

人間工学の各種手法は様々な製品開発に応用されてきたが、製品の多様化に伴い、従来の手法では対応できないケースも増えてきている。しかし、これは逆に、製品開発への新たな手法の導入が、新しい製品や、より優れた製品の開発を促進することを意味している。

そこで、労働生理学などの分野で用いられている筋電図の振幅確率密度関数(APDF: Amplitude Probability Distribution Function)解析を、家庭電化製品を用いた作業の評価に適用し、製品開発・評価手法としての有用性について検討した。その結果、APDF解析は、家庭電化製品を用いた作業を定量的に評価でき、作業特性という観点から製品を評価することが可能であり、製品開発・評価手法としても有用であることが実証された。

Various ergonomic methods have been applied to product development. However, as products diversify and become mature, there are cases in which such methods cannot be applied. The introduction of new methods to product development may therefore promote the development of new products.

An experiment was carried out to determine whether the amplitude probability distribution function (APDF) analysis method using electromyography (EMG) is applicable to the evaluation of consumer products. The results obtained demonstrated that APDF analysis is suitable for consumer product evaluation in terms of sensitivity and correspondence with other objective and subjective methods.

1 まえがき

製品開発において、特に仕様検討や評価の場面では、製品の特性や性能を物理的に測定するアプローチのほかに、製品を使う側であるヒトを対象とし、ヒトから得られる諸情報をものさしとし、検討したり評価するアプローチがある。例えば、製品の使い勝手を評価する場合などは、後者のアプローチとなることが多い。

ヒトから得られる諸情報には様々なものが、検討すべき仕様や評価の目的によっては、しばしば客観的で定量的な情報が求められる。この際、人間工学の分野で用いられる手法、特にヒトの生理的な情報を測定する手法を応用するケースが多い。ヒトの生理的な情報を測定する手法としては、筋電図、心電図、脳波、皮膚電気反射などがあり、検討すべき仕様や評価の目的に応じ、適切な手法が利用される。

しかし、個々の測定手法やその解析手法においては様々な制約があり、適用できる製品や評価できる範囲は限られている。また、製品が多様化したり成熟したりすることで、検討すべき仕様や評価の目的も多様化し、従来の手法では対応できないケースも増えてきている。しかし、逆にこれは測定手法や解析手法の発展が新しい製品の開発を促進し、これまでにない観点から製品を訴求することを可能とすることを意味し、今日の製品開発において主流となりつつある、

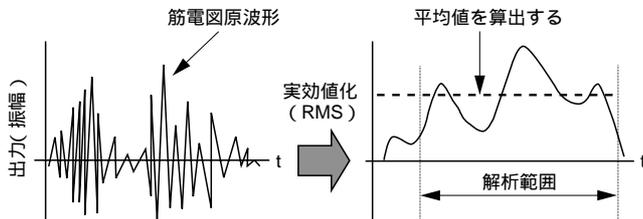
人間中心設計に大いに寄与するものと考えられる。

そこで、この論文では、筋電図の比較的新しい解析手法であるAPDF解析に着目し、製品開発・評価手法としての有用性について検討した。

2 筋電図の各種解析手法

筋電図は、筋が収縮する際に発生する微弱な活動電位を記録したものであり、筋の収縮具合(筋力)を測定するものである。製品を使用する際に発揮する必要がある筋力、すなわち筋の負担という観点から製品の仕様を検討したり、製品を評価する手法として利用されてきた。筋が強く収縮したとき強い力を発揮したとき筋電図の振幅は大きくなり、逆にほとんど収縮しないとき(弛緩(しかん)時)振幅はほぼゼロとなる。これを測定することで、ある作業中に発揮していた筋力を定量的にとらえることができ、例えば、異なる製品を使って同じ作業した際に、それぞれ記録した筋電図を比較することで、どの製品を使った作業の際に発揮された筋力がもっとも小さいかがわかる。もし、作業時に発揮される筋力が小さいほうが良い製品であると仮定できるのであれば、それぞれの製品を使った作業で記録した筋電図を比較し、発揮された筋力がもっとも小さかった作業の際に使われた製品を良い製品であると評価することができる。

筋電図には、大別すると、振幅を扱う解析方法と、周波数を扱う解析方法があるが、製品開発においては主に振幅を扱い、実効値化された筋電図のある一定時間における平均値を算出するか(図1)、整流した筋電図をある一定時間積分し数値化する手法が多く用いられてきた。



RMS : Root Mean Square

図1．筋電図の平均値による解析 実効値化された筋電図のある時間における平均値を算出する。
Schematic illustration of analysis method using mean value of root mean square electromyography (RMS-EMG)

製品を評価する際は、その製品が実際に使われる状況、もしくは、できるだけそれに近い状況で評価することが重要である。例えば、クリーナーやアイロンなどの家事で使用される家庭電化製品では、実際に掃除やアイロン掛けという作業の観点から、それら製品を評価する必要がある。パソコンのキーボードなどは、使用実態に即し、例えば1時間や2時間といった連続使用の条件下で評価する必要がある。実使用状況もしくはそれに近い状況で作業の特性を明確にし、作業特性という観点から、その作業に用いられた製品を評価することが、今日、製品開発の主流になりつつある人間中心設計において、重要なプロセスであると考えられる。

しかし、筋電図の平均値や積分値による解析では、複雑な作業を評価することは難しく、逆に解析結果をより明瞭にするために、評価時に作業をある程度統制する必要があった。このため、実際の使用状況で製品を評価するには不向きなケースもあった。また、筋電図の周波数解析は、局部筋疲労の評価が可能であると考えられるが、一般的な家庭電化製品や情報機器を使用した程度の低負荷の作業により、周波数解析で特定できるような筋疲労が生ずるかどうかは疑問であり、かりに特定できたとしても、作業特性そのものについて評価することは難しいと考えられる。

筋電図を用いた作業分析法としてAPDF解析法があり、労働生理学などの分野においていくつかの研究がある。組立てラインにおける作業の評価や、動力付き工具を使った作業の評価などに用いられてきた。APDF解析とは、筋電図を測定した全時間中に、ある出力(振幅)以下であった時間(出現時間)の総和の割合を、その出力における出現確率として表すものである⁽¹⁾。出現時間を算出する出力を細か

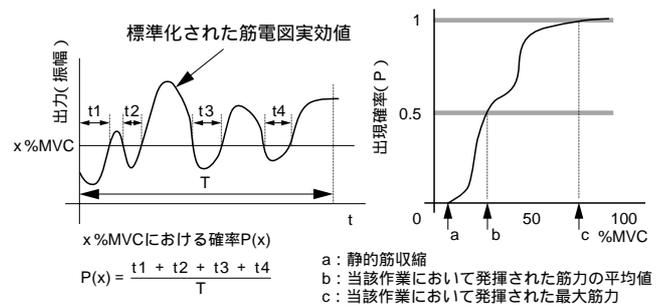


図2．APDFの算出方法 ある筋出力以下であった時間の総和の、全測定時間に対する割合を、その筋出力の出現確率とする。
Schematic illustration of analysis method for APDF

くとっていくことで、出力と出現確率の関数(APDF)が描ける(図2)。APDFの算出には、測定した筋が最大筋力を発揮した際の出力値(これを最大随意筋力(MVC: Maximum Voluntary Contraction)と言う)により標準化された筋電図を用いる。

APDF解析は、平均値や積分値という一つの値ではなく、作業中にどの程度の確率でどの程度の筋力が発揮されていたかという観点から筋電図を解析することができるので、ある程度長時間の作業や低負荷作業の作業特性分析に好適であると考えられる。また、ある程度複雑な作業にも対応でき、さほど厳密に作業統制を行う必要がないとも考えられる。しかし、この手法の応用研究例はあまり多くなく、家庭電化製品や情報機器使用時の作業分析に適用し、製品自体の評価に応用した事例はほとんどない。

低負荷の作業が評価できるのであれば、家庭電化製品や情報機器を用いた作業の評価にも応用が可能であり、ひいてはその作業で使用した製品そのものの評価も可能ではないかと考えられる。そしてなにより、ある程度長い時間の作業を統制することなく実験できれば、それだけ製品を実使用状況に近い状態で評価することが可能である。そこで、家庭電化製品使用時に測定した筋電図にAPDF解析を適用し、解析の感度や、平均値を用いた解析結果及び主観評価結果との適合性という観点から、その有用性を検討した。

3 筋電図のAPDF解析を用いたアイロン評価実験

アイロン掛けは、今日の家事においてもっとも身体的負担の高い作業の一つである。筋負担の観点から、アイロン掛けは、低負荷から中負荷レベルに分布する、動的な作業(アイロンを衣類の上で滑らすこと、アイロンをアイロン台から取り上げたり戻したりすること、など)と静的な作業(シワを取り除くため衣類を押さえつけること、など)により構成される複雑な作業であると言える。表1に示す3種類のアイロンを用い、アイロン掛けの実験を実施した。

表1. 実験で使用したアイロン

Description of irons used in this experiment

項目	アイロンA	アイロンB	アイロンC
質量(g)	1,200	800	800
電源	コードレス	コードレス	コード式
アイロン面滑り加工	あり	あり	なし

3.1 方法

3.1.1 被験者 アイロン掛けの経験を持つ健康な男女学生12名(女性8名,男性4名)を被験者とした。

3.1.2 タスク 解析法に応じ,次のタスクを設定した。

(1) 短時間アイロン掛け作業 平均値による解析を行うため,作業を統制した短時間アイロン掛け作業を設定した。Yシャツの袖,又は前身ごろだけに30秒間アイロン掛けを行わせた。アイロン掛け部位2か所とアイロン3種類の組合せで,被験者一人当たり計6試行実施した。各試行中にサンプリング周波数500 Hzで測定した筋電図を実効値化した。このうち,作業開始直後と終了直前の5秒間のデータを除く20秒分のデータについて,各被験者ごとにMVCを用い標準化した後,平均値を算出し,これを各試行における代表値とした。

(2) 長時間アイロン掛け作業 APDF解析を行うため,ほぼ通常のアイロン掛けと同様の作業を設定した。Yシャツにおいて,掛ける部位の順番だけ指示を与えた以外,基本的には被験者の自由に8分間アイロン掛けを行わせた。アイロン3種類で,被験者一人当たり計3試行実施した。また,3回の試行においてはできるだけ同じようにアイロン掛けするよう,被験者に教示した。各試行中にサンプリング周波数40 Hzで測定した筋電図を,ローパスフィルタによりフィルタリングし,各被験者,筋ごとにMVCを用い%MVC化(筋出力値を,その筋のMVCに対する割合として表したもの)した。次に,各試行において%MVC化された全データを対象に,0.5%MVCごとにその値以下となるデータ数をカウントし,これを全データ数で除した値を各%MVCにおける出現確率とし,APDFを作成した。

3.1.3 筋電図及び主観評価 被験者の利き腕(アイロンを持つ手)の僧帽筋,三角筋,尺側手根屈筋,及び尺側手根伸筋から筋電図を測定した(図3)。

また,各長時間アイロン掛けタスクでは,タスクの中間及び終了直前に,その時点での肩や腕,手における疲労感や不快感について主観評価した。

3.1.4 手順 実験に対するインフォームドコンセントを実施後,身長及び体重を測定し,表面電極を測定する各筋上に装着した。簡単な準備運動の後,各筋において3回ずつMVCを測定した。次に,短時間アイロン掛けタスクを,各試

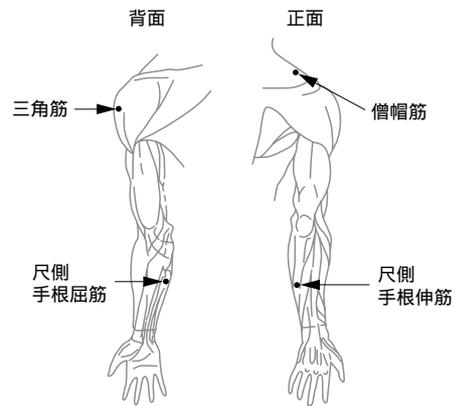


図3. 筋電図測定部位 アイロン掛けにおいて,筋負担が高いと予想される四つの筋で筋電図を測定した。

Illustration of muscles where EMGs were derived

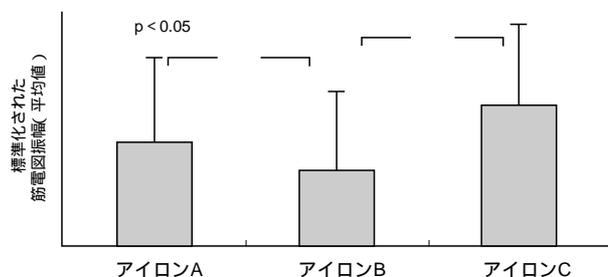
行の間に適宜休息を挟み,各被験者当たり6試行実施した。

十分な休息の後,長時間アイロン掛けタスクを,各試行の間に適宜休息を挟み,各被験者当たり3試行実施した。

3.2 結果

3.2.1 実効値化された筋電図の平均値解析による評価分散分析の結果,アイロンの種類やアイロン掛けする部位の違いにより,筋電図平均値に有意な差が認められた。他のアイロンと比較して,アイロンBを使用した場合に筋負担が低い値となった(図4)。また,前身ごろのほうが,袖と比較して同じ時間アイロン掛けした場合,筋負担が小さいことが判明した。しかし,測定した四つの筋の筋電図平均値には,有意な差は認められなかった。

アイロンの種類やアイロン掛けする部位の違いによる差が認められたことで,統制された作業を簡便に評価するという意味では平均値解析もある程度有効であると考えられる。しかし,統計的な差はないものの,筋間の比較において,僧帽筋での筋負担が2番目に小さい値となっていることは,後述するAPDF解析による結果や主観評価の結果と一致し



p: 統計的に検定した際の有意水準

図4. アイロンの違いによる筋電図平均値の比較 短時間アイロン掛けタスクでは,アイロンBを用いた場合にもっとも筋負担が低かった。Effect of irons on mean values of RMS-EMG

ない。また、実際のアイロン掛けはより複雑な作業であり、平均値解析により作業特性を明確にとらえるには、より複雑な実験計画が必要となると考えられる。

3.2.2 筋電図の APDF 解析による評価 長時間アイロン掛けタスク中に測定した筋電図を APDF 解析した一例を図5に、各確率における全被験者の%MVCの平均値を表2に示す。分散分析の結果、ほぼすべての確率において、アイロンの種類及び筋の違いにより%MVC値に有意な差が認められた。確率 $P = 0.05$ 及び $P = 0.1$ を除くすべての確率において、他のアイロンと比較してアイロン B を使用した際の%MVC値は、わずかではあるが統計的に低い値となり、筋負担が小さいことが判明した。

また、すべての確率において、僧帽筋と尺側手根伸筋での%MVC値が他の筋と比較して有意に高く、確率が高くなるにつれこの差が顕著になることが判明した。アイロン掛けでは僧帽筋と尺側手根伸筋の負担が大きいことが明らかとなった。Jonsson は、 $P = 0.5$ における%MVC値を、その作業における平均的な作業強度を表すものとしている。また、Jonsson らは1時間かそれ以上の作業では、 $P = 0.5$ にお

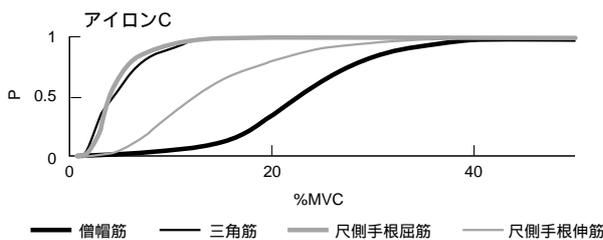


図5．筋電図の APDF 解析結果の一例 ある被験者がアイロン C を用いてアイロン掛けした際の APDF 解析結果を示す。僧帽筋と尺側手根伸筋における筋負担が高いことがわかる。

Example of APDF calculated from long-term ironing task

表2．各確率における %MVC 値
Summary of mean values of %MVC at each probability level

確率 P	僧帽筋			三角筋		
	アイロン A	アイロン B	アイロン C	アイロン A	アイロン B	アイロン C
0.05	5.91	5.07	5.75	2.82	2.75	2.89
0.1	6.95	6.16	7.09	3.48	3.48	3.61
0.5	12.98	11.70	13.32	8.18	8.14	8.34
0.9	23.59	21.48	23.00	17.11	17.07	17.25
0.95	27.86	25.48	27.45	20.30	20.16	20.32

確率 P	尺側手根屈筋			尺側手根伸筋		
	アイロン A	アイロン B	アイロン C	アイロン A	アイロン B	アイロン C
0.05	3.20	3.05	2.88	5.73	5.33	6.00
0.1	3.95	3.68	3.55	7.30	6.93	7.88
0.5	8.08	7.75	7.80	15.80	15.13	16.40
0.9	14.48	13.85	13.85	29.93	28.00	30.65
0.95	16.75	16.20	16.23	35.58	32.83	36.33

る%MVC値は10%を超えるべきではなく、14%を超えてはならないとしている⁽²⁾。この実験の $P = 0.5$ における%MVC値は、およそ8~14%の範囲にあった。僧帽筋ではどのアイロンを使用した場合でも10%MVCを超えており、手根伸筋にいたっては15%MVCを超えていた(表2網掛け部)。

一回当たりの作業時間を含め、アイロン掛けの方法によっては、特に僧帽筋や尺側手根伸筋において、筋負担の許容値を超える可能性があることが示唆された。

また、アイロン C はアイロン A より400g軽いにもかかわらず、アイロン C を使用した場合のすべての確率において、尺側手根伸筋での%MVC値はアイロン A における%MVC値とほぼ同等か、わずかに高かった。これは、アイロン C のアイロン面に滑り加工が施されていないため、摩擦係数が高かったことに起因すると考えられる。今回の実験では、アイロンの質量よりも、アイロン面の摩擦係数のほうが筋負担に大きく影響していたとすることができる。

3.3 結論

APDF 解析は、アイロン掛けという作業の特性を的確にとらえることができた。アイロンの種類、筋の違いによる筋負担の差を検出し、アイロン掛けでは、僧帽筋、尺側手根伸筋の負担が高いことが判明した。これらの筋では、アイロン掛けを1時間程度続けた場合に、負担の許容値を超える可能性があることが示唆された。また、今回の実験からは、筋負担に対し、アイロンの質量よりも滑りやすさが大きな影響を与える可能性が示唆された。作業特性評価という観点から、作業で使用したアイロンそのものの評価が可能であった。

4 あとがき

筋電図の APDF 解析は、家庭電化製品を使用した作業を定量的かつ客観的にとらえ、作業評価の観点から製品を評価することができた。また、ある程度の長時間作業の解析に適用できた。これにより、製品の実使用状況に近い環境、条件下での実験が可能であることが明らかとなった。

筋電図の APDF 解析は、製品開発・評価手法として有用である。今後は、この筋電図の APDF 解析を様々な製品開発に活用し、優れた商品の開発に努めたい。

文 献

- Hagberg, M. The Amplitude Distribution of Surface EMG in Static and Intermittent Static Muscular Performance. Eur. J. Physiol. 40, 1979, p.265 - 272.
- Jonsson, B. Measurements and Evaluation of Local Muscular Strain in the Shoulder During Constrained Work. J. Human Ergol. 11, 1982, p.73 - 88.



富岡 慶 TOMIOKA Kei

デザインセンター デザイン第一担当。

各種製品、システム、サービスのユーザーインタフェースの開発に従事。日本人間工学会、HFES、日本生理人類学会会員。Design Center