

## 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5月25日現在

機関番号：14301

研究種目：基盤研究（A）

研究期間：2008年度～2011年度

課題番号：20246082

研究課題名（和文） 水理水文モデル統合型共通基盤の開発

研究課題名（英文） Development of integrated common base environment  
for hydraulic-hydrologic modeling

研究代表者

椎葉 充晴（SHIIBA MICHIHARU）

京都大学・大学院工学研究科・教授

研究者番号：90026352

研究成果の概要（和文）：本研究グループで開発を進めてきた水理・水文モデルの相互結合と総合化に関する基礎的技術をもとに、水理・水文モデル開発・利用のための統合型共通基盤として、より高度で柔軟な水理・水文モデルの構成技術を開発するとともに、水理・水文モデルの利活用を支援・促進する周辺プログラムを開発した。具体的には、(1)異言語で記述された要素モデルの相互利用技術の開発、(2)大規模分散並列シミュレーション技術の開発、(3)ユーザーインターフェイスの開発、(4)外部ソフトウェアとの接続技術の開発、(5)水理・水文モデル構成技術の普及を実現するための研究を実施した。

研究成果の概要（英文）：Advanced and flexible hydraulic and hydrologic modeling techniques and pre-post-processing software systems to support the use of the modeling system were developed based on the hydrologic modeling system developed by our research group. The developments conducted were as follows: (1) connection of hydrologic element models constructed using different computer languages; (2) a development of a distributed parallel processing simulation system; (3) a development of a user interface software to support the use of the hydrologic modeling system; (4) development of a connection method to use an external simulation system; and (5) dissemination to use the modeling techniques to share advanced simulation methods.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2008年度	5,800,000	1,740,000	7,540,000
2009年度	3,500,000	1,050,000	4,550,000
2010年度	3,700,000	1,110,000	4,810,000
2011年度	4,300,000	1,290,000	5,590,000
総計	17,300,000	5,190,000	22,490,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：土木工学・水工学

キーワード：水理・水文モデル、統合型共通基盤、モデル構成技術、共通プラットフォーム、要素モデル、OHyMoS、CommonMP、統合シミュレーション

## 1. 研究開始当初の背景

水理・水文モデルは、さまざまな時空間スケールで生じる水の流動・循環や、それに関連する熱・物質移動を再現・予測するための基本的なツールであり、流域規模で起こる水

理・水文現象を様々な条件下で予測して、河川流域における水工計画を立案するための基本的な情報を提供するために用いられる。異なる流域や様々な条件設定のもとで水工シミュレーションを実現するためには、水

理・水文現象を構成する個々の要素過程を表現する要素モデルを柔軟に組み合わせて全体のシミュレーションモデルを構築することが合理的である。

個々の水理・水文現象を再現する数値シミュレーションモデルは多くの技術者・研究者によって開発が進められてきた。ところが、独立して開発された要素モデルを相互に組み合わせて利用することは容易ではない。通常、要素モデルは開発者ごとに計算機環境やプログラミング言語が異なる。計算機プログラムの構成の仕方も異なることが多く、開発された計算機プログラムを相互に組み合わせて使おうとすると、ソースコードを理解して自分のシステムに合うようにソースコードを書き直さねばならない。これでは開発された資産が有効に使われず、複雑なシミュレーションモデルを効率よく開発することができない。こうした背景のもとに、研究代表者を中心とするグループでは、水理・水文モデルの結合と統合化を実現するソフトウェアの開発を進めてきた。これまでの研究で、標準化された仕様に従って要素モデルをモジュール化するための仕組みや、要素モデル間、あるいはデータファイルと要素モデル間でデータを受け渡しするための仕組みなど、水理・水文モデルの結合と総合化に関する基本的な技術を獲得し、水理・水文モデリングシステム(OHyMoS)を開発した。

こうしたモデリングシステムは、より多くの利用者の多様な利用法に対応することができれば、一層高度な水工シミュレーションを実現することが可能となり、社会基盤を支える共通技術基盤となる。そのためには、異言語で開発された要素モデルの相互利用を実現する技術、大規模な水工シミュレーションを実現するために水理・水文モデリングシステムに並列計算技術を導入する技術開発、水理・水文モデリングシステムに利用を容易にするプリ・ポストプロセス技術などの技術開発が重要となる。

## 2. 研究の目的

以上の背景のもとに、本研究では、研究代表者らがこれまでに実現してきた水理・水文モデルの結合と統合化に関する基本的な水理・水文モデリング技術を基礎として、より高度で先端的な水理・水文モデルの構成技術、並列計算機を利用する水理・水文モデリングシステムの開発、水理・水文モデルの利活用を支援・促進する周辺システム(プリ・ポストプロセス技術)を構築し、水理・水文モデルの開発・利用のための統合型共通基盤を構築するとともに、これらの技術を普及させることを目的とした。

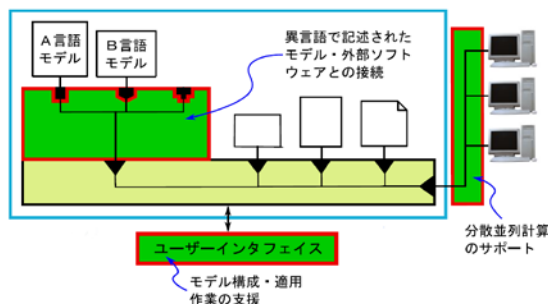


図1：本研究で実施した技術開発

## 3. 研究の方法

具体的な技術開発として図1に示すように、以下を実施した。

### (1) 異言語で記述された要素モデルの相互利用技術の開発

複数の異なる言語で記述された要素モデルを一つの全体のシミュレーションモデルの中に取り込み、相互に結合して動作する技術を開発した。

### (2) 大規模分散並列シミュレーション技術の開発

複数のCPUを持つ並列計算機に導入したLinux(64 bit OS)のもとで、並列計算環境利用の標準化基盤であるOpenMPを用いたC++版OHyMoSは実現されていた。これに加えて、シミュレーションシステム全体を同時に複数実行させることを可能とするために、もう一つの並列計算環境基盤であるMPI(Message Passing Interface)を用いたC++版OHyMoS(MPI-OHyMoS)を開発した。

### (3) ユーザーインターフェースの開発

モデリングシステムの利用を容易にするために、①水理・水文モデルを構成する過程で利用するプリプロセスシステム(前処理システム)、②水理・水文モデルを構築した後で、適用する過程すなわち水工シミュレーションの過程で必要となる初期状態・パラメータの一括変換や条件を変えながら一連のシミュレーションを実現する機能、パラメータを同定する機能を有するポストプロセスシステムを開発した。

### (4) 外部ソフトウェアとの接続技術の開発

2010年3月に国土交通省国土技術政策総合研究所からGUIを備えた水工モデリングシステムCommonMPが公開された。このモデリングシステムと研究代表者らが開発を進めてきたOHyMoSとの相互利用を実現するために、モデル構造を記述した定義ファイルを自動的に変換するシステムを開発した。

(5) 水理・水文モデル構成技術の普及

本研究を通じて開発した計算機プログラムをホームページ上で公開するとともに、モデリングシステムの特徴や具体的な利用法を記述した解説書を作成し、発刊するとともに、講習会や講演会を通して、水理・水文モデリングシステムの普及に努めた。

4. 研究成果

(1) 異言語で記述された要素モデルの相互利用技術の開発

複数の異なる言語で記述されたモデルを結合するために、多言語環境への対応を行った。これまでに当該申請者らが開発してきた従来型システムは、オブジェクト指向型計算機言語 C++ で記述されており、単一の計算機言語の利用を前提としていた。これを多言語環境に対応するために Microsoft 社の .NET フレームワークを用いて、C# 言語版による水理・水文モデル OHyMoS.NET を開発した。これにより .NET フレームワークで動作する Visual Basic、C++ など、多言語で記述された要素モデルが混在しても、まったく問題なくそれぞれの言語で作成された要素モデルを結合して全体の流出系モデルを動作させることが可能となった。

また、入力データの取得環境として、従来のデータファイルからの入力に加えて SQL サーバーや Postgresql などのリレーショナルデータベースから直接データを取得し要素モデルに与える環境を構築した。

(2) 大規模分散並列シミュレーション技術の開発

シミュレーションシステム全体を同時に複数実行させることを可能とするために、並列計算環境の基盤である MPI (Message Passing Interface) を用いて C++ 版 OHyMoS (MPI-OHyMoS) を開発した。これにより、初期条件や境界条件、モデルパラメータの異なる水工シミュレーションを複数、同時に実行することが可能となった。

水工シミュレーションでは、河川計画立案のための流出計算だけでなく、実時間で予測シミュレーションが重要となる。この場合、並列計算は極めて重要な効果を持つ。従来、実時間予測計算ではカルマンフィルターを用いて、時々刻々の水理・水文観測を反映させつつ数時間先の流量を予測する一般的である。しかし、この方法では分布型流出モデルなどの複雑な非線形システムに対応することが困難である。この場合、粒子フィルタが威力を発揮する。

図 2 は MPI-OHyMoS を用いて並列計算を実施し粒子フィルタによって実時間予測を実現する模式図である。MPI-OHyMoS を用いるこ

とにより、一つの全体の流出モデルは一つの粒子で実現される。この粒子を複数用意し、各粒子には異なるモデルパラメータ、初期状態量を設定する。

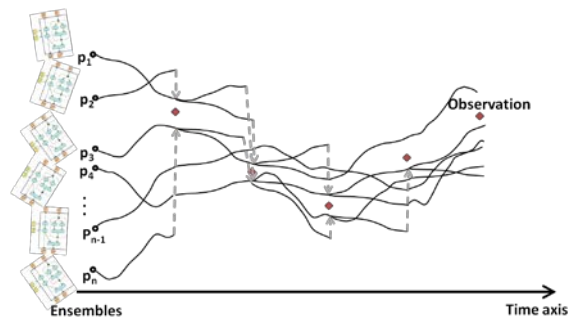


図 2 : MPI-OHyMoS を用いた複数並列計算による実時間予測の模式図

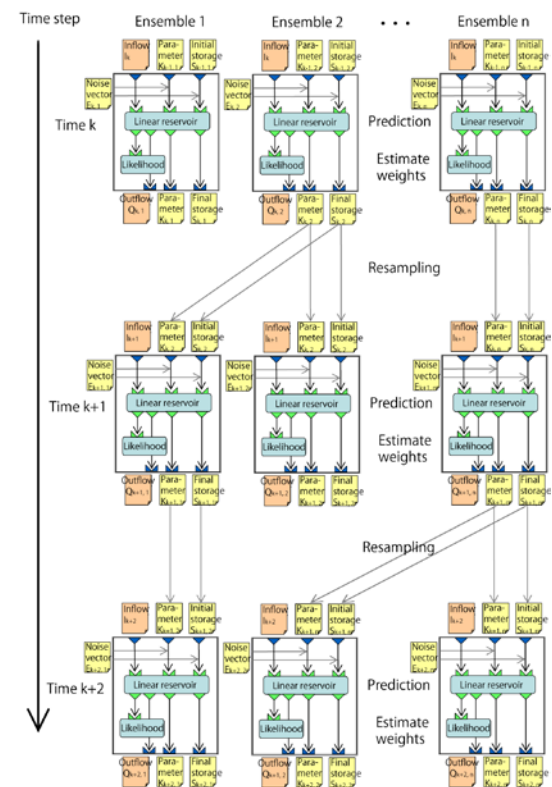


図 3 : MPI-OHyMoS を用いた複数並列計算による実時間予測のモデル構成図

図 3 は具体的なシステム構成図である。粒子である流出モデルを  $n$  個用意し、これらすべてを同時に並列計算する。観測データが得られるごとに、観測データと予測結果とから各粒子の重みを更新し、その重みに応じて、粒子の個数を設定する。新たに設定された粒子には、モデルパラメータや状態量、入力データを複製したのちノイズを加え、次の予測



計算の準備を行う。粒子として用いる流出モデルはどのようなモデルでもよい。また、異なる流出モデルを組み合わせることも可能である。

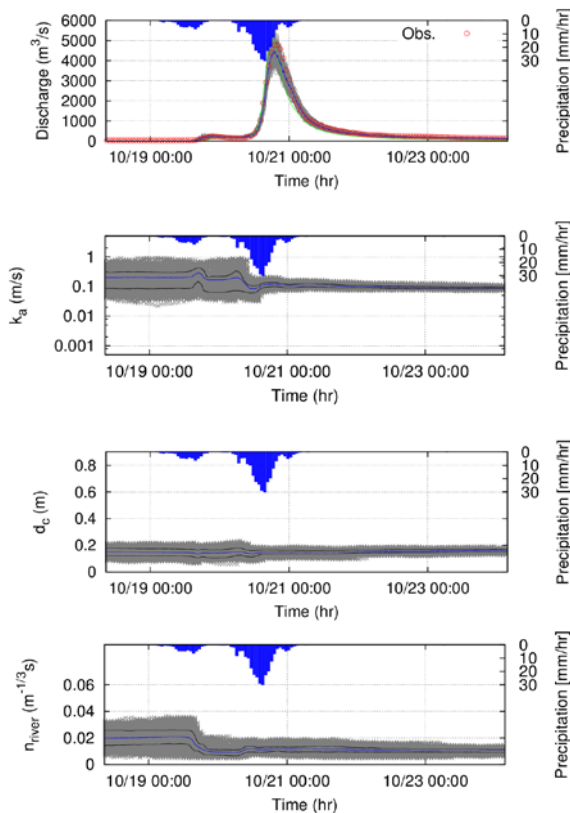


図 4 : MPI-OHyMoS を用いた粒子フィルタによる予測計算例。上から計算された 1 時間先流量と 3 種類のモデルパラメータの時間変化。

図 4 は MPI-OHyMoS を用いた粒子フィルタによる予測計算例であり、研究代表者らが構築した分布型流出モデルを一つの粒子として実時間予測のシミュレーション計算を実施したものである。分布型流出モデルは 250m 分解能で円山川流域 (909km<sup>2</sup>) に適用したものであり、1000 個の粒子を同時に実行している。図より時々刻々、パラメータ値を更新しながら予測およびその不確かさが得られる。OHyoMoS 上で動作する要素モデルならば、どのようなものでも容易に並列計算して、粒子フィルタによる実時間計算を実施することが可能である。

### (3) ユーザーインターフェースの開発

#### ①□モデル構成過程で用いるプリプロセスシステムの開発

水理・水文モデリングシステムの利用を容易にするためには、開発された要素モデルを組み合わせ、シミュレーションモデル全体の構造を定義するプリプロセスシステムがあると作業効率が高まる。OHyoMoS では、シミュレーションモデル全体の接続関係を定義

するために、構造定義ファイルを用意している。この構造定義ファイルを自動的に生成するシステムとして、構造定義ファイル作成環境 OhStructure を開発した。図 5 はその作成画面であり、GUI 環境で要素モデル同士の接続関係を設定することで、構造定義ファイルを作成する場合に用いるだけでなく、全体の構造定義ファイルから部分的な構造定義ファイルを抽出したり、もとの接続関係を編集したりすることを可能としている。



図 5: 構造定義ファイル作成環境 OhStructure の全体構成画面

#### ②□モデル適用過程で用いるプリプロセスシステムの開発

水理水文モデルを構築した後で、実際に流出シミュレーションを実行する場合には、初期状態量やモデルパラメータ値を変えた複数のシミュレーション、これらのシミュレーションを一連の過程で一括して実施する環境、そしてモデルパラメータの最適同定が必ず必要となる。これらのポストプロセスを実現するために、CommonMP を対象とする実行環境システムを開発した。このシステムでは、計算実行前に、計算条件を記した構造定義ファイルを書き換え、内部的に CommonMP の計算実行プログラムを呼び出している。図 6 に開発した実行環境システムの操作画面、図 7 にその機能と計算の流れを示す。

#### 1) 要素モデルのパラメータ・初期状態量の一覧表示・変更機能

設定した要素モデルのパラメータ値および初期状態量の一覧が画面表示され(図 8)、利用者はそこでそれらの値を変更することができる。エクセルファイルで準備した値を張り付けることも可能である。変更した値は構造定義ファイルに反映され、それらが設定された流出計算が実行される。

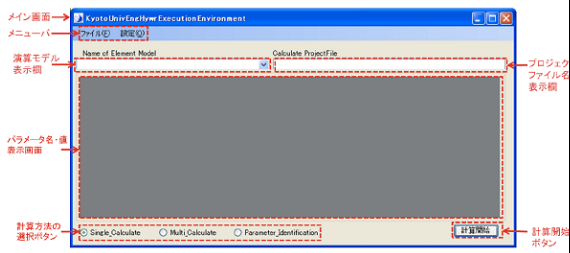


図 6 : CommonMP 実行環境システムの操作画面

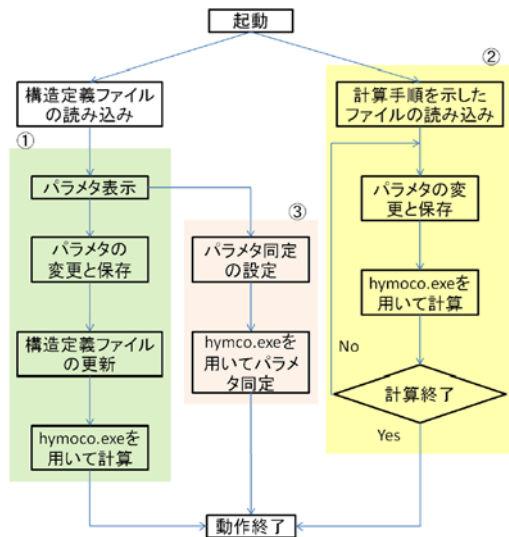


図 7 : CommonMP 実行環境システムの機能

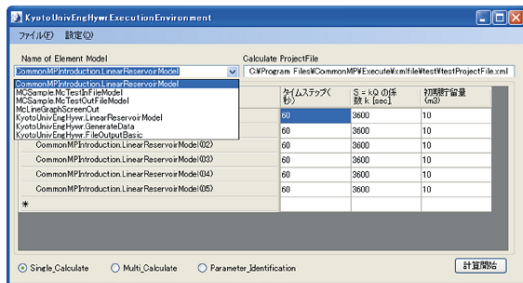


図 8 : CommonMP 実行環境システムのパラメータ・初期状態量の一覧表示・変更画面

## 2) シミュレーションモデルの繰り返し計算機能

水工シミュレーションでは、初期状態量やモデルパラメータ値を変えた複数のシミュレーションを実施して、予測の不確実性を評価する必要がある。そのために、一回一回の計算で条件を変更して計算を実施するのではなく、一連の計算手順を事前にある仕様に従ったテキストファイルに記述しておき、その手順に従って水工シミュレーションを実施する機能を持たせた。これにより、大規模な水工シミュレーションを自動実行することが可能となった。

## 3) パラメータ同定機能

モデル適用過程では、観測値に適合するように最適なモデルパラメータを決める作業が必須となる。任意の要素モデルで構成されたシミュレーションシステムでパラメータ同定を実現するために、SCE-UA (Shuffled Complex Evolution method developed at the University of Arizona)を用いて最適パラメータを同定する機能を実現した。

## (4) 外部ソフトウェアとの接続技術の開発

2010年3月に国土技術政策総合研究所が水理・水文モデル構築・解析実行ツール CommonMP version 1.00 を公開した。CommonMP と OHyMoS との間での要素モデルの移植を効率的に実現する手法を検討し、OHyoMoS で開発してきた主要な水文要素モデルを CommonMP 上に移植した。また、OHyoMoS で利用する構造定義ファイルを、CommonMP 上で利用する XML 形式で記述された構造定義ファイルに自動的に変換するソフトウェア SCFConverer を開発した。

## (5) 水理・水文モデル構成技術の普及

本研究を通じて開発した計算機プログラムをホームページ上で公開するとともに、モデリングシステムの特徴や具体的な利用法を記述した解説書を発刊した。

## 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 5 件)

- ① Yeonsu KIM, Yasuto TACHIKAWA, Sunmin KIM, Michiharu SHIIBA, Kazuaki YOROZU, Seong Jin NOH, Short term prediction of water level and discharge using a 2d dynamic wave model with particle filters, Journal of Japan Society of Civil Engineers, Ser. B1 (Hydraulic Engineering), 査読有, 68(4), I\_25-I\_30, 2012.
- ② Noh, S. J., Tachikawa, Y., Shiiba, M., and Kim, S., Applying sequential Monte Carlo methods into a distributed hydrologic model: lagged particle filtering approach with regularization, Hydrol. Earth Syst. Sci, 査読有, 15, pp. 3237-3251, 2011, doi:10.5194/hess-15-3237-2011.
- ③ 立川康人, 降雨流出予測の最新技術, 2011年度(第47回)水工学に関する夏期研修会講義集, 土木学会水工学委員会・海岸工学委員会, 査読無, 第47巻, A-2-1 - A-2-20, 2011.
- ④ Giha Lee, Sunmin Kim, Kwansue Jung, and Yasuto Tachikawa, Development of a

Large Basin Rainfall-Runoff Modeling System Using the Object-oriented Hydrologic Modeling System (OHyMoS), KSCE Journal of Civil Engineering, 査読有, 15(3), pp.595-606, 2011.

- ⑤ 加藤真也, 椎葉充晴, 市川温, 立川康人, 水文モデリングシステム OHyMoS の構造定義ファイル作成環境の開発, 水工学論文集, 査読有, 第 53 巻, pp.451-456, 2009.

[学会発表] (計 8 件)

- ① Seong Jin NOH, Yasuto TACHIKAWA, Michiharu SHIIBA, Sunmin KIM, Kazuaki YOROZU, Parallelization and Data Assimilation of Object-oriented Hydrologic Modeling System, 水文・水資源学会, 2011 年 8 月 31 日, 京都大学防災研究所 (宇治市) .
- ② 高橋 円, 立川康人, Kim Sunmin, 萬 和明, 椎葉充晴, 複数の水理・水文モデリングシステムの相互利用に関する研究, 水文・水資源学会, 2010 年 9 月 7 日, 法政大学.
- ③ 高橋 円, 立川康人, 椎葉充晴, 萬和明, Kim Sunmin, OpenMI を用いた水文モデリングと OHyMoS との結合に関する考察, 平成 22 年度土木学会年次学術講演会, 2010 年 9 月 1 日, 北海道大学.
- ④ 高橋円, 立川康人, 椎葉充晴, 萬和明, Kim Sunmin, OpenMI を用いた水文モデリングと OHyMoS との結合に関する考察, 平成 22 年度土木学会関西支部学術講演会, 2010 年 5 月 22 日, 京都大学.
- ⑤ 立川康人, 水理・水文モデリングシステム OHyMoS と CommonMP との相互利用環境の開発, 土木学会 CommonMP 説明会, 2010 年 3 月 25 日, 土木学会講堂.
- ⑥ 加藤真也, 立川康人, 椎葉充晴, 水理・水文ソフトウェア統合型共通基盤 CommonMP を用いた水文モデル構築, 水文・水資源学会, 2009 年 8 月 21 日, 石川県文教会館.
- ⑦ 加藤真也, 椎葉充晴, 市川温, 立川康人, 水文モデリングシステム OHyMoS の構造定義ファイル作成環境の開発, 土木学会水工学講演会, 2009 年 3 月 4 日, 芝浦工業大学.

- ⑧ 加藤真也, 椎葉充晴, 立川康人, 市川温, 水文モデリングシステム OHyMoS の構造定義ファイル作成環境の開発, 水文・水資源学会, 2008 年 8 月 27 日, 東京大学生産技術研究所.

[図書] (計 1 件)

- ① 椎葉充晴, 立川康人(編), 技報堂出版, CommonMP 入門 - 水・物質循環シミュレーションシステムの共通プラットフォーム -, 2011, p. 134.

[その他]

研究成果を公開しているホームページ

OHyMoS (水理・水文モデル構築システム) :

<http://hywr.kuciv.kyoto-u.ac.jp/ohyomos/index.html>

OhStructure (OHyMoS の構造定義ファイル作成支援ツール) :

<http://hywr.kuciv.kyoto-u.ac.jp/ohyomos/ohstructure/ohstructure.html>

CommonMP (CommonMP と OHyMoS との相互利用環境) :

<http://hywr.kuciv.kyoto-u.ac.jp/commonmp/index.html>

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

椎葉 充晴 (SHIIBA MICHIHARU)  
京都大学・大学院工学研究科・教授  
研究者番号 : 90026352

### (2) 研究分担者

立川 康人 (TACHIKAWA YASUTO)  
京都大学・大学院工学研究科・准教授  
研究者番号 : 40227088  
市川 温 (ICHIKAWA YUTAKA)  
山梨大学・医学工学総合研究部・准教授  
研究者番号 : 30293963  
キム スンミン (KIM SUNMIN)  
京都大学・大学院工学研究科・講師  
研究者番号 : 10546013  
萬 和明 (YOROZU KAZUAKI)  
京都大学・大学院工学研究科・助教  
研究者番号 : 90554212