

博士学位論文

# 3D把持体データからの把持特徴抽出と その実製品への応用に関する研究

Features Extraction from 3D Grip Form Data and its Application  
to Actual Products Considering Comfortable Gripping

高橋和良

# 目次

第1章	はじめに	1
1.1	研究の背景	1
1.2	ユニバーサルデザインに関する研究の動向	2
1.3	研究の目的と本論文の構成	3
第2章	個人の把持形状を反映した「我杯」とその製造工程	5
2.1	はじめに	5
2.2	印象材を用いた各ユーザの把持形状のかたどり	7
2.3	把持形状の3Dポリゴンデータ化	9
2.4	ポリゴンデータの修正と切削用データの生成	11
2.5	3Dプロッタを用いた切削と仕上げ	13
2.6	完成した我杯に対する意見と蓄積された握り型の傾向	13
2.7	おわりに	16
第3章	3D把持体データからの把持特徴の抽出とその傾向分析	18
3.1	はじめに	18
3.2	座標変換を用いた把持体データの二次元化	18
3.3	凹形状を利用した各指の領域特定と特徴量の抽出	23
3.4	抽出された特徴量とその傾向	25
3.4.1	各指の把持力の割合	25
3.4.2	各節の方向の分布	26
3.4.3	指間の距離と各指の把持力の関係	30
3.5	おわりに	31



<b>第4章 把持特徴の一般向け製品への応用</b>	<b>32</b>
4.1 はじめに . . . . .	32
4.2 スマートフォン開発に関する動向と近年の課題 . . . . .	32
4.3 「握りやすさ」に関する再考察 . . . . .	35
4.4 感性工学に基づいたケースの形状設計 . . . . .	38
4.4.1 基本デザインの決定と厚板に関する検討 . . . . .	39
4.4.2 形状のデザインに関する検討 . . . . .	42
4.5 切削ミルと切削システムの開発 . . . . .	46
4.6 筋電計を用いた「握りやすさ」の評価 . . . . .	50
4.6.1 概要 . . . . .	50
4.6.2 実験結果と考察 . . . . .	50
4.7 製品のリリースと市場での評価 . . . . .	58
4.8 おわりに . . . . .	60
<b>第5章 被災地・過疎地における地域ブランドの創出にむけて</b>	<b>61</b>
5.1 はじめに . . . . .	61
5.2 被災地を取り巻く経済状況と地域ブランド創出の必要性 . . . . .	62
5.3 ICT を活用した複数の研究機関との産学連携 . . . . .	64
5.4 産学連携による得られた経済効果 . . . . .	66
5.5 考察 . . . . .	67
5.6 被災地・過疎地における産学連携の重要性 . . . . .	68
5.7 おわりに . . . . .	70
<b>第6章 おわりに</b>	<b>71</b>
6.1 本論文のまとめ . . . . .	71
6.2 今後の課題 . . . . .	72
<b>謝辞</b>	<b>73</b>
<b>発表論文リスト</b>	<b>80</b>

# 目 次

2.1	かたどりに用いる木地と印象材を巻き付けた様子 . . . . .	7
2.2	実際のかたどりの様子 . . . . .	8
2.3	3D スキャナによる把持体のスキャニングの様子 . . . . .	9
2.4	3D データ化された把持体の一例 . . . . .	10
2.5	3D ソフトウェアを用いた 3D データの編集作業 . . . . .	12
2.6	切削用の CAM データの作成作業 . . . . .	12
2.7	3 次元プロッタを用いた木地の切削の様子 . . . . .	14
2.8	仕上げ工程と完成した我杯 . . . . .	14
2.9	製造過程により得られた 3D 把持体データの一例とその特徴 . . . . .	17
3.1	STL 形式のデータ構造 . . . . .	19
3.2	三次元ポリゴンデータのワイヤーモデル表示例 . . . . .	19
3.3	印象材の変形度合を表す深度評価値 $TD(\theta, z)$ . . . . .	20
3.4	3 次元把持体モデルの展開 . . . . .	21
3.5	ポリゴンの追加検出検出方法の概要 . . . . .	22
3.6	得られた深度マップの画像の一例 . . . . .	23
3.7	把持領域の指節ごとの楕円近似 . . . . .	24
3.8	各指の把持力の割合 . . . . .	26
3.9	各指における各節の向きの算出 . . . . .	27
3.10	可視化された各指の形状ベクトル (3D 表示) . . . . .	28
3.11	可視化された各指の形状ベクトル ( $r - \theta$ 平面投影) . . . . .	28
3.12	可視化された各指の形状ベクトル ( $r - z$ 平面投影) . . . . .	29
3.13	指間の距離と各指の把持力の関係 . . . . .	30

4.1	モバイルからのインターネット利用時間（文献 [31] より引用）	33
4.2	文献 [31] より引用	34
4.3	試作したケースの一例	36
4.4	各指の末節領域と深度が大きい部分（赤，緑部）	37
4.5	三重大学・武蔵の美術大学との産学連携の流れ	39
4.6	スマートフォンケースの基本デザイン	41
4.7	切削された基本デザインと板厚の検討	41
4.8	ザグリの形状の例	42
4.9	ザグリ形状を用いたスマートフォンケースの形状設計	43
4.10	完成した切削用 3D データ	45
4.11	切削のために開発したミル	47
4.12	切削システムを用いた木地の切削	48
4.13	完成したスマートフォンケースの外観	49
4.14	筋電計測によるユーザビリティの評価	52
4.15	得られた筋電図の一例（ユーザ 1）	54
4.16	得られた筋電図の一例（ユーザ 2）	55
4.17	得られた筋電図の一例（ユーザ 3）	56
4.18	得られた筋電図の一例（ユーザ 4）	57
4.19	大手通販サイトによる製品の販売	58
4.20	東京ミッドタウン・ラウンジでの発表会の様子	59
5.1	震災以前の水準以上に雇用・売り上げが回復した企業の割合	63
5.2	震災前後における人口減少率	63
5.3	Face Time を用いた切削現場と本社事務所との連携の様子	65
5.4	新しい就労形態の採用と従業員の雇用	67
5.5	被災地企業における課題（文献 [45] より）	69

# 表 目 次

3.1 各指の各節における形状ベクトルの分散 . . . . .	29
4.1 深度が大きかった領域における平均サイズと標準偏差 . . . . .	37
4.2 実験装置の概要 . . . . .	51

# 第1章 はじめに

## 1.1 研究の背景

近年、ユニバーサルデザインに関する研究，ならびにユニバーサルデザインを意識した製品の開発が盛んに行われている [1, 2, 3, 4]．一方，筆者が経営する株式会社バンザイ・ファクトリーでは，一人一人の手の握り型を彫り上げたオーダーメイド型コップ「我杯（わがはい）」を記念品として，受注・製造している [5]．我杯は各ユーザの手の握り方を採取し，精密に再現して木製のコップに彫り上げているゆえ，手に程よくフィットして使い心地もよいとユーザから評価されている．

一方，ユニバーサルデザインについては，その原則が提案されている [6]．ユニバーサルデザインとは年齢や性別，障害の有無に関わらず利用することができるような製品を設計（デザイン）することであり，1980 年代に Ronald L. Mace によってそのコンセプト（7 原則）が提唱された [6]．この原則は「できるだけ多くの人利用可能であるようなデザインにすること」が基本コンセプトとなっており，現在，多くの製品の製造や設計において，この原則が採用されている．しかしながら，Mace によって提唱された 7 原則は

1. Equitable Use（公平な利用）
2. Flexibility in Use（利用における柔軟性）
3. Simple and Intuitive Use（単純で直感的な利用）
4. Perceptible Information（認知できる情報）
5. Tolerance for Error（失敗に対する寛大さ）
6. Low Physical Effort（少ない身体的な努力）

## 7. Size and Space for Approach and Use（接近や利用のためのサイズと空間）

であり、全ての原則が直感的あるいは感覚的な表現により規定されている。すなわち、これらの原則について数値的な基準は存在しないと言うことができよう。何らかの工業製品を製造する場合、例えばコップのような把持物に対してユニバーサルデザインの原則を適用する場合、上述の6ならびに7が特に重要であると考えられるが、それらに対する数値的な指針やその算出方法、基準値については十分な研究がなされていないのが現状である。

## 1.2 ユニバーサルデザインに関する研究の動向

ユニバーサルデザインに関する研究や製品開発については、主に企業を中心として盛んに進められており、その内容は多岐にわたる。例えば文献 [7] では、パソコンを操作するためのユニバーサルデザインマウスを試作し、そのユーザビリティに関する評価を行っている。また、文具・オフィス用品メーカーではユニバーサルデザインを意識した文房具の開発が進められている。例えば、文具メーカーとして有名なコクヨ株式会社ではユニバーサルデザインを取り入れたハサミやステープラ、椅子を生産している。またさらに、ユニバーサルデザインを多くの人に知ってもらうために、子供を含めたユーザに対する教育も積極的に実施している [8]。

一方、食品関連の分野では、要介護者でも持ちやすくかつ飲みやすい乳製品用のカップを独自に設計・開発し、世界包装機構主催のコンテストにおいて 2016 World Star Award を受賞している [9]。また、チューブバターの容器をユニバーサルデザインに配慮した形状に改良するなど、様々な試みも報告されている [10]。

出版や照明、色彩といった分野においては「カラーユニバーサルデザイン」という概念が導入され、視覚障害を持つユーザでも判読できるような印刷物について、活発な議論が進められている [11, 12, 13, 14, 15]。例えば、宮澤らはカラーユニバーサルデザインの支援ツールとして色弱模擬フィルタ「バリエントール」を開発し、そのフィルタ特性について評価している [13]。須長は、色覚バリアフリーデザイン支援教材を開発している [15]。

建築分野においては、公共性の高い建物におけるバリアフリー化が積極的に進められている [16, 17]。例えば、文献 [17] では実際の総合病院の事例について紹介している。文献

では、医療施設におけるユニバーサルデザインは患者のみならず、医療スタッフや障害を持つスタッフ等にも配慮されたデザインが重要になることを指摘している。その他の取り組みとして、岩手県工業技術センターではユニバーサルデザインを考慮した鉄瓶シリーズの開発が行われている [18]。このように、伝統工芸の分野においてもユニバーサルデザインの考え方を取り入れた製品開発が進められている。

以上のように、現在、様々な分野においてユニバーサルデザインの考え方が取り入れられ、多くのユーザにとって使いやすい、すなわちユーザビリティを考慮した製品が多く開発されている。特に、大手企業では自社製品の開発にユニバーサルデザインの考え方を積極的に取り入れるとともに、ユニバーサルデザインの考え方を取り入れたサービスを提供するなど、その形態は多種多様である。しかしながら、現段階では数値的根拠に基づいたデザインの導出に関する研究事例は少ない。また、造形される本体デザインそのものの評価には質的評価や官能評価といったアプローチが用いられることが多く、数値的根拠に基づいたデザインに関するノウハウの共有や把持体の形状デザインに関する形状設計指針を構築することは、今後の形状デザインの分野に大きく貢献できると考えられる。

### 1.3 研究の目的と本論文の構成

本研究では、感覚的ならびに直感的な言葉によってのみ表現された「ユニバーサルデザインの原則」を、数値的に定義することを試みる。本論文では、株式会社バンザイ・ファクトリーが製造している我杯に着目し、我杯を製造する際に用いられる 3D 把持体データから各ユーザの把持に関する特徴を抽出する。さらに、その結果を分析することにより、個人の握り型の特徴や「握りやすさ」に関する特徴を明らかにする。

さらに本研究では、これら得られた研究成果を実製品へ応用する。本論文では、現代社会において最も「握る」時間が多いとされているスマートフォンに注目し、得られた把持に関する特徴を「握りやすい」スマートフォンケースの製造に応用する。ここでは、「握りやすい」という人間の感性をどのように扱うのかという部分について思案するとともに、少ない把持力でもスマートフォンを把持でき本体を落とさない、すなわち落下防止機能を持つスマートフォンケースのデザインについて検討する。さらに、研究成果に基づいてス

スマートフォンケースを試作するとともに、筋電計を用いた評価実験により製品のユーザビリティ（握りやすさ）を評価する。

本研究では、スマートフォンケースを開発するために産学連携による共同研究を進めた。本論文では、筆者が取り組んだ産学連携事例について、その手法や産学連携によって得られた効果についても述べる。またそれとともに、産学連携活動を通じた「被災地域におけるものづくり」への取組みの経緯や、地域ブランドの創出に向けた創意工夫についても議論したい。株式会社バンザイ・ファクトリーは被災地にある地方の中小企業であるが、本研究で推し進めた産学連携プロジェクトは被災地の産学連携モデルに留まらず、地方都市や過疎地域にも当てはまる事例になると考えられる。

以下、本論文の構成について述べる。第2章では、株式会社バンザイ・ファクトリーにて製造・販売されている個人の握り型を反映した木杯「我杯（わがはい）」について、その製造工程の詳細について紹介するとともに、製造の際に得られる3Dポリゴンデータの特徴について概観する。次に、第3章では得られた3Dポリゴンデータから把持に関する特徴量を抽出する方法について述べるとともに、抽出された特徴量について考察する。ここでは、どのような特徴量がユニバーサルデザインの概念を数値的に示すものとして適切であるかを議論するとともに、実製品への応用に有効となる把持特徴量について議論する。第4章では、第3章で議論した把持特徴量を実製品に応用して試作品を製作するとともに、筋電計測を用いてその有効性について検討する。また本研究では、製品を開発するために三重大学や武蔵野美術大学との複合的な産学連携体制を構築し、製品の開発に挑んだ。第5章では、その開発方法についても述べるとともに、被災地・過疎地での中小企業における産学連携の重要性についても言及する。第6章にて本論文をまとめるとともに、今後の課題や当該分野における今後の展望について述べる。



## 第2章 個人の把持形状を反映した「我杯」と その製造工程

本章では、株式会社バンザイ・ファクトリーが製造・販売している「我杯（わがはい）」の製造工程について、その概要を述べるとともに、各工程の詳細を示す。また、同社で蓄積された 3D 把持体データを概観し、これらのデータから把持体におけるユニバーサルデザイン、すなわち「握りやすさ」の概念を数値的に表現できる可能性について議論する。

### 2.1 はじめに

前章でも述べたように、我杯は各ユーザの手の握り型を採取し、その形状を木製コップに彫り上げているため、手に程よくフィットする。このような製品を開発するきっかけは、筆者が前職時代に医療情報システム開発のために全国の大学病院へシステムベンダ各社と共に訪問していた時、「手は第2の脳のようなものである」と言われたことに由来する。一般的に、脳は手を制御するために多くの信号を手に対して送っている。Wilder G. Penfield が考案した大脳皮質と体の部位の感覚の関係を部位の大きさで示したホムンクルス人形からもわかるように、手の部分は運動野のみならず感覚野においても大きな割合を占めており、動きと脳は密接な関係を持っていることがわかる [19]。

また、近年では手指機能と認知症の関係に関する研究も盛んに進められている [20, 21, 22, 23]。例えば文献 [20] では、アルツハイマー型認知症患者の手指機能を簡易上肢機能検査 (Simple Test for Evaluating Hand Function: STEF) [24] の結果から検討することにより、認知症の重症度と手指機能の関連性について議論している。文献では、アルツハイマー型認知症患者群 40 名と非認知症群 (対照群) 20 名を対象に STEF を実施した結果、アルツハイマー型認知症患者の場合は軽度の段階から利き手の巧緻動作の速さが低下するとともに、その際利き手の優位性に低下を生じる可能性があることが示されている。また、

利き手の優位性の低下については、アルツハイマー病の中核症状と相関があることも検証されている。文献 [21] では、アルツハイマー型認知症（Alzheimer's Disease: AD）における上肢運動機能障害の特徴を、Manual Function Test (MFT) を用いて分析している。実験の結果から、AD 患者は対照群と比較して MFT の総点は低下し、その度合いは認知症の進行度や課題の難易度と大きく関連していることが示されている。また尹らは、高齢者における認知機能と身体機能の関連性について検討している。ここでは、認知機能と関連する身体機能は巧緻性、下肢筋力、歩行能力、反応能力であり、それらの中でも巧緻性と反応能力については特に強く関連することが示唆されている [23]。山口は、老年期認知症研究会誌で認知症患者を対象とした脳活性化リハビリテーション方法を紹介している [25]。文献 [25] では、手を使って鳩や狐のジェスチャーを模倣することにより、認知症の進行度を評価する方法を紹介している。このように、手指の運動機能と脳機能、とりわけ認知機能との関係については多くの研究が報告されている。また、日常生活において「物を持ち上げる」あるいは「握手する」といった行為に見られるように、「握る」という動作を伴うシチュエーションは数多く存在する。すなわち、「握ること」はコミュニケーションの手段だけではなく、人間の生活において切り離せない重要な動作であるともいえる。

一方、岩手県には木工や漆器、鉄器をはじめとした伝統産業があるものの、それらの需要は減少し続けており、特に近年においては閉鎖や廃業を強いられる企業も少なくない。上述のように「握る」をテーマに据えたものづくりを IT 技術を活用して製造できないかと思案するうちに、地域資源の活用と伝統産業とのコラボレーション、コンピュータを用いた 3 次元切削技術、伝統工芸の世界を融合させることにより、木材に握り手形を彫り上げた記念品を製造する仕組みを開発するに至った。我杯の製造工程は、大きくわけて (1) かたどり、(2) 把持体の 3D データ化、(3) 切削用データの作成と (4) 仕上げ工程からなる。次節以降では、各工程についてその詳細を述べるとともに、我杯の製造工程により得られた 3D 把持体データから各ユーザの把持の傾向について考察する。

## 2.2 印象材を用いた各ユーザの把持形状のかたどり

我杯の製造において最初にやるべきことは、各ユーザの握り型をかたどることである。ここでは、図 2.1 に示すようなバーベル状の木地に化学粘土とオイル、少量の香料を練り混ぜた特殊な印象材を巻き付けた「象りキット」と呼ばれるものが用いられる。印象材の主成分となる化学粘土は、空気に触れることによりその中に含有されている水分が空気中に飛散し、次第に硬くなっていく。そのため、印象材の硬化時間が象りキットの配送に要する時間と比べて速い場合、象りキットがユーザの手元に届けられる前に硬化が大きく進んでしまう。このような状況が発生すると、ユーザの把持形状を正確に写し取ることが困難になる可能性がある。そのためここでは、化学粘土に独自の割合でオイルを添加することにより、脱水による粘土の硬化スピードをコントロールしている。また化学粘土特有の臭いを消すため、ここでは少量の香料も添加している。



(a) 握り方のかたどりに使用する木地 (b) 木地に印象材を巻き付けた様子

図 2.1: かたどりに用いる木地と印象材を巻き付けた様子

上記のような工夫が施された象りキットがユーザの手元に届くと、ユーザはキットに添付されている説明書を確認しながら、各自の握り型をかたどる（図 2.2）。ここで重要な点は、各ユーザに「自分にとって最も握りやすいよう、自然に握ってください」と伝えていることである。通常、このようなシチュエーションではユーザが握ることに対して過度に意識してしまうため、本来の把持形状が得られない可能性がある。我杯は記念品だけではなく日常生活の中での使用にも耐えるように設計されているため、できるだけ意識しない自然な状態で握り型をかたどったほうがよい。このような観点から、把持形状のかたどりの際にはユーザに上記の内容を必ず伝えるようにしている。

このような状況下においてかたどられた各ユーザの握り型は、株式会社バンザイ・ファクトリーの工房に返送され、次節にて述べる方法により 3 次元ポリゴンデータに変換された後、切削用データに加工される。



図 2.2: 実際のかたどりの様子

## 2.3 把持形状の3D ポリゴンデータ化

前節にて述べた方法で得られた各ユーザの握り型は，株式会社バンザイ・ファクトリーの工房にて3D ポリゴンデータに変換される．ここでは，図 2.3 に示すような Roland 社製の3D レーザスキャナを用いて印象材部分を 0.2mm/ピッチの精度でレーザスキャンすることにより，印象材から3D ポリゴンデータを生成する．このスキャンニング工程では，スキャナ内にある回転台の中心軸と把持体の中心軸を一致させなければならない．ここでは，スキャナの回転台の中心軸と把持体の中心軸を一致させるためのアルミニウム製の治具を独自に製作し，中心軸の位置補償を実現した．これにより，生成されたポリゴンデータの中心軸は3D データの  $x-y-z$  座標系における  $z$  軸と一致する．なお，この一致精度は，レーザスキャナの空間分解能に対して十分に小さくなるように設計されている．

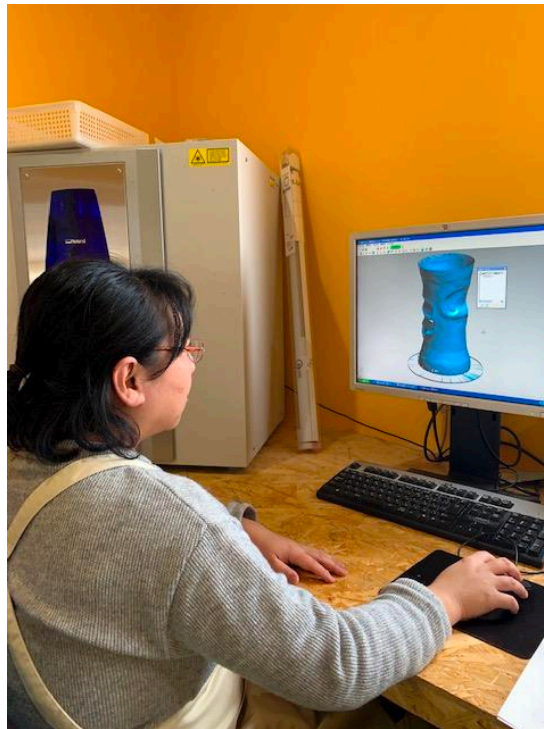


図 2.3: 3D スキャナによる把持体のスキャンニングの様子

図 2.4 に、スキャニング工程により生成された 3D ポリゴンデータの一例を示す。我杯は口径が約 90mm、高さが約 150mm あるため、この物体を 0.2mm/ピッチの精度で 3D データ化すると、その物体のポリゴン数は、把持形状の複雑さにもよるが概ね 150,000～200,000 となる。なお、この工程ではレーザ光を用いて距離を計測しているため、一部の条件下において照射したレーザの反射光が受光器に届かず、計測不能となる場合がある。このようなケースが発生した場合、得られた 3D ポリゴンデータの一部に穴が開いてしまう（図 2.4 において白い点のように見える部分）。このような現象は、三次元計測の分野において「ポリゴン欠け」と呼ばれる。ポリゴン欠けは、切削データの生成に悪影響を与える恐れがあるため、次節にて述べる方法により修正される。なお、ポリゴン欠けの発生確率は極めて低いものの、本研究で用いる 3D 把持体データの場合は測定精度が 0.2mm/ピッチと通常の 3 次元スキャニングと比較して格段に高いため、2mm×2mm で 10 個程度の割合で発生する。

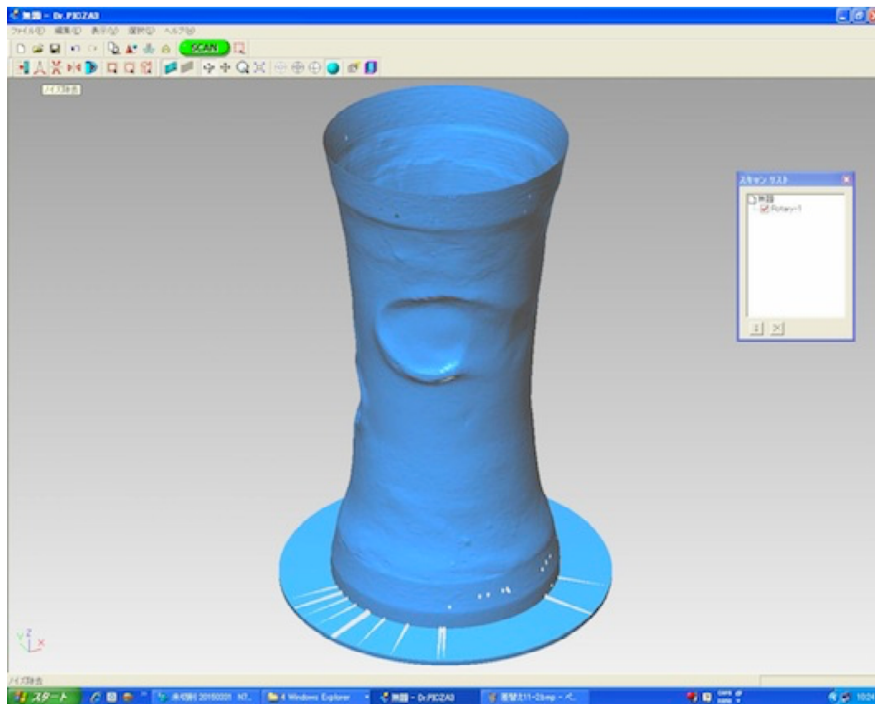


図 2.4: 3D データ化された把持体の一例

## 2.4 ポリゴンデータの修正と切削用データの生成

次に、前節の工程にて得られた 3D 把持体データを用いて切削用の CAM データを生成する。この工程においてまず行われる処理は、ポリゴン欠けの修正処理である。前述したように、3次元計測の際に一定の割合でポリゴン欠けが発生する。切削用データ（NC データ）を作成する際には、中心軸からの把持体表面までの距離、言い換えれば各ポリゴンの重心までの距離が用いられるため、ポリゴン欠けが存在すると、切削用の NC データを作成することができなくなる。そのため、このようなポリゴン欠けは何らかの方法を用いて修正しなければならない。そこで本工程では、当該部分の周囲にあるポリゴンデータを用いた線形補間によりポリゴンが欠落している部分を修復していく（図 2.5）。以前は、3D 把持体データソフトを用いて上述のような修正作業を手作業にて行っていたが、現在は作業者の熟練度が向上したことに加え、スキャン時にポリゴン欠けが発生した場合に欠落部分を自動的に補完するようシステムを改良した。その結果、現在このような作業はほとんど発生せず、スキャンされた把持体データを担当技術者がチェックするのみとなっている。

修正された 3D データは、切削部の円滑化などの処理が施された後、切削用の CAM データの生成に用いられる。図 2.1 から分かるように、我杯の製造において切削する部分は印象材が巻き付けられた部分となるため、この工程では得られた 3D データから印象材が巻き付けられた部分のみ抽出され、CAM データが生成される。3D モデルデータから CAM データへの変換については、市販のソフトウェアを用いて変換される（図 2.6）。



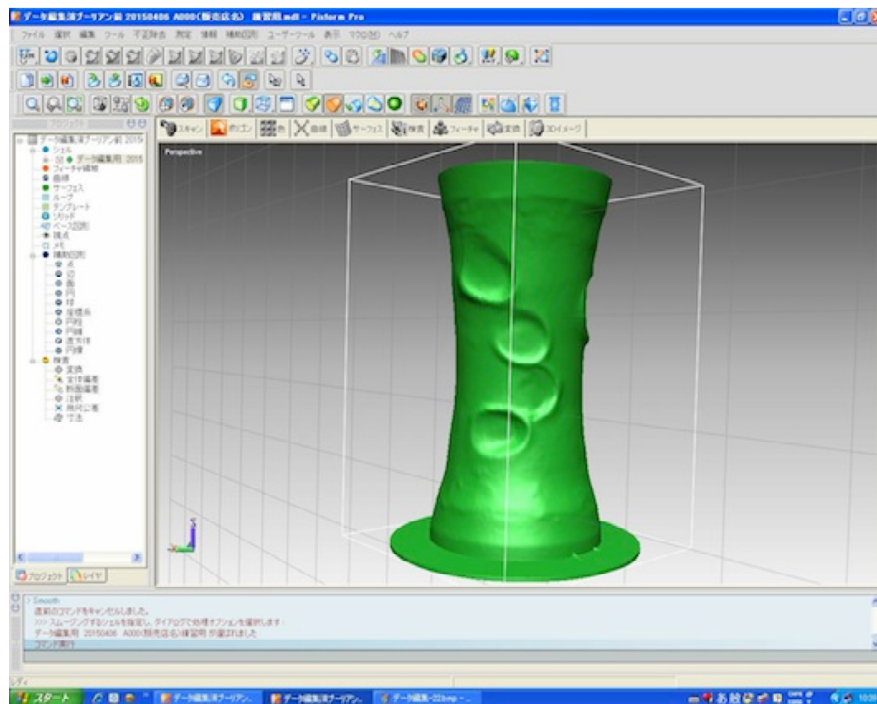


図 2.5: 3D ソフトウェアを用いた 3D データの編集作業

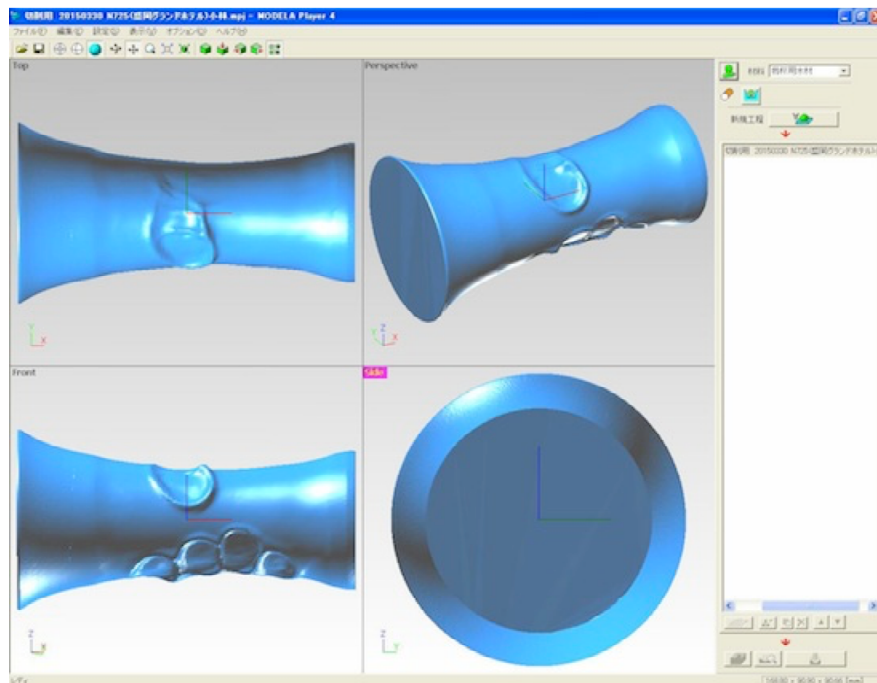


図 2.6: 切削用の CAM データの作成作業



## 2.5 3D プロットを用いた切削と仕上げ

次に、作成された CAM データと 3D プロットを用いて木地を切削し、我杯の形状を削り出す。(図 2.7)。この工程における切削工程は、(1) 荒削りと (2) 仕上げ削りの 2 工程で構成されている。荒削り工程では、木地を把持体の形状に大まかに削り出し、その後に仕上げ削り工程にて細かな部分を削り出す。なお、3D プロットを用いた切削では通常、化学的に合成された切削用素材（ケミカルウッド）や切削用のワックス等が切削対象となるが、本研究で取扱う我杯は木地となるため、特別なノウハウが必要となる。例えば、切削用ワックスやケミカルウッドには木目が存在しないが天然木には木目が存在するため、切削対象の材質は均一でない。また、切削用のミル（木地を削り出す刃がついた回転部分）についても、市販のミルは木材の切削を想定して作成されていない。そのため、市販のミルを切削に用いた場合、被切削体の表面仕上がりが粗くなってしまい、完成時の品質補償が難しくなる。そこでここでは、我杯を切削するための専用の刃をミルを製造する会社と共同で開発した。開発した我杯専用のミルは、ミルが左右に移動する時に切削対象となる木地に鋭角に切り込みながら木地を削り取りつつ、ミル先端に取り付けられている刃の底部分で木地を磨いていくような構造となっている。このような木地切削のための特殊なミルを開発し、木地の表面をなるべく滑らかに切削できるようにミルを制御することにより、三次元プロットを用いた木地の切削を実現している。なお、切削時間は、把持体形状の複雑さや握りの深さにも依存するが、握りの浅いもの（印象材の変化が小さいもの）で 1 本あたり 4 時間程度、握りの深いもの（印象材が大きく変化しているもの）で 1 本あたり 6 時間程度である。以上のような工程を経て切削された我杯の木地は、図 2.8(a) のようにサンディングによる仕上げと漆塗装工程を経て、完成品となる (2.8(b))。

## 2.6 完成した我杯に対する意見と蓄積された握り型の傾向

筆者が経営する株式会社バンザイ・ファクトリーでは、これまでに前述したような工程を用いて我杯を製造してきた。現在、同社には 3,800 例以上の 3D 把持体データが蓄積されている。また、このような製品を販売することがきっかけとなり、把持力の低下した高齢者や脳梗塞等の疾患によって手が不自由となってしまったユーザからの依頼も多く寄せ



図 2.7: 3次元プロッタを用いた木地の切削の様子



(a) サンディングによる仕上げ



(b) 完成した我杯

図 2.8: 仕上げ工程と完成した我杯

られている。特に手が不自由なユーザの場合、我杯を記念品としてではなく日常生活の中で使う食器として活用しているという報告例も多い。あるユーザからの報告によると、把持力が弱く食器を頻繁に落としてしまうため、以前は落下しても壊れにくい素材で作られたコップや器を使用していたが、我杯は手によくフィットするため使い心地が大変良いという。また、別のユーザからは上記の内容に加えて「我杯は究極のユニバーサルデザインの製品ではないか」という意見も寄せられている。

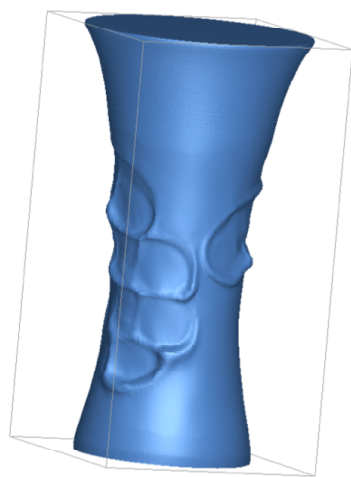
しかしながら、前述したようにユニバーサルデザインは直感的・感覚的な表現のみを用いてその原則が定義されているため、どのような形状が握りやすいかという具体的かつ数値的な指標は存在しない。我杯のユーザも「手にフィットして握りやすい」と答えているものの、これらの意見も各ユーザの感覚的な評価に過ぎず、数値的な根拠は全くない。同社としては、このような一部のユーザーの感覚的な意見と言葉によって製品の利用価値が高まったことは喜ばしいことである反面、「究極」という言葉には違和感を覚える。ユニバーサルデザインの原則について再考するとともに、把持体を対象とした時に「握りやすさ」をどのように数値的、あるいは数理的に定義するかという点については、研究の意義が大いにあると考える。

そこで、本研究では上記の疑問に答えるべく、研究の第一段階としてこれまでに蓄積された3D把持体データを概観するとともに、それらの傾向について簡単に考察した。図2.9に、バンザイ・ファクトリーにて蓄積された3D把持体データのうち、代表的な把持形状の4例を示す。これらのデータはスキャン工程の後、ポリゴン欠けの処理などを施した後のデータである。図からも分かるように、各指の把持動作によって印象材にできる凹みの大きさや深さ、各指の位置やそれらの距離、把持する時の指の形状などにパターンがあることがわかる。印象材は把持の際にその力の方向に凹むため、印象材の凹みやその大きさや深さなどを3D把持体データから抽出して解析すれば、各ユーザがどの方向にどの程度力をかけているのかを間接的に計算することができ、何らかの数値データとして得ることができると考えられる。さらに、得られたデータを解析することにより、把持力の大きさや方向といったものを可視化することもできるであろう。また、「握りやすい」という状況下において得られた3D把持体データであることを勘案すると、このようなデータから把持のパターンやその傾向を明かにするとともに、握りやすさという直感的・感覚的なもの

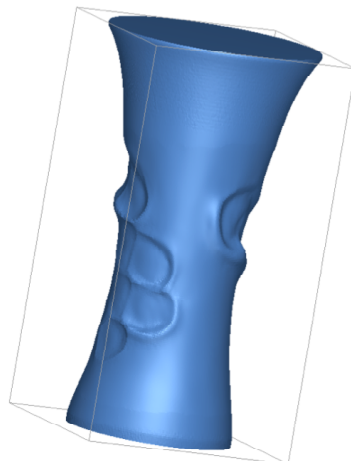
を数値的な指針として導き出せる可能性は高いと考える。

## 2.7 おわりに

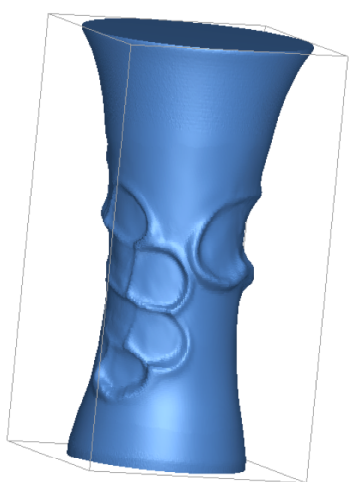
本章では，株式会社バンザイ・ファクトリーにて製造されている木製のカップ「我杯」の製造過程の概要について述べるとともに，各工程の詳細について示した．また，我杯の製作工程において得られる 3D 把持体データから，把持特徴がいくつかのパターンに分類できる可能性についても示した．このような傾向が見られるということは，得られた把持体の 3D ポリゴンデータには把持に関する何らかの情報（把持に関する特徴）が含まれていることが高いと推察される．次章では，これら 3D 把持体データに対して座標変換を用いた方法を適用し，把持による印象材の形状変化を抽出するとともに，その凹凸形状から把持に関する特徴量を取り出すことを試みる．



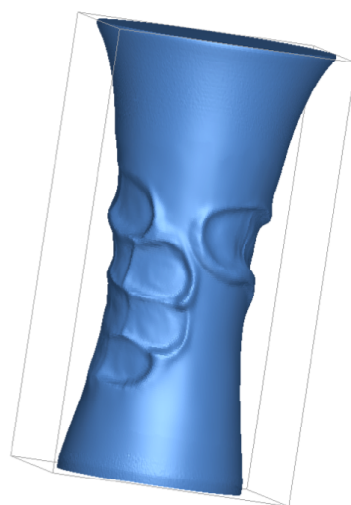
(a) ユーザ A



(b) ユーザ B



(c) ユーザ C



(d) ユーザ D

図 2.9: 製造過程により得られた 3D 把持体データの一例とその特徴

## 第3章 3D 把持体データからの把持特徴の抽出とその傾向分析

### 3.1 はじめに

本章では、我々の 3D 把持体データに対して座標変換を用いた方法を適用し、把持による印象材の形状変化を抽出するとともに、その凹凸形状から把持に関する特徴量を取り出すことを試みる。ここでは、スキャンされた 3D 把持体データが円筒形であることを利用し、3D 把持体データからユーザの把持行為によって生成された印象材の凹凸を画像として表現する。さらにそこから各指の形状、把持力とその方向といった把持に関する特徴について検討する。

### 3.2 座標変換を用いた把持体データの二次元化

本研究で用いる 3D ポリゴンデータのフォーマットは、Standard Triangulated Language (STL) 形式である。STL は、3D Systems Cooperation[26] 社によって提案されたファイル形式であり、現在、数多くの CAD システムや 3D グラフィックスのソフトウェア等で利用されている。図 3.1 に STL 形式のデータ構造のイメージを示す。STL ファイルには三次元モデルを構成する各ポリゴン（三角形）の三頂点の  $x$ ,  $y$ ,  $z$  座標の値とそれに対する法線ベクトルの  $x$ ,  $y$ ,  $z$  成分がテキスト形式で格納されている（図 3.2）。ここでは、このような STL データから各指の領域を抽出し、把持に関する特徴を取り出さなければならない。しかしながら、上述したように STL データは各ポリゴンを構成する頂点の座標と法線ベクトルの値のみをデータとして保持しているため、STL データを直接解析しても各ポリゴンの位置関係などの情報は得ることができない。

そこで本研究では、座標変換の考え方を利用し、把持によってできる印象材の凹みの強

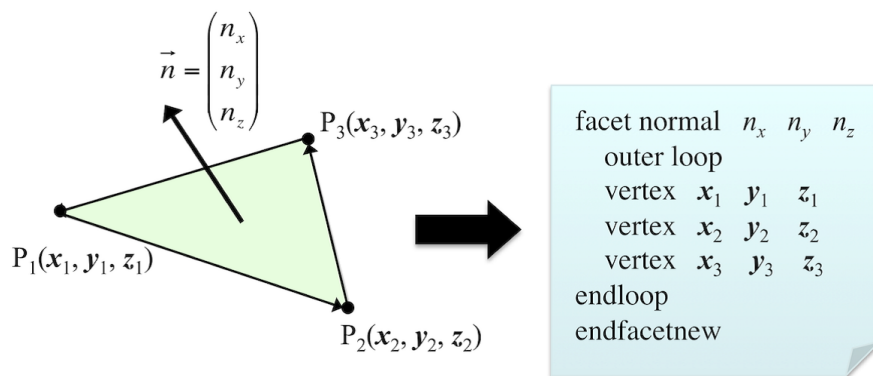


図 3.1: STL 形式のデータ構造

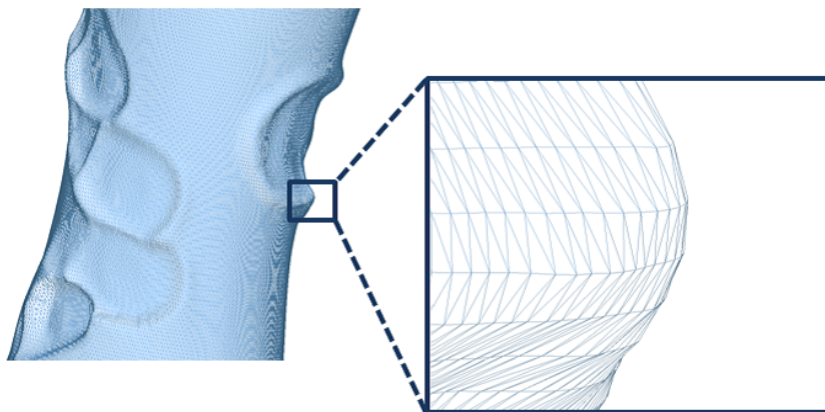


図 3.2: 三次元ポリゴンデータのワイヤーモデル表示例

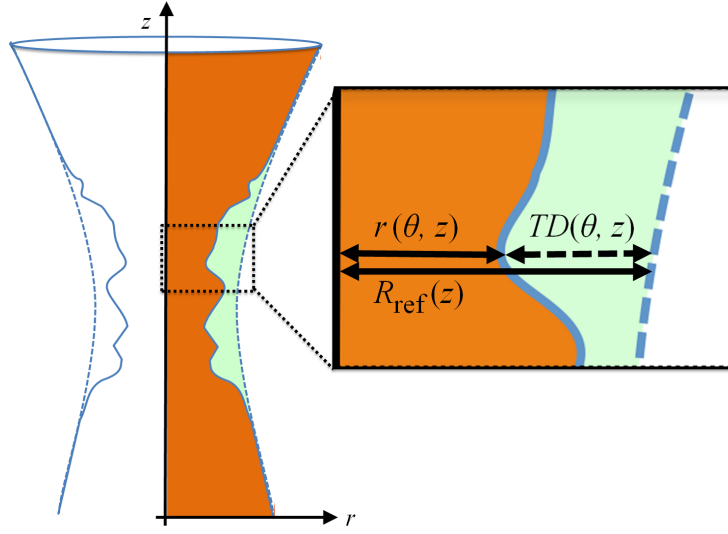


図 3.3: 印象材の変形度合を表す深度評価値  $TD(\theta, z)$

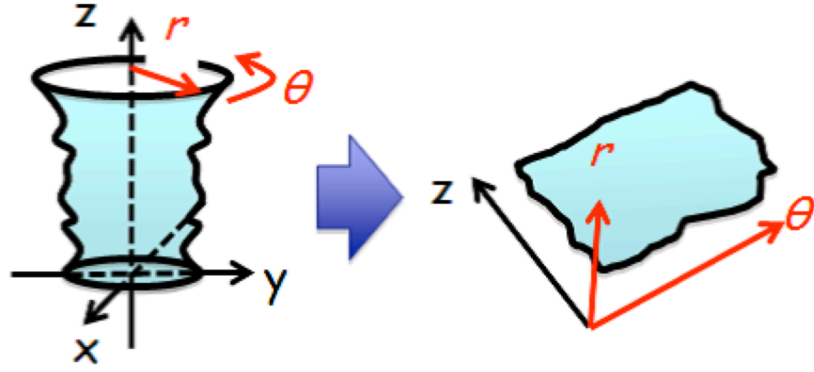
さ（本論文ではこのことを深度と呼ぶ）を反映する2次元マップ，すなわち画像を作成することとした．具体的にはまず，入力された3Dポリゴンデータの座標情報  $x, y, z$  を円筒座標  $r, \theta$  に変換する．次に，印象材に握り型がかたどられていない領域の形状に対して重回帰分析を適用することにより，握り型をかたどる前の印象材側面の近似式  $R_{ref}(z)$  を推定する．そして，握り型をかたどった後の印象材側面との差を求めることにより，最終的に印象材が変形した程度を示す深度値  $TD$  を (3.1) 式を用いて算出する（図 3.3）．

$$TD(\theta, z) = R_{ref}(z) - r(\theta, z) \quad (3.1)$$

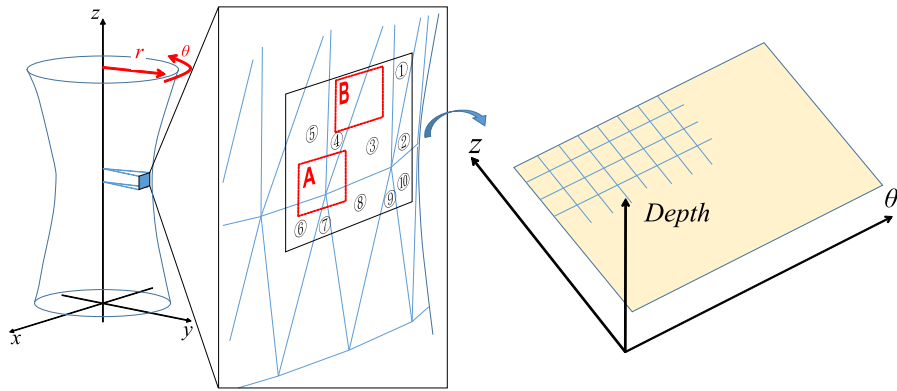
上式において， $R_{ref}(z)$  は高さ  $z$  におけるかたどりの印象材の半径（すなわち  $z$  軸から印象材表面までの距離）， $r(\theta, z)$  は  $z$  軸から点  $(\theta, z)$  上のポリゴンまでの距離である．

次に，得られた深度値を用いてモデル側面を2次元平面に展開する．図 3.4 に側面展開のイメージ図を示す．図 3.4(a) の  $r$  はポリゴン面と中心軸  $z$  間の距離を， $\theta$  はポリゴン面と中心軸  $z$  を結ぶ線分と  $x$  軸がなす角度を示している．本論文では，3D 把持体のポリゴン面を  $z$  軸， $\theta$  軸方向にそれぞれ  $dz, d\theta$  の長さで定義される小領域に分割し，その領域内に含まれるポリゴンの深度値の平均値  $\overline{TD}$  を小領域ごとに求める．そして，算出した深度値の平均  $\overline{TD}$  を各小領域の深度値として256段階の輝度値に変換し，小領域の画素データとして画像化する．この方法では，ポリゴンの3頂点や重心の座標値を用いてポリゴンが





(a) 3次元把持体モデルの展開イメージ



(b) 小領域におけるポリゴン検出と画素データの算出

図 3.4: 3次元把持体モデルの展開

各小領域内に含まれているかを判定しているが、各ポリゴンの頂点や重心が領域範囲内に含まれない場合、データが欠損してしまう可能性がある。例えば図 3.4(b) の領域 A の場合では、6つのポリゴンの頂点が含まれているため、それらの情報を用いることによりポリゴンを検出することができるが、領域 B のように頂点や重心が領域範囲内に含まれない場合、小領域内にポリゴンが存在しているにも関わらず対象となるポリゴンを検出することができない。そこで本研究では、以下方法を用いてポリゴンの追加検出を行う。

図 3.5 に、本研究で用いたポリゴンの追加検出法のイメージ図を示す。図中の任意の点  $\mathbf{p} = (x \ y \ z)^T$  は、点  $\mathbf{s} = (0 \ 0 \ z_1)^T$  を通り方向ベクトル  $\mathbf{d} = (\cos \theta \ \sin \theta \ 0)^T$  で表される直

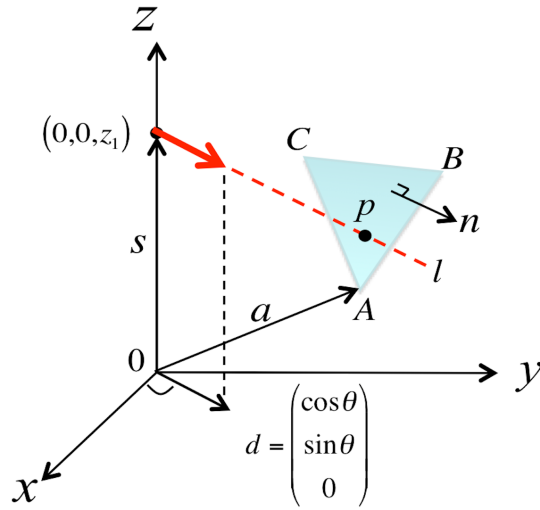


図 3.5: ポリゴンの追加検出検出方法の概要

線  $l$  上にあるため、以下の式のように書くことができる。

$$\mathbf{p} = \mathbf{s} + t\mathbf{d} = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ z_1 \end{pmatrix} + t \begin{pmatrix} \cos\theta \\ \sin\theta \\ 0 \end{pmatrix} \quad (3.2)$$

よって、点  $p$  が三角形ポリゴンによって構成される平面  $ABC$  と交差するとき、交差点のパラメータ  $t$  は

$$t = \frac{\mathbf{n} \cdot \mathbf{d}}{(\mathbf{a} - \mathbf{s}) \cdot \mathbf{n}} \quad (t > 0) \quad (3.3)$$

となる。上式において、 $\mathbf{a}$ ,  $\mathbf{b}$ ,  $\mathbf{c}$  はポリゴンの頂点の位置ベクトル、 $\mathbf{n}$  は平面  $ABC$  の法線ベクトルである。このとき、外積  $(\mathbf{p} - \mathbf{a}) \times (\mathbf{b} - \mathbf{a})$ ,  $(\mathbf{p} - \mathbf{b}) \times (\mathbf{c} - \mathbf{b})$ ,  $(\mathbf{p} - \mathbf{c}) \times (\mathbf{a} - \mathbf{c})$  を求め、この外積により算出された各ベクトルと法線ベクトル  $\mathbf{n}$  の向きを比較し、算出された各ベクトルとポリゴンの法線ベクトルの向きが同じになれば、交差点がポリゴン面内にあると判定する。このように各小領域の範囲に直線  $l$  を指定し、全てのポリゴンを対象に上述の方法を適用することにより、各小領域内のポリゴンを得る。

図 3.6 に、上記の方法を用いて得られた深度を表すマップの画像（以下、深度マップ画像と呼ぶ）の一例を示す。展開画像の縦軸と横軸はそれぞれ 3 次元ポリゴンデータの円柱座標系  $z$  軸,  $\theta$  軸に対応している。図からもわかるように、展開画像は把持体側面の凹凸形状を濃淡で表現しており、側面にかたどられた把持形状を容易に確認することができる。

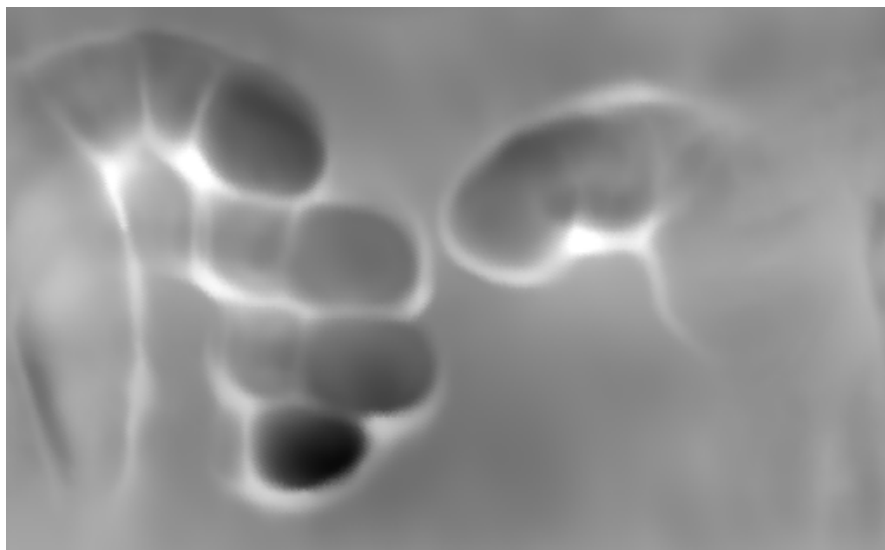


図 3.6: 得られた深度マップの画像の一例

### 3.3 凹形状を利用した各指の領域特定と特徴量の抽出

次に、展開された深度マップ画像から各ユーザの把持に関する特徴量を抽出する。ここではまず、前処理として展開した把持体側面の2次元画像から把持領域を決定する。そのためにまず、前節にて得られた深度マップ画像から各指の末節部（指先から第1関節の部分）、中節部（第1関節から第2関節までの部分）ならびに基節部（第2関節から指元の関節部分）を抽出する。一方、各節部分の抽出方法については、これまでに自動抽出法を含めた様々な方法について研究が進められてきた [27, 28, 29]。しかしながら、自動抽出のアプローチを用いた手法の場合、一部の深度が浅い指については適切に各節を抽出できず、それらの部分については手作業により修正する必要があった。そのためここでは、文献 [30] のように、各指の指節部（末節部：指先～第1関節，中節部：第1関節～第2関節，基節部：第2関節～指元の関節）をそれぞれ楕円オブジェクトを用いて近似するシステム

を構築し、指定された部分に対応する STL データを抽出することとした。

図 3.7 に、各節に対応する STL データの抽出例を示す。ここでは、図のような楕円オブジェクトを作成された深度マップ画像上に配置することにより、その領域に対応するポリゴンデータを抽出し保存するシステムである。図中の楕円オブジェクトの数字はそれぞれ指の種類（1：親指，2：人差し指，3：中指，4：薬指，5：小指）と指節の種類（1：末節，2：中節，3：基節）を表しており、例えば、図の楕円 1-1 は親指の末節領域に対応する近似楕円，楕円 2-2 は人差し指の中節領域に対応する近似楕円を表している。前節にて展開した深度マップ画像の各画素は，3D ポリゴンデータ中の各ポリゴンと対応しているため，画素を指定すればその部分に対応するポリゴンデータを抽出することが可能である。本章では，これら展開画像に設定した各指節の近似楕円の中心点と長軸の両端点に対応するポリゴンデータ（各ポリゴンにおける各頂点の座標値と法線ベクトルの値）と，各小領域内における深度値とその平均  $\overline{TD}$  を各指節領域情報として用いた。

なお，一部のユーザについては印象材を把持する際に力を掛けていなかったため，印象材に指跡がないものも存在した。このような場合は，先に述べたように従来の方法では抽出が不可能であえるとともに，この領域は把持に関して大きく影響していない領域と考えられる。そこで本研究では，このような指節については楕円近似しないこととした。このような処理を前 30 例のデータ（右利き 29 名，左利き 1 名）に対して行い，把持の特徴について検討した。

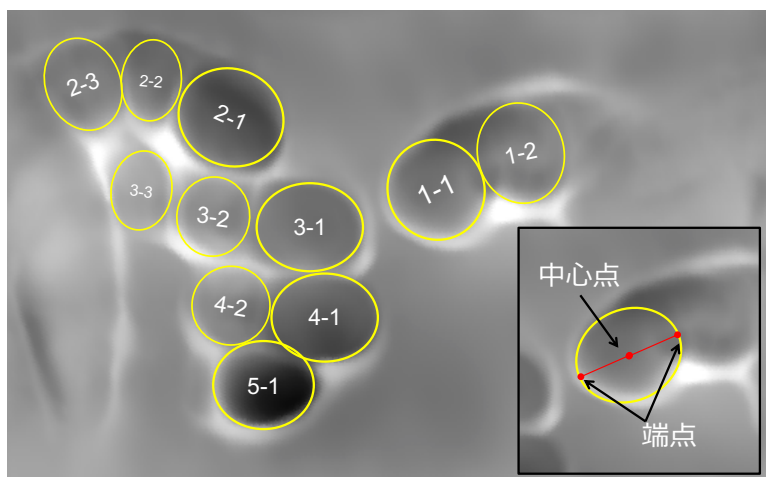


図 3.7: 把持領域の指節ごとの楕円近似

### 3.4 抽出された特徴量とその傾向

#### 3.4.1 各指の把持力の割合

図 3.8 に、各指の把持力の割合をまとめたものを示す。なお、このグラフは上記の 30 例の被験者のうち、左利きであった 1 名を除く 29 例のデータを示している。図において縦軸は被験者 ID、横軸は把持動作に対する各指の把持力の割合を表している。グラフは、各指の各末節領域における深度値の総和、すなわち把持動作によって印象材が変化した総量を 100 とした時、各指がどの程度印象材を変化させているかを示したものである。印象材がどのくらい凹んだかという変化量は把持力に比例するため、印象材の変化量を計測することで把持力の割合を間接的に推定することが可能となる。

図からも分かるように、第 1 指（親指）と第 2 指（人差し指）、第 5 指（小指）が大きな割合を占めていることがわかる。それに対して、第 3 指（中指）は他の指に比べて把持の際に大きな力をかけていないことが明かとなった。これらの結果は、第 1 指と第 2 指、第 5 指が把持の際に大きな役割を担っていることを示唆していると捉えることができる。特に、第 1 指と第 2 指が把持に重要であることは、感覚的にも容易に理解することができる。

一方、第 5 指については想像し難いかもしれないが、スポーツにおいては重要な役割を果たす指であるとされている。例えば柔道の場合、相手を投げる時に自身の小指を相手の襟をかけてから投げる。また、剣道やゴルフのように競技のための道具を握るスポーツの場合においても小指の力の入れ方が重要となる場合が多い。このようなことから、物体を把持する際に小指が重要な役割を果たしているのではないかと推察することができる。本研究で行った実験においても、第 5 指に関する把持力が大きく出ており、同様の傾向が数値的データとなって結果に現れている。

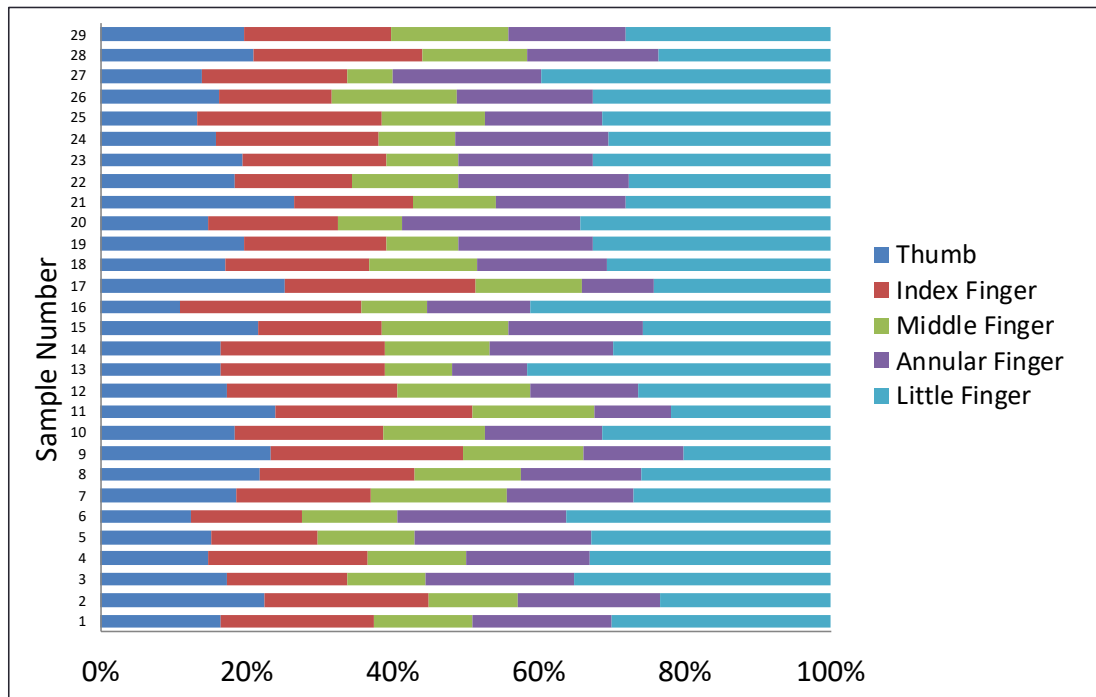


図 3.8: 各指の把持力の割合

### 3.4.2 各節の方向の分布

さらに本章では、各指の各節がどのような方向を向いているのかについても検討した。本章では、各節が楕円オブジェクトで近似されていることを利用し、それらの長軸方向を用いて各指の各節の向きをベクトル（以下、形状ベクトルと呼ぶ）として表した（図 3.9）。図 3.9 に示したように、各節の形状ベクトルは各楕円の長軸において指の付け根側を始点としてベクトル化したものである。また、各節の形状ベクトルの  $r$ ,  $z$  方向成分に対する分布を求めるとともに、これらの形状ベクトルを三次元空間で可視化した。

図 3.10 と図 3.11, ならびに図 3.12 は、三次元空間にて可視化された各節の形状ベクトルの様子と、それらを  $r-\theta$  平面と  $r-z$  平面に投影したものである。また、表 3.1 に各節の形状ベクトルにおける  $z$  軸方向ならびに  $r$  軸方向の分散値を示す。表中の下線は、特に分散が大きかったことを表している。計測の結果から、第 1 指と第 2 指の末節、第 5 指の  $r$  方向に関する形状ベクトルの分散は他の指と比較して大きくなっており、この部分に把持に関する各ユーザの固有の特徴が出ていると考えられる。その一方で、その他の部

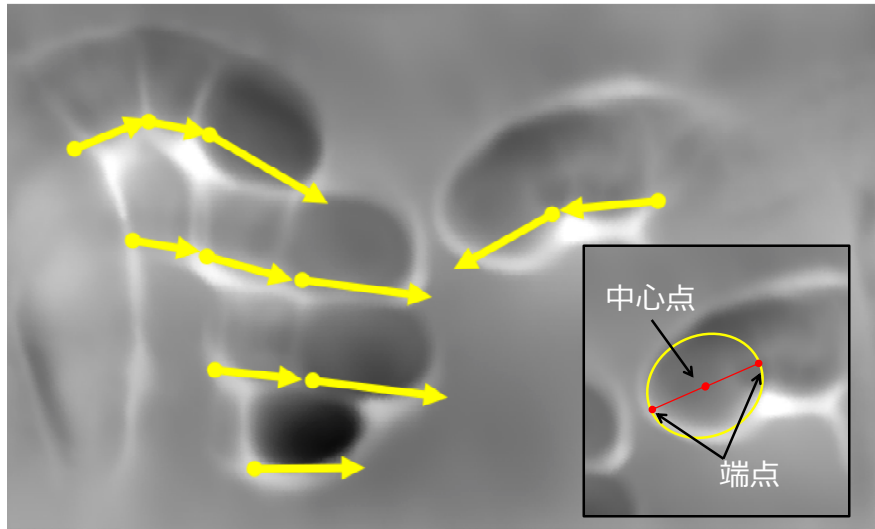


図 3.9: 各指における各節の向きの算出

分については分散値は比較的小さな値となっていた．特に我杯の場合，被把持物体が円筒形であるため，このような傾向が現れていることが図 3.11 から見てとれる．図 3.8 の内容も勘案すると，この部分についてはユーザの特徴が顕著にでる部分であるとともに，物体を把持するために大きな役割を担っていると考えられることもできる．

また， $z$  方向の分布については第 1 指と第 3 指の末節，第 5 指に関する分散が他の部分と比較して大きな値となった．一方で，第 2 指や第 3 指の末節以外の部分，第 4 指については把持の際に縦方向の変動が少ない結果となった．得られた結果より，把持体を設計する際に第 1 指や第 3 指の先端部分，第 5 指に関わる部分の形状については得られた分散値を勘案して大きめの凹みを設定するとともに，それ以外の部分についてはタイトに凹みを設定すれば第 2 指や第 4 指が凹みにフィットするため，上下方向については安定した把持が実現できると考えられる．その一方，被把持体の直径については第 1 指や第 2 指の先端部分，第 5 指が接触する部分において把持力が効率よく被把持体に伝わるような工夫をすることにより，握りやすい把持体形状を設計できると考えられる．

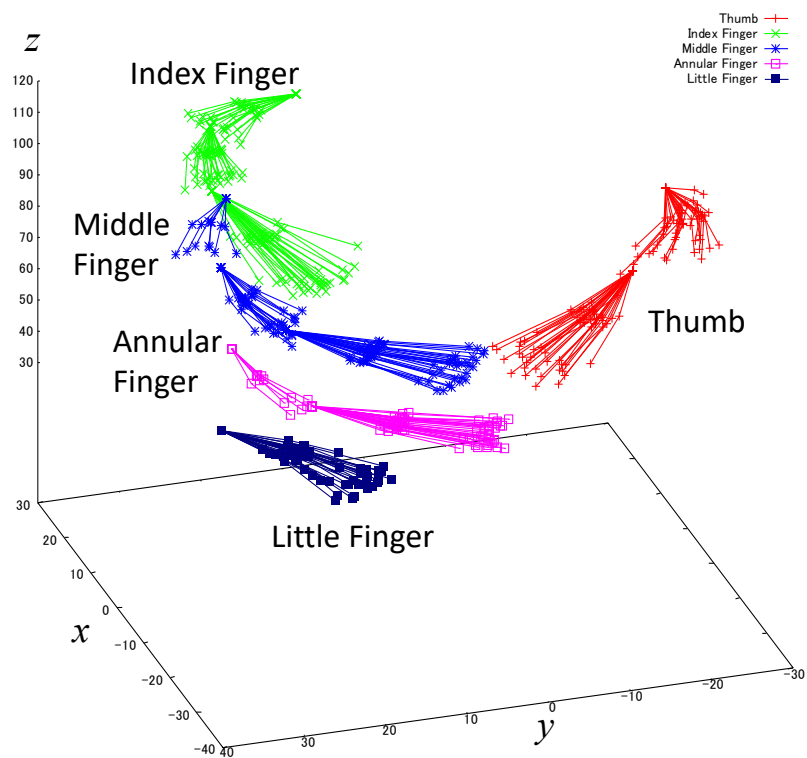


図 3.10: 可視化された各指の形状ベクトル (3D 表示)

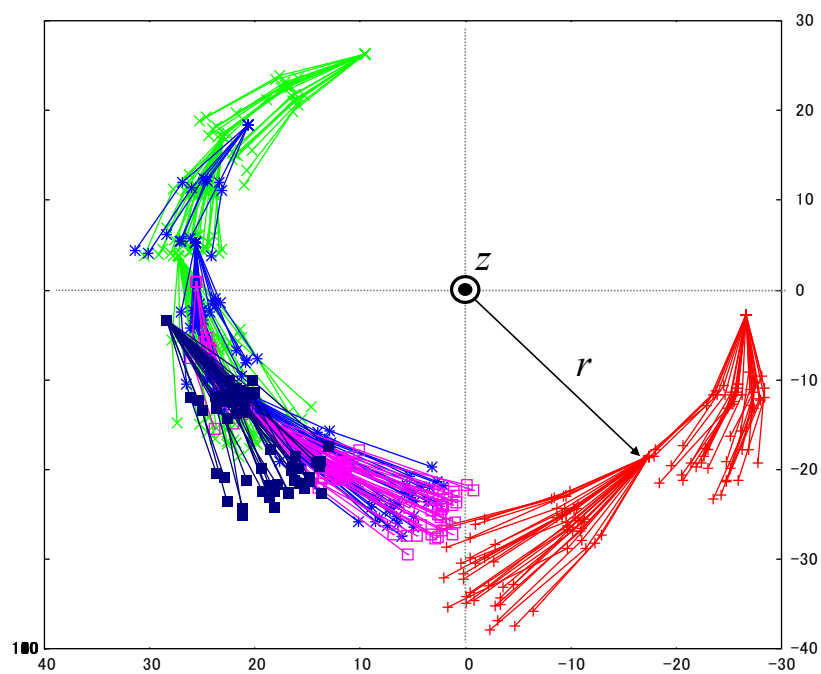


図 3.11: 可視化された各指の形状ベクトル ( $r - \theta$  平面投影)



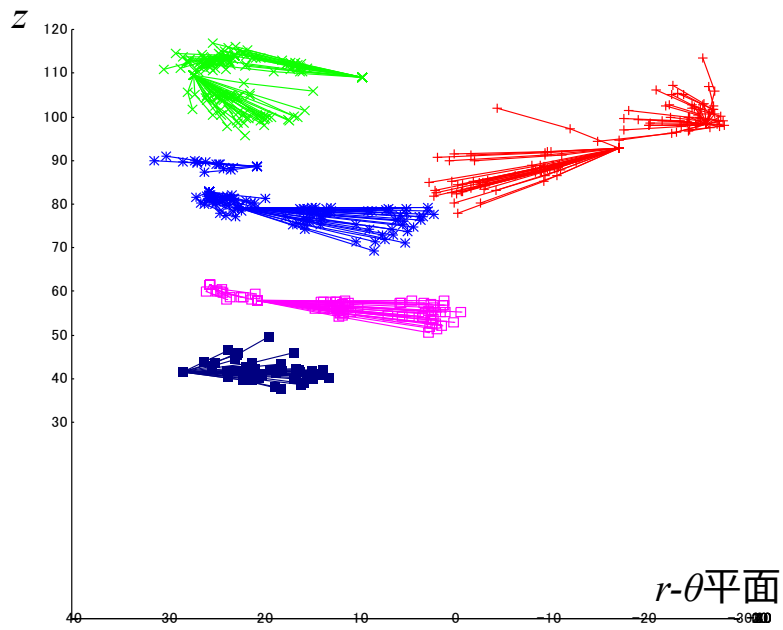


図 3.12: 可視化された各指の形状ベクトル ( $r - z$  平面投影)

表 3.1: 各指の各節における形状ベクトルの分散

各節の番号	$z$ 方向の分散	$r$ 方向の分散
1-1	<u>19.71</u>	<u>12.25</u>
1-2	<u>17.63</u>	<u>6.356</u>
2-1	2.187	<u>7.217</u>
2-2	1.403	3.330
2-3	2.164	4.480
3-1	<u>7.649</u>	4.241
3-2	1.529	3.141
3-3	1.287	4.938
4-1	4.806	4.442
4-2	0.172	3.667
5-1	<u>6.424</u>	<u>7.747</u>

### 3.4.3 指間の距離と各指の把持力の関係

図 3.13 に、第 1 指と最も近い距離にあった指とその距離、ならびにその場合における各指の把持力の大きさの関係をまとめたものを示す。例えば、図中の表において d\_13 と書かれている部分は、被験者が把持した際に第 1 指と第 3 指の間の距離が最も短かったことを意味している。この実験結果から、多くのユーザは把持した際に第 1 指と第 3 指の間が最も近くなる傾向にあるということが言える。また、その時の指間距離と各指の把持力の関係に注目すると、各指間の距離が大きくなればなるほど各指の把持力の値が大きくなる傾向となっている。すなわち、把持される物体がどの程度手に覆われているか、あるいは第 3 指と第 1 指の距離に応じて、把持のための最適な半径が決定できる可能性も示唆している。これらの結果についても、把持に関する一般的な感覚と概ね一致しており、その傾向が数値的なデータとなって得られたことを示していると考えられる。

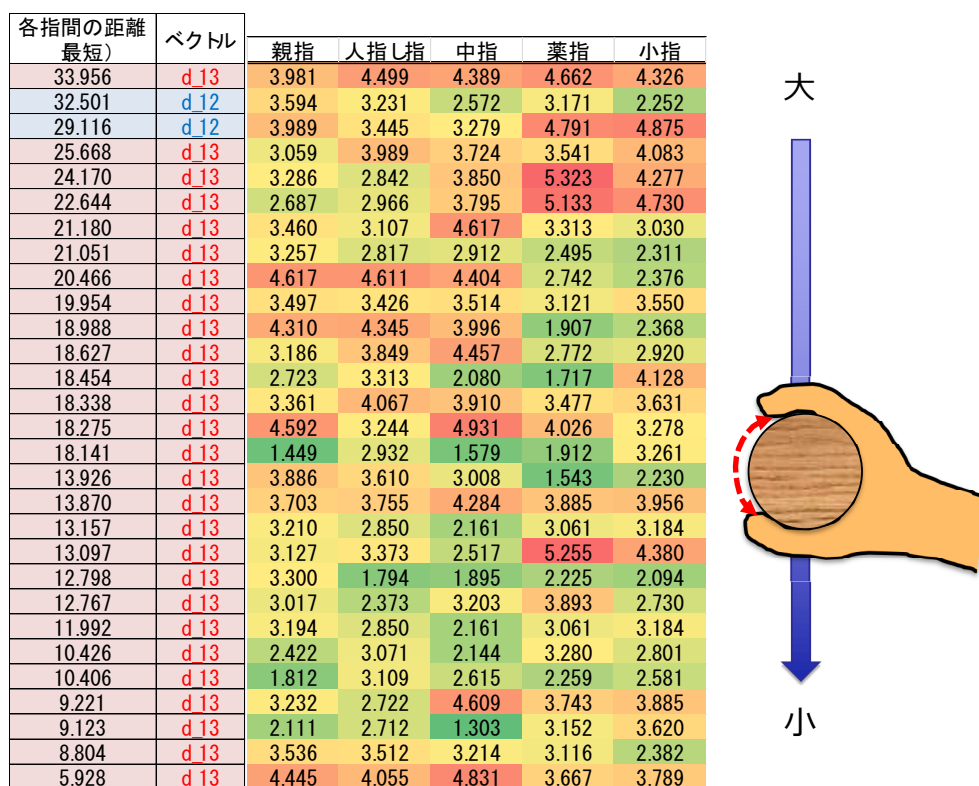


図 3.13: 指間の距離と各指の把持力の関係

### 3.5 おわりに

本章では，我杯の 3D 把持体データが円筒形であることに着目し，座標変換を用いた方法により印象材の形状変化を深度マップ画像として表現した．また，得られた深度マップ画像から各指の各節部分を抽出し，それらに対応するポリゴンデータから把持動作における各指の把持力を数値化した．これにより，我杯の中に含まれていた各指の把持力の大きさや方向，ユーザ間でのばらつきといった情報を可視化することができた．さらに，把持動作における各指の力の割合などについても数値的な分析が可能となった．本研究を通じて，これまで「感覚的」や「経験的」な知見として言われていたことが数値的なデータとして示されたことは，一つの成果であると考える．次章以降では，これら得られた把持特徴を，一般向けの製品へ応用することを試みる．

## 第4章 把持特徴の一般向け製品への応用

### 4.1 はじめに

本章では、第3章にて述べた把持特徴量を一般向け製品へ応用することを目的とし、その方法論やノウハウに関する詳細を述べる。本研究では、得られた研究成果の応用先として、スマートフォンケースに着目した。スマートフォンケースは、本体を衝撃から守るという役目を果たすとともにデザインの的にも洗練されたものでなければ、実用的な製品としては成立しない。ここでは、これまでの研究により得られた工学的な知見をスマートフォンケースの形状設計ノウハウに取り入れるとともに、市販製品としての美術的な価値を高めるため、武蔵野美術大学との産学連携により外形をデザインした。本研究では、スマートフォンケースの試作の第一歩として、米国 Apple 社が販売しているスマートフォン iPhone6、ならびに iPhone6s 専用のケースを試作した。Apple 社の iPhone シリーズは、単一機種としては国内最大のシェアを獲得しているとともに世界各国に出荷されていることが、本研究で試作対象として選定した主たる理由である。本章では、開発したデザインモデルを用いて筋電図を用いた実験を行い、試作したスマートフォンケースの効果についても確認した。

### 4.2 スマートフォン開発に関する動向と近年の課題

本研究が始まった 2011 年 4 月から約 8 年間で、電話を含む情報通信の形態は大きく変貌した。特に、モバイル通信の分野においてはスマートフォンの急激な普及に伴い、相手とのコミュニケーション手段が電話からメール、SNS やメッセージングアプリケーションの活用、さらにはビデオチャットといったように大きく変化している。総務省が発行している情報通信白書平成 29 年版によると、ここ数年のスマートフォンの普及のインパクト

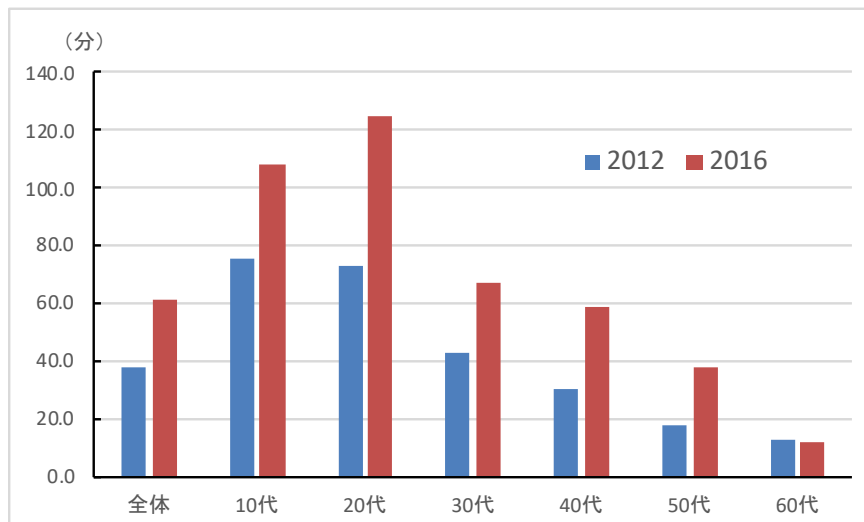


図 4.1: モバイルからのインターネット利用時間（文献 [31] より引用）

は、その普及台数のみならず使い方についても大きく変化している [31]。例えば図 4.1 に示すように、我が国におけるモバイル 4 によるインターネット利用時間（平日 1 日あたり）を 2012 年と 2016 年とで比較すると、全体で 38 分から 61 分と約 1.6 倍に増加している。また、モバイルからのインターネット利用時間が 2012 年から 2016 年にかけて増加した要因を

1. スマートフォン利用者のインターネット利用時間
2. フィーチャーフォン利用者のインターネット利用時間
3. 各機器の利用率の観点

の観点から調査してみると、スマートフォン利用者 1 人あたりの利用時間も増加しているが、その一方で、スマートフォン利用者の割合が上昇した影響が大きいこともわかる。これは、フィーチャーフォンの利用者がスマートフォン利用に移行することにより、インターネット利用時間が急激増加してきたことを示唆している。

図 4.2 は、スマートフォンのネット利用時間の内訳をまとめたものである。図からわかるように、全年代に渡って、全体の約 60%が「ブログやウェブサイトを見る・書く」あるいは「メールを読む・書く」といった従来から行われているスマートフォンの使用目的に

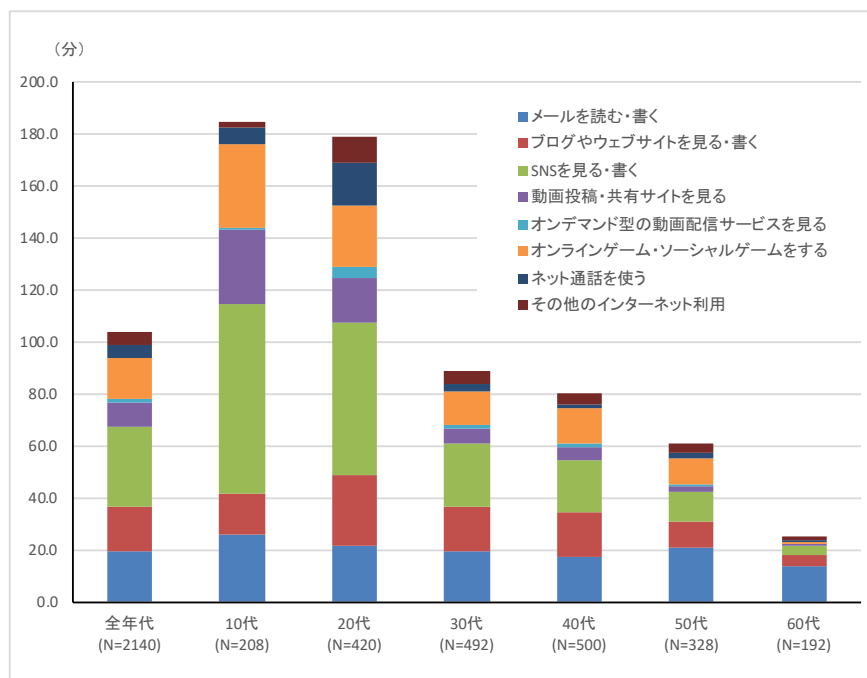


図 4.2: 文献 [31] より引用

加えて、「Twitter や Facebook といったソーシャル・ネットワーキング・サービス（Social Networking Service: SNS）を見る・書く」といった行為にも多くの時間を費やしていることがわかる。特に顕著に現れている傾向は、10 代や 20 代といったいわゆる若者世代のスマートフォンの総使用時間が 1 日当たり 180 分を超えており、他の世代と比較して圧倒的に長いことである。これらの世代のユーザは、主にオンラインゲームやソーシャルゲーム、動画や画像の投稿や共有サイトを見ることも多い。一方、30 代から 40 代世代におけるスマートフォンの利用時間は 120 分以下、さらに 50 代においては 60 分と大きく減少している。しかしながら、大きく利用時間を落としている主たる原因はオンラインゲームやソーシャルゲーム、ネット通話、動画投稿サイトの閲覧時間の減少であり、SNS を見る（あるいは書く）、ブログやウェブサイトを閲覧したり記事を投稿する、メールのチェックなどといったいわゆる「読み書き」に関する動作が、全体比率の大半を占めている。このように、スマートフォンの長時間利用の増加に伴い、近年では手首における腱鞘炎をはじめ様々な健康障害も報告されており、総務省もスマートフォンの使いすぎに関する注意喚起を行っているのが現状である [32, 33]。

一方、把持は人間が生まれながらにして持つ動作（あるいは機能）の一つであり、日常生活には欠かせない動作である。現在、日本では高齢化が急速に進み、把持という生まれ持った機能が低下した人々が増加している。そのため、把持する物体の落下を防止する機能を持たせることが社会的に必要不可欠な時代とになった。従って、少ない把持力でもしっかりと把持することのできるようなデザイン形状を開発することが急務であり、最も握る機会や時間が多いとされているスマートフォンのケースに応用することが望まれている。実際、スマートフォンの故障原因の第一位は、本体の落下による液晶画面の破損であることも報告されている [34]。また、高齢者だけではなく若年者においてはゲームや SNS の利用によりスマートフォンを長時間することを由来する腱鞘炎は増加傾向にあるという報告もある。スマートフォンは便利であるとともに日常生活に必要不可欠な機器であるゆえ、物体を把持する際の力（把持力）を軽減できることに主眼を置いた製品の開発は、現代社会の抱える問題の一つを解決するための重要な研究テーマであるといえる。

### 4.3 「握りやすさ」に関する再考察

図 4.3 は、先に述べた研究成果を活用して試作されたスマートフォンケースの写真である。この形状は、第 3 章にて述べた方法を用いて我杯を把持した際の指の形状を二次元データ化し、各指の幅を計測したものをケースの裏から横側にかけて彫り込んだものである。このスマートフォンケースの製作には、上記で用いた三次元把持体データを使用し、得られた値の平均値を彫り込んでいる。また、ケースの形状は彫り込み部分を緩やかなカーブで繋いだものとなっており、より多くの人にとって把持しやすいものとなっている。ケースを図のような形状にすることにより、スマートフォンを把持した時に彫り込んだ凹みによって各指が本体にフィットするため、スマートフォンの落下防止に貢献できると考えた。

株式会社バンザイ・ファクトリーでは、図のようなスマートフォンケースを自社内でデザインして製品化し、外箱のパッケージやパンフレット、POP、広告物を作成して 2015 年にリリースした。しかしながら、その後 1 年間でほとんど売れることはなく、在庫が積み上がる結果となり、商業的には多きな失敗となった。

そこで本研究では、上記のような失敗を踏まえて「握りやすさ」について再考察すると



図 4.3: 試作したケースの一例

とともに、その結果を用いてスマートフォンケースに関する研究開発をやり直すこととした。図 4.4 は、画像に変換された三次元把持体データに対して、画像処理により凹みが大きい部分を取り出したものである。図中 (a) の赤部分ならびに緑部分は、各末節領域において深度が大きかった部分を示している。図からも分かるように、各指末節領域の先端部分に大きな力が働き、印象材が大きく凹んでいるのがわかる。表 4.1 は、この部分に該当するポリゴンデータを計測し、(i) 各指における指の幅と (ii) 指先から指腹部分までの距離の平均と標準偏差をまとめたものである。計測の結果、一般的な成人・男性平均の場合、指の幅については第 1 指が 22mm 前後、第 2 指が 17mm 前後、第 5 指が 14mm 前後となっており、標準偏差は 2~2.5mm 程度であった。また、最も把持力がかかる指先から指腹部分までの距離については、第 1 指が約 7.6mm、第 2 指と第 5 指が 6mm 前後であった。一般的に、親指は他の指と比較して太く大きいために大きな値となっている反面、人差し指や小指は親指ほど大きくないため、このような結果が得られたと考えられる。また、スキャンされた実物を調査したところ、親指部分の印象材が大きく抉れていたケースが多く見られた。すなわち、円筒形の物体を把持する場合、親指は比較的鋭角に把持力をかけている反面、小指は把持体に添えるような緩やかな角度で把持力をかけていると考えられる。以上の結果より、親指、人差し指、小指の三指が把持に重要な指であること、得られた幅の範囲がユニバーサルデザインの形状を決める重要なファクターになると考えた。



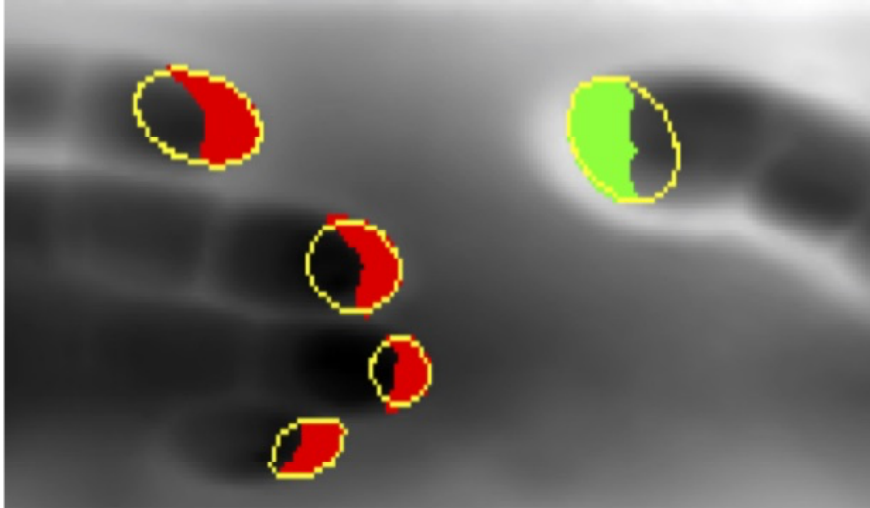


図 4.4: 各指の末節領域と深度が大きい部分（赤，緑部）

表 4.1: 深度が大きかった領域における平均サイズと標準偏差

		平均 [mm]	標準偏差 [mm]
第 1 指	(i)	22.32	2.54
	(ii)	7.57	1.47
第 2 指	(i)	17.06	1.94
	(ii)	6.28	1.41
第 5 指	(i)	14.76	2.23
	(ii)	5.88	1.59

#### 4.4 感性工学に基づいたケースの形状設計

本研究では、前節で述べた再考察の結果と 2015 年に販売したモデルの反省を踏まえ、不評であった形状のデザインについて、武蔵野美術大学と共同で研究開発を進めた。株式会社バンザイ・ファクトリー本社工場は岩手三陸であったため、東北エリアに造形デザインスタジオがなかったことから、本研究では東京都の大手企業の造形デザインを生業としているスタジオ数社との共同研究開発を模索した。しかしながら、デザイン料金が地方の中小企業には高額であったため、自社でその資金を捻出するとともに研究開発への先行投資が極めて難しい状況下にあった。また、試作品は機能的には優れているものの、商材としての全体的な感性的なデザインという観点については考慮されていなかったため、製品としてリリースするためには工業デザインの観点から改良を加える必要があった。スマートフォンケースは、本体を衝撃から守る役目を果たすとともにデザイン的にも洗練されたものでなければ、実用的な製品としては成立しない。本研究の成果を市販品として発展させて市場にリリースするには工学からの観点のみならず感性工学や工業デザインの知見も取り入れた検討が必要となる。

一方、武蔵野美術大には工業デザインに関する学科があり、そこでは科学的な知見も積極的に取り入れたデザインに関する研究や三次元 CAD システムを積極的に活用した教育が行われている。このような背景が、本研究において武蔵野美術大学との産学連携を採用した理由である。

図 4.5 は、三重大学ならびに武蔵野美術大学との産学連携の流れを時系列として示したものである。本研究における産学連携プロジェクトでは、武蔵野美術大学でデザインされたスマートフォンケースの CAD データを基に、株式会社バンザイ・ファクトリーが実際の木地を用いて製品を試作し、それを用いて今後の設計の方向性について検討するというプロセスを複数回に分かって実施した。プロジェクトの初期段階では木地の板厚に対する検討を、その次の段階では造形そのものに関する検討を行うといった 2 段階の検討を実施することにより、これまで我杯の製造において蓄積されてきた工学的な知見を工業デザインのノウハウに落とし込むような作業を続けた。以下に、各工程の詳細について述べる。

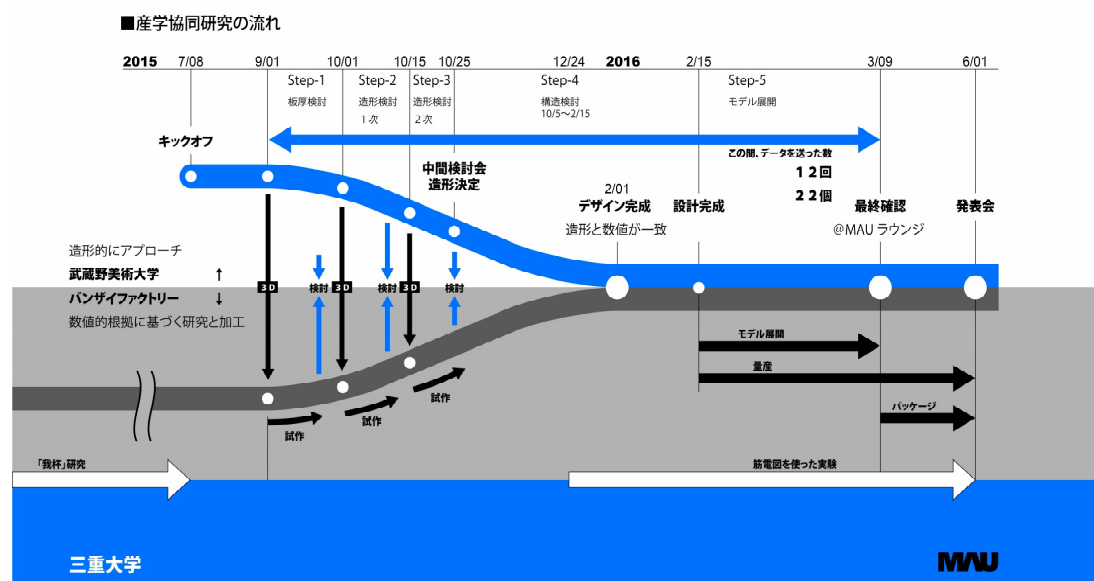


図 4.5: 三重大学・武蔵の美術大学との産学連携の流れ

#### 4.4.1 基本デザインの決定と厚板に関する検討

図 4.6 は、本プロジェクトにて作成した基本デザインの CAD データである。本プロジェクトでは、スマートフォンの単一機種として国内最大のシェアを獲得しており、かつ海外の多くの国で販売されている Apple 社製の iPhone シリーズのケースを製作することとした。形状設計では、(1)iPhone を購入するユーザの多くは先進的な機能と本体のデザイン性を高く評価していること、(2)落下の衝撃にも耐えるような構造にする必要があることの 2 点を勘案し、iPhone 本体の外観ラインを損なわずに落下などの衝撃にも耐えられるよう、本体全体を包み込むようなデザインとしている。このように、木材を用いて本体全体を包み込むような形状のスマートフォンケースは本研究で作成したものだけであり、独創的なものである。しかしながら、木地をこのような形状に切削してスマートフォンケースとするには、切削の際の木地の厚み（板厚）について検討しなければならない。例えば、木地を薄く削ればケースの重量は軽くなる一方、その強度は弱くなる。反対に、板厚を厚くすれば衝撃に対する十分な強度を担保できる一方、ケースの重量が重くなるため把持する際に多くの把持力が必要となる。またさらに、スマートフォンケースのサイズも大きくなるため、iPhone 本来の形状からかけ離れたものになりかねない。

そのため本研究ではまず、木地の板厚を 1.5mm から 3.5mm まで 0.5mm 刻みで変化させながらケースを試作し、強度や乾燥による割れ、歪みに関する予備実験を繰り返し実施した。事前検討の結果、ケースの厚板は少なくとも 2mm 以上の板厚が必要であることが確認された。次に、木地の厚板を 2mm からさらに細かく設定しながら同様の実験を繰り返し、後述するザグリの彫り込み量も考慮し最終的に板厚を 3.3mm とした（図 4.7）。

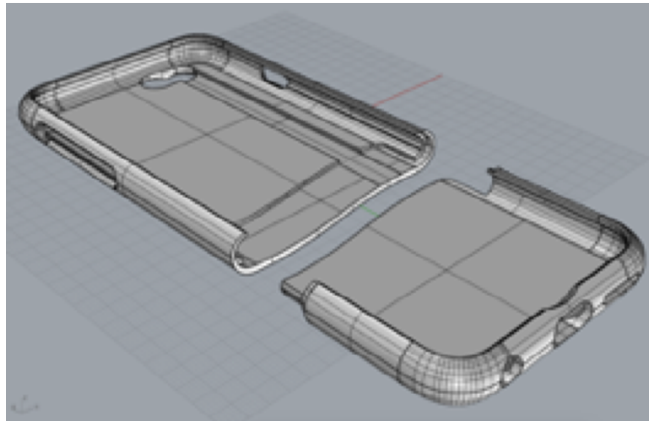


図 4.6: スマートフォンケースの基本デザイン



図 4.7: 切削された基本デザインと板厚の検討

#### 4.4.2 形状のデザインに関する検討

次に、このデザインを基にして、得られた把持の特徴を考慮しながら握りやすいケースの形状を決定していく。ここでは、「ザグリ」と呼ばれる窪みを木地に彫り込むことにより、基本デザインと比較して把持しやすい形状とした。元来、ザグリは工業デザインの分野においてよく用いられる手法の一つであり、凹みの彫り込み方についても、図 4.8 に示すように様々な形状が存在する。また、ザグリについては数値的なノウハウは存在せず、どの部分にどの程度凹みを入れて彫り上げるかは、これまで職人やデザイナーの経験と勘によって決められていた。

そこで本研究では、先に述べた把持特徴と指先形状を考慮し、把持に重要となる指（第 1 指、第 2 指、第 5 指）の指先から指腹が当たる部分（図 4.9(a)）を、長軸 14mm、短軸 7mm の楕円柱状の 3D モデルで表現した。さらに、これを基本デザインのオブジェクトと重ね合わせた後、図 4.9(b) に示すようなブーリアン演算を用いて切り取ることにより、ケースの外形をモデリングした。ブーリアン演算とは、3D コンピュータグラフィックスや CAD を用いたモデリングの分野において用いられる演算方法の一種である。ブーリアン演算では各 3D オブジェクトをポリゴンの集合とみなし、それらの 3D オブジェクトに対して集合演算を適用することにより、合成された形状を作る方法である。切削用の 3D モデルでは、ブーリアン演算により基本デザインと楕円柱が重複する部分のみを取り除いているため、図のように、基本デザインの外形を残しつつも把持形状を反映した形状を作成することが可能となる。

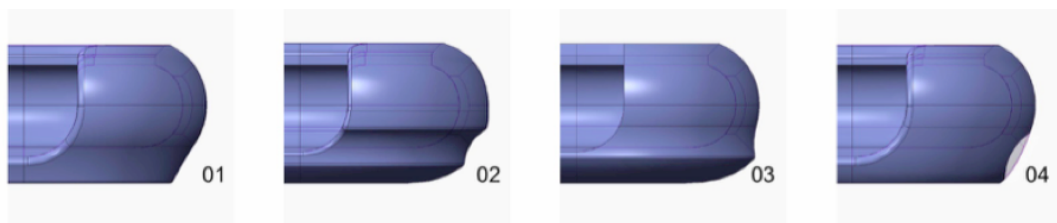
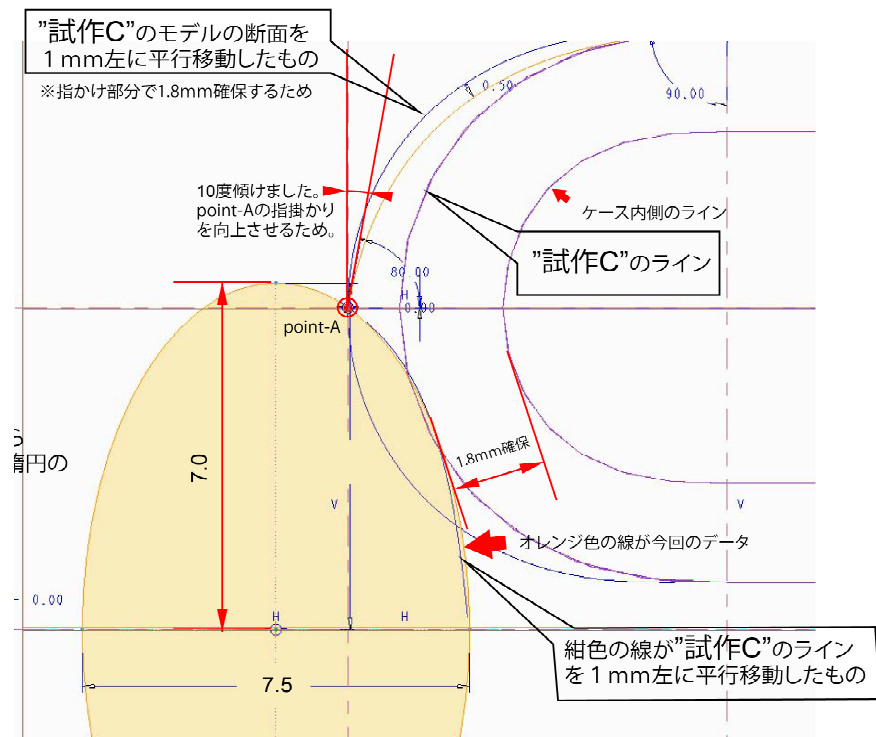
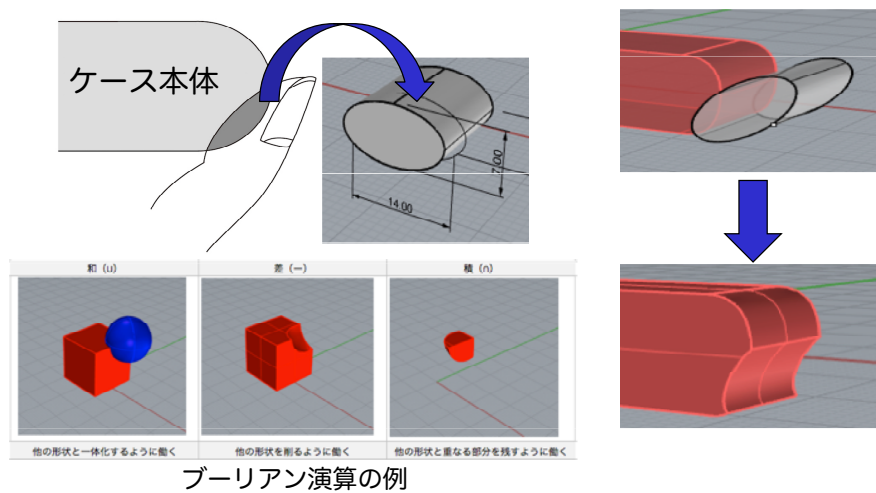


図 4.8: ザグリの形状の例



(a) ザグリ形状と指の関係

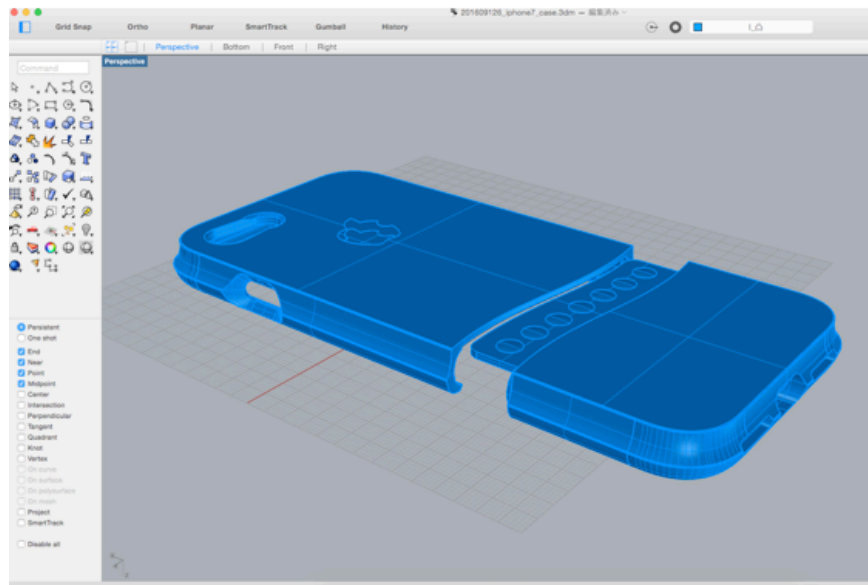


(b) 円柱モデルを用いた各指の近似とブーリアン演算によるザグリ形状の生成

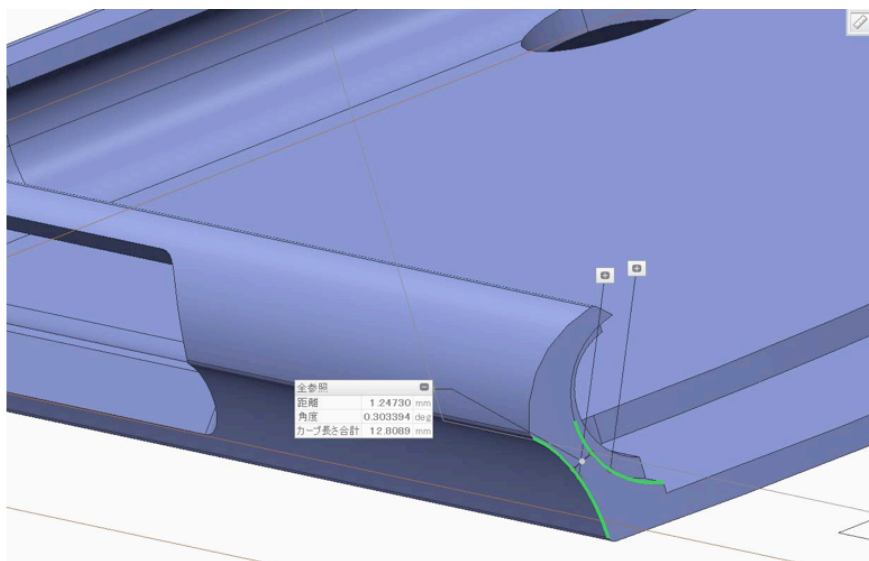
図 4.9: ザグリ形状を用いたスマートフォンケースの形状設計

図 4.10 に、上述の処理により生成された 3D モデルを示す。先に示した基本デザインのコンセプトである「本体を包み込むようなデザイン」を踏襲するとともに、ケース背面にザグりが彫り込まれていることがわかる。このような形状にすることにより、スマートフォンを掴んだり操作したりする際に各指がザグリ部分に引っかかるため、より少ない力でスマートフォンを把持することができると考えられる。この作成された 3D データと次節にて述べる切削システムを用いて、試作品を製作した。





(a) 完成した切削用 3D データ



(b) ザグリ部分（拡大図）

図 4.10: 完成した切削用 3D データ

## 4.5 切削ミルと切削システムの開発

スマートフォンケースの形状デザインは、株式会社バンザイ・ファクトリーにより地域資源である岩手県産の木材を用いて切削され、評価用のプロトタイプが製作される。本研究では、ケースを切削するためのミル（切削刃がついたドリル状のもの）と、それらを制御するためのシステムも独自に開発した。

図 4.11 は、本研究にて開発したミルの写真である。前節で述べた通り、本研究で作成するスマートフォンケースは本体を包み込むようなデザインになっており、また iPhone は全体的に丸みを帯びた形となっている。通常、切削において用いられるミルはドリル先端のような形状をしているため、本研究で設計したような形状を木地から削り出すことはできない。そこで本研究では、図のような形状を持つミルを県内企業と共同で開発した。例えば、右から 2 番目にあるミルは、先に呼べたような丸みを帯びた iPhone 本体の形状にケースがフィットするように、ケース内側を切削する時に用いられる。また、先端部が平らになっているようなミルは平面部分を削り出すために用いられる。先端が丸くなっているミルは、ザグリ部分の彫り込みを切削する際に用いられる。先端サイズが小さいミルは、主にケースの細部を削り出すために用いられる。通常、3D プロッタを用いた切削にはドリル状のようなミルを用いて被切削対象となる物体の外形を削り出すため、本研究のように内側から削り出すような切削は通常なされない。このことが、本研究において図のような形状のミルを独自開発するに至った理由である。

また、通常の切削工程においては切削用のワックス（蠟）やケミカルウッド（化学的に合成された木のようなもの）が用いられるが、本研究ではこのような人工的なものではなく天然木を被切削材として使用する。上述したような切削用ワックスやケミカルウッドは、材質の化学的特性が既知でありかつバルク全体にわたって均質であるため、比較的簡単に切削することが可能である。その一方、天然木は木目や節があるため、材質は均一にはならない。さらに、通常の切削プロセスではミルを 7000～10000 回転/分で回転させながら切削するが、天然木の場合、このような高回転で切削すると熱により木地が変形する可能性がある。また、削りカスに高速回転するミルが長時間接触することにより、切削中に発火するリスクもある。すなわち、本研究で提案したスマートフォンケースを製作する



図 4.11: 切削のために開発したミル

には、これらを勘案しながら高精度で安全かつ高速に切削するための特殊な切削方法が必要となる。

そこで本研究では、上述の内容を勘案し、薄木の切削のための弾性衝突モデルを用いた切削方法を開発した（図 4.12）。具体的には、反発係数が 1 となるような完全弾性衝突のモデルをミルと被切削材に適用し、かつ切削開始点におけるミルの移動方向を木の各辺と平行とならないような方向に設定する。これにより、切削を開始したミルは木の各端面に達した際に入射角と等しい角度で反射するような動きとなる。このような切削パスの生成方法を用いることにより、同じ領域を集中的に切削することを避け、木の変形や切削カスとミルが長時間接触することによる発火といったリスクを回避した。

図 4.13 に、上記の方法を用いて切削されたケースを示す。切削されたケースは、表面のサンディングや漆塗りといった仕上げ加工の後、製品として出荷される。なお、ケースの色彩デザインなどについては武蔵野美術大学の提案により、三陸地域の椿や海、紅葉、牡蠣といった地域性を強く連想させるような色彩内容と決定され、それを表現する塗装が施された。また、筋電図を用いた測定実験を行い、試作されたスマートフォンケースのユーザビリティについて検討した。次節では評価方法の概要について述べるとともに、実験結果を示し、本研究で試作したスマートフォンケースの有効性について議論する。



(a) ケース背面の切削の様子



(b) ケース側面の切削の様子

図 4.12: 切削システムを用いた木地の切削



(a) ケース全体



(b) ケース側面の切削の様子

図 4.13: 完成したスマートフォンケースの外観

## 4.6 筋電計を用いた「握りやすさ」の評価

### 4.6.1 概要

本節では、筋電図を用いて製作したスマートフォンケースの有効性について検討する。ここでは、スマートフォンを手を取るために掴む時、掴んだ後に持ち上げる時、入力（タッピング）時に落とすケースが多いことに着目し、それぞれのシチュエーションにおいて把持に関連する筋肉の筋電図を測定した。

表 4.2 は実験に用いた装置の概要である。本研究では、筋電計測機として追坂電子社製の小型筋電計を用いて、図 4.14 に示すように各被験者の腕（スマートフォンを把持する腕）に装着する。実験では被験者に対し、製作したケースを本体に装着した場合とそうでない場合のそれぞれにおいて、(a) スマートフォンを掴んで持ち上げる動作と、(b) 掴んで画面タップする（電話をかけたりメールをチェックするような）動作を行ってもらい、その時の浅指屈筋と深指屈筋に由来する筋電図を測定することとした。浅指屈筋は、前腕の筋肉で前腕全面のやや深層にある筋であり、深指屈筋と共に第 2～5 指の屈曲を司る筋肉である。また、浅指屈筋は近位指節関節（PIP 関節）付近まで、深指屈筋は遠位指節関節（DIP 関節）まで伸びているため、これらの筋肉の働きが把持力に大きな影響を与えとされる。実験では、被験者の利き腕前腕部に湿式電極を装着し、筋電図計測装置を接続した。計測された筋電図は AD コンバータを用いてデジタルデータに変換し、計測ソフトに取り込んだ。評価実験では、上記の内容の実験を 10 代～80 代の男女 10 人に対し実施し、得られた筋電図から試作したスマートフォンケースの有効性について検討した。

### 4.6.2 実験結果と考察

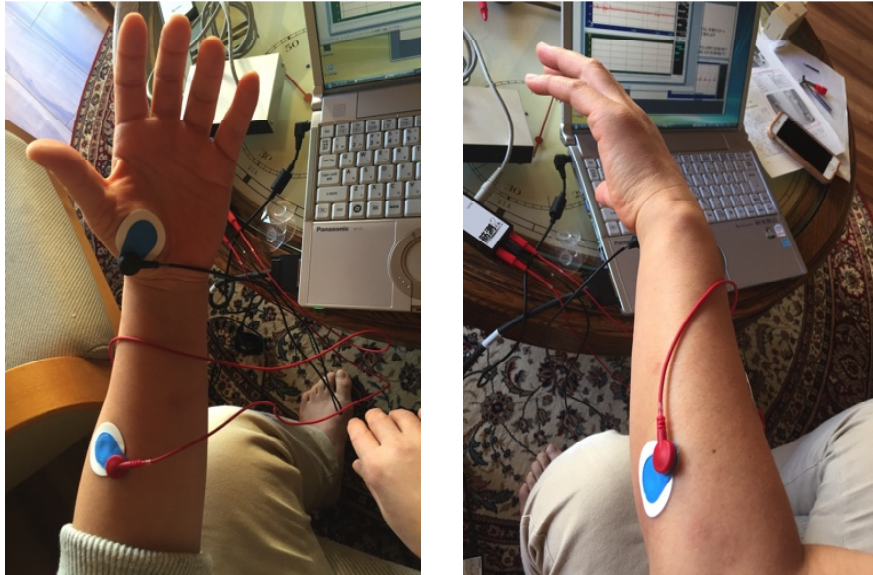
図 4.15, 4.16, 4.17 と図 4.18 に、実験により得られた筋電図の波形の一例を示す。図中において、実線と点線の各グラフはケースを装着していない場合と装着した場合それぞれにおける Integrated Electro Myograph (IEMG) 波形を示している。

実験の結果、ユーザ 1～3 の場合においては、ケース装着の有無による IEMG の値に大きな差が生じた。例えばケースを装着しなかった場合、スマートフォンを掴んで持ち上げる（あるいは机に置く）動作において観測された筋電図波形は大きな値となっていた一

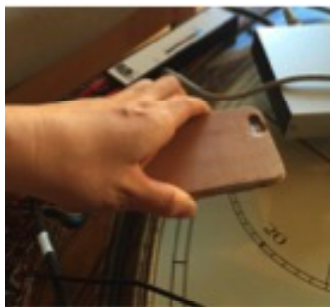
表 4.2: 実験装置の概要

計測装置	<p>追坂電子社製</p> <p>アナログ筋電波形出力 ユニット 筋測くん MA-3000W</p> <p>チャンネル数：1</p> <p>周波数特定：1.6Hz ～ 422Hz</p> <p>出力電圧範囲：-5V ～ +5V (EMG), 0V ～ 5V (IEMG)</p> <p>CMR：92dB</p> <p>IEMG 時定数：148.5 msec</p>
AD 変換器	<p>Interface 社製</p> <p>DIO/Counter Card Bus (CSI-320416)</p>
計測ソフト	<p>Interface 社製 AD Waveform (CSI-320416 付属)</p> <p>チャンネル数：2ch</p> <p>量子化ビット：16bit</p> <p>サンプリング周波数：100Hz</p>

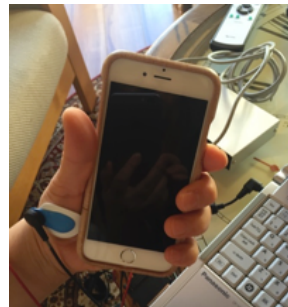




(a) 筋電計の電極を装着した様子



持ち上げる



電話する



画面タップ

(b) 実験における各動作

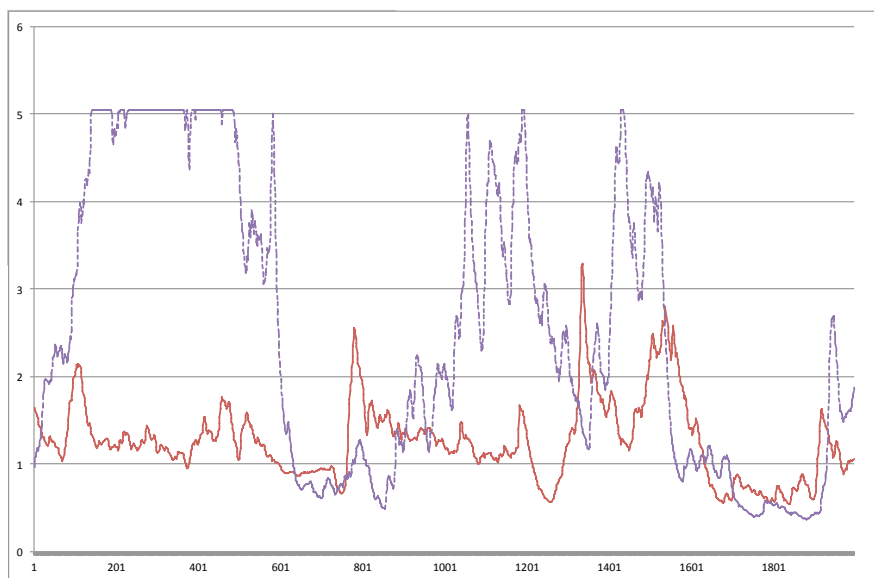
図 4.14: 筋電計測によるユーザビリティの評価



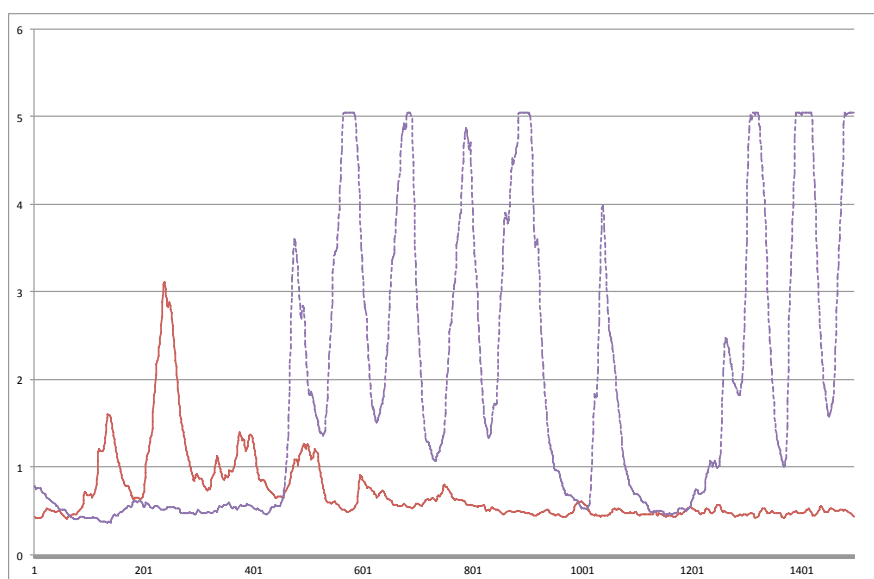
方、試作したケースを装着した場合においては、装着しなかった場合と比較して観測された IEMG 値は大きく下回っていた。これらの結果は、試作したスマートフォンケースを装着することで深指伸筋と浅指伸筋の収縮を軽減させることができる、すなわちケースを装着しなかった場合と比べて小さな把持力でスマートフォンを把持できることを示唆している。また本実験では、スマートフォンの画面をタップする動作の場合についても、同様の傾向が得られた。一般的に、画面をタップする動作はスマートフォンケースを把持した状態で画面をタップ（あるいは文字などを入力）する動作と捉えることができる。スマートフォン本体の縁の形状が丸みを帯びて滑りやすい場合や掴みにくい形状の場合、ユーザはスマートフォン本体を安定した状態になるように把持しようとするため、無意識に力を入れてしまう。しかしながら、試作したケースを装着した場合、ケース側面に施した凹みによって各指が凹みにフィットするため、画面をタップする力（ケース上面から手のひら側にケースが押される力）と逆方向の力、すなわち把持のバランスを取るための力を入れ易くなる。その結果、被把持物体を安定した状態で把持できたため、図のような結果が得られたと考えられる。

また、落下防止という観点からは、スマートフォンの上下方向の力の向きに着目して研究を進めるのが一般的である。しかし、スマートフォンを使用する際に最もよく行われる動作が画面をタップする動作であることを勘案すると、鉛直方向ではなく本体画面から手の平側への方向の力に着目することが、効率的な把持を実現には重要であったと考えられる。さらに、このような形状を採用することにより、より少ない把持力でスマートフォンを把持できるという効果のみならず、スマートフォンの利用率によって近年増加しつつある長母指外転筋腱と短母指伸筋腱の腱鞘炎（ドケルバン病）の防止についても何らかの効果が得られるかもしれない。この点については、今後も研究を進めていく必要がある。

一方、図 4.18 の被験者の場合、ケースの装着の有無に関わらず筋電図に大きな違いは見られなかった。この被験者は、他の被験者と比較して高齢（70 代女性）であったため、把持力が全体的に低下していたこと、加齢に伴って皮脂の分泌量も減少していたため、物体を把持する際に滑りやすくなっていたこと等が原因となり、このような結果が得られたものと考えられる。また、木地表面にはケースの汚れを防ぐためにコーティングが施されていることも一因となったと推察される。今後は、ケースの表面加工についても検討と改

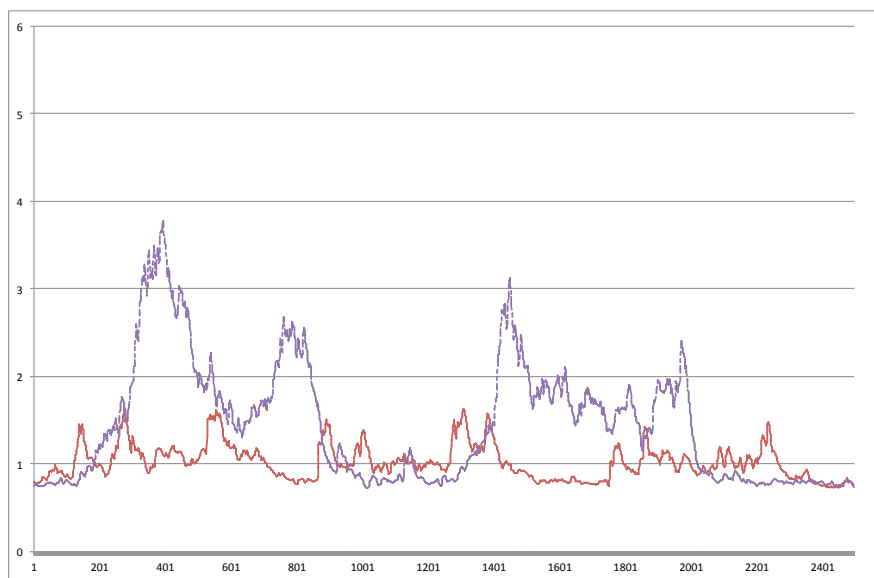


(a) 掴んでもつ

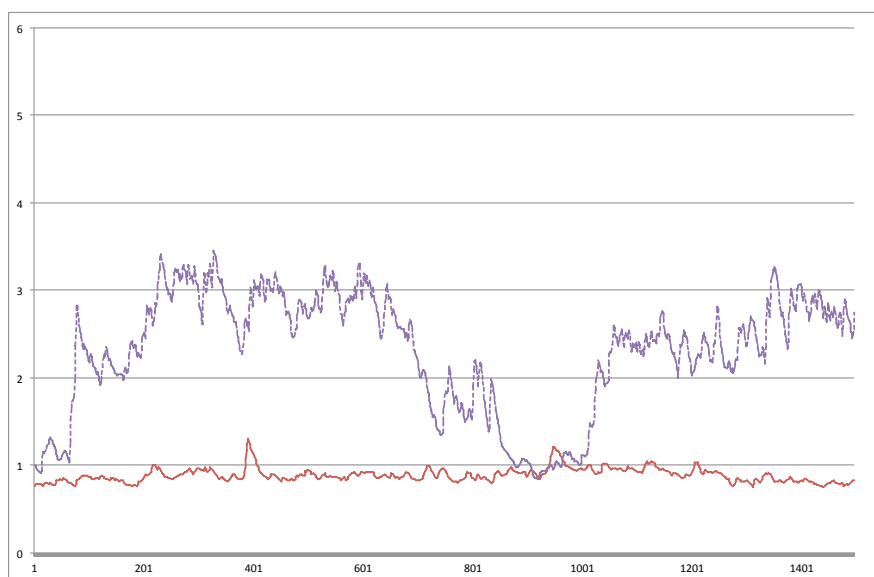


(b) タップする

図 4.15: 得られた筋電図の一例 (ユーザ1)

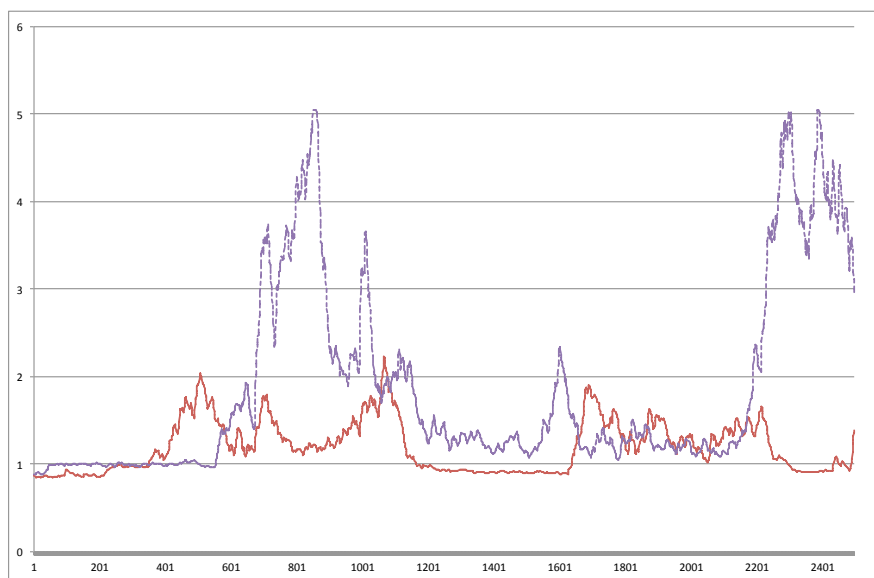


(a) 掴んでもつ

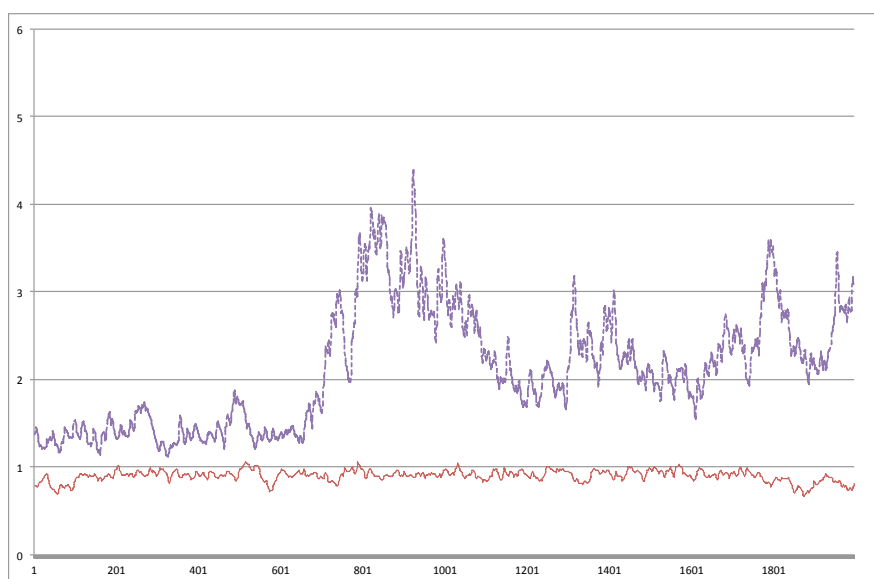


(b) タップする

図 4.16: 得られた筋電図の一例（ユーザ2）

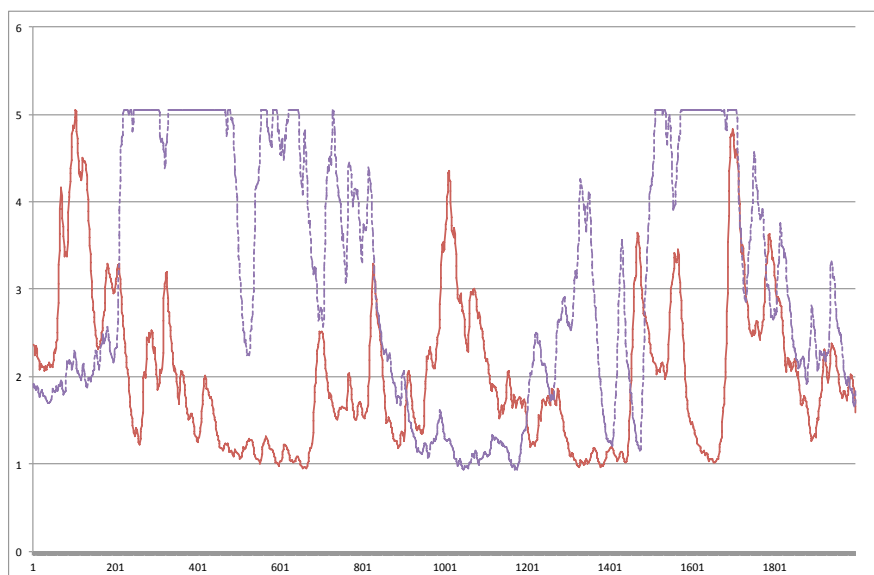


(a) 掴んでもつ

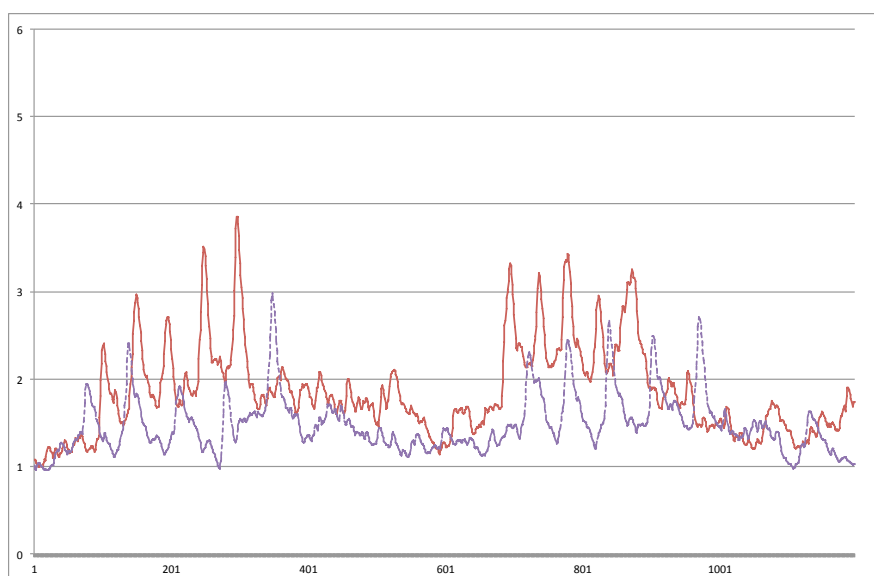


(b) タップする

図 4.17: 得られた筋電図の一例 (ユーザ3)



(a) 掴んでもつ



(b) タップする

図 4.18: 得られた筋電図の一例 (ユーザ 4)



(a) Docomo d ショッピング



(b) 産経 netShop

図 4.19: 大手通販サイトによる製品の販売

良を進める必要があると考える。

さらに本研究では、筋電図を用いた検討に加えて、使用感に関するヒアリングも実施した。各被験者からは「本ケースの握り心地がよい」、「自然木材のみで製作されているという点で安心である」といった意見が得られており、官能的な部分においても一定の評価を得られていると考える。しかしながら、一部のユーザからは「凹みの角の部分が手に当たるために使いづらい」という意見も寄せられた。このユーザについては、スマートフォンを各指で把持するのではなく、掌上に置いて各指でスマートフォンを挟んで固定するように把持していた。このようなユーザの場合、本ケースの凹みの末端部分が基本節骨部分を圧迫してしまうため、結果として上述のような意見が得られたと考えられる。今後は凹みの角の部分の形状についても工夫するなどの改良も必要になると思われる。

## 4.7 製品のリリースと市場での評価

本プロジェクトを通じて開発した製品は現在、直販サイトや大手通販の産経デジタル社、ドコモショップをはじめとする各種ショップで販売されている（図 4.19）。ふるさと納税での返礼品としても好評であり、地域ブランド製品としても認識されている。また、世界 iPhone ケース展への参加・出展も実現した [35]。

また、2016 年 6 月には武蔵野美術大学にて産学連携の成果発表会を東京ミッドタウン・ラウンジで開催し、プレスリリースも行った（図 4.20）。さらに、武蔵野美術大学の長澤



図 4.20: 東京ミッドタウン・ラウンジでの発表会の様子

忠徳学長が英国 Royal College of Art(RCA) より日本人で初めてシニアフェローの称号を授与された際、当時の RCA の副学長の Sir James Dyon に本製品を謹呈し、RCA 関係者から高い評価を得たと武蔵野美術大学より報告も受けている。さらに同年、いわて特産品コンクールにて岩手県市長会会長賞(二位)も受賞した [36]。2017 年には木を使うコンテスト国内最大規模の林野庁補助事業である日本ウッドデザイン賞 2017 の木製品分野ライフスタイルデザイン部門にておいて入賞を果たしている [37]。

以上の事例からもわかるように、本研究で進めた産学連携プロジェクトにより開発された製品は、市場において高い評価を受けていることがうかがえる。また、現在も各方面から問い合わせや注文が相次いでいることを勘案すると、本製品が研究成果を活用した製品が実用的な製品として市場に受け入れられているとともに、株式会社バンザイ・ファクトリーのビジネスとしても成功していると考えられる。

## 4.8 おわりに

本章では、「ユニバーサルデザインの原則に基づいた把持体の形状設計に関する数値的指針」の作成を目指し、第3章で得られた把持に関する特徴量を一般向け製品へ応用した。ここでは、一般向け製品への応用としてスマートフォンケースに着目し、研究の成果を Apple 社製の iPhone ケースの製造に応用した。ケースの形状デザインについては、三重大学との研究成果を活用しつつ、武蔵野美術大学との共同研究により、工業デザイン、感性工学の観点からケースの形状を決定した。さらに本研究では、筋電計測を用いた評価実験を行うことにより、試作したケースのユーザビリティ、すなわちユーザにとっての「握りやすさ」について評価した。実験の結果、製作したケースを用いることにより、少ない把持力でスマートフォンケースを把持できることが示唆された。古来より造形の世界において用いられてきたザグリ形状は過去の経験や知見から生み出されたものであるが、本論文ではこのザグリ形状をスマートフォンケースに応用し、筋電計測によりその効果を定量的に確認することができた。このことは、工業製品のデザインにおいて一つの成果であったと考える。

今後は、ユーザから寄せられた意見を反映させながら、より握りやすいスマートフォンケースの製造を目指し、製品の改良を進めて行く予定である。実験結果からも、掴み上げる動作については年齢層によって差異が生じることも明らかとなっている。このような傾向も踏まえて、各ユーザのプロファイルに合わせたスマートフォンケースの開発にも取り組んで行きたい。また、本研究にて得られた知見は、他の製品への応用する際に参考になると考えられる。特に、タッピングにおける利用シーンにおいて把持に要する筋力が軽減されていることから、この点においてさらに研究を進めることにより、今後は他製品への展開についても検討していく予定である。



## 第5章 被災地・過疎地における地域ブランド の創出にむけて

### 5.1 はじめに

2011年3月に発生した東日本大震災は、東北に多くの犠牲者を生むとともに多くの企業が被災したため、経済的に大きなダメージも受けた。震災後、地域経済の復旧ならびに復興を目指し、多くの支援企業が被災地である三陸で様々な試みを行ったものの、いまだ地域の経済は震災前の状態には戻っておらず、依然として苦しい状況が続いている [38, 39, 40]。特に、文献 [39] が指摘するように、岩手県では土木や建設といった復興工事に係る事業が経済の下支えとなっているため、このような特需に伴う人材需要は時間とともに終息していく可能性が高い。よって、その後は本質的な商工業と第一次産業の衰退が止まらないという状況に陥っていく状況にある。この状況から、県外において職を求めるものも少なくなく、その結果、岩手県における人口流出も同様に止まっていない。文献でも指摘されているように、若者の県外流出や少子化を抑制する人口減少対策、産業・生業の再生が重要であることは言うまでもない。

一方、被災地にて復興の一躍を担う為に新たに事業を始めた会社は少ない。その中でも、株式会社バンザイ・ファクトリーは津波最大の被災地である岩手県陸前高田市 (2018年5月1日に隣町の大船渡市拡張移転) に本社を置く地域の中小企業であり、被災地にブランド商品の創出に着手し、そのための研究を重ねていた。同社は現在、コンピュータ技術を駆使した三次元切削技術を用いた木工技術や地元で生産される海産物などを用いた加工食品など、多岐にわたる事業を展開している [41, 42]。以前、同社は岩手県盛岡市ならびに秋田県仙北市にて事業を展開していたが、この震災をきっかけに被災地での仕事創出と雇用確保のために本社工場を陸前高田市に移転した。現在、これまでの事業を継続するとともに、複数の大学や地元高校との産学連携活動を通じて地域ブランド商品を生み出している。

本章では、同社が取り組んだ産学連携事例について、そのスキームや連携方法について詳細を述べる。またそれとともに、産学連携活動を通じた被災地域でのものづくりを取り組んで行った経緯と、地域ブランドの創出に向けての創意工夫について議論する。

## 5.2 被災地を取り巻く経済状況と地域ブランド創出の必要性

2011年の震災によって、被災地は想像をはるかに超える人的・物的被害を受けた。しかしながら、このような目に見える表層的な被害だけでは留まらず、人口の減少や経済の変化や規模の縮小など、地域が存続するために必要不可欠となる部分についても大きな被害を受けた。図 5.1 ならびに図 5.2 は、岩手県における雇用・売上げの回復状況ならびに震災前後における人口減少率をグラフにしたものである [43, 44, 45]。これらは経済産業局ならびに復興庁の資料からの引用であるが、これらの資料は東北地方において震災以前の水準まで回復した企業は半数以下であり、特段、水産業については低い水準となっていることを示している。また、図 5.2 のグラフからもわかるように、震災を機に東北地方では人口が大きく減少していることもわかる。特に、岩手県沿岸は宮城・福島の 3 県と比較しても減少率が大きく、その値は被災 3 県の平均の 3 倍程度までに上る。すなわち、これらのグラフから言えるのは (1) 震災を機に東北地方における人口（経済を下支えする人材）の流出は著しく、その結果 (2) 地域経済が減衰の一途を辿っている、特に (3) に三陸沿岸地域においてはその傾向が顕著であるということである。

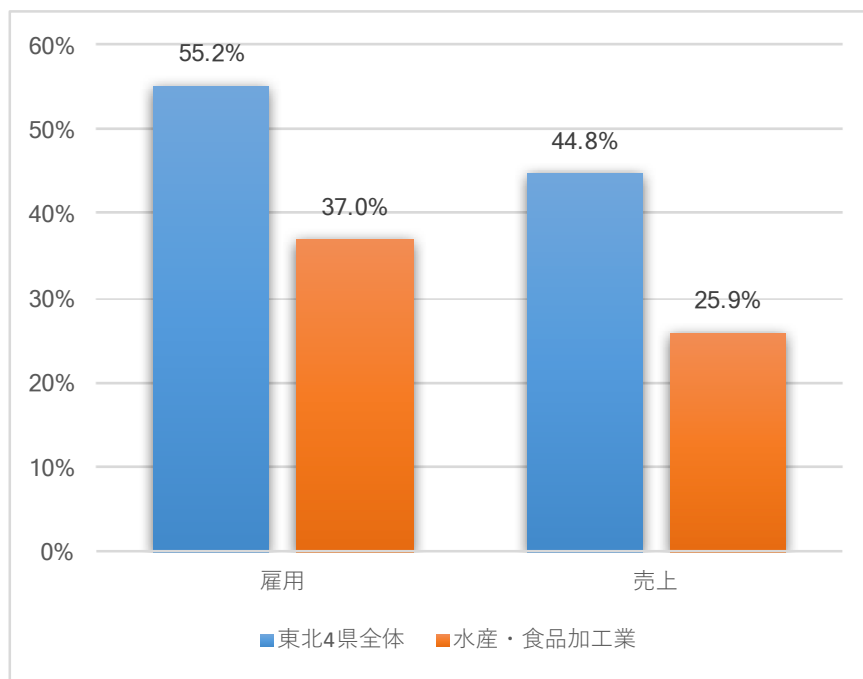


図 5.1: 震災以前の水準以上に雇用・売り上げが回復した企業の割合

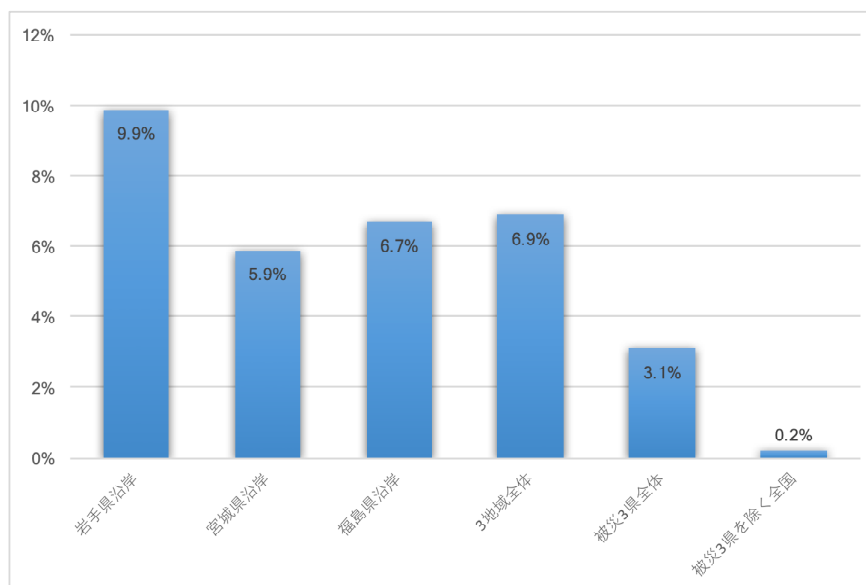


図 5.2: 震災前後における人口減少率

またさらに、近年のマスコミ等による報道のとおり、NPO法人いわてNPOセンターでは、助成金の不正受領など度重なる不祥事があったことが明らかとなり、法人の解散ならびに元理事や元臨時職員が逮捕される事態にまで発展している [46]。また、福島市ではNPO法人「NPOほうらい」の元副理事長が東京電力福島第1原発事故の復興支援などに対する福島県の補助金を不正受給したとして、福島署に逮捕されている [47]。このような状況からも、被災地における経済活動の復興は行政の意図するところとは異なり、思うように進んでいないのが現状である。また、この震災による建物の損壊といった一時的被害もさることながら、上記のような経済活動の低迷は数年～数十年のスパンで継続して起こるものである。そのため、地域の未来を考えると、地域経済の復興と振興は最重要課題であると考ええる。

一方、岩手県はその面積の広さゆえ、林業資源や水産資源に極めて恵まれおり、それらを活用した新たな地域ブランドの創出は地域経済の活性化に非常に有効である。例えば、岩手県工業技術センターでは平成13年度から伝統的な県産生活用品を日常生活に引き戻すことを目的とした「ユニバーサルデザイン開発技術普及推進事業」を実施しており、企業が自社製品にユニバーサルデザインを活用する際の参考に資することを目的としたハンドブックを作成している [48]。また、岩手県は国産漆の一大産地であり、同県はその60%以上を生産している [49]。現在、国内で消費される漆の98%程度は中国産であり、国産漆はわずか数パーセントという状況であるが、主たる理由はその貴重性と生産者の減少にある。その中でも60%以上のシェアを占める岩手県産の漆の活用は、伝統産業をはじめとする地域産業の振興という観点から貢献できる可能性は高い。

### 5.3 ICTを活用した複数の研究機関との産学連携

本研究では、三重県と東京都、岩手県の三陸地域の3箇所を連携するといった地理的な制約があることから、研究開発にはインターネットをベースとしたコミュニケーションツールを積極的に用いることとした。例えば、造形デザインにはCADソフトRhino Ver.5を使い、デザインデータの相互間でCADデータを共有した。当初の3ヶ月は3日に一度、その後は一週間に一度、30分程度のミーティングをSkypeを用いた遠隔会議システ



図 5.3: Face Time を用いた切削現場と本社事務所との連携の様子

ム上にて実施した。また，切削機械のある現場とのやりとりについては，Apple 社が OS とともに配布しているコミュニケーションツール「Face Time」を積極的に活用した（図 5.3）。ここでは，切削現場にいる社員の iPhone6 と本社事務所にあるデスクトップコンピュータを Facet Time で接続し，木材の切削状況や専用刃の設計，木材の切り後状態について確認するとともに，切削の状況を CAD データや切削設定の修正を行った。特に切削の詳細部分については，現物を郵送する前に検討部分を写真撮影した後に画像処理ソフトを用いて画像を拡大し，当該部分にコメントや指示などを挿入したデータをメールで送信した後，FaceTime でミーティングを行う形式を採用した。なお，切削された実物についても定期的に共同研究先に郵送して実物での確認も実施している。このように，研究切削から完成切削，塗装工程の研究から完成塗装までの工程確認，色合い等の確認，筋電図の装着方法，評価のための筋電図データのやり取りやそれらのデータ解析までの全てをインターネット上での会議とデータ共有を基本とした。開発フェーズが進んで一定の完成度に達した後は，実物を確認を確認しながら品質を高めるように研究し開発をするミーティングを繰り返した。本研究における開発作業は，上記のような体制のもと約 11ヶ月間続けられた。

## 5.4 産学連携による得られた経済効果

本プロジェクトを進めるにあたり、新たな雇用が創出された。図 5.4 はバンザイ・ファクトリーで勤務する社員であり、今回の研究開発プロジェクトに製造現場担当として携わっていた人物である。彼女は生後 4 ヶ月の子供を持つ母親であり、東京の美術大学出身でコンピュータを使いこなすことができる、地域では希少なスキルを持ち合わせている人材である。図の女性のように、就労に十分なスキルや意欲を持ち合わせている女性は三陸沿岸地域にはいるものの、託児能力が低い地域では、乳幼児を持つ若い母親が一般的な労働形態で働く機会が制限される、あるいは働ける職場そのものが無いケースが多い。その結果、恒常的な就労に至らないケースある。これは被災地に限った例ではない。

そこで、株式会社バンザイ・ファクトリーでは母子共に出勤可能な就労形態を採用し、製造のためのコンピュータによる演算処理時間中や木材切削中の空いた時間を利用して、子供共の様々な世話ができるような働き方を取り入れた。現在は、子供が保育所に預けることができる年齢になったため、保育所に預けてから出勤するようになり、長時間勤務が可能となっている。このように、本プロジェクトは地域由来の素材を活用した製品創生のきっかけを作るとともに、新たに社員を 2 名雇用するなど、地域雇用の増加にも大きく貢献した。また、同社では本プロジェクトの他にも複数の製品研究開発プロジェクトが平行して進められており、それらの活動を通じて、地域経済の活性化にできる可能性を広げている。



図 5.4: 新しい就労形態の採用と従業員の雇用

## 5.5 考察

上記のような取り組みによって得られた効果については、具体的な数値を示すことは難しいが、立ち戻れば「出来なかった物や事」が「出来た」という意味では研究開発は成功したといえる。遠隔地での産学連携、あるいは企業間の連携において情報通信技術（Information Communication Technologies: ICT）を使うことは、想像以上に大きな効果が得られるものと考えられる。もし、現代のインターネット上での動画技術やリアルタイムでの相互やり取りが無かったと想像すれば、恐らく全てのデータや試作品をメールや郵便で送付し、到着後に電話をしながら平面画像を元にやり取りする方法が採られるであろう。また動画部分については、ビデオカメラで撮影したビデオテープを共同研究先に送って切削現場を確認してもらうという形となるため、研究開発のスピードは現在と比較して著しく低下すると思われる。本研究で取り入れた産学連携スタイルは、多くの物量と打ち合わせ、運送コストと出向く場合の出張旅費を ICT の活用によって高効率に削減するとともに

に、研究開発のスピードを従来と比較的格段に向上出来たものとする。

なお、本論文にて述べた産学連携が成功したのは、昨今の通信環境の劇的な向上に依るところが大きい。本研究では、各担当者が岩手県陸前高田市と三重県津市、東京都小平市と互いに遠方であったため、関係者が密に連携することが容易ではなかった。地方の中小企業にとって打合せのために遠隔地の連携先へ出向くことは、経済的な負担となるとともに、移動時間も要する。上記のような地理的・時間的制約を克服するため、ここでは Skype や Facetime などカメラを用いたコミュニケーションツールや Google のクラウド技術等を積極的に活用した結果、経費節減とともに時間の有効活用化も可能となった。さらに、本研究では製品販売のためのマーケティングにもインターネットを積極的に活用した。現在では、インターネットを通じた販売が大半を占めている。このように、インターネット通信環境が成熟した日本において、通信インフラとサービスを駆使することは、地域という地理的制約を越えて解決すべき課題に合致する能力を持つ大学との連携を容易にするとともに、機動力が損なわれない産学連携、さらには販路開拓の可能性を示したものであると考える。

## 5.6 被災地・過疎地における産学連携の重要性

昨今、様々な分野においてユニバーサルデザインの観点が取り入れられ、ユーザビリティを考慮した製品が開発されている。特に、大手企業ではユニバーサルデザインの考え方を積極的に取り入れて自社製品に応用する、あるいはサービスとして提供するなど、その形態は多様化している。一方、このようなユーザビリティを考慮した製品のデザイン（工業デザイン）を手がける企業やデザイン事務所の多くは関東圏に集中しており、地方や過疎地域に開発部門を持つ企業は大手メーカーでも無い限り少ない。このような分野は、多くの実験により得られた多量のデータを分析する能力と工業デザインの豊富なノウハウを有する人材を要するため、地方の中小企業が工業製品に応用した新製品の開発・販売へのハードルは高くなる。本研究プロジェクトではこの点に焦点を絞って各研究機関（あるいは連携プロジェクトに参加した研究者）の強みを適切に評価し、両者を組み合わせたことが成功の要であったと考える。



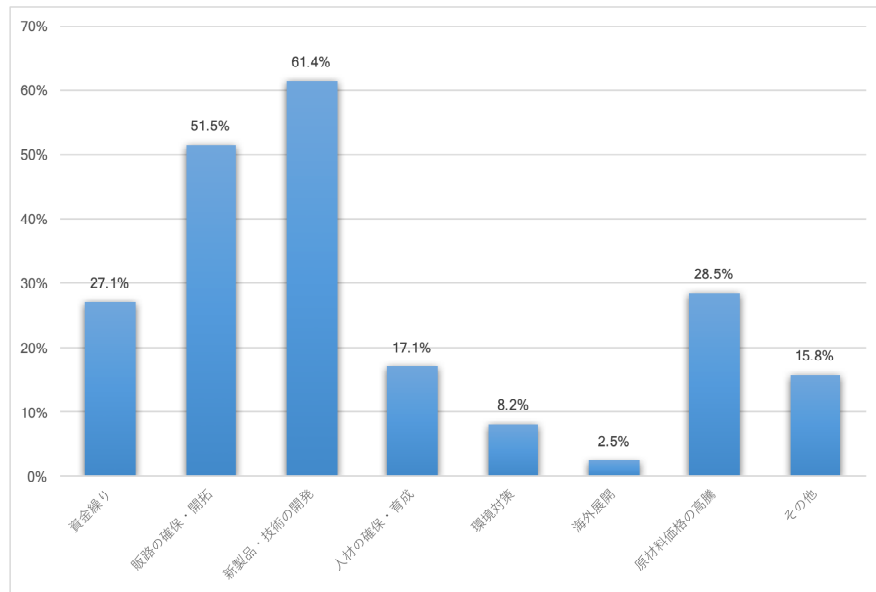


図 5.5: 被災地企業における課題（文献 [45] より）

上記のような連携を通じた製品開発は、地方中小企業の研究開発におけるあり方を変える可能性は高い。例えば、文献 [45] にある「被災地での企業アンケートによる回答結果」によると、被災地企業の一番の課題は新製品・技術の開発 (61.4%) であり、続いて販路の確保・開拓 (51.5%) となっている（図 5.5）。これらの課題は相当の割合を占めているが、この課題は被災地のみならず全国の中小企業が抱える課題でもある。例えば、近年では大企業の下請けが地方の中小企業から人件費の安いアジア諸国にシフトした結果、国内の中小・零細製造業は大きな課題に直面している。多くの中小企業では「脱下受け」や「自社ブランド商品の開発」へと経営方針を転換するが、決して多くの企業が成功を収めているとは言えない状況にある。このような課題を解決するためにも、本事例のような連携は非常に重要な手段であると考える。また、産学連携を通じた製品開発が地方の企業で活発化すれば、地域の若い労働力も活用することも可能となる。本論文での事例のように、若く情報技術にも精通した有能な人材であるにも関わらず、出産後にサポートを受けられなかったために就業できなかった人材もいる。このような地域における潜在的な労働力を活用するきっかけとしても、地方の中小企業との産学連携は非常に重要であると考える。

## 5.7 おわりに

本章では、ユニバーサルデザインを考慮した木製スマートフォンケースの開発のために進めてきた三重大学と武蔵野美術大学との産学連携に関する取り組みについて、その詳細を述べた。本プロジェクトでは、三重大学にて2011年より把持特徴量に関する研究を様々な角度から続けるとともに、2015年より武蔵野美術大学と基本造形デザインに関する研究に取り組むなど、産学が長期に渡って連携しながら研究開発を行った。

前述したように、過疎地や被災地における中小企業の製造現場においては、社内に研究開発部門や造形デザインを専門にする部門を持つことはなく、特に、小規模の製造業に至っては皆無である。そのような場所で「悲観的な訴求」に頼った商品や、付け焼き刃的に既存商品を真似て作った物により「復興需要」を開拓すべくビジネスを続けても、いずれ需要は下降することは必至である。本質的な復興や過疎地域の活性化、再生化に有効なものづくりには徹底的な研究開発を行うとともに、マーケットに対して「強い物」を作り出し提供していくことが必要である。しかしながら、それには大きなコストと長期間の取り組み、それに耐える覚悟が経営者サイドには求められる。また、社内に無い能力も必要となる。地域の企業が「強いものづくり」ができる「強い企業」になるためには、優秀な人材も必要不可欠である。それを解決する方策として、産学連携を主軸とした研究開発が非常に有効かつ具体的であると考えられる。

## 第6章 おわりに

### 6.1 本論文のまとめ

本研究では、感覚的ならびに直感的な言葉によってのみ表現された「ユニバーサルデザインの原則」を数値的に定義するために、株式会社バンザイ・ファクトリーが製造している我杯に着目した。本論文第3章にて、我杯を製造する際に用いる3D把持体データから各ユーザの把持に関する特徴を抽出した。さらに、その結果を分析することにより、個人の握り型の特徴や「握りやすさ」に関する特徴について検討した。

また本研究では、これら得られた研究成果を実製品へ応用した。本論文の第4章では、現代社会において最も「握る」時間が多いとされているスマートフォンに焦点を絞り、得られた把持に関する特徴を「握りやすい」スマートフォンケースの製造に応用した。ここでは、「握りやすい」という人間の感性をどのように扱うのかという部分について思案するとともに、少ない把持力でもスマートフォンを把持でき本体を落とさない、すなわち落下防止機能を持つスマートフォンケースのデザインについて検討した。研究成果を活用してスマートフォンケースを試作し、筋電計を用いた評価実験を通じてそのユーザビリティ（握りやすさ）について評価した。評価実験の結果、本研究にて作成したスマートフォンケースを用いることにより、スマートフォンケースを掴んで持ち上げる、あるいはタップする動作において、ケースがない場合と比較して筋電位に大きな差が見られた。これらの評価実験の結果から、作成したスマートフォンケースの有効性が確認された。

なお、上記の内容については、2011年から三重大大学と共同で進めた3D把持体データの分析に関する研究と、2015年から武蔵野美術大学と共同で進めた基本造形デザインに関する研究の成果である。これらの研究は全て産学連携の考え方に基づいて進められたものである。研究成果は、東京ミッドタウンのラウンジにて共同研究の成果として披露され、実際の製品として市場にリリースされた。現在は、ネット販売を主軸に百貨店やセレクト

ショップ等の店舗にて販売されている。さらに、本プロジェクト進めることにより、被災地での正規社員の新規雇用を促進するなど、地域雇用の活性化にも貢献することもできた。本論文では、これらの産学連携の事例について概要を述べるとともに、得られた効果についても示した。またそれに加えて、産学連携活動を通じた被災地域でのものづくりを取り組んで行く経緯や地域ブランドの創出に向けての創意工夫についても議論した。第5章では、その開発方法についても述べるとともに、被災地・過疎地での中小企業における産学連携の重要性についても言及した。

## 6.2 今後の課題

先にも述べたように、過疎地や被災地における中小企業の製造現場においては、社内に研究開発部門や造形デザインを専門にする部門を持つことは殆どない。特に、小規模の製造業に至っては皆無である。そのような場所で「悲観的な訴求」に頼った商品や、付け焼き刃的に既存商品を真似て作った物により「復興需要」を開拓すべくビジネスを続けても、いずれ需要は下降することは必至である。本質的な復興や過疎地域の活性化、再生化に有効なものづくりには徹底的な研究開発を行うとともに、マーケットに対して「強い物」を作り出し提供していくことが必要である。しかしながら、それには大きなコストと長期間の取り組み、それに耐える覚悟が経営者サイドに求められる。また、社内に無い能力も必要となる。地域の企業が「強いものづくり」ができる「強い企業」になるためには、優秀な人材も必要不可欠である。それを解決する方策として、産学連携を主軸とした研究開発が非常に有効かつ具体的である。

また、このような連携を通じて地域が抱える様々な課題を解決できるような技術力を備えた企業が過疎地や被災地に育つことは、中央集中化による地方の過疎化を解決するとともに地方における仕事の創出、ならびに新しい働き方を創出するモデルであると考ええる。今後は、このような取り組み事例を継続的かつ積極的に公表し、産学連携の有効性を地方の中小企業に訴求していきたい。またさらに、雇用形態である「働き方」についても、新しい挑戦を続けていきたい。

## 謝辞

本研究の遂行にあたり、長期間にわたって熱心なご指導を賜りました鶴岡信治 理事・副学長（工学研究科電気電子工学専攻 教授）、同大学大学院工学研究科電気電子工学専攻の高瀬治彦教授、ならびに川中普晴准教授に深く感謝いたします。また、本論文の執筆にあたり、同大学大学院工学研究科情報工学専攻の若林哲史教授には、貴重な時間を割いて本論文を査読していただき、さらに丁寧なご指導と多くのご助言をいただきました。鈴鹿医療科学大学の山本皓二教授には、研究上極めて有益なご助言や激励をいただきました。ここに深く感謝申し上げます。

本研究では、三重大大学と武蔵野美術大学、株式会社バンザイ・ファクトリーの3機関による産学連携体勢で研究開発を進めた結果、他に類を見ないコンセプトの製品を作り出すことに成功しました。これも三重大大学の先生方と長年にわたって続けてきた共同研究の成果であるとともに、武蔵野美術大学の田中桂太教授の本製品開発に対するご指導の結果と考えております。田中教授には、スマートフォンケースの形状デザイン手法において工業デザイン学の観点から様々な検証を行っていただきましたとともに、当該分野に関する多大な知識を与えていただきました。田中先生のご指導によって工業製品のデザインについて学ぶ機会が得られたこと、先生のご助言がきっかけとなって三重大大学での把持特徴に関する研究成果と工業デザインの分野での知見が数値的にも一致するという発見を得ることができました。田中先生との共同研究がなければ、製品も本論文も完成しなかったと考えています。

また、小生が産学連携学会へ学術論文を投稿する際には、西村訓弘 副学長（地域イノベーション学研究科 教授）に熱心なご指導をいただきました。西村副学長には、産学連携のあり方についても小生に多大な知識を与えていただきましたとともに、論文執筆についてもご指導いただきました。採録された学術論文は現在、多方面の方から注目されてお

り、本研究の核となるものであったと確信しております。心より感謝の意を表します。

感性工学会へ投稿しました学術論文につきましては、その作成にあたり、工学院大学名誉教授の椎塚久雄先生にご丁寧なご指導と多くのご助言をいただきました。椎塚先生には、これまで学術論文を執筆した経験がほとんどなかった小生に対して、感性工学という学術領域の概要から学術論文の書き方に至るまでご指導していただきました。椎塚先生にご指導いただきました後、小生が感性工学に対して興味を抱いたのは言うまでもありません。ここに感謝の意を表します。

最後になりましたが、本研究を博士論文として完成させるために、日頃から本研究に関して活発なご討論をしていただいた、鶴岡研究室、高瀬研究室、日本人間工学会、日本感性工学会の諸氏、諸嬢のみなさま、その他お世話になった全ての方々に感謝の意を表します。

## 参考文献

- [1] 関根千佳, ユニバーサルデザイン概論, 映像情報メディア学会誌, Vol.60, No.7, pp.989-992, 2006
- [2] 山岡俊樹, 岡田明, 野村昌敏, 柳田宏治, 山崎和彦, ユニバーサルデザイン・ガイドラインの提案, 人間工学, Vol. 37 (特別号), pp.110-111, 2001
- [3] 前橋信之, 商品開発におけるユニバーサルデザイン, 人間工学, Vol. 41 (特別号), pp.68-69, 2005
- [4] 阿部圭子, 小川哲史, 松井菜月希, 山本芙美, ユニバーサルデザイン商品の達成度定量化, Panasonic Tech. Journal, Vol. 59, No. 1, pp.18-22, 2013
- [5] バンザイ・ファクトリー公式ホームページ, <http://www.sagar.jp>
- [6] Universal Design Principles, Official Website of the Center for Universal Design, [https://www.ncsu.edu/ncsu/design/cud/about\\_ud/udprinciples.htm](https://www.ncsu.edu/ncsu/design/cud/about_ud/udprinciples.htm)
- [7] 持丸正明, 河内まき子, 宮田なつき, 本村陽一, ユニバーサルデザインマウス < Just One > 研究報告, 産業技術総合研究所デジタルヒューマン研究センター, <http://www.dh.aist.go.jp/jp/research/centered/mouse/UD-Mouse-JustOne.pdf>, 2006
- [8] 竹綱章浩, コクヨにおけるユニバーサルデザインの取組み, 公益財団法人日本ファシリティマネジメント協会 ユニバーサルデザイン研究部会 (SCM10) 第2回週末セミナー, pp.33-37, 2008
- [9] 1) World Star Awards (Budapest, Hungary, 2016), World Packaging Organization (WPO), <http://www.worldstar.org/2016-worldstar-awards>

- [10] 大平祐歌, ユニバーサルデザインに配慮した容器改善～明治チューブでバター 1/3 の事例, 食品と開発, Vol. 48, No.6, 2013
- [11] 中内茂樹, 色覚の多様性とカラーユニバーサルデザイン, 照明学会誌, Vol.94, No.3, pp.181-185, 2010
- [12] 齋藤晴美, 渡邊昌洋, カラーユニバーサルデザイン, システム／制御／情報, Vol.57, No.9, pp.363-367, 2013
- [13] 宮澤佳苗, 中内茂樹, 篠森敬三, カラーユニバーサルデザインツールとしての色弱模擬フィルタ, 日本色彩学会誌, Vol.32, No.1, pp.31-36, 2008
- [14] 岡崎克典, 高齢者視覚シミュレーションの理論と実際, 日本色彩学会誌, Vol.32, No.1, pp.44-48, 2008
- [15] 須長正治, 色覚バリアフリーデザイン支援ツールと教材の開発, 日本色彩学会誌, Vol.32, No.1, pp.37-43, 2008
- [16] 木内望, 小塚清, ユニバーサルデザイン指標に関する解説, 建築マネジメント研究論文集, Vol.14, pp.343-348, 2007
- [17] 江口紀子, 医療施設におけるユニバーサルデザイン, 電気設備学会誌, Vol.30, No.12, pp.989-993, 2010
- [18] 長嶋宏之, 町田俊一, 有賀康宏, 小林正信, 東矢恭明, 村上詩保, ユニバーサルデザイン鉄瓶シリーズの開発, 日本デザイン学会誌「デザイン学研究 作品集」, Vol.12, No.12, pp.42-45, 2006
- [19] W. Penfield, T. Rasmussen, The cerebral cortex of man, A Clinical Study of Localization of Function, The Macmillan, New York, 1950
- [20] 坂本美香, 菊池恵美子, 繁田雅弘, アルツハイマー病の重症度と手指機能に関する研究, 日本老年医学会雑誌, Vol. 43, No. 5, pp. 616-621, 2006



- [21] 高見美貴, 千田富義, 軽度から中等度のアルツハイマー型認知症における上肢運動機能障害の特徴—認知症重症度, 課題難易度との関連性, 総合リハビリテーション, Vol. 38, No. 3, pp.263-269, 2010
- [22] 坪井章雄, 門間正彦, 河野豊, 中村洋一, 新井光男, 林隆司, 大貫学, 健常者における手指巧緻動作と認知機能の関連, 厚生指標, 厚生労働協会, Vol. 60, No. 1, 2013
- [23] 尹 智暎, 大藏 倫博, 角田 憲治, 辻 大士, 鴻田 良枝, 三ッ石 泰大, 長谷川 千紗, 金 勳, 高齢者における認知機能と身体機能の関連性の検討, 体力科学, Vol. 59, No. 3, pp.313-322, 2010
- [24] 寺田千秀, 簡易上肢機能検査 (STEF), OT ジャーナル, 38, pp. 681-686, 2004
- [25] 山口晴保, 認知症の脳活性化リハビリテーション, 老年期認知症研究会誌, Vol. 18, pp.133-139, 2011
- [26] Official Web Page of 3D Systems Corporation, <http://www.3dsystems.com>
- [27] H. Kawanaka, K. Yamamoto, K. Takahashi and K. Suzuki, "Feature Extraction and Visualization from 3D Polygon Data for Determining a More Comfortable Grip Form - Awareness of Comfortability -", International Journal of Innovative Computing , Information and Control, Vol. 7, No. 5(B), pp. 3007 - 3018 , 2011
- [28] H. Kawanaka, K. Yamamoto, K. Takahashi and K. Suzuki, "A Method of Analyzing 3D Polygon Data for Determining a More Comfortable Grip Form —Awareness of Comfortability—", Proc. of the 1st International Workshop on Aware Computing (IWAC 2009), pp. 620 - 623, 2009
- [29] T. Hirata, K. Takahashi, H. Kawanaka, K. Yamamoto, K. Suzuki, H. Takase and S. Tsuruoka, "A Study on Extraction Method of Distal Phalanx Regions from 3D Polygon Data for Determining a More Comfortable Grip Form", Proc. of 12th Intl. Symposium on Advanced Intelligent Systems (ISIS 2011), pp. 184-187, 2011

- [30] Y. Sasano, H. Kawanaka, K. Takahashi, K. Yamamoto, H. Takase and S. Tsuruoka, "Analysis of 3D Polygon Data for Comfortable Grip Form Design", Advanced in Intelligent Systems and Computing, Y.S. Kin, Y.J. Ryoo et al. (Eds.) Springer, ISBN 978-3-319-05499-5, pp. 85 - 94, 2014
- [31] 総務省, 情報通信白書平成 29 年版, 平成 29 年 7 月
- [32] 東海総合通信局, コラム Vol.39 使いすぎに注意! スマホの使用による健康への影響, 子どもをネット危機から守るスマホ・ネット講座 第 10 回, マイメディア東海, 2016 年 5 月 31 日版
- [33] Official Website of American Academy/Association of Orthopaedic Surgeons, Gamer's thumb? Get up, get out, get moving to avoid repetitive stress injuries — Orthopaedic surgeons recommend more outdoor time and less gaming for kids, July 11, 2016
- [34] ITmedia Mobile, 携帯電話の故障原因 1 位は「ディスプレイ」の破損 4 割が修理せず, 2018 年 01 月 11 日版
- [35] iPhone ケース展 2017: 新着公式レポート 陸前高田と広島から匠の技が揃った三連休のブースレポート!, <http://iphone-caseten.com/news/3930/>, iPhone ケース展事務局 (KOTO PLANNING), 2017 年 9 月 19 日掲載
- [36] 公益財団法人いわて産業振興センター, いわたの物産展等実行委員会事務局 (旧: 社団法人 岩手県産業貿易振興協会) 公式ページ, <http://www.joho-iwate.or.jp/bussan/>, 2018 年 2 月 10 日アクセス
- [37] 日本ウッドデザイン賞事務局, 日本ウッドデザイン賞公式ページ, <https://www.wooddesign.jp/>, 2018 年 2 月 10 日アクセス
- [38] 岩手県復興局: 岩手県東日本大震災津波復興計画の取組状況等に関する報告書 (いわて復興レポート 2015), 97-105, 2015

- [39] 菊池洋介：震災から5年を迎えた岩手県の経済と雇用状況，ビジネス・レーバー・ト  
レンド 2016 年 3 月号，8-11，2016
- [40] 大川口信一：気仙沼圏の復興の現状と今後の再生の方向性，ビジネス・レーバー・ト  
レンド 2016 年 3 月号，12-15，2016
- [41] 高橋和良：被災地で試される「起業家の精神」継承される挑戦のメンタリティ，月刊  
事業構想 2016 年 1 月号，104-105，2016
- [42] 学校法人武蔵野美術大学：武蔵野美術大学が iPhone ケースを共同開発～復興へ向け  
たものづくり：陸前高田市の企業と行った産学共同研究の成果発表会を開催～，共  
同通信 PR ワイヤー，<https://prw.kyodonews.jp/opn/release/201605100483/>，  
2016 年 5 月 11 日掲載
- [43] 東北経済産業局：東北地域の産業復興の現状と今後の取組（平成 27 年 3 月 4 日（水）  
版），[http://www.tohoku.meti.go.jp/somu/topics/pdf/150304\\_2.pdf](http://www.tohoku.meti.go.jp/somu/topics/pdf/150304_2.pdf)（2017 年  
2 月 10 日アクセス）
- [44] 経済産業省：工業統計調査，[http://www.meti.go.jp/statistics/tyo/kougyo/  
index.html](http://www.meti.go.jp/statistics/tyo/kougyo/index.html)（2018 年 2 月 10 日アクセス）
- [45] 復興庁総合政策班編：「新しい東北」先導モデル事例集，Vol.2，2016
- [46] 河北新報：元 N P O 理事ら助成金詐欺容疑で逮捕 岩手県警，河北新報 2012 年 6 月 4  
日版，2012
- [47] 河北新報：復興補助金不正受給疑い 元 N P O 幹部逮捕，河北新報 2017 年 07 月 06 日  
版，2017
- [48] 町田俊一，東矢恭明，長嶋宏之，有賀康弘：県産木製家具へのユニバーサルデザイン  
の導入，岩手県工業技術センター研究報告，第 10 号，33-36，2003
- [49] うるしの國・浄法寺，<http://urushi-joboji.com/>（2018 年 2 月 16 日アクセス）

# 業績リスト

## 学術論文

1. 高橋和良, 川中普晴, 田中桂太, 西村訓弘, 鶴岡信治: “産学連携による過疎地・地方でのものづくりと地域ブランド商品の創出”, 産学連携学 (産学連携学会誌), Vol.15, No.1, pp.41-19, 2019
2. 高橋和良, 川中普晴, 田中桂太, 落下防止機能を持つスマートフォンケースデザイナー三次元把持体データ分析から得られた形状と伝統技法ー, 感性工学 (日本感性工学会論文誌), 10.5057/jjske.TJSKE-D-18-00067, 2018

## 査読付き国際会議

1. K. Takahashi, H. Kawanaka, K. Yamamoto, K. Tanaka, T. Ayabe, M. Takahashi, T. Takahashi, H. Takase, S. Tsuruoka, "Smartphone cases and human friendliness in information technologies", Proc. of 2016 12th International Conference on Natural Computation, Fuzzy Systems and Knowledge Discovery (ICNC-FSKD), pp. 1798-1802, 2016
2. K. Takahashi, H. Kawanaka, K. Yamamoto, K. Tanaka, T. Ayabe, M. Takahashi, T. Takahashi, H. Takase and S. Tsuruoka, "A Study on Designing of Smartphone Case Based on 3D Analysis of Grip Forms", Proc. of 2016 IEEE 5th Global Conference on Consumer Electronics, pp. 92-93, 2016

## 国内学会発表

1. 高橋和良，平田知也，川中普晴，山本皓二，高瀬治彦，鶴岡信治，多人数の3次元把持体データを用いた把持傾向分析に関する一考察 — 把持体形状設計のための指針構築を目指して —，日本人間工学会東海支部 2011 年研究大会論文集，pp.40-41，2011
2. 高橋和良，川中普晴，平田知也，鈴木清詞，山本皓二，高瀬治彦，鶴岡信治，把持体形状を決定するための指針構築を目的とした3次元把持体データ分析・モデリング法に関する検討，日本人間工学会誌，Vol.48 巻特別号（日本人間工学会第53回大会講演集），pp.406-407，2012

## 新聞・雑誌，イベント，テレビ取材など

1. HNK 秋田放送局，ニュースこまち，2010 年7月7日放送
2. mono マガジン，ワールドフォトプレス，2016 年7月2日号
3. 三陸経済新聞，握り手に優しい木製スマホケース 陸前高田の企業が武蔵美と共同開発，<https://sanriku.keizai.biz/headline/1261/>，2016 年07月05日版
4. iPhone ケース展 2017，東急ハンズ銀座，2017 年9月
5. テレビ東京，未来を作り出す TV POWER of TOHOKU，2017 年11月3日放送
6. 岩手めんこいテレビ，8びサタ社会科見学部，2017 年11月4日放送
7. 岩手日報，香るスマホケース開発—背面に薄型チップ 富士通（東京）と特許契約，2018 年20月17日版
8. 東海新報，香るスマホケース開発—バンザイ・ファクトリー 富士通の特許技術活用，2018 年20月17日版

## 受賞など

1. 岩手県ビジネスプラン・グランプリ（スタートアップ部門）グランプリ 受賞, (財) いわて産業振興センター主催 2007 年 11 月
2. 岩手県 いわて産学連携推進協議会（リエゾン i）研究開発事業化育成資金 受賞
3. いわてけん特産品コンクールの工芸品・木工品部門 岩手県市長会会長賞, ウッドケース for iPhone, 2016 年 9 月
4. ウッドデザイン賞 2017 入賞, 林野庁補助事業 ウッドデザイン賞運営事務局, 2017 年