

人体形状計測とその応用

Human Body Shape Measurement and its Application

横 田 勝 弘

要 約 本稿では、個人の健康改善のために、「現在の体形と目標とする体形とのビジュアルな比較は健康改善の永続性に対して強い動機付けとなる」という考え方を具現化した事例について報告する。現在の体形と、目標とする体形とのビジュアルな比較のためには、現在の体形を測定し、目標とする体形と比較する必要がある。著者らは、現在の体形の把握のために、三次元スキャナーを用いて人体形状データを取得した。また、取得した人体形状データの個人差を統計処理し、統計処理された人体形状データと体重やウエスト等との相関関係を推計することで、体重やウエストが変化した場合に伴う人体形状変化を計算し、目標とする体形を得た。本稿では、三次元スキャナーによる人体形状データの取得方法、人体形状データの統計処理と目標とする体形の計算方法、現在の体形と目標とする体形の人体形状データの比較表示方法、および今後の展望について述べる。

Abstract This report shows the case of embodying the policy for personal health improvement that is “the visual comparison with the current figure and the target figure will be a strong motivation for perpetuity of the health improvement programs”. For the visual comparison with the current figure and the target figure, it is necessary to measure the current figure at first, and then compare it with the target figure. For grasping the current figure, authors acquired the human body shape data by using the three-dimensional scanner. In addition, authors took the statistical processing of individual variation of the human body shape data acquired with the same, calculated the human body shape change when weight/waist changed by estimating the correlation between the statistical human body data and weight/waist, and acquired the target figure. This report discusses the acquisition method of human body shape data with the three-dimensional scanner, the statistical processing of human body shape data, the calculation method of the target figure, the comparative showing method of the current figure and the target figure, and also the future prospects.

1. はじめに

2006年頃からさまざまな三次元形状計測装置が実用化され、人体の部位を三次元で計測することにより得られたデータに基づく製品が生み出されるようになってきた。例えば、店頭で置かれた三次元スキャナーにて自分の足の形状を計測することにより、足の形状に適した靴をオーダーメイドできる。メガネフレームについては、20歳代の日本人青年男子の顔の特徴を抽出して4群に分類し、各群の平均形状に基づいて設計された製品が市販されている。また、フィットネス分野においては、加齢や生活習慣病などによる体形の変化に対して、その改善プログラムを個人ごとに作成するサービスが提案されている。

このように、三次元形状計測装置の適用分野は広がっているが、人体の部位を測定するものに留まっており、人体の形状そのものを測定した実用化例は希少である。人体の形状を測定で

できれば、「現在の体形と目標とする体形との三次元でのビジュアルな比較により、健康改善プログラムのモチベーション維持に必要な意欲が向上する」という効果が期待できる。これらの効果の実現のためには、現在の体形と目標とする体形の把握が最初のステップとなる。そこで著者らは、現在の体形の把握のために三次元スキャナーを用いる手法を、目標とする体形の把握のために計算手法を構築し、現在の体形と目標とする体形を把握した。

本稿では、三次元計測装置を人体の体形測定に用い、実用化した事例について述べる。2章では、現在の日本における体形データの整備状況、体形について関心が払われるようになった時代背景、および、健康改善プログラムを継続させるモチベーションについての仮説、そして、仮説検証に必要なデータとハードウェア・計算手法について述べる。3章では多数の人体形状データを統計処理する技術について、産業技術総合研究所の成果をもとに報告する。4章では、体重やウエストなどと人体形状データとの相関関係を推計することにより、逆に体重やウエストなどが変化すると、どのように体形が変化するかを計算する方法について報告する。5章では、被験者に対する体形データの表示について報告する。

2. 体形データについて

2.1 日本人の体形データについての整備状況

2010年現在、我々は性別および年齢を指定したうえで、日本人の有効な平均体形についての知見を取得することはできない。過去に規定された規格は存在するが、こうした規格は一般に過去の日本人を参考に作成されており、世代交代および加齢による変化が加味されていないため、有効でない。例えば、衣服のJIS規格についても、変更が必要という業界団体からの要求があがっているようであるが、改訂されていない。原因は、基礎となる体形データを整備するために、訓練された要員によるメジャーを使った手作業での計測が必要であり、大規模な測定が困難だったことによる。2006年によく、経済産業省からの委託を受けて(社)人間生活工学研究センターが三次元スキャナーを使用して8千人のデータを採取したが、2009年になって体形データ(統計処理はなされていない生のデータ)のみが公開されたのが現状である。

2.2 体形について関心が払われるようになった時代背景

2008年4月に開始された特定健診制度では、40歳から74歳までの中高年の健康保険加入者を対象に特定健診の実施を義務化すると共に、メタボリックシンドローム該当者、または予備軍と判定されたものに対して特定保健指導を行うことを義務づけるようになった。5年後に成果を判定し、結果が不良な健康保険者が存在する健保組合に財政的なペナルティを課す事によって実行を促すことになっている。厚生労働省は、中年男性では二分の一の発生率を見込むなど、約2000万人がメタボリックシンドロームとその予備軍に該当すると考えており、これを2012年度末までに10%減、2015年度末までに25%減とする数値目標を立てている。またこれにより医療費2兆円を削減するとしている。このメタボリック関連市場は1兆595億円^{*1}にもおよぼうとしている。

2.3 健康改善プログラムを継続させるモチベーション維持についての仮説

このような新たな市場が生まれる中、日本ユニシスは、地域業者、企業健保をはじめとした幅広い業界と健康に関心がある消費者を対象として、三次元体形データを核としたコンテン

ツ・ソリューションサービスを企画した。想定しているシナリオは、メタボリック関連市場を対象として、個人の運動・食事改善への取り組みに切迫感を与えつつ、あるべき体形を示すことで、行動の動機付けを図るサービスを展開するというものである。そして、健康を維持するために必要なモチベーションの維持について、次に述べる仮説を立てた。

「現在の体形と目標とする体形との三次元によるビジュアルな比較は健康改善プログラムのモチベーション維持に必要な意欲を向上させる」(動機付けの仮説)

2.4 仮説を検証するために必要なデータとプロセス

仮説を検証するために必要なデータを以下に纏める。

- ・性別、世代別にそれぞれ層別された統計的に有意となるような数の三次元体形計測データ。
- ・被験者の体重などの三次元計測では得られないデータ。
- ・被験者の生活環境に関するデータ。
- ・被験者の健康維持活動への意欲についてのデータ。
- ・被験者が自身の体形についてどう思っているかについてのデータ。

仮説を検証するために必要なプロセスを以下に纏める。

- ・被験者に対して、多大な負荷をかけずに三次元の人体形状データを取得できる三次元スキャナーの導入。
- ・採取された人体形状データを標準化する人体モデルの開発と計算手法（実際には行列の固有値と主成分を計算する）の確立。
- ・体重やウエストなどを変化させると人体の形状や周辺の値が統計的にどのように変化するか（推計値）を算出するための計算手法（実際には最小自乗法による推計）の確立。
- ・得られた推計値により、体重やウエストを変化させると周辺の値が変化するような統計的な体形モデルの作成。
- ・莫大な量の変数（体形データを表す点の数は約 7,000 個）を扱うことによる、計算量の増大に対応できるような CPU 能力をもった PC の導入。
- ・ブラウザ上で三次元表示できるような開発環境の構築。

3. 人体形状計測技術

3.1 三次元スキャナーのハードウェアとスキャンの実際

対象物の三次元形状を光学的に計測する技術は長年研究されて実用化の段階にある。例えば 1 章で述べたように、個人の足の形状を店頭において三次元で計測し、適した靴を提供するシステムはすでに実用化されている。だが、全身の形状把握を店頭にて簡易に行うことができる装置は希少なのが現状である。

今回は非接触で被験者の全身形状を高速で計測することができ、かつ、市販の PC による操作に必要なインターフェースが提供されている、浜松ホトニクス社のボディラインスキャナーを採用した。三次元スキャナーによる計測風景を図 1 に示す。本機は非接触方式の光学式三角測量により人体の形状を計測する。計測時に、ランドマーク点とよばれる骨格上の対応を示す解剖学的特徴点の座標データも自動で検出し、人体の形状を記録する。ランドマーク点検出のために衣服は邪魔となるので、被験者は下着姿の上にスパッツとキャップ帽を身につけ、ボディラインスキャナーの中に入り計測する。計測後、被験者は撮影した画像を PC で確認するこ

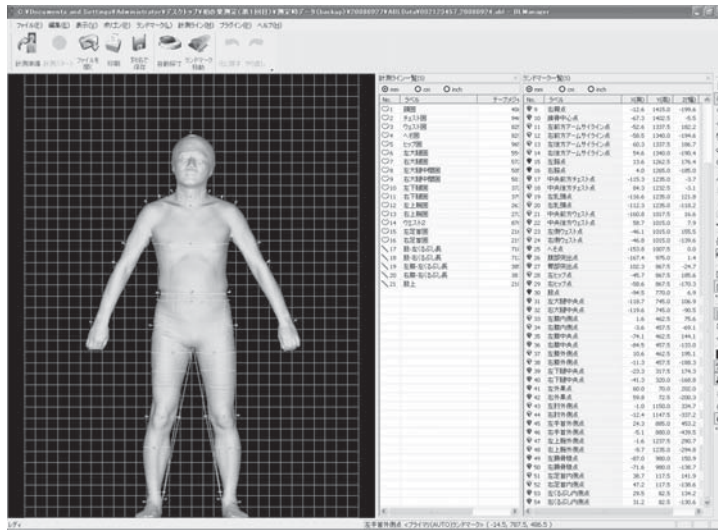


図2 スキャナーで計測された画像とランドマーク点

4.1.2 相同モデル構築 (人体形状データの特徴を定量化する計算)

計測された人体形状データは計測器の計測ピッチ，固有の座標系で記述されるため，大柄な人体と小柄な人体とではテータ点数も異なるし，立ち位置による座標の平行移動による補正も必要となる．そこで，共通する解剖学的特徴点に基づいて人体形状を同一点数，同一位相幾何構造のポリゴン (多角形の集まり) で再構成し，人体形状データの標準化を行う．これを相同モデル化と呼んでいる．本処理は産業技術総合研究所が提供しているHBM (Homologous Body Modeling) を実行するプログラムを開発することにより実施した．本処理により，作成された人体形状データが標準化されて，他の人体データとの比較および統計的な処理が可能となる．例えば，男性で20歳代の平均という場合に，相同モデル化されたデータを統計的に有

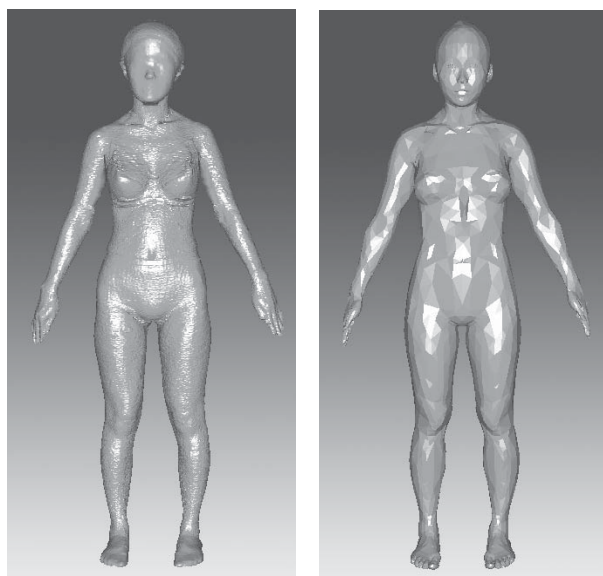


図3 相同モデル化前 (左) と相同モデル化後 (右)

意となる数そろえ、その平均をとれば、その年代の三次元での平均体形ということになる。平均体形を三次元で表示すれば、被験者から得られた体形と比べることも可能となる。図3左に相同モデル化前のデータによる画像、図3右に相同モデル化後の画像を載せる。相同モデル化前は粒子で構成（点群モデル）されているが、相同モデル化後は面で構成されている（ポリゴンモデル）のが見て取れる。

4.1.3 複数の相同モデルの主成分分析（点群データから少数の説明変数への変換）

同一点数で同一位相幾何構造のモデルにより、個々の体形データの標準化が図られたので、複数の体形データの統計処理を行うことが可能になった。これにより100個の重さのデータについて平均と分散という二つの値によりその集団を表すのと同じように、より少ないパラメータでその集団を表現することが可能となる。

年齢、世代別に層別された複数の相同モデルを母集団として、主成分と呼ばれる体形の特徴成分を抽出する。そして、その母集団の中から特定の人体を選択した場合、選択された人体の主成分の値を算出することができ、複数の主成分を主軸とした多次元の主成分空間内における位置を推定することができる。それにより、逆に主成分の値を特定すれば三次元形状モデルを復元することが可能になる。母集団に含まれている人体については、主成分分析を行うことにより、体形の特徴量を固有ベクトル行列としてパッケージ化することができ、各人の体形は主成分値として表現される。統計解析により寄与度の低い特徴量および重複すると考えられる主成分値は省略することができ、体形を元のデータ（点群データ）よりはるかに少ないデータ量で表現することが可能となる。基になる点群データの量が莫大なため、いままで計算が困難であったが、近年のパソコンCPUの目覚ましい高速化がそれを可能にした。また、説明に使用する主成分の数についても経験が蓄積され最適な選択ができるようになった。本計算は産業技術総合研究所提供のHBS（Homologous Body Statistica）により実施した。

相同モデルの統計的分析により、人体を構成するパラメータ（多次元尺度の各分布軸、つまり身長とかバスト）を決定すれば、三次元の人体を合成することができるようになる。これにより、人体の形状を三次元データの点の集まりとしてきたものが、ごく少数のパラメータにより記述することが可能となる。ただし、これは統計学上の話で、生物学上の話には結びついてはいない。

4.1.4 体重や体形計量変数と体形との統計解析（体重や体形計量変数との相関）

人体の形状を決定するパラメータについては、直感的には身長と体重と答えることができる。実際に身長についてはHBSにおける第一軸で、人体の形状に非常に大きな影響を与えることが計算結果に現れている。しかし、身長は人体の形状を制御することのできるような自由に動かせる変数とはならない。自由に動かせる変数となると、ウエストや腕周りなどである。さらに、その他で動かせるのは体重となるが、これは形状データではない。そこで、相同モデルの主成分と体重やウエストなどの体形計量変数との回帰係数の推計を行えば、体重やウエストなどを変化させた場合の体形の変化を推定することが可能となる。

K 個の人体形状データがあり、それぞれスキャンされた k -次元の点群データの集合 ($k=1, \dots, K$) とランドマークデータ、 L 個の身長や体重などの体形計量変数 $d_{k1}, d_{k2}, \dots, d_{kL}$ が存在する。相同モデル化の後はずべて個の表面データとなる。そうすると、体形状は $a_k = (x_{1k}, y_{1k}, z_{1k},$

$(x_{2k}, y_{2k}, z_{2k}, \dots, x_{Nk}, y_{Nk}, z_{Nk})^T$ で表される. 相同モデルの主成分分析により, 人体形状を記述する固有値と固有ベクトルが計算される. そうすると, 有限個の M で固有ベクトル $e_i (i=1, \dots, M)$, $M=K-1$ は全ての形状変化を近似的に記述することが可能となる. 固有値の線形結合で次式にて記述される.

$$a_k = \sum_{i=1}^M PC_{ki} e_i \quad (1)$$

主成分 (PC) が体形計量変数の線形結合により表せるとすると

$$PC_i(d_1, d_2, \dots, d_L) = b_{i0} + \sum_{j=1}^L b_{ij} d_j \quad (2)$$

となる. b_{ij} はそれぞれのインデックス i ごとに以下を最小にすることにより決定する.

$$\sum_{k=1}^K \left(PC_{ki} - \left(b_{i0} - \sum_{j=1}^L b_{ij} d_{kj} \right) \right)^2 \xrightarrow{b_{i0}, b_{i1}, \dots, b_{iL}} \min$$

その結果, 新たな体形は次式で計算される.

$$a(d_1, d_2, \dots, d_L) = \sum_{i=1}^M PC_i(d_1, d_2, \dots, d_L)$$

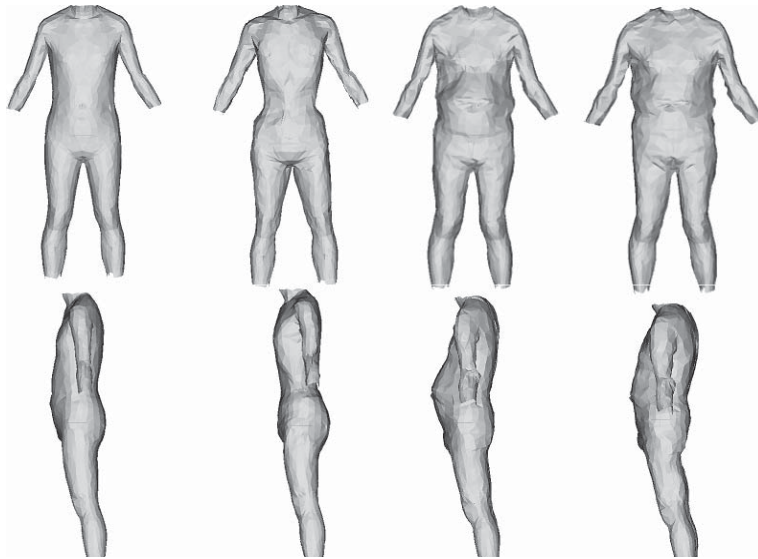


図4 シミュレーション結果

シミュレーション結果を図4に記す. 40歳代男性モデル68体のデータについて, バストとウェストについてオリジナル(平均)からウェストをプラスマイナス20cm変化, バストとウェストをそれぞれ20cm増加させた結果である. 現実的にはウェストを単独で変化させることは非現実的であると思われるが参考のために載せた. また, 計算の精度を向上させるために頭と手首および手足は切り離してある. このように, ウェストやバストの変化に追従して体形が変化しているのが見て取れる.

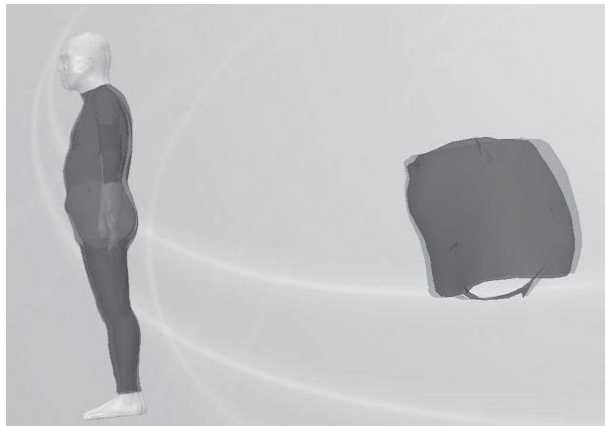


図7 重ね合わせ表示と拡大表示 (体重 20Kg 減)

の表示を載せる。男性で体重を 20Kg 減じた体形との比較表示である。この場合、腹囲が 99cm から 85cm になっている。左の図が全身で右が腹囲の部分を取り出した画像である。

6. 考察および今後の課題

6.1 足首の計測と人体全身の計測の違い

相同モデル化と主成分分析は靴の作成で実用化されている技術ではあるが、足と全身とでは以下に述べる相違があり、対応処置が必要となった。

- ・足首の形状は荷重を掛けた状態であれば、測定時の姿勢などの影響により形状が大きく変化することは少ないと考えられるが、全身を測定する場合には、目線や手足の開き具合などにより姿勢に影響を与える場合が多く、結果ランドマークを正確に捉えることができず、矯正をする必要が生じた。
- ・靴を作る目的に限れば、足の先の形状は指までの分解能は不要。そして、足の指については包絡線で比較的なだらかな形状であるが、人体の場合は足の先と手の形状は急激な形状の変化となり、正しい形状データが採取できない場合があった。また、手の先と足の先について言えば、その形状について体重や他の姿勢パラメータとの相関が低いと考えられるが、切り落としてしまうと、後に表示した際に被験者への印象が悪くなるので、プレ処理の段階で切り離し、最後に合成する手法をとった。
- ・頭部については、体形データの標準化処理の段階で、基準となるモデルの顔に近似させるために、被験者と顔が似ていないとの苦言が呈されることに備え、人体合成時に頭の挿げ替えの処理が必要になった。
- ・足の場合は特異点がないが、乳首などの特異点の処理が必要となった。
- ・足の頂点数と人体の頂点数には大きな違いがあるために、計算量および数値計算特有の誤差蓄積の問題が発生した。主成分分析の計算における誤差蓄積の問題は特に深刻で、誤差の評価が必要となり、人体を特徴づけるパラメータの数の決定についても寄与率と誤差を評価しながら決定することになった。

6.2 他分野への適用について

本技術は以下の分野に適用できると考えられる。

1) JIS 規格への適用

今後データが年代別に整備され、単なる寸法にとどまらない、性別・世代別に立体形状平均をとった人体の JIS 規格化が望まれる。

2) 疾病の予測

体形データと健康データの相関関係の推計により、疾病ないしは疾病にかかりやすい体形を判断する材料が提供されることが望まれる。

3) デジタルファッションへの展開

体形データが簡単に測定できるようになると、測定された体形データにより、電子商取引で体形にフィットしたファッション製品を見つけ出すことが容易になると考える。また、気に入った洋服を着て、自分の好みの町を歩くといったエンターテインメント性をもったプレゼンテーションが実現することになる。さらに進んで、人間情報（体形、姿勢、生理）と生活情報を縦断的・持続的に蓄積し、その統計情報を健康サービスやファッション産業などに再利用する「知識循環型社会」の構築が期待できる。

6.3 体形の感性評価モデルへの適用

2007 年度に、「体形の完成評価モデルに関する研究」について産業総合研究所と共同研究を実施した。本研究は、体形を第三者が見たときの印象（太っている、がっしりした）で得点化し、その印象得点とその変化を提示するために実施した。具体的には、特定の被験者の体形を計測し、その体形を若い女性もしくは子供が見たときに「太っている度が 75 点、がっしり度が 50 点」というように定量化して被験者に提示する技術である。「体形の感性評価モデル」を用いれば、体形データを第三者が見たときにどんな印象で受け止めているかを客観的に知ることができ、その印象得点の変化度を数値として直感的に把握することができる。自らの目標設定を「がっしり度 80 点」などのように設定し、それにむかってどのような段階にあるかも知ることができる。これらは、エンターテインメント性と直感性を加味した新しい体形の指標であり、表現手段との組み合わせによって、より多くの興味を被験者に抱かせることも可能になると考えられる。

6.4 今後の課題

スキャンの簡素化が急務である。三次元スキャナー自体が大きく、更衣室の用意も必要となる。そこで、普通の室内で衣服を着ていても計測できる技術の開発が望まれる。

その他、体形データについて、「太っている」から「痩せている」に変遷した際に、どのように痩せたかのデータも加味した詳細な整備が必要と思われる。

7. おわりに

産業技術総合研究所の協力を得て、コンピュータビジョン技術を用いて「被験者にとって現在の体形と目標とする体形とのビジュアルな比較は健康改善プログラムの持続性に対して強い動機付けとなる」という仮説を検証した。人体データの平均の算出、推計等について、各種の知見を提供してくださった産業技術総合研究所の持丸先生、河内先生、および、プログラムを

担当して下さったアイネット社の高柴氏, ベンジャミン氏, イゴール氏, 加納氏, 内田氏, 岩田氏に深くお礼申し上げます。また, 本プロジェクトを企画し推進した日本ユニシス(株)の確井氏, 小田原氏に感謝します。

-
- * 1 @Nifty トレンドレポート「特定検診・特定保健指導」
<http://finance.nifty.com/cs/trend-report/dtl/71220000938/1.htm> (2010年6月9日確認)

- 参考文献**
- [1] 財団法人 機械システム振興協会, 精密な人体形状相同モデル化システムの開発と製品設計への適用に関するフィージビリティスタディ報告書, 2006年3月
 - [2] 岡田宣子, 古松弥生, 成人男子の身体特性を表す要因の抽出と年齢的变化, 日本家政学会誌, Vol.44 No.7 573~580 (1993)
 - [3] 社団法人人間生活工学研究センター, 人間特性基盤整備事業成果報告書, 2005年3月
 - [4] 持丸正明, 人体形状計測の展開~ファッションから健康産業まで, 社団法人情報処理学会研究報告, 2008-CVIM-158(17), 2007年3月,
 - [5] 持丸正明, 人体形状の変異と産業応用, バイオメカニズム学会誌, Vol.29 No.2, 2005
 - [6] 持丸正明, 河内まき子 オンデマンド装着品のための Human-statistics based vision, 情報処理学会論文誌, コンピュータビジョンとイメージメディア, Vol.47 No.SIG9 (CVIM4), 2006
 - [7] 持丸正明 オンデマンド装着品で変わる人体形状計測, 画像ラボ, Vol.16 No.3, PP.13-17, 2005
 - [8] 持丸正明, 河内まき子, 体型を現す感性ワードと人体寸法の関係, 電子情報通信学会論文誌, D-11 Vol.J84-D-11 NO.7, 2001年7月
 - [9] PRESIDENT (プレジデント) 2008/02/25 発売号 (2008.3.17号)
 特定健診スタートで活気づくメタボ関連市場 1兆595億円
 - [10] 社団法人人間生活工学研究センター 人間特性基盤整備事業成果報告書, 2007年3月

執筆者紹介 横田 勝 弘 (Katsuhiko Yokota)

1983年日本ユニシス(株)入社。電力, 通信, 中央省庁, 自治体, 医療など社会公共関連を担当。工学修士。日本物理学会会員, 原子力学会会員, 自動制御学会会員, 自動制御協会会員。

