

Fig. 2 は同じく筆者らの研究室でキュービックアンビル装置<sup>5)</sup> (神戸製鋼 DIA-6) 中に組み込む圧力セルの構成図で, 相互誘導法による  $T_c$  の圧力効果用のものである。全体を一体にすると一辺 7 mm の立方体になる。p. 399 の脚注に述べておいたが, われわれは通常 Fig. 1 のを圧力容器, Fig. 2 のをセルと呼び分けている。なお, Fig. 2 の場合, 加圧は固体圧であるが, 現在加圧方式だけに限ると静水圧加圧が可能である<sup>6)</sup>。

### 3. キュリー点と磁気モーメントの圧力効果の実験結果

磁性体の圧力効果のデータは膨大であるが, それは測定の対象とする磁性量が多様というよりむしろ対象物質たる磁性体の種類が多いことによる。本稿では磁性体のなかでも一応強磁性を示すものに限定させていただいたが, それでも元素の組み合わせからすると多い。しかしながら, 全体を眺めるとそれぞれの測定量の測定結果は物質が違っても何らかの形で系統的にまとめられるのではないか, またはまとめられないか, ということを筆者らは日頃考えている。したがって, 本稿では強磁性を示す (i) 鉄族遷移元素を含む合金と (ii) 鉄族強磁性元素と希土類元素との金属間化合物とを主たる二つの柱とし, 生のデータの例示, できるだけ系統的にまとめた結果とその解釈を以下順次紹介していくことにする。

#### 3.1 鉄族金属・合金

##### 3.1.1 キュリー点の圧力効果

Fig. 3, 4 に Ni-Rh 合金の自己誘導<sup>18)</sup>,  $\text{Ni}_{0.429}\text{Pt}_{0.571}$  の磁化の Arrott plots\* を示す<sup>30)</sup>。すぐわかるように, 前者のデータからはそのままキュリー点  $T_c$  の圧力効果  $\Delta T_c/\Delta p$  が求まるが, 後者は引用したように 1 kb での  $T_c$  (測定点の外挿が原点を通る測定温度) を決めるためのデータで,  $\Delta T_c/\Delta p$  は圧力を変えて同様なデータをまとめて求める。

Fig. 5 は Ni の  $\Delta T_c/\Delta p$  を基準として Ni-Cu\*\*, -V, -Rh<sup>18,31)</sup>, -Cr, -Mn<sup>32)</sup>, -Pd<sup>18,31,33)</sup>, -Pt<sup>30,31)</sup>, -Fe<sup>12,34)</sup>, -Co<sup>12)</sup>, -Fe-Mn (3元)<sup>34)</sup>, Fe-Pt, -Pd<sup>35)</sup> についての多くの研究で得られた  $\Delta T_c/\Delta p$  の実験結果を  $T_c$  の関数としてまとめたものである。図から得られる結果のまとめに入る前に, 実験的立場から  $\Delta T_c/\Delta p$  の値の持つ意味

\* ここでの Arrott plots は圧力下で磁化曲線を求めているから直接法といえるが, 同じ Arrott plots と呼んでも常圧下の測定だけから描き,  $\Delta T_c/\Delta p$  を求める方法<sup>29)</sup>もある。これはいわば間接法である。

\*\* 筆者らのグループで Ni を含めて Ni-Cu の  $\Delta T_c/\Delta p$  を最初求めたのは Okamoto ら<sup>20)</sup>であるが, 文献 18) では再測定している。値は最初から変わっていない。

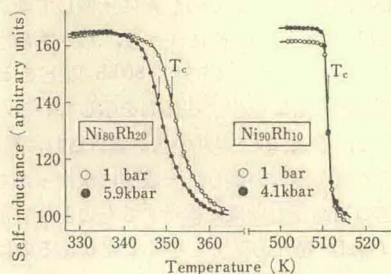


Fig. 3 Self-inductance as a function of temperature at normal pressure and a pressure for  $\text{Ni}_{90}\text{Rh}_{10}$  and  $\text{Ni}_{80}\text{Rh}_{20}$ <sup>18)</sup>.

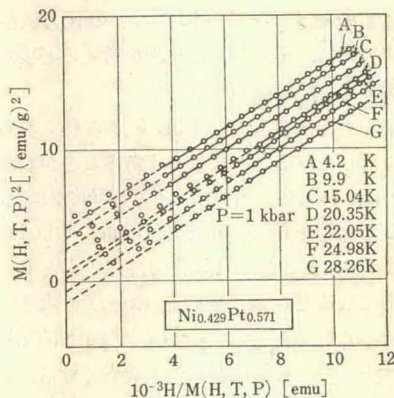


Fig. 4 Arrott plots for  $\text{Ni}_{0.429}\text{Pt}_{0.571}$ <sup>30)</sup>.

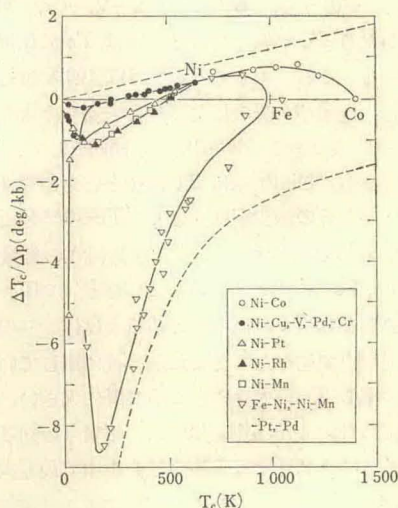


Fig. 5  $\Delta T_c/\Delta p$  as a function of  $T_c$  for iron group transition metals and alloys. See the text about dotted line in this figure.

について述べておきたい。基準となる Ni について例をとると, 静水圧以外にベルト方式の加圧装置によって 20~80 kb までの固体圧下で Leger ら<sup>12)</sup>が測定している



が、50 kb ぐらいまでは  $T_c$  は  $p$  に比例して増加している。なので  $\Delta T_c / \Delta p$  は一義的に決まり、しかも静水圧下での値とよい一致を示している\*。50 kb 以上で  $\Delta T_c / \Delta p$  は  $p$  の増加とともに減少する傾向を示している。これらのことから、普通  $\Delta T_c / \Delta p$  の値が報告された場合には、特別な断り書きがない限り、一義的に決まったものであり、前述の初期圧力効果に相当するものとしてよい。時には  $\Delta T_c / \Delta p$  を圧力微分と呼ぶことがあるのはこのような意味を含み、体積圧縮率 (volume compressibility, 単に compressibility)  $\kappa$  について定数表などに引用してある値が、 $p \rightarrow 0$  のときの値、または zero pressure compressibility と呼ばれているのと同じ意味である。しかし考察の対象が、 $\Delta T_c / \Delta p$  などの圧力依存性に向けられた場合には、それなりの起因を考える必要があることは当然であり、理論的考察もある<sup>36)</sup>。

さて話をもとに戻して、Fig. 5 から得られる結果を箇条書きにしてみるとかなり多くあることがわかる。以後  $\Delta T_c / \Delta p$  なる語は省略する。(i) Ni では正。Co では 60 kb でもなお  $0 \pm 0.5 \text{ deg/kb}$  (Leger ら)。Fe は同じく Leger らによると 20 kb まではほとんど 0、それ以上の圧力になると、結晶変態点 ( $\alpha \rightarrow \gamma$ ) の大きい負の圧力効果にかくれて測定できない。(ii) Ni-Co, 一部の Ni-Fe では圧力効果はいったん大きくなる。(iii) Ni-Cu, -V, -Cr, -Mn, -Pd, -Pt, -Rh 合金系では  $T_c$  が減少すると符号は正から負に変わる ( $T_c$  減少は Ni 量の減少に対応)。そのうち、●印の -Cu, -V, -Cr, -Mn, -Pd 系ではかなり  $T_c$  が低くなるまでほぼ  $T_c$  に比例して減少している。これらのうち  $T_c$  がほぼ 100 K 付近から枝分かれし、絶対値が最大になったあと減少する傾向にあるのが -Pd 系である。Ni-Rh 系も傾向としては -Pd 系と同じである。Ni-Pt 系は  $T_c$  減少とともに単調減少であり、しかもその減少率は大きく、 $T_c \rightarrow 0^{**}$  付近では一段と急に減少率が大きくなる。(iv) (ii) の領域を除いた Ni-Fe, Fe-Ni-Mn, Fe-Pd, -Pt など (▽印) では、 $\Delta T_c / \Delta p$  の値は  $T_c$  の値でまとめるとほぼ一つの曲線上にあり、(iii) で述べたのとまた別の枝に属しているようで、減少率も  $T_c$  の大きいところで既に大きい。この系の絶対値の最大は  $8.5 \text{ deg/kb}$  で、筆者らの知る限りでは最大値という意味では鉄族金属合金中で最も大きいよ

\* 筆者らのグループでの固体圧と静水圧下での  $\Delta T_c / \Delta p$  の値もほぼ一致している。(山本よりの私信、文献 32) 参照。現在投稿準備中)

\*\* 合金系で  $T_c \rightarrow 0$  となる組成、言い換えると強磁性が消失する臨界組成  $c_f$  (critical concentration) 近くでの  $\Delta T_c / \Delta p$  も後述するように現在重要な研究課題であり、Fig. 5 でもわかるように最近多くの測定が行なわれている。

うである。

最後に、Fig. 5 に引用した合金系の結晶構造は Fe, Co 単体を除いて、f.c.c. であり、b.c.c. 系についての  $\Delta T_c / \Delta p$  のデータの充足が今後ぜひ必要と思う。

### 3.1.2 0K での自発磁化の圧力効果

当然のことながら、自発磁化は強磁性領域のみに関するものであるが、とくに 0K での値が重要である。通常、単位質量当たりの磁化で求め、任意の温度、0K でのそれぞれを  $\sigma_s, \sigma_0$  と書く。基礎データの一例として、Fig. 4 で引用したのと同じ著者ら<sup>30)</sup> の  $\text{Ni}_{0.502}\text{Pt}_{0.498}$  についての Arrott plots を Fig. 6 に示す。Fig. 4 と Fig. 6 を比べると前者では  $p$  を一定にして  $T$  を変え、後者では  $T$  を一定 (ここでは 4.2K) にして  $p$  を変えたときのデータである。なお 4.2K の結果を 0K のそれとしている。Fig. 5 で引用した試料のなかで、 $\sigma_0$  の圧力係数  $\sigma_0^{-1} (\Delta \sigma_0 / \Delta p)$  が求められているものについての結果を Fig. 5 と同じく  $T_c$  の関数として Fig. 7 にまとめた。

$T_c$  の関数と考えてまとめたのは後述の理由による。ただ圧力係数の値は広範囲にわたっているので、縦軸は対数目盛りとした。引用した文献は、Ni-Cu (Fujiwara ら<sup>37)</sup>), Ni-Pd (Fujiwara ら<sup>38)</sup>, Beille<sup>33)</sup>), Ni-Pt (Alberts

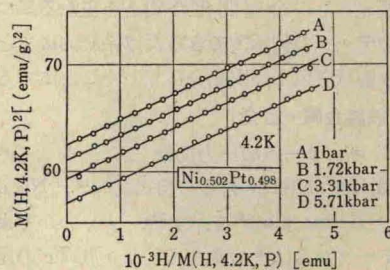


Fig. 6 Arrott plots for  $\text{Ni}_{0.502}\text{Pt}_{0.498}$ <sup>30)</sup>.

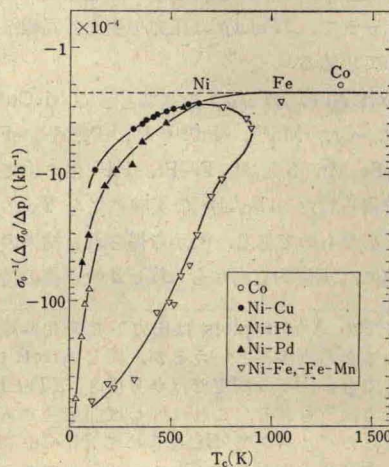


Fig. 7  $\sigma_0^{-1} (\Delta \sigma_0 / \Delta p)$  as a function of  $T_c$  for iron group transition metals and alloys.