

修士論文

加速度に応じたリニアベクションの強化が
ドライビング・シミュレータ酔に
与える効果の検討

平成 23 年度修了

三重大学大学院工学研究科

博士前期課程 情報工学専攻

小澤 惇一

要旨

近年、自動車のドライビング・シミュレータが普及し、自動車学校や運転者講習で用いられている。しかし、シミュレータを操作するとシミュレータ酔と呼ばれる乗り物酔が生じ、運転経験の豊富な人ほどシミュレータ酔いを起こし易いため、高齢者や違反者を対象とした安全運転講習での弊害が大きい。シミュレータ酔は模擬された刺激が実車で加わる刺激と異なることが原因である。現在普及しているシミュレータ映像は2D映像が多く、実車との視覚情報との間に差異が大きく、距離感や加減速の感覚を充分には与えにくい。そこで本研究では3D化したシミュレータ上の走行映像に、加速度による映像の画角変化やさらに、慣性力で生じる頭部の運動を考慮した視点前後運動の刺激を与えることで加減速の感覚、前後方向へのリニアベクションを従来よりも強く知覚させることを狙った映像呈示を行った。これにより、ベクションの強化がシミュレータ酔、加減速の感覚にどのような効果を与えるか調べた。

実験では、被験者をスクリーン前方に配置したステアリングコントローラに座らせ、ベクションを強化した映像を呈示して運転させた。加速時の不快感、停止時の不快感、加減速感、運転のしやすさを計測し、リニアベクションを強化した映像がドライビング・シミュレータ酔に与える効果について検討した。実験システムは、パーソナルコンピュータ(OS: Windows XP) 6台によって作成した映像を6台のプロジェクタからスクリーンに投影した。シミュレータ操作で生じた加速度に応じて映像を変化させた。呈示した映像として、加速走行時に車外風景の画角が縮小し減速時に画角が拡大する(加速時ズームイン)、減速走行時に車外風景の画角が縮小し加速走行で画角が拡大する(減速時ズームイン)、映像の視点を運転者の頭部として、加速時に後方、減速時に前方へ移動する(視点運動)、画角変化や視点運動を行わない(刺激無)の4種類の映像を用いた。加速時の不快感、停止時の不快感、加減速感、運転のしやすさを被験者に一対比較させることにより心理学的測定を行った。刺激生成時間は48秒、被験者は7人、総比較数は84回であった。

実験結果として、加減速感は刺激無に比べて刺激を加えた条件で上昇した。加速時の不快感は刺激を加えた条件下では低減は見られなかったが、停止時の不快感においては視点運動を加えたときに低減する傾向が得られた。停止時に視点が前方移動することによりシミュレータ上で感じる視覚が、実車で停止時の運動感覚に起因した頭部運動で得られる視覚と類似するために矛盾が少なくなり、それに伴い減速感が上昇し、停止時の不快感も抑制されたと考えられる。

このことから、本研究では停止時の減速感を車内風景の変化によって知覚させることで停止時の不快感を低減させる傾向が期待できた。よって今後の課題として各加減速感と加速、減速時不快感との相関関係が明らかになれば、車内風景の変化を加えることによる加速感又は減速感の上昇が不快感を低減する可能性があると考えられることが示唆された。

目次

1. 序論.....	4
1.1 はじめに.....	4
1.2 研究の目的	4
2. ドライビング・シミュレータ酔	5
2.1 ドライビング・シミュレータ酔とは.....	5
2.2 感覚矛盾説	5
3. ベクシオン	6
3.1 ベクシオンとは	6
3.2 ベクシオンの種類	6
4. 実験.....	7
4.1 実験概要.....	7
4.2 被験者	7
4.3 実験システム	7
4.4 映像刺激.....	8
4.4.1 画角について	8
4.4.2 車外風景の画角変化.....	8
4.4.3 車内風景の視点変化.....	9
4.4.4 走行コース	9
4.5 計測法	10
4.6 実験手順.....	10
5. 実験結果.....	11
5.1 時間推移.....	11
5.2 不快感	11
5.3 加減速感.....	12

5.4	運転のしやすさ	12
5.5	相関	13
6.	考察	16
7.	謝辞	18
8.	参考文献	19
	付録	20

1. 序論

1.1 はじめに

近年、自動車のドライビング・シミュレータが普及し、自動車学校や運転者講習で用いられている。しかし、シミュレータを操作すると乗り物酔いが生じ、シミュレータ酔と呼ばれている。特に運転経験の豊富な人ほどシミュレータ酔いを起こし易いため^[1]、高齢者や違反者を対象とした安全運転講習での弊害が大きい。

ドライビング・シミュレータ酔は実車とシミュレータの運転感覚に差異があることから生じるといわれている。シミュレータ酔を引き起こす原因となる感覚矛盾は、実際に加わる動きと模擬された動きとの差から起こる運動的な問題、実際の視覚とシミュレータの映像との差からくる視覚的な問題、前庭の視覚の関係の差によるずれなどが挙げられる。

1.2 研究の目的

これまでの研究で普及型のドライビング・シミュレータに車体振動を模擬した振動を加えることで、不快を軽減する効果が期待されている^{[2][3]}。このような運動刺激を加えた場合と同様に、視覚的な変化によっても不快の軽減効果は期待できると考えられる。ドライビング・シミュレータは車が走行する映像を呈示することであたかも自身が進んでいるような感覚(ベクション)を与えるが、現在普及しているシミュレータ映像は2D映像が多く、実車との視覚情報との間に差異が大きく、特に距離感や加減速の感覚を充分には与えにくい。そこで本研究では3D化したシミュレータ上の走行映像に、加速度に応じた映像の画角変化や慣性力で生じる頭部の運動を考慮した視点前後運動の刺激を与えるシミュレータを作成することで運転者に加減速の感覚、前後方向への移動感覚(リニアベクション)を従来よりも強く知覚させることを狙った映像呈示を行った。また、それらの映像刺激による不快感や操作性、加減速の感覚の強さを計測した。

これらにより、リニアベクションの強化を考慮した映像刺激が、シミュレータ酔における不快感の低減にどのような効果をもたらすのかを検討した。

2. ドライビング・シミュレータ酔

2.1 ドライビング・シミュレータ酔とは

ドライビング・シミュレータ酔は、シミュレータを操作することで引き起こされる乗り物酔の一種である。発症原因としては、実車とシミュレータの間の運転感覚に差異があることから生じる感覚矛盾と言われている^[4]。

2.2 感覚矛盾説

ドライビング・シミュレータ酔の発症原因として様々な説が唱えられているが、感覚矛盾説が最も有力な説であると考えられている。この説は空間感覚、つまり平衡感覚、視覚、非前庭系位置感覚(関節・筋肉などの位置感覚)からの各信号が互いに矛盾し、そのために過去の経験に基づいて我々が予測したものと矛盾するために発症するというものである。

例えば、シミュレータのように自動車が街中を走行しているような映像を見た場合、あたかも自身が動いているかのような感覚が生じることがある。この自身が動いているような感覚をベクシオンといい、次章で詳しく説明する。しかしベクシオンが生じていても実際に自分の体は静止しているために、視覚からの情報によるベクシオンと平衡感覚器からの情報が矛盾を起こしいわゆる VR(バーチャルリアリティ)酔が発症する。シミュレータ酔ではこれに加えて、実車とシミュレータの間での感覚(記憶)矛盾も原因の一つとして存在している。例えば、実車のアクセルやブレーキの効きと比べてシミュレータでは効きが弱く(強く)感じるといったことや、カーブ時に実車では遠心力が加わることで体が動くが、シミュレータ上ではその感覚を感じられないといったところから起こる過去の記憶との矛盾といったもの等が挙げられる。

3. ベクシオン

3.1 ベクシオンとは

視野の大部分を覆うような広い領域で、視覚情報の運動を観察した場合に、観察者自身は物理的には静止しているにも関わらず、観察者自身の身体が、視覚情報の運動とは反対に動いているという感覚を得る。この知覚現象をベクシオン(視覚誘導性自己運動感覚)と呼ぶ^[5]。典型的な例として、駅などで停車している電車に乗っている場合に、反対側のホームの電車が動き出すと、あたかも自分が動き出したかのように感じられるということが挙げられる。(一般には **train illusion** と呼ばれる)

このような知覚現象を応用して、ドライビング・シミュレータにおいては、車が走行する道路環境を画面上に呈示することによって観察者があたかも自身が進んでいるかのように感じさせている。

3.2 ベクシオンの種類

ベクシオンは大きく2種類に分類される。直線運動と知覚される”直線ベクシオン(**Linear Vection**)”と回転運動と知覚される”回転ベクシオン(**Circular Vection**)”である。自己運動の方向による分類として、直線ベクシオンは上下、左右、前後の3軸からなる空間で上下、前後、左右、斜めといった種類からなり、回転ベクシオンは上下軸、左右軸、前後軸周りの3軸からなる。この上下軸、左右軸、前後軸の回転をそれぞれ、**Yaw**, **Pitch**, **Roll** 回転と呼び、それぞれにより誘起されるベクシオンを **Yaw ベクシオン**, **Pitch ベクシオン**, **Roll ベクシオン** と呼ぶ。

4. 実験

4.1 実験概要

本実験は、加速度に応じた画角変化と停止時の頭部運動に伴う視点運動がシミュレータ酔にどのような効果をもたらすか検討するために行った。リニアベクションの強化と加減速感覚の増強を狙い、シミュレータの加速度に応じて映し出す車外風景の画角を変化させる刺激と加速度に応じて、仮想空間上の目に当たるカメラを運動させ車内風景を前後させる刺激を用いた。被験者をスクリーン前方に配置したステアリングに座らせ、映像を視聴しながらシミュレータで走行させた。映像の中で、アクセル・ブレーキの入力で変化する加速度に応じて、画角の大きさ、視点の位置をそれぞれ変化させ、被験者の加速時の不快感、停止時の不快感、加減速感、運転のしやすさについて計測した。これによりリニアベクションを強めるような映像の刺激が、不快感や加減速の感覚にどのような効果を与えるか検討した。

4.2 被験者

本実験では 20 歳前後の健康な男女 7 人を被験者とした。実験に際し、被験者には事前に実験方法、予期される影響などについて十分に説明した。また実験の際に被験者に不利益が生じないこと、動揺病が発生する可能性があること等の注意事項を提示した。ただし、被験者の先入観による心理的な影響を避けるために、実験で与える刺激等の情報については被験者に知らせなかった。また被験者は全員自動車の運転免許を有していた。

4.3 実験システム

図 4.1 ステアリングコントローラ

3D 映像システムには反射型偏光方式を採用し、広視野映像を実現するために円筒型スクリーンに 6 映像(左右眼用各 3 映像)を投影することによって 1 つの動画像を構成した。描画演算用コンピュータ 6 台 (Dell Precision T5400)、プロジェクタ 6 台 (SANYO PDG-DXT10GL) と偏光フィルタ、および偏光用円筒大型スクリーン (高さ 2.60m, 半径 10m の円筒の 60 deg 円弧の曲面) によって 3D 映像を描画した。6 台のプロジェクタからはスクリーンの右側, 中央, 左側をそれぞれ投影するため各位置に右目映像用, 左目映像用の 2 台ずつ配置した。被験者の頭部がスクリーン前方約 4.0m となるような位置にステアリングコントローラ (logicool 社製 DrivingForce GT[図 4.1])を設置し、1 台の描画演算用コンピュータ(HP Pavilion Elite HPE)で制御した。また被験者の臨場感や走行感を高めるために、スピーカー 7 台(BOSE 55WER)から車の走行音と走行感のある音楽を流して被験者に聞かせた。被験者に 3D 映像以外に与える視覚刺激を少しでも減らすために、実験室の床、天井、窓を黒い布等で覆い、外からの光やスクリーン以外からの反射光を減らした暗室内で実験を実施した。



4.4 映像刺激

4.4.1 画角について

カメラに写りこむ映像の範囲を画角という。画角が大きいほど仮想空間の世界は広く映り、小さいほど狭く映る。映像の縦、横、斜めに対応する画角をそれぞれ垂直画角、水平画角、対角画角と呼ぶが、本研究では画角は垂直画角のことを表しており、詳細は付録 1 に記す。

4.4.2 車外風景の画角変化

シミュレータのアクセル・ブレーキを操作することで生じる前後方向の加速度に応じて、スクリーンに表示される映像の画角を通常時(図 4.2)よりも拡大(ズームアウト)・縮小(ズームイン)させた。画角は通常時を 1.0 倍として、約 1/1.2~1.2 倍で拡大あるいは縮小させた。なお、加速度は変化をなめらかなものにするため、サンプリング周波数 60Hz、遮断周波数 0.5Hz の 3 次低域通過フィルタを通した値を使用した。また、画角変化が行われるのは車外風景のみであり車内風景は変化させなかった。



図 4.2 通常時の車内外映像

(A-1) 加速時ズームイン

加速度が正方向に増大するほど画角を縮小(ズームイン)(図 4.3)し、負方向に増大するほど画角が拡大(ズームアウト)(図 4.4)していく様に変化させた。即ち、被験者には加速するほど風景が大きく近づいて見え、減速するほど風景が小さく遠くにあるように見えた。減速時の減速感を小さくさせることで視覚—前庭間における矛盾の低減を考慮した。画角変化の割合は通常時の画角を 1.0 倍として、0.9 倍に縮小あるいは 1.2 倍に拡大させた。詳細は付録 2 に記す。



図 4.3 画角縮小時の画面



図 4.4 画角拡大時の画面

(A-2) 減速時ズームイン

加速度が負方向に増大するほど画角を縮小(ズームイン)(図 1.3)し, 正方向に増大するほど拡大(ズームアウト)(図 1.4)していく様に変化させた. 即ち, 被験者には加速するほど風景が小さく遠くに離れて見え, 減速するほど風景が大きく近づいてくるように見えた. 減速時に車外の物体を大きく見せることで距離感, 減速感を強く知覚させることで運転感覚における矛盾の低減を考慮した. 画角変化の割合は通常時の画角を 1.0 倍として, 1/1.2 倍に縮小あるいは 1.15 倍に拡大させた. 詳細は付録 2 に記す.

4.4.3 車内風景の視点変化

画角変化時と同様に, シミュレータ操作で生じる前後方向の加速度に低域通過フィルタを通した加速度を用いて仮想空間上のカメラ(視点にあたる)を通常時の位置(図 4.2)より前後方向に運動させた. 正方向への加速度が増大するほどカメラは後方へ移動し(図 4.5), 負方向への加速度が増大するほどカメラは前方へ移動させた(図 4.6). 視点変化の動きは前方に 10cm~後方 7cm の範囲で移動させた. 詳細は付録 2 に記す. 画角変化が車外風景の変化であるのに対して, 視点の変化は被験者には車内風景だけが変化しているように感じる刺激であった. 実車上で起こり得る加速時, 減速時における慣性力による頭部の動きを考慮しているため被験者はより実車に近い感覚を得られると考えられる. それによって加減速感を強く感じさせ実車との運転感覚における矛盾の低減を考慮した.



図 4.5 後方視点



図 4.6 前方視点

4.4.4 走行コース

映像内で走行するコースは市街地で交差点, 通行人, 信号が複数個存在する道路で舗装された車道を走行させた. 信号, 交差点は 100m 間隔で配置されている. また, 車の制限速度は 50km/h と定めた. 1 回の走行時間は 48 秒に設定しており, この間に交差点毎に配置された信号の手前で静止し, 信号が青になるとともに再び加速する動作を 3 回行うようにした.

4.5 計測法

「加速時の不快感」、「停止時の不快感」、「加減速感」、「運転のしやすさ」について連続する 2 つの刺激間での強弱を Thustone の一対比較法(2 件法)で答えさせた。

ここで、加速時の不快感とは「シミュレータ操作において加速走行時に感じる気持ち悪さ」、停止時の不快感とは「シミュレータ操作において停止時(減速時)に感じる気持ち悪さ」、加減速感とは「シミュレータ操作での加減速の変化により感じる前進・後退(停止)する感覚の強さ」、運転のしやすさとは「シミュレータの運転のしやすさ」のことと定義した。4 種の刺激をそれぞれ他の 3 種類の刺激と組み合わせて比較させ、順序逆順をあわせた 12 対の比較結果により、各刺激で誘起される上記の各感覚を比較判断の法則(ケース V)に基づいて距離尺度化した。

4.6 実験手順

被験者に実験の概要、方法を説明した後で被験者をスクリーンから約 4.0m 離れた位置にあるステアリングに座らせ、偏光メガネを装着させた。その後実験室内の電気を消灯した。

1 刺激の走行時間を 48 秒間に設定し、20 秒程度の静止時間を置いて繰り返した。4 刺激で 1 セッションとし、1 回の実験で 4 セッションを実施した。各セッションの間には約 2 分程度休憩時間をとった。連続する 2 刺激間で加速時の不快感、停止時の不快感、加減速感、運転のしやすさの一対比較を行わせ、1 セッションで 3 比較、1 回の実験で計 12 比較を行わせた。なお、これらの比較は 20 秒程度の静止時間の間に口頭で答えさせた。

4 種の刺激が他の刺激と対をなすように順序逆順をあわせた 12 種の刺激対について各 1 回ずつ比較を実施した。実験総数は 7 回で 84 比較を実施し、各刺激対あたり 14 試行の比較を行った。

5. 実験結果

図 5.1～5.4 に、シミュレータ運転時の速度、加速度の変化またその加速度に応じた画角、視点位置の変化の時間推移を表したものを示す。図 5.5～5.7 に、加速時の不快感、停止時の不快感、加減速感および運転のしやすさの高さ・強さを、距離尺度で表したものを示す。いずれの感覚についても距離尺度化にあたって比較判断の法則（ケース V）を適用した。すなわち、各刺激で誘起される感覚の大きさ（高さ・強さ）は正規分布し、そのばらつき（標準偏差）は刺激に依らず等しいと仮定し、モデル化した。その時、比較した刺激間での感覚の差の標準偏差はいずれの刺激対でも等しくなり、各刺激で生じる感覚の標準偏差の $\sqrt{2}$ 倍となる。この感覚の差の標準偏差を単位（1）として、各感覚の距離尺度を定めた。

5.1 時間推移

シミュレータ運転時における典型的な速度、加速度、画角・視点位置の変化の時間推移を表したものを図 5.1～5.4 に示す。加速度は本研究に用いたシミュレータの設定上アクセルを最大に踏み込んだ加速時には 3.7km/s^2 程度、ブレーキを最大に踏みこんだ減速時には -9.25km/s^2 程度の値を得る。図 5.1, 図 5.2 から運転者は停止状態から再び加速する際にアクセルを最大近くまで深く踏み込む運転をする傾向が見られた。このため、停止するまでの減速の程度と比較しても加速時の加速度の変化は急激であり、画角や視点運動の変化も加速時には短時間で急激な変化が見られた。（図 5.3, 図 5.4）

5.2 不快感

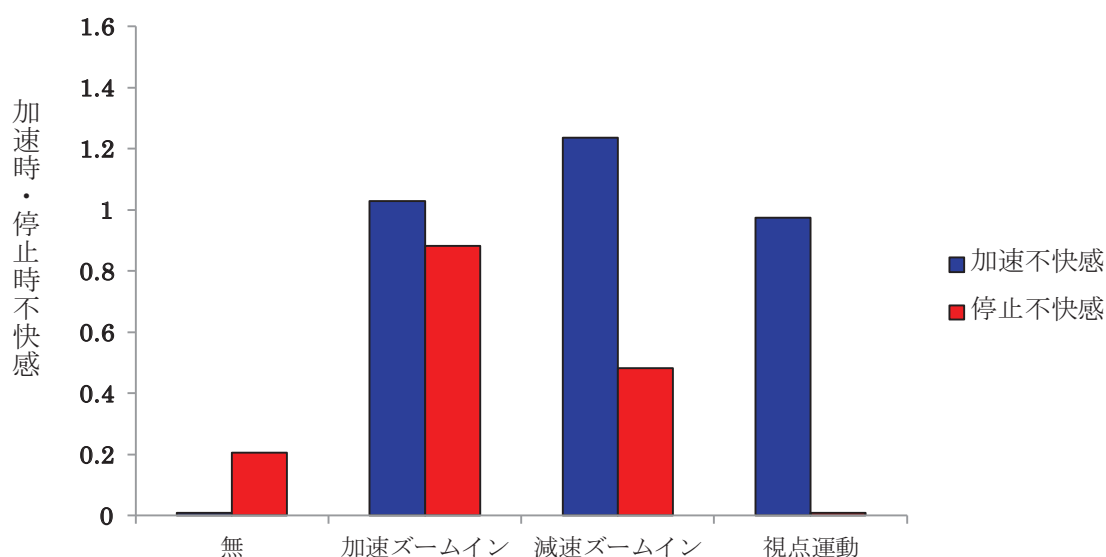


図 5.5 加速時・減速時不快感

計測した加速時・停止時の不快感を距離尺度化したものを図 5.5 に示す。加速時の不快感は刺激を加えない場合と比較して刺激を与えた場合いずれの条件においても増強した。シ

ミュレータ上での運転は急加速，急停止に近い操作をすることが多く，停止状態では加速度の値は負方向に大きい，図 5.2 より発進する際の加速時には加速度は大きく正方向に遷移する．この急速な加速度の上昇に伴って急激に変化する映像上の車内・車外風景が視覚を刺激したため加速時の不快感を上昇させたと考えられる．

停止時の不快感は車外視界が変化する加速ズームインや減速ズームインの刺激では増強した．一方で視点運動を加えた場合に若干の不快感の低下が見られた．実車では急ブレーキを踏むなど強い減速をするほど慣性力が働き，運転手の体は前方へ移動する．シミュレータ上での運転は前述のように急停止に近い停止が多く，この場合視点運動刺激での映像では，停止時に大きく前方へ視点移動する．この視覚から知覚される映像上で働いたように感じる慣性力の向きと，実際の車で慣性力が働く向きが同じで，結果として実車上で知覚される視覚と類似するため不快感が低減されたと思われる．

5.3 加減速感

計測した加減速感を距離尺度化したものを図 5.6 に示す．車外風景の画角変化，視点運動による車内風景の変化いずれの刺激を加えても変化を加えない刺激無の映像と比較して加減速感は顕著に高く感じられた．特に，視点運動が加わった時に最も強く加減速感を感じた．加減速感は加速感と減速感を総合的に評価しているためどちらをより強く感じたかは定かではないが，視点運動では前述のように停止(減速時)に前方移動する視点の映像の視覚が実車で受ける視覚に類似するため減速感を高く感じているのかも知れない．加速ズームインと減速ズームインでは画角変化の仕方が逆になるが，2 刺激間の加減速感に差は見られなかった．

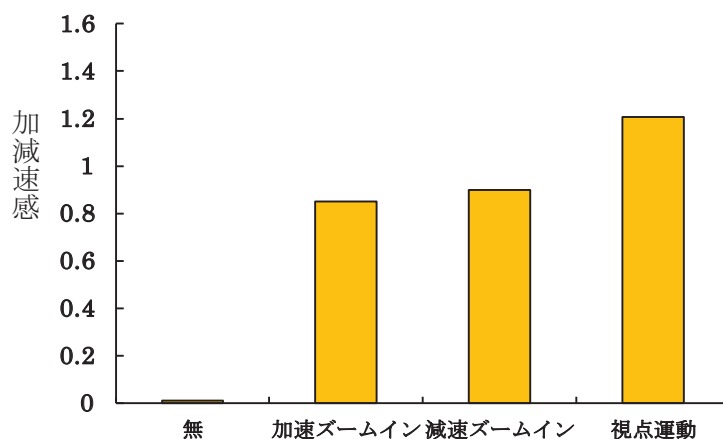


図 5.6 加減速感

5.4 運転のしやすさ

計測した運転のしやすさを距離尺度化したものを図 5.7 に示す．刺激を加えない刺激無の映像と比較して，他の 3 種類の条件では運転のしやすさは低く感じられた．映像刺激が与えられる条件下では加速時の不快感が刺激無の映像よりも強く感じており，車外風景の画角変化(加速時ズーム，減速時ズーム)の刺激においても停止時不快感は刺激無の映像以上に不快感を強く感じてい

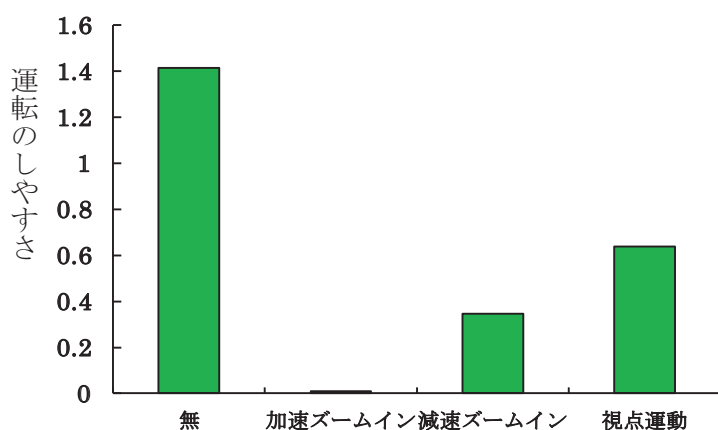


図 5.7 運転のしやすさ

る．こういった不快感の上昇によってシミュレータの運転しやすさを低下させていると考えられる．

5.5 相関

加速時の不快感，減速時の不快感，加減速感，運転のしやすさの相互間の相関を検討した．一対比較の試行ごとに得られた評価が各感覚間でどの程度一致するのか，関連性の尺度である ϕ 係数を用いて表した．感覚の強弱あるいは高低の一致を正、逆の一致を負として ϕ 係数に符号を付加し表 1 に示す．加速時の不快感－運転のしやすさおよび停止時の不快感－運転のしやすさには負の相関が，加速時の不快感－停止時の不快感では正の相関が得られた．一方で，加減速感覚と不快感の間には相関を得ることはできなかった．運転しやすいと感じるシミュレータでは加速時，停止時共に不快感が抑制されること，加減速感と不快感が必ずしも一致しないことが示された．

表 1 相関(符号付き Φ 係数)

	加速不快感－ 停止不快感	加速不快感－ 加減速感	加速不快感－ 運転しやすさ	停止不快感－ 運転しやすさ	停止不快感－ 加減速感	加減速感－ 運転しやすさ
ϕ 係数	0.204	0.053	-0.424	-0.390	-0.105	0.039

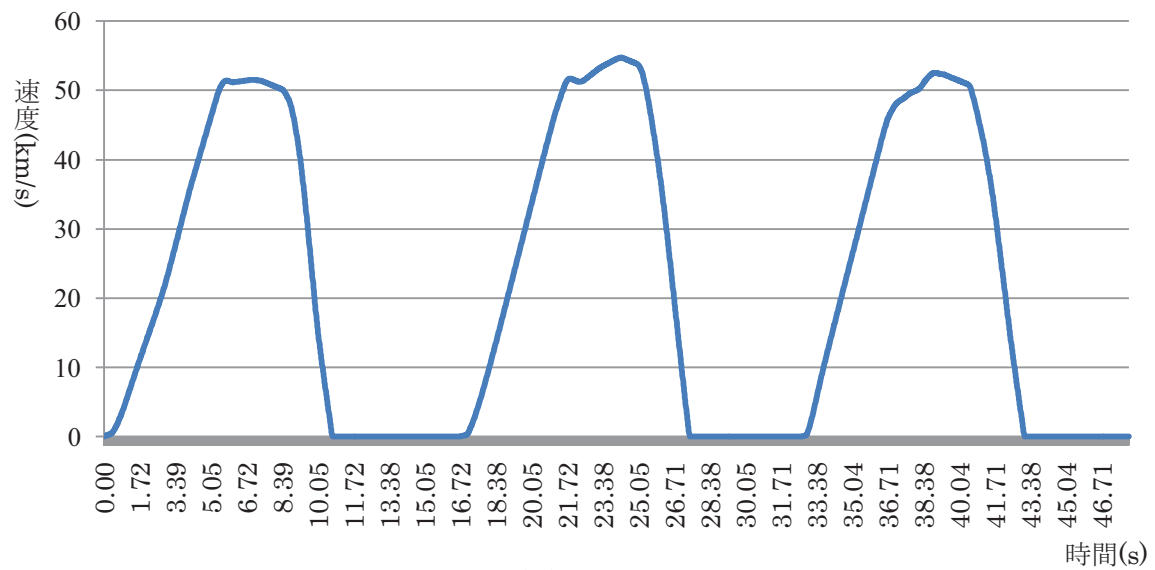


図 5.1 速度変化の時間推移

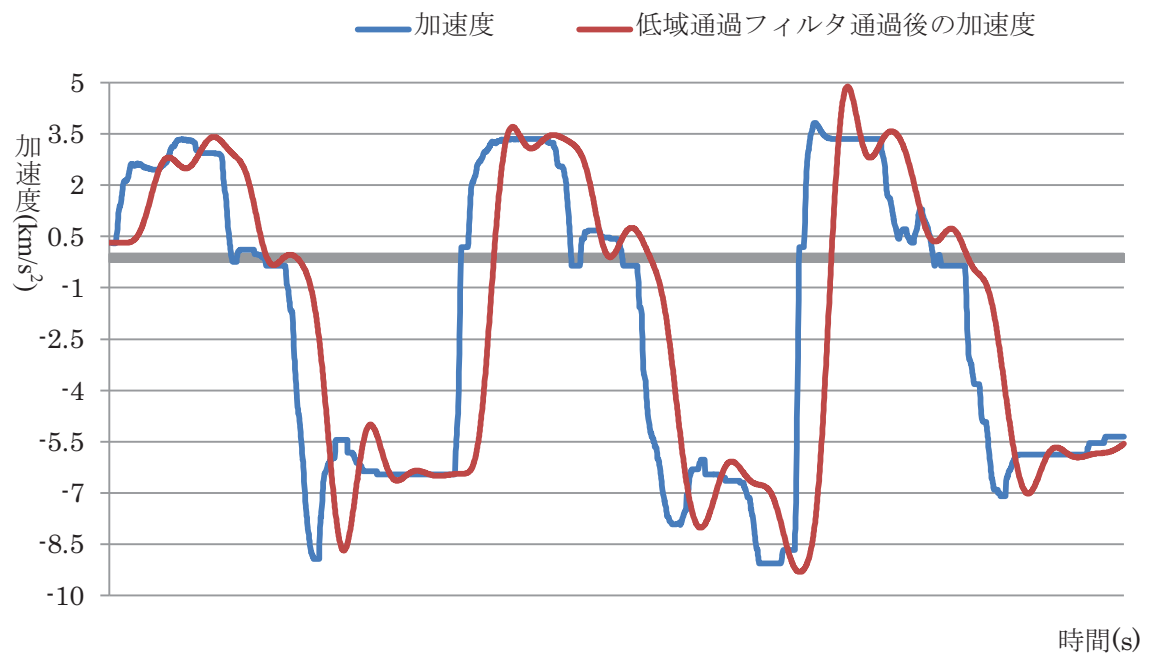


図 5.2 加速度変化の時間推移

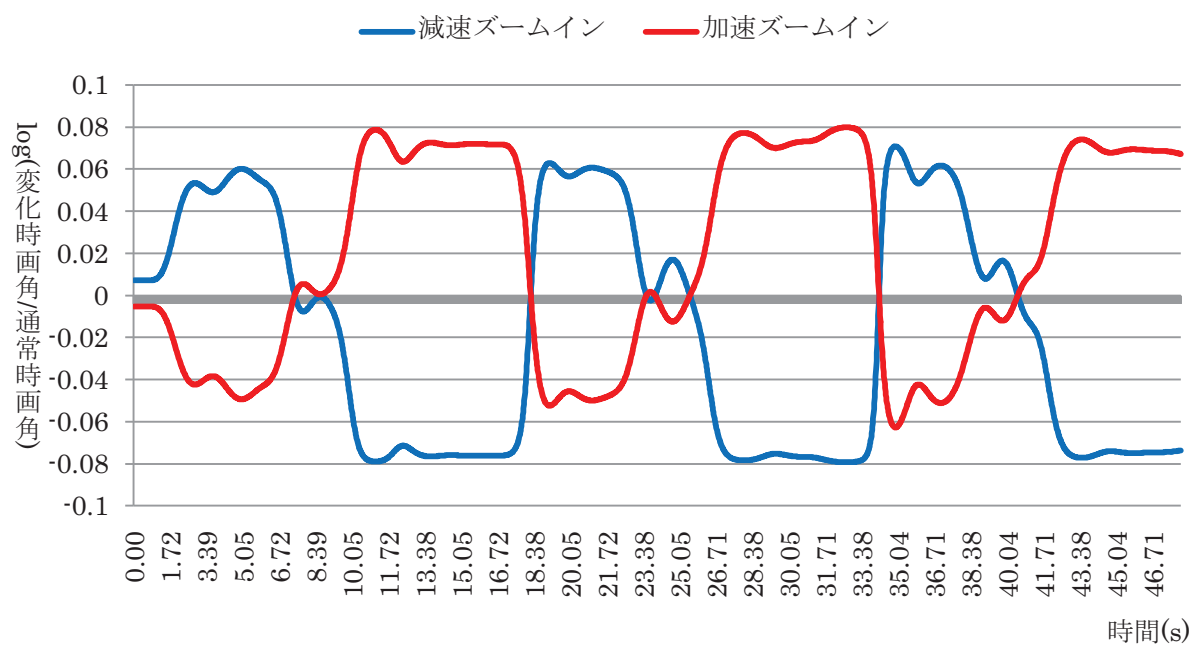


図 5.3 画角変化の時間推移

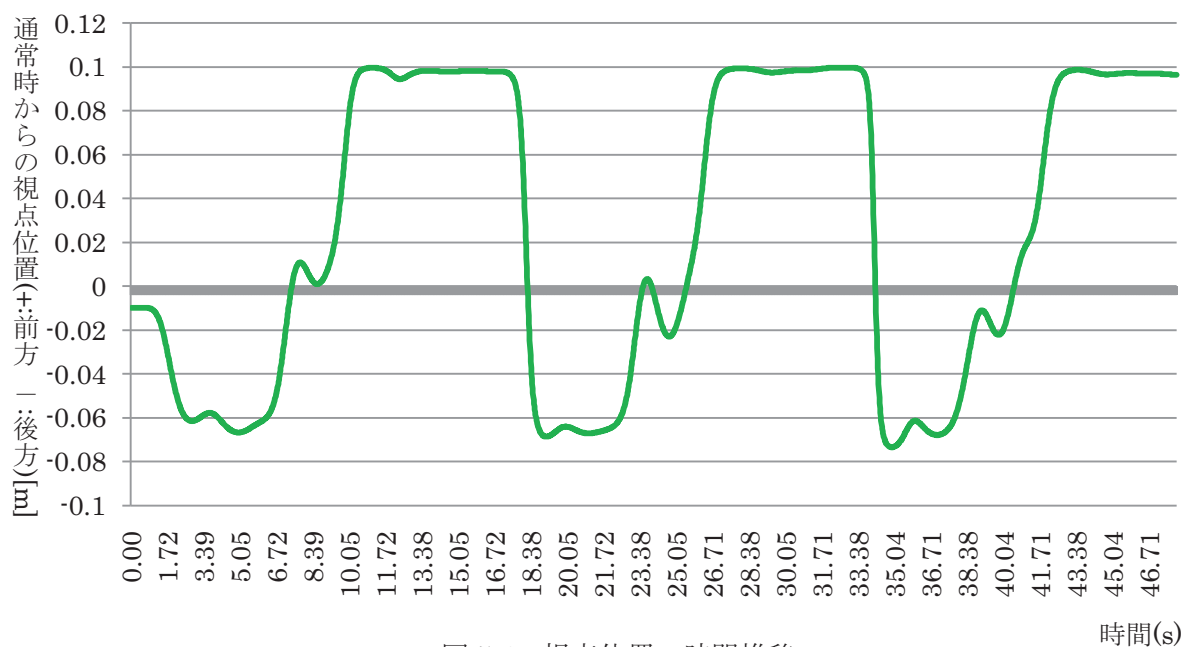


図 5.4 視点位置の時間推移

6. 考察

本研究では、運転者がよりリニアベクションや加減速の感覚を知覚できるように映像上に加速度に応じた車外風景の画角変化や、視点の移動による車内風景の変化を与えるシミュレータを作成し、それらの刺激がシミュレータ酔にどのような効果をもたらすか検討した。

本研究の結果では、加速度に応じた画角変化や視点運動を加えることで加減速感覚が上昇する結果を得た。一方で画角変化を加えた条件において加速時・停止時における不快感が増強し、視点運動においては停止時の不快感は若干の低減効果が示唆されたが、加速時の不快感は増強する結果となった。本研究における画角変化や視点運動の変化はシグモイド関数を元に行っているが(付録2参照)、シミュレータで停止状態から加速する際には加速度の急速な上昇があり、これによる急激な映像内の変動が映像刺激の種類やそれによる加速感の変化に関わらず加速時の不快感を招いたと考えられる。加速度にはそれを考慮し低域通過フィルタを通すことで変動を滑らかにする対策を施していたが、それでも加速度の急速な変動による影響は大きかったと思われる。フィルタを通す値は加速度だけでなく時間的な変位も考慮する必要があるのかもしれない。

停止不快感においては視点運動を加えた場合に若干の不快感の低減が見られた。停止時に視点が前方に移動し車内風景が近づくような見え方が、実車の慣性力に起因する身体の動きで視覚が知覚する風景と類似しているからだと考えられる。視点運動の刺激は加減速感覚も高く感じているが、この実車との類似する感覚により高い減速感を感じていると思われる。さて、不快感が大きく上昇した停止時に画角が大きくなるような呈示法(加速時ズームイン)では停止時に画角が広がるため車外風景の建物や道路が離れていくように見える。この見え方が、実車上で停止時に知覚する視覚との間に矛盾が生じたため不快感が上昇したと考えられる。停止時に減速時ズームインの刺激では画角が小さくなることで風景が近づいて見えるが、運転者は停止時に停止線等近くに存在する目標物を目安に停止すると考えられるため、停止する場所の付近に注視範囲があると思われる。このため近くの車内風景が変化する刺激に比べ、車外風景のように遠くの景色が変化する刺激は違和感が生じたのかもしれない。停止時には車内風景が変化するような視点移動が不快感を低減させるような傾向が得られたことで、現在前後移動のみで行われている視点運動にピッチ方向の回転を加えるなど実車での停止、減速時の頭部運動を細かく計測し実車の動きに近付けることで更なる低減効果が期待できる。

加減速感についてはいずれの刺激を加えた場合も高くなったが、視点運動を与えた場合が高く、次いで各画角変化刺激が同程度であった。実車での運転では速度が速いときは遠く、速度が遅いときは近くを注視すると考えられる。頭部運動では前述のように実車とシミュレータの減速時の視覚が類似し高い減速感を与えていると考えられる。画角が小さく

なると物体は大きく近づいて見える。この性質が加速ズームインでは注視範囲が遠くに向く加速時に働き前進感を生み出して加速感の上昇につながると考えられ、一方の減速ズームインでは注視範囲が近くに向けられる減速・停止時に働き、風景との間に生じる距離感が停止時の感覚の上昇につながっていると思われる。それゆえに性質が逆に働くズームアウト時にはそれぞれ前進感覚、距離感覚が低減して加速・減速の一方の感覚が減衰しているのかも知れない。また視点運動は車内風景のような近景の変化に感じるため遠くを注視する加速時にはあまり効果が得られなかったのかもしれない。

本研究では実験データ数は少ないが、停止時の減速感を車内風景の変化によって知覚させることで停止時の不快感を低減させる傾向が期待できた。実車での動きを取り入れるなどしてより実車に近付けた動きでの効果を検討したい。しかし加速感、減速感の変化と各不快感の変化の相関が今回は得られなかったため今後の課題として、各加減速感と不快感の関係を詳しく調査する必要がある。

7. 謝辞

本研究を行うにあたり，有益なご指導とご助言をいただきました井須尚紀教授，河合敦夫准教授，本間秀典研究員に心からの感謝を申し上げます．また多大な不快感を伴うにも関わらずご協力をいただきました被験者の方々に深く感謝いたします．さらに日頃の疑問や質問に親切に対応し，苦楽を共にした奥田翔氏，劉托氏に心より感謝いたします．

最後に日々有意義な時間を共に過ごしてくださった人工知能研究室の皆様に感謝いたします．

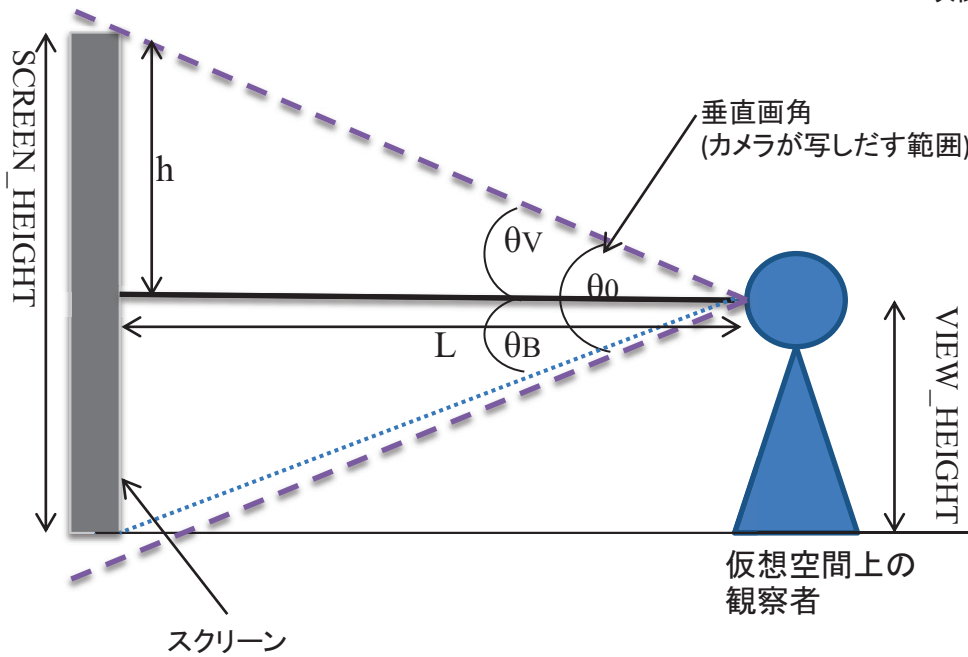
8. 参考文献

- [1] Crowley JS : Simulator sickness, a Problem for army aviation, Aviat Space Environ Med 58,355-357(1987)
- [2]王, 奥田翔, 小澤惇一, 椎名司, 増田修, 河合敦夫, 井須尚紀 : ドライビング・シミュレータ酔の抑制にモーション機能が与える効果, 第8回情報科学技術フォーラム講演論文集, 第3分冊, pp419-420, 2009
- [3]王, 奥田翔, 小澤惇一, 椎名司, 増田修, 井須尚紀 : モーション機能がドライビング・シミュレータ酔に与える効果, 宇宙航空環境医学 46 : 85, 2009
- [4]Graybiel A, et al : Diagnostic criteria for grading the severity of acute motion sickness, Aerospace Med 39 : pp453-455, 1968
- [5] 中村 信次 : 視覚誘導性自己運動知覚の実験心理学, 2006

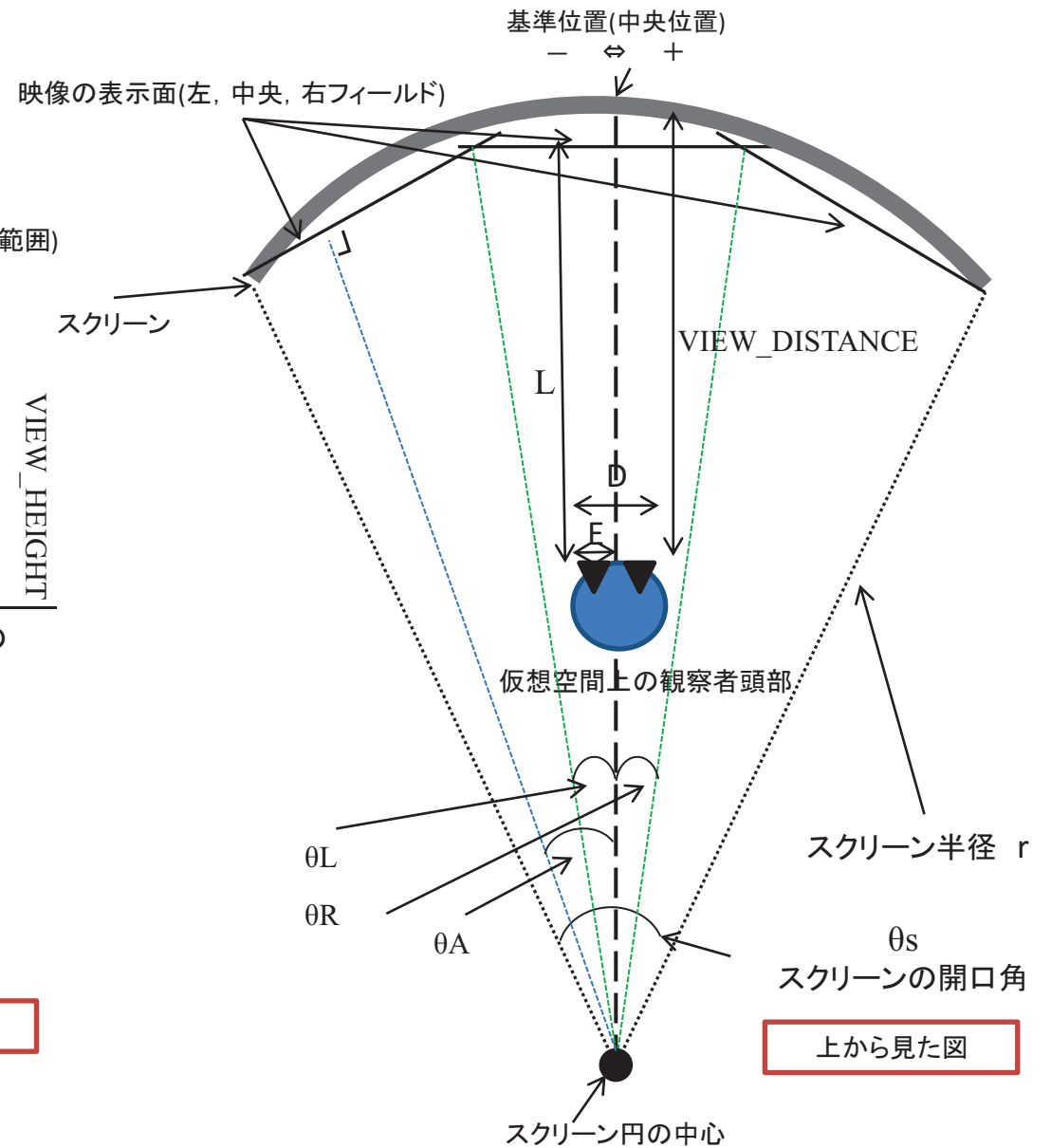
付録

1) 全体の概要図(中央フィールドでのイメージ)

1-1) 垂直画角について



横から見た図



上から見た図

1-2)通常時の垂直画角の大きさ

•右目, 左目(カメラ)の位置 E $E = D / 2.0$ (1.1)

•スクリーン中心位置から
投影面の左右端との角度 θ_L, θ_R $\theta_L = (-\theta_s / 2.0 + 19.8) + \theta_A$ (1.2)

$\theta_R = (\theta_s / 2.0 - 19.8) + \theta_A$ (1.3)

•投影面と, カメラ(目)との距離 L $L = r \times \cos((\theta_L - \theta_R) / 2.0) - (r - \text{VIEW_DISTANCE}) \times \cos(\theta_A) - E \times \sin(\theta_A)$ (1.4)

•カメラ位置からスクリーン上端の角度 θ_V $\theta_V = \arctan((\text{SCREEN_HEIGHT} - \text{VIEW_HEIGHT}) / L)$ (1.5)

•カメラ位置からスクリーン下端の角度 θ_B $\theta_B = \arctan(-\text{VIEW_HEIGHT} / L)$ (1.6)

• θ_V と θ_B のうち大きい角の絶対値を2倍したものを垂直画角 θ_0 とする.

※本実験で使用した環境においては, $(\text{SCREEN_HEIGHT} - \text{VIEW_HEIGHT}) > -\text{VIEW_HEIGHT}$ であるため, θ_V の2倍が通常時の垂直画角となる.

よって, $\text{SCREEN_HEIGHT} - \text{VIEW_HEIGHT} = h$ として, 1.5式から

$\theta_0 = 2 \times \arctan(h / L)$ (1.7)

と表せる.

今回の環境では通常時の画角 $\theta_0 \doteq 42^\circ$ である.

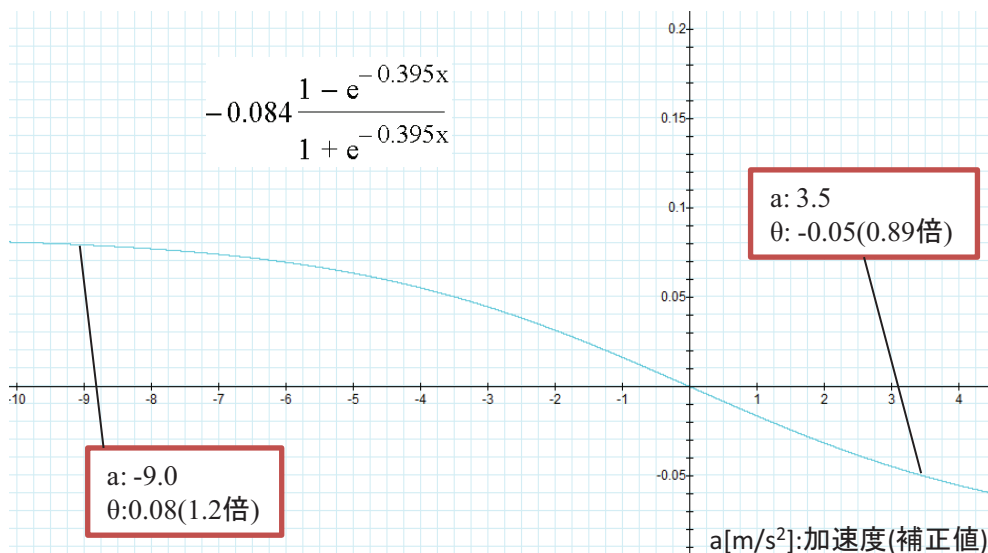
変数	解説(プログラムでの値)
r	スクリーン半径(10.0m)
D	右目と左目の間隔(左-0.065m, 右目0.065m)
θ_A	スクリーン中心から各投影面に引く垂線と基準位置との角度(左-19.8°, 中央0°, 右19.8°)
VIEW_DISTANCE	スクリーンと仮想空間上の観察者との距離(3.8m)
SCREEN_HEIGHT	円筒スクリーンの高さ(2.6m)
VIEW_HEIGHT	観察者の目線の高さ(1.2m)
L	仮想カメラ(目)と投影面との垂直距離
h	仮想カメラとスクリーン上部の距離

2) 画角・視点運動と加速度の変化の関係

θ0:初期画角 θ1:変化画角

A-1) 加速時ズームイン

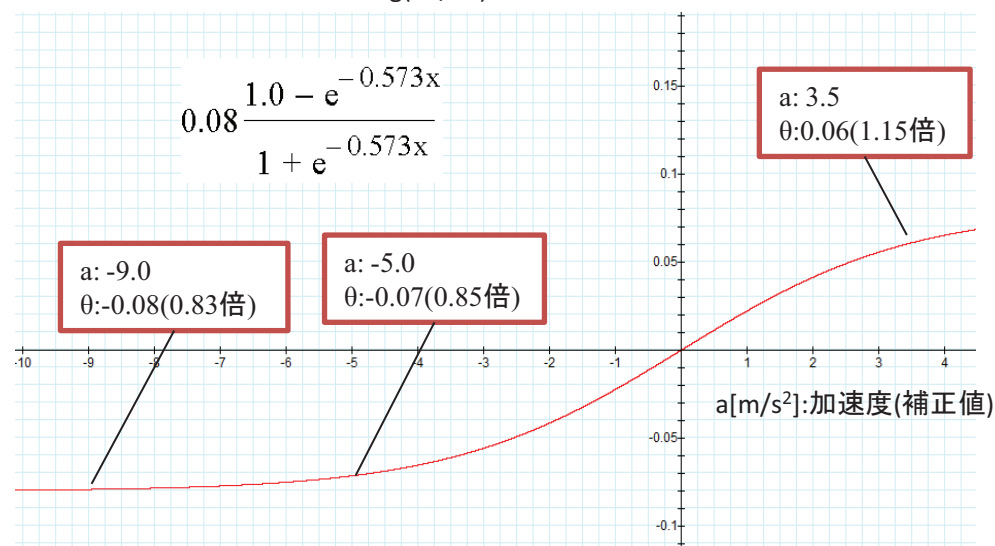
$\log(\theta_1/\theta_0)$: 通常時画角と変化時画角比の対数



シミュレータ操作中の加速度は約-9.25～3.7の範囲の値で変動している

A-2) 減速時ズームイン

$\log(\theta_1/\theta_0)$: 通常時画角と変化時画角比の対数



B) 視点運動

通常位置からの頭部位置(m) +: 前方 -: 後方

