電動機鉄心の磁気特性に及ぼす外部応力の効果

正員 山本 健一 (岐阜大)
 正員 霜村 英二 (東芝)
 正員 山田 一夫 (東芝)
 正員 佐々木 堂 (岐阜大)

Effects of External Stress on Magnetic Properties in Motor Cores

Ken-ichi Yamamoto, Member (Gifu University), Eiji Shimomura, Member (Toshiba Corporation)

Kazuo Yamada, Member (Toshiba Corporation) and Tadashi Sasaki, Member (Gifu University)

Effects of fixing by shrink fitting on magnetic properties of iron cores are investigated to simulate magnetic behaviors of iron cores fixed in motor frames. Shrink fittings, of course, decrease their permeabilities and increase effective magnetostrictions and magnetic losses. It is well known that the magnetostriction increment and the permeability decrement are explained with the increase of magnetoelastic energy due to compressive stress by shrink fitting. The magnetic loss increases, however, cannot be explained with this energy. We show experimentally that the magnetic loss increases are occurred from the mechanical work due to the magnetostrictive movement of iron core under the compressive force.

キーワード：電動機鉄心, 磁気損失, 圧縮力, 焼きばめ, 磁気ひずみ

1. まえがき

電動機の鉄心には、多くの場合、電磁鋼板が用いられており、その磁気特性は、駆動力や効率等の電動機の性能を大きく支配することが知られている⁽¹⁾。近年、電動機の高効率運転のため、電動機の駆動電源方式が大きく変化している。これに伴い電磁鋼板もその励磁条件に対応する磁気特性の向上を図り、全体として電動機の小型化、高効率化を進行させつつあるが、今後もさらに電動機の高性能化を推進する必要がある。そのため、機器に使用される材料の加工前の磁気特性と電動機に鉄心として使用された場合の特性との差を正確に捉えておく必要がある。

電動機の鉄心のうち、回転子では交番磁界は基本的には発生しないため損失をほとんど生じない。それ故に固定子の磁気特性が電動機における磁気的な損失を負っていると云っても過言ではなかろう。以上のことから、電動機の設計に際して、固定子用鉄心に用いる電磁鋼板の磁気特性と素材の特性との関係を正確に把握することが具体的な課題であることが分かる。

一般に、電動機の製造段階において、固定子鉄心は電動機の外枠に圧入されたり、かしめ処理等が施され、鉄心に弾・塑性変形が加えられたままの状態で使用される⁽²⁾。一方、電磁鋼板は外部応力を加えられると、その磁気損失を始めとする諸磁気特性が大きく変化することがよく知られている⁽³⁾⁻⁽⁵⁾。従って、電動機鉄心に成形され組み込まれた電

磁鋼板の磁気特性は素材のそれとは異なることが、当然、予測される。しかし、回転機鉄心材料にどのような外部応力が働き、それが磁気特性にどのような影響を及ぼすかを検討した例は少ない。すなわち外部応力によってどのような特性変化が起り、そのメカニズムは何かについては明確化されてはいない状況にある。これらのことは、採用された材料のおかれる環境条件と、その条件下での材料の基本的な特性の変化とを明確化する必要があることを意味している。

以上の観点から、電動機の固定子鉄心として用いられる環状電磁鋼板の磁気特性に及ぼす外枠への固定の影響を検討することとした。外枠への固定にも実際には多種の方法が用いられるが、ここでは最も一般的な焼きばめを施して固定することとした。これにより、鉄心に働く外部応力は、円周方向、半径方向共に圧縮力であることを明らかにし、圧縮力下における電磁鋼板の損失等の諸磁気特性の変化を定量的に示した。また、観察された損失の増加は応力下での磁気ひずみによる機械的な仕事に起因することを明らかにすることができた。

本検討は、電動機鉄心の磁気特性に及ぼす外部応力の効果のうち最も基礎的な部分を明らかにしたものである。

2. 供試料および実験方法

試料は、3種類の無方向性電磁鋼板JIS50A600, 50A800, 50A400である。試料形状は、外径160 mm, 内径127 mmの環状試料であり、49枚を重ねて用いた。励磁方向は、円周

方向とし、この方向に関する磁気特性を測定した。

試料の外枠への固定を模擬することを目的として、内径160- δ mm、外径180 mm、高さ30 mmのステンレスSUS304 (SUS)およびアルミニウム(Al)の円筒管を試料に「焼きばめ」処理し、それぞれのヤング率の違いによって生ずる圧縮力の大きさを変化させた。ここで、 δ は「焼きばめしろ」で、その値は円筒管の加工精度上0.05~0.08 mmの範囲内にある。焼きばめすることによって試料がアバれない様に、治具と押さえ板を用いて予め積み厚を固定した後、焼きばめを施した。

直流磁気特性は、低ドリフト超低周波増幅器とA/Dコンバータを経てコンピュータ処理する測定系⁽⁶⁾により測定した。

交流磁気損失および磁化力は、それぞれ横河電機製ワットコンバータ2885および相互誘導器を用いて測定した。試料に励磁巻線を161回、二次巻線を36回それぞれ均一に施した。励磁周波数は $f = 50$ Hzとし、二次巻線の誘起電圧が正弦波となる条件下にて測定を行った。このとき波形率誤差が1%未満となる様に、誘起電圧波形を制御した。また、焼きばめ後には励磁巻線および二次巻線を試料に密着して巻くことは不可能であったので、焼きばめ枠を含んで巻線を施した。励磁条件は焼きばめ前と同じである。

磁気ひずみは、KYOWA製抵抗箔ひずみゲージ(7.4×2.3 mmベース付)および動ひずみ測定器DPM603を用いて測定した。ひずみゲージは、重ねた試料鋼板のうち最も外側の試料の圧延方向と垂直方向の2箇所、内径と 外径と

図1. 焼きばめ前後におけるヒステリシス曲線の例

Fig.1. An example of hysteresis curves before and after shrink fittings.

の平均径上に検出方向をリング円周方向に一致させて貼り付けた。これら2箇所での磁気ひずみの振幅を平均し、数値的には試料全体の磁気ひずみ量 λ_{p-p} として評価した。

3. 実験結果

図1に50A600の焼きばめ前後における直流ヒステリシス曲線を示す。焼きばめによって、試料の透磁率が低下していることが分かる。焼きばめ前(free)に比べて、Al, SUSで焼きばめした順に、全磁化範囲において透磁率は低下している。

表1(a)は図1と同一の試料の焼きばめ前後におけるヒステリシス損失の変化を示している。(焼きばめ前)→Al→SUSの順に損失は増加しており、この傾向は表1(b),(c)に示した様に他の試料でも同様である。

焼きばめによって試料の半径 r 上に印加される応力(張力が正符号)は、次式で与えられる⁽⁷⁾。

$$\sigma = \frac{-r_2^2}{r_2^2 - r_1^2} \left(1 + \frac{r_1^2}{r^2} \right) \times \frac{\delta}{2r_2 \left\{ \frac{r_1^2 + r_2^2}{E_1(r_2^2 - r_1^2)} + \frac{r_2^2 + r_3^2}{E_2(r_3^2 - r_2^2)} + \frac{\nu_2}{E_2} - \frac{\nu_1}{E_1} \right\}} \quad (1)$$

ここで、 δ は焼きばめしろである。 $2r_1$, $2r_2$ は焼きばめ後の試料の内径および外径、 $2r_3$ は外枠の外径である。 E_1 , E_2 は試料および外枠のヤング率、 ν_1 , ν_2 はそれぞれ試料および外枠のポアソン比である。

AlおよびSUSのヤング率をそれぞれ、 7.03×10^{10} Pa, 19.0×10^{10} Paとすると、重ねた試料に均等に焼きばめ枠が密着している場合、この試料の平均径上に生ずる圧縮力は全ての重ねた試料において一定となり、焼きばめしろ δ の加工精度を考慮して計算すると表2に示す値となる。

表2. 焼きばめによって生ずる圧縮力

Table 2. Compressive stress due to shrinking fittings.

50A600	Al	SUS
σ (MPa)	10 ~ 16	23 ~ 37

以上のことから、試料円周方向に印加される圧縮力値が大きい程、透磁率が低下し、ヒステリシス損失が増加することが分かる。

図2は、50A600における焼きばめ前後での交流磁化特性の変化を示す。直流磁気特性と同様に、(焼きばめ前)→Al→SUSの順に透磁率は低下している。図3は、図2と同一の試料における交流磁気損失の焼きばめ前後での変化を

表1. 焼きばめによる直流ヒステリシス損失の増加量 (単位はJ/kg)

Table 1. D.C. hysteresis loss changes due to shrink fittings (in J/kg).

(a)			(b)			(c)		
50A600	1.2 T	1.5 T	50A800	1.2 T	1.5 T	50A400	1.2 T	1.5 T
SUS	0.025	0.023	SUS	0.025	0.025	SUS	0.018	0.018
Al	0.018	0.016	Al	0.016	0.015	Al	0.015	0.014

図2. 焼きばめ前後での交流磁化特性
Fig.2. AC magnetic properties before and after shrink fittings.

図3. 焼きばめ前後での交流磁気損失
Fig.3. AC magnetic power losses before and after shrink fittings.

図4. 焼きばめによる交流磁気損失の変化
Fig.4. AC magnetic power loss change due to shrink fittings.

図5. 焼きばめ前後でのB-λ曲線
Fig.5. Examples of B-λ curves in a sample.

示しており、焼きばめによって全磁化領域にわたり損失が増加していることが分かる。ここで焼きばめ枠はAlあるいはSUSであり、共に非強磁性体であるが、抵抗率がそれぞれ $2.8\mu\Omega\text{cm}$, $72\mu\Omega\text{cm}$ であるため、励磁の際に渦電流が生ずることが考えられる。しかし、この材料のみを励磁したときに生ずる損失は、最大で電磁鋼板での損失増加量の1%程度であった。従って、焼きばめ前後での損失増加は電磁鋼板の磁気特性変化のみによるものとして良いと考えた。

焼きばめ前に対する焼きばめ後の損失増加量を図4に示す。上述のように焼きばめによって、損失は増加しており、Alに比べてSUSの方が、最大磁束密度 $B_m < 1.2\text{ T}$ では約1.7倍、 $B_m \geq 1.2\text{ T}$ では約1.5倍の増加量がみられる。また、表3中 $\Delta P/f$ に示した様に、試料および測定磁束密度によって多少の差はみられるが、SUSはAlに比べて1.2~3倍の範囲の損失増加をもたらしており、SUSとAlによる損失増加の比率は全ての試料をとっておおむね1:2となっている。これ

表3. 焼きばめ後の実効磁気ひずみと圧縮力値および損失増加の計算値および実測値

Table 3. Effective magnetostrictions after shrink fittings, compressive stresses, calculated and measured magnetic loss changes.

(a) 50A600をSUSで焼きばめた場合

(a) 50A600 shrink fitted in SUS.

50A600 (SUS)	1.2 T	1.5 T	1.7 T
λ_{av}	6.9×10^{-6}	9.2×10^{-6}	10.3×10^{-6}
σ (MPa)	37 ~ 23		
$\Delta P_{cal}/f$ (J/kg)	0.09~0.02	0.13~0.027	0.14~0.03
$\Delta P/f$ (J/kg)	0.031	0.031	0.030

(b) 50A600をAlで焼きばめた場合

(b) 50A600 shrink fitted in Al.

50A600 (Al)	1.2 T	1.5 T	1.7 T
λ_{av}	6.6×10^{-6}	9.1×10^{-6}	9.3×10^{-6}
σ (MPa)	16 ~ 10		
$\Delta P_{cal}/f$ (J/kg)	0.042~0.009	0.057~0.012	0.059~0.012
$\Delta P/f$ (J/kg)	0.020	0.020	0.023

(c) 50A400をSUSで焼きばめた場合

(c) 50A400 shrink fitted in SUS.

50A400 (SUS)	1.2 T	1.5 T	1.6 T
λ_{av}	6.6×10^{-6}	8.7×10^{-6}	8.9×10^{-6}
σ (MPa)	33 ~ 20		
$\Delta P_{cal}/f$ (J/kg)	0.084~0.017	0.11~0.023	0.11~0.024
$\Delta P/f$ (J/kg)	0.023	0.025	0.022

(d) 50A400をAlで焼きばめた場合

(d) 50A400 shrinking fitted in Al.

50A400 (Al)	1.2 T	1.5 T	1.6 T
λ_{av}	7.3×10^{-6}	11×10^{-6}	11×10^{-6}
σ (MPa)	15 ~ 9.2		
$\Delta P_{cal}/f$ (J/kg)	0.040~0.009	0.062~0.013	0.062~0.013
$\Delta P/f$ (J/kg)	0.018	0.020	0.019

(e) 50A800をSUSで焼きばめた場合

(e) 50A800 shrink fitted in SUS.

50A800 (SUS)	1.2 T	1.5 T	1.7 T
λ_{av}	3.6×10^{-6}	6.0×10^{-6}	7.2×10^{-6}
σ (MPa)	37 ~ 23		
$\Delta P_{cal}/f$ (J/kg)	0.051~0.011	0.096~0.018	0.102~0.021
$\Delta P/f$ (J/kg)	0.035	0.040	0.039

(f) 50A800をAlで焼きばめた場合

(f) 50A800 Shrink fitted in Al.

50A800 (Al)	1.2 T	1.5 T	1.7 T
λ_{av}	6.2×10^{-6}	7.9×10^{-6}	8.0×10^{-6}
σ (MPa)	16 ~ 10		
$\Delta P_{cal}/f$ (J/kg)	0.039~0.008	0.050~0.010	0.050~0.010
$\Delta P/f$ (J/kg)	0.015	0.017	0.012

は、表2に示した様に試料に加わる圧縮力の比率がAlとSUSとで1:2とであることと対応しており、損失増加量は圧縮力によるものであると考えられる。

図5は焼きばめ前後での、励磁の際に磁束密度変化によって生ずる実効磁気ひずみ λ すなわち λ -B曲線の例を示す。例は、50A600試料の圧延方向の場合である。圧延と垂直方向でも、これとほぼ同じ結果が得られ、焼きばめ前後で実効磁気ひずみの振れ幅の量 λ_p が試料全般で増加していた。

各特性の測定結果を示す図は、表1や表3から明らかのように、ここで用いた全ての素材に関して同様の变化傾向を示しているため、煩雑を避ける目的で、ここでは50A600試料に関する図のみを示した。

以上の様に、外枠への固定により鉄心には圧縮力が働くこと及びそれにより鉄心材料の磁気損失および実効磁気ひずみが増加することが明らかとなった。このことは、鉄心に圧縮力が印加された状態で使用すると、鉄損の増加および磁気ひずみに起因する騒音が増加することを示唆している。

4. 検討

試料に応力が印加された場合には、次式に示す磁気弾性エネルギーが生ずる⁽⁸⁾。

$$E_\sigma = -\frac{3}{2}\lambda_s\sigma\cos^2\theta \quad (2)$$

ここで、 λ_s は試料の飽和磁気ひずみ定数で、 σ は試料に印加される応力である。 θ は磁化ベクトルと応力の成す角である。

この試料においては結晶磁気異方性が大きいので、磁化ベクトルは本測定範囲内では全て<100>方向を向いている⁽⁹⁾。<100>方向の λ_s は 27.7×10^{-6} と正であるから、この場合焼きばめによって生ずる円周方向の圧縮力によって、この方向に近い<100>に磁化ベクトルが向けば磁気弾性エネルギーが高くなることは(2)式から明らかである。このため、励磁方向である円周方向に近い<100>に磁化ベクトルが向きにくくなり、焼きばめによる圧縮力が増加するにつれて透磁率が低下していくと理解することができる。

また、同じ磁束密度における実効磁気ひずみが焼きばめによって大きくなるのも、同様の理由により、消磁状態において試料半径方向に磁化ベクトルが焼きばめ前よりも多く存在するためである。この様にして磁気弾性エネルギーを考えると、当然のこととして、圧縮力下の磁化過程において磁化ベクトルの回転から、透磁率や実効磁気ひずみの変化が理解できる。しかしながら、磁気損失の増加については上の様な考え方のみでは理解できない。焼きばめ後の試料においても、励磁の際に磁気ひずみが生じていることに着目すると、焼きばめによる損失の増加する機構については、以下の様に考えられる。主要な機構だけに単純化すると、試料に圧縮力($\sigma < 0$)が印加された状態で、規定の磁束密度まで

磁化すると、それに対応した実効磁気ひずみが生じて、試料が単位長あたり λ_{p-p} だけ伸びる。一定の圧縮力下において λ_{p-p} の変位がある場合には、機械的に $|\sigma\lambda_{p-p}|$ の仕事をする事となり、エネルギーが必要となる。このエネルギーは、励磁によって供給され、それだけが磁化過程において余分な熱として放出されると考えると、磁気ひずみによって試料は1磁化周期あたり2回伸びるため、1周期の励磁の際に焼きばめによって新たに、単位質量あたり次式で表されるエネルギーが必要となる。

$$\Delta P_{cal} / f = \frac{2}{w} \int_0^{\lambda_{p-p}} (\sigma S) d\ell = \frac{2Sl}{w} \lambda_{p-p} \sigma \quad (3)$$

ここで、 S は試料の断面積、 ℓ は試料の平均磁路長、 w は試料の質量である。

(3)式によって計算した結果を表3中 $\Delta P_{cal}/f$ に示す。先にも述べたが、ひずみは試料の表面に貼り付けたひずみゲージによって測定しているため、従来のこの種の実験の経験から貼り付け状態の変化によるゲージファクターの変動および板間での特性のばらつきを考慮し、更に圧延方向とそれに垂直な方向の平均値から求めているため、実効的に働く λ_{p-p} の値には平均値の50%の変動範囲を見込むこととし、応力は(1)式によって計算した値を用いて(3)式を計算した。

表3から明らかな様に、実測した $\Delta P/f$ は計算値 $\Delta P_{cal}/f$ の範囲内に納まる値を示している。この関係は既に表1に示した直流損失の増加量においても同様に成立している。従って、上述した機械的な仕事によって磁気損失の増大を理解してよいと考えられる。

少し詳しく見ると、各試料に共通して、損失増加の実測値は計算値の中央値より低めとなる傾向が見られる。これは、板状の円形試料を重ねて焼きばめしているため、試料に印加される圧縮力は、試料および焼きばめ枠のはめあいの状態に依存して強弱があり、そのため試料間の磁気特性にも差が生じるためと考えられる。試料間で磁気特性に差がある場合には、磁束は圧縮力が弱く透磁率が高い部分を主に通ることとなり、その部分の示す磁気損失は相対的に低いいため、全体として低損失側へ傾くこととなる。以上のことはいわば実効的な圧縮力が全体としては小さな方向に傾いていることを示している。

また、本実験では励磁方向の実効磁気ひずみのみを測定したが、実際には励磁方向と垂直方向では、励磁方向とは逆に試料は縮んでいると考えられる⁽¹⁰⁾。この場合、焼きばめによって励磁方向と垂直方向にも圧縮力が印加されているため、先と同様の理由により、焼きばめによって磁化に必要なエネルギーの増加量は、実際には式(3)より複雑な関係を考慮する必要がある、この値よりも小さくなると考えられる。

図6は、1.5kW実機の電動機に使用される固定子鉄心⁽¹⁾における焼きばめによる交流磁気損失の変化量を示す。図4の環状鉄心の場合と同様に、損失は焼きばめによって増加しており、1.5T以下の磁束密度下ではAlはSUSの1/2程度の増加量となっている。しかし、焼きばめによる損失の増

図6. 実機電動機用鉄心における焼きばめの効果

Fig.6. Effect of shrink fittings on iron cores used in a motor.

加量は、図4に示した環状鉄心の場合の1/2程度となっている。これは、図6中に示した様に試料外周の一部に切り欠きが存在するため、応力が試料全体に様に印加されておらず、実効的に試料に加わる応力が切り欠きのない環状試料に比べて小さくなっているためである。このことから、鉄心を外枠に固定する場合には鉄心に切り欠き等を作って完全に外枠と密着させることを避けて、試料に加わる圧縮力値を低減させることが有効であることが分かる。

また、実機の鉄心において、歯部にはここで検討した圧縮力が加わらず、その限りにおいては損失は増加しない。しかし、実機の駆動時には、回転子にトルクを生じさせるために歯部に電磁力によってたわみ、圧縮力が生ずると考えられる。この場合、歯部にも磁束変化による磁気ひずみが存在するため、損失の増加が引き起こされ、電動機の運転時における損失と振動の発生源となっていることが予測される。

5. まとめ

本論文では、電動機鉄心をフレーム内に固定した時に生ずる応力の種類とそれによる磁気特性の変化を明確化することを目的とし、その基本的検討として、環状の電磁鋼板を焼きばめした場合の磁気特性変化について検討を行った。その結果、以下のことを明らかにすることができた。

1. 焼きばめによって主に円周方向の圧縮力が生じ、それによって、試料の透磁率は低下し、ヒステリシス損失および交流磁気損失が増加する。
2. 磁気損失の増加量は、焼きばめによる応力値にほぼ比例していた。
3. 焼きばめによって実効磁気ひずみは増加する。これは、焼きばめによる圧縮力によって、消磁状態では励磁方向に垂直な半径方向に磁化ベクトルが多く存在する磁区構造を形成するためである。
4. 焼きばめによって生ずる磁気損失の増加は、圧縮力下において実効磁気ひずみが生ずるとい、機械的な仕事に起因していることを定量的に示した。
5. 環状鉄心の一部に切り欠きを作製する等で、枠への鉄

心の密着を避けることで、試料に印加される圧縮力は低減され、磁気損失の増加を軽減できる。

以上の検討により、これまで明らかにはされていなかった、電動機の枠への鉄心の固定にともなう印加応力および諸磁気特性変化とその発生機構について明確化できた。本報告を基に更に実際的な場合についての検討がなされることを期待するものである。

6. 謝辞

最後に本研究にご援助下さった、(株)東芝重電技術研究所汎用技術開発部材料応用技術課 梅村時博 博士ならびに同課の諸兄諸氏に感謝いたします。

(平成 8年 6月28日受付, 平成 8年 9月30日再受付)

文 献

- (1) T.Yagisawa: "Core loss estimation of rotating machines with consideration of flux rotation", JSAEM Studies in Applied Electronics, Vol.1 (1992) pp.29-36
- (2) 霜村, 渡部: 「小型誘導電動機の鉄心特性に及ぼす結束の影響」, 電気学会マグネティックス研究会資料MAG-95-187 (1995)
- (3) K.Matsumura and B.Fukuda: "Recent Development of Non-oriented Electrical Sheets", IEEE Trans. Magn., Vol.MAG-16, No.2 (1968) pp.454-460
- (4) A.J.Moses and J.A.Robey: "Influence of Compressive Stress on Magnetic Properties of Commercial (110) [001] Oriented Silicon-iron", IEEE Trans. Magn., Vol.MAG-16 (1968) pp.454-460
- (5) C.Holt and J.A.Robey: "The AC Magnetostriction of 3.25 Percent Grain-oriented Silicon-iron under Combined longitudinal and Normal Compressive Stresses", IEEE Trans. Magn., Vol.MAG-5, No.5 (1969) pp.384-388
- (6) 小浦・佐々木・高田: 「けい素鋼板の超低周波磁気損失」, 電気学会マグネティックス研究会資料MAG-95-189 (1995)
- (7) 湯浅: 「材料力学公式集」コロナ社 (1968) p.199
- (8) R.M.Bozorth: "Ferromagnetism", D.Van Nostrand Co. (1951)
- (9) 斉藤・中村・成田: 「3%Si-Fe単結晶における張力の繰返しによる可逆磁化変化」, 電学誌Vol.101-A, No.12 (1981) pp.625-632

- (10) T.Sasaki, S.Takada, F.Ihibashi, I.Suzuki, S.Noda and M.Imamura: "Magnetostrictive Vibration of Electrical Steel Sheets under a Non-sinusoidal Magnetizing Condition", IEEE Trans. on Magn., Vol.MAG-23 (1987) pp.3077-3079

山本 健一 (正員) 平成3年鳥取大学工学部電気工学科卒業。

5年鳥取大学大学院修士課程修了。8年岐阜大学大学院博士後期課程修了。現在、琉球大学工学部電気電子工学科助手。磁性材料の磁化過程に関する研究に従事。博士(工学)。日本応用磁気学会会員。

霜村 英二 (正員) 昭和57年岐阜大学電子工学科卒業。

57年岐阜大学大学院工学研究科電子工学専攻修士課程修了。同年(株)東芝入社。現在、重電技術研究所にて、磁性材料の応用技術開発に従事。日本応用磁気学会会員。

山田 一夫 (正員) 昭和38年三重県立津工業高校機械科卒業。同年(株)東芝入社。現在、重電技術研究所にて、磁性材料の応用技術開発に従事。機械学会会員。

佐々木 堂 (正員) 昭和32年電気通信大学電気通信学部卒業。同年工業技術院電気試験所入所。44年九州大学工学部助教授。48年岐阜大学工学部教授、現在に至る。主として、磁気工学(磁気計測・磁性材料・磁化過程)の研究に従事。工学博士。電子情報通信学会、日本物理学会、日本応用磁気学会、IEEE会員。