

WP1/D1.5 :

**ドイツ・欧州企業における
システムズエンジニアリングの
実践に関する調査・分析結果報告**

著者 :

Jens Heidrich

Martin Becker

Thomas Kleinberger

Rolf Hendrik van Lengen

Liubov Gorodilova

Fraunhofer IESE（実験的ソフトウェアエンジニアリング研究所）はフラウンホーファー研究機構（Fraunhofer-Gesellschaft）の研究所の1つ。

同研究所は、革新的なソフトウェア開発技術、手法およびツールを工業的な実践に転換し、企業が各々のニーズに合ったソフトウェア能力を構築し、市場優位性を確立できるように支援している。

Fraunhofer IESE の代表：

工学博士 Peter Liggesmeyer 教授 (Executive Director)

Dieter Rombach 教授 (Business Development Director)

Fraunhofer-Platz 1

67663 Kaiserslautern

Germany

目次

1	はじめに	1
1.1	目的および方法	1
1.2	範囲	1
1.3	調査参加者	2
1.4	プロセス	3
1.4.1	連絡段階	3
1.4.2	調査実施段階	4
1.4.3	分析段階	4
1.5	潜在的なリスクと限界について	5
2	分析結果	8
2.1	第1部：回答者とその企業（組織）／部署の背景	9
2.2	第2部：回答者が直面したシステムズエンジニアリング関連の課題	11
2.3	第3部：課題に対処するための取り組みと実践	24
2.4	第4部：システムズエンジニアリングと組織の全般的な能力・機能が 将来的に向上する見通し	35
3	本調査・分析で判明した重要項目	38
4	推奨事項とその活動分野	41
4.1	組織開発	41
4.2	技術開発	42
5	参考	44

1 はじめに

本書は、実施したシステムズエンジニアリング実践に関する調査・分析の結果をまとめたものである。第1項では、本調査・分析の目標、範囲、選択したドメインの参加企業、ならびに本調査・分析を実施する際に従った一般的なプロセスについて記述する。第2項では、面談中に取られた面談記録に基づく分析結果を示す。第3項では、本調査・分析結果から判明した重要項目についてまとめた。第4項は、企業への全体的な推奨事項とその活動分野を示して結びとする。

1.1 目的および方法

本調査・分析の目的は、ベストプラクティス（作業プロセス、手法およびツール）に関する課題とその取り組みに重点を置いて、ドイツとヨーロッパにおけるシステムズエンジニアリングの実践状況を調査・分析しまとめることにある。

1.2 範囲

本調査・分析は以下の範囲でまとめられる。

1. 本調査・分析は、様々なドメインにまたがってシステムズエンジニアリングのベストプラクティスに焦点を当てたものであり、単一のドメインに特化するものではない。
2. 参加企業の開発する製品はソフトウェアとハードウェアの両方を備えていなければならない。すなわち、システムズエンジニアリングを行ってハードウェア・コンポーネントのみを製造する企業は、本調査・分析の範囲に含まないものとする。
3. 本調査・分析では、ソフトウェアとシステムズエンジニアリングとの間のインターフェースおよび統合（システム要求をソフトウェア要求に変換する方法など）に関連する側面に重点を置く。それは、企業が個別の専門分野から、1つに統合されたシステムズエンジニアリングのアプローチへと移行する動機と促進要因を理解したいからである。
4. システムズ・エンジニアリング・プロセス（ISO/IEC 15288 および ISO/IEC 12207 に基づく）については、ベストプラクティス収集に関する最優先事項として、技術的プロセス、ソフトウェア実装、ソフトウェアサポート、およびソフトウェア再利用プロセスに重点を置く。契約、プロジェクト、あるいはプロジェクト・イネーブリングプロセスなど、その他のプロセス

分野は、人材のスキル／能力開発およびナレッジマネジメント活動に関連するプロセスを例外として、二次的優先事項とする。

5. 技術的プロセスに関して、本調査・分析ではVモデル全体（要求分析、設計、実装、テストなど）の様々な側面を扱うよう努める。ただし、面談中に話題が広がりすぎた場合は、要求開発と品質保証に関する実践に重点を置くようにする。
6. 本調査・分析は、中小企業（SME）として分類される企業（組織）／部署、ならびに大規模企業（LO）を対象とする。ただし、大規模企業の場合はより成熟したシステムズエンジニアリングの実践があると想定されるため、企業の大半はその分類からのものになるであろう。
7. 企業（組織）／部署を選定する際の優先の基準は、システムズエンジニアリングに関する成熟度および能力である。世界規模／国際的な事業の展開など、他の観点は二次的な基準とする。
8. 企業の従属関係については特に注目しない。特定のドメインのサプライチェーンに属する企業も、メーカーやシステムインテグレーターと同様に参加者に含めてよい。
9. 本調査・分析では、自動車（輸送）、製造、医療および航空宇宙分野の企業に注目する。企業数はコンタクトに応じてくれるかどうかによって異なるため、ドメインによって異なる。

1.3 調査参加者

全体で、34 企業の 42 名に対して参加要請を送付した。そのうち 22 名が面談を承諾し、最終的には異なる 18 企業 20 名との面談を実施した。

以下に、本調査・分析への参加企業として公表されることに同意した企業名を示す。

企業	ドメイン	種類 ¹
Airbus DS Electronics and Border Security	航空宇宙、電子機器	LO
Art of Technology AG	製造、医療、航空宇宙	SME
AVL LIST GmbH	自動車	LO
Binder Elektronik GmbH	産業エレクトロニクス、医療	SME

¹ SME = 中小企業、LO = 大規模企業

企業	ドメイン	種類 ¹
Airbus DS Electronics and Border Security	航空宇宙、電子機器	LO
camLine GmbH	製造、医療、自動車、航空宇宙および半導体向けソフトウェアサプライヤー	SME
CIBEK technology + trading GmbH	高齢者向けソリューション、自動化テクノロジー	SME
ETAS GmbH	自動車	LO
Hella KGaA Hueck & Co.	自動車、電子機器、照明	LO
Robert Bosch GmbH	製造、自動車、消費者向け電子製品	LO
ZF TRW Automotive Holdings Corp.	自動車	LO

1.4 プロセス

参加者への連絡、面談時間の割り当て、および結果の文書化ならびに分析は、以下のプロセスに従って行った。

1.4.1 連絡段階

企業（組織）／部署ごとに複数の連絡先が存在したため、複数の段階を踏んで連絡することにした。まず、企業で最も優先順位の高い連絡先に電子メール／電話で連絡を取った。この人の都合が悪く面談できない、または本人が適任でないとして辞退したが、面談できる可能性が高い、あるいはより適切な人を紹介してくれた場合は、この代替りの人に連絡を取った。代替りの人を紹介されなかった場合は、自分たちが持っているその企業のリストで残っている人の中から次に優先順位が高い人を選んだ。

参加要請は、（できるだけ）その人を個人的に知っている Fraunhofer IESE 内の連絡担当から送付するようにした。2～3 営業日以内に返答がない場合は、催促のメッセージを送付した。2～3 週間以内に返答がない場合は、別の人に連絡を取った。

連絡先の個人が面談を承諾した場合は、面談の予約を取り、その人が被面談者となる。面談の予約は一括管理し、連絡先の個人の希望に添って時間帯を割り当てた。その後、調整担当者がプロジェクトチームから Fraunhofer IESE の研究員を 2 名、それぞれ面談のモデレーターおよび記録係として任命した。

1.4.2 調査実施段階

面談の準備として、モデレーターは質問項目を被面談者に送付した（通常、面談開始の1週間前）。一連の面談に関する問い合わせ全般には、モデレーターが対応した。すべての面談は電話／ビデオ会議システムを使用して実施され、モデレーターが面談の質問を読み上げて説明した。被面談者が質問に回答できない場合は、モデレーターが回答例をいくつか挙げて一般的な方向性を示したが、被面談者の企業（組織）／部署固有の問題は異なる可能性があることも強調した。記録係は後から面談記録で結果を要約できるように回答のキーワードを書きとめ、面談の内容を逐語的に記録することはしなかった。

面談の終わりに、記録係は面談記録を被面談者に送付する期日と、研究結果の公表予定時期を被面談者に伝え、また被面談者が回答内容を承認する期日についても、合意を取り付けた。

面談記録は面談の質問票と内容に従って構成した。面談記録では、一連の面談に関する最終的な報告書でそのまま使用できる情報と、匿名扱いの必要があり第三者とは共有できない情報を明示した。

その後、匿名版の面談記録を作成し、本調査・分析の委託元である独立行政法人 情報処理推進機構（IPA）への提出用とした。実施した全面談の面談記録とその状態が文書化された。

1.4.3 分析段階

面談中、面談記録は面談者以外の担当者が記録を取り、記録は面談内容を分析する前に匿名化された。

Fraunhofer IESE が採用した専門家との面談内容の分析手順は、意味縮約と意味カテゴリー化の中間だが、定量的手法およびテキスト手法に共通感覚を組み合わせ用いるという最新のアプローチにも従った。Fraunhofer IESE の意味の縮約およびカテゴリー化のアプローチは、Strauss と Corbin によって考案されたグラウンデッドセオリー・アプローチ[SC98]に端を発している。つまり、最初の面談からデータを取り、最初のカテゴリーを決める。一般的ではない専門用語をわかりやすい表現にするためだ。続いて、2回目の面談から得られるデータを以下の方法で取り込む。データが既存のカテゴリーに反映されていると見なされた場合、この情報の固有カウンタが増え、このカテゴリーは信ぴょう性が上がったことになる。データがまだ反映されていない場合は、新しいカテゴリーを追加する。グラウンデッドセオリーによると、この手順は新しい知識が得られるまで実行する必要がある。グラウンデッドセオリーでは、各ステップをメモと図で記録しなければならない。

分析の目的で、合計 29 の各質問に対する全回答を掲載したワークブックを作成した。さらに、被面談者の企業（組織）／部署の一般的な特徴をスプレッドシートにまとめた。29 の質問に対する回答と特徴シートの分析を、4 人の Fraunhofer IESE 研究員が分担して行った。

研究員はそれぞれに割り当てられた質問の回答を個別に分析した。その後、一定の期間において、分析結果、ならびに横断的なトピック、特に矛盾する可能性がある情報について話し合った。

1.5 潜在的なリスクと限界について

ここでは、採用した方法論と実施者に関連して、実施した調査・分析の潜在的なリスクと限界（[USC16]に基づく）について述べる。

(1) サンプルの規模：実施した面談の合計数はかなり少ない。そのため、分析結果を一般化するほどではなく、回答どうしを相関分析するにも限界があるという面もある。本調査・分析の実施に与えられている時間が限られていることと、1 回の面談における集中度と時間を考慮すると、これ以上多くの人に参加を勧め、与えられている時間内で妥当な分析に十分な面談データを得るのは困難であった。合計 42 件の参加要請を送付し、そのうち 22 名が面談を承諾して、最終的に 20 名との面談を実施した。ただし、比較的少ない面談数でも、1 つ 1 つの回答により重点を置くことができ、それぞれのケースについては深い洞察が得られるという利点がある。

(2) 範囲：本調査・分析の基本的な目的は、システムズエンジニアリングに関する課題と解決法について洞察を得ることであった。この目的には、かなり多数の企業が該当することが予想されたため、1.2 項で定義したように参加の範囲を慎重に制限した。さらに、面談要請は、以前のプロジェクトや協力を通じてすでに面識のある人々に限るようにした。これにより、所定の範囲への適合性が高くなり（こうした人々が勤務している企業について主な特性がほぼ分かっている）、本調査・分析への参加に積極的である企業を確実に特定することができた。しかし、そのような選択方式のために最終的なサンプルの規模はかなり小さくなった。

(3) 先行調査：本調査・分析を実施する前に、本調査・分析の一般的な目標に適合する既存の関連調査を分析した。以前に実施された調査の質問と、今回の調査・研究で用意している質問の間は重複もあるが（課題の面など）、範囲の定義と意図は異なる。本調査・研究では、純粋な産業環境に重点を置き、様々なドメインと企業規模に共通する課題と、それを克服するために確立された業務、および今後の業務について分析することを目的としている。

(4) 質問票：面談を行う際の指針として使用した質問票は、本調査・分析の目標から体系的に作られ、Fraunhofer IESE の研究員による内部ピアレビューを受けたものである。レビュー後、1 つの質問に複数の観点が混在していたため

(現在の傾向と今後の傾向をたずねるなど)、いくつかの質問を分割することにした。また、1回の面談に要する時間を短縮するために、質問票の作成中にいくつかの質問を割愛した。割愛の判断基準は、本調査・分析の目標を踏まえた重要性である。当初、質問はすべて回答の選択肢を用意しない自由形式であった。

2回目の面談中に、質問の意図に関する何らかのヒントがないと答えづらい質問が一部にあることが分かった。また、面談時間は当初計画していた(最長60分)よりも長くかかった。そのため、29の質問のうち13の質問に対しては回答例(大部分は予想される選択肢を含む)を追加した。回答例は、以前に分析した関連調査と、過去のシステムズエンジニアリングプロジェクトでFraunhofer IESE 研究員が得た経験に基づいて作成した。回答例は、1回目の面談より前に作成してあったが、あくまでも面談実施者が利用する指針の一部としてのものであった。3回目以降の面談では、より効果的な方向付けを行うため事前に被面談者に回答例を送るようにした。ただし、被面談者には与えられた回答例から選択するだけでなく、それにとらわれずに考えてもらいたいことも明確に伝えた。その結果、多くの回答が既存のリストに該当したため、回答の記録が簡素化された。これにより回答の相互比較が容易になり、面談の実施時間も大幅に短縮できた。

(5) 自己申告データ：本調査・分析の参加者には、特定の知識に関して、また自分が所属する企業(組織)／部署で経験したことのみを報告するよう求めた。自分たちの直接経験に基づいて明示的に回答することとし、自分の職務以外や専門分野外で起こっていることについて憶測では回答しないよう依頼した。

(6) 便宜的サンプル：Fraunhofer IESE は過去20年間にシステムズエンジニアリングの分野で多数の研究開発プロジェクトに参加してきた。そのネットワークから、かなり多数の連絡先が存在し、それらに対して本調査・分析への参加を要請した。

(7) 信頼と開放性：Fraunhofer 研究機構(Fraunhofer-Gesellschaft)は、客観性、中立性、独立性を保ったパートナーとしてドイツ国内でよく知られている。このため、本調査・分析に参加することについても、課題および解決法について率直に語ることにしても(少なくとも、企業のコアな知的財産を侵害することがない限り)一定の開放性が保証されている。また面談を要請する際には、結果の使用目的を明らかにし、面談記録を分析前に匿名化すること、被面談者は面談記録を確認する機会があり、分析の一環として面談記録の利用を明示的に承認する必要があることにも明確にした。

(8) 日程：面談は2016年の6月から8月にかけて実施した。

(9) 言語：すべての面談はドイツ語で行い、その後の分析のために英語に翻訳した。一部の用語は正確に翻訳されていない可能性がある。原因として特に考

えられるのは、面談を実施および記録した調査員と被面談者とはバックグラウンドが異なることと、企業固有の用語が使用されることである。最初の面談記録はドイツ語で作成し、承認のために参加者に送付した。翻訳はその後で行われた。翻訳の問題のため、その後英語版の面談記録を直ちに送付することを決定した。これにより、判断できる限りで翻訳の正確さをチェックし、面談記録が被面談者の意見を正しく反映していることを確認する機会を被面談者に与えることができた。さらに被面談者は、特定の回答について説明および訂正を加える機会も与えられた。

(10) 分析の妥当性:29の質問は、Fraunhofer IESEの4人の研究員が分担し、回答の共通性と差異について分析した。各研究員はそれぞれ独自に回答の記録および分析を行った。結果に関するピアレビューは行わなかったものの、一連のグループミーティングを開催し、各自の記録および分析の成果物を提示して議論した。さらに、研究員は矛盾または一致する記述など、分担した質問グループ間の様々な観点について議論を試みた。しかし、解答の記述はいずれもおおよそ一貫しており、分析プロセスで実際に矛盾点は見られなかった。最終的に、4人の研究員は本報告書の一部として分析結果の解釈を記述した。その後、すべての分析結果は4人の研究員全員によって査読された。

2 分析結果

第2項は、29の質問（12の主質問と各補足質問）に対する回答を分析したものである。質問は以下の4部に分類される。

1. 回答者とその企業（組織）／部署の背景
2. 回答者が直面したシステムズエンジニアリング関連の課題
3. 課題に対処するための解決法と実践
4. システムズエンジニアリングと企業の全般的な能力・機能が将来的に向上する見通し

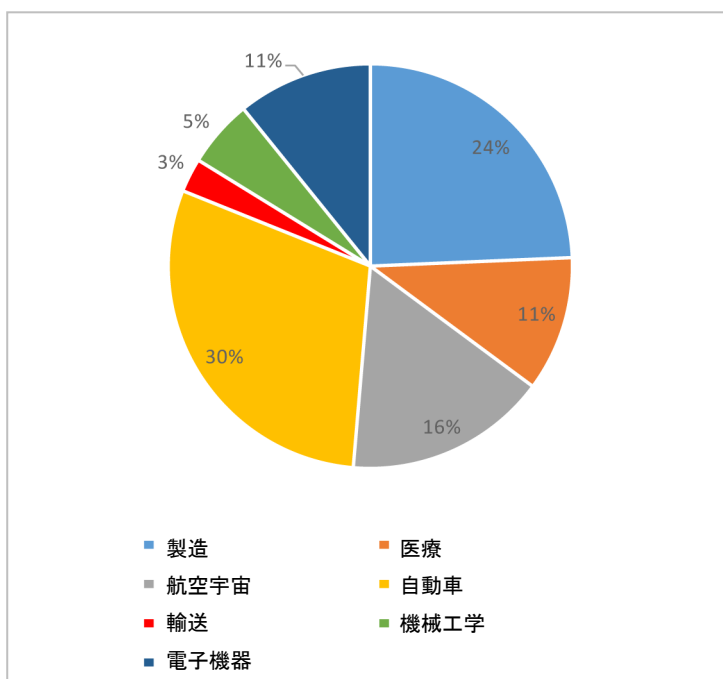


図1：回答者のドメイン別内訳

全部で34企業の42名に参加要請を送付した。そのうち22名が面談を承諾した。最終的に18企業20名との面談を実施した。実施した20名との面談のうち、6つの企業が中小企業、14が大規模企業として分類された。回答者の属性業界（ドメイン）の分布を図1に示す。企業の大部分は自動車および製造ドメインで、それ以外は航空宇宙、輸送、医療と続く。数社は電子機器および機械工学ドメインに属する。

以下に、各面談部分の質問を本調査・分析の回答者に提示された形式で記す。また、質問ごとに回答の分析を質問文の下に示す。

2.1 第1部：回答者とその企業（組織）／部署の背景

Q1：あなたの企業における役割と、所属組織（部署）を教えてください。被面談者は、企業内の役割に応じて上級管理職（CEO、COO、取締役）、エンジニア（システム・エンジニア、システムアーキテクト、エンジニア、要求エンジニアなど）、および中間管理職（プログラム・マネージャー、プロジェクト・マネージャー、品質管理者など）の3つのグループに分類された。

合計で20名の参加者が面談を受けた。そのうち4名が上級社員、8名がエンジニア、8名が中間管理職であった。

12名の回答者が企業の開発部門を代表し、3名は経営職にあり、3名が研究部署に属していた。2名の回答者は複数の部署にまたがる役割を果たしていた。

Q2：あなたの企業（組織）／部署はどんな種類の製品を製造していますか。また、あなたの勤める企業が今後5年間で直面する、製品と製品開発を根本的に変える環境変化は何だと思えますか。

企業は、ソフトウェア（回答者の44%）、ハードウェアまたは機械（回答者の35%）、電子機器（21%）など、様々な種類の製品を製造している（一部の企業は種類が異なる複数の製品を製造しているため、この質問には複数の回答が許可された）。

企業は現在、製品開発において多くの変化に直面している。共通するのは、例えば、要求がますます複雑になっている（回答の60%）、市場投入までの時間、あるいは研究開発フェーズが短縮されている（55%）、カスタマイズ製品を求める顧客の要望により製品が多様化している（回答者の50%）などである。回答者の45%が、コスト圧力とグローバル製品開発の増加を最近の変化として挙げている。共通に認識されている最近の変化について図2に示す。

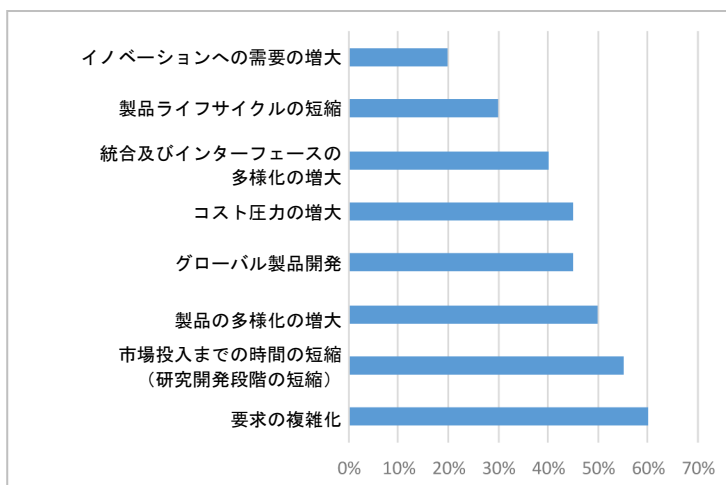


図 2 : 最近の課題

回答者の多くは、現在の傾向が今後 5 年間続くと想定しているが、回答者によると、今後の主要な変化の傾向は、複数の専門分野にわたる開発の増加、コスト圧力の増大、市場投入までの時間の短縮（挙げられた割合はそれぞれ 20%）であろうという（図 3 を参照）。

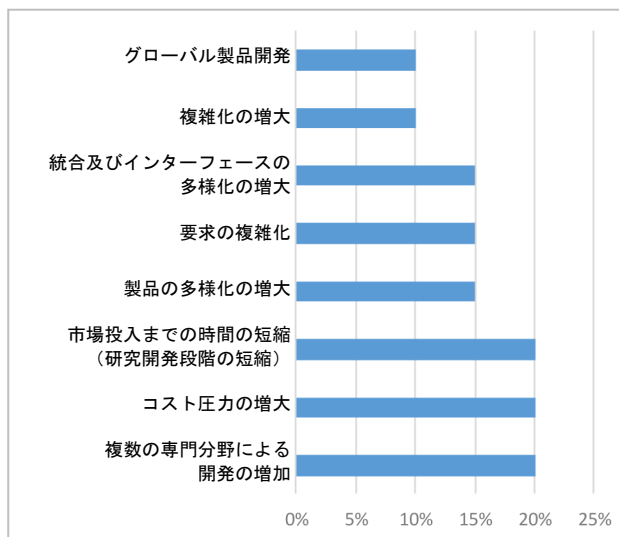


図 3 : 今後 5 年間の傾向

2.2 第2部：回答者が直面したシステムズエンジニアリング関連の課題

Q3： 御社の製品でソフトウェアはどのような役割を果たしていますか。

回答の85%が、ソフトウェアの役割を「非常に重要、重要、または不可欠である」と位置付け、10%は無回答。5%は製品によって重要性が異なるためこの質問に対して回答を与えることはできなかった（図4）。

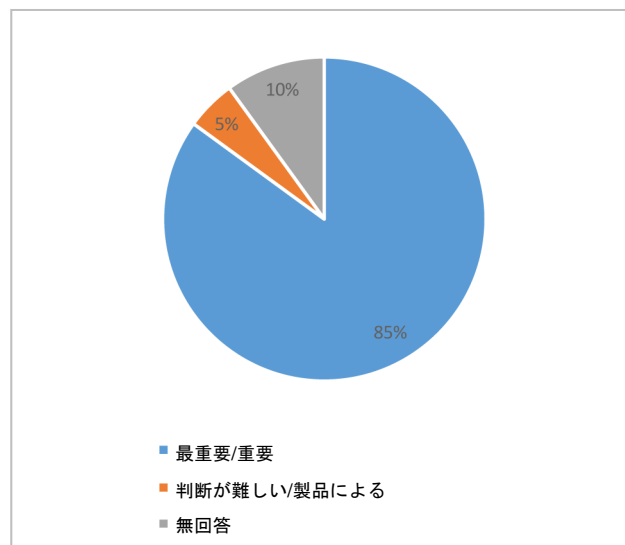


図4：製品におけるソフトウェアの役割

Q3.1： 現在、開発総予算のうちソフトウェア／ソフトウェア開発が占める通常の割合は（およそ）どのくらいですか。

回答者の35%がソフトウェア／ソフトウェア開発予算は総予算の最大50%であると見積もり、35%が最大70%であると見積もっている。さらに回答者の15%は予算の最大90%をソフトウェア／ソフトウェア開発に割り当てることを計画している（図5）。被面談者の一部は、総予算のうちソフトウェア／ソフトウェア開発が占める割合を見積もる立場になかった（回答の5%）。

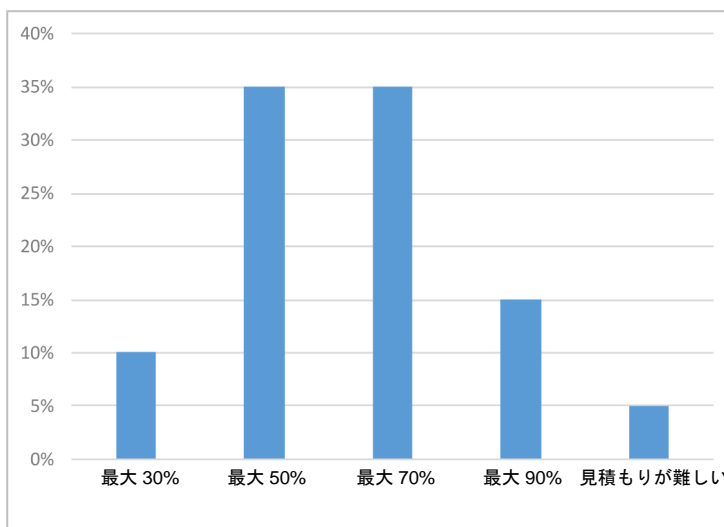


図 5：開発総予算の中でソフトウェア／ソフトウェア開発が占める割合

Q3.2：ソフトウェア／ソフトウェア開発は今後 5 年間でどのくらい増大すると予測しますか。

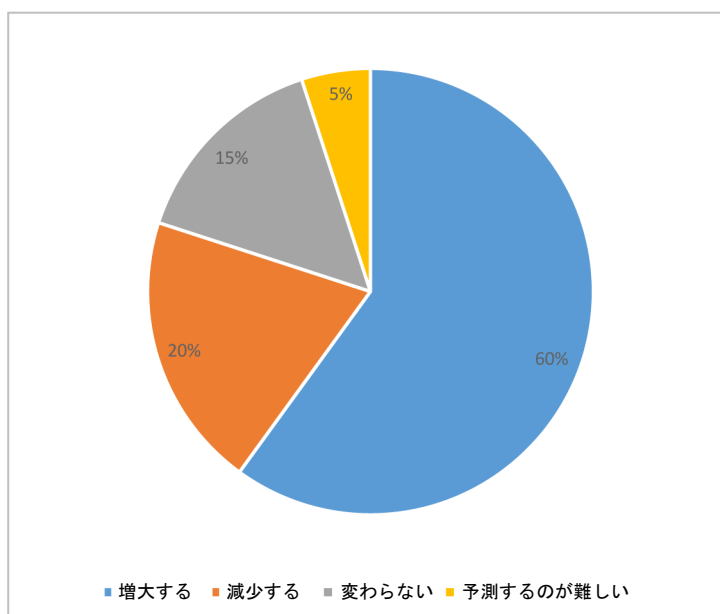


図 6：5 年後にソフトウェア／ソフトウェア開発が占める割合

ソフトウェア開発への支出については、回答者の 60%が今後さらに増加すると予測している一方、回答者の 15%は削減しようと努力していると回答した。削減努力の大多数の理由は、個々のプロジェクトでの調整ではなく、よりよい品質への工夫、開発者数の低減、製品開発に則った事業計画が求められてことが挙げられる。また、以前にも増してソフトウェアのコーディング作業に代わ

るソフトウェアコンポーネントの組み合わせによる開発が求められていることも理由の1つだ。なお、20%は何も変わらない、5%は回答を予測するのが難しいと回答している（図6）。

Q3.3：増大するとすれば、その原因は何ですか。また、それは企業にどのような変化をもたらしますか。

図7で分かるように、ソフトウェア／ソフトウェア開発の予算の割合が増える原因としては、標準化されたソフトウェアアーキテクチャの開発が増えること（15%）と、今後求められる機能レベルに応じたソフトウェア開発が増えること（15%）という回答があった。また、デバイスのネットワーク機能／接続性が大幅に増大するという予測もある（15%）。10%が企業における部署の種類の増加、ドメイン関連の再編成など、企業面での変化を予測していると答えた。インテリジェントクラウド（クラウドコンピューティング、ビッグ・データ）と、テストやシミュレーションで進む仮想化も、概して重要な役割を果たすと考えられている（それぞれ10%）。

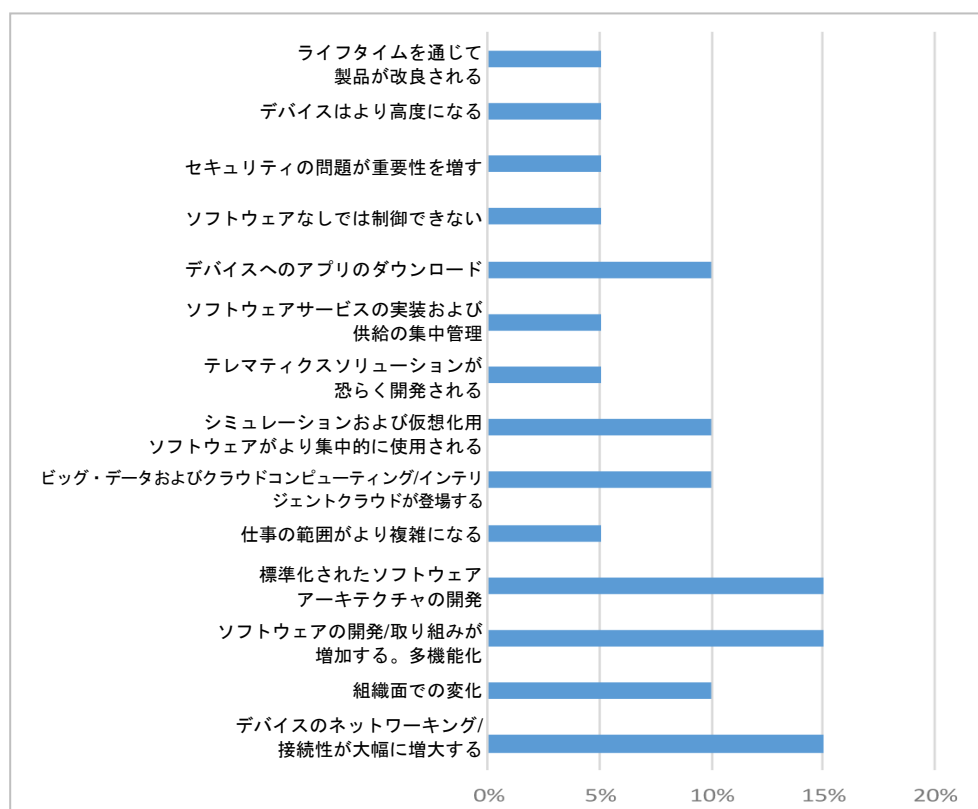


図7：ソフトウェア／ソフトウェア開発予算の割合が増える理由の内訳

Q4：システムズエンジニアリングの重要性はどのくらいですか。

Q4.1：あなたの企業（組織）／部署の沿革は、ソフトウェア開発プロセスとハードウェア開発プロセスのどちらに由来していますか。

全企業の大部分（約 85%）が、ハードウェア開発またはハードウェアとソフトウェア両方の開発に起源を持ち、ここ数年間でハードウェア開発プロセスからシステムズ・エンジニアリング・プロセスに転換している（図 8）。これはとりわけ大規模企業に当てはまり、いずれもハードウェア開発に端を発している。中小規模でハードウェア開発のみの企業は 30%に過ぎず、全企業の 15%がハードウェアとソフトウェア両方の開発をバックグラウンドとしている。

全企業の約 15%が創業当初からソフトウェア開発を行っている。もちろん、これらの企業は今もソフトウェア開発手法を採用しているが、ソフトウェア開発プロセスのみから、システムズ・エンジニアリング・プロセスへの転換も果たしている。顧客要求が個別のソフトウェアシステムではなく、より包括的なソリューションを求めるようになってきているためである。

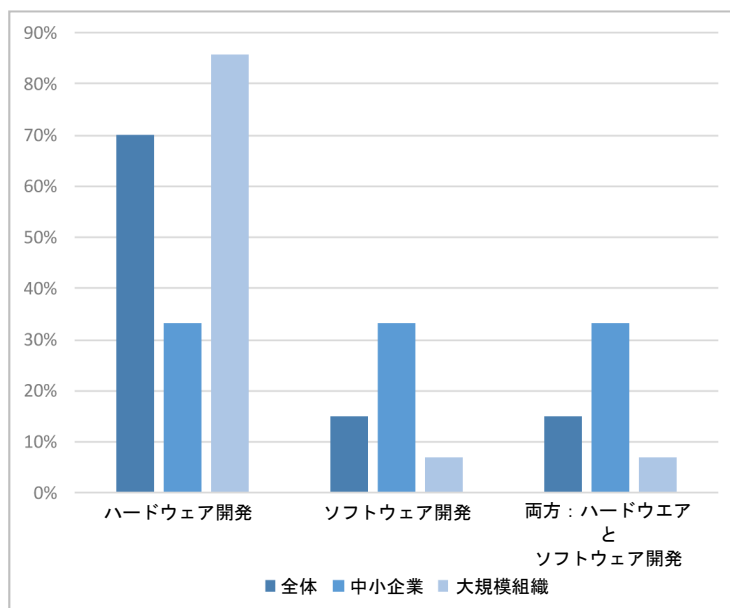


図 8：企業の由来

Q4.2：あなたの企業（組織）／部署が以前の開発プロセスからシステムズ・エンジニアリング・プロセスに転換するきっかけを教えてください。

企業を従来の開発プロセスからシステムズ・エンジニアリング・プロセスに転換させるきっかけは多数存在する（図 9）。

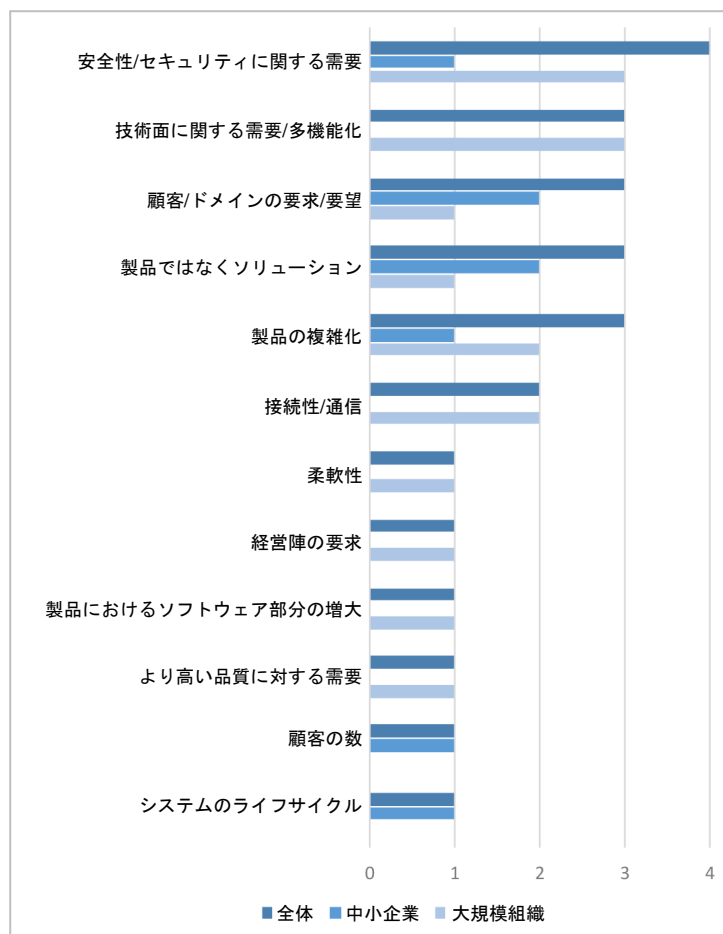


図9：システムズエンジニアリングへの転換のきっかけ

共通するきっかけは、安全性／セキュリティ要求を満たさねばならないこと（例えば、販売許可に先立つ製品登録の必要性）、製品の複雑化が進んでいること（顧客の要求で進む多機能化など）、小規模なハードウェアまたはソフトウェア製品のみではなくハードウェア、ソフトウェア、およびサービスから成る包括的なソリューションが必要とされていること、あるいは製品の相互接続性とネットワーク機能が向上していること（ネットワーク化した運用あるいはクラウドサービス）などが挙げられる。

一部の企業が、個々の顧客向けに限定した製品の製造から、顧客別調整の必要がなく、柔軟に構成可能な大量市場向けの製品／ソリューション開発への転換を図っている。こうした企業は、この転換はシステムズエンジニアリングのアプローチによってのみ達成可能であると主張している。

自動車向けのドメインで、同じような転換のきっかけが見られたのは、今をさかのぼる 1990 年代からである。機械制御から、アナログ制御システムを利用

するハードウェア／電子制御を経て、完全にソフトウェア制御されるシステムへという転換が起きたときのことだ。これは、自動車メーカーの間で最初にシステムズエンジニアリングが導入された時期に当たる。

最終的に、直近6年間（2010～2015年）で、ほとんどの企業がエンジニアリングプロセスをシステムズ・エンジニアリング・プロセスに転換したことが確認できる。

Q4.3: システムズエンジニアリング（プロジェクトプロセス、技術的プロセス、合意プロセス、組織的プロセスを含む）はどのくらい重要だと思いますか（1=重要ではない～10=存続のために不可欠の範囲から選択）。

すべての回答者が、それぞれで実装したシステムズエンジニアリングが重要、非常に重要、または不可欠であると述べている（図10）。回答で最も低い重要度は5（中程度の重要性）で、最も高い値は10（存続のために不可欠）。平均すると7.6であり、重要であることを意味する。

参加企業の約25%にとって、このプロセスは真に不可欠である（重要度が9か10）。また参加企業の約35%がシステムズエンジニアリングは中程度の重要性（重要度が5か6）しかないと答えている。その他の参加企業はその中間の値を選択している。標準偏差は1.5で、これは回答の違いが僅差であることを意味している。

システムズエンジニアリングが何の役割も果たしていない、あるいはわずかな役割しか果たしていないとした回答者はいない。大規模企業と中小企業間で有意な違いは見られない。

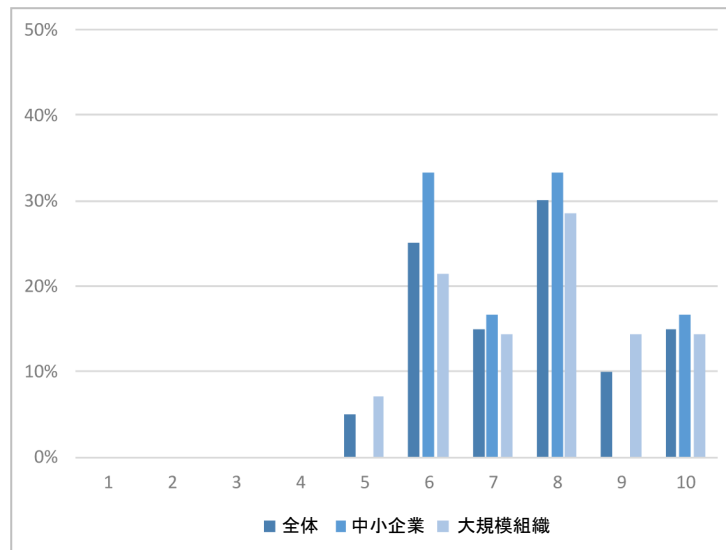


図 10：現在におけるシステムズエンジニアリングの重要度

Q4.4：システムズエンジニアリングはあなたの企業（組織）／部署にとって5年後にはどのくらい重要になるでしょうか。

ほぼすべての企業が、システムズエンジニアリングは今後ますます重要になると予測している。重要度は、今後5年間に平均で7.6から8.7へと大きく伸びる見込みである（図10から図11への重要度が上向きに推移していることに注目）。この上昇は、すべての種類および規模の企業間、ならびにすべての業務ドメイン間で共通して見られる。それでもやはり、中小企業より大規模企業のほうが、5年後の重要度を高く予測していることが、図11から分かる。システムズエンジニアリングは今後、中小企業より大規模企業で重要な役割を果たすだろうと解釈できる。

標準偏差は1.5から1.1へと低下しており、これは5年後に予測される重要度が、8.7という平均の重要度にさらに集中している（同じように重要度が高くなると予測している企業が増えた）ことを意味する。

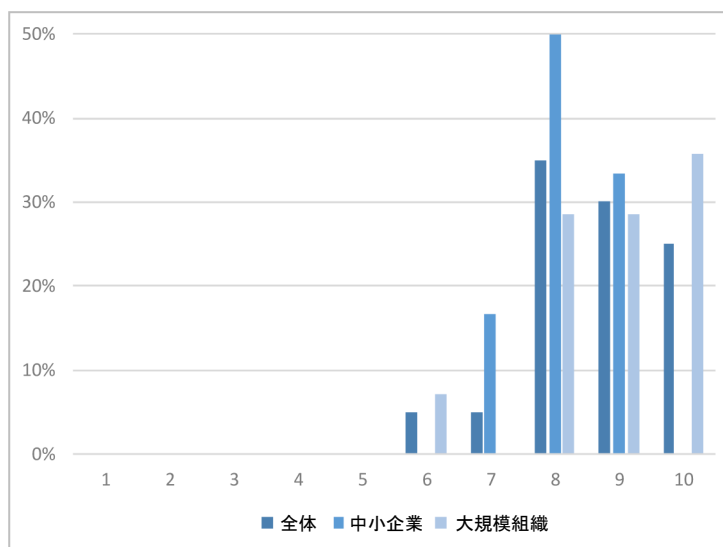


図 11：5年後のシステムズエンジニアリングの重要度

Q4.5：なぜシステムズエンジニアリングが重要になると思いますか。

ほとんどの回答者は、システムズエンジニアリングのプロセス、手法が重要である理由として、顧客からの製品の高品質要求と、プラットフォーム化／統合化の要求のように製品の複雑化が進んでいると見ている（図 12）。

中小企業の場合、主な理由はドメインの需要、顧客／サプライヤーの需要、製品品質の維持／向上、効率性／コスト削減であり、これらはシステムズエンジニアリングのアプローチを必要とする。

大規模企業の場合、主な理由は製品の複雑さの管理とコンポーネント／プラットフォーム要求の統合であり、これらもシステムズエンジニアリングのアプローチを必要とする。

近い将来、医療業務ドメインに対応することを計画している企業もある。そうした場合、そのドメインでは規制および登録上の要求が厳しくなる（ドメイン要求）とともに、特定の開発および文書化プロセスを認定する必要性も出てくる。こうした企業では、このような新しい課題に対処するために、それぞれシステムズ・エンジニアリング・プロセスを今後開発することを計画している。

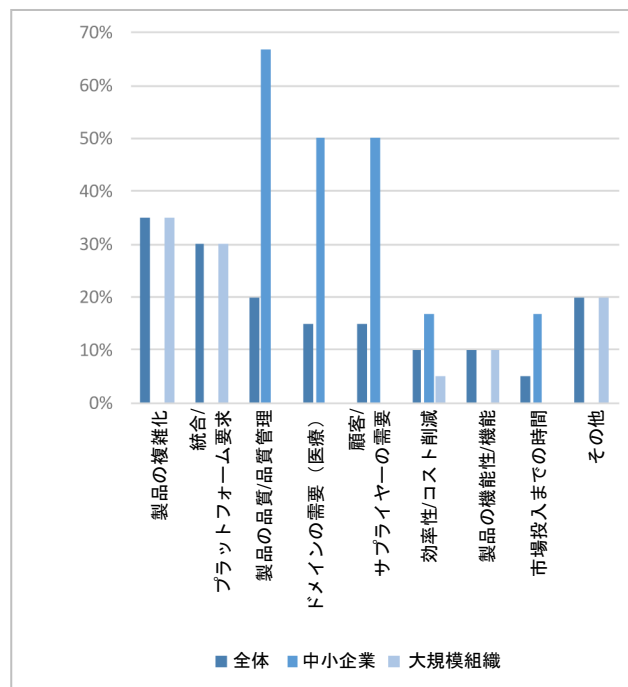


図 12：システムズエンジニアリングが非常に重要である理由

Q4.6: 重要性に変化があるとすれば、変化の理由は何だと思えますか。なぜシステムズエンジニアリングの重要度が増してきているのですか。

Q4.2(システムズエンジニアリング開発プロセスへの転換のきっかけ)と同様、今後 5 年間でシステムズエンジニアリングの重要性が高くなる理由は多岐にわたる(図 13)。

Q4.5(システムズエンジニアリングの重要性)と関連して、システムズエンジニアリングの重要性が高くなっている主な理由は、その製品開発ロードマップにおいて、今後または継続的に開発される製品/ソリューションがさらに複雑化する(より多機能化、新しい技術特性を含めた)ことだと、回答者の約 35%が回答している。

中小企業の場合、システムズエンジニアリングの重要性が高くなる主な理由は、顧客またはサプライヤーの需要、製品品質の保証、製品の複雑さへの対処である。

大規模企業の場合、主な理由は、製品の複雑さへの対処、新しい機能および技術特性の統合、製品コンポーネントとプラットフォームおよびそれに対応する通信機能との統合、安全性/セキュリティの側面である。

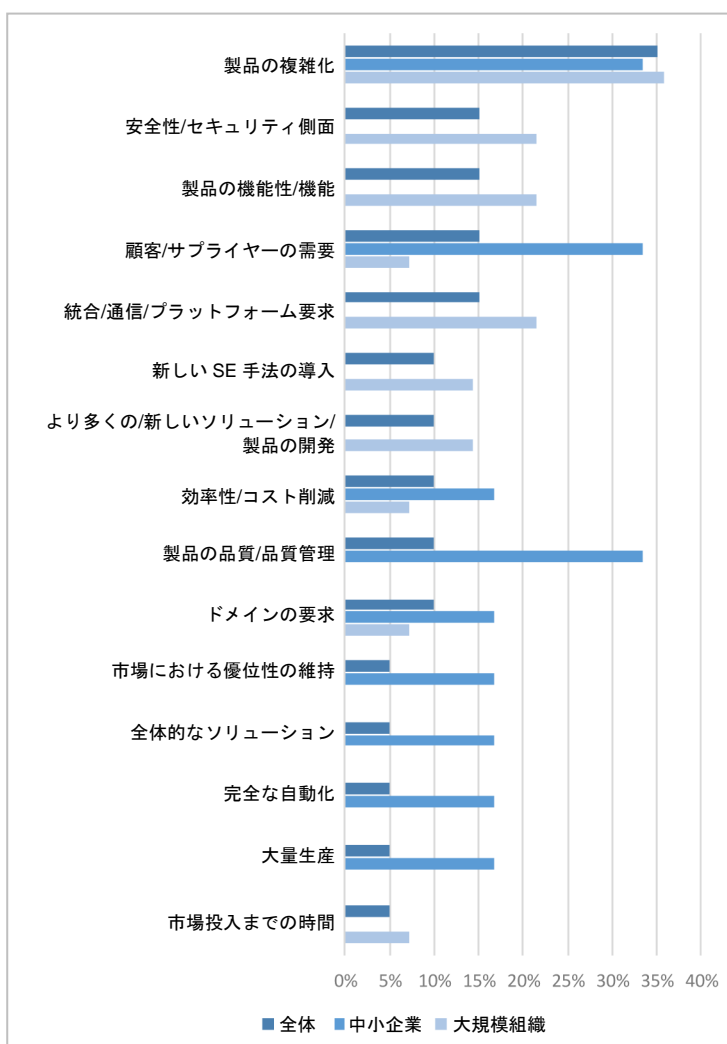


図 13：重要性が変化する理由

Q5：システムズエンジニアリングに関して、あなたの企業（組織）／部署が現在直面している課題は何ですか（製品、システム開発プロセス、組織構造、必要な能力などに関して）。

ほぼすべての企業が現在直面している最大の課題は、変化に対応できる組織改革であり、それに要求およびインターフェースの管理が続く（図 14 参照）。その他の重要な課題としては、モデリングとシミュレーション、データおよび情報管理、製品品質の保証、専門分野内および専門分野間の方法論的スキルの確立／維持、一貫性のあるツール・チェーン、人材管理などがあつた。

中小企業が直面する主な課題としては、組織改革、専門分野内および専門分野間の方法論的スキル、企業内および企業間での一貫性のあるツール・チェーンの確立、製品品質の保証（信頼性、安全性、セキュリティなど）が挙げられる。

大規模企業が直面する主な課題としては、複雑なシステムまたはシステム・オブ・システムズ（SoS）の要求およびインターフェースの管理、モデリングとシミュレーション、組織改革による新しいアプローチやテクノロジーへの対応、企業内でも企業間でも一貫性のあるツール・チェーンの確立、製品品質の保証（信頼性、安全性、セキュリティなど）が挙げられる。

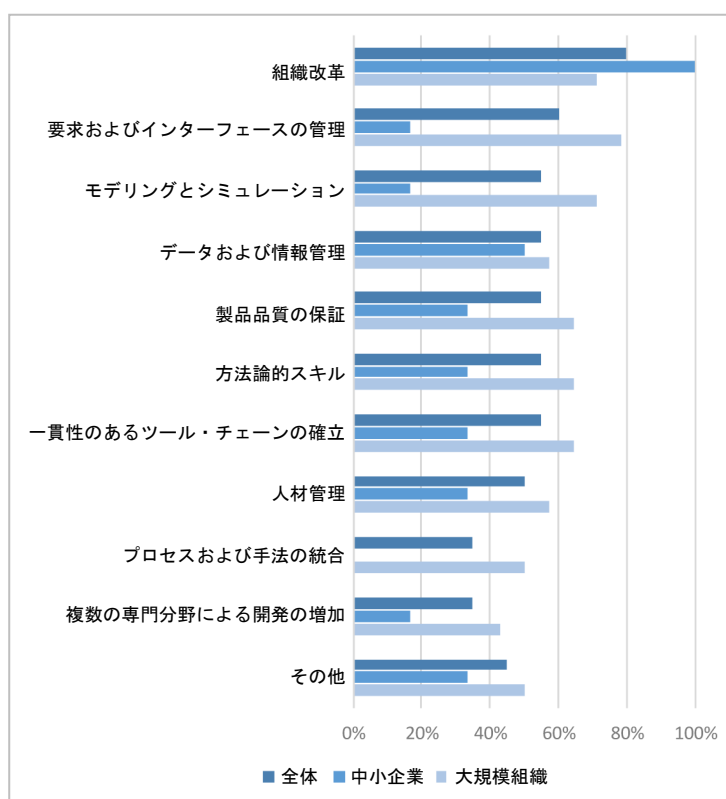


図 14：システムズエンジニアリングにおける現在の課題

また、ほぼすべての企業が、現行の製品ロードマップ、プロセス統合、インフラストラクチャまたはツール・チェーンをもって、上記以外の課題に取り組んでいる。図 14 では、そうした個別の課題を「その他」の項目にまとめている。「その他」としては、以下の課題がある。

- 顧客数および製品導入数の増加
- ポートフォリオ管理への対応

- 企業における新しい専門分野としてシステムズエンジニアリングを確立すること
- 企業におけるシステムズエンジニアリングの受容度の向上
- システム・エンジニアのリーダーシップ（責務および活動を強かに調整ならびに制御）の確立
- 開発の複雑さへの対応
- イノベーション能力・機能の維持
- システム・オブ・システムズ（SoS）開発調整
- レガシーソフトウェアのサポートと、今後の開発のシステムズエンジニアリング手法への転換

Q6: あなたの企業（組織）／部署が、今後 5 年間で直面するシステムズエンジニアリング関連課題は何だと思えますか。

ほとんどの企業（組織）／部署で、システムズエンジニアリングに関する将来的な課題は現在直面している課題と変わらない。

加えてシステムズエンジニアリングに関するその他の将来的な課題は、業務ドメインと、各企業の個別のシステム開発プロセスによって多岐にわたる。

技術的プロセスのレベルでは、これらの課題の範囲は、モデルベース開発からアジャイル開発またはラピッドプロトタイピングを経て、仮想プロトタイピングおよびシミュレーションによる検証と妥当性確認まで及ぶ。到来するシステム・オブ・システムズ（SoS）に備えた要求およびインターフェースの管理の向上という回答もあった。

プロジェクトプロセスのレベルでは、投入する製品の多様化拡大、製品品質の確保（特にセキュリティおよび安全性に関して）といった新しい課題が重要性を増しつつある。このレベルについて中小企業は、データおよび情報管理と組織変革の導入に特に関心を持っている。

組織プロセスのレベルでは、企業におけるデジタル化への転換プロセスの対応を目的とした組織改革、あるいはシステムズ・エンジニアリング・プロセスを実際に実施するための厳格なリーダーシップといった新しい課題も重要であることが見受けられる。いくつかの組織は、システムズ・エンジニアリング・プロセスのノウハウを築いて保持するために、人材管理に重点を移すことを計画している。

図 15 に、今後のシステムズエンジニアリングの課題に関する多様な結果の概要を示す。

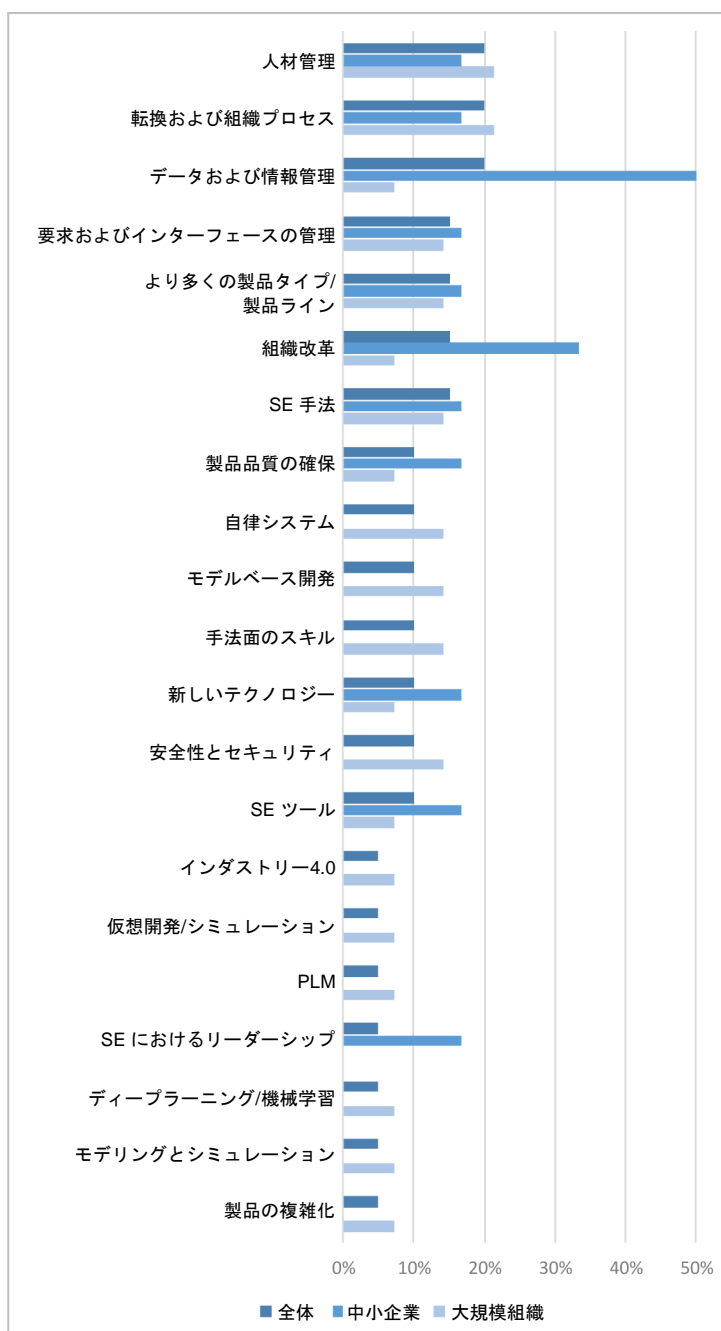


図 15 : システムズエンジニアリングにおける今後の課題

ここでは、企業の種類または規模に共通する特定の傾向は見られない。しかしながら、個々の業務ドメインでは新機能に対する特定の傾向が存在する。例えば自動車ドメインでは、自動運転の登場によって、ネットワーク接続されたシステムの要求およびインターフェースの管理、製品/ソリューションのモデリングおよびシミュレーション、安全性要求をめぐる新しい課題が生じている。

2.3 第3部：課題に対処するための取り組みと実践

Q7: 御社のシステムズ・エンジニアリング・プロセスはどのようなものですか。

企業のシステムズ・エンジニアリング・プロセスにより、プロジェクトまたはシステムで想定されるあらゆる側面が考慮され、全体として統合することが可能になる。長年にわたって進化してきたシステムズエンジニアリングの標準は多いが、中でも国際標準として最も広く認知されている ISO/IEC 15288 (Systems and software engineering -- System life cycle processes) は、以下の4つのプロセス分野を定義している。

1. *合意プロセス*：企業の外部および内部の企業体との合意形成をするための要求を明確にする[ISO15]。
2. *組織のプロジェクトイネーブリングプロセス*：プロジェクトの開始、支援および制御において製品またはサービスを取得ならびに供給する企業の能力・機能の発揮を図る [ISO15]。
3. *技術管理プロセス (プロジェクトプロセス)*：計画の確立および発展、計画の実行、計画に対する実際の達成度と進捗の評価、実行から達成までの制御に使用される[ISO15]。
4. *技術的プロセス*：システムに対する要求を定義し、要求を効果的に製品に転換し、必要に応じて確実に製品の量産ができるようにする。また製品を利用して求められるサービスを提供し、そのサービスの提供を維持し、寿命に達した製品を廃棄する際に使用される[ISO15]。

面談対象の専門家たちには、何らかのプロセスが定義されている範囲で、全社的なシステムズ・エンジニアリング・プロセスについて概要を示すように求めた。その点で、得られた回答は通常のプロセス評価とは比較できない。なぜなら通常のプロセス評価では、特定のプロセス分野でプロセス目標を達成する能力・機能の評価するよう専門家に求めているからである。

しかしながら、企業の95%は全体的または部分的に技術的プロセスを確立している。中小企業の場合は明らかにシステム要求の定義、実装プロセス、および検証と妥当性確認に重点を置いている。大規模企業の場合は、システムズ・エンジニアリング・プロセスが特定の標準に従っているため、ポートフォリオの幅がもっと広い。大規模企業の大部分(85%)が合意プロセス(取得および供給)を確立している。これは、大規模企業が中小企業などから納品される製品部品を組み立てることによってシステムインテグレーターとして機能するからである。

大多数の企業(中小企業:65%、大規模企業:100%)がプロジェクトを実行し、その結果、技術管理プロセス(プロジェクト計画、制御、リスク管理、構

成管理、品質管理)を確立している。大規模企業の93%がプロジェクトイネープリングプロセスを実装し、システムズエンジニアリングプロジェクトを実行する体系的なアプローチを示している。

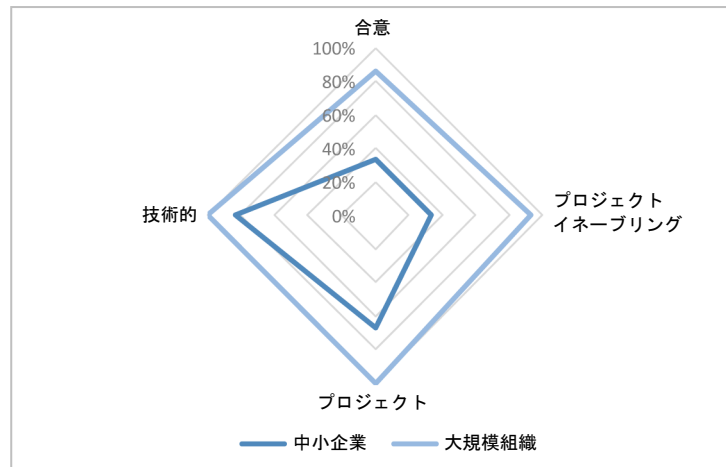


図 16 : システムズ・エンジニアリング・プロセスの分野

Q7.1 : システムズエンジニアリングの分野で、あなたの企業（組織）／部署に関連する標準またはデファクト標準は何ですか。

規模に関わらず、企業（組織）間のデファクト標準としてVモデルが認知されていると言える。さらに、EN ISO 9001 は中小企業にとって、製品品質の管理に関して顧客および他のステークホルダーのニーズに対応する上で最低限の要求を満たすための指針を与えている。

システムズエンジニアリングへの取り組みが進んでいる大規模企業は、ISO/IEC 15288 標準を利用している[ISO15]。自動車ドメインでは、国際標準である ISO/IEC 15504 の派生として Automotive SPICE [VDA15]が採用されている。また、これらの企業からは、機能安全に関する ISO/IEC 26262 も重要な標準であると述べられていた。その他、IPC-A-600 と ISO/IEC 42010 もドメイン固有の標準として挙げられている。

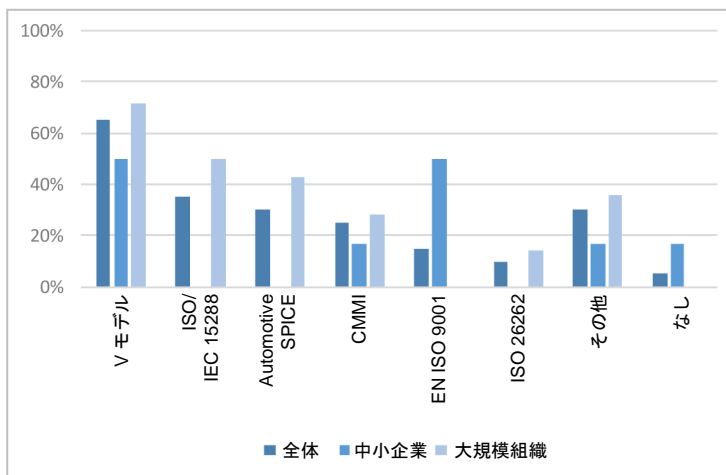


図 17: デファクト標準

Q7.2: 御社のシステムズ・エンジニアリング・プロセスはどのライフサイクルモデルに従っていますか。

全企業において最も頻繁に使用されているライフサイクルモデルは、ハードウェア開発では反復型の各 V モデル (70%)、ソフトウェア開発ではアジャイルである (45%)。中小企業の 42% はライフサイクルモデルをまったく持っていない。

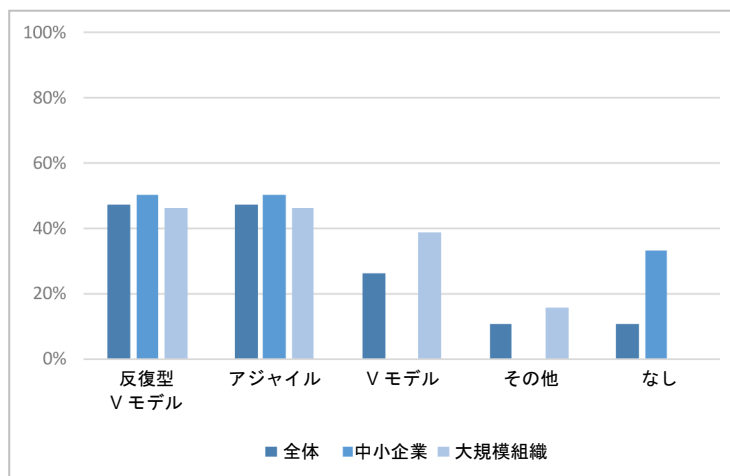


図 18: ライフサイクルモデル

Q7.3: あなたの企業 (組織) / 部署では何種類の開発プロセスが存在していますか (それは標準化されていますか、それとも個人的なアプローチに従っていますか)。

中小企業の大部分 (83%) は、1 つの共通の開発プロセスを定義し、派生はほとんどない。大規模企業の 86% では、複数の種類の開発プロセスが存在してい

る。しかし、大規模企業の被面談者が認めているように、標準の開発プロセスが1つ定義されている。この標準プロセスはプロジェクトのニーズに応じてテーラリングされている。図19で示すように多数の種類が存在するのはそのためである。

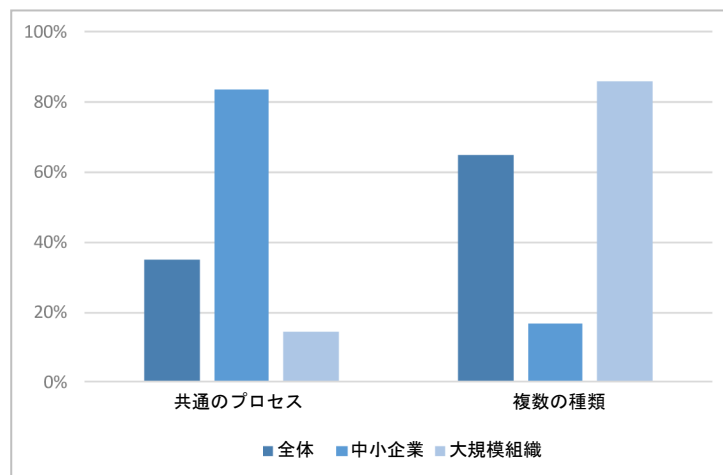


図 19 : プロセスの種類

Q8 : システムズエンジニアリングにおいて複数のステークホルダー／専門分野をどのように統合していますか。

Q8.1 : あなたの企業（組織）／部署ではどんな専門分野／ステークホルダーがシステムズエンジニアリングに関与していますか。

規模に関わらず全企業を通じて、システムズ・エンジニアリング・プロセスには多様な専門分野が関与している。しかし、ハードウェアエンジニアやソフトウェアエンジニアといった古典的な開発の専門分野は、企業内でいまだに「隔離された」専門分野と見なされている。また「システムズエンジニア」という専門分野は、大規模企業でしか定義されていない（43%）。

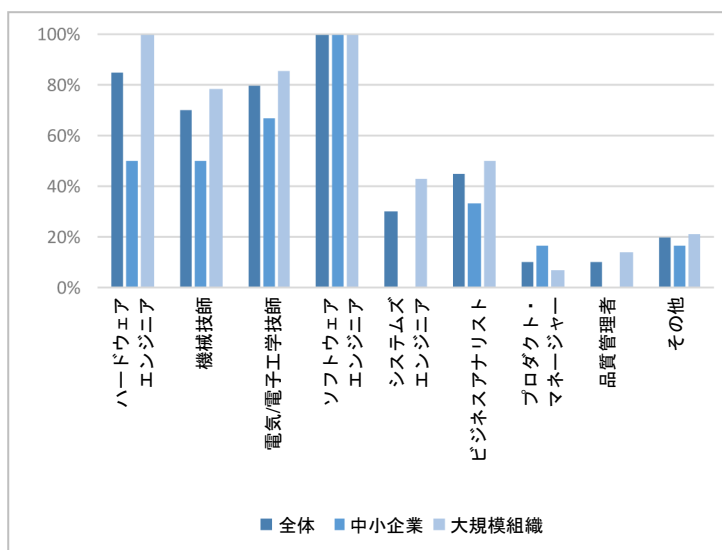


図 20 : システムズエンジニアリングの専門分野

図 21 に示すように、全企業を通じて顧客（85%）およびサプライヤー（75%）が最も重要なステークホルダーである。ビジネスユニットまたは他の企業体は、20%の企業にとって重要なステークホルダーである。官公庁（政府、地方自治体、法規制）については、主に大規模企業が関心を持っている（30%）。

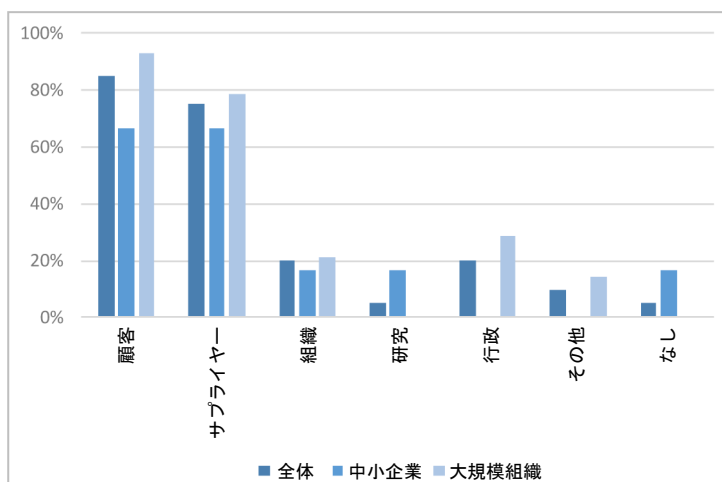


図 21 : システムズエンジニアリングのステークホルダー

Q8.2: あなたの企業（組織）／部署では各ステークホルダー／専門分野はどのように連携あるいは調整されていますか。

大規模企業では、各ステークホルダーならびに専門分野を、定義されたプロセスに従って連携および調整している（85%）。小規模な企業の場合は、製品開発を取りまとめる手段として個人間のコミュニケーションが選択されている（20%）。個人間コミュニケーションには、電話をかける、電子メールを出す、直接会って話をするなどがある。定期的なチーム会議であると答えたのは、中小企業の20%、大規模企業のわずか8%であった。これは、大規模企業の従業員は会議を開くことが習慣づいており、特に言及する必要はないと思っていた可能性がある。

プロジェクトに対する共通の理解を得るためのワークショップや混合チームの設置は、全企業において確立されている（中小企業で80%、大規模企業で57%、全体で50%）。企業の境界を超えて共通のデータプールやツールを使用することは、全企業にとって課題となっている（中小企業で20%、大規模企業で50%）。

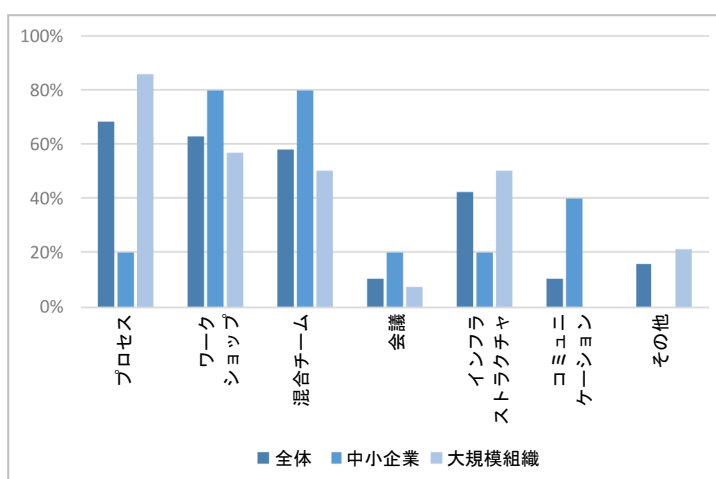


図 22 : ステークホルダーの調整

Q8.3 : あなたの企業（組織）／部署では、どのように外部サプライヤーを開発活動に組み入れていますか。

開発活動へのサプライヤーの組み入れは、主にサプライヤー契約によって実施されている（中小企業で40%、大規模企業で93%）。大規模企業では、外注管理を通じて緊密な関係が確立されている（43%）。また、大規模企業の場合、開発活動に外部ナレッジを提供する一時的な人材リースの考えが広く（64%）採用されている。開発活動で共通の理解を得るために中小企業で行われている手段としては、外部サプライヤーと共にワークショップを行うといったトレーニング活動がある（40%）。

中小企業の20%は、ハードウェアおよびソフトウェアに関してサプライヤーを持っていない（図 23 参照）。

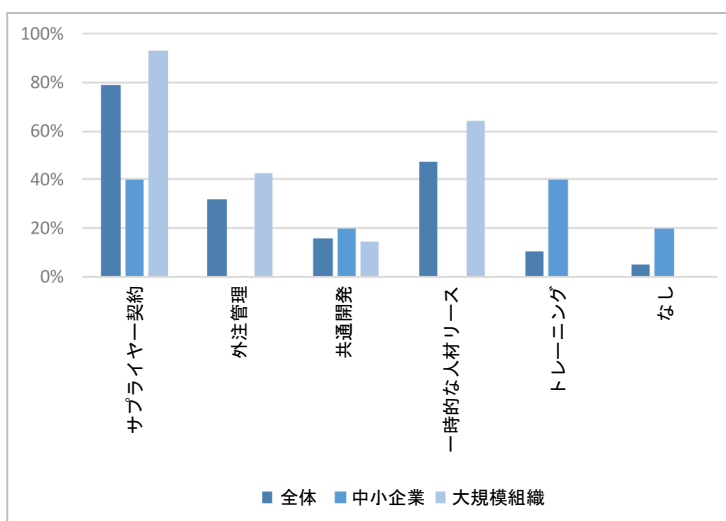


図 23 : 外部サプライヤーの統合

Q8.4 : 御社の製品で、外部から供給される製品／部品の割合はどのくらいですか。

図 24 に示すように、ほぼ 60%の企業では外部供給される製品部品は 25%未満にとどまっている。その一方、26%の企業が外部サプライヤーから最大 50%の部品の供給を受けている。外部から供給されている部品の平均的割合は、全企業を通じて約 25%である。

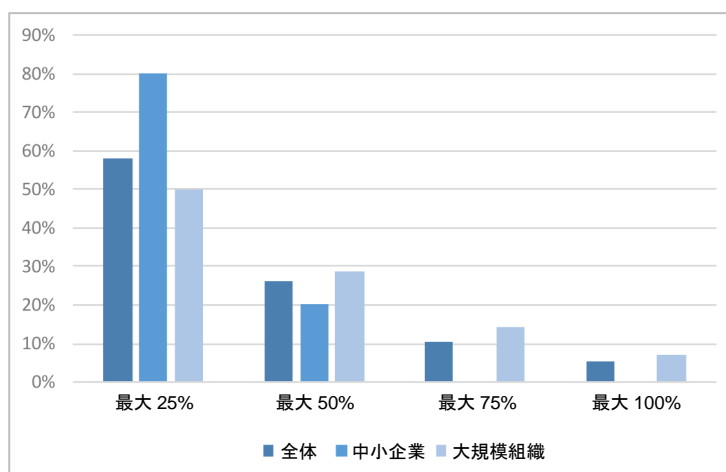


図 24 : 外部生産

一般に、大規模企業のほうが中小企業より多くの部品を外部サプライヤーから取得している。前述したように大規模企業は中小企業などから納品される製品部品を組み立てることによって、システムインテグレーターとして機能しているという仮説が、これによっても裏付けられている。

Q8.5: 知的財産の観点から、この割合はどれほど重要であると思いますか（1=重要ではない～10=非常に重要な範囲から選択）。

中小企業の過半数以上（68%）が重要度は1であると評価している。これは、（1）大規模企業の製品における割合に比べ、中小企業の製品で使われる外部からの供給部品の総数が非常に少ないことと、（2）多くの場合、中小企業では標準ハードウェアで組み上げることが理由である。

大規模企業のほぼ60%が、この重要度を3より大きいと評価している。大規模企業では、相当量の外部からの供給部品を統合しており、予測可能な製品の品質と量を確保するために、サプライヤーと長期的な取引関係を維持している。

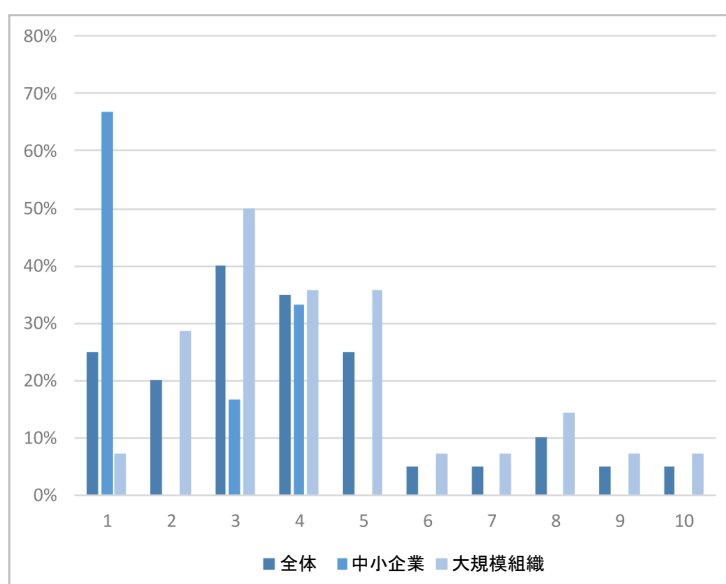


図 25：外部生産の重要度

Q9: システムズエンジニアリングの実践の中核として確立しているものは何ですか。

システムズエンジニアリングの実践の中核とは、企業におけるシステムズエンジニアリングを実装する上で高い重要性を持つ手法、技法またはアプローチであると定義される。

Q9.1: あなたの企業（組織）／部署で、システムズエンジニアリングの実践として確立されている上位3つは何ですか。

図 26 から分かるように、すでに確立している実践のうちで企業が広く（50%近く、またはそれ以上）採用しているのは、モデル駆動開発、要求開発、テスト駆動開発、および検証と妥当性確認に関連する手法、技法、アプローチであ

る。その他の実践として2社以上から挙げたのは、統合されたツール・チェーンと仮想開発、全体的なシステムアーキテクチャなどだった。

また、実践の上位に選ばれたものは大規模企業と中小企業の間で異なっている。違いが特に大きいのは、モデル駆動開発とシステムの検証および妥当性確認で、大規模企業ではそれぞれ60%と80%を超える企業が選択したのに対し、中小企業ではそれぞれ40%未満と約50%しか選択していない。80%を超える中小企業が、確立した最上位の実践としてテスト駆動開発を挙げている。大規模企業の場合、テスト駆動開発は約30%にとどまっている。ただし、大規模企業がテスト駆動開発を行っていないというわけではなく、単に上位3つの実践の1つとして選択しなかっただけである点に留意してほしい。

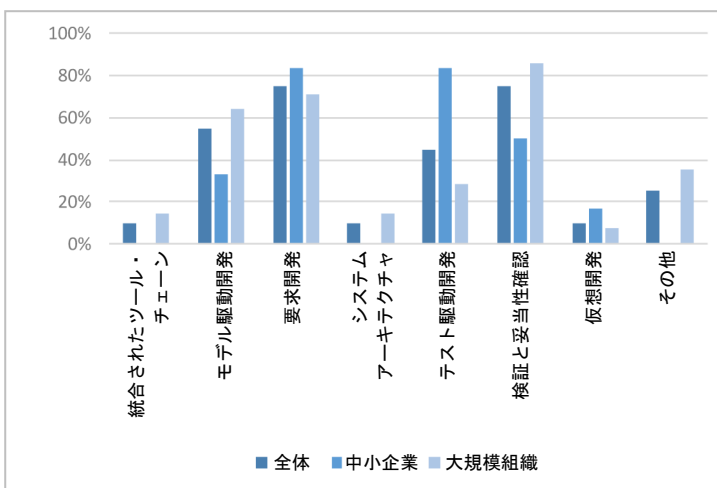


図 26：確立したシステムズエンジニアリング実践の上位

Q9.2：これらの影響を受けるのは、どのエンジニアリングプロセスですか。

最も強く影響を受けるプロセス分野については、技術的プロセスとソフトウェア実装プロセスの分野（ISO/IEC 15288 ならびに 12207 による定義）が、上記実践によって影響を受けていると、回答者の大多数が同意している。図 27 に見られるように、大規模企業と中小企業間との違いは、回答者の総数を考慮するとほとんど無視できる。

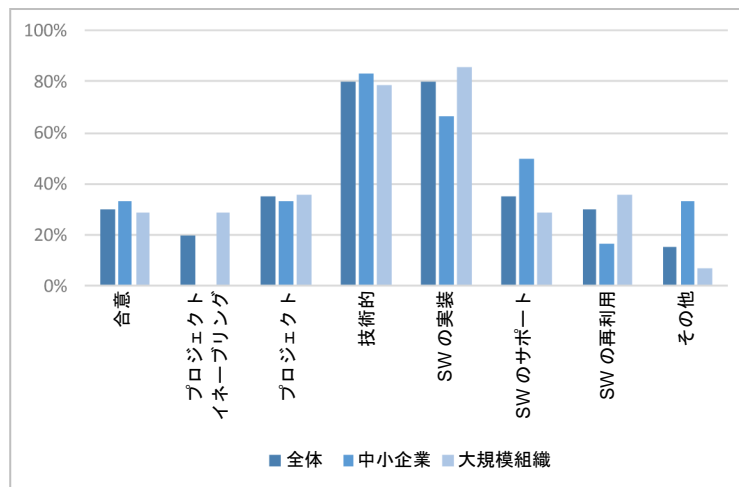


図 27: 影響を受けているシステムズ・エンジニアリング・プロセスの分野 (ISO/IEC 15288/12207)

Q10: システムズエンジニアリングのために、どのようなテクノロジーとツールを使用していますか。

Q10.1: あなたの企業（組織）／部署では、前述したベストプラクティスを支援するために現在どのようなテクノロジーおよびツールを使用していますか。

一般的なテクノロジーに関する質問であったにも関わらず、ほとんどの場合に本調査・分析の回答者が挙げたのは、システムを特定するために使用される言語であった。図 28 に示すように、関連するモデリング言語として大部分が UML を挙げているが、これは驚くに当たらない。大規模企業では、システムモデリングにより特化した言語として SysML (UML ベースの言語) を使用する傾向にある。さらに、ドメイン固有の言語も挙げられた。単独の回答には、DFD (データフロー図)、FMI (ファンクショナル・モックアップ・インターフェース)、OSLC (Open Services for Lifecycle Collaboration)、構造化分析、XML/XMI、IDef0、AUTOSAR などがあつた。

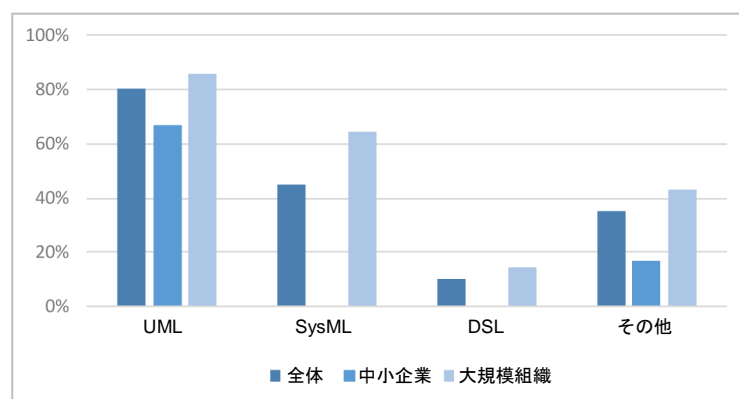


図 28: 使用されている仕様言語

全体で、システムズエンジニアリング関連のツールの使用状況に関しては、本調査・分析研究の回答者から 90 件以上のコメントがあり（そのうち 80%は大規模企業からのもの）、その中で 40 以上の異なるツールまたはツールのコンポーネントが挙げられた。図 29 に、ツールの種類とその使用頻度の概要を示す。

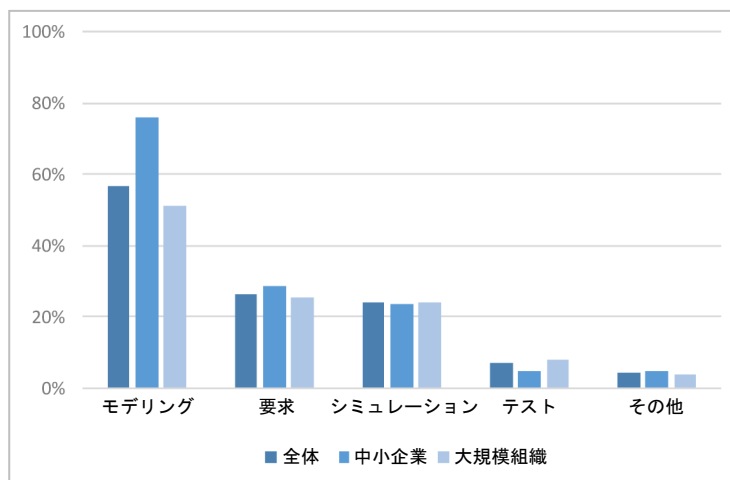


図 29：システムズエンジニアリングにおけるツールの用途

言及されたツールの大部分は、システム全体またはシステムの一部としてのソフトウェアの様々な側面のモデリングに関連している。ドメインによっては、きわめてドメイン特定のツールもあった（適切な CAD ソフトウェアなど）。さらに、前述した実践を支援するものとして、ほとんどが要求固有のシミュレーションツールおよびテストツールを挙げた。

モデリングツールに関しては、回答者の約 50%が「Enterprise Architect」と「MATLAB」を使用していると述べている。要求ツールに関しては、30%が「DOORS」と「Microsoft Office」を使用している。シミュレーションツールに関しては、40%が MATLAB の「Simulink」エクステンションを使用している。テストツールに関しては、様々なツールが挙げられた。

言及されたツールまたはコンポーネントの 90%近くが特定の開発活動の用途固有であるのに対し、多目的ツールあるいは統合ツールスイートは 10%強であった。また、回答の 10%近くで自社開発のツールが挙げられた。そのほとんどはシミュレーションの分野で使用されている（約 5%）。

Q10.2：近い将来どのような新しいテクノロジーが利用されるようになると思いますか。

新しいテクノロジーに関しては、様々な回答が寄せられた。図 30 に、最も多く言及されたテクノロジー分野を示す。そのうち、40%近い割合で最も目立ったのは、非形式的なテキストによる仕様に代わって、形式手法とモデルベース

のシステム開発アプローチを採用することであった。また、近い将来の技術分野としては、よりよく統合されたツール・チェーン、シミュレーションなどの仮想開発、独自の特殊ツールの開発が全般的に必要であると指摘された。

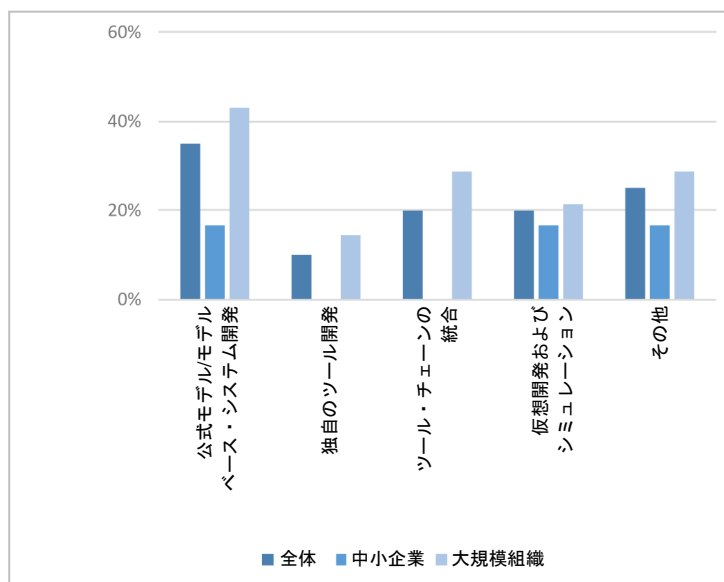


図 30: システムズエンジニアリングを支援する新しいテクノロジーとその必要性

さらに、ビッグ・データ、IoT、サービス指向などのテクノロジーの選択に影響を与える製品関連／機能関連の一般的な傾向もいくつか挙げられた。

2.4 第 4 部: システムズエンジニアリングと組織の全般的な能力・機能が将来的に向上する見通し

Q11: あなたの企業（組織）／部署では、システムズエンジニアリングに関してどの分野が最も大きく改善されると思いますか。

図 31 に示すように、システムズエンジニアリングに関して最も大きな改善の可能性があるのは、仮想開発の拡大と、使用されるツール・チェーンの統合強化で、いずれも 50%を上回っている。これらの要求は中小企業でより強いことが見受けられる。

大規模企業の 40%近くについては、プログラムマネジメント（プロジェクト・ポートフォリオ管理とも言う）の改善についても言及しておく必要がある。大規模企業ほどより多くのプロジェクトの実行を同時に進める必要があるため、これは当然のことだと考えられる。中小企業の 40%近くは、自動化をさらに進めることが、改善の可能性として重要であると考えている。

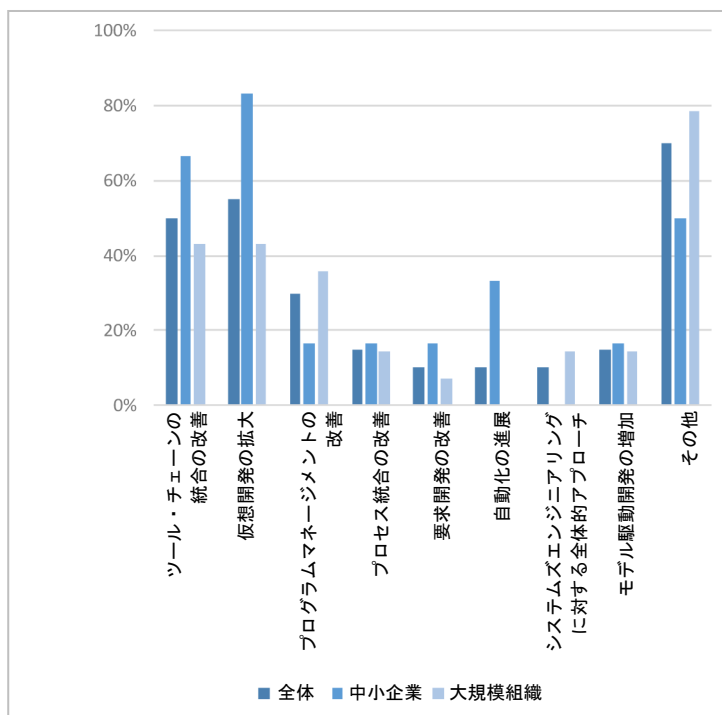


図 31：システムズエンジニアリングに関する改善の可能性がある分野

Q12：企業（組織）／部署では、システムズエンジニアリングに関する能力・機能をどのように改善していますか。

システムズエンジニアリングにおける企業自体の能力・機能の向上方法に関して、様々な回答が得られた。しかし、図 32 から分かるように、大部分は内部および外部のトレーニングプログラムの利用に依存している。しかも、ほぼすべての企業がそのようなトレーニングプログラムを社内実施している。一方、同業者間または研究員との間で知識や経験を交換したり、傾向や解決法について議論したりする目的で、システムズエンジニアリング関連の会議に参加するという答えが、全回答者において 50%を超え、大規模企業において 60%を超えた。

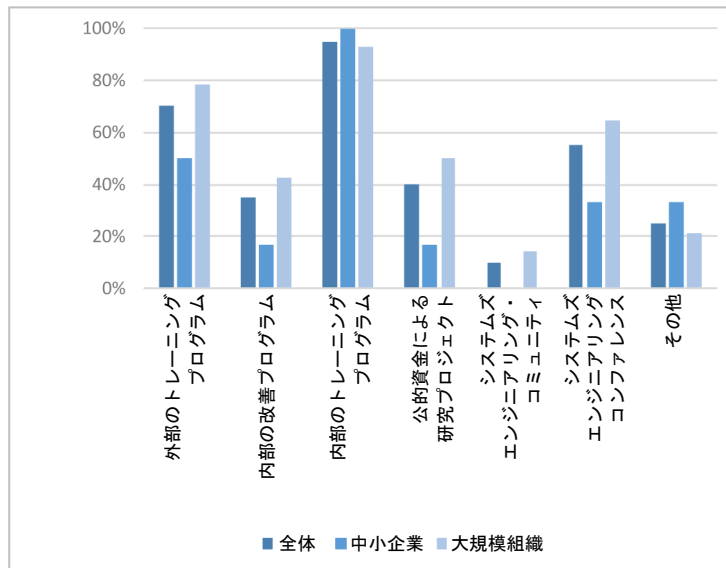


図 32 : システムズエンジニアリングの能力・機能の改善方法

3 本調査・分析で判明した重要項目

面談結果の分析に基づいて導き出された重要項目は、以下のとおりである。

(1) 製品開発の傾向：企業を動かしている主な要因は、システム要求が複雑になっていること（60%）と、顧客の需要によって製品の種類がかつてないほど増えていること（50%）である。これが、市場投入までの時間の短縮（約55%）と併せて、現在のシステムズエンジニアリングへの多大な圧力となっている。今後は、専門分野を超えた開発がさらに駆動要因に加わり（20%）、その結果としてプロジェクトの複雑化・多様化が増々進むと見られる。コスト圧力が増大し、市場投入までの時間が短縮される傾向は、今後も続く予測される。

(2) ソフトウェアの重要性：回答者の約70%がハードウェア開発のみに由来する業種であるとしたにも関わらず、企業の85%以上がその製品ではソフトウェアが主要な役割を果たしていると答えている。また、85%が開発予算の30%以上（最大では90%）をソフトウェア開発に費やしていると述べている。回答者の半数以上が、これは今後5年以内にさらに増加するという予測に同意している。

(3) システムズエンジニアリングの重要性：1（重要でない）から10（存続のために不可欠）までの範囲で、システムズエンジニアリングの重要度の平均値は7.6である。システムズエンジニアリングは今でもすでに非常に重要だが、重要度は今後5年以内に8.7にまで上昇する見込みである。ほとんどの回答者が、システムズエンジニアリングの重要性が高くなる理由は製品がさらに複雑化・多様化することと、顧客が求める製品品質が高くなっていることであると述べている。これは、システムプラットフォームとシステム統合に関する要求に特に当てはまる。

(4) システムズエンジニアリングの課題：80%が、組織変革が第1の課題であると答え、複雑な要求およびインターフェースの管理（特にシステム・オブ・システムズ（SoS））がそれに続く。加えて、将来におけるシステムズエンジニアリングの課題としては、人材管理、およびシステムズエンジニアリングに向けたデータ管理・情報管理を含めた組織管理プロセスが挙げられている。

(5) システムズ・エンジニアリング・プロセス：大規模企業は基本的にISO/IEC 15288 および 12207 のすべてのプロセス分野に取り組んでいるのに対し、中小企業は明らかに技術的プロセスと実装プロセスに重点を置いている。企業が準拠している標準は、ISO 9001 などのごく一般的なアプローチを除けば、かなりドメイン特有である。大規模企業の40%は明示的にISO/IEC 15288 を挙げている。使用しているプロセスモデルに関しては、45%を超える大規模企業

および中小企業がアジャイルモデルに従っていると述べたのに対し、50%を超える大規模企業はウォーターフォールモデルまたは反復型ウォーターフォールモデルに従っている。さらに、80%を超える大規模企業が、標準プロセスの様々な派生を挙げている。

(6) 複数のステークホルダー：システムズエンジニアリング・プロセスには、規模に関わらず全企業を通じて多様な専門分野と、それに対応するステークホルダーが関与している。しかしながら、ハードウェアエンジニアやソフトウェアエンジニアといった古典的な開発の専門分野は、企業内でいまだに「隔離された」専門分野として見なされている。「システム・エンジニア」という特定の役割は、大規模企業でしか定義されていない。大規模企業の85%では、様々なステークホルダーと専門分野が、定義されたプロセスに従って連携および統合されている。中小企業の場合、この数字が20%未満にとどまる。その代わりに、小規模な企業の場合は個人間のコミュニケーションが好まれている。企業の60%~70%が、協力の目的で共同チームを作り、共同のワークショップや会議を実施している。

(7) 外部サプライヤー：企業の約60%では、外部ソースから供給される製品部品は25%未満にとどまっている。その一方、企業の3分の1が最大50%の部品の供給を外部サプライヤーに頼っている。外部供給される製品部品の平均的な割合は、全企業で見ると約25%である。外部供給されるコンポーネントの知的財産に関する重要度の平均は、1（重要ではない）から10（非常に重要である）までの範囲で3.5である。

(8) システムズエンジニアリングの実践：すでに確立している実践のうちで企業が広く（50%近く、またはそれ以上）採用しているのは、モデル駆動開発、要求開発、テスト駆動開発、および検証と妥当性確認に関連する手法、技法、アプローチである。その他の実践として2社以上から挙げたのは、統合されたツール・チェーン、仮想開発、全体的なシステムアーキテクチャなどである。大規模企業では、モデル駆動開発ならびにシステムの検証と妥当性確認に重点を置いているが（それぞれ60%と80%が抽出）、中小企業の約80%は確立した実践の最上位としてテスト駆動開発を挙げている。

(9) 影響を受けるプロセス：技術的プロセスとソフトウェア実装開発のプロセス分野（ISO/IEC 15288ならびに12207による定義）がシステムズエンジニアリングの実践によって特に影響を受けていると、回答者の大多数が同意している。

(10) 仕様言語およびツール：80%を超える回答者が、主要な仕様言語としてUMLを挙げた。大規模企業では、システムモデリングへの特化した言語としてSysMLを使用する傾向にある。また、ドメイン限定の言語も広く挙げられた。言及されたシステムズエンジニアリング・ツールの50%以上は、システム全体またはシステムの一部としてソフトウェアの様々な側面をモデリングするこ

とに関連している。さらに、30%が要求を、40%がシミュレーションツールを関連ありとして挙げた。また、回答の10%近くが自社開発のツールを挙げており、これらのほとんどがシミュレーションの分野で使用されている（約5%）。その上、近い将来に対応予定の技術分野として、40%近くが非形式的なテキストによる仕様書に代わり、形式手法とモデルベースのシステム開発アプローチを採用することを挙げた。

(11) 改善の可能性：システムズエンジニアリングの最大の改善の可能性は、仮想開発の増加と、使用されるツール・チェーンの統合の改善にあり、どちらについても回答者の50%が言及している。これらの要求は中小企業の場合にさらに大きいことが見受けられる。大規模企業の40%近くが、プログラムマネージメント（プロジェクト・ポートフォリオ管理とも言う）の改善についても言及しておく必要がある。中小企業の40%近くは、自動化がさらに進むことが改善の可能性として重要であると考えている。

(12) システムズエンジニアリングにおける能力・機能：企業（組織）／部署の大部分が、システムズエンジニアリング関連の能力・機能の向上を図る上で、内部および外部のトレーニングプログラムに依存している（それぞれほぼ100%と60%超）。また、システムズエンジニアリング・コンファレンスへの参加も、全回答者の50%超、大規模企業の60%超によって挙げられた。

4 推奨事項とその活動分野

本調査・分析で得られた 12 の重要な結果から、システムズエンジニアリングに取り組む企業に対する推奨事項と活動分野が導き出される。これらの推奨事項および対策は、本調査・分析の結果によって誘導されたものだが、同じ目標を達成するために別の戦略も取り得るので、ある程度は主観的である点に留意してもらいたい。

ここでは推奨事項と活動分野を、組織開発に関連するものと、組織のシステム開発に技術的に関連するものに分けている。

4.1 組織開発

(O1) 組織改革戦略：企業の 80%が、システムズエンジニアリングの主要な課題は組織改革であると答えている（3 章(4)参照）。したがって、システムズエンジニアリングの課題への対応に取り組むためには、どのような組織構造およびプロセスが最適かをオープンに考えることが重要である。特に、合意形成し、改革の動機付けと伝達を的確に行って、その改革をどう実施するか慎重に計画するためには、あらゆるステークホルダーをそのプロセスに取り込むことが重要である（3 章(6)参照）。

(O2) システムズエンジニアリング能力：システムズエンジニアリングの様々な項目に関して内部トレーニングプログラムを作成し、外部トレーニングプログラムを購入することが、ほとんどの企業で義務化されている（3 章(12)参照）。また、最近の開発情報を得たり推奨／禁止事項に関する経験を共有したりするために、システムズエンジニアリング関連のコンファレンスに参加し、各コミュニティの積極的なメンバーになることを推奨する（3 章(12)参照）。

(O3) ソフトウェア開発能力：元々の業種がハードウェア開発寄りであるにも関わらず、企業の 85%以上が製品でソフトウェアが主要な役割を果たすと答え（3 章(2)参照）、またこの数字は今後も伸びることが予想されるため、企業が適度なソフトウェア開発能力を構築する、あるいは維持することは重要である。その程度は、製品がソフトウェアに依存する度合いと、企業の主要な IP（知的財産）および USP（独自の売り）がどこに存在するかによって異なる。IP／USP がソフトウェアそのものに存在する、またはソフトウェアになりつつある場合、ソフトウェア開発の分野で自らのリソースを構築することは必要なことである。ソフトウェアが 1 つの目的を達成するための手段にすぎない場合は、外部のソフトウェアサプライヤーおよびパートナーを管理するための能力を構築することは、少なくとも有効ではある（3 章(7)参照）。

(O4) プロジェクト・ポートフォリオ管理：大規模企業が、改善のための着目点として挙げているように（3章(11)参照）、プロジェクトのポートフォリオ全体の管理と、プロジェクト間の相互関連および依存関係に特に重点を置くべきである。

4.2 技術開発

(T1) システムズエンジニアリングの統合アプローチ：新製品を市場投入するまでの時間が短縮されるのと同時に、製品の複雑化・多様化が進んでいるため（3章(1)参照）、顧客に効率的かつ効果的に価値を提供することが重要である。システムズエンジニアリングは、そうした問題に対処するため、特にシステムプラットフォームおよびシステム統合の場合に重要性が高い（3章(3)参照）。これには、関与するすべての専門分野を巻き込んで十分に統合された、また調整されたアプローチが必要となる（3章(6)参照）。特に、技術的および実装プロセスにおいては、システムズエンジニアリングがどのような影響を持つかについて（3章(9)参照）、特効薬となるようなアプローチは存在しないが、個別の企業のニーズに最も適するように調整されたプロセスはどうあるべきかについて（3章(5)を参照）、企業は注意深く検討する必要がある。

(T2) システム要求開発：時間と共にシステム要求はますます複雑化し、製品も多様化し、その種類も増大している。実際、近い将来において専門分野に広くまたがる開発が定着するにつれ、この傾向はさらに強まるであろう（3章(1)参照）。それにともない、企業はシステムレベルでどうやって要求を引き出し、あるいは開発し、長期にわたり系統立って管理するかについて検討せざるをえなくなる。また、どうやって下位レベル（特にソフトウェア）の要求に落とし込むかも考えなくてはならない（3章(2)を参照）。

(T3) モデル駆動システム開発：本調査・分析では、システムのモデル駆動開発が企業にとって重要な実践と見なされていることが確認された。大規模企業ではすでに最低でも部分的に実装している（3章(8)参照）。また、これを改善の可能性として重要と見なしている（3章(11)参照）。UML、SysMLなどは特に目立っているが、モデリング言語の実際の使用状況は一様ではない。ツールサポートの面では、様々なツールも挙げられた（3章(10)参照）。そのため、企業はシステム仕様のどの側面をモデリングするか、妥当な範囲でどんな言語とツールサポートを利用できるかを注意して評価する必要がある。ここでのツール選定は、開発プロセスのツール環境においてシームレスな統合を実現する上で適切なツールによって提供されるインターフェースの影響も受ける（3章(10)およびT6を参照）。

(T4) システムの検証と妥当性確認：企業は、システムの検証と妥当性確認、ならびに特にテスト駆動開発のために適切な技法および手法の確立を検討する必要がある。多くの企業にとって重要であると思われているからである（3

章(8)参照)。また、開発プロセスによって、システムの検証と妥当性確認を、常にシステム要求と適切に関連付ける必要もある。

(T5) 仮想システムズエンジニアリング：製品がますます複雑化し（3章(1)参照）、複数の専門分野にわたる開発が進むにつれて（3章(6)参照）、物理的に様々なシステム部品を構成することは難しくなり、コスト負担も非常に重くなる。そのため、企業は確固としたモデルに基づく仮想システム開発について検討する必要がある。将来、これは開発速度を上げるという点で主要な改善が見込まれる分野と見なされている（3章(11)参照）。一部の企業はすでにシステムの検証と妥当性確認用に独自のシミュレーションツールを導入または開発している（3章(10)参照）。

(T6) 統合されたシステムズエンジニアリングのツール・チェーン：前述したように、企業においてはシステムズエンジニアリング実践のために多様なツールが使用されている。さらに、企業は特定のタスクのため、また既存のツールの不足を克服するために独自のツールを開発している（3章(10)参照）。ツール・チェーン統合の改善は、主要な改善点である（3章(11)参照）。このため、特にシステムズエンジニアリングを始める際、企業はツールの相互運用性と、ツール・チェーンをできるだけ統合することに特に重点を置くべきである。

5 参考

[ISO15] ISO/IEC/IEEE. 2015. Systems and Software Engineering -- System Life Cycle Processes. Geneva, Switzerland: International Organisation for Standardisation / International Electrotechnical Commissions / Institute of Electrical and Electronics Engineers. ISO/IEC/IEEE 15288:2015.

[SC98] Strauss, A. & Corbin, J.: Basics of Qualitative Research. Techniques and Procedures for Developing Grounded Theory. 2nd ed. Thousand Oaks: Sage, 1998.

[USC16] University of Southern California, Organizing Your Social Sciences Research Paper: Limitations of the Study, see <http://libguides.usc.edu/writingguide/limitations>, last checked on Aug. 26, 2016

[VDA15] VDAQMC Working Group 13, Automotive Special Interest Group. "Automotive SPICE® Version 3.0", <http://www.automotivespice.com> (2015)

文書情報

タイトル： WP1/D1.5：システムズ
エンジニアリングの
実践調査・分析

日付： 2016年9月23日
ステータス： 最終版

Copyright 2016 Fraunhofer IESE / IPA/SEC2016
All rights reserved. 本出版物のいかなる部分も、発
行者の書面による事前の許可なく、いかなる形態ま
たは手段（コピー、記録、またはそれ以外を含むが
これらに限定されない）によっても、複製、情報検
索システムに格納、または伝送することを禁ずる。
この出版物を非商用目的で配布する場合、書面によ
る許可は不要。