

機関番号：15101

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2008～2010

課題番号：20510136

研究課題名(和文) ソフトウェアシステムのサービス可用性評価法に関する研究

研究課題名(英文) A Study on Service Availability Evaluation for Software System

研究代表者

得能貢一 (TOKUNO KOICHI)

鳥取大学・大学院工学研究科・准教授

研究者番号：40263488

研究成果の概要(和文)：本研究課題では、ソフトウェアシステムを実際に利用するエンドユーザの使用特性を加味することによって、従来とは異なる新たな信頼性/可用性特性である「サービス可用性」を評価するための数理モデルを種々構築した。「ユーザが要求するサービスを満足に完了することができる確率」を、ソフトウェア・サービス・アベイラビリティと定義して、これに関連する定量的評価尺度を、時刻およびシステムに施されるデバッグ作業回数の関数として導出した。

研究成果の概要(英文)：In this study, we construct several types of mathematical and stochastic model for evaluating the novel reliability characteristic, called "service availability" of software-based systems, considering the usage characteristics of the end-users. We define the software service availability as the probability that the software-based systems can satisfactorily complete the services the end-users require, and then derive several stochastic quantities for software service availability assessment as the functions of time and the debugging activities.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2008年度	1,100,000	330,000	1,430,000
2009年度	900,000	270,000	1,170,000
2010年度	1,000,000	300,000	1,300,000
年度			
年度			
総計	3,000,000	900,000	3,900,000

研究分野：ソフトウェア信頼性工学

科研費の分科・細目：(分科)社会・安全システム科学(細目)社会システム工学・安全システム

キーワード：ソフトウェア可用性，サービス信頼性，ユーザの間欠使用，コデザイン，リアルタイム性，マルコフ過程，信頼度成長，無限サーバ待ち行列理論

1. 研究開始当初の背景

ソフトウェア信頼性工学に関する研究について、研究代表者はこれまでに、ユーザ指向の信頼性と呼ばれるソフトウェアの可用性および安全性を評価するための数理モデルを種々提案している。特に、不完全デバッグ環境やフォールト修正困難度の上昇傾向といったソフトウェア特有の動的特性を、マ

ルコフ過程により記述した確率モデルを構築している。

一方、サービスサイエンス(service sciences, management and engineering (SSME))という学問領域の必要性が叫ばれており、工学的アプローチによるサービス工学の理念に基づくサービス信頼性についても、近年その重要性が認識されはじめている。

こうした中、世界の通信・コンピューティング業界をリードする 30 社以上の企業が参画して、サービス・アベイラビリティ・フォーラム (Service Availability Forum (SAF)) というコンソーシアムが設立されている。しかしながら、この議論はハードウェアシステムをベースに行われているものがほとんどで、ソフトウェアシステムに着目した議論、特に動的なソフトウェア信頼度成長過程を考慮したサービス信頼性評価法についての研究は見受けられない。本研究課題は、ソフトウェア故障/修復特性の動的変化を考慮した定量的なサービス可用性評価法の構築を目指す。インターネットを始め、コンピュータネットワークを介して提供されるサービスは、全てソフトウェアによって実現されていることを鑑みれば、ソフトウェアシステムに対する「サービス信頼性工学」の確立が急務である。

2. 研究の目的

本研究課題の主目的は、ソフトウェアの運用信頼性評価法の確立、特にサービス工学の理念に基づき、サービス品質特性の中でも最も基本的なものであるソフトウェアシステムにおける「サービス信頼性」の定量的評価法の確立を目指す。

3. 研究の方法

(1) まず、システムを利用するユーザ特性 (ユーザの使用頻度や使用時間など) を考慮して、システムの状態空間を再定義した。このとき、各ユーザの主観性 (あるいは多様性や不均質性) もモデルに取り込むことを試みた。

(2) (1)に対して、マルコフ解析を実施し、サービス指向のソフトウェア可用性評価尺度を導出した。例えば、「ユーザの要求するサービスが中断することなく完了する確率」と定義される使用中のソフトウェア・サービス・アベイラビリティや、「ユーザがサービスを要求したときにそのサービスが受けられない確率」と定義される要求拒絶のソフトウェア・サービス・アンアベイラビリティといった評価尺度を導出した。 I_r を、ソフトウェアが運用段階に移行されるまでに実施されるテスト工程でのデバッグ回数を表すものとする、導出した評価尺度は、 I_r 以降におけるデバッグ作業回数およびその後の運用時間 t の関数で与えた。

(3) モデルに含まれるパラメータの推定方法について考察した。用いるデータは、テスト工程およびフィールドにおけるソフトウェア故障発生時間間隔データおよび修復作業時間データとして、最尤法による推定法を

適用した。

(4) (3)で導出されたソフトウェア可用性評価尺度の経時的変化を、解析ツール Mathematica を用いて計算した。ユーザの使用特性、コンピュータシステムの保守要員の能力、コンピュータシステム固有の故障/修復特性、およびシステムダウン時の修復方策が、運用段階におけるサービス品質/信頼性評価結果に対してどのような影響を及ぼしているのかを考察した。また、従来方法による品質/信頼性評価結果との比較を行い、本モデルの長所および短所を整理した。

4. 研究成果

(1) 運用段階特有の修復作業を考慮したソフトウェアシステムのサービス可用性評価法

運用段階においてシステムダウン時に実施される修復作業について、次の 2 種類を考慮した。

R1: システムの信頼度向上を目的としたデバッグ作業を伴う修復作業、

R2: システムの早期の再稼働を目指したデバッグ作業を伴わない修復作業。

次に、時刻 t におけるソフトウェアシステムの状態を表す確率過程 $\{X(t), t \geq 0\}$ の状態空間を、以下のように定義した。

$W = \{W_n: n=0, 1, 2, \dots\}$: システム自身は稼働しているが、ユーザは使用していない状態、

$U = \{U_n: n=0, 1, 2, \dots\}$: 稼働しているシステムをユーザが利用している状態、

$R^1 = \{R^1_n: n=0, 1, 2, \dots\}$: システムがダウンし、上記の修復作業 R1 を実施している状態、

$R^2 = \{R^2_n: n=0, 1, 2, \dots\}$: システムがダウンし、上記の修復作業 R2 を実施している状態。

ここで、 $n=0, 1, 2, \dots$ は、各状態において修正されているフォールト数を表す。これに対してマルコフ解析を実施し、システムが時刻 t において任意の状態にある確率を表す状態占有確率 $P_{W_i, A}(t) \equiv \Pr\{X(t) = A | X(0) = W_i\}$

($A \in \{W_n, U_n, R^1_n, R^2_n\}; i, n=0, 1, 2, \dots; i \leq n$) を解析的に導出した。

上記のモデル設定および解析を基に、種々のサービス可用性評価尺度を導出した。ここで、ソフトウェアシステムに対する i 回目のデバッグ作業が完了した時点を、時刻の原点 $t=0$ とする。まず、「時刻 t においてユーザがシステムを使用しているとき、そのユーザ使用が中断することなくサービスを満足に完了することができる確率」と定義される **使用**

中のソフトウェアサービスアベイラビリティは,

$$SA_U(t, l) = \sum_{i=0}^l \binom{l}{i} a^i (1-a)^{l-i} \frac{\sum_{n=i}^{\infty} \frac{P_{W_i, U_n}(t)}{1 + \lambda_n / \eta}}{\sum_{n=i}^{\infty} P_{W_i, U_n}(t)} \quad (1)$$

と与えられた。ここで、 a はデバッグ作業が確実に実行される確率である完全デバッグ率、 λ_n はフォールト修正数が n 個のときのソフトウェア故障に対するハザードレートを表す。また、 η はユーザの使用完了率に相当し、その逆数 $1/\eta$ はユーザの平均使用時間を表す。次に、「時刻 t においてシステムが修復中であり、かつそのとき発生するユーザの使用要求がキャンセルされる確率」と定義される 使用要求拒絶によるソフトウェアサービスアベイラビリティは,

$$SUA_{rc}(t, l) = \sum_{i=0}^l \binom{l}{i} a^i (1-a)^{l-i} \frac{\sum_{n=i}^{\infty} \left[\frac{P_{W_i, R_1^n}(t)}{1 + \mu_n / \theta} + \frac{P_{W_i, R_2^n}(t)}{1 + \gamma / \theta} \right]}{\sum_{n=i}^{\infty} [P_{W_i, R_1^n}(t) + P_{W_i, R_2^n}(t)]} \quad (2)$$

と与えられた。ここで、 θ はユーザの使用頻度、 μ_n はフォールト修正数が n 個のときの修復作業R1に対するシステム修復終了率、 γ は修復作業R2に対するシステム修復終了率を表す。さらに、「時刻 t においてシステムが修復中であるとき、その後発生するユーザの使用要求がキャンセルされる確率」と定義される 修復中のソフトウェアサービスアベイラビリティは,

$$SUA_r(t, l) = \sum_{i=0}^l \binom{l}{i} a^i (1-a)^{l-i} \frac{\sum_{n=i}^{\infty} \left[\frac{P_{W_i, R_1^n}(t)}{1 + \mu_n / \theta} + \frac{P_{W_i, R_2^n}(t)}{1 + \gamma / \theta} \right]}{\sum_{n=i}^{\infty} [P_{W_i, R_1^n}(t) + P_{W_i, R_2^n}(t)]} \quad (3)$$

と与えられた。式(2)および式(3)は、パラメータ η を含まない、つまりユーザの使用時間とは無関係であることに注意したい。

図1に、システムダウン時に修復作業R1を実施する確率 p と式(1)の使用中的ソフトウェアサービスアベイラビリティ $SA_U(t, l)$ の関係を示す。本モデルは運用段階においてもシステムの固有信頼度が向上する様子を記述しているため、時間の経過とともにサービス可用性も向上する様子が評価されている。また、修復作業R1を実施する可能性が高いほど、サービス可用性も高くなることが示される。

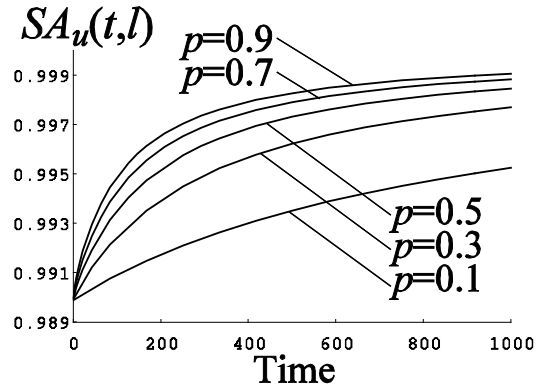


図1 R1を実施する確率 p と $SA_U(t, l)$ の関係($t=0$)。

(2) コデザイン指向型コンピュータシステムのサービス可用性評価法

時刻 t におけるコンピュータシステムの状態を表す確率過程 $\{X(t), t \geq 0\}$ の状態空間を、以下のように定義した。

$W = \{W_n: n=0, 1, 2, \dots\}$: システムは動作している状態,

$R^S = \{R^n_S: n=0, 1, 2, \dots\}$: ソフトウェア故障が発生し、その修復作業のためシステムは動作できない状態,

$R^H = \{R^n_H: n=0, 1, 2, \dots\}$: ハードウェア故障が発生し、その修復作業のためシステムは動作できない状態。

ここで、 $n=0, 1, 2, \dots$ は、各状態において修正されているフォールト数を表す。これに対してマルコフ解析を実施し、コンピュータシステムが時刻 t において任意の状態にある確率を表す状態占有確率 $P_{W_i, A}(t) \equiv \Pr\{X(t) = A | X(0) = W_i\}$ ($A \in \{W_n, R^n_S, R^n_H\}; i, n=0, 1, 2, \dots; i \leq n$)を解析的に導出した。

次に、この結果を利用して、種々のサービス可用性評価尺度を導出した。ここで、ソフトウェアシステムに対する l 回目のデバッグ作業が完了した時点をも、時刻の原点 $t=0$ とする。まず、時刻 t までに処理を完了することができた仕事数の平均を表す 期待処理可能仕事数は,

$$\Lambda^l(t, l) = \sum_{i=0}^l \binom{l}{i} a^i (1-a)^{l-i} \sum_{n=i}^{\infty} \beta_n \int_0^t P_{W_i, W_n}(x) \omega(x) dx \quad (4)$$

と与えられた。ここで、 a はソフトウェアシステムに対する完全デバッグ率、 β_n はフォールト修正数が n 個のときの仕事1個の処理が完了する確率、 $\omega(t)$ は仕事の到着率 (NHPPの強度関数)を表す。また、時刻 t における単位時間当りに到着する仕事数に対する処理可能な仕事数の割合を表す瞬間仕事処理完

了率は,

$$v^1(t, l) = \sum_{i=0}^l \binom{l}{i} a^i (1-a)^{l-i} \sum_{n=i}^{\infty} \beta_n P_{W_i, W_n}(t) \quad (5)$$

と与えられた. 式(2)は, 仕事の到着過程には無関係であることに注意したい. さらに, 時刻 t までに到着した仕事のうち処理が完了した仕事数の割合を表す**累積仕事処理完了率**は,

$$p^1(t, l) = \frac{1}{\Omega(t)} \sum_{i=0}^l \binom{l}{i} a^i (1-a)^{l-i} \sum_{n=i}^{\infty} \beta_n \int_0^t P_{W_i, W_n}(x) \omega(x) dx \quad (6)$$

と与えられた. 上記3つの評価尺度は, 時間およびデバッグ作業の関数として与えられている. 処理が完了せずにキャンセルされた仕事数に関する評価尺度についても, 同様に導出される.

本モデルに基づくコンピュータシステムのサービス可用性評価例を示す. 図2および図3に, それぞれコンピュータシステムの初期ハザードレートと式(5)の瞬間仕事処理完了率 $v^1(t, l)$ の関係を示す. どちらの図とも初期ハザードレートは $h^{sys}_0=0.15$ と同じであるが, (B)は信頼度成長に関する余地が残されているため, 図2(デバッグ作業回数 $l=0$)では時間の経過とともに(B)の方が可用性が高まっていく様子が示されており, 図3(デバッグ作業回数 $l=10$)では, 再稼動開始後の全時間区間において, (B)の方が可用性が高いことが示されている.

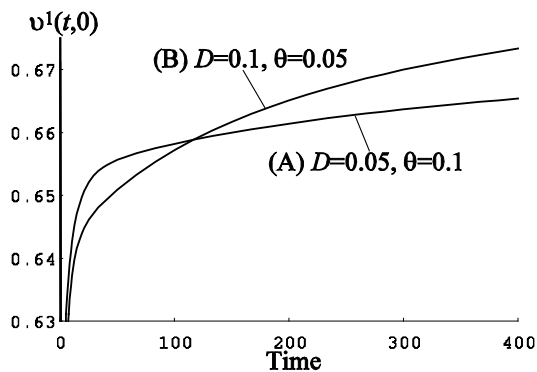


図2 初期ハザードレートと $v^1(t, l)$ の関係($l=0$).

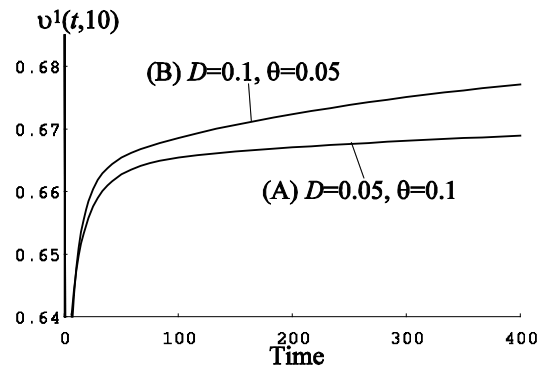


図3 初期ハザードレートと $v^1(t, l)$ の関係($l=10$).

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 27 件)

1. K. Tokuno, S. Yamada, Dynamic software performability analysis with operation-oriented restoration and imperfect debugging based on Markovian availability model, Asia-Pacific Journal of Industrial Management, to be published in 2011, 査読有.
2. K. Tokuno, S. Yamada, Performability analysis for software-intensive system considering variety of tasks and operation-oriented restoration, Quality Technology and Quantitative Management, Vol.8, No.1, pp.27-43, March 2011, 査読有.
3. K. Tokuno, S. Yamada, Codesign-oriented performability modeling for hardware-software system, IEEE Transactions on Reliability, Vol.60, No.1, pp.171-179, March 2011, 査読有.
4. K. Tokuno, S. Yamada, Stochastic performability measurement for software system with random performance degradation and field-oriented restoration, International Journal of Systems Assurance Engineering and Management, Vol.1, No.4, pp.330-339, December 2010, 査読有.
5. K. Tokuno, S. Yamada, Availability-based software performability analysis with operation-oriented restoration and imperfect debugging, in the Proceedings of the Tenth International Conference on Industrial Management (ICIM'2010), Beijing, China, September 2010,

- pp.431-436, 査読有.
6. S. Ikegami, K. Tokuno, S. Yamada, Generalized framework for Markovian software availability modeling and its approximation, in the Proceedings of the Sixteenth ISSAT International Conference on Reliability and Quality in Design (RQD '2010), Washington, D.C., U.S.A., August 2010, pp.238-242, 査読有.
 7. S. Murakami, K. Tokuno, S. Yamada, Markovian performability evaluation for software system with random performance degradation and imperfect debugging, in the Proceedings of the Sixteenth ISSAT International Conference on Reliability and Quality in Design (RQD '2010), Washington, D.C., U.S.A., August 2010, pp.243-247, 査読有.
 8. K. Tokuno, S. Yamada, Markovian model for user-perceived software service availability measurement with operation-oriented restoration, in the Proceedings of the 7th International Conference on Service Systems and Service Management (ICSSSM'10), Tokyo, Japan, June 2010, pp.478-483, 査読有.
 9. K. Tokuno, S. Yamada, Availability-based software performability model with user-perceived performance degradation, International Journal of Software Engineering and Its Applications, Vol.4, No.1, pp.1-14, January 2010, 査読有.
 10. K. Tokuno, T. Kodera and S. Yamada, Generalized Markovian software reliability modeling and its alternative calculation, International Journal of Reliability, Quality and Safety Engineering, Vol.16, No.5, pp.385-402, October 2009, 査読有.
 11. T. Kodera, K. Tokuno, S. Yamada, Generalized Markovian software reliability modeling and its approximation, in the Proceedings of the Fifteenth ISSAT International Conference on Reliability and Quality in Design (RQD '2009), San Francisco, California, U.S.A., August 2009, pp.377-381, 査読有.
 12. J. Takahashi, K. Tokuno, S. Yamada, Markovian performability modeling for hardware-software system, in the Proceedings of the Fifteenth ISSAT International Conference on Reliability and Quality in Design (RQD '2009), San Francisco, California, U.S.A., August 2009, pp.382-386, 査読有.
 13. K. Tokuno, S. Yamada, Performability modeling for software system with performance degradation and reliability growth, IEICE Transactions on Fundamentals of Electronics, Communications and Computer Sciences, Vol.E92-A, No.7, pp.1563-1571, July 2009, 査読有.
 14. K. Tokuno, S. Yamada, Performance analysis based on the number of debuggings for software system with processing time limit using reliability growth model, Asia-Pacific Journal of Operational Research, Vol.25, No.6, pp.765-780, December 2008, 査読有.
 15. K. Tokuno, S. Yamada, Stochastic performability evaluation for software-intensive system in case of tasks with various processing deadlines, in the Proceedings of the 3rd Asian International Workshop on Advanced Reliability Modeling (AIWARM 2008), Taichung, Taiwan, R.O.C., October 2008, pp.575-582, 査読有.
 16. K. Tokuno, S. Yamada, Service-oriented software availability model with service degradation, in the Proceedings of the Ninth International Conference on Industrial Management (ICIM'2008), Osaka, Japan, September 2008, pp.626-631, 査読有.
 17. K. Maehashi, K. Tokuno, S. Yamada, Markovian software reliability modeling with testing-effort, in the Proceedings of the Fourteenth ISSAT International Conference on Reliability and Quality in Design (RQD '2008), Orlando, Florida, U.S.A., August 2008, pp.193-197, 査読有.
 18. K. Tokuno, S. Yamada, Dynamic performance analysis for software system considering real-time property in case of NHPP task arrival, in the Proceedings of the Second IEEE International Conference on Secure System Integration and Reliability Improvement (SSIRI 2008), Yokohama, Japan, July 2008, pp.73-80, 査読有.
- [学会発表] (計 14 件)
1. 得能貢一, 山田茂, 性能低下および運用段階特有の修復シナリオを考慮したソフトウェア性能評価のための統合モデル, 電子情

報通信学会技術研究報告（信頼性研究会），Vol.110, No.345, R2010-37, pp.1-6, 2010年12月，査読無.

2. 得能貢一，山田茂，ハードウェア/ソフトウェアシステムに対するサービス可用性評価法に関する一考察，電子情報通信学会技術研究報告（信頼性研究会），Vol.110, No.159, R2010-21, pp.25-30, 2010年7月，査読無.
3. 得能貢一，山田茂，運用時の復旧シナリオを考慮したソフトウェア・サービスアベイラビリティ評価モデル，電子情報通信学会技術研究報告（信頼性研究会），Vol.110, No.62, R2010-14, pp.43-48, 2010年5月，査読無.
4. 高橋淳一，得能貢一，山田茂，ハードウェアおよびソフトウェアコンポーネントの故障/修復特性を同時に考慮したコンピュータシステムの性能評価法，平成21年度電気・情報関連学会中国支部第60会連合大会，2009年11月21日，山口大学工学部（宇部市），査読無.
5. 小寺貴裕，得能貢一，山田茂，マルコフ型ソフトウェア信頼性モデルの一般化枠組みと信頼性評価尺度算出のための近似計算法に関する一考察，平成21年度電気・情報関連学会中国支部第60会連合大会，2009年11月21日，山口大学工学部（宇部市），査読無.
6. 得能貢一，山田茂，性能低下を考慮したマルコフ型ソフトウェア性能評価モデル，電子情報通信学会技術研究報告（信頼性研究会），Vol.109, No.161, R2009-25, pp.17-22, 2009年7月，査読無.
7. 得能貢一，山田茂，2種類の復旧シナリオを考慮したソフトウェア性能評価モデル，電子情報通信学会技術研究報告（信頼性研究会），Vol.109, No.67, R2009-11, pp.19-24, 2009年5月，査読無.
8. 得能貢一，山田茂，Performability Modeling for Hardware-Software System with Software Reliability Growth, 日本OR学会2008年秋季研究発表会，2008年9月10日，札幌コンベンションセンター，査読無.
9. 得能貢一，山田茂，処理時間制約が分布する場合のソフトウェア処理性評価法，電子情報通信学会技術研究報告（信頼性研究会），Vol.108, No.72, R2008-10, pp.7-12, 2008年5月，査読無.

〔図書〕（計5件）

1. K. Tokuno, S. Yamada, Markovian service availability modeling for hardware/software system, in Advanced Reliability Modeling IV, Beyond the Traditional Reliability and

Maintainability Approaches, Wellington, New Zealand, 2-4 December 2010, Proceedings of the 4th Asia-Pacific International Symposium (APARM 2010), McGraw Hill, Taipei, Taiwan, R.O.C., 2010, pp.680-687, 査読有.

2. K. Tokuno, S. Yamada, Software performability measurement based on availability model with user-perceived performance degradation, in Advances in Software Engineering --- International Conference on Advanced Software Engineering and Its Applications, ASEA 2009 Held as Part of the Future Generation Information Technology Conference, FGIT 2009, Jeju Island, Korea, December 10-12, 2009, Proceedings, Communications in Computer and Information Science 59, pp.264-271, Springer-Verlag, Berlin, 2009, 査読有.
3. K. Tokuno, S. Yamada, Operational software performance evaluation based on the number of debuggings with two kinds of restoration scenarios, in Recent Advances in Stochastic Operations Research II, pp.253-269, World Scientific, Singapore, August 2009, 査読有.
4. M. Fukuda, K. Tokuno, S. Yamada, Markovian performance evaluation for software system availability with processing time limit, in Recent Advances in Reliability and Quality in Design, Chapter 10, pp.225-238, Springer-Verlag, London, 2008, 査読有.
5. K. Tokuno, S. Yamada, User-perceived software service availability modeling with reliability growth, in Service Availability --- 5th International Service Availability Symposium, ISAS 2008, Tokyo, Japan, May 19-21 2008, Proceedings, Lecture Notes in Computer Science 5017, pp.75-89, Springer-Verlag, Berlin, 2008, 査読有.

6. 研究組織

(1) 研究代表者

得能貢一 (TOKUNO KOICHI)

鳥取大学・大学院工学研究科・准教授

研究者番号：40263488

(2) 研究分担者

()

研究者番号：

(3) 連携研究者

()

研究者番号：