

デジタルサステナビリティのための省電力要求管理の提案

山本修一郎

名古屋国際工科専門職大学

愛知県名古屋市中村区名駅 4-27-1

Energy Saving Requirements Management towards Digital Sustainability

Shuichiro Yamamoto

IPUT in Nagoya

4-27-1, Meieki, Nakamura-ku, Nagoya Aichi Japan

概要

持続可能な社会の実現に向けて、企業のエネルギー効率を向上させるデジタルトランスフォーメーションが注目を集めている。多様な機器の消費電力を監視・制御し、企業全体の節電を実現するシステムを実現するには、機器のエネルギー使用量を監視・制御するためのシステム要求を一元管理する必要がある。

本稿では、エンタープライズアーキテクチャに基づいた、エネルギー要求管理手法を提案する。また、この提案を日本の病院の省エネガイドラインに適用することで、病院のエネルギー管理要求を表現できることを明らかにする。

Abstract

Digital transformation, which improves corporate energy efficiency, is attracting attention in order to realize a sustainable society. In order to realize a system that monitors and controls the power consumption of various devices and realizes power savings for the entire company, it is necessary to manage the whole system requirements for monitoring and controlling the energy consumption of devices.

In this paper, we propose an energy requirement management approach based on enterprise architecture. Furthermore, by applying this proposal to energy conservation guidelines for Japanese hospitals, we will demonstrate that it is possible to describe the hospital energy management requirements.

1. はじめに

持続可能な社会の実現に向けて、企業のエネルギー効率を向上させる DX が注目されている。企業の事業部門では、業務に応じてさまざまな電源機器が使用されている。多様な機器の消費電力をリアルタイムに監視・制御し、企業全体の節電を実現するシステムを実現するには、機器のエネルギー使用量を監視・制御するシステム要求を一元管理する必要がある。

本研究では、エンタープライズアーキテクチャのモデリング言語である ArchiMate により、組織体におけるエネルギー要求管理プロセスの系統的な見える化手法を明らかにする。

具体的には、エネルギー管理要求を記述する項目に着目して、記述項目を ArchiMate 要素に変換する図式手法を提案する。また、具体的な省エネガイドラインに適用して、有効性を評価する。

以下では、まず 2 節で関連研究を説明する。次いで、3 節で ArchiMate によるエネルギー要求管理アー

キテクチャを提案する。4 節では、具体的な適用例を説明する。5 節で考察を述べ、6 節でまとめと今後の課題を述べる。

2. 関連研究

以下では、デジタルサステナビリティならびに ArchiMate による記述法の関連研究について述べる。

2.1 デジタルサステナビリティ

Mondejar らは、SDGs を達成するためのデジタル化アプローチを提案した[1]。Guandalini は持続可能性を体系的に調査して DX によるデジタルサステナビリティの概念を提案した[2]。Costa Melo は、中小企業向けの持続可能な DX フレームワークを提案した[3]。Bencsik はデジタルサステナビリティのビジネス モデル フレームワークを提案した[4]。Scupira Furtado は、ビッグデータを使用して SDGs のためのスマート ガバナンスフレームワークを定義した[5]。Feroz らは、持続可能な製造と持続可能なサプライチェーン領域における DX と持続可能性をレビューしている[6]。Costa Melo らが中小企業における持続可能な DX を調査している[7]。Aravindaraj らは、SDGs を達成するためのインダストリー 4.0 のアプローチを体系的に解説した[8]。Robertson らは、持続可能性とオープンイノベーションのための DX 事例を整理している[9]。

DX と SDGs の取組みを統合する枠組みとして DSDG フレームワークを筆者が提案している[10]。DSDG フレームワークは、ゴール、顧客、データ、価値連鎖（業務プロセス）、DX 要求を行として、成長、業務、基盤、環境、統制で分類した SDGs を列とする表である。DSDG フレームワークによって、企業における SDGs の包括的な取組みを明確化するとともに、DX への要求を SDGs と紐づけることができる。

また、SDGs, DX, QC(Quality Control)の観点から業務の現状と取組みを定義する SDQ Cube とそのテンプレートが提案されている[11,12]。SDQ cube は、SDGs, DX, QC に対する企業の統合的な推進方向を示すコンパスである。

2.2 ArchiMate

ArchiMate は、The Open Group が標準化する EA モデリング言語である[13,14]。ArchiMate は 2002 年から 2004 年までオランダの産官学連携プロジェクトで開発された。その後 The Open Group で EA モデリング言語 ArchiMate1.0 として 2009 年に標準化された、最新版は ArchiMate3.2 である[15]。

ArchiMate コアフレームワークでは、ビジネスアーキテクチャ(BA)、アプリケーションアーキテクチャ(AA)、テクノロジーアーキテクチャ(TA)からなるアーキテクチャ階層と、能動構造要素、受動構造要素、振舞要素、モチベーション要素からなるアスペクトが定義されている。

TOGAF(The Open Group Architecture Framework)[16]は最も豊富な機能を持つ EA フレームワークである[17,18]。TOGAF の Architecture Development

Method (ADM) の全工程の成果物を ArchiMate で記述できる。

2.3 ArchiMate の記述法

エンタープライズアーキテクチャのコア階層であるビジネスアーキテクチャ BA、アプリケーションアーキテクチャ AA、テクノロジーアーキテクチャ TA を行として、ArchiMate の能動構造要素、振舞構造要素、受動構造要素を列とする行列（アスペクト分析表）を用いて、日本語文章から ArchiMate 要素を識別する手法が提案されている[19,20]。

情報システムと情報技術を統制管理する実践手法である COBIT(Control Objectives for Information and related Technology) プロセス[21]を ArchiMate で図式化する宇野の研究がある[22]。宇野は COBIT プロセスとその目的を ArchiMate のビジネスプロセスとゴールで表現している。また、Gomes ら[23]が、COBIT の事業継続性管理プロセスを ArchiMate で図式化することにより、事業継続性ゴールを可視化している。Nada ら[24]が ConOps 文書を ArchiMate で図式化する手法を提案している。

Grandy ら[25]は、セキュリティ分析モデルを ArchiMate で図式化する手法を提案している。Vicente[26] らは、概念マッピングを用いて ArchiMate によるビジネスプロセス図式で IT Infrastructure Library(ITIL) プロセスを表現する手法を提案している。谷藤ら[27]が、ArchiMate を用いて、自工会/部工会によるサイバーセキュリティガイドライン V2.0 [28]を記述する方法を提案している。

ジョブ理論[29]を ArchiMate で図式化する手法が提案されている[30]。また、ヘルスケア分野のビジネスモデルが ArchiMate で表現されている[31]。山本[32]が ArchiMate による図式化手法を整理している。周らが ArchiMate によるイノベーション手法の図式化を提案した。筆者はビジネスモデル図式の表現能力を比較して ArchiMate の表現能力が高いことを明らかにしている[34-37]。Koyama らが、ユーザーストーリー、サービスブループリント、BMC(Business Model Canvas)を段階的に作成する手法を提案するとともに、それらを ArchiMate で統一的に表現している[38,39]。

筆者は、ArchiMate による DX の可視化手法を提案している[40]。ArchiMate で DX をモデル化する手法として、DBSC(Digital Balanced Score Card)を筆者が提案している[41-43]。また、医療分野の DX に ArchiMate を適用している[44]。さらに、スマートシティ参照モデルにも ArchiMate が適用できることを明らかにしている[45]。

周らがエンタープライズアーキテクチャの可視化手法のサーベイを実施している[46]。

ArchiMate の表現能力が高いことから、サービス設計[47-50]や社会技術システム[51]への適用が進んでいる。

3. ArchiMate によるエネルギー要求管理

まず、組織におけるエネルギー管理アーキテクチャの概要を説明する。次いで、省エネ要求を管理する ArchiMate のメタモデルを提案する。

3.1 エネルギー管理アーキテクチャ

ArchiMate フレームワークを用いた組織のエネルギー要求管理アーキテクチャを図1に示す。

アーキテクチャ階層には、戦略層、ビジネス層、アプリケーション層、テクノロジー層、物理層がある。モチベーションアスペクトでは、サステナブルゴールや省エネルギー原則を記述する。

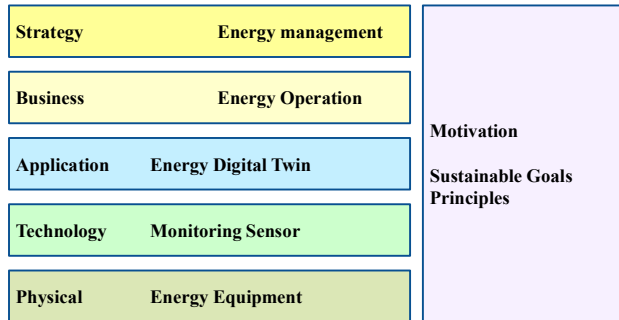


図1 エネルギー要求管理アーキテクチャ

3.2 エネルギー管理要求の例

厚生労働省による病院における省エネルギー実施要領[52]では、私立病院のエネルギー管理において参考となる実施要領を説明している。具体的には、病院の各部門別に考えられるエネルギー消費の特徴と省エネ対策のポイントを提示している。

病院の部門には、病棟、外来、中央診療部門、供給部門、管理部門、管理部門、厨房、共通部門などがある。

特徴では、部門におけるエネルギーの消費特性を説明している。

対策ポイントでは、エネルギー消費効率を改善するための注意点を述べている。

実施要領の特徴と対策ポイントの説明では、部門、評価報告、エネルギー消費の特徴、省エネ対策、設備、装置、部屋、管理オペレーション、エネルギー関連データが記述されている。

3.3 ArchiMate への変換規則

上述した実施要領の記述項目を ArchiMate 要素に変換する規則を表2に示す。

表1 ArchiMate による実施要領要素の変換表

実施要領の記述項目	ArchiMate
部門	Actor
評価報告	Representation
特徴	Assessment
省エネ対策	Principle
設備	Equipment
装置	Device
部屋	Facility
管理オペレーション	Business process
エネルギー関連データ	Data object

表1に基づいて、エネルギー要求を記述するためのメタモデルを図2に示す。

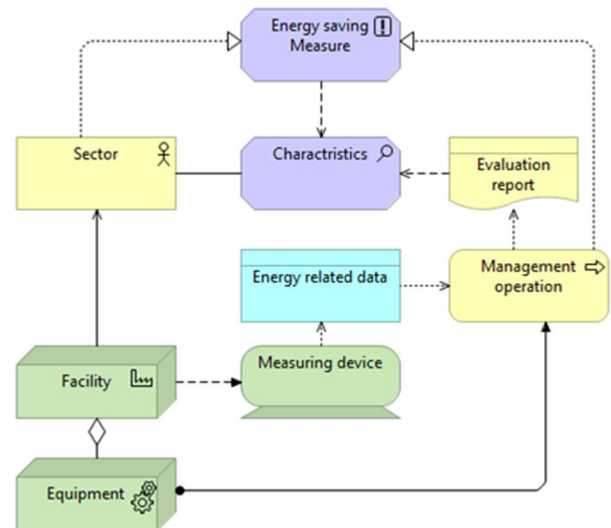


図2 省エネ実施要領記述のメタモデル

4. 具体例

以下では、本提案を用いて省エネルギーガイドラインを ArchiMate で表現できることを説明する。

4.1 病棟

【特徴】

- ・ 使用時間は終日、面積比率也大であり、エネルギー消費量が部門別で最大
- ・ 夜間に空調運転を行うか否かが、エネルギー消費量に大きく影響
- ・ 水の消費量も他部門に比し最大

【対策ポイント】

- ・ 療養環境に配慮した上で冷やし過ぎ、暖め過ぎに注意しましょう
- ・ 外の空気がすがすがしい時はできるだけ窓を開けて空調を停止しましょう
- ・ 流し洗いをするとところは節水こまを利用しましょう
- ・ 給水圧力が高過ぎないか注意し、適正に調整しましょう
- ・ シャワー使用時は温度調節に注意しましょう

この記述に基づいて作成した ArchiMate 表現を図3に示す。

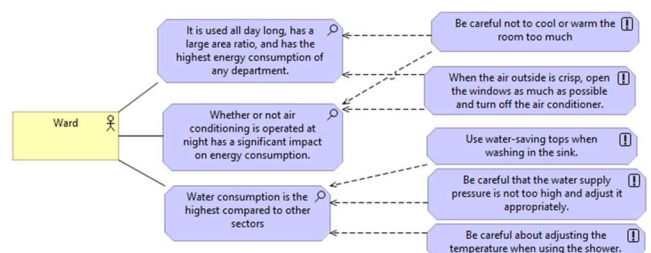


図3 病棟の実施要領に対する ArchiMate 表現

4.2 診療部門

診療部門の省エネ実施要領は以下の通りである

【特徴】

- ・ オートクレーブ等によりエネルギー消費量比率は病棟に次いで大
- ・ 滅菌用はじめ蒸気消費量が大であり熱消費が最大の部門
- ・ 洗浄を主とした上水、給湯使用量大
- ・ MRI はじめ夜間電力停止できない高度医療機器が多いため、待機電力が大きく、夜間の電力消費量が大

【対策ポイント】

- ・ 医療器具等の洗浄作業は効率的に行いましょう
- ・ 滅菌する場合はオートクレーブ使用前によく洗浄しておきましょう
- ・ オートクレーブの詰込み過ぎに注意しましょう
- ・ オートクレーブの清掃や点検を定期的に行いましょう
- ・ 非使用時の手術室は陽圧を保つ最少限度まで風量を絞るよう検討しましょう
- ・ 夜間、休日の医療機器は可能な限り電源を停止しましょう
- ・ できれば平日の夜間も休日モードに切り替えましょう

この記述に基づいて作成した ArchiMate 表現を図 3 に示す。

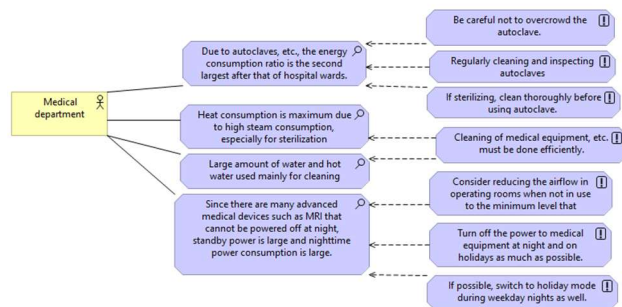


図 4 病棟の実施要領に対する ArchiMate 表現

4.3 空調設備

空調設備の対策ポイントは以下の通りである。

【対策ポイント】

- ・ 24 時間空調が必要なゾーンの夜間運転はそれ以外のエリアとの空気出入りを少なくしましょう
- ・ 室内空気圧を適正に管理しましょう
- ・ 手術室、中材等の無菌エリアの夜間(非使用時)は循環風量を清浄度が保てる最小限まで小さくしましょう
- ・ 陰圧の必要な感染症病室等は昼と夜での圧力差に注意しましょう
- ・ 中間期、冬期にも冷房の必要なゾーンにはできるだけ外気冷房を行いましょう

この対策を実施するために必要となる空調制御システムの構成例を図 5 に示す。

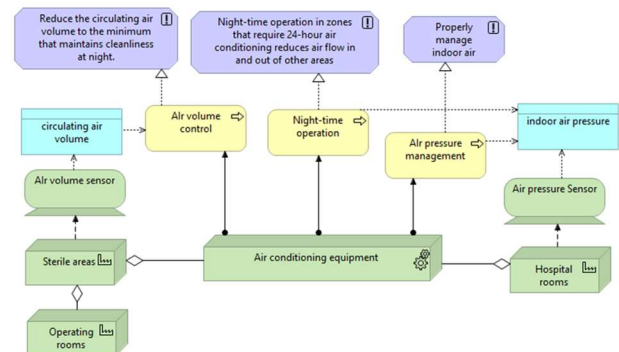


図 5 空調の省エネ対策の ArchiMate 表現

4.4 エネルギー管理プロセス

省エネルギー実施要領に記述されているエネルギー管理プロセスを ArchiMate で記述した例を図 6 に示す。

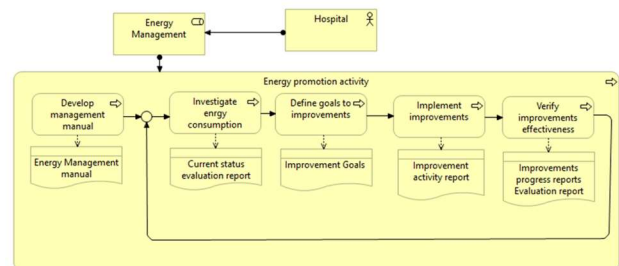


図 6 ArchiMate によるエネルギー管理プロセス

5. 考察

5.1 新規性

本稿では、ArchiMate によりエネルギー管理要求を表現する新たな手法を提案した。提案した表現法これまで、ArchiMate でエネルギー管理要求を可視化するメタモデルは明確ではなかった。

5.2 適用性

本提案を厚生労働省による省エネ実施要領に適用することにより、提案手法の有効性を明らかにした。省エネ実施要領の記述項目ごとに適切な ArchiMate 要素を対応付けている。また記述項目間の関係として実現関係、影響関係、トリガ関係によって項目間の関係を明確化できることを示した。

5.3 限界

本稿ではエネルギー管理要求を ArchiMate で表現する方法について提案した。本稿では厚生労働省による省エネ実施要領を表現できることを明らかにした。しかし、他分野のエネルギー管理要求についての適用性については検討していない。今後、医療分野以外についても ArchiMate でエネルギー管理要求を表現できることを確認する必要がある。

6. おわりに

本稿では、厚生労働種による省エネルギー実施要領を ArchiMate で表現するための規則を提案するとともに、ArchiMate による記述例を示した。

しかし、省エネルギー要求全般に対する今回の記述範囲は一部であり、ArchiMate による省電力要求表現の十分性を確認していない。

今後、提案手法の十分性や一般性についても明らかにしていく予定である。

なお、本稿は、筆者による NEFES2023 国際会議での講演[53]に基づいて執筆した。

参考文献

- [1] Maria E. Mondejar et.al., Digitalization to achieve sustainable development goals: Steps towards a Smart Green Planet, Science of the Total Environment, <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.148539>
- [2] Malika-Sofi Akhmatova, Antonina Deniskinaa, Dzhennet-Mari Akhmatovab, Larisa Prykina Integrating quality management systems (TQM) in the digital age of intelligent transportation systems industry 4.0, Transportation Research Procedia 63 (2022) 1512–1520
- [3] Ilaria Guandalini, Sustainability through digital transformation: A systematic literature review for research guidance, <https://doi.org/10.1016/j.jbusres.2022.05.003>
- [4] Lara Sucupira Furtado, A framework for Digital Transformation towards Smart Governance: using big data tools to target SDGs in Ceara, Brazil,
- [5] Abdul Karim Feroz 1, Hangjung Zo, and Ananth Chiravuri, Digital Transformation and Environmental Sustainability: A Review and Research Agenda, Sustainability 2021, 13, 1530. <https://doi.org/10.3390/su13031530> (accessed: 24 May 2023)
- [6] Isotilia Costa Melo, Sustainable digital transformation in small and medium enterprises (SMEs): A review on performance, Heliyon 9 (2023) e13908, <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e13908>
- [7] Barbara Bencsik, et.al., Business models for digital sustainability: Framework, microfoundations of value capture, and empirical evidence from 130 smart city services Journal of Business Research, Volume 160, May 2023, 113757
- [8] K. Aravindaraj, P. Rajan Chinna, A systematic literature review of integration of industry 4.0 and warehouse management to achieve Sustainable Development Goals (SDGs), <https://doi.org/10.1016/j.clscn.2022.1000>
- [9] Galina Robertsone, Inga Lapiņa, Digital transformation as a catalyst for sustainability and open innovation, Journal of Open Innovation: Technology, Market and Complexity 9 (2023) 100017, <https://doi.org/10.1016/j.joitmc.2023.100017>
- [10] Shuichiro Yamamoto, Digital SDGs Framework towards Knowledge Integration, Intelligent Decision Technologies 16 (2022) 757–767 757 DOI 10.3233/IDT-220276 IOS Press
- [11] 細見純子, 山本修一郎, SDQ キューブ作成のためのテンプレート提案, AI 学会知識流通ネットワーク研究会, 2023 巻 KSN-032 号 p. 04-, 2023
- [12] Junko Hosomi, Shuichiro Yamamoto, A Template for SDQ Cube, KES2023, Procedure Computer Science, Volume 225, 2023, pp. 591-598
- [13] 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, デザインエッグ社, 2016
- [14] 山本修一郎, 付録 3, ArchiMate の概要, P159, 要求開発の基礎知識, 近代科学社 Digital, 2019
- [15] The Open Group, ArchiMate 3.2 Specification, <https://pubs.opengroup.org/architecture/archimate3-doc/>
- [16] The Open Group, TOGAF v9.2, C182, 2018
- [17] Shuichiro Yamamoto, Nada Ibrahim Olayan, Shuji Morisaki, Another Look at Enterprise Architecture, Journal of Business Theory and Practice, ISSN 2372-9759 (Print) ISSN 2329-2644 (Online), Vol. 6, No. 2, pp.172-183, 2018
- [18] 山本修一郎, 付録 2, エンタープライズアーキテクチャ, P156, 要求開発の基礎知識, 近代科学社 Digital, 2019
- [19] Shuichiro Yamamoto, Aspect Analysis towards ArchiMate Diagrams, Procedure Computer Science, volume 159, pp. 973-980, 2019
- [20] 山本修一郎, 付録 B.3 アスペクト分析表, P223, DX の基礎知識, 近代科学社 Digital, 2020
- [21] ISACA, COBIT5 Enabling Process, 2012
- [22] 宇野雄登, ArchiMate による COBIT プロセスの研究, 名古屋大学情報工学科卒業研究, 2019
- [23] Pedro Gomes, Gonalo Cadete, Miguel Mira da Silva, Using Enterprise Architecture to Assist Business Continuity Planning in Large Public Organizations, 2017 IEEE 19th Conference on Business Informatics (CBI), pp. 70 – 78, 2017
- [24] Nada, A Proposal on a Method of ArchiMate based Concept of Operation (ConOps), International Journal of Computer Science and Information Security, Vol.16, No.1, pp.132-138, 2018
- [25] Eric Grandry, Christophe Feltus, Eric Dubois, Conceptual Integration of Enterprise Architecture Management and Security Risk Management, 17th IEEE International Enterprise Distributed Object Computing Conference Workshops, pp. 114 – 123, 2013
- [26] Marco Vicente, Nelson Gama, Miguel Mira da Silva, Using ArchiMate to Represent ITIL Metamodel, 2013 IEEE 15th Conference on Business Informatics, pp. 270 - 275, 2013
- [27] 谷藤 祐生, 前川 慧大, 甲斐 陵裕, 山本 修一郎, ArchiMate によるサイバーセキュリティガイドライン記述法の提案, KSN 研究会, 2023.9.22
- [28] 日本自動車工業会 総合政策委員会 ICT 部会サイバーセキュリティ分科会, 日本自動車部品工業

- 会 IT 対応委員会サイバーセキュリティ部会（部
工会），サイバーセキュリティガイドライン，
2023，
https://www.jama.or.jp/operation/it/cyb_sec/docs/cyb_sec_guideline_V02_01.pdf
- [29] Clayton Christensen, Ridgway Hall, Karen Dillson, and Davis Duncan, *Competing Against Luck*, HarperCollins Publishers LLC, USA, 2016
- [30] 山本修一郎, MBJT-- モデルベースジョブ理論, 日本情報経営学会第 75 回大会, 2017.11.19
- [31] Shuichiro Yamamoto., et al., Using ArchiMate to Design e-Health Business Models, *Acta Scientific Medical Sciences* 2.7 (2018): 18-26
- [32] 山本修一郎, 手法を図式化する方法についての考察, KBSE 研究会, 2018.5.25
- [33] Zhengshu Zhou, Qiang Zhi, Shuji Morisaki, Shuichiro Yamamoto, IMAF—A Visual Innovation Methodology based on ArchiMate Framework, *International Journal of Enterprise Information Systems* Vol.16, No.1, January-March 2020, pp.31-52, DOI: 10.4018/IJEIS.2020010102
- [34] 山本修一郎, ArchiMate によるビジネスモデル表現能力の検討, KBSE2019 1-10, pp. 25-30, 2019.5
- [35] 山本修一郎, 疑問詞を用いたビジネスモデル記法の比較法, 電子情報通信学会 知能ソフトウェア工学研究会 KBSE2019-35, 2019.11.8.
- [36] Yamamoto, S., A Comparative Analysis of Business Model Notations, *Journal of Business Theory and Practice*, Vol. 7, No. 3, pp. 111-123, 2019.
- [37] 山本修一郎, 付録 C ビジネスモデル表記法の比較, P229, DX の基礎知識, 近代科学社 Digital, 2020
- [38] Koyama, S., Yamamoto, S., et.al, A Consideration on MaaS Service Models using ArchiMate, AI 学会, 知識流通ネットワーク研究会, 2021.9.27, 2021 巻 KSN-029 号 p. 01-
- [39] Saoriko Koyama, Yushi Tsuji, Ryuta Masuda, Hikaru Onoda, Hayate Ono, Madoka Natsuyama, Takashi Endo, Kazuki Iwasa, Shuichiro Yamamoto, A Technique to Integrate Service Business Models with ArchiMate, *CENTERIS2022, Procedia Computer Science* 219 (2023) 479–485
- [40] 山本修一郎, ArchiMate による DX の可視化手法, 情報処理学会ソフトウェア工学研究会, Vol.2020-SE-204, No.18, pp.1-10, 2020
- [41] 山本修一郎, DBSC, KBSE2019-41, pp.19-24, 2020
- [42] 山本修一郎, 8.1 DBSC, P150, DX の基礎知識, 近代科学社 Digital, 2020
- [43] Shuichiro Yamamoto, A Strategic Map for Digital Transformation, *KES 2020, Procedia Computer Science*, Volume 176, 2020, Pages 1374-1381
- [44] Shuichiro Yamamoto, An Approach to Visualize Digital Transformation in Healthcare, *Acta Scientific Medical Sciences* 4.9 (2020): 26-32
- [45] Shuichiro Yamamoto, Analysis of Smart City Reference Architecture by ArchiMate, *KES2022*, 2022
- [46] Zhengshu Zhou, Qiang Zhi, Shuji Morisaki, Shuichiro Yamamoto, A Systematic Literature Review on Enterprise Architecture Visualization Methodologies, Vol.8, pp.96404-96427, *IEEE Access*, 2020
- [47] 山本修一郎, ArchiMate によるサービス設計モデルの提案, AI 学会, 知識流通ネットワーク研究会, 2021.9.27, 2021 巻 KSN-029 号 p. 03-
- [48] 山本修一郎, ArchiMate によるサービス設計法の提案, KBSE 研究会 KBSE2021-29, pp.25-30, 11/5, 2021
- [49] 山本修一郎, 大西宝, 朝倉駿哉, ArchiMate によるサービス品質分析パターンの提案, KSN-032 号 p.05, 2023
- [50] Y. Tahara, S. Yamamoto, A Manual-based Knowledge Externalization Pattern using ArchiMate, *KES2023. Procedure Computer Science*, Volume 225, 2023, pp. 599-608
- [51] 山本修一郎, ArchiMate による Systemigram 表現法の考察, AI 学会 KSN 研究会, 2022 年 2022 巻 KSN-030 号 p. 07-, https://doi.org/10.11517/jsaisigtwo.2022.KSN-030_07_2022
- [52] 厚生労働省, 病院における省エネルギー実施要領, 2008
- [53] S. Yamamoto, Enterprise Energy Requirements Management towards Sustainability, The 8th International Conference on New Energy and Future Energy Systems (NEFES 2023), *FES3023*, 2023