

スーパーエルゴノミクス キーボード

Super Ergonomics Keyboard

●林 和敏 Kazutoshi Hayashi ●田中敏明 Toshiaki Tanaka ●高山秀雄 Hideo Takayama

1. ま え が き

キーボードは人間の意思を情報処理システムに伝達する装置として、最も一般的に使用されているデータ入力機器である。そして、パーソナルコンピュータやOA機器の普及につれて、需要規模はますます拡大している。それに伴って小型、高性能、低価格へとその技術革新が図られている。

一方、キーボードはマンマシンシステムの接点部を担っているために、最近では特にキーボードに対する人間工学的立場からの要求が高まっている。つまり、性能、品質、価格に加えてキーボードオペレータの感覚的欲求を満たすことが重要になってきた。

そこで、オペレータの立場に立って人間工学的にキーボードの操作性を追求し、卓越した操作性を有するスーパーエルゴノミクスキーボードを開発実用化した。

本論文では、スーパーエルゴノミクスキーボードと、このキーボードを特徴づけるFES-370形押釦スイッチについての概要を紹介する。

2. 開 発 の 背 景

欧米のタイプライタ文化の流れを汲んで、キーボードはいち早く情報処理システムのデータ入力機器に採用された。その後、最近になって、人間が直接システムにデータを入力する手段として、音声入力装置や、手書入力装置などが開発実用化されたが、現在でもキーボードは確実な地位を保っている。

富士通では、1972年にFES-5形押釦スイッチを開発して以来、リードスイッチをスイッチ素子部に採用した数々の押釦スイッチを開発し、これらを搭載したキーボードを実用化してきた。その後メカニカル接点タイプの押釦スイッチを開発し、多様化するニーズに応えるとともに、高い信頼性を誇るキーボードを提供し続けている。

一方、情報処理システムの高信頼性、高性能化に伴って、キーボードに対しても高い品質と性能を追求してきた。そして最近では、これらに加えて、高い操作性を求める気運が高まっている。これは、パーソナルコンピュータやOA機器が普及するにつれ、キーボードに接する業務が急増しているからであろう。

そこで、キーボードを人間工学的見地から追求し、卓越した操作性を有するスーパーエルゴノミクスキーボードを開発実用化した。

3. 操 作 性

キーボードの操作性を決定する最も重要な要因は、スイッチの押下力特性、すなわちキータッチである。キータッチに対するオペレータの好みは、従来オペレータが使用してきた機種の影響を受け易く、オペレータの感覚的要因が大である。しかし、一般的にスナップアクション特性が望まれる。この特性は、スイッチの動作状態が指先にフィードバックされて感覚的に確認が得られ(タクタイムルフィードバック)、しかもスナップ動作後は負荷が急激に軽くなる性能である。つまり、オペレータが打鍵の際に無駄な力を加えなくてもよいので、筋運動がリズムカ



林 和敏 (はやし かずとし)
1982年工学院大学電子工学科卒、同年富士通入社。以来キーボードスイッチの開発に従事。
第二機構部品事業部第一技術部。



田中敏明 (たなか としあき)
1979年神戸大学大学院工学研究科修士課程了、同年富士通入社。キーボードやプロッタなどの小型入力機器の開発設計に従事。
第二機構部品事業部第一技術部。



高山秀雄 (たかやま ひでお)
1965年高田工業高等学校電気科卒、同年富士通入社。伝送技術、ハイブリッドICなどの開発業務を経て、1975年からキーボードスイッチの設計、生産技術に従事。
第二機構部品事業部製造部。

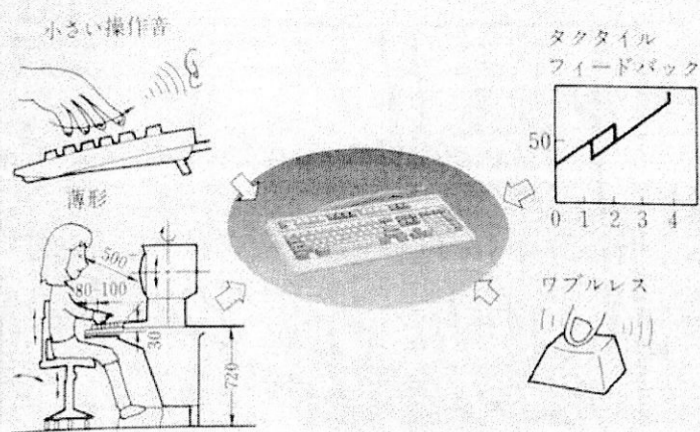


図-1 キーボードの操作性

Fig. 1-Operationability of keyboard.

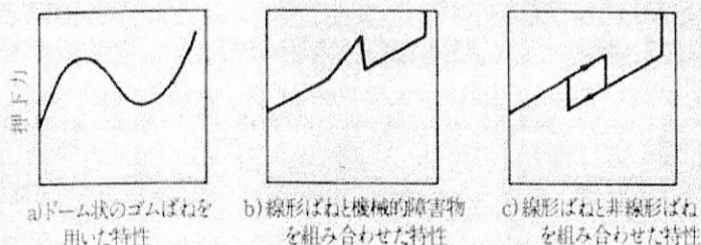


図-2 各種タクタイル特性

Fig. 2-Tactile characteristics.

ルになり疲労が少ないという大きな特徴がある。

つぎに、操作音が小さいことや、疲れにくい操作姿勢が保てるように薄型であることも強く望まれる。さらに、指先をキートップにのせたときに指先の振れが小さい(ワブルレス)こと、スイッチを押したときの摺動特性がよいことなども重要である。

これらの重要点をまとめて示したのが図-1である。これらの要因の大半は、押釦スイッチの構造、特性によって決定される。

3.1 押下力特性

タクタイル機構の代表例とその押下力特性を図-2に示す。

1) ドーム状のゴムばねによる押下力特性

このタイプは一般的に、大きな荷重落差を有するタクタイルが得られる。しかし、押下変位に対する荷重の変化の割合(特性カーブの傾き)が一定でないため(図-2a)参照)、指先に加わる圧力の変化が大きく、スムーズな指の動きを損なう。

2) 線形ばねと機械的障害物を組み合わせた押下力特性

コイルスプリングなどの線形ばねと、スイッチの摺動方向に対する機械的障害物によって構成される。このタイプは、障害物を乗り越えるときに生じるひっかかり

(同図b)参照)が、タクタイルになっている。したがって、スイッチの構成は簡単であっても、スイッチの押下途中に生じるひっかかり感触はさげられない。

3) 線形ばねと非線形ばねを組み合わせた押下力特性

このタイプは、操作性が最も優れた方式である。キートップの押下につれてなだらかに圧力が上がり、ひっかかりがなく指先に過剰な圧力が加わることもない。また、タクタイルと同時に接点が閉じるジャストメークが可能である。さらに、押下力特性が有するヒステリシス(同図c)参照)によってON位置とOFF位置がずれているために、動作位置付近での指先のふれによる多重入力を防ぐことができる。

FES-370形押釦スイッチは、ドームスプリングとコイルスプリングの組み合わせによって図-2c)の押下力特性を実現したものである。

3.2 タクタイル機構の設計

FES-370形押釦スイッチの基本構造を図-3に示す。スイッチ素子部は、ドームスプリングとこれを支持する端子板と接点部を封印するシールテープとからなる。レバーは端子板の側面に設けた回転軸によって支持される。レバーがコイルスプリングからの力を受けて回転しながら、ドームスプリングに力を加える。ドームスプリングが反転したときに、外周接点と中央接点が閉じて電氣的に導通する。

ここで採用しているドームスプリングの中央を押下したときの押下力変位特性を図-4a)に示す。特徴のある非線形特性をもつことがわかる。この特性の解析は、非線形なので有限要素法によって数値解析で近似解を求めることが可能である。

ドームスプリングは、正方形の平板をプレスで球殻面に絞ったものである。実際には、この四隅を支え、センタ部をレバーによって押す構造である。しかし、計算の仮定上、回転シェル(同一平面内にある回転軸のまわりに回転させて得る回転曲面を有するシェル)として扱った。このようにすると計算に必要な要素分割が少なくすみ、小規模なコンピュータシステムで対応できるからである。

ここで使用した剛性マトリックスと計算手法については、R. Kinoshitaらによって紹介されているので、本論では省略する。

つぎに、以上から求めた押下力変位特性(R, W)を有するドームスプリングを図-5のように回転軸受をもったレバーで押したときに、レバーのX点に生じる押下力変位特性(Q, V)は、このつり合い条件から式(1)の

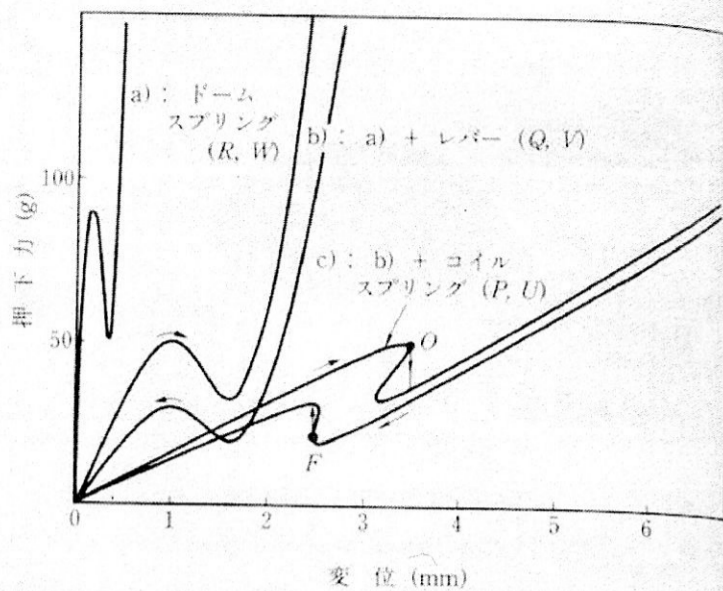
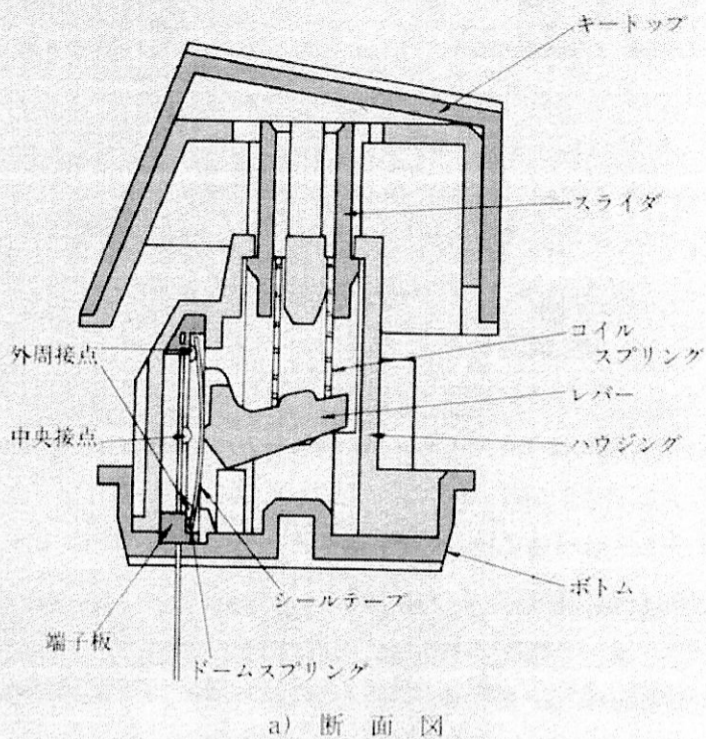


Fig. 4-Force-displacement characteristics.

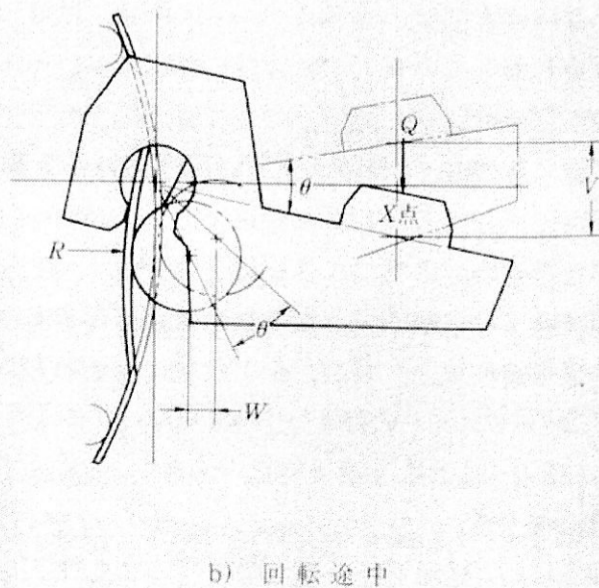
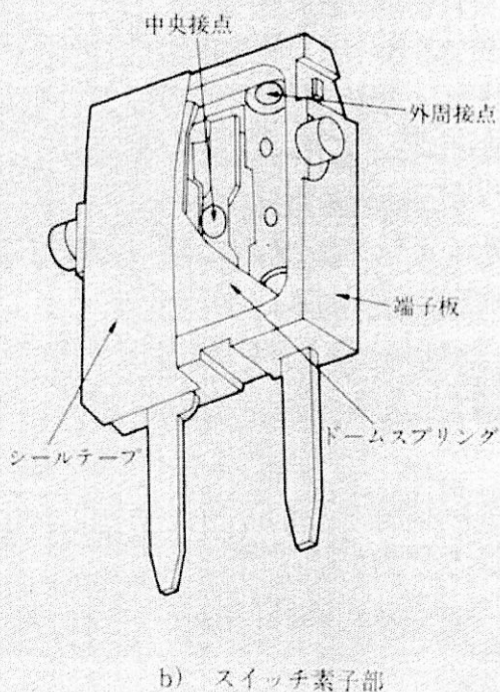
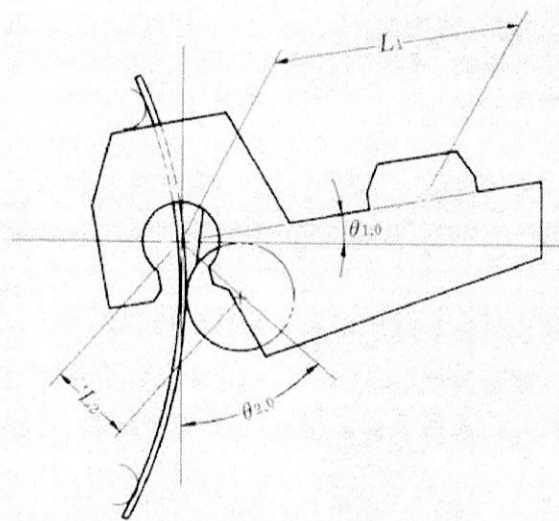
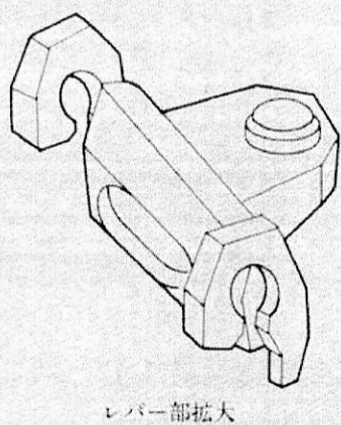


図-3 FES-370 形押鉛スイッチの構造

Fig. 3-Construction of FES-370 keyboard switch.

図-5 レバーの回転によって発生する押下力変位特性解析モデル

Fig. 5-Analysis of tactile mechanism.

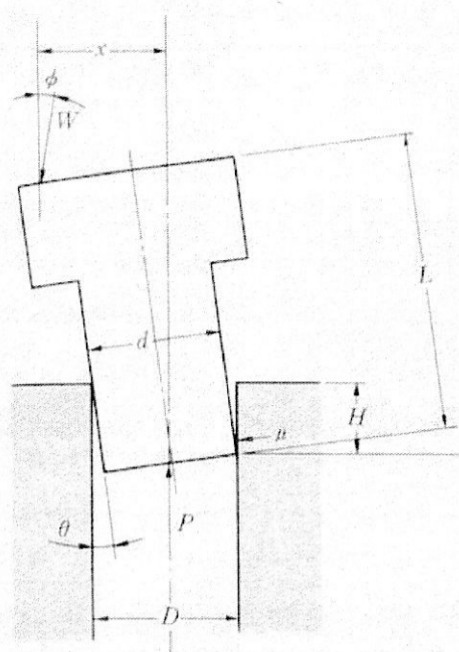


図-6 摺動性解析モデル

Fig. 6—Analysis of operating force.

ように定まる.

$$Q = R \times \frac{L_2 \cos(\theta_{2.0} - \theta)}{L_1 \cos(\theta_{1.0} - \theta)}, \quad \dots\dots\dots (1)$$

ただし,

$$W = L_2 \{ \sin \theta_{2.0} - \sin(\theta_{2.0} - \theta) \},$$

$$V = L_1 \{ \sin \theta_{1.0} - \sin(\theta_{1.0} - \theta) \}.$$

すなわち、レバーの回転角度 θ をパラメタとした押下力変位特性 (Q, V) は、ドームスプリングの押下力変位特性 (R, W) と 1 対 1 に対応づけられる。実際には、レバーの軸に摩擦が生じるために、これを考慮して計算した結果が図-4b) である。

さらに、レバーの押下部にコイルスプリングを合成させて、ばねの先端に保たれる押下力変位特性 (P, U) がこのスイッチの押下力特性となる。すなわち、

$$U = V + P/K, \quad \dots\dots\dots (2)$$

ただし、 K はコイルスプリングのばね定数として与えられ、これは、コイルスプリングの先端に荷重 P を加えたときの変位が、レバーによる変位とコイルスプリングによる変位との和であることを意味する。

以上の結果得られた押釘スイッチの押下力変位特性が図-4c) である。この計算上の特性カーブに対して、実際のスイッチの挙動は、押下力を増しながら変位を与えていくと、点 O において変位の逆戻りは生じず、急激な押下力の減少として現れる。これがタクタイルとなって人

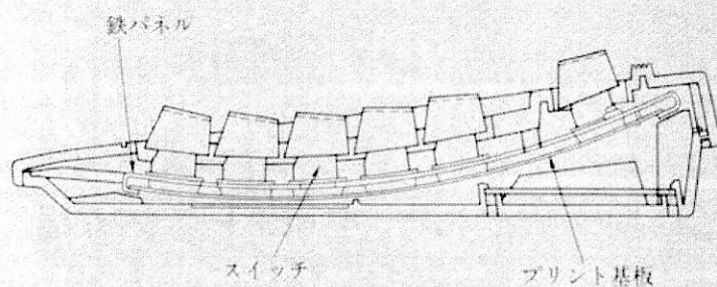


図-7 FES-370形押釘スイッチ搭載キーボード

Fig. 7—Keyboard mounted FES-370 keyboard switch.

間の指先に伝えられるのである。

スイッチの復旧時には、これとは逆に点 F において急激な荷重増加となって現れ、この結果スイッチの押下復旧時のヒステリシスが形成できる。

3.3 摺動性

押釘スイッチが押下途中でひっかかりが生じるような構造では、優れた押下力特性によって得られるはずの操作性が損なわれる。

モデルとして図-6を考えたとき、スイッチの押下力 W とエレメント反力 P の比は、摺動性を表し、

$$\frac{W}{P} = \frac{K + D/2}{K(\cos \phi - \mu \sin \phi) - K_1}, \quad \dots\dots\dots (3)$$

となる。ただし、

$$\theta = \cos^{-1} \frac{d}{\sqrt{D^2 + H^2}} - \tan^{-1} \frac{H}{D},$$

$$K = \frac{(H - \mu D)(\cos \theta - \mu \sin \theta)}{\sin \theta + \mu \cos \theta + \mu(\cos \theta - \mu \sin \theta)},$$

$$K_1 = (x - D/2) \cos \phi + y \cos \phi + (H - \mu D) \sin \phi,$$

$$y = L \cos \theta - H - \tan \theta (D/2 + x - L \sin \theta),$$

D : 軸径, d : 軸受内径

μ : 摩擦係数, H : 摺動長

x : 押下点とキートップセンタのずれ

ϕ : 押下角度(斜め押下), L : キートップ高さ。

式(3)にもとづいて数値解析した結果、摺動長が長いほど摺動性がよいことがわかった。FES-370形押釘スイッチでは、スイッチ内部に可能な限り長い摺動長を確保することによって摺動特性の向上を図った。

また、図-7はFES-370形押釘スイッチを搭載したキ

表-1 FES-370 形押釦スイッチの仕様

機械的特性	押下力 ストローク スナップ	60 ± 20 g (キートップ中央押下) 3.8 ± 0.5 mm 15 g
電気的特性	定格 接触抵抗 絶縁抵抗 耐電圧 チャッタ	DC 24V 最大, 50 mA 最大 100 Ω 以下 (DC 5 V, 1 mA) 50 MΩ 以上 (DC 250 V) DC 250 V/1 min. 10 ms 以下
耐久性能	動作温度 保存温度 耐湿性 耐振性 耐衝撃性 動作寿命	0-50 °C -20-+70 °C 40 °C, 90-95%RH, 48 h 10-55 Hz, 振幅 1.5 mm 10 G, 11 ms 2千万回以上

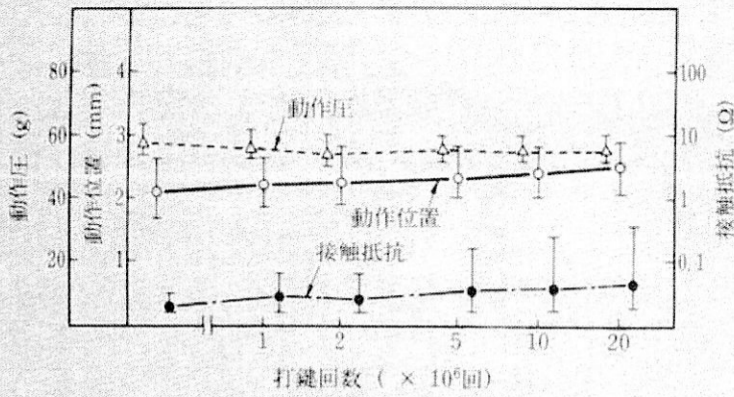


図 8. 信頼性試験結果

Fig. 8—Life characteristics.

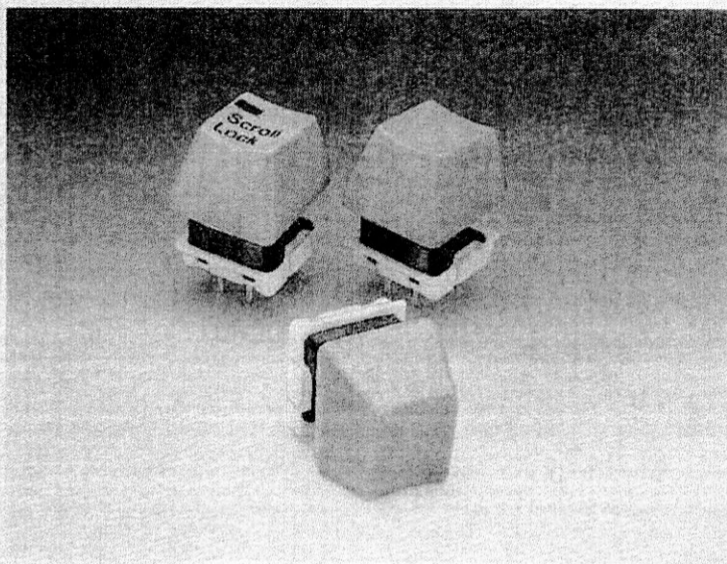


図-9 FES-370 形押釦スイッチ

Fig. 9—FES-370 keyboard switch.

キーボードの断面図である。このキーボードは、図のように湾曲した鉄パネルとプリント基板上にスイッチを実装している。この湾曲は、オペレータがキーボードをスムーズに操作するために必要なキートップ上面のカーブと一致している。

この構造によって、キートップを押下するとき、オペレータが加える力の方向とスイッチの摺動軸方向がほぼ一致するため、よりよい摺動特性が得られる。

3.4 ワブルレス

一般的に、オペレータは指をキートップ上に軽くのせた状態を保つようにしてキーボードを操作する。このとき、キートップのぐらつき(ワブル)が大きいキーボードは、オペレータに不安感を与える。具体的には、指先をキートップに軽くのせておくことによって、自分の指の位置を認識しながらブラインド操作をするのがキーボードの一般的な操作である。しかし、ホームポジションを認識している指の位置がぐらつくと、操作しようとして

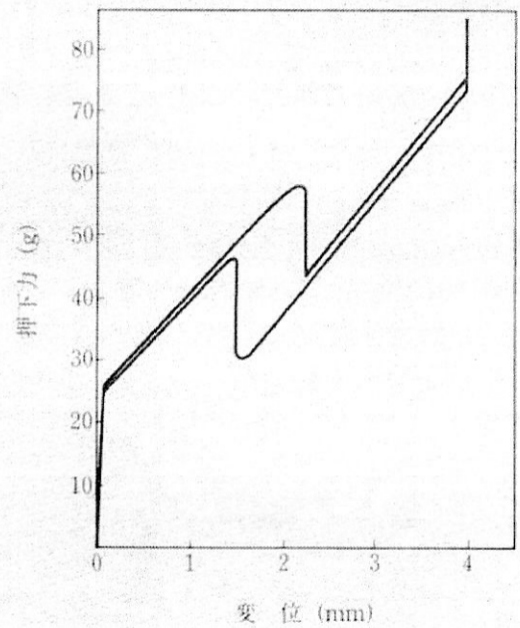


図-10 押下力変位特性

Fig. 10—Force displacement characteristics of FES-370 keyboard switch.

いる指の位置に対する確信がもてなくなるのである。

FES-370 形押釦スイッチの設計には、これを防ぐためにワブルを極力小さくするように配慮した。この目的を満たす最も有効な方法は、摺動長を最大限に長くすることであり、本スイッチもこの条件を満足している。

3.5 操作音

たとえば、図-2c)タイプのスイッチのように、急激な荷重の減少によるタクトイルを示す押釦スイッチは、一般的にタクトイル動作時にドームスプリングの反転とレバーの瞬間的な回転による振動音が生じる。この音を小さくするために、FES-370 形押釦スイッチでは中央接点にはばね性を設け、急激に反転したドームスプリングの衝撃を受け止める構造とした。そして一方では、反転時の衝撃による振動がドームスプリングから他部品へ伝わらないように、ドームスプリングを押すレバーを樹脂材料で

構成した。

4. 信 頼 性

スーパーエルゴノミクスキーボードは、以上のように操作性を徹底的に追求して生まれた。しかし、キーボードにとって、高い信頼性は操作性と同様に重要である。

まず、接点の接触抵抗の安定化については、スイッチの押下力をこの原理で拡大してドームスプリングに伝え、高い接点圧力を確保している。さらに、反転したドームスプリングを受ける中央接点は、二つの独立した構造とし、それぞれにばね性をもたせた双子接点としている。

また、ドームスプリングを含むスイッチ素子部は、シールテープによって密封し、メカニカル接点の大敵となるごみの侵入を防いでいる。

スイッチ素子は、銀めっきしたドームスプリングで構成し、富士通が築き上げた高い信頼性の実績をもつスイッチ技術を踏襲している。

開発実用化した FES-370 形押釦スイッチの信頼度データを図-8 に、仕様を表-1 に示す。また、スイッチと押下力特性を図-9 と 10 に示す。

5. む す び

FES-370 形押釦スイッチを搭載したスーパーエルゴノミクスキーボードは、徹底した操作性の追求によって完

成したキーボードである。この性能は、キーボードに触れるオペレータの感性に直接訴えるものがあると確信している。

キーボードは、最もポピュラーなデータ入力装置であり、今後ともますます市場が拡大するものと考えられる。

キーボードが人間と機械の接点を担う機器である限り、この開発には人間工学的なアプローチが欠かせない。高い信頼性や優れた性能、経済性に加え、操作性への要求は、今後ますます高まるであろう。そこで人間工学の追求を深め、オペレータにとってさらに使い易いキーボードを開発していきたい。

参 考 文 献

- 1) R. Kinoshita et al.: Reliability and Applications of Magnet Driven Reed Switch. *FUJITSU Sci. Tech. J.*, **8**, 4, pp. 47-63 (1972).
- 2) 木下ほか：キーボードスイッチ (FES-8形シリーズ). *FUJITSU*, **27**, 7, pp. 1295-1306 (1976).
- 3) 木下ほか：シートキーボード. *FUJITSU*, **30**, 6, pp. 947-956 (1976).
- 4) R. Kinoshita et al.: Development and Application of Mechanical Switches. *FUJITSU Sci. Tech. J.*, **16**, 3, pp. 47-63 (1980).

