

## 科学研究費助成事業（学術研究助成基金助成金）研究成果報告書

平成 25 年 3 月 31 日現在

機関番号：13903

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2011～2012

課題番号：23656253

研究課題名（和文）マルチメディア多次元 QoE 制御アーキテクチャの研究

研究課題名（英文）A Study on Architectures for Multimedia Multidimensional QoE Control

研究代表者

田坂 修二 (TASAKA SHUJI)

名古屋工業大学・総合工学プロジェクト研究所・プロジェクト研究員

研究者番号：80110261

研究成果の概要（和文）：ビデオ・音声・力覚メディアの三感及びビデオ・音声の二感のインタラクティブ IP 通信において、ユーザ体感品質 (Quality of Experience: QoE) の多次元定量化と、QoE 向上/保証を可能とするネットワーク制御アーキテクチャの基礎研究を行った。QoE の多次元定量化に加え、QoE 監視システムの構築、QoE ベースビデオ出力方式 SCS の高効率化、ユーザ援用 QoE 管理方式の提案とビデオ・音声インタラクティブ通信におけるその有効性検証も実施した。

研究成果の概要（英文）： This study has made multidimensional quantitative assessment of QoE (Quality of Experience) in audiovisual-haptic interactive IP communications as well as audiovisual ones. It has also done fundamental researches on network architectures that enable QoE enhancement/guarantee. Furthermore, we designed and implemented a multidimensional QoE monitoring system with QoE estimation in real time. In addition, we investigated methods for QoE enhancement of the QoE-based video output scheme SCS (Switching between error Concealment and frame Skipping) in audiovisual communications. An idea of user-assisted management of QoE has been proposed, and it has been implemented in audiovisual interactive communications as an adaptive playout buffering scheme with GUI which achieves high QoE.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
交付決定額	3,000,000 円	90,000 円	3,900,000 円

研究分野：工学

科研費の分科・細目：電気・電子工学，通信・ネットワーク工学

キーワード：マルチメディア，QoE，ユーザ体感品質，QoS，インターネット高度化

## 1. 研究開始当初の背景

ネットワークサービスを成功させるためにはユーザ体感品質 (Quality of Experience: QoE) の向上や保証が必須であることは、産業界のみならず学会でも広く認識されて来ており、ここ数年で QoE 研究への関心が急速に高まっている。そのため、多くの標準化機関や研究者が QoE の定義を与えている。その代表的なものは ITU-T 勧告

P. 10/G. 100 Amendment2(2008 年)であり、QoE を“エンドユーザが主観的に感じる、アプリケーションまたはサービスの総体的受容度”と定義している。また、ETSI (European Telecommunications Standards Institute) は、ETSI TR102 643 (2010 年)において、“情報通信サービスまたは製品の使用についての客観的及び主観的心理的尺度に基づいたユーザ性能の尺度”と定義している。

更に、多くの研究者が多様な QoE の定義を与えているが、それらはいずれもユーザの主観に基づいた品質を意味し抽象的総括的な内容であることは共通している。そのため、実際の QoE 評価の研究においては、スカラーの評価尺度が用いられることが多く、その大多数は平均オピニオン評点 (Mean Opinion Score: MOS) で表されるユーザ満足度である。QoE の多次元的特徴を明示的に扱っている研究は少ない。この種の QoE 多次元評価の研究は、イリノイ大学 (ACM Multi media2009) やオタワ大学 (EuroHaptics2008) 等に見られる。しかし、それらはいずれも、QoE 制御による QoE 向上/保証にまで踏み込んだ研究ではない。国内でも QoE の状況依存性の研究が、早稲田大、NTT、芝浦工大等で行われているが、いずれも音声・ビデオを対象とし QoE 制御までは扱っていなかった。

従来の QoE 研究は、与えられたネットワーク環境での静的な評価にのみ関心が向けられていた。QoE 評価結果を、ネットワーク構成計画や運用方法に反映させるといふ、言わば“静的なフィードバック”はあったが、ネットワーク運用時に“動的に”反映することは行われていなかった。

この種の従来方法でよく知られているのは、音声品質評価の PESQ (ITU-T 勧告 P. 862: 2001 年)、音声品質プランニングツール E-model (ITU-T 勧告 G. 107: 2003 年)、音声・ビデオの MOS 評価の ACR・DCR (ITU-T 勧告 P. 911: 1998 年)、テレビ電話サービスのプランニングツール (ITU-T 勧告 G. 1070: 2007 年)、IPTV サービスへの QoE 要求条件 (ITU-T 勧告 G. 1080: 2008 年、定量的条件はない)、種々のリアルタイム通信サービスにおける QoE 確保のための実験的・経験的パラメータ設定方法を網羅的にまとめた ETSI 資料集 (ETSI Guide EG 202 670 v1. 1. 2: 2010 年) 等がある。また、QoE に関連した考え方として、システムの使い勝手を表すユーザビリティの ISO 規格 (ISO 9241-11: 1998 年) がある。これらの方法のいずれも、QoE 評価をシステム運用時にリアルタイムで行うことはできない。

研究開始前にはこのような状況であったので、研究代表者は、QoE 評価をリアルタイムで、しかも多次元に行い、動的にシステム運用に反映できる技術を研究する必要性を認識した。研究代表者は、スカラー QoE のリアルタイム推定には既に成功していた (IEEE GLOBECOM2007, ACM Multi media2008 full paper) ので、これを多次元に拡張することで基礎技術の確立は可能であろうと考えた。

## 2. 研究の目的

マルチメディア通信サービスの QoE を多次元的に定量化する方法を考案し、それに基づいて、QoE の向上を可能とする、更に窮極的にはユーザが希望する QoE を保証可能とするネットワーク制御アーキテクチャの基礎を確立することを目的とする。従来研究のスカラーの QoE 尺度 (MOS が代表例) のみならず、タスク (作業) の有効性、効率、ユーザの快適度 (使いやすさや楽しみ度) をも QoE 尺度に加える。従来の MOS 評価では配慮が不十分であった QoE への影響要因 (ユーザ属性 (性別、年齢、性格、嗜好、経験度、期待度等)、利用環境等) も考慮して、QoE の向上、更にはユーザ所望の QoE を達成できるようなネットワーク制御方法を研究する。次世代ネットワーク (NGN) を想定した IP ネットワークを用いてビデオ・音声・力覚メディア通信またはビデオ・音声通信で実証実験を行う。

## 3. 研究の方法

本研究では、音声・ビデオ・力覚メディアの三感のインタラクティブ通信における QoE が最終的な研究対象となるが、予備的な検討として、音声・ビデオの二感インタラクティブ通信の QoE も取り扱う。この予備的な検討は、最終目標である三感インタラクティブ通信研究の方向性を探るのに有用であるためである。

本研究は、平成 23 年度及び 24 年度の 2 年間で実施された。各年度の研究実施方法は、以下の通りである。

### ・平成 23 年度：QoE の多次元定量化と QoE 向上/保証法の提案

この年度は、QoE の多次元定量化と QoE 監視システムの構築、及び次年度の研究目標である QoE 向上/保証の方法として、帯域保証ネットワークの利用と、ユーザ援用 QoE 管理方式の提案を行う。

#### (1) QoE の多次元定量化と監視システムの構築

QoE の多次元構成尺度として、タスク (作業) の有効性、タスクの効率、ユーザ満足度、ユーザの快適度 (使いやすさや楽しみ度) を取り上げる。また、ITU-T 勧告 P. 920 を参考にして、音声・ビデオ・力覚メディアの三感インタラクティブ通信の実験に適したタスクの設計を行う。これらを、典型的タスクとして、上記の各 QoE 尺度に対して QoE-QoS マッピング関係式 (リアルタイムで計算可能な QoE 推定式) を導出する。QoS は、通信サービス品質 (Quality of Service) を意味する。それらの QoE 推定式を用いて、多次元 QoE のリアルタイム監視システムを構築する。

実験に用いるネットワークは、まずは、ベストエフォート型(帯域非保証)とする。種々のQoEを実現させるために、負荷トラフィック量を変化させる。また、QoEがユーザ属性(性別、年齢、職業、国籍、性格、嗜好、経験度、期待度等)にどのように影響されるかも検討する。

#### (2) 帯域保証ネットワークを用いた三感インタラクティブ通信システムの構築

ルータにおいてパケットスケジューラ(PQ, CBWFQ等)を用いて、メディアフロー毎に帯域を予約することによってQoE向上が実現できるシステムを構築する。そして、上記(1)の帯域非保証の場合と同様に、QoEの多次元評価を行う。この結果を帯域非保証の場合と比較して、帯域保証によりQoE向上が可能であることを示す。また、QoEを最大限向上させるパラメータ設定方法を探る。

#### (3) QoE向上/保証法の提案

まず、ビデオ・音声・力覚メディアの三感インタラクティブ通信におけるQoE向上策として、メディア適応型メディア内同期制御方式を提案し、実験によりその有効性を検証する。これは、各メディアの遅延許容特性を活用してQoE向上を図るものである。

更に、QoE向上/保証の現実的方法として、ユーザ援用QoE管理方式を提案する。実現方法の一例は、QoEに大きな影響を及ぼす要因(例えば、インタラクティブ通信におけるプレイアウトバッファリング時間)をユーザが制御できるようなGUI(Graphical User Interface)を用いるものである。これは、個々のユーザの好みの違いを反映する、1種のカスタム化である。これにより、個々のユーザの好みに応じたシステム設定が可能になり、QoEの向上が期待できる。実験の簡単化のため、平成23年度は、音声・ビデオインタラクティブ通信を研究し、次年度への準備とする。実験では、QoEの多次元評価を行い、GUIを用いない場合と比べて、QoEが向上することを示す。

・平成24年度：QoEを向上/保証可能とするネットワーク制御アーキテクチャの基礎の確立

この年度の研究は、次の3ステップで実施される。

#### (1) SIPサーバ・QoSマネージャの設定

前年度に構築したQoE-QoSマッピング関係式簡易データベースを、QoSマネージャに実装する。QoSマネージャは、このデータベースに加えて、ルータへの帯域予約/解放指示機能を持つ。

システムの運用は、以前に研究代表者らが提案したQoE制御アーキテクチャGPSQ(Guarantee of Psychologically Scaled Quality)に習い、SIPベースとする。すなわ

ち、ユーザは、セッション開始時に、SIPを用いて、希望するQoE尺度値(ユーザ満足度)Qt, 端末条件、サービス仕様、タスクの種類、ユーザIDをSIPサーバに申告する(ユーザは、システムに事前登録されていることを前提とする)。SIPサーバは、QoSマネージャにこれらの情報を引き渡す。QoSマネージャは、QoE-QoSマッピングデータベースを参照して、Qtを実現する予約帯域幅の計算と、影響要因のパラメータ値の決定とを行い、それらをSIPサーバに知らせるとともに、ルータへの帯域幅予約指示を出す。SIPサーバは、セッション開始側と受け側のユーザ端末に、パラメータ値を通知する。

#### (2) QoE-QoSマッピングデータベースの有効性の検証

まず、特徴の異なる2種類の作業(タスク)を典型的タスクとして設計し、それらの作業内容がQoEに及ぼす影響を調査する。

更に、典型的タスクと同一のカテゴリーに属するが、内容が異なる別のタスク(試験タスク)を取り上げる。典型的タスクを用いた場合(学習データ)と、試験タスクを用いた場合(非学習データ)との2通りの主観評価実験を行い、二つのQoE測定結果を比較する。その差が小さければ、典型的タスクの登録データを他のタスクにも有効に使用できることになる。

#### (3) ユーザ援用QoE管理方式の三感通信への拡張

前年度に実装した音声・ビデオインタラクティブ通信のユーザ援用QoE管理方式を、音声・ビデオ・力覚メディアインタラクティブ通信に拡張し、その有効性を定量的に検証する。

以上の結果をまとめて、マルチメディア多次元QoE制御アーキテクチャの構築指針を示す。

## 4. 研究成果

2年間で得られた研究成果は、次の4種類に大別される。

#### (1) ビデオ・音声(二感)及びビデオ・音声・力覚メディア(三感)のインタラクティブ通信のそれぞれのQoE多次元定量化とQoE向上技術の開発([雑誌論文](1),(2),(3),(7),(9), [学会発表](1))

まず、ビデオ・音声ストリーミング伝送におけるQoE向上法として研究代表者が既に提案しているSCS(Switching between error Concealment and frame Ski pping)をビデオ・音声の二感インタラクティブIP通信に適用して、そのQoEを多次元的に評価した。多次元評価にはSD(Semantic Differential)法を

用いた。ビデオの空間品質, 同時間品質, 同総合品質, 音声品質, メディア同期品質, 相互作用性, ビデオ・音声総合品質等の 10 尺度を評価した([雑誌論文](9))。同様に, ビデオ・音声・力覚メディアの三感インタラクティブ IP 通信における多次元評価も行った([雑誌論文](2))。

次に, ビデオ・音声・力覚メディアインタラクティブ IP 通信を対象とし, 各メディアの遅延許容特性の違いを利用したメディア内同期制御を行うメディア適応型メディア内同期制御方式を提案した。提案方式が QoE の向上に有効であることを示すために, 3 種類のメディア内同期制御方式(方式 1: メディア適応型バッファリング, 方式 2: Ski pping & buffering, 方式 3: バッファリング)を用いて主観評価実験を行った。加えて, 力覚メディアにソーススキッピングを適用し, 送出レートを減らした際の影響を調査した。主観評価実験では, 応答性の重要度が異なる 2 種類の作業(タスク)(作業 1: オブジェクト移動作業, 作業 2: カスタネットたたき作業)を用いて, QoE を, 14 個の QoE 尺度によって評価した。被験者は, 10 代から 50 代の男女 42 名であった。実験の結果, メディア適応型メディア内同期制御と力覚メディアのソーススキッピングの組み合わせは, QoE 向上に有効であることが示された。また, 作業内容の違いによって異なる QoE の評価結果が得られた([雑誌論文](2))。

更に, メディア適応型バッファリング方式については, 英字筆記作業とカスタネットたたき作業の 2 種類を取り上げ, 作業内容の違いが三感インタラクティブ通信の QoE に及ぼす影響を, 11 個の QoE 尺度によって評価した([学会発表](1))。

QoE向上のために, 更に, 帯域保証ネットワークを用いて, ビデオ・音声・力覚メディアの三感インタラクティブ通信の研究を実施した。3種のメディアのうち, 占有帯域幅が最も大きいビデオに焦点を合わせ, ビデオの保証帯域幅と符号化ビットレート及びプレイアウトバッファリング時間がQoEに及ぼす影響を調べた。主観評価実験では, 応答性の重要度が異なる2種類の作業(カスタネットたたき作業とオブジェクト移動作業)を用いてQoEを評価し, ネットワークの帯域制御により高いQoEを達成できることを示した。更に, インタラクティブビデオ・音声通信の場合と三感インタラクティブ通信の場合における最適なパラメータ設定方法の違いを考察した([雑誌論文](3))。

また, 帯域保証ネットワークについては, 音声・ビデオインタラクティブ通信において, ビデオフレームレートと作業内容(言葉当て作業と位置決め作業の2種類)がQoEに及ぼす

影響を多次元的に評価した([雑誌論文](1))

なお, 帯域保証ネットワークにおけるSIPサーバ・QoSマネージャの三感通信用の設定については, ビデオ・音声の二感通信の枠組みが使用できることを確認したが, 力覚メディアの設定追加実験までは実施していない

(2) ビデオ・音声・力覚メディアの三感インタラクティブ通信における QoE 監視システムの構築と有効性検証([雑誌論文](4), (11), (12))

ビデオ・音声・力覚メディアを用いた三感インタラクティブIP通信を対象とし, QoEのリアルタイム推定を行った。オブジェクト移動作業を行い, 前述の3種類のメディア内同期制御方式を用いた。アプリケーションレベル QoSパラメータの測定結果と主観評価実験(被験者数は56名)によるQoE多次元評価結果を用いて, ビデオ空間品質, 力覚メディア操作感及び総合品質の推定式を導出した。それらの推定式を用いて, QoEを多次元的に監視できるシステムを構築した([雑誌論文](4), (12))。

QoE推定式(QoE-QoSマッピング式)については, 推定式の導出に使用した56名の被験者とは別の16名の被験者による実験を実施して, 高い推定精度が達成できていることを確認した([雑誌論文](4))。しかし, 試験タスクを用いてのQoE推定式精度検証までを実施する時間的余裕はなかった。

また, QoE監視による QoS 制御方式も提案した([雑誌論文](11))。

(3) QoE ベースビデオ出力方式 SCS の高効率化と特許取得([雑誌論文](5), (6), (8), (10), [学会発表](2))

SCSの有効な閾値選択方式としてユーザ選択方式を取り上げ, 2種類の新しいGUI, すなわち, スライドバー入力方式と2モード切替方式とを提案した。これら2方式に加えて, 既提案のGUIであるラジオボタン方式と, 通常の単純なビデオ誤り補償方式(ここでは, 100%方式と呼ぶ)との計4方式のQoEを, 負担感, 使い勝手, 操作難易度, 主体性, 音声ビデオ総合品質の5尺度をもちいて, 65名の被験者により, 多次元的に比較した。その結果, 提案2方式は既存の2方式よりも高いQoEを達成することが示された。ラジオボタン方式と提案2方式とを比較すると, スライドバー入力方式はより高い主体性を, 2モード切替方式はより軽い負担感を示すことが明らかになった([雑誌論文](5))。65名の被験者を, 男子大学生, 女子大学生, 主婦の3属性に分類し, 被験者属性の違いがQoEに及ぼす影響も調べた([雑誌論文](6), (10))。

更に、閾値選択GUIを携帯情報端末(iPod Touch)上に実装したリモコン型インタフェースも開発し、そのQoEを多次元的に評価した([雑誌論文](8)).

また、ビデオ符号化方式H.264のFMO(Flexible Macroblock Ordering)機能とSCSとを併せて利用した場合のQoEを多次元的に評価した([学会発表](2)).

なお、SCSについては、2011年3月に審査請求していた出願特許に対して、2012年7月に意見書及び手続補正書を提出したところ、同年10月5日に特許として登録された

- (4) ユーザ援用 QoE 管理方式の提案とビデオ・音声インタラクティブ通信におけるその有効性検証([雑誌論文](9), [学会発表](3))

QoE 向上/保証の現実的な実現方法として、ユーザ援用 QoE 管理方式を提案した([学会発表](3)). これは、QoE に大きな影響を及ぼす要因をユーザが制御できるような GUI を用いるものである。SCS は、この種の方式の一例である([雑誌論文](9)). 別の例として、インタラクティブ音声・ビデオ通信のプレイアウトバッファリング時間制御を取り上げ、QoE の向上が可能であることを実験的に示した([学会発表](3)).

以上のように、本研究では、ビデオ・音声の二感インタラクティブ通信、及びビデオ・音声・力覚メディアの三感インタラクティブ通信における QoE の多次元定量化と QoE 監視システムの構築、及び QoE 向上方式の提案とその有効性の検証は実施できた。一方、当初目標の一つであったユーザが希望する QoE を保証可能とするビデオ・音声・力覚メディアインタラクティブ IP 通信アーキテクチャの実装までには至らなかった。しかし、これを実現するための方向性と解決すべき課題は、ある程度は明らかにできた。本研究で得られた成果を利用して、ビデオ・音声・力覚メディアインタラクティブ通信における QoE 研究を更に進展させることができると思われる。

## 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 12 件)

- (1) 兒玉 憲司, 布目敏郎, 田坂修二, “帯域保証インタラクティブ音声・ビデオ IP 通信においてビデオフレームレートと作業内容が QoE に及ぼす影響”, 電子情報通信学会 2013 年総合大会講演論文集, 査読無, B-11-15 (2013.03)

- (2) 磯村栄一, 田坂修二, 布目敏郎, “ビデオ・音声・力覚メディアインタラクティブ IP 通信におけるメディア適応型メディア内同期制御による QoE 向上”, 電子情報通信学会論文誌 (B), 査読有, Vol. J96-B, No.2, pp.59-70 (2013.02)
- (3) 磯村栄一, 田坂修二, 布目敏郎, “帯域保証 IP ネットワークにおけるビデオ・音声・力覚メディアインタラクティブ通信の QoE 評価”, 電子情報通信学会技術研究報告, 査読無, CQ2012-76 Vol.112, pp.15-20 (2013.01)
- (4) Eiichi Isomura, Shuji Tasaka, and Toshiro Nunome, “A Multi dimensional QoE Monitoring System for Audiovisual and Haptic Interactive IP Communications”, Proceedings of the 10th Annual IEEE Consumer Communications & Networking Conference (CCNC2013), 査読有, pp.196-202 (2013.01)
- (5) Tomohiro Yokoi, Shuji Tasaka, and Toshiro Nunome, “QoE Enhancement by GUI for Threshold Selection in the QoE Based Video Output Scheme SCS”, Proceedings of IEEE International Symposium on Multimedia (ISM2012), 査読有, pp.233-240 (2012-12)
- (6) 横井友洋, 田坂修二, 布目敏郎, “QoE ベースビデオ出力方式 SCS における被験者属性の違いが閾値選択インタフェース QoE に及ぼす影響”, 電子情報通信学会技術研究報告, 査読無, CQ2012-35 Vol.112, No.119, pp.107-112 (2012.07)
- (7) 磯村栄一, 田坂修二, 布目敏郎, “ビデオ・音声・力覚メディアインタラクティブ IP 通信において作業内容の違いが QoE に及ぼす影響”, 電子情報通信学会 2012 年総合大会講演論文集, 査読無, B-11-21 (2012.03)
- (8) 豊崎聖, 布目敏郎, 横井友洋, 田坂修二, “QoE ベースビデオ出力方式 SCS のためのリモコン型閾値選択インタフェースの QoE 評価”, 電子情報通信学会 2012 年総合大会講演論文集, 査読無, B-11-28 (2012.03)
- (9) 横井友洋, 田坂修二, 布目敏郎, “QoE ベースビデオ出力方式 SCS における音声・ビデオインタラクティブ IP 通信の QoE 向上”, 情報処理学会第 74 回全国大会講演論文集, 査読無, pp.3-407~3-408 (2012.03)
- (10) 横井友洋, 田坂修二, 布目敏郎, “QoE ベースビデオ出力方式 SCS における閾値選択インタフェース QoE と被験者属性との関係”, 電子情報通信学会 2011 年ソサイエティ大会講演論文集, 査読無,

B-11-9 (2011.09)

- (11) 磯村栄一, 田坂修二, 布目敏郎, “ビデオ・音声・力覚メディアインタラクティブ IP 通信における QoE 監視による QoS 制御”, 電子情報通信学会 2011 年ソサイエティ大会講演論文集, 査読無, B-11-15 (2011.09)
- (12) 磯村栄一, 田坂修二, 布目敏郎, “ビデオ・音声・力覚メディアインタラクティブ IP 通信における QoE リアルタイム推定と監視”, 電子情報通信学会技術研究報告, 査読無, CQ2011-40, Vol.111, pp.69-74 (2011.09.)

[学会発表] (計 3 件)

- (1) 大村卓郎, 布目敏郎, 田坂修二, “力覚メディア・音声・ビデオインタラクティブ通信において音声・ビデオの品質と作業内容が QoE に及ぼす影響”, 電気学会・東海支部「分散環境のためのマルチメディア情報処理と信号処理」若手セミナー平成 24 年度第 1 回, 2012 年 8 月 29 日, 名古屋大学(名古屋市)
- (2) 王寧, 田坂修二, 布目敏郎, “QoE ベースビデオ出力方式 SCS における FMO 方式が QoE に及ぼす影響”, 電気学会・東海支部「分散環境のためのマルチメディア情報処理と信号処理」若手セミナー平成 23 年度第 2 回, 2012 年 3 月 5 日, 名古屋工業大学(名古屋市)
- (3) 田坂修二, “マルチメディア QoE 研究の方向性”, 電子情報通信学会 2011 年ソサイエティ大会 (招待講演), 2011 年 9 月 15 日, 北海道大学 (北海道)

[産業財産権]

○取得状況 (計 1 件)

名称: 音声・ビデオ出力方式, 音声・ビデオ出力方式実現プログラム及び音声・ビデオ出力装置

発明者: 田坂修二, 吉見光, 布目敏郎

権利者: 国立大学法人 名古屋工業大学

種類: 特許

番号: 特許第 5099697 号

取得年月日: 平成 24 年 10 月 5 日

国内外の別: 国内

[その他]

ホームページ等

<http://inl.web.nitech.ac.jp/>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

田坂 修二 (TASAKA SHUJI)

名古屋工業大学・総合工学プロジェクト研究所・プロジェクト研究員

研究者番号: 80110261

(2) 研究分担者

布目敏郎 (NUNOME TOSHIRO)

名古屋工業大学・工学研究科・准教授

研究者番号: 10345944