

四輪開発業務における生産性向上のための エキスパートの知識 経験 思考の構造化と活用

Modeling and Utilizing Expert's Knowledge, Experience, and Thinking in Automobile Development

安原 重人¹
Shigeto YASUHARA

吉本 毅¹
Takeshi YOSHIMOTO

岡田 英之¹
Hideyuki OKADA

要 旨

設計業務における業務効率の向上を目的として、暗黙知として属人化しているエキスパートの知識と思考を構造化することに取り組んだ。

通常は文書化され管理されている手順書やチェックリストなどから、言葉を抽出し、それらを設計情報と作業手順に分類した上で、二つの機械構文を用いて構造化した。さらにエキスパートの暗黙知である知識、思考の両方を発言から直接抽出することで、情報の鮮度と量を短期間で確保するとともに、エキスパートが自身の経験値から実行する思考を構造化しモデルに反映した。そのモデルの業務での有効性検証をおこなうため、対人ではなく機械から示唆を得るシステムを構築し、実際の衝突性能の設計業務に適用した。その結果、従来のように手順書のみを参照したケースに対して、本モデルを用いて業務をおこなったケースでは、効率よく業務を進めることが可能となり、約半分の時間で目標を達成できることが確認できた。

ABSTRACT

Measures were taken to realize the structured knowledge and thinking of experts, personalized in the form of tacit knowledge, for the purpose of enhancing the development efficiency of design work.

In this approach, the words are extracted from procedure manuals, checklists, and so on, that are usually put into written form and managed. Those words are categorized as design information and work procedures, after which they are structured using two types of machine languages. By further extracting both the knowledge and thinking that are the tacit knowledge of an expert directly from statements, the newness and quantity of the information were assured within a short time. At the same time, the thinking that experts perform based on their own empirical values was structured and incorporated in a model. In order to verify the effectiveness of that model in operation, a system for obtaining suggestions not from other people but from machines was constructed and applied to design work on actual crash safety performance. The results confirmed that, by comparison with conventional cases in which only procedure manuals are referred to, cases in which the present model was used to perform work showed that it became possible to advance the work efficiently so that goals could be achieved in approximately one-half the time.

1. まえがき

Connected, Autonomous driving, Shared, and Electric (CASE) に代表される新しい技術への対応は、自動車メーカーにとって大きなチャレンジである。また、CAFE に代表される環境要件や乗員を保護するための安全要件は年々厳しくなっている。そのためにエンジニアは車両開発において安全性、法規、コスト、生産性などさまざまな側面について考える必要がある。グローバルな規模で高品質な設計をおこなうためには、世界の各拠点の多数のエンジニアの間で

同じ設計品質を維持する必要がある。こうした背景から、業界を問わずさまざまな分野において AI が活用されており、ビッグデータを用いたソリューションが提案されている。

現状の開発において、多くのエンジニアが実物による評価の代替としてシミュレーションを活用し、検討時間を短縮している。しかし、近年ではシミュレーション精度向上に伴うモデル規模の拡大によって、1 サイクルの計算時間も年次で増加している。経験の浅いエンジニア (ビギナ) においてはトライアンドエラーによってより多くの時間を必要としてしまい、次世代技術の研究開発をはじめとした創

¹ 本田技研工業株式会社

造的な業務に振り向ける時間の確保が課題となっている。一方、エキスパートは合理的な仮説や理論を元に、無駄な手順を踏まずに効率よく検討をおこなっている。それは、過去の膨大な失敗経験から学びを得ているからであり、成功するために適切で必要十分な手法を瞬時に選択することができる。

このようなエキスパートのスキルを設計業務の効率化を目的として活用するために、画像、グラフ、写真を使用したプレゼンテーションソフトなどを用いて、検討方法を設計マニュアル等に記載することを試みた。しかし、エキスパートの思考過程は暗黙知であることが多く、文章化されて形式知化されていないことから、その知見の構造化が課題となっている。エキスパートの知識と思考を構造化する手法の一つとしてAIの活用が挙げられる。しかし、ディープラーニングを用いたAIの活用事例は多いものの、莫大な量のデータをコンピュータが決めたルールで処理するため、その解に至った経緯や根拠は専門家でもわからず、プロセス自体がブラックボックス化する懸念がある。かつて1970年代にスタンフォード大学で医療用のエキスパートシステムとしてMYCIN⁽¹⁾が開発された。MYCINは500程度の規則からなる知識データを持ち、医師からの問いかけに対し、「はい/いいえ」で応答し、最終的に推奨される療法を示すことができたが、実際の現場では使用されなかった。これはコンピュータが誤った回答を出した場合、推奨される療法に対してのトレーサビリティが不明確なことから、課題発生時に判断の根拠を振り返ることができないという課題があったからである。

品質の保証が重要である車両開発の分野においてAIを活用するためには、医療や司法など重要な結論を下す分野と同様に、開発者が結論の根拠を示す必要がある。

このような背景を鑑み、今後、より多くの課題に対して少ない原資で対応するためには、過去の検証結果に基づく膨大な開発過程である経験と知識を、属人的ではなく組織全体として蓄積、活用し、既知の課題に対する開発工数を低減する開発体質への脱却が必要である。そこで本研究では、エキスパートの知識と思考を構造化し、設計業務に活用できるシステムを構築することに取り組んだ。

2. 本研究のねらい

2.1. 概要

本研究では、エキスパートの知識を構造化したものを知識モデル、くわえてエキスパートの思考を構造化したモデルをエキスパートモデルと定義した。

まず、設計における知識の構造化方法として、機械構文であるGoal Structuring Notation (GSN)⁽²⁾とSystem Modeling Language (Sys ML)⁽³⁾を組み合わせる手法を検証した。資料から抽出した単語を二つの機械構文で構造化

し、両者を繋げることで知識モデルを構築した。次に、文書化された資料がなくてもエキスパートの発言から直接知識の構造化を可能とする方法を検討し、モデル構築の高速化を図った。さらにエキスパートが持つ暗黙知の中から上位概念を抽出し、報酬の概念を用いることによりエキスパートの思考を構造化した。最後に、構築したモデルを実際の設計業務に適用し、工数削減効果を評価した。Fig. 1にエキスパートモデルが世界中で活用されているありたい姿を示す。多くの拠点で多くの人員が異動、出入りしながら業務していることから、世界規模でみると、技術の伝承や蓄積がより大きな課題となっている。それに対し構造化したエキスパートの知識と経験を一箇所に集約することで、だれでもどこでもエキスパートの知識と経験を活用できるようにすることをねらいとする。

2.2. ありたい姿へのアプローチ

Fig. 2にありたい姿へのアプローチを示す。ビギナは、開発業務に必要な知識と経験を持っていないため、余分な業務を実行しがちである。ビギナでも効率良く業務を進めることができるように、エキスパートの知識と思考をモデルとして構造化するアプローチをおこなう。ビギナはモデルを活用することにより、開発業務に必要な時間を削減することができ、創出した時間で創造的な業務を推進することができる。

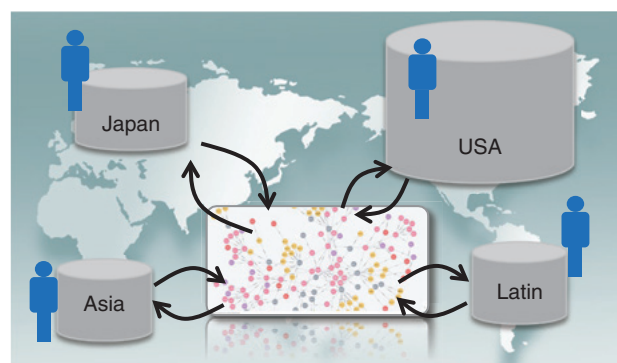


Fig. 1 Expert model utilized globally

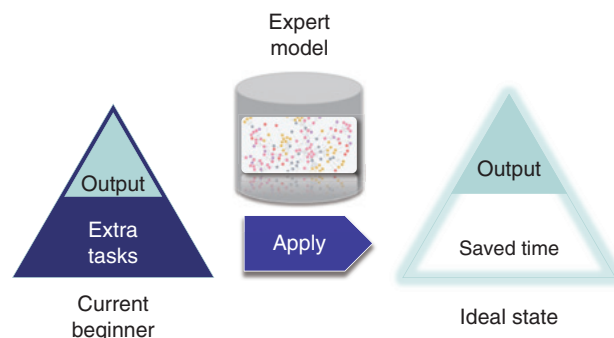


Fig. 2 Concept of expert model

Fig. 3 にエキスパートモデルとの対話を示す。Fig. 3(a) に示すように、従来の業務においては、知識と経験は属人化していることから、伝承や教育は人から人へアナログな情報伝達でおこなわれている。本提案では、Fig. 3(b) のようにユーザがシステムと対話し業務推進に必要な示唆を得ることを構想した。

2.3. システムの四つのステップ

本研究のシステムは、Fig. 4 に示すように四つのステップでの展開を構想している。

「おしえる」

エキスパートや技術文書から知識や経験と思考を抽出し、機械へ入力できる言語として構造化する。その構造化されたモデルをシステムへ逐次入力することでエンジニアがシステムから示唆を得られる状態にする。

「きく」

ユーザがシステムを介してエキスパートモデルへ問いかけをおこない、エキスパートモデルから検討方針の示唆を得る。

「ためる」

エキスパートモデルを使えば使うほど、応答を含めた履

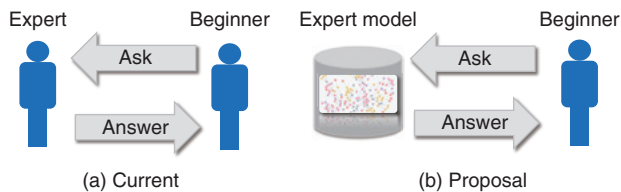


Fig. 3 Interaction with expert's knowledge

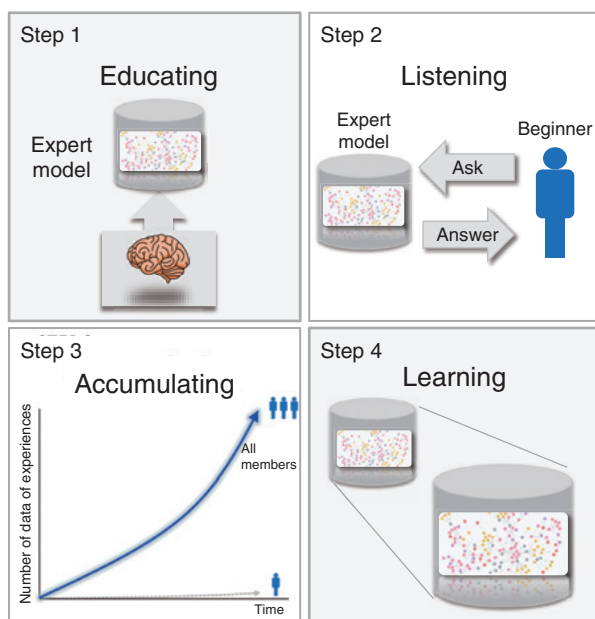


Fig. 4 Four step approach

歴が経験値としてモデルに蓄積される。多くのユーザが使用することでさらに経験値を飛躍的にためることが可能となる。これにより情報は常に最新の鮮度を保つことが可能となる。「まなぶ」

モデル自体が知識と因果関係を用いて自己学習することで、人間の経験を越えたモデルに進化する。

設計開発現場は全世界に展開されており、多くのユーザがこのモデルを使用することで知識がたまり、モデルが自己学習することでさらに成長する。上記のような、四つのステップを経ながらエキスパートモデルは進化していくと考えられる。本稿では四つのステップを通じて核となるエキスパートモデルへの「おしえる」について、構造化手法と検証結果を説明する。

3. 「おしえる」

3.1. モデル化プロセス

モデルを構築する手順を Fig. 5 に示す。エキスパートの知識と経験を記した過去の資料や検証結果、さらにエキスパートの話し言葉などから暗黙知を抽出し、知識モデルを構築する。次にエキスパートから上位概念を抽出して、知識モデルと組み合わせることでエキスパートモデルを構築する。

暗黙知の可視化と構造化について Fig. 6 に示す。

エキスパートの脳内の経験に基づく知識は、他人から見る事ができない暗黙知であり(左下)、それを手順書や発言からテキストデータを用いて可視化された状態(左上)として抽出する。さらに機械が解釈できるように構造化(右上)し知識モデルを構築する。しかし、手順書作成の作業はかなりの時間を要するために、その間に情報が更新されることもありうる。そこで今回は暗黙知の資料化を経ずに直接発言から知識モデルを構築することとした。このようなプロセスを踏むことにより、より短期間でモデル化が可能になる。エキスパートの暗黙知から直接知識と経験を抽出し構築した知識モデルは、エキスパートの経験に基づくこととなり、そこから得られる示唆は過去の開発経験や検証

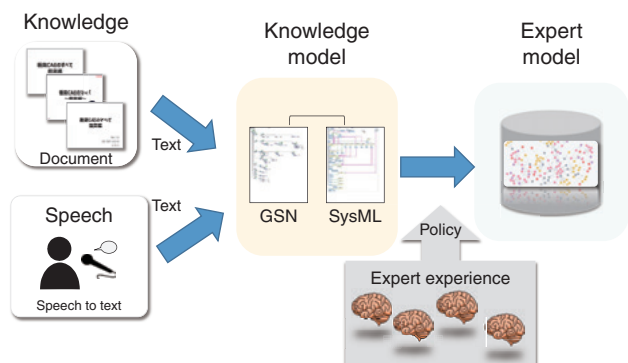


Fig. 5 Model construction process

結果といった根拠に基づくものにすることができる。

3.2. 知識のモデリング

実業務で用いられる設計手順書は、人間にとってはわかりやすいが、ある程度の専門知識や言葉の意味が理解することができる前提で記述されている。また、その領域での当たり前の作業手順や言葉の定義づけは省略されていることもあり、その領域で知識を持つ人のみが文章の意味を理解することが可能になる。しかしその文章は機械にとってはそれぞれの言葉の意味や定義づけがなされていないので解釈することは容易ではない。よって、記述されている手順書を機械が解釈できる言語で構造化する必要がある。そのために、まず資料からテキストとして文章を抜き出し、単語に分解する。そして、専門用語の辞書を用いて単語を属性別に分類する。

手順書の中身は設計情報の記述と設計手順の記述が混ざりあって存在しているため、各々異なる手法で構造化をおこなう必要がある。そこで本研究では、設計情報は SysML を用いて構造化した。SysML はシステムの構造を表すために利用される構文であり、構成要素をツリー構造として表現したり、その構成要素間の関係を表現したりできる。このため、部品を設計するための情報の構造化に適している。一方、設計手順の構造化は GSN を用いた。GSN は設計品質を可視化するために利用される構文である。GSN では上位目標を下位目標に分解して表現することができる。この GSN を用いることで下位目標の妥当性をその目標に対する証拠に基づいて説明し、上位目標が特性基準を満たすことを説明することができる。そのため、部品の目標を満たすための設計手順の構造化に適している。このように GSN と SysML をそれぞれ構造化しさらに繋げることで、初めて設計手順と部品構造が結び付けられ、知識を構造化することができる。

具体的な例として一流のシェフのみが作れるカリカリなピザの作り方を SysML と GSN で構造化したものを Fig. 7

に示す。SysML においてピザの構成が構造化されている。ピザは生地、トマトソース、トッピングから構成される。さらに生地は小麦粉、塩、イースト、水から構成される。

一方 GSN ではカリカリのピザを作るための設計手順が構造化される。生地において (1) カリカリのピザを作ることが上位目標となり、そのために (2) 小麦粉、水、塩とイーストをよく混ぜる。次は (3) 生地の表面がなめらかになるまで打ち付けることが下位目標となる。表面がなめらかになるまで打ち付けることが SysML において生地に対する制約条件となり、(4) GSN と SysML をつなぐ役割を担う。このように GSN と SysML とがつながることによって、はじめてピザの構成と手順が明確になり、ピザのレシピが完成したことになる。レシピがあればビギナでもカリカリのピザに到達することができるため、この手法により一流のシェフの知識が構造化できたといえる。

この構造化手法を、衝突安全領域のエキスパートが設計する安定したエネルギー吸収を達成するためのフレーム構造設計にあてはめた例を Fig. 8 に示す。

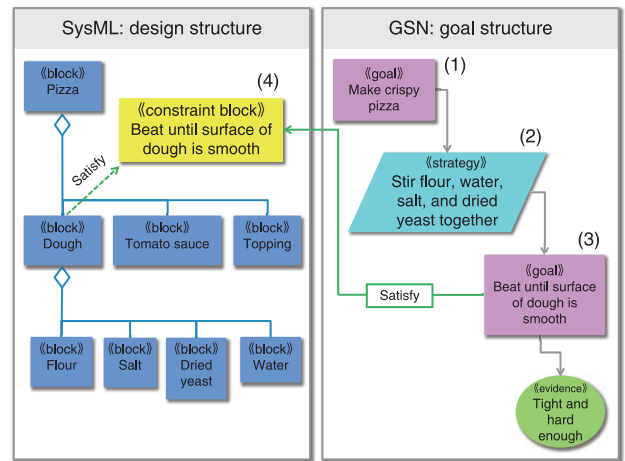


Fig. 7 SysML-GSN model of making crispy pizza

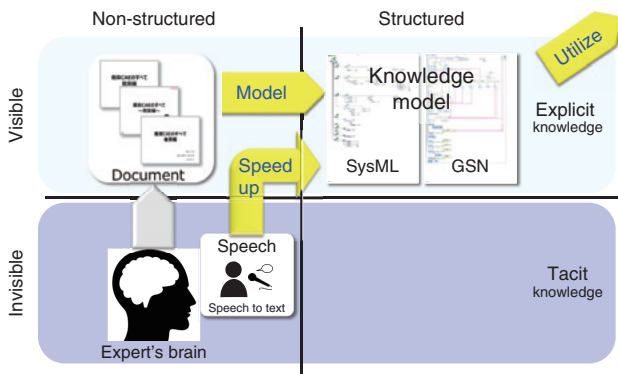


Fig. 6 Visualization and structurization of invisible knowledge

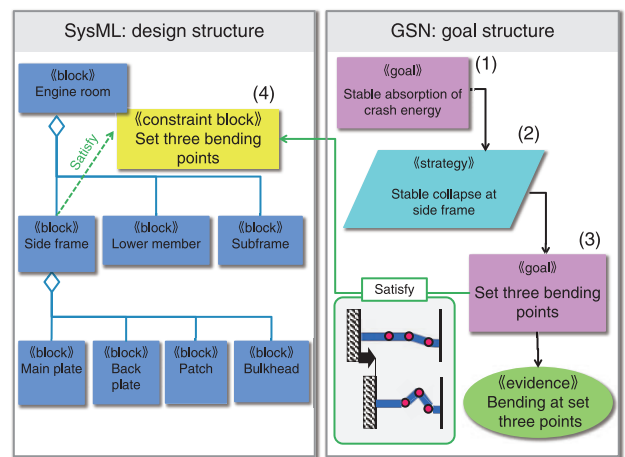


Fig. 8 SysML-GSN model of side frame design

SysML において衝突時のエネルギー吸収をおこなうエンジンルームの車体構成部品が構造化される。エンジンルームはサイドフレームとロアメンバ、サブフレームで構成される。またサイドフレームは本体、バックプレート、パッチ、バルクヘッドといった部品で構成される。一方 GSN では安定した衝突エネルギー吸収をするための設計手順が構造化される。(1)安定した衝突エネルギー吸収が上位目標となり、それを達成するために(2)安定的にサイドフレームを座屈変形させることが必要となる。次に(3)安定的に座屈変形させるために、Fig. 9 に示すように、座屈変形点を三つ設定することが下位目標となる。座屈変形点を三つ設定することが SysML におけるサイドフレームに対する制約条件となり、(4)GSN と SysML をつなぐ役割になっている。つまり安定的な衝突エネルギーの吸収のために必要な手順と構成が明らかになり、上位目標に達するためのレシピ、つまりエキスパートの知識が GSN と SysML を用いて構造化できたことになる。

3.3. モデル化手法の高速化

かつて 1980 から 1990 年代にかけた第二次 AI ブームの中で、専門家の知識をコンピュータで扱うエキスパートシステムが研究されたが 1990 年以降には衰退してしまった歴史がある。当時複雑な課題を解くために用いていた If 文のルールは難解であり、またプログラミング自体も容易ではなかった。よってシステムを活用するための入力作業はその技能を習得した技術者による限られた作業であった。そのため、インプットに膨大な時間がかかることと、限られた技能を習得する難易度も合わさり、必要な情報の量と鮮度を保てなかったことが衰退の要因である。

現在のようにプログラミングが発達した時代においては、手順書などの文書データがある分野では、3.2. 節で述べたように、手順書から言葉を抜き出すことが可能なため、比較的容易にモデルが作成できる。しかし、知識を示

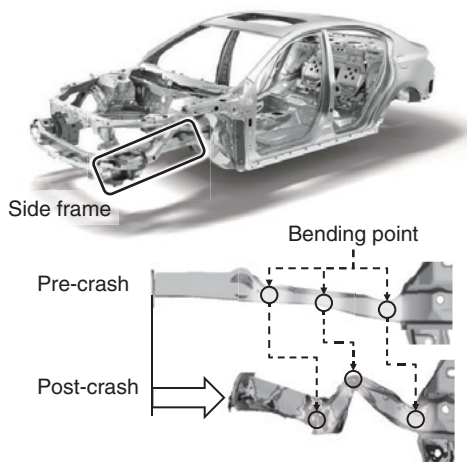


Fig. 9 Three bending points of side frame

す手順書などの文書データが無い分野では、構造化以前にまず文書作成が必要になる。これまでに実施した、ある機能の文書作成では約三年の年月を要したことで、発行時にはすでに更新が必要な情報になっているものもあった。文書作成により知識を一元化する目的は達成できたが、最新情報を開発に活用することができなかった。一方で、開発の現場ではエキスパートが実践するディスカッションや講義などの中で、日々新しい知識が生まれている。このように、話し言葉から知識を抽出し構造化することが可能になれば、情報の鮮度を保つことができる。そこで本研究では、Fig. 10 に示すように、高速化の手法として資料を経ずに発言から直接モデリングする技術を構築した。手順として、まずエキスパートにヒアリングをおこない知識を話してもらい、発言は録音され、音声認識によってテキストに変換される。文書からテキストを抽出したときとは異なり、自然会話による発言はあいまいさがあるため、それを取り除いて構造化するために文脈解析と照応解析をおこなった。

自然会話の内容は、その場に居ない第三者が理解しようとしても、何について発言しているのかわからないことが多い。その場合、知識の構造化をすることは容易ではない。そこで、文脈を特定するために Fig. 11 に示すように文脈解析をおこなった。

発言内容の「サイドフレームの発生荷重が未達であった」という文章に対して文脈解析をおこなうと、未達という単語からその文章が目標について発言しているとわかるようになる。よって、この文章を構成する単語は目標を記述する GSN の属性に則り正しく構造化することができる。

次に、文章をまたいで照応する「あれ」や「それ」に対応するための照応解析を Fig. 12 に示す。自然会話による発言では照応詞を用いた複数の文章が途切れ途切れになることが多い。それをそのまま構造化すると、構造も途切れ途切れになるため、知識としては不十分になってしまう。それ

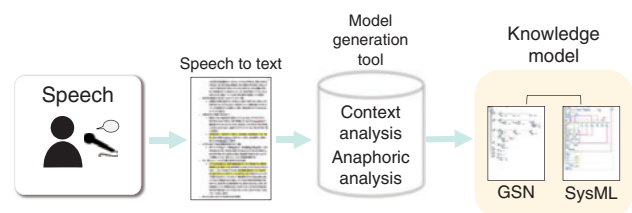


Fig. 10 Speech-to-knowledge model process

Speech	Context analysis
Force generated at the side frame did not reach the target.	About goal
He was the president of this company.	About person
Higher the deformation, higher the injury value.	About collision

Fig. 11 Context analysis

を防ぐために照応解析を用いて、先行詞と照応詞を繋げることにより、単語の関係性が途切れることなく構造化することができた。このように照応解析と文脈解析を知識構造化の生成ツールに実装し、話し言葉から資料を経ずに構造化することができた。

3.4. エキスパートの思考の構造化

ビギナとエキスパートの思考の違いを Fig. 13 に示す。知識と経験が少ないビギナは、課題達成までの道筋がわからずに業務に取り組む。一方エキスパートは、経験と思考を自分の脳内で構造化しているため、知識として持っているだけでなく、課題達成までの道筋を状況に応じて適切に組み立てることができる。エキスパートはこのような思考を長年の経験から得ている。失敗をした経験においては、その発生要因を特定して、本質を表す上位概念として脳内に記憶して活用している。上位概念とは「つまり・・・だ」と表現される文章であり、固有の属性は外されて一般化しているため、異なる事例においても失敗を未然に防ぐ行動の選択に利用することができる。この上位概念を可視化するために失敗学⁽⁴⁾を用いた。失敗学は発生した不具合の要因分析から、本質の要因に至る手法を体系化したもの

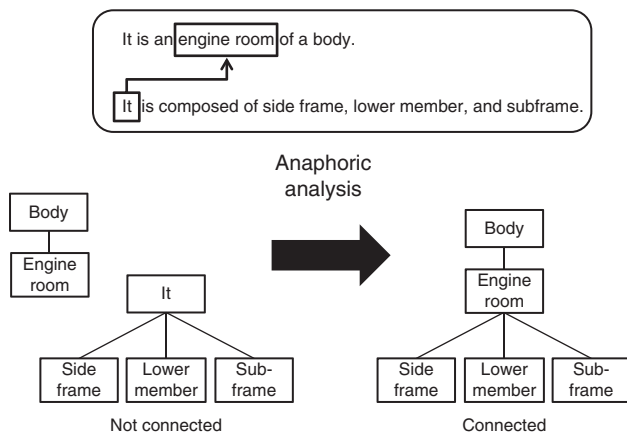


Fig. 12 Anaphoric analysis

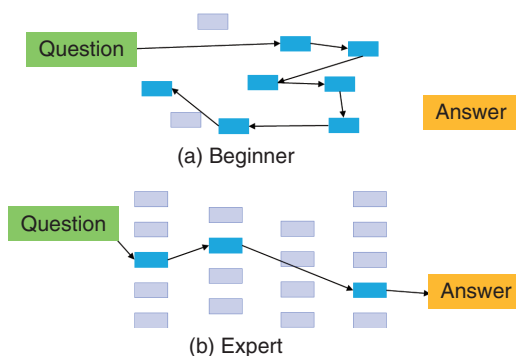


Fig. 13 Comparison of beginner's and expert's thinking

であり、上位概念の抽出に利用されている。まずは、実際の過去の業務から不具合の事例を集め、当事者からヒアリングをおこなった。次に、失敗学に則り過去トラブル集を作成し、上位概念を収集した。

このように失敗から抽出した上位概念は、不具合を未然に防止するための指針、すなわちエキスパートが選択する行動である。この行動をビギナに示唆するために、行動に応じた報酬付けをする手法を検討した。Fig. 14 に上位概念による報酬付けの例を示す。行動に応じた得点として報酬を定めた。上位概念に則った行動には高い報酬、逆に反する行動にはマイナスの報酬を設定する。最も報酬が高くなる手順を選択すれば、ユーザは優先度の高い手順を選ぶことが可能である。

Fig. 15 に報酬を用いた優先度の示唆の概念を示す。ここでは、ゴールである衝突目標を達成するために、まず何をすべきかの GSN を例としている。次におこなう作業が並列で記述された場合、優先度の示唆がなければビギナは誤った作業をおこなってしまう。それに対し、報酬を用いることで、上位概念に基づいた目標を設定するという手順に最も高い報酬が与えられ、ユーザはこの手順が最も優先度が高いことを理解できる。

Fig. 14 に示したこの報酬付けのルールは、エキスパートモデルが示唆する正しさの根拠となる。そのため、この根拠は経験やロジックなど人間が納得できる妥当性が必要であり、人間が責任をもってルールを保守していくことを想定している。ここまで解説した内容で知識と思考の構造化に取り組み、車両骨格の性能設計に関する 29,429 個の設計情報を構造化したエキスパートモデルを構築した。

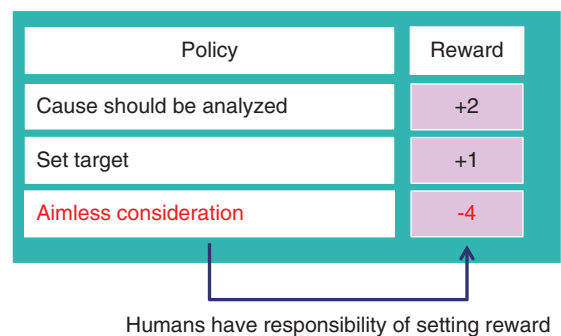


Fig. 14 Description of policy and reward



Fig. 15 Reward suggesting correct strategy

3.5. 効果検証

エキスパートモデルの活用による工数の削減効果を検証するために、衝突安全業務におけるシナリオを以下のように設定した。「車両重量がベース車両より 100 kg 増える場合のオフセット衝突モードにおいて、サイドフレームの発生荷重を目標の変形状態を達成しながら 100 kN から 150 kN に上げるための設計をおこなう」。検証は、ほぼ同じ技能レベルで開発未経験な若手エンジニアを二人選出し、エキスパートモデルの使用の有無での目標達成の到達度を比較した。一人は手順書のみを参照し業務にあたり、もう一人はエキスパートモデルを使用し示唆を得ながら業務にあたった。二人の目標達成度とそれに要した業務時間を比較して効果の検証をおこなった結果を Fig. 16 に示す。エキスパートモデル無しの場合、サイドフレームの発生荷重が目標荷重に達するまでに 142 h を要した。ただし、目標の変形状態までは達成できなかった。一方、エキスパートモデルを使用した場合、62 h で発生荷重と変形状態の目標を達成することができ、56% の業務時間の短縮効果となった。

Fig. 17 に削減効果の内訳を示す。エキスパートモデルを使用した場合では解析の実行回数が少ないことがわかる。特に計算に時間のかかる大規模解析の実行数が 7 cycles から 4 cycles と少なく抑えられている。

	Result	Required time
Without model	Target missed	142 h
With model	Target achieved	62 h

Fig. 16 Verification result of analysis time reduction effect

Without model	Small scale CAE 14 cycles	Large scale CAE 7 cycles
With model	5 cycles	4 cycles

Fig. 17 Breakdown of analysis reduction

Fig. 18 にプロセスの検証結果を示す。手順書のみを使用したエンジニアは解析や対策においての段階的なねらいを定めることができなかった。それにより導出を求められているサイドフレームの具体的な仕様の検討作業において、大規模解析を実行したことで、時間を多く費やし、結果として変形状態の目標を達成することができなかった。

一方、エキスパートモデルを活用したエンジニアは、必要十分な手順の示唆を得ることができた。その示唆によって、ベース車両の現状を把握した上でねらいを定め、各段階での課題の設定をおこない、具体的な仕様を検討することが実行できた。これにより自身に経験がなくてもすべての設定された目標を達成することができた。このことからエキスパートモデルを活用することによる開発時間短縮効果が確認できた。

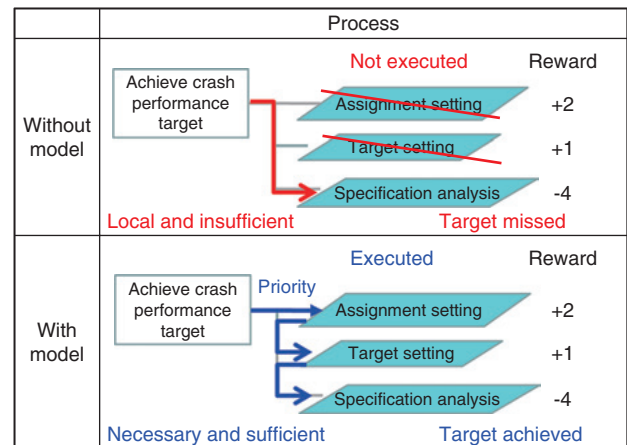


Fig. 18 Verification result of design process

4. まとめ

暗黙知であったエキスパートの知識と思考を構造化する手法を確立し、エキスパートシステムの「おしえる」ステップに必要なエキスパートモデルを構築した。

- (1) 知識を GSN と SysML を用い二つを連鎖させて、知識モデルとして構築した。
- (2) 知識モデルを発言から資料を経ずに高速に構造化する手法を構築した。
- (3) 知識モデルに対し、エキスパートの上位概念に則った行動に高い報酬を与えることで、エキスパートの思考プロセスを再現できるエキスパートモデルを構築した。
- (4) 本研究で構築したエキスパートモデルを活用したことによる業務時間の短縮効果を確認した。

今後は本研究で確立した手法でのエキスパートモデルの規模の拡大に向け蓄積、記載データの収集を実施する。ま

た「きく」「ためる」の STEP に基づいて通常業務に活用するためのシステム開発を推進する。さらに「まなぶ」につなげるための分析、マイニング、蓄積、機械学習の技術との互換性を視野に入れて、より広範囲にわたり活用を可能にするために研究を継続する。

参考文献

- (1) Buchanan, B. G., Shortliffe, E. H.: Rule-Based Expert Systems - The MYCIN Experiments of the Stanford Heuristic Programming Project, Addison-Wesley Publishing Company, (1984)
- (2) Origin Consulting (York) Limited: GSN Community Standard, Version 1, (2011)
- (3) Object Management Group: OMG Systems Modeling Language, Version 1.5, (2017)
- (4) 濱口哲也: 失敗学と創造学―守りから攻めの品質保証へ, 日科技連出版社, p. 53-66, (2009)

■ 著 者 ■



安原 重人



吉 本 毅



岡田 英之