

研究種目：基盤研究（C）  
 研究期間：2007～2009  
 課題番号：19500548  
 研究課題名（和文） 仮想現実感技術を用いた物体運動の認知予測特性と捕捉失敗の因果関係に関する研究  
 研究課題名（英文） A study of causality between the property of recognition and perception of the object movement and acquisition error in using virtual reality technology  
 研究代表者  
 竹市 勝（TAKEICHI MASARU）  
 国士舘大学・政経学部・教授  
 研究者番号：30265962

## 研究成果の概要（和文）：

本研究は、仮想環境において運動物体の遮蔽後位置予測課題を用いて実施した。その結果、被験者は、遮蔽された運動物体の速度（予測速度）を実速度より遅く見積もった（予測速度低下現象）。このことは運動物体に対応した動作に影響する重要な要因となることから、この現象が生起する原因および予測特性について検討した。

眼球運動の解析から、予測速度の低下は遮蔽によって生じること、位置を回答するための情報処理が影響する可能性が示唆された。400回の学習課題の結果から、予測特性に関する学習過程は、位置エラー修正から速度エラーの修正段階へと変化することが明らかになった。このことから予測特性に対する反復訓練によって予測スキル向上の可能性が示唆された。

## 研究成果の概要（英文）：

This study was carried out by using tasks of position anticipation of moving object after occlusion in virtual environment. Subjects estimated the velocity of occluded moving object (anticipated velocity) slower than the actual one (anticipated velocity slowdown phenomenon). As it was an important factor which influences the reaction to the moving object, the cause of this phenomenon and the anticipation property were discussed.

From the analysis of eye movement, it was suggested that the anticipated velocity slowdown would be caused by occlusion and the possibility that the information processing to answer the object's position influenced anticipated velocity. The result of 400 times learning tasks showed that the learning process of the anticipation property changes from location error correction into velocity correction stage. This suggested the possibility that the anticipation skill would be improved by repeated training.

## 交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2007年度	1,500,000	450,000	1,950,000
2008年度	1,000,000	300,000	1,300,000
2009年度	900,000	270,000	1,170,000
年度			
年度			
総計	3,400,000	1,020,000	4,420,000

研究分野：総合領域

科研費の分科・細目：健康・スポーツ科学

キーワード：遮蔽物体、位置予測特性、眼球運動

## 1. 研究開始当初の背景

スポーツにおいて物体の捕捉（打球，捕球）は，重要な基本動作である．もし動作を失敗する要因が解明できれば，その要因部分に対するトレーニングによって，効率的に運動パフォーマンスを向上させることが可能であると考えられる．つまり，失敗の原因となる部分的な能力を向上させることによって，全体的な運動パフォーマンスを上げるといふ，新たなトレーニング方法を確立することが可能であると考えられる．

本研究で，認知・予測能力に着目した理由の一つは，運動物体の遮蔽後の位置予測や表象的慣性(representational momentum)やフラッシュラグ(flash-lag)など，運動物体の位置認知に関する先行研究とこれまでの研究から，遮蔽または消失した後の位置予測課題において，運動物体の位置を過小評価する現象を発見した．さらに，位置予測能力について，個人差の存在を示唆する結果も得られている．このように，認知，予測においてエラーを生じることから，目的の動作を失敗する要因が，認知や予測の部分に存在する可能性が考えられる．

一方，仮想現実感技術を用いたシステムは，物体運動の正確な速度や軌道の再現，あらゆる実験環境を簡単に設定，変更ができ，実験者の意図する課題や環境を自由に構築することが可能である．本研究では，このようなVRシステムの優れた操作特性を活用し，詳細な認知予測実験を実施することにより，動作失敗の要因について検討すること可能であると考える．

失敗要因について特定できれば，VRシステムを利用することにより，認知・予測能力の部分に対して，現実環境では不可能なレベルの高度な課題を設定し，訓練することも可能である．このように，心理的情報処理過程の予測，認知局面への訓練により，打球や捕球などの捕捉動作や，他の動作または運動パフォーマンスの向上が可能になれば，これまでに見られなかった新たな訓練法の開発が可能であると考えたことから，本研究の着想に至った．

## 2. 研究の目的

本研究の目的は，下記の点である．

- (1) 仮想現実感技術を利用した物体運動画像を生成・操作するシステムにより仮想環境を構築する．
- (2) そのシステムを用いて認知・予測タスクを実施し，物体運動の認知・予測特性について検討する．

- (3) 得られたデータの解析から，認知・予測局面における捕捉（捕球や打球）運動の失敗要因について検討する．さらに，その失敗要因に積極的に働きかける訓練が，運動パフォーマンスにどのように影響するのか検討する．

## 3. 研究の方法

タスクで使用する仮想環境を構築し，構築されたシステムによって，タスク実験を行い，データを収集した．

### (1) 仮想環境の構築

コンピュータとディスプレイ(22インチ)のシステムで，自作ソフトウェアにより仮想環境を構築した．描画速度とリフレッシュレートは，ともに100 frames/secとした．被験者とディスプレイの位置は，ディスプレイに描画された仮想環境と現実環境の視野角が40 degになるようにディスプレイまでの距離(0.55m)を決定した．さらに頭部の位置がずれないように，固定装置に顎と額を接触させ固定した状態で，ディスプレイ上の仮想環境を観察させた(図1)．

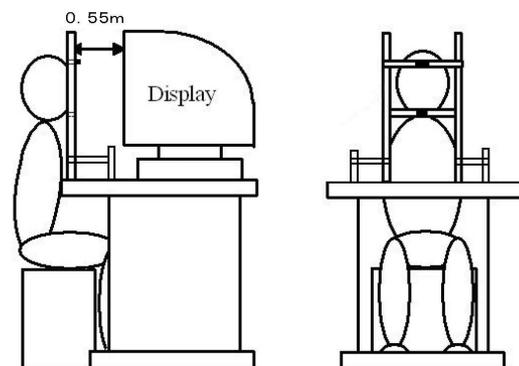


図1 実験セットアップ

### (2) 眼球運動の測定

眼球の動き・視点移動については，Eye Link (SR Research社製)により仮想環境呈示用PCと同期して測定した．頭部にアイカメラを装着し，サンプリングレートは250 data/sでデータを収集した(図2)．

### (3) 課題用提示刺激(図3)

ディスプレイ上に表示された仮想環境において，運動物体(ボール；前方2.6m，直径40mm・0.65deg)の左から右への水平等速運動を再現した．運動物体は移動の途中，画面中央から板で遮蔽され，その後板全体を变色させて位置予測のための視覚刺激とした．視覚刺激呈示時の仮想的な運動物体の位置

を板の目盛り（1目盛り；1.35deg, 0.09s）を基準に口頭にて回答させた（遮蔽後位置予測）。



図2 眼球運動の測定(固定台を除く)

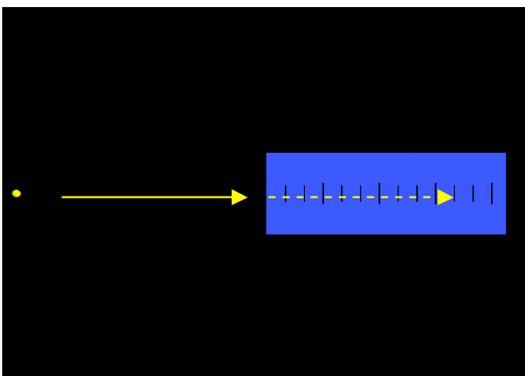


図3 課題用提示刺激

#### (4)実験条件

##### 視線移動の統制（追視と固視）

眼球運動による視線移動の影響を調べるため、追視条件では、画面中央（＝板左端中央）に頭部正中線を合わせ眼球運動のみでボールスタート位置を固視させた。ボールがスタート位置に出現後、左から右方向へ水平運動をするボールを必ず追視するように指示した。遮蔽後も板の後ろをボールが等速度で運動し続けることを書面及び口頭で伝え、遮蔽後の運動物体を仮想的に追視し続けるよう指示した。また、追視は眼球運動のみで行うよう指示した。固視条件では、板左端中央（運動物体が隠れ始める位置）を注視点とし、被験者には周辺視で運動物体を捉えるように指示した。板変色時の運動物体の予測位置へサッカードを行ってから目盛りを口頭で回答するように指示した。

##### 回答要求の有無

何れの実験条件でも遮蔽後の運動物体を予測し仮想的に追視をさせたが、回答要求有条件では刺激呈示時の位置を回答させ、回答要求無条件では回答させなかった。回答要求無条件では運動物体遮蔽後の板の変色は意識せず、板右端まで仮想的追視をさせた。

#### (5)分析方法

ボール速度は 15 deg/s とした。板の長さは 1.1 m・17.7 deg とし、遮蔽から視覚刺激呈示までの時間は 0.27 s から 0.9 s まで 0.09 s 毎に 8 種類、回答要求条件では更に 0.09 s, 0.18 s を追加し 10 種類の遮蔽時間とした。回答要求条件では、遮蔽時間 10 種類がランダムに 3 回出現するように 30 試行を、回答要求無条件ではランダムに 1 回ずつ 10 試行を行った。視線移動統制条件では、遮蔽時間 8 種類がランダムに 3 回出現するように 24 試行を行った。

##### 平均視線移動速度

遮蔽前の平均視線移動速度は、物体の運動開始時から遮蔽開始時までの時間と水平方向の視線移動距離から求めた。遮蔽後の平均視線移動速度は、運動物体遮蔽開始時から 0.9 s 後（最大の刺激呈示時間）までの時間と水平方向の視線移動距離から求めた（図 4-1）。ただし、回答要求有条件の場合、刺激呈示時後は目盛りを回答するために視線が目盛りに移動するため、視覚刺激呈示時までの水平方向の視線移動距離から求めた（図 4-2）。

##### 運動物体遮蔽前の視線先行

回答要求実験では、運動物体の追視を指示しているにもかかわらず、運動物体が遮蔽される前に視線が運動物体よりも先行する。遮蔽時に 0.65 deg（運動物体視野角）以上の視線先行がおこった場合、運動物体よりも視線が先行したと判断した。視線先行試行の全試行に対する出現率を求めた。

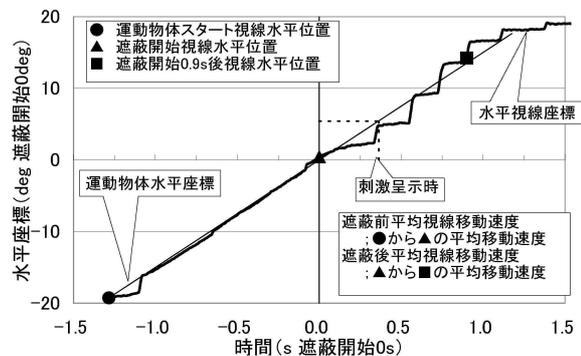


図 4-1 平均視線移動速度の計算（回答無）

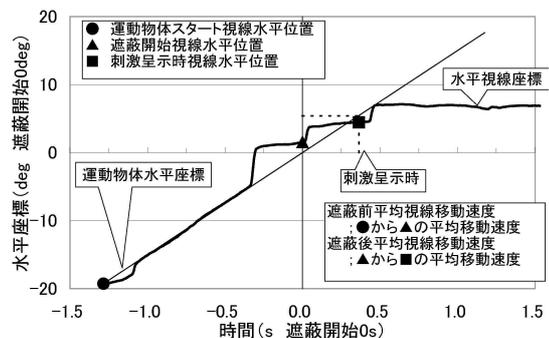


図4-2 平均視線移動速度の計算 (回答有)

表象速度の定義

横軸に実位置、縦軸に回答位置をとり、各条件各被験者 24 試行のデータから回帰直線の傾きを求めた。得られた回帰直線の傾きは、被験者が脳内で考えた運動物体速度を表すものと考えられ、これを表象速度と定義した(図5)。

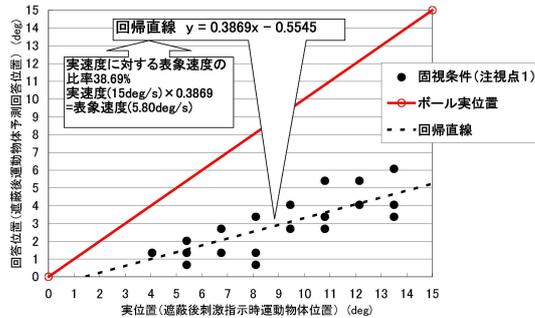


図5 表象速度の計算

4. 研究成果

(1)追視・固視条件における予測速度と視線移動速度

追視条件と固視条件における予測速度は、追視条件  $6.80 \pm 2.51$  deg/s, 固視条件  $5.65 \pm 1.94$  deg/s, 実速度に対する割合は、それぞれ追視条件 27.6%, 固視条件 37.7%と両条件で予測速度低下が見られた(図6)。

平均視線移動速度は、遮蔽前の回答要求有条件で  $16.55 \pm 0.31$  deg/s, 遮蔽前の回答要求無条件で  $16.43 \pm 1.20$  deg/s, 遮蔽後の回答要求無条件で  $16.63 \pm 1.01$  deg/s と運動物体速度の 15 deg/s に比較して若干速い値を示した。これに対して遮蔽後の回答要求有条件では、 $9.75 \pm 4.60$  deg/s と大幅に実速度より低下した(図7)。

運動物体遮蔽後の平均視線移動速度は、回答要求有条件では大幅な低下が見られたにもかかわらず、回答要求無条件では見られなかった。予測速度低下は、追視条件でも固視条件でも見られたことから、追視に伴う眼球運動が予測速度低下の原因である可能性は否定された。したがって、運動物体の遮蔽後位置予測の回答要求をすること自体が予測速度低下の原因である可能性が示唆された。

次に運動物体の遮蔽後位置予測の回答要求をすることが予測速度低下の原因となるメカニズムを考察する。運動物体の遮蔽後位置予測の回答要求をした場合、板の目盛りを読むために板の目盛りを見る必要性が出てくると考えられる。そこで予測速度低下について、注意に着目した2つの仮説が考えられた。

仮説1；運動物体から板への注意移動仮説

位置を回答するために、板の目盛りを見る

必要があり、運動物体から板の目盛りへ注意が移動すると考えられる。その時移動物体から静止物体へ注意が移動することにより意識の中で、注意を向ける物体の急停止が起こる。運動物体の速度表象は、静止している板の目盛りの影響を受け低下する。結果として遮蔽後運動物体の位置予測では、実際より短く予測する可能性が考えられる。

仮説2；運動物体と板の目盛り両者への注意分割仮説

位置の回答に際して板の目盛りを見る必要性から、注意の一部を運動物体から板の目盛りへ配分する必要があり、注意分割が生じると考えられる。この注意分割により物体の仮想的追視に配分する時程が短くなり、結果として遮蔽距離を実際より短く予測した可能性が考えられる。Zakay は dual process contingency model で非時間的課題に注意が配分されると時間情報処理に対する注意が低減し時間情報処理が断続的に行われるようになるために、時程がより短く評価されるとしている。実験では 0.09 から 0.9 s と Zakay の 12 から 15s に比較して呈示時間は短いと同様のメカニズムの可能性も考えられる。

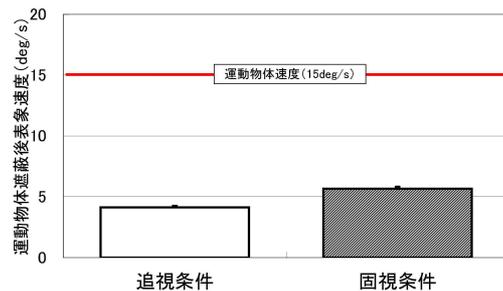


図6 固視条件と追視条件における予測速度

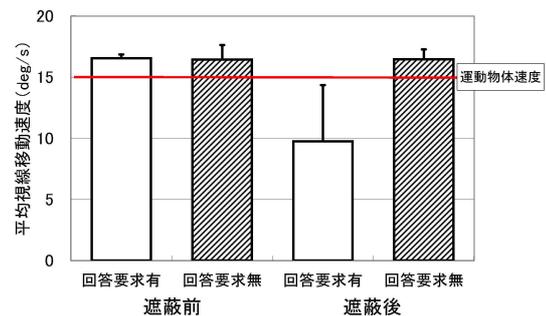


図7 平均視線移動速度

(2)遮蔽時における視線先行

運動物体の遮蔽時に視線が先行する試行の出現率は、回答要求有条件で 86.3%, 回答要求無条件で 65.0%と位置予測回答を要求することで大幅に増加した(図8)。

追跡眼球運動による追視を指示しているにもかかわらず、回答を要求することにより

遮蔽時に運動物体よりも視線が先行する率が大きく増加した。岩崎は視覚的注意研究をレビューし、注意と眼球運動システムの密接な関係を指摘していることから、運動物体の遮蔽後位置予測の回答要求をした場合、視線が先行する率が増加したことは、運動物体から板へ注意を移行させた可能性を示唆する。

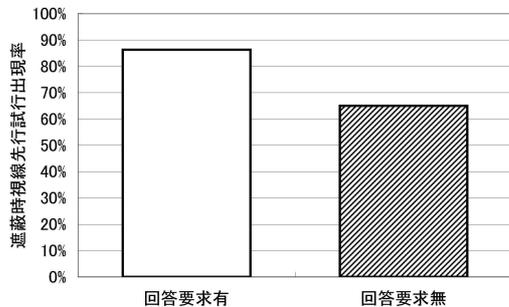


図8 視線先行試行の出現率

### (3) 予測特性の学習過程

100 試技学習後における平均回答位置は学習前の  $63.0 \pm 17.5\%$  から  $93.9 \pm 7.8\%$  とほぼ実位置に近い値まで示すようになったが、表象速度は学習前の  $48.7 \pm 14.9\%$  から  $57.8 \pm 8.5\%$  とあまり上昇しなかった。その後、200 試技、300 試技、400 試技と学習が進むにつれて平均回答位置は  $97.540 \pm 7.3\%$ ,  $96.8 \pm 8.7\%$ ,  $98.9 \pm 8.6\%$  と頭打ちになる一般的な学習曲線を示したが、表象速度は  $61.2 \pm 13.6\%$ ,  $63.7 \pm 12.7\%$ ,  $75.6 \pm 14.3\%$  とほぼ直線的に上昇した(図9)。

運動物体遮蔽後速度表象学習曲線(図10)に見られるように、学習初期(学習前から100試技学習後)において、平均回答位置が  $63.0 \pm 17.5\%$  から  $93.9 \pm 7.8\%$  へと実位置に大きく近づいたのに対し、表象速度は  $48.7 \pm 14.9\%$  から  $57.8 \pm 8.5\%$  と平均回答位置に比較して変化が小さかった。学習前の平均回答位置が実位置の約6割と大幅に小さいことから、学習実験で被験者は自らが回答した位置に対して、約1.6倍の位置を正しい位置としてフィードバックされることになる。被験者には、学習中は無理に正解を答えようとせず、直感的に予測した位置を答えるように指示を行い、実験中も毎セット間に正解を予想して答えず、直感的に予測位置を答えていることを口頭で確認している。それにもかかわらず、学習初期において、平均回答位置は大きく変化し、対照的に表象速度は変化が小さかった。学習初期には、被験者は自らの回答位置と実位置との差が大きいことをフィードバックにより認知し、無意識のうちに、この位置誤差を修正する学習がなされたと考えられる。しかし、物体の運動速度の学習がなされるわけではないので、表象速度の変化は小さくな

ったと考えられる。つまり、学習初期には速度ではなく回答位置と実位置との位置誤差の学習が進行すると考えられる。

その後、学習が進むにつれて平均回答位置はほぼ実位置に近くなり、表象速度がほぼ直線的に上昇している。このことは位置誤差学習の後に速度表象の学習が起きる可能性を示唆する。また、学習課題において、物体運動速度の1/2や2倍の速度に対する学習の汎化が見られた。

このような、課題を反復実施する訓練によって、予測特性に関して学習効果を得られる可能性が考えられる。その方法論については、今後の検討が必要であるが、将来的に心理的側面における認知・予測特性トレーニング開発への発展が見込まれる。

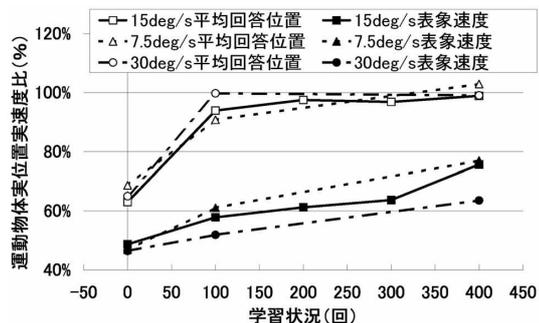


図9 学習の汎化 (N=6, 速度 15deg/s)

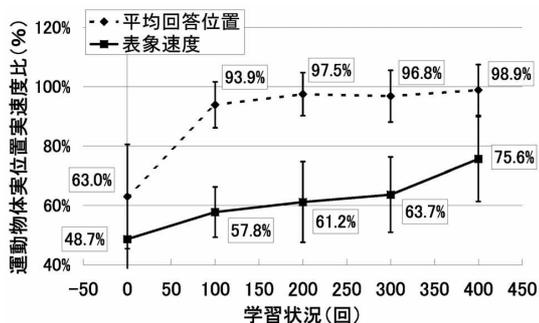


図10 運動物体遮蔽後速度表象学習曲線

### (4) 学習効果の維持

学習効果がどの程度維持されているのかを評価するために、400 試技学習後の値を100%とした忘却曲線を図11に示す。被験者の人数は少ないが、表象速度のリテンションスコアは約1ヶ月後に95.4%, 69.4%, 65.9%, 約3ヶ月後に68.4%と、学習効果が維持されていることが確認できる。このことから、学習効果は学習速度に固有の現象とは考えにくく、遮蔽後運動物体の予測において一般的に生じる可能性が高いと予想される。

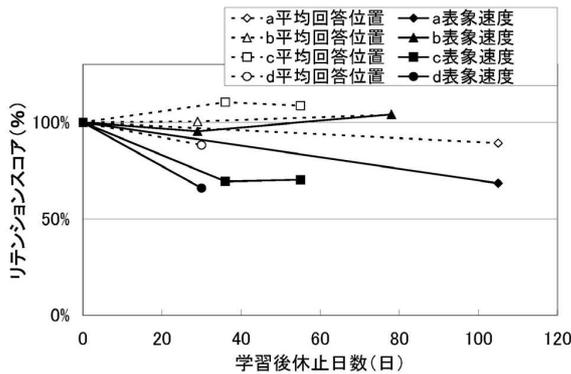


図 11 学習効果の忘却曲線  
(n=4, 学習速度 15deg/s)

## 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 2 件)

竹市勝: 運動物体の位置予測課題における予測速度低下に関する研究, 東京農工大学大学院工学府 (博士学位論文), 2008

新井健之, 三澤幸雄, 今野廣隆, 藤田欣也, 竹市勝: 運動物体の遮蔽後位置予測における課題難易度の影響, 高千穂論叢, 第 44 巻, 第 2 号, 2009

[学会発表] (計 8 件)

Masaru Takeichi, Kinya Fujita, Hideyuki Tanaka: Eye movement after occlusion during position anticipation task, European Conference on Visual Perception 2007, Perception Vol.36 Supplement

新井健之, 藤田欣也, 竹市勝: 運動物体の遮蔽後位置と再出現時刻予測に関する研究, 日本バーチャルリアリティ学会第 12 回大会論文集, 2007

新井健之, 藤田欣也, 竹市勝: 運動物体の遮蔽後位置予測における学習可能性の検討, 日本バーチャルリアリティ学会 VR 心理学研究委員会第 10 回研究会資料集, 2007

Masaru Takeichi, Kinya Fujita, Hideyuki Tanaka: Discussion on anticipated velocity slowdown of occluded object and eye movement, European Conference on Visual Perception 2008, Perception supplement Vol.37

新井健之, 藤田欣也, 竹市勝: 遮蔽後運動物体の速度表象学習における特徴について, 日本バーチャルリアリティ学会第 13 回大会論文集, 2008

新井健之, 藤田欣也, 竹市勝: 運動物体の遮蔽後位置予測における速度表象学習について, 日本視覚学会 Vision, Vol120, No3, 2008

藤田欣也, 竹市勝, 新井健之: 仮想環境を用いた走行物体の遮蔽後位置予測機構の解析, 日本自動車技術会秋季大会, 2008

新井健之, 藤田欣也, 竹市勝: 運動物体の遮蔽後位置予測における注意の影響, 日本バーチャルリアリティ学会第 14 回大会論文集, 2009

[その他]  
ホームページ等

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

竹市 勝 (TAKEICHI MASARU)  
国士舘大学・政経学部・教授  
研究者番号: 30265962

### (2) 研究分担者

藤田 欣也 (FUJITA KINYA)  
東京農工大学・大学院共生科学技術部・教授  
研究者番号: 30209051  
(H20 H21: 連携研究者)

### (3) 連携研究者 (H20 H21)

新井 健之 (ARAI TAKEYUKI)  
高千穂大学・商学部・准教授  
研究者番号: 20397095