

技術資料

電気接点ばね用材料としての銅めっき炭素鋼板の各種特性

中原敬之* 田頭 聡**

 Various Properties of the Copper Electroplated Carbon Steel Sheet as
a Material for Electrical Contact Spring

Takayuki Nakahara, Satoshi Tagashira

Synopsis:

The electrical contact springs are used in the electric equipments for connecting and conducting. Many of them are currently made of copper alloy such as phosphor bronze. It seems to be able to apply a carbon steel sheet which is improved electrical conductivity, then properties of the copper electroplated carbon steel sheet was investigated as a material for the electrical contact springs.

The main results obtained are as follows:

- (1) The copper electroplated carbon steel sheet has excellent electrical conductivity and spring bending elastic limit, which are equivalent to or superior to those of phosphor bronze. It is possible to control the properties widely by adjusting both the spring bending elastic limit of the carbon steel sheet and the thickness of the copper plating.
- (2) Bendability of the copper electroplated carbon steel sheet is the same as that of phosphor bronze.
- (3) Stress relaxation ratio of the copper electroplated carbon steel sheet is about 8% at 200°C, thermal stress relaxation behavior is superior to that of phosphor bronze.
- (4) Contact pressure of the copper electroplated carbon steel sheet can be higher than that of phosphor bronze.

1. 緒言

日常生活用品、娯楽用品から産業用機器に至る電気電子機器類には、コネクタや電池ホルダーばねなどの電気接点ばねが組込まれている。一般的に電気接点ばねは、効率よく通電する機能ならびに相手部材がずれたり、外れたりしないように保持する機能を必要とするため、その材料には良好な導電性とばね性(具体的には導電率、ばね限界値が高いこと)が求められる。

電気接点ばね材料には黄銅(Cu-Zn合金)、りん青銅(Cu-Sn-P合金)、ベリリウム銅(Cu-Be合金)などの銅合金が主に使用¹⁾されており、その中でもりん青銅が最も多く利用されている。各銅合金の材料特性^{2,3)}を表1に示す。黄銅は低強度・高導電率、りん青銅は黄銅よりも高強度・低導電率という特徴がある。またベリリウム

表1 電気接点ばねに用いられる各種銅合金の諸特性

Table 1 Several properties of copper alloys for electrical contact spring

	黄銅	りん青銅	ベリリウム銅
引張強さ (N/mm ²)	360~550	400~650	850~1000
導電率 (%IACS)	24~28	11~14	20~60
ばね限界値 (N/mm ²)	—	370~550	600~800

銅は高強度と高導電率を兼ね備える材料であるが、高価であるため小型部品や長期信頼性が要求される部品などへの適用が多い材料である。

電気接点ばねに用いられている銅合金は、成分系の調整によって単一材料としての特性を発現したものである。一方で導電率やばね限界値にそれぞれ特化した材料

*技術研究所 鋼材研究部 鋼材第一研究チーム 主任研究員

**技術研究所 鋼材研究部 鋼材第二研究チーム チームリーダー

を複合化する方法でも、電気接点ばね材料を得られる可能性がある。例えば炭素鋼板は、導電率の面では銅合金よりもやや低位であるものの、熱処理などによる金属組織制御により機械的性質を広範に変えることが可能なので、強度やばね限界値の面では有利である。これに導電率の高い銅を電気めっきするなどの方法によって低位な導電率を適宜補完すれば、次のような特徴を有する材料が得られる可能性がある。それは、導電率は銅合金と同等であってばね限界値の高い材料、導電率とばね限界値ともに銅合金よりも高い材料、鉄系材料特有の機械的性質を有する材料などである。

本報では、炭素量の異なる2種類の炭素鋼板と銅めっきを組合せた複合材料を用いて、電気接点ばね材料に求められる導電率とばね限界値に及ぼす鋼板の製造条件や銅めっき厚の影響について検討した結果を述べる。また導電率やばね限界値の他にも、電気接点ばね材料において重要とされる曲げ加工性や応力緩和特性、ならびにばね反発力についても検討した。これらは、ばね部品への加工として曲げ加工が多く適用されること、通電による発熱で数百℃の温度にさらされる場合でも安定な接圧強度（ばねの力で相手部品を押える強度）を求められることから重要とされる特性である。

2. 実験方法

炭素鋼板の導電率やばね限界値に及ぼす鋼成分の影響を考えた場合、高強度が得られる高炭素鋼の方がばね限界値は高くなると思われる。しかしながら、炭素や他の合金元素の添加量が増すと導電率が低くなる⁴⁾ことから、電気接点ばね材料としては炭素工具鋼などの高炭素鋼の適用は好ましくないと考えられる。また鋼板のばね限界値を向上させる方法としては、焼入焼戻し処理や冷間圧延後のひずみ時効処理が考えられるが、高温に加熱して酸化スケールを生じた場合にめっき性の低下が懸念されるため、処理温度としては500℃以下程度が望ましい。

そこで導電率とばね限界値に及ぼす母材鋼板の製造条件や銅めっき厚の影響を調べるために、以下に示す供試鋼、方法で調査サンプルを作製した。用いた供試鋼は、低炭素～中炭素域の0.15%C鋼ならびに0.55%C鋼である。表2に化学成分を示す。母材鋼板の作製は、球状化焼鈍

表2 供試鋼の化学成分(mass%)

Table 2 Chemical compositions of carbon steels used (mass%)

	C	Si	Mn	P	S	Cr
0.15%C鋼	0.14	<0.01	0.50	0.016	0.008	0.03
0.55%C鋼	0.56	0.20	0.65	0.010	0.010	0.14

と冷間圧延を繰返し行った後、最終冷間圧延率30～80%で板厚0.25mmに仕上げ、その後450℃で10h保持するひずみ時効処理を施す手順で行った。次に、これらの母材鋼板に電気銅めっきを施した。銅めっき厚は片面当たり3～10μmであり、母材鋼板の両面にはほぼ等厚にめっき層を形成した。断面写真の一例を図1に示す。

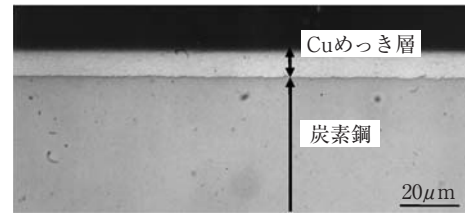


図1 電気銅めっきした炭素鋼板の断面組織例

Fig. 1 Example of cross-sectional structure of Cu electroplated carbon steel sheet.

導電率の測定は図2に示す四端子法⁵⁾に準じて行った。試験片は幅10mmで作製し、電圧測定間隔を80mmに設定した。導電率は%IACSで表記した。これは20℃において $1.7241 \times 10^{-8} \Omega \cdot \text{m}$ の体積抵抗率を持つ国際標準軟銅 (International Annealed Copper Standard) の導電率を100%として表したものである。

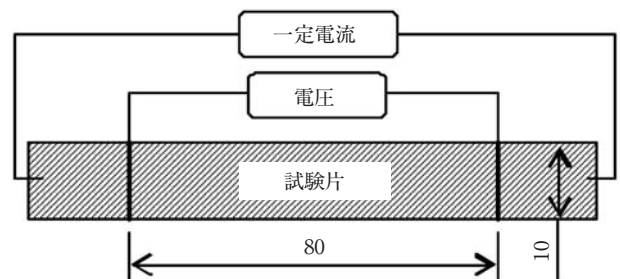


図2 四端子法による導電率測定

Fig. 2 Electrical conductivity measurement by four terminal method.

ばね限界値の測定は(株)アカシ(現(株)ミットヨ)製のばね限界値試験機(型式APT)を用いて図3に示すモーメント式ばね限界値試験法⁶⁾で行い、残留たわみ量が0.1mmになることを条件とする $Kb_{0.1}$ を求めた。試験片は幅10mmの短冊状であり、長手方向が母材鋼板の圧延方向と平行になるように作製した。

曲げ加工性、応力緩和特性、ばね反発力の評価は、

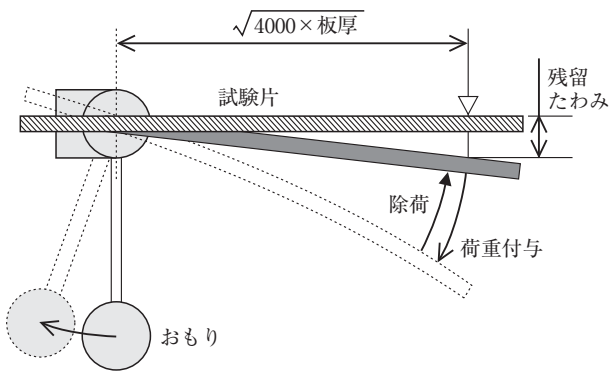


図3 モーメント式ばね限界値試験法
Fig. 3 Schematic diagram of spring bending elastic limit test.

表3に示す供試材について行った。銅めっき炭素鋼板は、その導電率とばね限界値がりん青銅と同等であったサンプルである。具体的には、冷間圧延率60%、ひずみ時効処理450℃-10hの条件で造り込んだ0.15% C鋼を母材として、片面当たりめっき厚3μmの銅めっきを施したサンプルである。比較材には、電気接点ばね用材料によく用いられるりん青銅C5191-H材およびC5210-H材を使用した。

表3 供試材の板厚と各種特性

Table 3 Thickness and several properties of samples used

	銅めっき炭素鋼板 (0.15% C鋼)	りん青銅C5191-H	りん青銅C5210-H
板厚 (mm)	0.25 (銅めっき厚:3μm/3μm)	0.25	0.25
0.2%耐力 (N/mm ²)	562	618	532
引張強さ (N/mm ²)	596	639	627
伸び(%)	12	16	30
硬さ(HV)	216	205	218
導電率 (%IACS)	14.8	13.7	11.3
ばね限界値 (N/mm ²)	578	501	545

曲げ試験は、JIS Z 2248に準拠し、Vブロック法による90°曲げ（パンチ先端半径0mmR）および密着曲げで行った。試験片は幅25mmの短冊状であり、長手方向が圧延方向と平行または直角になるように作製した。前者による曲げをL方向曲げ、後者をT方向曲げと記す。

応力緩和試験は、日本伸銅協会の標準化法である下方

たわみ式⁷⁾で行った。図4に試験法の概略図を示す。試験片は幅10mmの短冊状であり、長手方向が母材鋼板の圧延方向と平行になるように作製した。これに0.2%耐力×0.8の表面最大応力を付与してたわませ、たわみ量を維持したまま試験温度200℃で保持した。所定の保持時間経過後に取り出して除荷後の残留たわみ量を測定し、(1)式により応力緩和率を求めた。保持時間は最大1000hとした。

$$\text{応力緩和率} = \delta_t / \delta_0 \times 100 (\%) \dots\dots\dots (1)$$

δ_0 : 応力付与初期のたわみ量

δ_t : 残留たわみ量

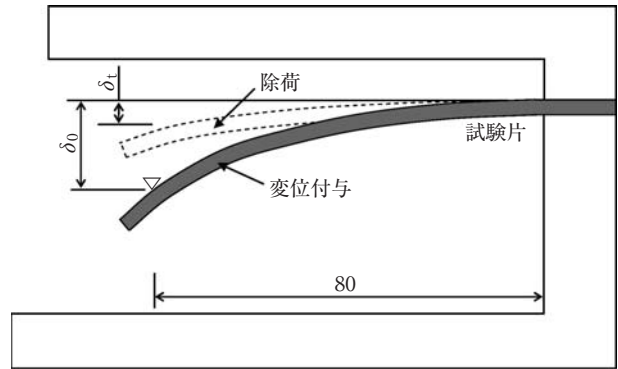


図4 応力緩和試験法（下方たわみ式）
Fig. 4 Schematic diagram of stress relaxation test.

ばね反発力の測定は、図5に示すように短冊状試験片の片方端を固定した状態で他方側に荷重を付与する方法で行った。試験片の支点から荷重付与点までの距離を31.6mmとし、5mm/minで変位を与えて荷重および変位を測定した。試験片は幅10mmであり、長手方向が母材鋼板の圧延方向と平行になるように作製した。

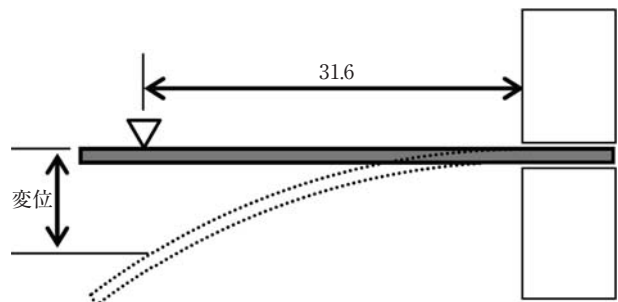


図5 ばね反発力の測定方法
Fig. 5 Schematic diagram of spring force measurement.

3. 実験結果

3.1 導電率およびばね限界値

母材鋼板の導電率測定結果を図6に示す。母材の化学成分が同じであれば冷間圧延率が異なっても同等の導電率を示しており、導電率に及ぼす冷間圧延率の影響は小さい。また0.55%C鋼よりも0.15%C鋼の方が導電率は高い。これは0.15%C鋼の方が合金元素量が少ないためであると考えられる。

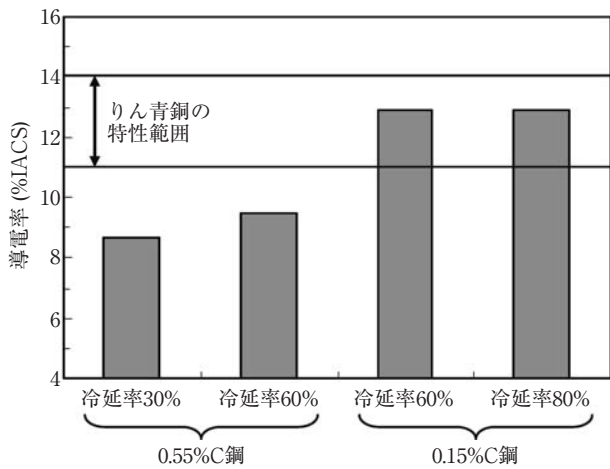


図6 母材鋼板のひずみ時効処理後の導電率
Fig. 6 Electrical conductivity of carbon steel sheets after strain aging.

母材鋼板のばね限界値測定結果を図7に示す。0.55%C鋼において、ひずみ時効処理前のばね限界値は冷間圧延

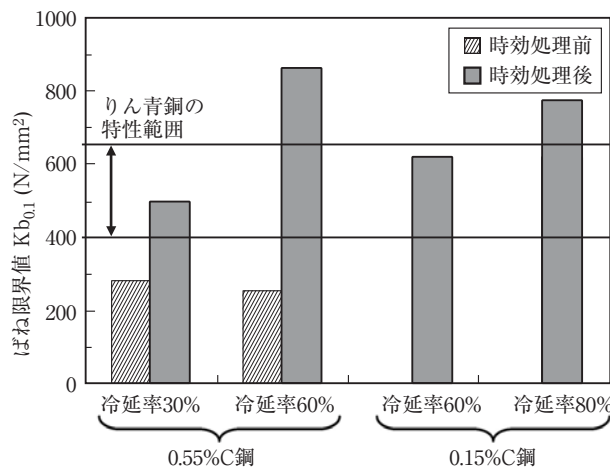


図7 母材鋼板のひずみ時効処理前後のばね限界値
Fig. 7 Spring bending elastic limit of carbon steel sheets before and after strain aging.

率の大小によらずほぼ同等であり、りん青銅よりも低い値である。ところがひずみ時効処理によってばね限界値は上昇し、りん青銅と同等以上の値を示す。冷間圧延率の大きい方が時効処理後のばね限界値は高い。このように導電率の場合とは異なり、ばね限界値においては冷間圧延率の影響が見られる。また炭素量の多い0.55%C鋼の方が、同じ冷間圧延率の0.15%C鋼よりも時効処理後のばね限界値は高い。

次に銅めっき炭素鋼板の導電率と銅めっき厚の関係を図8に示す。0.15%C鋼、0.55%C鋼とも母材鋼板は冷間圧延率60%のものである。グラフより、めっき厚の増加に伴って導電率は上昇する。0.55%C鋼の母材鋼板の導電率はりん青銅よりも低いが、片面当たり10μm厚の銅めっきを施すことによって、りん青銅の上位レベルと同等の導電率を示す。さらにめっき厚を厚くすれば、りん青銅以上の導電率にすることも可能と考えられる。めっき厚と導電率の関係については、銅めっきステンレス鋼線の報告例⁸⁾があり、母材とめっき層を並列接続した電気抵抗体と見なした複合則で整理できる。今回の銅めっき炭素鋼板についても、複合則に基づき(2)式によって計算したところ実験値とほぼ一致した。

$$C_{total} = (C_m \times T_m + 2 \times C_{cu} \times T_{cu}) / (T_m + 2 \times T_{cu}) \dots (2)$$

C_{total} , C_m , C_{cu} : 銅めっき鋼板, 母材, 銅めっき層の導電率

T_m , T_{cu} : 母材, 片面当たりの銅めっき層の厚み

このように銅めっき炭素鋼板においては、銅めっき厚を変えることによって所望の導電率を得ることが可能である。

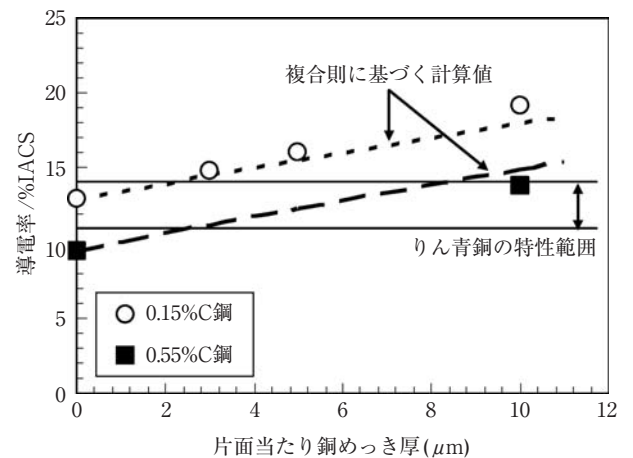


図8 導電率に及ぼす銅めっき厚の影響
Fig. 8 Effect of thickness of electroplated Cu on electrical conductivity.

銅めっき材のばね限界値と銅めっき厚の関係を図9に示す。ばね限界値はめっき厚の増加に伴って低下する。めっきを施すことによってばね限界値が低下する現象は、他の材料においてもいくつか報告^{9,10)}がなされている。銅めっきによってばね限界値が低下したのは、曲げ変形時に内部の鋼に比べて強度の低い表層の銅めっき層が、鋼より先に塑性変形したためと考えられる。

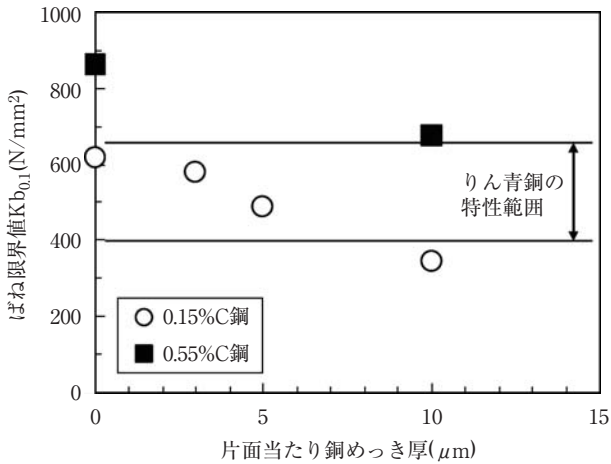


図9 ばね限界値に及ぼす銅めっき厚の影響
(冷間圧延率60%, ひずみ時効処理後)
Fig. 9 Effect of thickness of electroplated Cu on spring bending elastic limit.

以上の結果から導電率とばね限界値の関係を整理して図10に示す。母材鋼板に0.15%C鋼, 0.55%C鋼のいずれを用いても, りん青銅と同等以上の導電率-ばね限界値

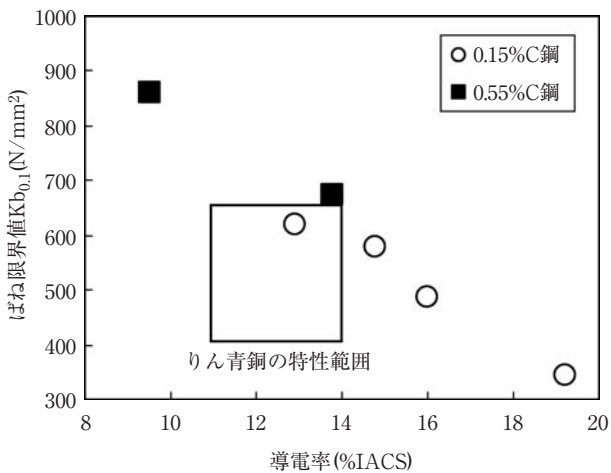


図10 銅めっき炭素鋼板のばね限界値と導電率
(冷間圧延率60%, ひずみ時効処理後)
Fig.10 Spring bending elastic limit and electrical conductivity of Cu electroplated carbon steel sheets.

バランスを有する銅めっき炭素鋼板を得ることが可能である。このように銅めっき炭素鋼板は、めっき母材の特性と銅めっき厚の組合せによって、幅広い特性(導電率, ばね限界値)に対応可能である。

3.2 曲げ加工性, 応力緩和特性およびばね反発力

曲げ試験結果を表4に示す。90°曲げでは、いずれの供試材も割れは発生しない。密着曲げでは、銅めっき炭素鋼板とりん青銅C5191-H材においては割れは発生しないが、りん青銅C5210-H材のT方向曲げにおいてのみ割れの発生が認められた。この結果より、銅めっき炭素鋼板はりん青銅と同等の曲げ加工性を有していると考えられる。

表4 供試材の曲げ性
Table 4 Bendability of samples used

	曲げ方向	90°曲げ	密着曲げ
	銅めっき炭素鋼板	L T	割れなし
りん青銅 C5191-H	L T	割れなし	割れなし
	りん青銅 C5210-H	L T	割れなし 割れ

200°C加熱における応力緩和試験結果を図11に示す。りん青銅はC5191-H材, C5210-H材ともほぼ同様の応力緩和を示しており、100h保持で応力緩和率70%、1000h保持後では80%以上である。これに対して銅めっき炭素

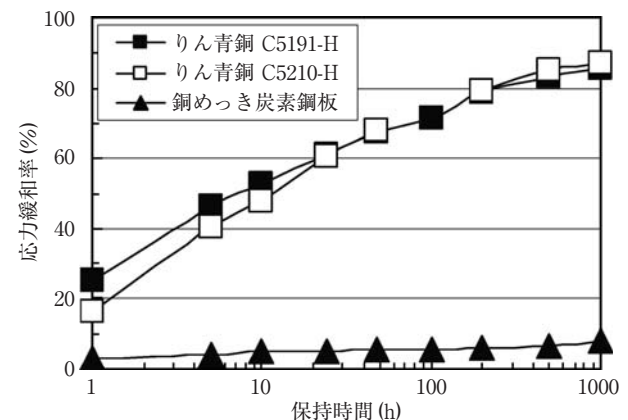


図11 供試材の200°Cにおける応力緩和試験率
Fig.11 Thermal stress relaxation ratio of samples used at 200°C.

鋼板は、1000h保持後でも8%程度であり、ほとんど応力緩和していない。これはりん青銅に対する銅めっき炭素鋼板の優位点である。応力緩和の問題ではばね用銅合金の適用が困難であった用途や使用環境においても、銅めっき炭素鋼板であれば適用できる可能性がある。

ばね反発力の測定結果を図12に示す。各変位量における荷重は、銅めっき炭素鋼板の方がりん青銅よりも高い。この結果より、例えば電池押えばね部材に銅めっき炭素鋼板を適用した場合、りん青銅よりも高い接圧強度が得られる、または同等の接圧強度で良い場合には適用板厚を薄くできるなどの優位性が考えられる。

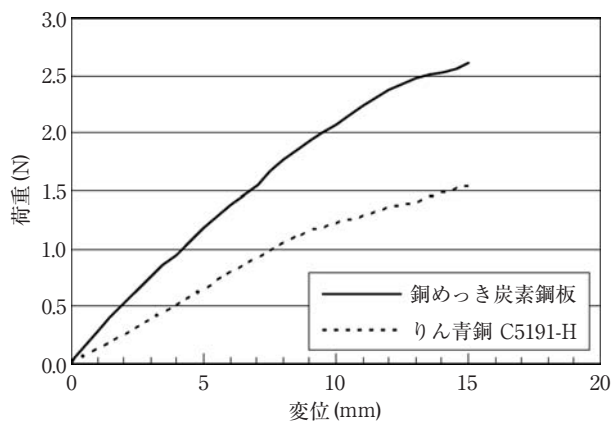


図12 供試材のばね反発力

Fig.12 Spring force of samples used.

4. まとめ

主にりん青銅などの銅合金が使用される電気接点ばね材料に着目し、炭素鋼板と銅の複合材料について電気接点ばね用材料への適用の可能性を検討した。炭素鋼板を母材とした銅めっき炭素鋼板を作製し、導電率やばね限界値ならびに曲げ加工性、応力緩和特性などの材料特性について調査した。

得られた知見は以下のとおりである。

- (1) ばね限界値を向上させた炭素鋼板に電気銅めっきを施した銅めっき炭素鋼板は、電気接点ばね材料であるりん青銅と同等もしくはそれ以上の導電率とばね限界値を有する。その特性は、母材鋼板の材料特性と銅めっき厚の組合せによって広い範囲で制御ができる。
- (2) 銅めっき炭素鋼板の曲げ加工性は、りん青銅と同等である。
- (3) 銅めっき炭素鋼板の200℃加熱における応力緩和率

は、1000h保持後でも約8%であり、熱応力緩和特性はりん青銅に比べて非常に良好である。

- (4) 銅めっき炭素鋼板は、りん青銅に比べてばね反発力が高く、高い接圧強度が得られる。

参考文献

- 1) ばねの種類と用途例, ばね技術研究会, 日刊工業新聞社, 東京, (1998), 69.
- 2) 日本伸銅協会, 伸銅品板条材料特性データベース
- 3) ばね用材料とその特性, ばね技術研究会, 日刊工業新聞社, 東京, (2000), 191.
- 4) 鉄鋼材料便覧, 日本金属学会・日本鉄鋼協会編, 丸善, 東京, (1967), 32.
- 5) JIS, H 0505 (1975)
- 6) JIS, H 3130 (2000)
- 7) 日本伸銅協会技術標準, T309 (2004)
- 8) 大代三夫, 井上和政, 松本秀一, 本間達, 飯村富男, 松本強資: ばね論文集, 24 (1979), 15.
- 9) 西畑三樹男: 電子通信学会技術研究報告, 82 (1982), 30.
- 10) テストロニクスとその応用, 日刊工業新聞社, 東京, (1994), 103.