

熊本県産業技術センター

# 研 究 報 告

第 53 号 平成 27 年度

.....  
REPORTS OF  
KUMAMOTO INDUSTRIAL RESEARCH  
INSTITUTE  
No.53 2015.4-2016.3  
.....

平成 29 年 3 月

熊本県産業技術センター  
〒862-0901 熊本市東区東町 3-11-38

Published by  
Kumamoto Industrial Research Institute  
3-11-38, Higashi-machi, Higashi-Ku, Kumamoto 862-0901 Japan



---

# 熊本県産業技術センター研究報告

第 53 号 (平成 27 年度)

## 目 次

---

### 【論 文】

|                                   |            |   |
|-----------------------------------|------------|---|
| エネルギー利用の高効率化のための表面形状付与技術の開発 ..... | 森山芳生 ..... | 1 |
|                                   | 川村浩二       |   |
|                                   | 濱嶋英樹       |   |
|                                   | 百田 寛       |   |
|                                   | 村井 満       |   |

|                                     |            |   |
|-------------------------------------|------------|---|
| ユーザビリティに配慮した「情報の見える化」に関する研究開発 ..... | 石橋伸介 ..... | 6 |
|                                     | 黒田修平       |   |
|                                     | 道野隆二       |   |

### 【研究ノート】

|                                     |            |    |
|-------------------------------------|------------|----|
| 赤外分光分析法を利用した油脂中のトランス脂肪酸定量法の確立 ..... | 佐藤崇雄 ..... | 12 |
|                                     | 藤野加奈子      |    |
|                                     | 大王龍一       |    |

### 【転 載】

|                                         |            |    |
|-----------------------------------------|------------|----|
| パーソナルモビリティの価値要素および価値構造の把握 .....         | 石橋伸介 ..... | 14 |
| － クオリティカルテ評価・診断システム構築に関する研究 (5) －       | 曾我部春香      |    |
| デザイン学研究, Vol.60, No.4, pp. 21-28 (2013) | 森田昌嗣       |    |

|                                       |            |    |
|---------------------------------------|------------|----|
| パーソナルモビリティに特化したデザイン評価・診断システムの構築 ..... | 石橋伸介 ..... | 22 |
| － クオリティカルテ評価・診断システム構築に関する研究 (6) －     | 曾我部春香      |    |
| デザイン学研究, Vol.63, No.2, pp. 1-8 (2016) | 森田昌嗣       |    |

|                                                                                                                                                                                                                                                                             |  |    |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--|----|
| Improvement of <i>m</i> -Plane ZnO Films Formed on Buffer Layers on<br>Sapphire Substrates by Mist Chemical Vapor Deposition<br>Hironobu TANOUE, Masato TAKENOUCHI, Tatsuya YAMASHITA, Shohei WADA,<br>Zenji YATABE, Shoji NAGAOKA, Yoshihiro NAKA and Yusui NAKAMURA ..... |  | 30 |
| Phys. Status Solidi A, in Press (2017)                                                                                                                                                                                                                                      |  |    |

|                                                                                                                                                                                                                                                           |  |    |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--|----|
| Chemical Mechanical Polishing of Transparent Conductive Layers using<br>Spherical Cationic Polymer Microbeads<br>Shoji NAGAOKA, Naoya RYU, Akio YAMANOUCHI, Tomohiro SHIROSAKI,<br>Maki HORIKAWA, Hideo SAKURAI, Makoto TAKAFUJI and Hirotaka IHARA ..... |  | 35 |
| Thin Solid Films, Vol. 576, pp. 31-37 (2015)                                                                                                                                                                                                              |  |    |

---

REPORT OF  
KUMAMOTO INDUSTRIAL RESEARCH INSTITUTE

Vol. 53 (2015. 4–2016. 3)

CONTENTS

---

【Original papers】

Development of Imparting Surface Texture Technology for Efficient Use of Energy

Yoshio MORIYAMA, Koji KAWAMURA, Hideki HAMASHIMA, Hiroshi MOMOTA and Mitsuru MURAI ..... 1

Consideration of Usability-Conscious “Visualization of Information”

Shinsuke ISHIBASHI, Shuhei KURODA and Ryuji MICHINO ..... 6

【Technical Note】

Application of FT-IR Spectroscopy for the Trans Fatty Acid Determination in  
the Processed Food and Oil

Takao SATOH, Kanako FUJINO and Ryuichi DAIO ..... 12

【Reprinting】

Grasp of Value Structure and Value Element in the Personal Mobility

– A Study on Construction of Quality Chart Evaluation/Diagnostic System(5)–

Shinsuke ISHIBASHI, Haruka SOGABE and Yoshitsugu MORITA ..... 14

Bulletin of Japanese Society for the Science of Design, Vol. 60, No. 4, pp. 21–28 (2013)

Construction of Design Evaluation/Diagnostic System for Personal Mobility

– A Study on Construction of Quality Chart Evaluation/Diagnostic System(6)–

Shinsuke ISHIBASHI, Haruka SOGABE and Yoshitsugu MORITA ..... 22

Bulletin of Japanese Society for the Science of Design, Vol. 63, No. 2, pp. 1–8 (2016)

Improvement of *m*-Plane ZnO Films Formed on Buffer Layers on

Sapphire Substrates by Mist Chemical Vapor Deposition

Hironobu TANOUE, Masato TAKENOUCI, Tatsuya YAMASHITA, Shohei WADA,

Zenji YATABE, Shoji NAGAOKA, Yoshihiro NAKA and Yusui NAKAMURA ..... 30

Phys. Status Solidi A, Vol. 214, in Press (2017)

Chemical Mechanical Polishing of Transparent Conductive Layers using

Spherical Cationic Polymer Microbeads

Shoji NAGAOKA, Naoya RYU, Akio YAMANOUCI, Tomohiro SHIROSAKI,

Maki HORIKAWA, Hideo SAKURAI, Makoto TAKAFUJI and Hirotaka IHARA ..... 35

Thin Solid Films, Vol. 576, pp. 31–37 (2015)



# エネルギー利用の高効率化のための表面形状付与技術の開発

森山 芳生・川村 浩二・濱嶋 英樹・百田 寛・村井 満

ものづくり室

## Development of imparting surface texture technology for efficient use of energy

Yoshio MORIYAMA, Koji KAWAMURA, Hideki HAMASHIMA, Hiroshi MOMOTA and Mitsuru MURAI

近年、風力発電や小水力発電などの自然エネルギーを利用した発電システムが注目されている。これらの発電システムが今後更に普及するためには、少ない流量でも発電できる効率的なシステムの開発が求められている。そのためには、流体抵抗を最適化することが重要であり、固体表面に微細形状を付与することは有効な手段のひとつである。

そこで本研究では、流体エネルギーの高効率化に向けた表面形状付与技術について、表面の形状が流れに及ぼす影響を数値解析によって確認した。また、摩擦抵抗を最適化するために必要となる微細形状について、切削加工により2種類のリブレットの微細形状加工を行い、形状精度が良好でバリの発生しない切削加工条件の検討を行った。

### 1. はじめに

流体中に物体を置いた場合、一般的には表面が滑らかな方が流体の抵抗を小さくできるように思えるが、実際はゴルフボール表面のくぼみ（ディンプル加工）にも見られるように、表面に微細な凹凸がある方が流体の抵抗が小さくなる場合があり、ゴルフボールも遠くへ飛ぶことができる。これは表面が滑らかな場合、飛翔しているボールの後部において空気がボールの表面から離れる「剥離」と呼ばれる現象が生じ、剥離の発達に伴って渦が発生してボールを後ろに引っ張る力（抗力）が大きくなり失速する。表面にディンプルがある場合、ボール表面には小さな渦が発生し流体は乱れるが、この乱れにより剥離の発生が抑えられ、結果としてゴルフボールはより遠くへ飛ぶことが可能となる<sup>1)</sup>。

また、水泳競技で用いられたサメ肌水着やトンボの翅も同様に、物体表面の微細な凹凸により流体の抵抗を小さくし、効率よく動くことができる。

日本文理大学では、トンボの翅の断面をヒントに微風でも回転する「マイクロ・エコ風車」を開発している<sup>2)</sup>。

このように、流速2～4m/s程度の低速領域において効率的に流体の力を作用させるためには、流体の剥離による影響を最小化する断面形状や表面の微細形状を最適化する必要がある。

また、実際に製品を作製する場合は、切削加工等の機械加工で製作できないことも考えられるので事前に検討し、加工方法を確立しておく必要がある。

### 2. 数値解析及び加工技術

本研究においては、(1) 微細表面形状周辺における流体の挙動や物体に及ぼす影響や形状最適化について数値解析を用いて明らかにし、(2) 微細形状を付与するための加工技術について研究を行った。

#### 2.1 微細形状における流体现象の数値解析

##### 2.1.1 円柱周りの流体现象について

低速領域における水中での剥離の状況を確認するため、表1に示す条件にて二次元定常解析を行った。

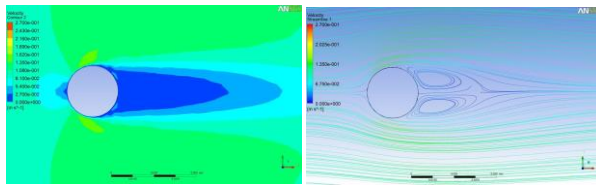
表1 解析条件

|       |              |
|-------|--------------|
| 物体形状  | φ 30mmの円柱    |
| 流速    | 0.1m/s       |
| 乱流モデル | $k-\epsilon$ |

解析結果について速度分布を図1(a)に、流線を図1(b)に示す。図1(a)に示すように、物体後部において流速の遅い領域が確認され、図1(b)では剥離及び剥離に伴う後流の発生も確認される。

次に、物体表面における微細形状の影響を確認するため、表面にディンプルを付与した形状について解析を行った。

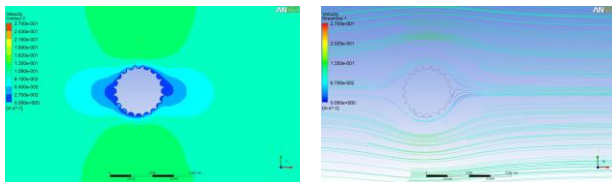
解析結果を図2に示す。速度分布を見ると、物体後部における低速領域が小さく、また流線では剥離は確認できない。この解析結果からも、表面の微細形状により、物体表面の乱流発生が促進され流体の剥離が抑制されていることがわかる。



(a) 速度分布

(b) 流線

図1 円柱周りの解析結果



(a) 速度分布

(b) 流線

図2 ディンプル周りの解析結果

### 2.1.2 凹凸を有する平板の形状最適化について

汎用の流体解析システムである「ANSYS Fluent」のアジョイントソルバー（随伴法）機能を用いて、低流速において表面に凹凸の形状を有する平板周りの表面形状について最適化を行った。

アジョイントソルバー機能とは、流体解析結果に対して、ある目的関数に対する形状変更の感度を計算し、感度の高い領域のメッシュ形状を変形する機能である。

図3に今回の解析で用いた形状を示す。この形状を初期形状として、表面形状の最適化を行った。

なお、今回はアジョイントソルバーの効果を把握できるように片面5mmの凹凸をモデル化した。

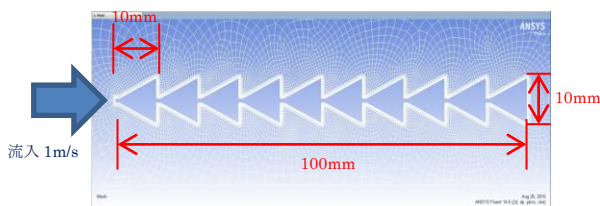


図3 初期形状

解析は、1m/sで移動する空気中に図3に示す初期形状の物体を設置した状況をモデルとして行った。図4に速度分布の解析結果を、図5に速度ベクトル図をそれぞれ示す。解析結果を見るとディンプルを有するゴルフボールの飛翔の場合と同様、剥離と思われる現象は確認できない。

また、物体表面ある凹部にて小さい渦が発生し、この渦により流体を後方にスムーズに流しているのが確認できる。

しかし、最後部では後流が発生しており、流れに対して抗力が作用していると思われる。なお、この解析における抗力は0.0075Nとなっている。

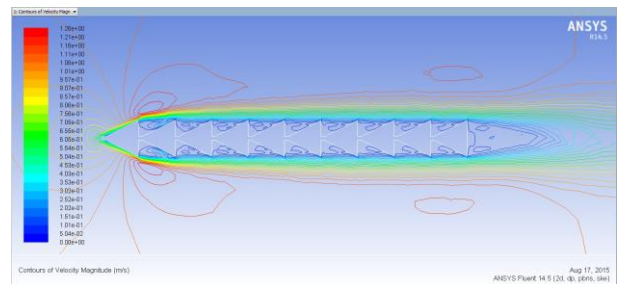


図4 初期形状における速度分布

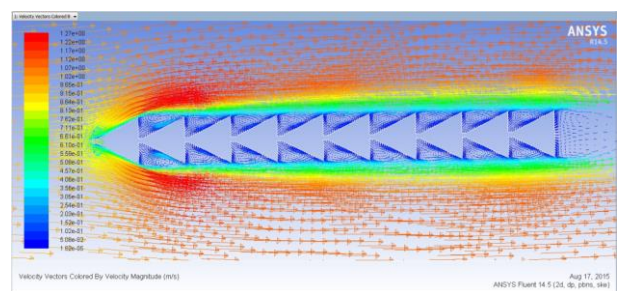


図5 初期形状における速度ベクトル

次に、図3の形状について、抗力を目的関数に設定してアジョイントソルバーを実行した。変形部及び変形領域を設定し、アジョイント計算を実施すると、図6に示すように目的関数（今回の場合、抗力）に対して効果のある個所を特定し、その部分のメッシュ形状を自動的に変形して最適解を探索する。1回の計算で最適解が出ない場合は、この操作を複数回実施する<sup>3)</sup>。

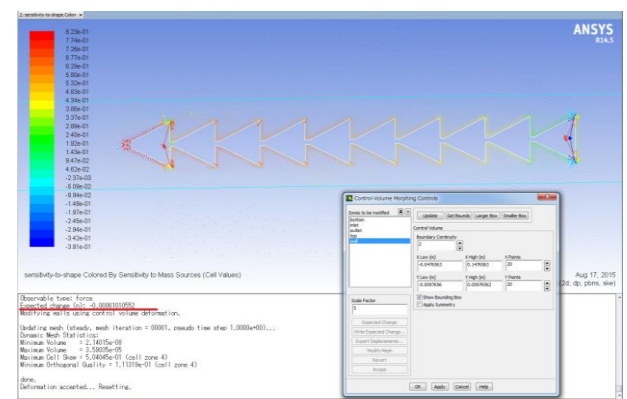


図6 変形の影響度表示

アジョイントソルバーの操作を行った後の解析結果を図7～9に示す。図7は最適化後のメッシュ形状、図8は速度分布、図9は速度ベクトルである。

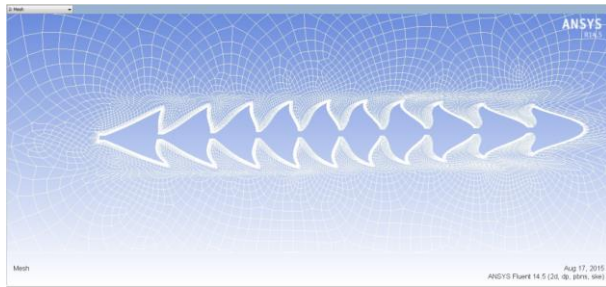


図7 最適化後のメッシュ形状

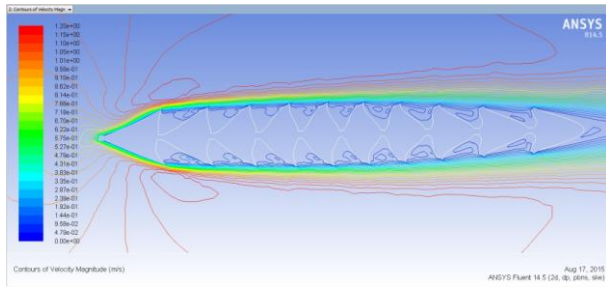


図8 最適化後の速度分布

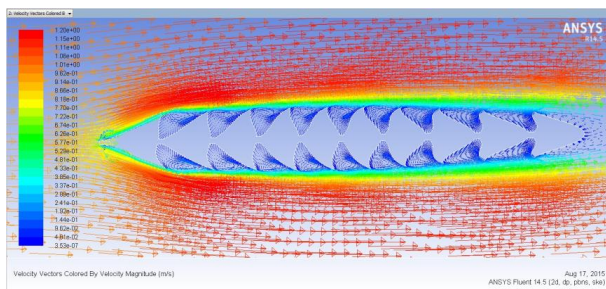


図9 最適化後の速度ベクトル

最適化後のメッシュ形状を見ると、ほぼ左右対称の形状となっており、最後部においては下流方向に膨らみ、剥離や後流の発生が抑えられる形状となっている。また、凹部はそのままの状態であるため、この箇所が抗力の抑制に作用していることがわかる。この形状における抗力は0.0057Nであり、初期形状の抗力と比較し、24%改善されている。

## 2.2 省エネルギーのための形状加工技術の開発

### 2.2.1 微細形状のモデル

近年、水泳競技などで多く採用されている水着は、サメ肌表面を参考にした微細形状を付与することで流体の摩擦抵抗を減少し大幅に機能を向上させることに成功した。サメ肌表面は、2.1.2の解析に用いたリブレットという微細な凹凸形状でできており、最近では各種機械部品への適用も進められている<sup>4),5)</sup>。そこで本研究では、アルミニウム合金A5052を図10に示すような方法で2種類のリブレット形状を切削加工し、加工後のサンプルを形状測定機で評価した。

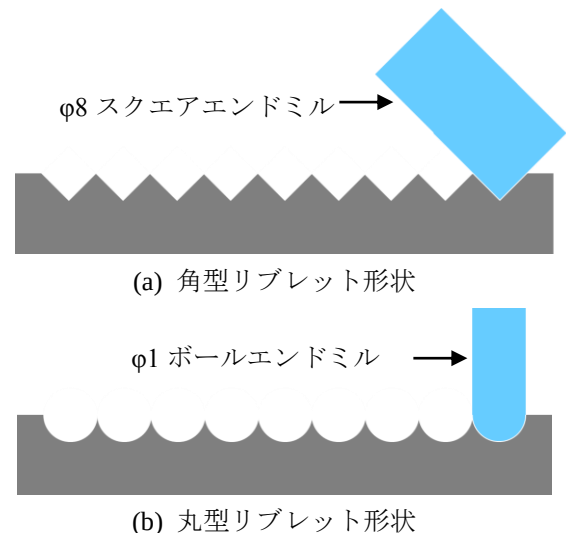


図10 2種類のリブレット形状と工具姿勢

### 2.2.2 実験装置及び実験方法

実験装置は複合加工機及び立型マシニングセンタを使用した。図10(a)の角型リブレットはφ8mmの超硬スクエアエンドミルの角を使用して製作した。また、図10(b)の丸型リブレットはφ1mmの超硬ボールエンドミルを使用して製作した。加工時の切削油剤はソリュブルタイプの水溶性切削油を使用した。切削条件は、工具メーカーの推奨条件を参考にして決定した。主な実験条件を表2にまとめる。なお、切削後の加工面の表面形状は、非接触式の表面粗さ・輪郭形状測定機を使用して評価した。

表2 実験条件

(a) 角型リブレット

|      |                                                      |
|------|------------------------------------------------------|
| 工作機械 | 複合加工機<br>オークマ社製 MULTUS B300 II                       |
| 切削工具 | 超硬スクエアエンドミル<br>コーティング：なし<br>直径：8mm 刃数：1枚             |
| 切削条件 | 切削速度：150 m/min<br>1刃当り送り：0.08 mm/tooth<br>切削液：水溶性切削液 |
| 被削材料 | アルミニウム合金 A5052                                       |

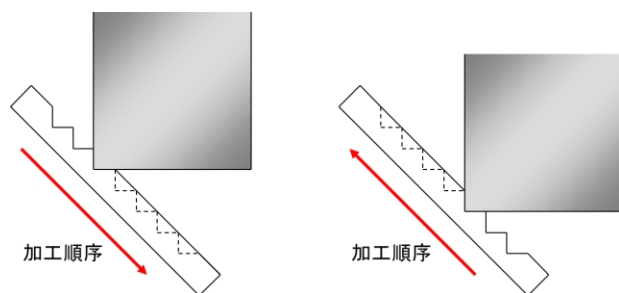
(b) 丸型リブレット

|      |                                                       |
|------|-------------------------------------------------------|
| 工作機械 | マシニングセンタ<br>牧野フライス製作所社製 V33                           |
| 切削工具 | 超硬ボールエンドミル<br>コーティング：DLC<br>直径：1mm 刃数：2枚              |
| 切削条件 | 切削速度：125 m/min<br>1刃当り送り：0.018 mm/tooth<br>切削液：水溶性切削液 |
| 被削材料 | アルミニウム合金 A5052                                        |



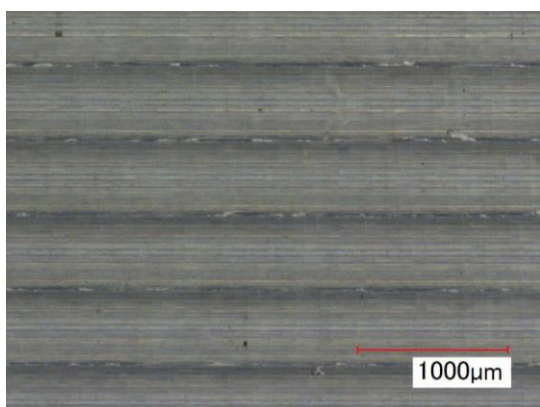
### 2.2.3 リブレットの最適加工条件

角型リブレット形状の加工順序を図11に示す。図11(a)に示す下り方向加工及び図11(b)に示す上り方向加工の双方で加工を行ない、加工後の表面状態をデジタルマイクロスコープで観察した。その結果を図12に示す。図12(a)に示すように下り方向加工の結果をみると、数カ所バリが発生している。一方、図12(b)に示すように上り方向加工の結果をみるとバリの発生は確認できない。従って、角型リブレット形状の加工順序は上り方向加工が適していることがわかった。

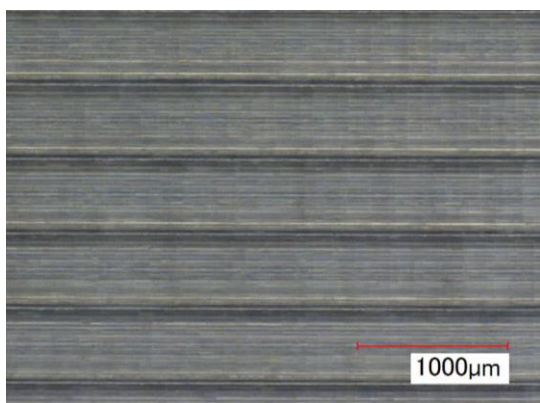


(a) 下り方向加工 (b) 上り方向加工

図11 角型リブレット形状の加工順序



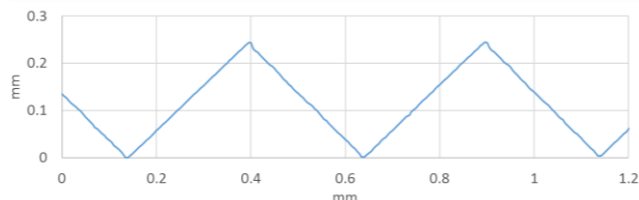
(a) 下り方向加工



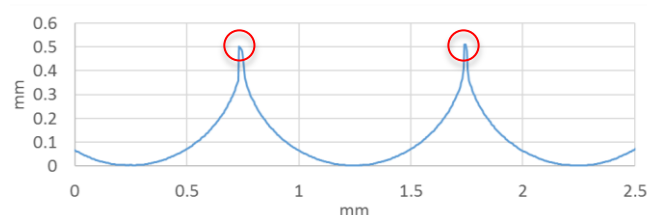
(b) 上り方向加工

図12 加工表面の観察結果

次に、リブレットの形状精度を確認するために、角型リブレットを0.5mmピッチ、丸型リブレットを1mmピッチで加工した後の加工面の形状精度を表面粗さ・輪郭形状測定機で測定した。その結果を図13に示す。



(a) 角型リブレット



(b) 丸型リブレット

図13 リブレットの形状測定結果

これらの結果から、角型リブレットは設計値どおりの形状加工ができていた。一方、丸型リブレットは、ボールエンドミルの球面と円筒面のつなぎ部分（図13(b)の赤丸部分）が切削されずに残り、設計値どおりの形状加工ができない。このことから、リブレットのピッチは、ボールエンドミルの球面と円筒面のつなぎ部分を使用しないよう、ボールエンドミル直径より小さくする方が良い。

### 3. おわりに

流体エネルギー利用効率化を目的に、物体表面における微細形状の影響を確認するために流体解析を行った。また、微細形状付与のための切削加工を行った結果、以下のことがわかった。

- (1) ディンプルのある円形の形状について、乱流発生による剥離の抑制が確認された。
- (2) 凹凸のある平板について、アジョイントソルバーを用いた形状最適化により、24%の抗力低下が図られた。
- (3) 角型リブレットの加工順序は上り方向加工が適している。
- (4) 丸型リブレットのピッチはボールエンドミル直径より小さくする方が良い。

## 謝 辞

本研究に使用した機器は、公益財団法人 JKA の補助を受けて取得したものである。ここに記して謝意を表す。



## 参考文献

- 1) 日経テクノロジーonline, スポーツをテクノロジーする, 飛距離を伸ばすゴルフボールディンプル, <http://techon.nikkeibp.co.jp/article/COLUMN/20150803/430560/>
- 2) 日本文理大学, 未来を招く研究・開発プロジェクト, <https://www.nbu.ac.jp/special/aerospace/project/>
- 3) アンシス・ジャパン株式会社, ANSYS Fluent最適化ツールの紹介
- 4) 諸貫信行: 微細構造から考える表面機能(2011), 森北出版.
- 5) 下村政嗣: バイオミメティクスが拓く技術革新と産業展開, 日本機械学会誌, 117, 1143 (2014) 70-73.

# ユーザビリティに配慮した「情報の見える化」に関する研究開発

石橋 伸介\*・黒田 修平\*・道野 隆二\*\*

\* 技術交流企画室、\*\*産業支援課

## Consideration of Usability-Conscious “Visualization of Information”

Shinsuke ISHIBASHI\*, Shuhei KURODA\* and Ryuji MICHINO\*\*

近年、さまざまな情報の見える化に対する要求が大きくなっているが、それらのインターフェイスは取得した数値をそのまま表示するものが多く、各々の領域の専門家ではないユーザーに対する配慮に欠けていた。そこで我々は、情報の見える化を充実させる一方で、伝えるためのデザイン技術の導入を図った。ケーススタディとして、以前我々が開発したセンサーネットワークシステムのハードウェアの一部にオープンソースハードウェアを採用し、スマートデバイスを意識したインターフェイスに改良した。また、ユーザー中心デザインやゲームニクスによるデザイン理論を用いてインターフェイスを実装することで当センターの施設見学担当職員が、自身の専門外の施設や設備を見学者に紹介する際にサポートできる見学案内システムを開発した。

### 1. はじめに

近年、農業や生産現場、家庭に至るまで、あらゆるフィールドでさまざまな情報の見える化が求められている。これまで全く見ていなかった、もしくはヒトの勘や感覚に頼っていた各々のフィールドの状況を、センサーやカメラなどを用いて明示的にデータとして可視化することで、気づき、課題抽出、改善のきっかけとなる。また、無線を含んだ通信デバイスを活用することで、遠隔地からの情報の見える化を達成できる。情報技術、通信技術を組み合わせた情報の見える化によって、省エネルギー化や品質向上、コスト削減、時間や労力の削減、特定人物への依存解消などさまざまな効果が得られる可能性がある。

しかし一方で、情報の見える化により取得したデータをユーザーに提供するフェーズに注目すると、数値やデータをそのまま伝えるだけの場合が多く、ユーザーへの配慮が欠けてしまっているため、情報の見える化を実現した価値が大きく損なわれてしまっている事例は少なくない。例えば、東日本大震災に端を発する電力不足をきっかけに、スマートメータやスマート家電など省エネを目的とした情報の見える化が注目されていたが、消費電力表示はその時の電力量の数値をそのまま伝えるだけで、その数値を読み取るユーザー自身が、現在の状況を判断する必要があった。これは情報の提供者がユーザー視点のユーザビリティに配慮していないため生じることである。このような事例から、ユーザーが情報の見える化の恩恵を感じるようなインターフェイスを実

装することで、その効果がより発揮され、ビジネスチャンスが広がる可能性があると考えられる。

そこで本報告では、2章で情報の見える化を実現するためのセンサーネットワークについて述べるとともに、3章でユーザビリティを実現するためのデザイン技術について述べる。さらに4章では、ケーススタディとしてそれらを考慮して試作したシステムについて述べる。

### 2. 情報の見える化の背景

本章では、情報の見える化における技術的背景について述べる。

#### 2.1 IoT(Internet of Things)の概要

近年、情報・通信技術、組込み技術といった、情報の見える化を実現するための核となる技術分野でめざましい進歩が見られる。通信分野においては、光ファイバーによる高速通信網の普及が全国的に進むとともに、データ通信にも利用できる低価格な携帯電話通信網が拡がりを見せ、さらにWiFiやBluetooth、Zigbeeといった近距離無線通信規格の標準化が進み、比較的安価かつ容易に無線通信が実現できるようになった。また、計算機ハードウェアにおいては、計算能力の高速化のみならず、小型化、省電力化、低価格化などの特徴をもつ多様なハードウェアデバイスが開発された。それらを支えるデバイスドライバや開発ツールなどのソフトウェア、センサーやカメラ、省エネや太陽電池など電源供給など、周辺技術、周辺デバイスの充実を伴って、目的

に応じた情報の見える化が実現しやすい開発環境が整ってきている。

これらの要素技術を集約する形で、IoT (Internet of Things、「モノのインターネット」) に利用されるようになった。

IoTは、これまでインターネットに接続されていた主な機器 (サーバ、PC、プリンタなど) 以外のさまざまなモノ (例えばスマートフォンや家電、自動車、センサーなど) がインターネットに接続されるようになり、モノ同士がインターネットを介して相互に通信、制御しあう仕組みであり、インターネットにあらゆるモノが繋がることで、新たなサービスや価値を産んでいく。

## 2.2 スマートデバイスの普及

タブレット端末やスマートフォンに代表されるスマートデバイスは、携帯性の高さやバッテリー駆動時間の長さ、直感的なインターフェイスによる利便性の高さから大きな伸びを見せ、タブレット端末の出荷台数は平成27年度にはノート型PCを超えるとされている<sup>1)</sup>。今後、スマートデバイスの普及や技術的深化、信頼性の向上、大きさや処理能力のバリエーションの充実により、現在ノート型PCを利用している現場では、さらにスマートデバイスへの置き換えが進むと考えられる。

一方で、スマートデバイスは角速度やGPSといったセンサーやカメラに加え、携帯電話網通信、WiFi、Bluetoothなどの無線通信機能を搭載した高機能な端末である。現在は、個人が利用する端末としての活用が主であるが、これらの機能を用いることで情報の見える化や制御用端末としての活用も期待できる。そのため、今後スマートデバイスは、さらに法人での活用が伸び、そのシェアを拡大していく見通しである。

## 2.3 オープンソースハードウェア

センサーやカメラを活用した情報の見える化が伸びる一因として、オープンソースハードウェアと呼ばれるデバイスの台頭が挙げられる。オープンソースハードウェアは、電子機器の設計や実装についての情報をフリーなライセンスで提供するハードウェアデバイスである。フリーライセンスで設計情報が入手できるため、オープンソース化されていないハードウェアデバイスと比べ、開発にかかるコストを削減でき、比較的安価に高性能なハードウェアが開発できるようになる。

現在、特に広く普及し、情報の見える化でも活用

が期待できるオープンソースハードウェアが、ArduinoとRaspberry Piである。

Arduinoは、組み込みボードおよび統合開発環境から構成される。組み込みボードは、アナログI/O、デジタルI/Oなどが実装しており、AVRマイコン (Atmel社製マイクロコントローラ) を採用している。Arduinoの統合開発環境は、C言語ライクなプログラミング言語であるArduino言語でコーディング可能で、統合開発環境内にコンパイラやAVRマイコンへの書き込みも可能となっている。Arduinoによって、デバイスの試作が安価かつ短期間に実装できるようになった。

また、Raspberry Piは、英国のRaspberry Pi Foundationによって開発が進められている教育向けコンピュータである。Linuxが搭載可能であり、Raspberry Pi FoundationがDebian LinuxをベースとしたRaspbianを提供している<sup>2)</sup>。

## 3. 伝える為のデザイン技術

デザインと聞くと、パッケージやロゴマーク、キャラクター、スタリングといったモノの外側を格好良く整えることとして理解している人が多い。もちろん、見た目を良くすることもデザインの一つの役割ではあるが、モノや情報、サービスが持つ特徴や魅力を相手にわかりやすく「伝える」こともデザインの大きな役割の一つである。本章では、情報の見える化の実現に不可欠な情報を伝える為のデザイン技術について述べる。

### 3.1 ユーザー中心デザイン

ユーザビリティにおけるデザインの手法に「ユーザー中心デザイン<sup>3)</sup> (UCD: user centered design)」がある。これは、技術優先の考え方や作り手の思い込みを排除し、ユーザー視点に立ったデザイン設計を行うことである。

UCDでは、まずユーザー観察やインタビューといったユーザー理解の為の調査を徹底的に行い、そこで得られたニーズを満足する為の解決策を探っていくというプロセスを取る。ただし、あまりに幅広いユーザーをターゲットにした場合、ごく平均的な物になるか、誰にとっても使いにくいものになる可能性が高い。商品やサービスのターゲットとなるユーザーを絞り込み、明確にイメージした上で調査を行うことが必要となる。また、調査で得られたニーズや課題を横並びに見るのではなく、重要度合いを見極め、優先順位をつけて、その解決策に取り組むことも大切である。さらに、解決策は一度作れば終わり

ではなく、ユーザーに評価してもらい改善するという作業を繰り返しながら、徐々に完成度を上げていく反復のデザインを行う。UCDでは、開発のプロセスを作り手だけで進めるのではなく、ユーザー（使い手）が参加し、その生の声を取り入れながら開発を進めていくことが求められる。

### 3.2 ゲームニクス

ゲームニクスとは、立命館大学のサイトウ・アキヒロ教授が、それまで携わってきたゲーム開発のノウハウを他の分野に応用する為に体系化した手法である<sup>4)</sup>。ゲームニクスでは、子どもでもわかる直感的で快適なインターフェイスや遊びながら操作を覚えてしまうマニュアルレス、時間を忘れて遊んでしまうはまる演出といった、ゲーム独自のノウハウを、家電や教育、デジタル機器、ソフトウェア等に適用できる。

ゲームニクスでは、5つに分類された原則のもとにさらに詳細なノウハウによって構成されている。

- 1) 直感的で快適なインターフェイス
- 2) マニュアル不要のユーザビリティ
- 3) はまる演出
- 4) 段階的な学習効果
- 5) 仮想世界と現実世界のリンク

1) と 2) はアクセシビリティやユーザビリティといった操作感に関するノウハウであり、家電やATMといった分野に、3) と 4) は思わずはまって、目標を持って集中することに関するノウハウであり、学習や訓練、リハビリなどの分野に応用できる。5) は、実生活における快適性の拡張を意味しており、利便性と感動を高めることに繋げられる。

以上、本研究では、ユーザビリティに配慮した情報の見える化を実現していくにあたり、ユーザー中心デザインとゲームニクスの2つのデザイン手法を取り入れることで、ユーザーに合わせた情報抽出や情報伝達の手法について検討を進めた。

## 4. ケーススタディ

これまで述べてきた情報の見える化やデザイン技術を用いて、我々が開発したセンサーネットワークシステム<sup>3)</sup>のユーザーインターフェイス部や一部ハードウェアデバイスを見直した。また、新たに施設や設備を見学者に紹介する際にサポートできる見学案内システムを開発した。本章では、ケーススタディとしてこれらのシステムについて述べる。

### 4.1 センサーネットワークシステム

以前当センターで開発したセンサーネットワークシステムの概要を図1に、センサーモジュールを図2に示す。センサーモジュールは、実際の運用時を考慮し、柔軟かつ安価な構成としており、PICマイコン、近距離無線通信（Zigbee）モジュール、温湿度センサー、乾電池等からなる。Zigbeeモジュールにより設置にかかる制約を小さくするとともに、汎用かつ入手性の良い乾電池を電源として採用した。また、構成する部品は比較的安価なものを採用し、1センサーモジュールあたりの部品価格の合計は平成26年3月時点で5,000円以下である。

Zigbeeネットワーク上にあるセンサーモジュールで取得したデータは、ゲートウェイを介してTCP/IPネットワーク上のデータベースサーバに格納する。格納したデータをユーザーに情報提供するためのユーザーインターフェイス部は、さまざまなデバイスで表示可能であるWEBアプリケーションとして実装している。

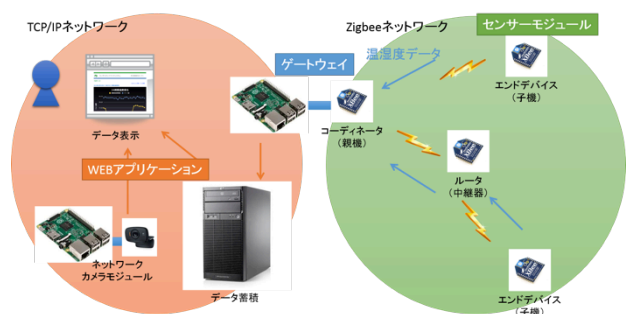


図1 センサーネットワークシステムの概要

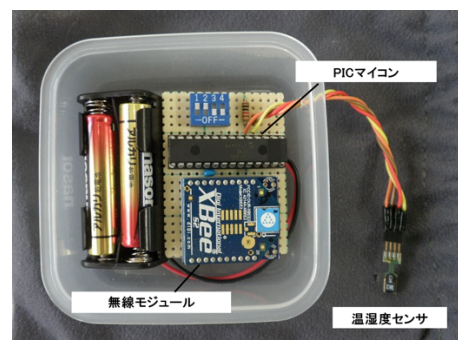


図2 センサーモジュール

#### 4.1.1 スマートデバイスへの対応

センサーネットワークシステムのユーザーインターフェイスを、スマートデバイスで閲覧しやすい画面に改良した。WEBアプリケーションとして実装したこれまでのセンサーネットワークシステムのユーザ



ーインターフェイスは、主にPCのみの閲覧を考慮した画面設計であり、スマートデバイスでの利用を考慮していなかった。そこで、PCに加え、スマートデバイスでの利用も考慮した画面とし、ユーザビリティ向上を狙った。

具体例として、改修前後のセンサーネットワークシステムのトップページ画面を図3に示す。改修後のトップページ画面は、温度変化のグラフに加え湿度変化のグラフも併せて表示し、それぞれのグラフの配色を変えることでその違いを明確にわかるようにした。画面上部には、後述するオープンソースハードウェアを活用したカメラデバイスの監視画像を配置し、その下部に温度、湿度の各グラフを挟んでノードごとの最新の温湿度のデータを別個に表示させた。監視画像、温度、湿度の各グラフ、ノードごとの最新の温湿度のデータを表示することで、対象フィールドの最新の状態がトップページ画面で直感的に把握出来る。

トップページ画面は、スマートデバイスからの利用も考慮している。スマートデバイスの画面長辺が縦方向の時には、カメラデバイスの監視画像、温度、湿度の各グラフ、ノードごとの最新の温湿度データ一覧が一画面内に収まる。スマートデバイスの画面長辺が横方向になるように回転すると、画面サイズが長辺に合わせて拡大表示されるため、特別な操作をすることなく監視画像や温湿度グラフの詳細を確認できる。



図3 システムトップページ  
(左・改修前、右・改修後)

#### 4.1.2 オープンソースハードウェアの活用

今回のセンサーネットワークシステムの見直しでは、ZigbeeネットワークとTCP/IPネットワークを接続するゲートウェイ機能を、専用マイクロサーバからRaspberry Piに換装した。また、新たにRaspberry Piに監視カメラ機能を加えた。開発したRaspberry Piモジュールを図4に示す。

ゲートウェイ機能を、専用マイクロサーバからRaspberry Piに換装したのは、導入、運用にかかるコストを低く出来る可能性があるためである。ゲートウェイ機能そのものはLinux上で動作する独自に開発したソフトウェアである。これまで実装していた専用マイクロサーバは、各部品の選択や適切な排熱設計など、専用品ならではの構成や設計により、Raspberry Piよりもハードウェア単体の信頼性が高い。しかし、Raspberry Piは起動OSも含めてストレージ全てがSDHCカードに保存されるためバックアップが容易であり、専用マイクロサーバと比べケースが工夫しやすい、予備機を確保しやすいなど、保守性や柔軟性はRaspberry Piが高い。保守性や柔軟性の高さを上手く活用しつつ導入価格を低く出来ることで、専用マイクロサーバからRaspberry Piへの変更によりコストを大幅に下げられる可能性がある。

また、Raspberry PiにUSB接続のWEBカメラを接続し、ネットワーク越しの監視カメラ機能を実現した。オープンソースソフトウェアmotionを利用することで、新たに特別なソフトウェアを開発すること無く画像を転送し、フィールドを監視できる。画像サイズやフレームレートなどを設定し、ハードウェアに与える負荷を調整することで、ゲートウェイ機能との共存も可能である。



図4 開発したRaspberry Pi モジュール

#### 4.2 見学案内システム

当センターの施設見学において、見学者の誘導や設備機器の説明などを行う担当者をサポートするためのツールとして、見学案内システムを試作した。

システムを開発するにあたり、普段行っている見学案内について問題点や課題、要望等について出し合い、ニーズ分析を行った。その結果、以下のようなニーズがあることがわかった。

- ・設備機器の担当者が居ない場合でも、ある程度説明できるようにしたい。
- ・説明を補足する画像や動画などを見せられるようにしたい。

- ・見学者の知識レベルに合わせて説明する内容を変更したい。
- ・より詳しい情報を知りたい見学者には、詳細情報を提示できる。
- ・見学コースを設定出来るようにして、要望に応じて選べるようにしたい。

これらのニーズをもとに、ターゲットの設定、システム設計、コンテンツ作成、インターフェイスデザインなどを行った。

### 1) ターゲットの設定

当センターに配置されている設備機器は専門性が高いものが多いことから、見学案内を行う際、見学者の専門分野や知識レベル、見学目的に応じて説明内容を調整する必要がある。そこで、見学案内システムでもターゲットとなる見学者の属性に応じて表示する内容を変更可能なものとする。

そのためにはまず、対象となるユーザーの属性を抽出しグループ分けを行った(図5)。最も多いのは企業や大学からの見学で、さらにその中で経営者、技術者、研究者などに分かれる。その他に、地元高校生による見学が年に数回、海外からの見学も年に1回程度実施される。以上のことから、ターゲットとなるユーザーを「一般(企業・大学)」「学生」「English(海外)」の大きく3つに分け、それぞれに詳細説明のページを加える事で、専門性の高い説明や質問にも対応できるようにした。

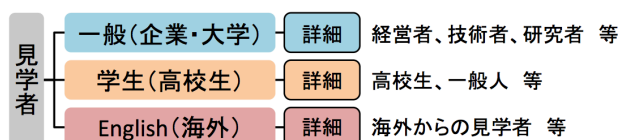


図5 ユーザーグループ

### 2) システム設計

次に、見学案内システムのシステムを設計した。このフェーズでは、シナリオ整理、開発する範囲およびアプリケーションの決定、画面遷移を設計した。

1) で絞り込んだユーザーグループに対し、見学案内システムを活用するシナリオおよびユーザー要求、システムに必要な機能を整理した結果、開発する範囲を以下の3点に絞込んだ。

- ①サイネージ再生ソフトウェア(サイネージ用端末)
- ②見学案内ソフトウェア(タブレット端末)
- ③コンテンツ入力ソフトウェア(PC端末)

上記は全て、特別なソフトウェアのインストールが不要なWEBアプリケーションによって実現することとした。また、①については、オープンソースハ

ードウェアのRaspberry Piを採用した。Raspberry Piが汎用性の高い映像・音声の伝送規格であるHDMIを搭載していることに加え、GUIおよびブラウザを利用できるOSが稼働するため、サイネージ制御端末として機能できる。

画面遷移の設計では、ゲームニクスの「階層構造の徹底」を採用し、初めての人でも迷うことなく安心して使うことが出来るように配慮した。例えば、②見学案内ソフトウェアにおいて、コンテンツは概要-詳細の2階層のみに限定した。この設計により、見学案内担当者がコンテンツの概要を開いている場合の次の操作は、そのコンテンツの詳細を表示する(階層の深化)か、前または次のコンテンツを表示する(隣の階層への移動)かに絞られる。階層構造が明快かつ単純なため、コンテンツが増えても操作に迷いが生じない。

### 3) コンテンツ作成

実際に案内で使用するコンテンツ画面の作成を行った(図6)。まず、情報に一貫性を持たせるため、概要パネル、詳細パネルそれぞれの入力フォーマットを作成した。概要パネルは、画像が中心で、文字情報は設備名、概要、用途、主な仕様、使用例といった最小限に抑えた。詳細パネルは、文字情報を中心として、詳細なスペックに加えて、設備の使い方や利用目的、利用状況などを入力することとした。

入力フォーマットに従い、既存の備品情報に加えて、担当者へのヒアリングから得られた実際の使用例などの情報もプラスした。通常の見学案内で説明するものを中心に各室から5~9件程度選定し、合計20件の設備機器のコンテンツ作成を行った。



図6 コンテンツ例(上・概要、下・詳細)

### 4) インターフェイスデザイン

インターフェイスデザインについては、ゲーム

ニクス理論を参考に、以下のようなシンプルで分かりやすい、初めてでも直感的に使えるような設計を行った（図7）。

#### 【ゲームニクス理論における画面デザイン時の注意点】 （一部抜粋）

- ・押せるボタンと、単なる情報を区別できるデザインにする。
- ・重要なものほどメニューやボタンを大きくする。
- ・アプリケーション内のテーマカラーを設定する。
- ・ステージの階層ごとに同色系列で設定する。
- ・形と色を工夫して、操作感を統一する。
- ・テキストやページめくりボタン、決定ボタンは画面下側配置する。



図7 画面デザインイメージ

### 5) ユーザーテスト

上記のプロセスで試作した見学案内システムに対してユーザーテストを実施し、使いにくい点やわかりにくい点など課題の抽出を行った。ユーザーテストは、実際の見学案内で試験的にシステムを使用し、使用後に具体的な改善点の抽出と問題点、課題の分析を行った。

#### 【ユーザーテストによって抽出された課題】

- ・コンテンツ登録やコース登録の画面で、コース名しかないためパネルの内容がイメージしにくい。
- ・案内画面で、画面下のサムネイル画像と案内画像がリ

ンクしていない。

- ・案内画面でも、見学コースや順番、時間配分などの情報が見られるようにしたい。

こうして出てきた問題点や課題は随時修正し、さらにユーザーテストを繰り返しながらブラッシュアップしていくことでより完成度の高いシステム構築を目指す。

## 5. おわりに

IoTが拡がりを見せ、情報の見える化に対する期待や要望がさまざまな分野で大きくなっている。スマートデバイスやオープンソースハードウェアの普及は、情報の見える化を加速させる有用なツールである。センサーネットワークシステムと見学案内システムのケーススタディでは、スマートデバイスの更なる普及やオープンソースハードウェアの台頭を見越して見直しもしくは開発した。また、単に得られた情報を伝えるのみではなく、専門家ではないユーザーに対しても適切に情報を伝えるためのユーザビリティへの配慮を行った。

両システムとも、一定のユーザビリティ向上が見られた一方で、さらなるユーザビリティ向上への課題もあり、今後さらに検討、課題解決が必要である。

## 参考文献

- 1) 2015年度 スマートデバイス市場動向調査, 株式会社 I C T総研
- 2) Raspberry Pi Foundation,  
<https://www.raspberrypi.org/>
- 3) 樽本徹也, ユーザビリティエンジニアリング, pp. 12-18, 2005. 10
- 4) サイトウ・アキヒロ, ビジネスを変える「ゲームニクス」, 2013. 6
- 5) 道野隆二, 黒田修平, 城戸浩一, ワイヤレスセンサネットワーク (WSN) 技術を活用した環境計測システムの開発, 熊本県産業技術センター研究報告研究報告第51号(平成24年度), pp. 20-24, 2014. 3

# 赤外分光分析法を利用した油脂中のトランス脂肪酸定量法の確立

佐藤 崇雄\*・藤野 加奈子\*・大王 龍一\*

\* 食品加工技術室

## Application of FT-IR Spectroscopy for the Trans Fatty Acid Determination in the Processed Food and Oil

Takao SATOH\*, Kanako FUJINO\* and Ryuichi DAIO\*

本研究では、食品中や油脂に含まれる有害物質であるトランス脂肪酸の定量を、赤外分光分析を用いて実施する分析方法の確立を行った。また、従来から行われているガスクロマトグラフ法との測定結果の比較などをおこない、本法の有効性などを確認した。

### 1. はじめに

トランス脂肪酸は、図1に示すように構造中にトランス型の二重結合をもつ不飽和脂肪酸の総称である。トランス脂肪酸は、天然の動物性及び植物性油脂や乳にもわずかに含まれるほか、水素を付加して硬化した部分硬化油を製造する過程で発生し、これを原料とするマーガリン、ショートニング、ファットスプレッドなどに多く含まれる。また、製造時にこれらの油脂を使用するパン、ケーキ、ドーナツ、クッキーといった洋菓子類、スナック菓子、生クリームなどにも含有される。一定量を摂取するとLDLコレステロール（悪玉コレステロール）を増加させるといわれ、近年、心臓疾患や動脈硬化などの疾患を起こすリスクが高まると報告されており、アメリカ、台湾、香港などでは食品表示に義務づけられる等の措置がとられている。

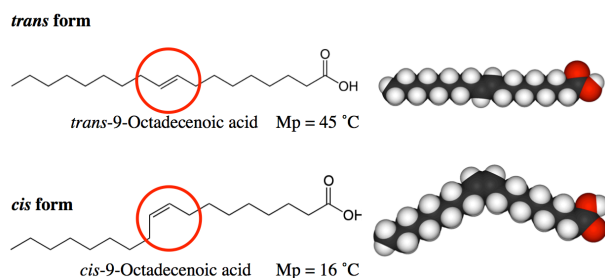


図1 トランス/シス脂肪酸の分子構造

国内では、日本人の食生活からは直ちに健康被害

を引き起こす摂取量ではないとの観点から表示義務は見送られた。一方、アジア諸国への輸出を行う際は、トランス脂肪酸含有量の測定を必須とする国が増えておりその対応が求められている。トランス脂肪酸の定性定量はガスクロマトグラフ分析が主流であるが、脂肪酸の抽出や誘導体化など工程が煩雑である。本研究では、赤外分光法を利用し、前処理を行うことなく、簡便に油脂類や食品に含まれるトランス脂肪酸の定量法について検討し、ガスクロマトグラフ分析の結果との相関性についても調査した。

### 2. 機器分析及び測定結果

種々の食用油、マーガリンなどについて赤外分光分析及びガスクロマトグラフ分析を行った。測定条件および前処理方法等を以下に示す。

#### 2.1 赤外分光分析法

赤外分光分析は、日本分光社製FT/IR-6100にダイヤモンドプリズム付き加熱型1回反射ATRステージを装着して、プリズム上へ油脂を滴下し、以下の測定条件で実施した。

積算回数：64 回

測定温度：65±2 °C

サンプル量：20 μl

#### 2.2 ガスクロマトグラフ分析法

ガスクロマトグラフ分析は、前処理として油脂をメチルエステル化した。具体的には、ねじ口試験管に3 mg/10 ml（ジクロロメタン溶液）のノナデカン酸を内部標準として1 ml添加し、窒素を吹き付け、



溶媒を留去した後、油脂5～10mgを加え、0.5 M水酸化ナトリウムメタノール溶液1.5 ml添加し、100 °Cで9 分間加熱した。放冷後、3フッ化ホウ素メタノール溶液2 ml添加し、100 °Cで7分間加熱した。その後、ヘキサン3 ml、飽和NaCl溶液5 mlを添加し激しくかき混ぜた後、上澄みに無水硫酸ナトリウムを加え遠心分離後、ヘキサン層をガスクロマトグラフ測定試料とした。その後、アジレントテクノロジー社製 Agilent7890A GC 及び5975C MSDを使用して、以下の測定条件で実施した。

カラム：HP-88 (60 m x 0.25 mm x 0.2 μm)  
 注入量：1 μl  
 注入口：250 °C (スプリット)  
 スプリット比：1:20  
 注入口温度：250 °C  
 オープン：100 °C (4 min) -3 °C/min - 240 °C (10 min)  
 キャリアガス：ヘリウム  
 流量：1.0 mL/min (コンスタントフロー)  
 検出器温度：230 °C

## 2.3 測定結果

トランス体油脂及びシス体油脂の赤外分光分析結果を図2に示す。

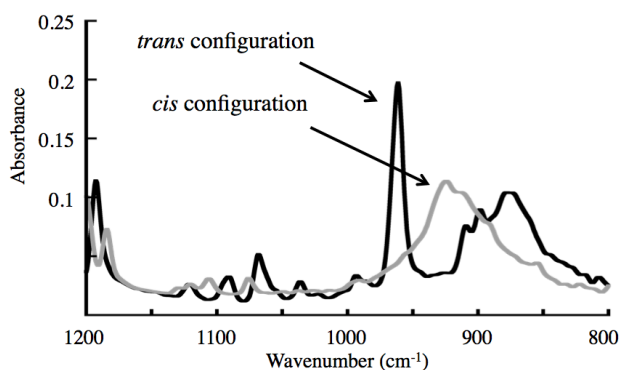


図2 トランス体油脂及びシス体油脂のスペクトル

966 cm<sup>-1</sup>近傍にトランス体のC-H変角振動に由来する特異的な吸収ピークが確認できた。このトランス体にのみ確認されたピークを利用して、*trans*-9-Octadecenoic acidで構成されるトリエライジンを標準物質とした検量線の作製を行った。標準サンプルは、トリオレインとトリエライジンを所定量混合することにより調製した。トリエライジン配合率は、それぞれ0 %、0.5 %、1.0 %、2.0 %、3.0 %、4.0 %及び5.0 %とした。図3に各濃度での966 cm<sup>-1</sup>近傍のスペクトルを示す。このスペクトルから検量線を作成した結果、相関係数は0.99983であった。

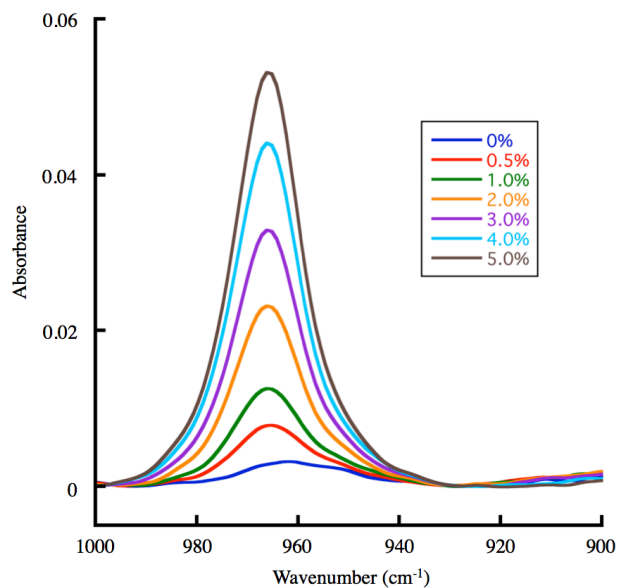


図3 各濃度でのトランス体由来ピーク強度

図4に様々な油脂サンプルを赤外分光法及びガスクロマトグラフ法でトランス脂肪酸の定量を行いその数値をプロットした結果を示す。その結果、赤外分光法では標準サンプルの入手困難なトランス体も併せて検出するためガスクロマトグラフ法に比べ定量値が若干高い傾向が確認されたものの、簡便に測定可能な赤外分光法の優位性が示された。

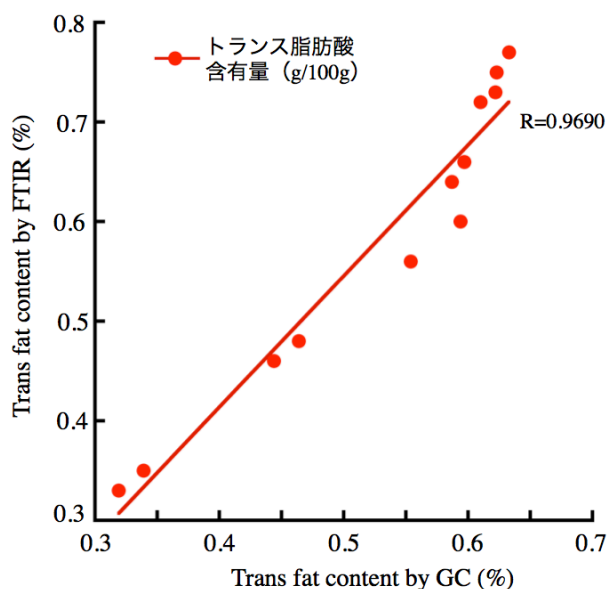


図4 FT/IR法とGC/MS法の定量値に関する相関図

## 3. おわりに

本法はトランス脂肪酸分析における簡便かつ有効な手段であることが示された。

# パーソナルモビリティの価値要素および価値構造の把握

- クオリティカルテ評価・診断システム構築に関する研究 (5)

## Grasp of Value Structure and Value Element in the Personal Mobility

- A Study on Construction of Quality Chart Evaluation/Diagnostic System(5)

● 石橋 伸介

熊本県産業技術センター

Ishibashi Shinsuke

Kumamoto Industrial

Research Institute

● 曾我部 春香

九州大学大学院芸術工学研究院

Sogabe Haruka

KYUSHU UNIVERSITY

Faculty of Design

● 森田 昌嗣

九州大学大学院芸術工学研究院

Morita Yoshitsugu

KYUSHU UNIVERSITY

Faculty of Design

● Key words: Personal Mobility, Value Structure, Design Evaluation

### 要旨

ライフスタイルや価値観が多様化する中、都市部を中心として、モビリティのあり方が大きく変化してきている。本研究では、パーソナルモビリティに特化したデザイン評価指標およびデザイン評価・診断システムの構築に向けて、パーソナルモビリティに対するユーザーの価値構造を把握することを目的としている。都市部に暮らすユーザーを対象にアンケート調査を実施し、パーソナルモビリティに対する意識や利用環境における問題点、課題を把握することができた。インタビュー調査では、20歳以上40歳未満の若い世代に着目し、パーソナルモビリティに対する意識の掘り下げを行った。その結果、自転車、自動車、オートバイそれぞれの価値について、属性、機能的ベネフィット、心理的ベネフィットを上位下位の関係で図式化することによって構造化することができた。これにより、楽しみや愛着、快適さといった上位の価値と、機能的、心理的な価値要素との関係性についてパーソナルモビリティの種類によって違いがあることを明らかにした。

### Summary

At present, lifestyles and values have diversified, mainly in urban areas, changing the role of mobility. The purpose of this study is to understand the value structure of personal mobility for the construction of a design evaluation and diagnostic system. First, we conducted a questionnaire survey of users who live in urban areas, and as a result, we were able to understand the awareness of personal mobility and the problems of the traffic environment. Subsequently, we conducted interviews that targeted the younger generation aging 20–30 years, and investigated their awareness of personal mobility. As a result, we were able to visualize the value structure of personal mobility of bicycles, automobiles, and motorcycles by creating a diagram of the relationship between attributes, functional benefits, and psychological benefits. The results of the analysis revealed that depending on the type of mobility, the relationship between higher rank value elements and attributes is different.

### 1 研究の背景と目的

近年、環境問題や省エネルギー、健康・安全への意識の高まり、ライフスタイルの多様化など人々の価値観が大きく変化してきており、モノを所有することそのものに対する価値が薄れ、人々はモノを通して得られる体験や感動、新たな生活シーンといったコトを重視するようになってきている[注1]。実際に、多くの企業が新しい商品開発の必要性を感じているものの、その多くが「市場が見えない」、「作った方がいいが売れない」、「何を作ればいいかわからない」といった悩みを抱えている。こういった市場やユーザー像の急激な変化に対応するため、マーケティングの世界では、ユーザーの好みや考え方、またユーザー本人も気づいていない潜在的なニーズを捉えるためのさまざまな手法が開発されてきている[注2, 3]。そんな中、「クルマ離れ」や「オートバイ離れ」と呼ばれるように、都市部の若者を中心として自動車やオートバイ、自転車といったパーソナルモビリティに対するユーザーの意識が変化してきている[注4～6]。その主な要因としては、ライフスタイルの変化から生活での必要性やステータス性の低下、所得の減少による購買力の低下などが考えられている。また、社会全体の動きから見てみると、これまでの自動車中心の社会から、他のパーソナルモビリティや公共交通機関など多様な移動手段をうまく活用することで、より豊かな社会をめざすモビリティ・マネジメントの観点から、モビリティには目的地に到達するというこれまでの役割に加え、快適性や安全性はもちろん、環境や福祉、街づくりといった課題や目標、役割が求められるようになってきている。国土交通省では自動車から徒歩も含めた多様な交通手段への「モーダル・シフト」が一つの目標として掲げられている[注7, 8]。このように、ユーザーの価値観が多様化し新たなモビリティの役割が求められている中で、パーソナルモビリティの開発にはターゲットとなるユーザーの価値観を把握したうえで新たな価値を提供できるデザインが必要となっている。

著者らはこれまでに、家具や家電製品、駅舎、ショッピングモールなどの身の回りの商品や空間の価値要素を短いセンテンスで表現したデザイン評価指標を構築し、評価実験によって、異なるユーザーグループ間のズレを可視化することで、新たな商品開発に繋げる為のデザイン評価・診断システムの開発に取り組

んできた〔注9～12〕。ただし、評価に用いるデザイン評価指標は、ほとんどが特定の商品群でしか使えないため、その都度指標を構築し、対象とする分野を拡充していく必要がある。その中で、これまでに述べたパーソナルモビリティに関する現状や共同で研究を行った企業の声から、パーソナルモビリティに特化したデザイン評価・診断システム開発の意義を見出すことが出来た。

本研究では、ユーザーの自動車やオートバイ、自転車といったパーソナルモビリティに対する価値構造を明らかにし、新たな商品開発に活かすことのできるデザイン評価指標の構築を最終的な目標としている。ただし、デザイン評価指標を構築するにあたっては、まず、ユーザーがパーソナルモビリティをどのような目的で利用し、利用環境に対してどのような意識を持っているか、何を重視して商品を選んでいるのかといった価値構造を把握する必要がある。先行研究として、関氏による自動車の価値構造に関する研究〔注13〕では、情報性と使用性という2つの視点から自動車の価値構造を分析し新たなデザイン方法論の提案を行っている。また、中川氏らは、パーソナルモビリティと歩行者との親和性についてパーソナルスペースとの関係から研究を行っている〔注14〕。他にもパーソナルモビリティそのものの機能的・感性的な評価や消費者の価値構造の変化についての研究は数多く行われているが、自動車やオートバイ、自転車といった多様なパーソナルモビリティに対して、機能・性能だけでなくユーザーの利用状況や利用環境に対する意識を含めた多角的な視点からの価値構造についての研究はなされておらず、ユーザーの多様な価値観を把握するには至っていない。以上のことから、本研究はこれからの新しいパーソナルモビリティの在り方を模索していく上でも意義のある研究であると考えられる。

本稿では、ユーザーがパーソナルモビリティに対してどのような価値基準を持って選択、利用しているのかについて把握することを目的として、アンケート調査とインタビュー調査を実施した。アンケート調査では、幅広い年齢層のユーザーの利用状況および利用環境に対する意識について分析を行い、全体的な価値構造の把握を行った。次に、アンケート調査の結果から、スタイリングやカラーリングといったデザインへの意識が高く、多様な価値観を持っている20歳以上40歳未満の若い世代に着目してインタビュー調査を行った。これにより若い世代のユーザーが、どのような考え方やこだわりを持ってパーソナルモビリティを選択し、利用しているのかを機能面と心理面それぞれのベネフィットを抽出し分析することで、その価値構造の可視化を試みた。

## 2 パーソナルモビリティに関する意識調査

都市部に生活する人々が、パーソナルモビリティの利用状況および利用環境についてどのような意識を持っているかを把握することで、若い世代と他の年代とにどのような違いがあり、また利

用の仕方によどのような特徴があるのかを知るため、全ての世帯を対象としてアンケート調査を実施した。質問内容として、日常的に利用しているパーソナルモビリティの主な利用目的や利用頻度、道路環境に関する考え、公共交通機関との関係といった利用状況に関する質問と、パーソナルモビリティを選ぶ際に重視する要素、長所や短所といった、価値観や意識に関する質問を行った。調査の方法としては、福岡市内の街頭においてパーソナルモビリティで街を訪れている人をお願いして回答してもらった。調査の結果、10歳代から60歳代までの100名の回答を得ることができた。被験者の属性は、男女比、年齢ともにほぼ均等で、80%以上が福岡市内に居住している。しかし、街頭で呼び止めてアンケートに回答してもらったため、利用しているパーソナルモビリティの内訳については自転車が79%、オートバイが21%となり自動車の利用者については回答を得ることができなかった。ただし、今回の意識調査では、パーソナルモビリティ全体の価値構造を大まかに把握することを目的としており、自動車を含む個別の価値構造の把握については後述する価値調査で行うこととする。

### 2.1 パーソナルモビリティの利用状況

アンケートではまず、パーソナルモビリティの利用状況について、主な利用車種や目的、頻度、距離について質問を行った。その結果、自転車では実用自転車、オートバイでは50cc以下のスクーターの割合が高く、利用目的もほとんどが通勤・通学およびショッピングといった実用的な内容がほとんどであった。それと関連して、利用頻度はほぼ毎日使う人がほとんどで「毎日」使う人と「週に4～5日」使う人を合わせると全体の67%であった。一度に利用する距離についても5km未満の短い距離での利用が70%と大半を占めた。さらに、道路環境についての質問では「良い」と答えたのはわずか11%で「ふつう」が44%、「悪い」は45%と約半数の人が何らかの不満を持っていることがわかった。不満の内容について自由記述で質問したところ、「路面状況の悪さ」が50%、「専用道路がない」が26%、「マナーの悪さ」が20%となっている。

次に、ユーザーを年齢や性別、利用している車種、利用頻度、利用距離、道路環境に対する考えなどでグループ分けをして比較を行った。まず、年齢による比較では、30歳未満のグループは、利用目的の約70%が「通勤通学」で「ショッピング」の割合は低い。利用距離では、「5km以下」の短い距離が全体の40%と多い。さらに、道路環境に対して不満を感じている人は他の年代に比べて少ないといった特徴が見られた。30歳以上50歳未満のグループは、道路環境に対して「悪い」と感じている人が約60%と他の年代に比べても多いことがわかった。50歳以上のグループは、利用目的で「通勤通学」の割合が比較的少なく、「ショッピング」や「その他」の目的で利用する人が多いことがわかった。

性別による比較をしたところ、利用目的では男性のほとんどが



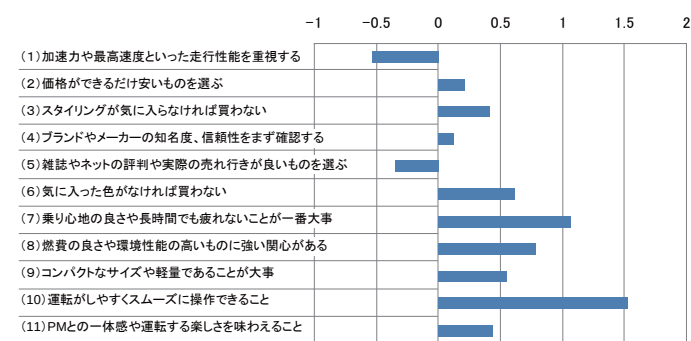


図1 パーソナルモビリティを選ぶ際の重視項目 (全体)



図2 パーソナルモビリティを選ぶ際の重視項目 (世代)

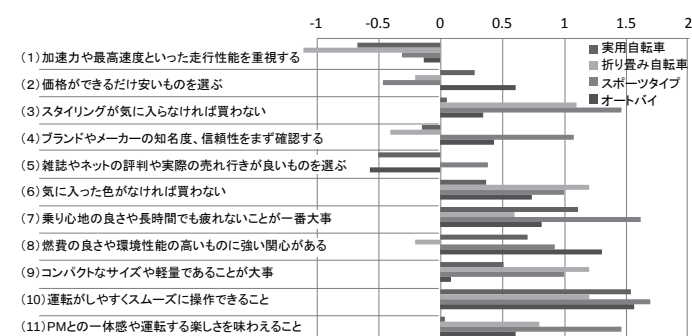


図3 パーソナルモビリティを選ぶ際の重視項目 (車種)

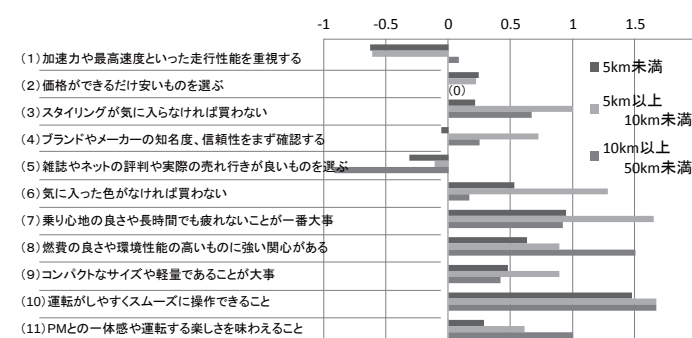


図4 パーソナルモビリティを選ぶ際の重視項目 (利用距離)

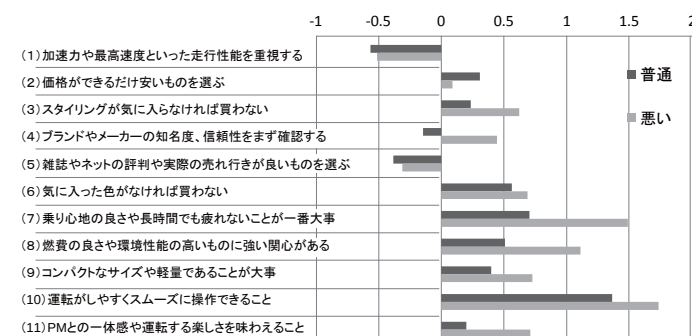


図5 パーソナルモビリティを選ぶ際の重視項目 (道路環境)

「通勤通学」であるのに対し、女性は「ショッピング」の割合が50%と高い。利用距離では、女性は「2km未満」の割合が50%と高く、逆に男性は「30km以下」でも約15%ほどの人が利用しているなど比較的長い距離を利用している。道路環境については、女性のほうが「悪い」と感じている人が多いことがわかった。

車種の違いによる比較では、実用自転車は、「ショッピング」で使っている人が最も多く、利用距離も5km未満が大半を占める。道路環境に対しては「悪い」と感じている人は約50%。折りたたみ自転車は、他の車種に比べて利用頻度は低く、利用距離も2km未満が60%以上と多い。道路環境に対しては、「悪い」と感じている人が20%程度と非常に少ない。スポーツタイプ自転車は、利用目的で「その他」が約40%と多く、趣味等で使う人が多いことがわかった。また、利用距離も中長距離での利用が多いことや、道路環境に対して「悪い」と感じている人が多いことなどがわかった。オートバイは、利用年数が「5～10年」の人が比較的多い。利用目的では、「通勤通学」で利用する人が約80%と非常に多いことなどがわかった。

## 2.2 パーソナルモビリティを選ぶ際の重視項目

パーソナルモビリティを選ぶ際の重視項目を設定するに当たっては、まず雑誌調査を実施した。雑誌調査では、自転車、オートバイ、自動車に関する様々なジャンルの一般向け雑誌を過去数か月分購入し、そこに書かれた文章からキーワードを抽出し分類整理した。抽出したキーワードで数の多かった上位項目を選定し、それらを回答しやすい短い文章に再構成して重視項目とした。重視項目は、走行性能やスタイリング、価格、乗り心地など11項目とし、それぞれを「とてもそう思う」「ややそう思う」「あまりそう思わない」「まったくそう思わない」の4つの選択肢で回答してもらい、それらを点数化(「とてもそう思う」：2点、「ややそう思う」：1点、「あまりそう思わない」：-1点、「まったくそう思わない」：-2点として合計点の平均を算出)して分析を行った。パーソナルモビリティを選ぶ際の重視項目として最も重視度の高かった項目は「運転がしやすくスムーズに操作できること」であった。その次には「乗り心地の良さや長時間でも疲れない」、「燃費の良さや環境性能の高さ」といった項目が並び、機能性や快適性に関して重視している人が多いことがわかった。逆に「加速力や最高速度」、「ブランドやメーカーの知名度、信頼性をまずは確認する」、「雑誌やネットの評判や実際の売れ行き」といった走行性能やブランド、口コミに関する項目はあまり重視されていないことがわかった(図1)。

次に、ユーザーをいくつかのグループに分け比較を行った。年齢別の比較では、30歳未満のグループはスタイリングやカラーリングといった見た目のデザインを重視する人が他の年代に比べて高いことがわかった。また、30歳以上50歳未満のグループは乗り心地の良さや環境性能などに対して高い関心を持って

表1 ユーザーグループとパーソナルモビリティに関する各要素との関係

|      |              | 属性 |                          | 利用距離   |        |        | 重視項目 |       |        |           |         |        |         |         |    |          |         | 道路環境  |
|------|--------------|----|--------------------------|--------|--------|--------|------|-------|--------|-----------|---------|--------|---------|---------|----|----------|---------|-------|
|      |              | 性別 | 年齢                       | 短距離（％） | 中距離（％） | 長距離（％） | 走行性能 | 価格の安さ | スタイリング | ブランド・メーカー | ロコミ・売れ筋 | 気に入った色 | 乗り心地の良さ | 燃費・環境性能 | 軽量 | コンパクト・軽さ | 運転のしやすさ |       |
| 全体   |              | -  | -                        | 70     | 26     | 4      | ×    | △     |        | △         | ×       |        | ◎       | ○       |    | ◎        |         | 悪い    |
| 年齢   | 30歳未満        | -  | -                        | 72     | 13     | 16     | ×    |       | ◎      |           | ×       | ◎      | ○       |         |    | ◎        |         | 普通    |
|      | 30歳以上50歳未満   | -  | -                        | 71     | 26     | 3      | ×    |       |        |           | ×       |        | ◎       | ◎       |    | ◎        |         | 非常に悪い |
|      | 50歳以上        | -  | -                        | 66     | 31     | 3      | ×    |       | ×      | ×         | ×       |        | ○       |         |    | ◎        |         | 悪い    |
| 車種   | 実用自転車        | -  | 30歳以上                    | 87     | 11     | 2      | ×    |       |        | ×         | ×       |        | ◎       |         |    | ◎        |         | 悪い    |
|      | 折り畳み自転車      | 女  | 10歳以上30歳未満               | 100    | 0      | 0      | ×    | ×     | ◎      | ×         |         | ◎      |         | ×       | ◎  | ◎        |         | 普通    |
|      | スポーツタイプ自転車   | 男  | 20歳以上30歳未満<br>40歳以上50歳未満 | 23     | 62     | 15     | ×    | ×     | ◎      | ◎         |         | ◎      | ◎       |         | ◎  | ◎        | ◎       | 非常に悪い |
|      | オートバイ        | 男  | -                        | 43     | 52     | 4      | ×    |       |        |           | ×       |        |         | ◎       |    | ◎        |         | 普通    |
| 利用距離 | 5km未満        | 女  | -                        | -      | -      | -      | ×    |       |        | ×         | ×       |        |         |         |    | ◎        |         | 悪い    |
|      | 5km以上10km未満  | 男  | 40歳以上                    | -      | -      | -      | ×    |       | ◎      |           | ×       | ◎      | ◎       |         |    | ◎        |         | 非常に悪い |
|      | 10km以上50km未満 | 男  | 20歳以上40歳未満               | -      | -      | -      |      |       |        |           | ×       |        |         | ◎       |    | ◎        | ◎       | 普通    |
| 道路環境 | 普通           | 男  | 10歳以上30歳未満               | 71     | 15     | 15     | ×    |       |        | ×         | ×       |        |         |         |    | ◎        |         | -     |
|      | 悪い           | 女  | 40歳以上50歳未満               | 70     | 23     | 7      | ×    |       |        |           | ×       |        | ◎       | ◎       |    | ◎        |         | -     |

※性別は比率の多かった方を記入。「-」は差がない場合。

◎:非常に重視している、○:重視している、△:ほとんど気にしない、×:まったく気にしない

いることがわかった。50歳以上のグループは、走行性能、スタイリング、メーカーの知名度、雑誌の評判といった項目に対しては否定的な意見が多く、運転のしやすさ、操作のスムーズさを重視している人が多い(図2)。車種別の比較では、実用自転車ユーザーは乗り心地と運転のしやすさを重視していることがわかった。折りたたみ自転車ユーザーは走行性能に対しての重視度が特に低く、サイズや軽さ、運転のしやすさ、スタイリングなどを重視する傾向にある。スポーツタイプ自転車ユーザーはスタイリングや乗り心地、運転する楽しさを重視する傾向が強く、価格は重視していないことがわかった。オートバイユーザーは価格の安さや環境性能のよさに対して他のユーザーよりも重視度が高く、コスト面に対して関心が強いことが推測される(図3)。利用距離では、5km未満、5km以上10km未満、10km以上50km未満で分けて比較を行った。5km未満では、運転のしやすさを重視している人が多く、走行性能には全くこだわらないという人が多い。5km以上10km未満でも、走行性能についてはほとんどこだわがなく、運転のしやすさや乗り心地の良さ、カラーリングを重視している。10km以上50km未満では、燃費のよさや環境性能、運転のしやすさに加え、運転する楽しさについても重視する人が多い(図4)。道路環境に対して、「普通」(「良い」も含む)と感じている人と「悪い」と感じている人に分けて比較を行った。普通と感じている人は、運転のしやすさや操作性などを重視しているが全体に重視する項目が少ないことがわかった。悪いと感じている人は、運転のしやすさをはじめ、乗り心地、燃費のよさや環境性能、スタイリング、運転する楽しさなど、多くの項目で普通と感じている人より重視度が高いことがわかった(図5)。

### 2.3 パーソナルモビリティ、公共交通の長所・短所

道路環境に対する不満や、パーソナルモビリティおよび公共交通機関の長所・短所に関する自由記述について分析を行った。自由記述の内容をいくつかのカテゴリーに分類し、それらを集計することで、回答傾向を把握することとした。まず、道路環境に対して「悪い」と回答した被験者にその理由を尋ねたところ、路面が凸凹している、段差が多いなど「路面状況の悪さ」に関する記

述が50%と最も多いことがわかった。また、「専用道路がない」ことや自動車や歩行者などの「マナーの悪さ」についても多くの意見が見られた。パーソナルモビリティの長所については、「身軽さ、小回りが利く」が最も多く半数近くの人から回答を得た。また「気軽に乗れる」「維持費・交通費が安い」についても多くの人が長所として回答していたことから、最も身近な交通手段として利用されていることがわかった。短所については、「天候に左右される」が最も多く31%の人が挙げている。また、「安全性」、「駐車・駐輪場所の確保」についても多くの人が短所として挙げていた。その他、駐輪場の料金や交通マナーについての意見も見られた。公共交通機関の長所と短所を見ると、「時間に正確」なことを長所と捉えている人がいる一方で、「時間が遅れることがある」と短所で答えている人がいたり、「移動が早い」「楽・疲れない」と長所で答えている一方で、「混雑することがある」と短所で答えている人がいるなど意見にばらつきが見られ、特に時間に関する意見は長所と短所どちらも多く見られた。これは、バスと電車のどちらを日常的によく利用しているかで意見が分かれているのではないかと推察される。

### 2.4 パーソナルモビリティに関する意識調査まとめ

ここまでアンケート結果をもとにパーソナルモビリティについて利用状況や利用環境、選ぶ際の重視項目、長所や短所について分析を行ってきた。分析の結果を、数値(%)と記号(◎:1点以上、○:0.5~1点、△:0~0.5点、×:0点以下)で一覧表にした(表1)。全体的な傾向としてほとんどの人が通勤・通学やショッピングを目的として、5km未満の短い距離で利用しており、運転のしやすさはもちろん乗り心地などの実用的で快適に利用できることが重視されていることから、日常の足としての役割が最も大きいことが分かった。また、ほとんどのユーザーに共通していたのが、加速性や最高速度といった走行性能と、雑誌やネットのロコミや実際の売れ行きといった情報の2点についてはほとんど重視されていない。走行性能については、パーソナルモビリティはあくまでも日常の足であり、安全快適に利用できれば、必要以上のスピードや他の性能は必要とされていないことが考え

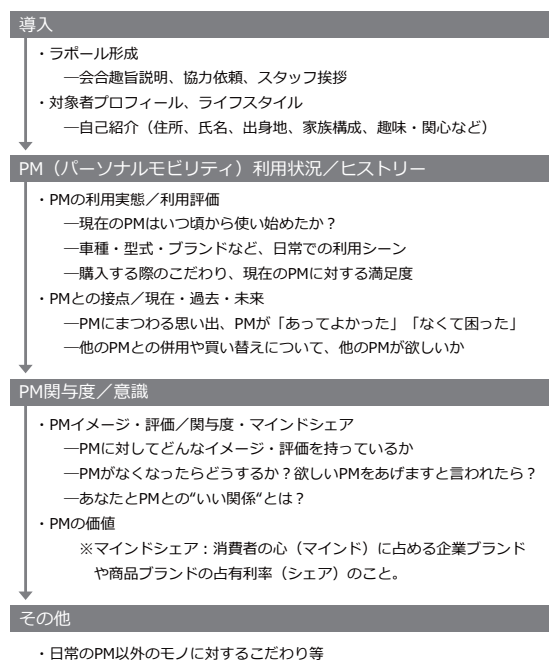


図6 インタビューの流れと質問項目

られる。口コミや評判については、自転車やオートバイの購入スタイルとして、自動車などに比べ購入する前に雑誌やネットで調べて選ぶというパターンが多いのではないかと考え、そのことから口コミや評判よりも実際の乗り心地や使い勝手で選ぶ人が多いのではないと思われる。また、利用環境については多くの人が不満や危険を感じており、安全性の向上や駐輪場の充実、専用レーンの整備、交通マナーの向上といったハード・ソフト両面において解決すべき問題点や課題があることがわかった。さらに、利用車種別の比較をしたところ、車種によって利用状況や重視する項目に違いがあることがわかった。例えば、スタイリングやカラーリングといった見た目の印象について重視するユーザーグループは、30歳未満の若い世代、コンパクト自転車やスポーツタイプ自転車のユーザー、利用距離は5km以上10km未満がメイン。運転する楽しさやパーソナルモビリティとの一体感を求めるのはスポーツタイプ自転車のユーザーで長距離での利用が多い。道路環境に対しては、30歳以上50歳未満、スポーツタイプ自転車のユーザー、利用距離は5km以上10km未満がメインというユーザーグループが特に厳しい意見を持っている。

以上の結果によりパーソナルモビリティに対するユーザーの価値観について、大まかに把握することができた。また、同じ自転車というカテゴリーのパーソナルモビリティであっても、タイプの違いや利用距離の違いなどによって価値観にかなり差があることがわかった。20歳以上40歳未満の若い世代は、スタイリングやカラーリングといったデザインへの意識が高く、多様な価値観を持っていることが確認された。このため、ユーザーの多様な価値観やその構造を把握していくためのケーススタディとして、20歳以上40歳未満の世代を次章での価値調査の対象とする。

### 3 若い世代のパーソナルモビリティに対する価値調査

20歳以上40歳未満の若い世代に着目し、より詳細な利用実態を把握するとともに、パーソナルモビリティの機能性やデザイン

表2 インタビュー被験者一覧

| 名前 | 年齢／性別 | 住所（出身地）   | 仕事           | 利用しているPM |
|----|-------|-----------|--------------|----------|
| A  | 女性    | 中国（遼寧省瀋陽） | 大学院生（中国人留学生） | 自転車      |
| B  | 男性    | 日本（飯塚市）   | 大学院生         | 自転車      |
| C  | 男性    | 日本（福岡市）   | 大学院生         | 自転車      |
| D  | 女性    | 日本（福岡市）   | 大学院生         | 自動車      |
| E  | 男性    | 日本（福岡市）   | 大学院生         | 自動車      |
| F  | 男性    | 日本（福岡市）   | 大学生          | 自動車      |
| G  | 女性    | 日本（福岡市）   | 大学院生         | バイク      |
| H  | 男性    | 日本（熊本市）   | 大学院生         | バイク      |
| I  | 男性    | 日本（大野城市）  | 大学院生         | バイク      |

とそれを選択し利用する際の動機や価値との関係性について考察し、価値構造を可視化することを目的として価値調査を実施した。方法として、自動車、オートバイ、自転車のいずれかを所有し日常的に使用しているユーザーを各3名集め、車種ごとにグループインタビューを行った。インタビューでは、前章で行ったパーソナルモビリティに関する意識調査で得られた世代別や車種別の利用状況、重視項目から、パーソナルモビリティの利用実態、購入時の重視項目およびそれに関連する機能や属性に対する満足点・不満足点などの質問を行い、さらに、深く掘り下げるために、パーソナルモビリティとの関与度や意識に関する質問を行った（図6）。また、今回の調査では、若い世代のなかでも経済力に乏しく、特に、クルマ離れやオートバイ離れの傾向が強いと思われる学生を対象を絞り込みデータの収集を行うこととした（表2）。

分析方法を選定するにあたり、これまで行ってきたクオリティカルテ評価・診断システムに関する研究で、ユーザーの商品選定・購入や日常生活でその商品を利用する際の動機と商品の属性や機能・性能、心理的效果との関係について分析を進めてきたが、そこでは各要素間の上下関係や相互の関係があることがわかっていて、そこで本研究では、パーソナルモビリティの価値観を階層構造として可視化することで、ユーザーの潜在的なニーズである上位の価値要素と具体的な開発要件となる下位の価値要素との関係を明らかにし、デザイン評価指標の構築および評価結果の読み取りに活用できると考える。

まず、インタビューで得られた発言録を分類・整理する必要がある。仁平京子氏の論文にある「手段目的連鎖モデルの理論枠組みとラダリング法の調査手法」[注15]が上述の考え方に近く、インタビューで得られる定性データとの相性も良いため、この手法を用いて発言録を分類・整理することから行った。手順としては、インタビューの発言録から、手段および目的となるキーワードを抜き出し、表現の統一化を実施した後、「属性」、「機能的ベネフィット」、「心理的ベネフィット」に分類する。次の段階として、分類した属性、機能的ベネフィット、心理的ベネフィットそれぞれの関係を横の繋がり（因果・対立）と縦の繋がり（上位下位）の2つの視点から構造化していく必要がある。そこで、『最新マーケティングリサーチ・テクノロジー集』より、自由回答や発言録といった定性データの情報を構造化し、新たな発見を見出すための手法として広く用いられている「因果対立関係分析法」と「上位下位関係分析法」[注16]を組み合わせて、属性から各ベネフィットにいたる「因果」・「対立」の関係と「目的」と「手



段」の関係を可視化した価値構造のマップ（ベネフィットマップ）を構築できるのではないかと考えた。因果対立関係分析法では、抽出された要素を因果関係キーワード（「だから」、「それによって」）と対立関係キーワード（「がしかし」、「にもかかわらず」）を使ってグルーピングし、グループ間の関係を探ることで構造化を行う。上位下位関係分析法では、上下関係キーワード（「それは主としてどうしたい（なりたい）ため」／「そのためには」）で各要素を照らし合わせながら上下関係を探ることで構造化していく。以上の手法を用いて、インタビューで得られた発言録を分析した結果、パーソナルモビリティ毎の価値構造をベネフィットマップとして可視化することができた。

### 3.1 自転車ユーザーのベネフィットマップ

自転車ユーザーのインタビュー結果から、近場の移動やすぐに乗れる気軽さから、便利さや快適さから、「日常の足」としてのベネフィットがある。また、自分の体を使うことから、「健康的」という意識があり、「達成感」が得られるということがわかった。スポーツタイプや高価な自転車、有名ブランドの自転車に対して、「デザイン性」の高さや「スピード感」を感じており、それが「いい自転車」というベネフィットにつながっていることがわかった。さらに、いい自転車に乗ることによって自分の魅力も上がるという意見もあった。シンプルな形状・機能性から、自ら修理やメンテナンス、カスタマイズできることから「楽しむためのツール」としてのベネフィットがあり、前述の達成感やいい自転車というベネフィットも含めて、「愛着・思い入れ」につながっていることがわかった。一方で、価格の安さや利便性から、単なる「交通手段」として捉えているユーザーもいることがわかった（図7）。

以上のことから、自転車は「生活の一部」として、日常的に利用されており、天候には左右されるものの、気軽に乗れて経済的、さらには健康的といった価値を持っていることがわかった。また、実用自転車のような実用的な自転車は、価格や維持費の安さといった経済面や機能性を重視した単なる交通手段としての価値と、スポーツタイプのような趣味性の高い自転車は、デザイン性やスピード感が求められ、そんないい自転車に乗ることで自分の魅力を高めたり、メンテナンスやカスタマイズを通して愛着を感じるという風に、自転車のタイプによって、大きく異なる価値があることがわかった。

### 3.2 自動車ユーザーのベネフィットマップ

自動車ユーザーのインタビュー結果から、「時間や天候に左右されない」、「自分のペースを優先」、「自力で遠出が可能」といった使い勝手の良さや柔軟性に関するベネフィットが多く見られた。また、「服装が自由」、「自宅のような安心感・居心地」というように囲まれた空間があることによって、他のパーソナルモビリティにはない独自の価値があることがわかった。もう一つ

の違いとして複数人で乗れることから、「家族・音楽がセットで記憶に残る」、「行く工程も思い出」のようなベネフィットがあり、目的地に向かう途中の車内での会話や音楽が思い出として残っているという意見が多かった。走行性能から、「スピード感」や「スリル感」、運転操作から「ミッション大好き」、「操作自体が好き」というベネフィットが見られたが、これは男性からの意見であった。逆に女性からは、前から見たときに顔のように見えることから、「かわいい」、「愛着」というベネフィットにつながっていることがわかった。

以上のことから、自動車は他のパーソナルモビリティに比べてたくさんの荷物や人を運ぶことができ、車内空間があること、比較的長距離の移動が可能なことといった自転車やオートバイにないベネフィットがあり、快適で使い勝手の良い自宅の延長のような存在であることがわかった。また、同乗者との会話や擬人化して見ることで思い出や愛着が強く、運転する楽しさや気分転換できるなど、「楽しい」ことが自動車の価値として重要な位置を占めていることがわかった（図8）。

### 3.3 オートバイユーザーのベネフィットマップ

オートバイユーザーのインタビュー結果から、「コミュニケーションの手段」、「相棒・友達的存在」、「思い出」、「達成感」のように、心理的ベネフィットに関する発言が他のパーソナルモビリティに比べて多かった。機能面では、「時間が読める」、「渋滞に巻き込まれない」、「駐車場の心配不要」、「維持費が安い」といった利便性の良さやコストパフォーマンスの良さがベネフィットとして見られた。また、排気量の小さなものから少しずつ大きなオートバイに乗り換えてステップアップする、もしくははしたいと考えるユーザーが多く、サイズやタイプなどの「バリエーション豊富」なことや「買い替える楽しみ」といったベネフィットが得られた。それに関連して、大きなサイズのオートバイには憧れのようなものがあり、そういったオートバイに「乗っている自分が好き」であったり「目立つ」、「カッコいい」というベネフィットにつながっていくことがわかった。乗り方として「2人乗り、ツーリング」や「自然を肌で感じる」ことで、「気分転換」や「コミュニケーションの手段」としての役割があることがわかった。また、オートバイは生身をさらした状態で運転するため、他のパーソナルモビリティに比べて一体感が強く、「思い出」や「達成感」から、非常に愛着の強い存在となっていることがわかった（図9）。

以上のことから、オートバイは移動力の高さ、維持費の安さなどから便利な交通手段としての価値がある一方で、サイズやタイプなどのバリエーションの多さ、さまざまな楽しみ方ができること、ユーザーとオートバイとの一体感の強さなどから、「楽しさ」や自分の分身ともいえる「愛着」の強さが大きな価値として存在していることがわかった。

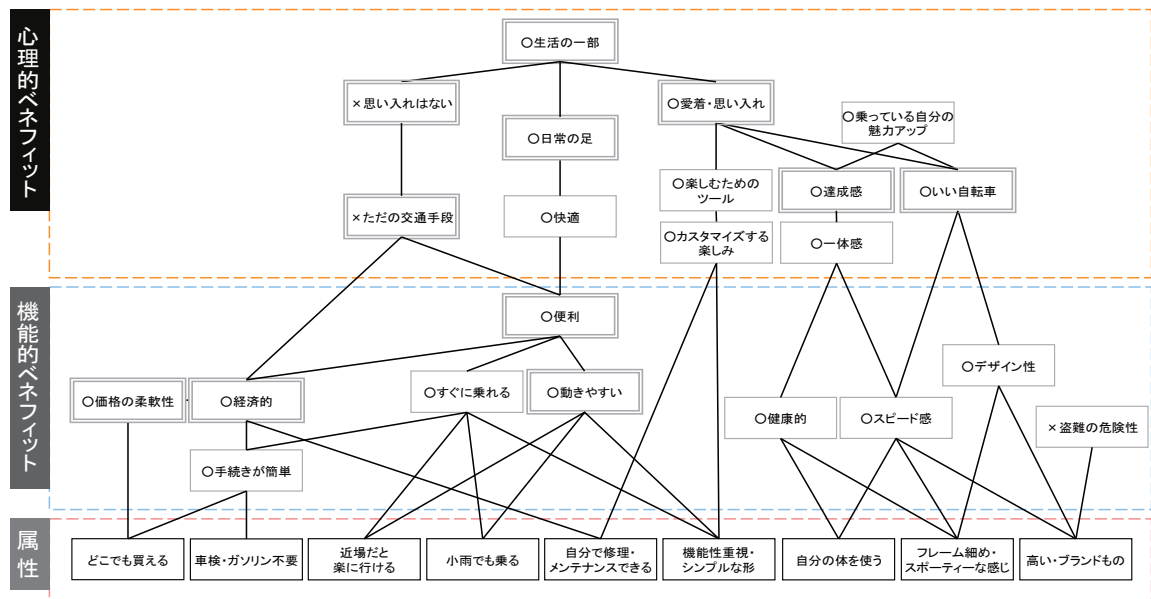


図7 自転車ユーザーのベネフィットマップ

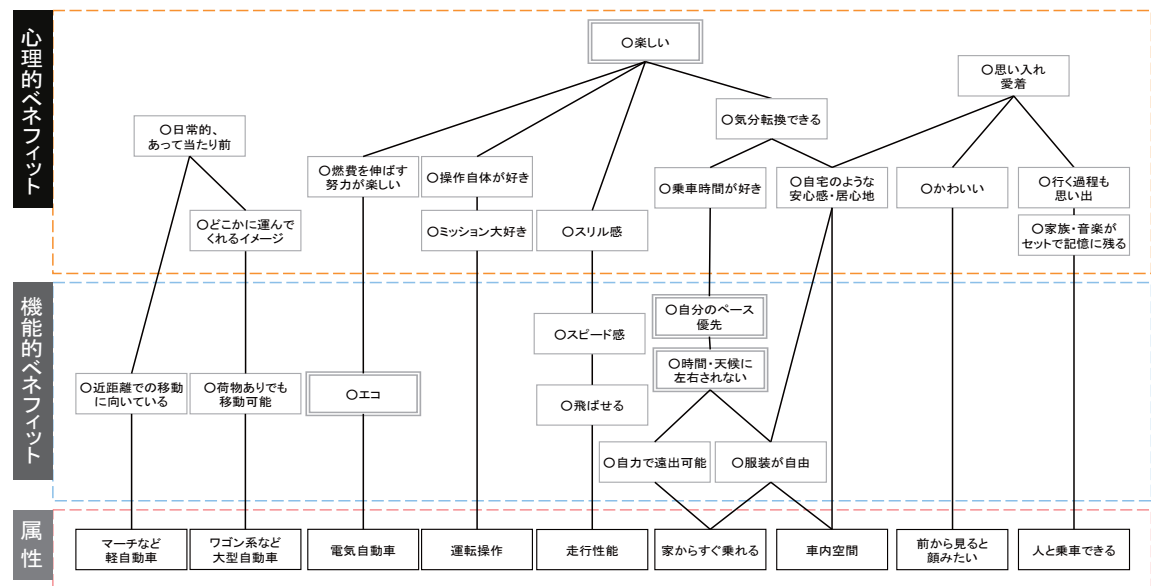


図8 自動車ユーザーのベネフィットマップ

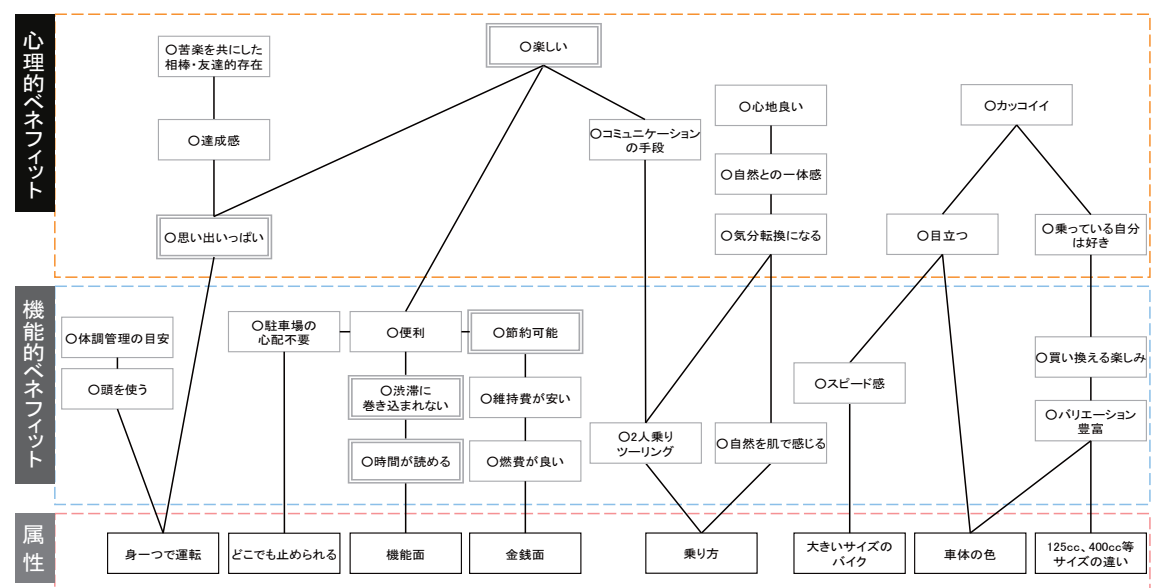


図9 オートバイユーザーのベネフィットマップ



### 3.4 インタビュー調査まとめ

ここまで、自転車、自動車、オートバイと3種類のパーソナルモビリティの価値構造について、若い世代のユーザーを中心に見てきた。その結果として、楽しさや愛着など共通する価値も見られたが、そこに至る機能的、心理的価値の構造はそれぞれに異なることがわかった。また、自転車であれば「健康」や「カスタマイズ性」、自動車では「自宅のような安心感」、「時間や天候に左右されない」、「どこかに運んでくれるイメージ」、オートバイでは「コミュニケーションツール」、「買い替える楽しみ」、「目立つ」、「自然との一体感」などのように独自の価値観があり、その違いを属性、機能的ベネフィット、心理的ベネフィットといった因果・対立、上位下位の関係性のなかで構造的に示すことができた。

### 4 おわりに

本研究では、まず、アンケート調査からパーソナルモビリティに対する意識について分析を行い、日常の足としての役割が最も大きいこと、実際の乗り心地や使い勝手で選ぶ人が多いこと、専用レーンの整備、交通マナーの向上といったハード・ソフト両面において解決すべき課題があることがわかった。さらに、利用車種別やユーザーの属性によって利用状況や重視する項目に違いがあり、それをマトリクスとして表にまとめることができた(表1)。

次に、インタビュー調査では、20歳以上40歳未満の若い世代に着目し、自転車、自動車、オートバイそれぞれの価値について、属性、機能的ベネフィット、心理的ベネフィットを因果・対立、上位下位の関係で図式化し構造化することができた(図7~9)。ここでは、若い世代の特徴としてどのタイプのパーソナルモビリティにも「楽しみ」が価値として存在し、単なる乗り物としてではなく、生活を楽しむためのツールとして捉えていることがわかった。楽しみや愛着、快適さといった上位の価値につながっていく機能的、心理的な価値要素には自転車、車、バイクで違いが見られ、独自の価値構造があることがわかった。ただし、今回の研究によって得られた結果は、ごく一部のユーザーの価値構造を表しているにすぎない。今後より多くのユーザーのデータを収集し、ベネフィットマップをより充実したものにしていく必要があると考える。

今後の展開として、アンケート調査およびインタビュー調査で得られたパーソナルモビリティの価値構造およびそれを構成する価値要素をベースとして、パーソナルモビリティのデザイン評価指標を構築し、その有用性を検証するためにデザイン評価実験を実施し、データの収集および活用方法の検討を予定している。

本研究は科研費(22615031)の助成を受けたものである。

### 参考文献

1) 川島蓉子:モノ・コトづくりのデザイン, 日本経済新聞出版

- 社, p178-180, 2010
- 2) 萩原雅之:次世代マーケティングリサーチ, ソフトバンククリエイティブ, p24-29, 2011
  - 3) 嶋口充輝:ビューティフルカンパニー ー市場発の経営戦略, ソフトバンククリエイティブ, p100-110, 2008
  - 4) ネットエイジア株式会社:「ネットエイジアリサーチ自動車に関する調査《2》」, researchTV 内自主調査データ (<http://www.researchtv.jp/cat14/20080905.php>), 2008
  - 5) M1・F1 総研:「若者のクルマ離れ…都会で売れない」, レスポンス HP 内 M1・F1 総研 特別編集記事 (<http://response.jp/article/2007/03/09/92363.html>), 2007
  - 6) 日経 BP 社:「若者のクルマ離れ, その本質は「購買力」の欠如」, 日経ビジネスオンライン (<http://business.nikkeibp.co.jp/article/tech/20090109/182410/>), 2009
  - 7) 藤井聡, 谷口綾子:モビリティ・マネジメント入門 -「人と社会」を中心に据えた新しい交通戦略, 学芸出版社, 12-15, 2008
  - 8) 国土交通省:モータリシフト等推進官民協議会「中間とりまとめ」について, 国土交通省報道発表資料 ([http://www.mlit.go.jp/report/press/tokatsu01\\_hh\\_000066.html](http://www.mlit.go.jp/report/press/tokatsu01_hh_000066.html)) 2011
  - 9) 森田昌嗣, 曾我部春香, 石橋伸介, 池田美奈子:評価者間の評価のズレに着目したデザイン評価・診断システムのあり方, 日本デザイン学会研究論文集, Vol.56, No.1, p47-54, 2009
  - 10) 曾我部春香, 森田昌嗣, 石橋伸介:デザイン賞の審査公表から抽出した評価指標を用いた評価システムの提案, 日本デザイン学会研究論文集, Vol.56, No.1, p55-64, 2009
  - 11) 石橋伸介, 曾我部春香, 森田昌嗣:クオリティカルテを用いた空間評価指標と手法の開発, 日本デザイン学会研究論文集, Vol.57, No.1, p85-92, 2010
  - 12) 石橋伸介, 曾我部春香, 森田昌嗣:公共空間のデザイン評価・診断システムの構築とその活用, 日本デザイン学会研究論文集, Vol.57, No.4, p25-34, 2010
  - 13) 関徹夫:自動車デザインの価値構造, 日本デザイン学会研究論文集, Vol.40, No.5, p27-32, 1994
  - 14) 中川智皓, 中野公彦, 古賀章章, 須田義大, 川原崎由博, 小坂雄介:パーソナルスペースを用いたパーソナルモビリティ・ビークルと歩行者の親和性評価実験, 日本機械学会論文集, 76巻, 770号, p141-147, 2010
  - 15) 仁平京子:広告戦略におけるラダリング法の意義ー消費者の価値と属性との関連性ー, 明治大学社会科学研究所, 2006
  - 16) 株式会社 日本能率協会総合研究所:最新マーケティングリサーチ・テクノロジー全集, 同社発行, p434-442, 2007

# パーソナルモビリティに特化したデザイン評価・診断システムの構築

- クオリティカルテ評価・診断システム構築に関する研究 (6)

## Construction of Design Evaluation/Diagnostic System for Personal Mobility

- A Study on Construction of Quality Chart Evaluation/Diagnostic System(6)

● 石橋 伸介

熊本県産業技術センター  
Ishibashi Shinsuke  
Kumamoto Industrial  
Research Institute

● 曾我部 春香

九州大学大学院芸術工学研究院  
Sogabe Haruka  
KYUSHU UNIVERSITY  
Faculty of Design

● 森田 昌嗣

九州大学大学院芸術工学研究院  
Morita Yoshitsugu  
KYUSHU UNIVERSITY  
Faculty of Design

● Key words: Personal Mobility, Value Structure, Design Evaluation

### 要旨

人々の価値観が多様化し変化の激しい現代においては、潜在的な価値を掘り出し、可視化することのできるデザイン手法が求められている。本研究では、パーソナルモビリティの価値構造を把握し、新たな価値を提供するためのデザイン評価・診断システムの構築を目的としている。本稿では、まず、雑誌調査によって抽出したデザインの価値要素を整理し、約 600 項目のデザイン評価指標を構築することができた。次に、評価手法について検討を行い、実際に開発中のパーソナルモビリティを対象に評価実験を実施した。さらに、評価実験の分析結果をもとにデザインを学ぶ学生数名に次世代のパーソナルモビリティについてデザイン提案をしてもらい、評価データの有用性について検証した。その結果、異なる立場のユーザーグループ間の評価のズレといった新たな視点から商品開発におけるアイデア展開やコンセプトの立案などで活用されていることがわかった。以上により、実用化に向けた課題は多いものの、パーソナルモビリティに特化したデザイン評価・診断システムを構築し、一定の効果を確認することができた。

### Summary

Recently, design techniques that can be extracted potential needs to be visualized are required. Because people's values are diverse, change is intense. This study aims to understand the value structure of personal mobility and builds a design evaluation and diagnostic system. In this study, we could organize the elements of the design value extracted by the magazine survey and builds a design evaluation index of around 600 items. Next, we considered an evaluation method, and evaluation experiments were carried out for personal mobility under development in practice. In addition, a proposal for next-generation personal mobility was outlined for students of design based on the analysis results of the evaluation experiment, and the usefulness of the evaluation data was verified. As a result, it was found that from a new perspective and evaluation gap between the user groups of different positions, it is utilized in the concept planning and idea deployment in product development. According to the above discussion, we could construct a design evaluation and diagnostic system specialized in personal mobility.

### 1. はじめに

近年、省エネルギーや環境負荷に対する意識の高まり、健康志向、ライフスタイルの多様化などにより、自動車やオートバイ、自転車といったパーソナルモビリティを取り巻く環境は急速に変化してきている。これまでの一般的なマーケティングやデザイン評価の方法では、顕在しているニーズを把握することはできても、それを商品化するところには価値観が変化してしまっているという状況も少なくない。そこで近年、ペルソナやサイコグラフィックといった潜在的なニーズを掘り起こす定性的な調査手法に注目が集まっており、ユーザーの潜在ニーズを掘り起こし、新たな価値を提供することが可能なデザイン手法の開発が求められている[注1～3]。これまでの研究では、パーソナルモビリティに対する意識調査から、パーソナルモビリティを選ぶ際の重視項目、利用環境に対する意識などについて調査し、若い世代に着目して自動車、オートバイ、自転車それぞれの価値構造をベネフィットマップによって可視化することによって、パーソナルモビリティの機能や性能、デザインといった属性とそれによって提供される価値との関係を把握することができた[注4]。

本稿では、これまでの研究で得られたパーソナルモビリティの価値要素と価値構造のベネフィットマップをもとにパーソナルモビリティに特化したデザイン評価・診断システムの構築を目指す。研究の方法として、まず雑誌調査によるデザイン評価センテンスの抽出を行い、それを分解・統合することによって評価指標を構築する。次に、パーソナルモビリティに最適な評価手法の検討を行い、最後にデザイン評価実験の実施と分析結果を活用したデザイン提案のケーススタディを行い、その有用性について検証する。

### 2. デザイン評価指標の構築

デザイン評価を行うに当たって、まずデザイン評価指標の構築を行った。これまでのデザイン評価で主に用いられてきた形容詞などの単語による表現を用いた場合、そこから得られる結果には具体性が乏しく、読み取り方によってどうにでも捉えることのできる曖昧なものであった。そこで本研究では、前後の文脈がわかる短いセンテンスでデザイン評価指標を表現し、評

表1 雑誌調査対象一覧

| No | 雑誌名            | ジャンル  | 性別 | 年齢層        |
|----|----------------|-------|----|------------|
| 1  | CAR and DRIVER | 自動車   | 男性 | 30歳以上      |
| 2  | car magazine   | 自動車   | 男性 | 30歳以上      |
| 3  | Daytona        | 自動車   | 男性 | 30歳以上50歳以下 |
| 4  | GENROQ         | 自動車   | 男性 | 40歳以上      |
| 5  | Motor Magasine | 自動車   | 男性 | 40歳以上      |
| 6  | 月刊自家用車         | 自動車   | 男女 | 20歳以上      |
| 7  | Girls Biker    | オートバイ | 女性 | 20歳以上30歳以下 |
| 8  | MOTO BEAUTY    | オートバイ | 女性 | 20歳以上50歳以下 |
| 9  | オートバイ          | オートバイ | 男性 | 30歳以上50歳以下 |
| 10 | 風まかせ           | オートバイ | 男性 | 50歳以上      |
| 11 | 培倶人            | オートバイ | 男女 | 30歳以上50歳以下 |
| 12 | モトチャンプ         | オートバイ | 男性 | 30歳以下      |
| 13 | フリーライドマガジン     | オートバイ | 男性 | 20歳以上      |
| 14 | STREET BIKERS' | オートバイ | 男性 | 30歳以上      |
| 15 | ScooterDays    | オートバイ | 男性 | 20歳以上      |
| 16 | Bicycle Beauty | 自転車   | 女性 | 20歳以上40歳以下 |
| 17 | BiCYCLE CLUB   | 自転車   | 男女 | 20歳以上      |
| 18 | BICYCLE NAVI   | 自転車   | 男女 | 20歳以上      |
| 19 | BICYCLE21      | 自転車   | 男性 | 20歳以上      |
| 20 | funride        | 自転車   | 男女 | 20歳以上50歳以下 |
| 21 | New Cycling    | 自転車   | 男性 | 30歳以上      |
| 22 | Tarzan         | 自転車   | 男性 | 30歳以上      |
| 23 | サイクリングライフ      | 自転車   | 男女 | 20歳以上50歳以下 |
| 24 | 自転車人           | 自転車   | 男女 | 30歳以上      |
| 25 | PEDAL SPEED    | 自転車   | 男女 | 20歳以上40歳以下 |

価値結果に具体性を持たせることで、デザイナーが商品デザインを進めていく中で、問題点の把握や新たな商品開発に直接結びつくような手法の構築を目指している [注5～8]。

デザイン評価指標の構築方法として、一般向けに販売されている自動車、オートバイ、自転車に関する様々な種類の雑誌を集め、そこに書かれた記事や車種の紹介文の中から、指標の素となるデザイン評価センテンスを抽出し、それらを分解・統合し整理することで指標の構築を行った。

2.1. 雑誌調査からのデザイン評価センテンスの抽出

雑誌調査を行うにあたり、まず雑誌の選定を行った。一般向けに販売されている雑誌には、同じオートバイでもターゲット層が年齢や性別などによって分かれているため、できるだけ偏りがないように幅広い雑誌を選ぶこととした。また、まずは現代における最新の価値要素を集めることが第1だと考え、調査時点から過去1年間に発売されたものを対象とした。

選定の結果、自動車に関する雑誌6種類22冊、オートバイに関する雑誌9種類32冊、自転車に関する雑誌10種類29冊、合計83冊の雑誌を対象として調査を実施した。表1に選定した雑誌一覧を示す。

2.2. デザイン評価センテンスの抽出および整理

デザイン評価センテンスとは、雑誌の中の新車解説文や評価文などから、パーソナルモビリティの価値要素を前後の文脈がわかる短い文章で抽出したものである。抽出の作業は筆者らの3名で行うこととした。抽出するセンテンスの個人差をできるだけなくするため、事前に抽出練習を行い、お互いのセンテンスを確認しながら、摺合せをしたうえで分担作業を行った。

作業の結果、合計836のセンテンスを抽出することができた。

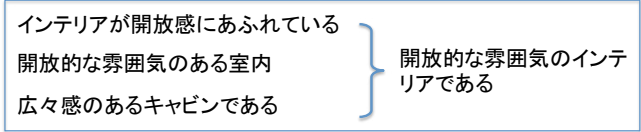
表2 デザイン評価指標のカテゴリー一覧

| No | カテゴリー  | 項目数 | 割合     |
|----|--------|-----|--------|
| 1  | 安心・安全  | 15  | 2.4%   |
| 2  | 走行性能   | 65  | 10.2%  |
| 3  | 操作性    | 43  | 6.8%   |
| 4  | 乗り心地   | 55  | 8.6%   |
| 5  | 見た目    | 196 | 30.8%  |
| 6  | 利便性    | 31  | 4.9%   |
| 7  | シーン    | 87  | 13.7%  |
| 8  | メンテナンス | 5   | 0.8%   |
| 9  | カスタマイズ | 7   | 1.1%   |
| 10 | カラー    | 14  | 2.2%   |
| 11 | 室内     | 35  | 5.5%   |
| 12 | パーツ    | 11  | 1.7%   |
| 13 | 音      | 15  | 2.4%   |
| 14 | ファッション | 10  | 1.6%   |
| 15 | ステータス性 | 13  | 2.0%   |
| 16 | 健康・エコ  | 12  | 1.9%   |
| 17 | 経済性    | 8   | 1.3%   |
| 18 | その他    | 15  | 2.4%   |
|    |        | 637 | 100.0% |

①センテンスの分解



②センテンスの統合



③専門的な表現の平易化

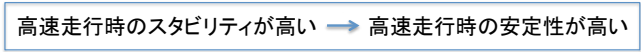


図1 抽出したデザイン評価センテンスと分解・統合・整理の例

2.3. デザイン評価指標の構築

抽出したデザイン評価センテンスを指標化するため、センテンスの分解・統合、整理を行った（図1）。具体的には、まず、ひとつひとつのセンテンスを読み込んで、ひとつのセンテンスに複数の価値要素が含まれている場合は2つに分解し、同じ内容のものは統合した。次に、パーソナルモビリティのどの価値要素を評価しているかによってカテゴリー分けを行った。その結果、表2に示す18のカテゴリーに分けることができた。このカテゴリー分けによって、パーソナルモビリティを評価する際の大まかな価値要素を把握することができた。また、専門的な用語やわかりにくい表現は、誰が読んでも理解できる単語に変換し、平易な表現に修正するとともに、文法を揃えたり、ネガティブな表現はすべてポジティブな表現に変えることで全体の統一性を高めている。この作業によって、文章の平準化を行い、人によって文章から受ける印象のズレを出来るだけ少なくし、また、読み取りやすさの向上を図った。以上の結果、最終的に637項目のデザイン評価指標を構築することができた。ただし、今回構築した指標群については、これで完成ではなく、デザイン評価センテンスの抽出を



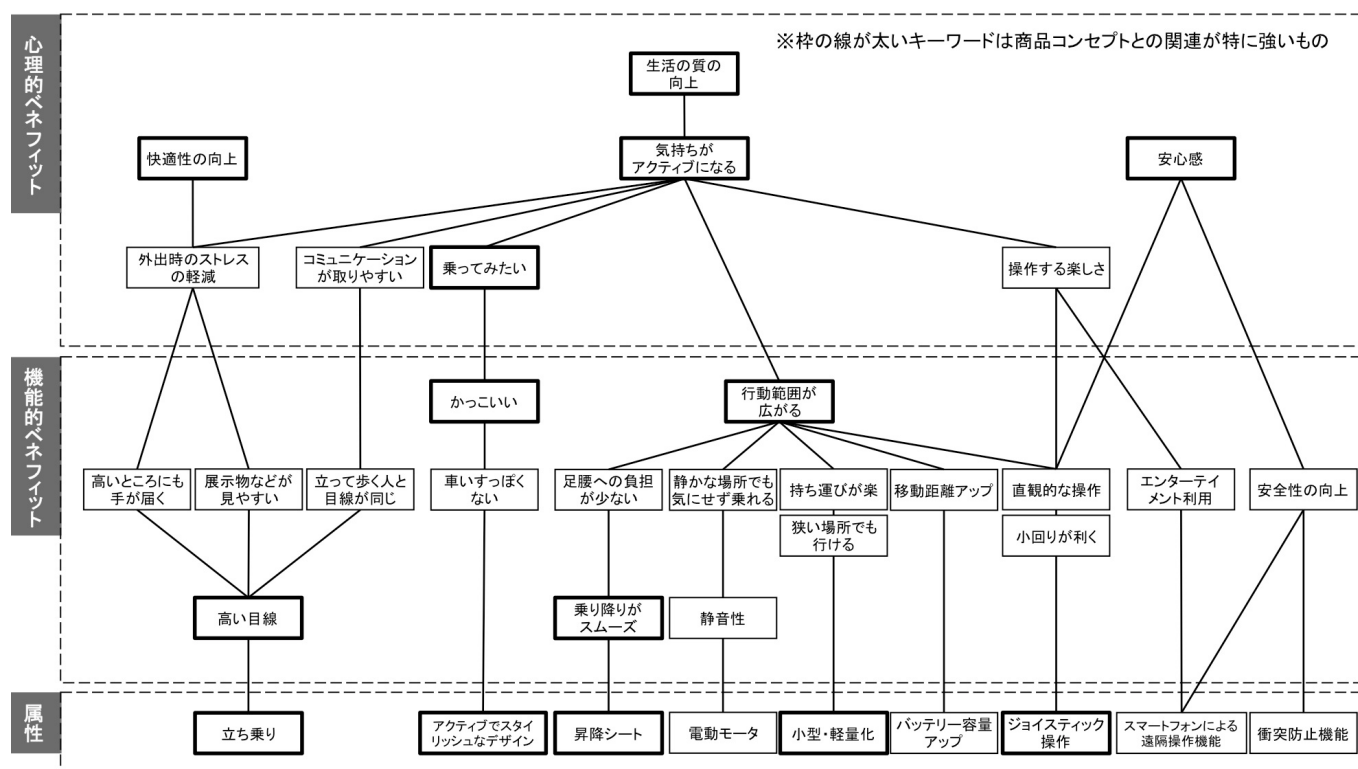


図2 STAViのベネフィットマップ

定期的実施し、指標の追加をするともに、指標の表現についてもユーザーの意見を取り入れながら改良していくことで充実させていく必要がある。

### 3. デザイン評価実験

第2章で構築したデザイン評価指標のブラッシュアップとパーソナルモビリティに適したデザイン評価手法を検討するためデザイン評価実験を実施した。

#### 3.1. デザイン評価手法の構築

デザイン評価実験を行うにあたり、まず、数ある指標の中から評価対象の商品の特徴や評価の目的に合わせてデザイン評価指標をどのように選定し評価するかが重要である。これまでのクオリティカルテ評価・診断システムでは、まず、評価対象となる商品のコンセプトやターゲット、商品ジャンルを参考に候補となる指標を選定し、それをベースにその商品の作り手や送り手にヒアリングをしながら指標の絞り込みや表現の修正を行ってきた。しかし、選定した指標が対象となる商品の価値要素全体からバランスよく選んでいるかどうか、選定した指標間の関連性が不明確であるなどの問題点があった。そこで、より効果的な評価結果を得るためには評価指標の選定方法を改善していく必要がある。

そこで本研究では、前稿[注4]で行ったパーソナルモビリティの価値構造をベネフィットマップとして可視化する手法を応用して、評価実験に用いるデザイン評価指標の選定を行うこととした。その手順として、まず、対象となる商品の作り手または送り手に聞き取り調査を行い、そこから得られる商品コンセプトや機能・性能に関する特徴、作り手の想いなどの価値要素をベネフィットマップとして表現する。次に、ベネフィットマップの各属性、機能ベネフィット、心理ベネフィットと第2章で構築したデザイン

評価指標群とを対応させながら指標を選定する。さらに、作り手や送り手とやり取りをして、最終的に評価実験で用いるデザイン評価指標を決定する。

これにより、指標づくりを進めていく上で、作り手や送り手の頭の中にあつた商品への想いが可視化され、評価実験の目的や課題の明確化やお互いの意思疎通もスムーズに行うことができるようになり、評価実験で得られたデータを読み取っていく際にも、指標間の関係性を加味することでより詳細な考察を行うことができるようになると思われる。

次に、選定した指標を使ってどのように評価していくかの検討を行った。パーソナルモビリティの価値要素には、見た目からの印象はもちろん、乗った時の安定感や操作性、室内空間の快適さ振動や音といった、数値的な情報だけでは判断できない要素が多く含まれている。そのため、CGや写真、仕様などの情報だけでは評価することができない。そこで、本研究では、対象となるパーソナルモビリティを用意し、触れたり操作したうえで評価を行うこととした。

#### 3.2. デザイン評価実験の実施

前項で構築した評価手法の有用性について検証し評価データを収集するため、デザイン評価実験を実施した。実験では、具体的なパーソナルモビリティを評価対象として、20歳以上40歳未満の若い世代を被験者として評価データを収集し分析を行った。

##### 3.2.1. 評価対象の選定

評価実験の対象となるパーソナルモビリティについては、熊本県が認定したリーディング企業である株式会社サンワハイテックが開発を進めているパーソナルモビリティ「STAVi(スタビィ)」を対象とすることとした。スタビィは、もともと高齢者向けの歩行補助電動カートとして開発が進められてきたが、次の展開とし

表3 選定したデザイン評価指標

◆見た目から受ける印象の評価

|     |                       |
|-----|-----------------------|
| Q1  | 見た目から、先進的な印象を受ける      |
| Q2  | 見た目から、スピードが出そうな印象を受ける |
| Q3  | 見た目から、落ち着いた印象を受ける     |
| Q4  | 見た目から、アクティブな印象を受ける    |
| Q5  | 見た目から、安定感のある印象を受ける    |
| Q6  | 見た目から、楽しそうな印象を受ける     |
| Q7  | 見た目から、コンパクトなサイズだと思う   |
| Q8  | 見た目から、乗ってみたいと思う       |
| Q9  | 見た目から、スタイリングが好きだと思う   |
| Q10 | 見た目から、カラーリングが好きだと思う   |

◆試乗した後の評価

|     |                   |
|-----|-------------------|
| Q11 | 乗り降りがスムーズにできる     |
| Q12 | 操作が直観的でわかりやすい     |
| Q13 | 乗り心地がいい           |
| Q14 | 乗っていて安心感がある       |
| Q15 | 操作そのものが楽しい        |
| Q16 | 乗っていてワクワク感がある     |
| Q17 | 歩いている人とも自然に会話ができる |

て、観光・レジャー、商業施設での利用や若い世代など新たなターゲットに向けた開発を検討しており、利用シーンや商品コンセプト、スタイリングなどに対するアイデアを模索している。そのため今回のデザイン評価実験の目的とも共通するところが多く、企業からの協力も得られたことから評価対象に選定した。

### 3.2.2. 価値構造の把握と指標の選定

実験の実施にあたり、まず、企業の開発担当者と協議し、評価実験のテーマを「若い世代が考える近い将来におけるパーソナルモビリティ（スタビィ）の在り方」ということで設定した。次に、スタビィの商品コンセプトや特徴などについて、同じく開発担当者にヒアリングを行い、開発の動機や開発者の想い、スタビィの特徴となる機能・性能、ターゲットユーザー、想定される仕様シーンなどについて聞き取りを行った。次にヒアリング結果から、キーワードを抽出し、「属性」「機能的ベネフィット」「心理的ベネフィット」に分類する。最後にキーワード同士の関係性を考慮しながらマップ上に配置することでベネフィットマップを作成した（図2）。これにより作り手が、ユーザーにどのような価値を提供しようとしているのかを、商品の「属性」「機能的ベネフィット」「心理的ベネフィット」という3つの視点からスタビィの価値構造を可視化し、価値要素間の関係を把握することができた。まず、立ち乗りができることによって高い目線を保持したまま移動することができ、快適性の向上やアクティブな気持ちにさせることへとつながっている。また、スタイリッシュなデザインから積極的に乗ってみたいという気持ちにさせたり、昇降シートの採用、小型・軽量化、ジョイスティック操作などによって、行動範囲の拡大、安心感や楽しさといったベネフィットへと繋がっていき、最終的には生活の質を向上するという価値の提供を目指していることがわかった。

次に、作成したベネフィットマップをもとに評価指標の選定を行った。評価実験では、まず、見た目から受ける印象をもとにスタイリングや安心感、走行性能などについて質問し、その後、実際に試乗してもらったうえで、乗降性や操作性、乗り心地など



図3 イメージパネル（ベーシックタイプ）



図4 イメージパネル（アクティブタイプ）



図5 評価実験の様子

について評価してもらおうという2段階で評価を行うこととした。従って、図2のベネフィットマップの中から、見た目から受ける印象の評価に関連したキーワードとしてとして、アクティブ、安定感、小型・軽量などのキーワードを抽出し、指標群の中からキーワードと関連性の高い10項目を選定した。試乗した後の評価指標についても同様に、乗降性、操作性、コミュニケーションなどのキーワードをもとに7項目を選定した（表3）。また、企業から観光地や商業施設でのレンタルを想定して、1時間あたりのレンタル料金についてユーザーの意見を聞きたいとの要望があったため、PRICE2を使った質問項目を追加した[注9]。さらに、スタビィやパーソナルモビリティに対する考え、被験者属性に関する質問などを追加して評価実験を実施した。

### 3.2.3. デザイン評価実験の実施

デザイン評価実験は、九州大学の大橋キャンパス内の広場を借りて実施した。アクティブタイプのカウルを装着したスタビィの実車1台と、ベーシックタイプのカウル部分、基本的な仕様及びアクティブタイプとベーシックタイプそれぞれのイメージを印刷したパネルを設置し、キャンパス内の学生を中心に評価をお願いした（図3, 4, 5）。実験の結果、74名からの評価データを収集



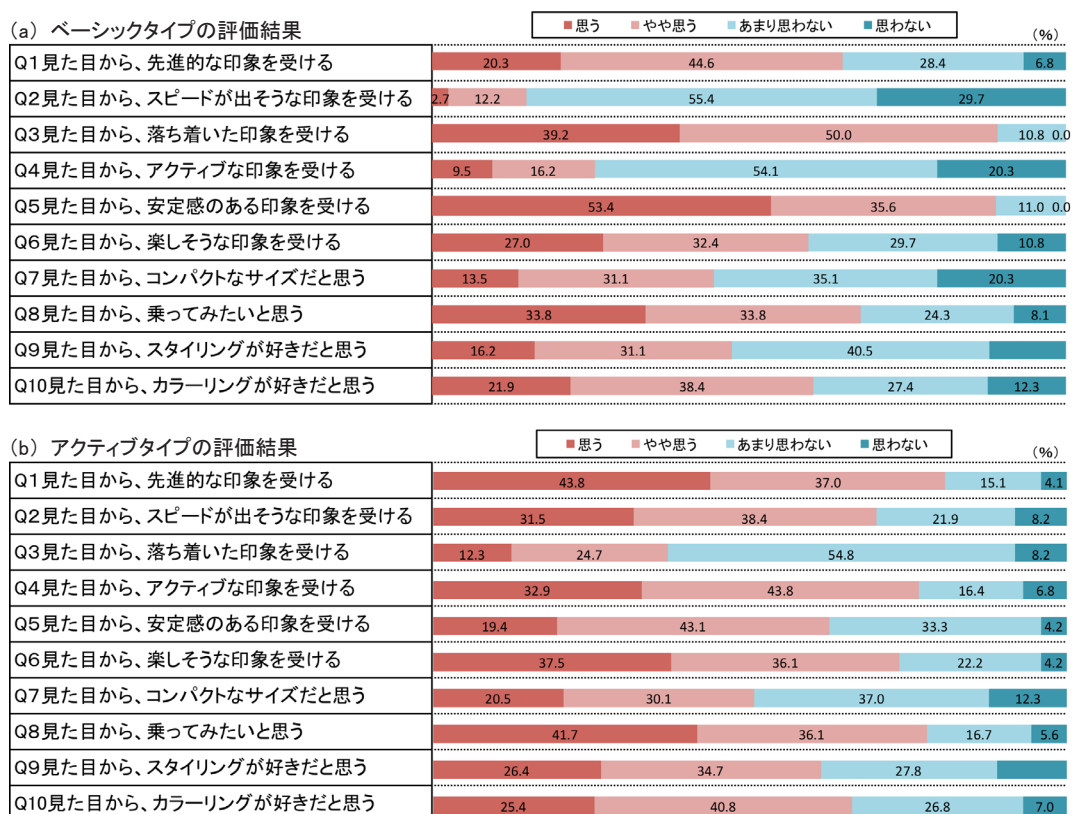


図6 見た目の印象に関する評価結果

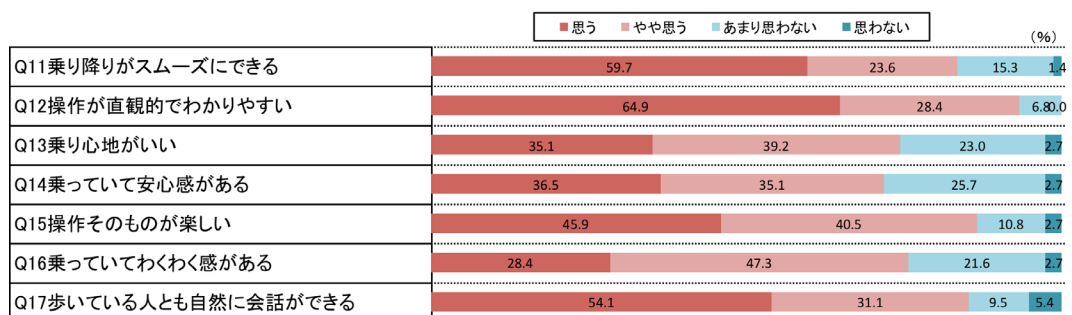


図7 試乗後の評価結果

することができた。74 名の内訳は、性別では男性 54.1%，女性 45.9%，年齢では、20 歳代が 85.1%，国籍では日本人 61.1%，留学生 38.9% となった。

#### 4. 評価データの分析と考察

評価データの分析では、各項目の各選択肢（思う、やや思う、あまり思わない、思わない）の度数分布を割合で示し、肯定的な意見と否定的な意見との割合を比較することで、評価を行った。また、被験者を性別、国籍（日本人学生 or 留学生）、パーソナルモビリティを所有しているかどうかの3つのカテゴリーでグループ分けを行い比較した。

##### 4.1. 見た目の印象に関する評価

まず、ベーシックタイプとアクティブタイプの比較を行った。その結果、ベーシックタイプは「先進的な」「落ち着いた」「安定

感のある」で高い評価となった。アクティブタイプでは、「先進的な」「スピードが出そう」「アクティブ」「楽しそう」で高い評価となった。特に、「スピード」「落ち着いた」では両極端の評価となっていることがわかった。また、アクティブタイプは「楽しそう」「コンパクト」「乗ってみたい」でベーシックタイプよりも評価が高かった（図6）。

次に、グループ別の比較を行った。性別およびパーソナルモビリティを所有しているかどうかによる比較では、両者間に大きな差は見られなかった。国籍による比較では、全体的に留学生の評価が高く、「先進性」「コンパクトさ」「楽しそう」「乗ってみたい」「スタイリング」などで比較的评价が高かった。

以上の結果から、スタビの見た目から受ける印象として、先進的で楽しそう、乗ってみたいと感じている人が多いことが分かった。また、国籍の違いによって見た目から受ける印象に大き

な違いがあることが分かった。

#### 4.2. 操作性, 乗り心地などに関する評価

試乗後の評価では、「乗り降りがスムーズにできる」「操作が直観的でわかりやすい」「操作が楽しい」「歩いている人とも自然に会話ができる」などの項目で特に評価が高かった(図7)。グループ別の比較では、性別では「乗り心地」「操作の楽しさ」「わくわく感」で女性の評価が高い。国籍では「操作が分かりやすい」「操作の楽しさ」で留学生の評価が高かった。パーソナルモビリティを所有しているかどうかでは、全体的にパーソナルモビリティを持っていない人の評価が低く、特に「乗り心地」「安心感」では差が大きかった。一方で「乗っていてわくわく感がある」については逆に評価が高かった。

以上の結果から、乗降性や操作性、会話のしやすさといった要素では高い評価を得ているが、わくわく感については若干低めであることがわかった。また、性別やパーソナルモビリティの所有の有無での比較から、女性はパーソナルモビリティを所有していない人が男性と比較して多かったことから、普段こういった乗り物にあまり乗っていない人ほど、わくわく感や操作の楽しさをより感じていることがわかった。

#### 4.3. パーソナルモビリティに対する考え方

パーソナルモビリティに対する考え方を前稿の意識調査でも用いた11項目について質問し分析を行った。その結果、全体の傾向として、「運転のしやすさ」「乗り心地の良さ」「燃費」「コンパクトさ」「スタイリング」等の項目で重視している人が多いことが分かった。逆に、「走行性能」「売れ行き、評判」については他の項目に比べ重視度はやや低い事が分かった。グループ別の比較では、性別による差はほとんど見られなかった。国籍による比較では、「走行性」「売れ行き、評判」「乗り心地」で留学生の重視度が比較的高く、「スタイリング」「カラーリング」については日本人学生の重視度がやや高いことが分かった。パーソナルモビリティの所有の有無では、全体に所有していない人の重視度が低く、特に「走行性」「価格の安さ」「スタイリング」「運転する楽しさ」などで重視度が低いことが分かった。

以上の結果から、若い世代のスタビィに対する評価およびパーソナルモビリティに対する考え方について把握することができた。また、留学生との比較から、国の違いによって評価や考え方に大きな違いがあることがわかった。

### 5. 評価データの有用性に関する検証

評価実験によって得られた分析結果が、実際のデザインプロセスにおいてどのように利用されるのか、また、その有用性について検証を行った。方法としては、九州大学の学生に協力してもらい、評価実験の分析結果をもとに、若い世代が考える新しいスタビィのデザインを提案してもらい、そのデザインプ

ロセスをプレゼンテーション資料としてまとめることで、どう反映されているかを評価することとした。

はじめに、若い世代のスタビィに対する評価結果について、分析者の思考が入りすぎないようにするため、詳細な考察を加えずに学生たちに説明して、各自気になった分析結果を自由に解釈し、アイディア展開やデザインコンセプトを考える際の参考とするように伝えた。学生たちは日本人学生4人と留学生(主に中国からの留学生)4人で、協議の結果日本人学生は各自で1つずつ提案を行い、留学生はチームで提案を行うこととなった。日本人学生は現在もしくは近い未来の身近な生活の中におけるパーソナルモビリティの新しいあり方について提案してもらった。留学生チームには、自分の国(中国)におけるパーソナルモビリティの新しいあり方について提案をしてもらった。

【提案1】評価結果における「歩いている人とも自然に会話ができる」「乗り降りがスムーズにできる」という結果に着目し、コミュニケーションの活発化や気軽に乗ることのできる場での利用という2つの視点から、大規模な団地内における移動手段としての提案を行っている(図8)。また、パーソナルモビリティを敷地内の移動手段とし、自動車の駐車場を敷地の外側に配置することで、敷地内を大きな庭として利用し、歩車分離による安全性の向上と住居者同士のコミュニケーションの促進を図っている。

【提案2】提案2では、評価結果から使いやすさに関して高評価であり、逆に心的印象については評価が低いという読み取りから、実務的、実用的なシーンでの利用に向いているという考察を行っている。そこで、“働く現場を考えた、次世代のリフター”というコンセプトを立て、病院や図書館などにおける作業を効率化、負担軽減のための機器の提案を行っている(図9)。また、先進の医療現場やスタイリッシュな建物のイメージ合わせたデザインにすることで、施設全体のイメージアップにもつながるという提案を行っている。

【提案3】「乗ってみたいと思う」という評価の低さから、買い物をしている親子連れをターゲットに、カラフルな外観や二人乗り、荷物置き、子どもの興味を引く遊びの機能などを付加することで、思わず乗りたくなるようなパーソナルモビリティを提案している。

【提案4】「わくわく感がある」という評価で、パーソナルモビリティの所有の有無により評価に差があったことから、パーソナルモビリティに対する感度(経験)が低いと乗った時のわくわく感が高いという仮説から、子どもが楽しめる移動手段の提案を行っている。また「操作のわかりやすさ」「会話のしやすさ」という評価結果から、子どもが移動を楽しみながらコミュニケーションが取れるパーソナルモビリティというコンセプトを設定し、ショッピングセンターやテーマパーク、病院などでの利用

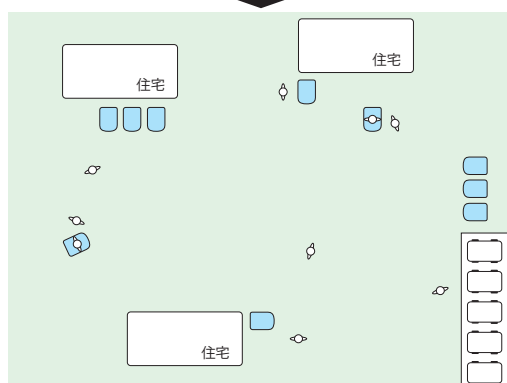
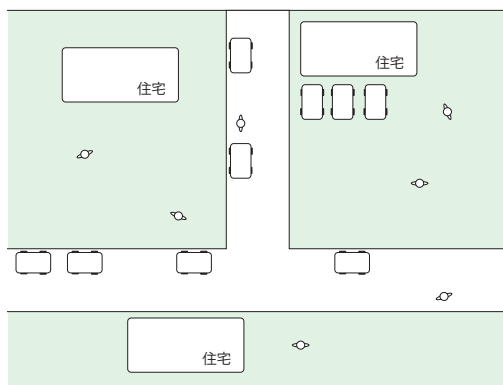


図8 日本人学生による提案1  
(スタビィによる団地の新たなあり方の提案)



- ・リフトによって腰の負担を軽減
- ・歩きながらでも会話しやすい
- ・簡単に操作可能



図9 日本人学生による提案2  
(働く現場を考えた、次世代のリフターの提案)

**01** + 中国人留学生がSTAVIに対する高い評価

**02** + 中国市場の実際需要

中国でSTAVIの展開は  
いろいろな可能性がある！

## 漢口江灘公園

漢口江灘公園は中国武漢市漢口地区の揚子江沿いにあつて公園。

面積: 160万㎡  
長さ: 7000m

規模が大きい

- ・一軸(江灘景観軸)
- ・二帯(親水帯、堰景観帯)
- ・四区(エリア)

中心広場区  
レジャー区  
スポーツ区  
園芸景観区

**公園での使用シーン**

### 使用シーン

- ・WHO: 家族、観光者、恋人
- ・WHEN: 散歩、観光、デート
- ・WHY: スピードが速くない、安全、  
場所は広いので、疲れた時に使う(特にお年寄り)、  
子供の遊ぶ
- ・WHAT: レンタル料金の支払いシステム  
公園のナビ  
二人乗る/子供席/ペット席  
照明の改善  
登坂性能の改善  
SOS
- ・HOW: レンタル 20台以上 350-450円/時

図10 留学生による提案(中国の観光地(公園)におけるレンタルサービスの提案)



を想定したパーソナルモビリティを提案している。

【提案5】留学生チームは、「中国でのスタビィの展開提案」というテーマでアイデア展開を行い、「先進的」「乗ってみたい」「楽しそう」「スタイリングが好き」「操作そのものが楽しい」など多くの項目で評価が高かったことから、日本よりも中国での展開の可能性を示唆したうえで、中国市場におけるニーズ調査の結果も踏まえ、「観光」、「学園都市」、「マンションギャラリー」の3つのシーンにおけるパーソナルモビリティのあり方を、具体的な方向性も交えて提案している（図10）。

各学生のプレゼンテーション資料の中に、今回の評価結果をどのように使って最終的なデザイン提案につなげていったのかを記載してもらい、その内容から考察を行った。いずれの提案においてもコンセプト立案の段階で評価結果のデータを活用していることがわかった。今回は与えられたテーマが曖昧なものだったため、評価結果から得られたスタビィの特徴や問題点から、テーマや利用シーンを絞り込んでいき、そこに自らの体験や他からの情報を加えて、コンセプトの立案へと繋げている。また、ユーザーグループ間の評価のズレからターゲットユーザーを絞り込んでアイデア展開している例も見られた。さらに、具体的なデザインを考えていく際に、見た目の印象や乗り心地の評価結果をもとに機能の追加や改善策の提案へとつなげている例もあった。以上のことから、デザイナーがアイデア展開や具体的な提案を行う際に、評価実験によって得られたデータが効果的に活用されていることがわかった。また、コンセプトや具体的なデザインを裏付ける資料として数値データを利用することによって、提案内容の説得力を高める効果も期待できる。なお、学生たちの提案を、スタビィを開発した企業の担当者に見せたところ、これまで社内では出てこなかった発想や切り口からの提案があり非常に参考になったとの評価を得ることができた。

一方で、今回は若い世代の価値観にもとづいた評価結果であったにも関わらず、実際のデザイン提案では高齢者や子育て世代などをターゲットとした提案があり、本研究がターゲットとするユーザー層との間にズレが見られた。これは、学生たちに与えた課題のテーマが曖昧であったこと、提示した評価データを説明する際に世代に関する記述を明確にしなかったことなどが要因と考えられる。今後、同様の評価実験や評価データの分析を行う際には、ターゲット層の明確化や分析結果の表現方法などについて改良していくことが課題である。

## 6. おわりに

本研究では、パーソナルモビリティに特化したデザイン評価・診断システムの構築に向け、若い世代に着目して、パーソナルモビリティに対する価値構造の把握とそれにもとづいた評価指標および評価手法の構築を行った。その結果、評価指標に関しては約

600項目を構築することができた。また評価手法では、作り手の対象に対する考え方をベースとしたベネフィットマップを作成し、それをもとに評価指標を選定し評価するという手順を踏むことで、評価結果から作り手と受け手との間の評価のズレ、つまり求める価値のズレを把握することが可能となった。これにより、デザイン提案を行う際にこれまでと違った視点からのアイデア展開やコンセプト立案、さらには、機能や性能に関する直接的な課題の抽出などが効果として期待できる。学生たちによるデザイン提案による検証では、アイデア展開やコンセプト立案において効果的に活用されていることを確認することができた。

今後の課題としては、今回構築した評価指標はパーソナルモビリティの価値全体におけるごく一部を指標化したにすぎず、また、指標の内容も時代の変化に応じて大きく変わっていくと予測される。そのため、デザイン評価センテンスの収集を継続して行い、指標の充実と更新を進めていく必要がある。また、分析方法や分析結果の可視化の方法についてもより実用的なものにしていくためデザイナーなど作り手へのヒアリングを行い課題の抽出し改良を進めていく。

本研究は科研費（22615031）の助成を受けたものである。

## 参考文献

- 1) 棚橋弘季：デザイン思考の仕事術，日本実業出版社，22-31，147-150，2009
- 2) 樽本徹也：ユーザービリティエンジニアリング，オーム社，20-64，2005
- 3) 萩原雅之：次世代マーケティングリサーチ，ソフトバンククリエイティブ，24-29，2011
- 4) 石橋伸介，曾我部春香，森田昌嗣：パーソナルモビリティの価値要素および価値構造の把握，デザイン学研究，60，4，21-28，2013
- 5) 森田昌嗣，曾我部春香，石橋伸介，池田美奈子：評価者間の評価のズレに着目したデザイン評価・診断システムのあり方，デザイン学研究，56，1，47-54，2009
- 6) 曾我部春香，森田昌嗣，石橋伸介：デザイン賞の審査公表から抽出した評価指標を用いた評価システムの提案，デザイン学研究，56，1，55-64，2009
- 7) 石橋伸介，曾我部春香，森田昌嗣：クオリティカルテを用いた空間評価指標と手法の開発，デザイン学研究，57，1，85-92，2010
- 8) 石橋伸介，曾我部春香，森田昌嗣：公共空間のデザイン評価・診断システムの構築とその活用，デザイン学研究，57，4，25-34，2010
- 9) 株式会社 日本能率協会総合研究所：最新マーケティングリサーチ・テクノロジー全集，同社発行，434-442，2007



# Improvement of *m*-plane ZnO films formed on buffer layers on sapphire substrates by mist chemical vapor deposition

Hironobu Tanoue<sup>1</sup>, Masato Takenouchi<sup>1</sup>, Tatsuya Yamashita<sup>2</sup>, Shohei Wada<sup>1</sup>, Zenji Yatabe<sup>3</sup>,  
Shoji Nagaoka<sup>4,5</sup>, Yoshihiro Naka<sup>1</sup>, and Yusui Nakamura<sup>\*,5,6</sup>

<sup>1</sup> Graduate School of Science and Technology, Kumamoto University, 860-8555 Kumamoto, Japan

<sup>2</sup> Faculty of Engineering, Kumamoto University, 860-8555 Kumamoto, Japan

<sup>3</sup> Priority Organization for Innovation and Excellence, Kumamoto University, 860-8555 Kumamoto, Japan

<sup>4</sup> Kumamoto Industrial Research Institute, 862-0901 Kumamoto, Japan

<sup>5</sup> Kumamoto Institute for Photo-Electro Organics, 860-0901 Kumamoto, Japan

<sup>6</sup> Faculty of Advanced Science and Technology, Kumamoto University, 860-8555 Kumamoto, Japan

Received 13 August 2016, revised 1 December 2016, accepted 12 December 2016

Published online 11 January 2017

**Keywords** buffer layers, mist chemical vapor deposition, sapphire, substrates, thin films, ZnO

\* Corresponding author: e-mail yusui@cs.kumamoto-u.ac.jp, Phone: +81 96 342 3842, Fax: +81 96 342 3842

The crystal quality of ZnO films grown by mist chemical vapor deposition (mist-CVD) was improved by introducing ZnO buffer layers on sapphire substrates. The ZnO films were grown by high-speed rotation-type mist-CVD with a ZnCl<sub>2</sub> aqueous solution, which provided uniform epitaxial layers over 2-inch wafers. To grow the ZnO buffer layers, it is necessary to

form small grains of polycrystal. Therefore, we attempted to grow the ZnO buffer layers using a Zn(CH<sub>3</sub>COO)<sub>2</sub> aqueous solution, which provides a small grain size of about 100 nm. By using the buffer layers, the full width at half-maximum of an X-ray  $\omega$ -rocking curve for the ZnO film was reduced from 0.69° to 0.38°, showing improvement of the crystal quality.

© 2017 WILEY-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, Weinheim

**1 Introduction** Recently, gallium nitride (GaN)-based light-emitting diodes (LEDs) have been widely used in light sources of illuminations and back lights of displays [1, 2]. However, the GaN LEDs include minor metals of In and Ga, and metal organic chemical vapor deposition (MOCVD) is necessary to fabricate the LEDs, which need expensive high-purity toxic gases and low-vacuum conditions. It is essential to utilize abundant materials and a simple growth system toward low-cost ZnO-based LEDs [3–5]. To realize this target, combination of ZnO material and mist chemical vapor deposition (mist-CVD) [6, 7], which is similar to spray-CVD [8–10], is an effective method. In mist-CVD, a source solution is atomized by an ultrasonic vibrator and mist is transferred to a substrate in a furnace by a carrier gas, and many kinds of oxide thin films are formed at atmospheric pressure in a simple system. However, when cold mist comes into contact with the substrate, the cold mist is gradually heated, which

produce temperature gradient on the substrate. This temperature gradient results in a film-thickness distribution and also film-quality distribution. Therefore, it is important to improve the uniformity of the films.

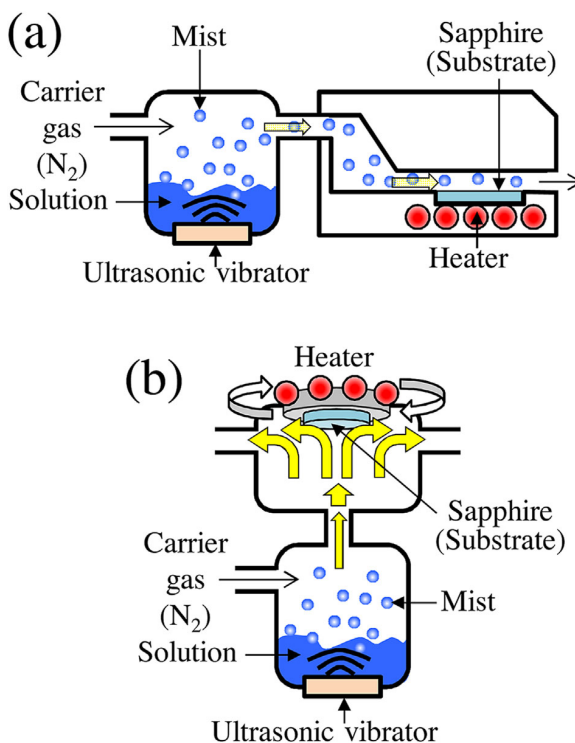
Toward a commercial products of ZnO LEDs, it is valuable to apply high-speed rotation of substrates to mist-CVD. The boundary-layer theory in fluid dynamics suggests that when a disk rotates at a high speed keeping laminar flow, uniform temperature and concentration of the gas are expected on the rotating disk surface [11, 12]. Already, this high-speed rotation-type systems have been used in CVD or MOCVD for Ge, Si, group III–V material such as AlGaInP [13–15]. Recently, a couple of companies have applied this method to MOCVD systems for mass production of GaN-based devices and realized high uniformity. Therefore, it is important to create high-speed rotation-type systems also for mist-CVD as a next-generation low-cost film-formation method. We have

developed high-speed rotation-type mist-CVD, which provides uniform ZnO epitaxial films over 2-inch sapphire substrates [16]. At present, a technical barrier to realize ZnO-based LEDs is to form p-type ZnO. After any breakthrough regarding the barrier, mass production of ZnO-based LEDs at low cost would be necessary, which could be realized by the high-speed rotation-type mist-CVD.

In this study, we improved the crystal quality of the uniform ZnO epitaxial films by introducing ZnO buffer layers [17, 18], since there are fewer reports on formation of the buffer layers by mist-CVD. In addition, we focused on the formation of nonpolar *m*-plane (10–10) ZnO films on sapphire substrates, since high emission efficiency is expected from quantum-well layers. This is because no electric field in the quantum wells is formed on nonpolar ZnO planes such as *m*-plane or *a*-plane [19–21], where recombination probabilities of electrons and holes are large. In contrast, a strong electric field is formed on a polar ZnO plane such as the *c*-plane, where the recombination probability becomes small because the wave functions of electrons and holes are shifted from each other. To form the *m*-plane ZnO films, we used *m*-plane sapphire substrates with domain-matching epitaxy [22, 23] since both lattice constants are very different from each other.

## 2 Uniform ZnO films formed by high-speed rotation-type mist-CVD

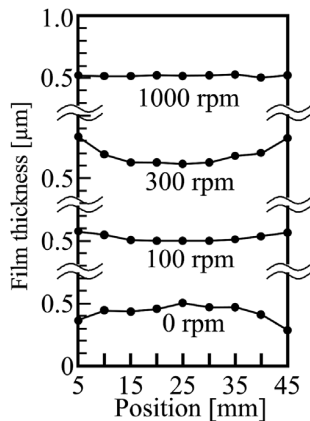
**2.1 Experimental** Figure 1a shows the conventional-type mist-CVD system, where mist flows parallel to the substrates. In the case of this system, the film thickness is not uniform on the substrate due to variation of surface temperature because the cold mist comes into a hot reaction region and is gradually heated. To resolve this problem, we have developed a high-speed rotation-type mist-CVD system as shown in Fig. 1b. In this system, mist flows perpendicular to the rotating substrates, and uniform thickness is expected to be formed when experimental conditions based on boundary-layer theory in fluid dynamics are satisfied. In these systems, aqueous solutions including Zn are atomized and the mist of the solution is transferred with a N<sub>2</sub> carrier gas to the hot reaction region, forming ZnO films on substrates. In the conventional-type mist-CVD system, film thickness usually increases along the direction from the inlet to the outlet on the substrates because the mist temperature is lower at the inlet and higher at the outlet. In contrast, in the high-speed rotation-type mist-CVD system, uniform thickness is expected. In the growth of the ZnO film, a ZnCl<sub>2</sub> aqueous solution with concentration of 0.1 mol L<sup>-1</sup> and N<sub>2</sub> carrier gas with flow rate of 5 L min<sup>-1</sup> were used, and the growth duration was 1 h. The concentration of 0.1 mol L<sup>-1</sup> was an appropriate intermediate value because much mist cannot be formed due to high viscosity in the case of a denser solution and the growth rate of ZnO is too small in the case of a dilute solution. The carrier gas of N<sub>2</sub> was used for two reasons. The first reason is that easy and safe treatment is possible. The second reason is that O<sub>2</sub> gas is not necessary as an oxidant



**Figure 1** (a) Conventional-type mist-CVD system. (b) High-speed rotation-type mist-CVD system.

for Zn because the main oxidant is H<sub>2</sub>O in the mist. After preparation of samples, we characterized the thickness variation of the samples by a step profiler and the crystal quality of the samples by X-ray diffraction (XRD) in  $\theta$ -2 $\theta$  and  $\varphi$  scanning modes. The flow rate of the carrier gas (5 L min<sup>-1</sup>) was determined to position the deposition area of ZnO just on the substrate in the furnace. In the case of too small a flow rate, the deposition area would be at the inlet side of the furnace, while the deposition area would be at the outlet side of the furnace in the case of too large a flow rate.

**2.2 Results and discussion** Figure 2 shows the ZnO film thickness distribution formed by the high-speed rotation-type mist-CVD system. In the case of no rotation (0 rpm), the film was thicker at the center of the substrate, because the amount of incident mist was highest at the center. With rotation speeds of 100 and 300 rpm, the films were thicker at the edge of the substrate than at the center. This was probably because mist incident on the center moved to the edge as a result of centrifugal force caused by rotation of the substrate. The mist moved to the edge and probably absorbed thermal energy along the edge, while thermal decomposition and chemical reaction of the mist were enhanced near the edge. This is a similar mechanism to that for the standard-type mist-CVD mentioned above. In contrast, uniform thickness was obtained at a rotation speed of 1000 rpm. Thickness variation was less than 2% from the average thickness over the 2-inch substrate [16], which



**Figure 2** Film-thickness distribution formed by high-speed rotation-type mist-CVD system. At a rotation speed of 1000 rpm, uniform thickness of the ZnO film is realized.

would satisfy an industrial requirement of a thin-film formation system. In addition, uniform ZnO single-crystal film was successfully formed over 2-inch wafers as described below. Figure 3a and b show the results of X-ray diffraction (XRD) in  $\theta$ - $2\theta$  and  $\varphi$  scanning modes, respectively. From the results of the  $\theta$ - $2\theta$  scan in Fig. 3a, only ZnO (10–10), ZnO (20–20), and sapphire (30–30) peaks are observed at positions of 15, 25, and 35 mm along the diameter of the 2-inch sapphire substrate, which shows that only m-plane ZnO was grown on the sapphire substrate. From the results of the  $\varphi$  scan in Fig. 3b, two peaks spaced by  $180^\circ$  were observed for both ZnO and sapphire, since the crystal lattices of m-plane ZnO and m-plane sapphire are both rectangular with two-fold symmetry. The  $c$ -axes of ZnO and that of sapphire perpendicularly crossed each other on the sapphire substrate, namely ZnO [0001]  $\parallel$  sapphire [11–20] and ZnO [11–20]  $\parallel$  sapphire [0001]. In

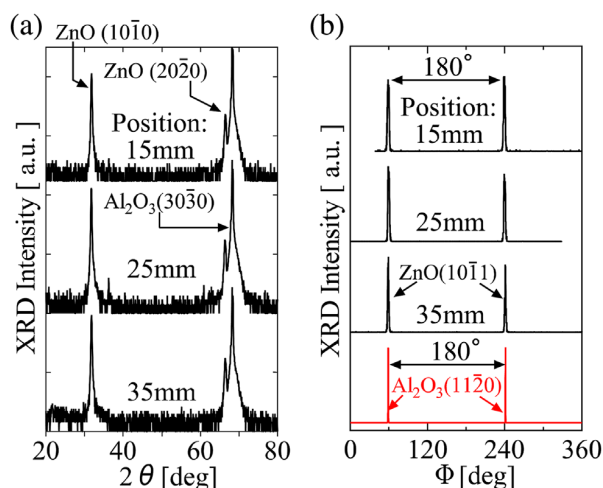
this  $\varphi$  scan measurement, the ZnO (10–11) and sapphire (11–20) planes were used as the monitoring planes, where Bragg conditions were set to be satisfied.

From these results of Figs. 2 and 3, it was shown that the thickness and crystallographic properties were homogeneous across the substrate, and that the ZnO film was epitaxially grown on the sapphire substrate [16]. In the direction lateral to the sapphire substrate, four small rectangular ZnO lattices are formed on one large sapphire rectangular lattice in the sapphire [0001] direction, indicating domain-matching epitaxy [22, 23], where the lattice mismatch in the ZnO [0001] direction is 9.7%, and that in the ZnO [11–20] direction is 0.1%.

### 3 High-quality ZnO films formed on ZnO buffer layers

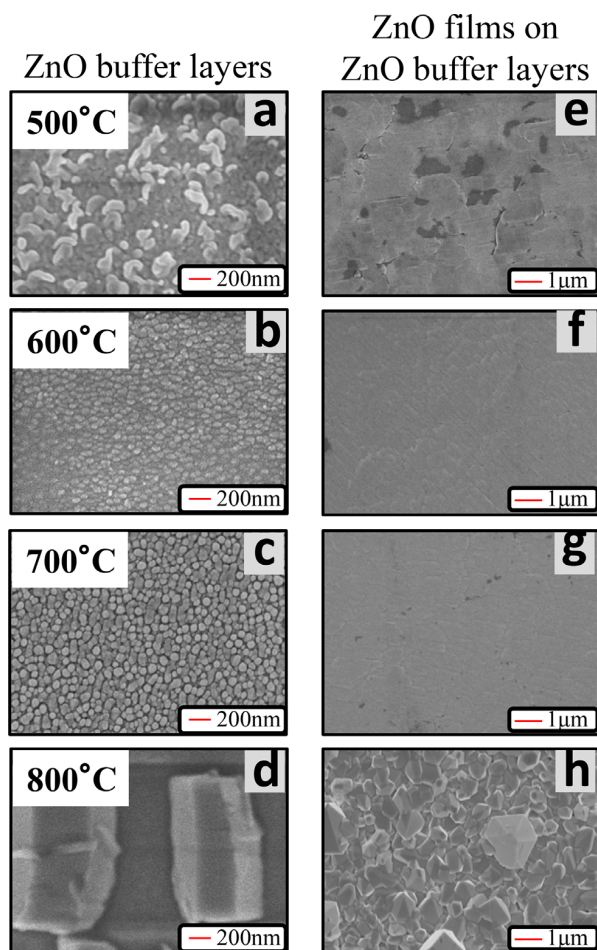
**3.1 Experimental** In our previous report [16], the crystal quality of ZnO films was characterized by full width at half-maximum (FWHM) in X-ray  $\omega$ -rocking curves, which was a relatively large value of about  $0.8^\circ$ . In this study, we introduced buffer layers to improve the crystal quality. In the case of epitaxial growth of GaN layers on sapphire substrates, thin amorphous AlN buffer layers including small grains were grown at low temperatures and the small grains work as appropriate nucleation centers to enhance lateral growth forming epitaxial layers [1, 24]. However, in the case of ZnO, it is not easy to form amorphous layer, and polycrystal ZnO layers are formed even at low temperature. On the contrary, Itagaki et al. reported that high-quality ZnO films were formed by sputtering deposition on ZnO buffer layers with small-grain polycrystal [17, 18]. This is probably because small-grain polycrystal of ZnO worked as the appropriate nucleation centers since the AlN low-temperature buffers for GaN epilayers have similarly many nucleation centers. Therefore, we applied this method to mist-CVD by forming small-grain polycrystal. In the case of a  $\text{ZnCl}_2$  aqueous solution, the crystal grain size is larger than several micrometers, but in the case of a  $\text{Zn}(\text{CH}_3\text{COO})_2$  aqueous solution, the crystal grain size is as small as about 100 nm, which will be reported in a separate paper in detail. This is probably because migration of Zn species on the sample surface is restricted by incorporation of carbon contained in the  $\text{Zn}(\text{CH}_3\text{COO})_2$  solution. In this experiment, concentration of the  $\text{Zn}(\text{CH}_3\text{COO})_2$  aqueous solution was  $0.1 \text{ mol L}^{-1}$ , and flow rate of the  $\text{N}_2$  carrier gas was  $10 \text{ L min}^{-1}$ . To find an optimum condition, we changed the growth temperatures for the buffer layers from 500 to  $800^\circ\text{C}$ . For the growth of the buffer layer, we intentionally used the conventional-type mist-CVD providing thickness variation, which is appropriate to obtain many data points from one sample.

We characterized the surface morphologies of the samples by scanning electron microscopy (SEM) not only for the ZnO films on the buffer layers but also the buffer layers. We also measured XRD in  $\theta$ - $2\theta$  mode for the buffer layers and XRD in  $\omega$ -rocking mode for the ZnO films to evaluate crystal quality from the FWHM.

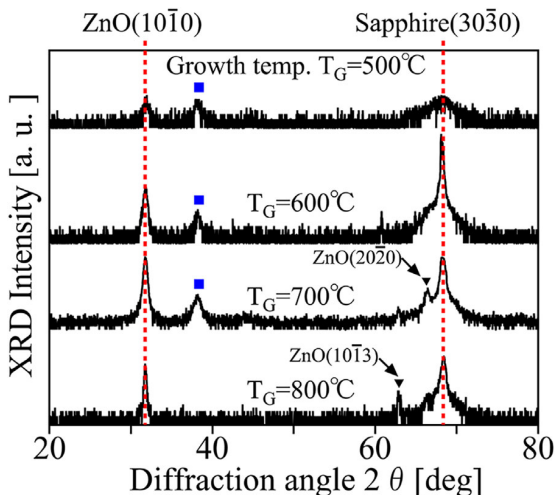


**Figure 3** (a) Results of XRD measured in a  $\theta$ - $2\theta$  scan. (b) Results of XRD measured in a  $\varphi$  scan.

**3.2 Results and discussion** Figures 4a–d show SEM images of the ZnO buffer layers grown with the Zn (CH<sub>3</sub>COO)<sub>2</sub> solution at 500 to 800 °C, respectively. Small grains with about 100 nm size are observed at 600 and 700 °C in Fig. 4b and c, where the estimated thickness of the buffer layers was typically about 20 nm which is an appropriate thickness as the buffer layer. However, large grains with about 1 μm size are observed at 800 °C, which were formed probably due to the large migration length at high temperature. On the contrary, noncrystal-like structures are seen at 500 °C, which is probably due to the short migration length at low temperature and much contamination by carbon contained in the Zn(CH<sub>3</sub>COO)<sub>2</sub> solution. On the several type of the ZnO buffer layers shown in Fig. 4a–d, we overgrew 700-nm thick ZnO films at 725 °C using the high-speed rotation-type mist-CVD, providing uniform thickness of ZnO films on the ZnO buffer layers with thickness gradient. In the overgrowth, the rotation speed was 1000 rpm, growth duration was 30 min, and the



**Figure 4** (a–d) SEM images of ZnO buffer layer, where small grains are observed in (b) and (c). (e–h) SEM images of overgrown ZnO films on the buffer layers, where smooth surfaces are observed in (f) and (g).

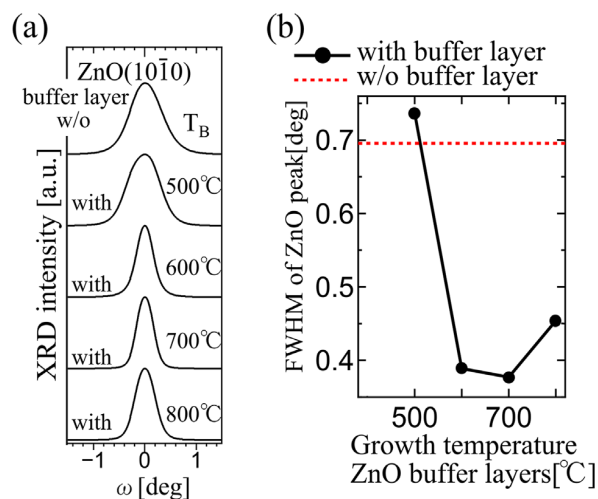


**Figure 5** XRD results of  $\theta$ – $2\theta$  scan only for ZnO buffer layers, where strong (10–10) peaks are observed at 600 and 700 °C. (■: Peak of Au deposited for SEM).

concentration of the ZnCl<sub>2</sub> aqueous solution was 0.1 mol L<sup>−1</sup>, and the flow rate of the N<sub>2</sub> carrier gas was 5 L min<sup>−1</sup>. Figure 4e–h shows SEM images of the ZnO films overgrown on the buffer layers of Fig. 4a–d, respectively. In these SEM images, Fig. 4f and g show smooth surfaces, which correspond to the buffer layers with small grains. In addition, in order to investigate the quality of only the buffer layer without overgrown ZnO films, an XRD  $\theta$ – $2\theta$  scan was performed as shown in Fig. 5. In Fig. 5, at growth temperatures of 600 and 700 °C corresponding to the case of small grains, only ZnO peaks of (10–10) and (20–20) except for the sapphire peaks were observed, and the peaks of ZnO (10–10) are stronger than other cases at temperatures of 500 and 800 °C. One possible explanation of this result is the similarity between the AlN low temperature buffer for GaN epilayers and the small grains of the ZnO buffer in Fig. 4b and c, because small grains are included in both buffer layers and worked as nucleation sites [1, 24].

Finally, we characterized the crystal quality by FWHM in XRD  $\omega$ -rocking curves of the overgrown ZnO films as shown in Fig. 6. In this XRD measurement, mainly the crystal quality of the thick ZnO films should be evaluated because the thicknesses of the ZnO buffer layers were only about 20 nm, while that of ZnO films were as thick as 700 nm. Figure 6a shows the  $\omega$ -rocking curves of the overgrown ZnO films on the buffer layer, where growth temperatures  $T_B$  for the buffer are indicated. We plot the FWHM of the  $\omega$ -rocking curves in Fig. 6b. In the case of 600 and 700 °C, the FWHMs were narrow, showing that high-quality ZnO films were formed. These growth temperatures correspond to the case of the small grains in SEM images in Fig. 4b and c, the smooth surfaces in SEM images in Fig. 4f and g, and strong XRD peaks of only the buffer layers in Fig. 5.





**Figure 6** (a) XRD results of  $\omega$ -rocking curves for ZnO (10–10) peaks are plotted for the various growth temperatures  $T_B$ . (b) FWHMs of the  $\omega$ -rocking curves are shown. At a growth temperature of 700 °C, the minimum value of FWHM is seen, which corresponds to the buffer layer with small grains.

In particular, in the case of the buffer layer grown at 700 °C, the FWHM of the  $\omega$ -rocking curve has the minimum value of 0.38°, while the FWHM for a ZnO film grown without the buffer layer was as large as 0.69°. These results indicate that the crystal quality of ZnO films was improved by introducing the buffer layers with small grains.

**4 Conclusions** The ZnO buffer layers with a small grain size of about 100 nm were grown by using a  $\text{Zn}(\text{CH}_3\text{COO})_2$  aqueous solution. On the buffer layer, ZnO films were overgrown by using a  $\text{ZnCl}_2$  aqueous solution. The crystal quality of the ZnO films was characterized by an SEM and an XRD  $\omega$ -rocking curve. From the results, the FWHM of the ZnO films was reduced from 0.69° to 0.38° by introducing the ZnO buffer layer with small grains.

**Acknowledgement** This work was partly supported by JSPS KAKENHI Grant Number 15K05991.

## References

- [1] I. Akasaki and H. Amano, *Jpn. J. Appl. Phys.* **36**, 5393 (1997).
- [2] S. Nakamura, M. Senoh, S. Nagahama, N. Iwasa, T. Yamada, T. Matsushita, H. Kiyoku, and Y. Sugimoto, *Jpn. J. Appl. Phys.* **35**, L74 (1996).
- [3] A. Tsukazaki, A. Ohtomo, T. Onuma, M. Ohtani, T. Makino, M. Sumiya, K. Ohtani, S. F. Chichibu, S. Fuke, Y. Segawa, H. Ohno, H. Koinuma, and M. Kawasaki, *Nature Mater.* **4**, 42 (2005).
- [4] K. Nakahara, S. Asaka, H. Yuji, K. Tamura, T. Fujii, Y. Nishimoto, D. Takamizu, A. Sasaki, T. Tanabe, H. Takasu, H. Amaike, T. Onuma, S. F. Chichibu, A. Tsukazaki, A. Ohtomo, and M. Kawasaki, *Appl. Phys. Lett.* **97**, 013501 (2010).
- [5] K. Yamamoto, T. Tsuboi, T. Ohashi, T. Tawara, H. Gotoh, A. Nakamura, and J. Temmyo, *J. Cryst. Growth* **312**, 1703 (2010).
- [6] J. G. Lu, T. Kawaharamura, H. Nishinaka, Y. Kamada, T. Ohshima, and S. Fujita, *J. Cryst. Growth* **299**, 1 (2007).
- [7] T. Kawaharamura, H. Nishinaka, and S. Fujita, *Jpn. J. Appl. Phys.* **47**, 4669 (2008).
- [8] G. K. Bhaumik, A. K. Nath, and S. Basu, *Mater. Sci. Eng. B* **52**, 25 (1998).
- [9] J. D. Harris, K. K. Banger, D. A. Scheiman, M. A. Smith, M. H. C. Jin, and A. F. Hepp, *Mater. Sci. Eng. B* **98**, 150 (2003).
- [10] Y. Kamada, T. Kawaharamura, H. Nishinaka, and S. Fujita, *Jpn. J. Appl. Phys.* **45**, L857 (2006).
- [11] W. G. Cochran, *Math. Proc. Cambridge Philos. Soc.* **30**, 365 (1934).
- [12] D. R. Olander, *Ind. Eng. Chem. Fundamen.* **6**, 178 (1967).
- [13] K. Sugawara, *J. Electrochem. Soc.* **119**, 1749 (1972).
- [14] F. Terai, H. Kobayashi, S. Katsui, N. Tamaoki, T. Nagatomo, and T. Homma, *Jpn. J. Appl. Phys.* **44**, 7883 (2005).
- [15] T. Ohmine, T. Kataoka, and Y. Sato, *J. Electron. Mater.* **19**, 429 (1990).
- [16] H. Tanoue, T. Taniguchi, S. Wada, S. Yamamoto, S. Nakamura, Y. Naka, H. Yoshikawa, M. Munekata, S. Nagaoka, and Y. Nakamura, *Appl. Phys. Express* **8**, 125502 (2015).
- [17] N. Itagaki, K. Kuwahara, K. Matsushima, D. Yamashita, H. Seo, K. Koga, and M. Shiratani, *Opt. Eng.* **53**, 087109 (2014).
- [18] I. Suhariadi, K. Matsushima, K. Kuwahara, K. Oshikawa, D. Yamashita, H. Seo, G. Uchida, K. Kamataki, K. Koga, M. Shiratani, S. Bornholdt, H. Kersten, H. Wulff, and N. Itagaki, *Jpn. J. Appl. Phys.* **52**, 01AC08 (2013).
- [19] K. Okamoto, T. Tanaka, and M. Kubota, *Appl. Phys. Express* **1**, 072201 (2008).
- [20] M. C. Schmidt, K.-C. Kim, H. Sato, N. Fellows, H. Masui, S. Nakamura, S. P. Denbaars, and J. S. Speck, *Jpn. J. Appl. Phys.* **46**, L126 (2007).
- [21] P. Waltereit, O. Brandt, A. Trampert, H. T. Grahn, J. Menzinger, M. Ramsteiner, M. Reiche, and K. H. Ploog, *Nature* **406**, 865 (2000).
- [22] J. WookLee, J.-H. Kim, S. K. Han, S.-K. Hong, J. Y. Lee, S. I. Hong, and T. Yao, *J. Cryst. Growth* **312**, 238 (2010).
- [23] T. Moriyama and S. Fujita, *Jpn. J. Appl. Phys.* **44**, 7919 (2005).
- [24] I. Akasaki, H. Amano, Y. Koide, K. Hiramatsu, and N. Sawaki, *J. Cryst. Growth* **98**, 209 (1989).



# Chemical mechanical polishing of transparent conductive layers using spherical cationic polymer microbeads



Shoji Nagaoka<sup>a,b,c,\*</sup>, Naoya Ryu<sup>a</sup>, Akio Yamanouchi<sup>b</sup>, Tomohiro Shirosaki<sup>a,c</sup>, Maki Horikawa<sup>a,b,c</sup>, Hideo Sakurai<sup>b,c</sup>, Makoto Takafuji<sup>b,c</sup>, Hirotaka Ihara<sup>b,c</sup>

<sup>a</sup> Kumamoto Industrial Research Institute, 3-11-38 Higashimachi, Higashiku, Kumamoto 862-0901, Japan

<sup>b</sup> Department of Applied Chemistry and Biochemistry, Kumamoto University, 2-39-1 Kurokami, Chuouku, Kumamoto 860-8555, Japan

<sup>c</sup> Kumamoto Institute for Photo-Electro Organics (Phoenix), 3-11-38 Higashimachi, Higashiku, Kumamoto 862-0901, Japan

## ARTICLE INFO

### Article history:

Received 7 May 2014

Received in revised form 15 December 2014

Accepted 15 December 2014

Available online 23 December 2014

### Keywords:

Chemical mechanical polishing

Transparent conductive oxide

Cationic polymer

Spherical microbeads

Surface morphology

Organic light emitting diodes

## ABSTRACT

Spherical cationic polymer microbeads were used to chemically mechanically polish transparent conductive oxide (TCO) layers without the need for inorganic abrasives. Poly(methyl acrylate) (PMA) was used as the polymer matrix. Surface cationization of the spherical PMA microbeads was achieved by aminolysis using 1,2-diaminoethane. The amino group content of the microbeads was controlled using the aminolysis reaction time. The surface roughness of the TCO polished using the cationic polymer microbeads was similar to that of TCO polished with an inorganic abrasive. The microbead-polished TCO layer was slightly thinner than the unpolished TCO layer. The sheet resistance of the TCO layer polished using the microbeads was lower than that polished using the inorganic abrasive. The TCO polishing ability of the microbeads was dependent on their cationic properties and softness.

© 2014 Published by Elsevier B.V.

## 1. Introduction

Transparent conductive oxides (TCOs) are widely used as electrolytes in organic electronic devices, including liquid crystal devices, solar cells, and organic light emitting diodes (OLEDs). TCOs, including indium tin oxide (ITO), zinc oxide, aluminate zinc oxide, and F-doped tin oxide are generally formed on substrates by DC magnetron sputtering, vacuum deposition using resonance heating, or spray pyrolysis [1–6]. Crystalline conductive oxides grow vertically on substrate surfaces, and tall projections and spiked structures several tens of nanometers high can form on targets sputtered with TCOs [7]. ITO is a widely used TCO because of its high conductivity and transparency. Amaral et al. reported that the surface roughness of ITO increased with deposition thickness [7].

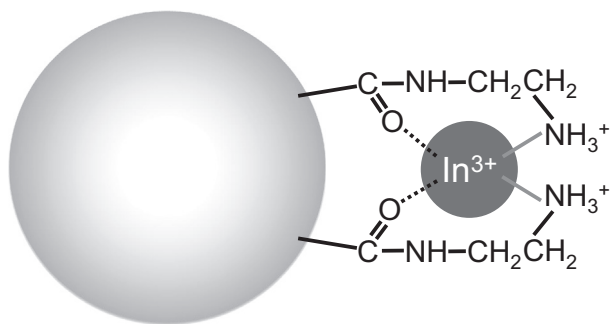
The influence of thermal annealing on the microstructure and surface morphology of ITO has been investigated by Raoufi et al., who found that a higher film annealing temperature increased the surface roughness [8]. Leakage current flows toward spiked structures on ITO

layer surfaces, causing short circuiting between the anode and cathode. This causes dark spots in OLED displays owing to the resulting absence of light emission [9,10]. Because rough ITO surfaces promote the generation of defects, a smooth ITO surface morphology allows the preparation of OLEDs with long lifetimes [11–13]. Jung et al. investigated the effects of the mechanical polishing and annealing of ITO surfaces on OLED performance, and found that the current density and luminance of a device containing highly planar ITO were nearly 10 times greater than those of that containing as-received ITO [14]. However, a comprehensive study on the abrasiveness and surface resistance of ITO layers remains lacking. ITO layers sputtered during thermal treatment in oxygen plasma contain no surface projections, allowing flat ITO thin layers to be fabricated [9,10]. However, such treatments tend to increase the sheet resistance [10], and high ITO sheet resistances are unfavorable in liquid crystal devices, solar cells, and OLEDs. Because ITO thin films of low sheet resistance and flatness cannot readily be formed by sputtering, newly formed ITO thin layers are typically polished when fabricating devices.

In the current study, the polishing of ITO using cationic polymer microbeads was carried out as an alternative to inorganic abrasive polishing. The conductive properties of the TCO layer were retained without damage to the ITO surface. The structure of the abrasive material is shown schematically in Fig. 1. The planarization of the ITO surface

\* Corresponding author at: Kumamoto Industrial Research Institute, 3-11-38 Higashimachi, Higashiku, Kumamoto 862-0901, Japan. Tel.: +81 96 368 5359; fax: +81 96 369 1938.

E-mail address: [nagaoka@kmt-iri.go.jp](mailto:nagaoka@kmt-iri.go.jp) (S. Nagaoka).



**Fig. 1.** Structure of the abrasive material. Planarization of the ITO surface was promoted by the chelating effect of the cationic PMA microbeads toward  $\text{In}^{3+}$ .

was promoted by the chelating effect of the cationic PMA microbeads toward  $\text{In}^{3+}$ , and was the driving force for the polishing process.

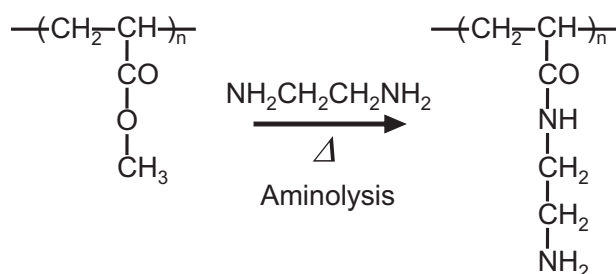
## 2. Experimental

### 2.1. Preparation of soft chemical mechanical polishing materials

Various spherical surface-cationized polymer microbead samples were prepared by the aminolysis of spherical poly(methyl acrylate) (PMA) microbeads (15  $\mu\text{m}$ , Sekisui Plastics Co. Ltd., Osaka, Japan) using 1,2-diaminoethane [15], as shown in Scheme 1. The sample names of the aminated polymer microbeads are shown in Table 1. PMA spherical microbeads (10 g) were aminated by stirring in 150 mL of 1,2-diaminoethane at 90  $^{\circ}\text{C}$  for 24, 48, 96, or 192 h. The obtained microbeads were collected by filtration, washed with water and methanol, and dried under vacuum. The amino group content of the microbeads was determined by stirring in aqueous 0.05 M HCl for 1 h. The microbeads were removed by filtration, and the filtrate was titrated against aqueous 0.05 M NaOH [16]. Fourier transform-infrared (FT-IR) spectra were collected using a Jasco FT/IR-700 spectrometer (Jasco Co. Ltd., Tokyo, Japan). The microbeads were observed using field-emission scanning electron microscopy (FE-SEM; SU-8000; Hitachi High Technologies, Co. Ltd., Tokyo, Japan). The TCO surface was observed using atomic force microscopy (AFM; di Innova; Veeco Instruments Inc., New York, USA). The transparency of the TCO substrate was evaluated using ultraviolet–visible (UV–vis) absorption spectroscopy (UV-VIS650; Jasco Co. Ltd., Tokyo, Japan). Quantitative analysis of the adsorption of  $\text{In}^{3+}$  by the aminated microbeads was performed using inductively coupled plasma optical emission spectroscopy (ICP-OES; iCAP 6300; Thermo Fisher Scientific K. K., Yokohama, Japan).

### 2.2. Polishing experiments

ITO (thickness: 329 nm; sheet resistance: 4.65  $\Omega/\text{sq.}$ ; Geomatec Co. Ltd., Yokohama, Japan) was used as the TCO layer. Planarization of the ITO layer was carried out using a polishing machine with rotating plates (60 rpm, Lapolish; Tokyo Seimitsu Co. Ltd., Tokyo, Japan). Various



**Scheme 1.** Aminolysis of PMA microbeads using 1,2-diaminoethane.

**Table 1**

Aminated polymer microbead sample names and amino group contents.

| Microbeads | Reaction time (h) | Amount of amino group (meq/g) | Swelling degree (wet-ml/dry-g) |
|------------|-------------------|-------------------------------|--------------------------------|
| PMA        | 0                 | 0                             | Aggregate in water             |
| PMA24      | 24                | 1.63                          | 2.33                           |
| PMA48      | 48                | 3.84                          | 5.53                           |
| PMA96      | 96                | 4.58                          | 7.68                           |
| PMA192     | 192               | 5.89                          | 16.5                           |

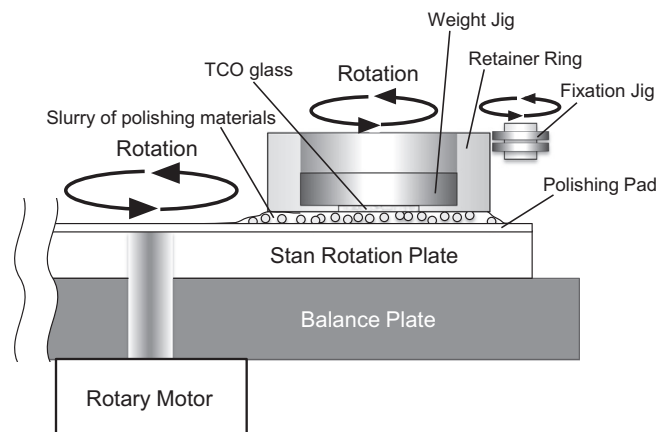
abrasive materials and polishing urethane hard pads (Lam Plan Industries Ltd., Sevenoaks, UK) were used. The ITO layer was stressed at 8.62 kPa, as shown in Fig. 2. Commercial colloidal silica abrasives Si-20 (20 nm particle size) and Si-80 (80 nm particle size) (JGC Catalysts and Chemicals Ltd., Kawasaki, Japan) were also tested for comparison. Polishing was also carried out using 2-aminoethanol instead of an abrasive, as a control. The ITO layer thickness was measured using spectral ellipsometry (FE5000; Otsuka Electronics Co. Ltd., Osaka, Japan).

## 3. Results and discussion

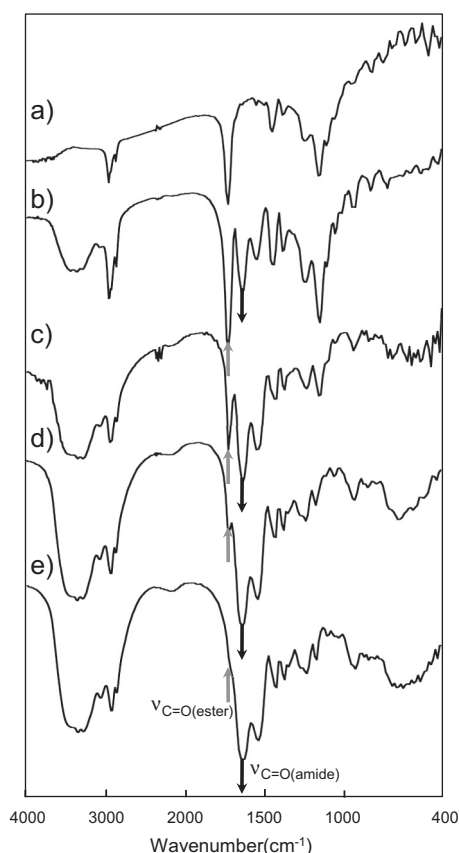
### 3.1. Preparation of spherical surface-cationized polymer microbeads

The aminolysis of the spherical PMA microbeads was confirmed by the decreased absorption at  $1730\text{ cm}^{-1}$  [ $\nu_{\text{C}=\text{O}}(\text{ester})$ ] as the aminolysis reaction proceeded, as shown in the FT-IR spectra in Fig. 3. Absorptions at  $1650$  [ $\nu_{\text{C}=\text{O}}(\text{amide})$ ] and  $3400$  ( $\nu_{\text{N-H}}$ )  $\text{cm}^{-1}$  also increased with reaction time. The amino group contents of the polymer microbead samples were estimated to be 1.63 (PMA24), 3.84 (PMA48), 4.58 (PMA96), and 5.89 (PMA192)  $\text{meq g}^{-1}$ , as shown in Table 1. The microbeads were typically spherical, as shown in Fig. 4(b)–(e). The amino group content and swelling degree of the microbeads are plotted against the aminolysis reaction time in Fig. 5(a) and (b), respectively. Both amino group content and swelling degree increased with aminolysis reaction time. The swelling degree of PMA192 was 16.5 wet-ml/dry-g. PMA192 had the typical morphology of a highly swollen gel with a spherical shape, as shown in Fig. 4(e). The uneven surface of PMA 192 was caused by severe swelling and shrinking.

The adsorption properties of the aminated PMA microbeads toward  $\text{In}^{3+}$  were investigated. 100 mg of aminated PMA48 microbeads were added to 50 mL of aqueous 1.0 mM  $\text{InCl}_3$ , and the resulting solution was stirred for 1 h. The microbeads were removed by filtration, and the  $\text{In}^{3+}$  content of the filtrate was analyzed using ICP-OES. The  $\text{In}^{3+}$  concentration of the filtrate after adsorption by PMA48 was 0.48 mM. Thus, the adsorption capacity of PMA48 for  $\text{In}^{3+}$  was 0.26  $\text{meq/g}$ . The adsorption capacities of the unmodified PMA microbeads and colloidal



**Fig. 2.** Apparatus used to polish the ITO thin layers.



**Fig. 3.** FT-IR spectra of PMA microbeads (a), and PMA microbeads surface-aminated for (b) 24, (c) 48, (d) 96, and (e) 192 h.

silica for  $\text{In}^{3+}$  were 0.008 and 0.022 meq/g, respectively, indicating little adsorption capacity toward  $\text{In}^{3+}$ .

Fig. 6 shows a SEM image and corresponding energy dispersive X-ray spectroscopy (EDX) map of the surface of the aminated PMA microbeads after the adsorption of  $\text{In}^{3+}$ . The PMA48 microbead surface was covered with  $\text{In}^{3+}$  as a result of chelation by amino groups. This suggested that the aminated PMA microbeads would be suitable ITO polishing materials.

### 3.2. Polishing of ITO surface with commercial colloidal silica

Table 2 shows the surface roughness ( $R_a$ ), maximum vertical interval ( $R_{\text{max}}$ ), thickness, and sheet resistance of ITO layers (ITO-Sil-20 and ITO-Sil-80) before and after polishing with the commercial colloidal silica materials. The  $R_a$  and  $R_{\text{max}}$  values of the unpolished ITO layer were 3.89 and 45.7 nm, respectively. After polishing with Sil-20 for 4 min, these values decreased to 2.90 and 26.4 nm, respectively. After polishing with Sil-80 for 4 min, the  $R_a$  and  $R_{\text{max}}$  values were 2.41 and 23.9 nm, respectively.

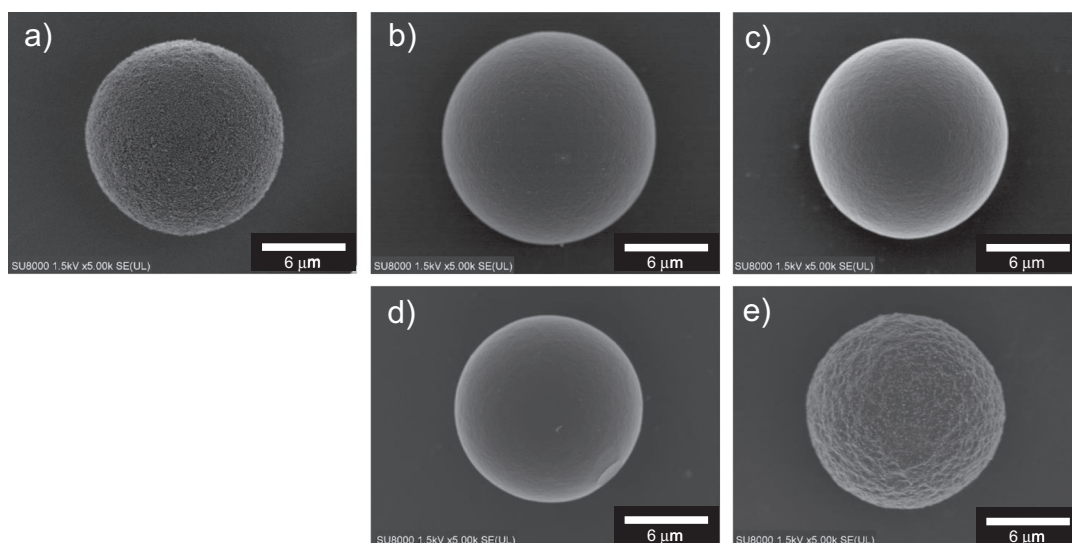
After 8 min of polishing, the  $R_a$  values of ITO-Sil-20 and ITO-Sil-80 were 1.82 and 1.46 nm, respectively, while their  $R_{\text{max}}$  values were 18.4 and 17.3 nm, respectively. Thus, the  $R_a$  and  $R_{\text{max}}$  values for ITO-Sil-80 were smaller than those of ITO-Sil-20. Fig. 7 shows AFM images of the surfaces of the ITO layers before and after polishing for 4 min. As shown in Fig. 7(b), the surface of ITO-Sil-20 was flatter than that of the unpolished ITO. Fig. 7(c)1 and 7(c)2 show the two surface morphologies observed on ITO-Sil-80. In Fig. 7(c)1, the surface morphology appears flat, but scratches and peelings are observed in Fig. 7(c)2.

The thickness and surface properties of the ITO layers were investigated. The sheet resistance of an ITO layer depends on its thickness. The thickness of the unpolished ITO layer was 329.3 nm, as shown in Table 2. The thickness of ITO-Sil-20 decreased from 329.3 to 313.2 nm after polishing for 4 min, and then to 309.7 nm after polishing for a total of 8 min. The thickness of ITO-Sil-80 decreased to 303.6 nm after 8 min polishing.

The sheet resistance of the ITO layers increased with polishing time. The sheet resistance of the unpolished ITO layer was 4.65  $\Omega/\text{sq}$ , while those of ITO-Sil-20 and ITO-Sil-80 after 4 min polishing were 4.85 and 4.99  $\Omega/\text{sq}$ , respectively. After polishing for a total of 8 min, these sheet resistances had increased to 5.23 and 5.27  $\Omega/\text{sq}$ , respectively. Although the polishing rate of ITO-Sil-80 was higher than that of ITO-Sil-20, scratching and peeling of the ITO thin layer were observed for ITO-Sil-80. Therefore, ITO-Sil-20 was selected for comparison with the aminated PMA microbead-polished samples.

### 3.3. Polishing of ITO surface with cationic polymer microbeads

The aminated polymer microbeads were adopted as cationic polymer microbeads. The effect of the amino group on polishing was investigated as follows. An ITO layer was polished for 8 min using a urethane hard pad and 4 wt.% 2-aminoethanol without an abrasive (ITO-Pad-AEA). Another ITO layer was also polished using a pad without



**Fig. 4.** SEM images of (a) PMA, (b) PMA24, (c) PMA48, (d) PMA96, and (e) PMA192.



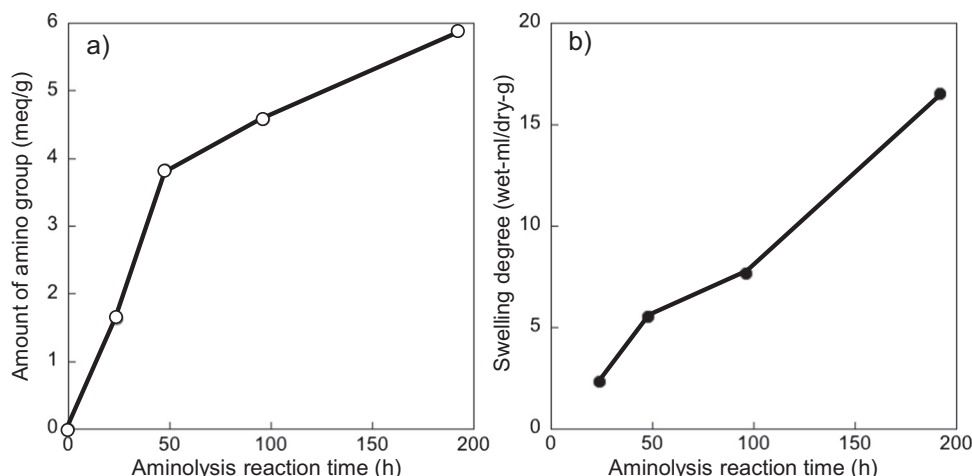


Fig. 5. (a) Swelling degree and (b) amino group content of PMA microbeads prepared with increasing aminolysis time.

2-aminoethanol (ITO-Pad). The  $R_a$  and  $R_{max}$  values, thicknesses, and sheet resistances of ITO-Pad and ITO-Pad-AEA are summarized in Table 3. The  $R_a$  and  $R_{max}$  values measured for ITO-Pad were 2.66 and 38.3 nm, respectively, and the thickness of the ITO-Pad layer was 328.7 nm. Thus, the  $R_a$  and  $R_{max}$  values did not significantly change with polishing, and there was no change in the ITO thickness. The  $R_a$  and  $R_{max}$  of ITO-Pad-AEA polished for 8 min were 2.57 and 24.3 nm, respectively, and the thickness of the ITO-Pad-AEA layer was 325.8 nm. The decreased  $R_a$  and  $R_{max}$  values and thickness were attributed to dissolution of the surface of the ITO layer through hydrolysis by the 2-aminoethanol in the aqueous solution. The sheet resistances of ITO-Pad and ITO-Pad-AEA were 4.80 and 5.15  $\Omega/\text{sq.}$ , respectively. Although the thickness of the ITO-Pad-AEA layer was smaller than that of ITO-Pad, its sheet resistance was much higher. Larger ITO thicknesses typically result in lower sheet resistances. The higher sheet resistance of ITO-Pad-AEA was attributed to the adsorption of 2-aminoethanol on the ITO surface via electrostatic interaction between the ITO and amino groups. The amino groups dissolved the ITO surface, and then strongly interacted with residual surface ions. Therefore, the amino groups immobilized on the polymer microbeads acted as an abrasive support.

The  $R_a$  and  $R_{max}$  of ITO layers (ITO-PMA24, 48, 96, 192, and ITO-Sil-20) polished with the cationic polymer microbead samples (PMA24, 48, 96, and 192) and Sil-20 are summarized in Table 4. The  $R_a$  and  $R_{max}$  of the ITO polished using the cationic polymer microbeads and Sil-20 were lower than those of unpolished ITO. In the case of the cationic polymer microbead-polished ITO layers, after polishing for 4 min, the ITO layer thickness decreased with increasing microbead amino group content. The thickness of ITO-PMA192 was the smallest of the ITO layers

polished using the cationic polymer microbeads. These results indicated that amino groups within the microbeads dissolved the ITO surface, because the extent of the thinning increased with amino group content. The  $R_a$  and  $R_{max}$  of ITO-PMA48 were the lowest among the ITO layers polished using the cationic polymer microbeads. This indicated that the polishing mechanism depended on aminolysis and chelation, and also on the mechanical strength of the microbeads. PMA192 was too soft to polish the ITO layer because of its excessive swelling. However, after polishing for 8 min, the thickness of the ITO-PMA192 layer was the smallest of the ITO samples polished using the cationic polymer microbeads. This result indicated that PMA192 exhibited the strongest chelation and hydrolysis capability among the PMA microbead samples, because these microbeads had the highest amino group content. The surface of PMA192 had a major impact on the ITO surface, dissolving it and adsorbing  $\text{In}^{3+}$ . The thickness of ITO-PMA192 (315.7 nm) after 8 min polishing was 13.6 nm smaller than that of the unpolished ITO layer (329.3 nm).

The  $R_a$  and  $R_{max}$  of ITO-PMA48 were smaller than those of ITO-PMA192, though the thickness of the former was larger. The sheet resistance of ITO-PMA192 was the highest of all the polished ITO samples. This increased sheet resistance was attributed to the adsorption of PMA192, and its contamination of the ITO surface. It is thought that the polymer matrix of the PMA192 microbeads decomposed as a result of excess amino group content. This was because the PMA192 microbeads were the most swollen and softest among the aminated PMA and original PMA microbeads. Thus, PMA192 was unsuitable for polishing ITO.

PMA48 was able to remove the spiked ITO morphology while retaining the ITO layer thickness. Sufficient mechanical strength of the microbeads was necessary to remove spiked features from the ITO surface because of the physical adsorption of the microbeads to them. Thus, PMA48 exhibited the best spiked feature removal ability of the samples. A significant decrease in thickness was observed for ITO-PMA192. As discussed above, the amount of decrease in the ITO layer thickness depended on chelation and hydrolysis. Table 3 shows that the thickness of the ITO-Pad-AEA layer decreased from 329.3 to

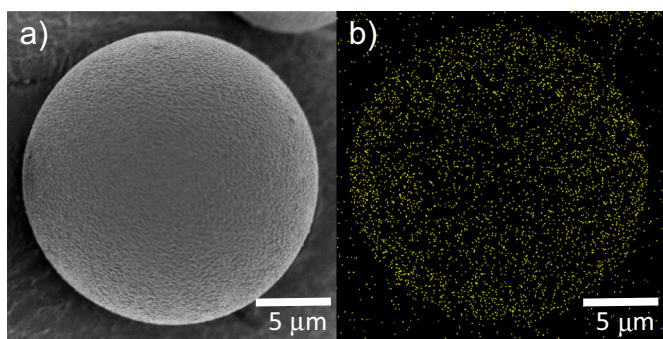


Fig. 6. (a) SEM image and (b) corresponding EDX map of the surface of PMA48 after adsorbing  $\text{In}^{3+}$ . The dots indicate In. (For interpretation of the references to color in this figure legend, the reader is referred to the web version of this article.)

Table 2  
Surface properties and thicknesses of ITO layers polished using colloidal silica.

| ITO              | Polishing time (min) | $R_a$ (nm) | $R_{max}$ (nm) | Thickness (nm) | Sheet resistance ( $\Omega/\text{sq.}$ ) |
|------------------|----------------------|------------|----------------|----------------|------------------------------------------|
| ITO-Sil-20       | 4                    | 2.90       | 26.4           | 313.2          | 4.85                                     |
|                  | 8                    | 1.82       | 18.4           | 309.7          | 5.23                                     |
| ITO-Sil-80       | 4                    | 2.41       | 23.9           | 314.4          | 4.99                                     |
|                  | 8                    | 1.46       | 17.3           | 303.6          | 5.27                                     |
| Non-polished ITO | 0                    | 3.89       | 45.7           | 329.3          | 4.65                                     |

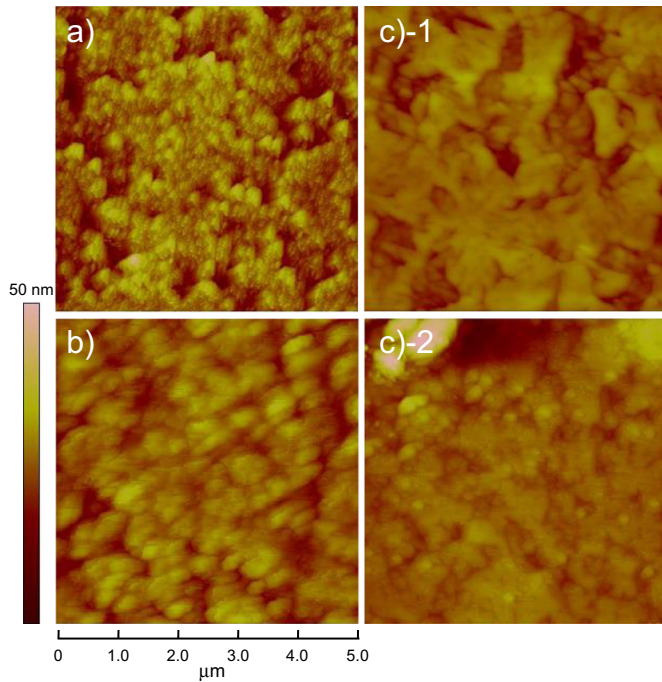


Fig. 7. AFM images of the surfaces of (a) unpolished ITO, and (b) ITO-Sil-20 and (c) ITO-Sil-80 polished for 4 min.

325.8 nm despite the absence of an abrasive. The complete dissolution of the ITO layer was attributed to hydrolysis by 2-aminoethanol. Thus, chemical effects significantly influenced the ITO layer thickness.

Fig. 8 shows AFM images of ITO surfaces polished with Sil-20 and PMA48. After polishing for 4 min, the  $R_a$  and  $R_{max}$  of ITO-Sil-20 were 2.90 and 26.4 nm, and the thickness and sheet resistance were 313.2 nm and 4.85  $\Omega/\text{sq.}$ , respectively. The  $R_a$  and  $R_{max}$  of ITO-PMA48 were 2.65 and 23.6 nm, and its thickness and sheet resistance were 327.2 nm and 4.76  $\Omega/\text{sq.}$ , respectively. The rate of decrease in the  $R_{max}$  of ITO-PMA48 was higher than that observed for ITO-Sil-20. However, the ITO-PMA48 layer was much thicker.

Table 3

Surface properties and thicknesses of ITO layers polished in the absence of an abrasive.

| ITO            | $R_a$ (nm) | $R_{max}$ (nm) | Thickness (nm) | Sheet resistance $\Omega/\text{sq.}$ |
|----------------|------------|----------------|----------------|--------------------------------------|
| ITO-Pad        | 2.66       | 38.3           | 328.7          | 4.80                                 |
| ITO-Pad-AEA    | 2.57       | 24.3           | 325.8          | 5.15                                 |
| Non-polish ITO | 3.89       | 45.7           | 329.3          | 4.65                                 |

Polishing time: 8 min

Table 4

Surface properties and thicknesses of ITO layers polished using Sil-20 and cationic polymer microbeads.

| ITO              | Polishing time (min) | $R_a$ (nm) | $R_{max}$ (nm) | Thickness (nm) | Sheet resistance ( $\Omega/\text{sq.}$ ) |
|------------------|----------------------|------------|----------------|----------------|------------------------------------------|
| ITO-Sil-20       | 4                    | 2.90       | 26.4           | 313.2          | 4.85                                     |
|                  | 8                    | 1.82       | 18.4           | 309.7          | 5.23                                     |
| ITO-PMA24        | 4                    | 2.94       | 31.6           | 330.4          | 4.66                                     |
|                  | 8                    | 2.60       | 27.8           | 328.6          | 4.87                                     |
| ITO-PMA48        | 4                    | 2.65       | 23.6           | 327.1          | 4.76                                     |
|                  | 8                    | 1.86       | 18.8           | 322.6          | 4.95                                     |
| ITO-PMA96        | 4                    | 2.45       | 23.4           | 326.5          | 4.71                                     |
|                  | 8                    | 3.16       | 34.0           | 323.0          | 4.99                                     |
| ITO-PMA192       | 4                    | 2.77       | 26.9           | 324.5          | 5.05                                     |
|                  | 8                    | 2.44       | 22.7           | 315.7          | 5.16                                     |
| Non-polished ITO | 0                    | 3.89       | 45.7           | 329.3          | 4.65                                     |

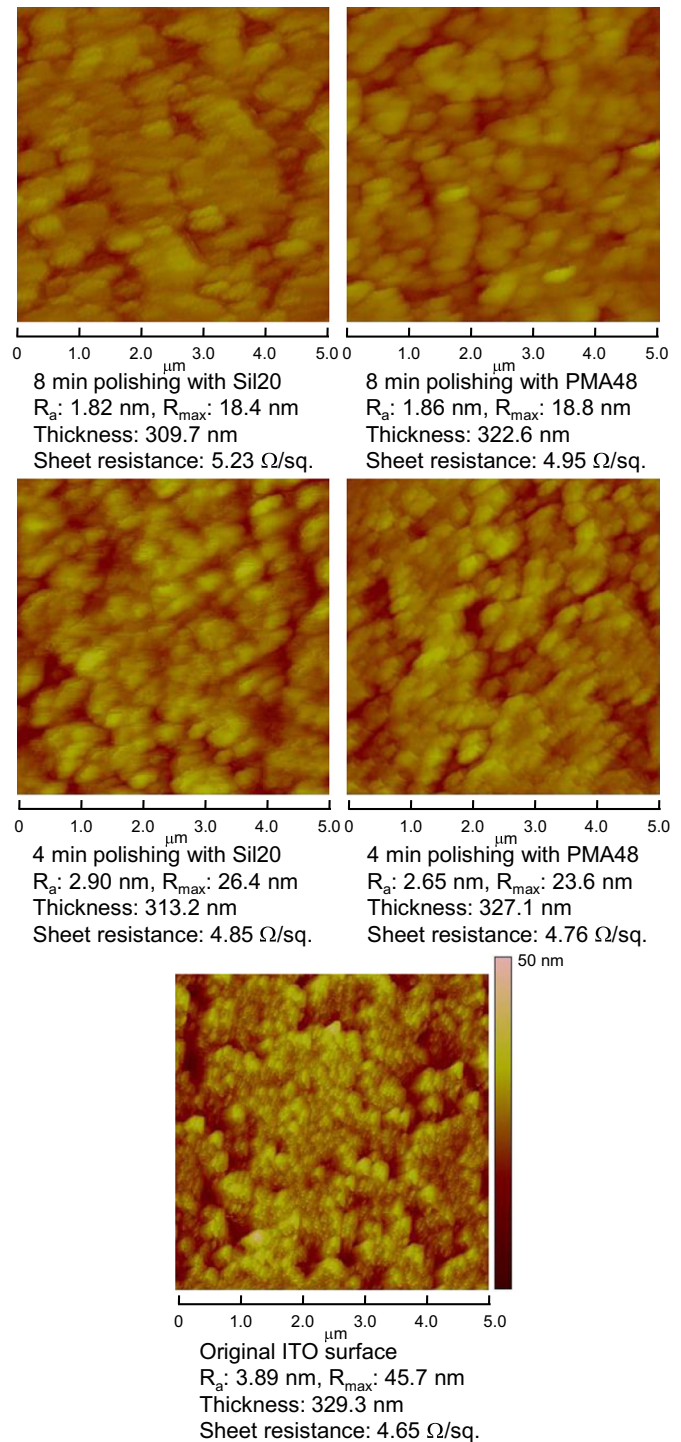
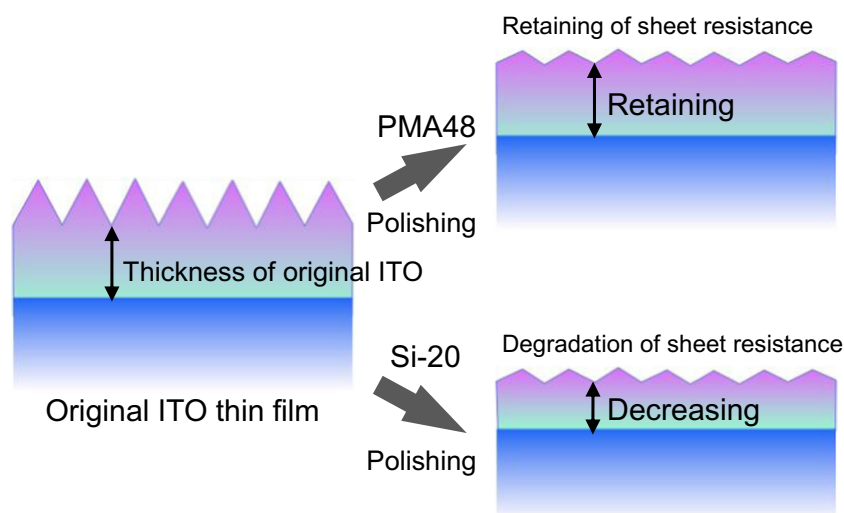


Fig. 8. AFM images of the surfaces of unpolished and polished ITO layers using Sil-20 and PMA48 for 4 and 8 min, respectively.

After polishing for 8 min, the  $R_a$  and  $R_{max}$  of ITO-PMA48 decreased from 3.89 to 1.86 and from 45.7 to 18.8 nm, respectively. For ITO-Sil-20, the  $R_a$  and  $R_{max}$  decreased to 1.82 and 18.2 nm, respectively. Table 4 shows that the sheet resistance of ITO-PMA48 was comparable to that of unpolished ITO, while the sheet resistance of ITO-Sil-20 increased after polishing. The thickness of ITO-Sil-20 was smaller than that of ITO-PMA48, decreasing to 309.6 nm after 8 min polishing. The thickness of ITO-PMA48 was 322.6 nm, which was slightly smaller than the thickness of unpolished ITO (329.3 nm). The polishing rate obtained with Sil-20 was sufficiently fast that the ITO thickness was



$R_a$  and  $R_{max}$  values in the case of PMA48 are almost equal to those in Si-20 polishing.

Fig. 9. Schematic of polishing mechanism of PMA48 microbeads and Si-20.

not readily controllable. This indicated that colloidal silica was too hard to be used for polishing the ITO surface. Fig. 9 shows that PMA48 did not degrade the sheet resistance (i.e., the thickness did not change), because it removed only the spiked features from the surface. The chemical polishing by the amino groups was not the only factor important for efficient polishing, as a soft matrix polymer was also necessary. The soft surface of the aminated PMA helped remove spiked features from the ITO surface.

1,2-Diaminoethane did not react exclusively with the surface of the microbeads. It also gradually reacted within the microbeads, particularly with increasing aminolysis time. The amino group content of PMA192 was  $5.89 \text{ meqg}^{-1}$ , which is close to the maximum amino group content of PMA. The polishing efficiency of PMA48 was the highest among all the microbead samples. Although the amino group contents of PMA96 and PMA 192 were higher than that of PMA48, their polishing performance, such as retention of sheet resistance upon planarizing, were lower. It is thought that the PMA surface was fully covered with amino groups after aminolysis for 48 h. Therefore, amino groups within the microbeads were not considered to contribute to polishing.

#### 4. Conclusions

Soft chemical mechanical polishing materials based on spherical cationic polymer microbeads were used to polish transparent conductive layers. The cationic spherical polymer microbeads were prepared by the aminolysis of PMA using 1,2-diaminoethane. Various aminated PMA microbead samples were investigated for polishing ITO, and two commercial colloidal silica abrasives were tested for comparison. Polishing with commercial 20-nm-diameter silica increased the ITO sheet resistance by decreasing the ITO layer thickness. Polishing with commercial 80-nm-diameter silica both increased the sheet resistance and scratched and damaged the ITO layer. Polishing with PMA microbeads aminated for 48 h, planarized the ITO surface without damaging it, and the initial ITO layer thickness was retained. The ITO polishing rate obtained when using the spherical cationic polymer microbeads was smaller than that for the commercial colloidal silica. The rate of decrease in the maximum vertical interval of the ITO was higher when polishing with the

microbeads than with colloidal silica. The sheet resistance of the resulting microbead-polished ITO layer was lower. The ITO sheet resistance and surface roughness increased, and the ITO layer thickness decreased, when PMA microbeads aminated for 192 h were used in polishing. The surface of these microbeads dissolved the ITO surface and adsorbed  $\text{In}^{3+}$ . These results indicated that the polishing mechanism was predominantly chemical, such as chelation and hydrolysis, rather than mechanical.

#### Acknowledgments

This work was supported by the Industrial Technology Research Grant Program from 2011 to 2014 (Grant for Young Researchers) of the New Energy and Technology Development Organization. The authors are grateful to Dr. Yoshiro Ohgi for ICP-OES measurements.

#### References

- [1] K. Utsumi, H. Iigusa, R. Tokumaru, P.K. Song, Y. Shigesato, Study on  $\text{In}_2\text{O}_3$ - $\text{SnO}_2$  transparent and conductive films prepared by d.c. sputtering using high density ceramic targets, *Thin Solid Films* 445 (2003) 229.
- [2] Y. Sato, S. Nakamura, N. Oka, Y. Shigesato, Transmission electron microscopy observation on the early stages of Sn-doped  $\text{In}_2\text{O}_3$  film growth deposited on amorphous carbon films by DC magnetron sputtering, *Appl. Phys. Express* 2 (2009) (95501-1-95501-1-3).
- [3] M. Kon, P.K. Song, Y. Shigesato, P. Frach, S. Ohno, K. Suzuki, Impedance control of reactive sputtering process in mid-frequency mode with dual cathodes to deposit Al-doped ZnO films, *Jpn. J. Appl. Phys.* 42 (2003) 263.
- [4] M. Okuya, K. Nakade, S. Kaneko, Porous  $\text{TiO}_2$  thin films synthesized by a spray pyrolysis deposition (SPD) technique and their application to dye-sensitized solar cells, *Sol. Ener. Mat. Sol. Cells* 70 (2002) 425.
- [5] E. Shanthi, A. Banerjee, V. Dutta, K.L. Chopra, Annealing characteristics of tin oxide films prepared by spray pyrolysis, *Thin Solid Films* 71 (1980) 237.
- [6] S. Gupta, P. Kumar, A.A. Chakkaravathi, D. Craciun, R.K. Singh, Investigation of chemical mechanical polishing of zinc oxide thin films, *Appl. Surf. Sci.* 257 (2011) 5837.
- [7] A. Amaral, P. Brogueira, C.N. Carvalho, G. Lavareda, Influence of the initial layers on the optical and electrical properties of ITO films, *Opt. Mater.* 17 (2001) 291.
- [8] D. Raoufi, A. Kiasatpour, H.R. Fallah, A.S.H. Rozatian, Surface characterization and microstructure of ITO thin films at different annealing temperature, *Appl. Surf. Sci.* 253 (2007) 9085.
- [9] C.Y. Park, J.H. Lee, B.H. Choi, Effects of surface treatment of ITO anode layer patterned with shadow mask technology on characteristics of organic light-emitting diodes, *Org. Electron.* 14 (2013) 3172.

- [10] J. Park, H. Ham, Sputter-patterned ITO-based organic light-emitting diodes with leakage current cut-off layers, *Org. Electron.* 12 (2011) 1872.
- [11] Z. Wang, S. Naka, H. Okada, Influence of ITO patterning on reliability of organic light emitting devices, *Thin Solid Films* 518 (2009) 497.
- [12] Y.H. Tak, K.-B. Kim, H.G. Park, K.H. Lee, J.R. Lee, Criteria for ITO (indium–tin–oxide) thin film as the bottom electrode of an organic light emitting diode, *Thin Solid Films* 411 (2002) 12.
- [13] S.N. Lee, S.F. Hsu, S.W. Hwang, C.H. Chen, Effects of substrate treatment on the electroluminescence performance of flexible OLEDs, *Curr. Appl. Phys.* 4 (2004) 651.
- [14] S. Jung, N.G. Park, M.Y. Kwak, B.O. Kim, K.H. Choi, Y.J. Cho, Y.K. Kim, Y.S. Kim, Surface treatment effects of indium–tin oxide in organic light-emitting diodes, *Opt. Mater.* 21 (2003) 235.
- [15] C. Hirayama, H. Ihara, X. Li, Removal of endotoxins using macroporous spherical poly( $\gamma$ -methyl L-glutamate) beads and their derivatives, *J. Chromatogr. Biol. Appl.* 530 (1990) 148.
- [16] S. Nagaoka, H. Tobata, Y. Takiguchi, T. Satoh, T. Sakurai, M. Takafuji, H. Ihara, Characterization of cellulose microbeads prepared by a viscose phase separation method and their chemical modification using acid anhydride, *J. Appl. Polym. Sci.* 97 (2005) 149.





編集委員会

|     |       |
|-----|-------|
| 委員長 | 河北 隆生 |
| 委員  | 松尾 英信 |
|     | 黒田 修平 |

---

熊本県産業技術センター研究報告 第 53 号 平成 27 年度

編集・発行 熊本県産業技術センター

〒862-0901 熊本市東区東町 3-11-38

TEL: 096-368-2101 (代表)

FAX: 096-369-1938

---

発 行 者：熊本県  
所 属：熊本県産業技術センター  
発行年度：平成２８年度