

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 Notation

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 and Development Directorate, Japan Aerospace Exploration Agency)

○梅田 浩貴 神戸 大輔 植田 泰士 竹村 俊介¹⁾ 佐々木 方規²⁾○Hiroki Umeda Taisuke Kanbe Yasushi Ueda Takemura Shunsuke¹⁾ Masaki Sasaki²⁾**Abstract**

In JAXA, Independent Verification and Validation activities, is an activity to prevent the problem by feedback evaluated for software development artifacts (design documents, source code, etc.). Therefore, IV & V engineer, in addition to knowledge of the domain and software, has been desired capability to extract risk such that failure or an accident. The proposed method, by which to visualize the analysis process of the IV & V engineer at GSN (Goal Structuring Notation), an attempt was made to measure the risk analysis capability, etc.

1. はじめに

JAXA では、開発企業や担当によるレビューやテスト等の V&V 活動に加えて、「技術、組織、資金」の独立性を確保した第三者の技術者によるソフトウェア検証及び妥当性確認の活動^[1,2] (IV&V 活動)を行っている。IV&V 活動は、開発プロジェクトが作成したソフトウェア開発成果物（設計書やソースコード等）に対し順次評価を行いフィードバックすることで将来不具合となる問題点を修正していくことや重大な問題点の有無を経営層へ報告する活動である。そのため、IV&V 活動に従事する技術者（IV&V 技術者）は、ドメイン知識、ソフトウェア設計や検証技術の知識に加えて、ソフトウェアが要因で不具合となるようなリスクを抽出する能力が求められている。リスクを抽出する能力は、技術者の思考特性から得手不得手が影響している。従来の計測方法（選択式試験による知識の有無や小論文等）では、リスクを抽出する能力の計測できておらず、過去の作業結果や同じ業務の経験者の意見から把握するに留まっていた。そのため、適性に合わせた新たな技術者を拡大していくことが困難であった。

提案手法では、技術者の思考過程を GSN^[3] (Goal Structuring Notation) 形式で可視化及び数値化することで、技術者の思考過程に依存するリスクを抽出する能力等を短時間で計測できるか試みた結果を報告する。

〒305-0081 茨城県つくば市 1 千現 2-1-1 筑波宇宙センター Tel : 050-3362-2805

e-mail:umeda.hiroki@jaxa.jp Tsukuba Space Center, 2-1-1 Sengen-cho Tsukuba-shi, Ibaraki, Japan

1) 有人宇宙システム株式会社

(Safety and Product Assurance Department, Japan Manned Space Systems Corporation)

2) 株式会社ベリサーブ (Principal Researcher, Verification Engineering Laboratory VeriServe Corporation)

2. 手法の構築背景**2.1 GSN (Goal Structuring Notation) とは**

GSN とは、ゴール（目的）を分割しているロジックツリーに対し、ゴールの分割視点を表現した「ストラテジー」、ゴールの前提情報を明記した「コンテキスト」、ゴールを達成している事実情報を追加した「エビデンス」のノードを追加した記法である。アシュアランスケースの 1 つである D-CASE^[4] としても記法が拡張されて活用されおり、顧客との合意形成^[5] として使われている事例がある。近年、IoT (Internet of thing) 時代を迎え多数の機器が接続された場合にどのように品質を保証しているのか説明責任を果たす方法論としても注目を浴びている^[6]。

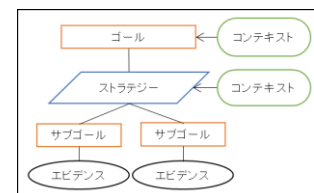


図1 GSNイメージ

2.2 IV&V 活動における GSN の活用

IV&V 活動は開発企業とは異なる依頼元（経営層やプロジェクトマネージャー等のステークホルダー）が存在しており、限られた人的リソースで最大の効果を出すためにはステークホルダーと IV&V 活動の内容を合意することが重要である。そのため、IV&V 活動では「どんなリスクを評価するのか」と「該当リスクをどのように低減していくか又はしたのか」の 2 点について説明責任を果たす必要があり、「リスク導出経緯」と「検証戦略」という GSN を計画時に作成するプロセスを定義している^[2]。

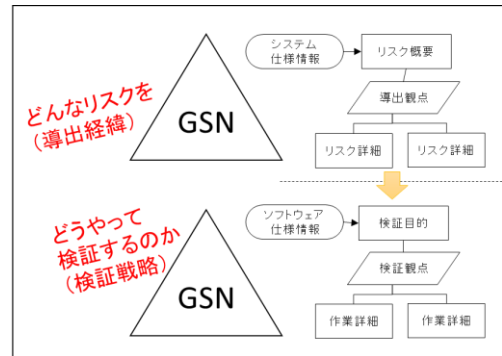


図 2 IV&V 活動における GSN

2.3 IV&V 活動に求められる技術者能力

IV&V 活動の業務特徴（表 1）から人材に求められる能力の基本要件は「システム特性の分析により、IV&V の目的を明確にステークホルダーに示すことができ、その目的を達成するための手段を、十分な根拠に基づき戦略を立て実施することができる技術者」とし、仕事の基本構成（図 3）から能力要件を定義した。その分析した経緯を GSN（図 4）に示す。このように GSN を用いて可視化すると、その思考経緯が明確になり、抜けている内容の確認、前提や視点が修正された場合の影響が明確になる。

表 1 IV&V 活動の業務特徴

No	業務特徴
①	IV&V 活動は、開発企業が行うソフトウェア製品の製造や保証ではなくステークホルダーに安心感を与える説明責任を果たすこと。
②	IV&V 活動は、V&V に対する技術的な独立性確保や差別化をするため、ソフトウェアに関連するリスクに着目した検証活動を行うこと。
③	SW 開発成果物（開発文書やコード等）の内容、開発プロジェクトの状況やシステムの特徴に応じた分析方法を採用すること。
④	IV&V 活動の対応による開発企業の負荷が増加し V&V の質低下とならないよう、第三者として客観的なエビデンスを取得ができる、プロダクトに対する評価を中心とすること。

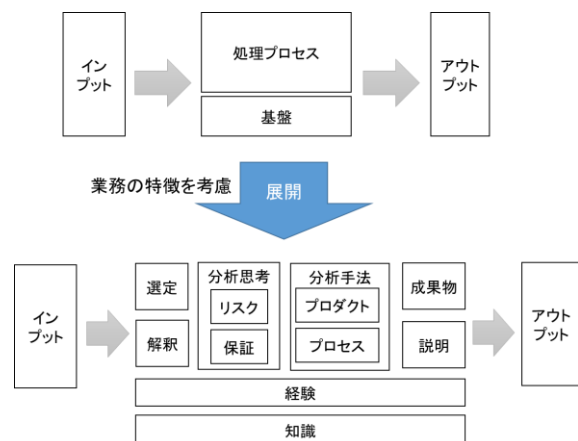


図 3 基本構成から能力要件の展開

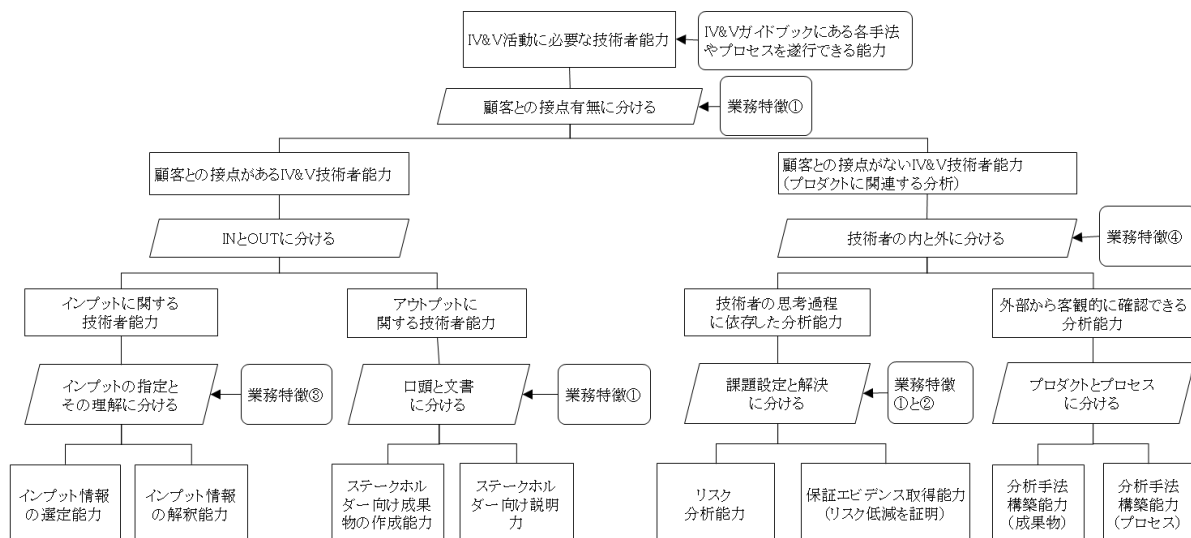


図 4 能力要件の展開を示した GSN

2.4 従来手法との比較

短時間で技術者の能力を計測する方法は、選択式試験、記述式試験、小論文試験等が知られている。従来手法は知識や経験の有無は計測しやすいが、どのような視点から結果を導いたのか、その思考経緯を可視化し能力を計測することは困難である。GSN形式試験である提案手法と既存手法の違いを表2に示す。

表2 既存と提案手法の比較概要

計測手法	回答方式	計測可能な対象	試験運用の容易性
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	設問にある知識の有無	機械的に採点が可能
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 	査読になるため、有識者の判定が必須。
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 	GSNのノード毎に採点するため設問毎に一定のパターン化や客観性の確保が比較的容易

3. 提案手法

3.1 提案手法の概要

提案手法は、技術者がGSNを作成する工程、GSNを計測する工程、計測結果を能力値に変換する工程の3つの工程で構成される。(図5)

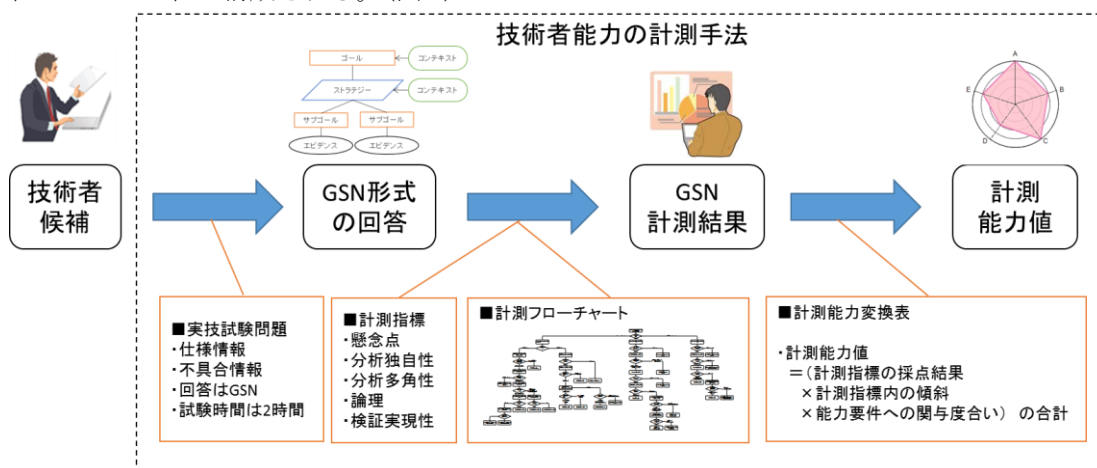


図5 提案手法の概要構成

3.2 提案手法の詳細構成

(1) 計測指標と計測項目

GSNで計測可能と考えた計測指標と計測項目を表3に示す。計測指標は、「業務の目的」と「ツリー型モデルであるGSNの特徴」を考慮して作成した。IV&V活動の目的は、リスクの提示やリスクの低減根拠を提示することであるため、リスクそのものを計測する「懸念点」とリスクの低減根拠となるエビデンスを収集できるかを計測する「検証実現性」を定義した。開発企業が見逃す可能性があるリスクを抽出するためには、開発成果物に記載されていないことを独自に分析することや、より多くの視点から評価することが求められる。そのため、開発企業の分析視点や方法とは異なるか計測する「分析の独自性」と評価する視点の種類が多数あるか計測する「分析の多角性」を定義した。GSNはモデルの特徴として、前提(コンテキスト)と視点(ストラテジー)を記載することで上位ゴールに対する下位ゴールの網羅性を表現し、ゴール間の矛盾や抜けを確認することができる。その特徴を活かし、下位ゴールの抜けや矛盾を計測する「論理性」を定義した。

表3 計測指標と計測項目の概要

計測指標	計測分類	計測項目の水準（概要）	水準
懸念点	リスク発生確度	提示された懸念情報は、一般/製品固有及び SW 関与の有無のいずれかに該当するか。	4 段階
	リスク影響度	提示された懸念情報は、製品の利用者へ影響があるか。	2 段階
(分析) 独自性	分析論	懸念点を提示する独自のモデル（図や表）を作成しているか。 モデルを作成している場合、その分析視点が明確か。 分析視点が明確な場合、前提によって網羅性を担保しているか。	3 段階
	仕様仮説	抜けている仕様情報を独自に設定しているか。	2 段階
(分析) 多角性	評価観点	分析視点が戦略یとして明示されている場合、どれだけの種類があるか。	種類の数
論理性	論理	上位のゴールに対して下位のゴールの抜けや矛盾があるか。	抜けや矛盾の数
検証実現性	評価作業	末端ゴール（評価内容）は、その作業範囲や判定基準が明確であるか。	2 段階

(2) 技術者による GSN の作成

技術者が試験問題を解釈しリスク抽出の思考経緯を表現した GSN を作成する。IV&V プロセス^[2]では本 GSN をリスク導出経緯（RSK-VSC-2000）と定義している。その後、作成された GSN を各計測項目（表 3）で数値化する。なお、試験時間を 2 時間と設定しているため、製品仕様と不具合情報を含め試験問題は 10 ページ以下としている。技術者の GSN 習熟度合いが低くても計測できるようにすることや、GSN の計測結果が計測者に依存しないようにするため、計測フローチャート（図 7）を構築した。技術者が GSN に習熟していない場合、「GSN のノード数」では「抽出したリスク数や分析視点の数」が計測できない課題（例：同じストラテジーによって重複したゴールが発生）、GSN の構造に着目して計測できない課題（例：1 つのノードに複数の情報が記載されている）が発生した。そのため、計測フローチャートは GSN の構造（ノードの関係性）ではなく、1 つのノードにある情報に対し判定を行い、その後水準を計測するフローとなっている。また GSN のノード数が多くなると GSN 全体を確認しながら計測する負荷が高くなる。（例：重複した内容が他のノードにないか確認する作業等）。そのため、GSN の各ノード情報をツールで表に抽出して効率的に計測できるよう計測表を整備した。（図 6）

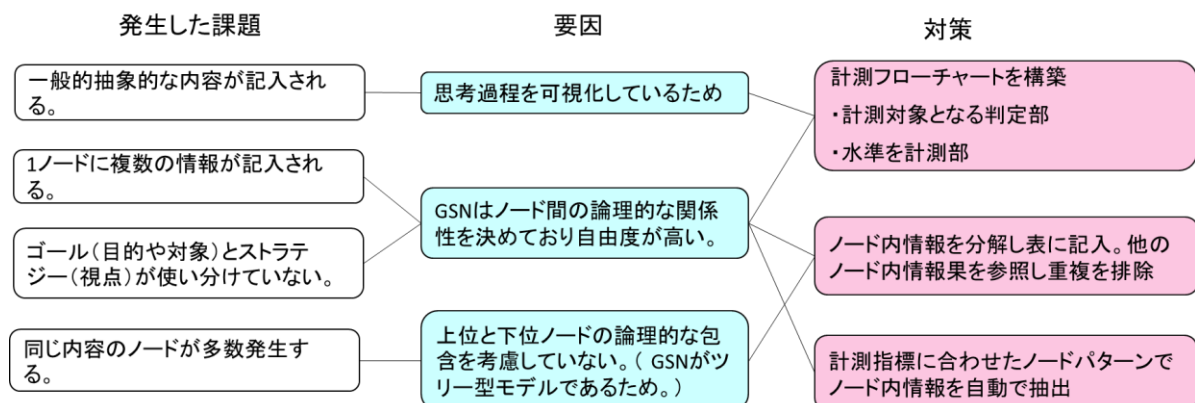


図6 計測時の課題と対策

「論理性」は、計測者が漏れているゴールや矛盾点の反例を具体的に提示する必要があるため、計測の難易度が高い。しかし、GSNの記法としての特徴から、コンテキストが明確であることや特定のストラテジーであればゴールの抜けが発生しないため、ストラテジーパターンを整備することで計測作業の難易度を下げた。なお、抜けが発生しないストラテジーとは、対立概念（例：外と内、ONとOFF）や「設計や検証」における論理的な展開パターン（例：異常対処は検知、分離、復帰）が該当する。

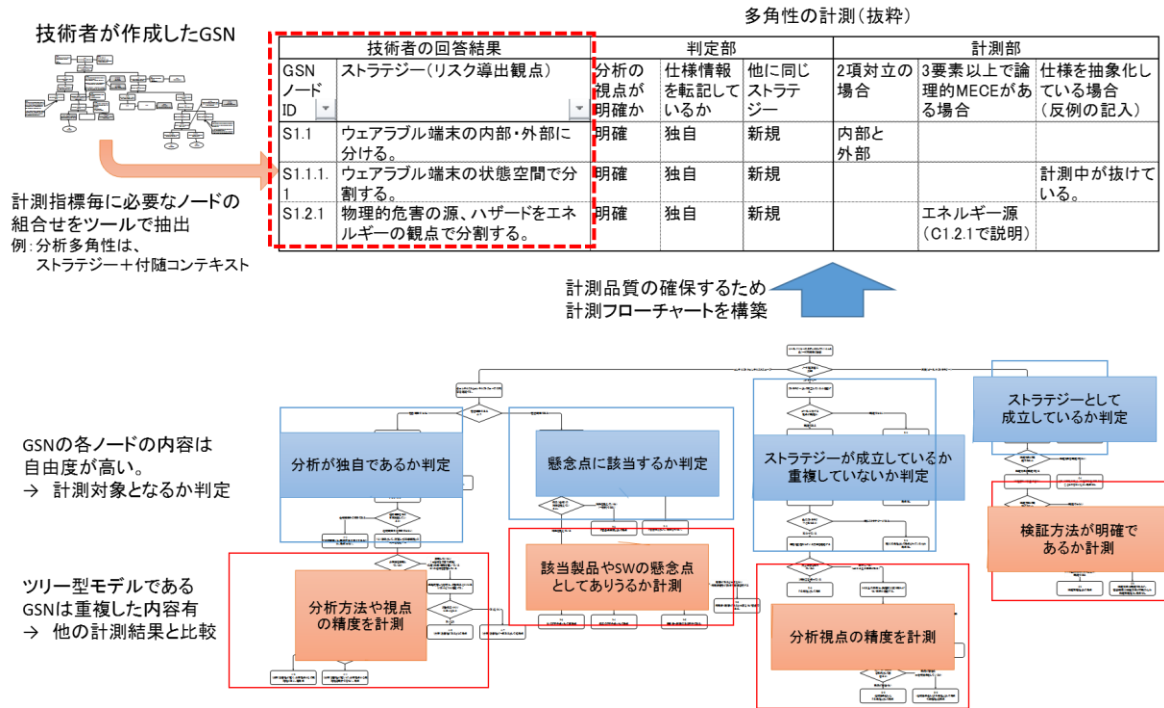


図7 計測事例

(3) 計測能力値の作成

GSNに対し(2)項の計測方法で計測した結果を各能力要件へ変換する必要がある。変換した結果の数値を「計測能力値」と定義した。計測能力値は、「計測項目の計測結果×計測指標間の傾斜×能力要件への関与度合い(表4)の合計」の計算式で算出した。「能力要件への関与度合い」とは、計測指標がどの能力要件に該当するか関与度合いを3段階のパラメータ(直接、間接的に関与する、関与しない)として設定した。(表4)

表4 計測能力値変換表(抜粋)

計測指標	計測項目	インプット解釈力	ST向け成果物作成	リスク分析能力	分析手法構築力(プロセス)
独自性	モデル(図や表等)を独自に作成しているか。	直接関与(2点)	直接関与(2点)	間接関与(1点)	間接関与(1点)
多角性	リスク導出(検証)の視点は何種類あるか。	関与なし	関与なし	直接関与(2点)	間接関与(1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?	関与なし	間接関与(1点)	間接関与(1点)	関与なし

「計測指標間の傾斜」とは、1つの計測指標にある計測分類間の重み付けを設定できるように導入したパラメータである。例えば、本パラメータは指標「分析独自性」における計測対象としてGSNのコンテキストノードが該当する。その際、コンテキストに記載された内容が「抜けている仕様を文章で提示した(仕様仮説)」よりも「モデル(図や表の作成)を作成して網羅的に提示した」方がその説得力や効果が高く、高い数値と判定できるようにするためである。(例:状態遷移のパターンを箇条書きにするより、状態遷移表や図で網羅性を確保する方が労力と効果が高い。)

4. 提案手法の妥当性確認

4.1 妥当性確認の方法

従来、過去の経験値によって技術者能力を判断していたため、提案手法によって計測された結果（計測能力値）が過去の経験値（経験能力値）を適切に計測しているか確認することで、提案手法の妥当性確認を行う。なお、「経験能力値」は、IV&V 活動の従事年数ではなく、IV&V プロセス^[2]にある「サブタスク（分析手法の作業工程）」の習熟度合いから算出した。その理由は、システムの特性に応じて多角的な視点でリスクを抽出できる技術者は、多数の分析手法を使いこなすことができるため、多数のサブタスクを習得しているからである。

(1) IV&V 技術者の経験調査（プロフィール調査）

各技術者のサブタスクの習得度合いを調査するため、各サブタスクの経験水準（表 5）がどれに該当するのか技術者の自己申告で調査した。過去のサブタスクの成果物を分析して客観的に調査することも可能であるが、実際の IV&V 活動でどの技術者がどの程度の分析や結果を出しているか把握できているため、算出された経験能力値が技術者間の相対的な関係が妥当であるか大凡の判断ができると判断した。

表 5 サブタスクに対する経験水準

経験水準	水準の内容
レベル 0	該当サブタスクの実施方法を知らない
レベル 1	該当サブタスクの実施方法を知っている
レベル 2	該当サブタスクを他者の支援を受けて実施したことがある
レベル 3	該当サブタスクを独力で実施したことがある
レベル 4	該当サブタスクで成果（SW リスク、問題点、提言等）を出したことがある。

(2) 経験能力値の作成

(1) 項にある経験の調査結果を各能力要件の数値に変換する。経験能力値は、サブタスク経験水準（表 5）×難易度（表 6）×能力要件に対する必要度（表 7）の合計とした。「サブタスクの難易度」とは、各タスクにある分析手法や作業の難易度を反映するパラメータである。

表 6 能力要件に対する必要度

難易度	水準の内容	事例
水準 1	該当サブタスクは、1 回の経験で習得でき、知識や用語を理解していれば誰でも同じ水準の成果物作成や効果を発揮できる。	・テンプレートがある 情報収集
水準 2	該当サブタスクは、数回の経験で習得でき事例を参照し、経験さえあれば誰でも同じ水準の成果物や作業効果を発揮できる。	・テンプレートがある 図の作成
水準 3	該当サブタスクは、属人性が高く、経験回数に依存せず技術者によって成果物品質や作業効果に明らかな差が発生する。	・モデリング手法 ・ガイドワード分析

「能力要件に対する必要度」とは、サブタスクの作業をする上で必要となる能力要件の度合いを、3 段階のパラメータ（必須、推奨、無関係）で設定した（表 7）。その理由は、各サブタスクは一律的に同じ能力要件を必要とするのではなく、情報収集から分析モデルの作成等の多岐にわたっているためである。（例：状態遷移図や表を用いてリスク分析する場合、上級の技術者はどんな状態遷移やイベントが重要かを分析するだけでなく詳細設計やソースコードを参照し状態遷移中のイベント有無を同時に分析するが、初級の技術者はそこまで確認しない。）

表 7 経験能力変換表（抜粋）

サブタスク ID /サブタスク名	インプット 選定能力	インプット 解釈能力	リスク 分析能力	分析手法構築 (プロダクト)	分析手法構築 (プロセス)
RK-SA2-4010 /状態遷移に関する情報収集	推奨 (1 点)	必須 (2 点)	無関係 (0 点)	無関係 (0 点)	無関係 (0 点)
RK-SA2-4020 /状態遷移図の作成	無関係 (0 点)	推奨 (1 点)	必須 (2 点)	推奨 (1 点)	推奨 (1 点)

4.2 妥当性確認の結果

(1) 計測条件

IV&V 技術者 9 名が 2 時間の試験で GSN を作成し、各計測項目に基づき計測能力値を算出した。なお、試験問題は、技術者のドメイン知識の豊富さによる影響を減らすため、宇宙機ではなく一般的な製品を取り上げた問題を採用した。また、IV&V 技術者 9 名のプロフィール調査結果から経験能力値を算出した。

(2) 計測結果

各計算式のパラメータは検討時の初期値のまま適用し、技術者毎に算出した結果を図 8, 9 に示す。

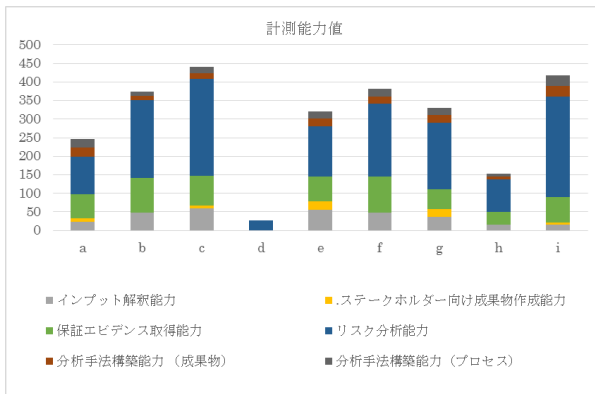


図 8 計測能力値の計測結果

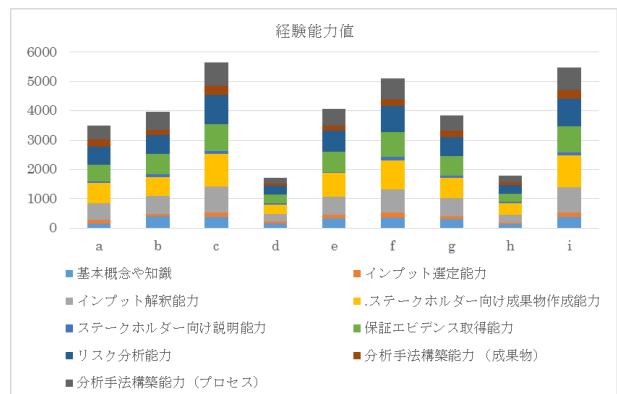


図 9 経験能力値の調査結果

(3) 相関分析結果

計測能力値と経験能力値の相関を比較した結果を表 8、その分布図の事例（全能力の合計値、リスク分析能力、ステークホルダー向け成果物作成能力）を図 10~12 に示す。

表 8 相関値の一覧

能力要件	相関値	判定
インプット解釈能力	0.632	相関あり
ST 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 (プロセス)	0.727	高い相関あり
各能力の合計値	0.937	高い相関あり

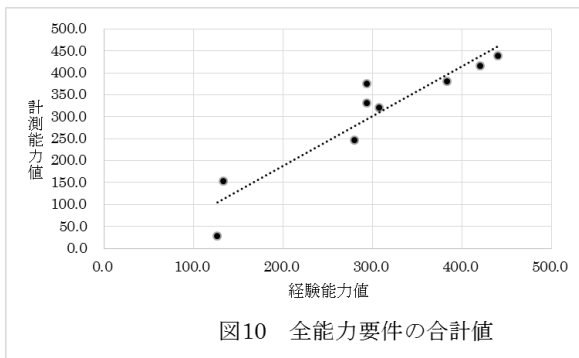


図10 全能力要件の合計値

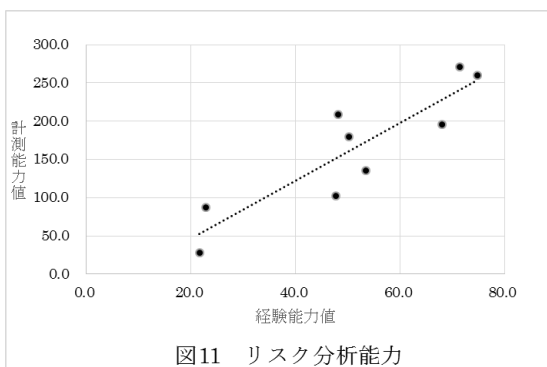


図11 リスク分析能力

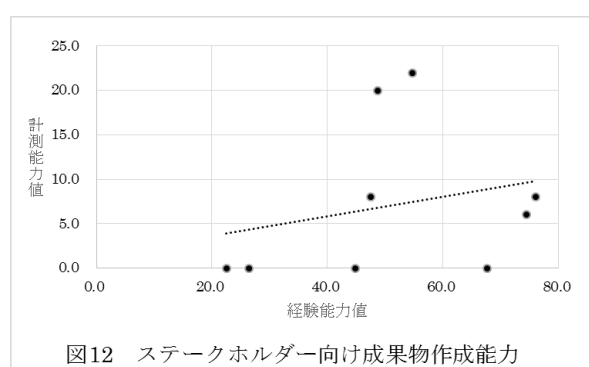


図12 ステークホルダー向け成果物作成能力

4.3 考察

提案手法による計測結果は、経験値と 0.8 以上の相関を持っており、当初の目的であった思考経緯が強く影響する能力「リスク分析能力」等を計測できている。また本手法は、数時間の計測を行うのみ短時間で且つ経験に依存しない方法であるため、該当業務に従事していない新しい技術者を計測することに向いている。但し、ステークホルダー向け成果物作成能力等の業務の相手先が関係のある能力は、GSN を用いた本手法では計測ができていると言えない。そのため、ステークホルダーへ説明する等の能力計測は、実際の業務形態に近いプレゼン等を入れた総合的な計測方法が必要と考えられる。また、ロジカルシンキングを習得していない技術者は、計測能力値でほとんど得点が取れていないため、本手法を適用する条件としてロジカルシンキングの一定の習得が必要である。他にも、本手法による計測精度を向上させるため、下記の 3 つの施策が考えられる。

<適用実績による精度向上>

- ・新しく IV&V 活動に従事する技術者に対し本手法で計測し、その後の IV&V プロセス経験度合いを追跡調査し、各種パラメータを更新することで計測精度を向上することができる。

<参照情報の精度向上>

- ・「経験能力値への変換」の基礎となる「サブタスク」の特徴をパターン化し分析することで「経験能力値」の対応パラメータの精度を上げることができる。また、IV&V プロセスは常に更新されているため、サブタスクの追加や修正を反映して最新版の「経験能力値」を維持することが必要である。

<計測方法の改善>

- ・GSN 計測フローチャートを拡張し、「設問に合わせた計測パターン」や「ツールによる自動判定」を導入し、計測の効率化や計測の属人性を排除することができる。

5. まとめ

本手法は、GSN を用いて短時間で且つ該当業務が未経験な技術者を対象に思考過程に依存した能力（リスクを抽出する能力等）を計測する手法を提案した。IV&V 活動に従事している技術者に本手法を試行した結果、提案手法による計測結果が実際の業務経験値を反映しており、本手法の妥当性が確認できた。また、IV&V 活動の業務特性と同様に、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過程に依存した分析方法を構築しなければならない業務は、本手法の応用可能性があると考えられる。

6. 参考文献

- [1] JAXA, IV&V ガイドブック～導入編～ver1.1 2016 年
- [2] JAXA, IV&V ガイドブック～実践編～ver1.1 2016 年
- [3] GSN COMMUNITY STANDARD VERSION 1 (<http://www.goalstructuringnotation.info/>)
- [4] Matsuno Yutaka, Takai Toshinori, Yamamoto Shuichiro, D-Case 入門 -Lets write a dependability case!- 2012 年
- [5] Mori Motoko D-Case 導入によるシミュレーション S/W の期待結果明確化と合意形成, Software Quality Symposium 2014 年
- [6] Kobayashi IoT 時代に求められるセーフティ設計の見える化とは～ GSN 入門～ (<http://sec.ipa.go.jp/seminar/20150730.html>) 2015 年