

家庭用電気掃除機吸込性能の一考察

Suction Performance of the Household Electric Vacuum Cleaner

腰山英弥* 高橋喜美雄*
Hideya Koshiyama Kimio Takahashi

要 旨

最近家庭用電気掃除機がじゅうたん掃除に使用される割合が多くなってきているので、じゅうたん掃除の性能をいっそう向上するため、掃除機本体の特性と吸口とに根本的な考察を加えた。その結果

- (1) じゅうたん掃除の吸込性能は吸口の吸込面によって消費される空気力学的仕事量と関係があり、吸込面の風速を上げて空気力学的仕事量を増していくと吸込性能が向上する。
- (2) 吸口の吸込面の形状を従来一般に採用されてきた凹凸(おうとつ)面形から平滑面形にし、材質もプラスチックから金属にすることにより、じゅうたん掃除の操作性、じゅうたんの損傷、操作跡などの実用上の支障を生ずることなく、吸込面の風速を大幅に上げることができる。
- (3) 掃除機本体の特性は本体にホース、延長管を付けた状態の外部特性で取扱い、吸口特性との相応性の検討を容易にし、実用点の吸込面仕事量を最大にする方策を提示した。
- (4) 日立C-V_{80D}形掃除機はこれら吸口と本体の特性の総合改良の結果として、吸込面仕事量が従来の製品に比し大幅に向上し、砂じん、糸くず、あるいは深部のゴミなどの実用吸込性能にきわめてすぐれた掃除機となった。

1. 緒 言

従来よりわが国の電気掃除機は外国製品にくらべて小形軽量であったが、最近住生活が充実し、電気掃除機の普及率も向上するに伴い、その取扱性はもちろん、吸込性能でも十分能力のすぐれた製品にしていくことが強く要望されてきた。

とくに最近家庭に急激に普及しているじゅうたんの掃除に対する掃除機の吸込性能および取扱性はますます重要視される情勢にあるが、従来これらの性能については十分研究されておらず、じゅうたん掃除性能の向上の方策は明らかでなかった。このたび吸口と送風機との特性につき、じゅうたん掃除の観点から新しい考察を加えそれを改良したので、その結果について述べる。

2. 吸込性能の定義

掃除機は能率良く衛生的にダストを処理するのがその使命であるが、具体的にじゅうたん掃除に必要な実用的性能は、まず吸込性能面では、(1) 吸口の有効吸込幅が広く、掃除の能率が良いこと、(2) じゅうたん毛の深部に入り込んだダストがとれること、(3) じゅうたんの表面に付着した繊維くずがとれること、などであるが、一方、取扱性の面では、(4) 操作性、特に吸口の動きがなめらかで操作力が過大にならないこと、(5) じゅうたんを傷めたり操作跡をつけず、吸口吸込面の摩耗および帯電による変色などが無いことが、吸込性能と関連するものとしてあげられる。

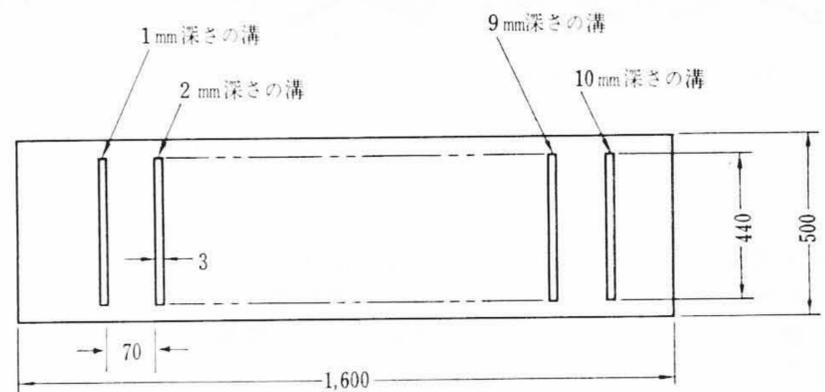
これら吸込性能を評価する手段としては二、三の試みがなされている⁽¹⁾が、ここではスウェーデン規格⁽²⁾を参考にしてつぎの項目をとりあげることにする。

- | | | |
|------|--------|------------|
| 吸込性能 | 静的吸込性能 | (1) 吸込長率 |
| | | (2) 吸込面積率 |
| | 動的吸込性能 | (3) 砂じん吸込率 |
| | | (4) 深部吸込性能 |
| | | (5) 糸吸込性能 |

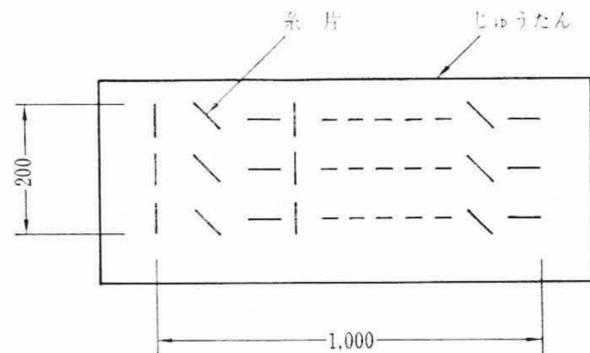
これらはつぎのように定義される。

(1) 吸込長率は、平面上に標準ダスト(鋳物砂)を一様に6 kg/m²の割合でまき、これに5秒間吸口を静かに当てて完全に吸取った部分の最大長さ*l*と吸口吸込面の投影最大長さ*L*の比*l/L*

* 日立製作所多賀工場



(a) 深部吸込性能の測定板



(b) 糸吸込性能の測定方法

図1 深部吸込性能の測定板および糸吸込性能の測定方法

×100で表わす。

(2) 吸込面積率は吸取った面積*S*と吸口吸込面の投影最大面積*A*の比*S/A*×100で表わし(1)と同様にして測定する。

(3) 砂じん吸込率はじゅうたん上に標準ダストを50 g/m²の割合で一様にまき、鉄製ロールで5往復、ダストをじゅうたん深部に押込んだのち、吸口を0.5 m/sの速度で1往復だけ操作する。そのとき吸口の吸込面の通過した全面積内の砂じん重量と吸込んだ砂じん重量との比で表わす。

(4) 深部吸込性能は図1(a)に示す測定板を用いる。測定板には10列のみぞを配置し、列ごとのみぞは深さ1, 2, 3……, 10 mmを有する。このみぞに標準ダストを満たし、吸口を5往復操作したのち、みぞの深さと吸取った部分の長さの関係を深部(または、みぞ)吸込性能と呼ぶことにする。

(5) 糸吸込性能はじゅうたん上に長さ20 mmのガーゼ糸を図1(b)のように一定方法で120本並べ、鉄製ロールでじゅうたん上

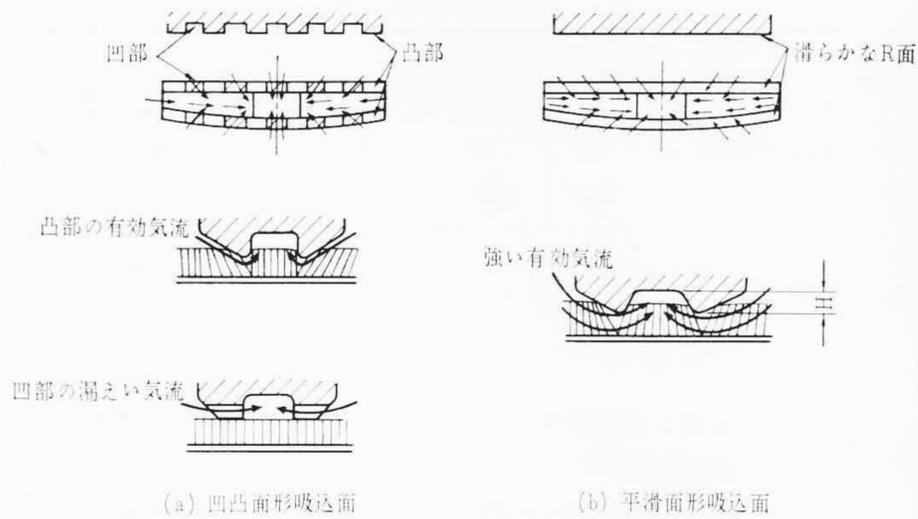
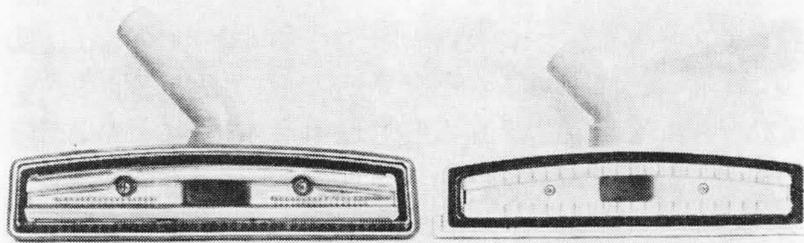


図2 凹凸面形と平滑面形の吸込面



左：平滑面形吸込面 右：凹凸面形吸込面
図3 平滑面形および凹凸面形の吸込面の一例

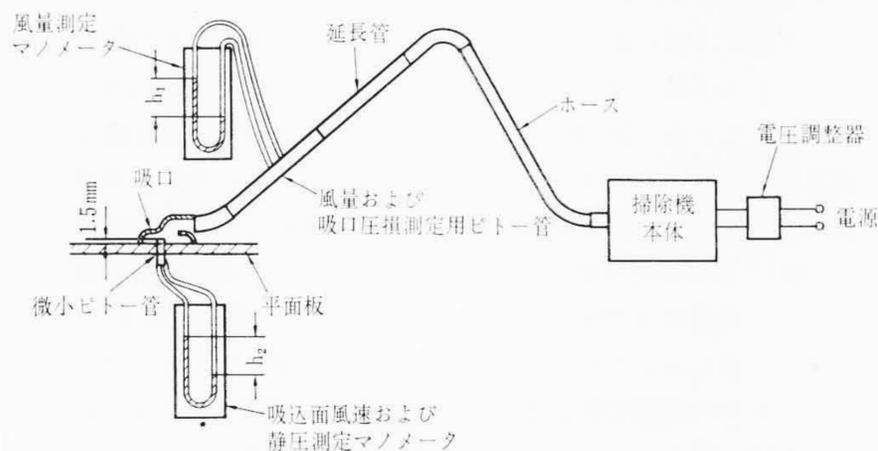


図4 吸口空気流特性の測定方法

に5往復押圧してじゅうたん毛に付着させ、吸口を0.5 m/sの速度で1回だけ操作して残留した糸の本数で表わす。操作回数を重ねるときは1回ごとに残留本数の変化を記録する。

3. 吸口の空気流特性および実用的性能の検討

3.1 吸込面形状の検討

吸込性能を向上させる手段は、吸口の吸込面各部における風速分布やその大きさの検討により解決されるものと考えられる。そこで同一風量に対して最も好ましい風速分布が得られる吸込面の形状を求めるため数多く試作し予備実験を試みた結果、従来最も一般的に採用されており、じゅうたんと密着を防止し空気流量の保持と操作力の軽減を行なうものと考えられていた図2(a)の凹凸面形吸込面をもつ吸口より、むしろ図2(b)に示すような凹凸のない平滑面形の吸込面とし、さらに通風路の高さ H を小さくした吸口のほうが吸込性能および操作性の両面で大幅にすぐれることがわかった。すなわち

(1) 凹凸面形は凹部からの漏えい気流のため両端部の風速が弱まり、中央部のみが強く吸込むことになる。一方平滑面形は前後2列の抑制面で無駄な空気漏えいを押え、吸込面全体にわたってじゅうたん表面の風速および負圧を高める。この負圧が適当に吸

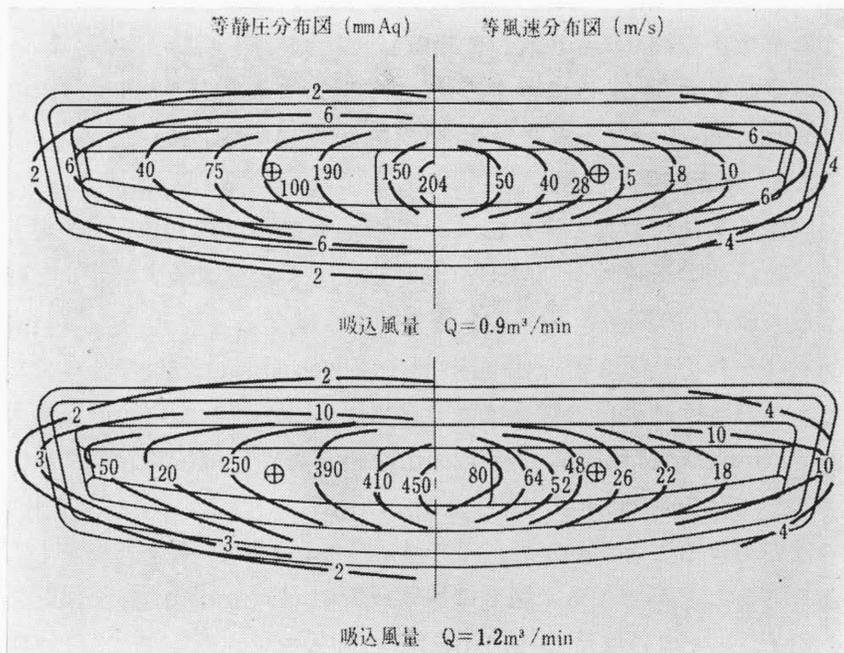


図5 平滑面形吸込面の空気流特性

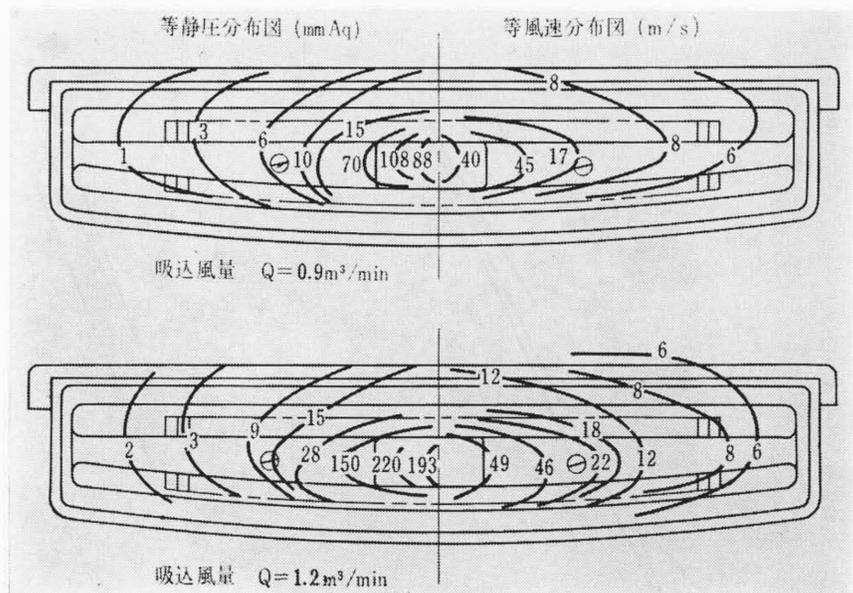


図6 凹凸面形吸込面の空気流特性

込面をじゅうたん毛に圧着させ、吸口の操作とともに吸込面がじゅうたん毛を十分かき分ける作用をし、その下を高速気流が流入するためじゅうたん深部の吸込効果が大幅に向上する。また操作性の面では

(2) 凹凸面形吸込面の凸部がじゅうたん毛に食い込み、吸口の操作性およびじゅうたんに支える通過跡や傷みに多少の問題点があったが、平滑面形吸込面は吸込面の形状がなめらかな大きな曲面にされていればじゅうたん毛に食い込まず操作力もむしろ減少するばかりでなく、じゅうたん面を観察しても、通過跡や傷みがほとんどないことがわかった。さらに吸込面の材質については

(3) 帯電による吸込面の汚れ、じゅうたんと摩擦と摩耗、ことに砂じんのできたじゅうたんと摩擦と摩耗が操作力に大きく影響するため、吸込面の材質は合成樹脂より金属のほうがよい。また

(4) 刷毛はじゅうたん使用時には吸込面から完全に引込めたほうがよいという結論を得た。

3.2 吸込面の風速分布および静圧分布の測定

次に図3の平滑面形および凹凸面形の吸込面について風速および静圧(負圧)の分布を測定した。測定方法は図4に示すように平板上に沿って吸口を設置し、風速の測定は平板上1.5 mmの高さに設けた内径0.8 mm、外径1 mmの注射針で作った微小ピトー管を少しずつ移動させて吸込面の各位置で長手方向とそれに垂直な方向の二方向について風速を測定し、これを合成して求めた。吸口の設置時において平滑面形吸込面の場合には実際にじゅうたん上で使用したと

きの測定風量において、吸込面で消費される圧損が相等しくなるように平板から約0.5mm離して設置した状態で測定した。

測定結果を図5, 6に示す。図の左半分は等静圧分布線(単位mmAq), 右半分は等風速分布線(単位m/s)を示している。

3.3 測定結果の検討

同様の方法で数種の吸口について吸込風量 $Q(m^3/min)$ を一定とし、吸込面の風速および静圧を測定したときの風速最大値 V_m と静圧最大値 P_m の関係を調べると図7のようになる。このうちAおよびBはそれぞれ図3の平滑面形および凹凸面形吸込面の吸口である。この特性は吸口の構造により差異はあるが、おおむね静圧最大値 $P_m(mmAq)$ は風速最大値 $V_m(m/s)$ の平方に比例しており、ほぼ

$$P_m = 0.065 V_m^2 \dots\dots\dots (1)$$

で代表できることがわかり、この P_m が吸込面の圧損を表わすものと考えることができる。図8は静圧最大値 $P_m(mmAq)$ を圧損と考えて P_m と吸口の風量 $Q(m^3/min)$ との関係をとったもので、ほぼ圧損が風量の平方に比例している。そこで吸込面圧損係数 α を

表1 各種吸口の吸込面圧損係数

吸口の種類	A	B	C	D	E	F
吸込面の種類	平滑面	凹凸面	刷毛付面	刷毛付面	平滑面	刷毛付面
吸込面圧損係数 α	148	98	18	32	160	48
$\sqrt{\alpha}$	12.2	10.0	4.2	5.6	12.6	7.0

$$\alpha = \frac{P_m}{Q^2} \dots\dots\dots (2)$$

のように定義し各種吸口につき計算すると表1のようになる。

以上の測定結果から

- (1) 吸口の吸込面の圧損が大きいほど、吸込面の風速は高くなり吸口の吸込性能がよくなることが予想される。
- (2) (2)式を書き換えると $Q = \sqrt{P_m/\alpha}$ となるから同じ圧損、したがって同じ吸込性能を出すに必要な風量は $\sqrt{\alpha}$ に反比例する。表1の $\sqrt{\alpha}$ より大略吸口Aおよび吸口Eは吸口Fおよび吸口Dの1/2, 吸口Cの1/3の風量で十分であることが予想される。
- (3) 各種吸口の吸込面圧損係数は表1に示すように平滑面形吸口が凹凸面形吸口に比べ約3~8倍大きく吸込性能を高めているといえる。

3.4 吸込面圧損と吸込性能の関係

第2章に述べた吸込性能の定義に基づき各種吸口の吸込性能を測定し、これらと前項で述べた吸込面圧損との関係を総合的にまとめた結果を図9~11に示す。

まず図9は吸込面圧損と吸込長率および吸込面積率との関係であり、ともに圧損に伴って吸込率は上昇し、前項の予測に合致した傾向を示している。図10の砂じん吸込率および深部吸込性能も吸込面圧損が大きくなれば上昇する傾向を示している。なお深部吸込性能の百分率はみぞ深さ3mmにおける値で表わしたものである。また、図11は糸吸込性能であるが、これはじゅうたん表面に付着した糸くずを風速だけで除去するには20~30m/sの風速を要するが、糸くずが一度じゅうたん毛から離れて空気流に乗ってしまえば毎秒数メートルの風速で吸込まれるので、機械的方法で糸くずを除去する作用を行なってやれば糸吸込性能は良くなる。したがって圧損は低くても刷毛付凹凸面形の吸口は良い値を示していると考えられる。なお糸吸込性能の百分率は操作度数を5回としたときの吸込率を示している。

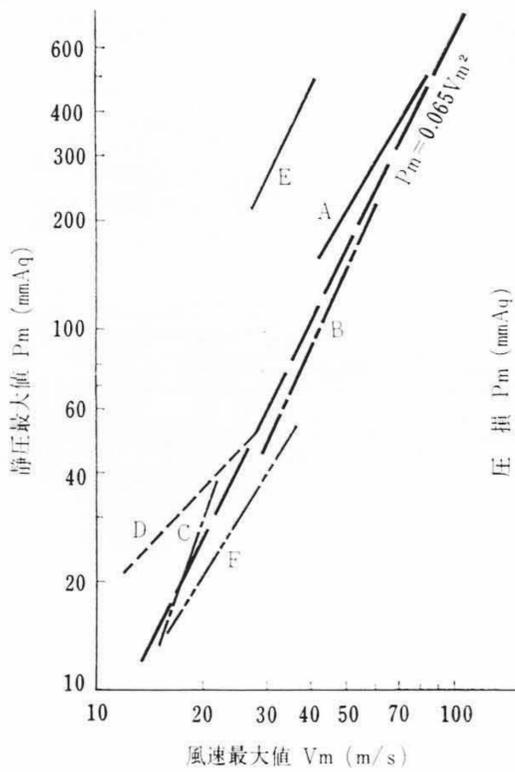


図7 各種吸口の吸込面の風速最大値—静圧最大値特性

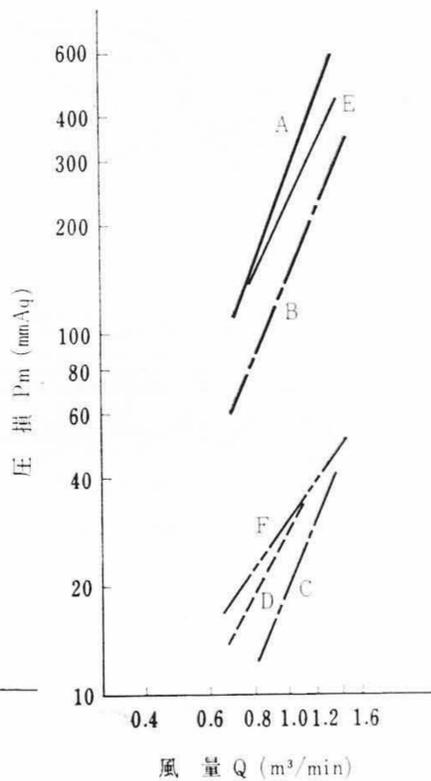


図8 各種吸口の吸込面の風量—圧損特性

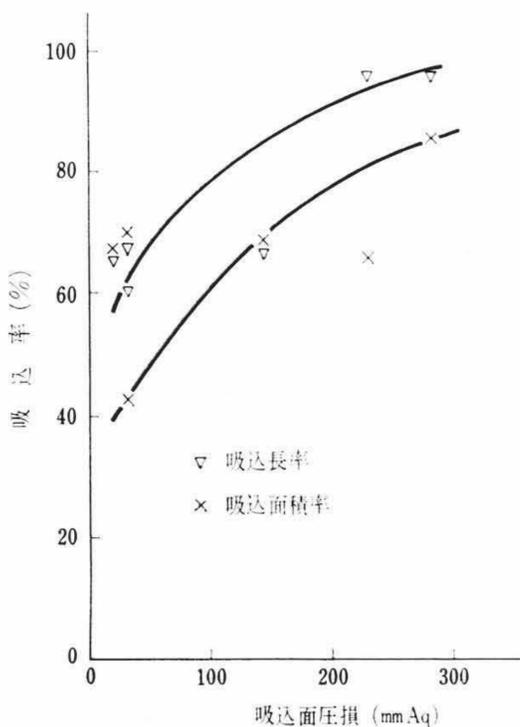


図9 吸込面圧損と吸込長率および吸込面積率との関係

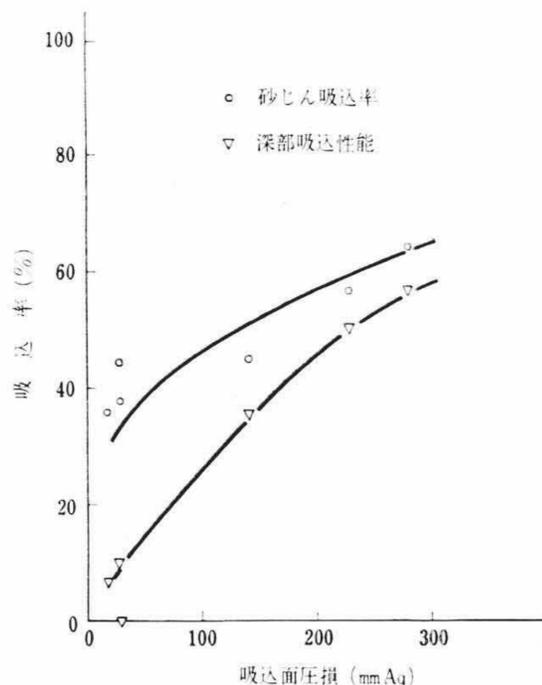


図10 吸込面圧損と砂じん吸込率および深部吸込性能との関係

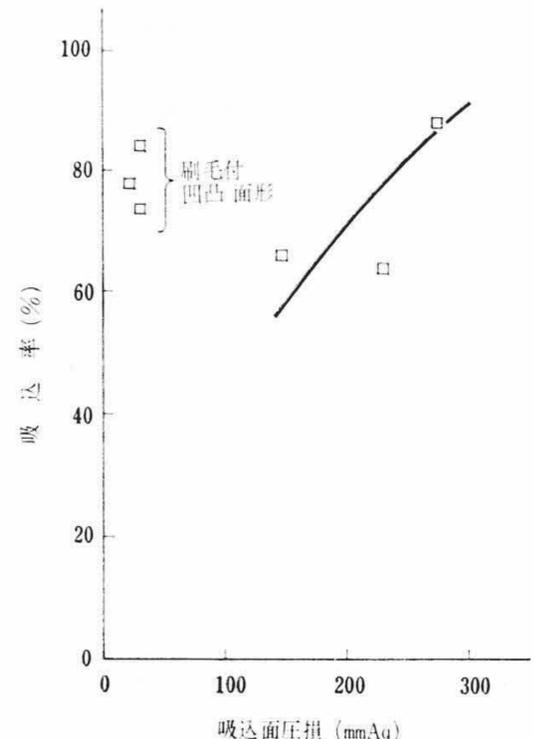


図11 吸込面圧損と糸吸込性能との関係

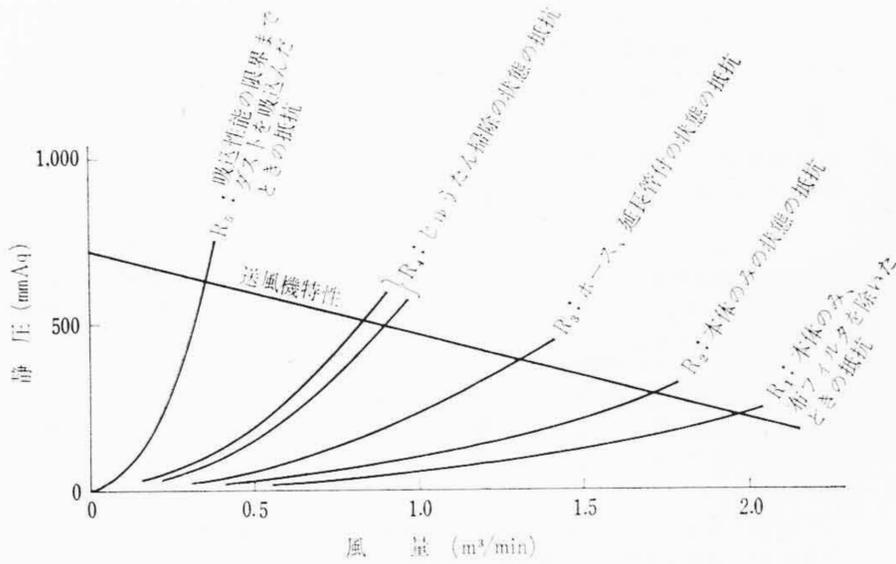


図12 日立C-V55C形掃除機の送風機動作特性

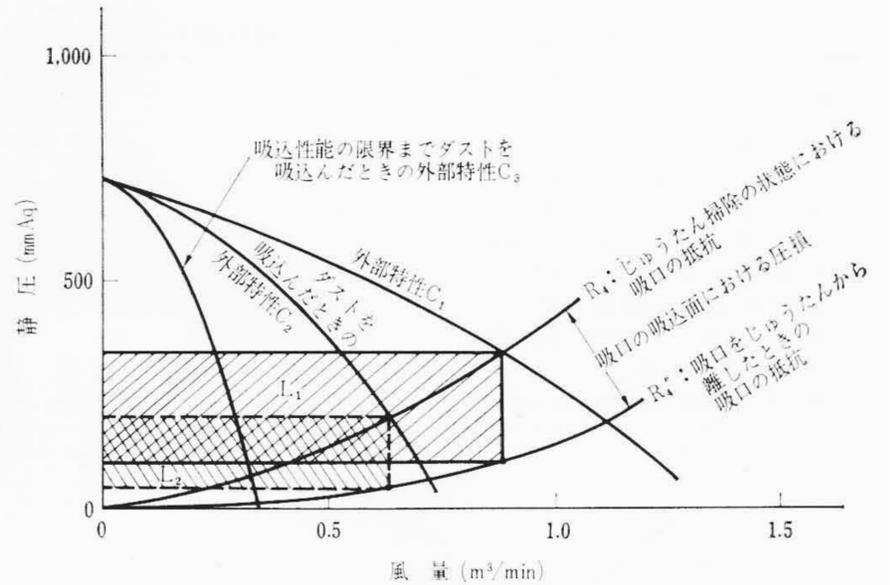


図14 日立C-V55C形掃除機の外部特性

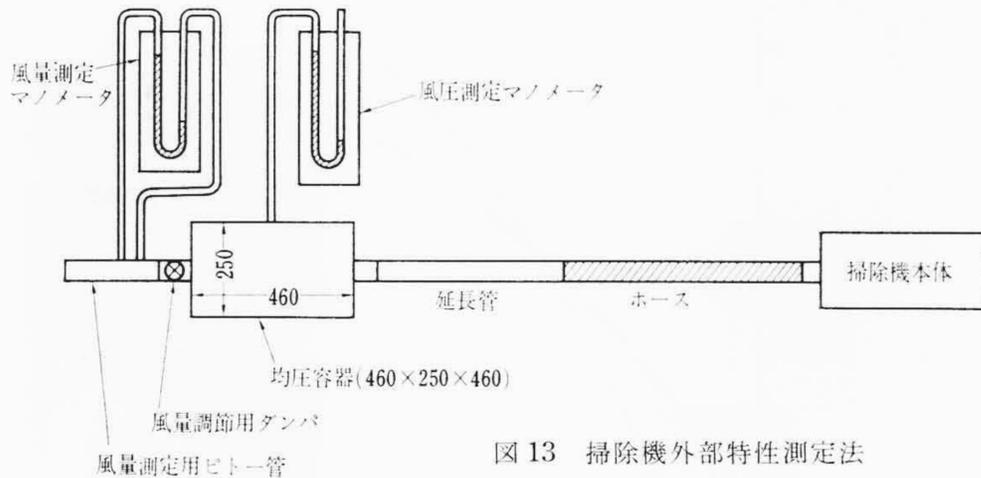


図13 掃除機外部特性測定法

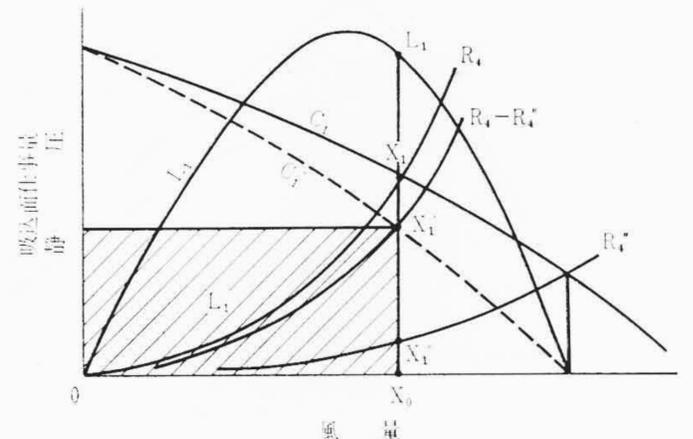


図15 外部特性と吸口特性との相応性

前項の予測のように実使用時においても糸吸込性能を除いては吸込面の圧損が大きいほど吸込性能がすぐれていることがわかる。

4. 本体送風機特性と吸口特性との組合せ特性の検討

前章まで吸口のみについてじゅうたん掃除の適合性を検討した結果を述べたが、吸込性能を向上するために吸口の圧損を増大させた場合本体送風機特性がその圧損に耐える十分な出力がなければかえって動作風量の減少を招き、吸口風速も減少して吸込性能を阻害する問題があり、吸口の特性と本体送風機特性との相応性について考慮を払う必要がある。

4.1 掃除機本体の特性の表わし方

従来掃除機の特性としてはおもに掃除機本体の最大風量と真空度(吸込口締切時の静圧)で規定⁽³⁾しており、設計的にもファンやモータの出力から計算するために掃除機本体の特性としてはその送風機の特性自体を扱ってきた。たとえば日立C-V55C形掃除機の特性を従来の方法を用いて説明すると図12のようにおよそ風量の2乗に比例する掃除機各部の抵抗を表わす曲線と送風機特性との交点が送風機の動作点を表わす。実用時には送風機に対する総合抵抗はR4からR5に増大するまでの間ダストを吸込むことができる。このように掃除機の場合、普通の送風機と異なり使用風量が一定ではないから送風機の効率も常に大きい値に保つことは不可能で、ある範囲に変化する。したがって送風機特性の選択に当たっては公称定格点の効率よりも実用時の風量を増大させるために最もふさわしい特性とすべきであって、そのためには掃除機通路各部の抵抗を極力節減して風量の増加を図ることが必要である。

さて図12の特性曲線は上述のように送風機の使用状況をは握する際には必要であるが掃除機の吸込性能に着眼した場合には、むしろ不適當な表現法といわざるを得ない。そこで前章で述べたように吸口に消費される空気力学的仕事量が吸込性能を表わす最大の原因であるという考え方から、掃除機本体の特性としてつぎのような特

性の表わし方を採ることにした。

すなわち図13のように掃除機本体にホース、延長管を付けその先端部における風量—静圧特性を測定する。この特性曲線は前述の送風機特性曲線から本体、布フィルタ、ホース、延長管およびその接続各部の抵抗損失を差し引いたものに等しい。この特性を以後外部特性と称することにする。日立C-V55C形掃除機について外部特性をとると図14のようになる。

外部特性を用いて吸込性能を検討する場合は、抵抗曲線としては吸口のみを取扱えばよいことになり、また外部特性曲線上の動作点の風量、静圧の積は吸口部において消費される空気力学的仕事量を表わすことになる。すなわち図14においてダスト吸込前の外部特性曲線C1上で吸口吸込面における圧損に相当する静圧と風量との積が吸込面で消費される空気力学的仕事量(以下吸込面仕事量と称することにする)L1になる。掃除機がダストを吸込むとフィルタ抵抗の増加により外部特性曲線は垂下してきてC1→C2→C3と推移する。この場合吸込面仕事量もL1→L2→L3と減少する。すなわちこの場合注目すべきことは吸込性能に最も関係深い吸込面仕事量は吸口の抵抗曲線R4, R4'上を推移していきただけであり、その場合常にL1>L2>L3のように単調減少するということである。

4.2 各部特性曲線による本体の特性と吸口の特性との相応性の検討

今外部特性C1が図15のようにとられているとき、吸込面仕事量Lの求め方をつぎのようにする。すなわち吸口をじゅうたんから離れたときの吸口抵抗曲線R4'を引き、この値(静圧)をC1から差引いてC1'を作る。吸口の全抵抗曲線R4とC1との交点X1から垂線X1X0を下してC1', R4'と交わる点X1', X1''とする。X1X1'=X1''X0であるからX1'の座標の示す風量と静圧の積は明らかに吸込面仕事量L1を表わす。そこでC1'曲線上の各点の風量と静圧の積をとり、これを風量について表わすとL1曲線ができる。

以上のように掃除機特性をその外部特性により検討すると吸口抵

表2 日立C-V_{80D}形およびC-V_{55C}形掃除機の仕様

項目	機種	C-V _{80D}	C-V _{55C}
定格出力 (W)		280	230
定格回転数 (rpm)		16,500	15,000
定格入力 (W)		430	360
本体風量 (m ³ /min)		1.7	1.7
外部特性最大風量 (m ³ /min)		1.45	1.3
最大吸込面仕事量 (W)		62	41
真空度 (mmAq)		1,100	700
吸込面の種類		平滑面形	凹凸面形
吸込面圧損係数 mmAq/(m ³ /min) ²		148	98

表3 外部特性の最大吸込面仕事量と動作点の吸込面仕事量の関係およびじゅうたん吸込性能の比較

項目	機種	C-V _{80D} 形	C-V _{55C} 形	C	D	E
掃除機定格入力 W_m (W)		430	360	400	380	520
外部特性最大吸込面仕事量 L_m (W)		62	41	55	45	67
L_m/W_m (%)		14.4	11.7	13.8	11.8	12.9
動作点吸込面仕事量 L (W)		57.7	34.9	21.8	9.6	40.6
L/L_m (%)		93	85	40	21	61
掃除機本体の最大風量 (m ³ /min)		1.7	1.7	1.7	1.6	1.6
掃除機本体の真空度 (mmAq)		1,100	700	960	850	1,500
砂じん吸込率 (%)		68	46	37	35	64
深部吸込性能 (%)		83	48	16	8	67
糸吸込性能 (%)		90	72	80	70	75

(注1) 深部吸込性能の百分率は3mm深さ、5往復操作後の値
(注2) 糸吸込性能の百分率は5回操作後の値

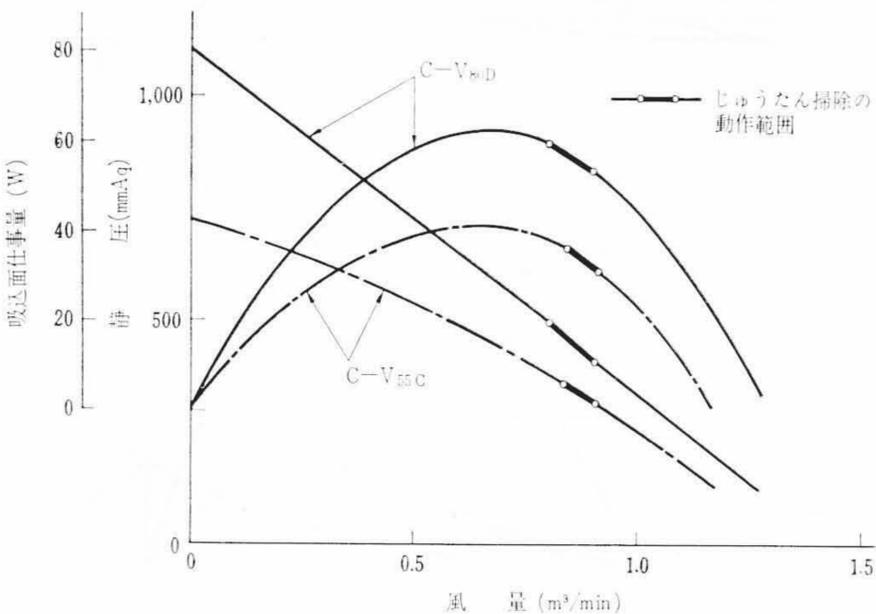


図16 日立C-V_{80D}形およびC-V_{55C}形掃除機の外部特性と吸込面仕事量曲線

抗は外部特性のほぼ中央部のもっともふくらんだ部分に合わせるのがよく、詳しくは L_1 曲線の最大値に合わせれば吸込面仕事量が最大になり、最も吸込力が強くなることがわかる。

5. 日立C-V_{80D}形掃除機の吸込性能

5.1 日立C-V_{80D}形掃除機の仕様および特性

前章までの考察の結果をとり入れ、じゅうたんにおける吸込性能向上のため吸口の吸込面圧損を大きくとり、しかも吸込面仕事量を大きくとれるように設計を行なった一例として、日立C-V_{80D}形掃除機のおもな仕様を表2に示す。またC-V_{80D}形およびC-V_{55C}形掃除機の外部特性とその動作点ならびに吸込面仕事量曲線を比較すると図16のようになる。この図から明らかのように、C-V_{80D}形掃除機は外部特性、吸込面仕事量ともに従来の設計法によるC-V_{55C}形掃除機より大幅に向上している。とくに本体の特性と吸口の特性の相応性の点については、じゅうたん掃除の動作点が吸込面仕事量曲線の頂上付近で、最大値の93%の付近にあり、総合的に効率がよいことがわかる。この関係を従来形の掃除機3種を含めて整理すると表3のようである。

5.2 吸込性能の比較

C-V_{80D}形掃除機の吸込性能を第2章に述べた方法により測定した結果を表3および図17に示す。これらのデータから明らかのように

- (1) 掃除機のじゅうたん吸込性能は消費電力や本体の風量、真空度の大きさからは握することは困難であり、むしろ動作点の吸込面仕事量の影響が非常に大きい。
- (2) C-V_{80D}形掃除機は動作点風量は従来と同程度であるが、吸込面仕事量曲線を大幅に向上させ、またそれに相応した吸込面圧

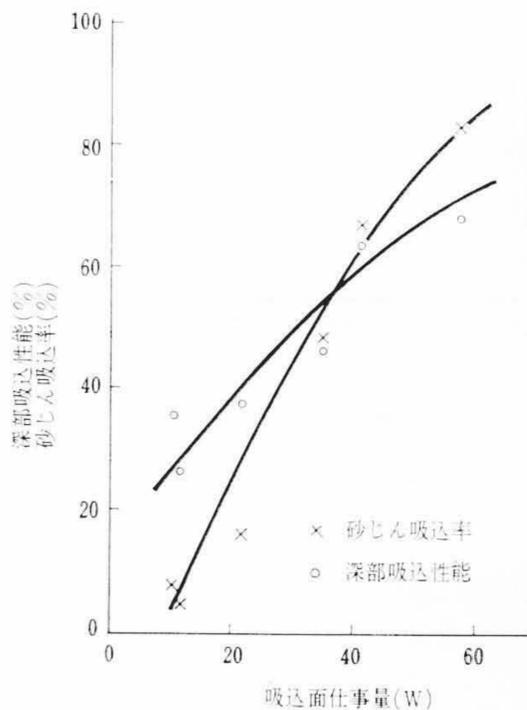


図17 本体と吸口との組合せ状態における吸込面仕事量と吸込性能との関係

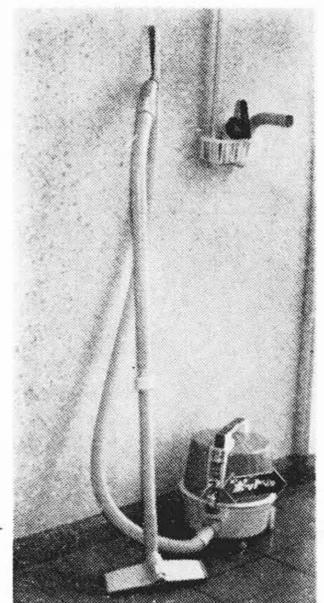


図18 日立C-V_{80D}形掃除機

損係数の大きい吸口を用いて動作点の吸込面仕事量を著しく増大した。

(3) その結果としてC-V_{80D}形掃除機は砂じん吸込率、深部吸込性能、糸吸込性能などによるじゅうたん掃除の実用吸込試験においてきわめてすぐれた性能をもたせることができた。

C-V_{80D}形掃除機の外観写真は図18のとおりである。

6. 結 言

以上じゅうたん掃除性能を向上させるためじゅうたん掃除の吸込性能について根本的考察を加え吸口と本体送風機特性とに大幅な改良を加え、実用吸込性能がきわめてすぐれた掃除機C-V_{80D}形掃除機を完成した。

本考察の考え方は現在最も進んでいるといわれるスウェーデン規格の吸込性能の考え方をさらに一歩進めたものであり、今後の掃除機改良に大きな役割を果たすものとする。今後さらに不備な点の理論的実験的な解明を行ない体系の確立をしていく必要があると考えている。

参 考 文 献

- (1) 市川, 深瀬: 家政学雑誌 13, 第5号 p.75~80
- (2) SEN R 3201 Funktionsprovning av Hushållsdammsugare
- (3) JIS C 9108