



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

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

○高附翔馬 梅田浩貴 植田泰士

e-mail : takatsuki.shohma@jaxa.jp

以下にご関心のある方々を想定して発表させていただきます。

□ 【プロセスの観点】

要求定義プロセスや競争優位性の分析

□ 【手段の観点】

システム層の上位階層である顧客やサービス層のモデリング

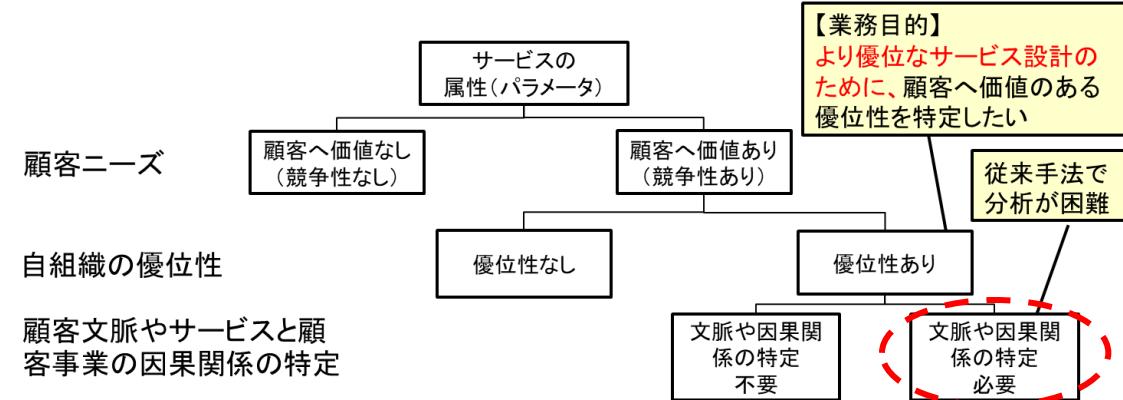
□ 【ドメインの観点】

宇宙機システムの事業分析の取り組み

発表の概要

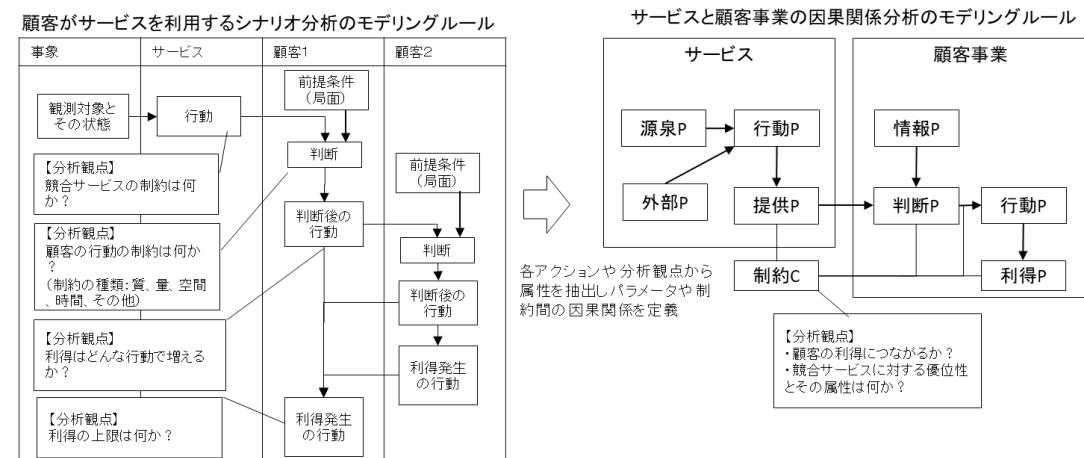
課題

従来の競争優位性分析では
○の特定が特に困難



工夫

従来手法
+
アクティビティ図(顧客文脈特定)
パラメトリック図(因果関係特定)



効果

提案手法は上記課題において競争優位性の分析を補強できる

- 背景(前提知識等)
 - 宇宙機システムの特徴と必要な品質
 - 競争優位性の分析
 - 取り扱うサービスの特性
- 発生した課題
- 課題解決のアイデア: 提案手法の概要
- 提案手法の有効性確認
 - 方法
 - 結果
- まとめ

宇宙機システムとは？

遠い目標位置で情報の取得や物体と接触し、ミッションを行うシステム

目的

遠い目標位置
に到達する

目標位置で
情報を取得

必要な方法

厳しい
環境条件下で
移動する

目標位置で
・目標物を観測
・目標物と接地

観測データを
取得

実現手段
(宇宙機)

大気圏はロケット
宇宙空間は宇宙機
月面はローバ

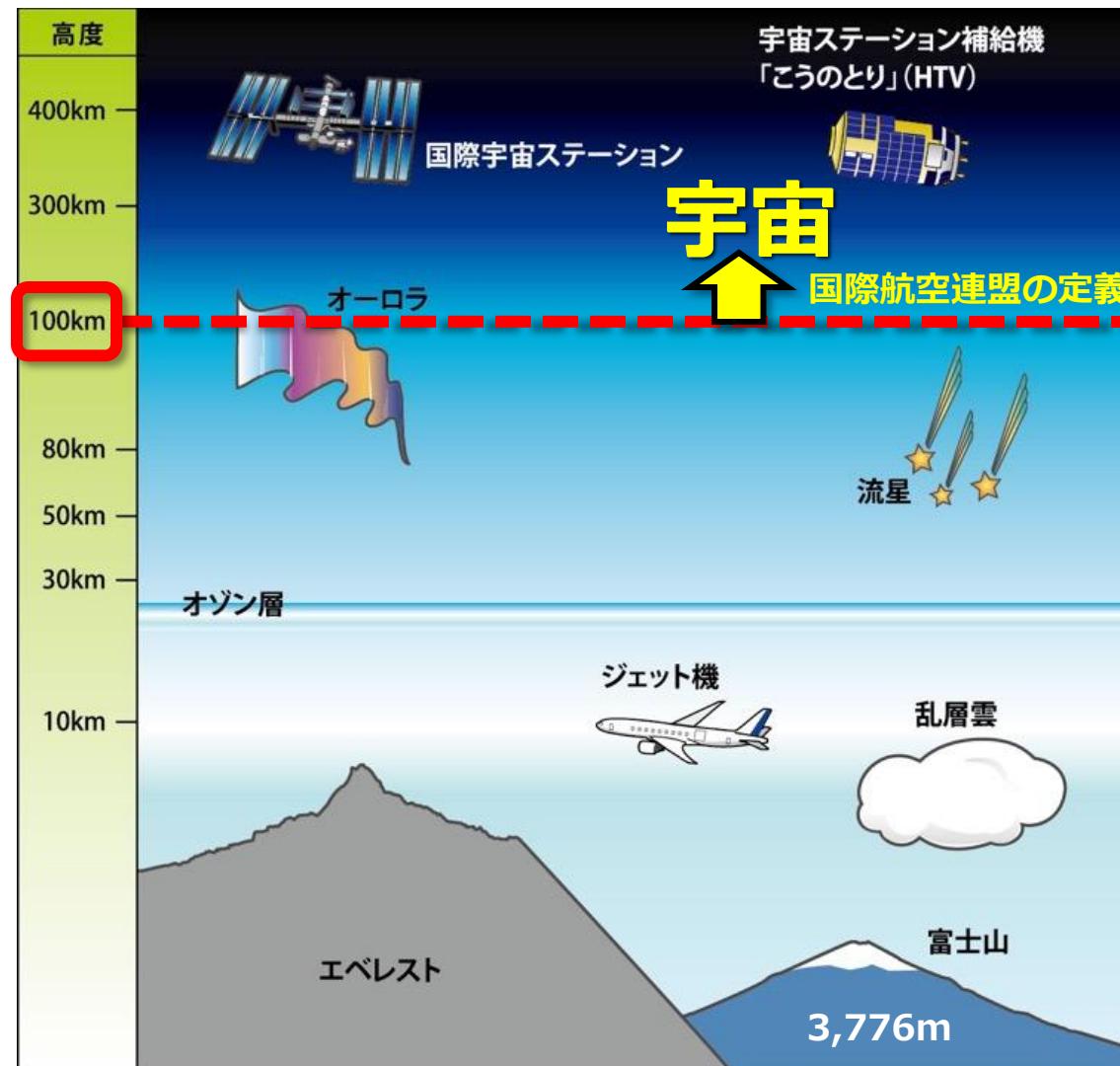
・地球周囲で観測
・宇宙ステーション、
デブリ捕獲、月着陸

通信機器と
地上局



宇宙とは？

高度100km以上から宇宙



宇宙までの距離

宇宙までの距離100kmは、東京駅-富士山までの距離と同等

富士山



陸域観測技術衛星「だいち」による観測画像
JAXA、たいち写真ギャラリー、
[https://www.satnavi.jaxa.jp/project/
alos/gallery/cat01/detail/D-0724_I.html](https://www.satnavi.jaxa.jp/project/alos/gallery/cat01/detail/D-0724_I.html)



地球周回軌道の距離

地球半径に対して1/16や3倍程度の距離を周回

静止衛星軌道

例:ひまわり

(高度36,000km)

(地球直径の約3倍)



国際宇宙ステーション

(高度400km)

(地球半径の16分の1)

地球

(半径:6,400km)

地球観測衛星

(高度800km)

(観測可能範囲)



地球と月の距離

(380,000km)

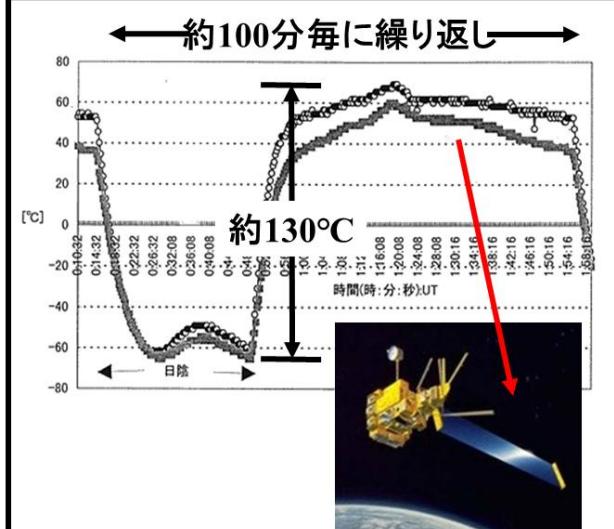
静止衛星軌道



宇宙機システムの特徴

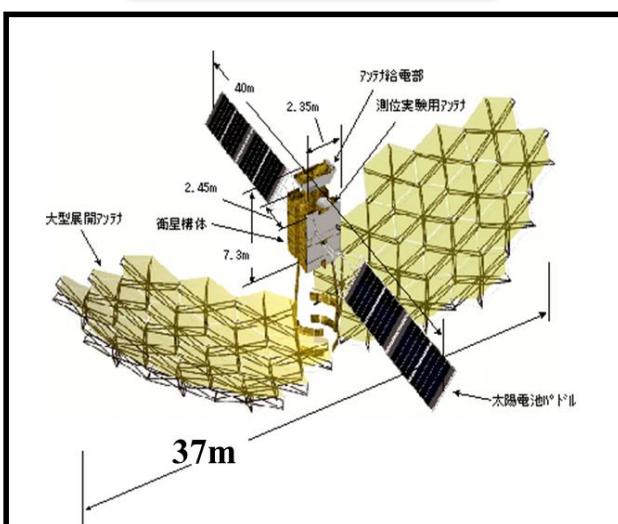
- ・遠く離れているため、宇宙機動作の観測が困難
 - ・厳しい環境のため、多くの制約が発生する
 - ・実環境で試験不可のため、想定外が発生しやすい

厳しい使用環境



真空中で温度変化、放射線環境等にさらされて動作しなければならない

実環境の試験困難



**無重力下で開く巨大なアンテナの展開を
同一条件で地上では確認できない**

人命等を奪う可能性



失敗した際に人命や財産を奪う可能性がある

宇宙機システムの特徴：ロケットシステム

環境だけではなく、性能限界から**多数の制約**もある



- 複雑・大規模システム
 - ✓ 多種多様かつ複雑な不具合事象
- 一発勝負である
 - ✓ 異常発生＝ミッション失敗
- 少量・少品種
 - ✓ サンプル数が少なく、信頼性データの蓄積が不十分
- 厳しい使用環境と要求仕様
 - ✓ 十分な余裕確保と検証が困難

一品生産で試験と修理が不可

→より高度な品質のシステムやソフトウェアが求められる

項目	ロケット	自動車
試験機	飛行試験機1~3機	1車種あたり数十台以上
設計／製造	一品生産	大量生産
部品点数	30万点以上	数万点以上
量産	1モデル50機/24年	1車種当たり数万台以上
エンジン燃焼圧	150気圧	数気圧
試験、検査	飛行環境での試験不可	実環境での試験・検査が可能
メンテナンス	打上げ後の修理不可	市場投入後の修理は可能
使用	基本的に使い捨て	保守・点検をしながら継続使用
使用期間	約50分~100分	5~10年以上
冗長系	飛行開始後停止・修理は不可能 エンジンは単一構成	停止・修理が可能
開発期間	H3で9年	通常3~4年程度
保険料率	~25%程度	1%以下
価格	H3で約50億円	100~1000万円

開発する宇宙機システムの変化

宇宙開発の黎明期：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

現在：民間参入が進み、宇宙機開発が可能な組織が増加

「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競争優位性を確保する重要性が増加

宇宙産業の環境変化

運搬コストの低下

民生品活用や再使用による
打ち上げコストの低下



国際宇宙
ステーション

デブリ除去

物理的接触あり

月探査



遠い

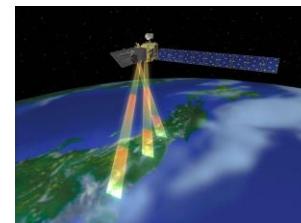
近い

機器の量産化

大規模の小型衛星群



地球観測



科学観測

観測のみ
(物理的接触なし)

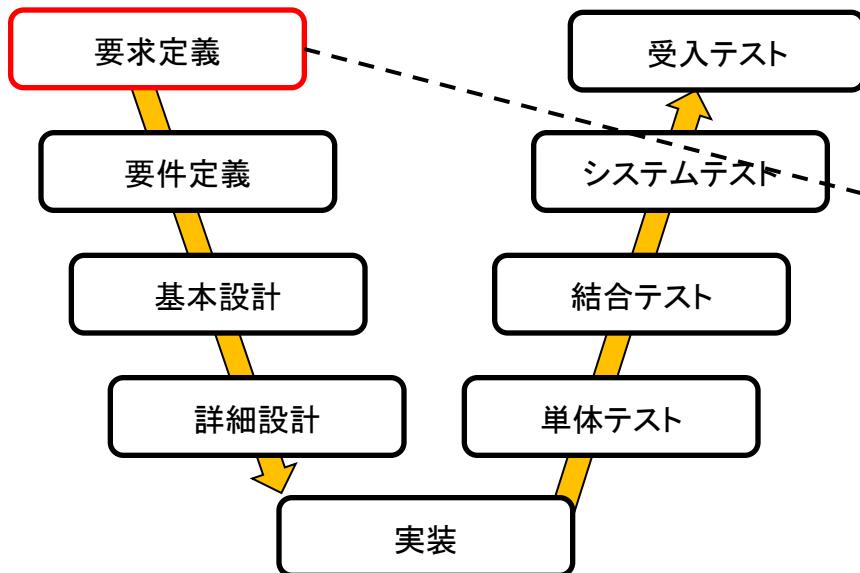
競争優位性の分析のシステム開発における位置づけ

競争優位性の分析は**最上流中の最上流プロセスの活動**の1つ

※開発プロセスの最上流である要求定義プロセスの
最上流である要求獲得プロセスの活動

ウォーターフォール開発における
システム開発工程の流れ(V字モデル)

上流工程
(品質作り込み)



要求工学知識体系(REBOK)における
要求工学プロセスの要求開発

要求の源泉

要求開発

要求獲得

要求分析

要求仕様化

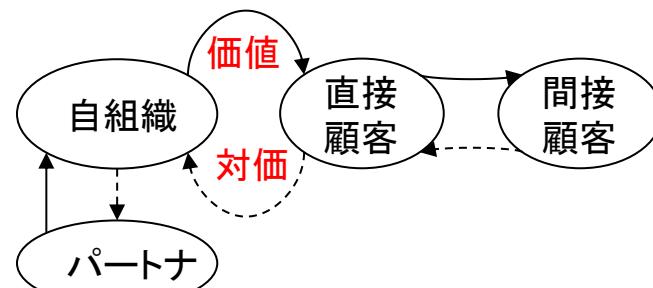
要求の検証・妥当性確認・評価

システム構築

要求獲得プロセス：
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

競争優位性の分析方法

競争優位性の分析は、SWOT分析や顧客価値連鎖分析(CVCA)を利用した方法がある

手法	SWOT分析	顧客価値連鎖分析(CVCA)
イメージ	<div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div style="text-align: center;"> プラス要因 内部環境 強みS </div> <div style="text-align: center;"> マイナス要因 外部環境 機会O </div> </div> <div style="display: flex; justify-content: space-around; margin-top: 20px;"> 弱みW 脅威T </div>	
概要	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	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
競争優位性の分析への利用	<p>「強み」や「機会」から競争優位性を抽出</p> <p>競争優位性の直接記述: ○ 価値連鎖の表現: ×</p>	<p>「価値」や「対価」から競争優位性を抽出</p> <p>競争優位性の直接記述: × 価値連鎖の表現: ○</p>

取り扱うサービスの特性

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の特性

- 【特性1】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(**価値連鎖**)が**多くの分野**に広がる
- 【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

価値連鎖例

その他の
価値連鎖上
事業者

データ利用
事業者

データ解析
事業者

衛星データ提供
事業者



旅客(高速バス)

安全で
いつでも
利用可能な
経路



貨物輸送



木材生産

【特性2】
価値連鎖が多くの分野に広がる

質のいい樹木



高速道路管理



森林管理

定期更新可能
な解析データ



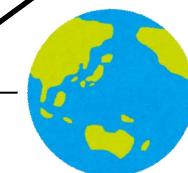
【特性1】
市場は新規技術の
導入により拡大が
期待される

【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

広域の定期性の
高い観測データ



新規技術
センサ



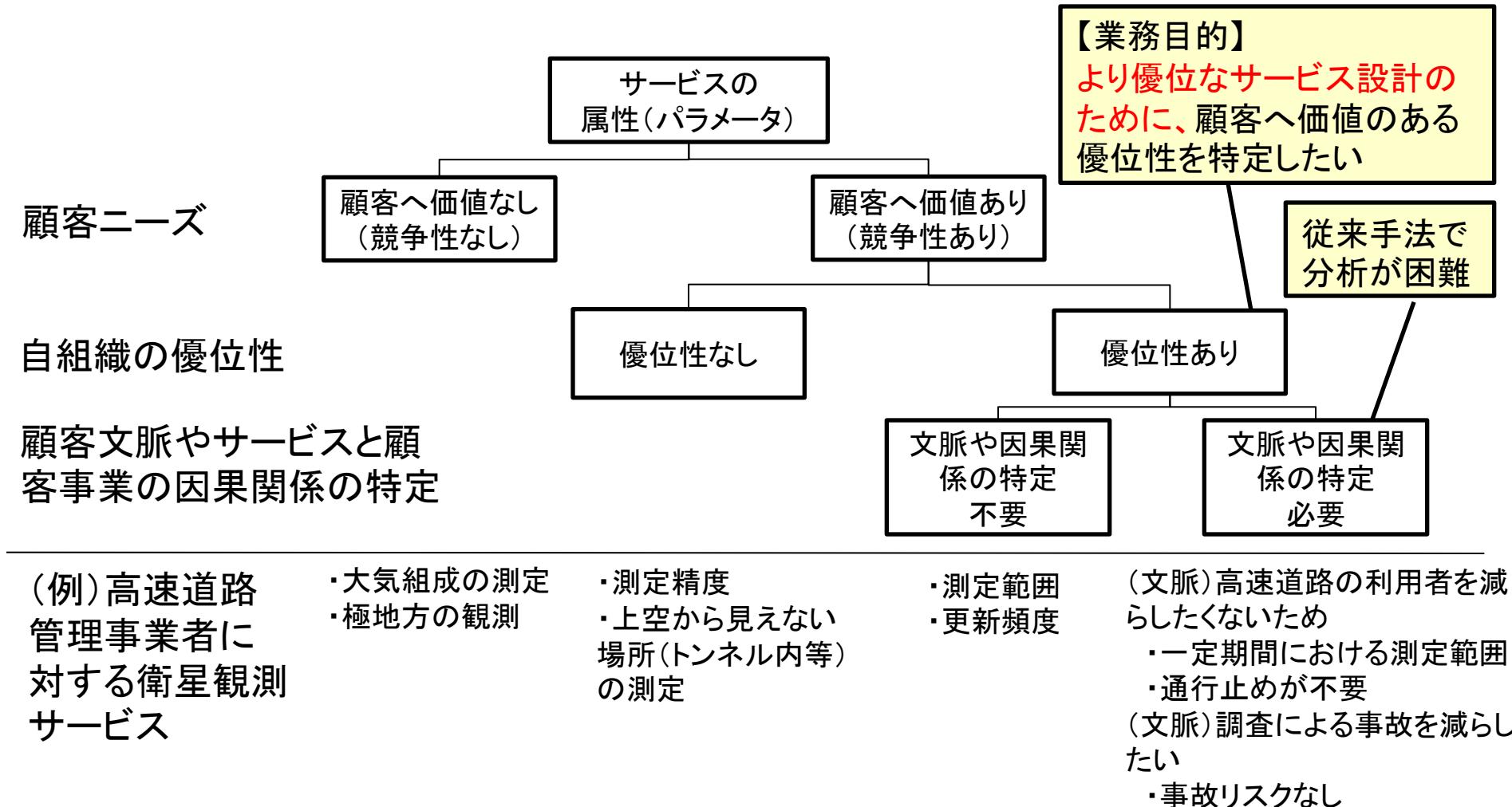
【制約】観測頻度は軌道周期に依存

発生した課題

従来実施していた競争優位性の分析(CVCA)では、

競争優位性のある属性(性質や特徴を示すパラメータ)の特定が困難

※特に、顧客文脈やサービスと顧客利得間の因果関係の特定が必要な属性



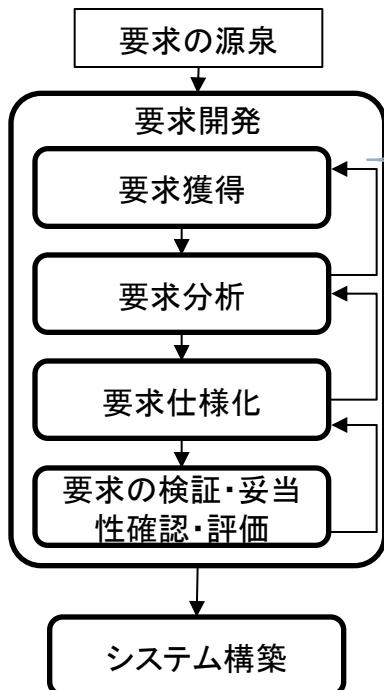
課題の要因分析

業務課題の要因を要求工学プロセスとサービス特性の観点から手法課題として特定

【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行動発生(利得を生む)までの因果関係が特定されない

要求工学プロセスの 要求開発(REBOK)



要求獲得プロセス

ステークホルダの識別

現状システムの理解

現状システムのモデル化

課題の抽出と原因分析

課題解決に向けたゴールの抽出

ゴール達成手段の抽出

将来システムのモデル化

要求の記述と詳細化

サービス特性

【特性1】
市場は新規技術の導入により拡大が期待される

【特性2】
価値連鎖が多く分野に広がる

【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

手法課題 (要因)

【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

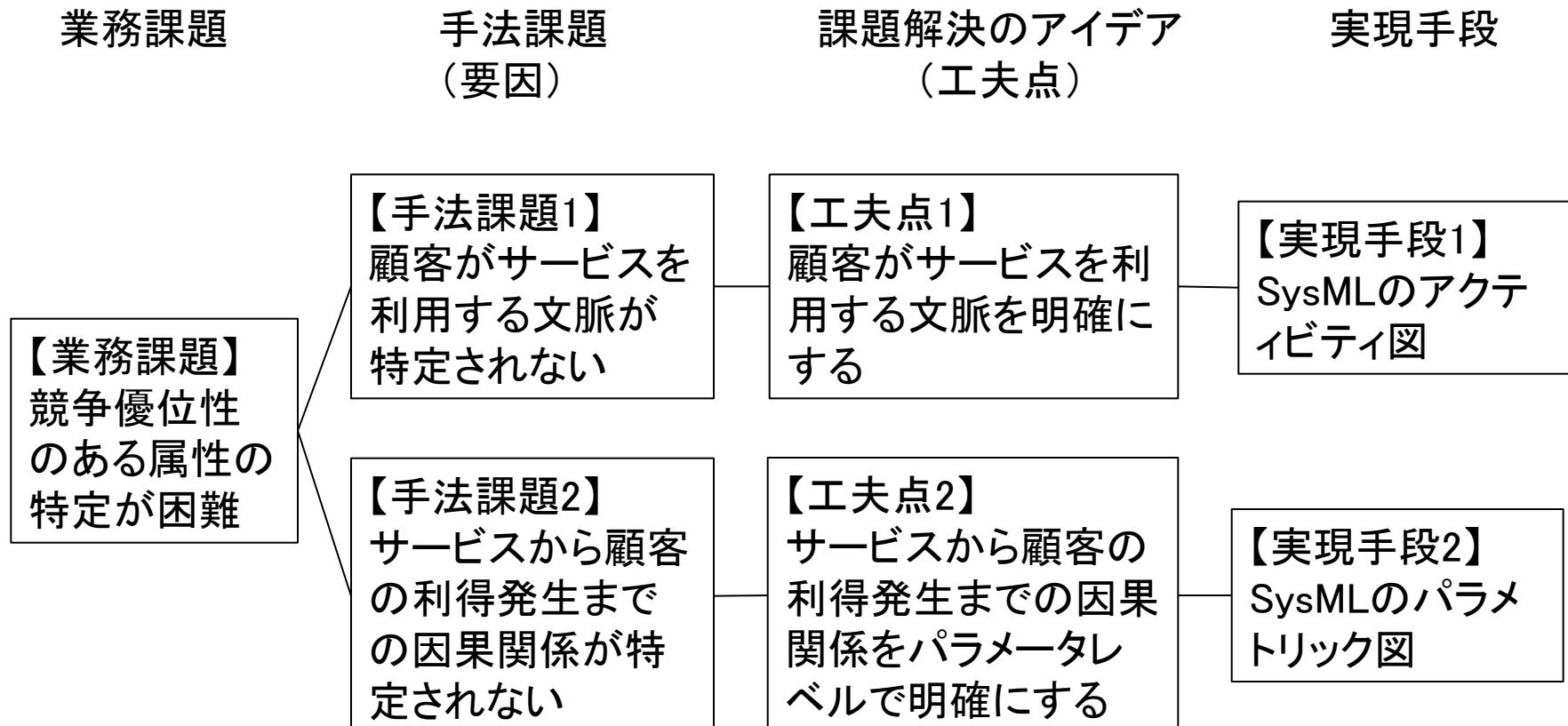
【手法課題2】
サービスから顧客の利得発生までの因果関係が特定されない

業務課題 (要因)

【業務課題】
競争優位性のある属性の特定が困難

課題解決のアイデア: 提案手法構築の概要

業務課題の要因である手法課題を解決するために、課題解決のアイデアを検討
実現手段として、宇宙機システムの開発で主流になりつつある
モデルベースシステムズエンジニアリング(MBSE)で用いる
モデリング言語であるSysMLによる記述モデルを採用



システムは、**目的達成**のために構築する**相互作用する複数の要素の集合体**

■システムとは

ハードウェア、ソフトウェア、ファームウェア、人、情報、技術、設備

サービスおよび保管お支援要素を含む、定義された目的を成し遂げるための
相互作用する要素を組み合わせたもの[1]

【相互関係性】

複数の要素が相互に関係することで、新たな特質が生まれる(創発)

【集合性】

単独の要素で存在せず
複数の要素から構成

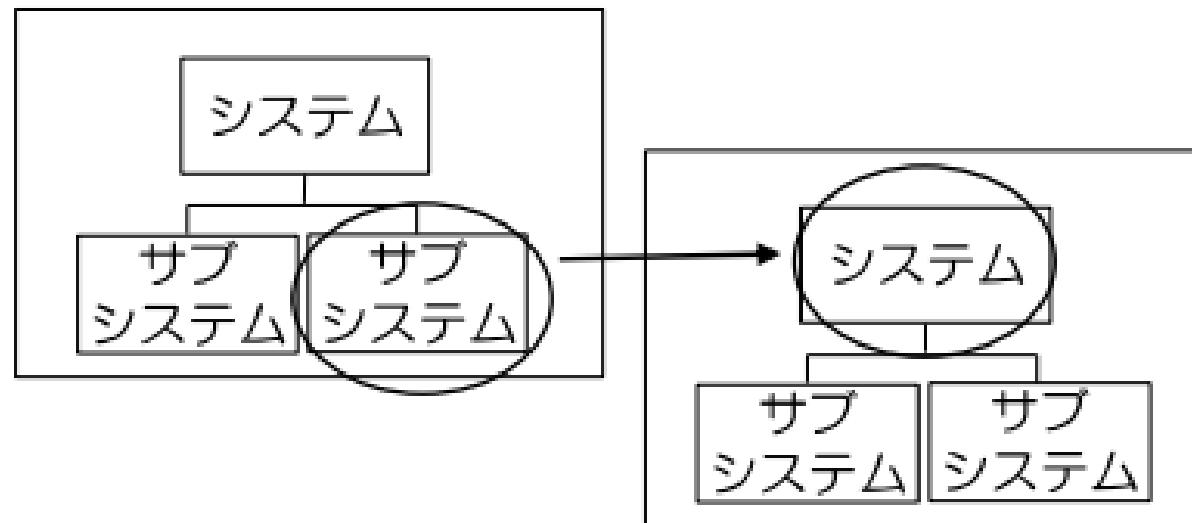
【目的性】

自然システムではなく
人が作り出すシステム

[1] INCOSE: INCOSE Systems Engineering Handbook: A Guide for System Life Cycle Processes and Activities Ver.4.0, WILEY (2015)

白坂成功.「システムズエンジニアリング概要と今後の発展」.
『システム制御情報学会』.2022,vol.66,No.8,P303-308

システムは、サブシステムで構成され、
サブシステムもシステムとして捉えることが可能



第1図 システムの階層性を表す Building Block

【階層性】

全体から詳細に至るまで活用できる統一的な考え方。

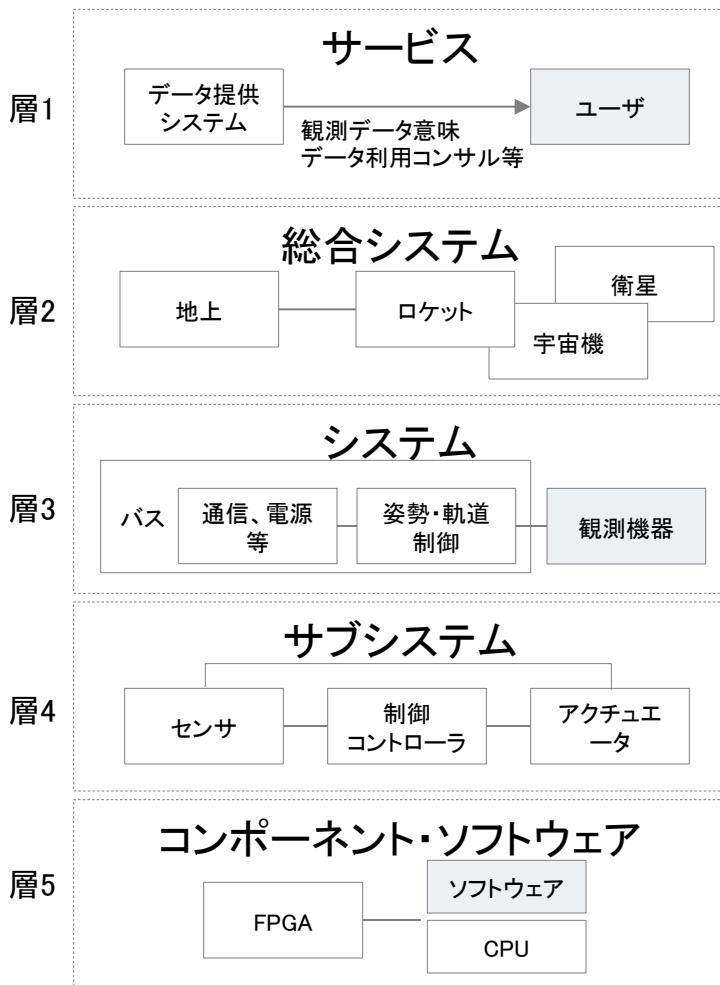
システムはサブシステムで構成されている。

サブシステムも「システム」として捉えることでその考え方を繰り返し使える。

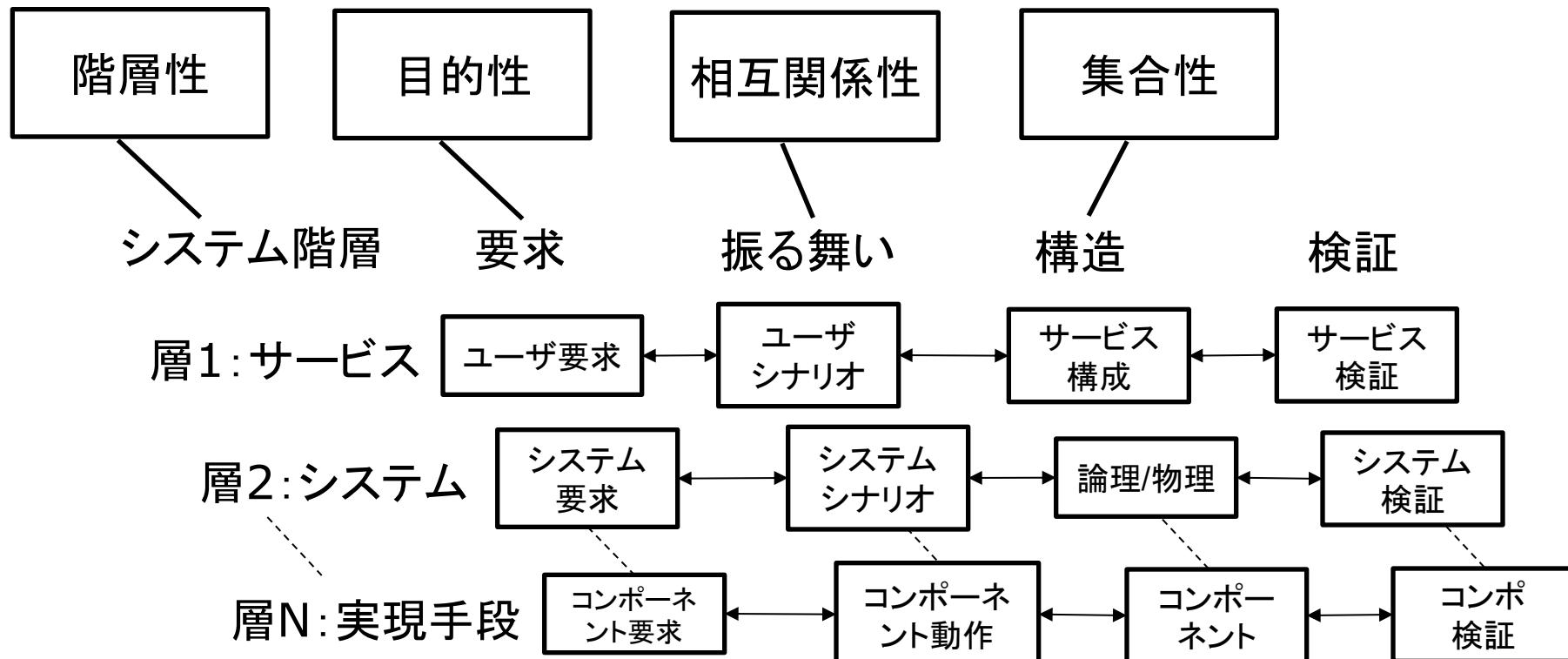
白坂成功、「システムズエンジニアリング概要と今後の発展」。
『システム制御情報学会』.2022,vol.66,No.8,P303-308

宇宙機システムは、多数のシステム階層で構築

システム階層イメージ



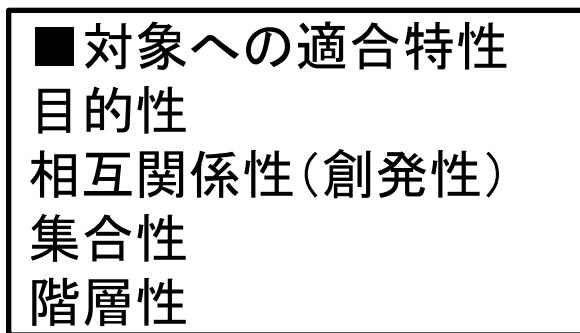
複雑で巨大なシステムは、特に「階層性」が重要



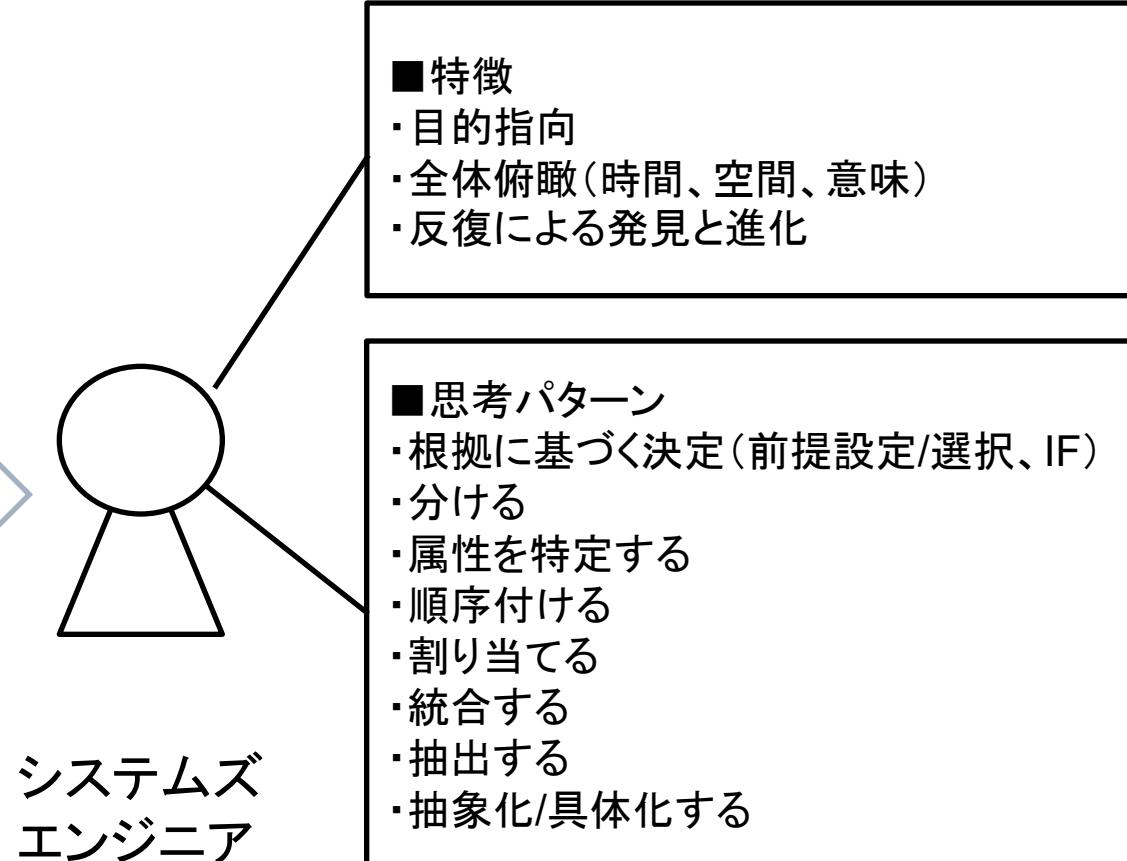
階層的にシステム設計をした場合の概念図

SEの特徴は、アーキテクチャ設計技術 ※目的に対する統合技術

その質は、システムズエンジニアの思考力に大きく依存するため、支援が必要



システム境界



階層性のある「システム」をエンジニアリングするために

「システムズエンジニアリング」

を

「モデル」を用いて

行う

システムを俯瞰的、多面的に捉え
系統的に考える
複数の専門分野を統合するアプローチ

<役に立つ場面>

- ・多様な人が関わる
- ・付加価値の高いサービス
(単に部品やモノを作るだけではない)
- ・一段高い視点から分析

システムに関する情報を
形式化したモデルを用いて
以下を実現する

- ・目的指向
- ・全体俯瞰(時間、空間、意味)
- ・反復による発見と進化

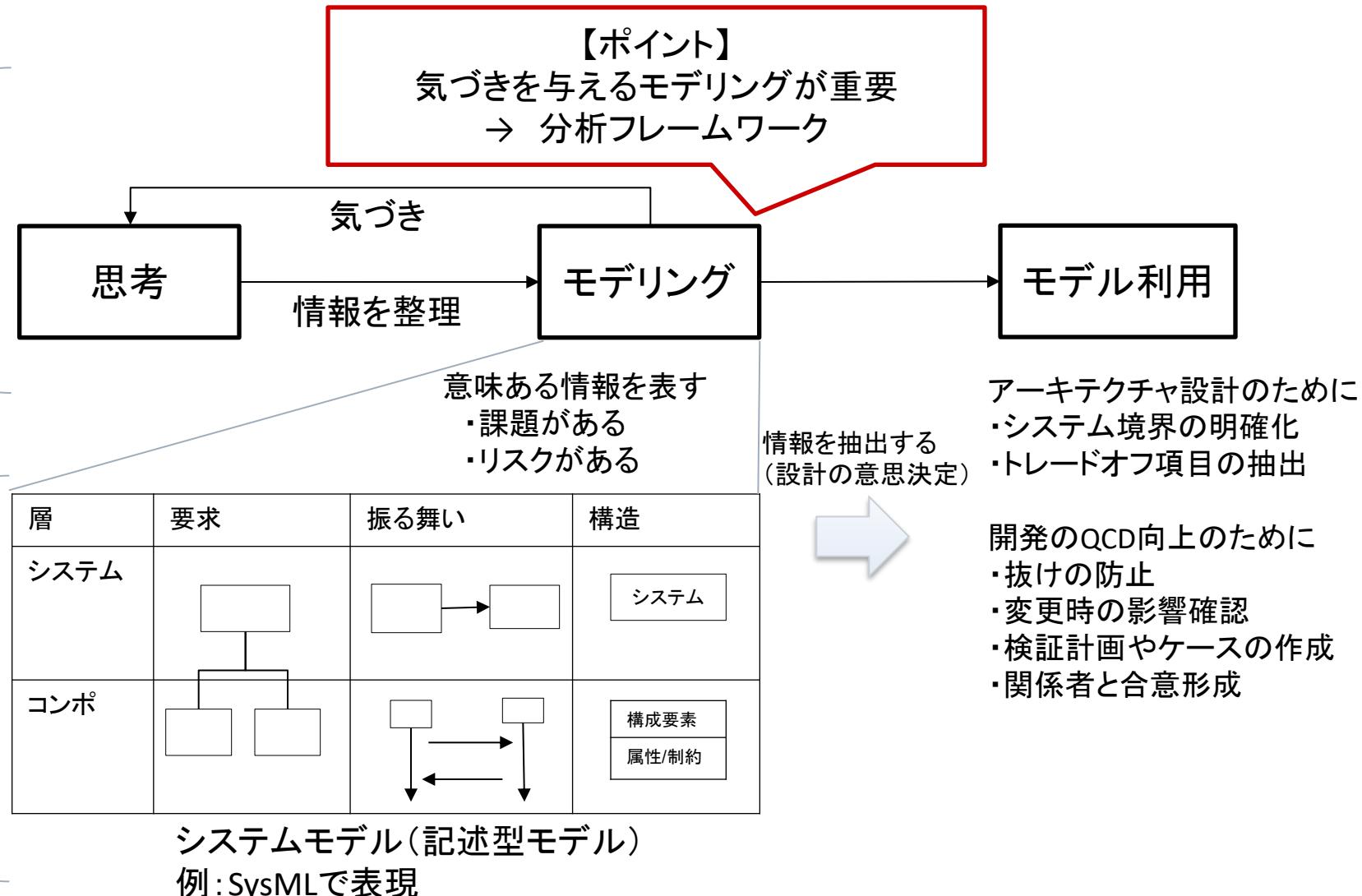
<https://www.incose.org/systems-engineering>

Systems Engineering is a transdisciplinary and integrative approach to enable the successful realization, use, and retirement of engineered systems, using systems principles and concepts, and scientific, technological, and management methods.

(補足) MBSEの役割

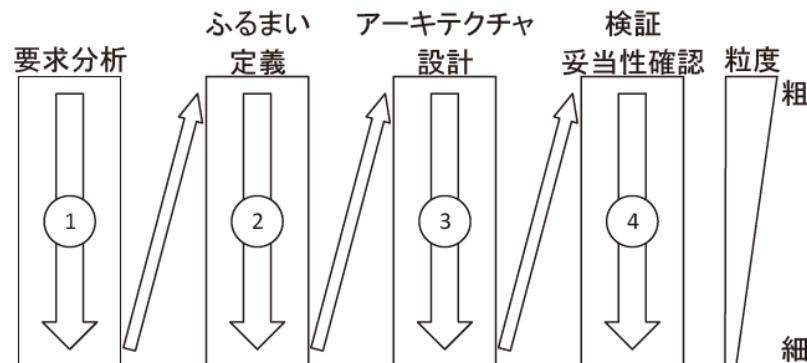
システムズエンジニアが「意思決定すべきこと/したいことを、
「記述型モデル」で表現する

SE:
システム
思考

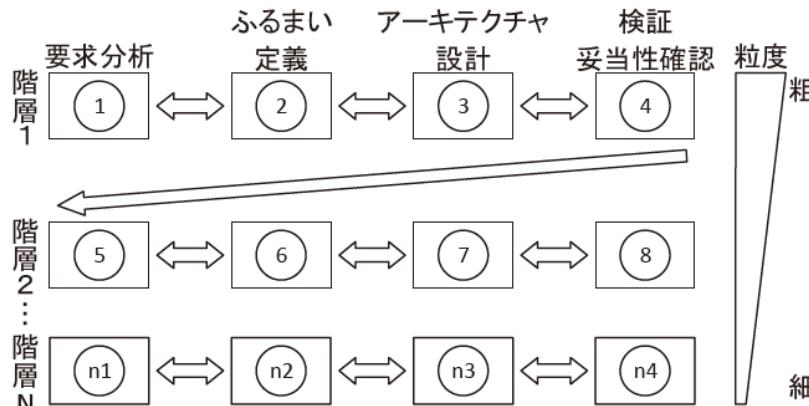


宇宙機システムは、複雑で巨大なシステム
システム階層を考慮した開発プロセスとするため

従来のドキュメントベースからモデルベースの開発へ変化

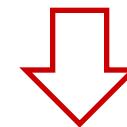


第2図 従来のSEプロセス概念図



第3図 階層的MBSEプロセス概念図

ドキュメントベースから



モデルベースの開発へ

【ポイント】

宇宙機は、厳しい環境からの物理制約、下位階層である実現手段の制約があるため、階層縦断的なシステム設計が重要

関雄樹.「モデルベースシステムズエンジニアリング」特集号.『システム制御情報学会』.2022,vol.66,No.8,P297-298

提案手法の概要

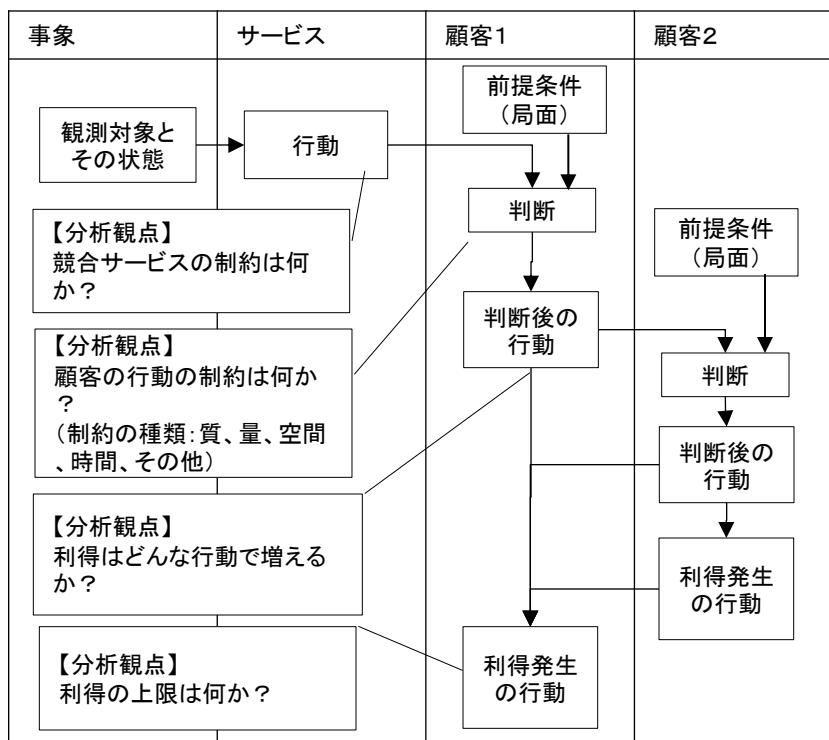
【工夫点1】 手法課題1に対して、**顧客がサービスを利用するシナリオ**を分析するための、以下を表現可能なモデリングルールを**アクティビティ図**の形式で構築

- ・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

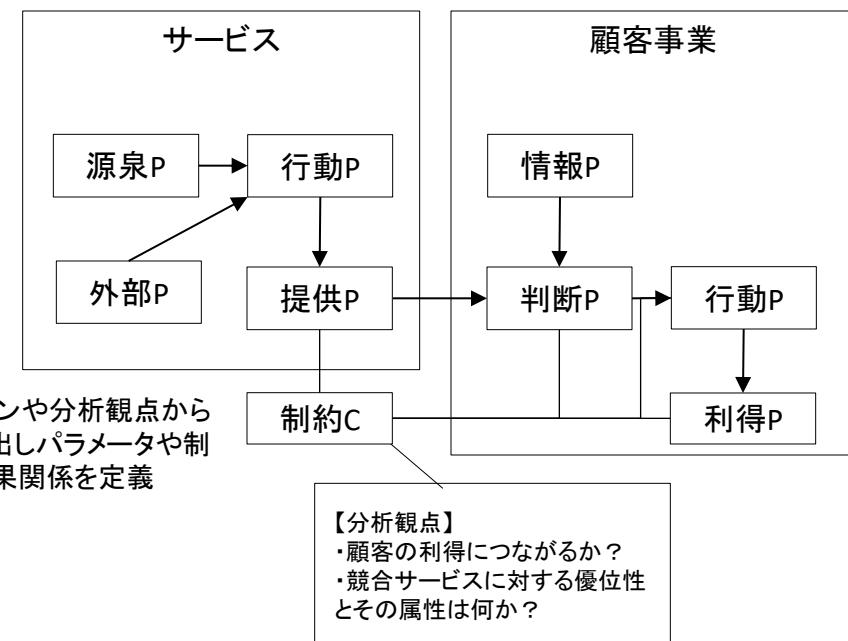
【工夫点2】 手法課題2に対して、**サービスと顧客事業の因果関係**を分析するための、以下を表現可能なモデリングルールを**パラメトリック図**の形式で構築

- ・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

顧客がサービスを利用するシナリオ分析のモデリングルール



サービスと顧客事業の因果関係分析のモデリングルール



提案手法が支援するプロセス

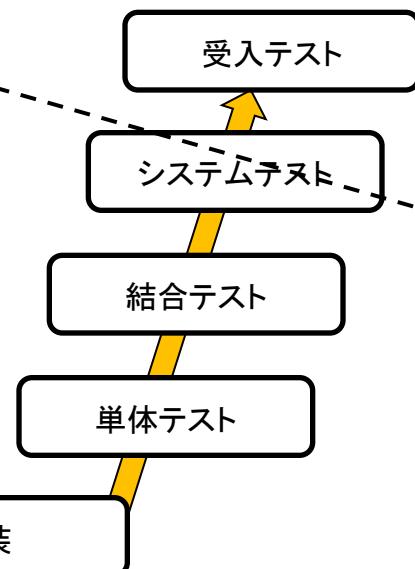
提案手法は、要求獲得プロセスの
「現状システムのモデル化」と**「将来システムのモデル化」**プロセスで使用し、
 要求獲得プロセス全体を支援する

ウォーターフォール開発における システム開発工程の流れ(V字モデル)

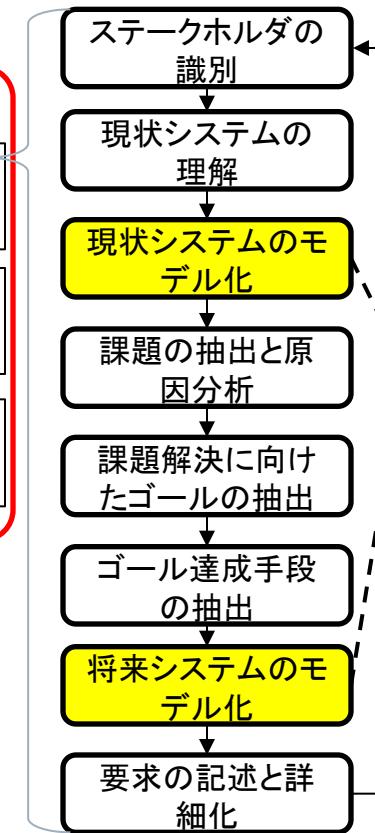
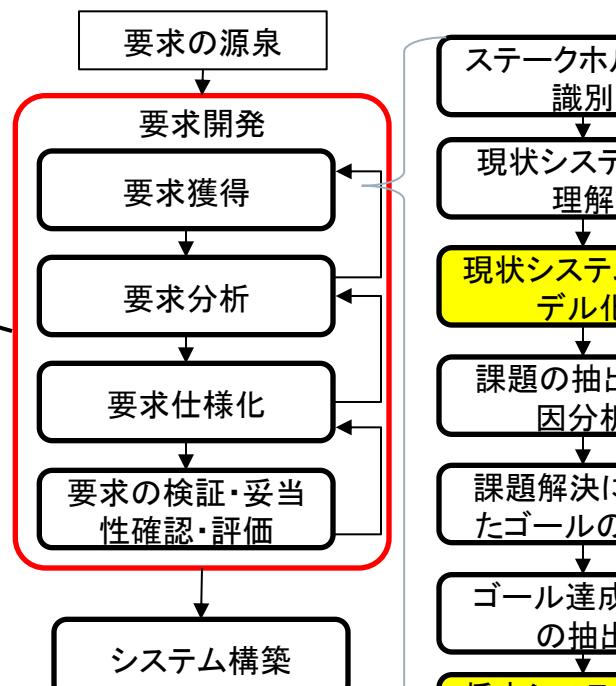
上流工程 (品質作り込み)



下流工程 (品質保証)



要求工学知識体系(REBOK) 要求工学プロセス 要求獲得プロセス



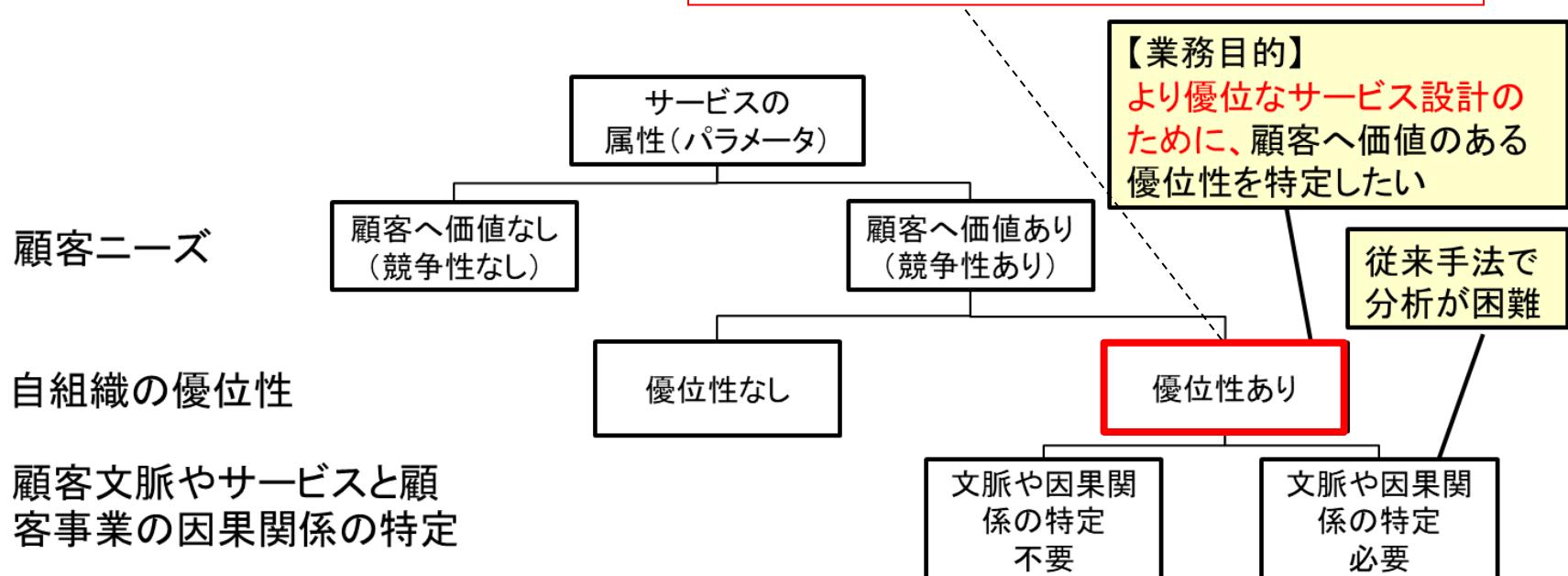
提案手法
が支援

有効性確認の方法: 業務課題への有効性

提案手法の業務課題に対する有効性の評価として
「従来手法が見逃した競争優位性のある属性を提案手法は導出できるか？」を評価する

記号	評価項目	何を評価するか？
a1	業務課題に対する有効性	<p>従来手法が見逃した競争優位性のある属性(※)を提案手法は導出できるか？</p> <p>※競争性があり優位性もある属性</p>

【評価指標a1】提案手法で新規発見した競争優位性のある属性数

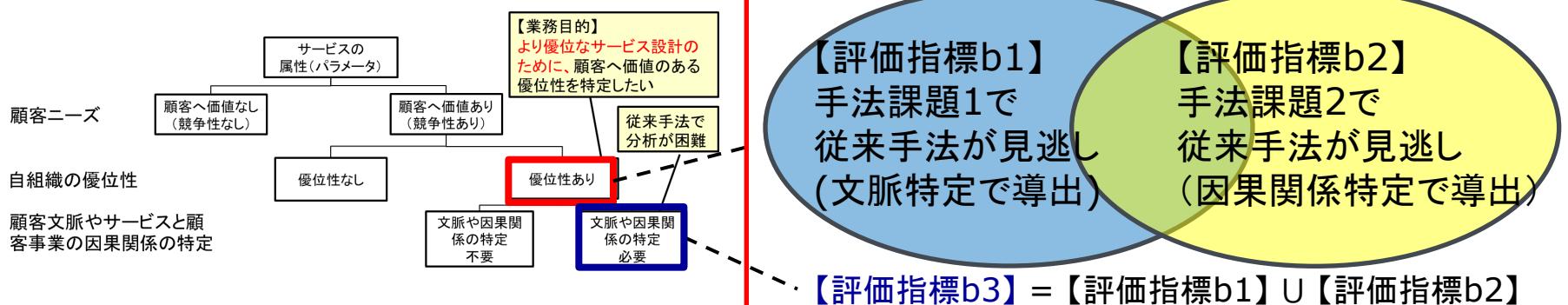


有効性確認の方法: 手法課題への有効性

提案手法の手法課題に対する有効性の評価として
 「従来手法が見逃した競争優位性のある属性を提案手法は
 手法課題に対する工夫点によって導出できるか？」を評価する

記号	評価項目	何を評価するか？
b1	手法課題1に対する有効性	従来手法の見逃しを、手法課題1に対する 工夫点1(顧客文脈特定) により導出できるか？
b2	手法課題2に対する有効性	従来手法の見逃しを、手法課題2に対する 工夫点2(因果関係特定) により導出できるか？
b3	導出した従来手法の見逃し に対する工夫点の寄与	導出した従来手法の見逃し(新規発見)には、工夫点 がどれだけ寄与しているか？(b3 = b1 ∪ b2)

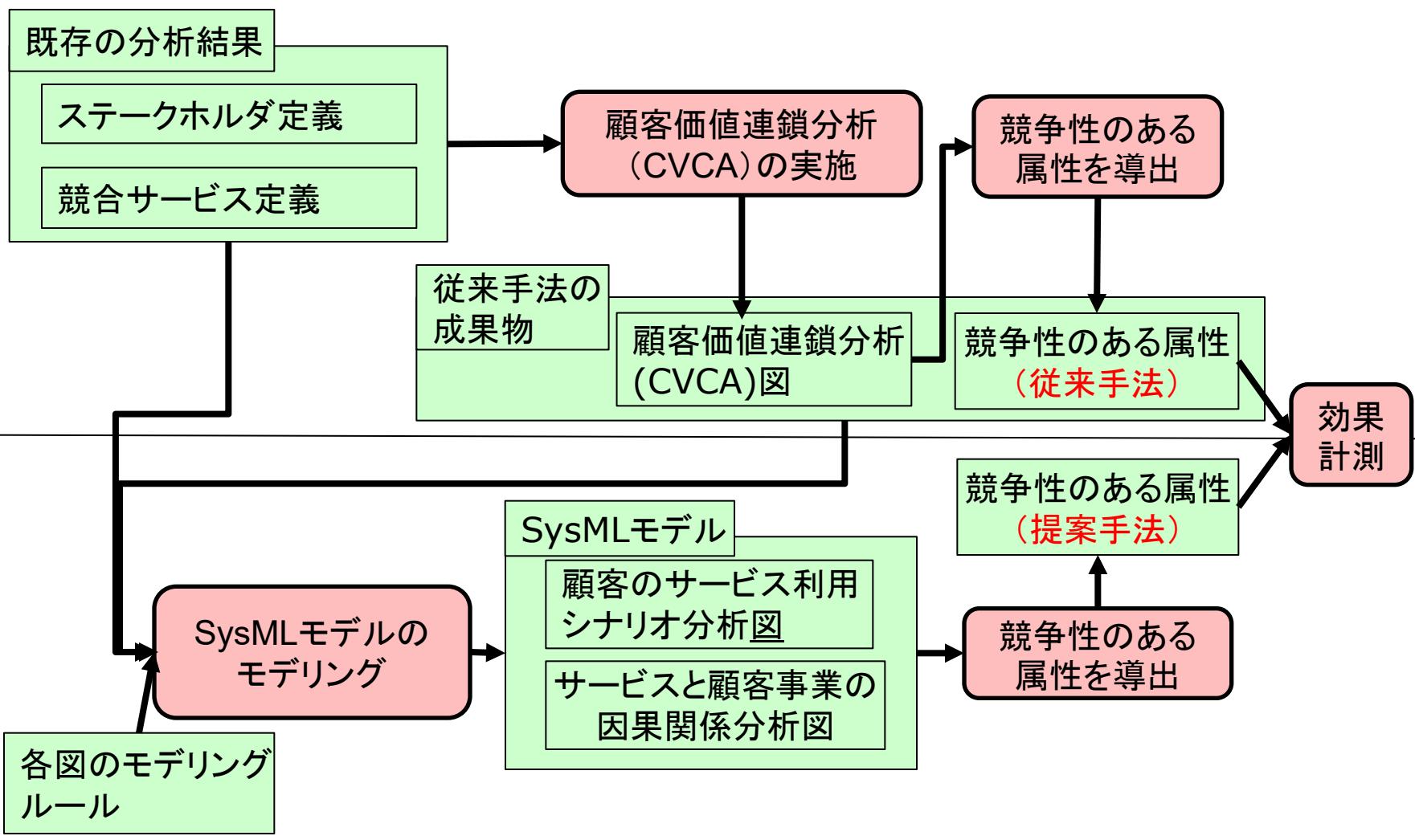
提案手法で新規発見した競争優位性のある属性



有効性確認の方法:流れ

既存のステークホルダや競合サービスの定義結果をもとに
従来手法(CVCA)による分析を実施し、その成果物をもとに提案手法を実施
各手法の成果物から評価指標を計測し比較

従来
手法

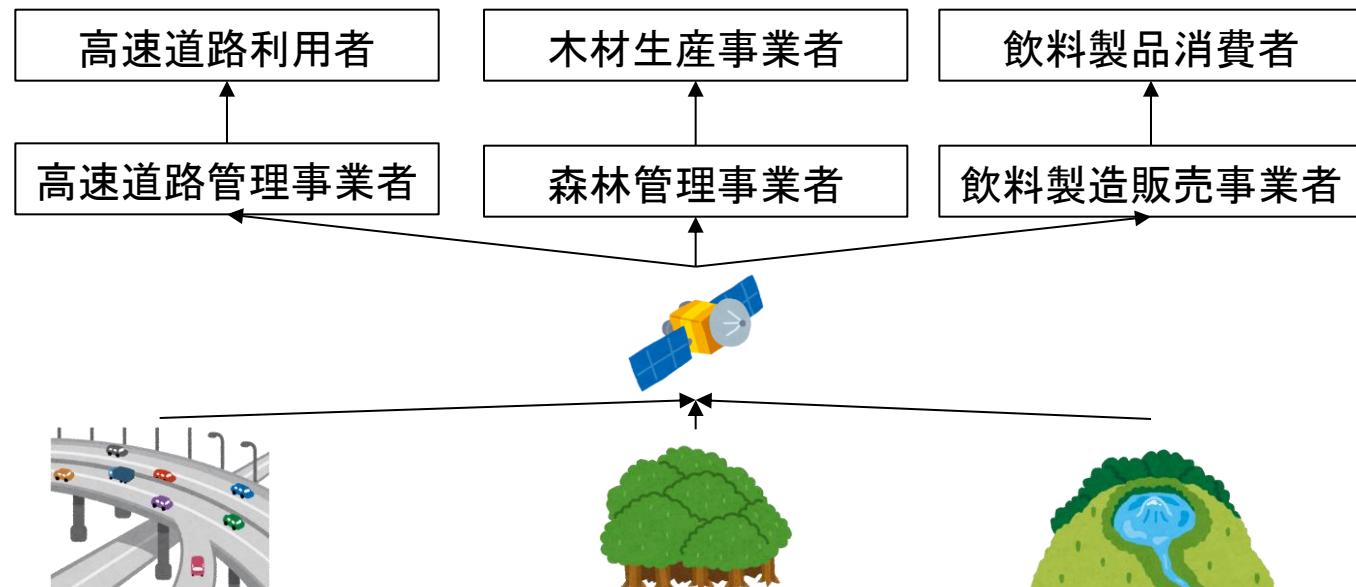


有効性確認の方法: 適用対象

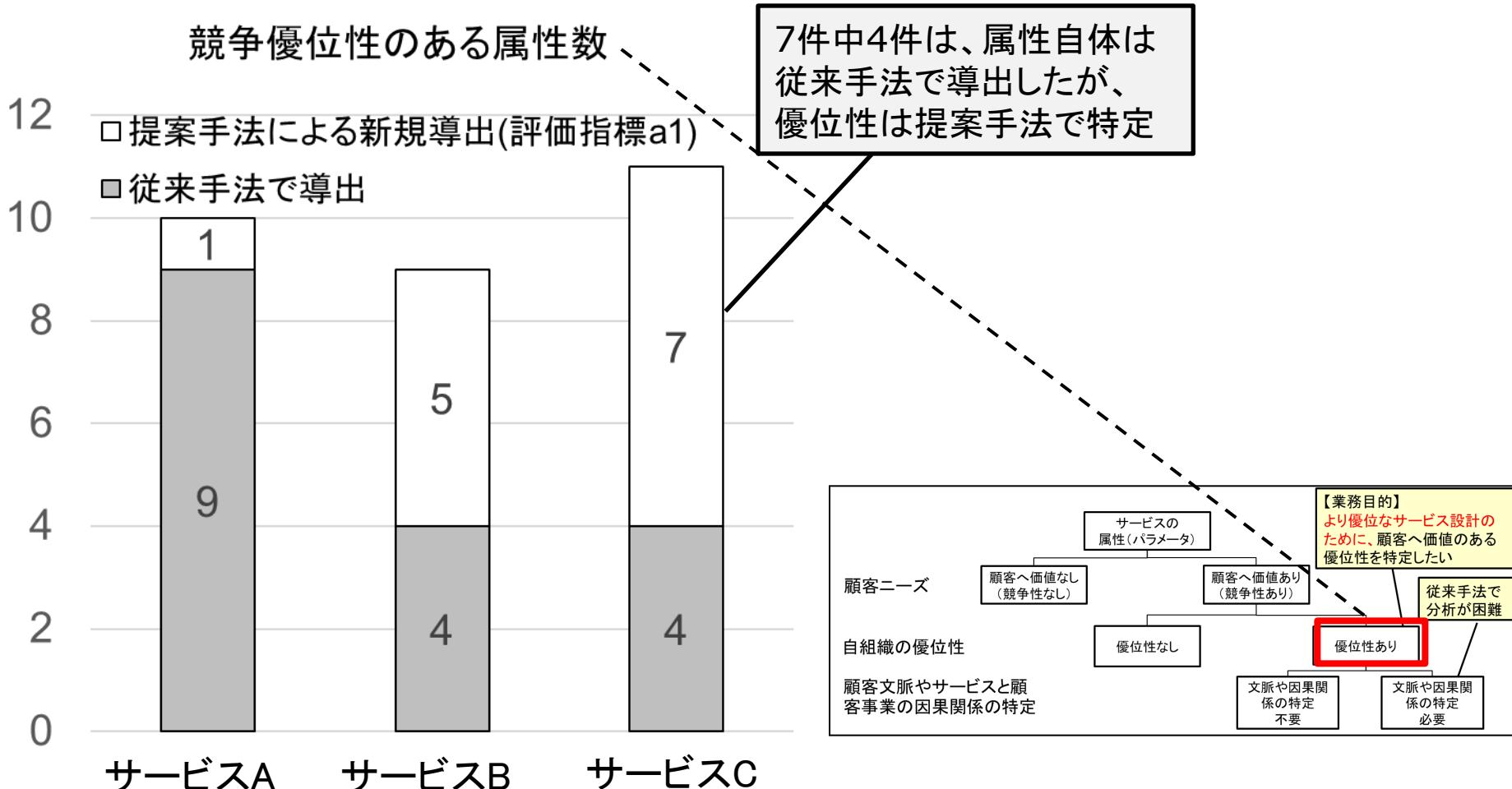
課題への有効性を確認するため、JAXAが開発する
地球観測衛星システムの利用を想定した3つのサービスに手法を適用
 それぞれのサービスが異なる価値連鎖になるように、
異なる分野の顧客に向けたサービスを適用対象として選定

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

価値連鎖例



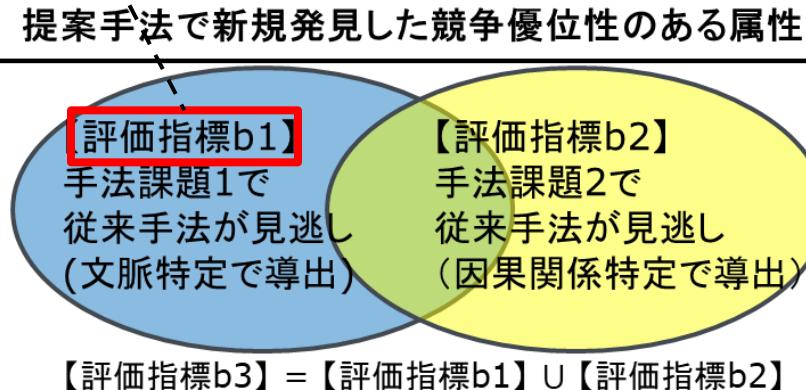
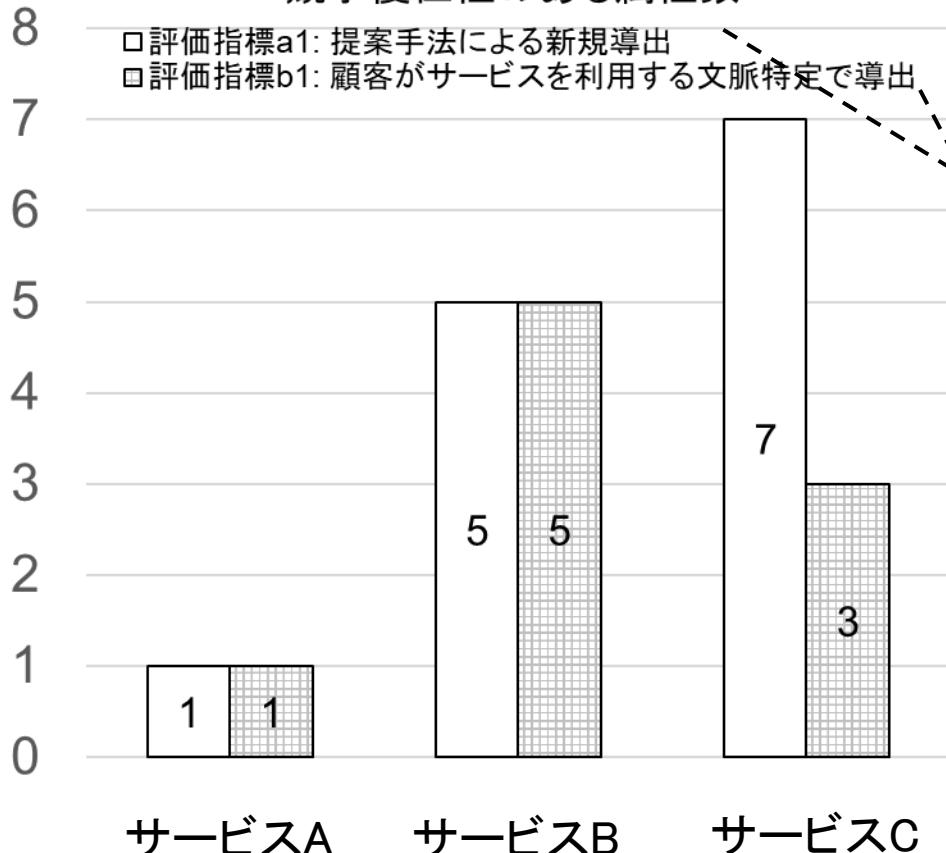
各サービスにおいて、提案手法によって競争優位性のある属性を新規導出
 → 従来手法が見逃した競争優位性のある属性を特定
 → **業務課題「競争優位性のある属性の特定が困難」**
 に対する提案手法の有効性が示唆



各サービスにおいて、提案手法によって新規導出した競争優位性のある属性に、手法課題1に対する工夫点1(顧客文脈特定)により導出できた属性が含まれる

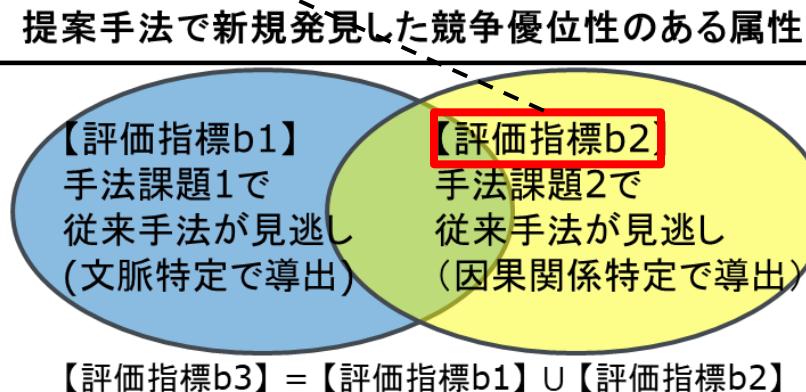
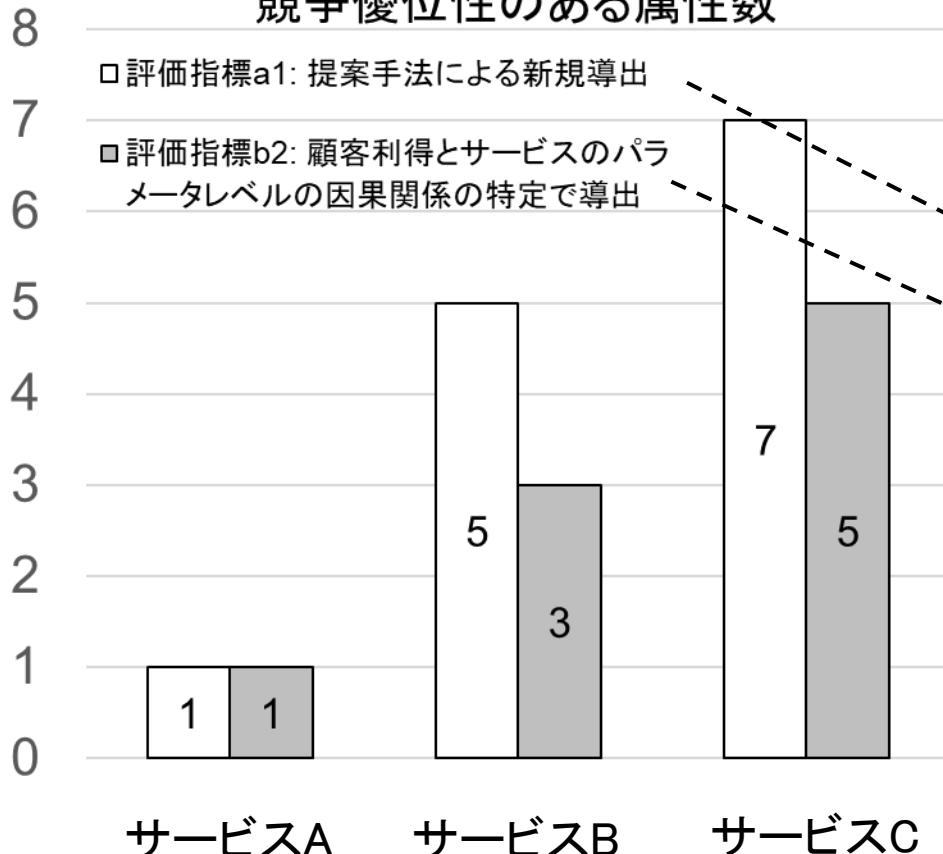
→ 手法課題1「顧客がサービスを利用する文脈が特定できない」
に対する提案手法の有効性が示唆

提案手法で新規導出した
競争優位性のある属性数



各サービスにおいて、提案手法によって新規導出した競争優位性のある属性に、手法課題2に対する工夫点2(因果関係特定)により導出できた属性が含まれる
→ **手法課題2「サービスから顧客の利得発生までの因果関係が特定されない」に対する提案手法の有効性が示唆**

提案手法で新規導出した 競争優位性のある属性数



各サービスにおいて、提案手法によって新規導出した競争優位性のある属性は、すべていずれかの手法課題に対する工夫点により導出できた属性
 →従来手法が見逃し、提案手法が新規導出した**すべてに工夫点が寄与**

提案手法で新規導出した 競争優位性のある属性数

8

- 評価指標a1: 提案手法による新規導出
- 評価指標b1: 顧客がサービスを利用する文脈特定で導出
- 評価指標b2: 顧客利得とサービスのパラメータレベルの因果関係の特定で導出
- 評価指標b3: いずれかで導出

7

6

5

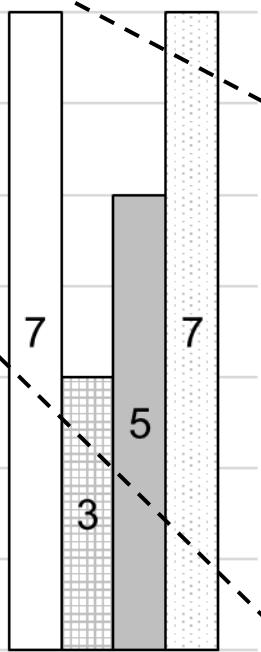
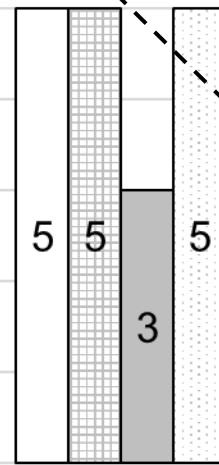
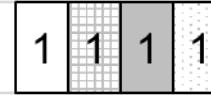
4

3

2

1

0



提案手法で新規発見した競争優位性のある属性

【評価指標b1】
 手法課題1で
 従来手法が見逃し
 (文脈特定で導出)

【評価指標b2】
 手法課題2で
 従来手法が見逃し
 (因果関係特定で導出)

$$\boxed{\text{【評価指標b3】}} = \boxed{\text{【評価指標b1】}} \cup \boxed{\text{【評価指標b2】}}$$

サービスA

サービスB

サービスC

(参考)提案手法の利用局面の有効性

提案手法で新規導出した競争優位性のある属性1件当たりの作業工数は
サービスA > サービスB,C

→提案手法は利用局面が「既存事業の拡大」より「新規事業の展開」の方が有効

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]		7.0	1.9	1.5
※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				
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



□ 結論

- 提案手法は、以下の特性をもつサービスの競争優位性の分析を支援可能
- 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
 - ②価値連鎖が多くの分野に広がる
 - ③物理制約等システムに多くの制約あり

□ 提案手法の限界

- 提案手法は、ステークホルダや競合サービスなどの市場状況の分析は対象外
 - 顧客価値連鎖分析(CVCA)やその他の手法で、ステークホルダや市場分析をした後の利用を推奨
- 参照情報(ステークホルダや競合サービスなど)が不十分な場合、提案手法の有効性が下がる懸念あり

□ 今後の展開

- ステークホルダや市場分析なども含めたMBSEプロセスの構築
- 属性低減や作業効率向上への改良(大規模言語モデルの使用等)
- 異なるサービス特性や属性の評価

ご清聴 ありがとうございました