

2016 年度 卒 業 論 文

キャラクターの体形変化に合わせた
自動車の自動変形に関する研究

指導教員：渡辺 大地 講師

メディア学部 ゲームサイエンスプロジェクト

学籍番号 M0113320

内藤 純一

2017 年 3 月

2016 年度 卒 業 論 文 概 要

論文題目

キャラクターの体形変化に合わせた
自動車の自動変形に関する研究

メディア学部

学籍番号：M0113320

氏
名

内藤 純一

指導
教員

渡辺 大地 講師

キーワード

3DCG、自動車、キャラクターメイキング、モーフィング、誇張表現

近年、ビデオゲームなどにおいて、キャラクターを自分好みの容姿に変更できることが多くなった。従来の顔、身長、体形、髪型などをあらかじめ用意されたものを組み合わせるものから、現在では、目、鼻、口などの大きさや位置、身長や体形をパラメータを変更することで細かく指定できるもの多くみられるようになった。しかし、身長や体形を自由に変更できるようにすると、ゲーム内のアイテムなどを正しく持つことができず、オブジェクトにめり込んでしまうなど整合性における問題が発生してくるようになる。そのため、キャラクターとアイテムの整合性を優先すると、容姿の変更に関する自由度は低下する。アイテムを持つ手がずれる、持っているアイテムが長くめり込んでしまうなどの問題は、個々にモーションを変更したり、アイテムのサイズを変更することで防ぐことができる。しかし自動車においては、キャラクターが大きすぎると車内空間に収まりきらず、小さすぎるとハンドルやペダルに手足が届かない。これらは単純なサイズの変更で解決できる問題ではない。そこで本研究では、キャラクターの変形に合わせて自動車を自動で変形する手法を考案した。キャラクターの変形する部位に応じて、自動車を変形する手法を示した。タイヤが円形を保たなければならぬことから、タイヤ周辺の変形が複雑になるため、自動車の変形には、目的となる変形形状を指定できるモーフィングを用いた。3DCGにおけるモーフィングは、変形元となる3DCGモデルと変形目標となる3DCGモデルへの変化を出力する手法である。

本手法を用いた結果、キャラクターの変形に合わせて自動車を自動変形することができた。しかし、特定の状況において自動車のポリゴンメッシュに自己交差がみられた。また、今回定めた変形条件では自動車側の変形にある程度の段階で限界が生じる為、合わせてキャラクター側の変形に制限がかかる形になった。これらを解決することが今後の課題となった。

目次

第1章	はじめに	1
1.1	研究背景と目的	1
1.2	論文の構成	3
第2章	提案手法	4
2.1	使用した3Dモデル	4
2.2	変形に関する位置づけ	5
2.3	キャラクターモデルの変形機構	6
2.3.1	キャラクターモデルの設定	6
2.3.2	キャラクターモデルの変形可能部位	7
2.4	キャラクターの変形に対する自動車の変形	9
2.5	自動車モデルの変形	11
2.5.1	モーフィング	11
2.5.2	円形を維持したタイヤの変形	13
2.5.3	自動車モデルの変形限界	13
2.5.4	ターゲット用自動車モデル	14
2.6	キャラクターと自動車の連動方法	15
第3章	考察	17
第4章	まとめ	22
	謝辞	24
	参考文献	25

目 次

2.1	使用したキャラクターモデル	5
2.2	使用した自動車モデル	5
2.3	キャラクターモデルに割り当てたボーンオブジェクト	7
2.4	ボーンの方角付け	7
2.5	スケール値の変更による変形	8
2.6	頭の変形部位	8
2.7	胴体の変形部位	8
2.8	腕の変形部位	9
2.9	足の変形部位	9
2.10	全ての部位を変形した状態	9
2.11	適切な運転姿勢	10
2.12	キャラクターの変形による影響	10
2.13	ルーフ部	10
2.14	下半部	10
2.15	立方体から球体へのモーフィング	11
2.16	モーフィングでの頂点位置の変化	12
2.17	タイヤ周辺の変形限界	13
2.18	ルーフ部変形用ターゲットモデル (倍率=1.50)	14
2.19	下半部変形用ターゲットモデル (倍率=1.25)	15
2.20	全長変形用ターゲットモデル (倍率=0.80)	15
3.1	初期状態	17
3.2	頭部のみ変形	18
3.3	胴体のみ変形	18
3.4	腕と足のみ変形	19
3.5	全ての部位を変形 1	19

3.6	全ての部位を変形 2	20
3.7	ポリゴンの崩れ (胴体スケール値=1.25、腕スケール値=0.80、足スケール値=0.80)	20

表 目 次

2.1 変形部位の対応表	11
--------------------	----

第 1 章

はじめに

1.1 研究背景と目的

近年ビデオゲームなどにおいて、キャラクターを自分好みの容姿に変更できることが多くなった。顔、身長、体形、髪型などを、あらかじめ用意されたパーツの中から選ぶものから、目、鼻、口などの大きさや位置をパラメータを変更することで細かく指定できるものがある。前者の例として「ドラゴンクエスト X 目覚めし五つの種族 オンライン」[1]、後者の例として「PHANTASY STAR ONLINE 2」[2] が挙げられる。しかし、身長、体形を変更することで、ゲーム内のアイテムやオブジェクトとの整合性がとれなくなる問題が起こる場合がある。そのような中で自動車は、キャラクターが極端に大きくなりすぎた場合、体が車内に収まらなくなり、小さくなりすぎた場合には適切な運転姿勢が取れなくなる。このことから、ゲーム内に自動車を登場させる場合には、キャラクターの変形を制限してしまう。例として、「Grand Theft Auto V」[3] と「Saints Row IV」[4] は、どちらも自動車を運転することが可能で、キャラクターの容姿をパラメータによって変更できるが、身長を変更することはできない。そこで、キャラクターの変形に合わせて自動車を自動変形することで、これらの問題を解決することが求められている。

マンガ、アニメ、ゲームなどの創作コンテンツ上のキャラクターでは、頭身がかなり低いもの

や、手足の構造が現実世界の人体とはかけ離れて描かれるものも多く、本研究ではそのような現実世界での構造を大きく逸脱して変形、表現することを「デフォルメ」と呼称するものとする。実際の自動車はシートの位置調整や、ハンドルの位置調整が可能で、ある程度の身長の人でも適切な運転姿勢を取ることができるようになっており、今回問題とする体が大きすぎて車内に収まりきらない、小さすぎて手足が届かず適切な運転姿勢がとれないといった状態は、キャラクターに先述のデフォルメ相当の変形が行われ、キャラクターと自動車それぞれのデザインの尺度にずれが生じていることで発生していると捉えた。そこでキャラクターに対して行う変形をデフォルメとし、自動車にも同じだけデフォルメをかけることで問題を解決する。

関連研究として、田中ら [5] の研究では、既存飛行機モデルの垂直尾翼、水平尾翼、エンジン、プロペラなどを部分ごとの頂点を指定し、それを内包するボックスモデルを変形することで、デフォルメした飛行機モデルを制作した。飛行機は部分ごとの面の連続性が低く、部位の指定がし易い。また、形状を維持しなければならない部分がないため、一様に一方向に対しての変形が強くても問題ない。しかし、自動車はタイヤが円形を保たなければならないことから、この手法では変形することが困難である。yumer ら [6] の研究では、自動車の 3DCG モデルを別のタイプの自動車へ、セダンタイプからスポーツタイプやハッチバックなどに変形することができる。しかし、極端な変形に関しては想定していないためデフォルメのような強い変形は行えない。

そこで、本研究では自動車モデルの変形手法としてモーフィング [7][8][9][10][11][12] を採用した。3DCG におけるモーフィングは、変形元となる 3DCG モデルと変形目標となる 3DCG モデルの 2 つを入力情報とし、元の形状から目標の形状への変化を出力する手法である。変形目標となる形状を直接指定することができるので、タイヤ周辺の変形の指定が行える。モーフィングは入力する 3DCG モデルのトポロジーが一致している必要があるが、変形前も変形後も同じ自動車であるため問題ない。

今回研究を行うために、ボーン方式によるキャラクターモデルの変形機構を用意した。変形可

能部位は頭、胴体、腕、足の4箇所、それらの変形により生じる影響を整理し、自動車モデルのどの部分を変形するかを定め、変形用のモデルを用意した。ボーンのスケール値をモーフィングの混合比に関連付けることで、キャラクターモデルの変形と自動車モデルの変形を連動した。

1.2 論文の構成

本論文の構成は次のとおりである。第2章で、本研究において実装したキャラクターのモデルの変形に合わせて自動車のモデルを自動変形する手法について述べ、第3章で、本手法による変形結果および考察について述べる。最後に第4章にて、本研究のまとめと展望について述べる。

第 2 章

提案手法

本章では、キャラクターのモデルの変形に合わせて、自動車のモデルを変形する手法について述べる。2.1 節では実装に使用した 3D モデルについて述べ、2.2 節では本研究における変形の位置づけについて述べる。2.3 節では今回研究を行うために用意したキャラクターモデルの変形機構について、2.4 節では今回行うキャラクターの変形に対して、どのような変形を自動車モデルに施すかについて述べ、2.5 節にて自動車の変形方法について述べる。

2.1 使用した 3D モデル

実装を行うにあたって自身で制作した 3DCG モデルを使用した。図 2.1 は使用したキャラクターモデルであり、図 2.2 は使用した自動車モデルである。

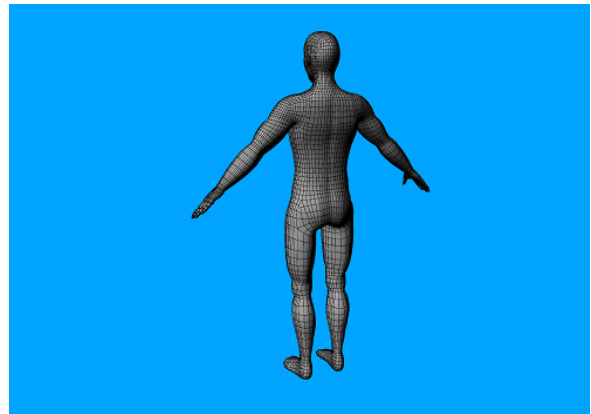
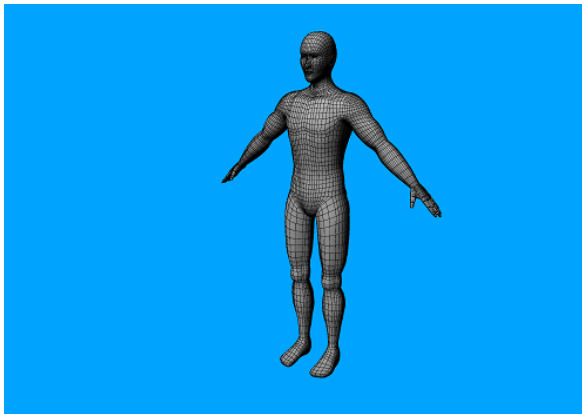


図 2.1 使用したキャラクターモデル

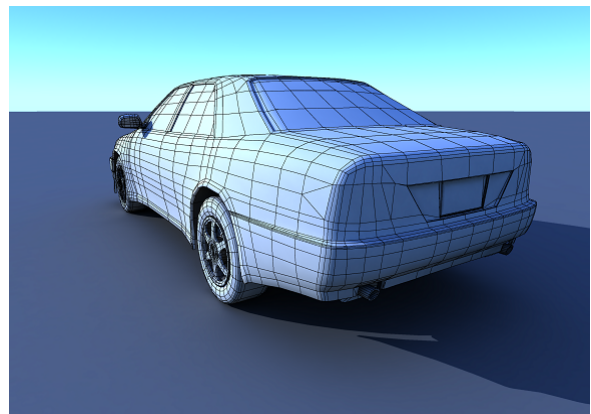
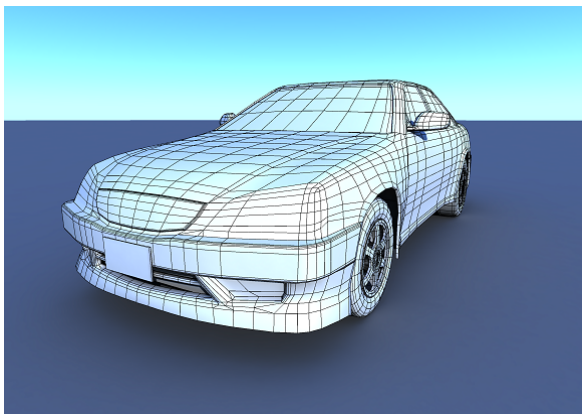


図 2.2 使用した自動車モデル

2.2 変形に関する位置づけ

元々、実際の自動車はシートの位置やハンドルの高さを変える機構があり、ある程度の身長の変化や体格の変化には対応できる [13]。つまり、キャラクターの変形が身長の変化程度ならば基本的には自動車に乗れなくなることはない。キャラクターの変形を身長の変化と捉えているのに対して自動車が変形してしまうのでは混乱を招く。そこで今回キャラクターに行う変形を、初期の人体比率から誇張をかけたデフォルメとすることで上記の混乱を防ぐ。それを踏まえ、見かけ上キャラクターモデルの高さが変わっても、身長は変わっていないとみなす。また、キャラクターにのみデフォルメがかかっているという条件の違いから、自動車との整合性が取れなくなってい

ると捉えることができる。

2.3 キャラクターモデルの変形機構

キャラクターモデルを変形するための機構について述べる。

2.3.1 キャラクターモデルの設定

キャラクターモデルに行ったセットアップについて述べる。セットアップとは、キャラクターモデルにアニメーションやポーズを付けられるようにするために行う作業であり、様々な方法がある。今回はボーン方式 [14] を用いた。ボーン方式とは、骨に見立てたボーンオブジェクト (以下ボーン) で階層構造を作り、モデルと階層構造との対応をとることで、ボーンを動かした際にモデルを変形する手法の一つである。図 2.3 はキャラクターモデルに割り当てたボーンである。また、割り当てるボーンにはボーンの方角付けを行った [15]。ローカル座標軸をそれぞれ、X 軸が親ボーンから子ボーンに対して向くようにし、Y 軸か Z 軸のどちらかが関節の曲がる方向に向くように設定した。

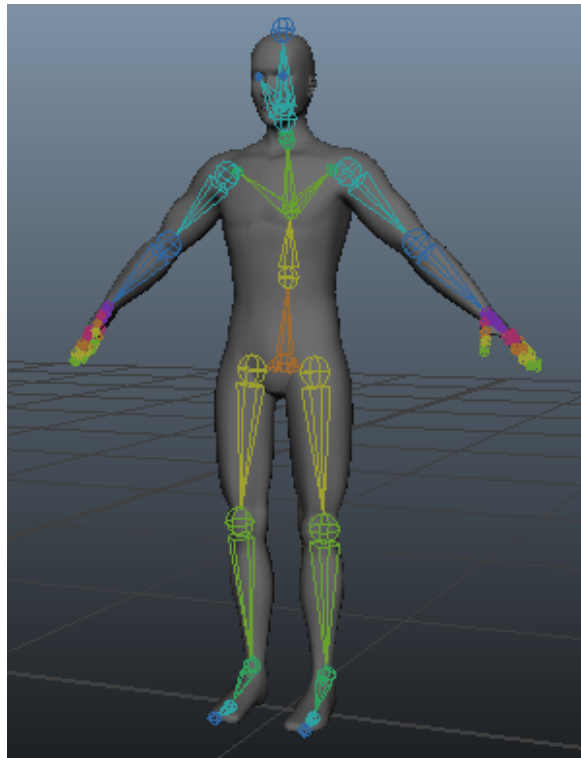


図 2.3 キャラクターモデルに割り当てたボーンオブジェクト

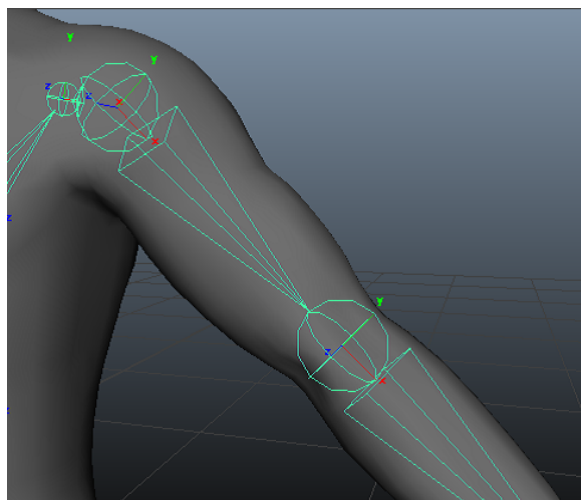


図 2.4 ボーンの方角付け

2.3.2 キャラクターモデルの変形可能部位

キャラクターモデルの変形は、キャラクターモデルに割り当てたボーンのスケール値を変化することで表現した。2.3.1 節で述べたボーンの方角付けを行っていることにより、ボーンの X 軸方

向のスケール値を変化することで長さを変えることができる (図 2.5)。今回、変形可能部位を頭の大きさ、胴体の長さ、腕の長さ、足の長さの4つとした。図 2.6、図 2.7、図 2.8、図 2.9 はそれぞれボーンを割り当てている部位の影響範囲を赤色で示したものと、対応するボーンのスケール値を変更して変形を行った例を示している。また、図 2.10 に全ての部位を同時に変形した場合の例を示す。

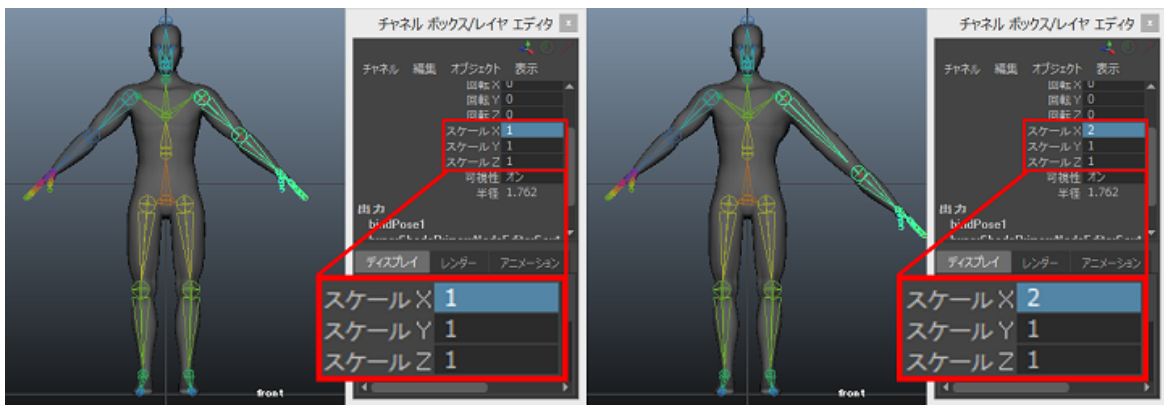


図 2.5 スケール値の変更による変形

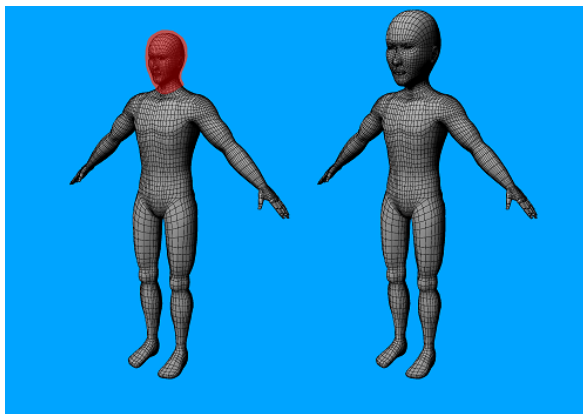


図 2.6 頭の変形部位

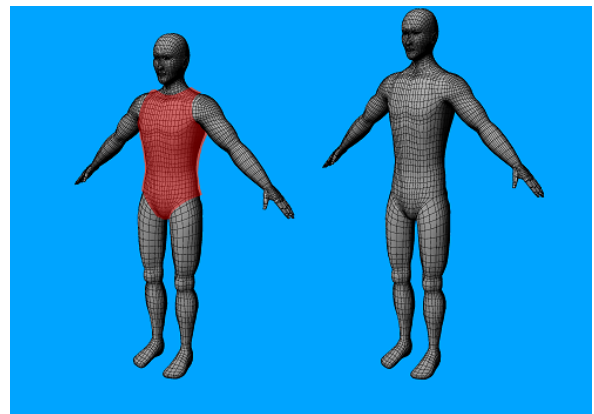


図 2.7 胴体の変形部位

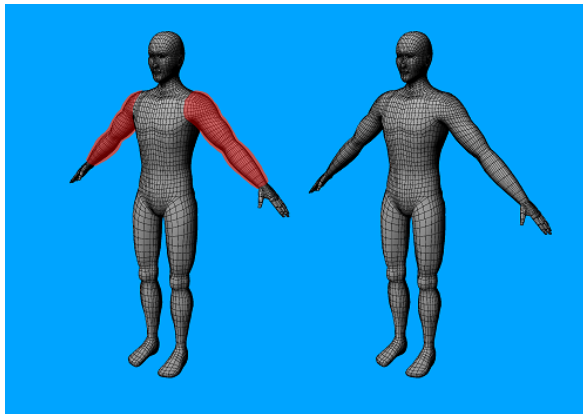


図 2.8 腕の変形部位

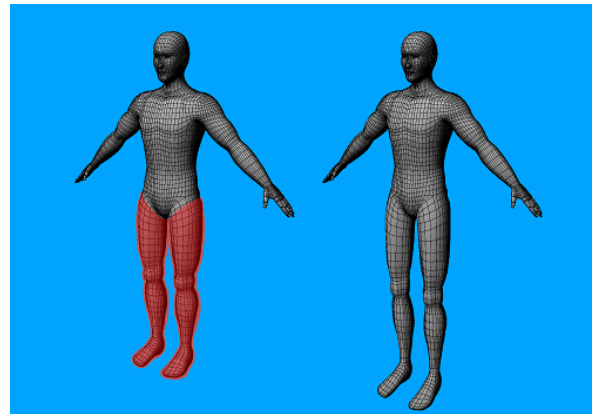


図 2.9 足の変形部位

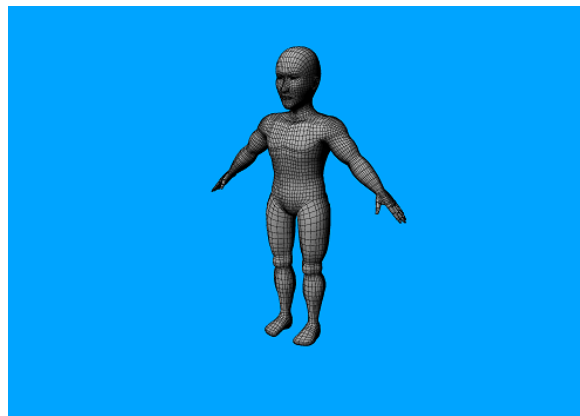


図 2.10 全ての部位を変形した状態

2.4 キャラクターの変形に対する自動車の変形

2.3 節において述べたキャラクターモデルの変形に対して、どのような方針で自動車モデルを変形するかについて述べる。図 2.11 は、適切な運転姿勢を真横から示したものである。図 2.12 は、図 2.11 に対し 2.3 節にて述べたキャラクターモデルの変形による影響を矢印で示したものである。

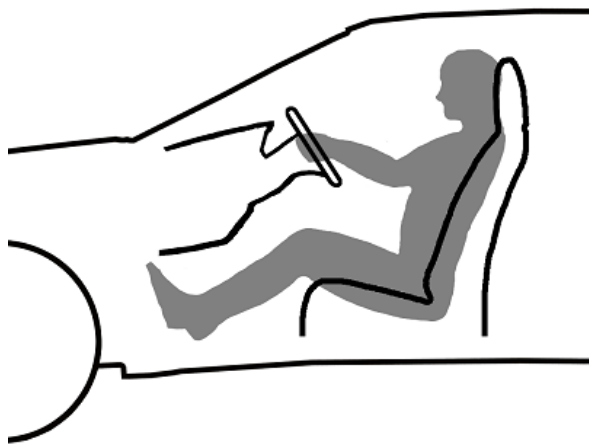


図 2.11 適切な運転姿勢

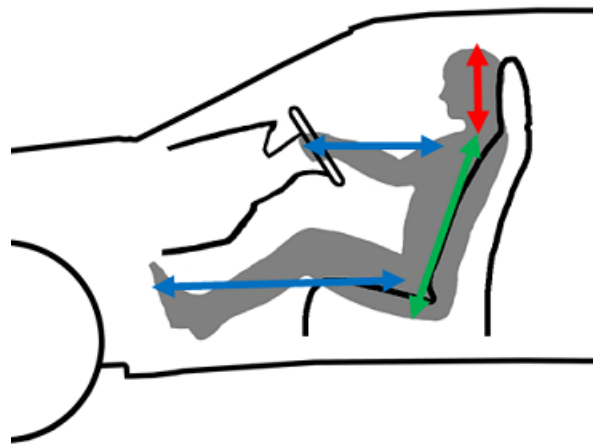


図 2.12 キャラクターの変形による影響

それぞれ照らし合わせると、頭の大きさの変化に対して、自動車のルーフ部 (図 2.13 の赤色で示す各ピラーの根元からルーフトップまでの部分) の高さを変更する必要があり、胴体の長さの変化に対して、自動車の下半部 (図 2.14 の赤色で示す部分) の高さを変更、腕および足の長さの変化に対しては、自動車の全長を変更する必要がある。

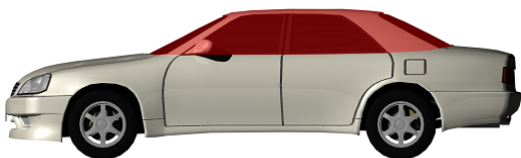


図 2.13 ルーフ部



図 2.14 下半部

そこで本研究では、ルーフ部の高さ、下半部の高さ、全長の 3 つをそれぞれ変形することにした。以下の表 2.1 に対応関係をまとめたものを示す。

表 2.1 変形部位の対応表

キャラクターの変形部位	自動車の変形部位
頭の大きさ	ルーフ部の高さ
胴体の長さ	下半部の高さ
腕、足の長さ	全長

それぞれ対応する部位同士、同じ倍率で変形する。全長は、腕と足の倍率の平均をとることにした。

2.5 自動車モデルの変形

自動車を変形する際タイヤは円形を保たなければならないため、タイヤ周辺の変形は複雑なものになる。その為、目的となる形状を指定できるモーフィングを用いて変形を行うことにした。

2.5.1 モーフィング

3DCG におけるモーフィングとは、変形の元となるソースモデルから、目的とする形状のターゲットモデルとの中間形状を生成する技術である。図 2.15 は立方体から球体への変形をモーフィングにより行ったものである。

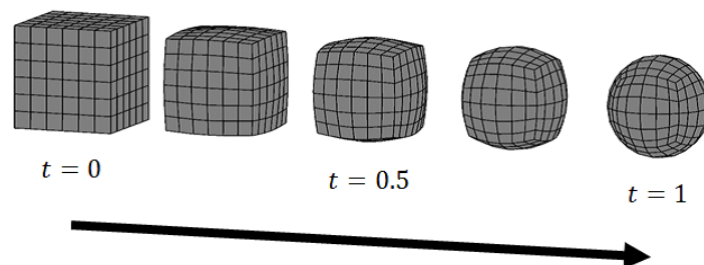


図 2.15 立方体から球体へのモーフィング

基本的なモーフィングでは、各モデルのトポロジーが一致している必要があり、ソースモデルとターゲットモデルで対応した頂点の位置を線形補間することで中間形状を生成する。ソースモデルの頂点座標を \mathbf{S} 、ターゲットモデルの頂点座標 \mathbf{T} とする時、混合比 t における出力形状の頂点座標 \mathbf{P} は次式 (2.1) で求められる。

$$\mathbf{P} = \mathbf{S} + t(\mathbf{T} - \mathbf{S}) \quad (2.1)$$

式 (2.1) による線形補間を行った場合、中間形状の頂点はソースモデルとターゲットモデルの対応する頂点を直線で結んだ最短距離を移動する。図 2.16 は頂点位置の変化を示したものである。

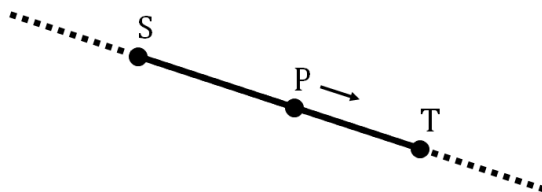


図 2.16 モーフィングでの頂点位置の変化

複数個のモデルと混合する場合、ターゲットモデルの数を n 個としたとき、ソースモデルの頂点座標を \mathbf{S} 、ターゲットモデルの頂点座標を $\mathbf{T}_n = (\mathbf{T}_1, \mathbf{T}_2, \dots, \mathbf{T}_n)$ 、各ターゲットモデルの混合率を $t_n = (t_1, t_2, \dots, t_n)$ とし、出力形状の頂点座標 \mathbf{P} は、

$$\mathbf{P} = \mathbf{S} + t_1(\mathbf{T}_1 - \mathbf{S}) + t_2(\mathbf{T}_2 - \mathbf{S}) + \dots + t_n(\mathbf{T}_n - \mathbf{S}) \quad (2.2)$$

より求められる。

また、混合比を 1 以上や、0 以下にすることで、変形の延長や、逆方向に変形することができる。しかし、ある一定の値以上になると自己交差を起こし、ポリゴンが崩れる恐れがあるため限度はある。

本研究で行う自動車モデルの変形は、タイヤ周辺を除けば各頂点の移動軸が平行であるため、混合比を 0 以下にしても自己交差を起こしにくい。そこで、各変形部位ごとに 1 つのターゲットモ

デルを用意し、拡大と縮小どちらも行うことにした。

2.5.2 円形を維持したタイヤの変形

本研究ではタイヤを円形に保つために、高さ方向(下半部)の変形に合わせてタイヤを拡大、縮小し、前後(全長)の変形の際はタイヤのサイズを維持することにした。上記以外の場合、バンパー、ライト周辺の表面構成に無理が生じるためである。

2.5.3 自動車モデルの変形限界

本研究で定めた方針で自動車モデルを変形する場合、下半部の高さに対する変形と、全長に対する変形には限界が生じる。図 2.17 はフロントタイヤ周辺を示したものである。

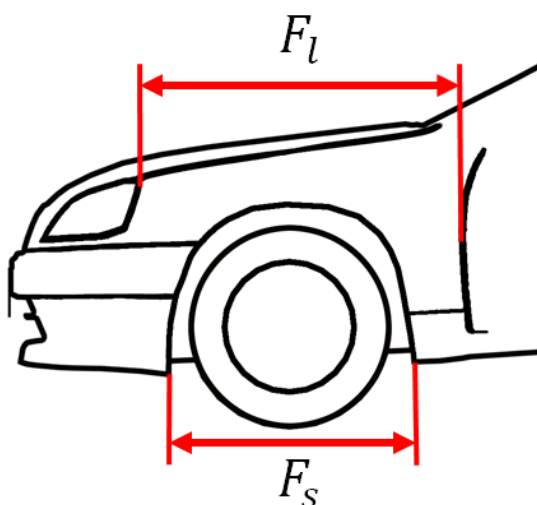


図 2.17 タイヤ周辺の変形限界

タイヤに覆いかぶさるタイヤハウスの端から端までの長さを F_s 、フェンダー部分のヘッドライト先端からドアの付け根までの長さを F_l としたとき、 F_s が F_l を超えてはならないので、下半部高の最大倍率 B_{max} 、全長の最小倍率 L_{min} は、それぞれ式 (2.3)、式 (2.4) のようになる。

$$B_{max} = \frac{F_s}{F_l} \quad (2.3)$$

$$L_{min} = \frac{F_l}{F_s} \quad (2.4)$$

今回使用した自動車モデルでは、 $F_s = 80$ 、 $F_l = 100$ であったため、 $B_{max} = 1.25$ 、 $L_{min} = 0.80$ となった。

ルーフ部高の変形に関しては上方には空間的余裕があり、逆方向への変形も、数値上 0 以下の倍率にならない限り変形可能であることから、大きな倍率を取ることができる。しかし、他部位との差が激しくなるため、今回の実装においてはルーフ部高の最大倍率を $R_{max} = 1.50$ に設定した。

2.5.4 ターゲット用自動車モデル

変形用に用意したターゲットモデルについて示す。今回変形を行う自動車モデルを基に 3 つのターゲットモデルを制作した。図 2.18 はルーフ部の高さを $1.50(B_{max})$ 倍したもの、図 2.19 は下半部の高さを $1.25(R_{max})$ 倍したもの、図 2.20 は全長を $0.80(L_{min})$ 倍したものである。



図 2.18 ルーフ部変形用ターゲットモデル (倍率=1.50)



図 2.19 下半部変形用ターゲットモデル (倍率=1.25)



図 2.20 全長変形用ターゲットモデル (倍率=0.80)

2.6 キャラクターと自動車の連動方法

キャラクターのボーンのスケール値とモーフィングの混合比を関連付けることで、キャラクターモデルの変形に連動して自動車モデルが変形するようにする。モーフィングによる変形では、混合比が0の時に倍率1、混合比1の時にターゲットモデルに適応した倍率をとることになるので、ボーンのスケールが1の時混合比が0、ボーンのスケールがターゲットモデルの倍率と同率になったときに、混合比が1をとるようにしなければならない。これを成り立たせる式は、ボーン

ンのスケール値を V_s 、ターゲットモデルの倍率を C_m とすると

$$t = \begin{cases} \frac{V_s - 1}{|C_m - 1|}, & (C_m \geq 1) \\ -\frac{V_s - 1}{|C_m - 1|}, & (C_m < 1) \end{cases} \quad (2.5)$$

になる。

式 (2.5) から各部位ごとの混合比を求める。頭のスケール値を H_s 、胴体のスケール値を B_s 、腕のスケール値を A_s 、足のスケール値を L_s とすると、ルーフ部混合比 t_r は式 (2.6)、下半部混合比 t_b は式 (2.7)、全長混合比 t_l は式 (2.8) になる。

$$t_r = \frac{H_s - 1}{|R_{max} - 1|} \quad (2.6)$$

$$t_b = \frac{B_s - 1}{|B_{max} - 1|} \quad (2.7)$$

$$t_l = \frac{(A_s - 1) + (L_s - 1)}{-2|L_{min} - 1|} \quad (2.8)$$

第 3 章

考察

本章では、提案手法を用いて自動車モデルを変形した結果を示し、それについての考察を述べる。今回実装するにあたって Autodesk Maya[16] を用いた。

まず図 3.1 に、どの部位も変形を行っていない状態を示す。

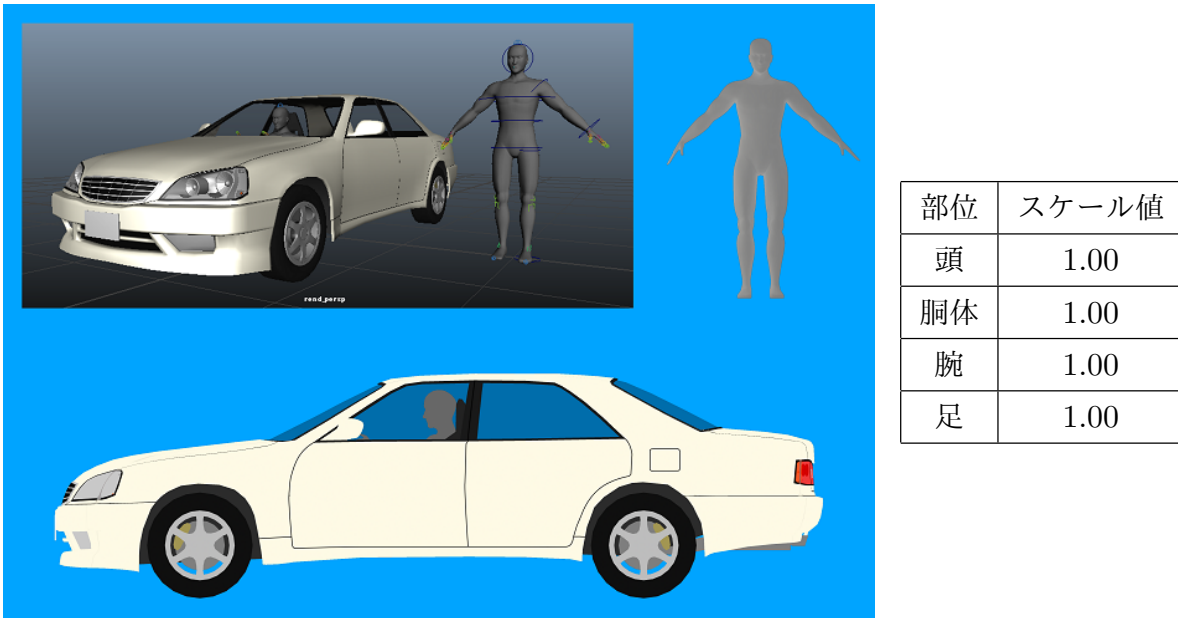
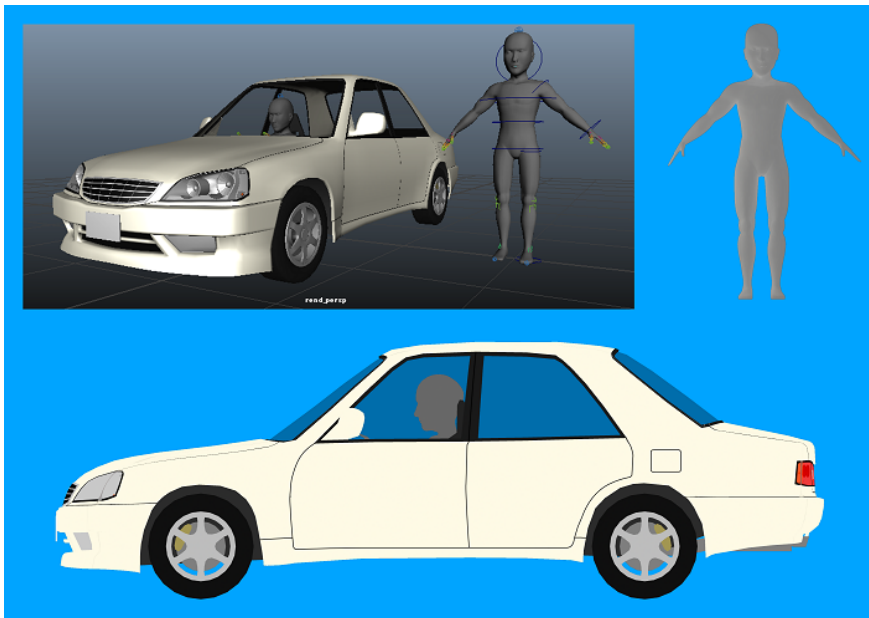


図 3.1 初期状態

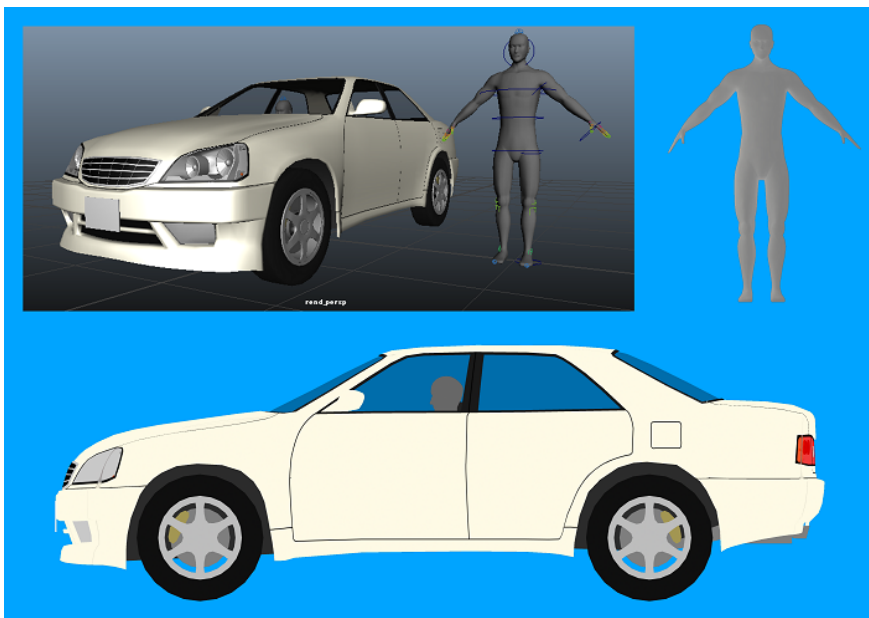
次に図 3.2 に頭のみを、図 3.3 に胴体のみ、図 3.4 に腕と足のみを変形した場合の出力結果を示

す。それぞれ対応する部位に合わせて変形を行っており、キャラクターと自動車干渉していないことが確認できる。



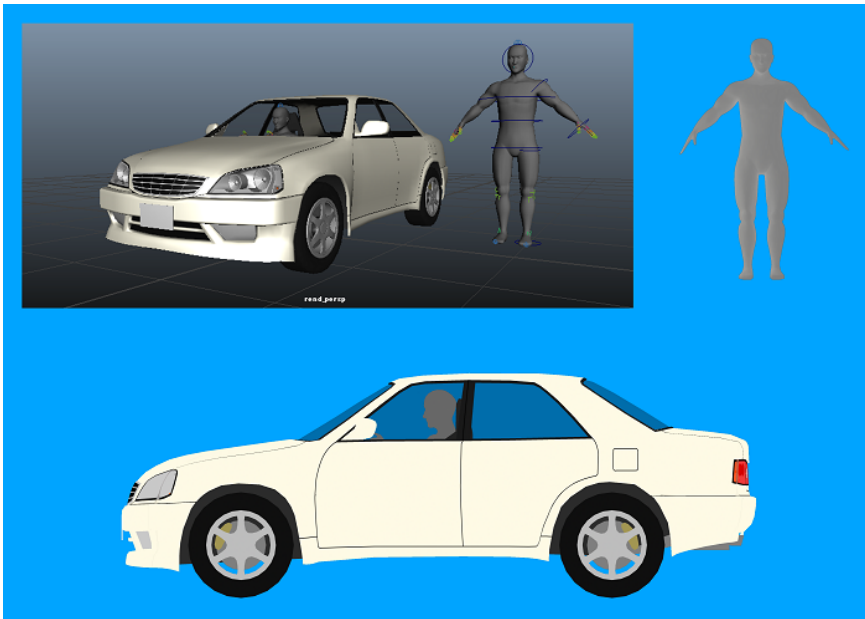
部位	スケール値
頭	1.50
胴体	1.00
腕	1.00
足	1.00

図 3.2 頭部のみ変形



部位	スケール値
頭	1.00
胴体	1.20
腕	1.00
足	1.00

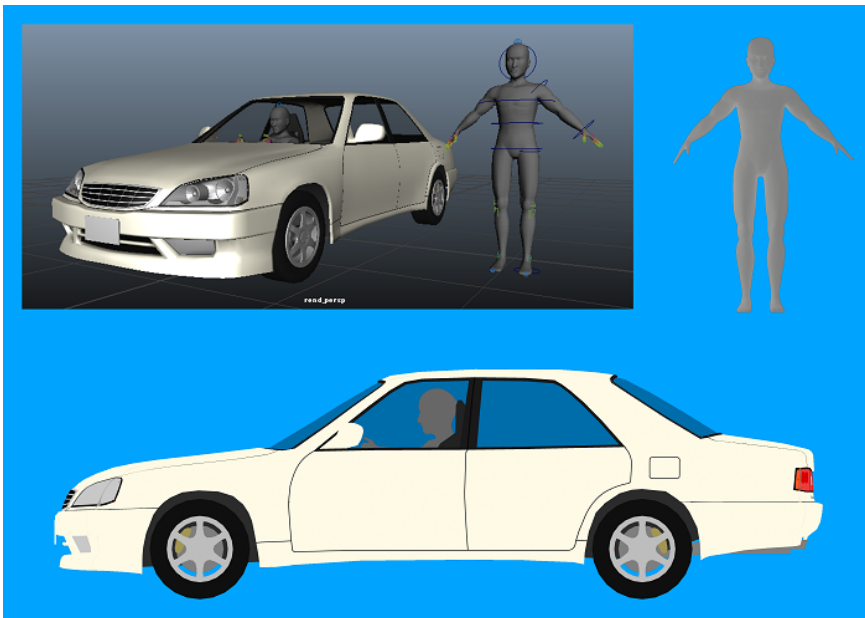
図 3.3 胴体のみ変形



部位	スケール値
頭	1.00
胴体	1.00
腕	0.80
足	0.85

図 3.4 腕と足のみ変形

最後に図 3.5、図 3.6 は、全ての部位変形した場合の出力結果である。複数の部位を同時に変形した場合でも、キャラクターに合わせて自動車に変形していることが確認できる。



部位	スケール値
頭	1.20
胴体	0.95
腕	0.95
足	1.10

図 3.5 全ての部位を変形 1

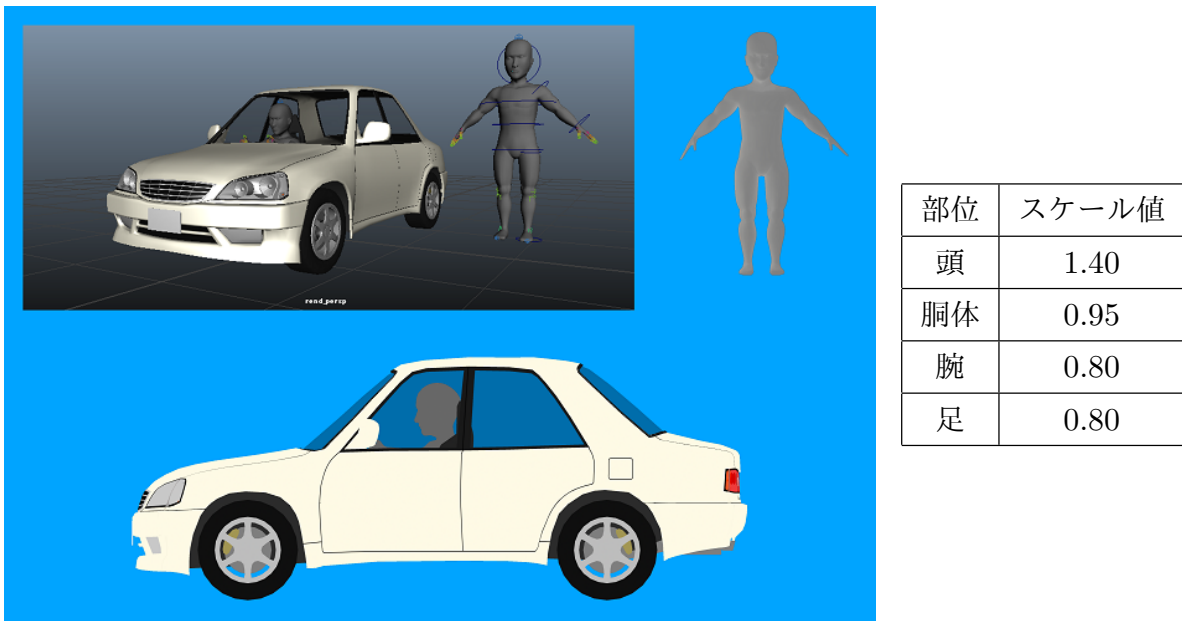


図 3.6 全ての部位を変形 2

本手法を用いることで、キャラクターモデルの変形に合わせて自動車モデルを自動で変形することができた。しかし、特定の混合割合によっては、タイヤ周辺のポリゴンに崩れが見られた。図 3.7 はその様子を示したものになる。これは今回定めた自動車側の変形限界 B_{max} 、 L_{min} が、それぞれの変形に対する限界であるため、下半部と全長どちらも限界値付近の倍率を取ると、 F_s が F_l を超えてしまうからだと考えられる。

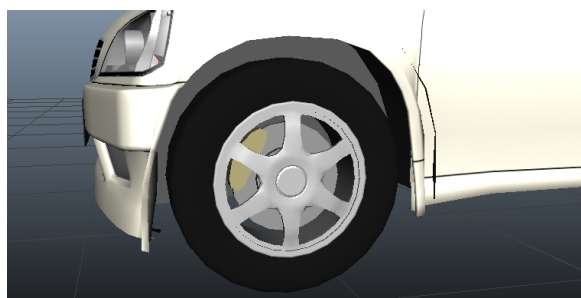


図 3.7 ポリゴンの崩れ (胴体スケール値=1.25、腕スケール値=0.80、足スケール値=0.80)

今回の提案手法では、自動車モデル側の変形限界点が低かったために、キャラクターモデル側も合わせて変形の幅が狭まる形となった。また、図 3.7 で示したポリゴンの崩れを抑えるためにさらに狭まると考えられる。また、本手法を別の自動車モデルに適用した場合に、どのような

結果となるか検証する必要があるが、最近の自動車は、衝突安全性の向上や車内空間を広くとるためにオーバーハングが短い傾向にあり [17]、本手法で行える変形の限界域にはあまり期待できない。現状より変形の幅を広げるには、変形規則とターゲットモデルの追加による本手法の拡張や、タイヤ周辺の変形について再検討する必要がある。その場合、ターゲットモデル数の増加によって動作が重くなることが懸念される。

第 4 章

まとめ

本研究では提案手法を用いて、キャラクターモデルの変形に合わせて自動車モデルを自動変形することで、キャラクターが車内に収まり適切な運転姿勢をとるようにすることができた。しかし、本手法で行える自動車モデルの変形の限界点が低かったために、キャラクターモデル側の変形が狭い範囲に縛られる形になってしまった。また変形に関する条件設定が不十分であったために、ポリゴンに崩れが生じてしまったが、モーフィングによるタイヤ周りの変形の指定はとても有用であった。

今後の展望として、今回の手法ではキャラクターモデルの各変形部位が及ぼす影響から、自動車モデルの変形部位を定め、同じ倍率で変形した結果、変形の限界に当たってしまった。田中ら [18] の研究で変形テンプレートをを用いたデフォルメキャラクターのデザイン原案作成支援システムというものがある。こちら研究では既存のデフォルメキャラクターを解析、分類し変形テンプレートを制作している。これらのテンプレートの様に、特徴的なデフォルメキャラクターの体形を再現したモデルに対して、それぞれに合わせて変形した自動車モデルを用意し、それらをモーフィングによって相互に変形させることで、対応させる部位、および変形倍率を適格に定められるかもしれない。また、村瀬ら [19] の研究や、相馬ら [20] の研究では、3DCG のキャラクターモデル

の再利用を目的として、既存のキャラクターモデルからデフォルメキャラクターへ変形手法を提案している。3DCG モデルは一度制作すればその後も再使用できることもあり、近年のアニメにおいて背景の自動車が 3DCG モデルで表現されることが当たり前になってきている。現在よく使われている 3DCG モデルは実在の自動車に即したモデルが大半であり、現提案手法より自動車モデルをデフォルメできれば、先程のモデルの再利用という点でアニメでの利用も期待できる。

謝辞

本研究を進めるにあたり、多大なるご指導を頂きました渡辺大地講師、阿部雅樹助手に心より感謝致します。また、研究テーマを決めるにあたりご助言いただきました三上浩司教授にも深く感謝致します。

参考文献

- [1] SQUARE ENIX CO., LTD. ドラゴンクエスト X 目覚めし五つの種族 オンライン. <http://www.dqx.jp/>. 参照:2017.01.17.
- [2] 株式会社セガゲームス. PHANTASY STAR ONLINE 2. <http://pso2.jp/>. 参照:2016.12.20.
- [3] Rockstar Games. Grand Theft Auto V. http://www.rockstargames.com/V/ja_jp. 参照:2017.01.17.
- [4] Deep Silver Volition, LLC. Saints Row IV. <http://www.spike-chunsoft.co.jp/saintsrow4/>. 参照:2017.01.17.
- [5] 田中希, 岡本直樹, 茂木龍太, 近藤邦雄, 三上浩司. デフォルメテンプレートを用いた飛行機キャラクター制作のためのデザイン原案作成支援手法. 図学研究, Vol. 46, No. 1, pp. 3–10, 2012.
- [6] Mehmet Ersin Yumer, Siddhartha Chaudhuri, Jessica K Hodgins, and Levent Burak Kara. Semantic shape editing using deformation handles. *ACM Transactions on Graphics (TOG)*, Vol. 34, No. 4, p. 86, 2015.
- [7] Paul J Besl and Neil D McKay. Method for registration of 3-d shapes. In *Robotics-DL*

tentative, pp. 586–606. International Society for Optics and Photonics, 1992.

- [8] Aaron WF Lee, David Dobkin, Wim Sweldens, and Peter Schröder. Multiresolution mesh morphing. In *Proceedings of the 26th annual conference on Computer graphics and interactive techniques*, pp. 343–350. ACM Press/Addison-Wesley Publishing Co., 1999.
- [9] Takashi Michikawa, Takashi Kanai, Masahiro Fujita, and Hiroaki Chiyokura. Multiresolution interpolation meshes. In *Computer Graphics and Applications, 2001. Proceedings. Ninth Pacific Conference on*, pp. 60–69. IEEE, 2001.
- [10] Emil Praun, Wim Sweldens, and Peter Schröder. Consistent mesh parameterizations. In *Proceedings of the 28th annual conference on Computer graphics and interactive techniques*, pp. 179–184. ACM, 2001.
- [11] 川井雅典, 大淵竜太郎. スペクトル分解を用いた 3 次元メッシュのモーフィング. 情報処理学会研究報告グラフィクスと CAD(CG), Vol. 2001, No. 106 (2001-CG-105), pp. 33–38, 2001.
- [12] 川井雅典, 向山明夫, 大淵竜太郎. 形状特徴の詳細度を考慮した 3 次元メッシュモデルの補間変形. 情報処理学会研究報告グラフィクスと CAD(CG), Vol. 2002, No. 16 (2001-CG-106), pp. 31–36, 2002.
- [13] 菰田潔. 正しい運転姿勢とシートベルトで快適ドライブ! <http://drive.nissan.co.jp/USEFUL/0804/>. 参照: 2017.1.18.
- [14] 木村卓ほか (編). デジタル映像表現 -CG によるアニメーション制作- [改訂版], p. 159. CG-ARTS 協会, 2006.
- [15] 築島智之. 第 22 回: ゲームでのスケルトン作成. http://area.autodesk.jp/column/tutorial/maya_atoz/skeleton/. 参照: 2017.1.17.
- [16] Inc Autodesk. Maya — アニメ制作ソフト、モデリングソフト. <http://www.autodesk>.

co.jp/products/maya/overview. 参照: 2016.12.20.

- [17] 株式会社アイアンドシー・クルーズ. 車のオーバーハングの長さはどのように変わってきたか? 衝突安全性との関係は? <http://car-me.jp/articles/4248>. 参照: 2017.1.18.
- [18] 田中希, 茂木龍太, 三上浩司, 近藤邦雄. 変形テンプレートを用いたデフォルメキャラクターのデザイン原案作成支援システムの開発. 映像情報メディア学会技術報告, Vol. 36, No. 16, pp. 61–64, 2012.
- [19] 村瀬健, 茂木龍太, 兼松祥央, 三上浩司, 近藤邦雄. 2 頭身キャラクター制作支援のための 3 次元デフォルメシステムの提案. 映像情報メディア学会技術報告, Vol. 38, No. 16, pp. 169–170, 2014.
- [20] 相馬大作, 高井昌彰, 高井那美. テンプレートを用いた 3d キャラクターのデフォルメーションモデリング. 情報処理学会研究報告グラフィクスと CAD(CG), Vol. 2006, No. 76 (2006-CG-123), pp. 37–41, 2006.