

システムオブシステムズの現状と課題

落水浩一郎 (UIT, Myanmar), 小笠原秀人 (千葉工業大学), 日下部茂 (長崎県立大学), 艸薙匠 (東芝), 熊谷章 (金沢諏訪堂の会), 栗田太郎 (ソニー株式会社), 塩谷和範 (ISO/IEC SC7 エキスパート), 新谷 勝利 (新谷 IT コンサルティング), 鈴木正人 (北陸先端科学技術大学院大学), 瀬尾明志 (日本ユニシス株式会社), 富松篤典 (株式会社電盛社), 奈良隆正 (コンサル 21 世紀), 羽田裕 (日本電気通信システム), 方学芬 (SRA), Huyen Phan Thi Thanh (日立製作所), 堀雅和 (株式会社インテック), 矢嶋健一 (株式会社 JTB)

要旨

連携する情報システム群(システムオブシステムズ)を対象として, その定義, 問題点, 対処策に対する研究・技術開発の課題を検討する。

1. はじめに

ソフトウェア技術者協会システムオブシステムズ研究会(SIGSoS)は, システムオブシステムズ(以下 SoS と略記)を分類・定義し, 発生する問題を整理し, 対処策を共有する目的で, 2017 年 1 月より, 文献調査, 事例調査を通じて, SoS に関する問題点の整理と解決策の検討を実施してきた。本論文では, 活動の成果を基に, SoS に関する今後の研究課題, 技術開発の方向性について検討する。

2. SoS とは

SoS とは, 複数の分散システムや社会技術システムをネットワークで結合したシステムである。社会技術システムとは, 計算機, ソフトウェア, 装置などの技術的要素に加えて, 人間, プロセス, 規則などの非技術的な要素をシステム設計の対象に加えたものである。

SoS とは, 単なる情報システムの連携ではなく, Maier[1]によれば以下の特徴を有している。

(1) 操作の独立(Operational Independence)

SoS の構成システムは, 単なるコンポーネントではなくそれ自身一つのシステムとして動作する。それゆえ, 異なる方針や規則に支配され(ガバナンス複雑性), 異なる管理法(管理的複雑性)に支配される。

(2) 管理の独立(Managerial Independence)

SoS の構成システムは, 異なる組織に所有され, 異なる手段で管理される。それゆえ, 管理や進化に関して異なる規則やポリシーが適用される。この点は SoS の最も特徴的な点の一つである。

(3) 進化的開発(Evolutional Development)

SoS は単一のプロジェクトによって開発されるわけではなく, 時とともに進化する。このため, システムの異なる

部分は異なる技術を用いて構築されがちである。

(4) 創発特性(Emergency)

創発特性とは, SoS が生成されたあとでのみ明らかになる特性である。

(5) 地理的分散(Geographical Distribution)

SoS は, しばしば異なる組織にわたって地理的に分散している。システム管理に関する意思決定やセキュリティの維持を困難にする。

Ian Sommerville[3]は, 以下の2点を追加している。

(6) データ集約(Data-intensive)

SoS は, 通常システムの 10 倍から 100 倍になる, 巨大なデータに依存している。

(7) 異質性(Heterogeneity).

SoS の構成システムは, 異なる言語や設計法を用いて設計される。

なお, 文献[2,3]に, ほぼ同様の SoS の定義がなされている。

3. SoS における問題点

我々は文献[4,5]を基にした調査により, SoS における問題点を以下のように整理した(図 1)。

- ① 各システムが異なる組織によって管理されるため, SoS 構成要素が独自に進化する。
- ② システム境界が不明確なため要求定義が困難である, また従来の信頼性技術が適用しにくい。
- ③ Governance Complexity や Managerial Complexity などの新しいタイプの複雑性の制御が必要である
- ④ 創発特性への対応が困難である。
- ⑤ また, セキュリティやセフティの問題がこれに絡み, 事態をさらに複雑にしている。

これらの問題は, クローズドなシステム(例えばオペレーティングシステム)を対象として発展してきた伝統的なソフトウェア工学の成果(図 2)では対処しにくい。

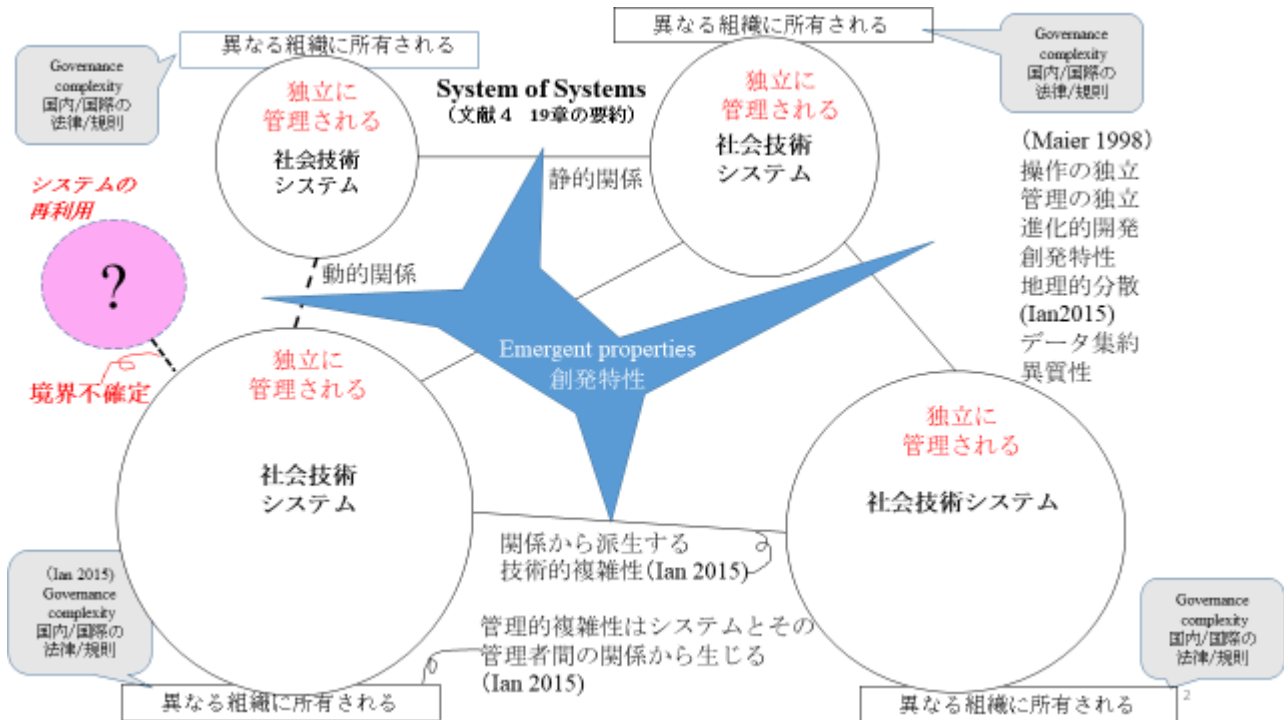


図1 SoS の問題点と課題

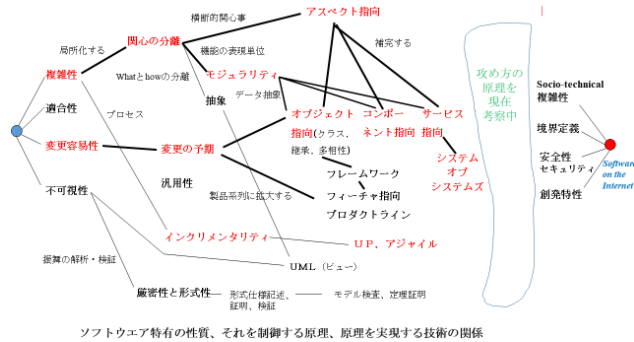


図2 伝統的なソフトウェア工学の成果

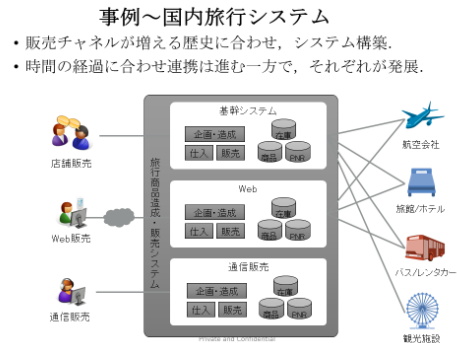


図3 旅行販売システムの例

4. SoS における問題の一般性と解の探求

現在、世の中の多くの情報システムは SoS が有する問題点を抱えている。例えば、図3に示すシステムは、第2回研究会で検討した旅行会社の旅行販売システムの例であるが、航空会社の座席予約システム、ホテルの予約システム、カード会社のシステム等、海外のシステムも含めた多くの情報システムとの連携により実現されている。そこでは、本章の冒頭に示した5つの問題が存在することが確認されている。

SoS における課題と解決策を手掛かりに、今後、ネットワーク上で連携して稼働する情報システム群に対する課題を整理し、解決策を検討する必要がある。

これまでの調査・検討の結果は以下の通りである。

- (1) 初年度は文献[4,5]に基づき、SoS の定義と問題点を把握した。
- (2) 2年目は創発特性と安全性を対象として、レジリエンスエンジニアリングの研究成果を調査した。レジリエンスエンジニアリングとは、システムの安全性に関して、Safety-II を目標とするアプローチである。Safety-IIの安全管理では、なぜ平時に業務が成功しているのかを把握し安全活動に活かす[6]。この中でも、システムエンジニアリングズの成果である、システム機能間の不適切な相互作用の抽出を目標とする、エリック・ホルナゲルが提案したFRAM[7]と、システムコンポーネント間の非安全

システム（人、ソフト、ものの複合体）特有の性質、それを制御する原理、原理を実現する技術の関係

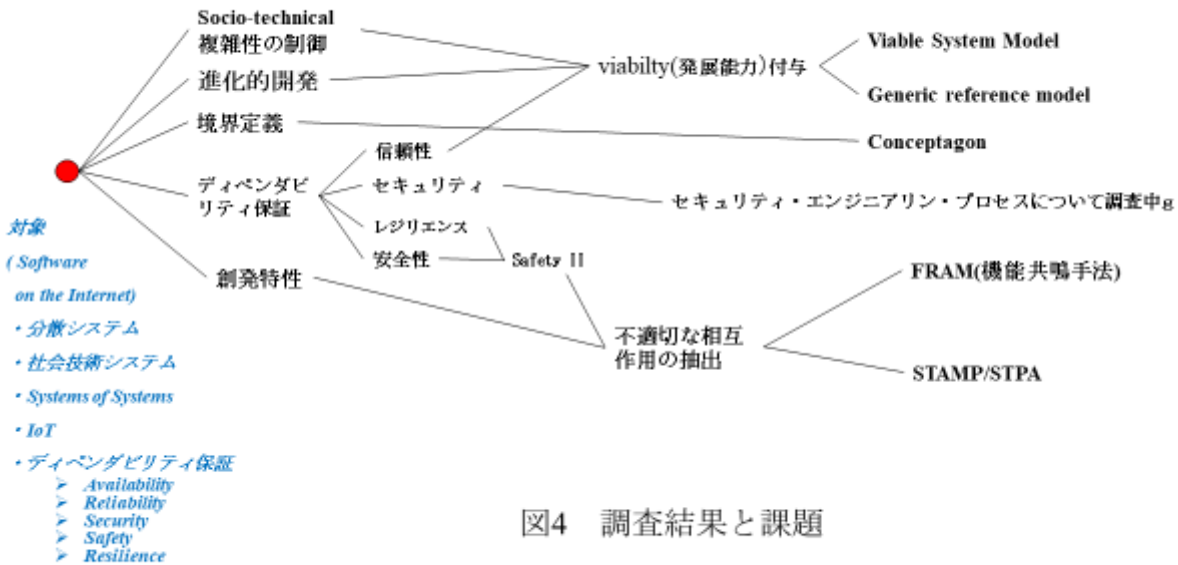


図4 調査結果と課題

な相互作用に注目する STAMP/STPA のアプローチ[8]を集中的に調査した。

5. SoS の課題

ここまでの調査結果に基づき、SoS に関する問題解決のため、以下の課題の検討は重要である。

- (1) **SoS の開発方法とテスト・検証法:** SoS はその構築時から進化する。また、構成要素システム群の結合時に発生する創発特性を制御する必要がある。さらに、社会技術システムに特有の社会技術複雑性を制御する手段を開発する必要がある。環境の変化（例えば法律や規則の変化）に伴って社会技術システムの進化を支持するメタモデルを定義した Viable Systems Model[9]や、Viability 維持など同様の狙いを持つ Derek K Hitchins による Generic Reference Model[10]などを手掛かりに、SoS の進化支援方法論とリファレンスアーキテクチャを開発する必要がある。
- (2) **セキュリティとセフティ:** 安全性（とセキュリティ）に関しては、FRAM と STAMP/STPA を基に、事例研究を推進することにより、SoS への適用法についての知見を深める必要がある。
- (3) **コーディネーション支援と境界定義:** SoS の運営には、組織間のコーディネーションが必須である。課題 1 と関連づけながら、組織間

のコーディネーション支援の方式を検討する必要がある。また、コーディネーション支援に必要な情報をブロックチェーン[11]により分散共有する技術の開発も興味深い。さらに、境界定義は SoS の要求を確立するための必須の前提条件である。Conceptagon フレームワーク[12]における 7つの triplets のうち、例えば、“システムの内部と外部”などを手掛かりに、オープンシステムの境界定義法を検討することが必要である。なお、Conceptagon, Viable Systems Model, Generic Reference Model については、文献[13]に解説がある。

6. まとめ

操作・管理の独立、境界定義、進化的開発、創発特性などの特徴を有する SoS に関して、研究技術開発の課題として、SoS リファレンスモデル、進化支援方法論、安全性や信頼性の解析手段の必要性を提案した。提案内容が SoS 固有の問題解決にあたって必ずしも十分であるとはいえないが今後さらに検討を進める予定である。

謝辞

文献[9,10,12]の存在については、本稿の査読者よりご教示頂いた。記して謝意を表する

文献

- [1] Maier, M.W. "Architecting Principles for Systems-of-Systems", *Systems Engineering* 1(4): pp.267-284, 1998.
- [2] Laura Antul, Judith Dahmann, Aleksandra Markina-Khusid, Ryan Jacobs, "The Systems of Systems(SoS) Primer: A Guide to SoS for all Expertise Levels", NDIA 20th Annual Systems Engineering Conference, 2017.
- [3] "Systems of Systems(SoS)", SEBOK
- [4] Ian Sommerville, "Software Engineering – 10thED.", Pearson, April 2015.
- [5] Edited by Mo Jamshidi, "Systems of Systems Engineering – Principle and Applications", CRC press, 2009.
- [6] <https://resilient-medical.com/risk/resilience-engineering#safety>
- [7] エリック・ホルナゲル著, 小松原明哲監訳, 「社会技術システムの安全分析 FRAM ガイドブック」, 海文堂, 2013年.
- [8] 日下部 茂, 「STAMP/STPA の最新の動向」, SIGSoS 第5回例会, 2018年5月
- [9] Janek Richter, Dirk Basten, Applications of the Viable Systems Model in IS Research A Comprehensive Overview and Analysis, 2014 47th Hawaii International Conference on System Science, pp.4589-4599, 2014
- [10] Derek K Hitchins, "The Generic Reference Model", <http://systems.hitchins.net/systems/grm-v4.pdf>.
- [11] 赤羽喜治, 愛敬真生 著, 「ブロックチェーン仕組みと理論 サンプルで学ぶ FinTech のコア技術」, リックテレコム, 2016.
- [12] The Conceptagon-- A Framework for Systems Thinking and Systems Practice, Proceedings of the 2009 IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics, pp.3299-3304, 2009.
- [13] 山本修一郎, "システム理論と保証ケース手法の融合に向けた研究課題", 社会技術システムのモデル化と検証シンポジウム", 2016.