慶應義塾大学学術情報リポジトリ
Keio Associated Repository of Academic resouces

Title	Synesthesia Suit : VR体験を拡張する全身触感スーツ
Sub Title	Synesthesia suit : full-body immersive haptic suit
Author	小西, 由香理(Konishi, Yukari) 南澤, 孝太(Minamizawa, Kota)
Publisher	慶應義塾大学大学院メディアデザイン研究科
Publication year	2016
Jtitle	
JaLC DOI	
Abstract	
Notes	修士学位論文. 2016年度メディアデザイン学 第532号
Genre	Thesis or Dissertation
URL	https://koara.lib.keio.ac.jp/xoonips/modules/xoonips/detail.php?koara_id=KO40001001-00002016-0532

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 2016年度（平成28年度）

Synesthesia Suit:
VR体験を拡張する全身触感スーツ

慶應義塾大学大学院
メディアデザイン研究科

小西　由香理

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。

小西　由香理

審査委員：

南澤 孝太 准教授　　（主査）
水口 哲也 特任教授　（副査）
稲蔭 正彦 教授　　（副査）

修士論文 2016年度（平成28年度）

Synesthesia Suit:
VR体験を拡張する全身触感スーツ

カテゴリー：デザイン

論文要旨

ヘッドマウントディスプレイの普及やオーディオ技術の発展によってバーチャルリアリティ体験が普及し，特にエンターテインメントにおいて期待が高まっている．現在普及しているデバイスは視聴覚に注目したものが主だが，研究分野では触覚提示において触感のデザインや触覚の空間パターンのデザインをすることでバーチャルリアリティ体験を深める試みがなされている．没入型エンターテインメントをコンシューマで実現しようと試みてきたビデオゲームに「Rez」という作品がある．本論文は，そのVR版であるPlayStation VRゲーム「Rez Infinite」の共感覚的な没入体験を全身へ拡張するため，Enhance GamesおよびRhizomatiksと共同で立ち上げたSynesthesia Suitプロジェクトにおいて，Synesthesia Suitのうち筆者が開発を担当したハプティックスーツの設計と実装，コンテンツに適した触感デザイン行うプロセス，そしてPlayStation Experience 2015をはじめとする展示を通したコンセプトの実証について述べたものである．

キーワード：

触覚提示, ハプティックデザイン, バーチャルリアリティ, 共感覚 , TECHTILE

慶應義塾大学大学院 メディアデザイン研究科

小西　由香理

Abstract of Master's Thesis of Academic Year 2016

Synesthesia Suit: Full-body Immersive Haptic Suit

Category: Design

Summary

With the development of head-mounted displays and audio technology, virtual reality experiences have become widespread, and expectations are increasing especially in entertainment. Currently popular devices are mainly focused on audiovisual awareness. However, in the field of research, there are some attempts to present a haptic sense that deepens virtual reality experience by designing haptic sensations and spatial patterns of haptic sensations. There is a game called "Rez" that tried to realize immersive entertainment with a consumer game. In this paper, the author describes a project to develop Synesthesia Suit which expands the synesthetic immersion experience to whole body of Playstation VR game "Rez Infinite" which is the VR version of "Rez". This Synesthesia Suit project is a collaboration with Enhance Games, Rhizomatiks and KMD. These include the concept of Synesthesia Suit, the design and implementation of a haptic suit in which Synesthesia Suit was developed by the author, the process of haptic design suitable for "Rez", and the demonstration through exhibitions including PlayStation Experience 2015.

Keywords:

Haptic Feedback, Haptic Design, Virtual Reality, Synesthesia, TECHTILE

Keio University Graduate School of Media Design

Yukari Konishi

目　　次

第 1 章　序論 **1**
1.1. エンターテインメントの未来 1
1.2. Rez Infinite 3
1.3. 本研究の目的 4
1.4. 本論文の構成 5

第 2 章　関連研究 **6**
2.1. エンターテインメントと触覚提示 6
2.2. 触覚提示技術 6
2.3. 振動触覚提示 8
2.4. 触感のデザイン 8
2.5. 触覚提示のコンテキスト 9
2.6. 本章のまとめ 12

第 3 章　Synesthesia Suit Concept **13**
3.1. コンセプト 13
3.2. Synesthesia Suit プロジェクトの座組 14
3.3. 全体の体験デザイン 15
3.4. ハプティックデザインの環境とデザインプロセス 16
3.5. 各シーンのハプティックデザイン 21
3.5.1 Rez Infinite における触感のデザイン 21
3.5.2 BGM:ベースドラム 22
3.5.3 BGM:ハイハット 23
3.5.4 BGM:ベースドラム（ボス面） 24

3.5.5 BGM:ギター 24
3.5.6 空打ちクラップ 27
3.5.7 敵のロック 27
3.5.8 キューブを撃ち落とした 28
3.5.9 キューブヒット 29
3.5.10 ワープ 30
3.6. 本章のまとめ 32

第 4 章 ハプティックスーツの開発 33

4.1. ハプティックスーツのアーキテクチャ 33
4.2. Synesthesia Engine 34
4.3. アンプの実装 35
4.4. ハプティックスーツ 45
4.5. 本章のまとめ 47

第 5 章 Proof of Concept 51

5.1. PlayStation Experience 2015 keynote ステージ 51
5.2. PlayStation Experience 2015 メディア向けデモンストレーション 51
5.3. Media Ambition Tokyo 2016 55
5.4. 東京ゲームショウ 2016，Countdown & Launch Event 58
5.5. その他の展示 64
5.5.1 Sound & City 64
5.5.2 ファミ通フェス 2016 64
5.5.3 SIGGRAPH 2016 VR-Village 65
5.5.4 ACM UIST 2016 65
5.5.5 Dubai Design Week 内 Global Grad Show 65
5.5.6 東京デザインウィーク 66
5.5.7 Japan VR Summit 2 67
5.5.8 Asia Haptics 2016 67
5.5.9 2017 Sundance Film Festival 68

5.6. 本章のまとめ 69

第 6 章　結論 **71**

6.1. 総括 71

6.2. 展望 73

謝辞 **74**

参考文献 **77**

図　目　次

1.1 東京ゲームショウ 2016 の様子（2016 年 9 月 16 日撮影） 2
1.2 Sensorama（ [1] から引用） 3
1.3 PlayStation VR（ [2] より引用） 4
1.4 Rez 2001 年発売 PlayStation 2 版パッケージ 4
1.5 トランスバイブレータ同梱パッケージ 5
1.6 Rez Infinite（Rez Infinite トレイラーより引用） 5

2.1 NINTENDO64 コントローラ 振動パック (任天堂ホームページより引用) 7
2.2 Tesla Suit ([3] より引用) 7
2.3 HapticMaster ([4] より引用) 7
2.4 CyberTouch ([5] 紹介動画より引用) 7
2.5 CyberGrasp ([6] より引用) 7
2.6 鎖骨への振動提示デバイス ([7] より引用) 8
2.7 TECHTILE toolkit ([8] より引用) 8
2.8 オノマトペによる触感の分類 ([9] より引用) 10
2.9 Haptography ([10] より引用) 10
2.10 Tactile Brush Algorithm ([11] より引用) 10
2.11 背中にストロークを提示するゲーミングチェア ([12] より引用) . 10
2.12 バイブレータを並べたベルト ([13] より引用) 11
2.13 超未来式体感型公衆電話 3 号 ([14] より引用) 11
2.14 触覚フィードバックのデザインから提示 ([15] より引用) 11

3.1 Rez ゲーム画面 (Rez Infinite トレイラーより引用) 14

3.2 コンセプトビジュアル 14
3.3 ハプティック絵コンテ 1 17
3.4 ハプティック絵コンテ 2 18
3.5 ハプティック絵コンテ 3 19
3.6 ハプティックデザイン環境 21
3.7 ベースドラムの触感の提示位置と波形 23
3.8 ハイハットの触感の提示位置と波形 24
3.9 ベースドラム（ボス面）の触感の提示位置と波形 25
3.10 ギターの触感の提示位置と波形 26
3.11 空打ちクラップ時の触感の提示位置と波形 27
3.12 敵のロック時の触感の提示位置と波形 28
3.13 ワープのキーであるキューブを持った敵 29
3.14 キューブを撃ち落とした時の触感の提示位置と波形 29
3.15 キューブを撃った時の触感の提示位置と波形 30
3.16 ワープ時の触感の提示位置と波形 31

4.1 システム全体の構成 34
4.2 PlayStation 4 の信号出力 36
4.3 Synesthesia Engine 36
4.4 OSC メッセージによるパッチの選択部分 37
4.5 Synesthesia Engine パッチの例：キューブを撃ち落とした 37
4.6 Synesthesia Engine パッチの例：ワープ前 38
4.7 部位とアウトプットチャンネルの割り当て 39
4.8 制御用 PC 内での処理 39
4.9 アンプからハプティックスーツの振動子までの接続：旧 41
4.10 アンプからハプティックスーツの振動子までの接続：新 41
4.11 プリアンプ設計図（提供：シードルインタラクションデザイン株式会社 神山洋一氏） 42
4.12 パワーアンプ設計図（提供：シードルインタラクションデザイン株式会社 神山洋一氏） 43

4.13 実装したプリアンプの基板 44
4.14 実装したパワーアンプの基板 44
4.15 パワーアンプ外装設計図（提供：シードルインタラクションデザイン株式会社 神山洋一氏） 44
4.16 プリアンプおよびオーディオインタフェースのラック 45
4.17 振動子の位置選定実験 47
4.18 振動子の位置 48
4.19 振動子 48
4.20 スーツのプロトタイプと完成形 49
4.21 触感データがスーツで再生されるまで 49
4.22 実際の様子 50

5.1 PlayStation Experience 2015 keynote ステージの様子 52
5.2 LED スーツ 52
5.3 PlayStation Experience 2015 プレス向けデモンストレーションの様子 55
5.4 Media Ambition Tokyo 2016 展示の様子 59
5.5 Synesthesia Chair での観賞の様子 59
5.6 Synesthesia Chair に利用した振動子 59
5.7 東京ゲームショウ 2016 展示の様子 63
5.8 Rez Infinite Countdown & Launch Event 展示の様子 63
5.9 Sound & City 展示の様子 64
5.10 ファミ通フェス 2016 展示の様子 64
5.11 SIGGRAPH 2016 VR-Village 展示の様子 66
5.12 ACM UIST 2016 展示の様子 66
5.13 Global Grad Show 展示の様子 67
5.14 テレビ放送の様子（フジテレビ Fuji New Network 2016 年 11 月 16 日配信”全身でゲームの世界を体感できる新感覚の VR が登場しました。”より引用） 68
5.15 Asia Haptics 2016 展示の様子 68

5.16 Rez Infinite Area X 展示の様子 69
5.17 Crystal Vibes 展示の様子 69
5.18 LED とハプティックが一体になった Synesthesia Suit 2.0 70

表　目　次

4.1　アンプの特性 40

第1章
序　　論

1.1. エンターテインメントの未来

2016年が「バーチャルリアリティ元年」と称されるように，バーチャルリアリティ体験は近年著しく普及している．以前よりOculusなどのハイエンドヘッドマウントディスプレイや，スマートフォンを用いた安価な360度映像体験は一部で利用されてきたが，特に2016年はPlayStation VRやHTC Viveなどの家庭向けヘッドマウントディスプレイが相次いで発売され，それに伴いバーチャルリアリティ対応ソフトウェアの開発が盛んになった．また，視覚映像のみならず，バイノーラル録音やサラウンドシステムなどの台頭により聴覚でも360度の没入体験が可能である．また，従来は高額であったモーションキャプチャ技術も比較的安価に取り入れられ，HTC Viveではおよそ3メートル四方の空間を自由に動き回ったり，腕を動かしたりして，バーチャル空間に入りこむことができる．バーチャルリアリティへの注目度は，2016年9月に開催された「東京ゲームショウ2016」からも伺うことができる．会場内では図1.1のように「VR」を冠したコンテンツが多岐にわたるジャンルで展示され，多くの行列を作っていた．このように，ゲームやエンターテインメントにおけるバーチャルリアリティの関心は非常に高いものであると言える．没入型エンターテインメントの歴史は1962年のSensorama [1]（図1.2）から始まり，映像，音，振動，匂いや風などあらゆる感覚を刺激して没入体験を作ることが試みられてきた．その後，ジョイポリスやディズニーランドなどのアミューズメント施設では筐体型アーケードゲームやアトラクションとして没入体験を作り出してきた．一方で，現在のバーチャルリアリティ体験は主に視覚および聴覚を利用したものが主流である．4K，8Kと進歩していく映像ディ

スプレイや3Dオーディオ技術によってより現実感の高い体験が提供されるが，その世界に触れることができない，あるいは触れたとしてもリアリティのない触覚フィードバックに留まっているという現状がある．従来のゲームコントローラにおいても触覚フィードバックによる臨場感の向上は試行されてきたが，現状の触感提示はシンプルな振動の制御でしかない．一方研究分野では，振動の波形をデザインすることで触感のデザインを行うTECHTILE [8] のように，単純な振動ではなく質感を提示する技術が確立されている．エンターテインメントコンテンツにおいて，クリエイターが思い描くバーチャル世界には視聴覚情報以外の情報もイメージとして存在するが，その完全な再現ができる環境が不完全であると言える．また，5感を使ったエンターテインメントは，4DXやMX4D映画の人気からも多くのユーザに期待されていると言って良い．今後のバーチャルリアリティエンターテインメントには研究分野で盛んな臨場感溢れるフィードバック技術が導入されていくだろう．例えばガンシューティングゲームならば様々な種類の攻撃を撃ったり撃たれたりする衝撃を感じられたり，ファンタジーゲームならば現実ではありえないような魔法を全身で体感できたり，恋愛ゲームならばキャラクターの息遣いやスキンシップに伴う熱を肌で感じられたりと，触覚提示によってより没入感のある体験が可能になっていくと考えられる．

図 1.1: 東京ゲームショウ 2016 の様子（2016 年 9 月 16 日撮影）

図 1.2: Sensorama（ [1] から引用）

1.2. Rez Infinite

本研究は，Enhance Games, inc. が 2016 年 10 月 13 日に PlayStation VR（図 1.3）対応のローンチタイトルとして発売したソフトウェア Rez Infinite [16] とのコラボレーションプロジェクトである．Rez（図 1.4）とはゲームクリエイター水口哲也氏がプロデュースし，2001 年に PlayStation 2 およびドリームキャストで発売されたミッドナイト・ハイ・シューティングというジャンルのゲームである．ユーザのゲームプレイによって生まれるリズムや効果音，映像の演出，そしてコントローラの振動が互いに作用して，視覚，聴覚および触覚の共感覚的体験が作り出される．2001 年当時から水口哲也氏の思い描くゲーム体験は 360 度に広がるバーチャル世界と，その中に満ちている音楽やその音から生まれる触感が身体に押し寄せるような没入体験であり，Rez はバーチャル世界への没入体験を家庭用ゲームとして実現しようとしていた．しかし，当時の技術ではその世界のイメージを四角いスクリーンという制約に押し込めるしかなかった．トランスバイブレータという振動モジュール同梱版（図 1.5）を発売したり，2008 年に Xbox 360 にて

HD リメイクされた際は，使用していないコントローラを振動モジュールとして利用できるようにするなど，当時から触覚フィードバックについては試行をしていた．しかし，当時の触覚フィードバック技術は単調な振動であり，完全な世界観の再現には至っていなかった．そして 2016 年，PlayStation VR の発売に合わせて，Rez は VR 対応版 Rez Infinite（図 1.6）として再誕することとなった．Rez Infinite のコンセプトは共感覚体験をさらに拡張し，自分が本当にその世界の中に入っているような体験を作り出すことである．フレームレスの 3D 映像と 3D オーディオにより，視覚および聴覚でのバーチャル世界への没入が達成された．更なる共感覚的，没入体験を作り出すため，水口哲也氏はクリエイティブカンパニー Rhizomatiks と慶應義塾大学メディアデザイン研究科 Embodied Media Project にアプローチをし，筆者が本プロジェクトに参加することになった．

図 1.3: PlayStation VR（ [2] より引用）

図 1.4: Rez 2001 年発売 PlayStation 2 版パッケージ

1.3. 本研究の目的

本プロジェクトは，Rez Infinite プロデューサー水口哲也氏が打表を務めるパブリッシャーの Enhance Games および，メディアアート作品を多く手がけるクリエイティブカンパニー Rhizomatiks との共同プロジェクトである．本プロジェクト全体のゴールは，VR ビデオゲーム Rez Infinite の体験を全身に広げる共感覚スーツ Synesthesia Suit を開発し，デモンストレーションを行い，バーチャルリアリ

図 1.5: トランスバイブレータ同梱パッケージ

図 1.6: Rez Infinite（Rez Infinite トレイラーより引用）

ティの新しいコンセプト体験を提示すること，そして Rez Infinite のプロモーションを行っていくことである．筆者は Synesthesia Suit のうちハプティックスーツの開発および触感デザインを担当した．ハプティックスーツの目的は，ゲームソフトと連動して，ゲームのシーンに合わせてデザインされた触感提示を行うことで，全身をゲームの世界に包み込まれる体験を作り出すことである．

1.4. 本論文の構成

本論文では，第 2 章で触覚提示に関する先行研究をあげ，そこから今後の触覚提示技術の向かう先を論じ，本研究のアプローチを述べる．第 3 章でははじめに Synesthesia Suit プロジェクトのコンセプトと座組を述べ，それから Synesthesia Suit のうち全身触覚提示を行なうハプティックスーツの設計について，システム全体の構成，スーツの設計，アンプの設計，触感デザインのプロセス，制御ソフトウェアの設計について順に述べる．第 4 章では第 3 章で述べた設計要件に基づいた実装について具体的に述べる．第 5 章ではこれまで行ってきた展示のうち特徴的な展示を取り上げて，目的と成果および考察を述べることで．Synesthesia Suit プロジェクト全体のコンセプト実証を述べる．第 6 章では本研究の結論として総括と展望を述べる．

第2章
関 連 研 究

2.1. エンターテインメントと触覚提示

没入型ディスプレイやヘッドマウントディスプレイなどによる視聴覚でのバーチャルリアリティ体験において，バーチャル世界とのインタラクションに伴う触覚提示は，バーチャルな物体を認識するうえで重要である．エンターテインメントの分野では，1997年にSONYがPlayStationのコントローラーとして振動機能付きのDUALSHOCKを，任天堂はNINTENDO64コントローラーの周辺機器として振動パック（図2.1）を発売し，以降，ゲームのコントローラーに振動機能が搭載されるようになった．最新のものでは，2017年3月に任天堂が発売するNintendo Switch [17] は,「振動」から「触感」へ，という標語を掲げ，グラスの中の氷がぶつかり合う様子さえもわかる「HD振動」機能をコントローラに搭載している．このように，エンターテインメント分野では従来のような単調な振動触覚提示ではなく，臨場感溢れる触感の提示を行なうことが注目されている．また，ゲームと連動した全身触覚ディスプレイとして，電気刺激，温度調節およびモーションキャプチャの機能を備えた全身触覚スーツTesla Suit [3] がクラウドファンディングを経て2016年秋から開発者向けに出荷されて，注目されている（図2.2）．

2.2. 触覚提示技術

触覚提示の研究は古くからなされており，Thomasらは指先の位置を計測して力触覚提示を行なうthe PHANToM haptic interface [18] を提案している．岩田らは卓上で利用できるデスクトップフォースディスプレイHapticMaster [4] を提

図 2.1: NINTENDO64 コントローラ 振動パック
(任天堂ホームページより引用)

図 2.2: Tesla Suit ([3] より引用)

案しバーチャルオブジェクトの重さや硬さの提示を行っている（図 2.3）．振動子を用いた触覚提示では，CyberGlove Systems 社による 5 本の指と手のひらに振動子を取り付けて触覚提示を行なうグローブ型デバイス CyberTouch [5] がある（図 2.4）．また，同社は外骨格を通して指にワイヤーを繋げ，そのワイヤーが指を引く抵抗力でバーチャル世界の物体に触れた際の感覚を提示する CyberGrasp [6] も開発している（図 2.5）．

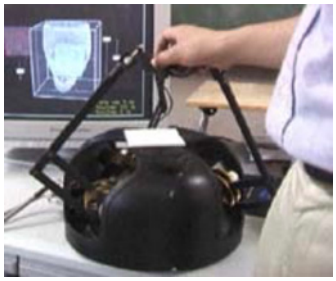


図 2.3: HapticMaster ([4] より引用)

図 2.4: CyberTouch ([5] 紹介動画より引用)

図 2.5: CyberGrasp ([6] より引用)

2.3. 振動触覚提示

振動触覚を用いた先行研究としては，ボイスコイルアクチュエータを用いて周波数帯を広げた Hi-Fi 振動触覚提示 [19] を行なうことで，生物の緩やかな呼吸や震えなどを表現して生物の生きている感覚を提示する研究や，振動子を鎖骨部分に当てることで骨伝導によって聴覚体験を拡張する研究 CollarBeat [7]（図 2.6）などがあり，体験を振動触覚で拡張する試みがなされてきている．また，筒の中を転がるボールの振動をシミュレーションし提示することで，筒の長さを知覚させる研究 [20] もあり，知覚を振動触覚で拡張する試みがなされている．TECTILE [8] は，ボイスコイルアクチュエータとマイクおよびアンプの組み合わせからなる，触感の記録，採取または再生を行うラピッドプロトタイピングツールキットを提案している（図 2.7）．触感を音声信号として扱い，波形の時間パターンの変化をデザインすることで，従来のモーターによる単純な振動やその強弱だけの提示ではなく，ぼこぼこ，ざらざら，といった様々な質感を再現可能にしている．

図 2.6: 鎖骨への振動提示デバイス ([7] より引用)

図 2.7: TECHTILE toolkit ([8] より引用)

2.4. 触感のデザイン

前述の TECHTILE により，触感のデザインという概念が生まれ，ワークショップなどを通してデザイナーや子供などが手軽に触感をデザインする活動が始まった．また，Tactile Labs は触覚提示に特化したアクチュエータ Haptuator [21] を

開発するなど，デザインされた触感を提示するデバイスの研究開発も行われている．Stereo Haptics [22] では 2 つ以上のアクチュエータに対する音声信号の触感データを作成，編集，調整，再生するためのフレームワークとツールキットを提案している．触覚をデザインするにあたり，触り心地を言語化あるいは分類する試みもなされており，早川らは触覚オノマトペを分析して分布図を作成し，触感の分類や音韻的な分析を行い [9]，これらを用いたワークショップも行っている（図 2.8）．Haptography [10] では図 2.9 のように，布などをなぞったテクスチャを記録し，タブレットで再生する技術を提案している．また，触覚提示の研究は指先や手のみへの刺激だけに留まらず，複数点の刺激による触覚の空間パターンデザインの議論もされている．Ali らの Surround Haptics [12] では，2 つの振動子の刺激の強さや刺激の頻度を変更することで，2 点間の移動感を提示する Apparent tactile motion や，2 つの振動子で同時に刺激を行うことによってその間にバーチャルな 1 つの振動子と感じる Phantom tactile sensation といった，触覚の錯覚を用いた Tactile Brush Algorithm [11]（図 2.10）によって，2 次元空間を移動するストロークを提示している．さらに，複数の振動子をグリッド状に配置した椅子で背中へストローク提示を行うゲーミングチェアへの応用を提案している（図 2.11）．また，同著者らの Po2 [23] では，両手の振動パラメータ動的に変えることで，両手の間の移動感覚の提示を行っている．全身への触感提示を行っている研究としては，矢野らの Haptic Interface for Immersive Projection Display [24] がある．大型スクリーンでユーザの周囲を覆う没入型ティスプレイにおける触覚提示方法を提案し，12 個の振動子を取り付けた全身触覚スーツ Vibrosuit を開発し，振動パターンを制御することでバーチャルな壁や物体を認識させている．

2.5．触覚提示のコンテキスト

続いて，触覚技術の応用先について述べる．触感提示を行いエンターテインメント体験の没入感を高める試みは多くなされている．/ed [13] では，図 2.12 のようにベルトを用いて振動子をお腹の回りに複数個装着し，その振動子の発動タイミングをずらすことで，お腹を切られている感覚やビームがお腹を突き抜ける感

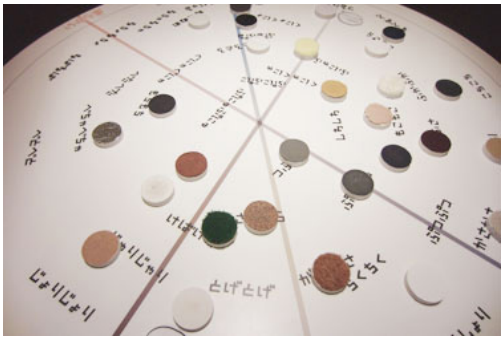


図 2.8: オノマトペによる触感の分類 ([9] より引用)

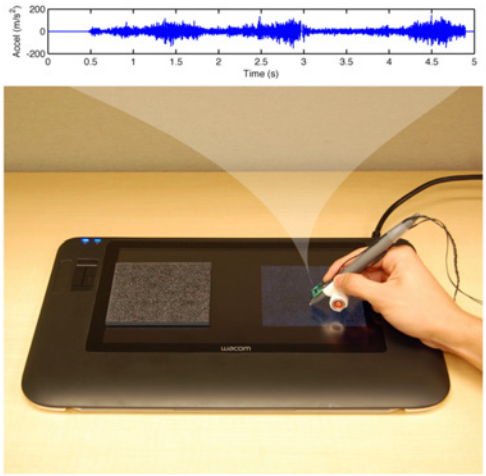


図 2.9: Haptography ([10] より引用)

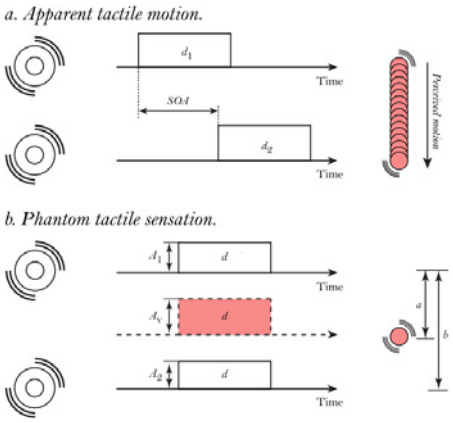


図 2.10: Tactile Brush Algorithm ([11] より引用)

図 2.11: 背中にストロークを提示するゲーミングチェア ([12] より引用)

覚などを提示している．また，これを応用した超未来式体感型公衆電話 [14] では，特殊な公衆電話のボタンを押すことで，通話相手の体に「ズキューン」や「グサ」「モコモコ」といったオノマトペで表現される触感スタンプを送ることができる（図 2.13）．このように，遠隔のコミュニケーションに触感を利用する試みがなされている．これらの例のように，コンテンツに適した触覚提示を行なうことで，エンターテインメントやコミュニケーションを楽しく，効果的にすることができる．また，Oliver らは映像に対してマルチチャンネルの触感デザインを施すためのエディタツール Mango [15] およびそれを用いた触覚フィードバックのデザインから提示までのプロセスを提案している（図 2.14）．これにより，特別な信号処理やハードウェアの知識がないデザイナーなどでも，映像に合わせたマルチチャンネル触感コンテンツを自由に作成できるようになる．

図 2.12: バイブレータを並べたベルト ([13] より引用)

図 2.13: 超未来式体感型公衆電話 3 号 ([14] より引用)

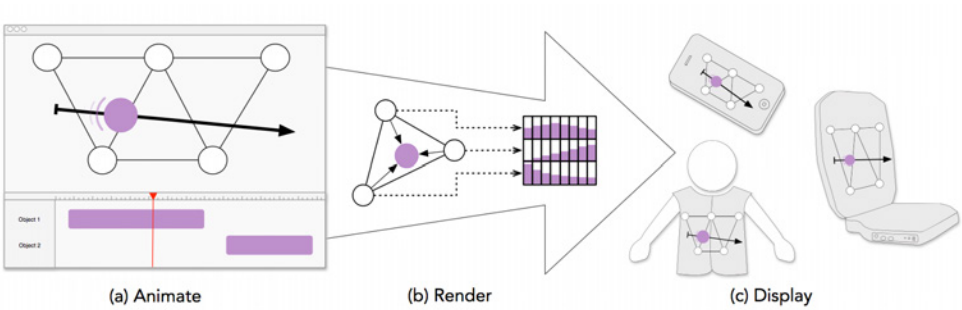


図 2.14: 触覚フィードバックのデザインから提示 ([15] より引用)

2.6. 本章のまとめ

ここまでに述べたように，触感提示の研究は指先や手などの一部分への力覚や振動提示によるものからはじまり，ゲームコントローラーに搭載されるなど普及してきた．近年は提示する触感の時間パターンをデザインして質感提示を実現する研究や，提示部位を複数点にして触覚の空間パターンをデザインする研究がなされてきた．また，コンテンツと合わせて触感提示をエンターテインメントやコミュニケーションに応用する動きも見られる．今後は，これらが統合され，コンテンツに合わせて，空間パターンおよび時間パターンの両方をデザインした触覚体験が作られていくと考えられる．本研究では Rez Infinite というゲームコンテンツに合わせて，全身への刺激という空間パターンのデザイン，そして提示される触感のデザインを行い，そのような新しい触覚体験を実現する．

第3章
Synesthesia Suit Concept

3.1. コンセプト

2001年の発売当時からプロデューサー水口哲也が掲げるRezのコンセプトは，音楽，映像，そして触覚の共感覚的な没入体験である．これまでもコントローラーとは別に身体や椅子などに取り付けるトランスバイブレータを発売したり，Xbox 360にてHD版が発売された際は，ゲームの操作に利用しないコントローラーを触覚提示モジュールとして利用するなど，触覚フィードバックの拡張について試行がなされてきた．今回，PlayStation VRでのVR対応版Rez Infiniteのリリースにより，Rezの世界への視聴覚360度没入が可能になった．しかし，自分が本当にその世界の中に入っているような体験というのは，ヘッドマウントディスプレイのみで達成できるのだろうか．Rezは図3.1のようにプレイヤーの分身であるアバターがバーチャル空間を泳ぎながら敵となるウイルスをシューティングしていくゲームである．つまり，このアバターの体感がプレイヤーの体感となるのが理想形である．Rezのゲーム世界には音や光や波が満ちて震えており，この世界の体感というのは，それらが身体に押し寄せ，圧迫されるような体感である．PlayStation VRによるヘッドマウントディスプレイのみの没入体験では，ゲーム世界に目と耳のみで入り込んでいると言え，理想の体験と比べて身体感覚が欠けている．手足へなどの部分的な触覚提示ではなく，身体をまるごとゲームの世界に包み込まれる身体感覚も揃って，自分が本当にその世界の中に入っているような体験になると言える．従来はこれを筐体やアトラクションなどで実現してきたが，コンシューマ機ではそれらの手段を取ることはできない．しかし，自分の身体の周囲数センチだけをゲームの世界にする，つまりゲームの世界を着てしまう

ことができれば，実現することができる．これが本研究 Synesthesia Suit のコンセプトである．Synesthesia Suit は Rez の世界観を体感でき，さらにその体験を可視化するスーツであり，これにより Rez のコンセプトである視覚，聴覚，触覚に跨る共感性と没入体験を実現する．その体験を表したコンセプトビジュアルを図 3.2 に示す．また，Rez のバーチャル世界に満ち溢れた音楽はそれぞれテクスチャを持っており，プレイヤーがそのテクスチャを光や触感として感じることが Rez のコンセプトである共感覚性である．テクスチャの表現のためには，従来のゲームコントローラにみられるような単純なバイブレーションは不完全である．そのため，それぞれの音色やシーンに適した触覚のデザインが必要になる．これらのコンセプトの実現のため，Synesthesia Suit として，全身にデザインされた触感フィードバックを行えるハプティックスーツと，その体感を周囲に広げる LED スーツを開発する．

図 3.1: Rez ゲーム画面 (Rez Infinite トレイラーより引用)

図 3.2: コンセプトビジュアル

3.2. Synesthesia Suit プロジェクトの座組

本プロジェクトは Rez のプロデューサーである水口哲也率いる Enhance Games と，テクノポップユニット Perfume のコンサートや 2016 年リオ五輪の閉会式の演出などで有名なクリエイティブカンパニー Rhizomatiks および，慶應義塾大学メディアデザイン研究科（以下，KMD）Embodied Media Project との 2 社 1 学共同プロ

ジェクトとして，2015年7月より始まった．Rhizomatiksはプロジェクト全体のマネージメントおよびステージやLEDの演出に関わる部分を担当している．KMD Embodied Media Projectからは筆者と博士課程の花光宣尚氏，南澤孝太准教授が参加し，筆者はSynesthesia Suitのうちハプティックスーツの開発とハプティックデザインを担当した．プロジェクトの途中から，KMD Embodied Media Project研究員である神山洋一氏がハプティックスーツシステムのアンプ基板設計と開発で参加した．また，Rez Infiniteの開発会社であるMonstarsがSynesthesia Suitのための特別なRez Infiniteのビルド開発，buffer Renaiss社 石井通人氏がPlayStation 4とPCを繋ぐ部分のプログラム開発，衣装デザイナーのSQUNABICONA社 櫻井利彦氏が衣装製作として参画している．

3.3. 全体の体験デザイン

Synesthesia Suitで体験できるRezのステージは，製品版Rezのゲームでプレイできるステージのうち,「Area 1」および「Area 4」のボスを編集して3分程度に縮めたものとなる．ゲームの最初はBGMが静かに始まり，敵は同時に2〜4体ずつ出現する．敵をロックして攻撃すると，ヒットと同時に効果音が再生される．これが連なることでBGMと連動してまるで音楽を奏でているような感覚を得ることができる．さらにシューティングを続けるとキューブを持った敵が現れ，それを撃ち落とし攻撃を当てることで，次のレイヤーへワープするという演出が入る．ワープキューブは何度か現れ，レイヤーを進める度に最初は静かだったBGMに次々と音色が追加され，BPMも上がっていく．つまり，自分のプレイで敵を倒すことで音楽を奏で，ゲームを進めていくうちに自然と音楽が盛り上がっていき，スピードも上がり，気付けばRezの世界に没入しているという流れである．さらに最後にはボスが待ち受け，ロックして敵を撃つという基本動作は変わらないながら，音楽や効果音の雰囲気，敵の形態などが変化し盛り上がりを見せる.「Area 4」にはコアとなる円盤型の敵の周囲に無数のキューブが漂い，それが形を変えて円形に広がったり，ヒト型をとったりしながら，プレイヤーを翻弄するように動き回るというボスが出現する．このようなRezのゲーム世界への没入を身体まる

ごとの体験にするのが，ハプティックスーツの目的である．まず，どのような体験になるのかを，ゲームのスクリーンショットと合わせてハプティック絵コンテにしたものを，図 3.3，図 3.4 および図 3.5 に示す．筆者の提案や，水口哲也氏や Rhizomatiks のメンバーとのディスカッションを経て，敵をロックする，撃つといったインタラクティブな動作は腕に，BGM のリズムは腰や下半身に，ワープやギターの音などの特殊な演出は全身を駆け巡るように提示すれば，Rez の世界を体感できるのではないかという方向性が決まり，この体験を実現することを目指した．次節より，コンテに沿ったそれぞれのシーンのハプティックデザインについて述べていく．

3.4. ハプティックデザインの環境とデザインプロセス

まず，筆者がハプティックデザインを行う際の環境を図 3.6 に示す．触感データは wav 形式の音声データを扱うため、DAW ソフトを主に使用する．使用するソフトウェアは Logic および Adobe Audition である．触感の再生のため TECHTILE toolkit を PC に接続し，Logic のオーディオアウトプットに設定することで，振動子で触感を確認する．また，多くの音源を手軽に再生，記録するためにキーボード Roland Juno-Di を接続している．キーボードを接続することで，例えば多くの鍵盤に様々な楽器が割り当てられているドラム音源は鍵盤を端から順に叩くことで試すことができたり，違う高さの音をいくつか試したいときに，すぐ隣の鍵盤を叩くただけで手軽に試すことができる．
続いて，触感データをデザインするプロセスについて述べる．触感のデザインは，下記の手順に従って行う．

1. 触感をデザインするシーンの体験をイメージする
2. 元となる音源を用意する
3. エフェクトやイコライザなどで波形を編集する
4. 提示部位の選定

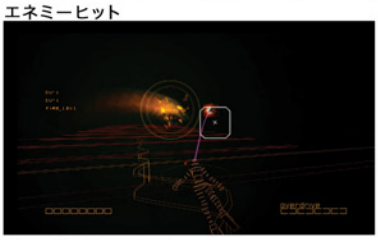
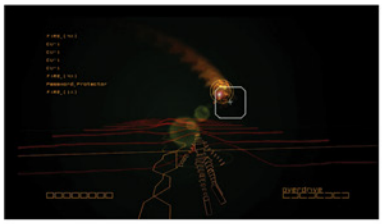
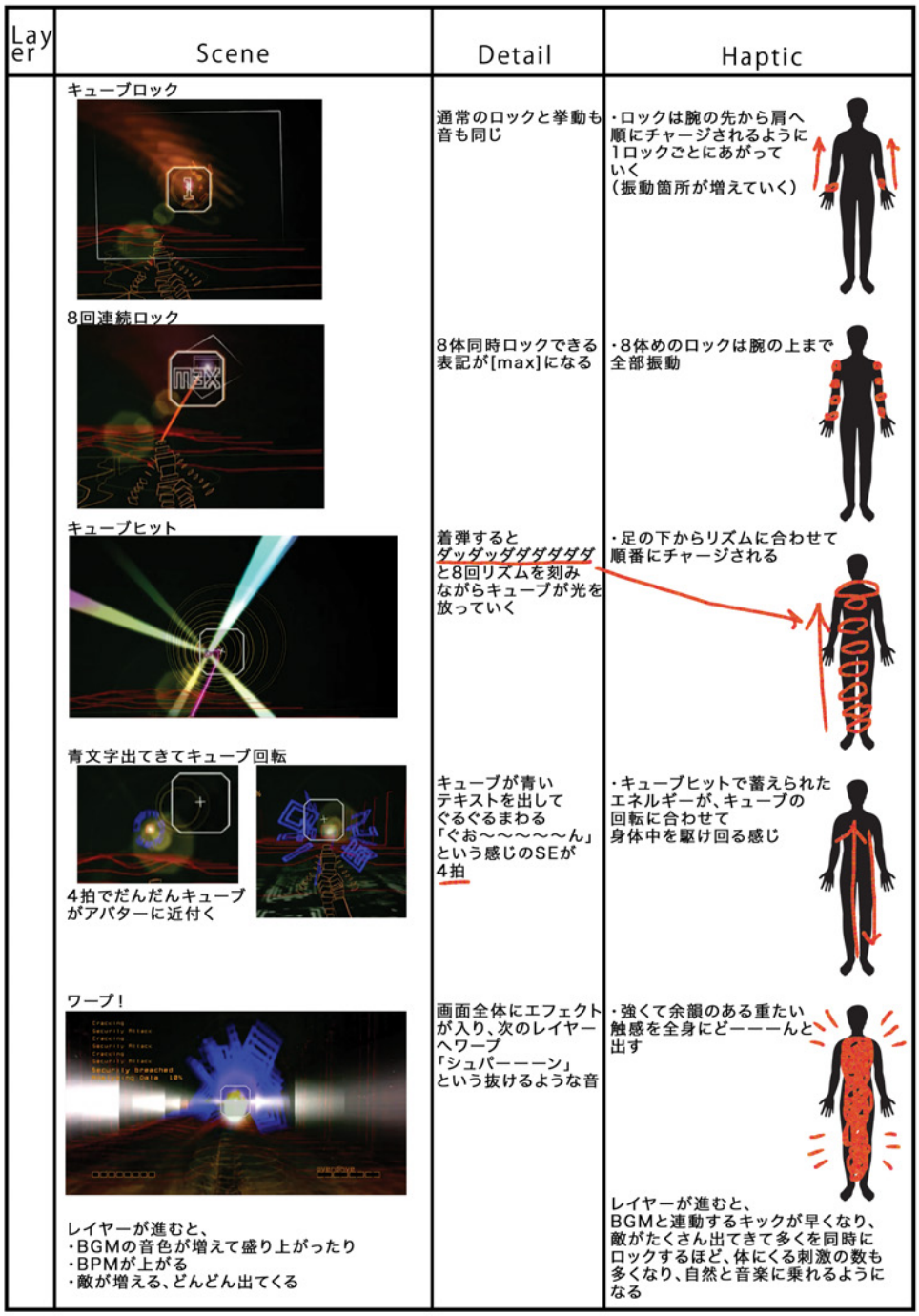
Layer	Scene	Detail	Haptic
1	ゲーム開始	BGMはまだ静か BGMのリズムと同期してアバターが拍動	・BGMのキックと合わせて体にリズムを出す ・下半身や体の中心へ
	エネミーロック	固い音「カッ」という音とともに敵をロック 最初は2体ずつ出現	・インタラクティブ要素は腕 ・ロックに合わせて腕にエネルギーがチャージされている感を出す ・2体ロックは腕の先だけ ・硬いけど重たくない触感 ・ここに、腕をエネルギーが出て行くシュート感を出すとか
	エネミーヒット 	エネミーに攻撃するとパラパラと散っていく 着弾によりSEが流れ音が生じる（爆発音や打撃音ではない）	・ビジュアル通りにパラパラ散っていくような触感or シンプルなもの ・敵ごとに違うSEに合わせたい
	キューブがあらわれる	これを撃ち落とし、さらに8回ヒットすることで、次レイヤーに進むことができる	・現れる瞬間は特に音もないので触感は無し
	キューブを撃ち落とす 	キューブを落とすと「ポン」と重たい破裂音が鳴る	・特に大事なシンボルなので体の中心に強く重く！

図 3.3: ハプティック絵コンテ 1



Layer	Scene	Detail	Haptic
	キューブロック	通常のロックと挙動も音も同じ	・ロックは腕の先から肩へ順にチャージされるように1ロックごとにあがっていく（振動箇所が増えていく）
	8回連続ロック	8体同時ロックできる表記が[max]になる	・8体めのロックは腕の上まで全部振動
	キューブヒット	着弾するとダッダッダダダダダダと8回リズムを刻みながらキューブが光を放っていく	・足の下からリズムに合わせて順番にチャージされる
	青文字出てきてキューブ回転 4拍でだんだんキューブがアバターに近付く	キューブが青いテキストを出してぐるぐるまわる「ぐお～～～～～ん」という感じのSEが4拍	・キューブヒットで蓄えられたエネルギーが、キューブの回転に合わせて身体中を駆け回る感じ
	ワープ！ レイヤーが進むと、 ・BGMの音色が増えて盛り上がったり ・BPMが上がる ・敵が増える、どんどん出てくる	画面全体にエフェクトが入り、次のレイヤーへワープ「シュパーーーン」という抜けるような音	・強くて余韻のある重たい触感を全身にどーーーんと出す レイヤーが進むと、BGMと連動するキックが早くなり、敵がたくさん出てきて多くを同時にロックするほど、体にくる刺激の数も多くなり、自然と音楽に乗れるようになる

図 3.4: ハプティック絵コンテ 2

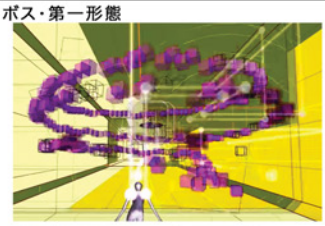
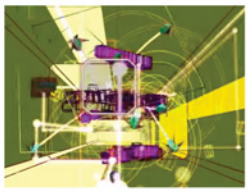
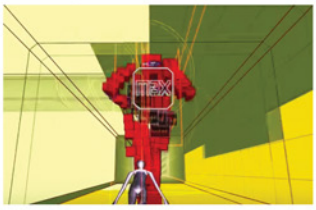
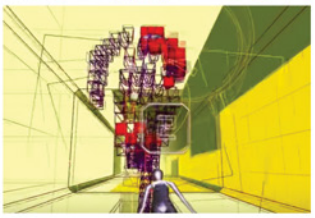
Layer	Scene	Detail	Haptic
BOSS	ボス・第一形態 	ボスはコアに たくさんのキューブが 集まった集合体 リング状に浮遊 →すべてを撃つと 形状変化	・ロックなど基本動作は 前レイヤーと同様にする ベースの裏拍を足元に出し、 腰と足で「ドン・ツ」の リズムを出す。 ボス面になって体も全体が 常に刺激される感じに
	 ↓ボスのコア 	ミサイルで攻撃も してくる ↓	・ギターの音に合わさせて 自分が弦になったような 弾かれる、余韻のある 触感を体全体に流す ジャーーーン ジャー↑　ジャー↑
	ボス・第二形態 ギターが鳴る 	ヒト型になり、時には プレイヤの後ろに 回り込むことも ヒト型の手で殴る 攻撃モーション この形態になると BGMにギターの 音が入る 「ジャーーーン ジャー↑ジャー↑」	に合わせて、 足元から肩へ 足元から肩へ 最後に肩から足元へ の順に流す。
		走るヒト型ボスを追い かけながら、攻撃を 続けて、体力を削って いく	
	ボスの体力が0になったらクリア！		クリア時は特に特別な 触感は無し。 BGMが終わるまでベース ドラムが続く

図 3.5: ハプティック絵コンテ 3

5. コンテンツと組み合わせて確認する．必要に応じて 2 から 4 のプロセスを繰り返す

まず，触感をデザインしたいシーンに対して，どのような触感体験なのかをイメージする．Rez Infinite のハプティックデザインにおいては，このフェーズで水口哲也氏やプロジェクトメンバーとのディスカッションを含む．触感を説明する「ぼわん」「カキン」「ジュワ」などのオノマトペも利用し，どのような触覚体験なのかをより明確にしておくと良い．次に，そのイメージから，元となる音源を用意する．このとき，触感は正弦波や矩形波などの周波数を単にいじるのではなく，多くの音源に触れることでイメージに近いものを探す．筆者は，Logic Pro X 付属のドラムキットおよびシンセサイザー音源や，効果音素材，Rez の BGM に使用している実際の音源を利用した．例えば,「ドン」という重たい触感をデザインしたい場合はドラム音源のベースドラムを選択したり,「カッ」という軽い感覚をデザインしたい場合はドラム音源のスネアドラムなどを選ぶ．あるいは，レーザーで貫かれる感覚や水の流れる感覚など具体的な場面のイメージが存在する場合は，その効果音を利用する．続いて，その音源に対して，振動子で再生した際にコンテンツに合い，かつ触感として適切なものになるように編集を加える．この際，Logic Pro X のプラグインエフェクトおよび Adobe Audition の各種エフェクト機能を用いた．たとえば単純に振動を強くしたい場合はゲインを上げる，余韻を演出する場合はリバーブやワウなどのエフェクトを適用する，触感の印象を立ち上がりが鋭く固いものにしたい場合はアタックを上げる，一方で滑らかな立ち上がりにしたい場合はアタックを下げる，といった編集を施す．このように，音楽や SE のデザインプロセスを一部触覚にも応用できる．その後，シーンと合わせて触感を試し，微調整を繰り返す．この時，体のどこに提示するのか，マッピングも合わせて選定する．なお，振動子はスピーカーと同様の構成をしているため，高周波成分は音として触感と同時に再生されてしまう．これはコンテンツ本来の音を妨害してしまうため，触感として効果しないおよそ 1000Hz 以上の高周波成分はイコライザで落としている．あまり複数の加工を施しすぎると，全体的にノイズの乗ったような触感になることが多いので，理想の触感を再現できない場合は，元となる音源を変えて，手順 3 を繰り返すと良い．このプロセスを用いて，次節で

はRez Infiniteの各シーンに合わせたハプティックデザインを行っていく．

図 3.6: ハプティックデザイン環境

3.5. 各シーンのハプティックデザイン

3.5.1 Rez Infiniteにおける触感のデザイン

Synesthesia Suitにおけるハプティックデザインの目的は，プロデューサー水口哲也の思い描くRezの世界の様々なテクスチャを全身触覚体験として再現することである．求められる触感は，従来のゲームコントローラーやスマートフォンにみられるような周波数パターンを変化させるだけのブルブルとした単調な振動ではなく，各ゲームシーンに適したものである．そのために，提示する波形のデザインおよびそれを身体のどこへマッピングするのかが重要になる．Rezの世界ではクラブサウンドのようなノリの良い音楽が鳴っており，ゲームのプレイに合わせて様々な効果音が生まれる．これらを触感としてデザインする．ベースドラムやハイハット，ギターなどの楽器に合わせて身体に触感提示する際，単純にその音を振動子で再生しても，最適解になるとは限らない．特に音の高い楽器は振動子で再生しても振動子を震わせることはできない．そのため，耳から聞く音にあった触感を触感として改めてデザインする必要がある．例えば，ベースドラムの音

には重たい触感，ハイハットには軽く叩かれるような触感，ギターは自分が弦になり弾かれたような余韻のある触感などをデザインする．また，これらをどこに提示することで効果的な音楽との一体感を演出できるのかも合わせてデザインする．また，シューティングゲームならではの演出である「敵のロック」や「ステージのワープ」といった要素にも触覚提示を行うことで，よりゲームと一体化している感覚を作り出す．基本的なプロセスとしては，ゲームシーンのイメージをディスカッションし，それに基づいて触感をデザインし，実際にゲームをプレイしながらマッチしているかどうかを確かめ，微調整を繰り返すことで最適なものに近付けていく．以下に，触感を作成したそれぞれのシーン「BGM：ベースドラム」「BGM：ハイハット」「BGM：ベースドラム（ボス面)」「BGM：ギター」「空打ちクラップ」「敵のロック」「キューブを撃ち落とした」「キューブヒット」「ワープ」について，詳しいハプティックデザインおよびその提示パターン，水口哲也氏とディスカッションしたデザインの方向性，波形の情報について述べる．また，以下のデザインした触感データは wav 形式のオーディオデータとして保存し，制御用 PC にライブラリとして保存する．

3.5.2 BGM:ベースドラム

触感のベースとした音源：Logic 付属ドラム音源のベースドラム
触感提示の位置とタイミング：音と同時に腰へ提示
ハプティックデザインの方向性：重たく強い刺激

波形及び提示位置を図 3.7 に示す．Rez において BGM のベースドラムは，そのリズムに合わせてアバターも鼓動するなど，音楽の主軸として扱われている．よって，ベースドラムに合わせて身体のどこかへ絶えず刺激を出すことで，Rez の音楽との一体化を実現する．触感はいくつかのドラム音源のベースドラムの音のなかから，触感として身体に提示した際に重く強く響きリズムを刻むのに好ましいと思われるものを選んで利用した．元々ベースドラムの音は低周波成分を多く含み，そのまま振動子で再生しても強く振動を感じられるため，音になってしまう高周波部分のカットのみ行った．当初は周波数の低い強い触感は足の下の方へマッ

ピングするのが自然な感覚なのではないかと考えたが，いくつかの箇所で試験した結果，腰に強く出すことで身体の中心でリズムが刻まれる一体感が気持ち良いとわかり，腰に提示することにした．

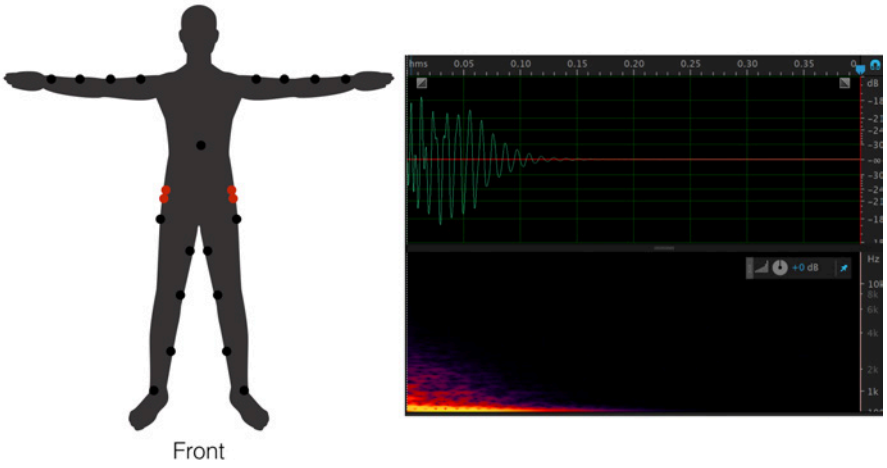


図 3.7: ベースドラムの触感の提示位置と波形

3.5.3 BGM:ハイハット

触感のベースとした音源：Logic 付属ドラム音源
触感提示の位置とタイミング：音と同時に太腿へ提示
ハプティックデザインの方向性：軽い刺激

波形及び提示位置を図 3.8 に示す．ベースドラムの裏拍で鳴るハイハットは，ベースドラムとあわせて「ドン・ツ」というリズムを作る BGM の主軸である．ベースドラムが重たく強い刺激だったのに対して，こちらは軽くて短い軽快な触感にすることで，音のテクスチャの違いを再現している．

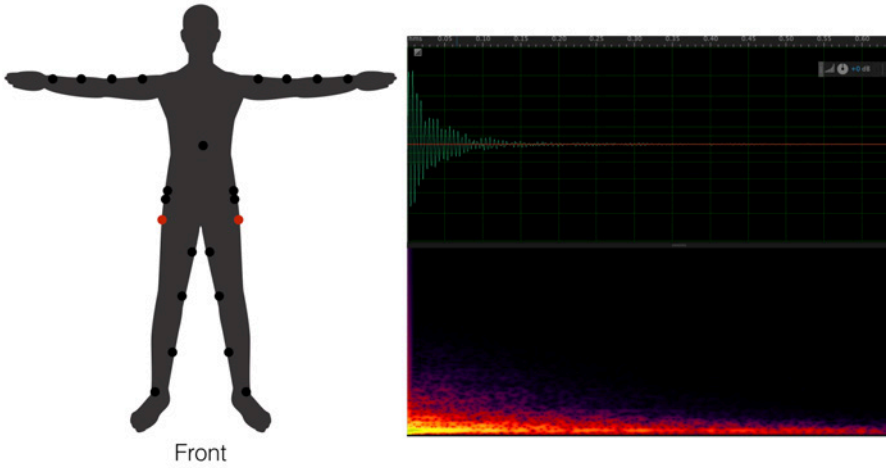


図 3.8: ハイハットの触感の提示位置と波形

3.5.4 BGM:ベースドラム（ボス面）

触感のベースとした音源：Logic 付属ドラム音源のベースドラム
触感提示の位置とタイミング：音と同時に腰および太腿から足先へ交互に提示
ハプティックデザインの方向性：重たく強い刺激

波形及び提示位置を図 3.9 に示す．ボスの現れる面では BGM の雰囲気が変化し，BPM が上がる．ボス面では盛り上がり，下半身全体が刺激に包まれるという要望から，ベースドラムのうち 1 拍を太腿から爪先にかけての足全体出すことで，腰と足で「ドン・ツ」というリズムが刻まれるようにした．触感は腰へ提示しているベースドラムよりも固い印象のドラム音源を元に作成した．

3.5.5 BGM:ギター

触感のベースとした音源：Rez で利用されているギター音源
触感提示の位置とタイミング：最初の「ジャーン」という音に合わせて肩から爪先へ流れる
続く「ジャー・ジャーン」という音に合わせて肩から爪先へ下がり，爪先から方

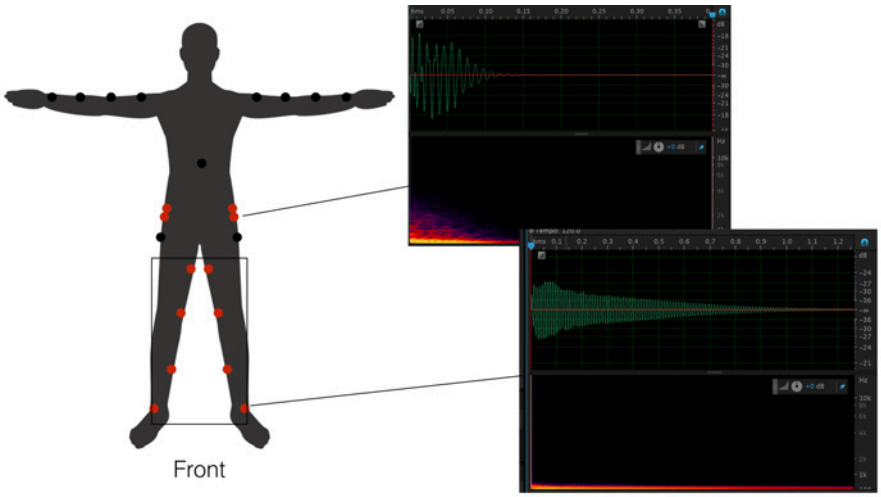


図 3.9: ベースドラム（ボス面）の触感の提示位置と波形

へ上がる
ハプティックデザインの方向性：身体が弦になり弾かれているような感覚を再現する

波形及び提示位置を図 3.10 に示す．ボス面では BGM の一部でオーバードライブのかかったエレキギターの音で「ジャーン・ジャー・ジャーン」と和音が鳴る特徴的なシーンがある．この時，身体が弦になって弾かれているような感覚を再現するという要望から，自分自身がギターになり鳴らされているかのように体中を触感が駆け下りたり駆け上ったりする触感提示を行った．触感が身体を駆ける感覚は，肩，背中およびお腹，腰，外太腿，内太腿，膝，ふくらはぎ，爪先という順あるいはその逆順に 10msec ずつずらして触感を再生することで表現した．触感については，ソフトウェアのギター音源を用いたり，弾かれている感覚をアタックが強くリバーブのかかった音として再現したり，いくつかのパターンを試したが，最終的には Rez の BGM に使われたギターサウンドをそのまま体中に流すことで音との一体感を得られた．

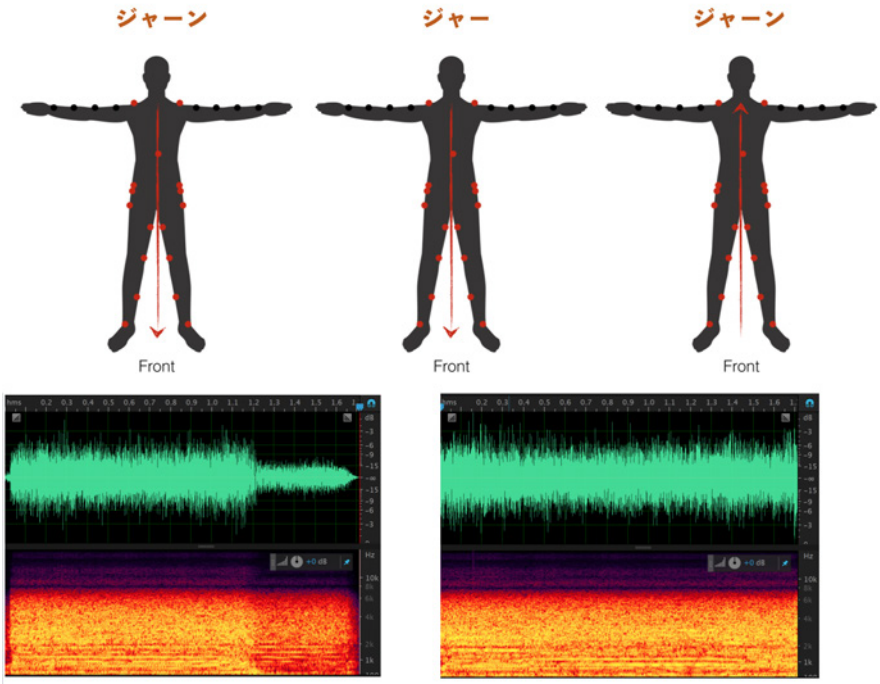


図 3.10: ギターの触感の提示位置と波形

3.5.6 空打ちクラップ

触感のベースとした音源：Logic 付属ドラム音源
触感提示の位置とタイミング：音と同時にお腹へ提示
ハプティックデザインの方向性：軽く肩を叩かれているような感覚

波形及び提示位置を図 3.11 に示す．Rez では，敵のいないところで敵をロックするボタンを押した際に軽快なクラップ音が鳴る．触感は人に方を叩かれたときのような固く軽い触感としてデザインした．提示位置については，背中のみ，体中をランダム，の 2 つのパターンをまず試したが印象が合わず，最終的に腹への提示が最も気持ちよかったため，腹にした．

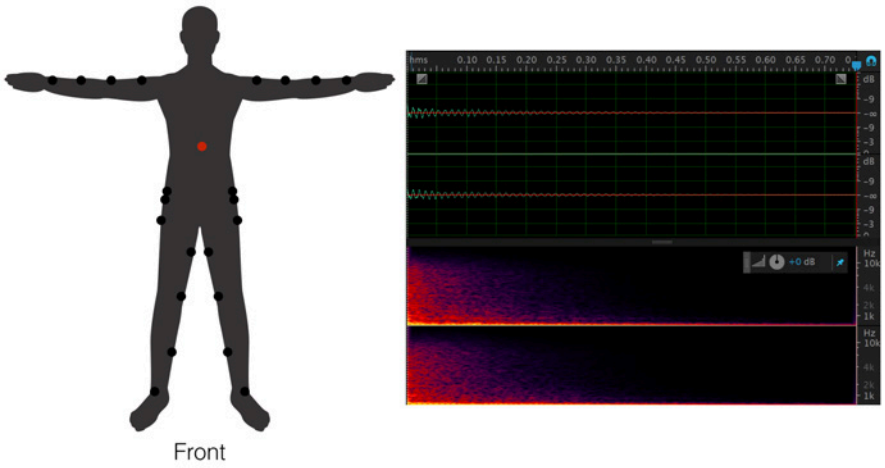


図 3.11: 空打ちクラップ時の触感の提示位置と波形

3.5.7 敵のロック

触感のベースとした音源：Logic 付属ドラム音源
触感提示の位置とタイミング：敵のロック時，数に応じて図 3.12 の 1〜8 へ順に提示
ハプティックデザインの方向性：軽く，固く，短い感覚

波形及び提示位置を図3.12に示す．ロック時は余韻が無く短い，固い触感をデザインした．これは，敵をロックした瞬間に鳴る短い「ツ」という音や，敵を四角いカーソルでロックするというゲームの演出から触感をデザインしたものである．また，Rezでは敵を最大8体までロックすることができるが，その数の情報を身体でも表現するために，ロックするごとに図の〜まで触感提示位置を増やしていくようにした．つまり，最初の1体では右手の腕のみへの刺激で，2体目をロックすると両手の先の2箇所が刺激され，最大8体ロックした際は両腕の8箇所へ刺激が行われる．

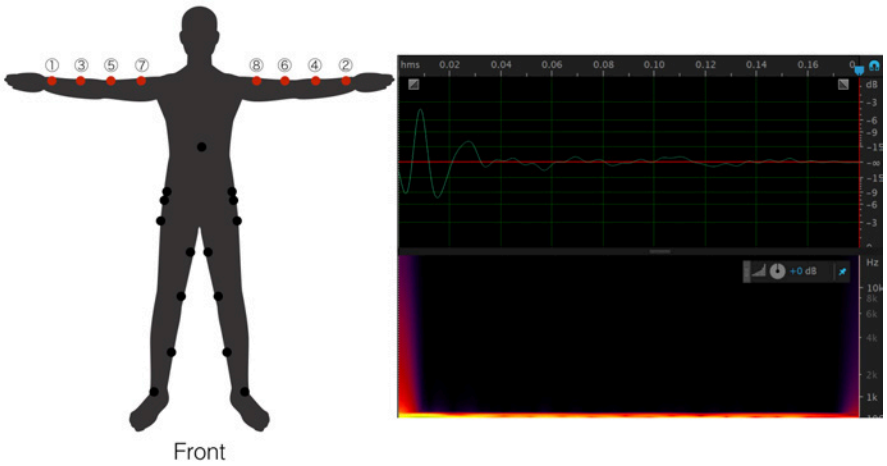


図 3.12: 敵のロック時の触感の提示位置と波形

3.5.8 キューブを撃ち落とした

触感のベースとした音源：Logic付属ドラム音源
触感提示の位置とタイミング：撃ち落とした瞬間に腹と背中に提示
ハプティックデザインの方向性：重たく響く感覚

図3.13に示すキューブを持った敵を打ち落とすという動作について，これはステー

ジのワープを司るキーのため，撃ち落とした瞬間に腹に向かって強く響く刺激を提示するようにした．波形及び提示位置を図 3.14 に示す．

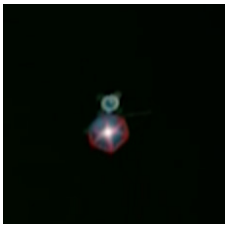


図 3.13: ワープのキーであるキューブを持った敵

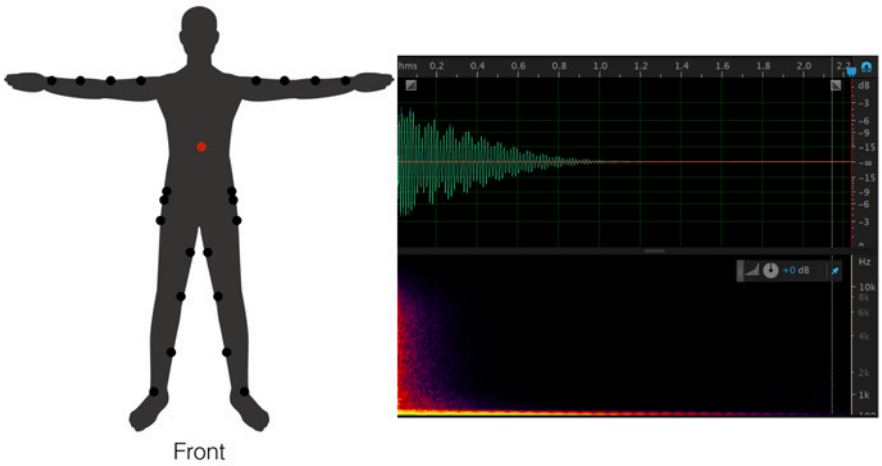


図 3.14: キューブを撃ち落とした時の触感の提示位置と波形

3.5.9 キューブヒット

触感のベースとした音源：Logic 付属ドラム音源
触感提示の位置とタイミング：1 ヒットごとに足から肩へ刺激が上っていく
ハプティックデザインの方向性：軽い感覚

前述のキューブを 1 発撃つごとに，身体を軽い触感がチャージされるように上っていく演出をした．波形及び提示位置を図 3.15 に示す．

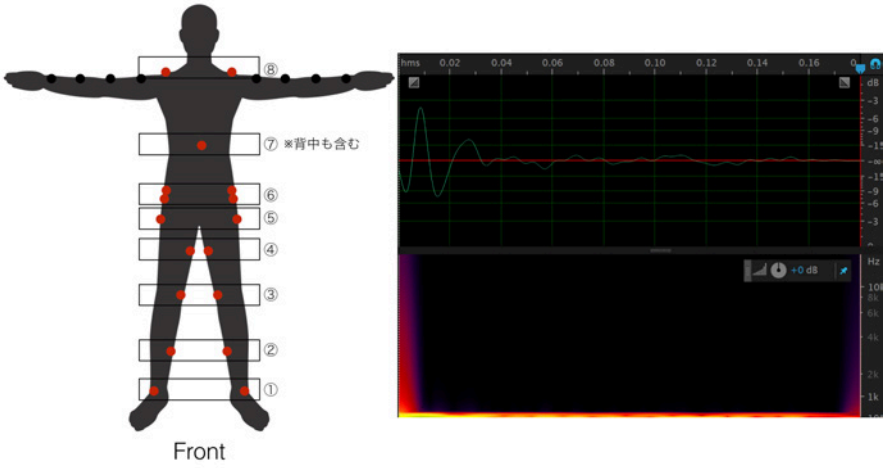


図 3.15: キューブを撃った時の触感の提示位置と波形

3.5.10 ワープ

触感のベースとした音源：ワープ前 Logic 付属ドラム音源
ワープの瞬間 レーザー音のサウンドエフェクト触感提示の位置とタイミング：4 回余韻のある軽い刺激が足から肩にかけて流れていき，ワープの瞬間は全身すべての振動子に強く余韻のある刺激
ハプティックデザインの方向性：ビリビリしたような余韻のある感覚

波形及び提示位置を図 3.16 に示す．ワープの直前に足の先から肩にかけて余韻のある軽い刺激が触感が駆け上がる．ゲームシーンと合わせた微調整の結果，足から駆け上がる触感は 30msec ずつずらして足元から順に提示される．ドラムのソフトウェア音源にリバーブのエフェクトおよびローパスフィルタを適用することで，余韻を演出した．ワープの瞬間は，ビリビリと痺れるような余韻を残す触感が全身に強く提示される．これは,「ビリビリ」という語感からイメージしたレーザー音の効果音素材に対して，リバーブとローパスフィルタをかけることによって作成した．

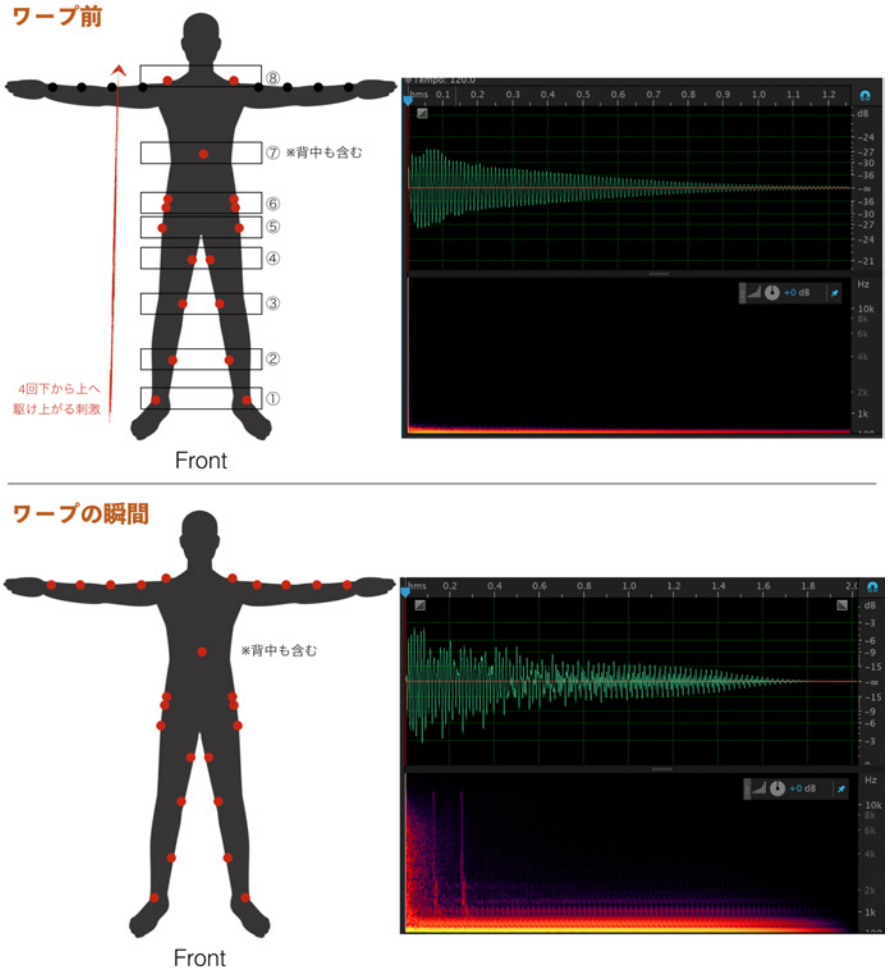


図 3.16: ワープ時の触感の提示位置と波形

3.6. 本章のまとめ

本章では，まずRez Infiniteの体験を全身へ拡張するSynesthesia Suitのコンセプト，プロジェクトの座組を述べ，それからSynesthesia Suitのうちハプティックスーツで実現したい体験のデザインとそのためのハプティックデザインについて述べた．Rezの触感デザインは水口哲也の思い描く世界観を実現することを目指し，ヒアリングを繰り返し，効果音や楽器の音などからシーンに合わせてデザインした．次章では本章で述べたSynesthesia Suitのコンセプトを実際に体験するための，ハードウェアとソフトウェア，そしてスーツの設計と実装について述べる．

第4章
ハプティックスーツの開発

4.1. ハプティックスーツのアーキテクチャ

まず，ハプティックスーツによる全身触覚提示を実現するシステム全体を設計する．ハプティックスーツは，複数の振動子を搭載し，全身に触覚フィードバックを行なうスーツである．ハプティックスーツシステムの要件は，PlayStation 4 から送信されるトリガー信号と連動してハプティックスーツに触感が再生されることである．よって，トリガーを受信して触感を再生するハプティックスーツ制御ソフトウェアと触感データのライブラリが必要になる．PlayStation 4 からのトリガー信号は PlayStation 4 の LAN ポートから出力されるため，UDP によって PC で受信する．PC ではこの MIDI 情報を OSC メッセージに変換して，ハプティックスーツの制御ソフトウェアに送る．触感のデータは wav フォーマットの音声信号を用いるため，複数チャンネルのオーディオ制御ソフトウェアがハプティックスーツの制御ソフトウェアとなる．このソフトウェアは触感ライブラリを持ち，任意の OSC メッセージに対して，ライブラリから触感データを読み込み，指定の部位に出力する．PC には制御チャンネル数の出力を持つオーディオインターフェースを接続し，それぞれの出力信号をオーディオアンプによって増幅させる必要がある．最後に，増幅された信号はスーツに搭載されたそれぞれの振動子で再生される．これらの要件をまとめた設計図を図 4.1 に示す．次節より，制御ソフトウェア Synesthesia Engine，アンプの開発，ハプティックスーツの開発について，個別に述べていく．

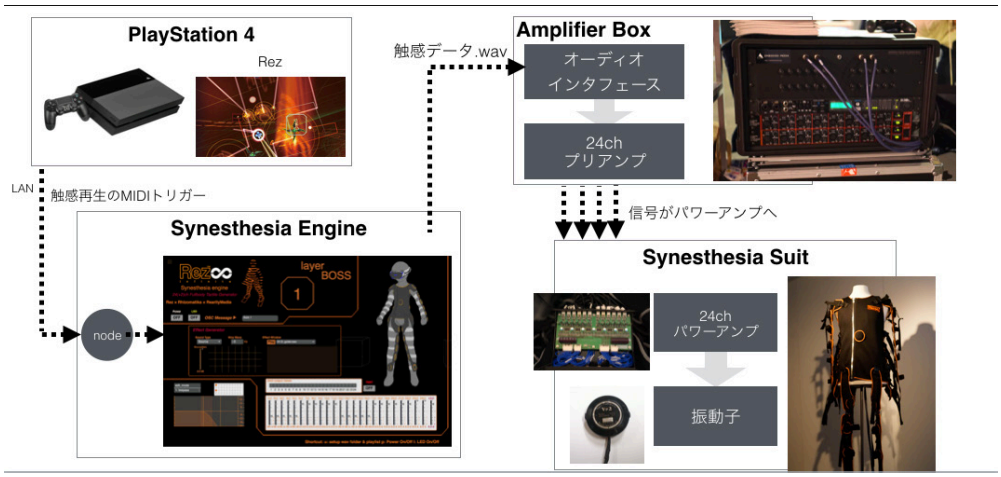


図 4.1: システム全体の構成

4.2. Synesthesia Engine

PlayStation 4 から送信されたトリガーを受信して，リアルタイムに全身の適切な箇所へ触感を提示するソフトウェアを開発する．PlayStation 4 は LAN による外部接続が可能なため，PlayStation 4 と同じネットワークに PC を置き，UDP 通信によってトリガーを受信する（図 4.2）．PC 側は，node.js で開発されたアプリケーションで PlayStation 4 からのトリガーを取得する．PlayStation 4 は，触感再生のトリガーとして MIDI データフォーマットに従った「チャンネル」「ノートナンバー」「ベロシティ」の 3 つの情報を送信する．このままではどの触感を再生するトリガーなのかの判別が難しいため，取得後に OSC メッセージに変換して，制御ソフトウェアに送信する．ベースドラムなら「/kick」やエネミーのロックならば「/lock 1」「/lock 2」（数字はロックした敵の数）といったものである．なお，node.js のアプリケーションは buffer Renaiss 社 石井通人氏の開発によるものである．制御ソフトウェアは，触感データのライブラリを持ち，トリガーを受信したタイミングで 24 チャンネルのうち任意の出力に触感データを再生するという機能が必要になる．触感データは wav フォーマットのオーディオデータのため，ハプティックスーツの制御ソフトウェアは，マルチチャンネルのオーディオ制御ソフトウェアとなる．これらの要件をもとに，Cycling ’74 社の音楽とマル

チメディア向けのビジュアルプログラミング言語 Max を用いて，制御ソフトウェア Synesthesia Engine（図 4.3）を開発した．Synesthesia Engine は，触感再生のトリガーである OSC メッセージを受け取ると，その OSC メッセージに応じてリアルタイムに任意の部位に触感を再生する．具体的には，図 4.4 の「r route」から「route」オブジェクトに送信される OSC メッセージによって，それぞれのメッセージに対応したパッチを起動する．各パッチの中では触感データのライブラリから指定のものを読み込み，指定のアウトプットに向けて再生している．図 4.5 に「/cube_oneshot」というワープトリガーになるキューブを撃ち落とした瞬間に受け取るメッセージによって起動するパッチ，図 4.6 に「/cube_rotate_blue_text」というワープ前に身体をエネルギーが駆け回り始める際に受け取るメッセージによって起動するパッチの例を示す．身体を順に触感が駆ける感覚は，Max に用意された「delay」オブジェクトを使って，再生タイミングをずらすことで実現している．部位は，Synesthesia Engine 内ではオーディオインタフェースのアウトプットチャンネルとして管理する．図 4.7 のように右半身の肩から順に番号を振り，それぞれのアウトプットとスーツの対応する位置の振動子が接続される．これらの一連の PC 上での処理を，図 4.8 に示す．なお，Synesthesia Engine のトリガーの受信，トリガーに基づいたパッチの選択，触感ライブラリの制御，24 チャンネルのオーディオ制御，およびユーザインタフェースは博士課程の花光宣尚氏の開発およびデザインによるものである．筆者は各トリガーの受信によって実行される各パッチの実装を行った．

4.3. アンプの実装

ハプティックスーツで触覚提示を行う振動子は，任意のオーディオ信号を再生することによって振動触覚提示をおこなうボイスコイル式である．よって，振動子で再生する触感データ信号は PC から出力された後，オーディオアンプによって増幅される必要がある．後述する実験によりハプティックスーツには 24 チャンネルの振動子が配置されることになったため，24 チャンネルのオーディオアンプを用意する．アンプに関しては，2016 年 6 月までと 7 月以降で機材の設計と実装が

図 4.2: PlayStation 4 の信号出力

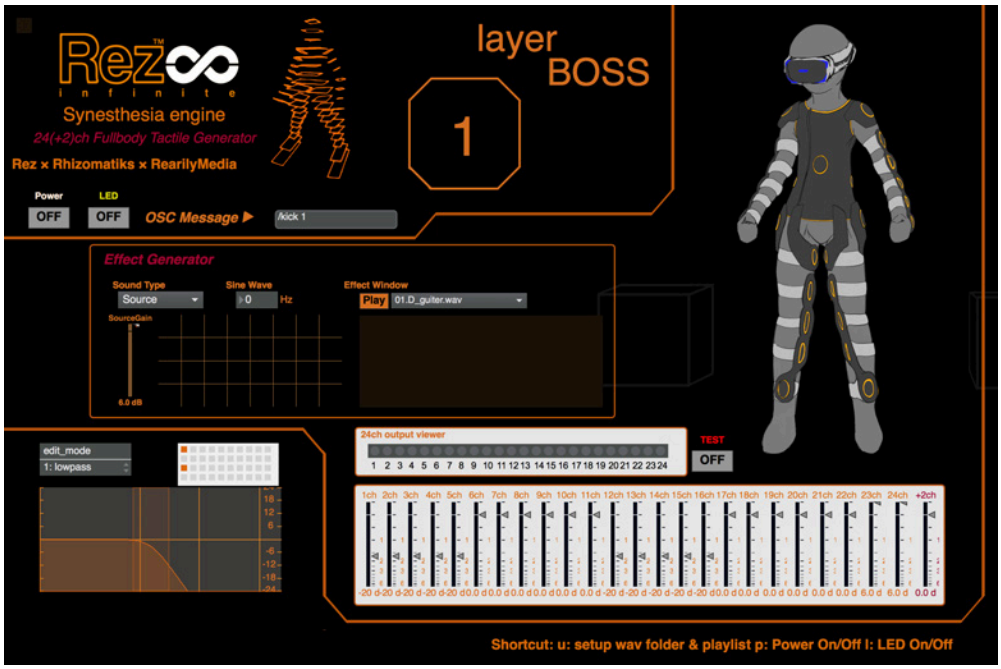


図 4.3: Synesthesia Engine

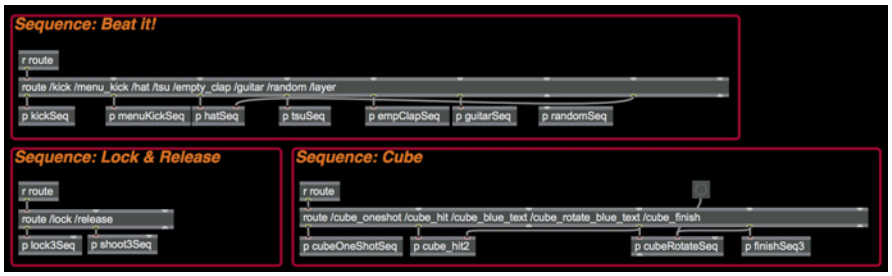


図 4.4: OSC メッセージによるパッチの選択部分

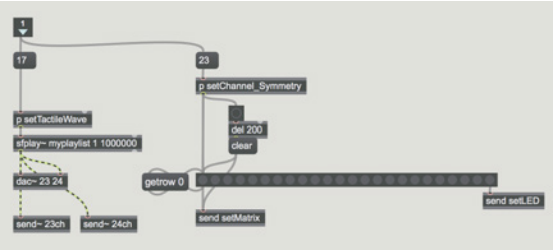


図 4.5: Synesthesia Engine パッチの例：キューブを撃ち落とした

異なる．2016 年 6 月までは，市販の 4 チャンネルアンプを 6 台組み上げることで実装（図 4.9）したが，7 月以降はハプティックスーツのための 24 チャンネルアンプを設計し，足元に置いたプリアンプと背中に背負うパワーアンプとに分けるという構成にした（図 4.10）．最初の構成では，市販されている 4 チャンネルアンプ behringer EPQ304 を 6 台積み上げ，24 本のスピコンコネクタによる出力を，自作した中継ボックスを通して 4 本のケーブルにまとめ，それをハプティックスーツの背中につけたもう一つの中継ボックスに繋げ，そこから全身 24 チャンネル 26 個の振動子へと繋げた．この接続はスーツへの配線の数を少なくするために採用したが，アンプが振動子から離れた位置にあり，さらに二度の中継ボックスによる変換を経ることで，電線の抵抗や線間容量の問題で期待通りに波形を再生できていなかった．2016 年 7 月より，KMD Embodied Media Project 研究員であるシードルインタラクション株式会社 神山洋一氏にプロジェクトに参画してもらい，アンプモジュールの設計を共同で行い，実装を依頼した．その際の設計は，以下の要件を満たすものとする．

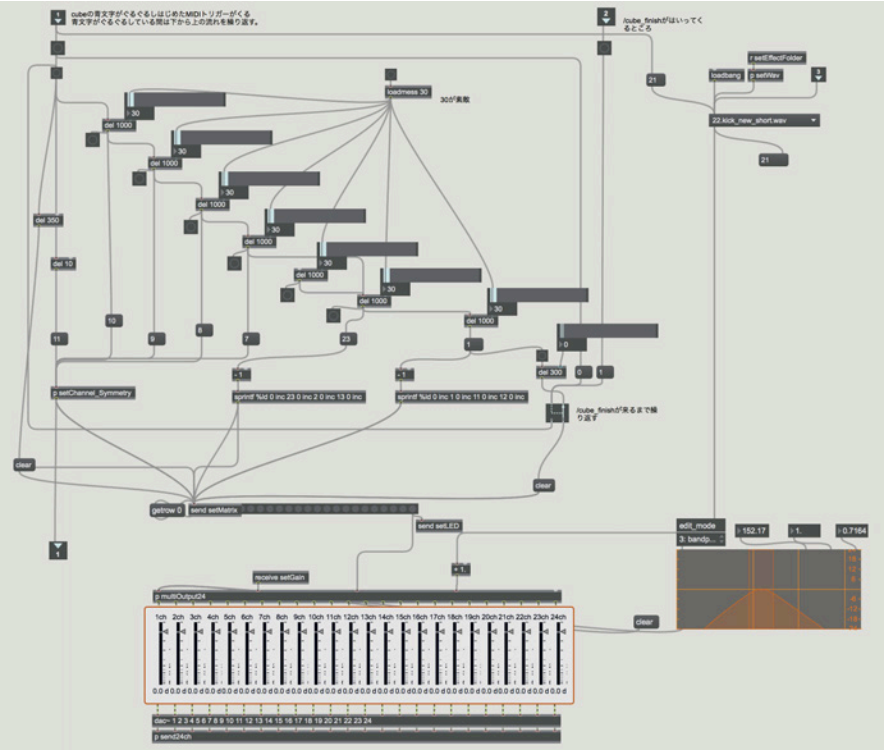


図 4.6: Synesthesia Engine パッチの例：ワープ前

部位名	振動子の番号＝Synesthesia Enfineのアウトプットチャンネル
右肩	1
右上腕上	2
右上腕下	3
右下腕上	4
右下腕下	5
右腰	6
右腰足つけね	7
右太腿上	8
右太腿下	9
右脹脛	10
右足甲	11
左肩	12
左上腕上	13
左上腕下	14
左下腕上	15
左下腕下	16
左腰	17
左腰足つけね	18
左太腿上	19
左太腿下	20
左脹脛	21
左足甲	22
お腹	23
背中	24

図 4.7: 部位とアウトプットチャンネルの割り当て

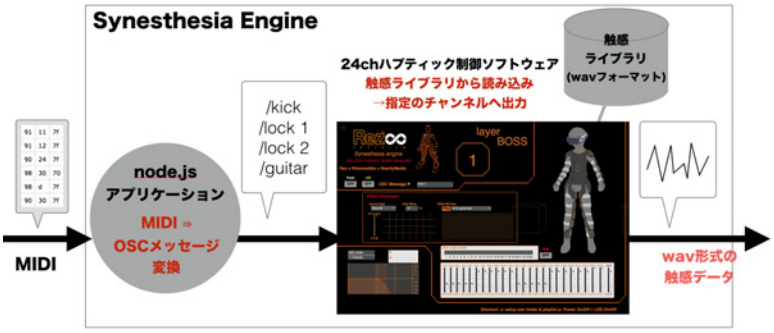


図 4.8: 制御用 PC 内での処理

1. 配線を短距離にするため，背中に 24 チャンネルパワーアンプを背負う
2. 足元にプリアンプを設置し，手元で全チャンネル個別のボリューム調節ができるようにする
3. 出力は 10W〜20W

新しく設計したアンプはプリアンプとパワーアンプの 2 つからなる．プリアンプ，パワーアンプそれぞれの設計図を図 4.11 および図 4.12 に示す．この設計図に従って実装されたアンプ基板の写真を，図 4.13 および図 4.14 に示す．また，ハプティックの背中に装着するパワーアンプモジュールの外装の設計図を図 4.15 に示す．プリアンプは 6 チャンネル 1 枚の基板を 4 つ利用し，パワーアンプは 12 チャンネル 1 枚の基板を 2 つ利用することで，それぞれ 24 チャンネルアンプを実現している．また，本アンプの特性を表 4.1 に示す．プリアンプを足元へ置くことで音量調節が手元で可能になり，パワーアンプを背中に背負うことで振動子とパワーアンプが直接繋がるため，信号の損失を押さえ込むことができた．また，プリアンプは図 4.16 のようにオーディオインタフェースと共にラックに収めている．オーディオインタフェースはマルチチャンネルの出力を持つ MOTU 828x を利用した．MOTU 828x はアナログ出力 8 チャンネルおよび，光デジタル出力 8 チャンネル × 2 系統を持つインタフェースであり，光デジタル出力に関しては DA コンバータ behringer ADA8200 を 2 台使うことで，合計 24 チャンネルのアナログ出力を実現した．ラックは制御用 PC とオーディオインタフェースを繋げる Thunderbolt ケーブル 1 本，ラック内のすべての機器に繋がる電源ケーブル 1 本，プリアンプからハプティックスーツへと繋がる電線 4 本のみが入出力となり，持ち運びやセットアップが容易になっている．

表 4.1: アンプの特性

チャネル当たり最大出力	12W（Vp2/10 Ω接続時）
24 チャネル総合最大出力	117W
周波数特性	21Hz-23KHz

図 4.9: アンプからハプティックスーツの振動子までの接続：旧

図 4.10: アンプからハプティックスーツの振動子までの接続：新

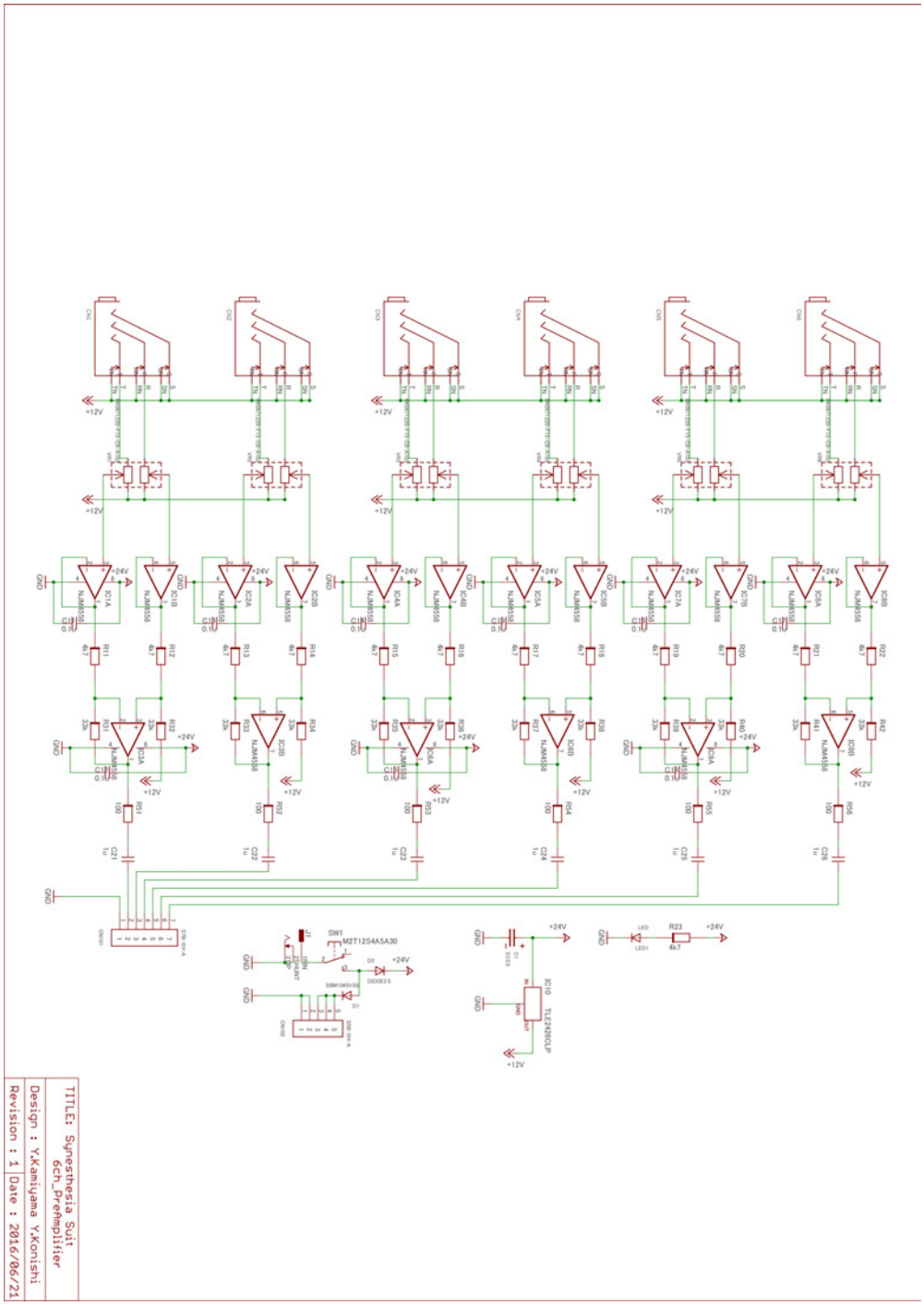


図 4.11: プリアンプ設計図（提供：シードルインタラクションデザイン株式会社 神山洋一氏）

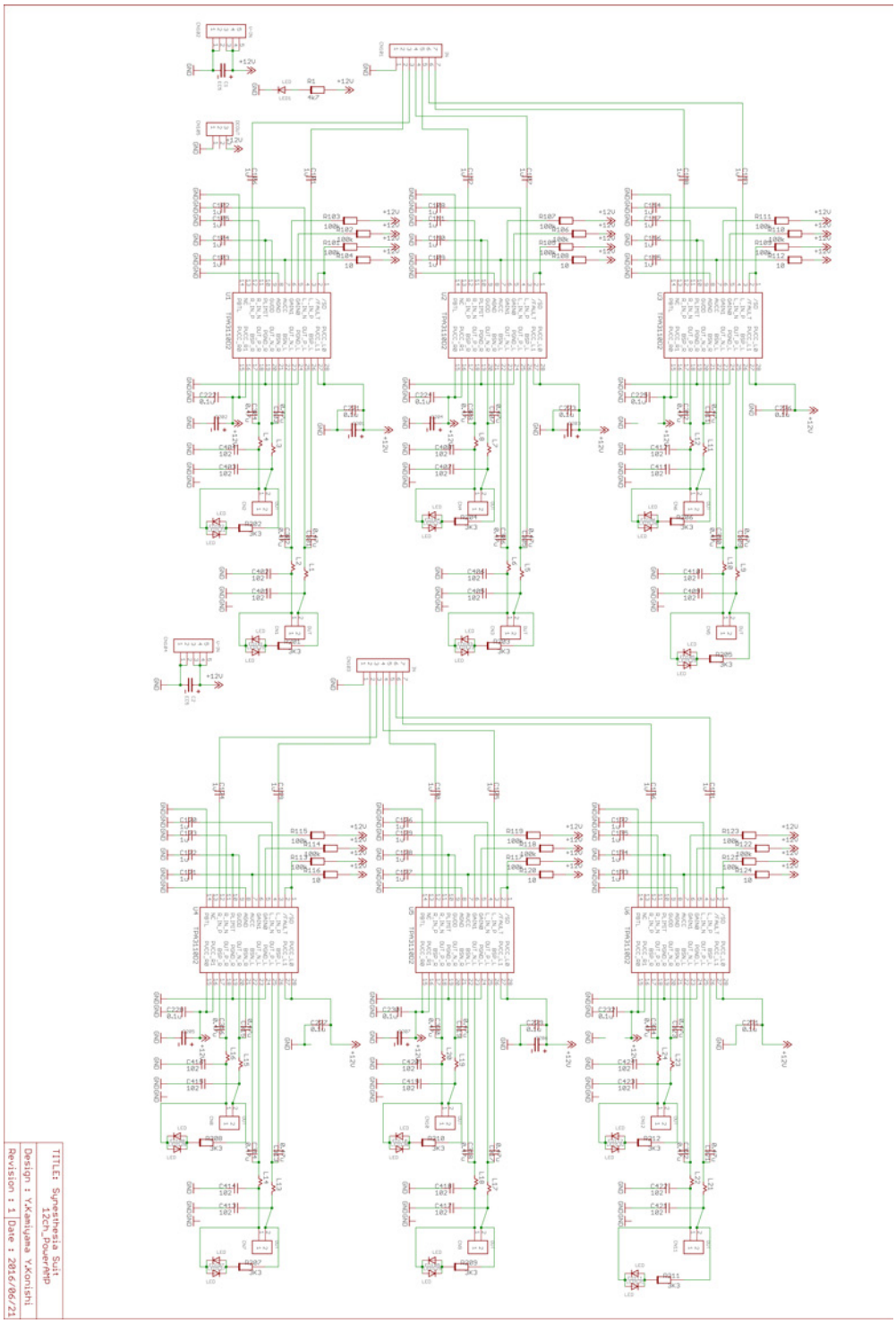


図 4.12: パワーアンプ設計図（提供：シードルインタラクションデザイン株式会社 神山洋一氏）

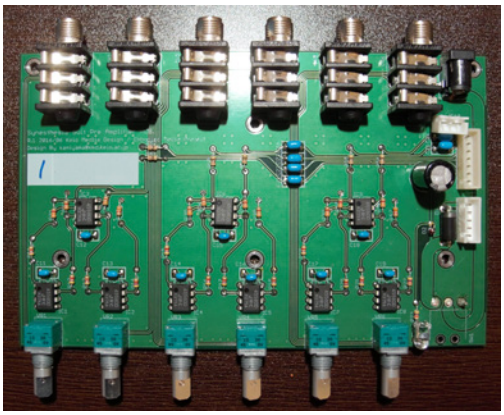


図 4.13: 実装したプリアンプの基板

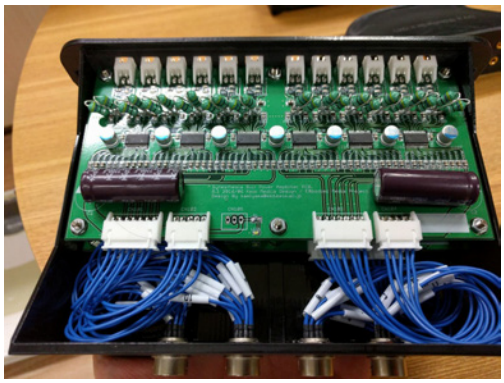


図 4.14: 実装したパワーアンプの基板

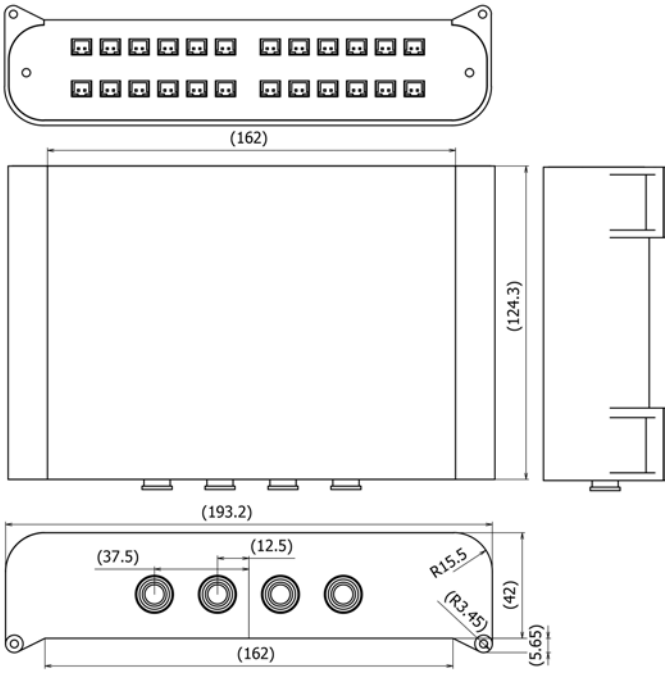


図 4.15: パワーアンプ外装設計図（提供：シードルインタラクションデザイン株式会社 神山洋一氏）

図 4.16: プリアンプおよびオーディオインタフェースのラック

4.4. ハプティックスーツ

まず，没入感を高める全身触覚の実現のため，ハプティックスーツの刺激位置を決める．刺激の位置は，

1. Rez の世界観に合わせた効果的な触覚刺激の演出をおこなえる
2. 刺激を感じやすくわかりやすい
3. 長時間のゲームプレイに対して適切

という条件を満たす必要がある．1 について，先に述べたように，Rez の体感は全身に及ぶため，足元から胴体，腕にかけての幅広い面積に対して提示し，身体を刺激が駆け巡るような演出をしたい．この時，刺激を感じにくい位置は避ける．また，3 について，ゲームは基本的に数十分から数時間の連続したプレイを行うものであり，Rez も 1 面あたり 15 分から 30 分程度の長さが用意されているため，常時間のプレイによって不快感を覚えさせない位置にする必要がある．特に，Rez の重要な要素である音楽に合わせて常時身体が刺激されることを想定しているため，長時間の連続刺激に対して適切な位置を選択する必要がある．これらを踏まえ，図 4.17 のように体中に振動子を装着して Rez をプレイし，身体のどこを刺激すること Rez の世界に没入できるのか，どの部位への刺激で快感あるいは不快感を生じるのかを調査した．この結果，下半身や腰への強い刺激が好ましく，また，

実験以前は骨に刺激を与えることで強く響く感覚が得られるのではないかと仮定したが，内太腿やふくらはぎなどの肉を面で揺らす方が痛みにならず気持ちが良いといったことがわかった．一方でお腹や背中など心臓に近い部分へ強い刺激を何度も与えることは不快感を起こすことがわかった．FPS などのアクションゲームでは腹や胸を打たれるような演出が可能だが，Rez においてはリズムに合わせて常に身体に触感が提示されるのを前提とするため，腹や背中付近への複数の装着は避けることにした．腕に関してはコントローラプレイを前提として，脇を締めても身体に干渉せずに触感提示を楽しめる部分を選択した．また，腕や足，身体全体を流れるような触感提示を行うために，腕と足にはそれぞれ一定間隔で振動子を並べ，身体も足元から肩までに振動子が並ぶように配置する．結果として，図 4.18 の赤い印の位置に 24 チャンネル 26 個の振動子を配置した．図の黄色く囲われた腰部分への刺激は，より広範囲に提示することで強さが感じられて快感であるとわかり，単純に同じ信号を分岐させて 2 つの振動子から出力することにした．

利用する振動子は，スーツに仕込めるサイズや重さで，任意の触感を解像度高く再生できる必要がある．アクーヴ・ラボ社のバイブロ・トランスデューサ vp2（図 4.19 (a)）および ALPS 社の tough（図 4.19 (b)）の 2 つをサイズや触感提示性能から候補とし，よりパワーが出る vp2 のみを採用した．

なお，ハプティックスーツは国外でのデモンストレーションを前提とするため，体のサイズに関わらず誰もが脱ぎ着できる必要がある．さらに，すべての振動子は触感提示のために体に密着させる必要がある．また，機動性のためスーツへの配線を減らすことを考え，24 チャンネルの信号を 4 本の配線にまとめ，制御用のモジュールをスーツの背中に背負いそこから全身の振動子へ分岐することとする．すべての振動子の配線は脱着に干渉せず制御用のモジュールへと繋がる．
衣装のデザインについては，テクノロジーを衣装に仕込むスペシャリストである，SQUNABICONA 社の櫻井利彦氏に製作を依頼した．

1. 体のサイズに関わらず誰もが脱ぎ着できること

2. すべての振動子が体に密着すること

3. 脱着に配線が干渉しないこと

4. 背中に制御用のモジュールを背負えること

という要件を伝え，2つのプロトタイプを経て完成した．初回の打ち合わせでは「全身タイツ」というキーワードがあがり，プロトタイプ1（図4.20左）が作製された．しかし，モデルの体サイズでは振動子の密着性はあるが，これよりも小さな体では密着性が無いこと，脱着に非常に時間がかかり配線の処理も難しいことなどの問題点が浮上した．続いて，振動子一つ一つをベルクロで巻きつけるタイプのプロトタイプ2（図4.20中央）が製作された．体にはベストを着用することで背中に安定して制御モジュールを背負うことができ，脱着も容易になった．さらに配線や振動子を安定してつけられるよう手足のモジュール化がなされて，図4.20右のスーツが完成した．

最後に，触感が開発したアンプを通りスーツで再生されるまでの図を図4.21に示す．

図 4.17: 振動子の位置選定実験

4.5. 本章のまとめ

本章ではSynesthesia Suitのコンセプトを実現するために必要な，ハプティックスーツのデザイン，ハードウェアとなるアンプの実装，制御ソフトウェアSynes-

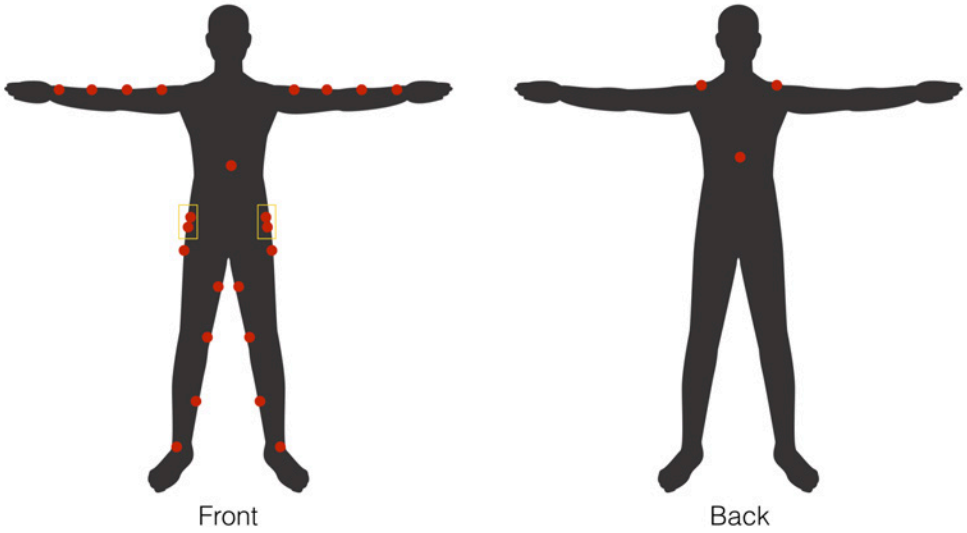


図 4.18: 振動子の位置

図 4.19: 振動子

図 4.20: スーツのプロトタイプと完成形

図 4.21: 触感データがスーツで再生されるまで

thesia Engine の実装について述べた．ハプティックスーツは 24 チャンネル 26 個の振動子が取り付けられ，身体のサイズに関わらず脱着が容易で誰もが触感を感じられるものにした．アンプは，神山洋一氏に協力を依頼して Synesthesia Suit 用の 24 チャンネルアンプを開発した．そして，PlayStation 4 からトリガーを受け取り，それに応じた触感データを制御するソフトウェア Synesthesia Engine を開発した．本章で実装されたシステムの実際の展示の様子を図 4.22 に示す．PlayStation 4 と PC が繋がり，PC がオーディオインタフェースを通ってプリアンプと繋がり，プリアンプはスーツの背中のパワーアンプモジュールと繋がっている．これらをすべて実装したことにより，Synesthesia Suit のデモンストレーションが行える状態となった．

図 4.22: 実際の様子

第5章
Proof of Concept

5.1. PlayStation Experience 2015 keynote ステージ

Synesthesia Suit の初披露は 2015 年 12 月 5 日に米国サンフランシスコ モスコーンセンターにて開催された PlayStation Experience 2015 の Keynote ステージであった．PlayStation VR のセッションの始まりに，PlayStation VR と Synesthesia Suit を着用した水口哲也氏が 5000 人の観客の前に立ち，およそ 3 分間のリアルタイムデモンストレーションを行うというものであった．当日の様子を図 5.1 に示す．このとき，触覚フィードバックは Synesthesia Suit を着用している本人のみが知覚できるものである．そのため，Synesthesia Suit は LED による触覚のビジュアライゼーションを行なう LED スーツも開発された（図 5.2）．これは Rhizomatiks 社が担当した．Rez の体感を光で演出することで，観客も光の位置や色，強さやパターンから Synesthesia Suit を着用している人物の全身触覚体験を視覚情報として体験し，空間に広がった Rez の世界を楽しむことができる．

5.2. PlayStation Experience 2015 メディア向けデモンストレーション

期間 2015 年 12 月 5 日〜12 月 6 日

場所 サンフランシスコ モスコーンセンター

図 5.1: PlayStation Experience 2015 keynote ステージの様子

図 5.2: LED スーツ

体験人数 約 20 人

PlayStation Experience 2015 では，前述のステージデモンストレーションの他，プレス向けに別室でデモンストレーションを行った．デモンストレーションは各メディアごとに 1 時間の枠を用意し，まずは Rez Infinite を PlayStation VR でプレイ，その後ハプティックスーツを着用してプレイ，プレイ後に水口哲也氏へのインタビューという流れで行われた．デモンストレーションの様子を図 5.3 に示す．PlayStation Experience 2015 でのメディア向けデモンストレーションの目的は，Rez Infinite の VR 化に合わせて Synesthesia Suit を開発し，Rez の世界への全身没入体験を作り出したという事実をメディアの人物に認識させ，Synesthesia Suit の存在をその体験とともに発信してもらうことである．各メディアの記者による反応としては次のようなものがあった．

”Things start off subtle at first, but soon, the many, many actuators and rumblers on the suit are hitting me on my chest, arms, and legs with each beat of the music. It’s remarkably synchronized. Every Rez player knows that little pattern of quick beats that you hear when you fire all of your rhythmic shots at a single object. Now I feel each individual one of those rapid-fire beats, bapbapbapbapbap on my body. It really is the Trance Vibrator’s ultimate evolution, but Mizuguchi doesn’t want to stop here.”
WIRED．”The Real Way to Play Rez Infinite: In a VR Vibrating Suit”．2015-12-08．https://www.wired.com/2015/12/rez-infinite-vr-suit/,（参照 2016-12-3）．

”It’s absolutely exquisite: the total sensory immersion completes the experience in a way that wasn’t possible before without resorting to narcotics.”
Eurogamer.net．”Rez Infinite is PlayStation VR’s best game yet”．2015-12-7．http://www.eurogamer.net/articles/2015-12-07-rez-infinite-is-much-more-than-a-remaster,（参照 2016-12-3）．

”When I targeted four enemies, I felt a buzzing, tingling sensation ripple across

my arms and torso. In more frantic moments, bass was pulsing in my legs while my shots sent melody and rhythm through my arms. It felt like being on a buzzing dance floor, except the feeling was surgically targeted and my eardrums weren’t exploding. Taking on a boss was especially interesting, given that it really enjoyed going behind me. On a few occasions, I turned to face it. Then it started stomping on me. The whole encounter was so frantic that I nearly forgot I was even wearing the suit.”
KOTAKU．”What It’s Like To Play Rez In A Full-Body VR Suit”．2015-12-6．http://kotaku.com/what-its-like-to-play-rez-in-a-full-body-vr-suit-1746554849,（参照 2016-12-3）．

”産学の研究成果を活かしたその効果は抜群で、このスーツを着てプレイすると、ベースドラムは足腰、スネアは肩肘あたりといった感じに、各エリアで流れるBGMのさまざまな音色が振動として全身を駆け巡る未知の体験ができる。ちょっとアブない発言に聞こえるかもしれないが、自分が音楽そのものになったような、本当に不思議な感覚だ。
そんな感じに、PSVRとシナスタジア・スーツによって視覚、聴覚、触覚という3種類の感覚を『Rez』世界に没入させた異次元のプレイが終わった後は、「ようやく現実世界に帰ってきた」という雰囲気になるほど強烈だった。”
ファミ通.com．”VR対応こそが『Rez』の完成形! 視覚・聴覚・触覚が刺激される究極の共感覚体験を味わえる『Rez Infinite』体験リポート【PSX 2015】”．2015-12-08．http://www.famitsu.com/news/201512/08094807.html,（参照 2016-12-3）．

これらの記事から，ユーザがRezの世界と非常にシンクロした，中毒的な没入感や，まるでダンスフロアにいるか，あるいは自分自身が音楽になったかのような一体感を作り出せたことがわかる．Synesthesia Suitを着用してRez Infiniteを体験した記者が，音楽に乗って身体を揺らしてプレイする様子も見られた．また，”the Trance Vibrator’s ultimate evolution”と書かれているように，かつてはトランスバイブレータで実現していたRezの触覚体験が全身に進化した体験を作り出すこ

とができた.「ようやく現実世界に帰ってきた」と思わせるほどの深い没入の後は，ユーザを”Welcome back”と迎えた．他にも，体験した記者が「Oh my god…」と呟いたり，体験後は放心状態で体験したことを言葉にしようとして上手くできずに黙り込んだりする様子が観察でき，今までにないまったく新しい体験を作り出すことができたとわかる．
上記の他，Game Informer（http://www.gameinformer.com/b/news/archive/2015/12/05/rez-infinite-brings-the-lights-and-sounds-of-rez-to-playstation-vr.aspx，参照 2016-12-3），Giantbomb（http://www.giantbomb.com/articles/rez-remake-coming-to-ps4-with-playstation-vr-suppo/1100-5308/，参照 2016-12-3），Ars Technica（http://arstechnica.com/gaming/2015/12/playstation-vr-expo-round-up-impressive-rez-infinite-leads-killer-line-up/，参照 2016-12-3）なども Rez Infinite および Synesthesia Suit の記事を掲載し，Synesthesia Suit の没入体験をメディアから発信してもらうという目的が果たせた．

図 5.3: PlayStation Experience 2015 プレス向けデモンストレーションの様子

5.3. Media Ambition Tokyo 2016

期間 2016 年 2 月 29 日〜3 月 21 日

場所 六本木森タワー展望台 東京シティビュー

体験人数 400 人

Media Ambition Tokyo 2016 は、東京で開催されたテクノロジーアートのショーケースである．Rez Infinite - Synesthesia Suit を含む 11 展示が六本木森タワー 52 階展望台東京シティビューに集められ，Synesthesia Suit は初の国内展示であった．本展示では，夜景をバックにプレイヤーが PlayStation VR および Synesthesia Suit を着用して Rez Infinite をプレイし，プレイヤーの見ている映像を大型スクリーンに投影して周囲の観客にもゲーム画面を共有した．このとき，体験が 1 人だけのものになってしまうというバーチャルリアリティの欠点を補うべく，振動子と LED を搭載した Synesthesia Chair を新たに開発し，LED スーツとあわせて，プレイヤーの体験を空間に広げた（図 5.4）．Synesthesia Chair（図 5.5）はからだタップ [25] の技術を利用し，図 5.6 のような大型振動子（Clark Synthesis TST239 Silver Tactile Transducer Bass Shaker）を座面の裏に 1 つ取り付け，低周波をイコライザで強くした BGM と，Synesthesia Suit へ提示している触感のうち特徴的な，腰に提示しているベースドラムのリズムおよび敵をロックした際の触感を組み合わせて提示した．LED の制御は Rhizomatiks の開発によるものである．本展示の目的は，Synesthesia Suit による没入体験を多くの人に体験してもらいコンセプトを伝えることと，Synesthesia Suit が単にバーチャルリアリティゲームのためのスーツではなく，音楽と触覚と光の共感覚体験を空間に広げるアート作品であるという面もあわせてアプローチすることである．体験者の感想を以下に抜粋する．

- 自分が操作していることを振動で体感できるできるのがよかった。より自分が操作している感じがする
- 振動と音で現実感がなくなり、宙に浮いているみたいだった
- ゲームの音楽と振動が合っていて爽快
- 振動があるとより没入感を感じる
- 浮遊感があった

- スーツは想像したことない感触で、音楽の世界に入り込めた
- 最初は振動が電気ショックのように感じたが、徐々に自然な感触になり、心地よくなった
- 正直VRはあまり興味がなかったが、Rez Infiniteを体験したらPlayStation VRが欲しくなった。というか、シナスタジアスーツ欲しいなぁ。（ユーザの感想ブログ．”Rez Infinite with シナスタジアスーツ体験”．2016-03-20．http://kaiware007.hatenablog.jp/entry/2016/03/20/162557．参照 2016-12-3）
- シナスタジアスーツの振動は、正直ただの振動だろうって見くびってたけど、SEのクオンタイズと同様に自然でエモーショナルだった。バーチャルに実体験感が出る。体験してしまうと、これ売る予定は？って言わざるを得ない（Twitterより引用，2016-3-19，@yukkco）

といったように，Rezの世界観に深く没入して浮遊感や一体感を得たり，心地よさを感じてもらえたり，従来の単純な振動とはまったく違う，新しい没入体験を多くのユーザに楽しんでもらえたことがわかる．特に，浮遊感があったという感想は多く寄せられた．これは，足裏を除いた全身刺激によって，相対的に足裏の感覚がマスクされ，従来の視聴覚のみのバーチャルリアリティ体験よりも浮遊感を強く演出できたのではないかと考えられる．また，PlayStation VRにあまり興味がなかったユーザも，Rez InfiniteのSynesthesia Suit体験から興味を引かれている様子が見受けられた．また，

- 一人でスーツを装着して遊べるバージョンがあったらいいのに
- 振動スーツと合わせてゲームセンターで稼働してほしい
- 振動スーツもぜひ販売してほしい
- 高いお金出しても振動スーツがほしい

といった、Synesthesia Suit の製品化，市販化，家庭での利用を求める意見が多くあがった．

また，空間へ体験を拡張するという試みにおいて，

- 光って振動する椅子のアイデア水口さんでライゾマ制作　これに座ってると一緒にやってる気分になる　この椅子と PSVR を一杯集めて Rez 上手い人の実況プレイを沢山の人と一緒に楽しむとかしてみたい DJ ライブ感覚？（Twitter より引用，2016-2-29，@kure_kure_zo）

- Media Ambition Tokyo 2016 での Rez Infinite の体験会はほんとよかった。見下ろす夜景、投影されたゲーム映像、シナスタジアスーツの LED、音と同期して光る椅子、いろんな光が合わさって幻想的だった。（Twitter より引用，2016-9-9，@kaiware007）

といったツイートがあり，まさに Rez の体験を一人だけのものではなくたくさんの人と楽しむこと，そして様々な要素を複合させて空間として作り上げることが評価された．

5.4. 東京ゲームショウ 2016，Countdown & Launch Event

東京ゲームショウ 2016

期間 2016 年 9 月 15 日〜18 日

場所 幕張メッセ

体験人数 400 人

Rez Infinite Countdown & Launch Event

期間 2016 年 10 月 8 日〜16 日

場所 渋谷ギャラクシー

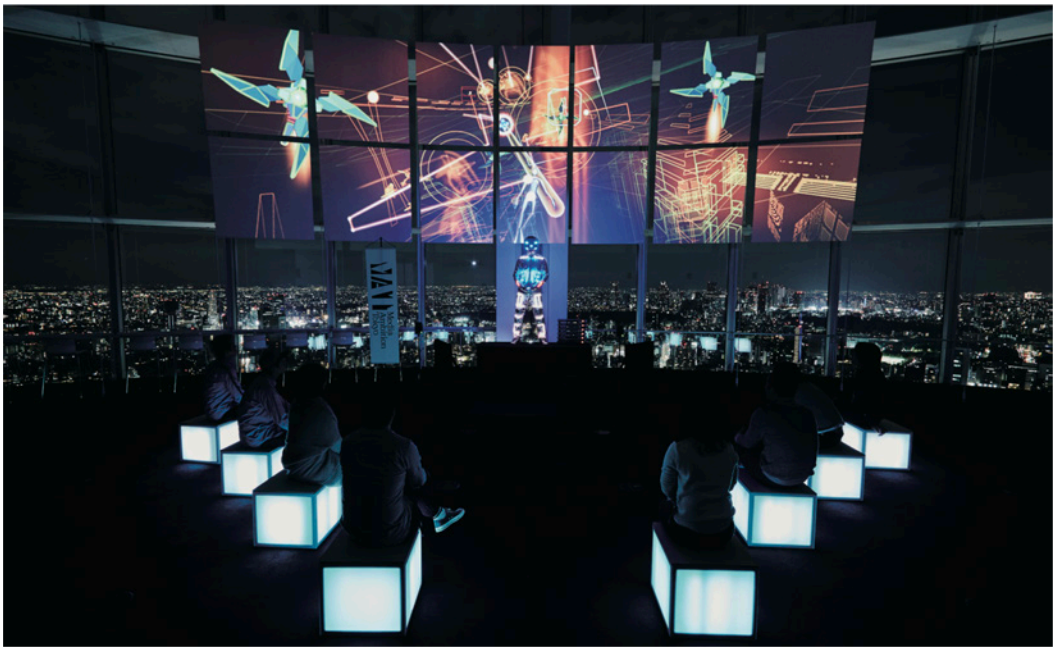


図 5.4: Media Ambition Tokyo 2016 展示の様子

図 5.5: Synesthesia Chair での観賞の様子

図 5.6: Synesthesia Chair に利用した振動子

体験人数 230 人

東京ゲームショウ 2016（図 5.7）および Rez Infinite Countdown & Launch Event（図 5.8）は PlayStation VR および Rez Infinite の発売直前にユーザに向けて開催した展示である．東京ゲームショウ 2016 では，次世代のエンターテインメントに利用される技術研究を行っている大学の研究室が招かれた「エンターテインメントの未来」ブースに KMD Embodied Media Project が出展した．ここで，Rez Infinite も Synesthesia Suit とともに，未来のバーチャルリアリティエンターテインメントのコンセプト体験として展示した．Rez Infinite Countdown & Launch Event は PlayStation VR および Rez Infinite の発売前後 2 週間にまたがって開催された，ユーザがいち早く PlayStation VR と Rez Infinite を体験できる試遊イベントである．Rez Infinite の試遊台 5 台と，Rez Infinite と Synesthesia Suit の試遊台 1 台が設置された．これらの展示は，Rez Infinite 発売に向けて Rez が目指す世界観をユーザに届けることが目的となる．メディアの反応では

”あとは PS VR を被り、DUALSHOCK 4 を持ち、ゲームをスタートさせるだけ。ゲームが始まると、「ドッドッドッ」という重い振動や「タタタタタ」という軽い振動を全身で受け止めることができ、PS VR のみでプレイするよりも音楽との一体感が増したように感じる。
クラブイベントなどに行くと、重低音のバスドラムが体の奥底まで響き渡るような音楽体験が可能だが、「シナスタジアスーツ」着用による「Rez Infinite」はまさにそのような感じ。体全体でビートを感じて、リズムを刻む。いわば「Rez Infinite」の操作キャラクターと同じような状況が作り出されているわけで、「Rez Infinite」の中に入り込んだかのような没入感はかなり楽しい。”
GAME Watch. ”「Rez Infinite」、「シナスタジアスーツ」を着てプレイしてきた! 全身でビートを感じる究極体験! 没入感マシマシのご機嫌プレイ”. 2016-9-17. http://game.watch.impress.co.jp/docs/news/1020715.html,（参照 2016-12-3）.

と書かれ，まさに Synesthesia Suit で実現させようとした音楽との一体感や，操作キャラクターが全身でビートを感じている世界の再現などを的確に感じてもら

えた．
さらに，以下にソーシャルメディアでのユーザの反応を引用する．

- Rez infinite 全身にシナスタジアスーツという共感覚スーツ (振動子を全身に装備) を装着してシューティングしながら、敵を倒したり撃つ時になるサウンドで自身が音楽を奏でるように感じられるゲーム これが、凄く楽しい。勿論シューティングと音楽、映像をリンクさせた爽快感やストレスのない操作性もよかったのだが、振動子のおかげで全身で音楽を感じることができ、没入感をかなり高めていた。ただ、付け外しに時間がかかることと現状イベント向けでしかないのが難点。VR におけるインタラクティブ性の重要性を再認識できる良いコンテンツだと思う。(2016-9-16，@ricky_ue4)
- というかシナスタジアスーツ装備の Rez、ヤバい。文字通り、音と振動のパルスが全身を走る！これがやりたくて振動にこだわっていたのか !! (2016-9-17，@kaigen0sm)
- シナスタジアスーツ着ての Rez の試遊、最後ちょっと泣いちゃった... なんか、すごすぎて、多分、自分の理解できる範囲を超えてたんだと思う（2016-9-17，@citacitayaka)
- 渋谷で Rez Infinite を体験してきました！しかも専用スーツ着用で。VR なだけでもう凄いのに、撃つ快感を全身で感じると没入感倍増し。全身トランスバイブレータ状態でした。何らかの形で販売して欲しいものですが…。水口哲也さんにもお会いできて感激でした。(2016-10-8，@yukkii22)
- Rez の PSVR&シナスタジアスーツ体験、一瞬で別世界に連れて行かれた。旧作は繰り返し遊んだけれど、「この体験こそが Rez なんだ！」と勝手に感じ入ったりしました。(2016-10-11，@nelimono)
- Rez infinite 体験した！10 年以上を経て Rez の中に入り込んだようだった！言葉に言えない共感覚。最高な体験だった！(2016-10-11，@Maybun)
- 没入感すんごい。ああ、これが Rez の本当の世界だったんだ...（2016-10-12，@mmmryo ）

- 「Rez Infinite」の Synesthesia Suit (シナスタジア・スーツ) ついに体験できました！最高です！これ PSVR だけでも楽しいのに、そこに音が振動となって身体を揺さぶる感覚が加わり、とても気持ちよく、ゲームをドンドン先へ進めたくなるほど気分が高まりました！(2016-9-18，@nicosounx)

- 1 日空いてシナスタジアスーツの方も体験してきたんだけど、想像以上に想像以上だった。なんというか、自分の体も溶けて音になってしまったような感覚がする。(2016-10-14，@renew_s1)

- 人がそもそも持っている鼓動のリズム、耳からのリズム、シナスタジアスーツで体に伝わるリズム、目から視覚情報として入ってくるリズム。それらが融け合い血流となって体を駆け巡り、音楽を奏でる。PS VR でゲームを次のステージに連れて行く『Rez Infinite』。(2016-10-15，@perfectday_2013)

- 空間を漂う浮遊感・スピード感、そして音楽に合わせた振動！全てが新鮮でした。途中椅子からずり落ちそうになるくらい一体感があります。(2016-10-15，@niwayarou)

- シナスタジアスーツで Rez infinite 体験して来た！今友人のプレイを見ているが、面白えなぁ。VR との相性がすごく良くて、光と振動、視覚の魔法だった…（2016-10-15，@S_Slfgvm）

またこの他,「マジヤバイ」「ヤバイ」といった言葉にできない感覚をどうにか絞り出したようなツイートも多く見受けられた．Rez を以前からプレイしていたユーザは「これがやりたくて振動にこだわっていたのか」「この体験こそが Rez なんだ」だと感慨深そうにプレイをしていた．これらの反応から，Synesthesia Suit のコンセプトである Rez の体感を全身に広げて没入感や一体感を深めた体験をユーザに届けられたことがわかる．

- シナスタジアスーツの Rez、結局出来てないんですよね…体験された方が殆ど皆さん絶賛されているので、いつかはと思っているのですが（2016-11-27，@AmadeusSVX）

- シナスタジアスーツが製品化する日が来るのだろうか。振動機能は Rez 以外にも需要あるよなあ（2016-11-17，@takanetukamiman）

といったツイートがあるように，体験者の口コミを通して体験を望む声や，市販化を望む声が散見された．これらも含めて，Rez Infinite 自体の情報拡散，間接的なプロモーションに効果があったのではないかと考えられる．また，

- シナスタジアスーツってオーバースペックな製品だと考えたけど、実際に着てみると VR ゲームやるうえで当然あるべきものに思えてくる。別世界に丸ごと自分が入っているのに手からしかフィードバックが返ってこないのは不自然なのかも。（2016-10-9，@snowtale_05）

というツイートがあり，これは現状のバーチャルリアリティ体験の触覚提示の乏しさから生じる不自然あるいは不完全さをユーザに気づかせ，Synesthesia Suit が未来のバーチャルリアリティエンターテインメント体験の可能性を示せたということである．

図 5.7: 東京ゲームショウ 2016 展示の様子

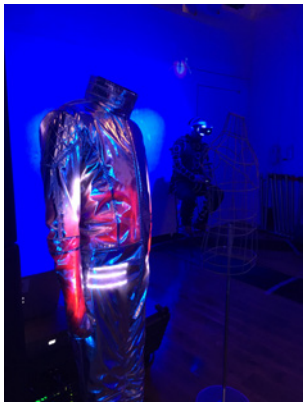


図 5.8: Rez Infinite Countdown & Launch Event 展示の様子

5.5. その他の展示

5.5.1 Sound & City

期間 2016 年 4 月 28 日〜29 日

場所 六本木アークヒルズ WIRED Lab.

体験人数 70 人

詳細 Sound & City は，音と街をテーマにしたイベントであり，トークセッションや音をテーマにした技術展示などが行われた．(図 5.9)

5.5.2 ファミ通フェス 2016

期間 2016 年 6 月 26 日

場所 ベルサール秋葉原

体験人数 40 人

詳細 ゲームユーザ向けの PlayStation や PlayStation VR ソフトウェアの試遊イベントで，Rez Infinite については Synesthesia Suit とともに展示を行った．(図 5.10)

図 5.9: Sound & City 展示の様子

図 5.10: ファミ通フェス 2016 展示の様子

5.5.3 SIGGRAPH 2016 VR-Village

期間 2016 年 7 月 24 日〜28 日

場所 米国カリフォルニア州アナハイム Anaheim Convention Centre

体験人数 350 人

詳細 SIGGRAPH 2016 VR-Village では Rez Infinite の他に，Synesthesia Suit を異なるバーチャルリアリティ環境に広げていく試みとして，Unity および HTC Vive で開発されたベンジャミン・ウーテラム氏のオーディオビジュアライゼーション世界を自由に歩き回り，宙に浮いているバブルやキューブなどのオブジェクトとインタラクションし，その触覚フィードバックを感じるオリジナルコンテンツを展示した．展示の様子を図 5.11 に示す．左側が Rez Infinite，右側がオリジナルコンテンツのデモンストレーションを行っている様子である．

5.5.4 ACM UIST 2016

期間 2016 年 9 月 16 日〜19 日（うちデモセッションは 3 時間程度）

場所 東京 如水会館

体験人数 35 人

詳細 ユーザインタフェース分野の国際学会であり，デモンストレーションセッションにて発表を行った．(図 5.12)

5.5.5 Dubai Design Week 内 Global Grad Show

期間 2016 年 10 月 24 日〜29 日

場所 Dubai Design District

図 5.11: SIGGRAPH 2016 VR-Village 展示の様子

図 5.12: ACM UIST 2016 展示の様子

体験人数 180 人

詳細 Global Grad Show では，Rez Infinit ではなく，SIGGRAPH 2016 VR Village で展示したものと同様の，ベンジャミン・ウーテラム氏と開発したオーディオビジュアライゼーションによるデモンストレーションを行った．本展示は世界各国のリーディングデザインスクールの学生たちのプロジェクトが集まった展示会である．バーチャルリアリティおよび全身触覚をムスリムのヒジャブをかぶった女性にも興奮気味に体験してもらうことができ，国境や分野を跨いでバーチャルリアリティ技術や次世代のエンターテインメントの可能性を示すことができた．また，図 5.13 のように，非常に身体の大きな方にも問題なくスーツを着用してプレイしてもらうことができた．

5.5.6 東京デザインウィーク

期間 2016 年 10 月 24 日〜11 月 6 日

場所 明治神宮外苑 絵画館前

詳細 Haptic Design ブースの中で、触覚技術のエンターテインメント応用の一例として展示した．スーツの着用は無く，ゲームと連動してマネキンが着用している Synesthesia Suit が振動するという静的展示のみ行った．

図 5.13: Global Grad Show 展示の様子

5.5.7 Japan VR Summit 2

期間 2016 年 11 月 16 日

場所 ロイヤルパークホテル水天宮

体験人数 60 人

詳細 株式会社グリーが主催したバーチャルリアリティ分野のカンファレンスにて，体験ブースの 1 つとして出展した．Japan VR Summit 2 ではメディアの取材も入り，フジテレビの夕方ニュース番組およびネットニュースにて Rez Infinite - Synesthesia Suit が放送，掲載された（図 5.14）．

5.5.8 Asia Haptics 2016

期間 2016 年 11 月 29 日〜12 月 1 日

場所 三井ガーデンホテル柏の葉

図 5.14: テレビ放送の様子（フジテレビ Fuji New Network 2016 年 11 月 16 日配信”全身でゲームの世界を体感できる新感覚の VR が登場しました。”より引用）

体験人数 80 人

詳細 触覚技術に関する国際学会であり，デモンストレーションを行った.（図 5.15）

図 5.15: Asia Haptics 2016 展示の様子

5.5.9 2017 Sundance Film Festival

期間 2017 年 1 月 19 日〜28 日

場所 米国ユタ州パークシティ

体験人数 800 人

詳細 インディペンデント映画を対象とした映画祭において，VR や AR などのインスタレーションを展示する New Frontier 部門に招待され，Rez Infinite の新しいエリア「Area X」（図 5.16）およびベンジャミン・ウーテラム氏のコンテンツ Crystal Vibes（図??）とともに Synesthesia Suit の展示を行った．このデモンストレーションより，従来の LED スーツとハプティックスーツが分かれたものではなく，振動子と LED を一着に搭載した Synesthesia Suit 2.0（図 5.18）のデモンストレーションを開始した．なお，LED 部分の制御は Rhizomatiks の開発である．

図 5.16: Rez Infinite Area X 展示の様子

図 5.17: Crystal Vibes 展示の様子

5.6. 本章のまとめ

本章では，Synesthesia Suit の展示を通したコンセプト実証について述べた．代表的な展示である，PlayStation Experience 2015，Media Ambition Tokyo 2016，東京ゲームショウ 2016 と Rez Infinite Countdown & Launch Event について，それぞれの展示の目的と，ユーザの反応からコンセプトが実証されたことを述べた．PlayStation Experience 2015 は初披露とメディアへのアプローチを目的としてデモンストレーションを行い，各メディアで Synesthesia Suit の体験を含め Rez Infinite について多く掲載された．続く Media Ambition Tokyo 2016 ではアートの枠組みで長期のデモンストレーションを行い，多くのユーザに Synesthesia Suit の全身没入体験を感じてもらうとともに，従来は 1 人のものだったバーチャルリアリティ

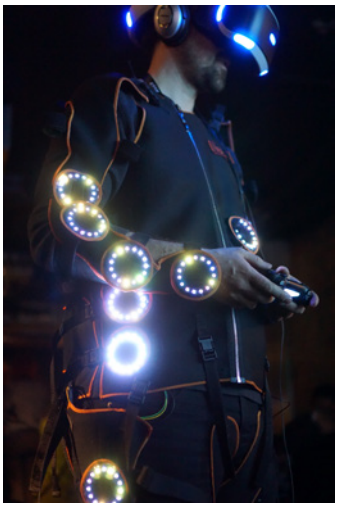


図 5.18: LED とハプティックが一体になった Synesthesia Suit 2.0

体験を空間へ広げ，周囲の観客も含めて共感覚体験を共有できる環境を作り出し，評価された．さらに PlayStation VR および Rez Infinite の発売が迫った東京ゲームショウ 2016 および Rez Infinite Countdown & Launch Event にて Synesthesia Suit のデモンストレーションを行い，多くの感想がソーシャルメディアを飛び交い，Synesthesia Suit を通して Rez が目指す世界観や没入体験をユーザに体験してもらったことが伺えた．これらの結果から，Synesthesia Suit のコンセプトである全身を Rez の世界で包み込む体験を実現し，空間に展開し，ユーザに届けることができたことが実証された．

第6章
結　　論

6.1. 総括

本論文では，Enhance Games および Rhizomatiks と共同で立ち上げた Synesthesia Suit プロジェクトについて述べ，VR ビデオゲーム作品 Rez Infinite の体験を全身に広げる共感覚スーツ Synesthesia Suit を提案した．Synesthesia Suit は全身に触覚提示を行うハプティックスーツおよび体験の可視化を行う LED スーツからなり，筆者が開発を担当したハプティックスーツについて，その開発プロセスと触感のデザインについて述べた．また，展示を通したコンセプトの実証を行った．各章の結論は以下の通りである．

第 1 章では,「バーチャルリアリティ元年」と称される 2016 年現在のバーチャルリアリティ技術やその普及について，特にエンターテインメント分野における状況を述べた．また，現在は視聴覚没入が主流であるが，5 感を刺激するエンターテインメントの期待や，研究分野での触覚提示技術の進歩などから，今後のバーチャルリアリティエンターテインメントにはそれらの技術が投入されていくであろう未来について論じた．

第 2 章では，これまで研究されてきた触覚技術について，一部分への単純な触感提示から，提示される触感の波形をデザインするという触覚の時間パターンデザイン，そして複数振動子によるストロークや移動感の提示などの触覚の空間パターンデザインへの流れを述べ，また，触覚技術とコンテンツを組み合わせてエンターテインメントに応用した例を紹介した．これら先行研究の流れから，触覚提示は今後コンテンツと連動した時空間パターンデザインの方向へ進んでいくと述べ，全身へのデザインされた触感の提示という全身触覚スーツを開発する意義

を論じた．

第3章では，まずSynesthesia Suitプロジェクトのコンセプトについて述べた．Synesthesia Suitのコンセプトは共感覚をテーマとしたRez Infiniteという作品の体験を全身に広げることであり，そのために身体の周囲をRezの世界で包み込むスーツの開発と，身体に押し寄せるRezの世界の音を触感としてデザインを行なう必要があることを述べた．続いてプロジェクトの座組を述べ，筆者が担当をしたSynesthesia Suitのうち触感提示を行うハプティックスーツの設計について，全体のシステム設計，実験をもとに確定した振動子の位置やスーツデザインのための要件などハプティックスーツの設計，マルチチャンネルアンプの設計，コンテンツに合わせた触感のデザインプロセス，PlayStation 4と連動して全身へ触感を再生する制御ソフトウェアの設計を順に述べた．

第4章では，第3章の設計をもとに，ハプティックスーツの実装を述べた．触感のデザインについては，Rez Infiniteのプロデューサー水口哲也氏が思い描く世界観を実現するという目的のもと，どのようなディスカッションを経てそれぞれの触感をデザインしたのかを記した．

第5章では，特に代表的な展示を取り上げ、それぞれの展示の目的に対してユーザのフィードバックによるコンセプト実証を行った．PlayStation Experience 2015では，keynoteステージでのお披露目の他，メディアに対するデモンストレーションを行った．メディアからの発信と拡散を目的とし，各種メディアのRez InfiniteおよびSynesthesia Suitの記事をもってこの目的を達成した．Media Ambition Tokyo 2016では国内初の長期のデモンストレーションを行った．この展示はSynesthesia Suitによる身体感覚の拡張や共感覚性を提示するだけでなく，1人の体験になりがちなバーチャルリアリティ体験を，LEDによる光，音，新たに開発したSynesthesia Chairの振動で空間に広げるといった試みをし，ユーザの反応から空間としての評価がなされたことを確認した．PlayStation VRおよびRez Infinite発売直前の東京ゲームショウ 2016およびRez Infinite Countdown & Launch Eventでは，引き続きRez Infiniteの体験をSynesthesia Suitで広げるとともに，発売に向けたプロモーションの効果も狙っていた．体験したユーザのツイートや，それを見たユーザによる体験を望む声が見受けられ,「この体験こそがRezなんだ」といった

感想を含めソーシャルメディアが賑わい，Rez の目指す体験をユーザに届けられたことを確認した．また，Synesthesia Suit 体験を通して，バーチャルリアリティゲームにおける全身触覚フィードバックの必要性を知ったというツイートも見られ，未来のエンターテインメント体験の可能性を示すことができた．これらの結果から，Rez Infinite の世界に全身で没入する体験を作り出すという Synesthesia Suit のコンセプトがユーザに届き，さらに Rez Infinite のプロモーションに繋げていくという目的が果たされたことが証明された．

6.2. 展望

今後の展望として，Synesthesia Suit の汎用化があげられる．Synesthesia Suit は Rez Infinite の体験を全身に広げるという目的で始まり，Rez Infinite を通して全身没入バーチャルリアリティのコンセプト体験を提示してきた．「別世界に丸ごと自分が入っているのに手からしかフィードバックが返ってこないのは不自然なのかも」というユーザの声もあったように，ヘッドマウントディスプレイによる視聴覚没入型のバーチャルリアリティ体験では，触覚情報の損失をより多く感じることになる．バーチャルリアリティの流行および触覚研究の流れを追うと，今後のバーチャルリアリティ体験では，全身へのデザインされた触覚提示を行い，本当に全身でゲームの世界にいるような感覚を得られることが当たり前になっていくのではないかと考えられる．そこで，Synesthesia Suit は Rez Infinite という 1 つのコンテンツに限らず，あらゆるバーチャルリアリティ環境において利用できるようにするべきであり，この没入体験を他の環境でも作り上げられることを示していく必要がある．さらに，ユーザからの声にもあったように，市販化についても一考の余地がある．また，Synesthesia Suit のデモンストレーションを通して，従来のバーチャルリアリティ体験よりも浮遊感や一体感を強く感じるといった意見が見受けられた．全身触覚刺激を通した新しい身体感覚について科学的に検証を行い，利用していくことができれば，全身触覚を用いたエンターテインメントはより充実していき，より深い没入体験を作り出せると期待できる．

謝　　辞

指導教員の南澤孝太准教授には，熱心なご指導とご支援を賜り，研究を円滑に行うことができました．南澤准教授のご指導のおかげで，2 年間のうちに多くの成果を作ることができました．ここに感謝の意を表します．

副指導教員の水口哲也特任教授には，教員として，そしてリアルプロジェクトのコラボレーション相手として，ディスカッションを重ね，多くのご意見やご指導をいただきました．Rez Infinite - Synesthesia Suit プロジェクトに参加できたことを非常に光栄に思うとともに，このような機会をいただけたことを深く感謝しております．

博士課程 花光宣尚先輩には，入学前から気にかけていただき，同じ触覚研究チームとなり，日頃の研究や開発については勿論，論文執筆や研究発表についてなど，あらゆる場面で面倒を見ていただきました．感謝してもしきれないほどに感謝しております．

Rhizomatiks の佐藤文彦氏には，Synesthesia Suit プロジェクトのマネージメントを担当していただき，プロジェクトの開始から多くの展示に至るまでご協力いただきました．プロの姿勢から多くのことを学ばせていただきました．細野隆仁氏をはじめとする他の Rhizomatiks のメンバーの皆様にも，開発作業にあたり大変お世話になり，感謝しております．

buffer Renaiss の石井通人氏には，システム開発で多くの知恵をお貸しいただきました．ありがとうございます．

SQUNABICONA の櫻井利彦氏には，Synesthesia Suit の衣装デザインを担当していただき，あらゆる要望を取り入れた素晴らしいスーツをデザインしていただきました．数多くのデモンストレーションを行いましたが，スーツが着れなかった人はいまだにひとりもおりません．素晴らしいクオリティに感服しております．

Monstars の皆様には，Synesthesia Suit の触覚提示制御に際し，ゲームから特別なトリガー送信するビルドの用意をしていただきました．追加の要望があった際も即座に対応していただき，大変感謝しております．

研究員のベンジャミン・ウーテラム氏とは，Synesthesia Suit を Rez Infinite 以外のバーチャルリアリティ環境に応用していく例として，氏の開発したオーディオビジュアライゼーションの世界で全身触覚刺激を体験するという新しいコンテンツを作りました．言語化の難しい体験の要望を汲み取り幻想的な世界観を作り上げていただき，感謝しております．

KMD Embodied Media Project の研究員でもあるシードルインタラクション株式会社の神山洋一氏には，アンプの設計や実装で大変お世話になりました．また，研究において丁寧なアドバイスをくださり，多くの知恵をお貸しいただいたうえ，デモンストレーションの補助も引き受けてくださり，本当にありがとうございました．

Embodied Media，超人スポーツおよび Geist の皆様とは，ゼミや日常でのディスカッション，デモンストレーション時の補助など，多くの面で互いに切磋琢磨，協力をしあい，とても有意義で楽しい研究生活を送ることができました．特に，修士 1 年の眞保ありあ氏，清水麗子氏は，デモンストレーションで Synesthesia Suit のサポートを引き受けてくださり，時には国外の発表にも同行してくださり，非常に心強かったです．

また，ここに挙げきることはできませんが，多くの方に研究や修士の生活についてアドバイスをいただき，皆様の励ましのおかげでこうして修士の研究を完遂することができました．関わってくださったすべての方へこの場を借りて御礼申し上げ，謝辞にかえさせていただきます．

REZ INFINITE SYNESTHESIA SUIT PROJECT CREDITS

Creative Directors:
Tetsuya Mizuguchi, Seiichi Saito (Rhizomatiks)

Rhizomatiks
Producer, Planner: Ayahiko Sato
Technical Director (LED & Haptic Suit), LED Suit Designer & Developer: Tomoaki Yanagisawa
LED Suit Circuit & Firmware Designer & Developer: Hideaki Tai
LED Suit Device Development Supporter: Toshitaka Mochizuki
Audio System: Shintaro Kamijo
Suit Development Supporter: Takahito Hosono

SQUNABICONA
LED Suit Designer & Developer, Haptic Suit Designer: Toshihiko Sakurai

buffer Renaiss
LED Suit System & Lighting Pattern Developer: 2bit

Keio Media Design
Haptic Suit & Haptic Motion Supervisor: Kouta Minamizawa
Haptic Suit & Haptic Motion Developer: Nobuhisa Hanamitsu, Yukari Konishi
Haptic Circuit Designer & Developer: Youichi Kamiyama

参 考 文 献

[1] Morton L. Heilig. Sensorama, http://www.mortonheilig.com/inventorvr.html（参照 2017-2-2）.

[2] *PlayStation VR, http://www.jp.playstation.com/psvr/*. Sony Interactive Entertainment, 2016.

[3] Teslasuit, https://teslasuit.io/（参照 2016-12-3）.

[4] 岩田洋夫浅野武夫. フォースディスプレイを用いた仮想環境における手術シミュレーションの要素技術開発. 日本バーチャルリアリティ学会第 1 回大会論文集, 1996, pp. 95–98, 1996.

[5] Cyber touch, http://www.cyberglovesystems.com/cybertouch/（参照 2016-12-3）.

[6] Cybergrasp, http://www.cyberglovesystems.com/cybergrasp/ （参照 2017-2-2）.

[7] Ryuta Okazaki Hiroyuki Kajimoto. Rei Sakuragi, Sakiko Ikeno. Collarbeat: Whole body vibrotactile presentation via the collarbone to enrich music listening experience. In *International Conference on Artificial Reality and Telexistence*, 2015.

[8] Kouta Minamizawa, Yasuaki Kakehi, Masashi Nakatani, Soichiro Mihara, and Susumu Tachi. Techtile toolkit: A prototyping tool for designing haptic media. In *Proc. SIGGRAPH 2012 Emerging Technologies*, p. 22:1. ACM, 2012.

[9] 渡邊淳司早川智彦. オノマトペを利用した触り心地の分類手法. 日本バーチャルリアリティ学会論文誌, pp. 487–490, 2010.

[10] Katherine J. Kuchenbecker. Haptography: Capturing the feel of real objects to enable authentic haptic rendering (invited paper). In *Proceedings of the 2008 Ambi-Sys Workshop on Haptic User Interfaces in Ambient Media Systems*, HAS '08, pp. 381–393. ICST (Institute for Computer Sciences, Social-Informatics and Telecommunications Engineering), 3:1–3:3.

[11] Ivan Poupyrev Ali Israr. Tactile brush: Drawing on skin with tactile grid display. In *ACM Conference on Human Factors in Computing Systems (CHI) 2011*, 2011.

[12] Ali Israr, Seung-Chan Kim, Jan Stec, and Ivan Poupyrev. Surround haptics: Tactile feedback for immersive gaming experiences. In *Proc. CHI '12 Extended Abstracts on Human Factors in Computing Systems*, pp. 1087–1090. ACM, 2012.

[13] Yasushi FUKUZAWA Yuki HASHIMOTO Hideyuki ANDO Junji WATANABE Hiroyuki KAJIMOTO Sayaka OOSHIMA. /ed (slashed). In *SIGGRAPH 2008*, 2008.

[14] NTT 研究所. 超未来式体感型公衆電話, http://www.ntt.co.jp/journal/1507/files/jn201507040.pdf, http://www.nicovideo.jp/watch/1433216351（参照 2016-12-3）, 2015.

[15] Schneider Oliver, S, Ali Israr, and MacLean Karon, E. Tactile animation by direct manipulation of grid displays. In *Proc. ACM Symposium on User Interface Software and Technology (ACM UIST) 2015*. ACM, 2015.

[16] *Rez Infinite*. Enhance Games (Original game © 2001 SEGA), 2016.

[17] Nintendo switch, https://www.nintendo.co.jp/hardware/switch/index.html（参照 2017-2-2）.

[18] T. H. MASSIE. The phantom haptic interface : A device for probing virtual objects. In *Proceedings of the ASME Winter Annual Meeting, Symposium on Haptic Interfaces for Virtual Environment and Teleoperator Systems, Chicago, IL, Nov., 1994*, 1994.

[19] 梶本裕之橋本悠希. Hi-fi 触覚提示に関する研究:ハードウェアの基礎的検討. 日本バーチャルリアリティ学会論文誌, 第 14 巻, pp. 491–499, 2009.

[20] Hsin-Yun Yao. An experiment on length perception with a virtual rolling stone. In *Eurohaptics*, pp. 325–330, 2016.

[21] Haptuator, http://tactilelabs.com/products/haptics/haptuator-mark-ii-v2/（参照 2017-2-2）.

[22] Kyna McIntosh Zachary Schwemler Adam Fritz John Mars Job Bedford Christian Frisson Ivan Huerta Maggie Kosek Babis Koniaris Kenny Mitchell Ali Israr, Siyan Zhao. Stereohaptics: A haptic interaction toolkit for tangible virtual experiences. In *ACM SIGGRAPH 2016 Workshop Course 2016*, 2016.

[23] Ali Israr, Siyan Zhao, Kyna McIntosh, JaeKyun Kang, Zachary Schwemler, Eric Brockmeyer, Mark Baskinger, and Moshe Mahler. Po2: Augmented haptics for interactive gameplay. In *Proc. SIGGRAPH 2015 Emerging Technologies*, p. 21:1. ACM, 2015.

[24] KAKEHI N. OGI T YANO, H. and M HIROSE. Haptic interface for immersive projection display. In *Proceedings of Human Computer Interaction (HCI'99)*, Vol. 2, pp. 1030–1034, 1999.

[25] 美奈, 神山洋一, 南澤孝太. からだタップ：からだで感じるタップダンス. 日本バーチャルリアリティ学会論文集, 第 21 巻. 日本バーチャルリアリティ学会, 9 2016.