

科学研究費助成事業 研究成果報告書

令和 5 年 6 月 26 日現在

機関番号：31502

研究種目：研究活動スタート支援

研究期間：2021～2022

課題番号：21K21301

研究課題名（和文）システム理論による社会技術システムの事故分析手法の確立

研究課題名（英文）Establishment of Accident Analysis Method for Sociotechnical System by System Theory

研究代表者

金子 朋子（KANEKO, TOMOKO）

東北公益文科大学・公私立大学の部局等・研究員

研究者番号：60906345

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 2,400,000円

研究成果の概要（和文）：事故は社会インフラに多大な影響を社会に与え、現状のAIは、特に安全性や信頼性に対して大きな懸念がある。この解決のために事故分析手法CASTの拡張分析手順の研究やAIシステムの事故分析を行った。さらにソフトウェア起因の分析を、意思決定インテリジェンスとして実施できることを目指した研究をした。その結果、新たに「Naturally Decision Intelligence」と名付けた同期型意思決定インテリジェンスを導出した。これは複雑なAIシステムにおいて、人間の同期的思考に模して、的確な判断ができる構造を探求したものであり、特に同期的に制御が必要な自動運転などのAIシステム基盤に適している。

研究成果の学術的意義や社会的意義

事故は社会インフラに多大な影響を社会に与え、同じような事故は繰り返し起きている。一方、現状のAIは、特に安全性や信頼性に対して大きな懸念がある。AIの動作は安全保証しがたく、AIシステムである自動運転は実証段階において、複数の人身事故が発生している。この状態の解決のために本研究では、事故分析手法CASTの拡張分析手順の研究やAIシステムの事故分析を行った。

研究成果の概要（英文）：This project aims to tackle the issue that the accuracy of conventional single models alone is not enough to evaluate the entire system in a system that includes AI, and based on system theory, to measure risk from a global perspective, to find points to be improved based on hazard factors, to determine leading indicators based on hazard factors and external conditions, and to develop optimal countermeasures and problem-solving. The project is also aimed at creating a system that can be used in a wide range of fields, such as information science and engineering, and in developing a system that can be used in a wide range of areas, such as information technology and information engineering.

研究分野：情報科学、情報工学およびその関連分野

キーワード：事故分析手法 AIシステム 社会技術システム CAST 自動運転 セキュリティ・レジリエンス FRAM 意思決定インテリジェンス

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属します。

1. 研究開始当初の背景

(1) 社会インフラのシステムにおける事故は多大な影響を社会に与え、同じような事故は繰り返し起きている。一方、現状の AI は、その品質、特に安全性や信頼性に対して大きな懸念がある。AI の動作は安全保証しがたく、AI システムである自動運転は実証段階において、複数の人身事故が発生している。

(2) デジタル社会に与える影響をモデリングし、社会技術システムの事故分析方法が求められている。特に機械学習技術を用いた AI の実用化が促進され、システムに組み込まれることで事故原因となってきているため、自動運転を中心に AI を含んだ CPS(Cyber-Physical System)の事故分析手法の研究とする。

2. 研究の目的

(1) 従来の安全分析技術では、未然防止をすすめるためには事故を局所的な対処で終えてきたが、社会全体を CPS(Cyber-Physical System)として扱うためには、複雑かつリアルタイムに変化する状況下において複合的な要因で発生する事故を分析する技術が必要不可欠である。そこで本研究では、CPS の構造モデリングと相互作用分析により、AI システムの複合的事故原因をどこまで追求できるか？、特にソフトウェアである AI コンポーネント自体の可視化と原因分析がどこまで可能か？を探求する。

(2) サイバー世界とフィジカル世界が高度に融合する CPS の事故原因を構成要素の構造モデリングと相互作用分析により解明する。特に従来、STAMP で踏み込んだ分析がなされてこなかった、ソフトウェア起因の事故を対象とし、AI が主要因である事故を扱う。安全性の担保ができないため、事故原因を生んでいる自動運転の AI システムに特化した研究を目的とする。

3. 研究の方法

【研究項目 1 : CAST の拡張分析手順】では、5 階層モデルにより対象を明確化する点で高く評価された成果(STAMP S&S : 図 1)を CAST 手順に適用し、さらにソフトウェア層と他層との関係や各層自体の多段階化による深いコンポーネント間の相互作用として捉えて原因分析可能な手法へと発展させる。これにより CAST 手順に示す上位や下位レベルを具体的な層別に区別し、モデリングを実施しやすくする。また分析の軸や多数のヒントを得ることができ、より具体的な欠陥の導出、経時的な変化に対する欠陥の導出が可能となる。さらに関連するコンポーネントの網羅・分析も併せて実施し、安全性に対する評価・冗長性への対応等の強化ポイントを導出する。

【研究項目 2 : AI システムの事故分析】では、実際におきた自動運転の事故報告書をもとに構造モデリングと相互作用分析をする。第一に、CAST の拡張分析手順により 5 階層モデルの全体からとらえた事故要因を分析する。具体的には事例の各コンポーネントのアルゴリズムとプロセスモデルを明確化により違反された安全要求と制約を定め、対策として組織、人、機器、AI 自体などの各コンポーネントの具体的な安全責任を制御構造から確定する方法を求める。第二に、物性を伴わないソフトウェアの特徴、AI の挙動の不確実性を踏まえ、ソフトウェア起因の事故について深掘りした相互作用の分析をする。仕様要求誤りやプログラムバグを分析対象にすることが想定される。

4. 研究成果

デジタル社会に与える影響をモデリングし、社会技術システムの新たな事故分析方法の確立のため、本研究では、前述した目的を達成するために以下の 3 つの研究項目を進めた。さらに 2022 年度は国立情報学研究所への出向から(株)NTT データの技術統括システム本部の AI リスクを担当するデータサイエンス研究部門に復帰するという当初予想していなかったことが起きたことにより、意思決定インテリジェンスの調査研究を行うことになった。

【研究項目 1 : CAST の分析手順の有効性検証】として、デジタル社会は、組織、サービス、システム、ソフトウェアの各層によって成り立ち、社会全体の仕組みを統合的に考えることが複雑な対象を捉えやすくなると考え、STAMP S&S の 5 階層モデル(図 1)により品質属性を相互作用として分析した。特にサービス層とリンクするステークホルダ層の識別と相互作用の分析による安全性の確保をスマートシティ事例に基づき研究した。分析手順の有効性検証として、サービス層とリンクするステークホルダ層の識別と相互作用の分析による安全性の確保を老人見守り用の IoT システム事例に基づき研究した。これらの研究成果として「コンピュータシステムにおけるセーフティ & セキュリティ技法と統合アプローチ」(図 2)や「安全性分析の新潮流」がジャ

ーナル論文として採択された。

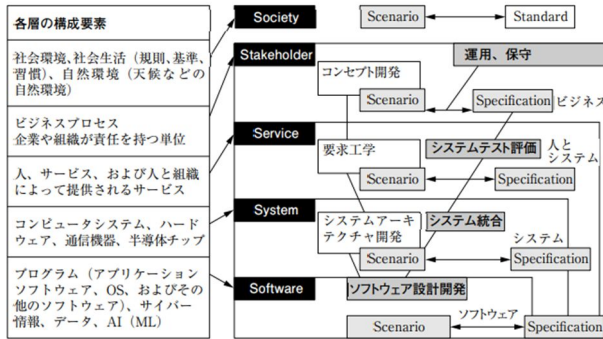


図1 5層モデルと構成要素

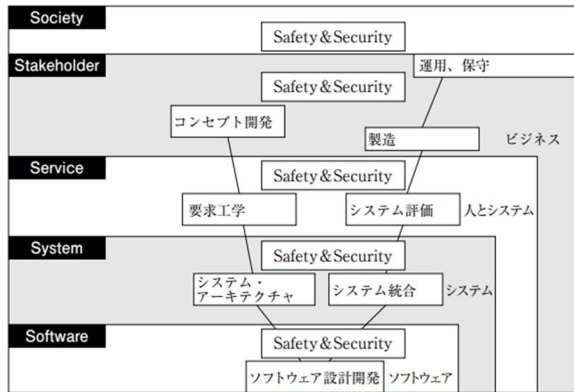


図2 セーフティ&セキュリティの目指すべき姿

また、【研究項目2：CASTのセキュリティ適用方法の確立】として、安全性分析手法のサイバーセキュリティ・インシデントへの応用研究を実施。その結果、サイバーセキュリティ攻撃経路がシステム理論に基づく制御構造で表せることを見出した。産業総合研究所に対する攻撃事例で分析したCyber-Security Incident Analysis by Causal Analysis using System Theory (CAST)は国際会議に採択された(図3)。さらに事故分析のセキュリティ適用方法の確立として、FRAM分析手法を用いたセキュリティレジリエンスの応用研究を実施。その結果、サイバーセキュリティ攻撃を産業総合研究所に対する攻撃事例をボトムアップなFRAM分析で分析した「Security Resilience」は国際会議に採択された。産業界に資する成果として提供するため、機械学習システムセキュリティガイドラインを機械学習システムセキュリティ・セーフティワーキンググループで制定した。

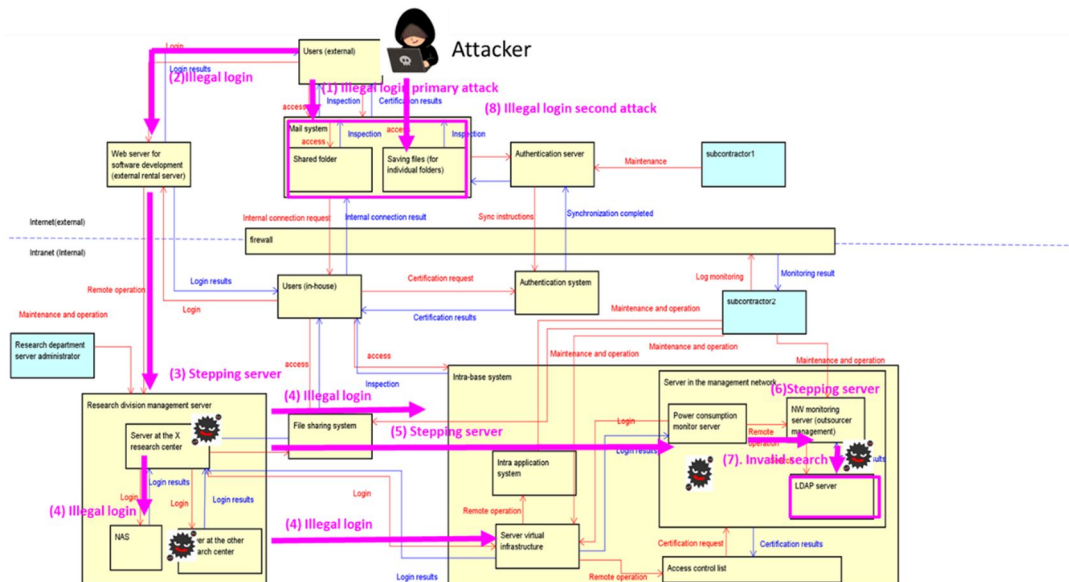


図3 . CASTのセキュリティインシデント対応事

【研究項目3：ソフトウェア起因の事故分析】として、AIの中でも不確実性の高いDNN (Deep Neural Network) システムにおけるリスクをリスクアセスメント、リスク対応、リスク評価を含めたリスクマネジメント全体の枠組みに従った安全論証を研究した。特にDNN開発時に「修正対策時において、重要な場面での動作を担保できない」という問題を解決するために、システム運用段階でのリスクを捉えて、DNNモデルでリスクの高い重要なシーンに含まれるラベルの精度を改善することで重要な場面での動作を担保できることを目指し、この改善の仕組みの具体化を図る研究を実施した。この研究はJST未来社会創造事業「超スマート社会の実現」領域「本格研究」である機械学習を用いたシステムの高品質化・実用化を加速する“Engineerable AI”技術の開発において、私が交通PoCのリーダーとして研究活動の一環として、産業界と学术界から集まったプロジェクトメンバーと共に実施したものである。その成果の一部は、「Safety and Risk Analysis and Evaluation Methods for DNN Systems in Automated Driving」として国際会議採択された(図4)。

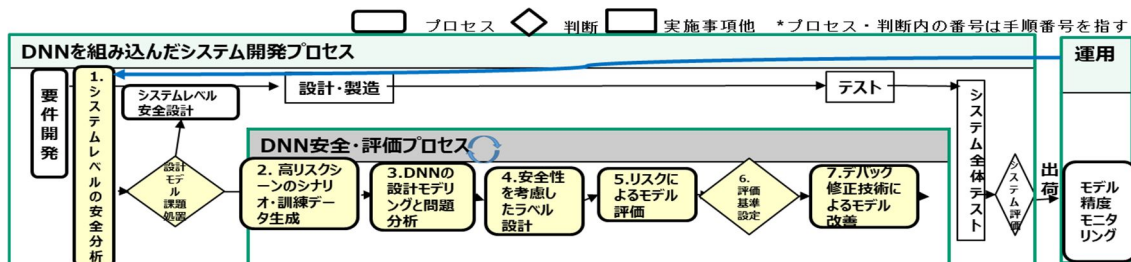


図4 . DNN (深層学習) を含めた AI システムの安全性分析・評価方法の枠組み

最善な意思決定を実現するための概念や方法を体系化したデータサイエンスは意思決定インテリジェンス (Decision Intelligence) と呼ばれる (図5) . 私は、最先端 AI フレームワーク技術である意思決定インテリジェンスを技術動向と社会への適用状況を網羅的に調査し、その概要は、「Decision Intelligence ~ データ活用による未来の意思決定 ~ 」として公開した。さらに現状の意思決定インテリジェンスの問題解決のため、ソフトウェア起因の分析を、意思決定インテリジェンスとしてできることを目指し、この改善の仕組みの具体化を図る研究を実施した。新たに提案した同期型意思決定インテリジェンスである「Naturally Decision Intelligence」は、AI の理論とアプリケーションへの貢献を認められる女性研究者の特集号への招待論文として国際女性の日に発行され、国際会議論文としても採択された。日本でのシステム安全推進者としての活動と研究についても宇宙の安全性の国際会議で発表した。

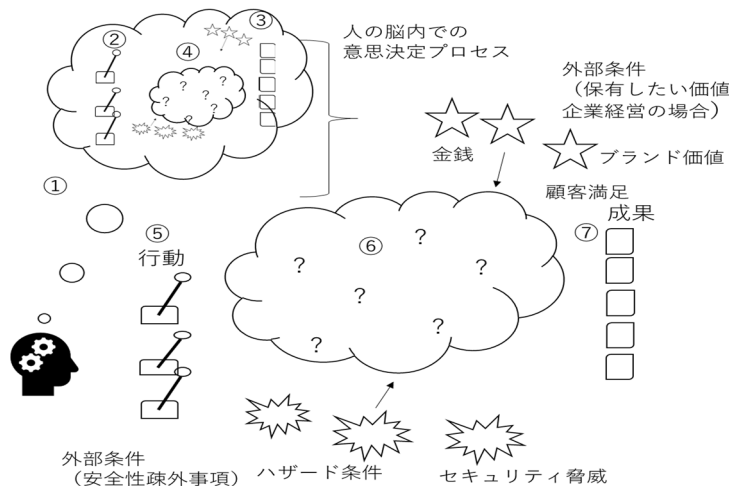


図5 . 人間の意思決定の仕組みのイメージと同期

* から は意思決定の順序を示す。
 CDD 法はこの要素をリンク (同期) した仕組みをフレームワークのベースにしている
 * 外部条件に安全性疎外事項と保有したい価値を考慮する
 * LYEE 理論では、「同期性」とは存在の無謬性を稼働時に保証するためのシステムをさす。意思決定プロセスにおいて、学習アルゴリズムを無限事象の解法論 (即ち、無限事象の全体とそれを構成する 1 個の事象が同期する関係) として定義。

2021 年度と 2022 年度の本科研費事業期間において、査読付学术论文 4 件、国際会議採録 6 件を実施するなど充実した研究成果を出せた。さらに研究実績を積み上げた成果で、35 年間、民間企業で技術者をしてきた私自身が、創価大学理工学部情報システム工学科の公募に合格し、専任教員として教授職に就くことができた。本科研費における研究自体が大きな支えとなったことを深く感謝している。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計5件（うち査読付論文 4件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 金子朋子	4. 巻 -
2. 論文標題 安全性分析の新潮流と事故分析手法STAMP/CAST	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 日本ソフトウェア科学会	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Tomoko Kaneko	4. 巻 17(1):1-17
2. 論文標題 Naturally Decision Intelligence - Perfect Algorithm generated by hypothetical and synchronizing model for life system	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Intelligent Decision Technologies- An International, Publication of special issue, OUTSTANDING WOMEN CONTRIBUTIONS IN THEORY AND APPLICATIONS OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.3233/IDT-220231	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 金子朋子	4. 巻 Vol.45, No.2(通巻270号)
2. 論文標題 コンピュータシステムにおけるセーフティ & セキュリティ技法と統合アプローチ	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 日本信頼性学会誌 (REAJ誌)	6. 最初と最後の頁 P68-75
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 金子朋子, 安部浩之	4. 巻 -
2. 論文標題 Decision Intelligence ~ データ活用による未来の意思決定 ~	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 NTT DATA 公開サイト	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 佐々木良一, 金子朋子, 高橋雄志, 福澤寧子	4. 巻 35,3
2. 論文標題 リモートメンテナンスを伴いフィードバックを有するIoTシステムのリスクアセスメント手法	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 JSSM論文誌	6. 最初と最後の頁 3-17
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.32230/jssmjou	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計14件 (うち招待講演 1件 / うち国際学会 7件)

1. 発表者名 Tomoko Kaneko Yuji Takahashi Shinichi Yamaguchi Jyunji Hashimoto Nobukazu Yoshioka
2. 発表標題 Safety and Risk Analysis and Evaluation Methods for DNN Systems in Automated Driving
3. 学会等名 14th International Joint Conference on Knowledge-Based Software Engineering (JCKBSE 2022) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 金子朋子, 高橋雄志, 山口晋一, 橋本順之, 吉岡信和
2. 発表標題 自動運転におけるDNNシステムを対象とした安全・リスク分析・評価方法
3. 学会等名 電子情報通信学会 KBSE研究会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Tomoko Kaneko, Nobukazu Yoshioka, Ryoichi Sasaki
2. 発表標題 Cyber-Security Incident Analysis by Causal Analysis using System Theory (CAST)
3. 学会等名 2021 IEEE 21st International Conference on Software Quality, Reliability and Security Companion (QRS-C) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Tomoko Kaneko
2. 発表標題 Proposal of Naturally Decision Intelligence as a Promoter of Safety Activities in Japan
3. 学会等名 2th International Association for Advanced Space Safety(IAASS) Conference, (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Tomoko Kaneko
2. 発表標題 Decision Intelligence into Synchronization
3. 学会等名 the 15th International Conference on Computer and Automation Engineering (ICCAE2023) (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Tomoko Kaneko
2. 発表標題 Security Resilience - Considerations from the Application of the Functional Resonance Method (FRAM) to Information Security Incidents
3. 学会等名 IEEE QRS2022, Workshop on Cyber Forensics, Security, and E-discovery (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Tomoko Kaneko, Yuji Takahashi, Shinichi Yamaguchi, Jyunji Hashimoto, Nobukazu Yoshioka
2. 発表標題 Safety and Risk Analysis and Evaluation Methods for DNN Systems in Automated Driving
3. 学会等名 14th International Joint Conference on Knowledge-Based Software Engineering (JCKBSE 2022) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 鎌田桂太郎, 高橋雄志, 金子朋子
2. 発表標題 STAMP/STPAを用いた 高齢者見守りシステムのIoT化に対する安全性分析
3. 学会等名 日本科学技術連盟ソフトウェア品質研究会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Tomoko Kaneko
2. 発表標題 Thinking from Incidents - Security Resilience
3. 学会等名 FRAMily2022 (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 金子朋子
2. 発表標題 ITシステムにおいてセキュリティとセーフティをどう両立・実現するか～ITリスク学の知見を活用した対策の方法や今後の課題～
3. 学会等名 【日本銀行 金融研究所】セミナー 招待講演 (招待講演)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 金子朋子
2. 発表標題 「セーフティ&セキュリティ入門」～2大セーフティ理論から考えるセキュリティ・バイ・デザイン
3. 学会等名 日本セキュリティマネジメント学会ITリスク学研究会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 金子朋子
2. 発表標題 自動運転におけるDNN安全性評価方法~ e A I プロジェクト 交通PoCの活動を通じて
3. 学会等名 第3回AI/IoTシステム安全性シンポジウム
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 金子朋子
2. 発表標題 日本語訳完成記念 ~CASTチュートリアル~
3. 学会等名 第3回AI/IoTシステム安全性シンポジウム
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 金子朋子
2. 発表標題 <基調講演> セーフティ&セキュリティ入門 SQiP分科会活動から本がうまれた!
3. 学会等名 ソフトウェア品質管理研究会
4. 発表年 2021年

〔図書〕 計3件

1. 著者名 機械学習システムセキュリティ・セーフティワーキンググループ	4. 発行年 2022年
2. 出版社 機械学習システムセキュリティガイドライン策定委員会	5. 総ページ数 135
3. 書名 機械学習システムセキュリティガイドライン	

1. 著者名 Tomoko Kaneko, Nobukazu Yoshioka	4. 発行年 2022年
2. 出版社 Springer, LEARNING AND ANALYTICS IN INTELLIGENT SYSTEMS (LAIS) book series	5. 総ページ数 26
3. 書名 Ensuring the safety of entire machine learning systems with STAMP S&S	

1. 著者名 金子朋子	4. 発行年 2021年
2. 出版社 日本科学技術連盟出版社	5. 総ページ数 217
3. 書名 セーフティ・セキュリティ入門	

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
---------------------------	-----------------------	----

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------