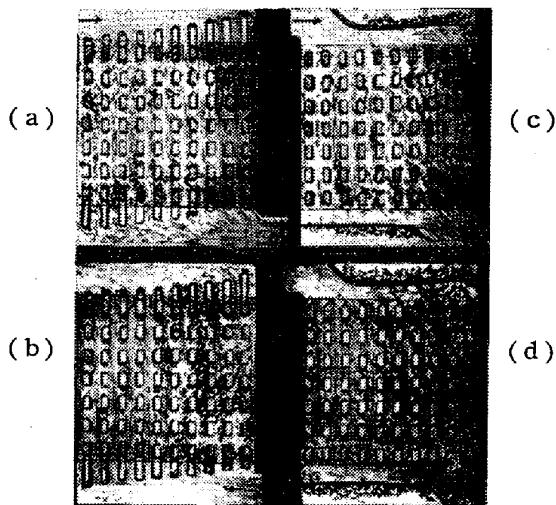


Fig. 10. Improved flows in checker chambers.

(3) 階段積

格子積上下面を奥狭まりの階段状に築くことはすでに知られていることである. Fig. 10 (a) (b) に示すごと

く流れは相当改善され滞流部も少い. 天井・底面を奥狭まりの空間を作る階段状あるいは斜面とすることも同様の効果がある.

(4) 変向壁

格子室の天井・底面に適当な出つ張りを付けて流れを改善することができる. Fig. 10 (c) (d) に示すごとく一個の段によつてほとんど完全に近い流れがえられる. 1~2 個で実際上にも効果的なものがえられよう.

(5) Fig. 4 に示したファンテール天井を気道に向つて上げることは格子室流入流れを均斉化するにも役立つことができる.

V. 結 言

鋼滓室の主機能は排気中のダストを除き, 偏りのない流れを格子室に送り込み, また格子室からの送気を偏りなく気道に送り込むことにある. 格子室は均斉な流れを通して排送気の熱交換を効果的に行うことにある.

平盤模型および立体模型による流れの基本的性質および下炉内流れの実験はつぎのことを明らかにした.

(1) 突起や凹みを通る流れは, あだかも自分の行先を知っているかのごとく行動し, 死流域には副次的な渦が現われる.

(2) 鋼滓室での流れの主流は室の上部を流れ, 室の下部には立体的な渦が現われる. この主流の屈曲と下部の渦によつてダストの分離が行われる.

(3) ファンテールはこれを通る流れの拡散・集扼等の整流作用は行っていない. その天井部の傾きを気道に向つて上のようにすれば送排気の気道・格子への均斉配分に好ましい形となる.

(4) 格子室の流れは一般に流れの奥の方に偏つている. これを防止する方法として変向壁を適用することがよく, 複式積も有効である. (昭和 31 年 9 月寄稿)

文 献

- 1) J. H. Chesters, & A. R. Philip: J.I.S.I., 1949, vol. 162, Aug., p. 385.
- 2) J. A. Leys, & E. T. Leigh: J.I.S.I., 1950, vol. 165, Jul, pp. 303 & 305.
- 3) J. H. Chesters, & A. R. Philip: 1949, vol. 162, Aug., p. 410