

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24年 4月 20日現在

機関番号：15401

研究種目：基盤研究（B）

研究期間：2009～2011

課題番号：21360432

研究課題名（和文）設計の不確定性を考慮した船舶初期設計シミュレータの開発

研究課題名（英文）Development of the design simulator for ship initial design stage in consideration of the uncertainties of the design

研究代表者

濱田 邦裕（HAMADA KUNIHRO）

広島大学・大学院工学研究院・教授

研究者番号：40294540

研究成果の概要（和文）：

本研究では、船舶の上流設計の支援のために設計の不確定性と多段階性を考慮した設計支援環境を検討した。具体的には、船舶の性能・寸法・解析手法等を期待値と分散を有する不確定値として取り扱い、期待値に加えて分散を定量的に算出する。以上によって、設計における設計手順の設定、マージンの設定および解析手法の精度等が設計解の性能や設計の手戻りに与える影響を具体的に検討することが可能な設計支援環境を開発した。

研究成果の概要（英文）：

In this study, new design support system for ship initial design stage in consideration of the uncertainties is proposed. In the proposed system, dimensions, performances and analyses are expressed as indeterminate value, and in addition to the expected value, variances of those are calculated quantitatively. By using the system, we can examine the influences of design procedure, accuracy of analytical tool and the margin of the design on the performance of the designed product and re-doing of the design quantitatively.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2009年度	3,800,000	1,140,000	4,940,000
2010年度	5,200,000	1,560,000	6,760,000
2011年度	3,900,000	1,170,000	5,070,000
年度			
年度			
総計	12,900,000	3,870,000	16,770,000

研究分野：船舶設計・生産システム

科研費の分科・細目：総合工学・船舶海洋工学

キーワード：船舶設計システム、船舶生産システム、プロセス、不確定性、最適化

1. 研究開始当初の背景

近年、設計工学の分野では、プロセス情報（意思決定の手順やその方法など）の重要性が指摘されている。一般的に、熟練した設計者と新米の設計者とは、意思決定の手順や意思決定の際に検討する項目・方法は異なっており、その相違が設計解や設計時間に大きな影響を与えられている。このような学術的背景に基づき、造船業においても、東大の大和、安藤、稗方、青山、古賀らによって、熟練者の設計プロセスを抽出する仕組みや、抽出された設計プロセスを計算機内部に記述し再利用する仕組みについて研究が進められている。

一方、研究代表者らは、設計プロセスの相違が設計解に与える影響を評価するための設計支援環境について研究を進めてきた。具体的には、造船の設計活動を「設計プロセスの計画問題」と「製品情報の決定問題」の二つに分け、システムの利用者が設計プロセスを計画すると、その設計プロセスにおける最適な製品情報を最適化理論により自動生成するシステム環境を構築した。

この研究の実施過程において、造船所の設計実務担当者から以下の意見をいただいた。

- (1) 現在の設計プロセスは最適なものではなく、改善の余地は十分にあるものと考えている。
- (2) 新たな解析手法等を設計において利用することも考えるが、新たな解析手法を利用することによる性能向上を具体的に議論することが困難であり、実務での利用をためらうことが多い。
- (3) 設計を上流と下流に分けて考える場合、上流では性能等の見積り精度が問題となることが多く、下流では設計工数が問題となることが多い。

以上の学術的背景および実務の現状に基づくと、船舶の上流設計の更なる向上のためには、設計における不確定性を具体的に扱うことが重要と考えられる。一方、これまでの研究では、設計活動における寸法や解析結果等は確定値として取り扱われるため、設計における不確定性を取り扱うことは困難であった。

2. 研究の目的

FOA(First Order Analysis)の提唱に代表されるように、良い製品を設計するためには、設計の上流段階における試行錯誤を支援することが重要である。船舶設計においても上流設計支援の重要性が指摘されているが、船舶の上流設計では不確定情報が多く、十分な検討が困難な場合が多い。したがって、船舶の上流設計の更なる向上のためには、設計における不確定性を具体的に扱うことが

重要と考えられる。

以上の背景に基づき、本研究では、船舶の上流設計の支援のために設計の不確定性と多段階性を考慮した設計支援環境を構築する。本研究で開発する設計支援環境の特徴を以下に示す。

- (1) 上流の設計段階では、船舶の性能や寸法は完全に確定されておらず、バラツキを有するものと捉える。設計の進展とともに製品情報が詳細化され、バラツキは減少する。
- (2) 上記のバラツキを具体的に扱うために、船舶の性能、寸法および解析手法を、確定値としてではなく、期待値と分散を有する不確定値として取り扱う。
- (3) 製品情報が不足する場合や、精度の悪い解析手法を用いる場合は、分散が大きくなるものと捉える。期待値のみではなく、分散を定量的に算出することにより、設計の手戻りの可能性や性能の不確定性を定量化する。

以上によって、設計における設計手順の設定、マージンの設定および解析手法の精度が設計解の性能や設計の手戻りに与える影響を具体的に検討することが可能な設計支援環境を構築し、船舶の上流設計における検討の密度を向上する。

3. 研究の方法

(1) 研究対象

本研究を円滑に進めるには、日本での建造実績が多く、推定式等の誤差を具体的に調査できる船舶を対象とすることが望まされたため、研究対象はバルクキャリアの平行部とした。また、初期設計プロセスとして、誤差の影響が大きい主要目設計、概略一般配置設計、第1次ブロック分割および船体中央断面設計に着目した。

(2) 開発システムの概要

本研究の設計支援環境の全体構成を図1に示す。図1に示すように本研究の設計支援環境は、以下の4つのサブシステムにより構成されている。

開発システムでは、設計者が設計の手順、評価手法および設定するマージン等を入力する。これらの入力に基づき、システムが不確定性を考慮した最適化計算を実施し、性能面のバラツキおよび設計の手戻りの可能性を定量的に算出する。

①設計・評価ツールのデータベース

バルクキャリアの初期設計プロセスにおいて利用される評価ツール、設計変数等を管理する。評価ツールには、入出力情報の種類とその評価ツールの精度が記述されている。

②設計プロセス計画ツール

システムの利用者が、上記①のツールを組み合わせることにより、設計ステージの構成、各設計ステージにおいて用いる評価ツールとその精度、およびマージンを設定する。

③最適化エンジン

上記②の入力に基づき、各ステージの最適化問題を動的に構成し、最適化計算を実施する。本研究では、設計における精度の問題を定量的に取り扱うために、ロバスト探索型遺伝的アルゴリズムを最適化エンジンとして利用する。

④設計プロセス評価ツール

上記③の最適化結果に基づき、設計者が指定した設計プロセスに基づく設計解の期待値と分散、および設計の手戻りの可能性を定量的に算出する。また、評価に用いる解析手法等を変更して設計を行った場合には、設計解の性能と設計コスト等のトレードオフの関係を示す。

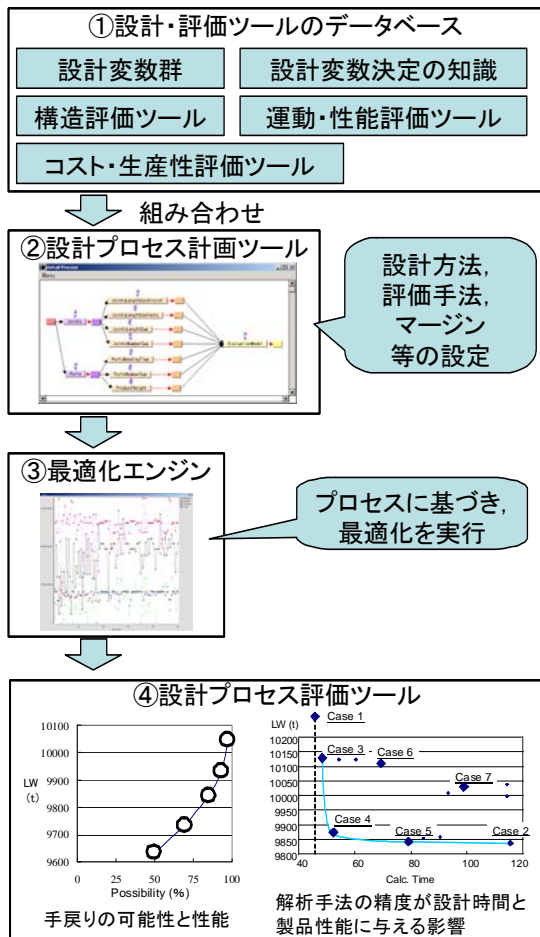


図1 開発システムの構成

(3) 研究手順

本研究のシステムの開発および有効性の評価は以下の手順で実施した(図1)。

①バルクキャリアの初期設計の調査

バルクキャリアの初期設計プロセスを、ヒアリング・アンケート等により調査した。これにより、初期設計に必要なツール群、各種評価式の制度、および各ステージの変数と評価項目の規模等を明確化した。

②主要目設計の設計支援環境の開発

上記①の調査結果に基づき、船舶の初期設計プロセスの内、最初の設計段階である主要目設計を中心に検討を実施し、設計・評価ツールのデータベース、設計プロセス計画ツール、最適化エンジン、設計プロセス評価ツール等、本システムを構成するサブシステムの第一次プロトタイプを開発した。なお、本部分では各サブシステムにおける不確定性の表現とその取り扱いが検討の中心であった。

③主要目の設計支援環境の妥当性の確認

上記②開発したシステムを利用して、バルクキャリアの主要目設計を実施し、そのレビューを実施することにより、主要目設計の設計支援環境の妥当性を確認した。

④主要目以外の設計ステージの設計支援環境の開発

これまでの研究成果を参考に、主要目設計以外の設計ステージの設計支援環境を開発

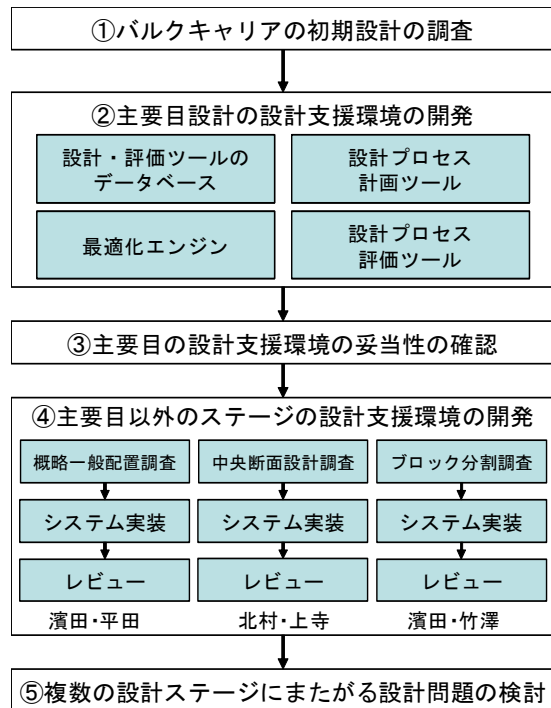


図2 研究の基本的な流れ

した。研究代表者および研究分担者の専門性を考慮し、概略一般配置設計は濱田と平田が、中央断面設計を北村・上寺が担当し、第一次ブロック分割は濱田・竹澤が担当した。これらの開発は、先ず造船所の現状を調査した後システム開発を実施し、その後レビューという手順で実施した。

⑤ 複数の設計ステージにまたがる設計問題の検討

複数の設計ステージにまたがる問題とは、例えば、下流の設計から上流設計への設計の手戻りの問題や、主要目設計、概略一般配置設計、中央断面設計等の現在の設計ステージの構成を再構築するような問題である。この課題を解決するために、設計プロセス計画ツールを設計の多段階性を考慮したものへと拡張した。合わせて最適化エンジンについても、多段階最適化を考慮したものへと拡張した。なお、本部分には特に主要目設計と概略一般配置設計に着目して、研究を実施した。

4. 研究成果

(1) 研究の主な成果

本研究の実施により得られた知見・成果を以下に整理する。

- ① 解析の入出力情報を確定値ではなく、期待値と標準偏差により表現した。さらに設計者によって入力される積分区間に基づき、解析手法の精度が設計解の性能や設計における実現可能性に与える影響を定量的に把握する手法を提案した。
- ② 一般的な設計変数に加えて、それぞれに調整幅を与えることで、可動領域を有する不確定な設計案を表現する手法を提案した。
- ③ 解析等の不確定性と製品情報の不確定性を考慮した設計シナリオを提案した。さらに、そのシナリオをモンテカルロ・シミュレーションによって再現し、不確定性を有する設計案の実現可能性と製品性能の期待値を算出する手法を提案した。
- ④ 上記③に基づき、製品情報の不確定性を考慮した製品設計を多目標最適化問題としてモデル化し、その最適化を効率的に行うためのワイルドカード GA を提案した。
- ⑤ プロトタイプシステムを構築し、最適化を実行することにより、解析手法の精度やマージンの設定が設計解の悪化や設計の手戻りに与える影響を具体的に検討できることを示した。さらに、製品情報に不確定性を設けることにより、設計における実現可能性の拡大や性能向上が期待できることを示した。

(2) 研究成果の国内外における位置づけ

造船の設計プロセスに関する研究として、大和・安藤らによるナレッジ・マネジメント・システムに関する研究、青山らによるトップダウン指向設計システムに関する研究、および稗方らによる設計知識抽出に関わる研究が挙げられる。これらは、設計プロセスの抽出と計算機への記述法・再利用法に関わる研究として位置づけられ、設計プロセスの評価は対象としていない。設計プロセスの評価に関わる研究として、研究代表者らによる最適化シミュレーションシステムによる研究が挙げられるが、この中では各種情報は確定値として取り扱われている。一方、造船以外に目を移すと、野間口・藤田らによるリワークシミュレーションに関する研究が挙げられる。この研究は設計プロセスにおける不確定性を考慮しているが、その評価の対象はコストと工数に限定されている。

本研究では、設計の不確定性を考慮して、設計プロセスの相違が製品の性能に与える影響を具体的に検討できるシステム環境を構築している。このような研究は過去に例がなく、本研究が初めての試みである。また、本研究の実施により、解析手法等の精度が設計解に与える影響を定量的に議論することが可能となった。これにより、研究開発された解析手法等の設計現場への導入を大きく加速することが期待される。

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 20 件)

- ① 濱田邦裕, 北村充, 高延宣文, 羽奈洋介 : 製品情報の不確定性を考慮した船舶主要目設計支援システムに関する研究, 日本船舶海洋工学会論文集, 査読有, Vol. 13, 2011, pp. 239-248.
- ② Kitamura, M., Uedera, T., Hamada, K., Takezawa, A. : Shape Optimization System of Bottom Structure of Ship Incorporating Individual Mesh Subdivision and Multi-Point Constraint, Int. Journal of Offshore and Polar Engineering, 査読有, Vol. 21, No. 3, 2011, pp. 209-215.
- ③ 上寺哲也, 北村充, 濱田邦裕, 大槻康明 : 降伏及び座屈応力を考慮した船体二重底部構造最適化に関する研究—船体二重底部形状と板厚を設計変数とした構造最適化における構造的考察—, 日本船舶海洋工学会論文集, 査読有, Vol. 14, 2011, pp. 1-8.
- ④ Takezawa, A., Nii, S., Kitamura, M., Kogiso, N. : Topology optimization for worst load conditions based on the

- eigenvalue analysis of an aggregated linear system, Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering, 査読有, Vol.200, 2011, pp.2268-2281.
- ⑤ 新居悟, 竹澤晃弘, 北村充, 小木曾望 : 縮約された線形システムを用いた不確定荷重に対するロバストトポロジー最適化, 日本機械学会論文集 A 編, 査読有, 2011, pp.472-482.
- ⑥ Kitamura, M., Uedera, T., Hamada, K., Takezawa, A. : Shape and Size Optimization of the Double Bottom Structure of Bulk Carrier at the Initial Design Stage with Finite Element Analysis, Proc. of the 21st Int. Offshore and Polar Engineering Conf., 査読有, 巻無し, 2011, pp.839-844.
- ⑦ Varikkattu K. K., Hamada, K., Kitamura M. : Optimization of Block Division considering Information Uncertainty, Proc. of the Int. Conf. on Computer Applications in Shipbuilding 2011, 査読有, Vol.III, 2011, pp.23-30.
- ⑧ Tokumoto, H., Hamada, K., Kitamura, M., Hirata, N., and Hana, Y. : A study on design support system for ship principal particulars in consideration of uncertainties, Proc. of the 25th Asian Technical Exchange and Advisory Meeting on Marine Structure, 査読有, 巻無し, 2011, pp.1-8.
- ⑨ 中森隆一, 北村充, 濱田邦裕 : 3D プロダクトモデルを利用した船体中央横断面の総合的最適化に関する研究 - 既存船舶情報に基づいた構造最適設計 -, 日本船舶海洋工学会論文集, 査読有, Vol. 11, 2010, pp. 81-88.
- ⑩ Hamada, K., Takanobu, Y. Varikkattu K. K. : Development of Design Support System for ship in Consideration of Uncertainty in Product Information, Proc. of the 9th Int. Conf. on Computer and IT Applications in the Maritime Industries, 査読有, 巻無し, 2010, pp.90-98.
- ⑪ Kitamura, M., Nakamori, T., Hamada, K., Takwezawa, A. : Structural Optimization of the Mid-ship Section of a Bulk Carrier with Aid of a Three-Dimensional Product Model, 6th China-Japan-Korea Joint Symposium on Optimization of Structural and Mechanical Systems, 査読有, 巻無し, 2010, CD-ROM.
- ⑫ Nii, S., Takezawa, A., Kitamura, M. : Robust topology optimization for the worst load case, 6th China-Japan-Korea Joint Symposium on Optimization of Structural and Mechanical Systems, 査読有, 巻無し, 2010, CD-ROM.
- ⑬ Nii, S., Takezawa, A., Kitamura, M., Kogiso, N. : Robust topology optimization for the worst load case based on aggregation of linear system, Proc. of the 13th AIAA/ISSMO Multidisciplinary Analysis Optimization Conf., 査読有, 巻無し, 2010, CD-ROM.
- ⑭ Hamada, K., Kitamura, M., Takezawa, A., Kanaikari, K. : A Multi-Step Design Optimization Method for Mid-Ship Sections, Ship Technology Research, 査読有, Vol. 56, 2009, pp.110-120.
- ⑮ Varikkattu K. K., Hamada, K., Takezawa, A., Kitamura, M. : Optimization of Block Division Using Nodal Cut Set Method, Ship Technology Research, 査読有, Vol. 56, 2009, pp.142-152.
- ⑯ 濱田邦裕, 北村充, 安井聡一, 川崎裕 : 船舶初期設計プロセスを対象とした設計プロセスシミュレータの開発, 日本船舶海洋工学会論文集, 査読有, Vol. 9, 2009, pp.211-222.
- ⑰ Hamada, K., Kitamura, M., Takezawa, A., Takanobu, Y. : A Study on Design Support System for Ship Principal Particulars in Consideration of the Accuracies of the Analyses, Proc. of the 8th Int. Conf. on Computer and IT Applications in the Maritime Industries, 査読有, 巻無し, 2009, pp.29-37.
- ⑱ Takezawa, A., Kaneno, Y., Kitamura, M., Hamada, K., Ohtsuki, Y. : A Design Optimization Method for Bridge Wing of Bulker Improving Anti-Vibration Characteristics, Proc. of the 8th Int. Conf. on Computer and IT Applications in the Maritime Industries, 査読有, 巻無し, 2009, pp.238-246.
- ⑲ Varikkattu K. K., Hamada, K., Kitamura, M. : Optimization of Block Division using Nodal Cut Set Method in Consideration of Production Stages in Ship Hull Construction, Proc. of the 19th Int. Offshore and Polar Engineering Conf., 査読有, 巻無し, 2009, pp.787-794.
- ⑳ Hamada, K., Kitamura, M., Yasui, S., Kawasaki, H., Hana, Y. : Development of Design Process Simulator for the Ship Initial Design Stage, Proc. of the Int. Conf. on Computer Applications in Shipbuilding 2009, 査読有, Vol. II, 2009, pp. 27-37.

〔学会発表〕(計 15 件)

- ① 中村大輔, 加藤聡士, 北村充, 竹澤晃弘: モジュール化を考慮した船体構造最適化に関する研究, 日本機械学会第 21 回設計工学・システム部門講演会, 2011 年 10 月 23 日, 米沢市.
- ② 三宅広剛, 北村充, 竹澤晃弘: CSR に基づいたオイルタンカー中央断面の最適設計に関する研究, 日本機械学会第 21 回設計工学・システム部門講演会, 2011 年 10 月 23 日, 米沢市.
- ③ 加藤聡士, 竹澤晃弘, 北村充: トポロジー最適化を活用した新機関室モジュール搭載船の構想設計, 第 16 回 計算工学講演会, 2011 年 5 月 26 日, 東京都.
- ④ 川崎航平, 竹澤晃弘, 北村充: 船舶機関部モジュール支持構造の最適設計に関する研究, 日本船舶海洋工学会平成 23 年度春季講演会, 2011 年 5 月 20 日, 福岡市.
- ⑤ 濱田邦裕, 羽奈洋介, 平田法隆, 北村充: 不確定性を考慮した最適化のためのワールドカード GA の提案と主要目設計への適用, 平成 22 年度日本船舶海洋工学会秋季講演会, 2010 年 11 月 5 日, 佐世保市.
- ⑥ 濱田邦裕, 平田法隆, 和田祐次郎: 不確定性を考慮した配船計画の最適化に関する研究, 平成 22 年度日本船舶海洋工学会秋季講演会, 2010 年 11 月 5 日, 佐世保市.
- ⑦ 新居悟, 竹澤晃弘 他: 統合・簡易化された線形システムの固有値解析に基づくロバストトポロジー最適化, 日本機械学会 2010 年度年次大会, 2010 年 9 月 8 日, 名古屋市.
- ⑧ 濱田邦裕, 北村充, 高延宣文, 羽奈洋介: 製品情報の不確定性を考慮した船舶主要目の多目標最適化に関する研究, 平成 22 年度日本船舶海洋工学会春季講演会, 2010 年 6 月 8 日, 東京都.
- ⑨ 谷峰輝彦, 北村充, 濱田邦裕, 竹澤晃弘: カーリング配置を考慮した船体二重底構造の最適設計に関する研究, 平成 22 年度日本船舶海洋工学会春季講演会, 2010 年 6 月 8 日, 東京都.
- ⑩ 新居悟, 竹澤晃弘, 北村充: 統合・簡易化された線形システムに基づくロバストトポロジー最適化, 日本計算工学会第 15 回計算工学講演会, 2010 年 5 月 28 日, 博多市.
- ⑪ 濱田邦裕, 牟田和貴, 北村充: 解析手法の精度に着目した船舶主要目設計プロセスの多目標最適化に関する研究, 平成 21 年度日本船舶海洋工学会秋季講演会, 2009 年 11 月 20 日, 熊本市.
- ⑫ 竹澤晃弘, 金野有里, 松本麻里, 北村充, 濱田邦裕, 大槻康明: トポロジー最適化を用いた船体上部構造の防振設計に関する研究, 日本機械学会第 20 回設計工学・

システム部門講演会, 2009 年 10 月 28 日, 沖縄県読谷村.

- ⑬ Kitamura, M., Uedera, T., Hamada, K., Takezawa A.: Shape Optimization of Ship Double Bottom Structure with Aid of Idealized Composition of Ship, The 10th US National Congress on Computational Mechanics, 2009 年 7 月 17 日, Columbus, Ohio, U.S.A.
- ⑭ 北村充, 濱田邦裕, 竹澤晃弘: 大型構造物の最適設計に関する研究, 第 58 回理論応用力学講演会, 2009 年 6 月 11 日, 東京都.
- ⑮ 北村充, 金碓広平, 近藤史彦, 濱田邦裕, 竹澤晃弘: 船体二重底構造と中央断面の多段階最適設計に関する研究, 日本計算工学会第 14 回 計算工学講演会, 2009 年 5 月 12 日, 東京都.

〔その他〕

2011 年度 日本船舶海洋工学会論文賞受賞

6. 研究組織

(1) 研究代表者

濱田 邦裕 (HAMADA KUNIHIRO)
広島大学・大学院工学研究院・教授
研究者番号: 40294540

(2) 研究分担者

北村 充 (KITAMURA MITSURU)
広島大学・大学院工学研究院・教授
研究者番号: 40195293

平田 法隆 (HIRATA NORITAKA)
広島大学・大学院工学研究院・助教
研究者番号: 80181163

竹澤 晃弘 (TAKEZAWA AKIHIRO)
広島大学・大学院工学研究院・准教授
研究者番号: 10452608

上寺 哲也 (UEDERA TETSUYA)
呉工業高等専門学校・機械工学分野・助手
研究者番号: 10342552

(3) 連携研究者

該当なし

以上