

指導員訓練における人間・生体工学の意義と実習カリキュラム Significance and Practice Curriculum of Ergonomics and Biological Engineering for Instructor Training in Vocational Training

不破 輝彦 (職業能力開発総合大学校 能力開発院 心身管理ユニット)

小野 直樹 (職業能力開発総合大学校 長期課程 機械システム工学科)

小島 伸吾 (元職業能力開発総合大学校, 現 (株) エヌ・ティ・ティエムイー)

Teruhiko Fuwa, Naoki Ono and Shingo Ojima

指導員訓練の中で人間・生体工学を扱う意義について検証した。政産官学の状況や各種のニーズ調査から、人間・生体工学は新たな価値創造、産業育成、雇用創出を期待できる技術の一つであり、人間工学の企業内教育訓練ニーズも高いことから、生体・人間工学関連の在職者訓練の必要性は十分にある。しかし、現実にはこの在職者訓練はほとんど機能していない。原因として、浸透度の低さと、訓練を担当できる職業訓練指導員の不足が考えられた。以上から、人間・生体工学関連の指導員訓練の必要性は高く、意義ある分野であることを示した。加えて、既存の人間工学カリキュラムを分析し、不足する内容として、筋電図の測定評価カリキュラムを提示した。

キーワード：人間工学、生体工学、職業訓練、指導員訓練、カリキュラム開発、筋電図測定

1. はじめに

職業訓練指導員（以下、指導員）の役割は多いが、その中に、在職者訓練における高度・複合的で高付加価値の技術提供や、県立の職業能力開発短期大学校における卒業研究、職業能力開発大学校における開発課題のテーマ開発がある。これらを担当する指導員には、新たな価値を生み出すために必要な技術が要求されるが、それでは、どのような技術が必要なのだろうか。職業訓練で扱われるべき技術や技能は、その意義が明確であり、かつ、ニーズに基づいて決められなければならない。そこで職業能力開発総合大学校（以下、職業大）基盤整備センターでは、分野別に職業能力開発ニーズの調査を行っている。例えば、機械・金属分野、電気・電子、情報・通信、制御分野、建設分野、農林分野、デザイン分野などである。しかし複合・横断的な分野は、これまでのニーズ調査の対象になりにくい。

このような分野の一つに、人間工学や生体工学がある。このふたつは、学問上では学際領域や複合領域と呼ばれ、目的はそれぞれ異なるが、その基盤技術には共通する要素（例えば医学・生理学、生体計測、生体信号処理、統計学など）が多い。そこで本論文では、特に必要がない場合は、“人間・生体工学”として取り扱うことにする。この人間・生体工学を、職業訓練のなかで扱う意義があるのかどうか、これまでに十分な議論はなされていない。

一方、職業訓練における教材の整備は、指導員が訓練を担当する上で重要である。人間・生体工学は、普通職業訓練の普通課程（デザイン系を除く）や離職者を対象

とした短期課程では、ほとんど扱われない。そのため、教材や実習カリキュラムの整備も進んでいない。不破らは、このような状況を調査した上で^{1,2)}、“ものづくり”に有用な人間・生体工学分野の実習カリキュラムとして生体電気信号の測定を挙げ、その一例として心電図、心拍変動の測定と自律神経評価の実習法を検討した²⁾。心電図以上に“ものづくり”に活用される要素が筋電図測定である。しかし、その実習カリキュラムはこれまでに未整備である。

本論文の目的は、指導員訓練の中で人間・生体工学を扱う意義について考察するとともに、具体的な実習カリキュラムとして筋電図の測定・評価実習を検討することである。

2. 指導員訓練の中で人間・生体工学を扱う意義

2.1 人間・生体工学の意義

人間が使う製品は、人間の特性に適合していることが望ましい。そうすれば、安全性が確保されることはもちろん、使いやすさや快適性、満足感などが得られる。そのための知識・技術が人間工学であり、生体工学である。人間・生体工学を活用することにより、我々の生活が豊かになるような、新たな価値を創造できる可能性が高く、先端・革新技术を担う分野のひとつと考えられる。

これは製品に限ったことではない。スポーツや作業といった人間の行為も、人間の特性に適合していなければ健康を保つことはできないし、効率的なフォームや正しい技能を習得するためには、動作中の人間の特性を解析

しなければならない。スポーツ競技の分野では、バイオメカニクス研究が盛んであり、競技成績に直結した成果が得られている。一方、“ものづくり”の分野ではそれほど盛んではなく、特に、技能習得過程を心身・環境まで含めて人間科学（人間・生体工学を含む）的に解明しようとする研究は皆無であった。そこで職業大では、「身体性認知科学に基づくフライス加工技能の修得・伝承モデルの構築」（平成 25 年度科学研究費助成事業（基盤研究（B））採択課題、研究代表者：古川勇二職業大校長）というテーマで平成 25 年度より研究を開始し、不破も研究分担者の一人として参加している。

以上のように、人間・生体工学は、新たな価値を創造できるものづくり技術である点、および、人間の動作を分析・評価してスポーツやものづくり技能などの習得に貢献できる技術である点において、大きな意義がある。

2.2 政産官学によるライフ・イノベーション

人間・生体工学はライフサイエンス分野に属するが、近年、ライフサイエンス分野は日本の重要課題に位置づけられている。「新成長戦略」（平成 22 年 6 月 18 日閣議決定）の 7 つの戦略分野の一つに、「ライフ・イノベーションによる健康大国戦略」がある。ここには、“日本の高齢化は、ライフ・イノベーション（医療・介護分野革新）を力強く推進することにより新たなサービス成長産業と新・ものづくり産業を育てるチャンスでもある”、および“高い成長と雇用創出が見込める医療・介護・健康関連産業を日本の成長牽引産業として明確に位置づける”、ならびに“ものづくり技術を活用した高齢者用パーソナルモビリティ、医療・介護ロボット等の研究開発・実用化を促進する”と記述されている³⁾。同様に「第 4 期科学技術基本計画」（平成 23 年 8 月 19 日閣議決定）にも“ライフイノベーションの推進”が含まれ、また「日本再生の基本戦略」（平成 23 年 12 月 24 日閣議決定）においても、新成長戦略の考え方に“高齢者ニーズを踏まえたライフ・イノベーション等による新たな成長産業の創出”が含まれる。

官においては、文部科学省は平成 25 年度予算の「ライフイノベーションの推進」の取り組みの中で、“高齢者・障がい者や介護現場ニーズに応えるロボット等”を推進している。

ここで、ライフ・イノベーションの具体的な中身を見てみたい。「工学フォーラム 2013」（主催：国立大学 53 工学系学部長会議、読売新聞社、2013 年 10 月 19 日開催）の主題として“ライフ・イノベーションを創る”が掲げられた⁴⁾。ここでは、誰もが快適で幸福な生活を送れる社会を実現する技術を目指し、4 分野（①安全な水・食糧の確保、②障害者補助・長寿命対応、③高度情報化、④環境エネルギー）を対象とした。このうち②について具体的には、a) 快適な生活を実現する技術、b) 医療を支援する工業技術、c) 工学による、高齢者や障害者の健

康支援、生活の質の向上、が掲げられた。

実際にここ数年、これまでにないような、健康支援のための安価な家庭用製品が発売されるようになってきた。例えば睡眠の質の改善を目指す製品としては、『タニタ睡眠計スリープスキャン（SL-501）（タニタ製、2010 年 5 月発売）』や『ねむり時間計（オムロン製、2012 年 4 月発売）』があり、前者は睡眠中の脈拍や呼吸数、体動などを検出、後者は体動により、共に睡眠状態の監視や管理ができるようになっている。一方、高価なものでは、医療・福祉施設レンタル用として使用できる機器として『ロボットスーツ HAL 福祉用（CYBERDYNE 製）』があり、ロボットスーツ装着者の筋電図を解析して装着者の動作をアシストできる。

これらの製品に用いられている技術は、人間・生体工学が得意とする分野である。したがって、産業界における人間・生体工学のニーズも、今後、高まってくるのではないかと考える。（社）日本人間工学会のニーズ対応型人間工学展開委員会は、一般人を対象に Web 上でアンケート調査を実施（2009 年 11 月）し、人間工学の必要性が高いことを示した⁵⁾。企業内の人間工学教育訓練の必要性については、（社）人間生活工学研究センターの調査⁶⁾、および日本人間工学会の企業の人材育成プログラム開発委員会の調査⁷⁾がある。それぞれ、企業内での人間工学教育訓練の必要性を示すアンケート結果が出ているが、同時に、企業内で教育訓練を担当できる人材が不足していることも明らかになった。

以上のことから、人間・生体工学は国が推進するライフ・イノベーション戦略を担う技術の一つであり、一部の企業からは、新規性のある健康関連製品が開発・市販されるようになってきた。企業における人間工学ニーズや人間工学教育訓練ニーズも高いが、人間工学の企業内教育訓練体制は十分ではない。

2.3 職業訓練における人間・生体工学

企業が従業員に対する人間・生体工学の教育訓練を外部機関に求める場合、専門の機関（例えば人間生活工学研究センターや NPO 法人人間中心設計推進機構）が開催する講習会、あるいは大学の公開講座（例えば東京電機大学 ME（医用生体工学）講座）などに従業員を参加させる方法がある。この他の選択肢として、厚生労働省が管轄する職業訓練がある。本節では、職業訓練における人間・生体工学の現状について分析する。

職業訓練で扱われる“ものづくり力”は主に生産技術が中心であり、そこには“人間”や“生体”といった用語はほとんど登場しない。しかし一部で取り扱いがある。

短期間で技能を習得させる離職者訓練では、人間工学の極一部分のみが住居系や生産管理系で扱われることはあっても、人間工学そのものは扱わない。一方、普通課程では、デザイン系の訓練科で人間工学が扱われる。例えば、新潟県立三条テクノスクール工業デザイン科や

北海道立北見高等技術専門学院造形デザイン科には人間工学の科目があるが、普通課程の全体から見れば、これらの事例は例外的である。在職者訓練においては、職業大基盤整備センターが「人間工学に基づく設計技術」というカリキュラムモデルを公開しており⁸⁾、平成 25 年度は中部職業能力開発促進センターが主催する能力開発セミナーとして、「製品設計のための人間工学活用」が開催された⁹⁾。一方、職業大が設置する総合課程（高度職業訓練の課程）には、機械専攻の必修科目に「人間工学」があり、人間・生体工学関連の内容が講義されている。

以上のように、職業訓練における人間・生体工学は、現状では一部での取り扱いに止まっている。人間工学の教育訓練ニーズがあることは各種のアンケート調査により明らかだが、中小企業の従業員等を対象とする在職者訓練において平成 25 年度開催のもので確認できたのは、中部職業能力開発促進センターによる前述のセミナーのみであった。このような現状の原因として、人間・生体工学の意義が指導員や訓練生、中小企業の経営者や従業員などにあまり浸透していないこと、および、この分野を担当可能な指導員が少ないことが考えられる。日本人間工学会ニーズ対応型人間工学展開委員会の報告書⁵⁾においても、「人間工学の必要性は高いが浸透度は低い」との結果が示されている。

2.4 指導員訓練における人間・生体工学

これまで述べたように、人間・生体工学分野の意義は大きく、中小企業の従業員等を対象とする在職者訓練でこの分野を扱う必要性も高いと考えるが、実際に訓練を担当可能な指導員は少ないと思われる。したがって、この分野を担当できる指導員養成が必要であり、これは、職業大の役割である。本節では、職業大の指導員訓練における、この分野の現状について分析する。

長期課程では、機械システム工学科に「バイオエンジニアリング」、「ヒューマンインターフェース」の 2 科目が用意されている。共に選択科目だが、毎年、過半数の学生が履修する。これらの講義では、人間・生体工学に関する基本的な事項が扱われているが、実習科目ではないため、これらの科目の受講だけでは職業訓練の現場で実習を担当することは困難と思われる。

研修課程の技能・技術実践研修で関連するものとして、平成 25 年度は 5 コース（「人間工学の基本体系」、「使いやすさを追求するものづくり技術入門」、「ものづくりにおけるユニバーサルデザイン」、「福祉の現場から学ぶものづくり技術」、「生活支援機器を題材としたものづくり実践（色識別装置編）」）が設定された。研修課程では講義だけでなく実習も実施できるので、講義だけでは不足する実習担当能力を習得できることが期待される。これまでに不破が実施した技能・技術実践研修の受講者には職業能力開発大学校や職業能力開発短期大学校の指導員の割合が高く、卒業研究や在職者訓練のテーマ開発など

を受講目的とされる場合が多かった²⁾。一方、職業能力開発促進センターの指導員の方の受講者は比較的少なく、結果として受講者不足でコースが中止されることがあった。受講者増のためには、研修課程の各コースを案内する「研修要項」（職業大発行）において、コースの意義や必要性を分かりやすく説明することが求められるだろう。

なお、平成 26 年度より新たな指導員訓練として指導員養成訓練が職業大でスタートする。このうち、長期養成課程の先端技術分野の科目（機械指導科）として「生体工学」が用意される予定であり、指導員候補者に対する人間・生体工学分野の浸透度向上を期待できる。第 68 回労働政策審議会職業能力開発分科会（2012 年 10 月 24 日開催）の資料¹⁰⁾によれば、この先端技術科目は「産業・技術動向に即した訓練ができる能力の強化」と位置づけられている。2.2 節で述べたように、人間・生体工学は国が推進するライフ・イノベーション戦略を担う技術の一つであることから、長期養成課程の科目「生体工学」は、先端技術科目としての役割を果たすと考えられる。

指導員訓練では、受講者が人間・生体工学の意義を説明できるようになることを含めて、専門知識が講義される。さらに、理解度を高めて実践的な職業訓練に活用できるようにするためには、適切な実習カリキュラムが必要である。しかし、これまで整備されていなかったため、不破研究室では、長期課程学生の卒業研究テーマの一つとして、人間工学実習カリキュラム開発を行ってきた。

3. 人間・生体工学の実習カリキュラム開発

3.1 実習カリキュラム開発の必要性

職業訓練における人間・生体工学の公開されたカリキュラムとして、前述の在職者訓練カリキュラムモデル「人間工学に基づく設計技術」⁸⁾があるが、座学のみで実習を伴わず、内容も 13 項目の見出しが羅列されているのみで、すぐに訓練に活用できるものではない。一方、既存の人間工学の教育訓練カリキュラムとしては、人間生活工学研究センターの報告書「人間工学人材育成カリキュラムの開発」⁶⁾、および日本人間工学会企業の人材育成プログラム開発委員会の報告書「企業の人材育成プログラム開発研究」⁷⁾がある。これらは共に、座学のカリキュラムとしては充実した内容である。座学以外に、生体計測等の実習テーマも含まれるが、具体的な実験や測定方法を示したものではないため、この分野の経験が不足する指導員では実習担当が困難である。

そこで不破、佐藤は、職業訓練に適した実習カリキュラムとして生体電気信号測定を提案し、一例として心電図、心拍変動の計測と自律神経機能評価方法を示した²⁾。また、筋電図が製品開発や作業者の評価によく使われる指標であることから、今後、筋電図測定の検討も必要であると指摘した²⁾。

3.2 筋電図の実習カリキュラム開発

3.2.1 実習の目的

実践的な実習カリキュラム開発として、筋電図による製品負担度評価を検討した。評価対象機器は、多くの人に馴染みのあるパソコン用キーボードを選定した。

この実習カリキュラムの対象者は、職業訓練の訓練生、特に在職者訓練における中小企業の従業員等を想定する。同時に、在職者訓練を担当する職業訓練指導員に対する指導員訓練としての役割を想定する。このカリキュラムによる訓練を受けた者が、筋電図による製品評価をできるようになることが目標である。

本節では、カリキュラムの中核となる筋電図の測定方法、信号処理方法、評価方法について概要と測定評価例を説明する。評価の要点は、筋電図を用いてキーボード使用時の筋活動量を推定し、形状の異なる2種類のキーボードで筋負担度を比較することである。

3.2.2 方法

(a) 使用するキーボード

キーボードとして2種類(①Dell製 Model.SK-8115(図1(a))、②KINESIS製 ADVANTAGE USB CONTOURED KEYBOARD(図1(b)))を用意する。①はキーボードとして一般的な形状、②は左手用キー、右手用キーが分離し、かつ、手の形状に合わせた立体的な形状である。アルファベットのキー配列は、共に QWERTY 配列である。

(b) 被験者

被験者は、健常男子学生6名(21.5±0.5歳)とする。6名(S1、S2、S3、S4、S5、S6)のうち、S4、S5、S6の3名はKINESIS製キーボードを使用するのは今回が初めてである。S1、S2の2名は、以前に5分間程度の試用経験があるが、このキーボードに慣れるには至っていない。S3は本実験の実験者で、この実験までに合計3時間程度の使用経験があり、このキーボードに慣れている。一方、Dell製キーボードは、全被験者が日常的にレポート作成等に使用しており、十分に慣れている。

なお、本実験はヘルシンキ宣言に則り、被験者のインフォームド・コンセントを得て行う。

(c) 筋電図測定

筋電図として、被験者の表面筋電図を測定する。そのためには、対象とする動作ではどの筋が用いられるのか、文献(例えば[11])を参照する等により決定する。キーボード操作時には多くの筋が用いられるが、測定例では左手の総指伸筋を対象とする。筋電図の誘導法として単極誘導と双極誘導があるが、今回は双極誘導法を用い、電極の貼付位置を図2とする。電極には使い捨て電極(日本光電製L-150)を3個使用し、電極中心間距離を10mm、総指伸筋の筋線維走行方向に沿って貼付し、肘部分に不関電極を貼付する。

(d) 測定システム

以下に、測定例で用いた実験システムと手順を示す。

電極リード線(日本光電製BR-331U、BR-332U、BR-335U)を介して3個の電極を生体用アンプ(日本光電製MEG-5200)に入力し、アンプにより0.5~100Hzの帯域を10,000倍に増幅する(ハムフィルタはオン)。BNCケーブルを介してアンプの出力をA/D変換装置(ADINSTRUMENTS社製PowerLab/16sp、USBで制御用パソコンに接続)に入力し、サンプリング周波数1kHz、16bitでA/D変換する(これを生データとする)。

(e) 信号処理方法

生データに対し、デジタルフィルタを用いて基線動揺を除去する。筋電図の帯域は5Hz以上なので¹²⁾、カットオフ周波数5Hzの6次IIRハイパスフィルタをかける。その後、筋活動量を推定するために、全波整流(絶対値をとる)と平滑化(5sの移動平均)を行い、これを筋活動量とする。一連の信号処理には、Igor Pro 6.1(Wavemetrics製ソフトウェア)を用いる。

(f) 測定手順

被験者は事務用椅子に座る。2種類のキーボード間で



(a) Dell製 Model.SK-8115



(b) KINESIS製 ADVANTAGE USB CONTOURED KEYBOARD

図1 実験に使用したキーボード2種の外観



図2 電極貼付位置(総指伸筋)

筋負担度を比較するためには、作業量の統一、すなわち、同じ時間内に同じ打鍵数で作業する必要がある。作業量の統一を保証するために、以下の測定手順に従う。

- (1) 最初の 15s 間は、両腕を肩の下に自然に降ろして安静状態とする。次の 15s 間は、両手を KINESIS 製キーボードのホームポジションに置く。
 - (2) 引き続いて、平仮名のみの定型文 (124 文字) を自分のペースで入力し、入力時間 T [s] を計測する。 T は被験者毎に異なる。
 - (3) 入力終了後は、15s 間は指をホームポジションに戻し、引き続いて 15s 間は、安静状態とする。
 - (4) 約 180s 間、休憩をとる。実験者は、この間に、キーボードを Dell 製に置き換える。
 - (5) 休憩後最初の 15s 間は、安静状態とする。次の 15s 間は、両手を Dell 製キーボードのホームポジションに置く。
 - (6) 引き続いて、定型文 (前述) をちょうど T [s] で入力し終わるように速度を調整されたメトロノームに合わせて、Dell 製キーボードで定型文を入力する。
 - (7) 入力終了後は、15s 間は指をホームポジションに戻し、引き続き 15s 間は、安静状態とする。
- (g) データ処理

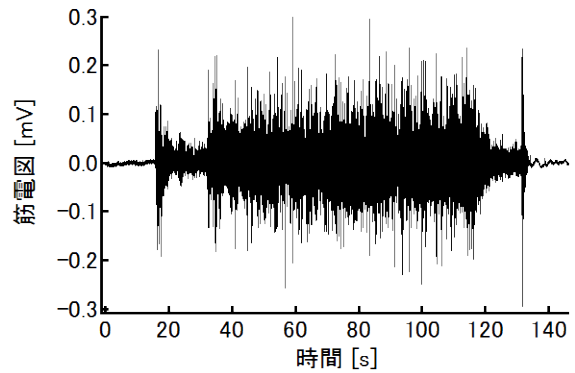
入力時間 T [s] 間の最初と最後の各 10 s 間を除いた区間において、キーボード毎に筋活動量の時間平均 (Dell 製: M_D 、KINESIS 製: M_K) を計算し、 M_D 、 M_K の全被験者の平均値を算出する。

人間のデータを測定する場合、個人差や個人内変動があるために、単に平均値を比較するだけでは不十分である。 M_D の平均値と M_K の平均値との間に統計学的に意味のある差があるかどうかを判断するためには、仮説検定の手法を用いる必要がある。ここでは、正規性を検定するために Shapiro-Wilk 検定、平均値の差を検定するために ‘対応のある t 検定 (両側)’、t 検定判定の正確さを示す事後の検出力分析 ($\alpha=0.05$) による検出力 ($1-\beta$) を算出する。計算には、Addinsoft 社の統計解析用ソフトウェア XLSTAT-Pro+Power (ver.2012.2.01) を用いる。

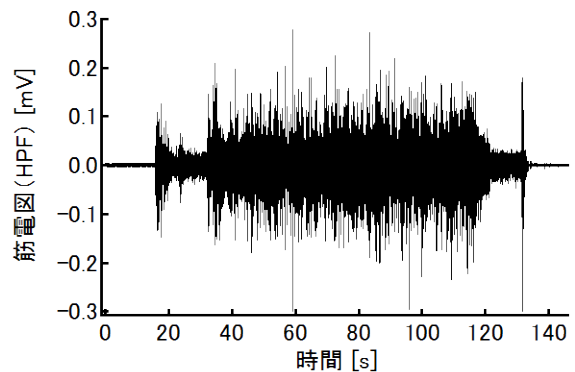
3.2.3 結果

測定例として、被験者 S4 が Dell 製キーボード使用時の筋電図と信号処理結果を図 3(a)~(d) に、図 3(a)、(b) の拡大図を図 4(a)、(b) に示す。被験者の入力速度 (=メトロノーム速度)、筋活動量の時間平均 M_D 、 M_K を表 1 に示す。

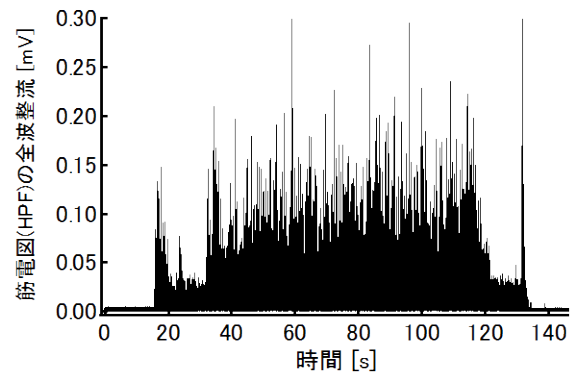
Shapiro-Wilk 検定の結果、 M_D における p 値は 0.188、 M_K における p 値は 0.138 となり、有意水準 10% で共に正規性を仮定できると判断した。そこで、対応のある t 検定 (両側) を行くと、 $p=0.185$ となり、今回の測定例では、 M_D の平均値と M_K の平均値との間には有意水準 5% で統計的有意差があるとは言えない結果となった。引き続き、事後の検出力分析を行うと、検出力 ($1-\beta$) は 0.241 となった。



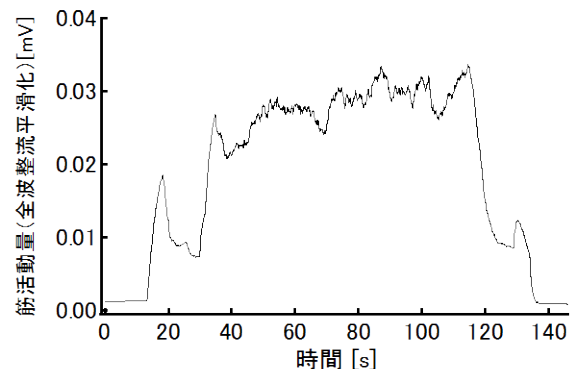
(a) 筋電図の生データ①



(b) ①に6次IIRハイパスフィルタ(5Hz)をかけた波形②

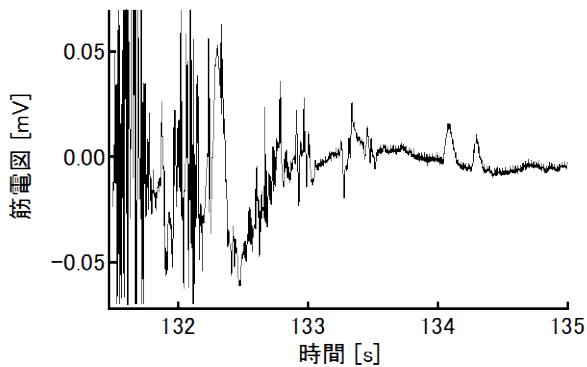


(c) ②を全波整流した波形③

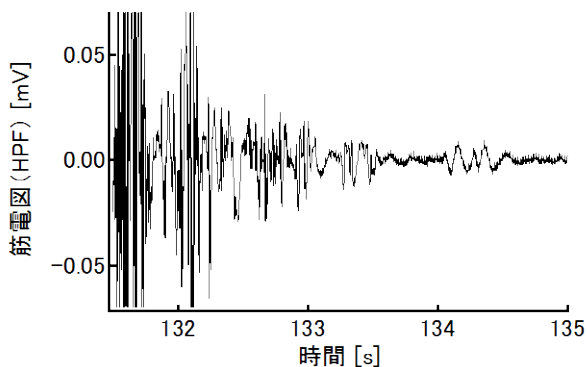


(d) ③を平滑化(5s移動平均)した波形

図3 Dell 製キーボード使用時の筋電図測定例



(a) 筋電図の生データ①



(b) ①に6次IIRハイパスフィルタ(5Hz)をかけた波形②

図4 ハイパスフィルタの効果 (図2(a), (b)の拡大)

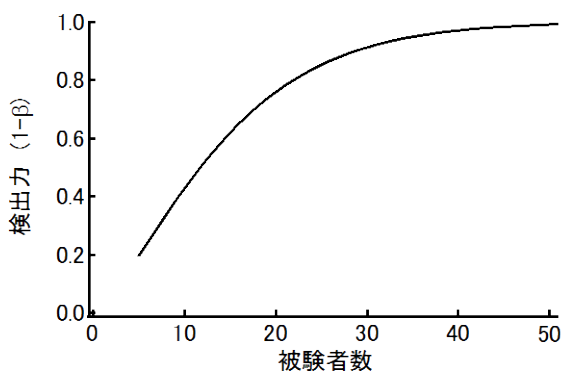


図5 検出力曲線 (Addinsoft社XLSTAT-Pro+Powerによる)

3.2.4 考察

(a) 測定例に対する考察

全波整流平滑化で筋活動量を求める場合、筋活動に因らない筋電図の基線動揺を除去しなければ、誤った筋活動量を算出する恐れがある。図 4(a)は、ホームポジションから安静状態に両腕を移動させた際の時間軸を拡大した筋電図だが、このような姿勢変化時には、特に基線動揺のノイズが混入しやすい。図 4(b)と比較すると、フィルタにより十分にこのノイズが除去されたことがわかる。

図 3(d)は筋活動量を示す。この図から、筋活動の3段

表 1 各被験者のキーボード入力速度 (メトロノーム速度)、及び筋活動量の時間平均 M_D 、 M_K

被験者	個別調整されたメトロノームの速度 [拍/分]	Dell キーボード M_D [mV]	KINESIS キーボード M_K [mV]
S1	60	0.0206	0.0214
S2	75	0.0153	0.0208
S3	68	0.0177	0.0159
S4	92	0.0280	0.0312
S5	48	0.0140	0.0150
S6	58	0.0161	0.0168
平均	67	0.0186	0.0202
標準偏差	15	0.0051	0.0060

階 (安静状態、ホームポジション、入力作業中) を明確に区別でき、筋活動量が筋の負担度を定量的に示す指標として有効であることを示している。今回は平滑化に 5s の移動平均を用いたが、平滑化の程度は目的に応じて変えても良いだろう。

表 1 から、被験者のキーボード入力速度には個人差が大きいことがわかる。キーボード入力速度と M_D との相関係数は 0.77、 M_K との相関係数は 0.86 となり、筋活動量は作業速度と相関があった。

t検定の結果は、2 種類のキーボード使用時の筋活動量には統計的有意差があるとは言えないことを示したが、この際の検出力は 0.241 であった。これは、実際に有意差があるときは、24%の確率で有意差を検出できることを意味する。逆に言えば、76%の確率で有意差を検出できないため、検出力の弱い実験だったと言える。Cohen は、0.8 以下の検出力では、第 2 種の誤り (本当は差があるのに、差がないと判断する誤り) を犯す可能性が高くなるとしている^{13,14)}。

検出力が弱い原因として、第一に、被験者数が 6 名と少なかったことが挙げられる。今回の結果に対して、XLSTAT-Pro+Powerによる検出力曲線のシミュレーションを行ったところ、図 5 のようになった。検出力 0.8 以上を得るためには、被験者 22 名以上が必要であると推定された。一般に、実験に必要な被験者数は一概には言えないが、人間工学の分野では 10 名程度は必要とされている¹⁵⁾。検出力が弱い原因の第二は、筋電図の振幅に個人差が大きいことである。一般に筋活動量を定量的に評価する場合、事前に等尺性最大随意収縮時の筋活動量MVCを測定し、作業時の筋活動量をMVCで標準化した%MVCを指標とすることが多いが、今回の測定例ではMVCの測定を行っていなかった。%MVCを用いることで、筋電図振幅の個人差を低減できる可能性がある。

また、キーボード入力速度の個人差も影響した可能性がある。これを確認するために、 M_D 、 M_K を各被験者の

キーボード入力速度で除した値を用いてt検定すると、p値は 0.170 となり、このときの検出力を求めると 0.257 となった。この操作をしなかった場合の検出力は 0.241 だったので、入力速度で正規化したことにより、多少、検出力が向上した。

今回の測定例では統計的有意差は示されなかったが、表 1 を見ると、被験者S3 以外の全被験者ではKINESIS製キーボード使用時の方がDell製よりも筋活動量は大きかった。両キーボードの外観(図 1) からわかるように、KINESIS製ではアルファベットのキー配列はDell製と変わらないが、キーの配置が大きく異なる。KINESIS製の製造元によれば、人間工学設計に基づき、反復的なタイピング作業による傷害の軽減や、快適な使用感を得られるメリットがあるとしているが¹⁰⁾、このメリットを受けるためには、このキーボードに慣れる必要があるのではないかと思われる。実験後に、主観的評価としてKINESIS製キーボードの使用感を確認したところ、S3 以外の全員が「使いにくかった」と回答した。S3 は、「初めて使ったときは使いにくかったが、使うにつれて使いやすくなり、今(測定時点)では一般のキーボードと変わらない」との回答であった。以上のような被験者の主観的評価や経験値について、今回の結果からは統計学的な裏付けは得られなかったが、被験者数や被験者の構成、実験手順を再検討すれば、統計学的に示すことも可能ではないかと考える。

(b) 実習カリキュラムとしての考察

生体信号計測の測定項目を考える場合、筋電図は測定が容易で、複雑な信号処理も不要であることから、生体計測の経験がない者でも取り組むことができる。一方、脳波は信号レベルが微弱でノイズに弱く、測定には十分なノイズ対策が必要である。また、心電図の測定は容易でノイズにも強いが、専門外の者にとってはその後の信号処理(R波の検出、心拍変動の算出、周波数解析、ゆらぎ解析など)が複雑で、専用のソフトウェア(多くは高価である)が必要となる。脳波、心電図以外の生体信号計測も多くあるが(例えば皮膚電気活動、呼吸計測、眼電図、眼球運動計測、脳血流量変化、関節角度計測、三次元動作分析など)、測定や解釈は筋電図ほど容易ではない。筋電図が実際の製品開発や作業評価によく使われる指標であることを考慮すれば、筋電図は実習カリキュラムの測定項目として最も適している。

筋電図の測定は容易であるが、誤った結果の解釈は避けなければならない。そのため、実習カリキュラムには、被験者数や統計処理についての指針や解説、手順の内容が含まれる必要がある。特に統計については、平均値のみの比較をしてはならないこと、およびt検定などの仮説検定の結果はあくまでも統計学上のものであり、実験条件や被験者の経験、主観的評価の結果を総合的に判断しなければならないことを示しておく必要がある。

4. まとめ

本論文では、最近の政産官学の動きや職業訓練、指導員訓練の現状を踏まえた上で、指導員訓練において人間・生体工学分野を扱う意義について考察した。加えて、実習カリキュラムの開発も不可欠であることから、筋電図による製品負担度評価法を示した。その結果、以下のことが明確になった。

- 1) 人間・生体工学は、新たな価値創造や人間の分析・評価の手法として、大きな意義がある。
- 2) 人間・生体工学は、国が推進するライフ・イノベーション戦略を担う技術の一つであり、新たな産業育成や雇用創出を期待できる。
- 3) 人間・生体工学の企業内教育訓練ニーズが認められるが、企業内の実施体制は不十分である。
- 4) 在職者訓練では、人間・生体工学分野の実施が不十分であり、原因として、浸透度の低さ、および担当可能な指導員の不足があると考えられた。
- 5) 人間・生体工学分野を担当可能な指導員養成が必要である。
- 6) 筋電図の測定評価は、人間・生体工学分野の実習カリキュラムとして適している。
- 7) 人間・生体工学分野の実習カリキュラムにおいて、統計処理の重要性の明示とともに、被験者構成や実験手順を含めた総合的な評価が必要である。

今後の課題は、人間・生体工学がどのような製品開発に活用され、そこではどのような技術が使われているのかを調査、分類することにより、“ものづくり”に必要な人間・生体工学の技術要素を明確化することである。それを教材開発に生かし、人間・生体工学の職業訓練カリキュラム、指導員訓練カリキュラム開発に反映させることである。

謝辞 本研究において、被験者として実験に協力していただいた職業能力開発総合大学校機械システム工学科不破研究室の3、4年生に感謝いたします。

参考文献

1. 不破輝彦：職業訓練における『人間工学』の現状と課題～企業ニーズと“真に高度”な在職者訓練への提言～、第16回職業能力開発研究発表講演会予稿集、pp. 83-84 (2008)
2. 不破輝彦、佐藤健司：職業訓練における人間工学カリキュラムに関する研究、職業能力開発研究、第28号、pp. 43-59 (2010)
3. 「新成長戦略」について、平成22年6月18日閣議決定、
URL : <http://www.kantei.go.jp/jp/sinseichousenryaku/>

- sinseichou01.pdf (2014年1月13日閲覧)
4. 国立大学53工学系学部長会議・読売新聞社主催：工学フォーラム2013、
URL : <http://www.yomiuri.co.jp/adv/kougaku2013/>
(2014年1月13日閲覧)
 5. 日本人間工学会ニーズ対応型人間工学展開委員会：人間工学ニーズ調査結果報告書－産学官民における人間工学の現状と課題－(2010)、
URL:http://www.ergonomics.jp/official/page-docs/product/report/need_report.pdf (2014年1月13日閲覧)
 6. 人間生活工学研究センター：人間工学人材育成カリキュラムの開発(2004)、
URL : <http://www.hql.jp/research/before/pdf/edu2003.pdf> (2014年1月13日閲覧)
 7. 日本人間工学会企業の人材育成プログラム開発委員会：企業の人材育成プログラム開発研究(2009)、
URL : http://www.ergonomics.jp/official/page-docs/product/report/JES_Report_JinzaiIkusei_20090228.pdf
(2014年1月13日閲覧)
 8. 職業大基盤整備センター：職業能力開発ステーションサポートシステム(TETRAS)カリキュラムモデル
検索：人間工学に基づく設計技術(2013)、
URL:http://www.tetras.uitec.jeed.or.jp/CurriculumModel/model_detail/?cd=M106-415-3 (2014年1月13日閲覧)
 9. 中部職業能力開発促進センター：平成25年度能力開発セミナーガイド、p.25(2013)、
URL : <http://www.chubu-center.ac.jp/semi/semi2013/guide/guide2013.pdf> (2014年1月13日閲覧)
 10. 厚生労働省職業能力開発局：職業能力開発総合大学校の見直しの進捗状況、第68回労働政策審議会職業能力開発分科会資料4(2012)、
URL : <http://www.mhlw.go.jp/stf/shingi/2r9852000002mnj4-att/2r9852000002mnod.pdf> (2014年1月13日閲覧)
 11. 原島宏至：*肉単*、エヌ・ティー・エス、p.63(2004)
 12. 山本尚武、中村隆夫：*生体電気計測*、コロナ社、p.95(2011)
 13. Cohen,J. : A power primer. *Psychological Bulletin*, Vol.112, pp.155-159(1992)
 14. 水本篤、竹内理：効果量と検出力分析入門－統計的検定を正しく使うために－、外国語教育メディア学会関西支部メソドロジー研究部会2010年度報告論集『より良い外国語教育研究のための方法』、pp.47-73(2011)
 15. 横溝克己、小松原明哲：エンジニアのための人間工学(第4版)、日本出版サービス、pp.197-199(2006)
 16. Kinesis Corporation : Ergonomic benefits of the contoured keyboard、
URL:<http://www.kinesis-ergo.com/benefits.htm> (2014年1月13日閲覧)
- (原稿受付 2014/01/15、受理 2014/03/25)

*不破輝彦, 博士 (工学)

職業能力開発総合大学校 能力開発院, 〒187-0035 東京都小平市小川西町 2-32-1 email:fuwa@uitec.ac.jp
Teruhiko Fuwa, Ph.D., Polytechnic University, 2-32-1 Ogawa-Nishi-Machi, Kodaira, Tokyo 187-0035

*小野直樹

職業能力開発総合大学校 機械システム工学科, 〒187-0035 東京都小平市小川西町 2-32-1
Naoki Ono, Polytechnic University, 2-32-1 Ogawa-Nishi-Machi, Kodaira, Tokyo 187-0035

*小島伸吾

元職業能力開発総合大学校 機械システム工学科, 〒187-0035 東京都小平市小川西町 2-32-1
Shingo Ojima, Former Polytechnic University, 2-32-1 Ogawa-Nishi-Machi, Kodaira, Tokyo 187-0035