

## 質問コーナー

### 「物性なんでも Q&A」第 13 回

ステンレス鋼の物性  
佐藤勝昭 科学技術振興機構

このコーナーでは、小生のホームページの「物性なんでも Q&A」コーナーに寄せられた質問と回答の中から、結晶工学関係者にご関心のありそうなものをピックアップしてご紹介しています。ここでは第 13 回として、企業の方からの質問が多いステンレス鋼に関する質問をご紹介します。

分類	番号	質問内容	所属
金属物性	455	ステンレスの不動態の電気抵抗	企業
金属物性	482	ステンレスの屈折率	大学院生
磁性	619	ステンレスにおけるマルテンサイト量の評価	企業
磁性	726	ステンレス材 SUS321 溶接後の磁化	企業
磁性	814	ステンレスはなぜ磁石につかないか	企業
光物性	951	ステンレスの反射率の温度変化	大学教員

#### 455. ステンレスの不動態の電気抵抗

Date: Wed, 27 Oct 2004 20:27:09 +0900

Q: 初めまして。Y 社の O と申します。

ホームページを拝見致しまして、御教授願えるものかと思いメール致しました。

弊社は、スイッチを製作している会社です。

スイッチの接触子にステンレス (SUS304 をプレス加工) の板バネを使用して実験 (電極は、銀) をしておりますと、珠に接触抵抗値が極端に上昇する場合があります。ステンレスの比抵抗が鉄に比べて大きいことは承知しておりますが、その差以上 (100 倍程度) に接触抵抗値が大きくなることが判明致しました。ただし、数回 on/off を繰り返すと元の接触抵抗値に戻ってしまうようです。

原因を調べておりましたところ、不動態被膜が関係しているのではないかと指摘を受けました。不動態被膜の厚さが接触により変化 (破壊) し抵抗値に影響を与えているのではないかと指摘です。

そこで質問ですが、

ステンレスの不動態被膜として生成される 3 酸化クロムの比抵抗は、どの程度と考えれば良いのでしょうか？

単純に考えると、ステンレスの比抵抗値 = 3 酸化クロムの比抵抗値とも思われるのですが、如何でしょうか？バネ材にメッキ処理をすれば問題を回避出来ると思われそうですが、疑問に対する答えを見つけたいと考えております。

大変恐縮ですが、御教授願えれば幸いです。

Date: Thu, 28 Oct 2004 01:26:28 +0900

A: O 様、佐藤勝昭です。

ステンレスの不動態は  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  が原因であると考えられています。この物質は基本的に絶縁物で、「電荷移動型絶縁体」と呼ばれています。

おそらく非常に純度の高い  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  は、 $10^{12}\Omega\text{cm}$  程度の高抵抗と予想されますが、不動態の厚みはせいぜい数 nm ですから、接触面の面積が  $1\text{mm}^2$  として、不動態膜の深さ方向への電気抵抗は数百 M $\Omega$  程度に達すると推定されます。

通常の接触点における低い抵抗は、強く金属を押しつけることで不動態が破壊され非常に薄い絶縁膜となり、トンネル効果によっている電流が流れていることによる可能性があります。この状態から、接点を流れる電流によりジュール熱で温度が上昇したりして酸化が進むと不動態が回復し高抵抗状態に陥ります。何度も on-off しているうちに、再び不動態が破壊され、低抵抗状態に戻るのでしょうか。

Date: Thu, 28 Oct 2004 09:02:35 +0900

AA: 佐藤先生、おはようございます。Y 社の O です。

早速の御回答ありがとうございます。

ステンレスについてのいろいろ調べてみました。そのときに比抵抗が大きい事についてのデータは有りましたが絶縁膜についての解説は有りませんでした。通常状態で酸化皮膜が絶縁膜であるとするれば、接触を伴う部分に導体として使用することは、導通不良を起こす可能性があるとの事で認識を新たに致しました。=>不動態被膜=不導体被膜

大変ありがとうございました。

## 482. ステンレスの屈折率

Date: Sat, 27 Nov 2004 22:28:50 +0900

Q: 初めまして。N 大学修士の T と申します。

実は、ステンレスの屈折率を教えてくださいたくメールいたしました。

文献の検索の仕方が悪いのか、ステンレスの屈折率が掲載されているものが見つかりません。

厚かましいお願いですが、ステンレスの屈折率(例えば SUS304 など)、文献等を紹介していただけませんか。ご多忙のことと存じ上げますが、よろしく願いいたします。

Date: Sat, 27 Nov 2004 23:56:26 +0900

A: T 君、佐藤勝昭です。

ステンレス鋼は基本的には Fe-Cr 合金で、SUS304 の組成はモノによって違いますが Fe70Cr18Ni10Mn2 付近の組成です。製品毎に合金比に幅がありますから、比抵抗、反射率、熱伝導率など「物性値」は製品に依存します。従って、普通のハンドブックの table に載っていないのだと思います。また、屈折率を求めるには、反射スペクトルのクラマースクローニヒ解析をするか、エリプソメトリを行えばよいのですが、表面には不動態である Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 層が被覆しており、ステンレスのみの正確な値が出るか疑問です。

ステンレスの反射率は、太陽光の集光用ミラーなどに用いられているので、そちらの業界では鏡面研磨したステンレス鋼が使われていますが、反射率は 62%程度とされています。

しかし、公表されたデータがない以上、屈折率が必要でしたら、使いたい製品についてエリプソメータなどで測定し、不動態の厚みを仮定して推定するしかないと思います。しかし、とりあえずは、Fe の屈折率を適用しておかれれば如何でしょうか。

Date: Tue, 30 Nov 2004 08:55:48 +0900

Q2: 佐藤勝昭 先生

おはようございます。先日、ステンレスの屈折率について質問させていただきました T と申します。

早速のご返答、ありがとうございました。

現在、空気-Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-ステンレスという媒体に関する反射光強度の計算するプログラムを作成しております。その際に屈折率を必要としておりまして、先生に質問させていただいたのです。とりあえず、Fe の屈折率を用いて計算してみようかと思っております。

失礼ながら、もう一点質問させてください。たとえば、『李正中 光学薄膜と成膜技術 アグネ技術センター(2002)』といった文献で屈折率を調べますと、Fe の屈折率は 2.88-3.37i (0.65μm)と特定の波長における値は掲載されております。私が検索したところでは、全波長にわたって屈折率が載っているものはないので、その値を用いる、すなわち、屈折率は一定であると仮定して計算するしかないと考えております。

実際、屈折率を一定として計算するという事は行われているのでしょうか。何度も質問させていただいて申し訳ありません。

Date: Tue, 30 Nov 2004 21:32:04 +0900

A2: T 君、佐藤勝昭です。

Fe の複素屈折率 n-ik は Landolt Börnstein

(LB New Series III 15b p.250-253)によると

Fe の屈折率 n と消光係数 κ は右表のようになっています。

λ(nm)	n	κ	R(%)	λ(nm)	n	κ	R(%)
1000	2.30	4.52	70.6	600	2.08	3.60	62.9
900	2.25	4.25	68.6	500	1.46	3.17	63.7
800	2.21	3.99	66.3	405	0.98	2.66	64.4
700	2.15	3.75	64.1	302	0.88	2.04	54.3

Date: Tue, 30 Nov 2004 23:04:49 +0900

AA: 佐藤勝昭 先生、本当にありがとうございました。不勉強である私に丁寧な助言をいただき、感謝いたしております。早速、佐藤先生に紹介していただいた Fe の複素屈折率を利用して計算を行いたいと思っております。

Date: Sat, 4 Dec 2004 09:54:29 +0900

Q2: 佐藤勝昭 先生、おはようございます。

以前、ステンレスの屈折率に関して質問させていただいた T と申します (HP では匿名でお願いいたします)。

実は、先生に紹介していただいた Landolt Börnstein を本学の図書館で探していたのですが、所蔵してないことがわかりました。物性値等を調べるために非常に有効な文献だと存じ上げております。

そこで、学外へ Fe および Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> の屈折率の掲載されている箇所を複写依頼をしようと思うのですが、ページが分かりません。お手を煩わせてもうしわけありませんが、Landolt Börnstein の New Series (Springer) で Fe 及び Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> の屈折率掲載されているページを教えてくださいませんか。

度々、申し訳ございません。

-----  
Date: Sun, 5 Dec 2004 15:59:23 +0900

A2: T 君、佐藤勝昭です。

Landolt Börnstein のデータは金属のみです。Fe については出ていますが、Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> についてはデータが載っていません。Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> については論文を探さないといけませんね。

Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> の屈折率は 590nm において 2.55 であると韓国の論文に出ています。

URL=<http://journal.kcsnet.or.kr/publi/bul/bu95n3/bu95n3t7.html#2>

また、ECOM の HP(<http://www.ecomer.biz/hakumaku/cr2o3.html>)によると

酸化クロム (Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) の屈折率は 2.4n と書かれています。(n が何を意味するかわかりませんが) スペクトルは出ていないようですね。

### 619. ステンレスにおけるマルテンサイト量の評価

Date: Mon, 25 Jul 2005 11:25:15 +0900

Q1: 佐藤勝昭先生、いつも物性なんでも Q&A を拝見させて頂いています。

A(株)の O です。

以下の様に振動試料型磁気計 (VSM) を用いて計測した磁気モーメントからマルテンサイト量を計測する方法があります。

マルテンサイト量(g)=VSM 磁気モーメント測定値(emu)/Ms(emu/g)

マルテンサイトの場合は Ms=156.86emu/g

サンプル中のマルテンサイト wt%=100×(マルテンサイト量(g))/サンプル重量(g)

そこでお尋ねしたいのは、何故「マルテンサイトの場合は Ms=156.86emu/g」なのか？という理由でこうなったのか？明治大学の西尾先生が見つけれられたとか。もし、ご存知でしたら御教授願います。宜しく御願い致します。

-----  
Date: Mon, 25 Jul 2005 22:15:41 +0900

Q: O 様、佐藤勝昭です。

おたずねの件は、非磁性の 304 ステンレス鋼におけるオーステナイト→マルテンサイト転移にともなう「マルテンサイト量」を求める問題でしょうか。

この場合、経験的に飽和磁化の大きさがマルテンサイトの含有量に比例することが知られています。私も根拠を存じません。おそらく 156.86 というのは、比例係数から求めた経験的な数字ではないでしょうか。

-----  
Date: Tue, 26 Jul 2005 08:18:55 +0900

Q2: 佐藤勝昭先生、

非常に早い御対応、驚きと共に感謝致します。言葉足らずで申し訳ありませんでした。御指摘の様に非磁性の 304 ステンレス鋼のマルテンサイト量を求める問題です。

私は理論的に求められる数字だと思い、色々と計算してみました。自分でやると 100 のオーダーにはなるのですが、どうしても 156.86 にならず悩んでおりました。先生のおっしゃる様に「経験的」な数字であれば、安心致しました。質問のついでにお尋ね致しますが、経験的に飽和磁化の大きさがマルテンサイトの含有量に比例することが知られている代表的な文献があれば教えてください。

-----  
Date: Wed, 27 Jul 2005 13:27:12 +0900

A2: O 様、佐藤勝昭です。直接のお答えにならないのですが、価電子濃度と磁化の関係は直線性があります。

V.A.L'vov : J. Phys.: Cond. Mat. 10, 4587-96 (1998) が参考になるかも知れません。

-----  
Date: Wed, 27 Jul 2005 13:36:29 +0900

AA: 佐藤勝昭先生様、O です。参考文献の御教授まで御願いしまして、本当にありがとうございました。価電子濃度と磁化の関係から自分で考察してみたいと思います。お忙しいところ、アドバイス、ご指導ありがとうございました。

## 726. ステンレス材 SUS321 溶接後の磁化

Date: Wed, 18 Jan 2006 18:40:56 +0900

Q: 佐藤勝昭先生へ、はじめまして。突然のメールでお許し下さい。

私は某電機メーカ K 社に勤めている M です。佐藤先生の Q&A の HP を見て、いつも勉強させて頂いております。

質問なのですが、ステンレスの丸棒にネジ穴を開けて、ある寸法に切断し、鉄板に溶接を行った所、磁石がステンレス材にくっつく現象が出ました。

色々、文献を調べた所、ステンレス材を曲げたり、絞ったりの加工を加えると物性が変化して磁化する事が有ると書かれていたのですが、今回の加工にはその様な加工はしていないと思います。

使用している材質は SUS304 と SUS321 ですが、SUS304 で同じ作業をしてもこの様な事にはなりませんでした。

もし、何かステンレス材が磁化する要因が有るのでしたら、教えて頂けませんでしょうか。宜しくお願いします。

Date: Thu, 19 Jan 2006 14:58:05 +0900

A: M 様、佐藤勝昭です。

私は、金属工学の専門家ではありませんので、おたずねの件について自信をもってお答えできないのですが、一般論でお答えします。

一般にステンレス鋼が磁化するのには、残留応力がある場合です。この残留応力は、機械的な加工だけでなく溶接等による熱的な原因でも生じることがあります。そのあたりのことをお調べになってはいかがでしょうか。牧井ステンレスの HP によれば、最も磁化しにくいのは SUS316 だということです。

SUS304, SUS316, SUS321 の Ni, Cr 組成比を見ると

材料	SUS304	SUS316	SUS321
Ni	8-10	10-14	9-13
Cr	18-20	16-18	17-19

とあり、SUS321 の Ni, Cr 含有量は 304 より 316 に近く、これからは、なぜ 321 が磁化を持ちやすいかわかりません。Ti を含有していることが何らかの効果を持つのかも知れません。専門外のため、きちんとしたお答えにならず申しわけありません。

Date: Thu, 19 Jan 2006 15:24:05 +0900

AA: 専門外のご質問にもかかわらず、早急な返答ありがとうございます。もう少し、物性の含有率と残留応力について調べてみます。

お忙しいところ、お手数をおかけいたしまして申し訳ありませんでした。誠にありがとうございました。

## 814. ステンレスはなぜ磁石につかないか

Date: Fri, 14 Jul 2006 11:48:28 +0900

Q: はじめまして。私は、I 社の K と申します。できることなら匿名にてお願いしたいと存じます。

小生は海外工場の工場長や、技術関係の部署を経て、現在は社員教育を仕事の一つとして行っております。人に教える為には経験だけでなく、基礎知識が必要と感じ、機械等の基礎知識をつけようと、45 歳を越えた今から細々とサイト等を拝見しながら勉強しております。

先生のサイトを拝見させて頂き、質問させていただきます。

現在行っている研修の中に、食品の異物除去用のマグネットの話があり、授業の最終の質問時に、現場従事の方から、ステンレスは何故磁石につかないのですかという質問を頂き、非常に困っております。質問された方は、恐らく高卒か中卒の方だと思います。専門的な物理の知識を有しない方に、わかりやすく回答してあげるにはどのように説明すれば宜しいでしょうか？

また、一步進んで、大卒、院卒の社員にはどう説明すれば宜しいでしょうか？当社は製品の特性上、大卒者も工学系ではなく、農学系がほとんどです。何か良いアドバイスがあれば宜しくお願いします。

Date: Fri, 14 Jul 2006 19:57:10 +0900

A: K 様、佐藤勝昭です。

遷移金属の磁性は同じ元素であっても結晶構造によって異なります。

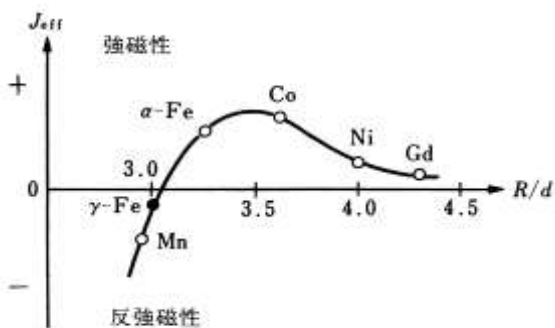
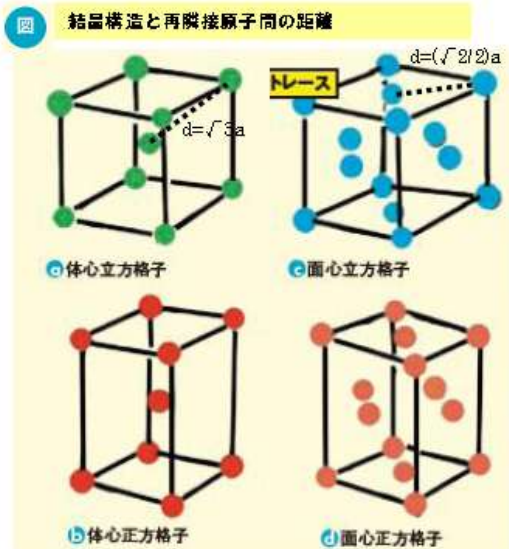


図 5・2 ベーテ・スレーター曲線

原子間の距離とともに振動します。+だと強磁性、-だと反強磁性です。

$R$  は原子間距離、 $d$  は原子半径です。面心立方(fcc)の鉄 ( $\gamma$ -Fe) は  $R/d$  が 3.0 付近にあり、 $J_{\text{eff}}$  は負の小さい値をとりますが、体心立方(bcc)の鉄 ( $\alpha$ -Fe) では、 $R/d$  は 3.25 付近にあり、正の大きな値をとります。このことが、bcc では磁性を示すが fcc では示さない原因と考えられます。 参考にしてください。

図は佐藤勝昭編著「応用物性」p197 から引用したものです。

結晶構造が体心立方格子(bcc)をもつ鉄は強磁性ですが、台所のシンクに使うようなふつうのステンレスはオーステナイト構造を示し、面心立方格子(fcc)なので磁性が出ないのです。ステンレスでも工具に使うようなマルテンサイト構造のものは磁性を示します。

Date: Tue, 18 Jul 2006 11:29:51 +0900

AA: 佐藤勝昭先生

質問させていただきました河野です。早速のご回答ありがとうございます御座いました。私は工学部の天然物応用化学の出身ですので、自分自身、面心立方格子と体心立方格子の違いを理解するのに時間を要しそうです。それを従業員に伝えるとなると至難の業ですね。頑張ります。

ご教授ありがとうございます御座いました。

Date: Mon, 24 Jul 2006 17:13:47 +0900

A2: K 様、佐藤勝昭です。

ちょっと仕事を立て込んでいてお返事が遅くなり申しわけありません。

確かに、教育歴にバラエティのある従業員の方々に、異分野の話を説明するのはむずかしいですね。高卒の方や、物性系以外の教育を受けた方に鉄合金の結晶構造の違いを説明するのはその背景にある物質の成り立ちについて説明しないといけないでしょう。

一方、理系の院卒の方であれば、なぜ fcc では強磁性にならず bcc なら出なのかについて説明を求められるでしょうね。金属磁性体の磁性は、遷移金属間の距離に依存します。

ベーテ・スレーター曲線(添付)といて、原子磁気モーメントをそろえ合う相互作用(交換相互作用) $J_{\text{eff}}$  は

## 951. ステンレスの反射率の温度変化

Date: 2007/05/15 6:22

Q: 佐藤勝昭様、初めて連絡をさせていただきます。S\*大学のUと申します。

HP で「物性なんでもQ&A」コーナーを拝見しました。早速ですが教えてください。

私は「ステンレスの反射率」についての研究をしています。用いている装置としては、半導体レーザーと Si フォトダイオードです。ステンレスの温度を 500 度まで上げて反射率を測定しても Si フォトダイオードからでる電圧の値が安定をしないで、どんどん下がりが続けます。

室温のときの測定ではこのようなことは無かったのですが、温度を上げると、反射率は下がりが続けていくものなのでしょうか? 宜しくお願いいたします。

Date: 2007/05/15 9:34

A: U 様、佐藤勝昭です。

一般論で答えますと、金属の反射率は、融点付近までほとんど一定です。

ステンレスの融点は 1400°C 付近ですから、500°C ではほとんど変化がないと考えられます。もし大きく変化したとしたら、3つの可能性があります。

- 1つは、ステンレス板がホルダーとの熱膨張係数の違いから反ってしまっ、光が検出器に入らなくなったことです。この場合は、温度を下げると戻ります。
- 第2に、表面に酸化被膜ができて、このために反射率が下がる可能性があります。この場合は、温度を下げて元に戻りません。
- 第3に、高温のステンレスからでる赤外線のためにシリコンフォトダイオードの誤動作が起きた可能性

です。この場合は、赤外線カットフィルタを用いれば、防ぐことができます。

○レーザーで金属ミラーを加熱したときの反射率の変化は、

A V Bessarab, N V Zhidkov, S B Kormer, D V Pavlov, A I Funtikov : Measurement of the reflectivity of metal mirrors acted on by laser radiation ; Soviet Journal of Quantum Electronics, Volume 8, Number 2, Pages 188-191 (1978)

に載っています。

これによれば、「実験誤差±10%の範囲で、金属ミラーの反射率は、金属の蒸発が起きるエネルギー密度までは、一定である。」と書かれています。

○鋼と鉄合金の反射率の温度変化は

Garnov, Sergei V.; Konov, Vitaly I.; Silenok, Alexander S.; Tsarkova, O. G.; Tokarev, Vladimir N.; Dausinger, Friedrich : Experimental study of temperature dependence of reflectivity and heat capacity of steels and alloys at continuous wave Nd:YAG laser heating ; Proc. SPIE Vol. 3093, p. 160-175 (1997), Nonresonant Laser-Matter Interaction (NLMI-9), Vitaly I. Konov; Michail N. Libenson; Eds. (SPIE Homepage)

に載っています。私の手元にはありません。また、

○V. A. Dlugunovich, V. A. Zhdanovskii and V. N. Snopko :

The effect of laser heating on the variation of the reflectivity of metals at a wavelength of 10.6  $\mu$  m ; Journal of Applied Spectroscopy, Volume 34, Number 5 pp. 495-499 (May, 1981)

にもあります。これも手元にありません。

「ステンレスの反射率」についての研究をしておられるとのことですから、上記の論文は取り寄せて置かれたらいかがでしょうか。

-----  
Date: 2007/05/15 9:57

AA: 早急に対応いただきありがとうございます。ご指導いただいた点に注意をして、実験を進めてみます。  
-----

-----連絡先: 独立行政法人 科学技術振興機構(JST) イ  
ノベーション推進本部

〒102-0075 東京都千代田区三番町 5 三番町ビル

e-mail: katsuaki.sato@nifty.com

(2011年 7月 18日)