

身体動作と屋内位置情報の取得および建築空間への活用に関する研究

2015年1月

博士（工学）

岩田 翔士

豊橋技術科学大学

環境・生命 工学専攻	学籍番号	095602	指導 教員	松島 史朗 松本 博 垣野 義典
申請者 氏名	岩田 翔士			

論文要旨 (博士)

論文題目	身体動作と屋内位置情報の取得および建築空間への活用に関する研究
------	---------------------------------

(要旨 1,200字程度)

本論文は、情報通信技術の進歩が建築に与える影響に着目し、特に空間における人間の位置情報と身体動作の取得および活用に着目して論じたものである。高齢社会を背景として、今後身体的な特徴から生まれる要求が増加・多様化すると考えられ、建築にも大きな影響を及ぼすと予測される。個々人で異なる身体的な特徴を捉えるには膨大な労力と時間が必要なため、従来は特定の場面に限定したもののや、体系化・平均化による研究が主流であったが、近年の情報通信技術の進歩に伴って個人に関する情報取得および活用が容易になりつつある。個人の趣向や情報に目を向けた研究は、環境分野において取り組まれ始めているものの、建築計画や建築設計の観点から論じられたものは少ない。そこで本研究は、コンピュータやセンサ技術の発展を背景として取得可能になりつつある空間における種々の情報の中でも、特に人間の位置情報や身体動作に着目し、建築的な視点から情報の取得およびその活用方法について論じるものである。

1章では、技術革新と建築の歴史を重ね合わせ、情報通信技術の進歩が、今後の建築に大きな影響を与える可能性を示し、人間の生活や身体を建築における普遍的な存在として位置づけ、本研究を行う意義を示した。

2章では、人間の生活や身体と建築に関連する歴史的な背景および既往研究から、身体動作を研究の対象とする意義を述べた。

3章では、提案する手法を可能たらしめる技術的な背景について整理を行った。個々人の趣向や情報を取得し、それらの情報に基づいた個別性の高い建築設計および生産が技術的に可能であることを示した。

4章では、超音波センサを用いた位置情報の取得に取り組み、空間形状とセンサ配置に着目した位置情報の取得精度について検証を行った。その結果これまで一般的に用いられていたグリッド型のセンサ配置が必ずしも有効でないことを明らかにした。

5章では、空間形状および身体動作の情報取得に、ロボット技術を用いる手法を提案し、移動型のロボットに汎用の深度センサを搭載することによって、空間形状取得の精度の向上および身体動作の取得を可能とした。

6章では、取得した情報の活用方法として、インターネット上の汎用地図と三次元情報表示技術を併用した、情報の統合・共有手法を開発した。実証実験として、NFCや身体動作から取得した情報を開発したシステム上で共有し、その情報を基に各種機器を操作し、実空間と地図上の仮想空間が連動可能であることを確認した。

7章では、取得した情報を用いた形状の生成手法の一例として、モーションキャプチャを用いて取得した人間の動作から実寸大の椅子を製作した。また、これまで人間の身体動作から形状を生成した事例はいくつか存在するが、その評価までは行われていない。本研究では、SD法および因子分析による印象評価を行った。

8章では、本論文の結論として、取得した情報を生産まで活用するには、コンピュータやデジタルアプリケーションを用いた設計プロセスが欠かせず、加えて空間の利用者自身によるカスタマイズを可能とする空間システムの必要性を述べた。

year month day
2015 1 16

Department	Environment and Life Engineering	ID	095602
Name	Shoto IWATA		

Supervisor	Shiro Matsushima
	Hiroshi Matsumoto
	Yoshinori Kakino

A b s t r a c t

Title	A Method of Obtaining and Utilizing Information of Human Behavior and Indoor Position in Architectural Design
-------	--

(800 words)

This paper introduces a new method of architectural design method that uses a human behavior as a design resource. It is intended to exploit the unique information generated by human behavior. This method was developed to meet the needs of Japan's aging population. In the near future, a larger proportion of the Japanese population will be elderly, and their personal needs in relation to particular characteristics of the human body can be expected to increase. In the past, conventional methods for obtaining information about unique features of human behavior required a great deal of time and effort. However, it has become easy and quick to obtain a wide range of information by using advanced computer and sensor technologies. Despite this, few studies have focused on ways to use the information relation to individual people's bodies that can be extracted from human behavior. This paper discusses the available methodologies from the standpoint of architectural design, showing how to obtain and use position information and data on human behavior to shape and adopt architectural space.

Chapter 1 describes the general purpose of this research. Previous studies about the relationship between architectural design and new technologies demonstrate that the evolution of information technologies can have a significant impact on everyday life and architectural design.

Chapter 2 confirms the way in which the human body used in architectural design, from a history of architecture standpoint.

Chapter 3 provides the technical background, explaining how position information and data on human behavior can be obtained and used to shape and in architectural space. The method proposed is technically possible, given the advanced information technologies that can be applied in the field of architecture.

Chapter 4 examines a fundamental study of an indoor positioning system that uses an ultrasonic sensor. The analysis was conducted by the comparing different sensor layouts in typical spaces such as corridors. The results indicate that the levels of accuracy and correctness counts are affected by the sensor layouts. Therefore, it is necessary to carefully consider the relationship between building geometry and sensor layout.

Chapter 5 examines an enhanced 3D-space-scanning and human tracking system that uses robotic technology. This system, which scans an architectural space by means of two-wheeled vehicle robot technology that allows the flexible collection of three-dimensional (3D) data, may initiate the interaction between human beings and architecture in the future. The system extracts building geometry and captures human behavior in order to allow a space to communicate with human behavior. The current project uses a two wheeled vehicle robot to extract building geometry and human behavior data, using these to create designs. As a result, the adaptive possibilities inherent in the RGB-Depth camera are examined in relation to the extraction of building geometry.

Chapter 6 examines the use of obtained information. The information sharing system was developed by combining the Web-based technologies Google Map and WebGL. It is designed to process large quantities of information more easily, making the results accessible to non-experts. The data obtained by NFC technologies and an ultrasonic sensor positioning system was shared through the developed system. Moreover, this system allows the synchronization of virtual and real space by controlling some network-based electric equipment.

Chapter 7 examines this method of using information about human behavior to generate shapes. The purpose of our study is to provide a method for applying the emotional effects of human action to architectural design. There are a number of earlier studies about generating shapes from human motion, however these have not been evaluated. This section therefore attempts to evaluate emotional effects through the use of questionnaires. A shape was generated by using motion capture system to capture the motion of dandling a child in the arms: a chair was then designed, based on the generated surface. One life-sized model of the chair was built, using the fabrication technology employed in boat manufacturing. The generated shape was evaluated using the semantic differential method and factor analysis to assess how a person would sit in the life-sized chair and to show the scaled shapes in the design process.

The final chapter summarizes the findings of this paper. In conclusion, the present study demonstrates that designs processes such as computational design and digital fabrication are essential technological tools for utilizing information as a design resource from design to production. Further studies are needed in order to develop a of the user customizable architectural system.

目次

建築設計における身体動作の活用に関する研究

目次

第1章 序論

1.1 研究背景	3
1.2 研究目的	5
1.3 既往研究と本研究の位置づけ	7
1.4 研究の構成	9

第2章 身体と建築

2.1 第2章 概要	15
2.2 身体と建築表現	15
2.2.1 メタファーとしての身体	15
2.3 身体と建築モジュール	17
2.3.1 身体を用いた土着的なモジュール（産業革命以前）	17
2.3.2 身体を欠いた国際的なモジュール（産業革命以後）	19
2.3.3 国際的なモジュールが建築に与えた影響	19
2.3.4 日本の身体とモジュール	20
2.3.5 現代のモジュールシステム	21
2.4 身体の変化・建築による変化の許容	22
2.4.1 身体と生活の変化と多様性	22
2.4.2 建築における変化の許容と最適化	22
2.5 身体に関する建築分野の研究	24
2.5.1 建築計画分野における身体の扱われ方	24
2.5.2 人間工学としての発展	24
2.6 第2章 小結	26

第3章 情報通信技術の進歩と建築

3.1 第3章 概要	33
3.2 情報化社会と建築	33
3.2.1 ユビキタス建築	35
3.2.2 ロボット技術を応用した建築・空間知能化	37
3.2.3 ロボット化した建築	39
3.2.4 日常生活を支援するアシストロボット	40
3.3 コンピュータを用いた建築設計手法	41
3.3.1 コンピュータライゼーション - CAD から BIM へ	41
3.3.2 建築におけるコンピューテーショナルデザイン - アルゴリズムとパラメータ	43
3.3.3 ネットワークを介した共同設計手法	45
3.4 コンピュータの進歩による生産技術の変化	46
3.4.1 コンピュータ化された生産機器 - デジタルファブリケーション	46
3.4.2 デジタルファブリケーションと建築設計プロセス	48
3.5 建築に应用される様々な技術	50
3.5.1 3D スキャン	50
3.5.2 シミュレーション技術	51

3.5.3 VR	52
3.5.4 AR	52
3.6 実証実験 :Advanced Architecture Settimo-Tokyo 2011	53
3.6.1 ワークショップの概要	53
3.6.2 設計プロセス	53
3.7 第3章 小結	54

第4章 建築空間における位置情報の取得

4.1 第4章 概要	61
4.2 背景	61
4.3 既往研究	63
4.3.1 電波・磁気を用いた位置取得手法	63
4.3.2 赤外線センサを用いた位置取得手法	65
4.3.3 超音波を用いた位置取得手法	65
4.3.4 モーションキャプチャを用いた位置取得手法	66
4.3.5 画像・映像による位置把握	66
4.3.6 その他の位置取得手法	66
4.3.7 位置測位手法の比較と手法の選定	66
4.4 研究目的	67
4.5 研究手法	68
4.5.1 実験空間およびシステムの概要	68
4.5.2 超音波センサによる位置測位の概要	70
4.5.3 実験の概要	73
4.6 実験結果	77
4.7 考察	80
4.7.1 測位回数の考察	80
4.7.2 測位精度の考察	83
4.8 まとめと今後の展望	87
4.9 第4章 小結	88

第5章 人間行動と空間形状

5.1 第5章 概要	95
5.2 背景	95
5.3 既往研究	97
5.3.1 建築の形状取得に関する研究	97
5.3.2 人の動作取得に関する研究	98
5.4 研究目的と提案する手法	100
5.5 提案手法に関する基礎的な実験	101
5.5.1 キャプチャーデバイスの精度	101
5.5.2 動的状況における空間形状の取得に関する予備実験	103
5.6 空間情報取得のためのロボットの開発	107
5.6.1 開発の概要	107
5.7 ロボットを用いた人間の追従および動作取得	112
5.7.1 人間の追従に関する基礎実験	112
5.7.2 人間の動作取得に関する基礎実験	113
5.7.3 提案するシステムの全体像	114

5.8	まとめと今後の展望	115
5.9	第5章 小結	116

第6章 情報の共有と利用

6.1	第6章 概要	121
6.2	はじめに	121
6.3	既往研究	122
6.4	研究目的と手法	123
6.5	実験空間の概要	124
6.6	情報共有システムの概要	125
6.6.1	Google Map を用いた情報共有システムの構築	126
6.6.2	実空間と連動した仮想空間情報表示システムの構築	129
6.6.3	情報共有システムを実空間に反映するシステムの構築	130
6.7	実験	131
6.8	まとめと今後の展望	133
6.9	第6章 小結	134

第7章 身体動作から生成される形状

7.1	第7章概要	139
7.2	背景	139
7.3	既往研究	141
7.3.1	身体を用いた設計に関連する研究およびプロジェクト	141
7.3.2	身体を用いた形状の評価に関する既往研究	142
7.3.3	視覚を用いた形状の評価に関する既往研究	142
7.4	研究目的	143
7.5	研究手法	144
7.5.1	デザインの検討過程における形状変化と印象の変化	144
7.5.2	検討手法 (CG と 3D プリント模型) の違いによる印象の差	144
7.5.3	縮尺の違いによる印象の差	144
7.6	モーションキャプチャを用いた形状生成および椅子の製作	145
7.6.1	身体動作取得に使用した機器	145
7.6.2	身体動作取得から形状を生成する過程	145
7.7	印象評価実験の概要	148
7.7.1	スタディモデルの印象評価の概要	148
7.7.2	実寸大モデルの印象評価の概要	150
7.8	SD 法を用いたアンケート調査の集計結果	151
7.8.1	デザインの検討過程における印象の変化	151
7.8.2	検討手法 (CG と 3D プリント模型) の違いによる印象の差	154
7.8.3	縮尺の違いによる印象の差	155
7.9	考察	156
7.9.1	アンケート結果に対する考察	156
7.9.2	実寸大モデルのアンケート結果に対する因子分析および重回帰分析を用いた考察	157
7.10	まとめと今後の課題	159
7.11	第7章 小結	160

第8章 結論

8.1 第8章概要	165
8.2 各章のまとめ	165
8.3 考察	167
8.3.1 身体動作と屋内位置情報の取得および建築空間への活用を実現するための技術·····	167
8.3.2 身体動作が生み出す空間の不均一性と更新による質の向上·····	169
8.3.3 新たな職能の可能性·····	171
8.4 総括と今後の展望	172

参考文献リスト

図版リスト

謝辞

第1章 序論

1.1 研究背景

本研究は、情報通信技術の進歩によって取得可能となった人間の身体動作や位置情報に着目し、これらの情報を建築設計および建築計画に応用する手法について論じたものである。

二十世紀後半から始まった情報通信技術の進歩は、我々の生活に様々な変化と恩恵をもたらし、現代社会に最も影響を与えた技術である。その影響力は広範囲にわたり、世界中との通信を可能にする情報端末を各個人が所有するようになり、多人数が暮らす都市では情報システムによってさまざまな機器が制御されている。建築も例外なく技術革新の影響に晒され、設計・施工の情報化、都市計画レベルでの情報利用、生産技術の進歩による産業構造の変革が起きつつある。さらに、二十一世紀の社会では、少子高齢化、グローバル化、生活や価値観の多様化、環境問題・省エネルギーへの対応など、これまでになかった問題が発生している。これら二十一世紀の課題は、建築にも例外なく影響を及ぼし、これらの問題を解決するための手段が必要とされている。未来学者のアルビン・トフラー (Alvin Toffler) ^{注1} は、かつての「第一の波 農業革命」、「第二の波 産業革命」に準えて、これら情報通信技術の進歩による影響力を「第三の波 情報革命」として広く世の中に紹介し、社会に大きなインパクトを与えた¹⁾。建築の歴史とこれら「波」の歴史を照らし合わせると、第一の波である農業革命の時期には、農耕社会の発達によって人類は定住を始め、大地に柱を立てて建築を始めた²⁾ (図 1.2)。次いで、第2の波である産業革命期には、T型フォードを代表とするマスプロダクション型の生産が実現し、規格化や標準化が進行する (図 1.1)。建築も例外ではなく、産業革命は、クリスタルパレスから近代のモダニズムに至る建築に大きな影響を与えたと言える (図 1.3)。仮に情報革命が「第三の波」であるならば、建築にどのような影響を及ぼし、二十一世紀の課題に対してどのような解決手段を提示するだろうか。

翻って、「衣・食・住」という言葉が表すとおり、建築は人間の生活において欠かせない存在である。前述の技術の進歩、社会背景、文化や、宗教に同調して変化する一方、寝食のための空間を確保し、家族と共に生活し、安全や安心を提供する役割など歴史を遡っても変わらない建築と人間の関係性も存在する。変わらない要因のひとつとして挙げられるのが、有史以来大きな変化のない「人間の身体」であると考えられる。しかし、時代とともに長寿化が進み、2015年には65歳以上が全人口の25%以上を占める日本の高齢社会では、建築に対して身体的な特徴から生ずる要求が増加・多様化すると考えられ、建築空間にも大きな影響を及ぼすと考えられる³⁾ (図 1.4)。また、住空間は、2006年に施行された住生活基本法に示されている通り、二十世紀の課題であった住宅

注1 アルビン・トフラー (Alvin Toffler) [1928～]
アメリカの作家、未来学者。トフラーは技術の革新について、「第1の波」農業革命、「第2の波」産業革命に準え、情報技術による社会の変化を「第3の波」とし、脱規格化、個性化、同時化、分権化、多様化、自立化、脱大規模化、分散化、脱官僚化が進むことを示唆している。



図 1.1 1910年式モデルT・ツーリング

ベルトコンベアによる流れ作業などマスプロダクション適用して製造された最初の自動車。

出展: Wikipedia



図 1.2 上野原遺跡竪穴式住居 (復元)

日本最古の縄文時代の遺跡。円形の平面に垂木をかけた竪穴式住居。

出展: 鹿児島県ホームページ [https://www.pref.kagoshima.jp/kids/rekishi/kofun.html]



図 1.3 クリスタルパレス (1851)

1851年にロンドンのハイドパークで開かれた第1回万国博覧会の会場として建てられた建造物。鉄骨とガラスで作られた巨大な建物であり、プレハブ建築物の先駆ともいわれる。

出展: Wikipedia

1) アルビン・トフラー著、徳岡孝夫訳：第三の波、中央公論社、1982.9.10

2) 藤森照信：人類と建築の歴史、筑摩書房、2005.05

3) 総務省統計局 ホームページ：人口推計

不足を解消するための量の増加から、二十一世紀の課題である質の向上へと転換を図る時代に入った^{4, 5)} (図 1.5)。今後、身体から生じる多様化する要求に対し、生産性や効率性を確保しつつ質を向上するための設計手法の確立が望まれる。

以上の背景から、「第三の波」として建築に影響を与えるであろう情報通信技術と、今後新たな問題を引き起こすと考えられる人間の身体を対象とした研究は、二十一世紀に生じる問題を解決する可能性を有するものである。また、建築において普遍的な価値を有する身体に関する知見を蓄積する意味においても重要なテーマである。

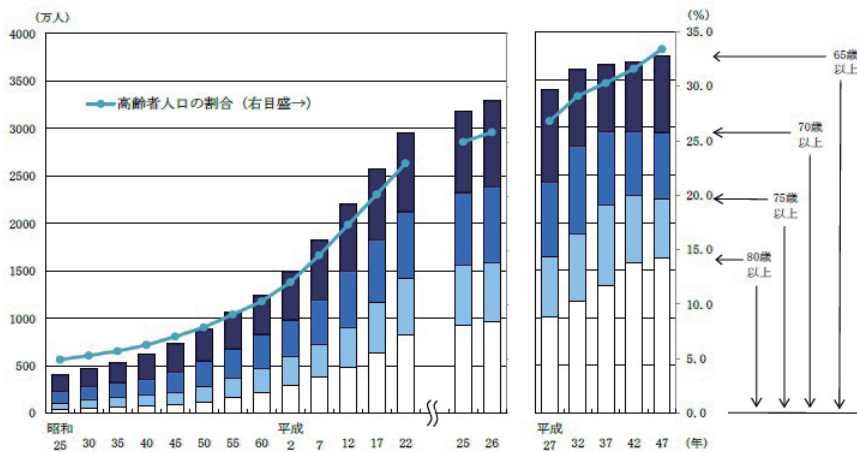


図 1.4 平成 26 年度高齢者の人口推計

出展：総務省統計局 ホームページ 人口推計

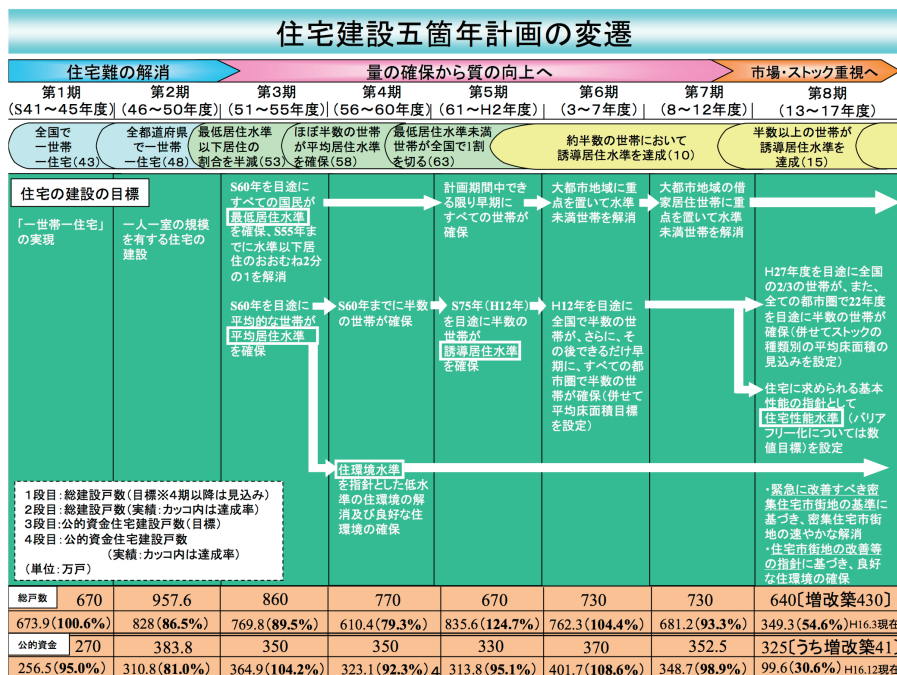


図 1.5 住宅五カ年計画の変遷

出展：国土交通相 住宅建設計画及び住宅建設五箇年計画のレビュー

4) 国土交通相：住生活基本法，2006

5) 国土交通相：住宅建設計画及び住宅建設五箇年計画のレビュー，2005

1.2 研究目的

本研究は、建築にとって普遍的な要素である人間に関する情報に着目し、個別性の高い人間の身体寸法や動作に関する情報を、建築設計や建築計画へ反映する手法を確立することを目的とする。

人間の身体は建築における最も基本的な情報として、古くから建築を設計する際の基準として用いられてきた。近代でも、建築教育の基礎資料である『Bautenwurfslehre』⁶⁾ や『建築設計資料集成』⁷⁾ に身体に関する単位寸法が掲載され、「モデュロール」が開発されるなど、身体は建築のデザインを決定する上で普遍的なツールであり媒体である(図1.6, 1.7)。さらに、人間の身体や行動を定量的に捉え、建築に活用することを目的とした「建築計画」は、二十世紀の日本で大きく発展した研究分野である。この成果の一例として、住まい方を調査した結果から誕生した、「C51」が挙げられる⁸⁾(図1.8)。標準化された間取りは大量生産を可能とし、戦後の住宅不足を解消すると共に、食寝分離の促進、家事労働の軽減など、当時の生活水準の向上に大きく貢献した。以後今日に至るまで、体系化や標準化は、大量生産による安定した供給と一定の品質の担保という恩恵を多くの人々にもたらしている。

ところで、建築設計が他の製造業や工業デザイン分野と大きく異なる点が二点存在する。一つ目は多くの場合、敷地と居住者(ユーザー)が設計の初期段階から特定されている点である。さらに、敷地は一つとして同じものではなく、居住者もまた、一人として同じ者はいない。すなわち、設計を行う上での与条件の独自性が強く、結果として立ち現れる建築は one-off であることが望まれる傾向にある。一般的な製品は、利用者が様々なデザインの中から選択し、試用の後に、自身の要求に合わなければ再び購入することも可能である。しかし、建築は非常に高価であるが故に、意図にそぐわない場合でも簡単に買い換えることは難しい。「家は3度建てなければ満足できない」という言葉があるが、この言葉は自身に適合する空間を創ることの困難さを端的に表すものである。このような問題はこれまで取り組まれてきた標準化・体系化では解決することが難しく、居住者の要求を反映した個別性の高い空間を実現する手法が求められる。

二つ目の異なる点は、建築は利用するにあたって時間的持続性が高い点である。そのため、与条件であったはずの独自性の高い要素(生活様式、家族構成、人間の身体、周辺環境)が変化してしまう。しかし、建築は容易に変更することができないため、時間の経過とともに矛盾が生じてしまい、問題点になる。この問題点を解決するには、時間の概念を設計に取り入れ、変化を予測した設計を行うこと、または現状を的確に把握しつつ変化を許容する柔軟性のあるシステムの構築が必要となる。

6) Ernst Neufert: Bautenwurfslehre [Architects' Data], Bauwelt-Verlag (German 1st ed.), 1936 ~

7) 日本建築学会編：建築設計資料集成，丸善（第3版），1942 ~

8) 日本建築学会編：コンパクト建築設計資料集成<住居>，日本建築学会編，丸善

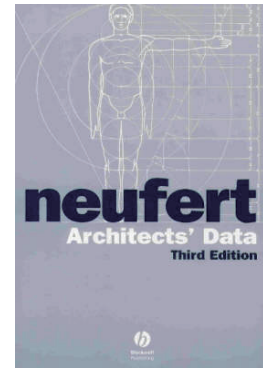


図 1.6 Architects' Data

ヨーロッパ版建築設計資料集成。

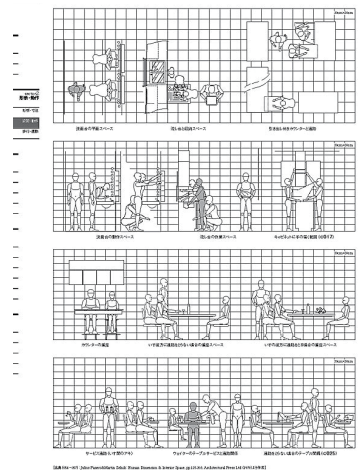


図 1.7 建築設計資料集成 (1942 ~)

建築設計における基礎的な資料が掲載されている。建築学会によって編集され、1942年に初版本が刊行されて以来、現在に至るまで改訂され続けている。

出展：建築設計資料集成



図 1.8 C51 型住宅の平面図

1951年に東京大学の吉武泰水助教授によって提案された公営住宅標準設計のひとつ。
出展：コンパクト建築設計資料集成<住居>

よって、本研究は、個々人の生活様式や身体を建築に反映する建築設計手法を開発し、上記の問題点を解決することによって、個別性や柔軟性を持った建築の実現を目的とする。

この提案を可能たらしめる大きな理由は、コンピュータを始めとした、センサ、デジタル工作機器などのテクノロジーの進歩に他ならない。技術の進歩は、情報取得、意匠設計、各種解析、生産など、建築に係わる全ての過程に影響を与えていると言っても過言ではない。例えば、建築設計の分野では、Computer Aided Design（以下CAD）や Building Information Modeling^{注2}（以下BIM）、コンピュータの特性である計算能力を活用したアルゴリズムックデザイン^{注3}やパラメトリックデザイン^{注4}など、コンピュータならではの新たな設計手法を誕生させた。また、環境・構造の分野では、コンピュータを用いた解析は一般化し、デザインを最適化・決定する上で重要な判断材料となっている。さらに、設計から生産に至るまで、一貫してデジタルデータを用いるデジタルファブリケーション^{注5}といった新たな手法は、これまでの規格化・標準化による少品種大量生産システム（マスマイクロプロダクション）から、多品種少量生産システム（スマートプロダクション）への移行を予期させる。

これら情報通信技術の進歩は、個々の身体の情報や環境条件に適応した設計・生産の可能性を広げており、前述のとおり多様化する要求に対し、生産性や効率性を確保しつつ“今だけ、ここだけ、あなただけ”という付加価値を提供する設計手法を実現する可能性を有していると考えられる。

注2 BIM

三次元モデル基盤に建物データを生成および管理する手法。詳しくは第3章に記述。

注3 アルゴリズムックデザイン
ルールに基づいて設計を行う手法。詳しくは第3章に記述。

注4 パラメトリックデザイン
可変可能な数値を利用して設計する手法。詳しくは第3章に記述。

注5 デジタルファブリケーション
レーザーカッターや3Dプリンタ、CNCを初めとした、コンピュータ制御の機器を用いた生産手法。詳しくは第3章に記述。

1.3 既往研究と本研究の位置づけ

人間の身体や動作の情報取得に関する既往研究として、人間の行動や身体の寸法を体系的にとらえようとする建築計画は日本で盛んに取り組みられ、これらの成果は『建築設計資料集成』に結実している。加えて、2003年に出版された『建築設計資料集成—人間—』⁹⁾は建築設計資料集成に収録されている〈室と場面〉を拡張するものと位置づけられ、空間と人間の身体や動作について状況を網羅している。2003年の出版に際して開かれた講座では、佐藤らが新たな建築設計資料集成の形として、動的な建築設計資料集成の可能性について述べている(図1.9)。また、佐藤らは『建築人間工学データベースの開発—建築・住宅設計に係る人間工学的データのニーズ調査—』¹⁰⁾の中で、「子供や高齢者など体格や体型の違いによる動作寸法/動作空間寸法の違いを確認できる情報」「それぞれの空間で行われる一連の行為を動画で確認でき、そこから情報を取り出せるような機能」が必要であり、パラメトリックに身体寸法を変化できる動的なデータベースを望む声が多いという調査結果を明らかにしている。この調査結果を基に、その後の布田らの一連の研究では、これまでの二次元の設計資料集成ではなく、パラメトリックに変更可能な三次元、さらには時間軸を加えた四次元の設計資料に取り組み、人間の動作を建築設計へ活用する可能性について明らかにしている。

また、人間行動に関する研究分野は、従来、地道な観察調査で得た情報を、人の手によって定量化し、モデル化する手法が一般的であった。モデル化された情報は、コンピュータの登場によって、シミュレーションへ応用され始める。近年の研究成果として、楢原による人間行動のシミュレーション¹¹⁾の他、CADソフトのプラグインとして動作する人間行動シミュレーション「Sim Tread」が登場するに至り、川畑らの研究¹²⁾に応用されるなど、デザインツールや研究の用途にも応用され始めている(図1.10, 1.11)。

さらに、人間の行動に関する情報取得の方法にも技術革新の影響が現れ、遠田らの研究¹³⁾では、歩行動作の取得に従来の人の手による行動観察手法ではなく、情報通信技術が応用されている。日常的に人間の行動を捉える手法が提案されたことで、日常生活における情報を捉え、その情報を基に快適な空間を実現しようとする研究が数多く提案されるようになった。このような個人の趣向を基に快適な空間を実現しようとする研究は建築環境分野に多く見ることができる。

つまり、従来はひとりひとり異なる人間の身体や動作を捉えるには膨大な労力が必要とされ、ある状況や場면을限定したり、体系化・平均化

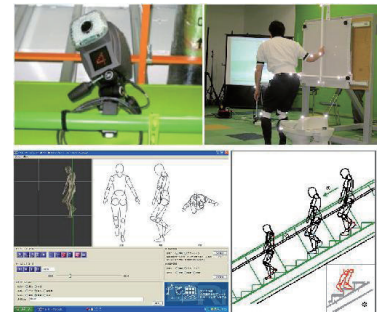


図1.9 布田らによるデジタル技術を用いた動的な建築設計資料集成
 出展：ケンプラッツ [http://kenplatz.nikkeibp.co.jp/article/it/column/20100321/540129/?ST=sp&P=4]

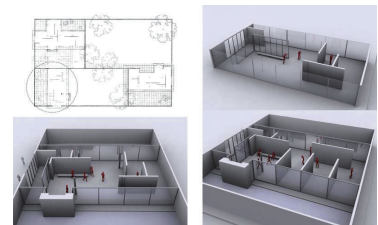


図1.10 Visualization Human Behavior by Taro Narahara
 出展：文献11)より引用

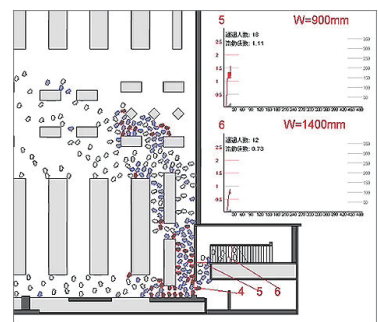


図1.11 SimTreadでシミュレーションを行っている様子
 出展：A&A社ホームページ [http://www.aanda.co.jp/]

9) 日本建築学会編：建築設計資料集成—人間、丸善、2003

10) 佐藤克志、布田健：建築人間工学データベースの開発：建築・住宅設計に係わる人間工学的データのニーズ調査、日本建築学会学術講演梗概集・E-1, pp.929-930, 2005.07

11) Taro Narahara：The Space Re-Actor, - Walking a Synthetic Man through Architectural Space -, Massachusetts Institute of Technology, 2007

12) 川畑勝也：行動シミュレーションに基づく環境デザイン手法の研究 - オープンオフィスモールのケーススタディを通して -, 慶応義塾大学学位論文, 2013

13) 遠田敦、林田和人、渡辺仁史：スリッパ型RFIDリーダによる歩行動追跡、日本建築学会計画系論文集、第630号, pp.1847-1852, 2008.8

することによって設計へ活用しようとする研究が主流であった。この手法は、多くの人が抱える共通の問題点の解決を図ったものであると言える。しかし、コンピュータの登場によって、従来の人々の労力がコンピュータの処理能力に置き換えられたことにより、大量のデータ処理が可能となったことで、日常生活空間における情報取得や人間行動のシミュレーションが可能となった。これによって、従来よりも個人個人の情報の取得は容易なものとなり、個人個人が抱える個別性の高い問題点の解決に取り組むことができると考えられる。

個人個人の情報に目を向けた研究は環境分野においていくつか見られるものの、建築計画や建築設計の観点から論じられたものは少ない。従って、本研究はコンピュータやセンサ技術の発展を背景として、これまで欠落していたと考えられる個人の身体から生じる情報が取得可能になりつつある点に着目し、情報通信技術を用いて取得した個人個人の情報を基に建築計画や建築設計に活用することによって、個別性の高い問題点について解決を図るものと位置づけられる（図 1.12）。

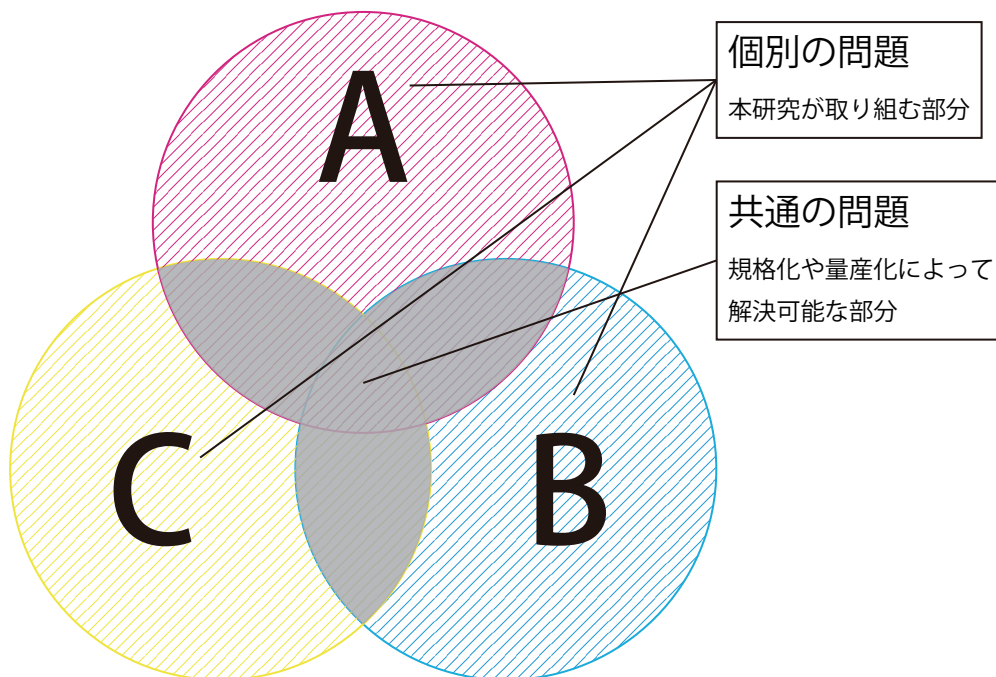


図 1.12 本研究でアプローチする問題点のイメージ

1.4 研究の構成

各章の概要と研究の流れをおよび構成を図 1.13 に示す。第2章、第3章は既往研究および事例調査から、本研究の理論・技術的な裏付けを行い、第4章から第7章までが各要素技術についての研究、8章で総括を行う。

第1章

社会背景および既往研究から、本研究の目的および位置づけを行い、本研究の構成を示した。

第2章

人間の身体や行動に関する歴史や既往研究、実践的プロジェクトなどについてまとめ、建築における身体の普遍的な価値を明らかにし、本研究の対象として人間の身体動作を選定した意義について記述する。

第3章

技術の進歩が建築に与えた影響を明らかにし、本研究が提案する手法を可能たらしめる技術的背景を整理した。また、実践編として参加したワークショップの内容についてまとめた。

第4章

屋内空間における人の位置情報を目的として、位置の取得について既往研究をまとめ、超音波センサを用いた位置情報の取得を行い、空間形状とセンサの配置関係について論じた。

第5章

空間の現状を把握することを目的に、人間の身体動作と空間形状を取得する手法として、ロボティクス技術を用いる手法を提案した。実証実験として移動可能な二輪ロボットの開発を行い、人間の動作と空間の形状の同時取得に取り組み、日常生活空間においてこれらの技術を取り入れる利点と問題点を明らかにした。

第6章

情報通信技術の進歩によって取得可能となった種々の情報を利用することを目的に、汎用のインターネット地図を用いた情報共有手法を提案した。実証実験として、実空間と地図上の仮想空間の連動に取り組んだ。

第7章

取得した個々人の情報を建築へ反映することを目的として、人間の身体動作から生成した形状について印象評価をおこなった。人間の身体動作がもつ印象を建築のデザインへ応用するための手法および生成した形状の可能性と問題点についてまとめた。

第8章

本研究を総括し、人間の身体動作および屋内位置情報を建築空間に活用する手法の利点と問題点を述べた。

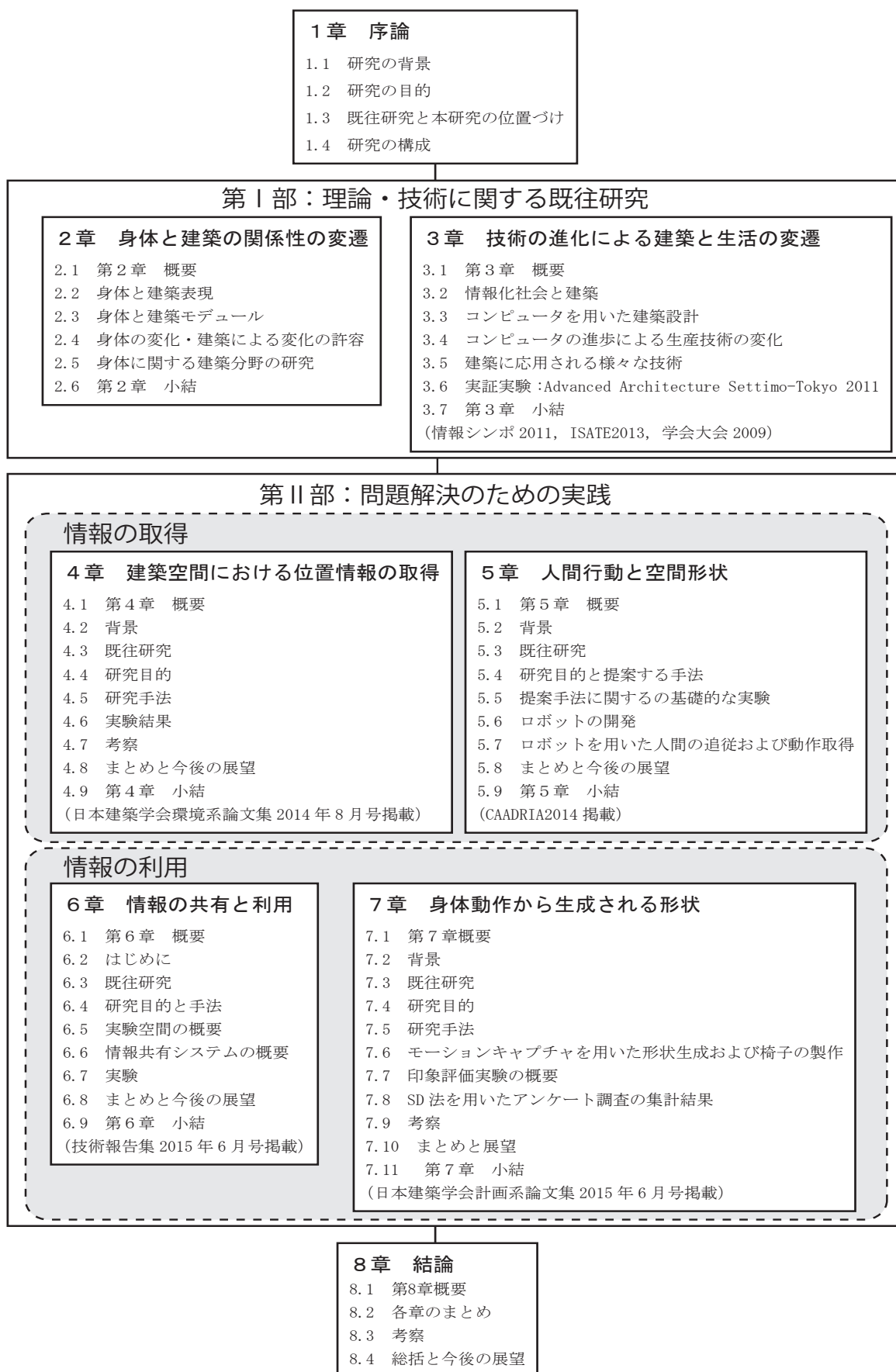


図 1.13 本論文の構成

第1章 参考文献リスト

- 1) アルビン・トフラー著, 徳岡孝夫訳: 第三の波, 中央公論社, 1982.9.10
- 2) 藤森照信: 人類と建築の歴史, 筑摩書房, 2005.05
- 3) 総務省統計局 ホームページ: 人口推計
- 4) 国土交通相: 住生活基本法, 2006
- 5) 国土交通相: 住宅建設計画法及び住宅建設五箇年計画のレビュー, 2005
- 6) Ernst Neufert: Bauentwurfslehre [Architects' Data], Bauwelt-Verlag (German 1st ed.), 1936 ~
- 7) 日本建築学会編: 建築設計資料集成, 丸善 (第3版), 1942 ~
- 8) 日本建築学会編: コンパクト建築設計資料集成<住居>, 日本建築学会編, 丸善
- 9) 日本建築学会編: 建築設計資料集成—人間, 丸善, 2003
- 10) 佐藤克志, 布田健: 建築人間工学データベースの開発: 建築・住宅設計に係わる人間工学的データのニーズ調査, 日本建築学会学術講演梗概集・E-1, pp.929-930, 2005.07
- 11) Taro Narahara: The Space Re-Actor, - Walking a Synthetic Man through Architectural Space -, Massachusetts Institute of Technology, 2007
- 12) 川畑勝也: 行動シミュレーションに基づく環境デザイン手法の研究 - オープンオフィスモールのケーススタディを通して -, 慶応義塾大学学位論文, 2013
- 13) 遠田敦, 林田和人, 渡辺仁史: スリッパ型 RFID リーダによる歩行行動追跡, 日本建築学会計画系論文集, 第630号, pp.1847-1852, 2008.8

第1章 図版リスト

- 図 1.1 1910 年式モデル T・ツーリング
出展: Wikipedia
- 図 1.2 上野原遺跡竪穴式住居 (復元)
出展: 鹿児島県ホームページ [https://www.pref.kagoshima.jp/kids/rekishi/kofun.html]
- 図 1.3 クリスタルパレス (1851)
出展: Wikipedia
- 図 1.5 住宅五カ年計画の変遷
出展: 国土交通相 住宅建設計画法及び住宅建設五箇年計画のレビュー
- 図 1.4 平成 26 年度高齢者の人口推計
出展: 総務省統計局 ホームページ 人口推計
- 図 1.6 Architects's Data
- 図 1.7 建築設計資料集成 (1942 ~)
出展: 建築設計資料集成
- 図 1.8 C51 型住宅の平面図
出展: コンパクト建築設計資料集成<住居>
- 図 1.9 布田らによるデジタル技術を用いた動的な建築設計資料集成
出展: ケンプラッツ [http://kenplatz.nikkeibp.co.jp/article/it/column/20100321/540129/?ST=sp&P=4]
- 図 1.10 Visualization Human Behavior by Taro Narahara
出展: 文献 11) より引用
- 図 1.11 SimTread でシミュレーションを行っている様子
出展: A&A 社ホームページ [http://www.aanda.co.jp/]
- 図 1.12 本研究でアプローチする問題点のイメージ
- 図 1.13 本論文の構成

第2章 身体と建築

2.1 第2章 概要

建築は人間のために作られるために、人間は建築にとって根源的な存在である。本章では、本研究で問題点として挙げた個別性を引き起こす要因となる人間の身体に着目し、建築の起源から現在に至るまでの建築と身体の関係性について概略をまとめ、建築における身体の普遍的な価値について明らかにする。

2.2 身体と建築表現

人間の身体は芸術（アート）の世界でも多く表現の題材とされ、絵画、彫刻・写真・ダンスなどジャンルは様々であるが、一般的な共通認識として、人間の身体に「美」的な価値を見いだしていると考えられる。本節では、人間の身体が持つ美的な印象と建築に着目する。

2.2.1 メタファーとしての身体

古代ローマの建築家マルクス・ウィトルウィウス・ポリオ（Marcus Vitruvius Pollio）^{注1}によって書かれた著書『建築十書』は現存する最古の建築理論書である。ウィトルウィウスはこの著書の中でギリシャ建築におけるオーダーの用い方を説明する際、それぞれのオーダーについて「ドリス式＝男性的」、「イオニア式＝女性的」、「コリント式＝少女」のように人間の身体的な特徴を用いて説明していることがわかる¹⁾（図2.1）。また、第三書の一章では、人間の身体における比例関係について著し^{注2}、人体こそが建築様式のオーダーにおける重要な構成要素であるとした。つまり、人間の身体は幾何学と共に美しさの一つの基準として、建築に限らずデザインに大きな影響を与えてきた。後にレオナルド・ダ・ヴィンチは、ここで記された内容を基に、自身の人体への観察内容も加えて、「ウィトルウィウスの人体図」を描いた（図2.2）。このような人体図は、その後も多くの人物が描写していることから、人々が人体に対して共通の美的価値を見いだしている事が伺える（図2.3）。

酒谷らの研究²⁾では、現代の建築家が自身の設計を説明する文章を対象として、文章中で用いられているメタファーについて分析を行っている。その中で酒谷らは、「レイコフらの理論では、メタファーの中でも、多くの人に共通している生活での経験をもとにしたメタファーを『根源的メタファー (root metaphor)』と呼ぶ。作成したデータベースでは、『都市』『劇場』『身体』などが頻繁にメタファーとして用いられており、建築設計における根源的メタファーとみなすことができる」と記述している。つまり、今日の建築家においても「身体」は建築のデザインのメタファーとして頻繁に用いられていることが明らかとされている。

注1 マルクス・ウィトルウィウス・ポリオ（Marcus Vitruvius Pollio）（紀元前1世紀頃）

古代ローマで活躍した建築家。『建築について』はヨーロッパにおける最初の建築理論書であると言われている。



図2.1 ギリシャ建築における各オーダーの比較

出展：Interior Zukan [http://i-zukan.net]

注2 Vitruviusの唱えた人体比率

- ① 掌は指4本の幅と等しい
- ② 足の長さは掌の幅の4倍と等しい
- ③ 肘から指先の長さは掌の幅の6倍と等しい
- ④ 2歩は肘から指先の長さの4倍と等しい
- ⑤ 身長は肘から指先の長さの4倍と等しい
- ⑥ 腕を横に広げるた長さは身長と等しい
- ⑦ 髪の毛の生え際から顎の先までの長さは身長の1/10と等しい
- ⑧ 頭頂から顎の先までの長さは身長1/8と等しい
- ⑨ 首の付け根から髪の毛の生え際までの長さは身長1/6と等しい
- ⑩ 肩幅は身長1/4と等しい
- ⑪ 胸の中心から頭頂までの長さは身長1/4と等しい
- ⑫ 肘から指先までの長さは身長1/4と等しい
- ⑬ 肘から脇までの長さは身長1/8と等しい
- ⑭ 手の長さは身長1/8と等しい
- ⑮ 顎から鼻までの長さは頭部の1/3と等しい
- ⑯ 髪の毛の生え際から眉までの長さは頭部の1/3と等しい
- ⑰ 耳の長さは顔の1/3と等しい
- ⑱ 足の長さは身長1/6と等しい

1) ウィトルウィウス著、森田慶一訳：東海選書 ウィトルウィウス建築書<普及版>、東海大学出版会、1979.09.28

2) 酒谷将、岡本賢吾、門内輝行：建築作品にみるメタファーの類型化と構造分析、建築設計におけるメタファーの解読と生成（その1）、日本建築学会計画系論文集、第685号、pp.527-536、2013.3

このことから、人間の身体から感じ取ることができる美的な感覚は、ウィトルウィウスの古代から現代まで変わることなく、建築設計において重要な意味を持つ存在であるといえる。

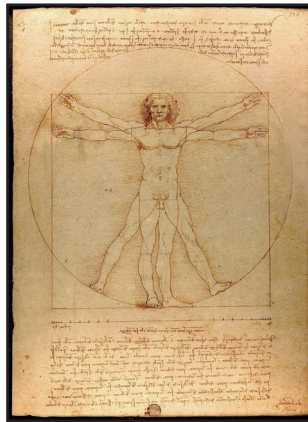


図 2.2 レオナルド・ダ・ヴィンチが描いたウィトルウィウスの人体図

レオナルド・ダ・ヴィンチがウィトルウィウスの記述を基に 1485 ~ 1490 年頃描いたとされる。今日では描かれている人体の比率は正確ではないとされている。

出展 : Wikipedia

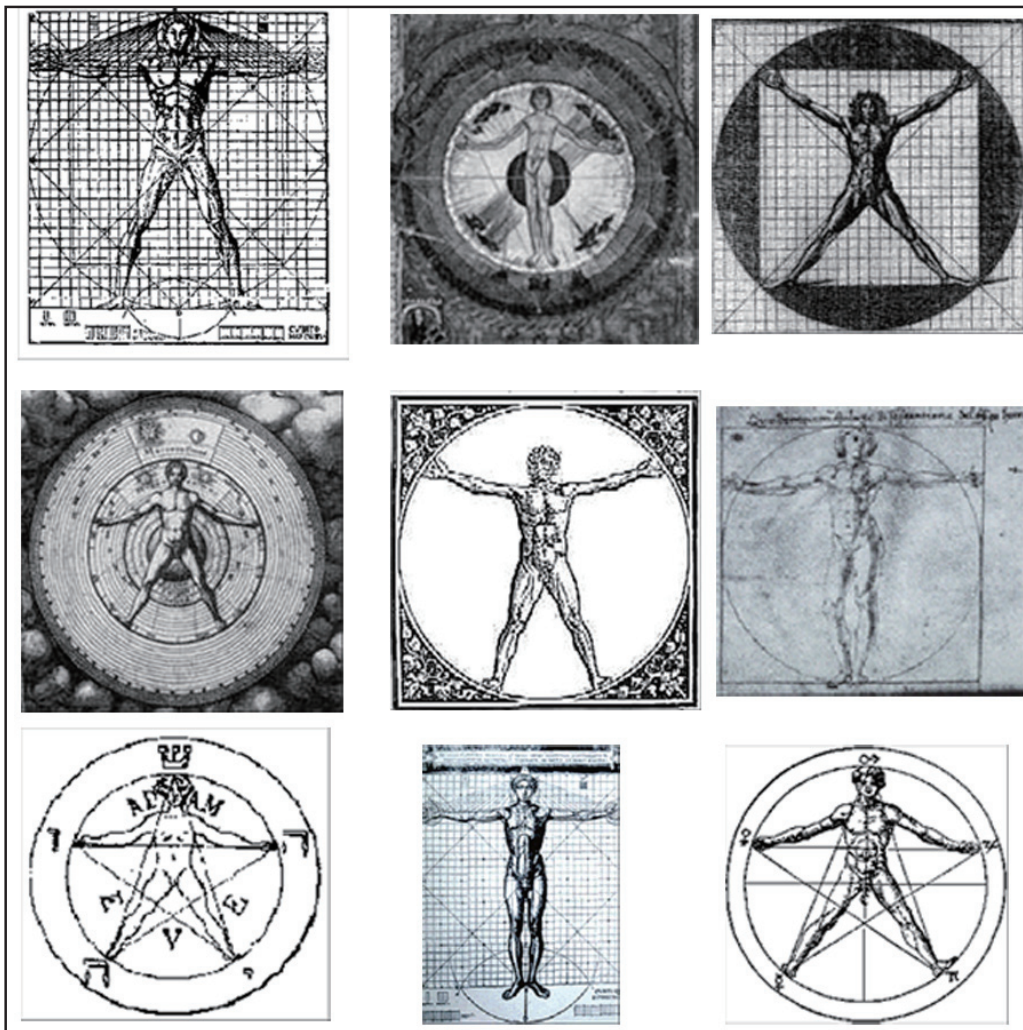


図 2.3 様々に描かれた人体図

出展 : Die Quadratur des Kreises als Näherungslösung [http://www.pimath.de/quadratur/beispiel_proportion.html]

解する際に畳や坪といった単位が用いられていることから、身体的に親和性が高い単位であることが伺える。

また、布野らは、インドネシアのバリ島における住居の調査で、人体の寸法が隣棟配置計画や建築の各種寸法を決定するための基準となっていることを明らかにしている^{4), 5)} (図2.6)。つまり、かつて人間の身体は世界中の様々な場所で建築を設計する際の基準として用いられていたことがわかる。

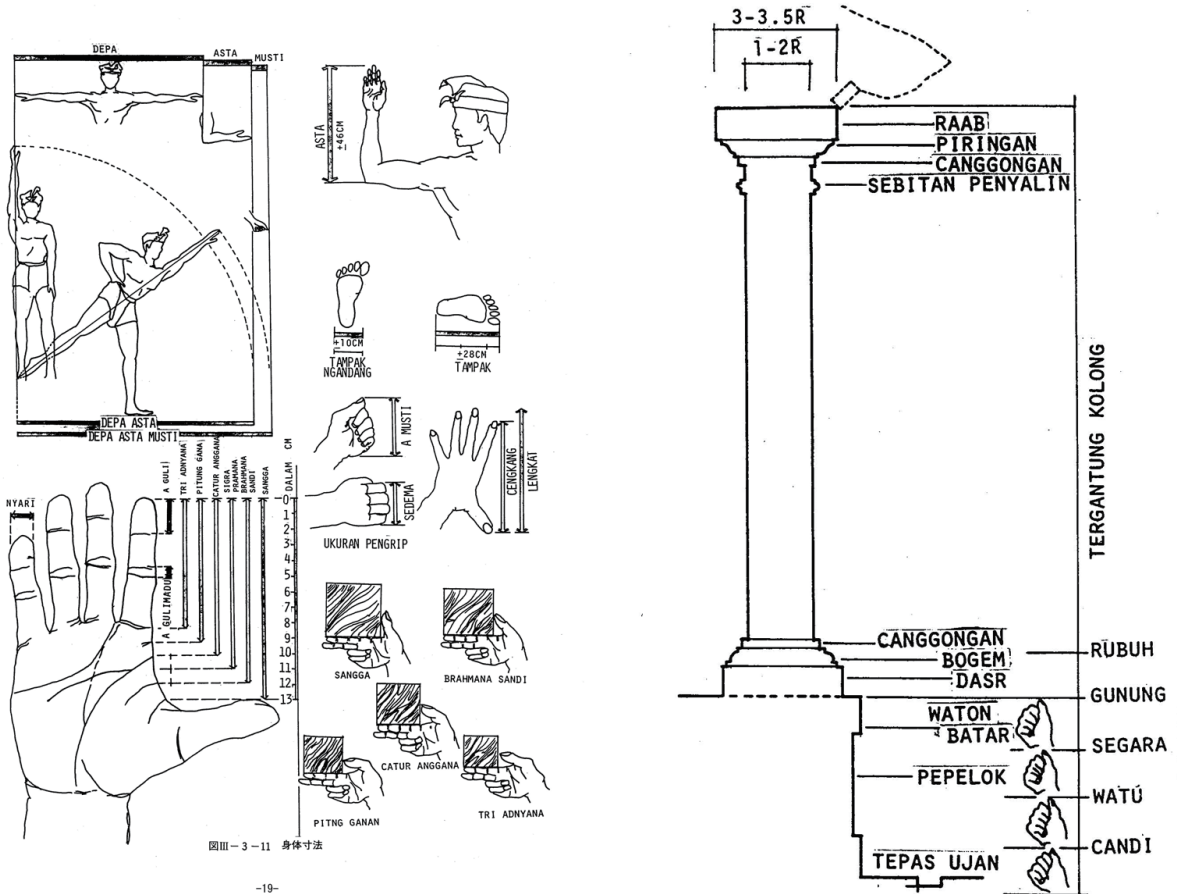


図 2.6 バリ島の住居における身体を用いた各種寸法の決定方法

出展：文献4) 図III-3-11 及び図III-3-13より引用

2.3.2 身体を欠いた国際的なモジュール（産業革命以後）

18世紀の半ば以降、産業革命によって生産システムが変革を遂げ、T型フォードに代表されるような大量生産（マスプロダクション）を目的とした規格化や標準化が始まった。前項で述べたように、産業革命以前には、世界の様々な場所で土着的な単位が存在していた。しかし、人間の行動範囲が広がるとともに、単位の不統一が問題となった。

そこで、18世紀末のフランスにおいて、地球の北極点から赤道までの子午線弧長の1000万分の1として定義される新たな長さの単位「メートル」をはじめとして、さまざまな単位の統一が行われた。その結果、これまでの局地的に発展を遂げてきた寸法から、全世界の共通物である地球の大きさに基づいた単位が設定され、身体性を欠いたものとなった。これを機に建築においても国際化や標準化が進むこととなる。

2.3.3 国際的なモジュールが建築に与えた影響

産業革命の時期には建築でも規格化・標準化大量生産の時代が始まり、鉄やガラスといった素材の安定した供給が可能となり、第1回万国博覧会の会場となったクリスタルパレスはその象徴となる建物である。以後これまでのような身体から生み出されたモジュールではなく、生産側からもモジュールが生み出され、建築設計に影響を与えていく。

19世紀のヨーロッパでは、戦災による住宅不足を背景に建築生産の合理化が図られていた。例えば、ドイツでは1920年代エルンスト・マイ（Ernst May）^{注3}らによるジードルンク建設において、工業生産で規格化されたサイズのプレキャストコンクリートを用いたプレファブ構法、ヴァルター・グロピウス（Walter Adolph Georg Gropius）^{注4}の「トロッケン・バウ」と呼ばれる鉄骨造による乾式構法が登場する（図2.7）。エルンスト・ノイフェルト（Ernst Neufert）^{注5}は、レンガ寸法を基準としたオクタメーター（後にDIN）を開発し、その著『Bauentwurfslehre』と『Bauordnungslehre』において20世紀建築に標準規格を与え、特に工業建築に独自のモジュールを導入しドイツ建築産業の合理化に貢献した（図2.8）。このノイフェルトの取組は後に日本の建築設計資料集成にも大きな影響を与えている⁶⁾。

また、1940年代にル・コルビュジエ（Le Corbusier）^{注6}が、身体寸法と黄金比、フィボナッチ係数を基に生み出したモジュールを発表した（図2.9）。モジュールは、ロンシャンの礼拝堂の窓の配置や、ユニテ・ダビタシオン、国立西洋美術館の設計に用いられている。（図2.10）。コルビュジエのモジュールは6フィート（約183cm）を寸法の基準として採用し、フィボナッチ数列と黄金比を用いて数字を展開している。これは一般的な身長よりも高いが、コルビュジエは著書『モジュール』^{7), 8)}のなかで、「いまのModulorは1m75cmの人間の身

注3 エルンスト・マイ（Ernst May）1886 - 1970]
ドイツ人建築家、都市計画家。良好な住宅地を供給することを目的として多くのジードルンク建設に携わる。

注4 ヴァルター・グロピウス（Walter Adolph Georg Gropius [1883 - 1969]
ドイツ人建築家でバウハウスの創立者。代表作にバウハウステッサウの校舎 [1926] など。



図2.7 ジードルンク建設にプレファブリケーションが用いられた様子

出展：monumente-online [http://www.monumente-online.de]

注5 エルンスト・ノイフェルト（Ernst Neufert）[1900 - 1986]
ドイツ人建築家。建築に標準規格を与え、建築産業の合理化に貢献した。Bauordnungslehreは世界的な教科書。

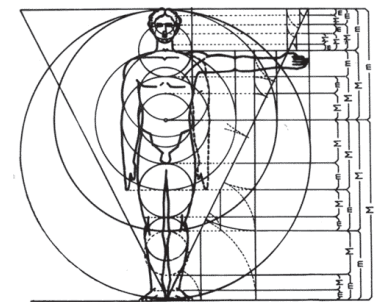


図2.8 Neufertの人体図

出展：建築設計資料集成

注6 ル・コルビュジエ（Le Corbusier）[1887 - 1965]
スイス生まれで、主にフランスで活躍した三大巨匠に数えられる建築家・都市計画家・画家。代表作にはサヴォア邸 [1931]、ロンシャンの礼拝堂 [1955] など。著作に『建築をめざして』、『輝く都市』など。

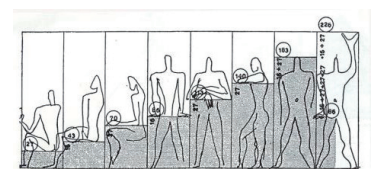


図2.9 モジュール

6フィート≒183センチの身長をもとに、おへその高さを113センチ、手を挙げた高さを226センチと設定し、それらを黄金比を用いて整理し、座る時の座の高さやカウンターの高さ、天井の高さに反映した。

出展：文献7,8

6) 大口晃央：神話とモダニズム—バウハウス・プロジェクト一九一九—一九九九、『10 + 1』NO.17, INAX 出版, 1999.6

長をもとにしていますが、これはフランス人の体格でしょう。イギリスの探偵小説などに出てくるりっぱな人は、たとえば巡査などは、いつも6フィートであることに気づかれませんか」といった。これを原基として応用にかかった。6フィート=6×30.48=182.88cm うまいことに新しい6フィートの人間をもとしたModulorは、フィート・インチではすべての段階がちょうど数値に展開された。」と述べている。当初は175cmを基準として研究していたが、世界基準にするために、インチ、センチ、フィートに展開が可能な数値として6フィート(約183cm)を基準としたことが分かる。コルビュジエのモデュロールは身体寸法を基準としながらインターナショナルな展開を考慮し、当時の工業化する生産方式を背景に、規格化・標準化されたモジュールに変化し、これを用いた量産化を睨んでいた。

2.3.4 日本の身体とモジュール

一方、日本の建築においては1950年代にモジュールとモデューラーコーディネーション(MC)の研究に取り組み始め、1953年にコルビュジエの『モデュロールI』が出版された。この背景にあるのは、第1章で述べた戦後の住宅不足である。1955年には建築学会にてMC特別委員会が設置され、1965年にその研究成果が『モジュール割りと建築生産の工業化』⁹⁾にまとめられ、この中で最も重要視されていたのは生産およびコストの問題であった。

建築作品としては、丹下健三^{注7)}が当時の日本人の平均身長1650mmを基準としてモデュロールを生成し、広島平和記念資料館の設計に用いている。丹下は、「わたくしは、それを近代社会における群集の尺度、高速度交通の尺度と考えているのであった。人間の尺度と社会的人間の尺度という二つの系列について考えていたのである」¹⁰⁾と述べ、6498mmの階高と10514mmのスパンを社会的人間の尺度、2482mmの人間の尺度を持った踊り場が生み出される^{11), 12)}(図2.11)。しかし、その後は当時大量生産へと移行するボード類などの工業規格と折り合いが悪く、数値の読み替えが図られていき、1820mmに落ち着くことになる。その後は、丹下研究室というチームで設計を進めるための共通言語としての意味や、丹下の「自由」と「秩序」が織り成す空間体系の理論を実現するためのツールの側面が強くなっていった¹³⁾。

その後も、モジュールの批判から生み出された内田祥哉^{注8)}によるDΦ、2ⁿをもとに展開した池辺陽^{注9)}によるGMモジュールなどさまざまなモジュールが提案された(図2.12)。



図2.10 ユニテ・ダビタシオン

ユニテ・ダビタシオンでは全体がモデュロールに基づいて設計されている。
出展:Wikipedia

注7 丹下健三 [1913 - 2005]

代表作には広島平和記念公園 [1955], 東京カテドラル [1964], 代々木体育館 [1965], 新東京都庁舎 [1991] など。

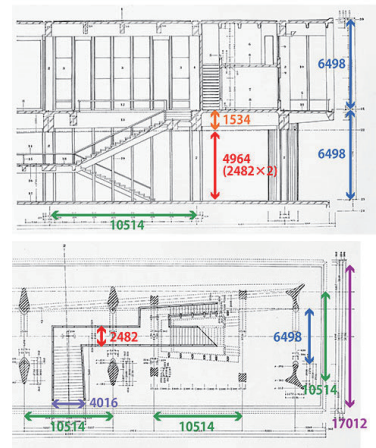


図2.11 平和祈念資料館における社会的尺度と人間的尺度

出展:Arch-Hiroshima [http://www.arch-hiroshima.net/]

注8 内田祥哉 [1925 -]

建築のシステム化と建築構法を研究社。著書に『プレファブ』[1968], 建築生産のオープンシステム [1977], 代々建築の生産とシステム [1993] など。

注9 池辺陽 [1920 - 1979]

建築計画・生産・構法に精通し、寸法体系理論を基に、戦後の住宅問題について研究を行うとともに、住宅の工業化とプレファブ리케이션に取り組む。立体最小限住宅 [1950], 最小限住宅(増沢清と共同), 森邸 [1951] (清家清と共同) など。

7) ル・コルビュジェ 著, 吉阪隆正 訳:モデュロールI, 鹿島出版会, 1976.11.5

8) ル・コルビュジェ 著, 吉阪隆正 訳:モデュロールII, 鹿島出版会, 1976.12.1

9) 日本建築学会:モジュール割りと建築生産の工業化, 1964

10) 丹下健三:新建築, 広島計画 1946 ~ 1953 とくにその平和会館の建設過程, 1954.1

11) 豊川斎赫:丹下健三研究室の理論と実践に関する建築学的研究, 東京大学博士過程学位論文, pp.71 ~ 81, 2007.04.19

12) 豊川斎赫:群像としての丹下研究室-戦後日本建築・都市史のメインストリーム-, オーム社, 2012.5.9

13) 水谷見啓:丹下健三研究室のアーバン・デザイン手法の再評価と応用-コンピュータを用いた手法の今日的意義に着目して-, 芝浦工業大学博士過程学位論文, pp.12-22, 1976.12.1

池辺の弟子である難波和彦^{注10}は『建築の四層構造—サステイナブル・デザインをめぐる思考』¹⁵⁾で、時代が進むにつれてモジュールが具体的な寸法を失い記号性だけ残っていったことを指摘している。さらに、コンピュータによる加工機械の制御技術の高度化によって複雑かつ多様な寸法の部品加工が可能になったことから、規格寸法の意味を解消させた、寸法システム（モジュール）の問題を性能（パフォーマンス）まで展開することがモジュールの将来性であると述べている。

2.3.5 現代のモジュールシステム

18世紀の産業革命で萌芽した、同じものを大量につくるマスプロダクションの技術は、戦後の住宅不足の背景として花開いた。量の確保を目的とした、生産のための規格化・標準化は、建築のデザインにも大きな影響を与えることとなる。ニュータウンでよく見かける同じデザインの建売住宅が連なっている風景は、このような設計が用いられている典型的な例であると言える（図2.13）。このような建物は統一された綺麗な街並みを形成する一方、個別の身体情報は反映されていない。しかし、21世紀に入り、これまでのような量の確保から質の向上へ転換が図られ始めた。これから迎える社会では、高齢化や、エネルギー問題これまでに無い問題に直面すると考えられ、建築がどのように対応するかが問われている。これまでの規格化や標準化を基盤としつつ、個性性を考慮することによって、新たに直面する問題の解決に貢献する可能性が考えられる。



図 2.12 GM モジュールに採用された

2^n

出展：文献 14 より

注 10 難波和彦 [1947 -]
テクノロジーと建築、持続可能性と建築を主題に研究及び設計を行っている。代表作の箱の家シリーズはローコストかつ高性能な住宅を目指し、その数は 150 作品に迫る。



図 2.13 建売住宅地

出展：Wikipedia

14) 池辺陽：デザインの鍵—人間・建築・方法，丸善，1996.10

15) 難波 和彦 (著)，メディア・デザイン研究所 (編)：建築の四層構造—サステイナブル・デザインをめぐる思考 (10+1series)，INAXo，2009.3

2.4 身体の変化・建築による変化の許容

人間の身体は生まれてから死ぬまで加齢によって大きく変化する。また、同じ年齢でも体型も異なり、妊娠や怪我など状態によっても大きく異なる(図 2.14)。さらに、一生の間に家族構成も変化し、生活のスタイルも刻々と変化するなど、居住者(ユーザー)は多様性に富む。このように変化する人間に対して、建築は静的な存在であり、変化をどのように許容すべきか様々な試行が行われてきた。

2.4.1 身体と生活の変化と多様性

身体的な条件に建築的に対応しようとした結果として、バリアフリー^{注 11}やユニバーサルデザインといった概念は、建築にも広く浸透し始めている。

バリアフリーは妨害するもの(Barrier)を取り除いた自由(Free)な状態を意味し、1974年に出版された、国連専門家会議報告書以降使用されるようになった。英語圏ではアクセシビリティ(accessibility)という言葉がよく用いられる。一般的に、障害やなんらかの不自由さのある人に対して、製品・建物・サービスの利用のしやすさを確保することを目的としている。これらは基本的に対象者にどのようなバリア(障害)があるのかを的確に把握してデザインされている。

一方、ユニバーサルデザインの考え方は1990年頃「ADA法(The Americans with Disability Act: 障害を持つアメリカ人法)」をきっかけに、建築家のロナルド・メイス(Ronald Mace)^{注 12}らによって定義された。この考え方の中核となるのは、ユニバーサルデザインの7つの原則^{注 13}である。すなわち、ユニバーサルデザインとは、デザインによって変化や多様性を許容し、利用者や使用者を限定せず、あらゆる年齢、背格好、能力の人が、その使用の機会を限定されず、普遍性のあるデザインを目指すという試みである。

2.4.2 建築における変化の許容と最適化

逆説的ではあるが、ユニバーサルデザインの基となった概念はミース・ファンデル・ローエ(Mies van der Rohe)^{注 14}が提唱するユニバーサルスペース^{注 15}であろう(図 2.15)。ミースが「事務所の組織に従って分節された明るくて広い空間によって、最大の効果を得る」と言うように、シーグラムビルで実現した空間が現在のオフィスビルのモデルとなり、世界中でこれに習ったビルが建設された¹⁶⁾(図 2.16)。この空間は様々な変化を許容することができる空間であり、どのようなプログラムも許容することができるという柔軟性を持つ。結果として、現在のユニバーサルデザインは、変化と多様性を許容するデザインとして理解されている。一方で、ロバート・ヴェンチャーリ(Robert Venturi)^{注 16}はユニバー

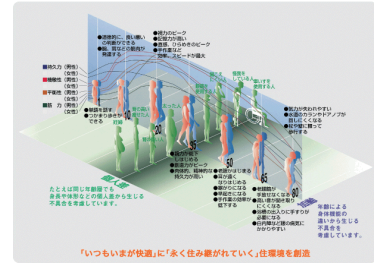


図 2.14 人間の身体の変化と多様性
出展：積水ハウスホームページ [www.sekisuhouse.co.jp]

注 11 バリアフリー
1974年に出版された、国連専門家会議報告書以降使用されるようになった。英語圏ではアクセシビリティ(accessibility)という言葉がよく用いられる。

注 12 ロナルド・メイス(Ronald Mace) [1941-1998]
アメリカの建築家。ノースカロライナ州立大学ユニバーサルデザインセンターの所長。

注 13 ユニバーサルデザインの7つの原則

1. 公平な使用への配慮(Equitable Use)
2. 使用における柔軟性の確保(Flexibility in Use)
3. 簡単で明解な使用法の追求(Simple and Intuitive Use)
4. あらゆる知覚による情報への配慮(Perceptible Information)
5. 事故の防止と誤作動への受容(Tolerance for Error)
6. 身体的負担の軽減(Low Physical Effort)
7. 使いやすい使用空間(大きさ・広さ)と条件の確保(Size and Space for Approach and Use)

注 14 ミース・ファンデル・ローエ(Mies van der Rohe) [1886 - 1969]
ドイツ出身の建築家で三大巨匠。「Less is more.」(より少ないことは、より豊かなこと)や「God is in the detail」(神は細部に宿る)で知られる。代表作にはバルセロナ・パヴィリオン [1929]、レイクショアドライブ・アパートメント [1951]、シーグラムビル [1958] など。

注 15 ユニバーサルスペース
内部の仕様方法を限定しないよう、床と天井および最小限の柱や壁で空間が構成される。



図 2.15 ファンズワース邸

出展：ファンズワース邸ホームページ [www.farnsworthhouse.org]

16) 八東はじめ：ミースという神話 ユニヴァーサル・スペースの起源、彰国社、2001

サルスペースの特徴でもある平均的で均質な空間が、世界中で同じような建築を生み出し、退屈であるとして「Less is more」というミースの言葉を引用し、「Less is bore」と評した¹⁷⁾。この言葉は、相異なる様々な事象を対象に、一つの形でそれらのニーズを同時に満足させなければならないという目的に応えることは非常に難しく、結果として形態の多様性を失うことを示している。逆に言えば、局地的な条件に対して、回答を導き出した建築はあるニーズを満たし、形態の多様性を確保することに貢献することになる。例えば、白川郷の合掌造り、モンゴルのゲルなどのある種ヴァナキュラー的な建築^{注17)}は周辺環境や生活様式について最適化された結果であり、身体性や地域性を帯びた建築と言える(図2.17)。

ここで、建築において変化を許容することと最適化にはトレードオフの関係性が成り立つ。個々人で異なる身体情報には潜在的なニーズが含まれており、ある局地的な条件を生み出すと仮定すると、これに応えることによってニーズを満たし、形態の多様性を確保できる可能性があるが、一方で身体の変化を許容することができなくなる。身体情報を建築に活用するには、個別性と変化の許容という相対する問題点を如何にして解決するかが求められる。

注16 ロバート・ヴェンチューリ (Robert Venturi) [1925]
代表作に母の家 [1963]、著書に建築の多様性と対立性 [1966]、ラスベガス [1972] など。

注17 ヴァナキュラー建築
地域に根づいた非職業性、風土性を伴う建築のこと。バーナード・ルドフスキーの驚異の工匠たちでは、魔術性、慣習性、非均質性、身体性、曲線、非視覚性も要素として取り上げられている。



図 2.16 シーグラムビル内観

出展 : 375 [http://www.375parkavenue.com]



図 2.17 地域性を反映した住宅の例 (白川郷の合掌造りとモンゴルのゲル)

出展 : Wikipedia

17) ロバート・ヴェンチューリ, 伊藤公文訳: 建築の多様性と対立性, 鹿島出版会, 1982

2.5 身体に関する建築分野の研究

1950年代以降、身体を一つの学問として工学的にとらえようとする動きが出てきた。主に人間工学と呼ばれる分野であり、人間と機械的性能両者のバランスをとりながら全体の性能を上げていこうとするものである。一般的には工業製品（プロダクトデザイン）の分野において、身体に適合する形状を開発することを目的として行われ、エルゴノミクスなどの概念が生まれた。しかし建築では、直接的に触れる視覚やなどの認知を含めた、より多角的なアプローチの研究が行われている。

2.5.1 建築計画分野における身体の扱われ方

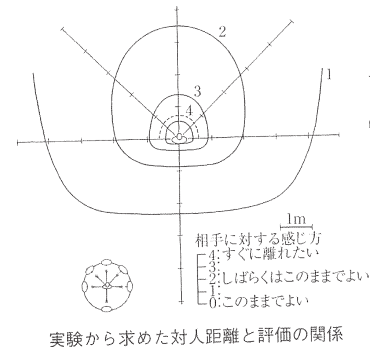
前述のとおり、建築計画および建築設計における身体の活用に関する研究は、『建築設計資料集成』に結実していると言える。前述のノイフェルトらがまとめた『Bauentwurfslehre』を参考に、1942年の初版の発行以降、時代に合わせて改訂され、現代にいたるまで建築設計における教科書として広く使用されている¹⁸⁾、¹⁹⁾。

これを支えていたのが、「建築計画」系の研究であり、1950年代ごろから単位空間に関する研究、1960～70年代には空間認知や建築空間における人間の行動に関する研究が高橋らを中心によって行われる。その後、西出・初見らによってパーソナルスペースや印象評価、領域の認知など、認知や心理学を背景とした建築に関する研究が盛んに行われた²⁰⁾（図2.18, 2.19）。2003年に発売された『建築設計資料集成—人間』はこれらの研究を網羅的にまとめたものといえる。

2.5.2 人間工学としての発展

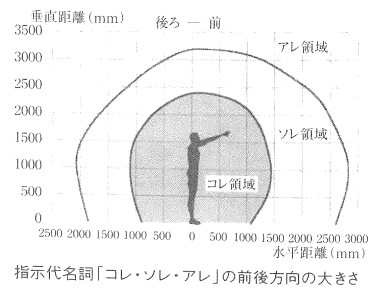
人間工学の概念は商工省工芸指導所に源流があると言われており²¹⁾、単にデザイン性を高めるだけでなく、使い勝手の向上を図ろうとした。この背景には、同所の顧問として招かれたブルーノ・タウト（Bruno Julius Florian Taut）^{注18}による影響が大きいとされる。タウトの指導は1999年に制定された「人間中心設計プロセス」の基本構想に生かされている。その後、製品科学研究所に改組された際に、人間工学技術が一つの柱に据えられ、温熱環境や、歩行動作、負担や疲労など、生理的な面から研究が進み、生活、医療、福祉の分野との連携が計られた（図2.20）。

さらに、現在の産総研で行われている生活支援技術に関する研究は、1974年に『産業構造の長期ビジョン』の中でうたわれた、「国民生活の質的充実を図ることに貢献できる基盤の確立」を背景としてスタートし、現在に到るまで中心的役割を担っている。2000年代に入ると、情



実験から求めた対人距離と評価の関係

図2.18 パーソナルスペース
出展：コンパクト設計資料集成第3版



指示代名詞「コレ・ソレ・アレ」の前後方向の大きさ

図2.19 コレ・ソレ・アレ領域
出展：コンパクト設計資料集成第3版

注18 ブルーノ・タウト {Bruno Julius Florian Taut} [1880 - 1938年] ドイツ出身の建築家。代表作に鉄のモニュメント [1910], ガラスの家 [1914] など。



図2.20 椅子デザインのための姿勢計測 (1958年)
出展：文献12 図2より引用

18) 藤田金一郎：建築設計資料集成の経過とその回顧（建築設計資料集成の改訂）建築雑誌 100 巻 1233 号, pp2-5, 1985.05.20

19) 田中辰明：建築設計資料集成と Ernst Neufert の Bauentwurfslehre について（建築設計資料集成の改訂）建築雑誌 100 巻 1233 号, pp23-24, 1985.05.20

20) 高橋鷹志、長澤泰、西出和彦 編：シリーズ：シリーズ〈人間と建築〉1 環境と空間、朝倉書店、1999

21) 堀田明裕：人間要因から見たデザイン研究の方向（工芸指導所等の歴史から）、一般財団法人工芸財団ホームページ

報通信技術と技術高齢化社会における問題解決が重点的に取り組まれ始めた。

2008年には、サービス工学センターが設立され、“サービスの受け手は人間であり、その受け手に適合したサービスを設計するための研究開発を同センターでは遂行する。これまでの人間工学の対象であった製品利用に比べて、サービスは、より個人の違いまた、同一個人であっても状況による違いの影響が大きく、このための新たな方法論の構築が期待される”²²⁾と記述されており、個々人の価値観や情報に即した研究開発の重要性が今後の大きな流れになることが予測される。

22) 赤松 幹之, 吉岡 松太郎: 工芸指導所から産総研に至る産業技術としての人間工学研究のあゆみ, 日本人間工学会大会講演集, 第45巻特別号, pp.22-25, 2009

2.6 第2章 小結

人々は古代から人間の身体に美的な価値を見出し、建築においてメタファーとして現代でも用いられている。また、身体のもつ機能性は、世界各地で様々な寸法体系として結実し、機能的かつ多様な形態を生み出していた。

しかし、18世紀半ばから19世紀にかけて起きた産業革命およびSI単位系の登場によって国際化が進む中で、従来の建築が持っていた身体性や地域性は徐々に失われていく。そのなかで、ル・コルビュジェは身体と比例の関係性に美しさを見出し、モデュロールを開発する。元々のモデュロールはフランス人の体格が考慮されていたが、国際的な単位系への展開を睨んで数値が変更された。また、丹下健三は当時の日本人の平均身長1650mmを基準としてモデュロールを生成し、広島平和記念資料館において人間の尺度を持った踊り場が生み出される。しかし、いくつかのプロジェクトを経ていく中で、当時大量生産へと移行する工業規格との折り合いが図られることになる。また、丹下研究室というチーム内での共通言語や、自由と秩序を共存させるためのツールとしての側面が強くなる。

一方で、1950年代に入ると、建築計画の研究が盛んになり、建築空間と人間の関係性に着目した単位空間の研究、認知や心理学を取り入れた研究が行われ、これらは建築設計資料集成へと結実する。2003年には『建築設計資料集成—人間』が出版され、人間と建築における状況の体系化が網羅された。同じくして、コンピュータを用いた動的な建築設計資料集成の可能性が提示され、人間の動作をデザインツールとして用いる手法や、建築とのインタラクションに用いようとする動きが活発化していくが、これらの変化には情報通信技術の進歩が大きく関係している。

また、本来個別性を生み出すための与条件としての身体や生活様式が、時間の経過によって変化するという問題点について、ミースのユニヴァーサルスペースとヴァナキュラー建築を取り上げ、現時点での手法の限界点を示した。

以上より、本章では、建築における身体の関係性について、美的な感覚を建築に応用しようとするメタファーとしての身体と、人間の身体に即した建築をつくるための道具としての身体について、建築の歴史においてどのように扱われてきたかを明らかにした。これによって、古代から現代にいたるまで機能性と美的価値の両面を含む存在として人間の身体を位置づけ、建築における身体の普遍的な価値を明らかにした。また、現代に至るまでの身体に関する研究の大きな流れを示し、今日的な問題である高齢化や情報化を背景とした問題解決の必要性和、個々人のニーズを反映するための手法の構築の必要性を明らかにした。

第2章 参考文献リスト

- 1) ウィトルウィウス著, 森田慶一訳: 東海選書 ウィトルウィウス建築書 <普及版>, 東海大学出版会, 1979.09.28
- 2) 酒谷幹将, 岡本賢吾, 門内輝行: 建築作品にみるメタファーの類型化と構造分析, 建築設計におけるメタファーの解読と生成 (その1), 日本建築学会計画系論文集, 第685号, pp.527-536, 2013.3
- 3) 石川英輔: ニッポンのサイズ - 身体ではかる尺貫法 -, 淡交社, 2003.8
- 4) 布野修司, 前田尚美, 太田邦夫, 内田雄造, 上杉啓, 浅井賢治, 勝瀬義仁: 東南アジアの都市と住居に関する研究 その18, バリ島の住居システムとコスモロジー 身体と寸法システム, 日本建築学会関東支部研究報告集, pp.273-276, 1983.7
- 5) 布野修司: 地域の生態系に基づく住居システムに関する研究 (1)- 東南アジアにおける伝統的住宅生産技術と自助 (Self-help), 住宅建築研究所報 No. 8, 1982.3.31
- 6) 大口見央: 神話とモダニズムーバウハウス・プロジェクトー一九一九—一九九九, 『10 + 1』NO.17, INAX 出版, 1999.6
- 7) ル・コルビュジェ 著, 吉阪隆正 訳: モデュロール I, 鹿島出版会, 1976.11.5
- 8) ル・コルビュジェ 著, 吉阪隆正 訳: モデュロール II, 鹿島出版会, 1976.12.1
- 9) 日本建築学会: モデュール割りとは建築生産の工業化, 1964
- 10) 丹下健三: 新建築, 広島計画 1946 ~ 1953 とくにその平和会館の建設過程, 1954.1
- 11) 豊川斎赫: 丹下健三研究室の理論と実践に関する建築学的研究, 東京大学博士過程学位論文, pp.71 ~ 81, 2007.04.19
- 12) 豊川斎赫: 群像としての丹下研究室—戦後日本建築・都市史のメインストリーム—, オーム社, 2012.5.9
- 13) 水谷晃啓: 丹下健三研究室のアーバン・デザイン手法の再評価と応用 - コンピュータを用いた手法の今日的意義に着目して -, 芝浦工業大学博士過程学位論文, pp.12-22, 1976.12.1
- 14) 池辺陽: デザインの鍵—人間・建築・方法 -, 丸善, 1996.10
- 15) 難波 和彦 (著), メディア・デザイン研究所 (編): 建築の四層構造—サステイナブル・デザインをめぐる思考 (10+1series), INAXo, 2009.3
- 16) 八束はじめ: ミースという神話 ユニヴァーサル・スペースの起源, 彰国社, 2001
- 17) ロバート・ヴェンチューリ, 伊藤公文訳: 建築の多様性と対立性, 鹿島出版会, 1982
- 18) 藤田金一郎: 建築設計資料集成の経過とその回顧 (建築設計資料集成の改訂) 建築雑誌 100 巻 1233 号, pp2-5, 1985.05.20
- 19) 田中辰明: 建築設計資料集成と Ernst Neufert の Bauentwurfslehre について (建築設計資料集成の改訂), 建築雑誌 100 巻 1233 号, pp23-24, 1985.05.20
- 20) 高橋鷹志, 長澤泰, 西出和彦 編: シリーズ: シリーズ〈人間と建築〉1 環境と空間, 朝倉書店, 1999
- 21) 堀田明裕: 人間要因から見たデザイン研究の方向 (工芸指導所等の歴史から), 一般財団法人工芸財団ホームページ
- 22) 赤松 幹之, 吉岡 松太郎: 工芸指導所から産総研に至る産業技術としての人間工学研究のあゆみ, 日本人間工学会大会講演集, 第 45 巻特別号, pp.22-25, 2009

第2章 図版リスト

- 図 2.1 ギリシャ建築における各オーダーの比較
出展: Interior Zukan [http://i-zukan.net]
- 図 2.2 レオナルド・ダ・ヴィンチが描いたウィトルウィウスの人体図
出展: Wikipedia
- 図 2.3 様々に描かれた人体図
出展: Die Quadratur des Kreises als Näherungslösung [http://www.pimath.de/quadratur/beispiel_proportion.html]
- 図 2.5 各地域の寸法体系
出展: 建築設計資料集成
- 図 2.4 身体を用いた寸法
出展: 建築設計資料集成
- 図 2.6 バリ島の住居における身体を用いた各種寸法の決定方法
出展: 文献 4) 図Ⅲ -3-11 及び図Ⅲ -3-13 より引用
- 図 2.7 ジーデルンク建設にプレファブリケーションが用いられた様子
出展: monumente-online [http://www.monumente-online.de]
- 図 2.8 Neufert の人体図
出展: 建築設計資料集成
- 図 2.9 モデュロール
出展: 文献 7.8
- 図 2.10 ユニテ・ダビタシオン
出展: Wikipedia
- 図 2.11 平和祈念資料館における社会的尺度と人間的尺度
出展: Arch-Hiroshima [http://www.arch-hiroshima.net/]
- 図 2.12 GM モジュールに採用された 2ⁿ
出展: 文献 14 より
- 図 2.13 建売住宅地
出展: Wikipedia
- 図 2.14 人間の身体の変化と多様性
出展: 積水ハウスホームページ [www.sekisuihouse.co.jp]
- 図 2.15 ファンズワース邸
出展: ファンズワース邸ホームページ [www.farnsworthhouse.org]
- 図 2.17 地域性を反映した住宅の例 (白川郷の合掌造りとモンゴルのゲル)
出展: Wikipedia
- 図 2.16 シーグラムビル内観
出展: 375 [http://www.375parkavenue.com]

図 2.18 パーソナルスペース

出展：コンパクト設計資料集成第3版

図 2.19 コレ・ソレ・アレ領域

出展：コンパクト設計資料集成第3版

図 2.20 椅子デザインのための姿勢計測（1958年）

出展：文献 12 図 2 より引用

第3章 情報通信技術の進歩と建築

3.1 第3章 概要

本章では、技術と建築の関係性のうち、歴史が浅く、体系化されていないコンピュータやインターネットなどの情報通信技術の進歩が建築に与えた影響について概略をまとめる。

技術が建築に与える影響を論じたものとして、レイナー・バンハム（Reyner Banham）^{注1}は『第一機械時代の理論とデザイン』¹⁾において、第2の波産業革命期におけるテクノロジーの進歩と建築表現の関係性に言及している。また、難波和彦は『建築的無意識—テクノロジーと身体感覚』²⁾において、テクノロジーが与える影響を①生産技術の回路、②設計・計画技術の回路、③生活環境の回路の3つにまとめ、生産者、デザイナー、ユーザーへの影響について考察している。そのなかで、機能主義が近代で見落としてきたものとして、テクノロジーの変化によっておきる感受性、美意識の変化を挙げている。

このように、技術の進化は、社会全体に影響を与え、無意識のうちに感受性、美意識、建築に対する評価基準を変化させていく要因である。本章では、バンハムが提唱した第一・第二機械時代を超え、1990年代初頭から始まる情報通信技術の進歩によって、建築はどのように変化するのかを近年の事例を通じて明らかにする。

注1 レイナー・バンハム（Reyner Banham）[1922 - 1988] 建築史家。著書に『第一機械時代の理論とデザイン』[1980]、『環境としての建築』[1981]など。

3.2 情報化社会と建築

1940年代にデジタル技術を用いたコンピュータが登場し、50年後の90年代には一般家庭向けにパーソナルコンピュータが普及し始めた。日本におけるコンピュータの普及率は15年の間に着実に増加し、8割に到達する³⁾(図3.1)。今やコンピュータは生活に欠かせないものとなっている。

他方、インターネットという概念は1980年頃提唱され、World Wide Web (www) の発達に伴って、様々な情報が行き交うようになり、コンピュータの進化と共に技術革新の一翼を担ってきた。日本におけるインターネットの利用者率は9割を越え、インターネットに触れない日は無いと言っても過言ではない(図3.2)。コンピュータはますます軽量・小型化し、パソコンと同等の処理能力を持つスマートフォンも急激に普及し、日常生活に溶け込み始めている。このような技術は、日常生活における様々な情報の取得を可能とし、我々の生活、さらには建築の分野にも影響を与えている。

建築の分野でも、コンピュータ上（インターネット上）に仮想（ヴァーチャル）空間を創る試みや、ソーシャルネットワークサービス（以下SNS）^{注2}から始まった試みが発見されるなど新たな空間が生まれている。

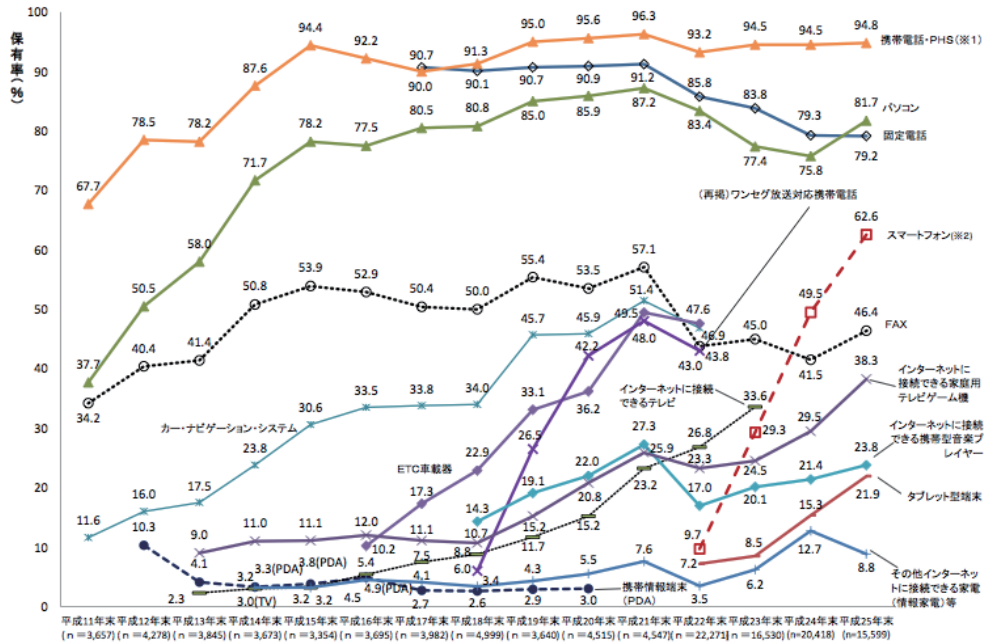
注2 ソーシャルネットワークサービス（SNS） インターネット上の交流を通して社会的な交流を提供するサービスのこと。個人レベルでの繋がりを生みやすいなどの特徴がある。例としてFacebookやTwitterなど。

1) レイナー・バンハム（著）、石原達二（訳）、増成隆士（訳）：『第一機械時代の理論とデザイン』、鹿島出版会、1976

2) 難波和彦：『建築的無意識—テクノロジーと身体感覚』、住まいの図書館出版局、1991

3) 総務省：平成25年通信利用動向調査の結果

図表1-16 主な情報通信機器の普及状況の推移(世帯)

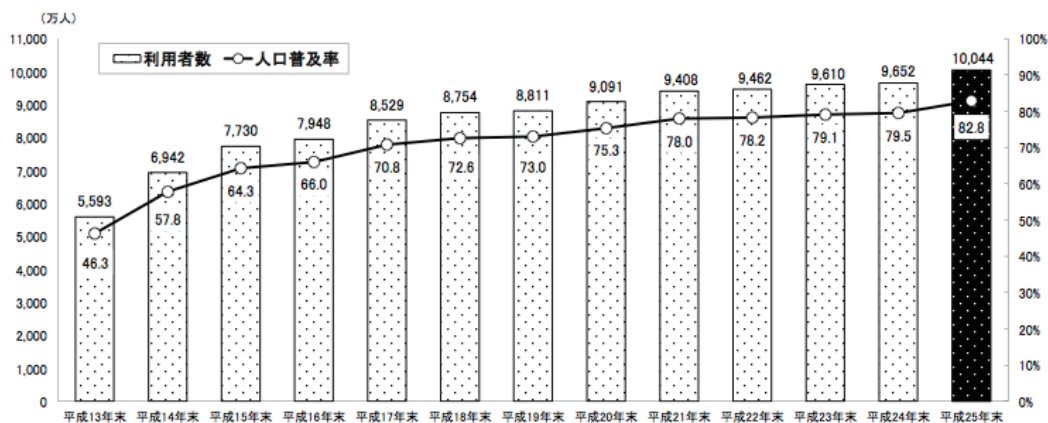


(注) 1. 「携帯電話・PHS」には、平成21年末から平成24年末までは携帯情報端末(PDA)も含めて調査し、平成22年末以降はスマートフォンを内数として含む。なお、スマートフォンを除いた場合の保有率は76.5%である。
 2. 「スマートフォン」は、「携帯電話・PHS」の再掲である。
 3. 経年比較のため無回答を含む形で集計。

図 3.1 主な情報通信機器の普及状況の推移

出展：文献3 図表 1-16 より引用

図表1-1 インターネット利用者数及び人口普及率の推移(個人)



(注) ① 調査対象年齢は6歳以上。
 ② インターネット利用者数(推計)は、6歳以上で、調査対象年の1年間に、インターネットを利用したことがある者を対象として行った本調査の結果からの推計値。インターネット接続機器については、パソコン、携帯電話・PHS、スマートフォン、タブレット端末、ゲーム機等あらゆるものを含む(当該機器を所有しているか否かは問わない)、利用目的等についても、個人的な利用、仕事上の利用、学校での利用等あらゆるものを含む。
 ③ インターネット利用者数は、6歳以上の推計人口(国勢調査結果及び生命表等を用いて推計)に本調査で得られた6歳以上のインターネット利用率を乗じて算出。
 ④ 無回答については除いて算出している。(以下、本資料に記載した結果につき同じ。)

図 3.2 日本におけるインターネットの利用者数と普及率

出展：文献3 図表 1-1 より引用

3.2.1 ユビキタス建築

ユビキタスとは、ラテン語の“ubique=あらゆるところで”を語源とし、ゼロックスパロアルト研究所のマーク・ワイザー (Mark Weiser) ^{注3} が提唱した概念である。マーク・ワイザーは理想のインターフェイスについて論じる中で、コンピュータが環境に溶け込み、利用者の意識から消えている状況をユビキタスと表現した⁴⁾。また、日本でも1984年に東京大学の坂村健^{注4}が同様の概念 TRON (TRON: The Real-time Operating system Nucleus) を発表した。「どこでもコンピュータ環境」の実現を目指し、OSの開発から建築・都市に至るまで幅広い実証実験プロジェクトが行なわれた。

近年コンピュータはますます小型・軽量・安価になり、生活のさまざまな場面で利用されている。技術の進歩に伴い、一台のコンピュータを多人数が利用する状況から、既に一人が一台のコンピュータを利用する状況を経て、一人が多数のコンピュータを利用する時代に以降しつつある (図 3.3)。コンピュータが私たちの生活に溶け込み、意識することなく利用し始めたとき、ユビキタス時代の到来といえる (図 3.4)。

一方で、多くのコンピュータが稼働することによる電力消費の問題やプライバシーの保護・セキュリティ面の問題は今後取り組むべき課題である。しかしながら、本研究の視点からは、ユビキタス社会の実現によって、個々人の生活に関する情報を蓄積し、この情報を建築設計に還元していくことによって、潜在的な個々人の要求を的確に取得することが可能になると考えられる。

3.2.1-a TRON PROJECT

TRON 電脳住宅は情報化社会における建築の可能性を探る、さきがけ的試みであった (図 3.5, 3.6)。電脳住宅にはあらゆる場所にセンサが埋め込まれ、温度や湿度、明るさ、人の有無、音量といったものを感知している。部屋が暑い場合、温度を下げるように指示すると、屋外の温度センサと部屋の中の温度センサが屋内外の温度を把握し、外気と部屋の中と比べる。外気温度が低く涼しそうな場合、もしも居住者が自然の外気を好むのであれば、冷房ではなく、風の方向も観測して、最適な方向の窓を開閉し、自然な外気を入れて部屋の温度を下げる。

坂村氏は「ここには『静的な形』はない。住宅の本質としてここにあるのは『動的な形』いわば時空間である…空間の持つ静的なリズムだけ考えるのではなく、それが変化する仕方まで合わせて、気持ちよく感じる『時空間』の創造として考えなければならない」⁵⁾と述べている。この言葉は、常に変わる空間の動的な状況を把握することによって、建築の設計に活用することを示唆していると言える。

注3 マーク・ワイザー (Mark Weiser) [1952 ~ 1999] 『The Computer for the 21st Century』 (1991) の中でユビキタスという概念を提唱した。

注4 坂村健 [1951 ~] 日本のユビキタス分野における第一人者。

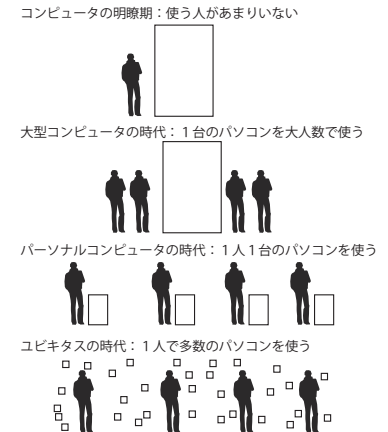


図 3.3 コンピュータと人間の関係性の変化

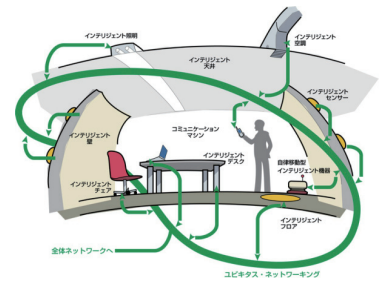


図 3.4 ユビキタスのイメージ

出展: TRON PROJECT ホームページ [http://www.assoc.tron.org]



図 3.5 TRON 電脳住宅の外観

出展: エネックス社ホームページ [http://www.ennex.jp/]



図 3.6 TRON 電脳住宅の内観

出展: エネックス社ホームページ [http://www.ennex.jp/]

4) 日本建築学会編著: ユビキタスは建築をどう変えるか, 彰国社, 2007.8

5) 坂村 健: TRON 電脳住宅 (異分野訪問), 建築雑誌, 日本建築学会 2000.9 第 115 巻 1459 号, pp.50-51

3.2.1-b ユビキタスホーム：ゆかりプロジェクト

「ゆかりプロジェクト」は2003年度から2005年度の3年間にわたり通信総合研究所によって実施されたプロジェクトで、空間の家電が統合され、その操作インターフェイスとして対話型の小型ロボットを用いている⁶⁾(図3.7)。すべての床には圧力センサが敷き詰められ、人の位置や歩いた軌跡を把握することができ、各部屋のドアの上部や廊下・キッチンに設置された赤外線の人感センサで入退室を検知し、各部屋の天井の四隅にはカメラとマイクが取り付けられるなど、ありとあらゆるセンサが取り付けられている(図3.8)。

このプロジェクトの特筆すべき点は、実際に長期間に渡って居住し、日常生活に情報通信技術が導入されるという観点から実証実験が行われた点である。生活者へのインタビューでは、すべての生活者が、「ロボットが内蔵するカメラで見られるのはいいが、天井カメラは監視されているようで嫌な気がした」という感想を述べている。またロボット型のインターフェイスに話しかけて機器を操作する手法は高い評価を得ている。このような知見は、人間、ロボットが共存する空間の計画において大いに参考になるものである。

3.2.1-c Ocha House

「Ocha House」は、2009年に完成した実験住宅で、大学内に建設されたユビキタスコンピューティング実験住宅としては、日本初である。ユビキタスコンピュータの実装と更新を考慮し、技術革新に対応できるフレキシビリティを考慮して設計され、アンビエントコンピュータ^{注5)}の概念に基づき、人の能力を支援するように働くように設計されている。この実験住宅で行われている研究は、日常生活に基づき、ファッション、美容、食事などソフト面に着目したものが多く、SNSなどを通じたコミュニケーションと、情報を基盤に幅広い実践的な研究が行われている⁷⁾。

特筆すべきは、この実験住宅は2009年度のGOOD DESIGN賞を受賞するなど、建築分野からの評価を得ている点である(図3.9, 3.10)。建築分野における工夫として、間仕切や建具を構造体と分離することでライフサイクルに合わせて柔軟に改築可能な提案をしており、スケルトン&インフィルの考えをコンピュータ、センサ、ネットワークまで広げた設計がされている。また、間伐材を利用した木製フレームには配線のための溝が用意され、天井、壁、床下に設置するコンピュータ機器やセンサ類を柔軟に接続することができるようになっている⁸⁾。こうした情報通信機器と建築のデザインを融合し、建築設計に情報通信技術という分野からの視座を与えた点は大きな貢献である。



図3.7 操作を統合するロボットインターフェイス

出展：文献6 図3より引用

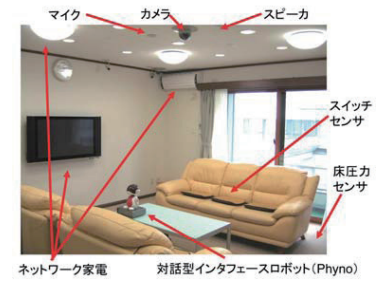


図3.8 ユビキタスホームの内観

出展：文献6 図2より引用

注5 アンビエントコンピュータ
ユビキタスでは人間側からアクションを起こしてコンピューターにアクセスすることを想定しているのに対し、アンビエントは、センサなどで機械が人間を感知し、機械から自律的に働きかけるような社会を想定している。



図3.9 Ocha Houseの外観

出展：Ocha House Project ホームページ [http://www.ocha.ac.jp/news/h211006.html]



図3.10 Ocha Houseの内観

出展：御茶ノ水大学ホームページ [www.ocha.ac.jp/news/h220730_3.html]

6) 上田 博唯, 山崎 達也: ユビキタスホーム - 日常生活支援のための住環境知能化への試み -, 日本ロボット学会誌, 日本ロボット学会, 第25巻4号, pp.494-500, 2007

7) 椎尾一郎: 日用品コンピュータエンタテインメントシステム, 制御情報学会システム制御情報学会誌, 56巻1号, pp.33-38, 2012.1

8) 元岡展久, 椎尾一郎, 太田 裕治, 塚田, 浩二, 神原 啓介, 井口 雅登: 生活者の視点を重視したユビキタスコンピューティング実験住宅の試み, 総合論文誌, 日本建築学会, 第8号, pp.77-82, 2010.1

3.2.2 ロボット技術を応用した建築・空間知能化

工業用ロボットはすでに1960年代から活躍してきたが、21世紀には、人間の生活を助ける事を期待されている。ロボットという言葉には明確な定義が無く、経済産業省のロボット政策研究会の中間報告書[2005]では、センサ、知能・制御系、駆動系の3つの要素技術があるものを「ロボット」と広く定義している⁹⁾。つまり、自動販売機や車、電気釜、洗濯機、そして工場で活躍するコンピュータ数値制御された工作機械もすべて「ロボット」である。

空間知能化はユビキタス社会の実現を前提とし、物理的な働きにつなげ、家電機器・ロボットに情報を提供し、人間を支援する事を目的としている(図3.11)。ロボット・空間・人間それぞれの間でインタラクションが起きる。単なる物理的な環境として存在していた空間に、センサを埋め込みネットワーク化することで空間を観測し、人間の行動を位置や姿勢といった三次元データとしてデータを集積する。

空間自体がインターフェイスとなり、1:1の関係を築き、人間の感覚を空間に拡張し、その人にとって好ましい環境を構築する。これまでのように、新築購入したときに一番価値が高い空間とは異なり、建築空間が人の行為や習慣を日々学習して、必要なサービスや支援を行うことで「使えば使うほど価値が上がる」空間を創造することができる⁹⁾。

3.2.2-a WABOT-HOUSE

早稲田大学の「WABOT-HOUSE 研究所」は、2001年に岐阜県の各務原市に設置された研究機関である。WABOT-HOUSE 研究所では、ロボット単体で環境の認識を行わせる従来の手法を踏襲する一方、種々のセンサを分散的に配置し、あらかじめ構造化された環境を用意することでロボットに対して空間情報のサポートを行うという新しいタイプのアプローチを積極的に採用している。

研究所の施設の一つであるB棟では、将来人間とロボットが同じ住居で共生するために必要なインフラシステムの実証的研究を行うためのモデルルーム「人間ロボット共生実験ルーム」が設置されている。床下や天井には多数のRFIDタグや室内GPSアンテナが配置されており、ロボットや家具の位置が登録されているホームサーバーと組み合わせることで環境マップをリアルタイムに生成するシステムを構築している(図3.12)。また、間仕切りや家具など、既存の生活空間要素をロボット化した場合の可能性を探っている(図3.13)。この他にも、多くのロボット研究とともに、自然環境などと調和して作業するロボットの基地である研究棟や屋外環境で作業するロボットを管理するロボットタワーといったインフラを備え、その他岐阜の地域社会との企業・人的ネットワー



図 3.11 空間知能化のイメージ
出展:文献 10

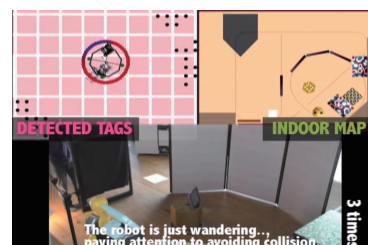


図 3.12 現実空間と連動した環境地
図

出展: [https://www.youtube.com/watch?v=q9auEH1J5Dw] よりキャプチャ



図 3.13 可動式キッチン
出展:株式会社矢島 ホームページ [http://yajimacorp.com/]

9) 経済産業省:ロボット政策研究会中間報告書, p23, 2005.5

10) 橋本秀紀, 渡邊朗子:空間知能化のデザイン 建築・ロボティクス・ITの融合, NTT出版, 2004.12

クの構築を進めるなど、将来のロボット産業化を見据えた実証的研究を勢力的に行っている¹¹⁾。

3.2.2-b 人間ロボット共生リサーチセンター

平成22年4月に誕生した豊橋技術科学大学人間ロボット共生リサーチセンターでは、21世紀の超高齢化社会を見据えたりハビリ介護ロボットの開発、キャンパス全体を活かしてロボットを開発するロボットキャンパス、人間とロボットが空間を共有するロボットハウスなどを主軸に開発を行っている^{12), 13)} (図3.14)。

センターの設立に際して設計されたロボットオープンラボは、設備機器が埋め込まれた可動式のインタラクティブウォールをはじめ、機器やセンサなどの着脱が容易に行えるように設計されている。

また、介護用のパワーアシスト機能を備えた天井ユニットなど、今後の高齢化社会を見据えて、ロボット技術と建築空間が融合した有り得べき姿を提示する (図3.15)。

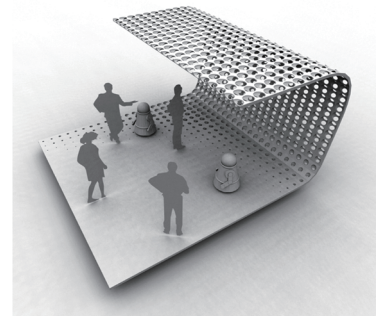


図3.14 コンセプトイメージ

出展：豊橋技術科学大学 ホームページ

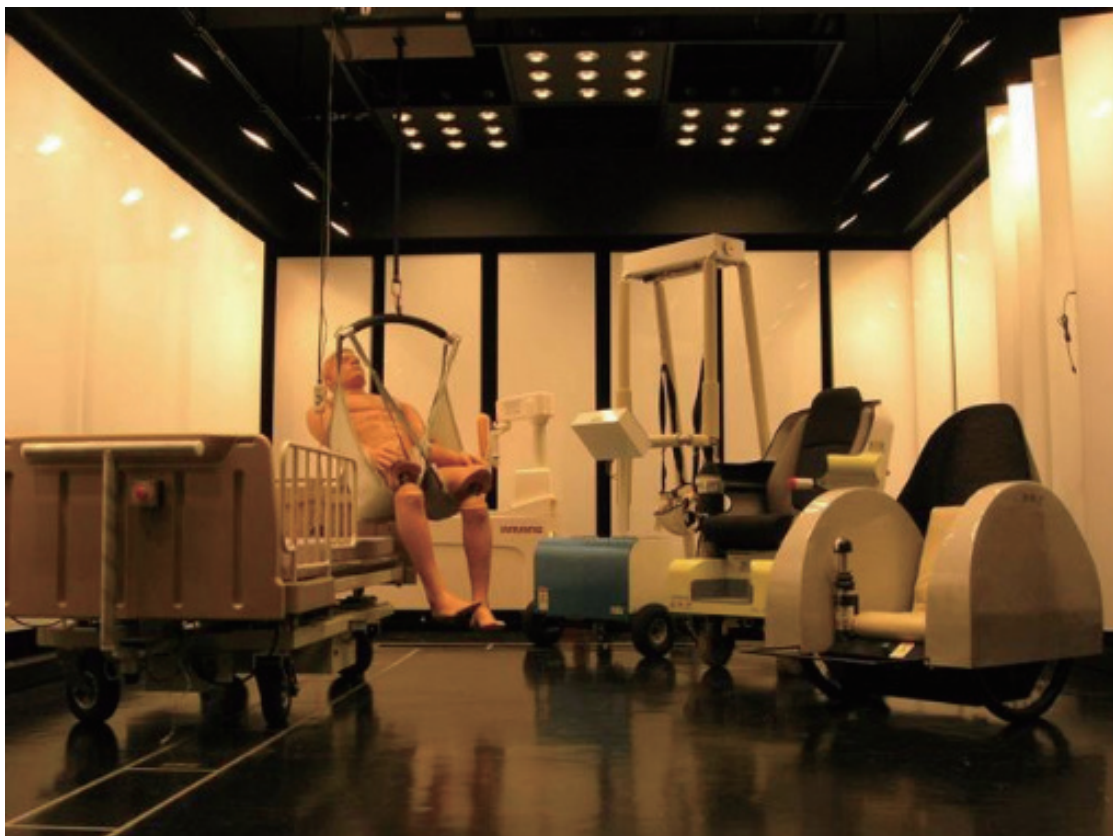


図3.15 ロボットラボ

出展：豊橋技術科学大学 ホームページ

11) 金森道, 小鷹研理, 丹羽治彦, 坂本義弘, 大竹正海, 菅野重樹: 未来型住居を想定したロボット群によるホームサービスの試み (空間知), 日本機械学会 ロボティクス・メカトロニクス講演会講演概要集, 2P1-H07, 2008.6

12) 豊橋技術科学大学 人間・ロボット共生リサーチセンタシンポジウム 2010 報告書, 2011

13) 栗山繁, 岡田 美智男, 竹中 司, 松島 史朗, 三浦 純: 人間とロボットが共生するための空間創出, ヒューマンインタフェース学会誌, 第12巻 1号, pp.13-18, 2010.02

3.2.3 ロボット化した建築

これまで建築における機械の存在は、エレベータやエスカレータ、自動ドアなど、建築の機能の一部を自動化するものだった。しかし近年のロボットやセンサ技術の発達によって、建築自体が動く、キネティックアーキテクチャやインタラクティブアーキテクチャといった概念が誕生した(図3.16)。また、動力学的な部分は生物に習うところが多くあり、バイオミメティクスといった生物の機構を模倣した建築も見られる。これらはコンピュータによって制御されており、建築とロボットが融合する過程で登場したものと位置づけることができる。

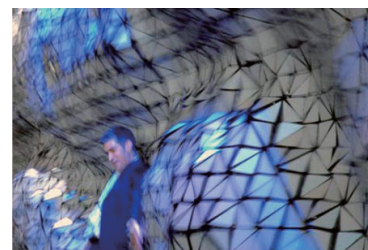


図 3.16 人を感知して動く壁

出展: Hyposurface ホームページ [<http://hyposurface.org/>]

3.2.3-a MAISON À BORDEAUX (ボルドーの住宅)

レム・コールハース (Rem Koolhaas)^{注6}によって設計されたボルドーの住宅は、脚の不自由なクライアントのために建てられた住宅で、垂直方向への移動手段となるエレベータをプログラムの中心としている(図3.17)¹⁴。エレベータは4畳半ほどの広さがあり、書斎としての機能を持っている。これまでのような移動手段としてのエレベータから空間が動くことによって、新たな可能性を提示した事例である。

注6 レム・コールハース (Rem Koolhaas) [1944-]

オランダの建築家で設計事務所OMAとその研究機関AMO主宰。ユトレヒト大学エデュカトリウム、プラダ・ニューヨーク店、福岡にネクサス集合住宅、CCTVなど。著作に『錯乱のニューヨーク』[1978]、『S, M, L, XL』[1995]など。

3.2.3-b インタラクティブアーキテクチャ

インタラクティブアーキテクチャとは、人の動きに反応する建築の事である¹⁵。これまでの静的な建築ではなく、センサをつかって人の動きを感知し、それに対して反応する動的な建築であり、前述のロボットの定義に習えば、建築型のロボットと言える。



図 3.17 MAISON À BORDEAUX

出展: OMA ホームページ [<http://www.oma.eu/>]

単に反応するだけではなく、人と建築、建築と建築、人と人など、建築を媒介としたインタラクションを起こすことを目的としている(図3.18)。



図 3.18 Neural Sky

出展: robotecture [<http://robotecture.com/>]

14) OMA, レム・コールハース, 二川幸夫: ヴィラ・ダラヴァ / ボルドーの住宅 OMA Villa Dall'Ava 1985-91/Maison a Bordeaux 1994-98, ADA エディタトーキョー, 2009

15) Fox, M. and Kemp, M.: 2009, Interactive Architecture, Princeton Architectural Press.

3.2.4 日常生活を支援するアシストロボット

ロボット技術の開発は、家庭・趣味型ロボット、人間拡張型ロボット、生活サポートロボットなど多様である。2000年頃から「ASIMO」や「AIBO」などを初めとして、様々なロボットが開発されている(図3.19)。2014年にはソフトバンクのコミュニケーション型ロボット「Pepper」が発売されるなど、確実に将来様々な形で生活空間に介入すると考えられていることから、既に各住宅メーカーはロボット分野との協働を次々に発表している。近未来の人間とロボットの共生社会は確実に近づきつつある。

3.2.4-a 生活アシストロボ

日常生活で活躍するロボットとしては、iRobot社のお掃除ロボットの「ルンバ」などが筆頭に挙げられる(図3.20)。2002年の発売開始から2006年5月までに200万台、2012年までの10年間で累計800万台が販売され、急速に一般家庭にも普及し、生活空間にロボットが導入される草分け的存在であると言える。ルンバが掃除しやすい環境状態を示す「ルンバブル(Roomba+Able)」という言葉まで登場し、既に家具のデザインや建築の空間にまで影響を与え始めている。これからの建築では、このようなロボットと共生、またはロボットが活躍できるような空間を設計する事が、結果として人間のニーズを満たす事に繋がる場合も考えられる。

介護や医療では車椅子型のロボット、被介護者の口に食事を運ぶ食事支援ロボットや後述のパワーアシストスーツ、前節に記述した設置型のパワーアシストリフトなど数多くの種類が存在する。

3.2.4-b パワードスーツ

パワードスーツとは、装着した人間の力を強化・補助するもので、既に実用化されつつある。その筆頭が筑波大学山海研究室によって作られたロボットスーツ「HAL」で、福祉や介護の現場での活躍が期待されている(図3.21)。この他、米国防総省のDARPAでは「Exoskeleton」という兵士用のパワードスーツが研究されている。動作機構は電気・モーターを用いるものの他に、空気圧によって稼働するものがある。



図 3.19 HONDA ASIMO

出展：HONDA ホームページ [<http://www.honda.co.jp/robotics/>]



図 3.20 iRobot Roomba

出展：iRobot社 ホームページ [<http://www.irobot.com/>]



図 3.21 身体機能拡張型ロボット

HAL

出展：cyberdyne社 ホームページ [<http://www.cyberdyne.jp>]

3.3 コンピュータを用いた建築設計手法

コンピュータの進化に伴って、建築の設計プロセスも大きく変化し、デザインにも変化が起きつつある(図3.22)。現在、コンピュータを用いて行われる作業はコンピューテーションとコンピュータライゼーションの2種類に大きく分けることができる。コンピュータライゼーションとは、コンピュータやコンピュータシステムを用いた、「情報の入力、処理、蓄積作業」であり、予測可能、概定、定義が予め明確な事柄やプロセスをデジタル化することを示す。一方、コンピューテーションとは、数学的、理論的に何かを決定する計算手続きであり、不確定、不明瞭、曖昧、定義が困難な課程についての探求する意味を含む。人間の知的な活動(合理化、推論、論理、アルゴリズム、演繹、帰納、外挿、探索、推定)を再現し、拡張することを目指している。

両者は明確に区別できるわけではないが、コンピュータライゼーションを自動化・効率化を目的としたもの、コンピューテーションをコンピュータにしかできないこと、思考の拡張を目的としたものと捉えて説明する。加えて、インターネットの発達に伴って可能となったオンライン上でのコラボレーションによる建築設計についても概略を述べる。

3.3.1 コンピュータライゼーション - CAD から BIM へ

建築分野におけるコンピュータの利用は生産の現場から始まり、設計に影響を与えるCADの歴史は1940年代に軍事的な目的からMITが開発したコンピュータに端を発している。「WhirlwidProject」において世界初の点描画によるComputer Graphicsが完成し、1963年にはMITのサザーランド(I.E.Sutherland)^{注7}がライトペンを使用してCRT上に直接2D図形の描けるインタラクティブな作図システム「Sketch Pad」を発表する。1990年代前半には、2次元CADから三次元CADに移行し始め、1990年代後半には、CPUの高速化・高性能によって、CADが普及していく。これによって、手描きで行われていた作業がコンピュータへと移行し、図形の繰り返し描画や情報共有が効率化された。

一方、BIMは正式名称をBuilding Information Modelingといい、コンピュータ上で意匠、構造、設備に至るまで全てを三次元で設計し、建築デザインの質の向上および建設作業の効率化をはかるものである¹⁷⁾。¹⁸⁾ BIMは建物の形状を定義する三次元の形状情報を持ち、そのモデルに属性というさまざまな建築情報を持っている(図3.23)。三次元モデルのオブジェクトが持つ情報は、建築の要素(扉、壁、窓、柱)、構造・材料(木造、RC、鉄骨)、仕上げ(壁紙、塗料)、さらには機器(冷凍機、空調機、ポンプ)、コスト(値段、単価)、保守履歴に至るまで多岐に渡る。BIMは実際の建物と同等のものを仮想空間上に作ることによって、



図3.22 コンピュータを用いたデザインの例

出展:morphosis ホームページ [http://morphopedia.com/]

注7 アイバン・エドワード・サザーランド(Ivan Edward Sutherland) [1938-] アメリカの計算機科学者で、インターネットの先駆者の1人。

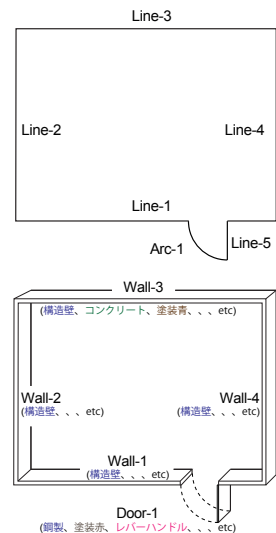


図3.23 CADとBIMの概念の比較図

16) 榎井孝暢: 建築とコンピュータライゼーションの関係と歴史について - CADの歴史の体系化を通じて-, NOIZ ARCHITECTS E&R 研修論文, 2014

17) 日建設計 山梨知彦: BIM 建設革命, 日本実業出版社, 2009

18) 吉田信之: A+U 建築と都市 2009年8月臨時増刊「BIM元年 - 広がるデザインの可能性」, 株式会社エー・アンド・ユー, 2009.8

設計から施工に至るまでの不整合やミスの根絶、シミュレーションから設計へのフィードバック、コストの透明化などを可能とし、様々な技術のプラットフォームと成り得る存在である^{注8} (図 3.24)。

海外では急速に普及が進み、公共工事でも BIM を用いたフォーマットを用いることが要件になっている。日本でも認知度は年々高くなってきており、大手ゼネコン、設計事務所でも取り入れ始めている。また、コラボレーションと IT 化を生かし、仮想の敷地にインターネットを介して世界中から案を募集する「BIM ストーム (BIM Storm)」という試みも行われている。

- 注8 ジョージア工科大のチャールズ・イーストマンが提唱する長所
- ・パラメトリック・モデルからの自動的な2次元図面の作成
 - ・強化されたビジュアルライゼーション
 - ・クラッシュ・ディテクション (干渉チェック)
 - ・製作の簡便化
 - ・モデルを使った解析
 - ・シミュレーション能力
 - ・三次元モデルへの知識の埋め込み
 - ・レーザーによる立体スキャンや、エネルギーの消費分析や、消費状況の追跡調査など、様々な技術との親和性

3.3.1-a 豊橋技術科学大学新学生寮とブリッジ

豊橋技術科学大学新学生寮とブリッジの建設では、BIM を使用した設計が行われた (図 3.25)。2009 年 3 月に竣工した。平面図、立面図、断面図で生じる矛盾を無くすことができ、細かい部材やデータを矛盾なく合わせ、3D のデータとして統括するため、整合性に優れていることが分かった。そして、学生寮とブリッジのデータを BIM によりストックしたことで、三次元でのデータ管理により大学の施設管理・運営の効果も上がると期待されている¹⁹⁾。

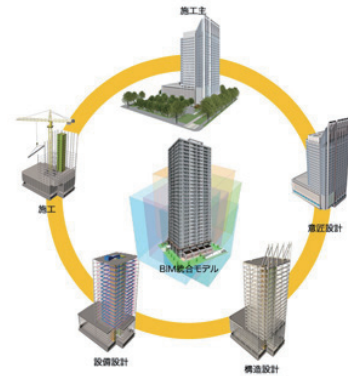


図 3.24 BIM の持つ統合性

出展: Autodesk ホームページ [http://bim-design.com/]

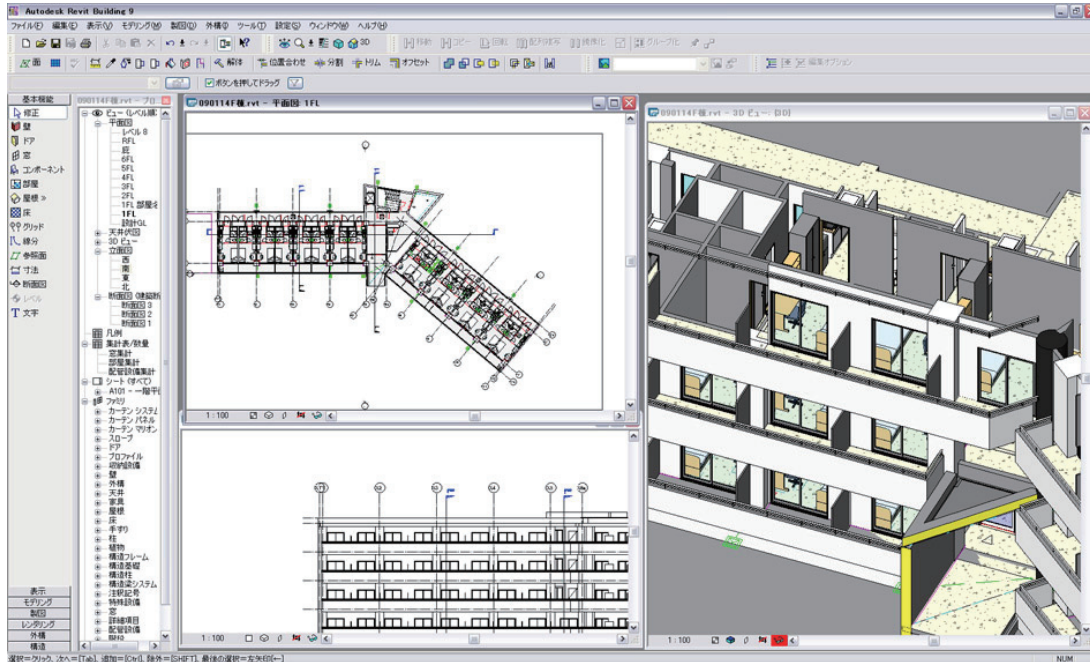


図 3.25 BIM を用いた学生寮の設計

出展: 文献 19

19) 佐々木大輔: BIM を利用した建築設計の有効性の検証 - 豊橋技術科学大学マスタープラン策定と学生寮、ブリッジ建設に伴う BIM 効果の検証 -, 豊橋技術科学大学 修士課程学位論文, 2008

3.3.2 建築におけるコンピューテーショナルデザイン - アルゴリズムとパラメータ -

コンピュータの能力を建築設計に活用しようとする動きは、アメリカを中心に始まった。コロンビア大学でバーナード・チュミ (Bernard Tschumi) ^{注9} が始めたペーパーレススタジオは、コンピュータが建築設計にこれから大きな影響を与えることを示唆したものであり、コンピュータにしかできないことを探ろうとしたものであるとも言える。コンピュータのプログラムはアルゴリズム(ルール・規範)とパラメータ(変数)によって動作する。このコンピュータの特性は、建築設計にも受け継がれ、それぞれアルゴリズムックデザインやパラメトリックデザインという言葉に表出している。

アルゴリズムックのアルゴリズム (algorithm) の起源はアラビア語であり、8世紀のペルシャ人数学者アル=フワーリズミー (al-Khwārizmī) ^{注10} によって作られた概念で、「もし(if), そうであれば(then) さもなければ (else) という論理演算で構成された有限のステップで問題を解くための手続きとされる ²¹⁾。つまり、解を求める為の人間の思考を外に書き出したものがアルゴリズムであるといえる。既に知られている問題を解くための方法でもあり、あまり知られていない問題について確立的に高いものを求める事もできる。コンピュータを用いたアルゴリズムは、大量計算を可能にし、コンピュータに計算させるために、スペリングや文法、演算子などを正しく、明確に記述する必要がある事で厳密さと他者性を確保することができる ²²⁾。よってあるルールに基づいて多様なパターンを生成することなどが可能となる (図 3.26)。

一方、人間特有の性質ともいふべき、曖昧性、不明瞭性、両義性が欠落する。アルゴリズムを構成する言語表記は明確な性質を持っていてもアルゴリズムの結果までが必ずしも明確な性質を持つとは限らない。つまり、コンピュータを用いたアルゴリズムックデザインは、様々な条件や手順を書き出し、必要条件を満たす解を生成する。その結果が多岐に渡ったとしても、それを評価するための十分条件を加えることでそれらの検証を可能にし、より高次の解へ至ることができる。

パラメトリックデザインのパラメトリック (parametric) とは、ギリシア語では $\pi\alpha\rho\alpha\mu\epsilon\tau\rho\iota\kappa\omicron\varsigma$ を語源とし、「側に、近く、超えた」を意味する「para」と、「測りの」を意味する「metrikos」から成り、測ったものの近く、測ったものを超えたという意味になる。よって、ある値の近く、ある値を超えた部分を意味し、名詞であるパラメータ (parameter) は、一般的には変更し得る値、変数と理解される ²³⁾。

注9 バーナード・チュミ (Bernard Tschumi) [1944 -] スイス出身の建築家、都市計画家。世界各国の大学で教鞭をとる。代表作にラ・ヴィレット公園 [1982] など。

注10 アル=フワーリズミー (al-Khwārizmī) [9世紀ごろ] アルゴリズムは『algoritmi de numero Indorum』という書の冒頭に「algoritmi dicti (アル・フワリズミーに曰く)」という一節があることに由来する。

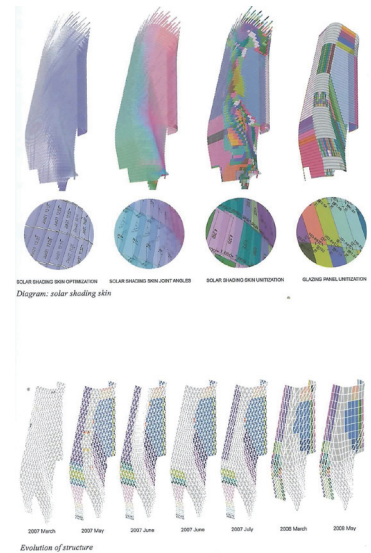


図 3.26 アルゴリズムによって制御されるパネルパターン
出展 : GA MORPHOSIS RECENT PROJECT

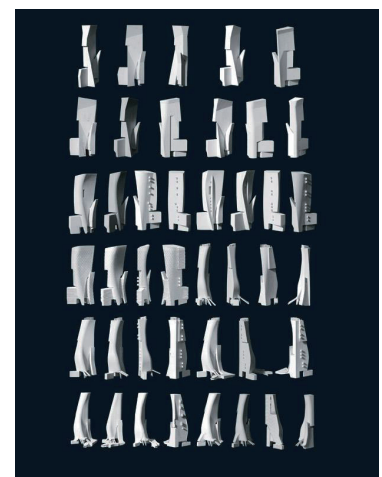


図 3.27 パラメーターを変えてスタディをする様子
出展 : morphosis ホームページ [http://morphopedia.com/]

20) GA : MORPHOSIS - RECENT PROJECT, GA, 2010

21) 日本建築学会 編: アルゴリズムック・デザイン 建築・都市の新しい設計手法, 鹿島出版会, 2009.3

22) コスタス・テルジディス著, 田中浩也監訳, 荒岡紀子・重村珠穂・松川昌平訳: アルゴリズムック・アーキテクチャ, 彰国社, 2010

23) 平本 知樹: FabChair - パラメトリックモデルと連動した物理的な家具デザイン支援ツールの研究 -, 慶応義塾大学, 修士課程学位論文, 2011

パラメトリックデザインは、ある値を変化させながらデザイン操作を行う（図 3.27）。どのような値を、どれくらい変化させるかという行為は、アルゴリズムの規範性に対して、多様性を生むといえる。建築で用いられる主なパラメータは構造解析、日影、CFD^{注11}、温熱環境などで、これらを設計の変数として扱いながらデザインを行う。

つまり、パラメータで多様性を、アルゴリズムを用いて規範性を確保し、それらの相互作用の中から最適解となる形状をコンピュータを用いて算出する。このような設計手法はコンピュータの得意とする量の計算や、厳格さ、明確さを活かしたもので、後述するデジタルファブリケーションを含めた一連の設計プロセスは、技術の進歩によって成立するこれまでにない建築設計手法と言える。

3.3.2-a Nordkettenbahn Cable Railway Station - Zaha Hadid

ザハ・ハディド (Zaha Hadid)^{注12} が設計したオーストリアのインスブルックの北方連邦に登るケーブル鉄道の4つの駅をデザインした Nordkettenbahn Cable Railway Station のプロジェクトは、同じ形態様式を保ちつつ、それぞれの持つ多様なパラメーターを取り込むことでデザインされている（図 3.28）。

統一性を持たせるためのプログラムに、それぞれの持つ固有の文脈、地形、高度、動きなどの敷地状況を適応させており、4つの駅はケーブルカーの軌道の傾斜と比率が大きな決定要因となっている。コンピュータを用いて決定されたデザインはCNCフライス盤による切削加工や、熱成形などの工法で正確さを保ちつつ、自動的に実際の建物の部品へ加工された。

3.3.2-b fluid vase

fluid vase は、落ちてくる液体を高速カメラで観察し、シミュレートされた動作のパラメーターを操作することにより、自分好みの花瓶をデザインすることができる（図 3.29）。パラメーターとして操作できる項目は、液体を落下させる器の形状、落下させる位置、落下させる量、そして時間である。

ユーザーはこのようなパラメータを操作することで、自分好みのデザインを選択し、そのままオンライン上で発注、3Dプリントしたものを受け取ることが出来る。このようなデザイン手法は、人間の手では生み出すことが難しい、自然のルールが持つ美しさをそのままデザインへ応用する試みである。

3.3.2-c sketch chair

sketch chair は簡単なユーザインタフェースで、自分だけのオリジナルの椅子をデザインすることができるシステムを提案している（図 3.30）。従来、椅子のような家具のデザインは、3次元的な形状デザイ

注11 Computational Fluid Dynamics (CFD)

流体力学をコンピュータで解くことによって流れを観察する数値解析・シミュレーション手法。航空機・自動車・鉄道車両・船舶等さまざまな用いられる。建築では主に空気の流れをシミュレーションする際に用いられる。

注12 ザハ・ハディド (Zaha Hadid) [1950 -]

イラク出身の建築家。初期はアンビルト建築家と呼ばれるが近年技術の進歩によって次々作品が竣工。代表作にヴィトラ社工場・消防ステーション [1993]、国立 21 世紀美術館 (MAXXI) [2010] など。



図 3.28 4つの敷地で異なる形状の駅

出展 : arcspace.com [http://www.arcspace.com/features/zaha-hadid-architects/nordpark-cable-railway/]

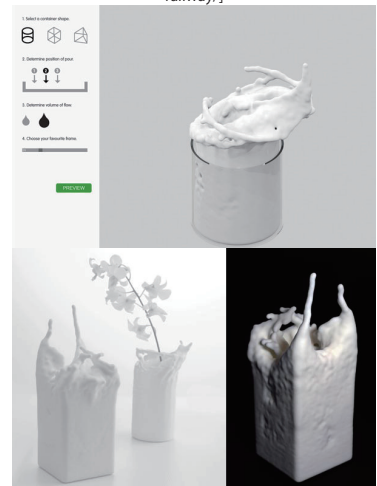


図 3.30 fluid vase

出展 : fungkwokpan [http://www.fungkwokpan.com/index.html]

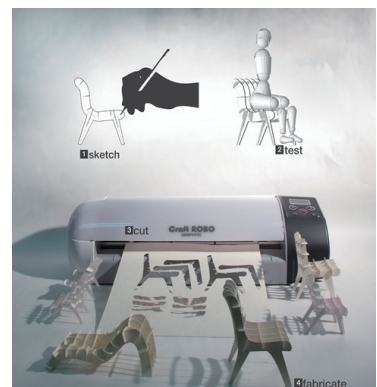


図 3.29 SketchChair

出展 : SketchChair [http://www.gregsaul.co.nz/SketchChair/]

ンスキルや、椅子の構造・バランスについての知識などが必要であり、素人にとって、きちんと座れる椅子をデザインすることは困難であった。ここでは、専門的な知識をもった専門家に代わって、システムがユーザのデザインプロセスをサポートすることで、素人によるデザインを可能としている²⁴⁾。

ユーザが画面にデザインしたい椅子の輪郭をスケッチすると、自動的に三次元の椅子が生成される。生成された椅子については、仮想的に人間を座らせることですわり心地やバランスを試すことができる。構造的に成り立たないものは倒れたり、人間のモデルはいくつかのモデルが用意されており、自分に近い体格のものを選ぶことができる(図3.31)。また、自動的に平面の板の型からなる設計図が生成され、その設計図にしたがってレーザーカッターにより板を切断して組み立てることで、実物の椅子を製作することができる。このようなプロセスでは椅子をデザインした経験のない素人のユーザでも簡単に椅子をデザインできる。

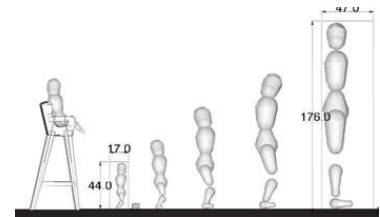


図 3.31 SketchChair 上でシミュレートできる人体

出展: SketchChair [http://www.gregsaul.co.nz/SketchChair/]

3.3.3 ネットワークを介した共同設計手法

インターネットが登場によって距離の制限を超えた協働が可能となり、ウィリアム・J・ミッチェル (William.J.Mitchell)^{注13} が提唱した分散型の遠隔地設計教育 Virtual Design Studio (以下 VDS) はすでに実現の域に達している。オンライン上での建築設計も一般化し始め²⁵⁾。Arup 社はネット上問題解決のための専門サイトを保有し²⁶⁾、Bjarke Ingels Group のオフィスは 24 時間各地がテレビ電話で繋がれている。

3.3.3-a 技科大 - 高専連携 VDS

高専の建築学科および土木学科における教育環境の調査の結果、土木学科において建築教育を行う人材不足や、地方の高専での距離的な制約による情報の不均衡などが明らかになり、VDS を利用する可能性が示された。本学では VDS の概念を空間にまで拡張し、両面の壁面いっばいにプロジェクターで投映することによって、視覚的に遠隔地にある空間同士を繋げることを試みている(図3.32)。

3.3.3-b Build Live Tokyo

限られた時間内に、BIM を活用して建築を提案するコンペティション。審査の方針には、解析の結果をどのようにデザインにフィードバックさせたか、BIM の可能性を広げる試み、データの連携など BIM ならではの評価基準が設けられている(図3.33)。作品をウォークスルーして評価するなど、時空間としての評価も取り入れられ始めている。

注13 ウィリアム・J・ミッチェル (William.J.Mitchell) [1944 ~ 2010] マサチューセッツ工科大学 (MIT) 建築・都市計画学部の学部長などを歴任。未来都市理論で世界の第一人者。著書に『The Logic of Architecture: Design, Computation, and Cognition』[1990], 『City of Bits: Space, Place, and the Infobahn』[1995] など。



図 3.32 技科大, 小山高専, 大分高専の3箇所を結んで行われた VDS



図 3.33 BLT 学生チームの最優秀賞

出展: Built Live Tokyo [http://bltkyo2010.seesaa.net/]

24) Greg Saul, Manfred Lau, Jun Mitani, and Takeo Igarashi: "SketchChair: An All-in-one Chair Design System for End-users", the fifth International conference on Tangible, Embedded and Embodied Interaction (TEI2011), Jan. 23-26, 2011, Portugal.

25) 寺井 豊, 松島 史朗, 竹中 司, 岩田 翔士: 遠隔地設計教育による体験型デザイン課題の実施システムと環境についての研究 - VDS の展開, Media Engineering Laboratory の開設と運用を通して - 日本建築学会技術報告集第 20 巻 46 号, pp.1131-1136, 2014

26) Arup Japan—建築のトータル・ソリューションをめざして: 櫻橋 修, 鍋島 憲司, 田中 陽輔, 誠文堂新光社, 2009

3.4 コンピュータの進歩による生産技術の変化

技術の進歩は生産の現場にも変革をもたらしこれまで手で行われてきた作業を機械で置き換えるオートメーション（自動化）が進んだ。自動化は、同じ動作を繰り返すことを得意とし、その歴史マスマプロダクションの歴史と重なる。しかし、コンピュータの進歩によって、複雑な形状が生成されるに伴ってCAM^{注14}も発展し、多様かつ複雑な形態を製作することが可能となった。

さらに、コンピュータがパーソナル化はじめると、生産（ものづくり）にもパーソナル化を推し進めようとする流れが発生する。ニール・ガーシェンフェルド（Neil Gershenfeld）^{注15}は著書『FAB』の中で、コンピュータやネットワークを取り入れた個人によるものづくりを予見している²⁷⁾。その後、ガーシェンフェルドらによって設立されたFab Labは2013年現在で世界50か国以上に200カ所以上、日本でも10ヶ所以上誕生し、パーソナルファブ리케이션に対する需要の高まりを証明している。本研究室でも2008年に、3Dプリンタやレーザーカッターなどを装備した、建築ものづくり工房、「Data2Form Laboratory」を立ち上げた²⁸⁾（図3.34）。このような変革は、少品種大量生産型の社会から、多品種少量生産型の社会への変遷を促すものと言える。

3.4.1 コンピュータ化された生産機器—デジタルファブ리케이션

1951年、MITにて工作機械であるNCフライス盤が完成する。これにより、複雑な三次元形状の自動加工が可能となった。このコンピュータで座標を制御する技術が今日のCADやCAM技術の基になった。1980年代にはCAD/CAMデータ変換標準化のためにIGES(InitialExchangeSpecification)が発表された。これによって設計から生産まで、デジタルデータを用いることが可能となった。

3.4.1-a レーザーカッター

レーザーカッターは特別な知識や技能を必要とせず、インクジェットプリンタを操作する感覚で、誰でも簡単にレーザー加工を行うことができる（図3.35）。普段使用している市販のグラフィックソフトやCADソフトでデータを作成し、工業製品の試作・二次加工からコンシューマ向けギフト商品の製作まで、多様な加工を容易に行うことができる。また、レーザー加工はルーター加工と違い、材料に接触しない非接触加工のため物理的応力が材料に加わらない。したがって物理的な圧力を嫌う鉄、チタン、銅、ステンレス、アルミ、木材、樹脂、ゴム、セラミック、布等の多岐にわたる材料に対する加工ができる。

注14 Computer Aided Manufacturing (CAM)

広義にはコンピュータによって動く製造機器および、加工用のデータを生成するシステム。CADで作成された形状データを入力データとして、工作機械に送られて実際の加工が行われる。

注15 ニール・ガーシェンフェルド (Neil Gershenfeld) []

MIT Center for Bits and Atomsの所長。「(How to Make (Almost) Anything)」(ほぼ)なんでもつくる方法という講義に始まり、個人によるものづくりの革命が起きると提唱。に著書に『When Things Start to Think』[1999]、『Fab』[2007]など。



図 3.34 Data 2 Form Lab の内観



図 3.35 レーザーカッター

27) ものづくり革命 パーソナル・ファブ리케이션の夜明け：ニール・ガーシェンフェルド，糸川 洋，ソフトバンククリエイティブ，2006

28) 石川弘樹：建築におけるデザインテクノロジーの研究—CAD/CAMと建築ものづくり技術—，豊橋技術科学大学 修士課程学位論文，2009

3.4.1-b 3Dプリンタ

3Dプリンタは、積層型や、紫外線硬化型などいくつかの種類があるが、いずれも三次元形状をそのまま出力できる機械を示す。プロトタイプや鋳型の形成、時には実用的な道具や部品の製作にも使用され、このような方法は Rapid Prototyping (RP) と呼ばれる (図 3.36)。ABS 樹脂、アクリル樹脂、石膏と様々な素材で出力できる。最近ではチタン製のものから、紙とノリなど身近なもので3Dプリントできるものもある。

これまで3Dプリンタはモックアップの様なものに用いられてきたが、D-shape は人口の砂を5mm～10mmで積層していき、最大3m×3m×3mの大きさで出力することができる (図 3.37)。近年は住宅をまるまる一軒つくるプロジェクトも存在する。

3.4.1-c CNC

Computer Numerical Control (CNC) とは、コンピュータ数値制御のことで、コンピュータによって数値制御されているため、あらゆる線形に切断が可能で、切断以外にも、立体的な削り出しが可能である。一般的には、3～5軸の動作環境を持っており、主に平面的な金属材料の切断加工に使用されている。5軸のCNCではより複雑な形状の切断や切削が可能である。CNCの登場によって、従来は極めて困難であった複雑な組み立て加工が実現され、デザインの可能性が広がった。刃物を変えることで切断や様々な切削が可能になる。また、従来の手法に比べ、より効率的で高精度の生産が可能である (図 3.38)。本研究室では2010年に3軸のCNC機を導入した。欧州では既に多くの大学で導入が進んでいるが、日本の建築学科ではこのような生産機器の導入は進んでいない。

3.4.1-d ロボットアーム

工業用ロボットアームは人の手と同じように動く機械で、主に自動車のラインなどで用いられてきた。近年、アメリカのハーバード大学、MIT、ヨーロッパのETHなどデジタルファブリケーションの盛んな大学には必須の設備となってきている。日本でも本学および慶応義塾大学が先陣を切って導入を図っている (図 3.39)。

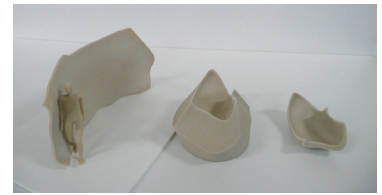


図 3.36 3Dプリンタで出力した模型



図 3.37 実物大 3Dプリンタで出力されたオブジェ

出展：D-shape ホームページ [<http://press.d-shape.com/>]



図 3.38 ヤマハ発動機大型4軸CNC機



図 3.39 産業用ロボットアーム KUKA

3.4.2 デジタルファブリケーションと建築設計プロセス

コンピュータの登場によって引き起こされた設計の技術革新と生産の技術革新は、双方のデジタル化によってCAD/CAMとして連動した動きになった。これを可能としたのは、デジタル化による情報共有の容易さである。このようなデジタル化は、ものづくりとデザインを近づけることに貢献し、建築設計のプロセスにも様々な影響を与えた。

3.4.2-a フランクゲーリーの設計プロセス

フランク・O・ゲーリー (Frank Owen Gehry) ^{注16} は複雑な形態の実現の為に、精密な模型を作り、それを3Dスキャンで三次元化し、それを元に図面を描くというこれまでにないプロセスを用いて建築を設計している。MITステイタセンターの設計では、スケッチ、模型によるデザイン検討を繰り返し、形を決めた。形が決定された段階でガントリー型の3Dスキャナを用いて模型のデジタル化が行われ、三次元化し、航空機デザイン等に使用される3次元CADのCATIAによって詳細設計が行われている^{29), 30)} (図3.40)。

ゲーリーが設計する複雑な形状を実現するには、様々なテクノロジーを用いる必要があり、早期からBIMソフトを用いて工程を管理するなど、設計から生産までデジタルで繋ぎ、最終的にはGehry Technologiesという会社の設立に至った。

注16 フランク・O・ゲーリー (Frank Owen Gehry) [1929 -]
アメリカの建築家。自身が設計する複雑な形態を実現するために、モデリングと構造解析を行う航空力学・機械設計向けソフト「CATIA」を建築に適用した。代表作にはゲーリー自邸 [1978]、ビルバオ・グッゲンハイム美術館 [1997]、ウォルト・ディズニー・コンサートホール [2003] など。



図3.40 模型の3Dスキャン
出展: gehry talks

3.4.2-b うねリング

本研究室では、2006年にヤマハ発動機の船艇部門との協働でオブジェの製作を行った。ヤマハの持つ船艇技術と大学の持つ設計技術を融合させた、従来のスタディによらないデザインプロセスを用いて、複雑曲面版構造のオブジェを製作した (図3.41)。三次元CADを用いて生成された複雑な形は、船艇型切削用大型NC機によるダイレクトモーリングと新素材パラビーム3D成型の手法を使ったパイロットプロジェクトで製作を行った³¹⁾。



図3.41 うねリング

3.4.2-c 豊川稲荷表参道商店街景観整備に用いられるジオラマ模型

景観整備を行うにあたり、建築に詳しくない住民とどのようにイメージを共有すべきか課題に対し、合意形成を図るためのツールが試行錯誤された。設計図のみでは、一般の人には理解しにくく、スケッチでは、これまで実現されなかった地区計画と同様に、現実味に欠けていた。最も有効な手段となったのが、ジオラマ模型で、街の人たちの中にはミニチュアやジオラマが好きな人が多く、建築模型よりも夢のあるジオラマ

29) 繁昌朗, 山口祐一郎訳: gehry talks, 鹿島出版会, 2008.2

30) ナンシー・E. ジョイス, 松島 史朗: フランク・O・ゲーリーとMITステイタセンターのデザインと建設のプロセス, 鹿島出版会, 2007.11

31) 松島 史朗: 地域の "ものづくりテクノロジー" を利用した建築設計手法の試行, 日本建築学会 総合論文誌 5号, pp.95-100, 2007.02

風の模型の方が親しみやすく、建築で一般的に用いられていた白模型よりも、将来像への期待を後押しするという効果も得られた。

ここで用いられたレーザーカッターは、細かい格子のパターンや小さなパーツのスタディ等、これまで手作業では時間がかかる作業を行い、このようなスタディは意思決定の段階で効果を発揮した（図 3.42）。これまで地域と相容れない性質であった情報技術が、模型製作という手作業と組み合わせることによって、景観整備の本質であるまちの人たちの意欲を刺激するという新しいアプローチの仕方を見出した³²⁾。

3.4.2-d 慶應技術大学 池田研究室 デジモク

次世代の木造建築の可能性を探るティンバライズ展で提案された「Digital Woods」は、手で持てる小さな柵板型ユニットとブロック型ユニットから構成されている。決められた線からコンピュータによって自動作成し、部品 ID を使って組み立てを管理する。部材データに基づいた生産・組立を行うため無駄を省いて効率を高めることができ、かつ ID によって管理された迅速な組立により現場作業を削減して組立にかかるコストを抑えることができる。建物の組み替え更新の際は、実物からフィードバックされた情報に基づいて、最適な補完・補強のための部材移動や追加などをコンピュータが指示する。木材のもつ加工性の良さと、組み換えによるサステナブルな建築像を提案している³³⁾（図 3.43）。



図 3.42 レーザーカッターを用いた
詳細なスタディ模型



図 3.43 Digital Woods

出展：慶應技術大学池田靖史研究室 [http://ikedalab.sfc.keio.ac.jp/]

32) 石川 弘樹, 松島 史朗: 最先端デザインテクノロジーとまちづくり - レーザーカッターを用いたジオラマ模型による合意形成 -, 日本建築学会 学術講演梗概集, pp.1207-1208, 2009.7

33) Ikeda Lab : http://ikedalab.sfc.keio.ac.jp/digital_woods/ (参照日 2014.11.20)

3.5 建築に応用される様々な技術

3.5.1 3D スキャン

3D スキャンには主に2種類あり、先端に取り付けられたミルが、形状の周辺を回りながら各点の座標を記録していくことで、その形状をスキャンするガントリー・タイプと、ボックスから広範囲にわたりレーザー光線を照射し、反射して戻ってきた情報をビデオカメラによって収集するレーザー・スキャニングである。プロダクトのような小さなものから、都市スケールのスキャンまで幅広く利用されている。

3.5.1-a 建築のアーカイブ

金沢工業大学の下川准教授は、レーザー計測から得たデータを三次元設計に利用するための研究を行っている³⁴⁾(図3.44)。レーザー計測の精度は、±3mm程度で、1cm以上の建物の傾斜や不陸を捉える事が可能である。レーザー計測を行う事自体建築・都市・ランドスケープの記録(デジタルアーカイブ化)として価値のあるが、加えて学生が設計した三次元モデルを点群データに合成し、デザインのスタディツールとして用いる方法を提案している。今後、様々な建物や景観がこのような手法でデジタルアーカイブ化されていく可能性がある。



図3.44 三次元スキャナで取得した
金沢の街並み
出展:文献34図14より引用

3.5.1-b 点群データを活用した建築設計

3D スキャン技術は、既存の建築物を容易にデータ化できることから、リノベーションやコンバージョンなどの既存の建築物の設計応用することが期待されている。

石田らは、既存の建築物の改修工事において3D スキャンを用いた設計の研究を行なっている³⁵⁾。この取組では取得した建築形状に合わせてプレカットを行うことによる、工期の短縮および廃棄物をなくすことによるエコな生産手法の実現を目的としている。

34) 下川 雄一, 山崎幹泰, 笠覚暁, 川崎寧史, 土田 義郎: レーザー計測による伝統的町家群の連続立面図作成に関する研究, 日本建築学会技術報告集, 第17巻 35号, pp.383-388, 2011.2

35) 石田 航星, 嘉納成男, 五十嵐健, 藤井裕彦, 大澤 雄司, 酒本 晋太郎, 富田裕行: 内装部材のプレカット化のための3次元レーザー・スキャナーを用いた計測と生産設計の手法に関する研究, 日本建築学会計画系論文集, 第78巻 688号, pp.1355-1363, 2013.8

3.5.2 シミュレーション技術

シミュレーション技術は設計を評価する上で重要な判断材料となりつつある。特にコンピュータを用いた構造解析や環境解析は既に一般化しており、最近では汎用の人間行動パターンのシミュレーションソフトも研究に利用されている³⁶⁾。人間の心理やストレスなども反映しており、心理学や感性工学の分野が取り入れられている。

3.5.2-a 環境シミュレーション

環境シミュレーションはもはや一般化してきているが、今日、CADやBIMとの連携が図られたことによってデザインツールとして用いられ始めている(図3.45)。情報を可視化することによって設計者からのフィードバックや、数値情報を前述のパラメトリックデザインへ応用するなど、シミュレーションと設計の相互応答によるデザインの決定が行われ始めている。

3.5.2-b 人間行動シミュレーション

SimTread(シムトレッド)は、人の流れや群集の波を視覚化する歩行者シミュレーションソフトウェアで、空間計画や誘導計画、商業地における季節催事計画や、船舶、旅客機などの避難シミュレーションなどに利用される(図3.46)。人を図形シンボルで表現し、設定された目的地に向かって、設定歩行速度で最短ルートをとって移動する。その間の、人同士の衝突や停滞ストレスを色で表現する機能を備えている。

他にも visualization human behavior では、空間的特性、質感知覚を備えた仮想フィギュアの行動パターンを視覚化することによって解釈する試みである³⁷⁾。空間内に挿入されたフィギュアは与えられた条件に応じたリアクションをする。記憶・エネルギー・社会性・好奇心などの意思決定モデルを取り入れることで、人間の感覚に基づいた空間の質の向上を目指している(図3.47)。

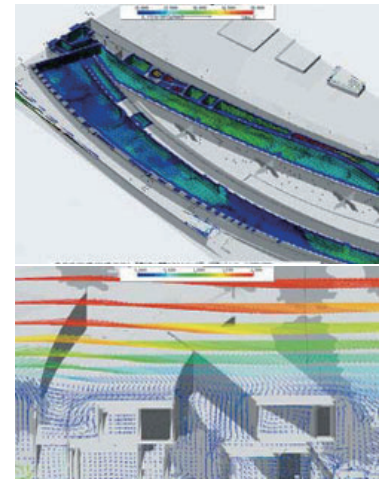


図 3.45 ホキ美術館の設計における環境シミュレーションの連動

出展：日建設計 ホームページ [www.nikken.co.jp/ja/archives/ndvukb0000003e9c.html]

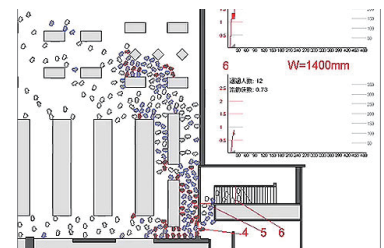


図 3.46 SimTread

出展：A&A [http://www.aanda.co.jp/]

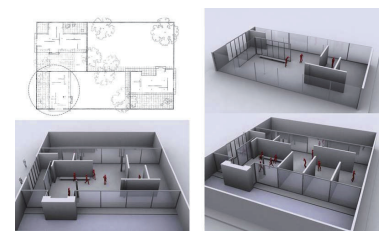


図 3.47 visualization human behavior

出展：文献 37 より引用

36) 川畑勝也：行動シミュレーションに基づく環境デザイン手法の研究 - オープンオフィスモールのケーススタディを通して - , 慶応義塾大学学位論文, 2013

37) Taro Narahara : The Space Re-Actor, - Walking a Synthetic Man through Architectural Space - , Massachusetts Institute of Technology, 2007

3.5.3 VR

VR (Virtual Reality) はコンピュータなどによって創りだされた実際には存在しない空間を体験できるところが利点である。ヴァーチャルなものを等身大のスケール感で体験することによって、空間の印象評価や、行動の検証など、設計に対するフィードバックを行うことができる (図 3.48)。近年, Oculus などポータブル型の VR 機器でもリアリティが増し, 没入感を得られることから, 今後建築分野におけるスタディへの応用が期待される。

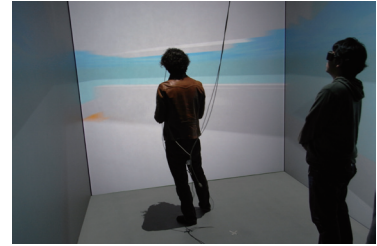


図 3.48 豊橋技術科学大学 CAVE

3.5.4 AR

AR (Augmented Reality) は, 拡張現実を意味し, 携帯端末, ヘッドマウンティングディスプレイや特殊なメガネを利用することによって実際の空間に CG などを重ね合わせることで, 実際には体験することのできない空間を疑似体験することができる。

3.5.4-a AR 技術を用いた建築設計のスタディ

AR 技術は存在しないものを現実を重ね合わせられるという点において, 建築のスタディとの親和性が高い。現在では, AR から生じる影を現実の模型に投射する研究が行われるなど, リアリティの向上が著しい³⁸⁾ (図 3.51)。

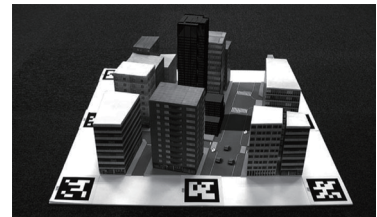


図 3.49 AR タグを使ったスタディ

出展: 文献 38 図 7 より引用

3.5.4-b IKEA AR カタログ

カタログから好みの家具を配置できる。iphone などを通し, 現実世界と重ねあわせることで, 購入後が具体的にイメージできる (図 3.50)。



図 3.50 IKEA AR カタログ

出展: newcreatives [http://newcreatives.com/?userID=1242735295]

38) 中林拓馬, 加戸啓太, 平沢岳人: 拡張現実感と模型を用いた建築設計用ツールの開発, 日本建築学会技術報告集, 第 17 巻 37 号 pp.1053-1056, 2011.10

3.6 実証実験 :Advanced Architecture Settimo-Tokyo 2011

3.6.1 ワークショップの概要

日本で始めて行われたアルゴリズムックデザインに関する学会の学生ワークショップで、一か月間のオンライン協同設計（アメリカ、イタリア、中国、東北、京都、豊橋からの参加）の後、東京に集まり、2日間でプロトタイピング、3日間で材料の切り出し、2日で組み立てを行った。設計の与条件として、材料の制限、収納可能寸法制限、組み立てたときの大きさが決められていた。（図 3.51）。

3.6.2 設計プロセス

3.6.2-a デザイン

人と自然が織りなす関係性をコンセプトに人が作り出す＝水平・垂直の世界と、自然世界＝曲線の世界と仮定し、全て曲線でできたデザインとした。材料が決まっていたため、曲げによって得られる素材の特性をデザインへ適応する。木材の長さや幅、切断方法を変え、数値データとして取得する。全体の形状を決定するために、都市を流れる風を流体解析によって数値化し、デザインに還元する。結果として出来上がった形状は、一つとして同じものが無い自然らしい形となった（図 3.52）。

”水平垂直が存在しない”，”一つとして同じものが無い”という特徴を表した作品である。

3.6.2-b ファブリケーション

149 部材、386 か所の切り込みはすべて違う形をしており、一つとして同じものが無い（図 3.53）。プログラムによって全体形状と、加工データが同時に生成され、レーザーカッター及び CNC を用いて、切り出した（図 3.54）。曲げの量をコントロールするために、材料表面の溝の幅や深さを変える手法を用いている。また組み立てに最しては、組み立ての単純化を図り、簡単な繰り返し作業で最終形状が組み立てられるようになっており、誰でも簡単に金物を使わずサネ合いのみで最終形が組みあがる。

3.6.2-c 得られた知見

ワークショップを通じて、遠隔地での共同設計、与条件、材料に関する数値化、数値化された情報を基にルールとパラメータから、形状の決定し、結果として生まれた 149 部材 386 箇所全て異なる形を生産した。本研究が目的とする個別性の高いデザインの実現に欠かせない、各要素技術について実証実験を行い、個々の身体情報を建築設計に活用する可能性を示した。

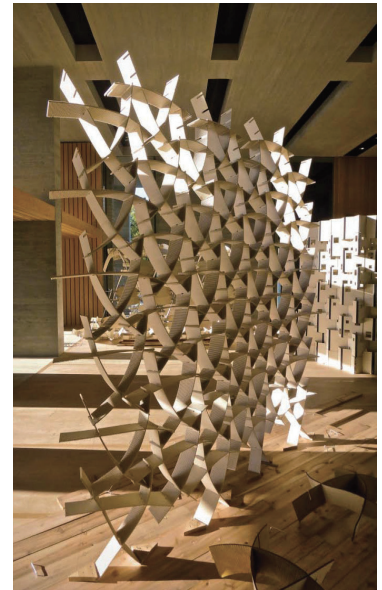


図 3.51 最終成果物

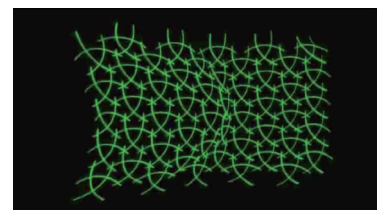


図 3.52 風の流を解析し得てデザインへ応用

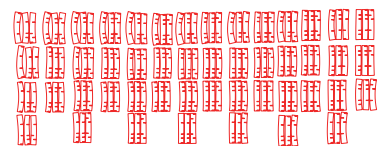


図 3.53 全て異なる形をした部材

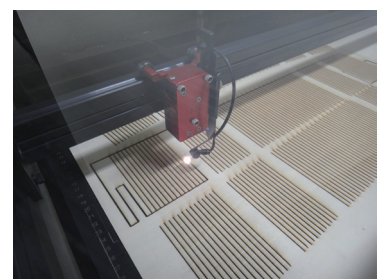


図 3.54 ファブリケーションの様子

3.7 第3章 小結

本章では、コンピュータやインターネットなどの情報通信技術の進歩が建築に与えた影響について、概略をまとめ、ワークショップを通じて個別性の高い設計・生産が可能になりつつあることを実証した。

1940年代のコンピュータの創世記、アメリカのMITで軍事目的で開発されたディスプレイシステムが世界初のCGとなり、その後のSketchPadが現在のCADの原型となる。同じ時期、工作機械のコンピュータも始まり、世界初のNC加工機が誕生する。以降、コンピュータの進化に伴い、大量の情報を高速に処理できるようになり、1990年頃には一人一台のパーソナルコンピュータ時代が訪れ、CADも汎用化・三次元化されていく。さらにインターネットが誕生し、情報通信技術が発達することになる。現代社会では、一人一台の時代の先を見据えたユビキタス社会の実現を迎えつつあり、様々な情報を取得することが可能になってきた。この段階では、情報の取得について重点が置かれていたが、得た情報をどのように利用するかという点に次第にシフトし、空間の知能化や、ロボットの利用、さらには建築自身をロボット化するという取り組みが始まった。

建築設計では、コンピュータの進化によって、これまで手で行われていた作業が、コンピュータでの作業に置き換わり、自動化・効率化が行われてきた。その結果二次元だったものが三次元になり、BIMの登場によって時間軸を加えた四次元の設計が可能になった。他方で、アルゴリズムミックデザインやパラメトリックデザインなどの概念が誕生するが、この背景には、情報をどのように処理するかという問題が存在する。人間の頭では処理しきれない大量の情報や、複雑な状況が存在しなければ、コンピュータを用いる必要性がない。この状況を生み出したのが、情報化社会による多様かつ大量の建築設計への情報入力であると考えられる。入力された情報があるルールに基づいて処理した結果として現れた建築は、同じ形をしていない。なぜなら、同じ敷地は世界に一つとして存在しないからである。その結果として、形態の多様性や複雑性を伴う建築も登場することとなった。

しかし、生産機器のコンピュータ化は早くから始まっていたものの、CADとは異なるCAMとして開発が進み、正確に早く作る自動化・効率化が行われていた。その後、CAMがデータの互換性を持ち、CAD/CAMが成立したことによって、設計者は複雑な形が製作できるようになる。入力、処理、生産がコンピュータによって繋がることによって、同じ形を大量につくるマスマプロダクションから、複雑・多様な形をつくるスマートプロダクションへの変化を差し迫った。さらにこの動きは、個人にまで還元され、パーソナルファブ리케이션と呼ばれる、個人のニーズを自らの手でものづくりにつなげようとする動きにも繋がり始めて折り、個人による空間のカスタマイズの可能性を示唆している。

第3章 参考文献リスト

- 1) レイナー・バンハム (著), 石原 達二 (訳), 増成 隆士 (訳): 第一機械時代の理論とデザイン, 鹿島出版会, 1976
- 2) 難波和彦: 建築の無意識—テクノロジーと身体感覚, 住まいの図書館出版局, 1991
- 3) 総務省: 平成 25 年通信利用動向調査の結果
- 4) 日本建築学会編著: ユビキタスは建築をどう変えるか, 彰国社, 2007.8
- 5) 坂村 健: TRON 電脳住宅 (異分野訪問), 建築雑誌, 日本建築学会 2000.9 第 115 巻 1459 号, pp.50-51
- 6) 上田 博唯, 山崎 達也: ユビキタスホーム - 日常生活支援のための住環境知能化への試み -, 日本ロボット学会誌, 日本ロボット学会, 第 25 巻 4 号, pp.494-500, 2007
- 7) 椎尾一郎: 日用品コンピュータエンタテインメントシステム, 制御情報学会 システム制御情報学会誌, 56 巻 1 号, pp.33-38, 2012.1
- 8) 元岡展久, 椎尾 一郎, 太田 裕治, 塚田, 浩二, 神原 啓介, 井口 雅登: 生活者の視点を重視したユビキタスコンピューティング実験住宅の試み, 総合論文誌, 日本建築学会, 第 8 号, pp.77-82, 2010.1
- 9) 経済産業省: ロボット政策研究会中間報告書, p23, 2005.5
- 10) 橋本秀紀, 渡邊朗子: 空間知能化のデザイン 建築・ロボティクス・IT の融合, NTT 出版, 2004.12
- 11) 金森道, 小鷹研理, 丹羽治彦, 坂本義弘, 大竹正海, 菅野重樹: 未来型住居を想定したロボット群によるホームサービスの試み (空間知), 日本機械学会 ロボティクス・メカトロニクス講演会講演概要集, 2P1-H07, 2008.6
- 12) 豊橋技術科学大学 人間・ロボット共生リサーチセンタシンポジウム 2010 報告書, 2011
- 13) 栗山 繁, 岡田 美智男, 竹中 司, 松島 史朗, 三浦 純: 人間とロボットが共生するための空間創出, ヒューマンインタフェース学会誌, 第 12 巻 1 号, pp.13-18, 2010.02
- 14) OMA, レム・コールハース, 二川幸夫: ヴィラ・ダラヴァ / ボルドーの住宅 OMA Villa Dall'Ava1985-91/Maison a Bordeaux1994-98, ADA エディタトーキョー, 2009
- 15) Fox, M. and Kemp, M.: 2009, Interactive Architecture, Princeton Architectural Press.
- 16) 榎井孝暢: 建築とコンピュータライゼーションの関係と歴史について — CAD の歴史の体系化を通じて —, NOIZ ARCHITECTS EaR 研修論文, 2014
- 17) 日建設計 山梨知彦: BIM 建設革命, 日本実業出版社, 2009
- 18) 吉田信之: A+U 建築と都市 2009 年 8 月臨時増刊「BIM 元年 - 広がるデザインの可能性」, 株式会社エー・アンド・ユー, 2009.8
- 19) 佐々木大輔: BIM を利用した建築設計の有効性の検証 - 豊橋技術科学大学マスタープラン策定と学生寮, プリッジ建設に伴う BIM 効果の検証 -, 豊橋技術科学大学 修士課程学位論文, 2008
- 20) GA: MORPHOSIS — RECENT PROJECT, GA, 2010
- 21) 日本建築学会 編: アルゴリズム・デザイン 建築・都市の新しい設計手法, 鹿島出版会, 2009.3
- 22) コスタス・テルジディス著, 田中浩也監訳, 荒岡紀子・重村珠穂・松川昌平訳: アルゴリズム・アーキテクチャ, 彰国社, 2010
- 23) 平本 知樹: FabChair - パラメトリックモデルと連動した物理的な家具デザイン支援ツールの研究 -, 慶応義塾大学, 修士課程学位論文, 2011
- 24) Greg Saul, Manfred Lau, Jun Mitani, and Takeo Igarashi: "SketchChair: An All-in-one Chair Design System for End-users", the fifth International conference on Tangible, Embedded and Embodied Interaction (TEI2011), Jan. 23-26, 2011, Portugal.
- 25) 寺井 豊, 松島 史朗, 竹中 司, 岩田 翔士: 遠隔地設計教育による体験型デザイン課題の実施システムと環境についての研究 - VDS の展開, Media Engineering Laboratory の開設と運用を通して - 日本建築学会技術報告集第 20 巻 46 号, pp.1131-1136, 2014
- 26) Arup Japan—建築のトータル・ソリューションをめざして: 榎橋 修, 鍋島 憲司, 田中 陽輔, 誠文堂新光社, 2009
- 27) ものづくり革命 パーソナル・ファブ리케이션の夜明け: ニール・ガーシェンフェルド, 糸川 洋, ソフトバンククリエイティブ, 2006
- 28) 石川弘樹: 建築におけるデザインテクノロジーの研究 - CAD/CAM と建築ものづくり技術 -, 豊橋技術科学大学 修士課程学位論文, 2009
- 29) 繁昌朗, 山口祐一郎訳: gchery talks, 鹿島出版会, 2008.2
- 30) ナンシー・E. ジョイス, 松島 史朗: フランク・O・ゲーリーと MIT ステイタセンターのデザインと建設のプロセス, 鹿島出版会, 2007.11
- 31) 松島 史朗: 地域の "ものづくりテクノロジー" を利用した建築設計手法の試行, 日本建築学会 総合論文誌 5 号, pp.95-100, 2007.02
- 32) 石川 弘樹, 松島 史朗: 最先端デザインテクノロジーとまちづくり - レーザーカッターを用いたジオラマ模型による合意形成 -, 日本建築学会 学術講演梗概集, pp.1207-1208, 2009.7
- 33) Ikeda Lab : http://ikeda-lab.sfc.keio.ac.jp/digital_woods/ (参照日 2014.11.20)
- 34) 下川 雄一, 山崎幹泰, 笠岡暁, 川崎寧史, 土田 義郎: レーザー計測による伝統的町家群の連続立面図作成に関する研究, 日本建築学会技術報告集, 第 17 巻 35 号, pp.383-388, 2011.2
- 35) 石田 航星, 嘉納成男, 五十嵐健, 藤井裕彦, 大澤 雄司, 酒本 晋太郎, 富田裕行: 内装部材のプレカット化のための 3 次元レーザーキャナーを用いた計測と生産設計の手法に関する研究, 日本建築学会計画系論文集, 第 78 巻 688 号, pp.1355-1363, 2013.8
- 36) 川畑勝也: 行動シミュレーションに基づく環境デザイン手法の研究 - オープンオフィスモールのケーススタディを通して -, 慶応義塾大学学位論文, 2013
- 37) Taro Narahara: The Space Re-Actor, - Walking a Synthetic Man through Architectural Space -, Massachusetts Institute of Technology, 2007
- 38) 中林拓馬, 加戸 啓太, 平沢 岳人: 拡張現実感と模型を用いた建築設計ツールの開発, 日本建築学会技術報告集, 第 17 巻 37 号 pp.1053-1056, 2011.10

第3章 図版リスト

図 3.1 主な情報通信機器の普及状況の推移

出展: 文献 3 図表 1-16 より引用

図 3.2 日本におけるインターネットの利用者数と普及率

出展: 文献 3 図表 1-1 より引用

図 3.3 コンピュータと人間の関係性の変化

図 3.4 ユビキタスのイメージ

出展: TRON PROJECT ホームページ [<http://www.assoc.tron.org/>]

図 3.5 TRON 電脳住宅の外観

出展: エネックス社ホームページ [<http://www.ennex.jp/>]

- 図 3.6 TRON 電脳住宅の内観
 出展：エネックス社ホームページ [http://www.enex.jp/]
- 図 3.7 操作を統合するロボットインターフェイス
 出展：文献6 図3より引用
- 図 3.8 ユビキタスホームの内観
 出展：文献6 図2より引用
- 図 3.9 Ocha House の外観
 出展：Ocha House Project ホームページ [http://www.ocha.ac.jp/news/h211006.html]
- 図 3.10 Ocha House の内観
 出展：御茶ノ水大学ホームページ [www.ocha.ac.jp/news/h220730_3.html]
- 図 3.11 空間知能化のイメージ
 出展：空間知能化のデザイン
- 図 3.12 現実空間と連動した環境地図
 出展：[https://www.youtube.com/watch?v=q9auEH1JSDw] よりキャプチャ
- 図 3.13 可動式キッチン
 出展：株式会社矢島 ホームページ [http://yajimacorp.com/]
- 図 3.15 ロボットラボ
 出展：豊橋技術科学大学 ホームページ
- 図 3.14 コンセプトイメージ
 出展：豊橋技術科学大学 ホームページ
- 図 3.16 人を感知して動く壁
 出展：Hyposurface ホームページ [http://hyposurface.org/]
- 図 3.17 MAISON À BORDEAUX
 出展：OMA ホームページ [http://www.oma.eu/]
- 図 3.18 Neural Sky
 出展：robotecture [http://robotecture.com/]
- 図 3.19 HONDA ASIMO
 出展：HONDA ホームページ [http://www.honda.co.jp/robotics/]
- 図 3.20 iRobot Roomba
 出展：iRobot 社 ホームページ [http://www.irobot.com/]
- 図 3.21 身体機能拡張型ロボット HAL
 出展：cyberdyne 社 ホームページ [http://www.cyberdyne.jp]
- 図 3.22 コンピュータを用いたデザインの例
 出展：morphosis ホームページ [http://morphopedia.com/]
- 図 3.23 CAD と BIM の概念の比較図
- 図 3.25 BIM を用いた学生寮の設計
 出展：文献 19
- 図 3.24 BIM の持つ統合性
 出展：Autodesk ホームページ [http://bim-design.com/]
- 図 3.26 アルゴリズムによって制御されるパネルパターン
 出展：GA MORPHOSIS RECENT PROJECT
- 図 3.27 パラメーターを変えてスタディをする様子
 出展：morphosis ホームページ [http://morphopedia.com/]
- 図 3.28 4つの敷地で異なる形状の駅
 出展：arcspacem [http://www.arcspacem.com/features/zaha-hadid-architects/nordpark-cable-railway/]
- 図 3.30 fluid vase
 出展：fungkwokpan [http://www.fungkwokpan.com/index.html]
- 図 3.29 SketchChair
 出展：SketchChair [http://www.gregsaul.co.nz/SketchChair/]
- 図 3.31 SketchChair 上でシミュレートできる人体
 出展：SketchChair [http://www.gregsaul.co.nz/SketchChair/]
- 図 3.32 技科大、小山高専、大分高専の3箇所を結んで行われたVDS
- 図 3.33 BLT 学生チームの最優秀賞
 出展：Built Live Tokyo [http://bltokyo2010.seesaa.net/]
- 図 3.34 Data 2 Form Lab の内観
- 図 3.35 レーザーカッター
- 図 3.36 3D プリンタで出力した模型
- 図 3.37 実物大 3D プリンタで出力されたオブジェ
 出展：D-shape ホームページ [http://press.d-shape.com/]
- 図 3.38 ヤマハ発動機大型 4 軸 CNC 機
- 図 3.39 産業用ロボットアーム KUKA
- 図 3.40 模型の 3D スキャン
 出展：gehry talks
- 図 3.41 うねリング
- 図 3.42 レーザーカッターを用いた詳細なスタディ模型
- 図 3.43 Digital Woods

- 出展：慶應技術大学池田靖史研究室 [<http://ikeda-lab.sfc.keio.ac.jp/>]
- 図 3.44 三次元スキャナで取得した金沢の街並み
出展：文献 34 図 14 より引用
- 図 3.45 ホキ美術館の設計における環境シミュレーションの連動
出展：日建設計 ホームページ [www.nikken.co.jp/ja/archives/ndvukb0000003e9c.html]
- 図 3.46 SimTread
出展：A&A [<http://www.aanda.co.jp/>]
- 図 3.47 visualization human behavior
出展：文献 37 より引用
- 図 3.48 豊橋技術科学大学 CAVE
- 図 3.49 AR タグを使ったスタディ
出展：文献 38 図 7 より引用
- 図 3.50 IKEA AR カタログ
出展：newcreatives [<http://newcreatives.com/?userID=1242735295>]
- 図 3.51 最終成果物
- 図 3.52 風の流れを解析し得てデザインへ応用
- 図 3.53 全て異なる形をした部材
- 図 3.54 ファブリケーションの様子

第4章 建築空間における位置情報の取得

4.1 第4章 概要

本章は、建築の屋内空間において人の位置情報を取得することを目的として、建築空間の形状に着目した位置取得手法について記述する。

この分野において先行して研究を行ってきた早稲田大学の渡辺仁志研究室から2013年に『時間のデザイン—16のキーワードで読み解く時間と空間の可視化¹⁾』という本が出版された。この本の冒頭で「『人間』—『空間』—『時間』という3つの『間』』というキーワードが登場する。これまで『人間』と『空間』の関係性について研究された結果、建築設計資料集成としてまとめられ、建築の設計に還元されてきたが、情報通信技術の発展によって、時間の概念がデザインに取り入れられるようになった。池辺らは、実験住宅における生活の様子について調査を行い、時間の経過につれて家具が移動する様子や、それにもなると人の移動領域も変化することを明らかにしている²⁾ (図4.1)。つまり前者は、第2章で取り上げた通り、何らかの「意味」をもった瞬間を切り取り、その関係性を明らかにするものであるのに対して、後者は「無意味」な瞬間でも蓄積することによって「意味」を見出し、人間の振る舞いと空間の関係性を明らかにするものである。つまり「無意識」の情報を建築設計へ反映する可能性を示している。

本章では、建築の形とセンサの配置に着目し、超音波センサを用いた位置取得について建築的な側面からの考察を行い、建築の形が位置取得の精度に及ぼす影響について考察している。

4.2 背景

人の動きや家具・生活用品の配置は、建築計画、施設利用の改善において重要な要素である。これまで建築内において時々刻々と変化する人や物の位置を捉えようと、時間ごとに移動を記録する調査、映像を基に観察する手法など、数多くの研究によって人の行動は体系化されてきた。

一方、情報通信技術の進歩によってリアルタイムに人の行動を捉え、行動履歴を記録することができるようになり、その情報を用いたサービスやアプリケーションが一般化している。代表的なものには、Global Positioning System^{注1)} (以下GPS)を用いたナビゲーションシステムや、周辺の店舗やエリアの天気などの情報を取得するアプリケーション、ソーシャルネットワーキングサービス^{注2)} (以下SNS)などと連動して現在位置を情報に付与するサービスなどがある。日常生活でも、人が通ると灯る照明、立つと流れるトイレ、人がいる場所を検知して風を送るエアコンなど、人の動きや物の位置と連動する事例が見られるようになった。

1) 早稲田大学渡辺仁志研究室 時間・空間研究会(著):『時間のデザイン—16のキーワードで読み解く時間と空間の可視化』, 鹿島出版会, 2013.4

2) 池辺陽:『デザインの鍵—人間・建築・方法』, 丸善, 1996

3) 総務省統計局:『統計からみた我が国の高齢者—「敬老の日」にちなんで—1高齢者の人口』, <http://www.stat.go.jp/data/topics/topi721.htm> (参照2015.1.20)

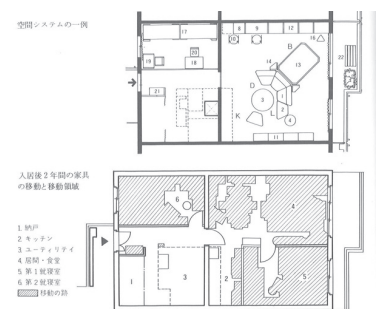


図4.1 居住2年後の家具配置と移動領域

出展:文獻17 p195より引用

注1 Global Positioning System

地球の軌道を周回する衛星から電波を受信し、現在位置を知ることができる。GPSは原理的には最低4つの人工衛星からの電波を受信し、各衛星までの距離を計算することによって位置を算出する。現在では、携帯電話などにも内蔵され、さまざまなサービスに用いられている。

注2 Social Networking Service

広義にはインターネットを用いて繋がりを生み出すサービスを指す。個々人の繋がりを強化、コミュニケーションの活性化、情報の地域間格差の解消を目的としており、主にFacebookやTwitterなどのサービスが存在する。最近では情報(投稿)に位置情報を付与することが可能である。

2015年には日本における全人口の25%を65歳以上が占め、後期高齢者の4割が単独世帯、または夫婦のみ世帯であると予測されている²⁾。このような背景をふまえると、一人で生活を行うことに対して、安全・安心に暮らすための技術はますますニーズが高まると考えられる。

介護・福祉の分野では、ベッドからの脱落防止や、転倒の防止を目的としたセンシング、徘徊検知など人の動きに関する研究が盛んに行われている。現在、このような取り組みは特別な状況下での問題解決を目的として行われているが、今後は介護・福祉分野での特別な事例ではなく、日常生活空間においても取り入れられる可能性がある。したがって、日常生活空間において人の動きや物の位置などを把握するための技術は、将来建築の設計や計画においても重要な役割を担うと考えられるが、屋内における位置測位技術は、次項に示すようにいまだ確立していないのが現状である。

4.3 既往研究

背景で述べた通り、屋外における位置測位技術はGPSが既に一般化している。しかし、現状では屋内でGPSの電波を受信するのは困難であり、日常生活空間において利用するには精度が不十分である。本項では、屋内の位置取得手法に関する既往研究について概略をまとめ、本研究の目的である、個々人の動作を取得するという観点から位置取得手法の選定を行う。

4.3.1 電波・磁気を用いた位置取得手法

電波を用いた位置測位は、主にGPSや無線LAN、Radio Frequency Identifier（以下RFID）を用いた手法がある。各手法によって、利用する電波の周波数帯が異なり、情報の取得距離に違いがあり、近距離は主に接触することによる位置取得、長距離は電波の到達時間や強度を用いて位置を取得する。電波による位置取得の場合、壁やガラスを透過してしまうことが挙げられる。また、電波の強度や到達時間は、壁の有無、建物内の吹き抜け、ドアの開閉などによって精度が不安定となる問題が存在する。どこの部屋にいるか程度の位置しか捉えることができず、住宅のような生活空間内での位置や動作の検出には不向きである。磁気は、検出範囲が狭くピンポイントでの位置測位に効果を発揮する。

4.3.1-a GPS・屋内用GPS (IMES)

人工衛星を利用して自分が地球上のどこにいるのかを正確に割り出すシステム（図4.2）。民生用に利用できるものは故意に精度が落とされているため誤差は10m程度となり、主に屋外用である。誤差をより小さくするため、正確な位置の分かっている地上の基準局から電波を発信し、位置情報の補正を行う「DGPS」(Differential GPS) という技術が実用化されており、誤差を数mに縮めることができる。GPSの民生利用は航空機や船舶などの航行システムで行われてきたが、近年の半導体技術の急激な発達に伴い機器の小型化・低価格化が進み、カーナビゲーションシステムや携帯電話に広く組み込まれるようになり、位置情報を利用した様々なサービスが提供されるようになってきている。GPSの長所として、測位範囲が広く、屋外であればどこでも受信可能であること、既に多くのデバイスに用いられ、普及率が高いことが挙げられる。短所として、基本的に屋内では衛星の電波を受信することができず、建築の観点から言えば、精度が低い点が挙げられる。これらのデメリットを克服すべく、現在Indoor Messaging System^{注3}（以下IMES）など屋内でのGPSの利用に向けた開発が進められている。最新の研究として、五十嵐らは屋内における位置情報の取得に取り組み、現段階での限界点を明らかにしている⁴⁾。しかしながら、利用者側の端末は普及しているものの、IMES

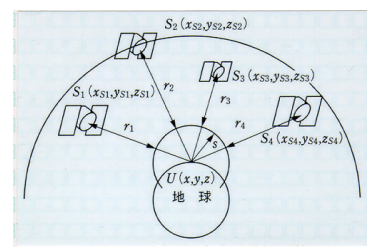


図4.2 GPSの概念図

出展：日本航海学会 GPS/GNSS研究会 ホームページ
[<http://gnss.j-navigation.org/gnss.html>]

注3 Indoor Messaging System
緯度、経度、階数などの情報をGPSと同じ周波数帯で発信する送信機を屋内に設置するシステム。GPSの電波が届かない高層ビルをはじめとする屋内や地下でも、利用者のスマホなどのGPS機器が電波を受信すれば位置情報を取得できる。屋内でも高い精度で位置を把握する仕組みとして、宇宙航空研究開発機構（JAXA）が開発した。

4) 五十嵐雄哉, 貞清一浩: IMES 位置情報システムの開発, 日本建築学会技術報告集 第20巻 45号, pp.799-802, 2014.06.20

自体は専用の端末が必要で、コストも高く、普及へのハードルは高いのが現状である。

4.3.1-b 無線 LAN

近年、無線 LAN による位置測位手法は、アクセスポイントの増加に伴って精度が向上する傾向にある。しかしながら、その精度は数mから数十cmであり、用途としては、建築内部の大まかな位置を取得できる程度である。無線 LAN による位置情報取得の長所は、サーバーとのやり取りさえできれば利用できる点、様々なデバイスで利用できるため、普及率が高い点が挙げられる。短所として、電波の干渉が挙げられる。2.4GHz 帯の無線 LAN は3つ以上のアクセスポイントが存在するとお互いを妨害し、この干渉の問題を避けようとする、あまり密集して設置できないというトレードオフの関係にある。電波の送信出力を落とせば位置情報の把握には有利だが、ネットワーク接続という無線 LAN 本来の目的を果たせず、本末転倒である。5GHz 帯は多くのアクセスポイントが設置できる一方で、まだ利用可能な端末が少ないという問題がある。また、住宅などの小規模な建築を想定すると、基本的にはアクセスポイントが1つか2つという状況が妥当であり、前述の精度向上を見込むのは難しい。

4.3.1-c RFID

RFID は ID をもったタグから電波や電磁気によって情報を読み取る方式である。情報を保持するタグの種類は、電池を持たないパッシブタグ(受動タグ)と電池を持つアクティブタグ(能動タグ)に大別される。パッシブタグとは、リーダからの電波をエネルギー源として動作し、電波の一部を反射することによって、情報を反射波に乗せて送信する。反射波の強度は非常に小さいため、通信距離は比較的短く、最長でも 1m 程度である。非常に安価であり、小型化され、ほぼ恒久的に作動することから、今後本格的に普及すると予想されている。一方、アクティブタグは、自らの電力で電波を発信可能であるため、通信距離がパッシブタグに比べ長く、1 ~ 100m 以上先まで通信可能である。またセンサと接続して、自発的に情報を送信することができるため、センサネットワークとしての用途が期待されている。小型が進んだ結果、コンクリートや 3D プリントの材料に情報を付随するなどの研究も行われている(図 4.3)。

鈴木らは RFID を用いた際の測位精度を明らかにし⁵⁾、長瀧らは、RFID タグを用いて個人の好みの設定に合わせた個別照明、個別空調など、位置情報とリンクしたサービス提供の可能性を示している⁶⁾。また、遠田らの一連の研究では状況やタイミングに合わせたサービスの提供の



図 4.3 HITACHI が開発した極小 RFID

出展: HITACHI ホームページ [www.hitachi.com/
New/cnews/030902.html]

5) 鈴木理史, 土井暁, 井上文宏, 大本総利, 近藤哲, 金子智弥, 浜田耕史: センサ技術による建築物および建設環境の知的化に関する研究 その 1, 建築物に内蔵した RFID タグによる屋内位置認識システムの開発, 日本建築学会大会学術講演梗概集 A-2, pp.531-532, 2011.7

6) 長瀧慶明, 佐藤貢一, 加藤崇, 渡邊朗子, 森川泰成: 医療施設の空間知能化システムの研究開発 その 1 システムの検証実験, 日本建築学会大会学術講演梗概集 A-2, pp.489-490, 2007.7

ための高精度なトレース手法の提案を目的とし、床面に設置されたパッシブ型RFIDとスリッパ型リーダを用いた実験を行い、RFIDタグの貼り付け間隔やレイアウト、歩行経路パターンにおけるトレース精度への影響を明らかにしている^{7), 8)}(図4.4)。この手法は基本的に接触方式を利用するため、読み取りの精度が高く、歩行動作の測位には有効であるが、設置の手間がかかること、床に接触しない物の位置を把握することができないなどの問題点がある。



図4.4 床面に敷設された読み取り機とスリッパ型RFID

出展: http://youtu.be/iPBfMWC_Mt4 よりキャプチャ

4.3.2 赤外線センサを用いた位置取得手法

赤外線センサは、検出距離が短く指向性が高いため検出範囲が狭い。非接触のピンポイント検出に向いており、人感照明や、ドアの開閉などに用いられている。

長濱ら、小酒井らは、焦電赤外線センサを用いた動作検出、生活パターンの把握など空間と生活パターンを結びつけた状況把握も試みている^{9), 10)}。しかし、空間全体を網羅するのは難しく、人体の動作検出には課題が残る。村尾らは、センサ数を25個に削減しつつ、動線を検出するためのセンサの配置について検討を行っているが、大まかなエリアの推定に留まっている¹¹⁾。

4.3.3 超音波を用いた位置取得手法

超音波とは、人間の耳では聞こえない20KHz以上の周波数の音のことで、腹部診断装置や洗浄機、車のバックソナー、魚群探知機などに利用されている。超音波は、指向性があり、減衰が大きく、反射しやすくガラスなどを透過しないなどの特徴を持っているため、主に室内空間の観測に用いられる。また、超音波は基本的に人には無害であり、電波を利用する機器との干渉がないことから、医療施設で多く用いられている。

西田、平本、白石、堀らの超音波センサを利用した日常活動の観察に関する一連の研究^{12)~15)}は、物の位置を利用した学習法など、日常空間におけるセンシングの利用方法を提案している(図4.5)。西田らの研究では、4×4×2.7mの室内空間に307個の超音波センサのリーダを配置することで、20~80mmの高い精度での位置測位を実現している¹¹⁾。しかし、この手法は多数のリーダを設置しなければならないという問題がある。

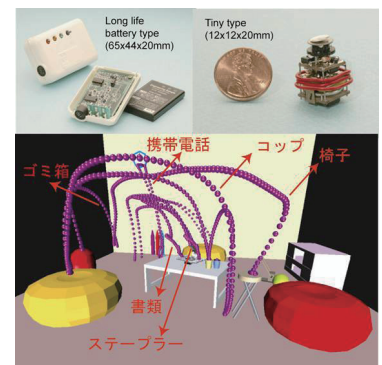


図4.5 日常環境における人間行動観察のための日常環境センサ化技術

出展: 産業総合研究所 [<http://www.dh.aist.go.jp/jp/research/function/Ultrasonic3DTag/>]

7) 遠田敦, 林田和人, 渡辺仁史: スリッパ型RFIDリーダによる歩行行動追跡, 日本建築学会計画系論文集, 第630号, pp.1847-1852, 2008.8

8) 遠田敦: 建築計画における行動モニタリングに関する研究, 早稲田大学博士学位論文, 2009.2

9) 長濱絵里, 三田彰: 焦電赤外線センサとサポートベクトルマシンを用いた居住者の行動把握, 日本建築学会大会学術講演梗概集A-2, pp.511-512, 2010.7

10) 小酒井隆記, 葦原政由, 三田彰: 複数センサの融合に基づく建築空間における人物同定, 日本建築学会大会学術講演梗概集A-2, pp.457-458, 2009

11) 村尾和哉, 寺田努, 矢野愛, 松倉隆一: 人感センサを用いた住宅内人物移動推定におけるセンサ配置の最適化, 情報処理学会研究報告・MBL, 2011-MBL-59(18), pp.1-8, 2011.08

12) 西田佳史, 相澤洋志, 北村光司, 堀俊夫, 柿倉正義, 溝口博: センサルームを用いた人の日常活動の頑健な観察とその応用, 情報処理学会研究報告 HI ヒューマンインタフェース研究会報告 2003, pp.37-44, 2003.11

13) 平本真事, 松屋真由子, 西田佳史, 楠房子, 溝口博: Learning by Doing: センサ化環境を用いた行動体験型語学学習法, 第12回インタラクティブシステムとソフトウェアに関するワークショップ(WISS2004)論文集, pp.139-140, 2004.12

14) 白石廉星, 保川悠一郎, 本村陽一, 西田佳史, 溝口博: 日常生活行動情報収集管理システム - 位置センサと装着型センサを用いた生活行動の時空間プロトコル分析 -, ロボティクス・メカトロニクス講演会講演梗概集 2008, 1-1, pp.1P1-J20(1)-1P1-J20(4), 2008.6

15) 堀俊夫: 超音波タグを用いた行動観察システムとその実環境への応用, 電子情報通信学会ソサイエティ大会講演論文集 2006, pp.63-64, 2006.9

4.3.4 モーションキャプチャを用いた位置取得手法

光学技術を応用したもので、マーカの位置を光学技術によって捉え、三次元の座標を取得する。一般的に測位範囲が数mと狭く、精度が高い。一方で、専用カメラやマーカが必要なこと、マーカレスのモーションキャプチャでも専用のスーツを着用しなければならないなど、日常生活に用いるには困難な点が散見される(図4.6)。



図4.6 腕に付けられたマーカ

4.3.5 画像・映像による位置把握

光学技術を利用したもので、一般的に測位範囲が数mと狭く、精度は解像度に依存するが、指一本などの細かな動作まで検出することができる。一方で、細かな部分まで撮影するため、プライバシー面でリスクがあり、技術の進歩によって、特定の部分だけモザイクをかけるなどの手法も登場しているが、第3章で記述したカメラがある空間での生活は利用者への心理的な負担も大きいことは明らかである。

4.3.6 その他の位置取得手法

ユニークな事例として、秋葉らはロボットを利用した追従型のセンシングを提案している¹⁶⁾(図4.7)。複合センサを搭載したロボットを人に追従させることによって、空間に固定するセンサ数の削減や測位範囲を拡大する効果が期待できる。



図4.7 ロボットを用いた人追従
出展：マイナビニューステクノロジー [http://news.mynavi.jp/series/mw_casestudy/007/]

4.3.7 位置測位手法の比較と手法の選定

本研究は、人の状態に合わせた生活支援を実現するために、生活空間での位置測位技術の導入を目的としている。既往研究の中から、測位範囲が生活空間の大きさをカバーするに適當であり、精度が高い超音波センサーに着目した(図4.8)。

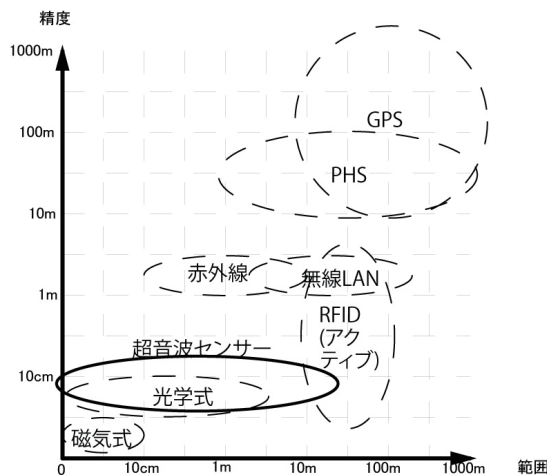


図4.8 測位精度と範囲による位置測位手法の比較

16) 秋葉達也, 三田彰: 生命化建築のためのセンサエージェントロボットを用いた人追従, 日本建築学会技術報告集 18 卷 39 号, pp.775-779, 2012.6

4.4 研究目的

超音波センサを用いた位置測位に関連する既往研究は、グリッド状に多数のリーダを配置して行われたものがほとんどである¹⁷⁾(図4.9)。しかし、実際に生活空間に超音波センサを用いた位置測位を適用する場合、多数のリーダを配置するには、手間もコストもかかるといった問題がある。タンスやクローゼットなどの家具の配置、空調や照明などの設備、梁などの構造部材などを考慮すると、多数のリーダをグリッド状に配置することは難しい上に人間の移動領域を考慮すると無駄が多いと考えられる。つまり、空間の形状や居住者の生活の動きを考慮したリーダの配置によって、リーダ数の削減や設置の手間の低減に貢献できるものと考えられる。しかし、前述したとおり、これまでの研究では、空間の形状は考慮されておらず、多数のセンサを正方グリッド上に配置したものが多く。

そこで本研究では、少数のリーダを用いて複数の配置レイアウトを作成し、その測位の特徴を明らかにすることによって、超音波位置測位システムの日常生活空間への適応可能性を検証することを目的とする。具体的な空間として、これまで研究されていない廊下を想定した狭い空間で実験を行う。幅が狭い廊下のような空間では、リーダが縦列配置にならざるをえないが、最小二乗法による計算手法では西田らが指摘するように、同一平面上でリーダの直線配置が不可能という制約がある¹²⁾。そのため、幅の狭い廊下空間で直線にならないように配置しつつ、精度を確保しなければならない。また、壁際の領域はリーダ配置範囲外で精度が低いという性質も明らかにされているが、具体的な数値は明らかにされていない¹²⁾。壁に挟まれた廊下はこのような性質が顕著に表れ、測位精度に影響を及ぼすと考えられる空間である。

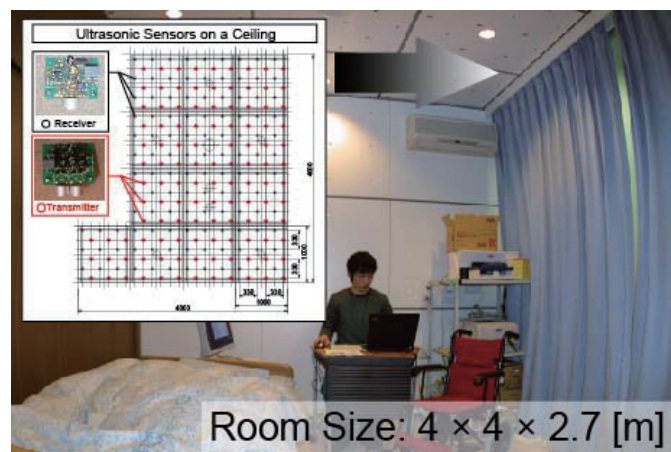


図4.9 グリッド上に多数設置された超音波センサの例

出展：産業技術総合研究所 デジタルヒューマン工学研究センター [http://www.dh.aist.go.jp/jp/]

17) 村上真一, 西田佳史, 堀俊夫, 溝口博:低プライバシー侵害性の人間位置検出システム, 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会'04 講演論文集, p.1A1-H-47(4), 2004.6

4.5 研究手法

本節では、実験空間、実験機器、および測定手法について解説する。

4.5.1 実験空間およびシステムの概要

室内に一般的な住宅の廊下を想定した、奥行 7000mm、幅 800mm、高さ 2400mmの仮設空間を作る（図 4.10, 4.11）。長手方向には、発砲スチロール製の衝立を設け、短手方向は既存の壁面を利用した。天井面も同様に発砲スチロールで製作して閉じ、全面を囲まれた空間とした（図 4.12）。

奥行方向を X 方向、幅方向を Y 方向、高さ方向を Z 方向とすると、リーダは一般的な住宅の天井面を想定した Z=2400mm の位置に固定する。X 方向は既存の天井面からぶら下がるバトンを利用して X=0~6000mm まで 1000mm 間隔とし、幅方向は両端と中央に配置できるよう Y=0~700mm まで 350mm 間隔として、全 21 か所の天井面にリーダを配置可能なものとした（図 4.10）。

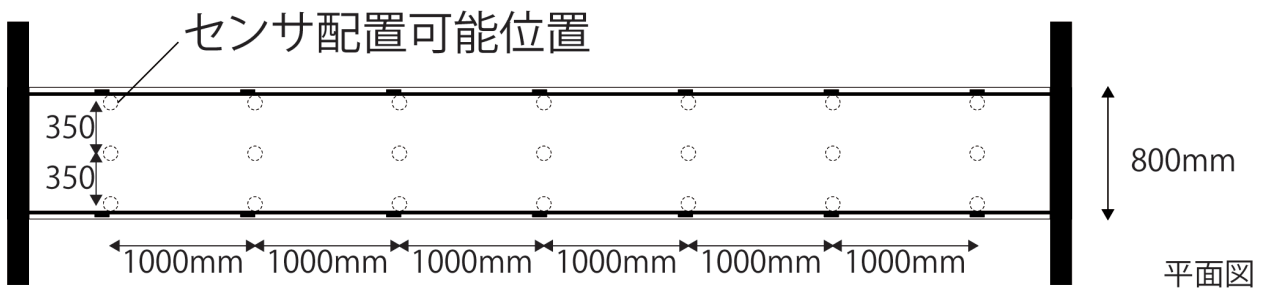


図 4.10 実験空間の平面図とセンサの配置可能位置

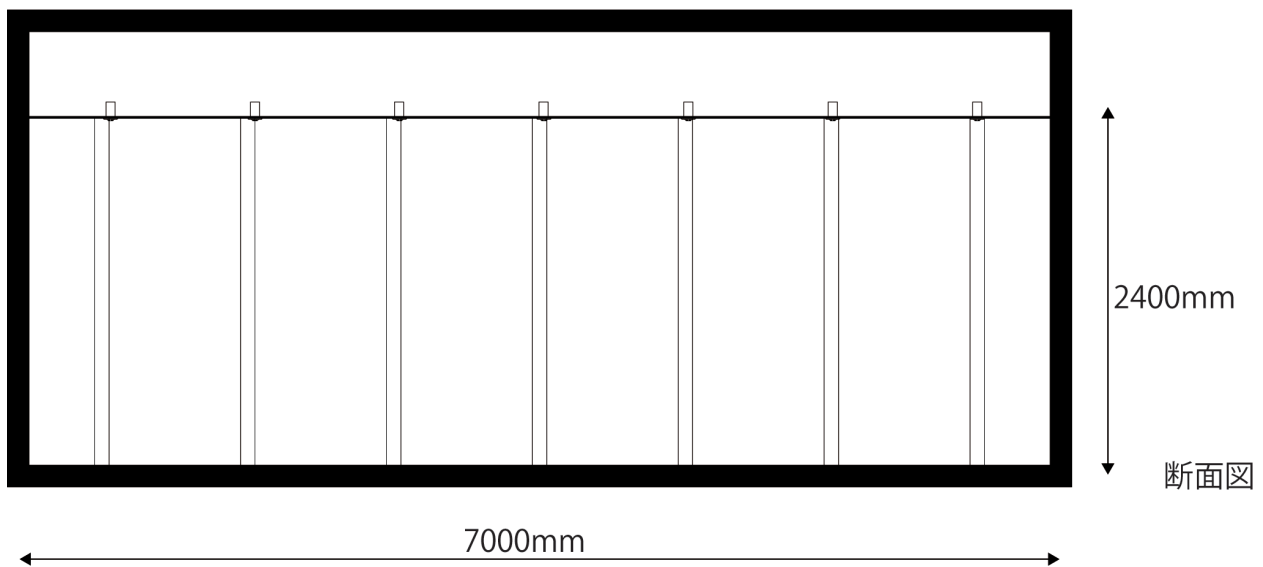


図 4.11 実験空間の長手方向の断面図

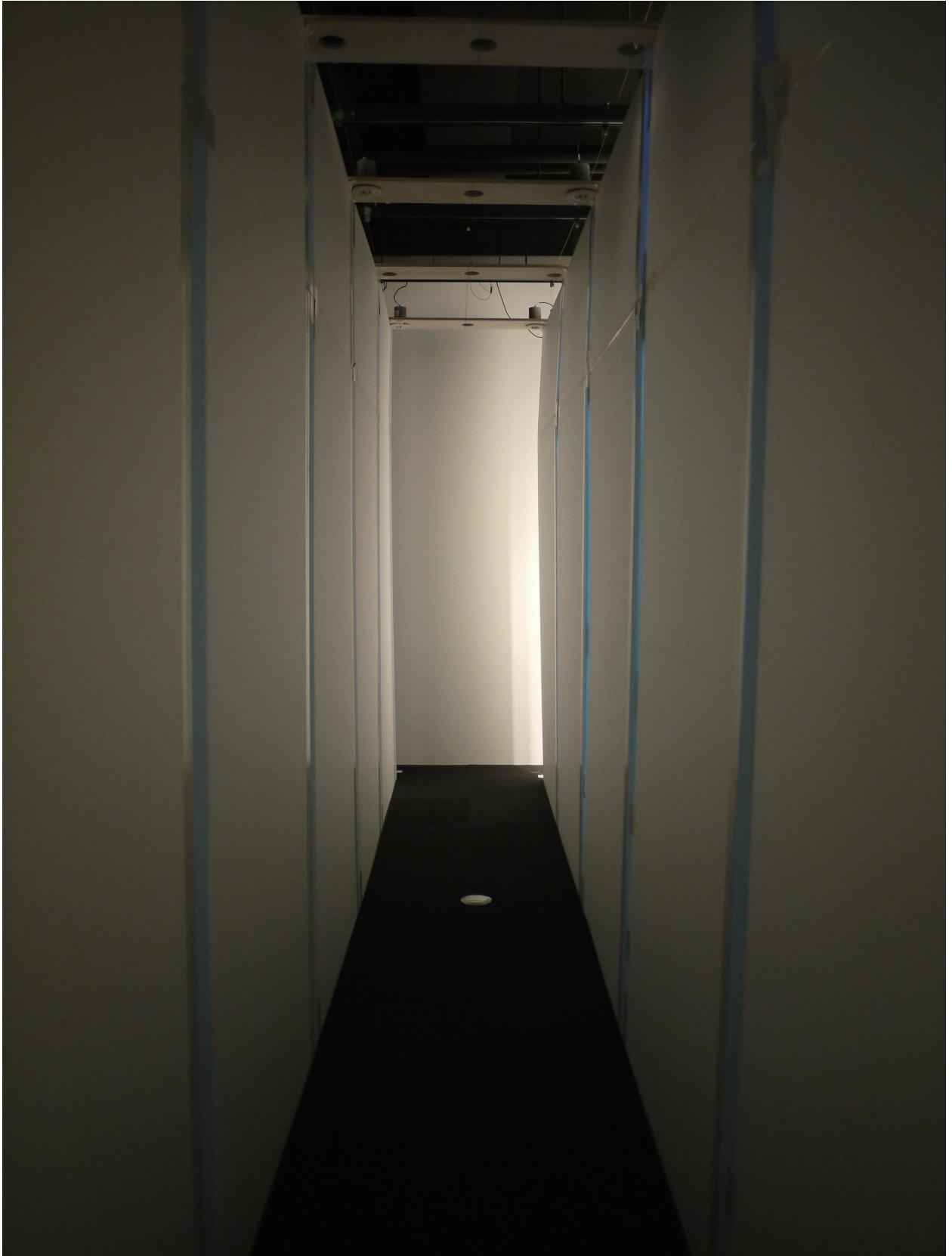


図 4.12 実験空間の様子

4.5.2 超音波センサによる位置測位の概要

4.5.2-a 実験に用いる機器

本研究では、超音波三次元位置測位システムである Zone Positioning System 注（以下 ZPS）を用いた。超音波は指向性が強いいため、センサは空間をあまねく網羅しようとする数が増える。これに対し、ZPS（ZPS-RDR-012）は1つの筐体の中に7つの受信部を放射状に配置することで計測可能角度を大きくし、効率的な位置測位を可能にしている（図4.13）。これにより、リーダの数や設置の手間が減少すると考えられ、ZPSは日常生活空間内への適用可能性が高いシステムであると考えられる。使用したリーダの設置状況を図4.14に、使用する機器の概要を表4-1に示す。

注4 Zone Positioning System
古河電工が開発する超音波を用いた屋内位置測位システム



図4.13 実験に用いた超音波センサ

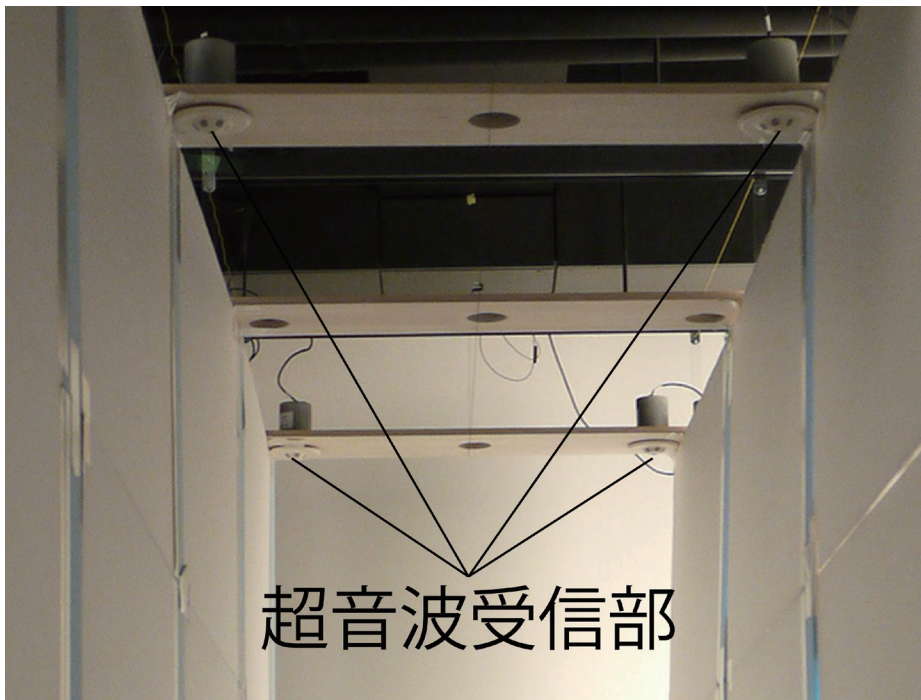


図4.14 天井にセンサを配置した様子

表4-1 使用機器の概要と設定値

PC	WindowsXP32bit, Core 2 Duo, 4GB
通信インターフェース	LAN ケーブル（ストレート）RS-485
計測可能距離	リーダ鉛直方向より約 50cm~7m
計測可能角度	リーダ鉛直方向より 180°
超音波周波数	中心周波数 40kHz
タグタイプ	カードホルダー型
タグコントロール電波周波数	2.4GHz
サンプリング周波数	50Hz（タグ1台使用の場合）

4.5.2-b 位置測位の手順

システムは、PC (パーソナルコンピュータ), CU (コントローラユニット), ICU (ID 呼び出しユニット), OPU (演算ユニット), リーダ (受信機), タグ (発信器) から構成される (図 4.15)。

位置測位までの過程を以下に示す。

1) PC 上のプログラムから測定を開始すると、開始や停止などの指示を行う ICU (ID 呼び出しユニット) からタグに位置情報取得開始の合図が送られる。

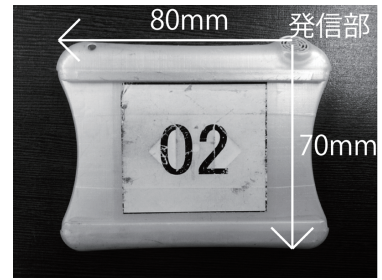


図 4.16 実験に用いたタグ

2) タグは合図を受け取ると、超音波発信部分から約 100°円錐の形状で超音波を発信する (図 4.16)。

3) リーダが音波を受け取ると、OPU (演算ユニット) がタグから各リーダまでの到達時間 ($t_1, t_2, t_3 \dots$) の差を計算し、三次元位置を測位する。

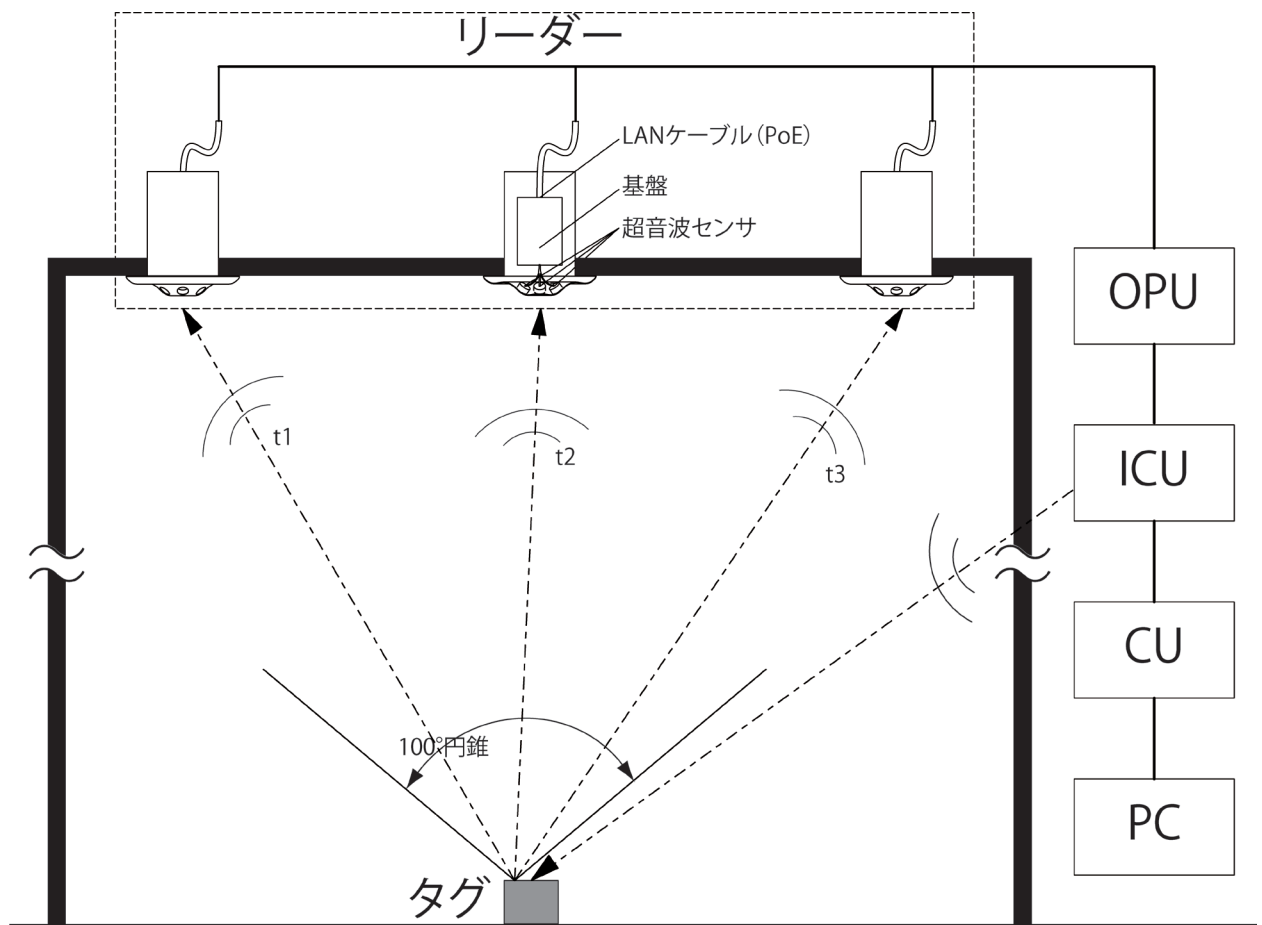


図 4.15 システムの概念図

4.5.2-c 位置測位に用いるアルゴリズムとその特徴

ZPS には三次元座標を算出するために、最小二乗法、ロバスト推定法、およびニュートンラプソン法の3種類のアルゴリズムがあらかじめ用意されている。本実験空間は、同一平面上にリーダを配置し、平面的な配置の形状の違いによる測位への影響を調べるため、一般的に最も良い精度を求められる最小二乗法を用いた。壁による反射ノイズの影響が考えられるため、ロバスト推定法の利用も考えられたが、日常生活空間へ適用するためにリーダ数を減少させるという狙いもあり、少ないリーダからさらに演算対象から外す処理が行われると、そもそも計測が不可能となる可能性があったため、最小二乗法を用いることとした。

しかし、西田らの報告¹¹⁾によって、最小二乗法を用いた位置推定アルゴリズムには以下のような特徴が明らかにされている(下線部引用)。

“・同一平面にない最低4個の超音波受信器の測定データがある場合：解を一意に決めることが可能

・同一平面上にない3個の超音波受信器の測定データがある場合：2個の解を求めることができるので、あらかじめ適当な解が存在する空間の位置を拘束条件として定義しておくことで、送信器の三次元位置を求めることが可能

・同一直線上に並んだ超音波受信器の測定データしか得られない場合：解は無数に存在し、解を定めることができない”

よって、リーダの数は最低4つとし、4つのリーダが同一直線上に並ばないことを条件にリーダのレイアウトを作成する。

各演算アルゴリズムの特徴の概略を以下に示す。

①最小二乗法

全てのリーダの距離情報を演算対象として使用する。各リーダとタグの間の距離情報を、タグを中心とした3つの球の半径に代入し、これらを用いた連立方程式によって解を求めている。超音波反射などのノイズが入らない環境の場合、一般的に精度の良い三次元情報を得ることができる。

②ロバスト推定法

異常と思われる距離情報を演算対象から外す処理が含まれるため、超音波反射ノイズが入る環境で三次元座標の精度がばらつく場合に有効な演算手法である。最小二乗法より演算時間がかかる。

最小二乗法とロバスト推定法は、リーダの配置が同一平面上であるか、同一平面上でない場合はリーダ間と同程度の高低差でリーダを配置しなければ高い精度を得ることができない。

③ニュートンラプソン法

同一平面で僅差の落差があるような場所にリーダを設置する場合に有効であるが、近似解を利用するため、位置推定の精度は最も悪く、計算時間も長時間となる。

4.5.3 実験の概要

本研究は、リーダを少数にすることによって、コストの低減や設置の困難さといった問題点を解決することを1つの目的としている。しかし、リーダ数を削減すると精度に悪影響を及ぼすと考えられ、センサの数や配置と精度の関係性について明らかにする必要がある。

そこで、本研究ではリーダの数を8個以下に限定し、配置形状と検出精度の関係性を明らかにすることを目的として、6種類のリーダの配置および、155か所の測位点、計930か所に対して位置測位実験を行った。

4.5.3-a センサのレイアウト

本研究が対象とした廊下空間は、幅が狭く、奥行き方向に長い形状である。例えばこのような空間に、センサや照明を配置しようとした場合、通常奥行き方向に等間隔に並べる配置が思い浮かぶ。しかし、直線状の配置は本研究で用いる超音波センサでは解を求めることができない。そこで本研究では8個以下のセンサを用いて実現可能なレイアウトについて検討を行い^{注5}、その中から6つのレイアウトについて検証を行うこととした。検討されたレイアウトの一部を図4.17に示す。

注5 検討されたレイアウトについて図4.17に検討されたレイアウトの一部を示す。直線、四角などは著者の個人的な主観によるもので、明確に定義付けして分類しているものではない。また図中の点線は筆者の意図を明確にするために補助として加えたものである。

作成したリーダのレイアウト6通り（L1~L6）の各リーダの配置と座標値を図4.18に示す。L1, L2は個数4個、L3~L6は個数7, 8個を配置し、数の違いによる比較を目的とした。L1, L3は交互配置、L2, L4は従来のグリッド配置に近い。L5とL6は中央(y=400mm)にもリーダを配置し、L5は中心に配置することで密度の高い三角形グリッドを形成し、L6は端部へリーダを増やし、グリッドではない配置にすることを意図した。

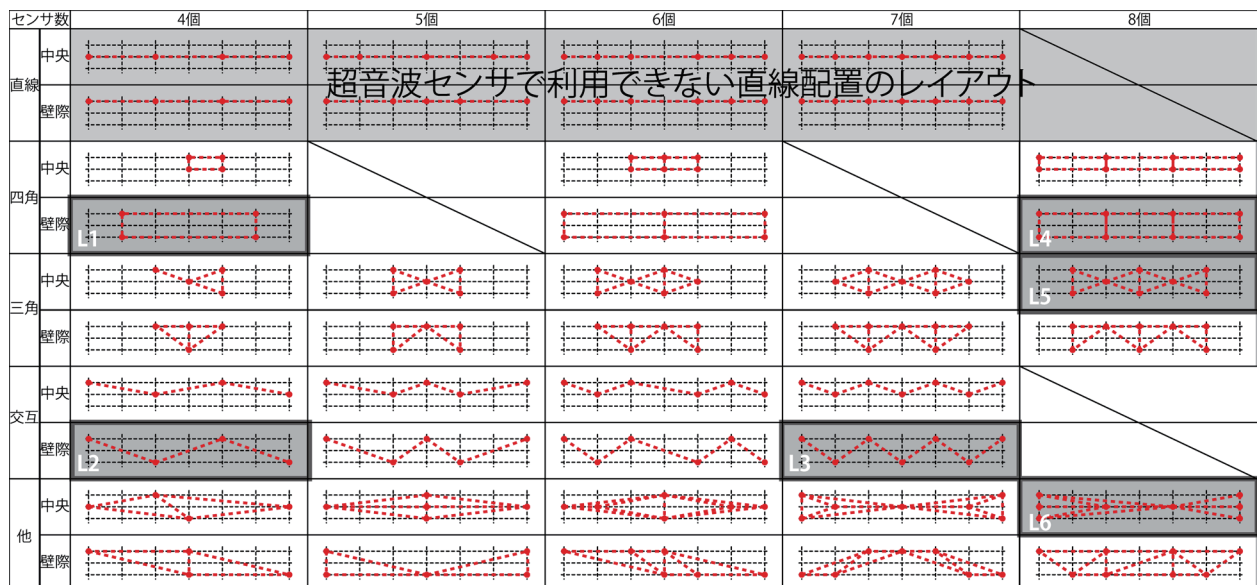
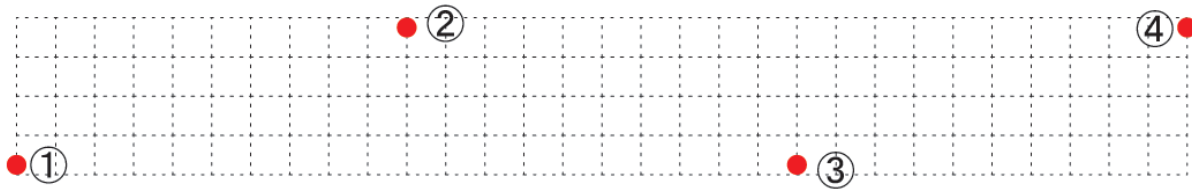


図 4.17 検討されたレイアウトの一部

L1



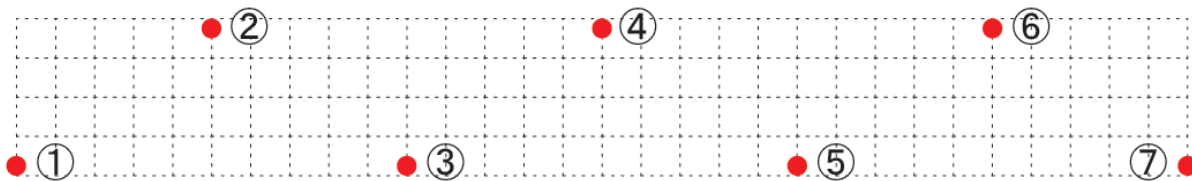
① 0,0,2400 ② 2000,700,2400 ③ 4000,0,2400 ④ 6000,700,2400

L2



① 1000,0,2400 ② 1000,700,2400 ③ 5000,0,2400 ④ 5000,700,2400

L3



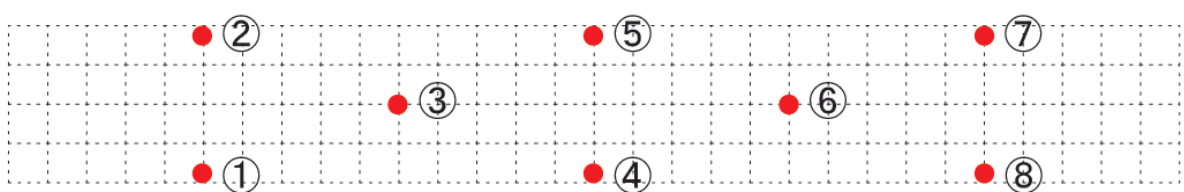
① 0,0,2400 ② 1000,700,2400 ③ 2000,0,2400 ④ 3000,700,2400
⑤ 4000,0,2400 ⑥ 5000,700,2400 ⑦ 6000,0,2400

L4



① 0,0,2400 ② 1000,700,2400 ③ 2000,0,2400 ④ 3000,700,2400
⑤ 4000,0,2400 ⑥ 5000,700,2400 ⑦ 6000,0,2400

L5



① 1000,0,2400 ② 1000,700,2400 ③ 2000,350,2400 ④ 3000,0,2400
⑤ 3000,700,2400 ⑥ 4000,350,2400 ⑦ 5000,0,2400 ⑧ 5000,700,2400

L6



① 0,0,2400 ② 0,350,2400 ③ 0,700,2400 ④ 2000,350,2400
⑤ 4000,350,2400 ⑥ 6000,0,2400 ⑦ 6000,350,2400 ⑧ 6000,700,2400

図 4.18 6通りのリーダーレイアウトと各リーダーの座標値

4.5.3-b タグの測位位置

実験は既往研究¹¹⁾を参考にし、タグを基準点の床面に立てて置き、100msの間隔で30回位置を取得した。x=0～6000mm、y=0～800mmの範囲内における200mm間隔グリッドの交点155か所で行った(図4.19)。

タグは、保持して歩行することを想定して、面外方向に45°傾斜するかたちで超音波発信部が取り付けられている。本実験でもタグを動かす進行方向(図中右)に斜め45°の傾斜が向くように配置して、実験を行った(図4.20)。



図 4.19 タグを設置する測位点 155 か所

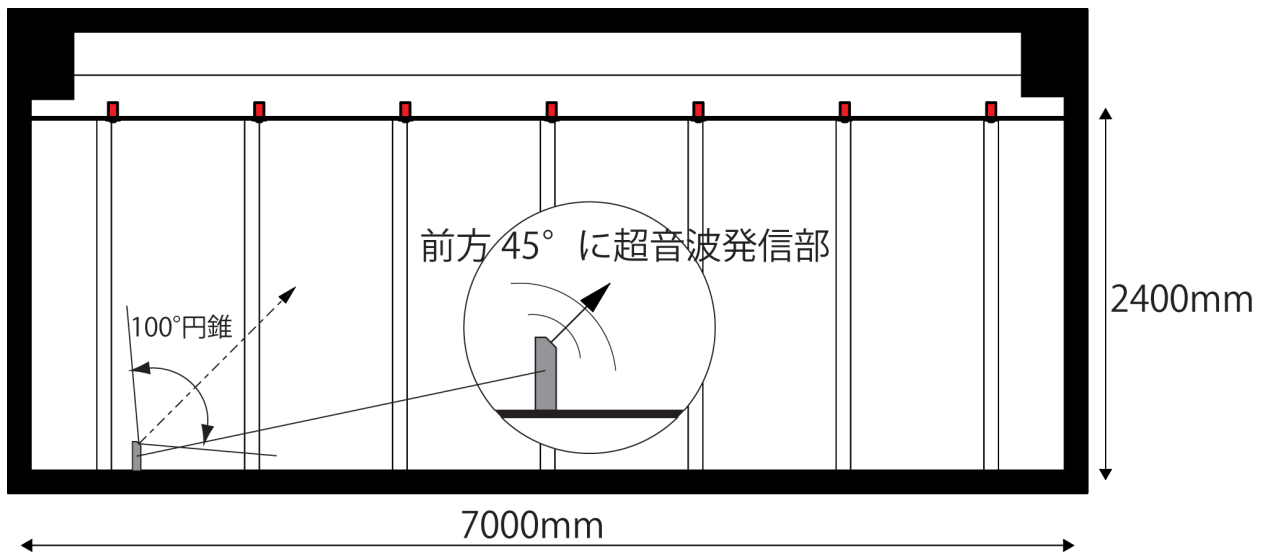


図 4.20 床面へのタグの設置と超音波発信部の位置関係

4.5.3-c 測定するデータ

本研究では、測位成功回数と、測位精度の2つについて実験を行う。測位した結果、測位は成功したものの、計算された測位位置が大きく異なっている場合が存在し、測位が可能な領域と、測位の精度は必ずしも一致しないと考えられるからである。

・測位成功回数の測定

30回の位置情報の取得を行ったうち、測位が成功した回数（三次元座標が取得できた回数）をカウントする。

・測位精度の測定

930か所のうちn番目の基準点の座標を (x_n, y_n, z_n) 基準点にタグを置き、30回位置情報取得を行った際の測位点の平均座標を、 (x'_n, y'_n, z'_n) としたときの、2点間のベクトル長さを式(1)によって求め、これを誤差Lとする。

$$\text{式(1) 誤差 } L = \sqrt{(x'_n - x_n)^2 + (y'_n - y_n)^2 + (z'_n - z_n)^2} \quad (\text{mm})$$

ただし、超音波発信部がタグの上面右端にあり(写真2)、1行目(測位点1,5,10…150番)では、測位点の真上にタグを設置できないため、x座標から-80mm、また、地面からタグ上部までの高さを考慮して全位置においてから-70mmをキャリブレーション値として採用する。

次に、930か所で求めた誤差Lのうち最大誤差と最小誤差を用いて各点の誤差の程度を相対化し、比較し易いように百分率に示す。最大誤差 L_{\max} 、最小値を最小誤差 L_{\min} 、各測位点の誤差 L_n としたとき、各測位点の測位精度 α_n は式(2)によって示される。

$$\text{式(2) 測位精度 } \alpha_n = \left(1 - \frac{|L_n| - |L_{\min}|}{|L_{\max}| - |L_{\min}|}\right) \times 100 \quad (\%)$$

ここでは、930か所のうち誤差の大きい(精度が低い)測位点が0、誤差の小さい(精度が高い)測位点ほど100に近い値として示される。これにより本実験で計測されたL1からL6のレイアウトの誤差の程度を共通の尺度で比較する^{注6}。

注6 誤差の精度表示について
誤差をそのまま百分率に用いると誤差の大きい点が100、小さい点が0となり、計測不可能な点を空白で表示すると比較しづらく誤解を招きやすいため、誤差の程度を1から差し引いたものを精度とし、精度が高い(誤差の小さい)点が100、精度が低い(誤差の大きい)点が0、計測不可能な点を空白で表示している。

4.6 実験結果

L1-L6の6レイアウトそれぞれの測位点1-155番において各30回位置情報を取得した際の、測位回数の集計結果を図4.21に、測位精度の集計結果を図4.22に示す。

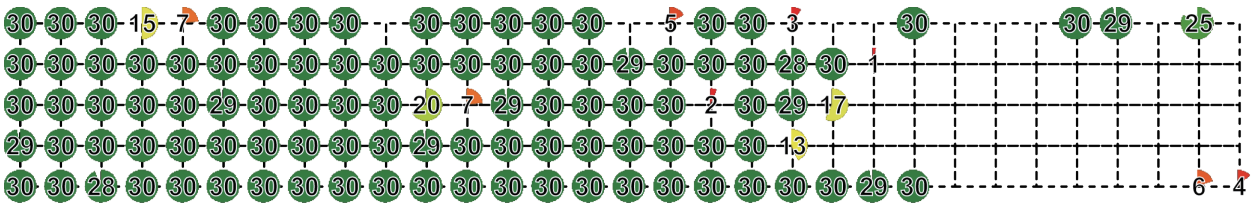
各レイアウト共に、最大測位回数は30回、最少測位回数は0回で、全体の平均は24.2回だった。レイアウト別の平均測位回数は、L1が19.5回、L2が18.24回、L3が27.5回、L4が27.95回で最高、L5が25.05回、L6が27.2回となった。

式(1)を用いてL1-L6の6通り・155測位点における、誤差Lを計算した結果、最大誤差Lmaxは、L1の測位点25番における4287.14mmとなった。また、最少誤差はL6の測位点58番における18.87mmである。

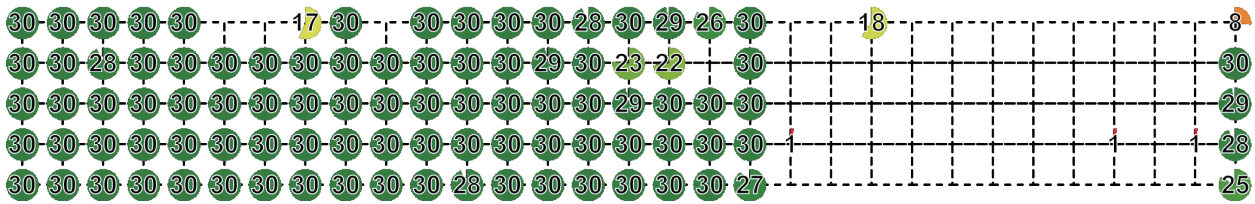
式(2)を用いて計算した結果、全レイアウトでの平均は71.20%となった(計測不可能点を除外すると平均値が向上するため、最大誤差値Lmax = 4287.14mmを代入している^{注7)})。レイアウト別の平均測位精度は、L1が62.21%、L2が56.37%、L3が77.42%、L4が75.21%、L5が76.79%、L6が79.19%で最高となった。

注7 計測不可能な点について
計測不可能な点については、誤差が限りなく大きいとするのが妥当であると考えられるが、本研究では、リーダーのレイアウトの違いによる位置検出の特性を比較することを目的としているため、最大誤差値Lmax = 4287.14mmを代入し、最も誤差が大きく精度が低い点として扱う。

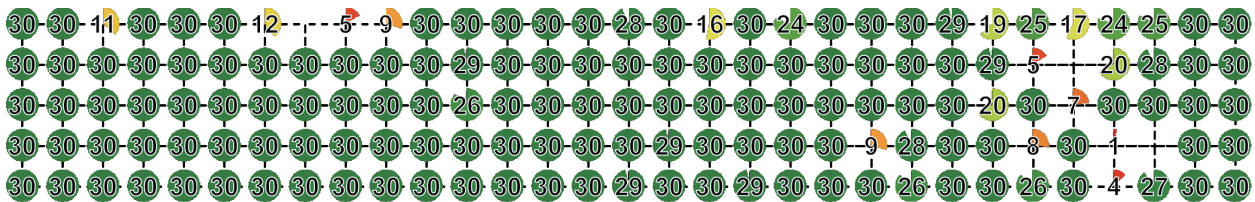
L1



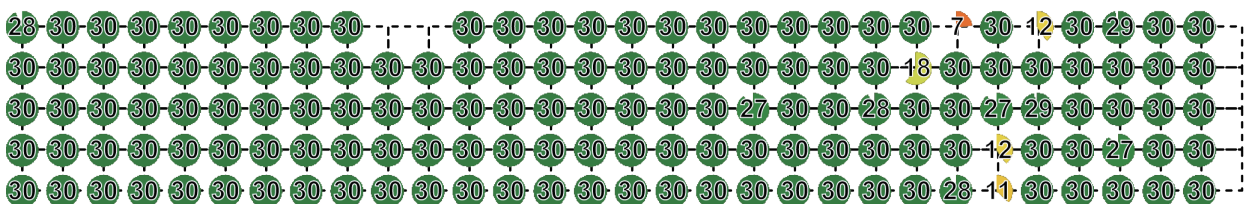
L2



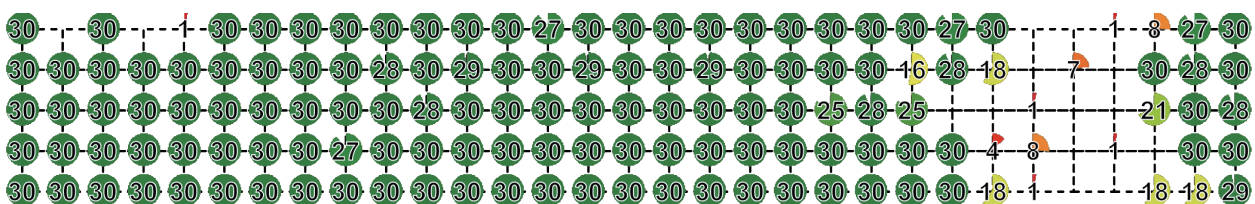
L3



L4



L5



L6

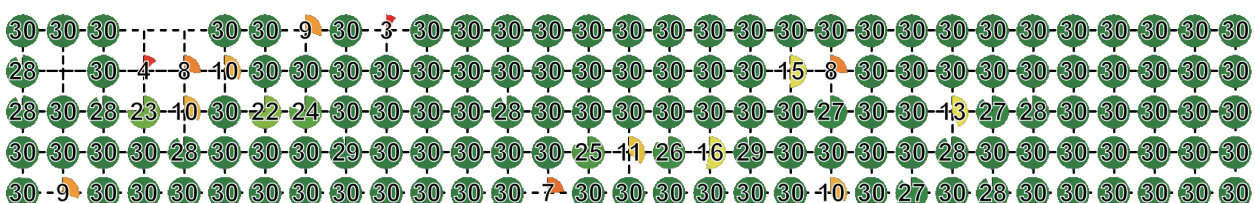
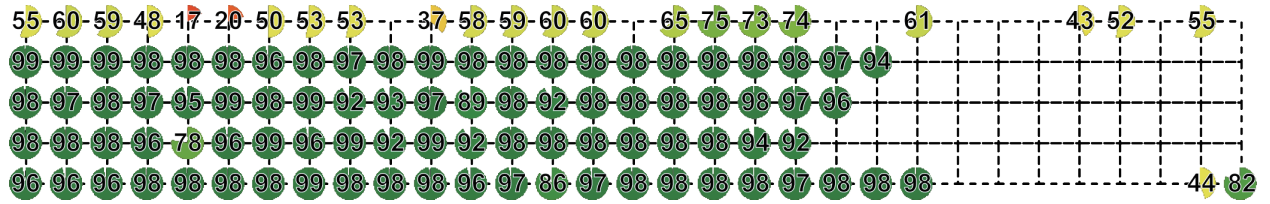
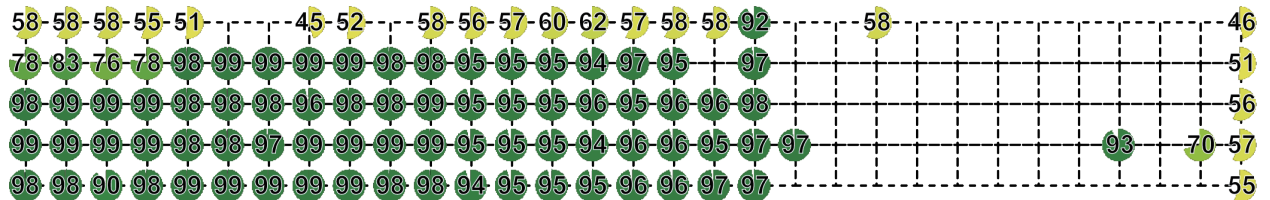


図 4.21 L1 - L6 の各測位点における測位回数の集計結果

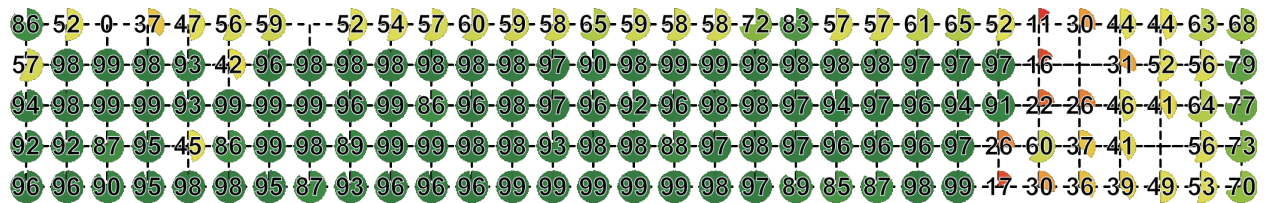
L1



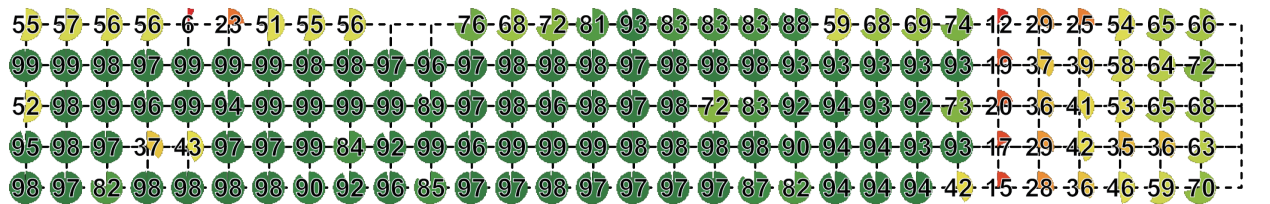
L2



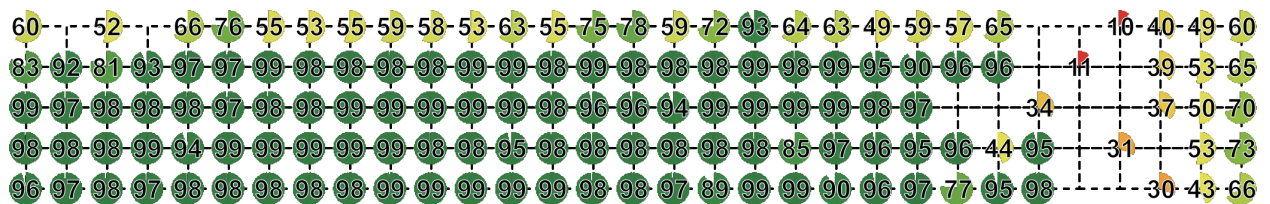
L3



L4



L5



L6

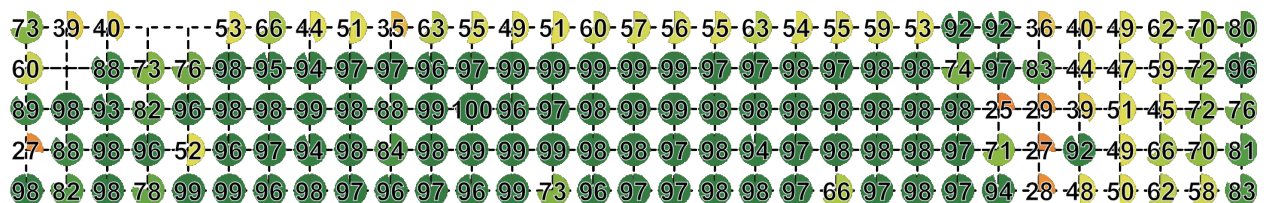


図 4.22 L1 - L6 の各測位点における測位精度の集計結果

4.7 考察

4.7.1 測位回数の考察

4.7.1-a リーダの個数による測位回数の比較

各レイアウトにおける1000mm区間ごとの平均測位回数を図4.23に、全レイアウトにおける各行の平均測位回数を図4.24に示す。

L1とL2では、いずれも3000-4000mm区間から測位回数が低下している(図4.21)。これは、進行方向に向かって受信可能なリーダ個数が2個しかなくなることが原因であると考えられる。一方、7、8個のリーダを取り付けたL3-L6でも3000-4000mm区間を境に減少こそするものの、L1やL2ほど測位回数が大きく低下する結果は見られなかった。

L2、L3、L5では4800-5400mm付近において測位回数が低下するものの、5800-6000mmになると、再び測位回数30回を記録している(図4.20)。特にL5は6000mmの位置にリーダが配置されていないため、5000mmを境にして顕著に測位回数が低下するが、リーダが配置されていない6000mmに近づくとつれて再び測位回数が増加している。これは、正面の壁に近いこと、壁に反射した音波を取得し、測位回数が増えているためであると考えられる。

4.7.1-b リーダの配置による測位回数の比較

各レイアウトの4000mm付近の結果を見ると、L2は測位点95番を境にはっきりと測位回数が低下するが、L1では測位点100-120番付近にかけても測位する結果となっている(図4.21)。測位回数が斜めに減少している様子からも、互い違いに配置されたリーダに影響を受けていると考えられる。同様にL3、L4も、明確に表れてはいないものの、レイアウトによって測位回数低下の様子がそれぞれ異なるのがわかる。

L6のレイアウトは、0mmと6000mmにリーダを3つ配置することにより、測位回数、精度の向上を狙ったが、0-1000mm区間では全レイアウトの中で最低の22.87回、5000-6000mm区間では全レイアウトにおいて最高の29.93回を記録する結果となった。超音波発信部分がタグの真上ではなく、進行方向斜め45°の部分にあるため、超音波の性質である指向性の高さを考慮すると、0-1000mm区間ではL6-①②③の3つのリーダは超音波の発信方向に対して背面に存在するためリーダとしての機能を成さず、5000-6000mm区間では6000mmに取り付けられたL6-⑥⑦⑧のリーダは効果的に働いたと考えられる(図4.25)。

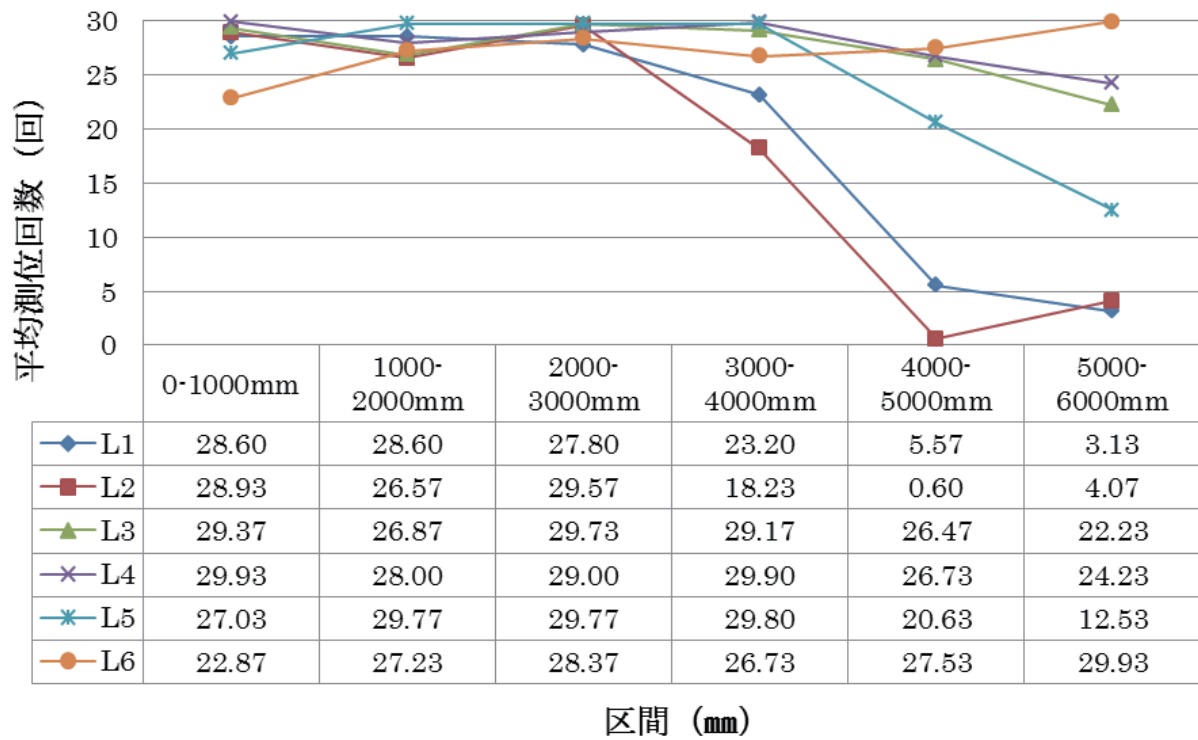


図 4.23 L1 - L6 の各レイアウトにおける 1000mm 区間ごとの平均測位回数

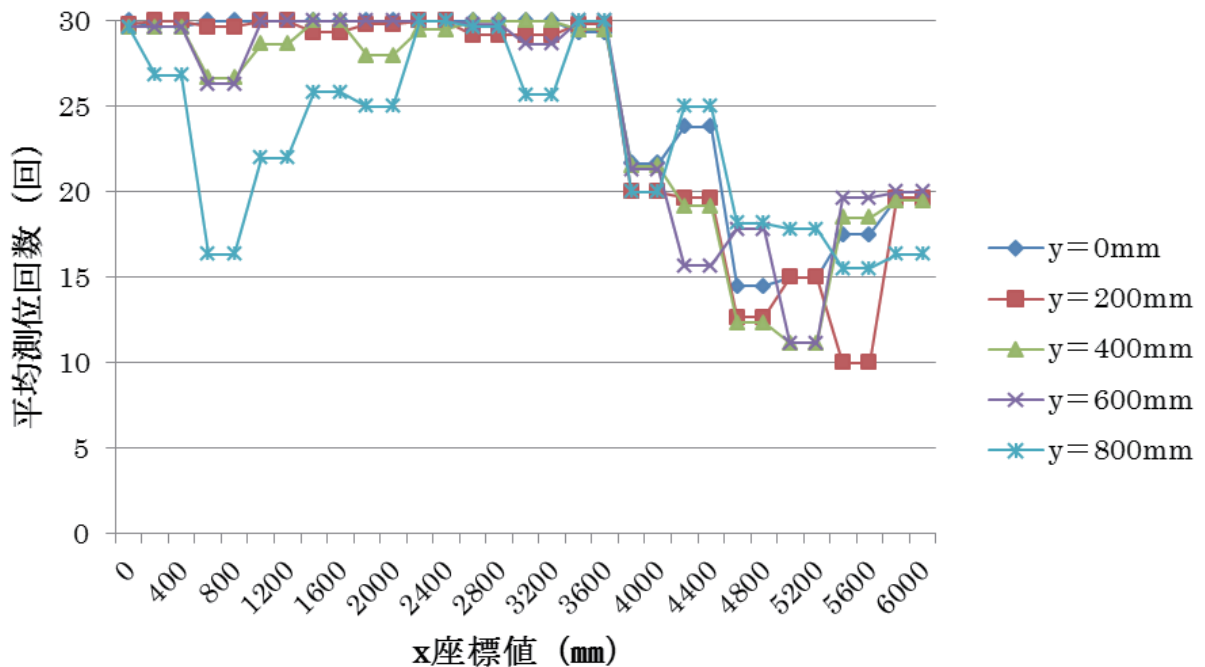


図 4.24 全レイアウトの 1-5 行における各行別の平均測位回数

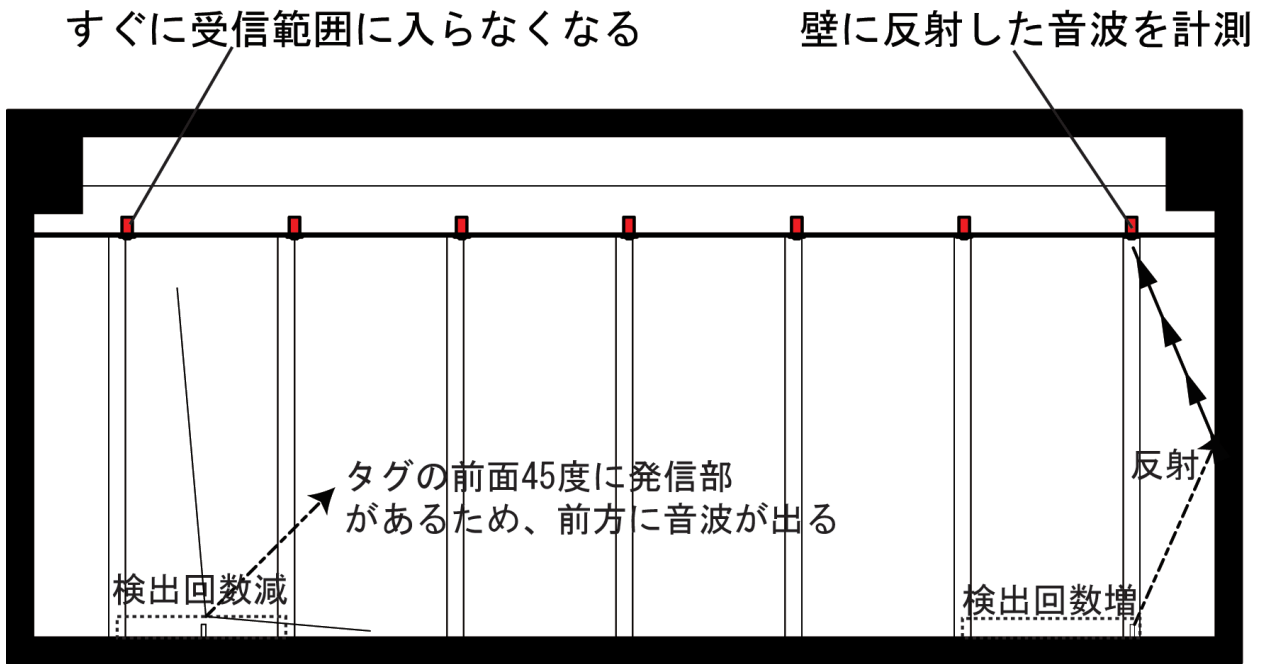


図 4.25 測位回数への影響の考察

4.7.2 測位精度の考察

4.7.2-a リーダの個数による測位精度の比較

各レイアウトにおける1000mm区間ごとの平均測位精度を図4.25に、全レイアウトにおける各行の平均測位精度を図4.26に示す。リーダー4個を配置したものは2000-3000mm区間までは8個配置したものと大きく変わらないが、3000mm以後に差が表れている(図4.25)。7, 8個配置したものはどのレイアウトも4000-5000mm区間で70%, 5000-6000mm区間で50%程度であり、測位回数と比較すると異なる増減を示していることがわかる。

4.7.2-b リーダの配置による測位精度の比較

各行ごとに精度を比較すると5行目($y=800\text{mm}$)の測位精度が低い(図4.25)。これは、既往研究でも指摘されている壁際の検出率の低下が現れたものだと考えられる。リーダーが取り付けられている範囲内における誤差は約20mm~80mmと記述されているが¹¹⁾、取り付け範囲からの逸脱距離とその影響に関して明記はない。L4を例に既往研究と同様にリーダー取り付け範囲を定義すると、L4-①②⑦⑧で囲まれる、 $0 \leq x \leq 6000$, $50 \leq y \leq 750$ の範囲が取り付け範囲である。壁際にタグを置いた場合の発信部は、1行目が $y=80\text{mm}$ で30mm取り付け範囲境界の内側に、5行目が800mmで50mm取り付け範囲境界の外側になる(図4.28)。この50mmの逸脱が精度の低下を招いた要因と仮定できるが、L2やL5についてみると、0-1000mm区間と5000-6000mm区間は、共に同じ取り付け範囲外であるが、前者では測位精度が高く、後者では低い結果となっている(図4.29)。このことから、測定範囲からのわずかな逸脱であれば、測位精度が一律に低下するとは考えづらい。範囲外における測位精度の差は、測位回数の考察と同様に発信器の向きと超音波の指向性の高さに起因するものだと考えられる。

その他の原因として、測位回数と同様に反射による精度への影響が考えられる。同じ既往研究のなかで、“手による反射の影響が多くなり、外れ値の割合が高くなること”と記述されている¹¹⁾。L5の5400mm~6000mmでは正面壁への反射波の取得によって測位回数が増加していると考えられるが、精度は30~70%である。これらの考察から、壁の近傍では反射による精度への影響が考えられ、5行目でも長手方向の壁面への反射によって、同様の30~70%の精度になった可能性が考えられる(図4.30)。しかし、長手方向の壁面から80mm離れた1行目では、L1~L6の全てにおいて精度の低下が見られなかった。

また、精度の向上を目的として端部にリーダーを3つ配置した、L6の0-1000mm区間と5000-6000mm区間の精度が、L6の他の区間に比べて向上しなかった原因として、今回計算方法として採用している最小二乗

法の問題による影響が一要因として考えられる¹¹⁾。L6-①②③や⑥⑦⑧リーダ3つが直線上に並び、その3つで測位しても、“同一直線状に並んだ超音波受信機の測定データしか得られない場合：解は無数に存在し、解を定めることができない。”¹¹⁾という条件にあてはまるため、0-1000mm区間および5000-6000mm区間は精度が向上しなかった可能性がある。リーダが直線に並ぶ場合の解決策として、リーダの配置に高低差を用いることによって、“同一平面上にない3個の超音波受信機の測定データがある場合：2個の解を求めることができるので、あらかじめ適当な解が存在する空間の位置を拘束条件として定義しておくことで、タグの三次元位置を求めることが可能”¹¹⁾という解の条件を満たすことができる。しかし、最小二乗法では、リーダの高低差は間隔と同程度に設ける必要があり、天井が低い空間では現実的な解決手段であるとは言い難い。また、僅かな設置の高低差を用いた演算手法が可能なニュートンラプソン法についても、計算の遅延や精度の低下という別の問題点が挙げられている¹⁸⁾。

18) 古河機械金属株式会社：超音波3次元位置測位システム、http://www.furukawakk.jp/products/ZPS_1.html（参照 2013.6.10）

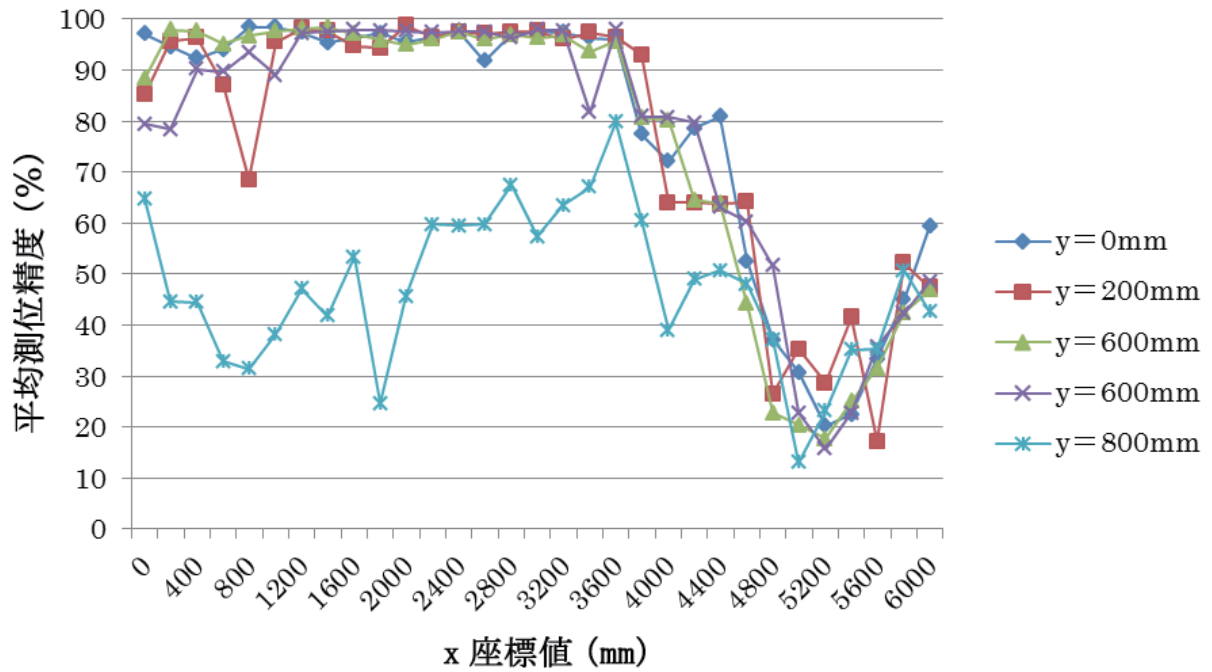


図 4.26 L1 - L6 の各レイアウトにおける 1000mm 区間ごとの平均測位精度

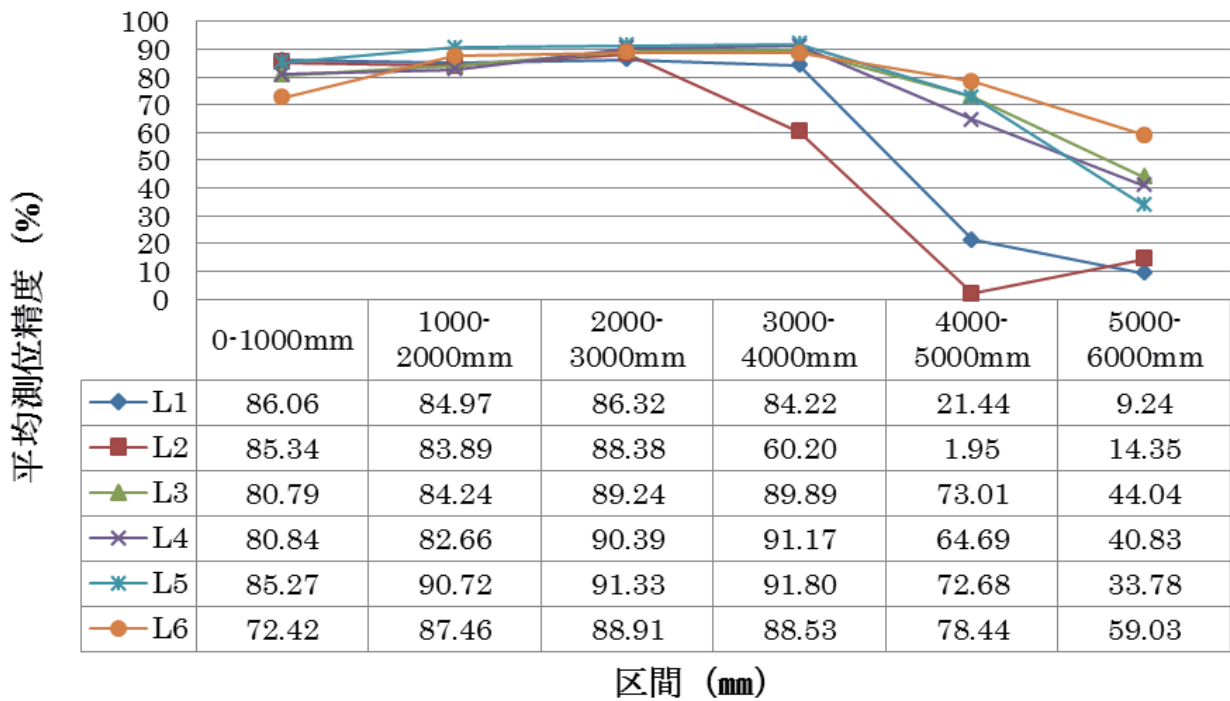


図 4.27 全レイアウトの 1-5 行における各行別の平均測位精度

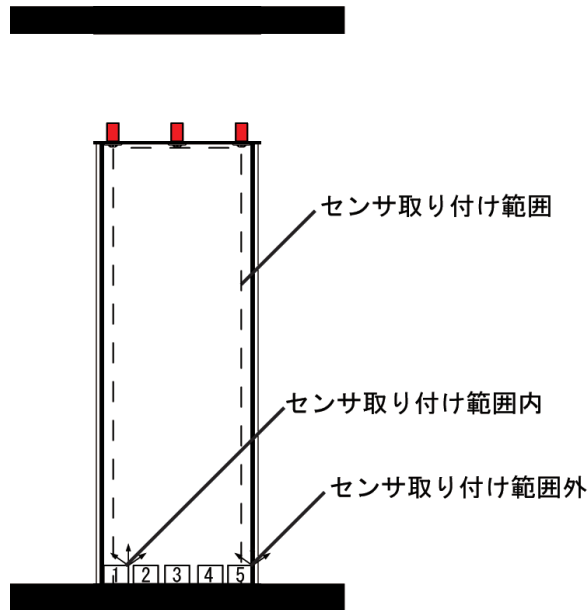


図 4.28 取り付け範囲と発信部

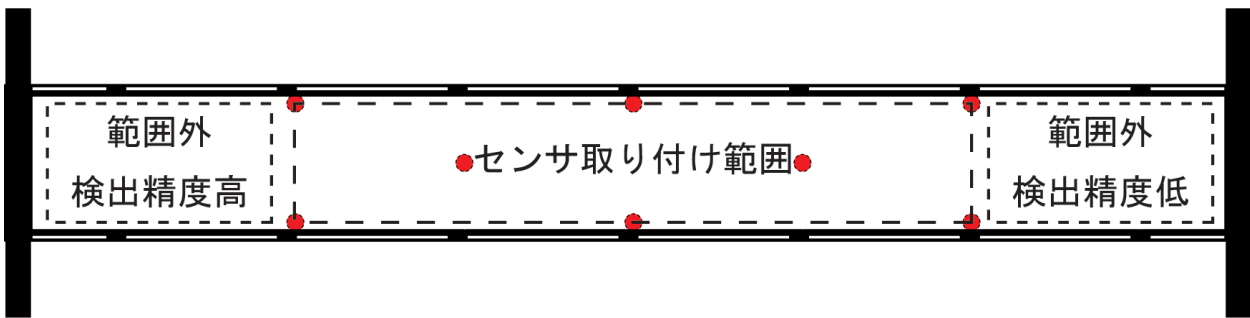


図 4.29 L5 における精度の違い

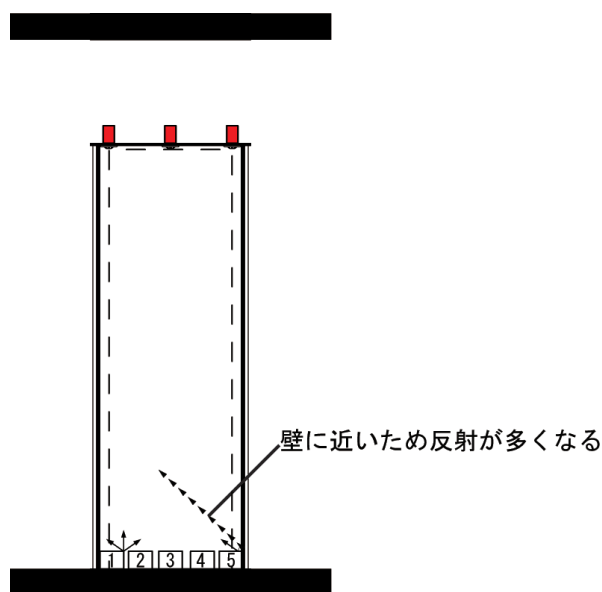


図 4.30 5 行目における反射

4.8 まとめと今後の展望

本研究は、廊下のような狭小空間において超音波位置測位技術を用いて測位回数と精度の検証を行った。本研究で得られた結果を以下にまとめる。

1) リーダのレイアウトと測位精度には関連があり、壁に囲まれた奥行方向に長い廊下のような空間においては、必ずしもグリッド配置が理想的ではない。

2) 壁の近傍では測位回数は一様に増加するが、精度は30～70%程度であり、離隔距離80mm以下では精度が低下するという結果となった。原因として超音波の側壁での反射による影響が考えられる。

3) 測位回数や精度と、リーダに囲まれた測位範囲内にタグが存在するか否かには関連が見られなかった。測定範囲外で検出精度が高いエリアと低いエリアが存在することから、タグの向きによる影響が考えられる。

本研究は表面積あたりのリーダ数を、既往研究4.06個/m²から0.16個/m²（8個の場合）に削減して実験を行っており、リーダの個数について日常生活空間への適用可能性を示すことができた。壁の近傍における測位の不正確さの問題については、本実験でも既往研究と同様に壁からの反射の影響があるものと考えられ、他の推定法による位置測位との比較検証を行う必要がある。精度向上のために端部でのリーダ数を増加する手段は効果的であると考えられるが、最小二乗法の特性を考慮し、同一直線上にリーダが並ぶことを避けた配置について検証する必要がある。

今後は、部屋を想定した空間で実験を行い、部屋の形状、家具配置など、空間の形状に応じたリーダ配置の可能性について検証する。加えて、今回は床にタグを置いて静止した状態での実験だったが、今後は人の歩行動作など対象が動く状態での実験を行う。

4.9 第4章 小結

本章では、様々な位置取得手法および関連する既往研究を整理し、超音波センサを用いる意義を述べた。超音波センサに関する既往研究では、グリッド型にセンサを多数配置する手法が一般的に採用されており、建築の形状とセンサの配置の関係性が考慮されていないことが明らかとなった。しかし、実際の生活空間を想定すると、グリッド型にセンサを多数配置することは困難である。そこで本研究では、グリッド型の配置が取りづらい空間形状である廊下空間において、リーダの配置レイアウトおよび位置取得精度について実験・考察を行い、必ずしもグリッド型のリーダ配置が有効でないことを明らかにした。

この結果から、建築の形とセンサの配置を考慮する必要性が浮かび上がる。現在行われている位置情報取得に関する研究の多くは空間を均一なものとして捉え、空間全体に均一・網羅的にセンサを設置しようとするものが多く、建築の設備として据え置き、固定されているものが多い。

しかし、家具が置かれたために物理的に人間が利用できない場所、逆にいつも家族が集まる場所など、実際の空間には不均一で、この不均一な空間は絶えず変化することは前述した通りである(図4.1)。この絶えず変化する空間の不均一性を蓄積すると、空間にいわゆる獣道のようなものが発生している状態が明らかとなる。よって、前述の均一かつ固定的な配置では、家具が置いてある場所をセンシングしたり、人が集まる場所なのに正確にセンシングできないなど、ギャップが存在することが明らかである。

この点において2つの事例から今後の空間の可能性を論じる。

1つめは、領域に関するアルゴリズムを利用した空間構成である。本学研究員のAns Studioが行ったソニー大崎ランドスケープデザインは、ポロノイやドロネーなど領域のアルゴリズムを用いて植栽を決定している。さらに人間の利用する道(獣道)をも考慮にいれ、それぞれの領域を保ちながら、その特性に合った配置が決定されている(図4.31)。複雑な建築の諸条件と、空間の形状、センサの取得領域、人間の生活スタイルを統合的に分析し、センサの配置を決めるには、このようなコンピュータを用いた設計手法が有効であると推察される。

2つめは、空間のカスタマイズについてである。前述のように、現在位置取得に用いるセンサは、専門的かつ、固定化されていないと性能を発揮できない。本学で開発を進める次世代建築モジュールNeuro Fabricsは、空間の自由なカスタマイズを可能とするべく開発が進められ、ブロックの中にセンサを自由に配置可能で、それに伴う配線なども構造体の中に含有できるように設計されている(図4.32)。空間のカスタマイズを可能とすることで、変化する空間の現状に追従することが可能となる。

人間の生活は絶えず変化し、現状で最適な配置を行ったとしても、明

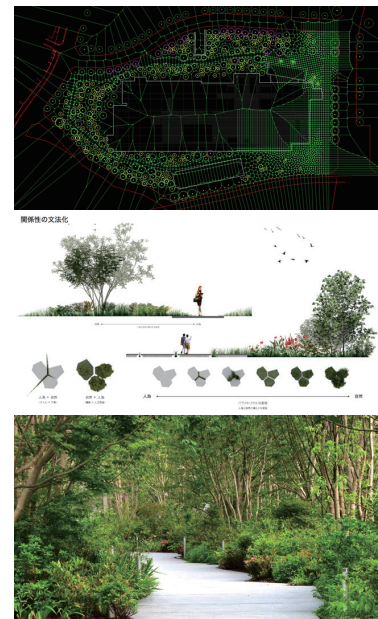


図4.31 ソニー大崎ランドスケープデザイン

出展: Ans Studio ホームページ [<http://www.ans-studio.com/>]

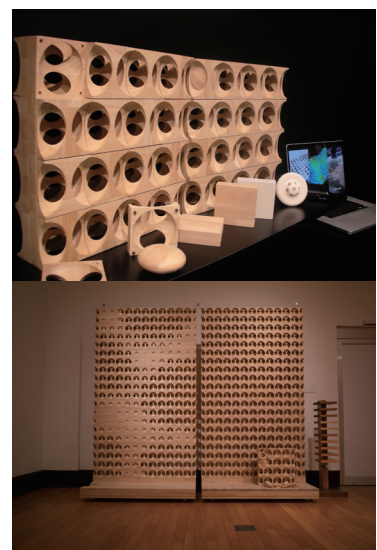


図4.32 Neuro Fabrics

日最適である保証はない。日常生活の情報を蓄積することによって、人間の無意識を設計に取り入れる行為は、これまでの「空間」の設計から「時空間」の設計への変遷と捉えることもできる。人間と空間と時間の3つの間をつなぐ設計プロセスの開発を行うことによって、人間の生活に合わせた快適かつ、多様な形態を生成することが可能になると考えられる。

第4章 参考文献リスト

- 1) 早稲田大学渡辺仁史研究室 時間 - 空間研究会 (著) : 時間のデザイン—16のキーワードで読み解く時間と空間の可視化, 鹿島出版会, 2013.4
- 2) 池辺 陽: デザインの鍵—人間・建築・方法, 丸善, 1996
- 3) 総務省統計局: 統計からみた我が国の高齢者—「敬老の日」にちなんで—I 高齢者の人口, <http://www.stat.go.jp/data/topics/topi721.htm> (参照 2015.1.20)
- 4) 五十嵐雄哉, 貞清 一浩: IMES 位置情報システムの開発, 日本建築学会技術報告集 第20巻 45号, pp.799-802, 2014.06.20
- 5) 鈴木理史, 土井暁, 井上文宏, 大本絵利, 近藤哲, 金子智弥, 浜田耕史: センサ技術による建築物および建設環境の知的化に関する研究 その1, 建築物に内蔵した RFID タグによる屋内位置認識システムの開発, 日本建築学会大会学術講演梗概集 A-2, pp.531-532, 2011.7
- 6) 長瀧慶明, 佐藤貢一, 加藤崇, 渡邊朗子, 森川泰成: 医療施設の空間知能化システムの研究開発 その1 システムの検証実験, 日本建築学会大会学術講演梗概集 A-2, pp.489-490, 2007.7
- 7) 遠田敦, 林田和人, 渡辺仁史: スリッパ型 RFID リーダによる歩行行動追跡, 日本建築学会計画系論文集, 第630号, pp.1847-1852, 2008.8
- 8) 遠田敦: 建築計画における行動モニタリングに関する研究, 早稲田大学博士学位論文, 2009.2
- 9) 長濱繪里, 三田彰: 焦電赤外線センサとサポートベクトルマシンを用いた居住者の行動把握, 日本建築学会大会学術講演梗概集 A-2, pp.511-512, 2010.7
- 10) 小酒井隆記, 葦原政由, 三田彰: 複数センサの融合に基づく建築空間における人物同定, 日本建築学会大会学術講演梗概集 A-2, pp.457-458, 2009
- 11) 村尾和哉, 寺田努, 矢野愛, 松倉隆一: 人感センサを用いた住宅内人物移動推定におけるセンサ配置の最適化, 情報処理学会研究報告・MBL, 2011-MBL-59(18), pp.1-8, 2011.08
- 12) 西田佳史, 相澤洋志, 北村光司, 堀俊夫, 柿倉正義, 溝口博: センサルームを用いた人の日常活動の頑健な観察とその応用, 情報処理学会研究報告 HI, ヒューマンインタフェース研究会報告 2003, pp.37-44, 2003.11
- 13) 平本真事, 松屋真由子, 西田佳史, 楠房子, 溝口博: Learning by Doing: センサ化環境を用いた行動体験型語学学習法, 第12回インタラクティブシステムとソフトウェアに関するワークショップ (WISS2004) 論文集, pp.139-140, 2004.12
- 14) 白石廉星, 保川悠一郎, 本村陽一, 西田佳史, 溝口博: 日常生活行動情報収集システム - 位置センサと装着型センサを用いた生活行動の時空間プロトコル分析 -, ロボティクス・メカトロニクス講演会講演概要集 2008, 1-1, pp.1P1-J20(1)-1P1-J20(4), 2008.6
- 15) 堀俊夫: 超音波タグを用いた行動観察システムとその実環境への応用, 電子情報通信学会ソサイエティ大会講演論文集 2006, pp.63-64, 2006.9
- 16) 秋葉達也, 三田彰: 生命化建築のためのセンサエージェントロボットを用いた人追従, 日本建築学会技術報告集 18巻 39号, pp.775-779, 2012.6
- 17) 村上真一, 西田佳史, 堀俊夫, 溝口博: 低プライバシー侵害性人間位置検出システム, 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会 '04 講演論文集, p.1A1-H-47(4), 2004.6
- 18) 古河機械金属株式会社: 超音波3次元位置測位システム, http://www.furukawakk.jp/products/ZPS_1.html (参照 2013.6.10)

第4章 図版リスト

- 図 4.1 居住2年後の家具配置と移動領域
出展: 文献 17 p195 より引用
- 図 4.2 GPS の概念図
出展: 日本航海学会 GPS/GNSS 研究会 ホームページ [<http://gnss-j-navigation.org/gnss.html>]
- 図 4.3 HITACHI が開発した極小 RFID
出展: HITACHI ホームページ [www.hitachi.com/New/cnews/030902.html]
- 図 4.4 床面に敷設された読み取り機とスリッパ型 RFID
出展: http://youtu.be/iPbfMWC_Mt4 よりキャプチャ
- 図 4.5 日常環境における人間行動観察のための日常環境センサ化技術
出展: 産業総合研究所 [<http://www.dh.aist.go.jp/jp/research/function/Ultrasonic3DTag/>]
- 図 4.8 測位精度と範囲による位置測位手法の比較
- 図 4.6 腕に付けられたマーカ
- 図 4.7 ロボットを用いた人追従
出展: マイナビニューステクノロジー [http://news.mynavi.jp/series/mw_casestudy/007/]
- 図 4.9 グリッド上に多数設置された超音波センサの例
出展: 産業技術総合研究所 デジタルヒューマン工学研究センター [<http://www.dh.aist.go.jp/jp/>]
- 図 4.10 実験空間の平面図とセンサの配置可能位置
- 図 4.11 実験空間の長手方向の断面図
- 図 4.12 実験空間の様子
- 図 4.14 天井にセンサを配置した様子
- 表 4-1 使用機器の概要と設定値
- 図 4.13 実験に用いた超音波センサ
- 図 4.15 システムの概念図
- 図 4.16 実験に用いたタグ
- 図 4.17 検討されたレイアウトの一部
- 図 4.18 6通りのリーダレイアウトと各リーダの座標値
- 図 4.19 タグを設置する測位点 155 か所
- 図 4.20 床面へのタグの設置と超音波発信部の位置関係
- 図 4.21 L1 - L6 の各測位点における測位回数の集計結果
- 図 4.22 L1 - L6 の各測位点における測位精度の集計結果
- 図 4.23 L1 - L6 の各レイアウトにおける 1000mm 区間ごとの平均測位回数
- 図 4.24 全レイアウトの 1-5 行における各行別の平均測位回数
- 図 4.25 測位回数への影響の考察
- 図 4.26 L1 - L6 の各レイアウトにおける 1000mm 区間ごとの平均測位精度

図 4.27 全レイアウトの 1-5 行における各行別の平均測位精度

図 4.28 取付け範囲と発信部

図 4.29 L5 における精度の違い

図 4.30 5 行目における反射

図 4.31 ソニー大崎ランドスケープデザイン

出展:Ans Studio ホームページ [<http://www.ans-studio.com/>]

図 4.32 Neuro Fabrics

第5章 人間行動と空間形状

5.1 第5章 概要

本章では日常生活空間における人間の動作と空間形状の関係に着目し、人間動作および空間形状の情報を蓄積することによって建築設計および計画に活用することを目的として、ロボット技術を応用した空間形状と人間行動を同時に取得する手法を提案する。人間の行動と空間の形状は、相互に影響を与える存在である。技術の進歩によって、空間情報の取得はますます容易なものとなり日常生活レベルでの応用も考えられるようになった。

本章では、将来的に人間の生活を支援するべく、建築へ導入されるであろうロボットに着目し、空間情報の取得を行った。ロボットの製作には提案を実現するにあたり、分野を超えた協働が必要とされ、本学の他専攻の学生と共に製作を行った。そこで、建築分野を俯瞰し、多角的な視点から協働者として建築の分野に期待される役割及び、必要とされた技術についても考察を行った。

5.2 背景

建築を取り巻く環境は刻々と変化しつづけ、人間も変化していく要因のひとつである。人間の生活様式に適合しなくなった場合、建築はしばしばリノベーションやコンバージョンによって変更が行われる。これは、人間の生活や行動によって、建築の形が決定されていることを示すものである。一方、アフォーダンス^{注1}の概念を参考にすると、人間の行動も建築の形状から影響を受けている。例えば、空間が狭ければ走るという行動は不可能であり、平らな面がなければ寝ることは叶わないなど、人間の行動と建築の形態は相互に影響する存在であると言える。

これまで、人間の行動から具体的な設計を行う上で重要な役割を果たしていたのが、設計資料集成の「室と場面」である。人の行動の中のある特定の状況（シチュエーション）を想定し、それに対応する基本的な形を体系化したものであると言える。しかし、技術の進歩によって、建物の形状、人の動きなどの取得がますます容易なものとなり、特定の場面や状況に限定しない情報取得が可能になりつつある。

例えば、三次元スキャナは、どんなに複雑な形であろうと、手間を同じくして建物の現状を正確に取得することを可能とした(図 5.1)。近年、この技術を用いて建物の履歴を管理し、建築のストック及び、リノベーションなどによる有効活用を図る事例が増えている。一方、人間の動作については、Microsoft 社のゲームのコントローラである Kinect を始めとして、リアルタイムに人間の動作を取得・活用可能なデバイスが多数登場した。これらの技術は、一般家庭にも導入されており、ゲームの

注1 アフォーダンス
知覚心理学者 J・J・ギブソンが提唱した環境が動物に示す意味のこと。



図 5.1 三次元スキャナを用いて建築形状を取得した例
出展：FARO

1) 総務省統計局：日本の統計 2013, 人口の推移と将来人口, p.39, 2013

2) 国立社会保障・人口問題研究所：日本の世帯数の将来推計(全国推計), 人口問題研究資料第 329 号, pp.11-17, 2013.1

分野のみならず健康管理に活用されるなど、決して特別な技術ではなく、日常生活の一部として既に浸透し始めている（図 5.2）。このような日々の変化や情報の蓄積によって、これまで実測やヒアリングでできなかった潜在的なニーズが浮かび上がる可能性を秘めている。よって、このような個々人の情報の蓄積は、今後の建築設計において一つの重要な指標になると予測される。

また、近年「キネティックアーキテクチャ（Kinetic Architecture）」と呼ばれる動的な建築が登場しているが、これまでの固定化された静的な建築に対し、これらは周辺の環境に応答し、柔軟な解決策を提示する手法と言える（図 5.3）。よって、特定の場面に限定されず随時最適な解決策を提示する手法の実現性はこれまで以上に高まっているだろう。このような場合においても、如何にして的確に周辺の環境や、建築自身の現状、人間の有無などの状況を把握するかが重要な点として挙げられる。



図 5.2 Kinect を用いたヘルスケアの一例

出展：Microsoft [<http://blogs.msdn.com/b/kinectforwindows/archive/2014/12/04/intel-ge-care-innovations-uses-kinect-solution-to-help-elderly-patients.aspx>]

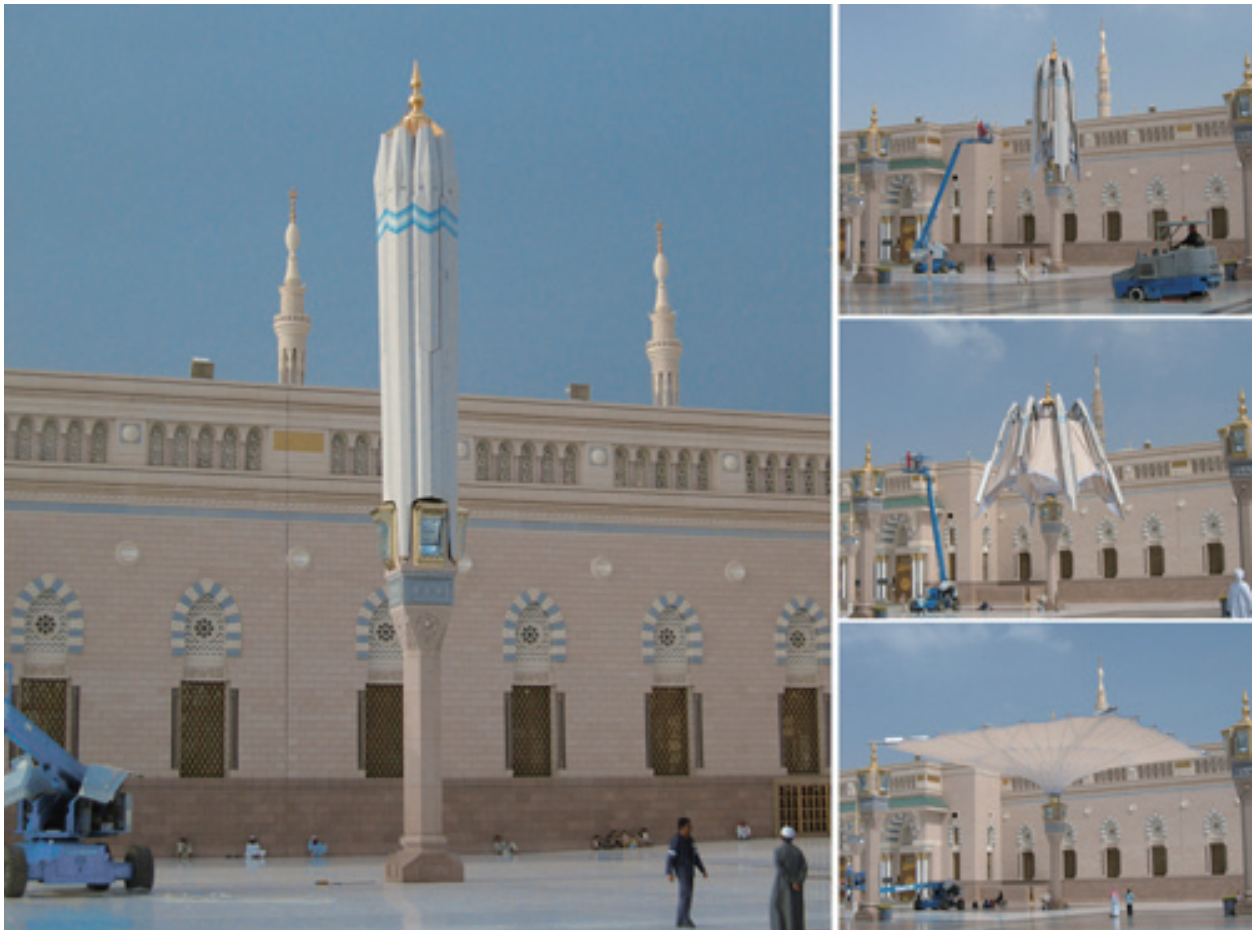


図 5.3 Kinetic Architecture の一例（Medina Haram Piazza Shading Umbrellas）

出展：Premier Composite Technologies：<http://www.pct.ae/>

5.3 既往研究

人間の行動取得や三次元計測による建物形状に関わる既往研究は、技術も新しく実験的な試みが多い。本節では、人間の行動および建物形状の取得に関する既往研究について概略をまとめる。また、背景でも述べた通り、人間の行動と建物の形状を同時に取得するという観点から技術を選定し、研究手法を導く。

5.3.1 建築の形状取得に関する研究

建築の分野では、点群情報^{注2}として形を捉える3Dスキャンシステムが一般的に使用されている。下川らは、金沢の街並みの三次元スキャンを行い、歴史的な建造物の情報のアーカイブ化を試みている³⁾(図5.4)。HajianとGerberは、既存の建築現況を情報化し、BIMと組み合わせることによってストックを形成し、利活用を提案している⁴⁾。石田らはリノベーションの現場において、三次元レーザースキャナを用いてプレカット用のデータを作成し、工期の短縮や手戻りを少なくしたリノベーションの事例を示している⁵⁾。しかし、通常の3Dスキャンのプロセスは単一の点からの測定では、死角を作ってしまうため、それを補うために複数点から計測が必要であること、測定範囲に動いている物体が存在しても静的な存在として捉えてしまうなどの問題がある(図5.5)。建築分野以外では、Yue、古河らなど多数の人が建築の形状を取得することに試みている^{6, 7)}。例えば、多くのロボットは、人の位置や建築の形状を捉えるために高精度のレーザーレンジファインダーを搭載している。しかし、平面的なデータしか取得することができないため、デザインの観点からいえば、建築の形状を把握するには不十分である。

これらの問題を解決すべく、Huangらは移動ロボットの技術を応用しRGB-Dカメラをクアドロコプターへ搭載し、建物形状を取得している⁸⁾(図5.6)。動くことによって死角問題を解決し、色の付いた三次元の空間形状をできることは、建築デザインの観点から考えると大きな利点である。ルンバのような生活アシストロボットも登場し、日常生活空間でロボットが活躍する時代も遠くなく、大いに参考にできる。しかしながら、ロボット自身の位置を把握するために、特殊な設備が必要であること、ロボットの動作音として風切り音の発生してしまう点などは、日常生活の観点からすると大きな問題である。

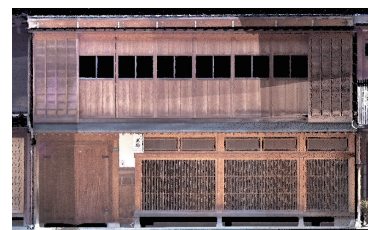


図5.4 三次元スキャナで取得した金沢の街並み

出展：文献3 図14より引用

注2 点群情報

多数の点によって構成されるデータ。ポイントクラウドとも呼ばれる。x,y,zの三次元座標とrgbなどの色情報を含むものがある。



図5.5 動的な物体が存在した場合とスキャンによって生じる死角



図5.6 Quadro Copterに搭載されたRGB-Dカメラでスキャンされた建物

出展：Robust Robotics Group | CSAIL

3) 下川 雄一, 山崎幹泰, 笠覚暁, 川崎寧史, 土田 義郎: レーザ計測による伝統的町家群の連続立面図作成に関する研究, 日本建築学会技術報告集, 第17巻 35号, pp.383-388, 2011.2

4) Hajian, H. and Becerik-Gerber, B.: Scan to BIM: Factors Affecting Operational and Computational Errors and Productivity Loss, 27th International Symposium on Automation and Robotics in Construction (ISARC 2010), Bratislava, pp.265-272, 2010

5) 石田 航星, 嘉納成男, 五十嵐健, 藤井裕彦, 大澤 雄司, 酒本 晋太郎, 富田裕行: 内装部材のプレカット化のための3次元レーザースキャナを用いた計測と生産設計の手法に関する研究, 日本建築学会計画系論文集, 第78巻 688号, pp.1355-1363, 2013.8

6) Yue, K. and Ramesh, K.: Extraction of Building Geometry from Range Images of Construction Sites, CAADRIA 2007, Nanjing, pp. 459-466.2007

7) 古川奈々恵, 五島美沙, 三田彰: レーザレンジファインダ搭載ロボットを用いた日常生活における動線把握, 日本建築学会学術講演梗概集A-2, pp.537-538, 2011-07

8) Huang, A. S., Bachrach, A., Henry, P., Krainin, M., Fox, D. and Roy, N.: Visual Odometry and Mapping for Autonomous Flight Using an RGB-D Camera, International Symposium on Robotics Research (ISRR), pp.1-16, 2011

5.3.2 人の動作取得に関する研究

5.3.2-a ゲーム業界における人間動作の活用 (専攻分野)

人間の動作取得は主にアートやゲームの分野で発達してきた。特に2000年代からはより直感的に操作でき、リアルに体験できることを目的として、身体動作を用いたゲームが登場し、様々なセンサが使われている。身体を用いたコントロールや、日常生活にセンサが溶け込んでいるという部分は先進性がある。

NintendoのWiiはリモコンにCMOSセンサや加速度センサを搭載し、バランスボードなどを使った健康維持管理など、生活に寄ったコンテンツはこれまでにない可能性を示している(図5.7)。

MicrosoftのXbox360で使用されるキネクトは、一般的なモーションキャプチャとは異なり、特殊なマーカー付きスーツと、マーカー検出時に使用するトラッカーは必要としない。赤外線でプレイヤーからキネクトまでの距離を計測し、プレイヤーの骨格を検出し、動きをゲーム内のキャラクターの動きにリアルタイムに反映させている。また、プレイヤーの位置、身長を測定し、最適なプレイができるよう上下の角度の自動調整が行われる機能もついており、このような機能は個々人の情報を活用する上で利点がある。(図5.8)

SonyのPlayStation MoveはモーションコントローラとUSBカメラを使用し、コントローラには3軸ジャイロセンサ・3軸加速度センサ・地磁気センサを搭載し手の動きを高精細に検出する。コントローラ先端のスフィア(光球)の動きをカメラが捉え、空間におけるコントローラの絶対位置を読み取ることで、空間の奥行きまで取得する。また、カメラにはフェイストラッキング機能も搭載されており、顔の動きを使った運転中の視点移動などが可能である(図5.9)。

ここで特筆したいのは、MicrosoftのKinectの登場を機に、ゲームやコンピュータ業界が空間へ進出し始めている点である。MicrosoftはKinectとプロジェクションマッピングの技術を応用して、空間全体を利用するIllumiRoomやRoomAliveなどのプロジェクトを発表している^{9, 10)}(図5.10, 5.11)。これらのプロジェクトで中心となっている技術が人間の動作や空間形状を把握する技術であり、日常生活空間に溶け込み、情報を取得するという点では、本研究で提案する内容を実現化する上で参考にするべきプロジェクトである。



図 5.7 身体動作を用いた健康管理
出展:任天堂 ホームページ

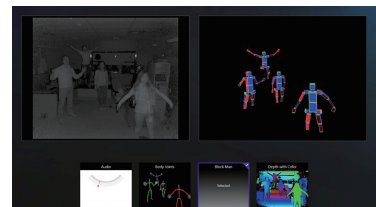


図 5.8 身体動作を検出している様子
出展:Microsoft ホームページ



図 5.9 フェイストラッキングのためのカメラ
出展:プレイステーション ホームページ

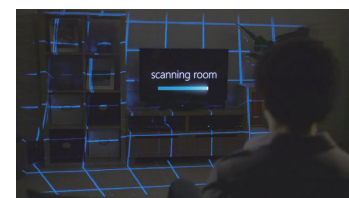


図 5.10 空間形状の取得 -IllumiRoom
出展:Microsoft Reserch ホームページ



図 5.11 空間形状に合わせたゲーム
コンテンツ -RoomAlive
出展:Microsoft Reserch ホームページ

9) Brett R. Jones, Hrvoje Benko, Eyal Ofek, Andrew D. Wilson: IllumiRoom: Peripheral Projected Illusions for Interactive Experiences, CHI 2013, April 27–May 2, 2013, Paris, France.

10) B. Jones, R. Shdhi, M. Murdock, R. Mehra, H. Benko, A. Wilson, E. Ofek, B. MacIntyre, N. Raghuvanshi, L. Shapira: RoomAlive: Magical Experiences Enabled by Scalable, Adaptive Projector-Camera Units, UIST 2014, Hawaii, USA

5.3.2-b 建築分野における人間動作の活用

建築分野の人間動作の活用は、インタラクションとデザインツールの2つに大別される。人間動作を用いた建築とのインタラクションの点では、MITのメディアハウスプロジェクトやインタラクティブアーキテクチャなどのプロジェクトが存在する^{11), 12), 13)}(図5.12, 5.13)。これらは、主にコンピュータやメディアの研究から派生したプロジェクトが多く、人間の動作に対して、応答する存在として建築を用いた事例として理解することができる。

一方、モデュロールを始めとして、身体は古くから建築の設計を行う際の基準としてとして用いられてきた。これらの多くは二次元的な情報を基に大きさや比率を参考にするものであった。1990年ごろから情報通信技術の進歩に伴い、写真からビデオカメラ、モーションキャプチャなど、様々な動作の取得が可能となり、時間軸を伴った動きをデザインに取り入れようとする動きが活発になる。1999年に発売されたGreg LynnによるAnimate Formは、コンピュータの進歩によって扱えるようになったアニメーションをデザインのヒントにしようとしたものである¹⁴⁾(図5.14)。以後、動作をデザインのツールに用いた事例として、松島らは、人間行動を取得するためにモーションキャプチャシステムを用いて新しいデザインプロセスを開発している¹⁵⁾。これらは、人間の動作を建築のデザイン=空間形状を創るための道具として用いた事例として理解される。

どちらの取り組みも、人間の動作と建築の形状の関係性に着目したもので、建築と人間の状態(状況)を読み取るための技術が必要とされる。しかし、これらのプロジェクトの多くは、一時的な人間の動作に着目したものである。光学式カメラやマーカなどの設備を必要としており、特別な部屋を構築しなければならず、日常生活の状況を把握するという観点からは遠いものである。



図 5.12 人間の動作を居住空間に活用しようとした例
出展:文献 11



図 5.13 人間の動作に反応する風船
出展:文献 12

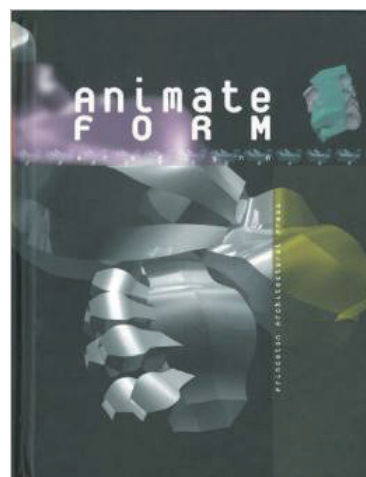


図 5.14 Greg Lynn - Animate Form

11) Guallart, V.: Media House Project: The House Is The Computer The Structure The Network, Actar, New York.

12) Fox, M. and Kemp, M.: 2009, Interactive Architecture, Princeton Architectural Press.

13) Beilharz, K.: 2005, Architecture as the Computer Interface: 4D Gestural Interaction with So-cio-Spatial Sonification, 23rd eCAADe, Lisbon, pp. 763-770.

14) Greg Lynn : Animate Form, Princeton Architectural Press,1999.1

15) Matsushima, S., D. Sasaki and R. Takenaka: 2007, Embodying Architectural Form and Space by Coupling Computer and Human Performance Using Motion Capture Technology: Study on Application of Motion Capture to Design Process for Generating New Geometry, Em'body'ing Virtual Architecture, ASCAAD 2007, pp. 757-766, 2007, Alexandria,.

5.4 研究目的と提案する手法

5.4.2-a 研究目的

本研究は、日常生活空間における人間の動作と建築形状の関係に着目し、空間情報を蓄積することによって建築設計および計画に活用することを目的として、人間動作および空間形状同時取得を行う。

5.4.2-b 研究手法

本研究では、状況を把握するための手法として、深度センサ（RGB-Dカメラ）による手法を用いる。既往研究では、空間の形状を検出および人間の動作を検出の両方に用いられており、これらの情報取得を同時に行うことが可能であると考えた。また、既往研究における空間形状取得の問題点を解決するために、移動ロボットを用いた人間の追跡および空間形状の取得に取り組む。

検出デバイスには、Microsoft社のKinectと同様に、人間の骨格を認識することが可能で、これまでの人検出手法に比べて非常に安価なASUS社のXtion PRO LIVE（以下Xtion）を搭載した（図5.15）。Xtionは各ピクセルごとに、カラー画像と深度データを保有している。人間の行動データは、深度データの閾値を用いることによって、周囲の形状から切り離し、骨格を検出する。検出した場合は骨格の三次元座標のデータを容易に利用することができ、最大8名まで同時に取得可能である。KinectではなくXtionを選んだ理由として、同じ機能をもつKinectは電源を必要とするが、XtionはUSBバスパワーで動作するため、移動するロボットに搭載するには適している点、Xtionの方が小型かつ安価である点が挙げられる。

空間形状の認識は、日常生活に用いられるという視点から、データの蓄積および更新による精度向上を図る手法に着目し、人間の回避行動を解決するためのモバイルロボットを用いた環境マップを構築した秋山らの研究¹⁶⁾および李らの環境地図作成の研究¹⁷⁾、新妻らの日常環境における動的物体を反映した自律移動ロボットのための環境地図構築を参考にした¹⁸⁾。また、ロボットを用いた人の追従には秋葉らの研究¹⁹⁾を参考にした（図5.16）。



図 5.15 Xtion Pro Live
出展：Asus ホームページ

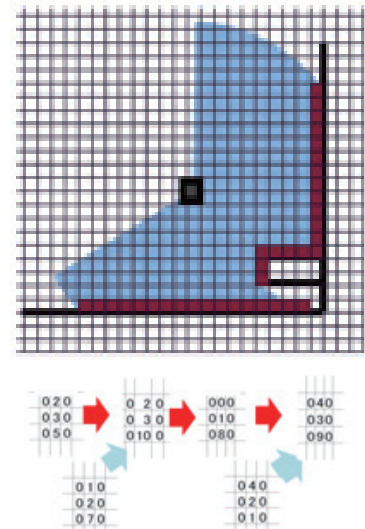


図 5.16 グリッド分割による環境地図の構築

出展：文献 16 図3および図6より引用

16) 秋山英久, 進藤真, 荒牧重登: 自律移動ロボットによる人避け動作のための環境地図構築, 人工知能学会 AI チャレンジ研究会, 第 37 巻, pp.B301-6, 2013

17) 李信和, 桑島健彰, 三田彰: センサエージェントロボットを用いた住空間の環境地図作成, 日本建築学会 学術講演梗概集 A-2, pp.539-540, 2011.7

18) 廣井翔, 和田康介, 新妻実保子: 動的物体を反映した自律移動ロボットのための環境地図の構築 (OS9: 空間知), インテリジェントシステム・シンポジウム講演論文集 一般社団法人日本機械学会, 21 号, pp.199-202, 2011.09

19) 秋葉達也, 三田彰: 生命化建築のためのセンサエージェントロボットを用いた人追従, 日本建築学会技術報告集 18 巻 39 号, pp.775-779, 2012.6

5.5 提案手法に関する基礎的な実験

本節では建築形態の取得に関する基礎的な実験として精度の検証およびロボットへの搭載を想定した動的な状況での形状取得について説明する。

5.5.1 キャプチャーデバイスの精度

5.5.1-a 計測に用いた手法

日常生活の情報の蓄積およびロボットを用いた移動による空間形状の取得を考慮し、データの蓄積による物体の存在する確立の信頼性および、ロボットが移動することによる近距離からのデータ取得の2つによる精度の向上を図ることとした。

まず、基礎的な実験で Xtion を用いて取得した際の誤差を計測した。Xtion を用いて平面の点群情報を取得し、奥行き座標の誤差を計測する（図 5.17）。Xtion と投影壁面の距離は、500mm~5000mm の間を 500mm 間隔とし、Xtion の計測可能範囲から決定した（図 5.18）。Open Ni1.5.7 を用いて取得した点群情報を、Grasshopper と Rhinoceros を用いて 3DCAD 上に反映し、奥行き方向の座標値を平均し、Xtion から壁面までの理論上の値と実際に計測された座標値の差を誤差とした。



図 5.17 平面に対する誤差を計測している様子

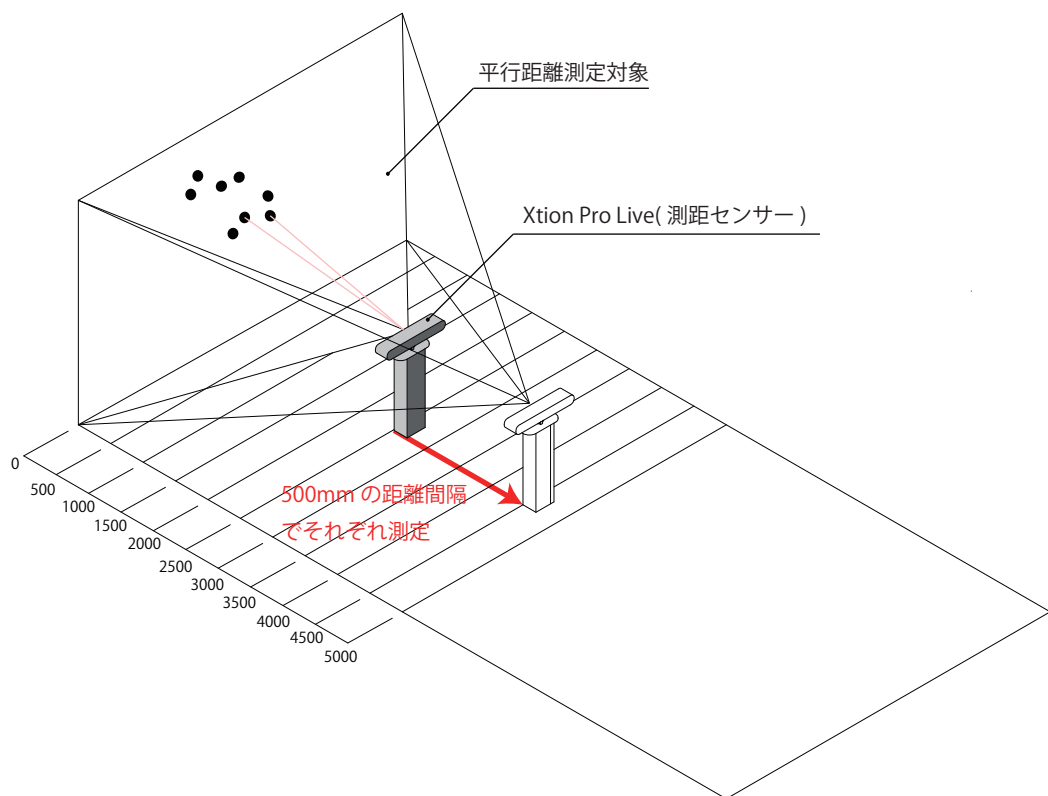


図 5.18 実験の概要図

5.5.1-b 計測結果

計測の結果を図 5.19 に示す。誤差は距離が増加するにつれて二次曲線状に載って増加した。よって、計測されたのデータを用いる際に、この結果に留意する必要がある。

Alex らはこの誤差をキャリブレーションする手法を提案している²⁰⁾が、本研究では、情報の蓄積による精度向上を図るという目的から、あえて生データの誤差を予め含んだ上で空間形状の取得に取り組むこととした(図 5.20)。

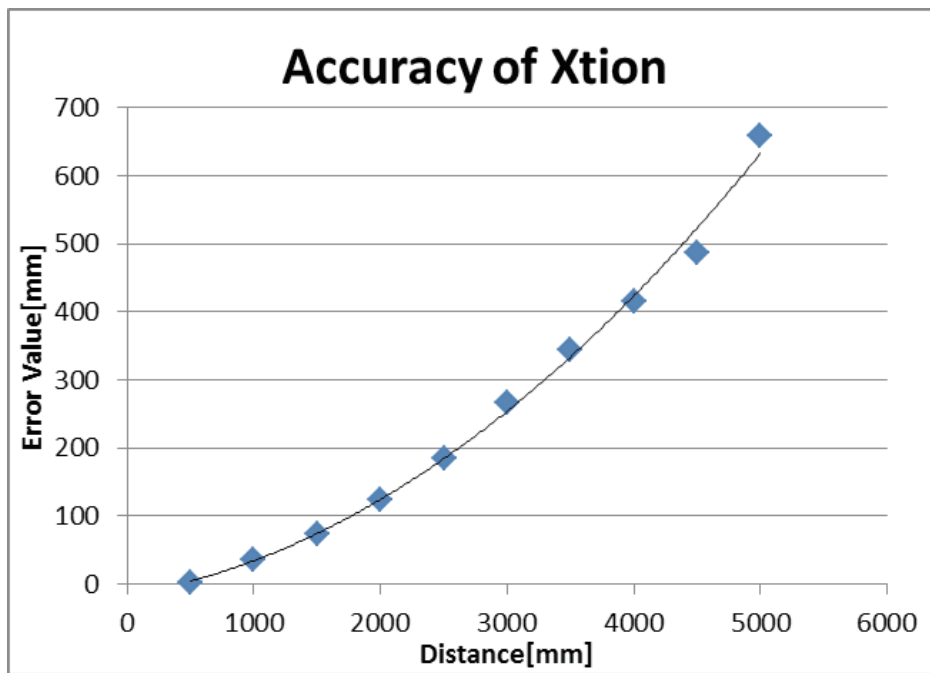


図 5.19 計測された生データに生じる誤差

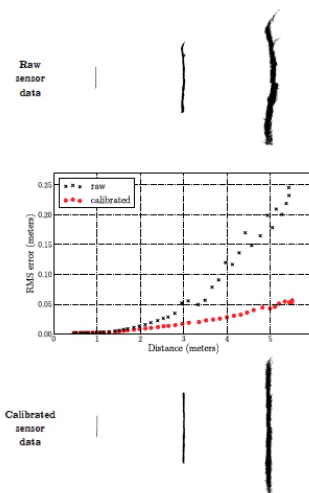


図 5.20 Alex らによる生データの誤差とキャリブレーション後のデータ

出展：参考文献 20 より引用

20) Alex Teichman, Stephen Miller, Sebastian Thrun: Unsupervised intrinsic calibration of depth sensors via SLAM, RSS 2013, Berlin, Germany

5.5.2 動的状況における空間形状の取得に関する予備実験

5.5.2-a 計測に用いた手法

ロボットを用いた空間形状の取得を行う前段階として、Xtion がキャプチャしている方位と点群を一致させることを目的とした基礎的な実験を行う。まず、360°回転可能なサーボモータ^{注3}の上に Xtion を載せて、随時点群を取得する（図 5.21）。サーボモータは Arduino^{注4} によって制御されており、一秒間に 5°ずつ回転する。次に、Xtion によって計測された点群データと Arduino から送られてくる角度情報を統合し、空間形状を構築するプログラムを作成した。プログラムは、Rhinoceros^{注5} 上で動作する Python^{注6} を用いて開発し、統合された結果を Rhinoceros の画面に表示する（図 5.22）。

注3 サーボモータ

回転角度（位置）や回転速度などを制御可能なモータのこと。

注4 Arduino

初心者でも簡単に扱えるマイコンボード。スタンドアロンで動作する。

注5 Rhinoceros

Nurbs モデリングを基本とした 3 次元 CAD ソフト。安価で開発が容易かつ、他のソフトとの連動も図れる。

注6 Python

プログラムを開発する言語のひとつ。



図 5.21 回転するサーボモータに固定された Xtion



図 5.22 3DCAD ソフト上でリアルタイムに表示された部屋の形状の点群情報

5.5.2-b 計測の流れ

計測の流れを以下に示す。ボックスの大きさは物体の存在の確率（信頼性）を示し^{注7}、ボックスの色は誤差の可能性（精度）を示す^{注8}。最終的に、緑色の箱が隙間なく並んだ場合、データは建物形の高い正確性を証明する。

新たな点を取得された点が、記録されている点よりもより近い場所で計測されている場合、ログデータが更新される。この手法によって、日常的に情報を取得し、更新することによって、より精度の高い建築の形態取得が可能になり、生活の変化を把握することができるようになる考えた。

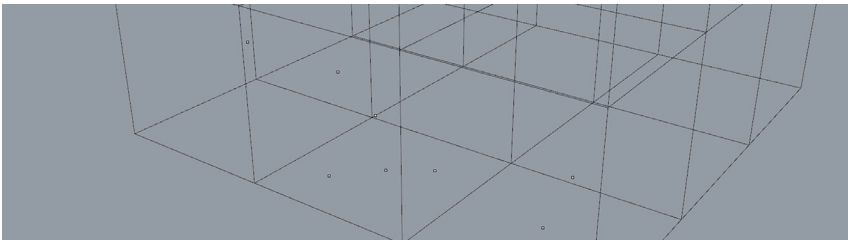
注7 信頼性の定義

同じ場所に物体があることを継続的に取得している場合、静的な物体の存在の確立が高いと言える。逆に、ある時点で一度計測されても、次の時点で計測されなかった場合、計測ミス・動的な物体であることが考えられる。

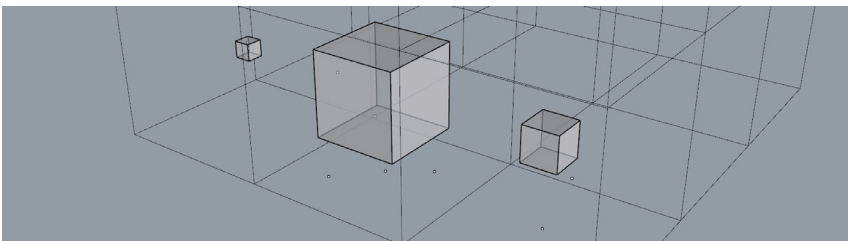
注8 精度の定義

基礎的な精度実験において、距離に比例して誤差が大きくなることが明らかとなっている。そこで、Xtion本体と、計測された点の距離を精度の高さとし、近くから計測した点は精度が高く、遠くから計測された点は精度が低いものとした。

1. 計測された各点の座標値を基に、各ボクセルグリッドごとに分類す

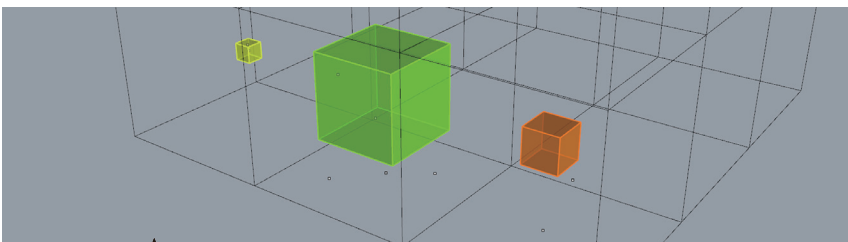


2. 各ボクセルグリッドごとに、含まれている点の数を計測し、その値をボックスの大きさへ適応する。これは、物体が存在する確率を示す。



Existence probability Low ■ ■ ■ ■ ■ High

3. グリッドに含まれている点のうち、最も原点（Xtion）から近い距離をボックスの色に適応する。これは、その点の精度（信頼性）を示す。



Accuracy Low High

4. CADへBOXを配置する。

5.5.2-c 三次元空間形状取得実験と結果

部屋の中央に設置した三脚の上に Xtion を搭載した 360° 回転するサーボモータを取り付け、高さ 500mm および高さ 1500mm の位置で一周回転させて空間形状を取得した (図 5.24, 5.25)。取得したデータは、3次元座標 (x,y,z) を持つ点群のデータで、前項のルールに基づき処理される。今回の実験では、100mm × 100mm × 100mm のボクセルグリッドで処理を行った。

高さ 500mm で空間形状を取得した結果を各図面と重ねたものを図 5.25 に、高さ 1500mm で空間形状を取得した結果を各図面と重ねたものを図 5.26 に示す。各図面とも、大まかな形状は取得できていることがわかる。500mm 地点での形状取得では、特に中心に近い床面および窓下の中心点に近い側面ではボックスが大きく、緑色になっており、図面との比較でも高い整合性が取れていることがわかる。一方、1500mm 地点での形状取得では、窓が存在することがわかる。真正面の部分は反射によって物体があるものとして誤認識しているものの、これは赤外線が窓を通過するという特性の表れであると考えられる。窓は光や風を通す建築にとって重要な要素であることから、建築設計のための情報として有効な点である。

一方、問題点として、画角や測定距離の限界で天井面の形状が把握できないことが挙げられるが、技術の進歩によって解決するものと考えられる。今後の課題として、ボックスが大きく、緑になった部分については測定を省いて計算時間を短縮する、またはグリッドをさらに細かく分割して精度をあげるなどが考えられる。



図 5.23 実験環境と中央に置かれた 360° 回転する Xtion

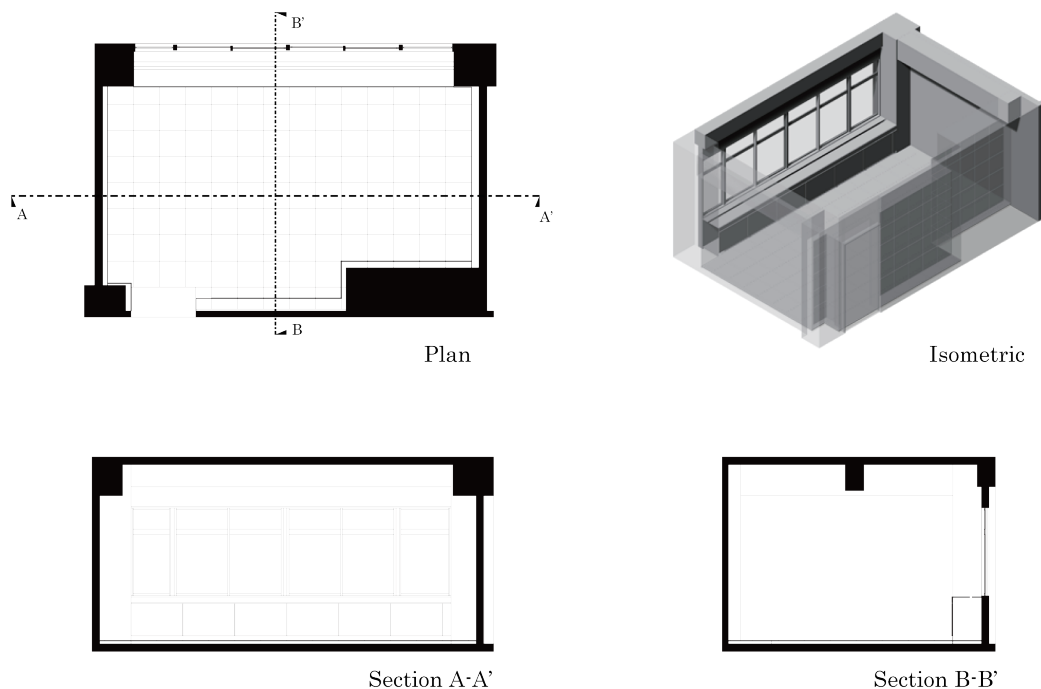


図 5.24 実験に使用した部屋の各種図面

Height = 500mm

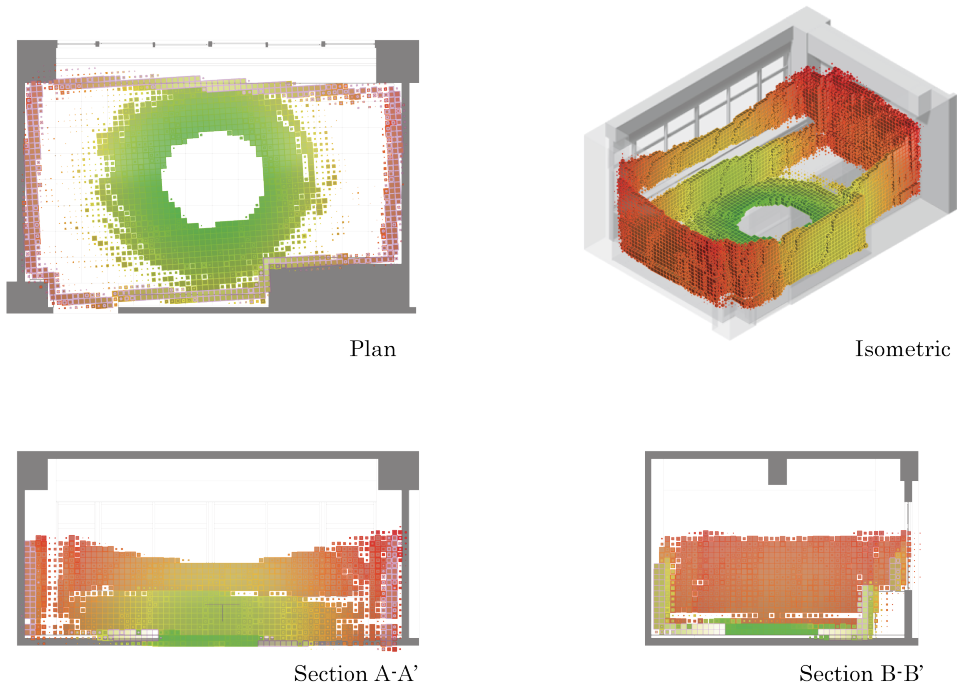


図 5.25 高さ 500mm 地点における点群取得結果

Height = 1500mm

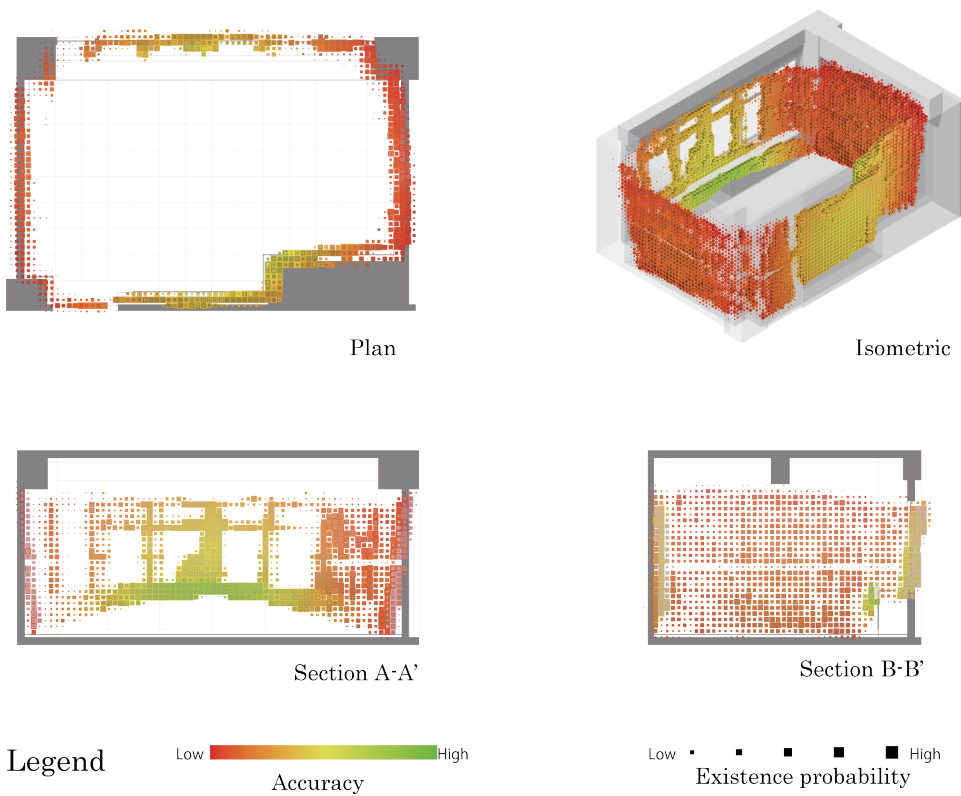


図 5.26 高さ 1500mm 地点における点群取得結果

5.6 空間情報取得のためのロボットの開発

本研究では、日常生活空間において三次元空間形状の取得を目的として移動ロボットを開発した。そこで、このロボットを製作するにあたり、人間・ロボット共生リサーチセンターが主催する学生プロジェクトにおいて、異分野を横断した学生チームを組織し、開発に取り組んだ。よって、本研究で用いたロボットは複数の目的を含有した多角的な視点から開発が行われたもので、空間の三次元形状を取得する機能に特化したものではない。しかしながら、日常生活空間で人間と共存し得るロボットかつ、建築空間と協働するという視点は、本研究の将来性を見据える上でも特筆すべき項目である。本節では以下にその開発プロセスについて記述する。

5.6.1 開発の概要

5.6.1-a コンセプトの策定

人間、ロボット、空間の共存をテーマに有志を募った結果、制御工学(寺嶋研究室)、建築(松島研究室)、ロボット工学・インタラクションデザイン(岡田研究室)、情報・通信・知能情報工学(栗山研究室)など異分野の学生が集った(図 5.27)。議論を重ねた結果、便利な道具としてのロボットではなく、“人の動きを誘発するロボット”をコンセプトに開発を行うことに決定した。また、将来訪れるであろうロボットが活躍する時代において、建築はどのような役割を担うかについては、ロボット単体が高機能化するのではなく、建築が環境情報の取得を手助けすることで、軽く・自由に・安全なロボットが作れ、人間にとってより付加価値の高い空間が実現できるなどが開発の軸である。

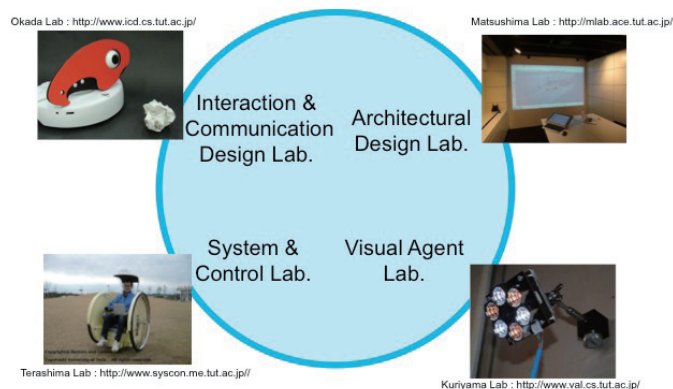


図 5.27 協働のイメージ図

5.6.1-b 各メンバーの要素技術と役割

本プロジェクトは開発期間が半年と短かったため、各々が保有する技術を組み合わせて開発を行った。その結果、以下のような機能を有するものとした。

- ・周囲を認識するセンサとプロジェクタを搭載して走る。
- ・プロジェクタは壁や床などに映像を投影情報を表示することができる。
- ・環境認識センサは、タッチパネルのように触れる機能のほか、建物の形状を読み取り、CAD に送信することができ、動く 3D スキャナのような機能。
- ・空間と情報交換して、人を追跡・案内したり、ロボットが捉えた人の位置や動きに応じて空間に情報を伝え、照明などを操作することができる。

メンバーの役割

佐郷（機械制御）：二輪ビークルロボットの移動および姿勢の制御（図 5.28）

吉田（機械制御，インタラクション）：ロボットに搭載する目の制御およびインタラクションデザイン（図 5.29）

武井（インタラクション）：ロボットに搭載するプロジェクタおよび Xtion を用いた映像によるインタラクション

岩田（位置情報，デザイン）：ロボットの位置情報および Xtion を用いた人間の位置情報の取得，外装のデザイン

小林（通信）：空間との情報通信，リモコンを用いた制御（図 5.30）

5.6.1-c コンセプトモデルの製作

コンセプトと大まかな仕様に基づき、コンセプトモデルのイメージ図を作成し、イメージの共有を図った。アイデアに基づき 12 案のコンセプトモデルを製作し、打ち合わせの結果、No4 のモデルを基本に開発を行うこととした（図 5.31, 5.32, 5.33, 5.34）。



図 5.28 佐郷らによる二輪ビークルの制御技術

出展：豊橋技術科学大学 システム制御研究室



図 5.29 吉田らによるペルソナ型ロボット

出展：豊橋技術科学大学 岡田研究室



図 5.30 小林らによる情報通信技術を用いた照明の制御

出展：豊橋技術科学大学 栗山研究室

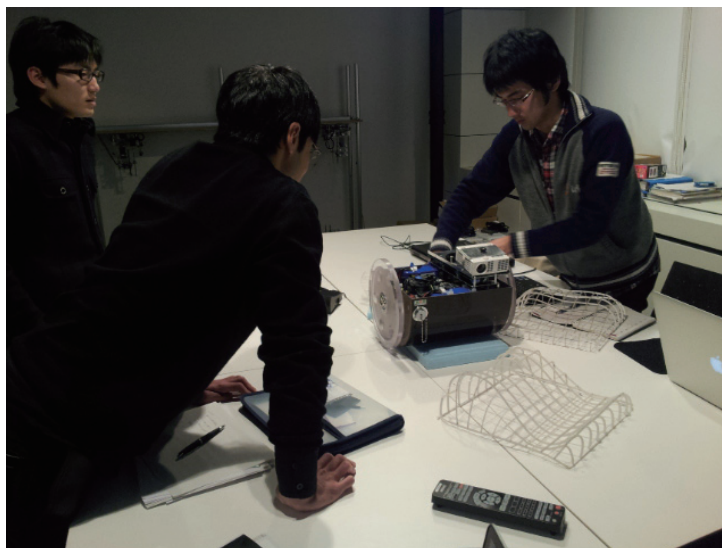


図 5.31 異なる分野の学生による打ち合わせ

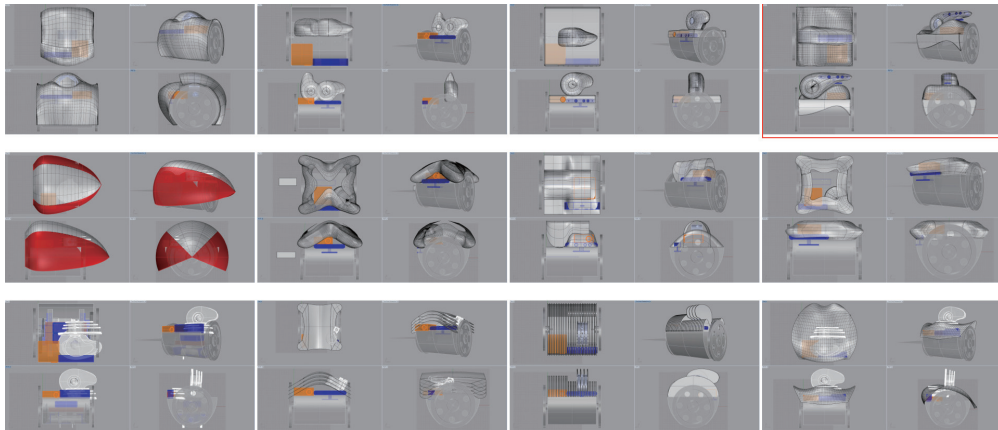


図 5.32 初期のデザインアイデア 12 案

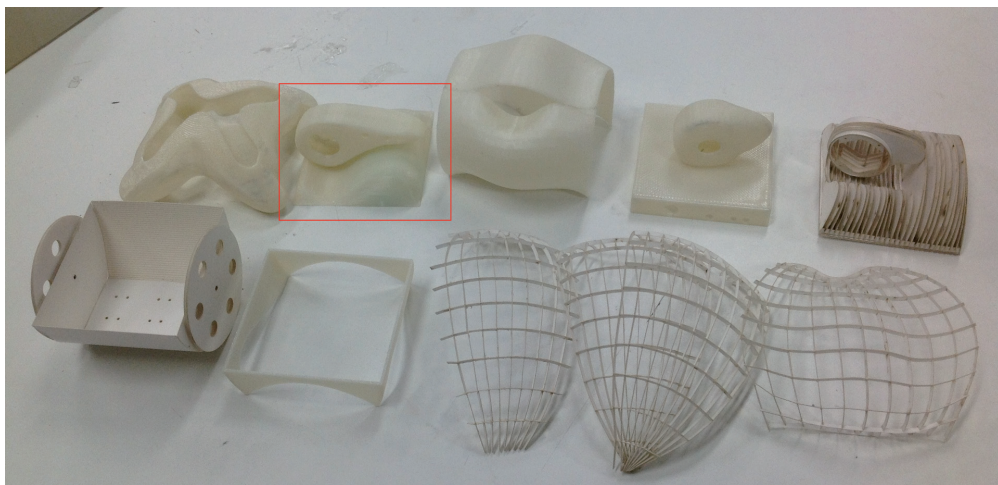


図 5.33 初期案のプロトタイプモデル

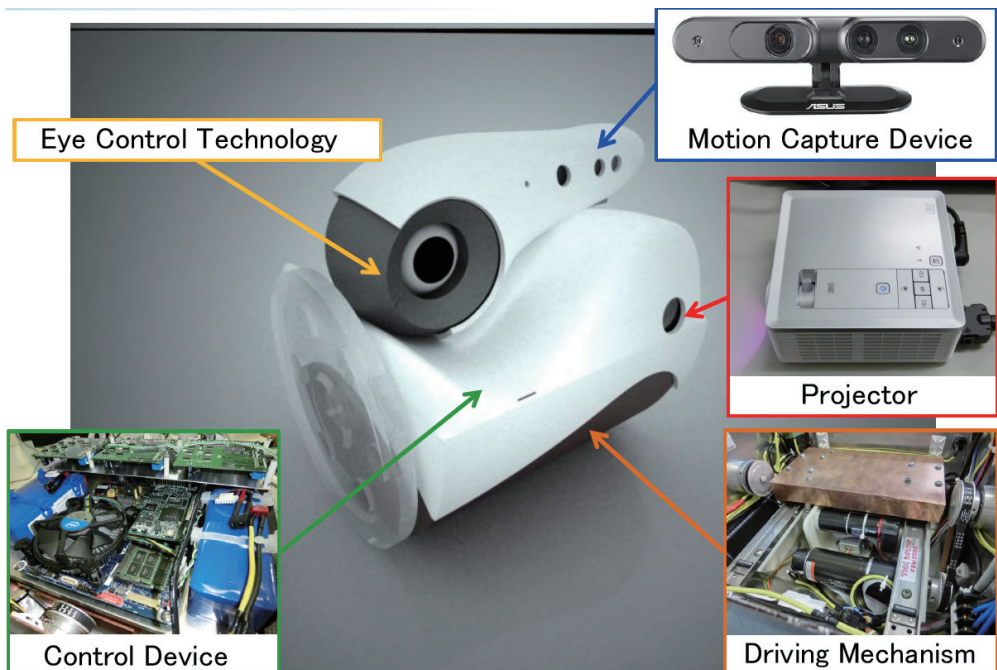


図 5.34 最終案と各要素技術

5.6.1-d 製作のフローと異分野協同の基板としてのコンピュータ

ロボットの移動に用いる機構は倒立二輪機構をアクティブマスダンパーで制御する仕様であった。そのため、眼球の機構、プロジェクター、Xtionなどの内部機構の配置を決定する上で、重心は常に車軸線上かつ、車軸よりも低くなることが要求された。よって、内部の機能性（配線や排気ファンなどの開口、プロジェクターの投影角度、Xtionの画角）を確保しつつ、外部のデザインを同時に変更し、二輪ロボットのバランスを保つための揺れの重心解析を同時に行う必要があった。そこで、車体の設計、目の設計の双方のデータを随時反映できるプログラムを制作し、外装デザインに反映した。

プロトタイプを製作するにあたって、形状を決定すると自動で加工データを生成する2つのプログラムを制作した。ひとつは、井桁状に組んでコストをかけずに素早く形状を造ることができるもので、形状を決定すると、レーザーカッターで切断可能な展開図が生成されるものである。ふたつめは、3Dプリンタを用いて試作を行う際に、3Dプリンタで出力可能な大きさに分割して印刷のデータを製作するものである。これらを用いて形状や収まりを検証し、試作と解析を繰り返した。

これらの分野を横断したものづくりのプロセスには、データのやりとりが欠かせない。そのため、コンピュータを用いた設計手法には大きな利点があった。

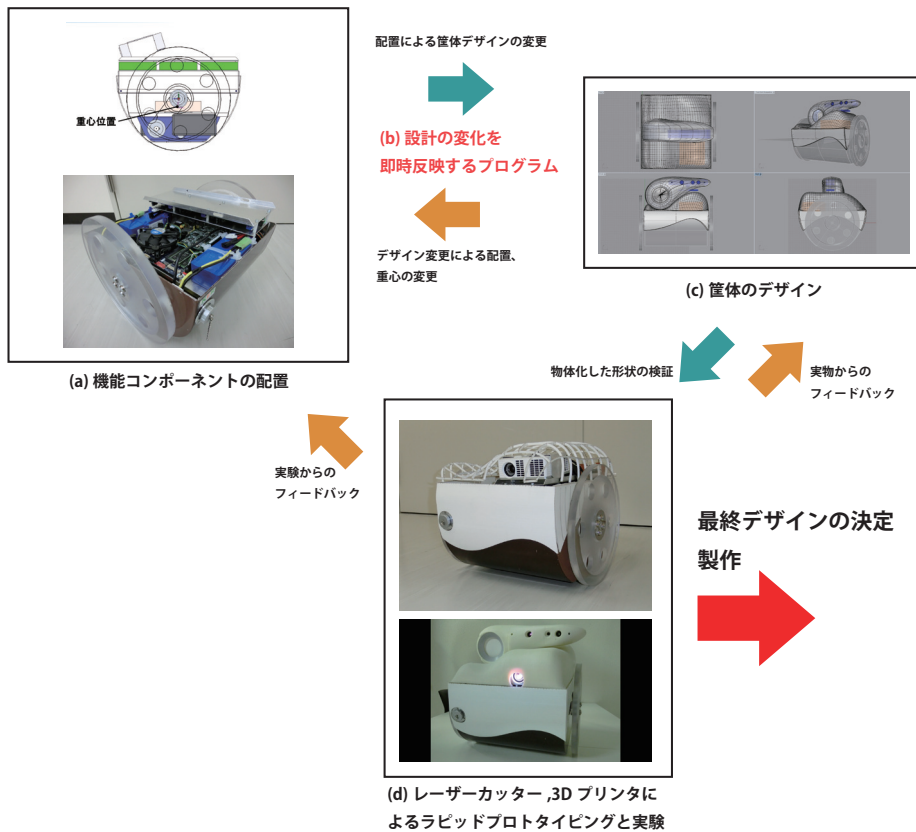


図 5.35 製作のフロー

5.6.1-e 人間や空間とのインタラクションデザイン

ロボットが空間上で自然に機能し、人間がロボットを違和感なく受け入れ、共生するにはインタラクションのデザインが必要である。例えば、本研究で開発したロボットは Xtion を搭載しているが、Xtion は赤外線を用いた認識システムであるため外光に弱い。目で“まぶしい”状態を表示することによって、操作することのできないカーテンなどの空間要素を、人が手助けして操作することを促す（図 5.36）。

本プロジェクトのロボットは物理的な二輪ビークル部と物理的実体のないプロジェクトの映像メディア部からなっており、物理的部分を映像メディアの利点によって補うような方法でインタラクションのシステムがデザインされた。具体的にはロボットにばねマスモデルで抽象化した2本の腕のようなものを持たせ、その映像との骨格モデルとの間のインタラクションを制作した。人間の身体各部の位置座標を得るための深度センサと解析ソフトウェア、ロボットの腕の動き方を自然にみせるための物理演算プログラム、インタラクション設計のための GUI から構成される。これらを用いてロボットの腕の大きさやばねの物性を変化させて、より自然に機能するパラメータを探した。特にインタラクションのデザインの際のハードウェアの制約は映像メディアによる非物質性によって、自由度を高めている。一方、映像メディアに不足している「反応している」擬似的な感触は、簡易物理シミュレーションやデバイスによって補っている（図 5.37）。

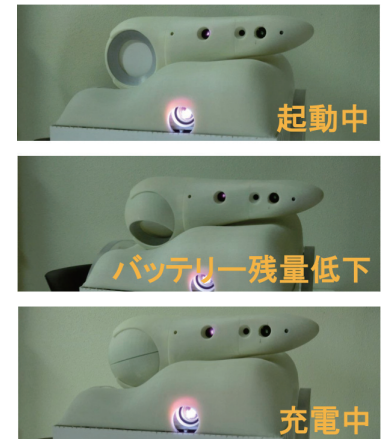


図 5.36 人間の動作を促すロボットの表情のデザイン

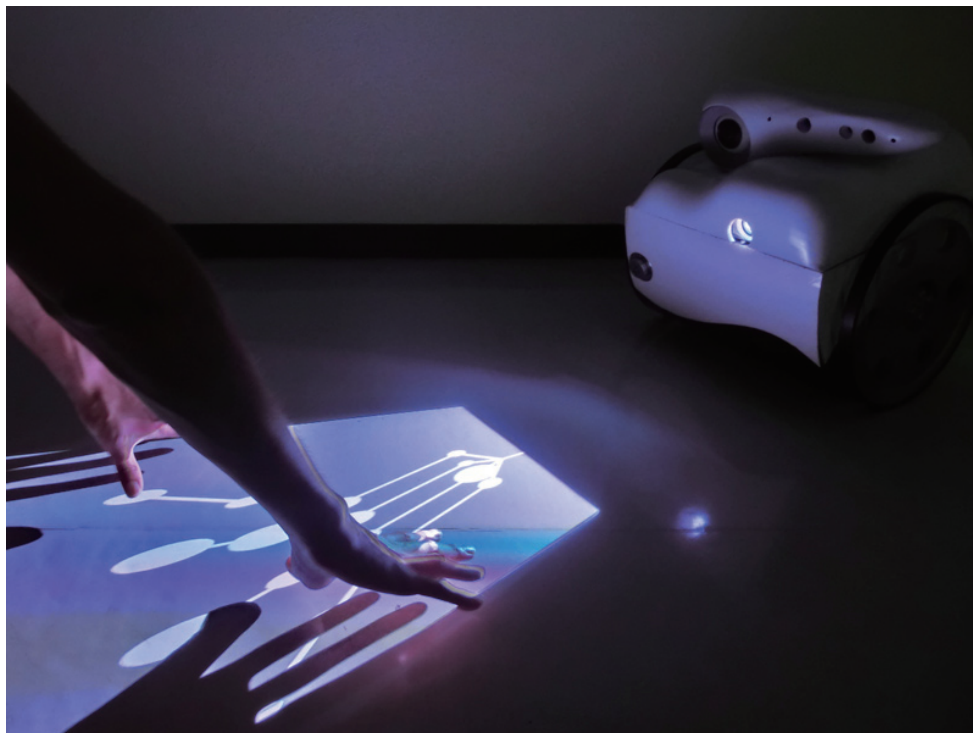


図 5.37 人間とのインタラクション

5.7 ロボットを用いた人間の追従および動作取得

Kinect や Xtion は、リアルタイムに人間の動作取得することを可能にし、人間の振る舞いは既に様々な分野で利用されている。その多くは特定の場所にデバイスが固定され、限られた範囲内で動作を行うものであり、これによって人間の動作が制限されてしまう。これに対し、本研究では移動可能なロボットに Xtion を搭載し、ロボットを人間に追従させることによってことで人間の行動を制限せず、動作を取得することが可能となる (図 5.38)。



図 5.38 ロボットに搭載された Xtion

5.7.1 人間の追従に関する基礎実験

本研究では 2 種類の人間追従技術を用いているが、これらの 2 つのシステムは、お互いに補完する役割を担っている (図 5.39)。もしロボットが視界から追跡対象を見失った場合、ZPS が人間を見つけることをアシストする。また、ロボットのホイールの回転数の蓄積を計算することによって自己位置をある程度推定することも可能であるが、滑りなどによって誤差が生じるため、あくまで補助的な用途である。

5.7.1-a Xtion (相対座標の取得)

ロボットの頭部に搭載され、骨格情報を取得し人間の動作を取得する。骨格情報の取得に成功した場合、ロボットは追従対象として、最初に補足したユーザーの首の位置を認識する (図 5.40)。首の座標を基準にロボット - 人間間の相対座標を供給する。複数の人間が存在する場合、追跡対象を変更するプログラムを搭載するか、複数台のロボットが必要である。



図 5.40 Xtion による人間追従

5.7.1-b ZPS (絶対座標の取得)

ZPS は超音波センサを用いて三次元空間における絶対座標を取得する。タグから発信された超音波を、天井に取り付けられた受信部で読み取り、空間における絶対位置座標を計算する。タグを用いて座標を取得するため、ロボットや人間、家具などの位置を高い精度で取得することができる (図 5.41)。



図 5.41 ZPS による人間追従



図 5.39 ロボット内で実行されている見る各プログラム

5.7.2 人間の動作取得に関する基礎実験

前項では人間の位置を取得した。本項では人間の振る舞いを取得し、空間にあるさまざまなデバイス进行操作するシステムを構築し、実験を行った。システムの概要を図 5.42 に示す。Kinect や Xtion を用いて人間の動作を取得すると、パソコンを介して無線通信によって Arduino への機器を操作するか、命令が送られる。命令を受け取ると Arduino から各種機器に対応した信号が赤外線 LED から発信され、機器を操作できる仕組みになっている。機器を操作するための信号コードはリモコンの赤外線を解析した。例えば、プロジェクターの前で人間が手を振る動作を行うと、プロジェクターが点灯する、電気の方へ向かって指差しすると電気が消灯するなどを行うことができる（図 5.43, 5.44）。

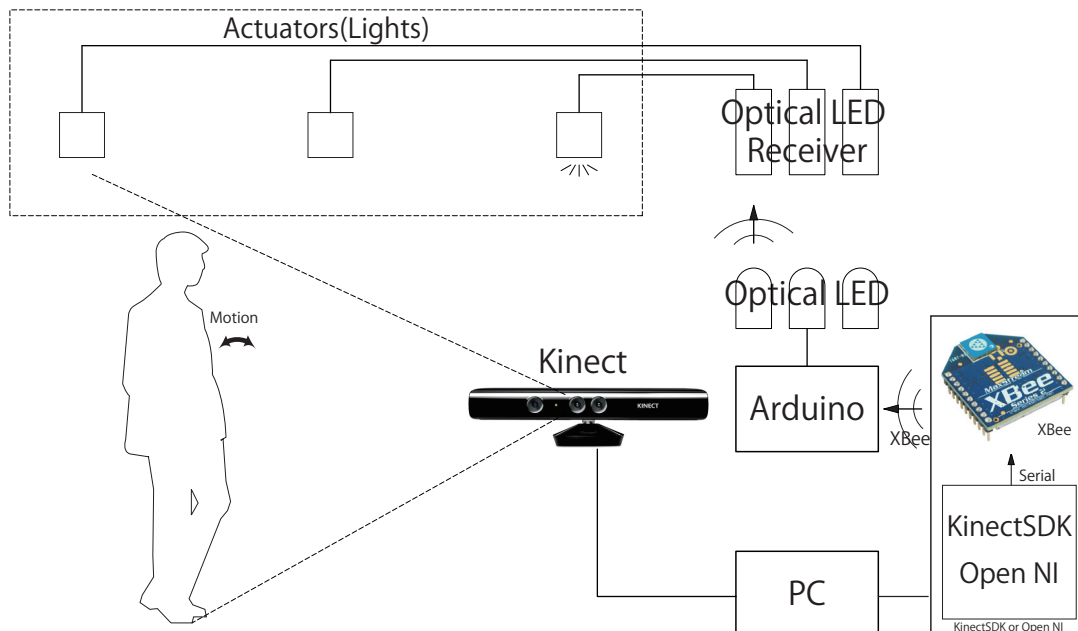


図 5.42 ロボット内で実行されている各プログラム



図 5.43 手を振る動作の取得と機器の操作

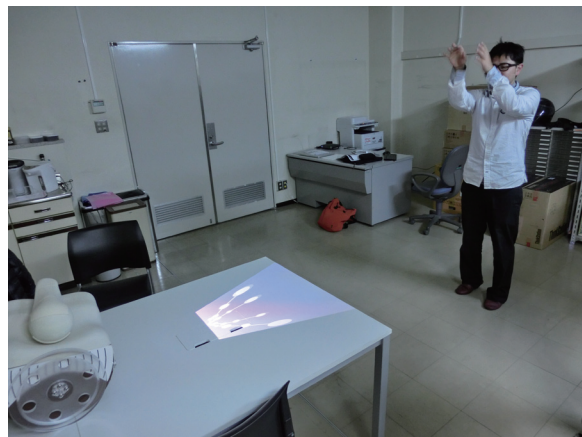


図 5.44 ロボットが人間の動作を取得している様子

5.7.3 提案するシステムの全体像

提案するシステムの全体構成を図 5.45 に示す。人間の位置情報は、ZPS と Xtion の両方から送信され、ロボット上のエージェントプログラムに UDP (User Datagram Protocol) を通じて送信される。両方の値が取得できている場合は Xtion の値を用いて追従する。しかし、実際の空間を想定すると机や椅子などによってオクルージョンが発生し、人間を見失う可能性が容易に想像できる。このような場合は ZPS で取得した情報を利用して追従する。この2つの技術は相互補完の関係性にある。

Xtion は人の位置情報と同時に建物の形状も点群で取得する。点群の座標 (x,y,z) はロボットからの中心からの相対座標であるため、実際の座標に変換するには、ロボットの絶対座標および、ロボットが向いている方角 (角度) の情報が必要である。角度の取得方法として、ロボット自身のホイールの回転から割り出したピッチ (β) とヨー (α) を用いる手法が考えられるが、この部分のプログラムが未完のため、本研究で検証するに至らなかった。また、別の手法として ZPS をロボットの前後に取り付け、二点を用いた角度の算出を試みたが、安定感に欠いた。よって、現段階では角度を取得する手法が欠けており、ロボットが動きながら空間の形状を取得するには至らなかった。

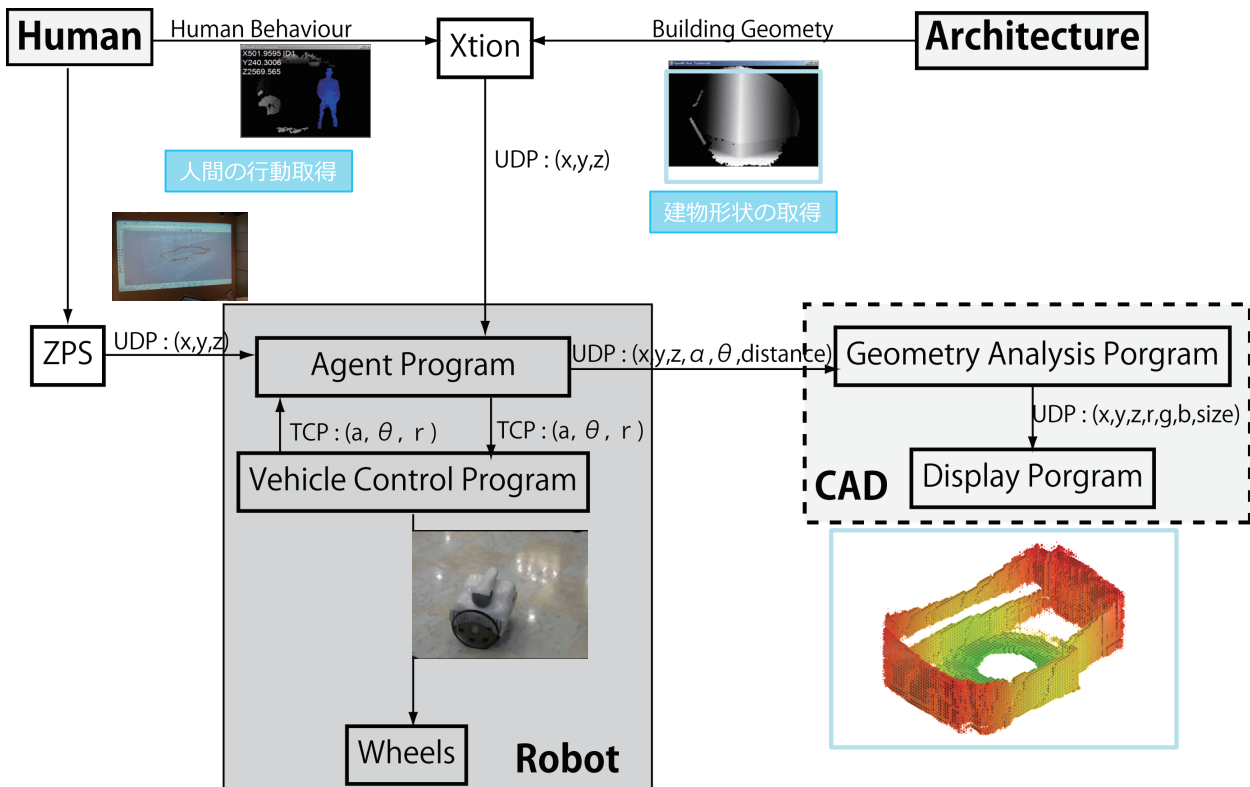


図 5.45 提案するシステムの全体像

5.8 まとめと今後の展望

本研究は、空間形状および人間の身体動作の取得において、Xtion を搭載した移動型ロボットを用いた手法を提案し、空間形状取得の基礎実験、人間の動作取得の基礎実験、ロボットの開発を行った。本研究で得られた成果を以下にまとめる。

1) Xtion を用いた予備実験で取得された空間形状の生データは、距離に比例して誤差を生じる。ボクセルグリッドによる分割分析手法は、測定距離と計測回数を用いることで信頼性と精度を持った空間形状の構築を可能とし、概ねの形状を取得することが出来た。また、窓の形状ができる点は建築設計において有効な点である。

2) 開発したロボットは自由に移動でき、仰角、俯角の制御が可能であり、それぞれの車輪が独立して回転可能であるため、回転半径が小さくその場で 360° 回転可能である。これらの特徴は、決して広いとは言い難い空間において三次元空間形状を取得する場合に有効な点である。また、動作音がクアドロコプターより静音性に優れており、日常生活の観点から優位性があると考えられる。

3) 人間の位置および動作の取得には Xtion (相対座標・人間動作・形状取得) と ZPS (絶対座標) を用い、状況によって相互の座標を利用するシステムを構築した。また、人間の動作を取得し、空間内の各種機器を操作した。

今後の課題として、

1) ロボットの動作に起因する位置の誤差やロボットの動作と建物形状取得の時に生じるポジションの誤差が生じるが、ICP とデッドレコニング法などを用いることによって適切な建築形状を取得可能である。

2) ロボットは一人の人間しか追従できないため、複数の人間が空間に存在する場合、追跡を切り替える手法、もしくは複数台のロボットが必要である。

3) 汎用性の高い安価な RGBD カメラを用いているが、室内での絶対座標をするために、GPS や、モーションキャプチャ、超音波センサのような特別な設備を必要とする。

4) ロボットが向いている角度の取得は、既知の環境では SLAM などによる手法が考えられるが、未知の環境では、車輪の回転数を用いた計算による取得の検証が必要である。

5.9 第5章 小結

本章では、日常生活空間における人間の身体動作と建築形状の関係に着目し、人間動作および空間形状の情報を蓄積することによって建築設計および計画に活用することを目的として、移動型ロボットとRGB-Dカメラを用いた人間動作および空間形状同時取得による空間の状況把握に取り組んだ。

本研究は、日常生活における情報の取得を念頭に置いた、情報の蓄積による信頼性の向上とロボットの移動による精度の向上に取り組んだ。また、人間を追従するためにXtionを用いた相対座標と超音波センサを用いた絶対座標という複数の位置取得方法を用いて供給した点が挙げられる。しかし、各々の要素技術は成立したものの、ロボットを用いて人を追従しながら、建築の形状を取得するという統合した上での実験が今後の課題である。

日常生活の人間の何気ない動作や生活環境の変化を取得することが可能になれば、人間の潜在的な要求を明らかにすることができると共に、動作を用いた建築形状の生成、逆に建築形状を用いて人間動作へ影響を与える可能性が考えられる。人間の動作と建築の形状は最も根本的な関係性にあり、この点をより良く改善していく手法として本提案を位置づけることができる。また、リアルタイムな人間動作の取得は、動的な建築への応用、人間の振る舞いに応じた環境構築への可能性を高めると考えられる。

また、今後さまざまな情報通信機器、ロボティクス技術が建築空間へ導入される時代において、これまでの建築学のみならず、様々な技術と連携する必要性がマスト考えられる。本章で取り組んだ、異分野の学生が協働では、データのやりとりが最も重要なものとなり、これに伴うネットワークスキルの重要性が示された。

第5章 参考文献リスト

- 1) 総務省統計局：日本の統計 2013, 人口の推移と将来人口, p.39, 2013
- 2) 国立社会保障・人口問題研究所：日本の世帯数の将来推計(全国推計), 人口問題研究資料第329号, pp.11-17, 2013.1
- 3) 下川 雄一, 山崎幹泰, 笠覚暁, 川崎寧史, 土田 義郎：レーザー計測による伝統的町家群の連続立面図作成に関する研究, 日本建築学会技術報告集, 第17巻 35号, pp.383-388, 2011.2
- 4) Hajian, H. and Becerik-Gerber, B.: Scan to BIM: Factors Affecting Operational and Computational Errors and Productivity Loss, 27th International Symposium on Automation and Robotics in Construction (ISARC 2010), Bratislava, pp.265-272, 2010
- 5) 石田 航星, 嘉納成男, 五十嵐健, 藤井裕彦, 大澤 雄司, 酒本 晋太郎, 富田裕行：内装部材のプレカット化のための3次元レーザースキャナーを用いた計測と生産設計の手法に関する研究, 日本建築学会計画系論文集, 第78巻 688号, pp.1355-1363, 2013.8
- 6) Yue, K. and Ramesh, K.: Extraction of Building Geometry from Range Images of Construction Sites, CAADRIA 2007, Nanjing, pp. 459-466.2007
- 7) 古川奈々恵, 五島美沙, 三田彰：レーザーレンジファインダ搭載ロボットを用いた日常生活における動線把握, 日本建築学会学術講演梗概集 A-2, pp.537-538, 2011-07
- 8) Huang, A. S., Bachrach, A., Henry, P., Krainin, M., Fox, D. and Roy, N.: Visual Odometry and Mapping for Autonomous Flight Using an RGB-D Camera, International Symposium on Robotics Research (ISRR), pp.1-16, 2011
- 9) Brett R. Jones, Hrvoje Benko, Eyal Ofek, Andrew D. Wilson: IllumiRoom: Peripheral Projected Illusions for Interactive Experiences, CHI 2013, April 27-May 2, 2013, Paris, France.
- 10) B.Jones, R. Shdhi, M. Murdock, R. Mehra, H. Benko, A. Wilson, E.Ofek, B. MacIntyre, N. Raghuvanshi, L. Shapira: RoomAlive: Magical Experiences Enabled by Scalable, Adaptive Projector-Camera Units, UIST 2014, Hawaii, USA
- 11) Guallart, V.: Media House Project: The House Is The Computer The Structure The Network, Actar, New York.
- 12) Fox, M. and Kemp, M.: 2009, Interactive Architecture, Princeton Architectural Press.
- 13) Beilharz, K.: 2005, Architecture as the Computer Interface: 4D Gestural Interaction with So-cio-Spatial Sonification, 23rd eCAADe, Lisbon, pp. 763-770.
- 14) Greg Lynn : Animate Form, Princeton Architectural Press, 1999.1
- 15) Matsushima, S., D. Sasaki and R. Takenaka: 2007, Embodying Architectural Form and Space by Coupling Computer and Human Performance Using Motion Capture Technology: Study on Application of Motion Capture to Design Process for Generating New Geometry, Em'body'ing Virtual Architecture, ASCAAD 2007, pp. 757-766, 2007, Alexandria.
- 16) 秋山英久, 進藤真, 荒牧重登：自律移動ロボットによる人避け動作のための環境地図構築, 人工知能学会 AI チャレンジ研究会, 第37巻, pp.B301-6, 2013
- 17) 李信和, 桑島健彰, 三田彰：センサエージェントロボットを用いた住空間の環境地図作成, 日本建築学会学術講演梗概集 A-2, pp.539-540, 2011.7
- 18) 廣井翔, 和田康介, 新妻実保子：動的物体を反映した自律移動ロボットのための環境地図の構築 (OS9: 空間知), インテリジェントシステム・シンポジウム講演論文集 一般社団法人日本機械学会, 21号, pp.199-202, 2011.09
- 19) 秋葉達也, 三田彰：生命化建築のためのセンサエージェントロボットを用いた人追従, 日本建築学会技術報告集 18巻 39号, pp.775-779, 2012.6
- 20) Alex Teichman, Stephen Miller, Sebastian Thrun: Unsupervised intrinsic calibration of depth sensors via SLAM, RSS 2013, Berlin, Germany

第5章 図版リスト

- 図 5.1 三次元スキャナを用いて建築形状を取得した例
出展：FARO
- 図 5.3 Kinetic Architecture の一例 (Medina Haram Piazza Shading Umbrellas)
出展：Premier Composite Technologies : <http://www.pct.ae/>
- 図 5.2 Kinect を用いたヘルスケアの一例
出展：Microsoft [<http://blogs.msdn.com/b/kinectforwindows/archive/2014/12/04/intel-ge-care-innovations-uses-kinect-solution-to-help-elderly-patients.aspx>]
- 図 5.4 三次元スキャナで取得した金沢の街並み
出展：文献 3 図 14 より引用
- 図 5.5 動的な物体が存在した場合とスキャンによって生じる死角
- 図 5.6 Quadro Copter に搭載された RGB-D カメラでスキャンされた建物
出展：Robust Robotics Group | CSAIL
- 図 5.7 身体動作を用いた健康管理
出展：任天堂 ホームページ
- 図 5.8 身体動作を検出している様子
出展：Microsoft ホームページ
- 図 5.9 フェイストラッキングのためのカメラ
出展：プレイステーション ホームページ
- 図 5.10 空間形状の取得 -IllumiRoom
出展：Microsoft Reserch ホームページ
- 図 5.11 空間形状に合わせたゲームコンテンツ -RoomAlive
出展：Microsoft Reserch ホームページ
- 図 5.12 人間の動作を居住空間に活用しようとした例
出展：文献 11
- 図 5.13 人間の動作に反応する風船
出展：文献 12
- 図 5.14 Greg Lynn - Animate Form
- 図 5.15 Xtion Pro Live
出展：Asus ホームページ
- 図 5.16 グリッド分割による環境地図の構築
出展：文献 16 図 3 および図 6 より引用

- 図 5.18 実験の概要図
- 図 5.17 平面に対する誤差を計測している様子
- 図 5.19 計測された生データに生じる誤差
- 図 5.20 Alex らによる生データの誤差とキャリブレーション後のデータ
出展：参考文献 20 より引用
- 図 5.21 回転するサーボモータに固定された Xtion
- 図 5.22 3DCAD ソフト上でリアルタイムに表示された部屋の形状の点群情報
- 図 5.24 実験に使用した部屋の各種図面
- 図 5.23 実験環境と中央に置かれた 360°回転する Xtion
- 図 5.25 高さ 500mm 地点における点群取得結果
- 図 5.26 高さ 1500mm 地点における点群取得結果
- 図 5.27 協働のイメージ図
- 図 5.31 異なる分野の学生による打ち合わせ
- 図 5.28 佐郷らによる二輪ビークルの制御技術
出展：豊橋技術科学大学 システム制御研究室
- 図 5.29 吉田らによるベルソナ型ロボット
出展：豊橋技術科学大学 岡田研究室
- 図 5.30 小林らによる情報通信技術を用いた照明の制御
出展：豊橋技術科学大学 栗山研究室
- 図 5.32 初期のデザインアイデア 12 案
- 図 5.33 初期案のプロトタイプモデル
- 図 5.34 最終案と各要素技術
- 図 5.35 製作のフロー
- 図 5.37 人間とのインタラクション
- 図 5.36 人間の動作を促すロボットの表情のデザイン
- 図 5.39 ロボット内で実行されている見る各プログラム
- 図 5.38 ロボットに搭載された Xtion
- 図 5.40 Xtion による人間追従
- 図 5.41 ZPS による人間追従
- 図 5.43 手を振る動作の取得と機器の操作
- 図 5.42 ロボット内で実行されている各プログラム
- 図 5.44 ロボットが人間の動作を取得している様子
- 図 5.45 提案するシステムの全体像

第6章 情報の共有と利用

6.1 第6章 概要

技術の進歩によって取得可能になった種々の情報について、情報利用の観点から、建築空間と連動した情報共有のプラットフォームの開発を目的とした、地図情報を用いた情報の統合と利活用を提案した。ケーススタディとして、実空間と地図上の仮想空間の連動に取り組んだ。本章では、情報を利用する基盤として、空間の重要性について論じている。

6.2 はじめに

2015年には日本における全人口の25%を65歳以上が占めると言われており、75歳以上の後期高齢者の4割が単独世帯、または夫婦のみ世帯であると予測されている^{1) 2)}。今後の高齢社会では、一人で生活を行わなければならない状況が想定され、安全・安心に暮らすための技術に対するニーズはますます高まると考えられる。このようなニーズに答えようと、近年ロボットや空間知能化による人の支援が注目されている。空間知能化とは、空間自体が情報を取得・処理し、ニーズに応じた機能を実空間に反映する仕組みのことをいい、このような技術の一例として、遠隔の在宅介護が挙げられる。人や空間に関する情報を一元的に取得し、生活状況や危険を共有・察知できれば、遠隔から介護人がそれに応じたコミュニケーションや処置を行うことが可能となる。近年のセンサ技術の進歩はめざましく、日常的に使用するモバイル端末や家電機器にはさまざまなセンサが搭載されており、生活に関する情報の取得はますます容易になると考えられる。

このような背景から、これまでに、建築モジュールの開発³⁾、実験空間の構築⁴⁾およびロボティクス技術の応用⁵⁾を通してセンサ・ロボティクス技術が融合した空間知能化の実現を目指している⁶⁾(図6.1)。人、建築、ロボットが共存する状況では、人やロボットの意図や動作、空間や周辺環境の状態など、取得可能な情報を統合し、相互に利用することによって効率化を図ることが望ましい。また、取得した情報を基に、解決策を反映するための装置を備えた空間の重要性は、今後さらに増していくと考えられる。

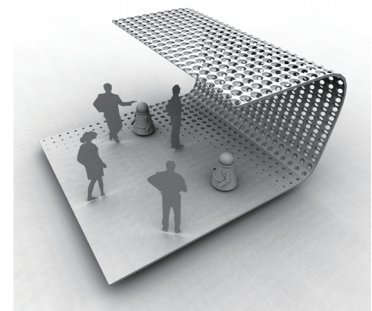


図6.1 人間・建築・ロボットが共存する空間のイメージ図

出展：人間ロボット共生リサーチセンター

1) 総務省統計局：日本の統計2013、人口の推移と将来人口、p.39、2013

2) 国立社会保障・人口問題研究所：日本の世帯数の将来推計(全国推計)、人口問題研究資料第329号、pp.11～17、2013.1

3) Tsukasa Takenaka, Aya Okabe: Networked Coding Method for Digital Timber Fabrication, In Integration through Computation: Proceedings of the 31st Annual Conference of the Association for Computer Aided Design in Architecture (ACADIA), pp.390～395. 2011.10

4) 岩田翔士, 松島史朗, 竹中司: 領域横断型のものづくりのための実験的空間の構築—豊橋技術科学大学における2つの空間整備事例を通して—, 第34回情報・システム・利用・技術シンポジウム2011, 報告, pp.299～304, 2011.12

5) Shouto Iwata, Mikiya Takei and Shiro Matsushima: ENHANCED 3D-SPACE-SCANNING SYSTEM BY ROBOTIC TECHNOLOGY - Extracting Building Geometry and Capturing Human Behavior for Architectural Design -, The 19th International Conference on Computer-Aided Architectural Design Research in Asia (CAADRIA 2014), pp.347～356, 2014.5

6) 栗山繁, 岡田美智男, 竹中司, 松島史朗, 三浦純: 人間とロボットが共生するための空間創出, ヒューマンインタフェース学会誌 第12巻 第1号, pp.13～18, 2010.2

6.3 既往研究

これまで建築空間に関する情報は、梅千野らによる住環境情報のデータベースの作成⁷⁾や、佐藤らの環境情報の可視化システム⁸⁾など CAD や GIS などの専門的なツールを基盤に統合される事例が多かった。齊藤らは、専門的な CAD や GIS ソフトもフリーソフトやオープンソースのものが存在するが、独自に開発されているためデータの互換性が低く、情報共有や相互利用が困難である点、一般の人が使うには敷居が高い点を問題点として挙げ、オープンかつ一般的に利用されている Google Earth を用いて簡単な操作と空間を基盤とした情報共有を実現している⁹⁾。また、渡辺らは同じく Google Earth を用いた複数のコンテンツの制作を通して、空間を基盤としたユーザー参加型情報共有の可能性を示している^{10~12)} (図 6.2)。

一方、空間内の機器はネットワーク化、エネルギーの見える化が進み、建築の分野でも中島らによる環境・エネルギー情報の閲覧¹³⁾など HEMS・BEMS に関連した研究が盛んに行われている。植田らは Google Maps を用いて空間をベースに家電を管理・操作するシステムを構築し、Web 上から実空間を操作する可能性を示した¹⁴⁾。一方、ここで取り上げられている問題点として、家電や空間の状態を把握することが困難であること、リアルタイムに家電の状態をデータに反映することが挙げられている。例えば、照明を点けるか否かは、周辺の環境光が明るいか暗いか、どこに人が存在しているかによって判断される。つまり、家電操作の必要性を判断するための環境情報や、操作時の安全性などの人の有無に関する情報など、空間の現状を把握する必要がある。このような点を考慮すると、Google Maps は二次元の画像をベースにしているため、空間の状態変化をリアルタイムに反映するなどのインタラクティブな情報表示が難しい。また、空間の現状を把握するには三次元の方が望ましいが、映像によるストーリーミングなどは、プライバシーの確保など課題が残る。

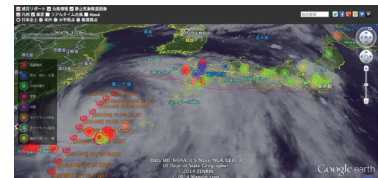


図 6.2 Google Earth を用いた台風被害情報共有システムの例

出展：渡辺英徳研究室×ネットワークデザインスタジオ

7) 梅千野晃, 浅輪貴史, 深澤朋美, 清水敬示:住環境の維持管理支援を目的とした 3D-CAD による住環境情報データベースの作成に関する事例研究, 日本建築学会技術報告集, 第 26 号, pp.663 ~ 668, 2007.12

8) 佐藤理人, 梅千野晃, 浅輪貴史: 熱環境に配慮したまちづくりのための環境情報の可視化システムの開発, 日本建築学会技術報告集, 第 35 号, pp.255 ~ 258, 2011.2

9) 齊藤圭, 篠崎道彦, 日高圭一郎: 時空間情報共有プラットフォームとしての Google Earth の多面的活用に向けた技術検討, 日本建築学会技術報告集, 第 25 号, pp.317 ~ 320, 2007.6

10) 渡辺英徳, 坂田晃一, 北原和也, 鳥巢智行, 大瀬良亮, 阿久津由美, 中丸由貴, 草野史興: "Nagasaki Archive": 事象の多面的・総合的な理解を促す多元的デジタルアーカイブズ, 日本バーチャルリアリティ学会論文誌, 第 16 巻 第 3 号, pp.497 ~ 505, 2011.9

11) 高田百合奈, 朴婉寧, 蜂谷聖未, 高田健太郎, 西田志帆, 渡辺英徳, 植田佳樹: デジタル地球儀を用いた成長型海洋生態系アーカイブのデザイン手法, 日本バーチャルリアリティ学会論文誌, 第 17 巻 第 3 号, pp.253 ~ 260, 2012.9

12) 台風リアルタイム・ウォッチャー: 台風情報と「減災レポート」のリアルタイム・マッシュアップ, <http://typhoon.mapping.jp/> (参照 2014.10.13)

13) 中島裕輔, 佐藤光太郎, 納富昭光: 住宅における環境・エネルギー情報提供システムの開発, 日本建築学会技術報告集, 第 34 号, pp.1069 ~ 1074, 2010.10

14) 植田健太, 小坂隆浩, 佐藤健成: Google Maps を用いた統合型家電機器操作システムの構築, 情報処理学会研究報告, 第 16 号, pp.399 ~ 404, 2007.3

6.5 実験空間の概要

実験には、様々なデバイスの取り付けが可能なフレキシブル空間構築を目的として改修を行った、Media Engineering Lab を使用した。OA フロアの概念を壁や天井にまで拡張し、自由な配線を実現し、天井に取り付けられたライティングダクトには様々なデバイスを取り付けることが可能となっている（図 6.4）。

この空間には、遠隔からの介護などを想定し、人やロボット、モノの位置を取得できる超音波位置測位システム、人の動作や空間の形状を取得できる Kinect、温湿度、照度などの環境センサ類が備えられている（図 1）。また、一般的な空調機器の他、自由な位置に取り付け可能な照明、壁一面に投影可能なプロジェクタなどが備えられている（図 6.5, 6.6）。



図 6.4 OA Wall



図 6.5 実験空間の写真

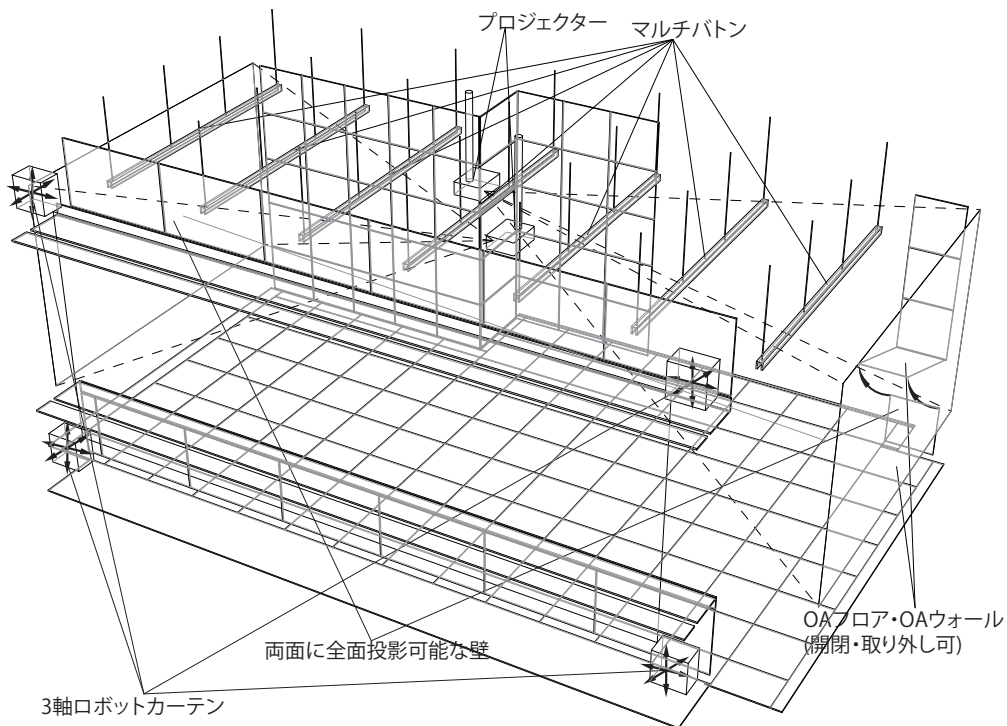


図 6.6 実験空間のアイソメ図

6.6 情報共有システムの概要

本研究で開発する情報共有システムの概要を図 6.7 に示す。

(1) 情報の入力

- ①空間の利用者がセンサおよびアクチュエータ^{注2}の情報を登録する
- ②センサおよびのアクチュエータの情報をサーバーへ送信する
- ③サーバーがデータを受信し、データベースへ反映する

注2 アクチュエータ
ここではなんらかの出力機能をもった機器のことを示す。

(2) 情報の表示

- ④ Google Maps 上でデータベースに登録されている環境および機器の現在の状態を表示する
- ⑤データベースに登録されている情報を基に、WebGL を用いて表示し 3D モデルに反映し、実空間と連動した機器の状態を表示する

(3) 情報の反映

- ⑥表示された状況によってアクチュエータを操作する
- ⑦②～⑦を非同期で繰り返し、随時実空間・仮想空間に反映する

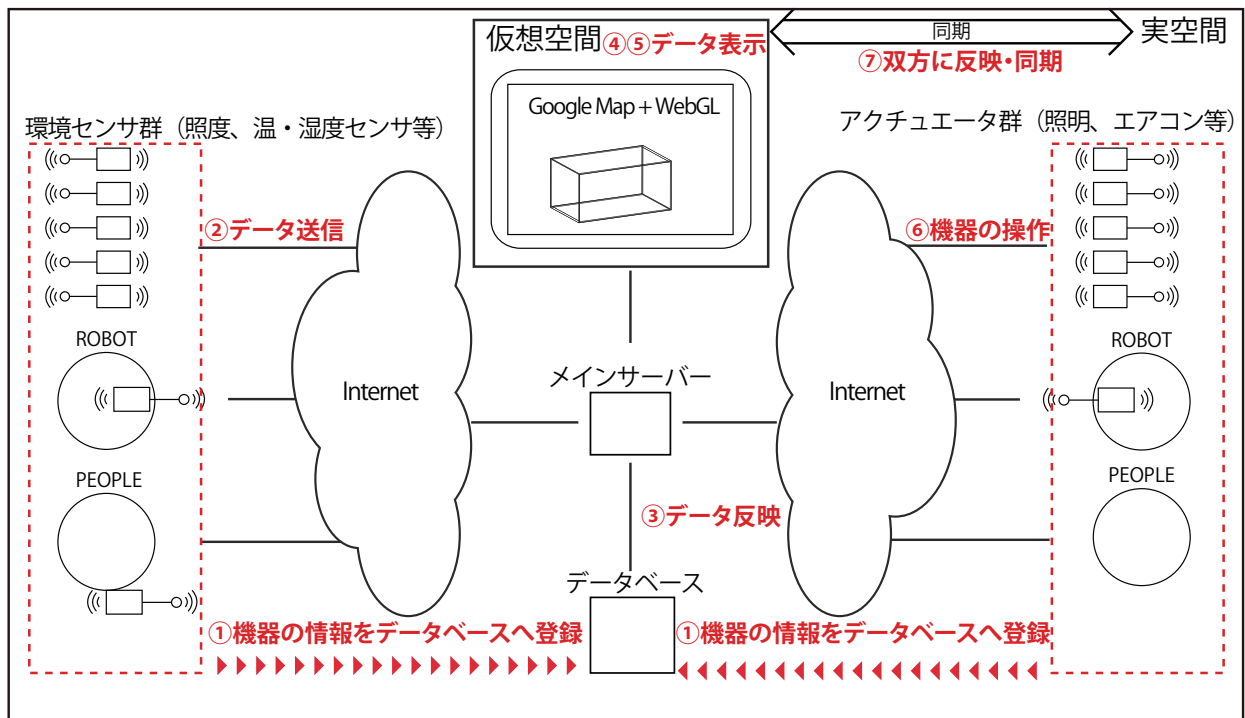


図 6.7 情報共有システムの概要図

6.6.1 Google Map を用いた情報共有システムの構築

6.6.1-a Google Maps をカスタマイズした屋内空間の表示システム

2014年現在 Google Maps では、大規模なショッピングセンターや公共施設において屋内地図の提供を開始しているが、まだ一部に限定されている(図 6.8)。そこでまず、Google Maps API を用いて地図の最大ズームレベルを標準の 19 層から変更し、マップタイトルのオーバーレイを用いて、19 層目を超えると屋内の地図情報を表示するシステムを制作した(図 6.9)。

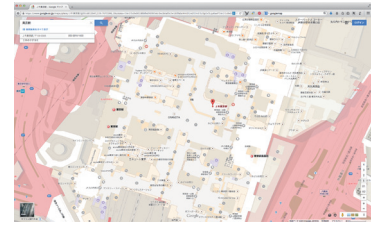


図 6.8 Google Map の屋内地図
Google Map では大型ショッピングセンターや公共施設など一部の施設について屋内地図を閲覧することができる。

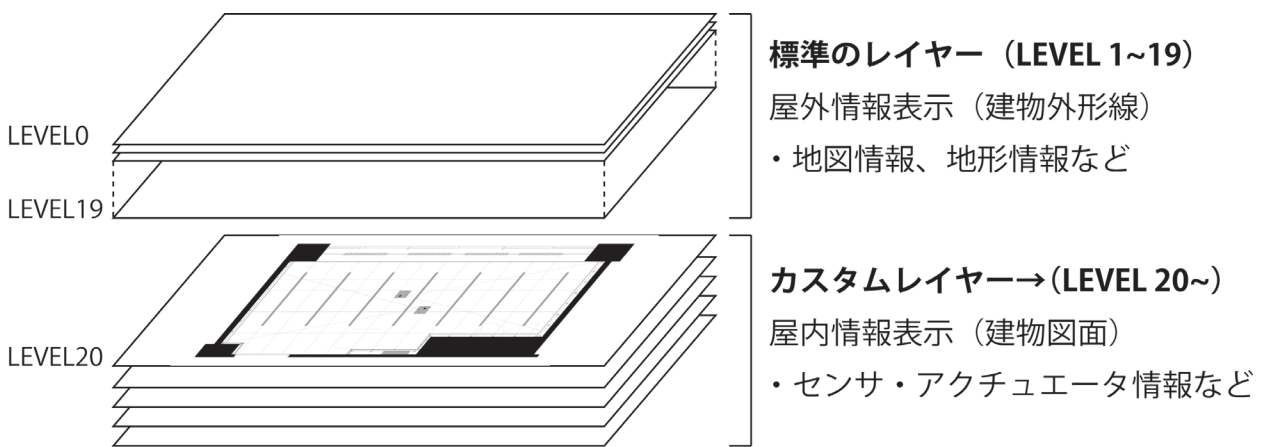


図 6.9 Google Map を用いた情報共有システムの概要図

6.6.1-b Ajax を用いた非同期通信システムと Google Maps 上での情報

共有方法

次に, Ajax (Asynchronous JavaScript + XML)^{注3} を用いて, メインサーバーおよびデータベースとの通信環境を構築した。センサの位置表示には Google Maps API のマーカーを利用し, ユーザーが情報を登録したい地図上の位置をダブルクリックすると, マーカーと固有の ID が生成されると同時に, クリックされた位置の緯度・経度・標高がデータベースに登録される。マーカーは通常のマーカーと同様, ドラッグアンドドロップで移動でき, 機器の移動があった場合は随時位置情報を更新することができる。センサやアクチュエータなどの情報は, Http Request などのデータ通信によってサーバーへ送信し, 固有 ID を基にデータベースに数値を登録・更新・保存することができる (図 6.10)。

マーカーをクリックすると, 機器のタイプ, 名前, 入力可能な最大値, 最小値, 現在値が表示される (図 6.11)。値はサーバーから一定時間ごとに Ajax を用いて呼び出され, 折れ線グラフで表示される。また, この値はブラウザ上で人為的に書き換えることも可能であり, 値の書き換えによって照明やエアコンなどのアクチュエータを操作可能である。

注3 Ajax

ウェブブラウザに実装されている JavaScript の HTTP 通信機能を使って, 非同期でサーバと XML 形式のデータ通信を行う技術。ページをリロードしなくても情報の更新が可能な技術。

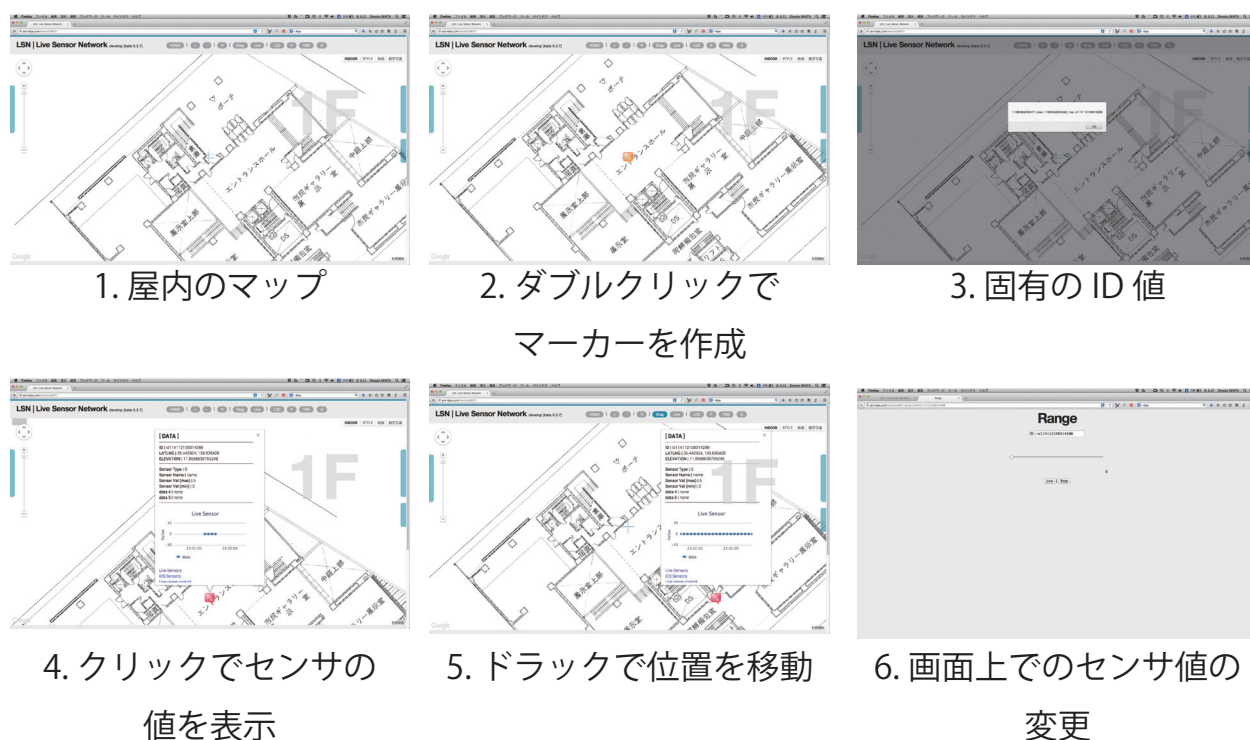


図 6.10 Google Map を用いた情報共有システムの利用手順

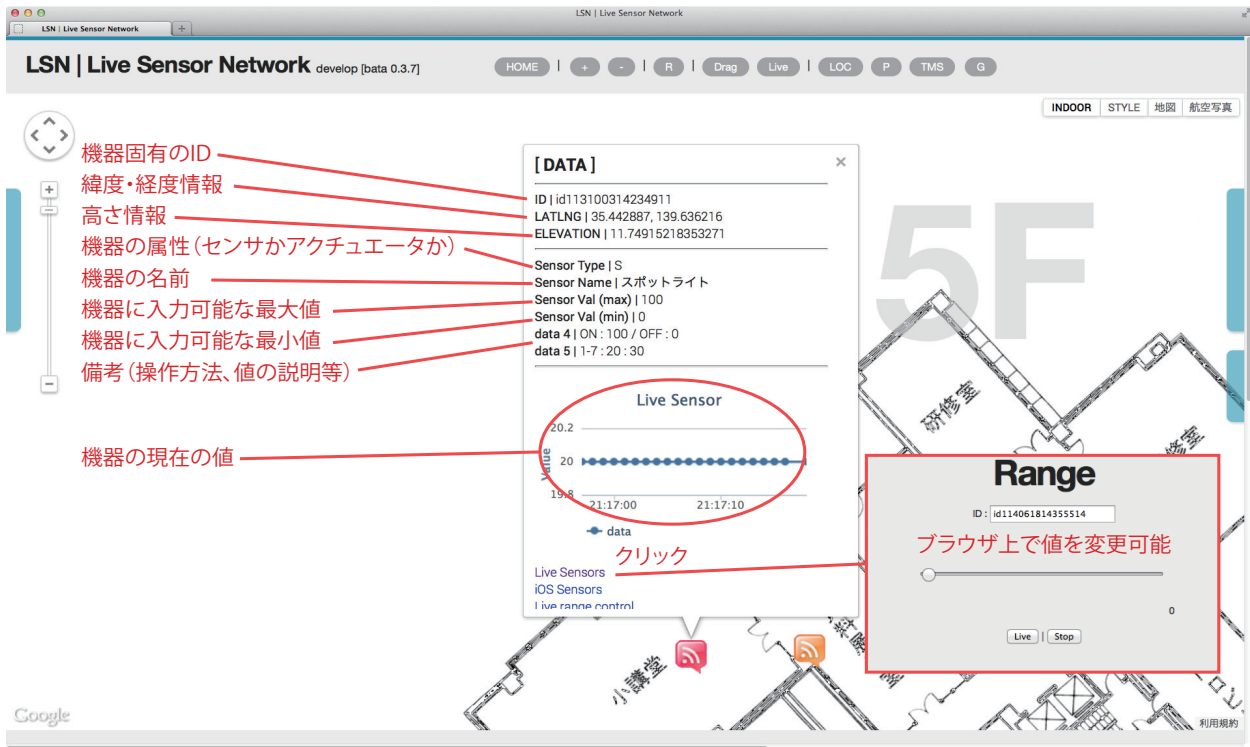


図 6.11 Google Map を用いた情報共有システムの概要図

6.6.2 実空間と連動した仮想空間情報表示システムの構築

実験空間を三次元化したモデルを制作し、WebGLを用いて Google Maps 上に表示する。この仮想空間は 5.1 で生成した Google Maps 上のマーカーをクリックすると表示され、センサやアクチュエータの情報が表示される。仮想空間は、メインサーバーと通信を行い、室内の明るさなど、データベースに登録されている値が更新されると、リアルタイムに仮想空間にも反映される（図 6.12）。

例えば、照度センサと WebGL 上のアンビエントライトのパラメータを同期することによって実空間が暗ければ仮想空間も暗くなる、実空間と仮想空間のスポットライトのパラメータを同期することによって、仮想空間のスポットライトをクリックすることによって実空間の照明を点灯することが可能となる。他にも、位置情報が取得可能であれば、実空間の人の動きにあわせて、仮想空間に表示されているモデルも移動し、人やロボット、物の位置をリアルタイムに認識可能となり、位置情報を用いたサービスの提供が容易となる。



図 6.12 Google Map と WebGL を用いた仮想空間の表示システム

6.6.3 情報共有システムを実空間に反映するシステムの構築

本研究では、空間の状態を取得するセンサとして、照度、温・湿度、超音波を用いた位置取得センサを登録した。また、空間の状態を変更するアクチュエータとして赤外線のリモコンで操作可能な機器（照明、エアコン、プロジェクタ、DVD）を登録した。次に Processing を用いてメインサーバーと通信するクライアントサーバーを構築した。クライアントサーバーはメインサーバーと非同期で通信し、データベースの値に応じて命令を送る。命令は Xbee を用いた無線通信で Arduino に信号を送られ、機器を操作するために予め解読された赤外線の信号を発信し、各機器が操作される仕組みである（図 6.13）。

前述の介護を想定すると、位置情報を利用して、明るさや温・湿度等の環境を操作することによる快適性の提供やロボットは建物上の位置を手掛かりにして自己位置を同定し、人をサポートすることができる。

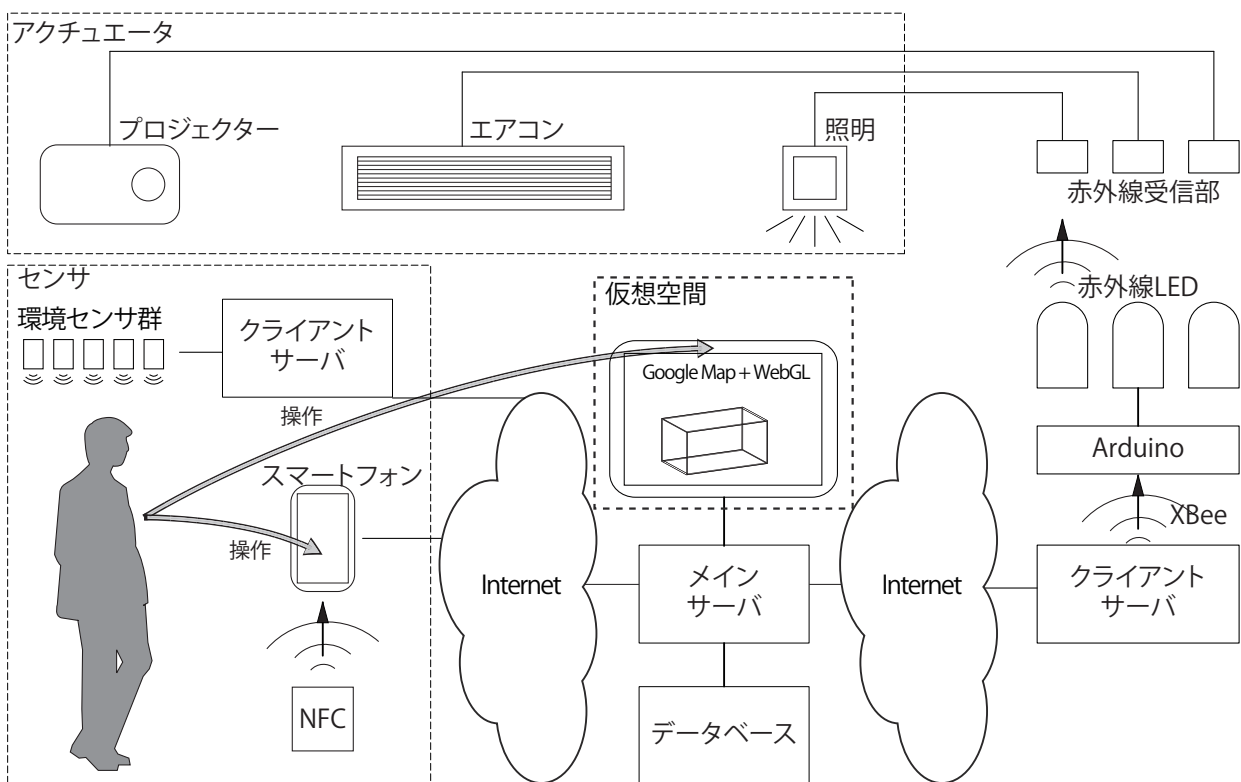


図 6.13 実空間と仮想空間を連動するシステムの概念図

6.7 実験

情報共有システムの一連の動作を把握し、知見を得るためにスマートフォンおよび NFC タグを用いた照明の操作実験および、超音波センサを用いて人間の移動動作を WebGL 上に表示する実験を行った。

本研究では、誰でも容易に情報の共有および利用に参加できることを目的に掲げている。空間の知能化や遠隔操作が可能となっても、操作が難しく使いこなせなくては意味がない。そこで、照明の操作実験ではスマートフォン等の端末から簡単に操作できるユーザーインターフェース (UI) として Near Field Communication (NFC) に着目した。NFC は、Suica などに使われている近距離通信であり、アプリなどを起動しなくても、スマートフォンなどの読み取り端末をかざすだけで簡単にデータの通信ができる (図 6.14)。

今回は全灯・消灯など 4 つの空間の状態を表示したカードに NFC のタグを貼り付け、端末をかざすと自動的に URL を開き、Http Request を行うことによって照明の操作を行う仕組みとした (図 6.15)。

その結果、カードにスマートフォンをかざすだけで、実空間の照明を操作することができた。また、実空間の状態は仮想空間にも反映され、仮想空間上の照明も連動して点灯状態を変更することを実現した (図 6.16)。また、超音波センサを用いて取得した位置情報を WebGL のオブジェクト座標に適応した。表示の滑らかさに問題が残るものの、実空間での人間の動作と WebGL 上でオブジェクトの移動が同期している事を確認することができた。

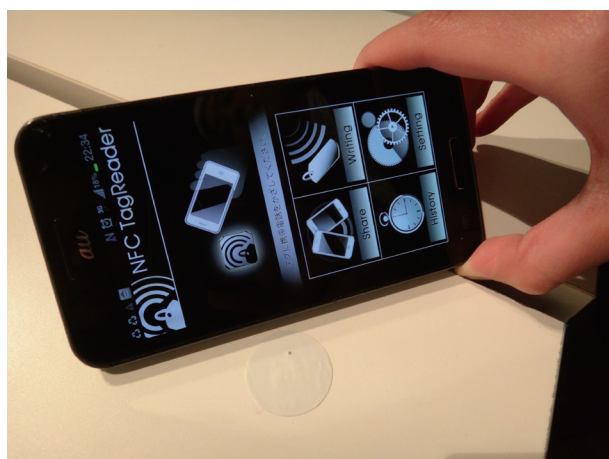


図 6.14 携帯電話で NFC の情報を読み書きしている様子



図 6.15 空間の状況を示した NFC のカード

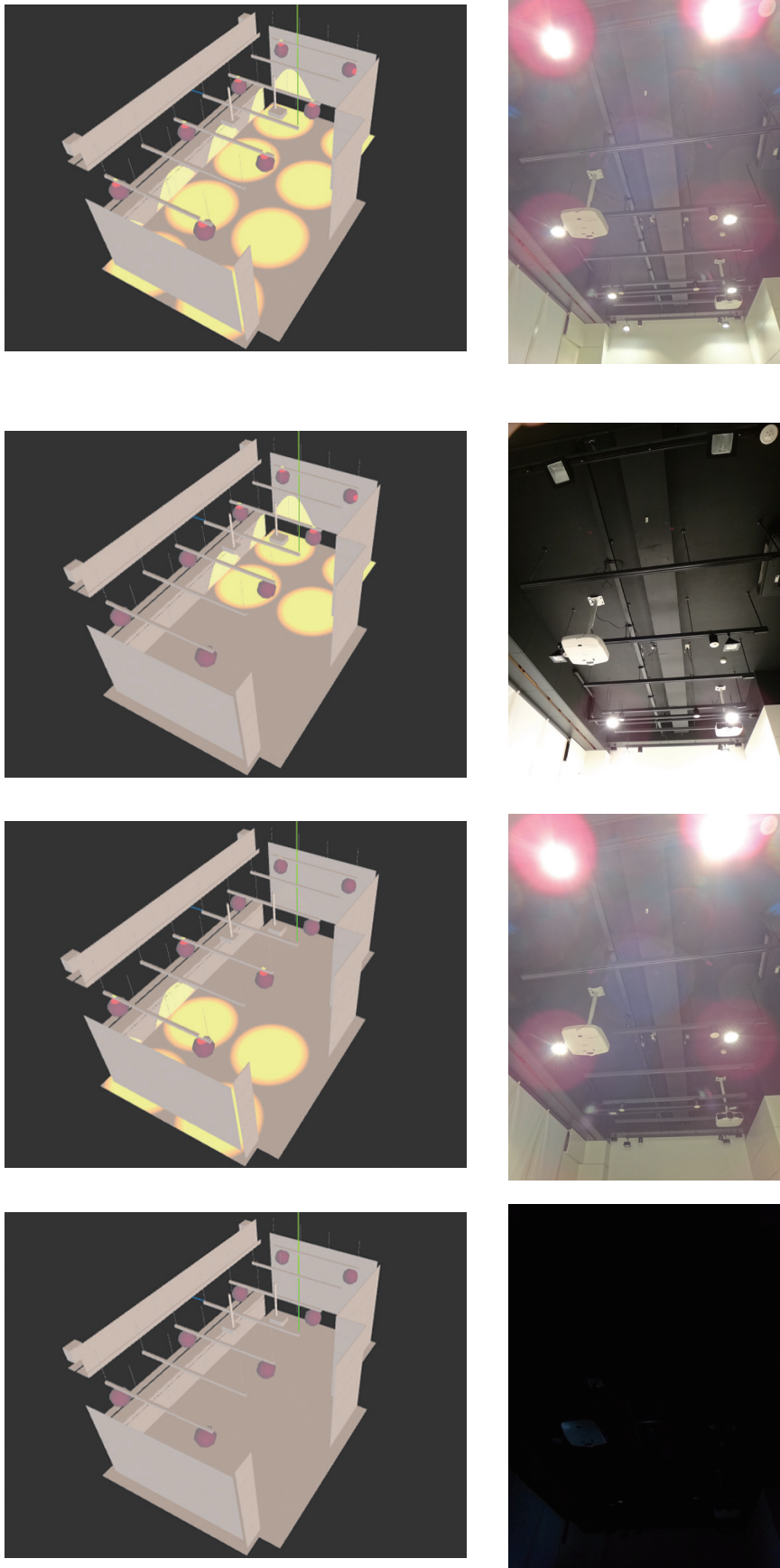


図 6.16 NFC を用いた実空間と仮想空間の連動実験の様子

6.8 まとめと今後の展望

本システムを実際に運用して得られた特徴と問題点を以下にまとめる。

(1) 特徴点

- ・インターネットを用いることで誰でも参加可能な情報共有システムを構築し、一般的に利用されている Google Maps を用いることによって、汎用性を確保すると共に、容易な操作を実現した。
- ・WebGL を用いて仮想空間を構築し、機器の状態および空間の状態をリアルタイムに仮想空間に反映することによって、これまでよりも容易に現状を理解することが可能となった。WebGL は特別なソフトを必要とせず、スマートフォンやタブレット端末からも利用・閲覧する可能なため、利用者の広がりおよび参加が期待できる。
- ・情報共有システムを媒介として、実空間と仮想空間が連動することによって、1対1ではなく、多対多のシステムの構築が可能となった。

(2) 問題点

- ・IDを用いて、情報を送信受信する部分はシンプルではあるが、専門知識が必要であり、現時点では手間がかかると言える。簡単に扱えるインターフェイスの構築が必要であると共に、空間に入ると利用者のデバイスにプッシュ通知するなど、システムの利用や情報共有を促すシステムの構築が必要であると考えられる。
- ・インターネットを通じて自由に操作できる反面、実空間の操作が遠隔からも可能であるためセキュリティ面に課題が残る。
- ・WebGL の表示に関しては、照明表現などリアリティに多少の問題があるが、これらの問題点は技術の進歩によって改善すると考えられる。また、今回は約1秒ごとの表示更新であったため、人間の移動の表示が滑らかさに欠けた。

以上の特徴と問題点から、さまざまな情報や機器を共有するにあたり考慮すべき点として、①空間的精度：位置座標の分解能など、②感覚的精度：温度や湿度の差を人間がどのように感じるか、③時間的精度：表示やセンサのサンプリング間隔などが挙げられる。

上述の人の移動を例にすると、歩幅を参考に50cmなど空間的な精度を決定し、平均的な歩行速度を基に約0.3msに表示を更新するなどが考えられるが、温度・湿度では頻繁な更新やリアルタイムな変化の反映を必要としない。つまり、機器ごと・利用目的ごとに設定が異なることから、具体的な利用を想定し、利用者による本システムの評価および検証が必須である。

6.9 第6章 小結

本章では、技術の進歩によって取得可能になった種々の情報について、情報共有の観点から、建築空間を基盤とする情報共有システムに開発および、これを用いた実証実験に取り組んだ。

これまで建築空間に関する情報は、CAD や GIS などの専門的なツールに統合されることが多かった。本稿では、専門的なツールを用いた情報共有ではなく、既に一般的に使用されており、無料かつ操作が容易な Google Maps をカスタムして空間を基盤とした情報共有の活用の促進を図る。さらに WebGL の技術と各種のデータ通信技術を用いて三次元の仮想空間と現実空間の情報を同期することによって、これまで難しかった空間の現状把握と状態変化を反映という問題点を解決した。

また、スマートフォンや NFC を用いた照明の操作および、超音波センサを用いて取得した位置情報を WebGL 上に表示したオブジェクトの座標に適用する実験に取り組んだ。その結果、実空間と仮想空間の双方から機器を操作し、空間の現状をリアルタイムに表示することが可能となった。

近年の DIY (Do It Yourself) や CGM (Consumer Generated Media) は、一般のユーザーによるデータの利活用やものづくり、空間を自分好みにカスタマイズする可能性を示している。このような観点からも、利用者による評価を行うとともに、危険や快適性を評価するための人間工学的指標、建築環境工学的指標を加え、実際の利用を想定した介護現場へのヒアリング等が必要であると考えられる。

本章の成果は、ロボティクスをはじめとした異分野の技術が住空間へ導入される際の一考察であり、分野を横断したコラボレーションを促すものである。今後は本システムを用いて実際にロボットを動作させる予定である。

第6章 参考文献リスト

- 1) 総務省統計局：日本の統計 2013, 人口の推移と将来人口, p.39, 2013
- 2) 国立社会保障・人口問題研究所：日本の世帯数の将来推計(全国推計), 人口問題研究資料第329号, pp.11～17, 2013.1
- 3) Tsukasa Takenaka, Aya Okabe: Networked Coding Method for Digital Timber Fabrication, In Integration through Computation: Proceedings of the 31st Annual Conference of the Association for Computer Aided Design in Architecture (ACADIA), pp.390～395, 2011.10
- 4) 岩田翔士, 松島史朗, 竹中司: 領域横断型のものづくりのための実験的空間の構築—豊橋技術科学大学における2つの空間整備事例を通して—, 第34回情報・システム・利用・技術シンポジウム 2011, 報告, pp.299～304, 2011.12
- 5) Shouto Iwata, Mikiya Takei and Shiro Matsushima: ENHANCED 3D-SPACE-SCANNING SYSTEM BY ROBOTIC TECHNOLOGY - Extracting Building Geometry and Capturing Human Behavior for Architectural Design -, The 19th International Conference on Computer-Aided Architectural Design Research in Asia (CAADRIA 2014), pp.347～356, 2014.5
- 6) 栗山繁, 岡田美智男, 竹中司, 松島史朗, 三浦純: 人間とロボットが共生するための空間創出, ヒューマンインタフェース学会誌 第12巻 第1号, pp.13～18, 2010.2
- 7) 梅干野晃, 浅輪貴史, 深澤朋美, 清水敬示: 住環境の維持管理支援を目的とした3D-CADによる住環境情報データベースの作成に関する事例研究, 日本建築学会技術報告集, 第26号, pp.663～668, 2007.12
- 8) 佐藤理人, 梅干野晃, 浅輪貴史: 熱環境に配慮したまちづくりのための環境情報の可視化システムの開発, 日本建築学会技術報告集, 第35号, pp.255～258, 2011.2
- 9) 齊藤圭, 篠崎道彦, 日高圭一郎: 時空間情報共有プラットフォームとしてのGoogle Earthの多面的活用に向けた技術検討, 日本建築学会技術報告集, 第25号, pp.317～320, 2007.6
- 10) 渡邊英徳, 坂田晃一, 北原和也, 鳥巢智行, 大瀬良亮, 阿久津由美, 中丸由貴, 草野史興: "Nagasaki Archive": 事象の多面的・総合的な理解を促す多元的デジタルアーカイブズ, 日本バーチャルリアリティ学会論文誌, 第16巻 第3号, pp.497～505, 2011.9
- 11) 高田百合奈, 朴婉寧, 蜂谷聖未, 高田健太郎, 西田志帆, 渡邊英徳, 植田佳樹: デジタル地球儀を用いた成長型海洋生態系アーカイブのデザイン手法, 日本バーチャルリアリティ学会論文誌, 第17巻 第3号, pp.253～260, 2012.9
- 12) 台風リアルタイム・ウォッチャー: 台風情報と「減災レポート」のリアルタイム・マッシュアップ, <http://typhoon.mapping.jp/> (参照 2014.10.13)
- 13) 中島裕輔, 佐藤光太郎, 納富昭光: 住宅における環境・エネルギー情報提供システムの開発, 日本建築学会技術報告集, 第34号, pp.1069～1074, 2010.10
- 14) 植田健太, 小坂隆浩, 佐藤健哉: Google Mapsを用いた統合型家電機器操作システムの構築, 情報処理学会研究報告, 第16号, pp.399～404, 2007.3

第6章 図版リスト

- 図 6.1 人間・建築・ロボットが共存する空間のイメージ図
出展: 人間ロボット共生リサーチセンタ
- 図 6.2 Google Earthを用いた台風被害情報共有システムの例
出展: 渡邊英徳研究室×ネットワークデザインスタジオ
- 図 6.3 WebGLを用いて表示された都市の三次元モデル
出展: Google Maps
- 図 6.5 実験空間の写真
- 図 6.6 実験空間のアイソメ図
- 図 6.4 OA Wall
- 図 6.7 情報共有システムの概要図
- 図 6.9 Google Mapを用いた情報共有システムの概要図
- 図 6.8 Google Mapの屋内地図
- 図 6.10 Google Mapを用いた情報共有システムの利用手順
- 図 6.11 Google Mapを用いた情報共有システムの概要図
- 図 6.12 Google MapとWebGLを用いた仮想空間の表示システム
- 図 6.13 実空間と仮想空間を連動するシステムの概念図
- 図 6.14 携帯電話でNFCの情報を読み書きしている様子
- 図 6.15 空間の状況を示したNFCのカード
- 図 6.16 NFCを用いた実空間と仮想空間の連動実験の様子

第7章 身体動作から生成される形状

7.1 第7章概要

本章の目的は、身体の情報を取得し、個々人の身体に則したデザインを提供することである。これまで身体動作をデザインに応用することは多数行われているが、その多くが実際に使用できるほどの機能性を有しておらず、その評価も行われていない。

そこで本章では、身体動作から生成した形状の評価を目的として、赤ちゃんをあやす動作から生成した形状を基に椅子としての機能性を与えるよう設計を行い、実物大の椅子の製作を行った。設計過程で検討されたデザインおよび、実寸大の椅子を対象としてSD法を用いたアンケート調査を行い、その結果を基に身体動作から生成した形状の特徴について考察を行った。さらに、因子分析及び重回帰分析を用いて、赤ちゃんをあやす動作から生成した椅子に対する印象の評価構造について考察を行っている。

7.2 背景

日本では、2015年に65歳以上が全人口の25%以上を占め、今後3人に1人が高齢者になると見込まれている¹⁾。今後の高齢社会では、ユーザー（居住者）の身体的な特徴から生まれる問題が増加し、建築にも大きな影響を及ぼすと予測される。個々人で異なる身体から生じるニーズ（要求）は個性が高く、課題も多様化すると考えられる。このような背景から、筆者らは個々人で異なる身体の寸法や動作に着目し、モーションキャプチャ^{注1)}を用いた建築や家具の生成に取り組んでいる^{2), 3)}（図7.1）。

この取り組みの根底にある目的は、取得した身体の情報に基づき、個々人の身体に則したデザインを提供することや、ユーザーの理想とする形状や大きさといったイメージを直接的に把握することである。

一般的な設計過程では、ユーザーの要求は言葉でデザイナー（設計者）

注1 モーションキャプチャ
身体につけたマーカーによって、身体の動きを3次元座標で計測、解析するものである。主に、ゲーム、アニメ、映画、スポーツ科学、アートの分野で多く使用されている技術である。

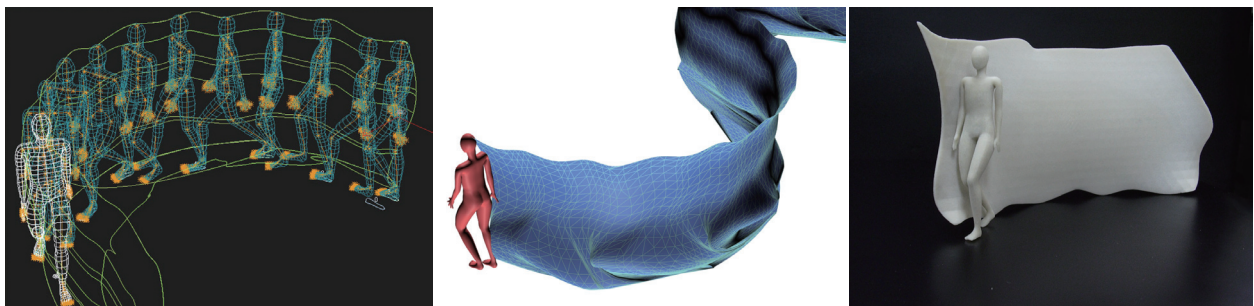


図 7.1 人間の歩行動作から生成した壁面

1) 総務省統計局：統計からみた我が国の高齢者－「敬老の日」にちなんで－1 高齢者の人口，<http://www.stat.go.jp/data/topics/topi721.htm>（参照 2015.1.20）

2) 佐々木大輔，松島史朗：コンピュータと人間行動を融合したデザイン手法の研究，日本建築学会大会学術講演梗概集 E-1，pp. 523-524，2008.7

3) 竹中理恵，松島史朗：コンピュータと人間行動を融合したデザイン手法の研究，モーションキャプチャ技術を利用したデザインプロセス改革の試行，東海支部研究報告集第46巻，pp.569-572，2008.2

に伝えられ、デザイナーの経験や知識に基づいて具体化される(図7.2)。その一部が実物大のモックアップを製作するためにデータ化され、最終成果物へ結実する。これに対し、本研究が提案する手法は、身体情報やユーザーの思考など、抽象的なものを身体動作を媒介に数値化することによって、より具体的な情報としてデザイナーに提供することが可能になると考える。また、自由に縮尺が変更可能なデジタルデータは、検討・モックアップ製作・評価を容易なものにする。これによって、ユーザーを設計過程に介在しやすくし、ユーザー満足度を向上することも意図している。

モバイル端末や Kinect^{注2)} などの家庭向けキャプチャデバイスの登場によって、日常生活における身体や動作に関する情報取得が従来に比べると容易になり、身体情報を活用した課題解決の可能性は、ますます拡がると予測される(図7.3)。一方、個性性の高い設計や生産は手間がかかるため、コストが増大するという問題点が存在した。しかし、コンピュータを用いた設計手法は、手間を軽減しつつ多様な形状を生成することを可能とし、3Dプリンタをはじめとする生産技術の進歩は、これまでの少品種大量生産から、ひとつひとつ異なる形状を製造する多品種少量生産への変遷を予期させる。これらの技術は、これまで問題点とされてきた手間とコストの低減に貢献し、多様化する要求に応える上で有効な手段であると考えられる。

注2 Kinect
家庭用ゲーム機のコントローラーでマーカーなどを用いずに人の動作を認識することができるモーションキャプチャデバイス。



図7.3 Kinect

Kinect で身体動作や空間形状を検出している様子

出展 : <http://blogs.msdn.com>

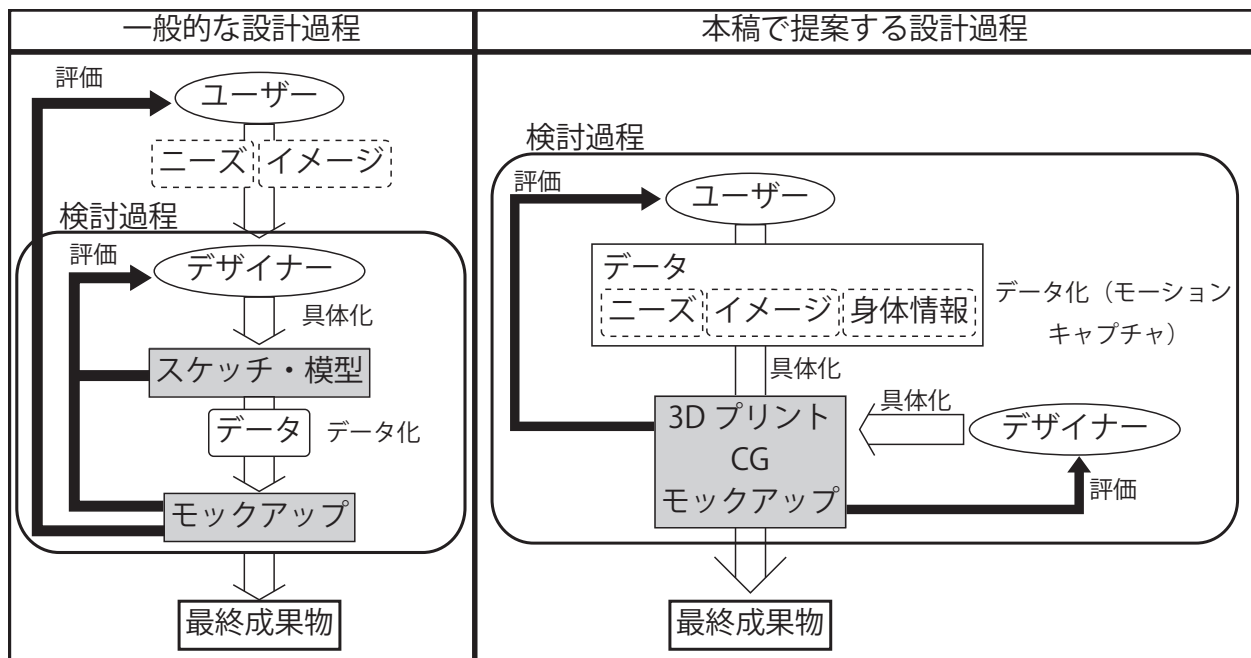


図7.2 従来の設計手法と本研究で提案する設計手法の比較

7.3 既往研究

2章で示したように、身体の寸法や動作は、古くから建築のデザインに用いられている。人間が通過しやすいよう開口部を設計するように具体的な寸法を決定するものから、人間の身体の一部を模倣した形状をデザインするメタファー・コンセプト・イメージとして用いるような抽象的な利用まで多様である。

本節では、人間の身体動作と建築形状に着目した既往研究について概略をまとめ、本研究の位置づけをおこなう。

7.3.1 身体を用いた設計に関連する研究およびプロジェクト

2章では、人間の身体と建築の歴史について概略をまとめ、身体が大きさや形状を決定するためのツールとして用いられてきたことを明らかにした。建築計画の発展に伴い、日常生活のある「場面」を想定した設計の基準が資料として蓄積されてきた一方で、動きや、人間の身体の高次元に対応した資料が求められた。これは、二次元の資料が充実したために、より高次元の資料として三次元、もしくは時間軸を含めた四次元の情報希求されるようになったものと予測される。この背景には、コンピュータの進歩による情報処理の高度化が存在する。

このような流れは建築の表現にも影響を及ぼし、手描きのドローイングや写真から、三次元CGや動画がプレゼンテーションツールとして用いられるようになってきた。これと同じくして、コルビジエのモジュールを始めとするデザインツールとしての身体は、二次元から、より高次元「身体」の「動作」を直接的にデザインへ応用しようとするプロジェクトが萌芽する。コンピュータを用いた建築設計が盛んに取り組まれていたアメリカでGreg LynnのAnimate Form⁴⁾に端を発して以降、2004年にRisa IwamotoらによるFoam: Motion Becoming Space (図7.4)、MICHAEL A. AMBROSEによるBODY|FORM|SPACE⁵⁾ (図7.5)、2010年になってもAntonino Di RaimoのThesis Music Dance and Architecture⁶⁾ (図7.6)など、身体動作を建築のデザインに活用しようとする取り組みは継続的に存在する。しかし、建築空間に活用しようとする取り組みは、実際に製作することが難しく、CGなどヴァーチャルな段階で終わるプロジェクトも多い。

また、身体動作から直接形状を生成し、実際に形状を製作した先行事例として、FRONTによるSketch Furniture⁷⁾がある。しかし、実際に使用できるものではなく、コンセプトの表現に留まり、その評価も行われていない (図7.7)。

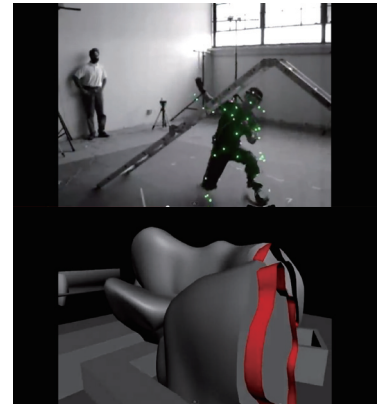


図7.4 Foam: Motion Becoming Space

出展 : <https://www.youtube.com/watch?v=w7vWCqKexik> よりキャプチャ



図7.5 BODY|FORM|SPACE

出展 : 文献 18



図7.6 Music Dance and Architecture

出展 : 文献 19



図7.7 Sketch Furniture

出展 : [frontdesign ホームページ](http://frontdesign.com)

4) Greg Lynn : Animate Form, Princeton Architectural Press, 1999.1

5) Michael A. Ambrose: Body|Form|Space: Geometric translations of the body in motion. In Em'body'ing Virtual Architecture, ASCAAD, pp.431-438, 2007, Alexandria, Egypt

6) Di Raimo, A.: Architecture as Caregiver: Human Body - Information - Cognition, ACADIA 2010, New York, pp. 110-116.2010

7) FRONT : Sketch Furniture, <http://www.designfront.org/> (参照 2014.8.20)

7.3.2 身体を用いた形状の評価に関する既往研究

身体は形状を評価する際に用いられ、林らの高齢者のための椅子のデザインに関する研究⁸⁾や、内藤ら浴槽の縁のまたぎ動作の研究⁹⁾は、形を最適化するために行われた研究が存在する。古澤らの素材や形状の違いによる座り心地の調査^{10), 11)}は人間の感覚を評価基準として用いている。さらに、三家の研究¹²⁾では、椅子の座り心地という抽象的な心理量と、身体寸法という具体的な物理量の関係性を明らかにすることによって、座り心地の予測を可能にするシステムの開発が行われた。同様に、荒川らの椅子の設計に感性を応用する研究¹³⁾は、人間の感覚や感性を設計に応用しようとした事例である。しかし、これらはいずれも一般的な椅子を対象とした研究である。

7.3.3 視覚を用いた形状の評価に関する既往研究

視覚を用いた形状評価は建築分野で多く取り上げられている。抽象的な印象と空間の形状・部位の構成・素材・色彩などの物理的な要素の関係性を明らかにしようとするものがあり、積田らの空間認知に関する研究¹⁴⁾、白石らの素材に関する研究¹⁵⁾など多様である。宗本らは京都や韓国の伝統的な街並みについて、「伝統的である」と感じる建築ファサードの構成要素の組み合わせについて明らかにし^{16)~18)}、佐々木は「浮遊感」をキーワードに、VRMLを用いた屋根に対する感性評価を行った後に形状生成まで結びつけている¹⁹⁾。これらの研究は印象やイメージと形状との関係性や評価構造を明らかにすることによって設計へ還元しようとする取り組みである。

また、吉岡らの曲壁空間の研究²⁰⁾では、模型を用いた実験で形状が人間の心理に影響を与えていることを明らかにしているが、岡ら²¹⁾に

8) 林宏樹, 伊藤孝紀, 坂井大介, 堀越哲美: 高齢者に適した椅座位動作と肘掛け寸法に関する研究その1, モーションキャプチャを用いた手伸ばし動作に関する実験, 東海支部研究報告集 第51巻, pp. 549-552, 2013.2

9) 内藤美雪, 垂井健吾, 布田健, 佐藤克志: 心理評価と体圧分布を用いた各種デザイン形状を持つ椅子の座り心地特性, 日本建築学会大会学術講演梗概集 E-1, pp.623-624, 2012.9

10) 古澤慶一, 堀越哲美, 宮本征一: 心理評価と体圧分布を用いた各種デザイン形状を持つ椅子の座り心地特性, 日本建築学会大会学術講演梗概集 E-1, pp. 543-544, 2008.7

11) 古澤慶一, 堀越哲美, 宮本征一: 体圧分布を用いた形態別による椅子の座り心地研究, 日本建築学会大会東海支部研究報告集 第46号, pp. 425-428, 2008.2

12) 三家礼子: ファジィ推論を応用した椅子の座り心地予測システムの構築, 早稲田大学 博士(人間科学)学位論文, 2004.1

13) 荒川雅生, KUM Jouchee, 萩原一郎, 山川宏: 定性的な感性評価に基づく定性的な最適設計に関する研究, 高能率を引き出す椅子の開発, 日本機械学会論文集. C編 第64巻 622号, pp. 2162-2168, 1998.6

14) 積田洋, 玉尾祐輝, 徐華: 吹抜け空間における幅・奥行・高さの認知特性の研究, 日本建築学会計画系論文集 第648号, pp. 315-320, 2010.2

15) 白石照美, 阿部眞理, 戸塚泰幸: ボードおよびシート形状を持つ内装材の感覚評価, 内装材に関する特性研究と用途開発(1), 日本デザイン学会デザイン学研究, pp. 57-64, 2007.11

16) 朴鎮衡, 赤堀彰彦, 宗本順三, 松下大輔: VRを用いた感性評価に基づくファサード形態要素の組合せ推論の研究, 産寧坂伝統的建造物群保存地区の町並みを対象として, 日本建築学会計画系論文集 第636号, pp. 363-370, 2009.2

17) 朴鎮衡, 宗本順三: オントロジーを用いた家屋の構成要素の記述と感性評価の研究, 情報処理学会研究報告 HI 韓国の羅州市金安洞の家屋を対象として, 日本建築学会計画系論文集 第625号, pp. 535-541, 2008.3

18) 齋藤篤史, 宗本順三, 松下大輔: 感性評価に基づく形態要素のラフ集合を用いた組合せ推論の研究: 産寧坂伝統的建造物群保存地区のファサードを対象として, 日本建築学会計画系論文集 第594号, pp. 85-91, 2005.8

19) 佐々木啓介, 堤和敏, 大倉典子: VRを利用した浮遊感のある屋根の形態創生に関する研究, 日本建築学会構造系論文集 第612号, pp. 231-237, 2007.2

20) 吉岡祥隆, 初見学: 曲壁空間の知覚と心理的影響に関する実験的研究, 空間認知構造に関する研究(その1), 日本建築学会計画系論文集 第680号, pp. 2355-2360, 2012.10

21) 岡来夢, 佐藤静香, 橋本雅好: 調査方法の比較による手法の検討, 建築空間の実験を通して得られる感覚的評価に関する研究その3, 日本建築学会大会学術講演梗概集 E-1, pp. 739-740, 2009.7

よれば、紙面などの情報媒体を通じた疑似体験と、実際に建築を訪れる実体験とでは印象に違いがあるとされている。従って、印象調査には視覚のみならず実体験の印象評価も併せて行うことが望ましいと考えられる。また、細入ら²²⁾は住宅外観の感性評価における建築学生・非建築学生の好みの差、北村ら²³⁾は作り手と受け手に評価の差がある事を明らかにしており、専門性などの立場による印象の違いも存在する。

7.4 研究目的

既往研究から、これまで身体動作から直接的に生成した形状を基に具体的な機能性を持つように設計された事例は少なく、その評価も行われていないことが明らかとなった。

そこで本研究では、身体動作から生成された形状を基に、椅子として機能するよう設計を行い、実際に使用可能な実物大の椅子を製作する。これによって視覚のみに頼らない実体験を伴う感性評価を行うことを可能とし、身体動作から生成した形状が持つ特徴を明らかにすると共に、デザインへ活用可能な要素を検証する。

本研究では赤ちゃんをあやす動作から生成した形状を基に、椅子としての機能を満たすよう設計を行った。付与する機能に椅子を選定した理由として、人間の身体と椅子の形状に密接な関係があること、実物大が製作可能であることが挙げられる。

上記に加えて、本稿では動作そのものが持つ「躍動感」や「安心感」といったイメージを、形状に反映する可能性についても検証する。本研究を例にすると、椅子を生成するために選定した赤ちゃんをあやす動作は、安心感や落ち着きといったイメージを連想する動作である。よって、赤ちゃんをあやす動作から生成した椅子からは安心感が得られ、人の手に抱かれているような心地よさを最終成果物から得られるのではないかという仮説を立てた。

22) 細入万美恵, 石黒紘介, 門内輝行: 意味尺度に基づく住宅外観の感性評価, 構築環境の意味の記号論的評価(その1), 日本建築学会近畿支部研究報告集 第48号, pp. 65-68, 2008.5

23) 北村真吾, 曾我部春香, 石橋伸介, 森田昌嗣: ユーザー間の評価のズレとその読み取りに関する研究 - 椅子を例として, クオリティカルデザイン評価・診断システム構築に関する研究3, デザイン学研究. 研究発表大会概要集 第54号, pp. 278-279, 2007.6

7.5 研究手法

本研究は、実寸大の椅子（以下実寸大モデル）とデザインの検討に使用されるCGと模型（以下検討用モデル）を対象として、SD法^{注3)}を用いたアンケート調査を行い、以下の点について検証する。

注3 SD法

Semantic Differential Method, 意味差判別法。心理学者のCharles Egerton Osgoodによって開発・発展された。大小・冷熱などの対になる形容詞を、被験者に提示し、5もしくは7段階に評価させ、行動の情意的意味を客観的に測定する方法。パーソナリティー検査などのほか、商品のイメージ調整にも用いられる。

7.5.1 デザインの検討過程における形状変化と印象の変化

身体動作から直接形状を生成しただけでは実用性に乏しく、機能性を付加するために設計者が形状を修正する必要がある。しかし、形状を修正することによって、身体動作から生成された形状が本来持つ特徴が変化し、失われる可能性がある。そこで、設計過程の印象の変化を明らかにすることによって、身体動作から生成された形状が持つ印象がどのように変化し、最終的な形状にどのように反映されたかを検証する。

7.5.2 検討手法（CGと3Dプリント模型）の違いによる印象の差

本研究は、設計過程にユーザーを積極的に介入させることによって、ユーザーからの評価を活用することをひとつの目的としている。身体動作から形状を生成すると、複雑な三次元形を伴うことが多い。そのため、本研究が提案する設計手法では3次元CGと3Dプリンタを用いた検討が有効であると考えられる。CGは視覚のみの評価、3Dプリンタは実体験と視覚のみの評価との中間として位置づけられる。検討手法の印象差を把握することで、評価を的確にデザインに反映することが可能になると考えられる。

7.5.3 縮尺の違いによる印象の差

形状が同じ検討用モデルと実寸大モデルの印象を比較し、縮尺の違いによる影響および、視覚のみの評価と実体験を伴う評価の差を明らかにする。素材感や大きさに関係なく動作そのものが持つ印象を把握することによって、検討段階で予め留意すべき点を明らかにする。

7.6 モーションキャプチャを用いた形状生成および椅子の製作

7.6.1 身体動作取得に使用した機器

身体動作を取得する実験には、豊橋技術科学大学の情報基盤センターに設置されている Vicon 社のモーションキャプチャを用いた。システムの概要と動作取得に必要な機器を以下に示す。

- ・アクター（実演者）
- ・キャプチャスペース（図 7.8）
- ・Vicon データステーション
- ・Vicon ワークステーションソフト
- ・光学式カメラ 12 台（図 7.9）
- ・キャリブレーション器具
- ・反射マーカ（直径 15mm）
- ・動作解析用ソフト（Bodybuilder）

7.6.2 身体動作取得から形状を生成する過程

赤ちゃんをあやす動作の取得から、実物大の椅子を製作するまでの過程を以下に示す。

①身体動作を取得したい位置に、反射マーカを装着する（図 7.10）。アクターは 23 歳の子供のいない女性の大学院生 1 名とし、本実験では、赤ちゃんをあやす動作を取得するために、右肩、右肘、右手首、右指先に装着した。

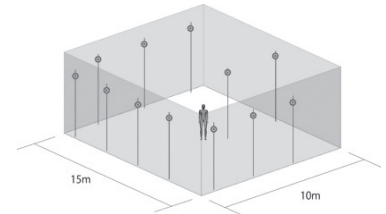


図 7.8 キャプチャスペースの概要



図 7.9 光学式カメラ



図 7.10 身体に取り付ける反射マーカ

②赤ちゃんをあやすように腕を左右に揺らす動作を行い、反射マーカの3次元座標(XYZ)測定する(図7.11,12)。本実験では予備実験の結果から、0.01秒ごとに座標の記録を行うこととした。

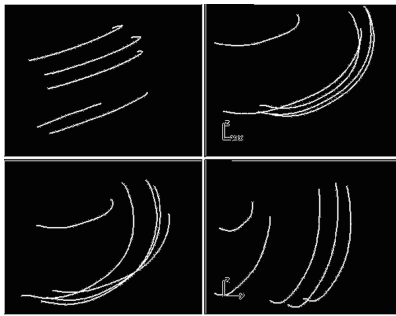


図 7.11 動作から抽出した線



図 7.12 動作イメージ

③ Bodybuilder で座標値を処理した後、CAD ソフト (Rhinceros) へ座標データを読み込み、各マーカの移動点をつないで基本となるサーフェスを生成する(図7.13)。

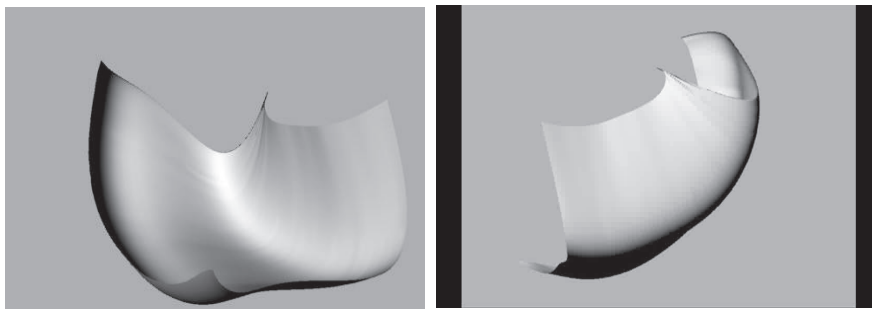


図 7.13 動作から生成した基本となるサーフェイス

④サーフェスを基に、椅子としての機能を満たすように足や土台を取り付けるなど、デザインの検討を行う(図7.20)。デザインの検討は、提案する設計過程に習い、デザイナーの他にユーザーの役割として学生に参加してもらい評価を行いながらデザインを進めた。その過程で検討されたデザインは図7.2に示す5つのモデルである。

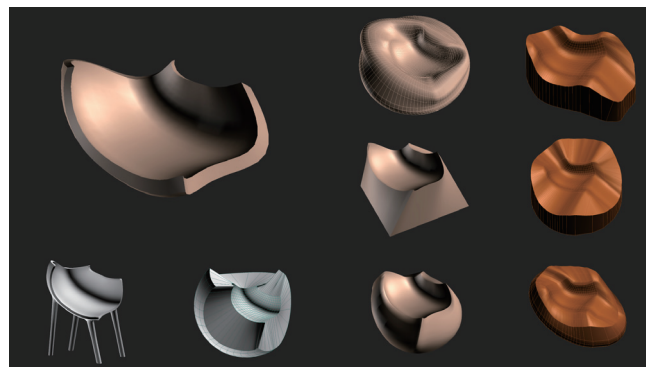


図 7.14 動作から生成した基本となるサーフェイス

⑤デザインされたモデルについてCGや3Dプリンタ、モックアップを用いたデザインの検討と評価を随時行う(図7.15,16)。

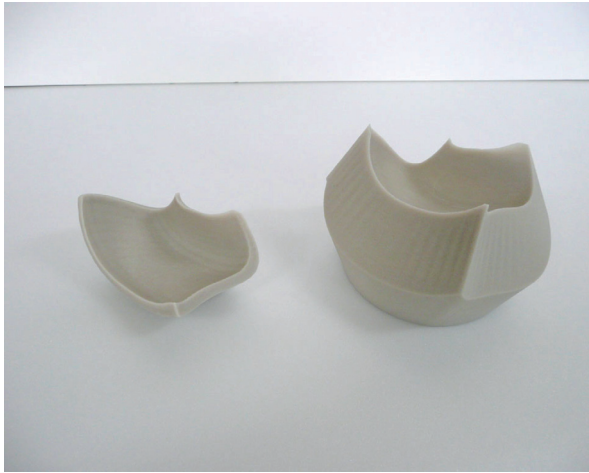


図7.15 3Dプリント模型



図7.16 ダンボールを用いて製作されたモックアップ

⑥最終的な成果物を大型のCNC機を用いて、発泡スチロールから削り出して製作する。CADソフトからIGES形式で保存したデータから、大型CNCを動かすコードへ変換し加工を行った(図7.17,18,19)。

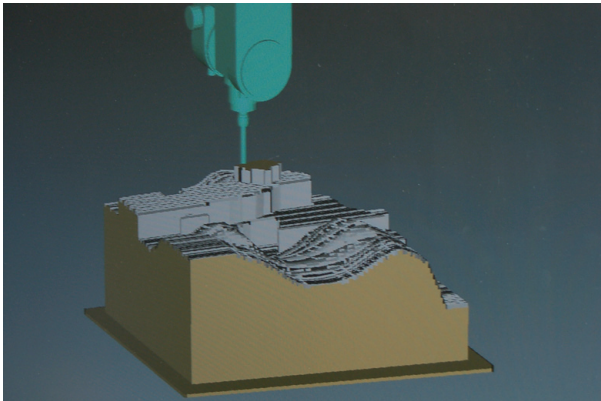


図7.17 IGESからCNCコードへ変換しシミュレーションしている様子

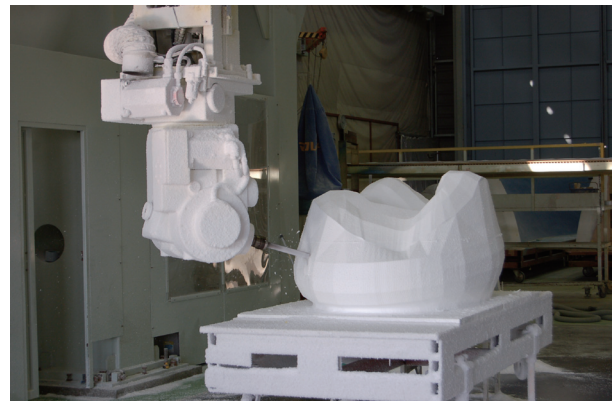


図7.18 切削作業の様子



図7.19 最終成果物

7.7 印象評価実験の概要

7.7.1 スタディモデルの印象評価の概要

設計過程で検討された図 7.20 に示す 5 つのデザインを対象として、SD 法を用いたアンケート調査を行う (表 7-1)。評価対象には、検討に用いる 3D プリンタと Web-Based Graphics Library (以下 WebGL) ^{注 4)} で表示した CG の 2 種類を用いた (図 7.21,22)。

被験者は 20 代の建築学生 42 名で WebGL グループ 21 名と 3D プリンタグループ 21 名に分け、Web ブラウザを用いて回答する。3D プリンタグループは、3D プリンタで出力された 1/12 の模型を手にとって評価を行い^{注 5)}、WebGL グループは画面に表示された CG モデルを見ながら評価を行う^{注 6)} (図 7.23,24)。

アンケートに用いた 40 個の形容詞対は、既往研究 ^{11), 12), 21)} を参考に選定し^{注 8)}、5 段階の尺度で構成した (表 7-2)。事前の説明はアンケートに関するもののみとし、椅子のデザインや座り方などに関して説明は行わず、時間や観察手法にも制限を設けず、被験者が対象物から純粋に得られるイメージについて回答が行えるよう配慮した。また、印象評価の実験は順番による偏りがでないよう、対象モデルの順番を昇順・降順に分けて行った。同様に、形容詞対の表示順序もランダムに表示して評価を行った。5 段階の尺度は -2 ~ +2 であるが、よし悪しの影響を与えないよう、アンケートには目盛だけを表示した。

注 4 WebGL
特別なソフトウェア無しで標準のインターネットブラウザで三次元モデルが表示できる技術。

注 5 3D プリンタのスケールについて
3D プリントモデルは、将来的に他の椅子との比較を目的として、レアック・ジャパンのミニチュアデザイナーズチェアと同じ 1/12 のスケールとした。

注 6 形容詞対の選定方法
椅子に関する既往研究の多くが座り心地に関するものであるため、素材や外観に関する形容詞対を文献 8, 14 から追加し、重複する意味の形容詞対を削除して選定した。

表 7-1 スタディモデルの印象評価アンケートの概要

日時				
評価対象		3Dプリント(5モデル)	WebGL(5モデル)	計
被験者	建築学生	21名	21名	42名
	非建築学生			
評価方法		手で触れながら	画面を操作しながら	

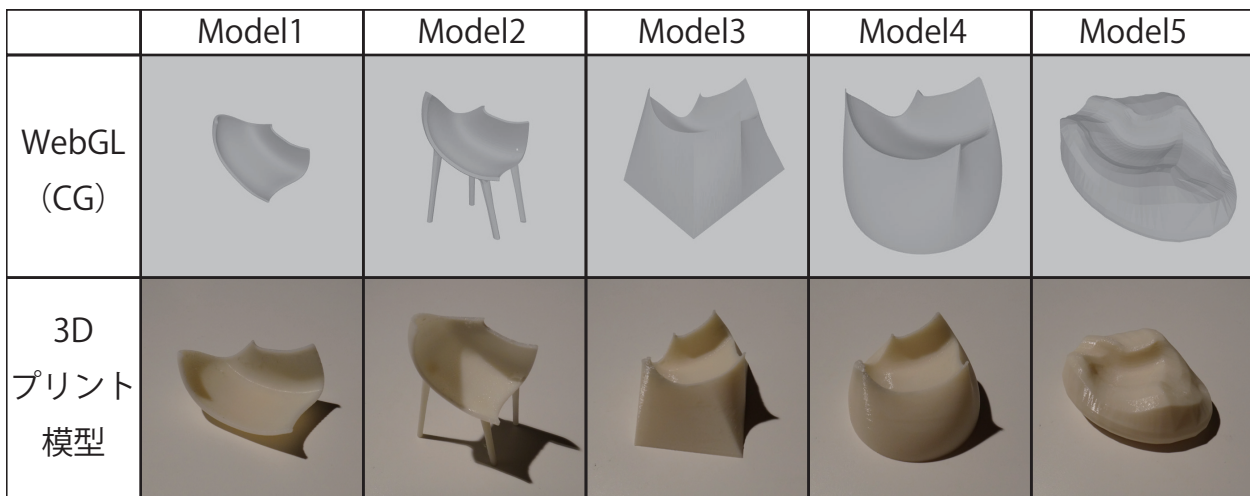


図 7.20 印象評価に用いる 5 つの CG と 3D プリント模型

表 7-2 印象評価に用いた 40 個の形容詞対

柔らかい—硬い	乏しい—豊か	男性的な—女性的な	心地よい—心地悪い
広い—狭い	美しい—醜い	暗い—明るい	座りやすい—座りにくい
渋い—派手	長い—短い	良い—悪い	安定する—安定しない
暖かい—冷たい	何気ない—わざとらしい	落ち着く—落ち着かない	自然な—人工的な
気持ちよい—気持ち悪い	古い—新しい	圧迫感のある—圧迫感のない	素朴な—洗練された
大きい—小さい	粗い—細かい	複雑な—単純な	丈夫な—貧弱な
楽しい—苦しい	みずぼらしい—りっぱ	一体感のある—一体感のない	つるつるした—ざらざらした
高い—低い	きれいな—きたない	のびのびとした—窮屈な	上品な—下品な
強い—弱い	めずらしい—ありふれた	流れのある—流れのない	弾力性のある—弾力性のない
厚い—薄い	重い—軽い	多様な—一様な	好き—嫌い



図 7.21 1/12 のミニチュアモデルと並べたときの様子



図 7.22 印象評価に用いる 5 つの CG と 3D プリント模型

WebGL によって表示されており、マウス操作で回転、視点移動、拡大縮小をアンケートの回答者が自由に行える。

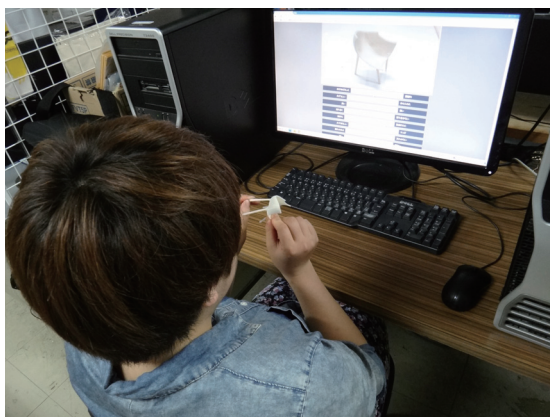


図 7.23 手元の 3D プリント模型を用いてスタディモデルの印象評価アンケートに回答する様子

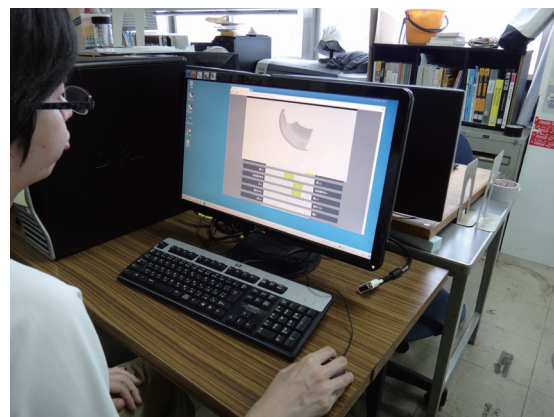


図 7.24 PC 画面上の CG モデルを用いてスタディモデルの印象評価アンケートに回答する様子

7.7.2 実寸大モデルの印象評価の概要

実寸大モデルを対象として、SD法を用いたアンケート調査を行った(表7-3)。アンケートに用いる形容詞対は前節と同じ40個、被験者は10代～50代までの85名とし(注10)、実寸大モデルに自由に座り、紙面及びタブレット端末を用いて回答する(図7.25,26)。

前項同様、事前の説明はアンケートに関するもののみとし、椅子のデザインや座り方などに関して説明は行わず、時間や観察手法にも制限を設けず、被験者が対象物から純粋に得られるイメージについて回答が行えるよう配慮した。

表7-3 実物大モデルの印象評価アンケートの概要

日時		2014/9/11～2014/9/24		
場所		松島研究室、製図室		
評価対象		実寸大モデル		計
被験者	建築学生	22名		84名
	非建築学生	22名		
評価方法		実際の椅子に座って		



図7.25 タブレット端末を用いて実寸大モデルの印象評価アンケートに回答する様子



図7.26 アンケート用紙を用いて実寸大モデルの印象評価アンケートに回答する様子

7.8 SD法を用いたアンケート調査の集計結果

7.8.1 デザインの検討過程における印象の変化

Model1 から Model5 における印象評価の平均値を 3D プリント (■), WebGL (○), 実寸大 (×) で示し, 形容詞対ごとにまとめたものを図 7.27 に示す。実寸大は形が同じ Model5 にプロットし, 実寸大とその他の値を比較を容易にするために補助線を加えた。

まず, 身体動作から生成した形状である Model1 からは, 『低い』『薄い』『美しい』『新しい』『きれい』『軽い』『女性的』『圧迫感のない』『流れがある』『つるつるした』という評価を受けている。一方で, 最終的な実寸大モデルからは, 『暖かい』『大きい』『楽しい』『強い』『厚い』『新しい』『めずらしい』『流れのある』『安定する』『丈夫な』という評価を受けている。

次に, 設計過程における印象の変化を明らかにするために Model1 から Model5 の印象の変化に着目する。顕著な変化として, 基本の Model1 とデザイン後の Model5 で印象が逆転している項目が存在する。3D プリント・WebGL 共に逆の印象評価となった形容詞対は 『小さい→大きい』『弱い→強い』『薄い→厚い』『短い→長い』『細かい→粗い』『軽い→重い』『単純→複雑』『安定しない→安定する』『貧弱な→丈夫な』の 9 つである。これらの多くで Model1・2 と Model3・4・5 の間で印象が逆転している。

次に, どの印象が設計過程で変化しやすいかを明らかにするために, 最終的な実寸大モデルの印象を基準として各検討用モデルについて印象差を算出し, WebGL・3D プリンタで形容詞対別に合計したものを図 7.28 に示す。実寸大モデルと WebGL で印象差が大きい形容詞対として順に 『厚い—薄い』『重い—軽い』『暖かい—冷たい』『つるつるした—ざらざらした』『弱い—強い』で, 3D プリントでは 『暖かい—冷たい』『厚い—薄い』『つるつるした—ざらざらした』『重い—軽い』『大きい—小さい』であった。5 項目中 4 項目が共通している。逆に, 印象の差が小さい形容詞対として WebGL では順に 『乏しい—豊か』『古い—新しい』『良い—悪い』『渋い—派手』『みずばらしい—りっぱ』で, 3D プリンタでは 『素朴な—洗練された』『流れのある—流れのない』『何気ない—わざとらしい』『美しい—醜い』『複雑な—単純な』であった。これらに共通した項目はなかった。

さらに, この実寸大モデルを基準としたときの印象差をモデル別に合算したものを図 7.29 に示す。印象差の合算値が Model1 から Model5 に移行するに従って減少していることから, 徐々に最終形状の印象へ近づいていることがわかる。

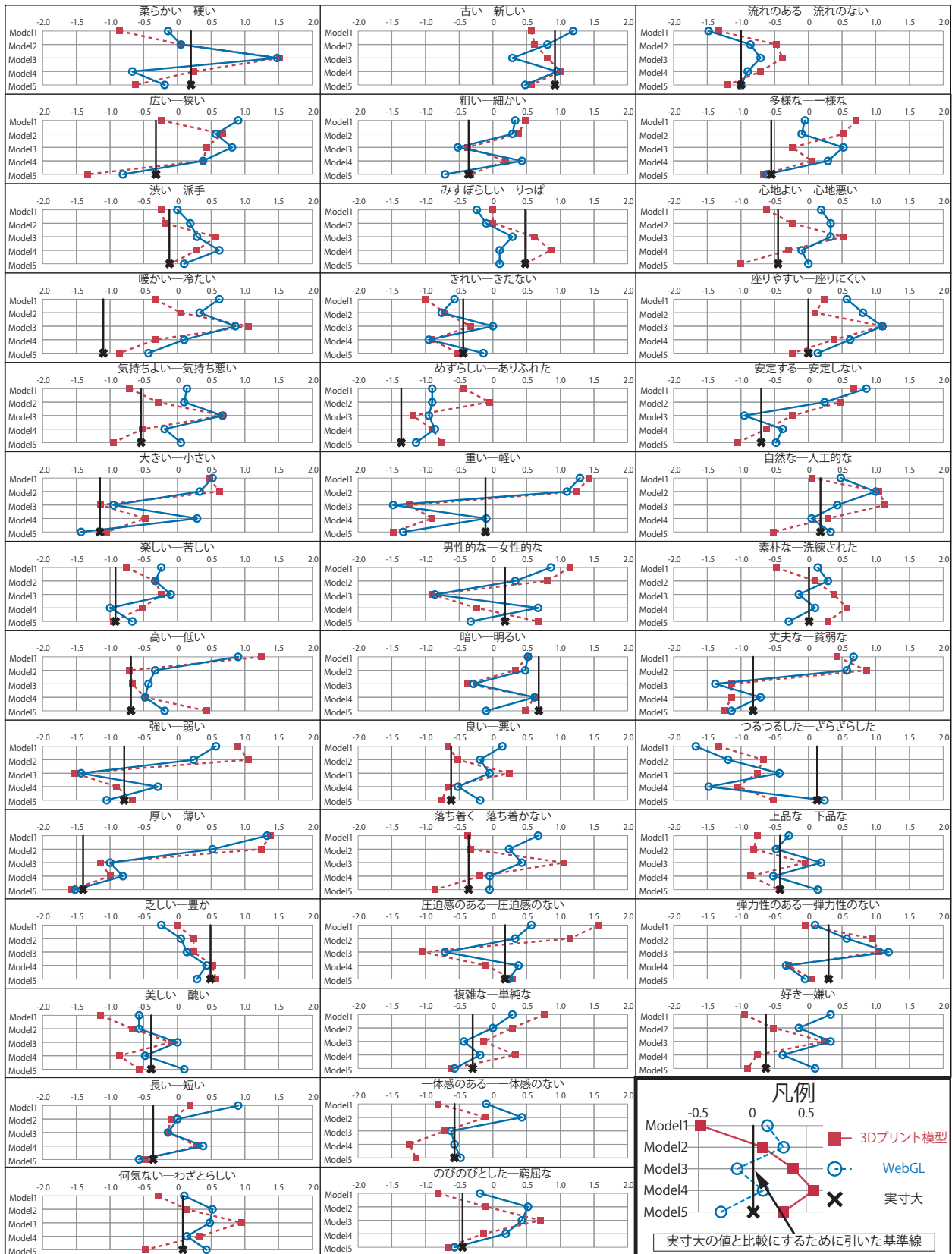


図 7.27 アンケートの結果

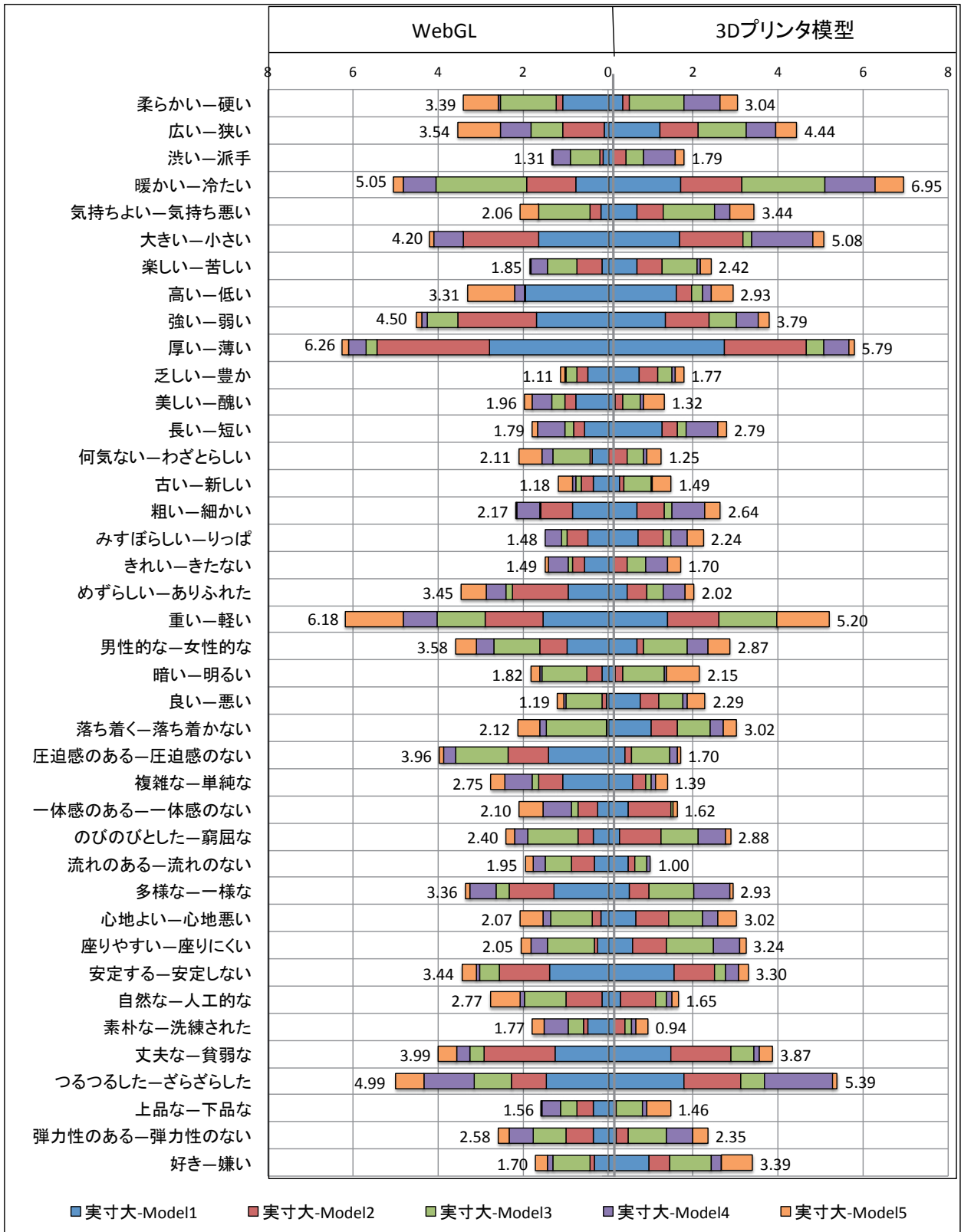


図 7.28 実寸大モデルとの差異を形容詞対ごとに集計した結果

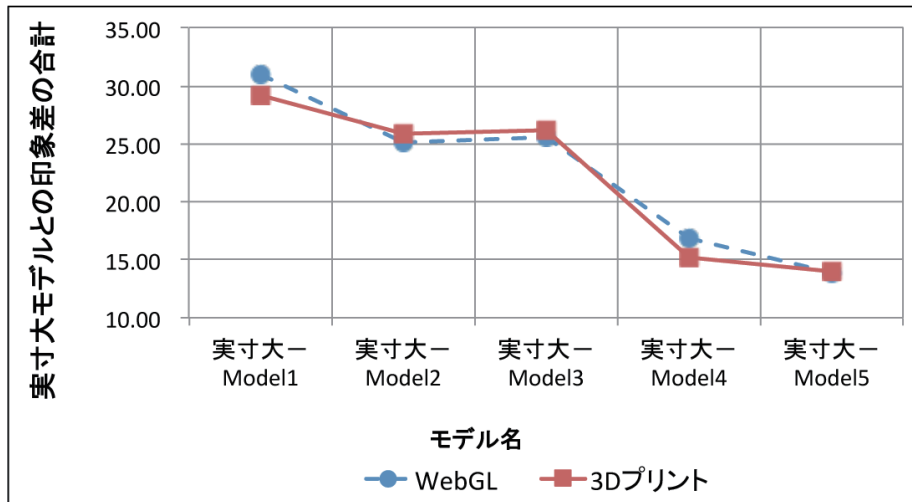


図 7.29 モデル別の実寸大と各モデルの差異を集計した結果

7.8.2 検討手法 (CG と 3D プリント模型) の違いによる印象の差

検討方法による印象の違いを明らかにするために、3D プリントと WebGL の印象差を比較する。設計過程における印象を比較し、すべてのモデルで同じように違いが生じた形容詞対^{注7)}は 7 項目であり、『3D プリンタ (■) の方が気持ちよく—WebGL (○) の方が気持ち悪い』、以下同様に、『乏しい (○) —の豊か (■)』『美しい (■) —醜い (○)』『みずばらしい (○) —りっぱ (■)』『一体感のある (■) —一体感のない (○)』『座りやすい (■) —座りにくい (○)』『上品な (■) —下品な (○)』『好き (■) —嫌い (○)』のように検討方法によって印象の偏りが生じていた。

しかし、Fig.9 印象差を総計すると WebGL が 112.56、3D プリントが 110.53 と大きな差はなく、Fig.10 Model ごとの合算でも大きな差は見られなかった。また、すべてのモデル、形容詞対の中で WebGL と 3D プリンタの印象差が大きかった項目は Model1 に集中しており、差が大きい順に『好き (■) —嫌い (○)』『広い (■) —狭い (○)』『落ち着く (■) —落ち着かない (○)』で、WebGL と 3D プリントで逆の印象を受けており、いずれも 3D プリントのほうが好意的な印象を与えていた。

注7 同じように違いが生じた形容詞対

付い
例えば、好き—嫌いの形容詞対では Model1 から Model5 まで全てのモデルにおいて WebGL の方が好き、3D プリントは全てのモデルにおいて嫌いと評価されているような、評価に偏りのある形容詞対を指す。

7.8.3 縮尺の違いによる印象の差

縮尺の影響による印象の差を明らかにするために、同じ形で大きさの違う Model5 のみに着目し、図 7.27 の実寸大と WebGL、実寸大と 3D プリント模型の値をそれぞれ比較する。

印象の差が大きい形容詞対として実寸大と WebGL では『重い—軽い』『暗い—明るい』『好き—嫌い』『暖かい—冷たい』『気持ち良い—気持ち悪い』の順に差が大きく、3D プリント模型では、『重い—軽い』『高い—低い』『広い—狭い』『柔らかい—硬い』『自然な—人工的な』の順に差が大きかった。逆に印象の差が小さい形容詞対として実寸大と WebGL では、『流れのある—流れのない』『圧迫感のある—圧迫感のない』『多様な—様な』『一体感のある—一体感のない』『つるつるした—ざらざらした』の順に差が小さく、3D プリント模型では、『みすばらしい—りっぱ』『上品な—下品な』『渋い—派手』『粗い—細かい』『楽しい—苦しい』の順に差が小さかった。

7.9 考察

7.9.1 アンケート結果に対する考察

6.1 で示した、設計過程で変化している9項目は、設計者が形状を修正することによって生じたものであると考えられる。基本となるサーフェスの形状をそのまま残した Model1・2 に対し、Model3 からはサーフェスに土台を付けた形状へ変更し、印象にも大きな変化を与えたことを示している。実物大と検討用モデルで印象差が大きい項目は WebGL と 3D プリンタで共通しており、物理的な性質を表す形容詞対が多い。一方で、印象差が小さい項目は WebGL と 3D プリンタで共通していないものの、差が大きい項目と比較すると人間が感じ取る感覚的な印象を表す形容詞対が多い。これらの結果から、形状を操作することによって、物理的な印象は変化していくが、感覚的な印象については身体動作から生成した形状が持つ特徴を活用できると考えられる。

6.3 で示した、縮尺の違いによる印象差は WebGL と 3D プリンタで共通して『重い—軽い』が最も差が大きかったが、これは実寸大モデルが発泡スチロールで製作されているため、見た目のボリュームから想像する重さと差が生じたと考えられる。その他『暖かい—冷たい』や『柔らかい—硬い』など、視覚では判断不可能な体験を伴う形容詞対において差が大きく、モックアップを用いた検討の必要性を示していると言える。この点において、縮尺の変更が容易なデジタルデータを用いる設計手法は優位性があると考えられる。

6.1 と 6.3 を通して、人間が生成した形状が予め持つ印象のうち、形状が変化しているにも関わらず、実寸大モデルまで変化せず感じ取れる印象は、『流れがある』『美しい』『きれい』といった見た目に関する項目である。中でも『流れのある—流れのない』は、どのモデルでも『流れがある』印象を与えることから、身体動作から生成した形状が持つひとつの特徴であると言える。

7.9.2 実寸大モデルのアンケート結果に対する因子分析および重回帰

分析を用いた考察

実寸大モデル 85 名分のアンケートの結果をもとに因子分析を行う。まず、40 項目の形容詞対から、因子分析を行うにあたり不相当であると考えられるものを削除した。次に最尤法とプロマックス回転を用いた因子分析を行い、共通性の低い形容詞対を削除し、最終的に 19 項目について因子分析を行った^{注8)}。因子分析の結果を表 7-4 に示す。固有値の減衰の状況から、6 つの因子を採択し、第 1 因子は利用時の状態を表すものと解釈し「快適性」、以下同様に第 2 因子は体との親和性を表すものと解釈し「身体性」、第 3 因子は物体の表面性を表すものと解釈し「素材」、第 4 因子は質感を表すものと解釈し「品格」、第 5 因子は、人工的な操作と見た目を表すものと解釈し「デザイン」、第 6 因子は物の成り立ちなどを表すもの解釈し「構造」とした。

次に因子分析で得られた因子評価得点を説明変数、『好き—嫌い』を目的変数とした重回帰分析を行った。表 7-5 に分析結果を示す。回帰式の自由度調整済決定係数は 0.68 で比較的精度が高く、5%の有意水準で有意である。得られた重回帰式を式 (1) に示す^{注9)}。

$$y = 0.736x_1 + 0.144x_2 + 0.105x_3 - 0.6353 \quad \text{式(1)}$$

y : 好み x_1 : 快適性因子 x_2 : 品格因子 x_3 : 身体性因子

この結果より、実寸大モデルに座った時の好ましさには快適性因子が最も影響を与え、次いで品格、身体性の順に影響を与えていたと考えられる。7.1 で考察した、『きれい』な印象は好ましさに影響を与えていたと言える。しかし、最も好ましさに大きな影響を持つ快適性因子は、設計者による形状操作に大きな影響を受ける形容詞対で構成されている。よって、身体動作から形状を生成する手法は見た目に関する印象において多少の貢献が見込めるものの、快適性を向上させるデザイナーの力が不可欠であると言える。

また、3章で述べた赤ちゃんをあやす動作が持つ安心感のようなイメージは、快適性因子を構成する『心地よさ』『気持ち良い』『落ち着く』といった項目に該当し、好ましさに影響を与えられられる。実寸大モデルの評価中には、「首が座らない」や「抱かれた」など動作を連想するような発言があり、実際、あやす動作を取得した際は腕を平行に並べていたため、まさに「首が座らない」動作を形状にしていた。被験者には、形状の生成過程について解説を行っていないにも関わらず、このような印象を感じ取っていた。しかし、今回のアンケート結果での『落ち着き』や『心地よさ』の印象は各モデルによって大きく変化しており、動作が持つイメージをデザインに反映可能であるという仮説は成り立たないと考えられる。

注8 因子分析に用いる形容詞対の選定方法

得られたサンプル数より、16～20 項目の形容詞対について因子分析を行うことが適当であると判断し、まず、平均および標準偏差を用いてフロア・天井効果が見られるものを除いた。次に分布の確認を行い、最後に最尤法を用いた因子分析で共通性の低い項目を削除し、計 19 項目とした。

注9 因子分析の結果の信頼性

因子 4 は優位確立は 5%水準に近いが、因子 2 は注意が必要である。

表 7-4 実寸大モデルにおける因子評価得点表および相関行列

形容詞対	因子1	因子2	因子3	因子4	因子5	因子6
心地よい—心地悪い	0.92	0.00	-0.01	0.09	0.00	0.09
気持ちよい—気持ち悪い	0.87	-0.05	-0.01	0.04	0.10	0.07
座りやすい—座りにくい	0.74	-0.02	0.00	0.03	-0.14	-0.01
落ち着く—落ち着かない	0.68	0.09	0.26	-0.07	0.08	-0.05
安定する—安定しない	0.38	0.28	-0.08	-0.01	0.10	-0.13
のびのびとした—窮屈な	0.01	1.00	0.01	0.01	-0.01	0.04
広い—狭い	0.06	0.55	0.10	-0.03	-0.01	0.05
柔らかい—硬い	0.17	0.06	0.75	-0.21	0.02	0.10
弾力性のある—弾力性のない	-0.10	0.11	0.65	0.11	-0.01	0.07
豊か—乏しい	0.19	-0.15	0.49	0.12	-0.07	-0.30
きれい—きたない	0.08	-0.04	-0.04	0.84	0.05	0.04
上品な—下品な	0.29	0.06	-0.10	0.56	-0.10	0.16
細かい—粗い	-0.27	-0.10	0.29	0.46	0.01	0.24
自然な—人工的な	-0.06	-0.07	0.01	-0.04	1.03	0.07
何気ない—わざとらしい	0.19	0.16	0.00	0.01	0.41	0.05
美しい—醜い	0.12	0.07	-0.07	0.26	0.32	-0.13
軽い—重い	-0.02	0.07	0.08	0.05	-0.04	0.69
単純な—複雑な	0.09	0.00	-0.03	0.17	0.16	0.46
りっぱ—みすぼらしい	0.07	0.19	0.16	0.31	0.08	-0.35
回転後の因子の相関行列						
	因子1	因子2	因子3	因子4	因子5	因子6
因子1	—	0.53	0.39	0.36	0.27	-0.32
因子2		—	0.30	0.14	0.26	-0.02
因子3			—	0.21	0.14	-0.05
因子4				—	0.21	-0.06
因子5					—	0.03
因子6						—
	↓	↓	↓	↓	↓	↓
因子名	快適性	身体性	素材	品格	デザイン	構造

表 7-5 『好き - 嫌い』を目的変数として重回帰分析を行った結果

重相関係数	R	修正R2乗				
	0.8351	0.6861				
変数	偏回帰係数	標準偏回帰係数	F 値	t 値	P 値	
因子1(快適性)	0.736	0.711	79.655	8.925	1.118E-13	
因子2(身体性)	0.105	0.105	2.055	1.433	0.156	
因子4(デザイン)	0.144	0.130	3.710	1.926	0.058	
定数項	-0.635		109.690	-10.473	1.007E-16	
回帰式の有意性	有意確立					
	5.813E-21					

7.10 まとめと今後の課題

本研究は、身体動作をデザインへ応用することを目的とし、モーションキャプチャを用いて赤ちゃんをあやす動作から生成された椅子を対象として、SD法を用いたアンケート調査を行った。

得られた結果として、

1) 身体動作から生成した形状は視覚的な印象に良い影響を与え、『流れのある』印象を感じさせる形状であることが分かった。

2) 因子分析および重回帰分析の結果から、実物大モデルにおける好ましさは、『心地よさ』や『落ち着き』に影響を受けることが分かった。

3) この『心地よさ』や『落ち着き』の印象向上に、動作そのものが持つイメージが貢献すると仮定し、動作には安心感や落ち着きを連想する赤ちゃんをあやす動作を選定した。しかし、本研究の結果からは動作が持つ印象が明確に最終成果物に反映された様子は確認できず、仮説は成立しなかった。

今後の課題として、

1) 本章では、身体動作から生成した椅子を対象として評価を行ったが、今後は他の椅子において同様の評価を行い比較考察を行う必要がある。

2) SD法は抽象的なイメージを定量化する際に用いられる手法であるが、落ち着きやリラックスなどの生理的な評価については脳波を測定することによってより定量的な評価を行うことができると考えられる。

3) 本稿での取り組みは、他人の身体動作から生成した形状に対して、多人数が印象を評価したものである。よって、今後は自分自身の身体動作から生成した形状に対して印象評価を行うことで、ユーザーの満足度の向上に貢献する可能性について検証を行う。

7.11 第7章 小結

本章では、屋内位置情報や身体動作を建築空間へ活用する手法として、身体動作を基にした形状生成に着目した。既往研究や過去のプロジェクトから、これまで身体動作をデザインに応用することは多数行われているが、その多くが実際に使用できるほどの機能性を有しておらず、その評価も行われていないことが明らかとなった。

そこで本稿では、身体動作から生成した形状の評価を目的として、赤ちゃんをあやす動作から生成した形状を基に椅子としての機能性を与えるよう設計を行い、実物大の椅子の製作を行った。設計過程で検討されたデザインおよび、実寸大の椅子を対象としてSD法を用いたアンケート調査を行うとともに、因子分析及び重回帰分析を用いて、赤ちゃんをあやす動作から生成した椅子に対する印象の評価構造について考察を行った。

その結果、身体動作から生成した形状は『流れのある』印象を持ち、『快適性』因子が最も好ましさに影響を与え、『快適性』を向上するにはデザイナーの役割が重要であることが明らかとなった。

本研究の最終的な目的は、身体の情報を取得し、個々人の身体に則したデザインを提供することにある。これを可能にするのは、前章までに取り組んできた、屋内の位置情報や身体動作を日常的に取得する技術である。自らの身体を媒体にして、“コレくらいの大きさ”や、“こんな感じ”といった抽象的なイメージを、設計者が受け継いでデザインを行うことによって、これまで欠落していた情報も加えながら設計を行うことができるようになるを考える。従来の設計手法では、一つ一つ異なる形状を設計・生産するには手間がかかるという問題があった。しかし、コンピュータの進歩によってこれらの問題点は解決されつつある。

本章で提案した設計手法によって、歴史的な背景から明らかとなった人間の身体が持つ美的な側面、自らの身体に適合した形状という機能的側面、イメージなどの抽象的・心理的な側面の3つをそれぞれ活かしながら建築の設計へ活用する可能性が示された。

第7章 参考文献リスト

- 1) 総務省統計局：統計からみた我が国の高齢者－「敬老の日」にちなんで－高齢者の人口，<http://www.stat.go.jp/data/topics/topi721.htm>（参照 2015.1.20）
- 2) 佐々木大輔，松島史朗：コンピュータと人間行動を融合したデザイン手法の研究，日本建築学会大会学術講演梗概集 E-1，pp. 523-524，2008.7
- 3) 竹中理恵，松島史朗：コンピュータと人間行動を融合したデザイン手法の研究，モーションキャプチャ技術を利用したデザインプロセス改革の試行，東海支部研究報告集 第46巻，pp.569-572，2008.2
- 4) Greg Lynn：Animate Form, Princeton Architectural Press, 1999.1
- 5) Michael.A.Ambrose:Body|Form|Space: Geometric translations of the body in motion. In Em'body'ing Virtual Architecture, ASCAAD, pp.431-438, 2007,Alexandria, Egypt
- 6) Di Raimo, A.:Architecture as Caregiver: Human Body - Information - Cognition. ACADIA 2010, New York, pp. 110-116.2010
- 7) FRONT：Sketch Furniture, <http://www.designfront.org/>（参照 2014.8.20）
- 8) 林宏樹，伊藤孝紀，坂井大介，堀越哲美：高齢者に適した椅座位動作と肘掛け寸法に関する研究その1，モーションキャプチャを用いた手伸ばし動作に関する実験，東海支部研究報告集 第51巻，pp. 549-552，2013.2
- 9) 内藤美雪，垂井健吾，布田健，佐藤克志：心理評価と体圧分布を用いた各種デザイン形状を持つ椅子の座り心地特性，日本建築学会大会学術講演梗概集 E-1，pp.623-624，2012.9
- 10) 古澤慶一，堀越哲美，宮本征一：心理評価と体圧分布を用いた各種デザイン形状を持つ椅子の座り心地特性，日本建築学会大会学術講演梗概集 E-1，pp. 543-544，2008.7
- 11) 古澤慶一，堀越哲美，宮本征一：体圧分布を用いた形態別による椅子の座り心地研究，日本建築学会大会東海支部研究報告集 第46号，pp. 425-428，2008.2
- 12) 三家礼子：ファジィ推論を応用した椅子の座り心地予測システムの構築，早稲田大学 博士(人間科学) 学位論文，2004.1
- 13) 荒川雅生，KUM Jouchee，萩原一郎，山川宏：定性的な感性評価に基づく定性的な最適設計に関する研究，高能率を引き出す椅子の開発，日本機械学会論文集・C編 第64巻 622号，pp.2162-2168，1998.6
- 14) 積田洋，玉尾祐輝，徐華：吹抜け空間における幅・奥行・高さの認知特性の研究，日本建築学会計画系論文集 第648号，pp. 315-320,2010.2
- 15) 白石照美，阿部眞理，戸塚泰幸：ボードおよびシート形状を持つ内装材の感覚評価，内装材に関する特性研究と用途開発(1)，日本デザイン学会デザイン学研究，pp. 57-64，2007.11
- 16) 朴鎮銜，赤堀彰彦，宗本順三，松下大輔：VRを用いた感性評価に基づくファサード形態要素の組合せ推論の研究，産寧坂伝統的建造物群保存地区の町並みを対象として，日本建築学会計画系論文集 第636号，pp. 363-370，2009.2
- 17) 朴鎮銜，宗本順三：オントロジーを用いた家屋の構成要素の記述と感性評価の研究，情報処理学会研究報告 HI 韓国の羅州市金安洞の家屋を対象として，日本建築学会計画系論文集 第625号，pp. 535-541，2008.3
- 18) 齋藤篤史，宗本順三，松下大輔：感性評価に基づく形態要素のラフ集合を用いた組合せ推論の研究：産寧坂伝統的建造物群保存地区のファサードを対象として，日本建築学会計画系論文集 第594号，pp. 85-91，2005.8
- 19) 佐々木啓介，堤和敏，大倉典子：VRを利用した浮遊感のある屋根の形態創生に関する研究，日本建築学会構造系論文集 第612号，pp. 231-237，2007.2
- 20) 吉岡祥隆，初見学：曲壁空間の知覚と心理的影響に関する実験的研究，空間認知構造に関する研究(その1)，日本建築学会計画系論文集 第680号，pp. 2355-2360，2012.10
- 21) 岡来夢，佐藤静香，橋本雅好：調査方法の比較による手法の検討，建築空間の実体験を通して得られる感覚的評価に関する研究その3，日本建築学会大会学術講演梗概集 E-1，pp. 739-740，2009.7
- 22) 細入万美恵，石黒紘介，門内輝行：意味尺度に基づく住宅外観の感性評価，構築環境の意味の記号論的評価(その1)，日本建築学会近畿支部研究報告集 第48号，pp. 65-68，2008.5
- 23) 北村真吾，曾我部春香，石橋伸介，森田昌嗣：ユーザー間の評価のズレとその読み取りに関する研究 - 椅子を例として，クオリティカルデザイン評価・診断システム構築に関する研究3，デザイン学研究・研究発表大会概要集 第54号，pp. 278-279，2007.6

第7章 図版リスト

- 図7.1 人間の歩行動作から生成した壁面
- 図7.2 従来の設計手法と本研究で提案する設計手法の比較
- 図7.3 Kinect
出展：<http://blogs.msdn.com>
- 図7.4 Foam: Motion Becoming Space
出展：<https://www.youtube.com/watch?v=w7vWCqKexik> よりキャプチャ
- 図7.5 BODY|FORM|SPACE
出展：文献 18
- 図7.6 Music Dance and Architecture
出展：文献 19
- 図7.7 Sketch Furniture
出展：frontdesign ホームページ
- 図7.10 身体に取り付ける反射マーカー
- 図7.8 キャプチャスペースの概要
- 図7.9 光学式カメラ
- 図7.11 動作から抽出した線
- 図7.13 動作から生成した基本となるサーフェイス
- 図7.14 動作から生成した基本となるサーフェイス
- 図7.12 動作イメージ
- 図7.15 3Dプリント模型
- 図7.17 IGESからCNCコードへ変換しシミュレーションしている様子
- 図7.19 最終成果物
- 図7.16 ダンボールを用いて製作されたモックアップ
- 図7.18 切削作業の様子

- 表 7-1 スタディモデルの印象評価アンケートの概要
- 図 7.20 印象評価に用いる 5つの CG と 3D プリント模型
- 表 7-2 印象評価に用いた 40 個の形容詞対
- 図 7.21 1/12 のミニチュアモデルと並べたときの様子
- 図 7.23 手元の 3D プリント模型を用いてスタディモデルの印象評価アンケートに回答する様子
- 図 7.22 印象評価に用いる 5つの CG と 3D プリント模型
- 図 7.24 PC 画面上の CG モデルを用いてスタディモデルの印象評価アンケートに回答する様子
- 表 7-3 実物大モデルの印象評価アンケートの概要
- 図 7.25 タブレット端末を用いて実寸大モデルの印象評価アンケートに回答する様子
- 図 7.26 アンケート用紙を用いて実寸大モデルの印象評価アンケートに回答する様子
- 図 7.27 アンケートの結果
- 図 7.28 実寸大モデルとの差異を形容詞対ごとに集計した結果
- 図 7.29 モデル別の実寸大と各モデルの差異を集計した結果
- 表 7-4 実寸大モデルにおける因子評価得点表および相関行列
- 表 7-5 『好き - 嫌い』を目的変数として重回帰分析を行った結果

第8章 結論

8.1 第8章概要

本研究を総括し、本研究で得られた成果から個々の身体から生じる情報が取得可能になりつつある点に着目し、建築計画や建築設計に活用する手法を論じ、人間の動作を建築設計に活用する利点と問題点および可能性を述べる。

8.2 各章のまとめ

1章では、人類の技術革新の歴史と建築の歴史を重ね合わせ、技術の進歩が建築に与える影響力を指摘した。この指摘から、1990年代から始まった情報通信技術の進歩が、今後の建築に大きな影響を与えるという仮説を立てた。一方で、技術革新によって生活スタイルや建築様式は変化するものの、歴史を遡っても変わらない建築と人間の関係性が存在し、今後も変わらないであろう『人間の身体』を対象とした研究を行うことは、将来的においても普遍的な知見を蓄積する意味でも、有意義であることを示した。また、情報通信技術によって取得可能となった個々人の身体情報が持つ潜在的なニーズとポテンシャルに着目し、建築計画および設計に反映する手法を確立することで、高齢社会を背景とした今日的な問題解決を図ることを目的とした。

2章では、人間の身体と建築の関係性を歴史的な背景から紐解き、本研究の対象として人間の身体を選定した意義を述べた。建築と身体の関係性について、建築デザインの美的感覚に表れるメタファーとしての身体と、人間の身体を基準に建築をつくるための尺度としての身体について、過去から現在にいたるまでどのように扱われてきたかを明らかにした。これによって、ウィトルウィウスの時代から現代にいたるまで、機能性と美的価値の両面を含む存在として身体を位置づけ、建築と身体の普遍的な関係性を明らかにした。さらに、既往研究に基づき、現代に至るまでの研究の大きな流れを示し、高齢化や情報化に伴う問題解決の必要性和、個々人の身体から生じる、要求や可能性を設計に反映する手法の必要性を明らかにした。

3章では、情報通信技術の進歩と建築の関係性について論じた。各要素技術について概説し、本研究が提案する手法を可能たらしめる技術について整理を行った。これまで難しいとされていた個々人の情報取得が、情報通信技術の進歩によって可能となり、さらには建築自身に統合され始めていることを述べた。また、コンピュータが情報を大量かつ素早く処理することを可能にした結果、アルゴリズムックデザインやパラメトリックデザインなどの概念が登場した。さらに、生産の現場においても影響をあたえ、デジタルアプリケーション技術の発展により、上流の情報の取得から、下流の設計、生産まで情報共有が行えるようになった。この変化は従来の少品種大量生産のマスプロダクションの世界から、多

品種少量生産への移行を予期させ、同じコストでひとつひとつ異なったものづくりの実現を示唆している。これによって、個人特有のデータに基づく生産が技術的に可能であることを示した。

4章では、人の動作の中でも屋内空間における位置情報の取得に取り組んだ。3章で記述した個々人の情報取得の可能性の拡がりに関連して、位置情報の蓄積による行動履歴に着目した。これまで論じられることのなかった、建築形態とセンサの配置に着目し、一般的なグリッド型の配置が取りづらい建築の形態である廊下空間において、センサの配置および精度について実験・考察を行った。その結果、センサの配置個数を低減しつつ、必ずしもグリッド型の配置が有効でないことを明らかにした。ここでの要点は、人間の行動の蓄積から導きだされる建築空間に生じる不均一性である。この不均一性を建築計画および設計に考慮すること、そこから生じる空間のカスタマイズの必要性を2つの事例を用いて示した。

5章では、4章で明らかとなった人間行動と建築形状の関係性に着目し、相互の関係性を把握することを目的として、人間の動作と三次元の空間形状の同時取得にロボティクス技術を用いる手法を提案した。実践として異分野の学生と協働し、移動可能な二輪ロボットの開発を行った。ここでは、今後建築へ技術が導入される上での知見を得ることができた。実験では、情報の蓄積による精度の向上と、ロボットの移動による信頼度の増加を図った点に新規性がある。また、人間の追従に関して、絶対座標と相対座標を相互補完的に使用された。今回はロボットは定位置で情報の取得を行ったが、今後は移動しながらの情報取得に取り組み、より一層の精度向上を図ることが課題である。

6章では、4章および5章で得た情報の利用方法について、地図情報による利活用を提案した。現在用いられている Web-GIS などの地図上に情報を統合する仕組みは、一般人が使用するには専門性が高い。また、住宅用 API などは現在の空間や機器の状況を視覚的に把握しづらいという問題点がある。そこで、既に一般的に使用されている Google Map と、センサで取得した空間の現状などの情報を、三次元でリアルタイムに表示するために WebGL の技術を用いることで解決を図った。実証実験として、開発したシステムを用いて実空間と地図上の仮想空間の連動に取り組んだ。今後情報を統合するシステムとして、身体動作を空間を取り入れるための基盤技術に成り得る可能性がある。

7章では、4章、5章、6章で取得した情報の中から、個別性をもたらす身体動作に着目し、身体動作から形状生成する手法について記述した。また、赤ちゃんをあやす動作から生成した「ゆりかごの椅子」について因子分析および重回帰分析を用いた分析結果から、身体動作から生成した形状の特徴を明らかにした。人間の身体の情報、建築のデザインへ応用する際の可能性と問題点を指摘している。

8.3 考察

各章の結果をもとに、身体動作と屋内位置情報の取得および建築空間への活用について考察する。

8.3.1 身体動作と屋内位置情報の取得および建築空間への活用を実現

するための技術

人間の身体が持つ普遍的な機能性および美的な価値は、デザインツールとして建築設計に用いられていることから明らかである。しかし、SI単位系の登場やマスプロダクションによる国際的な標準化・体系化は、身体性や地域性が失われた均一な空間を生み出した。一方、近年の情報通信技術の進歩は、日常生活空間における個々人の情報取得、コンピュータを用いた建築設計、スマートプロダクションを可能にした。つまり、個々人の情報を計画および設計へ活用し、建築を生産へするための一連の設計プロセスが実現可能であることを示唆している。この変化の要因となっているのが技術の進歩である。ここで難波が整理した影響を①生産技術の回路、②設計・計画技術の回路、③生活環境の回路を引用して分類して整理すると図8.1のようになる。

この分類を基に、技術の進歩による関係性の変化を考慮したものを図8.2に示す。第二の波：産業革命によって、職能が分かれたことによって、生産者、設計者、利用者が明確に区分された。この時代に問題となっていたのは、量の問題であり、モジュール化や図面化によってこの問題の解決を図った。一方で、人間の身体や生活環境を定量的に捉えて設計や計画に活用しようとする建築計画や人間工学が登場する。しかし、これらはアナログ技術を基盤としているため、多大な労力がかかると共に、各役割の間でのやりとりにおいて情報が劣化する可能性があった。しかし第三の波：情報革命では、デジタル技術の登場によってこの問題点が解決しはじめる。

本論文3章で取り上げたワークショップでの取り組みは、主に設計と生産におけるデジタル技術の有効性を明らかにするものである。CAD(アルゴリズム・パラメータを用いた設計)によって生成された一つ一つ異なる形状をCAM(レーザーカッター・CNC)を用いることで生産可能となったことを実証した。4章、5章は、生活・環境の情報をどのように取得するかに主眼が置かれた取り組みであり、デジタル技術によってこれらの情報を設計・計画、生産と接続可能であることを示した。また、6章はこれらの情報の円滑な相互利用のための手法、7章では本研究で提案する設計手法の実践として「生活・環境」―「設計・計画」―「生産」をつなげ、ひとつの成果物として椅子の製作に取り組んでいる。

これらの結果から、身体動作と屋内位置情報の取得および、そこから

	生産	設計・計画	生活・環境
第一の波 農業革命	手による 個別生産	経験・知恵	地域性
第二の波 産業革命	機械による 大量生産	図面化 (モデル化)	均一性
第三の波 情報革命	機械による 個別生産	CAD・BIM (アルゴリズム)	個性性
影響の 対象	ファブリケーター (生産者)	デザイナー (設計者)	ユーザー (居住者)

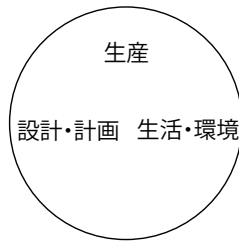
図 8.1 時代別の技術が与える影響

1) 難波和彦：建築的無意識―テクノロジーと身体感覚，住まいの図書館出版局，1991

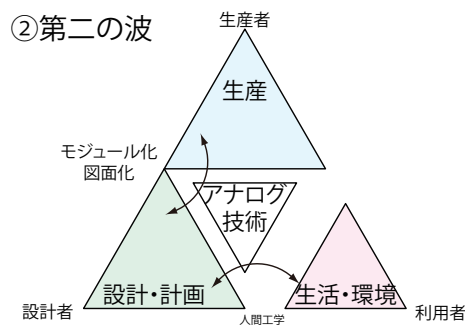
生成されるであろう個別性の高い形状を生産するための技術は揃って居ると結論づけられる。

一方、本研究の成果からあらたな課題も明らかとなった。1つめはデザインの問題である。位置情報はそれ自体が物理的な大きさを持たない。また、人間の身体動作から生成した形状は身体に適合するメリットの反面、建築に活用するには小さい。2つ目は生産の問題である。本研究では一体成型可能な大きさであったが、建築の大きさへ拡大するにはその施工方法に対する検討が欠かせない。よって今後の課題として「建築」の大きさへの検討を今後の課題としたい。

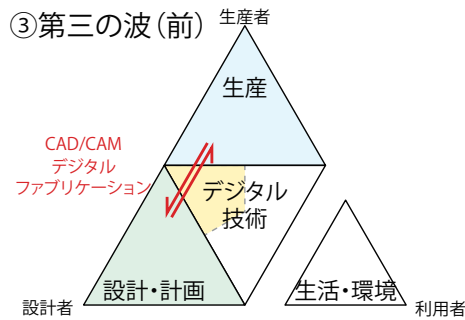
①第一の波



②第二の波



③第三の波 (前)



④第三の波 (後)

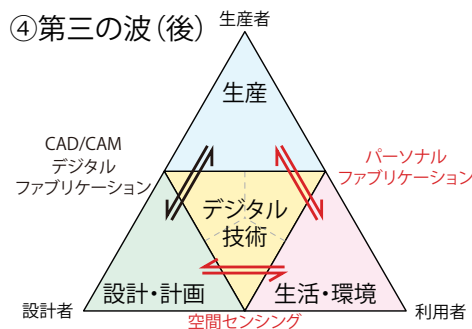


図 8.2 技術の進歩と各分野の関連性

8.3.2 身体動作が生み出す空間の不均一性と更新による質の向上

第4章では、人間の動作をいかにして取得するかという観点から、センサの配置と空間の形状の関係性について取り上げた。従来のセンサの配置のほとんどがグリッド型であることを指摘したが、これは2章で取り上げた空間の均一性に起因するものと理解することができる。つまり、空間における人間の生活、空間そのものの性質も考慮されていない。本研究では、廊下という細長い空間の形状に着目し、必ずしもグリッド型がセンサの精度が良いわけではないことを示した。

これによって、空間の形状—人間の生活から導きだされる不均一性—センサの条件—環境条件など複数のレイヤーを重ね合わせ、センサの配置を導き出す必要性が明らかとなった。参考として Ans Studio のソニー大崎の植栽計画を挙げ、コンピュータによる空間分割アルゴリズムを用いた手法の有効性を述べると共に、人間の生活の変化に追従するためにはセンサの配置の変更が容易に行えること、空間の形状へフィードバックするには柔軟に変化する建築システムが必要であるという課題を提示した (図 8.3)。

この課題を受けて、5章ではロボットを用いた空間の形状の取得、人間の動作の取得を行っている。また、6章では情報の利用と環境の情報表示を行った。つまり、この2つの実験では、変わりゆく空間の状況を捉えて現状を認識するシステムを構築する狙いがあった。よって、4章、5章、6章を通して得られた新たな課題は、利用者自身による空間状況認知 (メタ認知) 能力の向上及び、空間の更新 (アップデート・カスタマイズ) の必要性である。つまり、人の手によって建築を緩やかに変化させていくことで、人間の身体を建築に活用できると考えた。これは2章で取り上げた、“個別性と変化というトレードオフの関係を併せ持つ身体を、建築設計に活用する困難さ”を克服する手法でもある。

空間を更新する概念は決然新しいものではなく、もっとも有名なものはメタボリズムであろう。メタボリズムを体現した建築はいくつか実現したものの、中銀カプセルタワービルなどは実際に更新可能であるものの一度も更新されずアスベストや老朽化の問題から取り壊しの危機にある (図 8.4)。メタボリズムは新陳代謝によって、建物の価値や概念を維持しようとした。しかし、3章で示した通り実際には社会、文化、技術は変化するために、予め未来を設計することは難しく、建物は老朽化し、いささか概念的ではあるが建築は死ぬということが証明された。ここから学ぶことは、更新するシステムの容易さと、質や価値を向上させながらも、失われるものへの意識である。

一般的に建築設計においては、設計案を検討すればするほど質が向上すると認識されている (図 8.5)。このような質を向上するためのプロセスを物理的な (フィジカルな) 建築にも応用することができないだろ

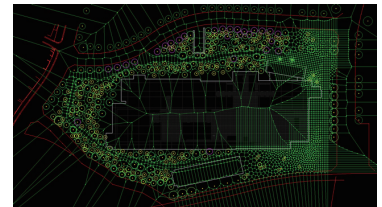


図 8.3 ソニー大崎ランドスケープデザイン

出展: Ans Studio ホームページ [<http://www.ans-studio.com/>]



図 8.4 中銀カプセルタワービル

2) 川崎清, 山口重之, 吉川真, 笹田剛史, 小林正美, 佐藤不二男: 設計とその表現—空間の位相と展開, 鹿島出版会, 1990

うか。建築における身体動作位置情報は、身体が元々持っている機能性と美的な価値に基づいて、空間の質の向上を目指す手段として作用することを期待したい(図8.6)。これに必要なのは、人間と空間の対話である。人間自身が空間に問いかけを行い、空間が応え、身体性を持った空間に変化させていく。これは、従来人間が普通に行って来た住居の手入れと同じことではないだろうか。しかし、現代に至るまでに合理化が希求され、一時的な最適解に執着した結果、経年変化を嫌い、メンテナンスフリーを求め、昨今の30年で住宅が建て替えられていく現象を生み出したのではないかと考えられる。つまり、私たちは空間から身体性を失うと同時に建築への愛着を忘れてしまっていたと言える。

情報通信技術による建築との対話は、利用者自らの身体性をもって空間を構築することを実現し、建築への愛着を取り戻すことに繋がると考える。この可能性の実現に向けた取り組みとして、人間を補助するロボティクス技術の発達や、本学で開発中のNeuro Fabricsの継続的な開発が貢献するものと考えられる(図8.7)。

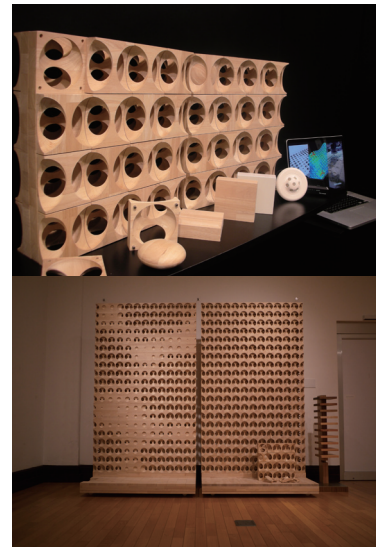


図8.7 Neuro Fabrics

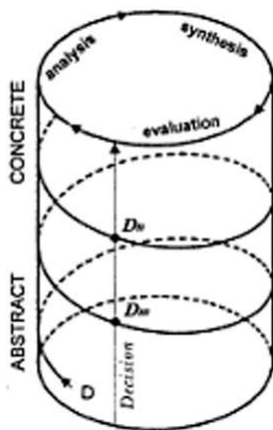


図8.5 R.D.Wattsのプロセス

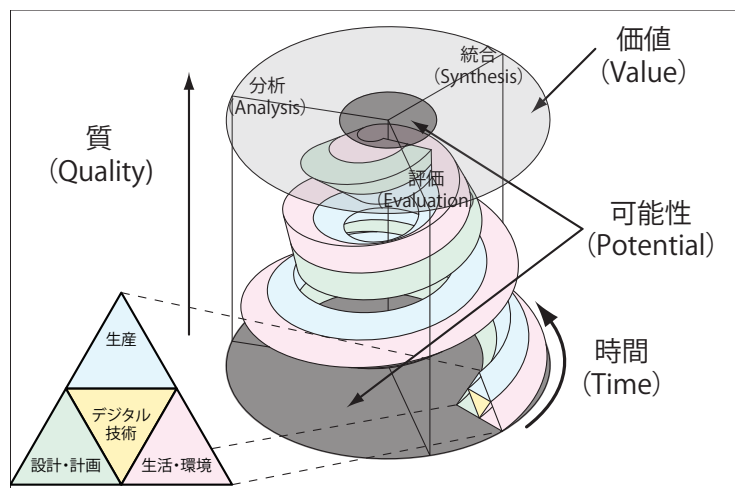


図8.6 空間の更新による質の向上

8.3.3 新たな職能の可能性

第二の波：産業革命は職業の分化を促し、専門職を発生させた。専門職はより専門性を深め、技術分野の縦割りが生じた。しかし、第三の波：情報革命ではデジタル技術の台頭によって、これまで分化していた専門分野が繋がり、分野を横断した取り組みが増加しつつある。

第5章では、将来的に建築空間へ導入が進むと予測されるロボットを建築に活用することを目的として、他分野の学生との協働に取り組んだ。前述の縦割りによる問題に直面した結果、共通言語の構築や、ネットワークスキルの習得を課題として挙げた。

この課題から、新たな役割として、各専門分野を直接つなぐ、もしくは繋がる場の構築の必要性が明らかとなり、ここに新たな職能の可能性が導きだされる。第6章は、異なる分野を繋ぐプラットフォームを制作し、情報共有をおこなった。高度に分化された専門性を繋げるには、それぞれの専門家が情報共有のためのリテラシーを身につける、もしくは専門に役割を担うコラボレーターが必要になると考えられる（図8.8）。この新たな職種は、これまでにないほどの微細で大量の情報のやりとりを可能にし、建築に提供することに貢献すると考えられる。

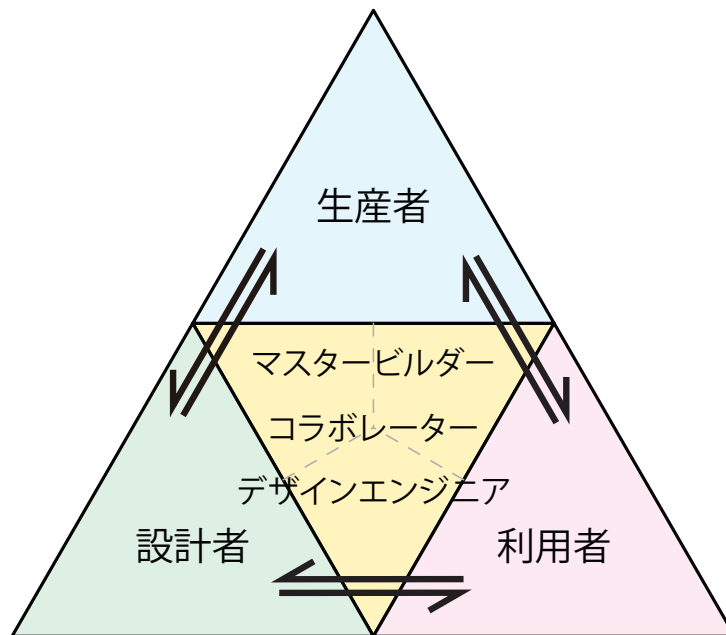


図8.8 新たな職能の必要性

8.4 総括と今後の展望

本論文は、人間の身体が有する普遍的な価値と技術の進歩が建築に与える影響を明らかにした上で、近年最も大きな技術の進歩である「情報通信技術」と「人間の身体」と「建築」の関係性に着目して論じたものである。本論文の結論として、以下の5つを提示する。

本論文は、「身体動作と屋内位置情報の取得および建築空間への活用」について実証実験を通じて得られた知見を論じたものである。本論文の成果として、

- ①屋内位置情報の取得：経済的・合理的なセンサ配置による、高精度の情報取得を可能とした。
- ②身体動作と周囲の空間形状の取得：汎用奥行きセンサとロボティクス技術を併用により、同時取得および取得範囲の拡大を可能とした。
- ③身体動作から生成された形状の特性：「流れのある」といった時間軸を含む印象を与え、「めずらしい」など形状の新規性に関する印象を与えることを明らかにした。
- ④情報通信技術による建築への影響：「生活・環境」-「設計・計画」-「生産」が一連のプロセスとして統合され得ること実証し、人間の身体や生活に基づく個別性の高い空間を実現可能であることを明らかとした。
- ⑤情報通信技術が担う役割：高度に分化される専門性を繋げるために、コンピュータやネットワークリテラシー向上の必要性を論証した。

第8章 参考文献リスト

- 1) 難波和彦：建築的無意識—テクノロジーと身体感覚，住まいの図書館出版局，1991
- 2) 川崎清，山口重之，吉川真，笹田剛史，小林正美，佐藤不二男：設計とその表現—空間の位相と展開，鹿島出版会，1990

第8章 図版リスト

- 図 8.1 時代別の技術が与える影響
- 図 8.2 技術の進歩と各分野の関連性
- 図 8.3 ソニー大崎ランドスケープデザイン
出展：Ans Studio ホームページ [<http://www.ans-studio.com/>]
- 図 8.4 中銀カプセルタワービル
- 図 8.5 R.D.Watts のプロセス
- 図 8.6 空間の更新による質の向上
- 図 8.7 Neuro Fabrics
- 図 8.8 新たな職能の必要性

参考文献リスト

参考文献リスト

- 1) アルビン・トフラー著, 徳岡孝夫訳: 第三の波, 中央公論社, 1982.9.10 3
- 2) 藤森照信: 人類と建築の歴史, 筑摩書房, 2005.05 3
- 3) 総務省統計局 ホームページ: 人口推計 3
- 4) 国土交通相: 住生活基本法, 2006 4
- 5) 国土交通相: 住宅建設計画法及び住宅建設五箇年計画のレビュー, 2005 4
- 6) Ernst Neufert: Bauentwurfslehre [Architects' Data], Bauwelt-Verlag (German 1st ed.), 1936 ~ 5
- 7) 日本建築学会編: 建築設計資料集成, 丸善 (第3版), 1942 ~ 5
- 8) 日本建築学会編: コンパクト建築設計資料集成<住居>, 日本建築学会編, 丸善 5
- 9) 日本建築学会編: 建築設計資料集成一人間, 丸善, 2003 7
- 10) 佐藤克志, 布田健: 建築人間工学データベースの開発: 建築・住宅設計に係わる人間工学的データのニーズ調査, 日本建築学会学術講演梗概集.E-1, pp.929-930, 2005.07 7
- 11) Taro Narahara: The Space Re-Actor, - Walking a Synthetic Man through Architectural Space -, Massachusetts Institute of Technology, 2007 7
- 12) 川畑勝也: 行動シミュレーションに基づく環境デザイン手法の研究 - オープンオフィスモールのケーススタディを通して -, 慶応義塾大学学位論文, 2013 7
- 13) 遠田敦, 林田和人, 渡辺仁史: スリッパ型 RFID リーダによる歩行行動追跡, 日本建築学会計画系論文集, 第630号, pp.1847-1852, 2008.8 7
- 14) ウィトルウィウス著, 森田慶一訳: 東海選書 ウィトルウィウス建築書<普及版>, 東海大学出版会, 1979.09.28 15
- 15) 酒谷稔, 岡本賢吾, 門内輝行: 建築作品にみるメタファーの類型化と構造分析, 建築設計におけるメタファーの解説と生成 (その1), 日本建築学会計画系論文集, 第685号, pp.527-536, 2013.3 15
- 16) 石川英輔: ニッポンのサイズ - 身体ではかる尺貫法 -, 淡交社, 2003.8 17
- 17) 布野修司, 前田尚美, 太田邦夫, 内田雄造, 上杉啓, 浅井賢治, 勝瀬義仁: 東南アジアの都市と住居に関する研究 その18, パリ島の住居システムとコスモロジー 身体と寸法システム, 日本建築学会関東支部研究報告集, pp.273-276, 1983.7 17
- 18) 布野修司: 地域の生態系に基づく住居システムに関する研究 (1)- 東南アジアにおける伝統的住宅生産技術と自助 (Self-help), 住宅建築研究所報 No. 8, 1982.3.31 17
- 19) 大口晃史: 神話とモダニズム-パウハウス・プロジェクト一九一九—一九九九, 『10 + 1』NO.17, INAX 出版, 1999.6 19
- 20) ル・コルビュジェ 著, 吉阪隆正 訳: モデュールI, 鹿島出版会, 1976.11.5 20
- 21) ル・コルビュジェ 著, 吉阪隆正 訳: モデュールII, 鹿島出版会, 1976.12.1 20
- 22) 日本建築学会: モジュール制りと建築生産の工業化, 1964 20
- 23) 丹下健三: 新建築, 広島計画 1946 ~ 1953 とくにその平和会館の建設過程, 1954.1 20
- 24) 豊川斎赫: 丹下健三研究室の理論と実践に関する建築学的研究, 東京大学博士過程学位論文, pp.71 ~ 81, 2007.04.19 20
- 25) 豊川斎赫: 群像としての丹下研究室—戦後日本建築・都市史のメインストリーム—, オーム社, 2012.5.9 20
- 26) 水谷晃啓: 丹下健三研究室のアーバン・デザイン手法の再評価と応用- コンピュータを用いた手法の今日的意義に着目して -, 芝浦工業大学博士過程学位論文, pp.12-22, 1976.12.1 20
- 27) 池辺陽: デザインの鍵—人間・建築・方法-, 丸善, 1996.10 21
- 28) 難波 和彦 (著), メディア・デザイン研究所 (編): 建築の四層構造—サステイナブル・デザインをめぐる思考 (10+1series), INAXo, 2009.3 21
- 29) 八束はじめ: ミースという神話 ユニヴァーサル・スペースの起源, 彰国社, 2001 22
- 30) ロバート・ヴェンチュリ, 伊藤公文訳: 建築の多様性と対立性, 鹿島出版会, 1982 23
- 31) 藤田金一郎: 建築設計資料集成の経過とその回顧 (建築設計資料集成の改訂) 建築雑誌 100 卷 1233 号, pp.2-5, 1985.05.20 24
- 32) 田中辰明: 建築設計資料集成と Ernst Neufert の Bauentwurfslehre について (建築設計資料集成の改訂), 建築雑誌 100 卷 1233 号, pp.23-24, 1985.05.20 24
- 33) 高橋鷹志, 長澤泰, 西出和彦 編: シリーズ: シリーズ〈人間と建築〉1 環境と空間, 朝倉書店, 1999 24
- 34) 堀田明裕: 人間要因から見たデザイン研究の方向 (工芸指導所等の歴史から), 一般財団法人工芸財団ホームページ 24
- 35) 赤松 幹之, 吉岡 松太郎: 工芸指導所から産総研に至る産業技術としての人間工学研究のあゆみ, 日本人間工学会大会講演集, 第45巻特別号, pp.22-25, 2009 25
- 36) レイナー・パンナム (著), 石原 達二 (訳), 増成 隆士 (訳): 第一機械時代の理論とデザイン, 鹿島出版会, 1976 33
- 37) 難波和彦: 建築的無意識—テクノロジーと身体感覚, 住まいの図書館出版局, 1991 33
- 38) 総務省: 平成 25 年通信利用動向調査の結果 33
- 39) 日本建築学会編著: ユビキタスは建築をどう変えるか, 彰国社, 2007.8 35
- 40) 坂村 健: TRON 電脳住宅 (異分野訪問), 建築雑誌, 日本建築学会 2000.9 第 115 卷 1459 号, pp.50-51 35
- 41) 上田 博唯, 山崎 達也: ユビキタスホーム - 日常生活支援のための住環境知能化への試み -, 日本ロボット学会誌, 日本ロボット学会, 第 25 卷 4 号, pp.494-500, 2007 36

- 42) 椎尾一郎：日用品コンピュータエンタテインメントシステム、制御情報学会 システム制御情報学会誌, 56 巻 1 号, pp.33-38, 2012.1 36
- 43) 元岡展久, 椎尾一郎, 太田 裕治, 塚田, 浩二, 神原 啓介, 井口 雅登:生活者の視点を重視したユビキタスコンピューティング実験住宅の試み, 総合論文誌, 日本建築学会, 第 8 号, pp.77-82, 2010.1 36
- 44) 経済産業省：ロボット政策研究会中間報告書, p23, 2005.5 37
- 45) 橋本秀紀, 渡邊朗子：空間知能化のデザイン 建築・ロボティクス・IT の融合, NTT 出版, 2004.12 37
- 46) 金森道, 小鷹研理, 丹羽治彦, 坂本義弘, 大竹正海, 菅野重樹:未来型住居を想定したロボット群によるホームサービスの試み (空間知), 日本機械学会 ロボティクス・メカトロニクス講演会講演概要集, 2P1-H07, 2008.6 38
- 47) 豊橋技術科学大学 人間・ロボット共生リサーチセンタシンポジウム 2010 報告書, 2011 38
- 48) 栗山 繁, 岡田 美智男, 竹中 司, 松島 史朗, 三浦 純:人間とロボットが共生するための空間創出, ヒューマンインタフェース学会誌, 第 12 巻 1 号, pp.13-18, 2010.02 38
- 49) OMA, レム・コールハース, 二川幸夫: ヴィラ・ダラヴァ / ボルドーの住宅 OMA Villa Dall'Ava1985-91/Maison a Bordeaux1994-98, ADA エディタトーキョー, 2009 39
- 50) Fox, M. and Kemp, M.: 2009, Interactive Architecture, Princeton Architectural Press. 39
- 51) 榎井孝暢: 建築とコンピュータライゼーションの関係と歴史について - CAD の歴史の体系化を通じて -, NOIZ ARCHITECTS EaR 研修論文, 2014 41
- 52) 日建設計 山梨知彦: BIM 建設革命, 日本実業出版社, 2009 41
- 53) 吉田信之: A+U 建築と都市 2009 年 8 月臨時増刊「BIM 元年 - 広がるデザインの可能性」, 株式会社エー・アンド・ユー, 2009.8 41
- 54) 佐々木大輔: BIM を利用した建築設計の有効性の検証 - 豊橋技術科学大学マスタープラン策定と学生寮, ブリッジ建設に伴う BIM 効果の検証 -, 豊橋技術科学大学 修士課程学位論文, 2008 42
- 55) GA: MORPHOSIS - RECENT PROJECT, GA, 2010 43
- 56) 日本建築学会 編: アルゴリズムック・デザイン 建築・都市の新しい設計手法, 鹿島出版会, 2009.3 43
- 57) コスタス・テルジディス著, 田中浩也監訳, 荒岡紀子・重村珠穂・松川昌平訳: アルゴリズムック・アーキテクチャ, 彰国社, 2010 43
- 58) 平本 知樹: FabChair - パラメトリックモデルと連動した物理的な家具デザイン支援ツールの研究 -, 慶応義塾大学, 修士課程学位論文, 2011 43
- 59) Greg Saul, Manfred Lau, Jun Mitani, and Takeo Igarashi: "SketchChair: An All-in-one Chair Design System for End-users", the fifth International conference on Tangible, Embedded and Embodied Interaction (TEI2011), Jan. 23-26, 2011, Portugal. 45
- 60) 寺井 豊, 松島 史朗, 竹中 司, 岩田 翔士: 遠隔地設計教育による体験型デザイン課題の実施システムと環境についての研究 - VDS の展開, Media Engineering Laboratory の開設と運用を通して - 日本建築学会技術報告集第 20 巻 46 号, pp.1131-1136, 2014 45
- 61) Arup Japan—建築のトータル・ソリューションをめざして: 榎橋 修, 鍋島 憲司, 田中 陽輔, 誠文堂新光社, 2009 45
- 62) ものづくり革命 パーソナル・ファブ리케이션の夜明け: ニール・ガーシェンフェルド, 糸川 洋, ソフトバンククリエイティブ, 2006 46
- 63) 石川弘樹: 建築におけるデザインテクノロジーの研究 - CAD/CAM と建築ものづくり技術 -, 豊橋技術科学大学 修士課程学位論文, 2009 46
- 64) 繁昌朗, 山口祐一郎訳: gehry talks, 鹿島出版会, 2008.2 48
- 65) ナンシー・E. ジョイス, 松島 史朗: フランク・O・ゲーリーと MIT ステイタセンターのデザインと建設のプロセス, 鹿島出版会, 2007.11 48
- 66) 松島 史朗: 地域の "ものづくりテクノロジー" を利用した建築設計手法の試行, 日本建築学会 総合論文誌 5 号, pp.95-100, 2007.02 48
- 67) 石川 弘樹, 松島 史朗: 最先端デザインテクノロジーとまちづくり - レーザーカッターを用いたジオラマ模型による合意形成 -, 日本建築学会 学術講演梗概集, pp.1207-1208, 2009.7 49
- 68) Ikeda Lab: http://ikeda-lab.sfc.keio.ac.jp/digital_woods/ (参照日 2014.11.20) 49
- 69) 下川 雄一, 山崎幹泰, 笠覚暁, 川崎寧史, 土田 義郎: レーザー計測による伝統的町家群の連続立面図作成に関する研究, 日本建築学会技術報告集, 第 17 巻 35 号, pp.383-388, 2011.2 50
- 70) 石田 航星, 嘉納成男, 五十嵐健, 藤井裕彦, 大澤 雄司, 酒本 晋太郎, 富田裕行: 内装部材のプレカット化のための 3 次元レーザーキャナーを用いた計測と生産設計の手法に関する研究, 日本建築学会計画系論文集, 第 78 巻 688 号, pp.1355-1363, 2013.8 50
- 71) 川畑勝也: 行動シミュレーションに基づく環境デザイン手法の研究 - オープンオフィスモールのケーススタディを通して -, 慶応義塾大学学位論文, 2013 51
- 72) Taro Narahara: The Space Re-Actor. - Walking a Synthetic Man through Architectural Space -, Massachusetts Institute of Technology, 2007 51
- 73) 中林拓馬, 加戸 啓太, 平沢 岳人: 拡張現実感と模型を用いた建築設計用ツールの開発, 日本建築学会技術報告集, 第 17 巻 37 号 pp.1053-1056, 2011.10 52
- 74) 早稲田大学渡辺仁史研究室 時間 - 空間研究会 (著): 時間のデザイン—16 のキーワードで読み解く時間と空間の可視化, 鹿島出版会, 2013.4 61
- 75) 池辺 陽: デザインの鍵—人間・建築・方法, 丸善, 1996 61
- 76) 総務省統計局: 統計からみた我が国の高齢者—「敬老の日」にちなんで— I 高齢者の人口, <http://www.stat.go.jp/data/topics/topi721.htm> (参照 2015.1.20) 61
- 77) 五十嵐雄哉, 貞清 一浩: IMES 位置情報システムの開発, 日本建築学会技術報告集 第 20 巻 45 号, pp.799-802, 2014.06.20 63
- 78) 鈴木理史, 土井暁, 井上文宏, 大本絵利, 近藤哲, 金子智弥, 浜田耕史: センサ技術による建築物および建設環境の知的化に関する研究 その 1, 建築物に内蔵した RFID タグによる屋内位置認識システムの開発, 日本建築学会大会学術講演梗概集 A-2, pp.531-532, 2011.7 64

- 79) 長瀧慶明, 佐藤貢一, 加藤崇, 渡邊朗子, 森川泰成: 医療施設の空間知能化システムの研究開発 その1 システムの検証実験, 日本建築学会大会学術講演梗概集 A-2, pp.489-490, 20077 64
- 80) 遠田敦, 林田和人, 渡辺仁史: スリッパ型 RFID リーダによる歩行行動追跡, 日本建築学会計画系論文集, 第 630 号, pp.1847-1852, 2008.8 65
- 81) 遠田敦: 建築計画における行動モニタリングに関する研究, 早稲田大学博士学位論文, 2009.2 65
- 82) 長濱絵里, 三田彰: 焦電赤外線センサとサポートベクトルマシンを用いた居住者の行動把握, 日本建築学会大会学術講演梗概集 A-2, pp.511-512, 2010.7 65
- 83) 小酒井隆記, 葦原政由, 三田彰: 複数センサの融合に基づく建築空間における人物同定, 日本建築学会大会学術講演梗概集 A-2, pp.457-458, 2009 65
- 84) 村尾和哉, 寺田努, 矢野愛, 松倉隆一: 人感センサを用いた住宅内人物移動推定におけるセンサ配置の最適化, 情報処理学会研究報告 . MBL, 2011-MBL-59(18), pp.1-8, 2011.08 65
- 85) 西田佳史, 相澤洋志, 北村光司, 堀俊夫, 柿倉正義, 溝口博: センサルームを用いた人の日常活動の頑健な観察とその応用, 情報処理学会研究報告 HI, ヒューマンインタフェース研究会報告 2003, pp.37-44, 2003.11 65
- 86) 平本真事, 松屋真由子, 西田佳史, 楠房子, 溝口博: Learning by Doing: センサ化環境を用いた行動体験型語学学習法, 第 12 回インタラクティブシステムとソフトウェアに関するワークショップ (WISS2004) 論文集, pp.139-140, 2004.12 65
- 87) 白石麻星, 保川悠一郎, 本村陽一, 西田佳史, 溝口博: 日常生活行動情報収集管理システム - 位置センサと装着型センサを用いた生活行動の時空間プロトコル分析 -, ロボティクス・メカトロニクス講演会講演概要集 2008, 1-1, pp.1P1-J20(1)-1P1-J20(4), 2008.6 65
- 88) 堀俊夫: 超音波タグを用いた行動観察システムとその実環境への応用, 電子情報通信学会ソサイエティ大会講演論文集 2006, pp.63-64, 2006.9 65
- 89) 秋葉達也, 三田彰: 生命化建築のためのセンサエージェントロボットを用いた人追従, 日本建築学会技術報告集 18 巻 39 号, pp.775-779, 2012.6 66
- 90) 村上真一, 西田佳史, 堀俊夫, 溝口博: 低プライバシー侵害性の人間位置検出システム, 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会 '04 講演論文集, p.1A1-H-47(4), 2004.6 67
- 91) 古河機械金属株式会社: 超音波 3 次元位置測位システム, http://www.furukawakk.jp/products/ZPS_1.html (参照 2013.6.10) 84
- 92) 総務省統計局: 日本の統計 2013, 人口の推移と将来人口, p.39, 2013 95
- 93) 国立社会保障・人口問題研究所: 日本の世帯数の将来推計 (全国推計), 人口問題研究資料第 329 号, pp.11-17, 2013.1 95
- 94) 下川 雄一, 山崎幹泰, 笠覚暁, 川崎寧史, 土田 義郎: レーザー計測による伝統的町家群の連続立面図作成に関する研究, 日本建築学会技術報告集, 第 17 巻 35 号, pp.383-388, 2011.2 97
- 95) Hajian, H. and Becerik-Gerber, B.: Scan to BIM: Factors Affecting Operational and Computational Errors and Productivity Loss, 27th International Symposium on Automation and Robotics in Construction (ISARC 2010), Bratislava, pp.265-272, 2010 97
- 96) 石田 航星, 嘉納成男, 五十嵐健, 藤井裕彦, 大澤 雄司, 酒本 晋太郎, 富田裕行: 内装部材のプレカット化のための 3 次元レーザースキャナーを用いた計測と生産設計の手法に関する研究, 日本建築学会計画系論文集, 第 78 巻 688 号, pp.1355-1363, 2013.8 97
- 97) Yue, K. and Ramesh, K.: Extraction of Building Geometry from Range Images of Construction Sites, CAADRIA 2007, Nanjing, pp. 459-466, 2007 97
- 98) 古川奈々恵, 五島美沙, 三田彰: レーザーレンジファインダ搭載ロボットを用いた日常生活における動線把握, 日本建築学会学術講演梗概集 A-2, pp.537-538, 2011-07 97
- 99) Huang, A. S., Bachrach, A., Henry, P., Krainin, M., Fox, D. and Roy, N.: Visual Odometry and Mapping for Autonomous Flight Using an RGB-D Camera, International Symposium on Robotics Research (ISRR), pp.1-16, 2011 97
- 100) Brett R. Jones, Hrvoje Benko, Eyal Ofek, Andrew D. Wilson: IllumiRoom: Peripheral Projected Illusions for Interactive Experiences, CHI 2013, April 27-May 2, 2013, Paris, France. 98
- 101) B. Jones, R. Shdhi, M. Murdock, R. Mehra, H. Benko, A. Wilson, E. Ofek, B. MacIntyre, N. Raghuvanshi, L. Shapira: RoomAlive: Magical Experiences Enabled by Scalable, Adaptive Projector-Camera Units, UIST 2014, Hawaii, USA 98
- 102) Guallart, V.: Media House Project: The House Is The Computer The Structure The Network, Actar, New York. 99
- 103) Fox, M. and Kemp, M.: 2009, Interactive Architecture, Princeton Architectural Press. 99
- 104) Beilharz, K.: 2005, Architecture as the Computer Interface: 4D Gestural Interaction with Socio-Spatial Sonification, 23rd eCAADe, Lisbon, pp. 763-770. 99
- 105) Greg Lynn : Animate Form, Princeton Architectural Press, 1999.1 99
- 106) Matsushima, S., D. Sasaki and R. Takenaka: 2007, Embodying Architectural Form and Space by Coupling Computer and Human Performance Using Motion Capture Technology: Study on Application of Motion Capture to Design Process for Generating New Geometry, Embodying Virtual Architecture, ASCAAD 2007, pp. 757-766, 2007, Alexandria. 99
- 107) 秋山英久, 進藤真, 荒牧重登: 自律移動ロボットによる人避け動作のための環境地図構築, 人工知能学会 AI チャレンジ研究会, 第 37 巻, pp.B301-6, 2013 100
- 108) 李信和, 桑島健彰, 三田彰: センサエージェントロボットを用いた住空間の環境地図作成, 日本建築学会 学術講演梗概集 A-2, pp.539-540, 2011.7 100
- 109) 廣井翔, 和田康介, 新妻実保子: 動的物体を反映した自律移動ロボットのための環境地図の構築 (OS9: 空間知), インテリジェントシステム・シンポジウム講演論文集 一般社団法人日本機械学会, 21 号, pp.199-202, 2011.09 100
- 110) 秋葉達也, 三田彰: 生命化建築のためのセンサエージェントロボットを用いた人追従, 日本建築学会技術報告集 18 巻 39 号, pp.775-779, 2012.6 100

- 111) Alex Teichman, Stephen Miller, Sebastian Thrun: Unsupervised intrinsic calibration of depth sensors via SLAM, RSS 2013, Berlin, Germany 102
- 112) 総務省統計局：日本の統計 2013, 人口の推移と将来人口, p.39, 2013 121
- 113) 国立社会保障・人口問題研究所：日本の世帯数の将来推計(全国推計), 人口問題研究資料第 329 号, pp.11～17, 2013.1 121
- 114) Tsukasa Takenaka, Aya Okabe: Networked Coding Method for Digital Timber Fabrication, In Integration through Computation: Proceedings of the 31st Annual Conference of the Association for Computer Aided Design in Architecture (ACADIA), pp.390～395. 2011.10 121
- 115) 岩田翔士, 松島史朗, 竹中司: 領域横断型のものづくりのための実験的空間の構築—豊橋技術科学大学における 2 つの空間整備事例を通して—, 第 34 回情報・システム・利用・技術シンポジウム 2011, 報告, pp.299～304, 2011.12 121
- 116) Shouto Iwata, Mikiya Takei and Shiro Matsushima: ENHANCED 3D-SPACE-SCANNING SYSTEM BY ROBOTIC TECHNOLOGY - Extracting Building Geometry and Capturing Human Behavior for Architectural Design -, The 19th International Conference on Computer-Aided Architectural Design Research in Asia (CAADRIA 2014), pp.347～356, 2014.5 121
- 117) 栗山繁, 岡田美智男, 竹中司, 松島史朗, 三浦純: 人間とロボットが共生するための空間創出, ヒューマンインタフェース学会誌 第 12 巻 第 1 号, pp.13～18, 2010.2 121
- 118) 梅干野晃, 浅輪貴史, 深澤朋美, 清水敬示: 住環境の維持管理支援を目的とした 3D-CAD による住環境情報データベースの作成に関する事例研究, 日本建築学会技術報告集, 第 26 号, pp.663～668, 2007.12 122
- 119) 佐藤理人, 梅干野晃, 浅輪貴史: 熱環境に配慮したまちづくりのための環境情報の可視化システムの開発, 日本建築学会技術報告集, 第 35 号, pp.255～258, 2011.2 122
- 120) 齊藤圭, 篠崎道彦, 日高圭一郎: 時空間情報共有プラットフォームとしての Google Earth の多面的活用に向けた技術検討, 日本建築学会技術報告集, 第 25 号, pp.317～320, 2007.6 122
- 121) 渡邊英徳, 坂田晃一, 北原和也, 鳥巢智行, 大瀬良亮, 阿久津由美, 中丸由貴, 草野史興: "Nagasaki Archive": 事象の多面的・総合的な理解を促す多層的デジタルアーカイブズ, 日本バーチャルリアリティ学会論文誌, 第 16 巻 第 3 号, pp.497～505, 2011.9 122
- 122) 高田百合奈, 朴婉寧, 蜂谷聖未, 高田健太郎, 西田志帆, 渡邊英徳, 植田佳樹: デジタル地球儀を用いた成長型海洋生態系アーカイブのデザイン手法, 日本バーチャルリアリティ学会論文誌, 第 17 巻 第 3 号, pp.253～260, 2012.9 122
- 123) 台風リアルタイム・ウォッチャー: 台風情報と「減災レポート」のリアルタイム・マッシュアップ, <http://typhoon.mapping.jp/> (参照 2014.10.13) 122
- 124) 中島裕輔, 佐藤光太郎, 納富昭光: 住宅における環境・エネルギー情報提供システムの開発, 日本建築学会技術報告集, 第 34 号, pp.1069～1074, 2010.10 122
- 125) 植田健太, 小坂隆浩, 佐藤健哉: Google Maps を用いた統合型家電機器操作システムの構築, 情報処理学会研究報告, 第 16 号, pp.399～404, 2007.3 122
- 126) 総務省統計局: 統計からみた我が国の高齢者—「敬老の日」にちなんで— I 高齢者の人口, <http://www.stat.go.jp/data/topics/topi721.htm> (参照 2015.1.20) 139
- 127) 佐々木大輔, 松島史朗: コンピュータと人間行動を融合したデザイン手法の研究, 日本建築学会大会学術講演梗概集 E-1, pp. 523-524, 2008.7 139
- 128) 竹中理恵, 松島史朗: コンピュータと人間行動を融合したデザイン手法の研究, モーションキャプチャ技術を利用したデザインプロセス改革の試行, 東海支部研究報告集 第 46 巻, pp.569-572, 2008.2 139
- 129) Greg Lynn: Animate Form, Princeton Architectural Press, 1999.1 141
- 130) Michael A. Ambrose: Body|Form|Space: Geometric translations of the body in motion. In Em'body'ing Virtual Architecture, ASCAAD, pp.431-438, 2007, Alexandria, Egypt 141
- 131) Di Raimo, A.: Architecture as Caregiver: Human Body - Information - Cognition, ACADIA 2010, New York, pp. 110-116. 2010 141
- 132) FRONT: Sketch Furniture, <http://www.designfront.org/> (参照 2014.8.20) 141
- 133) 林宏樹, 伊藤孝紀, 坂井大介, 堀越哲美: 高齢者に適した椅座位動作と肘掛け寸法に関する研究その 1, モーションキャプチャを用いた手伸ばし動作に関する実験, 東海支部研究報告集 第 51 巻, pp. 549-552, 2013.2 142
- 134) 内藤美雪, 垂井健吾, 布田健, 佐藤克志: 心理評価と体圧分布を用いた各種デザイン形状を持つ椅子の座り心地特性, 日本建築学会大会学術講演梗概集 E-1, pp.623-624, 2012.9 142
- 135) 古澤慶一, 堀越哲美, 宮本征一: 心理評価と体圧分布を用いた各種デザイン形状を持つ椅子の座り心地特性, 日本建築学会大会学術講演梗概集 E-1, pp. 543-544, 2008.7 142
- 136) 古澤慶一, 堀越哲美, 宮本征一: 体圧分布を用いた形態別による椅子の座り心地研究, 日本建築学会大会東海支部研究報告集 第 46 号, pp. 425-428, 2008.2 142
- 137) 三家礼子: ファジィ推論を応用した椅子の座り心地予測システムの構築, 早稲田大学博士(人間科学)学位論文, 2004.1 142
- 138) 荒川雅生, KUM Jouchee, 萩原一郎, 山川宏: 定性的な感性評価に基づく定量的な最適設計に関する研究, 高能率を引き出す椅子の開発, 日本機械学会論文集・C 編 第 64 巻 622 号, pp. 2162-2168, 1998.6 142
- 139) 積田洋, 玉尾祐輝, 徐華: 吹抜け空間における幅・奥行・高さの認知特性の研究, 日本建築学会計画系論文集 第 648 号, pp. 315-320, 2010.2 142
- 140) 白石照美, 阿部眞理, 戸塚泰幸: ボードおよびシート形状を持つ内装用材の感覚評価, 内装用材に関する特性研究と用途開発 (1), 日本デザイン学会デザイン学研究, pp. 57-64, 2007.11 142
- 141) 朴鎭銜, 赤堀彰彦, 宗本順三, 松下大輔: VR を用いた感性評価に基づくファサード形態要素の組合せ推論の研究, 産寧坂伝統的建造物群保存地区の町並みを対象として, 142

- 日本建築学会計画系論文集 第 636 号, pp. 363-370, 2009.2 142
- 142) 朴鎭銜, 宗本順三: オントロジーを用いた家屋の構成要素の記述と感性評価の研究, 情報処理学会研究報告 HI 韓国の羅州市金安洞の家屋を対象として, 日本建築学会計画系論文集 第 625 号, pp. 535-541, 2008.3 142
- 143) 齋藤篤史, 宗本順三, 松下大輔: 感性評価に基づく形態要素のラフ集合を用いた組合せ推論の研究: 産寧坂伝統的建造物群保存地区のファサードを対象として, 日本建築学会計画系論文集 第 594 号, pp. 85-91, 2005.8 142
- 144) 佐々木啓介, 堤和敏, 大倉典子: VR を利用した浮遊感のある屋根の形態創生に関する研究, 日本建築学会構造系論文集 第 612 号, pp. 231-237, 2007.2 142
- 145) 吉岡祥隆, 初見学: 曲壁空間の知覚と心理的影響に関する実験的研究, 空間認知構造に関する研究 (その 1), 日本建築学会計画系論文集 第 680 号, pp. 2355-2360, 2012.10 142
- 146) 岡来夢, 佐藤静香, 橋本雅好: 調査方法の比較による手法の検討, 建築空間の実体験を通して得られる感覚的評価に関する研究その 3, 日本建築学会大会学術講演梗概集 E-1, pp. 739-740, 2009.7 142
- 147) 細入万美恵, 石黒紘介, 門内輝行: 意味尺度に基づく住宅外観の感性評価, 構築環境の意味の記号論的評価 (その 1), 日本建築学会近畿支部研究報告集 第 48 号, pp. 65-68, 2008.5 143
- 148) 北村真吾, 曾我部春香, 石橋伸介, 森田昌嗣: ユーザー間の評価のズレとその読み取りに関する研究 - 椅子を例として, クオリティカルデザイン評価・診断システム構築に関する研究 3, デザイン学研究. 研究発表大会概要集 第 54 号, pp. 278-279, 2007.6 143
- 149) 難波和彦: 建築的無意識—テクノロジーと身体感覚, 住まいの図書館出版局, 1991 167
- 150) 川崎清, 山口重之, 吉川真, 笹田剛史, 小林正美, 佐藤不二男: 設計とその表現—空間の位相と展開, 鹿島出版会, 1990 169

図版リスト

図版リスト

- 図 1.1 1910 年式モデル T・ツーリング
出展:Wikipedia
- 図 1.2 上野原遺跡竪穴式住居(復元)
出展:鹿児島県ホームページ [https://www.pref.kagoshima.jp/kids/rekishi/kofun.html]
- 図 1.3 クリスタルパレス(1851)
出展:Wikipedia
- 図 1.5 住宅五カ年計画の変遷
出展:国土交通相 住宅建設計画及び住宅建設五箇年計画のレビュー
- 図 1.4 平成 26 年度高齢者の人口推計
出展:総務省統計局 ホームページ 人口推計
- 図 1.6 Architects's Data
- 図 1.7 建築設計資料集成(1942~)
出展:建築設計資料集成
- 図 1.8 C51 型住宅の平面図
出展:コンパクト建築設計資料集成<住居>
- 図 1.9 布田らによるデジタル技術を用いた動的な建築設計資料集成
出展:ケンプラッツ [http://kenplatz.nikkeibp.co.jp/article/it/column/20100321/540129/?ST=sp&P=4]
- 図 1.10 Visualization Human Behavior by Taro Narahara
出展:文献 11) より引用
- 図 1.11 SimTread でシミュレーションを行っている様子
出展:A&A 社ホームページ [http://www.aanda.co.jp/]
- 図 1.12 本研究でアプローチする問題点のイメージ
- 図 1.13 本論文の構成
- 図 2.1 ギリシャ建築における各オーダーの比較
出展:Interior Zukan [http://i-zukan.net]
- 図 2.2 レオナルド・ダ・ヴィンチが描いたウィトルウィウスの人体図
出展:Wikipedia
- 図 2.3 様々な描かれた人体図
出展:Die Quadratur des Kreises als Näherungslösung [http://www.pimath.de/quadratur/beispiel_proportion.html]
- 図 2.5 各地域の寸法体系
出展:建築設計資料集成
- 図 2.4 身体を用いた寸法
出展:建築設計資料集成
- 図 2.6 バリ島の住居における身体を用いた各種寸法の決定方法
出展:文献 4) 図Ⅲ -3-11 及び図Ⅲ -3-13 より引用
- 図 2.7 ジードルンク建設にプレファブリケーションが用いられた様子
出展:monumente-online [http://www.monumente-online.de]
- 図 2.8 Neufert の人体図
出展:建築設計資料集成
- 図 2.9 モデュロール
出展:文献 7,8
- 図 2.10 ユニテ・ダビタシオン
出展:Wikipedia
- 図 2.11 平和祈念資料館における社会的尺度と人間的尺度
出展:Arch-Hiroshima [http://www.arch-hiroshima.net/]
- 図 2.12 GM モジュールに採用された 2⁰
出展:文献 14 より
- 図 2.13 建売住宅地
出展:Wikipedia
- 図 2.14 人間の身体の変化と多様性
出展:積水ハウスホームページ [www.sekisuihouse.co.jp]
- 図 2.15 ファンスワース邸
出展:ファンスワース邸ホームページ [www.farnsworthhouse.org]
- 図 2.17 地域性を反映した住宅の例(白川郷の合掌造りとモンゴルのゲル)
出展:Wikipedia
- 図 2.16 シーグラムビル内観
出展:375 [http://www.375parkavenue.com]
- 図 2.18 パーソナルスペース
出展:コンパクト設計資料集成第 3 版
- 図 2.19 コレ・ソレ・アレ領域
出展:コンパクト設計資料集成第 3 版
- 図 2.20 椅子デザインのための姿勢計測(1958 年)
出展:文献 12 図 2 より引用

- 図 3.1 主な情報通信機器の普及状況の推移
 出展：文献 3 図表 1-16 より引用
- 図 3.2 日本におけるインターネットの利用者数と普及率
 出展：文献 3 図表 1-1 より引用
- 図 3.3 コンピュータと人間の関係性の変化
- 図 3.4 ユビキタスのイメージ
 出展：TRON PROJECT ホームページ [<http://www.assoc.tron.org/>]
- 図 3.5 TRON 電脳住宅の外観
 出展：エネックス社ホームページ [<http://www.ennex.jp/>]
- 図 3.6 TRON 電脳住宅の内観
 出展：エネックス社ホームページ [<http://www.ennex.jp/>]
- 図 3.7 操作を統合するロボットインターフェイス
 出展：文献 6 図 3 より引用
- 図 3.8 ユビキタスホームの内観
 出展：文献 6 図 2 より引用
- 図 3.9 Ocha House の外観
 出展：Ocha House Project ホームページ [<http://www.ocha.ac.jp/news/h211006.html>]
- 図 3.10 Ocha House の内観
 出展：御茶ノ水大学ホームページ [www.ocha.ac.jp/news/h220730_3.html]
- 図 3.11 空間知能化のイメージ
 出展：文献 10
- 図 3.12 現実空間と連動した環境地図
 出展：<https://www.youtube.com/watch?v=q9auEH1JSDw> よりキャプチャ
- 図 3.13 可動式キッチン
 出展：株式会社矢島 ホームページ [<http://yajimacorp.com/>]
- 図 3.15 ロボットラボ
 出展：豊橋技術科学大学 ホームページ
- 図 3.14 コンセプトイメージ
 出展：豊橋技術科学大学 ホームページ
- 図 3.16 人を感知して動く壁
 出展：Hyposurface ホームページ [<http://hyposurface.org/>]
- 図 3.17 MAISON À BORDEAUX
 出展：OMA ホームページ [<http://www.oma.eu/>]
- 図 3.18 Neural Sky
 出展：robotecture [<http://robotecture.com/>]
- 図 3.19 HONDA ASIMO
 出展：HONDA ホームページ [<http://www.honda.co.jp/robotics/>]
- 図 3.20 iRobot Roomba
 出展：iRobot 社 ホームページ [<http://www.irobot.com/>]
- 図 3.21 身体機能拡張型ロボット HAL
 出展：cyberdyne 社 ホームページ [<http://www.cyberdyne.jp>]
- 図 3.22 コンピュータを用いたデザインの例
 出展：morphosis ホームページ [<http://morphopedia.com/>]
- 図 3.23 CAD と BIM の概念の比較図
- 図 3.25 BIM を用いた学生寮の設計
 出展：文献 19
- 図 3.24 BIM の持つ統合性
 出展：Autodesk ホームページ [<http://bim-design.com/>]
- 図 3.26 アルゴリズムによって制御されるパネルパターン
 出展：GA MORPHOSIS RECENT PROJECT
- 図 3.27 パラメーターを変えてスタディをする様子
 出展：morphosis ホームページ [<http://morphopedia.com/>]
- 図 3.28 4つの敷地で異なる形状の駅
 出展：arcspace.com [<http://www.arcspace.com/features/zaha-hadid-architects/nordpark-cable-railway/>]
- 図 3.30 fluid vase
 出展：fungkwokpan [<http://www.fungkwokpan.com/index.html>]
- 図 3.29 SketchChair
 出展：SketchChair [<http://www.gregsaul.co.nz/SketchChair/>]
- 図 3.31 SketchChair 上でシミュレートできる人体
 出展：SketchChair [<http://www.gregsaul.co.nz/SketchChair/>]
- 図 3.32 技科大、小山高専、大分高専の3箇所を結んで行われた VDS
- 図 3.33 BLT 学生チームの最優秀賞
 出展：Built Live Tokyo [<http://bltokyo2010.seesaa.net/>]
- 図 3.34 Data 2 Form Lab の内観
- 図 3.35 レーザーカッター
- 図 3.36 3D プリンタで出力した模型

- 図 3.37 実物大 3D プリンタで出力されたオブジェ
出展 :D-shape ホームページ [<http://press.d-shape.com/>]
- 図 3.38 ヤマハ発動機大型 4 軸 CNC 機
- 図 3.39 産業用ロボットアーム KUKA
- 図 3.40 模型の 3D スキャン
出展 :gehry talks
- 図 3.41 うねリング
- 図 3.42 レーザーカッターを用いた詳細なスタディ模型
- 図 3.43 Digital Woods
出展 :慶應技術大学池田靖史研究室 [<http://ikedalab.sfc.keio.ac.jp/>]
- 図 3.44 三次元スキャナで取得した金沢の街並み
出展 :文献 34 図 14 より引用
- 図 3.45 ホキ美術館の設計における環境シミュレーションの連動
出展 :日建設計 ホームページ [www.nikken.co.jp/ja/archives/ndvukb0000003e9c.html]
- 図 3.46 SimTread
出展 :A&A [<http://www.aanda.co.jp/>]
- 図 3.47 visualization human behavior
出展 :文献 37 より引用
- 図 3.48 豊橋技術科学大学 CAVE
- 図 3.49 AR タグを使ったスタディ
出展 :文献 38 図 7 より引用
- 図 3.50 IKEA AR カタログ
出展 :newcreatives [<http://newcreatives.com/?userID=1242735295>]
- 図 3.51 最終成果物
- 図 3.52 風の流れを解析し得てデザインへ応用
- 図 3.53 全て異なる形をした部材
- 図 3.54 ファブリケーションの様子
- 図 4.1 居住 2 年後の家具配置と移動領域
出展 :文献 17 p195 より引用
- 図 4.2 GPS の概念図
出展 :日本航海学会 GPS/GNSS 研究会 ホームページ [<http://gnss.j-navigation.org/gnss.html>]
- 図 4.3 HITACHI が開発した極小 RFID
出展 :HITACHI ホームページ [www.hitachi.com/New/cnews/030902.html]
- 図 4.4 床面に敷設された読み取り機とスリッパ型 RFID
出展 :http://youtu.be/iPBfMWC_Mt4 よりキャプチャ
- 図 4.5 日常生活における人間行動観察のための日常生活環境センサ化技術
出展 :産業総合研究所 [<http://www.dh.aist.go.jp/jp/research/function/Ultrasonic3DTag/>]
- 図 4.8 測位精度と範囲による位置測位手法の比較
- 図 4.6 腕に付けられたマーカ
- 図 4.7 ロボットを用いた人追従
出展 :マイナビニューステクノロジー [http://news.mynavi.jp/series/mw_casestudy/007/]
- 図 4.9 グリッド上に多数設置された超音波センサの例
出展 :産業技術総合研究所 デジタルヒューマン工学研究センター [<http://www.dh.aist.go.jp/jp/>]
- 図 4.10 実験空間の平面図とセンサの配置可能位置
- 図 4.11 実験空間の長手方向の断面図
- 図 4.12 実験空間の様子
- 図 4.14 天井にセンサを配置した様子
- 図 4.13 実験に用いた超音波センサ
- 図 4.15 システムの概念図
- 図 4.16 実験に用いたタグ
- 図 4.17 検討されたレイアウトの一部
- 図 4.18 6 通りのリーダーレイアウトと各リーダーの座標値
- 図 4.19 タグを設置する測位点 155 か所
- 図 4.20 床面へのタグの設置と超音波発信部の位置関係
- 図 4.21 L1 - L6 の各測位点における測位回数の集計結果
- 図 4.22 L1 - L6 の各測位点における測位精度の集計結果
- 図 4.23 L1 - L6 の各レイアウトにおける 1000mm 区間ごとの平均測位回数
- 図 4.24 全レイアウトの 1-5 行における各行別の平均測位回数
- 図 4.25 測位回数への影響の考察
- 図 4.26 L1 - L6 の各レイアウトにおける 1000mm 区間ごとの平均測位精度
- 図 4.27 全レイアウトの 1-5 行における各行別の平均測位精度
- 図 4.28 取付け範囲と発信部
- 図 4.29 L5 における精度の違い
- 図 4.30 5 行目における反射
- 図 4.31 ソニー大崎ランドスケープデザイン
出展 :Ans Studio ホームページ [<http://www.ans-studio.com/>]

- 図 4.32 Neuro Fabrics
- 図 5.1 三次元スキャナを用いて建築形状を取得した例
出展:FARO
- 図 5.3 Kinetic Architecture の一例 (Medina Haram Piazza Shading Umbrellas)
出展:Premier Composite Technologies : <http://www.pct.ae/>
- 図 5.2 Kinect を用いたヘルスケアの一例
出展:Microsoft [<http://blogs.msdn.com/b/kinectforwindows/archive/2014/12/04/intel-ge-care-innovations-uses-kinect-solution-to-help-elderly-patients.aspx>]
- 図 5.4 三次元スキャナで取得した金沢の街並み
出展:文献 3 図 14 より引用
- 図 5.5 動的な物体が存在した場合とスキャンによって生じる死角
- 図 5.6 Quadro Copter に搭載された RGB-D カメラでスキャンされた建物
出展:Robust Robotics Group | CSAIL
- 図 5.7 身体動作を用いた健康管理
出展:任天堂 ホームページ
- 図 5.8 身体動作を検出している様子
出展:Microsoft ホームページ
- 図 5.9 フェイストラッキングのためのカメラ
出展:プレイステーション ホームページ
- 図 5.10 空間形状の取得 -IllumiRoom
出展:Microsoft Reserch ホームページ
- 図 5.11 空間形状に合わせたゲームコンテンツ -RoomAlive
出展:Microsoft Reserch ホームページ
- 図 5.12 人間の動作を居住空間に活用しようとした例
出展:文献 11
- 図 5.13 人間の動作に反応する風船
出展:文献 12
- 図 5.14 Greg Lynn - Animate Form
- 図 5.15 Xtion Pro Live
出展:Asus ホームページ
- 図 5.16 グリッド分割による環境地図の構築
出展:文献 16 図 3 および図 6 より引用
- 図 5.18 実験の概要図
- 図 5.17 平面に対する誤差を計測している様子
- 図 5.19 計測された生データに生じる誤差
- 図 5.20 Alex らによる生データの誤差とキャリブレーション後のデータ
出展:参考文献 20 より引用
- 図 5.21 回転するサーボモータに固定された Xtion
- 図 5.22 3DCAD ソフト上でリアルタイムに表示された部屋の形状の点群情報
- 図 5.24 実験に使用した部屋の各種図面
- 図 5.23 実験環境と中央に置かれた 360°回転する Xtion
- 図 5.25 高さ 500mm 地点における点群取得結果
- 図 5.26 高さ 1500mm 地点における点群取得結果
- 図 5.27 協働のイメージ図
- 図 5.31 異なる分野の学生による打ち合わせ
- 図 5.28 佐郷らによる二輪ビークルの制御技術
出展:豊橋技術科学大学 システム制御研究室
- 図 5.29 吉田らによるベルソナ型ロボット
出展:豊橋技術科学大学 岡田研究室
- 図 5.30 小林らによる情報通信技術を用いた照明の制御
出展:豊橋技術科学大学 栗山研究室
- 図 5.32 初期のデザインアイデア 12 案
- 図 5.33 初期案のプロトタイプモデル
- 図 5.34 最終案と各要素技術
- 図 5.35 製作のフロー
- 図 5.37 人間とのインタラクション
- 図 5.36 人間の動作を促すロボットの表情のデザイン
- 図 5.39 ロボット内で実行されている見る各プログラム
- 図 5.38 ロボットに搭載された Xtion
- 図 5.40 Xtion による人間追従
- 図 5.41 ZPS による人間追従
- 図 5.43 手を振る動作の取得と機器の操作
- 図 5.42 ロボット内で実行されている各プログラム
- 図 5.44 ロボットが人間の動作を取得している様子
- 図 5.45 提案するシステムの全体像
- 図 6.1 人間・建築・ロボットが共存する空間のイメージ図
出展:人間ロボット共生リサーチセンタ

- 図 6.2 Google Earth を用いた台風被害情報共有システムの例
出展 : 渡邊英徳研究室×ネットワークデザインスタジオ
- 図 6.3 WebGL を用いて表示された都市の三次元モデル
出展 : Google Maps
- 図 6.5 実験空間の写真
- 図 6.6 実験空間のアイソメ図
- 図 6.4 OA Wall
- 図 6.7 情報共有システムの概要図
- 図 6.9 Google Map を用いた情報共有システムの概要図
- 図 6.8 Google Map の屋内地図
- 図 6.10 Google Map を用いた情報共有システムの利用手順
- 図 6.11 Google Map を用いた情報共有システムの概要図
- 図 6.12 Google Map と WebGL を用いた仮想空間の表示システム
- 図 6.13 実空間と仮想空間を連動するシステムの概念図
- 図 6.14 携帯電話で NFC の情報を読み書きしている様子
- 図 6.15 空間の状況を示した NFC のカード
- 図 6.16 NFC を用いた実空間と仮想空間の連動実験の様子
- 図 7.1 人間の歩行動作から生成した壁面
- 図 7.2 従来の設計手法と本研究で提案する設計手法の比較
- 図 7.3 Kinect
出展 : <http://blogs.msdn.com>
- 図 7.4 Foam: Motion Becoming Space
出展 : <https://www.youtube.com/watch?v=w7vWCqKexik> よりキャプチャ
- 図 7.5 BODY|FORM|SPACE
出展 : 文献 18
- 図 7.6 Music Dance and Architecture
出展 : 文献 19
- 図 7.7 Sketch Furniture
出展 : frontdesign ホームページ
- 図 7.10 身体に取り付ける反射マーカー
- 図 7.8 キャプチャスペースの概要
- 図 7.9 光学式カメラ
- 図 7.11 動作から抽出した線
- 図 7.13 動作から生成した基本となるサーフェイス
- 図 7.14 動作から生成した基本となるサーフェイス
- 図 7.12 動作イメージ
- 図 7.15 3D プリント模型
- 図 7.17 IGES から CNC コードへ変換しシミュレーションしている様子
- 図 7.19 最終成果物
- 図 7.16 ダンボールを用いて製作されたモックアップ
- 図 7.18 切削作業の様子
- 図 7.20 印象評価に用いる 5 つの CG と 3D プリント模型
- 図 7.21 1/12 のミニチュアモデルと並べたときの様子
- 図 7.23 手元の 3D プリント模型を用いてスタディモデルの印象評価アンケートに回答する様子
- 図 7.22 印象評価に用いる 5 つの CG と 3D プリント模型
- 図 7.24 PC 画面上の CG モデルを用いてスタディモデルの印象評価アンケートに回答する様子
- 図 7.25 タブレット端末を用いて実寸大モデルの印象評価アンケートに回答する様子
- 図 7.26 アンケート用紙を用いて実寸大モデルの印象評価アンケートに回答する様子
- 図 7.27 アンケートの結果
- 図 7.28 実寸大モデルとの差異を形容詞対ごとに集計した結果
- 図 7.29 モデル別の実寸大と各モデルの差異を集計した結果
- 図 8.1 時代別の技術が与える影響
- 図 8.2 技術の進歩と各分野の関連性
- 図 8.3 ソニー大崎ランドスケープデザイン
出展 : Ans Studio ホームページ [<http://www.ans-studio.com/>]
- 図 8.4 中銀カプセルタワービル
- 図 8.5 R.D.Watts のプロセス
- 図 8.6 空間の更新による質の向上
- 図 8.7 Neuro Fabrics
- 図 8.8 新たな職能の必要性

謝辞

本研究をまとめるにあたり、ご指導ご協力いただいた皆様を挙げ謝辞としたいと思います。

本研究の主査であり、長く研究室でご指導いただいた松島史朗教授には、本研究を行うにいたるまでの知識・経験・動機を与えて頂きました。また、私が未熟ゆえに、時には隣で徹夜しながらご指導頂くこともあり、先生には大変な苦勞をおかけしたと存じ上げます。松島先生には、研究のみならず大学院の期間すべての面において熱心にご指導いただき、感謝し切れません。

副査を努めて頂いた松本博先生は、建築環境工学の専門家でありながら、他分野であろう本研究の審査を引き受けていただきました。感謝すると共に、本研究が志向した異分野との協働という面において大きな後押しを頂いたように思います。

同じく垣野義典先生には、博士課程の間、授業のT Aを担当させて頂き、研究者としての世の中への眼差しを学ばせて頂きました。また、論文執筆中も幾度と無く相談を引き受けて下さり、異なる研究室ながらも、指導教員のように熱心に接して頂き、感謝しております。

本研究を遂行するにあたり、アンズスタジオの竹中司氏、岡部文氏には、技術的なでの多大な支援を賜りました。今思い返せば、初めてプレゼンテーションを拝見した時に博士課程への進学を考えるきっかけを頂いたように思います。修士、博士課程在籍期間は大変貴重な経験・体験ができ、今後の人生においても宝物になると確信しています。

渋谷達郎先生には、建築に対する真摯な姿勢に尊敬の念を抱き、膝を付き合わせるとおっしゃられていた通り、私のような一学生に対しても同様でした。渋谷先生の言葉は、いつも私に気づきを与えてくれるもので、先生がいなければ、技術に偏重し、本質的に重要なものをを見失っていたかもしれません。

水谷晃啓先生には着任早々から論文のアドバイスを頂き、短い期間ながら最後の一步を踏み出すための大きな後押しを頂いたように感じます。

人間ロボット共生リサーチセンターの皆様、特に佐郷氏、吉田氏、小林氏学生メンバーの皆様、アドバイザーとしてご指導を引き受けて頂いた三枝亮先生には、ロボットの制作において多大なご協力を頂き、誠に感謝しております。

また、大学院に進学する以前にご指導頂いた呉高専の先生には大学進学後もお世話になることが多く、高専時代の先生方の熱心な指導が大学院での研究に多いに活かしたことを感謝の意と共にここに記したいと思います。特に高専時代の恩師である篠部裕先生と間瀬実郎先生の指導は研究を行うにあたり大きな財産でした。高専時代、篠部先生の指導のお陰で文章を書くのが苦ではなく、大学院でも継続して論理的に整理する重要性を感じることができました。また、新しいアイデアに挑戦し、モノを創ることにこだわり続けられたのは間瀬実郎先生の影響に違いないと思います。

研究室の先輩、同級生、後輩には本研究に多大なご協力を頂いた。特に博士課程に進学した堀田・石川の両先輩の足跡は大きく、同級生の武井・寺井君とはお互いに研究を支援できる仲であり、後輩の皆がいなければ本研究は成り立たなかったことと思います。改めてここに感謝の意を記します。

最後に大学院博士課程まで温かく支援してくれた家族、特に、何事においても私の選択を尊重し、信頼し、温かく見守り、常に支援してくれていた両親には最大限の感謝の意を表したいと思います。

2015年 3月

岩田 翔士

