

技術サービスにおける設計支援フレームワークに関する研究

著者	?橋 源
発行年	2018
学位授与大学	筑波大学 (University of Tsukuba)
学位授与年度	2017
報告番号	12102甲第8451号
URL	http://doi.org/10.15068/00152161

技術サービスにおける設計支援フレームワークに関する研究

筑波大学審査学位論文（博士）

2018

高橋 源

筑波大学大学院
ビジネス科学研究科 企業科学専攻

目次

第1章 序論	1
1.1 製造業における技術サービス	1
1.2 技術サービス支援ソフトウェア	4
1.3 研究構想と各研究テーマ	6
第2章 先行研究	9
2.1 ソフトウェア機能配備	9
2.2 開発機能の選択	14
2.3 業務適合性の測定	18
2.4 本研究の位置づけと期待される貢献	22
第3章 技術サービスにおけるソフトウェア機能配備の開発戦略と費用対効果	24
3.1 プロセス柔軟性とソフトウェア機能配備の研究背景	24
3.2 柔軟性の定義と分析アプローチ	25
3.3 技術サービスにおける情報システム柔軟性の戦略分析モデル	27
3.3.1 事業プロセス特性	27
3.3.2 柔軟性戦略	30
3.3.3 開発と提供のコスト	31
3.3.4 開発コストにおける技術難易度の考慮	33
3.3.5 提案モデルの総コスト算出と戦略決定	36
3.4 技術サービスのプロジェクトコスト事例分析	38
3.4.1 事例の概要	38
3.4.2 事業プロセス特性と技術難易度が柔軟性戦略に及ぼすそれぞれの単独影響	39
3.4.3 柔軟性戦略に及ぼす事業プロセス特性と技術難易度の交互作用	41

3.4.4	製造の柔軟性と情報システム柔軟性の類似性	43
3.4.5	事例の追加	44
3.4.6	提案手法の評価	45
3.4.7	コスト構造の違いによる戦略配分	48
3.5	プロセス柔軟性とソフトウェア機能配備のまとめ	50
第4章	技術サービス支援ソフトウェア開発における機能選択のための情報整理と可視化	53
4.1	ソフトウェア開発における発注者の機能選択の研究背景	53
4.2	開発における機能選択のアプローチ	54
4.2.1	機能選択のアプローチ	54
4.2.2	得点計算による開発機能の優先度決定に関する手法	55
4.2.3	手法の要件	56
4.3	提案手法の情報整理と可視化	58
4.3.1	要求品質, 機能, および開発コストの情報整理	58
4.3.2	発注価値の算出と機能選択のための可視化	61
4.4	技術サービス支援ソフトウェア発注事例への適用	62
4.4.1	事例の概要	62
4.4.2	要求品質, 機能, および開発コストの情報整理	63
4.4.3	発注価値の算出と機能選択のための可視化	65
4.5	ソフトウェア開発における発注者の機能選択のまとめ	70
第5章	技術サービス支援ソフトウェアの業務適合性測定	72
5.1	ソフトウェアの業務適合性測定の研究背景	72
5.2	測定指標と業務適合性測定モデルの導出	74
5.2.1	測定モデルの全体構造	74
5.2.2	業務意識	76
5.2.3	技術サービス支援ソフトウェア品質	77
5.2.4	業務適合性指標	79
5.2.5	業務適合性測定モデル(仮説モデル)	80
5.3	業務適合性の測定事例	81

5.3.1	無線通信業界の技術サービス支援ソフトウェア事例	81
5.3.2	6つの技術サービス支援ソフトウェア	83
5.3.3	技術サービス支援ソフトウェアの用途に応じた分析	87
5.3.4	技術サービス支援ソフトウェア品質設計への活用	89
5.4	技術サービス支援ソフトウェアの業務適合性測定のまとめ	90
第6章	結論	93
付録A	柔軟性戦略を決定する最小コスト問題の解法	108
付録B	機能選択の事例で扱った要求情報と機能情報	110
付録C	業務適合性の測定に用いた調査票とデータ	113

目次

1.1	無線通信業界の技術サービス例	2
1.2	技術サービスの利害関係者	3
1.3	研究の構想	7
3.1	技術サービスにおける情報システム柔軟性の戦略分析モデル	27
3.2	集中度に応じた（実際の）タスク累積率と見積タスク累積率	29
3.3	情報システムの柔軟性戦略の分類	30
3.4	開発段階の変動コスト評価に用いる関数表現	35
3.5	コスト構造の違いによる柔軟性戦略の配分	49
4.1	関連度と重要度の整理	60
4.2	選択状態とコストの整理	60
4.3	適用事例データの抜粋	64
4.4	機能セットの差異	65
4.5	コストに対する発注価値	66
4.6	発注価値における要求品質の構成割合	68
4.7	要求品質ごとの充足度	69
5.1	システムに関するユーザ評価の測定モデル（各論文をもとに筆者 らが加筆修正）	75
5.2	業務適合性の測定モデル	80
5.3	6つのソフトウェアの分析結果	85
5.4	設計用途のソフトウェアの分析結果	87
5.5	測定解析用途のソフトウェアの分析結果	88
A.1	事例TSSS1におけるコスト分布例（ $r=0.8$, $t=0.5$ ）	109

C.1 被験者の利用経験	115
C.2 Cronbachの α 算出結果	116

表 目 次

2.1	製造柔軟性 [22] と情報システム柔軟性 [34]	10
2.2	システム機能配備と柔軟性戦略の先行研究	11
2.3	機能選択に関する先行研究	16
2.4	表2.3の評価基準	16
2.5	情報システム (IS) のユーザ評価	19
2.6	ソフトウェア品質の利用行動への影響分析に関する研究	20
3.1	設定変数の意味と設定値例	36
3.2	コストを最小化する柔軟性戦略への影響に関する仮説設定	38
3.3	事業プロセス特性と技術難易度が柔軟性戦略に及ぼす影響	40
3.4	追加した事例の設定値	44
3.5	追加事例における事業プロセス特性と技術難易度が柔軟性戦略に及ぼす影響	46
5.1	ソフトウェア種別と利用者数	82
B.1	要求情報	111
B.2	機能情報	112
C.1	調査票	114
C.2	基本統計量 (延べサンプル数 N=85)	114
C.3	相関係数	115

第1章 序論

1.1 製造業における技術サービス

製造業におけるサービスのあり方が、様々なところで問われている。2014年に内閣府が発表したサービス産業の生産性に関する資料¹では、純粋なモノづくりに相当する生産工程従事者は減少し、製造業の技術力からサービス価値を創出するような専門的・技術的職業従事者の増加傾向が示されている。この傾向は、技術力を総動員して価値を創造する活動が求められている現れと捉えられる。

生産財の製造業者は、蓄積した強みである技術力を活かしてハードウェア・ソフトウェア・人材を組み合わせたサービス提供システムをどう構築するべきかという困難な課題に取り組んでいる。システム構築の課題は、戦略とシステム構造の意思決定、システムの実現に向けた機能選択と設計のための要求分析、そして開発したシステムへフィードバックするためのユーザ評価など、困難で多岐にわたる。これらの課題解決には、様々な研究分野の知見を活用することが必要とされる。本章では、本研究で対象とする技術サービスの特徴と業務支援ソフトウェアに着目し、これらの特徴を踏まえた上で研究の構想を述べる。

生産財の製造業者は、自社の装置販売とともに運用監視システムや現場で測定調査したデータを解析し、顧客企業の経営課題や技術課題に対するソリューションを提供することがある。ビッグデータやIoT (Internet of Things) などの技術潮流と相まって、測定・解析コンサルティング事業の注目が高まっている。本研究では、このようなコンサルティングサービスのうち、特に顧客企業の技術課題に対するソリューション情報を商材とするサービスを技術サービスと呼び、技術サービスを提供する生産財の製造業者を技術サービス提供者と呼ぶことにする。技術サービスは、新たな技術力を獲得しながら提供業務の効率化を図るこ

¹内閣府の「選択する未来」委員会WG1の資料 「資料1 サービス産業の生産性 (平成26年4月18日)」の図表4を参照

とができるシステムを必要とする。技術サービスの種別には、設計サービスと測定解析サービスがある。

例えば、無線通信業界では、通信機器製造業者が技術サービス提供者に相当する。通信事業者という顧客がネットワークインフラを構築する時に、通信機器製造業者は技術サービスを提供する。この例での設計サービスは、設備投資計画を策定するために基地局台数を検討する置局設計である。また、測定解析サービスは投資効果や運用上の技術課題を把握するために、通信品質の測定とその測定データを解析するエリア解析である。技術サービス提供者は顧客に対し、ネットワークの構築、運用、保守にかかわる業務を代行し、測定結果や検討結果を報告書と、報告書を用いたコンサルティングを商材として提供する。

技術サービスには、開発と提供の2つのプロセスがある。技術サービスの開発では、報告書作成や顧客との議論に必要な要素技術の獲得と、報告書作成の手順を確立させる。技術サービスの提供では、報告書や資料の作成、さらに顧客へ報告書や資料の説明を行う。技術サービス提供者は、開発と提供のプロセスを遂行する業務支援ソフトウェアを開発することにより、サービス提供の品質と生産性の向上を図る。なお、本研究ではこのソフトウェアを技術サービス支援ソフトウェアと称する（図1.1）。

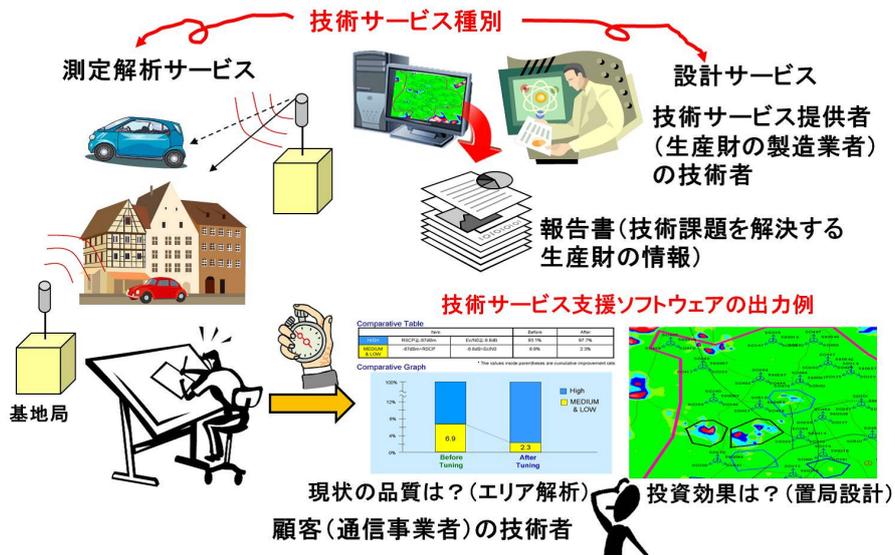


図 1.1: 無線通信業界の技術サービス例

技術サービス提供者には、サービスの要素技術を開発するサービス開発技術者、測定データや技術報告書を用いたコンサルティングを提供する顧客接点のサービス提供技術者、およびソフトウェア開発受託者へ発注し要求管理を行う技術サービス支援ソフトウェアの発注技術者らが存在する。これらの技術者の業務は、兼務されることもある。技術サービス提供者をとりまく利害関係者には、サービス提供先である顧客と事業パートナーであるソフトウェア開発受託者が存在する（図1.2）。技術サービスの提供者の利害関係者は、総務省や標準化団体なども含まれて広範囲に及ぶ。また、顧客企業の購買担当者と事業パートナー企業の営業担当者も技術サービス提供者の利害関係者に含まれる。図1.2は、技術サービスに関与する技術者に着目した際に重要となる利害関係者に限定して示している。

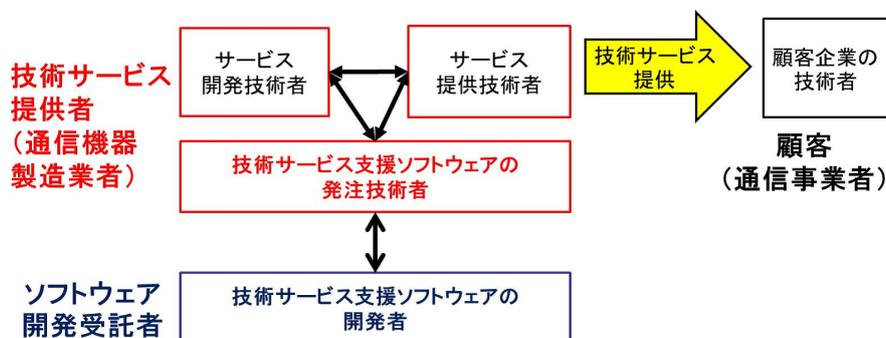


図 1.2: 技術サービスの利害関係者

技術サービス支援ソフトウェアの発注技術者は、顧客のニーズを代弁するサービス提供技術者や、サービス開発技術者からの要望を要求仕様に反映させる。また、発注技術者は、自分でコーディングや実装を遂行する場合もあるが、ソフトウェア開発の専門家ではない。発注技術者は、実装に直結するアーキテクチャの詳細を把握していないが、要求に関わる入出力情報の関係から、ソフトウェア全体のアーキテクチャを想定して要求仕様を提示する。そして発注後に、技術サービス支援ソフトウェアの開発受託者から成果物を受け取り、運用評価を行う。

技術サービス支援ソフトウェアの開発受託者は、技術サービス提供者内の開発組織の場合もあるが、本研究ではアウトソーシングを請け負うソフトウェア開発企業を対象とする。この場合、ソフトウェア開発者は、どの機能がどのような品質要素を向上させるかを熟知しているが、事業領域の知識は乏しい。従って、ソフ

トウェア開発者は、どの品質要素を高めるべきかまで把握していないことが多い[58]。ソフトウェア開発受託者は、設計、コーディング実装、単体試験、結合試験までを担当し、各作業の工程調整と発注者への開発コストの金額提示を行う。

ソフトウェア実装検討の場面では、発注者の関与が少ない状況に陥りやすい。製造業の技術者が発注者であることが、この状況の要因である。ソフトウェア発注の際、製造業の技術者は一度仕様を提示し理解が得られれば、その後はソフトウェア開発者側で成果物を作り上げることが可能と認識しがちである。しかしながら、ソフトウェアの内部・外部の品質を明確にするには、さらに発注者の開発関与が必要になることが多い。この認識乖離があるため、具体的なソフトウェア実装の実現方法には、発注者の関与の仕方や、いかに協調開発をしていくべきかの考慮が重要になる。開発者のビジネス理解不足という問題とは対照的に、総務省の調達ガイドライン[38]では、ソフトウェア開発に特有な発注者の開発関与の重要性が指摘されている。特に見積合意の場面において、発注者と開発者の認識乖離は従来から指摘されている[51, 53]。

技術サービス提供者からの情報をもとに、顧客は設備導入や設備運用の活動を通じて最終消費者に対してインフラサービス等を提供する。技術サービスは専門サービス[33, 96]であるが、医療、金融、法律のように、提供者側が一方向的に専門知識を有するサービスとは異なる。顧客の技術者も、高い専門知識を有している。従って、技術サービスは情報の非対称性がほとんどない専門サービスである。

本研究は、無線通信業界の技術サービスを対象とする。無線通信業界は、技術変化が速い上にコスト競争の激しさが顕著である。顧客は、アウトソースの費用を抑制するため、提供者に対応の迅速性と柔軟性を求める傾向が強い。技術サービスの商材は、「報告書」という生産財としての情報である。顧客は、報告書やコンサルティングを行うサービス提供技術者の説明をもとにインフラを構築し、最終消費者にサービス提供を行う。顧客は、技術サービス提供者の技術力を提供情報の品質に基づき評価する。

1.2 技術サービス支援ソフトウェア

技術サービス支援ソフトウェアは、シミュレーション機能を主とした設計用途と、集計整理と可視化の機能を主とした測定解析用途のものがある。無線通信

業界の場合、設計用途のソフトウェアは、置局設計に用いられ、設置場所候補の基地局から送信される電波の受信電力分布や通信品質の予測情報をデジタル地図やグラフを用いて可視化する。これらの結果が、設備投資を含む技術課題解決への検討に活用される。設計用途のソフトウェアには、入出力情報の種別が多く、地図情報システム（GIS）や顧客の持つシステムと連携させる機能がある。

測定解析用途のソフトウェアは、エリア解析に用いられる。エリア解析では、車などの移動体に搭載した測定器でスループットやプロトコル情報などを取得し、通信の品質劣化や障害状況を可視化する。エリア解析は、この可視化によって設備運用上の課題を明確にし、改善策を導き出す。測定解析用途のソフトウェアには、測定器や通信装置からテキストファイル形式などで出力される膨大なデータを集計処理する機能がある。無線通信業界における技術サービスの業務や技術サービス支援ソフトウェアの説明については、文献[71]などが詳しい。

技術サービス支援ソフトウェアには以下の特徴がある。第一に、技術サービス支援ソフトウェアは、技術専門的な情報提供を行うサービスに用いられる。利用者が行う技術サービスの開発と提供、およびソフトウェア発注の業務は、いくつかの業務が兼務されることが多い。従って、利用者は複数の役割をもった技術者である。また、技術サービスの商材はソフトウェアそのものではなく、ソフトウェアの出力に基づく報告書、あるいはコンサルティングのような対話を通じた技術情報の獲得経験である。これらのことから、機能的な要求は情報の品質に関連したものが重視されやすい。

第二に、仕様変更の頻度が高いことがあげられる。技術サービス支援ソフトウェアは、新規技術や技術課題への対処方法の確立段階にも用いられる。その結果、処理プロセスがソフトウェア開発の企画段階で確定していない場合が多い。測定解析用途のソフトウェアを用いた処理プロセスは、新規技術の検討においても定型化されやすい。その後の変更は少なく、変更規模も小さいことが多い。対照的に、設計用途のソフトウェアを用いた処理プロセスでは、新規技術の検討で一度確立したプロセスを見直す機会が頻繁に起こる。また、顧客要求に柔軟に対応できることが顧客接点の技術者から要求される。このことが理由で、使用性を高めることが処理方法の柔軟な変更対応に足かせとなることがある。その結果、仕様変更の頻度が高いと発注技術者が、開発者と見積に対して合意形成をしにくくなる。

柔軟な変更対応は、技術的な課題だけではなくビジネス上の課題も招きやすい。

第三に、技術サービス支援ソフトウェアは、主にサービス提供者の組織内部で利用され、販売製品と異なる。このことから、ソフトウェアの信頼性に関する要求水準は、品質保証が必要な販売製品の水準と異なることが想定される。また、技術サービスを提供する技術者組織は、企業単位ではなく事業部内の一グループである。組織内のソフトウェア利用者数は、50人未満程度のケースが多い。

第四に、技術サービス支援ソフトウェアは、業務内容に即した改善開発が求められる。また、顧客要求や測定機器の情報を考慮したサービス開発や、顧客との議論を通じて経験するデータ処理手順が、技術サービス提供者の技術ノウハウとして蓄積され、ソフトウェアに反映される。従って、技術サービス支援ソフトウェアには、高い開発の柔軟性を維持しながら業務内容に即した開発が求められる。このことから技術サービス提供者には、業務適合性をいかに測定し、ソフトウェア開発において重視すべき品質を特定できるかが、サービスの質を向上させる重要課題となる。この業務適合性とは、技術者が認識する業務遂行の質の高まりをさす。

1.3 研究構想と各研究テーマ

本研究は、技術サービス提供のシステム構築に対し、開発段階の課題に焦点をあてる。本研究では、無線通信業界の技術サービスと技術サービス支援ソフトウェアを対象とし、技術サービス提供者における戦略企画とシステム設計における諸問題の解決に取り組む。

図1.3は本研究の構想と各研究テーマの関係を示す。図1.3の矢印は、各項目の影響関係を表している。技術サービスのシステム開発では、図1.2に示す技術サービス開発技術者が、業務のプロセス設計からアーキテクチャを決定し、発注技術者とともにソフトウェアの仕様化を行う。発注技術者は、図1.2に示す技術サービス提供者の各技術者からヒアリングした情報をもとに、仕様化された機能候補からソフトウェアで実現する機能を選択する。技術サービス提供者の発注技術者が、ソフトウェア開発受託者の技術者と協議して設計・実装を推進する。発注技術者はサービス開発技術者と共に、ソフトウェア開発受託者からの成果物を評価する。サービス開発技術者は、技術サービス支援ソフトウェアを用い

たサービス提供のプロセスを確立する。

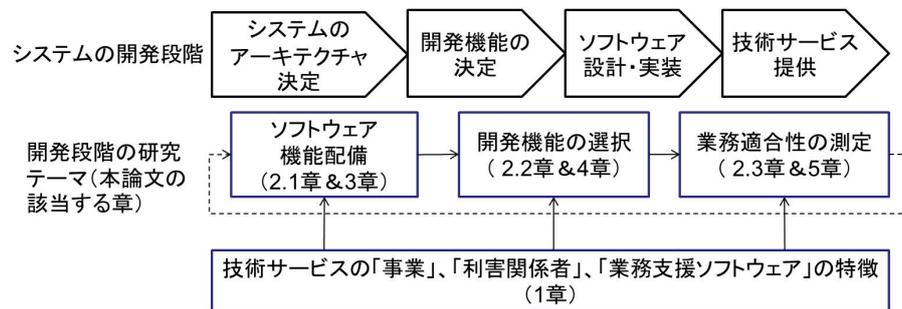


図 1.3: 研究の構想

アーキテクチャの決定段階においてサービス機能の実現は、ハードウェア、ソフトウェア、および人的な業務への実装の組み合わせでなされる。提供システム構成と顧客に提出する成果物内容は、この段階で確定される。アーキテクチャの決定に際し、効率性を重視した機能配備が鍵となる。そこで第一のテーマは、ソフトウェア機能配備とする。「技術サービスを提供するシステム機能配備において、いかにソフトウェアで処理する部分を決定するか」という問題に対し、コスト効率の観点でソフトウェア開発要否と開発方針の分析モデルを研究する。

次に、発注技術者は、設計・実装の段階で予算や開発期間の制約下でソフトウェア開発機能の選択に迫られる。そこで第二のテーマは、開発機能の選択とする。「見積合意の際、コストと品質と時間的制約に応じて候補から開発機能をいかに選択するか」という問題に対し、ソフトウェアの発注技術者に向けた情報整理、要求分析、および可視化の手法について研究する。

最後は構築したシステムを運用し、サービス開発と提供を通じて蓄積された技術的なノウハウや情報を技術サービス提供者がいかにシステムに反映して業務内容に即した改善を図るかが重要となる。そこで第三のテーマは、業務適合性の測定とする。「開発した技術サービス支援ソフトウェアの評価を行い、システムの改善目標をいかに策定するか」という品質設計へ反映させる評価方法の問題に対し、技術者が認識する業務適合性に着目した測定モデルを研究する。

図1.3のに示した3つの研究テーマは、PDCA(Plan, Do, Check, Action)サイクルのように循環継続的なフレームワークとして考慮され続けるものである。本研究は、「技術サービス提供者が技術蓄積によって獲得した強みをふまえて、ハードウェア・

ソフトウェア・人材を組み合わせたサービスシステムをどう構築すべきか」という問題に対し、技術サービスの事業、利害関係者、および業務支援ソフトウェアの特徴を踏まえて、解決策を見出す設計支援フレームワークの獲得を目指す。

第2章 先行研究

2.1 ソフトウェア機能配備

第一のテーマでは、技術サービスのシステム開発を企画する際、ソフトウェアに実装する機能配備をいかに行えば効率的であるかが問題となる。この問題に対し、本章ではシステム構造を戦略的に設計するアーキテクチャやモジュール化の関連研究[13, 68, 93, 97, 101]を調査することによって、本研究で取り組むべき研究課題を抽出する。専門的なコンサルティングサービスの開発と提供の業務に用いられる技術サービス支援ソフトウェアは仕様変更の頻度が高い。その結果、技術蓄積をモジュール化してシステムに反映できる効率性がアーキテクチャ評価の鍵となる。このことに関して研究開発戦略や組織論を参考にすると、柔軟性[30, 69, 86, 89, 95]が重要な概念としてあげられる。

柔軟性の定義は、製品開発、情報システム開発で様々に捉えられている。製品開発では、製造の柔軟性を対象とし、柔軟性を事業環境の変動に適応した生産対応力や、変更の増加に対応できる能力と捉えたもの[22, 42, 93]が多い、という指摘がある[13]。情報システム開発ではSalmela et al.[84]が、ユーザ要求、事業プロセス、企業組織の変化に対し、内外のコンピテンスを統合、構築、再構成する能力と捉えている。Salmela et al.[84]は、集団組織の適応能力をFlexibility、個人の変化への適応能力をAgilityという言葉でそれぞれ表現している。また、Salmela et al.[84]はシステム機能開発と人的資源管理の施策に還元できる観点で、「ITインフラ([16, 29]など)」、「情報システム開発([6, 34, 35, 83, 87, 102]など)」、「情報システム人材のプロフェッショナルスキルとコンピテンス([14, 66]など)」、「情報システム組織の設計([19, 90, 94]など)」の4つの研究潮流に焦点をあてて文献調査を行っている。

本研究では、技術サービスにおける柔軟性を「事業プロセスの変化に適応してソリューション情報の品質と生産性を確保する情報システムの構築能力」と定

表 2.1: 製造柔軟性 [22] と情報システム柔軟性 [34]

事業段階	製造柔軟性	情報システム柔軟性	類似点
開発戦略 (設計)	1. Modification flexibility 2. New product flexibility 3. Mixed flexibility	1. Flexibility to Use 2. Flexibility to Change	1. 改良開発が主体 2. 新規開発が主体 3. 1. と 2. は比重を抜うので, Mixed flexibility が含まれる
運用 (生産)	1. 開発戦略に合わせた 生産実行	1. 開発したシステムで実行 2. 開発せずマニュアル実行	

義し、この柔軟性を向上させる情報システムの構築戦略を柔軟性戦略と称する。柔軟性戦略の種類は、製品製造の柔軟性[22]と類似性がある。表2.1は事業段階でこの類似性をまとめたものである。表2.1の製造柔軟性にはDas[22]の研究をとりあげている。他方の情報システム柔軟性にはGebauer and Schober[34]の研究をとりあげている。

表2.1の製造柔軟性[22]における「1. Modification flexibility」は、既存製品の改良や修正に対する対応力をさす。これは、情報システム柔軟性の「1. Flexibility to use」と類似する。類似点は、どちらも既存の開発部分があり、その修正やカスタマイズの改良開発が主体となることである。「2. New product flexibility」は、既存の製造設備で新しい製品や新しい部品の製造を可能にする設計能力である。情報システム開発の「2. Flexibility to change」は、将来発生する事業環境の変化に適応する設計変更への対応力をさす。類似点は、新規開発が主体で不確実性に対応できる設計能力を表していることである。「3. Mix flexibility」は、既存製品と新製品を混在させた多品種の製造能力をさす。これは、製品ミックスにあわせて製造ラインを調整できる能力として考慮される。運用段階について製造柔軟性では、いずれかの開発戦略を1つ選ぶと、開発戦略に合わせた生産実行がなされる。これに対して、情報システムの運用は開発を伴わない戦略、すなわちマニュアル実行が存在する。また、情報システム柔軟性の開発戦略は、開発タスク量の配分によって戦略比重の組み合わせを決定することを意味する。この組み合わせ決定がMix flexibilityに類似していると解釈できる。

情報システム開発の柔軟性戦略を分析するフレームワークは、事業環境、既存システム、あるいはプロジェクトの条件等から、ある基準に従い柔軟性向上の戦略選択を行うものが多い([35, 102]など)。Wagner et al.[102]は、柔軟性の分類を「対象(object)」と「種類(kind)」で整理し、「対象」の例には、製造の柔軟性、プロ

表 2.2: システム機能配備と柔軟性戦略の先行研究

著者	選択の入力条件	戦略の選択肢	選択影響	補足説明
Miller, and Roth[69]	製品ライフサイクル, 営業力, 設計力 など	B, C	Q, D, FP	改良製品と新規製品の製造柔軟性に関する条件項目の抽出
Suarez et al.[93]	生産量の変動 企業の事業環境	B	Q, C, D	改良製品と新規製品の製造柔軟性に関するプロセス条件分析
Das[22]	購買力 生産技術力	B	Q, C, FP	改良製品と新規製品の製造柔軟性に関するプロセス条件分析
Mikkola, and Gassmann[68]	モジュールの結合度	C	DI	製品機能のモジュール度を数式モデルで評価し, 標準化する部品やインタフェースを決定
Ulrich[97]	インターフェース仕様 生産プロセスなど	B	DI	製品機能のアーキテクチャ分類と標準化する部品とインターフェース仕様策定
Voss, and Hsuan[101]	モジュールの結合度	B	DI	サービス機能のモジュール度を数式モデルで評価し, 標準化するプロセスを決定
Gebauer, and Schober[34]	事業プロセス	A, B	C	システム柔軟性を考慮したアーキテクチャの経済性評価
Schober, and Gebauer[87]	事業プロセス システム特性	A, B	C	Gebauer and Schober のシミュレーション評価
Gebauer, and Lee[35]	事業プロセス プロジェクト特性	A, B, C	C	Gebauer and Schober の ERP (電子購買) システムの事例研究

表 2.2 のアルファベット, 略号の凡例

戦略の選択肢 A: 開発要否, B: 開発指針, C: 運用指針/製造指針

選択影響 (選択基準) Q: 品質, C: コスト, FP: 財務成果, D: 工数, 開発期間 (納期), DI: 開発アイテム

セス柔軟性, 情報システム開発プロジェクトの柔軟性などをあげており, 「種類」の例には, 戦略柔軟性, オペレーション柔軟性, スコープ柔軟性などをあげている。また, Wagner et al.[102] は, 柔軟性戦略の選択を入出力を伴う機能として捉えている。入力には事業環境, 既存システムの特性を扱い, 出力には現状システムと柔軟性を満たした目標システムとの差分を解消する開発項目を扱っている。製品開発と情報システム開発の先行研究において, 表 2.2 は戦略選択の入力条件と選択肢, および出力に相当する選択影響を整理した結果である。

表 2.2 の Miller, and Roth[69] は, 柔軟性をコストと開発期間を抑えて顧客の多様なニーズに応える新製品を創出できる組織能力と捉え, 戦略選択を設計変更への柔軟性に関して考慮している。Miller, and Roth[69] があげた 11 個の競争能力のうち, 製品ライフサイクル, 営業力などは入力条件とみなせる。また, 他の競争能力のうち, 品質, コスト, 開発期間などは, 戦略選択の影響, すなわち出力とみなせる。この研究[69] は, 組織の戦略分類をクラスター分析で行う方法を提案し, 3 つのクラスターに分類できることを報告している。Suarez et al.[93] は, 生産量の柔軟性 (volume flexibility) について生産量の変動を摂動関数で表現するモデル

を提案している。これに対しDas[22]は、購買力や生産技術力を入力条件として、戦略の選択肢と選択肢が及ぼす影響を分析する構造方程式モデルを提案している。

ソフトウェア実装の観点からの開発戦略は、標準化とインタフェースを扱う開発マネジメントの研究[68, 97, 101]からも検討される。生産量の柔軟性においては、プロセスにおけるタスクの変動や集中度を評価する。表2.2に示す製品開発の事例を扱ったMikkola, and Gassman[68]と、Voss, and Husan[101]は、モジュール化の開発戦略を分析する際、独立性を表す結合度という概念を扱っている。これらの研究[68, 101]は、プロセスの変動性や集中度を正規分布で表現しており、正規分布の標準偏差を結合度として扱っている。ERPシステムや業務システムなどの情報システム開発を事例とする研究[34, 87]は、プロセスの集中度を同様に扱っているが、ローレンツ曲線を用いて開発コストを評価しているところに特徴がある。

表2.2に示す情報システムの柔軟性戦略を分析するGebauer, and Schober[34]は、技術力に関する考慮が欠如している。特に技術力が重視される事業は、提供者の技術蓄積や認識する技術難易度をふまえた分析を必要とする。この技術難易度に依存した必要最小のタスク量が、成果物の生産性にも影響する。製品開発の事例研究では、技術蓄積や利用の蓄積が設計に影響を及ぼす要因として「dominant design（ドミナントデザイン）[3, 32, 98]」と呼ばれる概念が存在する。ドミナントデザインは、製品設計と生産の柔軟性向上を検討する場面で重視されている。これに対し、情報システム開発[34]の事例研究[35]は、技術蓄積に関連する概念として成熟度(maturity)を扱い、一括で機能実装を行うか、段階的に実装するかといった実装戦略のガイドラインをインタビュー調査に基づき提案している。

しかしながら、Gebauer, and Lee[35]を含めて表2.2に示される先行研究は、開発実施を前提としていて、開発すべきか否かの分析を精緻化するものとは異なる。さらに技術蓄積について、定量的な分析方法が提示されていないため、これらの研究にはコスト影響を分析する際に課題がある。技術蓄積の未考慮は、先進的な技術を扱う技術サービスでシステム開発コストを不適切に評価し、運用段階でのコスト効率化の機会損失を招く懸念がある。コストの適切な評価には、技術蓄積に応じて確保できる品質を反映することが必要とされる。

提供内容の専門性が高度化するとともに、技術サービス提供者はコストの効率化を追求する必要に迫られる。行政サービス[75]等においても業務やコストの効率

化の議論がなされているように、特に情報通信技術に関わる業界は、技術変化が早
いだけでなく、コスト競争も激しい。モノづくりとサービスを組み合わせた事業を
展開していく企業は、自社の技術レベルにあわせた開発と運用のコスト構造に
配慮した戦略を重視するため、柔軟性分析においてもコスト構造に配慮すべき
である。柔軟性戦略を考慮する際にコストを基準とする分析フレームワークは、
多く検討されている([22, 34, 59, 63, 69, 87, 90]など)。これらの中には、情報シス
テムの柔軟性戦略を決定木やリアルオプション([59, 87])で分析するものがある。

技術サービスの提供には、顧客の要求に対して柔軟に変更できる生産能力が
必要となる。提供システムのアーキテクチャを決定するには、ソフトウェア、ま
たはハードウェアの開発、あるいは人的作業による実行といった開発戦略の選択
と技術評価が重要となる。アーキテクチャ決定の際に、タスク特性やプロセス特
性の分析が必要になる。この分析を通じて一定の品質を確保して生産性を高め
るために技術サービス支援ソフトウェアを開発すべきかが検討される。プロ
セス特性の分析において、技術力が重視される事業では、タスク量の変動や集
中度の影響が組織の技術蓄積に依存することを考慮する必要がある。この技術
蓄積は、技術サービス提供者の認識する技術難易度を意味する。技術難易度
に応じた開発と提供に必要なタスク量は、品質確保の生産性に影響する。従っ
て、システムの柔軟性研究を技術サービスに適用するには、提供組織の技術難
易度と品質の生産性を加味した分析モデルが必要になる。効率的な機能配備に
配慮した開発の意思決定には、経済性評価を伴いタスク量の変動を扱う分析モ
デルを必要とする。しかしながら、情報システムやサービスのモジュールの結合
度を評価する Voss, and Hsuan[101] や機能分析的なアプローチで評価する
Wagner et al.[102] は、開発項目に評価結果を還元する研究であり、プロジェクト
コストの経済性評価を考慮していない。

本研究では、経済性や経営指標への影響を考慮する製造の柔軟性を高める開
発戦略[22, 69, 93]と同様に、サービスの事業プロセスに対し情報システムの柔軟
性を戦略分析する研究 Gebauer, and Schober[34] を参考にする。Gebauer, and
Schober[34] は、システム柔軟性分析の入力条件に事業環境を考慮する事業プロ
セス特性扱い、柔軟性戦略への影響とコスト効率性を分析している。また、事
例研究 Gebauer, and Lee[35] は、システム柔軟性分析の入力について既存シス
テムや

開発プロジェクトの特性を扱っており、コスト効率性を出力とした柔軟性戦略の影響分析に基づき開発要否と開発指針を決定するフレームワークを提案している。Gebauer, and Schober[34]の理論モデルは、事業プロセスについて、確実性、集中度、および時間の深刻度を扱い、戦略がコストに及ぼす影響分析を開発と提供の2段階で考慮できる利点をもつ。

ソフトウェア機能配備の研究目的は、技術サービス提供者が、事業プロセスの変化に対するシステム柔軟性を高める戦略決定を支援する分析モデルの提案とする。これまでに述べた先行研究の調査から、技術サービスにおける情報システムの柔軟性戦略の分析アプローチは、Gebauer and Lee[35]のプロジェクト特性を踏まえて、Gebauer and Schober[34]の理論モデルを技術サービスの適用へ拡張する方針を採用する。技術サービスへの適用では、開発要否の考慮が重視される。さらに、柔軟性戦略の分析モデルには技術難易度を考慮する。

ソフトウェア機能配備の研究に期待される貢献は、理論モデル[34]を技術サービスへ適用するために、概念的な分析にとどまっている事例研究[35]のプロジェクト特性を定量的に分析できるモデルに進展させることである。さらに進展させたモデルが、コスト効率性に基づく開発要否の精緻な配分決定を可能にする貢献が期待される。また技術サービスへの適用に関して、複数のコスト事例に基づく理論モデルの検証報告が期待される。

2.2 開発機能の選択

第二のテーマは、コスト、品質、時間的制約の条件において見積合意に向けた開発機能をいかに選択するかが問題となる。この問題に対するアプローチは、開発利害関係者それぞれの視点から考えられる。一つは、経営者視点で投資評価法[7, 78]を適用するアプローチである。また、経営者より現場に近い開発受託の技術者や営業担当者の視点では、費用対効果を分析するアプローチがある。このアプローチに関しては、QFD(品質機能展開[1])を開発企画や戦略検討の事例に適用したものが多く議論されており[52, 57]、QFDのサーベイ論文[17]に整理されている。その他に発注者視点では、Ho et al.[41]が購買担当者の業者選定にQFDを適用するアプローチを整理している。Ho et al.[41]の開発者視点で研究されたQFDアプローチの限界について、「効率的なサプライヤが効果的なサプライ

ヤであるか?」と問題提起したコメントは参考になる。この問題提起は、開発者視点では開発の効率性が重視されやすいことに対し、顧客視点では費用対効果が重視される背景を適切にとらえた現れである。

開発機能の選択に関する研究対象は、事業部内にいる発注技術者の意思決定であるため、経営上の投資判断に用いられる財務指標[7, 78]よりも、サプライヤ選定や開発企画の便益費用分析の情報を活用する機会の方が多いと考えられる。また、技術サービス支援ソフトウェアの発注者は、要求間と機能間の依存関係を考慮し、簡便な表などを作成して管理する必要がある。要求整理の仕組みには、コストとともに納期、あるいはソフトウェア機能の提供時期に関するニーズを反映できる必要がある。

Herzwurm, and Schockert[40]は、ソフトウェア工学での見積手法やモデリング技法は、開発者側が習得しやすく有益な情報を得られるが、発注者はそれを習得することに積極的ではないため、開発者と顧客間にコミュニケーションの齟齬が生じやすいことを指摘している。また、Herzwurm, and Schockert[40]はソフトウェア機能や構成要素に展開する実現検討の難しさは、要求間や機能間の依存性が複雑であることの認識不足に起因すると指摘している。そこで、本章では開発機能の選択について、要求と機能の構造や依存性を表現することに適するQFD、およびその関連手法[17, 41]を調査し、整理する情報と選択方法の要件を整理する。

一般的にQFDは、要求品質に対する機能の二元表を扱い、それぞれを他の情報と関連づけて展開表を作成して開発情報を整理する。機能選択の際、主な考慮事項は、整理する情報と、重要度に基づく開発優先度を決定する算出方法と、可視化する算出結果の情報があげられる。作成管理する情報の項目は、要求品質、機能、コスト、納期に関するものがあげられる。発注側の視点で機能選択を行うには、仕様調整や納期調整などにより、変更が生じたときの影響を迅速に把握できる必要がある。また、技術側の開発企画にある品質を評価し向上させただけでは、発注者には不十分であり、コストと時期についての評価をあわせて行うことが必要である。したがって、いくつかの二元表を作成する際、これらの情報が網羅されている必要がある。

さらに、開発機能の選択に関する研究では費用便益分析において、要求品質、コスト（価格）、入手時期、を同時に考慮し、これらを変更（調整）したときの

表 2.3: 機能選択に関する先行研究

著者	整理する情報	優先度の計算	可視化	補足説明
大森 [73, 74]	C	D	D	ソフトウェア QFD の理論構築 Case: 業務アプリケーションを想定
秋庭 [2]	B	A	B	満足度貢献と所要コストに基づく機能選択 Case: 洗濯機, 冷蔵庫
Karlsson, and Ryan[56]	B	B	B	優先度アルゴリズムの比較研究 Case: 無線監視システム,
Davis[24, 25]	A	B	C	開発期間に対する信頼性の達成確率に基づく機能選択(要求のトリアージ) Case: 開発プロジェクトのリリース計画
Herzwurm, and Schokert[40]	C	D	D	ソフトウェア QFD のテンプレート提案 Case: 企業情報システム (SAP R/3Diary)
水山 [70]	B	C	C	線形計画法を用いた製品差別化戦略 Case: 仮想的な洗濯機の事例データ
太田, 古賀 [77]	C	D	D	顧客と企業の合意形成のためのファジィ QFD Case: 洗濯機のアンケート調査
Delice, and Gungor[26]	B	C	C	狩野モデルを用いた製品企画 Case: PC ディスプレイのサイズ検討
Juan et al.[52]	B	C	C	ファジィ QFD を用いた業者選定 Case: 住宅改装工事の施工業者選定

表 2.4: 表 2.3 の評価基準

整理する情報	優先度の計算	可視化
A: 要求品質, 機能, コストの関連, 要求品質の重要度 (必要性と適時性)	A: 手法の理解が簡単で表計算ソフトのみで対応可能	以下の4つの項目について ・コストに対する充足度 (満足度) ・充足度の要求品質構造 ・重要度の変更に伴う充足度変化 ・要求品質の達成度
B: 要求品質, 機能, コストの関連, 要求品質の重要度 (必要性)	B: 手法の理解に時間を要するが, 表計算ソフトのみで対応可能	A: 4つすべての要素に対応 B: 2つ, または3つの要素に対応 C: 1つの要素に対応 D: 未対応
C: 要求品質と機能の関連, 要求品質の重要度 (必要性)	C: 手法を適用するためのソフト (ソルバー) が必要	
	D: 実施しない	

影響を即時的に可視化できること, 開発コストの上昇要因を把握できること, 手法適用の負荷が少ないことを念頭に先行研究を調査する. 表2.3は, QFDやその関連手法の先行研究をまとめたものである. また表2.4は, 表2.3に記載されるAからDの記号の評価基準を示す.

整理する情報に関して表2.3のいずれの研究でも, 要求品質に対する機能, あるいは設計品質の関連を扱っている. 表2.3の中でコストと納期(機能入手の適時性)を扱える研究は, いくつかに絞られる[2, 24, 56]. 秋庭[2]は, 要求品質ごとの重要度評価に期待得点を用い, 総期待得点に対する割合を「重視割合」としている. また, 秋庭[2]は開発後の物理的な仕様特性値の改善を比で表現し, これを「機能向上係数」と呼んでいる. 開発実施による充足度は, 各要求品質における重視割合と機能向上の積の総和として扱っている. Karlsson, and Ryan[56]は, 秋庭[2]と同様の整理する情報の項目を扱い, 後述する優先度決定の手法比較を行っている.

Davis[24]は、開発者視点で品質を確保できる所要工数とコストの関係を整理している。発注者視点では、高い重要度の要求品質をどれだけ充足するかを整理できることが、重要である。Juan et al.[52]は発注者の視点でQFDを適用しているが、入手時期の考慮に不足がある。開発機能の選択に関する研究では、要求分析の際に技術変化が激しい事業環境であるという情報通信業界の特徴を考慮する。表2.3において要求品質の重要度評価の重みづけ方法を精緻化した研究[26, 70, 77]は存在するが、これらの研究は、機能の入手時期に関する重要度を明示していない。開発機能の選択を考慮する際に、前述のガイドライン[38]やFiresmith[31]は機能の入手時期を考慮する必要性を指摘している。しかしながら、これらは機能の入手時期に関する重要度を数値化して扱っていない。開発機能の選択手法では、時期に関する重要度の定量的に評価値を考慮する。

重要度に基づく開発優先度を決定する算出方法を精緻化している研究は、QFDと他の手法の組み合わせ領域の研究に分類される[17]。品質の重要度評価を精緻化するために、ファジィ理論や狩野モデルのような数量化手法[26, 55, 70, 77]が提案されている。さらに、優先度決定のアルゴリズムには、AHP（階層化意思決定法）[56]や線形計画法を用いた手法[26]が提案されている。また、ソフトウェア要求工学の分野でこの優先度に関する研究は、医療用語の「トリアージ」という言葉を用いて「要求のトリアージ」と称されている[24, 31]。

Karlsson, and Ryan[56]は、AHPの他にbinary searchやbubble sortのような探索アルゴリズムにより優先順位を並べ替える方法など16種類のアルゴリズムの比較研究を行っている。Davis[24]は企画した機能の実装完了について、時期に対する達成確率と開発完了時期に対する累積コストを求めている。このフレームワークでは、機能と開発工数の視点から開発すべき機能選択を行うため、機能とコストの関係は明示されている。しかしながら、特にDavis[24]では信頼性のみを品質として扱っているため、重要視された要求品質の充足度を把握することが難しい。発注者が機能選択を考慮する際、コストや時期を調整できない課題が生じやすい。

QFDにおけるボトルネック技術[1]は、秋庭[2]の技術難易度に相当する。発注者視点で考える場合には、これを参考にして要求品質に対する機能の充足度を考慮する必要がある。実際のコストが上昇する要因は、技術難易度だけではない可能性もある。発注者にとっては、機能構成に依存したコスト構造を把握で

き、交渉や調整を図れることが重要となる。開発機能の選択手法は、要求品質と機能をグループ化して扱う。さらに提案手法は、グループに共通な機能、あるいは個別の機能が要求品質を充足する程度を充足度と定義し、定量的に評価できるように配慮する。

表2.3に示す先行研究の可視化方法は、表の数値として確認できるものと、費用に対する充足度、あるいは満足度を2軸としたグラフで表現するものが多い。品質と開発リリース時期、コスト（価格）のどれを重視するかは、それぞれの利害関係者の見解によって異なる。先行研究における可視化の課題は、発注者視点で、コストや重要度評価の変更を費用便益に即時反映できないことである。その結果、先行研究の提案手法は、頻繁な仕様変更の調整による影響を可視化できない懸念がある。

提案手法では、コスト競争が激しい情報通信業界の特徴を踏まえて、費用便益分析の観点で機能選択を行うことに配慮する。従って提案手法は、要求品質を満たす機能配備に応じたコストを可視化する。さらに提案手法は、技術サービスの要求品質を複数の機能群にまたがる共通な要求品質と機能群に個別な要求品質でグループ化して整理でき、充足度を可視化できることにも配慮する。

これらの配慮を要件とした機能選択の手法提案による本研究の貢献は、以下のことが期待される。第一は、従来開発者が顧客志向の製品企画を行うアプローチが多いQFD研究において、発注者が活用するフレームワークを構築する成果である。さらに、技術サービスの事例報告がQFD研究の発展につながると期待される。第二は、優先度計算処理など要求分析の負荷が少なく、重要度の変更を即時的に反映して可視化でき、コスト上昇要因の把握を可能にする実践的な貢献である。

2.3 業務適合性の測定

第三のテーマには、技術者が認識する業務適合性に着目し、いかに開発した技術サービス支援ソフトウェアの評価を行ってシステムの改善目標を策定するかが問題となる。この問題に対し本研究は、情報システム（IS）のユーザ評価に関する研究（表2.5）を調査する。本章では、先行研究の測定モデルの構成要素と要素間の関係に着目し、業務適合性との影響関係を分析するモデル構築について、要件を整理する。

表 2.5: 情報システム (IS) のユーザ評価

研究領域	意思決定向け IS	IS 導入	IS の技術受容	IS 開発の成功要因
品質評価の背景		導入プロセス	利用者の経験, 性別, 年齢, 所属組織の社会的な影響	利用者の所属・肩書 ソフトウェアタイプ
プロセス/ ソフトウェア品質	データ品質		システム品質 (使い勝手, 利便性)	情報品質 システム品質
プロセス/ ソフトウェア 品質影響	意思決定 処理への影響	導入影響	利用意図を通じた 利用行動への影響	個人あるいは組織への 成果影響
関連研究	Barkin and Dickson[12] Yuthas and Young[103]	Lucas[65] Hartwick and Barki[39]	Davis[23] Vnekaresh[99]	DeLone and MckLean[27] Goodhue and Thompson[37]

Burton-Jones, and Andrew[15] をもとに筆者作成

表 2.5 の整理は, Burton-Jones, and Andrew[15] を参考にしている. 測定モデルは, 測定指標 ([8] など) と, その指標による構成概念を構成要素とし, 要素間の関係性を表現している. Burton-Jones, and Andrew[15] に従うと表 2.5 に示す関連研究は, 意思決定のための情報システム ([12, 103] など), 情報システムの導入 ([39, 65] など), 情報システムの技術受容 ([23, 99, 100] など), 情報システムの開発成功要因 ([27, 37, 44] など) の 4 つの研究領域に分類される.

これら 4 つの領域に関して情報システムのユーザ評価は, 利用者の背景, ソフトウェア品質, ソフトウェア品質影響の連鎖関係で整理される. これらの中で品質影響に着目した研究領域には, 情報システムの技術受容と情報システム開発の成功要因がある. 情報システムの技術受容は, システムを導入するきっかけと利用行動意図を通じて利用行動につながるマーケティング視点の研究領域である. 情報システム開発の成功要因は, 個人や組織の成果影響を分析し, 開発戦略や設計に得られた知見を反映させる研究領域である. これら 2 つの領域は, ソフトウェア品質について情報品質とシステム品質を扱っている. 情報品質は機能的な品質を扱い, システム品質は非機能的な品質を扱っている.

成果影響を考察する開発の成功要因の研究 [27, 28] には, さまざまな実証研究 ([37, 44, 61, 81] など) が紹介されている [80]. また, 業務適合性に関連した「業務と技術の適合 (Task-Technology Fit)」の概念に関する研究 [37] も, この領域に属する. 表 2.6 は, 情報システムの技術受容と情報システム開発の成功要因の領域に関するサーベイ論文 [62, 80] を参考に, ソフトウェア品質の利用行動への影響分析に関する研究の調査結果を示している.

表 2.6: ソフトウェア品質の利用行動への影響分析に関する研究

著者	利用者の背景	品質評価	品質影響	補足説明
DeLone, and MckLean[27, 28]		IQ, SQ	IP, OP	定型性と業務横断性で分類する業務分析
Goodhue, and Thompson[37]	JT	IQ, SQ	IP	task technology fit 研究でソフトウェア品質と業務適合性を同一視
ISO/IEC 9126[46]		IQ(機能的) SQ(非機能的)	IP, S	国際標準規格ソフトウェア品質と利用時の品質を規定
Iivari[44]		IQ, SQ	IP	品質と個人の成果影響を因子相関で分析
Venkatesh, and Bara[100]	O (組織の社会 要因など)	SQ (使い勝手, 利便性)	D, F, I	技術受容(導入)を態度, 行動の指標で分析

利用者の背景: JT (役職), TR (役割認識), 組織 (O)

品質評価: IQ (情報品質), SQ (システム品質)

品質影響: D (利用期間), F (利用頻度), I (利用意図), IP (個人の成果), OP (組織の成果), S (満足度)

表2.6のDeLone, and MckLean[27, 28]とVenkatesh, and Bara [100]は、いずれもシステム品質と情報品質を認識して利用行動を通じた影響を測定する。また、Goodhue and Thompson[37]は、ソフトウェアの品質と品質影響を区別しない「業務と技術の適合 (Task-Technology Fit)」の概念を用いた測定モデルを提案している。

ソフトウェア品質に関する国際規格について本研究では、ISO/IEC 9126[46]を中心に考慮する。この規格[46]では、中間製品 (モデル, 文書, ソースコード等)の品質を内部品質とし、外部の視点から見たソフトウェア製品の品質を外部品質としている。また、ISO/IEC 9126[46]は、ソフトウェア品質影響に関連してソフトウェアが特定の環境で利用されるとき「利用時の品質」を規定している。利用時の品質には、生産性, 有効性, 安全性, 満足性がある。ISO/IEC 9126[46]の発展規格として、ISO/IEC 25010[48]がある。ISO/IEC 25010[48]は、ISO/IEC 9126[46]にソフトウェア製品評価 (ISO/IEC 14598[45]) を統合して改善・強化したものである。発展経緯の指針の詳細については、ISO/IEC 25000[47]のSQuaRE (Software product Quality Requirements and Evaluation) の指針において述べられている。個人と組織の双方の成果影響を分析するDeLone, and MckLean[27, 28]の提案モデルに対し、Iivari[44]は個人の成果影響に特化して因子相関を分析する測定モデルを提案し、DeLone, and MckLeanモデル [27, 28] の検証を行っている。

技術サービス支援ソフトウェアの品質評価では、技術開発あるいは客先対応であるかの役割意識によって技術者のニーズが変化する。しかも役割を兼務する技術者が多いため、測定モデルには、事業プロセスの段階に応じて複雑な利用者の背景を捉えることが要求される。しかしながら、先行研究[37, 49, 50, 80]は、利用者個人の役割よりも、部署名や役職といった組織に関連する情報を業務特性として扱っている。先行研究の業務特性は、異なる企業間で組織名や役職の内容を整合させる必要が生じる。また、組織名や役職が役割や業務内容に即しているとは限らないため、技術サービス支援ソフトウェア品質の重要性を的確に把握しにくい課題がある。従って、単純に部署名などで測定した結果は、業務適合性を改善させるための活用において誤った結論を導く懸念がある。

技術サービス提供者の組織規模は大きくないことから、分析可能な測定モデル構築には、大規模になりすぎることを避けつつ、利用者の背景と品質評価、および業務適合性への連鎖影響を簡潔に模擬することが鍵となる。このことを踏まえて技術サービス支援ソフトウェア品質評価には、先行研究[8, 37, 44, 46]の測定変数が、技術サービスの事業と業務支援ソフトウェアの特徴に合わせて用いられる必要がある。具体的には、ソフトウェア品質の内部・外部の品質を利用者である技術サービスに従事する技術者が評価することである。

表2.6に示す先行研究は、業務遂行の結果に焦点が当てられている。技術サービスにおいては、業務プロセスに焦点をあてた利用者評価が重要になる。ソフトウェアを利用して提供する専門サービスの成果影響を品質の側面で考慮すると、技術サービスの業務適合性は、開発と提供の事業プロセスをふまえた専門サービスの品質評価[33]と捉えることができる。ところで表2.6の先行研究は、ソフトウェア利用者、あるいはソフトウェアを利用するサービスシステムの運用者を顧客に想定しており、ソフトウェア利用者にとっての顧客を定義したものではない。業務適合性を考慮する際、技術サービス提供者の利害関係者をふまえた測定指標が必要とされる。この測定指標の一つには、サービスを提供する技術者が顧客とのかかわりを通じて認識する自己効力感が考えられる。

表2.6に示す先行研究を踏まえて、業務適合性との影響関係を分析する測定モデル構築には、以下の要件があげられる。第一は、技術者が技術サービス支援ソフトウェアを利用するときの役割を考慮することである。第二は、技術サービス

支援ソフトウェア品質の測定変数には、先行研究にある指標から技術サービスの事業とソフトウェアの特徴に特化したものを設定することである。第三は、業務適合性の測定変数には、顧客を通じて認識される自己効力感を含めて業務プロセスに焦点をあてた利用者評価を行えることである。これらの要件を満たす業務適合性の測定モデルの提案と、技術サービス支援ソフトウェアへの適用事例を報告することで、本研究がTask-Technology Fit研究におけるモデルの精緻化に貢献すると期待される。また、技術サービスの事業領域に特化したソフトウェア品質を扱うことにより、品質設計に有益な知見の獲得が期待される。さらに、本研究はモデルを簡素化する図る努力を払い、技術サービス提供者において活用のしやすさにつながる貢献が期待される。

2.4 本研究の位置づけと期待される貢献

本研究は、技術サービス提供のシステム構築における3つのテーマに対し、情報システム科学や経営工学を中心とするシステム設計と開発管理の学術領域を対象とする。本研究は、既存の理論を技術サービスのシステム開発における問題へ応用した事例研究に位置づけられる。従って、研究成果としては、技術サービスの事例分析を通じて理論の精緻化に向けた問題提起と、事例に適用した理論の検証報告が期待される。また研究アプローチは、技術者の現場に適用することを想定して、仮説検証型の定量分析の方法を採用する。

ソフトウェア機能配備のテーマに関する貢献は、情報システム柔軟性を高める開発戦略とそのコスト影響を模擬した理論モデルを技術サービスへの適用に向けて精緻化することがあげられる。また、技術サービスの利害関係者から生じる要求に柔軟に対応できるシステム企画の際、本研究の貢献は、開発要否を考慮して業務プロセス柔軟性を高める開発戦略の指針を示す分析ツールを提供することである。

開発機能の選択のテーマでは、発注者が活用するQFD関連手法の開発が、本研究の成果となる。QFD関連研究に対する本研究の貢献は、発注者が活用するための問題提起と、技術サービス支援ソフトウェアの開発発注という事例報告である。ソフトウェアのQFDは様々な学術領域で扱われており、本テーマの取り組みは、実践的にも学術的にも幅広い貢献が期待される。

業務適合性の測定のテーマでは、開発者側から捉えられてきた品質設計と利

用評価の方法を発注者や利用者観点で再構成する。特に利用者の役割認識に着目した点には新規性がある。提案する測定モデルは、ソフトウェア発注者が品質設計を行うツールとして貢献することが期待される。さらに、本研究で提案する開発機能の選択方法と業務適合性の測定モデルの活用は、開発者と発注者との協調開発ツールとなることが期待される

本研究は、技術サービス支援ソフトウェア開発の企画と実施評価について、一連の方法を提供する。この一連の方法は、様々な事業段階に対応可能な戦略検討と設計支援のフレームワークとなりえる。本研究は、戦略的にソフトウェア開発へ反映させる事例研究により、一貫した技術蓄積とサービスシステム構築を行っていきける設計支援フレームワークの獲得を目指す。

第3章 技術サービスにおけるソフトウェア機能配備の開発戦略と費用対効果

3.1 プロセス柔軟性とソフトウェア機能配備の研究背景

技術サービスの事業プロセスには、開発と提供の2つのプロセスがある。プロセスはいくつかのタスクから構成される。技術サービスの開発では、測定、集計、シミュレーション、解析、および報告書作成のタスクに必要な要素技術を確立させる。技術サービスの提供では、報告書を作成し、顧客に対して情報提供やコンサルティングを行う。技術サービス提供者は、開発と提供のプロセスにおいて、業務支援ソフトウェアを開発することにより、サービス開発の効率性とサービス提供の生産性の向上を図る。本研究では、このソフトウェアを技術サービス支援ソフトウェアと称する。ソフトウェア機能配備の研究では、技術サービス支援ソフトウェアを活用した技術情報の生産システムを対象とする。また、技術サービス支援ソフトウェアの利用者である技術者が対象システムの開発企画と運用管理を行う。

技術サービスの種別には、設計のサービスと、測定・解析のサービスがある。設計のサービスでは、顧客が設備投資計画を策定するために、設備の必要量を提案する。測定・解析のサービスでは、投資効果の確認や設備の運用品質を向上させる技術課題と施策の提案を行う。例えば、無線通信業界において、技術サービス提供者である通信機器製造業者は、顧客の通信事業者がネットワークインフラを構築する際、技術サービスを提供する。この例における設計のサービスは、設備投資を計画するための基地局台数検討を行う置局設計である。また、測定・解析のサービスは、投資効果や運用上の技術課題を把握するために、通信品質の測定とそれらの結果を解析するエリア解析である。

近年、事業環境の変化や技術変化が急速になっており、技術サービス提供者には、外部環境、顧客要求、および内部リソースの変化に適応できるシステム構築

戦略を考慮し、競争優位を確立する動機がある。特に、技術変化が早くコスト競争が激しい業界では、新たな技術力を獲得しながら変化に適応できるシステム実現に効率性を重視する。また事業プロセスの条件から技術サービス提供者には、技術サービス支援ソフトウェア開発の要否、あるいは開発実施の条件を明確にすることが重要課題となる。さらに開発実施の場合、技術サービス提供者には、新技術への拡張性や設計変更への対応力を重視するか、カスタマイズ能力を重視するか、といった開発戦略の決定も課題となる。

本章の研究目的は、情報システムのプロセス柔軟性を高めるために、技術サービス提供者がコスト効率の良い戦略を決定できるモデルを提供することである。本章では、技術サービスにおける情報システムの柔軟性戦略について、先行研究の調査から分析アプローチを明確化する。本章では、コスト効率の観点で開発戦略を決定する理論研究をもとに拡張モデルを提案する。提案するモデルは、技術サービスへの適用に向けて、提供者における技術難易度を導入し、開発の変動コストに関する従来の式を拡張している。提案モデルの分析は、事業プロセスと技術難易度の特性に応じて、システム開発要否を決定する。さらに、提案モデルは「利用パターンへの柔軟性」、または「設計変更への柔軟性」のどちらを重視するかについての開発戦略を決定することにも有用である。提案モデルの有効性を確認するために、技術サービスのプロジェクトコスト事例に適用し、柔軟性戦略を分析する。技術難易度を考慮した提案モデルの分析を通じて、提案モデルがコスト効率のよい開発戦略におけるシステム開発要否の比重を精緻に説明できることを示す。

3.2 柔軟性の定義と分析アプローチ

柔軟性の定義は製品開発、情報システム開発に関連する様々な研究領域で考慮されている。オペレーション管理の分野([22, 42, 93]など)でBernardesら[13]は、柔軟性は製造の柔軟性(manufacturing flexibility)を対象とし、事業環境の変動に適応した生産対応力や、変更の増加に対応できる能力と定義されることが多い、と指摘している。研究開発戦略や経営組織論の分野([68, 69, 86, 89, 101]など)では、機能構造と組織構造に着目した組織能力を分析対象として主に扱っている。

情報システムの柔軟性についてWagner et al.[102]は、柔軟性の分類を「対象

(object)」と「種類(kind)」で整理し、柔軟性分析を機能として捉えるアプローチを採用している。「対象」の例には、製造の柔軟性、プロセス柔軟性、開発プロジェクトの柔軟性などをあげている。また、「種類」の例には、戦略柔軟性、オペレーション柔軟性、スコープ柔軟性などをあげている。柔軟性分析の入力には、事業環境、既存システムの特性を扱い、出力には現状システムと柔軟性を満たした目標システムとの差分を解消する開発項目を扱っている。ただし、このアプローチは、プロジェクトコストなどの経済性評価を考慮していない。

ソフトウェア機能配備の研究アプローチでは、経済性や経営指標への影響を分析する製造柔軟性を高める開発戦略の研究[22, 69, 93]と共に、情報システムのプロセス柔軟性に関するGebauer, and Schoberの研究[34]に着目する。この研究[34]は、システム柔軟性分析の入力に事業環境を考慮する事業プロセス特性を扱い、柔軟性戦略への影響とコスト効率性を分析している。ソフトウェア機能配備の研究では、事例研究(Gebauer, and Lee[35])の既存システムや開発プロジェクトの特性もふまえて分析する。分析結果から開発要否と開発指針の戦略が決定される。Gebauer, and Schober[34]の理論モデルは、事業プロセスについて、確実性、集中度、時間の深刻度を扱い、戦略がコストに及ぼす影響分析を開発と提供の2段階で扱える利点がある。

そこで技術サービスにおける柔軟性の分析アプローチは、プロジェクト特性[35]を踏まえて、理論モデル[34]を採用する。図3.1は、提案する情報システム柔軟性の戦略分析モデルである。このモデルは、技術サービスにおける事業プロセスの変化に対し、コスト効率化の観点で情報システム柔軟性の戦略分析を行える。図3.1のグレーの部分でGebauer, and Schober[34]のモデルに相当する。図3.1に示す理論モデルの部分は、入力に事業プロセス特性を扱い、出力にコストを扱っている。提案する戦略分析モデルは、入力に技術難易度を追加し、出力のプロセス品質をコストへ反映させる拡張をしている。

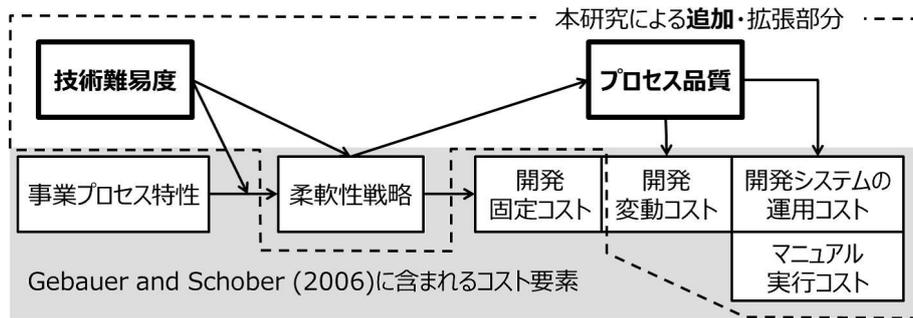


図 3.1: 技術サービスにおける情報システム柔軟性の戦略分析モデル

3.3 技術サービスにおける情報システム柔軟性の戦略分析モデル

3.3.1 事業プロセス特性

確実性

図3.1の事業プロセス特性には、確実性、集中度、および時間の深刻度を扱う。確実性 $p(0 \leq p \leq 1)$ は、サービス提供内容に対する柔軟性の要求を表す指標であり、あるプロセスの遂行に必要なリソースの予測可能な程度とする。確実性 p が0に近いほどプロセスに必要なリソースの予測が困難で不確実、1に近いほど予測が容易で確実であると解釈される[34]。確実性は、タスクの予測可能性やタスクの定型化が可能な部分の見極めを指標とした概念である。

既存設備の運用品質を高める目的で、定期的に品質監視の測定情報を解析する測定・解析サービスでは、報告書作成までの処理手順を明確化しやすい。さらに既存のプロセスを流用しやすいため、作業内容や必要なリソースの予測が容易である。エリア品質から課題を抽出する報告書作成は、測定作業に未経験部分が限定されるため、必要なリソースの予測がしやすく確実性が高い例である。対照的に、新しい通信方式の設備を導入したエリアの解析サービスでは、測定データから想定していなかった事象を観測することがある。この場合の解析と報告書作成のタスクは、予測困難で確実性が低い例である。新規タスク項目の多さが事業プロセスの確実性を左右し、カスタマイズ能力や設計能力に影響する。

集中度

事業プロセスは開発と提供のプロセスがある。これらのプロセスには、それぞれ複数のタスクがある。集中度 $v(0 \leq v \leq 1)$ は、プロセスにおけるタスク量の変動に対する柔軟性の要求を表す指標であり、プロセスの処理負荷が特定のタスクに集中する程度とする。集中度 v が0のときに負荷集中がないプロセス特性を表す。これは、各タスクに一律なタスク量が割り当てられている状態を表す。対照的に、集中度が1に近いほどプロセス内の特定のタスクに負荷が集中する程度が強いと解釈される[34]。集中度が高いプロセスであれば、負荷が集中するタスクを効率化させる技術サービス支援ソフトウェア開発で仕様策定が容易になりやすい。技術サービス提供者は、技術者のスキルを補完して一定の品質を確保しながら、生産性を向上させるソフトウェア開発を実現しやすい。

後述の柔軟性戦略の説明では開発と提供のプロセスをふまえて考慮するが、ここではより詳細な例として測定・解析の技術サービスの提供プロセスを考えてみる。顧客への報告書提供のプロセスでは、目的や要求に応じて測定、集計、解析、および報告書作成の4つのタスクがある。4つのタスク量を T_1, T_2, T_3, T_4 とすると、プロセスの総タスク量 T は、 $T_1 + T_2 + T_3 + T_4$ となる。一律なタスク量に負荷分散した見積タスク量は、いずれのタスクも $T/4$ となる。プロセスの処理が進捗すると、タスク量が累積される。集中度をコストに反映させる数理表現には、総タスク量 T を1とする累積率を扱う。提案モデルでは、実際のタスク累積率と見積タスク累積率を扱う。本論文では、これ以降「実際のタスク累積率」を単に「タスク累積率」と表記する。4つのタスクについて実際のタスク量の増加に伴い、1つのタスクを完了するごとに累積率が0.25増加するのであれば、プロセスにおけるタスクの負荷集中はない。図3.2の「負荷集中なし ($v = 0$)」に示すように、タスク累積率 x を用いた見積タスク累積率 $L(x)$ は、 $L(x) = x$ の直線上の値をとる。一律ではなく特定のタスクに負荷集中がある場合、図3.2の「負荷集中あり (中程度)」に示すように、見積タスクは曲線上の値をとる。集中度が中程度であれば $v = 0.5$ が想定される。

集中度 v に応じてタスク累積率 x に対する見積タスク累積率を $L_v(x)$ とする。この $L_v(x)$ をローレンツ曲線[64]で表現し、変動コストの係数として扱う。ローレン

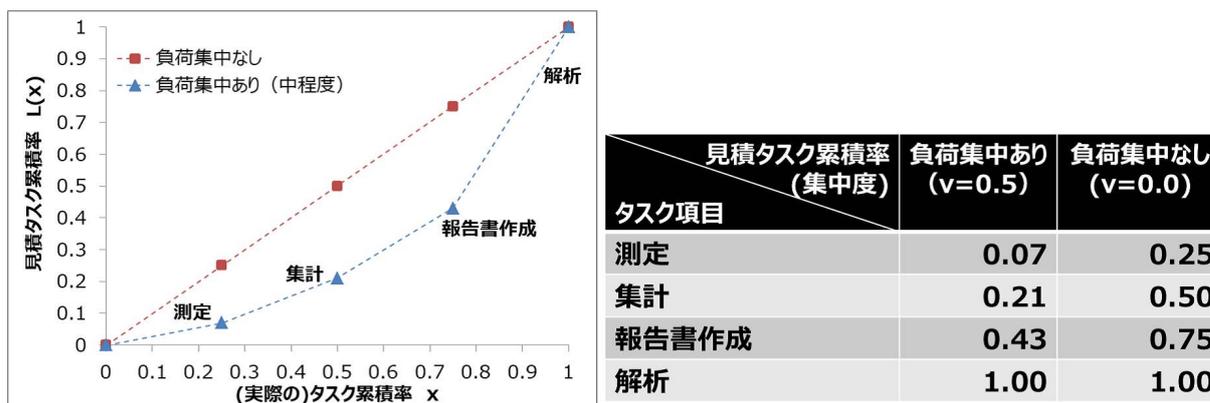


図 3.2: 集中度に応じた（実際の）タスク累積率と見積タスク累積率

ツ曲線 [64] の関数表現には, Ortega et al.[76] が提案した

$$L_v(x) = x^v(1 - (1 - x)^{1-v}) \quad (3.1)$$

を用いる¹.

時間の深刻度

時間の深刻度 $r(0 \leq r \leq 1)$ は, プロセスの実施時間に対する柔軟性の要求を表す指標であり, 全てのタスクのうち, 要求されたタイミングで実行しないと価値や効力を著しく失うタスクの割合である. 時間の深刻度 r が 0 に近いほど実行するタイミングはあまり重視されず, 1 に近いほど緊急対応のように実行するタイミングが重視されるタスクが多いプロセスであると解釈される [34].

技術サービスにおいて, 報告書や成果物を提供する納期までに十分な時間がある場合は, 時間の深刻度が低いと考える. また, 技術サービス提供者が技術先進性を訴求する機能の開発期間を十分に確保している場合も, 時間の深刻度は低いといえる. 対照的に, ネットワークの障害やユーザからのクレームを受けた時には緊急度が高く, 早く正確な処理が求められる. この場合は, 時間の深刻度が高いと考える. また, 商用化時期を重視する顧客は, 要求されたタイミングで

¹ローレンツ曲線の関数表現には, ガンマ分布やユール分布などを用いた様々な形式 ([20, 43] など) が提案されている. Gebauer, and Schober[34] は, コスト算出を効率的に行える理論構築の観点で, ユール分布の形式でローレンツ曲線を表現した Ortega et al. [76] の提案式を採用している. 提案モデルも Gebauer, and Schober[34] の手法を踏襲し, Ortega et al. [76] の提案式 (式 3.1) を採用している.

サービス提供できる応答力を求めやすい。この場合も時間の深刻度は高いと考える。顧客ニーズの時間的な要素は、先行研究において「適時的な応答力 (responsiveness)」や「時間の深刻度 (time criticality)」という概念で表現されている [9, 10, 42, 34, 82]。特にモバイル情報システムでは、時間の深刻度が重視される [9]。

3.3.2 柔軟性戦略

図3.1の提案モデルでは、技術サービスの柔軟性を事業プロセスの変化に適応してソリューション情報の品質と生産性を確保する情報システムの構築能力と定義する。また柔軟性戦略は、先行研究 [34] にあわせて柔軟性を向上させる情報システムの構築戦略とする。この戦略は、図3.3のように分類される。図3.3の t は後述する技術難易度を表す。

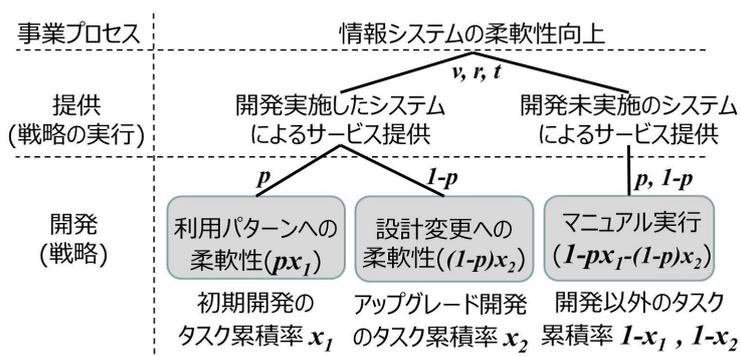


図 3.3: 情報システムの柔軟性戦略の分類

技術サービスの柔軟性戦略には、技術サービス支援ソフトウェア開発を実施する戦略と、実施しない戦略「マニュアル実行」がある。さらに、開発を実施する戦略は、「利用パターンへの柔軟性」を重視する開発と、「設計変更への柔軟性」を重視する開発の2つに分けられる。

「利用パターンへの柔軟性 (flexibility to use)」は、将来的な設計変更を想定しない機能開発や、カスタマイズの追加開発といった小規模な変更要求への柔軟性を重視する開発戦略である。使用性に関わるユーザインタフェースや処理能力を改善する開発が主体になる。技術サービスでは、顧客接点でサービス提供に従事する技術者の要求に対応できる能力とみなせる。利用パターンへの柔軟性を重視する開発戦略の比重は、確実性 p と設計変更を想定しない開発 (初期開

発) のタスク累積率 x_1 を用いて

$$px_1 \quad (0 \leq x_1 \leq 1) \quad (3.2)$$

とする。

「設計変更への柔軟性 (flexibility to change)」は、属人性を排除するモジュール化やデータと機能の統合などの将来的な事業環境の変化を考慮し、設計変更に関わる大規模な変更要求や新規要求に対する柔軟性を重視する開発戦略である。技術サービスでは、サービス要素技術の開発に従事する技術者の要求への対応能力に関わる。設計変更への柔軟性を重視する開発戦略の比重は、不確実性 $1-p$ と設計変更を想定したアップグレード開発のタスク累積率 x_2 を用いて

$$(1-p)x_2 \quad (0 \leq x_2 \leq 1) \quad (3.3)$$

とする。

「マニュアル実行 (manual operation)」は、開発を実施しない戦略である。この戦略は、事業プロセスにおける暫定的な業務手順[6]の考慮や業務手順の改良、および人的リソースの調整により図3.3の提供で柔軟性向上を目論んでいる。マニュアル実行の戦略比重は、式(3.2)と式(3.3)を除いたものとなり、タスク累積率 x_1, x_2 を用いて

$$1 - px_1 - (1-p)x_2 \quad (3.4)$$

と表される。事業プロセスは、初期開発のタスクとアップグレードの開発タスク、およびそれ以外のマニュアル実行のタスクの累積処理で遂行される。従って、情報システムの柔軟性戦略の決定は、初期開発のタスク比率 x_1 と、アップグレード開発のタスク比率 x_2 の最適な配分設計を意味する。

3.3.3 開発と提供のコスト

開発段階のコストは、初期開発コスト I 、アップグレード開発コスト U のどちらも固定コストと変動コストの和で表現される。初期開発におけるタスク累積率 x_1 とアップグレード開発におけるタスク累積率 x_2 のそれぞれに式(3.1)を用いると、初期開発コスト I とアップグレード開発コスト U は、

$$I(x_1) = a + bL_v(x_1) \quad (3.5)$$

$$U(x_2) = cy + eL_v(x_2) \quad (3.6)$$

と表現される。

ここで a は、初期開発の固定コストを表す。初期開発の固定コストには、サーバー構築費用が計上される。また a には、プロジェクトを立ち上げるのに必要な設備コストと人件費を含める²。 b は、初期開発のタスク量に応じた変動コストを表す。 c は、アップグレード開発にかかる人件コストである。図3.1に示す提案モデルでは、アップグレードの固定コストをこの変数で扱う。 e は、アップグレード開発のタスク量に応じた変動コストを表す。 b や e の開発変動コストの係数は、集中度を用いた式(3.1)のローレンツ曲線で考慮される。また、アップグレード開発が無い場合を扱えるようにするため、

$$y = \begin{cases} 0 & x_2 = 0 \\ 1 & x_2 > 0 \end{cases} \quad (3.7)$$

とする。

提供段階において、開発したシステムの運用コスト O は、開発を伴う戦略の式(3.2)と式(3.3)を用いて

$$O(x_1, x_2) = d \cdot (px_1 + (1-p)x_2) \quad (3.8)$$

と表される。ここで d は、開発したシステム運用の作業コストを表す。作業コストに開発実施の戦略比重を係数として乗じたものが運用コスト O となる。

マニュアルコスト M は、式(3.4)を用いて、

$$M(x_1, x_2) = f \cdot (1+rg) \cdot (1-px_1 - (1-p)x_2) \quad (3.9)$$

とする。ここで、 f はマニュアル実行の作業コスト、 g は時間の深刻度 r に対するコスト乗率をそれぞれ表す。このコスト乗率 g は、緊急対応などの作業をした場合、作業コスト f に対し時間の深刻度をどの程度上乘せするかについて考慮した値である。マニュアルコスト M は、時間の深刻度による上乘せを加味したマニュアル実行の作業コストに、戦略比重を係数として乗じたものである。

²Gebauer, and Schober[34]には初期開発の人件費に関する記載がない。アップグレードの固定コストに人件費を扱っていることから、提案モデルの初期開発の固定コストには人件費を含める。

3.3.4 開発コストにおける技術難易度の考慮

技術サービスでは、技術蓄積に応じた提供者における技術難易度が重要になる。本研究における技術難易度とは、技術蓄積の状況に応じて、技術サービス提供者が、事業プロセスの品質確保に対して認識する難易度とする。技術サービス提供者の技術蓄積は、生産財の製造業者という背景から製品部門とサービス部門の双方を通じて行われる。製品開発で得た技術知識がサービス開発と提供の基礎となる。技術サービスの技術蓄積は、顧客が要求する情報提供に必要な測定、集計、および解析の技術的な業務に関する新たな経験、知識獲得を意味する。この技術蓄積により、技術サービス提供者は、ソリューション情報の質と量を顧客に要求されたタイミングで提供できる応答力と、コスト競争力を高める。

Gebauer, and Lee [35]は、事業プロセス特性とともに、技術成熟度をプロジェクト特性の概念として扱い、実装指針をインタビュー調査の結果から提案している。この実装指針は、段階的実装または一括実装の判断に有意義なものである。また、この研究[35]はシステム開発すべき業務範囲と、属人性に依存したリスクの考慮が必要であると指摘している。Gebauer, and Lee [35]の概念フレームワークでは、プロジェクト特性が事業プロセスの柔軟性戦略に及ぼす影響を調整する交互作用を考慮している。技術サービス支援ソフトウェアは、ERP (Enterprise Resource Planning)システムに比べてシステム規模が小さく、ライフサイクルが短い。この特徴から実装方針よりも開発要否の判断が重視される。

柔軟性戦略の分先行研究 ([22, 34, 35, 87])は、開発要否の判断を精緻化するものではなく、判断に技術難易度の考慮が欠如している。さらにプロジェクト特性における定量的な分析事例の提示がないため、コスト影響の分析へ適用する際に課題がある。技術難易度を考慮しない場合、先進的な技術を扱う技術サービスにおいては、システム開発コストを不適切に評価し、提供段階でのコスト効率化の機会を失う懸念がある。コストを適切に評価するには、技術難易度に応じたプロセス品質値をコストに反映する必要がある。

そこでプロジェクト特性を数値化してコストへ反映させるために、提案モデルは技術難易度を用いたプロセス品質値の関数表現を検討する。目標のプロセス品質値に達するために必要なタスク累積率は、この技術難易度によって異なる。先端技術を扱う技術サービスのよう、技術蓄積が少なく技術難易度が高い場

合、目標の品質値に達するには高いタスク累積率を要すると想定される。また、タスク累積率の増加に対する品質値の傾きは小さいことも想定される。対照的に、業界内で成熟技術とみなされている場合や、提供者において技術蓄積が多く技術難易度が低い場合、小さいタスク累積率でも目標の品質値に達すると想定される。従って、目標の品質値を満たさなければコストとして表出しない実態を反映する図3.4(a)に示すような関数表現が必要とされる。

この関数表現については、タスク累積率 x の決定をリソース配分と捉える。提案モデルではリソース配分のサービス設計に関する研究[18]で扱われているシグモイド関数を応用し、立ち上がり度合を表現する $t(0 \geq t \geq 1)$ を導入して

$$Q_t(x) = 1 / (1 + \exp(-60(1-t)(x-t))) \quad (3.10)$$

とする。この t が技術難易度を表しているため、 $Q_t(x)$ は技術難易度 t ごとのタスク累積率 x に応じたプロセス品質値を意味する。また、最大の品質値 $Q_t(x)$ は1となる。このプロセス品質値は、技術サービスにおける業務品質を意味する。例えば、技術サービス支援ソフトウェアを用いて顧客に報告書を提供する業務品質が相当する。式(3.10)はタスクが実行されていくにつれて、すなわちタスク累積率が高くなるにつれて、報告書の品質値が高まる。また、式(3.10)は報告書品質の最大値近傍で、品質値を高めることが難しい状況を反映している。

先行研究[34]は、図3.4(b)に示すローレンツ曲線で変動コストを考慮する。集中度が低い場合、先行研究[34]は、タスク累積率が低いと不適切なプロセス品質値でコストを見積る懸念がある。例えば、技術難易度が高いとタスク累積率が高まる必要があるにもかかわらず、 v が0.1や0.2でタスク比率が0.2以下のような範囲のコストが採用されてしまう場合である。

そこで、ローレンツ曲線 $L_v(x)$ を開発変動コストに反映させる割合を $Q_t(x)$ として考慮し、図3.4(c)に示すように、 $L_v(x)$ と $Q_t(x)$ の積として与えれば、一定のタスク累積率に達してから変動コストが考慮されると期待できる。また、タスク累積率が高いときに急激な立ち上がりを緩和させる働きも期待できる。従って、式(3.10)を式(3.5)に反映した初期コスト I は、タスク累積率 x_1 を用いて

$$I(x_1) = a + bL_v(x_1)Q_t(x_1) \quad (3.11)$$

と書き換えられる。同様に式(3.6)に反映したアップグレード開発コスト U は、タ

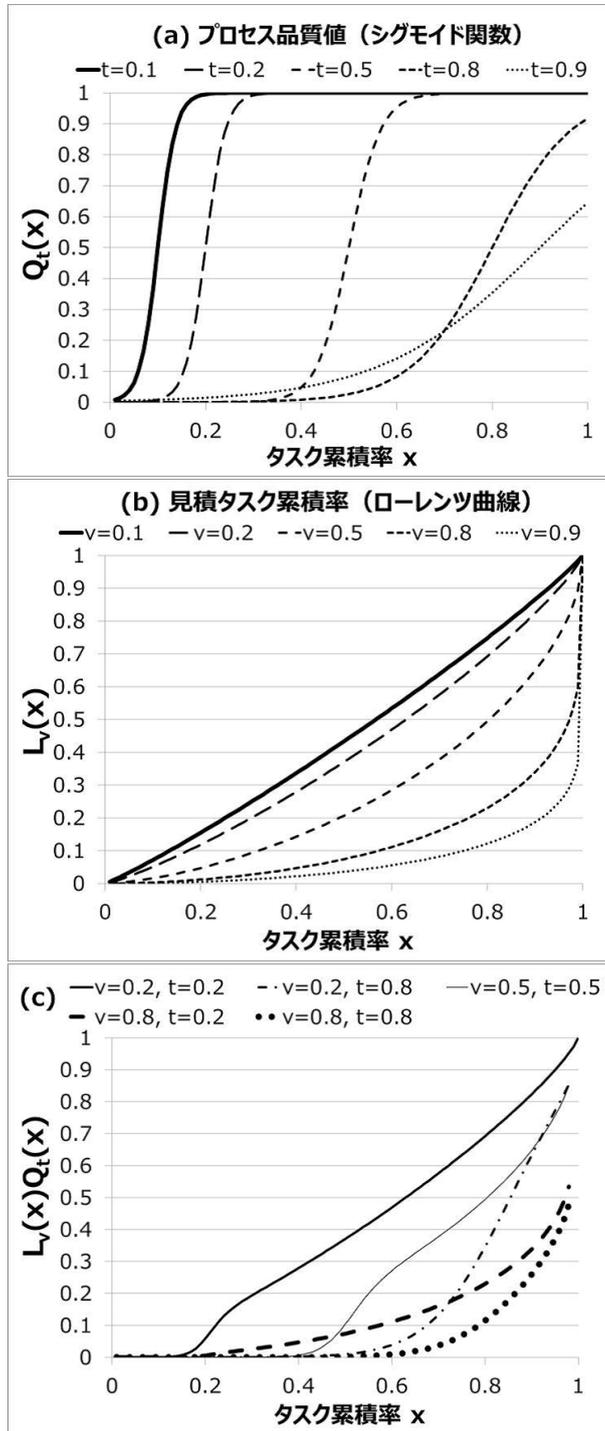


図 3.4: 開発段階の変動コスト評価に用いる関数表現

表 3.1: 設定変数の意味と設定値例

設定変数	意味	設定値
a : 初期開発の固定コスト	サーバー構築、プロジェクト用設備コスト	35
b : 初期開発の変動コスト	初期開発のタスク量に応じた変動コスト	290
c : 人件コスト	アップグレード開発にかかる人件コスト (固定コスト)	60
d : システム運用の作業コスト	開発したソフトウェアによる作業コスト	220
e : アップグレード開発の変動コスト	アップグレード開発のタスク量に応じた変動コスト	190
f : マニュアル実行の作業コスト	対象ソフトウェアを使わない場合の作業コスト	440
g : 時間の深刻度に対するコスト乗率	時間的な深刻度に応じて要するコスト乗率	0.3

スク累積率 x_2 を用いて

$$U(x_2) = cy + eL_v(x_2)Q_t(x_2) \quad (3.12)$$

と書き換えられる。なお、先行研究 [34] は、タスク累積率 x によらず常に品質は最大値 1 が得られることになる。すなわち式 (3.10) における任意の x について $Q_t(x) = 1$ が成り立つ場合に相当する。

3.3.5 提案モデルの総コスト算出と戦略決定

I, U, O, M の合計を総コストとし、式 (3.13) に示される総コストの最小化問題を解く。得られた解 x_1 と x_2 から式 (3.2), 式 (3.3), 式 (3.4) の柔軟性戦略の配分が定まる。

$$\text{Minimize } I(x_1) + U(x_2) + O(x_1, x_2) + M(x_1, x_2) \quad (3.13)$$

$$\text{subject to } 0 \leq x_1, x_2 \leq 1$$

ここで、 a から g の設定変数とその意味を表 3.1 にまとめる。表 3.1 の設定値は、後述する 3.4 章の事例分析に用いられる。

技術サービスへの適用に際して図 3.1 のモデルは、Gebauer, and Schober [34] の理論モデルに技術難易度を追加し、柔軟性戦略が開発の変動コストに及ぼす影響分析の精緻化を図る。この精緻化には、技術難易度に応じたプロセス品質値をコスト評価に反映できる配慮がなされている。さらに図 3.1 のモデルは、開発要否を精緻に分析できるようにするため、技術難易度が情報システムの柔軟性戦略に及ぼす影響を調整する交互作用を考慮している。このとき柔軟性戦略は、コスト最小化の観点で初期開発のタスク累積率 x_1 とアップグレード開発のタスク累積率 x_2 における最適な配分設計により決定される。

事業プロセス特性が柔軟性戦略に及ぼす影響分析について、Gebauer and Schober[34]は、後述の表3.4に示すERPシステムに関する1つのコスト事例を扱っている。この研究[34]は仮説を洗練させるために、分析結果では戦略比重の大きさを3段階で分類し、影響の強弱を報告している。ソフトウェア機能配備の研究では提案モデルの有効性の確認をするために、3.4章の事例分析で複数のプロジェクトコスト事例を扱って理論モデルとの比較を行う。またGebauer and Schober[34]と提案モデルの評価には、影響関係を定量的に把握するために回帰分析を用いる。理論モデルとの整合を確認するために、表3.2は、図3.1の提案モデルにおける柔軟性戦略への影響に関する仮説設定を示している。

表3.2の「+」は正の影響、「-」は負の影響、「0」は影響なし（無相関）をそれぞれ表す。事業プロセスが柔軟性戦略に及ぼす単独影響の関係は先行研究[34]と同じ設定である。表3.2の事業プロセス特性が柔軟性戦略に及ぼす単独影響のうち、確実性 p が及ぼす影響に注目すると、利用パターンへの柔軟性を重視する開発に正の影響、設計変更への柔軟性を重視する開発に負の影響、そしてマニュアル実行には影響を及ぼさないと読み取れる。

事業プロセスと技術難易度の交互作用に関する仮説設定は、Gebauer, and Lee[35]のプロジェクト特性にあるリスク(risk)と成熟度(maturity)の概念を参考に技術サービスの技術蓄積の実態を考慮している。その結果、集中度と技術難易度、および時間の深刻度と技術難易度の交互作用がマニュアル実行に及ぼす影響には、緩衝的交互作用[4]を仮定している。緩衝的交互作用とは、単独影響を弱める調整影響のことである。集中度と技術難易度の交互作用 vt がマニュアル実行に及ぼす影響について考える。表3.2の集中度 v がマニュアル実行に及ぼす単独影響は負の影響「-」を想定している。これに対し、集中度と技術難易度の交互作用 vt がマニュアル実行に及ぼす影響は「+」を想定している。従って、単独影響を弱める調整影響となる。また、時間の深刻度と技術難易度の交互作用 rt についても、表3.2は同様の見方になる。

表 3.2: コストを最小化する柔軟性戦略への影響に関する仮説設定

		開発実施の戦略比重		開発未実施の戦略比重
		利用パターンへの柔軟性を重視する開発 px_1	設計変更への柔軟性を重視する開発 $(1-p)x_2$	マニュアル実行 $1-px_1-(1-p)x_2$
事業プロセス特性の 単独影響	p: 確実性	+	-	0
	v: 集中度	+	+	-
	r: 時間の深刻度	+	+	-
技術難易度の 単独影響	t: 技術難易度	+	+	-
事業プロセス特性と 技術難易度の 交互作用	pt: 確実性×技術難易度	0	0	0
	vt: 集中度×技術難易度	-	0	+
	rt: 時間の深刻度×技術難易度	0	-	+

3.4 技術サービスのプロジェクトコスト事例分析

3.4.1 事例の概要

図3.1の提案モデルを無線通信業界の技術サービスの事例に適用する。技術サービス提供者は、50人程度の組織規模である。技術サービス提供者は、プロジェクトの規模と難易度に応じてチーム編成を行う。表3.1の設定値例は、2, 3名のプロジェクトメンバーが測定・解析の技術サービスを提供したプロジェクトコストの事例である。確実性 p は0.1, 0.5, 0.9の3水準（低, 中, 高）、集中度 v と時間の深刻度 r はそれぞれ0.2, 0.8の2水準（低, 高）、技術難易度 t は0.1, 0.2, 0.5, 0.8, 0.9の5水準（低から高）の離散的な値の組み合わせを設定する。技術サービスにおいて確実性は、技術の新規性に依存した違いが大きいため、先行研究の0.2, 0.5, 0.8に対して、0.1, 0.5, 0.9と設定している。

戦略配分の決定には、表3.1の a から g を式(3.8)、式(3.9)、式(3.11)、式(3.12)に代入し、式(3.13)から最小コストとなるタスク累積率 x_1, x_2 を求める。求め方は、タスク累積率 x_1, x_2 のそれぞれを0から1まで刻み幅0.01で変化させ、総コストが最小となる配分を探索する方法を採用している。この方法で適切に最小となる解が得られる確認については、付録Aを参照されたい。得られたタスク累積率 x_1, x_2 から式(3.2)、式(3.3)、式(3.4)により戦略配分が決定される。従って、最小コストになる戦略配分のサンプルは、1つの事例で60（ $= 3 \times 2 \times 2 \times 5$ ）サンプルが得られることになる。また、Gebauer and Schober[34]についても同様の探索方法でサンプルを得る。このとき式(3.13)は、式(3.5)、式(3.6)、式(3.8)、および式(3.9)の和となる。

3.4.2 事業プロセス特性と技術難易度が柔軟性戦略に及ぼすそれぞれの単独影響

事業プロセス特性と技術難易度が、コストを最小化させる柔軟性戦略に及ぼす影響変化を定量的に分析するために、回帰分析を行う。この分析では、事業プロセス特性の確実性 p 、集中度 v 、時間の深刻度 r 、および技術難易度 t を説明変数とする。また、利用パターンへの柔軟性を重視する開発 px_1 を被説明変数 Y とする。このとき、サンプル $i(i = 1, 2, \dots, 60)$ について各説明変数の設定値 p_i, v_i, r_i, t_i における被説明変数 Y_i の回帰式は、

$$\begin{aligned} Y_i = & \alpha + \beta_1 p_i + \beta_2 v_i + \beta_3 r_i + \beta_4 t_i + \beta_5 (10(p_i - 0.5)(t_i - 0.5)) \\ & + \beta_6 (10(v_i - 0.5)(t_i - 0.5)) + \beta_7 (10(r_i - 0.5)(t_i - 0.5)) \\ & + \epsilon_i, \quad \epsilon_i \sim N(0, \sigma^2) \end{aligned} \quad (3.14)$$

と書ける。ここで、 α は定数項、 β_1 から β_7 は、偏回帰係数を表し、 ϵ_i は誤差項である。60サンプルのデータから、式(3.14)の定数項と偏回帰係数を求める。また、式(3.14)は、確実性と技術難易度の交互作用を $10(p - 0.5)(t - 0.5)$ の係数 β_5 により評価する。集中度と技術難易度、時間の深刻度と技術難易度の交互作用も同様に係数 β_6, β_7 をそれぞれ評価する。被説明変数 Y を設計変更への柔軟性を重視する開発 $(1 - p)x_2$ とした場合と、マニュアル実行 $1 - px_1 - (1 - p)x_2$ とした場合もそれぞれ同様の回帰分析を行う。

表3.3は、回帰分析の結果を示す。表3.3のGSモデルは、先行研究[34]のモデルによって得られる結果を表す。GSモデルも同様に60サンプルを得ている。このとき、サンプル $i(i = 1, 2, \dots, 60)$ について各説明変数の設定値は、 p_i, v_i, r_i となるため、式(3.14)の回帰式は、

$$Y_i = \alpha + \beta_1 p_i + \beta_2 v_i + \beta_3 r_i + \epsilon_i, \quad \epsilon_i \sim N(0, \sigma^2) \quad (3.15)$$

と表すことができる。表3.3のGSモデルでは、式(3.15)の定数項 α と、 β_1 から β_3 の偏回帰係数を求める。なお、 ϵ_i は式(3.14)と同じく誤差項である。

事業プロセス特性 p, v, r のそれぞれが、柔軟性戦略のそれぞれに及ぼす影響関係は、先行研究[34]から仮説設定した表3.2に示す関係と概ね整合している。開発実施の戦略配分は、確実性 p に強く依存する。確実性 p は、利用パターンへの柔

表 3.3: 事業プロセス特性と技術難易度が柔軟性戦略に及ぼす影響

TSSS 1(N=60)	開発実施の戦略比重				開発未実施の戦略比重	
	利用パターンへの柔軟性を重視する開発 px_1		設計変更への柔軟性を重視する開発 $(1-p)x_2$		マニュアル実行 $1-px_1-(1-p)x_2$	
	GSモデル	提案モデル	GSモデル	提案モデル	GSモデル	提案モデル
(Intercept)	-0.341	-0.295	0.278	0.400	1.060	0.894
p: 確実性	0.678	0.672	-0.762	-0.817		0.146
v: 集中度	0.375	0.261	0.325	0.226	-0.700	-0.487
r: 時間の深刻度	0.117		0.355	0.192	-0.472	-0.245
t: 技術難易度		0.174		0.178		-0.352
pt: 確実性×技術難易度		0.0267				
vt: 集中度×技術難易度		-0.0433				0.0746
rt: 時間の深刻度×技術難易度				-0.0451		0.0547
寄与率	0.854	0.878	0.674	0.806	0.595	0.695
自由度調整済み寄与率	0.834	0.862	0.630	0.780	0.541	0.654

有意水準5%で棄却される係数のみ記載

柔軟性を重視する開発戦略に正の影響を及ぼし、設計変更への柔軟性を重視する開発戦略に負の影響を及ぼす。また、集中度 v と時間の深刻度 r は、ともにマニュアル実行に負の影響を及ぼす。提案モデルにおいて表3.2の仮説設定と異なる点は、確実性がマニュアル実行に対して正の影響を及ぼしていることである。

集中度が高くなると、技術サービス支援ソフトウェアの対象となるプロセスの複雑さが少なくなり、要求仕様が簡潔になる。その結果、開発によるコスト効率を高めやすくなるため、マニュアル実行の比重が低下すると捉えられる。常時発生しているプロセスと異なり、緊急性の高い臨時のプロセスが多ければ、マニュアル実行のコストが高くなる。従って、時間の深刻度が高くなると開発実施が推奨されるため、時間の深刻度がマニュアル実行に負の影響を及ぼすと理解できる。

さらに提案モデルの結果は、技術難易度がマニュアル実行に負の影響を及ぼす。技術難易度が高くなると、リスクをとってでも開発した方がコスト効率を高めることの現れであり、技術サービス支援ソフトウェアが、スキルを補完する役割で開発されるためと考察できる。遂行が簡単なプロセスはマニュアル実行でよく、難しいプロセスは開発したシステムで実行することが望ましい。この要因は、技術者の属人的なスキルに依存したマニュアル実行を減らすソフトウェア開発が、コスト効率化に貢献する現れと捉えられる。従って、技術者の属人性の影響を考慮した表3.2の仮説設定と整合する結果が得られていると分かる。

3.4.3 柔軟性戦略に及ぼす事業プロセス特性と技術難易度の交互作用

表3.3の事業プロセス特性と技術難易度の交互作用が及ぼす影響は、確実性の影響を除いて表3.2の想定と整合する結果が得られている。想定と異なる点は、技術難易度 t が確実性 p との交互作用により、確実性 p が利用パターンへの柔軟性を重視する開発に及ぼす正の影響を強める交互作用が見られる点である。

確実性 p がマニュアル実行に及ぼす単独影響の想定と異なっている点は、前述で指摘されている。しかしながら、技術難易度 t と確実性 p との交互作用はマニュアル実行に影響を及ぼさない。これらの結果から、確実性 p がマニュアル実行に単独で及ぼす影響と、技術難易度 t と確実性 p との交互作用が利用パターンへの柔軟性を重視する開発だけに及ぼす影響のメカニズムがそれぞれ存在するかを検討する必要がある。これらの再現性は、表3.3が1つのプロジェクトコスト事例の結果であるため確認できない。従って、提案モデルの分析は後述する複数のプロジェクトコスト事例の結果から、この事象の再現性をふまえて考察する。

技術難易度 t が集中度 v との交互作用 vt により、集中度 v のマニュアル実行に及ぼす負の影響を弱める調整影響、すなわち開発実施の推奨を弱める影響を確認できる。この技術難易度 t と集中度 v との交互作用は、ソフトウェア機能として実装する業務範囲に依存した戦略への影響と捉えられる。技術難易度 t と集中度 v がともに高くなる場合は技術蓄積が少ないため、ソフトウェア機能として実装できる業務範囲が狭く、コスト効率に貢献しないと推察される。これは、マニュアル実行を通じた技術蓄積を経た後、開発戦略の再検討を推奨する状況と理解できる。その結果、マニュアル実行に及ぼす負の影響を弱めることになる。技術難易度 t と集中度 v がともに低くなる場合は、技術蓄積が十分でもプロセスに変動が多すぎて、ソフトウェア開発に不適な状況と判断される。これは柔軟性戦略の検討段階で自明の場合が多いと想定される。

また表3.3の結果から、技術難易度 t と時間の深刻度 r の交互作用 rt においても、マニュアル実行に及ぼす負の影響を弱める調整影響を確認できる。この交互作用は、属人性の許容と対応スピードに依存した戦略への影響と捉えられる。技術難易度 t と時間の深刻度 r がともに高くなる場合は、難易度が高い上に緊急性を要することを意味する。これは、スキルを補完し属人性をなくす技術サービス支援ソフトウェアの開発よりも、属人性を許容して対応可能なスキルの高い技術

者で対応することがやむを得ない状況と推察される。また、技術難易度 t と時間の深刻度 r がともに小さくなる場合は、属人性がなくマニュアル実行で効率的に処理できるプロセスと解釈され、開発自体がコスト悪化につながる状況と推察される。その結果、マニュアル実行に及ぼす負の影響が弱まると推察される。

技術難易度 t が高い条件で時間の深刻度 r が低くなると、マニュアル実行への負の影響は強まる。開発期間を確保できるようになる場合、設計変更への柔軟性を重視する開発により、属人性をなくす技術サービス支援ソフトウェア開発の重要度が高いことの現れと捉えられる。このことは、 rt が負となる場合に設計変更への柔軟性を重視する開発へ正の影響を及ぼす交互作用からも確認できる。従って、時間の深刻度 r と技術難易度 t の交互作用は、サービス提供が求められるタイミングによって属人性に依存したマニュアル実行か、属人性をなくすための技術サービス支援ソフトウェア開発実施のどちらがコスト効率化に効果的であるかを分析することに役立つ。

また表3.3の結果から、提案モデルはGSモデルに比べて回帰分析における自由度が大きい。モデルの説明力を自由度調整済み寄与率で比較すると、マニュアル実行への影響において提案モデルがGSモデルよりも10%高い説明力を確認できる。さらに開発方針について設計変更への柔軟性の説明力が15%向上している。技術サービスにおいては、開発要否にかかわる意思決定が難しいとされる。これは、GSモデルが事例として扱っているERPシステムと異なり、技術サービス支援ソフトウェアはシステム規模が小さく、システムライフサイクルが短いことが要因と考える。この要因により、長期的に将来の設計変更を想定するERPに比べて、技術サービス支援ソフトウェアは開発の初期段階で設計変更をどのくらい見込んで開発要否を判断するかが重要になるためである。従って、開発要否の戦略比重を精緻に分析できることは有意義である。マニュアル実行への影響要因として、GSモデルは集中度、時間の深刻度の順に強い影響を及ぼしている。これに対し提案モデルは、技術難易度が時間の深刻度と同等以上の影響を及ぼしている。このことから技術難易度の導入によるモデル拡張が、影響分析において説明力を高めていることが推察される。

3.4.4 製造の柔軟性と情報システム柔軟性の類似性

製品開発の柔軟性戦略[22, 93]では，利用パターンへの柔軟性と設計変更への柔軟性に類似する概念として，「改良製品への生産柔軟性 (modification flexibility)」と「新製品への生産柔軟性 (new product flexibility)」が存在し，トレードオフの関係があると述べられている．表2.1で紹介した「改良製品への生産柔軟性 (modification flexibility)」は，既存製品の改良や電気電子回路の修正に対する生産対応力をさす．これは，情報システム開発の「利用パターンへの柔軟性 (flexibility to use)」と類似する．「新製品への生産柔軟性 (new product flexibility)」は，既存の製造設備で新しい製品や部品の製造を可能にする設計能力をさす．これは情報システム開発の「設計変更への柔軟性 (flexibility to change)」に相当する．

製品開発の先行研究[22, 93]では，新製品の生産柔軟性だけについてトレードオフではなく，単純にコスト効率を劣化させる悪影響が存在することが指摘されている．情報システム開発の「設計変更への柔軟性 (flexibility to change)」として捉えた場合，情報システム開発の先行研究は，この悪影響の存在は指摘されておらず考察も存在しない．技術難易度の理論モデルへの導入は，詳細な分析を可能にする．まず，トレードオフの関係は，確実性 p について式(3.2)と式(3.3)から確認できる．

さらに，技術難易度 t がマニュアル実行に及ぼす負の影響の考察から，難易度の低いプロセスはマニュアル実行でよく，難易度の高いプロセスは，開発したシステムによる実行によって，技術者の属人的なスキルに依存したマニュアル実行を減らす方が，コスト効率化につながる．さらに，集中度 v と技術難易度 t の相互作用が開発選択へ悪影響，すなわち負の影響を及ぼすケースを見出せる．これは，技術難易度が高く集中度が高い状況と，技術難易度が低く集中度が低い状況で，マニュアル実行の配分が高まるケースに相当する．

製品開発において前者は，モジュール部品が機能不足，あるいは仕様を満たせず追加コストが発生してしまうケースと推察される．後者は，製法は確立しているものの歩留まりが悪い状況になることが推察される．前者は技術蓄積を要するケースで3.4.3章で指摘した開発実施せず技術蓄積を経た後，開発戦略の再検討を推奨する状況と理解できる．製品開発は開発したシステムの生産が前提となるため，情報システムのように開発未実施の戦略がない．従って，コスト効

表 3.4: 追加した事例の設定値

設定変数	TSSS 1	TSSS 2	TSSS 3	TSSS 4	TSSS 5	TSSS 6	TSSS 7	ERP
a: 初期開発の固定コスト	35	34	34	128	128	128	8582	100
b: 初期開発の変動コスト	290	500	500	100	100	100	480	300
c: 人件コスト	60	100	100	30	30	30	203	50
d: システム運用の作業コスト	220	320	208	320	640	320	26650	800
e: アップグレード開発の変動コスト	190	300	300	50	50	50	480	300
f: マニュアル実行の作業コスト	440	832	832	625	1280	1280	106600	1500
g: 時間の深刻度に対するコスト乗率	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.7
Ratio1: 提供段階のタスク工数比率	2	2.6	4	1.95	2	4	3	1.88
Ratio2: 開発コスト比率	1.81	1.51	1.37	1	0.74	0.49	0.46	1.03

太字はプロジェクトコストの実事例データ、細字は実事例に基づきと後変更したデータ

率化の劣化を招くと推察できる。後者は、製造システム以外の要因により品質のばらつきが大きい場合と推察される。この場合は、歩留まりが悪く量産に適さないためコスト効率化が劣化すると推察される。

従って、技術難易度の高低を扱うことで、設計変更への柔軟性を重視する開発に積極的になるべきではないケースの指摘から、製造柔軟性の先行研究[22, 93]で指摘されるコスト効率への悪影響を精緻に説明できる。この説明が可能となるのは、技術サービス提供者が生産財の製造業者であり、商材の開発と生産提供に関する事業環境に類似要素があることが要因と考えられる。

3.4.5 事例の追加

コスト構造の違いによる戦略配分を把握するため、表3.1の設定例をTSSS 1とし、TSSS 7までプロジェクトコストの事例を追加した表3.4の分析を行う。また、表3.4には、電子部品を購入するERPシステムの設定値[34]もあわせて追加する。

太字で示すケースは、実際のプロジェクトコストである。細字で示す事例の追加には、2種類のコスト比率Ratio 1とRatio 2に考慮している。Ratio 1は、提供プロセスにおいて開発したシステムを運用したコスト*d*に対して開発を実施していないコスト*f*が何倍になるかを意味する。従って、技術サービスを提供する技術者の業務効率が何倍向上するかに着目した数値である。Ratio 2は、開発費用を含めた総コストで開発を伴うシステムによる提供コストと、開発実施しない提供コストの比率を示す。従って、Ratio 2が高ければ、開発費用が割高に見えるプロジェクトと理解できる。プロジェクト規模と難易度に応じてチーム編成が行

われることが、 d や f の設定値に関連する。TSSS 3にTSSS 6と同じ運用の作業コスト d を想定したTSSS 2と、2倍の運用の作業コストを想定したTSSS 5を扱う。Ratio 2がERPと同様に1に近い値となるように、TSSS 6の f を設定したTSSS 4を追加する。なお、TSSS 1からTSSS 7はRatio 2について降順に並んでいる。

初期開発とアップグレード開発の変動コスト b と e の関係は、ERPでは同程度である。技術サービスにおいては初期開発の変動コストに比べてアップグレード開発の変動コストが低くなる傾向がある。これは、技術蓄積を反映して開発を進めていくことと、ERPに比べてソフトウェアの開発規模が小さいことが、コスト削減につながりやすい現れと考える。大規模なプロジェクトケースTSSS 7における変動コストの関係は、ERPと類似したケースになる。

3.4.6 提案手法の評価

複数の事例データについて事業プロセスと技術難易度が柔軟性戦略に及ぼす影響変化を定量的に把握するために、表3.4からコスト最小化の戦略配分のサンプルを求めて回帰分析を行う。式(3.14)と同様に、事業プロセス特性と技術難易度を説明変数とする。さらに複数の事例についてコスト構造を表すRatio 1, Ratio 2も説明変数として扱う。また、式(3.14)と同様に、利用パターンへの柔軟性を重視する開発戦略の比重 px_1 を被説明変数 Y とする。このときサンプル数は、3.4.1章で示した取得方法に従い、60サンプルを8ケースについて扱うため480となる。サンプル i ($i = 1, 2, \dots, 480$)について各説明変数の設定値 $p_i, v_i, r_i, t_i, (Ratio1)_i, (Ratio2)_i$ における被説明変数 Y_i の回帰式は、

$$\begin{aligned}
 Y_i &= \alpha + \beta_1 p_i + \beta_2 v_i + \beta_3 r_i + \beta_4 t_i + \beta_5 (10(p_i - 0.5)(t_i - 0.5)) \\
 &+ \beta_6 (10(v_i - 0.5)(t_i - 0.5)) + \beta_7 (10(r_i - 0.5)(t_i - 0.5)) \\
 &+ \beta_8 (Ratio1)_i + \beta_9 (Ratio2)_i \\
 &+ \epsilon_i, \quad \epsilon_i \sim N(0, \sigma^2)
 \end{aligned} \tag{3.16}$$

と書ける。ここで、 α は定数項、 β_1 から β_9 は、偏回帰係数を表し、 ϵ_i は誤差項である。480サンプルのデータから、式(3.16)の定数項と偏回帰係数を求める。また、式(3.16)は、式(3.14)と同様に交互作用の評価を含んでいる。被説明変数 Y を設計変更への柔軟性を重視する開発戦略の比重 $(1-p)x_2$ とした場合と、マ

表 3.5: 追加事例における事業プロセス特性と技術難易度が柔軟性戦略に及ぼす影響

8 Cases (N=480)	開発実施の戦略比重				開発未実施の戦略比重	
	利用パターンへの柔軟性を重視する開発 px_1		設計変更への柔軟性を重視する開発 $(1-p)x_2$		マニュアル実行 $1-px_1-(1-p)x_2$	
	GSモデル	提案モデル	GSモデル	提案モデル	GSモデル	提案モデル
(Intercept)	0.121	0.117	1.053	1.041	-0.174	-0.158
p : 確実性	0.964	0.933	-1.019	-1.012	0.054	0.078
v : 集中度	0.104	0.089	0.078	0.061	-0.181	-0.150
r : 時間の深刻度	0.040	0.030	0.072	0.048	-0.116	-0.078
t : 技術難易度		0.042		0.030		-0.072
pt : 確実性×技術難易度						
vt : 集中度×技術難易度		-0.010				0.015
rt : 時間の深刻度×技術難易度						
Ratio 1 : 提供段階のタスク工数比率 f/d	-0.020	-0.022			0.023	0.028
Ratio 2 : 開発コスト比率 (a+b+c+d+e)/f	-0.200	-0.177	-0.176	-0.147	0.375	0.324
寄与率	0.933	0.931	0.895	0.937	0.537	0.586
自由度調整済み寄与率	0.932	0.929	0.893	0.935	0.528	0.578
有意水準5%で棄却される係数のみ記載						

マニュアル実行の比重 $1 - px_1 - (1 - p)x_2$ とした場合のそれぞれについても、同様の回帰分析を行う。

回帰分析の結果を表3.5に示す。表3.5のGSモデルの結果は、表3.3と同様に Gebauer, and Schober[34]のモデルに適用して得られた結果を表す。GSモデルについても同様に480サンプルを得ており、式(3.16)の回帰式は、

$$Y_i = \alpha + \beta_1 p_i + \beta_2 v_i + \beta_3 r_i + \beta_4 (\text{Ratio } 1)_i + \beta_5 (\text{Ratio } 2)_i + \epsilon_i, \quad \epsilon_i \sim N(0, \sigma^2) \quad (3.17)$$

としている。表3.5のGSモデルでは、式(3.17)の定数項 α と偏回帰係数 β_1 から β_5 を求める。なお、 ϵ_i は式(3.16)と同じく誤差項である。

提案モデルについて、事業プロセス特性 p, v, r と技術難易度 t が柔軟性戦略のそれぞれに及ぼす単独影響の結果は、表3.5と同様である。また、集中度 v と技術難易度 t がマニュアル実行に及ぼす交互作用が及ぼす影響結果についても、表3.5は表3.3と同様の傾向を確認できる。Ratio 1とRatio 2では、Ratio 2の方がより大きく影響する。提供プロセス段階でのコスト効率化を示すRatio 1ではなく、コスト構造を総合的に捉えるRatio 2に着目することが重要である、という結果は理解できる。

表3.2の仮説設定に対して、表3.3では、確実性 p がマニュアル実行に単独で及ぼす影響のメカニズムと、確実性 p と技術難易度 t の交互作用が利用パターンへの

柔軟性を重視する開発戦略だけに及ぼすメカニズムが、それぞれ存在するかを検討する必要性を指摘している。表3.5において、確実性 p がマニュアル実行に及ぼす単独影響は、正の影響である。利用パターンへの柔軟性を重視する開発戦略への単独影響も正の影響である。マニュアル実行に及ぼす影響で仮説設定と異なり、正の影響である点は、表3.3と同様である。さらに表3.5の結果は、提案モデルだけではなく、GSモデルにおいてもこの影響関係を確認できる。従って、先行研究[34, 35]をもとにしたマニュアル実行に及ぼす影響の仮説設定は見直す必要があると理解できる。

また、確実性 p と技術難易度 t の交互作用が利用パターンへの柔軟性を重視する開発だけに正の影響を及ぼしている表3.3の結果は、表3.5では確認されない。このことは、確実性と技術難易度の相関がない前提の仮説設定に起因すると考える。技術サービスでは、技術難易度と確実性に負の相関関係が考えられる。先端技術を扱っているために技術難易度が高ければ、不確実性が高い、すなわち確実性が低いという状況がありえる。この状況を考慮すると、確実性と技術難易度の相関を加味したモデルが、さらに柔軟性戦略に及ぼす影響関係を明らかにできると推察される。

表3.2の仮説設定では、技術者の属人性が影響することを想定した時間の深刻度 r と技術難易度 t の交互作用について負の影響を想定している。この影響関係は、表3.5において確認されない。技術者の属人性について仮説設定との整合は、プロジェクト全体における開発のコスト構造に依存すると推察される。表3.3と表3.5の結果について、表3.2の仮説設定と一貫して整合している結果は、集中度と v と技術難易度 t のそれぞれが各柔軟性戦略に及ぼす単独影響関係と、集中度と v と技術難易度 t の交互作用が各柔軟性戦略に及ぼす影響関係である。従って、開発によってシステム化するべき業務範囲の仕様化が可能かという観点で、技術難易度の導入は、開発要否の戦略分析を精緻化することに有益であると分かる。

表3.5の結果から提案モデルの説明力に関して、マニュアル実行について自由度調整済み寄与率が5%程度の向上を確認できる。設計変更への柔軟性を重視する開発実施に踏み切れるかを判断する場面で、TSSS 1のケースでは、表3.3からマニュアル実行の自由度調整済み寄与率が0.54から0.65へ10%程度向上することを確認できる。さらに開発方針について設計変更への柔軟性の説明力が15%向上

している。開発方針を分析する式(3.2), 式(3.3)に比べて, 開発要否を考慮するマニュアル実行に対する自由度調整済み寄与率の値は低い。技術サービス支援ソフトウェアの開発方針を決定することは, ERPシステムに比べて容易だが, 開発実施の要否判断は難しいことが多い実情の現れと捉えられる。

表3.5の自由度調整済み寄与率について, 開発未実施の比重を決める, すなわち開発要否を判断するマニュアル実行の比重に対する値が, その他2つの開発実施の戦略比重に関する値よりも低い。また, 提案モデルの値は, GSモデルの結果に比べて同等以上の高い値を示している。従って, 判断の難しさに整合し提案モデルがGSモデルに比べて高い説明力を有すると分かる。特にRatio 2が大きい, すなわち開発コストが割高なTSSS 1において提案モデルの有効性は, 表3.3のマニュアル実行における自由度調整済み寄与率の結果から顕著になると分かる。開発コストが割高に見える判断が困難な場面で, 技術難易度が説明力向上に大きく貢献することを確認できる。

3.4.7 コスト構造の違いによる戦略配分

表3.4に示す各プロジェクトについて, 典型的な技術サービスの事業プロセス特性は以下を想定する。

- 確実性 p : 顧客要望に対し類似した解析経験はあるが, 全く同じ要望の解析をしたことがないため「中程度 ($p = 0.5$)」とする。
- 集中度 v : 解析に必要なデータ取得のために測定機器の構成や設定が変更されることや, 取得項目が追加されることが頻繁にあるため「低 ($v = 0.2$)」とする。
- 時間の深刻度 r : 協議して納期設定がなされることが多いため「低 ($r = 0.2$)」とする。

この想定に基づき, 図3.5は表3.4に示すコストケースについて得られた柔軟性戦略の配分を表す。図3.5(a)はGSモデルの結果, 図3.5(b)は提案モデルの結果をそれぞれ表している。また, 上段は技術難易度が高い場合, 下段は技術難易度が低い場合をそれぞれ表す。

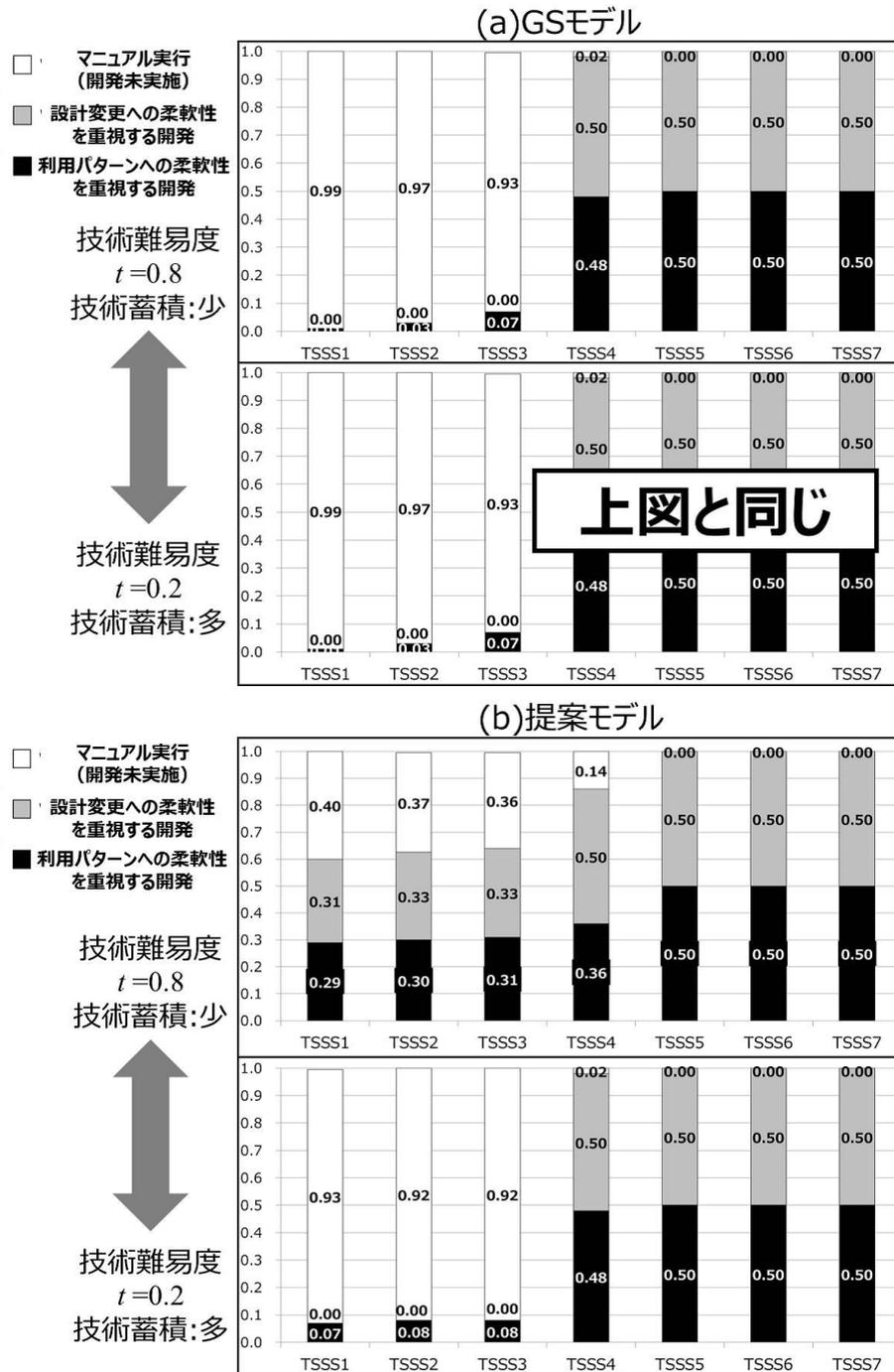


図 3.5: コスト構造の違いによる柔軟性戦略の配分

GSモデルの結果は、技術難易度の影響を考慮しないため図3.5(a)の上下が同じになる。また、技術難易度が低い場合は、提案モデルとGSモデルに違いはほとんどない。これは、技術難易度が低いほど、式(3.11)、式(3.12)における $Q_t(x_1) = 1, Q_t(x_2) = 1$ がそれぞれ成り立つ傾向に近づくためと考察できる。さらに、Ratio 2が1未満のTSSS 5からTSSS 7の結果は、提案モデルとGSモデルのいずれも差違がほとんどない。これは開発のコスト割合が低いため、提案モデルとGSモデルの両方のモデルで開発を推奨している結果と理解できる。

開発コスト比率Ratio 2が1を超えて大きい値になるTSSS 1からTSSS 3において、集中度が低く技術難易度が高い場合は、マニュアル実行の比重が低下し開発を推奨する結果となり、表3.3と整合する。これは、技術難易度 t を考慮した影響が顕著なケースであると理解できる。この事業プロセス特性の条件ならば、技術難易度の高い状況で設計変更への柔軟性を重視する開発がコスト効率を高めると解釈できる。つまり、開発費用が割高に見えても設計変更への柔軟性を高める開発に積極的に注力するべきだという指針が得られる。

Ratio 2が1.0程度の場合、開発要否の判断は難しいと想定される。TSSS 4に着目すると、TSSS 5の結果と比較して技術難易度の高い場合にマニュアル実行の配分が高くなる。これは、初期開発とアップグレード開発の開発変動コストについて、TSSS 5と比べたときにRatio 1の値は同程度であるが、 d と f の差でみたときにTSSS 4の効率化規模が小さい。さらに、Ratio 2の開発コスト比率はTSSS 4の方が割高に見える。これらの結果から、TSSS 4は開発を重視するのが得策ではないため、マニュアル実行の配分が高くなることは、適切な戦略配分であると理解できる。従って、提案モデルがコスト構造を適切に戦略配分へ反映できることを確認できる。

3.5 プロセス柔軟性とソフトウェア機能配備のまとめ

ソフトウェア機能配備の研究では、技術サービス提供者が事業プロセスに対する柔軟性を高めるために、コスト観点で情報システムの柔軟性戦略を分析できるモデルを提案した。技術サービスへの適用に向けて、提案モデルは先行研究のモデルに技術難易度を導入し、開発の変動コスト評価式を拡張している。事例分析では、提案モデルを複数のプロジェクトコストの事例に適用し、技術難易度

が戦略配分に及ぼす影響を回帰分析の結果から考察した。先行研究に比べて開発要否に関わるマニュアル実行の戦略配分を精緻に分析できることを示した。

情報システム分野の理論研究[34]を複数のコスト事例に適用し、技術サービスに適用できる実用性を評価した点は、ソフトウェア機能配備の研究の学術的な貢献と考える。具体的には、現実性がマニュアル実行に及ぼす影響関係の仮説を見直すべきであると指摘できたことである。提案したモデルの拡張を考慮し、複数の事業領域とコスト構造を反映した評価は、理論モデルを応用できる見通しを得ることにつながる。

また、製品開発の柔軟性戦略[22]において、新製品の製造柔軟性の選択がコスト効率に悪影響を及ぼす事象について、技術難易度を考慮した情報システム戦略の分析視点から明らかにする考察を示した意義は大きいと考える。技術サービス提供者が生産財の製造業者であることを踏まえると、技術サービス提供者が分析で得た施策を理解しやすいと期待できる。そのため、モノづくりとサービスづくりの技術難易度という指標を柔軟性の脈絡で考察した報告は、研究者と実務家の双方に有益と考える。

事例分析では、コスト構造上、開発コストが割高に見えても、技術難易度が高い場合に技術サービス支援ソフトウェア開発の方が望ましいケースを見出した。このケースの施策は、開発投資に対して積極的にリスクをとる判断になり、技術サービス提供者からは敬遠されやすい可能性もある。しかし提案手法はさらに、集中度と技術難易度の相互作用の結果から一方的に開発することが望ましいわけではなく、開発が不適切となる2つの状況も指摘している。この一連の検討が可能であることは、技術サービスにおける戦略検討の実務に有益となりえる。

技術サービス支援ソフトウェアの開発要否を精緻な分析にするために、技術難易度はプロジェクト特性としての役割をもつ。ERPシステムに適用する場合は、段階的実装とすべきか一括実装とすべきかの判断に貢献すると考える。ERPシステムは、開発するシステムの規模が技術サービス支援ソフトウェアに比べて大きい。このため、システム企画者は半年から一年といった一定期間が経過した後に、既存設備の置換が発生することを事前に計画しておく必要がある。その結果、移植性や設計変更を段階的に行う配慮が必要になる。これに対し、技術サービス支援ソフトウェアは移植性や設計変更はあまり考慮されず、カスタマ

イズ能力を向上させる開発が繰り返される。技術難易度の考慮は、開発要否や実装方針の分析に役立つと期待できる。

最後に、提案モデルを適用する際の留意すべき点と、新たに見つかった研究課題を以下にあげる。第一は、事業プロセスと技術難易度の各指標間には無相関（直交性）を仮定している点である。提案モデルの適用事例では、いくつかの水準の組み合わせを設定した分析を行っている。技術サービスにおいて先端技術を扱った場合に、技術難易度は不確実性と負の相関をもっている可能性がある。概ね想定した影響関係を示す結果を得ているが、TSSS 1の確認結果は確実性と技術難易度の交互作用が、主効果をさらに強める効果と捉えることもできる。指標間の相関を考慮し、精緻化させたモデルが今後必要になると考える。

第二は、技術蓄積の状況を考慮する際、技術難易度と生産性に仮定を置いている点である。この点のモデルの精緻化には、技能獲得に関する研究の知見を反映させた研究が必要になる。第三は、適用事例が無線通信業界の技術サービスと技術サービス支援ソフトウェアに偏っている点である。従って、本提案モデルを様々な技術サービスと技術サービス支援ソフトウェアへ適用し検証することが必要である。例えば、建設メーカーの構造解析や機械メーカーの流体解析などによる設計知識を提供する技術サービスや技術サービス支援ソフトウェアがあげられる。また、人命に関わる医療や製薬に関する技術領域においては、開発コストの割高な程度を無視する想定もあり得る。事例分析で扱った技術難易度やコストについては、異なる戦略決定の基準が適用されるかもしれない。有識者でなくとも適切に条件設定を与えられるようにするには課題が残るが、提案モデルは強力なシステム開発企画のツールになりえる。今後これらの課題解決に向けた研究が期待される。

第4章 技術サービス支援ソフトウェア開発 における機能選択のための情報整理 と可視化

4.1 ソフトウェア開発における発注者の機能選択の研究背景

情報システムの導入失敗や見積合意におけるトラブルの問題について、いくつかの要因が指摘されている[51, 38]. 導入失敗について、開発における関与不足、要求の曖昧さ、頻繁な仕様変更といった発注者に起因する問題が指摘されている[38]. 見積合意のトラブルは、開発者の見積説明の透明性が欠如してしまうことと、開発者と発注者で共通に理解できる見積手法がないことが要因として指摘されている[51]. 本研究の開発の機能選択のテーマでは、情報通信系の研究開発サービスや技術サービスに用いられる技術サービス支援ソフトウェアを対象とする. このソフトウェアには、技術検討のためのシミュレーション機能を実装したものや、測定機器により取得したデータを読み込み、解析を行うための機能を実装したものがある.

技術サービス支援ソフトウェア開発においても、前述の発注者に起因する問題が、次の理由により当てはまる. 開発への関与不足については、ハードウェアとソフトウェアの違いを発注者が理解していない要因が指摘されている[40]. 技術サービス支援ソフトウェアの買い手と売り手は、双方とも技術者である. この場合、ソフトウェア開発に精通していない発注者は、要求を仕様化したり設計値へ落とし込む作業を、ソフトウェア開発者だけで対応可能な作業と想定しやすい、その結果、発注者が開発関与を不要と認識しがちになる.

開発の企画段階では、将来的なシステムの拡張や仕様変更に対応させたいという発注者の要望があり、要求が抽象的になったり、曖昧さが生じやすくなる. また、技術変化や事業変化の速い情報通信系の業界では、機能の適時性が重視

される。適時性とは、ある機能の適切な発注時期が今だと認識される程度と定義する。技術や市場の変化早い業界では、機能の市場投入できる時期が重要になる。例えば、国際的な標準化の承認時期や顧客のサービス開始時期から遅れた市場投入は、コスト効果の観点で実施しないほうがよかったという場合がある。対照的に、すぐに開発せず市場動向を見て開発実施した方が、効率的で望ましい場合もある。適時性とコスト目標を満たすために、要求品質と機能仕様の調整が行われ、仕様変更が頻繁に発生することがある。

見積説明の透明性が欠如すると、開発者が提示する機能とコストの情報を発注者が精査するのに時間がかかるようになる。精査期間の長期化は、開発期間が短縮化され、品質を確保できないリスクを招きやすい。従って、発注者が開発に関与しながら、要求とその重要度を明確に提示し、開発者から得た情報を踏まえて合理的に発注できる簡便な手法が望まれる。

本章の研究目的は、技術サービス支援ソフトウェアを発注する技術者がコスト効果を考慮しながら、発注すべき機能選択を行うための手法提供である。提案手法は要求品質と機能の関連を整理し、要求品質の重要度は必要性和適時性の双方を扱っている。さらに、機能選択の組み合わせを機能セットと称し、提案手法は機能セットごとにコストを整理する。提案手法は、開発により重要な要求品質をどれだけ充足するかを表す発注価値とコストの関係を機能セットごとに可視化する。提案手法は、発注価値が最も高い機能セットの機能を選択することで、コスト効果の高いソフトウェア発注を実現させる。本章では、提案手法を無線通信業界の技術サービス支援ソフトウェアの発注事例へ適用し、コスト効果が高い機能セットを把握できることと、発注者が開発コストの上昇要因を追究できる有効性を示す。

4.2 開発における機能選択のアプローチ

4.2.1 機能選択のアプローチ

機能選択のアプローチは、経営者、購買担当者、営業担当者、技術者などの開発利害関係者それぞれの視点がある。経営者には、財務指標による投資評価[7]、購買担当者には、サプライヤ選定[41, 52]、営業担当者や技術者には、技術戦略を

含む開発企画等[1, 2, 17, 24, 26, 40, 56, 70, 77]のアプローチが存在する。情報通信系の業界は、技術変化が速く、業務が不確実な特徴がある。このような業界では、機能間の影響を迅速に把握できるようにするため、複数の要求品質群や機能群を階層構成で扱う特徴が指摘されている[40, 56, 57, 60, 85]。

開発の機能選択の研究対象は、ソフトウェア開発の機能選択と発注を行う技術者である。経営者ではない技術者が発注者の場合、購買判断は財務指標よりも、費用便益の視点で分析する機会が多いと考える。また開発機能の選択に関する研究では、要求と機能の構造や依存関係を表現することにも適した手法という観点からQFD（Quality Function Deployment：品質機能展開）やQFDの関連手法[2, 24, 40, 56]を参考にする。

4.2.2 得点計算による開発機能の優先度決定に関する手法

前述の表2.3では、機能選択の先行研究を紹介した。ここでは表2.3の先行研究の中で、開発する機能の優先度決定を得点計算で行う手法[2, 24, 40, 56]に着目し、提案手法の要件整理に向けた課題を確認する。

Herzrum, and Schokert[40]は、要求に標準パッケージソフトの機能と、個別にカスタマイズ開発する機能を関連付けるソフトウェアQFDを提案し、変更対応の開発における有効性を主張している。この研究では、機能間の相関値を扱うことで相乗効果やトレードオフも評価に反映させている。しかしながら、発注者は機能間の影響を詳細には把握していない。発注者が技術制約を考慮する場合には、開発者からの情報に基づく整理の仕方に工夫が必要となる。

Davis[24]は、要求に対する機能量、信頼性、および開発工数を整理して機能選択を行うため、機能のある時期における達成度は明示できる。しかしながら、発注者の目的は、要求品質の発注価値を最大化させる機能選択と、選択した機能の開発コストを把握することである。目的の達成に向けて開発コスト、納期、仕様変更の調整が行われるため、Davis[24]の手法は、機能や信頼性と関連する要求とコストの関連付けが別途必要になり、変更への迅速な対応や決定には課題がある。

Karlsson, and Ryan[56]は、要求をグループ化して扱い要求群の一対比較データをソフトウェアの利用者と開発者に対して実施し、AHP（階層化意思決定法）を適用している。コストの増加率に対する価値の増加率を要求群で可視化してい

る。この手法[56]は、要求を満たすコストを可視化する点で発注者に適しているが、技術情報が乏しくコストに影響する制約の把握が困難である。

秋庭[2]の手法は、主にハードウェア製品の開発企画を目的としている。この手法は、要求と機能の関連付け、技術制約、コストの把握を網羅し、簡便な得点計算により機能選択が行える。この手法では、はじめに要求品質とその重要度に関して調査データを取得する。次に、重要度を評価因子を背景にもつ期待として捉え、期待と評価因子の関連度を与える。重要度の累積率区間で定義した値と関連度の値の積から、各評価因子の期待点を求める。さらに、要求品質の期待点の小計を算出し、期待点の総計に対する割合を「重視割合」としている。また、要求品質に対応する技術課題の難易度は、開発後の物理的な仕様特性値の改善で表現している。特性の向上値と現状値との比で求め、これを「機能向上係数」と呼んでいる。各要求品質における「重視割合」と「機能向上係数」の積を「貢献値」と呼び、所要コストに対する貢献値と機能向上係数を機能単位で可視化させる。

この手法は、ハードウェアが主な適用対象であるため、評価因子に属する物理量で仕様を記述しやすい。対照的に、ソフトウェアは、評価因子に対して物理量で仕様を記述することが難しい場合が多く、評価因子に基づき要求品質を整理すると曖昧になりやすい。技術サービス支援ソフトウェア開発におけるこの手法の適用は、計算の所要時間やメモリ量などの定量化が容易な要求、かつ個々の機能単位で費用や価格が把握されている場合に限定される。

4.2.3 手法の要件

技術サービス支援ソフトウェア開発において、発注すべき機能選択の手法に関する要件を整理する。第一は、開発者から得た情報を発注者が整理する際、要求品質をいくつかの機能群に共通なものと、特定の機能群に固有なもので整理し、機能と関連付けることである。これは、情報通信系の特徴に関する指摘[40, 57, 60]を反映するためである。後述の事例では、通信方式のシミュレーションソフトウェアにおいて、ある通信方式に関わる機能を一つの機能群として整理している。この整理の仕方には、機能の影響範囲を発注者でも容易に把握できる利点がある。

第二は、機能に関連する要求品質とその重要度、開発コストの関連を整理できることである。提案する手法では、要求品質の重要度評価に適時性を加味する。ま

た、コストは、機能を組み合わせたセットの形態で提示されることが多い。このことは、ソフトウェア開発者が機能単位やそれ以下の詳細な見積りを提示すると、費用説明の透明性を確保し難い場合が多いためである。従って、提案する手法では、実態に即して機能の組み合わせとコストの関連付けを考慮する。この考慮により、発注者が時期的に変化する要求品質の重要度を評価し、同時に開発コスト、納期、および仕様の変更調整を迅速に行えるようにする。さらに、提案手法は要求品質に対して機能を直接関連付け、重要度評価も要求品質に対して関連付ける。これにより、関連を追跡しやすく要求品質の曖昧さを減らすようにする。

第三は、開発者から得た情報に基づき、開発コストに支配的な要求品質や要求品質群を特定するための可視化である。提案する手法では、開発による要求品質の充足度で評価を代替する。また提案する手法では、複数の機能群に共通な要求品質と個別の要求品質の発注価値に対する構成割合と、要求品質に対する充足度を可視化する。これらにより、発注価値に支配的な要求品質群と、開発者の認識している技術課題がどの要求品質に依存するかについて、発注者が分析する。分析結果から、発注者が開発者の認識している技術難易度やコストの上昇要因を把握できるようにする。

第四は、整理した要求品質の変更と発注価値の算出過程を容易に追跡でき、機能個々ではなく、ソフトウェア全体としての発注価値を評価できることである。さらに、ソフトウェアの場合、物理的に測定困難な心理特性や行動特性を扱うことが多いため、発注者の主観評価を数値化した情報に基づく算出が望ましい。また、先行研究[2, 56]は、コストに対する価値を機能単位、あるいは要求品質単位で可視化している。開発者は、技術とコストの詳細分析を重視するため、製品構造を詳細化した機能単位の情報を重視するが、発注者は、機能や要求を総合的に分析できることを重視する。

そこで、後述の提案手法では、コストに対する発注価値を機能セット単位で可視化する。実現可能な機能の組み合わせ選択、すなわち機能セットと、機能や要求品質を総合的に評価した発注価値を扱うことにより、発注者が、開発における代替案の選択肢を効率よく絞り込み、機能セットの発注価値に対する開発コストの情報から合理的に発注機能を選択できる。

4.3 提案手法の情報整理と可視化

4.3.1 要求品質，機能，および開発コストの情報整理

はじめに，発注者が要求品質 i をあげる．その総数を I とする．要求品質は，機能群に共通なものと固有なものに分類して整理する．また，開発者から入手した機能 j を整理する．その総数を J とする．要求品質 $i(i = 1, 2, \dots, I)$ と機能 $j(j = 1, 2, \dots, J)$ について，発注者が関連度 ρ_{ij} を以下に基づき設定する．設定値は，先行研究[40, 26]を参考にしている．

- 9: 要求品質を満たす必須機能
- 3: 必須機能が及ぼす影響が大きい関連機能
- 1: 必須機能が及ぼす影響は小さいが，要求品質を満たす上で無視できない機能
- 0: 要求品質を満たすことに全く関与しない機能

さらに，各要求品質 i について，必要性和適時性の評価値を設定する．提案手法では，発注者が行う必要性和適時性の評価値を1, 2, 3のいずれかに設定する．重要度 w_i は，各要求品質 i の必要性和適時性の評価値を乗じて得られる算出値とする．適時性がすべて同じ値の場合は，必要性的評価値だけが重要度に反映されていることになる．

ここでは，設計サービスに用いられる技術サービス支援ソフトウェアが，いくつかの無線通信方式に関してエリア品質をシミュレーションするソフトウェアである場合を考えてみる．このとき要求や機能は，通信方式に依存しないものと依存するものがある．例えば，GUI（グラフィカルユーザーインタフェース）や操作性に関する「シミュレータのGUIや検索・フィルタリング処理を改善したい」という要求は，通信方式に依存せず共通な要求とみなせる．ここから要求を細分化していき，要求品質 i は，「基地局を登録できる」のように，実現したい能力単位で記述される．対照的に，電波伝搬に基づく干渉計算は，通信方式によって受信電力の単位やノイズ成分の計算方法が異なることから，通信方式に依存す

る個別要求に相当する．一例としては、「LTE通信方式のシミュレーションをしたい」という要求の中に「干渉電力を計算できる」といった詳細要求が存在することがあげられる．

次に，発注者は，開発者から対応する機能 $j(j = 1, 2, \dots, J)$ の情報を入手する．このとき機能は，実現可能な機能の組み合わせを一式として提示される．この一式を機能セット $k(k = 1, 2, \dots, K)$ とし，総数を K とする．従って，機能総数 J は，全ての機能セットを網羅するのに必要な数となる．選択状態 x_{jk} は，機能 j が機能セット k に含まれるか否かを表す．選択状態 x_{jk} は，機能 j が機能セット k に含まれる場合に $x_{jk} = 1$ ，含まれない場合に $x_{jk} = 0$ とする．干渉計算は，希望波と干渉波に識別される複数の電波について計算された受信電力の結果に基づく．従って，干渉計算の機能を実現するには，受信電力計算の機能を実装していることが前提となる．例えば，機能セット $k = \alpha$ の干渉電力計算が機能 $j = \beta$ で，受信電力計算が機能 $j = \gamma$ であるとする．この場合の選択状態 x_{jk} は， $x_{\beta\alpha} = 1$ と $x_{\gamma\alpha} = 1$ を同時に満たす必要がある．さらに，開発者から各機能セット k のコスト C_k を入手する．最後に，要求品質 i と機能 j について，関連度 ρ_{ij} と重要度 w_i を図4.1のように整理する．また，機能セット k に対する選択状態 x_{jk} ，およびコスト C_k を図4.2のように整理する．

本提案手法には，図4.1と図4.2に関する前提が3つある．第一は，顧客が早期段階で要求品質を抽出できることである．要求品質の漏れや潜在性，曖昧さを踏まえて抽出することは難しい場合も多くある．これに対し，技術サービスは生産財を対象としているため，消費財と異なりユーザーの主観的な評価部分は少ない．特に情報通信系では，標準や規格に基づくRFP (Request For Proposal : 提案要求書) を提示することが一般的に行われる．その結果，曖昧さを含む可能性はあるが，顧客が早期段階で要求品質をあげることができる．

第二は，要求品質間で階層性が存在することである．これは，情報通信の業界の特徴[60]を反映させたためである．発注者が開発者からの情報をもとに，機能群に共通な要求品質と個別な要求品質のグループをあらかじめ想定して図4.1の整理をしている．各グループで図4.1の要求品質はKuusela, and Savolainen[60]にて述べられているような階層性を有している．また，共通な要求品質には，データベース制御などの基盤機能に関するものがあり，個別な要求品質は，基盤機能

		機能 j				必要性	適時性	重要度
要求品質 i		機能 # 1 $j = 1$	機能 # 2 $j = 2$	機能 # J $j = J$			
共通要求品質	要求品質#1 $i = 1$	関連度 ρ_{ij}				評価値	算出値 w_i	
	要求品質#2 $i = 2$							
	⋮							
要求品質#I $i = I$								
固有要求品質								

図 4.1: 関連度と重要度の整理

		機能セット			
機能セット k		セット # 1 $k = 1$	セット # 2 $k = 2$	セット # K $k = K$
機能 j	機能#1 $j = 1$	選択状態 x_{jk}			
	機能#2 $j = 2$				
	⋮				
	機能#J $j = J$				
機能セット k のコスト C_k		コスト # 1 C_1	コスト # 2 C_2	コスト # K C_K

図 4.2: 選択状態とコストの整理

の上で動作するアプリケーションに相当する機能に関するものも含まれる。従って、これらのグループにも階層的な関係が存在するとみなすことができる。

第三は、機能開発の制約を開発者から入手した機能の組み合わせとコストの情報整理、すなわち図4.2で考慮することである。ソフトウェア開発者は、機能の技術重要度や、要求品質を充足させるために機能間の依存関係を熟知している。技術サービス支援ソフトウェアで典型的なトレードオフが生じる場合は、シミュレーション精度の向上と計算処理時間の高速化を同時に満たそうとするときである。この場合の選択状態 x_{jk} は、機能セット k について1と-1を設定できるように考慮すればよい。しかしながら、本提案手法は発注者が適用するため、これらの情報を有していないことを前提としている。特に発注者が機能実現に対し、トレードオフとなる要求品質を考慮せずにソフトウェア開発者側へ提示することは多い。そこで、本提案手法は発注者でも入力可能な範囲で、同時に選択できない機能や同時に選択されなくてはならない機能の制約を選択状態 x_{jk} の入力規則に課すことで、機能間の依存性を反映させる対応としている。

4.3.2 発注価値の算出と機能選択のための可視化

関連度 ρ_{ij} の $j(j = 1, 2, \dots, J)$ に対する総和

$$r_i = \sum_{j=1}^J \rho_{ij} \quad (4.1)$$

は、要求品質 i に関連する機能 j を全て開発した場合の機能量を意味する。そこで、 r_i を要求品質 i の所要機能量と呼ぶ。

機能セット k に含まれる機能、すなわち $x_{jk} = 1$ に該当する機能のみを抽出し、要求品質 i ごとに抽出された機能の関連度 ρ_{ij} の総和

$$a_{ik} = \sum_{j=1}^J \rho_{ij} x_{jk} \quad (4.2)$$

を求める。 a_{ik} を要求品質 i の機能セット k による獲得機能量と呼ぶ。全ての要求品質に対する機能セット k の発注価値 V_k を

$$V_k = \sum_{i=1}^I w_i \frac{a_{ik}}{r_i} \quad (4.3)$$

とする。ここで、 w_i は、図4.1における発注者の重要度の算出値を表す。また、 a_{ik}/r_i は、所要機能量 r_i に対する機能セット k による獲得機能量 a_{ik} の割合で、機能セット k を選択した時の要求品質 i の充足度を意味する。従って、本提案手法の V_k は、選択された機能セット k が、重要度 w_i で重み付けられた要求品質をどの程度充足するかを表している。

コスト C_k に対する発注価値 V_k を可視化する。この可視化は、許容コストを満たす機能セットの中から発注価値が最大のものを選択することで合理的な機能選択を可能にする。また、機能セットごとの発注価値における機能群に共通な要求品質と固有な要求品質の構成割合を可視化する。これにより、ソフトウェアの基盤機能と上位機能のどちらの開発が、発注価値に重視されているかを把握し、当期に開発して充足させるべき要求品質と開発時期を先送りできる要求品質を峻別することに役立てられる。

さらに、各要求品質 i に対する充足度(a_{ik}/r_i)を可視化する。充足度は、発注者が評価する重要度 w_i を含まず、開発者情報をもとに整理した結果で算出される。発注価値ではなく充足度の可視化は、要求品質に対する発注者の意図が反映されていない。この可視化は、開発者が充足しがたいと考える要求品質を発注者にて発見可能にする。よって充足度の可視化は、開発コストの上昇要因を把握することに役立つと理解できる。従って、本提案手法は複数の機能群に共通な要求品質と、個別の要求品質の発注価値に対する構成割合と、機能セットごとの要求品質に対する充足度を可視化できる。

4.4 技術サービス支援ソフトウェア発注事例への適用

4.4.1 事例の概要

無線通信業界の技術サービスを提供する技術者のソフトウェア発注に提案手法を適用する。本事例は、無線通信のネットワーク設計に用いられる技術サービス支援ソフトウェアにおいて、2つの通信方式のシミュレーション機能の開発である。このソフトウェアの発注者は、コーディング実装の技術スキルを有していないことが多いが、開発プロジェクト管理等を通じて、ある程度の専門知識を有する。発注者は、実装詳細は考慮しないが、ソフトウェアの全体的な機能構成を

想定した要求を提示する。開発者は、発注者からの要求提示を受けて、各作業の工程調整と発注者への開発コストの見積提示を行う。

4.4.2 要求品質，機能，および開発コストの情報整理

はじめに、発注者が要求品質をあげる。要求品質は全部で32個あり、通信方式Aと通信方式Bの双方に共通する要求品質は14個、残り18個は各通信方式に固有な要求品質である。また、発注者が開発者から得た情報は、要求品質に対応する機能が全部で65個ある。従って、関連度 ρ_{ij} は、要求品質 $i(i = 1, 2, \dots, 32)$ 、機能 $j(j = 1, 2, \dots, 65)$ において、各値を設定している。各要求品質の重要度 w_i は、5人の評価値の平均に基づき、必要性和適時性の評価値の積としている。

次に、発注者が開発者から入手した機能セット $k(k = 1, 2, \dots, 7)$ ごとに、機能 $j(j = 1, 2, \dots, 65)$ の選択状態 x_{jk} を整理している。また、発注者は各機能セットのコストをあわせて入手し、最終的に適用事例で作成された図4.1と図4.2の抜粋を図4.3に示す。適用事例では、表計算ソフトの入力都合により、図4.2の機能と機能セットを転置した状態で作成されている。コスト値の単位は[百万円]である。

図4.3の1次要求は、機能群に依存しない共通要求のグループと機能群個別の要求グループを記述している。2次要求は、1次要求の各グループ内の要求グループの名称を記述している。3次要求は、2次要求で記述したグループ内の要求詳細をそれぞれ記述している。例えば基地局の登録は、通信方式に依存しない必須な入力操作の要求となるため、1次要求で共通な要求の中にある。さらにこの要求詳細は、2次要求の「GUI入力操作」の中にある3次要求の「基地局の登録・削除・変更」として記述される。従って、要求が階層的に表現される。

機能に関しては、1次機能は機能群を記述する。本事例では、「通信方式Aシミュレーション機能」と「通信方式Bシミュレーション機能」の2つの機能群が記述されている。2次機能は3次機能をまとめたグループ名称が記述されている。図4.3では省略されているが、本事例では、「GUI操作画面」、「計算処理」、「データ管理（サーバー含む）」、「画面表示＋グラフ出力」の内容が記述されている。詳細は、付録Bを参照されたい。

本事例では、通信方式を機能群の単位として考慮している。1次要求は、通信方式に依存しない共通な要求品質と通信方式に個別の要求品質を整理している。

2次要求の電波伝搬計算処理に含まれている干渉電力計算の要求は、どの通信方式にも必要であるが計算方法が異なる。このような場合は、機能群に共通な要求として扱わず、個別な要求として扱っている。従って、図4.1と図4.2の作成する場面では、発注技術者はある程度ソフトウェアへの実装のされ方を想定して要求しているといえる。

1次要求	2次要求	3次要求	3次機能											差分結果表示						必要度		
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	60	61	62	63	64	65	必要性	適時性	重要度
シミュレータのGUIや検索・フィルタリング処理を改善したい(共通)	GUI入力操作	基地局の登録・削除・変更	1	9	9	0	9	9	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	3	3	9	
		付帯設備の登録・削除・変更	2	0	0	0	9	3	9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	2	6	
		制御局の登録・削除・追加	3	9	0	0	9	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	3	2	6	
		移動局の登録・削除・変更	4	0	0	1	9	0	9	3	0	9	0	0	0	0	0	0	3	3	9	
		計算条件の登録・削除・変更	5	0	0	9	0	9	9	1	0	9	3	3	0	0	0	0	3	3	9	
		測定データの登録・削除・変更	6	0	0	0	0	0	3	3	9	0	0	0	0	0	0	0	3	2	6	
		右クリックメニューの利用	7	3	9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	3	9	
		マウスホイールの利用	8	3	9	0	0	0	0	9	0	0	0	0	0	0	0	0	3	3	9	
			9	0	3	3	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	3	9	
通信方式Bのエリアシミュレーションがしたい	電波伝搬計算処理	伝搬損失計算	24	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	2	2		
		測定データを用いた損失補正	25	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	2	6	
		干渉電力計算(Powerベース)	26	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	1	2	
		干渉電力計算(Trafficベース)	27	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	1	2	
	画面表示とグラフ出力	受信電力とSIRのカラーマップ表示	28	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	3	9	
		ユーザクレームポイントの凡例マーク	29	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	
		累積分布(受信電力とSIR)	30	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	3	9	
		測定データのプロット表示	31	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	2	4	
	32	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1			
機能セットの選択状態	機能セット	開発内容		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	59	60	61	62	63	64	65	コスト	
	セット1	方式A単独	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	8.596	
	セット2	方式B単独	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	12.082	
	セット3	方式Aと方式B	3	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	20.678	
	セット4	方式AとB(A主体の共通化)	4	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	1	1	19.838	
	セット5	方式AとB(B主体の共通化)	5	1	1	0	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	17.668	
	セット6	方式Aと方式B(削減)	6	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	1	14.574	
	セット7	方式A(削減)と方式B	7	0	0	0	1	1	1	1	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	15.855	

図 4.3: 適用事例データの抜粋

図4.3の適時性の入力値をすべての*i*について1とすれば、必要性のみの評価結果が直ちに得られる。先行研究[2]の場合は、必要性が変更されると、評価因子の期待点の小計を関連度を用いて再計算した後、図4.3の*w_i*に相当する重視割合を算出するため、追跡が複雑になる。これに対し、本提案手法の重要度算出は、関連度と独立して扱えるため、重要度算出の追跡が容易に行える。

図4.4はセット1からセット7の差異を模式的に表している。通信方式Aのシミュ

レーション機能群Aと通信方式Bの機能群Bは、それぞれ32個と33個である。機能群A($j = 1, 2, \dots, 32$)のみ、機能群B($j = 33, 34, \dots, 65$)のみ、およびAとBをフル実装した機能セットを、それぞれセット1、セット2、セット3とする。従って、セット3は、各機能 j について $x_{j3} = 1$ となる。セット4からセット7は開発コスト削減のため、セット3から機能削減されたものである。セット4は、機能群Aを主体に開発し、機能群Bの機能を削減している。対照的にセット5は、機能群Bの機能を主体に開発し、機能群Aの機能削減をしている。セット4から、さらに機能群Bの機能削減をしたものと、セット5から、さらに機能群Aの機能削減をしたものが、それぞれセット6、セット7である。図4.4には、セットごとに含まれる機能群Aの機能数、機能群Bの機能数、およびコスト値が括弧内にそれぞれ併記されている。

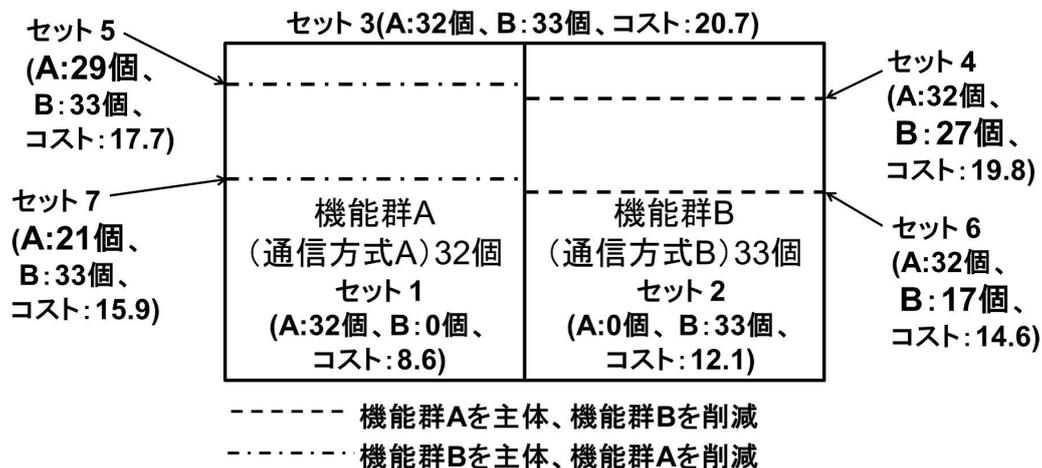


図 4.4: 機能セットの差異

4.4.3 発注価値の算出と機能選択のための可視化

コストに対する発注価値

図4.5は、提案手法で得られたコストに対する発注価値を示している。また、図4.5には、要求品質 i の適時性を全て1に設定した必要性のみの重要度評価による結果をあわせて示す。先行研究[2, 56]は、要求品質 i や機能 j を単位として発注価値をプロットする可視化が提案されているが、本提案手法は、発注機能の組み合わせ、および開発コストを示す機能セット k によってプロットしている。これ

により、改めて組み合わせ評価を行う必要がなくなり、提案手法が発注者向けの可視化を実現している。

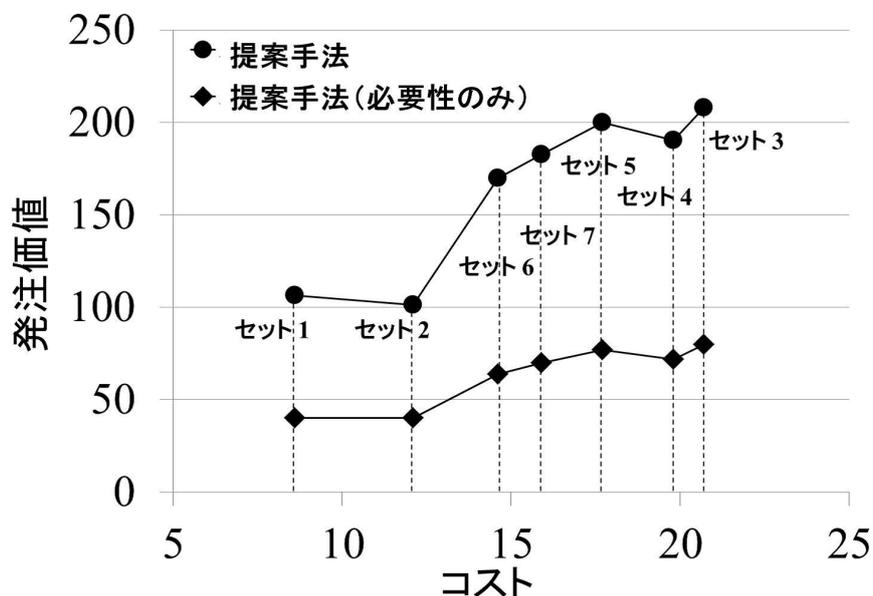


図 4.5: コストに対する発注価値

図4.5において機能セットは、コスト値の昇順で並べ変わっている。また、機能セットの表記については、これ以降必要に応じて括弧でコスト値を併記する。図4.5から、総じてコストが増加するにつれて、発注価値が高まる傾向を確認できる。さらに本手法は、セット4 (19.8) のようにセット5 (17.7) から投資を増額しても発注価値が高まらないどころか低下する機能セットを検出でき、不適切な選択を避けることに役立つ。

重要度 w_i が必要性と適時性の積とした場合と、必要性のみの場合の差が一定ではないことも確認できる。セット5 (17.7) の差は、122.9であるのに対し、セット4 (19.8) とセット7 (15.9) の差は、それぞれ118.5, 112.9である。重要度の総合評価値が発注価値に大きく影響する機能セットでは、差が大きくなる。

また、重要度評価における適時性が、発注価値に影響を及ぼすかを把握したければ、必要性と適時性の積を重要度 w_i としたときの発注価値と、必要性のみを w_i としたときの発注価値の比を各機能セットで確認すればよい。この比が各機能セットで等しいならば、適時性の評価値がすべての要求品質で同じである。

本事例の比の値は、セット1からセット7の間で2.54から2.66の値をとり、等しく
ならない。従って、適時性の評価影響が反映されており、発注者が要求品質を満
たすべきと考える時期がわずかに異なっている。その影響が選択した機能セット
の発注価値に現れると理解できる。本事例では、セット3の開発コストを確保で
きない場合に、適時性を含めて評価した発注価値が最大となるセット5を選択す
ることが、合理的であると判断できる。

さらに提案手法を適用することにより、図4.5から、発注者がコストが割高な
機能セットについてその理由を問い合わせ、開発者が回答していくことで、費用
説明の透明性が高まることを期待できる。また、発注者が要求品質の必要性や
適時性を開発者に適宜示すことが、要求の重要度に関する曖昧さを減らすこと
や、適切な開発関与につながると考える。

発注価値における要求品質の構成割合

要求品質は機能群Aと機能群Bに共通か、あるいは個別かで分類される。図4.6
は、発注価値全体に占める割合を機能群に着目して機能セットごとに求めたも
のである。図4.6も図4.5と同様に、コスト値の昇順で並べ変えている。図4.6で
は、セット3から機能群Aを主体に開発し、機能群Bでコスト削減を図るセット4
とセット6の発注価値の推移を実線で表している。また、図4.6ではセット3から
機能群Bを主体に開発し、機能群Aでコスト削減を図るセット5とセット7の発注
価値の推移を破線で表している。

共通な要求品質が、通信方式に依存した個別な要求品質よりも割合が支配的
である。また、各セットでほとんど同程度の構成割合になっていることは、機能
群Aと機能群Bのどちらを削減していく場合においても、開発者が同様の設計指
針で開発計画をしている現れと捉えられる。

機能削減の及ぼす発注価値への影響を把握するため、実線と破線に着目する
と、セット6からセット4への発注価値の上昇は、セット7からセット5への上昇
に比べて小さい。従って、本事例ではセット3の開発コストを許容できない場合、
機能群Bを重視する開発が望ましいと分かる。開発コストを確保できない場合
でも、セット7を選択すると、同じ機能群Bを主体とするセット5へのアップグ
レードまでは、少ない投資で発注価値を効果的に高められる見通しを立てるこ

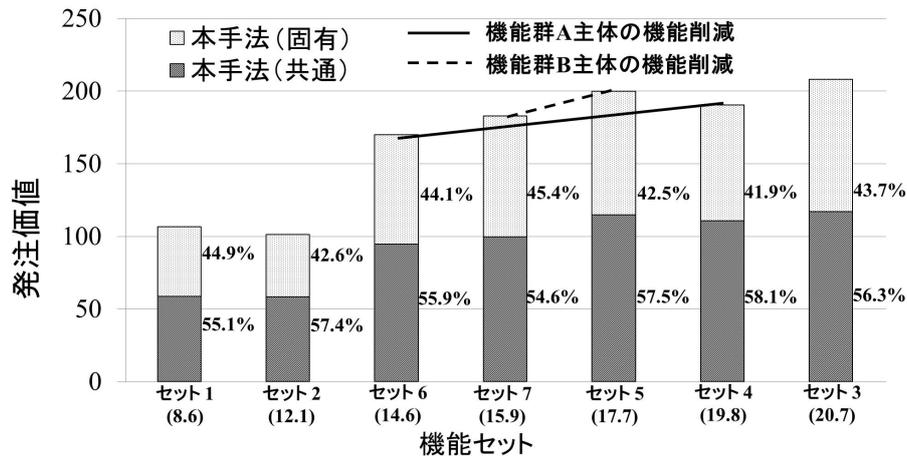


図 4.6: 発注価値における要求品質の構成割合

とができる。対照的に、大幅なコスト削減を達成させるためにセット6を選択してしまうと、同じく機能群Aを重視したセット4へアップグレードするために追加投資をしても、発注価値が高まらなると予測が立つ。

本事例では、機能群Aと機能群Bの機能のうち、共通な要求品質を満たす開発を優先しつつ、機能群Bを重視する要求品質を満たす機能セットを選択することが、発注価値の点で望ましいと分かる。従って、図4.6の可視化は、要求品質の構造をふまえて分析できる提案手法により、どのような機能の組み合わせ開発が、コスト対効果を高めるかについての指針が得られる。

要求品質ごとの充足度

機能群Aと機能群Bの両方を開発するセット3からセット7において、図4.7は要求品質*i*ごとの充足度(a_{ik}/r_i)を表している。セット3はフル実装であるため、各要求品質*i*において値は1となる。

図4.7の各ケースにおいて、共通な要求品質は充足度の変動が小さく、個別な要求品質は充足度の変動が大きい。このことから、通信方式による機能群を扱い共通化を図る開発が妥当と評価できる。もし共通な要求品質の充足度劣化がケースによって大きく変動するようであれば、通信方式という視点で機能の共通化を図ることが適切ではない可能性があり、発注者が開発者に問題提起する指針になる。

さらに提案手法は、大きく充足度を低下させる要因となる要求品質を特定で

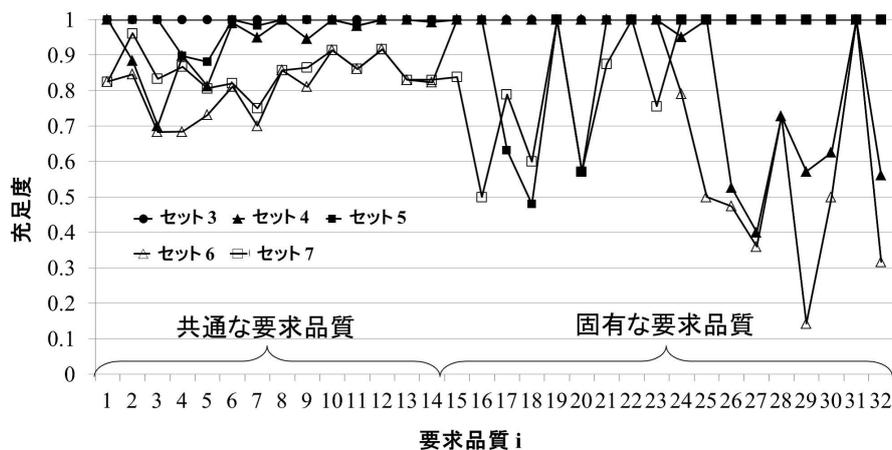


図 4.7: 要求品質ごとの充足度

きる。適用した事例では、機能群Aを削減するセット4とセット6においては、個別な要求品質 $i = 26, 27$ は、通信方式Aのトラヒックシミュレーションを高度化させる干渉電力計算のアルゴリズム実装が必要になる部分である。この充足度の可視化は、通信方式に依存する機能群固有のキーテクノロジーに関する要求を特定できる。また、 $i = 29$ は、出力情報の理解性に関わる表示凡例の要求品質である。この要求品質は他の要求を満たす機能を達成するために、開発者によって軽視されがちな要求品質であると分かった。また充足度の低下は、共通な要求品質においても $i = 3$ のトラヒックシミュレーションの入力設定に関する要求でも確認される。通信方式Aに関連する機能削減を図る場合、トラヒックシミュレーションに関連する部分の削減影響が大きいことが分かった。

他方、通信方式Bの機能削減による充足度の低下において、個別な要求品質の $i = 18$ は、通信方式Aと同様、トラヒックシミュレーションの要求である。また、共通な要求品質の $i = 4$ は、移動機端末の機器情報の登録削除に関わる要求である。これらの結果から、データベースへの機器登録に関する要求を満たす機能とトラヒックシミュレーション機能が、本事例のソフトウェア開発において発注価値を高める主要な技術課題であると指摘できる。またこれらの技術課題は、開発者にとって難易度が高いと認識されている。

充足度 (a_{ik}/r_i) は、発注者が評価する重要度 w_i を含まず、開発者情報をもとに整理した結果で算出される。このことから、充足度は技術視点で発注価値の低

下要因となる要求品質を可視化していると解釈でき、発注者が開発者の認識している技術難易度を把握することに役立つ。発注者が充足度と重要度に基づき、コストを照らし合わせれば、投資を要する機能セットを追究することができる。従って、提案手法は、開発同時に開発することが望ましい機能群に個別の要求品質や、費用を削減しても発注価値の低下が生じないため、投資抑制に値する要求品質を特定するツールとなりえる。

4.5 ソフトウェア開発における発注者の機能選択のまとめ

開発の機能選択の研究では、技術サービス支援ソフトウェアの発注技術者が、発注すべき機能選択を行うための手法を提案した。提案手法は、要求の重要度と開発による充足度に基づく発注価値を整理し、コストに対する発注価値を機能セット単位で可視化させる。また、提案手法は要求品質に対する機能と、適時性を加味した重要度評価との関連付けが直接的であるため、関連性を追跡しやすい。頻繁な仕様変更の発生する状況下においても、提案手法は直ちに可視化でき、要求品質が曖昧になることを避ける配慮をしている。機能間の関連において制約がある場合は、関連度の設定が困難になるが、機能セットを分けて扱うことで対処できる。

提案手法を無線通信業界の技術サービス支援ソフトウェア開発の発注事例に適用し、提案手法が費用対効果の視点で合理的な機能選択と、コストが割高な機能セットについて発注者が開発者に問い合わせるコミュニケーションツールとしての活用を指摘した。このことは、発注者の開発に対する関与意識を高めることにつながる。さらに、開発者が発注者からの問い合わせに回答していくことで、見積説明の透明性欠如を減らす効果も期待できる。

また、本事例の結果から、いくつか提案手法の活用を以下に示す。第一は、適時性を加味した重要度により、提案手法が発注価値を効率的に高めるリリース計画策定に活用できることである。このことは、発注価値に対する要求品質群の構成割合の可視化により行える。第二は、要求品質に対する充足度の可視化から、充足度の低下が著しい要求品質と重要度評価の関連を確認し、コスト上昇要因となる要求品質を特定する活用である。従って、提案手法は発注者の資金調達や費用交渉、技術導入のロードマップ策定を行う際に効力を発揮すると期待される。

要求品質や機能実現のトレードオフの考慮について提案手法の精緻化を図ることと、提案手法の適用効果に関する検証は、今後の研究課題である。要求品質ごとの充足度の分析においてトラヒックシミュレーションの機能に関連する項目がコスト上昇要因となる知見を得ている。しかしながら、提案手法の実務的な効力を訴求するには、客観的なデータが必要である。得られた知見から提案した活用に対する効果測定の方法は、提案手法を洗練させることと並行して研究する今後の課題である。

第5章 技術サービス支援ソフトウェアの業務適合性測定

5.1 ソフトウェアの業務適合性測定の研究背景

近年、生産財の製造業は顧客に対し、販売する装置の導入や運用保守の技術課題を解決するサービス事業の収益向上を重視しつつある。例えば、無線通信業界において、通信機器製造業者は通信事業者がネットワークインフラを構築する時に、技術サービスを提供する。技術サービスには、開発と提供の2つのプロセスがある。技術サービスの開発では、報告書作成や顧客との議論に必要な要素技術の獲得と報告書を完成させるプロセスを確立させる。技術サービスの提供では、報告書や顧客への説明資料の作成、さらに顧客への説明を行う。技術サービス提供者は、開発と提供のプロセスにおいて、ソフトウェアを開発することにより、サービス提供の品質確保と生産性向上を図る。このソフトウェア開発は、技術サービス提供者からソフトウェア開発企業に委託されることが多い。なお、本研究ではこのソフトウェアを技術サービス支援ソフトウェアと称する。

サービスの開発や提供のプロセスで技術蓄積がなされ、技術サービス支援ソフトウェアの品質改善に反映される。技術サービスにおいては、業務適合性をいかに測定し、業務支援ソフトウェア開発において重視すべき品質を特定できるかが、サービスの質を向上させる重要課題である。ここでの業務適合性とは、技術サービス提供者の技術者がソフトウェアの利用を通じて認識する、商材の開発から生産提供に至る業務遂行の質の高まりをさす。

技術サービス支援ソフトウェアは、設計用途と測定解析用途のものがある。無線通信業界の場合、設計用途のソフトウェアは、置局設計に用いられ、設置場所候補の基地局から送信される電波の受信電力分布や通信品質の予測情報をデジタル地図やグラフを用いて可視化する。これらの結果が、設備投資を含む技術的な課題解決への検討に活用される。設計用途のソフトウェアは、入出力情報の種別が

多く、地図情報システム（GIS）や顧客の持つシステムと連携させる機能がある。

測定解析用途のソフトウェアは、エリア解析に用いられる。設備運用上の課題を把握するために、技術サービス提供者は車などの移動体に搭載した測定器でスループットやプロトコル情報などを取得し、通信の品質劣化や障害の要因を解析する。測定器や通信装置からテキストファイル形式などで出力される膨大なデータを集計処理する機能がある。無線通信業界における技術サービスの業務や技術サービス支援ソフトウェアの説明は、企業の技術報告[71]などが詳しい。

技術サービス支援ソフトウェアには以下の特徴がある。第一に、利用者は複数の役割をもった技術者である。利用者が行う開発と提供、およびソフトウェア開発発注の業務は、これらのいくつかが兼務されることが多い。さらに、技術サービスを提供する技術者組織は、企業単位ではなく事業部内の一グループで、ソフトウェアの利用者数も50人未満程度の規模のケースが多い、また、技術サービス支援ソフトウェアは、全社的に利用されるソフトウェアと異なる。

第二に、用途が、技術専門的な情報提供を行うサービスである。技術サービスで重視される商材は、ソフトウェア自体ではなく、報告書やコンサルティングのような対話を通じた技術情報の獲得経験である。従って、機能的な品質においては、情報に関連する品質が重視されやすいと考えられる。非機能的な品質においては、ソフトウェアが、販売製品と異なるため、信頼性の要求水準が販売製品と異なることが想定される。また、新規技術や技術課題への対処方法の確立段階で用いられ、処理プロセスがソフトウェア開発の企画段階で確定していない場合が多い。その結果、使用性を高めると、かえって処理プロセスの柔軟な変更対応に足かせとなることがある。ソフトウェア品質の標準規格ISO/IEC 9126[46]は、ソフトウェア品質とその影響を網羅的に観測変数で評価する。技術サービスに適用する場合は、プロセスやサービス内容に依存した評価構造の考慮や、重要な副特性の配慮が不十分だと、改善すべき品質に誤解が生じることがある。

第三に、技術サービスでは、設計や測定のサービス内容に応じて異なるソフトウェアが用いられる。その結果、重視されるソフトウェア品質と業務適合性の認識のされ方が変化する可能性がある。ソフトウェア品質と業務適合性を分けて扱い、業務適合性に対する認識の変化を構造的に捉えて、重視して開発すべき品質を特定できる必要がある。また、技術サービスのプロセスを業務適合

性の測定指標に反映する必要がある。

3つの技術サービス支援ソフトウェアの特徴から、技術サービスでは業務適合性とその影響関係を捉える測定モデルが必要とされる。また、測定モデルは具体的な施策を考慮するためのソフトウェア品質に関する観測変数と、構造的な変化をとらえる潜在変数を扱えるようにするため、構造方程式モデルの形態が必要とされる。そこで、本研究の業務適合性とは、技術サービス提供者の技術者がソフトウェアの利用を通じて認識する、商材の開発から生産提供に至る業務遂行の質の高まりと定義する。また業務適合性は、いくつかの観測変数で構成される概念として扱う。

本章での研究目的は、技術サービス支援ソフトウェアの品質設計に具体的な施策を見いだせる業務適合性の測定モデルを提供することである。本章の提案モデルでは、業務意識というソフトウェア利用者の背景情報を与え、ソフトウェア品質の標準規格ISO/IEC 9126[46]を踏まえて、業務適合性や業務成果影響を扱う先行研究をもとに指標を具体化させる。技術サービス支援ソフトウェアの品質と業務適合性の関係を分析する際、業務適合性を3つの測定指標で構成する概念とする測定モデルを提案する。さらに、提案する測定モデルを無線通信業界の技術サービス支援ソフトウェアに適用し、業務意識と技術サービス支援ソフトウェア品質の影響関係と、その品質と業務適合性の影響関係を分析する。一連の分析結果から、品質の重要性と改善すべき程度を精緻に分析できることを明らかにする。

5.2 測定指標と業務適合性測定モデルの導出

5.2.1 測定モデルの全体構造

システムに関するユーザ評価の測定モデルについて、図5.1は先行研究と本研究の対比を表している。ソフトウェアや情報システムの品質評価から、業務成果影響の要因を考察する概念モデル構築にはDeLone, and McLeanの研究[27, 28]があり、さまざまな実証研究[37, 44, 61, 62, 81, 88]が紹介されている[80]。これらの研究の多くは、利用者の背景情報、ソフトウェアの品質、ソフトウェアの品質影響の3つの段階で整理できる。なお、Goodhue and Thompson[37]の技術特性はソフトウェア種別を扱い、業務特性については、部署名、役職の属性情報を用いて

おり、等間隔尺度の観測変数とは異なる。

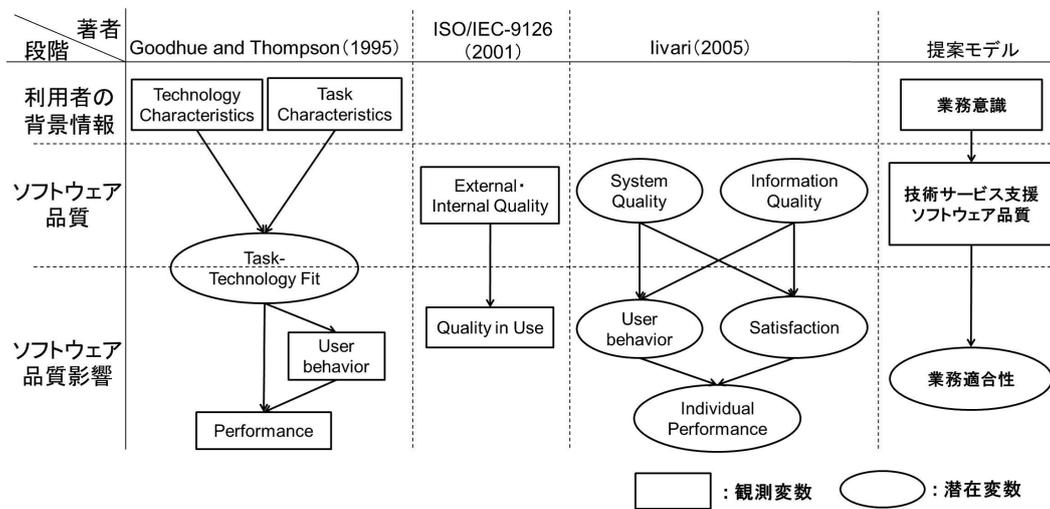


図 5.1: システムに関するユーザ評価の測定モデル（各論文をもとに筆者らが加筆修正）

どのような脈絡でソフトウェア品質が利用影響への効果をもたらしたかを把握するためには、利用者の背景情報が必要とされる。技術サービス支援ソフトウェアでは、設計の役割認識をもつ技術者と、測定解析の役割をもつ技術者では、重視する品質ニーズが異なると考えられる。ソフトウェア品質とソフトウェア品質影響の関係から、ニーズとされる品質を開発した効果が明確に捉えられる。そこで提案モデルには、後述する業務意識を利用者の背景情報として追加する。

図5.1のソフトウェアの品質についてISO/IEC 9126[46]は、開発者視点の外部・内部品質を規定している。ISO/IEC 9126[46]の外部・内部品質には機能性、信頼性、使用性、効率性、保守性、移植性がある。Iivari[44]は、ISO/IEC 9126[46]の外部・内部品質を情報品質・システム品質の概念として扱っている。Goodhue, and Thompson[37]は、ソフトウェア品質と業務適合性(Task-Technology Fit)を同一視した8つの潜在変数を扱っている。図5.1のソフトウェアの品質影響について、ISO/IEC 9126[46]は、利用者視点の利用時の品質によってソフトウェア品質モデルを規定している。また利用時の品質には、生産性、有効性、安全性、満足性がある。この利用時の品質をIivari[44]は、業務成果影響の視点で捉え、品質が利用行動を通じてどのくらい個人の業務成果に影響するかを扱っている。

ソフトウェア品質と業務適合性を同一視すると、ソフトウェア品質との関係性を明確に把握できない懸念がある。また、先行研究[37, 44]は、業務成果という結果に焦点が当てられている。この場合、生産性の向上は確認できるが、開発や提供など、どのプロセスに対する生産性が向上したかは不明確である。技術サービスでは、設計や測定のサービス内容に応じて異なるソフトウェアが用いられるため、重視されるソフトウェア品質とそれに影響される業務適合性の認識のされ方が変化しうる。従って、測定モデルはソフトウェア品質と業務適合性を分けて扱い、業務適合性に対する認識の変化を構造的に捉えて、開発に重視すべき品質を特定できる必要がある。また測定モデルは、技術サービスのプロセスを業務適合性の測定指標に反映させる必要がある。この際、技術サービスは報告書やコンサルティング提供が商材のため、商材の生産提供プロセスに着目した業務適合性の把握が必要である。従って、技術サービスにおいては、開発と提供の業務プロセスに着目した業務適合性を測定できる必要がある。

そこで業務適合性の測定では、第一に利用者の背景情報に関する観測変数は、技術者の業務意識として業務や役割に焦点を当てる。第二に、ソフトウェア品質に関して Iivari[44]は、システム品質 (System Quality) や情報品質 (Information Quality) についての潜在変数を扱い、潜在変数間の相関を分析している。提案モデルでは、技術サービス支援ソフトウェアの特徴を踏まえ、品質設計へ適切に反映させるために、ソフトウェア品質にはシステム品質や情報品質に関連する観測変数を用いる。第三に、ソフトウェア品質影響に関する業務適合性は、開発から提供にいたる業務遂行の質の高まりを測定する。業務適合性は、技術サービスのプロセスを通じたいくつかの観測変数で構成された潜在変数とする。このことは、パス係数の変化で設計や測定解析のサービス種別の業務品質を表現可能にする。その結果、測定モデルは変数間の関係性に対するエンジニアの認識を捉えることを可能にする。従って、提案モデルは、図5.1に示す構造方程式モデルの形態をとる。

5.2.2 業務意識

図5.1に示した Goodhue, and Thompson[37]の業務特性の測定指標では、業務内容の定型性 (routineness) と部門横断性 (interdependence) の2指標を扱っている [79].

ところで、技術サービスには、開発と提供のプロセスがある。開発プロセスは、非定型業務である。提供プロセスは、非定型業務と定型業務が混在しているため、開発と受注後のサービス提供を兼務している技術者の業務特性が、定型性という指標では、明確に識別されなくなる。さらに、部門横断業務かどうかについては、開発部門から仕様情報を取得し、他部門との調整を実施してサービス提供が行われるので、常に複数部門間がかかわる。よって部門横断性の有無を指標として用いるのは適切ではない。

技術サービス支援ソフトウェアの業務適合性を分析するには、技術者が利用するときの役割を考慮することが必要である。しかしながら、先行研究[37, 49, 50, 80]は、利用者個人の役割よりも、部署名や役職といった組織に関連する情報を業務特性として扱い、異なる企業間で組織名や役職の内容を整合させて、業務適合性に及ぼす影響を分析する必要があるが生じる。従って、単純に部署名などで測定した結果を用いると、業務適合性を改善させるための活用において誤った結論を導く懸念がある。また、品質と業務適合性の背景を分析する情報が、役割や業務内容に即していないため、品質の重要性を的確に把握しにくい課題がある。従って、利用者の役割を背景として分析できる測定指標を考慮する必要がある。

本研究では、ソフトウェア利用者の業務上の役割意識を業務意識と定義し、技術者の業務意識について、サービスの開発と提供という2つのプロセスに着目する。提案モデルでは、サービス商品を開発する業務意識の高さを表す「開発業務意識」と、顧客への情報提供を行う業務意識の高さを表す「提供業務意識」の2つの指標を測定する。

5.2.3 技術サービス支援ソフトウェア品質

技術サービス支援ソフトウェア品質は、利用する技術者が評価するソフトウェア外部・内部品質と定義する。ISO/IEC 9126[46]の外部・内部品質では機能性、信頼性、使用性、効率性、保守性、移植性がある。先行研究[37, 44]は、モデルで扱う測定変数が多く、分析に必要な被験者数が500程度の大規模な測定を要するため、技術サービスを提供する技術者組織に既存の測定モデルをそのまま適用できない。また、即応した開発施策の検討には、直接的な測定指標を用いる方が望ましい。従って、前述の技術サービス支援ソフトウェアの特徴を踏まえ、ISO/IEC 9126[46]

の機能性と信頼性の測定指標を具体化する。なお、使用性[46]や「Ease/Training」の概念[37]は、5.3.1章で後述するインタビューで操作性に関するコメントを受けたため、Bailey, and Pearson[8]の「操作性」を測定した。後述の5.2.4章に示す業務適合性指標との相関を確認したところ、ほぼ無相関であることを確認している。

ISO/IEC 9126[46]の機能性には、「合目的性」、「正確性」、「相互運用性」、「セキュリティ」、「機能性標準適合性」という副特性がある。技術サービス支援ソフトウェアの機能性は、前者3つが該当し、事業領域に基づく知識や情報に依存するため、情報に関連する品質を扱う必要がある。合目的性や正確性は、顧客との議論の場に有益な情報であることが評価される。正確で詳細な結果を提供しても顧客の要望と整合しない場合、評価が低くなる可能性がある。出力情報について、技術者自身が持つ経験や理論の知識から納得できる結果が得られたかが重視される。そこで、情報の正確さに納得できる理由を示せることが、顧客満足として考慮されているKahn, Strong, and Wang[54]の「信憑性」を測定する。

相互運用性は、Goodhue, and Thompson[37]では、「Compatibility」という構成概念でデータの一貫性を保って統合や比較が行えることと定義されている。技術サービス支援ソフトウェアの場合、各技術者が複数のソフトウェアを扱ったり、測定機器と連携したりすることが頻繁で、他のシステムの連携が重要なため、互換性だけでなくシステム連携も考慮したBailey, and Pearson[8]の「統合性」を測定する。

ISO/IEC 9126[46]の信頼性には、「成熟性」、「障害許容性」、「回復性」、「信頼性標準適合性」という副特性がある。技術サービス支援ソフトウェアの信頼性は、販売製品のソフトウェアとは異なる特徴に配慮する。販売製品のソフトにおいては、過去の使用実績や製品のライフサイクルから「成熟性」が重視されたり、商材の品質保証を必要とするため、「障害許容性」が重視されたりすることが考えられる。対照的に、技術サービス支援ソフトウェアでは、報告書作成などのサービス提供を実行する上で支障がないことが重要なため、ソフトウェア製品の品質基準よりも緩い基準で許容されてしまうことも多い。エラーが発生してもすぐに回復し、最終的に結果が得られるかを表す「回復性」は、前者の2つに比べて重視されやすいと考えられる。従って、エラーが発生した場合にすぐに回復できるかを測定する。Iivari[44]は、System Qualityという潜在変数に対する観測変数としてRecoverabilityを用いている。変数の解釈が異なるため、提案モデルで

はISO/IEC 9126[46]の品質特性(reliability)を観測変数の名称とし、副特性のrecoverabilityを質問内容とする。

技術サービス支援ソフトウェア品質は、利用する技術者が評価するソフトウェア外部・内部品質と定義する。本章の提案モデルでは、出力情報の信用度を示す「信憑性」、システム連携の容易さを示す「統合性」、エラーや障害など動作しない状態からの回復力を示す「信頼性」の3つの指標を測定する。

5.2.4 業務適合性指標

業務適合性指標は、業務意識と同様、サービスの開発と提供という2つのプロセスに着目して考慮する。技術サービスの開発では、報告書作成や顧客との議論に必要な要素技術の獲得と、報告書を完成させるプロセス確立を行う。技術サービスの提供では、商材である報告書や顧客への説明資料の作成、およびその説明を行う。業務適合性指標は、物的な報告書という物的な商材と、報告書を用いたコンサルティングという経験的な商材の開発から提供に至る業務遂行の質の高まりを扱う。

ところで、先行研究[37, 44, 46]は、顧客をソフトウェア利用者、あるいはソフトウェアを利用するサービスシステムの運用者として扱っており、ソフトウェア利用者にとっての顧客を定義したものではない。提案モデルの業務適合性指標は、ソフトウェアを利用する技術者と技術者の顧客のかかわりを扱う。

技術サービスは専門サービスの一つとして捉えられるため、藤村[33]の医療サービスに適用している3つの側面、専門的知識・技能品質、物理的品質、相互作用品質を参考にする。開発業務の質の高まりは、専門的知識・技能品質に該当し、報告書など商材の生産プロセス開発における「試行」のしやすさと考える。提供業務の質の高まりは、物理的品質と相互作用品質に該当する。物理的品質は報告書などの商材、すなわち「情報提供」の質の向上として捉える。相互作用品質は顧客との議論の質、すなわち「顧客対応」の質の向上として捉える。

提案モデルの業務適合性は、技術サービス提供者の技術者がソフトウェアの利用を通じて認識する業務遂行の質の高まりをさす構成概念、すなわち潜在変数とする。本章の提案モデルでは、「試行」、「情報提供」、「顧客対応」の3つの指標を測定する。

5.2.5 業務適合性測定モデル（仮説モデル）

5.2.1章にて述べた指標間の関係性と、5.2.2章から5.2.4章にて述べた各測定指標から導出した業務適合性の測定モデルは図5.2となる。図5.2の測定モデルは、

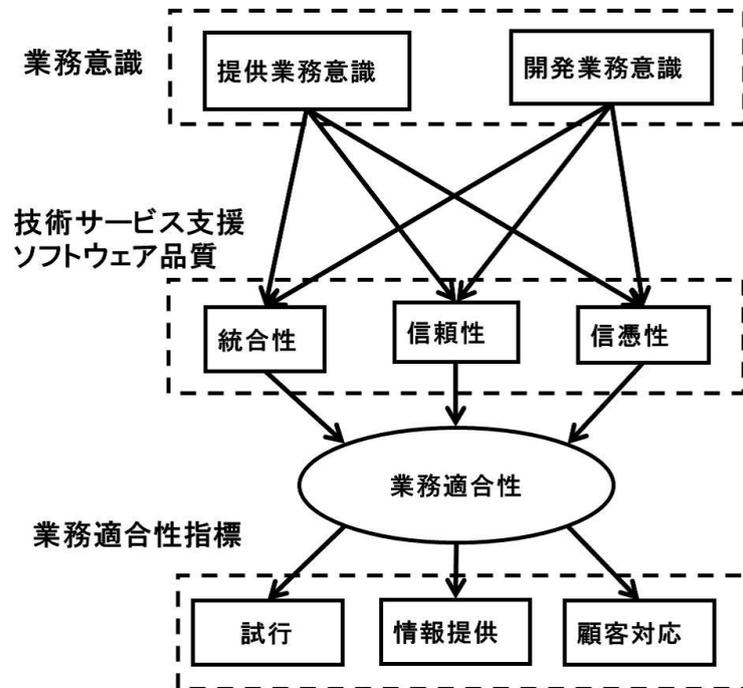


図 5.2: 業務適合性の測定モデル

業務意識、技術サービス支援ソフトウェア品質、そして業務適合性への連鎖関係になっている。図5.2の提案モデルでは、ソフトウェア利用者の業務上の役割意識を業務意識と定義し、職位ではなく、ある業務に従事しているか否かの意識の強さを測定する。図5.2の提案モデルでは、技術者の役割意識をもつ業務について、サービスの開発と提供という2つのプロセスに業務意識の指標を設け、「開発業務意識」は、サービス商品を開発するという認識が強いかを測定する。これに対し「提供業務意識」は、顧客との打ち合わせを行う業務という認識が強いかを測定する。

図5.2の測定モデルの仮説は、先行研究[37, 44]をもとに業務意識が技術サービス支援ソフトウェア品質に及ぼす影響は負の影響を想定し、技術サービス支援ソフトウェア品質が業務適合性に及ぼす影響は正の影響を想定している。従って、図5.2の測定モデルは、業務意識が強いほど品質不足を感じやすくなり、その品質を高めることが、業務適合性を高めると想定している。

図5.2の測定モデルは、先行研究[37, 44, 46]と比較して以下の2つの精緻化が図られている。第一は、業務意識に応じた技術サービス支援ソフトウェア品質の測定が行えることである。このことは、個人が多様な複数の役割を認識する表れとして業務意識の強弱を測定でき、技術サービスの開発業務と提供業務の意識の強さの変化が、品質の充足、あるいは不足の認識に及ぼす影響を測定できることを意味する。また、業務意識が、技術サービス支援ソフトウェア品質の業務適合性へ及ぼす影響に関係付けられる背景の情報となっていることである。

第二は、業務適合性という概念を構成する測定指標に影響を及ぼす構造の変化をとらえた上で、技術サービス支援ソフトウェア品質と業務適合性の関係を測定できることである。これは、具体的な技術サービスのプロセスから業務適合性指標を設定していることである。このモデルの適用により、業務意識に応じた技術サービス支援ソフトウェアの品質ニーズと共に、技術サービスの内容に即してどの品質指標が業務適合性を高めているかを把握できる。さらに、測定モデルは業務適合性指標への影響を把握することで、技術サービスのプロセスに対して改善すべき品質要素を明確にできる。

5.3 業務適合性の測定事例

5.3.1 無線通信業界の技術サービス支援ソフトウェア事例

無線通信事業者に対して技術サービスの開発と提供を行う事業部を対象に、質問調査票を用いて測定する。質問票作成のための予備調査は、19名に依頼した。欠損値のない16名の回答データを分析に用いている。予備調査の回答者との議論に基づき各測定指標の質問に用いる言葉を修正している。先行研究にない業務意識と業務適合性に関する質問項目は、技術サービスを提供する技術者3名に対してインタビューし、開発と提供のプロセスに着目した図5.2の提案モデルの指標が適切であることを確認している。

本調査では、無線通信ネットワーク構築・運用の技術サービスに用いる6つのソフトウェアについて33名に依頼し、31名から回答を取得している。事例分析は、欠損値がある回答2名を除いた29名（主任7名、担当22名）、延べ85サンプル（延べ利用者数）により行われる。各ソフトウェア種別と用途、利用者数を表5.1

表 5.1: ソフトウェア種別と利用者数

ソフトウェア種別	用途	利用者数
Software 1	屋外設計	27
Software 2	屋内設計	13
Software 3	屋内設計	8
Software 4	屋内外測定解析	19
Software 5	屋外測定解析	9
Software 6	屋内測定解析	9
合計		85

にまとめる。6名が、ソフトウェア発注を兼務する技術者であり、そのうち2人は全ての業務に関わっている。それ以外の技術者は、開発と提供の業務のいずれか一方、あるいは両方に従事している。技術者は一人あたり平均3つのソフトウェアを利用しており、用途は技術サービス内容に相当する。Software 1 から Software 3は設計用途のソフトウェアである。また、Software 4 から Software 6は測定解析用途のソフトウェアである。利用者の経験年数は、ほとんどのソフトウェアにおいて1年以上の人数が支配的である。技術サービス提供は、数ヵ月から6ヵ月単位のプロジェクトで実施されるため、6ヵ月以上使っている場合、操作知識は十分に有するとみなせる。

図5.2の業務適合性の潜在変数は、専門サービスの品質から「試行」、「情報提供」、「顧客対応」の3つの観測変数を設定している。この潜在変数の測定信頼性について α 係数（Cronbachの α [21]）は、0.76という結果を得ている。この値の算出方法と確認については、付録Cを参照されたい。質問票の解釈に依存する問題は、インタビューにより意図した観測変数の測定を確認しているため、生じにくいと考える。後述の結果（図5.3）において、「情報提供」と「顧客対応」へのパス係数に比べて「試行」へのパス係数が小さい。この結果から開発プロセスに関する観測変数が、業務適合性の構成概念において信頼性係数の低下要因と考える。

しかしながら、業務適合性の測定で「試行」を提案モデルから削除することは、構成概念妥当性の観点で不適切と考える。構成概念妥当性を高めるには、業務適合性の測定に適切な観測変数を多く扱うことが識別性の点では望ましい。提案モデルの業務適合性は、3つの観測変数により測定される。2つ以下の観測

変数で潜在変数を測定する場合は、丁度識別を満たせなくなるため、モデルに対して制約を課す必要が出てしまう。また、「試行」の指標を扱うことは、技術サービスの開発と提供のどちらのプロセスで業務適合性が捉えられているかを明確にできる利点がある。

「試行」は、開発のプロセスに該当する専門的知識・技能品質[33]を扱っている。藤村[33]は、専門的知識・技能品質[33]の測定について困難さを指摘している。この研究[33]は医療サービスの事例を扱っており、専門的知識・技能品質は提供者と顧客に情報の非対称性がある。従って、専門的知識・技能品質は直接的に顧客に評価されるのではなく、他の部分品質の評価を通じて間接的に推測されるだろうと藤村[33]は説明している。これに対し、本研究の技術サービスは顧客も高い専門知識を有するため、指標に含めることは、構成概念の妥当性を高める上では適切と考える。従って、信頼性係数の結果は分析を進めることについて許容できるものとする。

5.3.2 6つの技術サービス支援ソフトウェア

業務意識と技術サービス支援ソフトウェア品質の関係

6つのソフトウェアにおいて、図5.3は業務適合性を測定した分析結果を示す。提供業務意識と開発業務意識を除く6つの測定指標と、概念変数として扱う業務適合性に誤差変数を設定しているが、図5.3では省略している。また、各矢印に記される数値は最尤法によって得られた標準解の推定係数である。モデルの適合度は、RMSEAが0.1未満で、カイニ乗検定のp値が0.1より大きく、GFIあるいはAGFIが0.9以上であるモデルであれば採択可能で、AGFIが0.9以上のモデルは適合度が良いという指針[5]がある。CFIは0.95以上を満たしているのに対し、NFIの値はわずかに0.9よりわずかに小さい。このNFIは、少ないサンプル数に起因していると推察される。従って、中程度の適合度は確保しており、図5.3のモデルは容認できるモデルと考える。

提供業務意識は、信頼性に負の影響を及ぼしている。このことは、提供業務意識が高まると、技術サービス支援ソフトウェアの信頼性に対する品質評価が厳しくなり、品質不足を感じやすい表れと考えられる。また、開発業務意識は統合性に負の影響を及ぼしており、開発業務意識が高まると、統合性に対して品質不

足を感じやすい表れと考えられる。これらの影響関係は、想定している結果に整合する。また、提供業務意識と開発業務意識において有意な正の相関が確認される。このことは、開発と提供を兼務している技術者が存在することによる影響と考える。提供業務意識と開発業務意識には相関があるにもかかわらず、提供業務意識は統合性にほとんど影響を及ぼさないことと、開発業務意識は信頼性にほとんど影響を及ぼさないことを確認できる。これらのことは、5.2.5章で述べた想定とは異なる。

利用者が開発関与している場合には、開発業務意識が技術サービスソフトウェア品質に正の影響を及ぼすことが考えられる。これは、技術サービス支援ソフトウェアの品質確保に対して、あまく評価していることを意味する。本事例においては、開発関与している技術者は確かに存在するが、開発を発注する技術者であるため、ソフトウェアの作り手とは異なる。発注した技術者は、他の技術者よりも、各ソフトウェアの品質的な特徴をより顕在化させた評価をする可能性はあるが、品質確保の評価があまくなることは考えにくい。その結果として、図5.3の開発業務意識が、技術サービス支援ソフトウェア品質に正の影響をほとんど及ぼさないことを確認できる。ただし、技術的な知識を豊富に持つ開発業務意識の高い技術者が、品質の良さを他の技術者に比べて敏感にとらえていることが明確にできる場合に限り、開発業務意識が情報の信憑性に正の影響を及ぼす可能性は、否定できないと考える。

ところで、Goodhue and Thompson[37]の研究では、業務特性と品質、すなわち業務適合性の関係において、業務特性は信頼性に対して負の影響を及ぼすことが確認されている。また業務特性は、提案モデルの統合性に相当する互換性に対しても負の影響が確認されている。図5.3では、これらの負の影響の確認に加えて、提供業務意識と統合性、および開発業務意識と信頼性において、ほとんど影響を及ぼさないという精緻な結果が得られている。技術者の業務意識に対し、品質の不足認識がどのように変化するかを明らかにしている。従って、技術サービスの提供と開発のプロセスの業務意識に着目した測定により、技術サービスの提供と開発のプロセスにおいて、技術者の業務意識に応じた品質のニーズ変化をより詳細に観察できることが分かる。

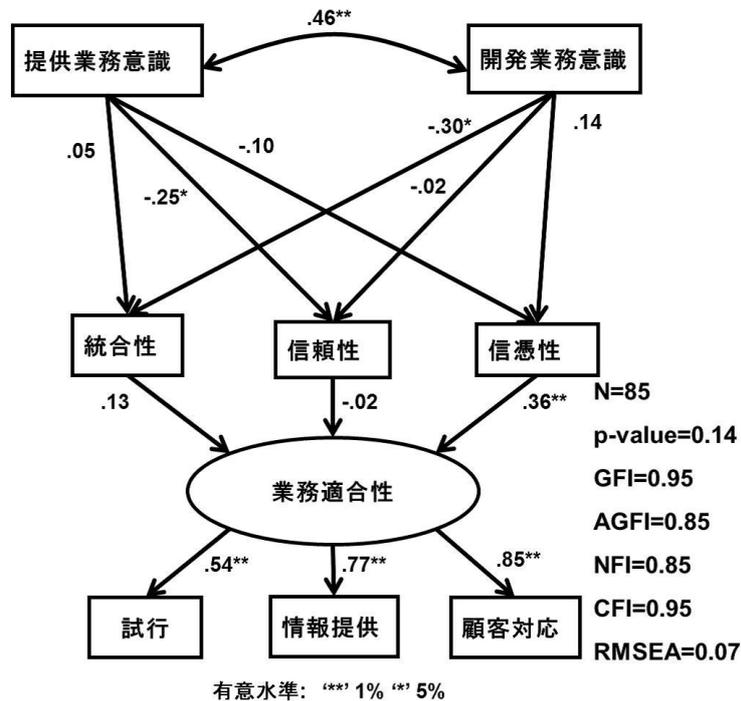


図 5.3: 6つのソフトウェアの分析結果

技術サービス支援ソフトウェア品質と業務適合性の関係

技術サービス支援ソフトウェア品質の業務適合性への影響は、信憑性が最も強い。この要因は、電波伝搬や通信方式などの技術的な理論や経験から、技術者が納得できる結果であるかが最も重視されるためと考えられる。この結果は、5.2.5章で想定していた技術サービス支援ソフトウェア品質が業務適合性に正の影響を及ぼすことと整合する。信憑性は、品質不足を認識される指摘がなかった品質である。これに対し、提供業務意識との関係を前述で指摘された信頼性が、業務適合性にほとんど影響しない。これらのことから、不足と認識される品質が必ずしも業務適合性を向上させるとは限らないことが分かる。この事実発見は、5.2.5章で想定していた連鎖の関係性とは異なるが、品質改善の程度を精緻に把握できる有益な情報である。

本提案の測定モデルは、業務適合性への影響を及ぼす要因を明確に特定するために、単一尺度の指標を用いており、Iivari[44]のように概念化された品質の因子相関を分析するモデルと異なる。多次元尺度の概念指標に基づく測定は、品質概念

として業務適合性へ及ぼす影響を顕在化させることに有益だが、要因の明確な特定ができない懸念がある。これに対し、提案する測定モデルでは、信憑性が出力情報の信用度であることを明確に特定できる。他の要因を測定する必要がある場合は、潜在変数のように概念化せず、観測変数を直接扱うことが望ましい。

技術サービス支援ソフトウェア品質が業務適合性に及ぼす影響について、5.2.5章の想定と異なり説明力が低く見える要因は、技術者がソフトウェアに対して持っている印象のばらつきが考えられる。本事例の測定では、延べ85サンプルで1人あたり2, 3種類のソフトウェアを扱っている。全ての技術サービス支援ソフトウェア品質について全ての品質を同じ値で回答しているサンプルとある品質を除いて同じ値を回答しているというサンプルを合わせると、ばらつかないサンプルが2割程度存在する。このことから、複数のソフトウェアを扱うにあたって、良い印象と悪い印象のソフトウェアがあると推察される。ソフトウェア種別によって、統合性、信頼性、信憑性の評価値を個人の好みの変化で一律に高く、あるいは低く評価する可能性が考えられる。従って、技術者において品質評価の適切なばらつきのデータを得るためには、一定期間経過した後にデータを追加取得する配慮などが必要となる。

業務適合性は顧客対応に最も強く影響を及ぼす。この要因は、報告書による情報提供よりも、報告書をもとに顧客と議論する質が高まることを重視する表れが考えられる。また、情報提供や顧客対応に比べて、業務適合性は試行に弱い影響を及ぼす。これは業務適合性の評価構造が、顧客との接点に近い業務遂行の質によるものと捉えられる。従って、業務適合性は、開発のプロセスにおける「試行」に比べて、提供のプロセスにおける報告書提供の質と顧客対応の質に強く影響を及ぼすことが、図5.3から分かる。さらに業務適合性指標に「情報提供」と「顧客対応」を扱うことは、業務適合性が、物的な商材と経験的な商材の質の向上についてどちらがどの程度認識されたものかを明確にできる利点がある。これを5.3.3章のソフトウェア用途別の分析により確認する。

5.3.3 技術サービス支援ソフトウェアの用途に応じた分析

設計用途の技術サービス支援ソフトウェア

図5.4は、設計用途の技術サービス支援ソフトウェアにおける分析結果を示す。設計用途のソフトウェアは、後述の測定解析用途のソフトウェアと比較して以下の特徴がある。

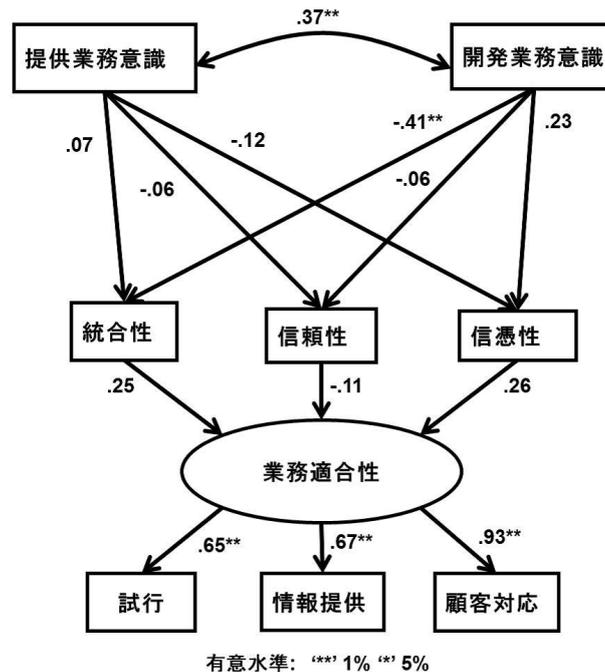


図 5.4: 設計用途のソフトウェアの分析結果

第一に、開発業務意識は、統合性により強い負の影響を及ぼしている。これは、設計用途の場合は、統合性に対して品質不足をより強く感じやすくなる表れと考えられる。第二に、統合性が業務適合性により強い影響を及ぼす。これは、設計用途のソフトウェアの特徴にあげた豊富な入出力インタフェースが必要であるため、他のシステムとの連携がとりやすいかを評価する統合性の及ぼす影響が強くなったと考えられる。第三に、業務適合性は、情報提供よりも顧客対応に最も強く影響を及ぼす。これは、設計結果を提供する際の顧客対応において、報告書を用いた議論の質が高まることや、サービス提供を行う技術者が自分の説明能力の高さを示せることが、重視されるためと考えられる。

測定解析用途の技術サービス支援ソフトウェア

図5.5は、測定解析用途の技術サービス支援ソフトウェアの分析結果を示す。測定解析用途のソフトウェアは、前述の設計用途ソフトウェアの場合と比較して以下の特徴がある。第一に、提供業務意識が信頼性に対してより強い負の影響を及ぼしている。測定解析用途のソフトウェアの場合、信頼性が報告書作成の業務遂行に必要であると捉え、品質不足をより強く感じやすくなる表れと考えられる。

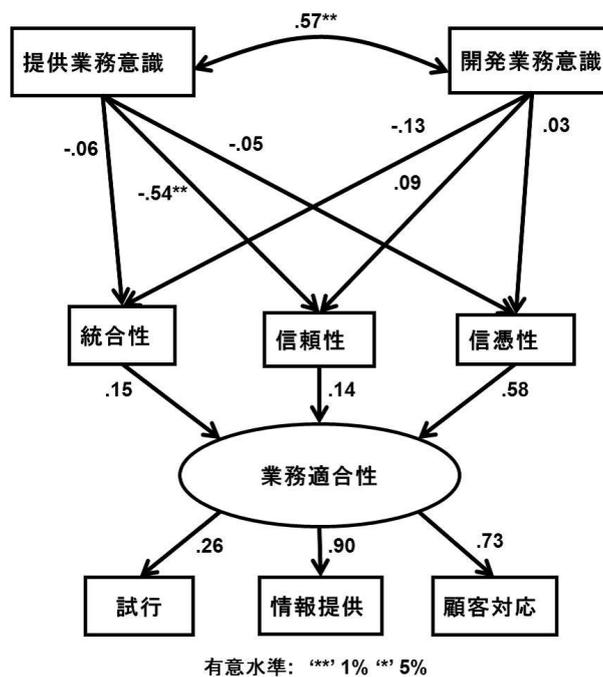


図 5.5: 測定解析用途のソフトウェアの分析結果

第二に、信憑性が、業務適合性に強く影響を及ぼすことである。これは、測定結果や図の情報そのものに価値があり、技術者の経験的な知識や理論と整合する結果が得られたかが、より大きく重視されるためと考えられる。また、信頼性は、品質不足の認識をなくす以上に、大幅な改善がなされても、業務適合性の改善にはあまり影響しないことが確かめられる。従って、前述の設計用途のソフトウェアのように、不足と認識される品質と業務適合性を高める品質が、一致するとは限らないことが分かる。

第三に、業務適合性が情報提供に最も影響を及ぼす。これは、情報提供そのものに価値があると評価される測定解析用途のソフトウェアと、技術検討のノウ

ハウを顧客との議論を通じて提供することに価値があると評価される設計用途のソフトウェアとの違いによると考えられる。言い換えれば、商材の違いによる影響の表れと捉えられる。測定解析用途のソフトウェアでは、報告書や測定データ自体といった商材生産の質の向上として認識され、設計用途のソフトウェアでは経験的な商材生産の質の向上として認識されることが分かる。従って、本提案の業務測定指標により、商材の特徴に対する業務適合性の影響を明確に把握できる利点を確認できる。

図5.3から図5.5の結果は、有意でないパスが存在する。また、5.2.5章で想定していた仮説と異なる結果が確認されている。これには、5.3.2章で指摘した要因を含めて測定誤差に影響する要因が考えられる。具体的には、質問紙調査における業務意識の扱いである。本事例では、兼務している技術者が、開発業務と提供業務の配分を複数の担当業務を通じて固定的に認識している前提で質問表を作成している。その結果、業務意識の観測変数は、ソフトウェア種別やプロジェクトに関係なく一定の値を扱っている。前述した技術者においてソフトウェア種別に依存した品質評価の適切なばらつきのデータやプロジェクト単位、あるいはソフトウェア単位で業務意識を精緻に測定したデータを用いている。そのため、担当プロジェクトの変更などが生じて主に使用するソフトウェアが変わった際や一定期間経過した後にデータを追加取得する配慮が必要となる。

5.3.4 技術サービス支援ソフトウェア品質設計への活用

図5.2の測定モデルを無線通信業界に適用した分析結果を通じて、本章では技術サービス支援ソフトウェアの品質設計や製品企画への活用をいくつか提案する。第一は、適切な品質改善の目標設定への活用である。図5.2の測定モデルは、技術サービス支援ソフトウェアにおいて品質を確保したときの業務適合性が向上する程度と、業務意識を通じて品質が確保されなかった場合の不満になる程度を同時に考慮できる。

図5.4と図5.5の結果からは、設計用途ソフトウェアの統合性のように、不足に感じやすい品質と業務適合性を高める品質が一致する場合と、測定用途ソフトウェアのように異なる場合があることを観察できる。従って、統合性の大幅な改善は、設計用途ソフトウェアにおいて有効であるが、信頼性は不満を解消できる

程度の品質確保がなされていれば、十分であるとの指針が得られる。この指針は、技術サービス支援ソフトウェアが過剰品質になることを防ぎ、開発が必要な品質の精緻な分析に役立つ。

第二は、業務適合性の向上に効果的な品質設計への活用である。設計用途のソフトウェアと測定解析用途のソフトウェアは、どちらも信憑性を重視した開発を行うことが効果的であり、技術サービス支援ソフトウェアの品質設計における基本的な要件であることが分かる。また、設計用途のソフトウェアの結果から、信憑性ととともに、品質不足の認識と業務適合性の改善を同時に解決する統合性に配慮した品質設計が、効果的であると分かる。さらに、測定解析用途のソフトウェアは、品質不足を認識されない程度の信頼性と、業務適合性を向上させるための信憑性を確保する品質設計を行うことが、効果的であるという知見が得られる。

第三は、業務適合性の評価構造に応じた技術サービスの分類への活用である。開発と提供のどちらのプロセスに関して業務適合性が影響を及ぼすか、さらに提供においては、物的な商材と経験的な商材のどちらの影響を及ぼすかを分析することでサービスの特徴が把握できる。設計用途ソフトウェアのように、業務適合性が顧客対応に強く影響する評価構造では、顧客との接点に近い業務遂行の質に影響を及ぼすことから、報告書よりもコンサルティングのような商材の特徴を反映した技術サービスであると捉えられる。これに対して測定解析用途のソフトウェアのように、業務適合性が情報提供に強く影響する評価構造では、顧客との対話よりも提供できる報告書の内容に依存した特徴を反映するサービスとして考えられる。

第四は、業務意識が技術サービス支援ソフトウェア品質に及ぼす影響から、技術サービスの開発や提供といった各プロセスで、ソフトウェアに対する要求品質の変化を把握するための活用である。異なる業務意識をもつ技術者間でソフトウェアの要求品質の変化を把握し、要求を達成する上で競合が発生した場合、どのように開発機能選択を調停すべきかの検討に活用できる。

5.4 技術サービス支援ソフトウェアの業務適合性測定のまとめ

技術サービス支援ソフトウェアの品質設計を考慮するための業務適合性測定モデルを提案した。提案したモデルは2つの特長を有する。一つは、技術サービ

ス支援ソフトウェアの利用者背景を把握する測定指標として業務意識を追加したことである。もう一つは、専門サービスの品質評価を参考に、技術サービスの業務遂行プロセスに着目した業務適合性指標を設定し、技術者が認識する業務適合性の概念を構造的に把握することである。

この業務適合性測定モデルを無線通信ネットワークの構築、運用のサービスにおける技術サービス支援ソフトウェアに適用したところ、業務成果影響の指標よりも、技術サービスに即して影響が及ぼされる内容を明確化できた。さらに、業務意識に応じて品質不足と認識される品質が、必ずしも業務適合性に影響を及ぼすとは限らないことと、品質不足と認識されるものとは別に信憑性という情報の品質が、業務適合性の向上に最も影響を及ぼすことが分かった。これらのことは、技術サービス支援ソフトウェアの開発者や発注者が品質設計や開発企画を行う上で有益な知見になると考える。

提案する測定モデルを適用する上での留意点と今後の研究課題をいくつか指摘する。本章の研究では無線通信業界の事例を扱っており、他の専門サービスの事例に適用する場合には、特化したソフトウェア品質指標に対して検証が必要となる。本章の提案モデルでは、既存のソフトウェア品質指標を観測変数として用いているが、より適切な技術サービス支援ソフトウェア品質の測定指標を検討することは価値がある。また、技術者の好みの変化で評価値のばらつきが不適切になる可能性がある。これらに対しては、技術サービスの特徴としてあげたデータのサンプル数が少ない利用者組織に適用可能とする配慮が必要になる。従って、提案モデルを活用する留意点には、ソフトウェア種別に依存した品質評価の適切なばらつきがあるデータを用いることと、プロジェクト単位あるいはソフトウェア単位で業務意識を精緻に測定したデータを用いることがあげられる。この留意点への対応は、担当プロジェクトの変更などが生じて、技術者の主として使用するソフトウェアが変わった際や、一定期間経過した後にデータを追加取得することがあげられる。

業務意識と業務適合性指標は、開発と提供という2つのプロセスに着眼している。業務プロセスを細分化した業務意識や業務適合性指標の開発は、品質設計の実務上有益である。さらに属人的な要因、特にスキルに対する考慮を業務適合性の評価にいかに関与させるかは検討が必要である。提案した測定モデルで

の業務適合性指標は，開発と提供のプロセスに基づいて考慮されているため，時系列的な関係がある．時系列的な関係を把握するためには，試行，情報提供，顧客対応の相互影響の考察を深めることが今後の研究課題となる．

提案したモデルは，無線通信業界の技術サービスという一事例への適用ではあるが，業務意識と技術サービス支援ソフトウェア品質の関係，およびその品質と業務適合性の関係を連鎖的に扱うことで，適切な品質改善の程度を精緻に分析できることが分かった．

第6章 結論

本研究は、技術サービス提供におけるシステム構築の問題意識を開発段階で整理し、ソフトウェア機能配備、開発機能の選択、業務適合性の測定という3つのテーマを策定した。本研究は、情報システム科学や経営工学、およびそれらの周辺となる経営学、ソフトウェア工学といった多岐にわたる学術分野の知見を駆使して実践的な課題の解決を試みている。

3章のソフトウェア機能配備というテーマでは、アーキテクチャに関する研究から文献調査を進め、情報システム科学の情報システム柔軟性という研究領域を核としている。技術サービス提供者の特性を技術難易度として扱った提案モデルが、定量的な分析を可能にした意義は大きい。さらに、提案モデルの結果は、意思決定が困難と想定される開発が割高なプロジェクトコスト事例への適用において有効性を示している。4章の考察と重ねると、技術先進性を扱うサービス開発でソフトウェア開発推進を判断するには、機能配備に加えて開発実施の価値の考慮が重要であると認識できた。従って、3章の研究で得られた知見は、技術サービス提供者に属する発注者の意思決定を行う者や、技術サービス提供者の事業パートナーであるソフトウェア開発者に貢献する。さらに3章では、複数のプロジェクトコスト事例を扱った結果、事業プロセスと技術難易度の指標間の相関を考慮していない課題を指摘している。この指摘は、技術難易度で技術蓄積のメカニズムを表現できるモデル構築が、情報システムの柔軟性戦略の研究に必要とされる研究課題を見出した貢献に値する。

4章の開発機能の選択というテーマでは、要求と機能の構造的な依存性を可視化できる要件から、QFD（品質機能展開）の関連研究に着目している。先行研究では、提供者あるいは開発者に知見を還元する事例報告が多い。対照的に本研究では、非効率な開発とコスト上昇要因を指摘できる発注者向けの手法を提案している。この発注者に着眼した提案は、学術的にも実務的にも有益である。5

章の業務適合性を高める品質や技術者が不足と認識する品質に応じた重要度の評価値を設定し、開発発注の価値を可視化することで、4章の研究成果は、投資目的の明確化につながる価値を有する。要求品質や機能実現のトレードオフの考慮について提案手法の精緻化を図ることと、提案手法の適用効果に関する検証は、今後の研究課題である。また、ソフトウェア開発の特徴をふまえた提案手法のハードウェア開発への適用可能性を検討することは、製造業に属する技術サービス提供者のニーズが高い研究課題と考える。

5章の業務適合性の測定というテーマでは、技術サービスの蓄積したノウハウをソフトウェアに実装する改善開発が繰り返される特徴をふまえて、情報システムのユーザ評価とソフトウェア品質評価の先行研究に着目している。開発者向けの知見を獲得する先行研究に対し、5章の研究は発注者が要求仕様を策定する観点で、ソフトウェア品質設計を支援する測定モデルを提案している。業務意識によって不足と捉えられる技術サービス支援ソフトウェア品質が、業務適合性を高めるとは限らないという想定と異なる結果は、品質改善の程度を精緻に把握するために有益な情報である。ただし、5章で述べた測定誤差の要因分析は、検証を重ねる必要がある。

3章から5章の研究成果は、システム構築の際に費用対効果を分析する先行研究のフレームワークを精緻化した貢献を有する。特に生産財の製造業者は、発注者と開発者の双方の立場で技術管理を必要とする。技術サービス提供者の技術者には、ソフトウェア技術に精通していないが、ある程度技術に見識のある発注者が存在する。本研究の独自性は、3章で扱った柔軟性戦略の検討と5章の業務適合性を扱ったシステム評価との連携に、QFDに着目した発注者向けの機能選択を4章で提案していることである。

最近の研究では、業務と技術の適合性 (Task-Technology Fit) [37] と技術受容 (Technology Acceptance) [100] を情報システムの柔軟性[34]に統合させたフレームワークを提案した研究[67]が出現している。この研究[67]は、大学の履修科目登録システムの事例を扱ったフレームワークの統合化に関して初期段階にある。本研究で取り上げた技術難易度や充足度、時間の深刻度や適時性、情報の信憑性といったシステム仕様策定や利用者の重要度評価に扱える指標は、設計支援フレームワークの統合化や精緻化に有意義な視点を提供する。

本研究の設計支援フレームワークは、大きく2つの活用場面がある。一つは、新たなサービス要素技術をシステム化する状況下で、完全に新規な状況で戦略検討を行う場面である。もう一つは、サービス実行中の事業環境下で、開発戦略を検討する場面である。技術蓄積が少ない前者では、設計変更への柔軟性を重視し、開発機能の選択を情報の信憑性を高める項目に配慮する方策が望ましいと推察できる。しかしながら、後者のようにサービス実行を継続しながら開発戦略を考慮する場面では、業務意識の違いによる技術者の品質ニーズを反映する施策が効果的であると推察される。これには、サービス実行の中で確実性が高まることや、技術蓄積が多くなっている理由が考えられる。確実性が高いほど、利用パターンへの柔軟性を重視する開発の戦略比重が高くなる結果も、同様の解釈が成り立つためと理解できる。従って、いずれの場面においても、本研究で提案しているフレームワークが機能する見通しが立てられる。この成果は、戦略検討の担当者や管理者向けに有意義な成果と評価できる。

本研究の限界は、技術サービス提供者のデータを取得できる機会が得られにくいことと、データのとり方に対する考察と工夫に依存する。本研究を足がかりとして、今後の研究ではより様々な業界や技術者からのデータを蓄積し、技術サービスの実践的な理論を洗練させる考察を深めたい。

参考文献

- [1] 赤尾 洋二 : ”品質展開入門”, 日科技連出版社, pp. 13–47, (1990).
- [2] 秋庭 雅夫 : ”顧客満足への貢献値の対所要コスト比率を用いた機能向上施策の選択方法に関する研究”, 品質, Vol. 27, No. 2, pp. 89–96, (1997).
- [3] Anderson, P., and Tushman, L. M. : ”Technological Discontinuities and Dominant Designs: A Cyclical Model of Technological Change”, *Administrative Science Quarterly*, Vol. 35, No. 4, pp. 604–633, (1990).
- [4] Andersson, U., Cuervo-Cazurra, A., and Nielsen, B. B. : ”From the Editors: Explaining interaction effects within and across levels of analysis”, *Journal of International Business Studies*, Vol. 45, No. 9, pp. 1063–1071, (2014).
- [5] 朝野 熙彦, 鈴木 督久, 小島 隆矢 : ”入門 共分散構造分析の実際”, 講談社, pp. 118–122, (2005).
- [6] Azad, B., and King, N. : ”Enacting computer workaround practices within a medication dispensing system”, *European Journal of Information Systems*, Vol. 17, No. 3, pp. 264–278, (2008).
- [7] Bacon C. J.: ”The Use of Decision Criteria in Selecting Information Systems/Technology Investments”, *MIS Quarterly*, Vol. 33, No. 12, pp. 15–16, (1992).
- [8] Bailey, E. J., and Pearson, W. S. : ”Development of a Tool for Measuring and Analysing Computer User Satisfaction”, *Management Science*, Vol. 29, No. 5, pp. 530–545, (1983).
- [9] Balasubramaniam, S., Peterson, R. A., and Jarvenpaa, S. L. : ”Exploring the Implications of M-Commerce for Markets and Marketing”, *Journal of the Academy of Marketing Science*, Vol. 30, No. 4, pp. 348–361, (2002).

- [10] Barclay, I., Poolton, J., and Dann, Z. : "Improving competitive responsiveness via the virtual environment. In Engineering and Technology Management", *IEMC 96. Proceedings., International Conference on IEEE*, pp. 52–62, (1996).
- [11] Barki, H., and Hartwick, J. : "Measuring user participation, user involvement, and user attitude", *MIS Quarterly*, Vol. 18, No. 1, pp.59–82, (1994).
- [12] Barkin, S. R., and Dickson, G. W. : "An Investigation of Information System Utilization", *Information and Management*, Vol. 1, No. 1, pp. 35-45, (1977).
- [13] Bernardes, E. S., and Hanna, M. D. : "A theoretical review of flexibility, agility and responsiveness in the operations management literature: Toward a conceptual definition of customer responsiveness", *International Journal of Operations and Production Management*, Vol. 29, No. 1, pp. 30–53, (2009).
- [14] Butler, B. S., and Gray, P. H. : "Reliability, Mindfulness, and Information Systems", *MIS Quarterly*, Vol. 30, No. 2, pp. 211–224, (2006).
- [15] Burton-Jones, A., and Straub, Jr. W. D. : "Reconceptualizing system usage: An approach and empirical test", *Information systems research*, Vol. 17, No. 3, pp. 228–246, (2006).
- [16] Byrd, A. T., and Turner, E. D. : "Measuring the flexibility of information technology infrastructure: Exploratory analysis of a construct", *Journal of Management Information Systems*, Vol. 17, No. 1, pp. 167–208, (2000).
- [17] Carnevalli, A. J., and Miguel, C. P. : "Review, analysis, and classification of the literature on QFD-Types of research, difficulties and benefits", *International Journal of Production Economics*, Vol. 114, No. 2, pp. 737–754, (2008).
- [18] 千葉 龍介, 赤坂 文弥, 舘山 武史, 下村 芳樹 : "サービスにおける多目的最適化によるリソース配分設計法の提案", *日本経営工学会論文誌*, Vol. 64, No. 3, pp. 377–385, (2013).

- [19] Clark, C. E., Cavanaugh, N. C., Brown, C. V., and Sambamurthy, V. : "Building Change-Readiness Capabilities in the IS Organization: Insights from the Bell Atlantic Experience", *MIS Quarterly*, Vol. 21, No. 4, pp. 425–455, (1997).
- [20] Cowell, F. A. : "Measuring Inequality (third edition)", *Oxford University Press*, p. 189, (2011).
- [21] Cronbach, L. J. : "Coefficient alpha and the internal structure of tests", *Psychometrika*, Vol. 16, No. 3, pp. 297–334, (1951).
- [22] Das, A. : "Towards theory building in manufacturing flexibility", *International journal of production research*, Vol. 39, No. 18, pp. 4153–4177, (2001).
- [23] Davis, F. D.: "Perceived Usefulness, Perceived Ease of Use, and User Acceptance of Information Technology", *MIS Quarterly*, Vol. 13, No. 3, pp. 319–339, (1989).
- [24] Davis, M. A. : "The Art of Requirement Triage", *IEEE Computer Society*, Vol. 36, No. 3, pp. 42–49, (2003).
- [25] デービス M. A. : "成功する要求仕様 失敗する要求仕様", 萩本 順三, 安井 昌男 (監修), 高嶋 優子 (翻訳), 日経BP 社, pp. 77–142, (2006).
- [26] Delice, K. E., and Güngör, Z. : "A new mixed integer linear programming model for product development using quality function deployment", *Computers and Industrial Engineering*, Vol. 57, No. 3, pp. 906–912, (2009).
- [27] DeLone D. W., and McLean, R. E. : "Information Systems Success: The Quest for the Dependent Variable", *Information Systems Research*, Vol. 3, No. 1, pp. 60–95, (1992).
- [28] DeLone D. W., and McLean, R. E. : "The DeLone and McLean Model of Information Systems Success: A ten-Year Update", *Journal of Management Information Systems*, Vol. 19, No. 4, pp. 9–30, (2003).
- [29] Duncan, B. N. : "Capturing flexibility of information technology infrastructure: A study of resource characteristics and their measure", *Journal of Management Information Systems*, Vol. 12, No. 2, pp. 37–57, (1995).

- [30] Elango, B., and Wayne, A. M. : "Selecting a flexible manufacturing system - A strategic approach", *Long Range Planning*, Vol. 27, No. 3, pp. 118–126, (1994).
- [31] Firesmith, D. : "Prioritizing Requirements", *Journal of Object Technology*, Vol. 3, No. 8, pp. 35–47, (2004).
- [32] 藤本 隆宏, 武石 彰, 青島 矢一 : "ビジネス・アーキテクチャ: 製品・組織・プロセスの戦略的設計", 有斐閣, p.265, (2001).
- [33] 藤村 和宏 : "専門サービスの消費者行動", 消費者行動研究, Vol. 3, No. 1, pp. 23–40, (1995).
- [34] Gebauer, J., and Schober, F. : "Information system flexibility and the cost efficiency of business processes", *Journal of the Association for Information Systems*, Vol. 7, No. 3, pp. 122–147, (2006).
- [35] Gebauer, J., and Lee, F. : "Enterprise system flexibility and implementation strategies: aligning theory with evidence from a case study", *Information Systems Management*, Vol. 25, No. 1, pp. 71–82, (2008).
- [36] Glaser, J. : "Creating IT agility", *Journal of the Healthcare Financial Management*, Vol. 62, No. 4, pp. 36–39, (2008).
- [37] Goodhue, L. D., and Thompson, L. R. : "Task-Technology Fit and Individual Performance", *MIS Quarterly*, Vol. 19, No. 2, pp. 213–236, (1995).
- [38] 行政改革推進部 : "業務改善・情報システム導入ガイドライン-業務・情報システムの最適化実現に向けて", 東京都総務局, (2009).
- [39] Hartwick, J., and Barki, H. : "Explaining the Role of User Participation in Information System Use", *Management Science*, Vol. 40, No. 4, pp. 440–465, (1994).
- [40] Herzwurm, G., and Schockert, S. : "The leading edge in QFD for software and electronics business", *International Journal of Quality and Reliability Management*, Vol. 20, No. 1, pp. 36–55, (2003).

- [41] Ho, W., Xu, X., and Dey, P. K. : "Multi-criteria decision making approaches for supplier evaluation and selection", *European journal of Operational Research*, Vol. 202, No. 1, pp. 16–24, (2010).
- [42] Holweg, M. : "The three dimensions of responsiveness", *International Journal of Operations and Production Management*, Vol. 25, No. 7, pp. 603–622, (2005).
- [43] Hossain, S. and Saeki, C., "A New Functional Form For Estimating Lorenz Curves", *Journal of Business and Economics Research*, Vol.1, No.5, pp.81-94, 2011.
- [44] Iivari, J. : "An empirical test of the DeLone-McLean model of information system success", *ACM SIGMIS Database*, Vol. 36, No. 2, pp. 8–27, (2005).
- [45] ISO/IEC 14598 : "Information technology Software product evaluation Part1: General overview (対応JIS規格 JIS X 0133-1:1999 ソフトウェア製品の評価 第1部 : 全体的概観)", *International Organization for Standardization*, (1999).
- [46] ISO/IEC 9126 : "Software engineering - Product quality Part1: Quality model (対応JIS規格 JIS X 0129-1:2003 ソフトウェア製品の品質 第1部 : 品質モデル)", *International Organization for Standardization*, (2001).
- [47] ISO/IEC 25000 : "Software engineering - Software product Quality Requirements and Evaluation(SQuaRE) - Guide to SQuaRE (対応JIS規格 JIS X 25000 : 2010 ソフトウェア製品の品質要求及び評価(SQuaRE) - SQuaREの指針)", *International Organization for Standardization*, (2005).
- [48] ISO/IEC 25010 : "Software engineering Software product Quality Requirements and Evaluation (SQuaRE) Quality model (対応JIS規格 JIS X 0129-1:2003 システム及びソフトウェア製品の品質要求及び評価 (SQuaRE)-システム及びソフトウェア品質モデル)", *International Organization for Standardization*, (2011).
- [49] Ives, B., Olson, H. M., and Baroudi, J. J. : "The Measurement of User Information Satisfaction", *Communications of the ACM*, Vol. 26, No. 10, pp. 785–793, (1983).
- [50] Joshi, K. : "An Investigation of Equity as a Determinant of User Information Satisfaction", *Decision Science*, Vol. 21, No. 4, pp. 786–807, (1990).

- [51] 情報処理推進機構 ソフトウェア技術者リングセンター編 : ”ソフトウェア見積もりガイドブック～ITユーザとベンダによる定量的見積りの実現”, オーム社, pp. 3-5, (2006).
- [52] Juan, Y., Perng, Y., Castro-Lacouture, D., and Lu, K. : ”Housing refurbishment contractors selection based on a hybrid fuzzy-QFD approach”, *Automation in Construction*, Vol. 18, No. 2, pp. 139-144, (2009).
- [53] 情報処理推進機構 : ”情報システム調達のための技術参照モデル (TRM) ”, 経済産業省, pp.361-374, (2009).
- [54] Kahn, K. B., Strong, M. D., and Wang, Y. R. : ”Information Quality Benchmarks: Product Service Performance”, *Communications of the ACM*, Vol. 45, No. 4, pp. 184-192, (2002).
- [55] Karsak, E. E. : ”Fuzzy multiple objective programming framework to prioritize design requirements in quality function deployment”, *Computers and Industrial Engineering*, Vol. 47, pp. 149-163, (2004).
- [56] Karlsson J., and Ryan K. : ”A cost-value approach for prioritizing requirements”, *IEEE Software*, Vol. 29, No. 10, pp. 67-74, (1997).
- [57] Karlsson J., Wohlin C., and Regnell, B. : ”An evaluation of methods for prioritizing software requirements”, *Information and Software technology*, Vol. 39, pp. 939-947, (1998).
- [58] 研究産業協会 : ”研究開発サービス業の生産性向上と競争力強化に関する調査”, 経済産業省, pp.361-374, (2009).
- [59] Klaus, C., Krause, F., and Ullrich C. : ”Determining the Business Value of Volume Flexibility for Service Providers-A Real Options Approach”, *European Conference on Information Systems 2014 Completed Research Papers*, Track 10, Paper 5, (2014).
- [60] Kuusela, J., and Savolainen, J. : ”Requirements Engineering for Product Families”, *Proceedings of the 22nd international conference on software engineering*, ACM, pp. 61-69, (2000).

- [61] Leidner, E. D. : "Mexican Executives' Use of Information Systems: An Empirical Investigation of EIS Use and Impact", *Journal of Global Information Technology Management*, Vol. 1, No. 2, pp. 19–36, (1998).
- [62] Leclercq, A. : "The perceptual evaluation of information systems using the construct of user satisfaction: case study of a large french group", *ACM SIGMIS Database*, Vol. 38, No. 2, pp. 22–60, (2007).
- [63] Lim, S., and Trimi, S. : "Impact of Information Technology Infrastructure Flexibility on the Competitive Advantage of Small and Medium Sized-Enterprises", *Journal of Business and Management*, Vol. 3, No. 1, pp. 2291–1995, (2014).
- [64] Lorenz, M. O. : "Methods of Measuring the Concentration of Wealth", *Publications of the American Statistical Association*, Vol. 9, No. 70, pp. 209–219, (1905).
- [65] Lucas, H. C. : "Empirical Evidence for a Descriptive Model of Implementation", *MIS Quarterly*, Vol. 2, No. 2, pp. 27–41, (1978).
- [66] Markus, M. L., and Benjamin, R. L. : "Change Agency - The Next IS Frontier", *MIS Quarterly*, Vol. 20, No. 4, pp. 385–407, (1996).
- [67] Mashabela, F., and Pillay, A. S. : "Effectiveness of an Integrated Tertiary Software Mobile Information System for Student Registration and Admission at a University in Gauteng", *Expert Journal of Business and Management*, Vol. 5, No. 1, pp. 32–49, (2017).
- [68] Mikkola, H. J., and Gassmann, O. : "Managing modularity of product architectures: Toward and integrated theory", *IEEE Transactions on Engineering Management*, Vol. 50, No. 2, pp. 204–218, (2003).
- [69] Miller, J. G. and Roth, A. V. : "A Taxonomy of Manufacturing Strategies", *Management Science*, Vol. 40, No. 3, pp. 285–304, (1994).
- [70] 水山 元 : "品質機能展開とファジイ論理の応用による製品差別化のための戦略的品質企画法", *日本経営工学会論文誌*, Vol. 55, No. 4, pp. 197–205, (2004).

- [71] 梅本 健一, 今村 友康, 高橋 源 : "無線アクセスネットワーク設計と最適化の技術", NEC 技報, Vol. 59, No. 2, pp. 49-52, (2006).
- [72] 岡田 謙介 : "心理学と心理測定における信頼性について Cronbachの α 係数とは何なのか, 何でないのか?", 教育心理学年報, Vol. 54, pp. 71-83, (2015).
- [73] 大森 晃 : "ソフトウェア品質管理への品質展開アプローチ", 情報処理学会論文誌, Vol. 31, No. 10, pp. 1474-1485, (1990).
- [74] 大森 晃 : "ソフトウェア品質展開の枠組み設計法", 情報処理学会論文誌, Vol. 33, No. 12, pp. 1598-1606, (1992).
- [75] 小野 吉昭, 倉橋 節也 : "市町村の情報システムの費用分析", 経営情報学会論文誌, Vol. 22, No. 3, pp. 183-203, (2013).
- [76] Ortega, P., Martin, G., Fernandez, A., Ladoux, M., and Garcia, A. : "A new functional form for estimating Lorenz curves", *Review of Income and Wealth*, Vol. 37, No. 4, pp. 447-452, (1991).
- [77] 太田 宏, 古賀 睦昌 : "言語データを用いた品質機能展開による顧客と企業間の合意品質値の導出", 日本経営工学会論文誌, Vol. 57, No. 3, pp. 206-213, (2006).
- [78] Paisittannand, S., and Olson, L. D. : "A simulation study of IT outsourcing in the credit card business", *European Journal of Operational Research*, Vol.175, No. 4, pp. 1248-1261, (2006).
- [79] Perrow, C. : "A Framework for the Comparative Analysis of Organizations", *American Sociological Review*, Vol. 32, No. 2, pp. 194-208, (1967).
- [80] Petter, S., DeLone, W., and McLean, E. : "Measuring information systems success: models, dimensions, measures, and interrelationships", *European Journal of Information Systems*, Vol. 17, No. 3, pp. 236-263, (2008).
- [81] Rai, A., Lang, S. S., and Welker, B. R. : "Assessing the Validity of IS Success Models: An Empirical Test and Theoretical Analysis", *Information Systems Research*, Vol.13, No.1, pp.50-69, (2002).

- [82] Reichhart A., and Holweg, M. : "Creating the customer- responsive supply chain: a reconciliation of concepts", *International Journal of Operations and Production Management*, Vol. 27, No. 11, pp.1144–1172, (2007).
- [83] Sarker, S., Munson, C. L., Sarker, S., and Chakraborty, S. : "Assessing the relative contribution of the facets of agility to distributed systems development success: An analytic hierarchy process approach", *European Journal of Information Systems*, Vol. 18, No. 4, pp. 285–299, (2009).
- [84] Salmela, H., Tapanainen, T., Baiyere, A., Hallanoro, M., and Galliers, R. : "IS Agility Research: An Assessment and Future Directions", *European Conference on Information Systems 2015 Completed Research Papers*, Paper 155, (2015).
- [85] Savolainen, J., and Kuusela, J. : "Framework for goal driven system design", *Computer Software and Applications Conference (COMPSAC), 2002. Proceedings. 26th Annual International, IEEE*, pp. 749–756, (2002).
- [86] Sanchez, R., and Mahoney, T. J. : "Modularity, Flexibility, and Knowledge Management in Product and Organization Design", *Strategic Management Journal*, Vol. 17, Winter Special Issue, pp.63–76, (1996).
- [87] Schober, F., and Gebauer, J. : "How much to spend on flexibility? Determining the value of information system flexibility," *Decision Support Systems*, Vol. 51, No. 3, pp. 638–647, (2011).
- [88] Seddon, P. B. : "A Respecification and Extension of the DeLone and McLean Model of IS Success", *Information Systems Research*, Vol. 8, No. 3, pp. 240–253, (1997).
- [89] Sethi, A. K., and Sethi, S. P. : "Flexibility in manufacturing: a survey", *International journal of flexible manufacturing systems*, Vol. 2, No. 4, pp. 289–328, (1990).
- [90] Sia, S. K., Koh, C., and Tan, C. X. : "Strategic maneuvers for outsourcing flexibility: an empirical assessment", *Decision Sciences*, Vol. 39, No. 3, pp.407–443, (2008).

- [91] Siau, K., Ee-Peng, L., and Shen, Z. : "Mobile Commerce: Promises, Challenges, and Research Agenda", *Journal of Database Management*, Vol. 12, No. 3, pp. 4–14, (2001).
- [92] SQUBOK 策定部会 : "ソフト品質知識体系ガイド - SQUBOKR ガイド- 第1版", オーム社, (2007).
- [93] Suarez, F. F., Cusumano, M. A., and Fine C. H. : "An Empirical Study of Manufacturing Flexibility in Printed Circuit Board Assembly", *Operations Research*, Vol. 44, No. 1, pp. 223–240, (1996).
- [94] Susarla, A. : "Contractual flexibility, rent seeking, and renegotiation design: An empirical analysis of information technology outsourcing contracts", *Management Science*, Vol. 58, No. 7, pp. 1388–1407, (2012).
- [95] 杉野 幹人 : "個別受注生産事業におけるデザイン・フレキシビリティの構築—組織能力としての「開かれたデザイン・フレキシビリティ」—", *経営情報学会論文誌*, Vol. 22 No. 1, pp. 25–40, (2013).
- [96] 戸谷 圭子 : "日本の金融サービスの現状と課題-サービス品質とロイヤルティ-", *オペレーションズ・リサーチ*, Vol. 46, No. 3, pp. 135–138, (2001).
- [97] Ulrich, K. : "The role of product architecture in the manufacturing firm", *Research Policy*, Vol. 24, pp.419–440, (1995).
- [98] Utterback, J. M., and Abernathy, W. J. : "A Dynamic Model of Product and Process Innovation", *Omega*, Vol. 3, No. 6, pp. 639–656, (1975).
- [99] Venkatesh, V., and Davis, F. D. : "A Theoretical Extension of the Technology Acceptance Model: Four Longitudinal Field Studies", *Management Science*, Vol. 46, No. 2, pp.186–204, (2000).
- [100] Venkatesh, V., and Bala, H. : "Technology Acceptance Model 3 and a Research Agenda on Interventions", *Decision Science*, Vol. 39, No. 2, pp. 273–315, (2008).
- [101] Voss, A. C., and Hsuan, J. : "Service Architecture and Modularity", *Decision Science*, Vol. 40, No. 3, pp. 273–315, (2009).

- [102] Wagner, D., Suchan, C., Leunig, B., and Frank, J. : "Towards the Analysis of Information Systems Flexibility: Proposition of a Method", *Wirtschaftsinformatik Proceedings*, pp. 34, (2011).
- [103] Yuthas, K., and Young, T. S. : "Material Matters: Assessing the Effectiveness of Materials Management IS", *Information and Management*, Vol. 33, No. 3, pp. 115–124, (1998).

謝辞

本研究の遂行にあたり、技能と本質を考え続ける姿勢を丁寧に温かくご指導戴きました筑波大学大学院ビジネス科学研究科企業科学専攻の山田秀教授（現慶應義塾大学 教授）に深く感謝いたします。また本論文執筆の際、有益なご助言、ご指導戴きました同専攻の佐藤忠彦教授、並びに木野泰伸准教授に感謝いたします。学位審査の各ステージでは、同専攻の尾崎幸謙准教授をはじめ多くの先生方から貴重なご助言を賜りました。ここに厚く御礼申し上げます。最後の公聴会では遠方から来てくださり、ソフトウェア品質に関する的確なご指摘と建設的なコメントを戴きました山梨大学の渡辺喜道准教授に感謝いたします。

本論文は筆者が筑波大学大学院ビジネス科学研究科企業科学専攻に在籍中の研究成果をまとめたものです。技術者による技術者のための研究をしようと思った筆者が、日本の製造業者に就職したことと、通信機器の販売だけではなくネットワーク技術コンサルティングのサービス事業を推進する個性的な部署に籍を置く機会を得たことは、何かの縁だったのではないかと感じます。様々なデータに関して議論させていただいた日本電気株式会社旧 ネットワークサービス事業推進本部（現 ワイヤレスアクセスソリューション事業部）の関係者各位に感謝いたします。また実務家としての意見もふまえ、質疑を活発にしてくださったゼミの皆様にもお礼を申し上げます。

最後に、本論文の執筆は家族の協力なしでは完遂することができませんでした。有意義な研究の時間を筆者に与えてくれた妻の郁子、在学年数と同じ年齢で共に成長してくれた息子の祥、そして実家から駆けつけて多大な支援を惜しみなくしてくれた両親に、感謝の意を表します。

付録A 柔軟性戦略を決定する最小コスト問題の解法

3章で述べた柔軟性戦略の決定は、初期開発のタスク累積率 x_1 と、アップグレード開発のタスク累積率 x_2 のコストを最小にする最適な配分設計を意味する。本研究では、刻み幅を変化させて最小コストを総当り的に探索する方法を用いている。そのため、同じ最小値が存在する場合、あとから探索した方の x_1, x_2 の組み合わせが反映される。従って、この方法の適用においては、最小コストになる解が唯一であることが必要である。

集中度の高い($v = 0.8$)場合においては、 $x_2 = 0$ において、式(3.7)の影響で不連続的に見えることを除けば、コストの分布が単峰性になることを確認している。TSSS1の事例について確認した結果の一例を図A.1の上側に示す。なお、図の左右で確実性の違いによるコスト分布の違いも確認できる。

あわせて集中度が低い($v = 0.2$)場合を図A.1の下側に示す。集中度が低い場合は、コストの分布が多峰性になることを確認している。多峰性の分布においては、特に唯一解であるかを確認することが必要となる。本研究において適用したいずれの場合においても、多峰性における同じ極値の最小点が複数存在せず、最小コストとなる解が唯一解、すなわち局所解ではなく大域解として得られていることを確認している。

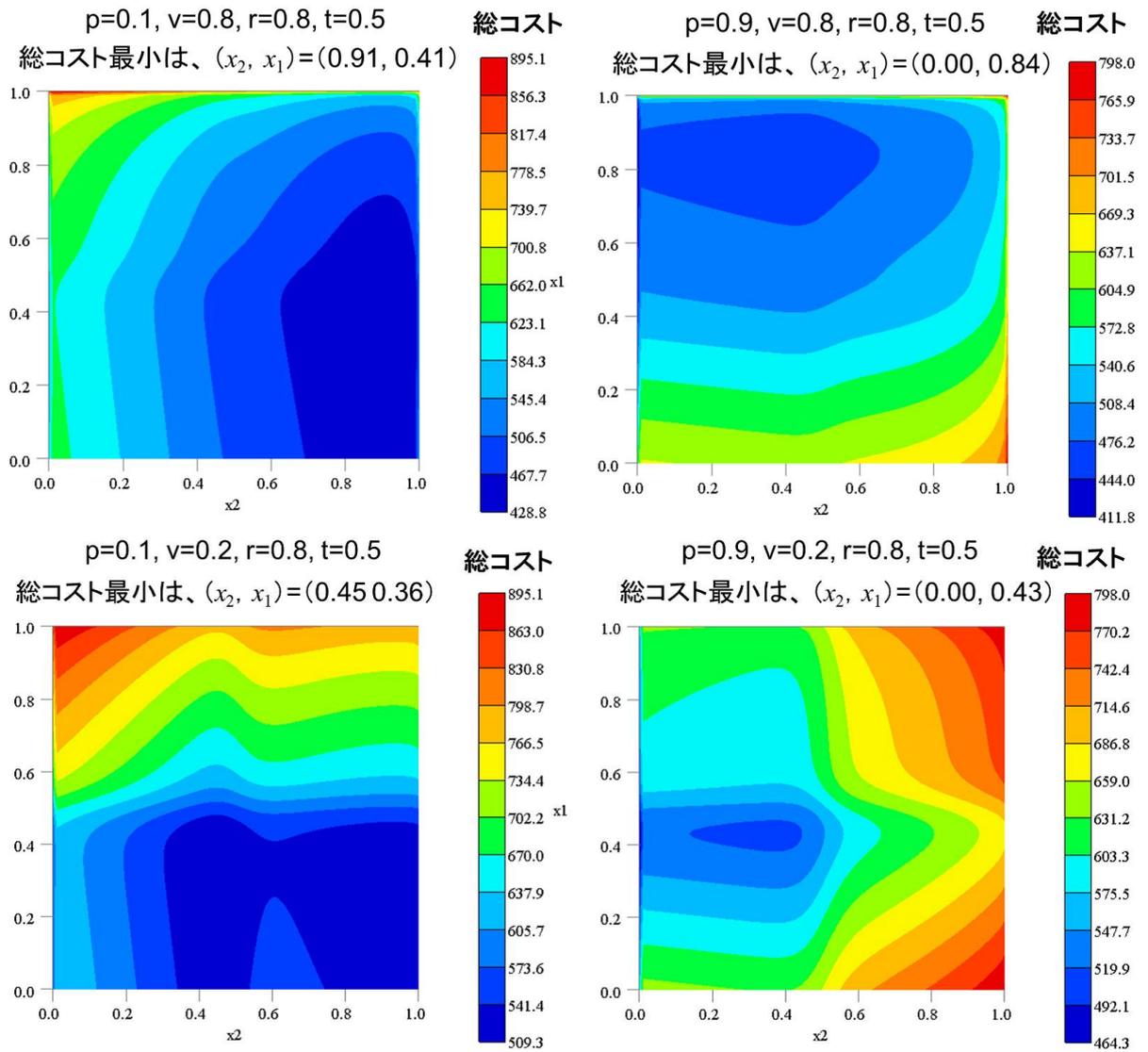


図 A.1: 事例 TSSS1 におけるコスト分布例 ($r=0.8, t=0.5$)

付録B 機能選択の事例で扱った要求情報 と機能情報

4章で扱った要求品質の情報と機能情報に関するデータを載せる。表B.1は、4章の開発機能選択で扱った要求情報をまとめている。赤尾[1]の品質展開表の作成手順に従えば、「登録・削除・変更」といった表現は個別な要求品質として記述されるため、項目数はさらに増える。潜在的な要求品質を抽出するために、赤尾[1]は要求が生じた理由を考慮する重要性を解説している。4章の事例で扱った3次要求の表現は、厳密な記述方法に則ってはいないが、開発関係者で共通の意思疎通が図れる範囲で記述されている。潜在要求に対して抽出しやすい点は、前述のとおり標準や規格に基づくRFP（Request For Proposal：提案要求書）を顧客が提示する点が考えられる。

表B.2は、4章の開発機能選択で扱った機能情報をまとめている。通信方式の違いで実装に多少の違いがあるが、機能項目はかなり類似したものを扱っている。

表 B.1: 要求情報

<i>i</i>	1次要求	2次要求	3次要求
1	シミュレータのGUIや 検索・フィルタリング処理を 改善したい(共通)	GUI入力操作	基地局の登録・削除・変更
2			付帯設備の登録・削除・変更
3			制御局の登録・削除・追加
4			移動局の登録・削除・変更
5			計算条件の登録・削除・変更
6			測定データの登録・削除・変更
7			右クリックメニューの利用
8			マウスホイールの利用
9		データ管理	機器データ
10			地図データ
11			計算結果データ
12			カラースケールデータ
13			凡例データ
14			測定結果データ
15	通信方式Aの エリアシミュレーションがしたい	電波伝搬 計算処理	伝搬損失計算
16			測定データを用いた損失補正
17			干渉電力計算(Powerベース)
18			干渉電力計算(Trafficベース)
19		画面表示と グラフ出力	受信電力とSIRのカラーマップ表示
20			ユーザクレームポイントの凡例マーク
21			累積分布(受信電力とSIR)
22			測定データのプロット表示
23			差分結果表示
24	通信方式Bの エリアシミュレーションがしたい	電波伝搬 計算処理	伝搬損失計算
25			測定データを用いた損失補正
26			干渉電力計算(Powerベース)
27			干渉電力計算(Trafficベース)
28		画面表示と グラフ出力	受信電力とSIRのカラーマップ表示
29			ユーザクレームポイントの凡例マーク
30			累積分布(受信電力とSIR)
31			測定データのプロット表示
32			差分結果表示

表 B.2: 機能情報

j	1次機能	2次機能 (機能グループ)	3次機能
1	通信方式Aシミュレーション機能	GUI操作画面	基地局(NodeB)六角形格子自動配置機能
2			ドラッグドロップによる基地局の移動/コピー機能
3			Traffic設定(Simなし、領域設定、セクタごと)関連
4			機器構成管理機能(機器の属性関連付ナ)
5			基地局パラメータ設定タブ関連
6			セクタパラメータ設定関連
7			地図データインポート機能
8			測定データインポート
9		Service Table設定関連	
10		計算処理	奥村-秦式
11			PTP式(E_0, γ)
12			Walfish-Ikegami式
13			Modified-Sakagami式
14			CDMA干渉計算(HSUPA)
15			測定結果による伝搬損失補正計算
16			Scanner測定点の位置ずれ補正
17		データ管理(サーバ含む)	データ検索
18			データ抽出(フィルタリング)
19			データベース管理
20			GIS連携
21			GUIコントロール(グリッドコントロール含む)
22		カラスケール管理画面	
23		測定器フォーマット対応	
24		画面表示+グラフ出力	受信電力レベル表示
25			測定データ表示
26			統計量・累積グラフ表示
27			差分結果表示
28			Traffic Sim結果タブ関連
29			分布表示タブ関連
30			グラフ出力タブ関連
31			ユーザクレームの凡例表示
32			カラスケール表示

j	1次機能	2次機能 (機能グループ)	3次機能
33	通信方式Bシミュレーション機能	GUI操作画面	基地局(BS)六角形格子自動配置機能
34			制御局の配置機能
35			ドラッグドロップによる基地局の移動/コピー機能
36			Traffic設定(Simなし、領域設定、セクタごと)関連
37			機器構成管理機能(機器の属性関連付ナ)
38			基地局パラメータ設定タブ関連
39			セクタパラメータ設定関連
40			地図データインポート機能
41		測定データインポート	
42		Service Table設定関連	
43		計算処理	奥村-秦式
44			PTP式(E_0, γ)
45			Walfish-Ikegami式
46			Sakagami式
47			OFDMA干渉計算(WiMAX)
48			測定結果による伝搬損失補正計算
49			Scanner測定点の位置ずれ補正
50		データ管理(サーバ含む)	データ検索
51			データ抽出(フィルタリング)
52			データベース管理
53			GIS連携
54			GUIコントロール(グリッドコントロール含む)
55		カラスケール管理画面	
56		測定器フォーマット対応	
57		画面表示+グラフ出力	受信電力レベル表示
58			測定データ表示
59			統計量・累積グラフ表示
60			差分結果表示
61			Traffic Sim結果タブ関連
62			分布表示タブ関連
63			グラフ出力タブ関連
64			ユーザクレームの凡例表示
65	カラスケール表示		

付録C 業務適合性の測定に用いた調査票とデータ

表C.1は、5章の業務適合性の測定で使用した調査票である。Software xの部分は、Software 1からSoftware 6の名称にそれぞれ置き換えられている。No.4以降の選択肢は、No.3と同じ選択肢を用いているため、省略している。また、()内の測定指標は、調査時には記載されていない。予備調査で指摘された「操作性」を確認するため、Bailey, and Pearson[8]に基づき項目を追加して測定している。表C.2と表C.3は、業務適合性の測定における観測変数の基本統計量と観測変数の相関係数をそれぞれまとめたものである。

図C.1は調査時の被験者の利用経験に関するデータである。利用者の経験年数は、ほとんどのソフトウェアにおいて1年以上の人数が支配的である。技術サービス提供は、数ヵ月から6ヵ月単位のプロジェクトで実施される。そのため、技術サービスの技術者が6ヵ月以上使っている場合、操作知識を十分に有しているとみなされる。

この潜在変数の測定について、信頼性係数(Cronbachの α [21])の算出は、統計解析ソフトウェアR (version3.4.2)のpsychパッケージを使用した。結果は図C.2のように出力される。最初に記載される「raw alpha」の値0.76が、 α 係数の値である。

なお、この α の算出結果は、岡田[72]で解説している式で検算できる。本研究の算出結果は、この検算により確認されている。

表 C.1: 調査票

No.	質問	選択肢
1	あなたの組織における役職レベルはどれに該当しますか？	1. 課長・エキスパート 2. 主任 3. 担当
2	Software x の利用経験はどのくらいありますか？	0. 全くなし 1. 1ヶ月未満 2. 1ヶ月から3ヶ月未満 3. 3ヶ月から半年未満 4. 半年から1年未満 5. 1年以上
3	ソフトウェアツールを用いてサービス商品を開発する (開発業務意識)	1. 全くそう思わない 2. そう思わない 3. どちらかといえばそう思わない 4. どちらともいえない 5. どちらかといえばそうだと思う 6. そうだと思う 7. 非常にそうだと思う
4	顧客との技術的な打ち合わせ業務を行なっている (提供業務意識)	No.3と同じ
5	Software x は他のシステムとの連携がとりやすい (統合性)	No.3と同じ
6	Software x はエラーが発生した場合にすぐに回復できる (信頼性)	No.3と同じ
7	Software x は使いたい機能が使いやすい (操作性)	No.3と同じ
8	Software x の出力情報は顧客に対して説明ができる程度, 信用できる (信憑性)	No.3と同じ
9	Software x は課題解決に向けた様々な試行がしやすい (試行)	No.3と同じ
10	Software x により提供できる情報の品質が高まった (情報提供)	No.3と同じ
11	Software x によりサービス提供において顧客との議論の質が高まった (顧客対応)	No.3と同じ

表 C.2: 基本統計量 (延べサンプル数 N=85)

No.	1. 開発業務意識	2. 提供業務意識	3. 統合性	4. 信頼性	5. 信憑性	6. 使用性	7. 試行	8. 顧客対応	9. 情報提供
平均	3.84	3.62	3.52	3.36	5.04	4.02	4.48	4.36	4.86
標準偏差	2.12	1.99	1.32	1.35	0.93	1.32	1.27	1.27	1.18
中央値	4.00	4.00	4.00	3.00	5.00	4.00	5.00	4.00	5.00
最頻値	1.00	5.00	4.00	2.00	5.00	4.00	5.00	4.00	5.00
最大値	7.00	7.00	6.00	7.00	7.00	7.00	7.00	7.00	7.00
最小値	1.00	1.00	1.00	1.00	3.00	1.00	2.00	1.00	1.00

表 C.3: 相関係数

No.	1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	9.
1. 開発業務意識	1.00								
2. 提供業務意識	0.46	1.00							
3. 統合性	-0.28	-0.09	1.00						
4. 信頼性	-0.14	-0.26	0.17	1.00					
5. 信憑性	0.10	-0.03	0.03	0.01	1.00				
6. 使用性	0.00	0.04	0.29	0.26	0.17	1.00			
7. 試行	-0.16	0.03	0.10	0.20	0.10	0.15	1.00		
8. 顧客対応	0.12	0.11	0.13	-0.05	0.30	0.08	0.47	1.00	
9. 情報提供	0.13	0.09	0.09	0.02	0.33	-0.02	0.41	0.66	1.00

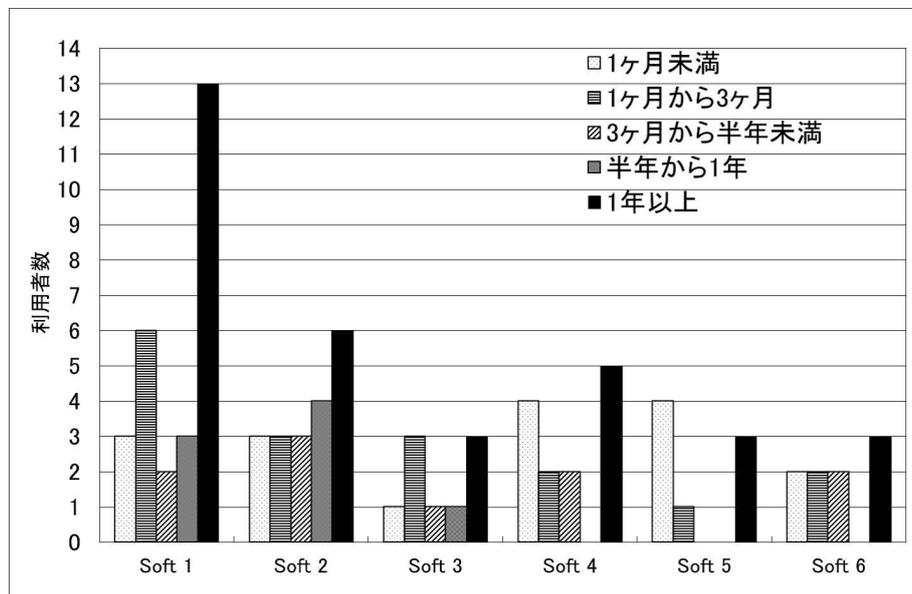


図 C.1: 被験者の利用経験

```

> summary(MIS)
      試行      顧客対応      情報提供
Min.   :2.000  Min.   :1.000  Min.   :1.000
1st Qu.:4.000  1st Qu.:4.000  1st Qu.:4.000
Median :5.000  Median :4.000  Median :5.000
Mean   :4.482  Mean   :4.365  Mean   :4.859
3rd Qu.:5.000  3rd Qu.:5.000  3rd Qu.:6.000
Max.   :7.000  Max.   :7.000  Max.   :7.000
>
>
> library(psych)
>
> alpha(MIS)

Reliability analysis
Call: alpha(x = MIS)

raw_alpha std.alpha G6(smc) average_r S/N ase mean sd
  0.76      0.76      0.7      0.51 3.2 0.046 4.6 1

lower alpha upper      95% confidence boundaries
0.67 0.76 0.85

Reliability if an item is dropped:
      raw_alpha std.alpha G6(smc) average_r S/N alpha se
試行      0.79      0.79      0.66      0.66 3.8 0.045
顧客対応  0.58      0.58      0.41      0.41 1.4 0.090
情報提供  0.64      0.64      0.47      0.47 1.8 0.078

Item statistics
      n raw.r std.r r.cor r.drop mean sd
試行  85 0.77 0.76 0.55 0.49 4.5 1.3
顧客対応 85 0.87 0.86 0.78 0.67 4.4 1.3
情報提供 85 0.83 0.84 0.73 0.62 4.9 1.2

Non missing response frequency for each item
      1 2 3 4 5 6 7 miss
試行  0.00 0.08 0.14 0.24 0.33 0.18 0.04 0
顧客対応 0.01 0.07 0.11 0.42 0.16 0.19 0.04 0
情報提供 0.01 0.04 0.04 0.28 0.32 0.27 0.05 0
>

```

図 C.2: Cronbach の α 算出結果