

原著論文

タブレット端末使用時の端末サイズと文字サイズの変化が 上肢姿勢へ与える影響

○馬庭 大樹¹⁾, 小谷 賢太郎²⁾, 鈴木 哲²⁾, 朝尾 隆文²⁾
¹⁾関西大学大学院理工学研究科, ²⁾関西大学システム理工学部

Influence in Posture of the Upper Extremity Through the Use of Various Sizes of Tablets and Characters

○Hiroki MANIWA¹⁾, Kentaro KOTANI²⁾, Satoshi SUZUKI²⁾, Takafumi ASAO²⁾
¹⁾Graduate School of Science and Engineering, Kansai University,
²⁾Faculty of Engineering Science, Kansai University

Abstract: The aim of this study is to analyze postures of the upper extremity during using mobile devices. Using various sizes of tablets and characters, this study examined subjective muscular loads, viewing distances and joint angles in the head, neck, shoulder, elbow and lower back. By changing sizes of characters and tablets, the result showed no postural differences were found between 7 inch and 10 inch devices, whereas the head and neck were significantly flexed and the elbow angles were decreased by using 13 inch device, suggesting that the participants used their laps to take over the excessive load of the 13 inch device. Character size significantly affected to the viewing distance, however no differences of the body angles were found. It was observed that the participants continually increased their muscular loads during the task by flexing the head and neck in spite of their high subjective discomfort levels at the neck and upper arm, which may lead to the potential risk of musculo-skeletal disorders.

Keywords: tablet devices, smartphone syndrome, the upper extremity posture, angle analysis

キーワード: タブレット端末, ストレートネック, 上肢の姿勢, 角度分析

1. はじめに

近年、タッチパネルを搭載した小型携帯端末が急速に普及している。しかし、インターネットに接続し Web ページを閲覧する、メールを送るなどの携帯端末の集中的な使用によって発症するストレートネックなどの筋骨格系疾患(MSDs)の発症率が、携帯端末の急速な普及に伴って増加することが懸念されている[1]。携帯端末の使用によって発症する MSDs に対する先行研究としては、携帯端末操作時における親指の運動[2]や上肢に主観的に感じる筋負担(負担感)の調査[3]が主に行われている。

しかし、上肢の MSDs の発症の原因としては携帯端末操作時に無意識に上肢を緊張させてしまう姿勢が問題であると言われている[4]が、携帯端末操作時の上肢の姿勢変化に着目した研究は我々が知る限り未だにない。また、携帯端末の集中的な使用によって発症するストレートネックに関しては客観

的に評価したデータが乏しく、先行研究[2]では特定の携帯端末(NOKIA3310)における評価にとどまっており、様々な端末のサイズに対する知見にも乏しい。また文字の大きさが読みやすさに影響を与えるといった報告[5]は存在するが、携帯端末上での文字の大きさが姿勢へ与える影響についても知見が乏しい状況である。

そこで我々は、携帯端末使用時に発症する MSDs の改善策となり得るような指針獲得の第一歩として、携帯端末の画面特性(端末の大きさと文字の大きさ)を変化させた時の携帯端末操作時のヒトの上肢姿勢の角度変化を評価することで、携帯端末使用時における上肢姿勢を客観的に評価できると考えた。本報告では、携帯端末使用時において端末と画面に表示させる文字の大きさを変化させたときの上肢姿勢の角度変化の実験結果について報告する。

2. 実験

2.1 被験者

普段から携帯端末を使用している右利きの大学生 10 名(男性 5 名, 女性 5 名)に参加してもらった。なお、被験者の矯正を含む視力は 0.7 以上であった。

2013 年 1 月 16 日受理。(2013 年 3 月 7 日シンポジウム「モバイル'13」にて発表)

2.2 実験システム

本実験では、端末の大きさと文字の大きさを変化させた時の上肢姿勢の角度変化を明らかにするために、実際にヒトが画面特性に変化を与えた携帯端末を操作しているところをビデオカメラで撮影した。撮影にはデジタルビデオカメラ (SONY 社製 PJ760V) を用いて、フレームレート 29 [fps] で動画を撮影した。照度環境について、グレア光源が発生しないように間接照明を用いて、照度が 140 [lx] となるような環境下で実験を行った。また実験では、東芝社製の REGZA Tablet を用いた。画面の大きさは 7in (AT570,332g), 10in (AT700,535g), 13in (AT830,1000g) の 3 種類を用いた (Fig.1)。一般に高コントラスト比を有すると言われている有機 EL ディスプレイ (ただしメーカーの回答はコントラスト比非公開) を用いた。



Fig.1 実験で使用した携帯端末 (左から 7in, 10in, 13in)

2.3 実験手順

被験者には、角度解析に必要な直径 50mm の色付のマーカーを眼角、耳珠、椎骨 (C7)、肩峰、肘 (内側上顆)、腰 (腸骨側面突起) に貼付した (Fig.2)。



Fig.2 マーカーの貼付位置

本実験では、端末の大きさ 3 水準 (7in, 10in, 13in) と文字の大きさ 3 水準 (小:1x1mm, 中:3x3mm, 大:5x5mm) を組み合わせた計 9 条件で実験を行った。なお被験者には順序効果の影響を排除するために実験条件をランダムで提示した。1 条件における実験手順を以下に示す。

- ① 被験者には椅子に腰を深くかけて座ってもらい、実験で使用する携帯端末の操作に慣れてもらうために、文字入力の練習を十分に行ってもらった。なお、入力方式はフリック入力に統一し、左手で端末を把持し、右手で文字入力を行う両手操作で統一した。また、被験者には「端末の画面角度の調節やタスク中に姿勢を変化させるなど操作しやすい姿勢を保って操作してください」と教示した。
- ② 実験者のスタートの合図で、被験者には簡単な文章編集作業を 5 分間行ってもらった。なお、文章編集作業に関する操作の教示として被験者には「特に速く入力しようとする必要はなく、緊張せず作業に集中してください」と教示した。
- ③ 5 分経過後、実験者が終了の合図を出し、被験者には文章編集作業を終了し、携帯端末操作時における負担感について、アンケートに記入してもらった。
- ④ アンケート記入後、10 分間の休憩をとった。

3. データ処理

3.1 角度分析

角度分析には Labview (NI 社製) を用いて画像処理で角度を算出した。撮影した動画から 0 [sec] から 300 [sec] まで 30 [sec] ごとに画像を切り出し、画像解析により各マーカーの中心座標の位置情報から Sommerich et al. [6] の方法を参考にして頭、首、肘、肩、腰の角度 [deg] とディスプレイとの視距離 [mm] を計測した。

3.2 可動比率%ROM (% Range of Motion)

上肢の中でも特に頭と首の関節可動域の大きさはヒトによってばらつきが大きいと言われている [7]。従って、首の屈曲角度が同じ角度であったとしても、関節可動域の大きさが異なっていれば、ヒトによって関節可動比率が異なる。そこで本研究では、被験者ごとの運動した角度の大きさを正規化するための指標として %ROM (% Range of Motion) を用いた。基本肢位を力が入っていないリラックスした状態の肢位とし、基本肢位を起点として、関節の運動方向を腹側に曲げる屈曲方向と背側に曲げる伸展方向にわけて、%ROM を算出した (Fig.3)。

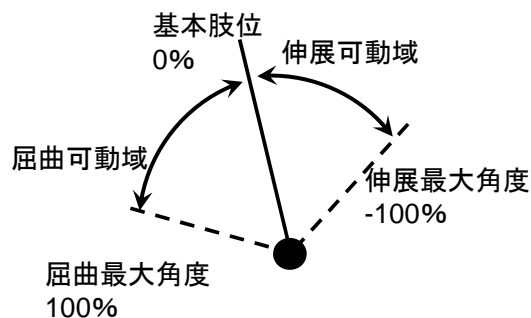


Fig.3 基本肢位からの屈曲運動と伸展運動

3.3 主観評価

姿勢の角度変化を測定すると同時に、負担感の評価についてはアンケートによる Borg Scale (CR-10) を用いた。アンケートでは [3] を参考に、上背部 (upper back)、首、左上腕に感じる負担感と眼疲労についての評価を行ってもらった。なお、上記以外に負担感を感じている部位があれば随時報告してもらった。統計処理として、実験条件における端末の大きさ3水準、文字の大きさ3水準とする2要因分散分析(有意水準5%)と、Tukeyの方法を用いて多重比較を行った。また時間推移については一对の標本による平均の検定(t検定、有意水準5%)を30[sec]と300[sec]の値の間で行った。

4. 結果

4.1 画面特性の変化が上肢姿勢に与える影響

Table 1 に端末の大きさごとにおける視距離、上肢各部の屈曲度合い、上肢の負担感と目の疲労感の値を示す。なお、視距離と上肢各部の屈曲度合いの値は 30 [sec] ~ 300 [sec]までの平均値を算出している。

Table 1 端末の大きさごとにおける視距離、上肢各部の屈曲度合い、上肢の負担感と目の疲労感

	7in	10in	13in	有意差
視距離 [mm]	252	251	328	**
頭の屈曲度合い [%]	49%	48%	57%	**
首の屈曲度合い [%]	38%	38%	52%	**
肩の屈曲度合い [%]	-1%	-3%	-3%	NS
肘の屈曲度合い [%]	52%	53%	38%	**
腰の屈曲度合い [%]	5%	4%	6%	NS
上背部の負担感 [-]	3.63	3.83	4.27	NS
首の負担感 [-]	2.93	3.33	4.56	**
左上腕の負担感 [-]	3.67	4.33	5.41	**
目の疲労感 [-]	2.36	2.33	2.73	NS

端末の大きさにおいて、視距離と頭、首、肘の屈曲度合いと首、左上腕の負担感の値に有意差が見られた。多重比較の結果、有意差が見られた条件の中では 7in 条件と 10in 条件間では有意差は見られず、13in 条件に対して 7in 条件と 10in 条件では有意差が見られた。また、肩、腰の屈曲度合いと上背部の負担感と目の疲労感には有意差は見られなかった。

Table 2 に文字の大きさごとにおける視距離、上肢各部の屈曲度合い、上肢の負担感と目の疲労感の値を比較した。なお、視距離と上肢各部の屈曲度合いの値は 30 [sec] ~ 300 [sec]までの平均値を算出している。

文字の大きさごとにおいて視距離の値に有意差が見られた。多重比較の結果、文字の大きさが小(1x1)条件と中(3x3)条件間と、小(1x1)条件と大(5x5)条件間のみ有意差が見

られた。また、文字の大きさにおいて視距離以外の変数には有意差は見られなかった。

Table 2 文字の大きさごとにおける視距離、上肢各部の屈曲度合い、上肢の負担感と目の疲労感

	小(1x1)	中(3x3)	大(5x5)	有意差
視距離 [mm]	258	284	288	**
頭の屈曲度合い [%]	51%	52%	51%	NS
首の屈曲度合い [%]	43%	44%	41%	NS
肩の屈曲度合い [%]	-2%	-2%	-2%	NS
肘の屈曲度合い [%]	50%	47%	47%	NS
腰の屈曲度合い [%]	5%	5%	5%	NS
上背部の負担感 [-]	4.13	3.77	3.67	NS
首の負担感 [-]	3.89	3.56	3.37	NS
左上腕の負担感 [-]	4.78	4.48	4.15	NS
目の疲労感 [-]	2.97	2.33	2.12	NS

4.2 時間経過が上肢姿勢に与える影響

Lin et al. [4] より、ヒトは携帯端末を集中して操作する時に無意識に首や肩を緊張させるといった上肢の緊張状態を招くと言われていることから、上肢姿勢は時間経過に伴って変化しているのではないかと考えた。そこで、Fig.4~6 に被験者の一例として被験者 B の端末ごとにおける視距離と上肢各部の屈曲度合いの時間推移を算出した。

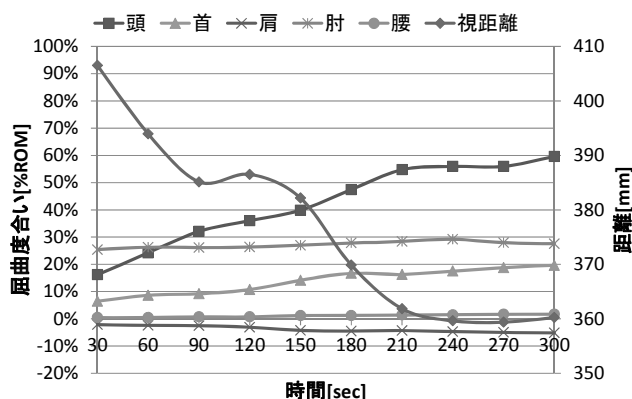


Fig. 4 7in 条件における作業開始 30 [sec] から 300 [sec] 経過時の視距離と上肢各部の屈曲度合いの時間推移

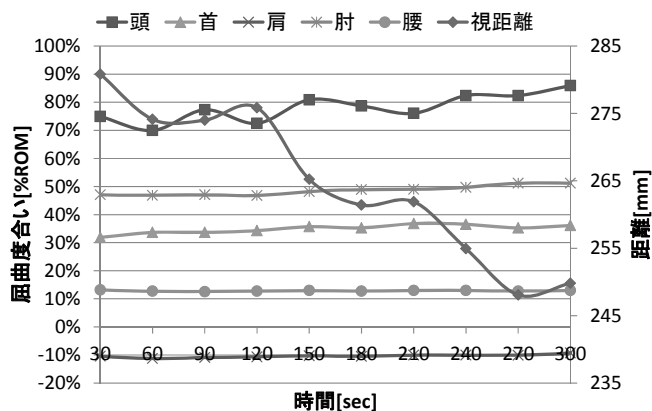


Fig.5 10in 条件における作業開始 30 [sec] から 300 [sec] 経過時の視距離と上肢各部の屈曲度合いの時間推移

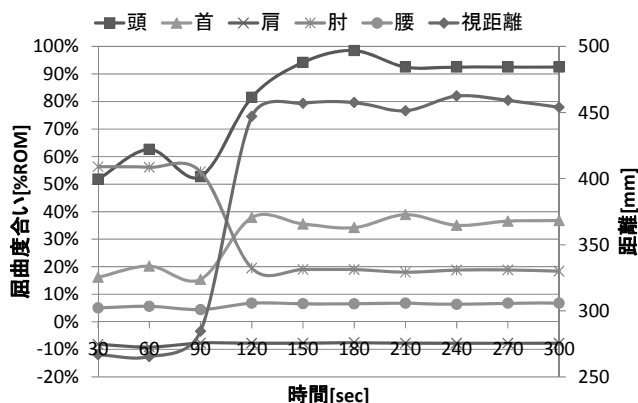


Fig.6 13in 条件における作業開始 30 [sec] から 300 [sec] 経過時の視距離と上肢各部の屈曲度合いの時間推移

Fig.4~6において視距離と上肢姿勢は経時的に変化して、定常状態になる傾向が多く見られた。つまり、実験開始直後と実験終了時では視距離と上肢姿勢に変化が見られるのではないかと推測される。そこで、端末ごとにおける視距離と上肢各部の屈曲度合いの 30 [sec] 時に抽出した値と 300 [sec] 時に抽出した全被験者の平均値を比較した (Table 3~5)。

Table 3 作業開始 30 [sec] と 300 [sec] 経過時の 7in 条件における視距離と上肢各部の屈曲度合い

	30[sec]時の値	300[sec]時の値	有意差
視距離[mm]	258	239	**
頭の屈曲度合い[%]	43%	50%	*
首の屈曲度合い[%]	34%	40%	**
肩の屈曲度合い[%]	-2%	-2%	NS
肘の屈曲度合い[%]	49%	52%	**
腰の屈曲度合い[%]	3%	3%	NS

Table 4 作業開始 30 [sec] と 300 [sec] 経過時の 10in 条件における視距離と上肢各部の屈曲度合い

	30[sec]時の値	300[sec]時の値	有意差
視距離[mm]	258	245	†
頭の屈曲度合い[%]	44%	49%	*
首の屈曲度合い[%]	34%	35%	NS
肩の屈曲度合い[%]	-3%	-3%	NS
肘の屈曲度合い[%]	49%	51%	NS
腰の屈曲度合い[%]	6%	6%	NS

Table 5 作業開始 30 [sec] と 300 [sec] 経過時の 13in 条件における視距離と上肢各部の屈曲度合い

	30[sec]時の値	300[sec]時の値	有意差
視距離[mm]	282	346	*
頭の屈曲度合い[%]	48%	67%	**
首の屈曲度合い[%]	38%	61%	**
肩の屈曲度合い[%]	-1%	-3%	NS
肘の屈曲度合い[%]	41%	26%	*
腰の屈曲度合い[%]	4%	6%	*

Table 3 より 7in 条件時において、30 [sec] から 300 [sec] にかけて視距離は有意に減少し、頭、首、肘の屈曲度合いは有意に増加することがわかった。Table 4 より 10in 条件時において、30 [sec] から 300 [sec] にかけて視距離は有意に減少する傾向が見られ、頭の屈曲度合いは有意に増加することがわかった。Table 5 より 13in 条件時において、30 [sec] から 300 [sec] にかけて視距離は有意に増加し、頭、首、腰の屈曲度合いは有意に増加し、肘の屈曲度合いは有意に減少することがわかった。以上より、時間経過に伴って上肢姿勢は変化するが、13in 条件時は他の条件と比べると、視距離が増加して頭、首、腰が屈曲し、肘は伸展することも明らかとなった。

5. 考察

Table 1 より端末の大きさによって視距離は変化し、上肢姿勢も変化することがわかった。特に 13in 条件時は他の条件と比べて操作姿勢が異なることで、頭、首、肘の屈曲度合いに有意な変化が生じていたが、10in 条件時ではそれらの傾向が見られなかった。特に 13in 条件では左上腕の負担感がほかの部位と比べて高く(5.41)、13in では左腕で保持していた端末の重さが上腕への負担となり、その負担を大腿部で分散させる姿勢をとる代わりに頭頸部の姿勢悪化を招いたと考えられる。結果として、端末の大きさの影響は、作業姿勢を維持することが困難であるような重さでは視距離と上肢姿勢を大きく変化させるが、作業姿勢を維持することが可能である端末の重さの範囲内(今回では 10in 条件 (535g))であれば視距離と上肢姿勢に変化を与える影響は小さいと考えられる。主観評価の結果より、端末を大きくすることで上腕への負担が高まり、その負担を回避するために大腿部に端末を置いて操作する傾向が見られたと思われる。その結果から首を大きく屈曲させる姿勢をとることにより、首への筋負担を強く感じていることがわかった。また時間推移の結果より、頭頸部が徐々に屈曲する傾向があることがわかった。よって端末の重さの影響によって上腕が疲れることが問題ではなく、上腕の負担を回避するために大腿部で端末を操作し、首の負担を回避しないことが MSDs 発症の問題であることがわかった。また解剖学的な観点より、頭頸部を屈曲させることは上背部に存在する僧帽筋の過緊張に影響を及ぼすと言われている[7]が、今回の結果からは端末の大きさを大きくすることで頭と首の屈曲度合いは増加するが上背部の負担感に有意差は得られなかった。これは Berolo et al. [3]の報告とも一致している。この結果は頭頸部の屈曲による僧帽筋の過緊張が生じたとしても上背部の負担感には MSDs 発症に繋がる指標となりにくいと考えられる。

文字が大きくなることで視距離は増加していたが、各部位の姿勢の角度に一貫した傾向は見られなかった。この結果は、視距離を調整している上肢の部位が個人ごとで異なることを示唆する。一般にデスクトップの画面などでは端末が比

較的固定されているため、読みやすさを優先するために無理な姿勢を強いられるが、携帯端末ではユーザが自由に読みやすい姿勢をとることができる。この点は携帯端末におけるモバイル性のメリットであると考えられる。また、実際に携帯端末上の文字を大きく表示させることが上肢姿勢の変化を生起し、MSD のリスク改善に有効かどうかは被験者群を体格や筋力の違いで比較しながら、詳細な実験的検討を行う必要があるだろう。

本実験では、時間経過とともに、視距離と頭の屈曲度合いは有意に変化する傾向が見られた。Lin et al. [4] の報告では各作業状態（作業開始前⇒第1作業中⇒休憩⇒第2作業中⇒作業後など）の上肢の筋活動などの生体情報の変化は報告されていたが、作業中の動的な姿勢変化についてはこれまで報告されてこなかった。本実験では、頭の屈曲度合いが時間経過とともに増加していることから、作業開始後から継続的に上肢の緊張状態を増加させている様子が観察された。また、13in 条件時では上腕の負担を回避するために頭頸部のさらなる屈曲姿勢をとることがわかった。つまり、頭の屈曲度合いが経時的に増加することで上肢の緊張状態を悪化させることになるため、継続的な作業時間が MSDs 発症のリスクに関与している可能性が示唆された。しかしながら、MSDs 発症リスクとの関係性を明確にするためには作業時間の変化に対する筋負担の度合いの定量的な評価を行う必要があるだろう。

6. まとめ

本稿では、端末の大きさと画面に表示させる文字の大きさを変化させたときの上肢姿勢の角度変化と時間経過に伴う上肢姿勢の変化を調べることを目的として実験を行った。その結果、端末の大きさの影響は 10in 条件までは作業姿勢を維持することが可能であり、13in 条件では端末の重さが影響して、作業姿勢を維持することが困難なため、携帯端末を手で保持せず、その負担を大腿部で支える傾向があることがわかった。本実験では男女各 5 名と広い体格のレンジを意図して実験に参加してもらったが、実際に適切な携帯端末の大きさ(重さ)を評価するためには利用者の体型や筋力との関係を知ることが重要になると考えられる。また、文字の大きさの変化は本実験からは直接的に姿勢変化につながる要因と特定することはできなかったが、体格や筋力との関係については検討の余地があると思われる。さらに、作業時間の時間経過に伴って、操作開始から継続して上肢の緊張状態を増加させている様子が観察され、継続的な作業時間が MSDs 発症のリスクと関与している可能性が示唆された。今後は筋負担の度合いを筋電図計測で定量的に評価し、時間経過による筋負担の度合、つまり姿勢の変化による実際の筋負担の変化をとらえることにより、更なる分析を進めたい。また、4in や 5in など現在最も普及しているスマートフォンなどの携帯端末との比較実験も行うことで、

画面の大きさと文字の大きさが上肢姿勢に与える関係性を調べていくことも今後の展望としたい。

謝辞

本研究の一部は日本学術振興会の科研費(24370103, 24657182)および関西大学エコロジカル・インタフェース・デザイン研究グループの助成を受けたものである。

参考文献

- [1] Gold Judith, Jefferey Driban, Nadja Thomas, Tapash Chakravarty, Sampson Channell, Eugene Komaroff: Postures, typing strategies, and gender differences in mobile device usage: An observational study, *Applied Ergonomics*, Vol.43, pp.408-412, (2012)
- [2] Ewa Gustafsson, Peter W. Johnson, Mats Hagberg: Thumb postures and physical loads during mobile phone use - A comparison of young adults with and without musculoskeletal symptoms, *Journal of Electromyography and Kinesiology*, Vol.20, pp.127-135, (2010)
- [3] Sophia Berolo, Richard P. Wells, Benjamin C. Amick: Musculoskeletal symptoms among mobile hand-held device users and their relationship to device use: A preliminary study in a Canadian university population, *Applied Ergonomics*, Vol.42, pp.371-378, (2011)
- [4] I-Mei Lin, Erik Peper: Psychophysiological patterns during cell phone text messaging: A Preliminary Study, *Applied Psychophysiology and Biofeedback*, Vol.34, pp.53-57, (2009)
- [5] 窪田悟：小型反射型 LCD の文字サイズ、文字画素構成、画素密度と読み取りやすさとの関係、*映像情報メディア学会誌*, Vol.55, No.10, pp.1363-1366, 2001
- [6] Carolyn Sommerich, Heather Starr, Christy Smith, Carrie Shivers : Effects of notebook, computer configuration and task on user biomechanics, productivity, and comfort, *International Journal of Industrial Ergonomics*, Vol.30, pp.7-31, (2002)
- [7] Neumann Donald (嶋田智明, 平田総一郎監訳); 筋骨格系のキネシオロジー, 医歯薬出版株式会社, pp.128-360, (2008)

著者紹介

馬庭 大樹(正会員)



2012 年関西大学システム理工学部機械工学科卒業。同年関西大学大学院理工学研究科博士課程前期課程入学、現在に至る。PC マウスに装備されているスクロールホイールのユーザビリティ向上の研究を経て、現在はタブレット端末使用時における上肢姿勢の影響に関する研究に従事。モバイル学会会員。



小谷 賢太郎(非会員)

1996年ペンシルバニア州立大学(産業工学)博士課程修了(Ph.D.). 同年関西大学工学部助手を経て現在同システム理工学部教授, 専門はヒューマンインタフェース, 生体信号処理. 計測自動制御学会, ヒューマンインタフェース学会, 日本人間工学会, 日本臨床神経生

理学会などの会員.



鈴木 哲(非会員)

1998年青山学院大学大学院理工学研究科博士課程修了. 博士(工学). ドイツ・アーヘン工科大学労働科学研究所研究員(ドイツ学術交流会奨学生), 青山学院大学理工学部助手, 首都大学東京システムデザイン学部助教を経て, 2011年より関西大学システム理工

学部准教授. 専門は人間工学, 生体医工学, マン・マシンインタフェース.



朝尾 隆文(非会員)

2007年香川大学大学院博士後期課程修了. 同年より関西大学システム理工学部機械工学科助教, 現在に至る. ヒトの視覚・知覚, 人間-機械系に関する研究に従事. 自動車技術会, 日本人間工学会, 計測自動制御学会, 日本機械学

会等の会員. 博士(工学).