異方性Ba-Zn-Cu系W型フェライト磁石の諸特性

正員 山元 洋 (明治大学理工学部)

非会員 鈴木 宏一 (明治大学理工学部)

Properties of Anisotropic Ba-Zn-Cu System W-Type Hexagonal Ferrite Magnets.

Hiroshi Yamamoto, Member and Koichi Suzuki, Non-Member
(School of Science and Technology, Meiji University)

Experiments were carried out to investigate on the magnetic and physical properties of Ba-Zn-Cu W-type hexagonal ferrites sintered without atmosphere control. Composition were chosen according to the formula $\text{BaZn}_{2-x}\text{Cu}_x\text{Fe}_{16}\text{O}_{27}$, where X was varied 0 ~ 0.5 and 1.0. The effect of BaO addition after semisintering treatment on magnetic properties of Ba-Zn-Cu compounds was examinend. It was found that BaO addition for Ba-Zn-Cu compounds was very useful in stabilizing the W-type hexagonal. The optimum condition of making magnets and some properties of a typical specimens are as follows : composition; $\text{BaZn}_{1.7}\text{Cu}_{0.3}\text{Fe}_{16}\text{O}_{27}$ in addition with 4wt% BaO , semisintering condition 1275 °C for 1.0 h in air , sintering condition 1175 °C for 0.5 h in air , magnetic properties and lattice constant are $J_m=0.405$ T, $J_r=0.370$ T, $H_d=88.15$ kA/m, $H_{cb}=81.96$ kA/m, $(BH)_{\max}=19.12$ kJ/m³, $T_c=356$ °C, $H_A=994.7$ kA/m, $K_A=2.01 \times 10^5$ J/m³, $c=32.928 \times 10^{-10}$ m, $a=5.927 \times 10^{-10}$ m, $c/a=5.556$

キーワード : Ba-Zn-Wフェライト, 磁気特性, H_d 及び σ_s の温度依存性, 異方性定数及び異方性磁界

1 緒言

W型六方晶フェライトの研究は、これまでに数多く報告されている。¹⁻²⁴⁾しかし、その作製方法は複雑な雰囲気制御が必要であり、現在のところ工業化は難しいとされている。先に著者らの一人は、 $\text{BaO} \cdot 2\text{ZnO} \cdot 8\text{Fe}_2\text{O}_3$ 化合物はBaOを仮焼成後に添加することにより雰囲気制御を行わずに、容易にW相単相を得ることを報告¹⁹⁾したが、その磁気特性は十分なものが得られなかった。また、豊田ら²¹⁾及び久保田ら²²⁾は窒素中で焼成することにより良好な磁気特性が得られたと報告したが、作製は難しいようである。そこで本研究は大気中焼成という条件のもと、F.Licci, L.paretiら⁹⁾¹⁰⁾及び小島ら¹¹⁾の報告を参考に2価の金属イオンをZnとしたW型六方晶フェライトにおいて Zn^{2+} の一部を Cu^{2+} に置換し、更にこの置換後、BaOを途中添加することにより、組成及び焼成条件などが磁氣的、物理的特性に及ぼす影響について詳細に実験、検討を行った。

2 実験方法

実験に用いた原材料は BaCO_3 , ZnO , CuO , $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$ 粉末である。組成は $\text{BaZn}_{2-x}\text{Cu}_x\text{Fe}_{16}\text{O}_{27}$ において置換量を0~0.5, 1.0と変化させた。秤量は原材料を用いて各組成が0.3kgになるように行い、混合はボールミル(湿式法)で

3h行った。これら混合された試料を乾燥後、仮焼成試料としてプレス圧49MPaで $\phi 36\text{mm} \times 7\text{mm}$ の円柱状に成形した。成形した試料は管状電気炉を用いて大気中で1225~1300°Cで1h仮焼成を行った。この仮焼成した試料を150 μm 以下に粉碎した後ステンレス製振動ボールミル(湿式法)を用いて8h粉碎した。粉碎された泥状仮焼成粉末を800kA/mの磁界中(縦磁場)においてプレス圧294MPaで $\phi 13\text{mm} \times 11 \sim 13\text{mm}$ の円柱状に成形した。本焼成は、大気中で1150~1275°Cの温度範囲で0.5h焼成した。試料の諸特性は、磁気特性については高感度磁気磁束計及び振動試料型磁力計(VSM)で測定した。また密度は水中法で、組織は走査型電子顕微鏡(SEM)で、磁区模様はピッター法を用い、結晶構造はX線粉末法を用いて検討した。また、Cu置換したことにより磁気特性の向上がみられたものについては、仮焼成後の粉碎時にBaOを添加し、上記と同様に諸特性の測定を行った。

3 実験結果並びに考察

まず始めに、 $\text{BaZn}_{2-x}\text{Cu}_x\text{Fe}_{16}\text{O}_{27}$ 組成においてCu置換量 $X=0 \sim 0.5, 1.0$ まで変化させ、仮焼成後(1275°C $\times$ 1h)の粉末のX線回折を行った結果、全ての置換量においてW相単相が得られた。そこで以降これらの化合物において異方性焼結磁石を作製し、磁気特性についての評価を行った。

Fig.1は組成式 $\text{BaZn}_{2-x}\text{Cu}_x\text{Fe}_{16}\text{O}_{27}$ においてCu置換量 $X=0\sim 0.5, 1.0$ としたときの磁気特性を示している。なお、仮焼成は今までの著者ら^{12),19-20)}の実験で最も良かった $1275^\circ\text{C}\times 1.0\text{h}$ 、本焼成条件は $1250^\circ\text{C}\times 0.5\text{h}$ とし、大気中で行った。図から知られるように、 J_m, J_r はCu置換量 $X=0.3$ で最大値を示し、以降置換量の増加に伴いほぼ一定値となった。 H_d, H_{db} は置換量の変化に対しそれほど大きな変化は見られなかった。 $(BH)_{\text{max}}$ は、Cu置換量 $X=0.3$ のとき最大値を示した。

図1 $\text{BaZn}_{2-x}\text{Cu}_x\text{Fe}_{16}\text{O}_{27}$ 化合物の磁気特性に及ぼすCu置換の影響

Fig.1 Effect of Cu content on magnetic properties of $\text{BaZn}_{2-x}\text{Cu}_x\text{Fe}_{16}\text{O}_{27}$ compounds.

Fig.2は組成式 $\text{BaZn}_{2-x}\text{Cu}_x\text{Fe}_{16}\text{O}_{27}$ において、置換量を $0.0, 0.2\sim 0.4$ まで変化させ、本焼成条件 ($1175\sim 1275^\circ\text{C}\times 0.5\text{h}$) と磁気特性の関係を表わしたものである。なお、仮焼成条件は $1275^\circ\text{C}\times 1.0\text{h}$ 一定としている。図から知ら

図2 $\text{BaZn}_{2-x}\text{Cu}_x\text{Fe}_{16}\text{O}_{27}$ 化合物の磁気特性に及ぼす本焼成温度の影響

Fig.2 Effect of sintering temperature on magnetic properties of $\text{BaZn}_{2-x}\text{Cu}_x\text{Fe}_{16}\text{O}_{27}$ com-

pounds.

れるように J_m, J_r はCu置換全ての組成で本焼成温度の上昇と共に増加し、 H_d, H_{db} は本焼成温度の上昇に伴い減少することが知られた。これは一般の焼結磁石と同様の傾向を示した。また $(BH)_{\text{max}}$ はCu置換量 $X=0.3$ 、本焼成温度 1250°C の時最大値を示した。そこで以後の実験は、Cu置換量 $X=0.3$ を最適置換量とした。

次にこれらの相の解析を行った。Table1は組成式 $\text{BaZn}_{2-x}\text{Cu}_x\text{Fe}_{16}\text{O}_{27}$ におけるCu置換量を $X=0\sim 0.5, 1.0$ 、本焼成温度を $1150\sim 1275^\circ\text{C}\times 0.5\text{h}$ と変化させたときのX線回折図形の相の解析を行ったものである。なお、仮焼成条件は $1275^\circ\text{C}\times 1.0\text{h}$ 一定である。Cu置換量 $X=0.3$ については比較的低い焼成温度(1175°C)においてもW相単相となり、この置換量が本系 BaZnCu-W 磁石にとって安定しやすい状態にあることが知られる。

表1 種々の焼成温度による $\text{BaZn}_{2-x}\text{Cu}_x\text{Fe}_{16}\text{O}_{27}$ 化合物の相の解析

Table 1 Phases of $\text{BaZn}_{2-x}\text{Cu}_x\text{Fe}_{16}\text{O}_{27}$ compounds at various sintering temperatures.

Cu content (X)	Sintering temperature (°C)					
	1150	1175	1200	1225	1250	1275
0	W, α	W, α	W, α	W, α	W, α	W
0.1	W, α	W, α	W, α	W, α	W	W
0.2	W, α	W, α	W, α	W	W	W
0.3	W, α	W	W	W	W	W
0.4	W, α	W, α	W, α	W, α	W	W
0.5	W, α, S	W, α, S	W, α	W, α	W, α	W
1.0	W, α, S	W, α, S	W, α, S	W, α	W, α	W

S.S.C.: $1275^\circ\text{C}\times 1.0\text{h}$ in air Sintering time for 0.5h

Fig.3はCuの置換量を $X=0.3$ とした組成式 $\text{BaZn}_{1.7}\text{Cu}_{0.3}\text{Fe}_{16}\text{O}_{27}$ の仮焼成温度を $1225^\circ\text{C}\sim 1300^\circ\text{C}\times 1\text{h}$ とし、本焼成温度を $1175^\circ\text{C}\sim 1275^\circ\text{C}\times 0.5\text{h}$ と変化させたときの磁気特性に及ぼす影響を示している。図から知られるように $(BH)_{\text{max}}$ は、仮焼成温度が 1275°C で最大値を示し、この結果より仮焼成条件は $1275^\circ\text{C}\times 1.0\text{h}$ が適当であると思われる。

以上、 $\text{Ba-Zn}_2\text{-W}$ 化合物のZnの一部をCuで置換した磁気特性について述べてきたが、それほど優れた特性が得られなかった。そこで、 $\text{BaO}\cdot 2\text{ZnO}\cdot 8\text{Fe}_2\text{O}_3$ に BaO を途中添加することが磁気特性向上に有効である¹⁹⁾ということを見つけているので、置換量 $X=0.3$ の組成に、 BaO を途中添加することを試みた。

Fig.4は $\text{BaZn}_{1.7}\text{Cu}_{0.3}\text{Fe}_{16}\text{O}_{27}$ 化合物において仮焼成条件 $1275^\circ\text{C}\times 1.0\text{h}$ 一定にし、本焼成温度を 1150°C 、 1175°C 、 1200°C で本焼成時間を 0.5h 一定としたときの BaO 添加量($0\sim 5\text{wt}\%$)と磁気特性の関係を示す。図から知られるように全ての本焼成温度において J_m, J_r は BaO 添加量の増加に伴い増加することが顕著に見られた。また、 H_d, H_{db} は BaO を途

中添加したことによる傾向はそれほど見られず、ほぼ一定値を示した。 $(BH)_{max}$ はBaO途中添加量が4wt%，本焼成条件が1175℃×0.5hで最高値を示し、無添加のものに比べ約66%の増加となった。

図3 種々の仮焼成によるBaZn_{1.7}Cu_{0.3}Fe₁₆O₂₇化合物の磁気特性

Fig.3 Magnetic properties of BaZn_{1.7}Cu_{0.3}Fe₁₆O₂₇ compounds at various semisintering temperatures.

図4 種々の本焼成温度におけるBaZn_{1.7}Cu_{0.3}Fe₁₆O₂₇化合物の磁気特性に及ぼすBaO添加量影響

Fig.4 Effect of BaO addition after semisintering treatment on magnetic properties of BaZn_{1.7}Cu_{0.3}Fe₁₆O₂₇ compounds at various sintering temperatures.

Fig.5はBaZn_{1.7}Cu_{0.3}Fe₁₆O₂₇化合物において仮焼成条件が1275℃×1.0h、本焼成条件が1175℃×0.5hとしたときのBaO添加量別(0~5wt%)のX線回折図形である。図から知られるようにBaOの添加量が1wt%のときはM相の回折線が見られW相との混相となったが、以降W相単相を得ること

ができた。

Table2はBaZn_{1.7}Cu_{0.3}Fe₁₆O₂₇化合物にBaOを0~5wt%添加したときのX線回折図形より相の解析をまとめたものである。なお、仮焼成条件は1275℃×1.0hとし、本焼成温度はそれぞれの添加量において1150~1275℃と変化させた。表から知られるようにBaOを2wt%以上添加した試料では、本焼成温度が1175℃以降全てW相単相を得ることができた。

図5 BaZn_{1.7}Cu_{0.3}Fe₁₆O₂₇化合物へのBaO添加量によるX線回折図形

Fig.5 X-ray diffraction patterns of BaZn_{1.7}Cu_{0.3}Fe₁₆O₂₇ compounds in addition with Ywt% BaO after semisintering treatment.

以上の結果より本実験における最適作製条件は、組成はBaZn_{1.7}Cu_{0.3}Fe₁₆O₂₇で、仮焼成条件1275℃×1.0h、BaO4wt%途中添加、本焼成条件1175℃×0.5hとしたときであった。

Fig.6は、本実験で最高の磁気特性を示した試料の σ_s 、および H_d の温度依存性を示している。なお、測定は反磁界を正確に補正するために、化合物を球状($\phi=3.0$ mm)に加工し、VSMにより印加磁界を1600kA/mで、-196~360℃の温度範囲で行った。図から知られる通り、 σ_s は温度の上昇と共に減少し、 H_d は温度上昇と共に増加し、210℃で最高値144.6kA/mをとり、その後急激に減少した。これは従来のM型フェライト同様の傾向となっており、 H_d の増加は異方性磁界が増えるためと思われる。また図において σ_s を-273℃まで外挿し、 $145.82 \times 10^{-6} \text{wb} \cdot \text{m} / \text{kg}$ 値を得た。そこで分析値($\text{Ba}^{2+}_{1.179} \text{Zn}^{2+}_{1.464} \text{Cu}^{2+}_{0.256}$

$\text{Fe}^{2+}_{0.238}\text{Fe}^{3+}_{15.829}\text{O}_{27}$)より計算したこの化合物の分子量1603.2を用いて一分子当たりの磁気モーメント η_B を計算すると、 $\eta_B = 33.3 \mu_B$ となった。この値は先に我々が報告¹⁹⁾した $\text{BaO} \cdot 2\text{ZnO} \cdot 8\text{Fe}_2\text{O}_3$ の磁気モーメント $\eta_B = 33.7 \mu_B$ と比べ若干低い値となっている。

表2 $\text{BaZn}_{1.7}\text{Cu}_{0.3}\text{Fe}_{16}\text{O}_{27}$ 化合物へのBaO添加量による相の解析

Table 2 Phases of $\text{BaZn}_{1.7}\text{Cu}_{0.3}\text{Fe}_{16}\text{O}_{27}$ compounds in addition with BaO after semi-sintering treatment.

BaO addition weight(wt%)	Sintering temperature (°C)					
	1150	1175	1200	1225	1250	1275
0	W, α	W	W	W	W	W
1.0	W, M	W, M	W	W	W	W
2.0	W, M	W	W	W	W	W
3.0	W, M	W	W	W	W	W
4.0	W, M	W	W	W	W	W
5.0	W, M	W	W	W	W	W

S.S.C.: 1275°C x 1.0h in air Sintering time for 0.5h

図6 $\text{BaZn}_{1.7}\text{Cu}_{0.3}\text{Fe}_{16}\text{O}_{27}$ 化合物に4wt%BaOを添加した試料の温度依存性

Fig.6 Temperatur dependence on magnetic properties of $\text{BaZn}_{1.7}\text{Cu}_{0.3}\text{Fe}_{16}\text{O}_{27}$ compound in addition with 4wt% BaO after semisintering treatment.

Fig.7は $\text{BaZn}_{1.7}\text{Cu}_{0.3}\text{Fe}_{16}\text{O}_{27}$ 化合物に対するBaO添加量のキュリー温度に及ぼす影響を示している。測定はVSMを用いて印加磁界零で測定したものである。キュリー温度 T_c は

BaOを添加することにより減少していくことが知られた。この原因については、BaOが固溶すること、及びBaOを添加することによりC軸の格子定数が減少していくことに原因があると考えられるが、詳細についてはよくわからない。なお最高の磁気特性が得られたBaOを4wt%添加したときの試料のキュリー温度 T_c は356.0°Cであった。

図7 $\text{BaZn}_{1.7}\text{Cu}_{0.3}\text{Fe}_{16}\text{O}_{27}$ 化合物へのBaO添加量によるキュリー温度

Fig.7 Curie temperature of $\text{BaZn}_{1.7}\text{Cu}_{0.3}\text{Fe}_{16}\text{O}_{27}$ compounds in addition with BaO after semisintering treatment.

Fig.8は本実験で最良の磁気特性を示した $\text{BaZn}_{1.7}\text{Cu}_{0.3}\text{Fe}_{16}\text{O}_{27}$ 化合物に仮焼後BaOを4wt%添加したものと、無添加のBa-Zn系の基本組成において、同じ焼成条件で作製した試料の組織写真を示す。写真から知られるように、試料作製時のプレス時の印加磁界に垂直方向(◎)からは六角板状組織が、平行方向(↑)からは偏平板状組織が観察され、これは従来の六方晶系M型フェライト同様となっている。なお、若干であるが本実験最良の試料の粒径のほうがBa-Zn系の基本組成の粒径に比べて小さくなっており、また、平均粒径は約2 μm 程度である。

Fig.9は本実験において最高の磁気特性を示した $\text{BaZn}_{1.7}\text{Cu}_{0.3}\text{Fe}_{16}\text{O}_{27}$ 化合物にBaO添加量4wt%とした試料の磁区模様をビッター法を用いて観察したものである。試料は、観察を容易にするために本焼成温度1325°C $\times$ 2.0hとし粒成長させたものを用いた。写真から知られるように試料の作製時の印加磁界に対して垂直方向(◎)は迷路磁区が、平行方向(↑)からは180度磁区が観察され、これも従来の六方晶系M型フェライト同様となっている。

Table3は、本実験で最高の磁気特性が得られた $\text{BaZn}_{1.7}\text{Cu}_{0.3}\text{Fe}_{16}\text{O}_{27}$ 化合物にBaOを4wt%途中添加した焼結磁石の磁気的、物理的特性を示した。なお、 K_A 、 H_A は焼結磁石を10個作製し、一片7mmの立方体に切り出し、容易方向と困難方向の磁化曲線を描き、外挿法により H_A を求め $K_A = J_m \cdot H_A / 2$ の式で算出した。その結果、異方性定数 K_A は、 $2.01 \times 10^5 \text{ J/m}^3$ 、異方性磁界 H_A は、994.7kA/mであった。また密度は4.82Mg/m³であった。

図8 BaZn_{1.7}Cu_{0.3}Fe₁₆O₂₇化合物に4wt%BaOを添加した試料の組織写真

Fig.8 SEM photographs of BaZn_{1.7}Cu_{0.3}Fe₁₆O₂₇ compounds in addition with 4wt% BaO after semisintering treatment.

図9 BaZn_{1.7}Cu_{0.3}Fe₁₆O₂₇化合物に4wt%BaOを添加した試料の磁区模様

Fig.9 Magnetic domain structures of BaZn_{1.7}Cu_{0.3}Fe₁₆O₂₇ magnet in addition with 4wt% BaO after semisintering treatment.

表3 BaO添加量を4wt%としたBaZn_{1.7}Cu_{0.3}Fe₁₆O₂₇化合物の磁気的及び物理的特性

Table 3 Magnetic and physical properties of BaZn_{1.7}Cu_{0.3}Fe₁₆O₂₇ compound in addition with 4wt% BaO after semisintering treatment.

Ba ₂ ^{1.179} Zn _{1.464} Cu _{0.256} Fe _{2.238} Fe _{15.829} O ₂₇ (Analyzed value)		
Magnetic properties	J _m (T)	0.405
	J _r (T)	0.370
	H _{cj} (kA/m)	88.15
	H _{cb} (kA/m)	81.96
	(BH) _{max} (kJ/m ³)	19.12
	K _A (x10 ⁵ J/m ³)	2.01
	H _A (kA/m)	994.7
	α _s (x10 ⁻⁶ Wb·m/kg)	87.09
	η _B (μ _B)	33.3
Density	(Mg/m ³)	4.82
Curie temperature	(°C)	356
Lattice constant	a(x10 ⁻¹⁰ m)	5.927
	c(x10 ⁻¹⁰ m)	32.928
	c/a	5.556
Molecular weight	M.W.	1603.2

S.S.C.: 1275°C x 1.0h in air
S.C.: 1175°C x 0.5h in air

4 結言

異方性Ba-Zn-Cu系W型フェライト磁石についてまとめると次の通りである。

1. BaZn_{2-x}Cu_xFe₁₆O₂₇化合物において、Zn²⁺をCu²⁺で置換することにより仮焼成時W相単相が得られ、本焼成後も比較的高い焼成温度で安定にW相単相が得られた。磁気特性についてはCu置換量X=0.3のとき(BH)_{max}が最大となったが、無置換と比較して大きな向上は見られなかった。

2. BaZn_{1.7}Cu_{0.3}Fe₁₆O₂₇化合物にBaOを途中添加することにより低い焼成温度でW相単相を得ることができ、(BH)_{max}も添加前の値に比べて約66%の増加となった。

3. 本実験において最高の磁気特性が得られた試料は、組成式 BaZn_{2-x}Cu_xFe₁₆O₂₇において、Cu置換量X=0.3とし、BaOを4wt%途中添加したものである。その時の作製条件及び磁気特性は次のようである。

仮焼成条件1275°C×1.0h in airで、本焼成条件1175°C×0.5h in airのとき(BH)_{max}=19.12kJ/m³が得られた。

(平成10年10月 1日受付, 平成10年12月 9日再受付)

文献

- 1) J. J. Went, G. W. Rethenau, E. W. Goter and G.W. Van Oosterhout : Philips Tech Rev.,13(1952)194.
- 2) P. B. Braun : Nature, 170(1952)708.

- 3) L.G.Van Uitert, M. H. Read and F. J. Schnettler : J. Appl. Phys., 28(1957)280.
- 4) L. G. Van Uitert and F. W. SwaneKamp : J. Appl. Phys., 28(1957)482.
- 5) J. Smit and H. P. J. Wijn, Ferrites : Philips Tech. Library,(1959)
- 6) Y. Goto, M. Higashimoto and K. Takahashi : Appl. Phys.,12(1973)945
- 7) F. K. Lotgering, P. R. Locher and R. P. Van Stapele :J.Phys. Chem. Solids, 41(1980)481.
- 8) H. Graetsch, F. Haberey, R. Leckebusch, M. S. Rosenberg and K. Sahl : IEEE Trans Magn., vol.MAG-20(1984)495.
- 9) T.Besagni,A.Deriu,F.Licci,L.Pareti andS.Rinaldi "Nickel and Copper Substitution in Zn₂-W",IEEE Trans.Magn.,vol.MAG-17,p.2636,1981
- 10) F.Licci,L.Pareti and S.Rinaldi,"Zn₂W: Improvements of Magnetic Properties by Copper substitution", J.Appl. Phys.,vol.52,p.2526,1981.
- 11) H.Kojima, C.Miyakawa, T.Sato and K.Goto, "Magnetic Prperties of W-type Hexaferrite powders",Japan.J.Appl.Phys.,vol.24,p.51,1985
- 12) 山元 洋, 永倉 充, 小野秀明, 高橋愛明 : 粉体および粉末冶金, 34(1987)269.
- 13) H. Yamamoto, M. Nagakura and H. Ono : IEEE Trans. Magn., 24(1988)598.
- 14) A.Collomb, G.Litsarkakis, J. P. Mignot and D.Samaras : IEEE Trans. Magn.,24(1988)1936.
- 15) S. Ram and J. C. Joubert : Phys. Rev., 44(1991)6825.
- 16) H. Yamamoto, D. Yamada and T. Nakajima : IEEE Trans. Magn., 28(1992)2868.
- 17) S. Ram and J. C. Joubert : IEEE Trans. Magn., 28(1992)15.
- 18) H. Yamamoto, T. Maki and T. Takahashi : Proc. of 6th ICF, Tokyo, the Japan. Soc. Powder and Powder Metallurgy, (1992)1133.
- 19) 山元 洋, 石井章雄 : 日本応用磁気学会誌, 17(1993)175.
- 20) H. Yamamoto, H. Fujii and T. Mitsuoka : Proc. of theThird Internatinal Symposium on Physics of MagneticMaterials, Seoul, Korea, (1996)1031.
- 21) 豊田幸夫 : 粉体および粉末冶金, 44(1997)17.
- 22) 久保田, 緒方 : 粉体粉末冶金協会, 平成10年度春季大会講演概要集, 2-52A(1998)p.207.
- 23) 山元 洋, 蝶野正浩 : 粉体および粉末冶金, 44(1997)612.
- 24) 山元, 蝶野, 鈴木, 明治大学科学技術研究所紀要, 36(5):p.53.1997.

山元 洋

(正員) 1941年3月23日生。1969年明治大学大学院工学研究科電気工学専攻博士課程修了。以後、同大学工学部(現在、理工学部)電気工学科助手、講師、助教授を経て、現在、同教授。工学博士。この間、1984年3月～9月アイオワ州立大学電工学科客員教授。主として、磁性材料に関する研究に従事。1995年粉末粉体冶金協会研究功績賞受賞。IEEE, 日本応用磁気学会, 日本金属学会, 粉末粉体冶金協会会員。

鈴木 宏一

(非会員) 1974年9月3日生。1999年3月明治大学大学院理工学研究科電気工学専攻修士課程修了。同年、松下電器産業株式会社入社、現在に至る。