

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21日現在

機関番号：10101

研究種目：基盤研究（A）

研究期間：2009～2011

課題番号：21240003

研究課題名（和文） スマートオブジェクトの連携モデルの確立と新奇応用の創成

研究課題名（英文） Establishing the federation model of smart objects and the creation of its novel applications

研究代表者

田中 譲 (TANAKA YUZURU)

北海道大学・大学院情報科学研究科・教授

研究者番号：60002309

研究成果の概要（和文）：

本研究では、スマート・オブジェクトの近傍近接フェデレーションのモデリングのレベルを、個々のスマートオブジェクトの連携機構のモデリング、複数のスマート・オブジェクトの連携機構のモデリング、応用シナリオのモデリングの3つのレベルにわけ、それぞれに対し、①ポートマッチング・モデル、②グラフ書き換えモデル、③触媒反応メットネットワーク・モデルの3つのモデリングを提案し、その間のマッピングを明らかにした。

研究成果の概要（英文）：

This research has focused on three different levels for modeling the proximity-based federation of smart objects. For each of these three levels, i.e., the modeling of the federation mechanism of each smart object, the modeling of the federation mechanism among more than one smart objects, and the modeling of application scenarios, it has proposed three formal models and clarified the mapping among them. They are respectively the port matching model, the graph rewriting model, and the catalytic reaction network model.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2009年度	13,400,000	4,020,000	17,420,000
2010年度	12,200,000	3,660,000	15,860,000
2011年度	10,400,000	3,120,000	13,520,000
年度			
年度			
総計	36,000,000	10,800,000	46,800,000

研究分野：総合領域

科研費の分科・細目：情報学・計算機システム・ネットワーク

キーワード：ユビキタスコンピューティング, フェデレーション, スマートオブジェクト

1. 研究開始当初の背景

(1) 本研究に関連する国内・国外の研究動向及び位置づけ

ソフトウェア・オブジェクトの連携（フェデレーション）の研究は、サン・マイクロにいたBill Joyのサービス・フェデレーションに関する1990年代の研究が発端である。その基礎技術はLindaとして知られている1985年のDavid Gelernterによるタブルスペースの研

究である。Lindaは1999年にモバイル・デバイス間のフェデレーションに対応できるようにGian Pietro Picco等によりLimeへと拡張された。Bill Joy等はLindaのJava版であるJava Spaceを開発し、スマートデバイスをも対象とするべくLimeの考えを発展させてJiniへと展開した。これらの技術は、分散ソフトウェア・オブジェクトやモバイルデバイス間のフェデレーションの基盤技術として大きな役割を

果たしたものの、WiFiアクセスによってP2Pアドホックネットワークを相互に形成することができるハードウェア・デバイス相互間のアドホック・フェデレーションの基盤技術としては十分な役割を果たすことができなかつた。タブルスペースは、複雑な連携構造を抽象レベルで議論し、アプリケーション・フレームワークを構築するための基盤モデルを提供していない。ユビキタス・コンピューティングの応用シナリオがこの10年間殆ど類似の範囲を超えて発展していないのは、この点に原因があるとRobin Milnerは指摘している。

本研究は、これらの問題を解決するために、ポートマッチングと名づけた単純なリゾリューション機構に基づくフェデレーションのフォーマルモデルを確立することで、動作記述とは独立に連携構造を議論することを可能にし、種々の新しいアプリケーション・フレームワークを創出することにより、スマート・オブジェクトのフェデレーションが開く新しい情報処理パラダイムの開拓を目指す点に特徴がある。

(2)それまでの研究成果を踏まえ着想に至った経緯、それまでの研究成果からの発展内容等

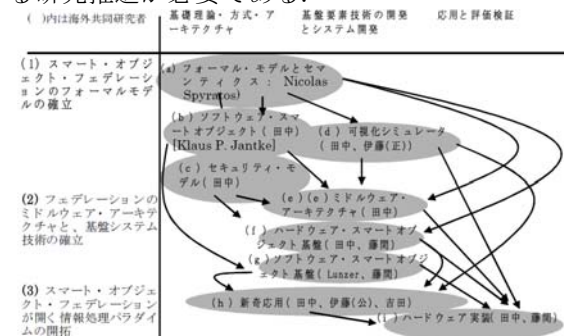
申請者は1987年以來、2次元ならびに3次元表現の知識メディア・アーキテクチャと、知識メディアにのった知的資源の出版・再流通のための知識プール (meme pool) アーキテクチャ、知識メディアを応用したアプリケーション・フレームワークの研究を行い、種々の知的資源を知識メディア形式で表現することによって、これらを自在に再編集・機能統合して新しい知的資源を創成し再流通することができる基盤技術を確立した。この技術をウェブ上のアプリケーションやサービスに適用することにより、ウェブ上の知的資源の自在な機能連携をアドホックに定義し実現することができるCHIP(2003)とC3W((2004)の2つの知識連携(Knowledge Federation)技術を確立した。2002年からの5年間は21世紀COEプログラム「知識メディアを基盤とした次世代ITの研究」を代表者として遂行し、知識連携の対象範囲をウェブ上の知識資源のみでなく、モバイルネットワーク上のモバイルデバイスや、組み込みプロセッサ、センサーネットワーク上のセンサー/アクチュエータを含むように拡張した。その後、スマート・オブジェクトにおけるリゾリューションの抽象モデルとして、ポートマッチング・モデルを、メッセージ・マッチング・モデルから連携構造記述を抽出分離したモデルとして提案し、2004年人工知能学会全国大会基調講演と、2008年パリで開催されたCSTST2008(Soft Computing as Transdisciplinary Science and Technology)の基調講演として発表した。

2. 研究の目的

本研究は、スマート・オブジェクトのアドホック連携モデルを確立すると共に、新奇応用を創成することを目標とする。スマートオブジェクトとは、ウェブ上のサービスやアプリケーションなどのソフトウェア・オブジェクトと、WiFiを用いたP2Pアドホック・ネットワークによって近接近傍通信可能なハードウェア・デバイスの両方を総称する概念である。後者には、モバイル・デバイス、センサー・ノード、RFIDタグなどが含まれるが、今後、デバイス技術の進歩によりその多様性は一層増すと考えられる。本研究の第1の目標は、これらの多様なスマートオブジェクトを目的とコンテキストに応じて自在に即座に機能連携させて高度に利用するフェデレーション技術を開発することであり、フォーマルモデルの確立、これに基づくミドルウェア・アーキテクチャの確立、基盤システム技術の確立を含む。ソフトウェア、ハードウェアの両方を含む膨大な多様なスマート・オブジェクトのアドホック連携が可能にするIT環境は、従来盛んに研究されてきたユビキタス・コンピューティングやパーベイシブ・コンピューティング、アンビエント・コンピューティング等が想定している応用範囲を遙かに超える応用の広がりを持つと考えられる。本研究の第2の目標は、膨大な多様なスマート・オブジェクトのアドホック連携が可能にする新しい情報処理パラダイムを開拓するべく新奇応用の世界を創成することである。

3. 研究の方法

代表者、分担者、海外共同研究者の具体的な役割、研究目的との関連性と、各人の専門分野との整合性を以下に示す。この研究課題は、3つの項目と、各々に基礎理論からシステム開発、統合システムまでの幅広い領域にまたがる研究開発を必要とするので、専門領域を少しずつ重ね合わせながら異にする4人の連携による研究推進が必要である。



専門分野：田中（知識メディア、DB、可視化、アーキテクチャ）、Lunzer（ヒューマンインタフェース、ソフトウェア）、伊藤(正)（知識連携、可視化）、藤間（知識連携）、吉田（グラフィミング）

本研究では、以下のような課題を研究開発した。

- (1) スマート・オブジェクト・フェデレーションのフォーマルモデルの確立
 - (a) スマート・オブジェクト・フェデレーションのフォーマルモデルとセマンティクスの確立
 - (b) ウェブリソースのソフトウェア・スマートオブジェクトとしてのモデリングの確立
 - (c) スマート・オブジェクト・フェデレーションのセキュリティ・モデルの確立
 - (d) スマート・オブジェクト・フェデレーションの可視化シミュレータの開発
- (2) フェデレーションのミドルウェア・アーキテクチャと、基盤システム技術の確立
 - (e) スマート・オブジェクト・フェデレーションのミドルウェア・アーキテクチャの確立
 - (f) ハードウェア・スマート・オブジェクトのフェデレーション基盤システム技術の開発
 - (g) ソフトウェア・スマート・オブジェクトのフェデレーション基盤システム技術の開発
- (3) スマート・オブジェクト・フェデレーションが開く情報処理パラダイムの開拓
 - (h) 分子生物学等に習った複雑なスマート・オブジェクト・フェデレーション機構の模倣と応用の創成
 - (i) ハードウェア・デバイスを用いた実働システムの開発によるモデルの検証

4. 研究成果

本研究では、スマート・オブジェクトの近傍近接フェデレーションのモデリングのレベルを、個々のスマートオブジェクトの連携機構のモデリング、複数のスマート・オブジェクトの連携機構のモデリング、応用シナリオのモデリングの3つのレベルにわけ、それぞれに対し、

- (1) ポートマッチング・モデル
- (2) グラフ書き換えモデル
- (3) 触媒反応めットワーク・モデル

の3つのモデリングを与え、これら間のマッピングを明らかにした。

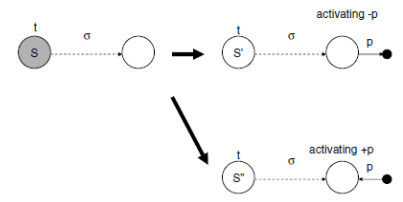
ポートマッチング・モデルでは、個々のスマート・オブジェクトを、サービス提供ポートとサービス要求ポートの集合としてモデリングする。サービスPに対し、サービス提供ポートは+Pで表し、サービス要求ポートは-Pで表す。-Pを持つスマートオブジェクトAが+Pを持つスマートオブジェクトBに近づき、AのWiFiレンジに相当するAのスコープの中にBが入ると、Aは-Pを介してBの+Pとチャンネルを形成し、BのサービスBをアクセスすることができる。

さらに多くのスマートオブジェクトからなるシステムにおける連携機構を記述するのがグラフ書き換えモデルである。このモデルではグラフ書き換え規則の集合を用いて

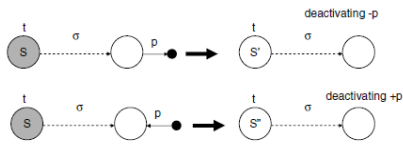
各スマートオブジェクトの連携機能を記述する。

図1から図5にスマート・オブジェクトの近傍近接連携を記述するための各種グラフ書き換え規則を示す。灰色の円が各々の規則を実行するスマート・オブジェクトを示す。灰色の太い矢印は、終点のスマート・オブジェクトが始点のスマート・オブジェクトのスコープの中に存在しているという条件を表す。破線の矢印は、チャンネルの系列であるチャンネルパスが存在することを示す。

これらの種類の書き換え規則を組み合わせ、複数のスマート・オブジェクト間の複雑な連携機構を定義することができる。



(a) port activation rules



(b) port deactivation rules

図1. ポートの活性化/非活性化規則

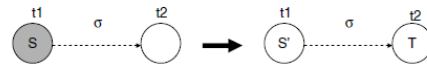
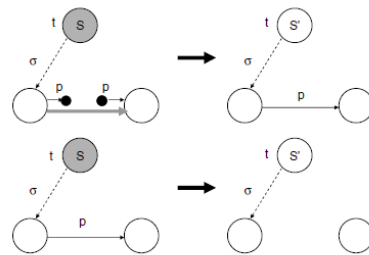
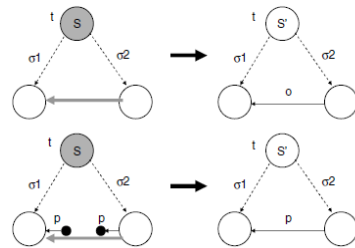


図2 状態設定規則



(a) rules with one path reference



(b) rules with two path references

図3 チャンネル設定規則

例えば、図6に示すような22種類の書き換え規則の集合を自身の機能記述として持つようなヌクレオチド・スマート・オブジェクトを定義し、これを多数用いることにより、生物におけるRNAの複製機構に類似した仕組みを実現することができる。一つ目のRNA鎖をプログラムと考えて、これを一つの刺激成分のドッキング部分(ドッキングポート)と、複数の入力成分のドッキングポートに分け、まず、刺激成分のドッキングポートと補の関係にあるRNA鎖が刺激として、この部分にドッキングすることにより、各入力ポートのRNA部分鎖と補の関係にある入力成分を表すRNA鎖が順々に各入力ポートにドッキングし、その後、これらの刺激と複数の入力成分に相当するRNA鎖がリニアに結合され、最初のRNA鎖と補の関係になる第2のRNA鎖を形成し、次に、この第2のRNA鎖が刺激部とそれ以外に分離され、最後にこれらが第1のRNA鎖から分離される。図6のヌクレオチド・スマート・オブジェクトの書き換え規則の集合は、このような動作を実現する。この機構を用いると、第一のRNA鎖をコンテキストとして、刺激の存在の下で、すべての入力成分をリニアに連携することができる。これは、我々の第3レベルのモデリングに必要な基本触媒反応を表している。この場合、コンテキストと刺激の両方が触媒の役目を果たす。図7はこのような基本的触媒反応を表したものである。

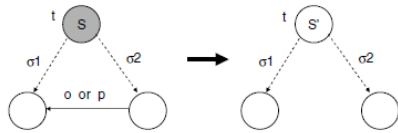


図4 チャンネル切断規則

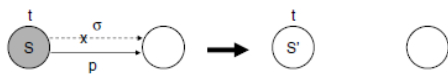


図5 チャンネル依存関係規則

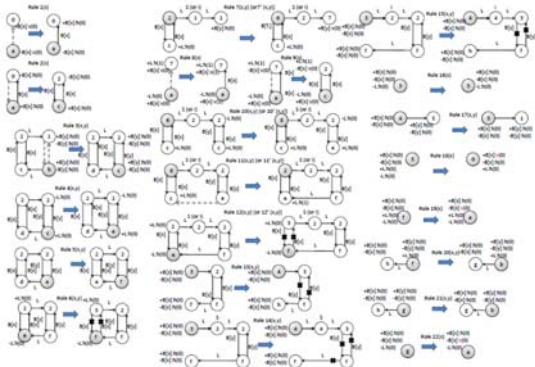


図6. RNA複製の仕組みに習った基本的触媒反応のヌクレオチド・スマート・オブジェクトによる実現

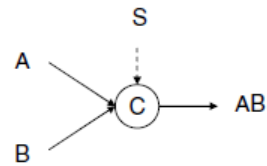


図7. コンテキストC, 刺激S, 入力A, Bに対し、連携出力ABを得る触媒反応

実際には、任意のスマート・オブジェクトに対し、そのタイプに相当するヌクレオチド・スマート・オブジェクトを付加し、刺激や入力自体が連携オブジェクトになっている場合には、図8のように各オブジェクトを表す。ここでは、A=PH, B=Tで刺激はS=MIとしている。

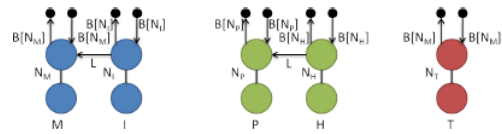


図8 刺激MIや2入力PH, Tのような連携オブジェクトの表現

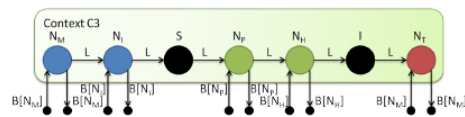


図9. コンテキストCの実現

ドッキングの結果は図10のようになり、次に第2のRNA鎖が図11のように形成される。最終結果は図12のようになり、入力PHとTがリニアに連携されている。

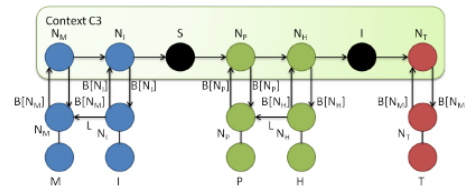


図10 ドッキングの結果

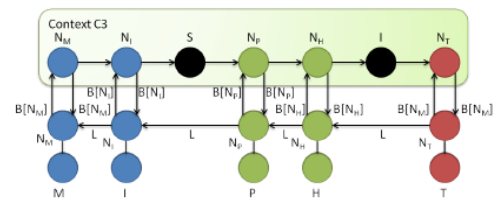


図11 第2RNA鎖の形成

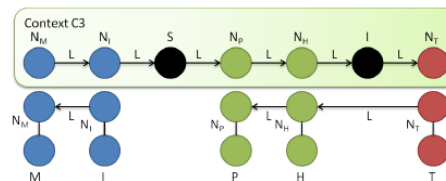


図12 最終結果

グラフ書き換え規則を用いて、ヌクレオチド・スマート・オブジェクトを以上のように定義することにより、任意の単一のオブジェクトや複数のオブジェクトが連携した任意のオブジェクトを刺激や入力として用いて、複数の入力オブジェクトを連携させるような触媒反応をコンテキストの適切な設計によって自在に実現することができる。このことは、図 7 に示す触媒反応の入出力や触媒入力を自在に繋ぎ合わせて複雑な触媒反応ネットワークを用いて多数のスマート・オブジェクトが関与する複雑な動的連携シナリオを記述したならば、それをシステムティックに実現することが可能であることを意味している。図 13 はそのようなシナリオを触媒反応ネットワークでモデリングしたものである。利用者が ID カードとスマート・メンバー・カード B を携帯して入館ゲート G1 を通過すると、A と B が連携し AB となる。利用者は情報の重畳表示が可能な立太視眼鏡 D と課金のためのソフトウェア・スマートオブジェクトがインストールされたインタラクティブ・コントローラ C をピックアップする。このとき、AB が刺激触媒となつては反応をおこし、CD [Acnt] が得られる。利用者は CD [Acnt] を用いてインタラクティブ映画を楽しみ、映画の中の商品の購入注文を行うことができる。これらの情報は Acnt が記憶し、映画を見終わった後、G2ゲートを通過すると、利用者 f が携帯する携帯電話と CD [Acnt] が連携され、自動的に商品の発注と課金決済が行われる。その後、ゲート G3 を通過すると、すべての連携が切断され、元の状態に戻る。

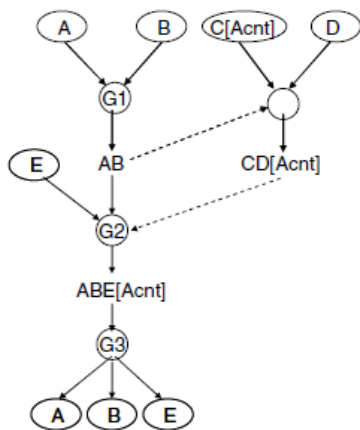


図 13 3Dインタラクティブ映画の劇場における動的連携シナリオの例

本研究では、グラフ書き換え規則によって記述された多数のスマート・オブジェクトの間の動的な連携のインタラクティブ・シミュレータも開発した。

また、ソフトウェア・スマート・オブジェ

クトを知識メディア・アーキテクチャに基づいて実現し、そのための新たな知識メディアシステム WebbleWorld も開発し、公開した。また、この応用として EU の FP6 の Integrated Project ACGT (Advulanshing Clinico-Genomic Trials on Cancer) とそれに続く FP7 の Large Integration Project p-medicine に正規メンバーとして参加し、ガン治験の管理分析のための統合 IT 基盤システム TOB を開発するとともに、FP7 の Best Practice Network Project ASSETS に参加し、EU の電子図書館システム Europeana の次世代技術として、利用者生成コンテンツ技術へソフトウェア・スマート・オブジェクトを応用した。

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 6 件)

- ① Damdinsuren Lkhamsuren, Yuzuru Tanaka: PadSpace: A New Framework for the Service Federation of Web Resources, Information Systems Frontiers, Online First, 5 September, 1-22, 2011 査読有
- ② 浅野優, 田中讓: セマンティック Web に対する問合せのための辞書的意味論に基づく語彙構築機構, 人工知能学会論文誌, 26(1), 248-261, 2011 査読有
- ③ Yuzuru Tanaka: Proximity-Based Federation of Smart Objects: Liberating Ubiquitous Computing from Stereotyped Application, Lecture Notes in Computer Science, 6276, 14-30, 2010 (Keynote Paper) 査読有
- ④ Yu Asano, Yuzuru Tanaka: A Vocabulary Building Mechanism Based on Lexical Semantics for Querying the Semantic Web, Lecture Notes in Computer Science, 6276, 649-659, 2010 査読有
- ⑤ 田中 讓: 知識メディアアーキテクチャとウェブリソースの知識連携, 電子情報通信学会論文誌, J93-D(6), 663-674, 2010 (招待論文) 査読有
- ⑥ Zhoufan Zhou, Hisao Utsumi, Yuzuru Tanaka: X3D-Based Web 3D Resources Integration and Reediting, Lecture Notes in Computer Science, 5820, 454-466, 2009 査読有

[学会発表] (計 9 件)

- ① Jeremie Julia, Yuzuru Tanaka: Formalization of an RNA-inspired middleware for complex smart object federation scenarios, Proc. of PECCS' 12 2nd Int'l Conference on Pervasive and Embedded Computing and communication Systems, Feb. Rome,

- 2012 査読有
- ② Yu Asano, Yuzuru Tanaka: Construction of Lexicographic Vocabulary with Nouns, Adjectives, and Verbs for Querying the Semantic Web, Proc. of The 2011 IEEE International Conference on Granular Computing, Nov. Taiwan, 2011 査読有
- ③ Nicola Aloia, Cesare Concordia, Anne Marie van Gerwen, Preben Hansen, Micke Kuwahara, Anh Tuan Ly, Carlo Meghini, Nicolas Spyrtatos, Tsuyoshi Sugibuchi, Yuzuru Tanaka, Jitao Yang, Nicola Zeni: Design, Implementation and Evaluation of a User Generated Content Service for Europeana, Lecture Notes in Computer Science 6966 (Proc. of International Conference on Theory and Practice of Digital Libraries, TPDL 2011), Sept. Erwin, 2011 査読有
- ④ Micke Kuwahara, Yuzuru Tanaka: Webble World - A Web-based Knowledge Federation Framework for Programmable and Customizable Media Objects, Proc. of the IET International Conference on Frontier Computing Theory, Technologies and Applications, Aug. Taichung, Taiwan, 2010 査読有
- ⑤ Jonas Sjöbergh, Micke Kuwahara, Yuzuru Tanaka: Using Web-Based Meme Media Technologies to Create an Integrated Visual Environment for Clinical Trials, Proc. of the IET International Conference on Frontier Computing Theory, Technologies and Applications, Aug. Taichung, Taiwan, 2010 査読有
- ⑥ Zhen-Sheng Guo, Yuzuru Tanaka: Integrating a Legacy 2D GIS with 3D Geographic Simulators through View and Query Integration, First IEEE International Conference on Information Science and Engineering, Dec. Nanjing, 2009 査読有
- ⑦ Damidin. Lkhamsuren and Yuzuru Tanaka, PadSpace: A Software Architecture for the ad hoc Federation of Distributed Visual Components and Web Resources, CyberC 2009: International Conference on Cyber-Enabled Distributed Computing and Knowledge Discovery, Oct. Zhangjiajie, 2009 査読有
- ⑧ Masahiko Itoh, Yuzuru Tanaka: A Framework for Constructing Coordinated Multiple 3D Visualizations on Excel, 13th

International Conference on Information Visualization, Jul. Barcelona, 2009 査読有

[図書] (計1件)

- ① Jun Fujima, Aran Lunzer, Kasper Hornbaek, Yuzuru Tanaka: Clip, Connect, Clone -- Combining Application Elements to Build Custom Interfaces for Information Access, No Code Required -- Giving Users Tools to Transform the Web (ed. by Allen Cypher, Mira Dontcheva, Tessa Lau, Jeffrey Nichols), Morgan Kaufmann, 153-172, 2010 査読有

[産業財産権]

○出願状況 (計0件)

○取得状況 (計0件)

[その他]

Web上の知識メディアシステム Webble World システムの公開:

<http://cow.meme.hokudai.ac.jp/WebbleWorldPortal/>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

田中 譲 (TANAKA YUZURU)

北海道大学・大学院情報科学研究科・教授

研究者番号: 60002309

(2) 研究分担者

吉田 哲也 (YOSHIDA TETSUYA)

北海道大学・大学院情報科学研究科・准教授

研究者番号: 80294164

ランザー, アラン (LUNZER ARAN)

北海道大学・大学院情報科学研究科・特任准教授

研究者番号: 50374608

(H21-H22 研究分担者)

宮崎 裕 (MIYAZAKI YUTAKA)

北海道大学・大学院情報科学研究科・博士研究員

研究者番号: 60466422

(H21-H22 研究分担者)

シュューベルグ, ヨーナス (Sjobergh Jonas)

北海道大学・大学院情報科学研究科・博士研究員

研究者番号: 40585519

(H22-H23 研究分担者)

(3) 連携研究者

伊藤 公人 (ITO KIMIHITO)

北海道大学・人獣共通感染症リサーチセンター・准教授

研究者番号: 60396314