

GSNを活用した技術者能力計測手法の提案

Measure of engineer capability by Goal Structuring

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

○梅田浩貴

e-mail: umeda.hiroki@jaxa.jp

- 背景説明(業務説明、前提知識等)
- 提案手法の概要
- 提案手法の概説
- 提案手法の妥当性確認結果
- まとめ

宇宙機搭載ソフトウェアの種類と特徴

- ❑ ソフトウェアの誤動作により多大な損失が発生しうる。
 - もしロケットの打ち上げが失敗した場合、ロケットや衛星等の損失だけでなく、環境の汚染や人命・財産の喪失にもつながりうる。

- ❑ システムの動作環境が過酷。
 - 太陽電池の電力でのみ駆動。(地球の影や姿勢によって発電できない時間帯あり)
 - 地球との通信は、特定期間のみ。
 - 放射線によるメモリ化けが発生。

- ❑ 部品交換はできない。
 - 基本的にハードウェアは予備(冗長系)を搭載している。

■ ロケット



■ 人工衛星



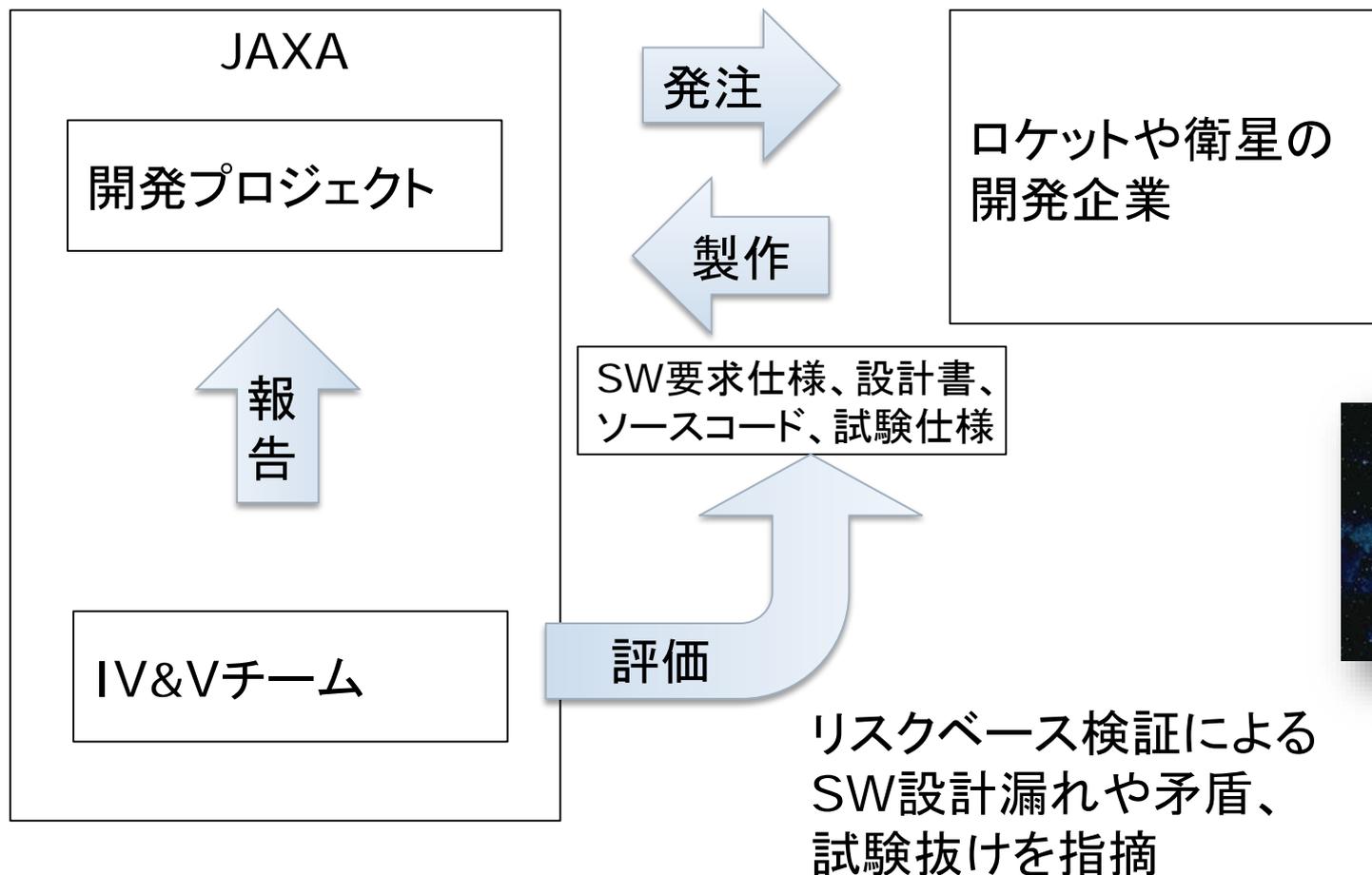
■ 宇宙ステーション



■ 地上管制システム

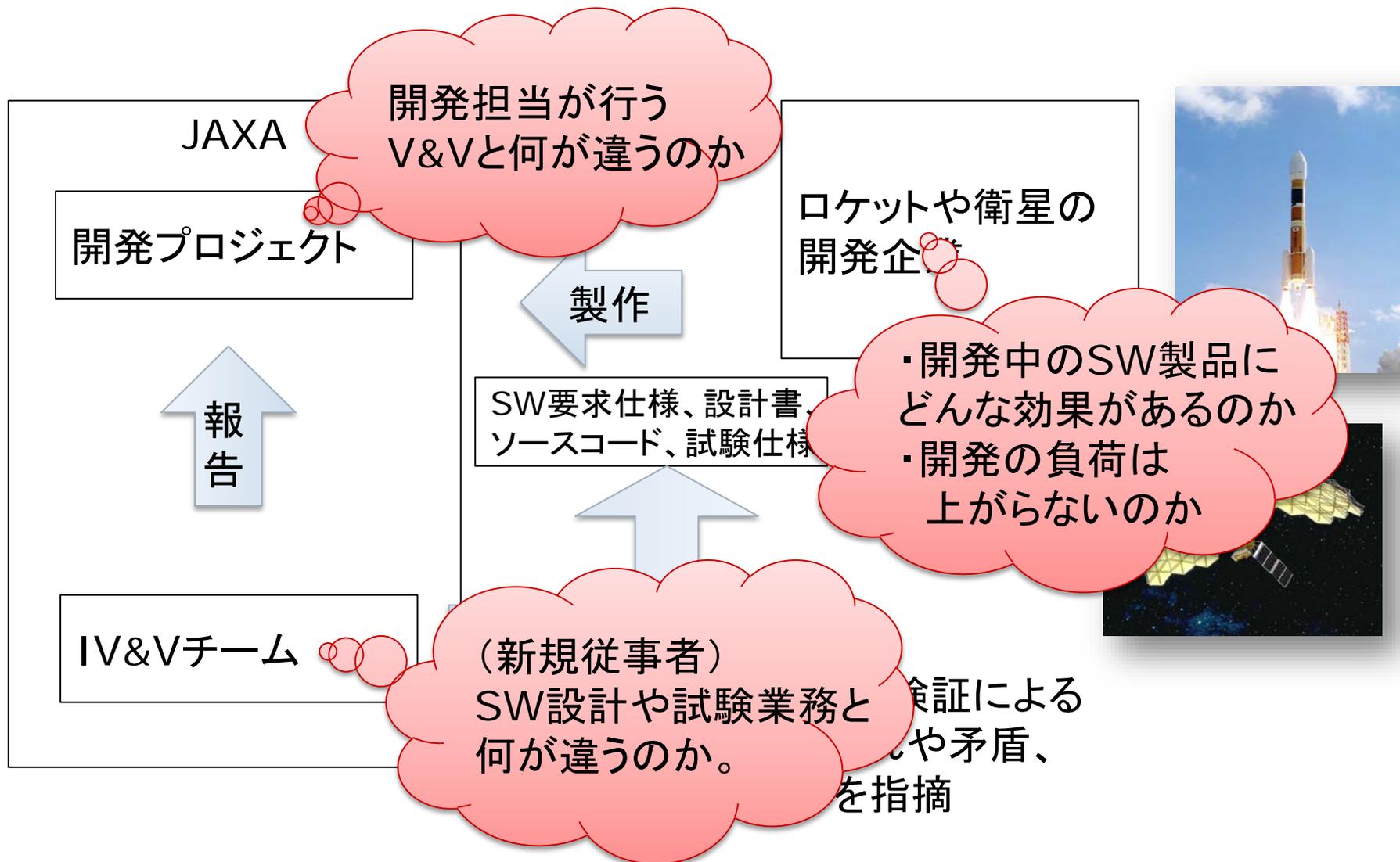


業務説明 (JAXAにおけるIV&V活動)



- ※ IV&V (Independent Verification and Validation) 活動とは、開発組織と技術的、組織的、資金的に独立して評価を行う活動のこと。

業務説明 (JAXAにおけるIV&V活動)



※ IV&V (Independent Verification and Validation) 活動とは、開発組織と技術的、組織的、資金的に独立して評価を行う活動のこと。

本発表の概要

背景

従来、独立検証及び妥当性確認(IV&V)活動に従事する技術者の能力判定は、その経験者に対してしか実施できないという問題があった。

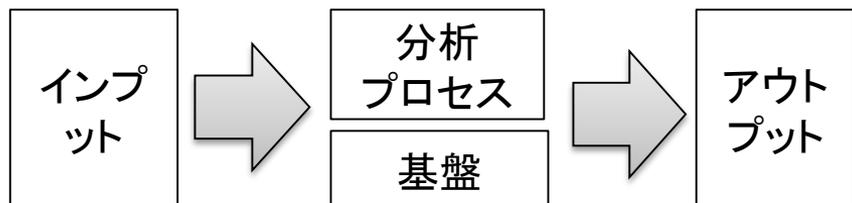
そのため、IV&V活動の業務経験を通じてその適性を判断していた。

結論

- (1) 提案手法は、IV&V技術者に必要な能力を推定できる。
- (2) 提案手法によるIV&V技術者の能力推定コストは、実用上十分に小さい。
- (3) IV&V活動と特徴が近い業務は、手法を修正することで応用可能性がある。

業務説明(IV&V活動における技術者能力)

仕事の基本構成

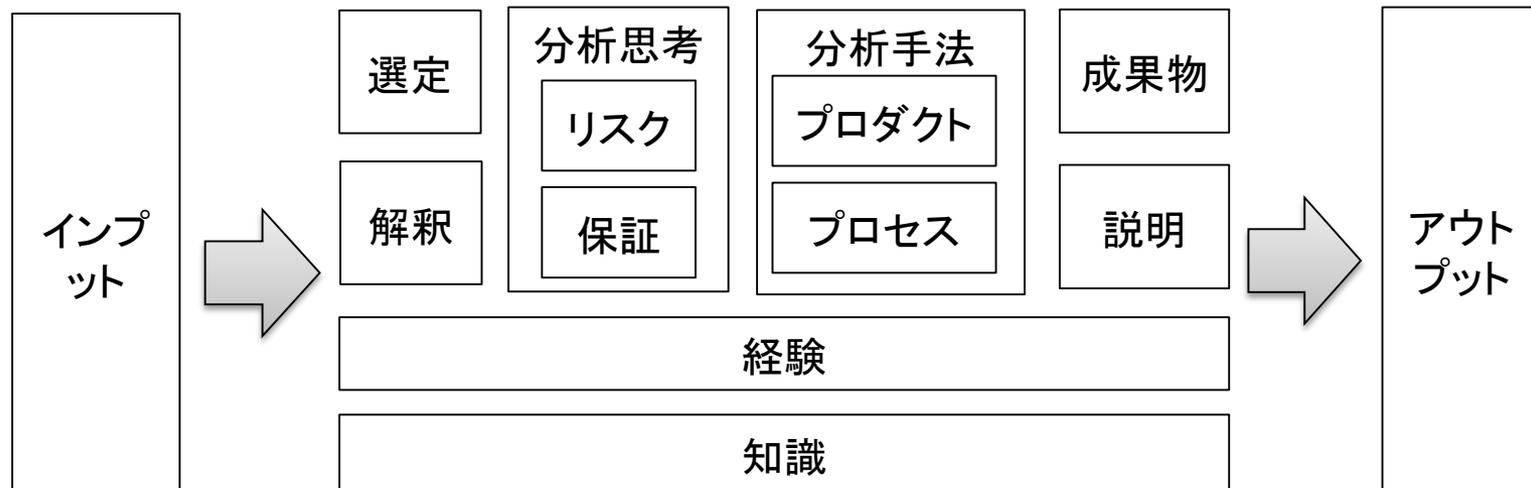


業務特徴
から展開

IV&V業務の特徴

- ①:ステークホルダー安心感へ説明責任
→ 無形サービス業務
- ②:リスクベースの検証活動
→ 人の想像力や思考力依存の業務
- ③:ソフトウェア特性に応じた分析法の構築
→ 作業標準化できずインプットに依存
- ④:プロダクト評価の客観的エビデンス
→ 事実や客観性を重視した業務

IV&V技術者の能力要件要素



前提知識(GSN)

GSN(Goal Structuring Notation:ゴール構造表記法)

→ 自分の主張、考えを論理的なツリー構造で図式化する手法

モデリングルール

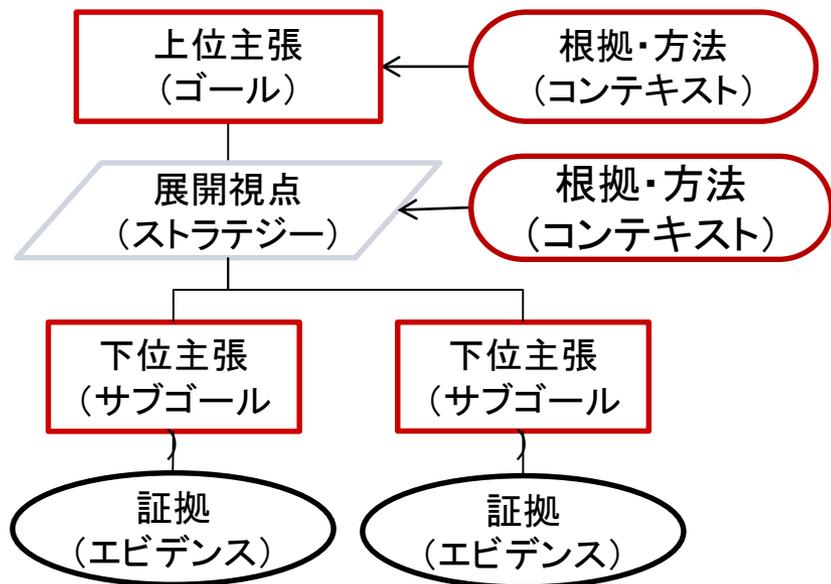
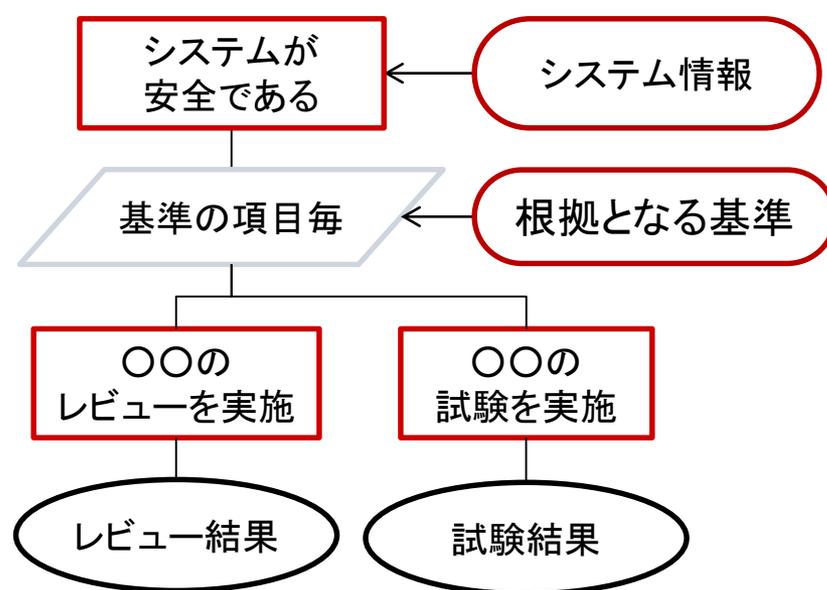


図1: GSNのモデリングルール

事例イメージ



応用事例

検証結果等をエビデンスとしてそれらを根拠にシステムのディペンダビリティを保証する、あるいは確信させる(assure) ための方法をD-Caseとして普及中。

前提知識 (IV&V活動における技術者能力: GSN版)

IV&V技術者能力要件の導出経緯をGSN形式で表現

凡例

ゴール

ストラテジー

コンテキスト

IV&V活動に必要な技術者能力

IV&Vガイドブックにある各手法やプロセスを遂行できる能力 (IV&V活動固有能力に限定)

顧客との接点有無

業務特徴①

顧客との接点がある能力要件

顧客との接点がない能力要件

INとOUTに分ける

技術者の内と外に分ける

業務特徴④

入力に関する能力要件

出力に関する能力要件

技術者の思考過程に依存した能力要件

外部から確認ができる能力要件

入力の指定とその理解

業務特徴③

口頭と文書

業務特徴①

課題設定と解決に分ける

業務特徴①と②

プロダクトとプロセス

能力要件

入力情報の選定能力

入力情報の解釈能力

ステークホルダー向け成果物の作成能力

ステークホルダー向け説明力

リスク分析能力

保証エビデンス取得能力 (保証関係証明力)

分析手法構築能力 (成果物)

分析手法構築能力 (プロセス)

前提説明 (IV&Vガイドブック)



■目的

- ・JAXAが行っているIV&V活動で得られた知見の概要を蓄積する
又は、他の組織で参考にしていただくため。

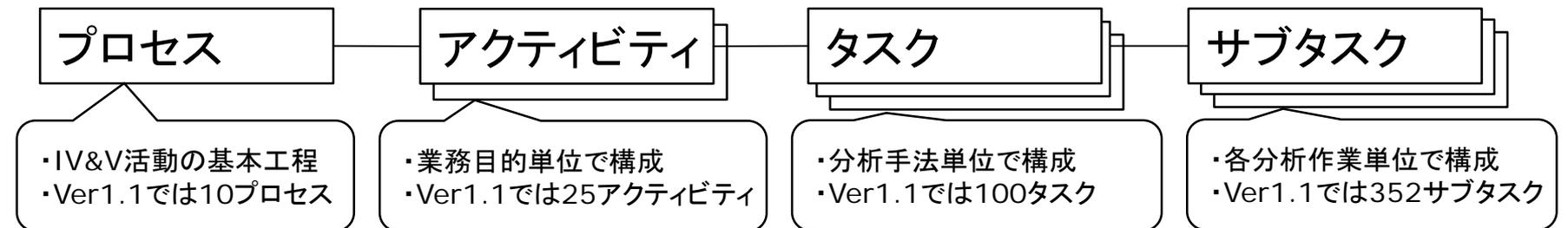
■主な内容

- ・IV&V活動の概念や用語
- ・評価観点
- ・技術の適用事例
- ・IV&Vプロセス

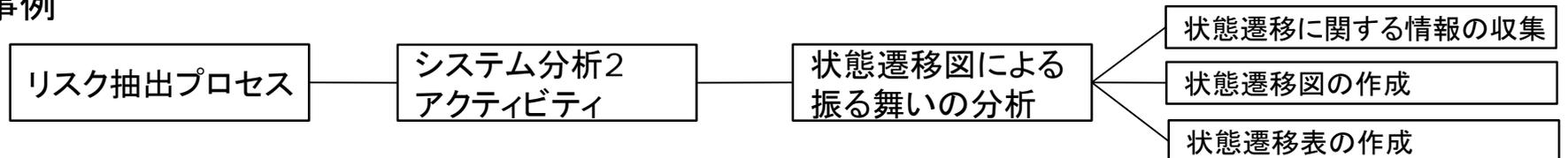
■参考 (ver1.1 (2016年3月発行))

- ・管理者向け：導入編(約100P)
- ・技術者向け：実践編(約600P)
- ・配布希望の連絡先： IVV_INFO@jaxa.jp

IV&Vプロセスの構成



事例



前提説明 (IV&Vガイドブック プロセス)

A: 蓄積改善

- ・不具合分析
- ・IV&V見逃し分析
- ・IV&V活動プロセスの改善
- ・IV&V活動データの蓄積

⑦: IV&V活動の改善と知見の蓄積 (CA)

検証結果、指摘情報、アンケート

不具合情報
満足度調査

⑥: 評価報告 (RP)

- ・評価報告

C: 結果分析

P: 計画立案

IV&V実績情報

①: 実施検討 (PL)

- ・対象SW決定
- ・規模や時期

過去検証戦略

②: リスク抽出 (RK)

- ・リスク分析
- ・システム分析
- ・検証戦略

リファレンスデータ

③: 評価準備 (PR)

④: 要求評価 (RV)

④: コード評価 (CV)

④: 設計評価 (DV)

④: 試験評価 (TV)

- ・分析表
- ・モデル検査
- ・フォーマルメソッド

D: 評価作業

⑤: 共通作業 (CW)

- ・指摘
- ・検証結果
- ・残留リスク

前提説明 (IV&Vガイドブック アクティビティ)

A: 蓄積改善

ARL IV&Vプロセス上の改善点

ANA 不具合発生時の分析

ACC IV&V知見の蓄積

P: 計画立案

GIN プロジェクト情報の収集

ESC 実施方針の策定

DPO 実施規模の見積もり

AGR ステークホルダとの合意

SA1 システム分析(ミッション・開発プロセス)

SA2 システム分析(システム仕様)

SA3 システム分析(ソフトウェア仕様)

RSK リスク分析

VSC 検証戦略作成

PBI 評価作業の準備

AWK 評価作業担当の割当

EPL IV&V実施計画書の作成

IRP 開発活動改善の提言作成

ERP 評価報告の実施

R2S ステークホルダへの報告(最終)

RVL SW要求仕様に対する評価作業

DVL SW設計仕様に対する評価作業

CVL コードに対する評価作業

TVL SW試験仕様に対する評価作業

共通作業

PMG プロセス管理

AR 評価作業結果の分析

PO 開発成果物に対する修正事項の提示

C: 結果分析

D: 評価作業

前提説明 (IV&Vガイドブック タスク事例)

アクティビティID: SA2

アクティビティ名: システム分析2 (システム仕様)

■ アクティビティのタスク構成例

タスクID	タスク名
1000	コンポーネント図の分析
2000	機能相関図の分析
3000	FTAによる重要機能の分析
4000	状態遷移図による振る舞いの分析
5000	STPAによる非安全なシナリオの分析
6000	システム制約の抽出
7000	運用シナリオによる分析
続く	

■ タスク構成の特徴

- ・ 実際の作業で参照されることを最重視
 - 計画時に作業見積やイメージの調整
 - 報告書の作成時のベース資料
 - プロジェクト横断的な分析による改善活動
- ・ 成果物とプロセスのIDと共通化
- ・ 担当1人が改善できる単位とするため、サブタスクまで定義
- ・ 新規の検証内容をタスクとして追加可能

タスク記述 (様式 Ver-140116)

項目	内容	
タスクID	RK-SA2-5000	
タスク名称	STPAによる非安全なシナリオの分析	
改訂日・Ver#	2014/8/18 改訂	Version 0.2
目的	IV&Vの対象SWと他コンポーネントの相互作用や協調動作に注目し、どのような非安全状態 (リスク) に陥る可能性があるのか分析すること。	
参照/利用する技術リソース (IDと名称)	PEB-13094	IV&VにおけるSTPA適用手順書
入力情報 (文書IDと名称)	—	運用シナリオ、システム設計書、ユースケースなど、システムの利用方法が記載されている上位文書
	RK-SA2-1000	コンポーネント図
出力情報 (成果物IDと名称)	RK-SA2-5020	アクティビティ図
	RK-SA2-5030	コントロールストラクチャ
	RK-SA2-5040	制御操作一覧の作成
	RK-SA2-5050	非安全な制御操作一覧
完了基準	以下の成果物が作成されること。 <ul style="list-style-type: none"> ・ アクティビティ図 ・ 制御構造図 (コントロールストラクチャ) ・ 制御操作一覧 ・ 非安全な制御操作一覧 	
特記事項	STPAの考え方や詳細な点は、Nancy G. Leveson 著 "Engineering a Safer World"を参照すること。	
サブタスク		
10	ID	RK-SA2-5010
	名称	分析範囲及びバリエーションの定義
	内容	■ STPAの分析範囲を確認する。分析範囲を決める際には、RK-SA2-1000のコンポーネント図を参照し、対象SWの周りにどのようなコンポーネントが

前提説明 (IV&V技術者の経験能力値)

経験能力値の定義

高い能力を持つIV&V技術者は、多くの分析方法(サブタスク)を習得している。

「経験能力値」

= サブタスク経験水準 × サブタスク難易度 × 必要とする能力要件の度合い

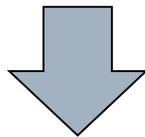
各技術者が分析方法をどの程度習熟しているか
※各サブタスク5段階

分析方法の相対的な難易度を定義
※各タスク3段階

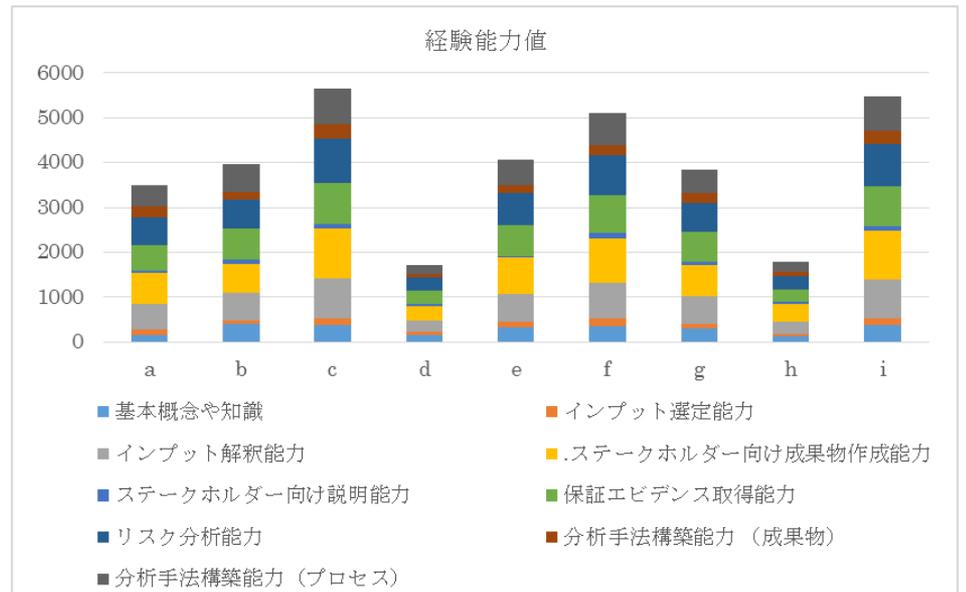
各分析方法を実施する上で、必要とする各能力要件の度合い(3段階)を定義。
※合計約1400パラメータ

調査結果

分析経験から設定した能力値は右図
本調査方法の限界
→ 一定の業務経験が必要



IV&V活動に**従事する前に**
低コストで把握する方法がないか検討



能力計測手法の比較検討

	計測手法	回答方式	計測可能な対象	試験運用の容易性
提案	GSN形式試験	GSN形式の成果物	<ul style="list-style-type: none"> 論理的な思考力 設問に対する解釈 	<ul style="list-style-type: none"> GSNモデリングルールや特徴を活かした採点が可能
	小論文式試験	制限されていない文字数の文章	<ul style="list-style-type: none"> 文章を書く能力 設問に対する解釈 	<ul style="list-style-type: none"> 査読になるため、有識者の判定が必須。
参考	選択/記述式試験	複数の選択肢から選択、制限された文字数	<ul style="list-style-type: none"> 設問にある知識の有無 	<ul style="list-style-type: none"> 機械的に採点が可能

試行

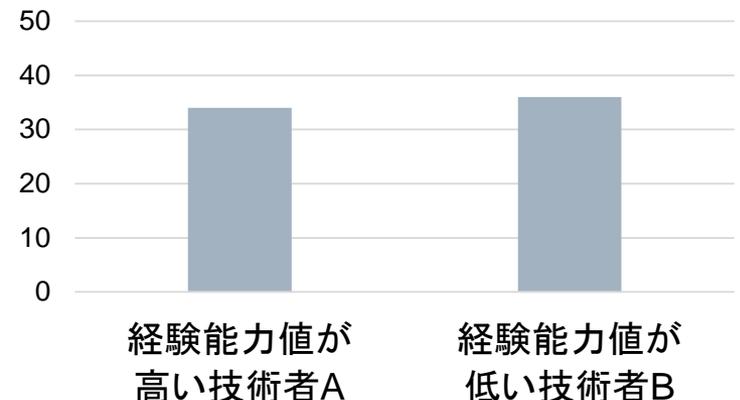
■ 計測条件

- 試験形式 : 選択式
- 試験内容 : IV&Vガイドブックにある知識
- 全問題数 : 95問
- 計測対象 : 経験能力値が高い/低い技術者

■ 計測結果

- 知識の有無が分析経験（習熟度）との関係があることは計測できなかった。

正答率(%) 選択式試験結果

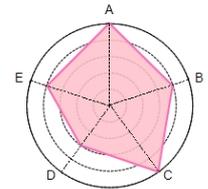
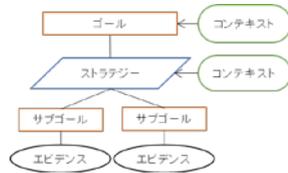


提案手法の概要

GSNを活用した技術者能力計測手法



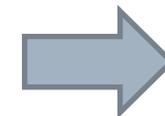
IV&V
技術
候補者



GSI形式
の回答



計測結果



計測
能力値

試験部

試験問題

IV&V技術者候補
がGSNを作成

計測部

計測指標(項目)

計測フローチャート

計測表(変換ツール)

作成したGSNを
数値化する方法

変換部

計測能力変換式

変換パラメータ表

計測数値と能力値
へ変換する方法

提案手法の概説1(試験部)

概説: 技術者に試験問題を提示し、GSN形式の回答を得る。

IN: 技術者に試験問題を提示

OUT: GSN形式の回答(Visio)

※参考: GSN作成ツールの試用
GSN関連の研究に協力していただける
方にvsioアドインツールを配布予定。

連絡先: IVV_INFO@jaxa.jp

概説+事例(特徴、工夫点)

開示情報

1. 製品開発への要求事項

新製品となるウェアラブル端末を開発した。前モデルは、初期開発もあって、市場からのクレーム(【解決すべき市場クレーム/不具合の一覧】)がよせられている。中にはソフトウェアのアップデート(ランニングチェンジ)で対応したものもある。今回は、経営層からの強い姿勢で、市場クレームの激減と市場での製品評価を向上させることを求められている。将来的には、クラウドサービスに接続しライフログからさまざまな生活支援のサービスを提供することが予定されている。

クラウドサービス(将来)
ライフログ
スマートフォン
ウェアラブル端末 スマートフォン連携

エクササイズ

「脈拍計測」
◎運動強度と消費カロリー
・LEDとセンサーでリアルタイムにお知らせ(本体)
運動強度、脈拍、時間
・リアルタイムで脈拍数を表示(スマートフォン)
一日の活動時間や歩数を表示(スマートフォン)
◎自動で睡眠検知
(前提条件) 体温や体調により正しく検知できない場合がある

製品仕様
時計表示 有り(24時間表示)

外形寸	36mmx35mmx7mm
質量	25g
充電(範囲)	140-190
脈拍計測連続時間	36時間
待機時間	96時間

データ転送 スマートフォン
Android4.2以上 iOS7.0以上
Bluetooth2.0以上

製品仕様情報

2. 解決すべき市場クレーム/不具合の一覧

市場クレーム/不具合	事象	事象の原因	原因	発生要因
異常な発熱	使用中の発熱で停止状態になる。	熱センサーが異常発熱を感知、通知メッセージが送られた。	バッテリーのソフトウェア管理の不透明	バッテリー低下状態で充電すると発生
仕様と異なることによる利用時間	カタログの仕様では、36時間となるが、実使用時には通常利用で前記で停止する。	バッテリー低下状態を感知して、シャットダウンした。	特定の地理状態になると、CPU負荷が異常に上昇するトラブル	バッテリーとの接続で発生
正確な脈拍の取得できない	脈拍が異常に低い表示をする。	センサーの感度差が低いと脈拍検知ができない。	・使用上の説明不足 ・センサー入力不正時の処理が不透明	リストバンドが締めると発生
バッテリーが切れる	スマートフォンとの接続が断続的に停止する。	バッテリーの古さ(コリ)で2年以上のバージョンがサポートされていない	バッテリーの消費を抑えるための省電力モードのみを有効にした	利用条件の記載不足



- ・試験問題:
知識有無の影響を下げるため、宇宙ドメインの技術者には、ウェアラブル端末の例題を提示。
- ・試験テーマ
業務で最も重要である成果物の十分性をGSNで表現。
※IV&V活動では、「リスク導出経緯」
- ・試験時間は、2時間。

提案手法の概説1(試験部:設問事例)

1. 製品開発への要求事項

新製品となるウェアラブル端末を開発した。前モデルは、初期開発もあって、市場からのクレーム(【解決すべき市場クレーム/不具合の一覧】)がよせられている。中にはソフトウェアのアップデート(ランニングチェンジ)で対応したものもある。今回は、経営層からの強い姿勢で、市場クレームの激減と市場での製品評価を向上させることを求められている。将来的には、クラウドサービスに接続しライフログからさまざまな生活支援のサービスを提供することが予定されている。



ライフログ



スマートフォン)

ウェアラブル端末



スマートフォン連携

エクササイズ

「脈拍」計測

◎運動強度と消費カロリー

・LEDと振動でリアルタイムにお知らせ(本体)
運動強度、脈拍、時間

・リアルタイムで脈拍数を表示(スマートフォン)

・一日の活動時間や歩数を表示(スマートフォン)

◎自動で睡眠検知

(前提条件) 飲酒や体調により正しく検知できない場合がある

製品仕様

時計表示 有り(24時間表示)

外寸 35mmx35mmx7mm

質量 35g

対象腕周り 140-190

脈拍計測連続時間 36時間

待機時間 96時間

データ転送 スマートフォン

Android4.2.1以上 iOS7.0.1以上

Bluetooth2.0以上

提案手法の概説1(試験部:回答事例1)

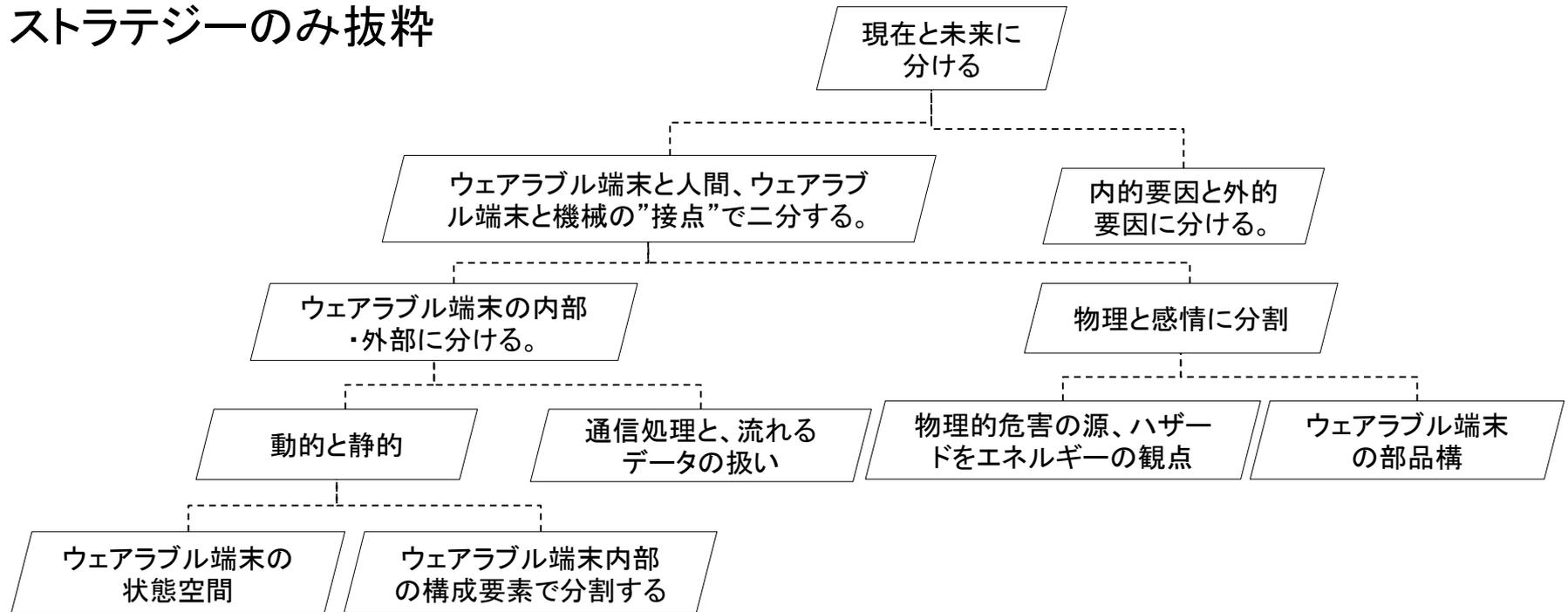
技術者が作成した回答



■回答の特徴

- ・試験(仕様)にない視点と仮説
- ・重複ノードは一切なし。
- ・上位下位ゴールの論理関係の根拠(又は前提)を明示
→抽出したリスクは30以上。

ストラテジーのみ抜粋



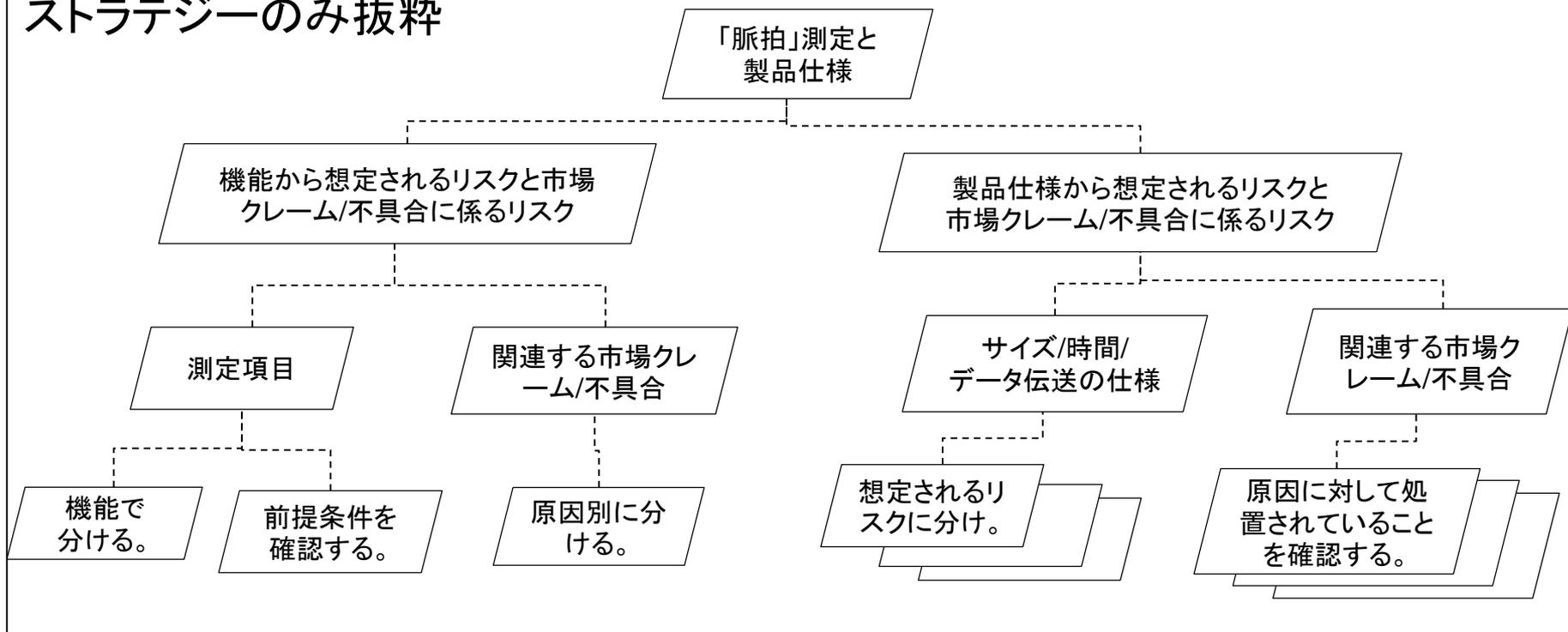
提案手法の概説1(試験部:回答事例2)

技術者が作成した回答

■回答の特徴

- ・試験(仕様)に記載されている概念
 - ・多数の重複するノード
 - ・上位下位ゴールの論理関係が不明
- 抽出したリスクは10以下。

ストラテジーのみ抜粋



提案手法の概説2(計測部)

概説: GSN形式の回答を、計測指標(項目)単位に数値化する。

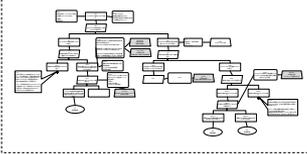
IN: ・GSN形式の回答
 ・計測指標(項目)+計測フローチャート



OUT:
 ・各計測項目の数値

内容

回答(GSN)



自動抽出で
 漏れなく
 効率化

計測指標

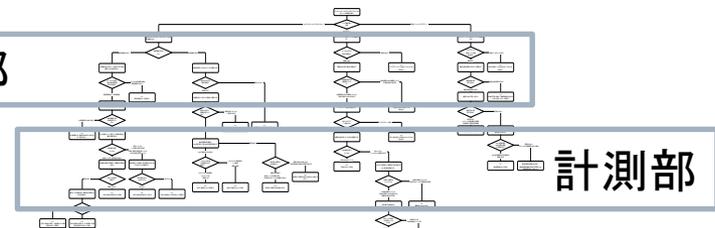
懸念点、論理性、検証実現性
 分析(独自性、多角性)

計測指標	計測項目
(分析) 多角性	・評価観点や視点(戦略)の種類がどれだけあるか? ・仕様情報を仮説しているか?(分析視点が暗示)

計測フローチャート

GSNは自由度が高いため
 ノード内情報が多岐に渡る
 → 計測値の客観性確保

判定部



計測する前提
 を満たしているか

指標に対する
 水準を計測

技術者の回答結果		判定部			計測部		
GSN ノード ID	ストラテジー(リスク導出観点)	分析の 視点が 明確か	仕様情報 を転記して いるか	他に同じ ストラテ ジー	2項対立の 場合	3要素以上で論 理的MECEがあ る場合	仕様を抽象化し ている場合 (反例の記入)
S1.1	ウェアラブル端末の内部・外部に分ける。	明確	独自	新規	内部と 外部		

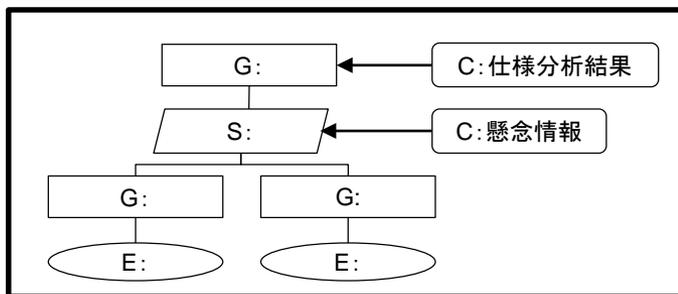
多角性の計測表(イメージ)

提案手法の概説2(計測部:計測指標例)

計測指標	計測前提	計測項目	計測内容
(目的) 懸念点	懸念情報は、起きて欲しくない事象や状態であること。	リスク頻度	懸念情報は、一般的な懸念であるか。
	・懸念情報は、「対象」が明確であること。		懸念情報は、対象製品でありうるか。
	・懸念情報は、製品の特徴に合わせ具体性があること。		懸念情報は、対象ソフトウェアでありうるか。
		リスク影響度	懸念情報は、利用者へ影響のある内容か。
(分析) 独自性	仕様情報の転記でないこと。	システム分析	図や表を作り懸念を探しているか。
	システム分析を示してる場合		分析視点を明示しているか。
	仕様を仮説設定している場合		分析視点の網羅性を担保しているか。
		仕様仮説	該当製品やSWにありうる仕様を仮説しているか。
			該当製品やSWにありえない仕様を仮説しているか。
(分析) 多角性	仕様情報のそのまま転記でないこと。(抽象化はOK)	評価観点	評価観点や視点(戦略)の種類がどれだけあるか。
			仮説した仕様を提示しているか、
(主張) 論理性	ストラテジー(視点)として成立していること。	論理	上位のゴールに対して、下位のゴールの抜けや重複が発生しているか。
(証明可能性) 検証実現性	ストラテジー(視点)として成立していること。	評価作業性	エビデンスが収集できる具体性があるか。
			ゴール表現が抽象的な場合、懸念情報が付随しているか？

提案手法の概説2(計測部:計測フローチャート概要)

技術者が作成した
試験結果



ツールで計測対象
の単位を作成

凡例

計測対象の判定

水準判定

分析が独自である
か判断

懸念点に該当する
か確認

ストラテジーとして成立
しているか、重複して
いないか確認

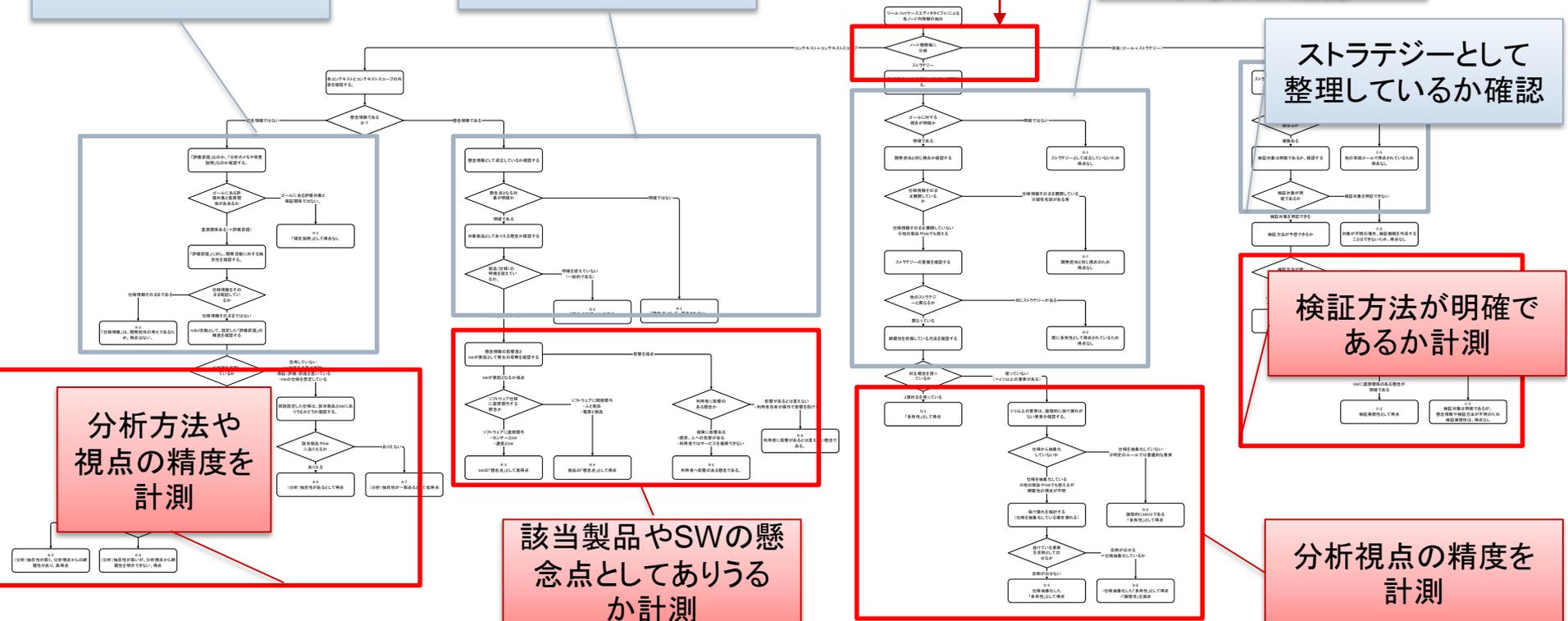
ストラテジーとして
整理しているか確認

検証方法が明確で
あるか計測

分析方法や
視点の精度を
計測

該当製品やSWの懸
念点としてありうる
か計測

分析視点の精度を
計測



提案手法の概説3(変換部)

概説: 各計測項目の数値を変換表を用いて、「計測能力値」を算出する。

IN: ・各計測項目の数値
・計測能力変換表



OUT: ・計測能力値

①: 「計測能力値」とは
回答(GSN)から推定される能力値

②: 同じ指標内にある計測項目の重み付け
例: 分析独自性の指標内で、分析図を作成している場合は「2」、
分析結果のみ文字で表現している場合は「1」と重み付け。

計測能力値

= (計測項目の数値 × 指標間の傾斜 × 能力への関与度) 各計測指標の合計

③: 計測項目が、どの能力要件を計測していることに該当するのか、
その関与度合いを直接と間接の2段階を、84パラメータ(=6能力要件×14計測項目)に設定。

計測指標	計測項目	ST向け成果物作成	リスク分析能力
多角性	リスク導出(検証)の視点は何種類あるか。	関与なし	直接関与 (2点)
論理性	上位に対し下位のゴールの抜け(反例の提示)があるか?	間接関与 (1点)	間接関与 (1点)

図 計測能力値変換表(イメージ)

提案手法の妥当性確認結果(1)

妥当性確認方法:

GSN形式の試験問題から計測した結果(計測能力値)が、
分析手法の習熟度合いを調査した結果(経験能力値)を表現(相関)しているか。

確認条件:

IV&V技術者9名に対し、提案手法を適用。

※試験問題に対し「リスク導出(GSN)」を2時間で作成し計測。

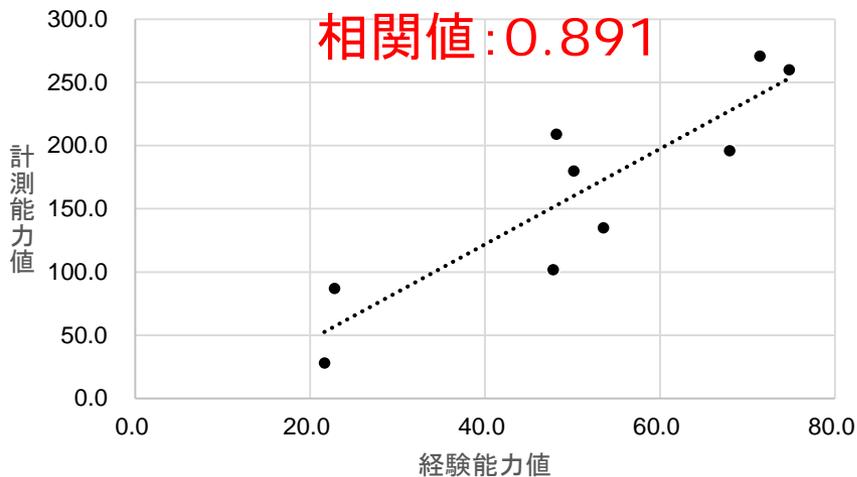
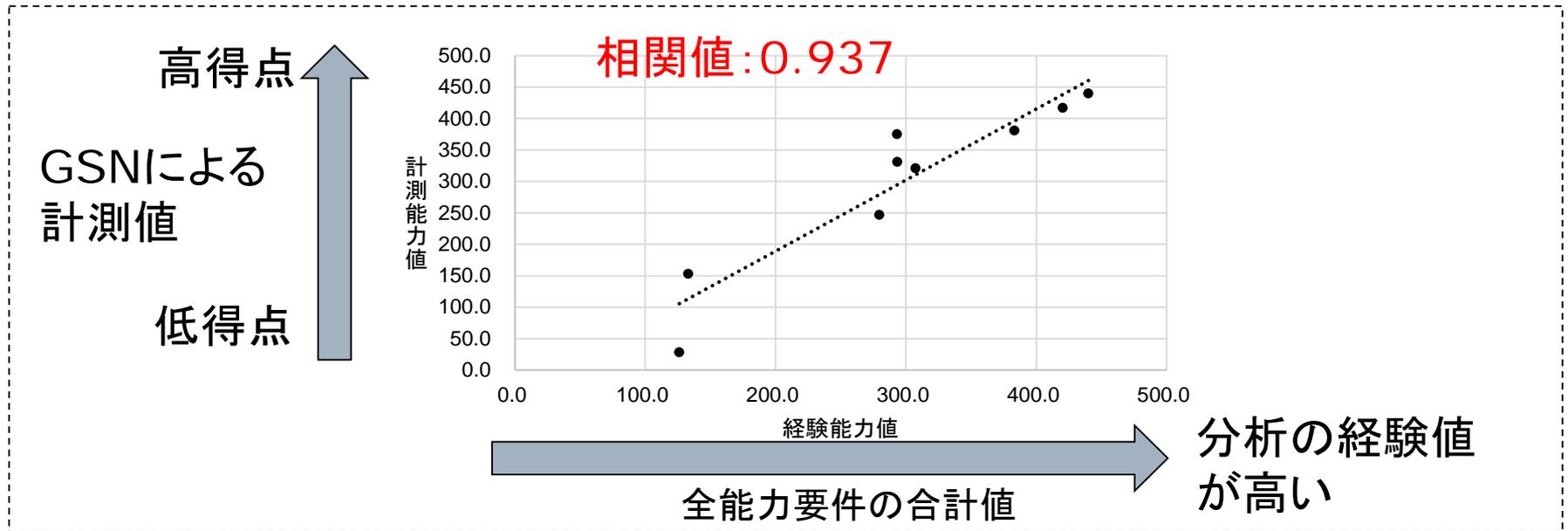
妥当性確認結果:

能力要件	相関値	分析結果
インプット解釈能力	0.632	相関あり
ステークホルダー向け成果物作成能力	0.244	低い相関あり
リスク分析能力	0.891	高い相関あり
保証エビデンス取得能力	0.823	高い相関あり
分析手法構築能力(プロダクト)	0.733	高い相関あり
分析手法構築能力(プロセス)	0.727	高い相関あり
合計値	0.937	高い相関あり

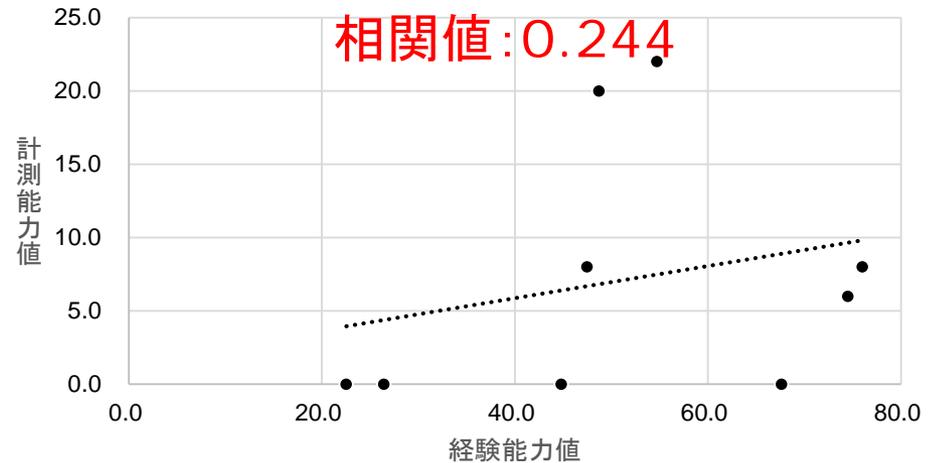
← 能力推定
はできていない

能力を
推定できる

提案手法の妥当性確認結果(2)



リスク分析能力



ステークホルダー向け成果物作成能力

本発表のまとめ

まとめ

- (1) 提案手法(GSN形式試験)は、IV&V技術者に必要な能力を表現。
- (2) 提案手法によるIV&V技術者の能力推定コストは、実用上十分に小さい。
- (3) 業務にインプットされる内容が多岐に渡り、目的に応じて人の思考力やその分析方法に依存している業務は、本手法の応用可能性がある。

課題

- ・本手法の適用条件である、ロジカルシンキングやGSN習得度合いの判断基準とその習得方法が明確ではない。
- ・本手法で計測できていない能力要件に対する計測方法(例:プレゼン等)

今後

- ・新しくIV&V活動に従事する技術者に本手法を適用中。
→ IV&Vプロセスが更新された場合、習熟度を再度調査し相関分析。
- ・GSNを数値化する方法の難易度低下や自動化を検討。