

人間動作の特徴解析技術の開発

葉野 晃希, 中島 康博, 前田 大輔, 吉成 哲

The Method for Extraction of Motion Feature from Sensor Data

Kouki KUWANO, Yasuhiro NAKAJIMA, Daisuke MAEDA, Satoshi YOSHINARI

抄 録

製品の使いやすさや身体負担を人間工学的手法を用いて評価する場合、筋の活動量や身体エネルギー代謝量などの生体情報を計測し、その平均値を利用するのが一般的である。しかし、目的が同じ動作でも、習熟度や個人差などにより活動する筋や姿勢の取り方などが異なるため、平均値では動作の特徴を捉えられないケースも多い。

そこで、モーションセンサや筋電センサなどから取得した複数の生体信号を統合処理し、リサージュ図形を生成し可視化することで、これまでの手法では取り除かれていた多様な動作特徴を把握できる解析手法を開発した。本手法を作業器具の動作に適用し、習熟に伴う動作の変化や、使いやすさの違いを図形の特徴として把握できることを確認した。

キーワード：リサージュ図形, 動作特徴, 人間工学, 生体情報

Abstract

For the evaluation of the usability and the physical burden of using products, average values of various biological information such as muscle activity measured by electromyogram (EMG) or energy metabolic rate are estimated. However, the force to be applied to a products and the posture are sometimes different because of difference of individuals and proficient at the product, there is often a limit in extracting motion feature and using for evaluation according to those procedures based on conventional Ergonomics. In this research, we proposed an analytical method that was available for capturing various movement features by merging the biological information signals and displaying the tracks on two-dimensional space in the form of Lissajous Figures. We have applied this method to the motion of handling work apparatus and confirmed its effectiveness.

KEY-WORDS : Lissajous Figure, Motion Feature, Ergonomics, Biological Information

1. はじめに

北海道では地域特性や産業構造から、除雪用具や一次産業関連の農機具、漁具、など身体運動を伴う製品の開発需要が高い。一般にこれらの製品の使い勝手の評価には、人間工学的手法により多数の被験者から身体の加速度や筋活動量、身体エネルギー消費量などの動作情報や生体情報を計測し、それらの最大値の平均を利用する。

しかしながら、同じ目的の動作でも習熟度や個人差によって、活動する筋や姿勢の取り方などの動作の質に違いがあるため、平均値を利用する従来の手法では評価困難なケースも

多い¹⁾。

本研究では比較的大きな身体動作を伴う製品を対象に、動作の質の違いも考慮した評価を可能とする、センサ信号の特徴解析、可視化手法を開発したので報告する。

2. 従来の人間工学的手法における課題

人の運動時に発生する多くの現象は、センサで計測することができる。人間工学では関節部の移動軌跡や加速度などの動作情報、心拍数や筋電図、脳波などの生理情報を各種のセンサにより数値で捉え、定量評価に利用している。

事業名：経常研究

課題名：人間動作の特徴解析技術の開発

一般にセンサの出力は時系列信号であり、特にその最大値の平均を特徴量として利用する場合が多い。心拍数や筋電図の信号であれば、身体の負担を和らげるために、最大心拍数を下げたり最大筋活動を低減する方策の検討過程で利用する。それに加えて、最大値は実験者の主観に影響されことなく特定でき、客観性を担保している側面もある。

しかし、図1に示すように、最大値を扱うことにより、その現象を強度や頻度などの「量」の尺度でしか評価できないという限界も生じる。また、最大値は点データであり、時間的な幅の中に生じる動作をたった1つの特徴量で代表することになる。したがって、習熟度や個人差によって活動する筋や姿勢の取り方など、動作の「質」が異なる場合、あるいは「質」を捉えようとする場合に、利用できる特徴量が僅少で動作の違いを捉えきれない。

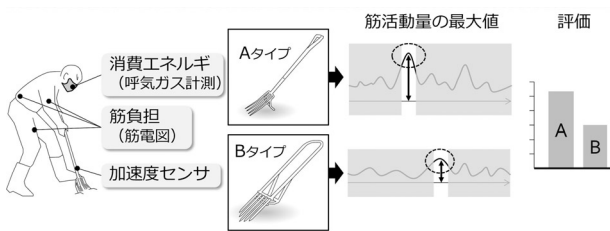


図1 時系列波形と特徴量

3. 本研究の提案手法

本研究では前述の問題に対し、電磁気学で古くから用いられている手法の適用を試みた。それは2種類の時系列データの相関を解析する際に用いる手法で、それぞれの同時刻の信号値をX,Y座標値として平面上にプロットする操作を時間とともに続けていくと、一定の軌道上をめぐる図形パターンが生成されるといものである。この図形をリサージュ図形(Lissajous figure)と呼び、図2に示すように2つの信号の振幅や周波数、位相などの差異や相関を、図形の違いとして可視化し、元の現象の特徴を直観的に把握可能になる。

図形は2つの信号の関係だけでなく、それぞれの元の信号

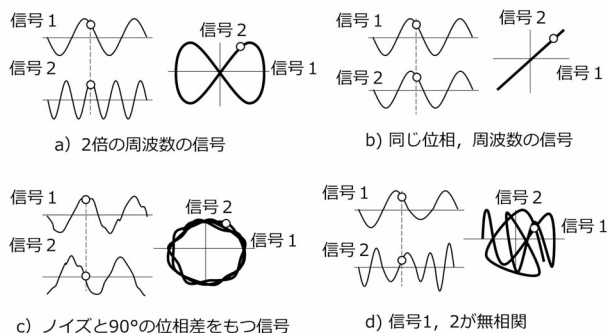
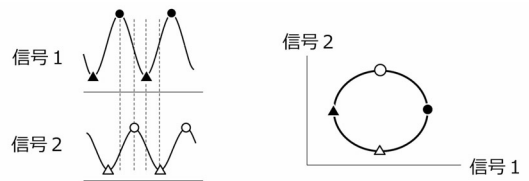


図2 入力波形とリサージュ図形

の情報も保持している。たとえば、図3右のように水平軸、垂直軸のそれぞれの極大値、極小値はそのまま左の元の信号の極大値、極小値を示す。したがって、図形には極大値、極小値などの量の情報のみならず、周辺時刻のデータや動作の情報も含んでいる。ここに質的信息を見出すことができると考えた。

そこで、ヒトの動作情報にリサージュ図形の生成手法を適用し、図形パターンの発生を確認するとともに、パターンの特徴から得られる質的信息を探るための実験を行った。



※位相差90°の波形の例

図3 入力波形とリサージュ図形の極大、極小値の対応関係

4. リサージュ図形の動作情報への適用

リサージュ図形による動作の特徴抽出の可能性を探るため、スコップ除雪を対象に動作特徴解析試験を行った。

4.1 除雪動作試験

図4に実験方法を示す。被験者は3名(M, K, N)で、3m離れた高さ1.5mにある直径30cmの穴をねらい、重さ2kgの砂袋を投入するよう指示した。また、スコップの持ち手の形状による動作の違いを捉えるため、同図に示す3タイプを用意し、それぞれ100回連続して投入させた。この投入動作をバケット部に配置した6軸モーションセンサで計測し、そのデータを解析した。

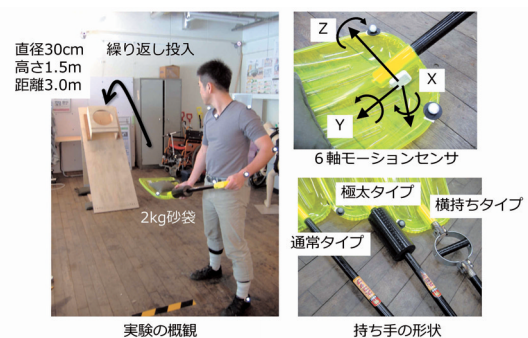


図4 除雪動作試験

4.2 除雪動作試験結果

図5はモーションセンサから得られた10回の投入分の6軸成分の時系列波形の例である。

図6は被験者Nの解析例である。図6 a)は、6成分のセ

ンサ値のうち、x軸（スコップの運動軌道に沿った軸）の加速度とz軸（x軸と柄に垂直な軸）の角速度からなる二次元平面上に、10試行分のセンサ値の軌跡を重畳して描画したものである。これらの成分を選べば、図に示すように投入動作と、試行間で発生する砂袋のすくいあげ、スコップの持ち直しなどの準備動作を、図形のパターンから容易に判別できる。このデータ変換によって、時系列データの全体を集約し俯瞰するとともに、部分的な変化も把握できる。

一方、図6b)は2成分をz軸加速度とy軸角速度（柄の軸回り）に選んだときの生成図形である。このように一定の

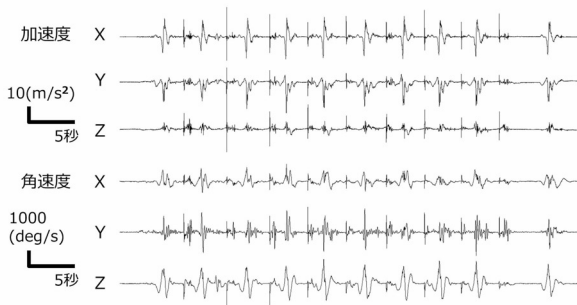
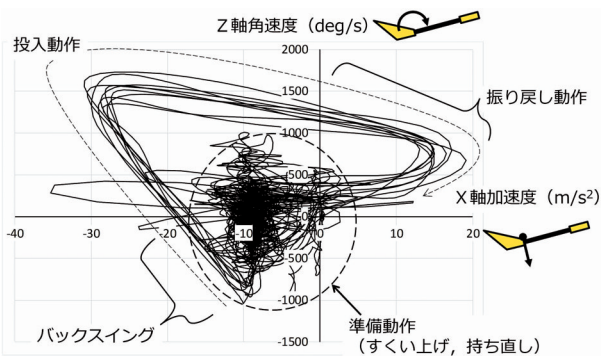
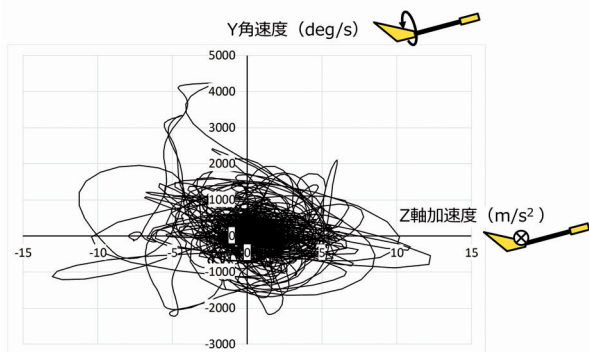


図5 モーションセンサから得られた6軸成分の時系列波形



a) 2軸にx軸加速度とz軸角速度を設定した場合



b) 2軸にz軸加速度とy軸角速度を設定した場合

図6 解析結果の例

パターンが見られない軸成分もあった。

図7は被験者、試行回数、持ち手のタイプによる軌跡の特徴を示した例である。全体的に逆三角形状の共通した図形パターンが生成されていることがわかる。さらに、a)は横持ちタイプを使用した10試行の軌跡で、投入動作の被験者間の差異を読み取ることができる。b)は被験者Mが極太タイプを使用した場合について、試行回数による軌跡の変化を示している。回数の増加に伴う動作変化がパターン変化として現れていることが分かる。c)は持ち手による違いを、被験者Kについて表示している。持ち手の形状が動作に影響を与えることが確認できる。

表1には太柄タイプについて被験者Mから聴取した主観評価結果を図形パターンの特徴とともに示した。

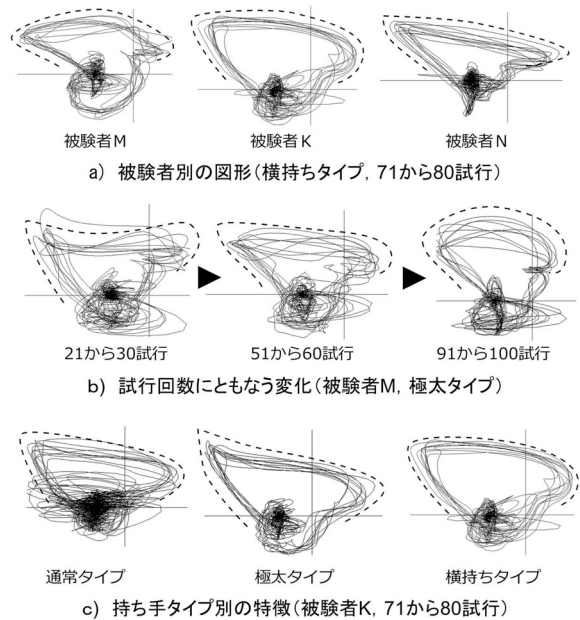


図7 リサージュ図形の特徴 (図中の破線は図形の特徴を示す)

表1 主観評価の例 (被験者M, 極太タイプ)

図形パターン	・試行回数を重ねると全体傾向が大きく変化	・試行ごとのばらつき大
主観評価	・的を狙いやすい	・他の身体部位に比べて前腕の疲労が拡大

4.3 リサージュ図形の検討と考察

スコップのバケット部に取り付けられたモーションセンサから6成分の運動情報が得られる。そのうち、特にx軸（スコップバケット部に垂直な軸）の加速度とz軸（x軸とシャフトに垂直な軸）の角速度を2軸に選んだ平面に一定のパターン

が現れることが分かった。このことは単なる偶然ではなく、この道具の機能に即している。すなわち、x軸は砂袋に荷重を伝える方向を指し、z軸回りは砂袋に斜め前方への押出力を効率よく伝えるための角度を与える回転軸であり、この2つの成分が投入動作においてバランスよく作用することがスコップの重要な機能といえるからである。したがって、仮にこれらの成分に相関がなくランダムであれば、一定のパターンは描かれない。実際に、図6b)はz軸加速度とy軸角速度を2軸に選んで描画したリサージュ図形であるが、特に規則性やパターンは見られない。このことはスコップ動作においてこれらの成分間に相関がないことを示している。

表1の太柄タイプに関する被験者Mの主観評価結果では、他の柄形状に比べ、投入回数にともなう前腕の疲労が大きくなってきている。図4b)で全体傾向が大きく変化していることから、投入精度を維持するため、スコップの使い方を微調整させていったためと考えられる。また、同図a)からは同一の道具の使用下でも被験者間でパターンに違いが見られ、個人差による違いを捉えていると考えられる。同図c)からは把持方法によって動作に違いが生じることがわかる。

以上のことから、道具の使用動作において被験者間に共通する特徴や、使い慣れや個人差による差異などの把握に、リサージュ図形を利用した本解析が有効であることを確認できた。

5. 生体情報に拡張した検討

モーションセンサで取得した動作情報から生成したリサージュ図形によって、従来は捉えることができなかった特徴が得られることがわかった。そこで、次に人間工学分野で扱うことが多い筋電図等の生体情報を解析対象に加え、本手法の適用可能性を検討した。

5.1 試験方法

農林業で広く使われている刈払機を用い、先端の回転刃(チップソー)を左右に払う動きを検討対象にした(図8)。計測した生体情報と動作情報は下記の29成分で、被験者は1名である。

- ・回転刃軸中心の6軸モーション：6成分
- ・下肢，体幹，上肢の筋電図：16成分
- ・呼吸換気量：1成分
- ・床反力計(3軸荷重，3軸モーメント)：6成分

また、ハンドル位置が主観的な使いやすさに影響することが経験的に知られている。そこで、器具の構成がリサージュ図形の特徴に与える影響を調べるため、ハンドル位置を図8のように3箇所(A形、B形、C形)にレイアウトし、それぞれに関してデータを計測した。ここで基準位置とは全体の重量バランスの中心にハンドルを固定した状態を指す。

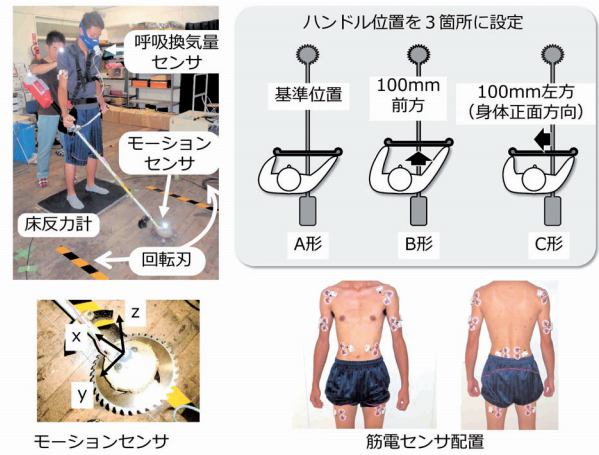


図8 刈払機を用いた実験

5.2 結果と考察

図9はハンドルをA形にして計測したときに得られた波形である。

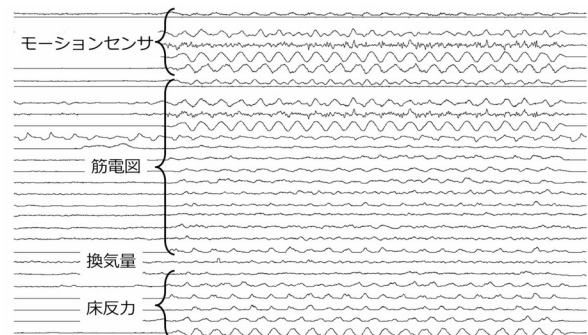


図9 計測機器出力波形の例

リサージュ図形の生成にはこれらの波形から2成分を選ぶ必要がある。しかし、全29成分から無作為に2成分を選択すれば、およそ8.8³⁰種類もの膨大な数の図形を描くこととなるため、以下のような制限を加え、成分の絞り込みを図った。

- ①同種の生体情報からは振幅の大きい成分を選択
- ②回転刃の運動軌道に強く関係するモーションセンサ成分を選択
- ③同様な挙動を呈する成分はペアとして選択しない

①は特に筋電図に関するもので、身体への負担が大きい成分を選ぶことを意味する。②は器具の運動を説明する上で主要な成分を選ぶことを指す。これは、器具や道具の取り回し運動は、3次元空間内においてそれぞれの機能によって決められる一定の平面上や軸回りに生じる場合が多いという経験知による。実際に、前述の除雪動作試験では砂袋への荷重方向加速度と投入角度を与える角速度を選んだことで図形パターンが現れている。刈り払い動作の場合、先端の回転刃

部分は水平面上を被験者の体幹を回転軸とする円弧運動することから、接線方向加速度と鉛直軸回りの角速度に着目した。③に関しては、たとえば回転刃の接線方向加速波形と床反力計の鉛直軸モーメント波形は周期、位相、傾きなどが酷似していることがわかった。したがって、この2成分でリサージュ図形を描くと、前掲の図2b)のように、原点を通るほぼ直線上を往復する軌跡となる。これは、両成分とも被験者の体幹軸回りの回転運動を捉えたものであり、それぞれの波形が独立して振る舞う余地、つまり自由度が小さく、得られる情報が少ないと考え、信号を除外する条件とした。

以上の絞り込みをした結果、以下の成分に着目して検討することとした。

- ・回転刃部左右方向加速度と鉛直軸角速度
- ・左右腹斜筋の筋電図

ここで腹斜筋とは図10に示すように、肋骨部から骨盤部へ走行する筋で、体幹の前屈・側屈・回旋動作に作用する。今回の実験では前屈、側屈動作は見られないため、回旋動作により強く活動したと考えられる。

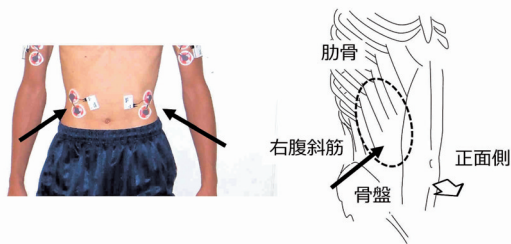


図10 腹斜筋上に貼付した筋電電極

図11に、上記の成分から生成したリサージュ図形の解析例をハンドル位置、主観評価とともに示す。それぞれの図形にはバラツキはあるものの、一定のパターンが見られる。加速度と角速度による図形はほぼ円形(楕円形)であり、角速度と腹斜筋による図形は涙滴型で、かつ左右の図形が対称的である。なお、図中の%MVCとは最大随意筋力に対する発生筋力のパーセント比を示す単位である。

さらに詳細を観察すると、加速度・角速度の生成図形では、前方ハンドル位置としたB形の図形がA形、C形に比べ、図中破線で示したように歪みが大きいことがわかる。さらにこのB形については腹斜筋にも図形の差があることがわかる。たとえば、B形の右腹斜筋の図形とC形の同図形では、B形の方が縦長の形状をしている。これはB形の方が筋負担が大きいことを示している。従来の人間工学的手法であれば、ここまでの極大値に関する議論にとどまる。それに対して、リサージュ図形からは、右腹斜筋活動の極大値において角速度が負であることから右回転時に大きく活動していること、筋

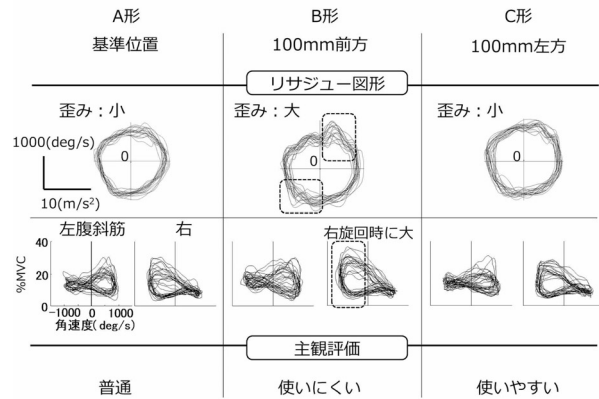


図11 リサージュ図形と主観評価

活動が小さいときのレベルにはハンドル位置による差がないこと、またこれらのことはすべてのタイプで共通した特徴であることなどが直観的に把握できる。主観評価においてB形については「使いにくい」と回答しており、上で述べたリサージュ図形の歪みや、右腹斜筋の負荷パターンが影響している可能性を示唆している。

その一方で、「使いやすい」と評価されたC形については「普通」と評価されたA形との間に図形上の明確な差は見られなかった。ただし、ハンドル位置によって身体動作のダイナミクスが変化することが予想され、センサ成分の組み合わせにより違いを浮かび上がらせられる可能性が十分ある。この点については、図形から得られる様々な特徴情報を基に、その場で被験者の主観を尋ねることで、新たな特徴が見つかる可能性もあり、今後の検討に生かしたい。

6. まとめ

本研究では、人間工学的評価において主流である生体情報の平均値を用いた量的評価手法に対し、動作の特徴をリサージュ図形として可視化することにより、これまで難しかった動作の質を捉える手法の開発を行った。得られた成果は以下の通りである。

- 1) 動作情報や生体情報等の各種センサ信号間の相関性を可視化するリサージュ図形を生成することで、動作特徴の抽出と直観的な把握が可能になった。
- 2) 機具の取り回し運動は空間内において一定の平面上や軸回りに生じることが多いことから、これらの平面や軸に沿ってモーションセンサを配置し、またその運動に大きく寄与する筋活動を計測することで、明瞭なリサージュ図形が得られることを確認した。

今後、様々な身体装着型のセンサが市場に出現し、利用場面の増加が見込まれており、様々なセンサ信号から有用な情報を抽出する技術への要望が高まると思われる。こうした課題に対して、開発した解析手法の活用が期待できる。特に、図形として可視化する手法は、計測した生体情報データの特徴を直感的に理解し、動作へ素早くフィードバックする装置への利用も考えられる。将来的に今回の成果を新たな可能性を持った装着・携帯型デバイス開発へ活用する検討を進める予定である。

謝辞

株式会社コスモメカニクスには、実験対象となる機具や参考情報の提供において、ご協力をいただきました。ここに記して感謝いたします。

引用文献

- 1) 栄久庵 憲司：道具・工具のデザインと人間工学，日本人間工学 Vol.18, No.5, pp239-242, (1982)