

9) 金属便覧 (丸善, 1960), p. 2
 10) "Selected Values of Chemical Thermodynamic Properties" (U.S. Natl. Bur. Standards, Ser. II, 1948-49)
 11) F. D. RICHARDSON & W. E. DENNIS: Trans. Faraday Soc., 49 (1953), p. 171
 12) A. RIST & J. CHIPMAN: Rev. Mét, 53 (1956), p. 796
 13) S. BAN-YA & S. MATOBA: "Physical Chemistry of Process Metallurgy. Part I" (AIME, 1961), p. 373
 14) K. SANBONGI & M. OHTANI: Sci. Rep. R. I. Tohoku Univ. Ser. A. 5 (1953), p. 263
 15) 丹羽貴知蔵, 下地光雄, 新明正弘: 学振19委6544 (1961) 12月
 16) C. BENEDICKS, N. ERICSSON & G. ERICSON: Arch. Eisenhüttenw, 3 (1930), p. 473

溶融鉄-ニッケルおよび鉄-クロム系 合金中の炭素と酸素の活量について*

後藤和弘** · 萬谷志郎*** · 的場幸雄***

Activity of the Carbon and the Oxygen in Molten Iron-Nickel and Iron-Chromium Alloys.

Kazuhiro GOTO, Shiro BAN-YA and Sachio MATOBA

Synopsis:

The equilibrium of CO-CO₂ gas mixture with the carbon and the oxygen in molten iron-nickel and iron-chromium alloys was studied in the range of 0~100% Ni and 0~30% Cr at 1560°C, and following experimental results were obtained:

1. The relationships between the activity coefficients of the carbon or the oxygen and dissolved elements are expressed by the following equations.

$$\partial \log f_c^{(Ni)} / \partial \% Ni = 0.011 \dots \dots \dots < 70\% Ni$$

$$\partial \log f_c^{(Cr)} / \partial \% Cr = -0.033 \dots \dots \dots < 25\% Cr$$

$$\partial \log f_o^{(Ni)} / \partial \% Ni = 0.005 \dots \dots \dots < 60\% Ni$$

2. The product of the carbon and the oxygen in molten iron is decreased by addition of nickel, while it is increased by addition of chromium.

I. 緒 言

ニッケルおよびクロムを含む鉄合金は、不銹鋼、耐熱鋼などその他広く特殊鋼材料として使用されており、その溶解精錬過程における溶鋼中炭素および酸素の挙動については多くの興味もたれる。溶融鉄-クロムおよび鉄-ニッケル系合金の炭素の活量については、すでに F. D. RICHARDSON & W. E. DENNIS¹⁾ および T. FUWA & J. CHIPMAN²⁾ らによる CO-CO₂ 混合ガスと溶鉄中炭素との平衡測定および電気化学的測定法による大谷、三本木³⁾ の報告があり、また酸素の活量については H₂-H₂O 混合ガスとの化学平衡より測定した H. CHEN & J. CHIPMAN⁴⁾, E. T. TURKDOGAN⁵⁾, H. A. WRIEDT & J. CHIPMAN⁶⁾, 坂尾, 佐野⁷⁾ および的場, 桑名⁸⁾ らに

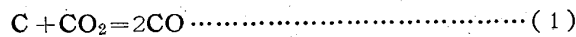
よる測定があるが、炭素および酸素の関係を総合的に研究したものとしては十分なものがない状態である。

著者らはさきに CO-CO₂ 混合ガスと溶鉄中炭素および酸素間の平衡関係を広い濃度範囲にわたり測定し、その活量および活量係数を求め本誌に報告⁹⁾ したが、これに引き続いてニッケルおよびクロムを添加した系について、同様の測定を行ない、炭素および酸素の活量係数におよぼすニッケルおよびクロムの影響を求めた。

本研究における測定範囲は CO-CO₂ ガス混合比 $P_{CO}^2 / P_{CO_2} = 120 \sim 500$ 合金元素 Ni=0~100%, Cr=0~30

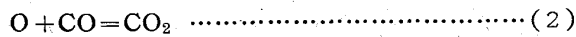
* 昭和36年10月本会講演大会にて発表
 ** 東京大学工学部冶金科 Ph. D.
 *** 東北大学工学部金属工学科, 工博
 *** 富士製鉄株式会社, 工博

%, 測定温度 1560°C であり, 各金属酸化物の析出しな
い範囲である. したがってその化学反応式は純 Fe-C-O
系平衡と同様に次の (1) (2) (3) 式で示される. また
本系における真の平衡恒数を K , 純 Fe-C-O 系の高
炭素濃度における見掛け上の平衡恒数を K' , 合金元素
を添加した場合のそれを K'' , 無限稀薄溶液に基準をお
いた炭素の活量を a_c , 炭素の活量係数におよぼす共存
元素の影響を $f_c^{(1)}$ とすれば, これらの関係は次式のご
とく示される.



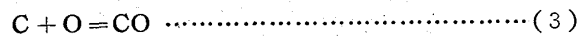
$$K_1'' = P_{\text{CO}}^2 / P_{\text{CO}_2} \cdot \% \underline{C} \dots\dots\dots (1-a)$$

$$\log a_c = \log \% \underline{C} + \log f_c^{(C)} + \log f_c^{(O)} + \log f_c^{(1)} \dots\dots\dots (1-b)$$



$$K_2'' = P_{\text{CO}_2} / P_{\text{CO}} \% \underline{O} \dots\dots\dots (2-a)$$

$$\log a_o = \log \% \underline{O} + \log f_o^{(O)} + \log f_o^{(C)} + \log f_o^{(1)} \dots\dots\dots (2-b)$$



$$K_3'' = P_{\text{CO}} / \% \underline{C} \cdot \% \underline{O} \dots\dots\dots (3-a)$$

$$m'' = [\% \underline{C}] \times [\% \underline{O}] \dots\dots\dots (3-b)$$

上式において, 本研究における測定結果および著者ら
の前報における純 Fe-C-O 系の測定値⁹⁾ を組み合わせれ
ば, 溶鉄中の炭素および酸素の活量係数におよぼす添加
元素の影響 $f_c^{(1)}$, $f_o^{(1)}$ を求め得る.

II. 実験方法

実験装置および方法は著者らの前報⁹⁾ における純 Fe-
C-O 系平衡測定とほぼ同様で大略次のごとくである.

1. 実験装置および材料

CO₂ ガスはボンベガスを用い, CO ガスは熱硫酸に蟻
酸を滴下して作り, おのおの十分精製し, 毛細管流量計
で流量を調節して混合し, おおよそ 200cc/mn の割合で
反応管内に送り込む. CO-CO₂ ガス混合比の検定は, 液
体空気を使用する減圧容量法により行なう. 反応管は内
径 38mm φ の不透明石英製であり, 溶解用炉は 20kVA
水銀間隙式高周波炉を使用し, 温度測定は光高温計を用
いた.

試料は電解鉄を真空溶解した純鉄棒 (20mm φ, Si=
0.01%, Mn=0.008%, P=0.01%, S=0.002%), 実
験室で作製した白鉄, および電解ニッケル, 電解クロム
を適宜配合し, 溶解量は毎回 40~45g である. 使用し
た坩堝は内径 20mm φ, 高さ 5cm で, 実験室にて作
製した MgO 坩堝または CaO 坩堝を使用した.

2. 実験操作

適宜に配合した試料を入れた坩堝を反応管内に装入し
反応管内のガスを一定混合比の CO-CO₂ 混合ガスで置
換後, 高周波炉で加熱溶解し, 15mn 程度で実験温度ま
であげ, その後 CO-CO₂ ガスを流した状態で 4~5h 実
験温度に保持する. 平衡到達後は炉の電流を切り, 試料
を下部にさげて急冷する. ガス混合比 $P_{\text{CO}}^2 / P_{\text{CO}_2} = 150$
以下では電流を切る 10~15s 前に約 0.5% の Al を
添加して試料を鎮静する必要があつたが, これ以上のガ
ス比では, 上述の急冷法のみで十分緻密な試料が得られ
た.

3. 試料化学分析

急冷した試料は表面の耐火物を削り落した後, 偏析の影
響をさけるため中心より四等分し, これを分析試料とし
た. 分析法はニッケルはジメチルグリオキシムを使用す
る重量法, クロムは過マンガン酸カリによる酸化還元滴
定法, 炭素は燃焼重量法, 酸素は真空溶融法により行な
つた. 酸素分析の再現性は $\pm (0.06 \times [\% \underline{O}] + 0.0002)$
% \underline{O} である.

III. 実験結果および考察

実験の初期においては, 溶鉄中炭素のみに着目し, 酸
素分析試料を採取しなかつたため, 溶鉄中酸素に関する
実験結果は少く, その結果は必ずしも十分なものとはい
えないが上述 (1) (2) (3) 式の見掛け上の平衡恒数と添
加元素との関係を Fig. 1, 3, 6, 8, 10 にそれぞれ示し
た. またこれらの値より溶鉄中炭素酸素の活量係数にお
よぼす添加元素の影響を求めた.

1. 炭素の活量係数におよぼすニッケルの影響

溶鉄中炭素と CO-CO₂ 混合ガス間の反応式は (1)
式のごとくであり, 溶鉄中各成分の濃度をモル分率で現
わした時の (1) 式の見掛け上の平衡恒数 $\log K_1'' (= P_{\text{CO}}^2 / P_{\text{CO}_2} \cdot N_c)$ とニッケル濃度 (N_{Ni}) との関係を示せば
Fig. 1 のごとくである. すなわち一定 CO-CO₂ 混合ガ
スと平衡している溶鉄相中にニッケルを添加すれば, 平
衡炭素量は低下し, その結果 $\log K_1''$ の値はほぼ直線的
関係で増加するが, ニッケル濃度 0.72~0.75Ni (約 75
~80%Ni) に最大値を持つ特異な曲線を示す. 同様な現
象は鉄-ニッケル系合金の炭素飽和溶解度を測定した
TURKDOGAN, HANCOCK, HERLITZ & DENTAN¹⁰⁾, 不破,
藤倉, 的場¹¹⁾の研究, および鉄-ニッケル系合金のオース
テナイト中炭素の活量を測定した R. P. SMITH¹²⁾ の
研究にも報ぜられている. 本研究における上述最大値附
近の炭素濃度は 0.1% C 前後で, その相対的変化量が

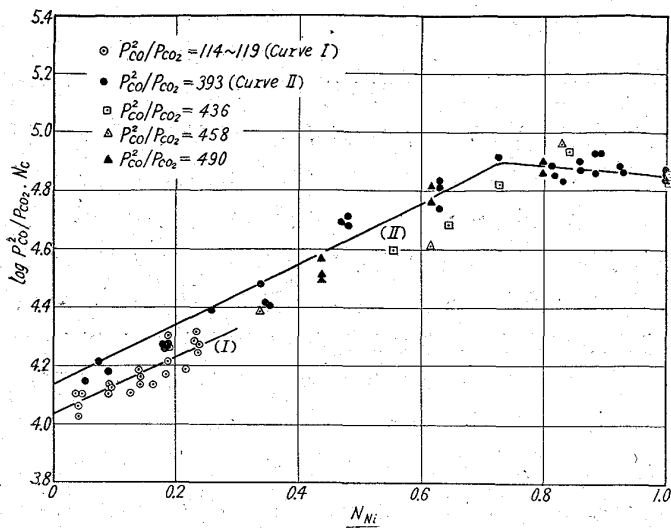


Fig. 1. Effect of nickel on $\log K_1'' (P_{CO}^2/P_{CO_2} N_C)$ 1560°C.

少く、最大値のニッケル濃度を十分正確に知ることは難かしかつたが、R. P. SMITH¹²⁾ によれば最大値は 72% Ni にあり、これは鉄-ニッケル系合金の平衡状態図における液相線、固相線の接近する組成、order-disorder transformation の最高温度などの特異性の現われる組成におおよそ一致することを指摘している。このような現象は現在の溶液論をもつてしては十分な解析が困難であり、鉄-ニッケル系合金における炭素の活量は、溶液中の各元素間の相互作用力のみではなく、液体構造をも考慮する必要があるものと思われる。

つぎに炭素の活量係数におよぼすニッケルの影響 $\log f_C^{(Ni)}$ は (1-a) 式および (1-b) 式を組み合わせ、また $\log f_C^{(O)}$ の値は本研究のごとく酸素濃度の低い範囲では考慮する必要のないものとして省略すれば次のごとく求められる。

$$\log f_C^{(Ni)} = \log K_1'' - \log K_1 - \log f_C^{(O)} \dots\dots (4)$$

純鉄側を基準* にして、本研究結果および著者らの前報告⁹⁾ における値を用いて上述の値を求めれば Fig. 2 のごとくであり、その直線部分の勾配より次の値を得た。

$$\log f_C^{(Ni)} = 1.2Ni \dots\dots < 70Ni \dots\dots (5)$$

$$\log f_C^{(Ni)} = 0.011[\%Ni] \dots\dots < 70\%Ni \dots\dots (6)$$

また(5)(6)式の値は $P_{CO}^2/P_{CO_2} = 114 \sim 490$ の異なるガスポテンシャルで測定したが、大きい差異は認められなかつた。なお上記の値として T. FUWA & J. CHIP-

* 同様にして純ニッケル側からの計算も可能であるが liq. Ni-C-O 系に関する十分な測定がないため計算ができない、同様なことは後述酸素についてもいえる。

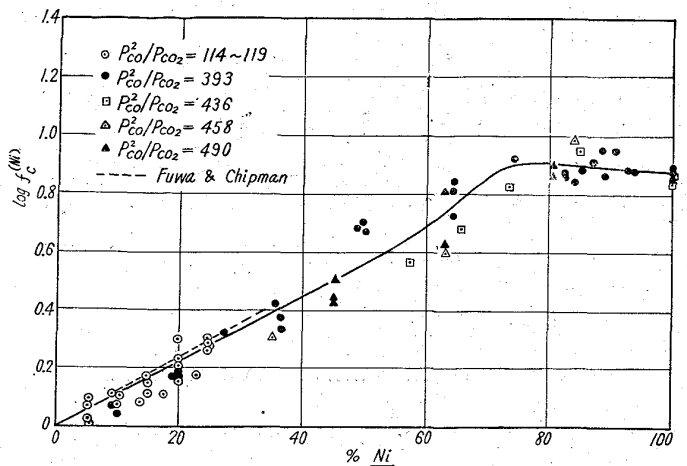


Fig. 2. Effect of nickel on the activity coefficient of carbon in liquid iron, 1560°C.

MAN²⁾ は $\log f_C^{(Ni)} = 0.012[\%Ni]$ を提出しており両者の値はよく一致している。

2. 炭素の活量係数におよぼすクロムの影響

CO-CO₂ 混合ガスと溶融鉄-クロム系合金中の炭素間の見掛け上の平衡定数 $\log K_1'' (= P_{CO}^2/P_{CO_2} \%C)$ とクロム濃度との関係を示せば Fig. 3 のごとくであり、測定範囲 $0.3N_{Cr}$ までおおよそ直線関係で減少する。すなわちクロムは炭素の活量係数を低下せしめ、平衡炭素量はクロム添加により増加することを示している。

前述と同様の方法により (4) 式より炭素の活量係数におよぼすクロムの影響を求めれば Fig. 4 のごとくであり、この直線部分の勾配より次式を得た。

$$\log f_C^{(Cr)} = -3.1N_{Cr} \dots\dots < 30N_{Cr} \dots\dots (7)$$

$$\log f_C^{(Cr)} = -0.033[\%Cr] \dots\dots < 25\%Cr \dots\dots (8)$$

なおこの値として T. FUWA & J. CHIPMAN²⁾ は $\log f_C^{(Cr)} = -0.024[\%Cr]$ を提出している。また F.D.

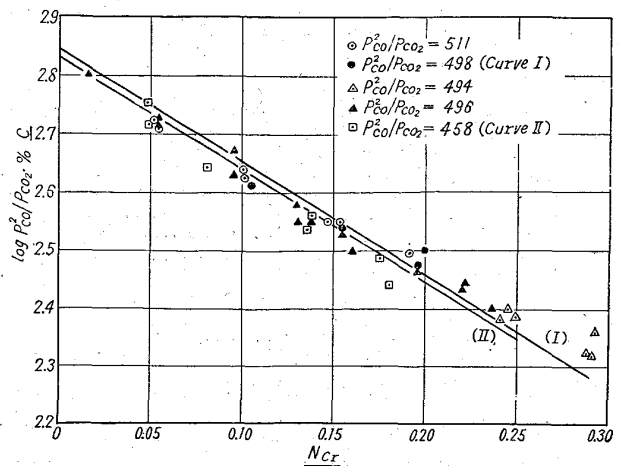


Fig. 3. Effect of chromium on $\log K_1'' (= P_{CO}^2/P_{CO_2} \%C)$ 1560°C.

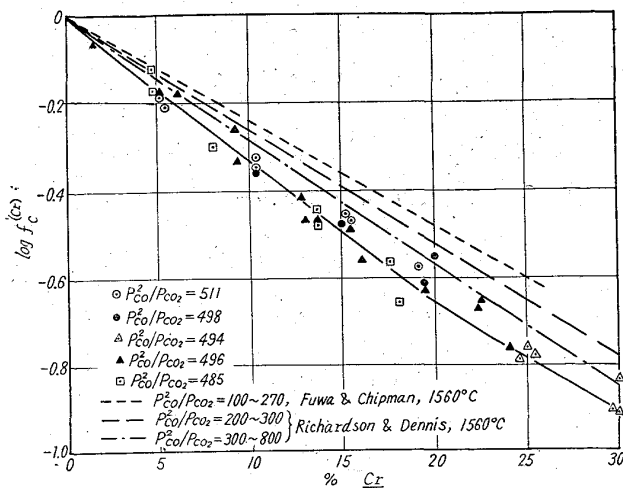


Fig. 4. Effect of chromium on activity coefficient of carbon in liquid iron, 1560°C

RICHARDSON & W. E. DENNIS¹³⁾は 1560~1760°C の温度範囲で本系に関する詳細な研究を行なっているが、炭素の活量係数を計算していない。それゆえ基礎資料としては、F. D. RICHARDSON & W. E. DENNIS¹³⁾の純Fe-C-O系測定を検討した TURKDOGAN, LAKE, DAVIS & STEVENS¹⁴⁾らの提出した値をもちいて上述の測定値を計算すれば、炭素の活量係数におよぼすクロムの影響 $\log f_C^{(Cr)}$ は、ガスポテンシャルすなわち炭素の活量及び温度により幾分相違し、1560°C においては $P_{CO}^2/P_{CO_2} = 200\sim 300$ では $\log f_C^{(Cr)} = -0.026[\%Cr]$ 、 $P_{CO}^2/P_{CO_2} = 300\sim 800$ では $\log f_C^{(Cr)} = -0.028[\%Cr]$ であつた。

FUWA & CHIPMAN²⁾の測定は $P_{CO}^2/P_{CO_2} = 90\sim 270$ における測定であり、著者らの測定は $P_{CO}^2/P_{CO_2} = 460\sim 510$ の範囲における値である。これらの結果を比較すれば Fig. 4 のごとくであり、炭素の活量係数におよぼすクロムの影響は炭素の活量によつても幾分相違することが推測され、本研究を含めた三者の測定結果は実験誤差の範囲で十分一致した値であるといひ得る。

3. 鉄-ニッケル-クロム系合金中の炭素の活量

次に溶融鉄-ニッケル-クロム系合金中の炭素の活量について、ガス比 $P_{CO}^2/P_{CO_2} = 493$ にて 2, 3 の測定を行なつた。多元系溶液の近似的な取扱い方である WAGNER の式¹⁵⁾を用いれば、炭素の活量係数におよぼすニッケルおよびクロムの影響 $\log f_C^{(Ni-Cr)}$ は次式のごとくである。

$$\begin{aligned} \log f_C &= \log f_C^{(C)} + \log f_C^{(Ni)} + \log f_C^{(Cr)} \\ &= \log f_C^{(C)} + \log f_C^{(Ni-Cr)} \end{aligned}$$

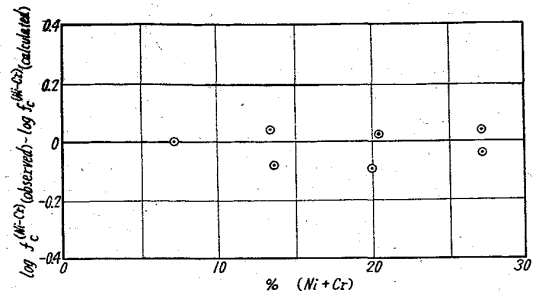


Fig. 5. Activity coefficient of carbon in liquid Fe-Ni-Cr alloys, 1560°C.

$$\begin{aligned} \log f_C^{(Ni-Cr)} &= \log f_C - \log f_C^{(C)} \\ &= \log K_1'' - \log K_1 - \log f_C^{(C)} \end{aligned}$$

測定結果より上式を用いて求めた値、および (5) (7) 式を用いて計算した値の差と、合金濃度の関係を示せば Fig. 5 のごとくであり、本測定範囲 $Ni < 20\%$ 、 $Cr < 10\%$ では、溶鉄中の炭素についてよく WAGNER の式が成立することがわかる。

4. 鉄-ニッケル系合金中の酸素の活量

溶鉄中の酸素と CO-CO₂ 混合ガス間の反応式は (2) 式で示されるが、鉄-ニッケル系合金における (2) 式の見掛け上の平衡恒数 $\log K_2'' (= P_{CO_2}/P_{CO} \cdot \%O)$ とニッケル濃度との関係は Fig. 6 のごとくである。Fig. 6 によれば $\log K_2''$ の値はおおよそ 70%Ni まで直線的な関係で増加し、平衡酸素量の低下すること、すなわちニッケル添加により酸素の活量係数が増加することを示している。本系における平衡酸素量はニッケル濃度 70% 以上においては 0.001%O 程度で、酸素分析の再現性 $\pm 0.0005\%O$ に比較して非常に小さく、ニッケル濃度の高い範囲においては測定結果は十分なものではないが、前述と同様の方法により純鉄側を基準にして酸素の活

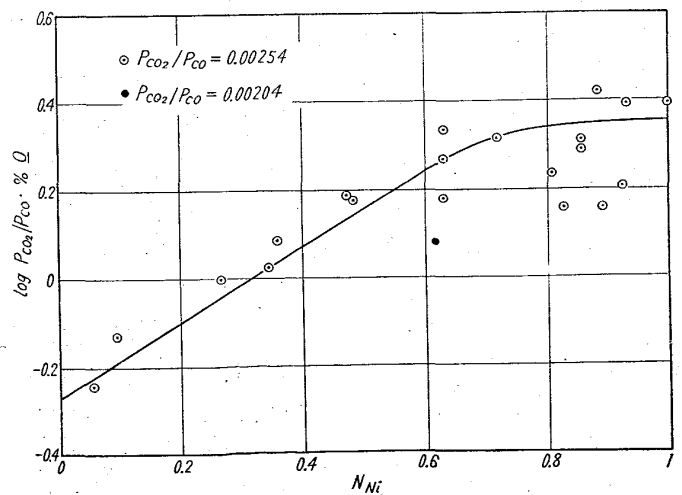


Fig. 6. Effect of nickel on $\log K_2'' (= P_{CO_2}/P_{CO} \cdot \%O)$, 1560°C.

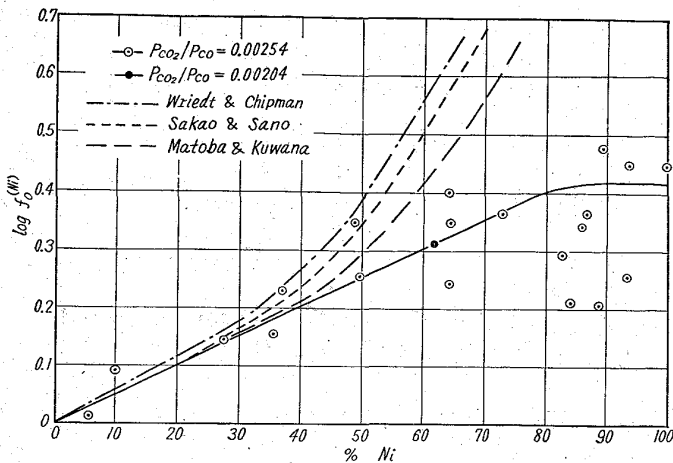


Fig. 7. Effect of chromium on activity coefficient of oxygen in liquid iron, 1560°C.

量係数におよぼすニッケルの影響 $\log f_O^{(Ni)}$ を求めれば Fig. 7 のごとくである。この直線部分の勾配より次の関係式を得た。

$$\log f_O^{(Ni)} = 0.54N_{Ni} \dots \dots \dots < 60N_{Ni} \dots (9)$$

$$\log f_O^{(Ni)} = 0.005[\%Ni] \dots \dots < 60\%Ni \dots (10)$$

鉄-ニッケル系合金の酸素の活量係数については多くの測定値があり、 H_2-H_2O 混合ガスの平衡関係より H. A. WRIEDT & J. CHIPMAN⁶⁾ $\log f_O^{(Ni)} = 0.006[\%Ni]$, 坂尾, 佐野⁷⁾ $\log f_O^{(Ni)} = 0.005[\%Ni]$, 的場, 桑名⁸⁾

$\log f_O^{(Ni)} = 0.0053[\%Ni]$ などおおよそ一致した値を提出しており, また本測定結果もよく一致している。これらの比較を示せば Fig. 7 のごとくであり, 鉄-ニッケル系合金中の酸素の活量はほぼ 50% Ni 程度までよく WAGNER の多元系溶液における近似式が適合されることを推測し得る。

5. 鉄-クロム系合金中の酸素の活量

鉄-クロム系合金における (2) 式の見掛け上の平衡恒数 $\log K_2'' (= P_{CO_2}/P_{CO} \cdot \%O)$ とクロム濃度との関係を Fig. 8 に示す。すなわち一定ガスポテンシャル下における平衡酸素量はクロム添加により増加し, $\log K_2''$ の値は減少するが, その変化量は 5%Cr まで大きく, その後はあまり大きく変化しない。Fig. 8 中点線は鉄-クロム系合金中の酸素の活量係数について H. CHEN & J. CHIPMAN⁴⁾ および著者らの前報告⁹⁾ の値を用いて, WAGNER の式より計算したものであり, 5%Cr 以上では両者の値は大きく相違して来る。また前述と同様の方法により酸素の活量係数におよぼすクロムの影響 $\log f_O^{(Cr)}$ を算出すれば Fig. 9 のごとくである。すなわち $\log f_O^{(Cr)}$ はクロム濃度 5% 程度まで大きく変化し, そ

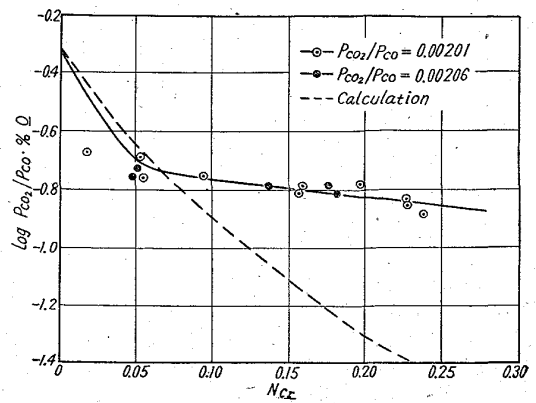


Fig. 8. Effect of chromium on $\log K_2'' (= P_{CO_2}/P_{CO} \%O)$, 1560°C

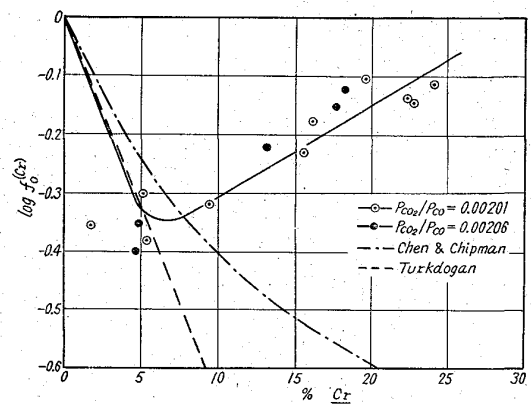


Fig. 9. Effect of chromium on activity coefficient of oxygen in liquid iron, 1560°C

の後はむしろ影響が小さくなる。この値としては, H_2-H_2O 混合ガスと溶鉄中酸素との平衡関係より H. CHEN & J. CHIPMAN⁴⁾ $\log f_O^{(Cr)} = -0.041[\%Cr]$, E. T. TURKDOGAN⁵⁾ $\log f_O^{(Cr)} = -0.064$ などが提出されているが, これらの値と比較すれば, 本系においてはクロム 5%程度までしか WAGNER の式が成立し得ないことを知り得る。

6. 溶鉄中炭素・酸素の積について

溶鉄中炭素と酸素の関係は (3) 式でしめされるが, 既述のごとく, 鉄-ニッケル系合金においてはニッケル濃度の増加とともに炭素および酸素の活量係数は正の値で増加して行き, その相対的結果として $\log K_3'' (= P_{CO}/\%C \cdot \%O)$ は増加し, 炭素と酸素の積 $m'' (= [\%C] \cdot [\%O])$ は減少する。また鉄-クロム系合金では積 m'' は反対に増加する。これらの関係を Fig. 10 に示した。しかし既述の事実から明らかなごとく, 鉄-ニッケル系では 50%Ni 程度まで鉄-クロム系では 5%Cr 程度まで WAGNER の式を用いて計算した m'' の値を用いて大きい誤差を生じないが, これ以上の濃度においては WAGNER の式より m'' の値を計算した場合, 実験事実と一致し

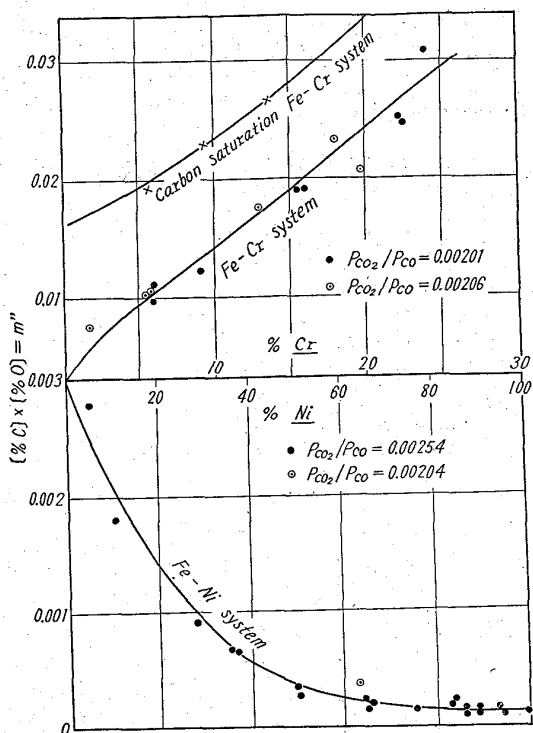


Fig. 10. Effect of nickel and chromium on carbon and oxygen product in liquid iron, 1560°C.

ないことが知られる。また著者らがさきに報告¹⁶⁾した鉄-クロム系合金中の炭素飽和における炭素と酸素の平衡測定にて得られた炭素酸素の積を Fig. 10 中に比較のため附記したが、ほぼ類似の傾向を辿って変化していることが知られる。

V. 結 言

溶融鉄-ニッケルおよび鉄-クロム系合金中の炭素・酸素と CO-CO₂ 混合ガス間の平衡関係を 1560°C にて測定し次の結果を得た。

1. 溶鉄中炭素および酸素の活量係数におよぼすニッケルおよびクロムの影響は次式のごとく示される。

$$\partial \log f_C^{(Ni)} / \partial \%Ni = 0.011 \dots < 70\%Ni \dots (6)$$

$$\partial \log f_C^{(Cr)} / \partial \%Cr = -0.033 \dots < 25\%Cr \dots (8)$$

$$\partial \log f_O^{(Ni)} / \partial \%Ni = 0.005 \dots < 60\%Ni \dots (10)$$

2. 溶鉄中炭素と酸素の積 m'' の値はニッケル添加により減少しクロム添加により増大する。

終りに当り、種々有益な助言を下さいました東北大学工学部金属工学科教授不破祐博士、および実験遂行に協力した村田裕信、堀越弘彦、黒岩康の三工学士に深く感謝します。
(昭和37年7月寄稿)

文 献

- 1) F. D. RICHARDSON & W. E. DENNIS: J. Iron & Steel Inst. (U.K.), 175 (1953), p. 257
- 2) T. FUWA & J. CHIPMAN: Trans. Met. Soc., Amer. Inst. Min., Met. & Pet. Eng., 215 (1959), p. 708
- 3) 三本木, 大谷: 鉄と鋼, 39 (1953), p. 483
- 4) H. CHEN & J. CHIPMAN: Trans. Met. Soc., Amer. Inst. Min., Met. & Pet. Eng., 38 (1947), p. 70
- 5) E. T. TURKDOGAN: J. Iron & Steel Inst. (U.K.), 178 (1954), p. 278
- 6) H. A. WRIEDT & J. CHIPMAN: J. Metals, Sept. (1956), p. 1195
- 7) 坂尾, 佐野: 学振19委 6366 (昭 36. 7)
- 8) 的場, 桑名: 鉄と鋼, 47 (1961), p. 1326
- 9) 萬谷, 的場: 鉄と鋼, 48 (1962), p. 925~932
- 10) E. T. TURKDOGAN, R. A. HANCOCK, & S. I. HERLITZ: J. Iron & Steel (U.K.), 182 (1956), p. 274, 183 (1956), p. 69
- 11) 不破, 藤倉, 的場: 鉄と鋼, 46 (1960), p. 235
- 12) R. P. SMITH: Trans. Met. Soc., Amer. Inst. Min., Met. & Pet. Eng., 218 (1960), p. 62
- 13) F. D. RICHARDSON & W. E. DENNIS: Trans. Faraday Soc., 49 (1953) p. 171
- 14) E. T. TURKDOGAN, L. S. DAVIS, L. E. LAKE, & C. G. STEVENS: J. Iron & Steel Inst. (U.K.), 181 (1955), p. 123
- 15) C. WAGNER: Thermodynamics of Alloys.
- 16) 萬谷, 的場: 鉄と鋼, 44 (1958), p. 643