Fe-35% Ni-0~20% Cr 3 元合金の加工状態における磁性*

山本美喜雄** 中道琢郎** 横山紀夫**

Mikio Yamamoto, Takurô Nakamichi and Norio Yokoyama: Magnetic Properties in the Cold-Worked State of Iron-Nickel-Chromium Alloys Containing 35 wt% Ni and 0~20 wt% Cr. In succession to the measurements of the strain gauge factors and electrical resistivities reported in the preceding paper, the saturation magnetization, Curie temperature and magnetostriction have been measured in the cold-worked state of iron-nickel-chromium alloys containing 35 wt% Ni and 0~20 wt% Cr. The Curie temperature does not show any substantial change with the chromium content up to about 7%, beyond which it shows a rapid decrease. Contrary to this, the saturation magnetization decreases almost linearly with increasing chromium content. The forced magnetostriction coefficient decreases appreciably with increasing chromium content up to about 7% Cr, then remains almost constant up to 14.3 wt% Cr, and finally drops to zero at 18.46% Cr, where the alloy is paramagnetic at room temperature. Whereas, the saturation magnetostriction shows a monotonous decrease with increasing chromium content. From the above finding the largest value of the strain gauge factor obtained at about 7% Cr appears to be related to the composition dependence of the Curie temperature, forced magnetostriction coefficient and electrical resistivity as described in the preceding paper. It is shown that the high strain gauge factors in this ternary alloy system can be interpreted thermodynamically.

(Received December 28, 1966)

I. 序 論

前報⁽¹⁾において、われわれは 35% Ni および 0~20% Cr を含む Fe-Ni-Cr 3 元合金の加工された状態について、抵抗歪率が約 7% Cr 合金で最大値を示すことを見出した。この 3 元合金はいわゆる Invar 型合金に属するものであつて、この抵抗歪率の組成による変化が、Invar 特性とどんな関連をもつかは極めて興味深い。

Invar 特性は最初は熱膨張係数の異常に小さいことで特徴づけられたが、その後の研究において、(1) このような異常特性は Fe を含む面心立方格子合金にみられ、かつその中の面心立方相と面心-体心立方 2 相共存範囲との境界組成の近くで出現する、(2) 飽和磁化対キュリー温度比が極めて大きい、(3) 強制磁歪値が大きい、(4) キュリー温度の圧力変化が大である⁽²⁾、などの諸特徴をあわせ持つことが明らかにされた。Invar 合金の電気伝導の機構、とくにその温度変化の原因、については現在なおよく判っていない。最近の研究⁽³⁾によれば、前報⁽¹⁾においてもふれたように、この Invar 型合金の電気抵抗の温度変化、とくに磁気変態温度以下の抵抗の温度変化は、典型的な強磁性型のもではなくて、むしろ反強磁性型に類するものである。このことは Invar 型合金の磁気特性が潜在反強磁性によつてひき起されたものであるとすると幾人かの研究者の

見解⁽⁴⁾⁽⁵⁾を裏がきするものである。

本研究ではこのような Invar 型合金の抵抗と磁性の相互関連に注目して、35% Ni および 0~20% Cr を含む Fe-Ni-Cr 合金の磁気的諸性質を詳しく研究し、そしてその結果に基づいて、この 3 元合金における抵抗歪率の組成依存性を規定する原因の考察を試みるものである。

II. 試料と測定法

試料は前報⁽¹⁾で述べた抵抗測定用試料を作る途中の段階で得られた 5 mm と 1 mm 直径の丸棒から作られた。磁化測定用試料は 1 mm 直径の線材を重さ 10 mg 程度に切りとつたもの、また磁歪測定用試料は 5 mm 直径の丸棒をさらに圧延して、5×10×1.5 mm³ 程度の板に仕上げたものである。これらの試料はすべて、エメリー紙により加工時の被膜をとり、さらに塩酸で化学研磨し、水洗いされた。測定の際には、これらの試料を一般には加工したままで用い⁽¹⁾、二、三の試料についてはまた 1000°C で 2 hr 真空中で焼鈍した状態についても測定した。

磁気測定は、低温においては板ばね-抵抗歪計方式の横振れの磁力計⁽⁶⁾を用いて行なわれた。試料を固定したボビンにコイルを巻き、補償電流を流すことによつて磁場中で試料の受ける力を打ち消して、零位法による測定を行なつた。試料の磁化に比例する補償電流から磁化の絶対値およびその磁場依存性が容易に求められる。試料の温度を液体空気温度から常温まで変え、その温度を試料に接触させた銅-コンスタンタン熱電対によつて測つた。こうして液体

** 東北大学金属材料研究所 (The Research Institute for Iron, Steel and Other Metals, Tohoku University, Sendai)

* 35% Ni および 0~20% Cr を含む Fe-Ni-Cr 合金の加工状態における抵抗歪率と磁性 (第 2 報)

(1) 山本, 中道, 横山, 林: 本誌, **31** (1965), 696.

(2) A. Kussman and K. Jessen: J. Phys. Soc. Japan, **17** (1962), Suppl. B-I, 136.

(3) H. Fujimori and H. Saito: J. Phys. Soc. Japan, **21** (1966), 1219.

(4) E. I. Kondorsky and V. L. Sedov: J. Appl. Phys., **31** (1960), 331 S.

(5) R. J. Weiss: Proc. Phys. Soc., **82** (1963), 281.

(6) R. M. Bozorth, H. J. Williams and D. E. Walsh: Phys. Rev., **103** (1956), 572.

空気温度と室温における磁化曲線を測定し、そして飽和磁化の温度変化を求めた。高温においては普通のねじり天秤を自動化したもので測定を行なった。試料の磁化はその受ける力として記録されるので、飽和以上のこの力の温度変化から磁化の温度変化が求められ、そしてキュリー点が決まる。磁化の絶対値は低温測定値と室温で比較することによって定めた。

磁歪測定は通常の抵抗歪計法⁽⁸⁾によつた。歪計としては市販の抗磁性ゲージ⁽⁹⁾を用いた。測定した最高磁場でゲージ自身の磁気抵抗効果からの寄与と思われる 3×10^{-6} 程度の付加的抵抗変化があつたが、試料の磁歪が最高磁場で 50×10^{-6} 程度であるので、18.5% Cr 組成の合金を除いて、他の組成においては強制磁歪の算出においてゲージ自身の磁気抵抗効果の補正は行なわなかつた。したがつて、得られた強制磁歪値 $(1/l) (\partial l / \partial H)$ には 3×10^{-10} 程度の誤差が含まれている。

III. 測定結果

1. 磁気測定

Fig. 1 には液体空気温度から 350°C までの温度範囲における 9600 Oe の磁場中での各合金の単位質量当りの磁化 σ

Fig. 1 Thermomagnetic (σ - T) curves from liquid air temperature to about 350°C in magnetic field of 9.6 kOe of cold-worked Fe-Ni-Cr alloys containing 35 wt% Ni and 0~20 wt% Cr.

と温度 T の関係を示してある。すべての試料について外部磁場 7000 Oe 以上での磁化は磁場軸に対して完全に水平になるから、その磁化値を飽和磁化と考えてよい。この図から明かなように、磁化対温度曲線は Cr 量によつて 2

群に分れる。Cr 量の少ない、0~7.23% Cr の組成範囲ではキュリー温度 T_c の組成による変化は少なく、また磁化の温度による変化はかなり急激である。一方、10.59~18.46% Cr の組成範囲では磁化の温度による変化は比較的ゆるやかで、またキュリー温度は Cr 量によつてかなり大巾に変化する。

このことをもつと端的に示したのが Fig. 2 である。液体空気温度における σ は Cr 量に対してほとんど直線的に変

Fig. 2 Composition dependence of the Curie temperature, T_c , and of the specific saturation magnetization, σ , at the liquid air temperature in as-coldworked state of Fe-Ni-Cr alloys containing of 35 wt% Ni and 0~20 wt% Cr.

化するが、 T_c は Cr の少ない組成範囲ではゆるやかに変化し、7% Cr 近傍で顕著な曲りを示した後、Cr の多い組成で急激な減少を示す。 T_c が 0°K になる組成は 29% Cr、すなわち $\text{Fe}_{0.35}\text{Ni}_{0.35}\text{Cr}_{0.29}$ の組成、に当る。このキュリー温度の組成依存性にみられる顕著な曲りはこの 3 元合金系の抵抗歪率が最大となる組成に対応し⁽¹⁾、キュリー温度と抵抗歪率の間に密接な関連のあることを示す。なお、これらの特性は 1000°C で 2 hr 真空中で焼鈍した場合においても本質的な変化はみられなかつた。

2. 磁歪測定

Fig. 3 は焼鈍した試料について圧延方向に沿つて測つた磁歪 λ の磁場依存性を示す。各合金について、磁歪の外部磁場の大きさ H による変化と磁場の方向による変化を測定した。前者の場合には磁場を圧延方向 (白丸) とそれに垂直な方向 (黒丸) に掛け、後者の場合には 5600 Oe と 11000 Oe の二つの一定磁場を試料の圧延面内で回転しながら測定した。角度 ϕ は圧延方向と磁場方向とのなす角度である。

この図から明かなように、18.46% Cr 合金を除くすべての合金について、3000 Oe 以上の磁場においては磁歪は磁場に対して直線的に変化して、磁場が圧延方向にあつても、それと垂直な方向にあつても、その依存性の勾配はほとんど変わらない。また、磁場の回転による磁歪変化の異方的部分はその測定磁場が 5600 Oe であつても、11000 Oe であつても全く変わらないようである。しかも、いずれの試料

(7) J.R. McGuire and C. E. Lane: Rev. Sci. Instr., **20** (1949), 489.

(8) M. Yamamoto and T. Nakamichi: Sci. Rep. RITU, **11** (1959), 168.

(9) T. Nakamichi: J. Phys. Soc. Japan, **20** (1965), 720.

にあつても、 $\phi=0$ すなわち磁場が圧延方向に平行なときに磁歪が最大値をとっている。18.46% Cr の合金では、磁

場係数を N として、 $H = H_{\text{ext}} - NI$ で求められる。磁化 I は飽和以上では飽和磁化 I_s となり、磁場の大きさに関係

Fig. 3 Magnetostriction, λ , as functions of the external magnetic field strength, H , (left hand) and of the angle, ϕ , between the strain-measuring direction and magnetic field (right hand) in as-coldworked state of Fe-Ni-Cr alloys containing 35 wt% Ni and 0~20 wt% Cr: (a) 0 wt% Cr (Invar alloy), (b) 3.41 wt% Cr, (c) 7.23 wt% Cr (nearly Elinvar alloy), (d) 10.59 wt% Cr, (e) 14.28 wt% Cr, and (f) 18.46 wt% Cr. In the left-hand figures, open and solid circles indicate measured data obtained when the magnetic field was applied parallel and perpendicularly to the direction of strain measurement, respectively. In the right-hand figures, lower and higher curves were obtained at $H=5.6$ and 11 kOe, respectively.

歪値は小さいが、その磁場依存性は高磁場にいたるまで直線的にならない。しかし、この磁場依存性は抵抗歪線自身の磁気抵抗効果と全く同じで、またその大きさもほとんど同じであるから、したがって常温で常磁性であるこの試料の磁歪は実際上零であると見なされる。

われわれは、このような結果に基づいて、磁歪 λ は次式にしたがって変化すると仮定した⁽¹⁰⁾：

$$\lambda = \lambda_r + (3/2)\lambda_s(\cos^2\theta - 1/3) + \kappa H \quad (1)$$

ここに、 λ_r は試料の零磁場での磁区分布によつて定まり、そして磁場には関係しない量であり、 λ_s はいわゆる飽和磁歪値、そして θ は磁歪測定方向と磁化方向とのなす角度である。また、 κ はいわゆる強制磁歪係数であつて、試料の元の長さを l として

$$\kappa = (1/l) (\partial l / \partial H) \quad (2)$$

で与えられ、通常飽和以上の磁場にあつては、磁場の大きさにかわらず、一定値となるものである。

(1) 式における有効磁場 H は外部磁場 H_{ext} から、反磁

しない値となるから、Fig.3 に見るように、高磁場においては磁歪は外部磁場に対して直線的に変化することになる。また、磁場を回転させると、磁化方向は飽和以上にあつては完全に磁場方向と一致するから、磁歪は Fig.3 にみられるように、磁場の回転に伴つて、 $\cos^2\phi$ 型の異方的な磁歪の変化分を示すことになる。

このような考えに基づいて、(1) 式から λ_s および κ の値を求めた。Fig.4 には飽和磁歪 λ_s の値を、また Fig.5 には強制磁歪係数 κ の組成依存性を示す。図中の白丸と黒丸は磁歪測定方向を圧延方向およびそれと垂直な方向に選んだときに得られた値をそれぞれ示す。 λ_s は磁歪測定方向をいずれにとるかによつて Cr 量に対して多少不規則な変化を示すが、これは試料の結晶粒の異方的な配列に関係すると思われ、圧延方向とそれに垂直な方向の測定値を平均すれば、Fig.4 の破線が示すごとく、Cr 量の増加とともに単調に滑らかに減少する。一方、強制磁歪係数は、Fig.5 より明らかなように、0~7% Cr の組成範囲では急速な減少を示すが、7~14% Cr の組成範囲ではほとんど一定の値を

(10) E.W.Lee: Rep.Prog.Phys., 18(1955), 185.

とり、18.5% で常磁性となるために急激な減少を示して急に減少するので、この組成範囲での Cr 量の増加に伴って零となる。

Fig. 4 Composition dependence of the saturation magnetostriction, λ_s , in as-coldworked state of Fe-Ni-Cr alloys containing 35 wt% Ni and 0~20 wt% Cr. Open and solid circles indicate the measured data when the strain-measuring direction was set parallel and perpendicularly to the rolling direction, respectively. The dashed line is the simple average of both curves.

Fig. 5 Composition dependence of the forced magnetostriction coefficient, κ , measured along the direction parallel (open circles) or perpendicularly (solid circles) to the rolling direction in as-coldworked state of Fe-Ni-Cr alloys containing 35 wt% Ni and 0~20 wt% Cr.

以上から判るように、Cr 量に対する抵抗歪率の山と直接関係すると思われるのは強制磁歪係数であつて、飽和磁歪ではない。このことは、われわれが抵抗歪率の値を高歪領域で定めたことも関係しているが、われわれの定めた抵抗歪率はテクニカルな磁化範囲の磁化過程には全く関係していないことを示す一つの証拠と考えられる。

IV. 考 察

われわれが研究した Fe-Ni-Cr 3 元合金の磁気的性質を概観すると、最大値を約 7% Cr にもつ抵抗歪率の組成依存性は、この合金のキュリー温度および強制磁歪の組成依存性と関連をもっているように思われる。とくに、キュリー温度は約 7% Cr 以上の組成範囲で Cr 量の増加に伴な

なう抵抗歪率の減少と密接に関連していると考えられる。これは前報⁽¹⁾で述べた抵抗歪率と抵抗およびその温度係数との関係と相補的である。すなわち、Cr 量が増すとともに、0~7% Cr の組成範囲では抵抗歪率は増加し、同時に電気抵抗が増加するとともにその温度係数は減少するが、しかし、キュリー点はほとんど変化しない。一方約 7% Cr 以上の組成範囲における抵抗歪率の減少にはキュリー温度の低下が対応するが、しかし抵抗は組成によつて変化しない。

ところで、この合金の抵抗歪率を支配している原因は何であろうか？ そのうちの二つはすでに前報⁽¹⁾の序論で述べた寸法効果と、体積変化率に等しい比抵抗の相対的变化であつて、その和は 2.0 の抵抗歪率を与える。この部分を G_0 とおくことにしよう。もちろん、この機構はこの Invar 型の 3 元合金においても作用しているが、しかしこの 3 元合金の抵抗歪率が 2.0 よりもかなり大きいことを考えると、上述の二つの機構以外に抵抗歪率を規定する他の要因があると考えざるを得ない。この点で、この 3 元合金の Invar 磁気特性に興味をもたれるわけである。

序論で述べたように、Invar 型合金にあつては、キュリー温度は圧力によつて著しく変化する⁽²⁾。抵抗対温度曲線を考えると、このようなキュリー温度の圧力による大きな変化は当然この合金のキュリー温度以下の抵抗に、ある付加的变化をおよぼすであろう。これを抵抗歪率の磁気的效果と呼び、 G_m で表わすことにしよう。

さて、試料が弾性変形すると、その抵抗対温度曲線はずれるが、そのずれ方は常磁性領域と強磁性領域で違う。すなわち、常磁性領域では、 G_m を考える必要がないので、ある温度 T での変形後の抵抗値は G_0 のみできまつて、つぎの形をとる。

$$R'(T) = R + \Delta R = R(T) (1 + G_0 \epsilon) \quad (3)$$

ここに、 $R(T)$ および $R'(T)$ はそれぞれ変形前後の抵抗値、そして ϵ は変形歪 $\Delta l/l$ である。一方、磁気変態点以下では、抵抗歪率の磁気的效果 G_m も加わつて、変形後の抵抗、 $R''(T)$ は

$$\begin{aligned} R''(T) &= R + \Delta R = R(T) \{1 + (G_0 + G_m) \cdot \epsilon\} \\ &= R'(T) (1 + G_m \cdot \epsilon) \end{aligned} \quad (4)$$

の形をとる。

$R'(T)$ を用いると、全温度領域での磁気的效果のみによる抵抗変化を扱うことができる。その際、 G_m は $\Delta R' = R'' - R'$ として、つぎのように定義し直して考えてもよい。

$$G_m = (\Delta R' / R') / (\Delta l / l) \quad (5)$$

もちろん、全抵抗歪率 G は G_m と

$$G = (\Delta R / R) / (\Delta l / l) = G_0 + G_m \quad (6)$$

の関係をもつものである。

ここで問題としている Fe-Ni-Cr 合金の抵抗の温度依存性は、前報⁽¹⁾で詳しく述べたように、常磁性、反強磁性および強磁性領域の三つに分れる。考察を簡単にするために、各領域の温度係数が温度によらず一定であつて、

Fig.6 に示すように、キュリー点 θ および強磁性的領域と反強磁性的領域の境界の温度 θ' の二つの温度で折曲をも

Fig.6 Schematic diagram of the temperature dependence of the electrical resistivity, R , when hydrostatic pressure is applied to the an Invar-type alloy specimen, when the shift of the Curie temperature by the pressure is taken (dashed line) and not taken into account (solid line).

つ直線で示されるものと考えよう。なお、図には変形による抵抗の磁気的効果の部分だけを問題にするために、(3)式によつて定義された仮想的な抵抗値 $R'(T)$ が描かれている。この抵抗-温度曲線をもとにして、変形による磁気的効果を考えると、Fig.6 の点線に示されるように、 θ と θ' がずれ、抵抗温度曲線は $R''(T)$ に移る。この際、変形によつて、各温度領域の抵抗の温度係数は変化しないものと仮定する⁽¹¹⁾。しからば、常磁性的、反強磁性的、および強磁性的領域の抵抗の温度係数をそれぞれ α_p , α_a および α_f とし、つぎのような抵抗変化のあることを期待できる。

(1) 反強磁性領域においては、

$$\Delta R'/R' = (\alpha_p - \alpha_a) \Delta\theta \quad (7)$$

(2) 強磁性領域においては、

$$\Delta R'/R' = (\alpha_p - \alpha_a) \Delta\theta + (\alpha_a - \alpha_f) \Delta\theta' \quad (8)$$

ここに、 $\Delta\theta$ と $\Delta\theta'$ は変形による θ および θ' のずれの量で、変形 $\epsilon = \Delta l/l$ の函数である。なお、前報⁽¹⁾で述べたように、この Invar 型の 3 元合金では、それぞれの領域における抵抗の温度係数の間には

$$\alpha_a < \alpha_p < \alpha_f$$

なる関係があると期待し得る。

つぎに、 $\Delta\theta$ と $\Delta\theta'$ を ϵ との函数として求めてみよう。この場合、Kornetzki⁽¹²⁾の与えたキュリー温度の静流体圧による変化と体積磁歪の関係式が有用である。Kornetzki は分子磁場近似で熱力学的考察を行ない、つぎの式を導いた：

$$(1/\theta) (\partial\theta/\partial p) = (1/T) (\partial\omega/\partial H) / \{ (\partial M_s/\partial T)_p - 3\alpha K (\partial\omega/\partial H) \} \quad (9)$$

ここで、 θ はキュリー点、 p は圧力、 T は温度、 $\partial\omega/\partial H$ は体積磁歪係数、 M_s は飽和磁化、 α は熱膨張係数、そして K は圧縮率である。一般に、右辺の分母の第 2 項は第 1 項にくらべて省略しても構わない。いま、簡単のために、Fe-Ni-Cr 合金の弾性常数はその組成によつてあまり変化せず、ほぼ一定であると仮定しよう。しからば、ある一定温度での弾性変形によるキュリー点の変化は、(9)式から、

$$(1/\theta) (\partial\theta/\partial\epsilon) = A (\partial\omega/\partial H) / (\partial M_s/\partial T)_p \quad (10)$$

によつて与えられる。ここに、 A は弾性率や測定温度によつてきまる一定の数係数である。これを (7) および (8) 式に代入し、そして、体積磁歪係数 $\partial\omega/\partial H$ と強制磁歪係数 κ との間の関係 $\partial\omega/\partial H = 3\kappa$ を用いると、

(1) 反強磁性領域では

$$G_m = 3A(\alpha_p - \alpha_a) \theta \kappa / (\partial M_s/\partial T)_p \quad (11)$$

(2) 強磁性領域では

$$G_m = 3A(\alpha_p - \alpha_a) \theta \kappa / (\partial M_s/\partial T)_p + 3B(\alpha_a - \alpha_f) \theta \kappa / (\partial M_s/\partial T)_p \quad (12)$$

となる。なお、 $\Delta\theta'/\Delta\theta = B/A$ といったが、三井ら⁽¹¹⁾の Cr についてのデータによれば $\Delta\theta' \approx \Delta\theta$ であり、 $A \approx B$ とみなすことができよう。

さて、(11) および (12) 式によつてわれわれの Fe-Ni-Cr 合金の抵抗歪率の組成依存性を抵抗の温度係数、キュリー点、強制磁歪係数、および磁化の温度変化によつて説明することが出来る。まず、0~7.0 wt% Cr の組成範囲に対しては、抵抗歪率の測定温度は強磁性領域にあり、したがつて (12) 式を用いねばならない。これまでの実験結果によれば、Cr 量の増加とともに α_f はその大きさを急速に減じ、 θ はあまり変化しないが、 κ は急速に減少し、また $(\partial M_s/\partial T)_p$ も減少する。しかも、 κ と $(\partial M_s/\partial T)_p$ の減少率は同程度であるので、この組成範囲における抵抗歪率の組成依存性を支配するのは主として α_f の減少であることになる。これは、 $\alpha_a < \alpha_f$ の関係によつて、負の寄与をなす、(12) 式の右辺第 2 項の寄与を弱めることになり、したがつて抵抗歪率を上昇させる。このことは前報⁽¹⁾において述べた実験結果、とくに抵抗歪率と抵抗の温度係数の密接な関連をよく説明する。一方、約 7% Cr 以上の組成範囲では、抵抗歪率の測定温度は反強磁性領域にあり、(11) 式が適用される。ここでは、抵抗の温度係数の変化は少なく、Cr 量の増加とともにキュリー点は減少するが、 κ はほぼ一定であり、また $(\partial M_s/\partial T)_p$ は少しく増加する傾向を示す。この中で最も著しい変化はキュリー点 θ の減少であつて、これが $\alpha_p > \alpha_a$ であるために、(11) 式によつて、抵抗歪率の組成依存性を支配して、その減少を招くことになる。このことは実験結果、とくに約 7% Cr 以上の組成での抵抗歪率とキュリー点の密接な関連を説明する。

最後に、(7) 式をもとにして、歪によるキュリー点の上昇が抵抗歪率にどの程度の寄与をするか計算してみよう。Belov⁽¹³⁾によれば、33% Ni, 67% Fe 組成の Invar 合金で

(11) T. Mitsui and C. T. Tomizuka : Phys. Rev., 137 (1965), A 564 によると、Cr の抵抗の圧力による変化においては、このような仮定が妥当であるようにみえる。

(12) M. Kornetzki : Z. Physik, 98 (1935), 289.

(13) K. P. Belov : Magnetic Transitions, Consultants Bureau, New York, (1959).

はキュリー温度の張力による変化は 10 kg/mm^2 当り 2°C である。この張力のもとでの歪はヤング率を $20 \times 10^{11} \text{ dyne/cm}^2$ として 0.5×10^{-3} となる。一方、18.46% Cr 合金についてみると、 $\alpha_p = 5.21 \times 10^{-4}$ 、 $\alpha_a = 4.32 \times 10^{-4}$ である。したがって、反強磁性領域での抵抗歪率の磁氣的効果はつぎの式で与えられる。

$$G_m = (\Delta R'/R') / (\Delta l/l) = (\alpha_p - \alpha_a) \cdot \Delta \theta / (\Delta l/l) = 0.356$$

この値は実際に得られた抵抗歪率の最大値における $G_m = 1.6$ の $1/4$ 程度であるが、7.2% Cr 合金についての $\Delta \theta$ や $\alpha_p - \alpha_a$ の値を用いてはいないので、この程度の値はほぼ妥当な数値であると考えられる。

V. 総 括

35% Ni および 0~20% Cr を含む Fe-Ni-Cr 合金が約 7% Cr で最大値を示す抵抗歪率の組成依存性と関連して、磁化の温度依存性と磁歪の測定を行ない、これらの磁気量も抵抗歪率の最大値に対応する特異な組成依存性を示すこ

とを見出だした。すなわち、

(1) Cr 量の増加によつてキュリー点は約 7% Cr まではあまり変化しないが、約 7% Cr を越えると、Cr 量の増加とともに急速に減少する。

(2) 飽和磁化は Cr 量の増加とともに直線的な減少を示す。

(3) 強制磁歪係数は、Cr 量の増加とともに 7% まで大きく減少し、7~14% Cr ではほぼ一定、そして 18.46% Cr で零となる。また

(4) 飽和磁歪値は Cr 量の増加につれて、単調に減少する。

以上の事実は、前報⁽¹⁾の電気抵抗、とくにその温度変化の特異な挙動とともに、この Fe-Ni-Cr 合金の抵抗歪率の大きな値とその組成依存性にと強く関連しているものと推定される。このような観点から、Kornetzki の熱力学的な式を用いて、抵抗歪率の挙動と磁氣的および電気的諸性質の相互関係を定性的に説明することが出来た。