

% で  $H_MV=530\sim 550$ , As 0.85% で  $H_MV=506$  となり  $\alpha$  地の硬度も As 量とともに低下する。

Fig. 2 および 3 より腐蝕減量は 1:10  $H_2SO_4$ , 1:1 HCl とともに As 0.03~0.05% の含有で最小値を示し、耐蝕性は少量の As の添加によつて改善される。

凝固収縮率は As の添加によつて影響を受けない。

As 0.1% 以下の顕微鏡組織では黒鉛は微細な片状あるいはバラ状であり As 量とともに大きさを増し Photo. 6-a に示すごとく大きいバラ状となる。As 約 0.2% 以上では新しい相が現われ Photo. 6-b に示されている。As 0.1% 以上の合金に起る抗折力の減少は恐らく黒鉛の大きさの成長と第 3 相の出現に起因すると思われる。Fe-C-As 系<sup>6)</sup> では As の  $\alpha$  固溶限は大きく As 0.85% でも固溶しているから、この相は Si 約 15% で Fe-C-As 系に添加されたため As の溶解度を減じ As を含む相として析出したものと考えられる。

少量の As は耐蝕性の点では高珪素鑄鉄に好影響を有するが、0.1% 以上の As は強度を減ずるから許容さ

れるべきでない。

### (G) Sn の影響

Fig. 1 より抗折力におよぼす Sn の影響は認められない。撓み量は 0.4% 以上の Sn の添加により 0.50 mm を示し、普通高珪素鑄鉄より僅かに大である。

Sn 0.1~0.8% 添加せるとき  $H_{RC}=46\sim 50$  で普通高珪素鑄鉄より少し高く、 $\alpha$  地の硬度は Sn 0.1~0.4% では  $H_MV=610\sim 620$  で普通高珪素鑄鉄と変らず Sn 0.8% では  $H_MV=690$  と高くなる。

Fig. 2 および 3 に示すごとく 1:10  $H_2SO_4$ , 1:1 HCl に対する耐蝕性は Sn の添加量とともに悪くなる。

Sn 0.1~0.8% を含む高珪素鑄鉄の顕微鏡組織では微細な共晶黒鉛組織が見られる。

Sn を含有する高珪素鑄鉄を鑄造すると凝固の際湯の表面に酸化錫と思われる膜を形成し、この膜は Sn 量の増加につれて厚くなる。このため凝固収縮率は測定できなかった。Sn は高珪素鑄鉄の耐蝕性および鑄造性に有害である。(昭和 31 年 11 月寄稿)

## 黒鉛るつぼ内の鉄鋼試料の測温\*

米 田 登\*\*

### TEMPERATURE MEASUREMENT OF IRON AND STEEL SAMPLES IN A GRAPHITE CRUCIBLE FOR GAS ANALYSIS

Noboru Yoneda

#### Synopsis:

For the purpose of measuring of the accurate temperature of gas extraction in the gas analysis in iron and steel, the effective emissivity of samples was determined. It was found that the emissivity should be calculated approximately by the size of the graphite crucible used in the analysis.

#### I. 緒 言

鉄鋼における化学変化、特に高温における化学平衡の測定とか、鉄鋼のガス成分の測定などにおいて温度は非常に重要な因子の一つであり、とくに同試料内の酸素または窒素成分の形とか、型とかは、たとえば Table 1 に挙げたような抽出分解温度の僅かな差によつて決定しているのでなおさらである。この測定に熱電対温度計、光高温計、輻射高温計、光電管式高温計、色高温計等、種々考案研究されているが、これらのうち熱電対を使用するものを除いては、すべて完全黒体に対する補正、す

なわら測温物質の輻射率なるものが必要である。

従来鉄および鉄合金の輻射率は多くの研究者によつて測定されており、古くは Bidwell<sup>1)</sup> (1913) が  $H_2$  中で  $1520^\circ\sim 1800^\circ C$  の範囲で測定し鉄の輻射率は 0.36~0.48 なる結果を出している。Bürgress<sup>2)</sup> (1917) はやはり  $H_2$  中で  $1530\sim 1571^\circ C$  の範囲で測定し 0.37 なる結果を出しかつこの際 C, Ni, Mn などを加えてゆきその 1% 程度までは鉄の輻射率に影響のないことを報

\* 昭和 31 年 10 月本会講演大会にて発表

\*\* 日立製作所中央研究所

Table 1. Reduction temp. of various oxides in iron and steel (vacuum fusion method)

Authors	FeO (°C)	MnO (°C)	SiO <sub>2</sub> (°C)	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (°C)	References
Ziegler			1600~1750	1600~1750	T.A.E.C., 62(1932)109
Reeve		1150	1300	1550~1600	A.I.M.E., 113(1934)82
Larsen & Shenk	1000~1050	1150	1300	1550~1600	A.I.M.E., 113(1934)72
Andrew	1450~1500	1450~1500	1550~1580	1600	J.I.S.I., Sp. Rep., No. 9(1935)62
Graham	1069	1171	1388	1593	Iron age, 138 (1936) 42
Thompson & Vacher	1050	1070	1320	1570	A.I.M.E., 125(1937)258
Swinden & Speight	1090	1175	1320	1625	J.I.S.I., Sp. Rep., No. 25 (1939) 65
Hara	1300	1400	1750	1900	Tetsu-to-Hagané 35 (1949) 142
Yonezaki		1520	1640	1710	Gakushin Rep., No. 3318 (1954)
Gotô & Suzuki	1050	1150	1410	1750	Tetsu-to-Hagané 42 (1956) 49
Maekawa	1040	1180	1320	1550	Gakushin Rep., No. 4228 (1956)

告している。また Wensel, Roeser<sup>3)</sup> (1928) 等は 1375°C 以上で銹鉄の輻射率を測定し、0.4 であつたと報告をしている。さらに Leiber (1937), Todd (1939), 海野氏 (1937) 等も測定しているが、いずれも 0.4~0.45 なる値を報告している。

また Knowles, Sarjant<sup>5)</sup> (1947) などは浸漬式熱電対を使用し、これに光高温計を併用して、溶融したアームコ鉄の輻射率を測定し 0.4 なる結果を出し、この値は温度が上るにしたがつて僅かに大きくなると報告している。また炭素を 1.8~3.5% 加炭したものを 1300~1600°C で測定し、0.4~0.39 なる結果を出している。その他 Guthmann (1937), Naeser (1939) Spencer (1936), Goller (1944), Dastur (1949)<sup>6)</sup> 等も測定結果を報告しているが、その結果はいずれもまちまちであつて、あるものは温度の上るにしたがつて輻射率が大きくなつていのにに対し、あるものはこれと逆に温度の上るにしたがつて輻射率が小になるような結果の報告がある。

このように種々異つた結果が報告されているのは、測温の方法および測温物質の表面の状態、および雰囲気などの僅かの違いによつて輻射率が変化するためであつて、個々の実験装置について僅かな差はまぬがれ難いものと思われる。それ故その実験ごとに鉄なり、鉄合金の有効輻射率なるものを測定しておけば最も効果的である。しかるにこのガス分析の場合は、一般に黒鉛るつば内で試料を加熱溶融するという特殊な場合であるので、今回はこれの測温に光高温計を用いた場合の有効輻射率を決定するために本研究を行った。

## II. 研究の方法

鉄鋼のガス成分測定の際、その分析結果の誤差の大きな原因の一つは、ガス抽出温度の差によるものである。また抽出温度が精確に測定できれば、試料中の酸化物とか窒化物などの型も推定出来るわけである。一般に鉄鋼中のガス分析は、試料を黒鉛るつば中で加熱溶融してガスを抽出し、この場合黒鉛るつば中の溶融試料を光高温計で測定している。

今回はこの光高温計と真の温度を示す Pt-Pt-Rh 熱電対温度計を併用し、るつば内試料の輻射率を測定した。

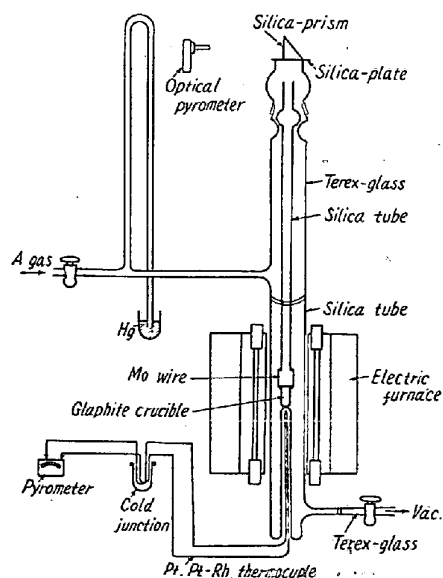


Fig. 1. Apparatus for measurement of emissivity.

使用した電気炉は、Fig. 1 に示すようなエレマ炉で（あらかじめ測定した温度分布の結果によると、その中心部 20φ×50mm の部分は ±0.5°C の範囲で温度が

均一なことがわかっている。) この中に 35φ (肉厚 4 mm) の透明石英管を挿入し、この中心部に (温度均一部) に図に示すようにしてモリブデン線で黒鉛るつぼを懸吊し、るつぼの底より 1 mm の間隔をおいて Pt-Pt-Rh 熱電対用の石英保護管が封入してある。また石英管の上部は水冷式すり合せを経て温度測定用の窓があり、これには厚さ 1.5 mm の光学用透明石英板および光学用石英直角プリズム (25×25) がついていて、これを経て光高温計で輝度温度を測定できるようになっている。またこの石英管内部は  $1 \times 10^{-5}$  mmHg 程度の真空にでき

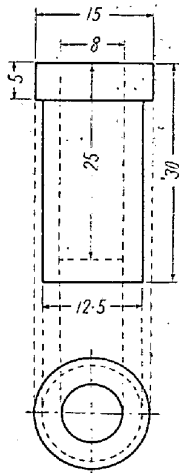


Fig. 2. Dimension of the graphite crucible.

表面の仕上げ状態は顕微鏡試験によれば、その凹凸度は 15~20 $\mu$  である。また鉄試料は C: 0.005, Si: 0.028, Mn: 0.015, S: 0.005 の電解鉄を黒鉛るつぼに入れ高周波電気炉を用いて高真空 ( $1 \times 10^{-5}$  mmHg) 中で溶融し急冷したもので、その化学成分はつぎの通りである。

C: 4.30, Si: 0.032, Mn: 0.015, S: tr

### III. 測定結果

まず使用した透明石英板および石英プリズムの吸収能を測定するため、マツダの標準ランプを使用し Fig. 3 に示すようにして光高温計 (あらかじめ補正済) を用いて測定した結果は Fig. 4 の通りである。この補正輝度温度を用いて、Fig. 1 に示した装置を  $1 \times 10^{-5}$  mmHg 程度の真空にして、空の黒鉛るつぼの場合と、この中に適当量の Fe-C を入れた場合について Pt-Pt-Rh 熱電対温度計 (あらかじめ補正済) の指示温度を 1400°C まで測定した。しかし石英管の軟化のためこれ以上温度をあげることは不可能なので、つぎに装置内に精製したア

るようになるっており、あるいは適当な精製ガスをこれに送入することもできる。なお使用した黒鉛るつぼ、および鉄試料はつぎのようなものである。

黒鉛るつぼは日立化工製の GH-325 を Fig. 2 の通りに加工したもので、灰分、比重等の諸性質はつぎの通りである。

- 灰分 0.51%
- 真比重 2.23
- 見掛比重 1.68
- 有孔率 24.6%

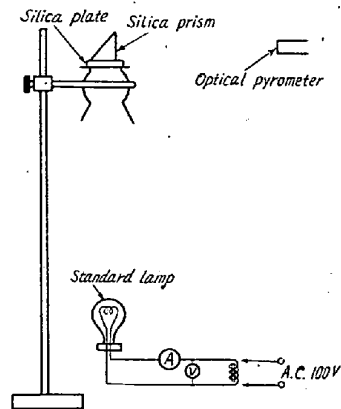


Fig. 3. Apparatus for determination of adsorptive power of the silica-prism and plate.

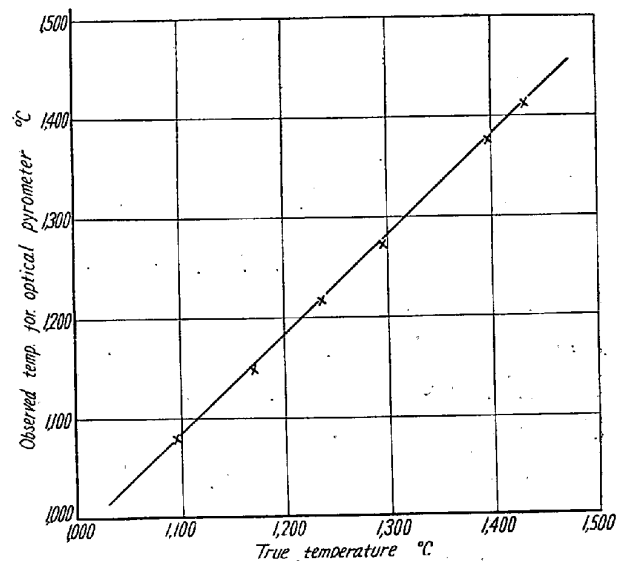


Fig. 4. Adsorptive power of the silica-prism and plate.

ルゴンを 1 気圧入れて真空の場合と全く同一の条件で測定した。その結果 1400°C までは真空の場合とアルゴンの場合とは、その輝度温度と真温度とが同一の関係を示すことがわかった。したがって後述の実験結果のうち、1350°C までのデータは真空中、1400°C, 1480°C はアルゴン中の測定結果である。まず黒鉛るつぼのみでるつぼの底を測定した結果は Table 2 の通りである。

Table 2. Temp. of bottom of the graphite crucible.

True temp. °C	Brightness temp. °C	True temp. °C	Brightness temp. °C
1200	1202	1350	1350
1250	1249	1400	1401
1300	1301	1480	1478

Table 2 から明らかなように、黒鉛るつぼの底の輝度温度は実験誤差範囲内で真の温度とよく一致してい

る。これによつてつばの底の有効輻射率がほとんど 1 に等しいということを知る。

つぎに前述の Fe-C 合金を逐次つば中で溶融、測温し、つばの入口より溶融面までの深さとつばの径との比と、輝度温度との関係を測定した結果は Table 3 の通りであつた。

Table 3. Brightness temp. of Fe-C in the graphite crucible.

H: depth of crucible  
R: inside radius of crucible

True temp. °C	Brightness temp. °C				
	H/R 5.50	H/R 4.20	H/R 3.25	H/R 2.25	H/R 1.30
1200	1192	1191	1190	1180	1170
1250	1242	1241	1239	1230	1213
1300	1294	1293	1292	1279	1261
1350	1343	1342	1342	1329	1310
1400	1392	1391	1391	1378	1360
1480	1471	1470	1468	1459	1335

こゝに使用の光高温計は赤色フィルターを用いて  $0.65 \mu$  なる波長の単色についてその輝度温度を測定しているため、いま真温度を  $t^\circ\text{C}$  とし、その温度の  $0.65 \mu$  における単色輻射率を  $\epsilon_{0.65}$  とすると Planck の法則によつてつぎのような関係がある。

$$\frac{1}{t + 273} - \frac{1}{S + 273} = 1.0452 \times 10^{-4} \log \epsilon_{0.65}$$

この関係式と Table 3 によつて、各面における  $\epsilon_{0.65}$  を求めると Table 4 のようになる。

Table 4. Monochromatic emissivity of Fe-C in the graphite crucible.

True temp. °C	Monochromatic emissivity $\epsilon_{0.65}$				
	H/R 5.50	H/R 4.20	H/R 3.25	H/R 2.25	H/R 1.30
1200	0.92	0.92	0.90	0.82	0.73
1250	0.93	0.92	0.92	0.84	0.70
1300	0.95	0.93	0.93	0.84	0.70
1350	0.93	0.93	0.93	0.84	0.70
1400	0.93	0.93	0.92	0.84	0.73
1480	0.93	0.92	0.92	0.85	0.72

Table 4 から明らかなように 1200~1480°C 位の範囲においては、それぞれの単色輻射率は実験誤差の範囲内で一致しているので、一応この温度範囲内において測定結果の平均の輻射率が適用できるものとすれば、Fe-C の各面における単色輻射率は Table 5 のようになる。Table 5 を図示すると Fig. 6 のようになる。

Table 5. Mean emissivity of Fe-C in the graphite crucible (1200~1480°C)

H/R	$\epsilon_{0.65}$	H/R	$\epsilon_{0.65}$
5.50	0.93	2.25	0.84
4.20	0.92	1.30	0.71
3.25	0.92		

### IV. 結果の検討

一般に  $T^\circ\text{K}$  において単色輻射率  $\epsilon_{\lambda T}$  なる A 物質が同じく  $T^\circ\text{K}$  において輻射率  $\epsilon_{\lambda T}$  なる B 物質でできているつば(内側は完全な円筒をなしているものとする)の底に円筒の軸に垂直な表面を有しながら加熱された場合、円筒の軸方向に出す輻射エネルギーは A, B とともに完全拡散面を有すると仮定すれば、つぎのようなものゝ綜合されたものであると考えられる。

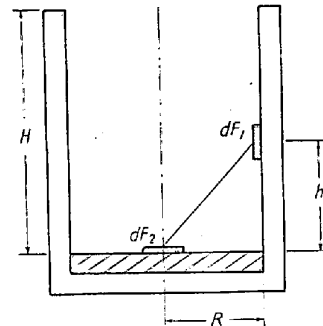


Fig. 5. Relation of Fe-C sample and walls in the crucible.

i) A の  $dF_2$  面 (Fig. 5 参照) から直接垂直方向に出る第一次輻射エネルギーは、

$\epsilon_{\lambda T} \cdot E_{\lambda T}$  (但し  $E_{\lambda T}$ :  $T^\circ\text{K}$  における完全黒体の垂直方向の放射能)

ii) A の表面から出た輻射エネルギーのうちつばの壁に何度か反射し、最後にふたたび  $dF_2$  面に帰つてきて垂直方向に出る輻射エネルギー。

iii) つばの壁  $dF_1$  面から出た B の輻射エネルギーが直接  $dF_2$  面に入射され、そのうち一部が垂直方向に出てゆくもの。

iv) つばの壁  $dF_1$  面から B の輻射エネルギーが各方向に出て何度か壁なり、A の表面に当つて最後に  $dF_2$  面から垂直方向に出てゆくもの。

以上の四つのものであるが、今回つばに用いた黒鉛はその輻射率がほとんど 1 に近くこれを完全黒体と仮定すれば、ii) および iv) の場合の輻射エネルギーはいずれもつばの壁に吸収されて  $dF_2$  面から垂直方向にでる輻射エネルギーのうちには考慮に入れる必要なく、

$dF_2$  面から垂直方向にでる輻射エネルギーは i) および iii) のみを考えればよい。

iii) の場合のエネルギーについて考えてみる。るつぼ内径を  $2R$ ,  $dF_2$  面の深さを  $H$  とし,  $dF_1$  の高さを  $h$  とすれば, 先ず  $dF_1$  より  $dF_2$  に輻射されるエネルギーは Lambert の法則より

$$\epsilon_{b\lambda T} \cdot E_{\lambda T} \frac{1}{\pi} \int \frac{h \cdot R}{(h^2 + R^2)^2} dF_1 \dots \dots \dots (1)$$

となる。こゝに  $E_{\lambda T}$ :  $T^\circ K$  における完全黒体の全放射能。また  $dF_1$  を  $h$  の高さにおける一円周について考えると, その面積は  $2\pi R \cdot dh$  となるので, (1) 式は

$$\begin{aligned} & \epsilon_{b\lambda T} \cdot E_{\lambda T} \frac{2\pi}{\pi} \int \frac{h \cdot R^2}{(h^2 + R^2)^2} dh \\ & = \epsilon_{b\lambda T} \cdot E_{\lambda T} \cdot 2R^2 \int \frac{h}{(h^2 + R^2)^2} dh \dots \dots \dots (2) \end{aligned}$$

となる。これを  $h$  につき  $0 \rightarrow H$  まで定積分すると,

$$\epsilon_{b\lambda T} \cdot E_{\lambda T} \frac{H^2}{H^2 + R^2} \dots \dots \dots (3)$$

すなわち (3) 式なるエネルギーがるつぼの壁から  $dF_2$  面に入射されるが,  $dF_2$  面すなわち A 物質は輻射率が  $\epsilon_{a\lambda T}$  であるので, (3) 式なるエネルギーのうち  $dF_2$  面から発射されるものは

$$(1 - \epsilon_{a\lambda T}) \epsilon_{b\lambda T} \cdot E_{\lambda T} \frac{H^2}{H^2 + R^2} \dots \dots \dots (4)$$

となる。

(4) 式のうち  $dF_2$  面から垂直方向にでるエネルギーは  $dF_2$  面が完全拡散面であるので, Lambert の法則により

$$\frac{1}{\pi} (1 - \epsilon_{a\lambda T}) \epsilon_{b\lambda T} \cdot E_{\lambda T} \frac{H^2}{H^2 + R^2} \dots \dots \dots (5)$$

しかるに  $\frac{E_{\lambda T}}{\pi} = E_{n\lambda T}$  なので

$$(1 - \epsilon_{a\lambda T}) \epsilon_{b\lambda T} \cdot E_{n\lambda T} \frac{H^2}{H^2 + R^2} \dots \dots \dots (6)$$

となる。結局  $dF_2$  面からでる輻射能の有効輻射率を  $\epsilon_{eff\lambda T}$  とすれば

$$\begin{aligned} \epsilon_{eff\lambda T} \cdot E_{n\lambda T} &= \epsilon_{a\lambda T} E_{n\lambda T} + (1 - \epsilon_{a\lambda T}) \epsilon_{b\lambda T} \cdot E_{n\lambda T} \frac{H^2}{H^2 + R^2} \\ \therefore \epsilon_{eff\lambda} &= \epsilon_{a\lambda T} + (1 - \epsilon_{a\lambda T}) \epsilon_{b\lambda T} \frac{(H/R)^2}{1 + (H/R)^2} \dots \dots \dots (7) \end{aligned}$$

つぎに今回使用した黒鉛るつぼおよび Fe-C 合金の  $0.65\mu$  における単色輻射率を Fig. 1 に示した装置を使用して測定した結果<sup>9)</sup>,  $1200 \sim 1480^\circ C$  の範囲においては黒鉛は  $0.89$ , Fe-C は  $0.42$  であつた。これを (7)

Table 6. Effective emissivity vs. H/R

H/R	$\epsilon_{eff-T}$	H/R	$\epsilon_{eff-T}$
6.0	0.92	2.0	0.83
5.0	0.91	1.0	0.68
4.0	0.91	0.5	0.52
3.0	0.89	0	0.42

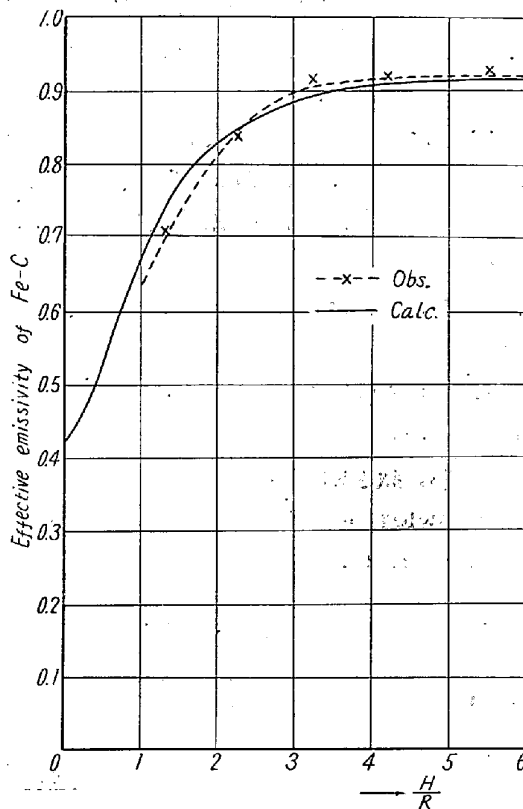


Fig. 6. Emissivity of Fe-C in the graphite crucible.

式に入れて,  $H/R$  と  $\epsilon_{eff 0.65T}$  の関係を求めると Table 6 および Fig. 6 の通りである。

Fig. 5 から明らかなように, 実験結果と割合によく一致している<sup>9)</sup>。とくに  $H/R$  が  $3.5$  より大なるところではよく一致しているが, それよりも小なるところで実験結果と合わないのは, この近似式を導く際黒鉛るつぼを完全黒体と仮定し, 第二次以上の輻射を考えなかつたためと考えられる。なおこの近似式は前述のように  $1200 \sim 1480^\circ C$  までの測定結果であるが, これを  $150^\circ C$  ないし  $200^\circ C$  位上げた範囲, すなわち  $1100^\circ C \sim 1700^\circ C$  位までは適用できるものと考えられる。それ故使用黒鉛および溶融物質のこの温度範囲の輻射率を知れば, るつぼの内径, 深さから溶融物質の有効輻射率を近似的に知ることができるといえる。

V. 結 言

鉄鋼の化学平衡とか、ガス分析の際最も重要な因子の一つである温度の測定について研究を行い、光高温計を用いて黒鉛るつぼ中の Fe-C 合金の輻射率を測定し、るつぼの形がきまれば、その有効輻射率が計算で近似的に導きださることをみだした(昭和 31 年 12 月寄稿)

文献および註

- 1) C. C. Bidwell: Phys. Rev. 2 (1913) 482
- 2) G. K. Burgess: Bur. of Standards (1917) Tech. Paper No. 91
- 3) H. T. Wensel, W. F. Roeser: Trans. Amer. Foundryman Ass'n 36 (1928) 191
- 4) G. Leiber: Arch. f. d. Eisenhüttenwesen 11 (1937) 63  
W. J. Todd: Metal Treatment, 5 (1939~40) 171  
R. Hase: Arch f. d. Eisenhüttenwesen, 4 (1931) 261  
海野三朗: 鉄と鋼, 23 (1937) 644
- 5) D. Knowles, R. T. Sarjant: J. Iron & Steel Inst. 155 (1947) 577
- 6) K. Guthmann: Stahl und Eisen, 57 (1937) 1245  
G. Naeser: Stahl und Eisen, 59 (1939) 592  
W. H. Spencer: Trans A.I.M.E. 120 (1936) 189  
G. N. Goller: Trans A.I.M.E. 185 (1944) 441  
M. N. Dastur, N. A. Gokcen: J. Metals, 185 (1949) 665
- 7) 大賀恵二: 「伝熱諸論と其の適用」 p. 307 参照.
- 8) 黒鉛坩堝の輻射率は Fig. 1 の装置で、坩堝の一番上面の縁のところを測温して測定し、Fe-C の場合は内径 5 mm のアルミナ坩堝の熔融試料を溢れるばかりに入れ、やはり Fig. 1 の装置でその最も上面を測温して測定した。
- 9) H/R: 3.5 以上のところで、Fig. 6 に現われた程度の実験結果と近似式から出した輻射率の差では、實際の測定温度においては  $\pm 2^{\circ}\text{C}$  程度で、今回の実験誤差範囲内に入ってしまう。

最近寄贈図書

1. 工学英語

村上喜一, E・G・フィッシャー共編 森北出版株式会社発行

2. いすゞ自動車史

いすゞ自動車株式会社編

3. 東北地方砂鉄鉱業振興調査報告書

東北砂鉄鉱業振興会編

4. 船協海運年報 (1956~1957)

日本船主協会広報委員会編