

体系的知識構成法についての一考察

山本修一郎

名古屋大学大学院情報科学研究科

愛知県名古屋市千種区不老町

A Consideration on Systematic Knowledge Construction

Shuichiro Yamamoto

Nagoya University
Furo-cho, Chikusa-ku, Nagoya Aichi Japan

概要

異分野の知識を総合して新たな知識を生み出す方法が求められている。既存知識に基づいて、横断的な知識を構成するためには、新たな目的、課題、解決方法に基づいて、既存知識を体系的に構成する必要がある。

本稿では、この考え方に基づいて階層的に知識を構成する手法を提案するとともに、適用事例を紹介する。

Abstract

Knowledge creation approach to integrate different kinds of existing knowledge among various domains is desired. By using existing knowledge to develop interdisciplinary new knowledge, a systematic approach based on new objectives, problems, and solution methods is necessary.

In this paper, an approach is proposed to construct collaborative knowledge by hierarchically integrating different knowledge. The case study to explore the applicability of the proposed method is also discussed.

1. はじめに

「新たな課題を発見し、分野横断的な知識・スキルにより、課題解決のためのサービスやシステムなどを分析・デザイン、具現化できる人材」の育成に向けた取り組みの必要性を経団連が指摘している[1]。また、経済産業省による、産業構造審議会 人材育成 WG でも、「異分野と IT の融合領域においてイノベーションを創出し、新たな製品やサービスを自ら生み出すことができる人材」が求められていると報告している[2]。

異分野の知識を統合するためには、横断的な統合原則が必要である。知識統合のありかたを知識統合構造と知識統合プロセスの2つの次元から分類すると、図1に示すように、個別型、調整型、統制型、統一型に分類できる。

個別型知識統合では、個別のプロセスによって、

個別的な構造を持つ異分野知識が統合される。

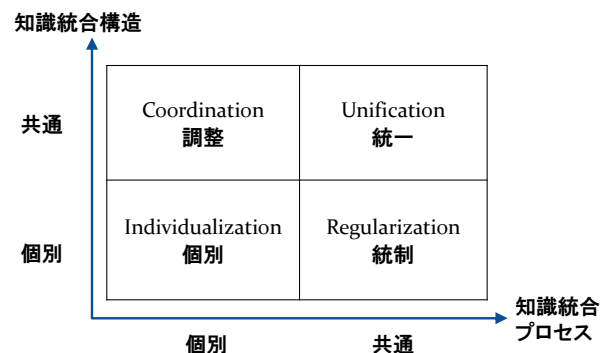


図1 知の統合形態

調整型知識統合では、個別のプロセスによって、共通な構造を持つ異分野知識が統合される。統制型知識統合では、共通プロセスによって、個別的な構造を持つ異分野知識が統合される。統一型

知識統合では、共通プロセスによって、共通構造を持つ異分野知識が統合される。

以下では、第2節で、知識統合構造として知の統合アーキテクチャを提案する。第3節で知の統合アーキテクチャの具体例を説明する。第4節で知の統合アーキテクチャを用いた知識統合形態について述べる。第5節で関連研究について説明する。第6節で考察、第7節でまとめと今後の課題を述べる。

2. 知の統合アーキテクチャ

知識統合の構造を、目的(Objectives)、戦略(Stratgy)、複合知識(Composite knowledge)、要素知識(Elementary knowledge)から構成する OSCE アーキテクチャを表1に示す。また、OSCE 要素間の関係を図2に示す。

表1 統合知の階層

階層	説明
目的 Objectives	統合知の目的
戦略 Strategy	目的を達成するために、解決すべき複数の課題あるいは実施すべきプロセスの集合に分解する
複合知識 Composite knowledge	戦略で分解された各課題やプロセスを解決するために、複数の既存知識を合成した知識
要素知識 Elementary knowledge	複合知識を構成する要素としての既存知識

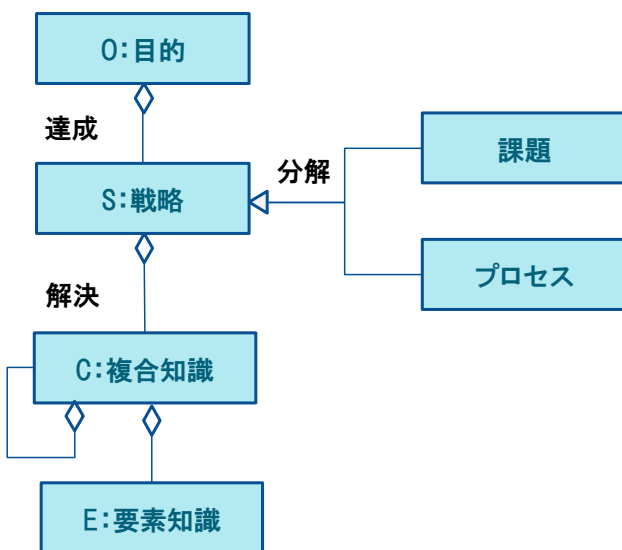


図2 OSCE アーキテクチャの関係

3. 具体例

以下では、OSCEA による知識の統合事例として、知の統合シラバスと O-DA の知識階層を示す。

3.1 知の統合シラバス

知の統合基礎シラバスでは、表2に示すように、知の統合を実践できる人材育成を目的として、8個のプロセスに従って、31 知識を体系化している [3].

表2 OSCEA による知の統合基礎知識の構成例

目的	プロセス	方法 (複合知識)
知の統合	準備	①知の統合の基本概念, ②知の統合の必要性, ③横幹知の効果
	統合コンテキスト	①横幹知, 統合コンテキスト, 知の境界②統合コンテキスト境界の決定
	知の抽出	①知識源, ②統合要求分類, ③統合要求の抽出技法
	知の統合要求の定義	①統合構造, ②統合種別, ③専門知の構造, ④知の統合事例の利用, ⑤横幹知の品質, ⑥統合用語
	横幹知のデザイン	①知の統合アーキテクチャ, ②カタログによる横幹知の再利用, ③横幹知の効果分析
	モデルによる横幹知の分析	①知の統合モデル, ②横幹知ゴールモデル, ③横幹知の利用シナリオ (UKC, 横幹知ケース), ④横幹知の観点, ⑤横幹知の参照モデル
	横幹知の妥当性評価と合意形成	①横幹知の妥当性確認, ②横幹知の合意形成技法, ③横幹知の品質保証, ④妥当性確認の原則
	横幹知の管理	①横幹知の属性管理, ②知の統合ビュー, ③横幹知の優先順位付け, ④横幹知の追跡管理, ⑤横幹知の変更管理

3.2 O-DA

筆者らが The Open Group に提案した O-DA(Open Dependability through Assuredness)では、高い信頼性を持つアーキテクチャの開発手法を標準化している [4,5,6] . O-DA の知識階層を表3にまとめる。

表3 O-DA の OSCEA 階層

目的	プロセス	方法 (複合知識)
オープン ディ ペン ダ ビ リ テ ィ 保 証	準備	①証拠文書と保証ケースのアーキテクチャリポジトリ②ディペンダビリティ主張優先順位の合意形成
	ビジネス アーキテ クチャ	①ディペンダビリティ原則定義②BA 保証ケース作成③BA 保証ケースレビュー
	アプリケ ーション アーキテ クチャ	①AA 保証ケース作成②AA 保証ケースレビュー
	テクノロ ジアーキ テクチャ	①TA 保証ケース作成②TA 保証ケースレビュー
	機会とソ リユーシ ョン	①BA, AA, TA の保証ケースの統合②一貫性確認
	移行計画	①運用管理保証ケース作成②ディペンダビリティパラメタ価値分析
	実装監督	①証拠作成②プロセス保証の証拠作成③網羅的主張証拠関係確認④運用保証ケースレビュー
	変更管理	①運用保証ケース証拠管理②不成立主張対策確認③保証ケースによるリスク管理④保証ケースによる障害分析
要求管理	①保証ケースの主張と要求の追跡管理	

表3では、TOGAF[7]のアーキテクチャ開発手法のADMプロセス(9個)に従って必要となる複合知識22個を列挙している。

4. 知識統合形態

図1で示したように、異分野の知識を統合する形態には、知識統合表現と知識統合プロセスの次元に従って、個別型、調整型、統制型、統一型がある。

これまでの異分野知識の統合形態は個別型がほとんどである。統制型や統一型の知識統合はまだ出現していない。この理由は、複数の知識統合を

同時並行的に推進するような組織が出現していないためである。今後、複数の標準を企画化する団体で統制型や統一型の知識統合プロセスが採用されていく可能性はある。

ISOやJISなどの標準化機関では、異なる分野知識について個別に規格化している。標準化プロセスは、①規格の提案、②規格の承認、③規格の実施、④規格の評価となっている。ここで、評価の結果、必要な場合は、改定規格が提案され、再び①から標準化プロセスが反復されることになる。この標準化プロセスは、すべての規格で適用されるので、統制型であると考えられることができる。しかし、異分野知識の統合プロセスではないこと、異分野知識を統合するプロセスの詳細を規定していないことから、知識の体系プロセスとしては、統制型であるとはいえない。標準化される個々の知識自体は、個別的に体系化されている。

知識統合プロセスの共通化について成熟度を考えると、表4のようになるとと思われる。

表4 知識統合プロセスの成熟度

段階	説明
5	変化に応じて最適化している
4	オープンに共通化している
3	組織横断的に共通化している
2	組織ごとに共通化している
1	個別に共通化している
0	共通化していない

次に、調整型知識統合の例として、要求知識の体系的統合について説明する。

4.1 要求知識体系の統合例

筆者が主査を務めている、IPAのシステム構築上流工程強化部会によって、要件定義ガイドと再構築ガイドが作成されている[8]。

要件定義ガイドでは、ユーザ企業が要求を定義するための手法を紹介している。具体的には、要件定義ガイドでは、要件定義の13課題と54個の対策知識を留意事項(5課題, 14知識)、プロセス(6課題, 21知識)、成果物(2課題, 19知識)に分類している。

一方、要求の再構築ガイドでは、ITシステムの再構築に当たって、現行システム要求が失われている問題を解決する手法が提示されている。具体的には、再構築ガイドでは、再構築プロセスの観点から12課題と34個の対策知識を再構築手法選択(4課題, 11知識)、計画策定(8課題, 23知識)に分類してまとめている。

この部会活動の過程で、筆者が感じたのは要求マネジメント知識の必要性である[9]。要求が明確に定義されたとしても、開発が完了して運用に入ると、保守工程の遂行課程で当初の要求が失われてしまうのでは、要求の再構築問題が発生する。この問題を根本から解決するためには、システム開発だけではなく運用保守を通じたシステムの成長過程全般で要求をマネジメントする仕組みを構築する必要がある[9]。

このために筆者が整理した要求マネジメント知識では、次元（2 課題，5 知識），組織（2 課題，5 知識），プロセス（4 課題，9 知識）を挙げている[9]。

上述した，要件定義ガイド，再構築ガイド要求マネジメント知識を統合すると，図 3 のようになる。この結果は，知識の表現階層を OSCEA で統一できていることから，要求知識に関する調整型知識統合の事例になっている。

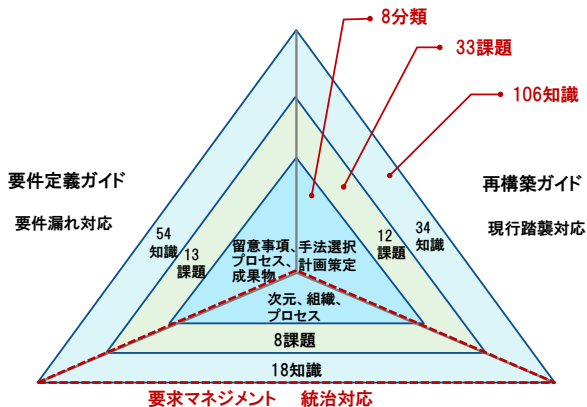


図 3 調整型知識統合

3 種類の統合対象知識が相互に並列して結合しているので直和的な調整型知識統合の事例である。

4.2 標準の結合事例

NIST Cybersecurity Framework[12]は，重要基盤業界に共通する，サイバーセキュリティ活動，期待される成果物と適用可能な参照知識からなる。これに対して，Open FAIR Body of Knowledge[11]には，次のような 4 種類のリスク対策（risk controls）がある。

脅威に遭遇する頻度と可能性に影響する回避対策(Avoidance Controls)

危害に帰結する仕方に作用する脅威の可能性に影響する抑止対策(Deterrent Controls)

脅威動作が損失に帰結する確率に影響する脆弱性対策(Vulnerability Controls)

脅威動作の結果としての損失の大きさに影響

する反応対策(Responsive Controls)

このように，Open FAIR BoK(OFBoK) を NIST Cybersecurity Framework (NCFW)と比較すると，OFBoK は NCFW が提供するセキュリティ対策のニーズを実現する具体的な方法を提供するという関係にある。たとえば，OFBoK では，リスクを評価する定量的な方法論を提供している

したがって，NCFW の一般的なニーズを OFBoK が具体化するという点で，NCFW と OFBoK の知識統合は，直積的な調整型知識統合の事例であると考えられる。

5. 関連研究

横幹知の理論と開発を支える「知の統合学」が KUTE (Knowledge Unification Theory and Engineering)である[10]。KUTE の基本概念には，知の統合原則，統合知の創造プロセス，統合知のデザイン，統合知のアーキテクチャ，統合知の保証確認，統合知の利用シナリオなどがある。

知の統合では，知識を統合するコンテキストと，統合された知識を利用するコンテキストが重要である。利用コンテキストでは専門知が現場知として具体化され，活用される。統合コンテキストでは現場知が分析・一般化されて，異なる専門知が統合される。統合知の創造プロセスでは，まず，知の統合コンテキストを定義することによって，統合知が活用される環境を明らかにする。次いで，このコンテキストで活用される統合知の価値を定義する。その上で，この価値を生むための横幹知をデザインする。デザインされた統合知について，コンテキスト内のステークホルダと合意形成することにより，統合知の価値が共有され，コンテキスト内で展開・活用される。

また，山本[13]は，知識流通手法として EAMS を提案している。EAMS は，異分野知識の探索 (Explore)，異分野知識の分析(Analyze)，流通知識の着想(Mediate)，流通知識の選択(Select)からなる。また，流通知識階層として，教科書知識による表層レベルと実践知識による深層レベルがあることを指摘している。一方，知識統合プロセスでは，異分野知識を統合することで新たな価値を創出できると考えることができる。このことから，山本[14]は，知の統合プロセス (Knowledge Unification Process)を提案している。KUP では，まず，知の統合コンテキストを定義することによって，統合知が活用される環境を明らかにする。次いで，このコンテキストで活用される統合知の価値を定義する。その上で，この価値を生むための統合知をデザインする。デザインされた統合知について，コ

ンテキスト内のステークホルダと合意形成することにより、統合知の価値が共有され、コンテキスト内で展開・活用されることになる。

ここで、EAMSとKUPを比較すると、下表のようになる。EAMSとKUPの違いは課題認識にある。EAMSの課題は異分野知識の流通である。これに対して、KUPの課題は価値を生む統合知の構築である。したがって、「異分野知識の流通」という価値を生む統合知の創出とみなせば、EAMSはKUPの具体例であるといえる。

表5 EAMSとKUPの比較

EAMS	KUP
異分野知識の探索	知の統合コンテキスト定義
異分野知識の分析	統合知の価値定義
流通知識の着想	統合知のデザイン
流通知識の選択	統合知の価値共有・活用

さらに、山本は、統合知のアーキテクチャの構成要素を、表6に示すように、統合対象となる要素知識、要素知識間の結合関係と、知識の統合によって達成される統合知がもつ特性がある。統合知がもつ特性の例としては、知の統合原則で示した拡張性などがある。しかし、統合知の階層的な構成法については言及していない。

表6 横幹知のアーキテクチャ

構成要素	説明
要素	横幹知を構成する知識要素（専門知、横幹知）
関係	知識要素間の結合関係
特性	横幹知が満たすべき性質

また、山本[15]は、ソフトウェア知識体系を比較して、ソフトウェア知識体系間で、共通する部分と、目的の違いから、逆に相補的な組合せの可能性があること、したがって、ソフトウェア知識体系の結合が期待できることを指摘している。具体的には、ソフトウェア関連知識体系は、知識領域、プロセス知識、プロダクト知識、技法知識について整理されていることを明らかにしている。とくに、プロセス知識の記述構造が、目的、概要、入出力、役割、詳細手順、基準、技法から構成されていることを指摘した。

山本[16,17]は、重要安全ソフトウェアを実践的に開発運用するために、メソッド・アーキテクチャ[18,19]と安全性ケースを用いて、現場で活用されているソフトウェア知識体系を高安全化するとともに適切に統合する取組みを提案した。たとえ

ば、ソフトウェア工学知識体系、要求工学知識体系、プロジェクトマネジメント知識体系、運用知識体系などの知識をメソッド・アーキテクチャ手法に基づいて系統的に融合できる安全性の高いソフトウェアの妥当性確認・保証方法を提案できることを指摘している。

6. 考察

6.1 問題解決と知の体系化

知識を体系化する目的は、有用な知識を系統的に再利用することによって問題解決を容易化することである。本稿では、目的、戦略、複合知識、要素知識からなる階層構造に従って、知識を体系化できることを提案した。ここで、問題を目的と戦略に、解を複合知識と要素知識に対応させると、体系的知識構成法が問題解決構造と良く整合していることがわかる。

6.2 BOKと統合知の関係

ソフトウェア関連の知識体系（Body of Knowledge）にはSWEBOK[20]、PMBOK[21]、CMMI[22]、BABOK[23]、IREB[24,25]、REBOK[26]、ITIL[27,28]、SQuaRE[29]、SQuBOK[30,31]などがある。これらの知識体系は、特定のソフトウェア知識領域についての知識を体系化している。知識体系の知識を統合化する場合、本稿で提案したように調整型知識統合形態になると考えられる。

6.3 知の統合段階

知の統合プロセスには、統合知を創造する段階と、創造された統合知を規格化する段階がある。従来の知識体系では、既存の知識を体系化して標準規格とする後者の段階に焦点が置かれていた。これに対して、異分野知識を統合する新たな知識統合では前者の段階に焦点を置く必要がある。また、前者についても統合された個別分野の知識を統合する場合、前者の知識統合段階が必要である。

7. まとめと今後の課題

本稿では、体系的知識構成法について、知識の統合構造と統合プロセスに着目して、①個別型、②調整型、③統制型、④統一型からなる4種類の知識統合形態と、目的、戦略、複合知識、要素知識からなる階層的知の統合アーキテクチャを提案した。また、知の統合事例として、知の統合シラバスとO-DAにおける階層的知識構成を説明した。さらに、調整型知識統合形態の事例として、直和形の要求知識統合と直積形の標準規格の統合

過程を説明した。

本稿で紹介した体系的な知識構成の取り組みによって、複雑化する問題を体系的な知識の活用によって解決する活動を容易化できると思われる。また、今後必要となると思われる異なる知識体系間の統合に対して、提案手法を適用して有効性を評価することが今後の課題である。

参考文献

- [1] (社)日本経済団体連合会, 今後の日本を支える高度 ICT 人材の育成に向けて, 2011.
- [2] 経済産業省, 産業構造審議会情報経済分科会人材育成ワーキンググループ報告書, 2012.
- [3] 山本修一郎, 情報技術が加速する横断型融合人材, 「価値創出をになう人材の育成—コトづくりとヒトづくり—」第5章 分担執筆, Trafst 横幹<知の統合シリーズ>編集委員会編, 東京電機大学出版会, pp.33-43, 2016.
- [4] 山本修一郎, O-DA における高保証アーキテクチャ開発手法の現状と課題, KBSE 研究会, 1.24, 2017.
- [5] 山本修一郎, 現代エンタープライズ・アーキテクチャ概論 - ArchiMate 入門 - 132 ページ, 出版社: デザインエッグ社; 1 版, ISBN-10: 4865436804, 7.20, 2016.
- [6] *Open Group Standard, Real-Time and Embedded Systems, Dependability through Assuredness™ (O-DA) Framework*, 2013.
- [7] TOGAF®, an Open Group Standard; www.opengroup.org/togaf.
- [8] システム構築上流工程強化部会の成果, <http://www.ipa.go.jp/sec/reports/20170131.html>
- [9] 山本修一郎, デジタルトランスフォーメーションに向けた要求管理知識, 人工知能学会第20回知識流通ネットワーク研究会, 3.11, 2017.
- [10] *Open Group Guide, The Open FAIR™ – NIST Cybersecurity Framework Cookbook*, ISBN: 1-937218-80-5, 2016.
- [11] National Institute of Standards and Technology (NIST), *Framework for Improving Critical Infrastructure Cybersecurity, Version 1.0*, February 12, 2014.
- [12] 鈴木 久敏, 山本 修一郎, 本多 敏, 庄司 裕子, 横幹中長期ビジョン 2014 について, *Oukan Vol.9, No.1*, pp.20-26, 2015.
- [13] 山本修一郎, 看護マネジメント論と情報科学における知識流通の可能性, 人工知能学会第19回知識流通ネットワーク研究会, 9.20, 2016.
- [14] 山本修一郎, 横幹知の価値創造プロセス, 横幹コンファレンス, 11.20, D-4-3, pp.1-4, 2016.
- [15] 山本修一郎, ソフトウェア知識体系のメタモデルについての一考察, 人工知能学会 第12回知識流通ネットワーク研究会, 3.5, 2013.
- [16] 山本修一郎, メソッド・アーキテクチャ手法に基づく重要安全ソフトウェア開発運用手法の提案, 人工知能学会第13回知識流通ネットワーク研究会, 9.20, 2013.
- [17] Shuichiro Yamamoto, *A Knowledge Integration Approach of Safety-Critical Software Development and Operation based on the Method Architecture*, KES 2014, pp.1718-1727, 2014.
- [18] OMG, *Essence – Kernel and Language for Software Engineering Methods*, ad/2013-02-01, <http://www.omg.org/spec/Essence/1.0>, 2013
- [19] Ivar Jacobson, Pan Wei Ng, Paul E. McMahon, Ian Spence, and Svante Lidman, “The Essence of Software Engineering – Applying the SEMAT Kernel”, Addison-Wesley Pearson Education, 2013
- [20] *Guide to the Software Engineering Body of Knowledge (SWEBOK V3)*, <http://www.computer.org/portal/web/swebok/home>
- [21] PMBOK ガイド, <http://www.pmi.org/>
- [22] CMMI, CMU/SEI-2010-TR-033, 2010
- [23] IIBA 日本支部, ビジネスアナリシス知識体系ガイド, 2009
- [24] Pohl, K., Rupp, C., *Requirements Engineering Fundamentals, A Study Guide for the Certified Professional for Requirements Engineering Exam Fundamental level / IREB compliant*, rockynook, 2011
- [25] *The home of Requirements Engineering*, <http://www.ireb.org/>
- [26] 情報サービス産業協会 REBOK 企画 WG 編, 要求工学知識体系 REBOK(Requirements Engineering Body Of Knowledge), 近代科学社, 2011
- [27] ITIL, itSMF japan <http://www.it-smf-japan.org/itil>
- [28] iTSMF, ITIL V3 Foundation Handbook, 2009
- [29] Jorgen Boegh, *A New Standard for Quality Requirements*, IEEE Software, pp.20-27, January/February, 2008.
- [30] ソフトウェア品質知識体系ガイド—SQuBOK Guide—, <http://www.juse.or.jp/software/365/>
- [31] SQuBOK Guide βversion, <http://www.juse.or.jp/software/pdf/squbok-beta.pdf>