

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 27 年 6 月 19 日現在

機関番号：33917

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2012～2014

課題番号：24500049

研究課題名(和文)クラウドソフトウェアのための関心事分離に基づくプロダクトライン構築方式

研究課題名(英文)A product line construction method based on separation of concerns on cloud software

研究代表者

野呂 昌満 (NORO, Masami)

南山大学・理工学部・教授

研究者番号：40189452

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 4,000,000円

研究成果の概要(和文)：SaaSレベルのクラウド化を支援するミドルウェアの差異を吸収するためのプラットフォームコードのAspect指向アーキテクチャをコア資産の中心に据えて、PLSEを行うための仕様モデル、アプリケーションフレームワーク、ホットスポットカスタマイゼーションのためのコンポーネントを定義し、それらのツール化とともに特定の要求に応じた特定のアプリケーションフレームワークの自動生成の可能性を確認した。これらをAspectとしたプロダクトラインアーキテクチャをコア資産の核と位置付け、プロダクトライン開発のモデルを定義し、アーキテクチャの整合性を保証する手段として、モデル検査に基づいた検証方法を提示した。

研究成果の概要(英文)：For the PLSE (Product Line Software Engineering) practice in flexible cloud software development, we have constructed a set of core assets including the aspect-oriented software architecture, the specification model for requirements both in domain and product levels, the application framework, and the adaptable components for hot-spots customization. The software architecture, which is the center of our core assets, has been designed in order to bridge over the gaps between one and another cloud middleware products which support development of SaaS level software. Through the construction of support tools for PLSE based on our core assets, we have demonstrated the possibility of automatic generation of an application framework which is specific to the requirements to the specific cloud application development. We also have proposed a verification method for the consistency of our core assets and derived application frameworks based on the model checking techniques.

研究分野：ソフトウェア工学

キーワード：ソフトウェアアーキテクチャ Aspect指向技術 プロダクトライン クラウド SOA モデル検査

1. 研究開始当初の背景

物理的な位置への依存性を無くし、大規模なサービス構築を可能とするという点で、クラウド技術は社会的な情報基盤となることが期待されていた。クラウド環境において稼働するソフトウェアを効果的に開発するためにさかんに研究が行われているが、それらの多くは、開発方法論やソフトウェアパターンなどをはじめとする従来の開発支援技術の応用先としてクラウドを位置づけ、その領域に特化した成果を挙げていた。

プロダクトラインソフトウェア工学(以下 PLSE)は、製品系列内でプロダクトの可変部と不変部とを区別し、要求仕様とアーキテクチャ、ソフトウェア部品間の追跡性を確保することで、効果的な保守、進化、再利用を実現する技術である。クラウドソフトウェアの多くはその社会基盤としての性格ゆえに、長期間にわたる保守ならびに進化の対象となることから、PLSEに基づく系統的な派生開発と進化の管理を行う必要があった。

2. 研究の目的

本研究の目的は、クラウド上で稼働するソフトウェア(クラウドソフトウェア)における関心事を抽出・分離することにより、アスペクト指向ソフトウェアアーキテクチャを中心としたプロダクトライン構築方式を確立することである。サービスとその位置透過性を重要な関心事ととらえ、それらを実現する部品とアーキテクチャを定義する技術について研究する。定義したアーキテクチャは、形式検証技術を用いてそのレベルでの正しさを保証する。その上で、要求仕様との関係をアスペクト間記述として管理することで、プロダクトライン内の追跡性を高め、高品質なクラウドソフトウェアの構築および進化、再利用を支援する枠組みを提供する。

我々は本研究開始までに、ソフトウェアアーキテクチャ設計方法論やモデル変換、ソフトウェア解析技術、組込みソフトウェアのためのプロダクトライン構築技術などの研究を行ってきた。特定のミドルウェアやプラットフォームや特定の標準に依存した実装知識を取り入れることで、これらの成果をクラウドソフトウェア開発に適用することは可能である。しかし、クラウドのミドルウェア等の製品や標準は多様であり、クラウド技術自体も進化する。したがって、我々の研究成果を素直に応用するだけでは開発方法論を調整しながらツールを実現する作業を場当たりに繰り返すことになる。

我々は、これまでに行ってきた組込みソフトウェアの開発支援に関する研究や IT 実践教育でのソフトウェア開発、ネットワーク・ユビキタスアプリケーションの開発を通じ、ソフトウェアアーキテクチャ設計におけるアスペクト指向の有用性に着目し、アーキテクチャ記述方式、設計知識管理方式、開発支援環境の整備に取り組んできた。これらの知

見から、クラウド技術に関する関心事をアスペクトとして分離して部品化し、アスペクト指向アーキテクチャを中心とするプロダクトライン上で可変性と追跡性を管理することで、特定の実現や応用領域に依存しないクラウドソフトウェア開発の支援が可能になるという着想に至った。

ソフトウェアプロダクトラインを構築するためには、ソフトウェアプロダクトに対する可変性分析と追跡性管理が重要になる。すなわち、ソフトウェアを構成する部品を可変部、不変部に分類し、それらと要求仕様との間の意味関係を明確にする必要がある。さらに、部品単体での振舞い、システム・サブシステムとして統合した場合の振舞いについてその正当性をあらかじめ保証しておかなければならない。現状のクラウドソフトウェアには、それが提供するサービスの応用領域における知識と、クラウドのミドルウェア等への適用に関する知識が未分化のまま混在して実装されており、これらをそのままプロダクトラインとして管理することは困難である。本研究では、(1)クラウド関心事の分離とアスペクト指向アーキテクチャ記述、(2)クラウド関心事の設計知識化に基づく追跡性管理とコア資産化、(3)モデル検査に基づくアーキテクチャの正当性検証という三つの重点研究課題を通して、この問題を解決し、アスペクト指向アーキテクチャを中心とするクラウドソフトウェアのプロダクトライン構築方法を具体化する。

(1)クラウド関心事の分離とアスペクト指向アーキテクチャ記述の研究では、クラウド環境への適用にあたり考慮すべき重要な関心事として、サービスと位置透過性を取り上げ、それぞれをアスペクトとしてとらえるソフトウェアアーキテクチャ記述方式と設計プロセスを確立する。研究の遂行にあたり、とくにプロダクトライン化を意識する。すなわち、クラウドを構成する各アスペクトモジュールを構成するソフトウェア部品を明確にするだけでなく、それらの可変性、不変性を明確にするための記述方式と設計・再構築プロセスに焦点を当てて研究を行う。

(2)クラウド関心事の設計知識化に基づく追跡性管理とコア資産化の研究では、クラウド関心事を含むプロダクトラインに対する要求仕様と、(1)で得られるソフトウェアアーキテクチャとの間の意味関係を表現・管理し、コア資産として構造化するための枠組みを確立する。研究の遂行にあたり、クラウドに関する領域知識とアーキテクチャの意味関係を設計知識化することに注力する。得られた設計知識を意味関係のひな形として提示することにより、設計者の判断を支援するとともに、結果として得られるプロダクトの追跡性を高めることで効果的な再利用・保守・進化を可能とするコア資産整備を可能にする。

(3)モデル検査に基づくアーキテクチャの正

当性検証の研究では、(1)(2)を通じて得られるアスペクト指向に基づくコア資産に対する正当性を、おもに振舞いの面から保証する技術について検討する。クラウド上に分散して展開されるソフトウェアサービスは並行して動作することからモデル検査による正当性検証が有効である。本研究の枠組みでは、アーキテクチャ記述にアスペクト指向の概念を適用することで部品間の独立性を高め、系統的な追跡性管理により要求仕様との関係を明確にすることができる。これらの特徴を利用することで、組合せに起因する検証コストの増大を抑制する検証方法の確立を目指す。

本研究の独創性は、要素技術の統合により、個々の技術では達成しえなかった実用性を統合技術として保証することにある。すなわち、サービスと位置透過性をクラウドソフトウェアにおける重要な関心事としてアスペクト指向で定義することにより、特定のクラウドのミドルウェア等に依存しないサービス指向アーキテクチャの実現を可能にする。さらに、アスペクト指向ソフトウェアアーキテクチャにより部品をその使用の文脈から解放することで、部品の持つ本質的な役割・機能を対象とした可変性・不変性の分析と同時に、要求仕様との間の追跡性を構造的に管理することが可能となる。また、クラウド上に展開されたサービスの振舞い検証においても、部品間の独立性を高めることで組合せに起因するコストの削減を見込むことができる。本研究では、これら要素技術を有機的に連携させる方式の研究を通してPLSEの実用化を目指す。

3. 研究の方法

本研究は、研究目的に示した三つの研究重点項目(1)~(3)に焦点をあて、研究代表者の統括の下で各項目の連携を取りながら並行して実施した。研究は南山大学情報理工学部(平成26年度より理工学部)にて実施した。研究期間の初期においては関連研究動向の調査を重点的に行い、項目ごとに基本的なアイデアを確立することを主眼に研究を行った。その後、各項目のアイデアを洗練するとともに、全員が協力して提案手法のツール化と事例検証を実施した。

(1)クラウド関心事の分離とアスペクト指向アーキテクチャ記述の研究では、野呂が中心となり、クラウドおよびサービス指向アーキテクチャにおけるソフトウェア構築方法論の調査を行った。ネットワークやユビキタスシステムに関するソフトウェアを題材に、サービスと位置透過性それぞれの関心事の抽出を行った。ここでは、サービスの相違、クラウドのミドルウェア等の相違などに応じ、アスペクトを構成する部品や部品間の関連、意味制約について整理した。さらに、ソフトウェア解析や組込みソフトウェアなど異なる応用領域のソフトウェアに対する調査も

行い、クラウド環境における関心事と応用領域における関心事との相互関係について分析した。

これら関連研究調査と研究成果、事例検証の結果を踏まえ、クラウドソフトウェアのアスペクト指向モジュール化、アーキテクチャ設計・再構築プロセスについて、可変性分析の観点からその特徴をより詳細に分析した。クラウド関心事やそれらの可変性・不変性の表現が可能となるよう、アスペクト指向ソフトウェアアーキテクチャスタイルの洗練を行った。具体的なアーキテクチャ記法としてはUMLに基づき、クラウドに特化した要素や制約をプロファイルとして定義し、エディタやソースコード自動生成系などの支援ツールの実装が容易になるよう配慮した。

(2)クラウド関心事の設計知識化に基づく追跡性管理とコア資産化の研究では、沢田が中心となり、ソフトウェアアーキテクチャ設計における設計知識の管理およびそのツール支援について調査を行った。また、(1)での事例分析調査と連携し、クラウド関心事と要求仕様との関係を設計知識として整理した。クラウド関心事を含む設計知識管理の枠組みは、アーキテクチャ設計マップの拡張によって行った。すなわち、クラウド関心事としてのサービスと位置透過性に相当する新たな概念を設計マップに導入することで、クラウド上へのソフトウェア部品の展開を意識したアーキテクチャ設計支援の実現を試みた。

(1)の成果であるアーキテクチャ記述方式に対し、要求仕様モデルとの意味的関連を構造的に管理するための方式について検討した。具体的には、要求仕様に相当するアスペクトをサービスおよび位置透過性のアスペクトと関連付けるためのアスペクト間記述をメタモデルとして構築し、このメタモデルにしたがう追跡性管理方式について検討した。その結果、アーキテクチャ設計判断に関する情報が、プロダクトラインにおけるコア資産の一部として定義可能となった。

(3)モデル検査に基づくアーキテクチャ正当性検証の研究では、張が中心となり、並行・分散システムを対象としたモデル検査検証に関する先行研究や支援ツールの調査を行った。また、(1)での事例分析調査と連携しながら、研究代表者らがすでに提案している分割統治に基づくモデル検査手法とアスペクト指向アーキテクチャに対するモデル検査手法を、クラウド関心事に対応させる方法について検討した。また、モデル検査による正当性検証を行う視点から、アスペクト指向ソフトウェアアーキテクチャ記述や要求仕様との追跡性管理に必要となる特徴についても整理した。

クラウドソフトウェアの実事例に対して、部品とアーキテクチャの振舞い検証を行った。分割統治に基づくモデル検査手法を試験的に適用、評価した。ここでは、アスペクト指向による部品独立性向上の効果について

確認すると同時に、要求仕様との追跡性の確保が検証に与える影響についての確認を行った。また、支援環境の実現に向け、(1)で提案するアスペクト指向アーキテクチャ記述を CSP や Promela などの形式言語に変換するツール、部品がクラウド上の並行プロセスとして動作する場合の不具合の特徴分析などにに基づき検査仕様の作成を支援するツールなどの整備を試みた。

上記いずれの重点研究項目についても、実開発を想定した事例検証、大規模なソフトウェア資産を用いたプロダクトラインの効率的な構築方式など、提案手法の実用化を視野に入れ、研究開発を行った。各項目から研究成果として得られる記述方式や支援ツールは、統合環境として整備した。これらの研究開発を通じ、提案手法が社会基盤としてのクラウドソフトウェアの高品質化、開発・保守・進化の低コスト化に貢献できることを明らかにした。

4. 研究成果

国内外における当該研究に関連する研究の動向について、特にソフトウェア進化とプログラム解析の技術、ソフトウェアアーキテクチャ設計の技術に着目した調査を行った(雑誌論文[1,2,3,7],学会発表[5])。また、授業評価アプリケーションのクラウド化という事例を検討することで具体的知見の収集を試みた(雑誌論文[5],学会発表[10,13])。

SaaS レベルのクラウド化を支援するミドルウェアの差異を吸収するためのプラットフォームコードのアスペクト指向アーキテクチャをコア資産の中心に据えて、PLSEを行うための仕様モデル、アプリケーションフレームワーク、ホットスポットカスタマイゼーションのためのコンポーネントを定義し、それらのツール化とともに特定の要求に応じた特定のアプリケーションフレームワークの自動生成の可能性を確認した(雑誌論文[2,4,6,8],学会発表[1,3,8])。

研究方法の項で述べたアーキテクチャ関連の手順に従い横断的関心事を識別し、図1に示すクラウドアプリケーションのプロダクトラインアーキテクチャを構築した(雑誌論文[2],学会発表[1,3,8])。横断的関心事として並行性、データ変換、状態非依存性、位置透過性、永続性、安全性、実時間性、耐故障性、例外処理、実行時性能に着目し、図1に示すアスペクトを抽出し、メッセージの流れでアスペクト間の関連を明らかにした。

これらをアスペクトとしたプロダクトラインアーキテクチャをコア資産の核と位置付け、プロダクトライン開発のモデルを定義した(学会発表[1,3,8])。クラウドアプリケーションのプラットフォームを分析し図2に示す仕様モデルを定義した。仕様モデルの提示は、プラットフォームの分類とアプリケーションを開発技術の系統的な選択を可能にした。さらに、アーキテクチャと仕様モデルを関連づけることにより、プロダクトライ

ン開発の系統的なプロセスを定義して(図3)、アーキテクチャの実現としてアプリケーションフレームワークを試作した。

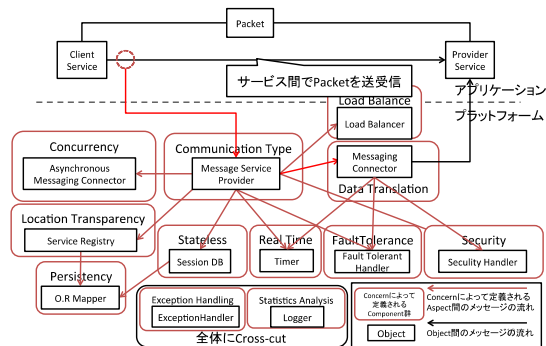


図1 プロダクトラインアーキテクチャ

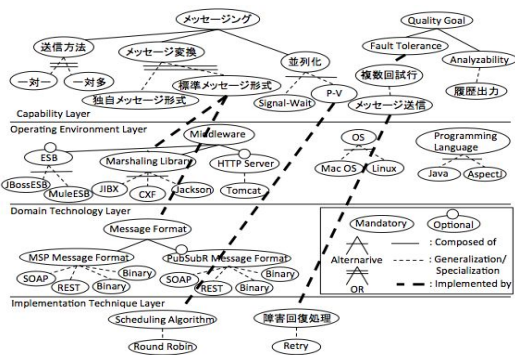


図2 プラットフォームの仕様モデル(抜粋)

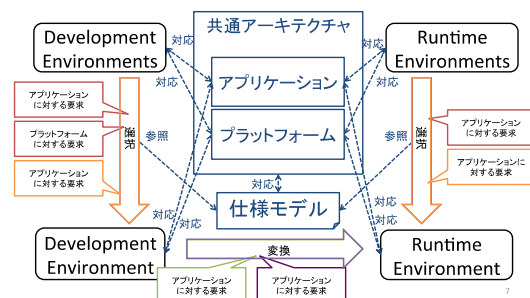


図3 プロダクトライン開発プロセス

以上を通して構築した、クラウドアプリケーションのアーキテクチャの整合性を保証する手段として、形式手法に基づいた検証方法を提示した(学会発表[2,4,7])。コンポーネントを合成する際には、コンポーネント間の振る舞いの整合性を保証することが重要である。本研究では、図4のように(1)振る舞い仕様と(2)アクション仕様を分離した系統的な検証方法と、図式表現から検証コードを自動生成する環境を試作した。

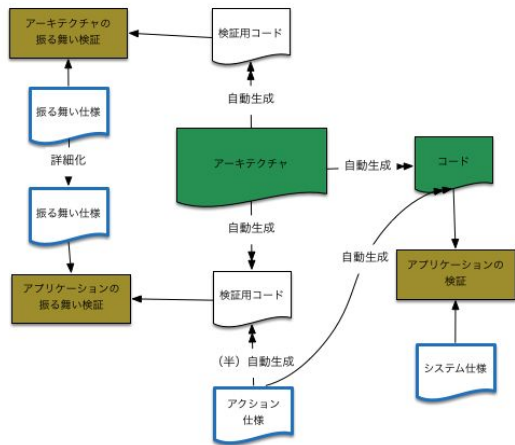


図 4 検証の枠組み

振舞い検証では、特に、イベントの同時性に着目した。プロセス代数 CSP を用いて同時性を定義し、振舞い検証の容易性と再利用性を向上するために、振舞い記述のライブラリと検証のフレームワークを提示した。また、変数の導入をアクションにおける詳細化とみなし、Spin を用いて分散したコンポーネントの変数間の状態不変条件の検証方法を提案し、具体例を通してその有効性を確認した。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

〔雑誌論文〕(計 8 件)

- [1] 沢田篤史, 野呂昌満, ソフトウェアアーキテクチャの設計と文書化の技術, コンピュータソフトウェア, 査読有, Vol. 32, No. 1, pp. 35-46, 2015.
- [2] 江坂篤侍, 野呂昌満, 沢田篤史, SOA に基づくシステムのアーキテクチャと仕様モデルの対応関係, ソフトウェア工学の基礎 XXI - 日本ソフトウェア科学会 FOSE2014, 査読有, pp. 147-152, 2014.
- [3] 角田雅照, 梶村和輝, 亀井靖高, 沢田篤史, 異なるコードクローンメトリクスを用いた欠陥モジュール予測の試み, ソフトウェア工学の基礎 XXI - 日本ソフトウェア科学会 FOSE2014, 査読有, pp. 219-224, 2014.
- [4] 蜂巢吉成, 野呂昌満, 沢田篤史, 張漢明, 吉田敦, コンパイル方式による高速軽量の XQuery 問い合わせプログラム生成系の設計と実現, コンピュータソフトウェア, 査読有, Vol. 30, No. 4, pp. 67-81, 2013.
- [5] 梅村信夫, 河野浩之, 沢田篤史, 「学生主導型授業評価」支援システムの構築: LAMP と R 言語によるクラウド型アプリケーションの試作, 日本 e-Learning 学会誌, 査読有, Vol. 13, pp. 68-78, 2013.
- [6] C. Wijesiriwardana, G. Ghezzi, E. Giger, A. Sawada, H. Gall, Dependency

Based Approach for Software Analysis Web Services Replacement, Proc. the 19th Asia-Pacific Software Engineering Conference, 査読有, pp. 294-299, 2012.

- [7] 大森隆行, 丸山勝久, 林晋平, 沢田篤史, ソフトウェア進化研究の分類と動向, コンピュータソフトウェア, 査読有, Vol. 29, No. 3, pp. 3-28, 2012.
- [8] 吉田敦, 蜂巢吉成, 沢田篤史, 張漢明, 野呂昌満, 属性付き字句系列に基づくソースコード書き換え支援環境, 情報処理学会論文誌, 査読有, Vol. 53, No. 7, pp. 1832-1849, 2012.

〔学会発表〕(計 13 件)

- [1] 江坂篤侍, 野呂昌満, 沢田篤史, インタラクティブソフトウェアの共通アーキテクチャの提案, 情報処理学会第 187 回ソフトウェア工学研究発表会, 2015 年 3 月 13 日, 化学会館(東京都千代田区).
- [2] 張漢明, 野呂昌満, 沢田篤史, 同時性を考慮した並行システムの振舞い検証に関する考察, 情報処理学会第 36 回組込みシステム研究発表会, 2015 年 3 月 6 日, 奄美市社会福祉協議会(鹿児島県奄美市).
- [3] 江坂篤侍, 野呂昌満, 沢田篤史, SOA アプリケーションプラットフォームのプロダクトライン化, 情報処理学会第 183 回ソフトウェア工学研究発表会, 2014 年 3 月 19 日, 化学会館(東京都千代田区).
- [4] 張漢明, 沢田篤史, 野呂昌満, 際どい実行順序を考慮した並行システム検証に関する考察, 情報処理学会第 32 回組込みシステム研究発表会, 2014 年 3 月 15 日, ICT 文化ホール(沖縄県石垣市).
- [5] 角田雅照, 梶村和輝, 亀井靖高, 沢田篤史, コードクローンメトリクスの差異が fault-prone モジュール判別に与える影響, ウィンターワークショップ 2014・イン・大洗, 2014 年 1 月 23-24 日, 大洗ホテル(茨城県東茨木郡大洗町).
- [6] 張漢明, 野呂昌満, 沢田篤史, パターンを用いたフォールト検出法, 日本ソフトウェア科学会第 20 回ソフトウェア工学の基礎ワークショップ 2013 年 11 月 29 日, ゆのくに天祥(石川県加賀市).
- [7] 梅村信夫, 河野浩之, 沢田篤史, 「学生主導型授業評価」を支援するアンケート作成システムの構築: R 言語によるモジュール開発, 平成 24 年度教育改革 ICT 戦略大会, 2013 年 9 月 6 日, アルカディア市ヶ谷(東京都千代田区).
- [8] 張漢明, 野呂昌満, 沢田篤史, 吉田敦, 蜂巢吉成, アーキテクチャ指向開発における形式手法適用に関する考察, 情報処理学会第 28 回組込みシステム研究発表会, 2013 年 3 月 13 日, 対馬市交流センター(長崎県対馬市).
- [9] 江坂篤侍, 野呂昌満, 沢田篤史, SOA に基づくシステムのためのアプリケーショ

- ンプラットフォームのプロダクトライン化に関する研究，情報処理学会第 179 回ソフトウェア工学研究発表会，2013 年 3 月 12 日，化学会館（東京都千代田区）。
- [10] 張漢明，沢田篤史，フォールトパターンを用いたデバッグ支援，日本ソフトウェア科学会第 19 回ソフトウェア工学の基礎ワークショップ，2012 年 12 月 13 日，ゆふいん山水館（大分県由布市）。
- [11] 梅村信夫，河野浩之，沢田篤史，「学生主導型授業評価」支援システムの構築：LAMP と R 言語によるクラウド型アプリケーションの試作，日本 e-Learning 学会 2012 年度学術講演会 2012 年 11 月 9 日，大手前大学夙川キャンパス（兵庫県西宮市）。
- [12] 張漢明，野呂昌満，沢田篤史，横森励士，吉田敦，蜂巢吉成，並行システム記述におけるフォールトパターンに関する考察，電子情報通信学会ソフトウェアサイエンス研究会，2012 年 11 月 1 日，広島市立大学（広島市安佐南区）。
- [13] 吉田信明，張漢明，沢田篤史，中村行宏，ネットワークの振る舞いに依存するシステムへの形式手法の適用の検討，電子情報通信学会ソフトウェアサイエンス研究会，2012 年 11 月 1 日，広島市立大学（広島市安佐南区）。

〔図書〕(計 0 件)

〔産業財産権〕

出願状況 (計 0 件)

取得状況 (計 0 件)

〔その他〕

6. 研究組織

(1) 研究代表者

野呂 昌満 (NORO, Masami)

南山大学・理工学部・教授

研究者番号：4 0 1 8 9 4 5 2

(2) 研究分担者

沢田 篤史 (SAWADA, Atsushi)

南山大学・理工学部・教授

研究者番号：4 0 2 7 3 8 4 1

(3) 研究分担者

張 漢明 (CHANG, Han-Myung)

南山大学・理工学部・准教授

研究者番号：9 0 3 2 9 7 5 6