

半硬磁性材料としての特殊鋼

Special Steels As Semi-hard Magnetic Materials

中 村 信 夫* 倭 文 邦 郎**
Nobuo Nakamura Kunio Shitori

要 旨

電子交換機用ラッチング・リレー用コア材として設計上要求される性能を満足する材料として中炭素鋼および数種の特殊鋼について熱処理と磁性との関係を調査した。その結果、約 0.54% C 炭素鋼およびヤスキ CRH が有望な材料であることを見出した。

1. 緒 言

半硬磁性材料とは簡単にいって高透磁率材料と永久磁石材料の中間の性格、すなわち保磁力が約 10~100 Oe、残留磁気が 10,000 G 以上の磁性をもつ磁性材料の総称であって、最近種々の用途に用いられるようになってきた。

ここにとりあげる半硬磁性材料は電子交換機用ラッチング・リレー用コア材として研究したものである。電子交換機は従来の交換機より経済的で機能も高度なもので世界各国で研究が進められている。

本材の性能目標としては、

- ① 保磁力 15 Oe、残留磁気 15,000 G 以上
- ② 保磁力 25 Oe、残留磁気 12,000 G 以上

の 2 種である。これには種々の合金が考えられるが、単純に考えて炭素鋼の熱処理でその目標は一応達せられる可能性がある。本報では炭素鋼および数種の特殊鋼の熱処理による磁性の挙動を調査し、ラッチング・リレー用コア材として有望な材料を見出したのでその結果を報告する。

2. 炭 素 鋼

2.1 炭素鋼の焼入焼戻による磁性

炭素鋼は最も古い焼入形永久磁石材料であってその焼入状態および焼戻状態の磁氣的性質と炭素量との関係については報告がある^{(1)~(5)}。これらのデータによれば保磁力は炭素量の増加にしたがって上昇していくが、残留磁気は炭素量が約 0.5% 付近に極大があることが知られているので 0.54% C 炭素鋼について焼入焼戻による磁性の挙動を調査した。

2.1.1 試料と実験方法

用いた試料は塩基性電気弧光炉溶解の鋼塊より熱間圧延により製造した 4 mm 厚の板で、その化学組成を表 1 に示した（試料 No. 1）。試験片は素材より削り出した 4 t×45 φ×33 φ mm リングである。このリングを塩浴炉で 830℃×5 min 加熱油焼入、100~600℃×1 h 焼戻した。熱処理後、サーチコイルとして 0.3 φ mm 綿巻銅線 25 回、励磁コイルとして 0.5 φ mm 綿巻銅線 244 回の巻線をほどこし励磁電流 4 A、最大磁化 100 Oe として飽和磁気（100 Oe における磁束密度）、保磁力および残留磁気を弾動検流計で測定した。

なお以下の実験で用いる試料および試験片は本試料と同じ方法で製造された 4 t×45 φ×33 φ mm リングであり、熱処理炉はすべて塩浴である。磁気測定法についても上述と同様に行なった。

表 1 試料 No. 1 の化学成分 (%)

試 料	C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr
No. 1	0.54	0.23	0.65	0.012	0.012	0.12	0.12

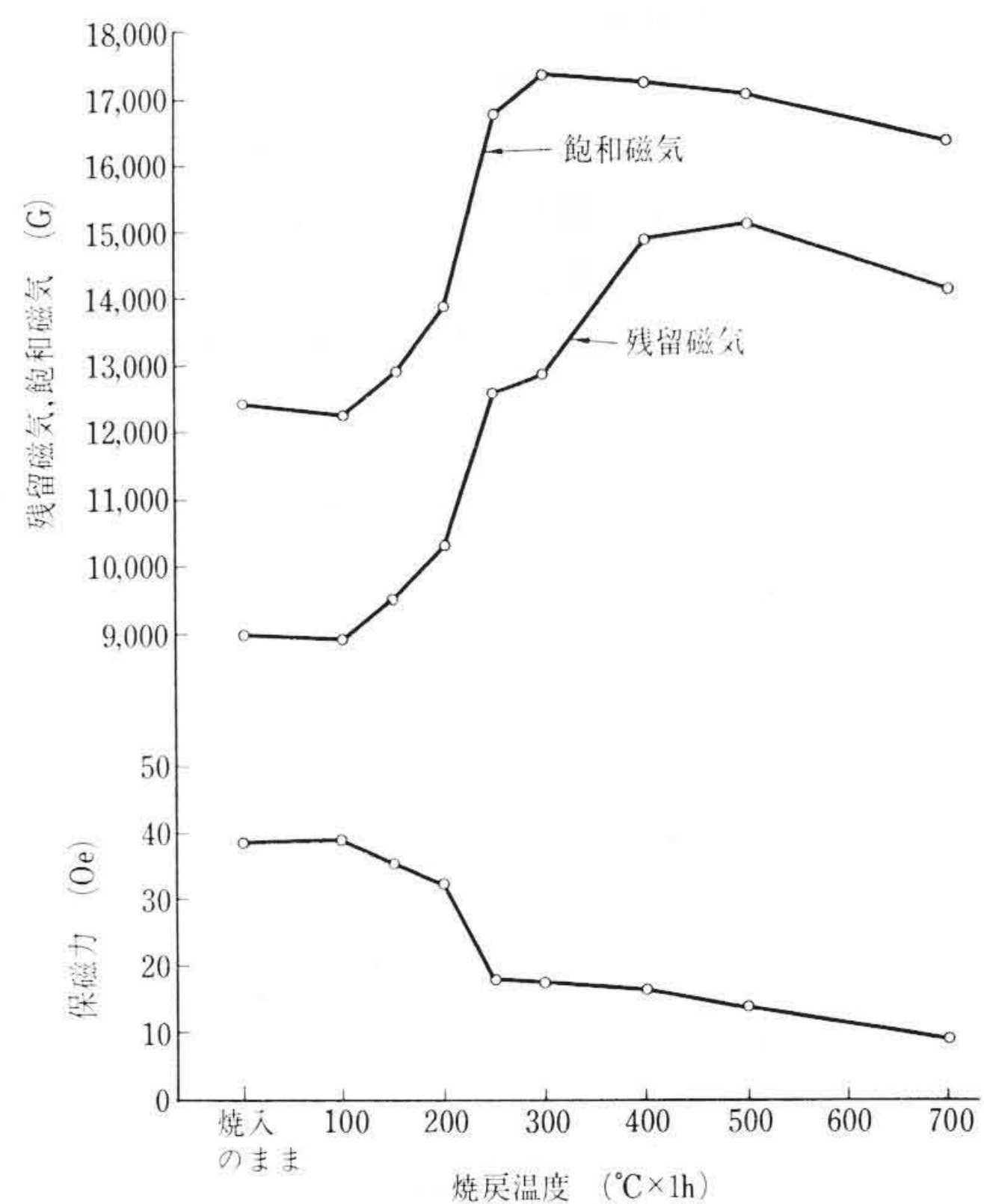


図 1 炭素鋼の焼入焼戻による磁性値

2.1.2 実験結果

磁気測定の結果を図 1 に示す。100℃ の焼戻で保磁力が若干増加し、飽和磁気および残留磁気が若干減少する。さらに焼戻温度を高くすると保磁力の急激な減少および飽和磁気、残留磁気の急激な増加がある。250℃ 以上の焼戻による保磁力の減少は徐々に進む。250~300℃ 焼戻で飽和磁気、残留磁気が若干増加して、飽和磁気は以後の焼戻で増加しないが、残留磁気は 400℃ の焼戻で再び急激に増加する。300℃ 以上の焼戻で飽和磁気が減少しはじめ、これにともなって 500℃ より残留磁気も減少する。図 1 よりわかるように本材は目標の①は約 230℃、②は約 450℃ の焼戻で達成される。

2.2 焼戻磁性母曲線

本材はリレーのコアとして組込まれて動作中には 100℃ から最高 180℃ 程度の昇温が予想されているので磁性の経時変化について調査した。リレーの使用年限が 30 年以上と非常に長く考えられているので短時間の経時変化の実験では推定がむずかしい。経時変化は本質的には炭素の拡散によるものであるので焼戻硬度における Master-Tempering Curve の考えを適用して保磁力と残留磁気をパラメータで表わし長時間にわたる経時変化の推定を試みた。

* 日立金属株式会社安来工場 工博

** 日立金属株式会社安来工場

表2 試料 No. 2 の化学成分 (%)

試料	C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr
No. 2	0.56	0.42	0.73	0.013	0.008	0.08	0.06

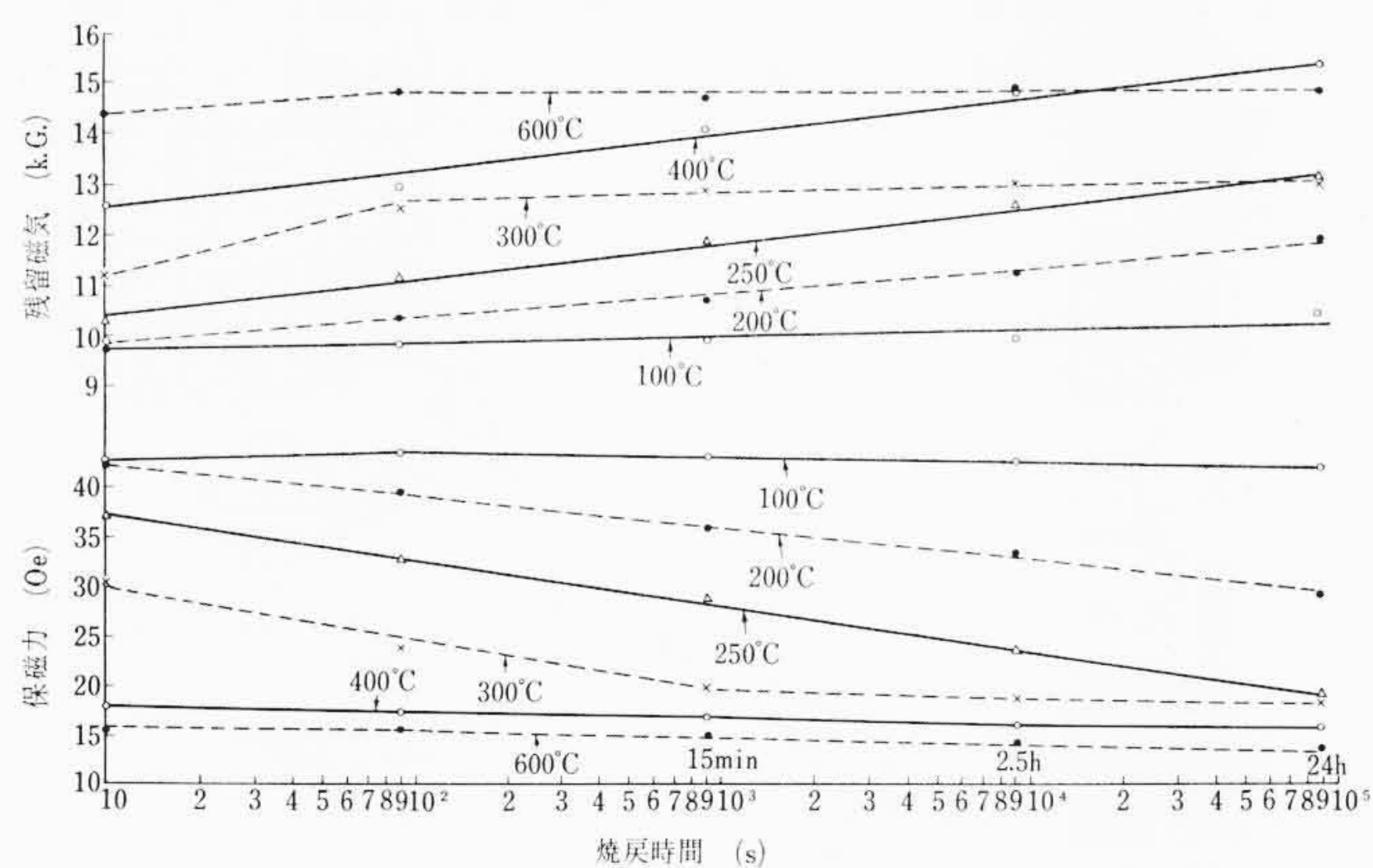


図2 炭素鋼を焼入後、種々の温度と時間を組合わせて焼戻したときの磁性値

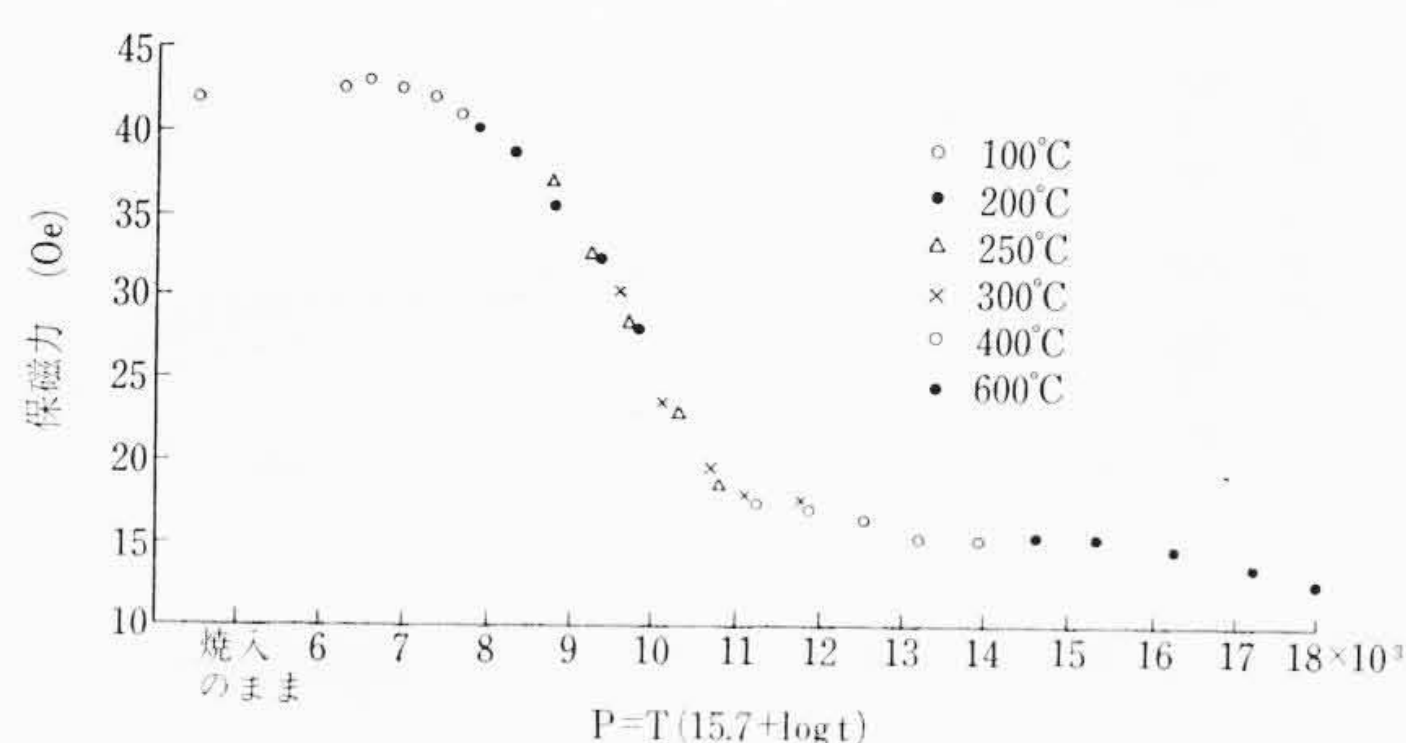


図3 パラメータで表わした保磁力

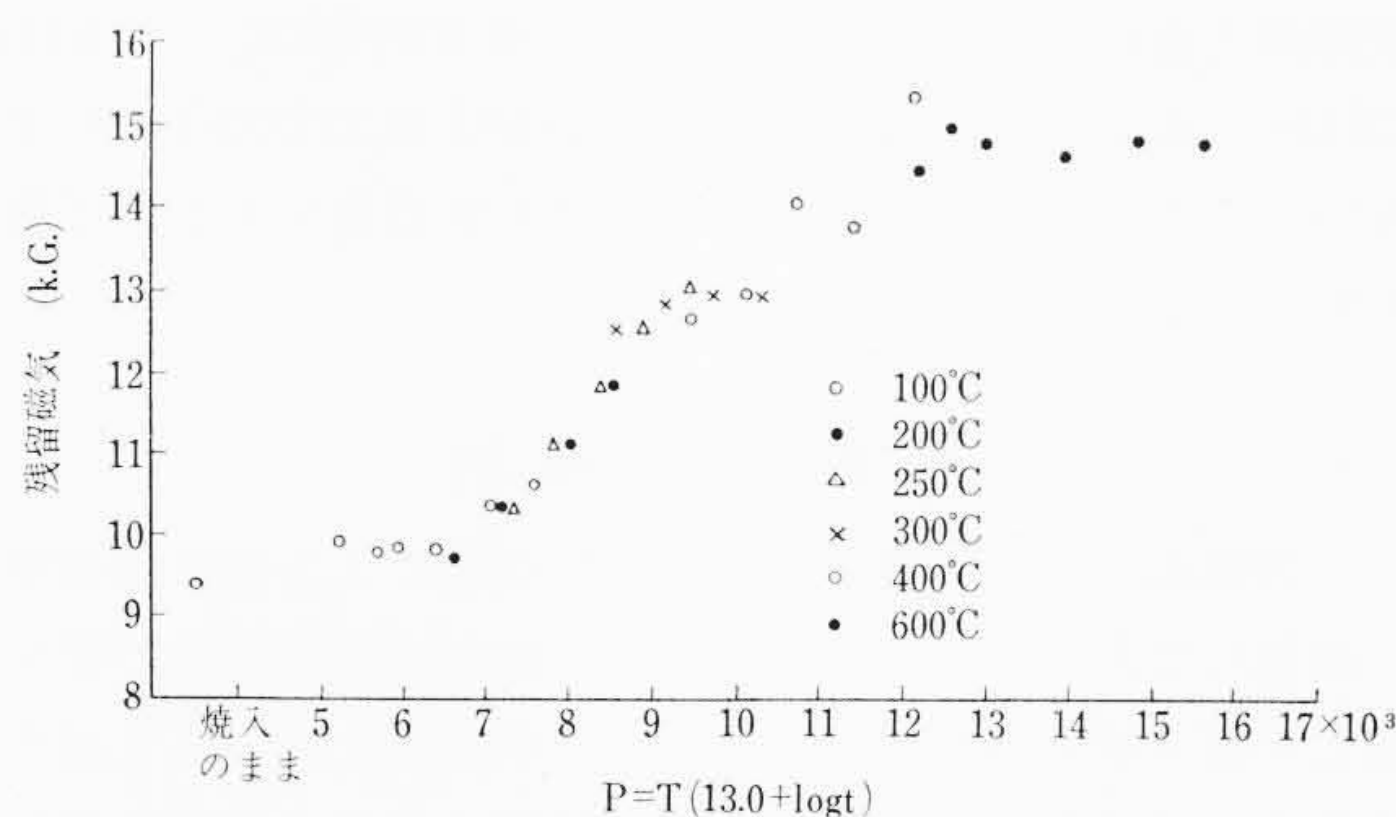


図4 パラメータで表わした残留磁性

2.2.1 試料および実験方法

試料の化学成分を表2に示す(試料 No. 2)。試験片を830°C×5 min 加熱油焼入後、100, 200, 250, 300, 400 および 600°C でそれぞれ 10 s, 90 s, 15 min, 2.5 h および 24 h 焼戻して保磁力と残留磁気を測定した。

2.2.2 実験結果

各焼戻条件と保磁力および残留磁気との関係は図2に示すとおりである。この結果を用いてパラメータ⁽⁶⁾

$$P = T(C + \log t) \quad \dots\dots\dots (1)$$

ここに、 T : 焼戻温度(°K)

C : 鋼種による定数

t : 焼戻時間(s)

における定数 C を求め、保磁力については15.7、残留磁気については13.0を得た。この値は焼戻硬度における定数とほぼ一致している。

表3 試料 No. 3, 4 の化学成分 (%)

試料	C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr
No. 3	0.54	0.23	0.65	0.012	0.012	0.12	0.12
No. 4	0.64	0.24	0.32	0.014	0.014	0.05	0.22

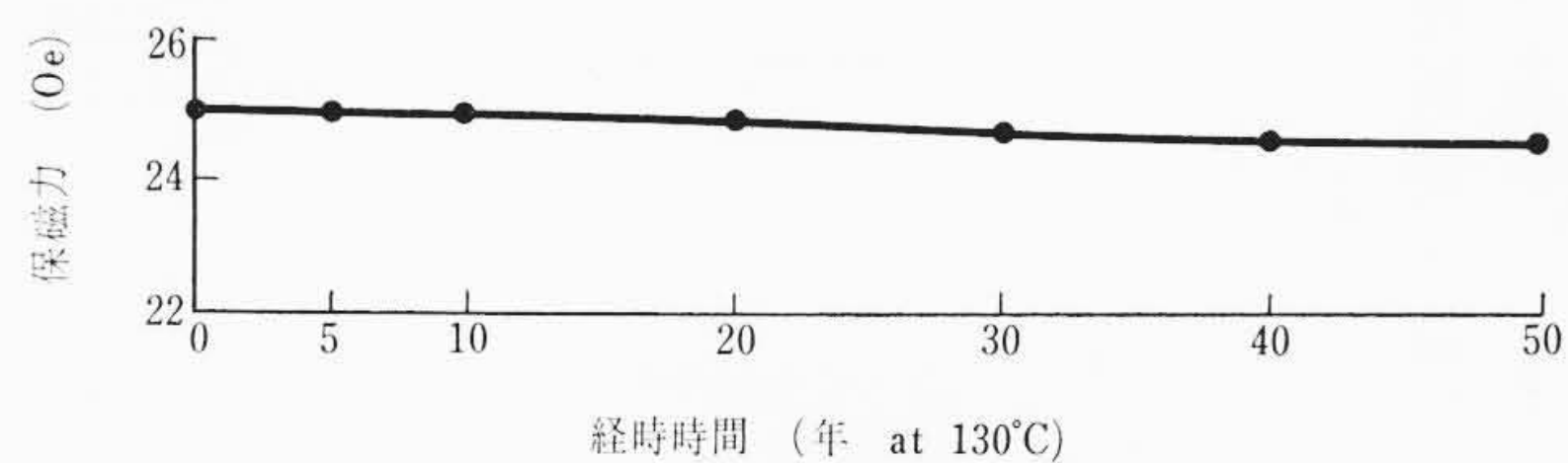


図5 保磁力 25 Oe V 調質した炭素鋼の150°Cにおける経時変化

以上の結果を用いて保磁力と残留磁気をパラメータを用いて表わすと図3および図4のようになり、保磁力および残留磁気はこのパラメータを用いてかなりよく表わされることがわかった。

いま保磁力 25 Oe に調質してから 130°C で 50 年まで使用したときの保磁力の変化量を推定してみると、経時後のパラメータを M とすれば、

$$M = T \log \left(\frac{\Delta t}{10^{-c}} + 10^{Ms/T} \right) \quad \dots\dots\dots (2)$$

ここに、 T : 経時温度 (°K)

Δt : T °K に保たれた時間 (s)

C : 式(1)における定数

Ms : 経時前のパラメータ

で表わされる⁽⁶⁾。

式(2)で下記の数値を代入して M を求め、その M と図3から保磁力を求めると図5のようになる。

$$T = 130^\circ\text{C} = 403^\circ\text{K}$$

$$\Delta t = 1 \sim 50 \text{ 年}$$

$$C = 15.7$$

$$Ms = 10 \times 10^3$$

図5より 130°C で連続使用した場合でも、50 年後に保持力が 25 Oe から 24.5 Oe に低下するのみである。一方保磁力 15 Oe に調質したものは 150°C で連続 50 年経過しても $M \approx Ms$ で経時変化は全くない。

2.3 恒温熱処理による炭素鋼の磁性

これまで述べた炭素鋼は焼入および焼戻の2段階処理をして所定の磁性を得ることにしているが、これを1回の熱処理操作で2段階処理と同等の磁性を得ることができれば工程の能率化および熱処理ひずみの防止の面から望ましい。よって恒温熱処理法がこれに適するか否かを検討した。

2.3.1 試料および実験方法

試料の化学成分を表3に示す(試料 No. 3, 4)。試験片は 830°C × 5 min 加熱したのち 350~600°C に保った塩浴中に投入して恒温熱処理を行なったのち磁性を測定した。

2.3.2 実験結果

恒温熱処理条件と磁性との関係を図6および図7に示す。保磁力 15 Oe は試料 No. 3 の約 500°C 恒温処理で得ることができるが、保磁力 25 Oe は試料 No. 4 でマルテンサイトを含むベーナイト組織で得られるだけで中炭素鋼のベーナイト組織では保磁力が 18~22 Oe しか得ることができない。また焼入焼戻した試料に比較して同じ保磁力における残留磁気が小さく、恒温処理時間が長くなって保磁力が小さくなくても残留磁気は必ずしも大きくはならない。

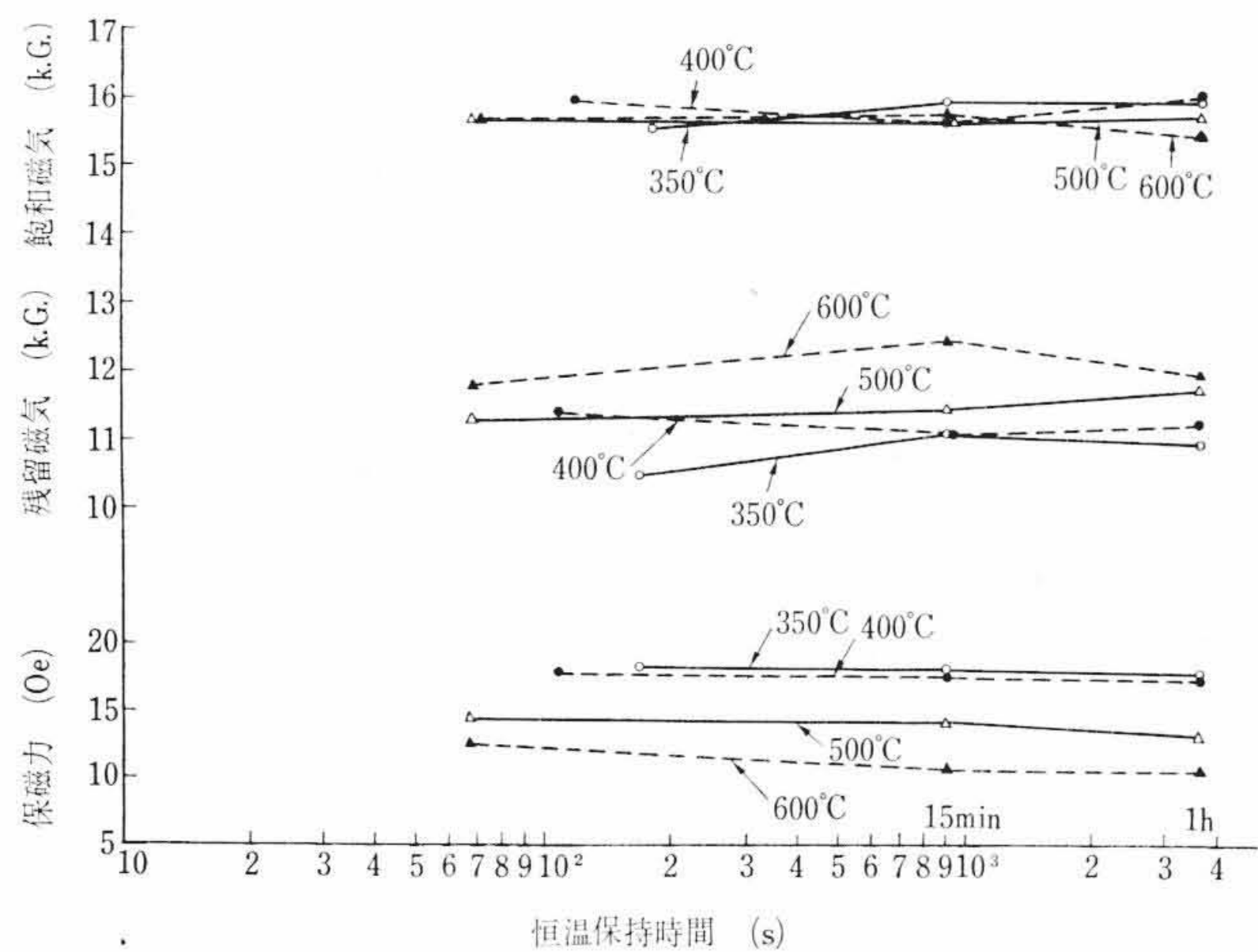


図 6 0.54% C 炭素鋼の恒温熱処理による磁性

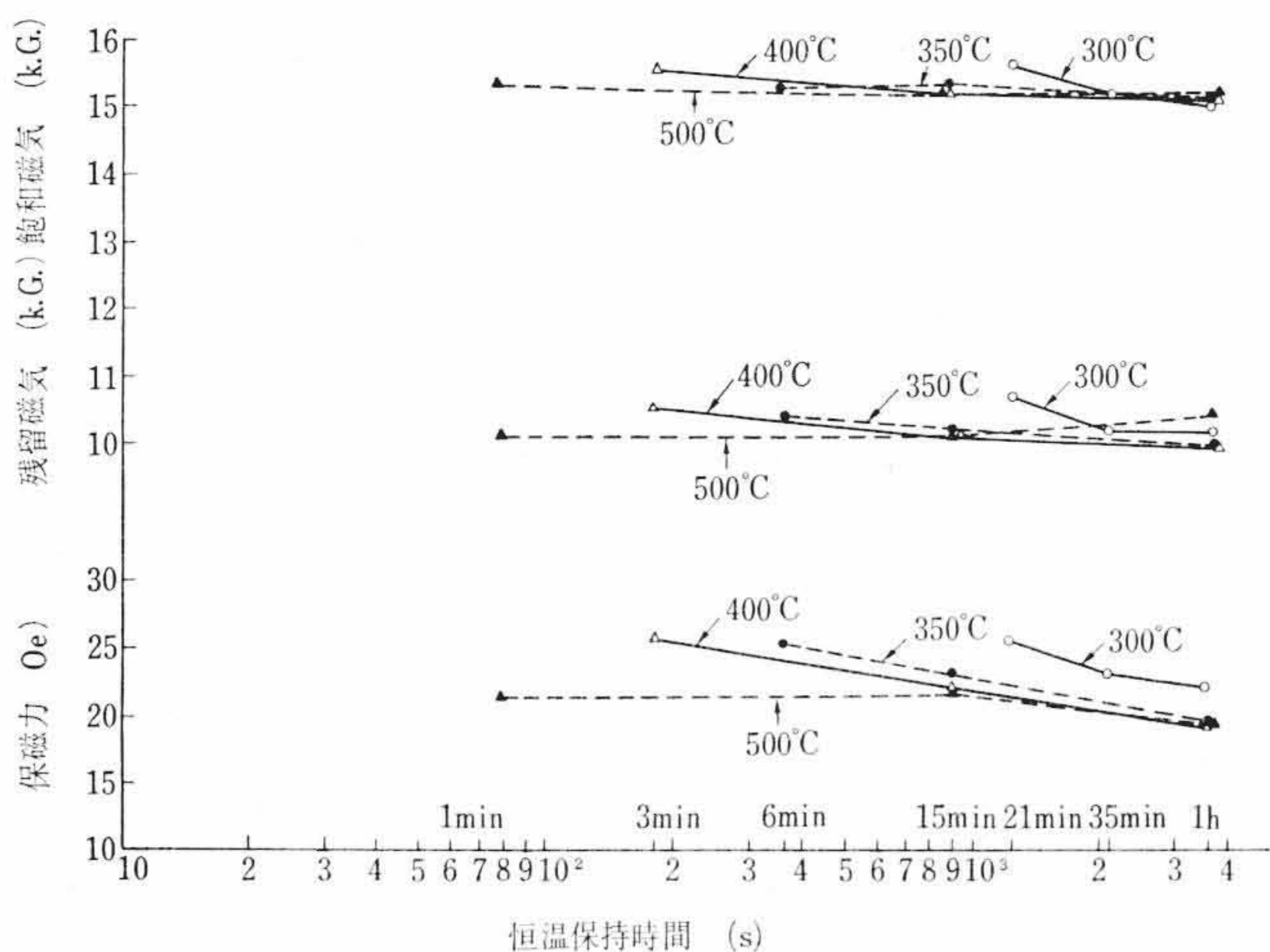


図 7 0.64% C 炭素鋼の恒温熱処理による磁性

3. 特 殊 鋼

保磁力 15 Oe のものについては中炭素鋼の焼入焼戻処理により得られるが、保磁力 25 Oe のものについては中炭素鋼では焼戻保磁力曲線のこう配の大きい部分にあるので熱処理条件がむずかしい。炭素鋼より高い温度で焼戻して保磁力 25 Oe が得られることを目標に数種の低合金特殊鋼の焼入焼戻による磁性値を求めてみた。

3.1 試料および実験方法

試料は JIS-SCM21, JIS-SCM4, ヤスキ CRL およびヤスキ CRH の 4 鋼種である。表 4 に試料の化学成分および焼入温度を示した。試験片は塩浴中でそれぞれ表 4 に示した温度に 5 min 保って油焼入した。焼入した試験片は 100～700℃ で 1 h 焼戻し、磁気測定を行った。

3.2 実験結果

各鋼種の焼入焼戻による磁性値の変化を図 8 に示した。磁性値の変化の傾向は炭素鋼のそれと同じであるが、残留磁気の増加が炭素鋼では 400℃ で終了しているのに対し特殊鋼は 500℃ まで続いている。これはクロム含有による回復の遅延のためと考えられる。焼入状態の保磁力、残留磁気および 500℃ 以上の焼戻における残留磁気は炭素あるいはクロム含有量に比例しているが、300℃ 以上の焼戻における SCM4 の保磁力が大きくなっている。また中間温度の焼戻のとき SCM4 の残留磁気が SCM21 の残留磁気より大きくなり、また CRL の残留磁気が最も大きくなる。中間焼戻温度で炭素量がある程度多いほうが残留磁気が大きくなる現象は炭素鋼でも認め

表 4 特殊鋼の化学成分(%)および焼入温度(℃)

試 料	C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	Mo	焼入温度
SCM21	0.18	0.17	0.70	0.013	0.012	0.07	1.01	0.18	850
SCM4	0.39	0.27	0.62	0.018	0.009	0.14	0.94	0.17	850
CRL	0.96	0.28	0.27	0.004	0.004	0.06	1.48	—	840
CRH	1.02	0.35	0.47	0.014	0.004	—	3.32	—	850

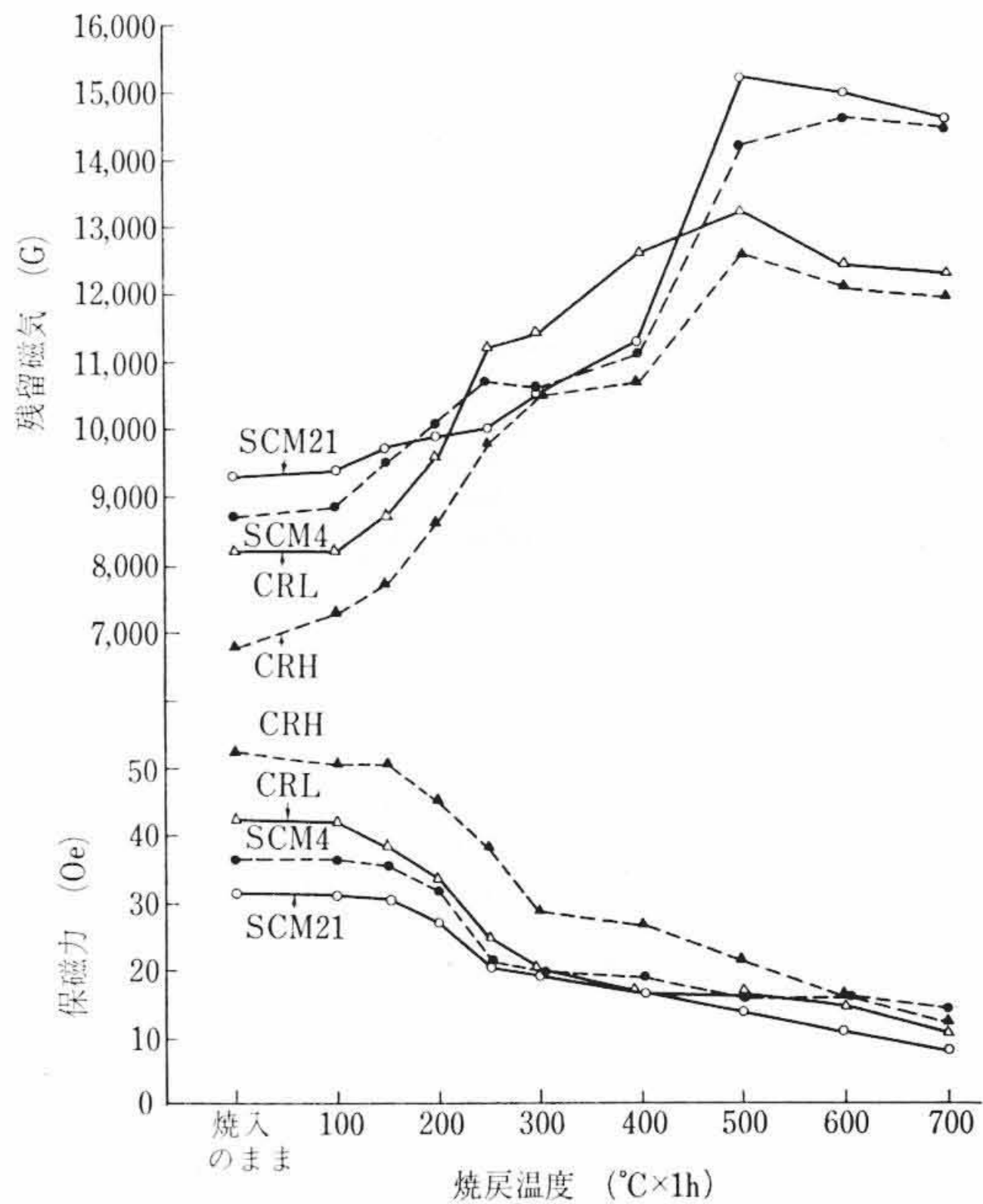


図 8 特殊鋼の焼入焼戻による磁性値

られる。

焼戻保磁力曲線のこう配のゆるい焼戻温度約 430℃ で CRH は保磁力 25 Oe を満足するが残留磁気が 11,500 G で 12,000 G にわずかに及ばない。しかし組成が単純でかつ安価である点を考えれば満足すべき材料といえよう。

4. 結 果 の 検 討

以上中炭素鋼および 4 種の特殊鋼の熱処理による磁性値の挙動について調査してきたが、その磁性変化の傾向は焼戻硬度の変化に大略対応し、従来研究されている焼戻時の組織変化によって磁性値の挙動は大まかには説明しうる。しかし焼戻析出物の磁性の変化、析出物の量と分散状態による反磁界などのためと思われるが磁性変化は組織変化と一義的には対応しない場合がある。たとえば図 1 において 250～300℃ にかけての保磁力の減少の停滞は残留オーステナイトの分解による内部応力の減少の停滞にあると考えられるが、300～400℃ における残留磁気の急激な増加にもかかわらず保磁力がほとんど変化しないことなどがある。また、炭素量と残留磁気との関係は研究者によりデータに相違があり、図 8 にもその傾向が現われているが、炭素量あるいは残留オーステナイト量と一義的な関係にない。これらの点については稿をあらためて言及したい。

図 2 から保磁力の変化の活性化エネルギーを求めてみると 100～200℃ で約 25 kcal/°K mole, 250℃ 以上で約 45 kcal/°K mole で炭素の拡散の活性化エネルギーと近似している。焼戻の変化の基本は焼入正方晶マルテンサイトから ε 炭化物の析出, ε 炭化物のセメンタイトへの変化, ついでセメンタイトの球状化である。ε 炭化物の析出は室温でも起り得るし、また ε 炭化物のセメンタイトへの変化は低温でも焼戻時間が延長されれば起る⁽⁷⁾ので保磁力 25 Oe に調質した炭素鋼の経時変化は未析出の ε 炭化物の析出および ε 炭化物

のセメンタイト化が並行して起るものであろう。また図2より保磁力の変化は300℃焼戻のとき変化曲線が二つの直線部よりなっており、200および250℃の変化直線のこう配が短時間側に一致し、また400および600℃の変化直線のこう配が長時間側にほぼ一致しており、その曲点は保磁力約19 Oeにある。図1で保磁力19 Oeの点は約250℃焼戻の点に相当し、焼戻機構の上からはε炭化物の析出終了点に相当する。したがってこの点までの変化は急速に進み以後の変化は徐々に進むことになり、経時変化の安全域は250℃以上の焼戻(保磁力約19 Oe以下)を要することになる。しかし25 Oeに焼戻した材料でも連続130℃で50年間はこれらの変化の進行が徐々にしか行なわれない。

恒温熱処理した炭素鋼の残留磁気の小さい理由は残留オーステナイトが多いためと考えられる。

特殊鋼の磁性値についてはクロム鋼のみを紹介した。そのほかに種々の合金鋼があるが、ニッケルは残留磁気を小さくするだけで効果なく、モリブデンは効果はあるが高価であり、タングステンと比較的多量でないとなら効果が現われないので、安価であることを条件の一つとする本材としては適当なものではないので本稿では省略した⁽⁸⁾。

5. 結 言

以上の結果を要約すると、

- (1) ラッチング・リレー用コア材に要求される性能としての保磁力15 Oe、残留磁気15,000 G以上は中炭素鋼(0.54% C)の830℃焼入後約450℃の焼戻で達成される。また同じく保磁力25 Oe、残留磁気12,000 G以上は同炭素鋼の焼入後約230℃の焼戻で一応達成される。
- (2) 炭素鋼で保磁力25 Oeを得ることは焼戻温度を正確に制御せねばならないので作業上若干の困難がある(130℃で連続

50年間経ても24.5 Oeに低下するのみと考えられる)。炭素鋼を安定に用いるには保磁力約19 Oe以下が望ましい。

- (3) 上記の保磁力25 Oeの性能を安定に得る材料としては残留磁気がわずかに不足するがヤスキ-CRHがほぼその性能を満足する。その熱処理条件は850℃油焼入430℃焼戻である。

- (4) 炭素鋼(0.54% C)の焼戻後の保磁力と残留磁気はそれぞれ下記のパラメータで表わすことができる。

保磁力についてのパラメータ $P_{HC} = T(15.7 + \log t)$

残留磁気についてのパラメータ $P_{BR} = T(13.0 + \log t)$

T : 焼戻温度(°K)

t : 焼戻時間(s)

- (5) 中炭素鋼(0.54% Cおよび0.64% C)の恒温熱処理による磁性値を求めたが、焼入焼戻処理で得た磁性値と比較して同一保磁力に対する残留磁気が小さい。

本研究に関し日本電信電話公社電気通信研究所、機構部品技術研究室、金属材料技術研究室および継電器研究室のご討論を賜わり、日立製作所戸塚工場の関係各位のご指示を仰いだ。これらに対し深く感謝する。

参 考 文 献

- (1) E. Gumlich: Trans. Faraday Soc. 8, 98 (1912)
- (2) W. L. Cheney: Bur. Stand. Sci. Paper 18, 609 (1922~1923)
- (3) W. Köster: Z. Anorg. Allgem. Chem. 179, 297
- (4) 大山: 非破壊検査, 6(5)203 (昭32-10)
- (5) 山川: 東京都立工業奨励館報告, 1(1)61 (1952)
- (6) J. H. Hollomon: Trans. Am. Instit. Mining Metall. Eng. 162, 223
- (7) 岡本: 鉄鋼材料, 137 (昭35-コロナ社)
- (8) 倭文: 未発表



新 案 の 紹 介



登録実用新案 第775619号

村 田 良 雄

セ ラ ミ ッ ク 真 空 管

この考案はステムセラミックと金属外被を用いたいわゆるセラミック真空管に関するもので、図1および図2に示すようにステムセラミックの側面に第1グリッド支柱およびそのリードと陽極リード

とを隔てるような凹部を設け、該凹部表面を金属化面とし、この金属化面に第2グリッド支柱を固着したものである。

この考案によれば入力側と出力側すなわち陽極と第1グリッドとの間の静電容量結合をきわめて弱くできるので陽極リードをステム側から引き出すことができ、したがって構造が強固で組立作業の容易なセラミック真空管を作ることができる。(福田)

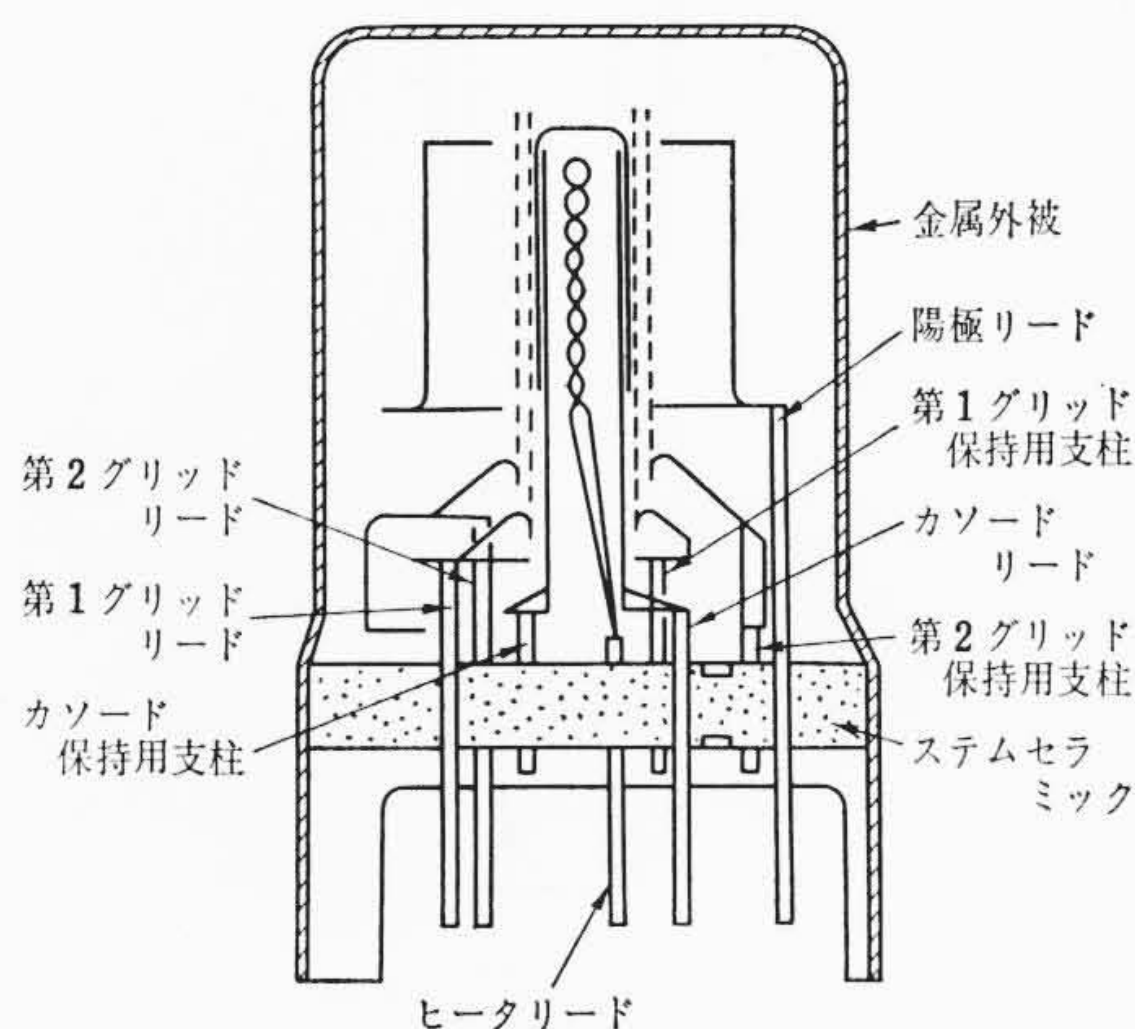


図 1

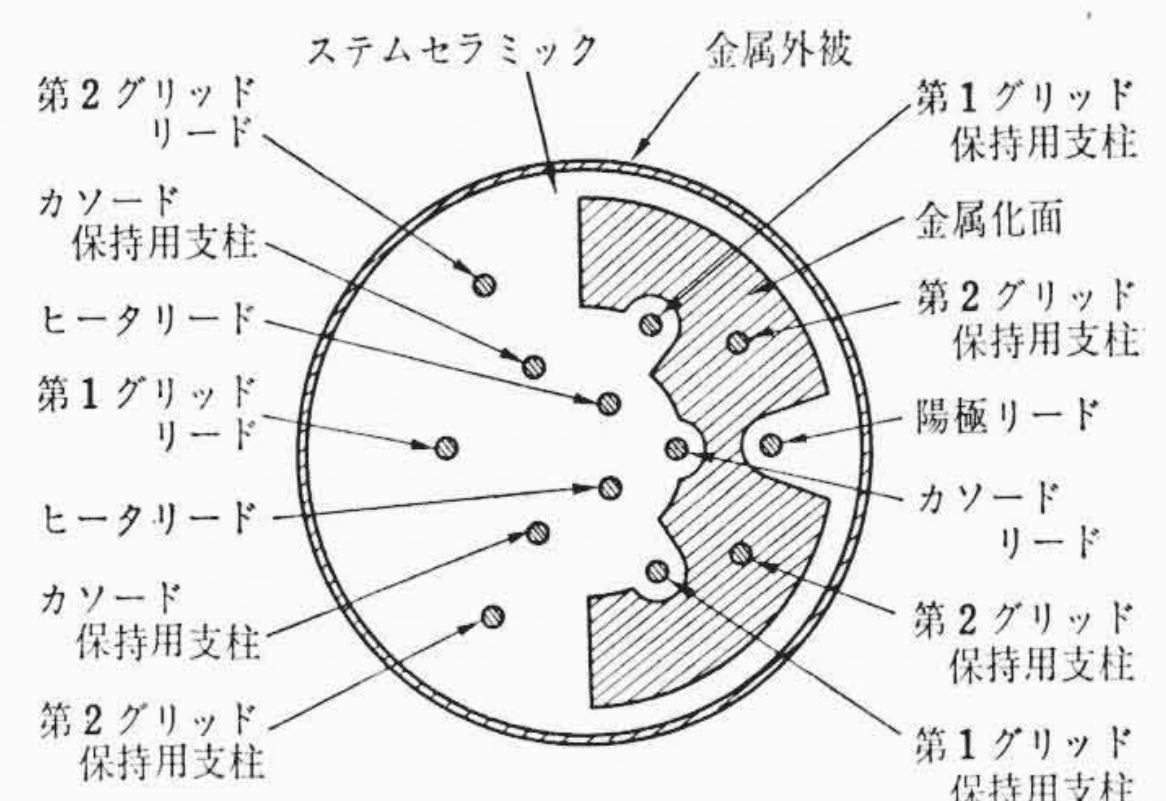


図 2



登録実用新案 第753754号

中田九州男

電子管のグリッド取り付け構造

一般に電子管の組立においては電極の相互位置を正確にするために、電極の支持部分の相互位置をきわめて正確に製作するか、また

は電極取り付け時に電極の位置を水平および垂直の各方向について調整できるような構造に設計しなければならない。

この考案は図1および図2に示すように、ステムに固定された支持部分とグリッドに固定された支持部分とを重ねて3個以上のネジを用いて接続し、ネジがとおる部分においてこれらの支持部分相互の間、またはいずれか一方の一部分に間げきを設け、ネジを締めることによって支持部分のいずれか一方の一部が変形してこの間げきが部分的に変化するように形成したもので、このように構成することにより電子管の組立において、陰極をおおむね正確な位置に取り付けたあとにグリッドを陰極に対してきわめて正確な位置に取り付けかつ調整しうるような簡単な構造を与えることができたものである。(福田)

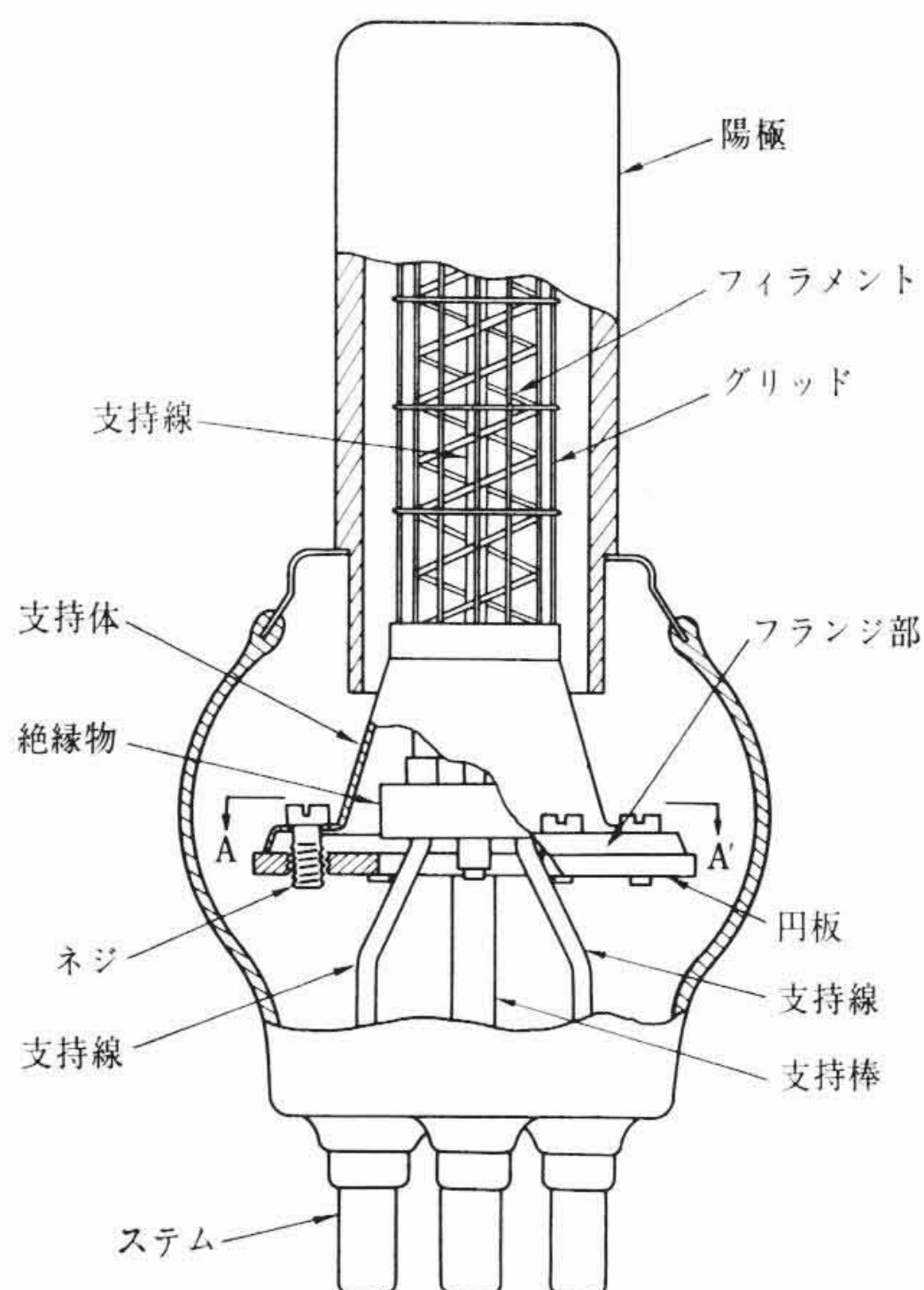


図 1

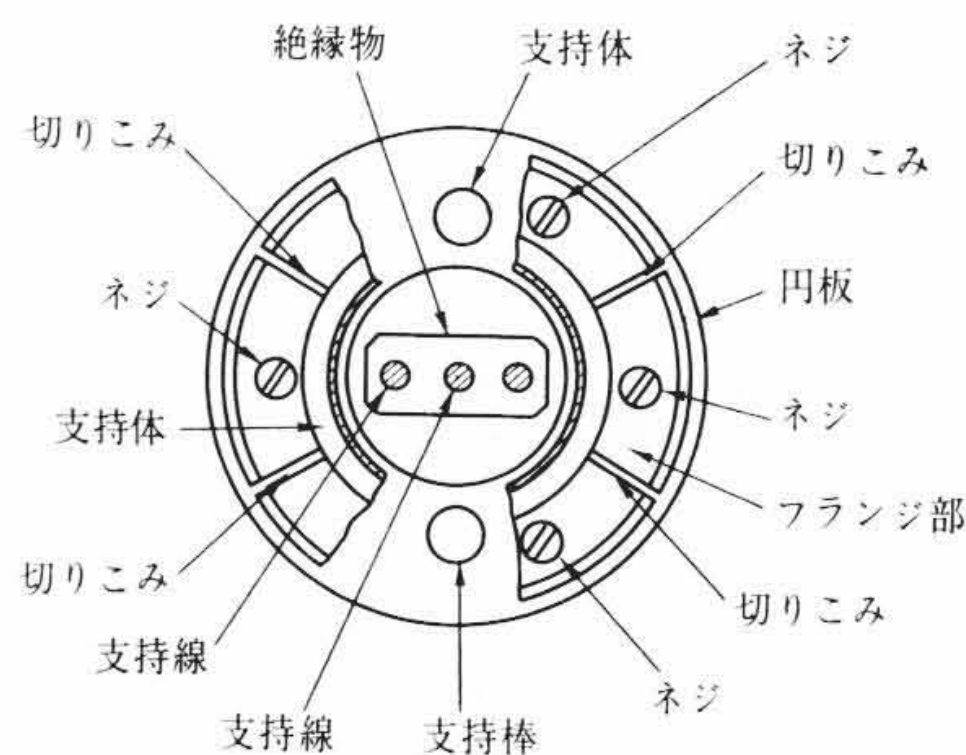


図 2

登録実用新案 第753788号

宇多村幸彦

X線管陽極

従来のX線管陽極の構造は図1に示すように、対陰極板を陽極の先端に接着した構造のため、動作中この対陰極板の焦点部分の表面温度が約2,000~3,000℃の高温になると焦点部分が湾曲して陽極との接着にハク離を生じ、ついには焦点部分の熔融、き裂などの事故を起こすという欠点があった。

この考案は上述のような欠点を取り除くために、図2に示すように陽極本体部分とフード部分とを一体に鋳造し、対陰極板はその裏面を本体に接着すると同時に、その周縁部の全部または一部を表面および裏面とも陽極本体およびフード部分に一体に埋めこんだものである。

この考案によれば焦点部分が局部的に加熱されても対陰極板が湾曲することはない、したがってX線管の寿命を長くすることができる。

(福田)

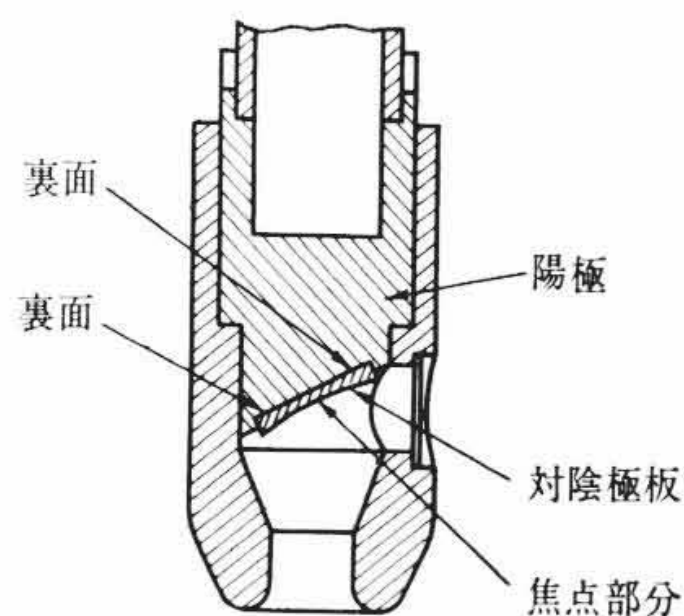


図 1

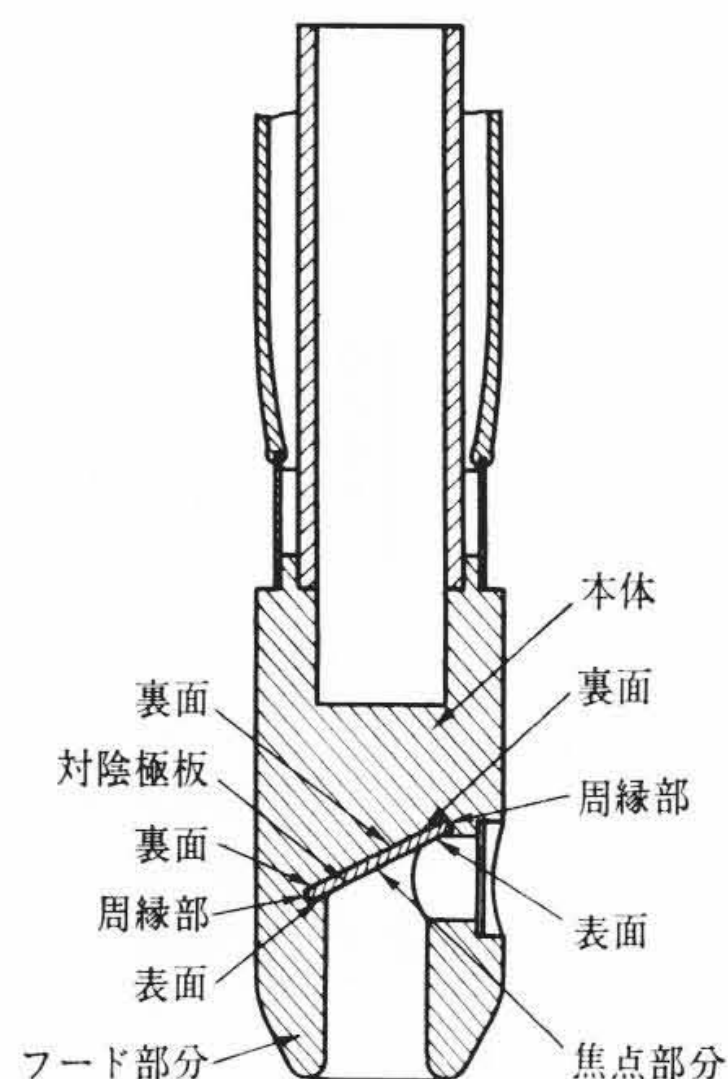


図 2