

教育用高温磁気天秤 (I)

— 装置の製作および性能試験 —

徳永俊彦・古本政照¹・田中 晃¹・蔦岡孝則

(2004年9月30日受理)

High temperature magnetic balance for education: Construction of the apparatus and tests for the efficiency

Toshihiko Tokunaga, Masaaki Furumoto,
Akira Tanaka and Takanori Tsutaoka

High temperature magnetic balance for education of the students in the university or the graduate school was constructed. This apparatus can be used in the temperature range up to 1200°C and for materials from strong ferromagnetic to weak paramagnetic. From various tests, it has been confirmed that the apparatus is useful and reliable.

Key words : magnetic balance, magnetization, magnetic susceptibility

キーワード：磁気天秤，磁化，帯磁率

1. はじめに

我々はこれまでに主に低温の磁気測定装置を製作し、教育・研究を行ってきた。物質の磁性の測定装置としては、低温領域では優れた装置が多いが、高温領域では磁気天秤に頼らざるをえぬ場合が多い。また教員養成学部における自然科学系の学生および大学院生の教材としても、高温に耐える磁気天秤は重要である。そこで我々はCoのキュリー点 T_c (約1200°C)までの測定が可能な使いやすく安定な高温磁気天秤の製作およびこれを用いた物性科学教育教材の開発に取り組んでいる。

本稿では装置の製作とその性能テストについて報告し、教材開発に関しては次稿で述べる。

2. 装置の機械的・電氣的構成

図1は装置の概要を示したものである。A図は機械的構成，B図は試料設置部の写真，C図は計測用の電気回路の概略図である。

A図に示したように、電磁石により磁界 H を加える

と磁場勾配 $\delta H/\delta z$ のため、磁極間につるされている試料 s には下向きの力 $Fz=mM(\delta H/\delta z)$ が働く。ここで m は質量， M は単位質量の磁化である。このため化学天秤 a は傾くが、この傾きは天秤の指針に取り付けられた銅板 c の移動として変位センサ b により検知され、変位センサのシグナルに比例した電流を引き戻しコイル d に流す(C図参照)。天秤には微小磁石 e がつるされているため天秤の傾きはほとんど元の状態に引き戻される。((ここで、電磁石からの漏えい磁界からのじょう乱を低減させるために、引き戻しコイルの巻き数を多くし(10⁴回)、磁石は微小なものを用いている。この結果、電磁石の漏えい磁界の妨害は1mg以下に低減できた。))

この様にして、 F は天秤の傾きはほとんどない状態に変位センサのシグナルから求めることができる。本装置で採用した変位センサはキーエンスKK製SA-440-SOで、これは直線性がよく、安定性・温度特性ともに満足で安価である。磁界は水冷したホール素子(東芝製THS103A)で測定している(B図参照)。このホール素子は15kOeまでの直線性があり、温度特性も優れている。試料の温度は試料に接触したR-型熱電対 h で計測した。試料と熱電対との温度差を低減するため、真空度を10⁻⁵ Torrにした後、熱交換ガスと

¹大学院博士課程前期

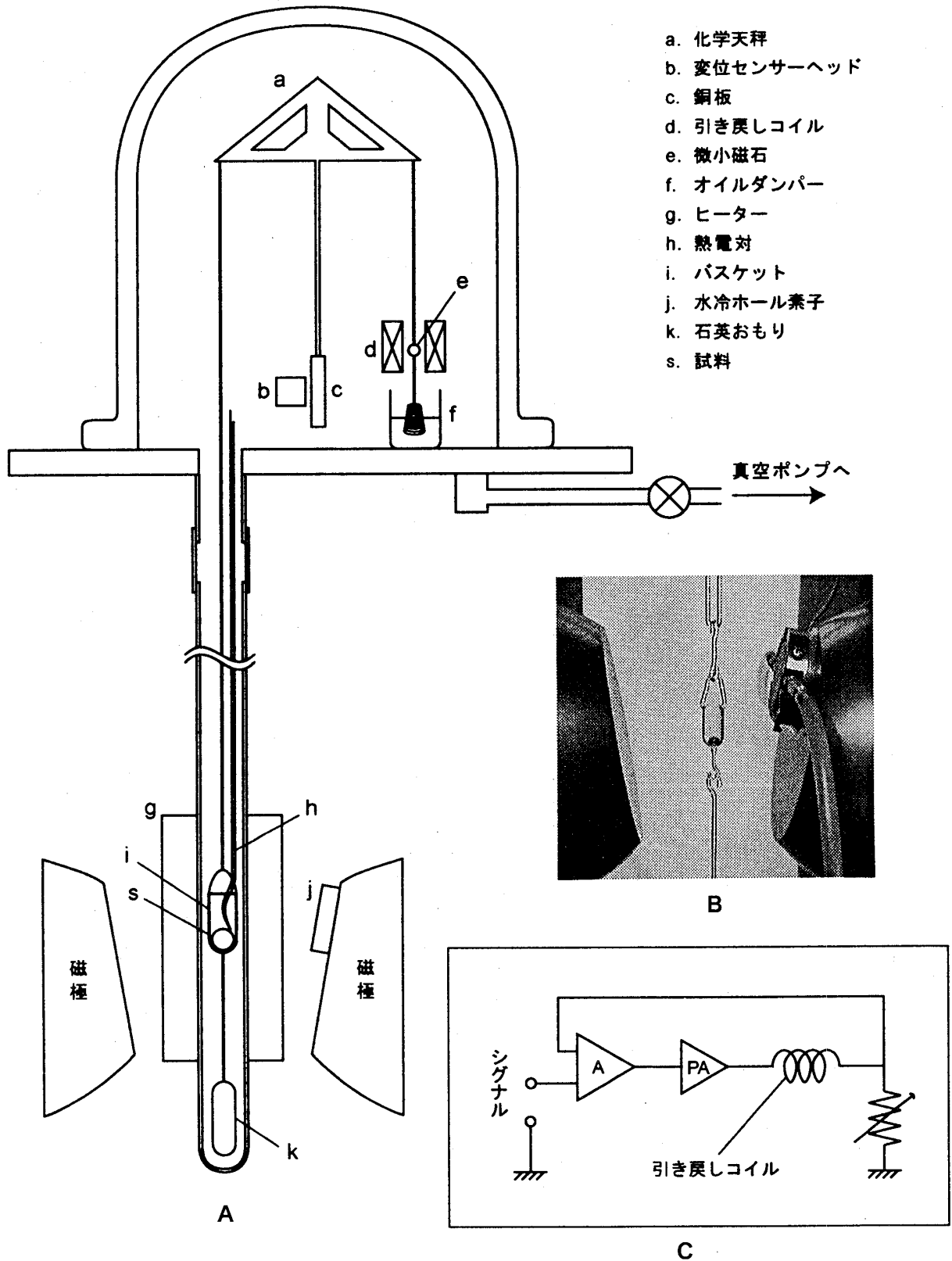
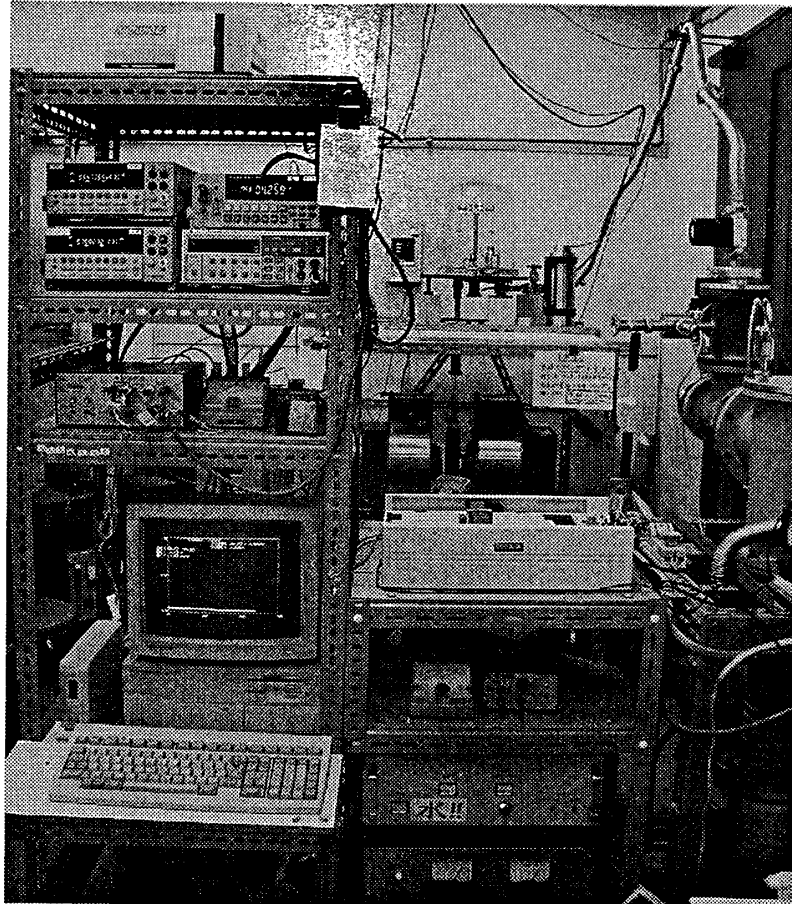
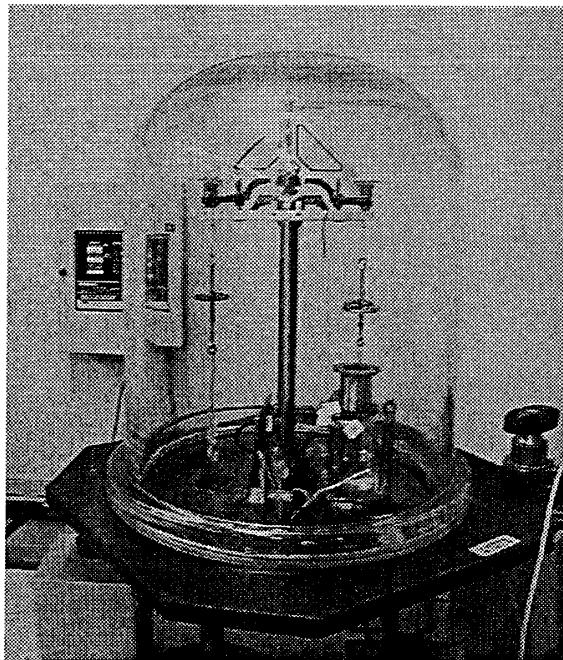


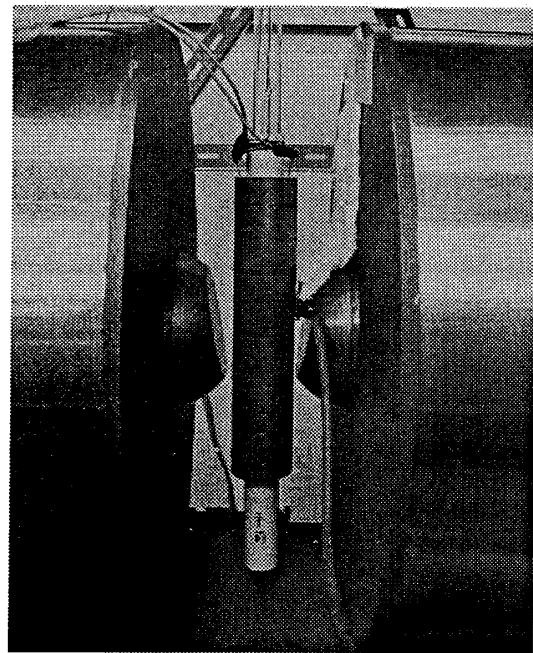
図1. 装置の構成 A: 装置の全体図, B: 試料, バスケット, 吊り具, 水冷ホール素子の写真, C: 計測用電気回路の概略図 (A: オペアンプ, PA: パワーアンプ)



A



B



C

写真1. 装置の写真 A: 装置の全景, B: 天秤部 (天秤, 変位センサヘッド, 引き戻しコイル等), C: 石英ガラス管, ヒーター等

して高純度Heを封入している。なお、データをコンピュータに迅速に取り込めるよう、天秤の重心を低くし、天秤の振動周期を短くした。シグナルはモニタとしてX-Yレコーダへ、また、デジボを介してコンピュータに取り込んでいる。なお、1000°C以上では石英ガラス管はアルミナ管に交換した。

装置の写真を写真1 A, B, Cに示した。

3. 性能テスト

図2は磁気天秤の荷重と出力シグナルの関係を示したものである。直線性は荷重500mgまでは満足であった。これは図1 Cでの基準抵抗を小さくして、天秤の傾きを小さくした結果と思われる。

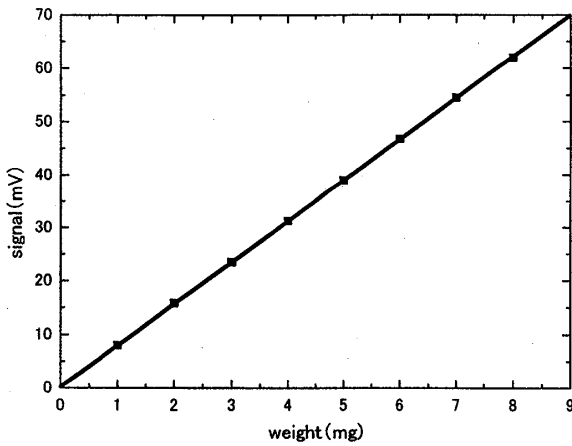


図2. 天秤系の加重とシグナルの関係

図3は代表的な強磁性体Fe, Co, Niでの磁界Hと出力シグナルF/mの関係である。Fe, Niに関しては高磁界領域で直線関係が成立しており、試料の磁化が飽和に達したことを意味している。このため、Niのデータ

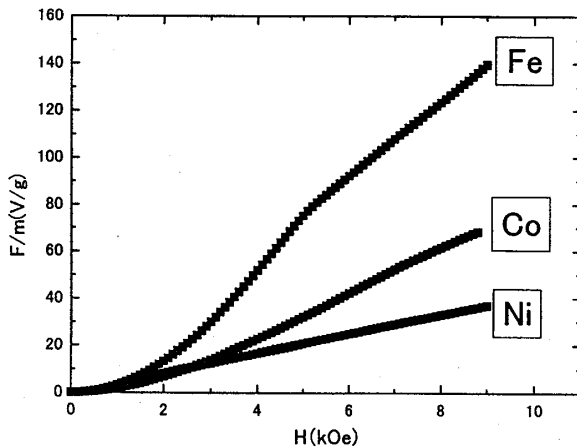


図3. Ni, Fe, Coの磁界とシグナル (室温)

とNiの磁化曲線の文献値¹⁾から、電磁石の磁場Hと磁場勾配の関係を求め、未知試料の磁化を導出した。

この様にして求めたNi, Fe, Coの室温での磁化曲線を図4に示した。Niは約2kOeで、Feは約4.5kOeで飽和に達し、その飽和磁化は文献値²⁾とよく一致している。他方、Coは異方性が強いので、最高磁界9 kOeでも飽和していない。

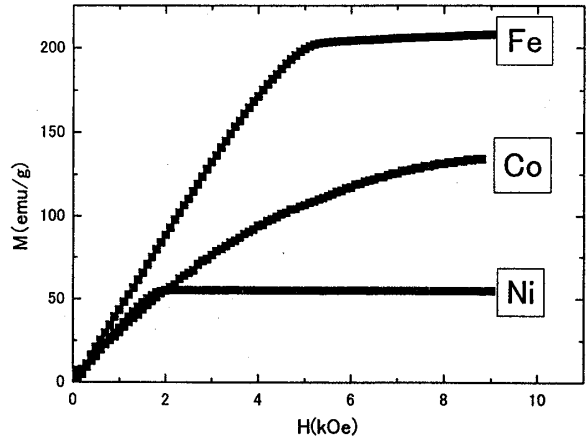


図4. Ni, Fe, Coの磁化曲線 (室温)

図5は磁化Mの温度依存を示したものである (Fe, Niは8kOe, Coは5kOeでのデータである)。昇温につれてNiとFeは単調に減少し、Niは400°C弱で、Feは800°C近傍でMの温度変化は非常にはげしい。他方CoにおいてはMの温度依存は単調ではなく、昇温につれて、最大値に達し (矢印①)、410°C近傍で折れ曲がっている (矢印②)。矢印①は異方性の符号が逆転する温度³⁾に対応し、矢印②はhcp, fccの構造相転移⁴⁾に対応する。

なお、矢印②の折れ曲がり温度は、降温過程では約50°C低温にシフトした。

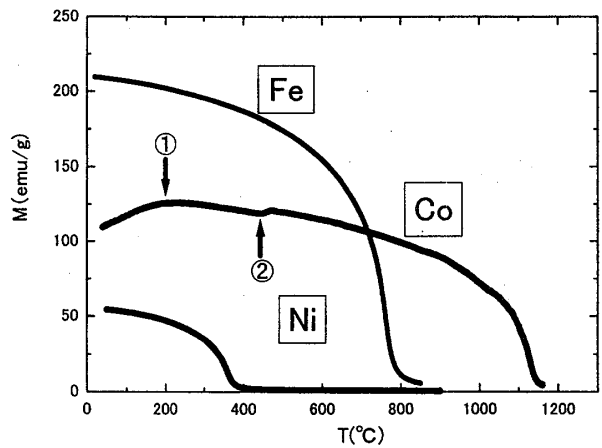


図5. Ni, Fe, Coの磁化の温度依存

図6はNiとFeの磁化の温度勾配 (dM/dT) の温度依存を示したものである。 dM/dT が最大となる温度がキュリー点 T_c の文献値²⁾と一致している。

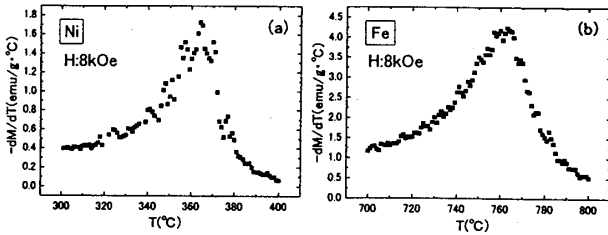


図6. NiとFeの磁化の温度勾配 dM/dT の温度依存

この様にして、磁化の温度依存のデータから信頼できる T_c を決定できる。なおCoについても、この様にして決定した T_c は文献値²⁾とよく一致した。

図7はFeの種々の温度での磁化曲線を示したものである。温度上昇につれて、飽和磁化は減少するが、高磁界における磁化率 (dM/dH) は増加し、 T_c ($\approx 775^\circ\text{C}$) において最大となる。 T_c 以上の温度では磁化曲線は原点を通る直線となる。

図7から、高磁界領域での磁化曲線を $H=0$ に外挿

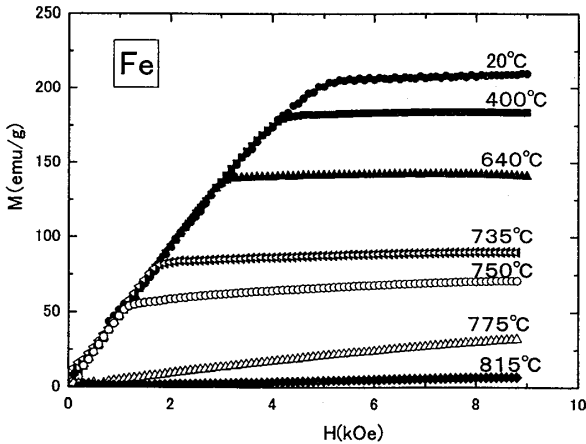


図7. Feの種々の温度での磁化曲線

して求めた自発磁化 M_s の温度依存を図8に示した。昇温につれて、低温では M_s はゆるやかに減少し、 T_c 近傍では急速に T_c に向かって減少している。

以上、本装置の構成と性能テストの結果を簡単に述べた。テスト結果はいずれも文献値とよく一致しており、したがって本装置は教育用高温磁気天秤として十分な性能を有すると結論できる。

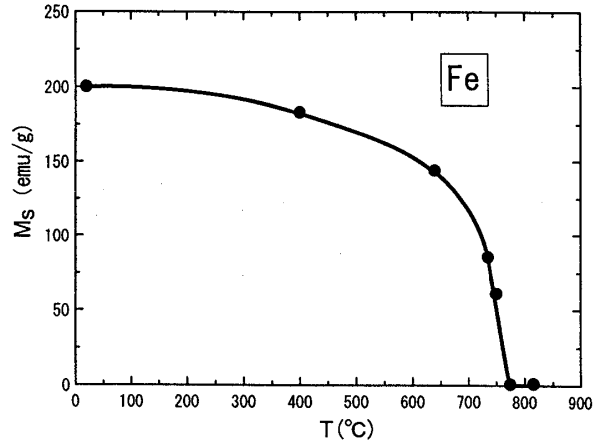


図8. Feの自発磁化の温度依存

謝 辞

本装置の主要部である電磁石は大学院工学研究科の山中昭司先生から管理換えをいただいた。先生の御好意に深く感謝いたします。

また、本装置の製作にあたっては、特殊加工技術開発室の金属素材応用部門およびガラス素材応用部門の皆様にご多大のお世話になりました。深く感謝いたします。

本研究の一部は文部科学省の科学研究費基盤研究(c) (16500553) の補助で行われた。

【参考文献】

- 1) 近角聡信他編集：磁性体ハンドブック (朝倉書店, 1975) P.290.
- 2) 同上：P.294.
- 3) 同上：P.781.
- 4) R.S.Tebble and D.J.CraiK : Magnetic Materials (Wiley-Interscience,1969) P.69.