

平成23年6月13日現在

研究種目：若手研究 (B)

研究期間：2009～2010

課題番号：21760663

研究課題名 (和文) 船舶の生涯価値を創出する機関室のモジュール化設計法

研究課題名 (英文) Modular design method of ship power plant for lifetime value

研究代表者

古賀 毅 (KOGA TSUYOSHI)

東京大学・大学院工学系研究科・特任准教授

研究者番号：30431787

研究成果の概要 (和文)：

船舶の機関室は、単独で電力・推進力を供給するために非常に複雑なシステムであることから、設計における最適化が困難であった。そこで機関室の開発を、モジュールに分割することによって、モジュール単位での設計改善や性能最適化・品質保証を可能とする手法を構築した。冷却系・潤滑系・燃料供給系などといったシステムを、機能とフローの表現に基づくネットワークによって表現することで、モジュール単位で開発可能な品質を最大化する分割手法を構築した。

研究成果の概要 (英文)：

The design of ship engine room is very complex because it has various functions such as creating electric power and thrust force. Because of the complexity, the total design optimization is very difficult. This study developed the modular division system for engine room design to manage the complexity and to design and optimize each module. A modular division method based on a network description of all systems such as lubrication / cooling / fuel oil supplying systems is proposed to develop more effective modular development.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2009年度	2,000,000	600,000	2,600,000
2010年度	1,400,000	420,000	1,820,000
年度			
年度			
年度			
総計	3,400,000	1,020,000	4,420,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：総合工学・船舶海洋工学

キーワード：計画・設計・生産システム、システムズエンジニアリング、モジュール化設計

1. 研究開始当初の背景

船舶の機関室は、単独で電力・推進力を供給するために非常に複雑なシステムである

ことから、モジュール化設計によって入出力を絞り込み、標準化する設計手法が有効である。機関室の開発をモジュール単位に分割す

ることによって、モジュール単位での設計改善や性能最適化・品質保証を可能とし、システム開発を「モジュールの組み合わせ」にすることができる。

モジュールの分割位置は、モジュール単位で開発可能な品質や、各モジュールの実装密度、および各モジュールの入出力に影響を及ぼす。このため、モジュールの分割を決定する問題は難しい問題であり、論理的な設計法が求められている。

また、船舶や発電プラントに代表されるロングライフ型の製品の生涯は、寿命が数十年以上と、非常に長い期間にわたる。そこで、将来の外部環境変化に対応できるような様々なアップグレード・シナリオを、製品の設計段階で埋め込んだ製品を設計する手法が求められている。

2. 研究の目的

生涯価値向上のための設計・生産・運用品質を向上する方法として、モジュール化設計に着目し、以下(1)~(3)を達成する。

- (1) 製品を、将来の変化になるべく影響されず変化しないベース部分を意味するプラットフォーム・モジュールと、将来の技術や環境の変化のシナリオに応じて柔軟に入れ替えるオプション・モジュールの構造に切り分ける手法を構築する。
- (2) このために、モジュール単位での機能の独立性を高め、さらに機関室全体での情報量を最小化するようなモジュールの分割手法を構築する。
- (3) さらに、想定される将来の多様な技術変化シナリオに対し、提案するシステムによって導出される各案を評価・比較する事で、技術的・コスト的に対応可能な柔軟なモジュール構造を獲得することを支援する。

3. 研究の方法

(1) モジュール化設計のアプローチ

機関室を構成する冷却系・潤滑系・燃料供給系などといった回路やシステムを、機能とフローの表現に基づくネットワークによって表現し、機関室のモジュール分割問題を、ネットワーク群の切断問題として定式化する。この定式化に基づき、計算機システムとして実装し、機関室のモデルを作成した上で、モジュール化のメリットを最大限に発揮することが可能な、最適なモジュール分割案を導く。

機関室は多様な機能を発現するため、多くのシステムが存在する。モジュール分割は、機関室が持つ機能・システムの全体を考慮し、バランスよく決定する必要がある。このため機関室の多様な機能・システムをひとつのネットワーク

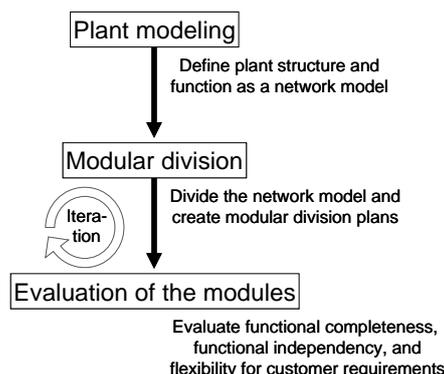


Fig.1 Modular division algorithm

として扱うモデルを考える。このひとつのネットワークとして記述されたモデルを、統合プラント・モデルと呼ぶ。

Fig.1 に、モジュール分割のアルゴリズムの概要を示す。まず初めに、機関室のモデリングを行い、機関室をひとつのシステムとして表現する統合プラント・モデルを定義する。次に、統合プラント・モデルを分割することで、モジュールに切り分ける。切り分けによって得られたモジュール化案を、機能の完結性と独立性、および顧客要求に対する柔軟性によって評価する。このモジュール化案の生成と、評価による選別を繰り返すことによって、最終的に評価が高いモジュール化案を推奨する。

(2) 機関室の統合モデル

機関室の機能・挙動および構造を定義することが可能な、統合プラント・モデルを提案する。統合プラント・モデルは、以下の要素のネットワーク接続によって、機関室の構造および仕様、機能・挙動および内部の依存関係を表現する。

① プラント構造モデル

- ・プラントを構成するコンポーネント
 実体(Entity)オブジェクトとして表現されるノードによって定義する。属性(Attribute)を持つ。属性によりスペックやパラメータ、仕様、形状や配置を記述する。
- ・コンポーネント間の接続
 インタフェイス (Interface) オブジェクトを用い、リンクとして表現する。配管や電線などといった、コンポーネント間をつなぐものを具体的に表現する。そのパラメータ、仕様、形状や配置を、属性として記述する。コンポーネント間に入出力されるフローの情報を所持する。

② プラント機能モデル

- ・コンポーネント間のやり取り

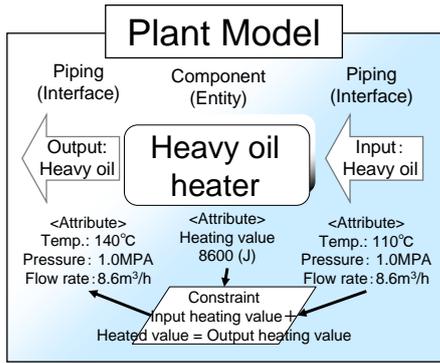


Fig.2 Integrated plant model

フロー・オブジェクト (Flow Object) によって、コンポーネント間にやり取りされる物質・信号・エネルギーを表現する。フロー・オブジェクトが持つ温度や圧力などといったパラメータは、属性によって定義する。

- ・制約 (Constraint)
属性間の関係を表す。数式や条件式で記述し、拘束関係や成立条件を意味する。制約によって属性は連動するパラメータ・ネットワークとして機能する。

③プラント挙動モデル

- ・実体 (コンポーネント) の挙動
実体 (コンポーネント) は、状態(State)と状態遷移(Action)からなる挙動情報を所持する。状態(State)は、実体 (コンポーネント) の状態を表し、属性の値の組で定義される。状態遷移は、状態と状態のスイッチによって定義される。
- ・インタフェイスの挙動
実体の単体挙動間 の関係を表す。フローが流れるタイミングや、動作の条件を表す。

提案する統合プラント・モデルの、最も基本的な構造を Fig.2 に示す。

(3) 機関室の統合モデル

プラントの統合モデルを用いて、モジュール分割を定義する。プラントのひとつの機能を表すシステムを、ひとつのネットワークとして表現し、重ね合わせる。ネットワークを切断し、得られたサブグラフがモジュールの機能・挙動・構造を表すグラフとなる。

ネットワークの分割とモジュールの定義の例を、Fig.3 に示す。分割線によって統合モデルを分割すると、入出力関係が分断されたひとつのサブ・ネットワークが発生する。このサブ・ネットワークを、モジュールの表現として定義する。モジュールは入力と出力を持つ。分割線において切断された入力部が、モジュールに対する入力および出力となる。

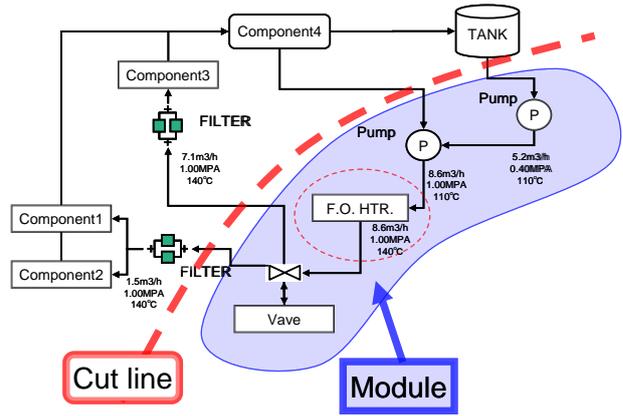


Fig.3 Model of module defined based on division line

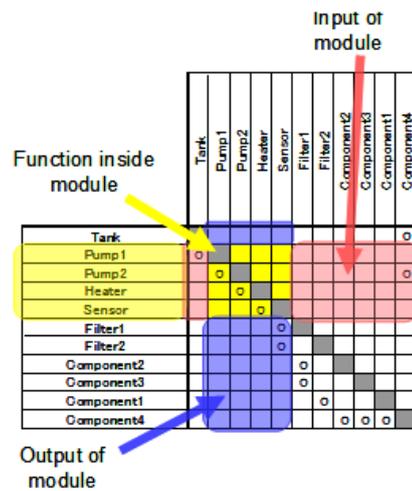


Fig.4 Modular matrix: modular function, input, and output

ネットワークが複雑化すると、モジュールの入出力関係を明示することが困難となる。そこで、可視化のために、マトリクスを利用する。Fig.3 で示したネットワークの切断構造を、マトリクス上で表現した結果を Fig.4 に示す。モジュールを構成する実体を行及び列に配置した正方形列において、各セルに入出力の関係を定義したものが、モジュールマトリクスとなる。モジュール内部の機能と、モジュールに対する入力、およびモジュールから得られる出力の情報が可視化できる。

(4) モジュールの評価

良いモジュール構造を設計するために、モジュール構造の良否を意味するモジュラリティを評価する。良いモジュールとは、以下2点を満足するモジュールであると考えられる。

- 1) モジュール単位での開発が行いやすい
- 2) モジュール単位での高知能化が容易
- 3) 顧客要求に対応するコンフィギュレー

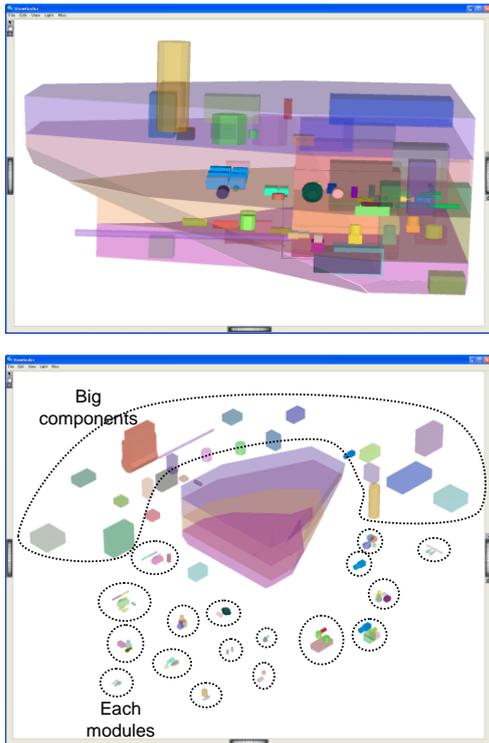


Fig.5 Design result of engine room and modules

ションが容易

観点 1)および 2)から、モジュールとして発現する機能が完結していればいるほど、良いモジュールと考える。これを、モジュールの機能完結性(Functional completeness of module: FCM)と定義する。

①モジュール評価指標(1) 機能的完結性: Functional completeness of module (FCM)

機能完結性が高いモジュールは、入力から出力に至る過程でのフローの変換をより多くすることができるため、性能をモジュール単位で最適化した場合の利益が大きく、またモジュール単位での試験評価や性能保障が容易

であると考えることができる。

②モジュール評価指標(2) システム複雑性: System independency of module (SIM)

システムの複雑性を低減することは、システムの設計やテスト、モジュールのコンフィギュレーションのしやすさに貢献する。観点 3)からは、システムの複雑性を低減させる分割が良い分割となる。システム全体としての複雑性を低減するためには、モジュール間の依存性を低減する必要がある。そこで、システムにおけるモジュールの相互依存性(System independency of module: SIM)を提案する。

4. 研究成果

提案手法を元に、プロトタイプ・システムを実装した。実装したシステムは、実際の機関室の設計を行い、系統図を作成し、一般機器の配置および主要配管のレイアウトを設計する機能を有している。Fig.5 に、機関室の設計結果の概要を示す。コンポーネントの総数は 155、属性数は 986 となった。各々のフローに対応するシステムの機能を表現するダイアグラムは、11 種類(燃料供給システム、蒸気システム、潤滑油システム、潤滑油清浄システム、燃料充填システム、燃料補給システム、清水システム、海水システム、ビルジ・バラスとシステム、吸気・排気システム、清水供給システム)となった。プラント統合モデルは、11 種類の系統図を重ね合わせた内容を保持する。

また、実装したシステムは、機関室の設計結果を用いて、様々なモジュール分割案を生成し、評価・比較する機能を持っている。最適なモジュール分割案を導いた結果の概要を、Fig. 6 に示す。また、モジュール分割の計算結果を、マトリクスを用いて可視化した結果を、Table.1 に示す。

Fig.5 右部は、モジュール分割の計算によ

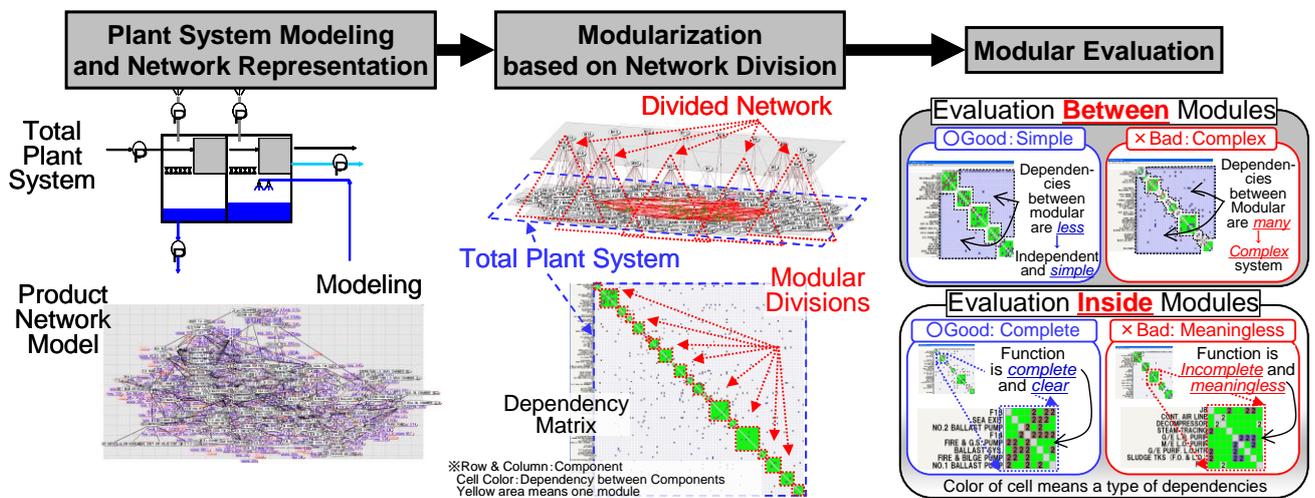


Fig. 6 Execution result of the modularization of the plant system

って得られた解を表している。以下に、得られた解の有効性を示す。

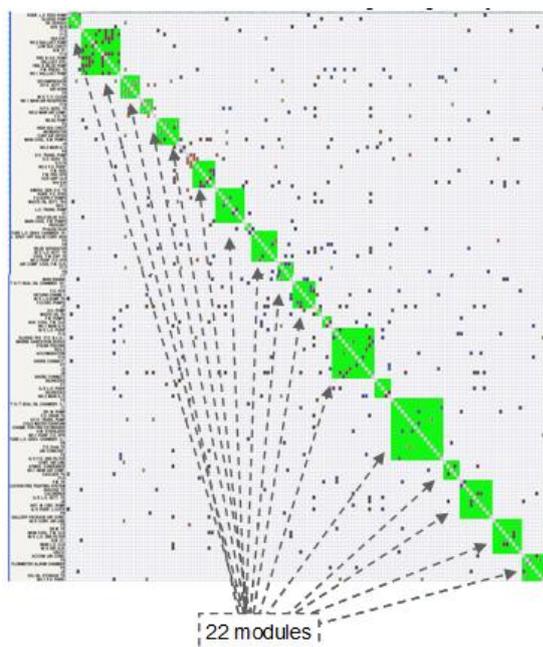
(1) モジュール分割結果：システム複雑性 (SIM)の比較

極端な2つのモジュール分割案を比較した結果を、Fig. 6 Evaluation Between ModulesのGood, Bad部に示す。Fig.5 Good部は、SIMが最良の分割案を示している。対比のために、SIMが低い分割案としてFig.5 Bad部を示す。Fig.5 Bad部は、システムの複雑性が高い案である。なぜなら、モジュール間に多くの関係（フローの関係）が存在しているためである。反対にFig.5 Good部は、モジュール間の関係（フローの関係）が少ないため、良いモジュール分割案によって、システムの複雑性が低減できている案となっている。結果として、複雑なシステム的设计問題を、モジュールのコンフィギュレーションの問題に単純化するのに貢献することができる。

(2) モジュール分割結果：機能的完結性 (FCM)の比較

同様に、FCMの観点から極端な2つのモジュール分割案を比較した結果を、Fig. 6 Evaluation Inside ModulesのGood, Bad部に示す。Fig.5 Good部に、FCMが最良の分割案を示す。対比のために、FCMが低い分割案をFig.5 Bad部に示す。ここでFig.5 Good部のマトリクスにおけるセルの濃淡は、フローの種類を表す。Fig.5 Bad部は、機能的な完結性が低い案である。なぜなら、モジュール内部に多くの異なるフローが混在しており、多くの部分的な機能を担っているか

Table.1 Modular division result of the power plant system



らである。つまり、機能モジュールというよりは、ただのコンポーネントの集合に近いモジュール構造となっている。反対に、Fig.5 Good部は、機能的な完結性が高い案である。なぜなら、モジュール内が同一のフローによって統一されており、モジュールとしての明瞭な機能が理解できるからである。結果として、モジュール単体で機能を最適化したり、開発を進めたりする問題に貢献することができる。

(3) 結論

本研究課題では、従来は明らかでなかった機関室のシステム機能を、11種類のシステム系統図の重ね合わせで表現することが可能な統合モデルを新しく構築し、その上でモジュール分割支援システムを提案した。更に、提案する機関室のモデルおよびモジュール化設計手法に基づいて、実際に機関室の概念設計が可能なシステムを、計算機上に実装し、検証した。開発したシステムを実際の機関室の設計例に適用することで、モジュール単体での機能の独立性を高め、機関室全体での情報量を最小化する分割案を導出できることを確認した。

更に、本分割手法を用いて、将来の外部環境変化に対応できるような様々なアップグレード・シナリオを、製品の設計段階で埋め込む設計手本を提案した。得られた結果により、構築したモジュール分割手法の、機関室の生涯価値向上に対する貢献可能性を確認できたと言える。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計12件)

- (1) 古賀 毅, 青山和浩, 組立工程における製造知識の可視化と伝承のための品質状態の離散的な遷移モデル, 日本機械学会論文集C編, 査読有, Vol. 76 No. 771, 2010, pp. 3093-3102.
- (2) 古賀 毅, 後藤 典彦, 岡村 盡, 青山和浩, 海洋温度差発電プラントを題材としたテンプレートを活用した設計支援手法の提案, 日本機械学会論文集C編, 査読有, Vol. 76 No. 766, 2010, pp. 200-209.
- (3) 古賀 毅, 青山和浩, 設計開発マネジメントのための製品情報モデルの研究 (第1報, 製品の位相構造と属性の依存関係を統合的に管理可能な設計プロセスモデル), 日本設計工学会, 査読有, Vol. 45 No. 5 (2010. 2), 233-242.
- (4) 古賀 毅, 青山和浩, 製品ファミリ・モデルの提案に基づく共通モジュールとオプション構造の設計手法, 日本設計工

学会論文集, 査読有, Vol.45, No. 1(2010), pp.30-39.

- (5) Tsuyoshi KOGA, Norihiko GOTO, Shin OKAMURA and Kazuhiro AOYAMA, Design Management System of OTEC Plant Based on a Knowledge Template, Journal of Advanced Mechanical Design, Systems, and Manufacturing, 査読有, Vol. 3, No. 3 (2009), pp. 257-268.

[学会発表] (計 20 件)

- (6) Akihiro Hirao, Tsuyoshi Koga, and Kazuhiro Aoyama, A modular design method considering defense from leakage of synthetic functions, Proc. of the ASME 2010 International Design Engineering Technical Conferences & Computers and Information in Engineering Conference (IDETC/CIE 2010), August 15-18, 2010, Quebec, Canada
- (7) Akihiro Hirao, Tsuyoshi Koga, and Kazuhiro Aoyama, PLANNING SUPPORT OF INITIAL DESIGN PROCESS BASED ON GROUPING AND ORDERING OF TASKS -DESIGN EXAMPLE OF AN INTEGRATED CIRCUIT-, Proceedings of the 12th International Dependency and Structure Modeling Conference, July, 2010, Cambridge, UK
- (8) Tsuyoshi KOGA, Hideshi AOKI, and Kazuhiro AOYAMA, A Modular Design Method for Scenario Embedded Product, Proc. of the 17th ISPE International Conference on Concurrent Engineering (CE2010), September 6-10, 2010, Cracow, Poland
- (9) Kazuhiro AOYAMA, Matsuda N. and Tsuyoshi KOGA, A Design Method of Product Family for Unpredictable Customer Requirements using Fuzzy Sets, Proc. of the 17th ISPE International Conference on Concurrent Engineering (CE2010), September 6-10, 2010, Cracow, Poland
- (10) Tsuyoshi Koga and Kazuhiro Aoyama, A Design Support System for Modularization of Complex Plant System based on Integrated Product Model and Division Algorithm, Korea-Japan Design Engineering Workshop 2009, 2009年10月26-27日, 沖縄県読谷村
- (11) Tsuyoshi Koga, Takashi Niwa and Kazuhiro Aoyama, A Modular Design Method for an Engine Room based on an Integrated Network Description and Division Algorithm, Proceedings of the 10th INTERNATIONAL MARINE DESIGN CONFERENCE (IMDC2009), 26-29 May (2009), Trondheim, Norway
- (12) Kazuhiro Aoyama and Tsuyoshi Koga, Integrate System Modeling for Design and Production Planning of High Quality Products Considering Failure Data, Proc. of The International Conference on Modeling of Engineering & Technological Problems (ICMETP) and 9th National Conference of Indian Society of Industrial and Applied Mathematics, January 14 - 16, 2009, Agra, India
- (13) 古賀 毅, 青山 和浩, プラント・システムの機能モデリングに基づくモジュール設計・分割手法, 第 58 回理論応用力学講演会 講演論文集, 2009年6月9~11日, 東京
- (14) 青山 和浩, 古賀 毅, シップリサイクルにおける最適プロセス計画のための解撤ブロックの設計手法, 第 58 回理論応用力学講演会 講演論文集, 2009年6月9~11日, 東京
- (15) 古賀 毅, 後藤 典彦, 青山 和浩, 複雑なプラントの機能モデリングに基づく設計およびモジュール化の支援システム, 日本機械学会 第 19 回設計工学・システム部門講演会 講演論文集, 2009年10月26-27日, 沖縄県読谷村

[図書] (計 1 件)

- (1) スーパーコンピューティング技術産業応用協議会編 (古賀 毅: 2章2節担当), アドバンスソフト株式会社 出版事業部, 産業界におけるコンピュータシミュレーションの活用, (2010), pp. 27-57.

[その他]

- (1) 国際会議 17th ISPE International Conference on Concurrent Engineering における最優秀論文賞 (Best General Paper Award) (平成 22 年 9 月 9 日)
受賞論文: A Modular Design Method for Scenario Embedded Product
受賞者: 古賀 毅, 青山 和浩
<http://www.jsme.or.jp/dsd/Newsletter/no33/NewsLetter33-CE2010.shtml>

6. 研究組織

- (1) 研究代表者: 古賀 毅 (東京大学・大学院工学系研究科・特任准教授)

研究者番号: 30431787