

リードスイッチの特性とそのマグネット駆動

Characteristics of Reed Switch Application with Permanent Magnet

山 田 宏*
Hiroshi Yamada

中 村 浩 章*
Hiroaki Nakamura

安 部 正 道**
Masamichi Abe

要 旨

リードスイッチはコイルと組み合わせてリードリレーとしての用途が圧倒的に多かったが、最近、永久磁石と組み合わせて機械的な動作を電気的な信号に変換する用途が多くなってきた。

そこでリードスイッチの諸特性を永久磁石駆動の観点からとらえ、本使用法における永久磁石の選択法を述べ、リードスイッチ永久磁石駆動セット、たとえばキーボード、電鍵(でんけん)などの設計法の基礎ならびに諸注意事項について述べる。

1. 緒 言

リードスイッチ(図1)は当初クロスバ交換機用として製造され、その高速動作、高感度、高信頼性などの特性を生かして、メモリ素子に多量に用いられている。

また、プリント板取付形、チューブラ形のリレーとして電子回路に、前記の特長を生かして用いられている。

しかし、ここ数年来、電子式卓上計算機のキーボードなどに永久磁石と組み合わせて、機械-電気の変換素子として急に注目され出した。これは

- (1) 比較的小形で小さな磁界で作動する。
- (2) ガラス管に封入されているので、外部ふん囲気の影響を受けない。
- (3) 温度、湿度に影響されない。
- (4) 長寿命である。

などの特長を有するためと思われる。

以下、リードスイッチの特性および、これと永久磁石との組み合わせについて述べる。

2. リードスイッチの概要

リードスイッチは周知のように図2に示す構造をもち、図2の矢印の方向に磁界を加えるとリードは互いに吸引され、吸引力がリードのバネの力を上回れば、接点は閉成し、また磁界が小さくなり、吸引力がバネの力より小さくなれば、接点は開放する。

通常、磁界は永久磁石またはソレノイドコイルで与えられる。リードは52% ニッケル、残り鉄の合金で膨張係数がガラスチューブと良く合致するもので、ほかの電磁リレーのコア、アーマチュア、接点、接点バネ、レスタバネなどを兼ねた単純な片持ばりである。

接点部は金メッキ後、拡散処理されたもの、またはロジウムメッキされたものが一般的である。

ガラスチューブはリードの固定と内部の不活性ガスの気密を保つのに用いられる。

3. リードスイッチの特性

リードスイッチの種類とその代表的な特性は表1に示すとおりである。

3.1 作動アンペアターン特性

ある特定の標準コイルを用いて測定したものをいい、感動アンペアターン(以下、 NI_{op} と記す)とは図3に示すように、コイルの電

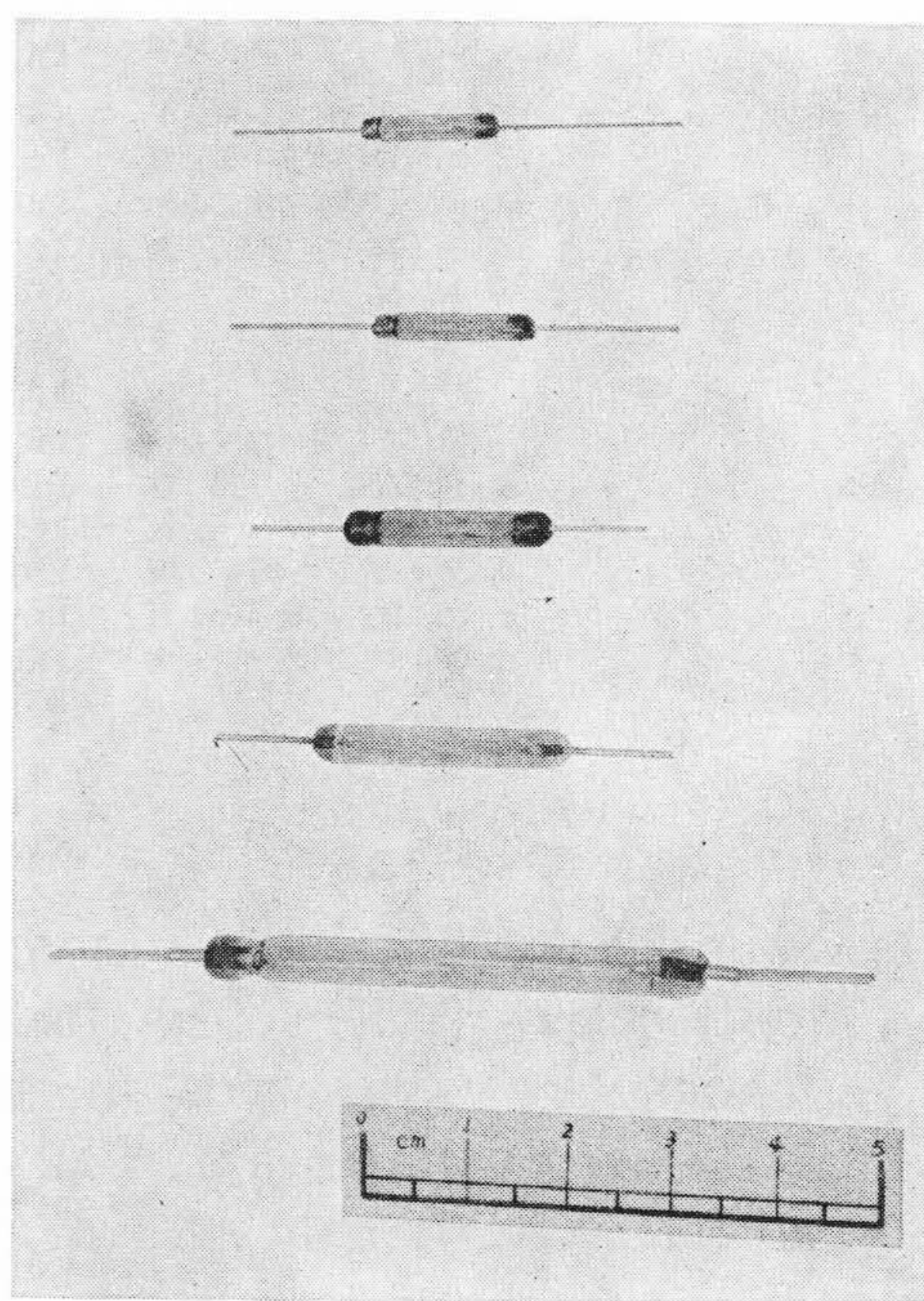


図1 リードスイッチ

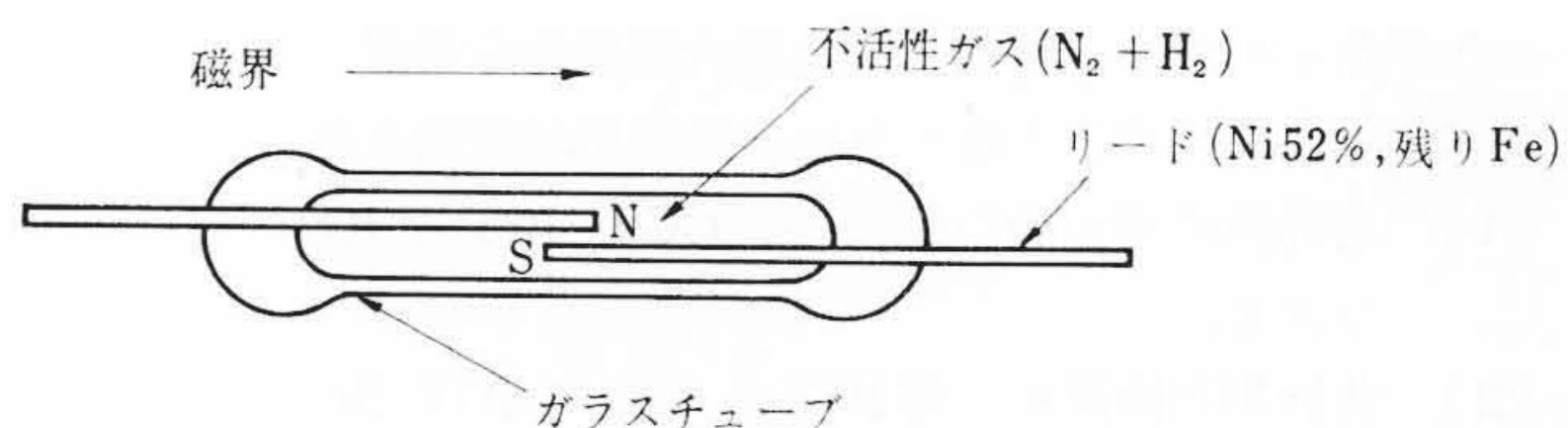


図2 リードスイッチの構造

流を徐々に、増加するとき、ちょうど閉成するときのアンペアターンを、また開放アンペアターン(以下、 NI_{rel} と記す)とは、コイルの電流を徐々に減少するとき、ちょうど開放するときのアンペアターンをいう。 NI_{op} 、 NI_{rel} は、リードの磁気特性、リードの空隙(げき)および重なりの影響を受けるが特に図4に示すようにリードの空隙による影響が大きい。参考までに、リードの重なりによる影響を示すと図5のようになる。

NI_{op} は表1に示すように、HR-10 リードスイッチの場合、16~40 アンペアターンと約2倍の変動があるが、永久磁石と組み合わせてリードスイッチを用いる場合、あとでこのことはじゅうぶんふれるが、所定のストロークを無調整で得ることがむずかしいので、

* 日立製作所戸塚工場

** 日立金属株式会社熊谷工場

表1 リードスイッチの種類と特性

品名	HR-10	HR-11	FR-S1	GR-S1	EG-S1
特 性					
感動アンペアターン (AT) 注1	16~40	20~60	25~65	35~70	60~100
開放アンペアターン (AT) 注1	約 10 以上	約 10 以上	約 12 以上	約 18 以上	約 22 以上
動作時間 (ms) 注1	約 0.15	約 0.15	約 0.3	約 0.4	約 1
復旧時間 (ms) 注1	0.1 以下	0.1 以下	0.1 以下	0.1 以下	0.5 以下
接点容量 (DC)	通電電流 (A)	0.2	0.2	0.5	1
	開 電流 (A)	0.08	0.08	0.12	0.15
	電圧 (V)	50	50	60	80
	閉 電力 (VA)	4	4	6	7.5
初期接触抵抗 (mΩ) 注2	150 以下	150 以下	100 以下	90 以下	70 以下
接点間耐圧 (V)	DC 250 以上	DC 250 以上	DC 300 以上	DC 300 以上	DC 450 以上
寿 命 (回)	約 10^7	約 10^7	約 10^7	約 3×10^7	約 10^8
耐 振 性 (G)	15	15	15	20	20
耐 衝 撃 性 (G)	20	20	20	30	30
接点形式	センタギャップ	オフセットギャップ	センタギャップ	センタギャップ	センタギャップ
大きさ a×b×c (mm)	max 17.5×2.9	max 14.5×2.7	max 21.5×3.8	max 27×4.2	max 52×5.8
	max 30.5	max 44.2	max 39.4	max 45	max 81

注：1. 標準コイルにて測定した値である。
2. 導体抵抗を含む。

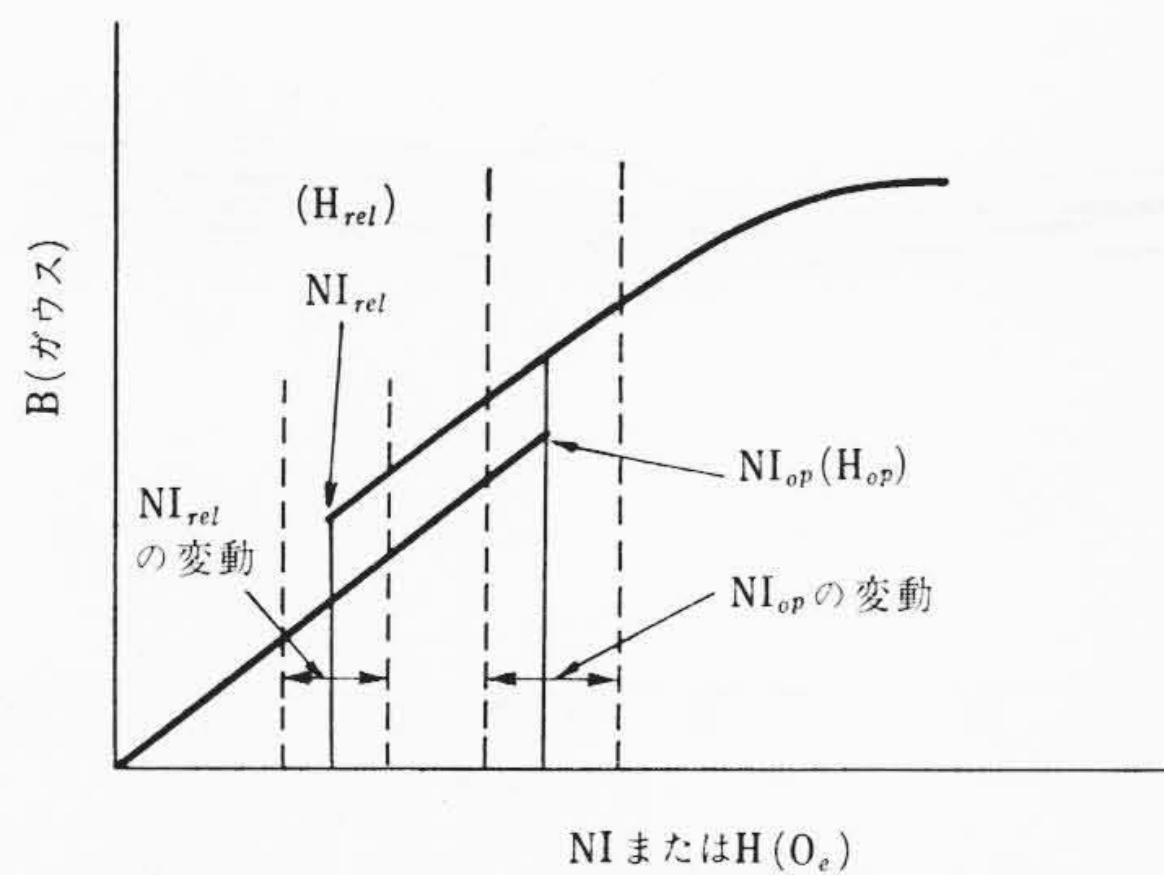
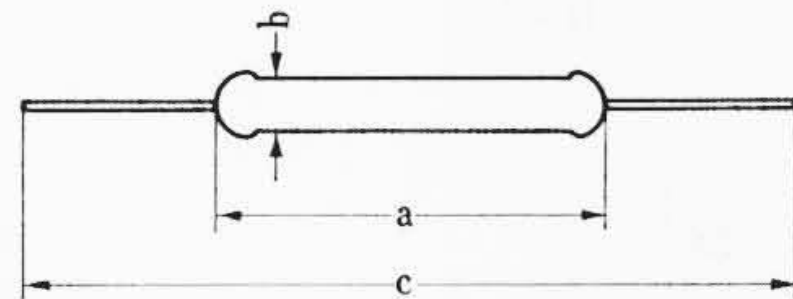
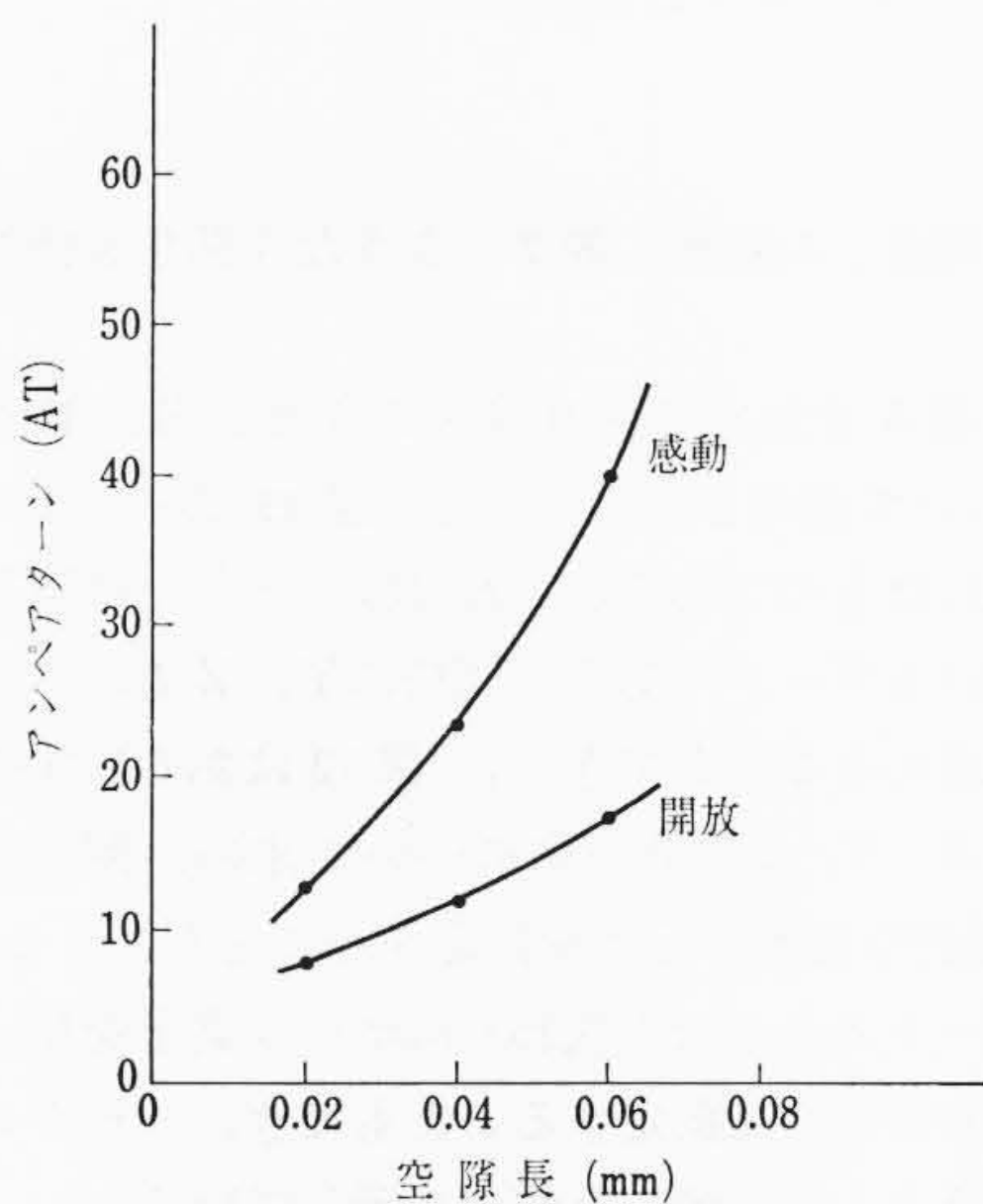
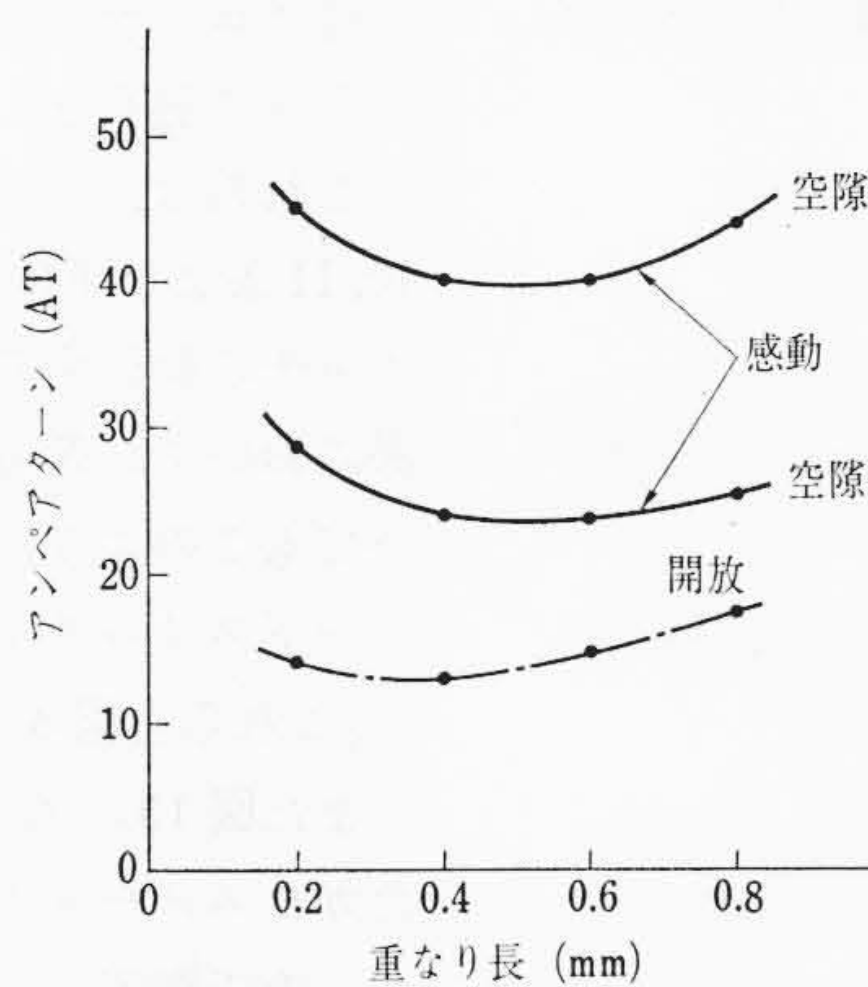


図3 リードスイッチの磁気特性



リードスイッチ HR-10
標準コイル 巻数 5,000 長さ 9mm

図4 リードスイッチの作動アンペアターンと空隙長の関係の一例



リードスイッチ HR-10
標準コイル 巻数 5,000 長さ 9mm

図5 リードスイッチの作動アンペアターンと重なり長の関係の一例

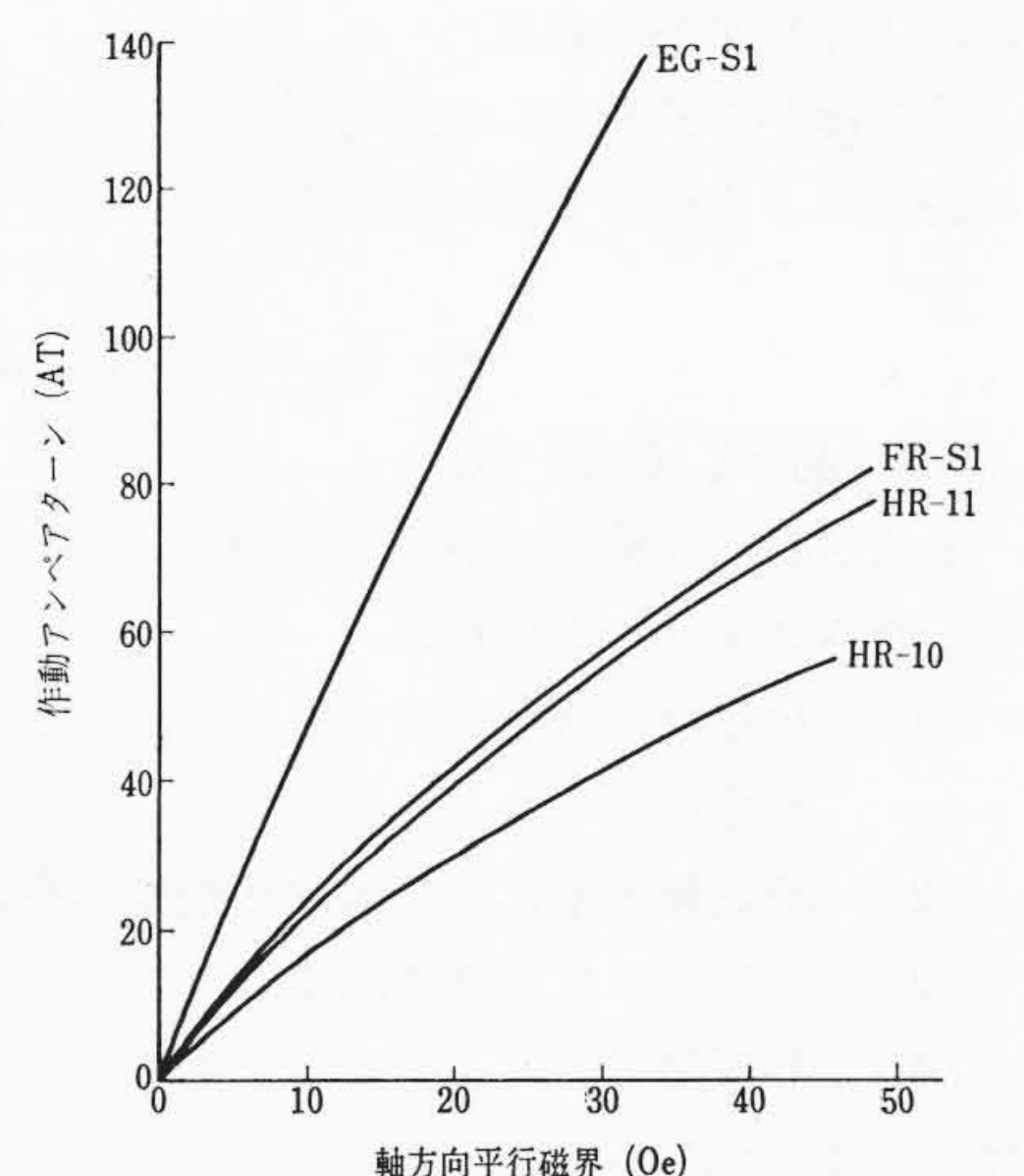


図6 均一磁界中にあるリードスイッチの作動アンペアターンと動作磁界の関係

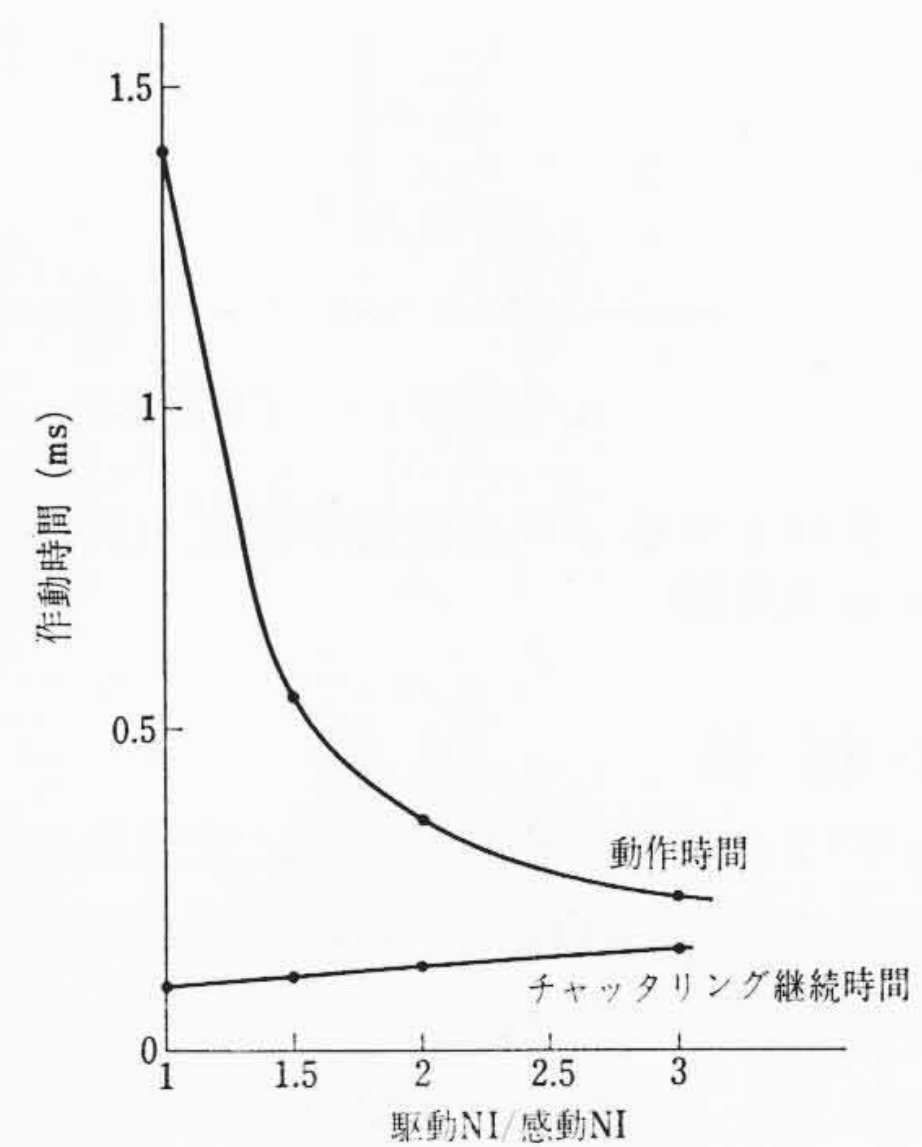
約10アンペアターンごとに層別を行ない、できるだけ使用しやすくしている。動作アンペアターンと動作磁界の関係は図6に示すとおりである。

3.2 作 動 時 間

標準コイルを用いて測定した例は図7に、作動時間の定義は図8に示すとおりである。

チャタリングはリードスイッチの場合、接点閉成時に必ず伴うものでリードスイッチに与えられる磁界の立上り速度が速いものほど大きくなる。

また、キーボードなどではキートップを押すときの衝撃の影響で、チャタリング継続時間が長くなることが知られている。その例を示したのが図9である。



リードスイッチ HR-10
標準コイル 巻数 2,000 長さ 20mm

図7 リードスイッチの作動時間特性

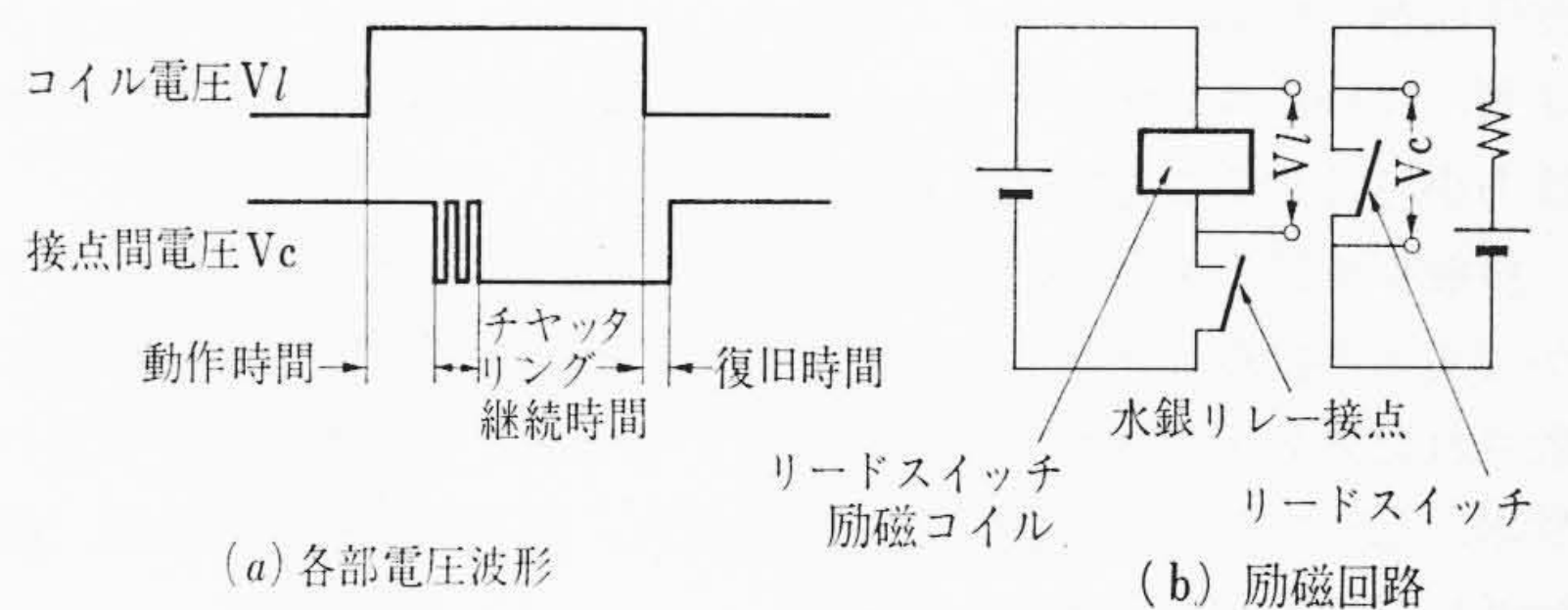


図8 リードスイッチの時間特性

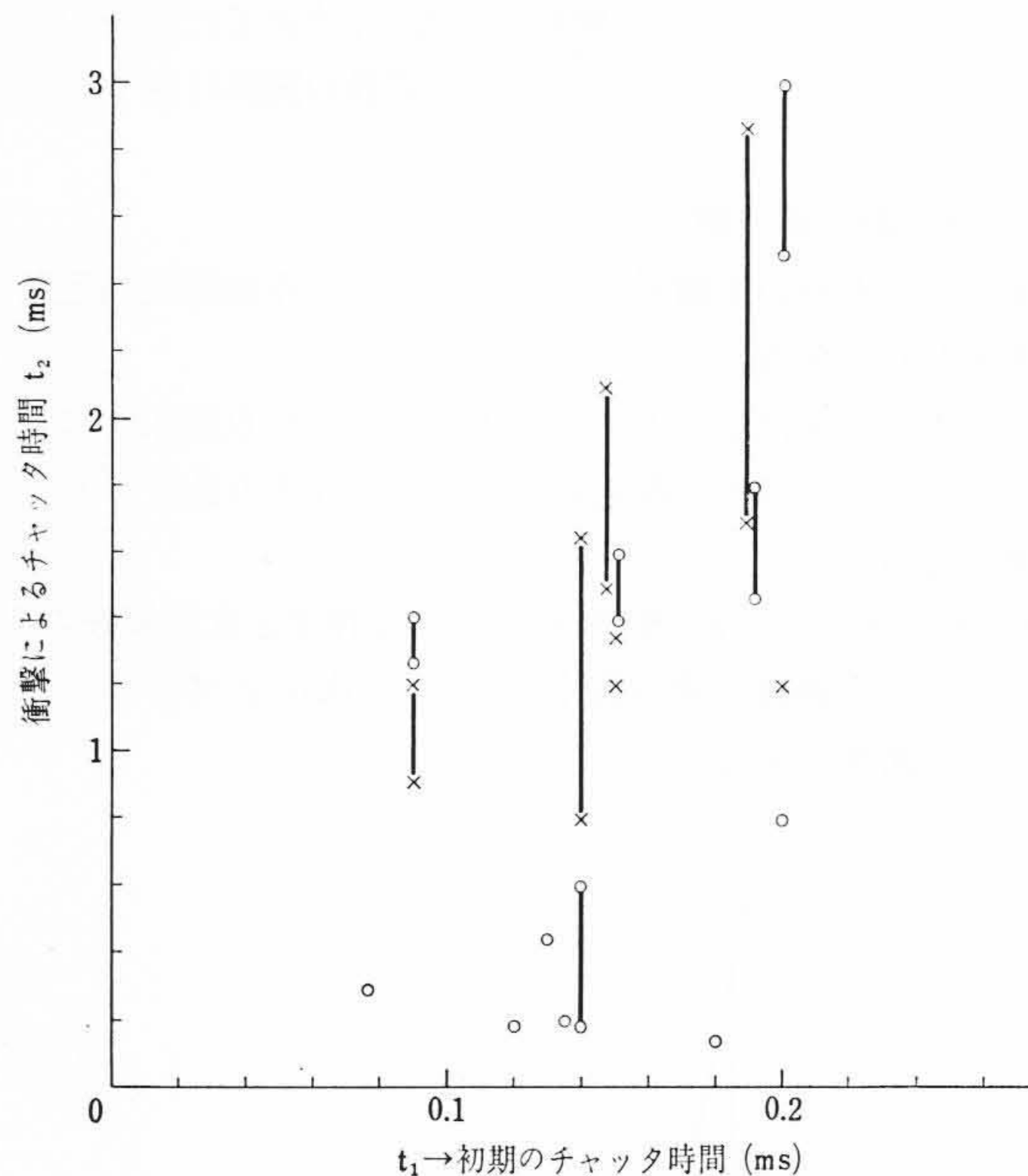


図9 リードスイッチに衝撃が加えられたときのチャッタ時間

3.3 接点特性

リードスイッチは一般に比較的大電圧、大電流の場合に開離不良が、比較的小電流の場合に接触抵抗値の変動が問題になる。

リードスイッチの開離不良は、主として接点閉成時に通電される電流値によって決まる。したがって接点制御電流を決める場合、たとえばランプ負荷で長寿命を要求するには、定常電流で接点制御電流を決めずに、接点閉成時の突流で決定すべきである。定常電流はリードスイッチの規格内にあっても障害となる例(図10に示す)もあるが、直列に突流抑制抵抗を入れることにより開離不能に対する動作回数の増加の様子がよくわかる。したがってリードスイッチと並列にはいるコンデンサは、たとえば布線の長さなどによるものでも極力小さくすることが望ましい。

接触抵抗値の変動は、主として接点が動作するにつれ、ごくわずかなであるが接点が摩耗し、その摩耗粉には拡散処理時に金の中に拡散された鉄分が含まれているので、リードスイッチ中のごく少量の酸素、水蒸気などの影響で鉄が酸化され、接点間に残った結果、接触抵抗が増加すると考えられる。

しかし、6~12V、10mA内外の負荷が現在一般に用いられているようであるが図11に示すように、500万回までの接触抵抗の変動は、ごくわずかなである。

そのほかごくまれには、封入部のリーク封入時の塵埃(じんあい)の混入による接触不良が認められる。

4. 永久磁石

4.1 材質の選択

永久磁石には鋳造、焼結およびバリウムフェライト磁石があるが、バリウムフェライト磁石は、

- (1) 複雑な形状を作ることができるので取付穴などが容易に作れる。
- (2) 焼成後研磨なしでも寸法精度が良い。
- (3) したがって安価である。
- (4) 外部磁界に対して安定である。

などの特長があるので、使用しやすく、使用実績も圧倒的に多い。しかし用途によっては鋳造、焼結などの磁石が用いられることもある。

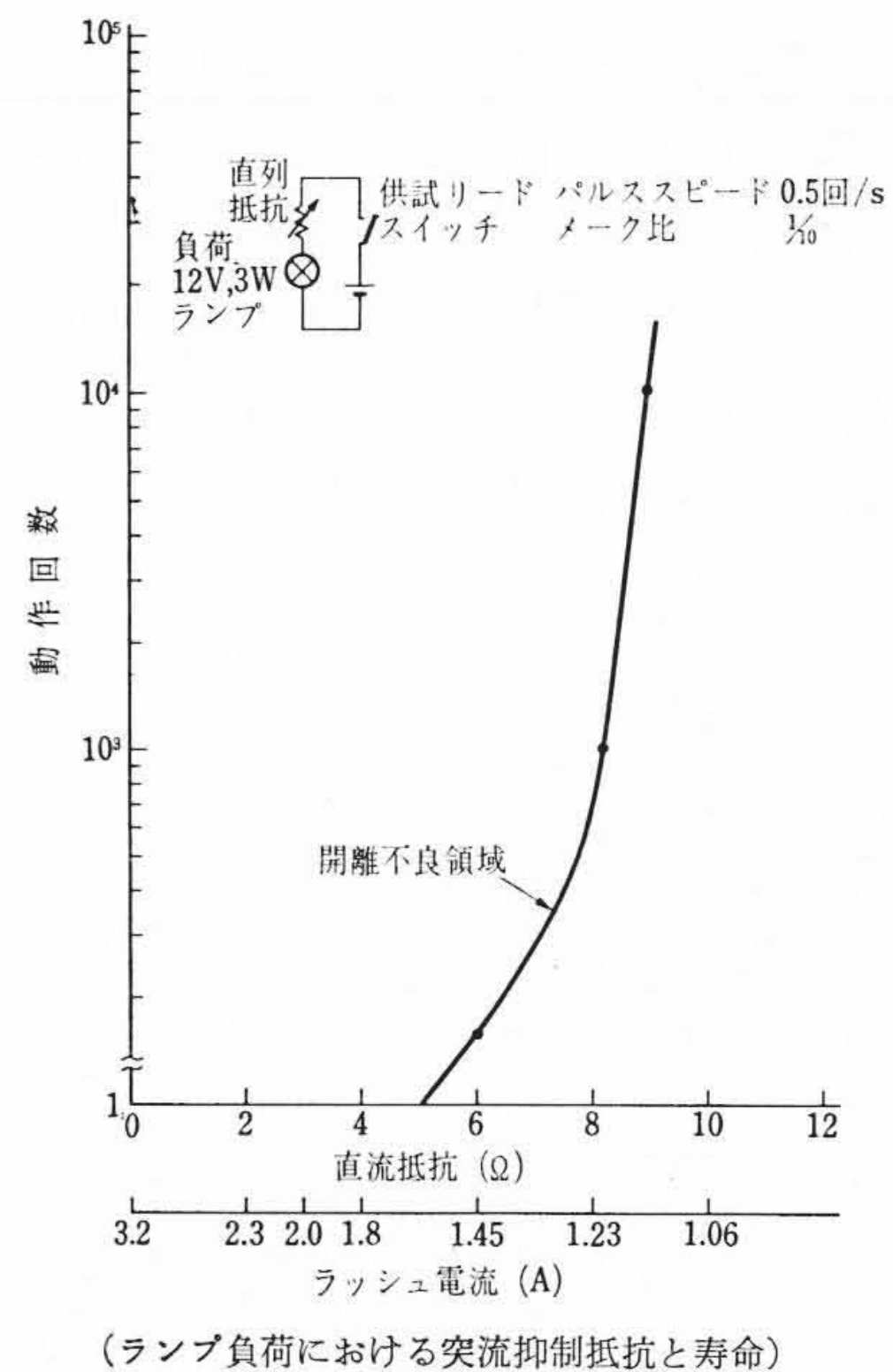


図10 リードスイッチの接点特性(1)

HR-10

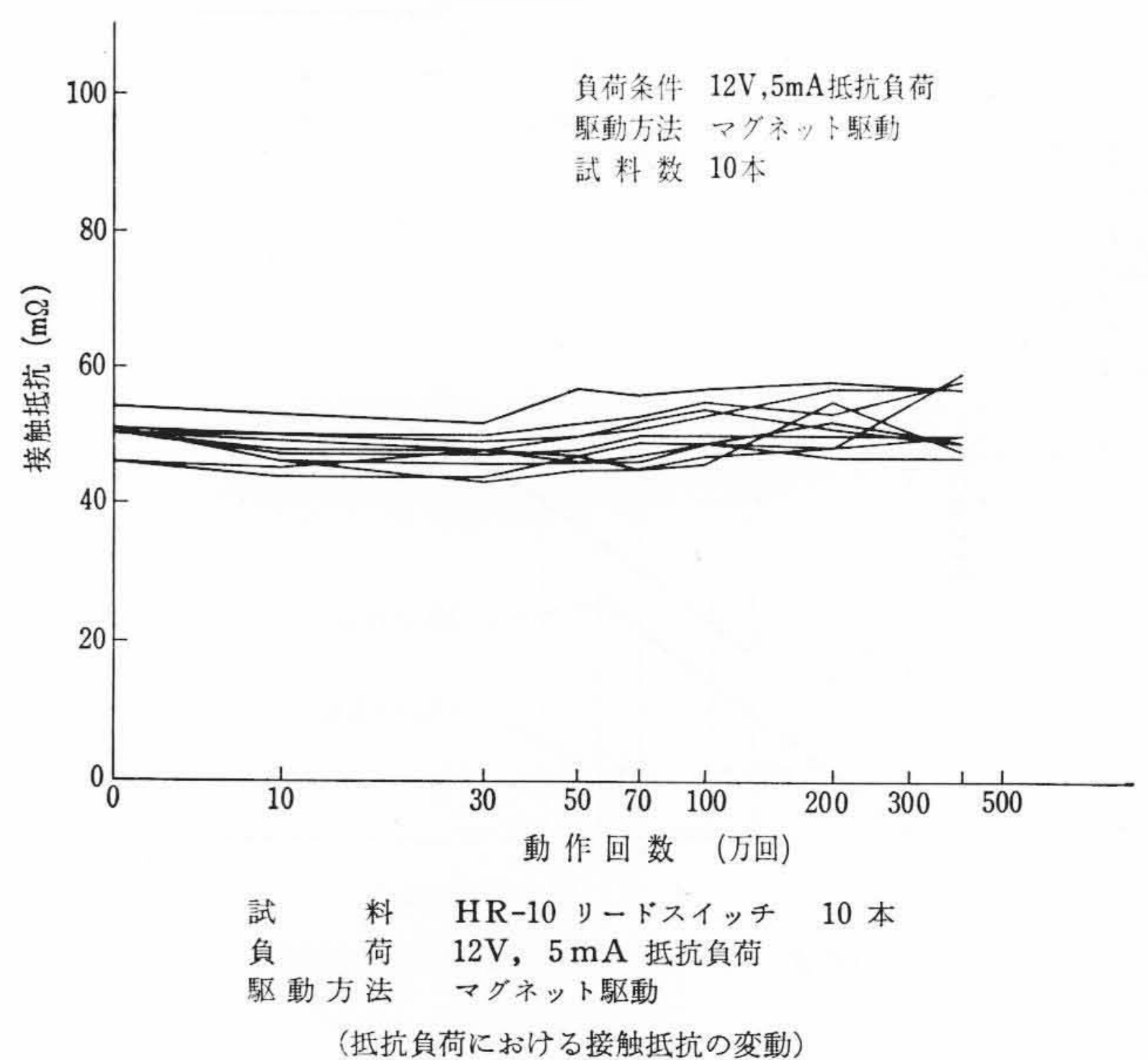


図11 リードスイッチの接点特性(2)

4.2 磁石の形状

種々ユーザーの動向を調査した結果、表2のような4種類を標準的な永久磁石とした。

これらは、永久磁石と組み合わせて使用するひん度の多いHR-10, 11およびFR-S1について適用されるもので、図12はリードスイッチの動作する点を示したものである。これは図に示した位置関係において、X方向におけるデータであるが同様にY、Z方向についてもこのような特性を求めることができる。図13はある特定のリードスイッチを用いてX、Y、Zの3方向について求めた例である。これらと図6から実効的な磁界の分布を推定することができる。

また図13において、リードスイッチの代わりにホール素子を用いたガウスメータで、磁界分布を直接測定することもでき、リードスイッチで測定した場合とほとんど一致した傾向を示している。

4.3 着磁

リードスイッチ用磁石の着磁は、使用方法に合わせていかなる着磁も可能である。その代表例を示したのが図14である。

表2 リードスイッチ用標準磁石

	寸法 (公差) (mm)	材質	適用リードスイッチ	備考
1	8×4×4 (±0.15)	YBM-3	HR-10, HR-11	取付穴その他は下図による
2	8×8×4 (±0.15)	YBM-3	HR-10, HR-11, FR-S1	取付穴その他は下図による
3	10×6×4 (±0.15)	YBM-3	HR-10, HR-11, FR-S1	取付穴その他は下図による
4	10×8×4 (±0.15)	YBM-3	HR-10, HR-11, FR-S1	取付穴その他は下図による

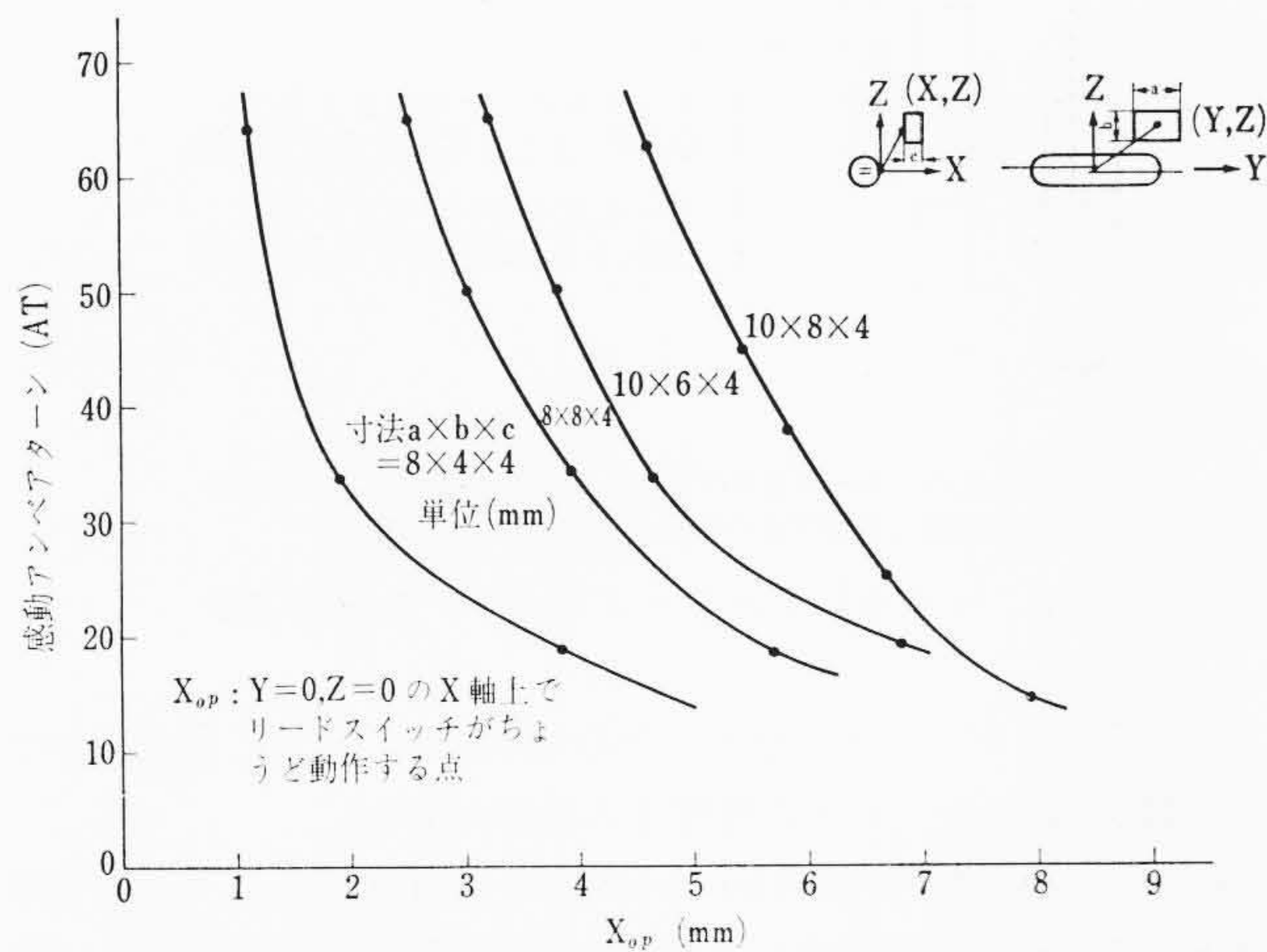
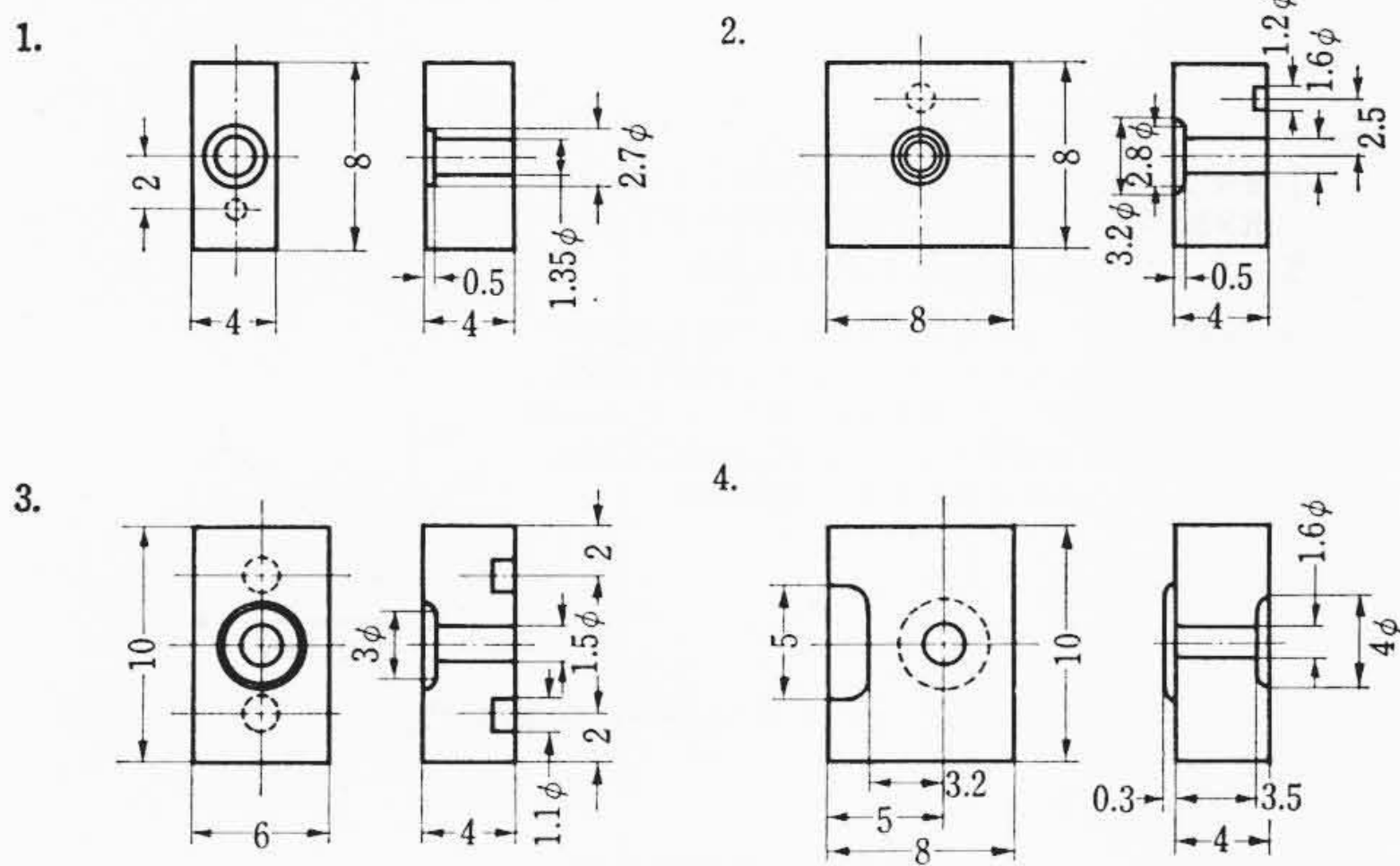


図12 磁石の形状効果によるリードスイッチの動作位置

同一磁石について着磁方法を変えた例は図14に、また同一磁石について磁極間距離を変えた例は図15に示すとおりである。

4.4 温度特性

バリウムフェライト磁石の可逆温度係数は約 $-20^{\circ}\text{C}\sim+200^{\circ}\text{C}$ の間で約 $-0.18\%/^{\circ}\text{C}$ である。よって 40°C 温度変化すると約7%磁界の強さが変化するので、最低、最高温度の温度変化に対してもじゅうぶん仕様を満足するように磁気回路を構成する必要がある。

4.5 磁気安定性

バリウムフェライト磁石は鋳造、焼結磁石に比較し、保持力、 H_c が大きいので減磁しにくく安定である。

また、 200°C 以下の熱や衝撃による減磁も無視でき、さらに減磁による安定化処理も不要なので着磁したまま使用できる。

4.6 磁力調整

リードスイッチ用磁石は一般にON-OFFのストローク仕様が非常に小さいので、磁力のばらつきを非常に小さく押さえることが必要になってくるが、これは着磁電圧を調整することにより、自由に磁力調整を行なうことができる。

4.7 磁力のチェックポイント

リードスイッチ用永久磁石は従来の永久磁石のように磁力の強さ

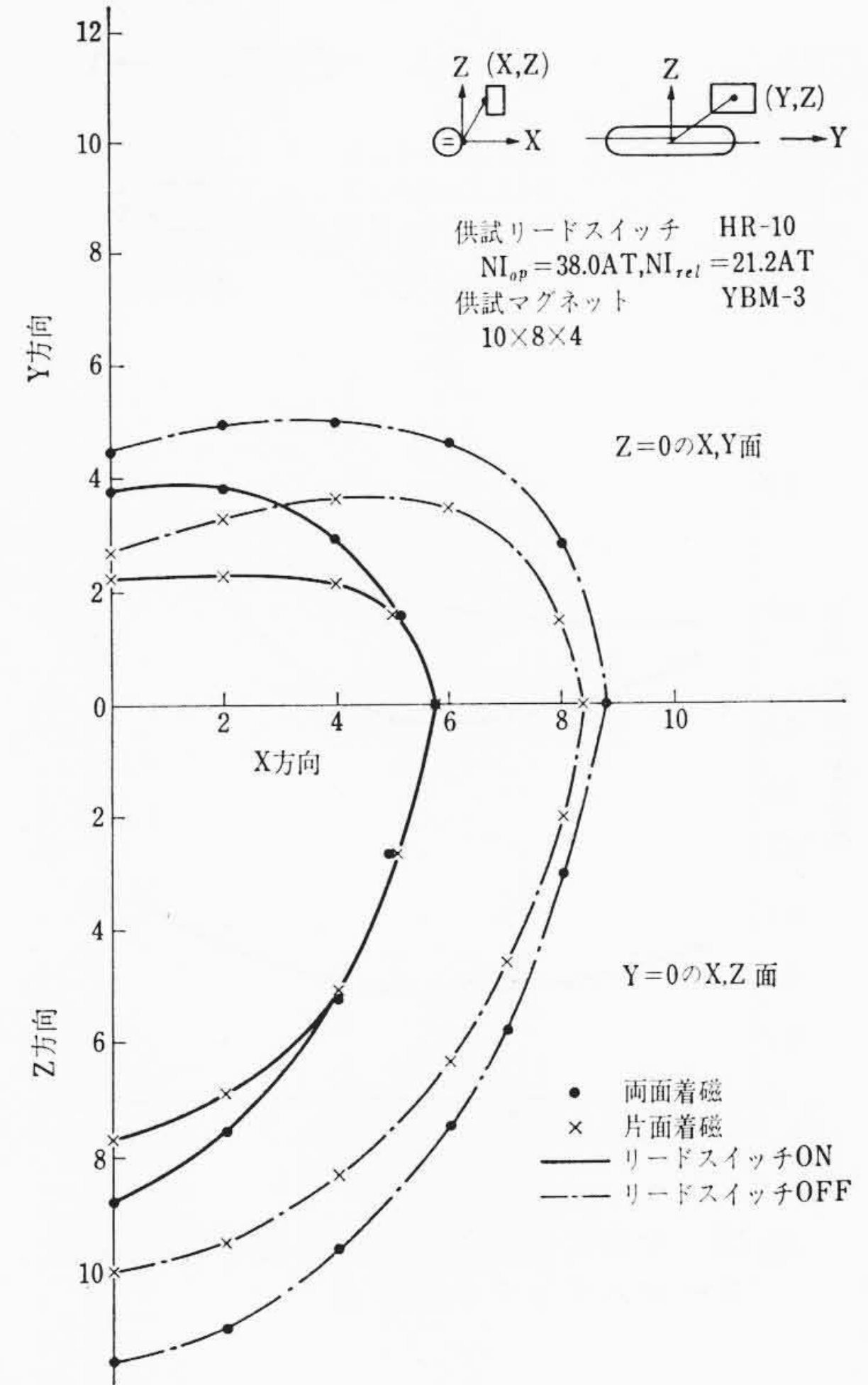


図13 リードスイッチの動作点分布

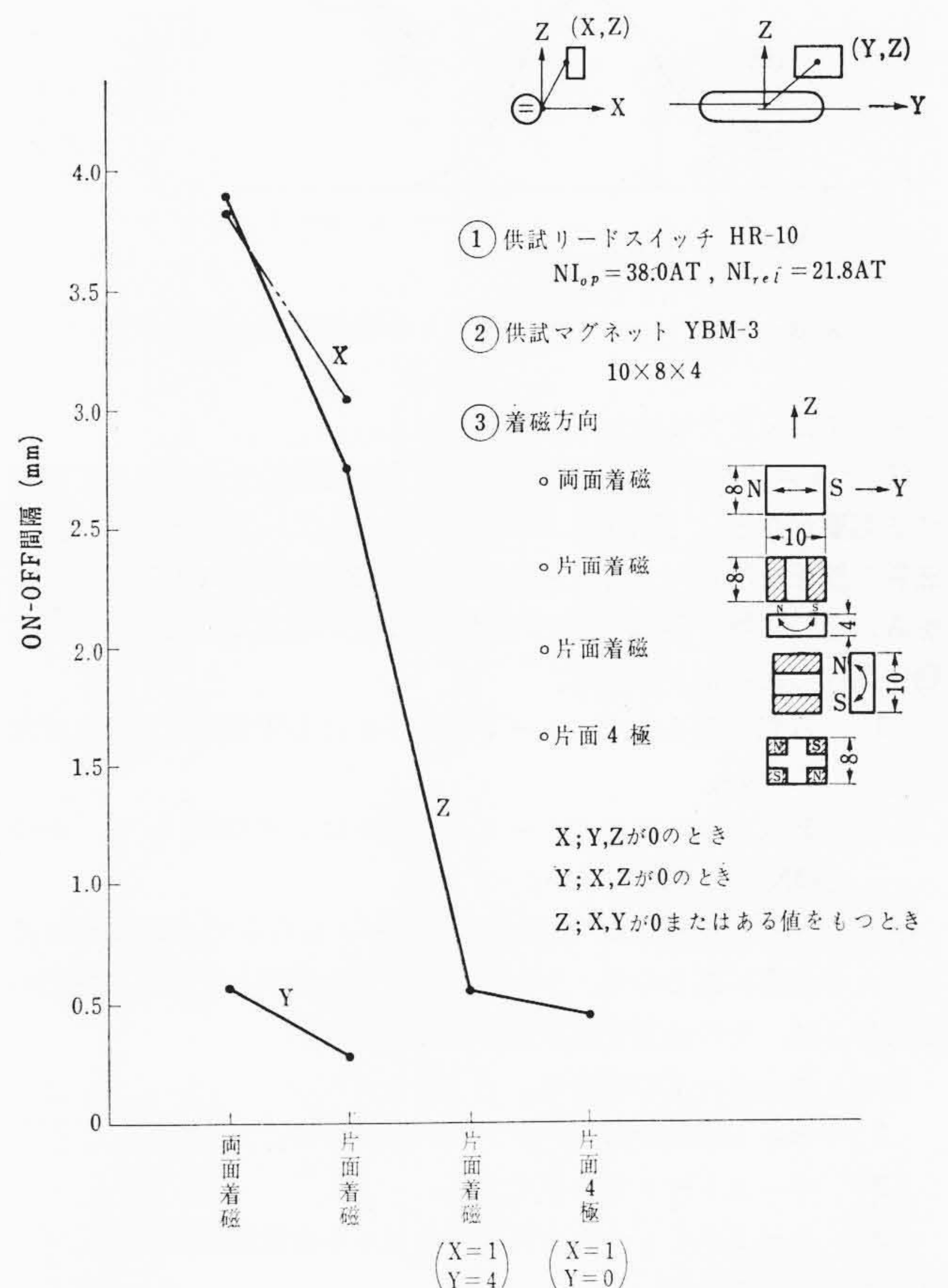


図14 各種着磁方法とリードスイッチの動作点

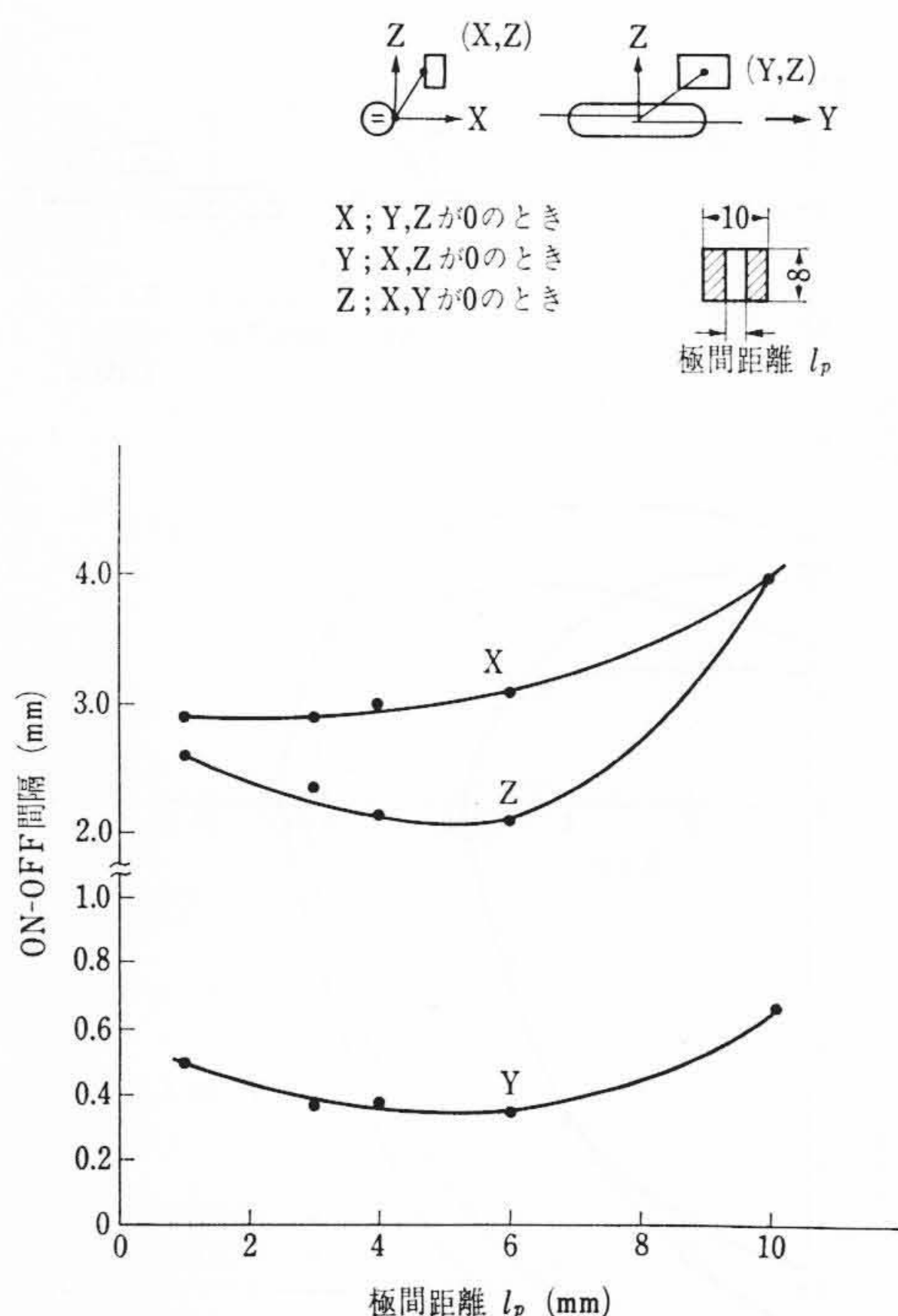


図 15 片面 2 極着磁における磁極間距離とリードスイッチの動作点

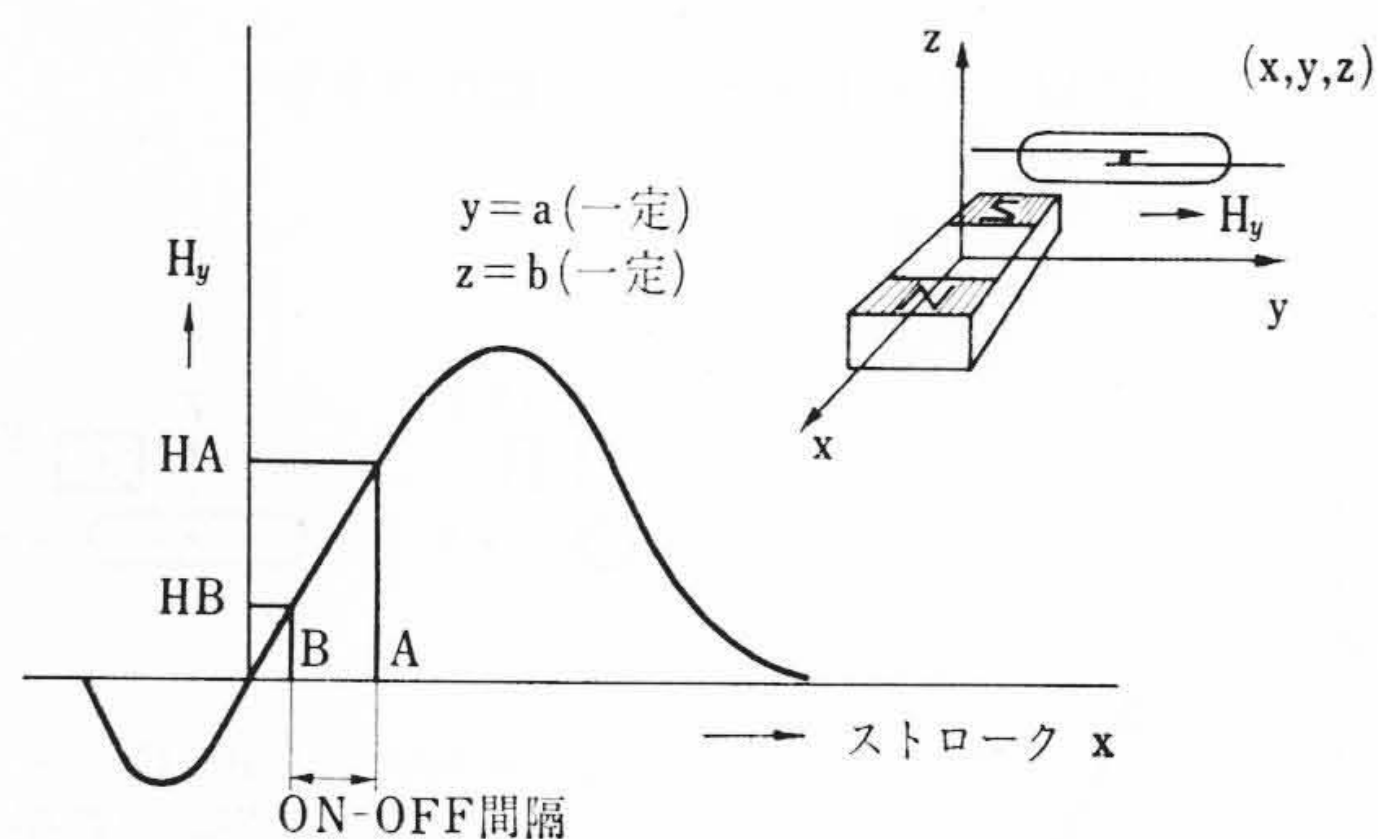


図 16 ストローク (マグネットの移動量) と磁界分布

のみのチェックではほとんど意味がなく、

① ストローク位置、② 磁界、の両方を同時にチェックして管理する必要がある。図 16 はストローク方向とリードスイッチの動作磁界の関係を示したものである。ON-OFF 距離を AB、動作する点を A、その磁界を H_{op} 、開放する点を B、その磁界を H_{rel} とすると、動作条件は次のようになる。

- (1) A 点に至るまでにリードスイッチは必ず ON しなければならない。
- (2) B 点に至るまでにリードスイッチは必ず OFF して、かつ ON してはならない。

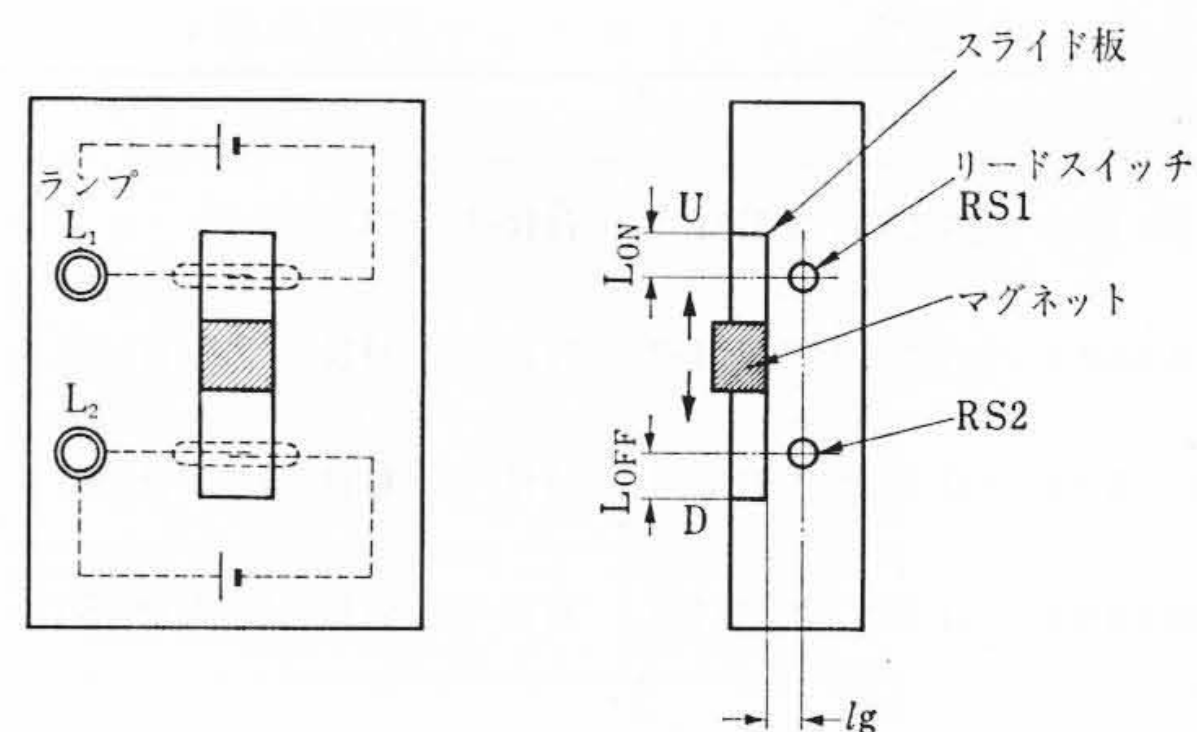
普通 ON-OFF 距離は、全体のストロークからみて、1~2 mm に押さえる必要があるので、リードスイッチの層別とともに、磁石の着磁および、その品質管理技術が要求される。

現在、キーボードの傾向は、

- (1) セット本体を薄形、コンパクトにする。
- (2) キーストロークを小さくする。
- (3) リードスイッチと永久磁石のセットを無調整化する。

という方向に進んでいる。

特に(3)については、従来はリードスイッチと磁石をセットにした後、それぞれ、仕様に合うように調整していたが、大量生産になると、調整工数がたいへんなものになるので、この無調整化という



(注)

- ① RS1は感動アンペアターンが最大のリードスイッチ
RS2は開放アンペアターンが最大のリードスイッチ
- ② l_g, L_{ON}, L_{OFF} は、仕様により決定される値
- ③ 合格条件 マグネットをスライド板上に載せて、Uラインに押しつけて、リードスイッチRS1がONし、ランプL₁が点灯し次にDラインに押しつけて、リードスイッチRS2がOFFして、ランプL₂が点灯すれば、そのマグネットは合格となる。(右図参照)

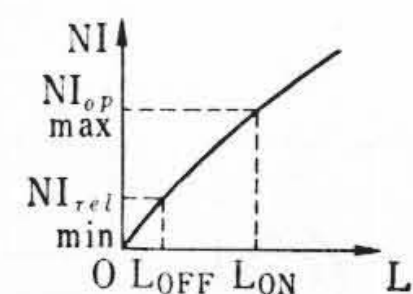


図 17 マグネット検査器の例

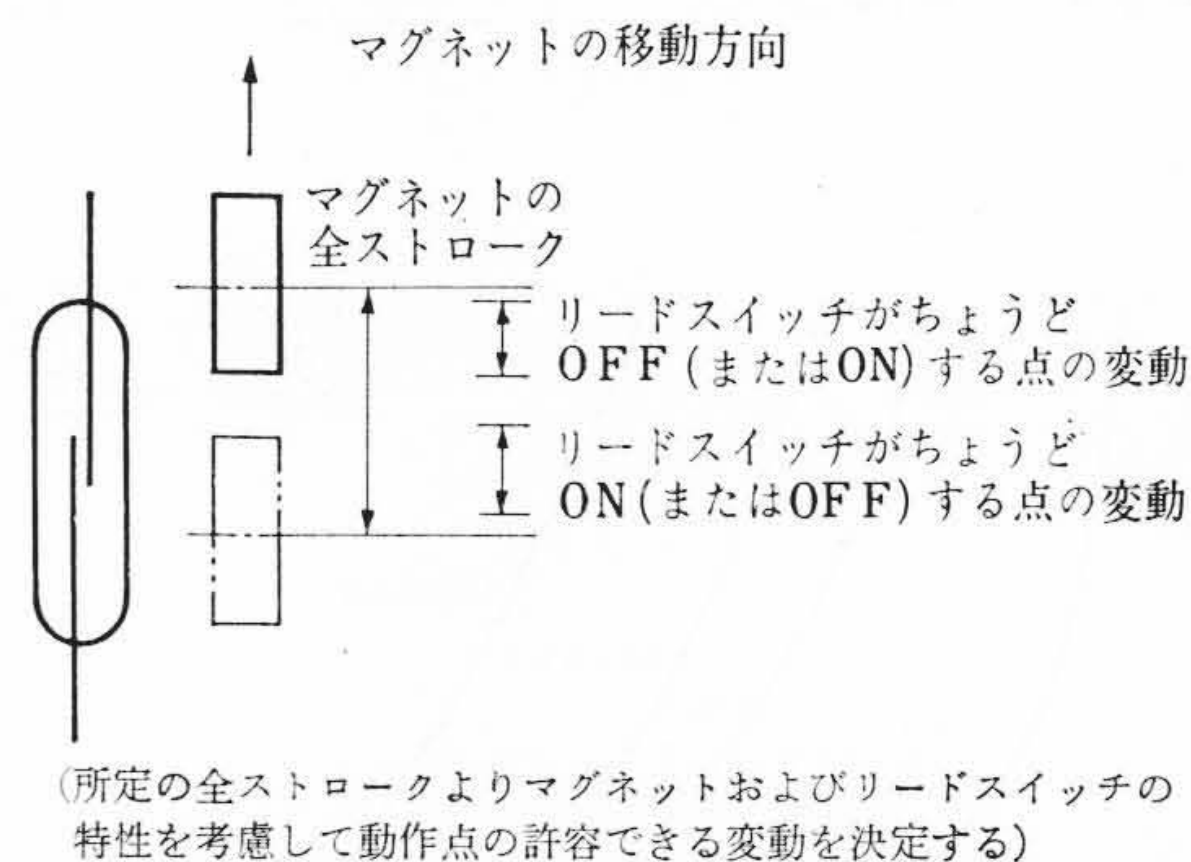


図 18 マグネットとリードスイッチの選定方法

ことが、重要なポイントとなる。そのためには、A点、B点における磁界 H_{op} 、 H_{rel} をシビアに管理する必要がある。

当社では、ON-OFF 間隔を、1~2 mm 以内に押え、セットを無調整化するための着磁方法および、性能検査器の開発に成功し、全数保障の量産体制を確立している。

4.8 性能検査器例

リードスイッチ用磁石の品質管理において、着磁面の表面磁束密度だけでは、着磁ずれなどが検出できず、必ず問題が生ずる。よって、検査器としてはストローク位置および、その点の磁界の2点を同時に測定チェックする必要がある。これは、ホール素子を用いて測定することも可能であるが、図 17 に示すように、実装条件を再現した検査器を製作し、永久磁石をスライド板上を上下させることにより、リードスイッチの ON-OFF をランプにより検出する方法が便利である。

5. リードスイッチと永久磁石の選定

5.1 選定方法の概念

リードスイッチを永久磁石で駆動する場合次のような項目を検討すれば、ほぼ完全に使用する永久磁石とリードスイッチの組み合わせによる動作の概念と設計の指針が与えられると思われる。

すなわち、

- (1) 3次元にわたりその動作領域図を描き、空間的な把握（はあく）を行なう。
- (2) 図 18 に示す所定の目的にかなった ON-OFF 間隔を検討する。

- (3) 誤動作領域に対する安定度の検討。
- (4) 使用する永久磁石の材質、形状および着磁方法。
- (5) リードスイッチの種類と NI_{op} , NI_{rel} の決定。
- (6) リードスイッチと永久磁石の相対寸法の変動と ON-OFF 間隔の変動。

などの検討を行なうことにより、使用する永久磁石とリードスイッチはほぼ決定できると思われる。しかし、あとで説明するが表 3 から所期の目的にかなうと思われる二、三の組合せを見だし、それらについて詳細に検討する方法もある。

5.2 具体的な設定方法

次にさらに、詳細に設計するためには、さきに決めたリードスイッチと永久磁石について、永久磁石の外部磁界とリードスイッチの動作点とを対応させて、議論を進めるのが最も有効かつ、確実な方法である。

この段階では誤動作その他の検討は、すでに終わっているもので、全空間にわたって磁界分布をとる必要もなく、実際使用する範囲内で行なってもよい。ただし、後述するように永久磁石による磁界分布は不均一であるため図 6 に示した値とは必ずしも一致しない。

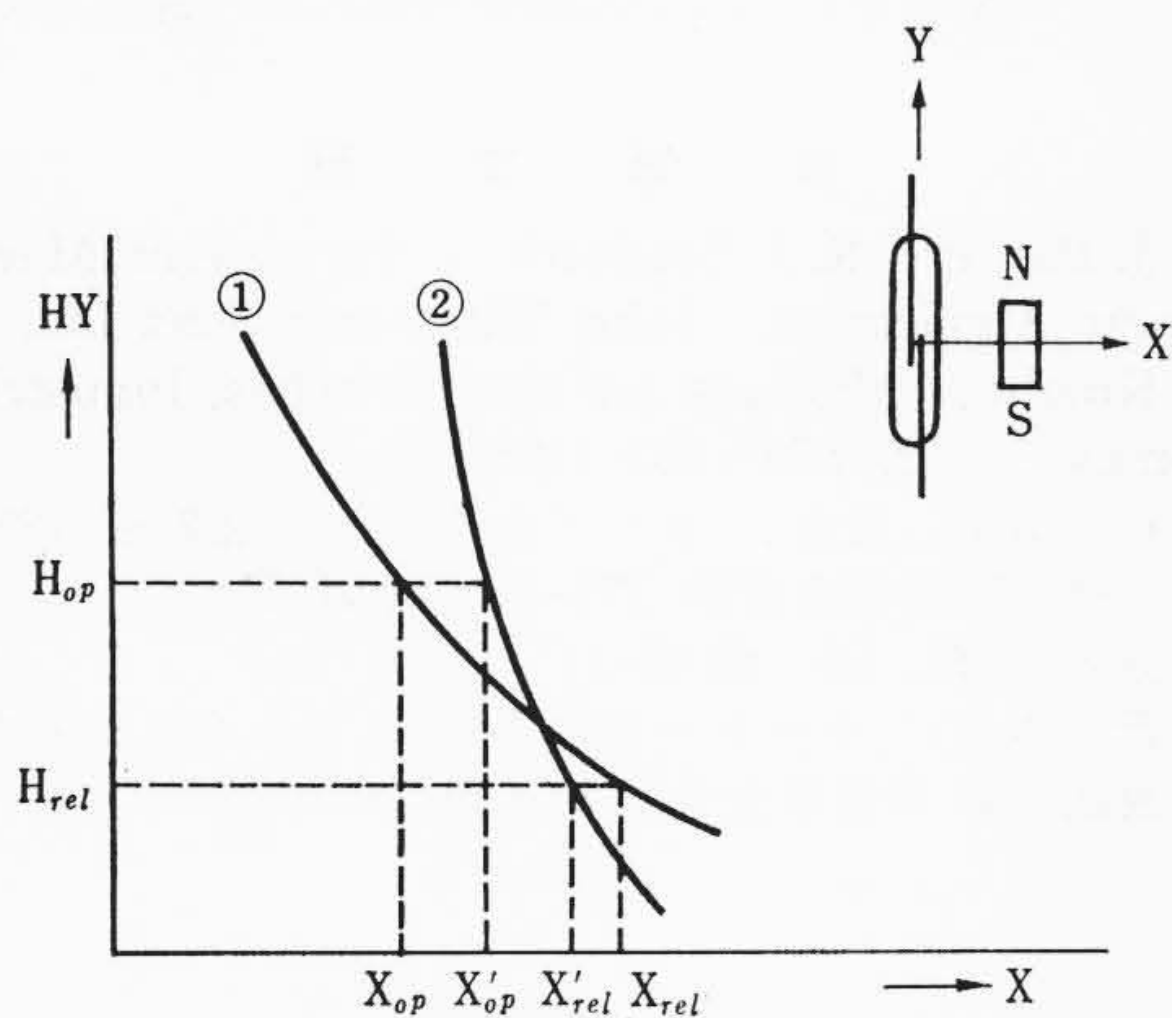


図 19 マグネットの磁界分布とリードスイッチの動作点の関係

外部磁界分布と対応させるのは次の理由による。

- (1) リードスイッチは繰り返し実験する場合、寸法的に不安定の要素が多い。
- (2) リードスイッチで空間における動作点を求めるのはホール素子を使用したガウスメータなどによる場合に比べ連続的なデータを必要とする場合実験が非常に煩雑になる。
- (3) 実験に必要な各要因の効果はリードスイッチで行なうと直接判断できないので磁界の測定を必要とする。

などによる。

例をあげて説明すると、図 19 は永久磁石の外部磁界分布のうち、磁石の中性断面上の磁界分布を示したものであるが、いま、リードスイッチが感動する磁界を H_{op} 、開放する磁界を H_{rel} とすると、曲線 ① について、これらの H_{op} および H_{rel} に対応する距離は、それぞれ X_{op} および X_{rel} となる。開閉間隔 $X_{op}-X_{rel}$ を小さくしたいとき、曲線 ① を ② のように変化させれば ② の曲線について H_{op} , H_{rel} に対応する距離は X_{op}' , X_{rel}' となり、開閉間隔 $X_{op}'-X_{rel}'$ は図から明らかに縮小することができる。すなわち、曲線 ① および ② を求めておけば、リードスイッチの開閉に与える影響がほとんど推察することができる。

また、リードスイッチを層別して使用した場合図 20 のように、Y 方向の設定点を層別ごとに変えれば動作点の変動が小さくなり、結局、曲線 ② にしたと同様な効果が得られ、両者を組み合わせれば、その効果のほどは明白である。

その他、永久磁石に補助磁気回路を加えた場合の効果の検討には外部磁界との対応で考えると便利でかつ、判断を誤まることのない。ただし、磁界分布、特にその磁界の強さと傾きが、リードスイッチを動作させるための大きな要因であり、一般に磁界が急激に変化するところに設置されたリードスイッチは、図 21 に示すように動作するのに均一な磁界分布中に設置されたときより、強い磁界を必要とする。

5.3 実用的な対向方法

リードスイッチを永久磁石で動作させるとき、磁石とリードスイッチの対向方向から分けて、表 3 に示す平行形、垂直形および、回

表 3 リードスイッチの駆動方法

	座 標	動作領域図	磁界分布との対応	
			A	B
平行形				
垂直形				
回転形				

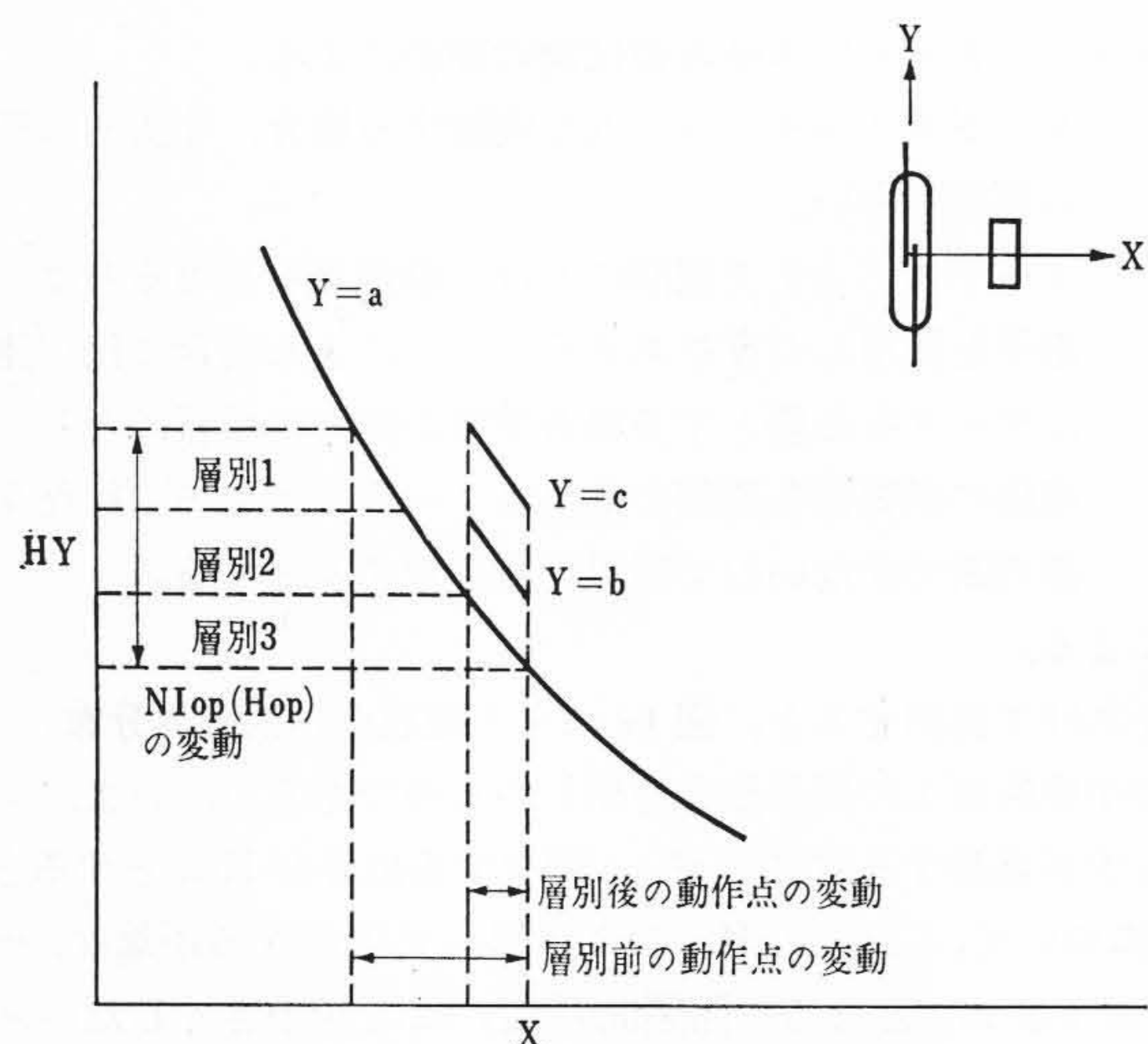


図20 リードスイッチの動作アンペアターン層別と動作点の変動

転形の三つに大別される。

平行形は、磁石の磁化方向がリードスイッチのリードの軸方向と平行に並置された状態で磁石を移動させ、リードスイッチを開閉するものであり、垂直形は磁極と垂直にリードスイッチを配置するとき、または回転形は磁極を回転させ、リードスイッチを開閉するものである。これらの構成を基本にして組み合わせたり、また、さらにヨークやシールドなどの補助磁気回路をつけ加えれば、各種各様の方法を構成することができるが、いずれにしてもリードの軸方向の磁界分布と関係づけることにより、その動作を把握することができる。

6. 結 言

以上、リードスイッチ、永久磁石およびそれらの組合せについて

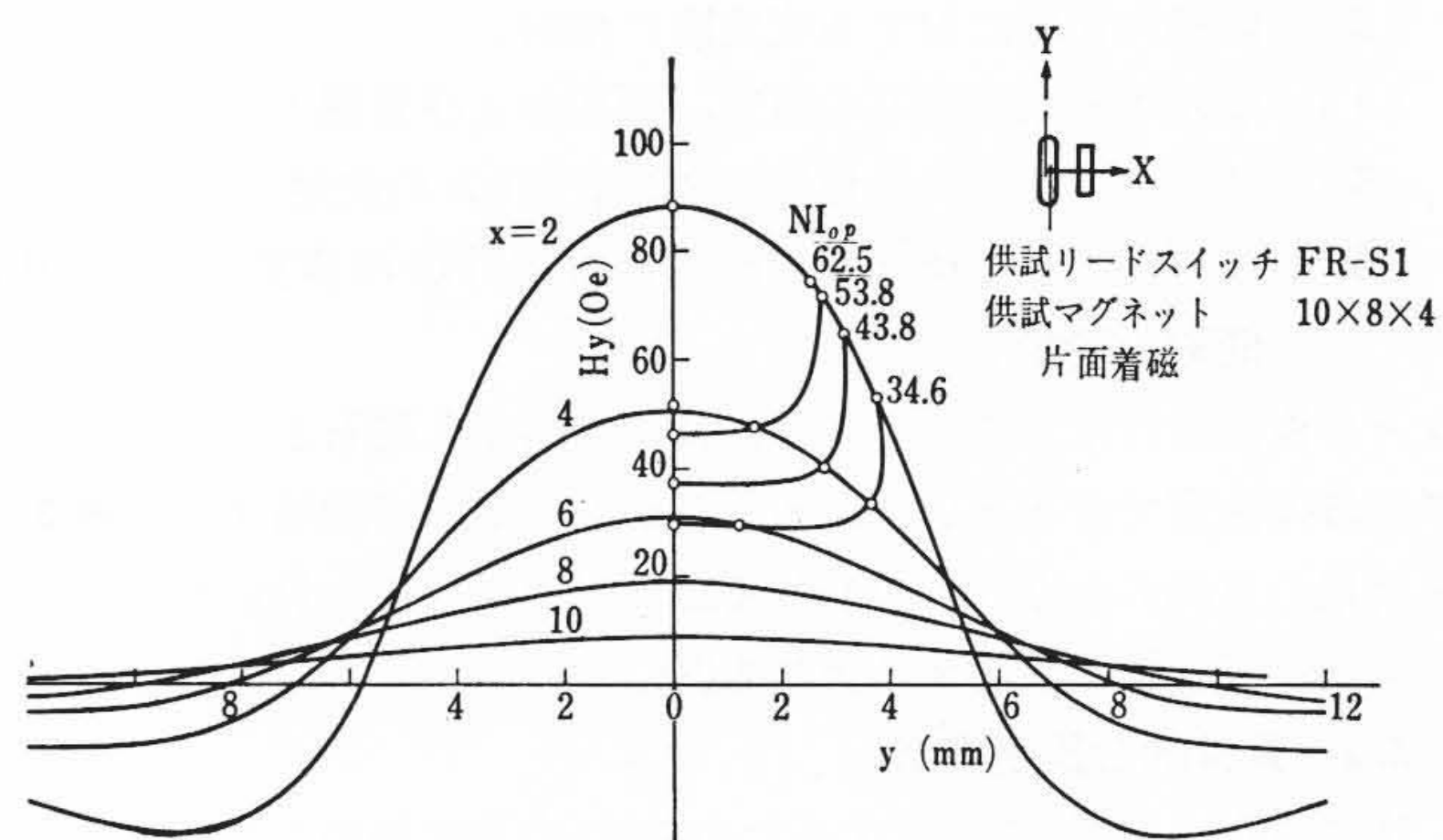


図21 リードスイッチの動作点とその磁界分布

述べたが、電子式卓上計算機のキーボードを初め、動くものの位置検出、計器その他の機械的動作を検出し、電気信号に変える用途に使用される。また本来感磁素子であるところから磁界変化の検出にも使用され、今後ますます用途は広がるものと思われる。本文がこれからリードスイッチの永久磁石駆動を手がけられる人達の一助になれば幸いである。

最後に種々ご指導をいただいた関係各位に深く謝意を表する。

参 考 文 献

- (1) R. J. Parker, R. J. Studders: Permanent Magnets and Their Application. John Wiley and Sons Inc. (1962)
- (2) F. Knight: Magnets for Reedswitches, Industrial Electronics, 2, 12, 558~563 (1964)
- (3) 中村, 山田, 荒木: リードスイッチの永久磁石駆動について, 継電器研究会資料 173-1 (昭44-11)
- (4) 日立評論 52, 96 (昭45-1)
- (5) 高野, 池上: キーボードにおけるリードスイッチのチャッタ観測, 44年信学会全国大会

第 32 卷

日 立

第 11 号

目 次

- ・鹿 児 島 本 線 電 化 完 成
- ・日 立 技 術 展 覧
- ・順 調 に 建 設 進 む 一 島 根 原 子 力 発 電 所
- ・D E 5 0 試 験 運 転
- ・東 西 の 電 力 を 結 ぶ 一 周 波 数 変 換 機

- ・さ く ら 丸 最 後 の 航 海
- ・理 化 学 機 器 セ ン タ ー
- ・世 界 を 駆 け る 日 立 の 機 関 車
- ・P R コ ー ナ ー
- ・ホ ー ム サ イ エ ン ス

発行所 日立評論社

東京都千代田区丸の内一丁目5番1号

郵便番号 100

取次店 株式会社 オーム社書店

東京都千代田区神田錦町3丁目1番地

郵便番号 101

振替口座 東京 20018 番