

する予備還元鉄を、焼結鉄または輸入精鉄と代替装入する試験を行ない、次の結果を得た。

(1) コークス比は予備還元鉄 10% 使用について、焼結鉄と代替したときは 15 kg/t、輸入鉄石と代替したときは 20 kg/t 低下する。

(2) 出鉄量はコークス比低下の結果 4~4.5% 上昇した。増風の可能性はないと推定される。

文 献

- 1) B. MELCHER: J. Metals, (1963) April, p. 298
- 2) 児玉他: 鉄と鋼, 51 (1965), p. 1763
- 3) 児玉他: 第71回講演大会

669.162, 267.4, 662, 753.3  
(36) 重油の置換率について

(溶鉄炉操業の改良に関する研究—Ⅶ)

住友金属工業, 中央技術研究所

工博○中谷 文忠・中村 文夫

Consideration on an Oil Per Coke Replacement Ratio.

(Studies for the improvement in the blast furnace practice—Ⅶ)

Dr. Fumitada NAKATANI and Fumio NAKAMURA.

1. 緒 言

前報<sup>3)</sup>において、従来の重油の置換率の算定方法は信を置き難いということ指摘し、炭素精算から重油の置換率を求める理論的算出法を誘導し報告した。

本稿は重油吹込み前後において炉頂ガス比 ( $\gamma = \text{CO}/\text{CO}_2$ ) 一定と仮定し、直接還元率 (D.R.) が変化した場合の重油の置換率につき理論的考察を行なったものである。

2. 重油の置換率に対する理論的考察

2.1 重油吹込み前後において D.R. が変化しない場合 Fig. 1 の I に図示したように、鉄 1kg atom に対し溶鉄炉内で還元すべき酸素量を  $n$  kg atom とし、重油を吹

き込まない場合には  $n'$  kg atom の酸素が C による直接還元により、残りの  $(n-n')$  kg atom の酸素が CO による間接還元によりそれぞれ奪われて鉄が生産されるものとする。

重油吹込みによつて生じた  $\text{H}_2$  により間接還元を受け酸素量が I A のごとく  $n''$  kg atom であり、この  $\text{H}_2$  によつて分担された還元酸素量だけ CO による間接還元を代行置換する。換言すれば D.R. が変化しないで、 $\text{H}_2$  により還元される酸素量に相当するだけ間接還元で働らく CO 量が少なくてすむと考えた場合は以下前報<sup>3)</sup>に示したとおり、

重油を吹き込まない場合の所要炭素量  $X$  は  

$$X = (n-n')(1+\gamma) \text{ kg atom C/kg atom Fe} \dots (1)$$

重油吹込み後の所要炭素量  $X'$  は  

$$X' = (n-n'-n'')(1+\gamma) \text{ kg atom C/kg atom Fe} \dots (2)$$

したがつて、重油吹込みにより  $\gamma$  および D.R. が変動しないとすれば、 $X-X'$  と重油中の炭素量との合計が、吹込み後の炭素量の節減を示すことになる。

鉄 1 kg atom 当り吹き込まれた重油中の炭素量を  $a$  とすれば、 $a = (Y \times A) / 12 \text{ kg atom} \dots (3)$

ここで、 $A$ : 重油中の炭素の分率、 $Y$ : 重油量 (kg/kg atom Fe)

ゆえに、重油吹込みによる炭素節減量は (1)~(3) 式から

$$(X-X') + (Y \times A) / 12 = n''(1+\gamma) + (Y \times A) / 12 \text{ kg atom C/kg atom Fe} \dots (4)$$

水素 1 mol は鉄石中の酸素 1 g atom を奪つて 1 mol  $\text{H}_2\text{O}$  となるから、水素の炉内利用率 ( $\text{H}_2\text{O}/\text{H}_2 + \text{H}_2\text{O}$ ) を 100  $\eta\%$  とすると、水素によつて奪われた酸素量は (5) 式に示す。

$$n'' = (Y \times B \times \eta) / 2 \text{ kg atom O/kg atom Fe} \dots (5)$$

そこで、 $B$ : 重油中の水素の分率である。

(4) 式は結局次のようになる。

$$(Y \times B \times \eta) / 2(1+\gamma) + (Y \times A) / 12 \dots (6)$$

ゆえに、重油の置換率;  $R$  は吹込み前後の炭素節約量を吹込重油が全部炭素であるとみなした量で除すことによつて以下のごとく求められる。

$$R = 6B\eta(1+\gamma) + A \dots (7)$$

2.2 重油吹込み前後において D.R. が変化した場合

2.2.1 重油中の水素による間接還元の分だけ D.R. が減少する場合

もし重油吹込みを実施しても CO による間接還元が変化しないで重油の  $\text{H}_2$  によつて還元される分だけ D.R. が減少すると考えた場合の置換率は次のごとくなる。

重油吹込み後、Fig. 1 の I B (a) に示すごとき場合の所要炭素

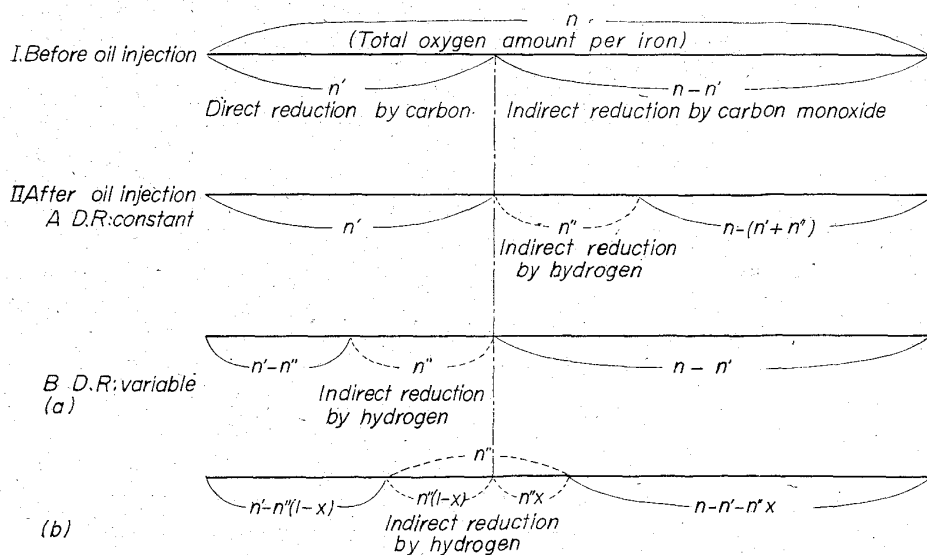


Fig. 1. Illustration of dividing  $n$  value to indirect reduction by CO,  $\text{H}_2$  and direct reduction by carbon.

量  $X'$  は

$$X' = (n - n'')(1 + \gamma) \{1 - (n' - n'') / (n - n'')\} \\ = (n - n')(1 + \gamma) \text{ kg atom C/kg atom Fe} \dots (7)$$

(7)式は結局(1)式と全く同一である。このことは重油から生じた  $H_2$  により間接還元が遂行されても、それが吹込み前の C による直接還元の部分を置換するのであれば、 $H_2$  で還元された分を除いた部分  $(n - n'')$  を還元するに要する炭素量は少しも減少しないことを意味する。一見奇異感を与えるかもしれないが、このことはたとえ還元すべき酸素量が減少しても、D.R の減少によつて炭素比が増加することの証明でもある。

この場合の置換率は単に重油中の炭素の分率と同じ  $R = A \dots (8)$

2.2.2 重油からの水素による間接還元のうち、一部が CO による間接還元を代行し、残部が C による直接還元を少なくするように効いた場合

これまで重油の分解により生じた  $H_2$  による間接還元の分だけ CO の間接還元、あるいは C による直接還元が減少する場合の置換率についてそれぞれ述べてきた。しかしながら、重油からの  $H_2$  が受け持った間接還元の内その一部が CO の間接還元を代行し、残りの部分は C による直接還元を少なくするように働いた場合がより一般的であると思われるゆえ、この場合につき以下考察する。

この場合には Fig. 1 の IB(a) に示す関係があるから、“ $x$ ” を  $n''$  の内 CO による間接還元を代行する割合とすれば、吹込み後の所要炭素量  $X'$  は次のようになる。

$$X' = (n - n'')(1 + \gamma) \{1 - [n' - n''(1 - x)] / (n - n'')\} \\ = (n - n' - n''x)(1 + \gamma) \text{ kg/atom C/kg atom Fe} \dots (8)$$

したがつて、吹込み前後の所要炭素量の差を求めると  $X - X' = n''x(1 + \gamma) \text{ kg atom C/kg atom Fe} \dots (9)$

上の(9)式に  $n'' = n''x + n''(1 - x) = (Y \cdot B \cdot \eta) / 2$  の関係を入れて

$$X - X' = \{(Y \cdot B \cdot \eta) / 2 - n''(1 - x)\} (1 + \gamma) \dots (9)'$$

ゆえに重油由来の炭素量を考慮した重油の置換率は

$$R = \frac{\{(Y \cdot B \cdot \eta) / 2 - n''(1 - x)\} (1 + \gamma) + (Y \cdot A / 12)}{Y / 12} \\ = 6B\eta(1 + \gamma) - \{12n''(1 - x)(1 + \gamma)\} / Y + A \dots (10)$$

上(10)式は(7)式から  $\{12n''(1 - x)(1 + \gamma)\} / Y$  なる値を差し引いたもので、結局この値が問題である。後述するように、“ $x$ ”を熱精算の手法で一意的に決定し、 $n''$  も  $\eta$ ,  $Y$  などの条件が与えられれば求め得るから、 $\gamma$  が重油吹込み前後で不変だと仮定した場合の置換率  $R$  と重油吹込量  $Y$  との関係は、直角双曲線を平行移動したもので示される。

### 2.3 考察

今吹き込まれた重油量に対して十分な酸素が熱風中に存在し、羽口前で完全燃焼し、吹込み前後において  $\gamma$  が一定と仮定した場合の重油の置換率に関する 2, 3 の考察検討を試みることにする。

羽口前で重油が分解して生じた  $H_2$  は炉内で間接還元

を分担する。そしてこの  $H_2$  による間接還元によつて奪われた酸素量に相当するだけ、

i) CO による間接還元酸素量を少なくする。

ii) C による直接還元酸素量を少なくする。

iii) CO による間接還元酸素量と C による直接還元酸素量との双方を少なくする。

以上 3 組が重油吹込操業実施に際して考えられる事態であり、溶鉱炉に実際重油を吹き込んだ場合に i), ii) および iii) のいずれに従つて挙動するかが問題だが、これに関しては次のごとく考えられる。

重油が羽口前で C と  $H_2$  に熱分解し、 $H_2$  による間接還元を受け持つのは両方ともに吸熱反応であるから、重油吹込み前に比較して吹込み後もなんら熱補償の手段を講じなければ、炉内における熱バランスが維持不能となる。

したがつて、炉内においては吸熱反応たる C による直接還元が減少し、発熱反応たる CO による間接還元が増加する方向に移行して、重油吹込みによる吸熱を補償しようとするように、炉内において反応形態が移行するものと考えられる。

もし重油吹込みにより変化した吸熱量に対応する熱量を送風温度上昇などの手段で補償してやれば、少なくとも熱バランスを維持することになり、重油吹込み前後における D.R の変化はない。この場合の重油の置換率は 2.1 で考察したとおりであつて、 $R = 6B\eta(1 + \gamma) + A$  で示される最高の値をとる。

そして吹込み重油量を漸次増加して行くと、必要な熱補償量も順次増大する。しかしながら、送風温度上昇による送風頭熱の増加には熱風炉能力・耐火物などの点でおのずら限界があり、ついには送風温度上昇などの外的手段では熱補償が不可能になるであろう。結局、それ以上の重油吹込みに対しては吹込み前の D.R を維持できなくなつて、D.R の低下による余裕熱量により熱バランスを保持しようとする。このようにして重油の置換率は iii) へ移行して低下していくことになる。

そこで、次のような場合を想定して詳細な検討を試みた。すなわち送風温度上昇による熱補償の制限内における吹込み重油中の  $H_2$  はすべて CO による間接還元を代行し、それ以上の重油を吹込んだ場合には、重油由来の  $H_2$  による間接還元が C による直接還元ならびに CO による間接還元の双方に相当する還元すべき酸素量を減少させた場合を論ずる。具体的な数字を呈示したほうが説明に好都合だから、以下前提条件を付して説明する。

- 1) 重油吹込み前の基準送風量: 1400 Nm<sup>3</sup>/t
- 2) " 基準送風温度: 900°C
- 3) " 炉頂ガス比:  $\gamma = 1.38$ ,  
 $\eta_{CO} = 0.42(\text{const})$
- 4) " 直接還元率: D.R = 0.40
- 5) " 理論炭素比: 439.5 kg C/t ( $n = 1.50, 3, 4$ ), 955 kg Fe/t を考慮し  $X = n(1 + \gamma)(1 - D.R)$  で求めた)
  - a) 重油吹込み後の送風温度: 1000°C (100°C 上昇)
  - b) " 水素利用率:  $\eta_{H_2} = 0.40$ ,
  - c) " 送風量・直接還元率・理論炭素比 900°C なる基準送風温度から 100°C 上昇させること

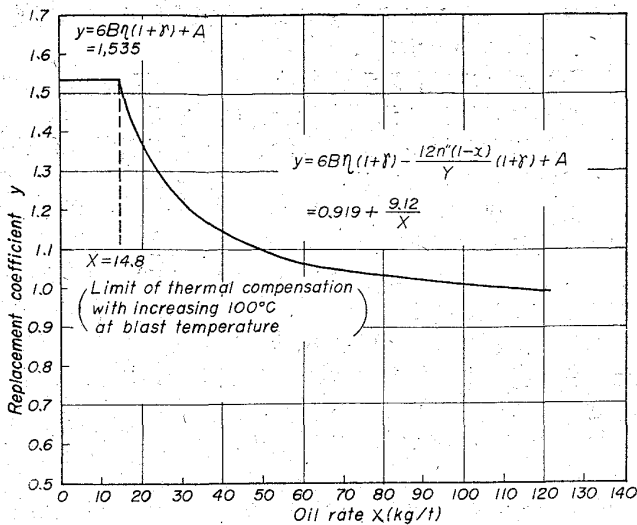


Fig. 2. Relation between oil rate and replacement coefficient.

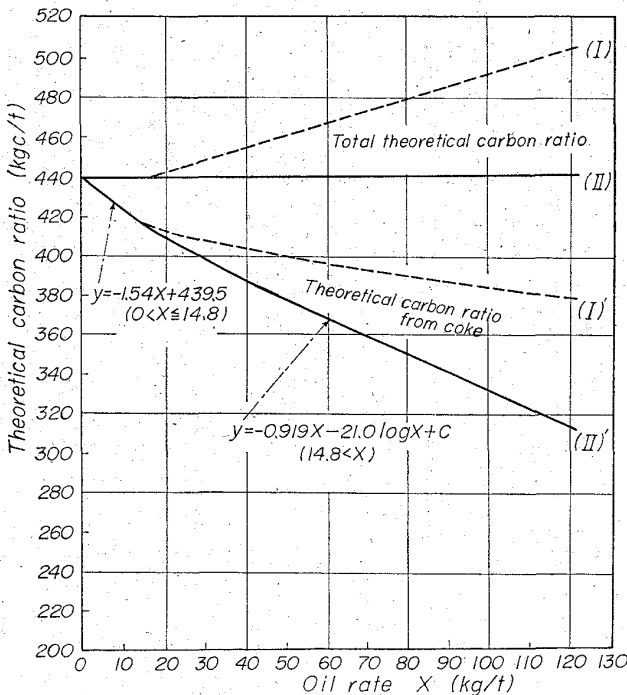


Fig. 3. Relation between oil rate and theoretical carbon ratio.

により、 $\eta_{H_2} = 0.40$ 、 $\eta_{CO} = 0.42$  における  $D.R. = 0.40$  (const) の場合の送風顕熱の増加に伴う重油吹込量を試算すると  $14.8 \text{ kg/t}$  であるから、この吹込量までの置換率  $R$  は (7) 式に上述の条件値と  $A = 0.85$ 、 $B = 0.12$  を代入すると次のごとし:

$$R = 6 \times 0.12 \times 0.40 \times 2.38 + 0.85 = 1.54$$

$14.8 \text{ kg}$  以上の重油吹込みの場合、 $D.R. 1\%$  に相当する酸素量は  $4.1 \text{ kg/t}$ 、したがって  $FeO \rightarrow Fe$  なる還元に対応する鉄量は  $0.256 \text{ kg atom}$  となる。重油  $\text{kg}$  当りの有効水素量は  $0.06 \times \eta_{H_2} \text{ kg mol}$  だから、 $\eta_{H_2} = 0.40$  とすれば  $0.256 / (0.06 \times 0.40) = 10.7 \text{ kg}$  の重油吹込量が  $D.R. 1\%$  ( $n/100 = 0.015$ ) に対応する。(10) 式の “ $x$ ” 値を

熱精算的手法で試算すれば、これらの条件下では  $x = 0.100$  となり、結局 “ $x$ ” 値は熱補償の限界以上の吹込量について言えば一定な値をとる。

今、重油吹込量を  $X \text{ kg/t}$  とすると、上記の諸関係を (10) 式に代入して  $R$  と  $X$  の関係式を求めると次のごとくなる。

$$R = 6B\eta(1+\gamma) - \{12n''(1-x)(1+\gamma)\}/Y + A \dots (10)$$

$$= 0.671 - \frac{12 \times \{X - 14.8\} / 10.7 \times 0.015 \times 0.900 \times 2.38}{X/17.1} + 8.50$$

$$= 0.919 + 9.12/X \quad (X > 14.8) \dots \dots \dots (11)$$

(11) 式は直角双曲線  $y = 9.12/X$  を平行移動したもので、漸近線  $y = 0.919$  に限りなく接近していくが、通常の重油吹込操業は双曲線の曲率大な領域であるから、熱補償のいかんによつては重油の置換率に著減があるとする報告例もこのように解釈すれば首肯できる。

各吹込量に対して (7) および (11) 式を用いて計算した置換率の値をプロットしたものが Fig. 2 であり、それを用いて理論炭素比と重油比との関係を Fig. 3 に示した。

Fig. 2 および 3 からこれまで述べた事柄が明瞭だが、 $D.R.$  の低下による理論炭素比の悪化は各操業点で差異があるが顕著であり、しかも置換率を高水準に維持するためには極力重油吹込み前の  $D.R.$  値に維持する必要があることから、高温送風による操業法の利益が考えられるべきであろう。

### 3. 結 言

重油の完全燃焼、炉頂ガス比  $\gamma = \text{const}$  と仮定した場合の重油の置換率について考察を行なった。

(1) 羽口前で生じた重油由来の  $H_2$  による間接還元酸素量に相当するだけ、i)  $CO$  による間接還元酸素量を少なくする場合;  $R = 6B\eta(1+\gamma) + A$ , ii)  $C$  による直接還元酸素量を少なくする場合;  $R = A$ , iii)  $CO$  による間接還元酸素量と  $C$  による直接還元酸素量の双方を少なくする場合;  $R = 6B\eta(1+\gamma) - \{12n''(1-x)(1+\gamma)\}/Y + A$  でそれぞれ示される。

(2) 重油吹込みによつて招来した吸熱量を送風顕熱などで完全に補償してやれば i) で示す置換率となり、補償が不十分であれば iii) で示す置換率となるであろう。

(3) 重油吹込み後  $D.R.$  が送風温度上昇による熱補償の限界内では変化せず、それ以上の吹込量では低下すると仮定した場合の置換率と重油比の関係につき、前提条件値を賦与した一例を示せば  $R = 0.919 + 9.12/X$  ( $X > 14.8$ )

### 文 献

- 1) 中谷, 他: 鉄と鋼, 49 (1963) 3, p. 316
- 2) 中谷, 他: 鉄と鋼, 49 (1963) 3, p. 319
- 3) 中谷, 他: 鉄と鋼, 50 (1964) 3, p. 373
- 4) 中谷, 他: 鉄と鋼, 50 (1964) 3, p. 376
- 5) 中谷, 他: 鉄と鋼, 50 (1964) 11, p. 1604
- 6) 中谷, 他: 鉄と鋼, 51 (1965) 4, p. 689
- 7) 中谷, 他: 鉄と鋼投稿中