

IV. 解析結果の考察

(A) 偏相関係数

(i) 溶銹[P] %: A, C 計算では極めて有意であるが, B, D 計算では有意に出ない. これは溶銹[P]と(P₂O₅)との間に強い単相関があるため(P₂O₅)が有為, 若しくは有意に近く利いて来るためであろう.

(ii) 鉄鉱石: 鉄鉱石は吹錬中に滓に適度の(T, Fe)を供給し, かつ終点温度を低下させるので, 脱Pを促進するとともに復Pを防止する.

(iii) 終点P: いずれの場合も有意水準は1%~0.1% (tで-9.8~-11.6)と極めて高く, 単相関係数(rで-0.49~-0.65)も有意である. 同一吹錬法をとった際0.01%だけより低く終点を下げても約0.005%は復Pしてしまうわけであり, 脱Pに関する研究は, 単に終点[P]についてのみ論ずるだけでは実際作業上の意味が薄くなるといえよう.

(iv) 終点温度: 高度に有意である. したがって終点Pを低くして高温出鋼することは容易ではないが, さらに復P程度を考慮すれば, なお終点時にPを下げなければならない.

(v) 終点酸素圧: C 計算では有意である. これはT, Feとの関係によるものであろう.

(vi) FeMn: 炉内, 鍋内とも有意であるが, 炉内使用の方が偏相関係数も大きく, tの値も高い. この理由は, 炉内では鋼滓層をFe-Mnが貫通すること, 鋼滓の存在下で溶鋼とFe-Mnが反応するのに反し, 取鍋内でFe-Mnが反応する時点では鍋に滓が入らず, 滓と反応しないためと考えられる. これは取鍋内Alおよび層別因子キルド, リムド(換言すれば取鍋内AlおよびFe-Si)が有意に出ないことにもあてはまると考えられる.

(vii) 鋼滓成分: 理論的な推定通りの傾向である. すなわちT, Fe CaO/SiO₂は高い程復Pを防げ(P₂O₅)は逆に復Pを進行せしめる.

(B) 単相関係数

(i) 特性値と要因間については終点[P]のみ有意である.

(ii) 要因間の単相関は多数にのぼり理論的裏付のあるもの, ないもの, ともにあつた. 普通重回帰分析では, 強い単相関のあるものは除いて計算し, 精度を上げるが上記の如く要因間の単相関が錯綜しており, また全く理論的に考えられないもの同志が相関していたりするので, 一応今回は要因をすべてとりあげたが, この問題は, 今後検討する必要がある.

V. 計算および作業への応用

解析結果から復Pの算定式を作ると, たとえば[D計算]で復P%×10³=-78.20+5.738×10⁻¹×溶銹P%-1.346×10⁻³×焼石灰kg-3.878×10⁻³×鉄石kg+2.012×10⁻⁴×螢石kg+2.566×終点[C]%-5.436×10²×終点P%+6.356×10⁻²×終点温度+3.092×10⁻¹×終点O₂圧kg/cm²+1.131×10⁻²×Fe-Mn(炉内)kg+8.291×10⁻³×Fe-Mn(鍋内)kg-6.865×10⁻¹×炉令係

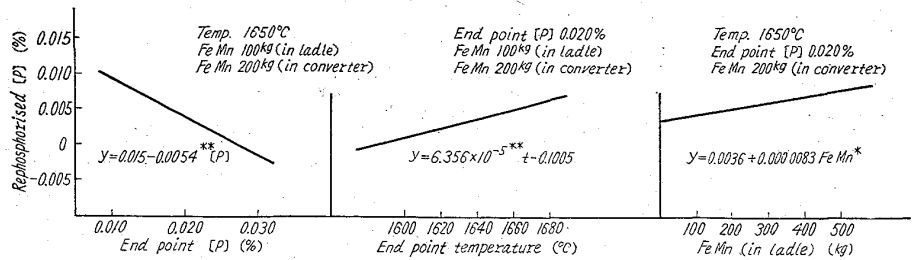


Fig. 2. Influences of end point [P] %, end-point temperature and Fe Mn (in ladle) on rephosphorised [P] %.

数+6.802×10⁻²×Al(鍋内)kg+1.121×(P₂O₅)%-5.822×10⁻¹×(T, Fe)%-1.121×CaO/SiO₂.

終点温度(t)1650°C, 終点P([P])0.020%, 炉内Fe-Mn 200kg, 鍋内Fe-Mn(M₂)100kgとし他の要因は全平均値を代入すると復P%=0.00437である. ここでt[P]M₂をおのおの単独に変動させた時の復P%がFig. 2である. 実際のデータをプロットするとほぼ一致する. つぎにある温度でPを目標素鋼成分値にするには, 上記の式より復Pを計算して終点P%を決定し実操業に使用している.

VI. 結 言

(i) 今回の調査で終点P%終点温度, Fe-Mn投入量(炉内, 鍋内), T, Fe, CaO/SiO₂, 溶銹P%, 鉄鉱石, 終点酸素圧が復Pに影響することが判明した.

(ii) 目標成分および製鋼条件より終点時の必要十分なP%が決るのでPの規格外れ乃至は規格上限一ぱいの素鋼P%をうる事がさけられるようになった. 調査研究の前後でキルド管材の素鋼P%が0.0255%より0.0186%に低下している.

(iii) 復Pを減少するための要因中溶銹P, 終点温度等その値を変更しえないものが多いので本解析による管理以外に, 更に復P低下の積極的な技術的アクションを研究するべきである. 現在a) 滓絞りの強化, b) 滓硬化石灰の使用, c) FeSi-Coke 昇熱法等を採用して復P抑制に効果をあげている.

669,184,244,66:669,184,232,142

=669,012,1-52:681,38

(65) 純酸素転炉終点決定計算機に

ついて

63065

(純酸素転炉の計算機制御の研究-I)

富士製鉄広畑製鉄所

410~412

渡辺 省三・平尾 英二・本間 悦郎

大久保静夫・○古垣 一成

Computer for Controlling the End-Point Temperature.

(Study on computer control of L. D. process - I)

Shōzō WATANABE, Eiji HIRAO,

Etsuro HONMA, Shizuo OKUBO

and Issei FURUGAKI.

I. 結 言

純酸素転炉の計算機制御の可能性は早くから論ぜられ

ており、それは今後の純酸素転炉製鋼法の進歩に一時期を画するものと考えられ、各方面から注目されている。富士製鉄においても広畑転炉工場操業開始後間もなく純酸素転炉の計算機制御の研究に着手し、横河電機(株)との共同研究により 1962 年 6 月我国はじめての純酸素転炉専用の計算機(純酸素転炉終点決定計算機)が広畑転炉工場に設置された。当初は機器の調整と過去の操業データの解析を行なった後、一定期間実操業に試用し、それらの結果にもとずいて実用に適するように改造を行なつて同年 11 月より本格的に実操業に用いている。

本計算機は試作一号機であり、従来の方法より優るとはいえ、可成りの問題点を有している。そして将来完成された形の純酸素転炉の自動制御の捨石となるべきものであるが、現段階では一応の成果を得るに至つたので、その概要を報告する。

II. 純酸素転炉終点決定計算機

(1) 機器概要

本計算機は純酸素転炉の装入原料ならびに終点温度決定を行なう 400 サイクル交流方式アナログ計算機である。その機能は大別するとつぎの二つに分けられる。

(a) 各装入原料成分ならびに重量より純酸素転炉の物質精算、熱精算モデルにしたがつて、(i) 酸素量、(ii) 吹錬時間、(iii) 出鋼温度、(iv) 塩基度、(v) 出鋼量、(vi) 鋼滓量を求める。

(b) 自動平衡を用いて、(i) 塩基度を指定して必要石灰量を求める。(ii) 出鋼温度を指定して各種冷却材の重量を求める。(iii) 酸素量、吹錬時間を求める。

(a) は主として操業データの解析に有用であり、実用の時は (b) のほかに (a) の数項目を殺して他の実用的な数項目を追加している。

筆者らがこのような計算機を設計した理由は、アナログ計算機は比較的廉価であり、小容積のため現場に設置が容易である。特に自動平衡方式は各種要因の相互変動の状況を連続的に直読できるので非常に便利である。また本計算機の算機精度は 0.2% 以内であり、実績では 1 チャージにつき酸素量で $\pm 8 \text{ m}^3$ 以内、出鋼温度では $\pm 1.5^\circ\text{C}$ であり実用上満足すべきものである。各種の比熱、発熱量、副原料成分についてもほとんど全てパネル内面でダイヤルセットできるようになっている。これによつて熱化学定数はいろいろな文献値が報告されているが、最も適当な値に設定し、また副原料成分の変動にも適応することができる。

(2) 数式モデル

本計算機に用いている数式モデルの主要なものの概要を Table 1 に示す。主変数 19 項目、補助変数 23 項目解答の 9 項目で、考えられるほとんど全ての要因を取

Table 1. Mathematical model applied to a computer for controlling the end-point temperature.

1) Oxygen consumption (F)	$F = (\text{Oxygen for elimination of impurities in hot metal and cold pig}) - (\text{oxygen in mill scale and iron ore}) + (\text{oxygen combined with iron oxide})$
2) Blowing time (t)	
3) Weight of slag (W_{slag})	
4) Weight of steel (W_T)	
5) End-point temperature (T_M)	$T_M = \frac{(\text{Heat input}) - (\text{heat loss})}{(\text{Specific heat of steel} \times W_T)}$
6) Basicity (B)	$B = \frac{(\text{CaO in slag}) - (1.577 \text{ P}_2\text{O}_5 \text{ in slag})}{(\text{SiO}_2 \text{ in slag})}$

入れ統計的方法によつて各定数は最適の値に設定した。

(3) 終点温度調整
広畑転炉工場における従来の終点温度調整の実績は Fig. 1 に示すごとく目標出鋼温度の $\pm 10^\circ\text{C}$ の範囲に適中したもの約 73%、 $\pm 10^\circ\text{C}$ 以外でも (ほとんど $\pm 15^\circ\text{C}$ 以内) 冷却あるいは再吹錬などの処理を講じることなくそのまま出鋼を可とした終点温度合格チャージを含めると約 83% になる。残り約 17% の終点温度不合格チャージについてその原因を綿密に調査した結果によると約 1% は原因不明、約 2% は作業上止むを得ないものであるが、それ以外については終点温度不合格の原因をつぎの三つに大別することができる。

(a) 吹錬諸要因の変動によるもの、種々あるが主要なものは鋼滓の (T. Fe)、排ガスの $\text{CO}:\text{CO}_2$ の変動その他の炉況の変動によるもの、約 6%。

(b) 溶銑成分の変動によるもの、溶銑成分の急変や溶銑のサンプリング、分析誤差も含まれる、約 5%。

(c) 吹錬者の計算誤り、感ちがいなどによるもの約 3%。上記は従来の計算方法によつたものである。これは屑鉄配合率一定で計算尺を用いて終点温度に影響する因子として溶銑温度と溶銑成分については [Si] のみを対象としてその熱効果を屑鉄配合率に換算して、同様に

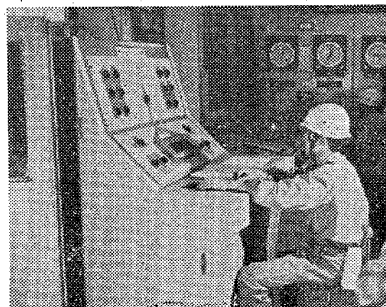


Photo. 1. A view of the computer controlling the end-point temperature.

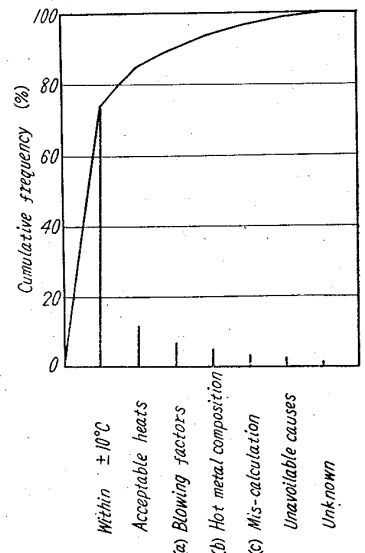


Fig. 1. Pareto curve for control of the end-point temperature without the aid of a computer.

換算された値により冷却材使用量を決定する方法である。その他の熱効果については一定の基準若しくは経験的に補正されている。また純酸素転炉は比較的現象の再現性がよいので、以前のチャージ特に前回の実績は重要な情報を与えるのでこれによつても有機的に補正されている。

本計算機による場合、現段階では上記の方法と本質的な相違はないが、つぎのごとき利点がある。本計算機による時、迅速かつ正確な計算を行なうことができるので、(c)の人的誤りが少なくなつたのが第一の効果であり、吹錬者の負担も軽減される。(b)の装入溶銑成分の適確な把握は計算機制御以前の重要な問題であるが、従来 [Si] の熱効果のみ対象としていたのに対し、計算機による時 [C], [Mn], [P] をも対象とすることができるので熱精算の温度は一層向上する。終点温度不合格の最大の原因である (a) の吹錬諸要因の変動については非常に複雑であつて、計算尺による方法に含ませることは到底無理であるが、本計算機による時は綿密な計算を容易に行なうことができる。

この他、純酸素転炉吹錬においてはランスノズルの形

状および履歴のような終点温度に影響する因子がいくつかあるが、これらの変動は定常的なものではないので、母数として計算式に取入れることは非常に難しい。またわれわれが工業計器類から得る量は絶対値測定のものではなく、比較値であるため、計算機による計算を実状に適合するように順応修正して行くことも重要であつて、各種の補正ダイヤルによつて行なつている。さらに上記のごとき機能を十分に発揮させるには使用するデータの信頼度の高いことが前提条件であり、特に計測および分析技術の向上が要求される。

III. 結 言

以上のごとく、富士製鉄広畑転炉工場に設置した純酸素転炉終点決定計算機についてその概要を説明し、あわせて終点温度調整について略述した。

計算機制御を実操業に導入して終点温度適中率向上の実効を得るためには多くの重要な問題があり、溶銑成分および吹錬諸要因変動の適確な把握が重要である。さらに本質的な問題として分析および計測面の総合的技術の向上が要望され、将来オンラインの計算機制御のため研究を進めている。