

( さきがけ - 様式 1 )

## 個人型研究（さきがけタイプ） 研究提案書

|                        |                                                                                                                                                                                                   |                                                                                                     |                                              |
|------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------|
| 研究課題名<br>(20 字程度)      | 感覚運動統合がなされた自律バーチャルクリーチャーの創生                                                                                                                                                                       |                                                                                                     |                                              |
| 応募研究領域                 | デジタルメディア作品の制作を支援する基盤技術                                                                                                                                                                            |                                                                                                     |                                              |
| フリガナ<br>個人研究者氏名        | ハセガワショウイチ<br>長谷川 晶一                                                                                                                                                                               | 生年月日<br>(西暦)                                                                                        | 1974 年 6 月 10 日 (29 歳)<br>(2004 年 4 月 1 日現在) |
| 所属機関                   | フリガナ<br>所在地                                                                                                                                                                                       | 〒226-8503<br>神奈川県横浜市緑区長津田町 4259<br>Tel:045-924-5050 Fax:045-924-5016 E-mail:hase@hi.pi.titech.ac.jp |                                              |
|                        | 機関名<br>所属部署名                                                                                                                                                                                      | 東京工業大学<br>精密工学研究所                                                                                   | 役職名<br>助手                                    |
| 連絡先                    | <b>所属機関</b> ・ <b>その他</b> (通常連絡を受ける場所を で囲んで下さい。)<br><br>その他の場合には、その連絡先を記入してください。<br>〒 住所<br>Tel: Fax: E-mail:<br><br>緊急の連絡をする場合もありますので、差し支えなければご記入下さい。<br>自宅 Tel:03-3786-5650 携帯 Tel:090-6036-8520 |                                                                                                     |                                              |
| 学歴<br>(大学卒業以降)         | (記入例) 平成 9 年 東京工業大学工学部卒業<br>平成 11 年 東京工業大学大学院総合理工学研究科修士課程<br>知能システム科学専攻修了<br><br>平成 11 年 修士(工学)(東京工業大学) 取得                                                                                        |                                                                                                     |                                              |
| 研究歴<br>(主な職歴と<br>研究内容) | (記入例)<br>平成 11 年～12 年 ソニー株式会社<br>平成 12 年～16 年 東京工業大学精密工学研究所助手<br>バーチャルリアリティ・ハプティックインタフェース・<br>物理ベースモデリング・バーチャルヒューマンについて研究                                                                         |                                                                                                     |                                              |

## 研究課題要旨

研究課題名(20字程度)

感覚運動統合がなされた自律バーチャルクリーチャーの創生

応募研究領域

デジタルメディア作品の制作を支援する基盤技術

氏名

長谷川晶一

所属機関・役職

東京工業大学精密工学研究所助手

研究課題要旨

( 400 字程度で「研究構想」( 様式 3 ) の要点をまとめてください。背景、提案者自らの研究の発想、コンセプト、狙い等を明確に記述して下さい。また、将来展望についての考えをお書き下さい。 )

本研究は、人間や動物(クリーチャー)の感覚・運動系をモデル化し、感覚入力に基づく自然な動きを作り出す。これにより、自然な動作を簡単な記述からリアルタイムに生成することを目的とする。

近年のゲーム開発では、3DCG によるリアルな映像表現にあわせるため、クリーチャーの動きの作りこみに膨大な手間と時間がかけている。物理シミュレーションと最適化によって自然な動きを作る技術が開発されているが、視線の動きや反射的な動作は自動的に作り出せずリアリティが低い。このため、多くの商用ゲームでは、モーションキャプチャデータの切り替えによるモーション生成手法が用いられている。本研究はこれを解消し、クリエイターが本来のゲーム開発に専念できるようにし、ゲーム産業の発展に寄与する。

将来的には、記憶や感情をモデル化し、情動や体調の変化に応じた動作生成や行動生成も行いたい。さらに、記号・言語的な処理と結びつけ、言語と非言語的行動が相互に影響しあうようなバーチャルヒューマンとその社会を構築し、高度なバーチャル社会そのものを楽しむ新たなエンタテインメントの創造にも繋げたい。

提案内容に関するキーワード

( 研究課題を理解する上で有効なものについて、巻末のキーワード表から最も近いと思われるもの 5 つまで選び、“番号”と“キーワード”をご記入下さい。キーワード表に該当するものがない場合は、頭に“\*”をつけ、独自にキーワードを記入してください。 )

No.51 モデル化

No.61 バーチャルリアリティ

No.62 エージェント

No.11 脳・神経

## 研究構想

( 必要に応じて図等を用いていただいても結構です。 )

具体的な背景 ( 当該研究構想に至った経緯、ご自身のこれまでの研究との関連等 )、研究の独創性・新規性および類似研究との比較 ( 関連分野の国内外の研究動向を含む )、研究内容 ( 目的・必要性を含む ) とその進め方 ( 具体的な研究項目とその進め方、目的・目標達成に当たって予想される問題点とその解決策等 ) を項目毎に整理し、A 4 用紙 5 枚程度で記述して下さい。

### 具体的な背景

**ゲーム製作技術の多くは、複雑で奥行きのあるバーチャル世界を記述する際に発生するフレーム問題を解決してきたといえる。**たとえば、3DCG 技術が用いられるまでは、街路を歩き回るシーンを作るには、様々な視点からの画像を用意しなければならず、自由に歩き回るためには膨大な画像が必要となった。3DCG モデルはこれを効率的に記述したといえる。また同様に、物理シミュレーション技術は物体の運動について効率的な記述を与えたといえる。

ヒューマンインタフェースの発達により、ユーザはバーチャル世界とより簡単に高度な情報をやりとりできるようになるが、バーチャル世界が入力に応じて多様な反応をするためには、前述のフレーム問題を解決しなければならない。提案者は、1997 年から力覚インタフェースを持つゲームシステム[9][10]を開発してきた。これらの開発を通じて、物体運動の記述のために物理シミュレーションが必要であることを実感してきた。2003 年に力覚インタフェースが求める高度なリアルタイム性を持つ物理シミュレータ[1][4]を提案・開発してからは、物体の運動を容易に記述できるようになり、様々なゲームを短時間で製作できるようになった[11][12]。

しかし、**動物、人間などのキャラクタ(クリーチャー)の動きを作るためには、依然として多くの手間とプログラムが必要となる。**これはクリーチャーが感覚・運動系を持ち、環境に応じた行動をとるため物理法則だけでは行動を記述できないからである。ロボット制御技術によって、バーチャルヒューマンを指示通りに歩かせたり、指定の物体を掴むなどの動作を生成したりすることは実現されている。しかし単に移動、把持といった動作目的だけから動作を生成しても、生き物らしい運動にはならない。

これは、クリーチャーは様々な感覚からの入力を統合して外界を認識し、認識に基づいて行動するため、目的動作以外にも様々な動作するからである。たとえば、手で物を掴み移動させるときは、まず視線が対象物に向かい、次に手が物を掴み、視線が移動目標に移り、手が目標位置に移動する(図 1)。

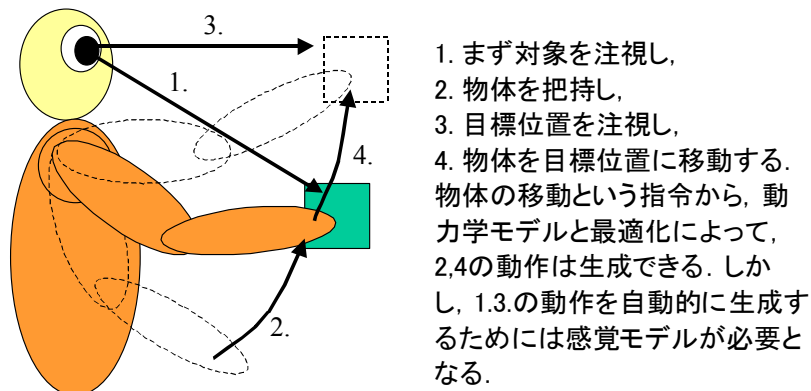


図 1 物体を移動する際の視線と手の動き

また、手が予想外のものに触れた際に反射的に手を引き戻す、暗い場所に移動すると目が慣れるまで歩速が低下する、歩行時に躓くと足元を視認する、大きな音がすると発生源を確かめるために振り向く、といった動作が環境によって引き起こされる。

提案者らは、自然な反応を実現するため、モーションキャプチャデータの切り替えによる動作生成を試みた[13]。モーションキャプチャは、目的動作と感覚が起こす動作をまとめて取得するので自然な反応が実現できる。しかし、様々な環境で様々な動作を実現するためには、膨大なモーションデータが必要となってしまう。このため、現在のゲームでは、キャラクタの動きがいくつかのパターンに限定されている。

本研究はクリーチャーの感覚・運動系をモデル化し、感覚入力に基づく自然な動きを作り出す。これにより、自然な動作を簡単な記述からリアルタイムに生成することを目的とする。

### 研究の独創性・新規性および類似研究との比較

本研究は、物理法則を持つバーチャル世界で、クリーチャーの動作を感覚運動系のモデルを用いて生成する点に独創性がある。これにより環境とクリーチャーが相互に作用し、自然な動作が生成できる。

これまで、自然な動作の生成のために感覚系と運動系を結びつける試みはなされておらず、バーチャルクリーチャーの自律的で自然な動作の生成は実現していない。近年バーチャルヒューマンの研究が盛んに行われているが、本研究の扱う問題は人間と動物に共通するので、クリーチャーという言葉を用いた。

人間の動きを作り出す研究としては、Yamane ら[14]が、人体の動力学モデルを考慮したモーション生成を提案している。また、Natural Motion 社は、動力学モデルを考慮したモーション生成ソフトウェア[15]を製品化している。これらは指示通りの自然なモーションを作るが、感覚と運動の統合が出来ていない。このため、たとえば、物体を拾うとき自然な視線の動きが生成できない。

Funge ら[16] は環境の認識に基づいて行動するバーチャルクリーチャーを構築してき

た．しかし，Funge のクリーチャーの記述は対象ごとになされており煩雑である．また，物理シミュレーションが不十分であり，クリーチャーの自然な動作が生成できていない．Gutierrez ら[17]は 感覚系を持ち反射動作をするバーチャルヒューマンを提案しているが，物理シミュレーションを行っていないため，多様な反応を作り出すことができない．

言語による指示に基づいた動作生成の研究に新山らの傀儡[18]があるが，感覚入力に基づく動作生成はなされていない．

## 研究内容とその進め方

### 目的

本研究は人間や動物(クリーチャー)の感覚・運動系をモデル化し，感覚入力に基づいた自然な動きを作り出す．これにより，自然な動作を簡単な記述からリアルタイムに自動的に生成することを目的とする．これは，感覚運動統合がなされたバーチャルクリーチャーを創生することになる．

### 必要性

ヒューマンインタフェースの発達により，ユーザはバーチャル世界とより簡単に高度な情報をやりとりできるようになった．また 3DCG 技術によりバーチャルクリーチャーは，高いリアリティを持つ映像で表現されるようになった．さらに，物理シミュレーションによって，物体の運動のリアリティも向上した．これらに対して，クリーチャーの動きを作り出す技術は，動力学モデルと最適化による動作生成にとどまっており，リアリティのバランスが取れていない．

高いリアリティを求められるゲームなどでは，モーションキャプチャデータをつなぎ合わせることで，バーチャルクリーチャーの動きを生成している．このため，**現在のバーチャルクリーチャーは，あらかじめ用意したモーション以外の行動をとることができない．**

このことが，**面白いゲームを作るうえで重い足かせ**となっている．実際，ゲーム会社の技術者は，3DCG 導入によって開発の手間が大幅に増したという．これは，リアリティのバランスをとるために，多量のモーションデータを用意し，プログラムを作りこまなければならないからである．また，日本のゲーム技術者の多くは物理シミュレーション技術を取り入れようとしない．**物理シミュレーション技術だけでは，現在一番手間がかかるクリーチャーの動作生成作業は簡略化しないと直感的に分かっているようだ．**

本研究はこの足かせをはずし，3DCG 導入以降続いているリアリティのアンバランスを解消することで，ゲーム産業の発展に寄与する．

### 研究方法

#### バーチャルクリーチャーの構成

バーチャルクリーチャーは，感覚系と運動系を通して環境と相互作用しながら自律的に行動する．ゲーム開発者はクリーチャーに指示を出し行動を制御する．またバーチャル世界を直接操作することもある．ユーザはクリーチャーを含むバーチャル世界とインタラク

ションする(図 2)。

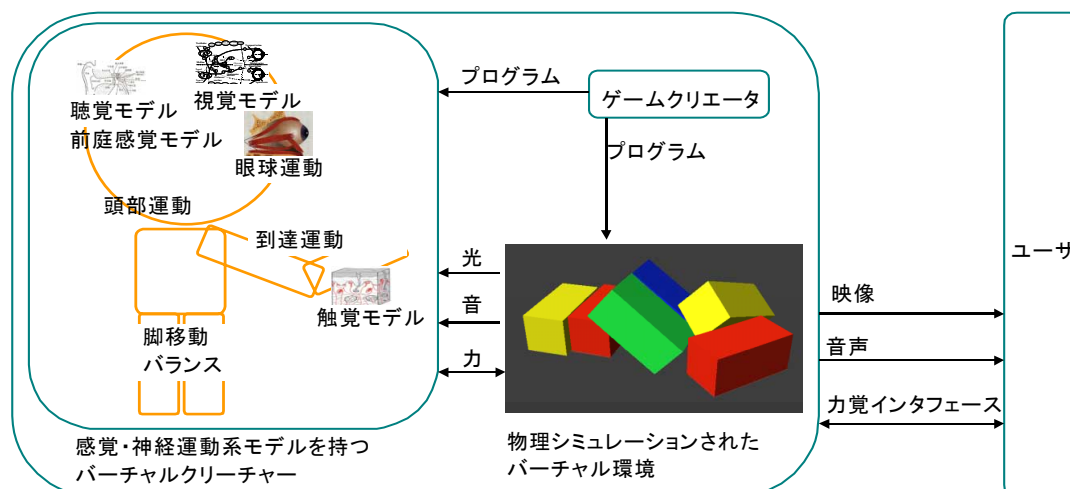


図 2 バーチャルクリーチャー・環境とユーザ

以下，環境，感覚系，運動系の構築法，クリーチャーへの指示方法，インタラクション方法と評価法について説明する．

### 物理シミュレータ

クリーチャーの体とクリーチャーが活動するバーチャル環境は，物理シミュレータ上に構築する．物理シミュレータには提案者らが開発したオープンソースの物理シミュレータ Springhead[11](図 3)を用いる．Springhead は関節を持つ物体，自由物体両方を非常に高速にシミュレーションできる上，コンパクトで使いやすいフレームワークを提供するので，高い開発効率が期待できる．

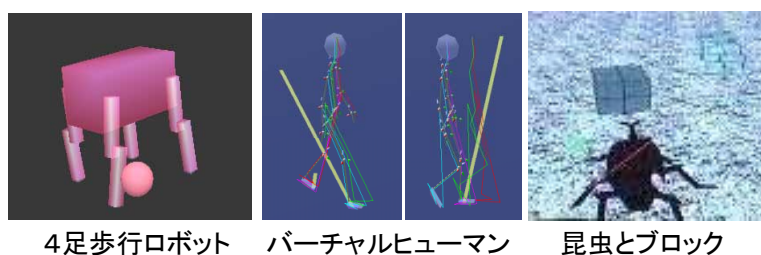


図 3 Springhead によるシミュレーション

### 感覚系のモデル化

クリーチャーは，視覚・聴覚・触覚系のモデルを持つ．これらのモデルは，実際に画像処理のような感覚入力の認識は行わない．バーチャル世界での視覚は画像ではなく，物体モデルを直接入力とすることができるからである．ただし，対象の視認しやすさは動作生成に影響を与えるので，色・形・大きさ・距離などから視認しやすさを評価し，これに基づいて注視の対象となるか判定を行う．

感覚と運動の統合を考える場合，対象に対する注意が重要な役割を果たす．感覚入力は

注意対象の変更を引き起こす．また注意対象を選ぶことで，眼球や頭部の運動が引き起こされ，感覚入力に変化する．たとえば，視覚モデルは視野内の物体から注視対象を選択し，対象物とその3次元位置・姿勢を出力する．この情報は眼球運動系，頭部運動系に伝達され，運動を引き起こす．聴覚モデルは音源位置・音圧・音色の数値をバーチャル世界の記述から求めて出力する．この情報は視覚モデルの注視物体の選択に影響を与える．

物体を掴み移動する作業では，まず対象物体が注意対象となり，注視対象となる．次に手が到達運動を行い，物体を把持する．手が物体を把持してからは，触覚が物体を捕らえるので注視されなくなる．しかし，手から物体が滑り落ちれば，その時点で手先とその下方に注意と注視が移る．このように感覚運動系間の注意対象の受け渡しが高いリアリティを持つ自然な動作を生成する．

### **眼球運動・頭部運動**

眼球運動系はよく研究されており，急速眼球運動，滑動性追跡眼球運動，前庭動眼反射などのモデルが提案されている．また，眼球の運動制御神経系の数理モデルを構築し，ロボットに適用した研究[19]がある．そこでこれらのモデルを利用して眼球運動を生成する．また，眼球運動と頭部運動の関係もよく研究されているので，これらを踏まえて頭部運動モデルを構築する．

### **到達運動**

人の腕の運動制御については，トルク変化最小モデルなどいくつかのモデルが提案されている．これらのモデルは最適化の解として軌跡を与えるが，ゲームに適用するためにはリアルタイム性が必要となる．そこで，トルク変化最小モデルが生成する軌道に近い軌道をリアルタイムに生成する手法を開発する．現在，PD 制御とその粘弾性係数の動的な変更によって動作を生成することを検討している．

### **歩行動作**

歩行など脚による移動動作は，到達運動のように簡単な制御では生成できない．そこで，移動動作については専用の動作生成システムを用意する．このシステムは，動作対象や目標の位置などから，体の位置・姿勢についての目標を作り，体の状態を目標に近づけるように脚による移動を行う．

また，脚移動と上体の動作の組み合わせによって，全身のバランスが崩れる可能性がある．クリーチャーは多くの自由度をもつので，このような場合目的動作に不要な自由度を用いて全身のバランスを保つと考えられる．これには，2足歩行ロボットなどに用いられているリアルタイム軌道計画補正技術が利用できると考えている．

### **バーチャルクリーチャーへの指示・関与**

バーチャルクリーチャーへの指示・関与は様々な形式が考えられるが，物体を掴み移動させる場合，クリーチャーに与えられる指示は，動作，対象，目標の3つが必要となる．この3つから図1のような動作が生成できる．

注意対象の選択方法の変更，感覚のマスキングなどを行うこともできるので，多様な動

作が直感的な指示・関与方法で生成できる．

### **クリーチャーとのインタラクション**

バーチャル世界と直接的なインタラクションができると，ユーザはバーチャル世界やクリーチャーの振る舞いをより良く把握できる．特に力覚インタフェースは，3 次元の位置と力を入力することができるため，バーチャルクリーチャーの視覚・触覚を直接刺激することや，対象物を取り上げるなどの介入を容易に実現する．このような環境は，クリーチャーの動作の評価にも有効だと考えられる．

提案者は，これまで力覚インタフェースを用いて物理シミュレータのリアリティや安定性を確かめながら開発してきた．同じ手法をバーチャルクリーチャーについても適応し，リアリティの高い，安定したバーチャルクリーチャーを創生する．



期待される研究成果とそのインパクト(将来展望、知的資産の形成、新技術の創製といった将来的な社会への貢献の内容等)について、A 4 用紙半枚～1 枚程度で記述して下さい。

**本研究により、ゲーム世界のクリーチャー(キャラクタ)が自然な動きで自由に行動するようになる。**

現在日本のゲーム会社は物理シミュレータを導入していないが、これは物理シミュレータだけでは、自然なキャラクタの動きが実現できないためだと考えられるので、**クリーチャーの動きを作り出す技術と共に物理シミュレータも一気に広まることが期待できる。**

また、近年のゲーム開発では、キャラクタを動かすために膨大な手間がかかるようになってしまい、キャラクタの動きがゲームシステムやシナリオに拘束を与えてしまっている。本研究はこれを解消し、**ゲーム製作技術がゲームシステムやシナリオに負荷を掛けることをなくす。**これによりゲーム開発者が**ゲーム本来の面白さの追求に注力**できるようになり、面白いゲームが次々に開発されることが期待できる。

将来的には、記憶や感情をモデル化し、情動や体調の変化に応じた動作生成や行動生成を行うことや、感情を操作することで目的の動作を生成することなども可能になり、より自立的なバーチャルクリーチャーを作り出すことが期待できる。さらに、認識・記憶・推論といった記号・言語的な処理と結びつけ、会話などの言語を用いた行動と非言語的行動が相互に影響しあうようなバーチャルヒューマンを作ることができれば、高度なバーチャル社会そのものを楽しむような、新しいエンタテインメントの創造にも繋がる。