異方性 Ba-Zn 系 W 型六方晶フェライト磁石の 磁気特性に及ぼす CaO, SiO₂ 添加の影響

正 員 山 元 洋 (明治大)
准 員 石 井 章 雅 (明治大)

Effect of CaO and SiO₂ Addition on Magnetic Properties of Anisotropic Ba-Zn System W-Type Hexagonal Ferrite Magnets

Hiroshi Yamamoto, Member, Akinori Ishii, Associate (Meiji University)

An experiment was carried out to investigate the effect of CaO and SiO₂ addition on the magnetic and physical properties of anisotropic Ba-Zn W-type hexagonal ferrite magnets. It was found that magnetic properties of BaO·2 ZnO·8 Fe₂O₃ compounds added with CaO and SiO₂ were improved. The optimum conditions of typical specimens are as follows: chemical analysis composition-Ba_{0.857}Zn_{1.643}Ca_{0.150}Si_{0.266}Fe²⁺_{0.030}Fe³⁺_{15.857}O₂₇; semisintering condition-1,275°C×1.0 h in air; sintering condition-1,250°C×0.5 h in air; magnetic and physical properties are $J_m=0.436$ T, $J_r=0.393$ T, $H_{ci}=64.4$ kA/m, $H_{cb}=64.1$ kA/m, $(BH)_{max}=16.1$ kJ/m³, $T_c=357^\circ\text{C}$, $H_A=971$ kA/m, $K_A=2.03\times 10^5$ J/m³ and $n_B=33.2$ μ_B .

キーワード: Ba-Zn 系 W 型六方晶フェライト磁石, CaO と SiO₂ の複合添加, 磁気特性, X 線回折, 温度依存性

1. ま え が き

W 型フェライト磁石の研究は、数多く報告されている (1)~(22)(24)~(27)(31)。そのなかで、1980 年に Lotgering らによって、BaO·2 ZnO·8 Fe₂O₃ 化合物が現在工業化されている M 型フェライトに比べ、飽和磁化が約 10% 高く、異方性磁界がほぼ同じであることが報告され、優れた異方性磁石材料として注目された。しかし、その製造過程は、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。本実験は、著者らの一人がさきに報告⁽²⁵⁾した雰囲気制御なしに、作製できる Ba-Zn 系 W 型六方晶フェライト磁石の磁気特性向上を目的に、M 型フェライト磁石への添加物⁽²³⁾として有用な CaO, SiO₂ を複合添加し、これら添加物が Ba-Zn 系 W 型フェライト磁石の磁氣的、物理的性質に及ぼす影響について詳細に検討した。

2. 実験方法

実験に用いた原材料は、BaCO₃, ZnO, α -Fe₂O₃, CaCO₃, SiO₂, 粉末である。これら粉末の化学分析値を表 1 に示す。秤量は、上記の原材料を用いて、まず BaO·2 ZnO·8 Fe₂O₃ 化合物の総量が 0.3 kg になるように行い、混合はボールミル(湿式法)で 3.0 h 行った。このように混合された粉末を乾燥後、仮焼成試料としてプレス圧 49 MPa で $\phi 36$ mm×7 mm の円柱状に成形した。これらの試料を管状電気炉を用いて、空气中で 1,275°C で 1.0 h 仮焼成した。この仮焼成温度は、さきに著者の一人が Ba-Zn 系 W 型六方晶フェライト磁石について報告した結果⁽²⁶⁾より決定した、引き続き、仮焼成された試料片を 150 μm 以下に粉砕し、CaO を 0~2.0 wt%, SiO₂ を 0~2.0 wt% 複合添加した。なお、CaO は CaCO₃(CaCO₃ は 898°C で CaO と CO₂ に解離する)で添加した。これら混合し

表 1 使用材料の化学分析値
Table 1. Chemical composition of raw-materials.

BaCO ₃ (wt%)		Fe ₂ O ₃ (wt%)	
BaCO ₃	99.0	Fe ₂ O ₃	99.33
Cl	0.001	SiO ₂	0.03
Na	0.005	SO ₄	0.019
Pb	0.001	MnO	0.34
Fe	0.001	H ₂ O	0.18
S	0.001	Cl	0.05

ZnO (wt%)		CaCO ₃ (wt%)	
ZnO	99.3	CaCO ₃	99.0
Cl	0.22		
SO ₄	0.006		
PO ₄	0.0005		
Pb	0.003		
Fe	0.005		
Mn	0.0005		

SiO ₂ (wt%)	
SiO ₂	98.87

た試料をステンレス鋼製振動ミル(湿式法)を用いて 8.0 h 粉碎した。次に、これら粉碎、混合されたこの泥状仮焼成粉末を 800 kA/m の磁界中(縦磁界)において、プレス圧 294 MPa で $\phi 13$ mm $\times$ 11~13 mm の円柱状に成形した。本焼成は、空気中で 1,175~1,300°C の温度範囲で 0.5 h 行った。試料の諸特性は、磁石特性については高感度自記磁束計で、キュリー温度および温度特性については V. S. M. で測定した。また密度は水中法で、組織写真は SEM を用いて観察し、結晶構造は X 線粉末法を、磁区模様はビッター法を用いて検討した。

3. 結果ならびに考察

図 1 は、本焼成温度を 1,250°C 一定とし、複合添加物である CaO と SiO₂ の総量を 1.0 wt% として、その比率を変化させたものである。図中の J_m は、測定印加磁界を 800 kA/m としたときの磁束密度である。また、S. S. C. は仮焼成条件、S. C. は本焼成条件を示している。図から知られるように J_m , J_r , $(BH)_{max}$ は、CaO=0.6 wt% 添加まで上昇し、CaO が 0.6 wt%, SiO₂ が 0.4 wt% で最高値が得られた。 H_{cJ} , H_{cB} については、CaO=0.8 wt% 添加まで若干増加するが大幅な増加は見られなかった。

図 2 は BaO·2ZnO·8Fe₂O₃ 化合物において複合添加物である CaO と SiO₂ の総量を 1.0 wt% として、その複合添加量比を変化させたときの焼成温度と磁気特性の関係を示したものである。このとき、本焼成温度を 1,175~1,300°C まで変化させた。図から知られるように、すべての組成において J_m , J_r は本焼成温度が上昇するにつれて増加する傾向を示している。

S. S. C. 1,275°C $\times$ 1.0 h in air, S. C. 1,250°C $\times$ 0.5 h in air

図 1 BaO·2ZnO·8Fe₂O₃ 化合物で複合添加物 (CaO, SiO₂) の総量を 1.0 wt% としてその比率を変化させたときの磁気特性
Fig. 1. Effect of CaO and SiO₂ addition on magnetic properties of BaO·2ZnO·8Fe₂O₃ compound.

S. S. C. 1,275°C $\times$ 1.0 h in air

図 2 BaO·2ZnO·8Fe₂O₃ 化合物で複合添加物 (CaO, SiO₂) の総量を 1.0 wt% としてその磁気特性
Fig. 2. Effect of sintering temperature on magnetic properties of BaO·2ZnO·8Fe₂O₃ compounds in addition with X wt% CaO and Y wt% SiO₂ after semisintering treatment (X+Y=1.0 wt%).

表 2 BaO·2ZnO·8Fe₂O₃ 化合物への CaO と SiO₂ を複合添加した試料の相の変化
Table 2. Phase of BaO·2ZnO·8Fe₂O₃ compounds in addition with CaO and SiO₂ after semisintering treatment.

S. S. C. 1,275°C × 1.0 h in air

CaO & SiO ₂ addition (wt%)	Sintering temperature (°C)					
	1175	1200	1225	1250	1275	1300
0	W, a	W, a	W, a	W, a	W	W
0.5	W, a	W, a	W	W	W	W
1.0	W, a	W	W	W	W	W
1.5	W, a	W	W	W	W	W
2.0	W	W	W	W	W	W

CaO/SiO₂ = 6/4 W : W-phase, d = d-Fe₂O₃

S. S. C. 1,275°C × 1.0 h in air, S. C. 1,250°C × 0.5 h in air

図 6 BaO·2ZnO·8Fe₂O₃ 化合物で CaO を 0.6 wt%, SiO₂ を 0.4 wt% 複合添加したときの σ_s と H_{cj} の温度依存性

Fig. 6. Temperature dependence on magnetic properties of BaO·2ZnO·8Fe₂O₃ compound in addition with 0.6 wt% CaO and 0.4 wt% SiO₂ after semisintering treatment.

度を変化させたときの X 線回折図形である。図から知られるように、本焼成温度が 1,175°C の試料で W 相と α -Fe₂O₃ 相との混相となるが、1,200°C 以上の試料では、W 相単相が得られた。

以上の結果、X 線回折図形より BaO·2ZnO·8Fe₂O₃ 化合物に CaO と SiO₂ を複合添加し、本焼成温度を 1,200°C 以上で行ったとき、W 相単相が得られることが知られた。また、CaO と SiO₂ を複合添加することで、全く添加しなかった試料に比べ W 相単相を得る温度範囲(表 2)が広がることがわかった。

図 6 は BaO·2ZnO·8Fe₂O₃ 化合物で、CaO を 0.6 wt%, SiO₂ を 0.4 wt% 複合添加したときの σ_s と H_{cj}

S. S. C. 1,275°C × 1.0 h in air, S. C. 1,250°C × 0.5 h in air

図 7 BaO·2ZnO·8Fe₂O₃ 化合物で CaO/SiO₂ = 6/4 としてその複合添加総量を変化させたときのキュリー温度

Fig. 7. Curie temperature of BaO·2ZnO·8Fe₂O₃ compounds in addition with CaO and SiO₂ after semisintering treatment.

の温度依存性を示したものである。試料は、反磁界を正確に補正するため球状試料を用いた。図から知られるように、 σ_s の値は、温度上昇とともに減少し、 H_{cj} は 200~220°C まで上昇し、その後、急激に減少する。これは、従来の M 型フェライトと同様である^{(28)~(30)}。なお、0 K (-273°C) のときの σ_s は、図から外挿すると 149.6×10^{-6} Wb·m/kg で、この結果と化学分析値 (Ba_{0.857} Zn_{1.643} Ca_{0.150} Si_{0.266} Fe²⁺_{0.030} Fe³⁺_{15.857} O₂₇) から分子量を 1,557.8 として n_B を計算すると 33.2 μ_B となった。この値はこれまでの報告 BaO·2ZnO·8Fe₂O₃ 組成における値 35 μ_B ⁽¹³⁾ より低い値となっている。また、常温 (20°C) のとき、 σ_s は 87.47×10^{-6} Wb·m/kg で、 H_{cj} は 63.68 kA/m であった。

図 7 は BaO·2ZnO·8Fe₂O₃ 化合物で CaO/SiO₂ = 6/4 として、その複合添加総量を変化させたときのキュリー温度 T_c を示したものである。複合添加物の量が多くなるにつれて、キュリー温度は低くなることがわかった。この結果から、キュリー温度を低くしている原因は Ca²⁺ イオンと思われ、Ca²⁺ イオンの影響としては、Sr-Ca 系、Ba-Ca 系の M 型フェライト⁽¹⁶⁾ と同様である。なお、最高の磁気特性を示した試料のキュリー温度は 357°C であった。SEM により Ca と Si の元素分布を観察した結果、Ca は全面に分布しており、Ca²⁺ イオンは固溶し、Si は化合物の粒界に分布することがわかった。

図 8 は BaO·2ZnO·8Fe₂O₃ 化合物で CaO/SiO₂ = 6/4 として、その総量を変化させたときの密度と収縮率を示したものである。収縮率は、プレス方向に垂直での変化を測定した。図から知られるように、総量

S. S. C. 1,275°C × 1.0 h in air, S. C. 1,250°C × 0.5 h in air
CaO/SiO₂

図 8 BaO·2ZnO·8Fe₂O₃ 化合物で CaO/SiO₂=6/4 としてその総量を変化させたときの密度と収縮率

Fig. 8. Effect of CaO and SiO₂ addition on sintered density and shrinkage of BaO·2ZnO·8Fe₂O₃ compounds.

S. S. C. 1,275°C × 1.0 h in air, S. C. 1,250°C × 0.5 h in air

(a) Surface perpendicular to the easy direction
(b) Surface parallel to the easy direction

図 9 BaO·2ZnO·8Fe₂O₃ 化合物で CaO を X wt%, SiO₂ を Y wt% 複合添加したときの SEM 写真

Fig. 9. SEM photographs of BaO·2ZnO·8Fe₂O₃ compounds in addition with X wt% CaO and Y wt% SiO₂ after semisintering treatment.

1.0 wt% まで急激に上昇し、1.0~2.0 wt% まで緩やかに上昇した。このことより、CaO と SiO₂ を複合添

S. S. C. 1,275°C × 1.0 h in air, S. C. 1,325°C × 0.5 h in air

(a) Surface perpendicular to the easy direction
(b) Surface parallel to the easy direction

図 10 BaO·2ZnO·8Fe₂O₃ 化合物で CaO を X wt%, SiO₂ を Y wt% を複合添加したときの SEM 写真

Fig. 10. SEM photographs of BaO·2ZnO·8Fe₂O₃ compounds in addition with X wt% CaO and Y wt% SiO₂ after semisintering treatment.

加することで総量 1.0 wt% まで有効に焼結促進に役立っていることが知られた。

図 9 は、BaO·2ZnO·8Fe₂O₃ 化合物で途中添加物で CaO が 0.6 wt%, SiO₂ が 0.4 wt% 複合添加したときの組織写真である。それぞれ、印加磁界と垂直な方向 (a) では、六角板状組織が、平行な方向 (b) では扁平状組織が確認され、M 型フェライトと同様であることがわかった。なお、結晶粒の大きさは約 2 μm であった。

図 10 は、図 9 の試料の本焼成温度を 1,325°C まで上昇させ、結晶成長を見たものである。無添加の試料に比べ CaO と SiO₂ を複合添加させた試料のほうが結晶が小さいことがわかる。図 8 とこの図から CaO と SiO₂ を複合添加することで M 型フェライトと同様 CaO は焼結促進に、SiO₂ は結晶成長を抑制していることを示している。

図 11 は BaO·2ZnO·8Fe₂O₃ 化合物で CaO を 0.6 wt%, SiO₂ を 0.4 wt% 複合添加したときの磁区模様をビッター法を用いて観察したものである。なお、観察を容易にするために本焼成温度を 1,325°C とし、2.0 時間焼成した試料を用いた。印加磁界に垂直な面 (a) では迷路状模様が、平行な面 (b) では 180° 磁区観察され、一軸異方性の典型的な六方晶系であり、M 型フェライトと同様であることがわかった^{(29)~(31)}。

表 3 は、本実験において最も良好な磁気特性を示し

S. S. C. 1,275°C × 1.0 h in air, S. C. 1,325°C × 2.0 h in air
(a) Surface perpendicular to the easy direction
(b) Surface parallel to the easy direction

図 11 BaO·2ZnO·8Fe₂O₃ 化合物で CaO を 0.6 wt%, SiO₂ を 0.4 wt% 複合添加したときの磁区模様

Fig. 11. Magnetic domain structure of BaO·2ZnO·8Fe₂O₃ compound in addition with 0.6 wt%CaO, 0.4 wt%SiO₂ after semisintering treatment.

表 3 BaO·2ZnO·8Fe₂O₃ 化合物に 0.6 wt% CaO と 0.4 wt%SiO₂ を複合添加したときの磁気物理的特性

Table 3. Magnetic and physical properties of BaO·2ZnO·8Fe₂O₃ compound in addition with 0.6 wt%CaO and 0.4 wt%SiO₂ after semisintering treatment.

S.S.C. 1,275°C × 1.0 h in air S.C. 1,250°C × 0.5 h in air		
Ba _{0.857} Zn _{1.843} Ca _{0.150} Si _{0.286} Fe _{2.030} O _{7.15.857} O _{7.7}		
Magnetic properties	J _m (T)	0.436
	J _r (T)	0.393
	H _{cJ} (kA/m)	64.4
	H _{cB} (kA/m)	64.1
	(BH) _{max} (kJ/m ³)	16.1
	K _A (× 10 ³ J/m ²)	2.03
	H _A (kA/m)	971.0
	σ _s (× 10 ⁻⁶ Wb·m/kg)	87.5
	η _B (μB)	33.2
Density	T _C (°C)	357
	(Mg/m ³)	4.93
Lattice constant	a (× 10 ⁻¹⁰ m)	5.890
	c (× 10 ⁻¹⁰ m)	32.90
	c/a	5.586
Molecular weight	MW	1557.8

た試料の条件, 諸特性をまとめたものである。なお, 異方性磁界 K_A と異方性定数 H_A の測定は, 試料を 10 個立方体状 (7×7×7 mm) に切断し, 試料のプレス時の印加磁界方向とそれに直角な方向の磁化曲線を描き外挿法により H_A を求め, K_A は $K_A = J_m \cdot H_A / 2$ の式で求めた。

4. 結 言

Ba-Zn 系 W 型六方晶フェライト磁石の磁気特性に及ぼす CaO, SiO₂ 添加の影響をまとめると次のようである。

(1) BaO·2ZnO·8Fe₂O₃ 化合物磁石に CaO, SiO₂ を複合添加することで磁気特性が向上すること

がわかった。最高の磁気特性は, 複合添加総量が 1.0 wt% で CaO/SiO₂ = 6/4 の比率で添加した組成において得られ, 無添加のものに比べ (BH)_{max} は約 27% 上昇した。

(2) 本実験において, BaO·2ZnO·8Fe₂O₃ 化合物に CaO と SiO₂ を複合添加することで W 相単相は, 本焼成温度を 1,200°C 以上で行うことで得られることがわかり, また全く添加しなかった試料に比べ, W 相単相を得る温度範囲 (1,200~1,325°C) が広がる効果があることもわかった。

(3) BaO·2ZnO·8Fe₂O₃ 化合物に CaO と SiO₂ を複合添加した H_{cJ} は, それほど大きな増加はなく J_m , J_r が上昇することが知られ, CaO は焼結促進に寄与し, SiO₂ は結晶成長を抑制させる効果があることが知られた。

(平成 4 年 8 月 11 日受付)

文 献

- (1) J. J. Went, G. W. Rathenau, E. W. Gorter & G. W. Van Oosterhout: "Ferrodure, a Class of New Permanent Magnet Material", *Philips Tech. Rev.*, **13**, 194 (1952)
- (2) P. B. Braun: "Crystal Structure of BaFe₁₀O₂₁", *Nature*, **170**, 708 (1952)
- (3) L. G. Van Uiter, M. H. Read & F. J. Schvettler: "Permanent Magnet Oxides Containing Divalent Metal Ions (I)", *J. Appl. Phys.*, **28**, 280 (1957)
- (4) L. G. Van Uiter & F. W. Swanekamp: "Permanent Magnet Oxides Containing Divalent Metal Ions. II", *ibid.*, **28**, 482 (1957)
- (5) J. Smit & H. P. J. Wijn: Ferrites, Eindhoven, the Netherlands: Philips Tech. Library, p. 186 (1959)
- (6) F. K. Lotgering, U. Eng & J. Smit: "Influence of Co²⁺ Ion on the Magnetic Anisotropy of Ferrimagnetic Oxides Having Hexagonal Crystal Structures", *Philips Res. Reps.*, **16**, 441 (1961)
- (7) L. R. Hodges Jr. & G. R. Harrison: "Oriented Hexagonal Ferrite Compounds for Application at Millimeter Wave Frequencies", *J. Amer. Ceram. Soc.*, **47**, 601 (1964)
- (8) R. O. Savage & A. Tauber: "Growth and Properties of Single Crystals of Hexagonal Ferrites", *ibid.*, **47**, 13 (1964)
- (9) H. Neumann & H. P. J. Wijn: "Polycrystalline hexagonal Fe₂W with Varying Ferrous Contents", *ibid.*, **51**, 536 (1968)
- (10) G. Albanese & G. Asti: "Sublattice Magnetization and Cation Distribution in BaMg₂Fe₁₆O₂₇(Mg₂W) Ferrite", *IEEE Trans. Magnetics*, **MAG-6**, 158 (1970)
- (11) Y. Goto, M. Higashimoto & K. Takahashi: "Preparation and Characterization of Poly-crystalline SrFe₁₆O₂₇", *Japan. J. Appl. Phys.*, **12**, 945 (1973)
- (12) G. Albanese, M. Carbuicchio & G. Asti: "Spin-Order and Magnetic Properties of BaZn₂Fe₁₆O₂₇(Zn₂-W) Hexagonal Ferrite", *Appl. Phys.*, **11**, 81 (1976)
- (13) G. Albanese, M. Carbuicchio, F. Bolzoni, S. Rinaldi, G. Sloccari & E. Lucchini: "Magnetic Properties of Aluminium Substituted Zn₂-W Hexagonal Ferrites", *Physica*, **86-88B**, 941 (1977)
- (14) G. Albanese, M. Carbuicchio, L. Pareti, S. Rinaldi, E. Lucchini & G. Slokar: "Magnetic and Mössbauer Study of Al, Ga, In and Sc Substituted Zn₂-W Hexagonal Ferrites", *J. Magn. Mater.*, **15-18**, 1453 (1980)
- (15) F. K. Lotgering, P. H. G. M. Vormans & M. A. H. Huyberts,

- "Permanent-Magnet Material Obtained by Sintering the Hexagonal Ferrite $W=BaFe_{18}O_{27}$ ", *J. Appl. Phys.*, **51**, 5913 (1980)
- (16) H. Kojima, K. Goto & C. Miyakawa: "A few Experiment Result on M-Type Hexaferrite", Ferrites: Proceeding of the International Conference, p. 335 (1980)
- (17) T. Besagni, A. Deriu, F. Licci, L. Pareti & S. Rinaldi: "Nickel and Copper Substitution in Zn_2-W ", *IEEE Trans. Magnetics*, **MAG-17**, 2636 (1981)
- (18) F. Licci, L. Pareti & S. Rinaldi: " Zn_2-W : Improvements of Magnetic Properties by Copper Substitution", *J. Appl. Phys.*, **52**, 2526 (1981)
- (19) G. Albanese, M. Carbucicchio, L. Pareti & S. Rinaldi: "Cation Distribution and Magnetic Properties of $BaZn_2Fe_{16-x}Sc_xO_{27}$ Hexagonal Ferrites", *Phys. Sta. Sol. (a)*, **73**, K 193 (1982)
- (20) T. Besagni, A. Deriu, F. Licci & S. Rinaldi: "Manganese Substitution in Zn_2-W Hexaferrite", *J. Magn. Magn. Mater.*, **31-34**, 791 (1983)
- (21) H. Graetsch, F. Haberey, R. Leckebusch, M. S. Rosenberg & K. Sahl: "Crystallographic and Magnetic Investigation on W-Type hexagonal Ferrite $R_xBa_{1-x}Fe_{18}O_{27}$ ", *ibid.*, **31-34**, 801 (1983)
- (22) H. Kojima, C. Miyakawa, T. Sato & K. Goto: "Magnetic Properties of W-type Hexaferrite Powders", *Japan. J. Appl. Phys.*, **24**, 51 (1985)
- (23) 金子・穴本・濱村: 「 CaO および SiO_2 添加による Sr フェライト磁石の高性能化」, 粉体および粉末冶金, **34**, 169 (昭52)
- (24) 山本・籠谷・岡田・本間: 粉体粉末冶金協会昭61 春期大会講演概要集, p. 530
- (25) H. Yamamoto, M. Nagakura & H. Ono: "Magnetic Properties of Ba-Zn-Al-La System W-Type Hexagonal Ferrite Magnets", *IEEE Trans. Magnetics*, **24**, No. 1 (1988)
- (26) 山元・永倉・小野: 「異方性 Ba-Zn-Al 系 W 型六方晶フェライト磁石の諸特性」, 明治大学工学部研究報告, **52**, 7 (昭62)
- (27) 山元・山田・中島: 「異方性 Sr 系 W 型六方晶フェライト磁石の磁気特性」, 明治大学科学技術研究所紀要, **29**, No. 6, 53 (平2)
- (28) H. Yamamoto, T. Kawaguchi & M. Nagakura: "A New Permanent Magnet Material Modified Ca Ferrite", *IEEE*

Trans., Magnetics, **MAG-15**, 1141 (1979)

- (29) H. Yamamoto & M. Nagakura: "High Quality Anisotropic Lead System Ferrite Magnets", *ibid.*, **MAG-23**, 294 (1987)
- (30) H. Yamamoto, M. Nagakura & H. Terada: "Magnetic Properties of Anisotropic Sr-La System Ferrite Magnets", *ibid.*, **26**, 1144 (1990)
- (31) H. Yamamoto, T. Nagakura & D. Yamada: "Magnetic properties of Sr-Zn System W-type Hexagonal Ferrite Magnets Prepared by New Manufacturing Method", *ibid.*, **28**, 2869 (1992)

山元 洋 (正員)

昭和16年3月23日生。44年明治大学大学院工学研究科博士課程修了。以後、同大学工学部(改組により理工学部)電気工学科助手、講師、助教授を経て、56年4月同教授、現在に至る。工学博士。この間、59年3月～59年9月アイオワ州大学電気工学科客員教授。主として、磁性材料に関する研究に従事。IEEE、日本応用磁気学会、日本金属学会、粉体粉末冶金協会会員。

石井 章 雅 (准員)

昭和43年5月28日生。平成3年3月明治大学工学部電気工学科卒業。同年4月同大学大学院工学研究科電気工学専攻博士前期課程入学、現在に至る。