

Title	Design of altered cognition with reshaped bodies : 身体変形による認知変化のデザイン
Sub Title	Design of altered cognition with reshaped bodies
Author	代田, 兼一郎(Shirota, Ken'ichirō) 南澤, 孝太(Minamizawa, Kōta)
Publisher	慶應義塾大学大学院メディアデザイン研究科
Publication year	2019
Jtitle	
JaLC DOI	
Abstract	
Notes	修士学位論文. 2019年度メディアデザイン学 第764号
Genre	Thesis or Dissertation
URL	https://koara.lib.keio.ac.jp/xoonips/modules/xoonips/detail.php?koara_id=KO40001001-00002019-0764

慶應義塾大学学術情報リポジトリ(KOARA)に掲載されているコンテンツの著作権は、それぞれの著作者、学会または出版社/発行者に帰属し、その権利は著作権法によって保護されています。引用にあたっては、著作権法を遵守してご利用ください。

The copyrights of content available on the KeiO Associated Repository of Academic resources (KOARA) belong to the respective authors, academic societies, or publishers/issuers, and these rights are protected by the Japanese Copyright Act. When quoting the content, please follow the Japanese copyright act.

修士論文 2019 年度

Design of Altered Cognition

with Reshaped Bodies

～身体変形による認知変化のデザイン～



慶應義塾大学
大学院メディアデザイン研究科

代田 兼一郎

本論文は慶應義塾大学大学院メディアデザイン研究科に
修士(メディアデザイン学)授与の要件として提出した修士論文である。

代田 兼一郎

研究指導委員会：

南澤 孝太 教授 (主指導教員)

奥出 直人 教授 (副指導教員)

Roshan Peiris 訪問講師 (副指導教員)

論文審査委員会：

南澤 孝太 教授 (主査)

奥出 直人 教授 (副査)

Roshan Peiris 訪問講師 (副査、Rochester Institute of Technology)

修士論文 2019年度

Design of Altered Cognition

with Reshaped Bodies

～身体変形による認知変化のデザイン～

カテゴリ：デザイン

論文要旨

現在、私たちが生活する世界には、現実世界におけるリアリティだけでなく、バーチャルリアリティやオーグメンテッドリアリティなど、様々なリアリティが存在している。また、身体拡張の分野では、ヘッドマウントディスプレイや第3の腕などを装着することによって、能力を拡張する研究が進んでいるが、その拡張された身体によって、世界に対する認知がどのように変化するかについては、まだ十分に議論されていない現状がある。本研究では、人間の身体拡張を目指すスタンスとして、ボディパーツそのものを変形させる。それによってまず、現実空間におけるリアリティを歪ませることで、新しいリアリティを生み出すことに貢献する。また、身体部位の変形によるボディスキーマの変容を捉えつつ、変容した身体による認知の変化までを観察する。さらに外部システムを介すのではなく「身体部位を変形させることによって、脳を変え、認知を変える」という点で、人間に対する新しい哲学的解釈も示唆する。また、身体的能力自体を最大限に引き出すことを起点にシステムを考えることで、道具の小型化や身体化の向上に貢献する考えも示す。それゆえ本論文では「身体全体に存在するボディパーツを変形させることによって、認知を変化させるデザイン手法」を提案し、その中でまずは「鼻と耳」を変形させることで、どのように身体が変容し、環境に対する認知が変化するのかを検証していく。加えて、当コンセプトがどのように活用できるのか、まずはエンターテインメント表現を例にとり、その応用展開の可能性を示す。

キーワード：

身体認知, 身体変容, 身体拡張, ボディスキーマ, 知覚, エンターテインメント表現

慶應義塾大学大学院メディアデザイン研究科

代田 兼一郎

Abstract of Master's Thesis of Academic Year 2019

Design of Altered Cognition with Reshaped Bodies

Category: Design

Summary

In the present day, the reality we live in is not limited to the real world alone but different realities as well, such as virtual and augmented realities. A considerable amount of research in human augmentation, looking at how to expand the body's ability by wearing a head-mounted display or a third arm, has also been explored. However, the effect of body expansion towards our cognition of the world has not been sufficiently discussed. In this study, we proposed a design method of reshaping body parts for human augmentation. We hypothesized that by manipulating body information in the real world, we could alter our cognition, which then allowed us to expand the body's natural potential by working with its existing properties instead of adding excessive elements. Furthermore, this method could allude to potentially a new philosophical interpretation of augmented humans, suggesting that we are able to alter cognition by reshaping body parts rather than needing to rely on an external device. To prove the concept, we conducted two user studies by reshaping two body parts : (1) nose and (2) ear and evaluated how they affected users' body schema and cognition of the environment. Our findings showed that reshaping body parts led to a transformation in our body schema, hence resulted in cognition change. Finally, we used the concept as a new form of entertainment and discussed other possible applications.

Keywords:

Embodied Cognition, Actuating Human Body, Human Augmentation, Body Schema, Perception, Entertainment

Keio University Graduate School of Media Design

Kenichiro Shirota

目 次

第1章 序論	1
1.1. 本研究の背景	1
1.2. 身体変形型ナチュラルボーン・サイボーグ	2
1.3. 本研究における認知の定義と身体変容を実現する手法	3
1.4. 本研究でフォーカスするボディパーツ	3
1.5. 本論文の構成	4
第2章 Literature Review	5
2.1. 脳が擁するボディスキーマの高い可塑性	5
2.1.1 道具の身体化	6
2.1.2 身体を変形させることによるボディスキーマの変容	8
2.1.3 視覚的アプローチを活用したボディスキーマや知覚の変化	10
2.2. 身体および感覚の変容がもたらす空間知覚の変化	11
2.3. 身体変容がもたらす心や行動の変化と、表現拡張の可能性	12
2.4. 第2章のまとめ	15
第3章 デザインコンセプト	17
3.1. ボディパーツの変形を通じた、認知変化のデザイン	17
3.2. 主要感覚器の変形と認知変化およびユースケース	20
3.3. 第3章まとめ	27
第4章 身体変容による認知変化の検証	28
4.1. 「鼻」についての実験	28
4.1.1 Altered Nose System	29

4.1.2	実験1:「鼻伸び感」の実験デザイン	31
4.1.3	実験1:「鼻伸び感」の実験手順	32
4.1.4	実験1:「鼻伸び感」の実験結果	33
4.1.5	実験1:「鼻伸び感」の考察	35
4.1.6	実験2:「伸びた鼻による、匂い源の認識位置」	36
4.1.7	実験2:「伸びた鼻による、匂い源の認識位置」の実験デザイン	36
4.1.8	実験2:「伸びた鼻による、匂い源の認識位置」の実験器具	37
4.1.9	実験2:「伸びた鼻による、匂い源の認識位置」の実験手順	37
4.1.10	実験2:「伸びた鼻による、匂い源の認識位置」の実験結果	38
4.1.11	実験2:「伸びた鼻による、匂い源の認識位置」の考察	38
4.2.	「耳介」についての実験	40
4.2.1	Altered Pinna System	40
4.2.2	実験1:「耳介位置の変化」の実験デザイン	42
4.2.3	実験1:「耳介位置の変化」の実験手順	42
4.2.4	実験1:「耳介位置の変化」の実験結果	43
4.2.5	実験1:「耳介位置の変化」の考察	43
4.2.6	実験2:「変形した耳介による、音源の認識位置」の実験デザイン	44
4.2.7	実験2:「変形した耳介による、音源の認識位置」の実験器具	45
4.2.8	実験2:「変形した耳介による、音源の認識位置」の実験手順	45
4.2.9	実験2:「変形した耳介による、音源の認識位置」の実験結果	45
4.2.10	実験2:「変形した耳介による、音源の認識位置」の考察	47
4.3.	第4章まとめ	48
第5章	身体変容がもたらす表現展開への可能性	50
5.1.	鼻伸び感を応用した表現 PINOSE	50
5.1.1	PINOSE を構成するデバイス	50
5.1.2	PINOSE コンテンツ	52
5.1.3	PINOSE 展示	53

5.1.4 PINOSE 考察	53
5.2. 耳介の開閉を応用した表現 ear dance	55
5.2.1 ear dance を実現するデバイス	55
5.2.2 ear dance コンテンツ&展示	56
5.2.3 ear dance 考察	57
5.2.4 5章まとめ	58
第6章 結論	59
6.1. 最後に	61
謝辞	63
参考文献	64
関連発表および研究業績	71

目次

2.1	ボディスキーマの変容を捉えた実験例 [1]	5
2.2	道具による身体領域の拡張 [2]	7
2.3	The Third Thumb [3]	8
2.4	指をひっぱることによるボディスキーマの変容 [4]	9
2.5	Perception-based Shape Display [5]	11
2.6	Unlimited Corridor [6]	12
2.7	身体変容がもたらす心の変化 [7]	13
2.8	「空間を知覚する服」 echo [8]	14
3.1	本研究で着目する身体を構成するボディパーツ	20
3.2	鼻の変形例	21
3.3	外耳の変形例	22
3.4	目の変形例	23
3.5	舌や唇の変形例	24
3.6	髪の毛の変形例	25
3.7	足の変形例	26
4.1	鼻をひっぱり変形させる	28
4.2	鼻を伸ばす実験のために提示する刺激	29
4.3	Altered Nose System	30
4.4	Altered Nose System Structure	31
4.5	「鼻伸び感」実験の様子	33
4.6	映像の有無、ひっぱりの有無により知覚された鼻伸び感の平均	34
4.7	鼻伸び感に影響する条件の全組み合わせによる鼻伸び感の平均	35

4.8	匂い源の認識位置実験の様子	36
4.9	各コンディションで認識された匂い源の位置認識の平均	38
4.10	耳介を開閉させる	40
4.11	Altered Pinna System	41
4.12	Altered Pinna System 全体像	41
4.13	Altered Pinna System による耳介の開閉	41
4.14	各条件における耳介の開閉角度	42
4.15	耳介位置に対する知覚精度	43
4.16	「音源位置の認識」実験の様子	44
4.17	スピーカー別音源認識位置の変化	46
4.18	通常時の音源認識位置	47
4.19	左耳 100%Close、右耳 50%Open 時の音場の変化	48
4.20	左耳 50%Open、右耳 100%Close 時の音場の変化	48
5.1	PINOSE Key Visual	51
5.2	PINOSE Device	51
5.3	PINOSE System Structure	52
5.4	ヘッドマウントディスプレイ内の映像	53
5.5	a : LAVAL VIRTUAL2019 でのデモの様子 b : Siggraph2019 でのデモの様子	54
5.6	ear dance Key Visual	55
5.7	ear dance Device	56
5.8	KMD Forum でのデモ風景	57
6.1	映画ピノキオのワンシーン [9]	62

表 目 次

4.1	感覚提示全パターンの組み合わせ	32
-----	---------------------------	----

第 1 章 序

論

本研究は、鼻や耳などのボディパーツそのものの形を、ひっぱったり、開閉するなど意図的に変形させるだけで、人間が知覚できるリアリティを変化させ、それを操作することによって、環境に対する認知を変化させることを観察するものである。ここでいうリアリティとは、現実空間を、自らの視覚、聴覚、触覚、嗅覚、味覚の、5つの感覚チャンネルすべてを通して知覚することができるリアリティのことである。私たちが普段感じている世界は、私たちの体を変えるだけで、変化させられるかもしれない。バーチャルリアリティでも、オーグメンテッドリアリティでもない、私たちが初めて体験するリアリティの中で、人間はどのようにその世界を感じ理解するのか、そのようなことに興味を持って観察していく。

1.1. 本研究の背景

人間の能力を拡張するテクノロジーが進化し続けている。ヘッドマウントディスプレイは、人間の視覚体験を拡張し、ハプティックデバイスは、人口現実感の没入感を高めるためにひと役買っている。また第3の手 [10]などは、身体に加わることによって、人間の道具となり、能力を拡張されている。これらの進化は人間の身体に「システムを付け足していく」考え方と共にある。それゆえヘッドマウントディスプレイをはじめとする多くのデバイスは、より小型・軽量化を目指しており、ここが一般の暮らしに浸透するために重要なポイントになる可能性があるとも言われている。本研究では、デバイスを中心にして人間の能力を変化させる考え方ではなく、極力デバイスに頼らず「身体そのものの能力を引き出す」デザインを通して、人間の認知能力を変化・拡張させることを目指す。こ

れが身体全体を通して可能になっていくことで、デバイスが人間をサポートする部分を最小限に抑えることができるゆえ、デバイスの小型化に寄与し、さらには普及にも貢献できるのではないかと考えた。また近年、身体拡張体験について、VRやアバターなどを使った多くの研究が進んでいる中で、身体の変容が人間の知覚や認知の変化にどのようにつながっているかについては、十分な議論がなされていないことを鳴海ら [11] が指摘している。本研究では、身体の変化が私たちにどのような変化をもたらせるのかを知ることにより、人間が肉体の制約から意図的に自由になり、新しいリアリティを経験する中で、人間が世界をどのように理解していくのかを観察する。

1.2. 身体変形型ナチュラルボーン・サイボーグ

認知科学の世界的第一人者である、アンディ・クラーク [12] は、「非生物的な補助具や足場を生み出し、取り込み、利用するように絶えず駆り立てられていることは、人間の特別な特性である」とし、また「私たちは優れた道具と一体化するため、脳の可塑性を利用するようにデザインされてきた」と述べ、それゆえに人間はナチュラルボーン・サイボーグであると述べている。この場合、同氏は「外部システムとの融合」を考え方の核としている。またその他にも、身体自体にシステムをインプラントするというワイヤー型のサイボーグの捉え方もある。これに対し、本研究では、非生物的な補助具や足場にほとんど頼ることなく「人間そのものの身体部位」を変形させることによって、人間の身体の知覚や認知能力を変えてみせる。これまで、サイボーグを議論する時、基本的に「そのままの身体で、外部の道具を使いこなし、道具によって脳を変え、脳を変えることで認知や行動を変える」か「身体にシステムをインプラントすることで脳を変え、行動を変える」か、2つの考え方で議論されてきたが、本研究は「身体を変形させることによって、脳を変え、人間の認知を変化させる」ことを目指すゆえ、その間に位置するのではないかと考える。このような考え方から、本研究の提案は身体自体を活用するため、道具の身体化を促進することや、人間に対する新たな哲学的解釈につながる考え方を提示できるかもしれないことを示しておきたい。

1.3. 本研究における認知の定義と身体変容を実現する手法

アンディ・クラークは、身体は認知過程の構成要素であり、脳と共に現実の認知が構築されると述べた [13]。この見解は、伝統的な認知科学の考え方も包含しており、それは、我々の心的表象を我々の現実の重要な構成要素としつつ、身体性と周囲の世界にも拡張している。同氏はさらに「心と、体を介した知覚」が世界を形作っていると主張することができ、「知覚する環境の中で存在している」ことを示していると述べている。従って、本研究では、認知について、自己(脳+体)と世界との間の意識的な相互作用のことで、理解して議論を進める。また「知覚」は身体と物理現象との相互作用が生み出すものとして理解する。具体的には「身体がどう変化したか？」に対する答えを「知覚」とし、一方で、そこに環境が存在し、「変化した身体において、その環境をどう感じたか？」に対する答えを「認知」とする。また近年、この認知の変化を観察するための、身体変容を実現する方法として、VRを活用したものや、第3の腕 [10] など工学的に人間の身体機能を拡張する、いわゆる「身体に装着するシステムを機能させることを基本にして身体能力の拡張を目指す」研究が挙げられる。しかしながら、本研究では前述した、人間拡張システムの身体化や小型化に寄与したい理由から「道具を使わなくてもできる」もしくは「システムに頼る部分を極力少なくする」スタンスを取り「人間の体自体を変形させること」によってそれを実現することを目指す。

1.4. 本研究でフォーカスするボディパーツ

本論文ではデザインコンセプトとして、全身のボディパーツを変形させることにより、認知能力を変化させることを提案する。そしてそのコンセプトを実証する実験でフィーチャーする身体部位は、「鼻」と「耳」とする。ピノキオやダンボをはじめ童話やアニメなどでたびたびフォーカスされる身体部位であり、また、人間が自らの意思で大きく動かすことのできない部位であるという理由からまずはセレクトした。基本的な観察として、鼻は「ひっぱる」ことで「どのくらい伸

びたと知覚するのか」、そして伸びたと感じる鼻で匂いを嗅いだ時に、「匂いの源がどこにあると認知するのか」を観察する。耳は「開閉する」ことで「どのくらい閉じていると知覚するのか」、そして「開閉した耳」の状態の時に「音がどこから聞こえると認知するのか」を観察する。

1.5. 本論文の構成

第1章では、本論文におけるキーワードを定義しながら、研究の目的や、人間のあり方の哲学的な解釈への提案、認知を変化させるデザイン手法のスタンスを示した。第2章では「ボディスキーマの変容と、脳の可塑性」、「身体変容がもたらす空間知覚の変化」、「身体変容と、認知の変化や表現展開への可能性」について考察する。第3章では「全身の身体部位を変化させることで、認知能力を変化させる」デザインコンセプトを提案し、第4章では「鼻」と「耳」にフォーカスし、両ボディパーツを変形させた時の知覚変化を観察し、その後、環境に対する認知の変化について検証する。第5章では「鼻や耳の変形による認知の変化」を、エンターテインメント表現に発展させ、身体の変形が人間の行動や心、表現などの変化につながっていく可能性を示す。第6章では、本論文全体と今後の展望などをまとめる。

第 2 章

Literature Review

2.1. 脳が擁するボディスキーマの高い可塑性

「ボディスキーマ」という用語は、1920年に私たちの身体が世界の中のどこに位置しているかを認識するものとして定義された。体の位置や動き、力に関する感覚である固有感覚を含む非意識的な諸感覚のフィードバックから生じ、暗黙のうちに身体のコントロールに用いられているような表象 [12] である。このボディスキーマがいとも簡単に変化する代表例として、ラバーハンドイリュージョン [14](図 2.1(a)) があげられる。被験者はゴムの手をみながら、自らの片手を前におかれたつい立ての奥に隠す。その時、被験者はゴムの手を見ている。そのゴムの手をこすると同時に、同じテンポで被験者自身の隠された手もこする。すると、被験者はゴムの手に自らの感覚が生じていると錯覚する。

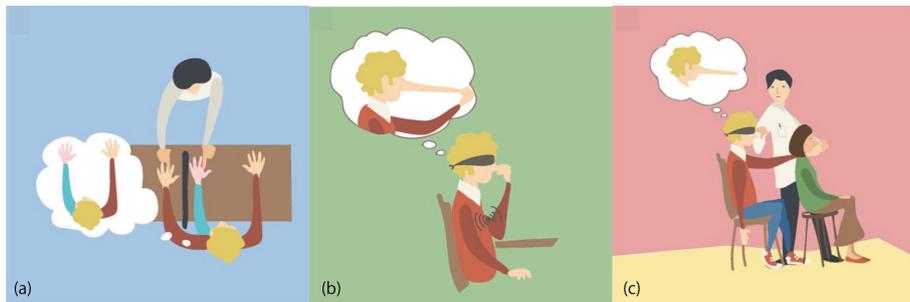


図 2.1 ボディスキーマの変容を捉えた実験例 [1]

また、まるで机が体の一部になったように感じる例 [15] もある。被験者は、机の前に座り、片方の手を机の下に隠す。実験者は、右手で机の天板を叩きながら、同

時に左手で、机の下に隠れた被験者の手を同じリズムで叩く。すると被験者は「叩かれる感覚」が机から生じているように感じるというものだ。本研究でフォーカスする「鼻」についてもいくつか紹介する。ピノキオ錯覚 [1], [16], [17](図 2.1(b)) および、ピノキオ幻鼻 [1], [18](図 2.1(c)) としてまとめられている。ピノキオ錯覚は、目隠しをし、被験者が被験者自身の片手で鼻をつまみ、そのつまんだ手の上腕二頭筋に振動を受けることによって、鼻、指、またはその両方が伸びているような錯覚を引き起こす。続いてピノキオ幻鼻について。目隠しした被験者 A の前に、目隠しをしていない被験者 B が背を向けて座る。実験者が被験者 A の手を被験者 B の鼻に持って行き、被験者 A は B の鼻を一定のリズムでさわる。その A の動きと合わせて、実験者は被験者 A の鼻をさわる。すると、被験者 A は自分の鼻における指との接触と、被験者 B の指の接触が同期しているため、自分の鼻が非常に長くなったような錯覚を覚える。これらの例は、視触覚相関もしくは振動刺激および触覚相関によって実現されており、また脳が擁するボディスキーマが高い可塑性を有していて、環境から受け取る信号の組み合わせに対し、鋭敏に反応してしまうことを示している。これに対し、本研究では、鼻をひっぱる、耳を動かすことにより、ボディスキーマの変容を観察する。

2.1.1 道具の身体化

使い慣れたラケット、歩行を補助する杖、あるいはドラマーにとってのバチ。これらは時として、人間の身体の一部になりうる。これらの現象は、運動の繰り返しや、神経細胞の変化によって生まれていることが、人間や動物における生理的および行動実験によって示されている [19], [20]。猿に手の届かないところにある餌を、熊手を使って獲ることを訓練させた研究 [21] がある。大脳皮質の四つの大脳葉の1つである頭頂葉には、視覚刺激と触覚刺激の両方に対して反応し、それぞれの種類の情報に反応するバイモーダルニューロン [22] とよばれるニューロンがある。訓練の前は、猿の本当の腕への視覚もしくは触覚刺激にのみバイモーダルニューロンが反応したが、訓練後、熊手に対する視覚刺激にも反応するようになった [2](図 2.2)。つまり道具を使用を繰り返すことで、熊手が神経細胞上である猿の体の一部 [19] となり、認識する体の空間が広がったことを示唆している。

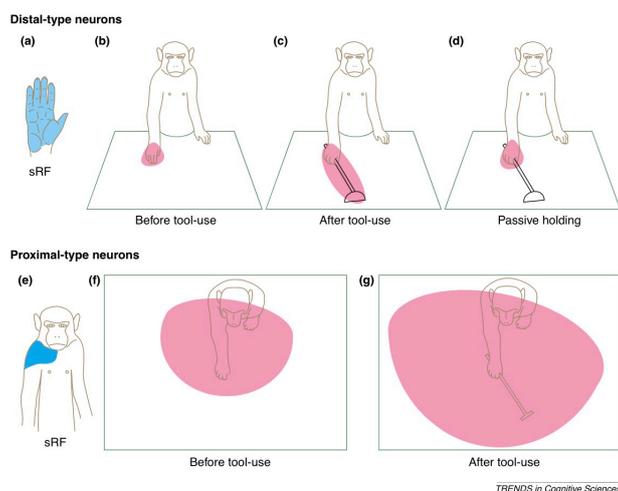


図 2.2 道具による身体領域の拡張 [2]

また身体拡張分野のひとつとして近年では、義肢や義手などについての研究も盛んになっている。義肢を長期使用することによって身体の一部となりうることを示した研究 [19], [23] や、義手を高頻度で使う人に対して、使わない人にとっては義手が姿勢制御を乱す [24] という研究もあり、いずれにしても、これらの研究は道具が身体の延長になりうることを示している。一方で、義手など身体の欠損部位を活かして well-being につなげる研究や、身体に新しい部位を付け足す研究も進んでいる。Musiarml [25] は前腕を欠損している人たちが、腕の延長としての楽器を手に入れることで、楽しく演奏することができることを示した。体験者は、これらの楽器を繰り返し使い、習慣化することによって本来の動きを引き出し演奏表現に反映したことを報告した。また、新たな指 [26] を追加する研究は、人間の手に補助的なロボット指を加えることにより、作業空間の広さを改善し、体験者がより大きな物体を把持し操作できるようにし、手で実行できるタスクの範囲を拡張できることを示した。また指を増やすプロジェクトとして The Third Thumb (図 2.3) も広く知られており、人間の能力強化を目指しまた義肢を身体の延長として再構成することを目指している。しかしながら、ユニバーシティ・オブ・ロンドンの研究グループは、義手を必要としている人のうち 45%しか一日中を通して利用していないことに触れ、人間とシステムが融合するには、神経科学的な視点



図 2.3 The Third Thumb [3]

が重要だと述べている。手を増やすことによる神経相関を研究することによって、神経の可塑性の境界を探求することができ、それが、どのように義手などの補綴装置の使用可能性と制御を改善するために利用できるか、神経科学的な視点からの研究が必要だと述べた [27]。いずれにしても身体領域の拡張にとって「道具の身体化」は大事なトピックであることは間違いないが、本研究では、この道具の身体化に存在する問題も考慮し、「身体拡張」において、身体そのものの能力を引き出し、身体領域を最大限広げた上で拡張システムを考えることによって、システムの小型化・軽量化、身体化の向上などにつながるのではないかと考えている。

2.1.2 身体を変形させることによるボディスキーマの変容

身体に直接、力を加えることによって人間の知覚を変化する事例や研究もいくつか存在する。例えば、自らの両手を合わせて、指と指で等速でお互いに押し合った時、指と指の間に硬い板がはさまっているように知覚した経験はないだろうか。この現象は、全く同じ形状で、弾性を持つ指が、等速で互いにぶつかる時に、鏡像の原理によって2つの指に対象の変形が生じ、接触界面が平面となることで実現されている。また梶本ら [28] は、掌側から指を洗濯ばさみを挟むと、掌の内側に牽引感を感じ、甲側からを挟むと外側に牽引感を感じることを観察した。さらに人間の指をひっぱるだけで、93%の人が「指が伸びた」と知覚した研究 [4](図 2.4)も存在している。この研究では、体の知覚が動的なプロセスであることを強力に

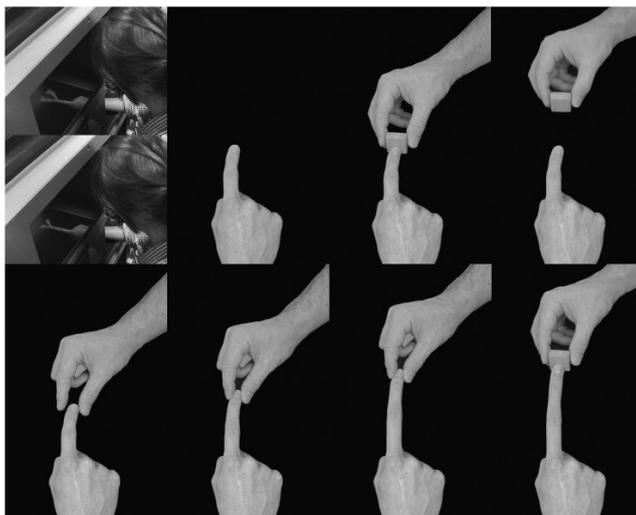


図 2.4 指をひっぱることによるボディスキーマの変容 [4]

証明した。脳は、私たちがほとんどコントロールできない感覚信号の統合に基づいて、継続的に身体の知覚を構築し、その結果、自分の身体の境界を広げることができる知覚体験をもたらすとしている。また、身体に力を加えながら、ヘッドマウントディスプレイ（HMD）を活用した例もある。StrechArm [29] は、HMDを装着した被験者が、両手で鉄棒のように棒をひっぱり、反対側で実験者が同じようにひっぱる。被験者はHMDの中で自分の腕が伸びる映像を見ながら、実際に自分の腕もひっぱられることによって、自分の腕が伸びたと認識した。これらの研究は、人間の皮膚や身体の特性を活用して実現された研究であり、皮膚をひっぱったり、体に力を加えたりすることによるいずれかの変形が、知覚の変化につながっていることを発見した。よって、本研究においては、身体変形を実現する手法としてこれらの「皮膚や身体部位をひっぱる」および「力を加える」という手法を用いる。また先行研究にある指と腕以外の、全身のボディパーツにおける変形を通して、認知の変化を想定する。

2.1.3 視覚的アプローチを活用したボディスキーマや知覚の変化

また HMD による視覚提示を用いたクロスモーダル現象による、ボディスキーマや知覚の変容を捉えた例も挙げておく。ひとつは、体外離脱錯覚 [30] が挙げられる。被験者は、自分の背中中の映像を見る。実験者は、被験者の背中を棒で触り、被験者はオンラインでそれを見る。映像と刺激が同期しているため、参加者は自分の位置が、映像で見ている自分の位置に変更したと知覚する。またあくすて [31] は、バーチャルハンドを用いてピアノを弾くシステムを構成した。ピアノを弾く指が伸びる、また右手を動かすと左のバーチャルハンドが動くというように、動きの対応を変えるなど、身体とバーチャルな身体の関係性を変化させた際の知覚やパフォーマンスを調べている。さらに A Very Long Arm Illusion [32] は、没入型 VR を用いて自身の手の長さの4倍もの腕の長さがあるラバーハンドを、自身の手と感ずる現象を報告している。この研究は感覚および感覚運動情報が、正常な身体比率と一致しない場合でも、体の形、大きさおよび対称性に対する知覚を再構築できるということを示した。また視覚を操作することによって、知覚を変化させる研究として Pseudo-haptics [32] がある。例えばユーザがマウスを動かす行動に対し、PC 上でカーソルの移動速度などを変化させることで、疑似的な触力覚を生じさせる現象である。Ban らは、この Pseudo-haptics を応用し、自らの手で触れる物体への知覚を、視覚情報を駆使して変化させる手法を提案 [5], [33] し、それらは Perception-based Shape Display(図 2.5) と呼ばれている。実際にはただの円柱を触っているが、視覚情報では両サイドにくぼみのある円柱を見ている。同時に手の動きを取得し、映像上で調整し、その手の動きをくぼみに沿わせて動かすと(図 2.5)、実際に触っている知覚が変化し、くぼみのある円柱を触っていると感ずるといような現象のことである。

以上の例を鑑みると、視覚情報が身体変容や知覚変化にもたらす影響は非常に大きいことがわかる。しかしながら本研究のスタンスは、極力システムを付加せず、身体そのものを変形させることによって、身体変容や認知の変化を可能にすることを観察したいため、HMD は比較実験時やエンターテインメント表現への展開時のみ使用することを明示しておく。



図 2.5 Perception-based Shape Display [5]

2.2. 身体および感覚の変容をもたらす空間知覚の変化

複数の感覚提示によって、空間知覚を操作する研究がある。Unlimited Corridor [6](図 2.6) は、視覚と触覚を組み合わせることで、空間知覚を大きく変容させることに成功した。直径 6m の円弧上の壁に手を触れながら歩き、HMD 内では直線の壁にそって歩く映像を見る。このとき、体験者は直線の道をずっと移動しているように認識する。これらはユーザの実際の動作と VR 内の動作の間に気づかないほどの、若干のずれがある映像を提示し、空間認知を変化させるリダイレクション [34] という効果を利用しており、さらにそこに触覚刺激を加えることによって、大きな空間認識の変化が実現される。これによって体験者は、実際には直径 6m の円弧状の壁に触りながら延々と歩いているが、直線を歩いているように見える VR 映像を視覚情報として受け入れることで、「広く長い直線を歩いている」と認識する。



図 2.6 Unlimited Corridor [6]

また Being Barbie [35] は、身体の大きさが空間に対する距離などの認識に影響するかどうかを調べた研究である。被験者は、人形の身体（80cm or.30cm）と巨人の身体（400cm）の身体所有感を HMD を介して体験した。被験者は、小さな身体を自分自身のものとして経験すると、物体はより大きくより遠くにあると知覚し、大きな身体を経験すると、物体はより小さく、より近くにあると知覚した。これらの研究についても、視覚変化もしくは視触覚相互作用による空間知覚への変化を捉えたものであり、中でも視覚刺激が大きな力を持つことがわかる。本研究は、これらの研究に対して、身体に装着するデバイスをより「付加しない」立場をとることから、鼻をひっぱる、耳を開閉するなど、身体への力覚提示によって、空間に対する知覚・認知の変化を捉えていくことに挑戦する。

2.3. 身体変容がもたらす心や行動の変化と、表現拡張の可能性

身体の変容は、心や態度、行動などにも影響していく。VR 環境において、白人が黒人のアバターを自分として体験すると、黒人への潜在的な差別偏見を軽減させられることを示した研究 [36] や、アインシュタインのアバターを自分として経験した場合に、認知課題のスコアがアップすることを観察した研究 [7](図 2.7) もある。しかもこのスコアの変化は、自らに対する肯定感が低い人ほど明確に現

れることが示されている。また動物のアバターに自分の存在を変容させると、自然環境に対する意識が変化するという研究 [37] もある。このような、変化する身体や、人間の身体の形態を超えた身体がもたらす認知変容についての研究は、主に視覚的な錯覚を基本にしたものが多く、なおかつ心理的变化を捉えたものが多い。本研究では、視覚情報に頼ることなく、身体を変形させた後、変更したボデイスキーマによって、その身体部位固有の機能、つまり鼻であれば嗅覚、耳であれば聴覚を使用して、どのように空間に対する認知を変化させられるかについて、フォーカスしていく。



図 2.7 身体変容がもたらす心の変化 [7]

さらに、身体の変化や知覚の変化に着目し、エンターテインメント表現やアート表現に活用している例もあげておきたい。Eve, dance is an unplaceable place [38]

では、ダンサーである Eve の視界を HMD を通して体験することで、体験者はダンサーの視界を手にいれることができ、バーチャルとリアルな空間を行き来することができる。また「空間を知覚する服」echo (図 2.8) は、暗闇での空間認識を考えることで生まれた、新しい身体の器官としての服 [8] である。服自体が、空間との距離を認識して振動し、人間に対してメッセージを送り、行動を変える。まさに身体で空間を感じることができるプロジェクトである。



図 2.8 「空間を知覚する服」echo [8]

また、身体性を拡張させながら、周囲環境とのインタラクションを通して、自らのダンスにインスパイアを与えるプロジェクトとして RAM [39] がある。他のダンサーの動きを取り込んだ情報を、ダンサーの即興的な動きにフィードバックする。ダンスは、何かを避けるときや何かを持つときなど、必然性のある動きが圧倒的に美しいと言われる。トップダンサーは自然とそれができていると言われるが、映像と触覚的フィードバックによって、一般のダンサーにも習得させるためのアイデアである。このテクノロジーは、舞台演出をするためのテクノロジーではなく、生身のダンサーの美しさをより引き出すために作られており、このスタンスは、本研究の「人間の能力をより引き出すためのシステムをつくる」と同様のスタンスである。またこれらの「身体変容が表現につながる」例は、本研究の先で、エンターテインメントやアート表現におけるプレイヤーの動きや心を、どのように変えられるかを示唆するものであり、この内容は第 5 章に記載する「PINOSE」、「EAR DANCE」プロジェクトにつながっていく事例として理解

されたい。

2.4. 第2章のまとめ

人間の脳は高い可塑性を備えており、自らのボディスキーマは自在に変化させることができ、環境から受け取る信号の組み合わせに対し、鋭敏に反応することがわかった。またボディスキーマを変容させる代表的な手法として、触覚相関および視触覚相関などがあるが、一方で振動刺激のみを使用したり、力覚を加えることによって実現が可能になるなど、必ずしも一定の条件でボディイメージが変化するとは限らないことを見出した。また近年、義手や義肢などについて身体化やそれ自体を能力として付け足す議論が広がってきているが、一方で完全に身体化するには神経科学的な視点が必要だと述べる研究グループもあり、そのような中で、本研究では身体そのものを使い、人間の能力を可能な限り引き出すシステムを作っていくことで、道具の身体化をより意識しながら、身体の変容を目指す。また身体を変形させることによってボディスキーマの変化を実現する研究も調べた。これらの研究の傾向として、皮膚自体を伸ばす手法や、腕をひっぱるなど、体に力（力覚）を加える方法を採用していた。本研究では先行研究にある指や腕以外についてのボディパーツについて着目し、以上の手法を取り入れ身体変形を実現し、認知変化を観察していく。加えて身体変容を捉える研究には、HMDにより視覚情報の入力を加えるパターンも見られ、視覚入力が身体変容に与える影響はかなり大きいことがわかった。このことから、本研究では基本的に身体の変形のみで空間認識の変化させることを目指すが、比較実験時や応用としてエンターテインメント表現や社会実装につなげる場合、必要であればHMDを効果的に使うことも視野に入れることにした。次に身体や感覚の変容が空間に対する知覚変化を促す研究も調べた。これらの手法から、視覚的および視触覚的アプローチによってボディスキーマを変更させ、空間に対する知覚や認識を変えることができる可能性を知った。本研究はできるだけ「身体の変形のみ」を通したボディスキーマの変化によって、空間に対する認識を変更させられないかについて観察する。また次に身体の変容が、心や行動に影響を与えることや、表現の変化につながるこ

とについて調べた。これらは身体の変形がもたらすボディスキーマの変化が、どのようなことに役立っていくのか、第3章で紹介するコンセプトを通したユースケースや、第5章で紹介する身体変容をどのようにエンターテインメント表現に役立てていくかをイメージすることに活かした。次章では本研究のコンセプトとともに、「身体を変形させる」というデザイン手法を導入できる「ボディパーツ」が、全身を通してどのくらい考えられ、そのボディパーツを変形させることで、どのように環境に対する認知を変化させることが想定できるのか、ユースケースとともに考えていく。

第 3 章

デザインコンセプト

本論文では、第 3 章、第 4 章、第 5 章を通して、デザインコンセプトの提示から、具体的ボディパーツでの検証、同ボディパーツにおけるユースケース応用例まで一連の流れで説明していく。従って第 6 章が結論となる。第 3 章では「身体を変形させることによる認知変化」というデザインコンセプトを提案し、まず全身におよぶボディパーツの変形、主に主要感覚器官を例に出しながら、その身体変容による認知の変化やユースケースなどを想定する。そして第 4 章では想定したボディパーツの中から、特に「鼻」と「耳」にフォーカスし「身体変形による認知変化」について検証する。さらに第 5 章では「身体変形による認知変化」の応用例として、どのようにエンターテインメント表現に展開できるのかという可能性について示す。

3.1. ボディパーツの変形を通じた、認知変化のデザイン

人間の脳は高い可塑性を備えているがゆえ、人間のボディスキーマは容易に変化することがわかっている。また近年の身体拡張をテーマにした研究は、HMD による視覚的入力や第 3 の指など、システムに依存して人間の能力を拡張する考え方を基本に設計されているものが多い。HMD が一般に浸透しない、また、義手はまだ半数以上の身体欠損をしている人にとって、完全に身体化されていない [27] という主張もある中で、「人間の体自体を変形させて、ボディスキーマを変化させる」という手法で、人間の身体領域を拡張できないかと考えた。そのため、本研究では人間の身体をできるだけ活かし「身体を変形させることで、ボディスキーマを変化させ、その変更したボディスキーマによって環境に対する認知を変化さ

せる」というデザイン手法を提案する。例えば、耳の形を変更することによって、音が聞こえてくる方向が変化したり、鼻の形を変更することによって、匂い源に対する位置認識が変化したりするようなことである。これらの考え方を全身に渡って考えていくことで、人間が認識している世界が格段に広がるのではないかと考えている。このコンセプトの実践は、大きく5つの貢献につながる事が考えられる。1つ目は「リアリティの拡張」。感覚器自体を変形させることは、今まで現実世界を私たちの通常感覚器を通して描いていたリアリティを歪ませることができ、私たちに新しいリアリティの獲得を可能にさせる。この新しいリアリティを、バーチャルリアリティやオーグメンテッドリアリティなどの体験と合わせて構築していくと、今まで得られなかった「リアリティの広がり」を私たちは経験できると考える。2つ目は「身体拡張研究の進展」。現在、身体拡張における研究では、拡張された身体の変容を捉えることが主流であり、その変化した身体によって認知や行動がどのように変化したかというところまでは十分に議論されていないが、本研究では身体変容による認知の変化までを観察していく。3つ目は「人間に対する哲学的な新解釈」である。アンディ・クラーク氏の「生物的ウェットウェアと、道具・メディア・補助具・テクノロジーの間の絶え間ない双方向の通行」という考え方、つまり「人間は外部にある道具を使いこなすゆえ、生まれながらのサイボーグである [12]」という考え方に対して、「ボディパーツ自体を変形させることで、脳を変え、認知や行動を変化させる」という点で「身体活用型ナチュラルボーン・サイボーグ」であるという新しい哲学的な捉え方を提案する。人間の認知能力拡張の歴史は、外部環境にある道具を使いこなすか、もしくはシステムを身体にインプラントする考え方が主流であったが、この捉え方は、新しい認知能力拡張のあり方を示すのではないかと考えた。4つ目は「拡張システムの小型化や軽量化、身体化」。「人間の元々持つ能力を最大限に活かし、身体領域を広げること」をベースに身体能力拡張システムを考えていくことは、必要最低限のシステムをつくることに寄与し、システムのコンパクト化につながるのではないかと考えた。またこの考え方はシステムが補助する部分が最小限になるため、システムに対する身体的違和感の最小化を実現できるゆえ、身体化の向上にもつながるのではないかと考えている。最後に「身体のインターフェースとしての活用」。

「身体能力を最大限に活かす」という考え方は、人間にとって新しい情報入力を可能にし、より直感的な情報提示も可能にする。例えば近年、人々は道案内などをスマートフォンによって主な情報を得ているが、耳を動かすことによって道案内できれば、人々の視線をスマートフォンから解放することができる。さて、本コンセプトが以上のことに役立っていくことを提示した上で、全身に点在する変形可能なボディパーツを挙げ、想定できる変形パターンと認知拡張を考えていく。

3.2. 主要感覚器の変形と認知変化およびユースケース

「身体部位の変形により認知を変化させる」というコンセプトは、全身に応用して考えていくことができる。本章では鼻、耳だけでなく、目、舌および唇や肌など、人間の主要な感覚器を中心に變形させて、想定される認知の変化を考えていく。それとともに、變形した時に想定できる心や行動の変化やユースケースについても考えていく。

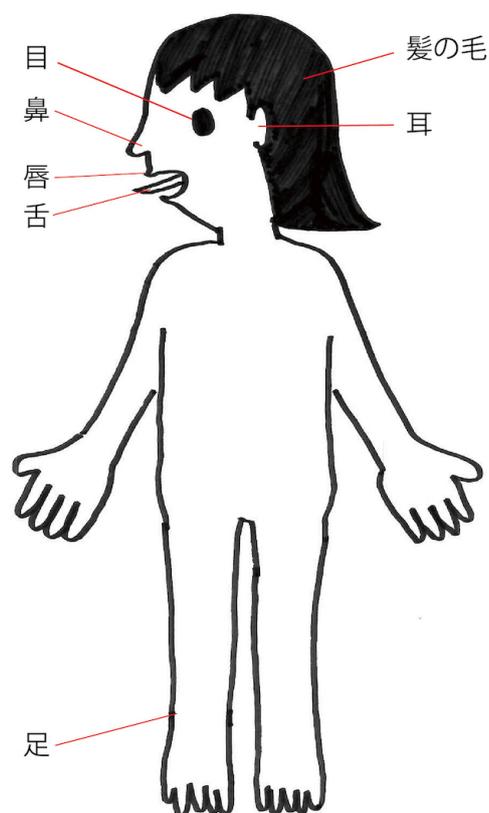


図 3.1 本研究で着目する身体を構成するボディパーツ

鼻の変形

鼻は嗅覚器官であるとともに、肺に出入りする空気の主な通り道でもある。また触覚情報の入力器官でもある。例えば、鼻を前にひっぱる [28] [4] [40] ことによって、鼻が伸びた感覚を醸成する。これは、匂い源に対する位置感を錯覚させることができるかもしれないし、遠くの匂いを嗅ぐことができるようになったり、もしくは匂い源の位置に対する解像度を高めることにつながるかもしれない。さらに鼻をつまんだ時に、その鼻の先端で対象物に触れた時、冷たさや暖かさなどの温度を感じやすくなることなども実体験から想定できる。さらに鼻を左右に動かすことによって方向性を知覚でき、それは、直感的な道案内などに役立つかもしれない。

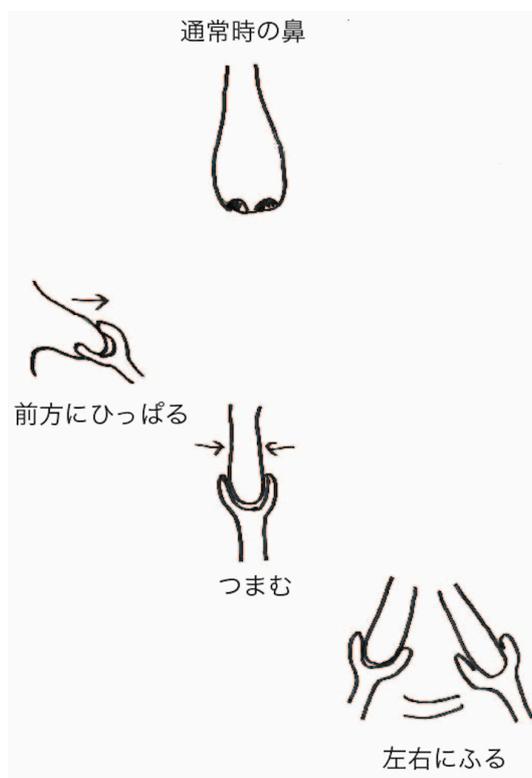


図 3.2 鼻の変形例

外耳の変形

外耳は音の入力器である。また触覚情報の入力器官でもある。閉じたり、開いたりする [41] [42] ことによって、音の聞こえてくる方向を変えることで、騒音に対する意識をずらし集中力を維持したり、または、大勢の中から聞きたい声だけをピックアップすることなどに使えるかもしれない。さらには横に広げることによって、より音の解像度を上げることができたり、動物のように常に耳を動かすことによって、より多くの音を聞き分ける [43] ことができるかもしれない。また、音に合わせて、外耳の真ん中を一定のリズムで押すと、音の聞こえ方にホワンホワンと独特の波形を感じる。これは、自らの体を使ったサウンドアレンジなどに活用できる。また科学的な検証がなされていないが、ヨガなどでは耳を引っ張る姿勢も導入されており、それによって目がよくみえるようになるという説もある。

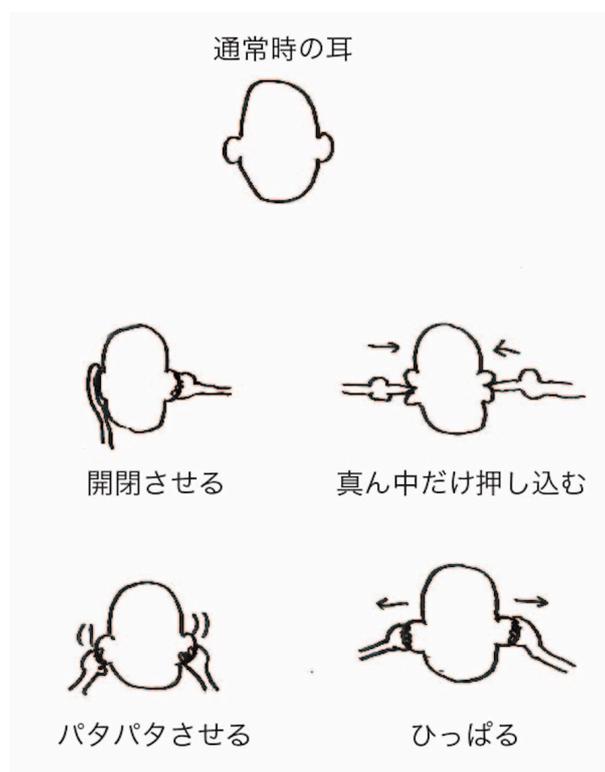


図 3.3 外耳の変形例

目の変形

目は映像の入力器である。例えば両目を外側にひっぱることによって、視野を広げることにつながる。これはバスケットボールプレイヤーがパスの視野角を広く設けたい時などや、通常時でもより周囲の環境に注意を払いたい時などに役立つ。また、内側に引き寄せることによって、視界を制限することも考えられる。これは、見たくないものを見ないなど、目に入るものを限定することにより、集中力を維持することなどにつながる。さらには上下に広げることで、上下の視野を広げる [44] ことも可能になり、これは読書など、全体的に内容を把握したい時に役立つかもしれない。

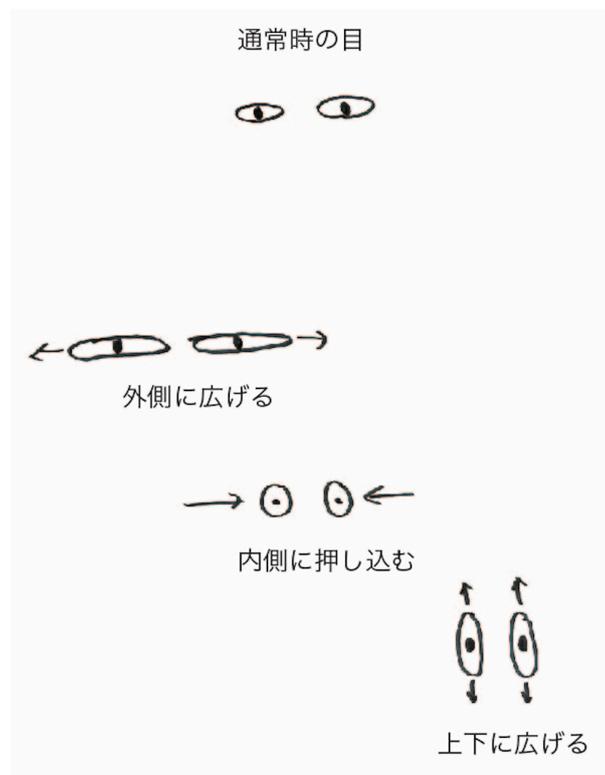


図 3.4 目の変形例

舌や唇の変形

舌は咀嚼や発声、または味覚や触覚を感じる受容器である。舌の先端を意図的に丸めることによって、発音を変えたり、さらに、図 3.5(a) のように舌を上方に丸めることによって、舌の先で感じられる甘味や塩味を抑えられるかもしれない。また、図 3.5(b) のように舌全体を丸めることによって、舌の横で感じる酸味を抑制することもできる。さらには、舌を前に突き出すことによって、空間認知に役立つことなども考えられる。また唇は突き出したり上唇と下唇をずらすことによって、例えばワイヤレス通信によってボリュームをしばったり、カップのふたを開けられたり、身体部分をコントローラーとして使うこともできるかもしれない。

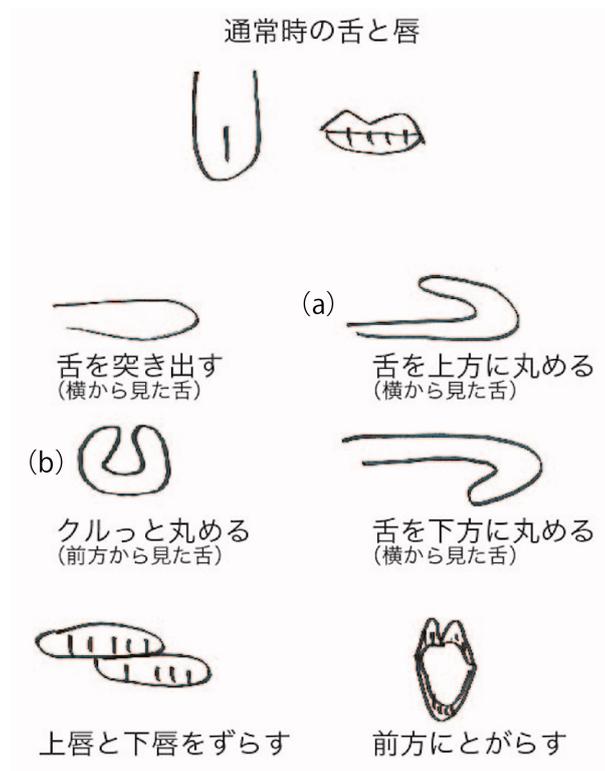


図 3.5 舌や唇の変形例

髪の変形

髪は頭頂部への触感覚の入力器でもある。ひっぱることによって、進むべき方向がわかったり [45]、先端に刺激を与えることによって、背後にいる他者の接近を伝えることができる。さらには長い髪の人々が、髪を前方に集めることによって、視野を限定させプライベートスペースを確保することなどにも使用できる。また髪を散らばらせることによって、自らがアニメキャラクターになったかのように心が変化するかもしれない [46]。また湿度や気温が高い時に、後ろ髪をクルンと変形させることによって、すき間から空気が入ることで、爽快感を感じることもできるかもしれない。

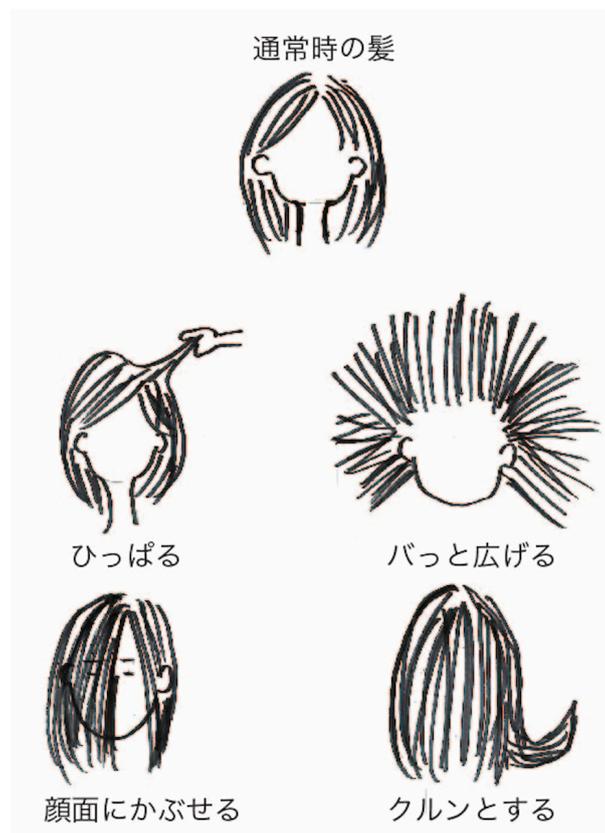


図 3.6 髪の毛の変形例

足の変形

足は人間の運動を実現し、また洋服や靴などのスタイルを成立させるためのパーツでもある。足をひっぱると、背が高くなったような気になったり [35]、それによって自身がモデルのような体型だと思い、容姿に自身が持てたりするかもしれない。さらに足の指も同様、ひっぱることで足が大きくなった感覚になり [29]、大きな男性のような意識が芽生えるかもしれない。また、バレエダンサーのようにつま先歩きをして慣れると、足の内側に畳まれた指部分によって、違う生き物の歩き心地、例えば馬の足の感覚を擬似体験できるかもしれない。

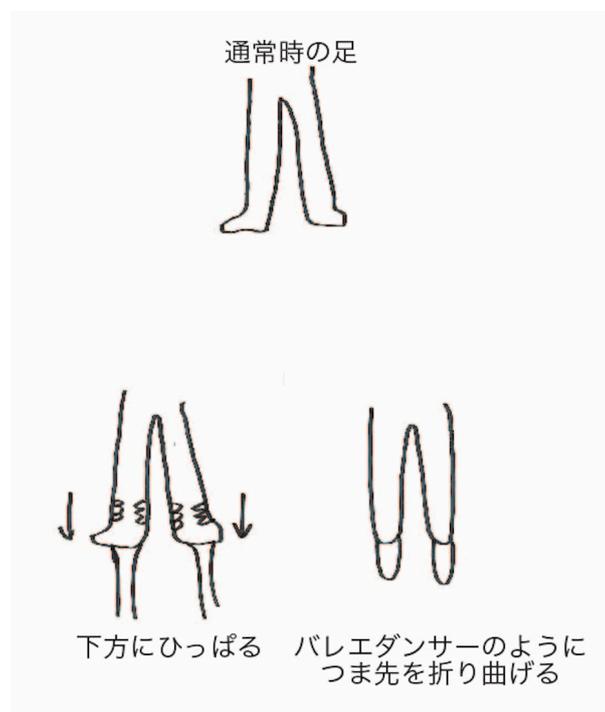


図 3.7 足の変形例

3.3. 第3章まとめ

本章では、身体変形が人間にもたらす新たなリアリティの獲得や認知能力の変化、身体拡張研究の進展、人間の新しい哲学的解釈の提案、システム設計に対する新しい考え方の提案、そして、情報のインターフェースにつながっていくことを示した後、全身を通して、身体の変形による認知変容を想像しながら、ユースケースを示した。いずれにしても、変形することによる知覚変化は皮膚の引き伸ばしや身体に対する力をかけたり、筋肉の変化など関係していることは2章の考察から得ている。また、このボディスキーマの変更により環境に対する認知を変化させるという手法が、人々に新しい体験をもたらし、心や行動などを変化させることにつながるかもしれないことも示唆した。本章では身体全体をテーマに、それぞれのボディパーツを変形させることによる可能性を示したが、第4章では「鼻と耳」をピックアップし、鼻を「ひっぱる」そして耳を「開閉する」させることで、当デザイン手法の有効性を検証する。

第 4 章

身体変容による認知変化の検証

本実験の目的は、ボディパーツそのものの形を意図的に変形させることにより、人間が知覚できるリアリティを変化させ、それを操作することによって、環境に対する認知能力を変化させることを観察するものである。第3章では全身において考えられるボディパーツの変形を取り上げた。本章ではそのうちの「鼻をひっぱる」と「耳を開閉させる」ことによる身体変形を取り上げ実験を行う。実験を通して、それぞれボディスキーマが変更したことを確認した後、変更したボディスキーマによって、どのように周囲環境を認知するのかを観察していく。

4.1. 「鼻」についての実験



図 4.1 鼻をひっぱり変形させる

本研究の目的は、鼻のボディスキーマがどの程度変化するか、および伸びた鼻において、匂いの位置に対する位置認識がどのように変化するかを観察することである。本研究は身体そのものの能力を活かすためのシステムにすることによっ

て、器具の軽量化に貢献するというスタンスをとるが、視覚情報や触覚情報も含めた組み合わせ「鼻伸ばし」パターンを試した上で、結果を考慮しシンプルなアプローチで身体変容が実現できないかを考察していく。尚、HMDを使用する場合には、VR知覚 [10], [19] を向上させるために「自己位置の感覚 (The sense of self location)」、「運動主体感 (The sense of agency)」そして「身体所有感 (The sense of body ownership)」の達成を目指した。自己位置の感覚は、HMDにおいて人間の首の動きと鼻を同期させることにより、没入型画像を示すことで達成され、運動主体感および身体所有感は、視触覚相関および視覚-固有受容性感覚相関の両方を意識することにより達成を目指した。この点を考慮して、以下の実験環境を作成した。

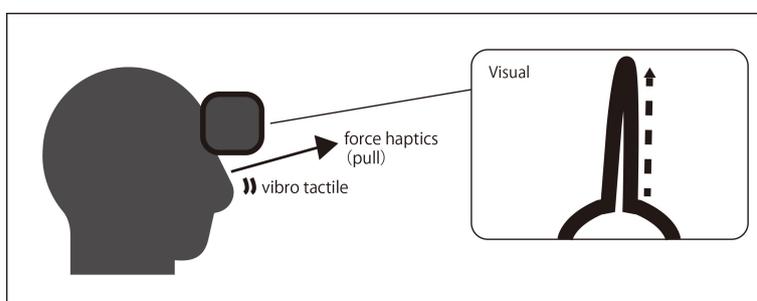


図 4.2 鼻を伸ばす実験のために提示する刺激

4.1.1 Altered Nose System

「鼻が伸びる感覚」と「匂い源に対する認識位置」を調べるために、図 4.3 に示すような視覚、ひっぱり、振動刺激を提示するマルチモーダル感覚提示システムを作成した。システムの主要コンポーネントは、HMD、ひっぱり提示サブシステム、振動刺激提示サブシステム、および制御 PC から構成される (図 4.4)。振動刺激提示サブシステム以外のマルチモーダル感覚提示システムは、WiFi を介して同じローカルネットワークに接続される。通信には、OSC [47] プロトコルを使用してさまざまな制御メッセージを交換する。

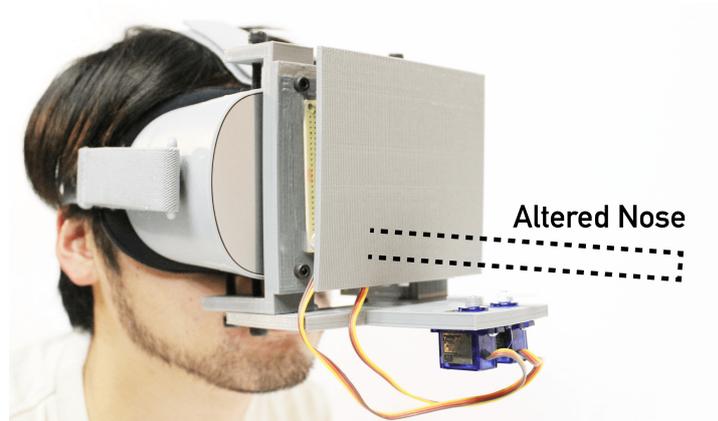


図 4.3 Altered Nose System

ヘッドマウントディスプレイ

スタンドアロン型の HMD である Oculus Go [48](図 4.4a) を使用した。映像は Unity3D [49] ゲーム開発環境で開発。鼻の伸びと収縮は、付属されているコントローラで制御することができ、このソフトウェアは、各感覚提示システムに信号を送り、感覚刺激を誘発することができる。

ひっぱり提示サブシステム

ひっぱり提示として、今回は直接鼻をひっぱる方法を考えた。このため、セキスイ社製の粘着テープで作成した鼻ひっぱりテープ(図 4.5b)を、中鼻周辺に取り付け、中央部の穴にワイヤを固定した。実験時には HMD 下部にセットされたサーボモータ (SG-90)(図 4.4b)によりワイヤをひっぱり、その結果、鼻をひっぱるフィードバックを提示することができる。

振動触覚提示サブシステム

振動触覚提示は、HMD の音声信号として出力された振動触覚信号を D 級の PAM8012 アンプで増幅し、ALPS 製 *HAPTICTM Reactor* [50](図 4.4c)へ入力する

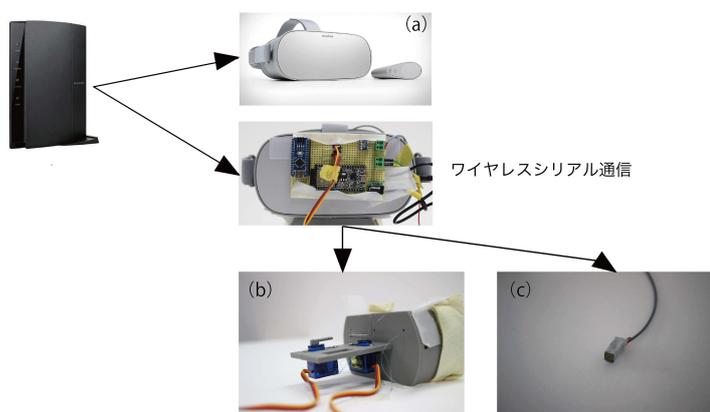


図 4.4 Altered Nose System Structure

ことで提示する。*HAPTICTM Reactor*(図 4.4c) は HMD の接顔部位に貼り付け、被験者の鼻部へ接触するように固定した。

コントロール PC

制御用 PC からは HMD 上のソフトウェアに向けて、各感覚提示の有無を設定するメッセージを送信することができる。また、被験者へ提示されている映像をモニタリングすることも可能である。

4.1.2 実験 1 : 「鼻伸び感」の実験デザイン

この実験の独立変数は、感覚提示の組み合わせである。従属変数は、参加者が知覚する鼻の長さである。鼻の長さは、以下のように計測する。参加者が感覚提示を受けた後、実験者が参加者に「今、あなたの鼻の先は、感覚的にどこにありますか?指で指し示してください」と質問する。参加者は、HMD に取り付けられた直角定規に、感じた鼻の先の位置を指で示した。指示された位置と HMD の接顔部の間の水平距離を、知覚された鼻の長さと考えた。鼻の長さの測定方法は図 4.5 (a) に示す。感覚提示の組み合わせは、0-ナシ、1-触覚提示、2-ひっぱり提示、

3-視覚提示のすべての組み合わせを生成することによって決定させる。したがって、すべてのコンビネーションを C_{all} とすると以下の式で表現される。

$$C_{all} = {}_3C_0 + {}_3C_1 + {}_3C_2 + {}_3C_3 \quad (1)$$

本研究で観察する C_{all} は全8パターンである。生成された8つのパターンの組み合わせは、表 4.1 に示す。感覚提示の組み合わせは、実験結果への影響を減らすため被験者ごとにランダムに提示し、3回ずつ繰り返した。

表 4.1 感覚提示全パターンの組み合わせ

Comb.	映像	ひっぱり	振動
C0	No	No	No
C1	No	No	Yes
C2	No	Yes	No
C3	Yes	No	No
C4	No	Yes	Yes
C5	Yes	No	Yes
C6	Yes	Yes	No
C7	Yes	Yes	Yes

4.1.3 実験1:「鼻伸び感」の実験手順

被験者は椅子に着席し、鼻の皮脂をティッシュペーパーで除去後、Altered Nose System を装着する。次に感覚提示のランダム化された組み合わせを制御PCからHMD内のソフトウェアに設定し、設定完了後にHMDのコントローラから伸び開始を指示し各条件を提示する。参加者には提示されたタスクの組み合わせを伝えない。実験が開始されると、例えば映像が提示される条件の時は、図 4.5(d) に示すように鼻が伸びる。鼻伸びが完了した後、実験者は参加者に鼻の長さを尋ねそ

れを測定する。測定終了後、HMDのコントローラから実験者が収縮を指示すると、図4.5(c)のように鼻が完全に収縮する。収縮が完了した後、次の感覚提示の組み合わせが提示される。参加者はすべての試験が完了するまではシステムを取り外さない。設定時間60秒、延長時間15秒、測定時間60秒、収縮時間15秒、インターバル時間30秒の計約180秒の試行を3回ずつ行った。したがって、1人当たりの実験時間は48分(可能性のある8つの組み合わせ)である。著者の所属するKMDから10名の参加者(男性8人、女性2人)を評価のために採用した。参加者は全員20歳代と30歳代で、HMDを使い慣れていた。

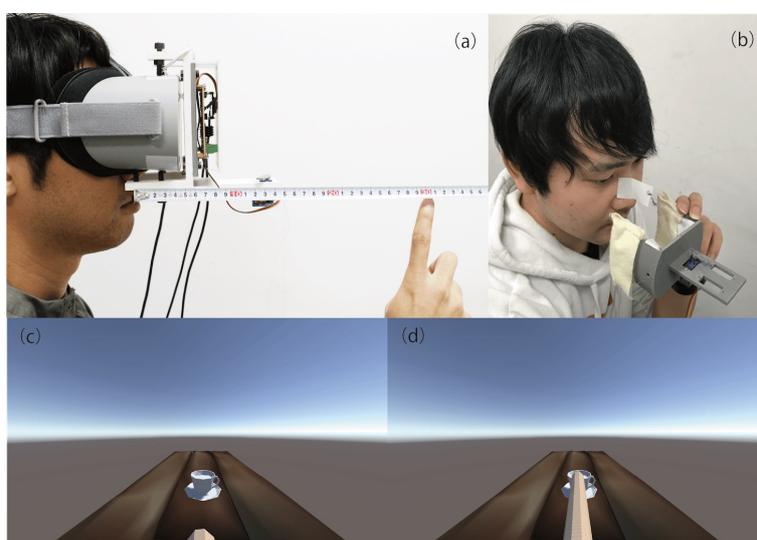
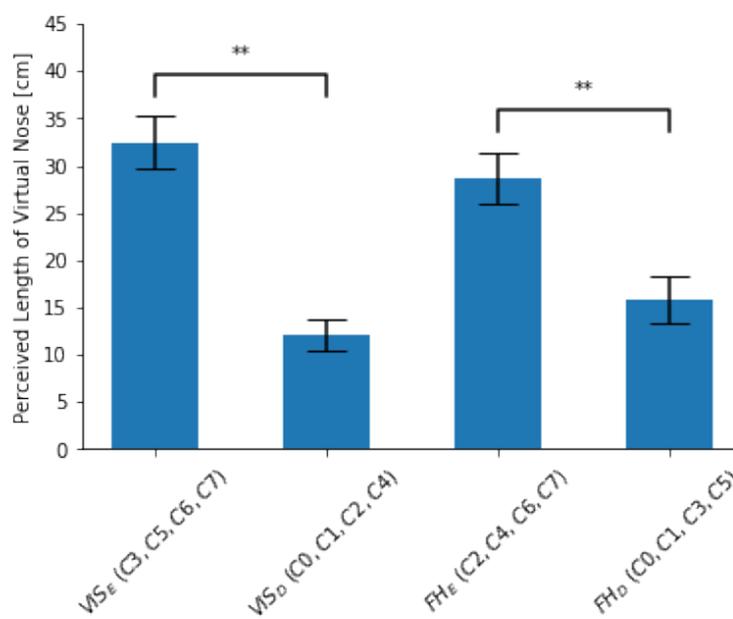


図 4.5 「鼻伸び感」実験の様子

4.1.4 実験1: 「鼻伸び感」の実験結果

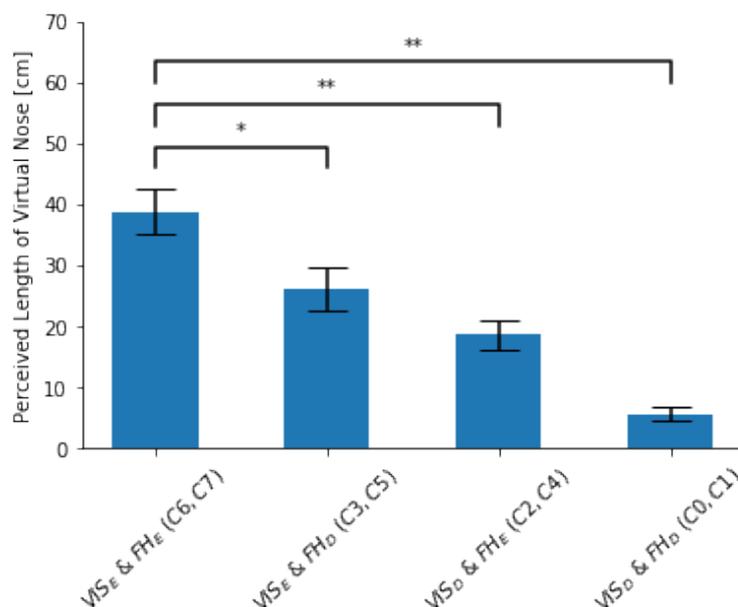
映像提示、ひっぱり、振動の「知覚された鼻の長さ」への効果について解析した。2x2x2 反復測定分散分析によって映像提示 ($F(1, 9) = 30.1, p < 0.001$) および引っ張り ($F(1, 9) = 14.3, p < 0.01$) に鼻の長さへの有意な主効果があることがわかった。また「振動」には主効果は見られなかった。単一の提示の有無の組み合わせで知覚された鼻伸び感の長さの平均を図4.6に示す。また全ての提示間において有意

な交互作用は見られなかった。Tukey の HSD 法によるポストホックテストにより、映像提示した場合（C3, C5, C6, C7）は提示していない場合（C0, C1, C2, C4）と比較して有意に鼻が長くなった。ひっぱりを提示した場合（C2, C4, C6, C7）も提示していない場合（C0, C1, C3, C5）と比較して有意に鼻が長くなった。また、図 4.7 に示すように、映像とひっぱり双方を提示している組み合わせ（C6, C7）の知覚された鼻伸び感の長さの平均は、映像を提示しなかった組み合わせ（C2, C4）、ひっぱりを提示しなかった組み合わせ（C3, C5）、映像とひっぱり双方を提示しなかった組み合わせ（C0, C1）より有意に長くなった。



(With Standard Errors **: $p < 0.005$. VISE は映像有、VISD は映像無、FHE はひっぱり有、FHD はひっぱり無の条件)

図 4.6 映像の有無、ひっばりの有無により知覚された鼻伸び感の平均



(With Standard Errors *: $p=0.031$, **: $p < 0.005$. VISE&FHE は映像+ひっぱり、VISE&FHD は映像のみ、VISD&FHE はひっぱりのみ、VISD&FHD はどちらも無の条件)

図 4.7 鼻伸び感に影響する条件の全組み合わせによる鼻伸び感の平均

4.1.5 実験 1 : 「鼻伸び感」の考察

実験結果から、映像とひっぱり双方を提示した時、通常の鼻の長さよりも鼻が伸びていると感じることがわかった。視覚情報の影響が強いことは先行研究から、あらかじめ想定しており、この結果はこの鼻が伸びている感覚をエンターテインメント表現などに応用するときに活用する。またひっぱりを提示した場合も、通常の鼻よりも伸びているように感じることをわかった。それゆえ身体変容に対して、ひっぱりが有効であり、鼻伸び感に影響していることがわかった。これは、人がシステムを使用しなくても、「身体を変形させただけ」で、伸びた鼻感（身体領域の拡張）を知覚できることを示している。次の実験では、これら鼻伸び感に影響のあった要素である、映像とひっぱりをピックアップし、すべての組み合わせにおいて、匂い源の位置認識に対する影響を観察する。

4.1.6 実験2:「伸びた鼻による、匂い源の認識位置」

この実験では、通常時の鼻と、伸びたと感じた鼻の、匂い源に対して認識する相対位置を観察し比較した。実験1の結果に基づき、表4.1に示されているC0、C2、C3およびC6の4つの条件下（鼻伸び感に有意に働く「映像」と「ひっぱり」提示の全組み合わせ）で認識する相対位置を計測した。

4.1.7 実験2:「伸びた鼻による、匂い源の認識位置」の実験デザイン

被験者内実験計画を採用した。この実験の独立変数は、感覚提示の組み合わせであり、従属変数は、匂い源を認識する相対位置であった。図4.8に示すように、参加者はAltered Nose Systemを装着した状態で、綿棒に含まれるリンゴの匂いを嗅ぐ。HMDをつけた状態の参加者に、綿棒つきの箱を徐々に近づけていき、リンゴの匂いがわかることを確認すると、その場所を匂い源の初期設定位置として決定した。参加者には全部で以下4つのパターンを提示した。C0(正常状態)、C2(ひっぱりのみ)、C3(映像のみ)、C6(ひっぱり+映像)。参加者は、各条件を提示された後、指で匂いの認識位置を示した。匂い源に対する認識位置の距離の変化を相対位置として記録した。条件はランダム化し提示した。

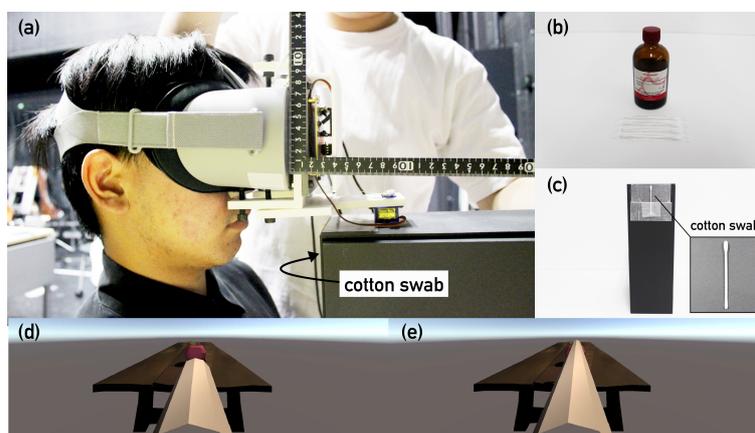


図 4.8 匂い源の認識位置実験の様子

4.1.8 実験 2 : 「伸びた鼻による、匂い源の認識位置」の実験器具

図 4.8(b) に示すように、綿棒とマルゴコーポレーション製のリンゴの香りを使用した。リンゴの香りをつけた綿棒を、図 4.8(c) のように高さ 37cm(テーブル表面から)、幅 12cm、深さ 23cm の箱に取り付けた。この箱は、匂い源を容易に移動させる目的で使用し、箱に特有の臭気がないことを確認した。図 4.8 (a) に示すように Altered Nose System のサーボモーターがボックスの上にくるように各参加者の椅子の高さを調整した。距離を正確に測るために直角定規を使用した。

4.1.9 実験 2 : 「伸びた鼻による、匂い源の認識位置」の実験手順

実験は、空気の流れの影響を減らすためにエアコンを切った空間で行われた。実験の部屋に参加者が到着すると、実験の簡単な紹介が行われた。次に参加者に、Altered Nose System を装着してもらい、装着感に違和感がないことを確認した。この状態で HMD の前だけ見ってもらうよう指示し、次にリンゴの匂い付き綿棒を箱に固定しました。その後、箱を被験者の方へ少しずつ移動させ、参加者に匂いが確認できることを確認し、その位置を匂い源の基準点として固定した。その後、設定した条件に応じて刺激を与えた。条件提示後、参加者たちは「今、匂いをどこで感じているか」と質問され、参加者は自分の人差し指で答えを指摘した(定規を見ることができないので、定規に触れることで示された)。この手順により相対知覚位置を得た。条件が提示されている間は、風による影響を防ぐため、参加者に動かないように指示した。各条件の提示ごとに、無臭デオドラントスプレーを使用し、次のコンディション提示まで 1 分間の休憩を取り、続いて臭いのある新しい綿棒で上記のプロセスを 3 回繰り返した。8 名の健常参加者(女性 3 名, 男性 5 名, 年齢 M:25.8 歳)を本実験に動員した。自己報告試験に基づき、参加者の中には、嗅覚に関連する健康問題を有するものはいなかった。各参加者ごとに実験完了まで約 25 分かかった。

4.1.10 実験2：「伸びた鼻による、匂い源の認識位置」の実験結果

本実験では映像とひっぱり提示の有無の組み合わせを提示し、認知した匂い源距離を2x2反復測定分散分析で解析した。解析の結果、映像提示およびひっぱり提示による認知した匂い源距離への有意な主効果は認められなかった。また、映像提示および引っ張り提示の間の有意な相互効果は認められなかった。全ての組み合わせにおいて認知された匂い源距離の平均を図4.9に示す。C0とC2間では平均距離の差は2mmであり、平均距離に大きな変化はみられなかった。しかしながらC2については、他条件と比較すると標準偏差が大きく減少していることがわかる。

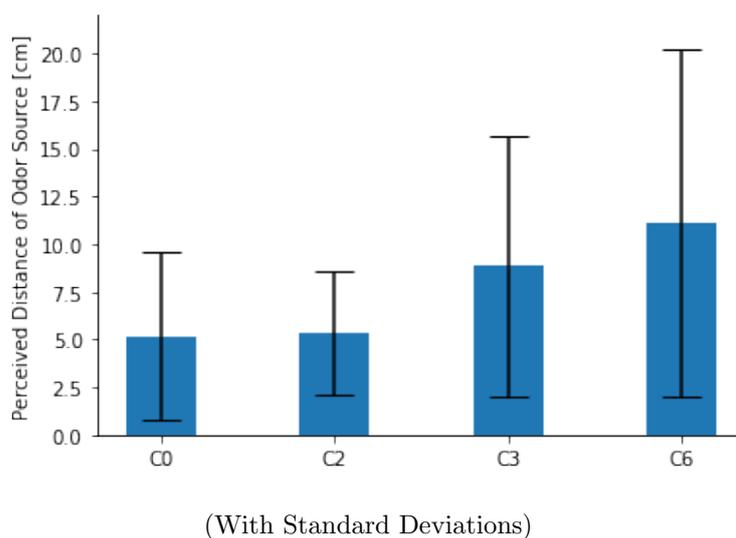


図 4.9 各コンディションで認識された匂い源の位置認識の平均

4.1.11 実験2：「伸びた鼻による、匂い源の認識位置」の考察

すべてのコンディションにおいて、匂い源に対する距離の認知について、有意差は見受けられなかった。しかしながら、ひっぱりを提示した時(C2)、他条件と比較して、匂い源に対する位置認識の分散が狭まっていることが図4.9から推測できる。つまり鼻をひっぱることによって、匂いに対する認知が、通常の鼻と比

べて変化することが観察できた。匂いに対する解像度が上がっていると考えられることもできる。同時に映像を見せることによって、匂いに対する位置認識は、よりあいまいになることも観察できる。この結果については、さらに実験が必要である。今後は鼻を前に引くことで、将来的に嗅覚を改善できるかどうかなども検討していく。加えて、匂い源は他の環境因子によって影響される可能性があり、匂いの方向や広がりなどを考えても、制御の難しいパラメータであった。したがって本実験では前方向の距離のみを測定したが、今後は匂いの広がりに対する認知変化などにも着目し観察していく。

4.2. 「耳介」 についての実験

耳介についても、大きく2つの実験を行なった。耳介とは外に飛び出ている、人から見える部分の耳のことである。1つ目の実験では、耳介の開閉の角度変化に対する知覚の精度を観察した。2つ目の実験では、両耳の開閉組み合わせ計9パターンそれぞれ、どのように周囲環境に存在する音を認識するのかを観察した。



図 4.10 耳介を開閉させる

4.2.1 Altered Pinna System

ACTUONIX 社の PQ-12P リニアアクチュエータ [51] を2つ使用して、ユーザの耳介を変更するための移動システム (図 4.11, 図 4.12) を作成した。これらのアクチュエータは、使用者が快適に装着できるように、ヘッドフォンの内側をくり抜き、スピーカーケース内に取り付けられた。また耳介を全体的に開閉するため、耳を全体的に押すことのできる 3D プリントしたパーツをリニアアクチュエータの先端に取り付けた。さらに、実験時には 3D プリントされたパーツにクッションを取り付けることで、耳介を快適に押すことができるようになった。アクチュエータは Arduino Uno マイクロコントローラで制御した。本システムによって実現された、耳介開口例を図 4.13 に示すが、各開閉のレベルは 500ms 以内に達成されるように作動された。

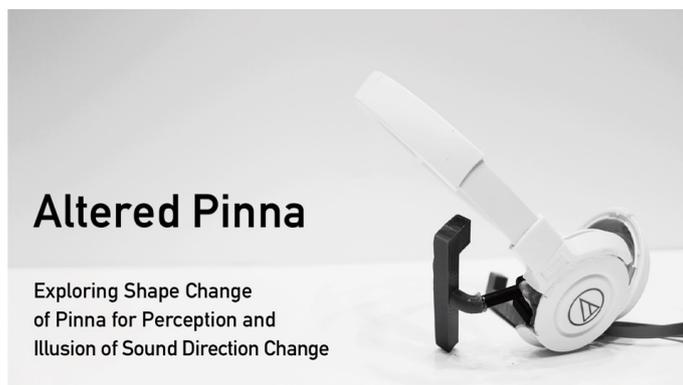


図 4.11 Altered Pinna System

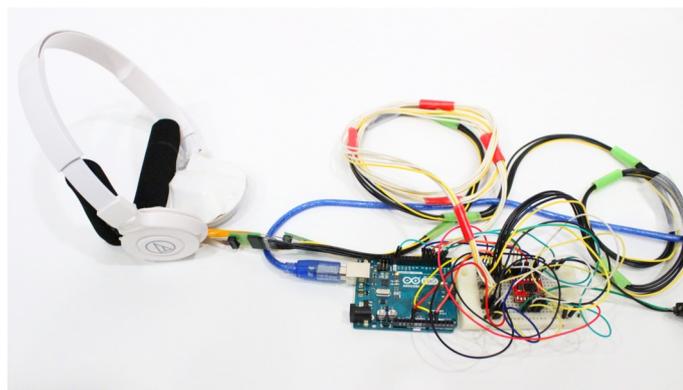


図 4.12 Altered Pinna System 全体像



図 4.13 Altered Pinna System による耳介の開閉

4.2.2 実験 1 : 「耳介位置の変化」 の実験デザイン

この実験では、被験者内実験を採用した。耳介の位置の変化、つまりボディスキーマの変化を、ユーザーが正しく知覚できるかについて評価した。独立変数は、耳介位置が変化した時の知覚解像度またはレベル数である。従属変数は、耳介位置を知覚する位置であった。耳介の位置に3つの条件を設定し、図 4.14 のように3、4、および5レベルに分割した。これらのレベルは、まず最初にリニアアクチュエータの範囲とユーザーの快適さによって決定される初期開始点として設定された。主なタスクとして、参加者は耳介が変化したレベルを示すことを要求された。ラテン方格法を用いて、条件は実験結果への影響を減らすため被験者ごとにランダムに3回ずつ提示した。

	Pinna Open	Pinna Open	Pinna Open	Pinna Open	Pinna Close
Condition1	100%	75%	50%	25%	0%
Condition2	100%	66%	33%	0%	
Condition3	100%	50%	0%		

図 4.14 各条件における耳介の開閉角度

4.2.3 実験 1 : 「耳介位置の変化」 の実験手順

最初に、参加者に簡単な紹介を行い、装置を装着してもらい不快感がないことを確認した。次に、各参加者の耳介が100%Open および100%Close 状態にできるよう、アクチュエータ位置の調整を行った。アクチュエータの位置を決定した上で、各条件を提示した。さらに、リニアアクチュエータが動く音を参加者が聞くのを防ぐために、参加者はホワイトノイズを再生するイヤホンを耳に装着した。イヤホンは耳介の開閉に影響しない大きさのものを選定した。実験では、耳介の形状を変更した後、参加者は前に置かれた、条件に応じて異なる耳介の形を示す図を見ながら、口頭で答えを報告した。10人の健常参加者(女性3名、男性7名、平均年齢:24.6歳)を本実験に動員した。各参加者は実験を完了するのに約18分かった。

4.2.4 実験 1 : 「耳介位置の変化」 の実験結果

実験 1 の結果を図 4.15 に示す。条件 3 が最高の知覚精度 (95.3%) であった。一因子 ANOVA 分析は有意な効果を明らかにした ($F_{2,27} = 32.67, p < 0.0001$)。個々の対応 t 検定による更なる分析は、条件 1 と 2 の間 ($t = -3.59, p < 0.05$)、2 と 3 の間 ($t = -3.87, p < 0.05$) および 1 と 3 の間 ($t = -8.01, p < 0.0001$) で有意な効果を報告した。したがって、後続の実験および指示については、3 つのレベルの耳介位置が設定される条件 3 を選択した。最小数の耳介位置 (3 レベル) が知覚した耳介位置に対して最高の精度を持つことを観察した。

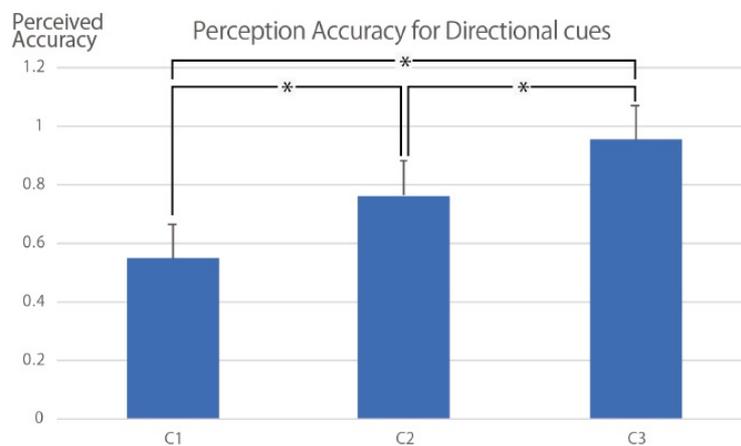


図 4.15 耳介位置に対する知覚精度

4.2.5 実験 1 : 「耳介位置の変化」 の考察

人間は視覚的情報がなかったとしても (自分の耳が見えない状態でも)、3 段階の変化であれば耳の位置を高い確率で正確に知覚できることがわかった。この知覚精度の高いコンディションを、実験 2 に活用していく。この実験は世界の中で自分の身体の位置が「ここにある」というボディスキーマの変更を人間が正しく知覚していることを示している。またこの実験では、両耳が同じ耳介の位置で提示されており、両耳に異なる位置の組み合わせを提示するための実験はまだ行わ

れていないことに留意されたい。3つのレベルを分解し片耳ずつ同時に異なる角度を知覚できるかどうかを検証するために、将来より詳細な実験を行う予定である。また今回は、知覚する角度を実験者サイドにてあらかじめ3つのコンディションを設定したが、今後は心理物理実験を行い、人間が弁別できる最適な角度を観察することも検討している。

4.2.6 実験2:「変形した耳介による、音源の認識位置」の実験デザイン

本実験の目的は、耳介位置の変化が、音源位置の認識に及ぼす影響を評価することである。この実験では、実験1から選択した3つのレベルの耳介位置条件を用いた。被験者内実験を採用した。主な独立条件は各耳の耳介位置と音源の位置であった。従属変数は、音源位置を認識する位置であった。図4.16に示すように、参加者の前に180度領域の半円の壁を設け、等間隔に音源であるスピーカーを配置した。スピーカーからのサウンド出力は1/2正弦波のビーブ音で、音量は40db、周波数は440Hzに設定した。耳介は100%Open、50%Open、100%Closeの両耳の組み合わせ計9パターンを試した。主なタスクとして、参加者には音源の認識位置を示すことを要求した。条件および試験はランダム化し、各試験を3回繰り返した。



図 4.16 「音源位置の認識」実験の様子

4.2.7 実験2:「変形した耳介による、音源の認識位置」の実験器具

7台のFosterスピーカー(図4.16)(モデル:576865 [52])を用いた。これらは、音響的に隔離された部屋で、180度に広げられたパネルに均等に貼り付けられた。音響出力にはフォスターアンプを用い、Roland オーディオインターフェイス OCTA-CAPTURE [53]を用いた。各スピーカーに音声信号を送るために、ピュアデータ [54]で制御した。

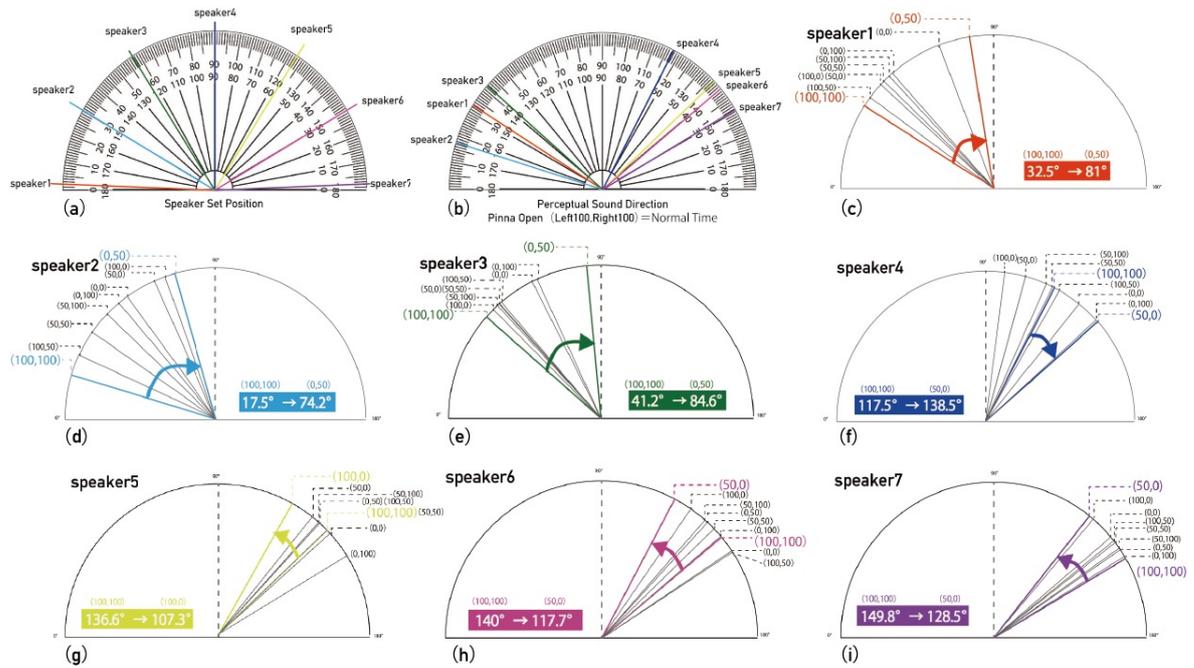
4.2.8 実験2:「変形した耳介による、音源の認識位置」の実験手順

実験部屋に参加者が到着すると、簡単な紹介が行われた。各実験を開始する前に、参加者には、正面の中央スピーカーを向くように指示し座ってもらった。次に、参加者は Altered Pinna System を装着し、実験者は参加者に装置に不快感がないことを確認した。次に参加者に目を閉じるように指示した。耳介に変化を与えた後、7つの中からいずれかのスピーカーからランダムに音を出し、参加者はその都度、聞こえてくる方向の角度を口頭にて、報告した。参加者の前に A3 サイズの紙に印刷した分度器を置き、答える時にだけ目を開け参考にしてもらった。8名の健常参加者(女性3名、男性5名、平均年齢:25.8歳)を本研究に動員した(参加者のうち2人は実験1にも参加した)。自己報告された検査に基づいて、参加者の誰も聴覚関連の健康問題を有していなかった。各参加者に対する実験は完了まで約32分かかった。

4.2.9 実験2:「変形した耳介による、音源の認識位置」の実験結果

音の方向の知覚には個人差があるが、すべての実験データを平均値で比較した。実験2の平均結果を図4.17に示すが、スピーカ1~4(c,d,e,f)、6~7(h,i)では、音の方向に耳を100%閉じ、反対側の耳を50%開いた時に、正常時の両耳と比較して、方向認識に最も大きな差が生じることが分かる。スピーカ5(g)は、右耳が100%閉じた状態と左耳が100%開いた状態が、通常時の方向認識と最も異なっている。実験2で観察されたように、正常時でも図4.18のように音源の知覚位置の

同定では逸脱があった。これは、環境と部屋が音響的に隔離されているにもかかわらず、音がパネルから反射される実験設定に起因する可能性がある。しかし、実験2では、7つ中6つのスピーカーで、片方の耳を100%閉じ(音源側の耳)、反対側の耳を50%開くと、音の知覚方向において最大の違いが生じるという興味深い現象を観察した。



((a) はスピーカー設置位置。(b) は通常の耳で認識した音場。(c~i) は各スピーカーからの音源を、9パターン(の耳介の時にどの位置に認識したかを示す。 $(x,x) = (\text{左耳の角度}, \text{右耳の角度})$)

図 4.17 スピーカー別音源認識位置の変化

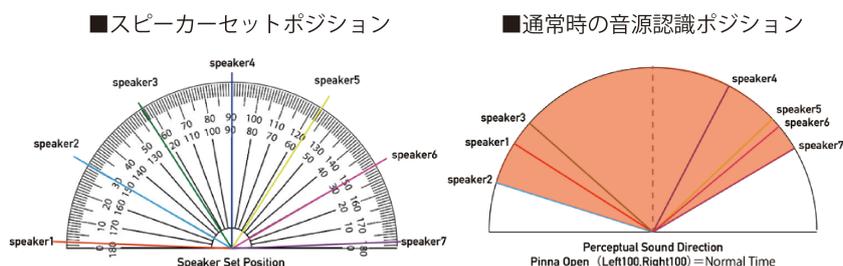


図 4.18 通常時の音源認識位置

4.2.10 実験 2 : 「変形した耳介による、音源の認識位置」の考察

この実験では、図 4.19 や図 4.20 に示すように耳介を変化させることにより、音場を変化させられることがわかった。これは我々が普段認知しているリアリティを歪ませることができたことを示しており、このリアリティは人間にとってはじめて遭遇する現実世界におけるリアリティであり、それは人の行動の変化や能力の拡張につながっていく可能性があると考えられる。またこの音源定位錯視に関して、Batteau [55] は耳介による音の反射が重要であり、耳介の形状が複雑であり、反射音の到達時間が音源到達方向によって異なることを利用して、到達時間差が得られることを指摘している。しかし、今回は耳介自体の形状を変更しているため、本来の耳介の反射とは異なる時間差が生じているはずである。さらに、この研究は出発点として 1 つの音レベルと 1 つの周波数だけを調べた。今後の研究では、この錯覚をより深く理解するため、より多くのパラメータを探求する予定である。加えて両実験において、個々の参加者の耳の解剖学的差異を考慮しなかったため、今後の研究でこれらの違いの影響を検討する予定である。

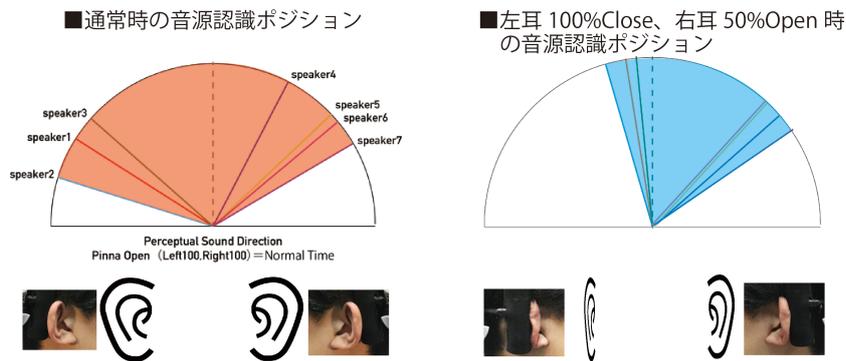


図 4.19 左耳 100%Close、右耳 50%Open 時の音場の変化

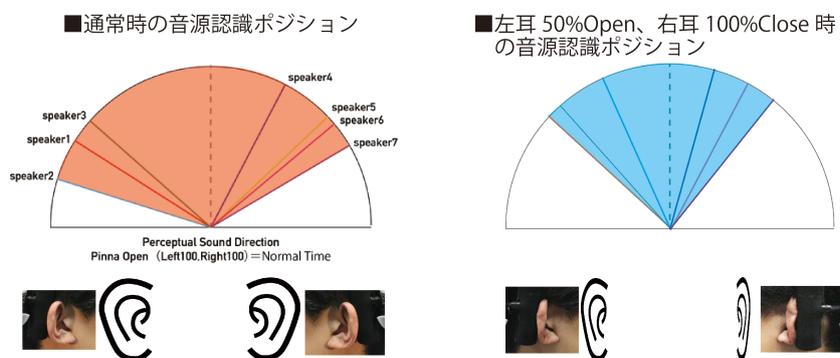


図 4.20 左耳 50%Open、右耳 100%Close 時の音場の変化

4.3. 第4章まとめ

鼻についての実験では、映像、ひっぱりおよび振動触覚の要素を組み合わせた全8パターンから、全条件において、どれだけ鼻が伸びるかを定量的に測定した。結果として、ひっぱりだけでも、何もしていない鼻より長く伸びたと感じることを観察し、加えて、その鼻が伸びた状態において、匂い源に対する認識位置の変化を観察した。試験した4つのパターンのうち、鼻をひっぱった時に、匂いの発生源の位置に対する認識の散らばりが、他の条件と比べて少なくなる（変化する）ことがわかった。続いて耳についての実験では、ユーザが耳介位置の3つのレベ

ル（100%Open,50%Open,100%Close）を高い確率で認識できることに加えて、両耳の耳介位置の9つの組合せすべてにおいて、音源に対する認識を調べることで、音源の方向の認識を変えることができることを示した。また、最大の錯覚は、音源方向の耳が100%閉じていて、もう一方の耳が50%開いているときに生まれることもわかった（1つのスピーカーを除いて）。以上の結果から、鼻は「ひっぱる」ことによって、耳は「開閉させる」ことにより、ボディスキーマを変更させることができることを証明し、またその変更したボディスキーマで環境に接すると、認知が変わることを証明した。この鼻と耳の身体変形による認知変化は、人間の行動や生活に様々な変化をもたらすかもしれない。例えば、鼻伸び感の提示は、ピノキオ体験などのエンタメ体験や、匂いを通じた空間認識、あるいは匂いを通じた新たなテレコミュニケーションの可能性の模索に貢献する。さらに耳の実験は、音場をコントロールできるようになることで、自らが聞きたい音だけを聞くことができたり、騒音に対する意識をずらして集中力を維持することにつながったり、立体音響にオリジナリティを加えて自分好みの音響を作れたり、さらには耳を動かすことによって、ダンサーにとっての音場を歪め、ダンス表現を変化させることなどにもつながるかもしれない。第5章では、身体変容による認知変化のユースケースとして、鼻伸び感をエンターテインメント化した「ピノキオ体験プロジェクト」と、耳の開閉を生かしてダンサーにとってのダンス表現に新たな可能性を提示する「耳を踊らせるプロジェクト」を紹介する。

第 5 章

身体変容がもたらす表現展開への可能性

本章では、身体変形することによって認知変化させるデザイン手法を用いた、エンターテインメントおよびアート表現への展開について言及する。ボディスキーマの変更やそれに伴う認知変化がどのように表現に活かされ、人の行動や心に影響を与えていくのか、その可能性を提示したい。特に今回は、第 4 章にて実験を行なった「鼻」と「耳」にフォーカスし、「PINOSE」と「ear dance」という、身体変容を用いた表現プロジェクトを紹介する。

5.1. 鼻伸び感を応用した表現 PINOSE

ピノーズは「嘘をつくと鼻が伸びる」VR 体験である。童話ピノキオのエピソードからヒントを得た。体験者はコンテンツ内で「嘘をつく」ことによって、嘘をきっかけに鼻が伸びていく。そして伸びた鼻で、HMD 内の映像のりんごに触ったり、コーヒーカップの匂いを嗅ぐことができたり、猫とじゃれることができる。

5.1.1 PINOSE を構成するデバイス

本コンテンツでは、第 4 章で紹介した Altered Nose System を活用し、さらに香りを出力するディフューザとの連携を付け加えた (図 5.3)。第 2 章での先行研究や第 4 章での実験結果により「映像+ひっぱり」が一番伸び感があることを確認していたので、映像内で鼻が伸びるのと合わせて、鼻をひっぱることによって鼻

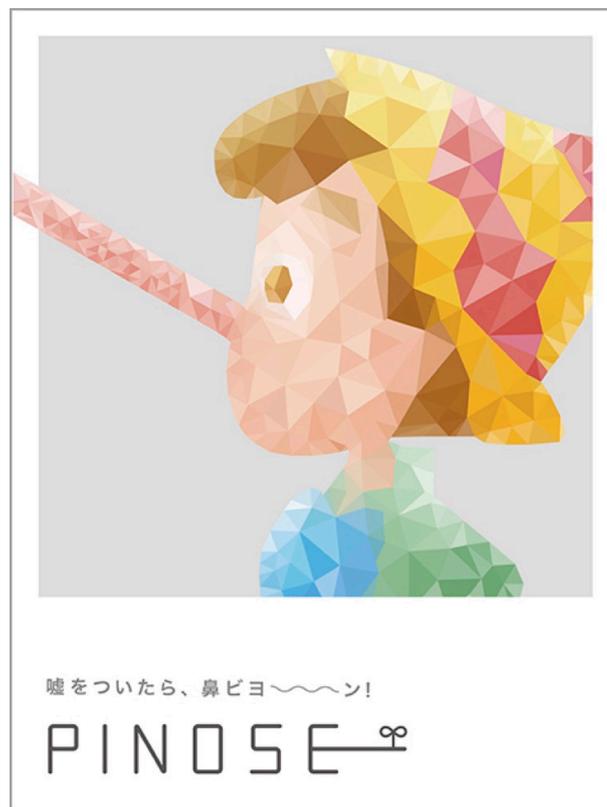


図 5.1 PINOSE Key Visual

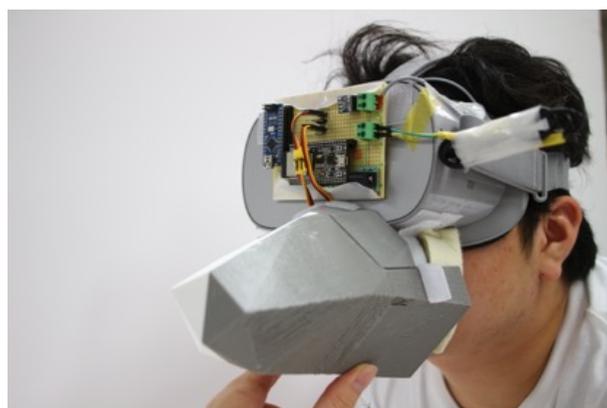


図 5.2 PINOSE Device

伸び感を提示した。さらに伸びた鼻が映像内でりんごにぶつくと「ゴツン」という触覚フィードバックを提示することができ、また映像内で鼻がコーヒーカップの上を通った時に、ディフューザからコーヒーの香りを提示する。

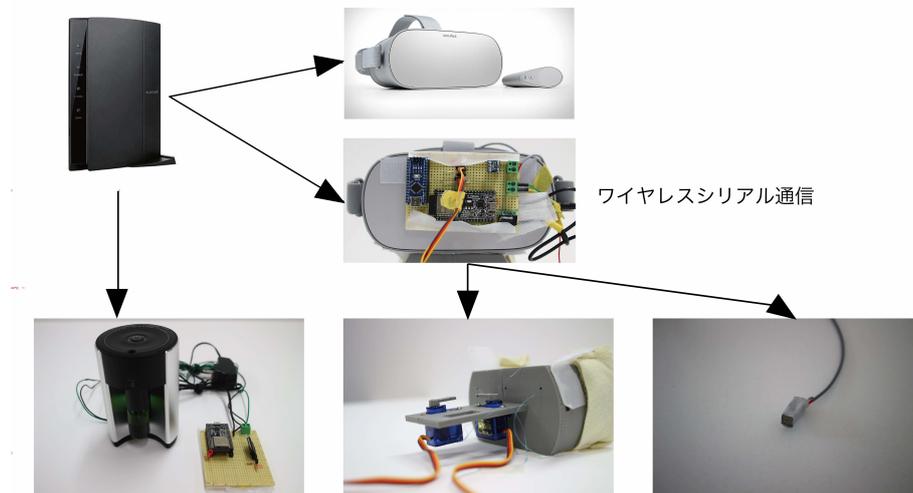


図 5.3 PINOSE System Structure

5.1.2 PINOSE コンテンツ

体験者がヘッドマウントディスプレイを装着すると、イントロダクションが始まる。この映像内で提示される質問には、必ずYESと答えなければならない。質問の内容は「あなたは朝ごはんを食べたことがないって本当ですか?」、「あなたは妖精ですか?」など、YESと答えると必ず嘘になる質問を用意した。体験者が嘘をついたと同時にまず鼻が伸び（映像と同時に鼻もひっぱる）、テーブルの上に置いてあるりんごにぶつかる(図5.4)。りんごにぶつかると「ごつん」という触覚フィードバックが生じ、また次の質問が表示される。また嘘をつく、さらに鼻が伸びていき、今度はコーヒーカップの上を通った時に、ディフューザが起動し、コーヒーの香りがする。また質問が表示され、また嘘をつく、さらに鼻が伸び今度は猫に鼻をひっかかれる触覚フィードバックがある。最後に、「あなた

は今日を楽しんでいますか？」という質問に YES と答えてもらい、本当のことを言ったと仮定し、鼻が元の状態に戻る体験である。

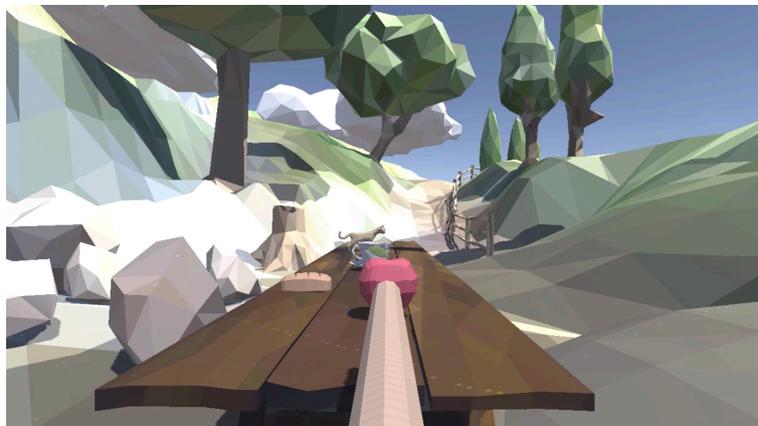


図 5.4 ヘッドマウントディスプレイ内の映像

5.1.3 PINOSE 展示

国内 IVRC [56] にて展示し、LAVAL VIRTUAL AWARD を受賞し、フランスで行われた LAVAL VIRTUAL 2019 [57](図 5.5a) で招待展示をした。さらには「鼻が伸びる HMD、PinocchioVR [40]」という題目で Siggraph 2019 [58] (図 5.5b) にて e-tech エリアで展示した。PINOSE は多くの展示機会を得て、2018 年からの 2 年間で計 800 名以上に体験してもらうことができた。多くの体験者から「本当に鼻が伸びたみたいだ」、「これは新しい体験だ」、「匂いまで加えた必然性のあるクロスモーダル表現は珍しい」など、沢山の前向きなフィードバックを得た。

5.1.4 PINOSE 考察

「鼻が伸びる体験」は多くの人にとって初めての体験であった。従って、体験者は驚きの声をあげることが多く、また突発的に笑ってしまう人も多かった。さらに展示では、ブースに配置したテーブルの上にヘッドマウントディスプレイの中の

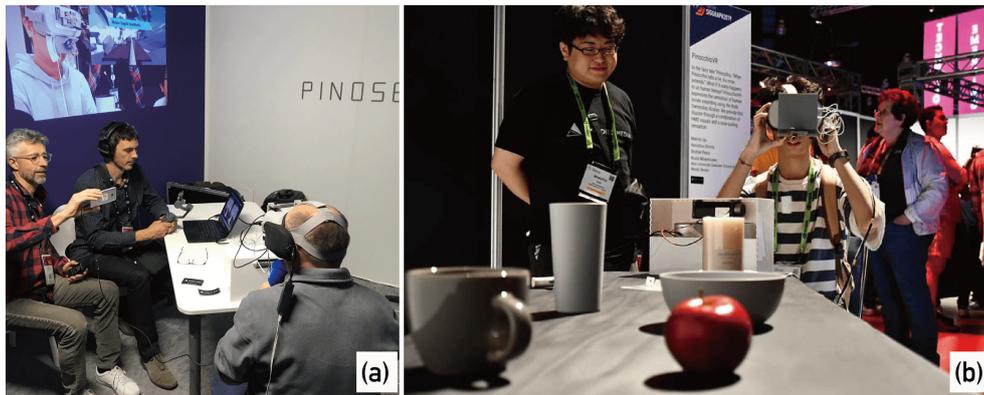


図 5.5 a : LAVAL VIRTUAL2019 でのデモの様子 b : Siggraph2019 でのデモの様子

映像にも存在している要素であるりんごやコーヒーカップを配置した(図 5.5b)。体験者はリアルな世界において配置してあるカップを見てから HMD を装着する。その現実の距離と HMD 内でのカップとの距離がリンクしたこともあってか、多くの体験者が「コーヒーの匂いが遠くからしたような気がした」と述べた。さらに Siggraph [58] e-tech で展示をした時には、伸びた鼻でボタンを押す体験と、机の上にあるゴミをはらうことのできる体験を加えた。その時に体験者は何も説明されていなくても、映像上で前に設置されたボタンを押そうとしたり、首をふって鼻を動かすことで、机の上にあるゴミを払おうとする行動をした。また鼻をより遠くに伸ばしたいと考えたのか、HMD を装着した顔面部自体を前に移動させる体験者も多かった。これらは身体の変容が、心や行動を変えた例としても考えられ、今後は新たにこのような視点で PINOSE を観察していきたいと考えている。

5.2. 耳介の開閉を応用した表現 ear dance

ear dance は「耳を踊らせる」体験である。リズムに合わせて耳を動かすことができる。ダンサーを観客が見るとき、多くの時間、顔の表情を見ているという文献 [59] がある。したがってダンサーにとって、表情は大事な表現手段であることが考えられる。そこで筆者は「顔の表情をより豊かにするために、耳を踊らせることができないか」と考えた。またダンサーは、例えば「(本当はないけれど)ここに壁があると思って手を伸ばす」というように、空間の中に自ら物体のイメージを作ってそれを踊りに活かす、という話もある。そのようなことを考えていくと、耳のボディスキーマが変更したときに、これによって歪んだリアリティによって、ダンサーの動きや心も変化するのではないかと、というようなことに興味を持って作成したプロジェクトである。

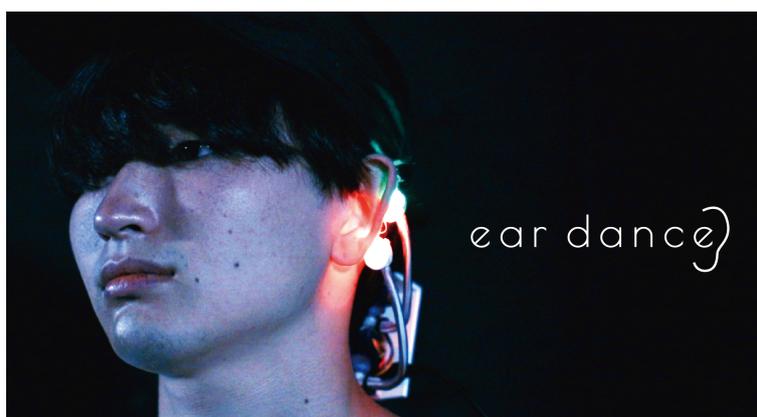


図 5.6 ear dance Key Visual

5.2.1 ear dance を実現するデバイス

ear dance Device(図 5.7) は、4つのサーボモータ (SG-90) を内蔵する、3D プリンターによって作ったボックスと、サーボモータにとりつけた4本の針金の足によって構成される。外部入力として、ビートがセッティングされた AKAI 社の MPC ELEMENT (サンプラー) [60] を用意し、ビートが出力されると同時に、それぞ

れのサーボモータが動き、針金の足が動き、耳を押し引きする。さらに足の先には、3Dプリンタで作られたモジュールにLEDをつけておりビートと同時に光る設計になっている。この光は外耳を通して表現され、図5.6のように薄い身体部位である耳ならではの光の表現が可能になる。デバイスは、PCのMax [61] からESP32 [62] へのワイヤレスシリアル通信によって制御され、音声情報はMax [61] を通じて出力される。

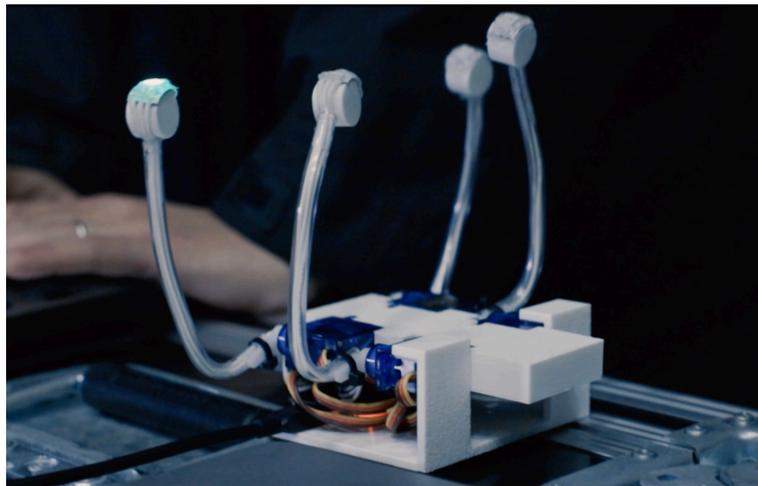


図 5.7 ear dance Device

5.2.2 ear dance コンテンツ&展示

まず、ear dance Device を体験者の耳に装着する。そして演奏者がサンプラーをつかってビートを出力したリズムに合わせて、デバイスが動き、耳も連動して動く。体験者はあたかも耳でリズムをとっているような感覚を受けることができる。2019年11月にKMD Forum [63](図5.8)で発表され、多くの来訪者がとても楽しくコンテンツに触れていた。特に、自分の耳が動くのを、セルフィーで撮影する人が多く見受けられた。「これは面白い体験だ」、「新しい発想だ」など、数々のポジティブな意見をいただいた。



図 5.8 KMD Forum でのデモ風景

5.2.3 ear dance 考察

現状のプロトタイプでは、体験者は座って装着するタイプになっているが、サンプラーからリズムを提示し、耳が動きはじめると、自然と体験者が顔を動かしてリズムに乗りはじめる。また体験者がリズムに乗ったときに、動いた耳の反対方向に顔が傾くことが観察できた。また ear dance で扱うビートは基本的に Hip Hop のビートをイメージして表現した。実験によって検証したわけではないが、通常 Hip Hop のビートには人は縦に首を振ってリズムに乗るが、ear dance device を装着していると、横に首をふってリズムをとっていた。これらは耳の開閉によって、認知できる音場が歪み、顔の動きを変えた例として考えることもできるかもしれない。また同時にリズムをより直感的に感じるという意見もあり、本当の意味で「耳でリズムをとること」も可能になるのではないかと考えた。今後は新たにダンサー全身の動きを変化させることができないかという視点で、プロジェクトを進めてみたい。

5.2.4 5章まとめ

4章の実験で導き出した結果を元に、それらを応用し、エンターテインメントコンテンツに展開した。PINOSEで長い鼻になった体験者は、思わず吹き出してしまったり、自らの鼻をほうきのように使ってテーブルを掃除したり、棒のようにつかってボタンを押そうとした。またもっと前にあるものをとろうとして、顔を前に移動させた。ear danceでリズムに合わせて耳を踊らせると、提示した耳と反対側に、首を傾げる様子や、リズムにのる頭の動きも、通常時より大きく横に首を振ってリズムに乗っているような様子も観察した。これらのプロジェクトは、実際に起こった身体の変容がリアリティを変化させ、そして心や行動を変える可能性について示唆している。いずれにしてもどちらの体験も、エンターテインメントとして人を楽しませることができたことは観察できた。本論文では4章までを通して「ボディパーツの変形による、身体変容によって、認知を変化させる」ことをメインテーマにしてきた。本章では、さらにその先のユースケースとしての展開を紹介した。今後は身体全体の変形を活かして、さらなる人間の身体拡張および認知拡張そして、心や行動の変化を捉えるところまで研究の視野を広げていく。

第 6 章

結 論

第 1 章では、本研究の目的、背景や、言語に対する定義などを説明し、本研究が目指す、人間の身体を変形することによって、人間にとって体験したことのない、新しいリアリティを獲得することや、身体拡張研究において身体変容による認知や行動の変化については、いまだ十分な議論がなされていないこと、また身体拡張の考え方自体が、拡張システムの小型化や身体化につながるのではないかということ述べた。またアンディ・クラーク氏によって唱えられている道具一体型、ワイヤー型のサイborgの考えに触れ、本研究が目指すのは、その間に位置する「身体変形型ナチュラルボーン・サイborg」であることを示すと同時に、人間に対する新しい哲学的な解釈へのきっかけになることにも触れた。

第 2 章では、人間の持つボディスキーマの高い可塑性を前提に、道具の身体化について述べた。近年では義肢や義手などが、人間の身体の一部になっていることを観察した研究も増えている。一方で、義手などが本当に身体の一部になっているかどうかについて疑問を唱え、義手などについて、神経科学の観点から考える必要があると述べた研究チームもあった。本研究では、システムが「身体の一部」になっていくことを考えるにあたり、人間の身体を変形させ、身体領域および能力を、あらかじめ最大限引き出した後に、システムを考えることでやがて小型・軽量化につながり身体化の向上に寄与するのではないかと考えた。また、身体を活かした身体拡張の手法については、先行研究から「皮膚を伸ばす」、「ひっぱる力を与える」などの特徴を見出し本研究にも活用した。また身体変容を扱う研究の多くは、HMDを使った視覚的アプローチを含んでいるが、本研究のスタンスとして極力システムに依存しないスタンスをとりたいため、身体を変形させることのみでボディスキーマを変更させられないかと考えた。しかしながら、先行

研究を調べていくうちに、視覚情報の影響が非常に強いことを見出したので、比較実験時とエンターテインメント表現などの応用活用時に活用することを明示した。また最後に身体の変容や知覚の変化を利用したユースケースとして、エンターテインメントおよびアート表現例も紹介した。

続いて第3章では「身体を変形させることによって、空間認知を変える」というコンセプトが、どのように人々とシステムの関係を変え、技術や哲学の進歩につながっていくのかを提案した。また体全身を通して、変形させることができるボディパーツを挙げ「どのような変形が考えられるのか」そしてそれぞれのボディパーツを変形させることによって、どのように環境に対する認知や心や行動の変化が想定できるのか、ユースケースについて提案した。

第4章では全身の中から「鼻」と「耳」というボディパーツにフォーカスし、それぞれ「ボディスキーマの変化」を捉える実験と、「身体変容後の、周囲環境に対する認知の変化」について、大きく2つずつ実験をした。鼻については「ひっぱることで、鼻が伸びたという感覚が生じること」と、「伸びたと感じている鼻による、匂い源に対する認識は、通常の鼻と比べると変化すること」を発見した。また耳については「耳が100%Open、50%Open、100%Closeの状態のボディスキーマを高い精度で知覚できること」と「耳を開閉させることによって、聞こえてくる音源の位置認識が、通常時の耳と比べて変化すること」を発見した。これらの結果から、「身体の変形によって、認知を変化させることができる」という当デザインの有効性を「耳と鼻」という身体部位を例に出して示した。

第5章では、身体変容によって認知を変化させられることがわかった「鼻」と「耳」を、どうユースケースとして、社会に展開できるかを考えるため、まずはエンターテインメント領域における「表現コンテンツ」を考案した。鼻が伸びるピノキオ体験である「PINOSE」と、耳がリズムに合わせて動く「ear dance」を紹介した。これらコンテンツの展示経験を通して、「鼻が伸びると、人は鼻を利用して、ボタンを押したり、机の上を片付けようとする」、「リズムによって耳が動くと、動いた耳と逆方向に頭を動かす」、また通常Hip Hopのリズムには縦に頭をふってリズムに乗るのに対して「横に頭をふってリズムにのる」など、身体変容による認知変化が、具体的に行動の変化につながる可能性を示した。

今後は、第4章、第5章で取り上げた「鼻」と「耳」だけでなく、第3章で提案したボディパーツ「目」や「舌」や「髪の毛」や「足」など、体全身にあるボディパーツにおいて「身体を変形させる」というデザイン手法を通して「ボディスキーマの変更と認知の変化」、そしてその先の社会展開につながるアイデアを考えていきたい。

いずれにしても、本研究の「ボディパーツを変形させることにより、リアリティを変化させ、それを操作することによって、環境に対する認知を変化させる」というコンセプトが、人々に新しいリアリティの体験を届け、道具の小型・軽量化および身体化の向上、そして、人間に対する新たな哲学的解釈の発見や、さらなる身体および認知拡張の研究の進展に貢献していくことを今後も目指していく。

6.1. 最後に

本論文では、各ボディパーツごとに、ボディスキーマの変容により新しいリアリティを獲得し、認知能力を変化させることで考えられるユースケースを想定したが、これらのことは総合して、人間にとって何をもたらすと言えるのだろうか。

突然だが、童話ピノキオには、こんなエピソードがある。サーカス団の団長に捕らえられ、鳥かごのような檻に入れられているピノキオ。そこに現れた妖精と、このような会話をする。

「妖精：—ピノキオ、学校はどうしたの？」

ピノキオ：学校に行く途中に会ってしまったのです。

妖精：—誰に？

ピノキオ：緑色の目をした、2匹の大きな怪獣に。」

この嘘をきっかけにピノキオの鼻は伸びる。物語上は鼻が伸びることはネガティブな事象を象徴しているが、私はこう考えた。

「その伸びた鼻だけが、檻の外に出ている」。

その鼻は、妖精に触れることができたかもしれないし、檻の外の匂いを嗅ぐことができたかもしれない。ひょっとすると鍵をとることができたかもしれない。こ



図 6.1 映画ピノキオのワンシーン [9]

ここで大事ななのは、ピノキオは檻の中では何も持っておらず、ヘッドマウントディスプレイもしていないことだ。

このようなことから、私は、自らの身体を変形させることによる身体拡張は、「新たな自由」を手に入れることなのかもしれないと考えた。

新しい体によって新しい自由を獲得した人間が、どのように未来とつながっていくのか、今後も好奇心を持って考えていきたい。

謝 辞

本研究の指導教員であり、幅広い知見と柔軟な視点で、研究をいつでも興味深い方向に導いていただきました慶應義塾大学大学院メディアデザイン研究科の南澤孝太教授に心から感謝いたします。クリエイターを生業とする私ならではの研究を常に意識していただいたことに感謝しております。

また副査である慶應義塾大学大学院メディアデザイン研究科の奥出直人教授には、修士2年夏からはじまった毎週の修論工房を通してご指導いただき、いつもワクワクするお話をいただき心から感謝しております。学問を通して、人生を楽しんでいらっしゃる姿にとっても刺激を受けました。

さらに Rochester Institute of Technology に異動された Roshan Peiris 訪問講師には、私のアイデアをいつでも研究とひもづけていただき、多くの国際学会でデモや論文を発表する機会につなげていただきました。心から感謝しております。

また同期である鶴重誠くんには、広告クリエイティブやコミュニケーションデザインを専門とする私に、プロトタイピングやテクノロジーという側面から、多大なる協力とアドバイスをもらいました。本当にありがとうございました。

さらに Embodied Media Lab の仲間は非常に意識が高く、常に研究に対していい影響をたくさんもらいました。皆で東北大学まで IVRC 予選大会に行ったことをよく覚えています。

最後に、社会人でありながら、異色の世界に飛び込む私の背中を押してくれた奥さんや両親、家族、そして仕事と研究の2束のわらじで、時に心の余裕がなくなっている私に、いつもかわいい笑顔を見せてくれた娘・木乃ちゃん（もうすぐ4歳）に心から感謝いたします。

参 考 文 献

- [1] Konstantina Kilteni, Antonella Maselli, Konrad P Kording, and Mel Slater. Over my fake body: body ownership illusions for studying the multisensory basis of own-body perception. *Frontiers in human neuroscience*, Vol. 9, p. 141, 2015.
- [2] Angelo Maravita and Atsushi Iriki. Tools for the body (schema). *Trends in cognitive sciences*, Vol. 8, No. 2, pp. 79–86, 2004.
- [3] The third thumb project. <https://www.daniclodedesign.com/thethirdthumb>. (Accessed on 12/2/2019).
- [4] Roger Newport, Kelly Auty, Mark Carey, Katie Greenfield, Ellen M Howard, Natasha Ratcliffe, Hayley Thair, and Kristy Themelis. Give it a tug and feel it grow: extending body perception through the universal nature of illusory finger stretching. *i-Perception*, Vol. 6, No. 5, p. 2041669515599310, 2015.
- [5] Yuki Ban, Takuji Narumi, Tomohiro Tanikawa, and Michitaka Hirose. Modifying perceived size of a handled object through hand image deformation. *Presence: Teleoperators and Virtual Environments*, Vol. 22, No. 3, pp. 255–270, 2013.
- [6] Keigo Matsumoto, Yuki Ban, Takuji Narumi, Yohei Yanase, Tomohiro Tanikawa, and Michitaka Hirose. Unlimited corridor: redirected walking techniques using visuo haptic interaction. In *ACM SIGGRAPH 2016 Emerging Technologies*, p. 20. ACM, 2016.

- [7] Domna Banakou, Sameer Kishore, and Mel Slater. Virtually being einstein results in an improvement in cognitive task performance and a decrease in age bias. *Frontiers in psychology*, Vol. 9, p. 917, 2018.
- [8] Top — echo — 空間を知覚する服. <https://research.rhizomatiks.com/s/works/echo/>. (Accessed on 12/2/2019).
- [9] Waltdisney - ピノキオ (pinocchio) part2 - youtube. <https://www.youtube.com/watch?v=8itggdB3U0E&t=130s>. (Accessed on 12/2/2019).
- [10] MHD Saraji, Tomoya Sasaki, Kai Kunze, Kouta Minamizawa, and Masahiko Inami. Metaarms: Body remapping using feet-controlled artificial arms. In *The 31st Annual ACM Symposium on User Interface Software and Technology*, pp. 65–74. ACM, 2018.
- [11] 鳴海拓志. ゴーストエンジニアリング: 身体変容による認知拡張の活用に向けて. *認知科学*, Vol. 26, No. 1, pp. 14–29, 2019.
- [12] Andy Clark. Natural-born cyborgs? In *International Conference on Cognitive Technology*, pp. 17–24. Springer, 2001.
- [13] Andy Clark. *Being there: Putting brain, body, and world together again*. MIT press, 1998.
- [14] Marcello Costantini and Patrick Haggard. The rubber hand illusion: sensitivity and reference frame for body ownership. *Consciousness and cognition*, Vol. 16, No. 2, pp. 229–240, 2007.
- [15] Vilayanur S Ramachandran, Sandra Blakeslee, and Neil Shah. *Phantoms in the brain: Probing the mysteries of the human mind*. William Morrow New York, 1998.
- [16] Guy M Goodwin, D Ian McCloskey, and Peter BC Matthews. Proprioceptive illusions induced by muscle vibration: contribution by muscle spindles to perception? *Science*, Vol. 175, No. 4028, pp. 1382–1384, 1972.

- [17] James R Lackner. Some proprioceptive influences on the perceptual representation of body shape and orientation. *Brain*, Vol. 111, No. 2, pp. 281–297, 1988.
- [18] Vilayanur S Ramachandran and William Hirstein. The perception of phantom limbs. the do hebb lecture. *Brain: a journal of neurology*, Vol. 121, No. 9, pp. 1603–1630, 1998.
- [19] Craig D Murray. An interpretative phenomenological analysis of the embodiment of artificial limbs. *Disability and Rehabilitation*, Vol. 26, No. 16, pp. 963–973, 2004.
- [20] 田中彰吾, 浅井智久, 金山範明, 今泉修, 弘光健太郎. 心身脳問題. *心理学研究*, Vol. 90, No. 5, pp. 520–539, 2019.
- [21] Atsushi Iriki, Michio Tanaka, and Yoshiaki Iwamura. Coding of modified body schema during tool use by macaque postcentral neurones. *Neuroreport*, Vol. 7, No. 14, pp. 2325–2330, 1996.
- [22] Giacomo Rizzolatti, Cristiana Scandolara, Massimo Matelli, and Maurizio Gentilucci. Afferent properties of periarculate neurons in macaque monkeys. ii. visual responses. *Behavioural brain research*, Vol. 2, No. 2, pp. 147–163, 1981.
- [23] Maria Niedernhuber, Damiano G Barone, and Bigna Lenggenhager. Prostheses as extensions of the body: Progress and challenges. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*, Vol. 92, pp. 1–6, 2018.
- [24] Shu Imaizumi, Tomohisa Asai, and Shinichi Koyama. Embodied prosthetic arm stabilizes body posture, while unembodied one perturbs it. *Consciousness and cognition*, Vol. 45, pp. 75–88, 2016.

- [25] Kaito Hatakeyama, MHD Saraiji, and Kouta Minamizawa. Musiarm: Extending prosthesis to musical expression. In *Proceedings of the 10th Augmented Human International Conference 2019*, p. 29. ACM, 2019.
- [26] Domenico Prattichizzo, Monica Malvezzi, Irfan Hussain, and Gionata Salvetti. The sixth-finger: a modular extra-finger to enhance human hand capabilities. In *The 23rd IEEE International Symposium on Robot and Human Interactive Communication*, pp. 993–998. IEEE, 2014.
- [27] Tamar R Makin, Frederique de Vignemont, and A Aldo Faisal. Neurocognitive barriers to the embodiment of technology. *Nat. Biomed. Eng*, Vol. 1, p. 0014, 2017.
- [28] Masahiro Miyakami, Takuto Nakamura, and Hiroyuki Kajimoto. Evaluation of a device reproducing the pseudo-force sensation caused by a clothespin. In *Proceedings of the 10th Augmented Human International Conference 2019*, p. 5. ACM, 2019.
- [29] Kenri Kodaka and Koyo Mori. Stretchar (m) makes your arms elastic. In *SIGGRAPH Asia 2017 VR Showcase*, p. 10. ACM, 2017.
- [30] Bigna Lenggenhager, Tej Tadi, Thomas Metzinger, and Olaf Blanke. Video ergo sum: manipulating bodily self-consciousness. *Science*, Vol. 317, No. 5841, pp. 1096–1099, 2007.
- [31] Nami Ogawa, Yuki Ban, Sho Sakurai, Takuji Narumi, Tomohiro Tanikawa, and Michitaka Hirose. Metamorphosis hand: dynamically transforming hands. In *Proceedings of the 7th Augmented Human International Conference 2016*, p. 51. ACM, 2016.
- [32] Konstantina Kilteni, Jean-Marie Normand, Maria V Sanchez-Vives, and Mel Slater. Extending body space in immersive virtual reality: a very long arm illusion. *PloS one*, Vol. 7, No. 7, p. e40867, 2012.

- [33] Yuki Ban, Takashi Kajinami, Takuji Narumi, Tomohiro Tanikawa, and Michitaka Hirose. Modifying an identified curved surface shape using pseudo-haptic effect. In *2012 IEEE Haptics Symposium (HAPTICS)*, pp. 211–216. IEEE, 2012.
- [34] 鳴海拓志. 多感覚知覚の工学的応用. 基礎心理学研究, Vol. 36, No. 1, pp. 129–132, 2017.
- [35] Björn Van Der Hoort, Arvid Guterstam, and H Henrik Ehrsson. Being barbie: the size of one ’ s own body determines the perceived size of the world. *PLoS one*, Vol. 6, No. 5, p. e20195, 2011.
- [36] Domna Banakou, Parasuram D Hanumanthu, and Mel Slater. Virtual embodiment of white people in a black virtual body leads to a sustained reduction in their implicit racial bias. *Frontiers in human neuroscience*, Vol. 10, p. 601, 2016.
- [37] Sun Joo Ahn, Joshua Bostick, Elise Ogle, Kristine L Nowak, Kara T McGillicuddy, and Jeremy N Bailenson. Experiencing nature: Embodying animals in immersive virtual environments increases inclusion of nature in self and involvement with nature. *Journal of Computer-Mediated Communication*, Vol. 21, No. 6, pp. 399–419, 2016.
- [38] Eve, dance is an unplaceable place - telma ha. <https://www.telmaha.com/Eve-dance-is-an-unplaceable-place>. (Accessed on 12/2/2019).
- [39] Ycam interlab + 安藤洋子共同研究開発プロジェクト「ram」. <https://special.ycam.jp/ram/>. (Accessed on 12/2/2019).
- [40] Makoto Uju, Kenichiro Shirota, Roshan Peiris, and Kouta Minamizawa. Pinocchiovr. In *ACM SIGGRAPH 2019 Emerging Technologies*, p. 21. ACM, 2019.

- [41] Da-Yuan Huang, Teddy Seyed, Linjun Li, Jun Gong, Zhihao Yao, Yuchen Jiao, Xiang'Anthony' Chen, and Xing-Dong Yang. Orecchio: Extending body-language through actuated static and dynamic auricular postures. In *The 31st Annual ACM Symposium on User Interface Software and Technology*, pp. 697–710. ACM, 2018.
- [42] Takashi Kikuchi, Yuta Sugiura, Katsutoshi Masai, Maki Sugimoto, and Bruce H Thomas. Eartouch: turning the ear into an input surface. In *Proceedings of the 19th International Conference on Human-Computer Interaction with Mobile Devices and Services*, p. 27. ACM, 2017.
- [43] Luis C Populin and Tom CT Yin. Pinna movements of the cat during sound localization. *Journal of Neuroscience*, Vol. 18, No. 11, pp. 4233–4243, 1998.
- [44] Yuji Kaneda and Masakazu Matsugu. Information processing apparatus, eye open/closed degree determination method, computer-readable storage medium, and image sensing apparatus, March 6 2012. US Patent 8,130,281.
- [45] Christine Dierk, Sarah Sterman, Molly Jane Pearce Nicholas, and Eric Paulos. Häiriö: Human hair as interactive material. In *Proceedings of the Twelfth International Conference on Tangible, Embedded, and Embodied Interaction*, pp. 148–157. ACM, 2018.
- [46] Robin S Rosenberg, Shawnee L Baughman, and Jeremy N Bailenson. Virtual superheroes: Using superpowers in virtual reality to encourage prosocial behavior. *PloS one*, Vol. 8, No. 1, p. e55003, 2013.
- [47] opensoundcontrol.org — an enabling encoding for media applications. <http://opensoundcontrol.org/>. (Accessed on 12/20/2019).
- [48] Oculus go: スタンドアローン vr ヘッドセット — oculus. <https://www.oculus.com/go/>. (Accessed on 12/20/2019).

- [49] Unity real-time development platform — 3d, 2d vr & ar visualizations. <https://unity.com/>. (Accessed on 12/20/2019).
- [50] Hapticreactor - electronic components - alps alpine. <https://www.alps.com/prod/info/E/HTML/Haptic/>. (Accessed on 12/2/2019).
- [51] Smallest linear actuator with feedback - actuonix pq12-p. <https://www.actuonix.com/Actuonix-PQ-12-P-Linear-Actuator-p/pq12-p.htm>. (Accessed on 12/20/2019).
- [52] (vibration_actuators) . https://www.foster.co.jp/products/pdf/vibration_actuators.pdf. (Accessed on 12/20/2019).
- [53] Roland - octa-capture — 24-bit/192khz hi-speed usb audio interface [ua-1010]. <https://www.roland.com/jp/products/octa-capture/>. (Accessed on 12/20/2019).
- [54] Pure data — pd community site. <http://puredata.info/>. (Accessed on 01/30/2020).
- [55] Dwight W Batteau. The role of the pinna in human localization. *Proceedings of the Royal Society of London. Series B. Biological Sciences*, Vol. 168, No. 1011, pp. 158–180, 1967.
- [56] Ivrc2018 — international collegiate virtual reality contest – 国際学生対抗バーチャルリアリティコンテスト. <http://ivrc.net/2018/>. (Accessed on 11/20/2019).
- [57] Laval virtual 2020 - 1st virtual reality exhibition. <https://www.laval-virtual.com/>. (Accessed on 12/20/2019).
- [58] Siggraph 2019: Home. <https://s2019.siggraph.org/>. (Accessed on 12/2/2019).

- [59] France Schott-Billmann. *Primitive expression and dance therapy: When dancing heals*. Routledge, 2014.
- [60] Mpc element : akai professional. <http://akai-pro.jp/mpcelement/>. (Accessed on 12/2/2019).
- [61] What is max? — cycling '74. <https://cycling74.com/products/max>. (Accessed on 01/20/2020).
- [62] Esp32-devkitc v4 getting started guide — esp-idf programming guide v4.1-dev-1834-g600d542f5 documentation. <https://docs.espressif.com/projects/esp-idf/en/latest/hw-reference/get-started-devkitc.html>. (Accessed on 01/20/2020).
- [63] Kmd forum 2019. <http://forum0.kmd.keio.ac.jp/2019/?lang=ja>. (Accessed on 12/2/2019).

関連発表および研究業績

国際会議

1. Shirota, Kenichiro ; Uju, Makoto ; Peiris, Roshan ; Minamizawa, Kouta. / Design of Altered Cognition with Reshaped Bodies. Augmented Humans International Conference (AH 2020), March 16-17, 2020, Kaiserslautern, Germany. (to be published on 2020.3)
2. Uju, Makoto ; Shirota, Kenichiro ; Peiris, Roshan ; Minamizawa, Kouta. / Pinocchiovr. ACM SIGGRAPH 2019 Emerging Technologies, SIGGRAPH 2019. Association for Computing Machinery, Inc, 2019. (ACM SIGGRAPH 2019 Emerging Technologies, SIGGRAPH 2019).
(Both authors contributed equally to this research.)
3. Kenichiro Shirota, Roshan Lalintha Peiris, and Kouta Minamizawa. 2019. Altered Pinna: Exploring Shape Change of Pinna for Perception and Illusion of Sound Direction Change. In Proceedings of the 2019 International Symposium on Wearable Computers (ISWC '19), September 9–13, 2019, London, United Kingdom. ACM, New York, NY, USA, 5 pages. <https://doi.org/10.1145/3341163.3347725>
4. Shirota, Kenichiro ; Uju, Makoto ; Peiris, Roshan ; Minamizawa, Kouta. / Liquid-VR - Wetness Sensations for Immersive Virtual Reality Experiences. Springer Verlag, 2019. pp. 252-255

国際会議展示および受賞

1. Asia Haptics2018
LiquidVR - Wetness Sensations for Immersive Virtual Reality Experiences.
”Silver Demonstration Award”
2. IVRC2018
PINOSE
”LAVAL VIRTUAL Award”
3. LAVAL VIRTUAL2019
PINOSE
4. Siggraph2019
PinocchioVR