

International Symposium on Magnetoelasticity in  
Transition Metals and Alloys に出席して

名大・工 井 上 順一郎

(1982年10月5日受理)

上記のシンポジウムは、ICM' 82 Kyoto の関連コンファレンスの一つとして、9月15日、16日に名古屋で開催された。私はオーガナイザーの研究室のスタッフの一人として、このシンポジウムに出席した。このシンポジウムは4年前に同じ場所で開催された、International Symposium on the Invar Problem に続くものである。先回はテーマがインバーに限られていたが、今回はより一般的に磁性と弾性のかかわりについて討論しようというものである。このシンポジウムは短期間でもあり、小人数でできるだけ議論を多くということ、オーラルセッション一つであった。

参加者は、日44、仏5、米5、英5、伊、オランダ、ポーランド各2、カナダ、西独、南ア、イスラエル、ソ連、チェコ、オーストラリア各1で、小人数ずつではあるが多くの国からの参加があったように思われる。先回に比べて、日本人は中堅の人達の参加が多かったようだ。

磁性と弾性の絡み合った現象は磁性理論の検証方法の一つとして最近特に注目されている。今回のシンポジウムも理論(ストナー理論あるいはSpin fluctuation理論)による実験結果の説明、逆に種々の実験による理論の検証の試みが多くあった。また新しい物質、たとえば、Rare-earth と Transition metal との金属間化合物やアモルファス等における磁弾性異常の報告が多くあった。これらの中にはインバー特性を示すものもあり、またインバー合金の代表であるFe-Ni, Fe-Pt 合金に関する報告ももちろんなされた。さらに種々の物質についての磁気変態、熱膨張、弾性、磁歪および圧力効果についての報告がなされた。

プログラムを以下に示す。共同発表者が二人以上の報告は報告者の名前のみが載せてある。

PROGRAM

September 15

SESSION 1 — THEORY

M. Shimizu (Nagoya) et al.

Theoretical aspects of magnetoelasticity in transition metals and alloys

H. Hasegawa (Tokyo)

An itinerant-electron theory of Invar effects

V. Korenman (College Park)

Spontaneous volume magnetostriction and pressure dependence of  $T_c$  in iron and nickel, in the local-band theory

D. M. Edwards (London) et al.

Magnetovolume effects in the Moriya-Kawabata theory of very weak itinerant ferromagnetism

D. J. Kim (Tokyo)

Electron-phonon interaction model for the relation between magnetic and elastic properties in itinerant electron ferromagnets

SESSION 2 — PHASE TRANSITION

D. Bloch (Grenoble) et al.

$2 k_F$  and  $4 k_F$  transition in quasi one-dimensional magnetic conductor  $\text{MEM}-(\text{TCNQ})_2$

Y. Tsunoda (Osaka) et al.

Bulk modulus and martensitic transformation in MnCu alloy

W. Young (London) et al.

Landau theory for a cubic to tetragonal structural phase transformation

S. F. Dubinin (Sverdlovsk) et al. (read by Turov)

Neutron diffraction effects of the distorted structure of the Ni-67.7at.%Fe alloy in the magnetic ordered state

J. Morkowski (Poznań) et al.

Influence of long range order on magnon energy in itinerant electron ferromagnetic alloys

SESSION 3 — THERMAL EXPANSION

G. K. White (Sydney) et al.

Thermal expansion of chromium and chromium-vanadium alloys

S. Ogawa (Sakura-mura)

Thermal expansion of  $ZrZn_2$

J. J. M. Franse (Amsterdam) et al.

Thermal expansion and specific heat anomalies in UPt below the ferromagnetic ordering temperature

#### SESSION 4 — INVAR ALLOYS

F. Ono (Okayama) et al.

Thermal expansion measurements in Fe-base Invar alloys

M. Matsui (Nagoya) et al.

Invar anomalies of Fe-Pd alloys

O. Yamada (Okayama)

Contribution of the temperature change in local magnetic moment to the Invar effect

#### SESSION 5 — ELASTIC CONSTANTS

H. Yamada (Gifu)

Elastic anomaly in itinerant electron antiferromagnet

Y. Tanji (Sendai) et al.

Anomalous elastic properties of FeNi (fcc) alloys and their Invar properties

H. M. Ledbetter (Boulder)

Low-temperature elastic-constant anomalies in Fe-Cr-Ni-Mn alloys

S. Ishio (Sendai) et al.

Magnetoelastic effect in dilute Co-Fe alloys

Z. Kaczkowski (Warsaw) (read by Radwański)

Influence of thermal and mechanical treatment on internal friction, modulus of elasticity and its temperature stability in Nispan C type alloy

September 16

#### SESSION 6 — PRESSURE DEPENDENCE

D. Gignoux (Grenoble) et al.

Pressure effects on the onset of ferromagnetism in Y-Ni compounds

H. Fujiwara (Hiroshima)

Recent studies of the competing systems under high pressures

G. Oomi (Sapporo) et al.

Magnetovolume effect of Invar alloys under high pressure

井上順一郎

K. Kamigaki (Sendai) et al.

Effect of pressure on the magnetic transition temperature of  $\text{Cr}_5\text{S}_6$

#### SESSION 7 — MAGNETOSTRICTION

E. Fawcett (Tronto) et al.

Paramagnetostriction of transition metals

I. A. Campbell (Orsey) et al.

Magnetostriction in enhanced paramagnets

P. Morin (Grenoble) et al.

Magnetoelastic coupling and quadrupolar pair interactions in cubic rare earth intermetallic compounds

R. C. O'Handley (Cambridge) et al.

Magnetoelastic evidence for a local structural phase transformation in Co-rich glasses

E. A. Turov (Sverdlovsk)

Magnetoacoustic waves near the points of spin-reorientation phase transition, and magnetoelastic oscillations of domain walls

#### SESSION 8 — INTERMETALLIC COMPOUNDS

S. B. Palmer (Hull)

Elastic constant measurements of rare earth transition metal compounds

Y. Muraoka (Kyoto) et al.

Magnetovolume effects around critical concentration

M. Müller (Dresden) (read by Nakamura)

The influence of a volume change by NiBe precipitations on the  $\Delta E$ -effect in an antiferromagnetic Fe-Mn base alloy of the Elinvar-type

R. J. Radwański (Kraków) et al.

Magnetovolume effect in intermetallic compounds  $\text{Dy}_2(\text{Fe}_{1-x}\text{M}_x)_{17}$ : M=Al and Co

#### SESSION 9 — AMORPHOUS ALLOYS

A. E. Clark (Silver Spring) et al.

Magnetomechanical properties of amorphous Fe-B-Si alloys

H. Tange (Matsuyama) et al.

Pressure effects estimated from forced volume magnetostriction for iron-based amorphous alloys

K. Shirakawa (Sendai) et al.

Pressure dependence of the Curie temperature of Fe-Zr amorphous alloys

U. Gonser (Saarbrücken) et al.

Observation of magnetoelastic effects by magnetoresistance measurements

SESSION 10 — SUMMARY OF SYMPOSIUM

E. P. Wohlfarth (London)

Magnetoelasticity in ferromagnetic metallic materials

次に各報告およびその議論のうち、筆者の印象に残っている点について述べようと思う。各報告は *physica* の supplement に載る予定なので詳細はその方を見ていただきたい。

最初の Theory のセッションでは主に spin fluctuation (SF と略す) の magnetovolume effect (M-V effect と略す) への効果が議論された。SF の理論にもいくつかあり、これらの間でもいろいろ意見の対立がある。Shimizu が opening talk として彼のグループでの M-V effect に関する最近の研究 (SF の M-V effect への効果, 希薄合金のキュリー温度の圧力依存性  $dT_C/dP$ , 強制体積磁歪  $dw/dH$ , shear strain の d-電子状態への効果, electronic Grüneisen constant) についての summary を行った。特に彼は実際のバンド構造を取り入れた SF 理論を用いて M-V effect への SF の効果を計算した結果, SF の影響は定量的に小さいと結論した。しかし, Hasegawa は Fe-Ni インバー合金の  $dT_C/dP$ ,  $dw/dH$  および自発体積磁歪  $w_s$  が SF を取り入れることによって良く説明できるとし, また Korenman は local-band model を用いた SF モデルが Fe と Ni の  $w_s$  と  $dT_C/dP$  の実験結果を説明するとして SF の重要性を示した。次に Edwards は Moriya-Kawabata 理論を用いて M-V effect を取り扱った結果について報告した。彼は Moriya-Kawabata 理論では Moriya によって指摘されている SF による熱膨張への負の寄与が生じないことを示した。これに対して Moriya は M-V effect を取り扱うのに Moriya-Kawabata 理論の単純な適用では不十分であるとコメントした。以上のように M-V effect への SF の効果についての理論的見解はまだ統一されていないように思える。

他方, 実験的な立場から SF の M-V effect への効果を調べようとする試みは日本の実験家達によって多くなされており, このシンポジウムでもいくつかの報告がなされた。Ogawa は  $ZrZn_2$  の熱膨張係数  $\alpha$  の測定を行い, その結果を Stoner 理論と Moriya 理論の二つの方法で解析した。その結果は Moriya 理論を用いた解析の方が良いことを示し, Moriya 理論の検証を試みた。しかし, これら二つの理論による解析結果の差は非常にわずかであり, 理論の優劣ははっきりとつけ難いように思われた。Invar のセッションでは Ono が Pd-Fe, Pt-Fe 合

金の $\alpha$ の精密な測定を行い、その結果から局所モーメントの温度依存性を推定した Yamada (O) はインバー合金の磁化の温度変化の解析を行い、インバー異常は局所モーメントの絶対値の温度依存性によって生ずると結論した。

これらはインバー異常を SF 理論で理解しようとするものであるが、Tanji は Fe-Ni インバーの elastic moduli の測定を高温まで行い、異常が常磁性状態にまで存在することを示した。彼はインバー合金における原子濃度のゆらぎを仮定してこの異常の解釈を試みた。

Morkowski は  $\text{Ni}_3\text{Fe}$  合金における spin wave stiffness constant  $D$  の規則度依存性を計算し、 $D$  の値がある規則度のところで極大を持つことを示した。

Theory のセッションの最後に Kim が electron-phonon の磁性に及ぼす効果について論じこれを見捨てることのできないことを示した。彼は帯磁率のキュリー・ワイス則がこの相互作用から導びかれること、インバー合金における音速の異常等もこの相互作用を取り入れることによって説明できることを示した。この理論を用いて、Yamada (H) は反強磁性体のエネルギーバンドのギャップが大きくなると弾性定数  $C_{11}$  が急激に小さくなることを示し、ネール温度における  $C_{11}$  の異常を定性的に説明した。

Phase transition のセッションでは、Tsunoda と Young は Mn を含む合金の tetragonal 変態について報告した。Young は tetragonal 変形に関して新しい order parameter を導入して実験結果の説明を試みた。また Matsui は Fe-Pd 合金のインバー異常と fcc  $\rightarrow$  fct 変態との関連について調べた。

新しい合金や化合物に対する測定も多くなされた。Franse は弱い強磁性体である UPt がキュリー温度 (27 K) 以下の温度 19 K と 6 K 以下で  $\alpha$  に異常を生ずることを示した。19 K ではある種の転移を起しており、6 K 以下ではバンドモデルで説明できるとのことである。

Radwanski は  $\text{Dy}_2\text{Fe}_{17}$  という金属間化合物で大きなインバー異常が観測されることを報告した。Muraoka は Fe-Al, (Gd-Y)Co<sub>2</sub> 等の化合物の critical concentration 近傍の体積磁歪の測定を行い、cluster glass の概念で解釈した。これらの系では、体積磁歪は局所モーメントと相互作用定数の体積依存性によってきまることを示した。

Pressure effect のセッションでは Gignoux が Y-Ni 系化合物についてその磁性を調べ、その組成により、weak ferro や enhanced Pauli para になることを示した。特に、 $\text{Y}_2\text{Ni}_7$  は  $7\text{ K} < T < 50\text{ K}$  で強磁性を示し、それ以外の温度では常磁性であることを示した。これは以前 Shimizu によって予言された thermally induced ferro であることを示した。また二つの  $T_C$  の圧力依存性は Stoner 理論 (Shimizu) により説明できることを示した。

Fujiwara は彼のグループの高圧下の実験の報告を行った。まず強磁性と反強磁性の競合す

る系 (EuSe 等) での強磁性 $\leftrightarrow$ 反強磁性の転移圧力を調べ、温度変化と合わせて、温度-圧力の相図を示した。この相図は、温度-合金濃度の相図と良く似ており、高圧下での物性実験が重要であることが示された。次に、Ni 合金系での  $dT_C/dP$  の summary を示し、Lang-Ehrenreich 理論で理解できることを示した。Oomi はインバー合金のうち、高圧下の Fe-Ni-Mn 系の磁性について報告した。Fujiwara の報告と同様に、圧力を変化させることは合金の組成を変化させることに対応している点に注目して、この系の強磁性-反強磁性転移点近傍の磁性を調べ、それがスピングラス的であることを指摘した。

Amorphous のセッションでも  $dT_C/dP$  の測定結果の報告がなされた。Tange は種々のアモルファスの  $dw/dH$  の測定結果より  $dT_C/dP$  の値を求めた。Fe-B に対して得られた結果は直接に  $dT_C/dP$  を測定した結果と良く一致している。これらのアモルファスは  $dT_C/dP$  が  $-T_C$  または  $-1/T_C$  に比例するものの二つのグループに分けられることが示され、Wagner-Wohlfarth の理論と関連づけて議論された。Shirakawa は Fe-Zn アモルファスでの  $dT_C/dP$  を測定し、 $dT_C/dP \propto \lambda_1 T_C - \lambda_2 T_C^2$  ( $\lambda_1 > 0$ ,  $\lambda_2 > 0$ ) の形に書けることを示した。この結果は Wagner-Wohlfarth 理論と類似しているが、 $\lambda_1$ ,  $\lambda_2$  の符号が異っている。Wohlfarth のコメントによれば  $\lambda_1$  は正になり得るが、 $\lambda_2$  については不明であるとのことである。

最後に、Wohlfarth がシンポジウム全体の summary を行った。彼は M-V effect に関する SF の効果について理論の間での不一致について述べ、 $dT_C/dP$  の実験結果から inhomogeneity の重要性を指摘した。彼はスピンのゆらぎより濃度のゆらぎが重要であると主張した。