

博士学位論文

コンシューマエレクトロニクスのための  
ユーザ感性を考慮したシステム設計

System Design for Consumer Electronics Focused on  
User's Kansei

2018年9月

慶應義塾大学大学院

システムデザイン・マネジメント研究科

システムデザイン・マネジメント専攻

山岸 和子

## 要旨

本論文は、ユーザが、カメラやキーボードなどコンシューマエレクトロニクス製品に求める感性価値を提供するため、製品をシステムとして捉えた上でユーザ感性に重点をおき、上流から下流までのトレーサビリティを確保できる感性設計のエンジニアリング活動を支援することを目的としている。対象とするコンシューマエレクトロニクスには、例えばスマートフォン、カメラ、パーソナルコンピュータなどのように多様なユーザが利用する製品があり、特にモバイル機器の場合には、携帯性、小型軽量化が求められる上、一年程度と短い製品の開発サイクルのなかで、ユーザニーズの変化への対応を迫られる。

こうした状況のなかで行われる製品の開発・設計では、ユーザが求める感性に関わるニーズを要求として明確に定義しないまま、メカ、エレキ、ソフトなど専門分野ごとの分業のなかで、機能および性能を優先して設計を進めてしまうことが多い。感性に関わるニーズなどを含む設計情報を、設計プロセスを通じて失うことなく引き渡すことが実現できていないため、感性に関わるニーズが、設計の最終段階で満たされていることを保証することができない。

本論文では、まず、ユーザが求める感性に関わるニーズを要求として明確に定義するため、ユースケースを想定した評価グリッド法を用いて、製品の利用状況により変化するニーズを把握し、要求を導くための方法を示す。次に、感性に関わるニーズなどを含む設計情報を、設計プロセスを通じて失うことなく引き渡すため、要求、機能・構造設計プロセス間の感性に関わる設計情報をMDM(Multiple Domain Matrix)に基づいて管理するための方法を示す。さらに、システムモデルを活用して、ユーザと対象とする製品との相互作用を明確にした上で、ユーザ感性に重点をおいたシステム設計を行う手順を示す。具体的な対象としては、ユーザとの相互作用が密接なデジタル一眼カメラとパーソナルコンピュータ用キーボードを取り上げ、提案する対策方法の有効性について検討を行なう。

本論文は、6章で構成される。1章では、研究の背景と現状のコンシューマエレクトロニクスの設計プロセスについて述べ、ユーザの感性を考慮した設計の重要性と難しさについてまとめる。その上で、本論文で扱う感性設計の4つの課題を列挙し、これ

らを踏まえた上で目的と論文構成を述べる。2章では、ユースケースを考慮した要求分析と感性目標の設定についての方法を述べ、その方法をカメラのシャッター音質設計に適用した例を述べる。3章では、感性に関わるニーズなどを含む設計情報を、設計プロセスを通じて失うことなく引き渡すため、感性に関わる設計情報を、要求定義、機能設計および構造設計間で MDM を用いて管理する方法について述べる。4章では、専門性の異なるエンジニア間で容易にコミュニケーションがとれるよう、SysML で記述したシステムモデルを活用する感性設計について述べる。ここでは、2章から4章に示したデジタル一眼カメラのシャッター音設計と、キーボードのキー入力の感性設計に関するシステムモデルを記述し、その有効性を検討する。5章では、多様な顧客に対し、できるだけ多くの顧客にとって感性価値が高く感性品質の評価が安定する製品を提供するために、感性価値に対するユーザ嗜好の多様性を把握し、官能評価のばらつきが少ない設計パラメータの組み合わせを選定できるフレームワークを提案する。最後に、6章では、本論文で得られた結論をまとめるとともに、本論文で提案する方法を感性設計に応用することについての今後の展望および期待について述べる。

## Abstract

This thesis, focusing on user's Kansei, aims to support engineering activities of Kansei design which is maintaining design traceability from upstream to downstream by capturing the product as a system, in order to provide the Kansei value that users demand for consumer electronics products, such as camera and keyboard. The targeted consumer electronics such as smartphones, cameras, and personal computers, need to respond to changes of various users need. Particularly in the case of mobile devices, portability, reduction in size and weight are also required in the short development cycle of as short as about one year.

In the development and design of products carried out under such circumstances, design tend to be progressed with priority to given functions and performance in the domain of design for each specialized field such as mechanical, electricity, software, etc., without clear definition of the needs related to the user's expected Kansei. Since it is not realized to deliver design information including needs related to Kansei through the design process securely, it is not possible to assure that the needs related to Kansei are satisfied at the final stage of design.

In this thesis, firstly, in order to define the needs related to Kansei expected by user clearly, the method is proposed, that is to grasp the changing needs depending on the situations of using the product and to derive the requirement by using the evaluation grid method assuming the use cases. Next, in order to deliver design information including needs related to Kansei securely without losing throughout the design processes, the method is proposed, that is to manage design information related to Kansei, among requirement definition, functional and structural design process based on MDM (Multiple Domain Matrix). In addition, by using the system model, the procedure of system design with focus on user's Kansei is explained, clarifying the interaction between the user and the target system. As a specific target, author considers the digital single-lens camera and the keyboard for the personal computer, whose interaction with the user is close, and examines the effectiveness of the proposed countermeasure method.

This thesis consists of 6 chapters. Chapter 1 describes background of this study and the current consumer electronics design process, and summarize the importance and difficulty of design focused on user's Kansei. Then, the four problems of Kansei design that author deal



with in this research are listed and describe the purpose and composition of this thesis based on them. Chapter 2 proposes the approach of requirement analysis and target setting considering use cases, and then describes the case applied to camera shutter sound quality design. Chapter 3 proposes method to deliver design information including needs related to Kansei securely without losing through the design process across demand definition, functional design and structural design by using MDM. Chapter 4 describes the Kansei design utilizing the system model described in SysML which enhances easy communication among engineers with different expertise. In addition, the effectiveness by utilizing the system model for the shutter sound quality design of digital single-lens camera is discussed in Chapters 2 to 3 and also the kansei design for keystroke operation of keyboard is examined. In Chapter 5, in order to provide products that have Kansei value to many users and have stable sensory evaluation, a frame work available to select a combination of few design parameters those grasp the diversity of user preferences for Kansei value and get stable evaluate variations in sensory evaluation test is proposed. Finally, Chapter 6 summarizes the conclusions obtained in this research and describes the future prospects and expectations of applying the method to kansei design proposed in this thesis.

# 目次

要旨 .....	i
Abstract.....	iii
図目次 .....	viii
表目次 .....	x
1 章 序論 .....	1
1.1 研究の背景 .....	1
1.2 感性品質の評価.....	3
1.3 コンシューマエレクトロニクスの感性設計の現状と問題.....	4
1.4 本研究に関する先行研究 .....	7
1.4.1 製品の感性設計に関する研究.....	7
1.4.2 設計情報の管理に関する研究.....	9
1.4.3 システムモデルを活用する設計に関する研究 .....	11
1.5 本研究で取り組む感性設計の課題 .....	13
1.5.1 課題 1 ユースケースに応じて変わるユーザの要求への対応 .....	13
1.5.2 課題 2 感性に関わる設計情報の管理.....	14
1.5.3 課題 3 感性要求と性能要求を両立する設計 .....	14
1.5.4 課題 4 感性品質に対する評価のばらつき .....	15
1.6 研究の目的と論文の構成 .....	16
1.6.1 研究の目的 .....	16
1.6.2 本論文の構成 .....	18
2 章 ユースケースを考慮した要求分析 .....	20
2.1 ユースケースに応じて変化する要求を導くための提案 .....	20
2.2 ユースケースを想定した評価グリッド法を用いる要求分析 .....	21
2.2.1 ユースケースの選定方法 .....	21
2.2.2 要求クラスタの導出と DMM の作成手順.....	22
2.2.3 感性目標の方向性の設定 .....	26
2.3 適用例：ユースケースを考慮したカメラのシャッター音の要求分析 .....	27
2.3.1 カメラのシャッター音のユースケースの選定 .....	27
2.3.2 カメラに対する要求クラスタの導出.....	30

2.3.3	DMMによるユースケースと要求と評価語の関係付け .....	32
2.3.4	シャッター音質目標の方向性の設定 .....	33
2.4	まとめ .....	35
3章	MDMに基づく感性に関わる設計情報の管理 .....	36
3.1	MDMに基づく音質設計情報の管理 .....	36
3.1.1	音質設計プロセスの設計情報 .....	36
3.1.2	MDMに基づく音質設計情報の管理の提案 .....	37
3.1.3	適用例：MDMに基づくカメラシャッター音の音質設計情報の管理 .....	40
3.2	MDMに基づく感性品質に関わる設計情報の管理 .....	43
3.2.1	評価グリッド法から導出した要求の分類 .....	43
3.2.2	MDMに基づく感性品質に関わる設計情報の管理の提案 .....	46
3.2.3	適用例：評価グリッド法を用いたカメラの感性に関わる要求分析 .....	48
3.2.4	適用例：MDMに基づくカメラの感性に関わる設計情報の管理 .....	50
3.3	まとめ .....	52
4章	システムモデルを活用した感性要求と性能要求の両立 .....	53
4.1	ユーザ感性を考慮するシステムモデルの活用の提案 .....	53
4.2	シャッター音に対するシステムズエンジニアリングのアプローチ .....	56
4.2.1	要求を機能・構造設計に導くシステムズエンジニアリングのアプローチ .....	56
4.2.2	ユースケースと外部システムとの関係性の分析 .....	58
4.2.3	要求図を用いたカメラの機能要求と感性要求の関係整理 .....	62
4.2.4	カメラの機能・構造設計 .....	64
4.3	音質目標に応じた音響-振動連成パラメータ設計のためのシステムモデル .....	68
4.3.1	シャッター音に対する要求分析と音質目標 .....	68
4.3.2	シャッター音に関するシステムモデル .....	70
4.3.3	周波数伝達特性と設計パラメータとの関係 .....	75
4.3.4	シミュレーションによるシャッター音の予測 .....	77
4.4	システムモデルを活用したキーボードのキー入力に関する感性設計 .....	78
4.4.1	キーボードに対する要求分析 .....	80
4.4.2	キーボードのキー入力に関するシステムモデル .....	83
4.4.3	要求と作動力特性のパラメータとの関係 .....	88

4.4.4	適用例：キーボードのキー入力に関する感性設計 .....	92
4.5	まとめ .....	94
5章	感性品質に対する評価のばらつきの影響を低減する感性設計 .....	96
5.1	感性品質に対する評価のばらつきに対する提案 .....	96
5.2	ユーザ嗜好を考慮した製品設計プロセス .....	97
5.2.1	提案するフレームワーク .....	97
5.2.2	ユーザ嗜好の分類と要求分析 .....	100
5.2.3	ユーザ嗜好を考慮した機能・構造設計 .....	103
5.3	適用例：コンシューマエレクトロニクスのサーフェステクスチャの設計 .....	104
5.3.1	サーフェステクスチャに対するユーザ嗜好の分類と要求分析 .....	104
5.3.2	ユーザ嗜好を考慮したサーフェステクスチャの機能・構造設計 .....	108
5.3.3	MDMに基づくユーザ嗜好を考慮した製品設計の表現 .....	110
5.4	まとめ .....	113
6章	結論と課題および考察 .....	115
6.1	結論 .....	115
6.2	課題および考察 .....	119
6.3	今後の展望 .....	122
文献	.....	124
研究業績	.....	133
謝辞	.....	135

## 目次

Fig. 1.1 Classification of product form.....	5
Fig. 1.2 Product design process and design information .....	6
Fig. 1.3 Previous researches related to this thesis .....	12
Fig. 2.1 Use case selection considering actors of system.....	22
Fig. 2.2 Procedure to connect use case, requirement cluster and evaluation word using by DSM/DMM.....	25
Fig. 2.3 Kansei quality target using Kansei factor.....	26
Fig. 2.4 Use case selection considering actors of camera.....	28
Fig. 2.5 Evaluation tests of camera conducted with projected scenery.....	29
Fig. 2.6 Requirement clusters .....	31
Fig. 2.7 DMM for use case, requirement cluster and evaluation word .....	32
Fig. 2.8 Sound target map.....	34
Fig. 3.1 Overview of MDM-based sound quality design information management.....	38
Fig. 3.2 Procedure of sound quality design for product .....	39
Fig. 3.3 MDM-based sound quality design management for shutter sound.....	42
Fig. 3.4 Procedure for requirement/function analysis using DSM and DMM .....	44
Fig. 3.5 Overview of MDM-based Kansei design model.....	47
Fig. 3.6 Kansei requirement cluster.....	49
Fig. 3.7 MDM-based kansei design model .....	50
Fig. 4.1 Relationship between design process and applications.....	55
Fig. 4.2 Proposed systems engineering approach .....	57
Fig. 4.3 Main use case of a camera.....	58
Fig. 4.4 Sequence diagram considering use case (Landscape) .....	60
Fig. 4.5 Sequence diagram considering use case (Portrait) .....	61
Fig. 4.6 Sequence diagram considering use cases (Quiet place) .....	62
Fig. 4.7 Requirement diagram for a camera .....	63
Fig. 4.8 Sequence diagram of 'Emit shutter sound' .....	64
Fig. 4.9 Definition block diagram of a camera .....	65

Fig. 4.10 Activity diagram of Emit shutter sound .....	66
Fig. 4.11 Correlation of engineering metrics and components .....	67
Fig. 4.12 Sound quality target .....	69
Fig. 4.13 Camera top level structure .....	71
Fig. 4.14 Shutter sound analysis in activity diagram.....	72
Fig. 4.15 Internal block diagram of shutter sound system .....	74
Fig. 4.16 Parametric diagram of shutter sound system .....	76
Fig. 4.17 Vibro-acoustic simulation of camera shutter system.....	78
Fig. 4.18 System requirements related to key stroke operation of keyboard.....	81
Fig. 4.19 Key stroke operation domain structure .....	83
Fig. 4.20 Key stroke operation using activity diagram.....	84
Fig. 4.21 User key stroke operation using activity diagram.....	85
Fig. 4.22 Key stroke operation of keyboard system analysis .....	87
Fig. 4.23 Parametric diagram of Regression model.....	91
Fig. 4.24 Result of evaluation test of the keyboard.....	93
Fig. 5.1 Front to end design information.....	98
Fig. 5.2 Schematic of the proposed framework.....	99
Fig. 5.3 User preference clusters based on user preference .....	101
Fig. 5.4 Hierarchical model of user requirements .....	102
Fig. 5.5 Derivation of the high-sensitivity design factors and commonality design factors	103
Fig. 5.6 The evaluated surface textures.....	104
Fig. 5.7 User preference clusters based on surface texture preference .....	105
Fig. 5.8 Hierarchical structure of user requirements: User preference cluster 1 .....	106
Fig. 5.9 Hierarchical structure of user requirements: User preference cluster 2 .....	107
Fig. 5.10 Hierarchical structure of user requirements: User preference cluster 3.....	107
Fig. 5.11 User preference cluster/Requirement DMM.....	107
Fig. 5.12 User preference cluster/Design factors DMM .....	108
Fig. 5.13 Influence of design parameters on user preference.....	110
Fig. 5.14 MDM-based product design process based on user preference.....	112

## 表目次

Table 2.1 Use case selection based on user's concern about sound.....	28
Table 3.1 Regression coefficient derived from regression analysis for tonal factor .....	42
Table 4.1 Use cases which interaction with actor is different.....	59
Table 4.2 Evaluation items for keyboard.....	82
Table 4.3 Correlation coefficient derived from correlation analysis .....	90
Table 4.4 Regression coefficient derived from regression analysis for Kansei requirement .	90
Table 4.5 Regression coefficient derived from regression analysis for performance requirement .....	90
Table 4.6 Force-displacement characteristics parameter of prototypes .....	92
Table 4.7 Average and distribution of evaluation test .....	93

# 1章 序論

## 1.1 研究の背景

カメラやスマートフォン、キーボードなどコンシューマエレクトロニクスの一部のメーカーでは、ユーザの心の琴線に触れる製品を提供するために長く苦心してきた。一方で、ユーザは、高機能、高品質に対価を払う傾向にあったが、近年になって、見た目の審美性や製品から発する音、触り心地の良さなど感性に関わる価値を求めるようになってきている。見た目や音、触感のように、人が五感で感じ、ある感情や印象を想起させることで高められる製品の価値は、感性価値と呼ばれている[1][2]。メーカーでは、こうして高まってきたユーザの要望に応えるため、感性価値を感じてもらえる製品を提供する必要性が増している[3][4][5][6][7][8]。経済産業省は2007年に、「感性価値創造イニシアティブ」のなかで、「感性価値」を製品やサービスに付加することの重要性を提言している[9][10]。この提言のなかで、「感性価値」は「生活者の感性に働きかけ、感動や共感を得ることによって顕在化する価値」と定義されている。

「感性」という言葉は多義的であり、外界の刺激から、目・耳・舌・鼻・皮膚という感覚器を通して生じる視覚、聴覚、味覚、嗅覚、触覚といった感覚を指すこともあれば、受け止めた感覚から想起する意味や印象まで含める場合もある。人の感性を工学的に扱う感性工学の創始者である長町[11][12][13]は、「感性工学でいう“感性”とは、商品とか環境といった物的対象に対して心の中に抱く感情やイメージのあるまとまった心的状態」と定義している。原田[14]は、異なる分野の専門家たちの各々の感性の定義を5つに分類し、そのなかで「先天的な性質に加えて知識や経験による認知的表現」「美や快など、特徴に直感的に反応し評価する能力」を挙げている。感性の多義的な意味と、複数の分野で解釈されている感性の定義を踏まえ、この論文では、「感性」とは「製品など対象から受ける物理的な刺激が感覚器官を通して生じる感覚と、記憶や経験を通して蓄積された暗黙知が統合され、美しさや心地よさなど対象が内包する印象を知覚する能力」と定義する。

メーカーは、ユーザに感性価値を感じてもらえる製品を提供するために、ユーザニーズに合致した「感性品質」を考慮して設計する必要がある[15][16]。感性品質は、製品の品質のひとつで、高級感や快適感など、五感で感じ、人の感性に評価を依存する品質である[17][18]。また、感性品質を考慮して設計することを「感性設計」という[19]。感性設計で



は、感性品質を考慮して設計するために、まず感性に関わるユーザのニーズを開発設計者などが調査し、感性要求として評価語で表現して点数化する官能評価を行う。官能評価の結果と、実測などで取得した物理量または設計パラメータとを、統計的手法などを用いて関係付ける研究がなされているが、感性に関わるニーズまたは要求など主観量と物理的量との関係付けには課題が残されており、要求が機能・構造設計に反映されているかどうか不明確である。

このような感性設計の問題に対しては、感性に関わるニーズなどを含む設計情報を、設計プロセスを通じて失うことなく引き渡すため、要求、機能・構造設計プロセス間の感性に関わる設計情報を管理できるようにする必要がある。さらに、対象とする製品は、メカ、エレキ、ソフトなど異なる分野の要素から構成されている。そのため感性に関わる設計情報を、専門分野が異なるエンジニア間で共有できるようにし、関係する設計要素間のトレードオフ検討や調停ができるような方法が望まれている。しかしながら、実際には専門分野ごとの分業を行うなかで、機能や性能優先で設計が進んでしまうことが多く、メカ、エレキ、ソフトを統合した段階で、音質や使い心地など、感性に関連する改善が必要となったときに手戻りが発生してしまうという問題がある。

複数の専門分野が複雑に絡み合うシステム開発を成功裏に実現させるために、「システムズエンジニアリング(Systems Engineering)」のアプローチが様々な産業に応用されている。International Council on Systems Engineering (INCOSE)では、システムとは、1つ以上の定められた目的を達成するために編成された相互作用する要素の組み合わせであると定義されている[20][21]。システムズエンジニアリングでは、「開発ステージの初期の段階で顧客のニーズを明確化し、機能要求を定義し、関連する問題をすべて考慮しながら設計のための総合とシステムの妥当性確認を進めること」と、「ユーザニーズに合致した品質の製品を供給することを目的とし、ビジネスとすべての顧客の技術的要求を考慮する」ことが強調されている。システムの仕様を、開発に関わる関係者がわかりやすいように、文書ではなくシステムモデルを用いて記述し、モデルに基づいて開発を進める手段は、「モデルベース・システムズエンジニアリング(Model Based Systems Engineering)」と呼ばれている。

システムズエンジニアリングでは、対象とする製品やサービスをシステムとして捉える。その上で、システムの利用によって解決したい問題がある関係者のニーズから、システムが提供すべき機能や性能などに対する要求をシステム要求として定義する。その際、システムのユースケースを考慮し、関係者の要求とシステム要求との関係など要求間の検討が

なされる。システムとユーザや外部環境とのやり取りと、システム自身の振る舞いを検討することで、はじめにシステムが提供すべき機能が検討され、次に要求される機能と性能を実現するシステムの構成要素を定義する。さらに振る舞いの検討をもとに、構成要素間の相互接続を定義して、システムアーキテクチャが定義される。

以上の背景を踏まえて、1.2 節から 1.5 節に、コンシューマエレクトロニクスの感性設計の現状と、本論文で論じる課題について述べる。

## 1.2 感性品質の評価

ユーザは、製品が発する音や振動などの物理的な刺激を、感覚器官で受け取る。感覚器官で刺激が受け取られた後は、階層性を持つ感性を通じて、次のように内的処理がなされる[22]。まず、感覚器官で受け取られた音や振動などの情報をもとに、高い音、低い音、揺れるなど、対象の性質や形態、関係および身体内部の状態が意味をもって把握される。このはたらきが知覚である[23]。知覚された情報から、高級感がある、心地よいという印象やイメージなど、情緒的意味が想起され、ユーザの持つ過去の記憶や経験を通して蓄積された暗黙知が統合されて、好き、嫌いなど、対象に対する態度（総合評価）が決まる。この総合評価が良いことが、感性価値の高い製品であると言える。

ユーザが求める感性価値を提供するためには、設計されたものが感性要求に合致する品質になっているかを評価する必要がある。感性品質の評価には、官能評価（官能検査）がよく用いられる[24]。官能評価は、目や耳など人の感覚器官を用いて行う評価方法である[25][26][27]。評価を、①品物の品質特性を測定する、②判定基準と比較する、③判断を下す、に分けたとき、①と②が感覚器官によって行われる。評価には、好みなどを調べる場合も含まれており、分析型と嗜好型に大別されている。分析型は人の感覚によって差の判別や物の特性を知ること、嗜好型は物によって引き起こされる人の感覚を知ることを目的としている[28]。官能評価には、試料間に差があるかどうか（識別）、差の大きさはどのくらいか、品質の差はどのくらいか（尺度化・定量化）、品質の特性を描写する（特性描写）など、目的に応じて様々な手法がある。また、評価から得られたデータに対して、統計的手法などを用いて分析が行われるが、官能評価とデータ分析の手法は、対象と目的、調査内容に応じて適切に使い分けることが重要である。

感性設計の目標の方向性を定めるにあたり、ユーザの感性品質に対する嗜好の傾向を知る必要がある。対象に対する嗜好の傾向の有無を知るためには、複数の評価対象を提示し、音や振動など刺激の大きさや好ましさなど、特性に関する順序をつけさせる順序法がある。また、対象の特性を描写し、その差を定量化するためには、一対比較法や SD (Semantic Differential)法など、評価語を用いた方法がよく用いられている[29][30]。一対比較法は、複数の対象を比較するために、2種類ずつ組み合わせた対を作り、各対のどちらの刺激が強い、好ましいか、またどちらがどの程度強い、好ましいかを比較判断させる方法である。どちらの音が大きいか高いかなど、比較したい次元（指標）が予めわかっている場合に適している。SD法は、対象の特性（印象）を詳細に把握するために、「明るい—暗い」など反意語となる対の評価語を複数用意し、5段階、7段階などで点数評価する手法である。対象の特性が多次元であり、比較したい次元と次元数がわからない場合にはSD法がよく用いられる。本研究では、製品から発する音や触り心地、キーの押し心地などの感性品質を評価するために、順序法と、SD法による官能評価を用い、官能評価の結果データに対する統計分析には、クラスタ分析と、因子分析、重回帰分析を用いている。クラスタ分析とは、異なる性質のものが混ざり合った集団から、互いに似た性質を持つものを集め、対象を分類する方法であり、ユーザの嗜好や要求を分類するために用いている。因子分析とは多変量解析のひとつで、複数の変数に潜む共通因子を探る手法であり、対象を評価できる独立の次元をつくるために用いている。重回帰分析は、ある結果（目的変数）を説明する際に、関連する複数の要因（説明変数）の寄与度を関数の形で数値化し、両者の関係を表し、それを元にして予測式をつくる方法である。本研究では、目標とする感性品質の総合評価に対して、どのような要因が寄与するのか関係式を作成し、設計パラメータの物理量と官能評価の得点から、感性品質の総合評価を予測している。

### 1.3 コンシューマエレクトロニクスの感性設計の現状と問題

この節では、本論文で対象とするコンシューマエレクトロニクスの特徴について述べ、感性設計の現状と、感性に関わる設計情報について説明する。図 1.1 は、大富浩一の著書を参考に、縦軸に製品の想定顧客、横軸に開発規模、斜めに開発期間をとり、種々の製品群をマッピングしたものである[31][32]。例えば、右下の製品群は、開発規模が大きく、顧客が特定され、長期の開発製品であり、航空機、宇宙機器、原子力プラントがこれに相当

する。この対極にある左上の製品群が、本研究で対象とするコンシューマエレクトロニクスである。

この製品群には、例えばスマートフォン、カメラ、パーソナルコンピュータなどのように多様なユーザが利用する製品がある。特にモバイル機器の場合には、携帯性、小型軽量化が求められる上、一年程度と短い製品の開発サイクルのなかで、ユーザニーズの変化への対応を迫られる。こうした状況のなかで行われる製品の開発・設計では、ユーザが求める感性に関わるニーズを要求として明確に定義しないまま、メカ、エレキ、ソフトなど専門分野ごとの分業のなかで、機能および性能を優先して設計を進めてしまうことが多い。短い開発期間で手戻りなく感性品質を考慮した設計を行うためには、設計自由度の高い開発初期段階から、多様なユーザが求める感性に関わるニーズを要求として明確に定義し、システムの構成要素との関係性を考慮して、システム全体を俯瞰した設計を行うことが必要な領域である。

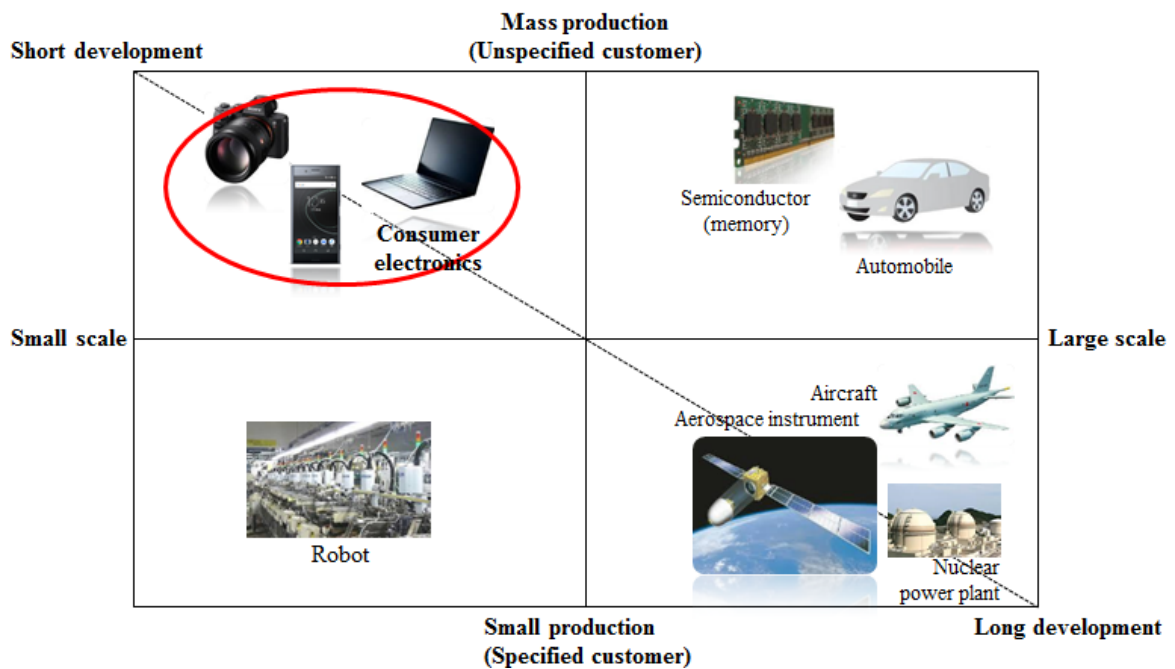


Fig. 1.1 Classification of product form

図 1.2 は、コンシューマエレクトロニクス設計プロセスと、プロセスのなかで蓄積される設計情報を示している。図の上段の「Design Process」に示す通り、製品設計は、要求定義、機能設計、構造設計という3つのプロセスに大別される。要求定義のプロセスでは、まず設計対象の目標の方向性を定めなければならない。そのために、顧客調査や、既存製品に対する評価結果などから、設計目標の方向性が定められる。機能設計プロセスでは、定めた方向性に沿って、物理指標や、主観指標を用いて、設計目標の設定がなされる。構造設計プロセスでは、機能設計で定義した設計目標を満たすよう構造設計がなされる。

構想設計、機能設計、配置・構造設計、詳細設計と、設計が進むにつれて、設計情報の詳細度は上がり、設計自由度は少なくなっていく。図の中段の「Evaluation」には、設計プロセスのなかで、何度か試作品の評価が行われることを示している。設計に際し、原理確認用の試作、型物を用いた試作、量産のための試作など、何度か試作品が作成され、実測やシミュレーションなどにより、主に物理指標を用いた測定と評価が行われる。図の下段「Kansei design information」には、感性品質を考慮して設計する際に、設計プロセスが進む間に蓄積される設計情報を示している。図中の黒字は設計情報の種類、青字は、感性設計に関わる設計情報の例として、音質に関わる設計情報を示している。

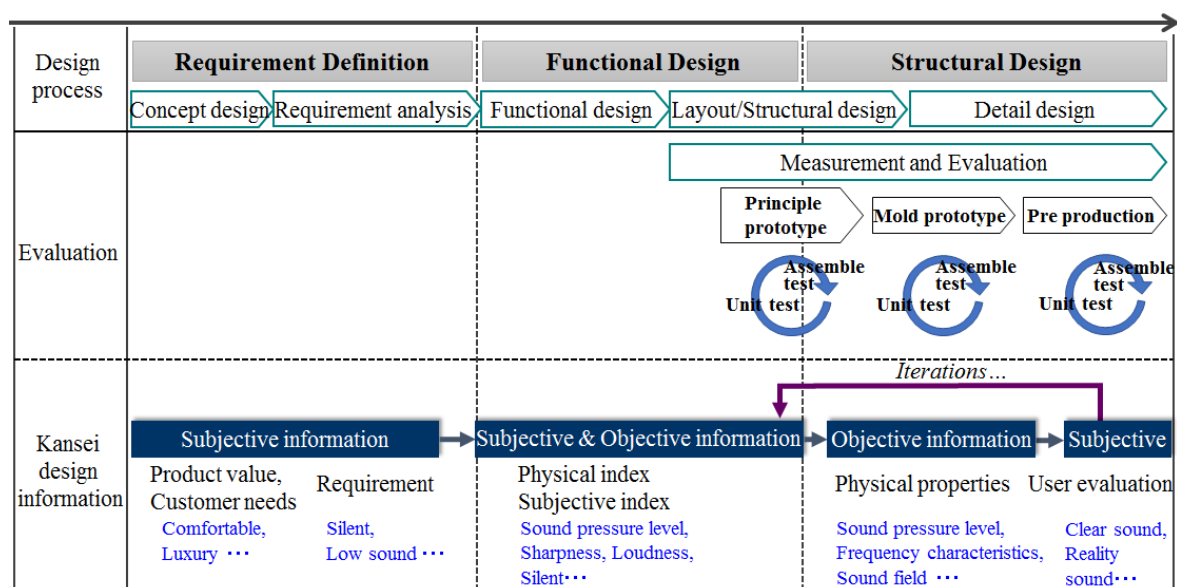


Fig. 1.2 Product design process and design information

要求定義プロセスでは、顧客やメーカーのニーズが、主観的な言葉で語られ、明確に定義されないことが多い。機能・構造設計プロセスでは、主に客観的な物理指標を用いて性能が規定され、実測やシミュレーションなどで評価が行われるが、なかには「静かであること」というように、物理量で規定できず、設計者の感性に依存する指標も含まれる。製品の感性品質を最終的に確認する段階では、再び、人が自分の感性で判断するという、主観的な評価がなされる。

このように、感性設計の領域では、要求の定義が曖昧なまま、異なる設計プロセス間で感性に関わるニーズなどを含む設計情報が主観と客観が区別されずに混ざって伝達される。そのため、設計情報を、設計プロセスを通じて失うことなく引き渡す設計情報の管理が困難である。どの設計パラメータを変更すれば主観評価がどのように変化するか不明で、構造設計の際のシミュレーションなど物理特性の予測や実測評価と、主観評価との対応が不明である。製品ができあがってからの設計変更は、時間もコストもかかることが多いため、製品設計の初期段階で、感性に関わる要求を明確に定義し、要求を含む主観、物理、構造に関わる設計情報とその関係性も管理しながら、予測・コントロールできるような設計開発手法が望まれている。

## 1.4 本研究に関係する先行研究

本研究に関係する先行研究は、大きく次の3つに分けられる。

- ・ 製品の感性設計に関する研究
- ・ 設計情報の管理に関する研究
- ・ システムモデルを用いた設計に関する研究

### 1.4.1 製品の感性設計に関する研究

製品の感性設計に関して、見た目の印象や製品から発する音、触感などに対し、様々な研究がなされている。例えば自動車の開発に際しては、騒音性能に対して、人間の聴覚特性を反映した Zwicker の音質メトリクス(Sound metrics) [33][34] などの物理指標を用い、感性を考慮した設計が長く行われている[35][36]。やがて騒音低減のみでなく、人がどう感じるかという視点から、エンジン音などに対しても音質評価や改善の取り組みが盛んにおこなわれるようになってきている。中嶋らは、聴覚器官の働きを模擬して時間と周波数の両面か

ら音質評価を行う手法を開発している[37]. 福原らは、ドライバーが、エンジン加速音について、様々な運転シーンで評価していると考え、それぞれのシーンで異なった因子の影響について評価している[38]. 本井らは、ドアの開閉音に対して、音の印象と生理指標とを関係付けて評価する取り組みを行っている[39]. 自動車以外にも、製品から発生する音は、差別化を図る対象のひとつである[40][41]. 戸井ら、山口らは、カメラのシャッター音や複合機の音に対し「快音設計」というコンセプトに基づく音質改善の研究を行っている[42][43][44]. 大富ら、岩宮らは、機械動作音やスイッチ音、開閉音などに対して、製品音そのものをデザインする研究を行っている[45][46][47].

音以外では、乗り心地や触り心地についても、多くの研究がなされている。花井は、自動車の振動乗り心地の特徴とその評価技術について調査している[48]. 久保らは、自動車の軟質ポリウレタンフォーム性のシートクッションに着座する人の基本的な振動挙動を有限要素法でモデル化し、振動と主観的な乗り心地評価の関係を分析している[49]. 村田らは、表面塗装がステアリングホイールの握り心地に与える影響について調査している[50]. 横山らは、製品のグリップなど把持部について、握り心地や触感と、把持部の形状や表面素材との関係について調査している[51].

最近では、視覚や触覚、聴覚などの複数の感覚を統合することによって、単一の感覚刺激とは異なる感覚や体験を呈示するクロスモーダル効果についても多く研究がなされている。吉田らは、車両デザインの違いにより、自動車加速音の主観的な大きさがどのように変化するかを評価している[52][53]. 有光らは自動車ボディの色がドア閉まり音の印象にどのような影響を及ぼすか評価している[54]. 柳澤らは、製品の表面テクスチャに対し、視覚から抱く触感の印象が、実際に触ったときの触感に与える影響について調査する[55][56]など、様々な研究がなされている。

これらの研究では、対象とする感性品質を定量化するために、SD法など、評価語で尺度を構成する手法が用いられている。官能評価に用いる評価語は、音であれば大きさや高さ、触感であれば、弾力感やざらざらした触感など、知覚レベルのものから、心地よさや高級感など印象レベルのものまで含めて選定し、できるだけ評価対象の差異を網羅的に表現しつつ、評価したい項目が評価できるような工夫がされている。評価語を用いた感性品質の定量化に対しては、柳澤らによって、評価語の捉え方自体が異なる顧客の多様性と、同一の評価語で評価した場合のバラツキを考慮する研究もなされている[57][58][59][60][61].

一般的に、製品の官能評価に用いる評価語は、対象とする製品に関する文献や既存製品に対する評価などから実験者が選定し、一度選定されるとそのまま使い続けることが多い。評価したい対象の特性を網羅的に表現でき、かつわかりやすい評価語群が選定されていれば、同じ評価尺度を用いて、自社製品と他社製品との比較をしたり、過去機種と試作品を比較して完成度を確認したりするために都合がよいという利点がある。しかしながら、設計対象とする感性品質の評価はユーザの感性に依存するため、利用される環境や状況に応じて製品に対する期待や要望は変わる。利用状況による製品の印象や要求の変化を考慮する場合には、同じ評価対象であっても、固定された評価語では対応しきれない可能性がある。Kjeldsen は、自動車のドアが閉まる音に対する実験から、予め評価試験で用意された形容詞についてしか答えを得られないという SD 法の限界を指摘している[62]。

評価語を予め準備せず、顧客の言葉で要求の階層構造を明確にする手法として、G.A.Kelly によるレパトリー・グリッド法[63]や、評価グリッド法などの手法が開発されている[64][65][66][67]。熊谷らは、片手に持って使用する製品に対し、手になじむ感覚とは何かを探るために、評価グリッド法を用いて、関係する形状の要素を抽出した[68]。関口らは、ポータブル MD に対して、顧客が選好する視点から評価語を引き出すために、評価グリッド法を用いている[69]。これらの研究では、評価対象の印象を顧客の言葉で自由に発話させることを目的としており、バリエーションに富んだ数多くのエレメントを用意するなど工夫している。しかしながら、評価は、会議室など同じ条件で試作品や写真などを比較しながら行われており、評価する際に、どのような利用環境や状況を想定しているかどうかは、顧客に委ねられていることが多い。製品の利用状況とニーズの関係を把握し、利用状況の変化に応じた要求に合致する品質についての目標設定や、評価についての検討はまだなされていない。

#### 1.4.2 設計情報の管理に関する研究

要求に基づいて設計を適切に進め、最終的に構造設計した結果が要求を満足するものであることを保証するためには、要求と機能・構造設計間のトレーサビリティがとれるように設計情報を管理することが必要である。設計情報の管理とは、設計プロセスを通じて設計情報と、設計情報間の関係性を失わずに引き渡すことである。設計情報を管理するために、これまで様々な方法が開発されている。



1978年に水野滋、赤尾洋二氏により開発体系化されたQFD(Quality Function Deployment)は、最もよく知られており、製品設計のなかで多く使われている[70][71]。QFDは顧客に満足が得られる設計品質を設定し、その設計の意図を製造工程まで展開することを目的としている。QFDを用いて顧客要求から、コンセプトや商品仕様に繋げるためのツールとしての研究も多く行われている[72][73]。稲吉は、顧客の製品の利用状況を分析するQFDのシーン展開を用いて、シーンを想定した要求品質を抽出している[74]。

1980年代には、Suhにより、要求機能を見据え、それが独立であるようにし(独立公理)、情報量を最小にすれば(情報公理)最適な設計が得られるという考えに基づく公理的設計手法が提案されている[75]。稲垣らは、パラメータ設計に公理的設計を適用し、システム選択と基本機能の設定を形式知化した[76]。榮谷らは、公理的設計手法を用いて、ソフトウェア開発プロジェクトの要素間の複雑な関係をシンプルに表すモデルを提案している[77]。

Radical Innovation Design methodology (RID)など、複数の視点から問題をネットワーク図で示す方法もあるが[78]、近年、DSM (Domain Structure Matrix)やDMM(Domain Mapping Matrix)、MDM(Multiple Domain Matrix)を用いた研究が多く行われている[79][80]。DSMとは、システムの要素間の相互関係を正方マトリクスとして表す方法であり、DMMは、DSMで個別にモデル化された異なるドメインの要素間の関係を、矩形マトリクスで表す方法である。MDMは、異なる2つ以上のドメインによるDSM、DMMを組み合わせ、複合マトリクスとして同時に表現する方法である。シングルドメインのDSMはMDMの対角線上にあり、非対角ブロックにはDMMがある。

この方法を製品設計やプロセス設計に適用する例も増えている[81][82]。Holleyらは、商品の機能とアーキテクチャとの関係をDMMで記述し、マルチドメイン設計に対する方法論を示している[83]。関らはコンシューマエレクトロニクスの放熱・構造設計に対して、製品開発段階から設計プロジェクト全体を俯瞰するMDMを活用したマネジメント方法を開発している[84]。大泉らは、MDMを用いて設計プロセスと設計情報の関係を記述する方法を提案している[85]。製品の感性品質に関わる要求を機能・構造設計に反映するためには、感性に関わるニーズなどを含む設計情報を、設計プロセスを通じて失うことなく引き渡す必要がある。しかしながら、著者らの調べた範囲では、主観と客観が区別されずに混ざって伝達される感性に関わる設計情報を管理するために、DMM /MDMを感性設計に適用する研究は見当たらない。

### 1.4.3 システムモデルを活用する設計に関する研究

複数の専門分野が複雑に絡み合う製品開発において、感性に関わるニーズを要求として明確に定義し、設計に反映させることは容易ではない。感性要求とシステムの構成要素との関係性を、複数の専門分野をまたいで共有する必要があるため、エンジニア間での、感性要求を含む設計情報の共通理解が不可欠である。開発に際しては、構造設計、熱設計、音響-振動設計などが複雑に絡み合うことが多く、設計自由度の多い開発初期の段階から、システム全体を俯瞰した設計を行うことが求められている。異なるビューにまたがる要素間のトレードオフを検討するためには、システムアーキテクチャを構築し、システムを構成する要素、それらの要素間のインタフェースが定義されている必要がある。

システムアーキテクチャの構築には、構造、振る舞い、要求、パラメトリック制約の 4 つの柱でシステムを記述できる SysML(Systems Modeling Language)が適切である[86]。SysML は、2001 年、International Council on Systems Engineering (INCOSE)と OMG(Object Management Group)により UML(Unified Modeling Language)をシステム工学向けにカスタマイズするべく開発が始まり、2006 年、OMG により仕様が策定された。

近年、製品設計プロセスの研究では、要求分析、概念設計、検証と妥当性確認のために、SysML で表記したシステムモデルが多く活用されている[87][88]。金井らは、設計・開発中の実システムを対象とし、SysML のメカ・エレ・ソフト協調シミュレーションへの応用可能性を検討している[89]。西村、Balmelli らは、SysML を用いたモデル駆動型システム開発の手法を提案し、多視点から共有できるモデルを用いてコンカレントデザインを促進させる工夫を行っている[90][91]。江口、後藤らは、機械、電子回路、ソフトなどが密接に関わる複合製品に対して、上流の要求と影響範囲を関係者間で共有するため、SysML を用いた要求モデルの表現を検討している[92][93]。朱らは、二輪自動車の姿勢安定化制御について、SysML を用いて、概念設計を行っている[94]。関らは、製品の放熱や静音に関する機能・構造の階層的なシステムモデルを共有し、分散設計サイトに分配する設計フレームワークを提案している[95][96]。

これらの研究では、設計対象をシステムとして捉え、要求を満たすような機能と、機能とシステムを構成する要素、それら要素間のインタフェースを明確に定義している。明確になった構成要素間の関係性を、システムが持つべき機能、性能とともに、システムモデルを活用して複数の専門分野をまたぐ関係者間で共有することで、設計上流でシステム全

体を俯瞰した要求のすり合わせやトレードオフの検討を可能にしている。しかしながら、著者の調べた範囲では、ユーザ感性の視点から、感性要求と、対象の機械的な動きなど物理的な振る舞いを明確に関係付けるためのシステムモデルの記述はまだなされていない。また、感性要求と機能要求との両立のために、ユーザ感性に重点をおいたシステムモデルを活用して、感性設計を進めることについてはまだ検討がなされていない。

図 1.3 は、以上に述べた本研究に関する 3 つの先行研究を、要求定義、機能設計および構造設計プロセスと関係付けて示している。1.4.1 項で述べた感性設計に関する研究は、設計上流の要求分析定義プロセスに多く関係している。これらはさらに、評価語を予め準備した評価に基づく研究と、評価語を予め準備しない評価に基づく研究に大別される。1.4.2 項で述べた設計情報の管理に関する研究は、すべての設計プロセスに関係があることを示している。1.4.3 項で述べたシステムモデルに関する研究は、システムモデルが各設計プロセスで記述されることを示している。

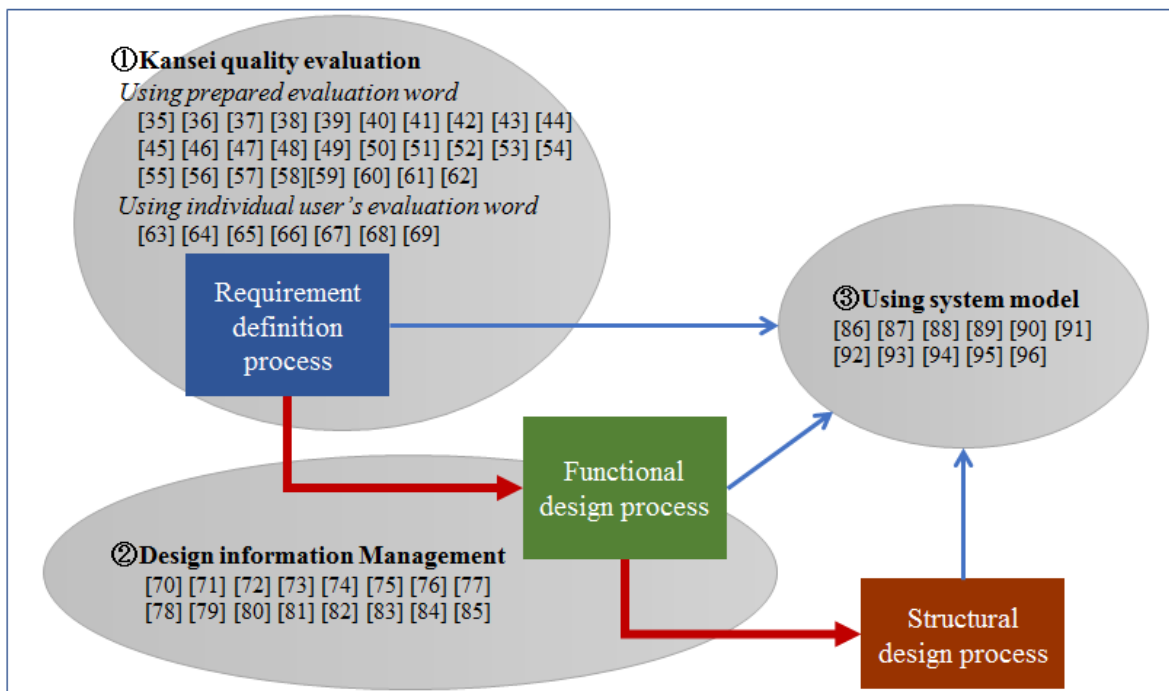


Fig. 1.3 Previous researches related to this thesis

## 1.5 本研究で取り組む感性設計の課題

この節では、1.3 節で述べたコンシューマエレクトロニクスの感性設計の現状と問題を踏まえ、1.4 節で述べた先行研究ではまだ検討がなされていなかった、本論文で扱う 4 つの課題について説明する。

### 1.5.1 課題 1 ユースケースに応じて変わるユーザの要求への対応

ユーザニーズに合致した感性品質を提供するためには、ユーザが求める感性に関わるニーズを要求として明確に定義して、設計に反映できるように設計目標を定める必要がある。しかしながら、製品から発する音や触り心地のよさなど、感性品質の評価は、心理的、生理的な要素を含む感性に依存する。そのため、製品が利用される環境や状況（ユースケース）に応じて対象に対する期待や要望は変わる。例えば、製品から発する音に対しては、その稼働状況を知るために動作音が求められることもあれば、静かな場所で利用する際には、無音や周囲にいる人が気にならない音が求められることもある。また、カメラやスマートフォンなどのモバイル製品のグリップ部の質感に対しては、ユーザが店頭で製品を比較しているときには、見た目の審美性や、滑らかな質感が好ましいと感じられても、実際に持ち歩いて使用する場面では、多少表面がざらざらしていても、滑りにくい方が使っていて安心で好ましいというように、要望が変わってくることもある。長時間外で使用するような場面では、汚れが付着しにくいことや、長時間握っていてもべたつかないことなど、より機能に近い要望が増す場合もある。このように、ユースケースに応じて変化するニーズを把握し、要求を導いて設計目標を定め、感性品質の評価を可能にすることは極めて難しい課題である。

1.2 節で述べた通り、感性品質の評価には評価語を用いて 5~7 段階で点数をつけさせる官能評価手法がよく知られているが、通常は、評価語は実験者が予め選定し、固定されている。ユースケースによる期待や要望の変化を考慮する場合には、同じ評価対象であっても、固定された評価語では十分に対応できない可能性がある。要求に基づいて設計を適切に進め、最終的に設計した結果が要求を満足するものであることを保証するためには、ユースケースに応じて変化するニーズを把握し、目標設定や評価ができる方法が望まれている。

## 1.5.2 課題2 感性に関わる設計情報の管理

1.3節で述べた通り、製品設計は、大きく分けて要求定義、機能設計、構造設計の3つのプロセスで行われる。感性を考慮した設計を行う場合、要求定義のプロセスでは、まず製品に対するニーズから要求を導きだし、設計目標の方向性を定めなければならない。音や触感など人の感性に関わる要求を把握して目標の方向性を定めるためには、既に発売済みの製品などを複数用いて、官能評価試験が行われ、目標の方向性が定められることが多い。機能設計プロセスでは、官能評価で定めた方向性に沿って、感覚に対応する物理指標を用いて、目標の設定がなされる。音質では、聴覚特性を加味した物理指標である音質メトリクス、周波数特性や音圧などが挙げられる。触感では、硬さや表面のざらざらした触感に対して、反力や表面粗さなどがある。構造設計プロセスでは、機能設計で定義した目標を満たすよう構造設計がなされる。

しかしながら、要求定義で定められた目標の方向性、機能設計で設定された目標と、設計された構造との間の依存関係は曖昧で、設計を進める間に部分的に失われてしまうことが多い。そのため結果として、要求と機能・構造設計間のトレーサビリティがとれなくなり、要求が機能および構造設計に反映されているかどうか不明確になってしまう。要求に基づいて設計を適切に進め、最終的に構造設計した結果が要求を満足するものであることを保証するためには、感性に関わる設計情報を、設計プロセスを通じて失うことなく引き渡すため、管理する方法が求められている。

## 1.5.3 課題3 感性要求と性能要求を両立する設計

コンシューマエレクトロニクスでは、製品の開発に際して、感性に関わるニーズは、要求として明確に定義されることが少なく、目標が共有されないまま機能や性能優先で設計が進んでしまうことが多い。感性に関わる要求は定量化がしにくく、目標を、機能や物理的な設計と関係付けることが難しい。そのため、感性要求と、最初に目標設定された製品の機能や性能との関係は不明確であることが多く、感性要求を考慮した設計変更が、製品の性能にどのような影響を与えるかを予測することが困難である。また開発に際しては、構造設計、熱設計、音響-振動設計などが複雑に絡み合うことが多いにもかかわらず、コンポーネントが個別に設計され、アSEMBルした段階で、音質や使い心地など、感性に関わる問題がわかり、手戻りが発生してしまう。感性に関わる要求を、機能・構造設計に反映

するためには、ユーザの感じる感覚と機械的な動きを関係付け、専門分野をまたぐ設計開発関係者間で共有しながら設計を進めることが非常に重要でありながら、難しい課題となっている。

感性要求と性能要求を両立して設計するためには、設計自由度の高い開発初期段階から、感性に基づく要求（感性要求）を明確に定義し、システムに求められる機能や構成要素との関係性を考慮して、システム全体を俯瞰した設計を行うことが求められる。しかしながら、これには、人の感性を工学的に扱う感性工学と、定量的なデータに基づき機械の分析、設計、評価を行う設計工学の二つの学問領域にまたがる問題を扱う必要があり、通常的设计プロセスのなかで、これを解決することは困難である。

#### 1.5.4 課題 4 感性品質に対する評価のばらつき

感性品質に対する評価はユーザの感性の相違の影響を受けるため、ばらついてしまう。そのため、多様なユーザに対し、多くのユーザが感性価値を感じる製品を提供することが難しいという課題がある。感性の相違には二つの意味が含まれる。一つはばらつき (Variation) であり、二つ目は多様性 (Diversification) である。柳澤は、「バラツキは、同一尺度で複数の対象を計測した場合の差異、ブレの度合い」であり、分散やファジィ理論など統計的手法で議論がなされてきたとしている。同様に、「多様性とは、尺度そのものが異なる性質」とし、異なる評価尺度間に対して、そのままでは分散などの統計処理を適用することができず、何らかの方法で感性品質を表す言葉の背後に潜在する多様な評価尺度を抽出し、分類する必要がある」と説明している。この論文でも、同じ対象に対し、共通の評価尺度（評価語）を用いた官能評価の違いを「ばらつき」とし、その背後にある、個々に異なる記憶や経験も影響するユーザ嗜好（製品に対するユーザの好み）の違いを「多様性」と捉える。感性品質に対する評価は、感性の相違の影響を受けるため、多様なユーザに対し、多くのユーザに感性価値を感じてもらえる製品を提供することが難しい。これまでに、製品の特徴と、ユーザおよび市場状況など外部条件の両方を含む不確実性に対し、様々な方法でモデル化する研究が行われてきた[97][98]。しかし、感性の相違は、メーカーがコントロールすることは不可能である。

製品のマーケティング戦略として、すべての顧客に一樣にアプローチするマス・マーケティング、顧客を年齢や性別、地域などのデモグラフィック情報を用いて複数のセグメン

トに分類し、別々にアプローチするセグメンテーション・マーケティングが知られている。昨今のユーザ嗜好の多様化に伴い、今後は一人ひとりの顧客に対して個別にアプローチする個別対応（カスタマイゼーション）マーケティングの方向に進みつつあり、コンシューマエレクトロニクスも同様のことが考えられる[99]。マス・マーケティングに対応するためには、できるだけ幅広いユーザに対し製品の感性価値を感じてもらうために、ユーザ嗜好の不確実性を制御せずにユーザ満足度を最大化する、すなわち感性品質のロバスト性を上げるような方向性が望ましい。また、セグメンテーション・マーケティングに対応するためには、ターゲットとするユーザ層に対して、ユーザ嗜好に影響がある設計要素を特定して、ターゲット層に合わせて設計パラメータを最適化する手段が望まれている。ターゲット層に合わせた最適化は、将来的に個別対応する際の方向性とも一致する。不特定多数のユーザを対象とする場合と、ターゲットとする顧客を対象とする場合の両方に対して、ため、不確実なユーザ嗜好の多様性を考慮し、かつ感性品質に対する評価のばらつきの影響を低減する感性設計の方法が求められている。

## 1.6 研究の目的と論文の構成

### 1.6.1 研究の目的

本研究は、ユーザが、カメラやキーボードなどコンシューマエレクトロニクス製品に求める感性価値を提供するため、製品をシステムとして捉えた上でユーザ感性に重点をおき、上流から下流までのトレーサビリティを確保できる感性設計のエンジニアリング活動を支援することを目的とする。

1.3 節では、コンシューマエレクトロニクスについて、多様なユーザが利用する製品があり、特にモバイル機器の場合には、携帯性、小型軽量化が求められる上、一年程度と短い製品の開発サイクルのなかで、ユーザニーズの変化への対応を迫られるという特徴とともに、下記の感性設計の現状と問題について述べた。

- ・ 製品の開発・設計に際して、感性に関わるニーズは、要求として明確に定義されな  
いまま設計に入ってしまい、メカ、エレキ、ソフトなど専門分野ごとの分業のなか  
で、機能や性能優先で設計が進んでしまうことが多い。

- ・ 感性に関わる設計情報の管理（設計プロセスをまたいで感性に関わる設計情報と、設計情報間の関係性を失わずに引き渡すこと）ができておらず、構造設計した結果が要求を満足するものであることを保証できない。

この現状と問題を踏まえて、本論文では、下記の3つの方法を提案し、1.5節で説明した本論文で扱う感性設計の4つの課題を解決する手順を示す。

- (1) ユースケースを想定した評価グリッド法を用いて、製品の利用状況により変化するニーズを把握し、要求を導くための方法を示す。
- (2) 感性に関わるニーズなどを含む設計情報を、要求、機能・構造設計プロセスを通じて失うことなく引き渡すため、感性に関わる設計情報を MDM に基づいて管理するための方法を示す。
- (3) システムモデルを活用して、ユーザと対象とする製品との相互作用を明確にした上で、ユーザ感性に重点をおいたシステム設計を行う手順を示す。

製品の利用状況により変化するニーズを把握し、要求を導いて設計目標を定めることが困難という課題1に対しては、ユースケースを想定した評価グリッド法を用いた要求分析と、DMMによる設計情報の依存関係の表記を用いて、ユースケースに応じた感性設計の目標を設定する方法を検討する。まず、ユースケースごとの要求を官能評価に反映するため、官能評価に用いる評価語選定の前に、ユースケースを想定した評価グリッド法を用いて、製品の利用状況により変化するニーズを把握し、要求を導くための方法を示す。次に、要求を分類し解釈しやすくするために評価グリッド法で導出した要求に対しクラスタ分析を適用して複数の要求クラスタを導出する。各要求を表現する評価語を選定して官能評価試験を行い、評価試験の結果に対する因子分析から、因子を抽出する。DMMを用いて、ユースケースと要求クラスタ、要求クラスタと評価語、評価語と因子との依存関係を表記する。この方法によって、ユースケースに応じて変化する要求を評価できる評価語を用いた官能評価が可能になり、新しい因子が得られる。この因子を主観指標として用いることで、より顧客要求に合致する設計目標の設定が可能となる。この方法をカメラのシャッター音に対して適用する。

設計が進む間に、要求分析で把握した要求と、機能・構造設計間の設計情報の依存関係が失われ、トレーサビリティがとれなくなるという課題2に対しては、DSM, DMM, MDM



を用いて、設計プロセス間の感性に関わる設計情報の関係性を記述し、要求から機能、構造まで履歴を残す方法を提案する。また、提案する手法をカメラのシャッター音の音質設計と、カメラに対する音以外の感性要求を含む設計情報管理に適用し、その有効性について検討する。

「感性要求と性能要求の両立」という課題 3 に対しては、感性設計を実施する際、システムモデルで表現したユーザ動作に関わる構成要素の相互作用を設計者間で共有し、シミュレーションや、予測モデルを用いて感性品質の評価を予測することで、性能要求と感性要求との両立を効率よく達成する手順を示す。また、この手順をカメラのシャッター音とキーボードのキー入力を対象に適用し、感性要求と性能要求の両立が効率よく達成できたか検証する。

設計上流で、利用状況によって変化する要求を把握し、プロセスをまたぐ設計情報の管理ができたとしても、ユーザ嗜好の多様性と感性評価のばらつきという感性の相違の課題が残る。このような課題 4 に対しては、最初に、感性品質に対するユーザ嗜好の不確実性を網羅的かつ定量的に把握するため、選好順序評価を多人数に対して実施し、選好順序評価に対するクラスタ分析からユーザ嗜好の多様性を把握する。次に、ユーザ嗜好に影響を与える設計要素を重回帰分析によって明らかにし、ユーザ嗜好に影響が大きい設計要素に対して、官能評価のばらつきが最小で高い評点を得られる設計パラメータの組み合わせを、MDM を用いて選定できるようにする。この方法を、カメラグリップのサーフェステクスチャに対して適用し、不確実なユーザ嗜好の多様性を考慮し、かつ感性品質に対する評価のばらつきの影響を低減する方法について検討する。

## 1.6.2 本論文の構成

本論文は、6 章で構成される。

1 章では、研究の背景と現状のコンシューマエレクトロニクスの設計プロセスについて述べ、ユーザの感性を考慮した設計の重要性と難しさについてまとめる。その上で、本論文で扱う感性設計の 4 つの課題を挙げ、これらを踏まえた上で目的と論文構成を述べる。

2 章では、1.5 節で述べた感性設計の課題 1 に対し、製品が利用される環境や状況に応じて変化する要求を設計に反映するため、ユースケースを考慮した要求分析と感性目標の設定についての方法を述べる。ユースケースごとの要求を把握し、官能評価に反映するため、

官能評価に用いる評価語選定の前に、ユースケースを想定した評価グリッド法を用いて要求分析を行う。また、提案する方法をカメラのシャッター音質設計に適用する。

3章では、感性設計の課題2に対して、2章でユースケースと関係付けた要求などを含む設計情報を、設計プロセスを通じて失うことなく引き渡すため、感性に関わる設計情報を、要求定義、機能設計および構造設計間でMDMを用いて管理する方法について述べる。要求定義、機能設計、構造設計の各プロセスの成果物である設計情報間の関係性の履歴を要素間の依存関係が可視化しやすいDSM、DMMを用いて蓄積する方法を示し、その方法を2章で検討したカメラのシャッター音の音質設計情報の管理に適用する。

4章では、感性設計の課題3に対して、専門性の異なるエンジニア間で容易にコミュニケーションがとれるよう、SysMLで記述したシステムモデルを活用する感性設計について述べる。感性要求とユーザ動作の振る舞いの検討から、ユーザ動作に関わる構成要素の相互作用をシステムモデルで記述し、感性要求と性能要求との両立を効率よく達成する手順を示す。ここでは、2章と3章に示したデジタル一眼カメラのシャッター音設計と、キーボードのキー入力の感性設計に関するシステムモデルを記述し、その有効性を検討する。

5章では、感性設計の課題4に対して、2章から4章ではまだ検討されてこなかった、ユーザ嗜好の多様性と感性評価のばらつきについて検討する。多様な顧客に対し、できるだけ多くの顧客にとって感性価値が高く感性品質の評価が安定する製品を提供するために、感性価値に対するユーザ嗜好の多様性を把握し、官能評価のばらつきが少ない設計パラメータの組み合わせを選定できるフレームワークを提案する。また提案する手法を、カメラグリップのサーフェステクスチャに適用する。

最後に、6章では、本論文で得られた結論をまとめるとともに、本論文で提案する方法を感性設計に応用することについての今後の展望および期待について述べる。

## 2章 ユースケースを考慮した要求分析

コンシューマエレクトロニクスの感性設計を実施する際の課題として、1.5.1項では、製品が利用される環境や状況（ユースケース）が変わると、対象に対する期待や要望は変わるため、ユースケースごとのニーズから要求を把握し、ユースケースに応じた目標を設定して評価することの難しさについて説明した。また、ユースケースによる期待や要望の変化を考慮する場合には、同じ評価対象であっても、固定された評価語では十分に対応できない可能性があることについて述べた。この章では、そのような課題に対し、要求定義プロセスでユースケースを想定した評価グリッド法を用いて、製品の利用状況により変化するニーズを把握し、要求を導くための方法について述べる。また、この方法をミラーレスデジタル一眼カメラのシャッター音の音質設計に適用し、ユースケースごとの設計目標の設定と、要求の評価に対し、提案する方法の有効性について検討を行なう。

### 2.1 ユースケースに応じて変化する要求を導くための提案

製品から発する音や触り心地など、感性品質の評価は心理的、生理的な要素を含む感性に依存する。そのため、製品が利用される環境や状況に応じて、対象に対する期待や要望は変わる。ユースケースに応じて変化するニーズを把握して、要求を導きだし、設計目標を定めて、感性品質の評価を可能にすることは極めて難しい。

設計は、大きく分けて、要求定義、機能設計、構造設計のプロセスで行われる。要求定義のプロセスでは、まず設計目標の方向性を定めなければならない。そのために、通常は既存製品などに対し、感性品質に関する印象を評価する官能評価試験が行われ、目標の方向性が定められる。機能設計プロセスでは、定めた方向性に沿って、物理指標を用い、目標の設定がなされる。構造設計プロセスでは、機能設計で定義した目標を満たすよう構造設計がなされる。

要求定義の際、目標の方向性を定めるための官能評価には、反意語となる対の評価語を複数用意して、5段階、7段階などで点数評価するSD法など、評価語を用いた手法がよく用いられる。しかしながら、SD法では、評価語は実験者が予め選定し、固定されている。ユースケースによる印象や要求の変化を考慮する場合には、同じ評価対象であっても、固定された評価語では対応しきれない可能性がある。

評価語を予め準備せず、顧客の言葉で要求の階層構造を明確にする手法として、G.A.Kelly によるレパトリー・グリッド法や、評価グリッド法などの手法が開発されている。評価グリッド法とは、提示した複数の評価対象に対する好ましさを被験者が判定し、その理由について実験者が被験者に質問を繰り返す（ラダーリング）ことで、要求の階層構造を明らかにする手法である。しかしながら、評価は、会議室など同じ条件で試作品や写真などを比較しながら行われており、評価する際に、どのような利用環境や状況を想定しているかどうかは、顧客に委ねられていることが多い。製品の利用状況とニーズの関係を把握し、利用状況の変化に応じた要求に合致する品質についての目標設定や、評価についての検討はまだなされていない。

本章では、まだ先行研究で検討がされていなかった、製品が利用される環境や状況ごとのニーズの把握や要求を導くために、まず、複数のユースケースを想定した評価グリッド法によるインタビューを行う。次に、インタビューから導かれた要求を分類するために、要求同士の関係性を記述した DSM を作成する。DSM に対してクラスタリング処理を行い、要求クラスタを導出する。ユースケースごとの要求を評価できるようにするために、DMM を用いて、ユースケースと要求と評価語の間関係性を記述する。最後に、ユースケースごとの要求が評価できる評価語を用いた官能評価を行い、その結果から新しく導出された因子を評価軸として、ユースケースごとの設計目標の方向性を示す。また、この方法をカメラのシャッター音の音質設計に適用し、その有効性を考察する。

## 2.2 ユースケースを想定した評価グリッド法を用いる要求分析

### 2.2.1 ユースケースの選定方法

様々な状況や環境で利用される製品に対し、ユーザニーズに合致した感性品質を提供するためには、ユースケースに応じて異なる要求を把握して設計に反映し、評価できるようにする方法が望まれている。そのための対策として、この項では、ユースケースを想定した評価グリッド法を用いて、製品の利用状況により変化するニーズを把握し、要求を導くための方法を示す。

ユースケースを想定した評価グリッド法では、被験者に、それぞれのユースケース下で製品を利用することを想像しながら評価対象を比較してもらう。評価対象を比較後、実験者は、特にユースケースと要求との関係に注意して被験者にインタビューを行う。

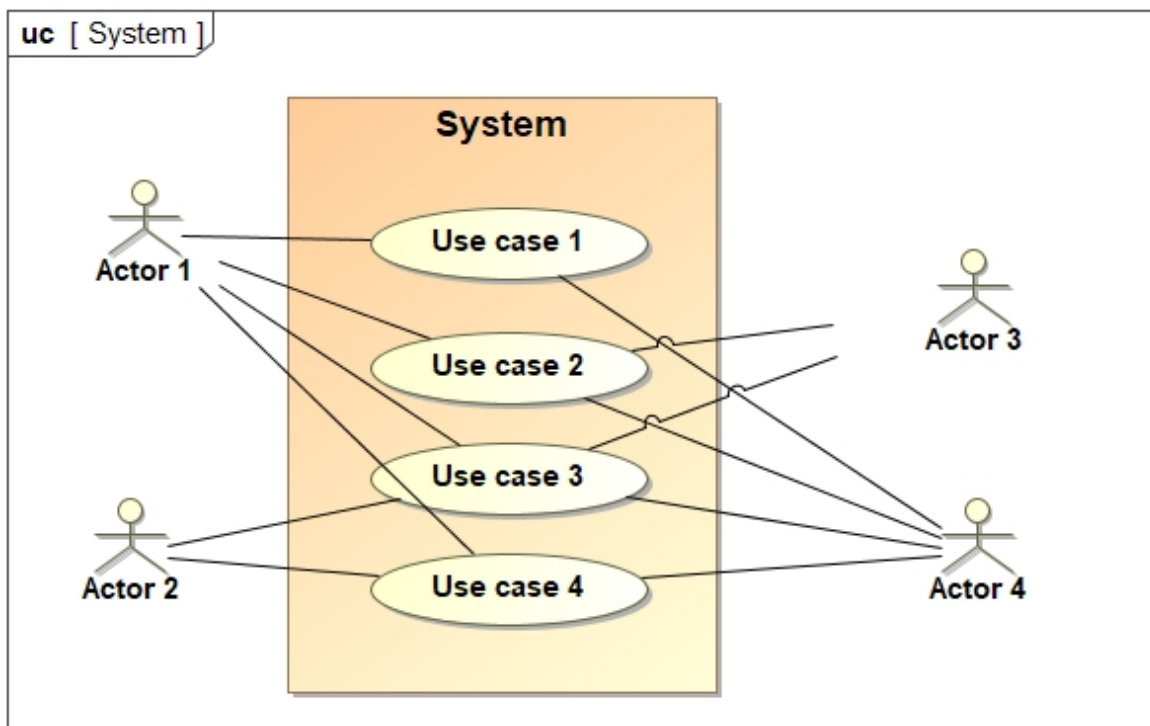


Fig. 2.1 Use case selection considering actors of system

ユースケースは、ユースケース依存の要求の違いを漏れなく導出できるように、網羅性をもたせて選定しなければならない。そのため、運用ステージにおいて、対象とするシステムを利用する際の外部システムとの関係性を考慮し、ユースケースを選定する。例えば、カメラやスマートフォンなどの製品の場合、外部システム（アクター）は、製品を利用するユーザ(User)，その対象となる相手（人の場合もあれば物の場合もある）(Subject)，製品が利用される際に発する刺激を受ける人(Surrounding people)，周囲の環境(Environment)などが考えられる。図 2.1 のように、システムと、アクターを整理することで、網羅性のあるユースケースを選定することができる。

## 2.2.2 要求クラスターの導出と DMM の作成手順

従来の評価グリッド法では、インタビューで導出した要求は、要求間の階層構造をネットワーク図などで可視化されるが、我々はさらに、導出した要求を分類し解釈しやすくするため、要求を縦横軸の項目とした DSM を作成し、要求を類似度で分類（要求のクラスター化）するために、クラスター分析を適用する。また、ユースケースごとに把握した要求が、

感性品質に反映されているか官能評価で評価できるようにするためには、ユースケースと要求、および要求と評価語とを関連付ける必要がある。このように異なるドメインの要素間を関係付けるためには DMM を用いる。ユースケースを想定した評価グリッド法で導出した要求から DSM を作成し、要求をクラスタ化した後に、ユースケースと要求クラスタ、要求クラスタと要求を表現できる評価語の依存関係を可視化する DMM を作成する手順を、STEP1～STEP5 に示し、全体の流れを図 2.2 に示す。

STEP 1 では、ユースケースごとに異なる要求を導出するために、複数のユースケースを想定した評価グリッド法によるインタビューを行う。被験者にはそれぞれのユースケースで製品を使用することを想像しながら、評価対象となる複数の製品を使用してもらい。その後、製品の好ましさについて順序をつけてもらい、順序のつけ方について理由を尋ねる。製品を比較した際、好ましさに差がついた理由として最初に述べられた項目を「Evaluation points」とする。次に、その「Evaluation points」があるとユーザにとってどのような良いことがあるか、上位概念を導くラダーアップを行い、導出された項目を「Reasons(WHYs)」とする。さらに、「Evaluation points」を実現するためにはどのような手段があるか、下位概念を導くラダーダウンを行い、導出された項目を「Concrete measures(HOWs)」とする。ラダーリングの際は、恣意的にならないよう留意しながら、要求と感性品質の関係については積極的に質問する。また項目がユースケース依存の項目として導出されたときは、項目の後ろに UC<sub>i</sub> (i はユースケースの番号) のように表記する。ラダーリングにより導出される要求の階層構造は人によって異なる場合がある。この STEP では要求をできるだけ網羅的に導出することを目的としているため、異なる評価構造が出てきた場合には追加する形でネットワーク図を作成する。

STEP 2 では、これら 3 種類の項目を、好ましさを判断する基準となる項目、すなわち製品に求められる「要求」として縦軸・横軸の項目に割り当てた正方マトリクス(DSM)を作成する。上位概念・下位概念を導くラダーリングを通して関係のあった要求 (STEP1 のネットワークの線で結ばれた要求) には、関連の表記 (●マーク) の設定を行う。感性品質に関係する要求は、他の要求と区別するため関連の表記を K と設定する。このように、とくに上下の概念の関係に対し関連の表記をつけることで、STEP3 で要求のクラスタリングが可能になるとともに、クラスタ内の「要求と、その要求を実現する手段としての感性品質」という関係を導くことができる。

STEP3 では、要求を類似度で分類するためにクラスタ分析を行う。クラスタリング処理には Cambridge Advanced Modeler(CAM)などの DSM ツールを用いる[100]。ツール上からクラスタリング処理を繰り返すことで、相関の表記がある項目同士は、類似度の高い要求としてクラスタリングされ、複数の要求クラスタに分割される。クラスタ内の要求は定性的な内容であるため、クラスタの分割や数が妥当かは、実験者がクラスタ内の項目の類似度を判断して決定する。

STEP4 では、ユースケースと要求クラスタの依存関係を、DMM を用いて表記する。STEP3 で分割された各要求クラスタに対し、クラスタを構成する要求の UC の表記を調べ、どのユースケースと多く関係しているかを分析する。分析を通して、関係することが多かったユースケースと要求クラスタには依存関係があるとし、相関の表記の設定を行う。このようにして作成された DMM を Use case - Requirement cluster DMM とする。

STEP5 では、要求クラスタと、要求クラスタ内の要求を表現できる評価語を、DMM で関係付ける。評価語は、各要求クラスタ内に含まれる要求を次のように分析して選定する。各要求クラスタは、近い内容の要求で構成されているが、製品への一般的な要求(●)と、感性品質に関する要求(K)が混在する。その関係性に着目すると、製品に対する要求と、その要求を実現する感性品質という関係を考えることができる。例えば、ある要求クラスタが、「製品からフィードバックを得たい」という内容の要求で構成され、「明瞭感のある音」という感性品質への要求が含まれていたとする。これらは相関がある要求として同じクラスタに分類されていることから、製品からフィードバック感を得るためには明瞭感のある音が必要である、という関係があると考えられる。すなわち要求クラスタのなかに感性品質に関する要求(K)が含まれる場合、それが各クラスタの要求を満足させる「感性品質」という解釈ができる。このような分析を通して、各クラスタの要求内容と感性品質に対する要求を表現できる評価語を選定し、要求クラスタと評価語との関係を表記した DMM を、Requirement cluster - Evaluation word DMM とする。評価語を選定する際、同じ評価語でもそのとらえ方や意味合いが、ユースケースによって異なる場合が考えられる。評価語は、対象とする感性品質の評価がしやすく、文脈によって意味合いの異なる場合は、それぞれの文脈に適した別の言葉を分けて考えるなど、事前に形容詞選定テストなどで確認する。

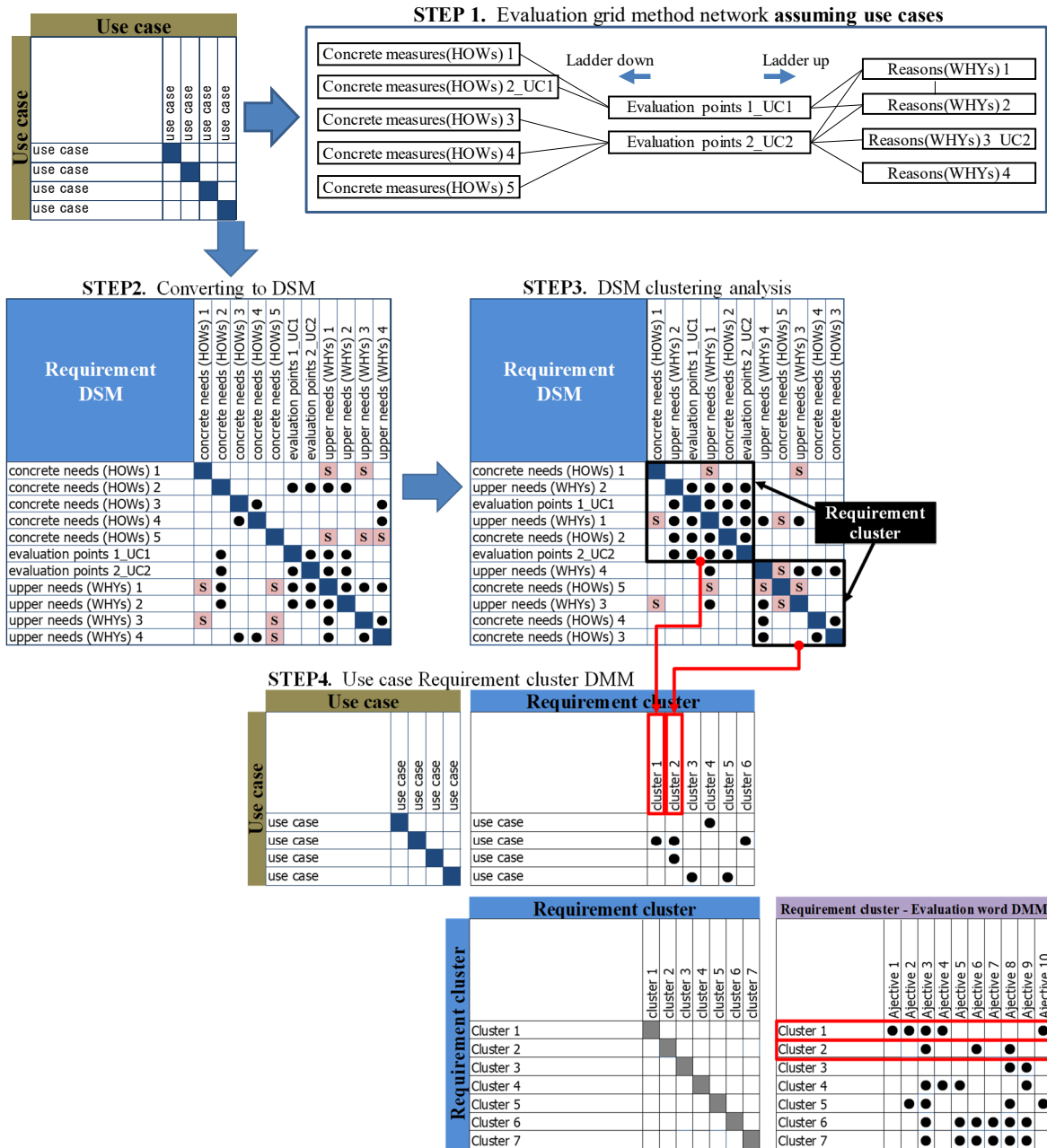


Fig. 2.2 Procedure to connect use case, requirement cluster and evaluation word using DSM/DMM



### 2.2.3 感性目標の方向性の設定

前項の Step4 で作成した Use case - Requirement cluster DMM を用いることで、ユースケースと要求の依存関係が可視化される。図 2.2 中の赤線で示すように、例えば、最初にユースケース 2 と 3 を決めると、Use case - Requirement cluster DMM から、関係する要求が、Cluster 1 と Cluster 2 であることがわかる。次に、Requirement cluster - Evaluation word DMM を用いて、Cluster 1 と Cluster 2 の要求を評価するための評価語が Adjective1~4, 6, 8,10 であることがわかる。このように DMM を用い、ユースケースごとに要求を評価するための適切な評価語を選定することができる。これらの評価語を用いて官能評価を行ない、その結果に対して因子分析を行くことで、ユースケース依存の要求が反映された新しい感性因子 (Kansei factor) が導出され、主観指標として用いることができる。この主観指標に対し、図 2.3 に示すように、因子得点を用いて、ユースケース依存の要求を考慮した感性目標の方向性を定めることができる。

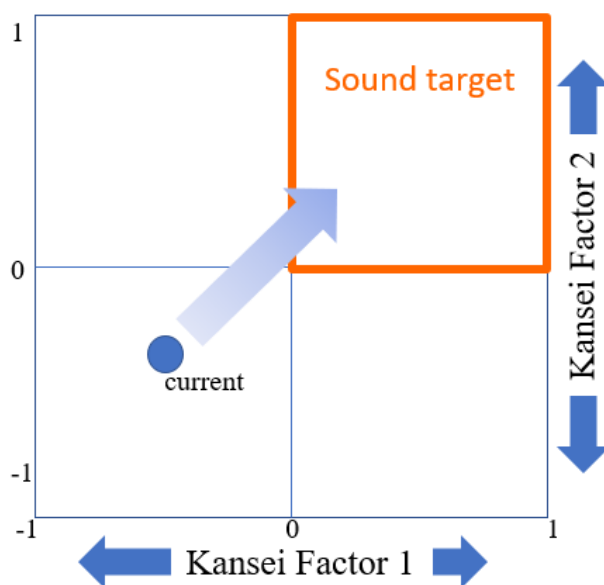


Fig. 2.3 Kansei quality target using Kansei factor

## 2.3 適用例：ユースケースを考慮したカメラのシャッター音の要求分析

この節では、ユースケースごとに異なる要求を把握するため、前節で提案した方法をカメラのシャッター音の音質設計に適用し、その有効性を検証する。対象とするカメラは、光学式ファインダーにレンズからの入射光を導くための反射ミラーがない、いわゆるミラーレスデジタル一眼カメラの機械的なシャッター音である。ミラーレスデジタル一眼カメラ（以下、カメラと略す）は、従来の一見レフカメラに比べ、シャッター機構の機械的動作が少ない。そのため、音の印象についても、従来の一見レフカメラにと比較すると、物足りなさや違和感などの変化が生じており、著者の過去の研究でも、シャッター音に対してユーザの要求を反映させる必要性があることが見いだされている[101]。

### 2.3.1 カメラのシャッター音のユースケースの選定

要求定義のプロセスでは、最初にユースケースを想定した評価グリッド法による要求分析を行なう。評価テストは、20代から50代の男女10名を被験者として行なった。評価対象とするカメラは、要求をできるだけ網羅的に引き出すため、メーカーや特徴の異なるものを5機種準備した。

ユースケース選定にあたっては、2.2.1項のユースケース選定の説明で述べた通り、評価対象である音に対して、ユースケースは、ユースケース依存の要求の違いを漏れなく導出できるように、網羅性をもたせて選定しなければならない。カメラのシャッター音質を設計対象とする場合、著者らは、図2.4に示すように、カメラを利用する際の外部システム（アクター）として、ユーザ(User)、被写体(Subject)、カメラから発するシャッター音が聞こえる範囲にいる周辺の人々(Surrounding people)、周囲の騒音(Environment)を考えた。さらにユーザがカメラで撮影をする際に、カメラが発するシャッター音を、アクターに対して考慮するべきかどうか、ユーザの音に対する要求が変化する要因と考えた。その上で、音を考慮しなければならない場合を「y」、音を考慮しなくてよい場合を「n」、存在しない場合を「-」とし、表2.1のように必要なユースケースを整理した。

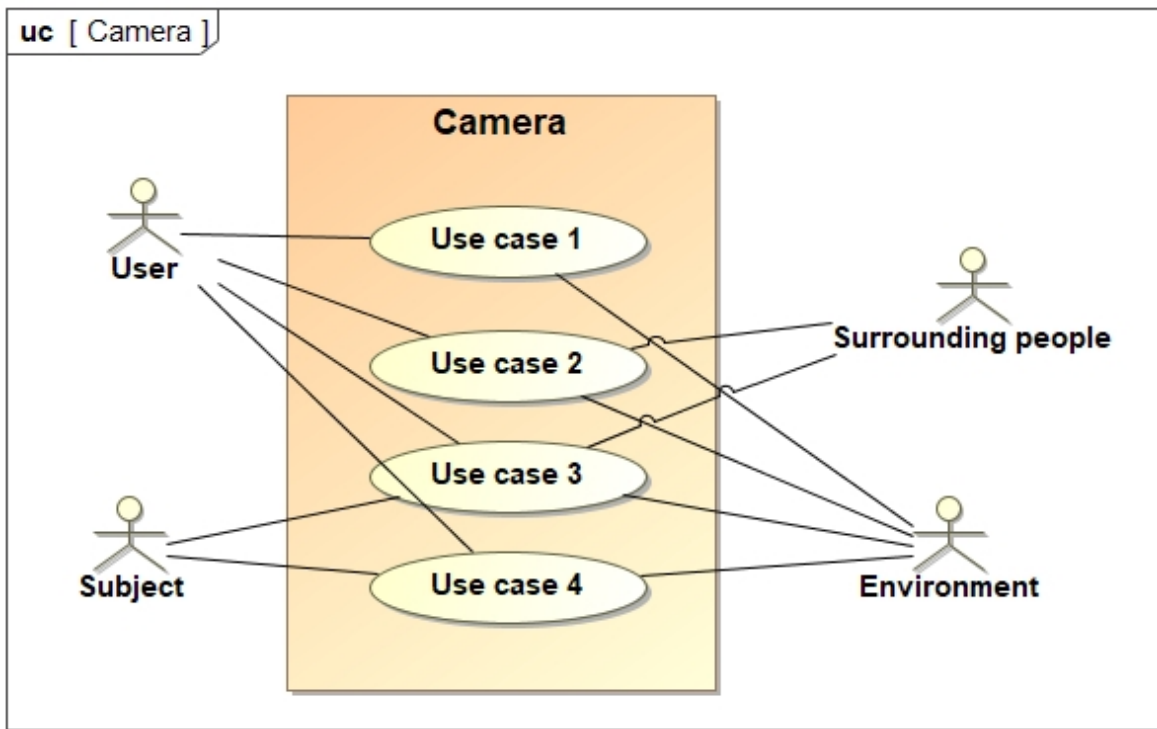


Fig. 2.4 Use case selection considering actors of camera

Table 2.1 Use case selection based on user's concern about sound

	User	Subject	Srround people	Environment
Use case1	y	n	n	Noisy
Use case2	y	—	y	Slightly noisy
Use case3	y	y	y	Silent
Use case4	y	y	n	Slightly silent

ユースケース 1 は、騒々しい場所で撮影するときなど、被写体に対しても周囲の人に対しても音を気にしなくてよい場合、ユースケース 2 は、被写体に対しては音が気にならないが、周囲の人に対しては音が気になる場合、ユースケース 3 は、静かな場所で撮影するときなど、被写体に対しても周囲の人に対しても音が気になる場合、ユースケース 4 は、自然のなかで動物を撮影するなど、周囲に聞こえてもよいが被写体に対しては音が気になる場合である。このような整理に基づき、撮影対象、撮影の目的、撮影時に周囲に人がいるかないか、周囲の騒音の程度など、音に関係するコンテキストが異なるユースケース (UC) を UC1~UC2 の 4 種類選定し、音声付きの映像を準備した。

- UC 1 運動会で子供がダンスしている映像（子供が活躍する決定的瞬間を逃さず記録することが目的．周囲は人で混雑しており，ダンスの曲や周囲の騒音のなかで撮影しなければならない）
- UC 2 壮大な山の景色の映像（景色を撮影することを目的に山を訪れている．一人で好きなだけ撮影に没頭し，楽しみたい．）
- UC 3 街なかの映像（静かな街なかの風景やレストランなど，ふとした日常を記録し，友人などと共有するために撮影する．しかし周囲には不特定多数の人たちがおり，撮影していることを気付かれたり，音を出して迷惑をかけたたりしたくない．
- UC 4 自然のなかで活動する動物の映像（野生の動物や鳥を撮影することが目的．動物に気づかれて逃げられないよう，できるだけ静かに撮影する必要がある）．

評価テストでは，臨場感を出すため，これら4種類の映像を4Kプロジェクターに10分ずつ映し出した．被験者には，映像の前で実際に使う場面を想像しながらカメラを構えたり撮影したりするなど，自由に全ての機種を操作してもらった．実験の様子を図2.5に示す．すべてのカメラを使用した後に，好ましさについて順序をつけてもらい，要求を階層構造的に質問するインタビューを1人ずつ行った．



**Fig. 2.5 Evaluation tests of camera conducted with projected scenery**

### 2.3.2 カメラに対する要求クラスターの導出

評価グリッド法によるインタビュー終了後、2.2.2 項に述べた方法で、導出された「Evaluation points」、「Reasons(WHYs)」「Concrete measures(HOWs)」の要求を縦軸・横軸に記入し、ラダーリングを通して関係がある要求には相関の表記（●）を設定して、120 項目から成る DSM を作成した。要求のうち、音に関する要求の相関については、表記を区別し Sound を略した「S」とした。

作成した DSM に対してクラスター分析を適用し、要求が複数の要求クラスターに分割された結果を図 2.6 に示す。分析の結果、類似度の高い要求がクラスターリングされ、要求の内容について解釈を行うことが容易になる。音に対する要求を引き出すために想定した今回のユースケースからは、カメラに対する 7 つの要求クラスターが導出された。7 つのクラスターの要求と、音に関する要求（図 2.6 中、赤でハイライトされた項目）を解釈しまとめた内容と、（ ）内に音に関する要求を以下に示す。

- Cluster 1 写真が撮れたとわかる（昔ながらのカメラの音、撮れたとわかる音、明瞭感のある音、金属的な音、メカニカルな音）
- Cluster 2 気軽にファッションナブルに使いたい（なし）
- Cluster 3 モダンなデザインがよい（なし）
- Cluster 4 カメラを格好よく使いたい、他人に格好よい自分を見せたい（シャープな音、メカニカルな音、フィードバック感のある音）
- Cluster 5 きれいに撮りたい、思い通りに撮りたい（心地よい音、高級感のある音、キレのいい音）
- Cluster 6 シーンに合う、静かな音を求める（静かな音、周囲に馴染む音、やわらかい音、短い音）
- Cluster 7 撮る機能（昔ながらのカメラの音、重たい音、撮れたとわかる音）

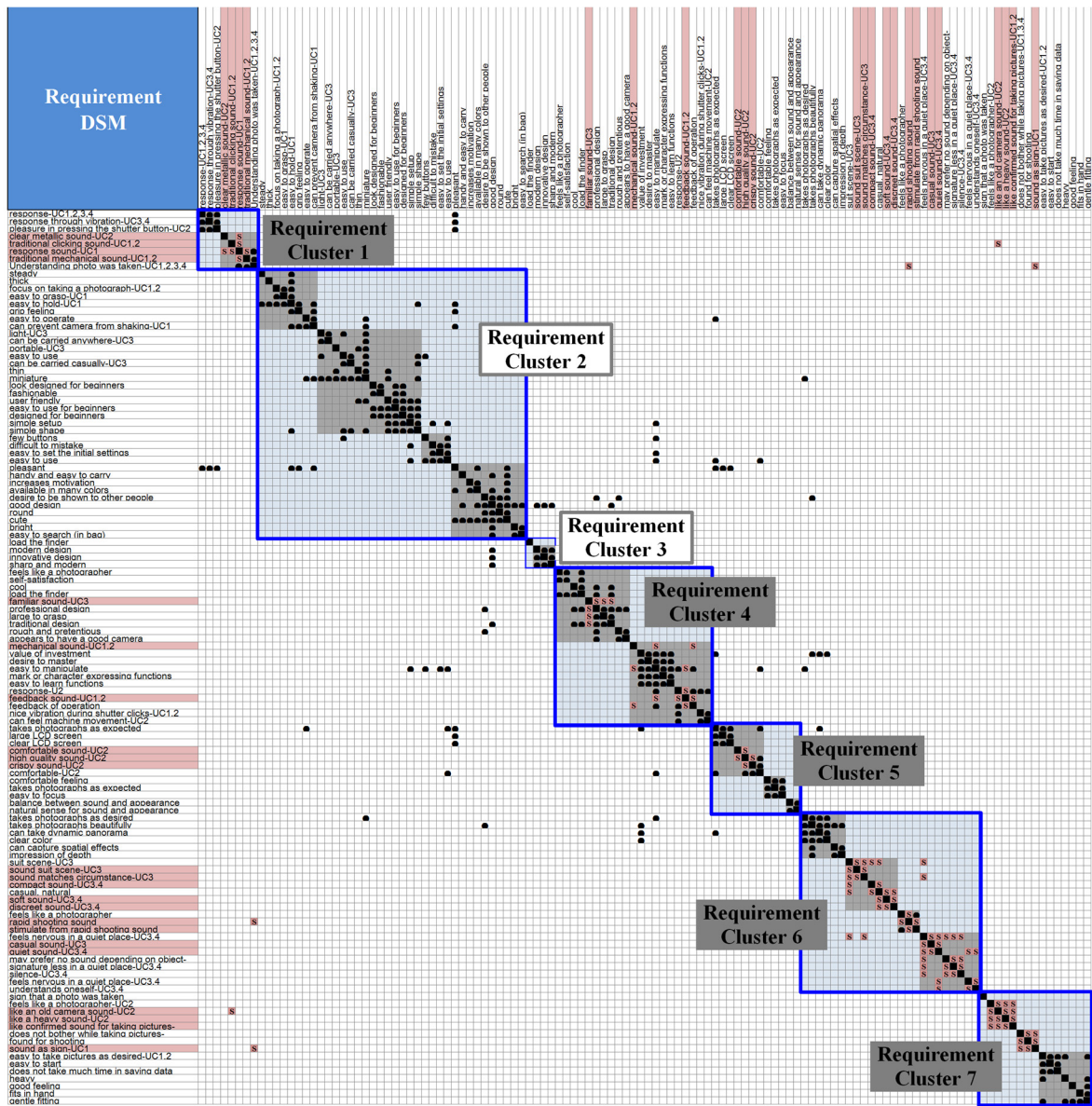


Fig. 2.6 Requirement clusters

今回の結果から、カメラへの一般的な要求と音への要求との関係が明らかになったが、クラスタ 2 と 3 のように、音に関する要求を含まないクラスタがあることがわかった。この 2 つのクラスタの要求内容を調べると、いずれもデザインや大きさ、重量などに対する要求であった。これらの要求を実現させる手段としては、見た目のよさや小型であることが求められているため、音に対する要求は出てこなかったということが考えられる。また今回 7 つのクラスタが得られたが、一般のカメラの製品ラインナップから想定されるターゲットユーザ層（プロ、ハイアマチュア、エントリー）と比較すると、プロフェッショナルからハイアマチュアユーザのユースケースに相当するクラスタが得られていないなど、



まだ不十分な点が考えられる。今回は、音に対する要求の違いが出やすいという視点からユースケースを選定したが、今後はターゲットユーザとユースケースとの関係も調査し、実験参加者、評価対象とする機種等を工夫するなど、十分なクラスタを得るためにまだ検討の余地がある。

### 2.3.3 DMM によるユースケースと要求と評価語の関係付け

図 2.7 は、DMM を用いて、ユースケースと要求クラスタ、要求クラスタと要求を表す評価語との関係を表記した結果を示している。ユースケースと要求クラスタの関係は、図 2.6 に示す各要求クラスタの要求に記載された UCi の表記から、どのユースケースと多く関係しているかを分析し、依存関係を導くことができる。評価語は、上に示した要求クラスタの内容と、音に関する要求が含まれている場合はその音を評価できる語を選定し、各要求クラスタとの間に相関の表記を行う。図 2.7 に示す Use case - Requirement cluster DMM から、ユースケースと要求クラスタとの関係を整理する。

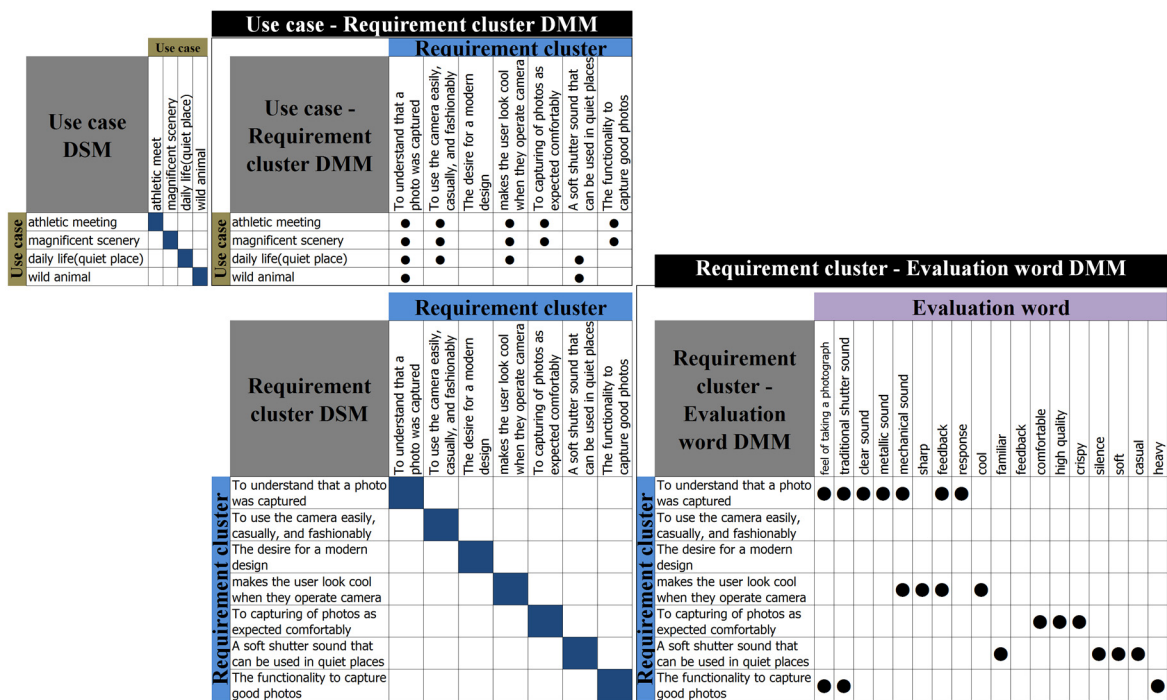


Fig. 2.7 DMM for use case, requirement cluster and evaluation word

写真が撮れたとわかることに対する要求は、すべてのユースケースで求められている。このような要求は、優先度の高い要求と言える。気軽にファッションブルに使用したいという要求は、運動会で撮影、壮大な景色を撮るとき、街なかなど、カメラを持って移動する場面や周囲に人がいるような場面で重要となると考えられる。モダンなデザインに対する要求は、ユースケースとは関連づかなかったが、このような要求は今回想定したユースケースとは直接結びつかないか、あるいはユースケース依存でない要求と考えられる。カメラを格好よく使用したいという要求は、一般には、音とは関係がない要求と考えられるが、今回のように分析をすると要求に関係する音の項目が見つかり、要求の実現手段として、音が提案できる可能性を示唆している。思い通りに撮りたいという要求と、撮る機能に対する要求は、運動会や壮大な景色というユースケースで求められているが、決定的瞬間など、記録することを目的としたときに重要になってくる要求と考えられる。静かな場所では、静かな音や周囲に溶け込む音に対する要求が重視されているが、これらは、音を出すことを憚られる場所や周囲の人を気にするようなシーンで優先度が高くなる要求と考えられる。Requirement cluster - Evaluation word DMM は、図 2.6 に示した各要求クラスと、クラスタ内の音に関する要求(S)を表現できる評価語の関係を表している。DMM を用いることで、ユースケースごとの要求と、要求を評価できる評価語との関係が明らかになり、官能評価の際、ユースケースに応じた適切な評価語を選定できるようになった。

#### 2.3.4 シャッター音質目標の方向性の設定

提案する方法を用いて、運動会でカメラを使用するユースケースを考慮し、シャッター音の音質目標の方向性を定める例について説明する。図 2.7 に示した Use case - Requirement cluster DMM から、運動会のユースケースでは、要求クラスタ 1,2,4,5,7 が要求されていることがわかる。また、Requirement cluster - Evaluation word DMM を用いて、これら 5 つの要求クラスタの要求内容を表現する評価語が選定できる。このようにして選定した評価語を、従来シャッター音を評価していた評価語に加え、既存のシャッター音 5 機種に対して 20 名を対象に、SD 法による官能評価を行った。評価結果に対し因子分析を行って複数の音色因子を導出し、従来の結果と比較した。ユースケースを想定しない従来の評価語で得られていたのは、重厚因子、金属因子、美的因子という、一般に音の性質を表す因子であった。提案する方法で選定した評価語を加えた評価結果に対し因子分析を行うと、撮れた



感じやフィードバック感を表現する応答感に関する因子や、カメラらしい心地よさに関する因子というような、ユースケースに基づく要求を評価できる新しい因子が得られた。これらの音色因子を主観指標として縦軸に用い、評価音源 A から E の因子得点をプロットした評価結果を図 2.8 に示す。図 2.8(a)は、横軸に従来得られていた金属因子を用い、縦軸に新しく得られた快適感を表す因子を用いている。図 2.8(b)は、横軸に従来得られていた金属因子を用い、縦軸に新しく得られた応答感を表す因子を用いている。(a) (b)ともに、従来得られていた金属因子で評価した場合、音源 B と音源 E では明確な差が得られなかったが、縦軸に示す(a)快適感や(b)応答感など、本方法で得られた新しい因子を評価軸として用いることで、より明確に 2 つのシャッター音の差が表現できるようになった。この方法により、従来得られなかったユースケースごとの要求を表現できる評価軸が得られ、その軸を用いて因子得点で定義することにより、音質目標の方向性を定めることができるようになった。

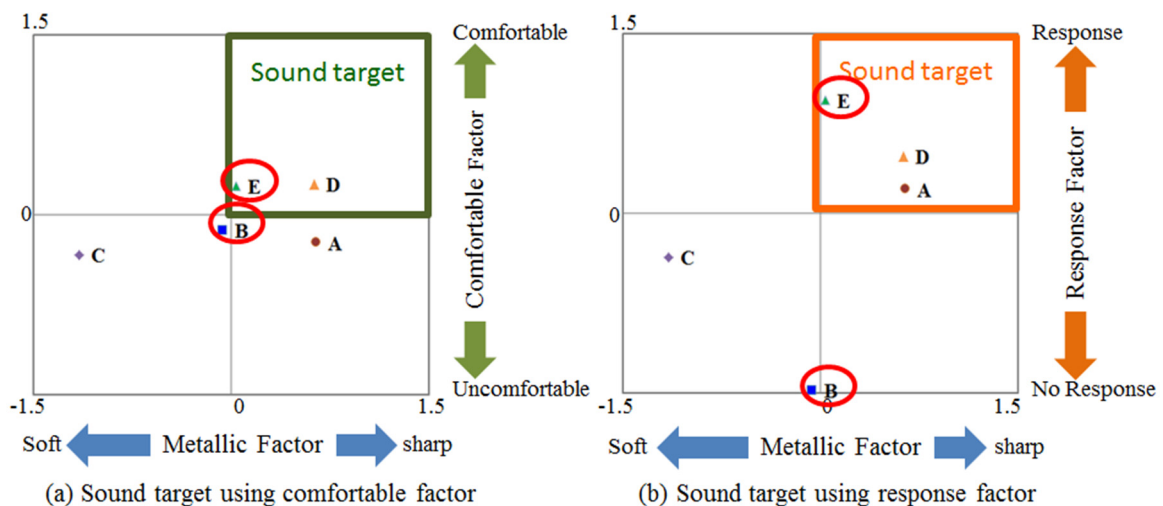


Fig. 2.8 Sound target map

## 2.4 まとめ

本章では、ユースケースに応じて変化する要求を把握し、目標を設定して評価することが困難という課題に対し、ユースケースを想定した評価グリッド法を提案し、さらに DMM によるユースケースと要求と評価語とを関係付ける方法を提案した。ユースケース依存の要求の違いを漏れなく導出できるように、運用ステージで対象とするシステムを利用する際の外部システムとの関係性を考慮し、網羅性のあるユースケースを選定できる方法を示した。この方法をカメラのシャッター音の音質設計に適用し、ユースケースに応じた音質目標を設定した。

具体的にはまず、複数のユースケース「運動会を撮る」、「壮大な山の景色を撮る」、「静かな街なかで撮影する」、「自然のなかの動物を撮る」を想定した評価グリッド法によるインタビューを行い、ユースケースごとの要求を把握した。その際に、インタビューから導かれた要求同士の関係性を記述した DSM を作成し、要求を分類し解釈しやすくするためにクラスタリング処理を行い、「撮る機能に対する要求」、「デザインに関する要求」、「音に関する要求」など7つの要求クラスタを導出した。さらにユースケースごとの要求を評価できるようにするため、DMM によりユースケースと要求クラスタとを関係付け、要求クラスタとそれを表現した評価語とを関係付けた。この DMM を用いてユースケースごとの要求が評価できる評価語を用いた官能評価が可能になった。さらに新しい音色因子を主観指標として用いることで、従来の評価語から得られた因子では得られなかった音の差が明確に表現できるようになった。

2章で示した方法では、ユーザを限定した上でユースケースの網羅性をもたせ、そのユースケースごとに要求を導くことができた。そして、あるユースケースで規定した要求を評価する評価語を選定し、この評価語を用いた官能評価を行うことができた。しかしながら、すべてのユースケースを満たす要求および評価語に基づく官能評価の実現には至っていない。また、ユースケースの網羅性をもたせることができたのは、ユーザを限定したことによるため、ユーザの多様性を考慮することができていない。

## 3章 MDM に基づく感性に関わる設計情報の管理

2章では、要求定義プロセスにおいて、ユースケースを想定した評価グリッド法を用いて、製品の利用状況により変化するニーズを把握し、要求を導いてくための方法について述べた。2章で把握したユースケースと要求の依存関係と、ユースケースごとの要求から定めた設計目標の方向性を、機能設計および構造設計に反映させるためには、これをさらに物理指標による設計目標、物理指標、構造と関係付けなければならない。しかし、1.5.2項で説明した通り、感性に関わる設計情報は主観と客観が区別されずに混ざって伝達されるため、プロセスをまたいだ設計情報の管理が難しく、要求と機能・構造設計のトレーサビリティがとれなくなり、要求が機能・構造設計に反映されているかどうか不明確になってしまう。本章では、この課題を解決するため、感性に関わるニーズなどを含む設計情報を、要求、機能・構造設計プロセスを通じて失うことなく引き渡すため、感性に関わる設計情報をMDMに基づき管理する方法を提案する。3.1節では、2章で作成した、ユースケースと要求との関係性と、ユースケースごとの要求を評価する評価語の関係性を記述したDMMも用いて、感性に関わるニーズなどを含む設計情報を、要求、機能・構造設計プロセスを通じてMDMに基づき管理する方法を示す。3.2節では、MDMを用いて、ユーザ要求を実現するために、音など特定の感覚に手段を限定することなく、他の感覚での実現手段を示し、かつ設計するための方法を示す。

### 3.1 MDM に基づく音質設計情報の管理

#### 3.1.1 音質設計プロセスの設計情報

音質設計は、大きく分けて要求定義、機能設計、構造設計のプロセスで行われる。要求定義のプロセスでは、まず音質目標の方向性が定められる。機能設計プロセスでは、定めた方向性に沿って、周波数特性や音圧、人間の聴覚特性を反映した音質メトリクス(Sound metrics)など物理指標を用い、音質目標の設定がなされる。構造設計プロセスでは、機能設計で定義した音質目標を満たすよう構造設計がなされる。しかしながら、要求定義で定められた音質目標の方向性、機能設計で設定された音質目標と、設計された構造との間の依存関係はもともと曖昧で、音質設計を進める間に部分的に失われてしまうことが多い。そのため結果として、要求が機能および構造設計に反映されているかどうか不明確になっ

てしまう。要求に基づいて音質設計を適切に進め、最終的に構造設計した結果が要求を満足するものであることを保証するためには、音質に関わる設計情報を、要求と機能・構造設計間のトレーサビリティがとれるように管理することが必要となる。そこで、設計情報を管理するために、要素間の関係が可視化しやすい DSM, DMM, MDM を用いる。

### 3.1.2 MDM に基づく音質設計情報の管理の提案

この項では、2 章で作成した、ユースケースと要求との関係性と、ユースケースごとの要求を評価する評価語の関係性を記述した DMM も用いて、感性に関わるニーズなどを含む設計情報を、要求、機能・構造設計プロセスを通じて MDM に基づき管理する方法を提案する。図 3.1 に提案する音質設計情報管理のための MDM の概略を示す。図中、要求定義、機能設計、構造設計の 3 つのプロセスをグレーの点線枠で囲んで示す。左側の太枠内には、用いる手法と、手法により得られるデータを示している。枠内に示す得られたデータに対して、上向きの矢印の分析を行うことで、右向きの矢印の先のデータが得られ、右側に示す DSM, DMM に、データとして蓄積されることを示している。

要求定義プロセスでは、2 章で説明した、ユースケースを想定した評価グリッド法によるインタビューを行う。インタビューで導出した要求から作成された DSM に対し、要求を類似度で分類するためにクラスタ分析を適用する。分析により、類似度の高い要求はクラスタリングされ、複数の要求クラスタに分割される。ユースケースと要求クラスタの依存関係は、Use case - Requirement cluster DMM、要求クラスタと要求を表現できる評価語の関係は、Requirement cluster - Evaluation word DMM を用いて表記される。これらの DMM により、ユースケースと要求との依存関係が可視化され、ユースケースごとの要求を表現できる評価語の選定が可能になる。音の評価にはこの評価語を用いて SD 法などの官能評価を行い、評価結果に対して因子分析を行う。これら評価語を変数とする因子分析を行うことにより、要求が反映された音色因子(Tonal factor)が得られ、音に対する要求の主観指標軸として用いることができる。この軸を用いた因子得点布置図に因子得点を表示し、ユースケースに応じた音質目標の方向性の設定と評価が可能になる。

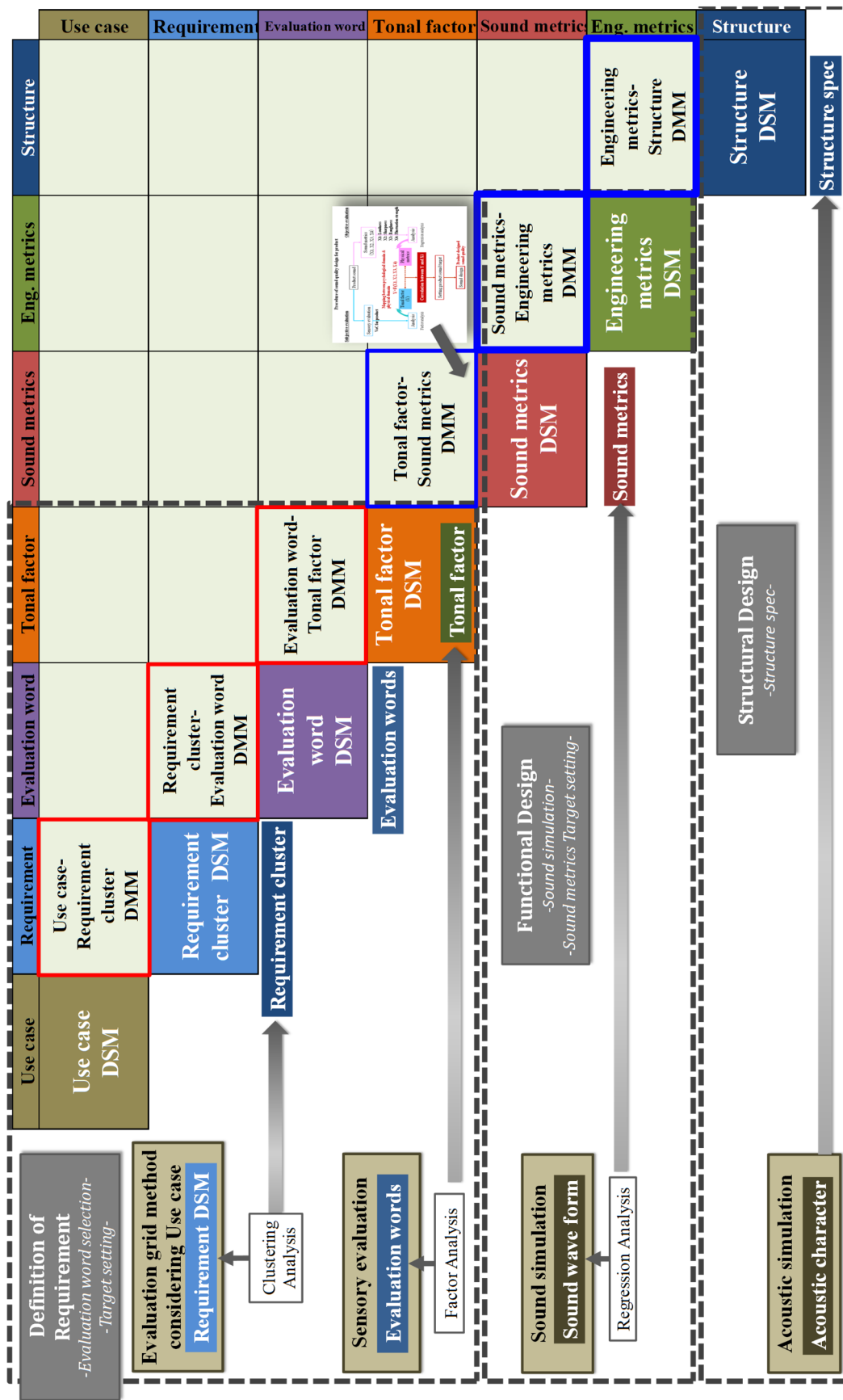


Fig. 3.1 Overview of MDM-based sound quality design information management

能設計プロセスでは、音色因子と、人の聴覚特性を反映した物理指標である音質メトリクスとの関係解析を行う。音質メトリクスは、収録した音の波形から、波形シミュレーションソフトを用いて得ることができる。大富らは、音に対する印象を音質設計に結びつけるために図 3.2 に示すように、音色因子と Zwicker の音質メトリクスとの関係について統計的手法を用いて分析した[102]。Zwicker の音質メトリクスは、loudness, sharpness, roughness, fluctuation strength といった、音の特定の性質を表す 4 つの代表的なメトリクスを定義している。大富らは、音への要求を考慮した適切な音質設計を確立するため、音色因子と音質メトリクスとの関係を回帰分析により定式化した。本論文でも、同じアプローチを採用する。過去機種など既存製品音に対して官能評価を行ない、その結果に対する因子分析から得られた音色因子と波形分析から得られた音質メトリクスとの回帰係数のデータを、Tonal factor – Sound metrics DMM の要素として蓄積する。収録した音の波形から音質メトリクスを算出し、DMM に表記された回帰係数のデータを用いることで、音色因子と音質メトリクスとの関係が可視化でき、音質目標の設定とその後の設計が行いやすくなる。

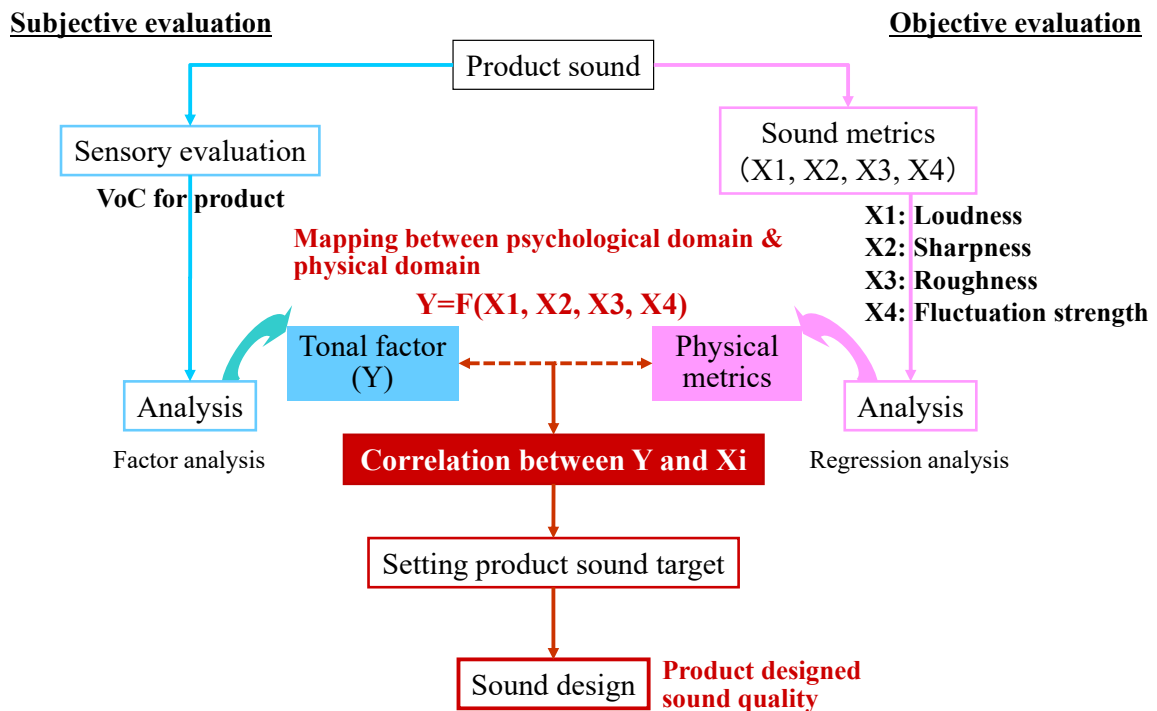


Fig. 3.2 Procedure of sound quality design for product

構造設計プロセスでは、機能設計で定義した音質目標を満たすよう構造設計がなされる。そのためには、機能設計プロセスで得られた音質メトリクスと、構造のもつ物理指標とを関係付ける必要がある。ここでも、統計的手法を用いて、過去機種など既存製品音の波形分析から得られた音質メトリクスと、周波数特性や音圧、残響時間など音響シミュレーションや実測で測定・予測可能な音の物理指標との関係を回帰分析で関係付けることができる。物理指標と音質メトリクスとの回帰係数のデータを、Sound metrics - Engineering metrics DMMの要素として蓄積する。このように、音質設計を進める間の一連の設計情報と設計情報間の関係をDSM/DMMを用いて関係付け、MDMに基づき管理を行うことで、設計情報を、ユースケース依存の主観的な要求から、音響シミュレーションや実測で測定・予測可能な音の物理量まで結びつけることが可能になる。

### 3.1.3 適用例：MDMに基づくカメラシャッター音の音質設計情報の管理

2章で検討したユースケース依存の要求と、機能・構造設計プロセス間の設計情報の関係を残し、トレーサビリティをとれるようにするため、この項では、前節で提案した方法を用いて、MDMに基づきカメラのシャッター音の音質に関わる設計情報を管理する方法を示す。図3.3に、カメラのシャッター音の音質設計の各プロセス間の連携MDMを示す。

要求定義のプロセスでは、2.3節に述べた通り、ユースケースと要求クラスタとの関係(図3.3 ①)をUse case - Requirement cluster DMM、要求クラスタとクラスタの要求内容を表す評価語との関係(図3.3 ②)をRequirement cluster - Evaluation word DMMを用いて表記する。また、これら評価語と、評価語を使用した官能評価に対する因子分析から得られた音色因子との関係(図3.3 ③)は、Evaluation word - Tonal factor DMMにより表記できる。図3.3に赤枠で示したこれら3つのDMMを用いることで、ユースケースに応じた要求がわかり、各要求を表現する適切な評価語を選定することができる。また、その評価語を用いた官能評価結果に対する因子分析結果から、ユーザの要求を反映した音色因子が主観指標として得られることを示している。

機能設計プロセスでは、要求定義のプロセスで得られた音色因子と、音の収録波形から得られた音質メトリクスの関係(図3.3 ④)に対し、図3.2に示した回帰分析を用いて関係解析を行う。loudness, sharpness, roughness, fluctuation strengthという4つの音質メトリクスを目的変数、を説明変数として分析し、得られた回帰式を式(1)に、回帰係数  $x_{i1} \sim x_{i4}$  を

表 3.1 に示す.  $i=1$  は重厚因子,  $i=2$  は美的因子,  $i=3$  は金属因子,  $i=4$  は快適感因子,  $i=5$  は応答感因子である.

$$Y_i = x_{i1}f_{i1} + x_{i2}f_{i2} + x_{i3}f_{i3} + x_{i4}f_{i4} \quad (1)$$

解析から得られた回帰係数は, Tonal factor - Sound metrics DMM の要素として蓄積される. この回帰係数と音質メトリクスを用いて, 音質目標を定量的に設定することが可能になる. 音質メトリクスと, 周波数特性や SPL などの物理指標(Engineering Metrics)の関係(図 3.3 ⑤)についても同様に, 過去機種での測定データの蓄積から, Sound metrics - Engineering metrics DMM で関係を表記できる. 構造設計プロセスでは, 物理指標と, カメラの構造を構成するモジュールレベルの要素との関係を示し, それぞれのドメイン内依存関係は DSM で表記ができる.

このように, 1.5.2 項で述べた, ユースケースごとの要求と機能・構造設計間の設計情報の依存関係が音質設計を進める間に失われて, 要求が機能および構造設計に反映されているかどうか不明確になってしまうという課題に対しては, プロセス間の設計情報の依存関係を DMM で残し, 音質に関わる設計情報を MDM に基づいて管理することで解決できることを示した. またプロセスをまたいで設計情報の管理を行うことで, 容易にトレーサビリティをとることができ, 要求変更管理や構成管理に活かすことができる. また提案した MDM を用いることにより, 各プロセスで残さなければならない設計情報が明確になり, 各プロセスを担当する関係者間で共有できるフレームワークが造れることを示唆した.

本章で示した MDM に基づく設計情報管理を行うことで, 要求定義のプロセスでは, ユースケースに応じた音質目標の方向性を, 音色因子に基づく主観指標を用いて因子得点で示すことができ, 機能設計プロセスでは, 音質に関わる物理指標を音質メトリクスで定義, 構造設計に必要な物理指標との依存関係を式(1)の係数で構成される DMM で残すことが可能になった. また, 要求・機能・構造設計プロセスをまたぎ, ユースケースに応じて変化する主観的な要求を, シミュレーションや実測で測定・予測可能な音の物理量まで結びつけ, 評価やその後の設計に反映することが可能となった.



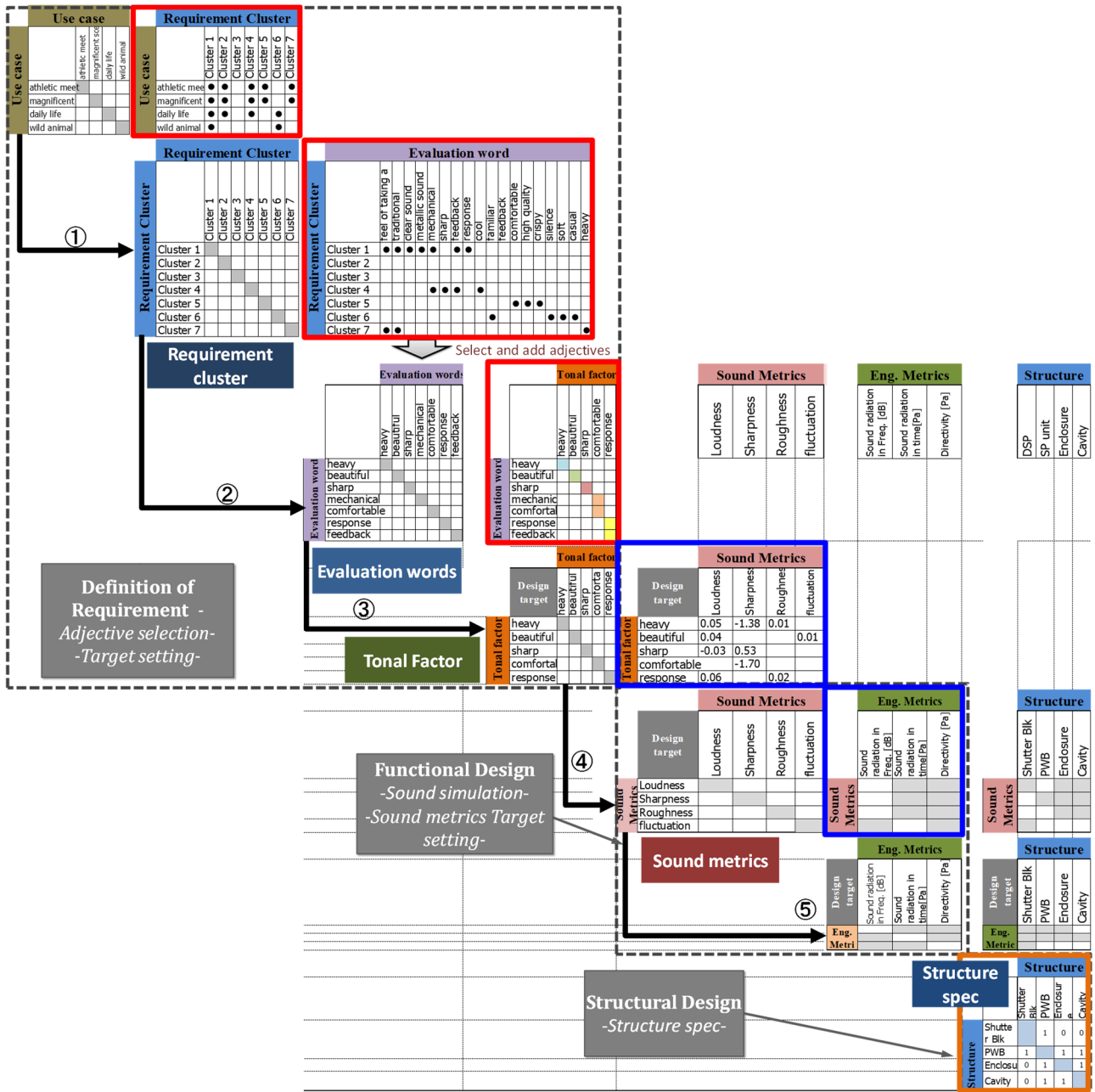


Fig. 3.3 MDM-based sound quality design management for shutter sound

Table 3.1 Regression coefficient derived from regression analysis for tonal factor

i	Tonal factor	Loudness $f_1$	Sharpness $f_2$	Roughness $f_3$	Fluctuation $f_4$
1	Heavy	0.05	-1.38	0.01	—
2	Beautiful	-0.04	—	—	—
3	Sharp	-0.03	0.53	—	0.01
4	Comfortable	—	-1.70	—	—
5	Response	0.06	—	0.02	—

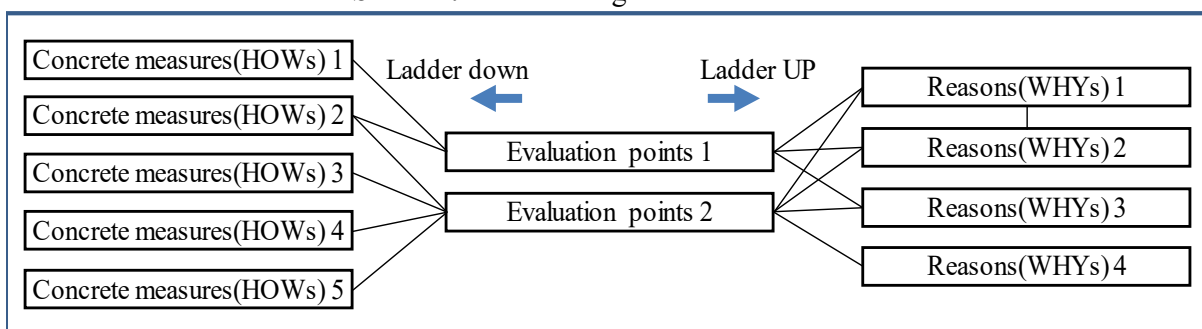
## 3.2 MDM に基づく感性品質に関わる設計情報の管理

前節では、感性価値を提供するために、製品から発する音に着目し、感性設計を行っている。しかし、音で実現できない場合は振動や視覚で実現するなど、ユーザ要求を実現する手段として音以外にも着目すると、感性品質の設計手段が広がる。この節では、ユーザ要求を実現するために、音など特定の感覚に手段を限定することなく、他の感覚での実現手段を示し、かつ設計するための方法を提案する。提案する方法で、ユーザ要求に対し複数の実現手段がわかり、コストなど他の要因ともトレードオフを考えながら、効率よく感性設計をすることができる。具体的には、まず、2章で行った評価グリッド法のテスト結果を利用して、視覚、触覚、聴覚など感性要求を含むユーザ要求を明確にする。次に、DSM クラスタ分析を適用して、要求クラスタを導出する。この要求クラスタに含まれる感性要求は、ユーザの要求を、複数の感覚に関係する手段で実現できる可能性を示している。次に、DMM を用いて、製品の感性品質と機能との関係性を明確にし、コンポーネントレベルで物理指標を設定できるようにする。プロセスを通じて感性に関わる設計情報を管理し、ユーザ要求、機能、構造、設計パラメータ間の関係を視覚化するため、MDM ベースの設計情報の記述を用いる。

### 3.2.1 評価グリッド法から導出した要求の分類

2章では、ユースケースを想定した評価グリッド法で導出した要求から DSM を作成し、要求をクラスタリングした後、ユースケースと要求クラスタ、要求クラスタと要求を表現できる評価語とを関係付ける DMM を作成した。この項では、2.2.2 項で説明した STEP1 の手順を通して、ユースケースを想定した評価グリッド法を用いて網羅的な顧客要求を導出するところまでは同じであるが、その後で要求内容を視覚、触覚、聴覚に分類し、機能と関係付けている点で手順が異なっている。要求クラスタと機能の関係性を可視化する DMM を作成する手順を、STEP1～STEP5 に示し、全体の流れを図 3.4 に示す。

### STEP 1. Evaluation grid method network



### STEP 2. Converting to DSM

Requirement DSM	concrete measures (HOWs)					evaluation points				reasons (WHYs)			
	1	2	3	4	5	1	2	3	4	1	2	3	4
concrete measures (HOWs) 1										S	S	S	
concrete measures (HOWs) 2										V	V	V	
concrete measures (HOWs) 3													
concrete measures (HOWs) 4													
concrete measures (HOWs) 5													
evaluation points 1						S	V			O	O	O	
evaluation points 2										O	O	O	
reasons (WHYs) 1						S	V			S	O	O	O
reasons (WHYs) 2										O	O	O	O
reasons (WHYs) 3						S	V			O	O	O	O
reasons (WHYs) 4													

Legend:  
■ Visual requirement  
■ Touch requirement  
■ Sound requirement  
■ Other requirement

### STEP 3. DSM clustering analysis

Requirement DSM	concrete measures (HOWs)					evaluation points				reasons (WHYs)			
	1	2	3	4	5	1	2	3	4	1	2	3	4
concrete measures (HOWs) 1										S	S	S	
concrete measures (HOWs) 2										O	V	O	
concrete measures (HOWs) 3										S	O	V	O
concrete measures (HOWs) 4													
concrete measures (HOWs) 5													
evaluation points 1						S	O			O	O	V	
evaluation points 2										O	O	V	
reasons (WHYs) 1						S	O			S	O	S	O
reasons (WHYs) 2										O	S	O	
reasons (WHYs) 3						S	O						
reasons (WHYs) 4													

Requirement cluster: A box highlights a cluster of requirements including concrete measures (HOWs) 2, 3, 4, 5, evaluation points 1, 2, and reasons (WHYs) 1, 2, 3, 4.

### STEP 4. Composed DSM

Requirement Composed DSM	Requirement						
	Requirement Cluster 1	Requirement Cluster 2	Requirement Cluster 3	Requirement Cluster 4	Requirement Cluster 5	Requirement Cluster 6	Requirement Cluster 7
Requirement Cluster 1							
Requirement Cluster 2							
Requirement Cluster 3							
Requirement Cluster 4							
Requirement Cluster 5							
Requirement Cluster 6							
Requirement Cluster 7							

### STEP 5. Requirement/Function DMM

Requirement Functional DMM	Function							
	Conspicuous	Good looking	Portable	Easy to hold	Support structure	Press the shutter	Feel of taking photo	Emit shutter sound
Requirement Cluster 1								
Requirement Cluster 2								
Requirement Cluster 3								
Requirement Cluster 4								
Requirement Cluster 5								
Requirement Cluster 6								
Requirement Cluster 7								

Fig. 3.4 Procedure for requirement/function analysis using DSM and DMM

STEP 1では、複数のユースケースを想定した評価グリッド法によるインタビューを行う。被験者にはそれぞれのユースケース下で製品を使用することを想像しながら評価対象となる複数の製品を使用してもらう。その後、製品の好ましさについて順序をつけてもらい、順序のつけ方について理由を尋ねる。製品を比較した際、好ましさに差がついた理由として最初に述べられた項目を「Evaluation points」とする。次に、その「Evaluation points」があるとユーザにとってどのような良いことがあるか、上位概念を導くラダーアップを行い、導出された項目を「Reasons(WHYs)」とする。さらに、「Evaluation points」を実現するためにはどのような手段があるか、下位概念を導くラダーダウンを行い、導出された項目を「Concrete measures(HOWs)」とする。このSTEPでは要求をできるだけ網羅的に導出することを目的としているため、異なる認知構造は追加する形でネットワーク図を作成する。

STEP 2では、これら3種類の項目を、好ましさを判断する基準となる項目、すなわち製品に求められる「要求」として縦軸・横軸の項目に割り当てた正方マトリクス(DSM)を作成する。上位概念・下位概念を導くラダーリングを通して関係のあった要求(STEP1のネットワークの線で結ばれた要求)には、相関の表記の設定を行う。その際、感性に関わる要求に対しては、下位概念側の要求を、下記の(1)から(2)のように、視覚、触覚、音、それ以外というように分類し、行列内の文字を、V, T, S, Oと区別して表記する。この作業は、次に行うクラスタリングにより、「要求と、その要求を実現する手段としての感覚」という関係を導くことを目的としている。

- V (Visual) 審美的なデザインおよび形状など視覚に関わる要求
- T (Tactile) テクスチャや触り心地、持った感じなど触覚に関わる要求
- S (Sound) 音など聴覚に関わる要求
- O (Other) 感性以外の要求

STEP 3では、要求を類似度で分類するためにDSMツールを用いてクラスタ分析を行う。ツール上からクラスタリング処理を繰り返すことで、相関の表記がある項目同士は、類似度の高い要求としてクラスタリングされ、複数の要求クラスタに分割される。クラスタ内の要求は定性的な内容であるため、クラスタの分割や数が妥当かは、実験者がクラスタ内の項目の類似度を判断して決定する。要求クラスタに感性要求(V, T, S)が含まれていれば、これらの感覚に関する感性品質を向上させることが、クラスタが表すユーザ要求に合

致することを示している。また要求を複数の感覚に関係付けることで、ユーザ要求を実現する手段を増やすことができる。

STEP4 では、各クラスタ内の、視覚、触覚、聴覚(V, T, S)に区別された感性要求と、その他(O)の要求を、有色セルを含む合成 DSM で表現する。

STEP5 では、要求クラスタが表す要求とそのなかに含まれる感性要求、感性要求とその機能との関係を、DMM で表現する。各要求クラスタは、類似度の高い要求で構成されているが、クラスタ内には、感性以外の要求(O)と、感性要求が混在する。その関係性に着目すると、製品に対する一般的な要求と、その要求を実現する手段としての感性品質、という関係を考えることができる。例えば、ある要求クラスタが、「写真が撮れたかどうか知りたい」という内容の要求で構成され、クラスタ内に「明瞭感のある音」という音への要求(S)、手ごたえのある振動(T)が含まれていたとする。これらは相関がある要求として同じクラスタに分類されていることから、写真が撮れたことを知るためには明瞭感のある音、あるいは振動が要求されている、という関係があると考えられる。すなわち要求クラスタのなかに感性要求(V, S, T)が含まれる場合、それが各クラスタの要求に合致する感性品質という解釈ができる。このような分析を通して、各クラスタの要求内容と感性品質での実現手段との関係性を混合 DSM で表現し、要求と機能との関係を表記した DMM を、Requirement cluster - Function DMM とする。

視覚、触感、聴覚それぞれに関係する物理指標と、その物理指標に関わる構造は、個別にコントロールできることがある。そのような場合には、ユーザ要求の実現手段を視覚、触覚、聴覚に分類することで、これらに関係する設計のトレードオフを考えることができる。仮に、ある感覚に関係する設計パラメータを、何等かの理由で変更できない場合でも、他の設計パラメータを変更することで、ユーザ要求を満たすことができる可能性を示唆している。

### 3.2.2 MDM に基づく感性品質に関わる設計情報の管理の提案

この項では、前項で DMM を用いて関係付けた要求クラスタと機能を、さらに構造と設計パラメータに関係付けるため、MDM に基づく設計情報の管理を提案する。提案する 4 つの DSM を含む MDM の概略を図 3.5 に示す。要求定義プロセスでは、評価グリッド法から導出したユーザ要求から成る Requirement DSM に対してクラスタ分析を行って、要求ク

ラスタを導出した後、Requirement - Function DMM を用いて各要求クラスタに機能に関係付ける。機能設計プロセスでは、Function - Component DMM により、機能とコンポーネントが関係付けられる。Function DSM は感性品質に関係する製品の機能から構成され、Component DSM は物理的な構成要素を表している。構造設計プロセスでは、Component - Parameter DMM を用いて、コンポーネントとパラメータを関係付ける。Parameter DSM は、物理指標から構成され、シミュレーションによる予測や、実際の測定データによって検証することができる。このように、感性要求を含むユーザ要求は、MDM を用いて Function/Component/Parameter に関係付けることができる。

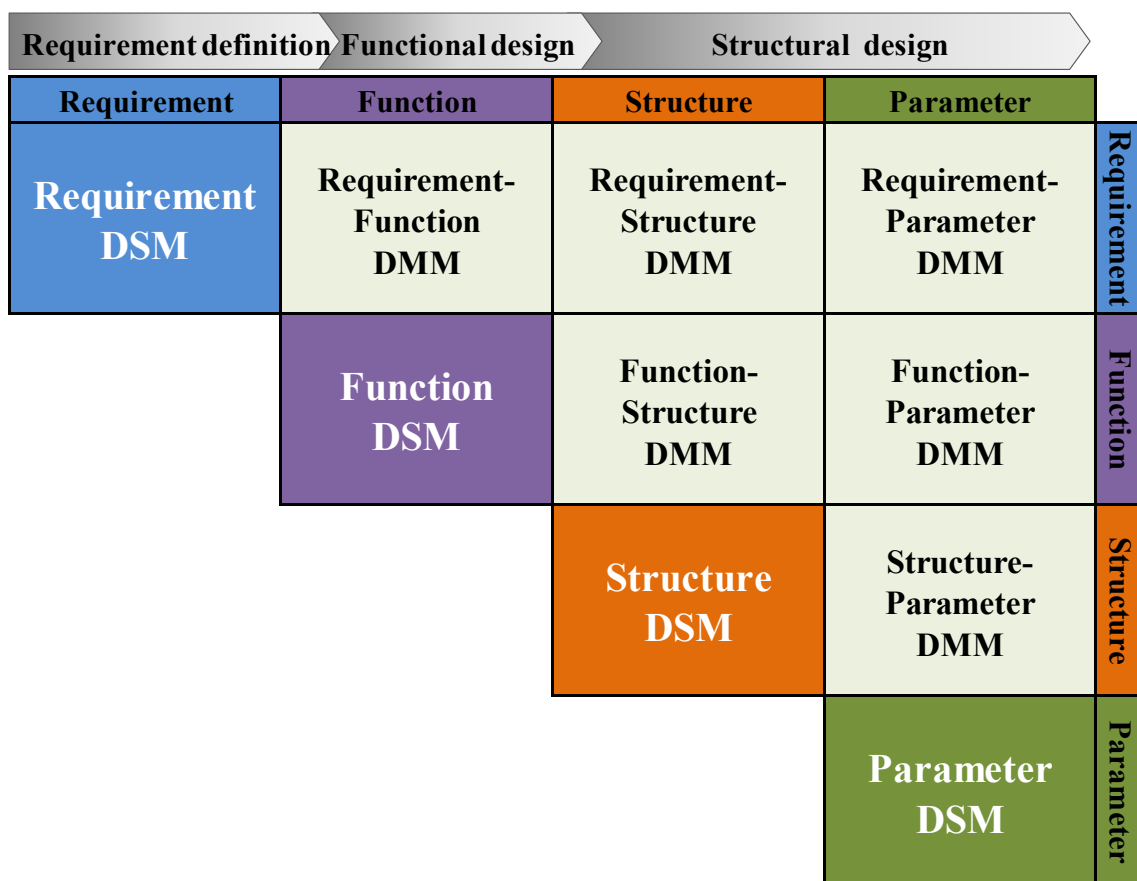


Fig. 3.5 Overview of MDM-based Kansei design model

### 3.2.3 適用例：評価グリッド法を用いたカメラの感性に関わる要求分析

この項では、2章で行ったカメラに対する評価グリッド法によるインタビューの結果を利用して、視覚、触覚、聴覚など感性に関する要求を含む要求分析について述べる。まず、評価グリッド法から導出された、evaluation points, reasons, concrete measures の3種類の項目を、カメラに求められる「要求」として縦軸・横軸の項目に割り当てたDSMを作成した。上位概念・下位概念を導くラダーリングを通して関係のあった要求には、下位概念側の要求を、T, V, S, Oに分類し、関連の表記を設定した。このようにして作成したDSMに対し、感性を含む要求構造を把握するために、DSMツールを利用してクラスタ分析を行った。クラスタ分析の結果を図3.6に示す。図3.6に示すように、今回は、カメラに対する7つの要求クラスタが導出された。7つのクラスタの要求を解釈しまとめた内容と、( )内には、クラスタ内に含まれる感性要求を示す。

- Cluster 1 写真が撮れたとわかる (視覚, 触覚, その他)
- Cluster 2 気軽にファッションブルに使いたい (視覚, 触覚, その他)
- Cluster 3 モダンなデザインがよい (視覚)
- Cluster 4 カメラを格好よく使いたい, 他人に格好よい自分を見せたい  
(視覚, 触覚, 音, その他)
- Cluster 5 きれいに撮りたい, 思い通りに撮りたい (音, その他)
- Cluster 6 シーンに合う, 静かな音を求める (音, その他)
- Cluster 7 撮る機能 (触覚, 音, その他)

各クラスタ内の要求と、各要求クラスタに含まれる感性要求(T, V, S)との間には、製品に対する一般的な要求と、その要求を実現する手段としての感性品質という関係性が考えられる。このことから、ユーザ要求に合致する感性品質を達成するには、各要求クラスタに含まれる感性要求のいずれかを向上させることがその手段となることが考えられる。提案する手法により、ユーザ要求に対し複数の実現手段がわかり、感性品質の設計手段が広がる。







要求定義プロセスでは、前項で説明した7つの要求クラスタ内に含まれる感性要求から、Requirement composed DSMを作成した。この合成DSMに含まれる視覚、触覚、音、その他を表す有色セルを調べることで、ユーザ要求を満たすための、感覚に関する複数の手段がわかる。機能設計プロセスでは、カメラ設計者との議論を通して、9つの感性品質に関連する機能のリストを得、Function DSMが作成された。これらの機能を、視覚、触覚、聴覚に関連する3種類に分類し、分類した機能と要求クラスタの関係をRequirement - function DMMで表記した。構造設計プロセスでは、カメラを光学(Imaging)、筐体(Housing)、電気(Electronics)という3つの構成要素(Component)に分割したComponent DSMを作成した。機能と構成要素との関係は、Functional - Component DMMで記述する。Parameter DSMは設計パラメータから構成される。Component - Parameter DMMは、構成要素と、構成要素に関する設計パラメータを記述しており、設計パラメータは、関係する3つの感性（視覚、触覚、聴覚）に分類した。

このMDMを用いた感性設計の手順について説明する。例えば、設計者が、要求クラスタ1の「写真が撮れたとわかる」という顧客要求を満たそうとした場合、Requirement composite DSMから、同じクラスタには触覚と聴覚に対する要求が含まれていることがわかる。これらの要求を満たすことが、「写真が撮れたとわかる」要求を実現するための手段となる。Requirement - Functional DMMから、「写真が撮れたとわかる」要求を実現する手段として、「シャッター音を出す」と「振動を伝える」という触覚と聴覚それぞれの機能がわかる。このDMMを用いて、仮にコストや素材などの理由で、触感を改善することが難しいが、音は改善の余地があるというように、どちらか一方の感覚に関する感性品質を改善することが難しい場合でも別の手段を選択できるなど、その実現手段を広く考えることができる。要求を実現する手段として音を選択した場合、Function-Component DMMから、音を出す機能に関する構成要素は、シャッター機構(Shutter Block)、筐体(Enclosure)、内部空間(Cavity)、および基板(PWB)であることがわかる。また、これら4つの構成要素に関する設計パラメータは、Component - Parameter DMMから振動特性、筐体と内部空間の形状、内部構成要素の共鳴、筐体の透過損失であることがわかる。音の改善が望まれる場合、Component- Parameter DMMを用いて、これら4つの構成要素の設計パラメータを考慮しながら設計することができる。また、DMMは形状の変更が視覚に影響することも同時に示しているため、設計者はカメラの筐体の形状を設計する際に注意しなければならないことがわかる。

### 3.3 まとめ

3.1 節では、設計を進める間に、ユースケースに応じた要求と、機能・構造設計間の設計情報の依存関係が失われることなくトレーサビリティを確保するため、これらの設計情報を関係付けて管理する MDM を用いた方法を提案した。要求定義プロセスでは、ユースケース依存の音質目標を、音色因子を用いて示し、機能設計プロセスでは音質メトリクスに、構造設計プロセスでは物理指標にシステムティックに接続するため、DSM と DMM を利用した。DMM を用いて要求、機能、構造間の設計情報の依存関係を回帰係数として残し、MDM に基づき音質に関わる設計情報を管理できることを示した。さらに提案する方法をカメラのシャッター音に対して適用し、ユースケース依存の要求を、機能・構造設計まで接続することで、その有効性を示した。

3.1 節で音に対する要求のみに限定して論じたのに対して、3.2 節では、見た目や触感に対するユーザ要求を実現するため MDM を用いて設計情報の記述を行った。まず、評価グリッド法によるインタビュー結果に対する DSM クラスタ分析から、3 つの感覚を含む混合 DSM を作成し、ユーザ要求に合致する感性品質を設計する感覚が複数存在することを示した。次に、これら複数の感覚を物理設計に反映するため、MDM を用いて、ユーザ要求、機能、コンポーネント、設計パラメータを関係付けた。この手続きを通して、感性品質に関連する感性の機能を明らかにし、コンポーネントレベルで感性に関する物理指標を設定した。提案する MDM により、ユーザの感性要求を実現するために、製品設計の上流段階で複数の感性設計の手段を選択することが可能になった。さらに、感性要求に関わる機能、構造、設計パラメータの関係が明確になり、感性品質を向上させるトレーサビリティを確保することができた。最初から一つの感覚だけに限定し、特定の構成要素を改善することで感性品質を向上させるには限界がある。また、コンポーネントを設計しようとする場合、複数の設計パラメータを考慮しながら最適化する必要があるが、あるパラメータを変更しようとするとき、MDM を用いれば、他の感覚に関係するパラメータに与える影響を、設計関係者間で共有することができる。各プロセスを担当する設計者にとっては、この MDM により、各プロセスで残さなければならない設計情報が明確となり、関係者間で共有できるフレームワークになると期待される。

## 4章 システムモデルを活用した感性要求と性能要求の両立

2章ではユーザが求める感性に関わるニーズを把握して要求を導くための方法を検討し、3章では要求、機能・構造設計プロセス間の感性に関わる設計情報をMDMに基づいて管理するための方法を検討した。2章から3章で検討した設計情報とその関係性を、設計プロセスを通じて引き渡す難しさに加えて、対象とする製品は、メカ、エレキ、ソフトなど異なる分野の要素から構成される複雑さがある。1.5.3項で述べた通り、これらの製品は、専門分野ごとの分業を行うなかで、機能や性能優先で設計が進んでしまうことが多く、感性要求との両立が難しいという課題がある。メカ、エレキ、ソフトを統合した段階で、使い心地や音など感性に関連する問題がわかったとしても改善する方向性がわからず、感性要求を考慮した設計変更が、製品の性能にどのような影響を与えるかを予測することが困難である。感性要求と性能要求を両立して設計するためには、開発初期段階から、感性に基づく要求（感性要求）を明確に定義し、システムに求められる機能や構成要素との関係性を考慮して、システム全体を俯瞰した設計を行うことが求められる。このような課題に対して、本章では、システムモデルを活用して感性要求を含む構成要素間の関係性を、専門分野が異なるエンジニア間で共有できるようにし、トレードオフ検討や調停ができるようにするため、システムズエンジニアリングのアプローチを提案する。

### 4.1 ユーザ感性を考慮するシステムモデルの活用の提案

感性設計では、感性品質を考慮して設計するために、まず感性に関わるユーザのニーズを開発設計者などが調査し、感性要求として評価語で表現し、点数化する官能評価を行う。その後、官能評価の結果と、実測などで取得した物理量または設計パラメータに対し、統計的手法などを用いて関係性を分析するが、対象をシステムとしては捉えていない。これに対し、システムズエンジニアリングでは、対象とする製品やサービスをシステムとして捉える。その上で、システムの利用によって解決したい問題がある関係者のニーズから、システムが提供すべき機能や性能などに対する要求をシステム要求として定義する。その際、システムのユースケースを考慮し、関係者の要求とシステム要求との関係など要求間の検討がなされる。システムとユーザや外部環境とのやり取りと、システム自身の振る舞いを検討することで、はじめにシステムが提供すべき機能が検討され、次に要求される性

能と機能を実現するシステムの構成要素を定義する。さらに振る舞いの検討をもとに、構成要素間の相互接続を定義して、システムアーキテクチャが定義される。

本研究で対象とするコンシューマエレクトロニクス製品も、感性価値を提供したいメーカーや、感性価値の高い製品を求めるユーザの目的を達成するための「システム」と捉えることができる。システムズエンジニアリングでは、機能要求、性能要求、品質要求、制約要求という4つのシステム要求が定義されているが、感性に関係する要求は、明示的に定義されていない。それに対して、本章では、感性に関わる感性要求を、評価グリッド法などを用いて、官能評価で測定できるシステム要求として定義する。その上で、要求に関するユーザ動作とシステムの構成要素との相互作用を、SysMLを用いたシステムモデルで記述する。感性設計を実施する際、設計を担当する関係者間でシステムモデルを活用して、ユーザと構成要素間の相互作用を明確にした上で、ユーザ感性に重点をおいたシステム設計を行う手順を示す。具体的な対象として、4.2節と4.3節ではデジタル一眼カメラ、4.4節ではパーソナルコンピュータ用キーボードを取り上げ、提案する対策方法の有効性について検討を行なう。

設計プロセスと対象の検討範囲の関係を図4.1に示す。図の青枠で示した部分が4.2節での検討範囲、図の緑枠で示した部分が4.3節での検討範囲、図の赤枠で示した部分が4.4節での検討範囲である。4.2節では、カメラのシャッター音に対して、ユースケースごとの要求からシャッター音を発生する機能を検討し、シャッター音に関わる構成要素がもつ音響・振動特性の相互作用を明確にする。4.3節では、4.2節で検討したシャッター音に対するシステム要求から設定された音質目標を達成するため、シャッター音に関わる構成要素間の物理的な入出力関係をシステムモデルで記述する。カメラのシャッター音に対して音響-振動設計のビューから、音質目標に応じて周波数伝達特性と音響・振動の設計パラメータを関係付け、設計手順との関係性や異なるビューからのアーキテクチャの検討を行う。4.4節では、4.2節と4.3節で、システムモデルによる記述を部分的に用いていたのに対し、要求分析からシステム要求を定義し、ユーザの動作と感性要求の関係性の検討、感性要求に関わる構造とその物理特性との関係性までをシステムモデルで記述している。

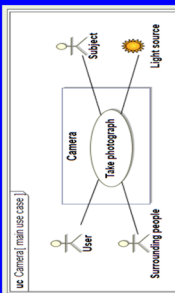
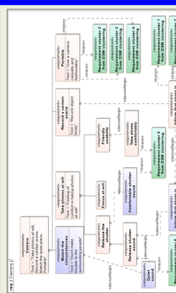
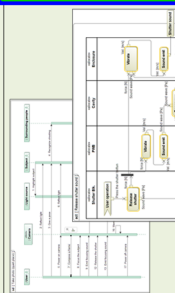
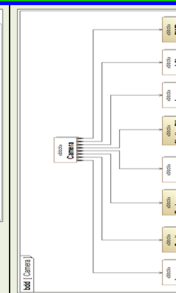
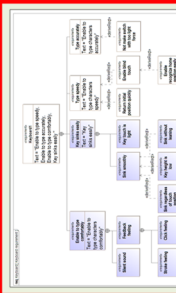
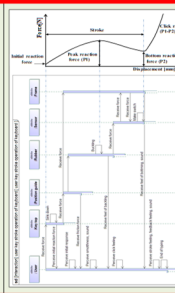
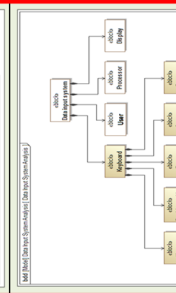
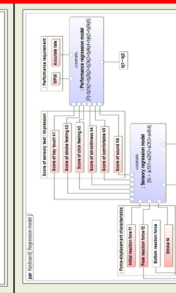
Design process	Section 4.2 Camera shutter sound		Section 4.3 Camera shutter sound		Section 4.4 Keyboard key stroke		System design process focused on Kansei	Using method	
	Use case analysis	Requirement analysis	Functional design	Structural design	Use case analysis	System requirement definition Evaluation word selection			Evaluation grid method assessed use case
Use case analysis									<ul style="list-style-type: none"> <li>Evaluation grid method assessed use case</li> </ul>
Requirement analysis							<ul style="list-style-type: none"> <li>System requirement definition</li> <li>Evaluation word selection</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>DSM Clustering</li> <li>Sensory evaluation test</li> </ul>	
Functional design							<ul style="list-style-type: none"> <li>Evaluation axis derivation</li> <li>Target setting using evaluation axis</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Factor analysis</li> <li>Correlation analysis of design factor and sensory score</li> </ul>	
Structural design							<ul style="list-style-type: none"> <li>Define the elements of a system</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Multiple regression analysis of design parameter and sensory score</li> </ul>	
							<ul style="list-style-type: none"> <li>Design parameter optimization</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Prediction by simulation</li> </ul>	

Fig. 4.1 Relationship between design process and applications

## 4.2 シャッター音に対するシステムズエンジニアリングのアプローチ

### 4.2.1 要求を機能・構造設計に導くシステムズエンジニアリングのアプローチ

この節では、カメラに対する感性要求をシステム要求として定義し、機能および構造設計に導くための、システムズエンジニアリングのアプローチについて説明する。具体的には、2章で検討した、ユースケースに応じて変化するカメラのシャッター音に対する要求分析の検討から、音に関係する要求をシステム要求として明確にし、製品の感性設計の観点から、機能および構造設計に導くために、システムモデルの記述を行う。システムモデルの記述には、構造、振る舞い、要求、パラメトリック制約の4つの柱でシステムを記述できる SysML を用いる。

提案するアプローチを図 4.2 に示す。まず、要求定義プロセスでは、ユースケース図を用いて、外部システム（アクター）との関係を分析しシステムが提供する機能を明確にする。カメラが提供すべき機能を明らかにするために、シーケンス図を用いて複数のユースケースを記述して、ユースケースごとに異なるシステムとアクター間の相互作用を導出する。次に、要求図を用いて、機能要求と感性要求との関係を分析する。この要求図で、機能要求は、評価グリッド法によるインタビューから得られた感性要求と関係付けられる。また、この図を用いてカメラの機能要求と感性要求との間のトレーサビリティを明確にすることができる。機能設計プロセスでは、「シャッター音を発する」という機能を明確にするため、機能に関するシステムの構成要素の相互作用をシーケンス図で検討する。次に、シーケンス図で検討した機能に関するカメラの構成要素をブロック図で定義する。対象とするシステムの構成要素間のふるまいは、アクティビティ図を用いて明確にされる。これらの構成要素にそれぞれ物理指標を割り当てることで、各構成要素をモデル化でき、その物理指標に対して目標値を設定し、シミュレーションによる予測ができるようになる。提案するアプローチを通して、機能および構造は段階的詳細化が行われ、音質要求が適切な物理指標に変換される。その後続く構造設計では、ユーザの感性要求に合致するよう、物理指標を用いて効果的に進めることができる。

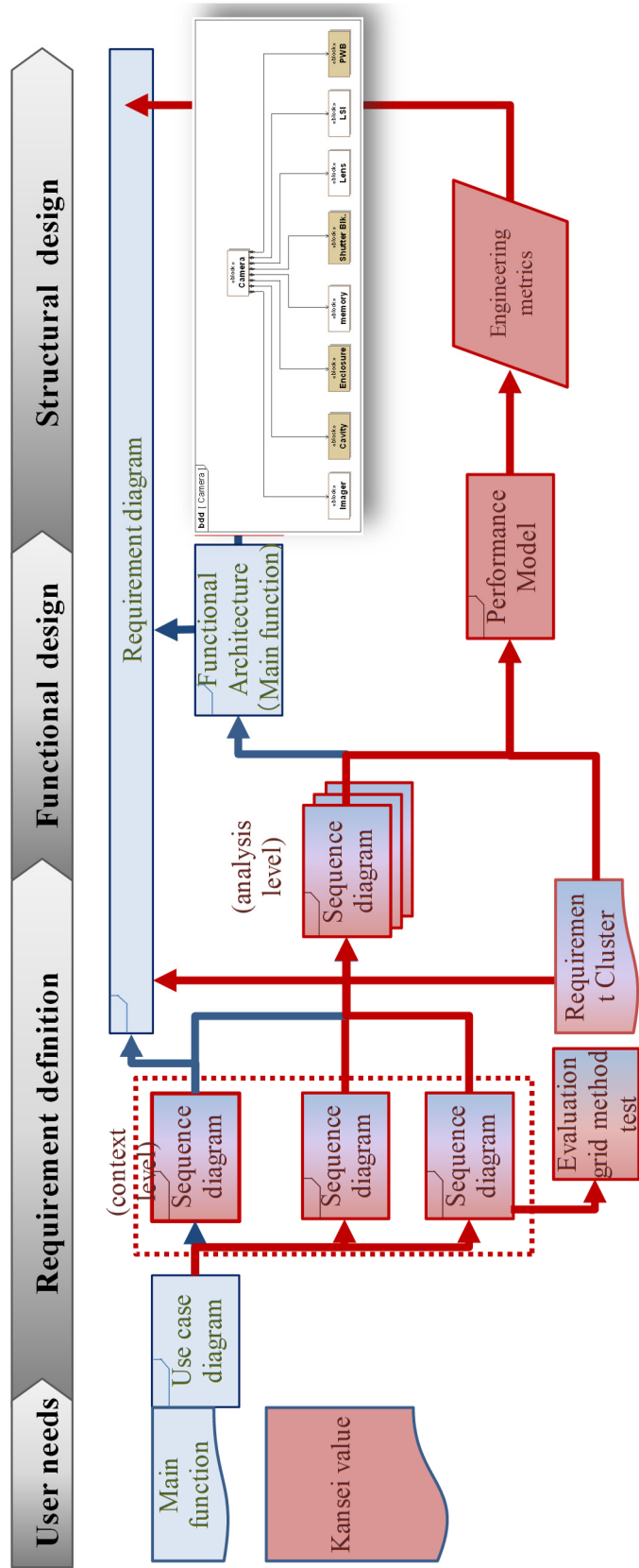


Fig. 4.2 Proposed systems engineering approach



#### 4.2.2 ユースケースと外部システムとの関係性の分析

この項では、前項で提案したシステムズエンジニアリングのアプローチを、カメラのシャッター音の音質設計へ適用した例について述べる。2章で述べた通り、製品に対する期待や要望は、製品を利用するユースケースにより変わる。写真が撮れたかどうかなど、その稼働状況を知るために音が求められることもあれば、静かな場所で利用する際には、無音や周囲にいる人が気にならない音が求められることもある。2章では、ユースケース依存の要求の違いを漏れなく導出できるように、ユーザがカメラで撮影をする際に、カメラが発するシャッター音を、外部システム（アクター）に対して考慮すべきかどうかについて、表 2.1 でユースケースを整理した。この項では、さらにユースケースごとのアクター間の相互作用を記述し検討することで、機能・構造設計に導くためのシステムモデルの記述を行う。

様々なユースケースを検討するために、まず「写真を撮影する」というメインのユースケースを図 4.3 のように記述した。アクターは、製品を利用するユーザ(User)、被写体(Subject)、周囲の環境として光源(Light source)などが考えられる。また静かな場所では、シャッター音が他の人に与える影響を考慮したい、という音質設計のビューからは、ユーザ以外に、シャッター音が聴こえる「周囲の人(Surrounding people)」をアクターとして考慮する必要がある。

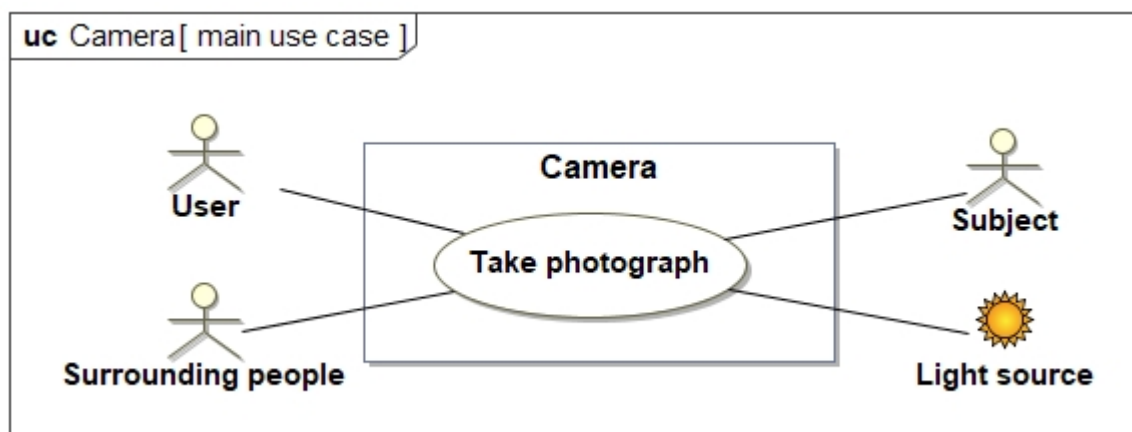


Fig. 4.3 Main use case of a camera

次に、このような音質設計のビューから、システムとアクター間の相互作用が異なるユースケースについてシーケンス図を用いて検討する。撮影対象が人である場合と物である場合、周囲の人の有無の違いから、表 4.1 のようにユースケースを整理した。この表を用いて、風景を撮影する(Landscape)、人を撮影する(Portrait)、静かな場所で写真を撮影する(Quiet place)、という 3 つのユースケースを考え、検討した結果について、図 4.4 から図 4.6 に記述する。シーケンス図を用いてユースケースごとにアクター間の相互作用を記述することで、カメラを撮影するというメイン機能に関連するアクターがどのように関係するか、その違いを明確にすることができた。ユースケースごとのシーケンス図を用いた検討で、評価グリッド法によるインタビューで検討すべきユースケースも、より不足なく用意することができるようになる。

**Table 4.1 Use cases which interaction with actor is different**

	Subject	Surrounding people
Use case1: Landscape	not people	—
Use case2: Portrait	people	—
Use case3: Quiet place	people	y

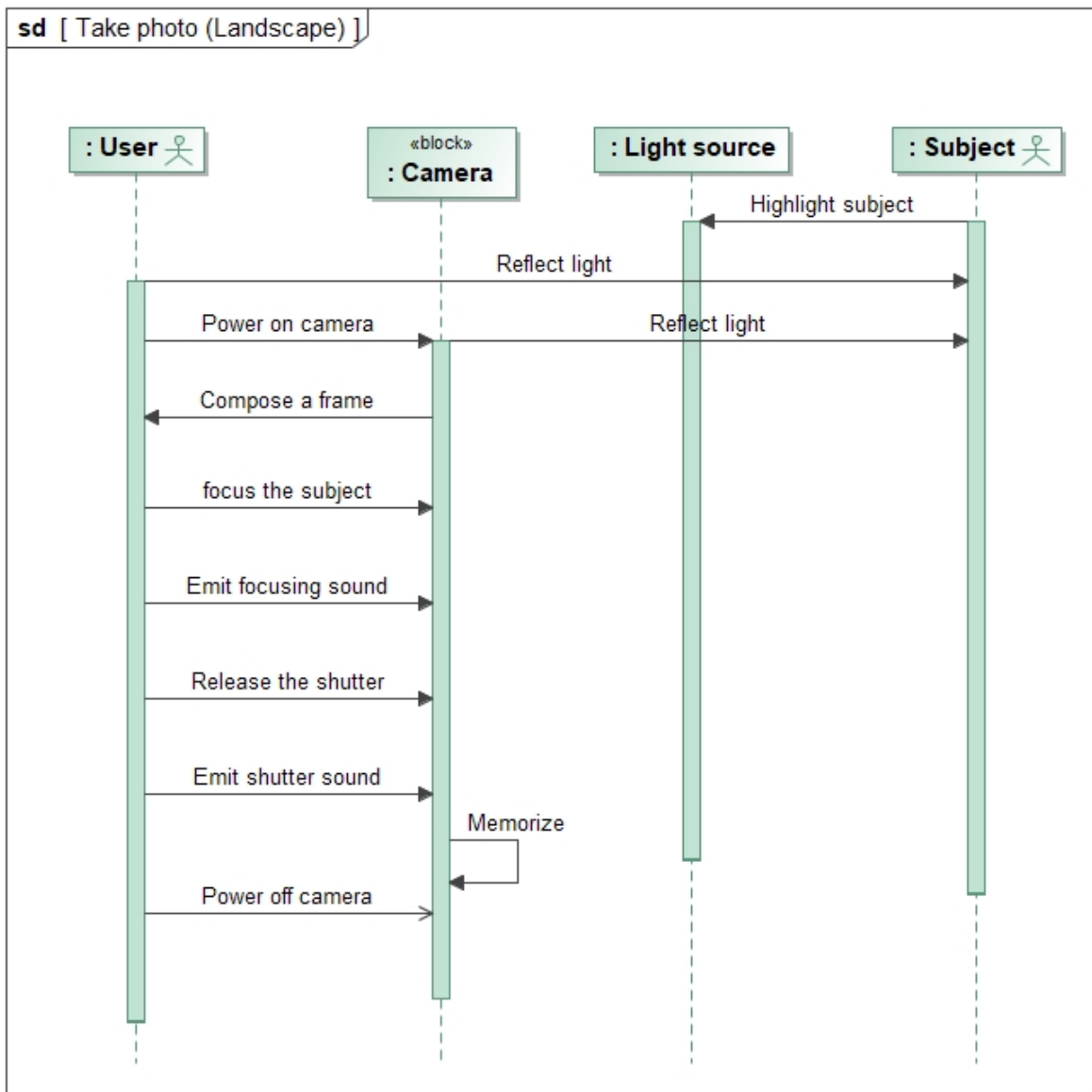


Fig. 4.4 Sequence diagram considering use case (Landscape)

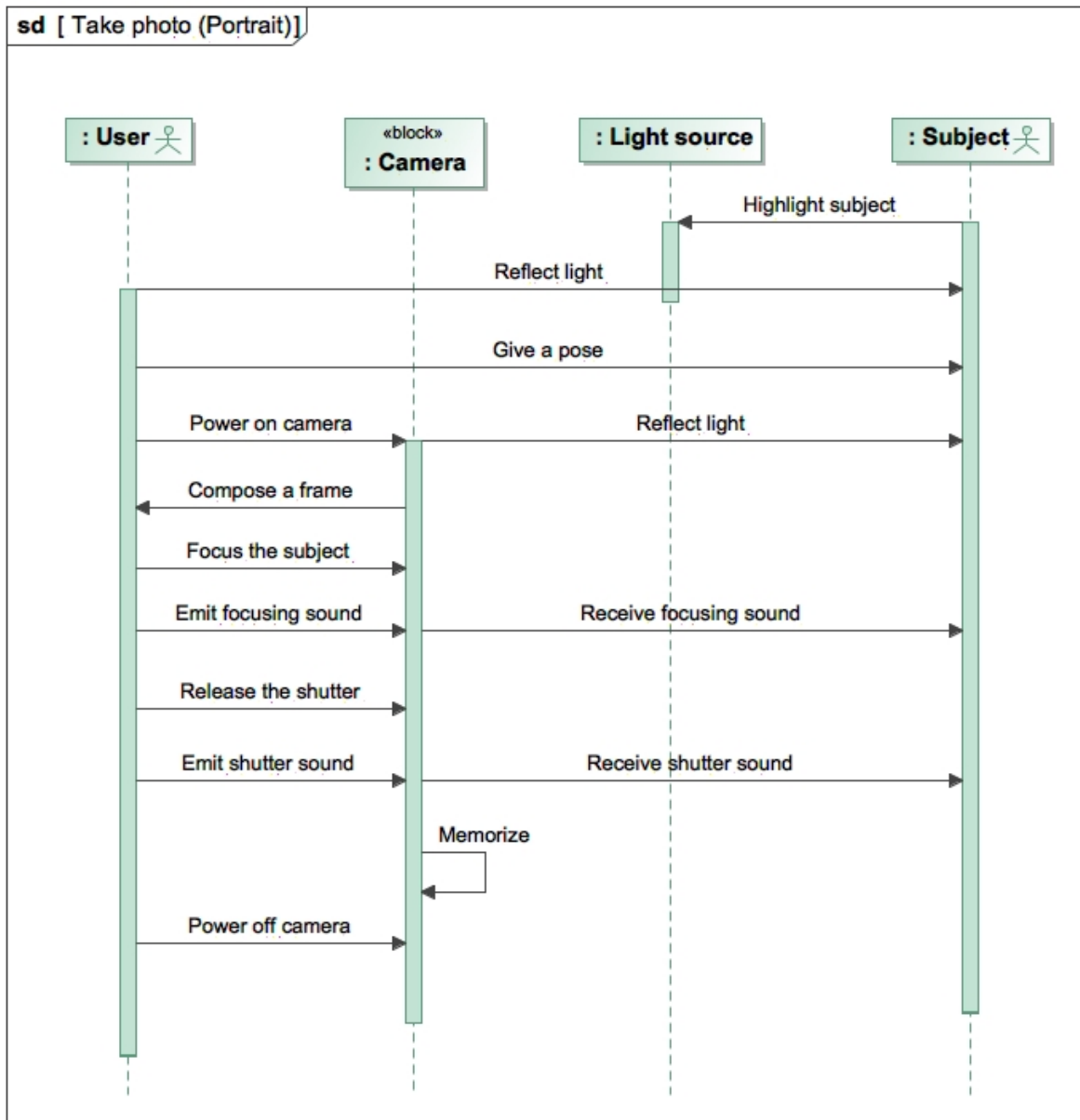


Fig. 4.5 Sequence diagram considering use case (Portrait)

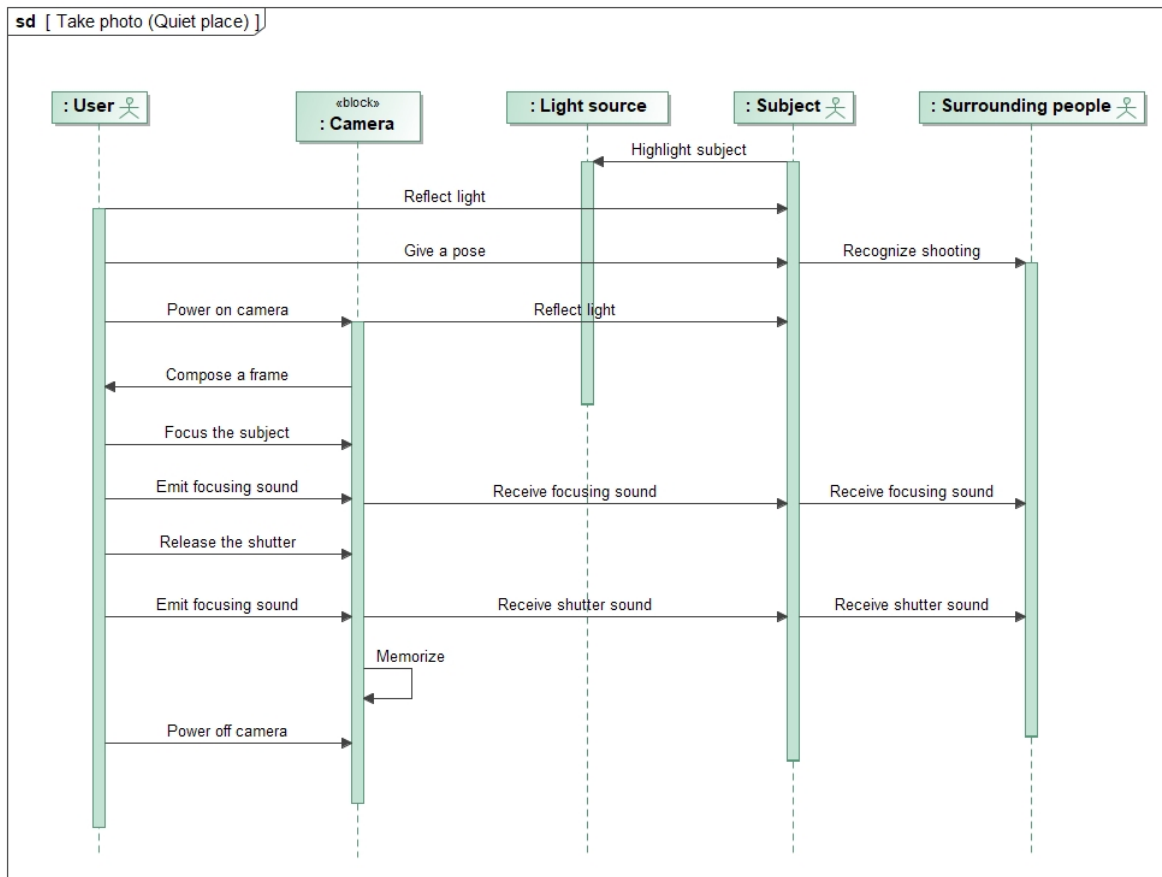


Fig. 4.6 Sequence diagram considering use cases (Quiet place)

#### 4.2.3 要求図を用いたカメラの機能要求と感性要求の関係整理

この項では、カメラに対する機能要求と感性要求との関係について要求図を用いて分析する手順を説明する。図 4.7 に最終的に得られた要求図を示す。要求図の作成にあたって、まず、カメラのメイン機能である「撮影する」について、設計者から収集したカメラのトップレベルの要求を、要求図で記述した。このときに得られた要求をベージュに塗られた「requirement」として示す。次に、2 章で行った評価グリッド法によるインタビューから新たに得られた要求を、紫で示す「requirement」として要求図に追加した。例えば、「周囲に迷惑をかけない静かな音」という要求は、インタビューを実施しなければ、導出されなかった要求であることがわかる。最後に、2 章の評価グリッド法によるインタビューの結果に対し、DSM クラスタリング分析をすることで得られた 7 つの要求クラスター (図 2.6) を、要求図のなかの要求と「trace」という依存関係で関係付けた。以上の手続きを経て、カメラに対する機能要求と感性要求との関係について、要求図で示すことができた。この

要求図を用いて、設計開発の関係者の中で要求間の関係性を共有することができ、次の機能・構造設計の検討を行ないやすくなる事ができた。

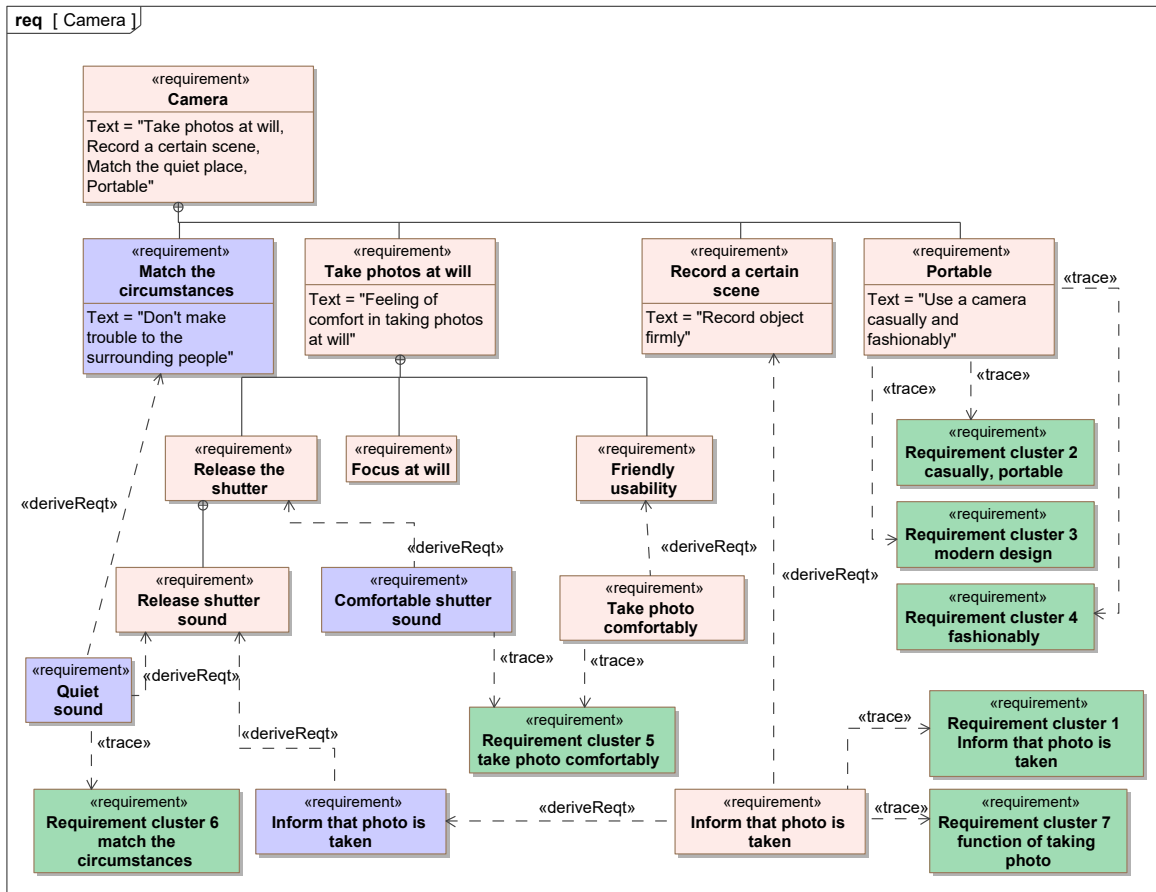


Fig. 4.7 Requirement diagram for a camera

#### 4.2.4 カメラの機能・構造設計

前項で作成した要求図から、カメラに対する機能要求と感性要求の関係が明確になった。この項では、シャッター音を発生する機能についてシステムモデルを記述する。まず、シャッター音を発生する構成要素である「シャッターブロック(Shutter Blk)」、「基板(PWB)」, 「内部空間(Cavity)」と「筐体(Enclosure)」の間の時間的な振る舞いについてシーケンス図で記述し、図 4.8 に示す。

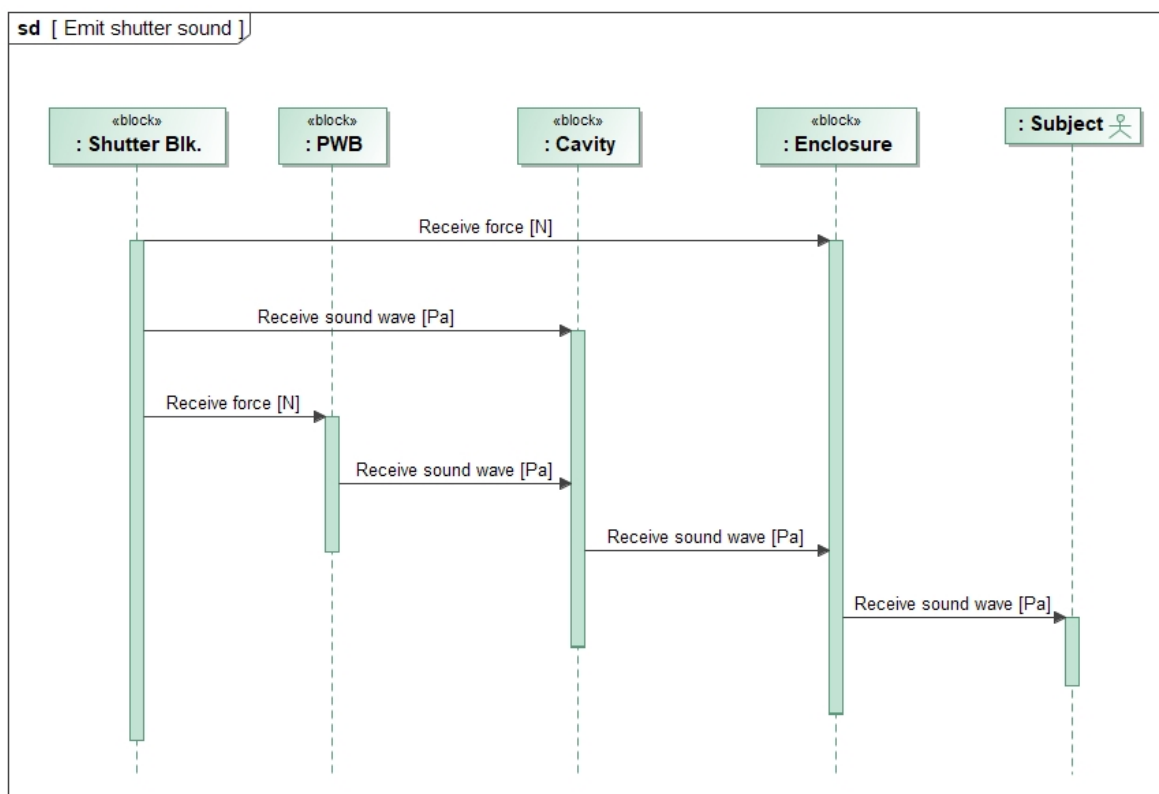


Fig. 4.8 Sequence diagram of ‘Emit shutter sound’

シーケンス図で振る舞いを詳細に記述することにより，シャッターリリース動作中の，振動や音波など音に関係する各構成要素間の相互作用を詳しく認識することができる．次に，カメラの構成要素を，ブロック定義図を用いて図 4.9 に示す．

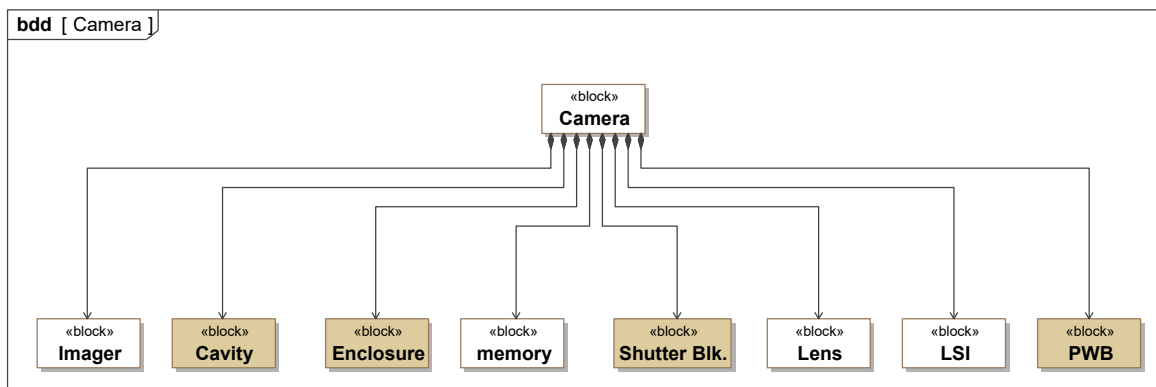


Fig. 4.9 Definition block diagram of a camera

カメラは，「シャッターブロック(Shutter Blk)」，「基板(PWB)」，「内部空間(Cavity)」と「光学システム(Imager)」，「集積回路(LSI)」，「鏡筒(Lens)」，「記録システム(memory)」，「Shutter Blk」，「PWB」，「Cavity」と「Enclosure」から構成されている．着色されている要素は，とくにシャッター音を発生する機能に関係する構成要素である．図 4.10 に示すアクティビティ図では，これらの構成要素間の，音と振動に関する物理的なエネルギーの流れを可視化している．「Shutter Blk」，「PWB」，「Cavity」，「Enclosure」という音に関係する構成要素に着目することにより，各構成要素に関する物理指標が導出できる．これらの検討を通してできたシステムモデルを関係者間で活用し，要求図で検討した音に関する要求を実現するための，音質目標と物理指標と構造との関係を考慮し設計することができる．2章で検討した通り，これらの要求は評価語を用いた官能評価試験で評価することができ，その結果に対する因子分析から音質目標が設定できる．音質目標と物理指標との関係は，3章に述べた DMM を用いて関係付けることができる．システム要求として割り当てられた音質目標に基づいて，物理指標の値が決定される．



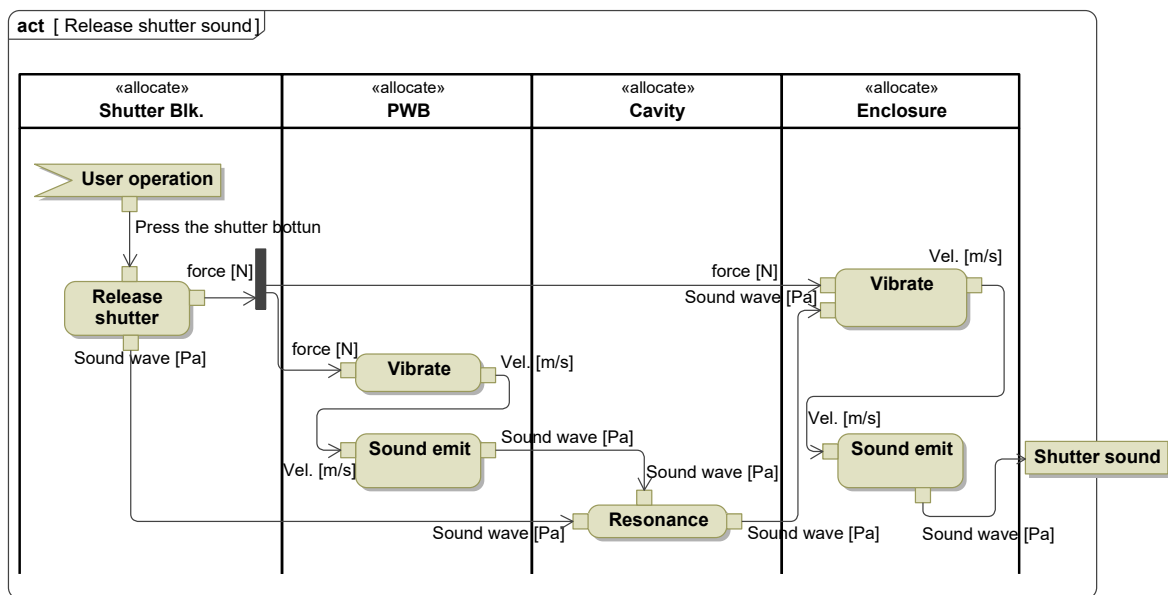


Fig. 4.10 Activity diagram of Emit shutter sound

図 4.10 で検討した構成要素間の音と振動に関する物理指標と、シャッター音に関する構成要素との関係を図 4.11 に示す. シャッター音質は、これらの物理指標でシャッター構造を設計することによって達成することができる. 以上のように、機能・構造設計の段階的詳細化を通して、音に関する要求を適切な物理指標に変換することができた. この節で提案するプロセスは、ユーザの感性要求を満たす製品を実現するため、専門分野をまたいだ設計開発の関係者に役立つと考えられる. SysML で記述したシステムモデルは、製品のテストフェーズでも使用することができ、製品ライフサイクル管理の観点からも有益であることを示した.

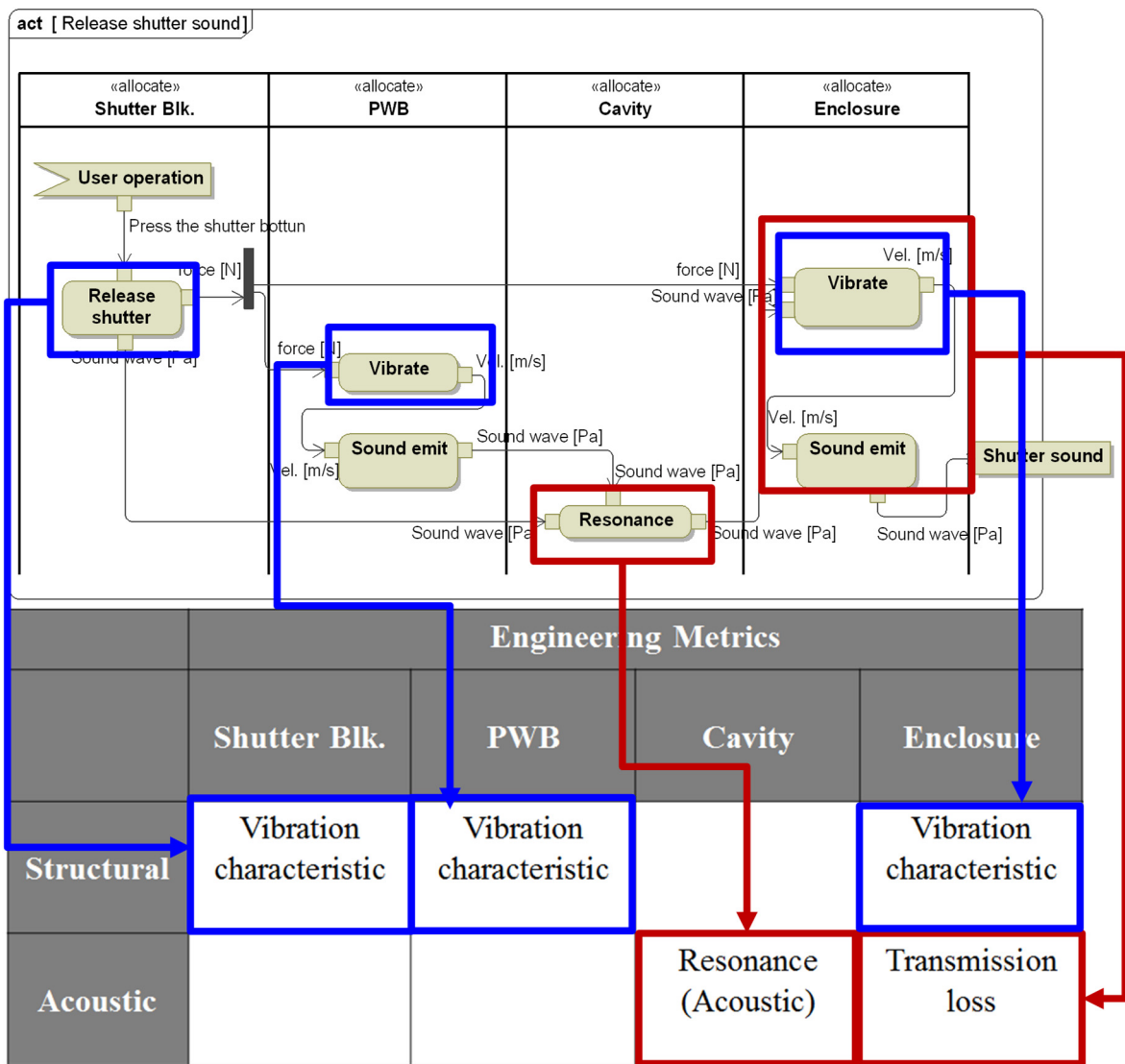


Fig. 4.11 Correlation of engineering metrics and components

### 4.3 音質目標に応じた音響-振動連成パラメータ設計のためのシステムモデル

コンシューマエレクトロニクスの開発に際しては、構造設計、熱設計、音響-振動設計などが複雑に絡み合うことが多いにもかかわらず、コンポーネントが個別に設計され、アセンブルした段階で音質についての問題がわかり、手戻りが発生してしまうという課題がある。こうした課題に対しては、設計自由度の多い開発初期の段階から、システム全体を俯瞰した設計を行うことが求められている。異なるビューにまたがる要素間のトレードオフを検討するためには、システムアーキテクチャを構築し、システムを構成する要素、それらの要素間のインタフェースが定義されている必要がある。システムアーキテクチャの構築には、構造、振る舞い、要求、パラメトリック制約の4つの柱でシステムを記述できる SysML が適切である。

設計対象であるシステムの機械特性として、音響-振動設計のビューでは周波数伝達特性が重要な役割を担う。過去に著者らは、コンシューマエレクトロニクスの一例としてミラーレスデジタル一眼カメラを取り上げ、SysML を用いることにより、システムモデルの記述と合わせて、周波数伝達特性を設計パラメータと関係付けるパラメトリックモデルを記述する方法を示した[88]。しかしながら、設計手順との関係性、異なるビューを考慮したアーキテクチャの検討やトレードオフについての検討はまだ行っていなかった。

この節では、ミラーレスデジタル一眼カメラを取り上げ、SysML を用いることにより、音質目標に応じて周波数伝達特性と音響・振動の設計パラメータを関係付け、設計手順との関係性や異なるビューからのアーキテクチャの検討を行う。特に、「不快な響きがしない」という音質目標を達成するための詳細設計に寄与する周波数伝達特性の入出力関係と、物理構造のパラメータとの関係を明らかにする。音の設計を実施する際、SysML で明確にしたコンポーネントごとのパラメータと相互作用を、設計者間で共有することにより、異なるビューからの設計変更の影響も考慮しながら、目標音質をシミュレーションで予測する手順を示す。

#### 4.3.1 シャッター音に対する要求分析と音質目標

2 章では、カメラのシャッター音に関するユーザの様々な要求を、評価グリッド法を用いて調査した。特に、小型軽量で、一眼レフカメラに代わり主流になりつつあるミラーレスデジタル一眼カメラの機械的なシャッター音については、反射ミラーがなく物理的に機

械動作音が少なくなるため、音に対するユーザの要求を反映させる必要があることを見出している。また前節では、これらの要求がコンポーネントの仕様としてどのように影響するかを示している。

要求分析の際に得られたシャッター音に対する要求の一つに、不快な響きのしない音がある。「不快な響き」とは、シャッターを切った際にシャッターブロック内でシャッター幕が開閉する音が、内部空間形状の固有振動モードと一致した際に発生する気柱共鳴音が主な原因である。とくに人間の耳に敏感な周波数帯域で共鳴が発生し、なかなか減衰せずに筐体を通して耳に届くと、嫌な余韻として感じられる。この節では、「不快な響き」を低減させるため、図 4.12 に示すように聴感上敏感な周波数帯域の音圧を一定の値以下にすることを音質目標とする。

共鳴を避けるためには、システム構成部品の材質や形状、接続状態による伝搬経路などの振動特性と、レイアウトや内部空間などの音響特性という、相互に絡み合うパラメータを管理・統制する必要がある。しかしカメラの設計に際しては、システム構成部品のうちシャッターブロックや基板は、筐体や詳細構造に先行して独立に設計され、かつ複数の機種に対し流用設計が行われることが多い。シャッターブロックや基板は、カメラシステムでは振動源となり、実験で加振点から応答点までの周波数伝達関数の確認がなされる。システム構成部品単体で実験を行ったときには問題がなくても、筐体にアセンブリした状態で、音圧や周波数特性で音質を確認した際に共鳴がわかり、部品単体への対策まで遡るといった手戻りが発生することがある。

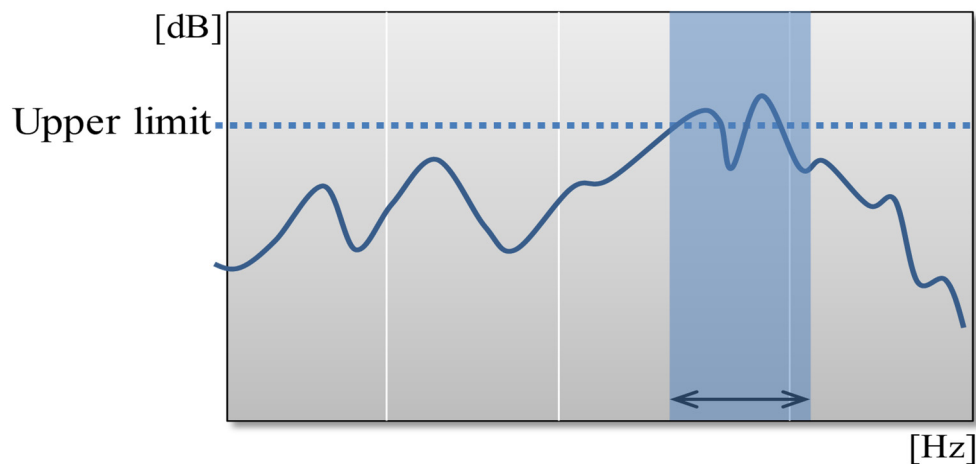


Fig. 4.12 Sound quality target

カメラ全体のシステムが設計される前に問題を予測し、構造設計や熱設計への影響も考慮しながら改善を行うには、コンポーネントごとの周波数伝達関数に関するパラメータ間の入出力関係を明らかにし、設計関係者間でこれを共有する必要がある。

#### 4.3.2 シャッター音に関するシステムモデル

ミラーレスデジタル一眼カメラ（以下、カメラと略す）に対してユーザが要求するシャッター音を出力できるシステムを開発対象としてとらえ、そのシステムモデルを記述する。図 4.13 のブロック定義図には、カメラがサブシステム「保護筐体(Protective Housing)」、「電子機器アセンブリ(Electronics Assembly)」、「光学アセンブリ(Optical Assembly)」から構成され、シャッター音システム(Shutter Sound System)を集約していることを示している。また、シャッター音システムは「内部空間(Cavity)」と「筐体(Enclosure)」と「基板(PWB)」、「シャッターブロック(Shutter Blk)」および「外部空間(External)」を集約している。

シャッター音に関するシステムの振る舞いを、図 4.14 のアクティビティ図に示す。ユーザがシャッターを切ると、シャッターブロック内でシャッター幕が動作する。これが加振源となり、筐体に励振力として作用するとともに、媒質の振動が内部空間を伝播し音となる。また、筐体の振動は筐体に接続されている基板にも励振力を及ぼし振動させる。基板の振動は媒質を振動させ、それが内部空間に作用し、音を発生させる。振動源または音源となる基板やシャッターブロックからの音波が内部空間形状の固有振動モードと一致すると共鳴が起こり、一致しない場合はそれら構造物の表面速度に応じて音響加振となって筐体を振動させる。筐体の振動は筐体の外部では媒質の振動となり、ユーザまたは周辺にいる者にシャッター音として聞こえることとなる。

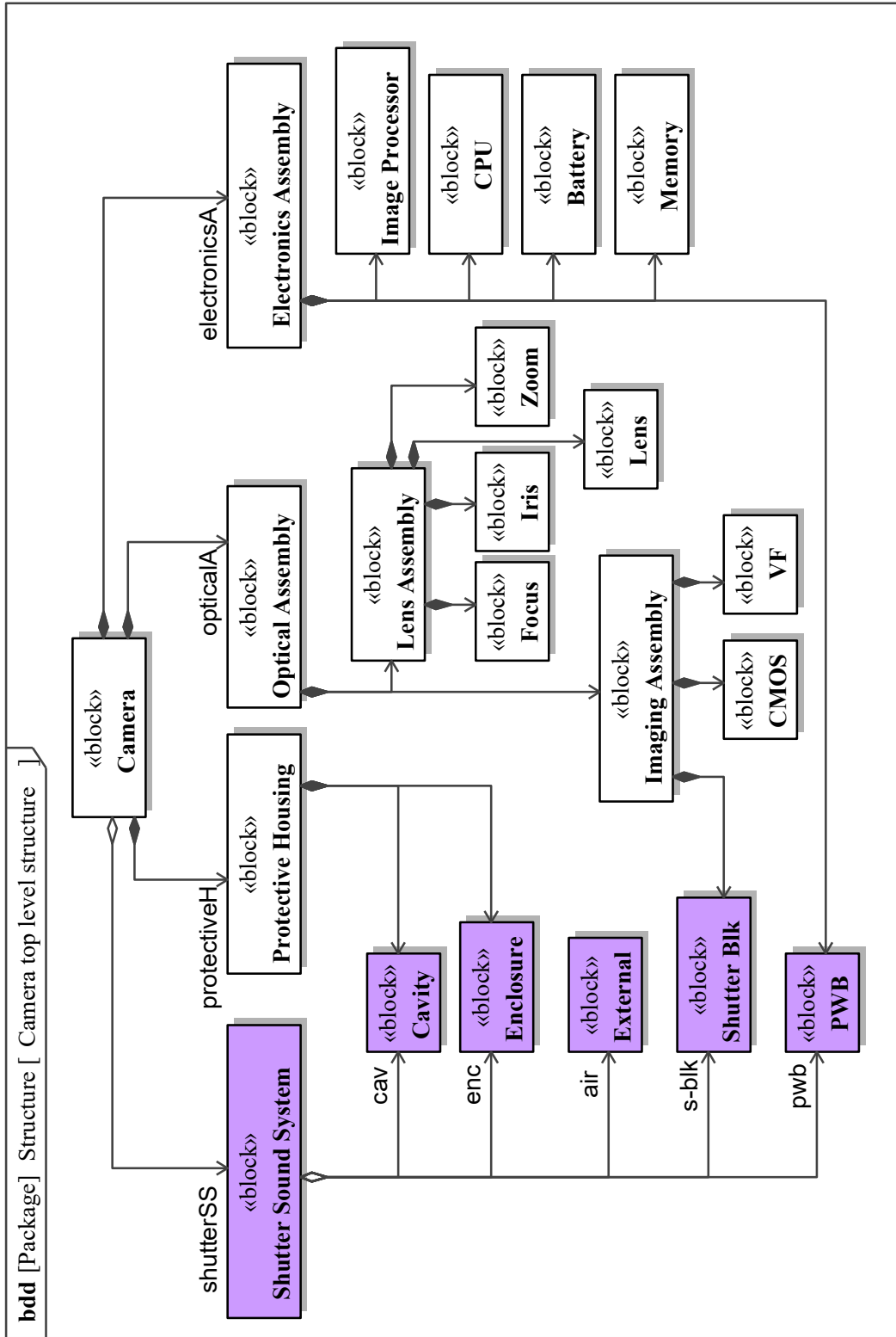


Fig. 4.13 Camera top level structure

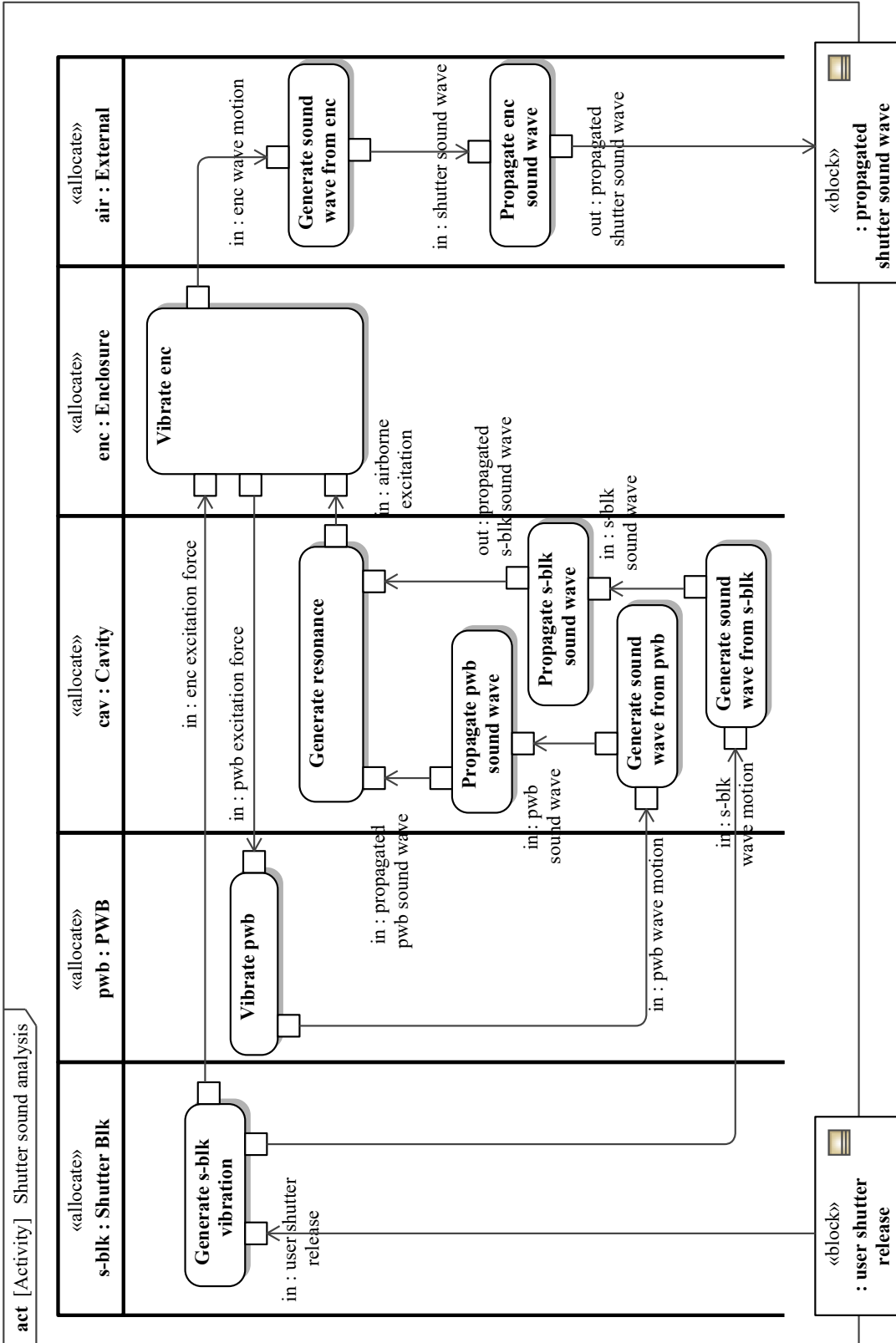


Fig. 4.14 Shutter sound analysis in activity diagram

以上のシャッター音に関する分析から、ブロック定義図で定義したシャッター音に関するブロック間のインタフェースを内部ブロック図として図 4.15 に示す。シャッターブロックで発生した励振力が筐体とのメカ的な接続により筐体の振動を励起し、同じく筐体に接続されている基板の振動を励起すること、これらによって発生する音波が内部空間で音響加振となり、さらに筐体を励振することを読み取ることができる。そして、これが外部空間の媒質を伝搬してユーザまたは周辺にいる人にシャッター音として聞こえることを示している。



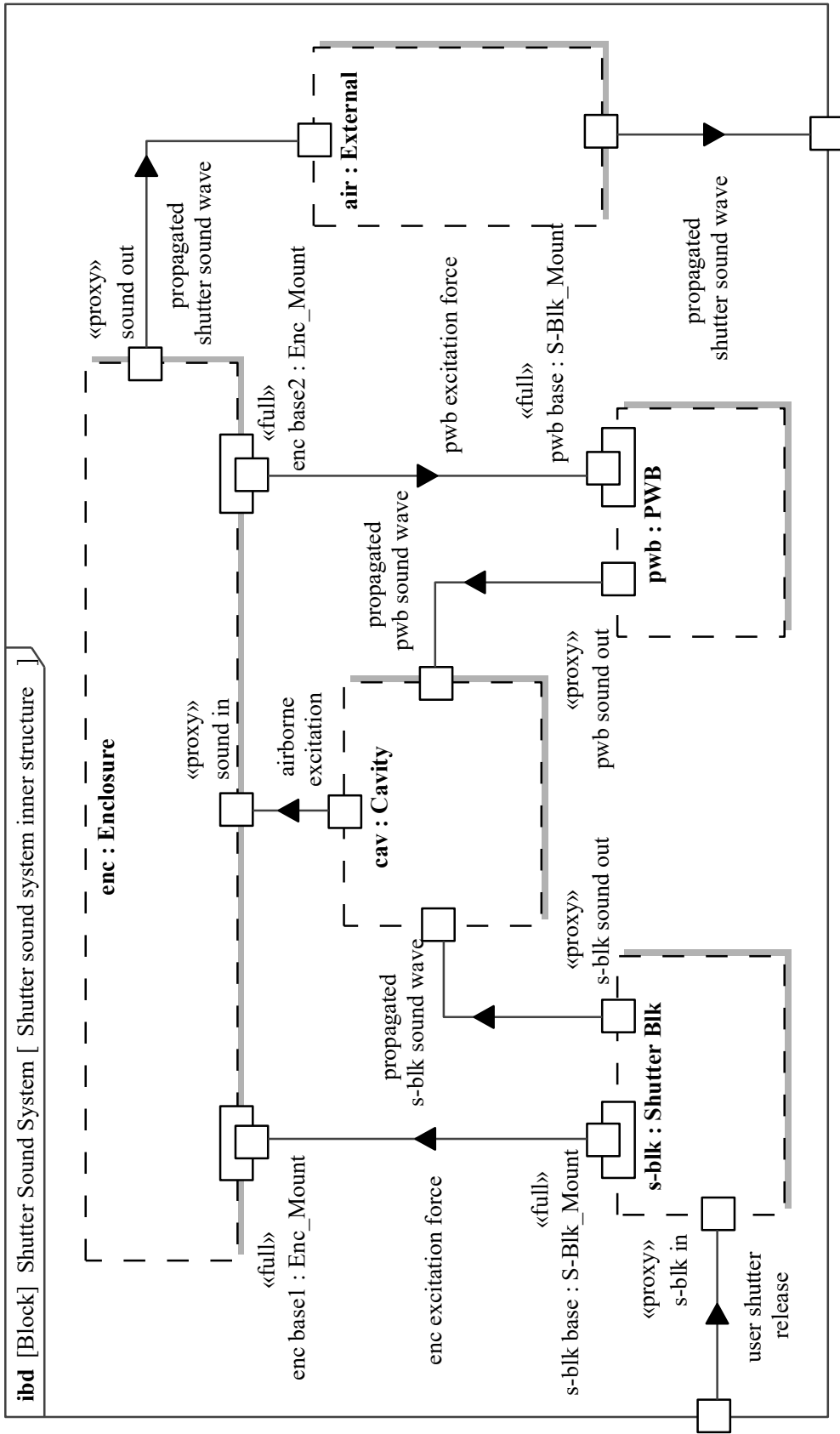


Fig. 4.15 Internal block diagram of shutter sound system

### 4.3.3 周波数伝達特性と設計パラメータとの関係

図 4.14 で示したアクティビティが持つ音響-振動の周波数伝達特性に関するパラメータについて、関係性を明確化するため、図 4.16 のパラメトリック図を用いる。図 4.16 から、シャッターブロック、基板、内部空間、筐体のそれぞれで個別に規定できるパラメータの他に、筐体とシャッターブロック、および基板の締結条件に関するパラメータが音響-振動系方程式に関係することがわかる。ユーザがシャッターを切るという入力パラメータはシャッターブロックに拘束されている。シャッターブロックと筐体の間には筐体を励振する力が、基板と筐体の間には基板を励振する力が、内部空間と筐体の間には境界表面振動速度がそれぞれ拘束されていることがわかる。また、シャッターブロックの出力の一つである表面振動速度と、基板の出力である表面振動速度は、内部空間への入力となっている。以上より、図 4.16 から、ユーザがシャッターをきることにより、シャッターブロックで機構的にシャッター幕が動作し、振動を発生することを起点として、最終的に筐体が表面振動速度を生じるところまでの入出力関係が明確になった。

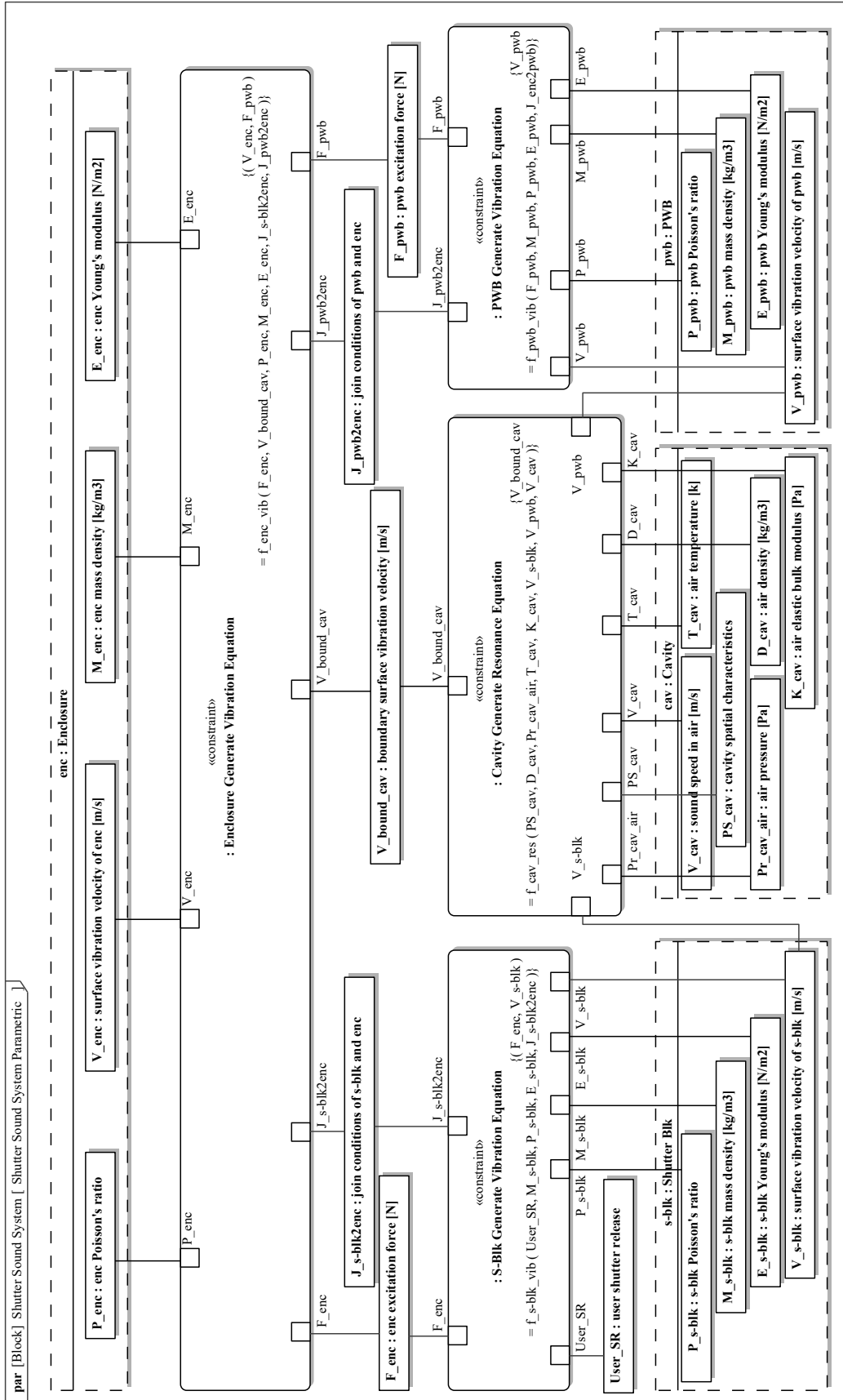


Fig. 4.16 Parametric diagram of shutter sound system

#### 4.3.4 シミュレーションによるシャッター音の予測

図 4.16 に示したパラメータは、材質や形状、接続状態に関しては構造設計、レイアウトに関しては熱設計にも関係する。これらは他のビューの設計と同時に考慮する必要があり、詳細設計の前に設計者間で共有できる意義は大きい。加えてコンポーネント間の相互作用が明らかになっているため、予めコンポーネント単体に対して関係する設計を満たすような目標値を設定し共有することにより、手戻りを未然に防止することができる。

図 4.16 を用いて、シミュレーションで、目標音質を達成するための対策効果について周波数伝達関数を予測する手順を示す。設計上流では、シャッターブロックや基板に対して特性予測と対策を行う。図 4.16 より、シャッターブロックから筐体への励振力と、基板が励振され振動を発生させる現象に関係するパラメータは、個々の材料定数と接続条件であることがわかる。これらのパラメータは剛性など構造的な機能とも関わってくるため、構造設計とのトレードオフを考慮しながら共鳴を避けたい周波数帯域の振動成分を目標値以下に低減させる対策を行う。対策後は、シャッターを押す力を入力とし表面の振動速度を応答として出力する周波数伝達関数を計算しておく。カメラの構造が詳細に決まり内部空間や筐体を設計する段階では、計算しておいたシャッターブロックや基板の周波数伝達関数を音源として入力した音響-振動連成シミュレーションを実施する。内部空間に関するパラメータの一つは、図 4.16 に示す通り、空間固有特性であり、これは内部空間形状で決定される。内部空間形状とは、筐体に囲まれた領域と内部構成部品で形成される空間のことであるが、熱対策などのため内部構成部品のレイアウトを大きく変更すると内部空間形状も変わり、共鳴周波数に影響を及ぼすことがある。熱設計とのトレードオフを考慮しながら空間設計を行うことで、手戻りなく音質目標を達成することができる。

上述した手順で設計検討を行い、音響-振動連成シミュレーションを用いてシャッター音の予測を行った結果を図 4.17 に示す。剛性を保持しつつ振動を抑制するように、シャッターブロックの材質を一部変更したモデルでは、聴感上敏感な周波数帯域で、ユーザの耳位置での音圧が低減し、目標音質が達成できていることを示している。

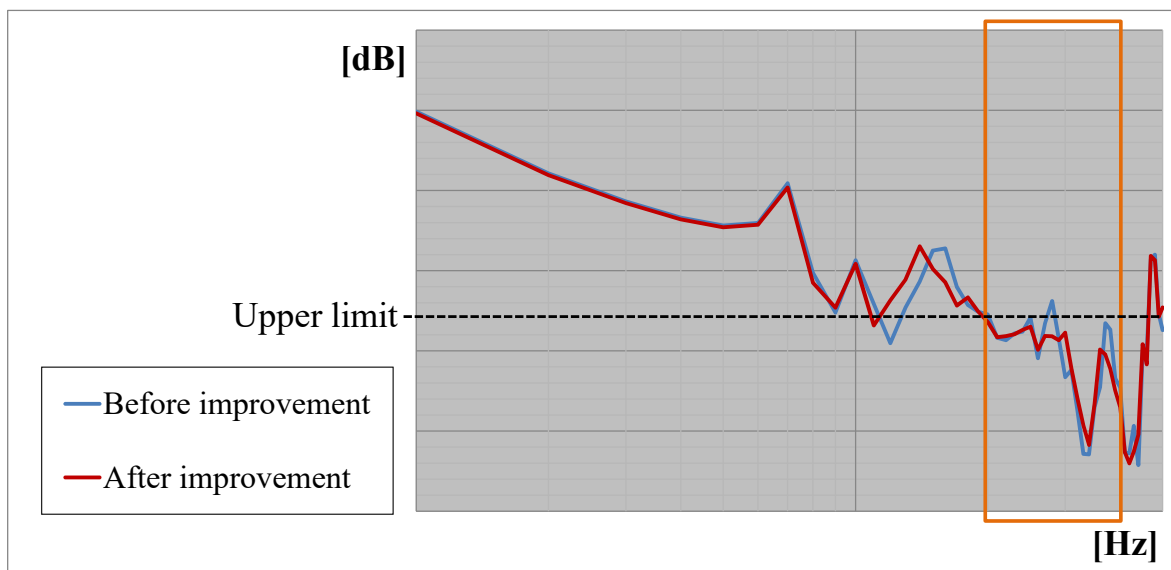


Fig. 4.17 Vibro-acoustic simulation of camera shutter system

以上に述べた通り，この節では，SysML を用いて，音質目標に応じて周波数伝達特性と音響・振動の設計パラメータを関係付け，設計手順との関係性や異なる観点からのアーキテクチャの検討を行った．具体的には，コンシューマエレクトロニクスであるミラーレスデジタル一眼カメラを事例として取り上げ，シャッター音に関して，構造，振る舞い，パラメトリック制約について解析を行った．システムモデルによる検討から，「不快な音がしない」という音質目標を達成するための詳細設計に寄与する周波数伝達特性の入出力関係と，物理構造のパラメータとの関係を明らかにできた．このシステムモデルを用いて，音の設計を実施する際，コンポーネントごとのパラメータと相互作用を，異なるビューの設計者間で共有できることを示した．またシミュレーションを用いて，設計段階に応じた詳細度で，コンポーネントごとに異なる観点からのパラメータ変更の影響を予測し，効率よくユーザーが要求するシャッター音を実現できることを示した．

#### 4.4 システムモデルを活用したキーボードのキー入力に関する感性設計

4.2 節と 4.3 節では，カメラの音質設計を対象に，システムモデルを活用した感性設計について述べた．この節では，ユーザーの動作との相互作用が密接なキーボードのキー入力に関する感性設計について，システムモデルを活用する方法について述べる．

コンシューマエレクトロニクスの開発に際して，人の感性に基づく要求は最初に定義されることが少なく，設計関係者間で目標が共有されないまま機能および性能を優先して設

計が進むことが多い。設計後の製品に、使い心地や音などの感性に関連する問題がわかったとしても、改善する方向性や、最初に目標設定された機能および性能への影響が明確でないため、解決に時間がかかってしまうことになる。感性に関わる付加価値を提供するには、設計自由度の高い開発初期段階から、感性に基づく要求（感性要求）を明確に定義し、システムの構成要素との関係性を考慮して設計を行うことが求められる。これには、人の感性を工学的に扱う感性工学と定量的なデータに基づき機械の分析、設計、評価を行う設計工学の二つの学問領域にまたがる問題を扱う必要がある。

PC (Personal Computer)用のキーボードに対しては、ユーザの感じる感覚とキーが構造としてもつ物理的な特性との関係について多くの研究がなされてきた。ユーザの動作との相互作用が密接なキーボードの開発では、ユーザからのキー入力を受ける機能を検討する際に、ユーザの感性要求とキーの機械的な動きとを明確に関係付けることは容易ではない。このため、設計関係者間で目標を共有して設計を進めることは難しい。渡辺らは、キーがもつべき物理特性を得るため、キーの所望の押し心地をユーザの言葉で表現させ、キーの操作感を表す用語とキーの種類、その物理量との関係を調査している[103]。小坂らは、作動力特性を任意に操作できるキースイッチを開発し、作動力特性がユーザの感性に与える影響を調査している[104]。富田らは、ユーザがもつキーの押し心地評価の評価軸（因子）をタイピング法別に調査している[105]。これまでの研究では、キーがもつ物理特性とユーザの感性評価との関係については調査されているものの、機能および性能要求と感性要求との両立をはかるための方策については研究されていない。またユーザがキーに対して行う動作と感性要求の関係については言及がない。

キーボードは感性工学と設計工学の二つの学問領域にまたがって設計する必要があるため、キーボードをシステムとしてとらえ、この節では、システムモデルの記述を用いて分析、設計、評価を進めるモデルベースシステムズエンジニアリングを適用する。システムモデルの記述には、構造、振る舞い、要求、パラメトリック制約の4つの柱でシステムを記述できる SysML を用いる。そして、感性に基づく要求を明確に定義した上で、この感性要求とキーボードの構成要素間の相互作用との関係を記述したシステムモデルを活用してキーボードのキー入力に関する感性設計を行う手順を示す。

具体的には、最初に、評価グリッド法から導かれるキーボードに対するユーザ要求をもとにシステム要求を定義し、キー入力に際しての心地よさやキーの入りやすさなど感性に基づく要求の評価試験に用いる評価語を選定する。次に、ユーザの打鍵動作に関わるキー

の構成要素間の振る舞いと、物理特性との関係をシーケンス図により記述し、ユーザの打鍵動作に応じた感性要求の時間的な繋がりを明らかにする。さらに、過去に開発されたキーボードを用いて、その物理特性の違いが感性評価にどのような影響を及ぼすか、キーの物理特性のパラメータを説明変数、感性評価の評定値を目的変数とした重回帰分析を実施し、回帰モデルを作成する。回帰モデルの予測をもとにキーの物理特性を調整したキーボードの評価試験を行い、性能要求と感性要求の両立ができるか検証する。この節では、感性設計を実施する際、システムモデルで表現した打鍵動作に関わる構成要素の相互作用を設計者間で共有し、回帰モデルを用いて感性評価を予測することで、性能要求と感性要求との両立を効率よく達成する手順を示すことを目的とする。

#### 4.4.1 キーボードに対する要求分析

著者は、キーボードに対するユーザの様々な要求を調査するため、メンブレン型、メカニカル型など9種類のキーボードを用いて、20代から40代の男女6名に対し評価グリッド法によるインタビューを行った。インタビューから得られた100以上のニーズから、キーボードのキー入力に関するシステム要求を分析し、要求図で整理した結果を図4.18に示す。感性要求は、他の要求と区別するため、色を付けて図中に示す。調査の結果、「速く入力できる」、「正確に入力できる」という入力デバイスとしての性能要求に加え、「心地よく入力できる」、「キーが入りやすい」という感性要求が含まれていた。この関係は、図中に、包含(⊕)の記号で表記できる。「心地よく入力できる」という要求はやや曖昧であるため、具体的にどのような要求が含まれるか質問すると、「フィードバック感」と「音が静か」という要求が含まれることがわかり、この関係も包含で表記した。「フィードバック感」には、さらに「ストローク感」と「クリック感」が含まれ、「キーが入りやすい」という要求には、「スムーズに入る」、「軽い力が入る」という要求が含まれていたため、包含で表記した。「スムーズに入る」という要求について、この要求を実現するための具体的手段を質問(ラダーダウン)すると、「どこを押しても入る」、「キーの高さが低い」「傾きなく入る」という要求が導出できたため、この関係は導出(derive)で示した。このように、要求図を用いることにより、要求間の包含や導出といったラダーリングの際の階層構造の関係性を失わずに表現ができる。

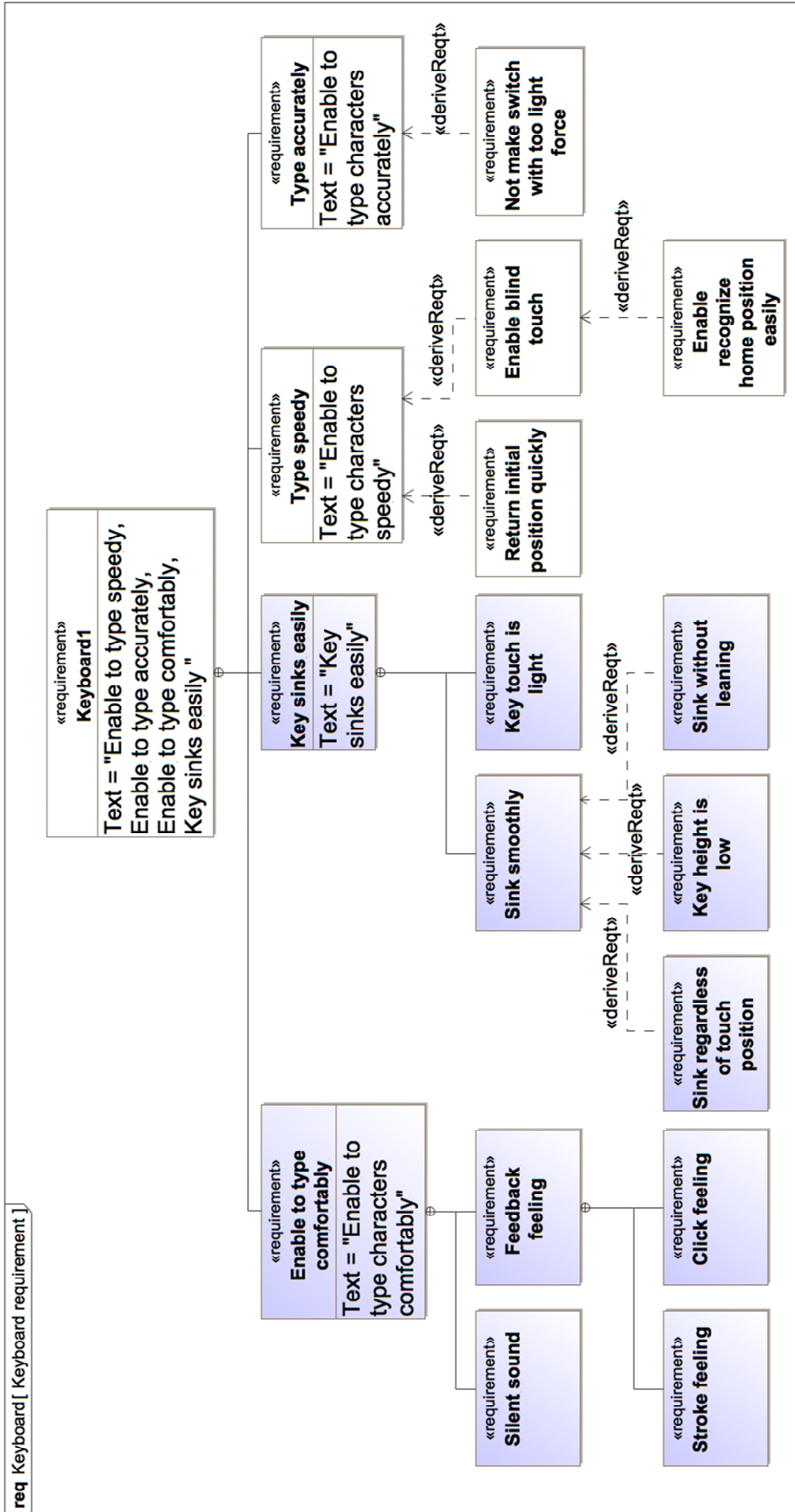


Fig. 4.18 System requirements related to key stroke operation of keyboard



次に、図 4.18 で整理した感性要求を点数で評価できるようにするため、キーボードの評価試験に用いる評価語を選定する。表 4.2 に示す通り、感性要求をもとに、キーの入りの重さ、ストローク感、クリック感、音の静かさ、スムーズ感、操作感という 6 つの評価語を選定した。先の富田らの研究では、押し心地の評価項目として、スムーズ感、ストローク感、クリック感、弾力感、操作感の 5 因子が、比較的安定して導出されている。今回の調査では、弾力感（弾力感や反発性）に相当する項目は得られなかった。これは、評価対象であるキーボード群や参加者群の違いによることが考えられるが、その他はほぼ同じ項目が得られていることから、今回選定した評価語はキー入力に関する感性要求を評価するために妥当であると判断した。これらの評価語は、キートップの変位量に対する反力の変化である作動力特性に深く関係している。キーボードを設計する際、キーがもつ物理特性とユーザの感性評価との関係性を設計関係者間で共有する必要がある。

**Table 4.2 Evaluation items for keyboard**

	Evaluation items	Evaluation scale		
Performance requirement	WPM (word per minute) Accurate rate	[number of characters] [%]		
Kansei Requirement	Key touch	1 Light	.....	7 Heavy
	Stroke feeling	Very much	.....	Not at all
	Click feeling	Very much	.....	Not at all
	Sound	Silent	.....	Loud
	Smoothness	Very much	.....	Not at all
	Comfortable	Very much	.....	Not at all

#### 4.4.2 キーボードのキー入力に関するシステムモデル

ユーザのキー打鍵動作に対して、感性要求である「心地よさ」および「キーの入りやすさ」を満たすことが求められているため、キー打鍵動作に関するドメインでシステムモデルを記述する。図 4.19 のブロック定義図は、システムが「キーボード(Keyboard)」と「ユーザ(User)」からなることを表している。また、キーボードは「キートップ(Key top)」, キートップが指から受けた作動力を垂直に伝える役割を担う「ポジションガイド (Position guide)」, 「ラバー(Rubber)」, 「センサ(Sensor)」, 「基底部(Frame)」という構成要素からなる。

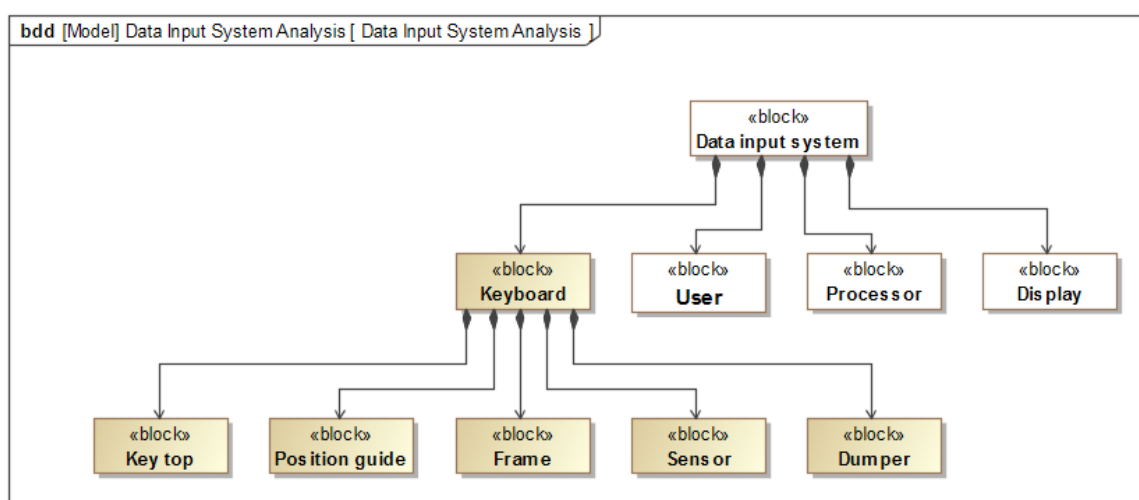


Fig. 4.19 Key stroke operation domain structure

次に、ユーザの一般的なキーボードの打鍵動作について、ユーザとキーボード間の相互作用を記述し図 4.20 に示す。図 4.20 は、ユーザが打鍵する際、システムと 5 つの相互作用があることを示している。まず、ユーザが打鍵すると、指からの作動力(force)を受けキートップが押し下げられる。キートップが下がると、その作動力がポジションガイドに作用する。作動力はポジションガイドに垂直に働きラバーに作用すると同時に、摺動部を介してフレームにも分散して働くため、ユーザはこのバランスから、反力(reaction force)と部品が移動する際の摩擦力(friction force)を感じる。ラバーが作動力によって、変形した後座屈すると、ユーザは、その反力(backing force)を感じる。ラバーがフレームの基底部に接触しスイッチがオンになると、文字が入力され、ユーザは、底に付いた反力(bottoming force)を感じる。このように、ユーザの一般的な打鍵動作を検討しておくことで、図 4.18 で定義した要求がどのような振る舞いと関係して出てきたのかを深く分析することができる。ユーザが一般的な動作とは異なる動作をする場合には、要求も変わる可能性があり、そのような場合にはシステムとの相互作用と関係付けて分析ができる。

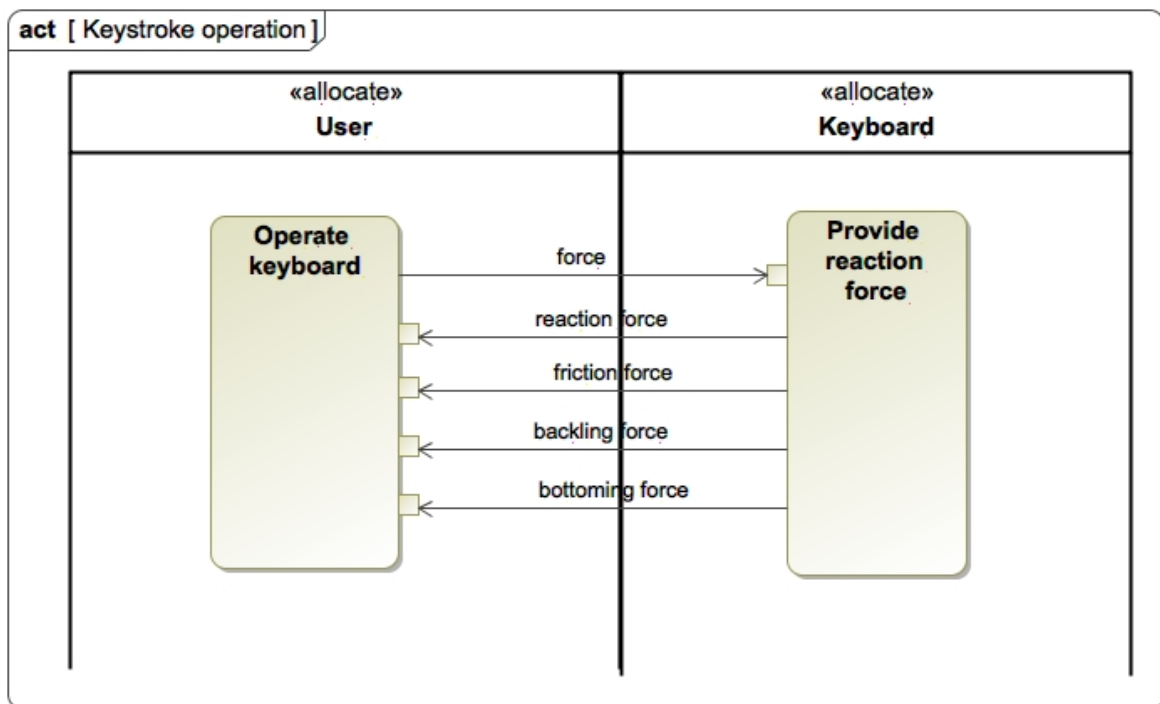


Fig. 4.20 Key stroke operation using activity diagram

次に、図 4.20 で検討したシステムとの相互作用について、ユーザの振る舞いのみを、アクティビティ図で検討して図 4.21 に記述する。システムとの力の受け渡しを通して、ユーザが感じる力を詳細化することで、システムがユーザに対し何を機能として提供するべきかについて検討する。

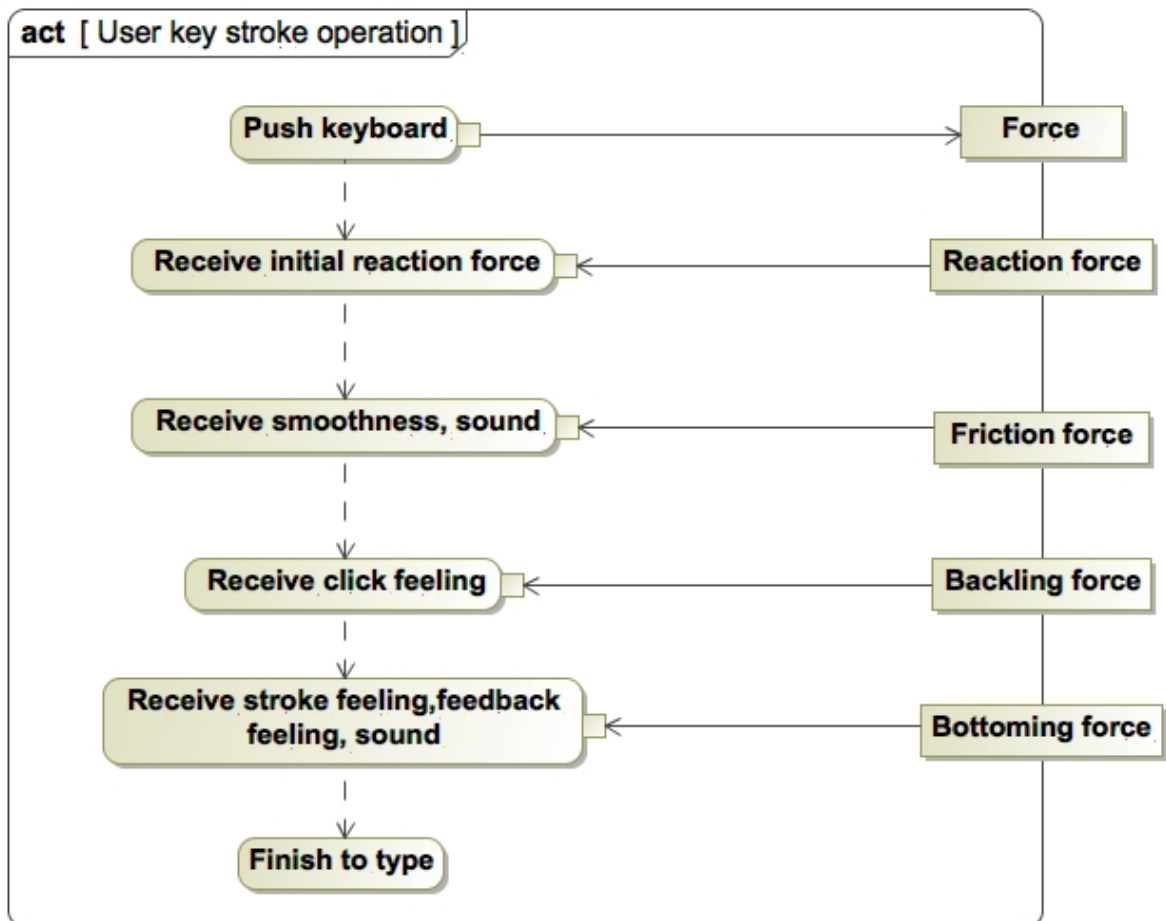
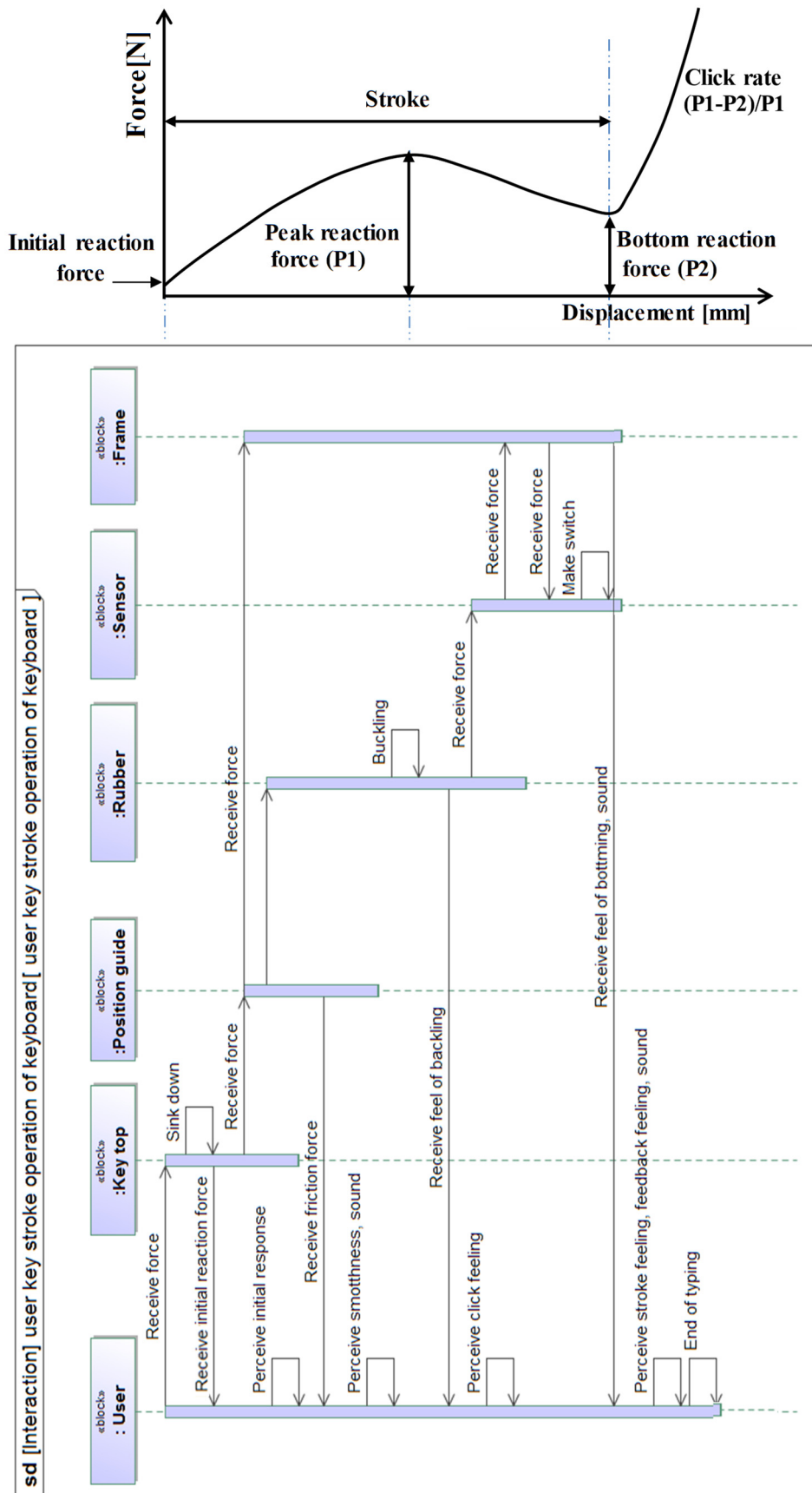


Fig. 4.21 User key stroke operation using activity diagram

次に、図 4.21 で検討したユーザの打鍵動作について、図 4.18 で定義した感性要求に関するユースケースを詳細に記述し図 4.22 に示す。図 4.22(a)は、キーボードの構成要素間の振る舞いと、打鍵動作に応じた感性要求の時間的な繋がりを、図の下方に垂直に向かう時間とともにシーケンス図で示している。図 4.22(b)の作動力特性は、キートップの変位量に対する反力の変化を示している。図 4.22(a)のシーケンス図に示す通り、ユーザが打鍵すると、指からの作動力を受けキートップが押し下げられる。ユーザはその際、キートップから感じる動き初めの反力(Initial reaction force)によって、キーが軽いか、重いかという感覚的フィードバックを得る。キートップが下がると、その作動力がポジションガイドに作用する。作動力はポジションガイドに垂直に働きラバーに作用すると同時に、摺動部を介してフレームにも分散して働くため、ユーザはこのバランスから、反力と部品が移動する際の音を感じ、スムーズに押せたかどうかという感覚的フィードバックを得る。ラバーが作動力によって、変形した後座屈(Buckling)すると、作動力特性に示す通り、キートップから受ける反力は極大値(Peak reaction force)となる。ユーザは、その反力からクリック感を得る。キートップの変位量が増えるとともに反力は減少を続け、基底部に接触しスイッチがオン(Make switch)になると、文字が入力される。減少を続けていた反力は、基底部に接触して極小値(Bottom reaction force)となった後上昇し、ユーザは、底付きまでの距離(Stroke)や音の知覚から、ストローク感(Stroke feeling)やキーを押したフィードバック感(Feedback feeling)を得る。シーケンス図に示した一連の動作から得た感覚的フィードバックの連鎖により、ユーザは入力しやすいか、心地よいかという総合的な判断をする。このようにシーケンス図を用いることにより、動き始めのキーの重さ、押しこむ際のキーの入りのスムーズさ、クリック感、ストローク感、音、心地よさといった、感性要求の時間的な繋がりを、キーの構成要素の振る舞いと物理特性の関係とともに示すことができる。



(a) Force-displacement characteristics

(b) Sequence diagram of user key stroke operation

Fig. 4.22 Key stroke operation of keyboard system analysis

#### 4.4.3 要求と作動力特性のパラメータとの関係

キーボードの作動力特性の違いが感性評価にどのような影響を及ぼすか予測するため、統計的手法で変数間の関係を推計できる回帰モデルを作成する。回帰モデル作成にあたって、4.4.1 項で定義したシステム要求と、前節で検討した構成要素に関わる物理量から決まる作動力特性との関係性を調査するための評価試験を行った。評価試験は、キーの作動力特性が異なる 8 機種 of キーボードを評価対象として、20 代から 50 代の男女 20 名に対し行った。評価試験参加者のうち 10 名は PC の利用が多い群、10 名は PC の利用が少ない群であった。和文入力の際にブラインドタッチタイピング（手元を見ずにキー入力する技法）ができる者の割合は、両群とも 3 割程度であった。評価対象とするキーボードの筐体、キー配列、キートップの大きさは、キーの作動力特性以外の影響を排除するためすべて同一とした。

評価は 1 名ずつ全機種に対して行い、1 機種ごとにタイピングテストと、評価語を用いた評価試験を実施した。順序効果を考慮し、評価する機種 of 順序はランダムとした。最初にタイピングソフトを用いて、平易な日本語 of 文章を 1 分間入力し、1 分間 of 入力文字数 (WPM : Word per minute) と、入力した文字総数に対し正確に入力できた文字数 of 比率である正確率 (Accurate rate) を取得した。その後、表 4.2 に示した、キー of 入り of 重さ、ストローク感、クリック感、音 of 静かさ、スムーズ感、心地よさという 6 つ of 評価語を用いて、1~7 点で評価し、感性要求に対する評価 of 評定値を取得した。

取得した作動力特性 of パラメータは、過去 of 研究から、押し心地 of 感性評価に関わりが大きい、初圧 (Initial reaction force)、最大荷重 (Peak reaction force)、ストローク (Stroke)、クリック率 (Click rate) of 4 つを選定した。クリック率は、図 4.22(b) of 作動力特性に示した、反力 of 極大値 (P1) から極小値 (P2) を減じた値を、極大値 (P1) で除した値である。

回帰モデル作成にあたり、4 つ of 作動力特性 of パラメータと、性能要求である WPM・正確率と、感性要求 of 評価試験に用いた 6 つ of 評価語 of 評定値 of 関係について、以下に示す 1~3 の分析を行った。分析にはすべて SPSS を用いた。2 と 3 で行った重回帰分析に際し変数選択は STEP ワイズ法で行い、VIF (分散拡大係数) を用いて多重共線性について問題がないことを確認した。有意確率はすべて 0.05 以下であり、統計的に有意であるとした。変数 of 回帰係数には、説明変数および目的変数をそれぞれ標準化した値から算出される標準化係数を用いた。

## 1. 感性評価に対する作動力特性パラメータの重回帰分析

今回選定した評価語が、キーボードに対する感性要求と物理設計の達成度の評価にふさわしいか、評価語としての妥当性を検証するために、各評価語の評定値と WPM・正確率、作動力特性パラメータ間の相関解析を行った。評価にはスピーアマンの順序相関係数を用いた。相関解析の結果を表 4.3 に示す。表 4.3 に示す通り、今回選定した評価語とパラメータの間には、12 の項目で統計的に有意な相関関係がみられた。音の項目で統計的に有意な差がみられなかった理由については、評価試験後にインタビューを行ったところ、音が大きすぎない限りは、他の評価項目や総合的な操作感にあまり影響しないと判断されていることがわかった。今回のキーボード群では、音の項目では機種間の差が出ておらず、作動力特性のパラメータとの相関がみられなかったことが考えられる。その他の評価語は、すべてパラメータと相関があり、パラメータを変更した場合の、ユーザの感じ方を評価する語として妥当であると言える。

## 2. 感性評価に対する作動力特性パラメータの重回帰分析

作動力特性のパラメータを変更したときの感性評価への影響を調べるため、各評価語の評定値を目的変数、作動力特性のパラメータを説明変数とした重回帰分析を実施した。得られた回帰式を式(1)に示し、回帰係数  $a_{i1} \sim a_{i4}$  を表 4.4 に示す。i=1 はキーの重さ、i=2 はストローク感、i=3 はクリック感、i=4 はスムーズ感、i=5 は心地よさ、i=6 は音である。

$$K_i = a_{i1}f_{i1} + a_{i2}f_{i2} + a_{i3}f_{i3} + a_{i4}f_{i4} \quad (1)$$

重回帰分析の結果、初圧はキーの重さ、スムーズ感、心地よさに影響を及ぼしており、初圧が大きいと、スムーズ感と心地よさは下がることがわかった。最大荷重はすべての評価語に正の影響を及ぼしていることがわかった。ストロークは、ストローク感、クリック感、スムーズ感、心地よさに正の影響を及ぼしていることがわかった。クリック率は、ストローク感、クリック感、スムーズ感、心地よさにいずれも負の方向に影響を及ぼしていることがわかった。



### 3. 性能要求に対する感性評価の重回帰分析

WPM と正確率に対し、感性評価がどのように関係しているかを調べるため WPM と正確率を目的変数、各評価語の評定値を説明変数とした重回帰分析を実施した。得られた回帰式を式(2)に示し、回帰係数  $b_{j1} \sim b_{j6}$  を表 4.5 に示す。  $j=1$  は WPM,  $j=2$  は正確率である。

$$P_j = b_{j1}k_{j1} + b_{j2}k_{j2} + b_{j3}k_{j3} + b_{j4}k_{j4} + b_{j5}k_{j5} + b_{j6}k_{j6} \quad (2)$$

重回帰分析の結果、WPM に対しては、心地よさが最も大きく影響を及ぼし、スムーズ感、ストローク感の順に影響が大きいことがわかった。ストローク感は WPM に対し負の方向に寄与しており、ストローク感が上がるほど WPM が下がることがわかった。正確率については、心地よさが最も大きく影響を及ぼし、音、スムーズ感、キーの重さの順に影響が大きく、音が大きいと正確率が下がることがわかった。今回の結果から、WPM と正確率には、心地よさなど感性の影響が大きく、感性評価が良い方が、性能も向上することが示唆された。

**Table 4.3 Correlation coefficient derived from correlation analysis**

	WPM	Accurate rate	Key touch	Stroke feeling	Click feeling	Smoothness	Comfortable	Sound
Initial reaction force	-.232**	-.130*	.474**	.032	-.066	-.366**	-.359**	-.020
Peak reaction force	.125*	.308**	.229**	.360**	.371**	.253**	.337**	-.082
Stroke	-.033	.011	.232**	.197**	.125*	.004	-.020	.038
Click rate	-.051	.046	.264**	.041	-.002	-.024	-.023	-.028

\*\* The correlation coefficients are significant (both side) at  $p=0.01$

\* The correlation coefficients are significant (both side) at  $p=0.05$

**Table 4.4 Regression coefficient derived from regression analysis for Kansei requirement**

i	Kansei requirement	Initial reaction force $f_1$	Peak reaction force $f_2$	Stroke $f_3$	Crick rate $f_4$
1	Key touch	0.516	0.147	—	—
2	Stroke feeling	—	0.645	1.032	-0.888
3	Click feeling	—	0.689	0.919	-0.837
4	Smoothness	-0.449	0.361	0.502	-0.313
5	Comfortable	-0.413	0.481	0.535	-0.373
6	Sound	—	—	—	—

**Table 4.5 Regression coefficient derived from regression analysis for performance requirement**

j	Performance requirement	Key touch $k_1$	Stroke feeling $k_2$	Click feeling $k_3$	Smoothness $k_4$	Comfortable $k_5$	Sound $k_6$
1	WPM	—	-15.199	—	16.213	17.463	—
2	Accurate rate	0.564	—	—	0.669	1.566	-1.106

(2)から得られた作動力特性と感性評価の評定値の入出力関係と，(3)から得られた感性評価の評定値と性能要求の入出力関係を，図 4.23 のパラメトリック図を用いて示す．図 4.23 から，評価対象の作動力特性(Force-displacement characteristics)が与えられれば，作動力特性のパラメータと各評価語の評定値の回帰モデル(Sensory regression model)を用いて，感性評価の評定値が予測できる．また，各評価語の評定値と性能要求の回帰モデル(Performance regression model)を用いて，各評価語の評定値から WPM と正確率が予測できる．回帰モデルを用いて，例えば，初圧の設定によってキーの重さ，スムーズ感，心地よさに影響を及ぼすことがわかり，またこの感性評価が，性能要求にどのように影響を及ぼすか予測ができる．

このようにパラメトリック図を用いて，作動力特性と感性評価，性能要求間の入出力関係を明確に示すことができる．また回帰モデルを用いて感性評価や性能要求を予測することで，設計プロセスの初期段階や設計変更の際，感性に関連する問題の改善に対して，方向性の妥当性や効果予測が関係者間で共有できる．

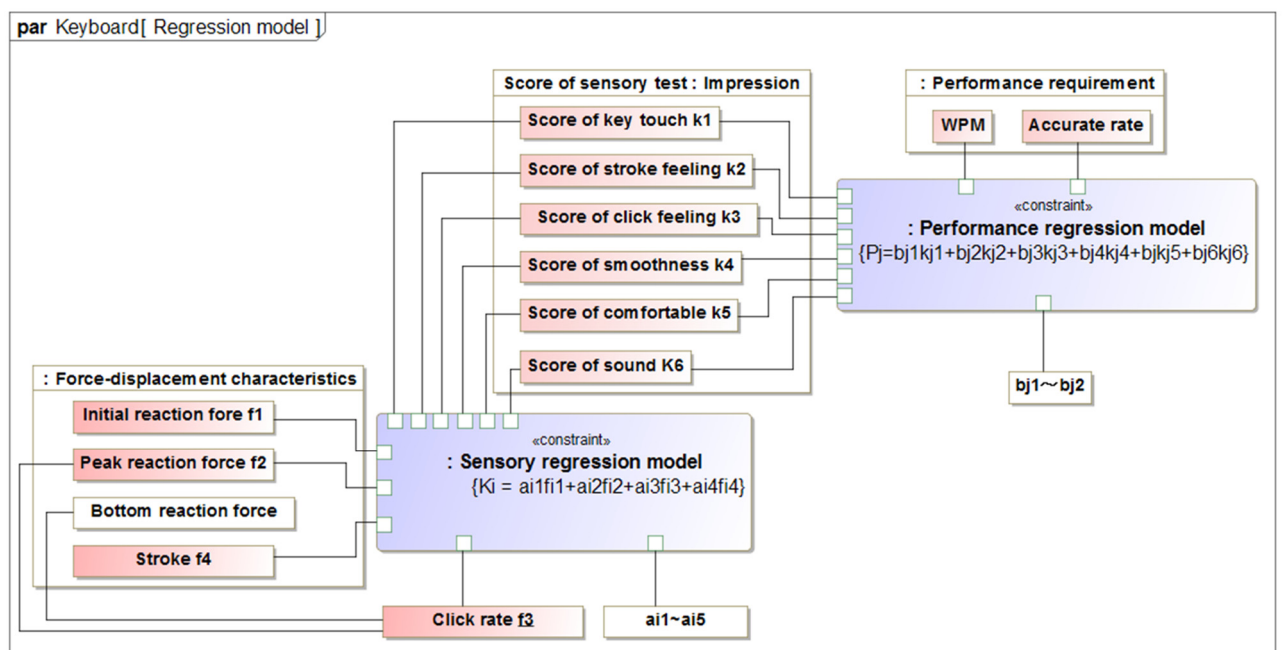


Fig. 4.23 Parametric diagram of Regression model

#### 4.4.4 適用例：キーボードのキー入力に関する感性設計

キーボードの感性設計を行うにあたって、システムモデルと前項で作成した回帰モデルを用いて、感性要求と性能要求との両立が達成できるか検証する。4.4.1項で定義したシステム要求について、図 4.18 の要求図を用いると、「押し心地がよい」という感性要求を実現するには、「フィードバック感」に含まれる「クリック感」と「ストローク感」を上げる必要があることがわかる。また表 4.4 から、これらの評価項目に影響を及ぼすパラメータは、最大動作荷重とストローク、クリック率である。これらのパラメータを調整する際、図 4.22 を用いることで、キートップと基底部間の距離、キートップの動き初めの反力、ラバーが座屈するときの反力を調整する必要があることが、設計関係者で共有できる。また、「入力しやすい」という感性要求を実現するためには、図 4.18 の要求図から、「キーの重さ」と「スムーズ感」を調整する必要があることがわかる。表 4.4 から、これらの評価項目に大きく影響を及ぼすパラメータは、初圧とストロークである。図 4.22 から、キートップの動き初めの反力と、キートップと基底部間の距離について、設計者間で目標を共有する。複数のパラメータを同時に変更した場合の感性の評価については、図 4.23 に示した回帰モデルから予測する。

予測に基づき物理特性を調整したプロトタイプを準備し、20代から50代の男女20名に対し、改善前(Type A)と改善後2機種(Type B, Type C)のキーボードについて評価試験を行った。評価試験参加者は4章と同じで、10名はPCの利用が多い群、10名はPCの利用が少ない群であった。評価対象とするキーボードの筐体、キー配列、キートップの大きさは、キーの作動力特性以外の影響を排除するためすべて同一とした。Type Aを基準(Standard)とし、Type Aに対するType B, Type Cの作動力特性パラメータの調整値を表 4.6 に示す。

**Table 4.6 Force-displacement characteristics parameter of prototypes**

Parameter	Type A	Type B	Type C
Initial reaction force	S	- 0.1N	- 0.15 N
Peak reaction force	S	+ 0.1 N	+ 0.1 N
Stroke	S	+ 1.5 mm	+ 1.0 mm
Click rate	S	+ 0.5	+ 0.6

改善後のプロトタイプのパラメータは、日本工業規格 JIS Z 8514 人間工学－視覚表示装置を用いるオフィス作業－キーボードの要求事項に記載された範囲で調整した。Type B は、ストローク感とクリック感を上げるため、最大荷重とストロークを増やす方向に調整している。Type C は、キーを軽くして入力しやすくするため、Type A と Type B の間にストロークを調整し、初圧を下げている。評価方法は、4.4.3 項で述べた方法と同様に、タイピングソフトを用いて、平易な日本語の文章を 1 分間入力して WPM と正確率を取得した。また、入力後、感性要求の評価として、表 4.2 で示した、キーの重さ、ストローク感、クリック感、音、スムーズ感、心地よさについて、1～7 点で評価した。評価試験の結果を図 4.24 と表 4.7 に示す。図 4.24(a)は、感性要求の評価項目に対する全員の平均評定値をプロットしたものであり、図 4.24(b)は、WPM と正確率の全員の平均を示している。表 4.7 は、WPM と正確率、評価試験の評定値について全員の平均と分布（標準偏差）を示している。

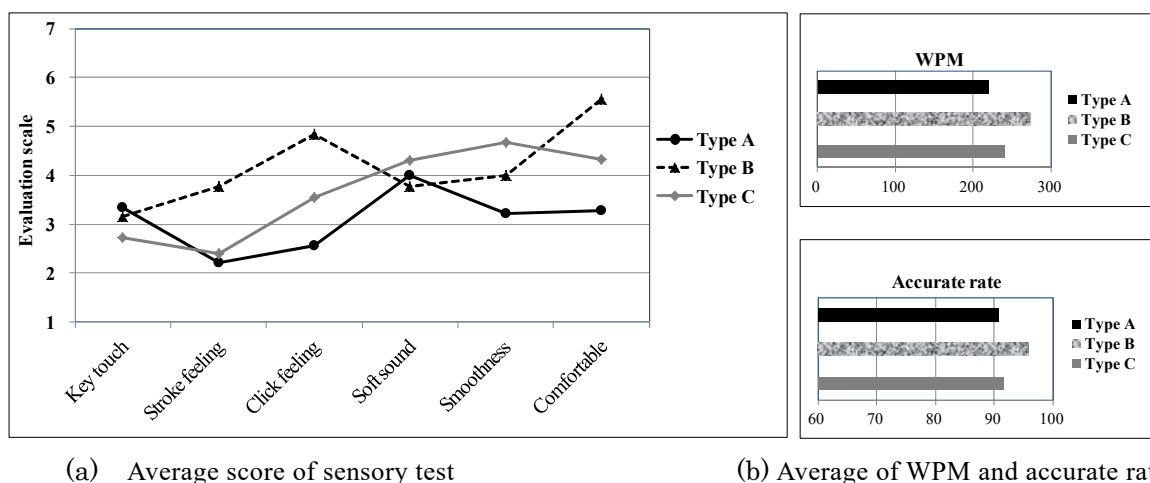


Fig. 4.24 Result of evaluation test of the keyboard

Table 4.7 Average and distribution of evaluation test

Prototype	WPM		Accuracy		Key touch		Stroke feeling		Click feeling		Soft sound		Smoothness		Comfortable	
	Average	Deviation	Average	Deviation	Average	Deviation	Average	Deviation	Average	Deviation	Average	Deviation	Average	Deviation	Average	Deviation
Type A	219.69	67.20	90.64	6.23	3.33	0.61	2.22	0.76	2.56	1.05	4.28	0.36	3.22	1.21	3.28	0.73
Type B	273.67	97.96	95.88	2.00	3.17	0.63	3.78	1.03	4.83	1.46	3.78	0.53	3.97	1.00	5.56	1.10
Type C	240.15	82.06	91.52	5.20	2.72	0.56	2.39	0.76	3.56	0.83	4.31	0.37	4.67	0.84	4.33	0.72

性能要求について PC の利用が多い群と PC の利用が少ない群とで比較したところ、WPM と正確率ともに、Type A、Type C、Type B の順に増加するという結果は同じであった。WPM は、PC の利用が多い群の平均は 237.28 字～303.17 字、PC の利用が少ない群の平均は 204.62 字～248.38 字、正確率は、PC の利用が多い群の平均は 92.20%～95.85%、PC の利用が少ない群の平均は 89.30%～95.91%と差があったが、統計的に有意な群間差はみられなかった。

評価試験の結果、Type B は、改善前の Type A と比較すると、ストローク感とクリック感、心地よさの評定値が向上している。Type C は、Type B に比較して、ストローク感とクリック感は下がったが、初圧を小さくしたことで、B よりもキーのタッチが軽いと感じられ、スムーズ感が向上し、心地よさも、改善前よりも向上していることを示している。このようにシステムモデルを用いて適切なパラメータを調整することで、効率良く感性設計が可能になることを示している。また、改善後の 2 機種は、性能要求に関する WPM と正確率も改善しており、感性要求を満たしながら性能も向上させる設計が達成できていることを示している。

## 4.5 まとめ

本章では、感性要求と性能要求を両立して設計することが難しいという課題に対し、感性要求と機能や構成要素との関係性を、専門分野をまたぐ設計開発関係者間で共有しながら設計を進めることができるシステムズエンジニアリングのアプローチを提案した。具体的な対象として、デジタル一眼カメラとパーソナルコンピュータ用キーボードに対し、感性に基づく要求を明確に定義した上で、要求とシステムの構成要素間の相互作用との関係を記述したシステムモデルを活用し、感性要求と機能要求を両立する手順を示した。

4.2 節では、カメラが提供すべき機能を明らかにするため、複数のユースケースを記述して、ユースケースごとに異なるシステムとアクター間の相互作用を検討した。次に、要求図を用いて、機能要求と感性要求との関係を分析した。さらに、「シャッター音を発する」という機能を明確にするため、機能に関するシステムの構成要素の相互作用を検討し、これらの構成要素にそれぞれ物理指標を割り当てた。機能および構造の段階的詳細化を通して、音質に対する要求を適切な物理指標に変換することができた。

4.3 節では、SysML を用いて、音質目標に応じて周波数伝達特性と音響・振動の設計パラメータを関係付け、設計手順との関係性や異なる観点からのアーキテクチャの検討を行っ

た。カメラのシャッター音に関して、構造、振る舞い、パラメトリック制約について解析を行った。システムモデルによる検討から、「不快な音がしない」という音質目標を達成するための詳細設計に寄与する周波数伝達特性の入出力関係と、物理構造のパラメータとの関係を明らかにできた。

4.4 節では、まず評価グリッド法を用いて、ユーザの言葉で対象に対する要求を導出し、感性に関するシステム要求を定義した。またこの結果から、感性に基づく要求の評価試験に用いる評価語を選定した。次に、ユーザと、ユーザ動作に関わる構成要素間の振る舞いをシーケンス図で記述し、ユーザ動作に応じた感性要求の時間的な繋がりを明らかにした。さらに、過去に開発された数機種の商品を用いて、差動力特性の違いによる感性要求の評価の評定値と、WPM、正確率を評価した。その結果、評定値も物理指標による評価も、ともに向上し、感性要求と性能要求の両立が達成できる見通しを得ることができた。

感性要求の評価と物理指標、設計パラメータ間の関係にはさらに検証が必要であるが、本章で示した手順により、感性設計を実施する際、設計を担当する関係者間でシステムモデルを活用し、回帰モデルやシミュレーションを用いて感性評価を予測することで、設計の初期段階での検証を正しく行うことが期待できる。感性設計を実施する際、設計を担当する関係者間でシステムモデルを活用することで、これまで暗黙知で行われていたユーザと対象との相互作用や物理量との関係性が明らかになり、専門分野をまたいで製品開発に関するエンジニアリング活動を支援することができる。

## 5章 感性品質に対する評価のばらつきの影響を低減する感性設計

2章では、要求定義プロセスで、ユースケースを想定した評価グリッド法を用いて、製品の利用状況により変化するニーズを把握し、要求を導くための方法について述べた。3章では、感性に関わるニーズなどを含む設計情報を、要求、機能・構造設計プロセスを通じて失うことなく引き渡すため、感性に関わる設計情報をMDMに基づき管理する方法を提案した。4章ではさらにシステムモデルを活用して感性要求を含む構成要素間の関係性を、専門分野が異なるエンジニア間で共有できるようにシステムズエンジニアリングのアプローチを提案した。しかしながら、2章から4章で述べた課題が解決しても、感性品質に対する評価はユーザの感性の相違の影響を受けるため、ばらついてしまう。そのため、多様なユーザに対し、多くのユーザが感性価値を感じる製品を提供することが難しいという課題が残されている。

感性の相違には二つの意味が含まれる。同じ対象に対し、共通の評価尺度（評価語）を用いた官能評価の違いが「ばらつき」である。その背後にある、個々の選好基準に基づいた評価の結果表れるユーザ嗜好（製品に対するユーザの好み）の違いが「多様性」である。この二つはコントロールすることは不可能であるため、感性品質に対する評価のばらつきの影響を低減する方法が求められている。本章では、1.5.4項で述べた課題に対して、ユーザ嗜好の多様性を考慮し、できるだけ多くのユーザの感性品質の評価が安定する製品を提供するため、不確実なユーザ嗜好の多様性を考慮し、かつ感性品質に対する評価のばらつきの影響を低減する設計パラメータの組み合わせを選定できるフレームワークを提案する。

### 5.1 感性品質に対する評価のばらつきに対する提案

要求の認知構造を可視化するための手法として、レパートリー・グリッド法、2章と3章で要求分析に適用した評価グリッド法などがある。これらの手法では、ユーザの要求をできるだけ網羅的に導出するために、幅広い年齢層や属性の被験者を集め、インタビューするなど工夫している。しかしながら、嗜好の違いが必ずしも属性に紐づいているとは限らず、幅広い年齢層や属性の人々を集めることで、ユーザ嗜好を網羅的にカバーできている保証はない。ユーザ属性ベースで、意図せず特定のユーザ群の嗜好を満たすように設計された製品は、他のユーザ群の要求に気付かず、無視してしまっている可能性がある。ユ

ユーザが製品に対して求める価値や要求は、属性で分かれるのではなく、個々の選好基準に基づいた評価の結果表れるユーザの嗜好によって異なると考えられる。限られた製品バリエーションに、製品の感性品質に対するユーザ嗜好の不確実性を反映させるためには、ユーザの属性でなく、ユーザ嗜好の多様性と、クラスタごとに選好基準となる要求を把握する必要がある。

ユーザ嗜好の多様性とその要求をできるだけ網羅的に把握するために、まず選好順序評価テストとクラスタ分析を行う。この分析により、ユーザ嗜好クラスタの数とその頻度が明らかになる。次に、各ユーザ嗜好クラスタから選定した被験者に対して、評価グリッド法によるインタビューを行い、選好順序に基づく製品に対する要求を把握する。さらに、感性品質に対する評価のばらつきを低減するために、ユーザ嗜好に大きく影響する設計要素を選定する。選好順序評価テスト結果に対して重回帰分析を行い、各クラスタの嗜好に対して影響が大きい高感度設計要素を明らかにする。高感度設計要素を選んで、ユーザ嗜好クラスタの好みを最適化する設計パラメータを選定できるようにすることで、ユーザ嗜好の多様性と官能評価のばらつきをコントロールすることなく、ターゲットとするユーザの満足度を最大化する。

ユーザ嗜好と要求との関係性を把握した後に、その関係性と物理的な設計パラメータとを関係付ける必要がある。要求、機能、構造間のトレーサビリティをとれるようにすることで、マーケティング戦略上の方針変更などにより、新しいユーザ層がターゲットとなった場合に、そのユーザ嗜好を満たすような設計変更にも対応ができるようになる。ユーザ嗜好と要求の関係性を、物理的な設計に関係付けるためには、3章で提案した、MDMに基づく設計情報の管理を適用する。MDMにより、感性品質に対するユーザ嗜好の多様性と官能評価のばらつきを同時に考慮して製品設計を導くことができ、最終的な設計にユーザ嗜好を考慮することが可能になる。

## 5.2 ユーザ嗜好を考慮した製品設計プロセス

### 5.2.1 提案するフレームワーク

コンシューマエレクトロニクスのなかでも、モバイル製品に対しては、グリップ（握る部分）やダイヤル、ボタンなどにも快適さや高級感などの感性品質が求められている。図5.1は、製品をシステムと捉えた場合の、要求と機能、構造の関係を示している。



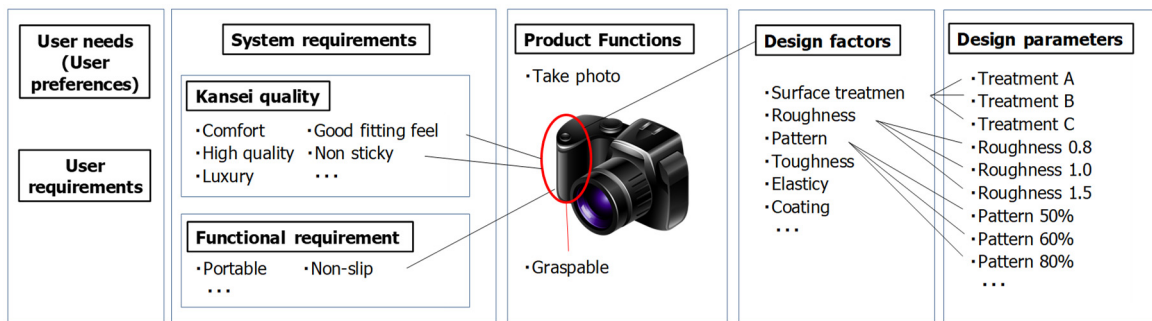


Fig. 5.1 Front to end design information

図の中央に示す通り、グリップは、把持するという機能を持っている。製品に対するユーザニーズと要求は、要求分析によってシステム要求に変換され、評価語による測定が可能なる。製品の価値を高めるためには、フィット感の良さなどの感性要求と、持ち歩けることなどの機能要求を同時に考え、機能を設計しなければならない。そのためには、感性要求と機能の両方に関係し、ユーザ嗜好に影響がある高感度設計要素と、その設計パラメータを特定する必要がある。

図 5.2 は、ユーザ嗜好の不確実性という条件の下で、多様なユーザニーズに合致した感性品質を提供するために提案する感性設計プロセスのフレームワークを示す。製品設計は、要求定義、機能設計、構造設計プロセスに大別される。要求定義プロセスでは、不確実なユーザ嗜好の多様性を把握し、ユーザクラスタごとの要求の分析を行う。機能設計プロセスでは、ユーザ嗜好クラスタごとに、嗜好に大きく影響を与える設計要素を導出する。構造設計プロセスでは、感性品質を安定させる設計要素と、その設計要素に関する設計パラメータを分析する。提案するフレームワークで行う4つの分析STEPを以下に説明する。

STEP1 では、不確実なユーザ嗜好の多様性をできるだけ網羅的に探るため、多数の被験者を選定し、製品に対する好みを順序づけする選好順序評価テストを実施する。選好順序に対しクラスタ分析を行い、ユーザ嗜好クラスタの数と、各クラスタの出現頻度を評価する。STEP2では、各クラスタから2人または3人の被験者を選び、評価グリッド法によるインタビューを行う。インタビューの結果から、ユーザ嗜好クラスタごとに要求の階層構造を導出する。STEP3では、重回帰分析により各クラスタの嗜好に対し影響がある高感度設計要素を選定する。STEP4では、実験計画法(DOE)を用いて、これらの設計要素を因子とし、設計パラメータを水準として組み合わせを変えたプロトタイプ(試作品)を作成し、感性品質を安定化させるデータを得るための官能評価試験を行う。このテストの結果から、

官能評価のばらつきを最小限に抑え、平均スコアを最大にする設計パラメータの組み合わせが選定できる DMM を作成する。

提案するフレームワークでは、図 5.2 の下部に示すように、各 STEP の分析で得られた設計情報を、4 つの DSM と 5 つの DMM を含む MDM の要素として蓄積する。MDM は、設計情報を管理し、ユーザ嗜好クラスタ、要求、および設計要素と設計パラメータを関係付けることを目的としている。DSM は、システムを構成する要素とそれらの相互関係を正方マトリクスとして記述する方法である。DMM は、DSM のドメインを別の DSM のドメインにマッピングする矩形マトリクスである。MDM は、異なる 2 つ以上のドメインによる DSM、DMM を組み合わせ、複合マトリクスとして同時に表現するための記述方法である。シングルドメインの DSM は MDM の対角線上にあり、非対角ブロックには DMM がある。

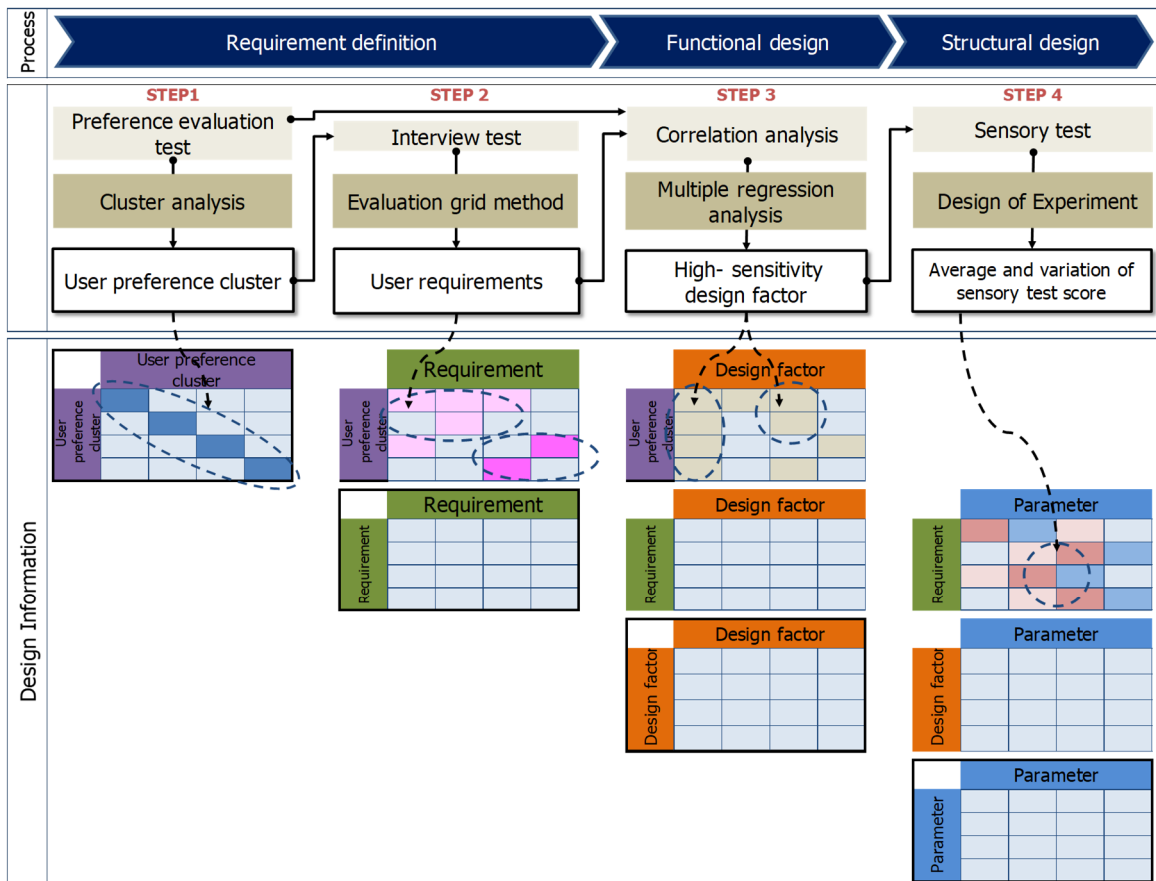


Fig. 5.2 Schematic of the proposed framework

STEP1 では、選好順序評価テストに対しクラスタ分析を行うことによって、ユーザ嗜好クラスタを導出する。その結果は、ユーザ嗜好クラスタの DSM として表される。STEP2 では、ユーザ嗜好クラスタと、評価グリッド法によって分析したユーザ要求が、User preference cluster - requirements DMM で関係付けられる。STEP3 では、重回帰分析により、ユーザ嗜好クラスタと各クラスタの嗜好に影響を与える高感度設計要素が、User preference cluster - design factor DMM を用いて関係付けられる。STEP4 では、プロトタイプに対する官能評価試験の評点のばらつきと平均スコアを Requirement - parameter DMM を用いて関係付けられる。この DMM を用いることにより、感性品質に対する評価のばらつきが少なく、平均スコアが最大である設計パラメータの選定が可能になる。提案するフレームワークにより、不確実なユーザ嗜好の多様性を考慮しながら、感性品質に対する評価のばらつきの影響を低減することができ、多様なユーザに対し、多くのユーザが感性価値を感じる製品の提供が可能になる。

## 5.2.2 ユーザ嗜好の分類と要求分析

この項では、要求定義プロセスにおいて、不確実なユーザ嗜好の多様性を把握し、要求を分析する方法について説明する。ユーザ嗜好は、感性品質の評価のばらつきに大きく影響する。そのために、クラスタ分析と、評価グリッド法による要求分析を組み合わせることにより、多様なユーザ嗜好を把握し、各クラスタの要求構造を定義する。

まず不確実なユーザ嗜好の多様性を網羅的に把握するため、対象を好みの順序に並べてもらう選好順序評価テストを行う。評価試験は、モバイル製品のグリップ部分に対し、表面の質感に関する設計要素の組み合わせを変えて作成したプロトタイプを用いて行った。被験者には、数機種のプロトタイプに対し、選定基準を示さず自分が好む順序を付けてもらう。各プロトタイプに付けられた好みの順序をそのまま得点に変換し、ユーザ嗜好の類似度を分析する際に入力する数値として用い、クラスタ分析を行う。

普通に考えると、嗜好というのは、そう個人ごとに異なるものではなく、ある程度似たような価値や要求を持ついくつかのグループに分類できると考えられる。このような仮説のもとに、プロトタイプに対し顧客がつけた好みの順序に対し、Ward 法[106]を用いてクラスタ分析を行う。クラスタ分析は、データの傾向および特性を明らかにするためデータを

グループ化する手法である．なかでも Ward 法は，データ全体をバランスよく分類し，マーケティング分析に使用される階層的クラスタリング手法である[107]．

クラスタ分析を用いてユーザ嗜好の類似度を分析した結果を図 5.3 に示す．図の左側に示すように，今回のテストでは，7名で構成されるクラスタ 1，同じく 7名で構成されるクラスタ 2，6名で構成されるクラスタ 3 という，3つのユーザ嗜好クラスタに分かれた．

図 5.3 右側のパネルは，各クラスタ全員の選好順序の平均を示している．各セルの色味の違いは，サーフェステクスチャの違いを表しており，クラスタごとに平均選好順序の傾向が異なることがわかる．このように不確実なユーザ嗜好を，ユーザ嗜好クラスタの数および各クラスタの頻度（人数）から推定することができる．次に，感性品質を含めた要求を詳しく調べるために，評価グリッド法によるインタビューを行い，ユーザ嗜好クラスタごとの要求の階層構造を導出する．インタビューのため，各クラスタから，ユーザ嗜好テストでの順序の付け方が各クラスタの平均にできるだけ近い被験者を2人から3人選定する．インタビューは，静かな会議室などで一人ずつ実施し，プロトタイプに対する順序の付け方と，その理由について質問する．

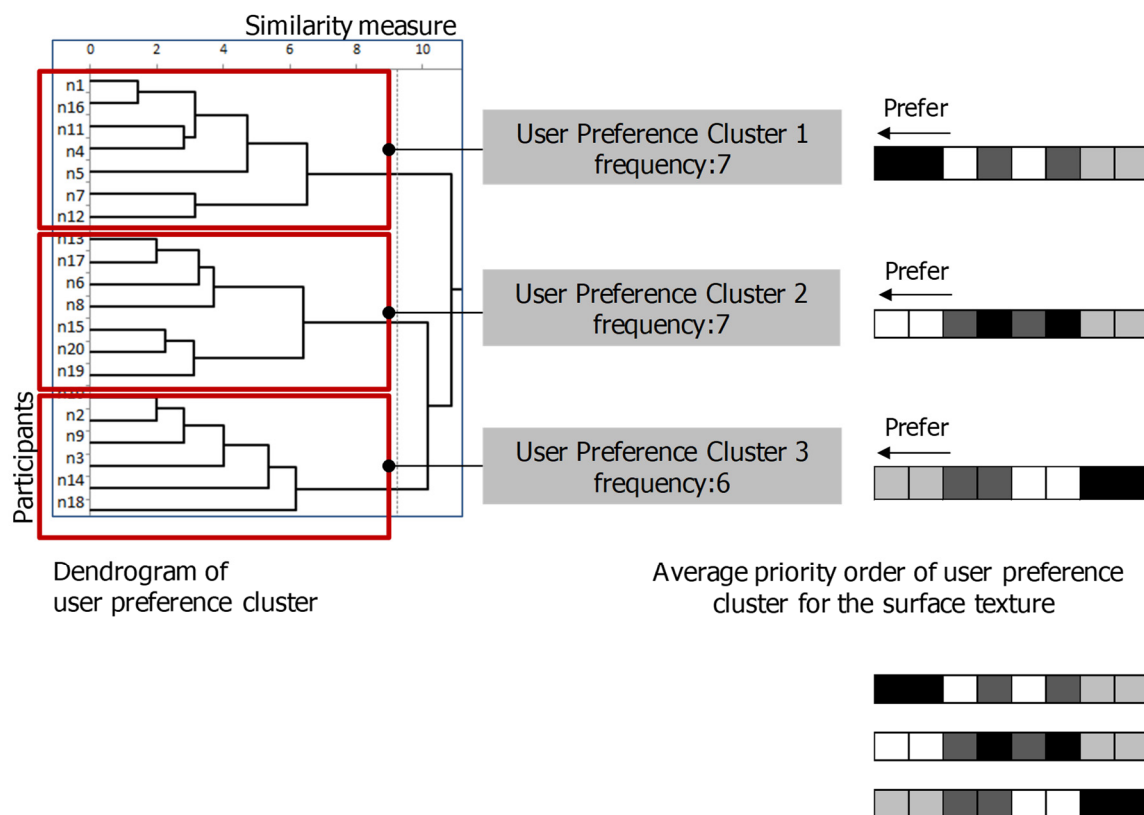
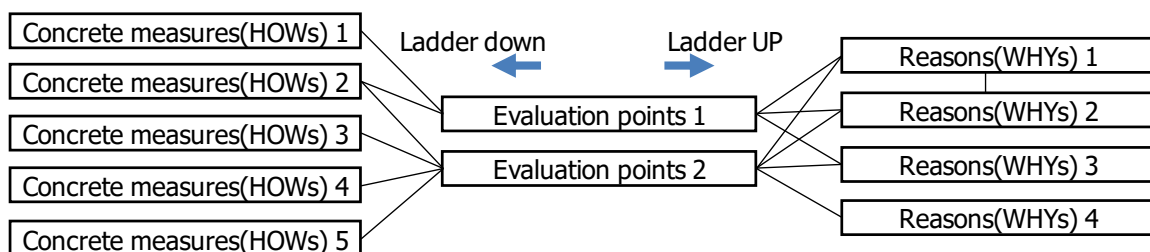


Fig. 5.3 User preference clusters based on user preference

要求の階層構造をつくる手続きは、2.2.2項で説明した手続きと同様に、次の通り行う。プロトタイプを比較した際、好ましさに差がついた理由として最初に述べられた項目を「Evaluation points」とする。次に、その「Evaluation points」があるとユーザにとってどのような良いことがあるか、上位概念を導くラダーアップを行い、導出された項目を「Reasons(WHYs)」とする。さらに、「Evaluation points」を実現するためにはどのような手段があるか、下位概念を導くラダーダウンを行い、導出された項目を「Concrete measures(HOWs)」とする。インタビューで、ラダーリングを繰り返すことで導出したユーザ嗜好クラスタごとの要求の階層構造モデルを、図 5.4 のように作成する。

インタビューでは、被験者の自由な表現で価値や要求を引き出すことが重要であるため、被験者には、プロトタイプをどう評価するかなどのガイドラインや評価語のリストなどの提示は行わない。しかし、プロトタイプに関する質問があった場合には、選好に影響のないと思われる範囲でその情報を提供する。ラダーリングの際は、恣意的にならないよう留意し、クラスタごとに異なる様々な要求を導き出すために、被験者のプロトタイプに対する好みの順序の付け方に対して詳しく質問を行う。インタビューから導出される評価語は被験者の主観的な表現であるため、異なる被験者から同じ評価語が表現された場合、または同じ評価語だが別の意味で使われている場合には、実験者がその評価語の意味を解釈し、統一または区別する。また、これらの評価語は専門分野の異なる開発設計者に解釈される場合、正しい内容が設計プロセスの後半まで十分に伝わらない可能性がある。この問題を回避するために、評価語を統一する際は、理解しやすい評価語を選ぶなど慎重に行う。クラスタ分析と評価グリッド法を組み合わせることで、各クラスタから偏らずに被験者を選定し、クラスタごとの要求を網羅的に導出することが可能になる。



**Fig. 5.4 Hierarchical model of user requirements**

### 5.2.3 ユーザ嗜好を考慮した機能・構造設計

この項では、ユーザ嗜好の多様性を考慮し感性品質を安定させるための設計を行う方法について説明する。機能設計プロセスでは、まず重回帰分析により、ユーザ嗜好クラスタごとに、嗜好に対する各設計要素の寄与度を分析する。5.2.2 項で述べた選好順序評価テストから得られた、プロトタイプに対する好みの順序を目的変数とし、設計要素を説明変数として、重回帰分析を行う。図 5.5 に示すように、分析の結果から、クラスタごとのユーザ嗜好に対する各設計要素の寄与度を、標準化回帰係数の大きさを評価する。矢印の太さは寄与の大きさを表す。クラスタごとに、嗜好に大きく寄与する因子を高感度設計要素として定義する。複数のユーザ嗜好クラスタに対して影響がある設計要素は、共通設計要素と定義する。次に構造設計プロセスでは、共通設計要素に関する設計パラメータを組み合わせていくつかのプロトタイプを作成し、官能評価試験を行う。パラメータが多いため全ての組み合わせは行わず、DOE を用いて共通設計要素を因子とし、その設計パラメータを水準としてプロトタイプの組み合わせを決定する。官能評価試験で用いる評価語は、5.2.2 項で説明した評価グリッド法によるインタビューで得られた評価項目から選定する。この官能評価試験の結果から、各設計パラメータの組み合わせごとに評点のばらつきおよび平均スコアを DMM のデータとして蓄積する。この DMM を用いて、ユーザ嗜好に影響を与える高感度設計要素を選び、官能評価のばらつきの影響を低減するようなパラメータを選定することにより、感性品質に対して、不確実なユーザ嗜好の多様性と官能評価のばらつきの影響を低減することが可能になる。

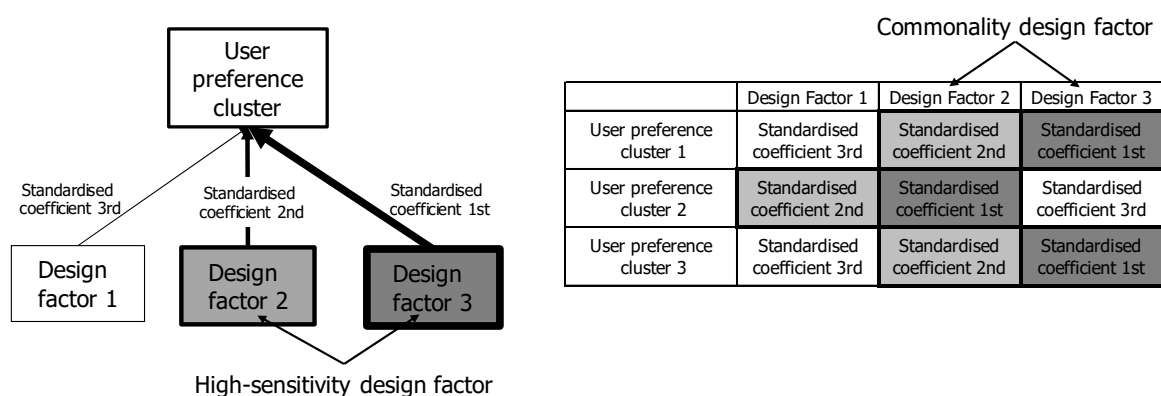


Fig. 5.5 Derivation of the high-sensitivity design factors and commonality design factors

### 5.3 適用例：コンシューマエレクトロニクスのサーフェステクスチャの設計

#### 5.3.1 サーフェステクスチャに対するユーザ嗜好の分類と要求分析

この項では、前節で述べた方法を、モバイル製品のグリップ部のサーフェステクスチャの触感の設計に対して適用する。モバイル製品の重要な機能は「把持できる」ことである。ユーザニーズに合致した感性品質を提供するためには、把持できる機能に加え、心地よい触感、フィット感などが重要と考えられる。多くのユーザに好まれる触感を設計するために、触感に対するユーザ嗜好の多様性の把握と要求分析を行う。

最初に、ユーザ嗜好の多様性を網羅的に把握し、それを製品の機能に結びつけるために、選好順序評価テストを行った。評価試験を行うにあたって、可能な限り多様な被験者について調査するため、マーケティング・リサーチ会社の登録者より、20代から50代の45名の男性と44名の女性を募集した。プロトタイプは、異なる触感になるように、硬さ、弾性、コーティング、表面処理、表面粗さ、シボのパターンなどの設計要素を変えたものを10機種用意した。形状、サイズなど触感以外の特性はすべてのプロトタイプで同一にした。評価試験に用いたサーフェステクスチャのサンプルとこれらの物理特性データを図5.6に示す。実験は静かな会議室で一人ずつ行った。評価対象とするモバイル製品は、日常的使用において、当然ながら、持ち運ばれたり、手に持って使用されたりすることが想定される。従って、評価試験では、被験者にこれらのユースケースを提示しながらプロトタイプを自由に使用してもらった後で、自身の基準で嗜好に基づきすべてのプロトタイプに順序を付けてもらった。




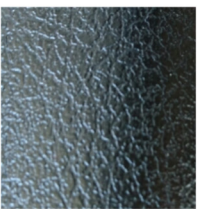
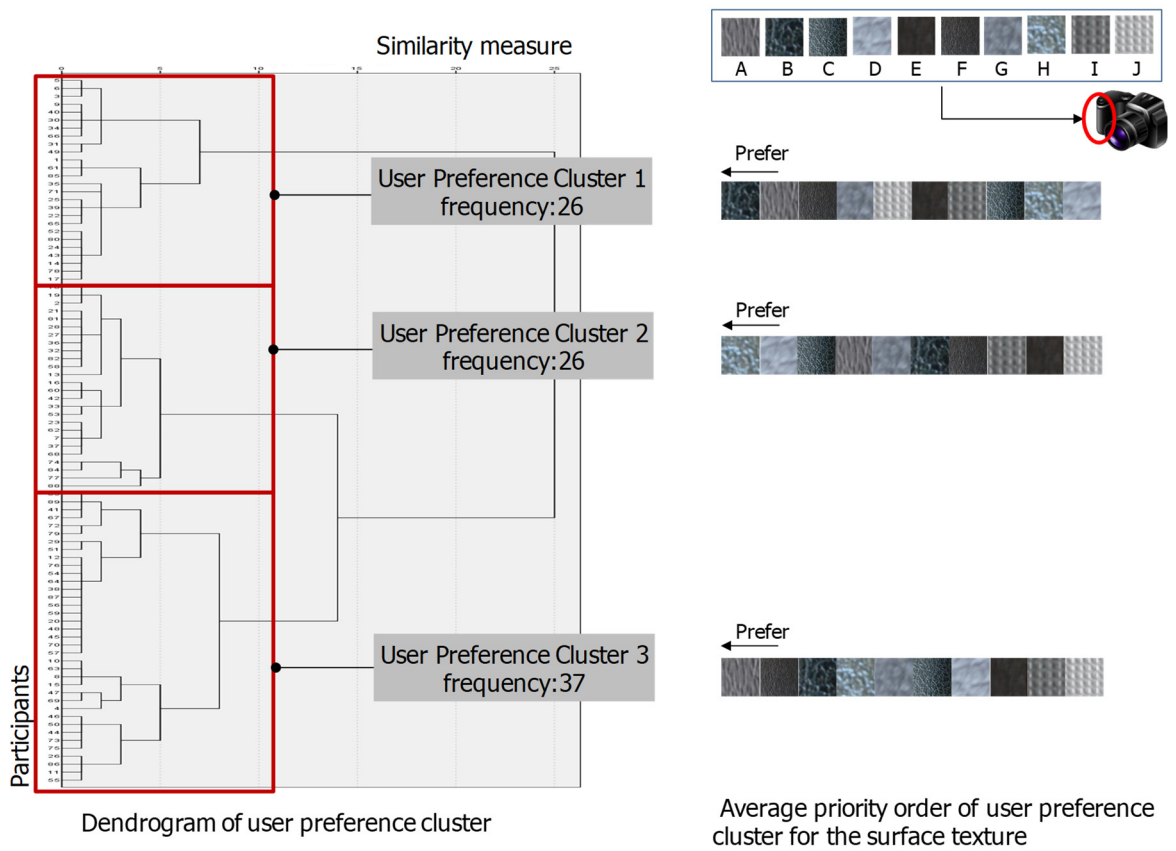
Texture picture				
Material	ABS	Leather	Polyurethane	Polypropylene
Mfg.Method	Molding	Pressing	Molding	Molding
patterns[%]	60	60	60~80	60~80
Roughness[μm]	100	100~150	100~200	100~200
Acril Coating	Yes/No	No	No	No

Fig. 5.6 The evaluated surface textures



全員の選好順序の評価結果に対して、Ward法を用いたクラスタ分析を行った結果を図 5.7 に示す。分析の結果、サーフェステクスチャの触感に対する嗜好の類似度に基づいて、3つのユーザ嗜好クラスタが導出された。クラスタ 1 とクラスタ 2 はそれぞれ 26 名で構成され、クラスタ 3 には 37 名で構成されていた。図 5.7 の右側のパネルは、各セルで表される表面テクスチャのタイプと、各クラスタの好みに基づく平均順序を示している。



**Fig. 5.7 User preference clusters based on surface texture preference**



次に、サーフェステクスチャに対するユーザ嗜好クラスタごとのユーザ要求を網羅的に把握するために、評価グリッド法によるインタビューを行った。インタビューにあたり、選好順序評価テストの順序の付け方が各クラスタの平均にできるだけ近い被験者をクラスタごとに2人から3人選定した。クラスタごとに異なる要求構造を導き出すために、評価テストの被験者には、とくにプロトタイプの順序の付け方の理由について詳しく尋ねた。

図 5.8 から図 5.10 に、インタビューで導出したユーザ嗜好クラスタごとの要求の階層構造を示す。5.2.2 項で述べた通り、「Evaluation points」は、好ましさに差がついた評価基準として最初に述べられた項目である。ラダーダウンで導き出される要求を実現するための具体的手段(Concrete measures (HOWs))には、表面処理や材質など設計要素に関連する多くの項目が現れている。クラスタ 1 から選定された被験者らは、ちくちくしない触感、フィット感、快適感が評価基準となっている。インタビューから、彼らは粗いテクスチャに対する触感の違和感を嫌っていることがわかり、柔らかい素材や滑らかな表面がその実現手段として表れている。クラスタ 2 から選定された被験者らは、滑りにくさと握った感触が評価基準となっている。使用時に製品が手から滑ってしまうことを懸念しており、クラスタ 1 とは反対に、具体的手段には、ざらざらとした表面粗さが表れている。クラスタ 3 の被験者らも滑りやすさに対する懸念が具体的手段に表れているが、彼らが最初に評価する基準は、高品質、心地よいテクスチャ、フィット感であることがわかった。このように、クラスタ分析と評価グリッド法を組み合わせることにより、製品の嗜好の違いに影響を与える要求を把握することができ、ユーザ嗜好クラスタごとに異なる要求の階層構造を明らかにできる。

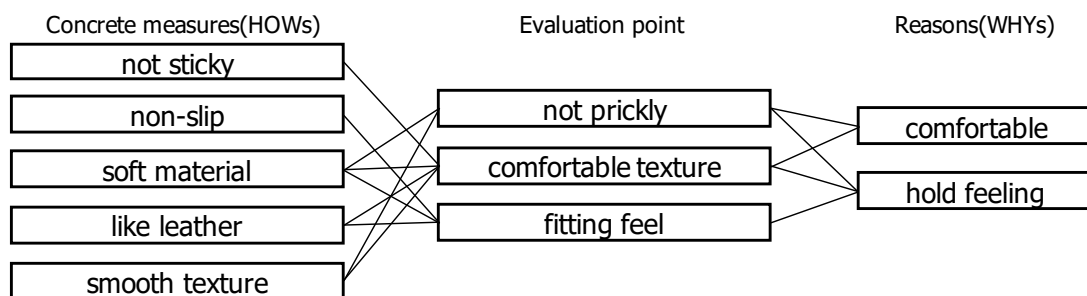


Fig. 5.8 Hierarchical structure of user requirements: User preference cluster 1

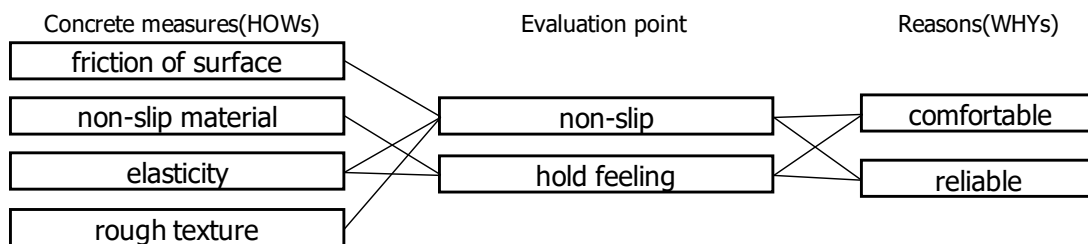


Fig. 5.9 Hierarchical structure of user requirements: User preference cluster 2

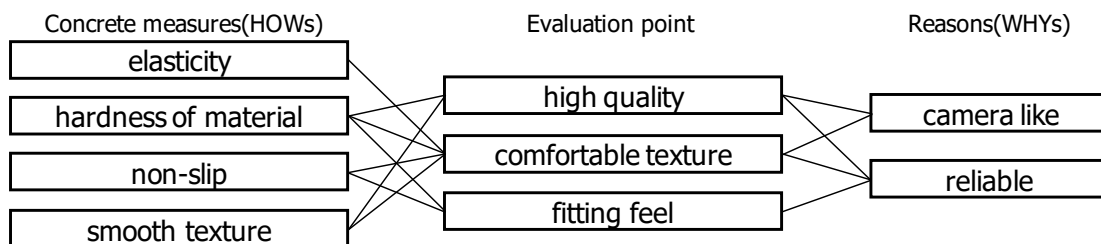


Fig. 5.10 Hierarchical structure of user requirements: User preference cluster 3

以上のように明らかにしたユーザ嗜好クラスタとその要求との間の関係を， User preference cluster - requirement DMM の要素として蓄積したものを図 5.11 に示す．ユーザ嗜好クラスタごとに異なる要求の階層構造を明らかにすることで，個々のクラスタに特有の要求と，すべてのクラスタに共通の要求がわかり，DMM で分かりやすく表現することができる．また，全てのクラスタに共通の要求は，できるだけ多くの顧客に製品を選んでもらうために，優先度の高い要求であるといえる．今回の分析から，優先度の高い要求は，滑りにくさ，フィット感，握り心地の良さであることがわかった．これらの要求は，多くのユーザの要求として，官能試験の適切な評価項目として使用できる．

Requirement (Kansei quality)	
User preference cluster	User preference cluster/ Requirement DMM
	Fitting feel
	Non-slip
	Comfortable
	Soft material
	Not prickly
	Elasticity
	Not sticky
	Hold feeling
	High quality
	Like leather
	Smooth texture
	Rough feeling
User Preference Cluster 1	● ● ● ● ● ● ● ● ● ● ●
User Preference Cluster 2	● ● ● ● ● ● ● ● ● ● ●
User Preference Cluster 3	● ● ● ● ● ● ● ● ● ● ●

Fig. 5.11 User preference cluster/Requirement DMM

### 5.3.2 ユーザ嗜好を考慮したサーフェステクスチャの機能・構造設計

この項では、グリップ部のサーフェステクスチャの触感を設計する際、感性品質を安定させる方法について検討する。そのために、触感に対するユーザ嗜好に影響を与える高感度設計要素を選定し、感性品質に対する評価のばらつきの影響を低減する設計パラメータについて分析を行う。最初に、5.3.1項で分析した3つのユーザ嗜好クラスターの触感に対する嗜好に対する設計要素の寄与度を明らかにするため、重回帰分析を行った。5.3.1項で述べたとおりプロトタイプに対する好みに基づく順序を目的変数に設定し、設計要素(硬さ, 弾性, コーティング, 表面処理, 表面粗さ, シボのパターン)を説明変数に設定した。クラスターごとのユーザ嗜好に対する各設計要素の寄与度は、標準化回帰係数の大きさによって評価し、User preference cluster - Design factors DMMの要素として蓄積した。3つのユーザ嗜好クラスターに対する重回帰分析結果を図5.12に示す。赤くハイライトで示した、触感の好みに大きく寄与する要素を、高感度設計要素とする。高感度設計要素は、クラスター1では表面粗さと弾性、クラスター2では表面処理と粗さ、クラスター3では表面処理と弾性であった。

この結果に対しては、5.3.1項で行った要求分析から、理由を解釈することができる。クラスター1では、好みの順序に対して表面粗さが負の方向に寄与している。これは、表面が粗いほど好まれなくなることを示しており、このクラスターの、表面粗さに対する嫌悪に起因する可能性がある。反対に、クラスター2では、好みの順序に対して表面粗さが正の方向に寄与している。クラスター2にとっては、滑りにくさが重要であったため、このような結果になった可能性がある。以上のような分析を通して、ユーザ嗜好クラスターごとに高感度設計要素が明らかになり、その理由の解釈を行うことで、優先度を考慮することができる。

		Design factor					
User preference cluster	User preference cluster/ Design factor DMM	Surface treatment	Roughness	Toughness	Elasticity	Coating	Pattern
	User Preference Cluster 1	-0.01	-0.26	-0.07	0.12	0.05	-0.07
	User Preference Cluster 2	-0.35	0.40	-0.04	-0.23	-0.03	0.01
	User Preference Cluster 3	-0.71	-0.03	-0.04	-0.21	-0.10	0.04

Fig. 5.12 User preference cluster/Design factors DMM

次に、感性品質を安定させるデータを得るための官能評価試験を行う。官能評価試験で評価するプロトタイプは、実験計画法(DOE)を用いて、重回帰分析で得られた複数のクラスタのユーザが重視する共通設計要素を因子とし、その設計パラメータを水準として組み合わせを変えて作成した。直交表を作成するにあたって、2 つ以上のクラスタの嗜好に寄与する表面処理と粗さを共通設計要素（因子）として選択した。水準となる設計パラメータは、過去に蓄積された設計者の知見から、表面処理レベルを 4 パターンと表面粗さを 3 パターン選定した後、実験の数を最小限に抑えるために L8 直交表を用いて、8 機種のプロトタイプを作成した。作成したプロトタイプに対し、5.3.1 項で述べた評価グリッド法から得られた感性品質に関連する要求を評価項目として、7 点法で官能評価試験を行った。官能評価試験の結果から、官能評価のばらつきを最小限に抑え、平均スコアを最大にする設計パラメータの組み合わせが選択できる DMM を作成した。官能評価試験は、3 つのユーザ嗜好クラスタから万遍なく被験者を 20 名選定し、実際に持ち運んだり、手に持って使用したりするユースケースを想定しながら、各評価項目についてプロトタイプを評価した。評価試験から得られた結果を、図 5.13 に示す Requirement- Parameter DMM の要素として蓄積した。DMM の行と列は、それぞれ官能評価試験の評価項目とプロトタイプの設計パラメータを示している。DMM の数値は、評価項目の平均スコア(average)と標準偏差をばらつき(variation)として示している。評価項目の列ごとに最も大きな数値は赤、最も小さい数値は青でハイライトしている。この DMM を用いて、評価のばらつきが最も小さく平均スコアが最も高くなる組み合わせを選定することができる。例えば、快適感(Comfortable)の要求に対しては、表面処理が B および表面粗さが 150 の組み合わせを選定することで、評価試験のばらつきの影響を最小限にしながら顧客満足度を上げることができる。一方で、滑りにくさ(Non slip)の要求に対して評価のばらつきが最も小さく平均点が最も高くなる組み合わせを選定しようとする、表面処理は B か C、表面粗さが 200 の組み合わせが考えられる。しかし表面粗さ 200 を選定すると、快適感に対しては、評価が悪化することがわかる。持ったときの快適感を重視するか、滑りにくさを重視するかについては、製品のコンセプトやターゲットとするユーザを考慮しながら決定する必要がある。このように、DMM を用いることにより、要求間のトレードオフについても検討することができる。

Requirement/ Parameter DMM		Parameter						
		Treatment A	Treatment B	Treatment C	Roughness 80	Roughness 100	Roughness 150	Roughness 200
Fitting feel	var	0.96	1.00	1.02	1.01	0.99	1.04	0.94
	ave	4.17	4.49	4.58	4.25	4.48	4.46	4.54
Non-slip	var	1.20	1.00	1.17	1.15	1.13	1.19	0.91
	ave	4.65	5.27	5.50	4.92	5.10	5.10	5.58
Comfortable	var	1.11	1.20	1.20	1.17	1.19	1.04	1.32
	ave	3.50	3.68	3.56	3.65	3.50	3.77	3.50
Soft material	var	1.27	1.17	1.20	1.14	1.31	1.18	1.19
	ave	4.63	4.76	4.92	4.75	4.79	4.85	4.69
Not prickly	var	1.61	1.21	1.03	1.64	1.27	1.03	1.12
	ave	4.27	4.50	4.48	4.48	4.40	4.58	4.29
Elasticity	var	1.45	1.22	1.10	1.52	1.22	1.09	1.15
	ave	4.81	4.91	5.08	4.83	5.00	4.87	5.02
Not sticky	var	1.24	1.10	0.99	1.25	1.07	1.03	1.08
	ave	3.13	2.95	2.69	2.96	2.88	2.88	3.00
Hold feeling	var	1.19	1.16	1.01	1.31	1.10	0.93	1.18
	ave	4.35	4.75	4.77	4.44	4.58	4.69	4.90
High quality	var	0.57	0.64	0.57	0.67	0.56	0.70	0.50
	ave	3.46	3.74	4.10	3.35	4.10	3.62	3.65
Like leather	var	1.11	1.14	0.99	1.18	1.11	1.08	1.00
	ave	4.08	4.34	4.40	3.98	4.40	4.37	4.40
Smooth texture	var	1.11	0.93	0.93	1.13	0.89	0.98	0.89
	ave	4.02	4.10	4.15	4.02	3.96	4.17	4.21
Rough feeling	var	1.03	0.96	1.00	0.94	1.13	1.03	0.85
	ave	4.29	4.67	4.63	3.90	4.87	4.31	5.19

Fig. 5.13 Influence of design parameters on user preference

### 5.3.3 MDM に基づくユーザ嗜好を考慮した製品設計の表現

この項では、ユーザ嗜好クラスタ、要求、および物理設計を関係付け、プロセス通じて設計情報を管理するために提案する MDM について述べる。図 5.14 は、4 つの DSM と 5 つの DMM を含む MDM を示す。MDM の構成要素は、5.2.1 項で説明した感性設計フレームワークを行うなかで、5.3.1 項と 5.3.2 項で述べた分析により取得した設計情報から成っている。User preference cluster DSM は、クラスタ分析から導出されたユーザ嗜好クラスタから作成される。Requirement DSM は、評価グリッド法によって得られたすべてのクラスタの感性品質に関連する要求から作成される。Design factor DSM の設計要素は、触感に関連する設計要素である。この DSM では、ある 1 つの因子を変更すると別の因子に影響を与える場合には、依存関係があるとして、依存の表記を設定する。例えばシボのパターン

と表面粗さの関係がそれにあたる。Parameter DSM のなかの設計パラメータは、設計要素の水準あるいは属性である。User preference cluster - Requirement DMM は、ユーザ嗜好クラスタと評価グリッド法によって得られた要求との関係を示している。この DMM から、2 つ以上のクラスタで要求されている重要な要求と、個々のクラスタに固有の要求など、クラスタと要求との関係がわかる。Requirement - Design factor DMM は、評価グリッド法によって得られた要求と設計要素との間の関係を表す。User preference cluster - Design factor DMM には、官能評価試験結果に対する重回帰分析から得られた、ユーザ嗜好クラスタごとの嗜好に対する設計要素の寄与度が蓄積される。この DMM からは、ターゲットとする顧客の嗜好に影響を及ぼす設計要素が明らかになる。Design factor - Parameter DMM は、因子となる設計要素と、設計要素の水準に相当する設計パラメータとの関係を表している。感性品質のロバスト性を上げるためには、この DMM を用いて、クラスタ間で共通性のある設計要素を選定し、水準となる設計パラメータを決定して、プロトタイプの様子が作成できる。この DMM から作成されたプロトタイプを用いた官能評価試験の結果は、Requirement - Parameter DMM に蓄積される。このデータから、ターゲットとするユーザ嗜好クラスタに対し、嗜好のばらつきが小さく評価の平均スコアが高くなる設計パラメータの組み合わせを決定することができる。

提案する MDM により、不確実なユーザ嗜好の多様性のもとで、多くのユーザが好む触感を設計することが可能になる。例えば、図 5.14 に示すように、User preference cluster - Requirement DMM から、3 つのユーザ嗜好クラスタすべてに重要な要求として、フィット感、滑りにくさ、快適性があることがわかる。次に、User preference cluster - Design factor DMM から、3 つのユーザ嗜好クラスタの嗜好に共通して影響がある共通設計要素は、表面処理および表面粗さであることがわかる。これら 2 つの DMM を用いて、ユーザ嗜好の多様性を考慮しながら、適切な設計要素を選択することが可能になる。感性品質の評価のばらつきを最小にするためには、Requirement - Parameter DMM を活用する。この DMM により、感性品質に対する顧客の多様性と感性品質の評価のばらつきを同時に考慮し、ユーザの満足度を上げるパラメータの組み合わせを効率的に見つけることができる。提案する MDM は、市場動向の変化や製品戦略によって、ターゲットとする顧客が絞られた場合にも適用が可能である。例えば、ユーザ嗜好クラスタ 3 をターゲットとする場合、User - Requirement DMM から、対象とするクラスタに固有の要求は、高級感であるとわかる。User preference cluster - Design factor DMM は、クラスタ 3 に感度が高い設計要素は表面処理と弾

性であることを示している。Requirement - Design factor DMM から、クラスタ 3 に感度が高い設計要素の 1 つである表面処理が、高級感に関係することがわかる。Design factor - Parameter DMM から、表面処理の設計パラメータは処理 A, B, C である。クラスタ 3 に対し感性品質の安定性を上げるために、Requirement - Parameter DMM を用いて、ばらつきが低減され平均スコアが高くなる組み合わせとなる、表面粗さ= 100 を決定することができる。

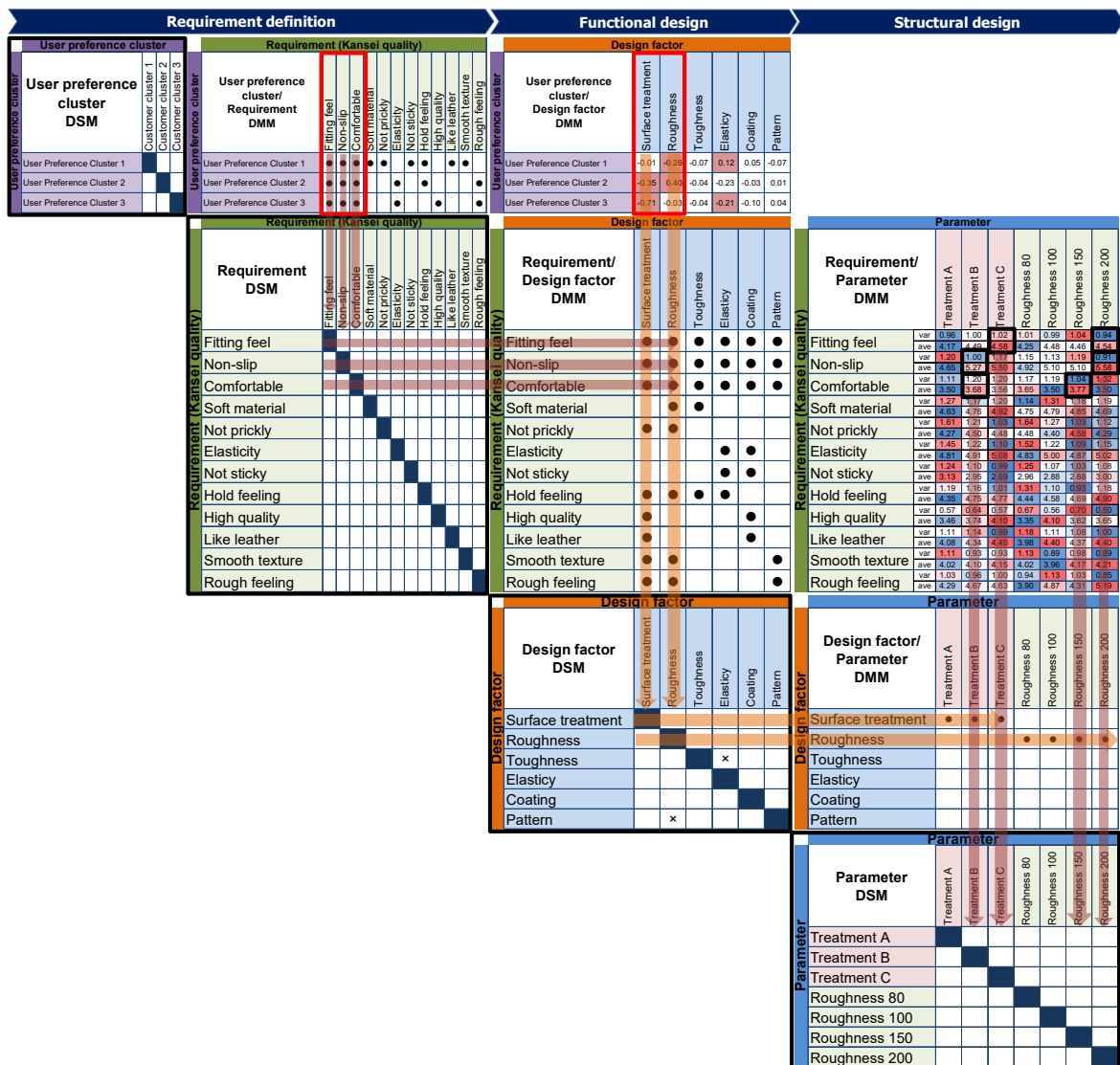


Fig. 5.14 MDM-based product design process based on user preference

## 5.4 まとめ

本章では、コンシューマエレクトロニクスのサーフェステクスチャの触感に対して、不確実なユーザ嗜好の多様性を考慮し、かつ感性品質に対する評価のばらつきの影響を低減できるフレームワークを提案した。まず、感性品質に対するユーザ嗜好の多様性を網羅的に把握するため、多人数に対して選好順序評価テストを実施した。選好順序に対するクラスタ分析から、ユーザ嗜好クラスタの数および各クラスタの頻度が明らかになり、ユーザ嗜好の多様性を把握することができた。製品の感性品質を含む要求を詳しく調査するために、各クラスタから、クラスタを代表するような被験者を選定し、クラスタごとの要求の階層構造を評価グリッド法によって導出した。次に、ユーザ嗜好に影響を与える設計要素と、それらの設計要素のなかから、複数のクラスタの嗜好に影響を与える共通設計要素を明らかにした。これらの共通設計要素とその水準となる設計パラメータの組み合わせが最小限になるよう実験計画法を適用し、作成したプロトタイプに対して官能評価試験を実施した。DMM を用いて設計パラメータと官能評価結果を関係付けたデータを蓄積することにより、官能評価のばらつきを最小にして高い平均スコアが得られる設計パラメータの組み合わせを決定できた。また、DMM を用いて要求間のトレードオフが検討できることを示した。さらに、MDM に基づき感性に関わる設計情報を管理し、要求から機能・構造設計までトレーサビリティを確保することができた。提案する MDM を用いて、要求に対し、評価のばらつきが小さく、ユーザの満足度を上げることができる設計パラメータを、効率に見つけることができるようになった。これらの設計情報は、設計者間だけでなく、デザイナーや、企画・マーケティング、品質担当などの他の分野の専門家とも共有することができる。また、提案するフレームワークをサーフェステクスチャの触感の設計に適用して、効果を示すことができた。

従来の製品設計プロセスでは、感性設計を行う際、製品に対するユーザ嗜好の不確実性を網羅的に評価することができず、製品の感性品質を定義することが困難であった。ユーザ嗜好を考える際に、ユーザ属性だけでなく、ユーザ嗜好のクラスタや各クラスタの価値・要求の階層構造を把握することで、設計者は製品の感性品質を総合的に評価し、定義することができるようになった。

提案するフレームワークは、同時に、ターゲットとする特定の顧客要求を満たす設計要素も選択できる。設計上流で行う要求分析から導出された要求と、重回帰分析によって得



られた要求に大きな影響を与える高感度設計要素を考慮することにより、設計パラメータに要求を結びつけることができた。この方法により、ターゲットとする顧客が変わっても、その要求に対して設計パラメータのトレーサビリティをとることが容易になる。またこの方法は、触覚だけでなく他の感覚にも適用でき、感性品質を効果的に高めることができる。今後、視覚・触覚・音などの感性と、設計パラメータに依存する物理指標との関係は、さらに議論されるべきである。そのような検討を進めることで、提案する方法を多くの顧客の嗜好に合わせて展開し、個々の顧客に対してより最適な設計を行うことでマーケティング戦略を支援していける可能性を示している。

## 6章 結論と課題および考察

### 6.1 結論

多様なユーザが利用するスマートフォン、カメラ、パーソナルコンピュータなどのコンシューマエレクトロニクス製品のなかでも、特にモバイル機器の場合には、携帯性、小型軽量化が求められる上、一年程度と短い製品の開発サイクルのなかで、ユーザニーズの変化への対応を迫られる。特に、近年では見た目の審美性や製品から発する音、触り心地の良さなど感性に関わる価値がユーザから求められているが、製品の開発・設計を通じて最終的に設計されたものがこれを満たすことが保証できない問題があった。そこで本論文では、ユーザが、カメラやキーボードなどコンシューマエレクトロニクス製品に求める感性価値を提供するため、製品をシステムとして捉えた上でユーザ感性に重点をおき、上流から下流までのトレーサビリティを確保できる感性設計のエンジニアリング活動を支援する方法を提案した。

具体的には、コンシューマエレクトロニクスに対し感性を考慮した設計を行う上での課題を、これまでの研究で十分に検討されてこなかった次の4つに絞り込んだ。

課題1 ユースケースが変わると対象に対するユーザの期待や要望は変わるため、ユースケースごとの要求を把握し、ユースケースに応じた設計目標を設定し評価することが難しい。

課題2 感性に関わるニーズなどを含む設計情報を、設計プロセスを通じて失うことなく引き渡すことができていない。

課題3 感性要求と性能要求を両立する設計が困難である。

課題4 感性品質に対する評価は、ばらつきの影響を受けるため、多くのユーザに感性価値を提供することが難しい。

その上で、下記の3つの方法を提案し、これらの方法を実際の製品設計に適用し、その有効性を検証した。

(1) ユースケースを想定した評価グリッド法を用いて、製品の利用状況により変化するニーズを把握し、要求を導くための方法を示す。

- (2) 感性に関わるニーズなどを含む設計情報を、要求、機能・構造設計プロセスを通じて失うことなく引き渡すため、感性に関わる設計情報を MDM に基づいて管理するための方法を示す。
- (3) システムモデルを活用して、ユーザと対象とする製品との相互作用を明確にした上で、ユーザ感性に重点をおいたシステム設計を行う手順を示す。

以下に、各章間の関係性を踏まえて第 2 章～第 5 章の順を追って結論を述べる。

2 章では、課題 1 に対し、ユースケースを想定した評価グリッド法を提案し、さらに DMM によるユースケースと要求と評価語とを関係付ける方法を提案した。ユースケース依存の要求の違いを漏れなく導出できるように、運用ステージで対象とするシステムを利用する際の外部システムとの関係性を考慮し、網羅性のあるユースケースを選定できる方法を示した。この方法をカメラのシャッター音の音質設計に適用し、ユースケースに応じた音質目標を設定した。具体的な複数のユースケースを想定した評価グリッド法によるインタビューを行い、ユースケースごとの要求を把握することができた。さらにインタビューから導かれた要求同士の関係性を記述した DSM を作成し、クラスタリング処理を行うことで、音に関する要求を含む 7 つの要求クラスタを導出した。DMM を用いてユースケースと要求クラスタを関係付け、要求クラスタとそれを表現した評価語を関係付けることにより、ユースケースごとの要求が評価できる評価語を用いた官能評価が可能になった。さらに新しい音色因子を主観指標として用いることで、従来の評価語から得られた因子では得られなかった音の差が明確に表現できるようになった。

2 章で示した方法では、ユーザを限定した上でユースケースの網羅性をもたせることができ、そこから規定した要求を評価する評価語を選定できた。従来の評価語から得られた因子では示すことができなかった音の感じ方の差が、新しい音色因子を主観指標として用いることによって明確に表現できるようになった。しかしながら、すべてのユースケースを満たす要求および評価語に基づく官能評価の実現には至っていない。また、ユースケースの網羅性をもたせることができたのは、ユーザを限定したことによるため、ユーザの多様性を考慮することができていない。今回の調査では、被験者 10 名の要求から 7 つの要求クラスタを導出したが、一般のカメラの製品ラインナップから想定されるターゲットユーザ層（プロ、ハイアマチュア、エントリー）の要求と比較すると、プロフェッショナルからハイアマチュアユーザのユースケースに相当するクラスタが得られていないなど、まだ

不十分な点が考えられる．今後はターゲットユーザとユースケースとの関係も調査し，被験者，評価対象とする機種等を工夫するなど，十分なクラスタを得るためにまだ検討の余地がある．

3章では，課題2に対処するために，MDMに基づく設計情報の管理を提案した．カメラのシャッター音に関わる設計情報の管理に関して，2章で把握したユースケースと要求の依存関係と，ユースケースごとの要求から定めた設計目標の方向性を，物理指標による設計目標，物理指標，構造と関係付ける方法について検討した．DSMとDMMを利用して，ユースケース依存の音質目標を，音色因子を用いて示し，機能設計プロセスでは音質メトリクスに，構造設計プロセスでは物理指標にシステムティックに接続した．またDMMを用いて要求，機能，構造間の設計情報の依存関係を回帰係数として残し，MDMに基づき音質に関わる設計情報を管理できることを示した．次に，見た目や触感に対するユーザ要求を実現するためMDMを用いて設計情報の記述を行った．評価グリッド法によるインタビュー結果に対するDSMクラスタ分析から，3つの感覚を含む混合DSMを作成し，ユーザ要求に合致する感性品質を設計するための感覚が複数存在することを示した．要求を視覚，触覚，音に分類した上で，感性品質に関連する機能を明らかにし，コンポーネントレベルで感性に関する物理指標を設定し，物理指標とコンポーネントを接続することで，より効率的に構造設計が行えることを示した．

3章で提案したMDMを用いた方法は，システムを構成する要素とそれらの相互作用を表し，プロセスを跨いでこれらの関係を管理するのみにとどまらず，要求，機能・構造設計プロセス間の感性に関わる設計情報を管理することができる．官能評価から得た因子得点と物理指標の依存関係を回帰係数で蓄積する工夫を施し，主観と客観が混ざった設計情報を次のプロセスにつなげやすくした．これにより，従来プロセスを通じて管理することが困難であった，感性に関わる設計情報を，設計上流から下流まで一貫して引き渡すことができた．こうした検討の結果，各プロセスで残さなければならない設計情報を明確にすることができたことは，今後のエンジニアリング活動に大いに参考になるものと考えられる．ただし，本研究で，MDMにより関係付けることができたのは音圧や周波数特性などの物理指標とそれらに関連する構造までにとどまり，構造の持つ設計パラメータまでの関係付けには至っていない．すなわち，その後の詳細設計ができるまでの設計情報の関係付けはできていないため，実測や数値シミュレーションから得た値を関係付け，設計情報の

管理を検討する必要がある。なお、4章では、システムモデルを用いて構造の持つ設計パラメータと音圧や周波数特性などの物理指標との関係性を記述している。

4章では、課題3に対処するために、感性要求と機能や構成要素との関係性を、専門分野をまたぐ設計開発関係者間で共有して設計を進めることができるシステムズエンジニアリングのアプローチを提案した。デジタル一眼カメラに対して、提供すべき機能を明らかにするため、複数のユースケースを記述して、ユースケースごとに異なるシステムとアクター間の相互作用を検討した。また要求図を用いて、機能要求と感性要求との関係を分析した。「シャッター音を発する」という機能および構造の段階的詳細化を通して、音質に対する要求を適切な物理指標に変換することができた。次に、カメラのシャッター音質目標に応じて周波数伝達特性と音響・振動の設計パラメータを関係付け、設計手順との関係性や異なる観点からのアーキテクチャの検討を行った。カメラのシャッター音に関して、構造、振る舞い、パラメトリック制約の観点で解析を行った。システムモデルによる検討から、「不快な音がしない」という音質目標を達成するための詳細設計に寄与する周波数伝達特性の入出力関係と、物理構造のパラメータとの関係を明らかにできた。この検討から得られたパラメータを用いてシミュレーションを行い、音質目標が達成できることを示すことができた。

パーソナルコンピュータのキーボードに対しては、まず感性に関係するシステム要求を定義し、感性要求の評価試験に用いる評価語を選定した。次に、ユーザと、ユーザ動作に関わる構成要素間の振る舞いをシーケンス図で記述し、ユーザ動作に応じた感性要求の時間的な繋がりを明らかにした。さらに、過去に開発された数機種の製品に対する評価試験を行い、入力しやすさやストローク感などの感性要求と1分間あたりの文字入力数と正確率の性能要求との両立を達成することができた。

4章で示した手順により、感性設計を実施する際、設計を担当する関係者間でシステムモデルを活用し、回帰モデルやシミュレーションを用いて感性評価を予測できた。感性設計を実施する際、設計を担当する関係者間でシステムモデルを活用することで、これまで暗黙知で行われていたユーザと対象との相互作用や物理量との関係性が明らかになり、専門分野をまたいで共有できることが期待される。しかしながら、システムモデルを記述するためには、多くの関係者が関与する必要があり、その際に、エンジニア間の暗黙知や用語の定義上の齟齬の問題が表出することが懸念される。このような問題の解決には、エン

エンジニア同士のコミュニケーションの充実をはかることが必要と考えられる。設計情報管理を実施する際にも、用語の定義は重要である。

5章では、課題4に対して、不確実なユーザ嗜好の多様性を考慮し、かつ感性品質に対する評価のばらつきの影響を低減できるフレームワークを提案した。まず選好順序評価テストに対するクラスタ分析で感性品質に対するユーザ嗜好の多様性を網羅的に把握し、その上で、各クラスタの価値・要求の階層構造を評価グリッド法によって導出した。次に、ユーザ嗜好に影響を与える設計要素を重回帰分析によって明らかにし、多くのユーザの嗜好に影響を与える共通設計要素も明らかにした。

提案する方法により、不確実なユーザ嗜好を定量的に把握し、その価値・要求を、選好順序と関係付けて分析することができた。また、DMMを用いて設計パラメータと官能評価結果を関係付けたデータを蓄積することにより、官能評価のばらつきを最小にして高い平均スコアが得られる設計パラメータの組み合わせを決定できるようになった。このDMMを含む感性品質に関する設計情報を接続したMDMにより、ユーザ嗜好の多様性を考慮し、感性品質の評価のばらつきの低減できる解を、効率的に見つけられることを示した。しかしながら、今回の実験計画法で決めたサーフェステクスチャの設計パラメータには、加工上およびコスト上の制約があるため、限られたものとした。このため、実験計画法で用いた設計パラメータの組み合わせでは、ユーザ要求を網羅的に満たすものとなっていない可能性がある。

## 6.2 課題および考察

6.1節では、各章で行った内容と、そこから得られた成果についてまとめた。この節では、本研究で提案する方法(1)~(3)について課題および考察を述べる。

### 提案する方法 (1) の課題および考察

ユースケースを想定した評価グリッド法は、2章と3章ではカメラに対して、4章ではキーボードに対して、5章ではカメラのサーフェステクスチャに対して適用した。提案する方法を行うに際し、ユーザの多様性の課題、要求の文脈依存性および重要度の課題、実験者の課題および考察を述べる。2章では、ユーザを限定したことにより、ユースケースの網羅性をもたせることができたが、本研究では、ユースケース選定に際して、ユーザの多

様性についての配慮がなされていない。評価グリッド法の被験者 10 名の要求から 7 つの要求クラスタを導出したものの、一般のカメラの製品ラインナップから想定されるターゲットユーザ層（プロ、ハイアマチュア、エントリー）の要求と比較すると、プロフェッショナルからハイアマチュアユーザのユースケースに相当するクラスタが得られていない。今後はターゲットユーザとユースケースとの関係を調査し、被験者、評価対象とする機種等を工夫するなど、十分なクラスタを得るためにまだ検討の余地がある。

次に要求の文脈依存性および要求の重要度についての課題がある。評価グリッド法を行った際、複数の被験者のインタビュー結果に対し異なる評価構造が出てきた場合にはこれを追加する形でネットワーク図を作成した。しかしながら、すべての被験者が同じユースケースで必ずしも同じ要求をもつとは限らない。また、要求には文脈依存性があるため、例えば「心地よさ」という要求は、ユースケースにより「心地よさ」の内容そのものが変わってしまう。本研究では、ユースケースごとに要求を分けて評価語を選定しているが、複数のユースケースに対し同じ評価語で評価する際は、どのユースケースのときの評価語かを識別できるようにするなど正しい評価ができるような工夫が必要である。また要求の重要度については、本研究では、多くの人から求められた要求と、一人からしか求められなかった要求が、重みづけがされずに同等に扱われている。今後、設計の優先度や要求の重要度を知るために、頻度など何等かの形で要求の重みづけの可視化を検討したい。

実験者側の課題として、評価グリッド法は、予め評価語を準備しない方法であるため、質問の仕方や結果のまとめ方が実験者依存になるという問題がある。本研究では、複数の被験者のインタビュー結果を一つの評価グリッドネットワーク図にまとめたが、被験者が異なると、同じ評価語が別の意味で使われたり、反対に同じ要求が異なる評価語で表現されることがある。その際は、実験者がその意味を解釈し、用語を統一または区別することになる。この作業は、実際に実験に立ち会った者でないと判断が難しく、また同じ調査であっても実験者による斟酌が入るため、成果物であるネットワーク図が異なる可能性が充分にある。このような問題に対しては、用語の定義の仕方を含め、ある程度システムティックな作業手順決めておく必要がある。

ユーザの多様性の配慮と同時に、被験者の選定も慎重に行なわなければならない。被験者選定に際して、普段、評価対象の製品をどのくらい利用しているか、さらに言うと利用時にどのくらい対象を意識して利用しているかによって、導出できる要求には非常に差があった。本研究では、各調査で 10 名前後の被験者のデータを分析しているが、なかにはほ

とんど要求が引き出せず、データとして利用できなかった被験者が少なからずいた。被験者を選定する際に、設計開発現場では、設計開発の関係者とエンドユーザでは製品に関わる知識量が異なるため要求が偏ることを懸念し、エンドユーザに近い人を選定する傾向があるが、網羅的に評価語を引き出さなければならない開発フェーズでは、一般ユーザよりは、あえて設計開発の関係者に聞く方が有用な情報を得られることが多いと感じる。5章で述べたカメラのサーフェステクスチャの調査では、設計開発者も含めて予備実験を行ったが、設計開発に関わらない被験者は、順番にグリップを握って、その感触について意見を述べる人が多かったのに対し、設計開発者は、ほとんどの人がグリップ部を持って大きく振るなどしてから評価する、というように、評価する態度に違いがみられた。設計開発者は、対象とするカメラを日常でもよく使っている人が多く、自然とそのような行動をとったと思われるが、非常に興味深い違いであった。以上のようなことを鑑みると、網羅的な評価語選定を目的とするような場合には、設計開発者や有識者など、製品を熟知している、あるいは普段製品についてよく考えている人を被験者として交えた上で、最初は網羅的な要求を導出してみるなど、段階に応じた被験者選定を工夫する必要があると考える。

#### 提案する方法 (2) の課題および考察

MDMに基づく感性に関わる設計情報の管理は、3章のカメラのシャッター音質設計とユーザ要求を実現する感性品質、5章のカメラのサーフェステクスチャの設計に対して適用した。MDMを用いて主観量と物理量とを関係付ける際に、感覚と物理量は関係付けることの難しさと、その際の感覚に対応する物理量の安定した取得が困難という課題がある。本論文で多く取り上げた音質は、人間の聴覚特性と物理的な音響学のパラメータの双方に関連した心理音響の研究が進んでおり、五感のなかでは、比較的物理量との対応を関係付けしやすい感覚であると言える。これに対して、触覚や視覚には、音質設計でいう **Sound metrics** に相当する人間の感覚を加味した物理量はまだ明らかにされていない。

また、感覚に対応する物理量は、人が変化を感じる微妙な差を安定的に取得することが難しい。5章では、カメラのサーフェステクスチャの設計に際し、素材の違いによる表面粗さ、摩擦係数、変動量などの取得を試みたが、もともと模様が均一でない試料であるため、厳密には試料のどこを切り取って計測するかによって結果が異なり、人の感じる微妙な差は計測誤差に埋もれてしまう。触感は、握り方や手の大きさなどでも感じ方が異なるなど特有の難しさがあり、感覚に関わる物理計測の方法と、人間の感じ方の解明と、双方



で明らかにしなければならないことは多い。まだ課題は多いが、検討経緯も含め感性に関わる設計情報とその関係性を管理し、物理指標とその先の設計につなげるため MDM を活用することが望まれる。

### 提案する方法 (3) の課題および考察

システムモデルの活用は、4 章でカメラとキーボードに対して適用した。コンシューマエレクトロニクスにシステムモデルを活用するに際しては、システムモデルの記述と、実運用の難しさという課題がある。システムズエンジニアリングのアプローチが長く行われている航空機や自動車に比べて、コンシューマエレクトロニクス製品の設計に対しては、まだシステムモデルが十分に活用されていると言えないのが現状である。対象とする製品は、コストや開発期間の制約が大きい。システムモデルを記述するには、多くの関係者が関与する必要があり、時間を要する。設計上流で時間をかけてシステムモデルを作成し、ユーザの感じ方と対象とする製品の振る舞いとの関係を明らかにしておくことは、後の手戻りを防止し商品性を上げるために効果的であるが、制約と効果のバランスを取り、システムモデルの有効性をどう示すかが、活用を促進する上での要となる。

次に、実際の製品設計プロセスのなかでシステムモデルを活用するためには、運用上の問題がある。多くの関係者が関与する必要があり、記述に時間を要するシステムモデルを、誰がどの段階で記述するのか、また、誰がシステム全体を俯瞰してモデルの正しさや整合性について責任を持てるかを決めていく必要がある。エンジニア間の暗黙知や用語の定義上の齟齬の問題が表出することも懸念され、コミュニケーションの充実をはからなければならない。既存の設計プロセスを阻害しない形で検証計画や品質評価と関係付け、シミュレーションなど既存の手法に対しても効果を付与するなど、実際の設計手順を考慮した活用方法の提案が必要である。他の産業分野の成功例も参考にしながらカスタマイズを行い、コンシューマエレクトロニクスに適した活用を提案したいと考える。

## 6.3 今後の展望

見た目の審美性や製品から発する音、触り心地の良さなど感性に関わる価値がユーザから求められているなか、限られた時間で製品の開発・設計を行う必要のあるエンジニアリング活動に対して、本論文では、感性に関わる設計情報を上流から下流までのトレーサビ

リティを確保できる方法を示すことができた。本論文で論じた方法を感性設計に配慮して製品設計を行う組織にプロセスとして導入することにより、ユーザニーズに合致する感性品質を備えた製品を、ユーザが欲しいときに提供できるようになると考えられる。ただし、これを実現するためには、6.2節に示した課題にさらに対処する必要がある。特に、企業での製品設計では、QCD（Quality, Cost, Delivery）のうち、コスト制約と開発期間に関する制約は比較的強い場合が多く、この制約のなかでユーザニーズに合致する感性品質を備えた製品を提供する必要がある。

本論文で論じたユーザ感性を考慮したシステム設計は、今後、設計および開発を行うエンジニアの間でとくに重要な指針になると考えられる。感性はもともと物理的な数式で扱うことが難しく、ユーザの感じ方と対象とする製品の振る舞いとの関係が見えにくく、わかりにくい。このため、感性設計に配慮した製品の設計では、この関係を明らかにすることがますます重要になってくるが、本論文で示したとおり、システムモデルを用いた記述により、検討に必要な粒度で、構造、振る舞い、パラメトリック制御の異なるビューで、ユーザの感性表現を含めた記述ができる。専門分野の異なる設計関係者間で、感性設計に関する懸念や要求について共有することが容易となり、そもそも曖昧になりがちな感性の取り扱いに厳格さを付加できることが期待できる点で、重要な意義がある。

また、学術的な観点で本論文は、感性工学あるいは設計工学の学問分野に対して、対象をシステムとして捉えることの重要性を示すことができている。コンシューマエレクトロニクス製品に感性価値を付加したいと考える場合に、個々の部品レベルで感性価値を高めようとする前の段階で、ユーザの感性価値を達成するための「システム」として製品を捉えることが重要であることを、本論文は示唆するものである。今後、この観点からの研究が進展することを期待したい。

一方で、前述のとおり、企業内のエンジニアリング活動での実践として本論文で論じた方法を導入するためには、課題はまだ多く、導入を行うためのテラリングが必要となる。これらの課題に対する検討を行うためにも関連するエンジニアリングデータを設計情報として蓄積し、設計情報管理のフレームワークの構築を目指すことを薦めたいと考える。本論文が、製品の感性品質を向上させ、企業での魅力のある製品創出に役立つことを期待するものである。

## 文献

- [1] 板垣良直, 無意識的な意思決定における感性価値の影響度計測: 一直感的な価値観の計測実験からー日本感性工学会論文誌, Vol.13, No.1(2014), pp.269-279.
- [2] 加我由佳里, 内田直樹, 土田哲平, 室谷好美, 成熟市場を活性化させる KANSEI Value の可能性ー感性に訴求する時代の知財戦略の検討情報ープロフェッショナルシンポジウム予稿集(2017), pp.13-19.
- [3] 高田正幸, 山野秀源, 岩宮眞一郎, 機械音の音質の経済評価, 日本機械学会論文集C編, Vol.71, No.707 (2005), pp.2155-2162.
- [4] 田中泰彦, 化粧と容器開発:感性価値をもつ容器へのアプローチ, 設計工学, No.45, Vol.4 (2010), pp.165-170 .
- [5] 和泉志穂, 赤岡仁之, 消費者行動における感性価値の研究ー複数の感覚項目の関係性および性差・世代差からの検討ー, 繊維製品消費科学, No.56, Vol.7 (2015), pp.613-619.
- [6] 田中友佳子, 青山英樹, デライト設計手法の開発基礎研究 (感性の価値モデルと評価モデルに基づくデザイン) , 精密工学会学術講演会講演論文集, 2016 年度精密工学会秋季大会(2016), pp.497-498.
- [7] 滝口麻衣子, 岩垂好彦, 価格競争からの脱却を図る感性価値の創出 (特集 日本の電機産業復活に向けて) , 知的資産創造 = Knowledge creation and integration 2017-08 (2017), pp.52-63.
- [8] 戸井武司, 感性価値を創造する快音設計 (特集 電気機器・機械の騒音・振動対策) , OHM 2017 年 3 月号, オーム社(2017), pp25-27.
- [9] 感性価値創造イニシアティブ第四の価値軸の提案感性☆21 報告書, 経済産業調査会(2007)
- [10] [http://www.meti.go.jp/policy/mono\\_info\\_service/mono/human-design/downloadfiles/no1.pdf](http://www.meti.go.jp/policy/mono_info_service/mono/human-design/downloadfiles/no1.pdf) (参照日 2018 年 5 月 12 日)
- [11] 長町三生, 感性工学ー感性をデザインに活かすテクノロジー, 海文堂出版(1989).
- [12] 長町三生, 感性工学のおはなし, 日本規格協会(1995).
- [13] 長町三生, 感性商品学ー感性工学の基礎と応用, 海文堂出版(1989).

- [14] 原田昭, 感性の定義, 筑波大学感性評価構造モデルと構築特別プロジェクト研究報告集(1998), pp.41-47.
- [15] 片岡篤, 感性品質の静的車両評価への適用, 自動車技術, Vol.61, No.6 (2007), pp.23-28.
- [16] 片岡篤, 感性品質の乗用車開発への適用 : 感性価値管理手法としての PQ (特集 製品と感性工学) , 感性工学 Vol.11, No.2 (2012), pp.88-93.
- [17] 柳澤秀吉, 感性の多様性を考慮した感性品質の定量指標化手法製品の音質設計への適用, 日本機械学会誌 vol.110, No.1069 (2007) , pp.959.
- [18] 妹尾正巳, 高級感という感性品質, 日本化粧品技術者会誌, No.45, Vol.4 (2011).
- [19] 柳澤秀吉, 感性の多様性を考慮した感性設計 (音のデザインを事例として) , デザイン知識論研究会, 第 7 回研究会 (2009), <http://www.jaist.ac.jp/ks/labs/t-aura/design-knowledge/index.php?plugin=attach&refer=FrontPage&openfile> (参照日 2018 年 6 月 2 日).
- [20] INCOSE Systems Engineering Handbook, Ver. 4 (2015).
- [21] 西村秀和総監修, モデルに基づくシステムズエンジニアリング, 日経エレクトロニクス(2015).
- [22] SIP (戦略的イノベーション想像プログラム) 革新的設計生産技術, 革新的デライトデザインプラットフォーム技術の研究開発デライトデザインスクール第1回予稿集公開版(2015).
- [23] Edwin G. Boring, Sensation and perception in the history of experimental psychology, Appleton-Century (1942).
- [24] 井上勝雄編, デザインと感性, 海文堂出版(2009).
- [25] 日科技連官能評価委員会 (編), 新版官能検査ハンドブック, 日科技連出版社(1973).
- [26] 佐藤信, 官能評価入門, 日科技連出版社(1978).
- [27] 佐藤信, 統計的官能検査法, 日科技連出版社(1985).
- [28] 山口静子, 官能評価とは何か, そのあるべき姿, 化学と生物, Vol.50, No.7 (2012), pp.518-524.
- [29] Osgood, C. E., Suci, G. J. and Tannenbaum, P. H., The Measurement of Meaning, University of Illinois Press (1957).

- [30] 福田忠彦監修, 福田忠彦研究室編, 人間工学ガイド (感性を科学する方法), サイエンスティスト社(2006).
- [31] 大富浩一, 初歩から学ぶ設計手法, 工業調査会(2007).
- [32] 大富浩一, よくわかるデライト設計入門, 日刊工業新聞社(2017).
- [33] Zwicker, E. and Fastl, H., Psychoacoustics: Facts and models, third edition, Springer (2006).
- [34] B&K 社資料, Introduction to Sound Quality (BA7609-13).
- [35] 山下剛, 石井康夫, 中村光勇, 北村音一, 自動車車室内音の音色評価について～小型乗用車とスポーツカーの音色・日本人と米国人との比較～, 日本ゴム協会誌, Vol.63, No.3 (1990), pp.122-130.
- [36] 橋本竹夫, 自動車における音質評価, 騒音制御, Vol.16, No.1 (1992), pp.4-7.
- [37] 中嶋一博, 佐々木克, ディーゼルエンジンの時間一周波数領域音質評価技術の開発, 自動車技術開論文集, Vol.42, No.2 (2011), pp.335-340.
- [38] 福原千絵, 加村孝信, 末富隆正, 黒田将也, 今西秀樹, 様々な加速シーンにおけるエンジン音質評価影響因子の比較, 振動・音響新技術シンポジウム講演論文集(2003), pp.23-26.
- [39] 本井碧, 二里洋輔, 東島裕, 西村貴孝, キムヨンキュ, 綿貫茂喜, 関岡優季, 緒方光, 乗用車のドア開音におけるプライミング効果が印象評価及び事関連電位に与える影響, 人間工学, Vol.48, 特別号(2012), pp.158-159.
- [40] 柳澤秀吉, 村上存, 片岡哲志, 大富浩一, 穂坂倫佳, 未踏特徴量領域の感性分析による潜在評価因子の抽出法 (製品音の感性品質への適用), 日本機械学会論文集 (C 編) Vol.75, No.756 (2009), pp2148-2158.
- [41] 高橋治輝, 柳澤秀吉, 勇木徳仁, 大富浩一, 穂坂倫佳, 製品音の感性品質に対する環境要因の影響, 日本機械学会第 21 回設計工学・システム部門講演会(2011).
- [42] 戸井武司, 風早聡志, 機構設計によるカメラシャッター作動音の音質改善, 日本音響学会, Vol.58, No.7 (2002), pp406-413.
- [43] 戸井武司, 衝撃音の音質評価の快音設計=カメラシャッター作動時の音質改善手法, 超音波 Techno, Vol.15, No.3 (2003), pp. 97-100.

- [44] 山口雅夫, 白方翔, 戸井武司, 精密情報機器の快音設計と音質安定化手法の開発: 過渡音のばらつきが聴感に与える影響の評価, 日本音響学会誌, Vol.69, No.6 (2013), pp.267-275.
- [45] 大富浩一, 穂坂倫佳, 製品音のデザイン, 日本音響学会誌, Vol.68, No.1 (2011), pp.25-30.
- [46] 岩宮眞一郎, 高田正幸, 製品音の快音技術: 感性にアピールする製品の音作り, S&T 出版(2012).
- [47] 岩宮眞一郎, 一音のデザイン-快音化の新たな試み-, 騒音制御, Vol.37, No.5 (2013), pp.243-249.
- [48] 花井利通, 自動車振動の乗り心地, 騒音制御, Vol.21, No.1 (1997), pp.13-16.
- [49] 久保光徳, 寺内文雄, 青木弘行, 古沢克仁, デジタルヒューマンによる自動車用シート of 乗り心地評価, デザイン学研究, Vol.55 (2008), pp.31-36.
- [50] 村田謙豪, 金井博幸, 嘉村渉, 森島美佳, 西松豊典, 表面塗装が本革ステアリングホイールの「握り心地」評価に及ぼす影響, Journal of textile engineering, Vol.57, No.6 (2011), pp.139-144.
- [51] 横山清子, 楯千弘, 藤巻吾朗, 安藤敏弘, グリップ表面の凹凸形状の握り心地評価, 人間工学, Vol.52, No.4 (2016), pp.165-171.
- [52] 吉田準史, 鎔巧, 自動車加速音の主観評価によるラウドネスと車両デザインとの関係について, 自動車技術会論文集, Vol.43, No.1 (2012), pp.57-62.
- [53] 吉田準史, 自動車加速音の音質評価と車両デザインとの関係について, 自動車技術会論文集, Vol.46, No.6 (2015), pp.1105-1110.
- [54] 有光哲彦, 戸井武司, 視聴覚マッチングに基づく自動車ボディの色彩が扉閉まり音の印象へ与える影響の評価, 自動車技術会論文集, Vol.44, No.6 (2013), pp.1403-1408.
- [55] 柳澤秀吉, 高辻賢司, 視覚による事前予測の影響を考慮したテクスチャの感性評価手法, 日本機械学会論文集 C 編, No.78, No.796 (2012), pp.3830-3841.
- [56] 柳澤秀吉, 勇木徳仁, 物体の表面属性に対する視覚的感性が持ち上げ時の体性感覚に与える影響 (感覚モダリティの遷移における予測感性), 日本機械学会論文集 C 編, Vol.78, No.796 (2012), pp.3830-3841.
- [57] Yanagisawa, H., Kansei and Design, Science of Machine, Vol.59, No.1 (2007), pp.191-197, Yoken-do.

- [58] 柳澤秀吉, 村上存, 福島清暁, 製品意匠の感性評価における多様性分析(携帯電話のデザインへの適用), 日本機械学会第17回設計工学システム部門講演会講演論文(2007), pp48-51.
- [59] 柳澤秀吉, 村上存, 大富浩一, 穂坂倫佳, 感性の多様性を考慮した感性品質の定量化手法(製品音の設計における感性品質の定量化への適用), 日本機械学会論文集C編, Vol.74, No.746 (2008), pp.2607-2616.
- [60] Yanagisawa, H., 2011. Kansei Quality in Product Design. Emotional Engineering (2011), pp.289-310
- [61] Chang, F., Guan, S., A Research of Preference on Patterns Styles and Color Tones, International Journal of Affective Engineering, Vol.13, No.3 (2014), pp.185-195.
- [62] Kjeldsen, A., The measurement of personal preference by repertory grid technique, AES 104th Convention, Amsterdam, Preprint 4685 (1998).
- [63] Kelly, G. A., The psychology of Personal Constructs: (Vols. 1 and 2), New York: Norton (1955).
- [64] 讚井純一郎, 乾正雄, 認知心理学に基づく住環境評価に関する研究—1—レポートリー・グリッド発展手法による住環境評価構造の抽出, 日本建築学会計画系論文報告集, No.367 (1986), pp.15-22.
- [65] 讚井純一郎, 評価グリッド法による「魅力品質」「当たり前品質」抽出の試み, 日本建築学会学術講演梗概集(環境系)(2007), pp.61-64.
- [66] 土田義郎, 小酒祐貴, 評価グリッド法支援ツールの開発と応用, 日本建築学会技術報告集, Vol.14, No.27 (2008), pp.205-208.
- [67] 土田義郎, 川崎寧史, 下川雄一, 評価グリッド法を用いた俯瞰眺望景観に対する心理的評価の傾向分析, 日本建築学会環境系論文集, Vol.74, No.642 (2009), pp907-913.
- [68] 熊谷慶, 山中敏正, 手になじむ感覚に関する要素研究, 日本デザイン学会研究発表大会概要集, No.61 (2014), pp.217-218.
- [69] 関口彰, 嶋暁人, 井上勝雄, 伊藤弘樹, 多変量解析とラフ集合を用いた携帯音響製品のデザイン評価構造分析, デザイン学研究, Vol.54, No.1 (2007), pp.49-58.
- [70] 水野滋, 赤尾洋二, 品質機能展開—全社的品質管理へのアプローチ(1978), 日科技連.
- [71] 赤尾洋二, 品質展開入門(品質機能展開活用マニュアル), 日科技連(1990).

- [72] 野口国雄, 京屋祐二, 中野 隆司, 顧客要求からコンセプトに繋がる潜在ニーズを抽出するための企画支援ツール, 設計工学・システム部門講演会講演論文集(2001), pp.159-162.
- [73] 中野隆司, 野口国雄, 京屋祐二, 顧客要求を起点とした商品仕様を導出するための設計支援ツール, 設計工学・システム部門講演会講演論文集 2001, pp.163-166.
- [74] 稲吉啓, QFD のシーン展開における最適原始データに関する研究, 朝日大学経営論集(2008), Vol.22, pp.1-9.
- [75] Suh, P. N. (著), 中尾政之 (訳), 公理的設計, 森北出版(2016).
- [76] 稲垣雄史, 設計法を導入したパラメータ設計の研究(システム選択) (第 17 回品質工学研究発表大会 技術者パワーを発揮させる品質工学), 品質工学研究発表大会論文集, Vol.17 (2009), pp.434-437.
- [77] 榮谷昭宏, 牧野泰才, 前野隆司, 機能の依存関係に基づくサービス組織構成法情報処理学会論文誌, Vol.55, No.5 (2014), pp.1453-1470.
- [78] Bernard, Y., Supporting need seeker innovation: The radical innovation design methodology, 20th International Conference on Engineering Design (ICED15), Vol.8 (2015), pp.51-60.
- [79] Eppinger, S. and Browning, T., Design Structure Matrix Methods and Applications, The MIT Press (2012).
- [80] スティーブン・D・エッピングジャー, タイソン・R・ブランウニング著, 西村秀和監訳, 大富浩一・関研一訳, デザイン・ストラクチャー・マトリクス DSM, 慶應義塾大学出版会(2014).
- [81] Schmitz, F., Wynn, D., Biedermann, W., Clarkson, P., and Lindemann, U., Improving Data Quality in DSM modelling: A Structural Comparison Approach, Proc. 18th International Conference on Engineering Design (ICED11), Vol.4 (2011), pp.369-380.
- [82] Maurer, M. and Lindemann, U., The application of the multiple-domain matrix: Considering multiple domains and dependency types in complex product design, systems, man and cybernetics, MC 2008. IEEE International Conference on Date of Conference (2008), pp.12-5.



- [83] Holley, V., Yannou, B. and Jankovic, M., Using the FF-DMM matrix to represent functional flow in product architecture, Proc. 13th International DSM Conference, Publisher: Carl Hanser Verlag GmbH & CO. KG, Munich (2011), ISBN: 3446430377.
- [84] Seki, K. and Nishimura, H., A module-based thermal design approach for distributed product development, Research in Engineering Design (2011), pp.279-295, DOI: 10.1007/s00163-011-0113-x.
- [85] Oizumi, K., Kitajima, K., Yosie, N., Koga, T. and Aoyama, K., Management of product development projects through integrated modelling of product and process information, Proc. 18th International Conference on Engineering Design (ICED11), Vol. 3 (2011), pp.253-263.
- [86] 西村秀和 (監訳) : システムズモデリング言語 SysML, 東京電機大学出版局(2012).
- [87] ユン・ソンギル, 西村秀和, 村上 晋太郎, 超小型 4 輪インホイールモータ車両に対する前輪操舵角制御と駆動/制動トルク制御を統合した車両運動制御システム設計, 自動車技術会論文集, Vol.46, No.2 (2015), pp.399-406.
- [88] 西村秀和, ユン・ソンギル, 山岸和子, 関研一, 周波数伝達特性とパラメータの関係性を表すシステムモデル, MoViC2015 第 14 回「運動と振動の制御」シンポジウム (2015), B111.pdf.
- [89] 金井 理 , 多田 達美,メカ・エレ・ソフト融合システム設計のための分散協調シミュレーション:SysML と HLA を用いたモデリング・シミュレーション環境標準化, 精密工学会学術講演会講演論文集 2005S (2005), pp.335-336.
- [90] 西村秀和, モデルベースシステムズエンジニアリングと SysML への期待, 設計工学, Vol.46, No.5 (2011), pp.241-246.
- [91] Balmelli L., An Overview of the Systems Modeling Language for Products and Systems Development, The Journal of Object Technology, Vol.6, No.6 (2007), pp.149-177.
- [92] 後藤 禎, 江口隆夫, 古賀 毅, 青山和浩, 製品の論理構造を基にした製品要求のモデリング: SysML を利用した機械・回路・ソフト複合製品のモデル駆動型設計支援 (<小特集>第 19 回設計工学・システム部門講演会), 日本機械学会論文集 C 編, Vol.76, No.771 (2010), pp.2754-2763.

- [93] 江口隆夫, 後藤禎, 古賀毅, 青山和浩, 複合製品における段階的な要求モデルの定義に基づく設計変更の影響分析(<小特集>第 19 回設計工学・システム部門講演会), 日本機械学会論文集 C 編, Vol.76, No.771 (2010), pp.2772-2781.
- [94] Zhu S., Nishimura H., Balmelli L., 'System Integration of Motorcycle Driving Stability Control Using SysML', 3rd Asia-Pacific Conference on Systems Engineering, Proceedings (2009), pp. 1-10.
- [95] 関研一, 西村秀和, 朱 紹鵬, Laurent Balmelli, 民生機器開発における機能・構造モデルを用いた分散協調設計 (SysML 製品モデルと DSM を利用したモジュール設計プロセスの計画) , 日本機械学会論文集 C 編, Vol.78, No.785 (2012), pp.187-200.
- [96] Seki K., Nishimura H., Ishii K., Balmelli L., Thermal/Acoustic trade-off design for Consumer Electronics in a distributed design environment, The International Council on Systems Engineering (INCOSE 2009) (2009), 0723.pdf.
- [97] Weck, O., Eckert, C. and Clarkson, J., A classification of uncertain for early product and system design. International conference on engineering design, ICED'07 (2007).
- [98] Stone, T., Choi, S. and Amarchinta, H., Structural model refinement under uncertainty using decision-maker preference, Journal of Engineering Design (2013), vol.24, No.9, pp.640-661.
- [99] 照井伸彦, 佐藤 忠彦, 現代マーケティング・リサーチ - 市場を読み解くデータ分析, 有斐閣(2013).
- [100] <https://www-edc.eng.cam.ac.uk/cam/>.
- [101] 山岸和子, 大富浩一, 関研一, 西村秀和, ユースケースを考慮した要求・機能のモデル化による音設計プロセス, 日本機械学会 2013 年度年次大会 (2013), J102012.pdf.
- [102] 大富浩一, 穂坂倫佳, 家電製品の音のデザイン, 日本音響学会 64 (2008), pp.583-587.
- [103] 渡辺嘉二郎, 芹沢一雅: 感性データに基づくキーボードスイッチの選択と設計, 計測自動制御学会論文集, Vol.30, No.2 (1994), pp.208-215.
- [104] 小坂洋明, 渡辺嘉二郎, 永岡秀一: キーボードスイッチ作動力の感性評価, 計測自動制御学会論文集, Vol.31, No.11 (1995), pp.1880-1888.

- [105] 富田新, 大原貴弘 : PC キーボードのキースイッチの操作性評価に関する研究 : タッチタイピングによる打鍵法の差異がもたらす操作性評価の相違について, 応用心理学研究, Vol.41, No.1 (2015), pp.87-97.
- [106] Ward, Jr. and Joe H., Hierarchical grouping to optimize an objective function. *Journal of the American Statistical Association* Vol.58 No.301 (1963), pp.236–244.
- [107] Djokic, N., Salai, S., Kovac-Znidarsic, R., Djokic, I. and Tomic, G., The use of conjoint and cluster analysis for preference-based market segmentation. *Engineering Economics*, Vol.24, No.4 (2013), pp.343–355.

## 研究業績

### 学術誌掲載論文

1. 山岸和子, 大富浩一, 関研一, 西村秀和, ユースケースを考慮した要求分析に基づくコンシューマエレクトロニクスの音質設計 (Multidomain Matrix を用いた設計情報管理), 日本機械学会論文集 Vol.84, No.859 (2018).
2. 山岸和子, 関研一, 西村秀和, システムモデルを活用したキーボードのキー入力に関する感性設計, 日本設計工学会誌(2018), DOI: 10.14953/jjsde.2017.2780.
3. Kazuko Yamagishi, Kenichi Seki, Hidekazu Nishimura, Requirement analysis considering uncertain customer preference for Kansei quality of product Mechanical Engineering Journal, the Japan Society of Mechanical Engineers, Vol.12, No.1 (2018).

### 国際会議論文 (査読付きの full-length paper)

1. Kazuko Yamagishi, Kenichi Seki, Hidekazu Nishimura  
MDM-Based Kansei Design Approach to Appeal on Customer Senses for Products, Modeling and Managing Complex Systems - Proceedings of the 17th International DSM Conference2015 (2015), pp.185-194.
2. Kazuko Yamagishi, Kenichi Seki, Koichi Ohtomi, Hidekazu Nishimura, Design Information Management for Product Sound Quality: Requirement Definition, IFIP International Conference on Product Lifecycle Management PLM 2014: Product Lifecycle Management for a Global Market (2014), pp 225-235.

## 国内講演論文

1. 山岸和子, 関研一, 西村秀和, コンシューマー製品のシステムモデルに基づく感性設計プロセス, 日本機械学会 2015 年度年次大会(2017), GJ1220101.pdf.
2. 山岸和子, 関研一, 西村秀和, 音質目標に応じた音響-振動連成パラメータ設計のためのシステムモデル, 日本機械学会 2015 年度年次大会 (2015), J1220103.pdf.
3. 山岸和子, 大富浩一, 関研一, 西村秀和, ユースケースを考慮した要求・機能のモデル化による音設計プロセス, 日本機械学会 2013 年度年次大会 (2013), J102012.pdf.

## 関連論文 (共著・国際・査読あり)

1. Kenichi Seki, Kazuko Yamagishi, Hidekazu Nishimura, MDM-based representation of Requirement/Functionrelation in the sound design for Consumer electronics, 14th International Dependency and Structure Modelling Conference, DSM'12 (2012), pp.53-64..

## 関連論文 (共著・国内講演論文)

1. 西村秀和, ユン・ソングル, 山岸和子, 関研一, 周波数伝達特性とパラメータの関係性を表すシステムモデル, MoViC2015 第 14 回「運動と振動の制御」シンポジウム (2015), B111.pdf.

## 関連論文 (学外・国内・査読あり)

1. 藤田彩, 藤田修二, 北畠翔, 山岸和子, パーソナルな領域における短時間に限った芳香がもたらす精油によって異なる心理学的および行動学的影響, 電気学会論文誌 E (センサ・マイクロマシン部門誌), IEEJ Transactions on Sensors and Micromachines, Vol.138, No.8(2018), pp.354-355 DOI: 10.1541/ieejsmas.138.354

## 関連論文 (学外・国内講演論文)

1. 伝達アドミッタンスを用いた音響透過物のモデル化, 山岸和子, 山内徹, 濱透, 日本音響学会秋季研究発表会論文集 (CD-ROM), 2012, 秋季(2012).

## 謝辞

本論文は、著者が、慶應義塾大学大学院システムデザイン・マネジメント研究科後期博士課程に在籍中に、同研究科教授 西村秀和先生のご指導のもとで行った研究成果をまとめたものです。西村先生には、本研究科入学前から研究計画のご指導を頂くとともに、入学後は指導教員として、6年にわたり、本研究を実施する機会と、終始懇切なご指導を頂きました。研究と会社業務の両立に悩み、何度も研究が滞りそうになったときに、研究に対する真摯な心構えと、多くの叱咤激励を頂くことで、論文として成果をまとめることができました。心より厚く御礼を申し上げます。

本論文を審査するにあたり、多くの適確なご助言、ご指摘を賜りました、千葉工業大学社会システム科学部教授 関研一先生、東京大学大学院工学系研究科准教授 柳澤秀吉先生、慶應義塾大学大学院システムデザイン・マネジメント研究科教授 小木哲朗先生に深く御礼を申し上げます。元上司の関研一先生には、先生が会社員時代から、業務と研究の両方に対して、深いご理解とご協力、ご指導を頂き、終始応援して下さいたことを心から感謝しております。柳澤秀吉先生には、数年にわたる感性設計の共同研究でも、深い造詣のもとご指導を賜り、論文に対しても適確なご助言を数多く頂きました。小木哲朗先生には、入学時の面接からお世話になっており、統計的手法に関するご指導を賜りました。

明治大学理工学部機械情報工学科客員研究員 大富浩一先生には、本研究の骨子のひとつである評価グリッド法を伝授頂き、一緒に研究を進めてくださったこと、また、数多くの有益なご助言と貴重な資料のご提供を頂き、深く御礼を申し上げます。

システムデザイン・マネジメント研究科前委員長 狼嘉彰先生には、私の研究内容に関心を持って頂き、研究と論文執筆にあたり、ご助言と励ましのお言葉を頂きました。研究にご助力を頂きました同研究科 尹善吉氏をはじめ、研究室の皆様および卒業生の皆様には、多くのアドバイスを頂き、また評価試験にもご協力頂き、このような論文にまとめることができました。

本論文を作成するにあたって、協力して下さいたすべての方々に、深く御礼を申し上げます。