

機関番号：14101

研究種目：基盤研究（B）

研究期間：2007～2010

課題番号：19360074

研究課題名（和文）回転機械設備のための次世代知能型精密診断装置システムに関する研究

研究課題名（英文）Study on developing a new type of precise condition diagnosis system for plant machinery

研究代表者

陳山 鵬（JINYAMA Ho）

三重大学・大学院生物資源学研究科・教授

研究者番号：50231428

研究成果の概要（和文）：

本研究では知能型精密診断装置システムに適した（1）ノイズ除去法、（2）有・無次元特徴パラメータの選出法、（3）各状態の判定基準を決定する方法、および高精度な状態傾向管理法、（4）異常種類の精密識別法、（5）遺伝的アルゴリズムなどを用いて最適な予測開始点・閾値・状態傾向を求める方法を提案し、実験データおよび現場データで提案した諸手法の有効性を検証した。

研究成果の概要（英文）：

In this study, the contracture method to develop new type of precise condition diagnosis system for plant machinery was established based on the results of previous research on condition diagnosis of plant machinery using computer information theory (genetic algorithms, fuzzy theory, neural network, etc.), signal processing theory (wavelet analysis, FFT, etc.) and digital signal processing technology. The efficiency of the methods and the prototype proposed and established in this study has been verified using real field data of plant machinery.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2007年度	4,300,000	1,290,000	5,590,000
2008年度	4,000,000	1,200,000	5,200,000
2009年度	2,400,000	720,000	3,120,000
2010年度	2,300,000	690,000	2,990,000
年度			
総計	13,000,000	3,900,000	16,900,000

研究分野：設備保全・診断工学

科研費の分科・細目：機械工学・設計工学・機械機能要素・トライポロジー

キーワード：回転機械、設備診断、精密診断、特徴パラメータ、信号処理、ファジィ、ニューラルネットワーク

1. 研究開始当初の背景

21世紀には「安全・安心で持続可能な経済発展」が国づくりの一番の基本である。しかしながら、21世紀を迎えた現在、原子力発電所や生産プラントなどの重要設備の重大事故やトラブルが頻発し、多大な人的、経済的な被害もたらされている。また、益々激しい国際経済競争の環境下で各種生産プラン

トにおいては高品質維持、生産コスト削減が不可欠であり、そのためには高い信頼性を有する設備診断技術は欠くことのできないものである。しかし、従来の設備診断装置システムでは異常の検出精度や信頼性に様々な問題点があるため、生産設備の安全・安心の確保が困難である。さらに、設備の性能劣化や異常による電気エネルギーの浪費を低減

するためには的確な設備性能・異常の精密診断技術が必要である。

これまでに、回転機械設備（以下、設備と略称する）の診断に関する研究が多くなされているが、近年国内外において高性能で使用便利な知能型精密診断装置システムはほとんど開発されていない。回転機械設備のための次世代知能型精密診断装置システム（以下、「次世代知能型精密診断装置システム」と称する）は世界的に注目されており、今後この分野におけるイノベーションの焦点となる。

2. 研究の目的

本研究では、科学研究費の交付を希望する期間内に、過去の研究成果（文部科学省基盤研究および企業との共同研究）を踏まえて、更に設備診断に関する最新技術・手法を用いて、「知的設備精密診断技術」を実用的な技術として確立・総括すると共に、大学での学術研究成果を現場の設備診断に生かし、現場で設備診断の専門知識を持たない設備操作者も簡単に使用できる、「次世代知能型精密診断装置システム」の構築法を研究することを目的とし、この分野において世界の先駆的な役割を果たそうとする。

3. 研究の方法

19年度には技術調査、計測手法、異常信号抽出法および評価指標抽出法について重点的に研究し、20年度には、19年度の研究内容にまだ存在する問題点を継続して検討・解決すると共に、19年度の研究成果を踏まえて、主要回転機械設備の基本的な精密診断理論と重要な要素技術を確立し、状態監視・精密診断システムのプロトタイプ構築に着手する。20年度までの研究で得られた基本的な異常診断方法と重要な要素技術に関する研究成果を総括すると共に、回転機械設備のための「次世代知能型精密診断装置システム」のプロトタイプを完成させる。確立した諸理論・手法・要素技術および構築したシステムプロトタイプについて学会や研究会で成果を発表することにより広範囲での意見聴取を行い、その有効性を確認する。さらに実験施設、実験装置および現場設備により検証し、システムの修正・改善を行う。21年度までの成果に基づき、確立した諸手法および試作した「次世代知能型精密診断装置システム」を現場へ実用化できるように検証・修正・改善を続け、回転機械設備のための「次世代知能型精密診断装置システム」の構築法を最終的に確立・総括すると共に、本研究の成果を他種類の設備（静止設備や運輸設備など）へ拡張応用できる「診断システム工学」の理論・学術体系としてまとめる。また、学会や研究会で本研究の成果を社会・国民に発信し、設備診断に関するシンポジウムを開催

して本研究の成果を総括する。

4. 研究成果

19年度には、回転機械設備の精密診断法について基礎研究を行ない、次のような研究成果を得た。

1) 回転機械設備の異常種類は構造系異常（低周波数領域）、自励系異常（中周波数領域）および磨耗系異常（高周波数領域）に分類できるから、設備の使用環境や運転条件を考慮して、異常信号を最も敏感に検出できる計測手法を検討した。

2) 現場で計測した診断信号に対して、従来のノイズ除去法の問題点を検討し、微小な異常信号を最も抽出し易い領域（時間・周波数領域）における解析を行い、統計情報量フィルタ、相関抽出法、遺伝的アルゴリズム・フィルタなどによる異常信号の早期抽出法を検討し、実データで検証した。

3) 抽出した異常信号の特徴を表すために、時間領域と周波数領域の特徴パラメータ（基礎特徴パラメータと呼ぶ）を網羅的に定義し、基礎特徴パラメータの異常識別感度を現場データで評価し、異常診断に使う基礎特徴パラメータを選出した。

4) 状態判定と精密診断を行うために、ファジィ・ニューラルネットワーク、多変量解析法、パターン領域変換法などの手法による基礎特徴パラメータの統合法について検討し、基礎特徴パラメータの再組織化による最適な統合特徴パラメータの自動生成法を検討し、諸方法を実行するためのプログラムを作成した。

5) 自動生成した統合特徴パラメータを診断指標として、可能性理論や統計理論により異常の有無と異常の程度（早・中・末期）の判定法（判定基準：正常、注意、危険）を確立し、簡易診断の結果として、構造系異常（アンバランス、ミスアライメント、緩み等）、自励系異常（自励振動や共振等）、磨耗系異常（軸受傷や歯車異常等）、流体系異常（キャビテーション、流体異常振動等）の識別方法を検討し、実データで検証した。

20年度には、19年度の研究成果を踏まえ、主要回転機械設備の基本的な精密診断理論と重要な要素技術を確立し、状態監視・精密診断システムのプロトタイプ構築に着手した。

a) 確立したノイズ除去法の状態監視・精密診断システムへの実用化のために、効率の良い信号処理モジュール（プログラム）の構築を行った。

b) 基礎特徴パラメータの再組織化による最適な特徴パラメータの自動生成法を状態監視・精密診断システムへ実用化するために、対象設備、異常種類および現場設備条件により統合特徴パラメータを迅速に選択・採用で

きるモジュール（プログラム）を構築した。
C) 状態判定基準の設定法について、現場で実測したフィールドデータに基づいて可能性理論と統計理論との結合により状態判定基準を客観的に決定する方法、および高精度な設備状態傾向管理法を提案・確立し、精密診断システムに適用した。

d) 主要異常種類に関する異常信号の発生メカニズムを理論的に解明すると共に、知的診断アルゴリズム（精密診断用特徴パラメータの逐次同定法、逐次推論法など）を用いて、異常種類の判定法を提案・確立した。

e) 回転機械設備の余寿命をより正確に予測するために、破壊力学や信頼性工学などの手法を部品の劣化メカニズム解析に適用し、点検データの正規分布変換および分段回帰などによる傾向予測法を用いて設備余寿命を高精度に予測する方法を提案・確立し、現場の回転機械設備へ適用を試みた。

f) 回転機械設備のための知能型精密診断装置システムのプロトタイプ構築を始めた。

21年度には、20年度までの研究で得られた基本的な異常診断方法と重要な要素技術に関する研究成果を総括すると共に、回転機械設備のための「次世代知能型精密診断装置システム」のプロトタイプを完成させ、実験施設、実験装置および現場設備により検証し、システムの修正・改善を行った。

1. 基礎理論・方法の確認・再検討の項目

a) 異常信号を最も敏感に検出できる計測手法

b) 異常信号の早期抽出法

c) 異常診断に使う基礎特徴パラメータの選定

d) 基礎特徴パラメータの再組織化による最適な統合特徴パラメータの自動生成法

e) 自動生成した統合特徴パラメータによる異常有無と異常程度の判定法

f) 構造系異常、自励系異常、摩耗系異常、流体系異常および電気系異常の識別方法

2. システムの検証

長年蓄積してきた典型的な異常信号および新たに測定する現場信号によって構築したシステム（プロトタイプ）を検証した。

22年度には、21年度までの成果に基づき、確立した諸手法および試作した「次世代知能型精密診断装置システム」を現場へ実用化できるように検証・修正・改善を行った。すなわち、プロトタイプに組込まれている状態判定・精密診断アルゴリズムに対して、複数企業現場の実機ベースにて回転機械の状態管理と診断へ試運用し、診断ロジックや計測結果の正確さを含めた新しいプロトタイプの現場有効性と適用性を検証した。精密診断・判定方法の問題点を把握・分析し、効果的な改良・改善を行った。現場実機テストを通じて、プロトタイプの精度と信頼性を評価

すし、長時間、複雑な環境の下でその弱点を洗い出し、将来の実用化を図った。

さらに、回転機械設備のための「次世代知能型精密診断装置システム」の構築法を最終的に総括すると共に、本研究の成果を他種類の設備（静止設備や運輸設備など）へ拡張応用できる理論・学術体系についても検討した。また、学会や研究会で本研究の成果を社会・国民に発信し、国際学術会議（23rd International Congress on Condition Monitoring and Diagnostic Engineering Management, Nara Japan）組織・実行委員会委員として、積極的に開催に関する事業に参加すると共に、本研究の一部成果も COMADEM2010 で発表した。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕（計28件、全て査読付き）

1. Huaqing Wang, Peng Chen (陳山 鵬) : Intelligent diagnosis method for rolling element bearing faults using possibility theory and neural network, Computers & Industrial Engineering (ISSN 0360-8352), Vol. 60, Issue 4, pp.511-518, 2011.3

2. Huaqing Wang, Peng Chen (陳山 鵬) : Intelligent diagnosis method for rolling element bearing faults using possibility theory and neural network, Computers & Industrial Engineering (ISSN 0360-8352), Vol. 60, Issue 4, pp.511-518, 2011.3

3. 李可, 陳山鵬, 王華慶, 薛紅濤: 周波数領域の特徴パラメータとファジィ・ニューラルネットワークによる設備異常の逐次診断法—回転機械構造系異常診断への応用—, 日本設備管理学会誌, Vol.22, No.2, pp.62-70, 2010.9

4. Ke Li, Huaqing Wang and Peng Chen (陳山 鵬) : Intelligent Diagnosis Method Based on Feature Spectra and Fuzzy Neural Network for Distinguishing Structural Faults of Rotating, INFORMATION (International Information Institute, ISSN 1343-4500), Vol.13, No.3, pp.681-689, 2010.6

5. 李 媛, 陳山 鵬, 薛 紅濤: 統計的検定による回転機械設備の状態診断法—周波数領域の特徴パラメータによるVベルト異常検出への応用—, 日本設備管理学会誌, Vol.22, No.1, pp.28-34, 2010.5

6. Lixin Gao, Zhiqiang Ren, Wenliang Tang, Huaqing Wang and Peng Chen (陳山 鵬) : Intelligent Gearbox Diagnosis Methods Based on SVM, Wavelet Lifting and RBR, Sensors (MDPI Publishing, ISSN 1424-8220), Vol.10, No.5, pp. 4602-4621, 2010.5

7. Huaqing Wang, Ke Li, Peng Chen, (陳

- 山 鵬) and Shuming Wang : Recent Research Development on Condition Diagnosis of Rotating Machinery (Part B: Diagnosis Method Based on Artificial Intelligence), INFORMATION (International Information Institute, ISSN 1343-4500), Vol.13, No.4, pp.1271-1282, 2010
8. Huaqing Wang, Peng Chen (陳山 鵬) : Fuzzy Diagnosis Method for Rotating Machinery in Variable Rotating Speed, IEEE Sensors Journal (ISSN: 1530-437X), Volume 10, Issue 1, pp.23-34, 2010.
9. Huaqing Wang, Ke Li, Peng Chen (陳山鵬) : Recent Research Development on Condition Diagnosis of Rotating Machinery (Part A: Diagnosis Method Based on Feature Extraction), INFORMATION (International Information Institute, ISSN 1343-4500), Vol.13, No.1, pp.111-122, 2010.1
10. Huaqing. Wang, Peng Chen (陳山鵬) : A Feature Extraction Method Based on Information Theory for Fault Diagnosis of Reciprocating Machinery, Sensors (MDPI Publishing, ISSN 1424-8220), Vol.9, No.4, pp.2415-2436, 2009
11. 李可, 陳山鵬, 王華慶, 薛紅濤: 特徴パラメータとファジィ・ニューラルネットワークによる設備自動診断法—異種類の軸継手におけるミスアライメント状態診断への応用—, 日本設備管理学会誌、Vol.21, No.3、pp.28-35、2009
12. 李 媛, 陳山 鵬, 薛 紅濤: 無次元特徴パラメータの統計的検定による回転機械設備の状態診断法、日本設備管理学会誌、Vol.21, No.3、pp.36-43、2009
13. 川合忠雄、ウェーブレット解析を用いた多軸ボール盤の加工状態監視、日本設備管理学会誌、Vol.21、No.3、2009、5
14. Huaqing Wang and Peng Chen (陳山鵬) : Intelligent Diagnosis Method for a Centrifugal Pump Using Features of Vibration Signals, Neural Computing & Applications (Springer, ISSN: 0941-0643), Vol. 18, No. 9, pp.397-405, Springer London, 2008.
15. N. Satonaga, S. Kajiwara, N. Yamaji, H. Komura, H. Wang and P. Chen (陳山鵬) : State Judgment Criterion for Rotating Machinery in Low Frequency Area, International Journal of COMADEM, Vol. 11, No. 10, pp.25-34, COMADEM International, U.K, 2008.
16. T. Mitoma, H. Wang and P. Chen (陳山鵬) : Fault Diagnosis and Condition Surveillance for Plant Rotating Machinery Using Partially-linearized Neural Network, Computers & Industrial Engineering (ELSEVIER, ISSN: 0360-8352), Vol. 55, No. 4, pp.783-794, 2008.
17. X. Zhou, H. Wang, P. Chen (陳山鵬) and J. Song: Diagnosis Method for Gear Equipment by Sequential Fuzzy Neural Network, Lecture Notes in Computer Science, Advances in Neural Networks - ISNN 2008 (Springer London, ISBN 978-3-540-87731-8), Vol. 5624, pp.473-482, 2008.
18. X. Zhou, H. Wang, P. Chen (陳山鵬) and J. Song: Sequential Fuzzy Diagnosis for Condition Monitoring of Rolling Bearing Based on Neural Network, Lecture Notes in Computer Science, Advances in Neural Networks - ISNN 2008 (Springer London, ISBN 978-3-540-87731-8), Vol. 5624, pp.284-293, Springer London, 2008.
19. X. Zhou, H. Wang, P. Chen (陳山鵬) and Y. Tang: Sequential Diagnosis for a Centrifugal Pump Base on Fuzzy neural network, Chinese Journal of Mechanical Engineering (CHINA MACHINE PRESS, ISSN: 1000-9345), Vol. 21, No. 5, pp.50-54, 2008.
20. Huaqing Wang, Peng Chen (陳山鵬) : Fault Diagnosis for a Rolling Bearing Used in a Reciprocating Machine by Adaptive Filtering Technique and Fuzzy Neural Network, WSEAS TRANSACTIONS on SYSTEMS (ISSN: 1109-2777), Issue 1, Vol. 7, pp.1-6, 2008.
21. 里永憲昭、日高良輔、山路信之、陳山 鵬 : AE と油分析による歯車減速機設備診断法および潤滑油改良による歯車減速機設備運転周期延長法、計測自動制御学会産業論文集、Vol.6, No.12, pp.6-16, 2007.
22. 三笠哲郎、内糸伸行、陳山鵬 : 回転機械設備の振動データの確率分布および判定基準に関する研究、日本設備管理学会誌、Vol.19、No.2、pp.66-73、2007.
23. 陳山 鵬、三笠哲郎、里永憲昭、豊田利夫 : 時間領域の有・無次元特徴パラメータの統合による回転機械設備の状態診断法、日本設備管理学会誌、Vol.19、No.2、pp.56-65、2007.
24. H WANG, R PECHON, P. CHEN (陳山鵬) , K Kito and N ITO : Fault Diagnosis of Rolling Bearing Used in Reciprocating Machines by Adaptive Signal Processing Technique, J.SOPE Japan, Vol.19, No.2, pp.74-80, 2007.
25. R Pechon, P. Chen (陳山鵬) , H Wang, K Kito and N ITO: Fault Diagnosis of Rolling Bearing Using Partially-linearized Neural Network, J.SOPE Japan, Vol.19, No.2,

pp.93-101, 2007.

26. 里永憲昭、竹中正行、山路信之、陳山鵬：回転軸の表面メッキ層による劣化・折損の原因究明および防止法日本設備管理学会誌、Vol.19、No.2、pp.48-55、2007.

27. Huaqing Wang and Peng Chen (陳山鵬)：Sequential Condition Diagnosis for Centrifugal Pump System Using Fuzzy Neural Network, Neural Information Processing - Letters and Reviews (ISSN:1738-2572), Vol. 11, No. 3, pp.41-50, 2007.

28. Huaqing Wang, Peng Chen (陳山鵬)：Condition Diagnosis of Blower System Using Rough Sets and a Fuzzy Neural Network, WSEAS TRANSACTIONS on SYSTEMS (ISSN: 1109-2777), Issue 4, Vol. 5, pp.58-63, 2007.

[学会発表] (計 30 件)

1. 朱晶晶, 李可, 薛紅濤, 陳山鵬：ベイジアンネットワークによる回転機械の状態診断法、第9回評価・診断に関するシンポジウム、2010. 12. 16 高松市

2. 川合 忠雄、串崎聖也：サポートベクトルマシンを用いたエアコンの診断手法について、第9回評価診断に関するシンポジウム、2010. 12. 16 サンポートホール高松

3. 川合 忠雄、今村 樹人：エンジンマウントの異常診断に関する研究、D&D 2010、2010. 9. 17 同志社大学

4. Tadao Kawai, Seiya Kushizaki：Diagnosis of Air-conditioner by SVM, COMADEM2010, 2010. 7. 1 奈良県新公会堂

5. Wang Huaqing, Guo Yongwei, Yuan Hongfang, Wang Feng, Chen Peng, Ren Zhiqiang：Application of support vector machine in condition diagnosis of centrifugal blower, COMADEM2010, 2010. 7. 1 奈良県新公会堂

6. Ichiyanagi Ryota, Wang Huaqing, Mitoma Tetsuro, Chen, Peng：Extraction method of failure signal for condition diagnosis of rotating machinery using genetic algorithm, COMADEM2010, 2010. 7. 1 奈良県新公会堂

7. Teraoka Takenori, Xue Hongtao, Li Ke, Chen Peng：Condition diagnosis method of rotating machine using support vector machine and symptom parameters in frequency domain, COMADEM2010, 2010. 7. 1 奈良県新公会堂

8. Koide Yuki, Kanamori Keisuke, Satonaga Noriaki, Chen Peng：Tendency prediction of rotating machinery using genetic algorithm, COMADEM2010, 2010. 7. 1 奈良県新

公会堂

9. Xue Hongtao, Li Ke, Zhu, Jingjing, Chen Peng：Intelligent diagnosis method based on relative ratio symptom parameters and support vector machines for rotating machinery, COMADEM2010, 2010. 7. 1 奈良県新公会堂

10. Yamanaka, Ikuya, Chen Peng, Yamashita Mitsushi, Mitoma, Tetsuro：Dynamic analysis for condition diagnosis of misalignment states of gear equipment, COMADEM2010, 2010. 7. 1 奈良県新公会堂

11. 薛 紅濤、陳山鵬、一柳良太、寺岡武紀：周波数成分特徴解析およびサポートベクトルマシンによる回転機械の構造系異常の自動診断法、日本設備管理学会平成 22 年度春季研究発表大会、2010. 6. 28 青山大学

12. 陳山鵬：機械設備の簡易・精密診断に関する最近の研究成果、NPO 法人日本保全学会、日本設備管理学会、第 2 回「検査・評価・保全に関する連携講演会」、2010. 1. 19 東京大学

13. K. Narukawa, T. Kawai：Development of Cutting Force Measurement Technique for Milling Process with Small Diameter End Mill, LEM21, 2009. 12. 30 Saka, Japan

14. 井上良太, 川合忠雄, 八竹英紀：モデルと意味ネットワークの融合による診断支援技術、第 8 回評価診断に関するシンポジウム、2009. 12. 9 金沢工業大学

15. 陳山鵬, 李媛：機械設備の状態監視・診断・寿命予測技術に関する研究 (3) - 無次元特徴パラメータの統計的検定による回転機械設備の状態診断法 -、日本設備管理学会平成 21 年度 秋季研究発表大会、2009. 10. 29 秋田県産業技術総合研究センター

16. 陳山鵬, 李可：機械設備の状態監視・診断・寿命予測技術に関する研究 (4) - ファジィ・ニューラルネットワークによる各種軸継手のミスアライメント判別 -、日本設備管理学会平成 21 年度 秋季研究発表大会、2009. 10. 29 秋田県産業技術総合研究センター

17. H. Yachiku, R. Inoue, T. Kawai：Diagnostic Support Technology by Fusion of Model and Semantic Network, 4th WCEAM, 2009. 9. 17 Greece

18. 竹中大典, 川合忠雄：微小径工具加工における切削トルク測定装置の開発、精密工学会秋季大会、2009. 9. 11 神戸大学

2009. 10. 29 秋田県産業技術総合研究センター

19. 串崎聖也, 川合忠雄：NNを用いたエアコンの異常診断について、D&D2009、2009. 8. 7 北海道大学

20. Tadao Kawai, Satoshi Arai：Damage Prediction Technique Based on Physical Model、COMADEM2009、9-11 June, 2009, Miramar Palace, San Sebastian (Spain)

21. T. Kawai, S. Arai:Damage Prediction Technique Based on Physical Modeling with Modelica Language, COMADEM2009, 2009. 6. 9Spain
22. 八竹英紀, 井上良太, 川合忠雄:モデルと意味ネットワークの融合による診断支援技術、日本設備管理学会創立20周年記念大会、2008. 12. 2 横浜パシフィコ
23. 新井智志, 川合忠雄:モデルを用いた損傷予測手法について、日本設備管理学会創立20周年記念大会、2008. 12. 2 横浜
24. 陳山鵬:回転機械設備の状態判定基準の設定法について、日本設備管理学会平成20年度第1回最新設備診断技術の実用性に関する研究会、2008年6月13日北九州市
25. 陳山鵬:回転機械設備の精密診断法(1)、日本設備管理学会平成19年度第4回「最新設備診断技術の実用性に関する研究会」、2008年3月7日北九州市
26. 王華慶, 陳山鵬, 里永憲昭, 三笥哲郎:ウェブレット、ラフ集合およびファジィニューラルネットワークを用いたポンプシステムの異常診断法、日本機械学会第6回評価・診断に関するシンポジウム、2007年12月7日豊橋市
27. 金森啓祐, 陳山鵬, 三笥哲郎, 里永憲昭:回転機械設備の状態予測法について(1)、日本機械学会第6回評価・診断に関するシンポジウム、2007年12月7日豊橋市
28. 三笥哲郎, 陳山鵬:回転機械設備の振動データの確率分布および判定基準に関する研究、平成19年度日本設備管理学会秋季研究発表大会、2007年11月21日神戸市
29. 陳山鵬:新設備精密診断用ソフトおよび診断事例について、日本プラントメンテナンス協会最新保全技術研究会発表会、2007年8月21日東京
30. 陳山鵬:回転機械構造系異常の精密診断法(3)、日本設備管理学会平成19年度第1回「最新設備診断技術の実用性に関する研究会」、2007年6月10日北九州市

6. 研究組織

(1) 研究代表者

陳山鵬 (JINYAMA Ho)
三重大学・大学院生物資源研究科・教授
研究者番号：50231428

(2) 研究分担者

川合忠雄 (KAWAI Tadao)
大阪市立大学・大学院工学研究科・教授
研究者番号：20177637

(3) 研究分担者

山下光司 (YAMAAHITA Mitushi)
三重大学・大学院生物資源学研究科・助教