

平成28年6月30日

## 「ファッション性を兼ねたユニバーサルデザインの固定可能なトートバッグの開発」 に関する報告書

研究代表者：東京工業大学 リベラルアーツ研究教育院  
准教授 丸山剛生

研究協力者：東京工業大学 環境社会理工学院 社会・人間科学コース  
修士1年 清澤大地

### 目 的：

トートバッグなど荷物を運ぶ際に肩にかけるタイプのバッグは、立位時や歩行時に片方の肩に荷物の重量が負荷されるため、身体の姿勢や力の入れ方がアンバランスな状態になる。また、荷物を肩にかけた状態で歩行を行うと、身体重心の並進移動と上下運動に伴って荷物が前後上下に揺れるため、荷物の重量以上の負荷が肩や身体にかかり負担が大きくなることが考えられる。

そこで、トートバッグにストラップを取り付け、そのストラップを身体に巻きつけるようにしながらバッグを身体背中部に固定できる機能を付加したバッグが開発されている。この機能により、荷物の位置が背中の身体中心に近いところに固定されること、歩行時においても荷物が揺れることを抑えることができ、身体にかかる負担が低減する効果を得ることができると考えられる。

本研究では、上記の効果を検証するため、身体背中部に固定可能な機能を有するトートバッグの大きさとショルダーベルトの長さが異なる4種類のバッグについて、立位時と歩行時にバッグを肩にかけた状態と肩にかけながらストラップを用いて身体背中部にバッグを固定した状態の2種類の条件において、肩にかかる荷重を計測し、身体背中部に固定可能な機能の身体にかかる負担の低減効果を定量的に評価した。そして、この成果を踏まえ、ユニバーサルデザインの固定可能なトートバッグの開発に寄与することを目的とした。

### 方 法：

#### 1) 被験者

被験者は、年齢が23歳から56歳の範囲の健康な成人男性10名が参加した。被験者は身体の運動機能に障害がなく、腰痛や膝痛などの愁訴症状はなかった。

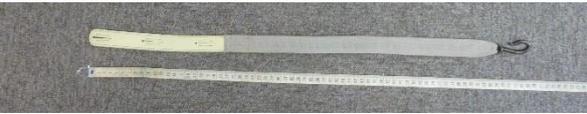
#### 2) トートバッグ

身体背中部に固定可能な機能を有するトートバッグは、大きさとショルダーベルトの長さが異なる4種類のバッグを使用した。実験に使用したバッグの写真と特徴を表1に示す。

各バッグのストラップは、長さ68cm～71cmでボタン穴が開いている部分とその反対側に金属製フックを有している。バッグの底面外側にはボタンフックとショルダーベルト部にフックホルダーが取り付けられており、それらにストラップをかけてバッグを身体背中部に固定する構造になっている。

バッグには2リットルの水ペットボトルを2本入れ4kg相当の重量物を負荷した。負荷重量は主婦がスーパーなどで買い物をした時の一般的な重量が5kg程度であるとの情報を参考に決定した。

表1 実験に使用したバッグの特徴

写 真	特 徴
	<p>&lt;バッグ 1&gt;                      大きさ：横幅 45cm，縦幅 25cm                      ショルダーベルト長さ：60cm                      重量：570g</p> <p>ストラップ長さ：68cm</p> 
	<p>&lt;バッグ 2&gt;                      大きさ：横幅 33cm，縦幅 30cm                      ショルダーベルト長さ：60cm                      重量：485g</p> <p>ストラップ長さ：70cm</p> 
	<p>&lt;バッグ 3&gt;                      大きさ：横幅 42cm，縦幅 34cm                      ショルダーベルト長さ：68cm                      重量：822g</p> <p>ストラップ長さ：71cm</p> 
	<p>&lt;バッグ 4&gt;                      大きさ：横幅 44cm，縦幅 27cm                      ショルダーベルト長さ：68cm                      重量：572g</p> <p>ストラップ長さ：71cm</p> 

### 3) 実験試技

実験は、本学のモーションキャプチャルームにおいて実施した。被験者はモーションキャプチャ用のスーツと実験用のジョギングシューズを着用し、トートバッグを肩にかけた状態（ストラップ無条件）と肩にかけながらストラップを用いて身体背中部にバッグを固定した状態（ストラップ有条件）の2種類の条件において、静止立位姿勢を10秒間程度と自分の好みの速度での歩行を3回実施した。試技は、バッグの種類とストラップの使用有無の順番はランダムに行った。

### 4) 測定項目

測定項目は、モーションキャプチャシステムを用いた被験者とバッグの動きの分析と小型3軸力覚センサを用いて肩にかかる荷重を計測した。

#### ①被験者とバッグの動きの計測

被験者とバッグの動きの計測は、MAC社製のEagleモーションカメラ10台を用いて撮影速度100fpsで撮影し、動作解析用ソフトCortex Ver3にて被験者およびバッグに貼付した反射マーカの位置情報を取得した。反射マーカは、被験者には頭部3箇所（頭頂部、左右側頭部）、体幹部4箇所（第7頸椎突起部、胸骨上縁、腹部および背部の認識用目印）、左右の上肢各4箇所（肩峰点、肘部、手首部、左右上肢の認識用目印）、骨盤部2箇所（左右前腸骨棘）、左右の下肢各6箇所（大転子点、膝部、足首、踵、つま先、左右下肢の認識用目印）の計29箇所に写真1のように貼付した。バッグには、バッグを肩にかけたときの後方側に4点のマーカを写真2のように貼付した。



写真1 被験者の反射マーカ貼付位置



写真2 バッグの反射マーカ貼付位置

## ②肩にかかる荷重計測

肩にかかる荷重は、テック技販社製の小型3軸力覚センサをプラスチック板に固定してバッグをかける肩に装着し、肩にかかる鉛直方向の力と前後方向および左右方向のせん断力の3軸の力を計測した。

小型3軸力覚センサの外観と力成分方向を図1に示す。小型3軸力覚センサは、鉛直方向の力が200N、前後方向および左右方向のせん断力が $\pm 100\text{N}$ の力まで計測可能であり、サンプル周波数は100Hzとした。小型3軸力覚センサの装着状況を写真3に示す。バッグのショルダーベルトをセンサに載せるために円盤状の治具を写真4のように設置した。

小型3軸力覚センサの信号は、小型3CHシグナルコンディショナ（テック技販社製 DSA-03A）を用いて増幅しアナログ電圧を出力した。その信号をA/Dボードを介してコンピュータに取り込み、荷重を算出した。荷重計測システムの全体を写真5に示す。このシステムは有線での計測であるため、バッグの中にシグナルコンディショナを入れ、信号出力ケーブルを被験者が引きずるような状況であった。なお、鉛直方向の力の信号をモーションキャプチャシステムにアナログ信号として入力し、動きのデータと荷重データを同期させた。

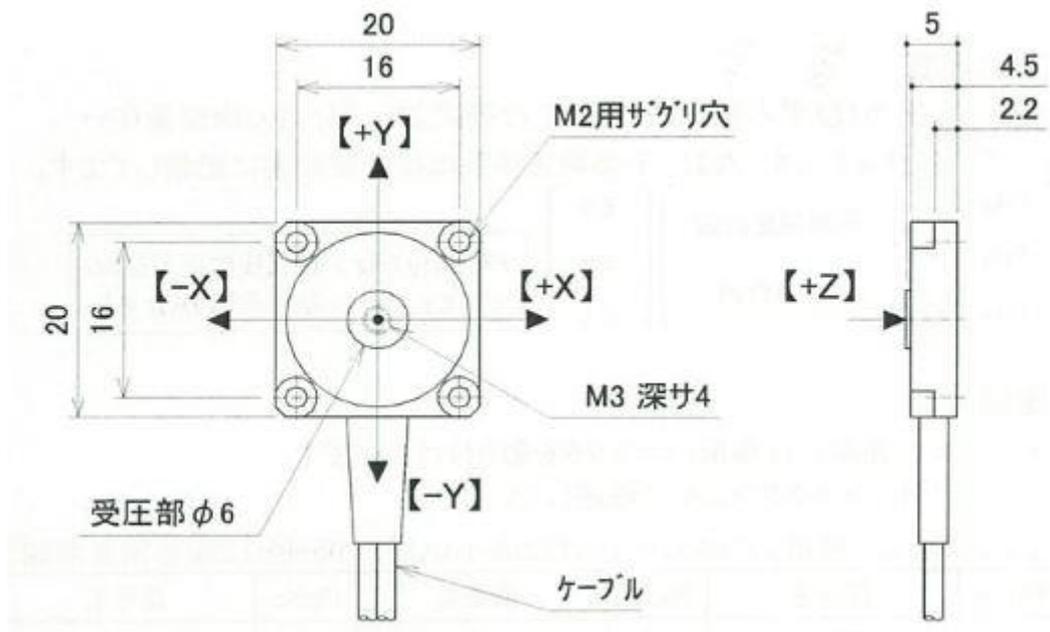


図1 小型3軸力覚センサの外観と力成分方向



写真3 小型3軸力覚センサの装着状況



写真4 小型3軸力覚センサの治具装着状況

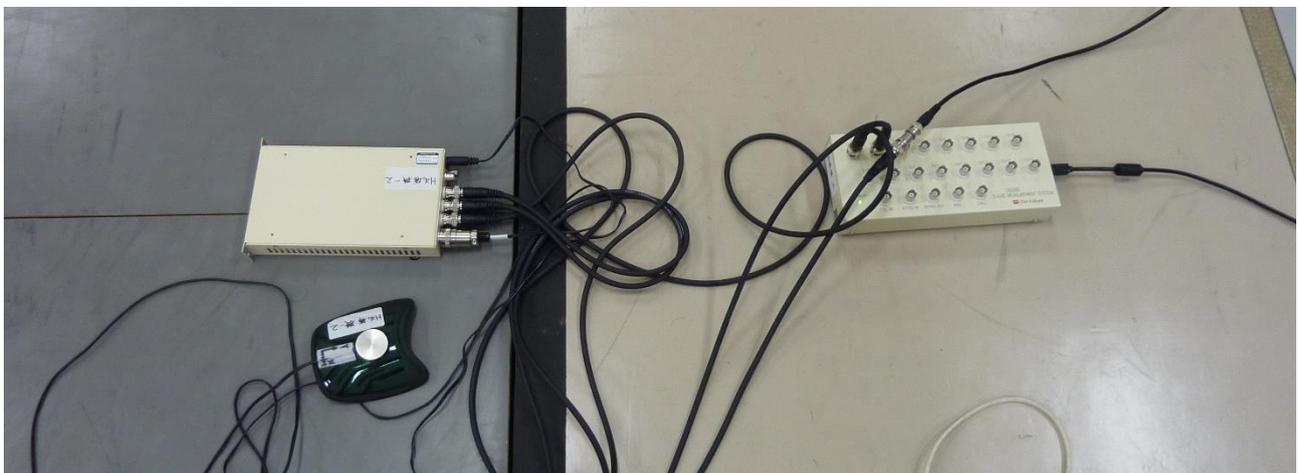


写真5 荷重計測システムの全体状況

## 5) 分析項目

立位と3回の歩行試技において次の2点について観察した。歩行の試技では3回のうち最後の3回目の試技について分析した。

### ①被験者とバッグの動きの計測

モーションキャプチャシステムを用いた被験者とバッグの動きの解析例について、立位時を図2に、歩行時を図3に各マーカ点とそれを結んだリンクセグメントモデルを示す。両図は右斜め後方から観察したような状況の図となる。被験者を頭部、体幹部、左右の上肢および下肢の7セグメントで表現している。被験者の背中側の少し離れたところにある淡い色の4点はバッグに貼付したマーカ点である。両図はある被験者がバッグ4を右肩にかけながらストラップを用いて身体背中部にバッグを固定した状態であり、バッグが背中側に位置している。

これらのモーションデータから被験者の体幹およびバッグの幾何学的な中心点を求め、その中心点の鉛直座標の位置変化を観察することにより、被験者およびバッグの歩行中の上下動の動きを定量的に評価した。

また、体幹およびバッグの中心点の2点間の距離を観察することにより、体幹に対するバッグの揺れ現象を定量的に評価した。

図4にバッグ4を右肩にかけてストラップ有条件の歩行時のバッグと体幹の上下動と肩にかかる鉛直方向の荷重の変動例を示した。左軸がバッグと体幹の上下動について、被験者の体幹（橙色線）およびバッグ（青色線）の幾何学的な中心点の空間座標系におけるZ軸方向の高さを示している。右軸は小型3軸力覚センサで計測した鉛直方向の荷重値（灰色線）の変動を示している。この例では、体幹とバッグは同じ周期で上下動をしていることがわかる。鉛直荷重値は体幹とバッグが下降したときに大きな値を示す逆位相の周期を示し、またバッグを肩にかけている側の足と反対の足の接地中の荷重の変動傾向は異なり、バッグを肩にかけている側の足では、歩行中の床反力変動パターンと同様な二つの峰を持つ変動パターンになっている。これは、歩行中の接地足が接地区間前期における制動制御と接地区間後期における推進制御のための脚部の力発揮パターンの影響が現れているものと考えられる。

歩行中のバッグと体幹の上下動の変動と体幹およびバッグの中心点の2点間の距離について、歩行区間における平均値と標準偏差を求め、変動係数（標準偏差／平均値×100，%表示）を算出することにより、ストラップ無条件とストラップ有条件を比較検討することにした。

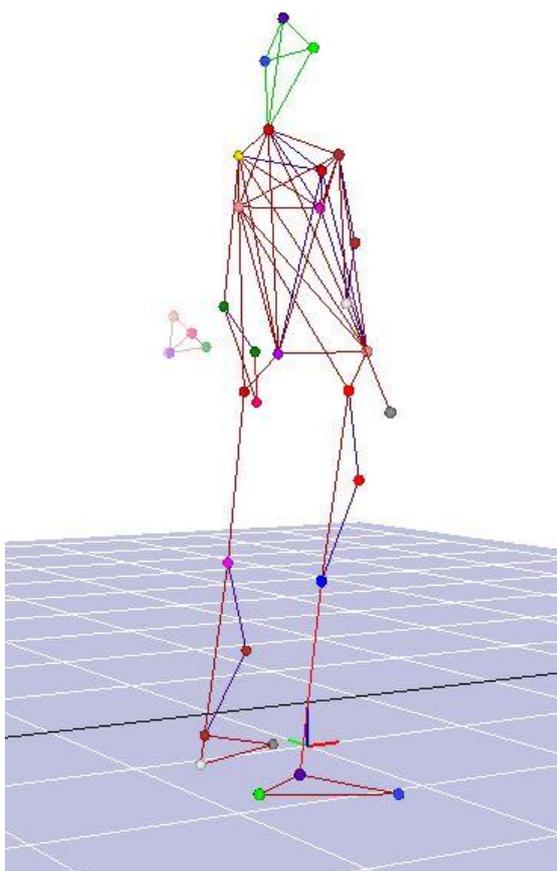


図2 立位時のモーションデータ

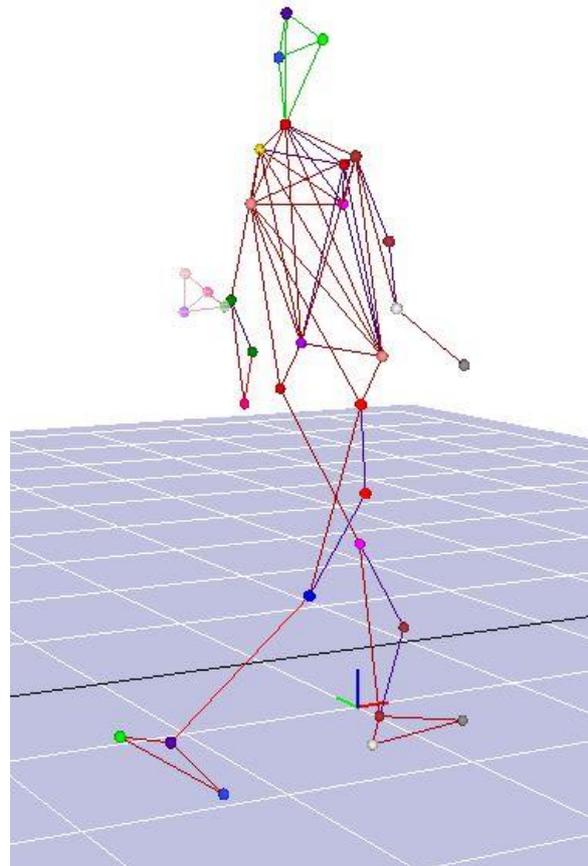


図3 歩行時のモーションデータ

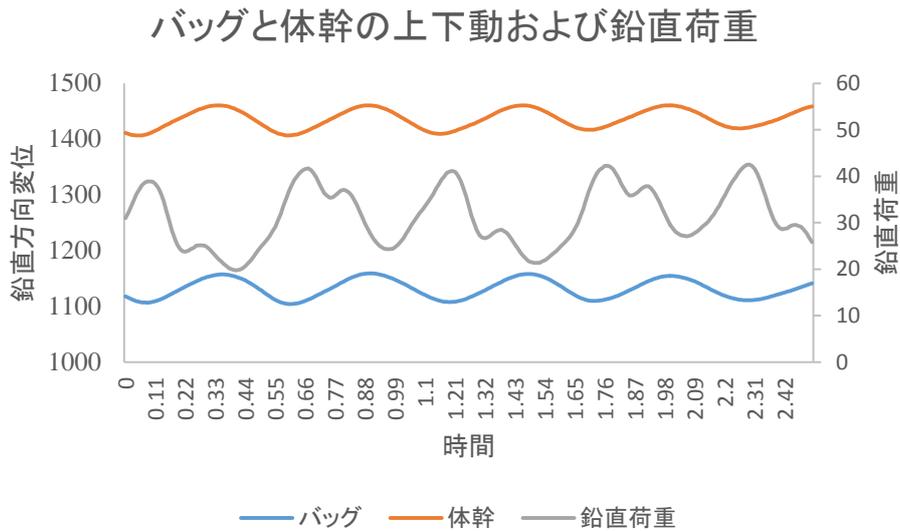


図4 歩行時のバッグと体幹の上下動と肩にかかる鉛直方向荷重の変動例（ストラップ有条件）

#### ②肩にかかる荷重計測

図5にバッグ4を右肩にかけたストラップ有条件の歩行時の肩にかかる3方向の荷重と合成力の変動例を示した。青色線が前後方向成分（右肩の場合は+が前方向，左肩は反対），橙色線が左右方向成分（+が内側方向），灰色線が鉛直方向（+が肩方向），黄色線が合成力を示している。この例では，前後方向の荷重値変動はなく，左右方向では外側に荷重がかかりながら歩行によって変動している，鉛直方向の荷重値と合成力は同じ傾向を示し，合成力が左右方向成分の荷重値の影響により，鉛直方向の荷重値より若干大きいことがわかる。

歩行中の肩にかかる3方向の荷重と合成力の荷重変動について，歩行区間における平均値と標準偏差を求めることにより，ストラップ無条件とストラップ有条件を比較検討することにした。

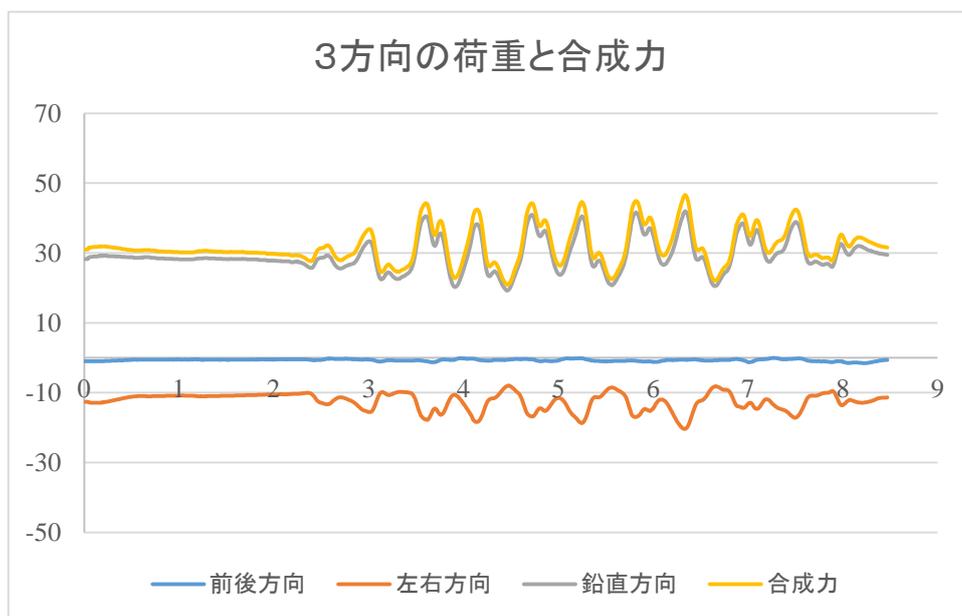


図5 歩行時の肩にかかる3方向の荷重と合成力の変動例（ストラップ有条件）

## 結果と考察：

### ①歩行時の体幹とバッグの上下動

同一被験者における歩行時のバッグと体幹の上下動と肩にかかる鉛直方向荷重の変動例について、ストラップ無条件を図6に、ストラップ有条件を図7に示した。図7については、前述の分析項目で説明したものと同一図である。図6のストラップ無条件においては、ストラップ有条件に比べ、バッグの上下動の周期性がやや崩れ、上下の揺れ幅も変化している傾向が見られる。バッグが固定されていないために体幹の上下動と連動しないバッグの上下動も含まれていることが考えられた。

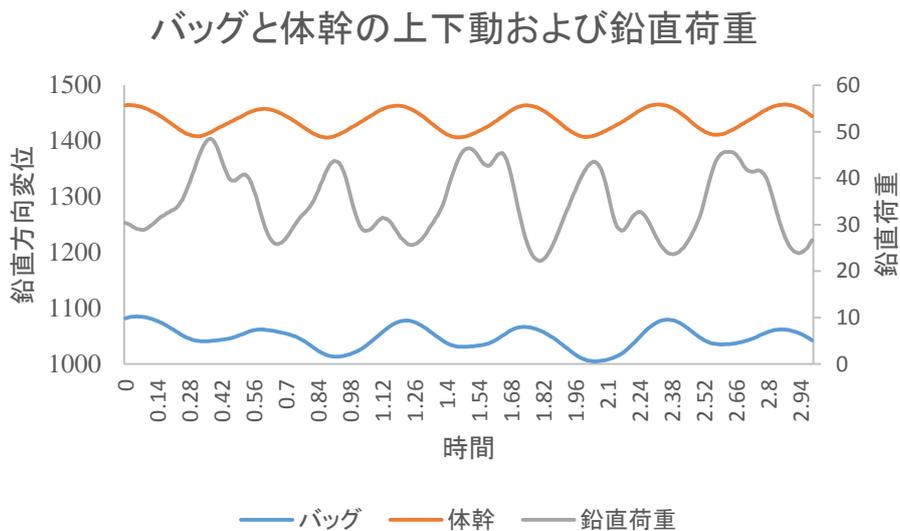


図6 歩行時のバッグと体幹の上下動と肩にかかる鉛直方向荷重の変動例（ストラップ無条件）

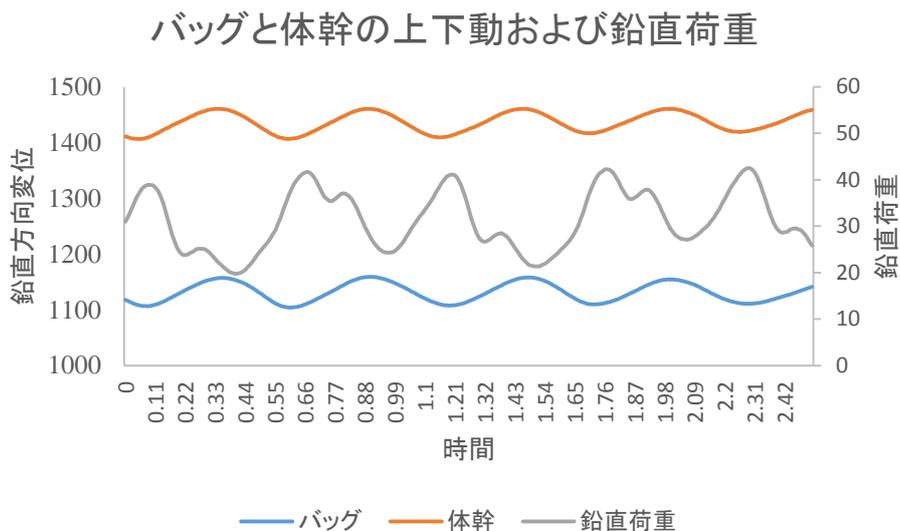


図7 歩行時のバッグと体幹の上下動と肩にかかる鉛直方向荷重の変動例（ストラップ有条件）

本研究では、バッグと体幹の上下動の変動については、モーションデータから被験者の体幹およびバッグの幾何学的な中心点を求め、その中心点の鉛直座標の位置変化を観察しているため、図6と7の左軸の大きさからわかるように、1mを超える高さにおける上下動を観察しており、また体幹とバッグの中心点の高さには30cm~40cmの高さの差が認められる。そのため、単純に平均値と標準偏差では比較ができないため、上下動によるばらつきは変動係数を算出することにした。

そこで、歩行時の体幹の上下動における変動係数を図8に、バッグの上下動における変動係数を図9に被験者別の4種類の平均値と全体の平均値を示した。体幹の上下動の変動係数は、ストラップの有無に関わらず大きな差はなく、全体の平均値はストラップ無条件が1.30%、ストラップ有条件が1.25%とほとんど差がなかった。バッグの上下動の変動係数は、体幹の変動係数より明らかに大きく、全体の平均値はストラップ無条件が2.01%、ストラップ有条件が1.91%であった。被験者別においてはストラップ有条件の変動係数がストラップ無条件より0.1%以上小さくなる被験者が4名であったが、その逆に0.1%以上大きくなる被験者が1名おり、残り5名は0.1%以内の差であった。

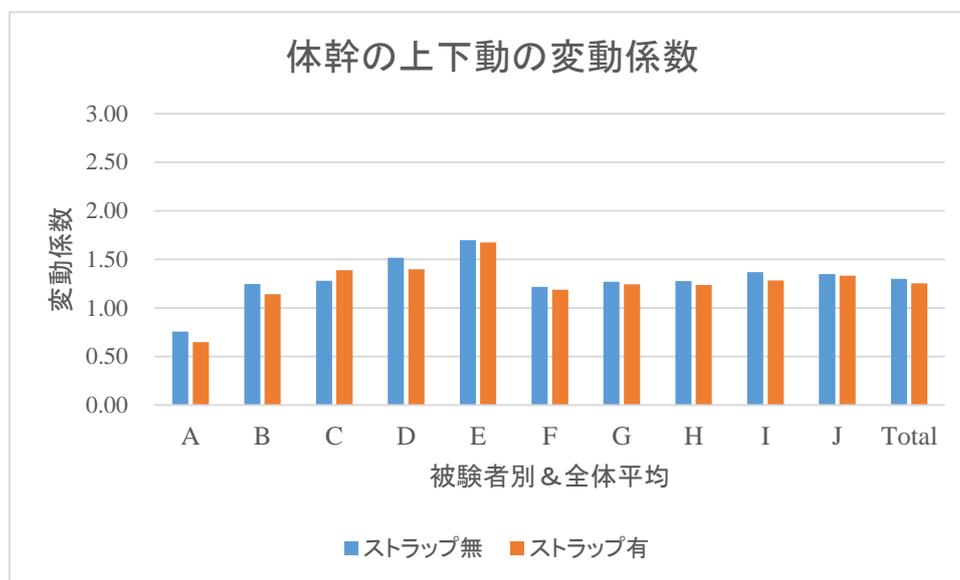


図8 歩行時の体幹の上下動の変動係数（被験者別および全体の平均）

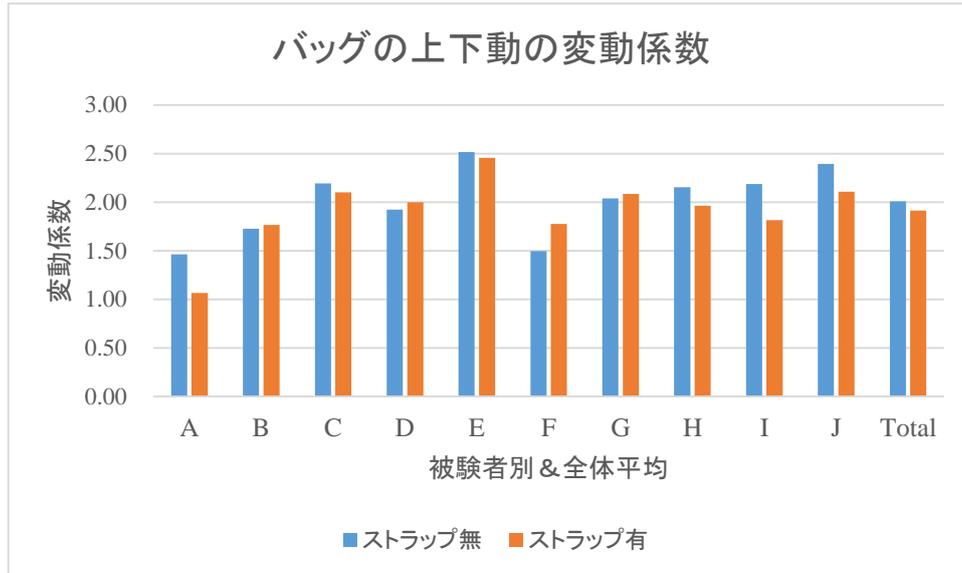


図9 歩行時のバッグの上下動の変動係数（被験者別および全体の平均）

バッグと体幹の距離における変動係数を図10に示した。

被験者Jを除く9名の被験者においてストラップ有条件がストラップ無条件より小さな値を示し、体幹に対するバッグの距離のばらつき程度、すなわちバッグの揺れ現象はストラップ有条件がストラップ無条件より小さいことが観察された。

変動係数の全被験者の平均では、ストラップ有条件0.8%、ストラップ無条件が1.1%であった。ストラップ有条件ではバッグの揺れ現象が32.5%の低減効果が認められた。被験者別では、最大72.6%の低減効果が認められた被験者も見られた。

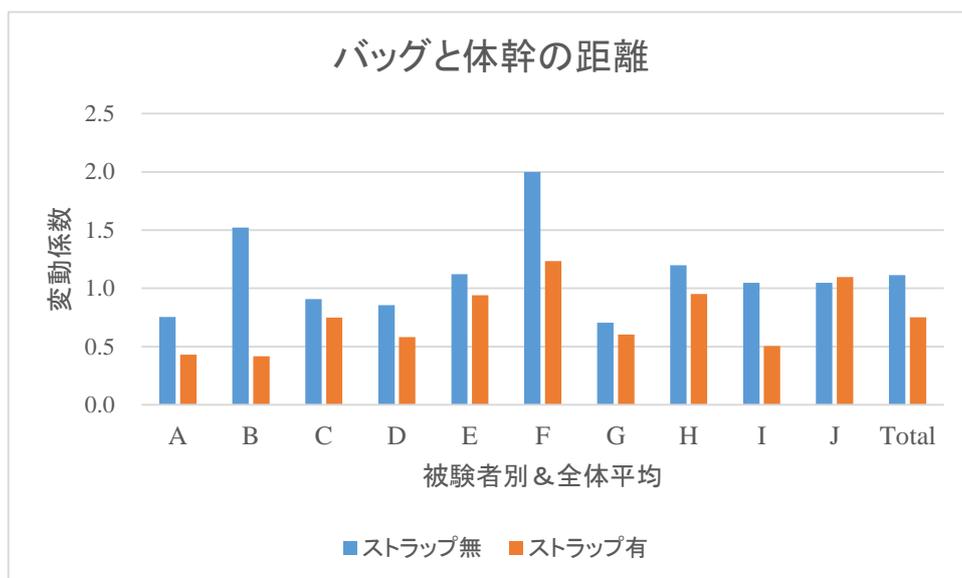


図10 歩行時のバッグと体幹の距離の変動係数（被験者別および全体の平均）

## ②立位時の肩にかかる荷重

同一被験者における立位時の肩にかかる3方向の荷重と合成力の変動例を、ストラップ無条件を図1 1に、ストラップ有条件を図1 2に示した。この被験者では右肩にバッグをかけた状態であり、ストラップ無条件では左右方向の右側すなわち外側にずれるような荷重も認められ、鉛直方向の荷重と加算され、合成力の平均が35Nの大きさを示している。それに対してストラップ有条件では、前後方向および左右方向の荷重も弱く、鉛直方向と合成力はほとんど同じ値を示し、平均で24Nの荷重である。この差は肩にかかる荷重は30%以上の低減効果があることを意味することになる。また、バッグには40N相当の重量を負荷したので、40%程度の負荷は肩以外のバッグが接触している部位に分散でき、肩への負担は低減できていることが考えられる。

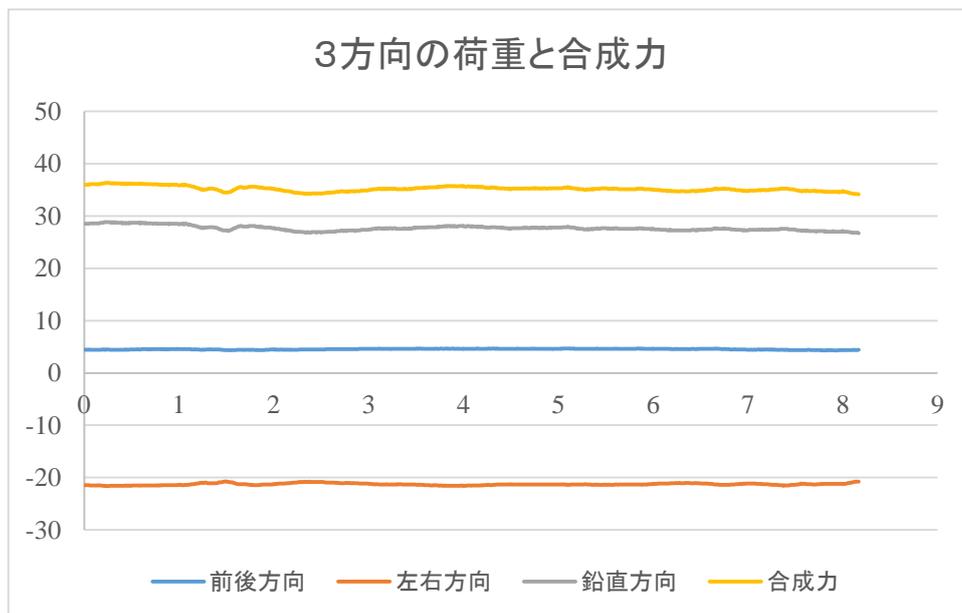


図 1 1 立位時の肩にかかる3方向の荷重と合成力の変動例（ストラップ無条件）

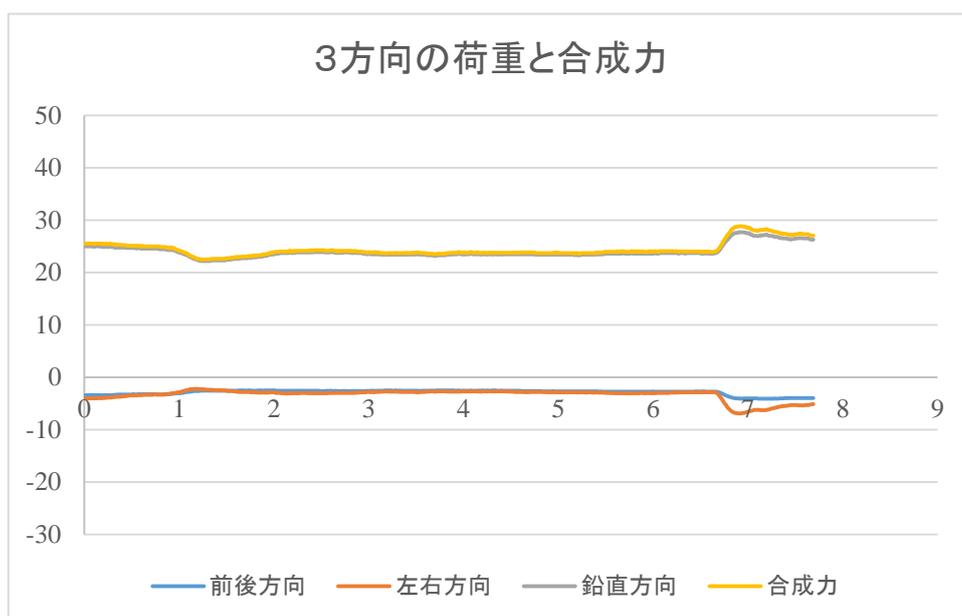


図 1 2 立位時の肩にかかる3方向の荷重と合成力の変動例（ストラップ有条件）

立位時の肩にかかる荷重の各被験者の4種類のバッグの平均値と全被験者の平均値について、鉛直方向荷重を図13に、合成力を図14に示した。

鉛直方向荷重と合成力とも、全被験者においてストラップ有条件がストラップ無条件より小さな値を示した。

鉛直方向荷重の全被験者の平均では、ストラップ有条件23.3N、ストラップ無条件が28.5Nであった。ストラップ有条件では肩にかかる荷重は18.3%の低減効果が認められた。被験者別では、最大29.5%の低減効果が認められた被験者も見られた。

合成力の全被験者の平均では、ストラップ有条件が24.2N、ストラップ無条件が30.8Nであった。ストラップ有条件では肩にかかる荷重は21.6%の低減効果が認められた。被験者別では、最大31.9%の低減効果が認められた被験者も見られた。

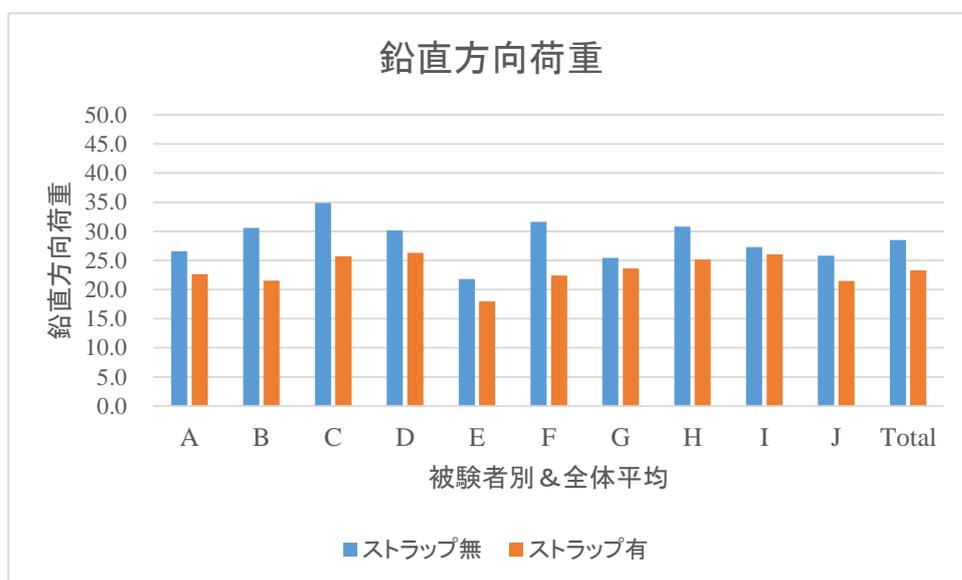


図13 立位時の鉛直方向荷重（被験者別および全体の平均）

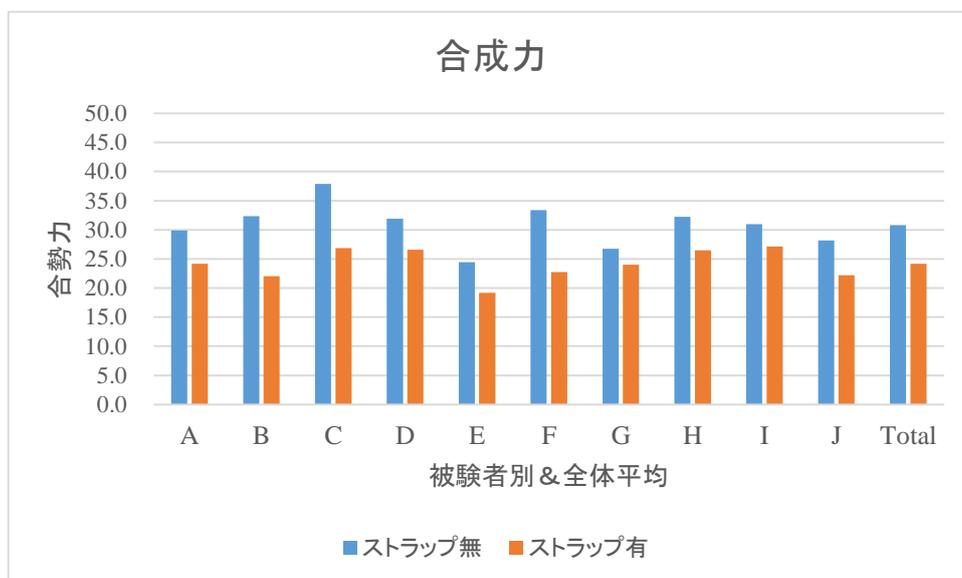


図14 立位時の合成力（被験者別および全体の平均）

### ③歩行時の肩にかかる荷重

立位と同一被験者における歩行時の肩にかかる3方向の荷重と合成力の変動例を、ストラップ無条件を図15に、ストラップ有条件を図16に示した。歩行時においても立位と同じ傾向になり、歩行の動きに連動して荷重が変動している。ストラップ無条件の合成力が歩行区間中の平均は44Nに対し、ストラップ有条件の合成力の平均は32Nと、**立位時と同じく肩にかかる荷重は27%程度の低減効果が認められる。**

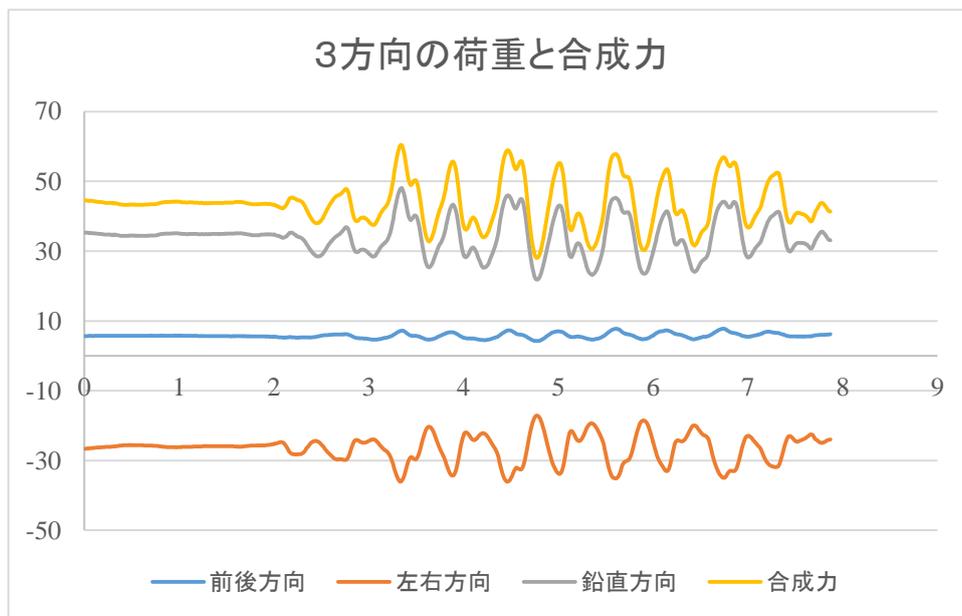


図15 歩行時の肩にかかる3方向の荷重と合成力の変動例（ストラップ無条件）

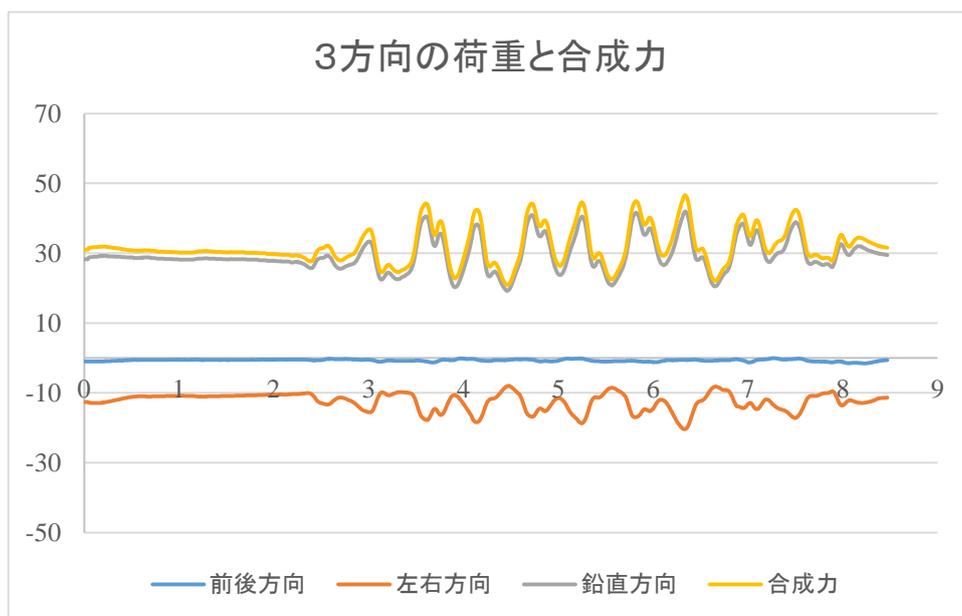


図16 歩行時の肩にかかる3方向の荷重と合成力の変動例（ストラップ有条件）

歩行時の肩にかかる荷重の各被験者の4種類のバッグの平均値と全被験者の平均値について、鉛直方向荷重を図17に、合成力を図18に示した。

鉛直方向荷重では、被験者Dを除く9名の被験者においてストラップ有条件がストラップ無条件より小さな値を示し、全被験者の平均では、ストラップ有条件が28.9N、ストラップ無条件が33.3Nであった。ストラップ有条件では肩にかかる荷重は13.1%の低減効果が認められた。被験者別では、最大28.0%の低減効果が認められた被験者も見られた。

合成力では、被験者全員のストラップ有条件がストラップ無条件より小さな値を示し、全被験者の平均では、ストラップ有条件が30.1N、ストラップ無条件が36.4Nであった。ストラップ有条件では肩にかかる荷重は17.4%の低減効果が認められた。被験者別では、最大32.3%の低減効果が認められた被験者も見られた。

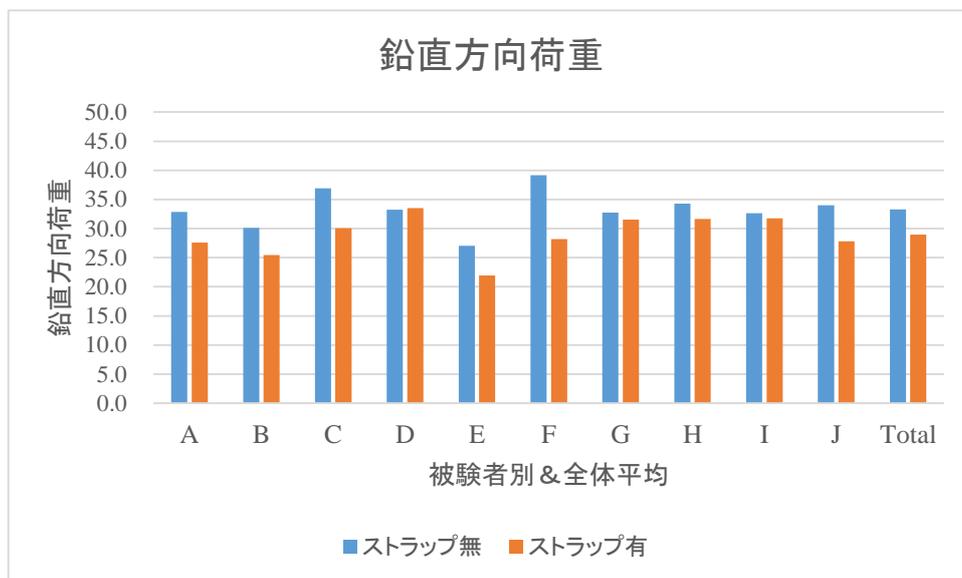


図17 歩行時の鉛直方向荷重 (被験者別および全体の平均)

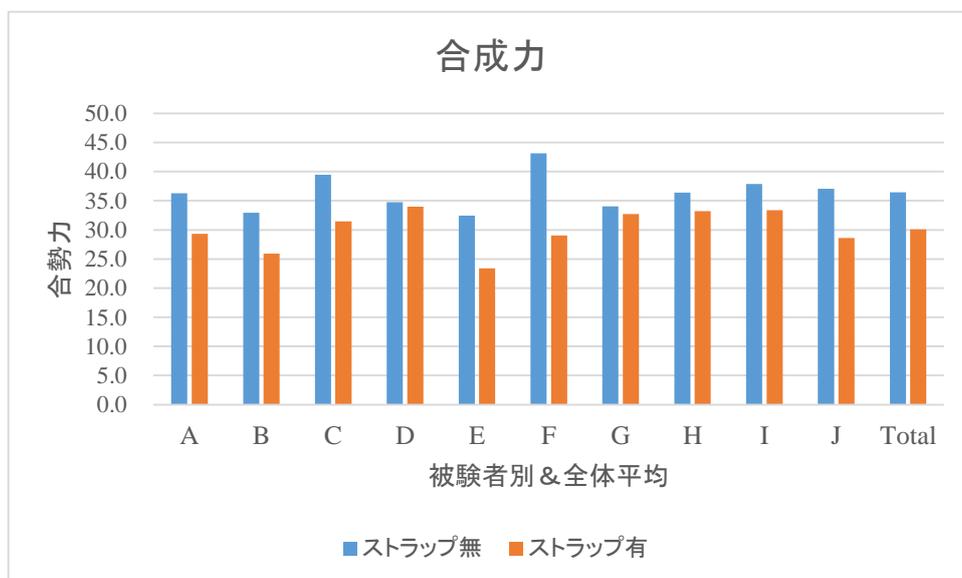


図18 歩行時の合成力 (被験者別および全体の平均)

## まとめ：

本研究では、立位時と歩行時にバッグを肩にかけた状態（ストラップ無条件）と肩にかけながらストラップを用いて身体背中部にバッグを固定した状態（ストラップ有条件）の2種類の条件において、肩にかかる荷重を計測し、身体背中部に固定可能な機能が身体にかかる負担をどの程度低減できるのかその効果を定量的に評価した。

その結果は次の通りであった。

- ・立位時において、「ストラップ有条件」は「ストラップ無条件」に比べ、肩に発生する荷重が鉛直方向では **18.3%**、3方向の合成力では **21.6%**減少した、
- ・歩行時において、「ストラップ有条件」は「ストラップ無条件」に比べ、肩に発生する荷重が鉛直方向では **13.1%**、3方向の合成力では **17.4%**減少した。
- ・歩行時において、「ストラップ有条件」は「ストラップ無条件」に比べ、体幹に対するバッグの揺れ現象は **32.5%**減少した。

### ★鉛直方向とは

重り（錘）を糸で吊り下げたときの糸が示す方向、すなわち、重力の方向。水平面に対して垂直の方向。

### ★合成力とは

<https://www.bunshun.co.jp/book/gakuryoku/pdf/rika01/p102-106.pdf>