

原著論文

文字キーが人間工学的に配列された携帯電話 “ErgoPhone”の提案

福井 裕, 川野 常夫, 林 哲徳
摂南大学 理工学部

“ErgoPhone” with a New Key Layout Based on Ergonomics

Yutaka FUKUI, Tsuneo KAWANO, Akinori HAYASHI
Faculty of Science and Engineering, Setsunan University

Abstract: The purpose of this study is to ergonomically design a cell phone named as “ErgoPhone” with a new key layout. A prototype of the keypad is fabricated to improve the physical burden caused at key-in when using conventional cell phone. In the ErgoPhone, ten keys are located along two arcs on the keypad surface to reduce the muscle burden of the thumb. Besides, text input method with Roman letters is adopted to require only a few keystrokes. Experiments were carried out to measure reach zone of the thumb, muscle burden by EMG, the time required to input text and so forth when using the ErgoPhone and the conventional cell phone. The results showed that the muscle burden of the thumb with ErgoPhone decreased about 30% compared with the conventional one. The text input time decreased about 28%.

Keywords: cell phone, key layout, physical burden, text input and Ergonomics

キーワード: 携帯電話, キー配置, 身体的負荷, 文字入力, 人間工学

1. はじめに

2010年1月現在におけるわが国の携帯電話の普及率は96.3%と極めて高くなっており[1], このことから若年者層を含めて社会で活動する年代層のほぼ全員が携帯電話を所有していると推察される。このように普及している理由として, 携帯電話がただの会話ツールだけではなく, マルチメディアのモバイル情報ツールであることが挙げられる[2]。その機能は, (1)電話, (2)電子メール, (3)デジカメ, (4)写メール, (5)動画映像(ワンセグ), (6)GPS, (7)ホームページ閲覧, (8)ネット家電など多岐に渡っている。

これらの機能を利用するための文字入力インタフェースは, 一般的なマルチタップ入力方式の携帯電話では, およそ5cm幅に収められた10数個のキーだけである。しかもこれらのキーを操作するのは, 主に親指1本であることが, このツールの特殊性を含んでいる。中には左右の2本の親指を使用する人もいるようであるが, いずれにしても親指を器用に, しかも高速に操る人達のことを「親指族」と呼ぶ時期もあった[3]。

親指による打鍵速度は想像以上に速い。メール作成の文

字入力について言えば, 大学生118名について測定した結果, 意味のあるひらがなのみの137文字の場合, 1分間に換算して20字以上40字未満打てる人が46%, 40字以上60字未満が45%, 60字以上が9%であったという報告がある[4],[5]。

このような中で, メール打ち過ぎによる過度の動作の繰り返しや長時間にわたる無理な姿勢が原因となり, 親指の付け根と手の甲のしびれや鈍い痛みなどの反復運動過多損傷(RSI: Repetitive Strain Injury)という症状に悩む人が現れた[3]。携帯電話のキー配列は, 親指にとって操作しやすいようには設計されていないことも原因であると考えられる。

新しい形の文字入力インタフェースは種々研究が行われているが[6],[7],[8], 人間工学的観点からの研究は少ない。

本研究では, 従来の携帯電話のキー配列が親指にとってどの程度の負担があるのかを人間工学的に調査し, その負担を軽減するための新しいキー配列および文字入力方法を提案する。さらにそのプロトタイプを製作し, それによって親指にかかる負担や文字入力速度がどの程度改善されるのかを確認する。

2. 従来機の人間工学的評価

2.1 キー入力時の親指の形状

携帯電話の従来機では, キー入力時に親指がどのような形状になっているかを男女8名(21~26歳)について測定した。

2010年7月30日受理



(a) 1 のキー入力 (b) 5 のキー入力 (c) # のキー入力

図 1 従来機におけるキー入力時の親指の形状

Fig.1 Shape of thumb at key-in with a conventional cell phone

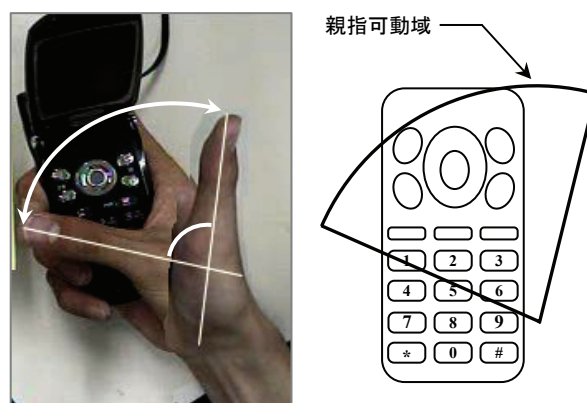
図 1 に代表例を示す。ここでは右利きの人が右手で携帯電話を操作する場合のみを対象とした。使用した携帯電話は P504i (NTT DoCoMo) で、ディスプレイ部を除いたキーパッド部のサイズは幅 50mm、高さ 97mm、厚さ 9mm である。ここで、P504i は 2002 年発売の旧機種であるが、2007 年発売の比較的新しい機種である N705i μ とキーサイズおよびキーピッチを比較したところ、両機種のキーサイズの差は最大 0.4mm、キーピッチの差は最大 0.3mm といずれも十分小さいことから、P504i を携帯電話の操作性のパフォーマンスを評価する従来機として用いる。実験参加者には左上の 1 のキーから右下の # のキーまでの 12 個のキーを、普段どおりの押し方で順に押ししていくように指示し、その様子をビデオカメラで撮影した。

図 1(a) から、1 のキー入力時は親指も手全体も無理なく自然な形で操作していることがわかる。図 1(b) の 5 のキー入力時は、親指の第 1 関節が曲げられていることがわかる。さらに図 1(c) の # の場合は、第 1 関節はさらに大きく曲げられ、人差し指も外側に曲げられていることがわかる。このときの親指の負担は大きいことが予想され、携帯電話の把持も十分にできていないことが推察される。このことから図 1(a) のような姿勢ですべてのキー操作が可能であることが望ましいと考えられる。

2.2 親指可動域

携帯電話を把持したときの親指の可動域を、上述の男女 8 名について測定した。ここでも同様に右利きの人が右手で携帯電話を操作する場合のみを対象とした。実験参加者には普段と同様に携帯電話を把持するように指示し、親指の第 1 関節を伸ばしたままで親指の伸展および屈曲を繰り返してもらい、その運動をビデオカメラで撮影した。ここで第 1 関節を曲げないように指示したのは、前節で述べたように、その関節を曲げない方が無理なく操作ができると考えられ、そのような範囲を求めるためである。

図 2(a) の写真は実際に測定した代表例であり、親指が最大限に伸展した場合と屈曲した場合の写真を重ねて表示している。実験参加者 8 名のこのような図から親指の回転角を求めると、平均と標準偏差で $86.0 \pm 3.8^\circ$ となった。この平均値をもと



(a) 親指可動域の代表例

(b) 平均親指可動域

図 2 携帯電話把持中の親指可動域

Fig.2 Rotational range of the thumb holding a cell phone

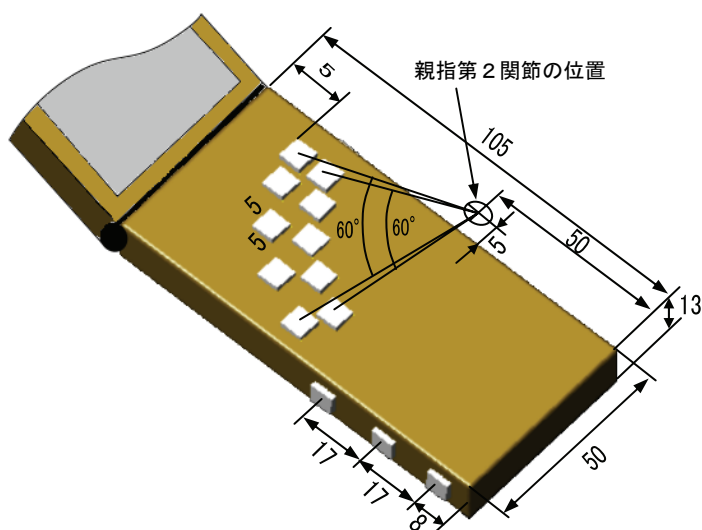


図 3 人間工学的キー配列をもった携帯電話 “ErgoPhone”

Fig.3 “ErgoPhone” with keys located Ergonomically

に親指の可動域を図示すると図 2(b) の図が得られる。この図から文字入力キーのほとんどが親指の可動域内にないことがわかる。

3. 人間工学的文字キー配列の提案

3.1 キー配列と寸法

前節の検討結果から、親指の第 1 関節を曲げずに使用できる携帯電話を構想すると図 3 に示すようになる。ただしこれは右手専用の携帯電話であり、左手専用はこれとは左右対称のものとなる。同図は、キーパッド部を拡大し、ディスプレイの上部は省略して図示している。図 3 に示すようにキーパッドの上面に 10 個のキー (5×5mm) を 5 個ずつ円弧状に配列し、いずれのキーも親指の第 1 関節を大きく曲げずに打てるようになっている。10 個のキーを配置する範囲は、親指の可動域内とし、第 2 関節を中心として 60° の範囲内とした。キーパッドの側面には右手で把持したときに第 3 指～第 5 指の先が自然に届く位置に 3 個のキーを設けた。また、反対側の側面には、親指

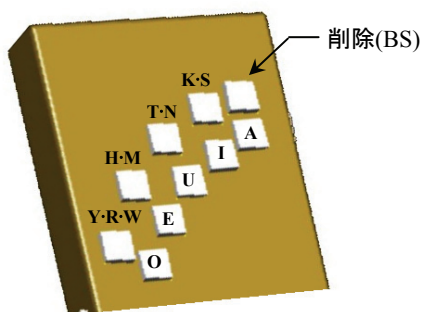


図4 キーへの文字の割り付け(ローマ字入力)
Fig.4 Key assignments (with Roman letters)

の先が自然に届く位置に 1 個のキーを設けた。これら側面のキーは、漢字変換やメニューの操作などを割り当てるものとする。

キーパッド全体のサイズ(幅 50×高さ 105×厚さ 13mm)は、予め 8 種類のサイズ(幅 44~55×高さ 90~110×厚さ 13~23mm)の模型を用意し、20 名の実験参加者に対して把持のし易さ、操作のし易さの観点からアンケート調査を行って決定した。なお実験参加者 20 名の手のサイズは、手幅が 84.7±6.7mm、手長が 173.9±28.4mm であった。

本研究で提案する携帯電話を”ErgoPhone”と呼ぶこととする。

3.2 文字入力方式

本研究で提案する携帯電話では、文字入力にローマ字入力方式を採用する。図4に示すように内側の5個のキーには、母音A,I,U,E,Oを割り当て、外側の5個のキーには、子音を割り当てている。ここで1つのキーに2個または3個の子音を割り当てているため、マルチタップ方式と同様に、同一のキーを2回または3回打つ必要がある。しかし、通常のマルチタップ方式よりもキーを打つ回数は減るものと期待される。右上の1つのキーには何の文字も割り当てていないが、これは削除(BS)に用いることとする。

3.3 プロトタイプ製作

製作したErgoPhoneのプロトタイプを図5に示す。各キーをスイッチとする配線をI/Oボードを介してパソコンと接続し、Visual C++を用いてキー入力のシミュレーションができるプログラムを作成した。ここではひらがな入力のみとし、入力した文字はパソコンのディスプレイに表示されるようにした。

4. 従来機とErgoPhoneの比較

4.1 打鍵回数

マルチタップ入力方式の従来機とローマ字入力方式のErgoPhoneについて、同一の文章に対する打鍵回数を比較した。文章は20文字前後のひらがなのみの短文を8種類用意し、短文内の各文字を入力するのに必要な打鍵回数および文字の出現頻度を基に、短文全体を入力するために必要な

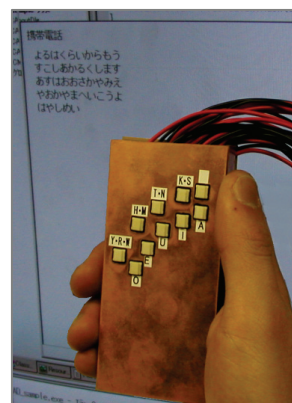


図5 ErgoPhoneのプロトタイプ
Fig.5 Prototype of ErgoPhone

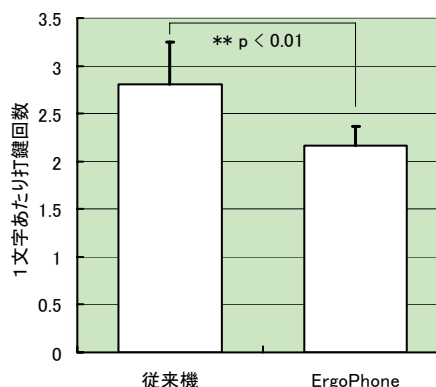


図6 文章入力における1文字あたりの打鍵回数
Fig.6 Keystrokes required to input one character

最少の打鍵回数を計算した。

その結果を図6に示す。図は各短文を入力するのに必要な打鍵回数を、各短文の文字数で除して1文字あたりに必要な打鍵回数に換算し、8種類の短文の平均値で示している。1文字あたりに必要な打鍵回数は、従来機では2.8回、ErgoPhoneでは2.2回となった。t検定を行った結果、それぞれの打鍵回数には有意な差(p<0.01)が認められたことから、ローマ字入力方式にすることによって、打鍵回数は減少していることがわかる。その減少率は8種類の短文において平均で約21%であった。

4.2 打鍵速度

本研究で提案したErgoPhoneは、親指にとって操作しやすい位置にキーを配置したために、さらに打鍵効率が向上することが予想される。それを実証するために、同一の短文を入力するために要する時間を測定した。短文としてここでは、「いろはにほへとちりぬるを」という12文字のひらがなを用いて調べた。この短文を入力するための打鍵回数は、従来機で38回、ErgoPhoneで30回である。

入力作業は、普段から携帯電話によるメールを打ち慣れている23~26歳の男性3名に行ってもらった。実験参加者はErgoPhoneの入力には慣れていないため、30分間の練習を

実施し、十分に慣れてから測定を行った。各参加者にはできる限り速く入力作業を行ってもらった。初めに、携帯電話を自然に把持し、親指を各携帯電話の中央のキー（従来機は 5, ErgoPhone は U)の真上に 10mm 程度浮かした状態で構えてもらい、スタートの合図とともに、入力作業を行う。両方の携帯電話について行い、それぞれ 10 回の所要時間を測定する。

図 7 にその結果を示す。縦軸は、測定した所要時間を、短文の文字数 12 で除して 1 文字あたりの入力所要時間を求め、10 回の測定の平均値を示している。横軸の HY, UD, FK はそれぞれ実験参加者を示している。t 検定を行った結果、全参加者において従来機と ErgoPhone の入力所要時間には有意な差($p < 0.01$)が認められたことから、いずれの実験参加者も ErgoPhone の方が、所要時間が減少していることがわかる。減少率は 3 名の平均で約 28%であった。ここで取り上げた短文は ErgoPhone にとって打鍵回数が 21%だけ少ない例であったため、所要時間が 21%だけ減少するのは当然と言えるが、21%を上回る 28%の減少率が得られたのは、操作性が向上したためと考えられる。

4.3 筋電測定

22~24 歳の男女 6 名について、従来機と ErgoPhone を用いて文字入力を行う際の親指の動きに関連する筋 3 カ所の筋電図を測定した。測定する親指の動作は、(1)各キーへの移動、(2)各キーの打鍵の 2 種類とした。測定には SYNA ACT MT11(NEC 製)を用いた。測定する筋は、図 8 に示すように従来機および ErgoPhone ともに母指球筋、長母指伸筋、長母指屈筋の 3 カ所とした。ErgoPhone を用いた筋電測定時には、同図(b)で示す ErgoPhone のキーパッドと同サイズの亚克力板上に、ErgoPhone と同じ円弧状にキーを貼り付けた器具を用いた。貼り付けたキーはダイヤフラムが付いた状態で従来機から取り外したものを用了。これにより両方の機種で同じ打鍵感覚が得られる。

初めに、各キーまで親指を移動させる際の 3 つの筋の筋電図を測定した。測定時に実験参加者には腕を机の上に楽に置いてもらい、各携帯電話を自然に把持し、親指は中央のキーの真上に 10mm 程度浮かした状態で構えてもらった。測定のスタートの合図とともに、親指を動かしてターゲットとするキーに一旦触れ、再び中央のキーに戻す動作を同じ速度で 5 回ずつ繰り返してもらった。ここではキーの配置場所による違いを検討するためキーを押し込む動作は含めないこととした。従来機では 0 から 9 と *, # を加えた 12 個のキーを、ErgoPhone では上面の 10 個のキーを対象に、キーごとに測定した。

図 9 に親指を各キーへ移動する際の筋電図の測定結果を示す。筋電図は整流化して積分し筋電積分値とし、測定した 3 つの筋が総合的にどの程度活動しているかを調べるために、3 つの筋の筋電積分値の総和をもって筋の活動量の指標とし

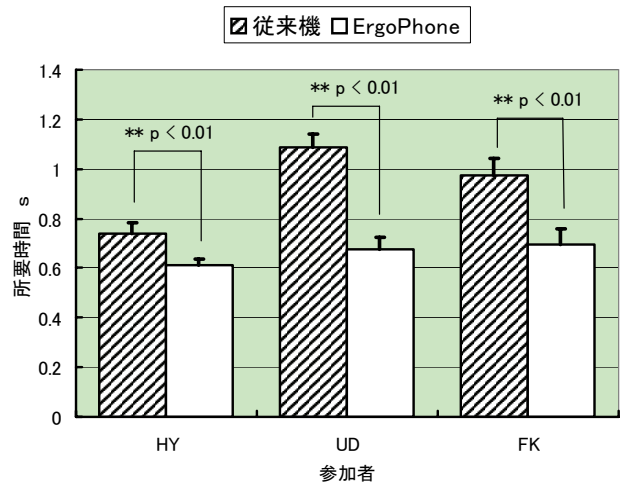


図 7 1 文字あたりの入力に要した時間
Fig.7 Time required to input one character

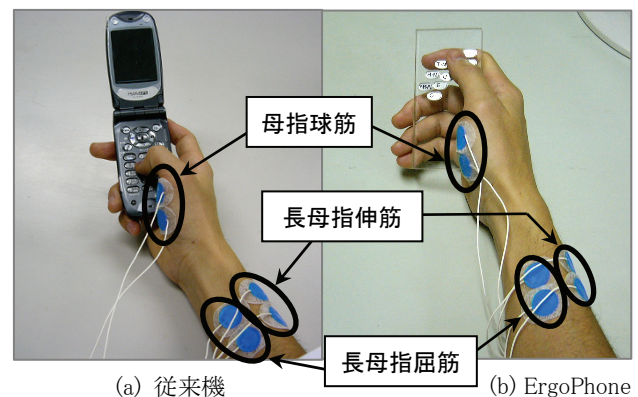
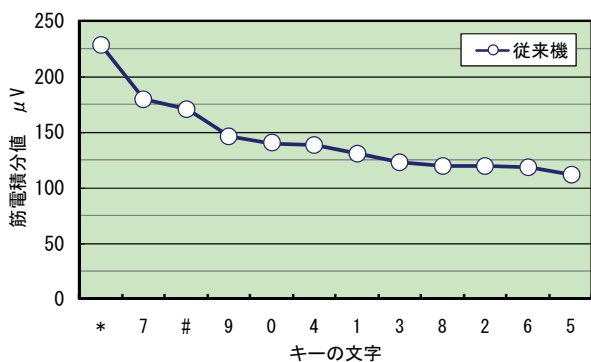


図 8 筋電計測部位
Fig.8 Electrode placements for EMG

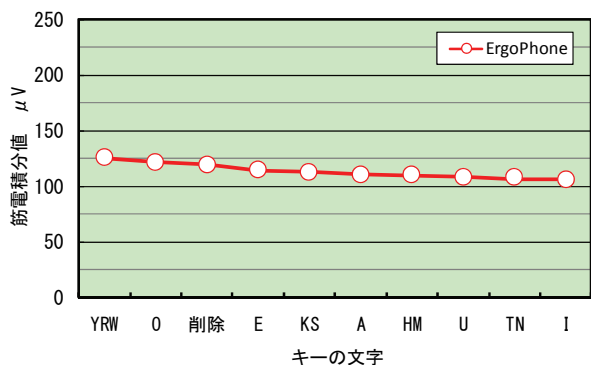
た。同図の縦軸は各キーにおける実験参加者 6 人の筋電積分値の平均値を、横軸はその筋電積分値の降順に並べ替えたキーの文字を示している。同図(a)の従来機においては、*, 7, #キーの位置へ親指を移動する際の筋電積分値が大きくなった。一方、同図(b)の ErgoPhone では、各キーでの筋電積分値の差はほとんどなかった。また、ほとんどのキーにおいて、従来機に比べて筋電積分値は低くなった。各キーの筋電積分値の平均値を求めたところ、従来機では 48.0 μV 、ErgoPhone では 37.9 μV となり、筋電積分値の減少率は 21%であった。

次に、親指で各キーを打鍵する際の筋活動を測定した。各携帯電話は自然に把持し、親指をターゲットとするキーの真上で 10mm 程度浮かした状態で構えてもらった。打鍵速度を同一にするため、メトロノームに合わせて、毎秒 3 回の速度で打鍵することとした。上記の動作を 5 秒間、すなわち 15 回の打鍵を行い、その平均値を採用した。

図 10 に親指で各キーを打鍵した際の筋電図の測定結果を示す。筋電図は図 9 と同様の方法で処理した。図 10 の縦軸は各キーにおける実験参加者 6 人の筋電積分値の平均値を、



(a) 従来機

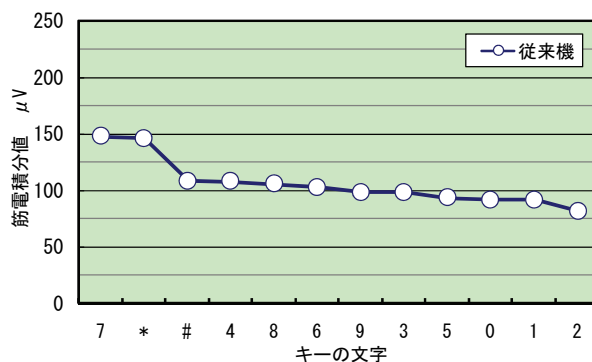


(b) ErgoPhone

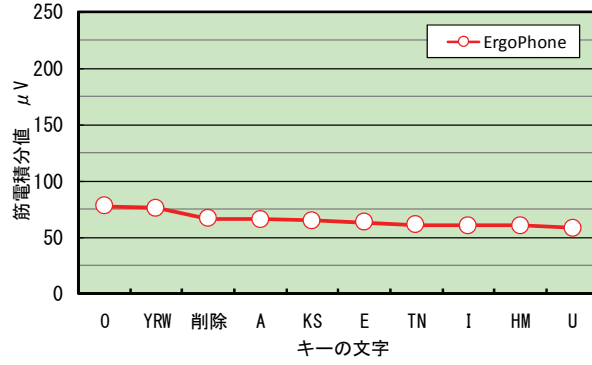
図9 各キーにアプローチするための親指の筋電積分値
Fig.9 Integrated electromyogram of the thumb to approach each key

横軸は筋電積分値の降順に並べ替えたキーの文字を示している。同図(a)より、従来機において、筋電積分値が大きい上位3つは7, *, #であった。一方、同図(b)のErgoPhoneでは、図9で示した移動時の筋電積分値の測定結果と同様に、各キーでの筋電積分値の差はほとんどなく、すべてのキーにおいて従来機に比べ筋電積分値は小さかった。すべてのキーにおける筋電積分値の平均値を求めたところ、従来機では 35.4 μV , ErgoPhone では 21.8 μV となり、筋電積分値の減少率は 38%であった。親指の移動時および打鍵時の筋電積分値を平均すると、ErgoPhone のキー入力操作は従来機に比べて、約 30%改善されているといえる。

図 11 に、親指の移動時および打鍵時の筋電積分値とキーの位置の分布を示す。同図(a)は、移動時の筋電積分値の分布を示す。各キーにおいて、従来機および ErgoPhone の筋電積分値の最大値と最小値の差を 5 等分し、降順に A, B, C, D, E とランクを付けた。親指の移動時の筋電積分値が大きい上位 3 つのうち、*と 7 のキーは同図(a)に示したように、親指の第 1 関節を伸ばした状態での可動範囲から最も遠い場所に位置していることから、これらのキーにリーチするためには親指全体を手前に引き寄せる必要があり、その結果、筋電積分値が大きくなり、そのキーにアプローチする際の負担も大きくなると考えられる。また#キーについては、リーチするためには親指の第 1 関節を大きく曲げる必要があり筋電積分値が大きくなり、



(a) 従来機



(b) ErgoPhone

図10 各キーを打鍵するための親指の筋電積分値
Fig.10 Integrated electromyogram of the thumb to press each key

アプローチする際の負担も大きくなると考えられる。一方、ErgoPhone では、すべてのキーが親指の可動範囲の内側に位置しているため、それらはすべて筋電積分値の最も小さいランク E に属している。

また、同図(b)の打鍵時においても、移動時と同様に、筋電積分値が大きい上位 3 つのキーは 7, *, #であることから、これらのキーは、移動時および打鍵時ともに親指への負担が大きい位置であると考えられる。打鍵時の場合、押し下げるために必要な力は、どのキーでも一定であると考えられることから、これら 3 つのキーでは、無理な姿勢により大きな積分筋電値になり負担が大きくなると考えられる。一方、ErgoPhone では、10 個中 9 個のキーが筋電積分値の最も小さいランク E に属している。

4.4 主観的負担の評価

4.3 節で求めた筋電積分値の大きさと携帯電話の使用者の主観的感覚とを比較するため、キー打鍵時の主観的負担の評価を (1) 従来機の 12 個のキー内での比較、(2) 従来機と ErgoPhone との比較、の 2 通りの方法で行った。主観的評価の場合、ばらつきが大きくなることを考慮して実験参加者を男性 36 名、女性 8 名 (年齢 23 ± 6.2 歳) に増やして調査を行った。

はじめに、従来機の 0 から 9 と *, #を加えた 12 個のキーを実験参加者に任意に各キーを打鍵してもらい、打鍵時に負担

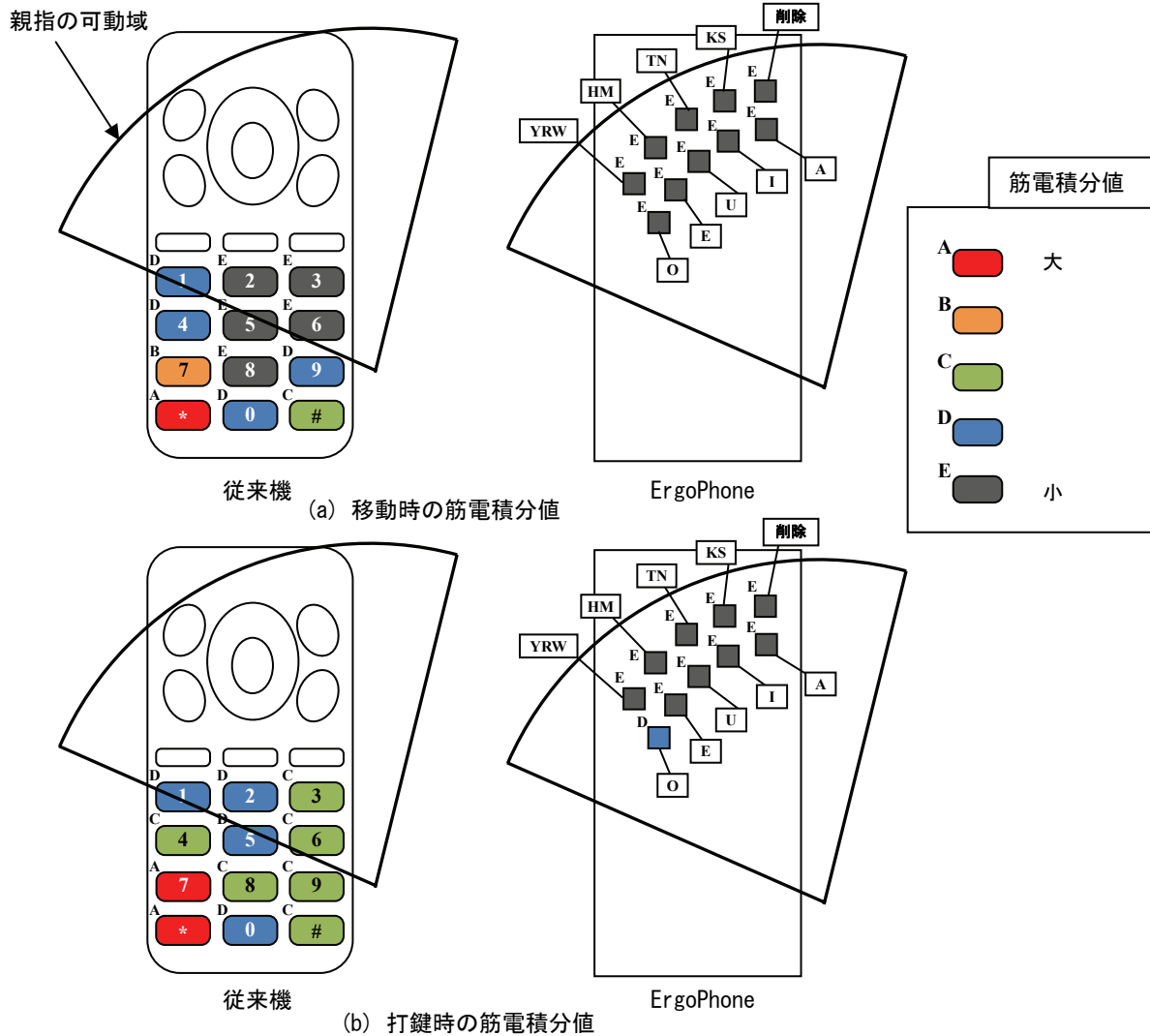


図 11 親指の筋電積分値の分布
Fig.11 Distribution of integrated electromyogram of the thumb

が小さいと感じられるキーおよび負担が大きいと感じられるキーを、それぞれ最大 3 個まで回答してもらった。ここで、携帯電話を把持する位置や方法によって負担感は異なると考えられるため、図 1, 図 2, および図 8 で示した方法と同様に把持するよう指示した。これは 4.3 節の筋電積分値と比較検討を行うためである。

以上の手順で得られた主観的評価結果を図 12 に示す。同図は打鍵時の負担が大きいと感じられるキーと小さいと感じられるキーとに分け、それぞれ回答率で示している。4.3 節で得られた筋電積分値のグラフ図 9, 図 10 に合わせて、図 12 の左側に負担が大きいと評価されたキーが、逆に右側に負担が小さいと評価されたキーが位置するように、それぞれ回答率でソーティングして表示している。同図から負担が大きいと回答した割合が最も高いのは#で、その次は、9, 7, *の順となっている。一方、負担が小さいと回答した割合が最も高いのは 1 で、その次は、2, 5 の順となっている。

これらの評価結果と 4.3 節の筋電積分値の大きさを比較するため、図 9(a)に示した各キーにアプローチするための筋電積分値、および図 10(a)に示した各キーを打鍵するための筋電積分値において、それぞれの平均値より共に大きいキーを選ぶと、*, 7, #となった。これに対して、図 12 に示した主観的

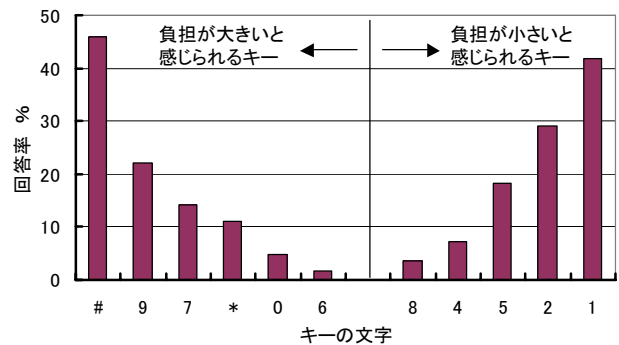


図 12 従来機の主観的負担の評価結果
Fig.12 Evaluation of subjective burdens for conventional cell phone

評価の結果において、これら 3 つのキーが選ばれた割合は 71.4%であり、筋電積分値の大きさと主観的負担の大きさはほぼ合致していると言える。また、主観的評価で 2 番目に回答率の高い 9 のキーは、筋電積分値の大きい上位 3 つに含まれていないが、図 9(a)に示すように、そのキーにアプローチするための筋電積分値が 4 番目に大きくなっていること、また、#のキーの隣に位置することから、負担も比較的大きいキーであると考えられる。同様に、図 9(a)および図 10(a)から、それぞれの筋電積分値の平均値より共に小さいキーを選ぶと、2, 1, 0, 5, 3, 6, 8 となった。これに対して主観的評価において選ばれた 1, 2, 5, 8(回答率の合計は 92.7%)も一致しており、筋電積分値の大きさと主観的負担の大きさはほぼ合致していると言える。

次に、実験参加者に従来機と ErgoPhone を任意に操作してもらい、5 段階(従来機が非常に楽、従来機がやや楽、両者に違いがない、ErgoPhone がやや楽、ErgoPhone が非常に楽)で評価をしてもらった。ここで 5 段階を 1 点から 5 点で点数化して集計した結果、平均値が 4.8 点となり、ほとんどの実験参加者が ErgoPhone が非常に楽と答えていることがわかった。以上の結果、主観的評価においても、ErgoPhone の負担の小さいことが裏付けられた。

おわりに

携帯電話のキー入力のし易さについて人間工学的な観点から検討を行い、不具合を改善するための新しいキー配列を提案した。結果をまとめると以下のとおりとなる。

(1) 親指の第 1 関節を曲げずに自然に可動する領域を求めると、従来機では文字入力キーのほとんどがその領域内にはない。

(2) 親指の自然な可動領域内に 10 個のキーを円弧状に配置し、またローマ字入力方式を採用した新しい携帯電話 ErgoPhone を提案した。

(3) 本研究で提案した ErgoPhone において、今回の実験条件では打鍵に必要な所要時間は約 28%減少し、キー入力時の親指の動きに関わる筋の筋電積分値も平均で約 30%減少することがわかった。

(4) 主観的評価を行った結果、筋電積分値の大きさと主観的負担との大きさはほぼ一致していることが分かった。また、主観的評価においても、従来機より ErgoPhone の方が負担が少ないことがわかった。

参考文献

- [1] 平成 21 年通信利用動向調査(世帯編)総務省:
<http://www.e-stat.go.jp/SG1/estat/List.do?bid=000001026681&cyclo=0>
- [2] 川野, 東, 森脇: ケータイによる会話がヒトの機能へ与える影響, シンポジウム「ケータイ・カーナビの利用性と人間工学」, pp. 1-4 (2004).

- [3] 東京新聞:TOKYO 発 マッハ親指族 腱鞘炎の危険性も, 2001 年 6 月 22 日付け朝刊.
- [4] 田村, 丁井, 上新内: 大学生のケータイ文字入力速度の比較計測, 平成 15 年度日本人間工学会関西支部大会, pp. 154-157 (2003).
- [5] 田村, 丁井: ケータイ文字入力時間の集団計測, シンポジウム「ケータイ・カーナビの利用性と人間工学」, pp.197-202 (2004).
- [6] 北村: ユビキタス時代における新キーボード U12 の提案, シンポジウム「ケータイ・カーナビの利用性と人間工学」, pp. 169-173 (2004).
- [7] 米谷: 携帯電話用データ入力装置 yankee とその評価, シンポジウム「ケータイ・カーナビの利用性と人間工学」, pp. 181-186 (2004).
- [8] 山際, 吉村: モバイル機器における操作手指の動作特性, 人間工学, 43, 3, pp.149-156 (2007).

著者紹介

福井 裕(正会員)



2009 大阪府立大学大学院工学研究科博士後期課程修了, 博士(工学)。同年より, 摂南大学技師および大阪府立大学客員研究員, 現在に至る。デジタルヒューマンモデルやモバイル機器インタフェースの研究などに従事。モバイル

学会, 日本人間工学会, 精密工学会, ヒューマンインタフェース学会などの会員。

川野 常夫(正会員)



1982 神戸大学大学院自然科学研究科博士後期課程修了, 学術博士。神戸大学助手, 大阪府立産業技術総合研究所研究員などを経て, 1991 摂南大学助教授, 2001 摂南大学教授, 現在

に至る。人間工学, 携帯電話の利用性と安全性, デジタルヒューマンモデルなどの研究に従事。モバイル学会 理事, 日本人間工学会 代議員, 精密工学会, 日本機械学会などの会員。