

事業分析における SysML を用いた競争優位性の分析支援手法の提案

Methodology for Analyzing Competitive Advantages Using SysML in Business

Analysis

国立研究開発法人 宇宙航空研究開発機構 研究開発部門 第三研究ユニット
Japan Aerospace Exploration Agency, Research and Development Directorate, Research Unit III

○高附 翔馬 梅田 浩貴¹⁾ 植田 泰士¹⁾
○Shoma Takatsuki Hiroki Umeda¹⁾ Yasushi Ueda¹⁾

Abstract We have developed a methodology to support the identification of the context in which customers use services and the causal relationships between services and customer businesses in the analysis of competitive advantage. To connect with MBSE approaches below the system layer, this method uses SysML models. This paper introduces the challenges encountered, the methodology developed, and the evaluation of the methodology's effectiveness.

1. 背景

宇宙開発の黎明期では、人工衛星やロケット等などの宇宙機システムを開発できること自体で競争優位を確保できた。その場合、システムの開発能力自体が、コアコンピタンス(組織が持つ競合組織に真似することが難しい、核となる能力)であった。しかしながら、近年宇宙開発のコモディティ化は進み、宇宙機システムを開発できる企業は増え^{[1][2]}、開発したシステムは誰にどのような価値を提供するのか、といった顧客向けサービスの構築によって優位性を確保する重要性が増加している。

競争優位性の分析は、市場やステークホルダのニーズを明確化し、サービスの差別化ポイントを特定する活動であり、システム開発工程では要求定義、要求工学知識体系(以下、REBOK)^{[3][4]}では要求開発^{[3][4]}に相当する活動である。この分析が不十分の場合、要求の曖昧さや優先順位の誤りが生じ、機能的・非機能的要求の欠落を招く。その結果、ユーザーニーズとの不一致、性能不足、ユーザビリティ低下といった品質の問題が発生し、市場適合性や顧客満足度が損なわれる。さらに、要求変更による開発コスト増大やスケジュール遅延の発生に影響する。競争優位性の分析を効果的に実施することで、市場環境や競合サービスとの差別化が明確化になり、サービスで用いるソフトウェアの信頼性、実用性、保守性を向上させ、開発効率と市場競争力を高める効果が期待できる。

競争優位性の分析を効果的に実施するためには、設計対象の特性に合わせた分析手法を用いることが重要である。特に我々が設計対象としている地球近傍の宇宙機システムを利用したサービス(例:地球観測データ利用)においては、以下の特性を有する。

- 【特性 1】我々が設計対象としているサービスの市場は、新規技術の導入により拡大が期待される
- 【特性 2】サービスが提供する価値の連鎖(以下、価値連鎖)が多くの分野に広がる
(例:宇宙機システム事業者 - データ提供事業者 - データ利用事業者(建設、農業、水産など))
- 【特性 3】物理制約等に依存しシステムに多くの制約がある
(例:地上と軌道上間の通信は、軌道周回の周期ごとに一定期間のみ可能)

本稿では、これらの特性を有するサービスに対して従来実施していた競争優位性の分析によって発生した課題を分析し、課題解決のために構築した手法とその有効性確認の内容について紹介する。

国立研究開発法人 宇宙航空研究開発機構 研究開発部門 第三研究ユニット
Research Unit III, Research and Development Directorate, Japan Aerospace Exploration Agency
茨城県つくば市千現 2-1-1 Tel: 050-3362-2805 e-mail: takatsuki.shohma@jaxa.jp
2-1-1 Sengen, Tsukuba, Ibaraki, Japan

1) 国立研究開発法人 宇宙航空研究開発機構 研究開発部門 第三研究ユニット
Research Unit III, Research and Development Directorate, Japan Aerospace Exploration Agency

キーワード: 要求工学、システムズエンジニアリング、MBSE、CVCA、モデリング

2. 従来手法(CVCA)の概要と発生した課題

2.1 競争優位性の分析における従来手法の概要

競争優位性の分析方法としては SWOT 分析^{[5][6]}がある。SWOT 分析は、組織や事業活動を「強み」「弱み」「機会」「脅威」の観点から分析し、事業戦略を立てる手法である。しかし、SWOT 分析では価値連鎖を分析するフレームワークではないため、特性 2 を有するサービスの分析には適さない。

価値連鎖を分析する手法としては、顧客価値連鎖分析(以下、CVCA)^{[7][8]}がある。CVCA は、ステークホルダ間の「価値」や「対価」の流れを矢印で表現することで、価値の連鎖を可視化し、重要なステークホルダを探索する方法である。

従来の競争優位性の分析では、CVCA を使用し、「価値」や「対価」として記述された内容から競争性のある属性(性質や特徴を示すパラメータ)を抽出し、その属性に競争優位性があるか分析していた。

2.2 従来手法適用時の課題分析

CVCA は、ステークホルダ間の価値の連鎖や循環は確認できるが、下記の手法課題がある。なお、この手法課題は SWOT 分析でも発生する。

【手法課題 1】顧客がサービスを利用する文脈が特定されない

【手法課題 2】サービス提供結果から顧客の利得発生までの因果関係が特定されない

そのため、特性 1～3 を有するサービスに CVCA を使用し価値連鎖と優位性を分析した場合、以下の業務課題が発生した。

【業務課題】競争優位性のある属性の特定が困難

この業務課題、手法課題、サービス特性を要求工学知識体系(以下、REBOK)^[3]の要求工学プロセスにおいて、どのプロセスに対応するかを図 1 に整理した。

要求獲得プロセスは「システム開発の初期段階で、ステークホルダ(ユーザ、顧客、経営者など)からシステムに対する要望やニーズを収集し、明確化する」プロセスである^[3]。競争優位性の分析は、サービスが市場やユーザのニーズに対してどのような価値を提供し、競合他社とどう差別化できるかを分析するため、要求獲得プロセスの活動に該当する。

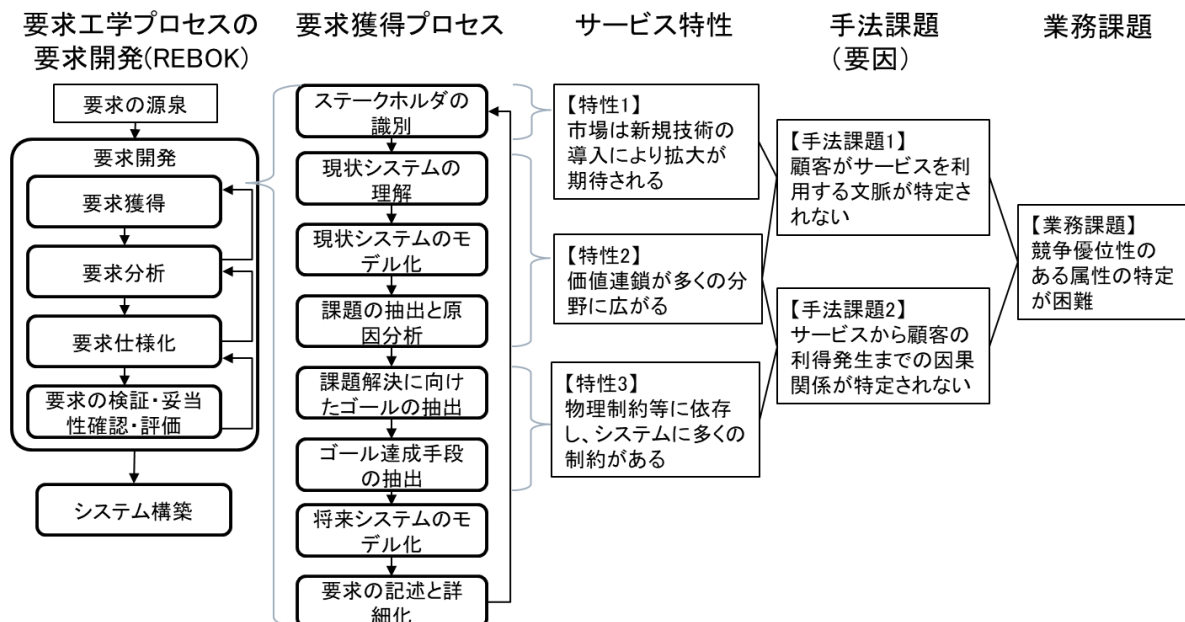


図 1 要求工学プロセスと取り扱うサービスの特性、課題の対応

3. 課題解決への取り組み

システムズエンジニアリング（以下、SE）は、システムの要件、設計、分析、検証、妥当性確認の活動を含むライフサイクル全体を通じて成功へ導く方法論である^[9]。SE は、より大規模で複雑なシステムに有効である^[10]が、大規模や複雑になればなるほど情報量が増えていく^[11]。システムズエンジニアが扱える情報量には限りがあるため、大規模で複雑なシステムに SE を適用する場合は、分野横断的な情報を系統的に扱えるモデルベースシステムズエンジニアリング（以下、MBSE）が必要となる^[11]。MBSE は、SE プロセスの活動を支援するために、モデルを用いて実践する方法論である^[12]。MBSE は、システムの情報源をデジタルモデルにすることで、関係者間の共通理解の促進や要求変更への対応力向上、早期の不具合の発見などに効果がある。

宇宙機システムは大規模かつ複雑性があるため、宇宙機システムの開発プロセスは MBSE により実施するプロセスに変化しつつある。国内における事例では、宇宙機システムの開発に MBSE を適用した事例^[13]、宇宙機システムの要求最適化のための解析へ MBSE を利用した事例^[14]および安全解析を補完するために MBSE を利用した方法論を構築した事例^[15]がある。特に、宇宙分野における要求獲得プロセスを含めた開発の上流工程へ MBSE 適用を扱った事例として、顧客期待に適合化したシステムを構築するため、顧客特定からニーズを抽出する方法論を構築した事例^[11]もある。

本稿では、前述の事例や方法論との結合も視野に入れ、顧客特定やサービスの提供時でも、同様のアプローチ（MBSE の適用）で競争優位性のある属性を特定可能か検討した。以降ではその内容を記述する。

3.1 提案手法の概要

業務課題の要因である手法課題を解決するために、以下の工夫点を取り入れることで、競争優位性の分析を支援する手法（提案手法）を構築した。図 1 に示す要求工学プロセスにおいて、提案手法は要求獲得プロセスの活動、特に「現状システムのモデル化」と「将来システムのモデル化」のプロセスで使用できる。提案手法は、顧客がサービスを利用するシナリオやサービスと顧客事業の因果関係の分析を支援するモデリングルールから構成される。なお、モデリングルールは、記述モデルのモデリング言語である SysML^[16]に準拠した。この理由は、サービスを実現するシステムの開発で、MBSE を実施することを想定し、要求開発プロセスから記述モデルの利用を拡張可能にするためである。

【工夫点 1】手法課題 1 に対して、顧客がサービスを利用するシナリオを分析するための、以下を表現可能なモデリングルールをアクティビティ図の形式で構築（図 2 左側）

- ・利得を生み出す行動とその判断を特定できる局面の定義
- ・ある局面のシナリオを作成し、競合サービスの制約や顧客の業務上の制約を定義

【工夫点 2】手法課題 2 に対して、サービスと顧客事業の因果関係を分析するための、以下を表現可能なモデリングルールをパラメトリック図の形式で構築（図 2 右側）

- ・パラメータレベルの因果関係
- ・競争優位性のあるパラメータ

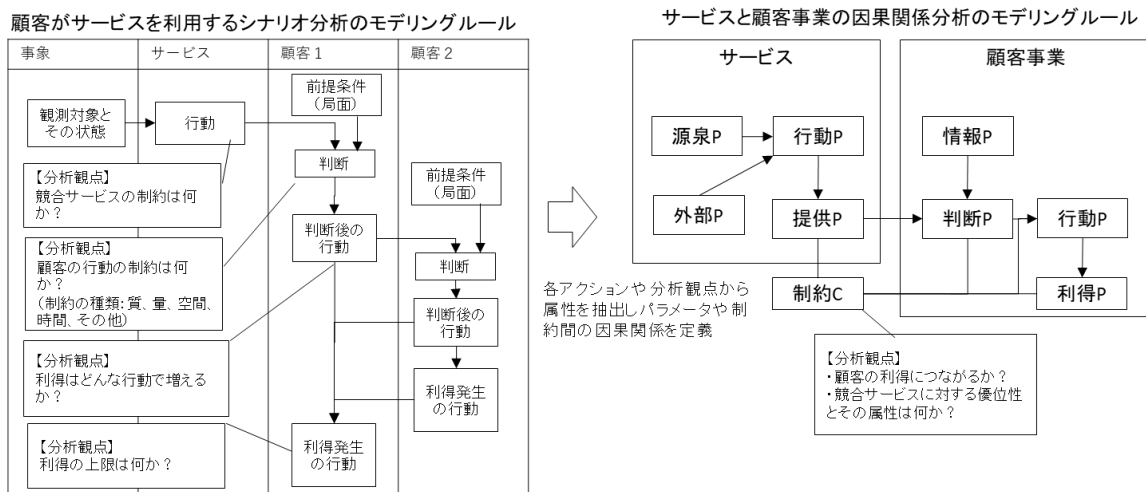


図 2 提案手法で用いるモデリングルール

3.2 提案手法の位置づけ

提案手法は、CVCA などによって分析した市場やステークホルダの情報をを用いることを想定している。したがって、競争優位性の分析において、提案手法は CVCA の代わりでなく補完の位置づけである。

4 提案手法の有効性確認

4.1 有効性確認の方法と評価指標

1 項で述べた「業務課題」と「手法課題」に対して提案手法の有効性を評価するために、表 1 に示す評価指標を設定した。

表 1 評価項目と評価指標

記号	評価項目:何を評価するか?	記号	評価指標
a	提案手法は業務課題に対して有効か?	a1	競争優位性のある属性の内、提案手法の新規導出数 ※属性自体は従来手法で導出したが、優位性の特定は提案の場合も含む
b	提案手法は手法課題に対して有効か?	b1	競争優位性のある新規導出の内、導出に「顧客がサービスを利用する文脈」(顧客利得、局面、判断と行動、制約の情報)を特定することで導出できた属性数 ※優位性だけでなく、競争性自体も、従来手法(CVCA)で導出困難な属性数(手法課題 1 と対応)
		b2	競争優位性のある新規導出の内、導出に「パラメータレベルの因果関係」を特定することで導出できた属性数 ※導出には顧客利得(サービス層)との因果関係の特定が必要な属性数(手法課題 2 と対応)
		b3	b1 か b2 に該当する属性数 (b3 = b1 U b2)

(1) 有効性確認の流れ

以下の流れで有効性確認を実施した。

1. 既存のステークホルダ関係や競合サービスの定義結果をもとに従来手法(CVCAを用いた競争優位性の分析)を実施
2. 従来手法の成果物をもとに提案手法を実施
3. 各手法の成果物から表 1 に示す評価指標を計測

(2) 手法の適用対象

有効性確認で各手法の適用対象としたサービスの情報を表 2 に示す。JAXA が開発する地球観測システムの利用を想定したサービス(以下、サービス A、B、C)に適用した。また、それぞれのサービスが異なる価値連鎖になるように、異なる分野の顧客に向けたサービスを適用対象として選定した。

表 2 有効性確認で適用対象として選定したサービス

サービス ID	サービス A	サービス B	サービス C
想定する顧客	高速道路管理事業者	森林管理事業者	飲料製造販売事業者
サービスの役割	高速道路施設周辺の衛星画像を提供	森林地域の衛星画像を提供	飲料製造用の水源地域周辺の衛星画像を提供

4.2 有効性確認の結果

図 3 に評価項目 a(提案手法は業務課題に対して有効か?)に関連する指標を集計した結果として、競争優位性のある属性数における従来手法の導出数と提案手法による新規導出数を示す。また、図 4 に評価項目 b

(提案手法は手法課題に対して有効か?)に関連する指標を集計した結果として、提案手法により新規導出した競争優位性のある属性における各評価指標の集計結果を示す。

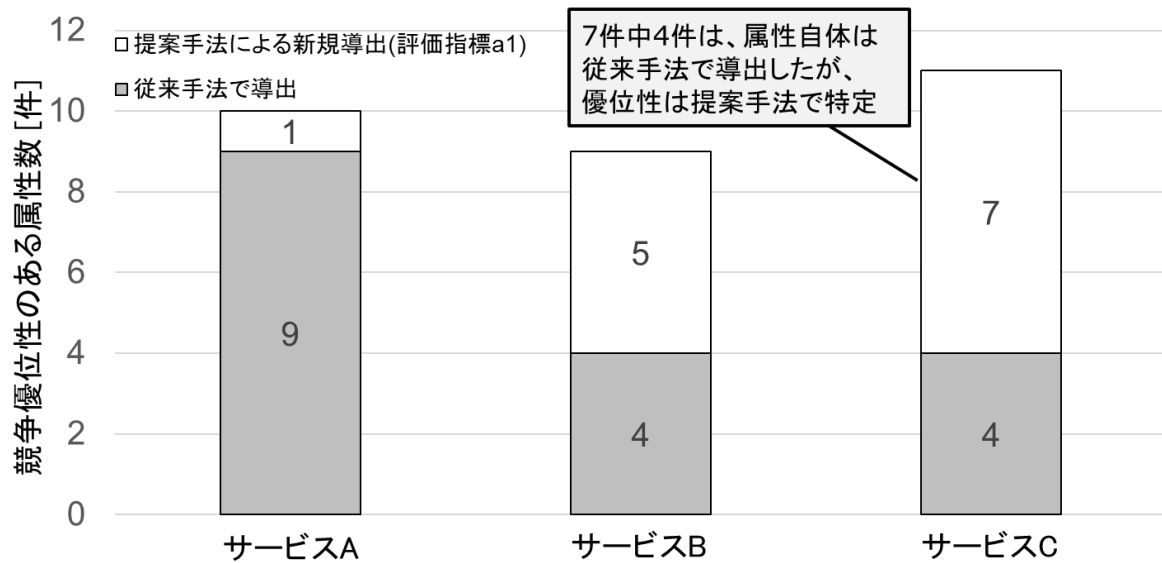


図3. 競争優位性のある属性における従来手法の導出数と提案手法による新規導出数

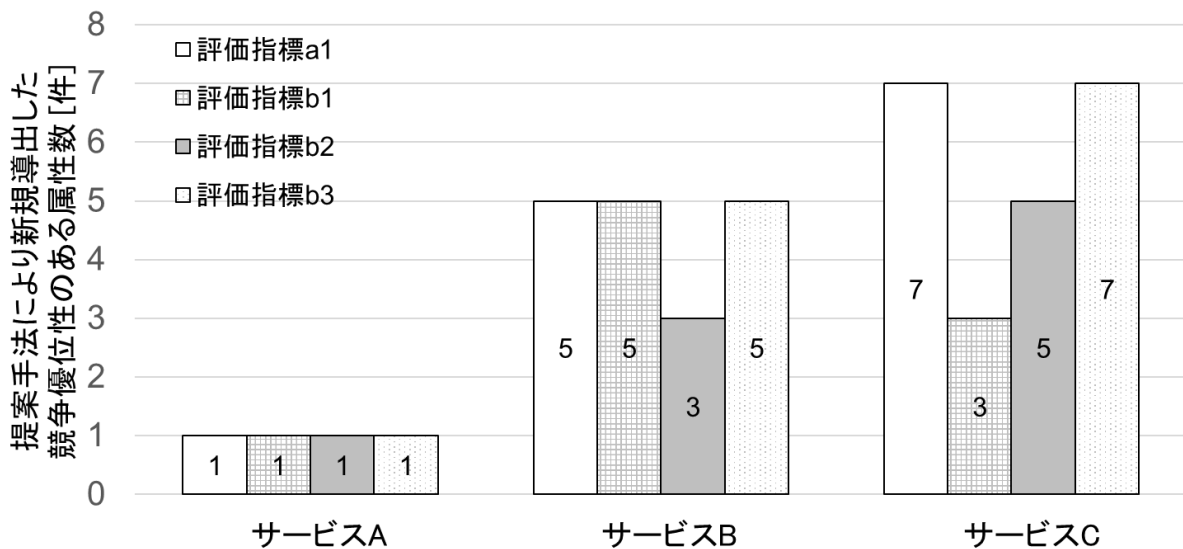


図4. 提案手法により新規導出した競争優位性のある属性における各評価指標の集計結果

4.3 考察

(1) 評価項目 a 提案手法は業務課題に対して有効か？

図3は、サービスごとに、「従来手法で導出」した競争優位性のある属性数（灰色）と評価指標a1である「提案手法による新規導出」した競争優位性のある属性数（白色）を示している。「提案手法による新規導出」に注目すると、すべてのサービスにおいて1件以上ある、つまり、すべてのサービスで提案手法により新規導出した競争優位性のある属性があることがわかる。特に、サービスCにおいては、「提案手法による新規導出」した競争優位性のある属性の7件中4件は、従来手法では属性自体は競争性があると導出していたが、優位性は特定できず、提案手法により優位性を特定できた属性である。

以上より、提案手法の業務課題「競争優位性のある属性の特定が困難」に対する有効性が示唆された。

次項では、手法課題に対する有効性をサービス特性との関連を考察する。

(2) 評価項目 b 提案手法は手法課題に対して有効か？

図 4 は、提案手法で新規導出した競争優位性のある属性(評価指標 a1)について、2 項で述べた手法課題 1, 2 に対応する提案手法の工夫点 1, 2 の分析が導出に必要な属性数(評価指標 b1, b2)と工夫点 1, 2 の分析のいずれかが必要な属性数(評価指標 b3)を示している。

評価指標 b3 に注目すると、すべてのサービスで、評価指標 a1 と評価指標 b3 の数が同数である。これは、提案手法で競争優位性のある属性を新規導出できたことに工夫点 1 か工夫点 2 のいずれかが寄与していることを示す。

評価指標 b1 に注目すると、すべてのサービスにおいて 1 件以上ある。これは、すべてのサービスで提案手法が競争優位性のある属性を新規導出したことに工夫点 1 が寄与している、つまり、提案手法が、手法課題 1「顧客がサービスを利用する文脈が特定されない」に対して有効であることを示唆している。以降では、この要因を従来手法と提案手法の分析の違いに注目して考察する。

従来手法である CVCA は、顧客の認識状態を考慮していないため、ある状況下や条件下で高まる顧客知覚価値の分析ができない^[11]。このため、CVCA でサービス特性 1「市場は新規技術の導入により拡大が期待される」とサービス特性 2「価値連鎖が多く分野に広がる」を有するサービスを分析する場合、手法課題 1「顧客がサービスを利用する文脈が特定されない」が発生していた。

一方で、提案手法は、工夫点 1 によりアクティビティ図の形式で価値連鎖上の顧客がサービスを利用し、利得が発生するシナリオを可視化している。また、提案手法は、そのシナリオが発生する前提条件と利得を生み出す行動およびその判断を明確にすることで、競合サービスの制約や顧客の業務上の制約を特定しやすくしている。これらの効果により、提案手法では、顧客がサービスを利用する文脈の特定に必要な競争優位性のある属性を分析者が導出しやすくなった、と考える。

評価指標 b2 に注目すると、すべてのサービスにおいて 1 件以上ある。これは、すべてのサービスで提案手法が競争優位性のある属性を新規導出したことに工夫点 2 が寄与している、つまり、提案手法が、手法課題 2「サービス提供結果から顧客の利得発生までの因果関係が特定されない」に対して有効であることを示唆している。以降では、この要因を従来手法と提案手法の分析の違いに注目して考察する。

従来手法である CVCA は、サービスの提供価値と対価を 2 つの顧客間の関係のみで捉えており、顧客事業自体の利得が分析手順に入っていないため、3 つ以上の意味がある連鎖を特定しにくい^[11]。このため、CVCA でサービス特性 2「価値連鎖が多く分野に広がる」とサービス特性 3「物理制約等に依存しシステムに多くの制約がある」を有するサービスを分析する場合、手法課題 2「サービス提供結果から顧客の利得発生までの因果関係が特定されない」が発生していた。

一方で、提案手法は、工夫点 2 によりパラメトリック図の形式でサービスの源泉となる属性から顧客事業の利得までの因果関係を可視化している。また、提案手法は、競合サービスや顧客業務上の制約と関連する属性を明確にすることで、顧客事業の利得発生に関連するサービスの属性を特定しやすくしている。これらの効果により、提案手法では、サービスと顧客事業のパラメータレベルの因果関係の特定に必要な競争優位性のある属性を分析者が導出しやすくなった、と考える。

以上より、提案手法の手法課題に対する有効性が示唆された。

(3) 提案手法の作業工数と利用局面

本項では、作業工数の観点から提案手法の有効性を考察する。ただし、従来手法の作業工数は未計測である。したがって、提案手法の作業工数を用いて、各サービスにおける提案手法の利用局面の観点から提案手法の有効性を考察する。

提案手法の作業効率と利用局面を各サービスで整理した結果を表 3 に示す。作業効率は、「新規発見した競争優位性のある属性 1 件当たりの作業工数」として算出した。作業工数は、提案手法の各作業を集計し、合計値を算出した。提案手法の利用局面は、「顧客事業におけるサービスの利用目的」とした。

作業効率(新規発見した競争優位性のある属性 1 件当たりの作業工数)について、サービス B, C がサービス A よりも低い。これは、「提案手法の利用局面」の違いによるものと考えられる。サービス B, C の場合、「提案手法の利用局面」は「新規事業の展開」である。サービス B, C では、顧客事業において既存のサービスが展開されていないため、サービス利用の文脈や顧客利得とサービスの因果関係をサービス A よりも想像しにくい、つまり、

手法課題の影響が高かったと考える。そのため、提案手法における作業効率では、サービス A よりサービス B,C の方が高い結果が得られたと考える。

以上より、提案手法は、利用局面として「既存事業の拡大」より「新規事業の展開」の方が有効性が高い、ことが示唆された。

表 3 提案手法の作業工数と新規発見した競争優位性のある属性数に対する作業効率

サービス ID		サービス A	サービス B	サービス C
提案手法で新規発見した競争優位性のある属性数		1	5	7
提案手法の作業工数 [hr]	参照情報の確認・ドメイン情報の調査	2.0	4.0	4.0
	モデリング	4.0	4.5	5.0
	評価指標の抽出	1.0	1.0	1.5
	合計	7.0	9.5	10.5
作業効率 [hr / 件] ※新規発見した競争優位性のある属性 1 件当たりの作業工数		7.0	1.9	1.5
提案手法の利用局面 ※顧客事業におけるサービスの利用目的		既存事業の拡大	新規事業の展開	新規事業の展開

5 結論

5.1 問題解決の度合いと限界

1 項で述べた 3 つの特性を有するサービスに対して競争優位性を分析する場合に、以下に示す提案手法の有効性が示唆された。

- 「競争優位性のある属性の導出が難しい」という業務課題に対する有効性
- 従来手法 (CVCA) による競争優位性の導出における手法課題に対する有効性
- 特に、提案手法の利用局面が「既存事業の拡大」より「新規事業の展開」の方が有効性が高い

ただし、提案手法は、ステークホルダーや競合サービスなどの市場状況の分析はしていない。そのため、それらの分析結果を従来手法 (CVCA) の成果物などから得ることで、提案手法の分析が実施できる。これらの情報が不十分な場合、提案手法の有効性が下がると考える。

また、有効性を属人性やサービス特性への依存性から評価するためには、追加の実験が必要である。

5.2 提案手法の有効な範囲と今後の展開への期待

本稿で示した有効性から提案手法が有効な範囲は、1 項で示した特性 1～3 を有するサービスの場合である。したがって、今後は、生成 AI のような新規技術で市場拡大が期待され、価値連鎖が多くの分野に広がり、自動車や航空機のようなシステム構築時に多くの制約のあるシステムで利用されるサービスに対して応用することが期待できる。

またソフトウェア品質知識体系ガイド (SQuBOK Guide v3)^[17]に記載の以下の項目の効果を向上することが期待できる。

- ・2.1.1.2 T:TQM (総合的品質マネジメント)

【期待する効果】提案手法により競争優位性を分析することで、当該項目の「企業の競争力向上による収益力の増大を実現する」効果を向上すること

- ・2.1.1.3 T:品質マネジメントシステム—持続的成功の指針 (JIS Q 9005)

【期待する効果】提案手法を事業環境の変化ごとに適用することで、当該項目の「企業が高い顧客価値を創造し続け、競争優位を確保し、持続的成功を実現できる」効果を向上すること

提案手法に残存する課題としては、モデリング技術とドメイン知識への属人性があると考ええる。特に、ドメイン知識への属人性低減は、分析対象のサービスに対して異なる複数の分野の顧客事業を扱うほど、提案手法の有効性を確保するうえで重要になる。今後は、提案手法で実施するモデリングに必要なドメイン情報の調査における工数削減と属人性低減をねらい、ChatGPT などの大規模言語モデルを活用した提案手法の改良を検討していきたい。

6. 参考文献

- [1] Hernández, D., Henríquez, E., Carvajal, C., Guerra, J. M. and Domínguez, A., “Transitioning to a new space age in the 21st century: A systemic-level approach,” *Systems*, vol. 9, no. 5, p. 232, 2021.
- [2] Alcántara, A. O., Pacheco, J. C. A., Pacheco, R. R. and Rodrigues, M. C., “Global governance of the space system: A multilevel governance analysis,” *Systems*, vol. 10, no. 9, p. 318, 2022.
- [3] 一般社団法人情報サービス産業協会 REABOK 企画 WG, 要求工学知識体系, 近代科学社, 2011.
- [4] 青山 幹雄, 中谷 多哉子, 鈴木 律郎, 要求工学知識体系(REBOK)の誕生 —ユーザとベンダの共通基盤を作る—, 情報処理学会デジタルプラクティス Vol.4 No.2, 2013.
- [5] Gürel, E. and Tat, M., “SWOT Analysis: A Theoretical Review,” *The Journal of International Social Research*, vol. 10, no. 51, pp. 994-1006, 2017.
- [6] Devi, W. S. G. R., Pringgandinie, D. R., Yulina, H. and Hadiansah, D., “SWOT Analysis as a Competitive Strategy at Primkop Kartika Ardagusema Cimahi City, West Java, Indonesia,” *International Journal of Science, Technology & Management*, vol. 3, no. 1, pp. 134-143, 2022.
- [7] Donaldson, K. M., Ishii, K. and Sheppard, S. D., “Customer Value Chain Analysis,” *Res. Eng. Des.*, vol. 16, no. 4, pp. 174-183, 2006.
- [8] 島 青志, 小林 延至, 白坂 成功, ICONIX プロセスを活用したビジネスモデル設計のダイアグラム連携手法, *Business Model Association Journal*, Vol. 21, No. 1, 2021.
- [9] International Council on Systems Engineering (INCISE), “Systems Engineering Handbook: A Guide for System Life Cycle Processes and Activities,” 4th ed., Wiley, 2015.
- [10] ISO/IEC/IEEE, “Systems and software engineering – System life cycle processes,” ISO/IEC/IEEE 15288:2015, International Organization for Standardization, 2015.
- [11] 梅田浩貴, 植田泰士, 事業アーキテクチャモデルを用いた顧客期待に対するシステム設計適合化, 第 68 回宇宙科学技術連合講演会, 2024.
- [12] INCISE, “INCISE Systems Engineering Vision 2020”, International Council on Systems Engineering, Tech. Rep. INCISE-TP-2004-004-02, 2007.
- [13] Tomita, Y., Umeda, H., Kawatsu, K., Iwai, S., Usuku, K., Tsujita, D., Nomoto, H., Takatsuki, S., Horikawa, M., Uchiyama, T. and Maeda, M., “Behavior Analysis and Integration of HTV-X Automated Docking Demonstration Mission with Model Based Systems Engineering Approach,” 33rd International Symposium on Space Technology and Science (ISTS), 2022.
- [14] Sasaki, T., Nakamura, R., Okamoto, H., Nakajima, Y., Nishishita, T., Tanishima, N., Umeda, H., Takatsuki, S. and Kobayashi, T., “Requirement Optimization of Proximity Operations for Active Debris Removal Missions Considering Both GNC and Capture System Constraints,” 34th International Symposium on Space Technology and Science (ISTS), 2023.
- [15] Takatsuki, S., Umeda, H., Kobayashi, T., Sasaki, T., Ueda, Y., Katahira, M. and Morisaki, S., “Hazard Scenarios Analysis Method Using STAMP/STPA and Sequence Diagrams in A Collision Avoidance System with Multiple Controllers,” 12th IAASS Conference, 2023.
- [16] Object Management Group, “Systems Modeling Language (SysML) ,” Version 2.0 Beta 4, OMG, 2025.
- [17] SQuBOK 策定部会, ソフトウェア品質知識体系ガイド (第 3 版) —SQuBOK Guide V3—, オーム社, 2020.