

## 論 文

70607

## 三带式連続加熱炉の改造に関する流体模型実験\*

平 岡 文 章\*\*

## Simulation Experiment on Gas Flow Patterns in the Reheating Furnace

Bunsho HIRAOKA

## Synopsis:

Lots of simulation have been applied to the iron and steel making processes and especially fluid flow models are helpful in investigating the gas flow in the furnace.

The reconstruction of the three zone pusher furnace was planned to increase its heating capacity. Enlargement of the combustion space was aimed by raising the furnace roof and this also made it necessary to pursuit the most suitable position and direction of burners in each zone. In addition, the roof height at the nose of soaking zone and the preheating zone was discussed and the effect of piling up of scale on the gas flow was also considered. Then gas flow patterns in the furnace were examined under these various conditions. These tests resulted in the most desirable design of the furnace in its line and burner setting. The furnace was reconstructed satisfactorily according to these results.

(Received Mar. 25, 1970)

## 1. 結 言

鉄鋼用加熱炉は鋼片を圧延加工するために必要な所定温度に加熱する設備であり、その能力は圧延機などの処理設備のそれとバランスしていることが大切である。近年の鉄鋼業の発展は加熱炉についても加熱能力の増強、鋼片温度分布の制御、燃料原単位の低下、寿命の延長などの多くの難題解決を要求している。このような設備の構造や操業について解析を行ない、さらに好ましい条件を見いだすためにはモデルの利用が非常に有効である場合が多い。ここでは三带式連続加熱炉の能力増強のための改造について流体模型実験による解析について述べる。

## 2. 流体模型実験について

模型による解析は数式、形状、力学、熱、電気、光学的などその手法と応用分野は多岐にわたり、このような手法の解説はすでに多く行なわれている<sup>1)</sup>。ここでは流体力学的模型により加熱炉内のガス流れを調べることに行っている。流体力学的な模型理論あるいはその意義についてもほかで論議されているのでここでは述べない<sup>2)</sup>。このような模型の利用による現象の解析は広く行なわれており、鉄鋼業においてもその利用分野は広い<sup>3)~5)</sup>。製鉄関係では高炉<sup>6)</sup>、熱風炉<sup>7)8)</sup>あるいは羽口の冷却水流<sup>9)</sup>

などに応用されている。製鋼関係では平炉については古くから多くの研究がなされ<sup>10)</sup>転炉への発展とともにその手法は転炉へも応用された<sup>11)</sup>。このほか脱硫炉<sup>12)</sup>、混鉄炉<sup>13)</sup>、上注造塊におけるスプラッシュ<sup>14)15)</sup>などと応用範囲は広い。また分塊以降ではまず均熱炉<sup>8)16)17)</sup>をはじめプッシャー式連続加熱炉<sup>18)</sup>、回転炉床<sup>19)</sup>、などの加熱炉にも応用されている。

新設設備の設計や構造または操業条件などに関する事前検討はもちろん、既設設備についてもその改良の方針を得るためにしばしば本手法が採用される。模型実験においては当然まず実物との相似性が問題となり、流れを取り扱う場合には幾何学的な相似と流体力学的な相似が成立しなければならぬ、形状の縮尺は寸法的には簡単であるが、実際の炉の状況やすき間などの個々の特徴を模型に考慮するのはむずかしいことである。したがって一般には幾何学的相似は主要な[寸法の縮尺だけを行なう。一方流体力学的相似については実物と模型とについてそれぞれの流体の運動方程式を比較して運動の相似を満たす必要な条件を知る。NAVIER-STOKESの流体運動方程式より Reynolds 数 ( $Re$ )、Froude 数 ( $Fr$ ) などの無次元数を実物と模型について一致させる必要があるこ

\* 昭和44年10月本会講演大会にて発表

昭和45年3月25日受付

\*\* 住友金属工業(株)中央技術研究所

とが導かれる<sup>1)</sup>。また表面張力を考える場合には Weber 数 ( $We$ ) が導かれる。しかし一般にはこれらの数値を 2 つ以上等しく保つことは実験上ほとんど不可能であり 1 つすら一致させるのが困難な場合が多い。そこで流体系の相似を考える場合には調べようとしている事象についてのどの因子が重要であるかを考え、それに従つて最も支配的である要素について一致させるべき無次元数を選ぶわけである。流体系に作用する力としては慣性力、粘性力、重力、浮力、圧縮力などがあり、一般には粘性力支配の場合には  $Re$  数、重力支配の場合には  $Fr$  数を一致させる。このようにして重要条件について流体力学的相似を満足させる。

流体の流れだけを考える場合は粘性力が支配的であるので  $Re$  数を考えればよい。しかし一般に燃焼炉内では温度分布が存在し、温度差による浮力が働き  $Fr$  数も考慮することが必要である。しかしこの両者を同時に満足させることは実験上不可能であり実際には  $Re$  数だけについて条件を定め、 $Fr$  数を考慮できなかったことがどのような影響を及ぼしたかを考察することになる。

縮小した模型で常温の等温流体（普通には水または空気）を用いて、適当なトレーサーにより流れを調べることが非常に便利である<sup>20)</sup>、とくに水を用いる場合常温では水の動粘度は空気の約  $1/15$  であり、したがつて  $Re$  数を一致させる場合流速は空気の場合の  $1/15$  となる。流速が遅くなると流れを観測するのに非常に有利である。しかしながら水模型は空気模型よりも製作、組み立て、構造の変更がむずかしい。

模型実験では先に述べたように完全な相似という意味では問題がある。炉内ガスについて考えれば、炉内で温度が変化し、したがつて粘度、密度などの物性値も変わるのでたとえ  $Re$  数を一致させたとしても等温模型では

一致するのはある特定点に限られることになる。つぎに系にそつての温度の変化に伴い密度が変化するので浮力が働くわけであるが、これも等温模型では相似させることができない。とくにこれを考えるには特別にこのように考慮した模型実験法を考えねばならない。また実炉の状況を正確に模型炉に再現するのは困難であり、多くの面でこの両者の相似条件は完全なものといえない。しかしながら模型によつて流れの速度分布、乱れ、はく離、混合などの一般的な状況を観測することが可能であり、構造の変更も実炉でできないことも容易に実施できる。またこれらの結果は実物との対比も行なわれており、先に述べた種々の模型実験においてもいずれも十分満足できる相似性が認められており、その結果は実装置に還元され非常に有益な点が多い。

### 3. 模型実験の内容

#### 3.1 原型炉と模型炉

模型実験の原型炉は加熱能力 40 t/hr の三帯式連続加熱炉で加熱材料は厚み 270~450 mm 程度の鋼塊またはブルームであり、加熱能力増強のための改造を行なう。既設炉の改造を行なう場合、炉の下部構造や炉長の延長を行なうのは工事規模が大きくなり、また場所的に困難な場合が多い、当炉の場合すでに予熱帯には補助焚側壁バーナも取り付けがあるので、改造の方針としては天井を全体に 200 mm 嵩上げして燃焼室容積を 20% 増大させることとした。当炉の形状を Fig. 1 に示す。

模型炉は透明合成樹脂（アクリル樹脂）にて製作し、縮尺は  $1/30$  で 2 次元模型とした。炉幅方向には約  $1/2$  の寸法をとり準 3 次元の流れが得られるようにした。

#### 3.2 実験内容

改造の方針として天井 200 mm 嵩上げと定めた場合において、それに伴つて各ゾーンにおけるバーナの取り付け位置と角度をどのようにするか、均熱帯ノーズ部天部と予熱帯天井を一律に上げるかどうかという問題が発生してくる。すなわち炉線およびバーナの取り付け位置という炉構造に関する基本的事項について炉内ガスの流形を調べることにより適正な改造方法を見いだすことができる。さらに操業中にスケールが炉床に堆積し、事実上炉線の変化をもたらせるので、これらについても調査することにした。この改造による炉容の変化を Table 1 に示す。下部加熱帯の容積増

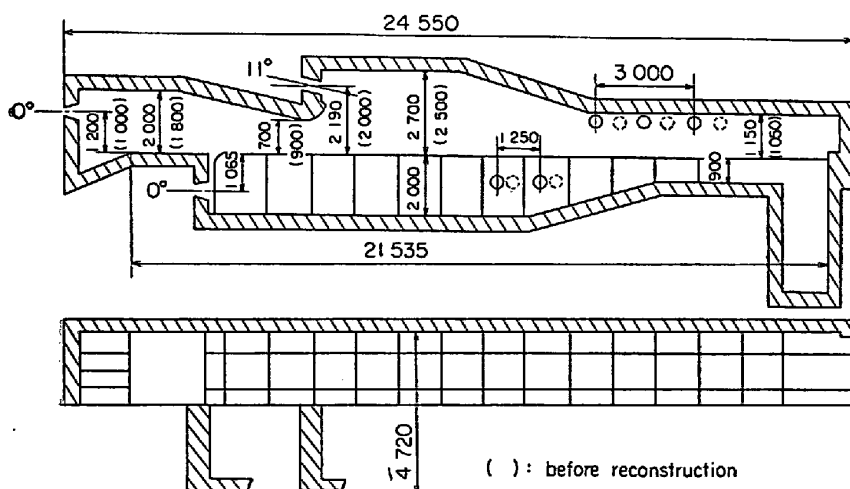


Fig. 1. Some dimensions of reconstructed furnace.

Table 1. Combustion space before and after reconstruction.

| Zone               | Before reconstruction | After reconstruction | Ratio in % |
|--------------------|-----------------------|----------------------|------------|
| Soaking zone       | 51.6m <sup>3</sup>    | 57.6                 | 112        |
| Upper heating zone | 112.5                 | 152.5                | 136        |
| Lower heating zone | 122.3                 | 128.1                | 105        |
| Total              | 286.4                 | 338.2                | 118        |
| Heating capacity   | 37 t/hr               | 43 t/hr              | 116        |

加は側壁れんがをプラスチック耐火物に換えて炉壁をうすくしたことによる炉幅の増加分である。

模型実験に使用した流体は常温の水であり、流形観測用のトレーサーとしては Al 粉末を使用した。これをあらかじめ水槽内で水に懸濁させておき、この水をポンプにより流量計を通して規定流量を模型炉に送る。暗室内で模型炉の任意の断面に光束を照射することにより流形が可視化される。模型炉内の流形は内眼観測によるスケッチおよび写真の撮影により記録した。流れの観測断面はバーナを通る断面、側壁近傍の断面およびその中間断面の3断面とした。

相似条件としては上で述べたように本実験では流形観測に主体をおくので幾何学的相似と流体力学的相似を考慮し、前者については模型炉を製作するときに原型炉の主要部分の形態的相似を保ち、後者については  $Re$  数による相似則を満足するように模型炉における流量条件を定めた。 $Re$  数算出の基準寸法としてはバーナ・タイル出口径を採り、流速は燃焼ガス量より求め、 $Re$  数の値が乱流域 ( $Re > 2300$ ) にはいるように流量を定めた。各ゾーンの流量比は実炉操業条件に一致するようにした。

#### 4. 実験結果と考察

炉容拡大に伴う各燃焼帯におけるバーナの取り付け位置とその角度、均熱炉ノーズ部天井高さ、予熱帯天井高さなどの炉線の問題および操業中のスケール堆積によるガス流れの変化などについて炉内ガス流れを調べた。

##### 4.1 改造前のガス流れ

改造前の炉形における炉内ガス流れのスケッチを3断面について Fig. 2 に示す。バーナ軸断面ではバーナ噴流と炉線により流形が定まる。均熱帯では噴流は天井に当たったのち天井ぞいに流れ、ノーズ部天井と鋼材との間が狭いので鋼片直上では一部バーナ壁向きの流れが見られる。バーナ側天井部ではガス流れは反転してバーナ側壁に流れて循環流を形成している。バーナ噴流より下では噴流による吸引流れも一部見られるが、側壁近傍でバーナ壁に向かう流れが強くなり、これによる渦流が生じて

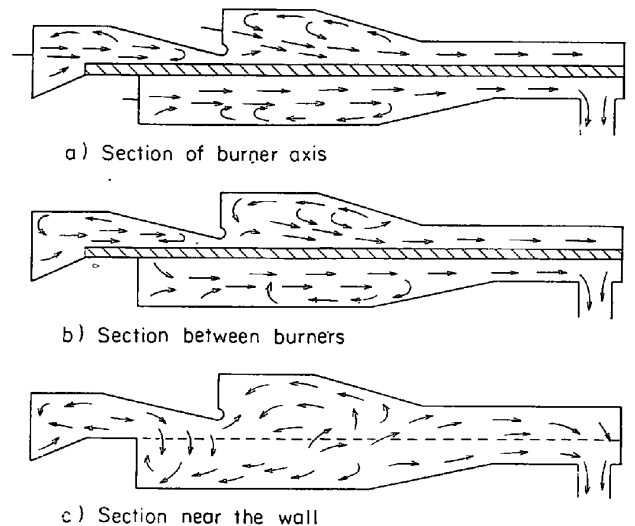


Fig. 2. Gas flow patterns in the furnace before reconstruction.

いる。上部加熱帯ではバーナ噴流は直接鋼片に向かい、鋼片上面を炉尻に向かって流れる。一部の流れは天井の絞られた部分で反転し、天井ぞいにバーナ壁に向かう。このためバーナ噴流の上側には大きな循環流が存在する。均熱帯から流入する流れは吸い上げられてバーナ噴流に巻き込まれる。下部加熱帯ではバーナ噴流はやや上向きとなつて材料下面にそつて流れる。バーナ近傍では噴流の上下に吸引による流れがみられる。炉床ぞいにはバーナ壁に向かう流れがある。これはバーナ噴流の一部が炉床の絞りで反転して炉床にそつて逆流するものであり、バーナ壁に戻りつつ、一部は噴流に巻き込まれる。

中間断面の流れは上記のバーナ軸断面の流れとほぼ同様である。側壁近傍の断面では強い流れが直接働かないので複雑な流れとなる。均熱帯ではバーナ噴流は天井と炉床にそつてバーナ壁に戻るが後者のほうが優勢である。均熱帯のガスはほとんど下部加熱帯へ流入し、一部は下部加熱帯のバーナ壁を上昇して均熱帯へ戻る。上部加熱帯では噴流による循環流が依然として認められる。この一部は下部の流れに合流し、他は炉尻に向かう。下部加熱帯では炉床ぞいにバーナ壁に戻る流れが強い。ゾ

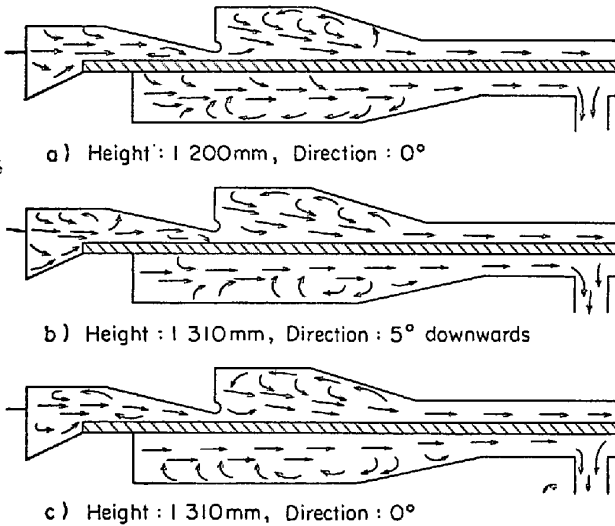


Fig. 3. The effect on gas flow patterns in the soaking zone of burner setting.

ーンの中程からはバーナ噴流の広がりにより炉尻に向かう流れが現われる。材料をインゴットとブルームの場合に相当させて厚みを変えても炉内のガス流れはほとんど変わらない。

4.2 均熱帯バーナの位置と角度

バーナ角度は水平のまま高さ を 210, 300 mm 上げた場合および 300 mm 高くして 5° の俯角をつけた場合の 3 条件について調べた。そのときガス流れを Fig. 3 に示す。

バーナ位置を 300 mm 高くした場合、天井側の循環流は小さく抑えられる。バーナ噴流は直接天井に当たって天井ぞいに流れる。この流形は天井を焼損するので好ましくない。噴流より下方の循環流は発展し、鋼材面ではバーナ壁に向かう流れが支配する。バーナ位置を 210 mm 高くした場合と 300 mm 高くして 5° の下向き角度をつけた場合はほぼ同形の流形となり先に述べた改造前の炉形におけるガス流れと上の 300 mm 高くした場合の中間の流れとなる。なおこれらいずれの条件においても上部および下部加熱帯の流形への影響はほとんど見られない。したがって天井の嵩上げとともにバーナも 210 mm 高くして適正噴流位置を保ち、後述するスケールによる材料の浮上りに対しても対処できるようにした。

4.3 上部加熱帯バーナの位置と角度

バーナ位置、角度を変えた場合の流形のスケッチを Fig. 4 に示す。まず原形よりも 180 mm 低くして角度を 5°, 0° と緩和した場合、当然バーナ噴流は下方に寄り天井側の循環流が大きくなる。バーナ噴流が直接鋼片上面をなめるように流れるので局部過熱が懸念される。また燃焼室空間における火炎の位置が下すぎて全体の調和

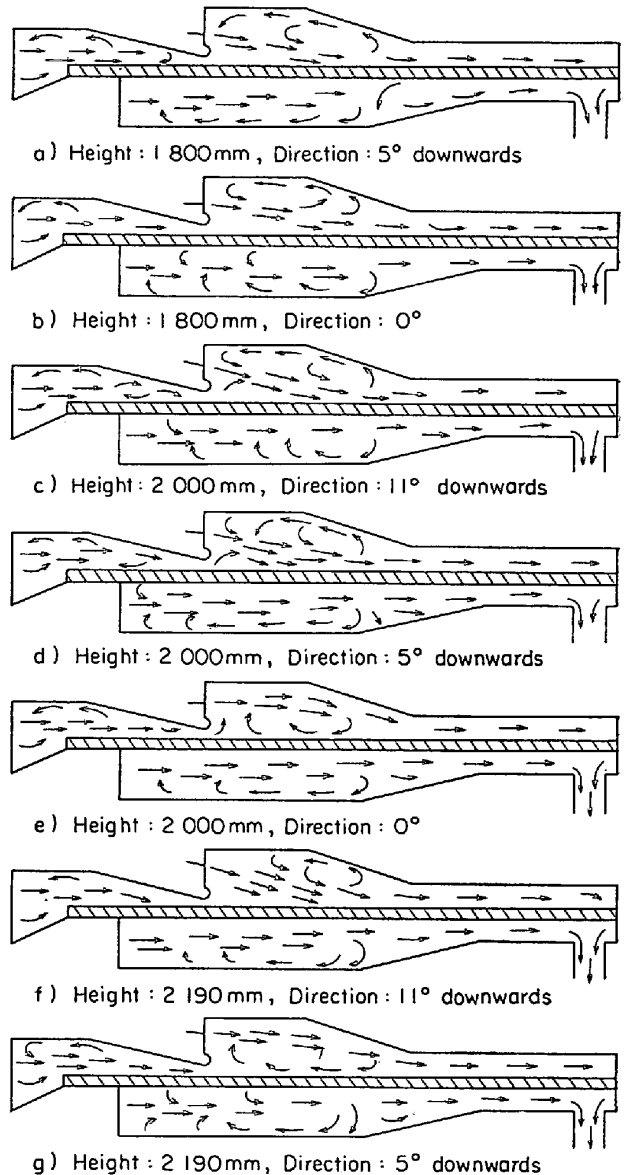


Fig. 4. The effect of burner setting on gas flow patterns in the upper heating zone.

が悪い。火炎が天井をなめないように、同時に鋼片の表面を溶かさないようにすることが大切である。

つぎに原形の高さで角度を 5°, 0° とした場合では、5° は鋼材の局部過熱、天井の損傷からみて良好な流形であると考えられる。0° の場合はバーナ噴流は天井にそって流れその下方に循環流が形成され、火炎が天井をなめる形となりよくない。

つぎに原形よりも 200 mm 高くした場合は角度を 11° とすれば燃焼室における噴流の位置は適正で好ましい流形となる。この位置で角度をゆるくするのはよくない。

この場合においても均熱帯の場合と同様に原形の高さで角度をゆるくするかまたは角度を同じにして位置を高

くする2つの方法が最も良好な流形が得られる。

#### 4.4 下部加熱帯バーナの位置と角度

バーナ位置と角度を変えた場合のガス流れを Fig. 5 に示す。下部バーナは現在上に寄って取り付けられており、いまこれを 575 mm 下げたとすると噴流は炉床ぞいに流れ、鋼材下面でバーナ壁に向かう反対向き流れが見られる。この高さは炉床から 355 mm になるので、操業中のスケール堆積により不都合が起こる可能性がありまた流形もよくない。この位置で 5° の仰角をつけるといくぶんよくなるが、上の理由でバーナ位置としてよくない。スケール堆積時においても燃焼に支障のないように位置を決めねばならない。

つぎにこの位置より 300 mm 上げて原形と上記条件の中間にした場合はやはり噴流は炉床ぞいに流れる。鋼材下面では反対向き流れが見られる。この位置で 5° の仰角をつけると噴流は炉床をはなれ、鋼材下面を炉尻に向かうようになる。バーナ直上には巻込みによる渦流が生じ、炉床面ではバーナ壁に向かう流れが見られる。この形は流形として好ましいが、原形炉における流れと大差はない。したがって下部についてはバーナを低くすることはスケール堆積による事実上の炉床のせり上がり時において支障をきたす恐れがあり、原形炉通りの高さ、角度を維持するのがよいと考えられる。

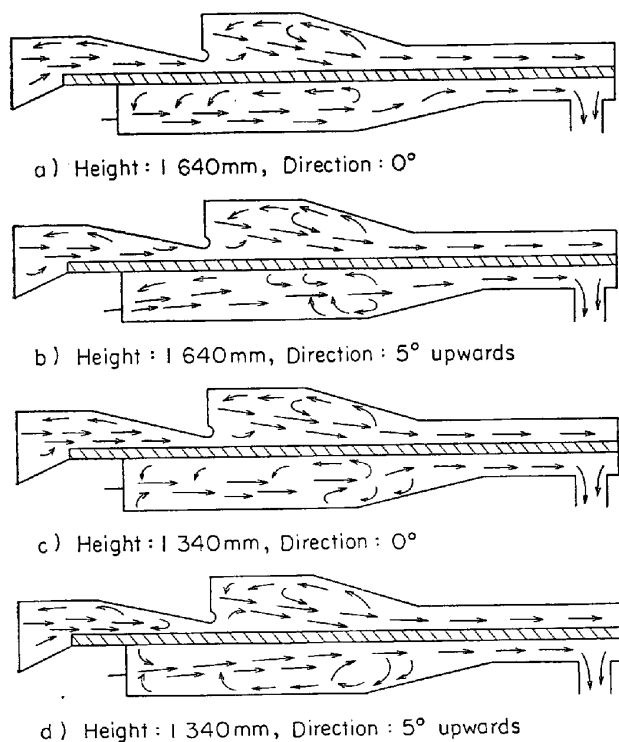


Fig. 5. The effect of burner setting on gas flow patterns in the lower heating zone.

#### 4.5 均熱帯ノーズ部天井高さについて

均熱帯においては鋼片抽出時に炉前から冷風を吸い込むのでそれを防ぐための均熱帯の炉圧を上げるのがよいと考えられる。その一つの方法としてノーズ部天井高さを低くしてガス流路断面積を小さくすることが考えられる。そこでノーズ部天井高さを 200 mm 低くした場合のガス流れを調べた。この結果を Fig. 6 に示す。燃焼室出口が絞られるため鋼片上を均熱帯から上部加熱帯へはいる流れは少なくなる。厚い材料がはいるととくにこの効果は大きく炉壁と材料の間または材料間(2列装入時)を下部に向かうことになる。

均熱帯への冷風の流入をなくすために均熱帯の炉圧を上げることは大切であるが、ノーズ部天井の絞りだけでは不十分で、均熱帯のガスの流出口の全面積に關係するから材料と側壁との間隙、下部バーナ壁の位置も考慮せねばならない。たとえば下部燃焼室を広げるためにバーナ壁を均熱帯の下に持つてくるとガスは側壁をまわって下部へ流入するので均熱帯の炉圧制御は困難になる。しかしながら全面的効果は認められないにもせよ改良の方向であるのでノーズ部は絞ることとした。

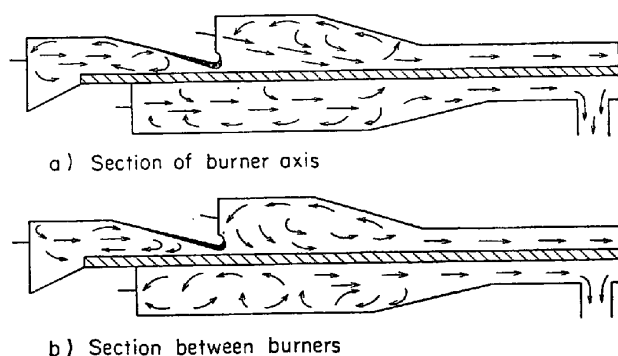


Fig. 6. Gas flow patterns when the nose of soaking zone is lowered.

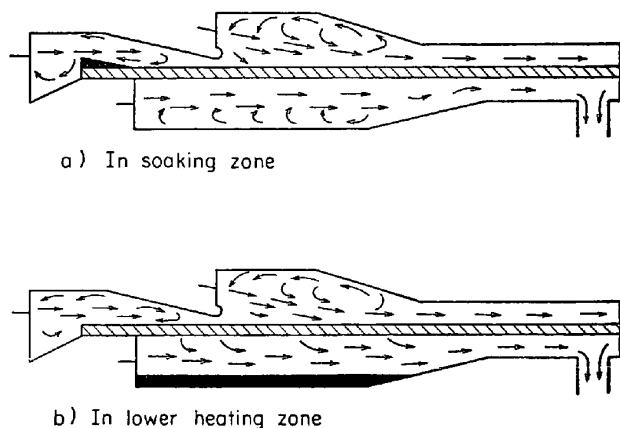


Fig. 7. Gas flow patterns when scales are piled up.

#### 4.6 予熱帯天井高さについて

予熱帯については天井の高さと伝熱量の関係を知る必要がある。天井を低くするとガス層の有効厚さは減少し輻射伝熱は少なくなるが、ガス流速が増すために対流伝熱係数の値が大きくなり対流伝熱量が増加する。したがってこの両者の比率によつてガスから鋼片への伝熱量が多くなるように高さを選ぶべきである。炉内ガス流れについては天井を低くすると流速が大きくなることが認められるが、全体の流れに影響を与えることはない。流形の面からはとくに両者の差異はない。予熱帯における伝熱について固体輻射、ガス輻射、対流の3者に分けて天井高さ1150、1350 mmの2種類の高さについて試算を行なった<sup>21)22)</sup>。

計算の詳細は割愛するがこの2つの高さでは全伝熱量に大差はないが、対流伝熱の効果により1150 mmと低いほうが2~3%伝熱量が多くなり、固体輻射、ガス輻射、対流による伝熱量の比率はガス温度にもよるが、35.30、35%程度であつた。したがって予熱帯の天井高さについては嵩上げは100 mmにとどめた。

#### 4.7 操業中のスケールの堆積について

操業中に下部加熱帯および均熱帯炉床にスケールが堆積してくる。前者の場合下部炉床は事実上高くなり燃焼室が狭くなり、後者の場合は均熱帯出口直前で材料がスケール上に乗ることがある。これらの場合のガス流れをFig. 7に示すが、炉内ガス流れの全体的な形への影響はほとんどないといえる。また影響を受けないようにバーナ位置などを決めておく必要がある。

#### 4.8 総括

加熱炉の改造に関して問題となる点について個々に流体模型実験による調査を実施した。これらの結果に基づいてそれぞれの最善案を組み合わせる改造炉形を得た。

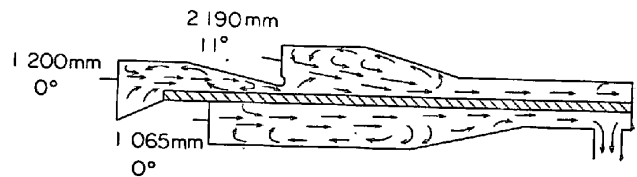
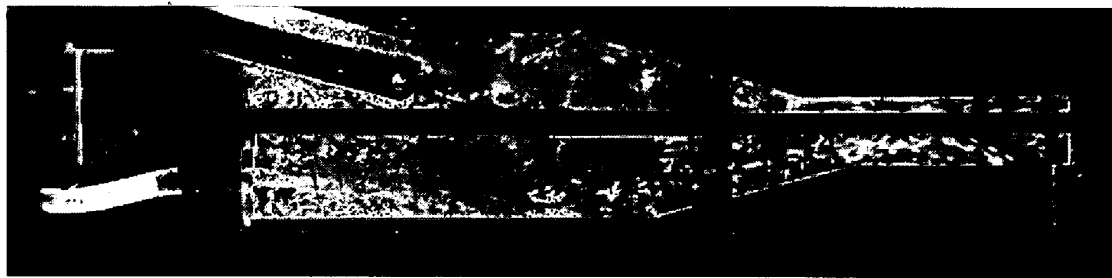
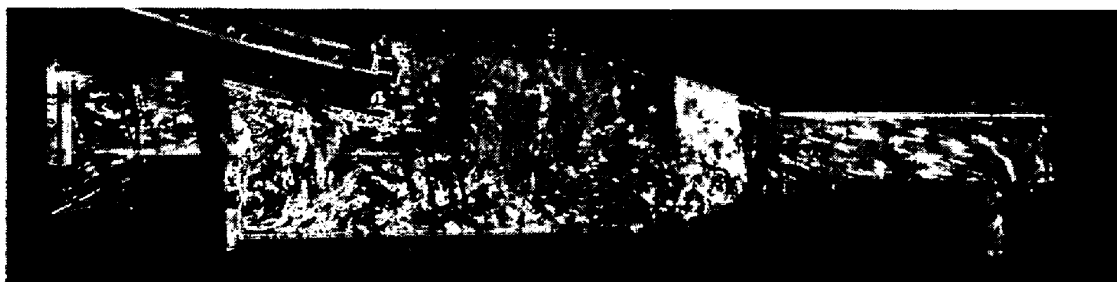


Fig. 8. Gas flow patterns in the furnace after reconstruction.



a) Section of burner axis



b) Section near the wall



c) Section of burner axis in the soaking

Photo. 1. Gas flow patterns in the furnace after reconstruction.

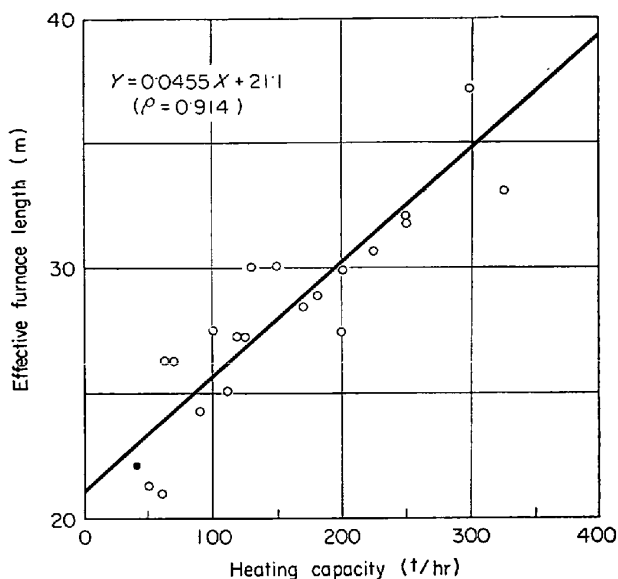


Fig. 9. Relation between effective furnace length and heating capacity.

改造炉形におけるガス流れを Photo. 1 および Fig. 8 に示す。実験における因子間の相互影響はほとんどなく個々の条件について調べた結果が総合結果に現われている。

なおこの炉について炉体寸法を統計的に見ると Fig. 9 10 に示すようである。鉄鋼各社の炉体諸元<sup>23)</sup>より加熱能力と主要諸元の関係について調べてみたものである。

Fig. 9 は加熱能力と炉長の関係、Fig. 10 は加熱能力と燃焼室容積の関係を示している。これらの間には互いに強い相関関係がある。当炉の場合最初に述べたように加熱材料の厚みが大であるために燃焼室容積を多く要するものとする。

上に述べた改造により当炉は Table 1 に示したように炉容は全体で 18% の増大となつた。この改造により平均加熱能力は 12~20% 増大して初期の改造目的を達し順調に操業を続けている。

## 5. 結 言

流体模型による解析は設備の新設、改造に際して検討を行なう場合非常に有効かつ適切な手段である。適正な設計、操業を行なうための基礎資料としてその意義は大きい。均熱炉、加熱炉、熱処理炉などの燃焼炉においては設備能力の増大、温度分布の均一化、燃料原単位の低下などの問題が常に付随しており、これらの問題に取り組む有力な一方法である。近年は電算機を利用する数式モデルによる伝熱解析も盛んに行なわれ、このような広い意味でも模型の利用は設備の設計、改善に不可欠といえよう。以上模型手法をごく簡単に概説し、加熱炉改造

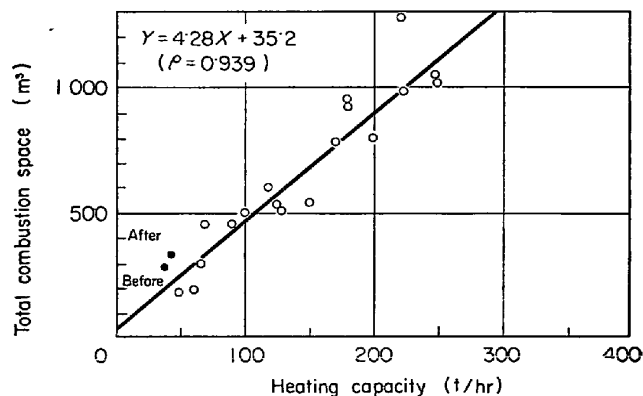


Fig. 10. Relation between total combustion space and heating capacity.

への応用例を示した。

なお、本実験の実施に際しては、当所工学博士田上豊助氏のご指導を得たことを記し厚く感謝いたします。

## 文 献

- 1) たとえば、  
中村：模型理論とスケールアップ (1954) 日刊工業  
吉谷：富士製鉄技報, 12 (1963) 1, p. 3~13  
*R. E. JOHNSTONE and M. W. THRING: Pilot Plant, Models, and Scale-up Methods in Chemical Engineering (1957) McGraw-Hill*
- 2) たとえば、  
*M. W. THRING: The Science of Flames and Furnaces, (1962), [CHAPMAN & HALL]*  
*J. M. BEÉR: J. Inst. Fuel, 39 (1966) 310, p. 466~473*  
*D. B. SPALDING: 9th Symp., (International) on Combustion, (1963), p. 833~843, Academic Press*
- 3) *R. JESCHAR: Stahl u. Eisen, 88 (1968) 21, p. 1144~1153*
- 4) 橋本：熱管理, 9 (1957) 4, p. 19~26
- 5) *F. FITZGERALD and A. D. ROBERTSON: J. Inst. Fuel, 40 (1967) 312, p. 7~19*
- 6) 岡部, 浜田, 米谷：川崎製鉄技報, 44 (1969) 2, p. 160~168
- 7) *E. E. HOFMANN and A. KAPPELMAYER: Arch. Eisenhüttenw., 40 (1969) 4, p. 311~322*
- 8) *H. BOENECKE: Radex Rund., (1966) 8, p. 218~232*
- 9) 吉田, 石橋：製鉄研究 (1962) No 240, p. 3845~3866
- 10) たとえば、  
橋本：鉄と鋼, 42 (1956) 10, p. 950~955, ほか  
島田, ほか：製鉄研究, (1964) No 246, p. 4707~4722; No 247, p. 4937~4944  
田上, 田中, 平岡：住友金属, 15 (1963) 4, p. 240~249  
*J. H. CHESTER et al.: J. Iron Steel Inst., 162*

- (1949) 4, p. 385~415
- 11) たとえば,  
H. BOENECKE and M. HANSEN: Stahl u. Eisen, 87 (1967) 16, p. 951~958  
B. S. HOLMES and M. W. THRING: J. Iron Steel Inst., 196 (1960) 11, p. 259~261
- 12) 田上, 赤松, 二本柳, 池田: 鉄と鋼, 54 (1968) 3, p. S97
- 13) 本間ほか: 鉄と鋼, 50 (1964) 3, p. 398~400
- 14) 斉藤, 川合, 津: 鉄と鋼, 47 (1961) 10, p. 1382~1384
- 15) 田上, 平岡, 二本柳: 鉄と鋼, 51 (1965) 4, p. 893~895
- 16) たとえば,  
J. H. RICHARDS et al.: J. Iron Steel Inst., 197 (1961) 2, p. 117~121  
S. CHERNOKH et al.: Stal, (1960) 2, p. 177~182
- 17) たとえば,  
H. BOENECKE: Stahl u. Eisen, 82 (1962) 15, p. 1009~1017  
H. BOENECKE: J. Iron Steel Inst., 197 (1961) 4, p. 283~295
- H. BOENECKE: Iron Steel (U. K.), 33 (1960) 14, p. 630~634
- 18) たとえば,  
M. A. GLINKOV et al.: Stal, (1961) 1, p. 82~86  
H. BOENECKE: Arch. Eisenhüttenw., 32 (1961) 5, p. 317~320  
M. M. KOROTAEV: J. Iron Steel Inst., 199 (1961) 9, p. 15~18
- 19) L. HARTWIG: Stahl u. Eisen, 88 (1968) 23, p. 1302~1308
- 20) 種子田: 日本物理学会誌, 23 (1968) 6, p. 430~447
- 21) 矢木, 国井: 工業窯炉, (1963) 共立出版
- 22) W. H. McADAMS: Heat Transmission 3rd Ed., (1954) McGraw-Hill
- 23) 鉄共研, 熱経済技術部会, 第3回加熱炉小委員会資料 (1969. 7. 15)

## 討 論

【質問】 三菱製鋼広島研究所 柳 謙一  
Re 数の代表寸法としてはどこを使用したか?

【回答】  
各燃焼帯のパーナ・タイル出口径を代表寸法とした。