

論 文

転炉の脱炭反応に関する考察と

それに基づく計算制御への可能性*

藤井毅彦**・荒木泰治***・丸川雄浄****

Consideration on Decarburization Reaction in an Oxygen Converter
and Possibility of the Computing Control on its Basis

Takehiko FUJII, Taiji ARAKI and Katsukiyo MARUKAWA

Synopsis:

Considerations and analyses were done on the mechanism of decarburization reaction in the oxygen steelmaking process by the data obtained from the laboratory work, the open hearth furnace, and the oxygen converter.

Authors found that the blowing time of an oxygen converter could be specified into the three periods according to the characteristics of decarburization reaction which takes place in the vessel. Authors connected it with a control system for the converter practice, and named it "Decarburization Model System."

As the result of many trials, authors pointed out a possibility of computing control of bath carbon and temperature in this direction.

(Received 15, 1967 Feb.)

1. 緒 言

転炉製鋼法は、製鋼能率の高いことのほかに鋼質の点においても、他の平炉などの製鋼法に比していろいろの優れた点を有しているため、国内はいうにおよばず、世界の趨勢も上吹き転炉製鋼法が、その中心を占めつつある状況である。したがって、この転炉製鋼法の長所をより引き伸ばすための計算制御の転炉操業への導入という問題に、世界の製鋼関係者の焦点が絞られてきていると言えよう。そこで、まずこのコンピューターコントロールの中心をなす鋼浴カーボンの連続測定法であるが、これに関してはフランスの IRSID¹⁾、アメリカの J & L²⁾ などにおいてそれぞれ独自の方法を開発しているが、われわれも数年前から行なっている脱炭反応の速度論的研究の研究結果を基礎として、実際の 160 t 排ガス回収式転炉の諸現象を解析して新しい鋼浴カーボンの連続測定法を開発した。そしてそれをもとにして転炉の計算制御の方法を検討した。

2. 製鋼過程における脱炭反応機構について

2.1 脱炭反応に関する実験的研究結果

藤井³⁾は 10kW 真空管式高周波溶解炉でマグネシウム内約 1.4 kg の炭素を含有する鉄を溶解し、種

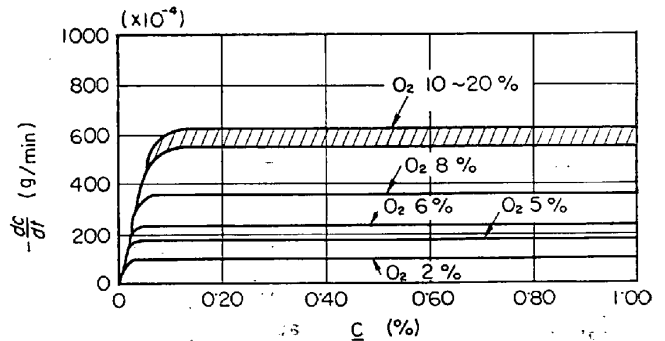


Fig. 1. Decarburization rate by gaseous oxygen vs. C in a high-frequency induction furnace. 1600°C oxygen 0~20%.

々の酸素濃度を有するアルゴンと酸素との混合ガスをふん囲気として、溶鉄表面上に流して実験を行なった。この場合脱炭速度と炭素濃度の間には Fig. 1 に示すような関係が得られた。この図から脱炭速度と炭素濃度との関係に 2 つの領域のあることが判る。すなわち、脱炭速度が鋼浴の炭素濃度によつて変らず、ふん囲気ガス中の

* 昭和41年4月本会講演大会にて発表
昭和42年2月15日受付

** 住友金属工業(株)和歌山製鉄所 理博

*** 住友金属工業(株)中央研究所

**** 住友金属工業(株)和歌山製鉄所

酸素濃度によつて変る領域と、炭素濃度によつて変り酸素濃度によつて変らない領域とがある。この現象を説明するには、つぎのような考えをとることができる。すなわち反応の起る場所は、この場合溶鉄とふん囲気ガスとの接触する自由表面であり⁴⁾その反応面へ、炭素と酸

素が移動することによつて反応が進行するのであるが、炭素濃度の高い場合は、炭素の反応面への到達速度が大であるため、酸素の到達速度によつて脱炭速度が定められ、炭素濃度が低下すると、逆に炭素の到達速度によつて脱炭速度が定められる。したがつて、高炭素領域では、脱炭速度は、炭素濃度に関係なく一定となり、Fig. 2に示すような関係で酸素濃度のみの函数になるが、一方低炭素領域では、酸素濃度に関係なく炭素濃度に比例することになる。以上が実験的研究の結果得られた基礎理論であるが、これが実際の製鋼炉で、どのようにあてはまるかを以下にみる。

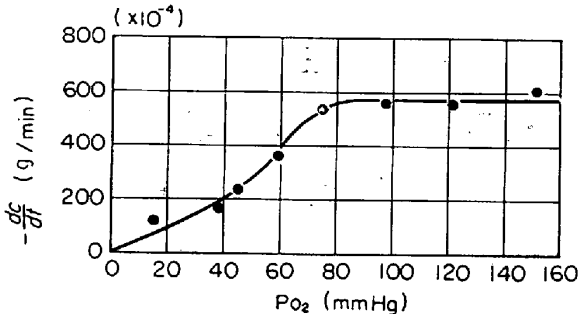


Fig. 2. Decarburization rate by gaseous oxygen vs. oxygen contents of gas in a high-frequency induction furnace. 1600°C, carbon : 0.40%

2.2 平炉における脱炭機構

平炉における精錬は、溶鋼表面をおおっているスラグによつて溶鋼へ酸素が供給されることによつて行なわれる。その場合脱炭反応は、スラグを通して侵入したOと溶鋼中のCによつて主に炉床において起ると考えられていた。そして炭素濃度の高い場合の脱炭速度はDARK-

EN⁶⁾や丹羽ら⁷⁾によつて導かれたようにスラグの酸化ポテンシャル、あるいはΔO値(実際のO値とC値と平衡するO値との差)に比例することとなる。しかしながら最近増産を前提とした平炉における酸素製鋼法の発達により溶鋼中に多量の酸素ガスが吹き込まれるようになると脱炭速度は吹き込み酸素流量によつて強く影響され、脱炭反応は酸素ガス—メタル間の反応として酸素流量との関係で検討することが必要とならう⁸⁾。Fig. 3は、和歌山製鉄所における酸素製鋼時の100tおよび200t塩基性平炉での脱炭速度と炭素濃度との関係を示す⁹⁾。その結果ここでも前の実験炉で示した考え方をそのまま生かすことができ、精錬の進むにつれて炭素濃度にかかわらず脱炭速度が一定の領域から炭素濃度に比例する領域へと移行する段階が明瞭に示されている。しかも、高炭素領域において、一定の脱炭速度をもった領域では、酸素流量の増加とともに脱炭速度が増大しており、その関係はFig. 4のように炉容にかかわらずほぼ一定の直線的な関係として示すことができる。ただFig. 3から炭素濃度に比例して脱炭速度が変化する領域でも酸素流量によつて脱炭速度が幾分変化しているようであり、これは酸素流量増加による反応面積の増大と鋼浴の攪拌効果の増大のためと考えられる。

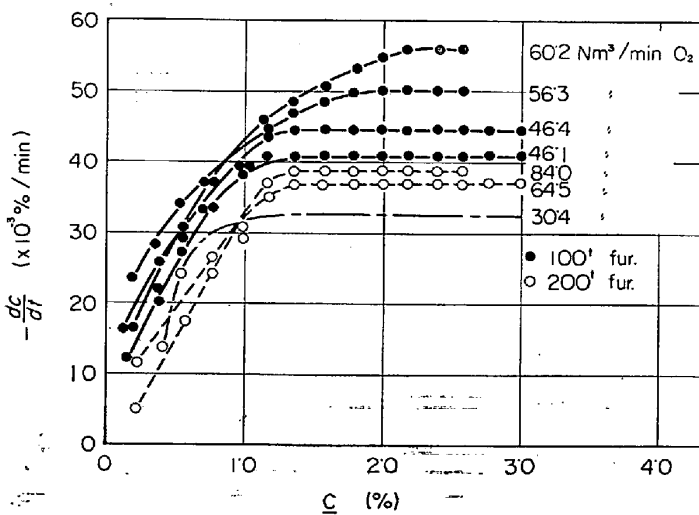


Fig. 3. Decarburization rate vs. C in a basic open hearth furnace.

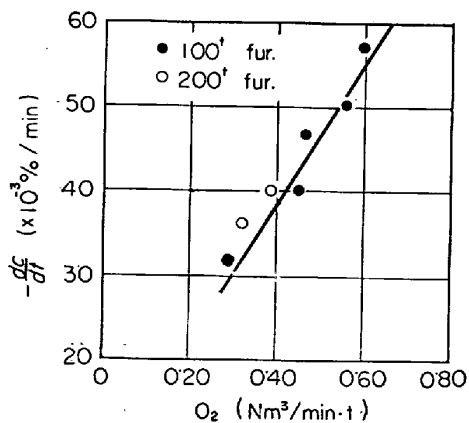


Fig. 4. Decarburization rate vs. O₂ flow rate in a basic open hearth furnace.

2.3 転炉における脱炭機構

転炉においては、その構造上から任意の時点で溶鋼から試料を採取し、脱炭速度を検討することが非常に困難である。通常は、吹錬始めと終点の状態から炉内反応を推察して考えることだけしかできない。さらに詳細に考

察するには、より正確な脱炭状況を知る必要がある。

しかるに当所転炉は、八幡一横山方式による未燃焼ガス回収装置を有しており、刻々の排ガス組成、および流

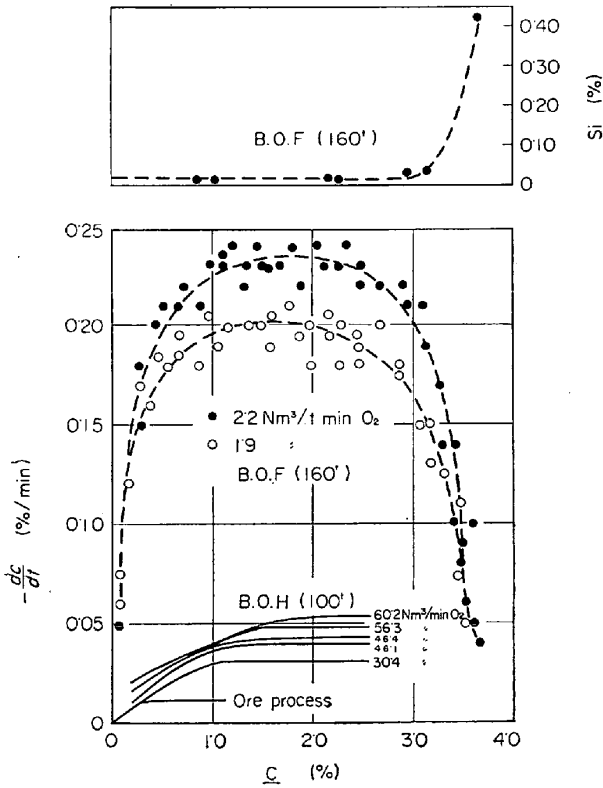


Fig. 5. Relation between decarburization rate and carbon content in both open hearth furnace and oxygen converter.

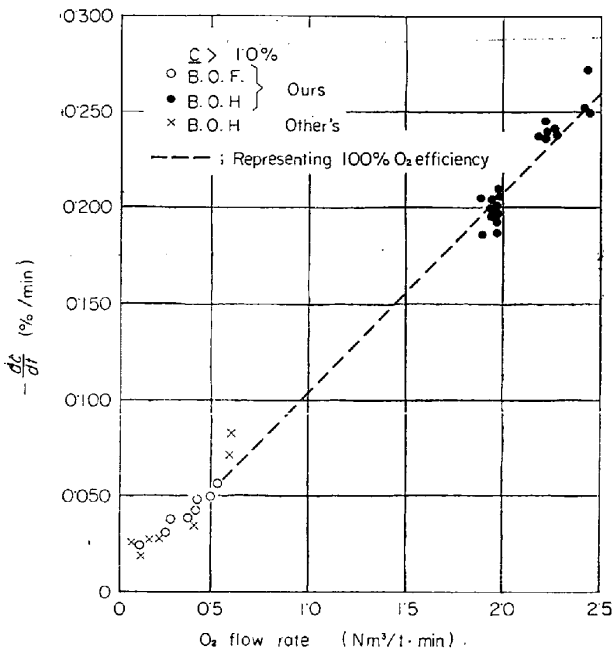


Fig. 6. Relation between maximum rate of decarburization and oxygen flow rate in both open hearth furnace and oxygen converter.

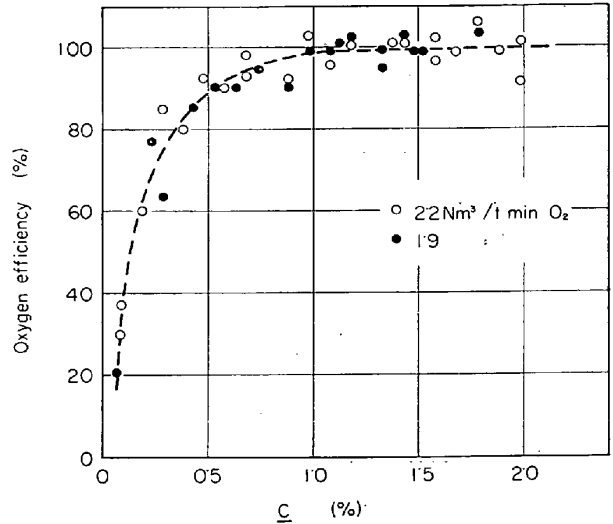


Fig. 7. Oxygen efficiency for decarburization vs. carbon content in an oxygen converter.

量が記録されるようになってきている。したがって、その排ガス組成と流量から計算によつてその時の鋼浴C%と脱炭速度の関係を知らることができ2.1の実験炉の場合や2.2の平炉の場合と比較してみることができる。この方法によつて計算したC値に対して脱炭速度をプロットすると、Fig. 5が得られた⁸⁾。このFig. 5に若干の考察を加えてみる。まず鋼浴C%の高い吹錬初期についてみると、溶鋼温度が低いことと、鋼浴Si%が高いことによつて、脱炭反応の進行が遅れており、同図上側のSi値の変化をみてわかるようにSi%が0.03%以下になつたところで、脱炭速度は最高レベルに達している。つぎに脱炭速度が高い時期(最高脱炭速度レベルにある時期)についてみると、この時期の脱炭速度は、吹込み流量によつて変つていくことがわかる。この関係をもう少し詳しく調べてみたのが、次のFig. 6である。これは吹込み酸素流量と最高脱炭速度の関係をみたものであるが、少なくとも酸素流量が23000 Nm³/hr (2.395 Nm³/t·min)までは平炉、転炉をとわず最高脱炭速度は全てほぼ酸素効率100%の線上にのつている。つぎにFig. 5にもどつて、さらに脱炭が進み鋼浴Cが1.0%程度になると脱炭速度は低下しはじめ、特にC%が0.5~0.3%付近からその低下が著しい。また、この図の下側に示してある平炉の場合においても脱炭速度の低下し始めるC%が、ほぼ転炉のそれと一致していることは興味のあることである。脱炭速度が低下し始める時期の酸素の脱炭反応にあずかる効率を計算し、C%との関係を示すと、Fig. 7のようになり、高炭素領域においては酸素効率はほぼ100%であり、炭素濃度の低下ともなつて酸素効率が低下してゆくようすがよくわかる。

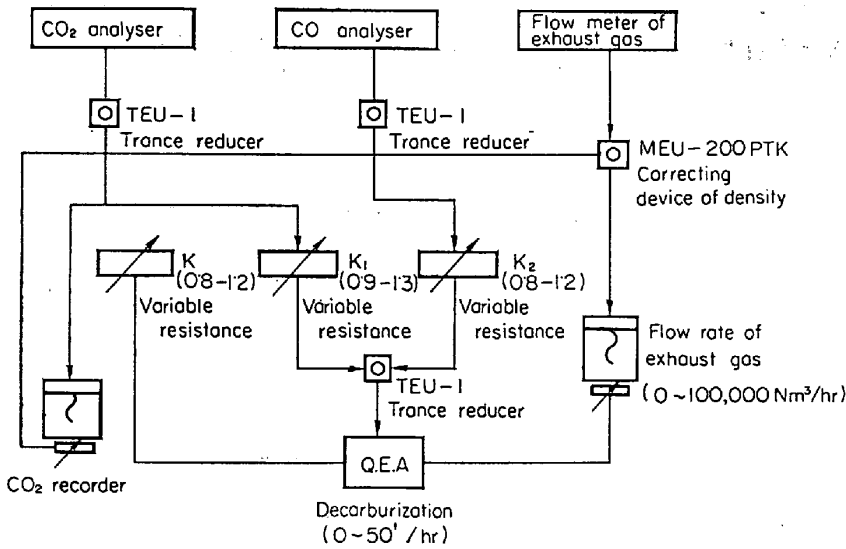


Fig. 8. System diagram of continuous determination of the decarburization rate by the analysis of exhaust gas.

すなわち、高炭素領域においては、実験炉、平炉の場合と同様に吹込酸素がほぼ 100% 脱炭反応に使用され、その反応場所はガス-メタル界面である。ただ低炭素領域になると吹込酸素は脱炭以外にも使用され、その主な反応は溶鋼中への酸素の溶解、鉄およびスラグの酸化による Fe_xO の生成である。その場合、 $C + (Fe_xO) = CO \uparrow + xFe$ 、あるいは、 $C + O = CO \uparrow$ の反応が溶鋼内部あるいは炉壁においても行なわれることが考えられる。最近、的場、不破¹⁰⁾は実験室的な研究により、この領域における脱炭機構について、溶鉄表面およびルツボ壁に生成した FeO 層と C との反応をとりあげて考察をあたえていることはこの問題の解明に関連して興味深いものであり、今後ともこの時期における反応機構は明らかにされねばならない問題を残していると思われる。

2.4 転炉における連続脱炭速度計

前項での転炉吹錬中の脱炭状況は、排ガス分析と排ガス流量とを 30sec もしくは 1min おきに読みとり、計算したものである。しかるに和歌山製鉄所の第 1 転炉工場の転炉は、排ガスを燃焼せずに回収する方式であるので CO および CO_2 の分析計ならびに、排ガス流量計が設置されており、この CO および CO_2 の分析値と排ガス流量をすればその瞬間の脱炭速度を刻々にチャートの上で知ることができるわけである。そして瞬間の脱炭速度 ($-dc/dt$) はつぎの式で表される。

$$-\frac{dc}{dt} = k [CO(t) + CO_2(t)] Q(t)$$

ただし $-\frac{dc}{dt}$; 脱炭速度

$Q(t)$; t 時点の排ガス流量

$CO(t)$; t 時点の排ガスの $CO\%$

$CO_2(t)$; t 時点の排ガスの $CO_2\%$

k ; 定数

この測定原理に基づいて連続脱炭速度測定装置として Fig. 8 に示すとき装置の構成を行なった。なおこの系統図で明らかかなように定数 K, K_1, K_2 を可変にし、計器のバイアスについて補正できるようにしてある。

2.5 脱炭速度計による脱炭速度チャート

前項に示した系統図をもつ脱炭速度チャートによつて記録した脱炭速度チャートの例を示す。Fig. 9 に示したのは、和歌山製鉄所にある未燃焼排ガス回収式転炉におけるチャートの例である。Fig. 9 の一番下のチャートはスロッピングがはげしかつたチャージの例であり、チャートが乱れている。このようにスロッピングの発生が、チャートのみだれとして示されることを利用して逆に脱炭速度チャートによりスロッピングの予知などの可能性もある。

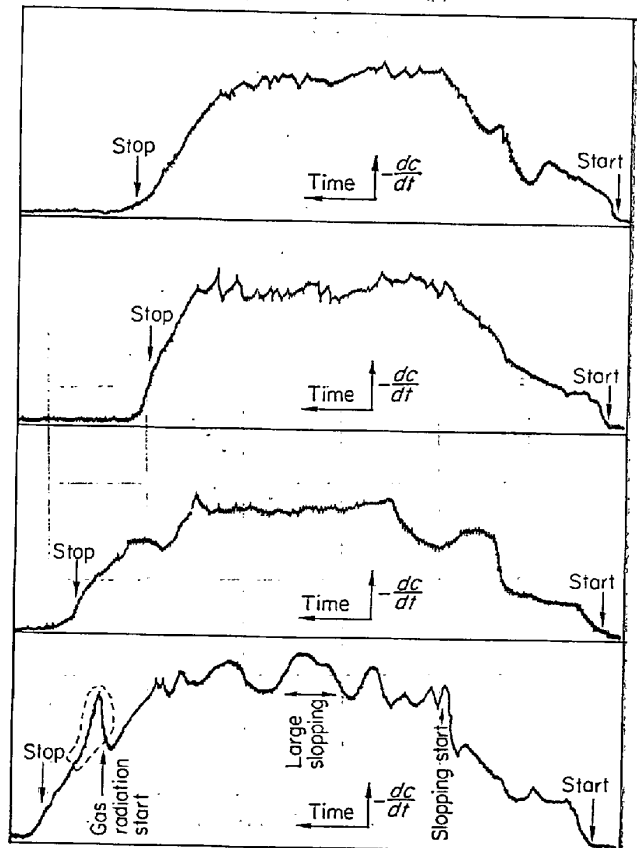


Fig. 9. Charts of continuously recorded decarburization rate of the unburned gas recovery system converter.

まだ現在のところ定量的にとらえてはいないが、第1吹錬初期から脱炭速度が低くおさえられそれが長く続くとその後はげしいスロッピングをとまうことなどが判明している。また同じ一番下のチャートの終点近くでガ

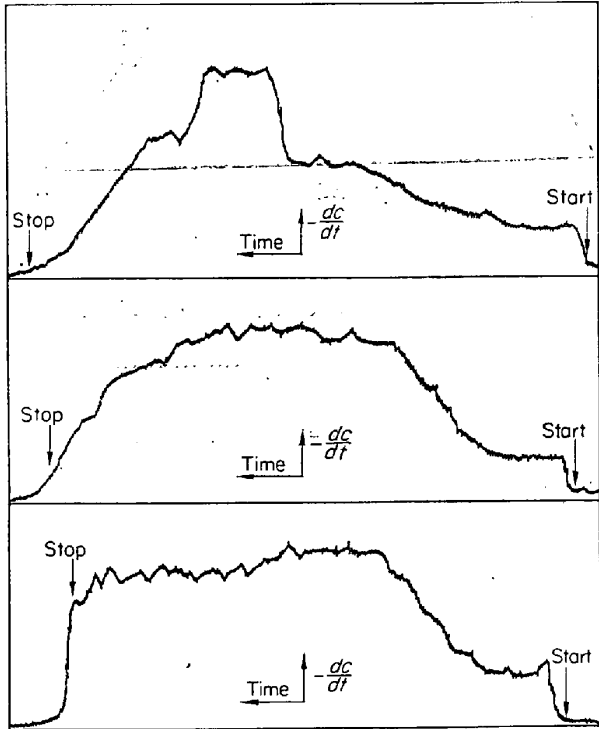


Fig. 10. Charts of continuously recorded decarburization rate of the boiler type converter.

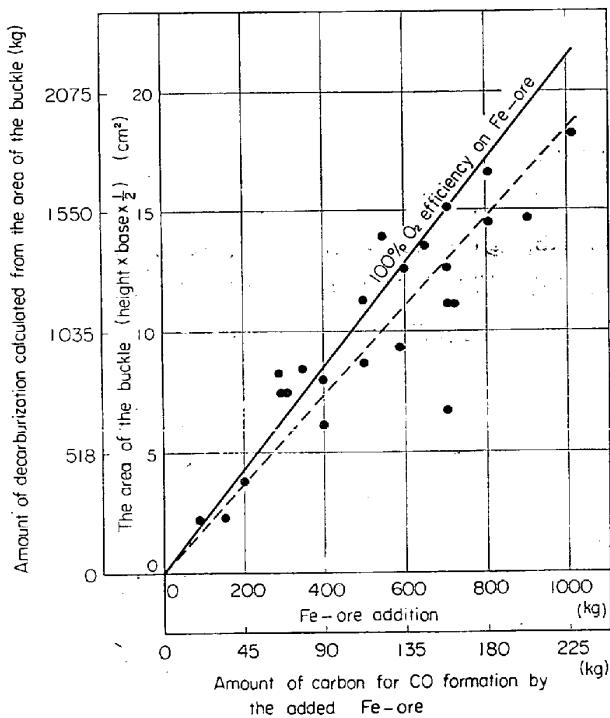


Fig. 11. Effect of iron ore addition on the amount of decarburization calculated from the chart.

ス回収からガス放散へと切り換えを行なっているが、その時点で、炉圧の変動が原因となり異常なチャートが記録されている(点線で囲んでいるところ)。このように、この未燃焼排ガス回収式転炉は、排ガスシステムの密閉性が強いいため、スロッピングなどの炉圧の変動により流量計と分析計の間にタイムラグを生じやすい。これに対し、Fig. 10 はワグナービロー式(ボイラー燃焼式)転炉のチャートの例であるが、このワグナービロー式の場合は、流量の変動がなく炉圧の変動がないため未燃焼排ガス回収方式よりも正確なチャートが記録される。ただFig. 10のチャートで吹錬中に脱炭速度のコブが見られるものがあるが、これは、吹錬途中で、鉄鉱石を分投したためにできたものである。このコブの面積(脱炭量に比例するもの)と鉄鉱石投入量とは Fig. 11 に示すようにきれいな関係が出ており、脱炭速度チャートの再現性のよさを裏付けている。したがってこのチャートを利用して脱炭速度以外の事項の計算制御の可能性を示している。

3. “脱炭モデル方式”の転炉制御への適用に関する研究

転炉の計算制御においては鋼浴炭素濃度と、鋼浴温度の制御が最も大きな2つの目標である。そして後に詳述するが、転炉精錬は、脱炭反応が中心になって進んでおり、鋼浴温度の上昇も、また、脱炭の進行と密接な関連をもつて進んでいる。したがって、脱炭反応のメカニズムを正しく把握できれば、それをもとにして転炉の吹錬全体を合理的に解析できるわけでひいては、吹錬全体の計算制御をも可能にする。そこで、いままで述べた実験室的研究、実際の平炉、転炉の研究の結果をもとにして、脱炭モデルを作成し、この脱炭モデルを鋼浴炭素濃度および鋼浴温度の制御に適用することを検討した。

3.1 “脱炭モデル方式”の開発

2章において、実験室的研究、平炉操業、転炉操業の解析を行ない、製鋼過程における脱炭反応の進行状況、とりわけ転炉における脱炭反応を連続脱炭速度メーターにより詳しく解析した結果 Fig. 9, Fig. 10 のチャートにより示されるように吹錬中の脱炭反応は3つの領域に分けられることがわかった。しかも、その3つの領域の脱炭状況は、それぞれつぎのように特徴づけられる。

第I吹錬期

溶鋼中の Si 濃度がまだ非常に高く、また装入された溶銑が、スクラップなどと触れて温度が低下し、脱炭反応が十分進行するだけの浴温になつていない時期でありそのために脱炭反応がおさえられ、徐々に脱炭速度が上昇する時期である。この時期の脱炭速度は、ほぼ次の式

で表される。

$$-\frac{dc}{dt} = K_1 \cdot t \quad K_1: \text{Si 濃度, 溶銑温度などによつてきまる定数.}$$

t : 吹錬時間

第Ⅱ吹錬期

浴温が上昇し, 脱炭反応の反応面へのCの到達速度が十分大きく, 供給される酸素のほぼ100%が, 脱炭に消費され, 酸素の反応面への到達速度が律速段階になっており, したがつて脱炭速度は, 吹込み酸素量によつて定まる時期である. この時期の脱炭速度はつぎの式であらわされる。

$$-\frac{dc}{dt} = K_2 \quad K_2: \text{酸素流量などによつてきまる定数}$$

第Ⅲ吹錬期

脱炭が進み, 炭素濃度が低下してCの反応面への到達速度が酸素のそれより遅くなり, したがつてCの反応面への到達速度が律速段階になり, 脱炭速度が炭素濃度にほぼ比例して低下する時期であり, いま第Ⅰ近似として脱炭速度を次の式であらわす。

$$-\frac{dc}{dt} = K_3 \cdot C \quad K_3: \text{酸素流量, ランス高さなどによつてきまる定数.}$$

C : 鋼浴炭素濃度.

したがつて以上の考えに基いて, 脱炭反応を三つの領域にわけることにより, Fig. 12 に示すような梯形の脱炭モデルを作成した. このモデルを設定することにより, 吹錬前か, または吹錬中の前半に一度鋼浴中の炭素量を測定することにより, それ以後の鋼浴中の炭素濃度を推定することができ, これをもとにしてスタティックコントロール, ダイナミックコントロールが可能になる。

3.2 脱炭モデル方式の計算方法

つぎに, 脱炭モデル方式による吹錬時間の実際の計算方式を示すとつぎのようになる. まず, D点までの時間を計算すると, 次の式で求められる。

$$\text{time } \overline{AD} = \frac{C_{in} - \frac{C_D}{100} (W_{in} - \alpha)}{\left(-\frac{dc}{dt}\right)_{\max}} + \frac{1}{2} \text{time } \overline{AB} \quad \dots\dots\dots (1)$$

- ただし time \overline{AD} : 第Ⅱ吹錬終了までの時間 (min)
 time \overline{AB} : 第Ⅰ吹錬時間 (min)
 C_{in} : 装入カーボン重量 (t)
 C_D : D点C%
 W_{in} : 装入主原料 (t)
 α : D点までの溶鋼重量の減量 (t)
 $\left(-\frac{dc}{dt}\right)_{\max}$: 第Ⅱ吹錬期脱炭速度値 (t/min)

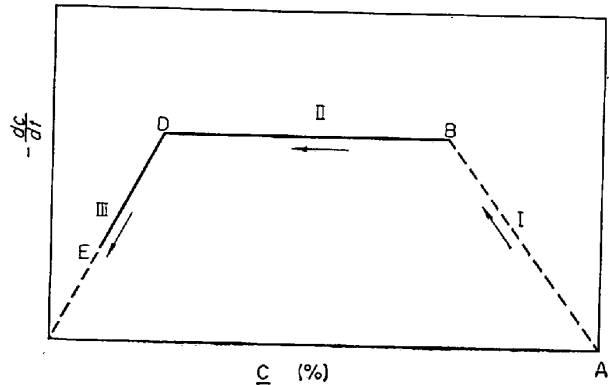


Fig. 12. Decarburization model.

第Ⅲ吹錬期の脱炭状況は次の式で表わされるとすると

$$-\frac{dc}{dt} = KC \quad \dots\dots\dots (2)$$

$$K = \frac{100(-dc/dt)_{\max}}{C_D(W_{in} - \alpha)} \quad \dots\dots\dots (3)$$

(2) 式を変化して

$$-\int_{C_E}^{C_D} \frac{1}{C} dC = \int_{t_X}^{t_{AD}} K dt \quad \dots\dots\dots (4)$$

ただし C_E : 終点目標C%

t_{AD} : time \overline{AD} に同じ

t_X : 全吹錬時間

(4)式より

$$-\ln C_D + \ln C_E = K(t_{AD} - t_X) \quad \dots\dots\dots (5)$$

$$t_{DE} = (t_X - t_{AD}) = \frac{1}{K} (\ln C_D - \ln C_E) \quad \dots\dots\dots (6)$$

したがつて

$$t_X = \frac{1}{K} (\ln C_D - \ln C_E) + t_{AD} \quad \dots\dots\dots (7)$$

(7)式に(1), (3)式を代入すると, t_X の関数ができ, これより全吹錬時間が求められる. 以上の計算に際して ①time \overline{AB} , ② $(-dc/dt)_{\max}$, ③D点のC%の3つは, あらかじめその値を設定しておかねばならない. したがつて脱炭モデル方式におけるスタティックコントロールはこれら3つの値をどのように正確に設定できるかによつてその精度がきまる. また後に詳述するが脱炭モデル方式におけるダイナミックコントロールも, この3つの値を脱炭速度チャートによつて補正することが中心課題になる。

3.3 脱炭モデル方式による鋼浴炭素濃度のスタティックコントロール

前項で述べた脱炭モデル方式の3つの管理ポイントはつぎの三項目である。

(イ) 第Ⅰ吹錬時間 $\dots\dots\dots$ time \overline{AD}

(ロ) 第Ⅱ吹錬期の脱炭速度値 $\dots\dots\dots (-dc/dt)_{\max}$

Table 1. An example of control point on "the decarburization model"

Control point		Time \overline{AB}	$\left(-\frac{dc}{dt}\right)_{\max}$	C_D (%)
Blowing condition				
23,000 Nm ³ /hr	Low carbon steel	7.0 min	0.411 t/min	0.60
"	Middle carbon steel	7.5	"	0.68
21,000 Nm ³ /hr	Low carbon steel	8.5	0.368	0.58~0.65
"	Middle carbon steel	9.5	"	0.66~0.76

(ハ) D点(第Ⅲ吹錬期始めの時点)のC%…Dc%

これら三つの値をあらかじめ、吹錬条件(吹込酸素流量、ランス湯面間距離など)別に設定しておけば、初期条件を入れて目標C%にするための吹錬時間を計算することができる。これら3つの値の設定は、数多くの脱炭速度チャートの記録、吹錬途中止め試験および適用結果をみてのシミュレーションなどによつて決定される。このようにして決定された例はTable 1の通りである。ここで同一酸素流量の場合でも鋼種によつて設定値が異なっているのは両鋼種の吹錬条件(ランス高さなど)が異なっているためである。

以上のようにして実操業に適用し計算した結果をFig. 13, Fig. 14, Fig. 15に示す。Fig. 13の図は縦軸にスタティック方式による計算値をとり横軸に実際の分析値をとつて対比したものである。黒丸が低炭素鋼で24チャージあり、白丸は中炭素鋼で28チャージある。的中率の範囲を終点Cが、0.05%のところでは±0.02%, 0.15%のところでは±0.03%とすると低炭、中炭素鋼あわせて、81%の的中率となる。

Fig. 14は、高炭素鋼の的中状況を同様にしてみたものである。的中範囲を±0.05%とすると72%の的中率となり、脱炭モデル方式が高炭素鋼においても十分適用できることを示している。

Fig. 15はスタティック方式で実操業の低炭、中炭素鋼に適用した結果を現在和歌山製鉄所で実施している現行方式(参考チャージを主体にした経験的要素の多分に含まれた方法)と対比させて、的中率の時経的推移を示したものである。図にみられるごとく低炭、中炭素鋼ともに脱炭モデル方式のスタティック方式の計算の方が良好な的中率を示していることがわかる。

3.4 脱炭モデル方式による鋼浴炭素濃度のダイナミックコントロール

脱炭モデル方式による終点のC%のダイナミックコントロールは前述した脱炭モデル方式の3つの管理ポイントのそれぞれに対応して、3つの方法が考えられる。このダイナミックコントロールの3つの方法をつぎに説明

する。

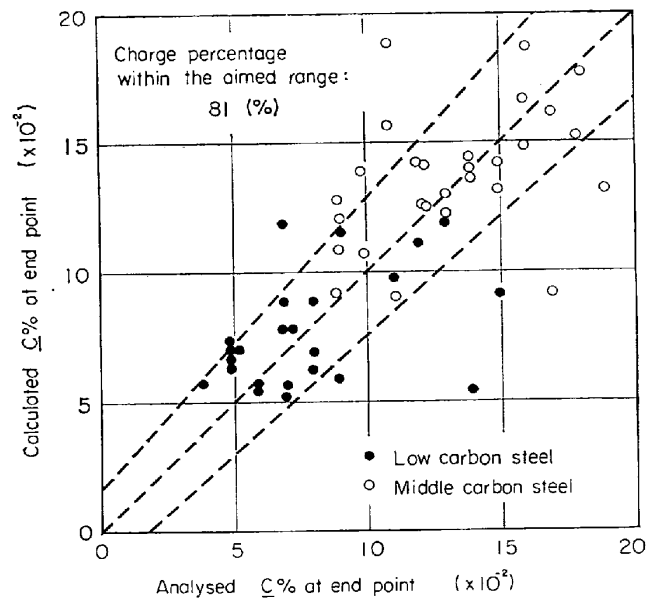


Fig. 13. Comparison of the calculated carbon with the analysed. (static control method for lower carbon grade)

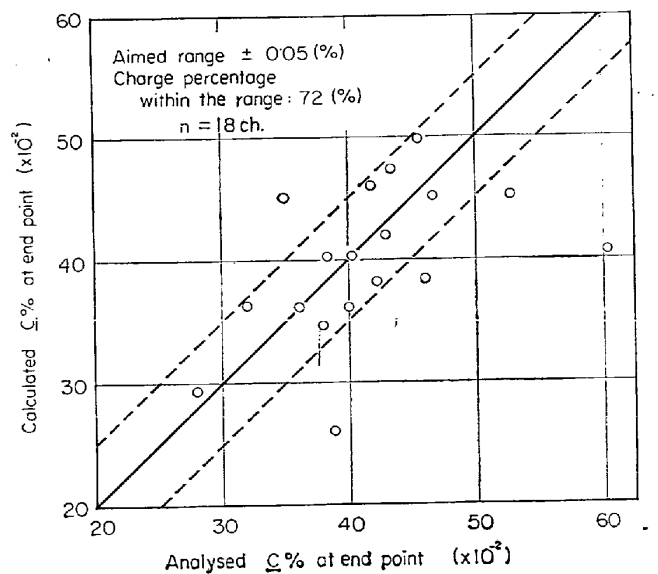


Fig. 14. Comparison of the calculated carbon with the analysed. (static control method for higher carbon grade)

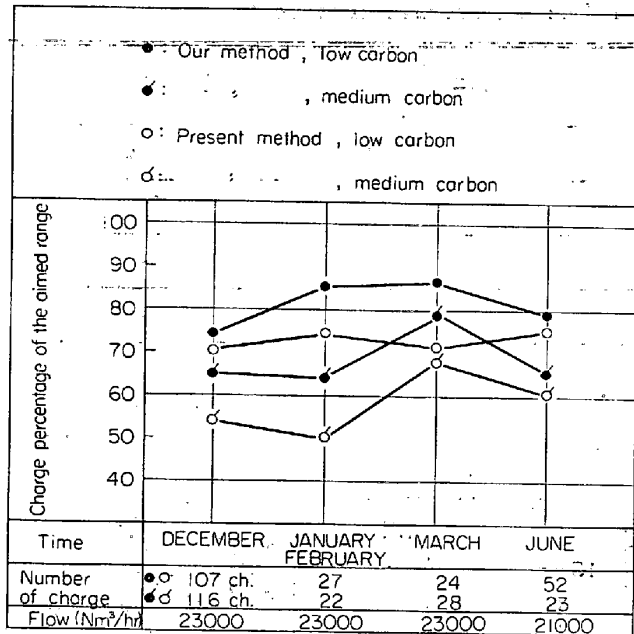


Fig. 15. Changes of the results of carbon control and difference between our method and present method.

実に推定し、未確認で出鋼する方式も可能である。以上が脱炭モデル方式によるダイナミックコントロールの3つの方法である。上の第Ⅱ法は、現在までの計測精度から脱炭速度チャートの絶対値に、いまだ信頼度が欠けるので現在すぐには使用できない。これに対し、第Ⅰ法と第Ⅲ法は、ダイナミックコントロールのアクションをとるポイントが脱炭速度チャートの絶対値になく、それぞれB点、D点の屈曲点がわかればよいので、脱炭速度チャートの相対値で十分実用化できるものである。ただ、第Ⅰ法の方は第Ⅲ法とくらべて、誤差の多い装入C量をその計算過程に含んでおり、しかも第Ⅰ吹錬期みの補正であるから、その後のチャージ特性の補正は考慮できない。これに対し第Ⅲ法は、装入C量の誤差、および第Ⅰ吹錬終了までの脱炭状況に関するそのチャージの特性を補正することができ、現在のところ脱炭モデル方式による3つのダイナミックコントロールのうち最も有望なものと考えられる。以下にこの第Ⅲ法についての問題点、適用結果などを示す。

3.5 ダイナミックコントロール(第Ⅲ法)の実操業への適用結果

まず前項で述べた第Ⅲ法の計算のやり方を詳しく説明する。実操業のとき、第Ⅲ法による計算は、概略次の様式にしたがって行なう。脱炭モデルより第Ⅲ吹錬期は次の(8)式によつて表わされている。

$$-\frac{dc}{dt} = K \cdot C \dots\dots\dots (8)$$

$$K = \frac{100 \times \left(-\frac{dc}{dt}\right)_{\max}}{C_D \times W_D}$$

C_D : D点のC%
 W_D : D点の溶鋼重量
 $\left(-\frac{dc}{dt}\right)_{\max}$: 第Ⅱ吹錬期の脱炭速度値

(8)式を変形すると、

$$t_{DE} = \frac{2.303}{K} (\log C_D - \log C_E) \dots\dots\dots (9)$$

t_{DE} : D点から End point に到る時間
 C_E : End point のC%

(9)式のうち、 C_E は目標C%であるから実操業において、脱炭速度チャートによりD点を測定すると、それ以後の吹錬時間がすぐ計算できる。これにより、所定のC%を精度よく得ることが出来る。実操業においては以上の様式にしたがって計算できるが第Ⅲ法によるダイナミックコントロールがどの程度有効なものを検討するにはすでに操業の終わったチャートについて検討しなければならないので、この計算方法は上述のものとは若干異

第Ⅰ法: 第Ⅰ吹錬時間(time AB)の変動によるダイナミックコントロールの方法

あらかじめ time AB を計算により設定しておき、この設定値と吹錬途中、脱炭速度チャートより、B点を観測し、それより読みとつた time AB の測定値との間に差が生じれば予定吹錬時間をそれにしたがって補正する方法である。

第Ⅱ法: 第Ⅱ吹錬中の脱炭速度値の変動によるダイナミックコントロールの方法

この方法により、予定酸素流量のバラツキや、大きな酸素純度の低下が推察される。すなわち、吹錬中脱炭速度チャートより最高脱炭速度値を読みとり予定の脱炭速度値との間に差が生ずれば、流量を変化するか、吹錬時間を変更するかアクションをとる。

第Ⅲ法: 第Ⅱ吹錬終了までの時間および第Ⅰ吹錬時間の変動によるダイナミックコントロールの方法

第Ⅱ吹錬終了までの時間 (time AD) はあらかじめ計算できるが、この計算された時間と、脱炭速度チャートから実測された time AD とを比較するとD点のC%は動かないものとしてその後の吹錬時間が適正なものにコントロールできる。これにより、装入炭素量のバラツキとか、あるいはスロッピングなどによる脱炭状況のチャージ特性が補正されることになる。またこれとよく似た型式で第Ⅲ吹錬時間すなわち、time DE の時間を吹錬終了後チャートより読みとり終点C%を分析しないで確

なる。すなわち(9)式を変形すると

$$\log C_E = \log C_D - \frac{K}{2 \cdot 303} t \overline{DE} \dots \dots \dots (10)$$

となる。これにおいて $t \overline{DE}$ はチャートより実測し、その実測された $t \overline{DE}$ に対応する End point の $C\%$ を計算し、実際の分析による End point $C\%$ と比較した。

このようにして計算した結果の一例を Fig. 16 に示した。この図の縦軸には、脱炭モデル方式による計算値

をとり、横軸には、終点分析値をとつて的中状況をみた。また的中範囲は、終点 $C\%$ が 0.05% のところで $\pm 0.02\%$ 、 0.15% のところで $\pm 0.03\%$ とした。その結果適中率 82% の良好な結果が得られた。また、より多くのデータについてダイナミックコントロールの第Ⅲ法により計算した結果をつぎの Fig. 17 に示した。すなわち低炭素鋼について166チャージ、中炭素鋼について79チャージの計算結果をヒストグラムであらわした。的中状況は、低炭素鋼で $\pm 0.025\%$ の範囲に 82% 入り、中炭素鋼で $\pm 0.035\%$ に 82% 入った。これを、現在和歌山製鉄所で行なっている現行方式による、同一チャージ的中率、低炭素鋼で 72% 、中炭素鋼で 62% という結果と比較すると、相当脱炭モデル方式が良好であるということがわかる。

3.6 脱炭モデル方式の温度制御への適用

転炉操業の吹錬においてコントロールしなければならぬ大きなものは前にも述べたが炭素濃度と鋼浴温度の2つである。この2つが同時にコントロールされてはじめて有効な吹錬のコントロールとなる。この温度コントロールを行なうには、まず浴温上昇のメカニズムを正しく把握することが必要なことである。この吹錬過程における浴温上昇のメカニズムを脱炭モデルの考え方を基にして検討した。すなわち製鋼炉内における反応は脱炭反応が主反応であり、その他の種々の反応も、脱炭反応との密接な関連において進行するのであるから反応熱によつ

て浴温が上昇する転炉においては脱炭反応のメカニズムを正確に把握することが浴温上昇のメカニズムを把握することにつながる。したがって、脱炭モデルを中心に、炭素濃度制御と温度制御とを密接に関連づけることが転炉の計算制御に必要である。これらの関係を単純なモデルとして Fig. 18 に示した。図の一番上の(a)は脱炭モデルであり、この脱炭モデルを基準にして3つの時期の発熱量、吸熱量を計算して、温度の上昇をあらわすモデルを決定した。すなわち発熱は第Ⅰ期では脱炭反応以外に Si, Mn, P の酸化によるものも考えられ、実際の吹錬の解析から Si は前半でほぼ 100% 酸化され、Mn, P は第Ⅰ期終了までにほとんど除去されると考え

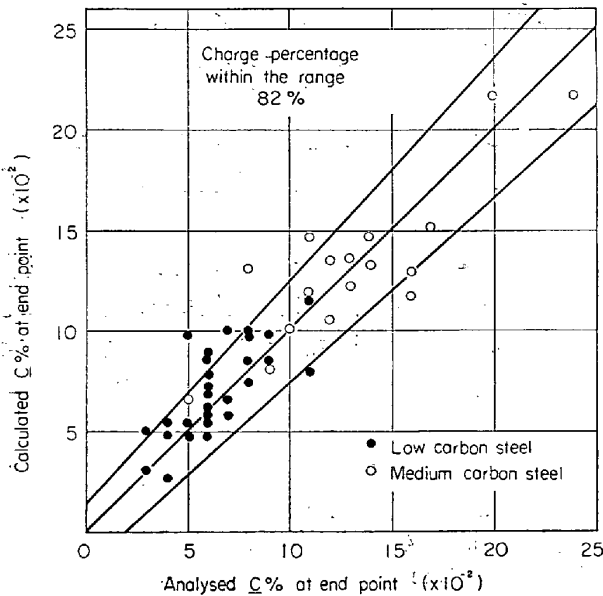


Fig. 16. Comparison of the calculated carbon with the analysed (dynamic control method)

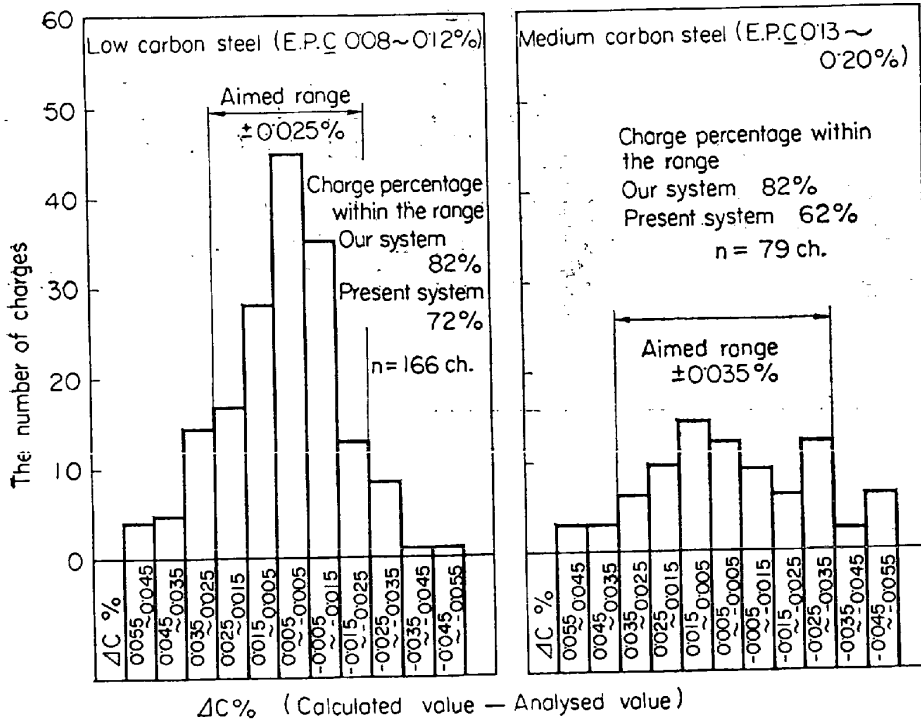


Fig. 17. Distribution of the difference of calculated and analysed carbon ($\Delta C\%$) as the results of the dynamic control.

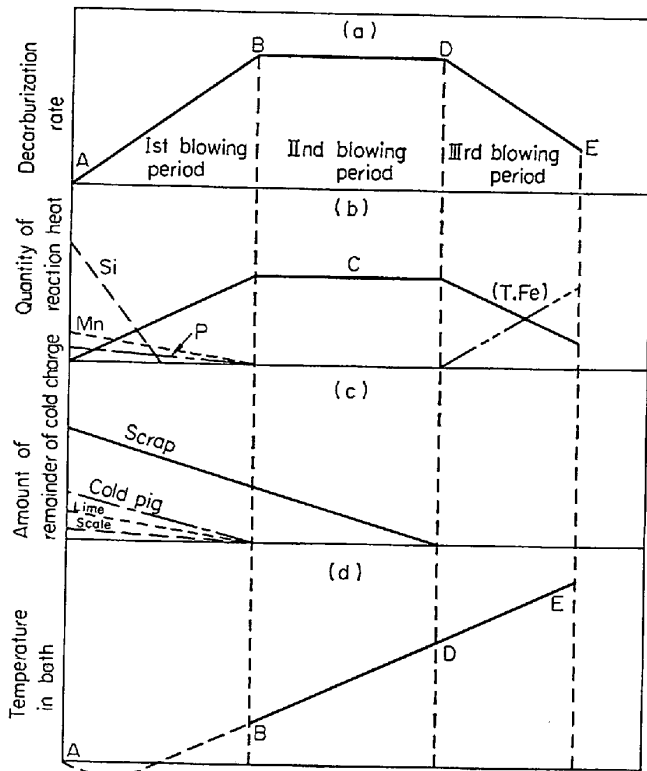


Fig. 18. Correspondence of "the decarburization model" with "the temperature model."

た. 第Ⅱ期の発熱は脱炭に対する酸素効率が100%であることより, 脱炭反応のみによるものと考えられ, さらに第Ⅲ期は反応面へのCの到達量が不足するから酸素効率が落ち, 脱炭速度が低下するにつれて脱炭反応と同時にFeの酸化がはじまる. また吸熱は直接には型銑, 石灰, スケール, スクラップの溶解によるものであり, 型銑, 石灰, スケールは第Ⅰ吹錬期に溶解してしまい, スクラップは第Ⅱ吹錬期の終了までに溶解してしまうと考えた. さらに間接的には排ガスによつて逃げ, また煉瓦を通して放散される熱量は吹錬時期に無関係にほぼ一定と考えた.

以上の発熱, 吸熱を総合して(d)の温度モデルが計算された. この温度モデルはまだ初歩的段階ではあるがこれにより, 鋼浴の昇熱状況が示されるから, 吹錬途中に炉内の浴温測定を行なえばその後の温度は自動的に推定され温度に関するダイナミックコントロールが容易となる.

4. 結 言

製鋼過程における脱炭反応機構について, 実験的研究ならびに平炉, 転炉の操業データの解析を行ない, それをもとにして転炉の吹錬を脱炭反応の特性により3つの時期に区分した脱炭モデルをつくり, この脱炭モデルを用いて, 新しい脱炭モデル方式を創立して, 従来の方式よりもさらに精度が向上することを確認し, 今後の転炉の鋼浴炭素濃度の計算制御についての新しい一つの方向を示すことができた. また同時に脱炭モデルをもとにして, 鋼浴温度の昇熱状況を把握することのできる温度モデルを創立し, 転炉吹錬の中心をなす脱炭反応と温度の計算制御の可能性を見いだした.

文 献

- 1) B. TRENTINI, P. VAYSSIERE and C. ROEDERER: J. Metals, 14 (1962), p. 579
- 2) H. W. MEYEN, J. A. GLASGOW: 74th General Meeting of A. I. S. I., May 25, 1966
- 3) 藤井: 鉄と鋼, 45 (1959), p. 1248
- 4) 勝藤, 丹羽: 鉄と鋼, 40 (1954), p. 973
- 5) 藤井: 鉄と鋼, 46 (1960), p. 12
- 6) L. S. DARKEN: Basic Open Hearth Steelmaking (1951), p. 613, AIME
- 7) 丹羽, 下地, 岸田, 伊藤: Physical Chemistry of process Metallurgy, part 2 (1959), p. 689, AIME
- 8) 藤井, 荒木: 鉄と鋼, 51 (1965), p. 2213
- 9) 藤井, 浦: 鉄と鋼, 51 (1965), p. 1600
- 10) 的場, 不破: 鉄と鋼, 52 (1966) S. 37 または学振19委3842, 第3-140 (S. 41. 12)