

論 文

二色高温計による溶鉄および溶融鉄合金の
温度測定に関する実験的検討*森田善一郎**・藤田清比古***・北浦 正弘****
大塚 孝史*****・足立 彰**An Experimental Analysis on the Temperature Measurement
of Molten Iron and Iron Alloys by Two-Color Pyrometer*Zen-ichiro MORITA, Kiyohiko FUJITA, Masahiro KITaura,
Takashi OTSUKA, and Akira ADACHI*

Synopsis:

It is known that the temperature read by two-color pyrometer, generally, do not strictly indicate the true one. Therefore, it is necessary for measuring the temperature precisely by two-color pyrometer to provide some adequate procedures. In order to obtain some informations for this compensation, the melting points of several compositions of both Fe-Ni and Fe-Cu alloys were measured by use of two-color pyrometer, and the characteristics, especially the spectral emissivity ratio for two different wave lengths $\varepsilon_1/\varepsilon_2$ of two-color pyrometer were discussed through this experimental result.

The main results obtained were summarized as follows:

1) In liquid Fe-Ni alloy the value of $\varepsilon_1/\varepsilon_2$ decreased with increasing nickel concentration over all range of composition, while in liquid Fe-Cu alloy the ratio also decreased gradually up to about 60% Cu but abruptly above this composition with increasing copper concentration. These data seem to be useful as the practical coefficients converting from two-color temperature to true one for the both alloy systems.

2) In order to accurately measure the temperature of any kind of metals and alloys by two-color pyrometer, the relation between two-color and true temperature is desired to be derived by WIEN's equation through the measurement of their melting points, and moreover, the exact compensation for obtaining true temperature should be made using the values of $\varepsilon_1/\varepsilon_2$ obtained for each metal and alloy.

(Received Aug. 7, 1970)

1. 緒 言

近年高温測定技術の急速な進歩にともない、被測温体に向けるだけで直接色温度を指示するような自動二色温度計が開発され、各分野での実験室や実際操業において利用されるようになった。高温における金属では色温度と真温度の差がきわめて小さいことから色温度でもつて真温度と近似することが一般に行なわれており、色温度計の一種である二色高温計はこの点からも従来の光高温計や放射高温計に比して原理的に使いやすく、また測定誤差が小さく、冶金学の分野でも注目をあびている。

ところで、一般の金属は灰色体の条件を満たしていな

いため色温度と真温度とは厳密には一致しないはずであり、精度の高い実験を実施する場合はこの点が問題となり、かかる場合にそれらの補正を行なわなければならない。二色高温計の特性や温度測定法についてはかなり詳細に検討されているが¹⁾、実際に高温金属および合金系についての二色温度と真温度との関係を実験的に明確に

* 昭和45年10月本会講演大会にて発表

昭和45年8月7日受付

** 大阪大学工学部 工博

*** 中部工業大学

**** 大同製鋼(株)

***** 大阪大学大学院

した研究はほとんどなされていない。

著者の一部はさきに浮揚溶解法により溶鉄および溶融鉄合金の密度測定を実施するにさいし、純鉄および鉄合金の温度を二色高温計で測定したが²⁾、それらの融点測定の結果から二色温度と真温度との間にかなり大きな差が存在することを見出した。著者らはこの点に注目し、溶融純鉄、溶融 Fe-Ni、溶融 Fe-Cu 系合金について浮揚溶解を行ない、二色高温計を用いて融点測定を実施し、Fe-Ni、Fe-Cu 系合金の2つの波長における分光放射率比 ϵ_1/ϵ_2 の関係を中心に、二色高温計の特性を実験的に検討した。

2. 二色高温計の測定原理

二色高温計の測定原理は、2つの波長における放射エネルギーの比を測定し、あらかじめ完全放射体について測定された比の値と温度の関係から色温度を知ろうとするものである。2つの波長を得る手段としては、光学フィルタと光電管の出力特性を利用して λ_1 と λ_2 の単色光と等価の出力を得るような機構を採用している。すなわち、いま光学フィルタの波長 λ における分光透過率を A_λ 、放射検出素子の波長 λ における電流変換定数を S_λ とすると、この検出素子の出力電流 I は、温度 $T^\circ\text{K}$ 、分光放射率 ϵ_λ の物体を測定したとしてWIENの放射式を用いれば次式で表わすことができる。

$$I = \alpha \int A_\lambda S_\lambda \epsilon_\lambda C_1 \lambda^{-5} e^{-c_2/\lambda T} d\lambda \dots\dots\dots (1)$$

ただし C_1, C_2 はプランクの黒体放射公式における第1, 第2定数、 α は比例定数である。ここで、積分は光学フィルタの透過波長域の範囲について行なう。(1)式を江森ら³⁾は次のように置き換えて考え、(1)式と(2)式を同時に満足する λ_0 を想定し、これを実効波長とした。

$$I = \beta \epsilon_{\lambda_0} C_1 \lambda_0^{-5} e^{-C_2/\lambda_0 T} \dots\dots\dots (2)$$

ただし、 β は比例定数である。

二つの波長を得るために二色高温計では2種の光学フィルタ $A_{1\lambda}, A_{2\lambda}$ を用いているので、同一検出素子を使用すると、それぞれのフィルタに対する出力電流 I_1, I_2

は次式のごとくなる。

$$I_1 = \beta_1 \epsilon_{\lambda_1} C_1 \lambda_1^{-5} e^{-C_2/\lambda_1 T} \dots\dots\dots (3)$$

$$I_2 = \beta_2 \epsilon_{\lambda_2} C_1 \lambda_2^{-5} e^{-C_2/\lambda_2 T} \dots\dots\dots (4)$$

ここで λ_1, λ_2 はフィルタ $A_{1\lambda}, A_{2\lambda}$ に対する実効波長。

ϵ_{λ_1} は波長 λ_1 における分光放射率

ϵ_{λ_2} は波長 λ_2 における分光放射率

両式の比をとると、

$$R = \frac{I_1}{I_2} = \frac{\beta_1 \epsilon_{\lambda_1}}{\beta_2 \epsilon_{\lambda_2}} \left(\frac{\lambda_1}{\lambda_2} \right)^{-5} e^{-C_2(\lambda_2 - \lambda_1)/\lambda_1 \lambda_2 T} \dots\dots\dots (5)$$

(5)式を対数変換すると、

$$\begin{aligned} \log R &= \log \frac{I_1}{I_2} = \log \left(\frac{\beta_1}{\beta_2} \right) + \log \left(\frac{\epsilon_{\lambda_1}}{\epsilon_{\lambda_2}} \right) \\ &\quad - 5 \log \left(\frac{\lambda_1}{\lambda_2} \right) - \frac{C_2}{T} \left(\frac{\lambda_2 - \lambda_1}{\lambda_1 \lambda_2} \right) \\ &= r_1 + \log \left(\frac{\epsilon_{\lambda_1}}{\epsilon_{\lambda_2}} \right) - r_2 \left(\frac{1}{T} \right) \dots\dots\dots (6) \end{aligned}$$

ただし

$$r_1 = \log \left(\frac{\beta_1}{\beta_2} \right) - 5 \log \left(\frac{\lambda_1}{\lambda_2} \right), \quad r_2 = \frac{C_2(\lambda_2 - \lambda_1)}{\lambda_1 \lambda_2}$$

となり、得られた比率 $\log R$ は、温度の逆数に比例することになる。したがって、放射エネルギーの絶対値を測定することなく温度を知ることができる。

とくに灰色体(擬灰色体)では λ_1 と λ_2 における放射率が同じ値であるから、

$$\frac{\epsilon_{\lambda_1}}{\epsilon_{\lambda_2}} = 1 \dots\dots\dots (7)$$

となり、(6)式は $\log R = r_1 - r_2(1/T)$ となり、 ϵ_λ の値にはまったく関係なく温度が求められる。そして一般の加熱体においては $\epsilon_1/\epsilon_2 \approx 1$ であるといわれているため、二色高温計を用いることによりつねに真温度に近い値が求められる。

3. 実験方法

3.1 実験試料

Fe-Ni系合金として使用した試料は、Table 1に示すような成分を有する真空溶融純鉄と電解ニッケルを高周波炉を用いて、3, 8, 20, 30, 40, 50, 60, 75, 90% Niの9種

Table 1. Chemical compositions of iron and nickel.

Fe	Component	C	Si	Mn	P	S	Cu	Ni	Cr	Ti	V	Al	Co	N
	Content (%)	0.001	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.001	0.005	0.001	0.002	0.007

Ni	Component	Ni	Si	Pb	Cu	Fe	Co	Al	Mg	S
	Content (%)	99.92	0.005	0.001	0.0025	0.007	0.008	0.001	0.002	0.0007

の組成の合金試料を溶製し、純鉄および純ニッケル試料とともに一回の実験ではそれらの約 3g を用いた。また Fe-Cu 系合金では銅が偏析を起こしやすい点を考慮し各溶解ごとに純鉄と純銅 (99.9%) とを配合して溶解した。なおこの系の合金の配合組成は 0, 3, 10, 15, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80, 90, 100% Cu であつた。

3.2 実験装置

浮揚溶解装置は著者らが溶融金属の密度測定に使用したものと同一で、150kc/sec, 最大出力 30 kW である。溶解炉はパイレックス製のガラスの筒の上下を銅製の板でゴムパッキングをはさんでふたをし、真空中または各種雰囲気中で溶解しうようになっている。その概略図を Fig. 1 に示す。

3.3 実験操作

重さ約 3g の試料を、浮揚コイルの中央部に挿入された支持台上に保持し、つぎに溶解炉内を真空ポンプで排気し H₂ ガスで置換する。続いて試料を浮揚溶解させ、脱酸後雰囲気を高純度 He 気流に変え、約 250cc/min の気流のもとに後述の二色高温計を用いて前述の各試料の融点における温度計の指示温度を測定した。測定にさいし、のぞき窓はできるだけ清浄な状態を保つよう留意し、また外光の影響を考慮して測定条件を一定にするため、炉体内部ならびに二色高温計と試料間の光路に外光が入らぬよう遮蔽物をもうけた。なお、各試料の眞の融点はいずれも HANSEN の状態図⁴⁾を用いて決定した。

4. 二色高温計による温度測定についての予備的検討

温度測定に使用した二色高温計は大沢-シグマ社製のものであり、測温領域に応じて A (1100°~1350°C), B (1300°~1800°C), C (1740°~2700°C) の3つのバンドに切り変えて測定するようになっている。まず本二色高温計を使用するにさいし、タングステンリボン輝度温度標準電球を用いて校正した。Fig. 2 は本二色高温計で測定した二色温度を標準電球の点灯電流値より求めた二色温度、すなわち校正二色温度に対してプロットしたもので、図中 (1) は B バンド、(2) は C バンドを使用した関係を示す。B, C 両バンドいずれも二色温度 F_1 は校正二色温度 F_2 よりも若干高い値を示し、また校正二色温度約 1700°C のところで B バンドおよび C バンドの関係に不連続がみとめられた。二色高温計による温度測定にさいし、測定精度に影響を与える因子として被測温体の大きさ、溶解試料の測温用ガラス窓における蒸着状態などをあげることができるが、そのほかに測温ガラス窓の材質による影響が考えられる。そこで本

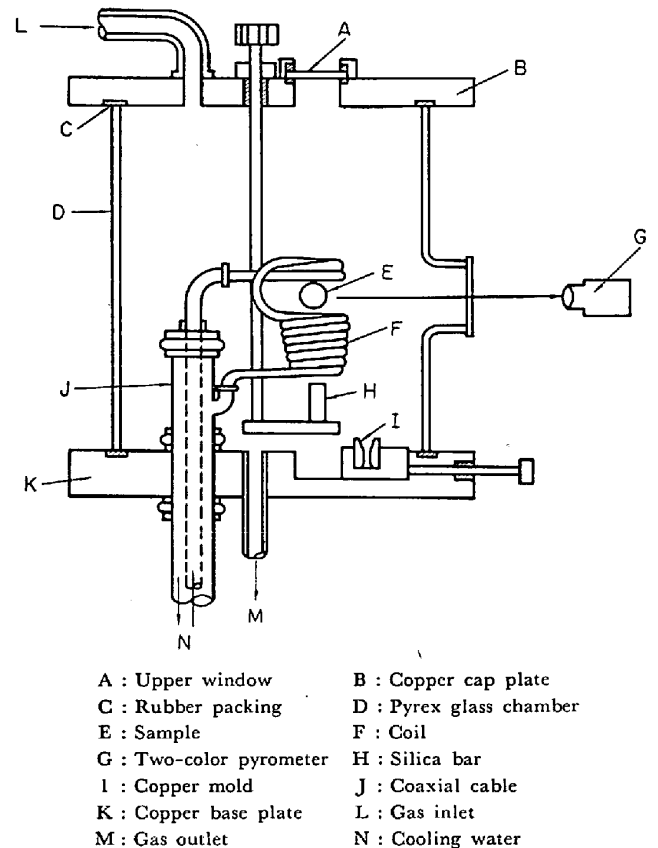


Fig. 1. Schematic diagram of the apparatus.

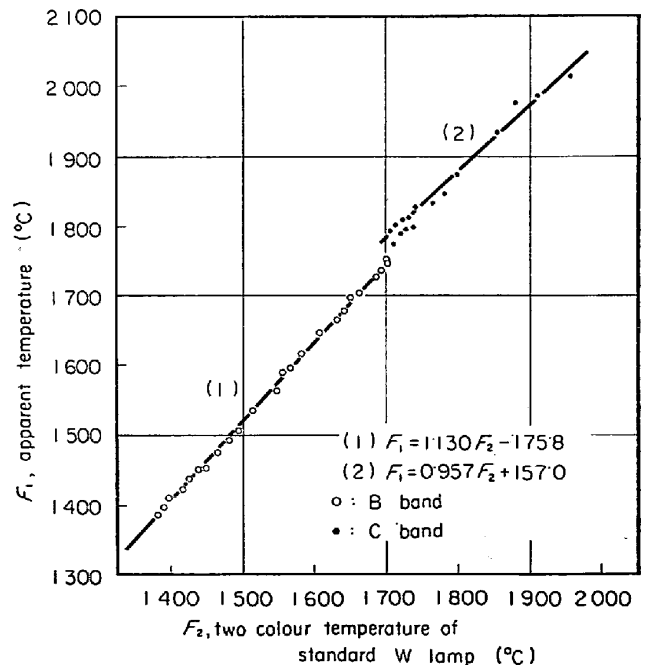


Fig. 2. The relation between two color temperature of standard W lamp and apparent temperature.

実験でのぞき窓として用いたパイレックスガラスにつきプリズメータ⁵⁾を用いて各波長における透過率を測定し

Table 2. Transmissivity of Pyrex glass.

Wave length (μm)	Transmissivity (%)
0.350	90.2
0.400	91.8
0.450	92.1
0.500	92.1
0.550	92.2
0.600	92.8
0.650	92.8
0.700	92.2
0.750	92.0

た結果をTable 2に示す。この透過率の値から本実験に用いた測温用ガラス窓は色温度をやや低める($1^{\circ}\sim 2^{\circ}\text{C}$)傾向がみとめられたが、この程度の影響は実験時の測定誤差範囲に入るものと考えてよいであろう。以上の検討の結果、本二色高温計による温度測定精度は $\pm 5^{\circ}\text{C}$ 以内であることがわかった。

5. 実験結果および考察

本二色高温計を用いて測定したFe-Ni, Fe-Cu系合金の各組成におけるみかけの融点とHANSENの状態図により求めた真の融点との関係をFig. 3, 4に示し、その温度差をそれぞれFig. 5, 6に示す。

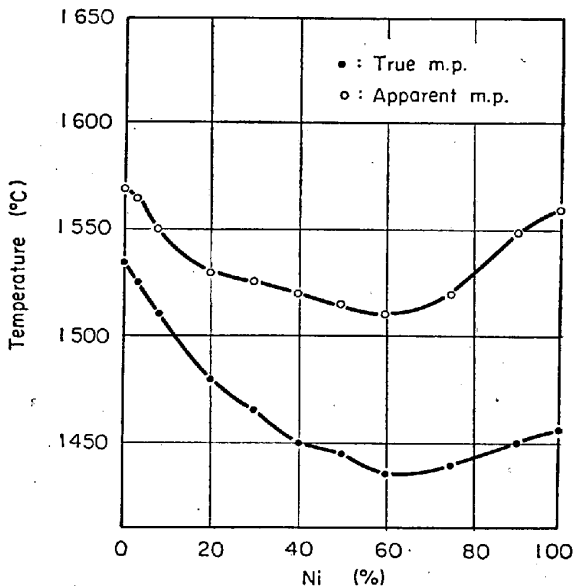


Fig. 3. Relation between true and apparent melting point of Fe-Ni alloy.

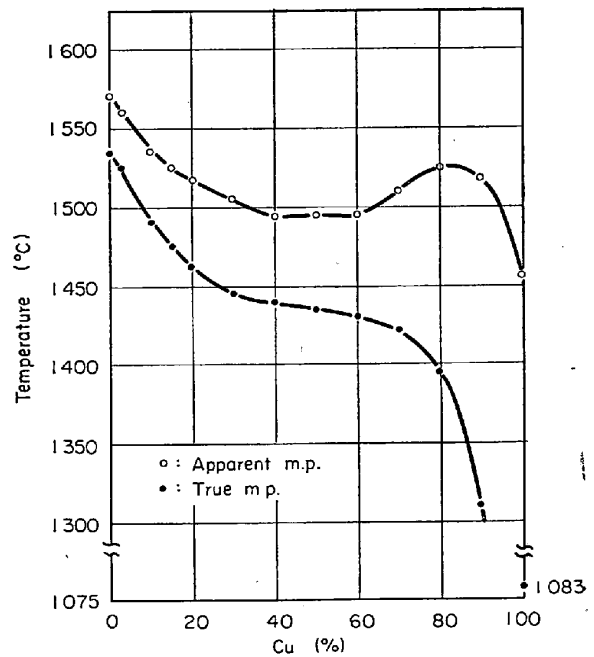


Fig. 4. Relation between true and apparent melting point of Fe-Cu alloy.

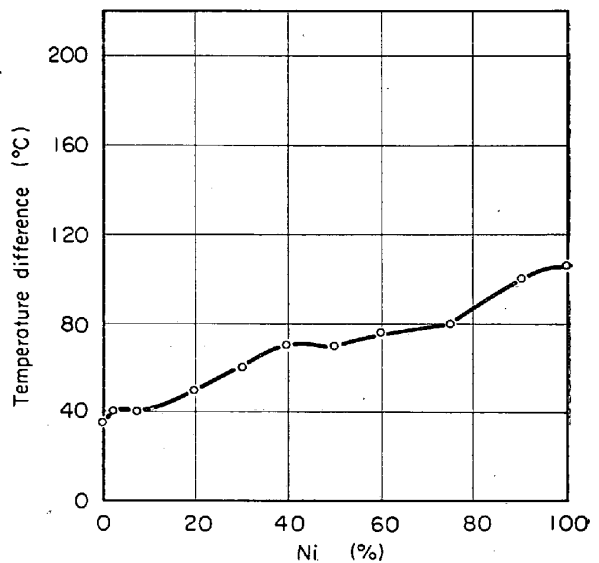


Fig. 5. Temperature difference between true and apparent melting point of Fe-Ni alloy.

Fig. 5に見られるごとくFe-Ni系合金の場合、二色温度と真温度との温度差には組成依存性がみとめられ、ニッケル濃度とともに温度差はほぼ直線的に増加している。また、Fe-Cu系合金の場合にはFig. 6からも明らかなように温度差は約60%Cuまでは%Cuとともに直線的に漸増しているが、それ以上の濃度では急増する

傾向がみとめられる。この二色温度と真温度との温度差に組成依存性が存在するのは、二色高温計の2つの波長における放射率の比が合金組成によつて変化すること、すなわち灰色体からのかたよりの度合が異なることを示している。次に二色温度と真温度の関係を考察してみよう。

真温度 $T^{\circ}\text{C}$ の物体の温度を二色高温計で測定して $F^{\circ}\text{C}$ という二色温度を得たとすると、両温度間の関係はPLANCKの放射式を用いればつぎのように表わすことが

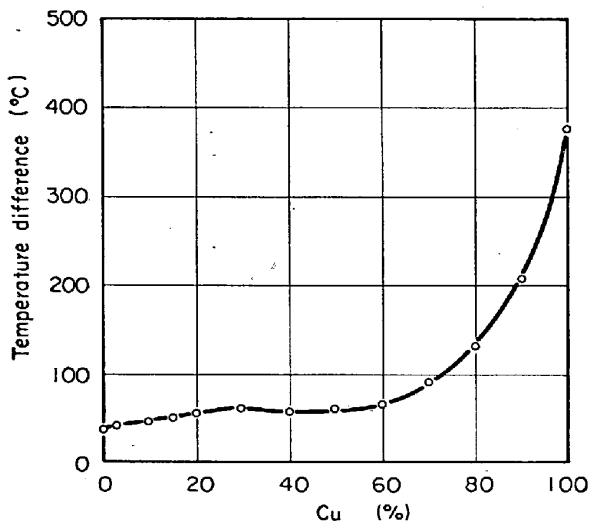


Fig. 6. Temperature difference between true and apparent melting point of Fe-Cu alloy.

できる.

$$\frac{\varepsilon_1}{\varepsilon_2} \left[\frac{\exp\{C_2/\lambda_2 \cdot (T+273 \cdot 15)\} - 1}{\exp\{C_2/\lambda_1 \cdot (T+273 \cdot 15)\} - 1} \right] = \frac{\exp\{C_2/\lambda_2 \cdot (F+273 \cdot 15)\} - 1}{\exp\{C_2/\lambda_1 \cdot (F+273 \cdot 15)\} - 1} \dots\dots\dots (8)$$

ただし λ_1, λ_2 は二色高温計の 2 つの実効波長 (μm), $\varepsilon_1, \varepsilon_2$ は $T^\circ\text{C}$ の物体の波長 λ_1, λ_2 におけるそれぞれの有効分光放射率, C_2 は PLANCK の黒体放射公式における第 2 定数 ($14\,387 \cdot 9 \mu\text{m} \cdot \text{K}$) である.

二色温度と真温度との関係は WIEN の放射式の成立する範囲では次式のようになる.

$$\frac{1}{T+273 \cdot 15} = \frac{1}{F+273 \cdot 15} + \frac{1}{C_2} \cdot \frac{\lambda_1 \lambda_2}{\lambda_2 - \lambda_1} \ln \frac{\varepsilon_1}{\varepsilon_2} \dots\dots\dots (9)$$

なお式中の記号は (9) 式も含めて, 以下すべて (8) 式と同様である. (9) 式において測定装置や測定対象の性質によつて決定されるものは, 実効波長 (λ_1, λ_2) および有効分光放射率 ($\varepsilon_1, \varepsilon_2$) であるが, これらの項をまとめて $K (\mu\text{m})$ とおくと (9) 式は (10) 式のようになる.

$$\frac{1}{T+273 \cdot 15} = \frac{1}{F+273 \cdot 15} + K \cdot \frac{1}{C_2} \dots\dots\dots (10)$$

ただし

$$K = \frac{\lambda_1 \lambda_2}{\lambda_2 - \lambda_1} \ln \frac{\varepsilon_1}{\varepsilon_2} \dots\dots\dots (11)$$

したがつて, あらかじめ K の種々の値について, F と T

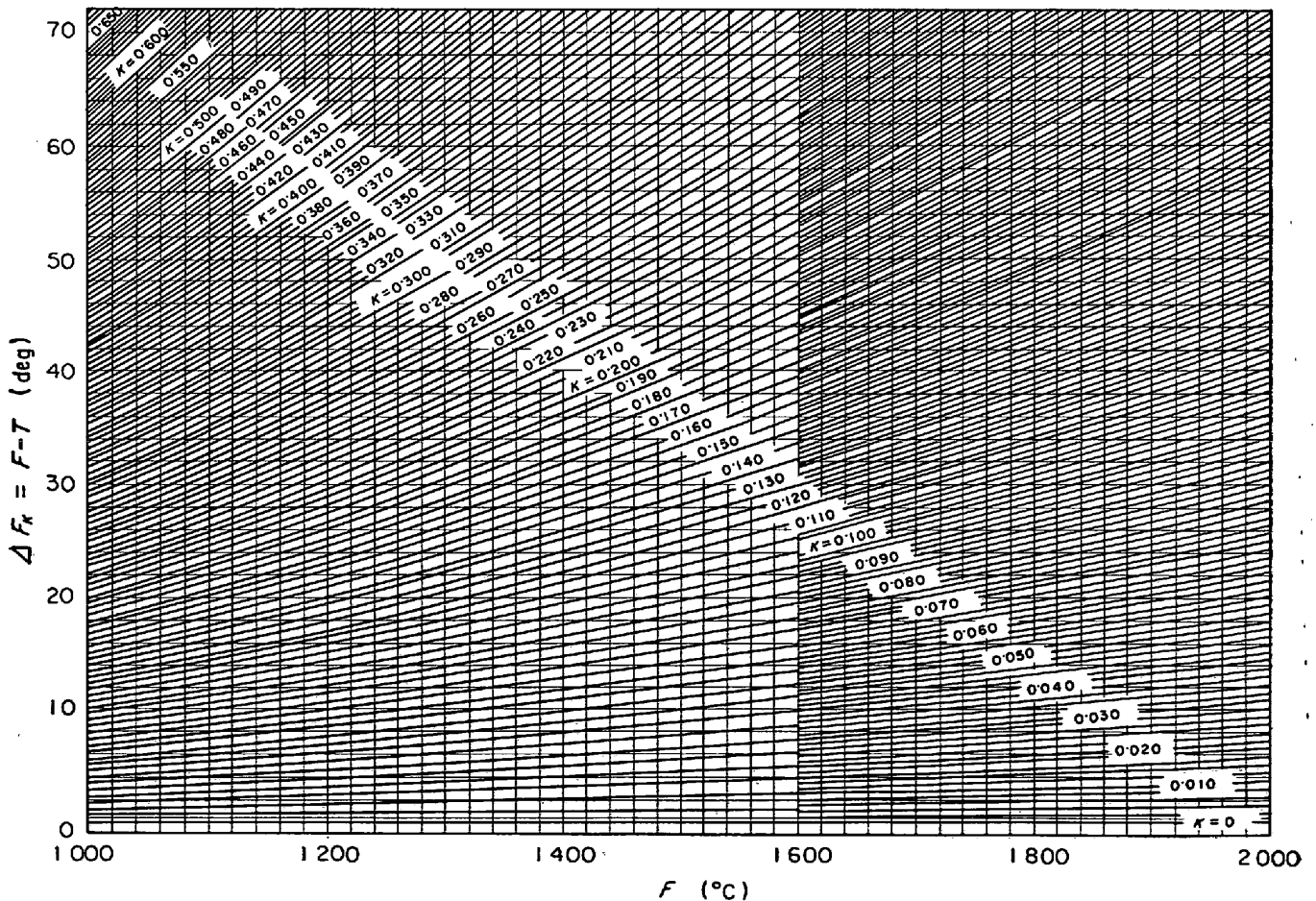


Fig. 7 (a) A diagram indicating the correlation of the temperature difference ΔF_K deg between apparent temperature $F^\circ\text{C}$ by two color pyrometer at constant K and true temperature $T^\circ\text{C}$, to $F^\circ\text{C}$.

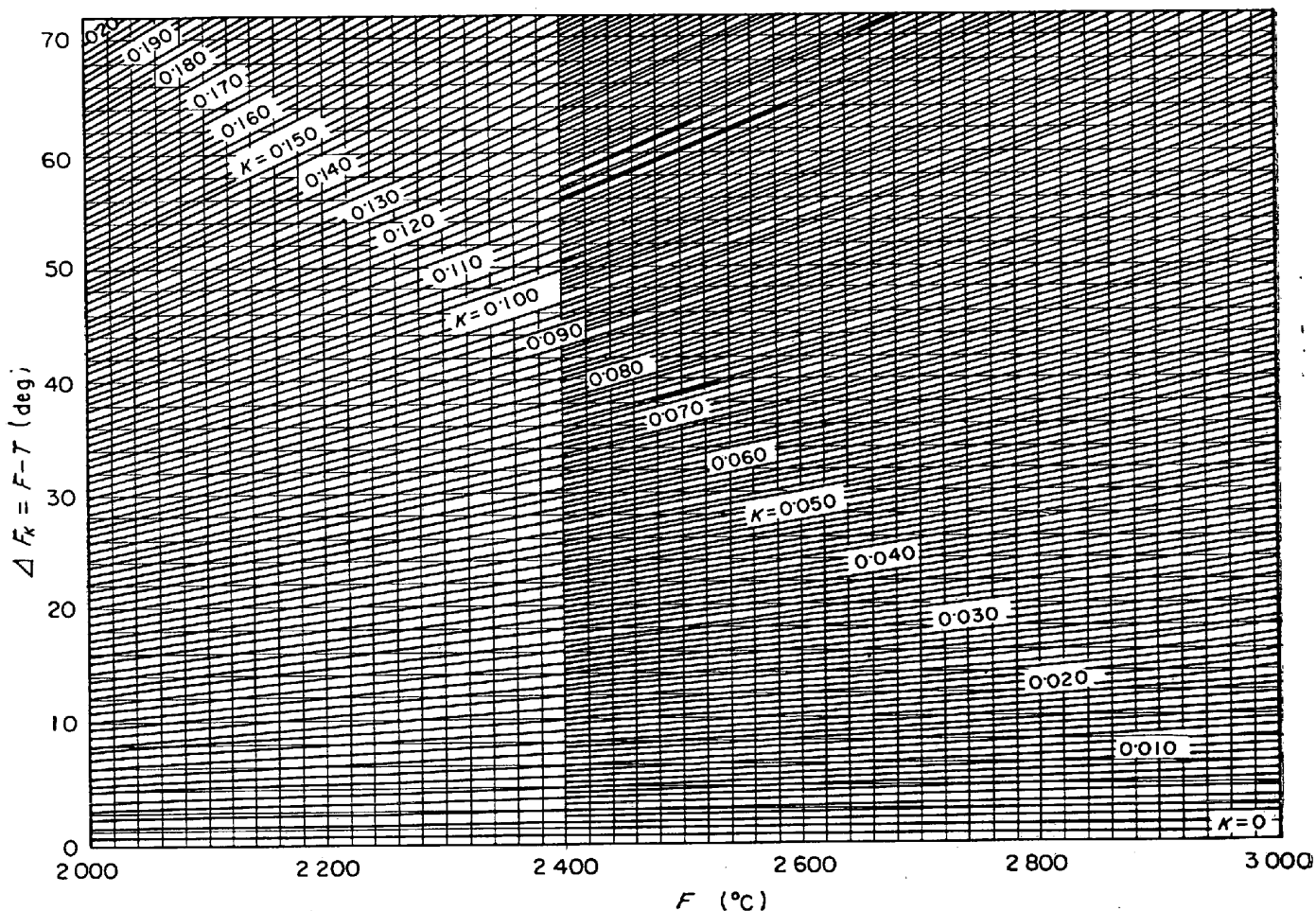


Fig. 7 (b) A diagram indicating the correlation of the temperature difference ΔF_K deg between apparent temperature $F^\circ\text{C}$ by two color pyrometer at constant K and true temperature $T^\circ\text{C}$, to $F^\circ\text{C}$.

Table 3. Two-color and true temperature on the Fe-Ni alloy.

Ni (%)	True m. p. ($^\circ\text{C}$)	Apparent m. p. (correct) ($^\circ\text{C}$)	Difference of temp. ($^\circ\text{C}$)	* K (μm)	$\frac{\varepsilon(\lambda_1 T)^{**}}{\varepsilon(\lambda_2 T)}$
0	1 535	1 600 (1 570)	35	0.151	0.934
3	1 525	1 595 (1 565)	40	0.174	0.924
8	1 510	1 575 (1 550)	40	0.178	0.922
20	1 480	1 555 (1 530)	50	0.229	0.901
30	1 465	1 550 (1 525)	60	0.276	0.882
40	1 450	1 540 (1 520)	70	0.326	0.863
50	1 445	1 535 (1 515)	70	0.328	0.862
60	1 435	1 530 (1 510)	75	0.354	0.852
75	1 440	1 540 (1 520)	80	0.375	0.844
90	1 450	1 575 (1 550)	100	0.459	0.812
100	1 455	1 585 (1 560)	105	0.476	0.806

* $K = \{(\lambda_1 \lambda_2) / (\lambda_2 - \lambda_1)\} \times \ln(\varepsilon_1 / \varepsilon_2)$ ** $\lambda_1 = 0.630 \mu\text{m}$, $\lambda_2 = 0.490 \mu\text{m}$

との相関を示す図表を作成しておけば測定装置や対象がかわつても、その測定条件における K の値がわかれば F と T の換算が可能である。藤田⁹⁾らは K をパラメータとする二色温度と真温度の換算近似式や図表などにつき検討をおこない、もつとも使用頻度が高いと予想される λ_1 , λ_2 , ε_1 , ε_2 の値を選定し、これらの値より K の値を求めるノモグラフを作成している。このノモグラフの一部

を Fig. 7 (a), 7 (b), 7 (c) に示す。すなわち、このノモグラフを用いれば二色温度と真温度の差 ΔF_K と F との値より K を求め、さらに $\varepsilon_1 / \varepsilon_2$ の値を求めることができる。そこで本実験では、前掲の Fig. 5, 6 の結果と Fig. 7 (a), 7 (b) の関係を用いて、溶融 Fe-Ni 系、溶融 Fe-Cu 系合金の各組成における K の値を求め、さらに Fig. 7 (c) から $\varepsilon_1 / \varepsilon_2$ の値を求めた。それらの結

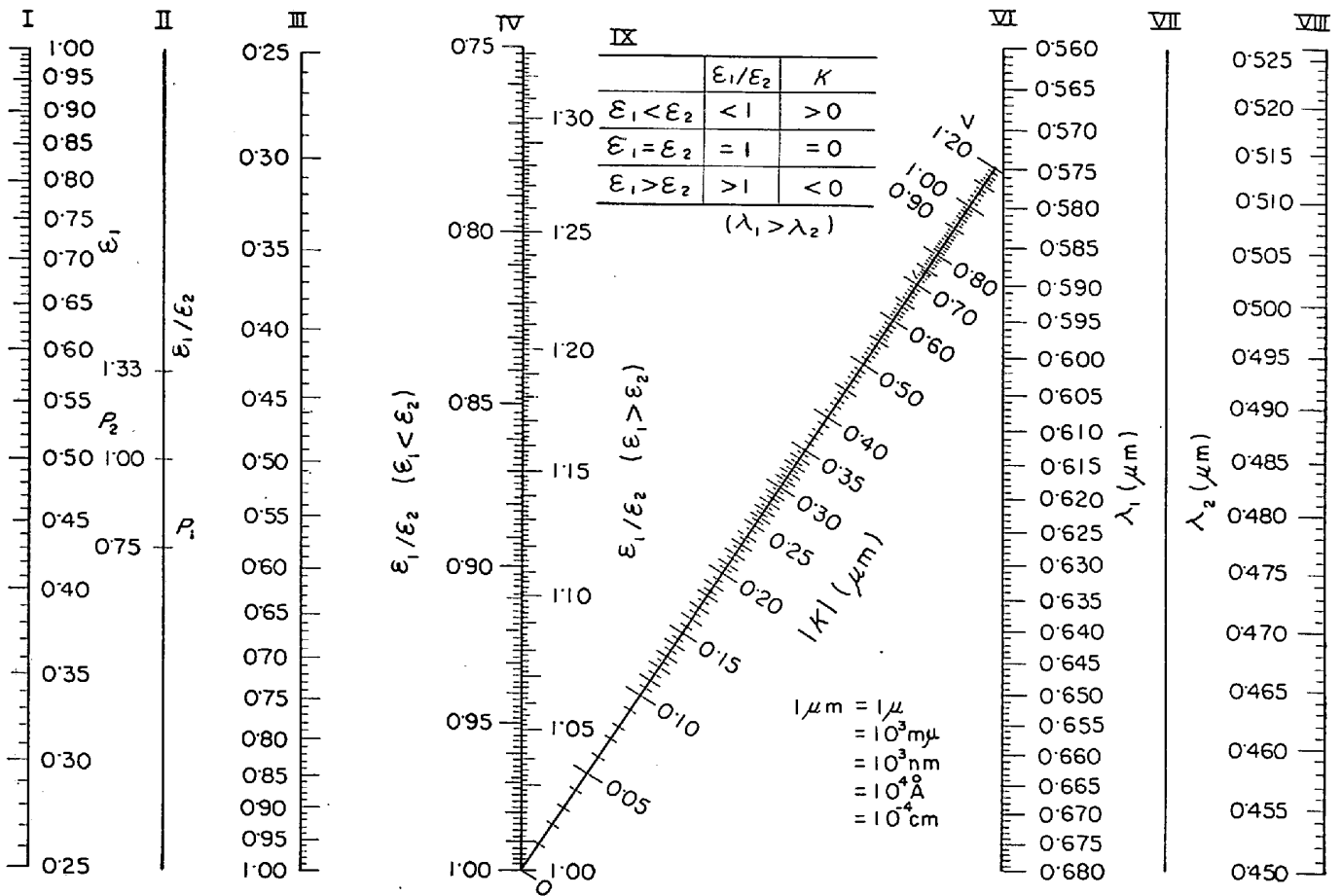


Fig. 7 (c) Relation between constant $K(\mu\text{m})$ and emissivities ϵ_1 and ϵ_2 at effective wave lengths λ_1 and λ_2 of two color pyrometer.

Table 4. Two-color and true temperature on the Fe-Cu alloy.

Cu (%)	True m. p. (°C)	Apparent m. p. (correct) (°C)	Difference of temp. (°C)	*K (μm)	$\frac{\epsilon(\lambda_1 T)**}{\epsilon(\lambda_2 T)}$
0	1 535	1 600 (1 570)	35	0.151	0.934
3	1 525	1 595 (1 565)	40	0.174	0.924
10	1 490	1 560 (1 535)	45	0.203	0.912
15	1 475	1 545 (1 525)	50	0.229	0.901
20	1 460	1 535 (1 515)	55	0.255	0.891
30	1 445	1 525 (1 505)	60	0.283	0.880
40	1 440	1 515 (1 495)	55	0.261	0.888
50	1 435	1 515 (1 495)	60	0.286	0.878
60	1 430	1 515 (1 495)	65	0.311	0.869
70	1 420	1 530 (1 510)	90	0.429	0.823
80	1 395	1 545 (1 525)	130	0.623	0.754
90	1 310	1 535 (1 515)	205	1.041	0.624
100	1 083	1 470 (1 455)	372	2.284	0.355

* $K = \{(\lambda_1 \lambda_2) / (\lambda_2 - \lambda_1)\} \times \ln(\epsilon_1 / \epsilon_2)$ ** $\lambda_1 = 0.630 \mu\text{m}$ $\lambda_2 = 0.490 \mu\text{m}$

果を Table 3, 4 と Fig. 8, 9 とに示す。

Fe-Ni 系合金の場合, Fig. 8 から明らかなように ϵ_1/ϵ_2 の値は 40% Ni 付近までは単調に減少し, 40~75% Ni ではその減少の割合はゆるやかになり, 75~100% Ni では再び減少の割合が増している。このことは, まず Fe-Ni 系合金は灰色体 (または凝灰色体) でないことを意味

し, さらに ϵ_1/ϵ_2 の値が合金組成によつてそれぞれ違った値をとる, すなわち成分に依存するというを意味している。本実験で求めた ϵ_1/ϵ_2 の値は, 二色高温計の読み温度と真温度の差から算出したものであり, 純粋に Fe-Ni 系の物性値としての ϵ_1/ϵ_2 とはいえない。なぜならば, この差の中には測温体自体の ϵ_1/ϵ_2 に起因する

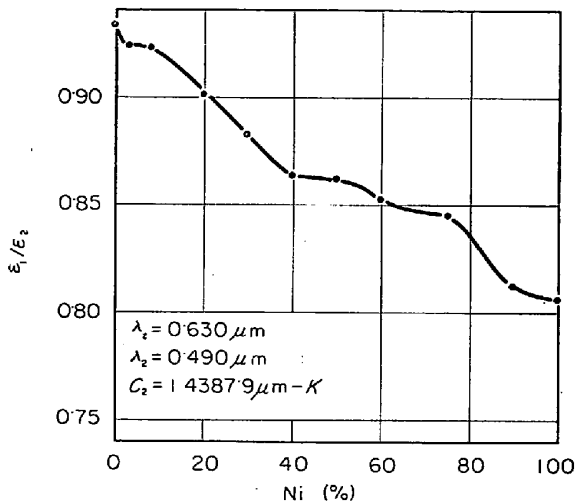


Fig. 8. ϵ_1/ϵ_2 of Fe-Ni alloy.

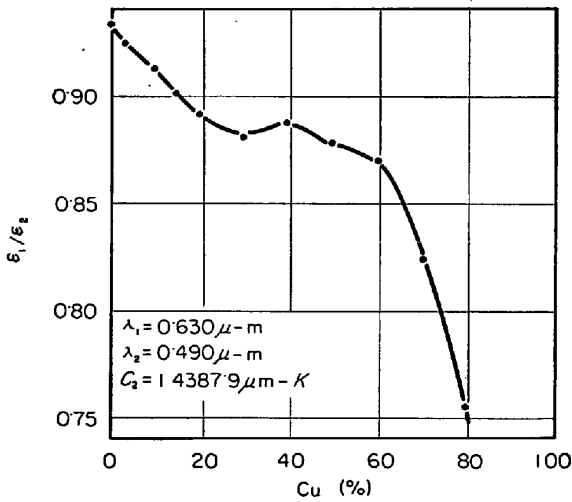


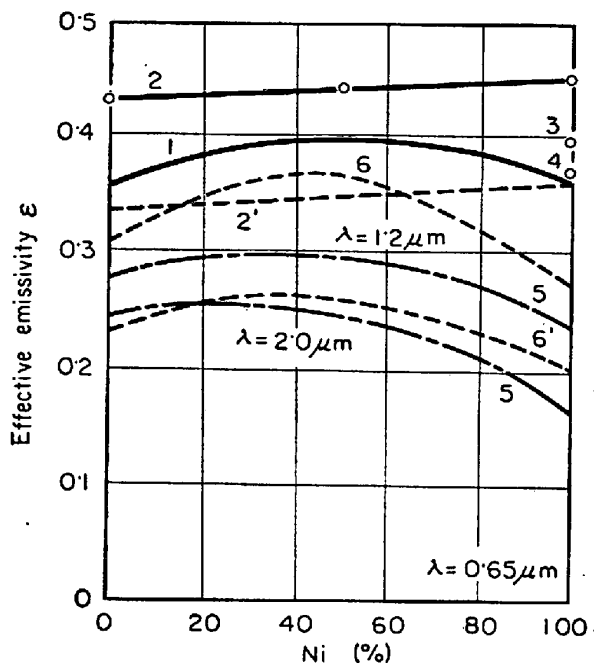
Fig. 9. ϵ_1/ϵ_2 of Fe-Cu alloy.

もの他に、測温光路が理想的でないための誤差、二色温度計が真の二色温度を指示しないことに起因する誤差および偶然混入される誤差なども含んでいるからである。本実験ではこれらの誤差をできる限り排除するよう試みた。まず測温光路が理想的でないもののうち、測温用のガラス窓の透過率については、Table 2で示したように実測し、二色温度の測定値にはほとんど影響を与えないことを確かめた。しかし、その他に色温度変換フィルタの影響⁸⁾、光路の相互反射の影響⁹⁾および金属フェームの影響¹⁴⁾も考えなくてはならない。このなかで、色温度変換フィルタの問題は後述するとして、光路の相互反射の影響は浮揚溶解装置を用いた実験であるため試料が露出しており、無視しうると考えられる。しかし一方試料が露出して表面積が大きいうことは金属フェームの影響をある程度受けていると判定される。つぎに使用した二色高温計が真の二色温度を指示しないのでは

ないかということについては、Fig. 2に示したタングステンリボン輝度温度標準電球を用いて作製した校正グラフにより校正したので、ある程度の影響は除去されたわけであるが、標準輝度温度を色温度に換算するときに用いた実効波長 ($\lambda_1=0.630\mu\text{m}$, $\lambda_2=0.490\mu\text{m}$) が色温度変換フィルタの使用によつて移動していること、さらには使用した浮揚溶解装置および二色高温計のレンズの関係で測温試料の像の大きさが温度計の受光面積に比してやや小さすぎることなどを考慮すると完全とはいえない。したがつて Table 3, Fig. 8の ϵ_1/ϵ_2 の値を Fe-Ni 系の真の ϵ_1/ϵ_2 であると断定するにはやや問題はあつた。しかし一方著者らの測定値の再現性がきわめて良好なことから偶然誤差は小さいと考えられるので、二色温度を真温度に換算するときに ϵ_1/ϵ_2 を実用的な補正係数として使用すれば、その値は十分に評価することができる。つぎに ϵ_1/ϵ_2 の一番小さな値を示した純ニッケルの $\epsilon_1/\epsilon_2=0.806$ の値について考えてみよう。まず従来の古典的なデータ^{10)11)*}を用いて、純ニッケルの ϵ_1/ϵ_2 を計算してみると、その値は 0.90~0.88 になる。また最近では斎藤、津¹⁴⁾らが浮揚溶解装置を用いてニッケルの二色温度は真温度より約 10°C 高いと報告しているが、これから ϵ_1/ϵ_2 を計算すると約 0.98 となる。しかし、古典的なデータは分布(色)温度と色度(色)温度の区別が明確でないものを二色温度と仮定して $\lambda_1=0.630\mu\text{m}$, $\lambda_2=0.490\mu\text{m}$ で算出したものであり、さらに溶解雰囲気の影響など測定にも現在の技術から見れば問題があると思われ、さらに斎藤らの場合、本実験とはやや条件を異にするのでその結果を直接比較できるか否かは疑問である。

Fe-Cu 系合金の場合も ϵ_1/ϵ_2 は銅濃度の増加につれて減少し、その傾向は液相線の形状に類似している。しかし約 80% Cu で $\epsilon_1/\epsilon_2=0.754$, 90% Cu で $\epsilon_1/\epsilon_2=0.624$, 100% Cu で $\epsilon_1/\epsilon_2=0.355$ と銅側ではかなり低値を示している。これは、常温で有色金属である Cu は融体でも特殊な分光放射率特性を示すためか、固-液相が共存する溶融温度における測温において、より固相の多い部分を観測していたのではないかなどが考えられる。しかし、純銅の ϵ_1/ϵ_2 の値は他の合金のそれに比してあまりにも低すぎるように思われる。この原因としてまず第一に Cu の 0.65 μm における分光放射率が他の金属より異常に低いこと¹⁵⁾¹⁶⁾からも類推できるとく有色金属であるため、その分光分布特性がきわめて特殊な状態を示すためと考えられる。さらに斎藤らも指摘してい

* これらの古典的なデータの一部は今も一、二の書物¹²⁾¹³⁾に採録されている。

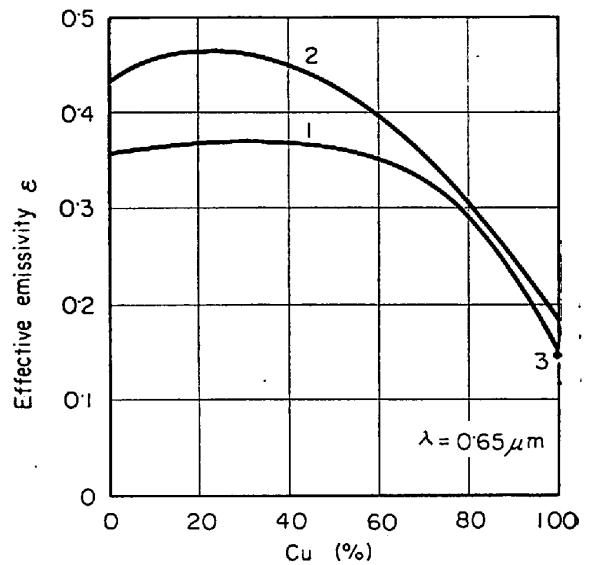


- 1: MORI, FUJIMURA¹⁵⁾ 1556°-1584°C
 2: SMITH, CHIPMAN¹⁶⁾ 1535°C(liquid)
 2': recal. of 21 535°C(liquid)
 3: SANO, SAKAO¹⁸⁾
 4: JIS¹⁷⁾
 5: LUND, WARD¹⁹⁾ 1000°C
 6: presumption line ($\eta_{\text{eff}}=1.0$)
 6': presumption line ($\eta_{\text{eff}}=0.4$) 1535°C (liquid)

Fig. 10. Effective emissivity of Fe-Ni alloy.

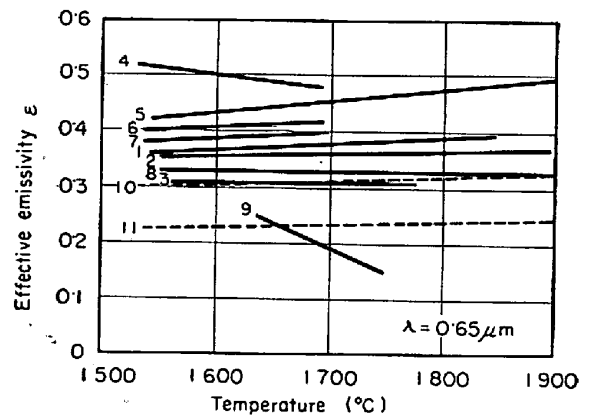
るとく、銅のフェームおよびその化合物（主として酸化物）のフェームのスペクトルが溶融金属からの連続スペクトルと重なって吸収帯を作り、結果として複雑な分光分布を示している状態で測温を行なつたため、異常挙動を示したのではないかと考えられる。なお Fe-Cu 系の場合も Fe-Ni 系と同様 Table 4, Fig. 9 に示した値を真の ϵ_1/ϵ_2 と考えるより、温度換算用の実用的な係数と考えるほうが妥当と思われる。ところで、溶融 Fe-Ni, Fe-Cu 系合金の有効放射率 ϵ と合金組成との関係についてはいくつかの報告¹⁵⁾⁻¹⁸⁾があり、これらをもとにして盛ら¹⁵⁾はこの関係を Fig. 10, 11 のごとくまとめており、それらの関係はかなり明確となつてはいるがこれらはいずれも単波長における値である。それゆえ ϵ_1/ϵ_2 の組成依存性については現在のところ著者らの知るかぎりでは Fig. 8, 9 において示したものの以外に報告されていない。

溶融 Fe-Ni, 溶融 Fe-Cu 系合金の ϵ_1/ϵ_2 の温度依存性については、本実験では確認するにいたらなかつた。Fig. 12 に単波長 ($\lambda=0.65\mu\text{m}$) における純鉄の有効放射率の温度依存性を示す¹⁵⁾が、この図から測定温度範囲があまり広くなく、かつ測定対象が同一相（液相）のみ



- 1: MORI, FUJIMURA¹⁵⁾ 1557°-1594°C
 2: SMITH, CHIPMAN¹⁶⁾ 1535°C(liquid)
 3: JIS(molten copper)¹⁷⁾

Fig. 11. Effective emissivity of Fe-Cu alloy.



- 1, 2, 3: MORI, FUJIMURA¹⁵⁾
 4: J. C. d'ENTREMONT²⁰⁾
 5: DASTUR, GOKCEN²¹⁾
 6: KNOWLES, SARJANT²²⁾
 7: SANO, SAKAO¹⁸⁾
 8: K. W. LANGE²³⁾
 9: K. GUTHMANN²⁴⁾
 10: presumption value ($\eta_{\text{eff}}=1.0$)
 11: presumption value ($\eta_{\text{eff}}=0.4$)

Fig. 12. Temperature dependence of effective emissivity of pure iron.

であれば、 ϵ の温度依存性は無視しうるものと考えられる。したがって、これが ϵ_1/ϵ_2 の商の形となればその温度依存性はさらに小さくなるものと予想される。なお、実際に測定した融点以外の二色温度を真温度に換算するのであれば K の値を用いれば十分目的を果たせるし、計算も簡便である。それゆえ、不確実な λ_1, λ_2 の値を用いて ϵ_1/ϵ_2 を算出する必要はなく、 K の値のままのほうが理論的にも意義が深いといえる。しかしながら、Table

3, 4 であえて ϵ_1/ϵ_2 まで算出したのは, K の値の妥当性を吟味するためである。

6. 結 言

溶融 Fe-Ni, 溶融 Fe-Cu 系合金について二色高温計を用いて融点測定を実施し, 同合金系の 2 つの波長における放射率比 ϵ_1/ϵ_2 の関係を中心に二色高温計の特性を実験的に検討した。その結果つぎの諸点が明らかにされた。

(1) 溶融 Fe-Ni および溶融 Fe-Cu 系合金は灰色体条件からかなりのかたよりを示した。すなわち, ϵ_1/ϵ_2 は測温対象物の組成の変化で違つた値をとり, 溶融 Fe-Ni 系合金の場合には, Ni 量の増加につれてその値が 0.934 から 0.806 まで減少した。Fe-Cu 系合金でも Cu 量の増加につれて ϵ_1/ϵ_2 の値は減少し, とくに Cu 60% 以上では急激に減少し, 液相線の形状に類似していた。これらの値も含めて, 本実験で求めた ϵ_1/ϵ_2 の値は金属フュームの影響, λ_1, λ_2 の値の不確かさ, 温度計の受光面積と試料の像の面積の関係からその合金の真の ϵ_1/ϵ_2 とは断じえないが, 二色温度を真温度に換算する実用的な係数として有効であると判定された。

(2) ϵ_1/ϵ_2 の温度依存性は直接実験的に検討できなかったが, 純鉄の ϵ の温度依存性についての従来の報告から, 測定温度範囲があまり広くない場合は ϵ の温度依存性は小さいので, 二色高温計の温度補正においても ϵ_1/ϵ_2 の温度依存性は実用上無視しうるのでないかと考えられる。

(3) 二色高温計により各種金属および合金の温度測定を実施するためには, 金属あるいは合金の融点を測定し, 二色温度と真温度との関係を WIEN(または PLANCK) の放射式で導き, それにより求めた ϵ_1/ϵ_2 (または K) の値を使用して正確なる真温度補正を行なう必要がある。

終わりに, 本研究を遂行するにあたり, タングステン標準電球による二色高温計の校正実験に関し, ご便宜とご助言を賜りました京都大学工学部盛利貞教授, 藤村候夫博士ならびに研究室の皆様に対し, 深甚なる謝意を表します。

文 献

- 1) 藤田, 山口, 諸岡: 学振 19 委 8944 (第 2-181), (1969)
- 2) A. ADACHI, Z. MORITA, M. KITaura, and N. DEMUKAI: Technol Repts Osaka Univ., 20 (1970) 914, p. 67
- 3) 江森, 奥原, 石丸: 計測と制御, 1 (1962), p. 869
- 4) M. HANSEN and K. ANDERKO: Constitution of Binary Alloys 2nd. ed., (1958), p. 677~684, [Mc Graw-Hill]
- 5) 盛, 藤田, 岩崎: 学振 19 委 8429 (第 3-149), (1967)
- 6) 藤田, 山口, 諸岡: 中部工業大学紀要, 3 (1967), p. 19
- 7) 藤田, 山口: 鉄と鋼, 55 (1969) 11, S 458
- 8) 藤田, 山口, 諸岡: 鉄と鋼, 55 (1969) 11, S 459
- 9) 高田: 計測と制御, 4 (1965), p. 867
- 10) Int. Crit. Table, 5 (1929), p. 246
- 11) G. RIBAUD: Traité de Pyrométrie Optique, (1931), p. 452
- 12) 西川甚太: 温度, (1965), p. 268, [日刊工業新聞社]
- 13) 久保田広監: コールラウシユ実験物理学, 2 (1956), p. 329
- 14) 斎藤, 津: 学振 19 委 8424 (第 3-148), (1967)
- 15) 盛, 藤村: 溶鋼溶滓部会第 6 回シンポジウム資料 (1969)
- 16) D. B. SMITH and J. CHIPMAN: Trans. AIME, 216 (1952), p. 643
- 17) 光高温計による温度測定法, J. I. S Z 8706 (1958)
- 18) 佐野, 坂尾: 学振 19 委 5834 (1960)
- 19) H. LUND and L. WARD: Proc. Phys. Soc. (U. K.), 65 (1952), p. 535
- 20) J. C. d'ENTREMONT: Trans. AIME, 185 (1949), p. 665
- 21) M. N. DASTUR and N. A. GOKCEN: Trans. AIME, 185 (1949), p. 665
- 22) D. KNOWLES and R. J. SARJANT: JISI, 155 (1947), p. 557
- 23) K. W. LANGE: アーヘン工科大学学位論文, (1965)
- 24) K. GUTHMANN: Stahl u. Eisen, 57 (1937), p. 1209