

車椅子シミュレータ操作時における視点位置移動特性に関する検討*

尾田 雅文^{*1}, 磯村 恒^{*2}
関口 行雄^{*3}, 原 利昭^{*4}Non-Contact Eye-Gazing Point Detection during
Driving a Wheelchair SimulatorMasafumi ODA^{*5}, Tsuneshi ISOMURA,
Yukio SEKIGUCHI and Toshiaki HARA^{*5} Kinki Polytechnic College, Dept. of Production and Mechanical Engineering,
1778 Inaba-cho, Kishiwada-shi, Osaka, 596-0103 Japan

The purpose of this study is to detect the eye-gazing points during driving a wheelchair simulator through the image sequence analysis of video frames. The performances can be measured without restrictions of specific devices such as any accessories and sensors, which were put on a body. Images obtained with two video cameras allow the algorithm with two-dimensional matching pursuit through wavelet analysis to extract boundaries of right and left irises. Their three-dimensional positions and directions were estimated through the Direct Linear Transformation technique. The eye-gazing point was evaluated through the relationship between the vertical vectors of iris and line-of-sight. Consequently, some preliminary results were presented to illustrate the difference in variations with the eye-gazing point, which have relationship to the experience of wheelchair.

Key Words: Information Processing and Signal Analysis, Image Processing, Human Interface, Measurement, Physically Handicapped People, Matching Pursuit, Line-of-Sight

1. 結 言

近年、車椅子利用者の交通事故による死傷者数が増加傾向にある。健常者の歩行時と比較して、車椅子利用者は交通規則の違反をしていないにも関わらず、背面・対面通行中における事故の構成率が、顕著に高いことが指摘されている。

人は、一般に移動時における外界情報の多くを視覚から得ていることから、車椅子移動時における眼球運動の評価結果は、車椅子利用者特有の事故原因を考慮した適切な事故防止策を確立する上で、極めて重要な指標を提供するものと考えられる。一方、眼球運動や視線の計測・評価に関する研究は、これまでに多数の報告例があり、例えば、西ら^①は角膜反射法を利用

したアイマークレコーダをフライトシミュレータ操作時の被験者に適用し、離陸および水平直線飛行等の各飛行過程における視線移動特性を明らかにしている。しかしながら、計測デバイスを身体に装着する必要があることから、計測を意識することによる違和感等の心理的影響や移動行動時の拘束等による物理的な影響を反映し、通常の眼球運動と異なる計測結果を得る可能性が指摘されている^②。また、EOG (Electro-oculogram)^③は、広帯域な周波数検出が可能である特長を有することから、臨床における眼球運動特性分析に利用されているものの、皮膚と電極間の分極電位や筋電図への雑音の混入等に対して、十分に注意を払う必要がある。

近年、画像処理および画像解析を眼球運動計測に適用した例^{④⑤}が多数報告されている。例えば、大門ら^⑥は自動車運転時のドライバーの覚醒度合いや居眠り運転を検出するために、テンプレートマッチングを適用した視線検出システムを構築するとともに、サイドミラー、ルームミラーおよび車載情報機器への視線を、水平方向および垂直方向について、それぞれ独立に検出可能であることを示した。この視線検出手法は、

* 原稿受付 2002年11月11日。

^{*1} 正員, 近畿職業能力開発大学校(☎596-0103 岸和田市稲葉町1778)。^{*2} 神奈川工科大学工学部(☎243-0292 厚木市下荻野1030)。^{*3} 職業能力開発総合大学校(☎229-1196 相模原市橋本台4-1-1)。^{*4} 正員, 新潟大学工学部(☎950-1181 新潟市五十嵐2の町8050)。

E-mail: oda@mms.kinki-pc.ac.jp

被験者に測定デバイスを装着する必要が無い等の特長を有するものの、検出精度の点で解決すべき問題が存在する。

そこで、本研究では車椅子移動に関わる諸問題を解決するための研究^{6,9}の一環として、2次元多重画像解析⁹による左右虹彩位置の計測結果を利用した視点位置検出システムを適用し、車椅子移動シミュレータ操作時の視点位置移動軌跡を評価した。その結果、被験者の車椅子操作に関わる経験時間に応じて、異なる視点位置移動特性が得られることを明らかにした。

2. 較正実験

2-1 視点位置検出アルゴリズム 図1に、視点位置検出アルゴリズムのフローチャートを示す。ビデオカメラを用いて撮影された顔画像はNTSC規格の動画で得られることから、1フレームの画像中に互いに1/60秒の時間差を有する2フィールドの画像情報が存在する。よって、ビデオキャプチャボードを介してパーソナルコンピュータに720×480ピクセルの大きさ、30フレーム/秒のフレームレイトで動画画像を入力し、これ等を分離した後にCoiflet関数をマザーウェーブレットに適用した2次元Matching Pursuit¹⁰を施し、虹彩輪廓を検出する。すなわち、式(1)に基づき顔画像の縦あるいは横一列における輝度値の変化を入力信号として考慮した関数 $f(t)$ を、時刻 t からのシフト量 τ におけるレベル j のウェーブレット $\varphi_{j,\tau}(t)$ とその内積 $d_{j,\tau}$ に分解する。

$$f(t) = \sum_{j,\tau} d_{j,\tau} \varphi_{j,\tau}(t) + \text{remain}(t) \quad \dots(1)$$

ここで、 $\text{remain}(t)$ は分解過程における残留成分であり、本研究ではこの値が関数 $f(t)$ の0.1%以下になるような内積 $d_{j,\tau}$ を求めた。

一方、内積 $d_{j,\tau}$ を2倍に増幅するとともに、残留成分を無視して再構築することで、図2中(a)より同図中(b)に示す輪廓画像が得られる。さらに、同図中(c)に示す距離変換、ならびに同図中(d)に示す骨格化処理を行うことで得られる虹彩輪廓抽出点群を、Piluら¹¹による手法を適用して楕円近似するとともに、Direct Linear Transformation (DLT)法¹²を適用して3次元座標再構築し、近似楕円の3次元位置を決定する。

近似楕円中心位置から注視点までのベクトル、すなわち視線と近似楕円の法線ベクトルは、必ずしも一致するわけではなく、また両者の関係は個人差を有する。しかしながら、予め各被験者における両者の関係が明らかであれば、視点位置を決定することが可能である。なお、2次元Matching Pursuitによる輪廓抽出処理を

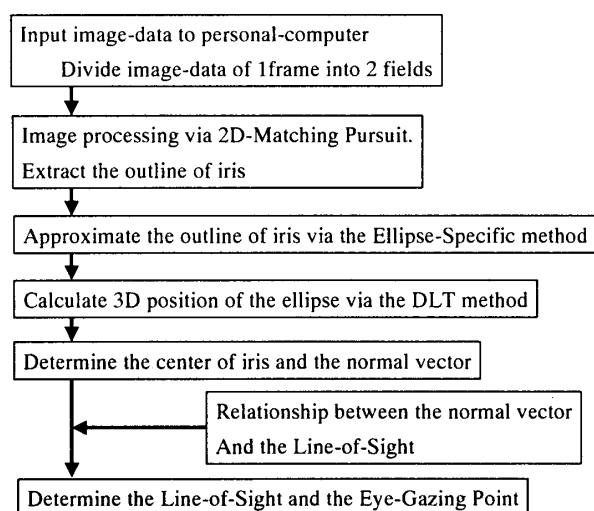


Fig.1 Flow Chart for Detecting The Line-of-Sight

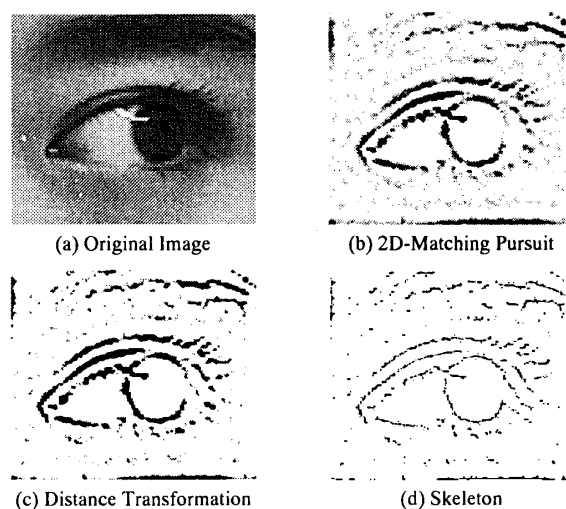


Fig.2 Results for Example of Image Processes

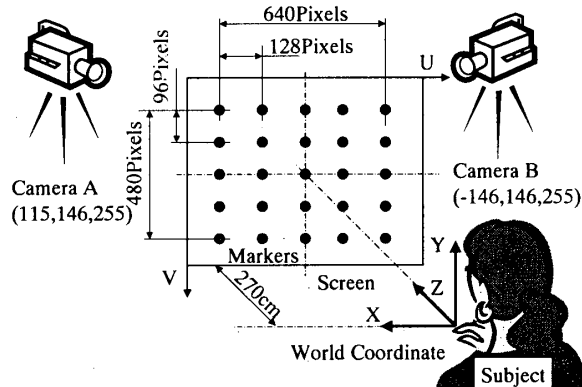


Fig.3 Experimental Setup for Calibration

行うのに1フィールドにつき数分の時間を要することから、実験時においては顔画像をビデオテープに録画し、視点位置の検出のための解析はその後行っている。虹彩輪廓抽出に際し、解析対象の先頭フレームにおいて虹彩像を矩形領域で指示する必要があるものの、1フレームにおける虹彩の移動量は数十ピクセルである

ことから、直前のフレームにおける虹彩の位置および大きさに基づき、虹彩輪郭を的確に抽出することが可能である。なお、瞬きなどの影響で虹彩輪郭が抽出困難な場合は、直前の抽出可能なフレームでの結果を考慮した。

2.2 実験方法および結果 近似楕円の法線ベクトルと視点位置の関係を明らかにするために、図3に示す装置を用い較正実験を行った。同図中に示す座標軸(X-Y-Z)は、3次元座標再構築の際に基準とする実空間座標系を示している。なお、座標原点は被験者の左右瞳の中間位置にほぼ等しい。被験者の270cm前方にスクリーンを設置しており、これに2次元座標値が既知の25個のマーカをビデオプロジェクタで描画する。なお、1ピクセルはスクリーン上で0.58cmに相当する。実験は裸眼視力0.8以上の2名の被験者に対して行い、マーカ注視時の顔画像を2台のビデオカメラで記録した。ここで、カメラ下方に記した値は、実空間座標系に基づくカメラ設置位置をセンチメートル単位で示している。また、照明は天井に設置した一般的な屋内照明を用いており、撮影時の顔付近の照度は500Lx程度である。

測定精度ならびに撮影対象範囲の両者を考慮し、1フレーム中に占める顔の大きさが、面積比で30%程度になるようビデオカメラの望遠機能を利用した。なお、望遠機能を利用することは、レンズ収差の影響による画像周辺領域の歪みを軽減させる効果も期待できる。得られた画像をパーソナルコンピュータに入力し、マーカを注視する際の20フレーム間の画像を解析し、虹彩輪郭の近似楕円の3次元位置を求めた。ここで、虹彩付近の3次元位置測定誤差は、実空間座標系のX,YおよびZ方向でそれぞれ0.03mmの範囲内であった。

図4は、較正実験により得られた近似楕円の法線ベクトルと視線の、水平方向成分についての結果の一例であり、横軸は注視対象マーカと虹彩中心を結ぶ視線ベクトル(I_x, I_y, I_z)のZ軸に対する傾き角を、縦軸は法線ベクトル(V_x, V_y, V_z)の傾き角を示している。図より両者の関係は、左右の瞳でそれぞれ異なる特性を示すものの、視線が左右20度の範囲内において、ほぼ線形で得られることがわかる。虹彩位置および向きは、実空間座標で得られるのに対し、これとの関係が未知なスクリーン上の2次元座標で注視点位置を求めるために、重回帰解析を適用した。すなわち、実空間座標系に基づく虹彩輪郭近似楕円の中心座標(X_i, Y_i, Z_i)ならびに法線ベクトルの水平方向傾き角 $\theta_h (= \tan^{-1}(V_x/V_z))$ および上下方向傾き角 $\theta_v (= \tan^{-1}(V_y/V_z))$ に対し、

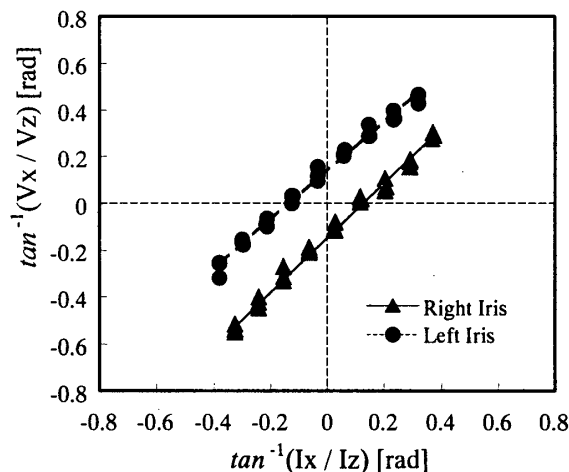


Fig.4 Comparisons between Actual Line-of-Sight and Detected Results (Horizontal Direction)

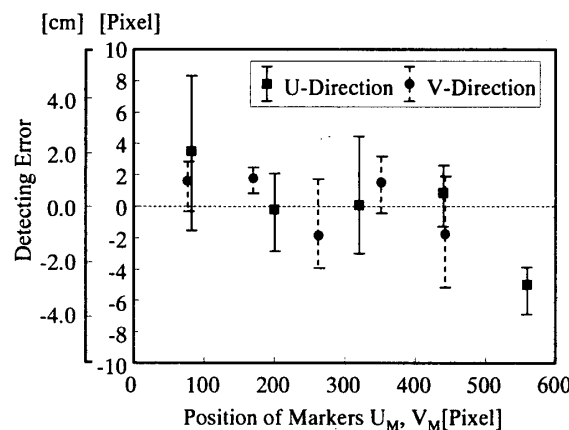


Fig.5 Results of Calibration (Horizontal Direction)

視点位置のスクリーン座標値(U, V)を予測対象として重回帰解析し、式(2)および式(3)に示す左右の瞳に関する関係式における A_u から E_v までの10個の係数を導出する。

$$U_e = A_u + B_u X_i + C_u Y_i + D_u Z_i + E_u \theta_h \quad \dots(2)$$

$$V_e = A_v + B_v X_i + C_v Y_i + D_v Z_i + E_v \theta_v \quad \dots(3)$$

重回帰解析の結果、左右の瞳の水平・上下方向において、有意確率 F は 10^{-8} 以下、相関係数 R は0.93以上であったことから、得られた重回帰式は較正式として適切であると判断した。なお、左右の視線に基づいてそれぞれ視点位置が得られるものの、計測誤差などの要因により両者が一致することは極めて稀である。よって、それぞれ得られる視点位置の中点を注視点とした。

図5は、視点位置検出精度に関する検討を行った結果であり、マーカのスクリーン座標値(U_M, V_M)と、これに対する視点位置検出誤差の関係を、水平および上下方向についてそれぞれ示している。ここで、検出結果は誤差の範囲と平均値を併せて表示している。マ

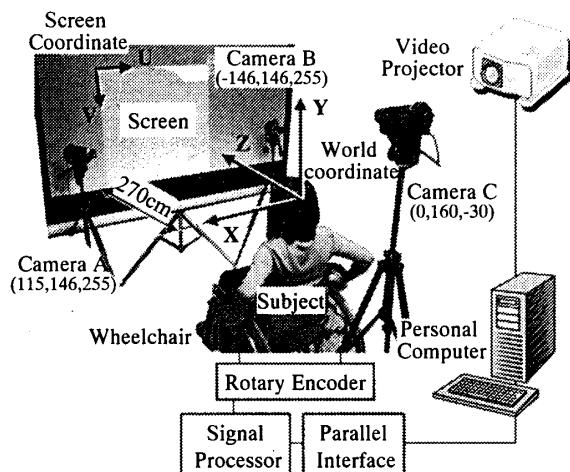


Fig.6 Experimental Setup for Simulator

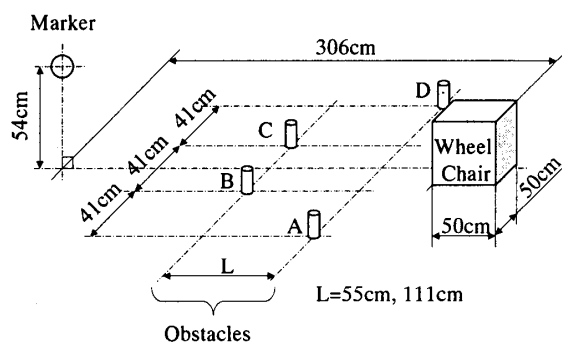


Fig.7 The Disposition of Marker and Obstacles

Table 1 The Characteristic of the Subjects

	Subjects	
	A	B
Sex	Female	Female
Age	22	21
Visual Acuity	0.8	1.0
Utilization Time of Wheel Chair	8hour	2.5hour

一カの水画位置が 80 ピクセルおよび 560 ピクセルの場合、設置位置を固定しているカメラの映像から虹彩輪郭の一部を検出することが困難であったことから、視点位置の検出誤差は比較的大きな値を示すものの、このような領域でも、スクリーン上で 6cm 程度の誤差範囲内で視点位置の測定が可能である。なお、視線移動は眼球回転ならびに頭部回転の両者を考慮する必要があるものの、本システムでは虹彩輪郭の位置および向きに基づき視点位置を決定することから、両者において共通のアルゴリズムが利用可能である⁹⁾。また、本研究の測定範囲内において、両者の測定精度の差は小さく、得られた結果を視線方向の検出誤差角に換算すると、前者においては水平方向 0.96 度、上下方向 0.97 度であるのに対して、後者においては水

平方向 1.12 度、上下方向 1.14 度である。

3. 車椅子シミュレータ操作時の視点移動

車椅子利用の経験時間が、視点位置移動特性に如何に影響を及ぼすかを明らかにするために、車椅子シミュレータ操作時の視点位置を計測した。

3.1 実験方法 図 6 は、車椅子シミュレータシステムの概略を示している。図中の 3 次元座標軸は実空間座標系を示しており、その原点は被験者の左右瞳の中点付近に位置する。床面に固定した車椅子の左右駆動輪に取り付けたロータリエンコーダで車輪の回転角度を検出し、これをデコード回路およびパラレルインターフェースを介して、パーソナルコンピュータに入力する。入力信号に基づき作成された 3 次元動画を、ビデオプロジェクタを用いて、原点より Z 軸上 270cm の位置に設置したスクリーン上に描画する。3 台のビデオカメラのうち A および B は被験者の顔画像を、C はスクリーン上のシミュレータ画面をそれぞれ録画するために設置している。なお、カメラ下方に記した値はビデオカメラを設置した実空間座標値であり、センチメートル単位で示している。

図 7 は、シミュレータの仮想現実空間に現れる障害物およびマーカの配置条件を示している。障害物群は、A-B 間および C-D 間が通過可能になる様に千鳥状に配置した 4 個の障害物から構成されている。ここで、図中の L は障害物間距離を示しており、55cm および 111cm の 2 条件を設定した。車椅子の前進に伴い接近する障害物群は、接触することで転倒の危険性を有する障害物であり、例えば路上の段差ならびに勾配等を想定している。一方、車椅子から常に 306cm の距離に配置されるマーカは、適時注意を必要とする障害物であり、例えば路上の車両等を想定している。なお、障害物群は繰り返し現れ、障害物と車椅子の接触時には、衝撃音と描画像の振動で被験者に警告を与える。

視点位置移動特性の評価は、表 1 に示す車椅子操作に関する経験時間の異なる 2 名の被験者を対象として行った。実験に先立ち、車椅子シミュレータ操作の練習に対して 2 分間、休憩に対して 5 分間の時間をそれぞれ設けた。その後、シミュレータ操作時における顔画像およびシミュレータ画像を 5 分間録画した。なお、障害物に接触することなく通過すること、および出来る限りマーカを注視することを被験者に指示した。一方、車椅子の移動経路および速度については、被験者の判断に従った。

視点移動特性の評価区間は、障害物間への接近から通過までの 20 秒間とし、固視微動等の影響および

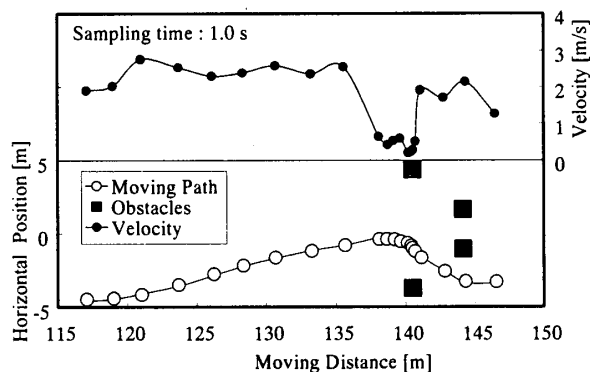


Fig.8 The Moving Path and Velocity of Wheel Chair
(Subject A, L=55cm)

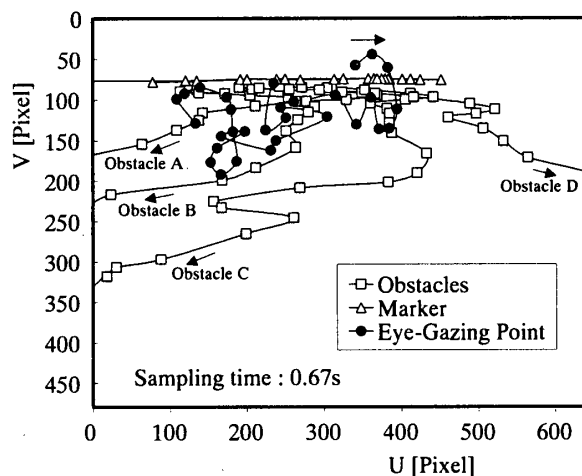
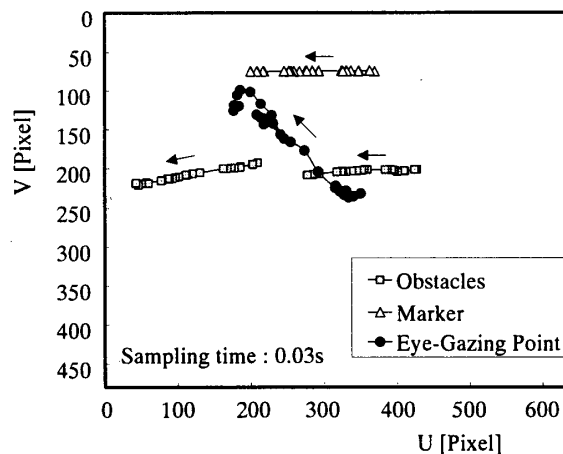


Fig.9 The Trajectory of Eye-Gazing Point
(Subject A, L=55cm)

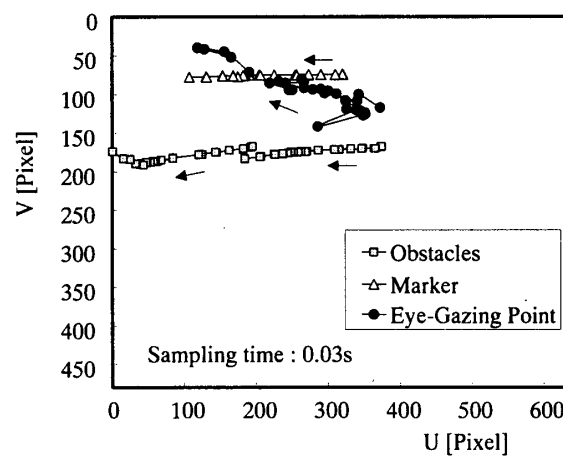
人が視覚からの情報を判断するに一定の時間を要することを考慮して、サンプリング間隔 0.03 秒で検出した視点位置に基づき 0.15 秒間の移動平均をそれぞれ求め、視点位置移動特性を評価した。本シミュレータは、障害物の位置、車椅子の移動経路および速度等の情報を記録することが可能であることから、これらを視点位置移動特性と併せて解析した。

3.2 実験結果 図 8 は障害物間距離 $L=55\text{cm}$ の障害物群に対し、被験者 A が接近・通過する際における 1 秒間隔の車椅子走行経路と移動速度をそれぞれ示している。被験者 A は障害物 C-D 間を通過することを決定し、障害物群の約 5m 手前より車椅子を減速している。また、障害物との接触を避けるために、障害物間のはぼ中央を通過するとともに、両障害物間に対する進入角度を比較的大きく確保している。一方、障害物間を接触することなく通過可能と判断したことから、完全に障害物間を通過する以前に車椅子を加速させている。

図 9 は、図 8 に示した移動区間における視点位置



(a) $L=55\text{cm}$



(b) $L=110\text{cm}$

Fig.10 The Trajectory of Eye-Gazing Point (Subject A)

ならびに障害物等の描画位置を、0.67 秒間隔で経時的に表示している。図の縦軸および横軸は、スクリーン上の 2 次元座標に対応しており、車椅子の前進に伴い障害物の描画位置は、図中の矢印のように下方に移動することがわかる。これに対し被験者の視点位置は、マーカと画面左側に位置する 3 個の障害物の中間領域に多く分布している。また、両者の距離が大きくなるに従い、視点位置の移動振幅は大きくなるものの、移動速度は比較的一定に保たれている。

図 10 は、被験者 A が障害物 A-D 間通過後の 1 秒間の視点位置移動軌跡を 0.03 秒間隔で示している。同図中(a)は障害物間距離 $L=55\text{cm}$ の障害物群、(b)は $L=110\text{cm}$ の障害物群に対して得られた結果をそれぞれ示している。両者ともに障害物 A および D は描画対象領域外に位置し、障害物 B および C とマーカがスクリーン上に描画される。この間の注視点位置は、マーカと障害物の位置を同時に把握可能と思われる領域に存在し、両者の描画位置に合わせて移動している。

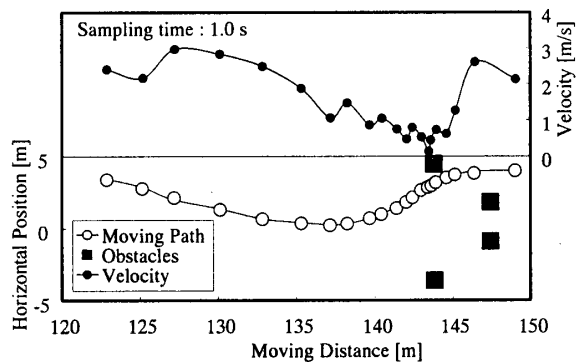


Fig.11 The Moving Path and Velocity of Wheel Chair
(Subject B, L=55cm)

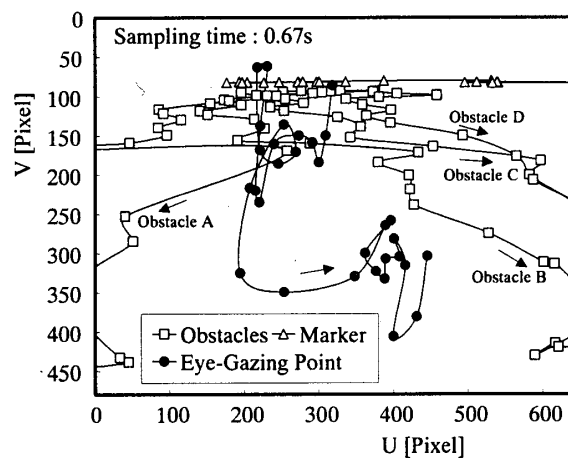
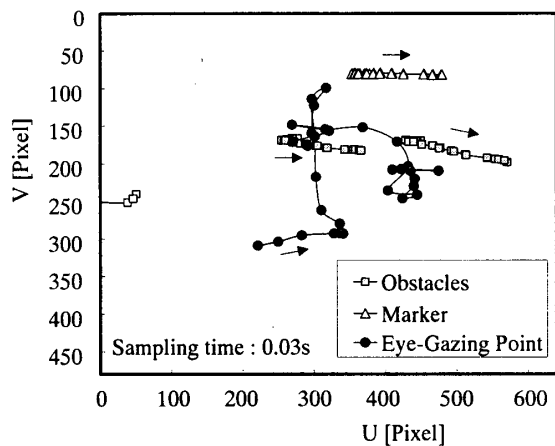


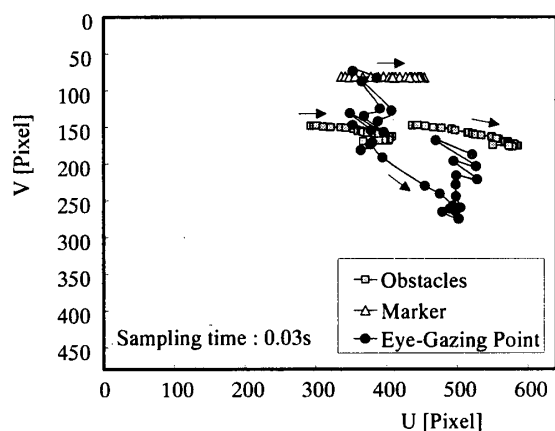
Fig.12 The Moving Trajectory of Eye-Gazing Point
(Subject B, L=55cm)

なお、 $L=110\text{cm}$ における視点位置移動軌跡は、 $L=55\text{cm}$ の場合に比べマーカーの描画位置に近く、事前の指示内容をより忠実に実行する心理的余裕があることを示唆している。

図 11 は、被験者 B が障害物間距離 $L=55\text{cm}$ の障害物群に対し、接近・通過する際の車椅子の移動軌跡と速度をそれぞれ 1 秒間隔で示している。被験者 B は障害物群の 15m 手前より車椅子を緩やかに減速させ、障害物 A-B 間を通過している。しかしながら、被験者 A に比べ障害物間に対する進入角度は小さいことから、障害物 A に車椅子を接触させ、一時的に停止している。図 12 に示す 0.67 秒間隔の視点位置移動軌跡のように、この間の視点位置の多くは、マーカーの下方すなわち手前に存在する障害物付近に停留している。なお、事前の指示に従い一時的にマーカーを注視しているものの、この直後に障害物と接触したことから、視点位置を障害物へ急速に移動させ、その後この領域で停留している。すなわち被験者 B の視点移動特性は、視点の急速な移動と停留を交互に繰り返していることがわかる。



(a) $L=55\text{cm}$



(b) $L=110\text{cm}$

Fig. 13 The Trajectory of Eye-Gazing Point (Subject B)

図 13 中の(a)および(b)は、被験者 B が障害物 A-D 間通過後 1 秒間における 0.03 秒間隔の視点位置移動軌跡であり、障害物間距離 L が 55cm および 110cm の場合に得られた結果をそれぞれ示している。被験者 B の視点移動特性の特徴である急速な移動と停留は、障害物間距離に関わらず、比較的短い測定区間においても顕著に現れている。

図 14 は、両被験者の注視対象の割合を明らかにするために、視点位置とマーカー間の距離ならびに視点位置に対し最も近くに位置する障害物と視点位置間の距離の 2 乗平方平均値を、障害物間距離 L が 55cm および 110cm の場合について、それぞれ示している。 110cm の場合は、両被験者ともにマーカーおよび障害物における値がほぼ等しいことから、両者を均等に注視していると考えられるのに対し、 55cm の場合は障害物に対する値が小さく、注視割合が大きいことを示している。一方、いずれの障害物間距離においても被験者 B の 2 乗平方平均値は、被験者 A に比べ大きな値を示している。これは、被験者 A の視点位置が障害

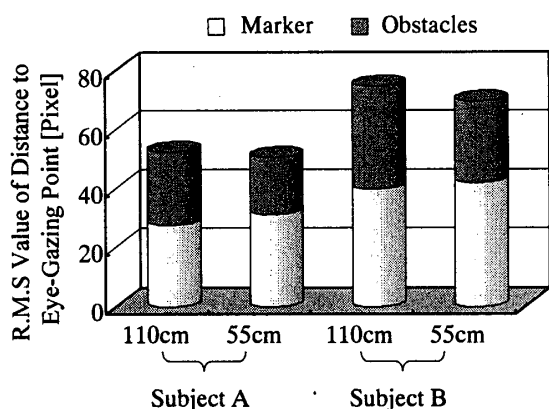


Fig.14 The Variation of Distance from Eye-Gazing Point

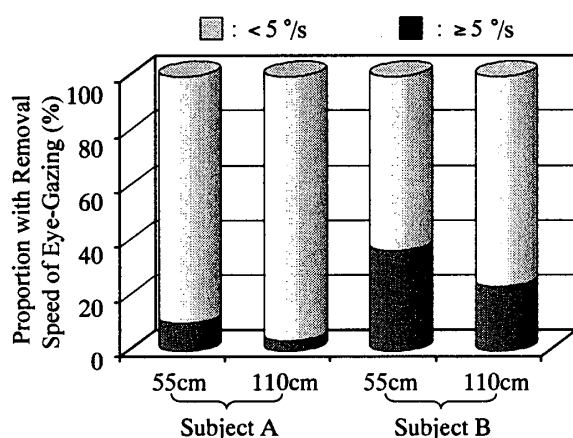


Fig.15 The Proportion with Removal Speed of Eye-Gazing

物とマーカ間を同時に留意可能な点に位置しているのに対し、被験者 B は排他的にいずれか一方を注視していることに起因するものと考えられる。

図 15 は、両被験者の視点移動時と停留時の時間比をそれぞれ示している。山田ら⁽¹³⁾は、人は視線の移動角速度が 5 度/秒以下である場合に、物体認識が可能であることを明らかにしている。そこで、両被験者の視点位置移動角速度を前述の値をしきい値として考慮し、それぞれが占める割合を求めた。図より視線移動角速度が 5 度/秒以上である割合は、両被験者ともに障害物間距離 L が 55cm の場合に大きいことがわかる。すなわち、両被験者ともに障害物間距離が小さい場合は、各障害物と車椅子の距離を把握するために視点移動の頻度を高く維持していることが推測される。一方、被験者 B はいずれの障害物間距離の条件においても、被験者 A に比べしきい値以上の角速度が占める割合が大きい。特に、障害物間距離が 55cm の場合では、計測対象時間の 37% を占めていることから、相対的に注視時間の割合が減り、障害物への接触のみならず車椅子移動速度の低下などの要因になっているものと

考えられる。

一方、西ら⁽⁴⁾はフライトシミュレータ操作時の視線移動速度と主観的緊張度、疲労度、難易度および心拍数の関係について調べ、飛行中の緊張度が大きいほど、視線移動速度が大きくなることを明らかにしている。

よって、車椅子操作の経験時間に応じて異なる視点位置移動特性が得られた理由として、被験者が車椅子操作経験を多く積むことによって、緊張度を緩和させることが出来たことが考えられる。

4. 結 言

車椅子移動に関わる問題を解決するための研究の一環として、Matching Pursuit を適用した非接触視点位置検出システムを用い、車椅子操作の経験時間が異なる被験者が、障害物群に接近・通過する際の視点位置移動特性を評価した。

その結果、本研究で計測対象とした被験者のうち、車椅子操作時間の長い被験者は、障害物とマーカを同時に注視可能な位置に視点位置を配しているのに対し、経験時間の短い被験者は両者を排他的に注視していることを明らかにした。なお、いずれの被験者も障害物間距離が小さい場合、障害物に対する注視割合が増加する。また、車椅子操作時間の短い被験者の視点移動特性は、急激な移動と停留が交互に繰り返される点で特徴付けられ、特に物体認識が困難とされる 5 度/秒以上の角速度が占める時間割合が大きいことから、これらが的確な障害物回避行動に支障をもたらしているものと推察される。

文 献

- (1) 西修二, 大久保堯夫, フライトシミュレータを用いた操縦者の視線移動に関する研究, 人間工学, (1995), Vol.31, No.3, 225-233.
- (2) 大門 樹, 茂木一秀, 川嶋広尚, 動画像処理によるドライバーの視線自動検出, 人間工学, (1995), Vol.31, No.1, 39-50.
- (3) 黒木康之, 麻生勤, 運転中のドライバー注視線測定の方法, 自動車技術, (1977), Vol.31, No.7, 625-629.
- (4) 山口昌広, 伊藤丈裕, 杉山和彦, 山本新, 近赤外線画像によるドライバ状態監視システム, 第 6 回画像センシングシンポジウム講演論文集, (2000), No.6, 63-68.
- (5) Y. Matsumoto, A. Zelinsky, An Algorithm for Real-time Stereo Vision Implementation of Head Pose and Gaze Direction Measurement, *IEEE International Conference on Face and Gesture Recognition*, (2000),

- No.4, 499-505.
- (6) 尾田雅文, 真田 希, 関口行雄, 原 利昭, *Direct Linear Transformation* 法を利用した車椅子移動時の非接触視点位置検出法の検討, *LS 学会誌*, (1999), Vol.11, No.3, 80-85
- (7) 尾田雅文, 真田 希, 関口行雄, 磯村 恒, 原 利昭, 2次元多重解像度解析法を利用した非接触視点位置検出法の検討, *機論, C*(2000), Vol.66, No.650, 3406-3412.
- (8) 尾田雅文, 磯村恒, 関口行雄, 原利昭, *Direct Linear Transformation* 法を利用した車椅子移動時の非接触視点位置検出法の検討 (第 2 報: 2 次元多重解像度解析を利用した検出法の改良), *LS 学会誌*, (2002), Vol.14, No.1, 2-7.
- (9) 中野宏毅, 山本鎮男, 吉田靖夫, ウェーブレットによる信号処理と画像処理, 共立出版, (1999).
- (10) R. Neff, A. Zakhor, Very low Bit-Rate Video Coding based on Matching Pursuits, *IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology*, (1997), Vol.7, No.1, 158-171.
- (11) Pilu, A. Fitzgibbon, R. Fisher, Ellipse-specific Direct least-square Fitting, *IEEE International Conference on Image Processing*, (1996), No.3, 599-602.
- (12) 植木一範, 高野剛, 長崎浩爾, 山本仁, 原利昭, 階段昇降時における恐怖感覚の研究, *機講論 No.95-26*, (1995), 253-254.
- (13) 山田光穂, 福田忠彦, 画像における注視点の定義と画像分析への応用, *電子情報通信学会論文誌*, (1986), Vol. J69-D, No.9, 1335-1341.