
平成 21 年度 修士学位論文

回転動作を含む人間の物体運搬動作 特性解析に関する研究

指導教員 池浦良淳 教授



三重大学大学院工学研究科機械工学専攻
システム設計研究室
石本 唯常

目次

| | | |
|------------|-------------------------|-----------|
| 第1章 | 緒言 | 1 |
| 第2章 | 持ち上げ物体質量の選定 | 3 |
| 2.1 | 実験システム | 3 |
| 2.1.1 | 運搬物体 | 4 |
| 2.1.2 | 3次元位置計測装置およびポジションマーカの配置 | 4 |
| 2.2 | 重量が及ぼす持ち上げ運動特性の計測 | 5 |
| 2.2.1 | 実験方法 | 5 |
| 2.2.2 | 評価項目 | 6 |
| 2.2.3 | 運搬物体運動軌道 | 8 |
| 2.2.4 | 重量の違いによる運動の変化 | 9 |
| 2.2.5 | 重量の違いによる速度、角度の変化 | 11 |
| 第3章 | 人の運搬動作特性解析 | 14 |
| 3.1 | 6軸力センサ | 14 |
| 3.2 | 実験システム | 15 |
| 3.2.1 | 力センサ付運搬物体 | 16 |
| 3.3 | 持ち上げ運動特性解析 | 17 |
| 3.3.1 | 実験方法 | 17 |
| 3.3.2 | 持ち上げ時の物体の運動および操作力 | 18 |
| 3.4 | 開始位置による運搬運動の変化 | 27 |
| 3.4.1 | 壁からの距離による運動の変化 | 27 |
| 3.4.2 | 床からの距離による運動の変化 | 30 |
| 第4章 | 結言 | 32 |
| | 参考文献 | 33 |
| | 謝辞 | 34 |

第1章

緒言

日本は近年、少子高齢化という問題を抱えており、その影響により労働者の高齢化が深刻な問題である。高齢労働者にとって、重量物の運搬は特に大きな肉体的負担となっており、作業負担の低減が求められている。このような負担を低減し、作業効率を向上させる手法の一つにパワーアシスト装置がある。近年、このパワーアシスト装置の研究は盛んに行われている。これらの研究は Kazerooni ら⁽⁴⁾や福田ら⁽⁵⁾に始まり、林原ら⁽⁶⁾や永井ら⁽⁷⁾が研究を行っている。最近では外骨格型のシステムも開発され始めている。さらに、人間との協調を考慮したロボット制御を含めると数々の研究が行われている。この中で生産現場の利用を前提としたパワーアシストシステムの開発は山田ら⁽³⁾、池浦ら⁽¹⁾⁽²⁾が行っている。ここでは、特に組み立て作業を伴う生産ラインなどで用いることのできるパワーアシストシステムを産業用パワーアシスト装置と呼ぶこととする。

産業用パワーアシスト装置は、人のあらゆる操作の補助を行うために、多自由度制御が可能なものであることが望ましい。しかし、現存する装置は並進・回転のどちらか一方のみのアシスト装置であることが多数である。並進と回転を組み合わせた装置が採用されない理由の一つに、装置に用いられる操作器の多くが力センサを使用しているということにある。力センサは、対象に加わる操作力を正確に測定することが可能であるという長所を持つ一方、人が操作力を加えたとき、並進方向と回転方向の指令として正確に区分することが困難であるという短所を持つ。そのため、6自由度の測定が可能な力センサを使用する場合でも、文献(8)のように並進とその周りのトルクとを分離して計測されることが多い。

力センサの長所を生かし、かつ短所を補うことのできる多自由度パワーアシスト装置の構築を行うためには人の運動の特徴を捉え、それを制御系に組み込むことが必要になると考えられる。仮に人の運搬動作における回転角度が位置、速度、操作力等

から求めることができるならば、それらの計測可能な数値からアシストすべき回転角度を求めることもできる。そこから得られた値を使用することにより、前述した力センサの短所を補うことができると考えられる。

このように回転角度の算出が可能ならば、一つの力センサでの多自由度操作も可能となる。そのためには回転運動を含む人の自然な運搬動作の観測を行い、並進運動と回転運動の関係性を求める必要がある。しかし回転・並進を含む人の動作解析は行われておらず、その動作がどのような特徴を持つものなのか未だ明らかにはされていない。そこで本研究では、回転動作を含む人の運搬動作について解析を行い、並進・回転運動の特徴を明らかにし、特に並進運動を行う中で回転運動がどのように行われているかの考察を行う。また本論文では、特に物体の持ち上げ運動に焦点をあて解析する。

第2章

持ち上げ物体質量の選定

本章では人の自然な持ち上げ運動測定のため、適切な運搬物体の重量の考察を行う。本章の目的は、次章で行う運搬動作特性解析に使用する運搬物体作成の基準を定めることである。

2.1 実験システム

本実験で用いるシステムは、重量変更可能な運搬物体、運搬物体と人の姿勢を計測する3次元位置計測装置、データ記録用のコンピュータで構成される。Fig. 2.1 に実験システムの構成を示す。被験者の主要関節、運搬物体に位置計測用のマーカを取り付けた状態で、壁にあるターゲット内まで運搬物体を持ち上げる。被験者側面から3次元位置計測装置で撮影することにより、運搬物体の運動、被験者の体勢の測定を行う。以降、実験システムの詳細について記述する。

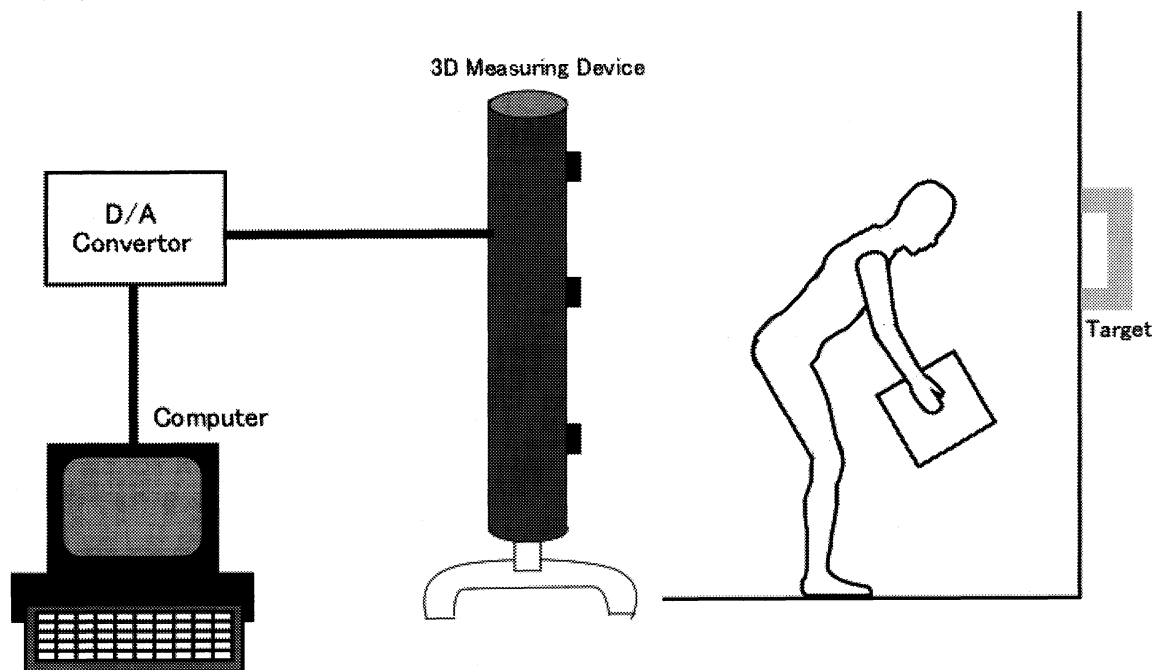


Fig. 2.1 Experimental systems

2.1.1 運搬物体

運搬を行う物体の重量が、人にどのような影響を与えるかを測定するため、Fig. 2.2のような実験用運搬物体を作成した。大きさは $47 \times 20 \times 37$ [cm]であり、取っ手部分の深さは 2.5 [cm]である。また物体重量は物体内に錘を積載することで変更する。その際物体の重心位置が側面の中心となるよう、ポリスチレン板上に錘を積載している。

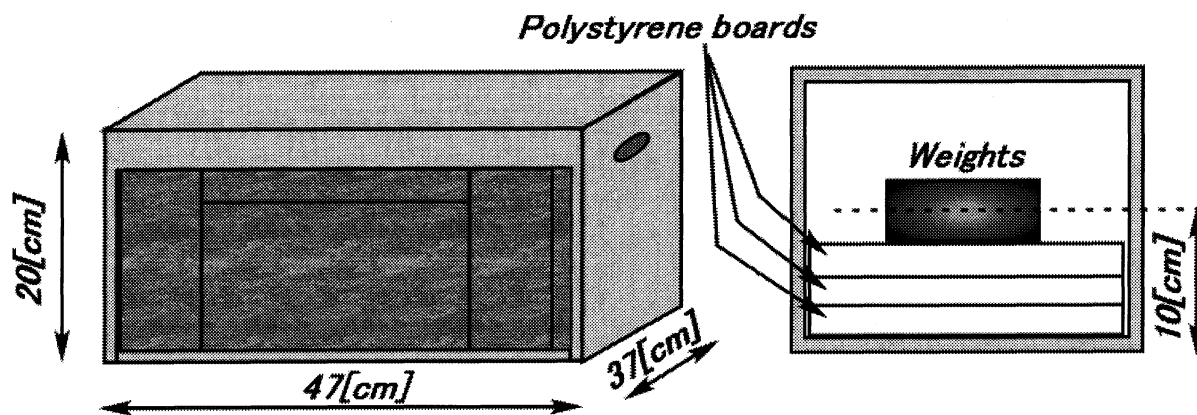


Fig. 2.2 The transportation object

2.1.2 3次元位置計測装置およびポジションマーカの配置

運搬物体、被験者の運動姿勢を計測するため、3次元計測装置（NDI, Optotrak Certus）を使用する。本計測器は、Fig. 2.3に示すポジションマーカの位置を検出を3つのカメラにより行うものである。X軸、Y軸、Z軸はFig. 2.3のようにとり、Z軸周りにおける物体の回転角度を θ [deg]とする。サンプリング周期は 100 [Hz]である。

カメラ設置位置は、被験者の側面方向に被験者から 3.5 [m]の距離をおいて設置した。また3つのカメラの位置は床に対して垂直に設置した。

次にポジションマーカの設置方法について述べる。Fig. 2.3のように、運搬物体の並進方向の運動、回転角度を計測するために、運搬物体に2つのポジションマーカを取り付けた。取り付け位置は物体側面の上下隅、対角線上になるように設置した。また、被験者の運搬時の姿勢、各関節の角度を計測するため被験者の手首、肘、肩、腰、膝、足首の計6箇所へ、各関節の回転中心にポジションマーカを取り付けた。

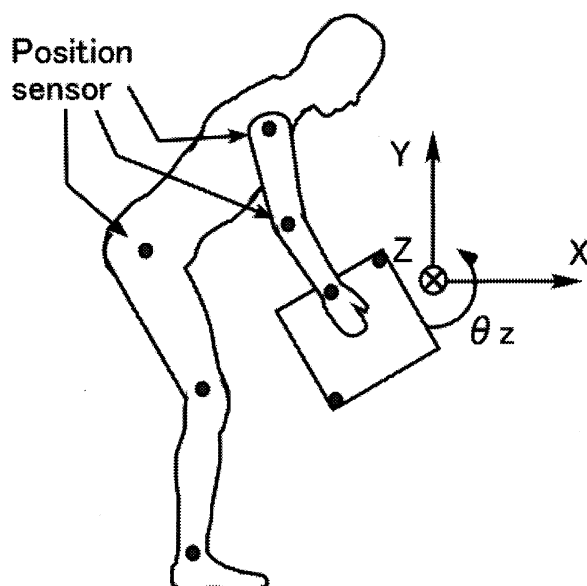


Fig. 2.3 Position sensors and the axis

2.2 重量が及ぼす持ち上げ運動特性の計測

2.2.1 実験方法

運搬物体の適正重量の選定のため、1.5kg、3.0kg、5.0kg、7.5kg、10.0kg、12.5kgの計6種類の重量の物体を運搬し測定を行う測定する値は、運搬物体の重心位置の変化、運搬物体の回転角度、および被験者の姿勢の変化である。これらの値を上記の重量において各5回、計30回の計測を行う。被験者は平均年齢23歳の健常男子5名である。それぞれの年齢、身長、および体重はTable 2.1に示す。被験者には、自然な状態で実験で臨めるよう留意した。

壁のターゲットの大きさは運搬物体の底面よりも約5%大きいものとする。設置高さはターゲット中心が被験者の肩の位置に合うように設定する。よって高さは被験者により適せん変更を行う。運搬物体設置位置は壁より70[cm]離れた位置である。この値は被験者が物体を持ち上げる際、壁による圧迫感を最小限にできるように配慮した値である。また同じ物体重量での運動特性の差を最小限にするため、被験者はそれぞれの物体重量毎に数回の運搬練習を行った。

Table 2.1 Subject's Data

| Subject | Sex | Age | Hight [cm] | Weight [kg] |
|---------|------|-----|------------|-------------|
| A | male | 22 | 177 | 63 |
| B | male | 22 | 170 | 55 |
| C | male | 25 | 174 | 70 |
| D | male | 24 | 171 | 57 |
| E | male | 22 | 171 | 60 |

これらの条件のもと、以下に示す手順で実験を行った。

実験手順

- (1) 被験者は設置された運搬物体が足元にくるように立つ。
- (2) 被験者は開始の合図で運搬物体をつかみ、Z 軸周りで反時計まわりに回転させながら物体を持ち上げる。
- (3) 物体の底面がターゲット内に収まるように持ち上げ、終了の合図までそのまま物体を保持する。

自然な運動の計測を行うことに際し、厳密な目標設定を行うと人の運動が自然であると言及できない可能性があるため、被験者にはターゲット内へ厳密に合わせるのではなく、おおよその位置まで持ち上げるという指示をする。また被験者の前後方向、つまり X 軸方向の位置調整については特に指示はしない。

2.2.2 評価項目

本実験で評価する値は物体の重心位置の変化、回転角度、被験者の姿勢の変化である。これらの評価値を以下の方法で算出する。

①重心位置

使用する運搬物体の重心は側面から見て中心になるよう作成している。よって重心位置は、物体に取り付けられた2ヶのポジションマーカの座標より以下の式で中点の座標 $[J_x, J_y]$ を求め物体の重心位置とする。物体のマーカを M_1 , M_2 とする。

$$[J_x, J_y] = \left[\frac{x_1 + x_2}{2}, \frac{y_1 + y_2}{2} \right] \quad (2.1)$$

②回転角度

2つのマーカ M_i , M_{i+1} のなす各投影角 α_i , β_i , γ_i は, それぞれのマーカの位置ベクトル $M_i = [x_i \ y_i \ z_i]^T$, $M_{i+1} = [x_{i+1} \ y_{i+1} \ z_{i+1}]^T$ を用いて次式で表される.

$$\left. \begin{aligned} \alpha_i &= \operatorname{atan}\left(\frac{y_{i+1} - y_i}{x_{i+1} - x_i}\right) & (a) \\ \beta_i &= \operatorname{atan}\left(\frac{z_{i+1} - z_i}{y_{i+1} - y_i}\right) & (b) \\ \gamma_i &= \operatorname{atan}\left(\frac{x_{i+1} - x_i}{y_{i+1} - y_i}\right) & (c) \end{aligned} \right\} \quad (2.2)$$

MATLABにて計算を行う際, atan に代わり演算子 $\operatorname{ATAN2}$ を使用する. これは4象限表現の逆正接を求める記号であり, 通常逆正接を算出した後, 2つの因数の符号により象限を決定するものである. 通常逆正接が $-\frac{\pi}{2} \leq \operatorname{atan}\left(\frac{y}{x}\right) \leq \frac{\pi}{2}$ の範囲であるのに対し, $\operatorname{ATAN2}$ は $-\pi \leq \operatorname{ATAN2}\left(\frac{y}{x}\right) \leq \pi$ の範囲を持つ. 運搬物体の回転角度はZ軸周りの回転のみで表現されるため, 求める角度を θ [deg] とすると式 (2.2)(c) より以下のように求まる.

$$\theta = \operatorname{ATAN2}\left(\frac{x_2 - x_1}{y_2 - y_1}\right) \quad (2.3)$$

これより物体の回転角度を求める.

③物体速度

①で求めた重心の座標の時間微分を行い算出する.

④被験者の姿勢

前節で述べた, 被験者に装着した各マーカから得られた座標より被験者の姿勢を算出する.

以上の項目を被験者, また物体重量毎に評価を行う. ①において物体の設置位置を原点とし, ②, ③については特に断りがない限り物体が運動を開始する点を原点とする.

2.2.3 運搬物体運動軌道

運搬物体の運動軌道を観察することにより、被験者によって持ち上げ方法は大きく以下の3種類に分類することができる。

- (1) 始点から終点までの軌道が直線的でほぼ最短距離に近いパターン (Fig. 2.4 (a))
- (2) X 軸方向に関して、一度終点よりも前に進むパターン (Fig. 2.4 (b))
- (3) 運動開始直後は、X 軸方向の運動をあまり行わないパターン (Fig. 2.4 (c))

これらの傾向を Fig. 2.4 に示す。物体重量1.5kgのときの物体重心の軌跡を、縦軸に Y 方向の変位、横軸に X 方向の変位をとりグラフ化したものである。これらの軌跡は被験者毎に、5回の測定で得られた数値を平均化したものである。被験者 A はパターン (1)、被験者 E はパターン (3)、被験者 B, C, D はパターン (2) に分けることができる。被験者により軌跡の特徴が決まることから、物体がたどる軌跡は被験者間の個人差が現れると言える。Fig. 2.5 に被験者 D の X 方向、Y 方向の変位と時間の関係を示す。なお点線は標準偏差である。X の変位が Y の変位に比べバラつきが大きいが、これは X 方向の運動に関して指示をしていないためだと考えられる。

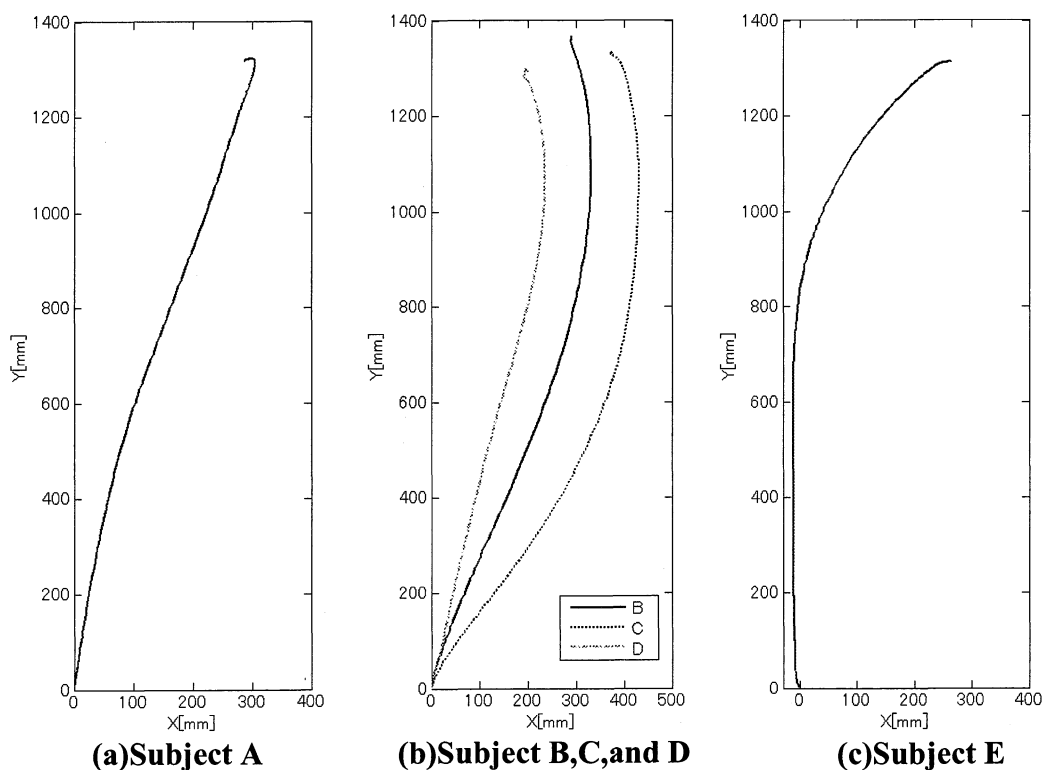


Fig. 2.4 Profiles of object

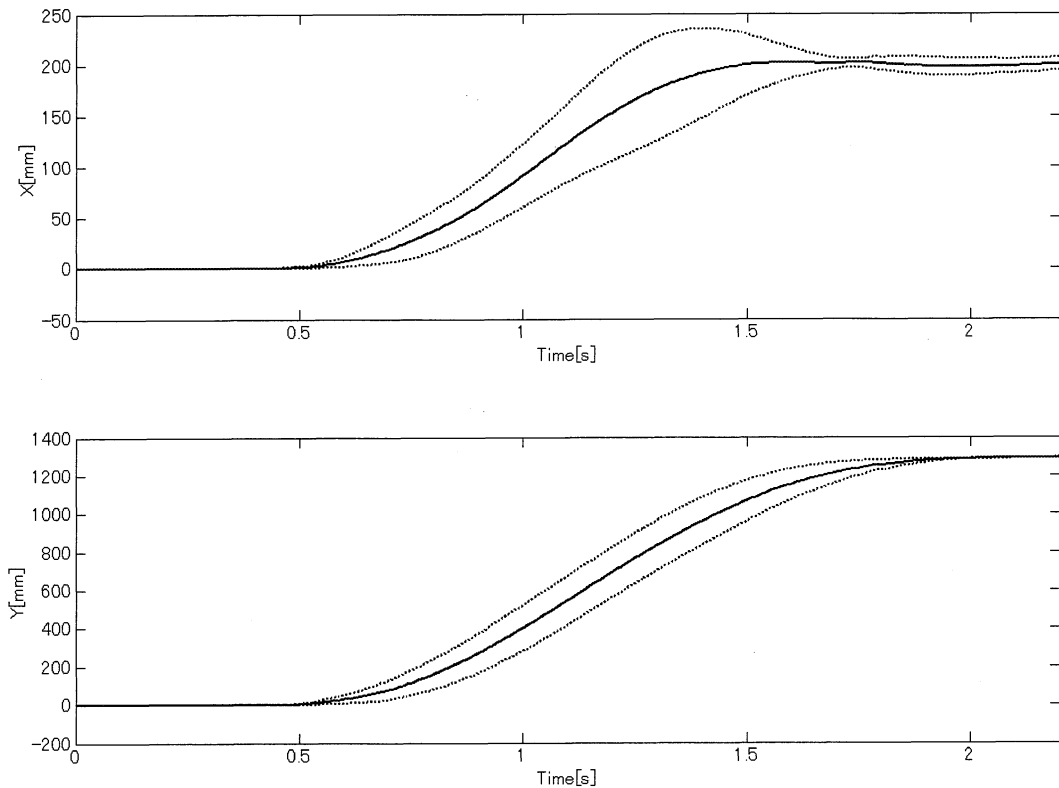


Fig. 2.5 Result of subject D and Standard deviation

2.2.4 重量の違いによる運動の変化

重量の違いによる物体運動軌跡の観測を行う。Fig. 2.6 に被験者 B, C における物体軌跡を各重量毎にプロットしたものを示す。両者の被験者は第 2. 2. 3 項で同じ軌跡パターンと述べたが、Fig. 2.6 における特徴は明らかに異なる。被験者 B は重量が重くなるにつれ X 軸方向の変位が小さくなっているのに対し、被験者 C は重量の違いによる変化はあまり見られない。

被験者の右側より撮影し X 軸の正の方向を被験者の前方として表したときの、被験者 B の姿勢を Fig. 2.7 に示す。これは運搬物体の回転角度が 50° のときの姿勢を、各重量毎にプロットしたものである。これより重量が重くなるに連れ肩、腰の位置が後退していることが分かる。また Fig. 2.6 の変化は人の肩、腰の位置の変化によるものだということが予想される。

なお重量の違いによる変化が見られなかったのは被験者 C のみであり，他の被験者は被験者 B と同様に重量が重くなるにつれ X 軸方向の変位が小さくなる傾向が見られた．またこの傾向は各被験者で重量が5.0kg，または7.5kg 以上になった際に現れた．物体の軌跡に変化が起こる物体重量は被験者間での有意差が見られたと同時に，物体重量が概ね5.0kg 以下であると持ち上げ運動に及ぼす影響が小さいことが確認できた．

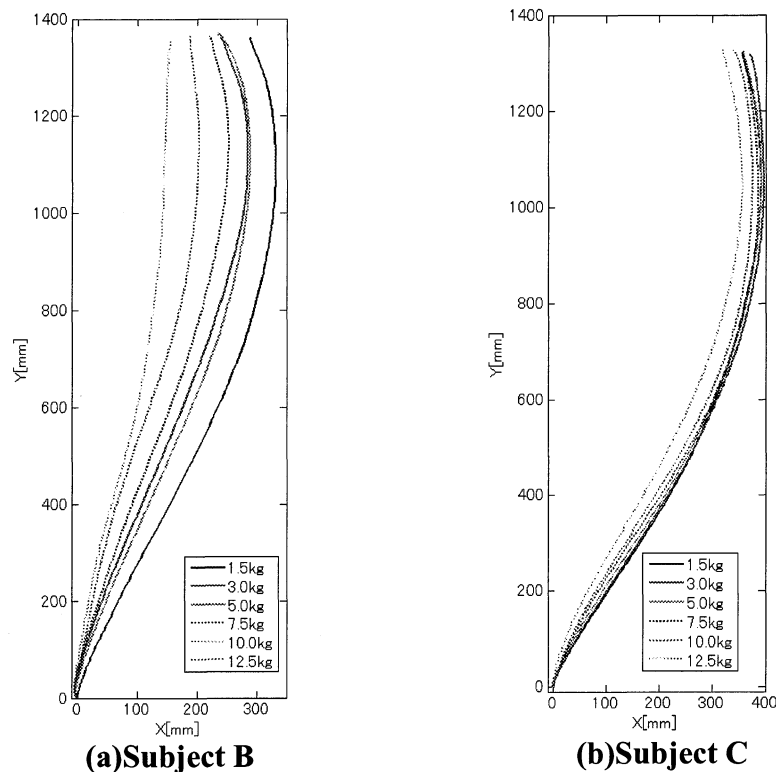


Fig. 2.6 The trajectories of various weight

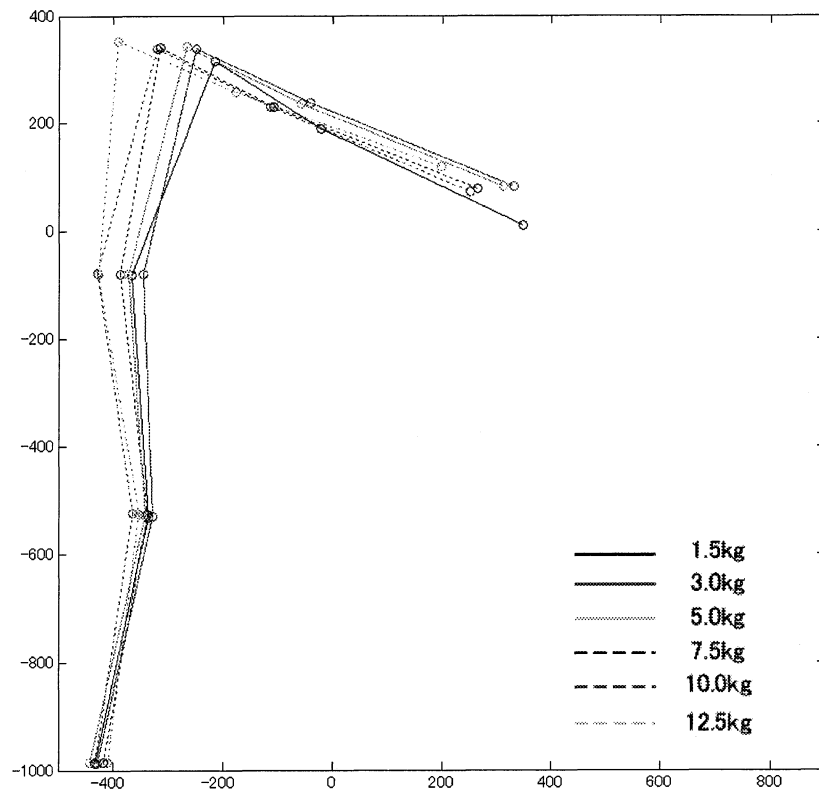


Fig. 2.7 Posture of subject B

2.2.5 重量の違いによる速度, 角度の変化

物体の重量の変化が運搬速度, 角度変化に及ぼす影響を調べる.

Fig. 2.8 に被験者 A の各重量における運搬速度を, Fig. 2.9 に 1.5kg の時の運搬速度, 標準偏差を示す. ここで示す速度 $V[(\text{mm})/\text{s}]$ はスカラ値である. これより重量の増加に伴い運搬速度が遅くなっていることが分かる.

Fig. 2.10 に被験者 C の角度変化を示す. 物体重量変化が角度変化に及ぼす影響は小さいことがわかる. しかし物体を 90° 回転させるよう指示をしたにも関わらず, 物体の最終回転角度は 90° に満たない試行が殆どであった. これは被験者全員に当てはまる. これより人は 90° 回転させる指示を受けつつも, それ以上に回転させることはない, 若しくは指示角度未満の回転運動を行う傾向にあると言える.

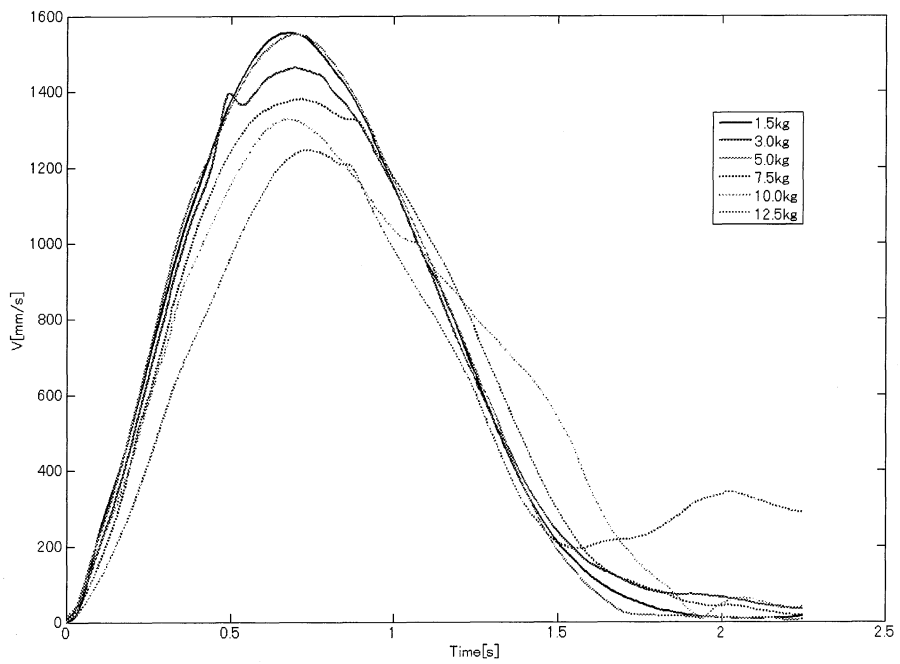


Fig. 2.8 Velocity at all weight

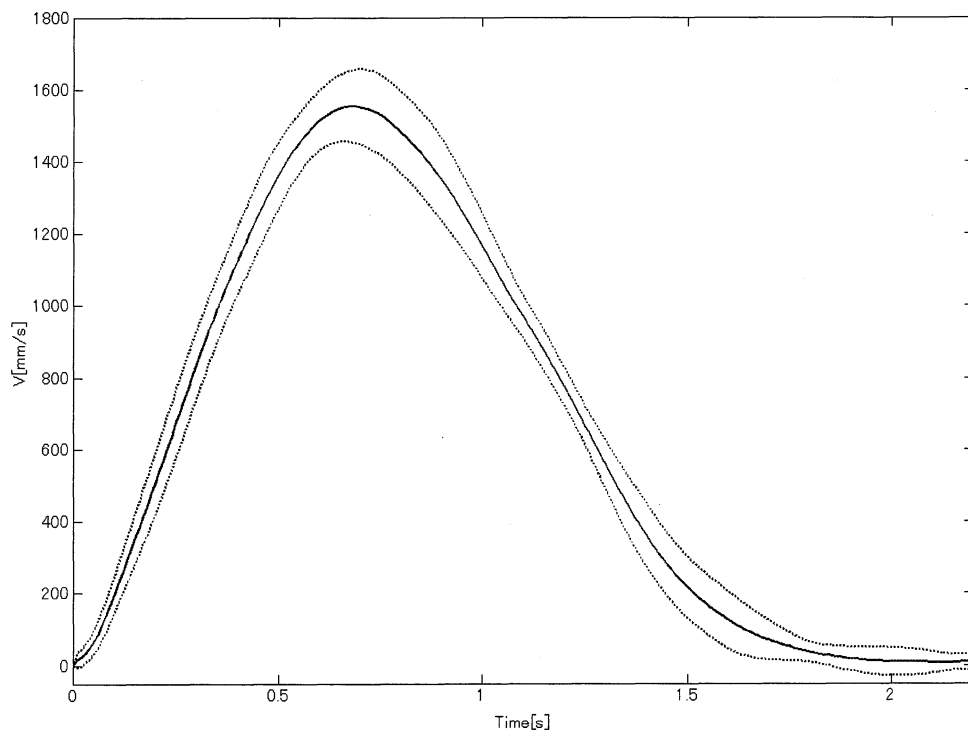


Fig. 2.9 Velocity of subject D and Standard deviation

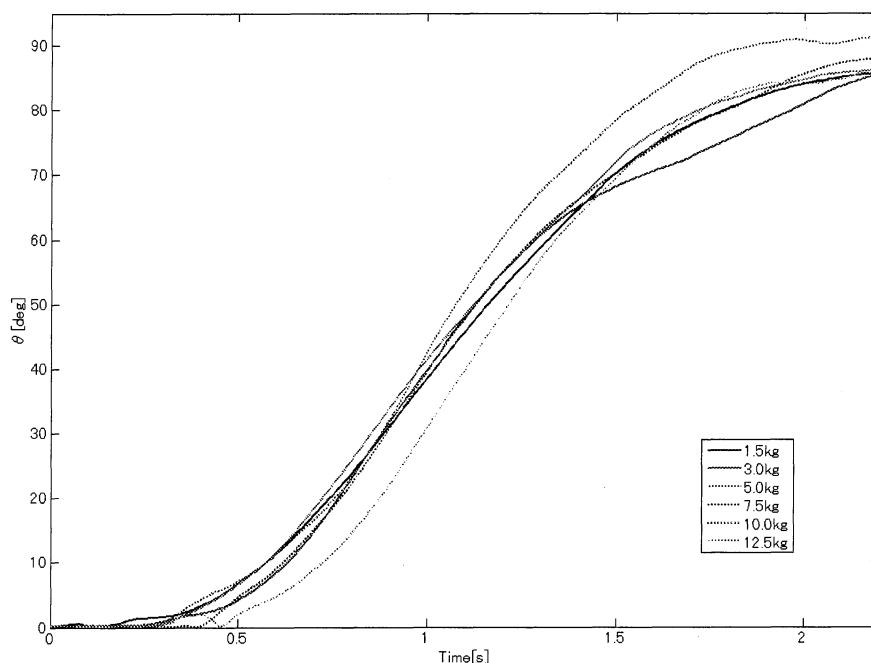


Fig. 2.10 Angle change

第2.2節で述べた実験結果より，被験者間に差異はあるものの物体質量が5.0kg未満ならば人の運動に及ぼす影響が小さいことが確認できた．次章ではこの結果を基に，5.0kg未満の運搬物体を作成し，物体に加わる操作力と運動の関係等の検証を行っていく．

第3章

人の運搬動作特性解析

本章では、前章により求めた持ち上げ運搬に適した物体重量を基に、回転運動を含む人の持ち上げ運動の動作解析を行う。物体に加わる力と運動の関係を6軸力センサ、3次元位置計測装置を用いて観測する。これにより運搬時に物体へかかる操作力と、そのときの物体の変位、回転角度の関係が明らかになると考えられる。

3.1 6軸力センサ

第1章でも述べたように Fig. 3.1 に示すような6軸力センサには、人が加える操作力を並進方向と回転方向の指令として正確に区分することが困難であるという特徴がある。人が力センサへ操作力を加えるとき、正確な力・トルクを与えることができないということが要因となっている。人が Fig. 3.1 の上方向に操作力をかけたときの力、トルクの値を Fig. 3.2 に示す。ここで F_x 、 F_y は力、 M_z はトルクとする。操作力を加えた被験者には、極力 F_x のみの力がかかる操作力を与えるように指示をした。これより力センサは F_x だけでなくトルク M_z も読み取っていることが分かる。このことから人が加える力を、力センサで並進方向と回転方向の指令として正確に区分することが困難であるということが確認できる。並進・回転を含む操作を単一の力センサで行う場合、力センサの応答からのみ制御を行うことは困難であると考えられる。そこで次節より述べる人の運搬動作特性解析を行う。人の自然な状態での運動方法、また力・トルクと物体運動変化との関係を導き、実際に使用する制御系にそれを組み込むことにより力センサの補助的な役割を果たすことで、単一の力センサでの操作も可能になると考えられる。

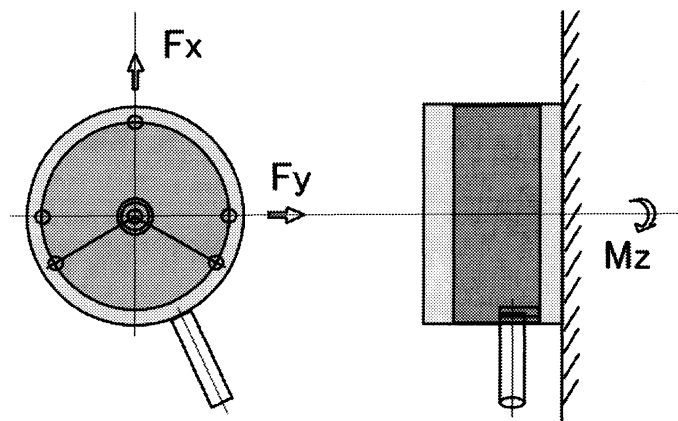


Fig. 3.1 6 axes force sensor

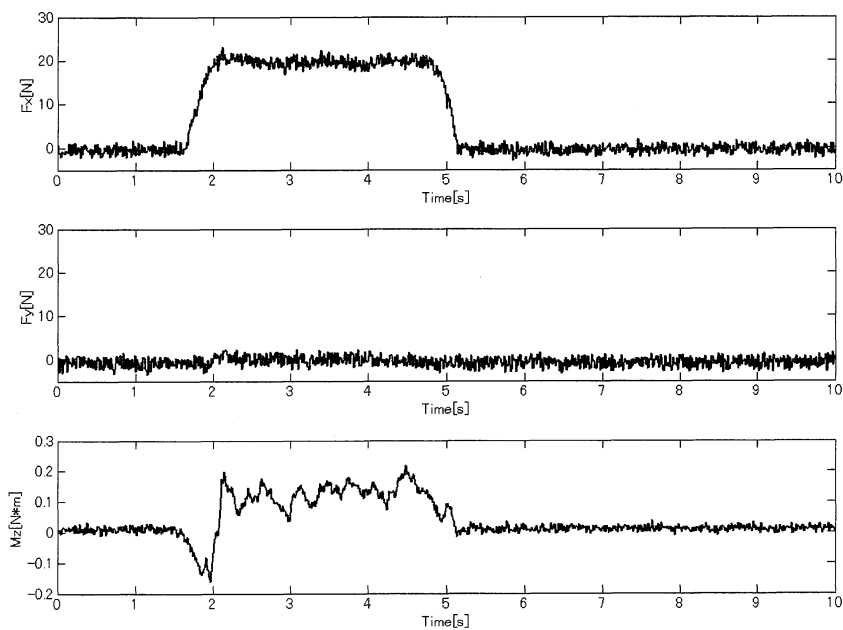


Fig. 3.2 Response of force sensor

3.2 実験システム

本実験で使用するシステムは、前章で用いた3次元位置計測装置に加え二個の6軸力センサを付した運搬物体を使用する。位置計測装置、力センサの操作は数値解析ソフト MATLAB を用いて行い、1台のコンピュータで操作を行う。これにより、計測時間の同期がより正確に行うことが可能となる。Fig. 3.3 に実験システムの構成を示す。3次元位置計測装置およびポジションマーカの配置は、第2.1.2項で用いたものを採用する。

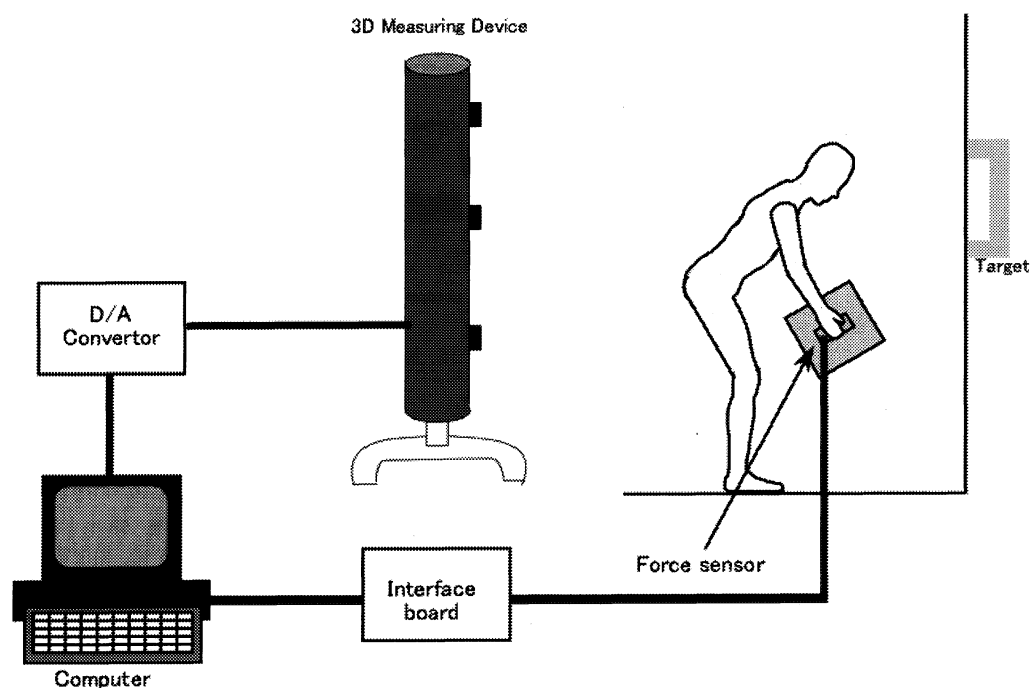


Fig. 3.3 Experimental systems

3.2.1 カセンサ付運搬物体

物体運搬時の操作力を計測するため、Fig. 3.4 に示すカセンサ付運搬物体を作成した。物体重量は前章で求めた持ち上げ運動に適した重量を満たす4.5[kg]である。大きさは $27 \times 27 \times 50$ [cm]である。2ヶの取っ手部分は円柱状になっており、その握り部分の長さは11[cm]、半径は6[cm]である。カセンサ、取っ手の取り付け位置は物体側面の中心である。また各取っ手の付け根部分に6自由度計測力センサ（NMB-OPFT）を備えた。使用する6自由度計測力センサの外形を Fig. 3.1 に示す。力100[N]、トルク5.0[N・m]まで計測可能で、センサ重量は330[g]である。また計測値をFig. 3.1に示したように X 方向の力を F_x [N]、Y 方向の力を F_y [N]、Z 軸周りのトルクを M_z [N・m]とする。

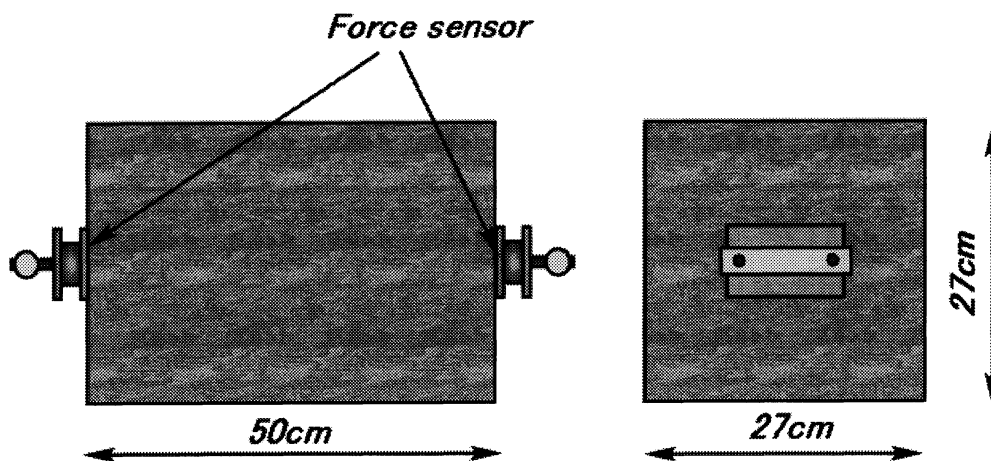


Fig. 3.4 The object with the force sensor

3.3 持ち上げ運動特性解析

第2章で行った実験と同様に、運搬物体を壁に印したターゲット内まで持ち上げる運動を計測する。計測から導かれる物体の位置、速度と、加わる操作力の間の関連性を調べ考察を行っていく。

3.3.1 実験方法

第3.2.1項で示した運搬物体を用いて測定を行う。ターゲットの高さ、大きさ、被験者の立ち位置、実験手順は第2.2.1項で用いた値を使用する。被験者は平均年齢23.7歳の健常な男子である。各々の年齢、身長、体重をTable 3.1に示す。被験者には、自然な状態で実験で臨めるよう留意した。それぞれの被験者は実験前に数回の練習を行い、測定は同じ被験者で各3回行った。第2章と同様に開始の合図で物体を掴み持ち上げるが、これは運搬前に力センサに余計な力がかかることを防ぐためである。そのため被験者には掴む際に強い衝撃を与えないよう指示を与えている。

Table 3.1 Data of subject

| Subject | Sex | Age | Height [cm] | Weight [kg] |
|---------|------|-----|-------------|-------------|
| A | male | 22 | 177 | 63 |
| B | male | 22 | 171 | 60 |
| C | male | 25 | 161 | 63 |
| D | male | 24 | 170 | 60 |
| E | male | 24 | 165 | 50 |
| F | male | 24 | 171 | 57 |
| G | male | 25 | 168 | 55 |

3.3.2 持ち上げ時の物体の運動および操作力

Fig. 3.5, Fig. 3.6 に X, Y 方向の変位, 物体の回転角度を示す. 上から X[mm], Y[mm], θ [deg]である. ここでは運動開始を原点に取っている. 運動開始から三つ全ての計測値が変化を始めていることより, この運動の場合並進・回転運動を終始同時に行っていると考えられる.

Fig. 3.7, Fig. 3.8に被験者 F の力, トルク, 上下方向の変位を示す. 横軸は時間[s], 縦軸は上から F_x [N], F_y [N], M_z [N·m], Y 軸方向の変位 Y[mm]である. ここで F_x [N], F_y [N], M_z [N·m]は2ヶの力センサから得られた数値の平均を取ったものである. Y[mm]が約0.8[s]で変化し始めているので, 物体が動き出す前に力, トルクともにかかっていることが分かる. また M_z [N·m]において, やや直線的に変化をする F_x [N], F_y [N]とは異なり増減の変化が激しいことが分かる. Fig. 3.9被験者毎に分けた運搬物体重心の軌跡を示す. これは3回の測定値を各被験者で平均化した値である. 今回の実験でも前章で行った実験と同様に, 被験者の運動パターンを3種類に分類できることが確認できる.

Fig. 3.10 に被験者 C, D, E, Fig. 3.11 に被験者 A, B, G の力, トルクの波形を示す. グラフの各縦軸は上より F_x [N], F_y [N], M_z [N·m], θ [deg]である. 各グラフは先に述べた各運動パターンの特徴を示す被験者毎に掲載している. また Fig. 3.10, Fig. 3.11 とともに時間軸0.5[s]の点が物体運動の始点としている. 被験者により F_x [N],

$Mz[N \cdot m]$ に関してマイナス方向へ変位している波形もあるが、これは取っ手を掴んだときの力によるものと考えられる。各運動パターン間での操作力の規則性は見られなかった。また $\theta[deg]$ は $Mz[N \cdot m]$ で示す値に比例せず、 $F_x[N]$ 、 $F_y[N]$ の増減に大きく関係していることが確認できる。特に $F_y[N]$ と $\theta[deg]$ は変動開始・終了点がほぼ等しい。これは回転に伴い $F_y[N]$ の方向に物体重量がかかるようになったためだと考えられる。

被験者 C, D における物体の位置による速度を Fig. 3.12 に示す。太線は物体重心の軌跡、細線は速度である。速度の大きさは、右向きを正として横軸方向への長さで表し、それを軌跡に沿ったポイントからサンプリングタイム毎にプロットしている。つまり細線が X 軸方向に最長のポイントは、最も速度が大きい位置である。Fig. 3.13 に Fig. 3.12 をそれぞれの成分に分割したグラフを示す。Fig. 3.14 は C, D 以外の被験者におけるグラフである。速度変化は Y 方向の変位が影響していることがわかる。被験者 C は運動開始後 Y 方向へ運動するため、被験者 D より早い時間に速度変化のピークへ達してゐる。

被験者 C, F における物体の位置による角速度を Fig. 3.15 に示す。Fig. 3.12 と同様の表現方法を用いて、軌跡に沿って角速度を表した。Fig. 3.16, Fig. 3.17 に Fig. 3.15 をそれぞれの成分に分割したグラフを示す。両グラフより速度と同様に Y 方向の変位が角速度にも影響していることが分かる。

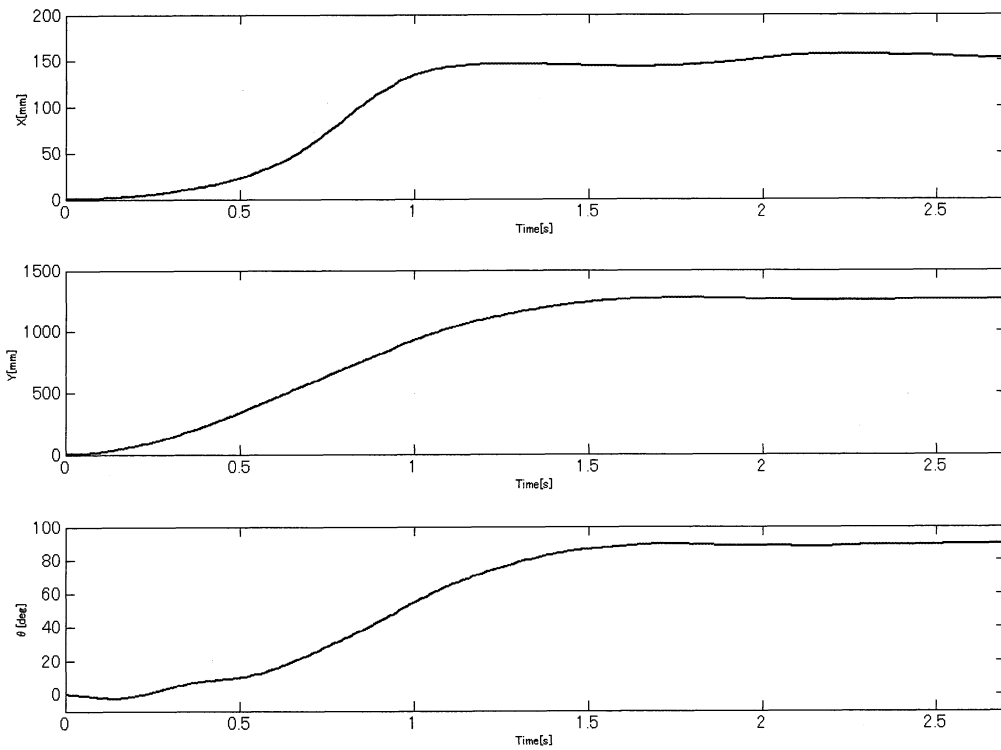


Fig. 3.5 Result of subject E

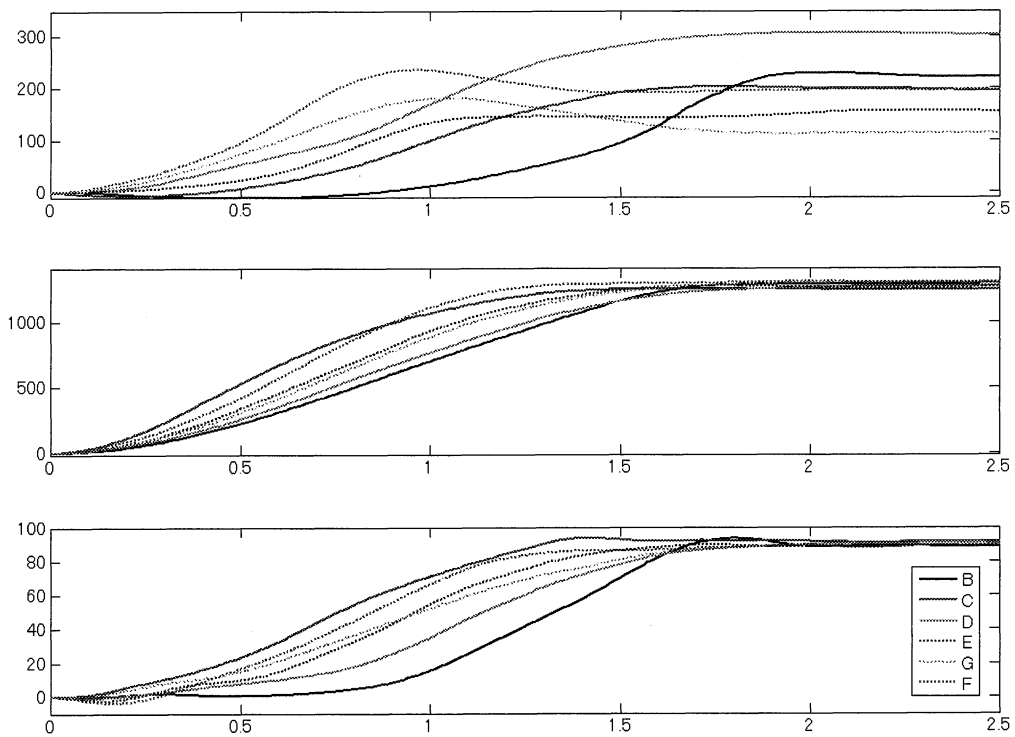


Fig. 3.6 Experiment results

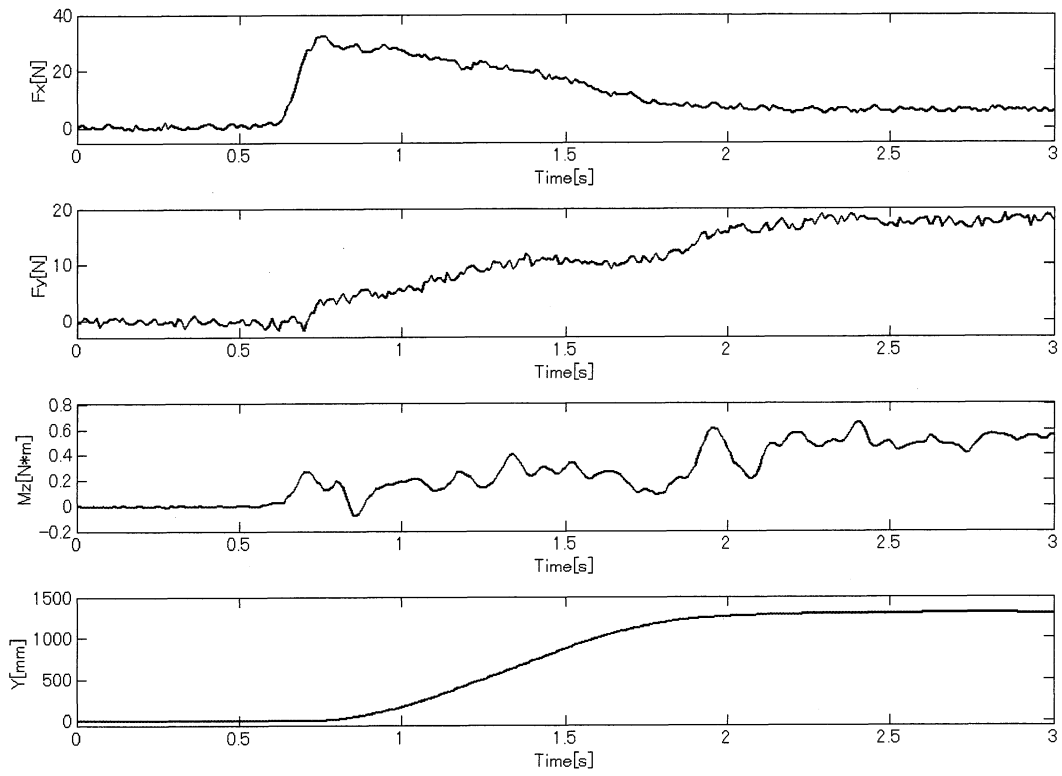


Fig. 3.7 Result of subject F at 3rd trial

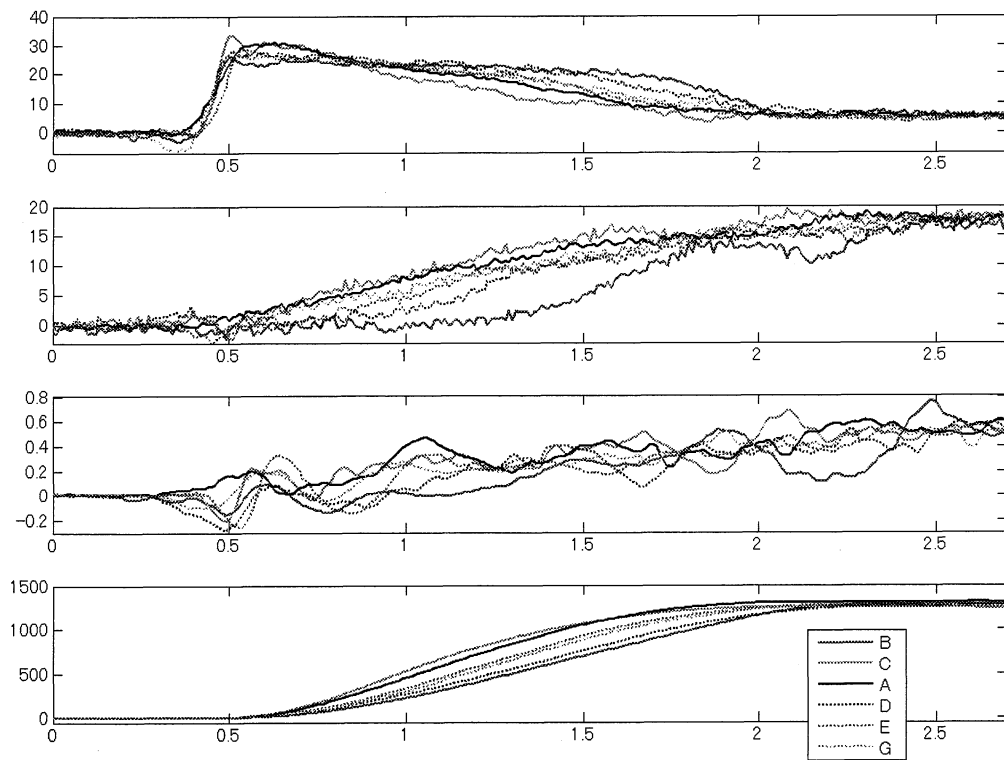


Fig. 3.8 Experiment results

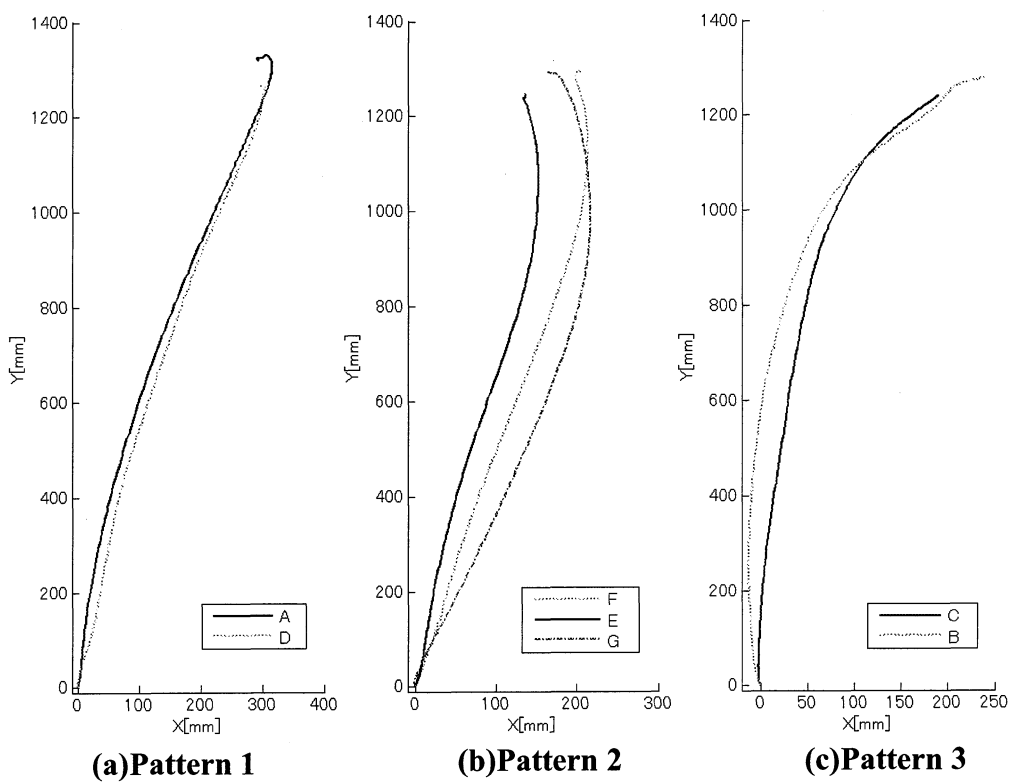


Fig. 3.9 Profile of object

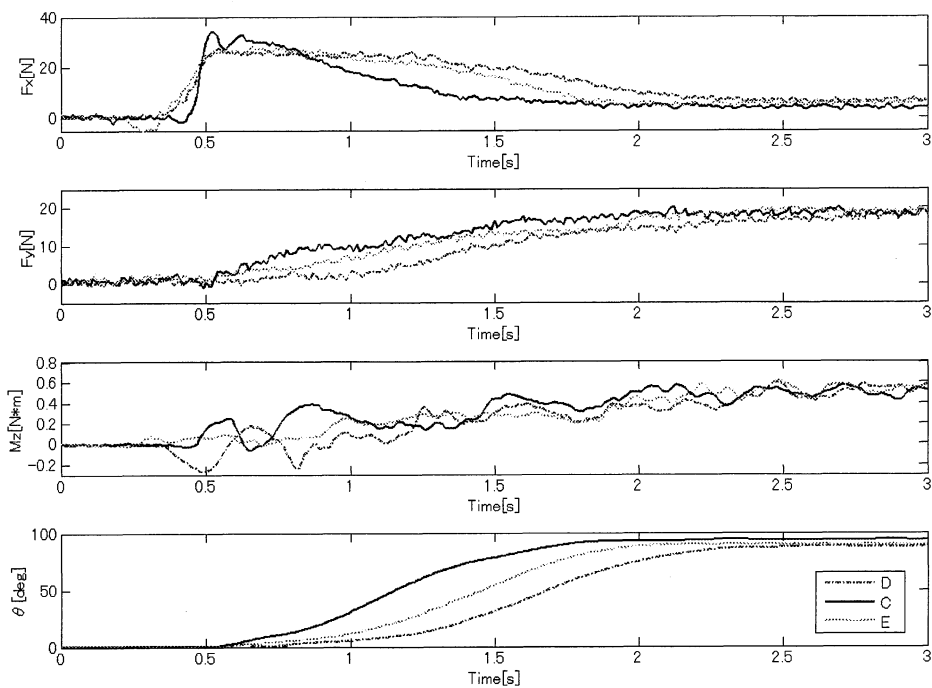


Fig. 3.10 Results of subject C,D and E at 3rd trial

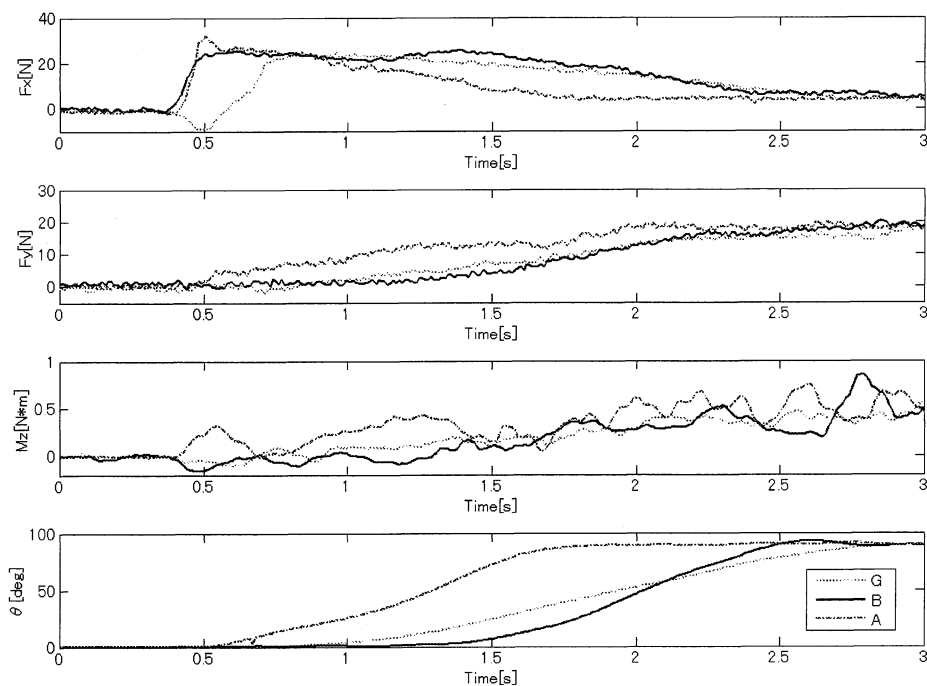


Fig. 3.11 Results of subject A,B and G at 3rd trial

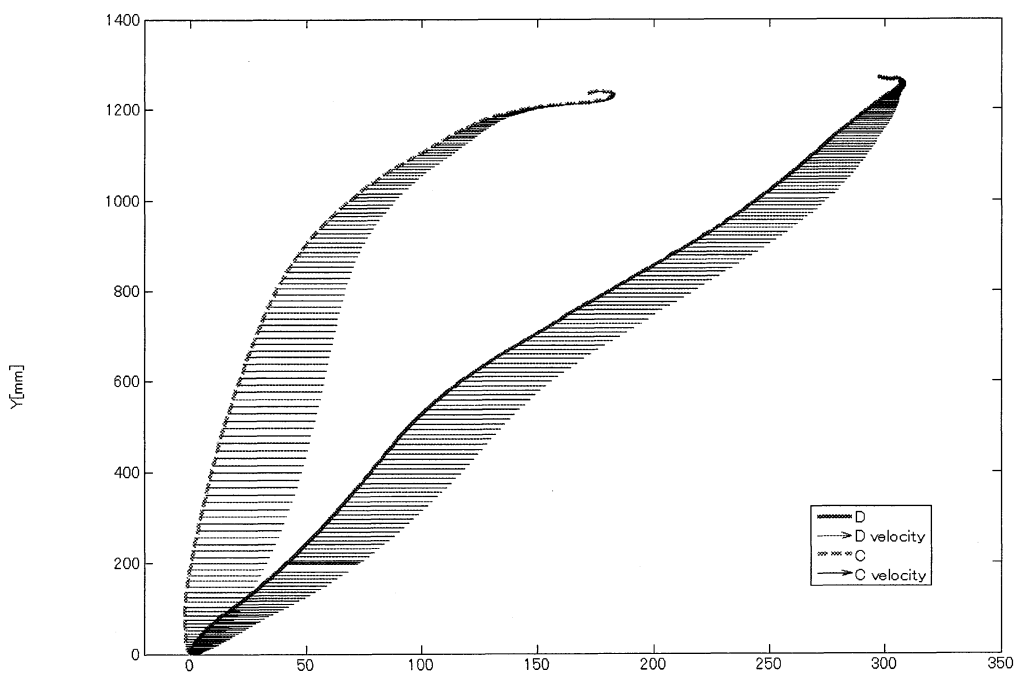


Fig. 3.12 Profiles of trajectory and velocity

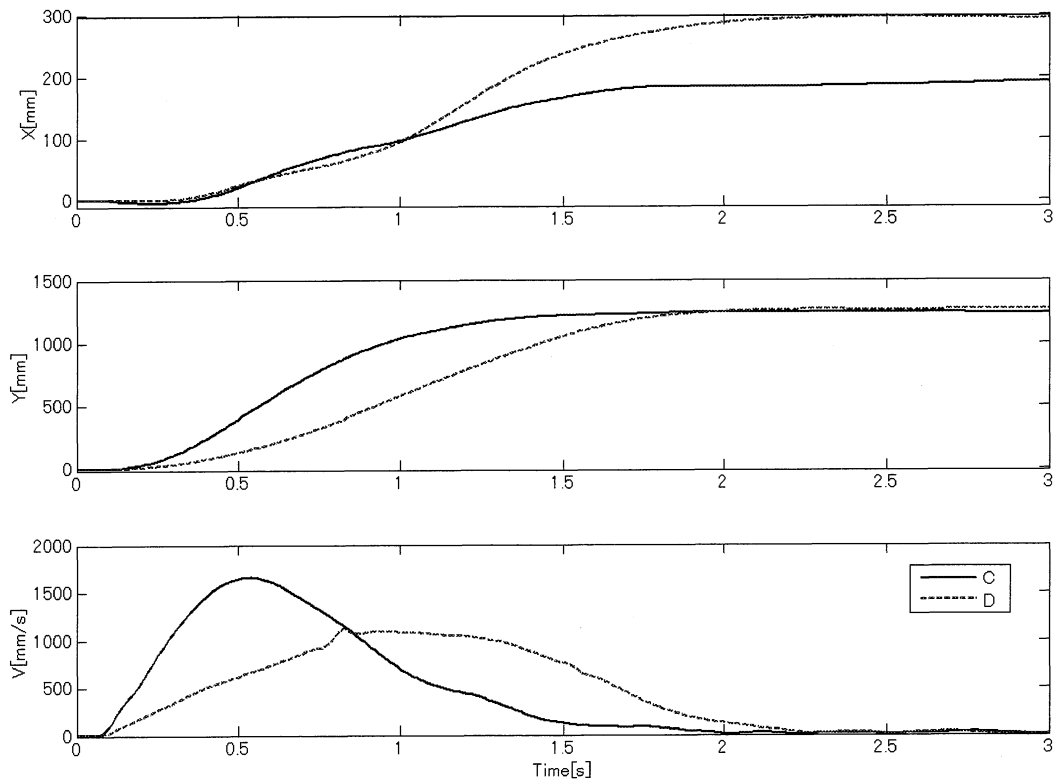


Fig. 3.13 Results of subject C and D at 2nd trial

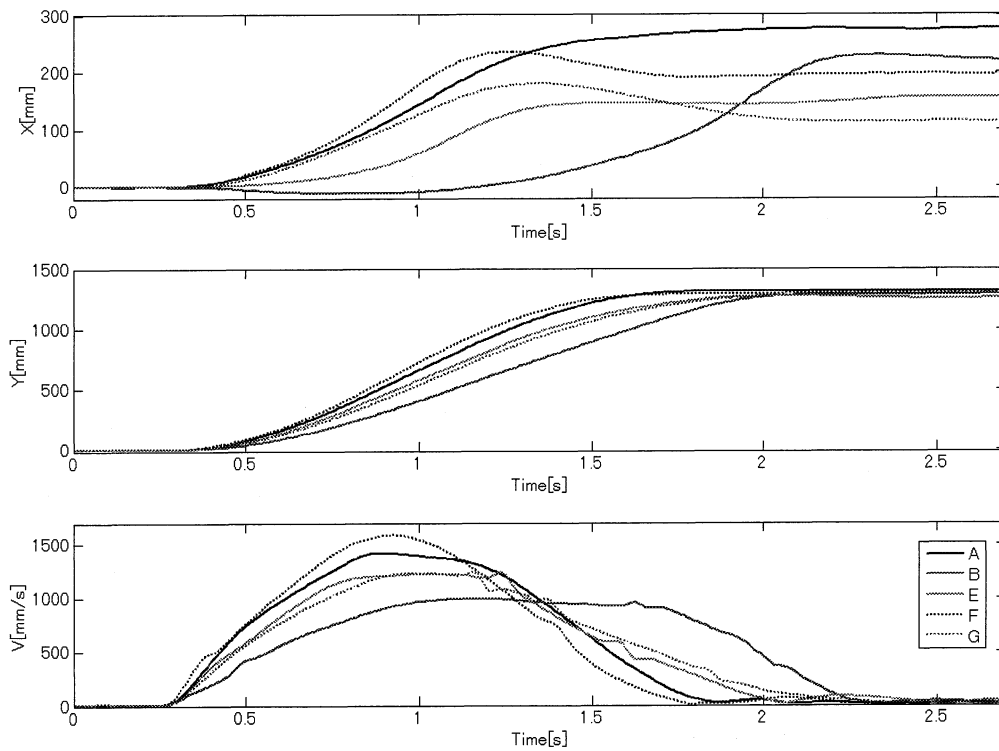


Fig. 3.14 Results of subject B,E,F and G at 2nd trial

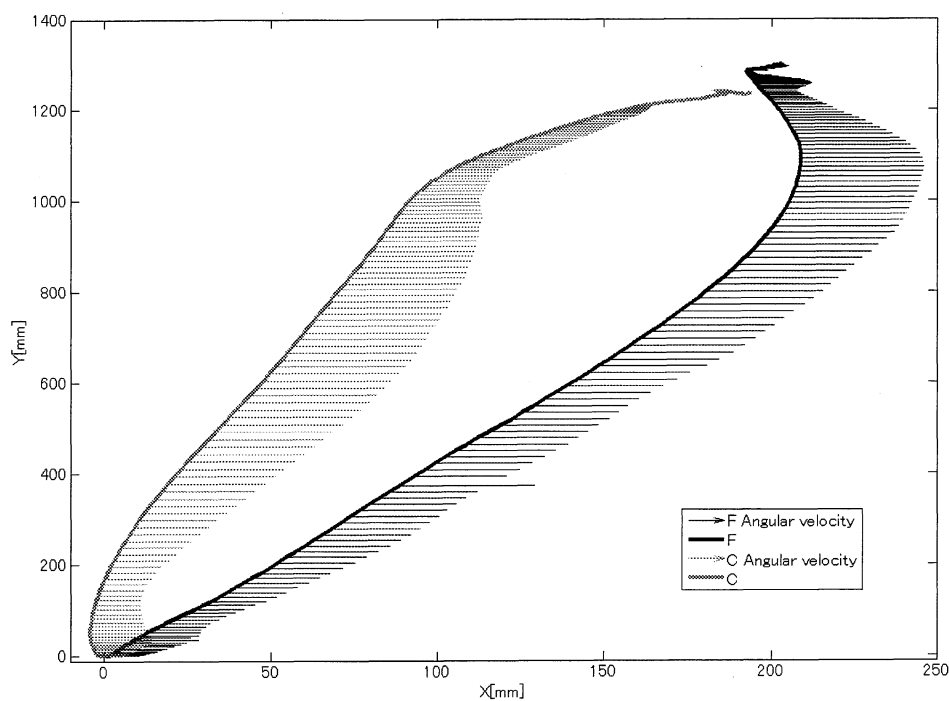


Fig. 3.15 Profiles of trajectory and angular velocity

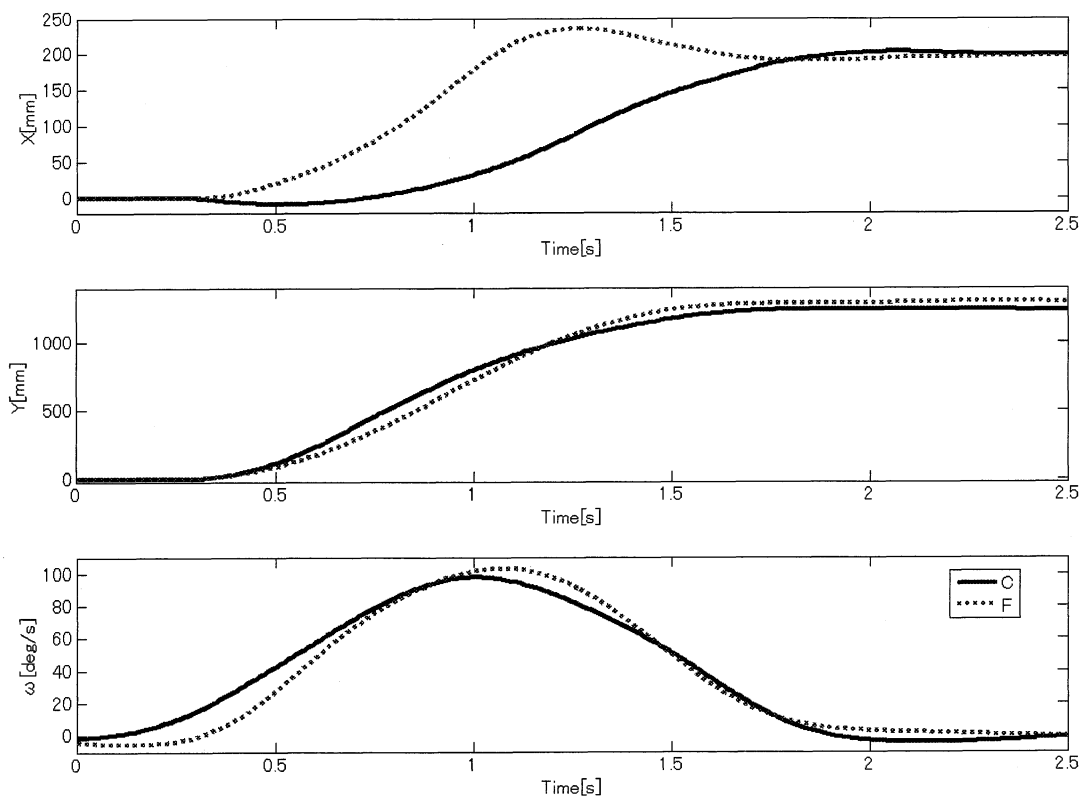


Fig. 3.16 Results of subject C and F at 2nd trial

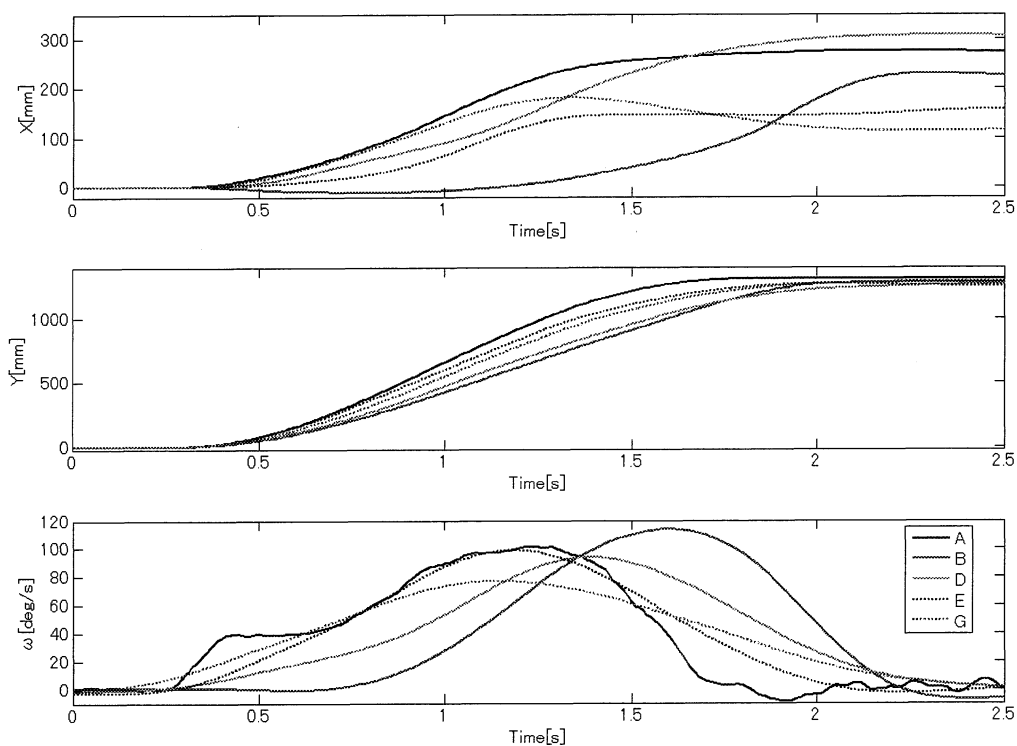


Fig. 3.17 Results of subject B,D,E and G at 2nd trial

3.4 開始位置による運搬運動の変化

前節までは床から肩の高さまで物体を持ち上げるという運動に関して、人の自然な運動についての考察を行ってきた。しかし実際に人間が仕事を行う際、様々な条件が付加することが多い。条件により運動が変化するならば、どのような変化がおこるか計測する必要がある。そこで本節では、運動に幾つかの条件を与えた時の人の運搬動作解析を行う。運搬開始位置の違いが運動に与える影響を検証し、自然な運動との比較を行う。

実験方法、手順については前節と同様のものを用いる。被験者はTable 3.1に示す被験者である。また本実験においても、被験者は各条件において数回の練習を行った後、実験に移っている。

3.4.1 壁からの距離による運動の変化

前章までは物体を運搬する際、人が壁からの圧迫感を受けないよう配慮をし実験を行ってきた。本項では運搬開始位置を壁に近づけることで被験者に壁の圧迫感を与え、その際の人の運搬動作の変化について解析を行っていく。

物体設置位置から壁までの距離を近づけるにあたり、まずどの位置まで近づけるかを決定する。物体設置位置は、運搬時に物体が壁に衝突しない、かつ被験者が圧迫感を感じるという位置であることが望ましい。このことより、壁へ近づける距離は被験者が物体を持ち、手をまっすぐ前へ伸ばしたとき運搬物体が壁に接触しない最小の距離とする。Table 3.2に被験者の肩から手までの長さとその平均を示す。Table 3.2の平均値と運搬物体の大きさよりTable 3.3に示す壁から物体の中心までの距離を算出した。Table 3.3の距離と前章での距離との運動の比較をし、壁の圧迫感からの影響の有無についての考察を行う。

Table 3.2 Length from shoulder to hand

| Subject | A | B | C | D | E | F | G | Average |
|------------|----|----|----|----|----|----|----|---------|
| Length[cm] | 62 | 59 | 54 | 58 | 55 | 60 | 58 | 58 |

Table 3.3 Distance from wall

| Distance[cm] |
|--------------|
| 25 |

Fig. 3.18に被験者 E, F における, 物体運搬の軌跡を示す. Fig. 3.18(a)は壁からの距離が70[cm], Fig. 3.18(b)は壁からの距離が25[cm]のものである. また Fig. 3.19に E, F 以外の被験者における物体軌跡を示す. 前章, 前節でも述べたように運搬の軌跡は3種のパターンに分けられるとしてきた. ここでFig. 3.18(a), (b)を比較すると壁に近づくと被験者個人間の特徴が異なることが分かる. これは被験者が前へ押し出す運動を小さくしたことにより特徴が変わったと考えられる. このとき物体に加わる操作力を Fig. 3.20, Fig. 3.21 に示す. 被験者 E, F の両者を比較すると, ほぼ等しい操作力を加えていることが分かる. このことより運搬開始位置が壁が近くなると, 壁に接触しないにも関わらず, 被験者は自らの運動をある程度制限するため, 物体運動の軌跡は自然な状態での運動と異なるものとなり, 加わる操作力に対する個人差は小さくなる傾向にあると考えられる.

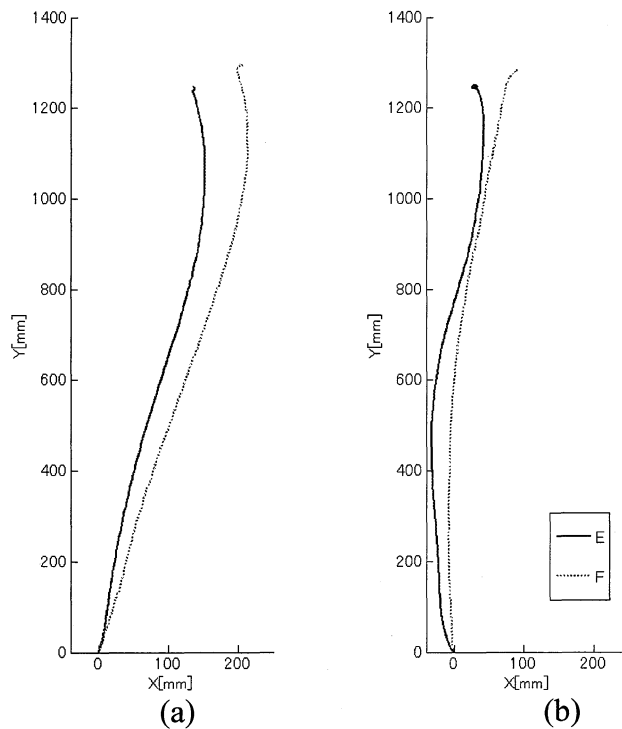


Fig. 3.18 Trajectories of object(Far or Near)

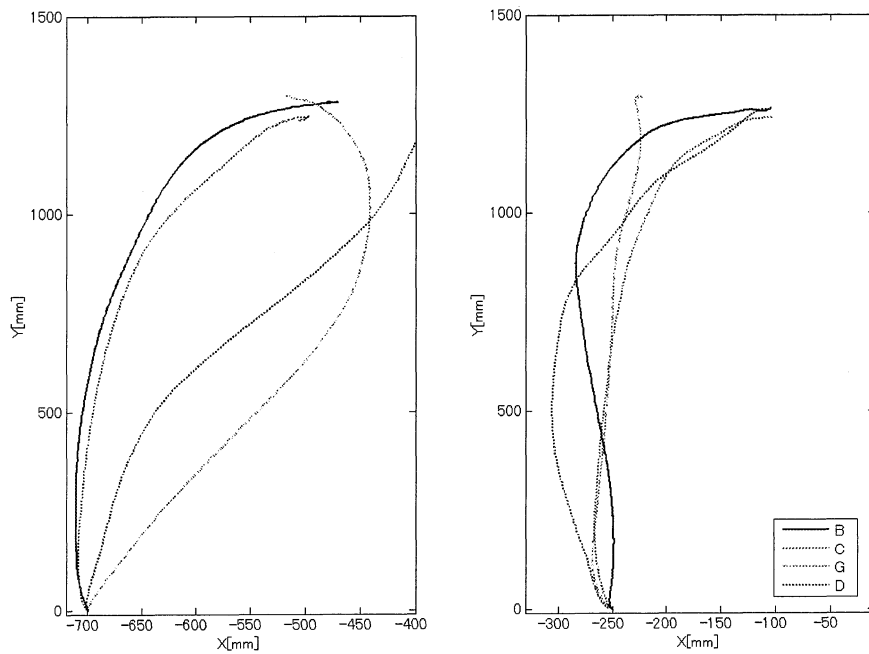


Fig. 3.19 Trajectories of object(Far or Near)

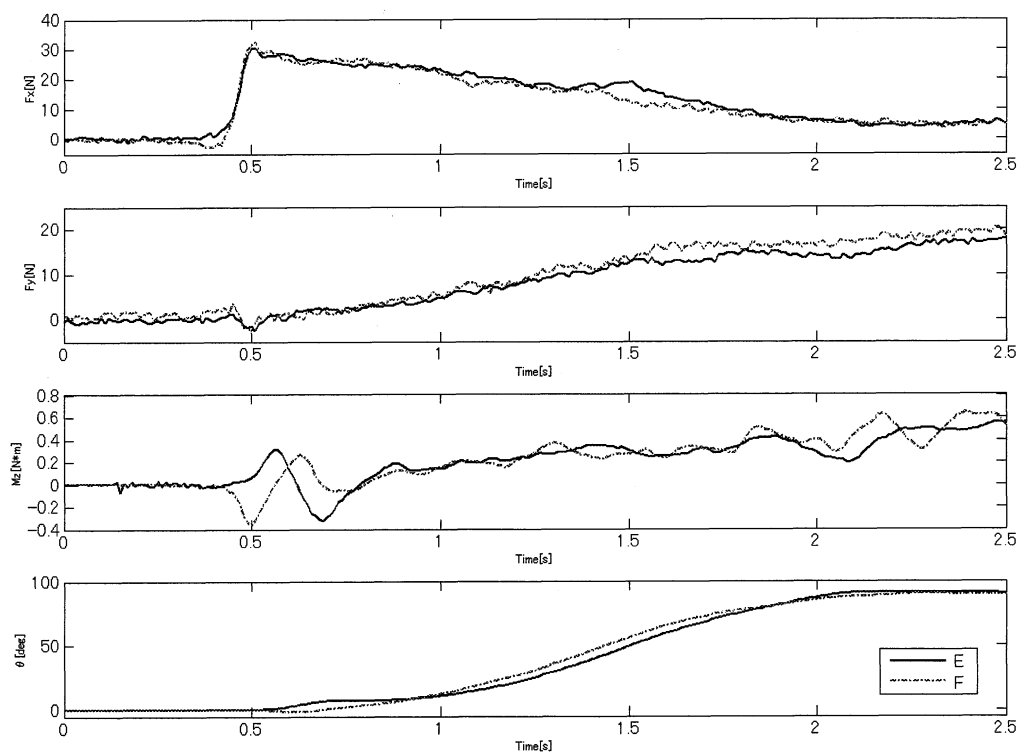


Fig. 3.20 Force of operate and rotary angle(E,F)

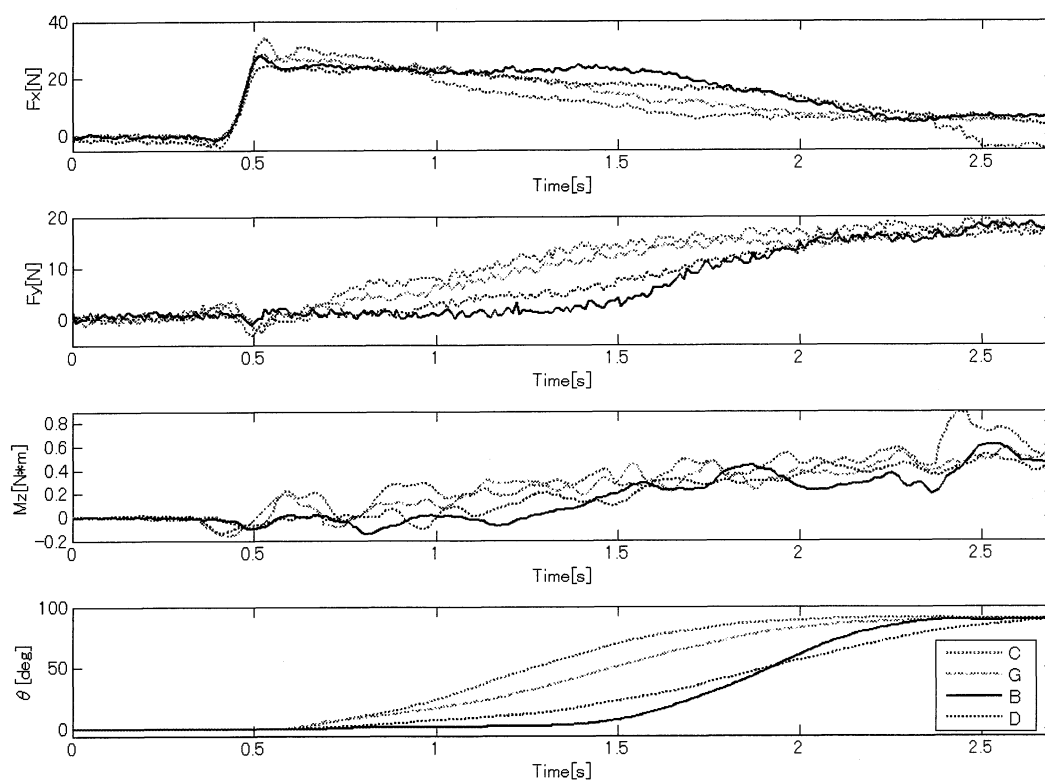


Fig. 3.21 Force of operate and rotary angle(B,C,D,G)

3.4.2 床からの距離による運動の変化

本節では、物体設置位置床 $30[\text{cm}]$ という条件を与えたときの運動を自然な状態での運動との比較を行い、設置位置高さが人の運動に与える影響について観測する。

Fig. 3.23 に被験者 G の物体運搬軌跡を示す。(a) は設置位置が壁から $70[\text{cm}]$ のとき、(b) は $25[\text{cm}]$ のときのものである。Fig. 3.23 において X 方向の原点は壁の位置とし、Y 方向の原点は床の位置とした。Fig. 3.23(a), (b) とともに設置位置が高くなるとより体に近い位置で運動を行っていることが分かる。また、Fig. 3.23(b) においては、高い設置位置のとき手前に引く動作が見られる。これら傾向は他の被験者でも見られた。以上のことより人は物体設置位置が高い、若しくは壁に近くなると自分に近い位置で持ち上げ運動を行うことが確認出来た。

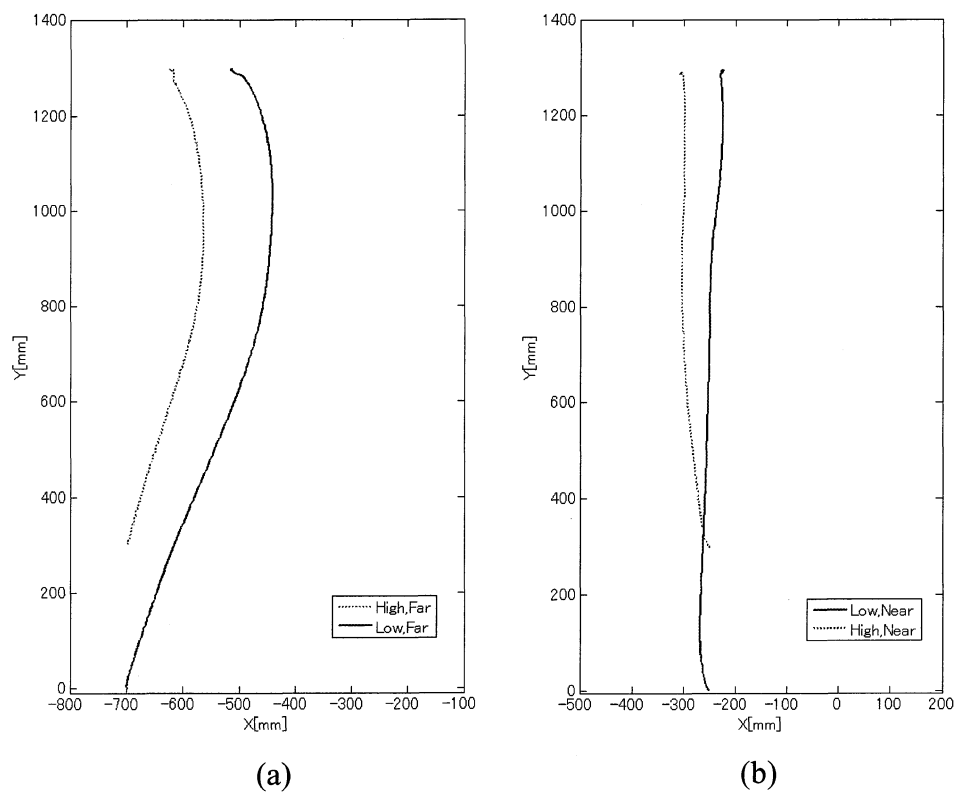


Fig. 3.23 Trajectories of object(High or Low)

第4章

結言

本論文では、人が並進・回転を同時に行うときの運動特性を計測するため、物体の持ち上げ運動に焦点を当てた。持ち上げ運動計測に適した物体重量を求め、運動特性を計測できる運搬物体の作成を行い、それを用いて運動特性の検証を行った。以下、本論文より得られた結論を示す。

- (1)人の自然な持ち上げ動作には個人差が現れ、その個人の特徴を三つのパターンに分けることができた。この特徴は運搬物体の重量に影響されないことが確認できた。また回転角度は、指示値よりも小さくなる傾向にあることが分かった。
- (2)回転を伴う持ち上げ運動において、回転運動は終始並進運動と同時に行われており、特に Y 方向への変位が大きいとき回転角度変化も大きくなることが確認できた。また回転角度は力センサが感知するトルクよりも並進力に関係していることが分かった。よって回転角度の変化は回転軸に直交する二つの並進方向の力より求めることができると考えられる。
- (3)運動開始位置が人の運動に与える影響の観測を行い、壁の近くあるいは運動開始位置が高い場合、身体の近くで運動を行うことが確認できた。またその時の個人間の操作力の差は小さくなることが確認できた。

人が持ち上げ運動を行うとき、上記のような特徴を持つことが確認できた。この結果を並進・回転系アシスト装置設計時に生かすことで、単一の力センサによる並進・回転系アシスト装置の操作は可能になると考えられる。

参考文献

- (1) 林, 池浦, 水谷, 中村, 蓑島, パワーアシスト装置を用いた物体の位置決め操作, 東海支部総会講演会講演論文集, p.p.156-157(2002)
- (2) 加藤, 池浦, 中村, 水谷, パワーアシスト装置のインピーダンス制御とパラメータ推定, 日本機械学会東海支部三重地区講演会講演論文集, p.p.156-157(2003)
- (3) 山田, 鴻巣, 森園, 梅谷, 自動車組立工程における搭載作業のためのスキルアシストの提案, 日本機械学会論文集 C 編, Vol.68, No.666, p.p.161-168(2002)
- (4) H.Kazerooni, The Extender Technology at the University of California, Berkeley, 計測と制御, Vol.34, No.4, pp.291-298(1995)
- (5) 林原, 谷江, 荒井, 渡嘉敷, パワーアシスト装置の研究 (第2報, 重力負荷と動的に異なるアシスト比を設定する制御法の多自由度システムへの適用), 日本機械学会 C 編, Vol.65, No.629, pp.198-205(1999)
- (6) K.Nagai and Nakanishi, Power Assisting Control of Robotic Orthoses Considering Human Characteristics on Assisted Motions, Proc. of the 1999 IEEE International Workshop on Robot and Human Interaction, pp.1-6(1999)
- (7) 高橋, 米谷, 奥田, 稲垣, 鈴木, 表面筋電位と力センサを併用したパワーアシストシステムの開発, 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会講演論文集
- (8) 向江, ジョイスティック操作系検討のための手の能動的な発揮力特性の基礎研究—第2報 中高年者の発揮力特性—, 日本生理人類学会誌, Vo.13, No.4, p.p.25-34(2008)
- (9) 石本唯常, 長田大, 池浦良淳, 早川聡一郎, 澤井秀樹, '回転動作を含む人間の物体運搬動作特性解析', 計測自動制御学会中部支部平成21年度三重地区計測制御研究委員会講演会, 2009, pp.A-16-1-2

謝辞

本研究を進めるにあたり、周囲の方々からの多大な助言、激励のおかげで無事に論文を書き上げる事ができました。この場をお借りして皆様に感謝の意を表したいと思っています。

本研究を進めるにあたり、研究の方針や指導、MATLAB ならびにその他のソフトウェアの使用方法など種々のご助言を賜り、池浦良淳教授に心より感謝し、今後の更なるご活躍を心より祈っております。

また、本研究を進めるにあたり、研究室内発表などでの手厳しくも的確な指摘、ご助言を賜りました早川聡一郎准教授に心より感謝いたします。

本研究において、実験装置の設計、製作等についての様々のご助言を賜り、研究の内外で大変ご尽力して頂きました澤井秀樹技術職員に心より感謝しております。

また、私の様な未熟者に1年間、終始熱心に協力し励まして頂き、研究の進行に大いに貢献してくれた学部4年の長田大君に心より感謝し、今後の益々のご活躍を期待しております。

本研究にあたり、お忙しい中実験に協力して頂いた被験者の皆様に深く感謝の意を表します。

そして、研究室での3年間を非常に実りある有意義なものにできたのは、同じ時間を共有できた同期の野邊雅也君、藤田哲矢君、矢野岳水君、Muhamad Safwan Bin Huhamad Azmi 君の存在が非常に大きかったと感じております。心より感謝し、今後の更なる飛躍を期待しております。

最後に、システム設計研究室の博士課程の皆様、修士1年、学部生、卒業生の皆様に心より感謝の意を表し、本論文の結びとさせていただきます。