

戦略的国際共同研究プログラム(SICORP)
国際共同研究拠点(インド)
フェーズ1 終了報告書 概要

1. 研究課題名:「安全な IoT サイバー空間の実現」
2. 研究期間:平成 28 年 10 月～令和 4 年 3 月
3. 主な参加研究者名:

日本側チーム

| | 氏名 | 役職 | 所属 | 研究分担 |
|---------------|-------|----------|---------------------|------|
| 研究代表者 | 岡村 耕二 | 教授、センター長 | 九州大学サイバーセキュリティセンター | WP6 |
| 主たる共同研究者 | 岡田 義広 | 教授 | 九州大学附属図書館付設教材開発センター | WP5 |
| 主たる共同研究者 | 櫻井 幸一 | 教授 | 九州大学大学院システム情報科学研究院 | WP3 |
| 主たる共同研究者 | 久住 憲嗣 | 准教授 | 芝浦工業大学システム理工学部 | WP1 |
| 主たる共同研究者 | 小野 貴継 | 准教授 | 九州大学システムLSI研究センター | WP2 |
| 主たる共同研究者 | 金子 晃介 | 准教授 | 九州大学学術研究・産学官連携本部 | WP4 |
| 研究期間中の全参加研究者数 | | | 48名 | |

相手側チーム

| | 氏名 | 役職 | 所属 | 研究分担 |
|---------------|-----------------------|----|--|-------|
| 研究代表者 | Sanjiva Prasad | 教授 | Indian Institute of Technology Delhi | WP1,3 |
| 主たる共同研究者 | Kolin Paul | 教授 | Indian Institute of Technology Delhi | WP3,6 |
| 主たる共同研究者 | Smruti Ranjan Sarangi | 教授 | Indian Institute of Technology Delhi | WP2 |
| 主たる共同研究者 | Subodh Sharma | 助教 | Indian Institute of Technology Delhi | WP4 |
| 研究参加者 | Ranjan Bose | 教授 | Indraprastha Institute of Information Technology | WP5,6 |
| 研究期間中の全参加研究者数 | | | 15名 | |

4. 日印共同研究の概要

IoT 空間は、様々な情報を収集し、それらの情報を高度に解析した結果をフィードバックすることによって、人々の生活を劇的に変化させることができることから第4次産業革命とも呼ばれ、その実用化が世界中で期待されている。IoT が広く使用されるようになると、さらにそのセキュリティの重要性が増す。本研究の目的は、IoT 空間を安全にするための研究開発を総合的に行い、安全なIoT サイバー空間を実現することであり、複雑なIoT 機器、ネットワーク、サーバおよび様々な情報で構成される IoT 空間のセキュア化を、インド工科大学デリー校(IITD)と九州大学のそれぞれ得意とする研究領域を融合させ実現する。我々は、安全な IoT 空間の実現のために、IoT 空間そのものを安全にする技術の研究と、IoT 空間を安全に利用するための人間のリテラシーの向上に関する研究に取り組んだ。IoT 空間を技術的に安全にする基本方針として「セキュリティ・バイ・デ

デザイン」を念頭に置き、先天的に脆弱性の否めない後付けのセキュリティ対策ではなく、セキュリティ対策が施された状態の組み込み式で製品化されることを目指した。さらに、IoT 空間サービスを提供する人間やそのサービスを利用する人間が安全に IoT 空間を利用するための訓練や教育を含めている点も特徴の一つである。本研究の目的を達成するために、我々は IoT 空間を安全にするための 6 つの研究課題を決定し、それぞれの課題を担当する WP (Working Package) を日本側、インド側のメンバーで構成した (WP1: IoT 用の安全な組み込みシステム、WP2: セキュリティ指向低消費エネルギー IoT プロセッサシステム、WP3: 安全な IoT 空間クラウド、WP4: 安全な IoT アプリケーション、WP5: 脅威情報を利用した IoT 専門教育、WP6: サイバー演習装置を用いた IoT スペシャリスト育成教育)。これら 6 つの WP で実施した本研究は、IoT に対して汎用的に、システム、データ、そして人間に対してセキュリティを向上させるものであり、本研究の成果は、IoT 一般に対して適応可能である。新型コロナウイルス感染拡大防止策による行動制限が本格化した 2020 年度以降は各 WP の責任者が出席するオンラインによる定期的な会議を開催し、研究の進捗の確認や情報交換を行った。さらに、2020 年度、2021 年度は、IEEE 共催での「安全な IoT 空間」、「将来の安全な社会」に関する公開型オンラインワークショップを主催し、米国や英国からの基調講演を含む、各 WP の若手研究者の発表の機会を設け、オンラインでの国際共同研究を継続した。

5. 日印共同研究の成果

5-1 日印共同研究の学術成果および実施内容

本研究では、IoT 空間を技術的に安全にする基本方針として「セキュリティ・バイ・デザイン」を念頭に置き、後付けのセキュリティ対策ではなく、セキュリティ対策が施された状態で製品化されることを目指し、IoT システムの設計時から安全性を考慮する研究 (WP1)、アーキテクチャーレベルでセキュリティ対策を行う研究 (WP2) を行った。次に、IoT システムでは、入力されたデータが必ずクラウドを経由することから、IoT データを考慮したクラウドセキュリティに関する研究 (WP3)、さらにプラットフォームレベルでセキュリティ対策が行われた IoT システム上でのアプリケーションに関する研究 (WP4) を行った。人間のセキュリティリテラシーの向上に関する研究では、IoT セキュリティ対策用教材の開発に関する研究 (WP5)、IoT システムを安全に利用できる専門家の育成に関する研究 (WP6) を行った。

5-2 日印共同研究による相乗効果

本研究の相乗効果として、共同研究に関すること、国際的な人的交流に関すること、共同研究の成果の還元があげられる。共同研究においては、同じ研究目的に対して、その基礎技術について日本側、インド側でそれぞれ異なる強みがあり、その強みを組み合わせることによって目的に到達する事ができ、また、その達成度も大きかったという事例があった。国際的な人的交流では、日印双方でシンポジウムを開催した際、企業や他の関連組織の研究者を招聘したことにより、共同研究のさらなる活性化が図られた。

5-3 日印共同研究の波及効果および進展内容

本研究の波及効果のために、本研究で開発したソフトウェアを GitHub で公開している。また、研究内容を学生や研究者以外のより多くの人々が理解し、簡単な学習ができるように、研究内容に基づいて、教材を作成し、LMS (学習管理システム) である Moodle で公開している。専門家育成も同様に、そのための演習教材を Moodle で公開している。本研究で扱ったものが企業との共同研究という形で継続・発展しているものがある。

6. 国際共同研究拠点への発展性

本研究の基本方針である「セキュリティ・バイ・デザイン」によって、本研究成果によるセキュリティ対策が、設計時やハードウェア、プラットフォームに最初から組み込むことが可能になっている。セキュアなプラットフォームの実現のために取り組んだブロックチェーン技術は今後の国際社会を支える基盤技術の一つとなるべきものである。

**Strategic International Collaborative Research Program (SICORP)
Collaboration Hubs for International Research Program (Japan-India)
Executive Summary of Phase 1 Final Report**

1. Project title : 「Security in the Internet of Things Space」
2. Research period : Oct. 2016 ~ Mar. 2022
3. Main participants :

Japan-side

| | Name | Title | Affiliation | Role in the research project |
|--|-----------------|---------------------|--|------------------------------|
| PI | Koji Okamura | Professor | Cybersecurity Center, KU | WP6 |
| Co-PI | Yoshihiro Okada | Professor | ICER, KU | WP5 |
| Co-PI | Kouichi Sakurai | Professor | ISEE, KU | WP3 |
| Co-PI | Kenji Hisazumi | Associate Professor | System Engineering and Science, Shibaura Institute of Technology | WP1 |
| Co-PI | Takatsugu Ono | Associate Professor | System LSI Research Center, KU | WP2 |
| Co-PI | Kosuke Kaneko | Associate Professor | QREC, KU | WP4 |
| Total number of participants throughout the research period: | | | | 48 |

Partner-side

| | Name | Title | Affiliation | Role in the research project |
|--|-----------------------|---------------------|-------------|------------------------------|
| PI | Sanjiva Prasad | Professor | IITD | WP1,3 |
| Co-PI | Kolin Paul | Professor | IITD | WP3,6 |
| Co-PI | Smruti Ranjan Sarangi | Professor | IITD | WP2 |
| Co-PI | Subodh Sharma | Assistant Professor | IITD | WP4 |
| Collaborator | Ranjan Bose | Professor | IITD | WP5,6 |
| Total number of participants throughout the research period: | | | | 15 |

4. Summary of the international joint research

The IoT space is also called the fourth industrial revolution because of its ability to dramatically change people's lives by collecting various information and feeding back the results of advanced analysis of that information. Moreover, its practical application is expected to continue increase world-wide. As the IoT becomes more widely used, its security becomes even more important. The objective of this research is to "realize a secure IoT cyberspace" by comprehensively conducting research and development to secure the IoT space. In this research, we aim to secure the IoT space, which consists of complex IoT devices, networks, servers, and various information, by integrating the research areas at Indian Institute of Technology Delhi and Kyushu University. In order to realize a secure IoT space, we have conducted research on technologies to secure the IoT space, and research on improving human literacy to use the IoT space safely. In this research, we kept "security by design" in mind as the basic policy for making the IoT space technologically secure, and also aimed to commercialize the space with security measures in place, rather than retrofitting security measures. Another feature of this research is that it includes training and

education for the people who provide the IoT space services and the people who use those services. In this research, six research topics for making the IoT space safe were determined, and a WP (Working Package) for each topic was composed of members from the Japanese side and the Indian side. This research conducted by these six WPs is general-purpose for IoT and improves security for systems, data, and humans, therefore the results of this research are applicable to IoT in general.

Since FY2020, after human-behavioral restrictions due to measures to prevent the spread of COVID-19 have started, regular online meetings attended by the persons in charge of each WP have been held to confirm the progress of research and exchange information. Furthermore, in 2020 and 2021, we hosted open online workshops on "safe IoT space" and "future safe society" co-sponsored by IEEE, where young researchers from each WP had good opportunities of making their presentations and also keynote speeches were given by remarkable researchers from the United States and the United Kingdom, so that we have continued online joint research between two countries.

5. Outcomes of the international joint research

5-1 Scientific outputs and implemented activities of the joint research

In order to realize a secure IoT space, we conducted research on the technology to secure the IoT space, and research on improving human literacy to use the IoT space safely. In WP1, with "security by design" concept as the basic policy to make the IoT space technologically secure, we aimed to commercialize IoT systems with security measures in place, rather than retrofitting security measures, in consideration of security from the stage of IoT system design. In WP2, we aimed to study security measures at the architecture level. While, as input data in IoT systems always goes through the cloud, we conducted a study on cloud security considering IoT data (WP3), and a study on applications on IoT systems with security measures taken at the platform level (WP4). In the research on improving human security literacy, we conducted a study on the development of educational materials for IoT security measures (WP5) and also a study on the training of experts who can use IoT systems safely (WP6).

5-2 Synergistic effects of the joint research

The synergistic effects of this research were gained in terms of joint research, international human exchanges and the return of the results of joint research. Regarding joint research, both Japanese and Indian sides have different strengths in terms of the basic technology for the same research purpose, and by combining these strengths, the purpose was reached and the degree of achievement became great. Thus, the results became better. In international human exchange, the joint research was further activated by inviting researchers from companies and other related organizations when holding symposiums in both Japan and India. In addition, we were able to invite researchers from countries other than Japan and India to the symposium and expand international exchanges.

5-3 Scientific, industrial or societal impacts/effects of the outputs (Spillover effects)

For the spillover effect of this research, the software developed in this research has been released on GitHub. In addition, in order to help more people other than students and researchers to understand and easily learn from our research, we have created teaching materials based on the research content and published them on Moodle, LMS (learning management system) that is opened to the public. In addition, training materials for professional development are also available on Moodle.

6. Potential as international collaborative research hub

With the basic policy of this research, "Security by Design", the results of this research enable security measures to be built into the design, hardware and platform from the beginning. The blockchain technologies that we have worked on to realize a secure platform should become one of the fundamental technologies that will support the international community in the future.

国際共同研究における主要な研究成果リスト

1. 論文発表等

* 原著論文(相手側研究チームとの共著論文)発表件数:計 15 件

・査読有り:発表件数:計 15 件

1. Chenguang Ma, Srishti Kulshrestha, Wei Shi, Kosuke Kaneko, Akira Haga, Yoshihiro Okada, Ranjan Bose, "Integrated Development Frameworks Based on Linked Data for Web-Based Interactive Educational Materials", International Journal of Computer & Software Engineering (IJCSE), Vol.5, 160, 2020
2. Geeta Yadav, Kolin Paul, Alaa Allakany, Koji Okamura, "IoT-PEN: An E2E Penetration Testing Framework for IoT", Journal of Information Processing (IPSJ), Vol.28, pp.633-642, 2020
3. Kosuke Kaneko, Yusuke Tsutsumi, Subodh Sharma, Yoshihiro Okada, "PACKUARIUM: Network Packet Visualization Using Mixed Reality for Detecting Bot IoT Device of DDoS Attack", Lecture Notes on Data Engineering and Communications Technologies(LNDECT), vol.47, pp.361-372, 2020
4. Limao Ma, Kosuke Kaneko, Subodh Sharma, Koichi Sakurai, "Reliable Decentralized Oracle with Mechanisms for Verification and Disputation", International Symposium on Computing and Networking Workshops(CANDARW), pp.346-352, 2019
5. Wei Shi, Tianhao Gao, Srishti Kulshrestha, Ranjan Bose, Akira Haga, Yoshihiro Okada, "A Framework for Automatically Generating IoT Security Quizzes in 360VR Images/Videos Based on Linked Data", Lecture Notes on Data Engineering and Communications Technologies(LNDECT), vol.47, pp.259-267, 2020
6. Sandeep Kumar, Diksha Moolchandani, Takatsugu Ono, Smruti Ranjan Sarangi, "F-LaaS: A Control-Flow-Attack Immune License-as-a-Service Model", IEEE International Conference on Services Computing(SCC), vol.2019, pp.80-89, 2019
7. Shota Jojima, Kosuke Kaneko, Subodh Sharma, Koichi Sakurai, "Simulation of Secure Volunteer Computing by Using Blockchain", International Conference on Advanced Information Networking and Applications(AINA), vol.926, pp.883-894, 2019
8. Yoshihiro Okada, Akira Haga, Wei Shi, Chenguang Ma, Srishti Kulshrestha, Ranjan Bose, "E-Learning Material Development Framework Supporting 360VR Images/Videos Based on Linked Data for IoT Security Education", Lecture Notes on Data Engineering and Communications Technologies(LNDECT), vol.29, pp.148-160, 2019
9. Wei Shi, Chenguang Ma, Srishti Kulshrestha, Ranjan Bose, Yoshihiro Okada, "A Framework for Automatically Generating IoT Security Quizzes in a Virtual 3D Environment Based on Linked Data", Lecture Notes on Data Engineering and Communications Technologies(LNDECT), pp.103-113, 2019
10. Mihiro Sonoyama, Takatsugu Ono, Haruichi Kanaya, Osamu Muta, Smruti Ranjan Sarangi, Koji Inoue, "Radio Propagation Characteristics-Based Spoofing Attack Prevention on Wireless Connected Devices", Journal of Information Processing, vol.27, pp.322-334, 2019
11. Yuki Nishida, Kosuke Kaneko, Subodh Sharma, Koichi Sakurai, "Suppressing Chain Size of Blockchain-Based Information Sharing for Swarm Robotic Systems", International Symposium on Computing and Networking(CANDAR), pp.524-528, 2018
12. Jiawei Su, Danilo Vargas Vasconcellos, Sanjiva Prasad, Daniele Sgandurra, Yaokai Feng, Koichi Sakurai, "Lightweight Classification of IoT Malware based on Image Recognition", IEEE Annual International Computer Software and Applications Conference(COMPSAC), pp.664-669, 2018
13. Chenguang Ma, Srishti Kulshrestha, Wei Shi, Yoshihiro Okada, Ranjan Bose, "LEARNING ANALYTICS FRAMEWORK FOR IOT SECURITY EDUCATION", Proceedings of International Technology, Education and Development Conference(INTED2018), pp.9181-9191, 2018

14. Chenguang Ma, Srishti Kulshrestha, Wei Shi, Yoshihiro Okada, Ranjan Bose, "EDUCATIONAL MATERIAL DEVELOPMENT FRAMEWORK BASED ON LINKED DATA FOR IOT SECURITY", Proceedings of International Conference of Education, Research and Innovation(ICERI2017), pp.8048-8057, 2017
15. Chenguang Ma, Srishti Kulshrestha, Wei Shi, Yoshihiro Okada, Ranjan Bose, "E-Learning Material Development Framework Supporting VR/AR Based on Linked Data for IoT Security Education", Lecture Notes on Data Engineering and Communications Technologies(LNDECT), 2017

・査読無し: 発表件数: 計 0 件
該当なし

* 原著論文(相手側研究チームを含まない日本側研究チームの論文): 発表件数: 計 57 件

・査読有り: 発表件数: 計 57 件

・査読無し: 発表件数: 計 0 件

* その他の著作物(相手側研究チームとの共著総説、書籍など): 発表件数: 計 0 件

* その他の著作物(相手側研究チームを含まない日本側研究チームの総説、書籍など): 発表件数: 計 0 件

2. 学会発表

* 口頭発表(相手側研究チームとの連名発表)

発表件数: 計 16 件(うち招待講演: 0 件)

* 口頭発表(相手側研究チームを含まない日本側研究チームの発表)

発表件数: 計 83 件(うち招待講演: 2 件)

* ポスター発表(相手側研究チームとの連名発表)

発表件数: 計 1 件

* ポスター発表(相手側研究チームを含まない日本側研究チームの発表)

発表件数: 計 11 件

3. 主催したワークショップ・セミナー・シンポジウム等の開催

1. International Cybersecurity Seminar、主催者: 九州大学サイバーセキュリティセンター、インド工科大学、インド工科大学、デリー、インド、2017年3月20日、参加者 50 名
2. Workshop on Cybersecurity for IoT – Towards Secure Smart Building、主催者: 岡村耕二(九州大学・教授)、九州大学、福岡、日本、2017年7月10日、参加者 50 名
3. The 5th International Workshop on Security、主催者: 岡村耕二(九州大学・教授)、九州大学、福岡、日本、2017年7月14日、参加者 50 名
4. The 6th International Workshop on Security、主催者: 岡村耕二(九州大学・教授)、九州大学、福岡、日本、2018年1月22日、参加者 30 名
5. International Workshop on 5G and IoT Security、主催者: 岡村耕二(九州大学・教授)、インド工科大学、デリー、インド、2018年9月11日、参加者 50 名
6. The 7th International Workshop on Security、主催者: 岡村耕二(九州大学・教授)、三井ガーデンホテル熊本、熊本、日本、2019年4月18日、参加者 30 名
7. Secure IoT Space workshop、主催者: 岡村耕二(九州大学・教授)、オンライン、2020年12月3日、参加者 59 名

8. Secure Society in Future workshop、主催者：岡村耕二(九州大学・教授)、オンライン、2021年7月26日、参加者40名

4. 研究交流の実績(主要な実績)

- ・ 2017年7月1日～17日：インド工科大学から研究者2名を九州大学に受け入れ、WP全体で研究開発を進めた。
- ・ 2018年1月20日～24日：インド工科大学から研究者3名、学生1名をワークショップ講演とWP全体での研究打ち合わせのため九州大学に受け入れた。
- ・ 2018年6月9日～23日：インド工科大学から研究者1名を九州大学に受け入れ、WP全体で研究開発を進めた。
- ・ 2018年7月1日～10日：インド工科大学から研究者1名を九州大学に受け入れ、WP全体で研究開発を進めた。
- ・ 2019年4月17日～20日：インド工科大学から研究者4名、学生2名をワークショップ講演のため、九州大学に受け入れた。
- ・ 2017年6月28日～7月23日：インド工科大学から学生1名を九州大学へ受け入れ、共同で研究開発を進めた。
- ・ 2018年11月11日～12月2日：日本から学生1名をインド工科大学へ約1ヵ月派遣し、共同で研究開発を進めた。
- ・ 2018年3月18日～3月24日：九州大学から研究者1名をインド工科大学へ派遣し、研究打ち合わせや発表をした。また、3月20日、21日、22日は講演やハッカソンを行った。
- ・ 2019年2月25日～3月2日：九州大学から研究者1名、学生1名をインド工科大学へ派遣し、研究打ち合わせや発表をした。また、2月28日は講演を行った。
- ・ 2019年1月3日～7日：九州大学から研究者1名をインド工科大学へ派遣し、研究打ち合わせや発表をした。

5. 特許出願

研究期間累積出願件数：2件

6. 受賞・新聞報道等

- ・ APRIS2020 Best Working-In-Progress Paper Award、Wentao Tang、Kenji Hisazumi、2020年10月9日
- ・ IEEE福岡支部学生研究奨励賞、園山泉紘、2018年1月30日
- ・ 電子情報通信学会 コンピュータシステム研究会優秀若手デモ/ポスター賞、園山泉紘、2017年5月17日
- ・ xSIG Outstanding B4 Student Award、園山泉紘、2017年4月26日
- ・ APSCIT Computer Science and Informatics Research Contribution Award、谷本輝夫、2019年7月26日
- ・ 18th ACM-IEEE International Conference on Formal Methods and Models for System Design(MEMOCODE'20) Best Paper Award、Sanjiva Prasad、Rathnakar Madhukar Yerraguntla、Subodh Sharma、2020年12月2日
- ・ IEEE Transactions on Evolutionary Computation Outstanding 2022 Paper Award、Jiawei Su、Danilo Vargas Vasconcellos、Koichi Sakurai、2021年7月13日
- ・ Honorable Mention Award/ IIAI、Yiyi Wang、Alaa Allakany、Srishti Kulshrestha、Wei Shi、Koji Okamura and Ranjan Bose、2019年7月7日
- ・ The 35th International Conference on Information Networking (ICOIN2021) Best Paper Awards、Piyush Ghasiya、Koji Okamura、2021年1月13日

7. その他

- ・ 安全なIoT空間のための技術を手軽に学べるように学習管理システム上でeラーニング教材として公開している。
- ・ 本研究で開発したものをGitHubで公開している。