

琉球大学学術リポジトリ

無方向性珪素鋼板の磁気特性改善に関する研究

メタデータ	言語: 出版者: 黄柏英 公開日: 2021-12-15 キーワード (Ja): キーワード (En): 作成者: 黄, 柏英, Kou, Hakuei, B.Y, Huang メールアドレス: 所属:
URL	http://hdl.handle.net/20.500.12000/25355

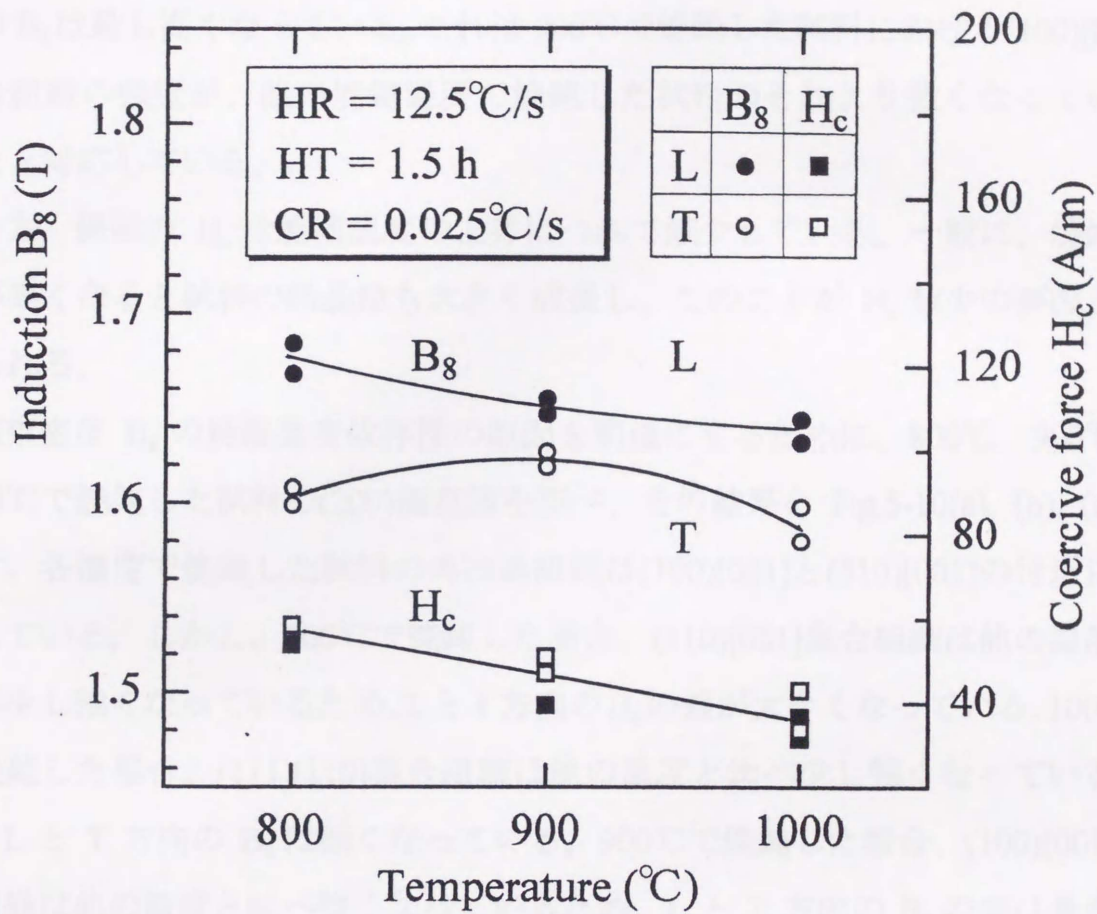


Fig.5-9 Dependence of B₈ and H_c on annealing temperature in sample C.

試料 C の直流磁気特性 B_8 と H_c の温度変化を Fig.5-9 に示す。L 方向の B_8 は T 方向の B_8 より高くなり、焼鈍温度が上昇するにつれて減少している。T 方向の B_8 は焼鈍温度に対して依存性が見られ、900°C で焼鈍した試料 C の T 方向の B_8 は最も高くなっている。これは 900°C で焼鈍した試料における (100)[001] 集合組織の強度が、他の焼鈍温度で焼鈍した試料のそれより強くなっていることと対応している。

一方、保磁力 H_c は焼鈍温度の上昇につれて減少している。一般に、焼鈍温度が高くなると試料の結晶粒も大きく成長し、このことが H_c 減少の要因と考えられる。

磁束密度 B_8 の焼鈍温度依存性の原因を明確にするために、800°C、900°C と 1000°C で焼鈍した試料の (200) 極点図を調べ、その結果を Fig.5-10(a), (b), (c) に示す。各温度で焼鈍した試料の再結晶組織は (100)[001] と (510)[001] の付近に集中している。しかし、800°C で焼鈍した場合、(110)[001] 集合組織は他の温度と比べ少し強くなっているため、L と T 方向の B_8 の差が大きくなっている。1000°C で焼鈍した場合、(111)[110] 集合組織は他の温度と比べ少し強くなっているため、L と T 方向の B_8 は低くなっている。900°C で焼鈍した場合、(100)[001] 集合組織は他の温度と比べ強くなっているため、L と T 方向の B_8 の差は最も小さくなっている。

これらの結果より試料 C において、900°C の焼鈍温度は (100)[001] 集合組織を最も成長させる温度であることが分かった。

磁気損失は回転機の効率に対して大きく影響している。50 Hz で試料 C が焼鈍温度に対する損失の変化を Fig.5-11 に示す。図から分かるように、いずれの磁束密度においても、L 方向の損失は T 方向の鉄損より、小さくなっている。磁束密度が高くなると、L と T 方向の損失の差が大きくなっている。L と T 方向の損失は焼鈍温度によって変化し、900°C で焼鈍したとき、L と T 方向

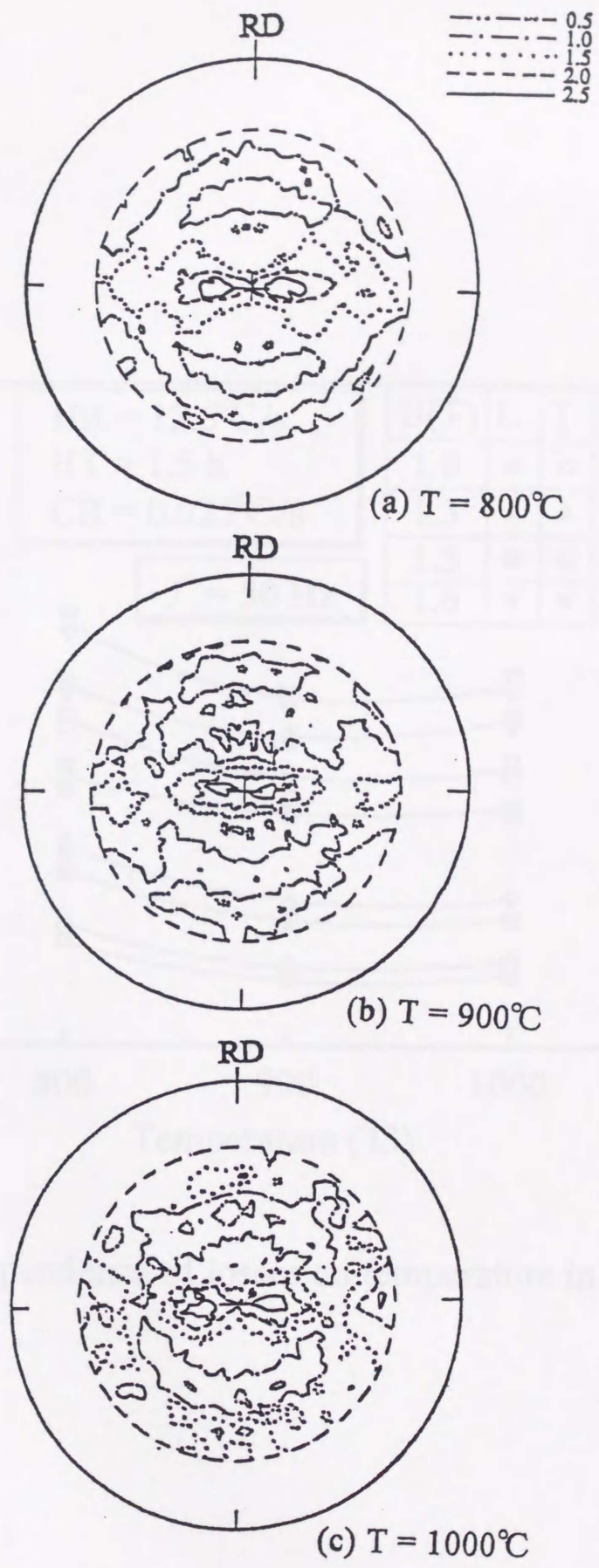


Fig.5-10 (200) pole figures for annealing temperature of sample C at (a) 800°C , (b) 900°C , and (c) 1000°C .

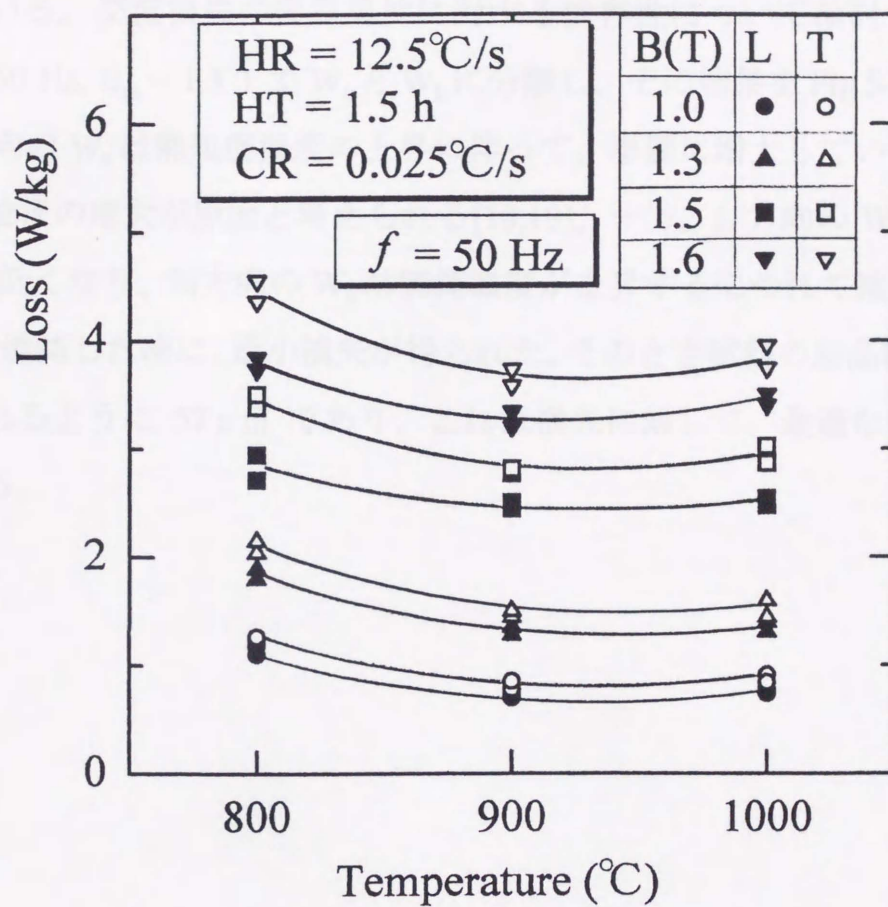


Fig.5-11 Dependence of losses on temperature in sample C.

の損失は最も低くなり、1.3 T の磁束密度でその値がそれぞれ 1.31 W/kg と 1.48 W/kg であった。

一般的に、交流損失は主に渦電流損失(W_e)とヒステリシス損失(W_h)とに分離されている。交流損失の焼鈍温度に対する依存性について検討するために、損失を 50 Hz, $B_m = 1.3$ T で W_e と W_h に分離し、その結果を Fig.5-12 に示す。L と T 方向の W_e は熱処理温度の上昇に伴って、単調に増大している。このことは結晶粒径の増大が原因と考えられる[18,19]。一方、L 方向の W_h は T 方向の W_h より低くなり、両方向の W_h は焼鈍温度が上昇するにつれて減少している。900°C で焼鈍した時に、最小損失が得られた。そのとき試料の結晶粒径は Fig.5-3 に見られるように 57 μm であり、これは損失に対して、最適な結晶粒径と考えられる。

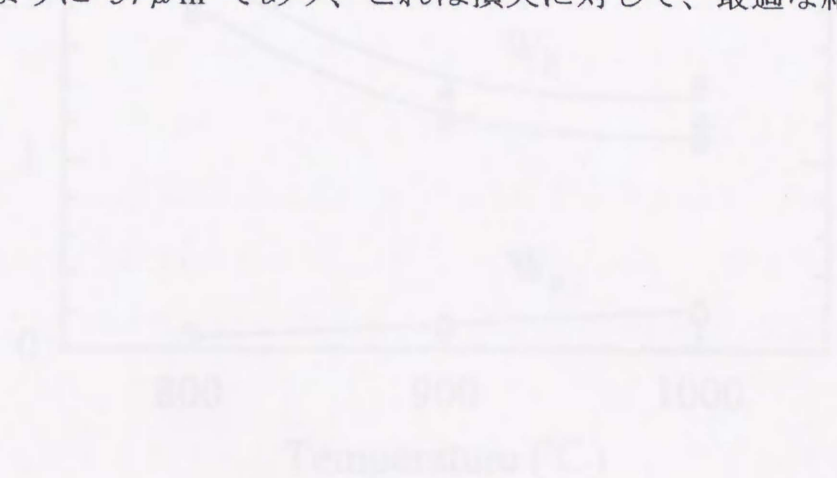


Fig.5-12 Dependence of W_e and W_h on temperature in sample C.

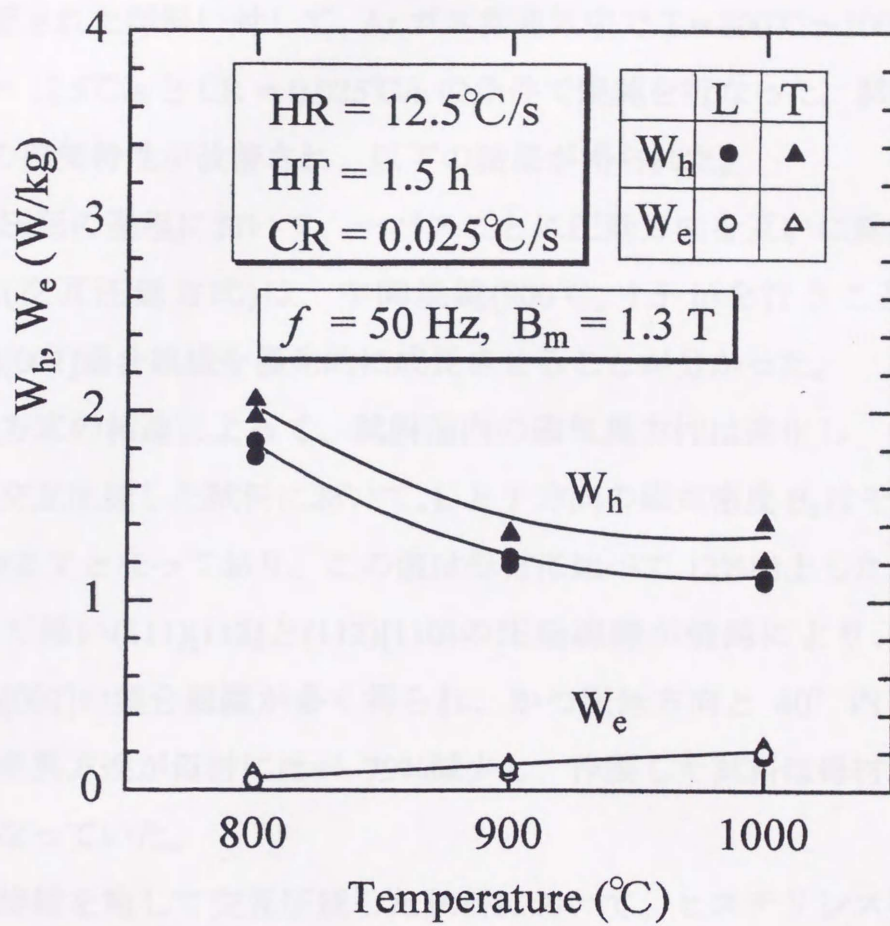


Fig.5-12 Dependence of W_h and W_e on temperature in sample C.

5-4 まとめ

厚さ 0.5 mm の無方向性 3%珪素鋼板から 0.1 mm まで様々な冷間圧延方式により圧延された試料に対して、Ar ガス雰囲気中で $T = 800^{\circ}\text{C} \sim 1000^{\circ}\text{C}$ 、 $HT = 1.5$ h、 $HR = 12.5^{\circ}\text{C/s}$ と $CR = 0.025^{\circ}\text{C/s}$ の条件で焼鈍を行なった。試料の磁気異方性などの磁気特性が改善され、以下の結果が得られた。

- 1) 冷間圧延の過程において、一パスごとに圧延方向を互いに垂直にする圧延方式(交互圧延方式)は、中間焼鈍(900°C , 1.5 h)を行うことによって、(100)[001]集合組織を優先的に成長させることが分かった。
- 2) 圧延方式の相違によって、試料面内の磁気異方性は変化し、中間焼鈍を施して交互圧延した試料において、L と T 方向の磁束密度 B_g はそれぞれ 1.65 T と 1.62 T となっており、この値は母材に比べて 12% 向上した。この試料において強い(111)[112]と(112)[110]の圧延組織が焼鈍により、(100)[001]と(510)[001]の集合組織が多く得られ、かつ圧延方向と 40° 内に配向し、一軸磁気異方性が母材に比べ 79% 減少し、作製した試料は母材より無方向性的となっていた。
- 3) 中間焼鈍を施して交互圧延した試料において、ヒステリシス損失(W_h)は焼鈍温度の上昇につれて減少している。一方、渦電流損失(W_e)は焼鈍温度の上昇に伴い単調に増加している。 900°C で焼鈍した試料の平均結晶粒径が $57 \mu\text{m}$ 程度のとき全損失は最小となった。このとき最終圧延方向とそれに直角方向の最小損失はそれぞれ $W_{15/50} = 2.44 \text{ W/kg}$ と $W_{15/50} = 2.77 \text{ W/kg}$ となり、母材と同程度の損失であった。
- 4) 中間焼鈍を施して交互圧延した試料 C は、焼鈍温度に対して再結晶組織が変化すると共に磁束密度 B_g が変化した。 900°C で焼鈍した場合に L と T 方向の磁束密度 B_g の差が最も小さくなっていた。
- 5) 圧延方式の相違によって、焼鈍したとき各試料での結晶粒の大きさが異な

り、結晶粒径の増加に伴い保磁力(H_c)は減少していた。

- [1] R. J. Stone, *Physica*, vol. 8, p. 705 (1953).
- [2] H. E. Melick and P. Plesch, *Arch. Electrochim.*, vol. 29, p. 422 (1953).
- [3] J. Walter, W. H. Rieder, H. C. Judd, J. E. Greig, *J. Appl. Phys.*, vol. 29, p. 112 (1958).
- [4] *Electron. Acta Metall.*, vol. 7, p. 289 (1959).
- [5] R. Kahler, *J. Appl. Phys.*, vol. 31, p. 459 (1960).
- [6] J. Walter and C. G. Over, *Acta Metall.*, vol. 8, p. 497 (1960).
- [7] 中野一朗, 山田良夫, 電気学, 山崎敏正, 電気学会論文大会, 1-319 (1967).
- [8] 中野一朗, 山田良夫, 電気学, 山崎敏正, 電気学会論文大会, 1-319 (1967).
- [9] 中野一朗, 山田良夫, 電気学, 山崎敏正, 電気学会論文大会, 1-319 (1967).
- [10] C. Tassinari and R. Wenzel, *IEEE Trans. Magn.*, vol. 11, no. 5, pp. 4615-4617 (1975).
- [11] 中野一朗, 電気学論文大会 A, vol. 112-A, no. 6, pp. 511-520 (1972).
- [12] C. Tassinari and R. Wenzel, *IEEE Trans. Magn.*, vol. 11, no. 5, pp. 4615-4617 (1975).
- [13] 中野一朗, 電気学論文大会 A, vol. 117-A, no. 7, pp. 685-690 (1977).
- [14] 山田良夫, 中野一朗, 電気学論文大会 A, vol. 116-A, no. 7, pp. 341-345 (1976).
- [15] K. Mizushima and H. Fukuda, *IEEE Trans. Magn.*, vol. 10, no. 3, pp. 1529-1537 (1974).
- [16] 山田良夫, 「強磁性体の物理」, 電気学, p. 12 (1963).
- [17] Henry Wenzel, Jose Miguel Curi, Brian Cornish and Conrad Ross, *IEEE Trans. Magn.*, vol. 15, no. 2, pp. 338-343 (1979).
- [18] T. Tada, S. Furuta, and S. Takahashi, *Iron and Steel*, vol. 54, no. 2, pp. 163-219 (1968).
- [19] Chang-Kao Hsu, *IEEE Trans. Magn.*, vol. 12, no. 2, pp. 471-448 (1976).
- [20] K. Hama, T. Nishida, H. Kuroguchi, Y. Yamamoto, T. Yashima, and K. Miyoshi, *IEEE Trans. Magn.*, vol. MAG-11, no. 5, pp. 471-448 (1975).

参考文献

- [1] K.J. Sixtus: *Physica*, vol.5, p.105 (1935).
- [2] H.E. Mobius and F.Pawlek: *Arch. Eisenhutten*, vol.29, p.423 (1958).
- [3] J.L.Walter, W.R.Hibbard, H.C.Fiedler, H.E.Grenoble, R.H.Pry and P.G. Frischmann: *J. Appl. Phys.*, vol.29, p.363 (1958).
- [4] K.Detert: *Acta Metal.*, vol.7, p.589 (1959).
- [5] D.Kohler: *J. Appl. Phys.*, vol.31, p.408 (1960).
- [6] J.L.Walter and C.G.Dunn: *Acta Metal.*, vol.8, p.497 (1960).
- [7] 栢修一郎、石山和志、荒井賢一、山城康正：電気学会全国大会, 2-319 (1997).
- [8] 榎園正人、高橋弘二、吉田克雅、久保田猛：第23回日本応用磁気学会学術講演概要集, p.318 (1999).
- [9] 岡崎 靖雄: 電気学会論文誌 A, vol.112-A, no. 6, pp.513-520 (1992).
- [10] C.Talowski and Th.Waeckerle: *IEEE. Tran. Magn.*, vol.32, no.5, pp.4845-4847 (1996).
- [11] 開道 力：エレクトロニクス, 2月号, pp.49-52 (1997).
- [12] 開道 力, 脇坂 岳顕: 電気学会論文誌 A, vol.117-A, no.7, pp.685-690 (1997).
- [13] 山口 俊尚, 成田 賢仁: 電気学会論文誌 A, vol.96-A, no.7, pp.341-348 (1976).
- [14] K.Matsumura, and B.Fukuda: *IEEE. Tran. Magn.*, vol.20, no.5, pp.1533-1537 (1984).
- [15] 近角 聡信: 「強磁性体の物理(下)」 裳華房, p.12 (1990).
- [16] Thierry Waeckerle, Jean Michel Couty, Bruno Cornut and Cornut Brun: *IEEE Tran. Magn.*, vol.29, no.7, pp.3538-3540 (1993).
- [17] T.Taoka, E.Furubayashi and S.Takeuchi: *Iron and Steel* vol. 54, no.2, pp.162-210 (1968).
- [18] Chun-Kan Hou: *IEEE. Tran. Magn.*, vol.32. no.2, pp.471-348 (1996).
- [19] K.Honma, T.Nozawa, H.Kobayashi, Y.Shimoyama, T.Tachino, and K.Miyoshi: *IEEE. Tran. Magn.*, vol. MAG-21, no.5, pp.471-348 (1985).

第六章 結 論

6-1 本論文の結論

回転機や変圧器などの電気機器の小形軽量化、および高効率化を実現するため、鉄心材料の高磁束密度化および低損失化を計る必要があることは第一章にて述べた通りである。回転機が運転される際には回転磁界が生じるため、鉄心にはもっぱら無方向性珪素鋼板が用いられている。しかし現在、工業的に用いられている無方向性珪素鋼板の磁束密度は最も高い材料で $B_g = 1.58$ T程度で、50 Hzで1.5 T時の損失は $W_{15/50} = 2.50$ W/kg程度であり、母材の磁束密度は $B_g = 1.46$ T程度で、損失は $W_{15/50} = 2.61$ W/kg程度である。高磁束密度かつ低磁気損失を有する無方向性珪素鋼板を作製することができれば、回転機や変圧器などの機器の小形軽量化・高効率化が可能になると考えられる。そのための試みとして磁化容易軸を鋼板面内でランダムに分布する(100)キューブ組織を鋼板面と平行に構成させる高磁束密度かつ低損失の無方向性珪素鋼板の作製を試みた。

本研究では、厚さ0.5 mmの無方向性3%珪素鋼板を母材とし、様々な冷間圧延方式で0.1 mmまで圧延した。圧延された試料をArガス雰囲気中で焼鈍を施すことによって、無方向性珪素鋼板の磁気特性が改善され、一軸磁気異方性は母材より79%減少した。試料の最終圧延方向とそれに直角方向の B_g はそれぞれ1.65 Tと1.62 Tとなっており、この値は現在最高レベルの材料との比較および母材と比べそれぞれ4%と12%向上した。また、この試料の最終圧延方向とそれに直角方向の鉄損はそれぞれ $W_{15/50} = 2.44$ W/kgと $W_{15/50} = 2.77$ W/kgであり、母材の鉄損と同程度であり、磁束密度が高くかつ低損失の材料を得ることができた。また、本研究では、その良好な磁気特性が得られた原因についても、集合組織について検討を行った。その結果、試料面に(100)面

集合組織が強く得られていることを明らかとした。

以下に、無方向性 3%珪素鋼板に関して本研究開発から各章で得られた結果を総括する。

第一章では、珪素鋼板の用途とその研究・開発の歴史および著者が本研究に着手する以前の状況と問題点について述べた。また、無方向性珪素鋼板の現状とその残されてきた課題を踏まえて本研究の目的について述べた。

第二章では、本研究で用いた焼鈍装置、焼鈍方法について述べた。試料の交流磁気損失、直流磁気特性、磁気異方性トルク曲線などの諸磁気測定方法および原理について説明した。また、焼鈍した試料の結晶粒とエッチピットの観察法および極点図を用いた結晶組織測定についても述べた。

第三章では、厚さ 0.5 mm の無方向性 3%珪素鋼板から 0.1 mm まで圧延した試料をアルゴン(Ar)ガス雰囲気中で焼鈍することによって、母材より異方性が小さい無方向性珪素鋼板が作製された。また、磁気損失が最も低くなる最適な焼鈍条件を見出し、作製した試料の磁気特性及び結晶組織を検討した結果、以下のことが明らかとなった。

- 1) 焼鈍温度 800°C、焼鈍時間 1.5 h、昇温速度 12.5°C/s、冷却速度 1.0°C/s の条件で焼鈍を行ったところ、焼鈍した試料の圧延方向の磁束密度は最も高くなり、交流磁気損失は最小となった。そのとき磁束密度は $B_8 = 1.69$ T、鉄損は $W_{15/50} = 2.38$ W/kg であり、保磁力は $H_c = 38$ A/m、平均結晶粒径の大きさは 75 μm であった。この鉄損値は母材に比べて 10%減少し、磁束密度は 16%増大していた。
- 2) 冷却速度を変化させるとトルク曲線の変化が観察され、先に示した最適な焼鈍条件で焼鈍した試料において、二軸異方性的なトルク曲線が観察され

た。このとき、無方向性珪素鋼板母材に比べて一軸磁気異方性が 55%減少し、母材に比べ一層無方向性的となっていた。

- 3) 二軸異方性的なトルク曲線を示した試料では(100)面を有する結晶組織が多く観察された。

第四章では、第三章に得られた結果に基づいて、一次再結晶させた試料の圧延方向とそれに直角方向の磁気特性とトルク曲線の関係に注目し、冷却過程の変化による磁気特性変化の原因を明確する為に焼鈍過程に二段階の冷却過程を導入して調べた。また、X線回析により結晶組織を調べ、結晶組織と磁気特性の関係についてさらに詳しく検討した結果、以下のことを明らかとすることができた。

- 1) 第二焼鈍温度を持たない焼鈍過程 I で冷却速度(CR) = 0.025°C/s の程度に低くすれば、鋼板面内に一軸磁気異方性が母材に比べて 69%減少した。圧延方向とそれに垂直方向の磁束密度がそれぞれ $B_g = 1.63 \text{ T}$ と $B_g = 1.62 \text{ T}$ となっており、母材に比べて 11%向上した無方向性珪素鋼板を作製することができた。
- 2) 第一焼鈍温度を 900°C とし、冷却過程において 500°C、5 h の第二焼鈍温度を設けた場合には、冷却速度(CR) = 1.4°C/s と高くても、鋼板面内に磁気異方性が小さく、圧延方向とそれに垂直方向に同程度の磁気特性が得られた。
- 3) 作製した試料中には(310)、(100)、(111)面付近の結晶組織が比較的多く含まれているが、(100)面付近の強度を強くすることで、圧延方向とそれに直角方向に同程度の磁気特性が得られた。
- 4) 冷却速度を低くすると磁気異方性が小さく、圧延方向とそれに直角方向に同程度の磁気特性が得られた。その原因は冷却の過程において、500°C 付近の通過時間が長いことにより(100)面の成長が優先的になることに起因していることが明らかとなった。

第五章では、厚さ 0.5 mm の無方向性 3%珪素鋼板を様々な圧延方式により、0.1 mm まで冷間圧延した試料を用いて、Ar ガス雰囲気中で焼鈍を行った。作製した試料の最終圧延方向とそれに直角方向の交流磁気損失、直流磁気特性、トルク曲線及び圧延組織、再結晶組織などについて検討した結果、以下のことを明らかにすることができた。

- 1) 冷間圧延の過程において、一パスごとに圧延方向を互いに垂直にする圧延方式(交互圧延方式)は、中間焼鈍(900°C, 1.5 h)を行うことによって、(100)[001]集合組織が優先的に成長することが分かった。
- 2) 圧延方式の相違によって、試料面内の磁気異方性は変化し、中間焼鈍を施して交互圧延した試料において、最終圧延方向とそれに直角方向の磁束密度 B_8 はそれぞれ 1.65 T と 1.62 T となっており、母材に比べ 12%上昇させることができた。この試料において強い(111)[112]と(112)[110]の圧延組織が、焼鈍後には(100)[001]と(510)[001]の集合組織が多く得られ、且つそれらの[001]方位が圧延方向と 40° 内に配向していた。このとき一軸磁気異方性は母材に比べて 79%減少しており、作製した試料は母材より無方向性的となっていた。
- 3) 中間焼鈍を施して交互圧延した試料において、ヒステリシス損失(W_h)は焼鈍温度の上昇に伴い減少する。一方、渦電流損失(W_e)は焼鈍温度の上昇に伴い単調に増加していた。900°Cで焼鈍した試料の平均結晶粒径が 57 μ m 程度のとき全損失は最小となった。このとき最終圧延方向とそれに直角方向の最小損失はそれぞれ $W_{15/50} = 2.44$ W/kg と $W_{15/50} = 2.77$ W/kg となり、母材と同程度の損失であった。
- 4) 中間焼鈍を施して交互圧延した試料 C は、焼鈍温度に対して再結晶組織が変化すると共に磁束密度 B_8 が変化した。900°Cで焼鈍した場合に二つ直角方向の磁束密度 B_8 の差が最も小さくなっていた。
- 5) 圧延方式の相違によって、焼鈍したとき各試料での結晶粒の大きさが異な

り、結晶粒径の増加に伴い保磁力(H_c)は減少していた。

以上述べたように、(100)面のキューブ組織が鋼板面内でランダムに分布する無方向性珪素鋼板の作製においては圧延方式、焼鈍温度と時間、および冷却速度が特に重要であることを明確にすることができた。

6-2 今後の課題

本研究では、厚さ 0.5 mm の無方向性 3%珪素鋼板を様々な冷間圧延方式で 0.1 mm まで圧延した試料をアルゴン(Ar)ガス雰囲気中で焼鈍による磁気特性の改善の研究開発を行った。本研究では検討できなかったが、今後以下の研究課題が残されている。

本研究で行った二つ直角方向に圧延した試料は焼鈍条件により、(100)組織が強くなったため、圧延方向とそれに直角方向の B_8 はそれぞれ 1.65 T と 1.62 T となっており、一軸磁気異方性は母材より 79%減少した無方向性珪素鋼板が得られた。しかし、[100]磁化容易軸が試料面内でランダムに分布する(100)[0vw]無方向性珪素鋼板を作製するためには、さらに圧延方法について検討し、また、一次再結晶過程において(100)組織を出しやすい焼鈍雰囲気および組成(不純物等)などについてさらに詳しく検討する必要があると考えられる。

以上の検討を進めることで、さらに良好な磁気特性を有する回転機、変圧器などの鉄心材料が開発されることが望まれる。

謝 辞

本研究を進めるにあたり、終始懇切なる御指導と御教示を賜りました琉球大学工学部電気電子工学科山城康正教授に心より敬意と感謝の意を表します。

本研究を遂行するにあたり、その貴重な御鞭達を頂きました琉球大学工学部電気電子工学科山本健一助手に深く感謝し、厚く御礼申し上げます。

また本研究をまとめるにあたり、数々の有益なご助言と御指導を頂きました琉球大学工学部機械システム工学科糸村昌祐教授、琉球大学理学部物理学科矢ヶ崎克馬教授および九州工業大学工学部山崎二郎教授に心より感謝いたします。

さらに本研究において、御指導およびご助言を頂いた琉球大学工学部電気電子工学科米須章助教授に深く感謝いたします。

本研究に使用する試料を御提供および研究上で有意義な討論を頂いた新日本製鐵株式会社開道力氏に深く感謝いたします。

最後に、研究上御協力とご支援を頂いた山城・山本研究室および米須研究室の皆様感謝いたします。

本研究に関する発表リスト

一. 論文

1. 黄 柏英、山本 健一、山城 康正：“無方向性珪素鋼板の熱処理条件と磁気特性”，日本応用磁気学会誌，vol.22. no.4-2, pp.649-652 (1998.2).
2. 黄 柏英、山本 健一、山城 康正、開道 力：“無方向性珪素鋼板の磁気特性に及ぼす冷却条件の影響”，日本応用磁気学会誌，vol.23. no.4-2, pp.1369-1372 (1999.2).
3. B.Y. Huang, K. Yamamoto, C. Kaido, and Y. Yamashiro: “The Effect of Cold-rolling on the Magnetic Properties of Non-oriented Silicon Steel Sheets”, IEEE Trans. Magn. 35 (5) pp.3376-3378 (1999.).
4. B.Y. Huang, K. Yamamoto, C. Kaido, and Y. Yamashiro: “The Effect of Cold-rolling on the Magnetic Properties of Non-oriented Silicon Steel Sheets (Part II)”, Journal of Magnetism and Magnetic Materials 209 pp.197-200 (2000).

二. 国際会議発表

1. B.Y. Huang, K. Yamamoto, C. Kaido, and Y. Yamashiro: “The Effect of Cold-rolling on the Magnetic Properties of Non-oriented Silicon Steel Sheets”, INTERMAG'99, BD-10 (1999.5).
2. B.Y. Huang, K. Yamamoto, C. Kaido, and Y. Yamashiro: “The Effect of Cold-

rolling on the Magnetic Properties of Non-oriented Silicon Steel Sheets (Part II)",
International Symposium Advanced Magnetic Technology, PD-15 (1999.6).

三. 学会・研究会発表

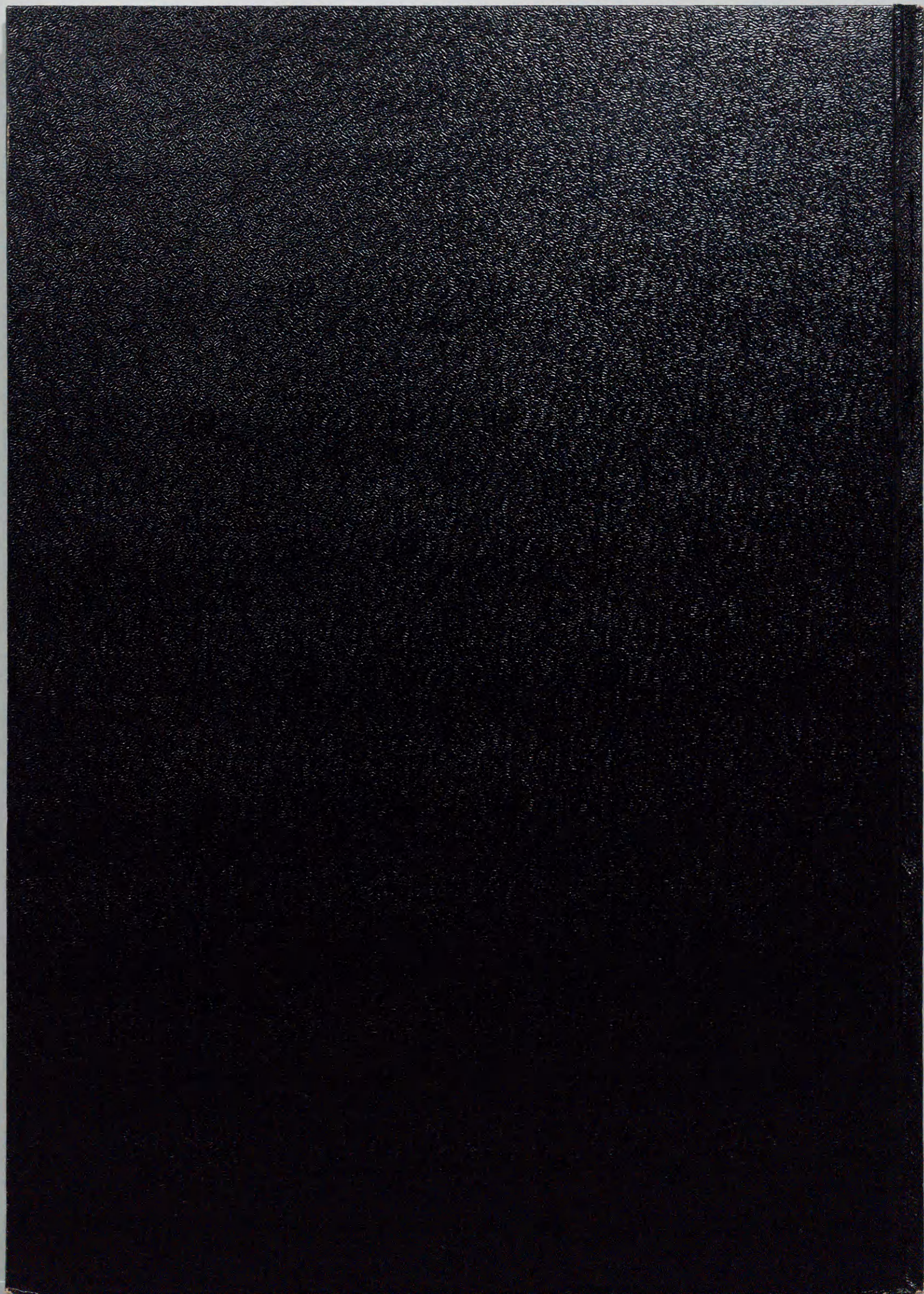
1. 黄 柏英、山本 健一、山城 康正：“無方向性珪素鋼板の熱処理条件と磁気損失”，電気学会マグネティックス研究会資料，MAG-97-87 (1997.5).
2. 黄 柏英、山本 健一、山城 康正：“無方向性珪素鋼板の熱処理条件と磁気特性”，電気関係学会九州支部連合会学術講演会，p.519 (1997.10).
3. 黄 柏英、山本 健一、山城 康正：“無方向性珪素鋼板の熱処理条件と磁気損失”，日本応用磁気学会学術講演会，2pG-9 (1997.10).
4. 黄 柏英、山本 健一、山城 康正：“無方向性珪素鋼板の結晶組織と磁気特性”，電気学会マグネティックス研究会資料，MAG-97-204 (1997.11).
5. B.Y. Huang, K. Yamamoto, Y. Yamashiro, and C. Kaido: “Relationship between Annealing Conditions and Grain structures of Non-oriented Silicon Steel Sheets”，東北大学電子通信研究所共同プロジェクト研究会，p.1 (1998.3).
6. 黄 柏英、山本 健一、山城 康正、開道 力：“無方向性珪素鋼板の集合組織に及ぼす熱処理条件と圧延回数の影響”，電気学会マグネティックス研究会資料，MAG-98-41 (1998.6).
7. 黄 柏英、山本 健一、山城 康正、開道 力：“無方向性珪素鋼板の磁気

特性に及ぼす冷却速度の影響”，日本応用磁気学会学術講演会，22aE-2 (1998.9).

8. 黄 柏英、山本 健一、山城 康正、開道 力：“無方向性珪素鋼板の磁気特性と結晶組織”，電気関係学会九州支部連合会学術講演会，p.636 (1998.10).

9. 黄 柏英、山本 健一、山城 康正、開道 力：“無方向性珪素鋼板の磁気特性に及ぼす圧延方式の影響”，電気学会・電子情報通信学会合同演会，OKI-98-9 (1998.12).

10. 黄 柏英、山本 健一、開道 力、山城 康正：“無方向性珪素鋼板の磁気特性に及ぼす圧延方式の影響”，電気学会全国大会，2-227 (1999.3).



inches 1 2 3 4 5 6 7 8
cm 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19

Kodak Color Control Patches

© Kodak, 2007 TM: Kodak



Kodak Gray Scale



© Kodak, 2007 TM: Kodak

A 1 2 3 4 5 6 **M** 8 9 10 11 12 13 14 15 **B** 17 18 19

