

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成 25 年 6 月 1 日現在

機関番号：32619

研究種目：基盤研究（C）

研究期間：2010～2012

課題番号：22500033

研究課題名（和文）ソフトウェア開発技術者育成 PBL のためのモデル駆動型要求分析支援ツールの研究

研究課題名（英文） Model Driven Requirements Analysis Method for PBL of Software Engineer Education

研究代表者 松浦 佐江子（MATSUURA SAEKO）
芝浦工業大学・デザイン工学部・教授

研究者番号：10348906

研究成果の概要（和文）：

われわれは、産業界において求められる高品質なソフトウェアを効率よく開発するためのモデル駆動開発要求分析手法を研究している。開発の初期段階において非曖昧で完全かつ無矛盾な要求仕様を定義することは、重要であるが、実施することは難しい。そこで、ユーザの要求を正確にモデリングする能力を育成するための実践的なソフトウェア工学教育が必要である。本研究では、モデリング教育のための教育方法とその支援ツールを研究開発した。

研究成果の概要（英文）：

We have studied a model driven requirements analysis method based on UML to develop efficiently high quality software products, which is an urgent need of the industrial world. At the early stage of software developments, it is very important to model non-ambiguous, complete, consistent requirements specifications, but it is hard to put into practice. To solve the problem, we have to conduct practical software engineering education so that many developers can have modeling skills so as to define non-ambiguous, complete, consistent requirements specifications. We propose a method to train modeling skills with the several support tools and teaching materials.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2010年度	1,300,000	390,000	1,690,000
2011年度	900,000	270,000	1,170,000
2012年度	900,000	270,000	1,170,000
年度			
年度			
総計	3,100,000	930,000	4,030,000

研究分野：ソフトウェア

科研費の分科・細目：ソフトウェア工学

キーワード：ソフトウェア工学教育・要求分析・Unified Modeling Language・Model Driven Development・Project Based Learning・オブジェクト指向開発技術・ソフトウェア開発技術者教育・モデル検査

1. 研究開始当初の背景

近年の IT 技術の発展に伴い、様々な製品やサービスの基盤としてソフトウェアの重要性が高まっている。また、産業界ではソフ

トウェア開発技術者不足のみならずソフトウェア開発技術教育を受けていない技術者によるソフトウェアの品質低下という問題も生じている。こうした問題を解決するため

に、本学では、ソフトウェア開発技術者の育成を目的として、平成 14 年度より、実践的ソフトウェア開発実習(学部 3 年次後期開講)を実施してきた。この実習は UML(Unified Modeling Language)および Java 等のオブジェクト指向開発技術を用いて、グループで半期をかけて要求分析から実装・テストまでのソフトウェア開発の全工程を実施する PBL (Project Based Learning) である。これまでの結果から、ソフトウェア開発を体験する上では十分な効果が得られたが、ソフトウェア開発技術者として、質の高いソフトウェア開発を意識できる能力の開発にはまだ隔たりがある。この隔たりの原因は、問題の本質を的確に捉え、プログラム開発の基礎となる設計図を適切に作成するソフトウェアのモデリング能力の教育不足であると考えられる。

2. 研究の目的

われわれは、産業界において求められる高品質なソフトウェアを効率よく開発するためのモデル駆動開発要求分析手法を研究している。開発の初期段階において非曖昧で完全かつ無矛盾な要求仕様を定義することは、重要であるが、実施することは難しい。そこで、ユーザの要求を正確にモデリングする能力を育成するための実践的なソフトウェア工学教育が必要である。本研究では、モデル駆動開発で提唱されるシステムアーキテクチャや実装技術の観点のみならず、われわれが想定するモデル分割の観点(ユースケースが提供するサービスの成立条件に基づくユーザとシステムのインタラクション)の意味と確認の方法を明確に分析手法に採り入れるために、これらの観点を整理し、モデリング教育に必要な支援ツールおよび教材を開発することを目的とする。

3. 研究の方法

質の高いプロダクトを開発する第一歩は、ユーザの要求を正確に把握し、その情報を余すところなくモデリングすることである。これにより後工程における手戻りを減らし、最終プロダクトを効率よく開発できることを開発者が認識できるようにすることが重要である。モデリングの難しさは、開発者は複数の理解しやすい観点でモデルを分割して定義を行うが、それらを統合した最終プロダクトが妥当かつ矛盾のないものであることを早期に確認することが困難であることである。要求分析モデルからのプロトタイプ自動生成はこれを解決する 1 つの手段となるが、仕様の実現可能性の観点からは十分ではない。モデル駆動開発で提唱されるシステムアーキテクチャや実装技術の観点に加えて、われわれが想定するモデル分割の観点であるユースケースが提供するサービスの成立条

件に基づくユーザとシステムのインタラクションやセキュリティ要件のような非機能要求を段階的に導入する方法や、検査の観点からモデルを精査する方法を分析手法に採り入れ、その有効性を評価する必要がある。本研究期間内に、これらの観点を整理した要求分析手法を確立し、これを用いた要求分析モデリング教育の設計・開発を行う。具体的には、演習の教科書の作成・要求分析支援ツール群(プロトタイプ自動生成、モデル間の整合性検査、テスト設計)の研究開発を実施した。

4. 研究成果

(1) 要求分析モデル

要求分析手法では、基本的にはユースケース分析と同様に、要求の最も核となる機能要求を中心に分析を行う。特に、以下の観点から、ユーザが直接操作するシステムの UI(User Interface)に機能要求が顕在する部分をユーザとシステムの「インタラクション」と呼び、つぎの 3 つの観点から分析を行う。

- 業務規則に基づくサービス成立時の、システムの基本的な処理の手順は何か
- サービスが成立するために必要な入力データとその条件および条件が不成立な場合のシステムの応答(移行する処理の指定とメッセージ)は何か
- サービスが提供する出力データ(項目・値の形式と制約)は何か

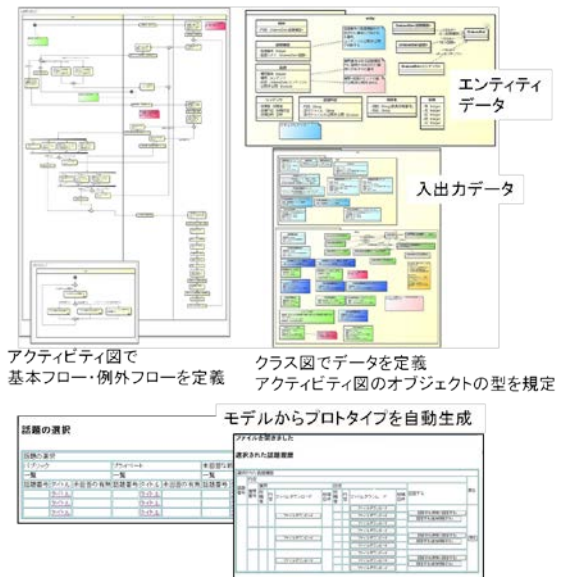


図 1 要求分析モデルと WebUI プロトタイプ

要求分析モデルは UML(Unified Modeling Language)のアクティビティ図とクラス図を用いて定義する。図 1 のようにユースケースの基本フロー・例外フローをアクティビティ図で定義し、そこに登場するデータを入出力とエンティティに分けてクラス図で定義す

る。[雑誌論文⑭⑮⑰⑱ 学会発表⑬⑲⑳]

(2) 要求仕様の品質向上に向けた開発方法ならびに支援ツールの研究開発

要求分析モデルから図1のようなHTML形式のプロトタイプを生成することができる。プロトタイプは、要求されているシステムの動作をユーザとのインタラクションの観点から、顧客および開発者が確認することを目的とし、操作を通じて、要求の漏れ・曖昧性・不整合を発見することにも貢献する。この要求分析モデルをもとに、特に要求仕様の実現可能性およびトレーサビリティの観点から、要求仕様の非曖昧性、完全性、無矛盾性、検証可能性、変更可能性、追跡可能性といった要求仕様の満たすべき性質を作り込む方法について、以下のように研究を行った(図2参照)。

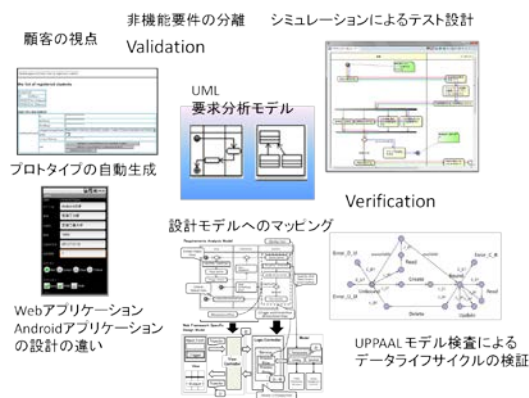


図2 研究の観点

① プロトタイプにより確認されたモデルに対し、テスト仕様を定義するというWモデルの観点から、要求分析モデルの妥当性を評価した。アクティビティ図に定義された処理フローおよびデータフローから生成されるスケルトンコードと、クラス定義から生成されるデータテンプレートを基に、データ・処理またはその仕様を契約として定義することで、モデルをシミュレーションする。シミュレーションの結果としてテストケースが自動生成できる。この過程において、要求仕様の漏れや曖昧性に関する問題点を発見することができた。この過程を支援するツールをeclipseのプラグインとして開発した。[雑誌論文⑧ 学会発表①③⑮⑰]

② Webアプリケーションは3層アーキテクチャと呼ばれる、ブラウザを用いたプレゼンテーション層、アプリケーションの中核であるビジネスロジック層、アプリケ

ーションデータを永続化するデータ層から構成される。これらの間を接合する仕組みは汎用的なフレームワークとして定義することができるため、いくつかの実装が提供されている。要求分析モデルからこのようなアーキテクチャへのマッピングを1つのフレームワーク実装を対象として実験し、要求分析モデルにおいて明示的に定義すべき要求項目と、そこから定義される設計情報に基づくフレームワークへのマッピングのルールを定義した。これにより、要求分析から設計モデルへのトレーサビリティに必要な情報を整理することができた。[雑誌論文①⑦⑩ 学会発表②⑫]

③ プロトタイプで妥当性を確認できたとしても、想定するデータから期待されるデータが出力できるかを保証することはできない。特に、要求分析モデルでは各ユースケースを分析の単位とし、定義された統合方法に基づきモデルを統合するため、システム全体で整合性が取れているかを確認しなければならないが、モデルの規模によっては困難な作業である。データの基本操作であるCRUD(Create, Read, Update, Delete)に着目して、各ユースケースに登場するデータのライフサイクルがシステム全体において正しいかをモデル検査技術を用いて自動的に検査する方法とその支援ツールを開発した。これにより、実現可能性を検討する指針を得ることができた。モデル検査の利用方法はソースコードの欠陥を発見する手法の研究に基づき、実施した。[雑誌論文②⑥⑬⑱⑲ 学会発表⑦⑧⑭⑯]

④ 要求分析手法をAndroidアプリケーション開発に適用し、これまでのPCとは異なるアーキテクチャへの要求分析手法の適用可能性を検討した。現状のモデルをプロトタイプに解釈する際に、Android特有のユーザインターフェース要素を考慮することで本モデルが要求仕様として有効であることと、早期にスマートフォンやタブレットといった多様なインターフェースをもつアーキテクチャの使用性を議論することの重要性が確認できた。また、要求分析モデルから、実装までをシーケンス図を用いた系統的な設計方法により、手戻りなく実現することができた。[学会発表⑤]

- ⑤ 要求分析段階では機能要件だけでなく、非機能要件をどのように定義するかが問題である。非機能要件の1つであるセキュリティ要件は、セキュリティの知識が十分でない開発者にとって、要求の漏れが発生しやすい。情報システムのセキュリティ保証要件を定めた国際標準(ISO/IEC 15408)であるCommon Criteriaに基づき、要求分析モデルのマージによる非機能要件の定義方法を研究した[雑誌論文⑤ 学会発表④⑨]

(3) 要求分析モデリング教育

学部生および大学院生を対象としたモデリング教育を通して、下記の研究開発を行った。

- ① 大学院授業における要求分析モデリング演習では、1つの課題に対し3人のグループで要求分析を行った。開発者の役割をグループで実施することにより、要求分析モデルを分担して開発し、クラス図をベースに、プロトタイプを用いながらその合意を得る方法を検討した。顧客役の教員によるレビューを行うことで、開発者として意識すべき点を学習できるレビューポイントを整理することができた。[雑誌論文⑩]
- ② 学部4年生を対象に「研究室図書貸し出しシステム」の要求分析モデルの改善を行い、入出力データとエンティティデータの関係の整理、入力から出力を得るまでのエンティティに対するCRUD観点からのアクションの整理等のレビューポイントを整理した。UMLのモデルでは直接定義できない事項についてはOCL(Object Constraint Language)による定義を検討した。
- ③ アクティビティ図を用いてユースケースを定義する際に、初学者が誤り易い箇所を指摘し、自動的にレポートを生成するツールを開発した。授業において、この結果を用いてレビューを実施するとともに、学生にレポートを配布した。全体的なレビューに比べ、具体的な指摘を個別に受けることができるため、改善の効果があつた。[学会発表⑥⑩]
- ④ 本学で開発している Web ベースのプログラミング学習環境 WebStudy を用いて、PBL の教材としてモデリング学習教材を開発し、公開した。ソフトウェア開発では、上流の要求分析からコーディングまで、すべての段階においてソフトウェアの品質を意識して開発することが重

要である。そこで、WebStudy の教材として、プログラムの品質学習および識別子の命名学習に関する教材を開発し、これを公開し、その結果を評価した。[雑誌論文③④⑨⑫ 学会発表⑪]

(4) 今後の課題

段階的にモデリング教育を実施するために、PBL の前段階でモデリング演習を行い上記 (3) ③で述べた、問題点の指摘を行った。特に形式的な改善には、具体的な個別の指摘が有効であり、意味的な指摘においても、少人数の個人レビューにも劣らない効果をあげることができるとわかった。また、要求分析段階においても語彙のばらつきが多いことが、品質を低下させる要因であるが、本手法を用いることで、それを抑制することがわかった。言葉の使い方の問題は最終的な実装まで影響するので、プログラミング教育においてもこうした品質の重要性を意識できるように多くの教材を開発する予定である。

5. 主な発表論文等

[雑誌論文] (計 19 件)

- ① Hirotaka Okuda, Shinpei Ogata, Saeko Matsuura, Experimental development based on mapping rule between requirements analysis model and web framework specific design model, *SpringerPlus* 2013, 2:123 doi:10.1186/2193-1801-2-123 査読有
<http://www.springerplus.com/content/2/1/123>
- ② Shinpei Ogata, Saeko Matsuura, A review method for UML requirements analysis model employing system-side prototyping *SpringerPlus* 2013, 2:134 doi:10.1186/2193-1801-2-134 査読有
<http://www.springerplus.com/content2/1/134>
- ③ 松浦佐江子, プログラムの実行・評価機構を持つ Web 教科書によるソフトウェア開発技能育成, 論文誌 ICT 情報教育方法研究, (社) 私立大学情報教育協会, 第 15 巻, 第 1 号, pp13-18, 2012. 査読有
- ④ 式見, 松浦, 協調学習によるソースコード識別子の命名学習方法, 情報処理学会 FIT2012 講演論文集 RK-005, pp. 73-78(第 3 分冊), 2012. 査読有
- ⑤ 野呂, 小形, 松浦, UML 要求分析モデルとコモンクライテリアに基づくセキュリティ要求分析の統合手法情報処理学会 FIT2012 講演論文集 RO-008, pp.77-80 (第 4 分冊), 2012. 査読有
- ⑥ S.Ogata and S. Matsuura, A Review Method of Requirements Analysis Model in UML with Prototyping, Knowledge-Based Software Engineering, Proc of the 10th Joint conference on Knowledge-Based Software

- Engineering, IOS Press, pp.181-190, 2012. 査読有
- ⑦ H. Okuda, S. Ogata and S. Matsuura, Mapping Rule Between Requirements Analysis Model and Web Framework Specific Design Model, Knowledge-Based Software Engineering, Proc of the 10th Joint conference on Knowledge-Based Software Engineering, IOS Press, pp.207-216, 2012. 査読有
- ⑧ R. Shikim, S. Ogata and S. Matsuura, Test Case Generation by Simulating Requirements Analysis Model, Proc of 2012 IEEE 36th International Conference on Computer Software and Applications, pp 356-357, 2012. 査読有
- ⑨ R. Shikimi and S. Matsuura, Collaborative Learning Environment for Identifier Naming in Source Codes, Proc. of CATE 2012, pp 106-111, 2012. 査読有
- ⑩ S. Ogata and S. Matsuura, Training of Requirements Analysis Modeling with UML-based Prototype Generation Tool, ISEC '12, pp.105-108, 2012. 査読有
- ⑪ 小形, 松浦, 設計・実装視点からの要求分析モデルの品質評価を目的としたシステム開発実験, ソフトウェア工学の基礎 XVIII, 日本ソフトウェア科学会 FOSE 2011, pp.95-100, 2011. 査読有
- ⑫ T. Wakabayashi, S. Ogata and S. Matsuura, Dependency Analysis for Learning Class Structure for Novice Java Programmer, Proc of IEEE 2nd International Conference on Software Engineering and Service, pp.532-535, 2011. 査読有
- ⑬ Y. Aoki and S. Matsuura, A Method for Detecting Unusual Defects in Enterprise System, Proc of SOFTWARE ENGINEERING, PARALLEL and DISTRIBUTED SYSTEMS (SEPADS '11), pp.165-171, 2011. 査読有
- ⑭ S. Ogata and S. Matsuura, Validation Code Generation for Unexpected User Operation on Web User Interface, Proc of International Conference on Communication, Computing and Control Applications, pp.1-6, 2011. 査読有
- ⑮ Shinpei Ogata, Saeko Matsuura, Evaluation of a Use-Case-Driven Requirements Analysis Tool Employing Web UI Prototype Generation, WSEAS TRANSACTIONS on INFORMATION SCIENCE and APPLICATIONS, Issue 2, Volume 7, pp.273-282, February 2010. 査読有
- ⑯ 青木, 松浦, ソースコード解析を利用したモデル検査に基づく欠陥抽出手法, ソフトウェア工学の基礎 XVII, 日本ソフトウェア科学会 FOSE 2010, pp.95-100, 2010. 査読有
- ⑰ Shinpei Ogata, Saeko Matsuura, A Method of Automatic Integration Test Case Generation from UML-based Scenario, WSEAS TRANSACTIONS on INFORMATION SCIENCE and APPLICATIONS, Issue 4, Volume 7, pp.598-607, April 2010. 査読有
- ⑱ 小形, 松浦: UML 要求分析モデルからの段階的な Web UI プロトタイプ自動生成手法, 日本ソフトウェア科学会, コンピュータソフトウェア, Vol.27, No.2, pp.14-32, 2010. 査読有
- ⑲ Y. Aoki and S. Matsuura, A Method for Detecting Defects in Source Codes Using Model Checking Techniques, Proc of the 34th Annual IEEE International Computer Software and Applications Conference, pp.543-544, 2010. 査読有
- [学会発表] (計 20 件)
- ① 式見, 小形, 松浦, 要求定義の実現可能性保証のためのシミュレーションによるテスト設計手法, 電子情報通信学会, 信学技報, vol. 112, no. 496, KBSE2012-69, pp. 37-42, 2013. (2013/3/14 芝浦工業大学 査読無)
- ② 奥田博隆, 小形真平, 松浦佐江子, 要求仕様と設計の機能要件のトレーサビリティを保持する為の Web アプリケーション設計手法の評価, 第 75 回情報処理学会全国大会, 4M-4, 2013 (学生奨励賞受賞) (2013/3/7 東北大学)
- ③ 式見遼, 小形真平, 松浦佐江子, 要求定義の実現可能性保証のためのシミュレーションによるテスト設計手法, 第 75 回情報処理学会全国大会, 2M-8, 2013 (学生奨励賞受賞) (2013/3/6 東北大学 査読無)
- ④ 野呂惇, 小形真平, 松浦佐江子, セキュリティ機能方針の具体化によるセキュリティ機能要求分析手法, 第 75 回情報処理学会全国大会, 2M-5, 2013 (2013/3/6 東北大学 査読無)
- ⑤ 松井駿介, 小形真平, 松浦佐江子, Android アプリケーションの UI の変更に伴う UML 要求仕様への影響の分析, 第 75 回情報処理学会全国大会, 2M-7, 2013 (2013/3/6 東北大学 査読無)
- ⑥ 奥田, 松井, 式見, 野呂, 岡田, 小形, 松浦, ユースケース記述の意図の明確化を目的とした初学者特有の問題点の分析, 電子情報通信学会, 信学技報, vol. 112, no. 314, KBSE2012-45, pp. 43-48, 2012. (2012/11/22 金沢大学 査読無)
- ⑦ 小形, 青木, 奥田, 松浦, データライフ

- サイクルの妥当性に着目したモデル検査ツールの自動利用法, 電子情報通信学会, 信学技報, vol. 112, no. 314, KBSE2012-56, pp. 109-114, 2012. (2012/11/22 金沢大学 査読無)
- ⑧ 奥田, 小形, 青木, 松浦, 要求分析モデルを用いたエンティティ間の関連と属性に対するデータライフサイクル検証手法の提案, 情報処理学会 FIT2012 講演論文集 B-027, pp. 231-234 (第1分冊), 2012. (2012/9/5 法政大学 査読無)
- ⑨ 野呂, 小形, 松浦, UML 要求分析モデルとコモンクワイアリアに基づくセキュリティ要求分析の統合手法, 電子情報通信学会, 信学技報 vol. 112, no. 165, KBSE2012-35, pp. 139-144, 2012 (2012/7/27 はこだて未来大学 査読無)
- ⑩ 松井, 奥田, 式見, 野呂, 岡田, 小形, 松浦, ユースケース記述における初学者特有の問題点への系統的な改善方法, 電子情報通信学会, 信学技報 vol. 112, no. 165, KBSE2012-15, pp. 19-24, 2012 (2012/7/27 はこだて未来大学 査読無)
- ⑪ 式見, 松浦, 識別子の難読化と命名の収集による命名学習方法の提案, 第74回情報処理学会全国大会, 1L-3, 2012 (大会奨励賞受賞) (2012/3/6 名古屋工業大学 査読無)
- ⑫ 奥田, 小形, 松浦, 要求分析モデルのマルチプラットフォーム適用実験に基づく充分性の分析, 第74回情報処理学会全国大会, 5L-6, 2012 (学生奨励賞受賞) (2012/3/6 名古屋工業大学 査読無)
- ⑬ 小形, 松浦, プロトタイプ生成可能なモデル駆動要求分析手法の要求工学教育への適用, 電子情報通信学会, 信学技法 vol.110, no 468, KBSE2010-603, pp.37-42, 2011 (2011/3/11 別府コンベンションセンター 査読無)
- ⑭ 奥田, 小形, 松浦, CRUD 分析中心の業務ロジックモデリングと機能型プロトタイプ自動生成, 電子情報通信学会, 信学技法 vol.110, no 468, KBSE2010-603, pp.73-78, 2011 (2011/3/11 別府コンベンションセンター 査読無)
- ⑮ 式見, 小形, 松浦, UML 要求仕様からのカバレッジに基づく機能テストのテストケース生成, 電子情報通信学会, 信学技法 vol.110, no 468, KBSE2010-603, pp.7-12, 2011 (2011/3/11 別府コンベンションセンター 査読無)
- ⑯ 奥田, 小形, 松浦, CRUD 分析中心の業務ロジックモデリングと機能型プロトタイプ自動生成, 第73回情報処理学会全国大会, 3L-4, 2011. (2011/3/2 東京工業大学 査読無)
- ⑰ 式見, 小形, 松浦, UML 要求仕様から

のカバレッジに基づく機能テストのテストケース生成, 第73回情報処理学会全国大会, 6L-3, pp.497-498, 2011. (2011/3/3 東京工業大学 査読無)

- ⑱ 小形, 松浦, モデル駆動要求分析におけるエンドユーザの入力制約モデルの導入, 情報処理学会研究報告, SE-170, No.20, pp.1-8, 2010. (2010/11/11 大阪大学 査読無)
- ⑲ 小形, 松浦, UML 要求分析モデルに基づくモデル駆動開発実験におけるトレーサビリティ評価, 電子情報通信学会, 信学技法 vol.110, no.305, KBSE2010-23, pp. 25-30, 2010 (2010/11/24 静岡大学 査読無)
- ⑳ 小形, 松浦, モデル駆動要求分析におけるエンドユーザの入力制約モデルの導入, 情報処理学会 FIT2010 講演論文集 B-002, pp.245-250, 2010. (2010/9/7 九州大学 査読無)

[その他]

- ① プロトタイプ自動生成ツールの公開
<http://www.sayo.se.shibaura-it.ac.jp/>
- ② Incosphere Project
<http://www.sayo.se.shibaura-it.ac.jp/incosphere/>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

松浦 佐江子 (MATSUURA SAEKO)
芝浦工業大学・デザイン工学部・教授
研究者番号: 10348906