

博士論文 平成 28 年度 (2016 年度)

調和設計を用いた医療・福祉のハードウェアの設計

慶應義塾大学大学院健康マネジメント研究科  
鈴木 圭介

# 目次

目次	i
表 目次	vi
図 目次	vii
本論文の元とした学術論文・学会発表要旨	viii
第1章 序論	1
1.1 汎用性の高い医療・福祉のハードウェアの必要性	1
1.2 汎用性の高い医療・福祉のハードウェア設計における従来の方法論の状況	4
1.2.1 バリアフリーデザイン, ユニバーサルデザインの概念	5
1.2.2 バリアフリーデザイン, ユニバーサルデザインの歴史	7
1.2.2.1 米国における動向	7
1.2.2.2 国内における動向	11
1.2.3 バリアフリーデザインとユニバーサルデザインに関する先行文献	13
1.2.4 汎用性の高い医療・福祉のハードウェアの設計の現状	15
1.3 調和設計の概要と特徴	16
1.3.1 設計に関係する用語	16
1.3.2 調和設計の概念	17
1.3.3 調和設計の過程	18
1.3.3.1 企画化	18
1.3.3.2 模型化	22
1.3.3.3 最適化	24

1.3.4	調和設計の特徴	26
1.4	研究の目的	28
1.5	研究の構成	29
第2章	調和設計を医療・福祉のハードウェアに適用する際の方法論	31
2.1	緒言	31
2.2	工業分野の調和設計と医療・福祉分野の調和設計の相違点	31
2.2.1	企画化における相違点	31
2.2.2	模型化における相違点	33
2.2.3	最適化における相違点	34
2.3	各相違点への対応	35
2.3.1	多数の層への対応	35
2.3.2	実験におけるリスク回避	36
2.3.2.1	患者対象実験を行う場合	37
2.3.2.1.1	リスクのある条件組み合わせの回避方法	37
2.3.2.1.2	実験負担の軽減方法	38
2.3.2.2	代行実験を行う場合	39
2.3.2.2.1	患者等の動作の特徴と要因を明確にする	39
2.3.2.2.2	客体を患者等自体にするか、患者等に共通する特徴的な動作にするか判断する	40
2.3.2.2.3	代行者の代行能力を確認する	40
2.3.2.2.4	代行者が行う演技を安定させる	41
2.3.2.2.5	患者等の各層の代表が求解のPDCAサイクルに参加できるようにする	41

2.3.2.2.6	代行者は数理モデルの予測実現確認テストに，患者等の各層の代表は最終確認テストに関わる	41
2.3.2.2.7	代行実験が行えない場合がある	42
2.3.2.3	患者対象実験と代行実験の選択	42
2.3.3	習熟・疲労への配慮	43
2.3.4	実験の信頼性の確認	43
2.3.5	実験が何度も実施できない点に関する対応方法	44
2.3.5.1	4種類の解の活用	44
2.3.5.2	4種類の解の実現確認	46
2.3.6	求解のPDCAサイクルに患者等が参加をする点に関する対応方法	47
2.3.6.1	患者等を準主体に位置付ける	47
2.3.6.2	提示するデータに歩み寄り量を用いて合意形成を促す	49
2.4	結論	50
第3章	調和設計を用いた汎用性の高い医療・福祉のハードウェアの設計	52
3.1	緒言	52
3.2	事例	52
3.2.1	企画化	52
3.2.1.1	目的，主体，客体，指標の設定	52
3.2.1.2	設計対象の設計因子と水準の設定	53
3.2.2	モデル化	54
3.2.2.1	設計のための実験の実施	54
3.2.2.2	数理モデルの推定	56
3.2.3	最適化	56

3.2.3.1	求解のPDCAサイクルの準備	57
3.2.3.2	求解のPDCAサイクル（1回目）	57
3.2.3.3	求解のPDCAサイクル（2回目）	59
3.2.4	予測の実現の確認	60
3.3	考察	61
3.4	結論	63
第4章	設計因子の部分共有を用いた汎用性の高い医療・福祉のハードウェア の設計	64
4.1	緒言	64
4.2	調和設計の理論的な拡張	64
4.2.1	設計因子の共有	64
4.2.2	数理モデルの拡張	67
4.2.2.1	設計因子を全共有する場合の数理モデル	67
4.2.2.2	設計因子を部分共有する場合の数理モデルへの拡張	68
4.3	事例	69
4.3.1	設計目的と前提	69
4.3.2	数理モデルの推定方法	70
4.3.3	全共有の場合の設計	70
4.3.4	部分共有の場合の設計	72
4.3.5	設計結果	74
4.4	考察	75
4.5	結論	78

第 5 章 研究総括	79
5.1 本研究の成果	79
5.2 本研究の意義	81
5.2.1 多層性・多面性を考慮した科学的な設計手法の具体的方法の明確化	81
5.2.2 バリアフリーデザイン, ユニバーサルデザインにおける支援	82
5.3 本研究の今後の展開	85
文献	87
謝辞	91

## 表 目次

表 1	米国のバリアフリーデザイン, ユニバーサルデザインに関する動向 .....	7
表 2	国内のバリアフリーデザイン, ユニバーサルデザインに関する動向 .....	11
表 3	従来の方法論と調和設計の比較 .....	27
表 4	本研究の構成 .....	29
表 5	工業分野の調和設計と医療・福祉分野の調和設計の相違点 .....	32
表 6	合意形成表 .....	58
表 7	予測の実現の確認結果 .....	60
表 8	全共有における仮想的な協議の状況 .....	71
表 9	設計因子の共有・非共有の決定の状況 .....	73
表 10	部分共有における仮想的な協議の状況 .....	73
表 11	予測値・歩み寄り量の比較 .....	74
表 12	決定した設計因子の値 .....	75

## 図 目次

図 1	医療・福祉のハードウェアの概念図 .....	2
図 2	調和設計の概念図 .....	18
図 3	調和設計の過程 .....	19
図 4	特性要因図 .....	20
図 5	機能構造図 .....	20
図 6	求解の PDCA サイクル .....	24
図 7	類似する層を上位の層にまとめた調和設計 .....	36
図 8	4 種類の解.....	45
図 9	コーディネーターの役割 .....	48
図 10	リーチャーの機能構造図 .....	53
図 11	混合系直交計画 L12 で設定した設計因子と水準 .....	54
図 12	図示した体位 .....	55
図 13	設計因子の共有方法 .....	65
図 14	部分共有の場合の設計因子 .....	68

## 本論文の元とした学術論文・学会発表要旨

本論文は、以下の学術論文、学会発表要旨を元に加筆・修正をしたものである。

### 第1章 序論

#### ● 医療系学会

[学術論文]

- ・ 鈴木圭介，高橋武則，山内慶太，調和設計を用いた汎用的な患者用器具の設計，日本医療・病院管理学会誌，53(2)，131-139，2016

#### ● 品質管理系学会

[国際学会発表要旨]

- ・ Takenori Takahashi, Keisuke Suzuki, Strategy and politics of design based on hyper optimization method HOPE, Proc. of International Conference on Quality '14 Tokyo, 848-859, 2014

[国内学会発表要旨]

- ・ 鈴木圭介，高橋武則，医療・福祉における調和設計の意義と留意点，日本品質管理学会第103回研究発表会（関西支部）発表要旨集，33-36，2013

#### ● その他

[学術論文]

- ・ 高橋武則，鈴木圭介，調和設計の企画化とモデル化と最適化，目白大学経営学研究，11，17-43，2013
- ・ 高橋武則，鈴木圭介，マネジメントの視点に基づく医療・福祉におけ

る調和設計, 目白大学経営学研究, 12, 37-56, 2014

## 第2章 医療・福祉分野の調和設計における留意点

### ● 医療系学会

[国内学会発表]

- ・ 鈴木圭介, 高橋武則, 山内慶太, 汎用性の高い医療・福祉のハードウェア設計におけるトレード・オフの調整に数理モデルを用いる際の留意点, 日本医療・病院管理学会誌 (第53回日本医療・病院管理学会学術総会演題抄録集), 52 (臨時増刊号), 172, 2015

### ● 品質管理系学会

[国際学会発表要旨]

- ・ Keisuke Suzuki, Takenori Takahashi, Sho Kawasaki, The design based on experimental data and multiple types of solutions in the field of medical care and welfare, Proc. of ANQ Congress 2015 Taipei (electric medium), [JP-23] 1-7, 2015
- ・ Keisuke Suzuki, Takenori Takahashi, Sho Kawasaki, Hardware design for medical and social care with shared design factors, Proc. of ANQ Congress 2016 Vladivostok (electric medium), [JP-04] 1-9, 2016

[国内学会発表要旨]

- ・ 鈴木圭介, 高橋武則, 医療・福祉における調和設計の意義と留意点, 日本品質管理学会第103回研究発表会 (関西支部) 発表要旨集, 33-36, 2013
- ・ 鈴木圭介, 高橋武則, 医療・福祉分野における実験データに基づくハードウェア設計のための指針, 日本品質管理学会第107回研究発表会

研究発表要旨集, 143-146, 2015

- ・ 鈴木圭介, 高橋武則, 医療・福祉のハードウェア設計のための実験におけるリスク回避の方法, 日本品質管理学会第 110 回研究発表会研究発表要旨集, 173-176, 2016

## ● その他

[学術論文]

- ・ 高橋武則, 鈴木圭介, マネジメントの視点に基づく医療・福祉における調和設計, 目白大学経営学研究, 12, 37-56, 2014

## 第 3 章 調和設計を用いた汎用性の高い患者用ハードウェアの設計

### ● 医療系学会

[学術論文]

- ・ 鈴木圭介, 高橋武則, 山内慶太: 調和設計を用いた汎用的な患者用器具の設計, 日本医療・病院管理学会誌, 53(2), 131-139, 2016

[国内学会発表]

- ・ 鈴木圭介, 高橋武則, 山内慶太, 汎用性の高い医療・福祉のハードウェア設計におけるトレード・オフの調整に数理モデルを用いる際の留意点, 日本医療・病院管理学会誌 (第 53 回日本医療・病院管理学会学術総会演題抄録集), 52 (臨時増刊号), 172, 2015

### ● 品質管理系学会

[国内学会発表要旨]

- ・ 鈴木圭介, 高橋武則, 医療・福祉における調和設計のアプローチー福祉用具の設計ー, 日本品質管理学会第 43 回年次大会研究発表会研究発表要旨集, 201-204, 2013

## 第4章 設計因子の部分共有を用いた汎用性の高い患者用ハードウェアの設計

### ● 品質管理系学会

[国際学会発表要旨]

- ・ Keisuke Suzuki, Takenori Takahashi, Sho Kawasaki, Hardware design for medical and social care with shared design factors, Proc. of ANQ Congress 2016 Vladivostok (electric medium), [JP-04] 1-9, 2016

[国内学会発表要旨]

- ・ 鈴木圭介, 高橋武則, 川崎昌, 医療・福祉の設計における設計因子の部分共有化, 日本品質管理学会第108回(中部支部第33回)研究発表会発表要旨集, 21-24, 2015
- ・ 鈴木圭介, 高橋武則, 川崎昌, 医療・福祉のハードウェアの設計における設計因子の部分共有化, 日本品質管理学会第109回研究発表会(関西支部)発表要旨集, 19-22, 2015
- ・ 鈴木圭介, 高橋武則, 川崎昌, 医療・福祉のハードウェアの設計における主要概念と設計因子の部分共有の関係, 日本品質管理学会第45回年次大会研究発表会研究発表要旨集, 99-102, 2015
- ・ 鈴木圭介, 高橋武則, 小川昭, 調和設計でバリアフリーデザインとユニバーサルデザインを行う際の留意点, 日本品質管理学会第111回(中部支部第34回)研究発表会発表要旨集, 53-56, 2016

## 第5章 研究総括

### ● 医療系学会

[学術論文]

- ・ 鈴木圭介, 高橋武則, 高木安雄, 山内慶太, リハビリテーション総合

実施計画書が家族の参加意欲に与える影響, 日本医療・病院管理学会誌, 48(4), 191-200, 2011

## ● 品質管理系学会

[国際学会発表要旨]

- Keisuke Suzuki, Takenori Takahashi, Sho Kawasaki, Hardware design for medical and social care with shared design factors, Proc. of ANQ Congress 2016 Vladivostok (electric medium), [JP-04] 1-9, 2016

[国内学会発表要旨]

- 鈴木圭介, 高橋武則, 川崎昌, 医療・福祉のハードウェアの設計における主要概念と設計因子の部分共有の関係, 日本品質管理学会第45回年次大会研究発表会研究発表要旨集, 99-102, 2015
- 鈴木圭介, 高橋武則, 小川昭, 調和設計でバリアフリーデザインとユニバーサルデザインを行う際の留意点, 日本品質管理学会第111回(中部支部第34回)研究発表会発表要旨集, 53-56, 2016

## ● その他

[シンポジウム発表要旨]

- 鈴木圭介, 高橋武則, 高木安雄, 山内慶太: リハビリテーション総合実施計画書に関する家族の理解状況と参加意欲—同計画書を家族とスタッフの双方にとって使い易くする方策の検討—, 第21回 JUSE パッケージ活用事例シンポジウム—実務に役立つ多変量解析—, 39-50, 2011

# 第1章 序論

## 1.1 汎用性の高い医療・福祉のハードウェアの必要性

医療・福祉において用いられるハードウェア（以下、医療・福祉のハードウェア）は、患者等（本研究では心身機能の低下により配慮が必要な人を総称して患者等と言う）の低下した心身機能を回復促進・機能補完することで、心身機能を向上し、希望する活動が達成できるようにするものである<sup>1)</sup>。医療・福祉のハードウェアは患者等の自立支援において重要な役割を果たす。本研究においては、医療・福祉のハードウェアを、使用者と機構の2つの分類を組み合わせさせて分類する<sup>2)</sup>。使用者については、以下の分類にする<sup>2)</sup>。

- 1) 患者等
- 2) 介護者
- 3) 医療・福祉の専門職

また、機構については、広辞苑第6版を参考にし、以下のような分類にする<sup>1)</sup>。

- 1) 建物（建築物・建造物）
- 2) 設備（ある目的の達成のために備え付けられたもの）
- 3) 機器（機械・器械・器具の総称）
  - ① 機械（外力に抵抗し得る物体の結合からなり、一定の相対運動をなし、外部から与えられたエネルギーを有用な仕事に変形するもので、人力以外の動力による複雑で大規模なもの）
  - ② 器械（外力に抵抗しうる物体の結合からなり、一定の相対運動をなし、外部から与えられたエネルギーを有用な仕事に変形するもので、人力による単純で小規模なもの）

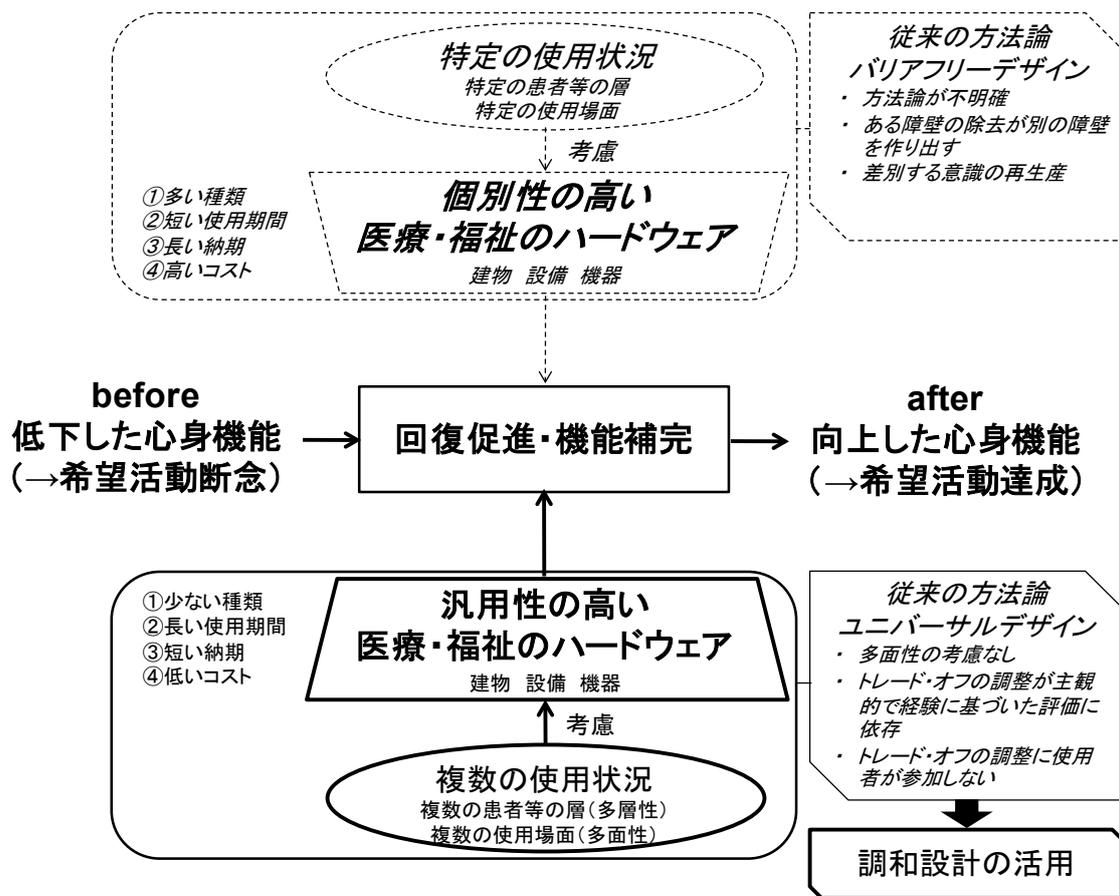


図 1 医療・福祉のハードウェアの概念図

③ 器具 (しくみの簡単な器械)

- ・ 道具 (物を作り, または事を行うのに用いる器具の総称)
- ・ 用具 (そのことをするための道具, 入用の器具, 所要の器具)

本研究では, 医療・福祉のハードウェアの使用者を患者等, 機構を器具に限定して議論する.

医療・福祉のハードウェアの概念図を図 1 に示す. 患者等は傷病により心身機能が低下し, 希望する活動を断念せざるを得ない状況になる. 医療・福祉のハードウェアは, このような患者等の低下した心身機能を回復促進・機能補完することで, 心身機能を向上し, 希望する活動が達成できるようにする. 医

療・福祉のハードウェアは、個別性の高い医療・福祉のハードウェアと汎用性の高い医療・福祉のハードウェアの2種類に分類される。

個別性の高い医療・福祉のハードウェアは、特定の使用状況に特化して作成されたものであり、特定の使用状況では適合性が非常に高くなるが、その他の使用状況では適合性が低くなり使用が困難になる。このため、ある程度幅のある使用状況では複数のハードウェアが必要になり、使用状況に応じて使い分ける手間が生じ易い。また、患者等の心身機能や生活場面などの使用状況が変化をすると使用が困難になり易いため、ハードウェアの使用可能な期間は短くなり易い。更に作成の際は、オーダーメイドあるいは多品種少量生産になるため、納期が長くなり、コストが高くなる傾向がある。

一方、汎用性の高い医療・福祉のハードウェアは、複数の使用状況を考慮して作成されたものであり、複数の使用状況で使用しても患者等が納得できる適合性が得られる。このため、ある程度幅のある使用状況でも1つまたは少数のハードウェアで対応が可能になり、使用状況に応じて複数のハードウェアを使い分ける手間が生じにくい。また、患者等の心身機能や生活場面などの使用状況が変化をしても使用が困難になりにくく、ハードウェアの使用可能な期間は長くなり易い。更に、作成の際は少品種大量生産が可能になるため、納期が短くなり、コストが低くなる傾向がある。

幅広い患者等のニーズに柔軟に対応しながら、コストの削減を図ることは医療・福祉のマネジメント上の課題の1つである<sup>2)</sup>。ハードウェアの活用の視点からこの課題に対応するには、汎用性の高い医療・福祉のハードウェアが必要である。しかし、汎用性の高い医療・福祉のハードウェアの設計方法について精緻な議論はされていないのが現状である。

## 1.2 汎用性の高い医療・福祉のハードウェア設計における従来の方法論の状況

汎用性の高い医療・福祉のハードウェアの設計方法を精緻に議論するために、本節では、汎用性の高い医療・福祉のハードウェアにおける使用状況の特徴について整理を行う。医療・福祉のハードウェアの使用状況の要素には、使用者である患者等の層と使用場面の2つがある。

汎用性の高い医療・福祉のハードウェアにおいて、使用者である患者等は、年齢、性別、体格、心身機能の状態などが多様である。このため、設計においては想定が必要な患者等の層が複数になる。この特徴を本研究では、多層性 (multi cluster) と呼ぶ<sup>1)</sup>。一方、特定の使用場面に合わせて作成された医療・福祉のハードウェアを、類似の他の場面で用いようとしても、患者等は適応性が高くないため使用が困難になる可能性がある。したがって、汎用性の高い医療・福祉のハードウェアの設計においては、僅かな使用場面の違いを考慮することが必要になるため、設計においては想定が必要な使用場面が複数になる。この特徴を本研究では多面性 (multi occasion) と呼ぶ<sup>1)</sup>。

なお、使用状況の変化、すなわち使用者である患者等の心身機能等の変化と使用場面の変化については、以下のように考える<sup>1)</sup>。使用者である患者等の心身機能等の変化を考慮することは、変化する前の状態の患者等の層と変化した後の状態の患者等の層の両方を考慮することに等しいため、多層性の考慮に含まれる。また、使用場面の変化を考慮することは、変化する前の使用場面と変化した後の使用場面の両方を考慮することに等しいため、多面性の考慮に含まれる。

多層性、多面性という概念を用いると、汎用性の高い医療・福祉のハードウェアは多層性、多面性を考慮して設計されたハードウェアであり、複数の患者等の層と複数の使用場面を組み合わせた各々の使用状況における使い易さの許

容範囲が一致する所で設計されたハードウェアとすることができる。これに基づくと、汎用性が高い医療・福祉のハードウェアの設計においては、多層性と多面性に対応するために、複数の患者等の層と複数の使用場面を組み合わせた各々の状況での要求事項間のトレード・オフを調整し、患者等の納得を得る必要があることがわかる。

本節では、このような視点から、汎用性の高い医療・福祉のハードウェアの設計における従来の方法論であるバリアフリーデザイン (Barrier-free Design) とユニバーサルデザイン (Universal Design) の、概念、歴史、先行文献を概観し、現状を明らかにする。

### 1.2.1 バリアフリーデザイン、ユニバーサルデザインの概念

バリアフリーとは、障害のある人が社会生活をしていく上で障壁（バリア）となるものを除去するという意味で、もともとは建築用語として建物内の段差解消等物理的障壁の除去という意味で使用されていたが、社会の変化に伴って発展を遂げてきた<sup>3)</sup>。現在では、障害のある人だけではなく、全ての人の社会参加を困難にしている物理的、社会的、制度的、心理的な全ての障壁の除去という意味で用いられている<sup>3)</sup>。バリアフリーデザインは特定の使用者層に対する特定の使用場面の障壁の除去を目的としたデザインであり<sup>3-5)</sup>、図1においては、個別性の高い医療・福祉のハードウェアを設計することに相当すると考えられ、多層性に対しては個別性の高いハードウェアを複数併存させて対応すると考えられる。

ユニバーサルデザインは「特別な改造や特殊な設計をせずに、すべての人が、可能な限り最大限まで利用できるように配慮された、製品や環境のデザイン」と定義される<sup>6,7)</sup>。ユニバーサルデザインには以下の7つの原則がある

<sup>3,6)</sup> .

- 1) 誰にも公平に使用できること（様々な能力の人が使いやすく市場性のあるデザイン）
- 2) 使う上での自由度が高いこと（個人的な好みや能力の広い範囲を許容するデザイン）
- 3) 簡単で直感的に分かる使用法（ユーザーの経験，知識，言語力あるいはその時の集中力レベルに影響されることなく，使い方が理解されやすいデザイン）
- 4) 必要な情報がすぐ分かること（取り巻く条件やユーザーの感覚的能力と関わりなく，ユーザーに対して効果的に必要な情報を伝達するデザイン）
- 5) エラーへの寛容性（予期しないかあるいは意図しない動作のもたらす不利な結果や危険を最小限にするデザイン）
- 6) 低い身体的負荷（効率が良く，心地よく，しかも疲れの少ない状態で活用されるデザイン）
- 7) 近づいて使うための大きさとスペース（適切なサイズと空間がユーザーの身体の大きさや姿勢，あるいは移動能力と関わりなく，近づいたり，手が届いたり，操作したりするために十分整えられているデザイン）

ユニバーサルデザインは健常者と患者等の両方の使用を前提としたデザインであるが，ユニバーサルデザインの多層性に対する考え方は，患者等のみの使用を前提とする汎用性の高い医療・福祉のハードウェアの設計に用いることが可能である．ユニバーサルデザインは，図1においては多層性に対応する汎用性の高い医療・福祉のハードウェアを設計することに相当すると考えられるが，多面性に関する言及は明確ではない<sup>1)</sup>．なお，ユニバーサルデザインの類似の概念に，デザイン・フォー・オール (Design For All)<sup>8)</sup>，インクルーシブ・デザイン (Inclusive Design)<sup>9)</sup>，アクセシブルデザイン (Accessible

Design)<sup>10)</sup>、共用品・共用サービス<sup>7)</sup>等があるが、これらは、目指すものがユニバーサルデザインと本質的に同じものと考えられるので、本節ではこれらの代表としてユニバーサルデザインを用いて議論する。

## 1.2.2 バリアフリーデザイン，ユニバーサルデザインの歴史

### 1.2.2.1 米国における動向

バリアフリーデザインとユニバーサルデザインの歴史では、米国での展開が

表 1 米国のバリアフリーデザイン，ユニバーサルデザインに関する動向

年	動向	社会情勢	期
1945		第二次世界大戦終戦	
1950代	バリアフリー運動	朝鮮戦争休戦(1953) ベトナム戦争(1950末)	バリアフリー デザイン期
1960初頭	退役軍人局，障害者雇用大統領委員会，障害児・障害者のための全国イースター・シール協会の活動	公民権運動(1960年代)	
1961	米国企画協会が最初のアクセシビリティ基準である「A117.1-建築物および施設を身体障害者にアクセスしやすく，利用しやすくするために」を刊行		
	A117.1に関する各州・連邦政府機関による法制化		
1964		1964年公民権法	
1968	建築障壁法		
1970		自立生活運動(1970代)	
1973	リハビリテーション法		
1974	国際連合のバリアフリーデザインに関する専門家会合報告書「バリアフリーデザイン」刊行		
1975	障害児教育法	ベトナム戦争終結	
1981		国際障害者年	ユニバーサル デザイン期
1983		国連障害者の10年(～1992年)	
1984	各州のガイドラインを標準化する試み ANSIの明細事項がUSAFに合体		
1985	Ronald L. MaceがDesigners West誌でユニバーサルデザインという言葉を使用		
1988	公正住宅改訂法		
1990	米国ADA法		
1996	通信法		

重要である<sup>11)</sup>。米国における動向を表1に示す<sup>11-14)</sup>。米国では医療の進歩により、平均寿命が延長した。また、2つの世界大戦により負傷した軍人が死を免れるようになり、障害をもった退役軍人が著しく増加をした。この結果、高齢者と障害者の増加が起こった<sup>12)</sup>。1960年代の公民権運動は、1970年代から1990年代の法律制定に大きな影響を与えた障害者権利運動を刺激した。これらの法律は障害者に対する差別を禁止し、教育、公共の場所、通信、移動手段へのアクセスを可能にした<sup>12)</sup>。1950年代のバリアフリー運動により公共政策とデザインの実践における変革が始まった。バリアフリー運動は障害退役軍人と、施設収容型のヘルスケアや扶養よりも教育や雇用の機会を障害者のために作ることを主張する人々の要請に応じて始められた<sup>12)</sup>。

退役軍人局 (The Veterans Administration)、障害者雇用大統領委員会 (The President's Committee on Employment of the Handicapped)、障害児・障害者のための全国イースター・シール協会 (The National Easter Seal Society for Crippled Children and Adults) などの努力がバリアフリーの建物の国家基準の発展をもたらした。1961年に、米国規格協会 (The American Standards Association、後の米国国家規格研究所 The American National Standards Institute; ANSI) が「A117.1-建築物および施設を身体障害者にアクセスしやすく、利用しやすくするために (A 117.1 – Making Buildings and Facilities Accessible to and Usable by the Physically Handicapped.)」というタイトルの最初のアクセシビリティ基準を刊行した<sup>11-13)</sup>。しかし、この基準は州や地域の立法主体によって採用されなければ、強制ができないものであった<sup>12)</sup>。多くの州が反応し、1966年までに30の州が法制化をし、1973年には法制化をした州は49州までになった。個々の連邦政府機関もそれぞれの法規制と基準を付け足して、最小限のアクセスを提供しようとした。このことは、多数の、異なったアクセシビリティガイドラインを生み出すことになった<sup>12)</sup>。これ

らの州のガイドラインを標準化しようとする試みが、ANSIの明細事項がUFAS (The Uniform Federal Accessibility Standard)に合体された1984年に起こった<sup>12)</sup>。

1960年末には以下を含むの重要な連邦法制が制定され始めた<sup>12,13)</sup>。

1968年 建築障壁法 (The Architectural Barriers Act)

1973年 リハビリテーション法 (The Rehabilitation Act)

1975年 障害児教育法 (The Education for Handicapped Children Act)

1988年 公正住宅改訂法 (The Fair Housing Amendments Act)

この間、1974年6月、国際連合本部において、バリアフリーデザインに関する専門家会合が開催され、「バリアフリーデザイン」という報告書がまとめられた。この頃から、バリアフリーという言葉が建築関係者等を中心に使われるようになったと言われる<sup>3)</sup>。バリアフリーデザインはこのようにして広がっていったが、その実践の中で、特定の人のみが利用できるように工夫された特徴は、特別で、高価で、多くは見栄えのしないものであるということが明らかになり<sup>12)</sup>、バリアフリーという言葉は障害者のみが使う仕様を意味するものとして否定的に捉えられるようになった<sup>14)</sup>。また、障害者に配慮して環境に加えられた変更の多くが、あらゆる人のためになるということが明らかになってきた。この特徴は一般に提供することが可能で、高価ではなく、差別的ではなく、魅力的で、市場性が高いという認識が、ユニバーサルデザイン運動の基盤になった<sup>12)</sup>。このような中で、1985年にRonald L. MaceがDesigners West誌でユニバーサルデザインという言葉を使用した<sup>14)</sup>。1990年には障害者の差別を禁止する米国ADA法 (The American with Disability Act) が制定された。米国ADA法は幅広い国民に対して障害者の公民権に関する認識を喚起させた<sup>12)</sup>。同法は雇用、公共の場所へのアクセス、サービス、プログラム、公共交通、通信における差別を禁止している。また、同法はアクセスを阻害する物理的な障

壁はあらゆる所で除去されなければならない、全国一律でアクセシビリティを保証するものである<sup>12)</sup>。同法はユニバーサルデザインの実践の基礎にもなっている重要な法である<sup>14)</sup>。

一方、リハビリテーションの分野では、障害をもった退役軍人のために義肢、装具の改良に取り組んだ。そして、障害者の身体的、感覚的、認知的能力を高め、障害者に配慮されていない環境においても、障害者が自立できるように特別に作られた機器に支援技術(Assistive Technology)という言葉が適用された<sup>12)</sup>。この支援技術という言葉は、米国の支援技術法(The Assistive Technology Act of 2004)においては、支援機器(市販、改造、特注に関わらず、障害者の機能的な能力を増大、維持、改善するために用いられるあらゆる品目、機器、生産システム)と支援サービス(支援機器の選択、取得、使用について障害者を直接支援するサービス)で用いられる技術を意味するものとされる。ユニバーサルデザインは製品をすべての人が可能な限り最大限まで利用できるようにすることを目指すものであり<sup>6,7)</sup>、支援技術は支援機器を用いて障害者の特定のニーズに対応しようとするものである<sup>12)</sup>。両者は本来異なるものであるが、障害者の特定のニーズに対応するために作られた支援機器の多くが、一般の人にも受け入れられ、人気商品になった<sup>12)</sup>。また、1980年代から景気が下降する中で、高齢者や障害者が成長が見込める消費者として認識され、更にグローバリゼーションにより、顧客の多様性に適応することが必要になった<sup>12)</sup>。これらの点より、ユニバーサルデザインの重要性に関する認識が更に増したと考えられる。

これらの動向を見ると、米国では公民権運動の影響を受けた障害者権利運動をきっかけに展開されてきた障害者差別への批判を背景に、個別性の高い医療・福祉のハードウェアを用いて多層性へ対応するバリアフリーデザインが差別的であるという批判が高まり、多層性への対応が重視され、ユニバーサルデ

デザインが提唱された経緯があったと考えられる。このため、ユニバーサルデザインは多層性への対応が中心となったと考えられる。

### 1.2.2.2 国内における動向

国内における動向を表2に示す<sup>3,15,16)</sup>。1970年頃から福祉のまちづくりとして建築物等の障壁除去について様々な取り組みがなされてきたが、1993年に政府の障害者施策の基本を定めた「障害者対策に関する新長期計画」が策定され、バリアフリー社会の構築を目指すことが明記された<sup>3)</sup>。1994年には「高齢者・身体障害者等が円滑に利用できる特定建築物の建築の促進に関する法律（以下、ハートビル法）」が施行された<sup>3)</sup>。1999年には制度的障壁の除去を目

表2 国内のバリアフリーデザイン、ユニバーサルデザインに関する動向

年	動向	社会情勢	期
1970頃	福祉のまちづくりとして建築物等の障壁除去について様々な取り組み		バリアフリーデザイン期
1993	障害者対策に関する新長期計画策定	福祉用具の研究開発及び普及の促進に関する法律施行	
1994	高齢者・身体障害者等が円滑に利用できる特定建築物の建築の促進に関する法律(ハートビル法)施行		
1995		高齢社会対策基本法施行	
1999	障害者に係る欠格条項の見直し		
2000	バリアフリーに関する関係閣僚会議設置 高齢者、身体障害者等の公共交通機関を利用した移動の円滑化の促進に関する法律(交通バリアフリー法)施行	介護保険法施行	ユニバーサルデザイン期
2004	ユニバーサル社会の形成促進に関する決議(参議院本会議) バリアフリー化推進要綱(内閣府)		
2005	ユニバーサルデザイン政策大綱(国土交通省)		
2006	高齢者、障害者等の移動等の円滑化の促進に関する法律(バリアフリー法)施行		

的に「障害者に係る欠格条項の見直し（1999年8月9日障害者施策推進本部決定）」により、障害者に係る欠格条項を定めた63制度について一斉の見直しを行った<sup>3)</sup>。2000年には内閣に「バリアフリーに関する関係閣僚会議」が設置された。この会議は、障害のある人や高齢者、妊娠中の女性等のように、障害のない若者と同じように社会活動を行うことが難しい多くの国民がいることを視野に入れて、このような人々が社会に平等に参加していく上での様々な障壁を取り除き、本当のバリアフリー社会を築くことを目指して、関係各省庁の大臣が集まって幅広く議論する場として設置された<sup>3)</sup>。同年には「高齢者、身体障害者等の公共交通機関を利用した移動の円滑化の促進に関する法律（以下、交通バリアフリー法）」が施行された<sup>3)</sup>。

2004年にはユニバーサル社会の形成促進に関する決議が参議院本会議で行われ、また同年に内閣府は「バリアフリー化推進要綱」を作成した<sup>15)</sup>。2005年には国土交通省が、高齢者や障害のある人のみならず可能な限りすべての人を対象として想定し、ユニバーサルデザインの考え方にに基づき、今後の社会資本整備、交通分野における取組方針を「ユニバーサルデザイン政策大綱」として公表した<sup>16)</sup>。この大綱を踏まえ、公共交通機関、建築物、歩行空間等の一体的・連続的なバリアフリー化を推進し、バリアフリー施策を総合的に推進するため、ハートビル法と交通バリアフリー法を統合・拡充した「高齢者、障害者等の移動等の円滑化の促進に関する法律（バリアフリー法）」が2006年に施行され、同法やバリアフリー化の目標、施設設置管理者が講ずべき措置、基本構想の指針等を示した「移動等円滑化の促進に関する基本方針」に基づき、公共施設等のバリアフリー環境の整備が推進された<sup>16)</sup>。

このように政策面では、1993年からバリアフリー政策が本格化し、2004年以後にユニバーサルデザイン政策が導入され、バリアフリー政策とユニバーサルデザイン政策が並行して進められる状態になっている<sup>1)</sup>。しかし、大局的に

は日本国内でも、米国と同様にバリアフリーデザイン期からユニバーサルデザイン期へ移行してきている。

### 1.2.3 バリアフリーデザインとユニバーサルデザインに関する先行文献

バリアフリーデザインの手法は明確ではないが、既存の人工物に一部の人々にとって利用困難な点が発見された時、それを除去する形で修正デザインを施すものである<sup>4)</sup>。バリアフリーデザインについては、様々な条件の制約を受けやすく、対応のためのコストも高くなりがちになるとともに、障害の態様は多様であるため、ある障壁を除去することが別の障壁を作り出してしまうということが指摘されている<sup>3)</sup>。また、バリアフリーデザインは、障害のある人々や高齢者等特別の配慮を必要とする人々のための取り組みと認識されることが多く、この事が逆に、障害のある人々や高齢者を「特別な人々」として差別する意識を再生産する問題点も指摘されている<sup>3)</sup>。一方、現実には阻害要因が多々存在するので、バリアを発見し、それを除去していこうとするバリアフリーの努力を続けることは重要であるという指摘もある<sup>4)</sup>。

ユニバーサルデザインの手法については、日本人間工学会がユニバーサルデザイン実践ガイドラインを作成している<sup>17)</sup>。このガイドラインでは以下のような作業プロセスになっている。

- 1) ユーザーの把握。
- 2) シナリオを想定して各商品にあった個別タスクをまとめる。
- 3) ユニバーサルデザインマトリックスを製作する。
- 4) 個々の要求事項から、商品特性に応じ、デザインコンセプトを構築する。
- 5) デザインコンセプトをもとにデザインをまとめる。
- 6) デザインコンセプトに照らし合わせて評価する。また、その後実ユーザー

一のフィードバックを得る。

ユニバーサルデザインマトリックスとは、個々の状況に応じた要求事項や問題点を抽出するためのマトリックスであり、列（横方向の区分）にユーザーグループ、行（縦方向の区分）に商品の3側面（操作性、有用性、魅力性）と操作の個別タスクを設定し、その交差するマス目（セル）にユニバーサルデザインに関する個々の問題点、要求事項および解決案を記入するものである。このガイドラインでは、4) のデザインコンセプトを構築する段階では、設計者が抽出された要求事項、および要求事項に対応するデザインコンセプトを列挙し、それぞれウェイト付けすることにより、要求事項間のトレード・オフに対応するとしているが、ウェイト付けの基準は不明確である。また、ウェイト付けには使用者は参加しておらず、設計者が決めたウェイトについて使用者の納得が得られるかは不明確である。更に、5) のデザインコンセプトをもとにデザインをまとめる段階では、デザインコンセプトの方針の下、各要求事項の項目に対しコストや技術的側面を考慮しつつアイデアを出し可視化を行うとしているが、その具体的な方法は不明確であり、デザイン自体は属人的なプロセスをとっている<sup>1)</sup>。

ユニバーサルデザインに関する国内の先行研究においては、ユニバーサルデザインを行うための基礎データを収集するための研究、試作品を作りその有用性を確認した研究、使用者に対する調査やインタビューに基づいて設計を行った研究がある。ユニバーサルデザインを行うための基礎データを収集するための研究の例としては、田中らが引き戸の適正な開閉力と操作部形状を検討するために高齢者、若年者を対象に、操作部の形状を変えた複数の条件での引き戸開閉時の最大発揮力の計測、および5種類の操作部の形状と3段階の開閉力を組み合わせた条件での官能評価を行った研究がある<sup>18)</sup>。また、他の例としては、鎌田、小竹らがハードウェアの使い易さを人体負荷評価を用いて客観的に

評価する手法を検討した研究がある<sup>19,20)</sup>。試作品を作りその有用性を確認した研究の例としては、丸山らが、弱視や白内障などの視力障害者、高齢者への服薬情報提供、あるいは居宅や施設での服薬補助者による服薬安全管理の向上を目的として、ユニバーサルデザイン薬袋を開発し、アンケート調査によりその有用性を確認した研究<sup>21)</sup>がある。使用者に対する調査やインタビューに基づいて設計を行った研究の例としては、工藤らが妊婦に行ったアンケート調査とインタビュー・観察による事例検証に基づいてキッチンの改善策を検討した研究がある<sup>22)</sup>。これらの国内の研究は、複数の使用者層の要求事項間のトレード・オフをどのように調整したのかに関する具体的な言及がなく、どのようにユニバーサルデザインを実現したのかは明確ではない。

ユニバーサルデザインに関する海外の先行研究では、ユニバーサルデザインはオペレーション上のタスクや使用者の要望を詳細に分析できていないという指摘がある<sup>23)</sup>。また、ユニバーサルデザインに関する要求事項の全てを、設計の過程で平等に満たすことができないので、設計者は個々の要求の相対的な重要度と実施の順番を決めなければならないが、その決定は設計者による主観的で経験則に基づいた評価に依存している状況であるという指摘がある<sup>24)</sup>。後者の指摘については、Planning Game 法 (PG) と費用対効果に基づく階層分析法 (analytic hierarchy process, AHP) に基づいて要求事項の優先順位付けを行った上で設計を行う方法が提案されているが<sup>24)</sup>、使用者は設計過程に参加しておらず、設計者が決めた要求事項の優先順位について使用者の納得が得られたかは不明確である。

#### 1.2.4 汎用性の高い医療・福祉のハードウェアの設計の現状

バリアフリーデザイン、ユニバーサルデザインの歴史的な経緯を見ると、特定の使用者層に対する特定の使用場面の障壁を除去するバリアフリーデザイン

は差別的であると捉えられ、ユニバーサルデザインへ移行してきた経緯があり、今後もユニバーサルデザインの重要性は更に増すものと考えられる。しかし、バリアフリーデザインも、現実存在する障壁の除去には重要な役割を果たすため、バリアフリーデザイン、ユニバーサルデザインのどちらも重要な取り組みであると考えられる。

汎用性の高い医療・福祉のハードウェアの設計という視点から、従来の方法論であるバリアフリーデザイン、ユニバーサルデザインの概念、歴史、先行文献を検討した結果、以下の3点の現状が明らかになった。

- ・ 多面性を考慮していない
- ・ 要求事項間のトレード・オフの調整は設計者の主観的で経験に基づいた評価に依存する傾向がある
- ・ 要求事項間のトレード・オフの調整に患者等が参加をしていない

### 1.3 調和設計の概要と特徴

この状況に対応する手法として、高橋、鈴木が工業分野で提案した調和設計 (Harmonious Design)<sup>25)</sup> が考えられる。本節では調和設計の概要と特徴について述べる。

#### 1.3.1 設計に関する用語

調和設計について説明する前に、設計に関する用語を以下に示す<sup>25, 26)</sup>。

主体：設計を行う者のことである。

客体：設計で配慮がされる対象のことである。材料、条件、使用者、組織などがある。

指標：設計因子の関数であり、特性と項目から構成される。

- 特性：設計対象のもつ特有の性質で，その存在意義そのものに関わるものである．設計対象の出力である．
- 項目：設計対象に関する付帯的なものではあるが設計の際に留意が必要なもので以下の6つに分類される．

Q (Quality : 品質)

C (Cost : 費用)

D (Delivery : 納期)

R (Robustness : 頑健性)

S (Safety : 安全)

E (Environment : 環境)

設計因子：設計対象の仕様の要素を記述する変数のことであり，何に関してその値を決定するのかを意味する．

値：設計因子の具体的な値や状態である．

設計緒元：設計因子と値の組み合わせのことである．

### 1.3.2 調和設計の概念

調和設計とは，数理モデルを用いた話し合いを通じて多種のトレード・オフを調整し，関係者の合意を形成することにより設計（設計諸元）を決定することである．数理モデルとは設計対象の指標と設計因子の関係を可視化するものであり，実験のデータに基づいて推定する<sup>25,26)</sup>．

調和設計の概念を図2に示す<sup>1)</sup>．調和設計はどのような客体（汎用性の高い医療・福祉のハードウェアで多層性，多面性を考慮する際には使用者層，使用場面の組み合わせになる）においてハードウェアが使用されても，関係者（主体と各層の使用者を代表する人，他）が納得する指標を得られる設計諸元を，数理モデルを用いた関係者の話し合いによりみつけるものである<sup>25,26)</sup>．これに

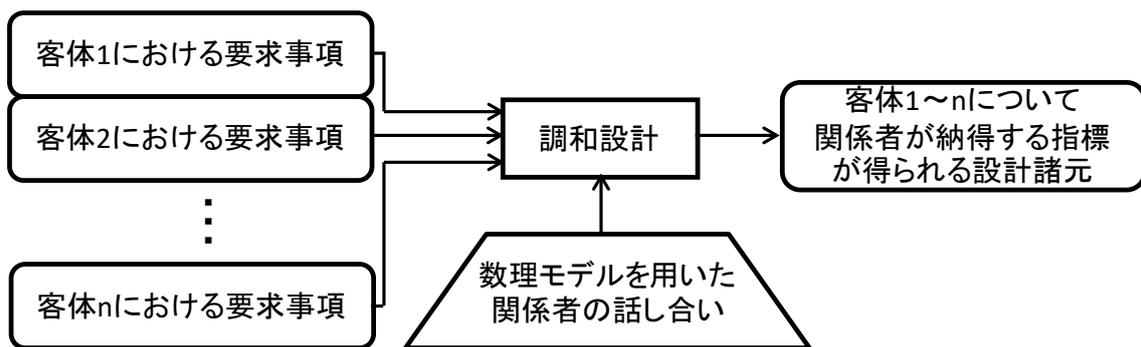


図 2 調和設計の概念図

より、汎用性の高いハードウェアの設計が可能になる。

### 1.3.3 調和設計の過程

調和設計の過程を図 3 に示す<sup>1)</sup>。調和設計の過程は、企画化 (planning) , 模型化 (modeling) , 最適化 (optimization) の 3 つの段階で構成される<sup>25)</sup>。以下、詳細について述べる。

#### 1.3.3.1 企画化

企画化とは設計全体の筋書 (シナリオ) を作ることである<sup>25)</sup>。企画化では、設計全体の枠組みの組み立てと、想定する数理モデルが吟味できる過不足ない計画を行う。この段階では、いかなる数理モデルを想定するのか、そしてそれを模型化するにはいかなる実験計画が必要なのかを明らかにする<sup>25)</sup>。企画化は、特性要因図の作成、機能構造図の作成、設計因子 (変数) と水準 (状態) の範囲の設定、数理モデルの想定と実験計画の作成、最適化で取り上げる指標の選定とその取扱いの分類の 5 つのステップで構成され、このステップを通じて、目的、主体、客体、指標、および実験における設計因子と水準を設定する<sup>25)</sup>。以下、この詳細について述べる<sup>25, 26)</sup>。

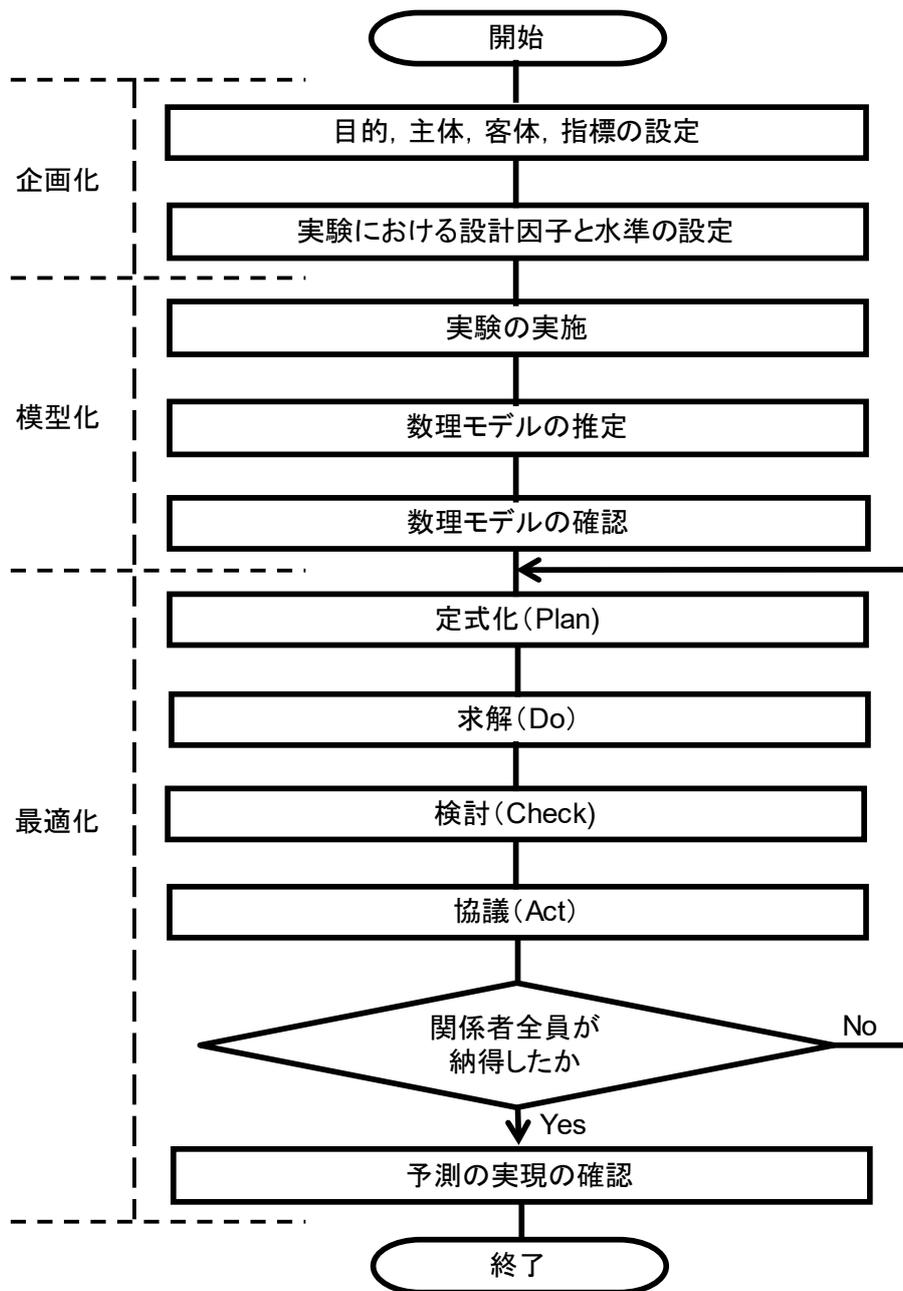


図 3 調和設計の過程

### 1) 特性要因図の作成

ハードウェアの特性に影響する因子を，特性要因図を用いて漏らさずリストアップする．特性要因図を図 4 に示す．特性要因図は，重要な因子（要因）に関する漏れの無いリストアップの手法である．しかし，こ

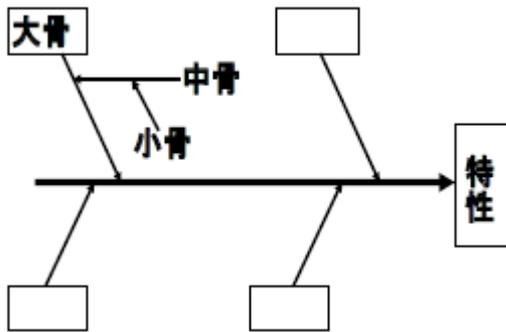


図 4 特性要因図

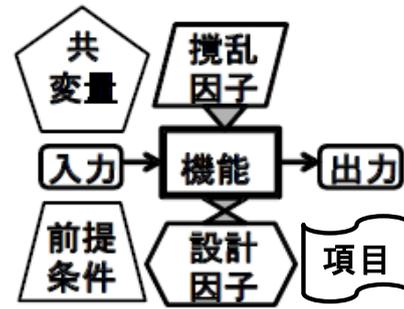


図 5 機能構造図

の図は機能の観点から因果関係を構造化しているわけではない。

## 2) 機能構造図の作成

特性要因図でリストアップした因子について、機能構造図を用いて役割を割り振る。機能構造図を図 5 に示す。機能構造図は各要因が出力（特性）に対していかなる役割を担っているかを整理するものである。特性要因図でリストアップした要因が子骨レベルで同じであっても、機能構造図にする場合には、作成者の置かれている状況や考え方に依存するマネジメントのレベルの判断となるため必ずしも一様ではない。機能構造図では、設計に焦点を合わせると以下の 5 種類の因子の役割が存在する。

- ① 入力因子：期待する出力を得るために使用者によって毎回変更されるもの
- ② 設計因子：設計で値を決定し、製造時には値が固定されるもの
- ③ 攪乱因子：通常は野放しだが実験時は制御されるもの
- ④ 共変量（交絡因子）：通常も実験時も野放しであるもの
- ⑤ 前提条件：通常も実験時も一定の水準で変化しないかあるいは一定の水準にとどめるように制御されるもの

なお、攪乱因子は客体と同じである。また、出力の状態が特性である。

### 3) 設計因子と水準の範囲の設定

以下を考慮して、4)で詳述する実験における設計因子と水準の範囲の設定する。

- ① 実現すべきものは何か。
  - ・ 注目する指標（特性，項目）
- ② 指標に影響するものは何か。
  - ・ 注目する設計因子
  - ・ 設計因子のタイプ（量的因子，質的因子）
- ③ それをとりうる範囲は何か。
  - ・ 量的因子は下限と上限
  - ・ 質的因子は選択肢（取り得るカテゴリー）

### 4) 数理モデルの想定と実験計画の作成

設計に必要な数理モデルを想定し、それを変数選択によって構築することが可能な最小の実験サイズの実験計画を組む。

実験とは、特性に影響をおよぼす可能性のある因子を取り上げて、その因子の値（水準）を何通りかに設定し、その下でデータを取って解析することである<sup>27)</sup>。取り上げた因子の全ての水準組み合わせで実験を行うと、実験回数が増大する。例えば11の因子を取り上げて、それぞれを2水準にすると、 $2^{11}=2048$ 回の実験を実施する必要がある、実験回数自体が多くなるため、その実施が困難になることが多い<sup>27)</sup>。そのため、調和設計の実験では直交配列表実験<sup>27)</sup>を用いる。直交配列表実験を用いると、効率的に情報を得るために、どのような水準組み合わせを選んで実験すれば良いのかが直交配列表よりわかるので、実験回数を減らすこ

とが可能である<sup>27)</sup>。例えば、直交配列表実験を用いると、先述の11の因子を取り上げて、それぞれ2水準とした場合は、12回の実験の実施となり、大幅に実験回数を減らすことができる。

#### 5) 最適化で取り上げる指標の選定とその取扱いの分類

取り上げる指標を選定し、指標を必須指標、考慮指標、把握指標の3種類に分類する。必須指標は満たすことが不可欠な指標である。考慮指標は必須指標に準じて重要な意味をもつ指標であり、必須指標を満たすために時には条件を譲歩する可能性がある指標である。把握指標は必須指標と考慮指標で設計された結果、どうなるのかを見る指標である。

### 1.3.3.2 模型化

模型化とは実験から得られたデータを用いて数理モデルを推定する段階である<sup>25)</sup>。客体に患者等の疾患（疾患1と疾患2）と場面（場面1と場面2）を取り上げ、疾患と場面の4つの組み合わせのどれでも納得が得られる特性をもつハードウェアを設計する場合、数学的には次の様にモデル化ができる<sup>2)</sup>。ハードウェアの特性を $y$ 、設計因子を $\mathbf{x}$ 、誤差を $\varepsilon$ 、設計因子の数を $p$ 個とすると、構造模型は以下のようなになる。

$$\begin{aligned} y &= \mu(\mathbf{x}) + \varepsilon, \\ \mathbf{x} &= (x_1, x_2, \dots, x_p), \varepsilon \sim N(0, \sigma^2) \end{aligned} \quad (1)$$

推定式は以下の様に表現する。

$$\hat{y} = \hat{\mu}(\mathbf{x}) \quad (2)$$

本研究では推定式を最小2乗法により推定する。この中身を明らかにしたのが式(3)である。

$$\begin{aligned}
\hat{y} &= Ave(\mathbf{x}) + Div^{(U)}(\mathbf{x})z_U + Div^{(W)}(\mathbf{x})z_W + Div^{(UW)}(\mathbf{x})z_{UW} \\
Ave(\mathbf{x}) &= a_0 + \sum_{i=1}^p a_i x_i, \\
Div^{(k)}(\mathbf{x}) &= d_0 + \sum_{i=1}^p d_i x_i \quad k = U, W, UW
\end{aligned} \tag{3}$$

式中の  $i$  は変数番号である。  $z_U$  は疾患を表現するダミー変数で、  $z_W$  は場面を表現するダミー変数、  $z_{UW}$  は疾患と場面の交互作用を表現するダミー変数である。第1項の  $Ave$  は平均 (Average) を意味し、第2, 3, 4項の  $Div$  は平均からの乖離 (Divergence) すなわち実験計画法における効果 (effect) を意味している<sup>28)</sup>。つまり、第2項は疾患の効果、第3項は場面の効果である。疾患の効果がどの場面でも同一であれば、第1~3項のみで対応できるが、疾患の効果が場面毎に異なる可能性がある場合は、場面間の疾患の効果の違い (すなわち疾患と場面の組み合わせ毎の効果の違い) を考慮する必要がある。この交互作用<sup>27, 29)</sup>を、式(3)では第4項で取り上げている。疾患  $U$  において疾患1を1、疾患2を2とし、場面  $W$  において場面1を1、場面2を2とすると、以下の3つのダミー変数の組  $(z_U, z_W, z_{UW})$  で疾患と場面の組み合わせが以下の様に表現できる<sup>29)</sup>。

$$\begin{aligned}
(U, W) = (1, 1): z_U = 1, z_W = 1, z_{UW} = 1 \\
(U, W) = (1, 2): z_U = 1, z_W = -1, z_{UW} = -1 \\
(U, W) = (2, 1): z_U = -1, z_W = 1, z_{UW} = -1 \\
(U, W) = (2, 2): z_U = -1, z_W = -1, z_{UW} = 1
\end{aligned} \tag{4}$$

3つのダミー変数を用いて、これらを切り替えることで全ての場合を記述でき、推定はこの式一つで行うことができる。このため誤差の自由度が大きめに確保でき、精度よい統計的推測が可能になる。もし実験の水準幅を広くとった場合には、積項や2次項が必要になる。このような場合にも対応するために、本研究ではモデル化においては中心化変換をした以下のモデル化を採用する。なお、 $i$  は変数番号、 $j$  は水準を意味し、水準数は  $q$  である。

$$\begin{aligned} \hat{y} &= Ave(\mathbf{X}) + Div^{(U)}(\mathbf{X})z_U + Div^{(W)}(\mathbf{X})z_W + Div^{(UW)}(\mathbf{X})z_{UW} \\ \mathbf{X} &= (X_1, X_2, \dots, X_p) \\ X_{ij} &= x_{ij} - \bar{x}_{i.}, \quad \bar{x}_{i.} = \sum_{j=1}^q x_{ij} / q \end{aligned} \quad (5)$$

これは平均値を 0 にする線形変換で、このメリットは 1 次項、積項、2 次項の間の相関を下げることであり、これによって本研究のアプローチは積項や 2 次項のある場合も含めた様々な場合に対して汎用的に適用することが可能となる。したがって本研究で取り上げる適用事例における具体的なモデル化では中心化変換のもとでのモデル化を用いる。

### 1.3.3.3 最適化

最適化とは、関係者全員の合意が得られる設計因子の値を決める段階であり、以下の 2 点を行う<sup>25)</sup>。

- ・ 関係者全員が納得できる解の創出
- ・ 数理モデルの予測の実現の確認 (validation)

最適化においては、求解の PDCA サイクルを用いる。以下、求解の PDCA サイクルに関する詳細を述べる<sup>25, 26)</sup>。

求解の PDCA サイクルを図 6 に示す。求解の PDCA サイクルを用いて最適化を

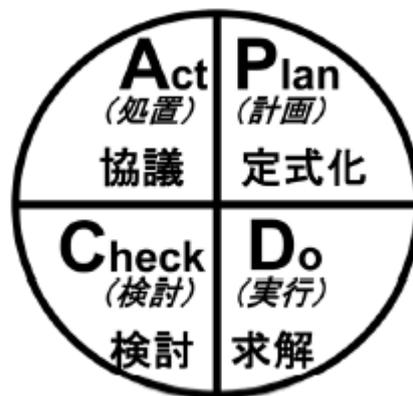


図 6 求解の PDCA サイクル

行うことを対話型逐次最適化と呼び、最終的に得られた解を PDCA 最適解と呼ぶ。なお、PDCA 最適解は、後述する求解の PDCA サイクルのプロセスで得られた過渡的最適解とは区別する。過渡的最適解は数理的には最適解であっても、関係者が合意した解ではないからである。PDCA 最適解は数理的な方法（数理計画法）を手段として用いているが、本質は合意形成の話し合いの結果を意味している。調和設計では、対話型逐次最適化を通じて、関係者全員が満足することを目指すのではなく、話し合いを通じて納得に基づいた合意をすることを目指す。以下に対話型逐次最適化の詳細を示す。

#### 1) 定式化 (Plan)

定式化とは制約条件と目的関数を設定することである。制約条件とはクリアすることが必要な条件のことである。必要な制約条件をすべてクリアしたものが実行可能解である。実行可能解が複数ある場合にその中から過渡的最適解を選択する。過渡的最適解の選択の際に必要なのが目的関数である。目的関数は、最大化、最小化、および特定の値に最接近のいずれかである。目的関数が設定されることで、実行可能解の中から過渡的最適解を選択することが可能になる。

#### 2) 求解 (Do)

求解とは、制約条件と目的関数を満足する過渡的最適解を求め、可視化することである。コンピュータを活用することで、短時間で過渡的最適解が求まる。

#### 3) 検討 (Check)

検討とは、過渡的最適解が受け入れられるかどうかの吟味を行うことである。譲歩するためには自分に関連のある指標の限界と他の立場の人々に関連のある指標の限界を知ることが必要である。このためには、

関係者が一堂に会して、それぞれの立場毎に気になる指標の限界を求め  
るようにする。

#### 4) 協議 (Act)

検討に基づいて、関係者と協議をする過程である。どこまで譲歩する  
か、どこまで要求するかを考えて、その具体的な値を明確にした上で、  
得られた過渡的最適解は納得すべきものなのか、更に求解を試みるべき  
かを、協議によって判断する。前者の場合は求解の PDCA サイクルは終  
了する。後者の場合は、相互の譲歩について話し合い、再び定式化を行  
う。

関係者が合意した PDCA 最適解が得られたら、実物を作成し、数理モデルで  
予測した指標が実現するか確認する。PDCA 最適解はあくまでも仮説であるの  
で、必ずしも指標が実現するとは限らないので、複数の PDCA 最適解を試して  
少なくとも 1 つ以上は実現させることが必要である。もし、複数の PDCA 最適  
解が実現した場合は、話し合って 1 つを選択する。

### 1.3.4 調和設計の特徴

調和設計の特徴を明確にするために、従来の方法論であるバリアフリーデザ  
インとユニバーサルデザインと調和設計を比較した表を表 3 に示す<sup>1)</sup>。

客体については、バリアフリーデザインは特定の使用者層、特定の使用場面  
に限定した設計であるため使用者層、使用場面は単数であると考えられる。ユ  
ニバーサルデザインは特別な改造や特殊な設計をせずに、すべての人が、可能  
な限り最大限まで利用できるように配慮された、製品や環境のデザインという  
定義<sup>6,7)</sup>から、使用者層は複数になるが、使用場面については、その扱いが明確  
ではなく、原則単数であると考えられる。調和設計では使用者層、使用場面と  
もに複数であり、両者を組み合わせて客体とすることが可能である。また、客

表 3 従来の方法論と調和設計の比較

比較視点		設計種別	バリアフリー デザイン	ユニバーサル デザイン	調和設計
客体	使用者層		単数	複数	複数
	使用場面		単数	単数	複数
	トレード・オフ の調整		なし	設計者の思考 に依存	対話型逐次 最適化
指標	予測		困難	困難	可能
設計諸元 の決定	決定方法		感覚的決定	感覚的決定	科学的決定
	試作品による 試行錯誤		あり	あり	なし
関係者	相互関係		主体が客体を 配慮	主体が客体を 配慮	関係者の合意
	使用者の立場		客体	客体	準主体

体間のトレード・オフの調整については、バリアフリーデザインは使用者層、使用場面が単数であるため行われず、ユニバーサルデザインでは設計者の思考に依存する傾向がある。一方、調和設計では対話型逐次最適化を用いる。

指標についてはバリアフリーデザイン、ユニバーサルデザインでは設計者による属人的な設計であるため、予測が困難な場合が多いが、調和設計では数理計画法を用いるため予測が可能である。

設計諸元の決定については、バリアフリーデザイン、ユニバーサルデザインは設計者の思考に依存する感覚的決定の場合が多いが、調和設計は数理モデルを用いた対話型逐次最適化を通じた科学的決定である。また、バリアフリーデザイン、ユニバーサルデザインでは試作品を作成し評価を行い修正するという試行錯誤の過程があることが多いが、調和設計では数理モデルを用いて設計対象の指標が予測できるため、試作品による試行錯誤は原則として不要である。

ただし、実物を用いた数理モデルの予測の実現の確認は必要である。

関係者の相互関係については、バリアフリーデザイン、ユニバーサルデザインにおいては主体（設計者）が客体に配慮をしながら仕様を決定する。このため、使用者の立場は客体となる。一方、調和設計においては患者等も設計に参加し、対話型逐次最適化を通じて関係者の合意を形成をする。この場合は、使用者を準主体に位置づける。準主体とは援助のもとで、要望を伝える、わかり易く提示された選択肢を選択するという2点を通じて意思決定に参加するものである<sup>1)</sup>。準主体に関しては、2.3.6.1で詳述する。

以上の比較に基づくと、調和設計の特徴は以下の3点であると考えられる。

- ・ 多層性と多面性の両方を考慮することが可能であること
- ・ 数理モデルを用いて可視化された客観的なデータに基づきトレード・オフの調整を行うことが可能であること
- ・ 各層の使用者を代表する人が参加した協議を通じて納得に基づく合意形成を行うことが可能であること。

#### 1.4 研究の目的

上記の3点の調和設計の特徴は、汎用的な医療・福祉のハードウェアの設計の現状における、多面性を考慮していない、要求事項間のトレード・オフの調整は設計者の主観的で経験に基づいた評価に依存する傾向がある、要求事項間のトレード・オフの調整に患者等が参加をしていない、という3点の限界について、調和設計が対応可能であることを示すものであり、調和設計は、医療・福祉のハードウェアの多層性、多面性に対応ができる科学的な設計手法として応用の可能性があると考えられる。しかし、現時点では調和設計を医療・福祉のハードウェアに実際に適用した事例はない<sup>2)</sup>。

そこで本研究は調和設計を用いた汎用性の高い医療・福祉のハードウェアの

設計の方法論を明らかにし、その実用性と有用性を確認することを目的とした。

## 1.5 研究の構成

本研究の構成を表4に示す。

第1章の「序論」では、研究の背景、調和設計の概要と特徴、および研究の目的を示した。この章は調和設計の概念の提示に相当する。

第2章の「調和設計を医療・福祉のハードウェアに適用する際の方法論」では、調和設計を医療・福祉のハードウェアに適用する際の方法論を明確にする

表4 本研究の構成

調和設計を用いた医療・福祉のハードウェアの設計	
[目的]調和設計を用いた汎用性の高い医療・福祉のハードウェアの設計の方法論を明らかにし、その実用性と有用性を確認する。	
<b>第1章 序論</b> [目的]研究の背景、調和設計の概要と特徴、研究の目的を示す。 ① 汎用性の高い医療・福祉のハードウェアの必要性 ② 汎用性の高い医療・福祉のハードウェア設計における従来の方法論の状況 ③ 調和設計の概要と特徴 ④ 研究の目的	概念
<b>第2章 調和設計を医療・福祉のハードウェアに適用する際の方法論</b> [目的]調和設計を医療・福祉のハードウェアに適用する際の方法論を明確にする ① 工業分野の調和設計と医療・福祉分野の調和設計の相違点 ② 各相違点への対応	方法
<b>第3章 調和設計を用いた汎用性の高い医療・福祉のハードウェアの設計</b> [目的]調和設計を医療・福祉のハードウェアに適用する際の方法論の実用性と有用性を確認する ① 事例 ② 考察	事例
<b>第4章 設計因子の部分共有を用いた汎用性の高い医療・福祉のハードウェアの設計</b> [目的]医療・福祉のハードウェアの一部分を客体毎に異なる設計にすることができるようにする ① 調和設計の理論的な拡張 ② 事例 ③ 考察	拡張
<b>第5章 研究総括</b> [目的]本研究を総括する。 ① 本研究の成果 ② 本研究の意義 ③ 本研究の今後の展開	総括

ことを目的に、工業分野の調和設計と医療・福祉分野の調和設計の相違点を整理し、各相違点への対応方法を検討する。この章は方法の整理に相当する。

第3章の「調和設計を用いた汎用性の高い医療・福祉のハードウェアの設計」では、第1章と第2章で示した調和設計を医療・福祉のハードウェアに適用する際の方法論の実用性と有用性を確認することを目的に、医療・福祉のハードウェアの実例であるリーチャーに調和設計を適用する。この章は、第1章の概念、第2章の方法に基づいた事例の提示に相当する。

第4章の「設計因子の部分共有を用いた汎用性の高い医療・福祉のハードウェアの設計」では、医療・福祉のハードウェアの一部分を客体毎に異なる設計にすること（設計因子の部分共有）ができるようにすることを目的に、調和設計を理論的に拡張し、その有用性を事例を用いて明らかにする。設計因子の部分共有は複数の設計になるが、柔軟に要求事項に対応ができる利点があり、汎用化の重要な選択肢である。この章は、第1章から第3章で示した調和設計の拡張に相当する。

第5章の「研究総括」では、本研究の総括を目的に、本研究の成果と意義および今後の展開について述べる。この章は、本研究の総括に相当する。

## 第2章 調和設計を医療・福祉のハードウェアに適用する際の方法論

### 2.1 緒言

本章では、調和設計を医療・福祉のハードウェアに適用する際の方法論を明確にすることを目的とした。

第1章で述べた調和設計は、工業分野において提唱された手法である。しかし、工業分野の調和設計と、医療・福祉分野の調和設計とでは、具体的なレベルで異なる点が少なくない<sup>30)</sup>。このため、本章では調和設計を医療・福祉のハードウェアに適用する際の方法論を明確にするために、工業分野の調和設計と医療・福祉分野の調和設計の相違点を整理し、各相違点への対応方法を検討する。

### 2.2 工業分野の調和設計と医療・福祉分野の調和設計の相違点

本章では、最初に工業分野の調和設計と医療・福祉分野の調和設計の相違点を、調和設計の過程毎に整理する。工業分野の調和設計と医療・福祉分野の調和設計の相違点を表5に示す。以下の項はこの表に基づいて述べる。

#### 2.2.1 企画化における相違点

工業分野の調和設計では、使用者を健常者として設計をするのが一般的である。健常者は適応性が高く、ハードウェアに若干の不適合があっても問題なく使用できるため、使用者に関する層の幅が広げ易い<sup>1)</sup>。このため、工業分野の調和設計では多層性に関して考慮が必要な使用者層が比較的少数になる。また、健常者は適応性が高いため、特定の場面に合わせたハードウェアを、類似の他の場面で用いても使用が可能であるため、使用場面の幅が広げやすい<sup>1)</sup>。

表 5 工業分野の調和設計と医療・福祉分野の調和設計の相違点

過程	視点	工業分野	医療・福祉分野
企画化	想定する使用者	健常者	患者等
	考慮が必要な使用者層の数	少数	多数
	考慮が必要な使用場面の数	少数	多数
模型化	実験の対象	健常者	患者等
	実験のリスク	低い	高い
	実験中の習熟の可能性	低い	高い
	実験中の疲労の可能性	低い	高い
	データの安定性	安定	不安定
最適化	使用者の各層の代表	健常者	患者等
	主体(設計者)による使用者の要求事項の理解	容易	困難
	提示されたデータ, 説明の使用者の各層の代表による理解	容易	困難

このため、工業分野の調和設計では多面性に関して考慮が必要な使用場面が比較的少数になる。

一方、医療・福祉分野の調和設計では使用者は患者等になる。患者等は適応性が高くないため、ハードウェアに若干の不適合があっても使用が困難になるため、使用者に関する層の幅が広がられない<sup>1)</sup>。また、患者等の心身機能の状態は健常者に比べると変化をし易い<sup>1)</sup>。このため、医療・福祉分野の調和設計では多層性に関して考慮が必要な使用者層が多数になり易い。また、患者等は適応性が高くないため、特定の場面に合わせたハードウェアを、類似の他の場面で用いると使用が困難になり易く、使用場面の幅が広がりにくい<sup>1)</sup>。このため、医療・福祉分野の調和設計では多面性に関して考慮が必要な使用場面が多数になり易い。

以上の点より、工業分野の調和設計と比べた医療・福祉分野の調和設計の企

画化における相違点は以下の点になる。

- ・ 多数の層への対応が必要になる。

### 2.2.2 模型化における相違点

調和設計で用いる数理モデルは実験<sup>27)</sup>のデータに基づき推定される<sup>25)</sup>。調和設計において、使用者が客体になる場合は、実験の対象は使用者の各層の代表になる。

工業分野の調和設計では、使用者は健常者であるため、実験の対象は健常者になる。健常者は患者等に比べると身体的な耐久力が高く、適応性が高い。このため、健常者を対象とした実験では、患者等を対象とした実験に比べると、リスクが生ずることは少ない。また、実験で行う動作の習熟が早いため、実験前の短時間の練習でも十分な習熟が得られ、実験中の動作の繰り返しにより、更に動作が習熟をする可能性は患者等に比べると低い。更に、身体的な耐久力が高いため、患者等に比べると疲労がしにくく、安定したデータを得ることができる。

一方、医療・福祉分野の調和設計では、使用者が患者等になるため、実験の対象は患者等になる。患者等は、健常者に比べると心身機能が低下をしているため、身体的な耐久力が低く、適応性が低い。加えて、心身機能の状態が変化をし易いため、疲労が危険に発展する可能性や、疲労以外のきっかけでも、予測がつかない危険が発生する可能性がある。このような患者等を対象とした実験では、リスク回避が必要になる<sup>30,31)</sup>。実験では、対象となる患者等は複数の条件組み合わせの実験を行うことになるため、設計が完了したハードウェアの安全確認や臨床試験（単一の条件組み合わせのテスト）とは異なるリスク回避策を検討する必要がある。また、実験で行う動作の習熟が遅い場合が多く、実験前の短時間の練習では十分な習熟が得られず、実験中の動作の繰り返しによ

り、更に動作が習熟し、データが不安定になる可能性がある<sup>1,30)</sup>。また、疲労をし易いことからデータが不安定になる可能性が高く<sup>1)</sup>、習熟・疲労以外の要因もデータに影響する可能性がある。

更に、リスク回避に関連して、実験を実施する際に、リスク回避方法の明確化、倫理審査の受審、患者等本人の同意、主治医、家族などの関係者の同意が事前に必要となる。また、実験を開始しても、患者等や関係者が希望をすれば、直ちに実験を中止する必要がある。このように、医療・福祉分野の調和設計の実験は、工学分野の調和設計の場合に比べて、安全、倫理面に関する制約が厳しいため、実験を何度も実施することは困難な場合が多い。

以上の点より、工業分野の調和設計と比べた医療・福祉分野の調和設計の模型化における相違点は以下の4点になる<sup>30)</sup>。

- ・ 実験におけるリスク回避が必要になる。
- ・ 実験において習熟・疲労への配慮が必要になる。
- ・ 実験の信頼性の確認が必要になる。
- ・ 実験を何度も実施できない。

### 2.2.3 最適化における相違点

求解のPDCAサイクルでは、使用者のニーズを反映するために、使用者の各層の代表が参加をすることが必要である。

工業分野の調和設計においては、求解のPDCAサイクルに参加する使用者の各層の代表は健常者になる。このため、話し合いにおいて、設計を行う主体（設計者）は特別な知識や経験がなくても、使用者の各層の代表が表明する要求事項を理解することが可能である。また、健常者である各層の代表は精神機能が低下をしていないため、設計が行う主体が示すデータや説明を理解できる場合が多い。このため、健常者である各層の代表は、求解のPDCAサイクルに

参加するための基本的な知識を習得し、特別な援助がなくても設計に参加する主体になることが可能である。

一方、医療・福祉の調和設計においては、求解のPDCAサイクルに参加する使用者の各層の代表は患者等になる。話し合いにおいて、設計を行う主体は患者等に関する専門知識や経験がない場合が多いため、患者等の各層の代表が表明する要求事項を理解できない場合がありうる<sup>1)</sup>。また、精神機能が低下をしている患者等の層の代表が参加する可能性があり、設計を行う主体が示すデータや説明を理解できない場合がある。このため、患者等の各層の代表が、求解のPDCAサイクルに参加するための基本的な知識を習得できず、特別な援助がなければ設計に参加することができない可能性が高い<sup>1)</sup>。

以上の点より、工業分野の調和設計と比べた医療・福祉分野の調和設計の最適化における相違点は以下の点になる。

- ・ 話し合い（求解のPDCAサイクル）に患者等の参加が必要になる。

## 2.3 各相違点への対応

本節では、2.2で示した工業分野の調和設計と医療・福祉分野の調和設計の各相違点について、対応方法を検討する。なお、本節で述べる対応方法は、必ず行う必要がある内容と、必ずしも行わなくて良い内容があり、状況に応じて選択して行うことが前提である。

### 2.3.1 多数の層への対応

医療・福祉分野の調和設計において、考慮する層（患者等の層、使用場面、両者の組み合わせのいずれか）が増加し、層間の特徴がかけ離れる場合は、解が得られなかったり、関係者が納得できる指標が得られなくなる可能性がある<sup>1)</sup>。このため、企画化の段階で、どのような範囲の層を客体にするのかを十分

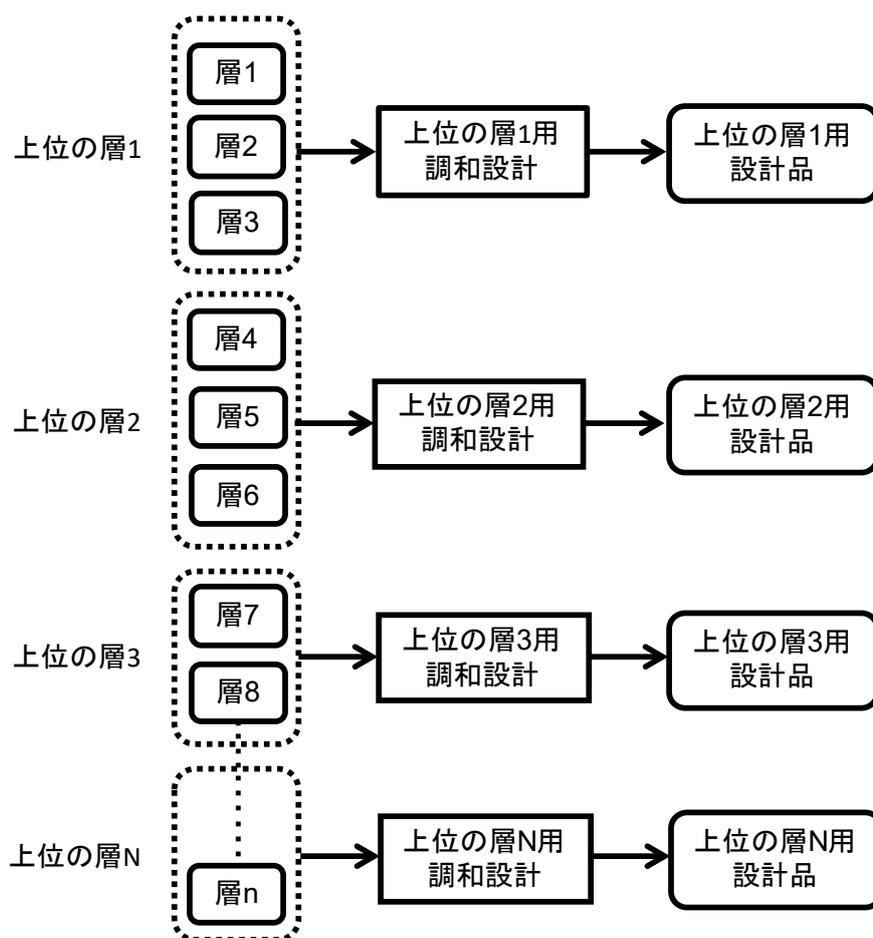


図 7 類似する層を上位の層にまとめた調和設計

に検討する必要がある。

この時の対応としては、図 7 に示すように、類似する層を上位の層にまとめて調和設計を実施する方法が考えられる<sup>1)</sup>。類似する層を上位の層にまとめる際には、最初に各層の特徴を明確にし、各層間で類似する点と異なる点を整理する。その上で、類似する層をまとめ、類似点を客体にする。

### 2.3.2 実験におけるリスク回避

医療・福祉分野の調和設計では、患者等が実験の対象になるため、実験におけるリスク回避が必要になる<sup>30,31)</sup>。本項では実験のリスク回避方法を、患者等

を対象に実験（以下，患者対象実験）を行う場合と，健常者である代行者を対象に実験（以下，代行実験）を行う場合に分けて整理する<sup>31)</sup>。

### 2.3.2.1 患者対象実験を行う場合

患者対象実験を行う場合には，以下の2点のリスクが考えられる<sup>30,31)</sup>。

- ・リスクのある条件組み合わせが発生する
- ・実験の負担が大きく患者等が疲労する

これらに対するリスク回避方法を以下に述べる。

#### 2.3.2.1.1 リスクのある条件組み合わせの回避方法

実験では，患者等にとっては明らかに動作が困難な条件組み合わせが発生する可能性がある。このような組み合わせで無理に実験を行うと，極端な疲労や無理な動作が発生しリスクが高くなる<sup>31)</sup>。

この対応の第1は，実験の計画段階でリスクがある条件組み合わせが発生しないようにする方法である。具体的には，極端な水準は用いずに（水準幅を狭くして），できるだけ無理な組み合わせが生じないようにする方法が考えられる<sup>31)</sup>。また，動作が困難な組み合わせが発生する設計因子の水準を，動作が可能なものに固定をし，最適計画を組むという方法も考えられる<sup>30)</sup>。これらの方法は，実験の計画段階でリスク回避の対応ができる利点があるが，求解のPDCAサイクルの段階で調整が可能な設計因子の数や値の幅が狭まり，柔軟な設計が難しくなることに注意が必要である<sup>31)</sup>。

第2は実験実施段階で，リスクのある条件組み合わせのみ健常者である代行者（以下，代行者）が代わりに実験を行う方法である（部分代行）。この方法では，実験の計画段階で予想ができなかったリスクがある条件組み合わせが発生しても患者等が無理な動作をしなくてすむ利点がある。しかし，患者等の動

作と代行者の動作は完全には一致しないので不自然なデータとなる危険性があることに注意が必要である<sup>31)</sup>。

第3は、解析の段階で患者等が実験を行えなかった欠測値を、疑似的なデータで補完し形式的に実験を完成させる方法、欠測値を補完せずに重回帰分析で数理モデルを推定する方法が考えられる<sup>30)</sup>。これらの方法は、実験終了後に実施ができる利点がある。しかし、欠測値が多いと不自然な数理モデルを推定する危険性が高まるという点に注意が必要である<sup>31)</sup>。

#### 2.3.2.1.2 実験負担の軽減方法

調和設計では、できるだけ少ない実験数で効率的に情報を得られる直交配列表実験<sup>27)</sup>を用いる。しかし、直交配列表実験において、健常者では疲労せずに実施できる実験数であっても、心身機能に制約のある患者等では極度に疲労をし、リスクに発展する可能性がある。このため、実験の負担を軽減する必要性が生じる<sup>31)</sup>。

実験の負担を軽減する第1の方法としては、予備実験の中で、設計因子の選抜を行う方法が考えられる<sup>31)</sup>。患者対象実験を安全で効率的に実施するためには、事前に予備実験を行う必要がある。本研究では予備実験は健常者による代行実験を前提としている。予備実験には、患者対象実験の安全性の事前確認と、設計因子の選抜の2つの目的がある。予備実験では、代行者が患者等を演技して実験を行い、患者対象実験の疲労の程度、リスクの有無を事前確認すると共に、設計因子の寄与率を把握し、寄与率が低い設計因子を除外し、患者対象実験で用いる設計因子を選抜する。このようにして、設計因子を選抜することにより、患者対象実験（本番実験）の実験数を小さくすることが可能になる。この方法の利点は、実験数が減り患者等の心身への負担を軽減できる点と、あらかじめ健常者による予備実験を行うことによりリスクが把握できる点

である。しかし、代行者による患者等の演技が患者等の状態の本質とずれた場合に、本来は必要な設計因子が選抜されない可能性がある。

実験の負担を軽減する第2の方法としては調合が考えられる<sup>31)</sup>。調合とは、両端の客体を選び、両者についてのみ最適化を行うことである。例えば、客体の水準が高～低の4段階ある場合は、最も水準が高い客体と、最も水準が低い客体のみで最適化を行う。この際、間の2水準の特性については、最も水準が高い客体と最も水準が低い客体の間に入るものとし、最適化は行わない。この方法は、実験数が減らせる利点はあるが、客体が2つに絞られるため、全客体を考慮したきめの細かいトレード・オフの調整が困難になる点に注意が必要である。

### 2.3.2.2 代行実験を行う場合

実験におけるリスク回避方法のもう一つの場合として、代行実験が考えられる<sup>1,30,31)</sup>。代行実験とは、代行者が患者等の代わりに全ての実験を行う方法である。代行実験には、以下の留意点がある<sup>30,31)</sup>。

#### 2.3.2.2.1 患者等の動作の特徴と要因を明確にする

代行者が患者等の状態の本質を代行するためには、患者等の動作を単に模倣するのではなく、患者等の動作の特徴の要因を踏まえて演技（なりきり動作）をする必要がある。このため、患者等の動作を運動学的に分析し、患者等の動作の特徴およびその要因を明らかにする必要がある。専門家の知見、動画の分析結果などを活用する必要がある。

#### 2.3.2.2.2 客体を患者等自体にするか、患者等に共通する特徴的な動作にするか判断する

代行実験においては、代行者が患者等の状態の全てを演技することが困難な場合が考えられる。

このような場合には、患者等に共通する特徴的な動作を抽出して客体にする方法が考えられる。例えば、客体を脳梗塞と関節リウマチにするのではなく、脳梗塞に特徴的な姿勢での動作と関節リウマチに特徴的な姿勢での動作とする。このようにすると、特徴的な姿勢での動作が客体になるので、代行者が患者等の状態の全てを演技する必要がなくなる。しかし、客体を患者等に共通する特徴的な動作にすると、対象とした動作以外の患者等の動作が無視されることに注意が必要である。

なお、患者等に共通する特徴的な動作は運動学的な分析に基づいて決める必要がある。このため、専門家の知見、動画の分析結果などに基づいて判断をする必要がある。

#### 2.3.2.2.3 代行者の代行能力を確認する

代行実験では、代行者の代行能力を確認する必要がある。代行能力の確認には、質的な確認と量的な確認がある。質的な確認では、代行者が患者等の動作とその要因を理解しているか（理解グレード）、患者等の動作の要因を踏まえた演技が可能か（動作グレード）、行った演技は患者等・専門家が納得できるものか（外部評価グレード）を確認する。量的な確認では、患者等に無理のない動作で患者等と代行者のデータを一対比較し乖離がないか（一対比較グレード）を確認する。

#### 2.3.2.2.4 代行者が行う演技を安定させる

実験中には代行者が行う演技を安定させる必要がある。このためには、患者等の特徴に合わせて身体を固定する器具を使用し演技をし易くする方法が考えられる。また、実験中に患者等の各層の代表、専門家に監督者として参加をしてもらい、代行者の演技が正確か確認し、逸脱があれば修正できるようにする。代行者が行う演技を安定させるには、実験中の代行者の習熟と疲労への対応を行う必要もあるが、この点は2.3.3で述べる。

#### 2.3.2.2.5 患者等の各層の代表が求解のPDCAサイクルに参加できるようにする

調和設計は、関係者が求解のPDCAサイクルを通じてトレード・オフを調整する<sup>25,26)</sup>。このため、代行実験を行った場合、患者等の意向を反映するために求解のPDCAサイクルに患者等の各層の代表が参加する必要がある。この場合、患者等の各層の代表は実験で行った動作を経験していないので、代行者が助言者として参加し、実験を行った経験に基づく助言を患者等の各層の代表に対して行う。なお、事情により患者等の各層の代表が参加できない場合は、インターネット会議を行うか、事前・事後に患者等の各層の代表の意見確認をして代行者が求解のPDCAサイクルを行う。この場合は必ず患者等による最終確認テスト（2.3.2.2.6で後述）を行う必要がある。

#### 2.3.2.2.6 代行者は数理モデルの予測実現確認テストに、患者等の各層の代表は最終確認テストに関わる

数理モデルの予測実現確認テストでは数理モデルの予測が実際に実現したか確認を行う<sup>25)</sup>。このため、代行実験と数理モデルの予測実現確認テストの前提を同じにするために、設計したハードウェアを代行者が実際に使用して実測値

を計測し、実測値が数理モデルの予測区間の間にあるか確認をする。

一方、最終確認テストは、設計結果が設計目的を達成したかを確認することが目的である。このため、対象は患者等になる。最終確認テストは数理モデルの予測実現確認テストでリスクがないことを確認した上で行う。設計目的の達成の確認には質的確認と量的確認がある。前者は設計したハードウェアを患者等が実際に使うことができると感じるかを確認する。後者は、設計したハードウェアを患者等と代行者が使用して実測値を計測し、データの一対比較を行う。

#### 2.3.2.2.7 代行実験が行えない場合がある

患者等の状態が複雑で、患者等に共通する特徴的な動作を客体にしても、代行者の演技が困難な場合は代行実験が行えない。また、切断や変形など健常者が演技をできない状態がある場合には代行実験が行えない場合があることに注意が必要である。

#### 2.3.2.3 患者対象実験と代行実験の選択

患者対象実験の場合は、真の患者等の状態に基づくデータを得られる利点がある。しかし、実験にリスクがある場合には、2.3.2.1で述べたリスク回避方法の実施により、調整が可能な設計因子の数や値の幅が狭まり、柔軟な設計が難しくなる可能性がある。

代行実験の場合は、リスクのために実験の対象にできない患者等の状態も客体にすることが可能になる。また、データが安定し、数理モデルが推定しやすい。更に、水準幅と客体を積極的に増やすことが可能になるため、第1に数理モデルの予測実現の可能性が高くなる、第2に柔軟な設計が可能になる、第3に製品が広い範囲に対応できるようになり安全性が増す、という利点がある。し

かし、代行者の演技が患者等の状態の本質とずれた場合は、設計結果が患者等の要求事項を満たさない可能性がある。

このため、患者対象実験と代行実験のどちらを行うか判断する際には、患者等を対象に実験を行う必要性、リスク回避方法の実施により受ける制約、代行実験の利点と限界を総合的に考慮する必要がある。

### 2.3.3 習熟・疲労への配慮

実験の対象者が実験で行う動作を習熟していない状態で実験を行うと、実験の動作を繰り返し行うことにより動作が習熟し、実験データのノイズになる。また、対象者の疲労も実験データのノイズになる<sup>1,30)</sup>。

このため、習熟については、実験前に対象者に十分に練習をしてもらい、できるだけ習熟をさせておく必要がある。疲労については、十分な休憩をとれるようにする必要がある<sup>1,30)</sup>。

その上で、実験実施前後に同じ実験条件を1つまたは複数行い、そのデータを記録しておくことで習熟・疲労の程度を確認する。この確認は2.3.4の同一被験者のデータの信頼性の確認の際のデータを用いても良い。習熟・疲労が著しい場合はそのデータを用いて補正をする必要がある<sup>1,30)</sup>。

### 2.3.4 実験の信頼性の確認

医療・福祉のハードウェアの調和設計では、患者等を対象とした実験を行うので、データは習熟や疲労の他の要因でも影響を受けやすく、不安定になる可能性が高い。このため、2.3.3で述べた習熟・疲労の程度の確認の他に、実験の信頼性を確認する必要性が生ずる<sup>30)</sup>。信頼性の確認には同一被験者のデータの信頼性の確認と、実験の場と予測実現の場との整合性の確認がある<sup>30)</sup>。前者については同一被験者に1つないし複数の条件組み合わせを複数回実施してもら

うことで吟味する．後者については実験条件のいずれかを予測実現の確認の時点でも再び実施する．その上で実験時の結果との比較を行うことにより，予測実現の確認の場・状況が実験の場・状況と同じであることを検証することが出来る<sup>30)</sup>．

### 2.3.5 実験が何度も実施できない点に関する対応方法

医療・福祉分野の調和設計の実験は，工学分野の調和設計の場合に比べて，安全，倫理面に関する制約が厳しいため，実験を何度も実施することは困難な場合が多い．このため，ひとたび取った実験データを十分に活用するために，4種の解を全て活用し，解の候補をできるだけ増やして予測の実現の確認をする必要がある．以下，その詳細について述べる<sup>30)</sup>．

#### 2.3.5.1 4種類の解の活用

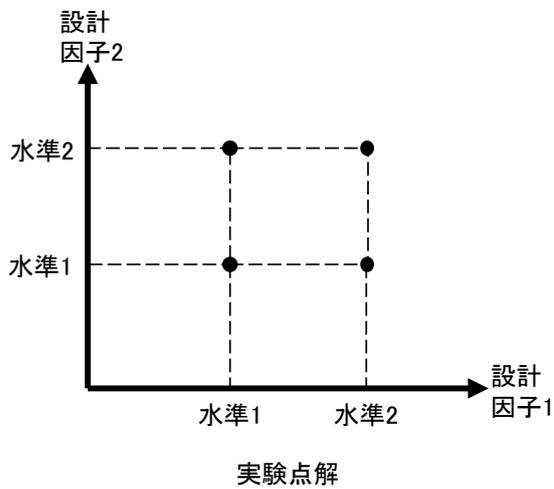
設計には以下の4種類の解を考えることができる．

- 1) 実験点解: 実験点 (実験で実施した条件) そのものの中からの選択
- 2) 格子点解: 実験水準 (質的水準) の組合せの中からの選択
- 3) 内挿解: 実行可能解からの選択
- 4) 外挿解: 実行可能解領域外の条件 (準解) からの選択

4種類の解の模式図を図8に示す．この図ではわかり易くするために設計因子が2，水準が2の場合を示している．

実験点解は4の実験点 (実験で実施した条件) の中から最適なものを選択する．

格子点解は， $2^2=4$ 通りの実験水準 (質的水準) の組み合わせの中から最適なものを選択する．設計因子が2，水準が2の場合は，実験点解と格子点解が一致するが，設計因子が11，水準が2の場合は $2^{11}=2048$ 通りの実験水準の組み合



$$2^2 = 4$$

格子点解

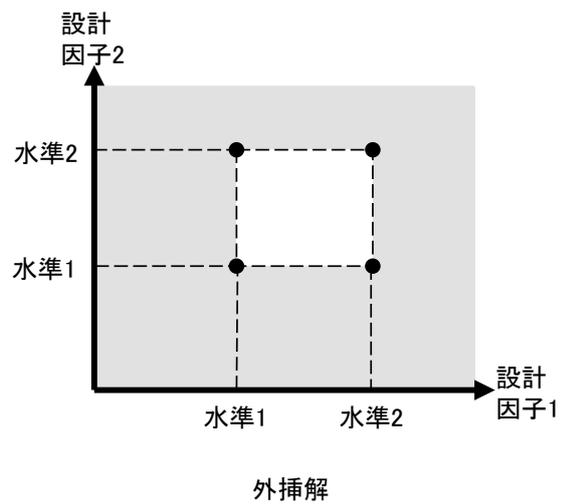
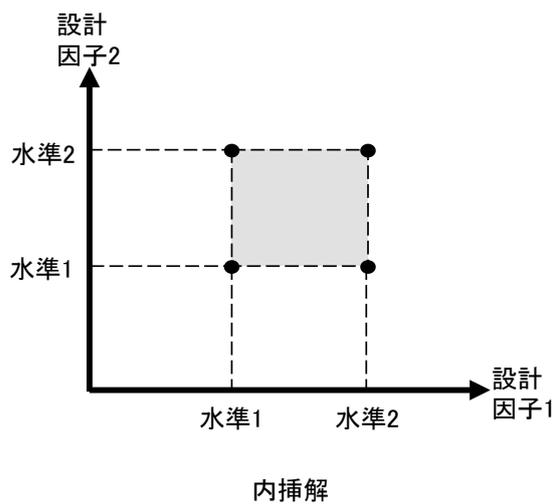


図 8 4 種類の解

わせとなり、解の候補が実験点解より多くなる。従来の直行配列表実験を用いた設計アプローチでは、因子の水準を自然数に置き換えて、その組み合わせ（実験水準の組合せ）の中から最適なものを選ぶ。したがって、このアプローチの解は格子点解である。格子点解では以下の限界が発生する。

- ・ 高次項が扱えないためにモデル化において LOF (Lack of fit:不適合) が発生する。
- ・ 格子点解以外の内挿解を求めることができない。

- ・ 外挿解を求めることができない。
- ・ 設計因子にばらつきを入れたシミュレーションができない。

内挿解は実験で実施した条件の範囲内で最適な実行可能解を選択する。したがって、実験水準の組み合わせの間のいかなる点も解になりうるので、格子点解に比べると解の候補が更に増える。

外挿解は実験で実施した条件の範囲外で解を選択する。統計理論において外挿は危険であると言われているが、外挿解は実現すれば採用の対象になり、仮に実現しない場合でも従来にない新しい固有技術的な知見を得ることができ

る。実験点解、格子点解、内挿解、外挿解は、いずれも同じ実験データから求めることができる。実験に費やした費用と時間を考えれば、実験点解、格子点解だけではなく、内挿解、外挿解も求め、可能性のある解の候補をできるだけ増やしておく必要がある。

なお、はじめから全ての因子が質的因子の場合には実験点解と格子点解しか扱えない。この場合には内挿解＝格子点解となり、外挿解は存在しないことに注意が必要である。

#### 2.3.5.2 4種類の解の実現確認

設計案である解は仮説であるため、設計案の実現確認は不可欠である<sup>25)</sup>。実現確認を行った場合に、設計案が実現しないかもしれないので、複数の設計案を用意しておき、いずれかが実現するようにしておくことが必要である<sup>25)</sup>。もしどれかが実現した場合には、そこで止めることで時間と費用が節約になる。あるいは、時間と費用はかかるが残った設計案も試すことにより、さらに優れた解や新たな固有技術的知見（情報）を獲得するという挑戦的な選択肢もある。

実現確認においては、まず外挿解を除いた実験点解、格子点解、および内挿解の3つを用意して実現の確認をすることが基本である。これらの解が思わしくなく（十分に満足ができなく）目的を達成できない場合は外挿解も試すべきである。あるいはこれらの解は満足できても、それを超える可能性のある魅力的な外挿解が見つかった場合にはそれも試すことには大きな価値がある。もし外挿解が実現したら、そちらに切り替えることは合理性がある。ただし、外挿解を試す際には、予想外の指標になり患者等にとって危険が伴う可能性があることに留意が必要である。このため、あらかじめ代行者で安全性を確認してから、患者等で予測の実現の確認を行う

なお、4種類の解の実現を確認する際は、理論的には最も原始的である実験点解は最後の砦として重要なものと考えられることができる。その意義は2つある。第1は、他のすべての解がいずれも実現しない場合でも、実験点解で何とか現状よりも良い状態にできる解を手に入れることができることである。第2は、これを試すことで実験の場の再現性の確認ができ、実験時の場と予測の実現を確認する場の整合性のチェックが可能であるということである。

### 2.3.6 求解のPDCAサイクルに患者等が参加をする点に関する対応方法

医療・福祉のハードウェアの調和設計における求解のPDCAサイクルでは、設計を行う主体と患者等が円滑なコミュニケーションに基づいた協議を行うことができるように工夫をする必要がある。その方法としては、患者等を準主体に位置付けることと<sup>1)</sup>、歩み寄り量を用いてトレード・オフを可視化すること<sup>2)</sup>が挙げられる。以下、その方法について述べる。

#### 2.3.6.1 患者等を準主体に位置付ける

設計を行う主体は患者等に関する専門知識や経験がないため、患者等の各層

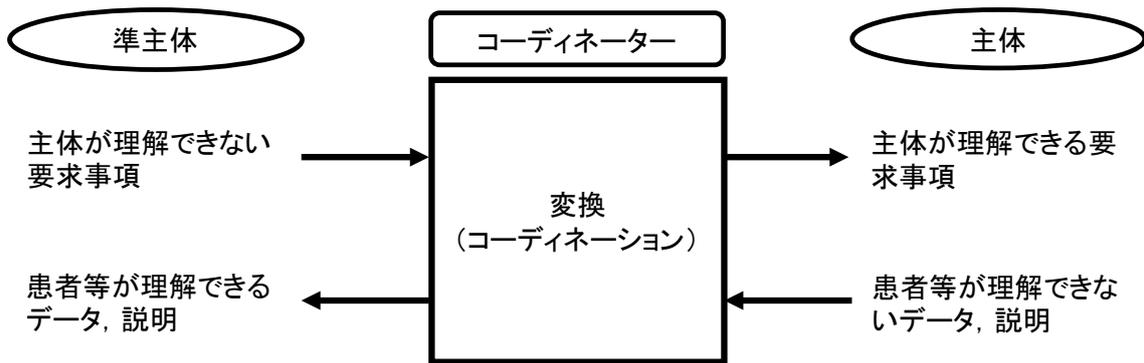


図 9 コーディネーターの役割

の代表が表明する要求事項を理解できない場合がありうる。また、患者等は援助がなければ設計を行う主体が示すデータや説明を理解できない場合がありうる。したがって、患者等が設計の主体になることは困難な場合が多い。このため患者等が設計に参加するには、準主体という概念が必要になる。準主体とは援助のもとで、要望を伝える、わかり易く提示された選択肢を選択するという2点を通じて意思決定に参加するものである<sup>1)</sup>。

準主体に対しては主体とコミュニケーションをするための援助を行うことが必須となる。そこで、設計に関する意思決定に参加しない第三者的な立場から、準主体である患者等を支援するコーディネーターを置く。コーディネーターの役割を図9に示す<sup>1)</sup>。コーディネーターは主体が理解できない患者等の要求事項を主体が理解できる形に変換して伝え、患者等が理解できないデータ、説明を患者等が理解できる形にして伝える。このことにより、主体と準主体のコミュニケーションが可能になる。コーディネーターは、調和設計に関する基礎知識と患者等に関する専門知識を有する必要がある。具体的には、調和設計に関する基礎的な研修を受けた医療・福祉の専門職などが考えられる。なお、主体がコーディネーターを兼ねることも可能であるが、主体は準主体の意思決定を自身に有利になるように誘導しないことが必要である<sup>1)</sup>。

### 2.3.6.2 提示するデータに歩み寄り量を用いて合意形成を促す

求解のPDCAサイクルでは、患者等を含む関係者が相互の状況を理解し、トレード・オフの調整をする必要がある<sup>25)</sup>。求解のPDCAサイクルが成立する要件には、以下の4点がある。

- 1) 制約条件がない状態でどこまでの予測値（限界値）が得られるか把握できること
- 2) 予測値が望ましいか、望ましくないかが判断できること
- 3) どのようなトレード・オフが存在するか把握できること

1) については、関係者が各客体における限界値を知ることにより、どこまでの要求が現実的かを検討することが可能になる。限界値は数理モデルに制約条件を設定せずに、目的関数のみを設定することにより得られる。

2) については、関係者が求解（Do）によって得られた予測値をどの程度望ましいか、望ましくないか短時間で判断できるようにすることにより、検討（Check）、協議（Act）、および定式化（Plan）を円滑に行うことが可能になる。予測値の望ましさを短時間で判断できるようにするためには、得られた予測値から、限界値を引いた値である歩み寄り量を用いる<sup>2)</sup>。歩み寄り量は、本来、数理モデルから得られる最良の指標からどの程度の歩み寄りが必要かを表す値である。

3) については、どのようなトレード・オフが存在するかを関係者が具体的に把握することにより、自身の歩み寄りと要求が、他の関係者にどのような影響を与えるか、考慮できるようになる。トレード・オフを可視化するためには、定式化と求解を繰り返して、歩み寄り量がどのように変化するかを確認する。その上で、明らかになったトレード・オフに関する状況を関係者間で共有する。

なお、患者等が歩み寄り量を解釈することが困難な場合は、コーディネーターが代わりに解釈を行い、患者等にわかりやすく伝える必要がある。

## 2.4 結論

本章では、調和設計を医療・福祉のハードウェアに適用する際の方法論を明確にすることを目的に、工業分野の調和設計と医療・福祉分野の調和設計の相違点を整理し、各相違点への対応方法を検討した。相違点は以下の6点であった。

- ① 多数の層への対応が必要になる。
- ② 実験におけるリスク回避が必要になる。
- ③ 実験において習熟・疲労への配慮が必要になる。
- ④ 実験の信頼性の確認が必要になる。
- ⑤ 実験を何度も実施できない。
- ⑥ 話し合い（求解のPDCAサイクル）に患者等の参加が必要になる。

これらの各相違点への対応方法については以下が明らかになった。なお、これらは状況に応じて選択して行う。

### ①に対する対応

- ・ 類似する層を上位の層にまとめる。

### ②に対する対応

- ・ リスクのある条件組み合わせを回避する。
- ・ 設計因子の選抜と調合により実験負担を軽減する。
- ・ 代行実験を行う。

### ③に対する対応

- ・ 十分な練習と十分な休憩を実施する。
- ・ 習熟・疲労の程度を確認する。

④に対する対応

- ・ 同一被験者のデータの信頼性および実験の場と予測実現の場の整合性の確認をする。

⑤に対する対応

- ・ 4種類の解を活用する。

⑥に対する対応

- ・ 患者等を準主体に位置付ける。
- ・ 提示するデータに歩み寄り量を用いて合意形成を促す。

## 第3章 調和設計を用いた汎用性の高い医療・福祉のハードウェアの設計

### 3.1 緒言

第1章では調和設計の概念および基本的な方法論を示し、第2章では調和設計を医療・福祉のハードウェアに適用する際の方法論を明確にした。本研究の目的は、調和設計を用いた汎用性の高い医療・福祉のハードウェアの設計の方法論を明らかにし、その実用性と有用性を確認することである。

本章では、第1章、第2章で示した方法論の実用性と有用性を確認することを目的に、医療・福祉のハードウェアの実例に調和設計を適用した<sup>2)</sup>。

### 3.2 事例

本章では実例であるリーチャーに調和設計を適用した。リーチャーを図11に示す。リーチャーは患者等が遠くの物を操作するための棒状の道具であり、リハビリテーションの現場において用いられる一般的な患者用用具である。リーチャーは個々の患者等のニーズに合わせて作業療法士が作成する場合があるが、その際は使用場面に合わせて複数のリーチャーを作成することがある。また、市販品が活用される場合も多く、市販品のリーチャーは、多様な状態の患者等が様々な使用場面で使用するため、設計においては多層性と多面性に対応する必要がある。以下、調和設計を用いたリーチャーの設計の詳細について示す<sup>2)</sup>。

#### 3.2.1 企画化

##### 3.2.1.1 目的、主体、客体、指標の設定

リーチャーの設計目的は、関節リウマチの患者等と脳梗塞の患者等が、床の

タオルを拾う（以下，拾う），カーテンを閉める（以下，閉める）の2場面で，短時間で使用可能なリーチャーを作成することとした。

リーチャーの機能構造図を図10に示す．主体は設計者，準主体を関節リウマチ患者代表，および脳梗塞患者代表とした．客体は疾患と場面とし，疾患は関節リウマチと脳梗塞の2疾患で，場面は，拾う，閉める，の2場面とした．

特性は動作を終えるまでの所要時間（秒）とした．この理由は，所要時間は客観的で量的な数値であるためである．商品化の際は，1.3.1で言及した項目のQ, C, D, R, S, Eも考慮すべきであるが，本章では医療・福祉のハードウェアに調和設計を適用する最初の研究のため，特性に絞って検討した．

### 3.2.1.2 設計対象の設計因子と水準の設定

実験では混合系直交計画 L12<sup>32, 33)</sup>を用いた．L12で設定した設計因子と水準を

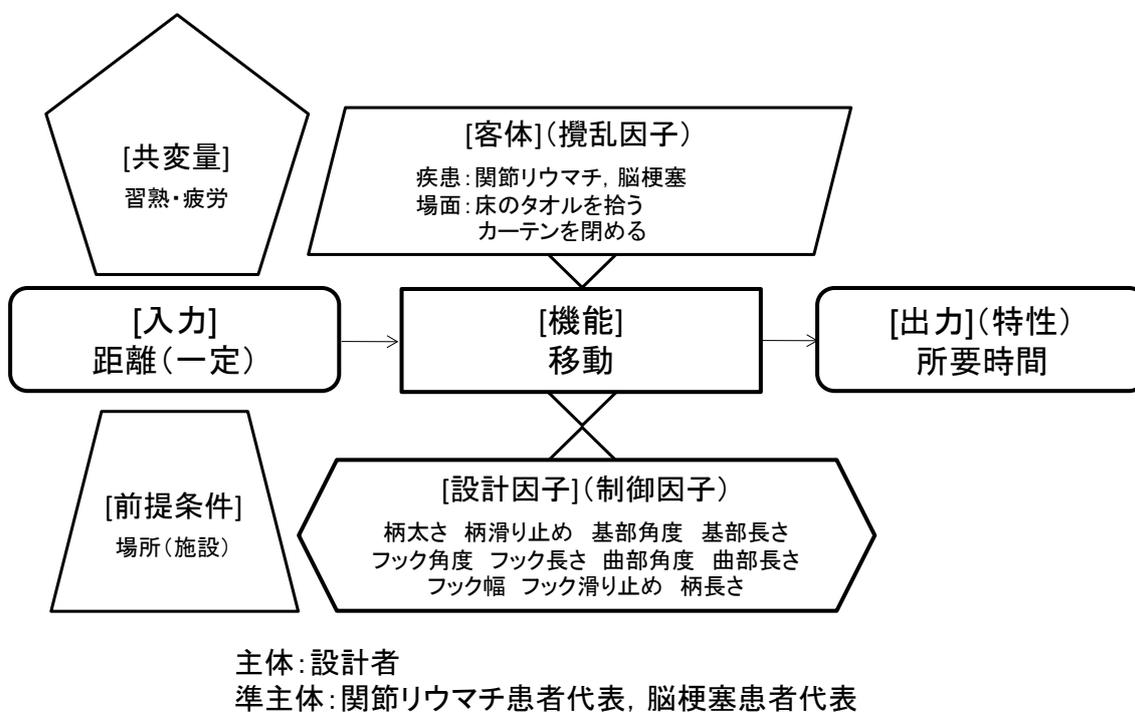


図 10 リーチャーの機能構造図

No.	設計因子	第1水準	第2水準
①	柄太さ(mm)	19	10
②	柄滑り止め	あり	なし
③	基部角度(度)	90	0
④	基部長さ(mm)	65	25
⑤	フック角度(度)	100	80
⑥	フック長さ(mm)	70	30
⑦	曲部角度(度)	90	-5
⑧	曲部長さ(%)*	50	25
⑨	フック幅(mm)	21	6
⑩	フック滑り止め	あり	なし
⑪	柄長さ(cm)	71	65

\* フック長さに対する比率である。

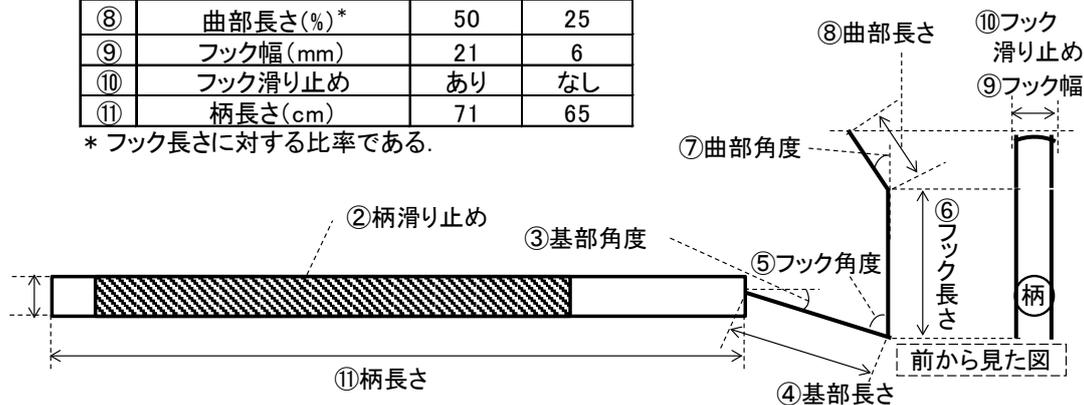


図 11 混合系直交計画 L12 で設定した設計因子と水準

図 11 に示す。設計因子、水準は市販されている複数のリーチャーを参考にした。

なお、重量は重要な設計因子であるが、入手できる材料と加工技術に制約があり、L12 では加工が困難な組み合わせができる。このため、重量は設計因子とせず、十分に軽いということを前提条件にした。

### 3.2.2 模型化

#### 3.2.2.1 設計のための実験の実施

実験は代行実験とし、実験の対象は、A大学の作業療法士養成課程に在籍する健常成人学生 12 名とした。実験を代行実験にした理由は、本章の研究が調和設計を医療・福祉のハードウェアに適用する最初の研究であり、患者等を対象に実験を行うとリスクが高いと判断したためである。また、対象を作業療法

士養成課程の学生にしたのは、患者等に関する専門知識を有しており、患者等の演技が的確にできるためである。

データ収集期間は2011年3月9日～11日であった。なお、本章の研究では対象者に身体的、精神的な負担がかかる可能性を考慮し、A大学研究倫理審査委員会の審査を受け、承認を得てから実施した。

実験では混合系直交計画L12に基づく12種類のリーチャーを用いた。実験では疾患（関節リウマチ、脳梗塞）、場面（拾う、閉める）を組み合わせた4客体のそれぞれについて、対象者に12種類のリーチャーを使用してもらい、所要時間のデータを収集した。その際、対象者が患者等の特徴を演技できるように体位を図示した。図示した体位を図12に示す。実際の患者等の体位は同じ疾患でも様々なバリエーションがあるが、今回は対象者が確実に演技できるように関節リウマチ患者と脳梗塞患者の典型例を示すこととした。図示した体位は、関節リウマチ患者と脳梗塞患者の典型例を演技するために最低限必要な点を示すものとした。

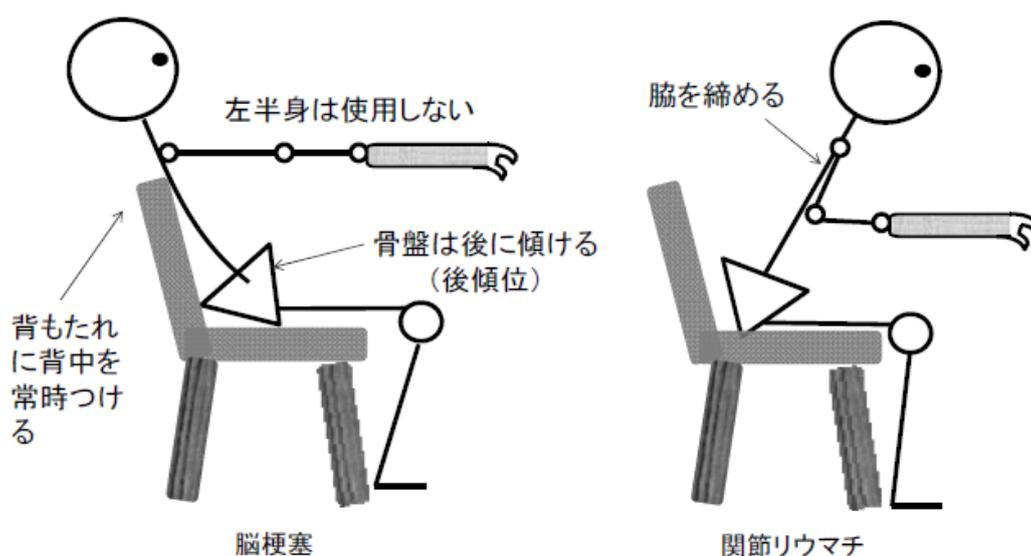


図 12 図示した体位

実験を行う前には十分な練習を行い、動作の習熟が行えるようにした。実験中に疲労が生じた場合は十分に休憩ができることを対象者に伝えた。データ収集の際には、乱数表を用いてリーチャーをランダムな順番で渡してデータを収集した。また、動作は1動作とし、失敗をしたらやり直すようにした。

### 3.2.2.2 数理モデルの推定

対象者は男性4名、女性8名で、平均年齢は  $21.0 \pm 0.4$  (mean  $\pm$  SD) 歳、利き手は右9名、左3名、平均身長は  $162.3 \pm 10.0$  (mean  $\pm$  SD) cm であった。年齢は層に分かれておらず、性別、利き手、身長（中央値を境に低身長群と高身長群に分けた）についても、全リーチャーの所要時間において平均値に有意な差がなかった。このため、対象者について年齢、性別、利き手、身長に関する層別の必要はないと判断した。

数理モデルを推定する際に用いる所要時間の代表値は外れ値の影響を受けにくいメジアンを用いた。変数選択は選択指標として p 値を用い、その基準値を追加 0.25、削除 0.25 とした変数増減法で行った<sup>34)</sup>。尚、交互作用が選択された場合にはその交互作用に関わる主効果は必ず選択するという EOP (Effect Ordering Principle) を適用した。

推定された数理モデルの自由度調整寄与率 ( $R^2$ ) は 0.99 で十分な説明ができていないと判断した。

### 3.2.3 最適化

最適化では、推定された数理モデルを用いて求解の PDCA サイクルを用いた対話型逐次最適化を行う。本章の研究では調和設計を医療・福祉のハードウェアに適用する最初の研究であったため、研究者が仮想的に話し合いを実施し、数理モデルを用いた対話型逐次最適化の実施が可能か検討した。その内容を以

下に述べる.

### 3.2.3.1 求解の PDCA サイクルの準備

求解の PDCA サイクルを行う前に、疾患と場面を組み合わせた 4 客体における各所要時間およびそれらの平均と範囲（もっとも時間がかかる客体とかからない客体の所要時間の差）が、制約条件がない状態でどこまで短縮できるか確認することを想定した。この時の予測値を表 6 の予測値欄のシナリオ A~F に示す。

この表の数字の評価を容易にするために、最も短縮した時間を基準にして、歩み寄り量を計算した。その結果を表 6 の歩み寄り量欄のシナリオ A~F に示す。更に、この値について、関係者が 0.15 秒未満であれば「受け入れ可」、0.15 秒以上 0.5 秒未満であれば「どちらとも言えない」、0.5 秒以上であれば「受け入れ不可」という基準で評価をすると想定した。この基準は、4 客体における各所要時間、平均、範囲に関する歩み寄り量を、A~F のそれぞれについてグラフ上にプロットした上で、その分布を参考に、リーチャーの繰り返し使用による歩み寄りの量の累積を考慮し、専門職の経験に基づいて設定した。この基準による評価結果を表 6 の評価欄のシナリオ A~F に示す。

### 3.2.3.2 求解の PDCA サイクル（1 回目）

#### 1) 定式化

参加者が目的関数を平均の最小化とすることにしたと想定した。制約条件については、平均を最小化した場合、閉める（脳梗塞）が「どちらとも言えない」になるように、制約条件がない状態で平均を最小化した場合の推定値 3.09 秒から 0.3 秒短縮した 2.79 秒以下になるように制約した。

表 6 合意形成表

様々な考え方(シナリオ)のもとでの求解

シナリオ	最終結論									
	①制約条件がない状態での最小値の確認(限界の確認)					②歩み寄りの検討				
マクロ	A	B	C	D	E	F	G	H	最終結論	
ミクロ	合意シナリオ									
制約条件	なし	なし	なし	なし	なし	なし	閉める (脳梗塞) 2.79秒以下	閉める (脳梗塞) 2.94秒以下	なし	
目的関数	範囲 最小化	平均 最小化	拾う (関節リウマチ) 最小化	拾う (脳梗塞) 最小化	閉める (関節リウマチ) 最小化	閉める (脳梗塞) 最小化	平均 最小化	平均 最小化	平均 最小化	
予測値	範囲	1.29	1.29	1.63	2.01	5.13	2.56	1.96	1.29	
	平均	3.80	3.80	3.92	4.06	5.21	4.20	3.96	3.80	
	拾う(関節リウマチ)	4.29	4.29	4.81	5.14	7.63	5.35	4.53	4.29	
	拾う(脳梗塞)	4.39	4.39	4.38	4.71	6.85	5.04	4.90	4.39	
	閉める(関節リウマチ)	3.41	3.41	3.31	3.26	3.88	3.61	3.46	3.41	
歩み寄り量	閉める(脳梗塞)	3.09	3.09	3.18	3.14	2.49	2.79	2.94	3.09	
	範囲	0.00	0.00	0.34	0.71	3.84	1.27	0.67	0.00	
	平均	0.00	0.00	0.12	0.27	1.41	0.40	0.16	0.00	
	拾う(関節リウマチ)	0.00	0.00	0.52	0.85	3.33	1.06	0.24	0.00	
	拾う(脳梗塞)	0.01	0.01	0.00	0.33	2.46	0.65	0.52	0.01	
評価	閉める(関節リウマチ)	0.15	0.15	0.05	0.00	0.62	0.35	0.20	0.15	
	閉める(脳梗塞)	0.60	0.60	0.69	0.64	0.00	0.30	0.45	0.60	
	範囲	○	○	△	×	×	×	×	○	
	平均	○	○	○	△	△	△	△	○	
	拾う(関節リウマチ)	○	○	○	×	×	×	×	○	
評価	拾う(脳梗塞)	○	○	○	△	△	×	×	○	
	閉める(関節リウマチ)	△	△	○	○	×	△	△	△	
	閉める(脳梗塞)	×	×	×	×	○	△	△	×	

○:受け入れ可 △:どちらとも言えない ×:受け入れ不可

## 2) 求解

求解を行った所，表 6 のシナリオ G に示すような結果が得られた。

## 3) 検討

閉める（脳梗塞）は「どちらとも言えない」になったが，範囲，拾う（関節リウマチ），拾う（脳梗塞）が「受け入れ不可」となった。

## 4) 協議

「受け入れ可」が 1 つもないことから，更に協議を行うことを決めたと想定した。

### 3.2.3.3 求解の PDCA サイクル（2 回目）

## 1) 定式化

1 回目より制約条件を緩くし，閉める（脳梗塞）を制約条件がない状態で平均を最小化した場合より 0.15 秒短縮した 2.94 秒以下になるように制約したと想定した。

## 2) 求解

求解を行った所，表 6 のシナリオ H に示すような結果が得られた。

## 3) 検討

拾う（関節リウマチ），閉める（関節リウマチ）は「どちらとも言えない」となった。閉める（脳梗塞）は「どちらとも言えない」になったが，範囲，拾う（脳梗塞）が「受け入れ不可」となった。また，「受け入れ可」は 1 つもなかった。

#### 4) 協議

関節リウマチ患者代表は、制約条件がない状態で平均を最小化した方が良いと主張すると想定した。脳梗塞患者代表は、今までの対話型逐次最適化の過程から、閉める（脳梗塞）の時間を短縮しようとするすると、他の客体が納得できなくなるのがわかり、生活の中で行う頻度が少ない、閉める（脳梗塞）は歩み寄っても良いと申し出たと想定した。

その結果、制約条件がない状態で平均を最小化した案（表6のシナリオB）を採用することで合意したと想定した。

#### 3.2.4 予測の実現の確認

決定した設計因子の値のリーチャーを作成し、設計のための実験と同様の方法で、同じ対象者からデータを収集した。予測の実現の確認は、実測値が数理モデルの予測区間<sup>35)</sup> ( $\alpha=0.05$ )の内にあるか否かで判断した。これは区間推定を用いた両側検定である。予測の実現の確認結果を表7に示す。閉める（関節リウマチ）と、閉める（脳梗塞）の実測値が予測区間下限より短かった。しかし、どちらも実測値が予測区間下限から僅かに安全側に外れていたことから、ほぼ数理モデルによる予測値は実現されたと判断した。

表7 予測の実現の確認結果

予測変数	予測値	予測区間 下限	予測区間 上限	実測値	実現
範囲_時間	1.29	—	—	2.23	—
平均_時間	3.80	3.20	4.39	3.38	○
拾う(関節リウマチ)	4.29	3.56	5.02	4.43	○
拾う(脳梗塞)	4.39	3.66	5.12	4.24	○
閉める(関節リウマチ)	3.41	2.69	4.14	2.65	×
閉める(脳梗塞)	3.09	2.37	3.82	2.21	×

○:実現 ×:非実現

### 3.3 考察

本章の研究では、患者等の状態像を模倣した健常学生を対象に代行実験を行い、そのデータから数理モデルを推定し、その数理モデルを用いて仮想的な対話型逐次最適化を行い、医療・福祉のハードウェアであるリーチャーの設計案を決定した。その上で、得られたリーチャーの設計案を実際に作成し、実験時と同一の対象者、条件でデータを収集した所、数理モデルの予測がほぼ実現することを確認することができた。本章の研究では、健常学生の代行による実験という制約はあったものの、専門知識を有し、患者等の模倣が的確にできる学生を対象としたこと、および対象者が患者等の特徴を確実に演技できるように体位を図示したことを通じて、実験場面が実際の患者等が実験を行う場合に近い状況になっていたと考えられる。したがって、実際の患者等で実験を行って推定した数理モデルでも予測が実現することが可能であることが予想され、医療・福祉のハードウェア設計における調和設計の実用性が示唆された。

また、関節リウマチと脳梗塞の2疾患と拾う、閉めるの2場面を組み合わせた4客体について対話型逐次最適化が仮想的に行えるか確認を行った所、関係者が合意すると思われる設計案が得られた。このことは、調和設計が医療・福祉の実際のハードウェアで、複数の患者等の層と複数の使用場面を組み合わせた客体間のトレード・オフを調整した設計が可能であることを示唆するものである。

更にリーチャーの設計における仮想的な対話型逐次最適化の過程の中では、求解のPDCAサイクルを行う前に数理モデルを用いて、疾患と場面を組み合わせた4客体の所要時間およびそれらの平均と範囲について制約条件がない状態でどこまで短縮できるか確認したことで、客観的な歩み寄りの必要量が把握可能になり、それ以後、関節リウマチ患者代表と脳梗塞患者代表が、データに基づく協議を行うことが想定できた。また、2回目の協議の段階で、脳梗塞患者

代表が閉める（脳梗塞）の時間を短縮しようとする、他の客体における所要時間が納得できないものになることを認識し、歩み寄りを申し出ることが想定され、協調的に合意が成立することが予想された。これらはいくまでも仮想の出来事であるが、調和設計では、複数の患者等の層と複数の使用場面を組み合わせた全ての客体における特性の限界値とトレード・オフの状況を可視化することが可能で、このことにより合理的な協議を行うことができる可能性を示唆するものと考えられる。

実験の実施においては、動作を繰り返し行うことによる習熟・疲労が懸念されたため、実験前には十分な練習を行い対象者にできるだけ習熟をさせ、実験中には十分な休憩ができるようにした。本章の研究の予測の実現の確認では閉める（関節リウマチ）、閉める（脳梗塞）の実測値が予測区間下限を僅かに安全側に下回った。これは、実験中に習熟が起こったが、実験前の十分な練習により習熟は僅かなレベルに留まり、疲労についても影響がないレベルに抑えられたと考えられる。このことより、実験時には習熟、疲労を抑制して、ノイズの入らないデータを収集する必要があることが明らかになった。

本章の研究の知見の適用限界については、事例のリーチャーが患者用器具であったため、患者用器具の範囲と考えられる。しかし、直交配列表実験、対話型逐次最適化、予測の実現確認の方法は、他の範囲の医療・福祉のハードウェアの設計でも共通部分が多いため、調和設計は医療・福祉のハードウェア全般に適用できる可能性が高い。今後、患者用器具以外の医療・福祉のハードウェアへ調和設計を適用し、知見を蓄積することが必要である。

調和設計の限界については、今回行った設計では、全ての客体で納得が得られる単一の医療・福祉のハードウェアを設計している。しかし、汎用化においては、医療・福祉のハードウェアの一部分のみを客体に合わせて異なる設計にするなど、より柔軟な設計を行う手法を確立することが課題である。

### 3.4 結論

本章の研究により，医療・福祉のハードウェアにおける調和設計の実用性が示唆された．また，示唆された有用性は，以下の2点であった．

- ① 複数の患者等の層と複数の使用場面を組み合わせた客体間のトレード・オフを調整した設計が可能である．
- ② 特性の限界値と客体間のトレード・オフの状況の可視化が可能である．留意点については以下の点が明らかになった．
- ③ 実験時には習熟，疲労を抑制して，ノイズの入らないデータを収集する必要がある．

## 第4章 設計因子の部分共有を用いた汎用性の高い医療・福祉のハードウェアの設計

### 4.1 緒言

第3章では、2疾患の患者等と2つの使用場面を組み合わせた全ての客体において関係者が納得する特性を得ることが可能な単一の医療・福祉のハードウェアを設計することが前提となっていた。しかし、汎用化においては、医療・福祉のハードウェアの一部分を客体毎に異なる設計にする方法（設計因子の部分共有）が考えられる。この方法は、複数の設計になるが、一定の汎用化を図りながらも、柔軟に要求事項に対応ができる利点があり、汎用化の重要な選択肢である。そこで本章では、調和設計において、医療・福祉のハードウェアの一部分を客体毎に異なる設計にすること（設計因子の部分共有）ができるようにすることを目的に、調和設計を理論的に拡張し、その有用性を、事例を用いて明らかにする。

本章では、最初に、調和設計において医療・福祉のハードウェアの一部分を客体毎に異なる設計にすることを可能にするため、第1～3章で述べてきた調和設計を理論的に拡張する。次に、拡張した調和設計を用いた事例を示す。その上で、拡張した調和設計の有用性に関する考察を行う。なお、本章では説明をわかり易くするために、1.3.1で言及した項目のQ, C, D, R, S, Eについては割愛し、特性のみを扱っている。

### 4.2 調和設計の理論的な拡張

#### 4.2.1 設計因子の共有

設計因子の共有とは、客体間で特定の設計因子の値を同一にすることである

<sup>31)</sup> 設計因子の共有には、客体間で全ての設計因子を共有する全共有、一部の

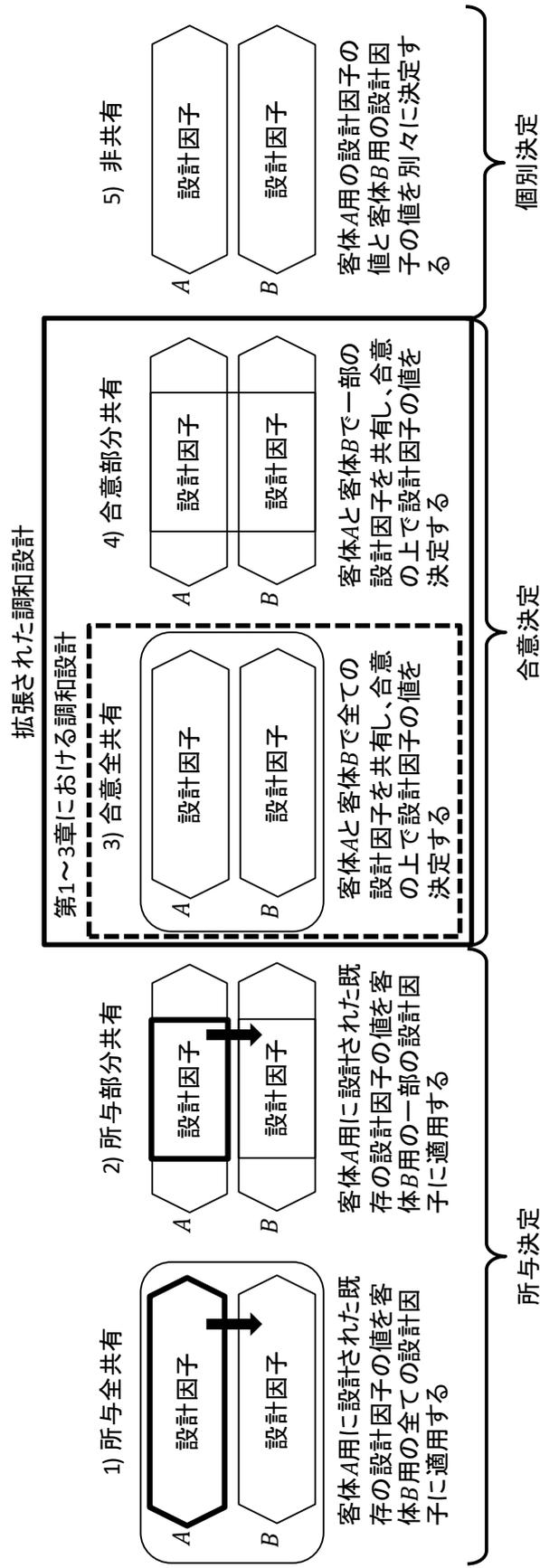


図 13 設計因子の共有方法

設計因子を共有する部分共有，全ての設計因子を共有しない非共有の3種類がある<sup>31)</sup>。また，客体間で共有する設計因子の値を決定する方法については，以下の3種類が考えられる。すなわち，特定の客体用に設計された既存の設計因子の値を他の客体用の設計に適用する方法，求解のPDCAサイクルを用いた話し合いに基づいてトレード・オフを調整して設計因子の値を決定する方法，客体毎に別々に設計因子の値を決定する方法であり，本章においては順に所与決定，合意決定，個別決定と呼ぶ<sup>31)</sup>。

これらの3種類の設計因子の共有と3種類の共有する設計因子の値の決定方法を組み合わせると図13に示すような5種類の設計因子の共有方法が考えられる。なお，図13では，わかりやすくするために客体は客体Aと客体Bの2つにしてある<sup>31)</sup>。

所与全共有と所与部分共有は所与決定に基づく設計である。所与全共有では，トレード・オフの調整を行わずに全ての設計因子について客体Aの値を客体Bに適用するため，客体Bにおいては特性値が関係者の許容範囲を超え納得が得られない可能性が高くなる。所与部分共有では，所与全共有に比べると，非共有の設計因子の値の調整による客体Bにおける特性値の改善の余地が残されているが，限定的である<sup>31)</sup>。

合意全共有と合意部分共有は，合意決定に基づく設計である。合意全共有，合意部分共有共に，求解のPDCAサイクルを用いてトレード・オフを調整することが特徴であるため，関係者が納得する特性値を得られやすい特徴がある。合意全共有では設計因子を全共有するため，設計上の制約が厳しくトレード・オフの調整に手間がかかるが単一のハードウェアになる。合意部分共有では，合意全共有より良好な特性値が得られ易く，トレード・オフの調整が比較的容易であるが複数のハードウェアになる<sup>31)</sup>。調和設計は合意決定に基づく合意全共有，合意部分共有に相当する<sup>31)</sup>。第1～3章で述べた調和設計は，単一の汎

用性の高いハードウェアを設計する合意全共有を前提としていたが，本章により合意部分共有の部分拡張することになる。

## 4.2.2 数理モデルの拡張

最初に，全共有の場合の調和設計の数理モデルを示した上で，部分共有の場合の数理モデルの拡張について示す．なお，ここでは説明をわかり易くするために，図 13 に合わせて客体は客体Aと客体Bの2つにしてある。

### 4.2.2.1 設計因子を全共有する場合の数理モデル

設計因子を全共有する場合は次の様なモデル化を行っている．医療・福祉のハードウェアの特性を  $y$ ，全共有する場合の設計因子を  $\mathbf{X}_T$ ，誤差を  $\varepsilon$ ，全共有する設計因子の数を  $p$  個とすると，以下のようなになる。

$$\begin{aligned} y &= \mu(\mathbf{X}_T) + \varepsilon, \\ \mathbf{X}_T &= (X_1, X_2, \dots, X_p), \varepsilon \sim N(0, \sigma^2) \end{aligned} \quad (6)$$

客体Aと客体Bのそれぞれの特性の推定式は以下の様になる。

$$\begin{aligned} \text{客体A} : \hat{y}_A &= \hat{\mu}_A(\mathbf{X}_T) = c_{A0} + \sum_{i=1}^p c_{Ai} X_i \\ \text{客体B} : \hat{y}_B &= \hat{\mu}_B(\mathbf{X}_T) = c_{B0} + \sum_{i=1}^p c_{Bi} X_i \end{aligned} \quad (7)$$

以下に示すように，両者の平均を *Ave* (Average)，両者の差の半分を乖離として *Div* (divergence) とする。

$$\begin{aligned} \text{Ave}(\mathbf{X}_T) &= \frac{\hat{y}_A + \hat{y}_B}{2} \\ \text{Div}(\mathbf{X}_T) &= \frac{\hat{y}_A - \hat{y}_B}{2} \end{aligned} \quad (8)$$

式(8)を用いて，式(7)を1つにまとめると以下の式になる． $z$ はダミー変数であり，客体Aの場合は  $z = 1$ ，客体Bの場合は  $z = -1$ となる．ダミー変数を切

り替えることにより，式(9)で客体Aと客体Bの両方の場合の推定が可能になる．

$$\hat{y} = Ave(\mathbf{X}_T) + Div(\mathbf{X}_T)z \quad \text{客体A : } z=1, \quad \text{客体B : } z=-1 \quad (9)$$

設計の基本は両者の差を反映している  $Div(\mathbf{X}_T)$  の絶対値を小さくし，両者の平均である  $Ave(\mathbf{X}_T)$  を最適化（最大化，最小化，および特定の値に最接近）することである．

#### 4.2.2.2 設計因子を部分共有する場合の数理モデルへの拡張

設計因子を部分共有する場合は，客体A用の設計因子を  $\mathbf{X}_A$ ，客体A用の非共有の設計因子を  $\mathbf{X}_\alpha$ ，客体B用の設計因子を  $\mathbf{X}_B$ ，客体B用の非共有の設計因子を  $\mathbf{X}_\beta$ ，客体A用と客体B用で共有する設計因子（Common factors）を  $\mathbf{X}_\gamma$  とする． $\mathbf{X}_\gamma$  の数を  $q$  個，非共有の設計因子の数を  $r$  個（ $= p - q$ ）とすると，設計因子は式(10)の様になる．

$$\begin{aligned} \mathbf{X}_\alpha &= (X_{\alpha 1}, X_{\alpha 2}, \dots, X_{\alpha r}) \\ \mathbf{X}_\beta &= (X_{\beta 1}, X_{\beta 2}, \dots, X_{\beta r}) \\ \mathbf{X}_\gamma &= (X_{\gamma 1}, X_{\gamma 2}, \dots, X_{\gamma q}) \\ \mathbf{X}_\alpha \cap \mathbf{X}_\beta &= \emptyset : \text{空集合} \\ \mathbf{X}_A &= \mathbf{X}_\alpha \cup \mathbf{X}_\gamma \\ \mathbf{X}_B &= \mathbf{X}_\beta \cup \mathbf{X}_\gamma \end{aligned} \quad (10)$$

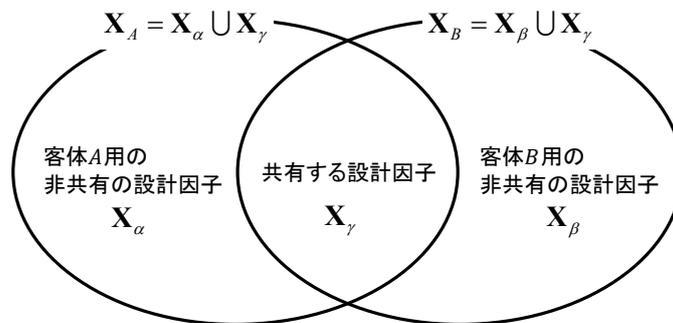


図 14 部分共有の場合の設計因子

これらの設計因子の関係は、図 14 に示す通りである。

したがって、推定式は以下の様になる。なお、 $C$  は Common (共通の) の頭文字、 $S$  は Specific (個別の) の頭文字である。また、 $z$ 、 $z_A$ 、 $z_B$  はダミー変数である。

$$\begin{aligned}\hat{y} &= C(\mathbf{X}_\gamma) + S_A(\mathbf{X}_\alpha)z_A + S_B(\mathbf{X}_\beta)z_B \\ &= \{Ave(\mathbf{X}_\gamma) + Div(\mathbf{X}_\gamma)z\} + S_A(\mathbf{X}_\alpha)z_A + S_B(\mathbf{X}_\beta)z_B\end{aligned}\quad (11)$$

式(11)で、客体Aの場合は、ダミー変数が $z=1, z_A=1, z_B=0$ となるので以下の式となる。

$$\hat{y} = Ave(\mathbf{X}_\gamma) + Div(\mathbf{X}_\gamma) + S_A(\mathbf{X}_\alpha)\quad (12)$$

また、式(11)で、客体Bの場合は、ダミー変数が $z=-1, z_A=0, z_B=1$ となるので以下の式となる。

$$\hat{y} = Ave(\mathbf{X}_\gamma) - Div(\mathbf{X}_\gamma) + S_B(\mathbf{X}_\beta)\quad (13)$$

なお、部分共有の推定式である式 (11)においては、 $\mathbf{X}_\alpha = \emptyset$ 、 $\mathbf{X}_\beta = \emptyset$ が成り立つ時は、 $\mathbf{X}_\gamma = \mathbf{X}_T$ となるので以下の様になり全共有を扱うことが可能である。

$$\hat{y} = C(\mathbf{X}_\gamma) = C(\mathbf{X}_T) = Ave(\mathbf{X}_T) + Div(\mathbf{X}_T)z\quad (14)$$

式(14)は式(9)が式(11)の特殊形であることを示している。

### 4.3 事例

拡張した調和設計を用いた事例を示す。事例では、全共有と部分共有の両方の場合の設計を行い、特性値を比較する。

#### 4.3.1 設計目的と前提

設計対象は第3章で示したリーチャーとした。本事例の設計目的は、床のタオルを拾う（以下、拾う）場面とカーテンを閉める（以下、閉める）場面の双方で関節リウマチ患者が納得する所要時間で動作を行うことが可能なリーチャ

一を作成することとした。客体は拾う場面（図 13 の客体Aに相当）と閉める場面（図 13 の客体Bに相当）であり，多面性に対応する設計である。なお，多層性に対応する設計および，多層性と多面性を組み合わせた設計は，方法に関しては多面性に対応する設計と本質的に変わらないので，本事例では多面性のみを取り上げた。特性はリーチャを使用する所要時間（秒）とし，拾う場面の所要時間を  $y_A$ ，閉める場面の所要時間を  $y_B$  とした。

#### 4.3.2 数理モデルの推定方法

数理モデルを推定するための実験データは，第 3 章で行った実験で得られたもののうち，関節リウマチの拾う場面および閉める場面のデータを用いた。数理モデルを推定する際は，最初に，拾う場面と閉める場面のそれぞれのデータで別々にモデル化を行った。この時の変数選択は選択指標として p 値を用い，その基準値を追加 0.25，削除 0.25 とした変数増減法<sup>34)</sup>で行った。その結果，得られた数理モデルの自由度調整済寄与率 ( $R^2$ ) は，拾う場面で 0.90，閉める場面が 0.99 であった。その上で，拾う場面と閉める場面で別々にモデル化した式を結合して式 (11) を構成し，設計を行った。

#### 4.3.3 全共有の場合の設計

全共有の場合は式 (11) において， $\mathbf{X}_\alpha = \emptyset$ ， $\mathbf{X}_\beta = \emptyset$  が成り立ち， $\mathbf{X}_\gamma = \mathbf{X}_T$  となるので式 (9) と同じになる。式 (9) の設計因子  $\mathbf{X}_T$  は図 11 に示す①～⑪の 11 個の設計因子である ( $p=11$ )。求解の PDCA サイクルを用いた仮想的な協議の状況を表 8 に示す。表 8 の予測値における拾う場面とは式 (9) におけるダミー変数  $z=1$  の場合の  $\hat{y}$ ，閉める場面とはダミー変数  $z=-1$  の場合の  $\hat{y}$  の値である。範囲とは拾う場面と閉める場面の  $\hat{y}$  の値の差（幅）のことであり，式 (8) における  $Div(\mathbf{X}_T)$  の 2 倍の絶対値である。平均とは拾う場面と閉める場面の  $\hat{y}$

表 8 全共有における仮想的な協議の状況

シナリオ	様々な考え方(シナリオ)のもとでの求解										最終結論 合意 シナリオ	
	マクロ	①制約条件がない状態での最小値の確認 (限界の確認)					②歩み寄りの検討					
ミクロ	A	B	C	D	E	F	G					
定式化	なし	なし	なし	なし	閉める場面 3.38秒以下	閉める場面 3.33秒以下	閉める場面 3.28秒以下					なし
	拾う場面 最小化	閉める場面 最小化	範囲 最小化	平均 最小化	平均 最小化	平均 最小化	平均 最小化					平均 最小化
予測値	4.62	5.37	4.62	4.62	4.81	4.97	5.14					4.62
	3.51	3.28	3.63	3.39	3.35	3.31	3.28					3.39
	1.11	2.09	0.99	1.23	1.47	1.66	1.86					1.23
	4.06	4.32	4.12	4.00	4.08	4.14	4.21					4.00
	0.00	0.75	0.00	0.00	0.19	0.35	0.52					0.00
歩み寄り 量	0.23	0.00	0.35	0.11	0.07	0.03	0.00					0.11
	0.12	1.10	0.00	0.24	0.48	0.67	0.87					0.24
	0.06	0.32	0.12	0.00	0.08	0.14	0.21					0.00

単位:秒

の値の平均のことであり式 (8) における  $Ave(\mathbf{X}_T)$  の値である.

表 8 に示すシナリオ A~D で, 制約条件がない状態での拾う場面, 閉める場面, 範囲, 平均の最小値 (限界値) を確認した所, 拾う場面と閉める場面の歩み寄り量がそれぞれ, シナリオ A (拾う場面最小化) では 0 秒, 0.23 秒, シナリオ B (閉める場面最小化) で 0.75 秒, 0 秒であり, 拾う場面と閉める場面の間には予測値にトレード・オフの関係があることがわかった. また, シナリオ D (平均最小化) では, 閉める場面の歩み寄り量が 0.11 秒でも拾う場面の歩み寄り量が 0 秒になることがわかった. 拾う場面の歩み寄り量を許容範囲内で若干増加させ, 閉める場面の歩み寄り量を減少させることにより, 歩み寄り量のバランスをとることが現実的か検討をするために, シナリオ E~G で, 閉める場面の歩み寄り量を段階的に下げて, 平均最小化における拾う場面の歩み寄り量を確認した. その結果, わずかに閉める場面の歩み寄り量を下げても, 拾う場面の歩み寄り量が許容できない程増大することがわかり, 歩み寄り量のバランスをとることは現実的ではないことがわかった. そこで関係者は閉める場面の歩み寄り量 0.11 秒は許容ができない値ではないと考え, シナリオ D を採用したと想定した. なお, シナリオ D は, 式 (9) において,  $Ave(\mathbf{X}_T)$  を最短化し,  $Div(\mathbf{X}_T)$  については制約条件を設定しなかったことに相当する.

#### 4.3.4 部分共有の場合の設計

設計因子の共有, 非共有の決定は, 拾う場面と閉める場面のそれぞれの推定式 (式 (7) に相当) における変数選択の状況と係数 (符号は特性への影響の向き, 数値は影響の程度を示す) を参考に行った. その状況を表 9 に示す. 拾う場面の係数は式 (7) の 1 行目の  $c_{Ai}$ , 閉める場面の係数は式 (7) の 2 行目の  $c_{Bi}$  に相当する. 係数における横棒は, 設計因子が選択されていないので係数が 0 になっていることを意味する. 設計因子を共有する基準は, 拾う場面, 閉め

表 9 設計因子の共有・非共有の決定の状況

No.	設計因子		変数選択		係数		共有・非共有
			拾う場面	閉める場面	拾う場面	閉める場面	
①	柄太さ		*	*	0.1121	0.0201	共有 $X_\gamma$
②	柄滑り止め	[あり]	*	*	0.1729	0.0271	
		[なし]	*	*	-0.1729	-0.0271	
③	基部角度		*	*	0.0119	0.0015	
⑨	フック幅		*	*	0.0207	0.0041	
⑩	フック滑り止め	[あり]	*	*	-0.3146	-0.0388	
		[なし]	*	*	0.3146	0.0388	
⑪	柄長さ		*	*	-0.1899	-0.0207	
④	基部長さ		-	*	-	-0.0007	非共有 $X_\alpha, X_\beta$
⑤	フック角度		*	*	-0.0260	0.0053	
⑥	フック長さ		-	*	-	-0.0043	
⑦	曲部角度		-	*	-	0.0005	
⑧	曲部長さ		*	-	0.0184	-	

\*: 変数が選択されたもの

表 10 部分共有における仮想的な協議の状況

単位: 秒

様々な考え方(シナリオ)のもとでの求解						最終結論
シナリオ	マクロ	制約条件がない状態での最小値の確認 (限界の確認)				合意シナリオ
	ミクロ	A	B	C	D	D
定式化	制約条件	なし	なし	なし	なし	なし
	目的関数	拾う場面 最小化	閉める場面 最小化	範囲 最小化	平均 最小化	平均 最小化
予測値	拾う場面	4.62	5.11	4.62	4.62	4.62
	閉める場面	3.45	3.28	3.63	3.28	3.28
	範囲	1.16	1.83	0.99	1.34	1.34
	平均	4.04	4.19	4.12	3.95	3.95
歩み寄り 量	拾う場面	0.00	0.49	0.00	0.00	0.00
	閉める場面	0.18	0.00	0.35	0.00	0.00
	範囲	0.18	0.84	0.00	0.35	0.35
	平均	0.09	0.25	0.18	0.00	0.00

る場面の両方において変数が選択されており、係数の符号が同符号であるものとした。例えば、設計因子①の柄太さのように拾う場面、閉める場面の両方で変数が選択されており、係数の符号が拾う場面、閉める場面共に正であるものである。この理由は、設計因子の特性に対する影響の向きが一致していれば、設計因子の値を客体間で同一にして調整しても、両方の客体間の特性値にトレ

ード・オフが生じないからである。この基準により、設計因子の①②③⑨⑩⑪を共有する設計因子 ( $\mathbf{X}_\gamma$ )、④⑤⑥⑦⑧を非共有の設計因子 ( $\mathbf{X}_\alpha, \mathbf{X}_\beta$ ) とした。その上で、式 (11) を構成し、設計を行った。

求解の PDCA サイクルを用いた仮想的な協議の状況を表 10 に示す。シナリオ A~D で、制約条件がない状態での拾う場面、閉める場面、範囲、平均の最小値 (限界値) を確認した所、シナリオ D (平均最小化) により、拾う場面と閉める場面の歩み寄り量が 0 になることがわかった。このため、シナリオ D に決定をしたと想定した。シナリオ D は、式 (11) において、 $Ave(\mathbf{X}_\gamma)$  を最短化し、 $Div(\mathbf{X}_\gamma)$  については制約条件を設定しなかったことに相当する

#### 4.3.5 設計結果

設計の結果、得られた予測値・歩み寄り量を表 11 に示す。表 11 では比較のために非共有の予測値・歩み寄り量も示してある。全共有の閉める場面の歩み寄り量 0.11 秒が部分共有では 0 秒になり、最も良い予測値が得られる非共有と同じになっている。

決定した設計因子の値を表 12 に示す。部分共有で共有をしなかった設計因子のうち、④⑥⑦⑧では一方の客体において変数が選択されていなかったため、変数が選択されている他方の客体の設計因子の値に合わせた。これは、できるだけ拾う場面用と、閉める場面用のリーチャーの共通部分を増やすため

表 11 予測値・歩み寄り量の比較

項目		共有方法		
		全共有	部分共有	非共有
予測値	拾う場面	4.62	4.62	4.62
	閉める場面	3.39	3.28	3.28
歩み寄り量	拾う場面	0.00	0.00	0.00
	閉める場面	0.11	0.00	0.00

表 12 決定した設計因子の値

No.	設計因子	全共有	部分共有	
			拾う場面	閉める場面
①	柄太さ(mm)	* 10	* 10	* 10
②	柄滑り止め	* なし	* なし	* なし
③	基部角度(度)	* 0	* 0	* 0
④	基部長さ(mm)	* 65	65	* 65
⑤	フック角度(度)	* 100	* 100	* 80
⑥	フック長さ(mm)	* 70	70	* 70
⑦	曲部角度(度)	* -5	-5	* -5
⑧	曲部長さ(%)	* 25	* 25	25
⑨	フック幅(mm)	* 6	* 6	* 6
⑩	フック滑り止め	* あり	* あり	* あり
⑪	柄長さ(cm)	* 71	* 71	* 71

\*: 変数が選択されたもの、灰色: 共有した設計因子

ある。このため、客体間で設計因子の値が異なるのは⑤のフック角度のみになった。

#### 4.4 考察

本章では、調和設計において、医療・福祉のハードウェアの一部分を客体毎に異なる設計にすること（設計因子の部分共有）ができるようにするために、第1～3章で述べた調和設計を理論的に拡張し、設計因子の部分共有を扱えるようにした。その上で、拡張した調和設計を用いた事例を示した。

事例では、混合系直交計画 L12 に基づく実験を行っているので設計因子間の相関がないこと、数理モデルの自由度調整済寄与率 ( $R^2$ ) が拾う場面で 0.90、閉める場面で 0.99 と高いことから、数理モデルの妥当性が高いと考えられる。また、表 12 で決定した設計因子の値の全ては、L12 で設定した設計因子（図 11）の第 1 水準と第 2 水準の間にあるため内挿解であり、数理モデルで計算した予測値の信頼性が高いと考えられる。また、設計因子の変数選択の状況、係数の符号、係数の大きさは、リーチャーの把持部分は手掌の中で滑らせ

ながら操作する，フックの基部は柄の延長線上にあった方が操作し易い，タオルは小型で軽いのでフック先端で把持をし，カーテンは大型で重いのでフック全体で把持をする，柄は長い方が腕の動きが少なくなるためフック先端の動きが安定し細かい動作がし易くなる等の，臨床的な見地から見たリーチャーの特徴と矛盾がないものであった．このため設計結果の実物を作成し，実験と同じ対象者が実際に使用しても，数理モデルから得られた予測値は実現する可能性が高く，本章の研究で提案した方法は実用的であると考えられた．

事例では，設計因子の全共有の場合の閉める場面の歩み寄り量 0.11 秒が，設計因子の部分共有を行い，1 個の設計因子の値を客体毎に別々に設定することで 0 秒にすることが可能であることが示された．このことは，設計因子の部分共有の場合に，10 個の設計因子を共有して一定の汎用化を図りながらも，柔軟に要求事項に対応ができ，良好な予測値を得ることができることを示すものである．この点は，設計因子の部分共有が扱えるように拡張した調和設計は，汎用化における設計の選択肢が増えて，より柔軟な設計を行うことが可能であることを示すもので，本章で提案した方法の 1 つめの有用性と考えられる．

事例では，合意部分共有において共有する設計因子を決定する際に，変数選択の状況と係数の符号を参考にした．共有する設計因子の選択は，設計因子の値を客体間で同一にして調整することによる客体間の特性値のトレード・オフの発生の程度と，設計因子の値を客体毎に異なるものにする場合の加工の難易度を総合的に考慮する必要がある．前者については，客観的な指標を用いずに判断をしようとするると，試行錯誤を繰り返して客体間の特性値のトレード・オフの程度を把握する必要が生じ，膨大な手間がかかる．本章で提案した方法では，数理モデルを推定する際に，設計因子の変数選択の状況と係数を事前に確認することができるため，設計因子の値を客体間で同一にして調整することによる客体間の特性値のトレード・オフの発生の程度の予測が可能である．この

点は共有する設計因子の選択を客観的な根拠に基づいて行うことが可能であることを示すもので、本章で提案をした方法の2つ目の有用性と考えられる。

事例では、全共有、部分共有のそれぞれについて予測値・歩み寄り量が可視化された。また、部分共有では、どの設計因子が非共有となり、拾う場面と閉める場面でどのように設計因子の値が違うのかが可視化された。全共有と部分共有には、利点と限界がそれぞれにあるため、選択する際は、それぞれの利点と限界を明確にし、総合的に考慮する必要がある。そのためには、全共有の設計における、例えばリーチャーを使用する所要時間のような特性値が関係者の許容範囲内にあるか否かをまず確認する必要がある。また、部分共有の設計において、いくつかの設計因子が非共有になり、客体間でどの程度設計因子の値が変わるのか、客体毎に異なる設計因子の値にするにはどの程度の加工の手間がかかるのか、関係者の許容範囲外の特性値になる客体における医療・福祉のハードウェアの使用頻度はどの程度なのかを考慮して、部分共有を行うメリットがあるか総合的に判断する必要がある。本章で提案をした方法では、全共有、部分共有における予測値、歩み寄り量、共有および非共有の設計因子の数、非共有の設計因子の客体毎の値を可視化することが可能なため、全共有と部分共有のどちらで設計を行うかを客観的な根拠に基づいて判断することが可能である。この点は設計因子の共有方法の選択を客観的な根拠に基づいて行うことが可能であることを示すもので、本章で提案をした方法の3つ目の有用性と考えられる。

今回の事例は患者用用具であるリーチャーであった。しかし、他の範囲の医療・福祉のハードウェアにおいても、特性と設計因子の関係は関数で表すことが可能であるため、実験のデータに基づく数理モデルを推定し、設計因子の全共有・部分共有を行うことが可能であると考えられる。このため、本章の研究

で提案した方法は医療・福祉のハードウェア全般へ広く適用可能と考えられる。

#### 4.5 結論

本章では、調和設計において医療・福祉のハードウェアの一部分を客体毎に異なる設計にすることを可能にするため、設計因子の部分共有が扱えるように調和設計を理論的に拡張した。拡張した調和設計を事例に適用した所、示唆された有用性は以下の3点であった。

- ① 汎用化における設計の選択肢が増えてより柔軟な設計を行うことが可能である。
- ② 共有する設計因子の選択を客観的な根拠に基づいて行うことが可能である。
- ③ 設計因子の共有方法の選択を客観的な根拠に基づいて行うことが可能である。

## 第5章 研究総括

### 5.1 本研究の成果

本研究の目的は、調和設計を用いた汎用性の高い医療・福祉のハードウェアの設計の方法論を明らかにし、その実用性と有用性を確認することであった。

第2章では、調和設計を医療・福祉のハードウェアに適用する際の方法論を明確にすることを目的に、工業分野の調和設計と医療・福祉分野の調和設計の相違点を整理し、各相違点への対応方法を検討した。相違点は以下の6点であった。

- ① 多数の層への対応が必要になる。
- ② 実験におけるリスク回避が必要になる。
- ③ 実験において習熟・疲労への配慮が必要になる。
- ④ 実験の信頼性の確認が必要になる。
- ⑤ 実験を何度も実施できない。
- ⑥ 話し合い（求解のPDCAサイクル）に患者等の参加が必要になる。

これらの各相違点への対応方法については以下が明らかになった。なお、これらは状況に応じて選択して行う。

#### ①に対する対応

- ・ 類似する層を上位の層にまとめる。

#### ②に対する対応

- ・ リスクのある条件組み合わせを回避する。
- ・ 設計因子の選抜と調合により実験負担を軽減する。
- ・ 代行実験を行う。

#### ③に対する対応

- ・ 十分な練習と十分な休憩を実施する。

- ・ 習熟・疲労の程度を確認する.

④に対する対応

- ・ 同一被験者のデータの信頼性および実験の場と予測実現の場の整合性の確認をする.

⑤に対する対応

- ・ 4種類の解を活用する.

⑥に対する対応

- ・ 患者等を準主体に位置付ける.
- ・ 提示するデータに歩み寄り量を用いて合意形成を促す.

第3章では、第1章と第2章で示した方法論の実用性と有用性を確認することを目的に、医療・福祉のハードウェアの実例であるリーチャーに調和設計を適用した。具体的には、混合系直交計画 L12 を用いた代行実験に基づいて数理モデルを推定し、仮想的な対話型逐次最適化を行った上で得られた解が実物でほぼ実現することを確認した。この結果から、医療・福祉のハードウェアにおける調和設計の実用性が示唆された。また、示唆された有用性は以下の2点であった。

- ① 複数の患者等の層と複数の使用場面を組み合わせた客体間のトレード・オフを調整した設計が可能である。
- ② 特性の限界値と客体間のトレード・オフの状況の可視化が可能である。

第4章では、医療・福祉のハードウェアの一部分を客体毎に異なる設計にすること（設計因子の部分共有）ができるようにすることを目的に、調和設計を理論的に拡張し、その有用性を事例を用いて明らかにした。設計因子の部分共有は複数の設計になるが、柔軟に要求事項に対応ができる利点があり、汎用化の重要な選択肢である。調和設計の拡張では、共有、非共有の設計因子の関係を整理し、全共有、部分共有の両方を扱うことが可能な1つの数式を構成し

た。事例では、全共有と部分共有の設計を行ったところ、部分共有の設計では1個の設計因子を客体毎に異なる値にすることで、全共有の場合よりも柔軟に要求事項に対応ができ、良好な予測値が得られた。この結果から、拡張した調和設計に関して示唆された有用性は以下の3点であった。

- ① 汎用化における設計の選択肢が増えてより柔軟な設計を行うことが可能である。
- ② 共有する設計因子の選択を客観的な根拠に基づいて行うことが可能である。
- ③ 設計因子の共有方法の選択を客観的な根拠に基づいて行うことが可能である。

以上を総合すると、第2章では調和設計を医療・福祉のハードウェアに適用する際の方法論が明確になり、第3章ではこの方法論の実用性と有用性が示唆された。更に、第4章では、設計因子の部分共有が行えるように理論的に拡張した調和設計においても実用性と有用性が示唆された。これらのことから、本研究の成果は、調和設計を用いた汎用性の高い医療・福祉のハードウェアの設計についての方法論が明らかになり、その実用性・有用性に関する示唆が得られたことになる。

## 5.2 本研究の意義

### 5.2.1 多層性・多面性を考慮した科学的な設計手法の具体的方法の明確化

本研究の成果に基づくと、汎用性の高い医療・福祉のハードウェアの設計において調和設計は以下の3点が可能であることが明らかになったと考えられる。

- ・ 複数の患者等の層、複数の使用場面を組み合わせた客体間のトレード・オフを調整した設計を行うことが可能であること。

- ・ 設計対象の特性の限界値と客体間のトレード・オフの状況を可視化することが可能であること.
- ・ 患者等が求解の PDCA サイクルに参加をして、要求事項間のトレード・オフの調整を行うことが可能であること

これらは、第 1 章で述べた汎用性の高い医療・福祉のハードウェア設計における従来の方法論の以下の 3 点の限界に対応が可能であることを示すものである.

- ・ 多面性を考慮していない
- ・ 要求事項間のトレード・オフの調整は設計者の主観的で経験に基づいた評価に依存する傾向がある
- ・ 要求事項間のトレード・オフの調整に患者等が参加をしていない

このことから、本研究の意義の第 1 は、医療・福祉のハードウェアにおける多層性・多面性を考慮した科学的な設計手法の具体的方法を明確にしたことであると考えられる.

### 5.2.2 バリアフリーデザイン, ユニバーサルデザインにおける支援

第 4 章で設計因子の部分共有を扱えるようにした数理モデルは、バリアフリーデザイン, ユニバーサルデザインにおいても応用が可能である. 詳細は以下の通りである.

第 4 章では、調和設計に相当しない所与全共有, 所与部分共有, 非共有については事例で取り上げなかった. しかし、所与全共有は合意全共有で用いた式 (11) の特殊形である式 (9) 上で所与決定を行うことに相当し、所与部分共有は合意部分共有で用いた式 (11) 上で所与決定を行うことに相当する. また、非共有は合意全共有で用いた数理モデル式 (11) の特殊形である式 (9) 上で個

別決定を行うことに相当する。このため、本研究の第4章で拡張した式(11)は、所与全共有，所与部分共有，非共有においても活用が可能である。

バリアフリーデザインは、公共のハードウェアにおいてマジョリティである健常者向けの設計を、マイノリティである患者等へ適用する際に、使用しにくい部分を健常者に支障のない範囲で調整する設計と考えられ、所与部分共有に相当すると考えられる<sup>31)</sup>。このことは、バリアフリーデザインにおいて式(11)が活用可能であることを意味する。

バリアフリーデザインで式(11)を活用する場合の、共有する設計因子の選択基準は以下の2点である<sup>31)</sup>。

- ・ 水準の変更に手間やコストがかかる設計因子
- ・ 健常者用のハードウェアの特性に対する寄与率が高い設計因子

後者の理由は、バリアフリーデザインでは、マジョリティである健常者用のハードウェアの特性をできるだけ維持することが前提となるためである。最適化では、最初に共有する設計因子を健常者用の既存のハードウェアの設計因子の値に固定する。次に、定式化で、制約条件は設定せず、目的関数を患者等用のハードウェアの特性の最良化として求解し、患者等用のハードウェアの予測値と非共有の設計因子の値を確認する<sup>31)</sup>。患者等用のハードウェアの非共有の設計因子の値が、健常者用（患者等が複数の層の場合は他の患者等用も含む）の非共有の設計因子の値に制約を及ぼす場合には、健常者用の非共有の設計因子の値を制約し、健常者用のハードウェアの予測値にどの程度の影響が出るか確認する。その上で、健常者、患者等の双方が予測値の受け入れが可能か確認することになる。

バリアフリーデザインに式(11)を用いると、健常者向けの設計を患者等向けの設計に適用することによる影響の可視化が予測値を用いて可能になる。このため、健常者向けの設計を患者等向けの設計にそのまま適用できるか、調整

が必要か（バリアフリーデザインが必要か）を客観的な根拠に基づいて判断することが可能になる<sup>31)</sup>。また、患者等が複数の層に分かれている場合、1つの層のために行った調整の他の層への影響を可視化することが可能になる。このため、ある障壁を除去することが別の障壁を作り出す<sup>3)</sup>副作用の連鎖（あちら立てればこちらが立たず）を、設計段階で確認し対応することが可能になる<sup>31)</sup>。更に、このような可視化により患者等が設計に参加をして意見を表明することが容易になる。このため、患者等を特別な人々として差別する意識を再生産する可能性<sup>3)</sup>は低くなる<sup>31)</sup>。なお、患者等の要求事項が、トレード・オフにより反映が難しい場合は、式(11) 上で行える合意全共有、合意部分共有の設計へ切り替えることも可能になる<sup>31)</sup>。

一方、ユニバーサルデザインは、健常者と患者等の両方の使用を前提としたデザインである。健常者と患者等の両方を含むすべての人が可能な限り最大限まで利用できるように配慮することから<sup>6,7)</sup>、すべての人（客体）が公平な立場でトレード・オフを調整することが前提となると考えられる。また、特別な改造や特殊な設計をしないことから<sup>6,7)</sup>、客体間で設計因子を全共有することが前提と考えられる。このことから、ユニバーサルデザインの多層性への対応の趣旨は合意全共有に相当すると考えられる<sup>31)</sup>。このことは、ユニバーサルデザインにおいて式(11)が活用可能であり、具体的方法は全共有の場合の調和設計と同じであることを意味する。

ユニバーサルデザインにおいて式(11) を用いると、使用者の要求のトレード・オフを使用者が参加した求解のPDCA サイクルを用いた話し合いで調整することが可能になる<sup>31)</sup>。また、式(11)上では合意部分共有も行えるため、客体毎に部分的に異なる複数の設計にして、使用者の要求により柔軟に応える設計を行う選択肢が増える<sup>31)</sup>。更に、トレード・オフが問題にならない場合は、所与全共有、所与部分共有にして短期間で簡易に設計をする選択肢も増える<sup>31)</sup>。

なお、ユニバーサルデザインで使用する数理モデルを推定するための実験では、健常者と患者等の両方を対象にする必要がある<sup>31)</sup>。

以上の点から、本研究の意義の第2は、バリアフリーデザイン、ユニバーサルデザインにおける支援を可能にしたことであると考えられる。

### 5.3 本研究の今後の展開

近年の医療・福祉の現場では、患者等の参加とチーム医療の実施が重視をされるようになり、患者等の意向に沿ったサービスを、多様な専門職が関わって実施することが求められるようになってきている。このため、幅広い専門職が効率良く関わり、幅広い患者等の意向に沿うことが可能な汎用性の高いサービスの設計が必要になってきている。

筆者は、リハビリテーションにおいて患者・家族と専門職が共同で使用する計画書であるリハビリテーション総合実施計画書が家族の参加意欲に与える影響を明らかにすることを目的に、回復期リハビリテーション病棟に入院する患者の退院後の主介護者になる予定の家族に自記式質問票調査を実施し、構造方程式モデリングを用いて分析した。その結果、以下の知見が得られた<sup>36)</sup>。

- ・ 家族が同計画書を活用する際には書式把握、内容把握、態度決定を順に行うこと。
- ・ スタッフが行う対応よりも、その対応の理由のわかり易さの方が参加意欲を促進すること。
- ・ 家族の参加意欲を促すためには患者の心身の状況に関する情報をわかり易い言葉で具体的に記載すること。
- ・ 患者の心身の状況に関する情報を記載する際には、どのような情報が家族にとって有用か十分に検討する必要があること。

これらの知見をもとに、リハビリテーション総合実施計画書の改善方法を検討した所、項目削減と職種間の利害調整のトレード・オフ、項目削減と記入者負担のトレード・オフ、項目削減と記入内容のバラつきのトレード・オフ、専門用語で内容を解釈するスタッフの有用性と平易な言葉で内容を解釈する家族の有用性のトレード・オフが生じることが考えられた<sup>36)</sup>。

この研究より、患者、家族および専門職のいずれもが使い易いリハビリテーション総合実施計画書を設計する場合には、関係者のトレード・オフの調整が求められることがわかり、ソフトウェアの領域でも、関係者間のトレード・オフを科学的に調整する設計手法を確立する必要性のあることが示唆されている。

本研究のアプローチである調和設計は、設計対象の設計因子と水準を明確にして実験を行うことと、最適化を行うことが必須となる。調和設計では、質的な設計因子と量的な設計因子の両方が扱えるため、ソフトウェアにおいても設計因子と水準を明確にすることが可能である。また、実験は質問紙でも行うことが可能であり、最適化の方法は医療・福祉のハードウェアの調和設計の場合と本質的に変わらない。したがって、調和設計はソフトウェアの設計にも適用が可能であると考えられる。

したがって、本研究の今後の展開としては、調和設計を用いたソフトウェアの設計における具体的な設計方法とその有用性を明らかにすることが期待され、その意義は大きいと思われる。

## 文献

- 1) 高橋武則, 鈴木圭介, マネジメントの視点に基づく医療・福祉における調和設計, 目白大学経営学研究, 12, 37-56, 2014
- 2) 鈴木圭介, 高橋武則, 山内慶太, 調和設計を用いた汎用的な患者用用具の設計, 日本医療・病院管理学会誌, 53(2), 131-139, 2016
- 3) 総理府編, 障害者白書(平成12年版), 大蔵省印刷局(東京), 3-23, 2000
- 4) 黒須正明, 人間中心設計の基礎, 近代科学社(東京), 17-19, 2013
- 5) 日本病院管理学会情報・用語委員会, 医療・病院管理用語事典, エルゼビア・サイエンス株式会社ミクス(東京), 196, 2001
- 6) The Center for Universal Design, The Principles of Universal Design, The Center for Universal Design (North Carolina), 1997
- 7) 共用品推進機構編, 共用品白書, ぎょうせい(東京), 50-63, 2003
- 8) European Institute for Design and Disability, The EIDD Stockholm Declaration, European Institute for Design and Disability, 2004
- 9) Shipley, A., Creating an Inclusive Environment, Disability Rights Commission (Stratford upon Avon), 3-4, 2003
- 10) ISO, ISO/IEC Guide 71:2014 Guide for Addressing Accessibility in Standards, ISO(Geneva), 3, 2014
- 11) 川内美彦, ユニバーサルデザインの仕組みをつくるースパイラルアップを実現するためにー, 学芸出版社(京都), 40-71, 2007
- 12) Story, M. F., Mueller, J. L., Mace, R. L., The Universal Design File: Designing for People of All Ages and Abilities, The Center for Universal Design (North Carolina), 5-14, 1998

- 13) 萩原俊一，バリアフリー思想と福祉のまちづくり，ミネルヴァ書房（京都），1-20，2001
- 14) Preiser, W. F. E., Ostroff, E., Universal Design Handbook, McGraw-Hill Companies, 2001, 梶本久夫監修，ユニバーサルデザインハンドブック，丸善株式会社（東京），2-639，2003
- 15) みずほ情報総研株式会社，平成18年度生活文化産業対策調査ユニバーサルデザイン製品の指標化・性能表示に関する調査報告書，36-41，経済産業省（東京），2007
- 16) 内閣府編，障害者白書（平成24年版），佐伯印刷株式会社（東京），170，2012
- 17) 日本人間工学会編，ユニバーサルデザイン実践ガイドライン，共立出版株式会社（東京），3-53，2003
- 18) 田中眞二，赤澤堅造，布田健，他，高齢者の使用を考慮した引戸の適正な開閉力と操作部形状に関する基礎的検討，生体医工学，42（4），347-353，2004
- 19) 鎌田実，橋詰努，ユニバーサルデザインに向けた人体負荷評価に関する研究（第1報：基本動作の検討による評価法の一提案），日本生活支援工学会誌，1(1)，34-41，2002
- 20) 小竹元基，鎌田実，ユニバーサルデザインに向けた人体負荷評価に関する研究（第2報：全身モデルを用いた評価法の再構築），日本生活支援工学会誌，5(2)，43-50，2006
- 21) 丸山徹，古川真一，吉田健二，他，薬袋のユニバーサルデザイン，医療薬学，33（1），87-92，2007
- 22) 工藤恭子，妊婦のキッチン使用時の不便さに対する解決策への提案－妊婦へのアンケート調査・インタビューによる検証を通して－，日本生活支援

- 工学会誌, 10(2), 18-26, 2010
- 23) Huang, PH., Chiu, MC., Integrating user centered design, universal design and goal, operation, method and selection rules to improve the usability of DAISY player for persons with visual impairments, Applied Ergonomics, 52, 29-42, 2016
- 24) Afacan, Y., Demirkan, H., A priority-based approach for satisfying the diverse users' needs, capabilities and expectations: a universal kitchen design case, Journal of Engineering Design, 21(2-3), 315-343, 2010
- 25) 高橋武則, 鈴木圭介, 調和設計の企画化とモデル化と最適化, 目白大学経営学研究, 11, 17-43, 2013
- 26) Takahashi, T., Suzuki, K., Strategy and politics of design based on hyper optimization method HOPE, Proc of International Conference on Quality '14 Tokyo, 848-859, 2014
- 27) 永田靖, 入門実験計画法, 日科技連出版社(東京), 1-114, 2000
- 28) 鷺尾泰俊, 実験の計画と解析, 岩波書店(東京), 18-20, 1988
- 29) 河村敏彦, 高橋武則, 統計モデルによるロバストパラメータ設計, 日科技連出版社(東京), 19-46, 2013
- 30) Suzuki, K., Takahashi, T., Kawasaki, S., The Design based on experimental data and multiple types of solutions in the field of medical care and welfare, Proc. of ANQ Congress 2015 Taipei (electric medium), [JP-23] 1-7, 2015
- 31) Suzuki, K., Takahashi, T., Kawasaki, S., Hardware design for medical and social care with shared design factors, Proc. of ANQ Congress 2016 Vladivostok (electric medium), [JP-04] 1-9, 2016

- 32) Wu, C. F. J., Hamada, M. S., Experiments Planning, Analysis, and Optimization, John Wiley & Sons (New Jersey), 397, 2009
- 33) 宮川雅巳, 品質を獲得する技術—タグチメソッドがもたらしたもの—, 日科技連出版社(東京), 155-158, 2000
- 34) 芳賀敏郎, 野沢昌弘, 岸本淳司, SAS による回帰分析, 東京大学出版会(東京), 112~130, 1996
- 35) 久米均, 飯塚悦功, 回帰分析, 岩波書店(東京), 115-118, 1987
- 36) 鈴木圭介, 高橋武則, 高木安雄, 山内慶太, リハビリテーション総合実施計画書が家族の参加意欲に与える影響, 日本医療・病院管理学会誌, 48(4), 191-200, 2011

## 謝辞

はじめに、本研究の実施にあたり、実験の実施を受け入れて下さった関係者の皆様、並びに実験の対象者の皆様に深くお礼を申し上げます。

在学期間中、ご指導、アドバイスをいただいた慶應義塾大学大学院健康マネジメント研究科の諸先生方に、深くお礼を申し上げます。

特に、修士課程以来の指導教授であり、定年退職後にも客員教授の立場で主なご指導をしていただいた高橋武則客員教授（目白大学経営学部教授）からは、研究に臨む姿勢、研究の進め方、概念整理の方法、調和設計の理論などに関する多岐にわたるご指導をいただきました。深くお礼を申し上げます。

また、高橋武則教授の退職後を引き継いで指導教授を担当して下さった高木安雄名誉教授、山内慶太教授からは、研究の構成、医療・福祉分野における本研究の位置付けや意義、わかりやすい表現の工夫など、多岐にわたるご指導をいただきました。深くお礼を申し上げます。

本研究を進めるにあたり、ゼミでディスカッションをしていただいた皆様に深くお礼を申し上げます。