

## 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 25 年 5 月 7 日現在

機関番号：13903

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2010～2012

課題番号：22700174

研究課題名（和文）非対称カメラアレイによる再構築型光線空間取得

研究課題名（英文）Reconstructive Capturing Light Field from Asymmetric Camera Array

## 研究代表者

福嶋 慶繁（FUKUSHIMA NORISHIGE）

名古屋工業大学・工学研究科・助教

研究者番号：80550508

研究成果の概要（和文）：解像度や、視点間隔の異なる多視点カメラアレイから自由視点映像などのコンピュータシミュレーショングラフィックを実現するために、主に、1）超解像と自由視点画像生成を同時に行う手法や、2）自由視点映像の基本となる奥行き推定を、その階調数のサブピクセル化、輪郭の補正などの高精度化する手法、3）自由視点画像合成時に輪郭をマッピングする手法を開発した。

研究成果の概要（英文）：In this research, we study asymmetric camera array for computational photography, which include free viewpoint image rendering. We developed 3 topics; 1) free viewpoint image rendering with super resolution from multi camera array, 2) depth map refinement method for correct depth boundary and depth level interpolation, 3) alpha matting for free viewpoint image generation.

## 交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2010年度	1,600,000	480,000	2,080,000
2011年度	800,000	240,000	1,040,000
2012年度	700,000	210,000	910,000
総計	3,100,000	930,000	4,030,000

研究分野：総合領域

科研費の分科・細目：情報学・知覚情報処理・知能ロボティクス

キーワード：光線空間、自由視点画像、奥行き画像、超解像、コンピュータシミュレーショングラフィック、カメラアレイ

## 1. 研究開始当初の背景

イメージベースレンダリングのように3次元情報を画像として取得するには、光線空間を取得する必要がある。そのためには、多量のカメラをならべたカメラアレイが必要である。しかしながらそのようなカメラをハイツすることは物理的にも、経済的にも困難である。

従来、同一で、多数のカメラを均等に配置してきたが、これらの情報は均一となり、扱

いやすい一方で、必要な情報に偏りを作ることが出来ず、高効率な取得が不可能である。

そこで、本研究では、そのような状況下において、解像度が低くはあるが、比較的安価であるカメラを混在させることや、解像度を低下させるが、広角なカメラを混在させること、計算時間はかかるが、高精度な奥行き推定を行い、カメラの台数を減らすことにより、高効率な光線空間取得を目的としていた。

## 2. 研究の目的

本研究は、多視点画像処理を光線空間処理として体系化し、自由視点映像の高解像度化、可変焦点化、広角化について検討することを目的とする。そのために、複数のカメラを規則的に並べたカメラアレイで光線空間を取得する方式と、1つの撮像素子で効率的に光線空間を取得するコンピュータショナルフォトグラフィ方式の2つを融合させる方略を明らかにする。

この2つの方式には、スケールの違いによって、その技術の統合が図れないという課題がある。この課題に対して本研究では、光線空間が再構築されることを前提に、解像度や配置間隔が異なるなど、非対称のカメラアレイを用いて効果的に光線情報を取得し、高機能な自由視点映像を生成する。

## 3. 研究の方法

上記目的を達成するためには、(1) 奥行き画像や画像の解像度変換（主に高解像度化）を行うための超解像、(2) 多視点画像からの奥行き推定精度の向上、(3) 高解像度化時に主に起こるぼけを扱うマッピングについて重点的に研究を行った。

### (1) 画像、奥行き画像超解像

本研究では、解像度を上げる処理である超解像処理を通常の画像と、奥行き推定結果である奥行き画像に対してそれぞれ行った。

#### ①自由視点画像超解像

多視点映像から、自由視点画像合成を行う際に、前進した視点の解像度は不足しがちである。また、本研究のように解像度が異なるカメラを用いる場合は、一方のカメラの解像度を向上させる必要がある。そのため、本研究では、自由視点画像合成と超解像を組み合わせることを行った。特に、これらの処理を同時に行うことでより効率的な処理ができるように行った。超解像の手法としては平滑化項を拘束とする典型的な手法を、自由視点画像合成のプロセスに組み込み、また、視点位置や解像度に応じて、劣化過程を適応的に処理する手法を用いた。

#### ②奥行き画像超解像

また、低解像度の画像を入力とする場合、奥行き推定結果の奥行き画像の解像度が必要な解像度が不足する。一方、①の超解像を行った後、奥行き推定を行えばそのような問題は発生しないが、高解像な空間で奥行き推定を行うと超解像処理以上に計算コストが高くなる。加えて、計算により作りだした画像と、そうではない画像と組み合わせると奥行き推定を行うと、それらの周波数特性の違いにより推定精度があまり高くない。

そこで、低解像度の奥行き画像と超解像した高解像度な通常の画像を同時に用いるアップサンプル手法である、ジョイントバイラテラルフィルタを改良することで、奥行き画像の超解像を達成する。

#### (2) 奥行き推定

自由視点画像合成処理や、上記の超解像処理にはカメラから物体までの距離情報を表す奥行き画像を奥行き推定により求める必要がある。しかしながらこの処理は非常にコストが高い。そこで本研究では、安価に取得した奥行き画像をフィルタリングにより、その精度を向上させる研究を行った。主に、奥行き画像のノイズ除去やその輪郭を行う研究と、奥行き値の階調をサブピクセルレベルに増加させる研究を行った。

#### ①輪郭補正・ノイズ除去

奥行き推定による奥行き画像には、推定誤り結果が大きなノイズとして混入され、さらに物体輪郭の推定精度が悪くその輪郭形状が崩れがちである。これらの精度を向上させるために、様々な最適化手法が提案されているが、その計算コストが非常に高い。

一方で、推定に用いる画像中には、大きなはずれ値を持つノイズではなく、ガウシアンノイズ程度であり、物体輪郭だといってその形状が大きく崩れることはない。これらの特性を組み合わせるジョイントバイラテラルフィルタと呼ばれるフィルタをベースにして、奥行き画像の高速なノイズ除去・輪郭補正を行う。従来のジョイントバイラテラルフィルタでは、物体境界の奥行き画像にぼけが発生するが、このぼけを抑制可能なフィルタを提案する。

#### ②階調補正

奥行き推定は、多視点画像を用いて行うが、その推定精度は入力画像の解像度や、カメラ間距離、カメラ台数に依存する。全ての項目を増やせば階調数は増加するが、その計算コストも増加する。

そこで、本研究では、階調数の向上もフィルタにより実現する。主に、エッジを保ったまま画像の平滑化を行うバイラテラルを拡張し、奥行き画像の平滑化を効率的に行うことが可能なフィルタを提案する。

#### (3)マッピング

異なる解像度間では、物体境界のぼけ量が異なり、また超解像処理を行ってもその影響を全て取り除くことは困難である。そのため、それらの画像から自由視点画像合成を行うと、異なるぼけが自由視点画像へと伝搬し、その画像品質が劣化する。そこで、物体境界のぼけ量を前景の物体と背景の物体とそれ

らの透過量という情報に分解し、ぼけの無い画像同士のからの自由視点画像合成という形に変換することで、問題に対応する。このマッピング処理も、高精度なものは、計算コストが高いが、近年登場したガイドドフィルタを用いると近似とはなるが、非常に拘束に解くことが出来る。この手法を用いて時自由点画像合成を用いることで高精度な自由視点画像合成が可能であることを示す。

#### 4. 研究成果

3 で述べた各項目について、それぞれ研究成果を概説する。

##### (1) 画像, 奥行き画像超解像

###### ①自由視点画像超解像

多視点画像を入力として、通常自由視点画像合成を行うよりも、同じ入力から高精細な自由視点画像を生成することに成功した。特に、前進した視点位置での性能向上が大きく、画像品質の尺度である PSNR で計測すると、最大 5.1dB の向上を確認した。

これらの研究成果は、主な発表論文等にある、雑誌論文 7, 12 や学会発表 16, 18 にまとめられている。

###### ②奥行き画像超解像

低解像度の奥行き画像を高速にアップサンプリングする手法を提案し、従来手法よりも高精度かつ、高速動作するアルゴリズムを提案した。図 1 に超解像結果の例を示す。最近棒処理に比べて輪郭精度や滑らかな平面をより復元出来ている。また、そのほかの最新の手法と比べて復元精度が高かった。正解との誤り率で比較すると、本手法は、実時間で動作する最新の手法よりも 1%程度低く抑えることが可能であり、加えて計算時間は 3ms 以内に抑えることに成功した。

これらの研究成果は、主な発表論文等にある、雑誌論文 3, 10 にまとめられている。

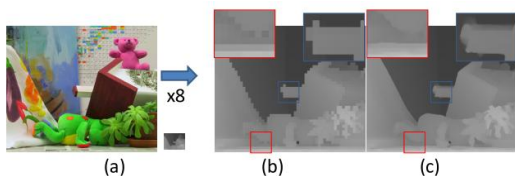


図 1 : 奥行き超解像結果. (a)入力画像奥行き画像. (b)最近棒処理, (c)提案手法.

##### (2) 奥行き推定

###### ①輪郭補正・ノイズ除去

ジョイントバイラテラルフィルタを、重み付きのジョイントバイラテラルに拡張し、原画像と奥行き画像からジョイントフィルタリングを行った際に出る問題である大きなはずれ値がそのほかの奥行き値に及ぼす影響を抑制することや、物体輪郭のぼけの影響

を小さくすることに成功した。また、ぼけを完全に削除する混合抑制フィルタの提案を行った。このフィルタを用いることで、低精度な推定しかできないブロックマッチングによる奥行き推定を用いても、高精度な準実時間な推定が可能なセミグローバルマッチングとほぼ同程度の精度を実現可能であり、またその計算時間もセミグローバルマッチングの 20%程度に抑えることに成功した。

これらの研究成果は、主な発表論文等にある、雑誌論文 1, 2, 5, や学会発表 1, 2, 4, 6 にまとめられている。

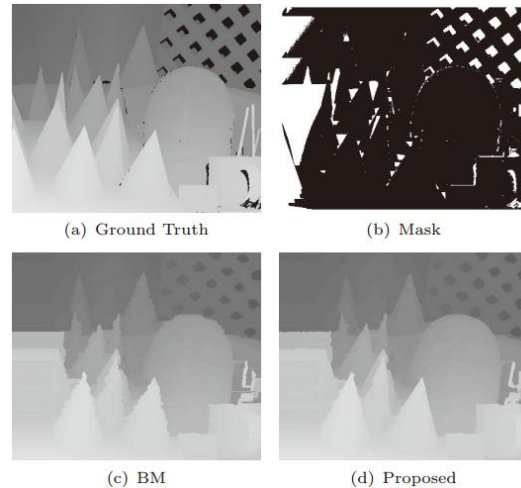


図 2 : 奥行き画像の輪郭補正結果. (a)奥行き画像の真値, (b)正解が存在する領域, (c)ブロックマッチングによる推定結果, (d)(c)に提案手法を適用した結果.

###### ②階調補正

階調数を増加させるためにバイナリレンジフィルタを提案した。このフィルタの効果を検証するために、圧縮した奥行き画像（画像を圧縮すると階調数が低下する）に対して適用し、本フィルタの効果を検証した。実験の結果、本フィルタの復元精度は非常に高く、効果的であることが示された。

これらの研究成果は、主な発表論文等にある、雑誌論文 7, 12 や学会発表 16, 18 にまとめられている。また、本研究成果は、マルチメディア分野の主要な国際会議である ICME に採択されており、2013 年 7 月に発表予定である。

##### (3) マッピング

物体境界の透過情報を推定し、前景、背景、透過情報それぞれ自由視点画像合成することにより、従来の画像合成手法に比べて、客観的にも主観的にも高品質な画像合成を行うことが可能となり、PSNR として平均約 0.8dB 向上した。

これらの研究成果は、主な発表論文等にある、学会発表 3, 12 にまとめられている。

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)

全て査読有り

1. T. Matsuo, N. Kodera, N. Fukushima, and Y. Ishibashi, "Depth Map Refinement Using Reliability Based Joint Trilateral Filter" ECTI Transaction CIT, 2013. (in press)
2. 松尾 琢也, 福島 慶繁, 石橋 豊, "重み付きクロスバイラテラルフィルタによる奥行き推定精度の向上," 映像情報メディア学会誌, vol. 66, no. 11, pp. J434-J443, Nov. 2012. [https://www.jstage.jst.go.jp/article/itej/66/11/66\\_J434/pdf](https://www.jstage.jst.go.jp/article/itej/66/11/66_J434/pdf)
3. 松尾 琢也, 福島 慶繁, 石橋 豊, "奥行き画像符号化のための重み付きジョイントバイラテラルアップサンプリングによる超解像," 電子情報通信学会論文誌, vol. J95-D, no.9, pp. 1694-1697, Sep. 2012. [http://nma.web.nitech.ac.jp/fukushima/paper/j95-d\\_9\\_1694.pdf](http://nma.web.nitech.ac.jp/fukushima/paper/j95-d_9_1694.pdf)
4. 深見 遼, 福島 慶繁, 圓道 知博, メヒルダド パナヒプル テヘラニ, 藤井 俊彰, 谷本 正幸, "カメラと鏡を用いた多点光線取得システム," 電子情報通信学会論文誌, Vol.J94-D, No.12, pp.1989-1991, Dec. 2011. [http://nma.web.nitech.ac.jp/fukushima/paper/j94-d\\_12\\_1989.pdf](http://nma.web.nitech.ac.jp/fukushima/paper/j94-d_12_1989.pdf)
5. 福島 慶繁, 石橋 豊, "Depth Image Based Rendering のための奥行き画像へのポストフィルタリング," 電子情報通信学会論文誌, Vol.J94-D, No.12, pp.1992-1995, Dec. 2011. [http://nma.web.nitech.ac.jp/fukushima/paper/j94-d\\_12\\_1992.pdf](http://nma.web.nitech.ac.jp/fukushima/paper/j94-d_12_1992.pdf)
6. 横井 孝紀, 福島 慶繁, 圓道 知博, メヒルダド パナヒプル テヘラニ, 藤井 俊彰, 谷本 正幸, "移動カメラアレイを用いた時空間の自由視点画像生成," 電子情報通信学会論文誌, Vol.J94-D, No.12, pp.1996-1999, Dec. 2011. [http://nma.web.nitech.ac.jp/fukushima/paper/j94-d\\_12\\_1996.pdf](http://nma.web.nitech.ac.jp/fukushima/paper/j94-d_12_1996.pdf)
7. 安藤 建吾, 福島 慶繁, 圓道 知博, メヒルダド パナヒプル テヘラニ, 藤井 俊彰, 谷本 正幸, "前進視点における自由視点画像生成," 電子情報通信学会論文誌, Vol.J94-D, No.12, pp.2000-2003, Dec. 2011. [http://nma.web.nitech.ac.jp/fukushima/paper/j94-d\\_12\\_2000.pdf](http://nma.web.nitech.ac.jp/fukushima/paper/j94-d_12_2000.pdf)
8. 立松 綾乃, 劉 勃海, 福島 慶繁, 石橋 豊, "自由視点映像伝送におけるネットワーク遅延がユーザ体感品質に及ぼす影響," 映像情報メディア学会誌"ヒューマンインフォメーション"特集号, vol. 65, no. 12, pp. 1742-1749, Dec. 2011. <http://nma.web.nitech.ac.jp/fukushima/paper/ITE2011-12.pdf>
9. N. Fukushima and Y. Ishibashi, "Client Driven System of Depth Image Based Rendering," ECTI Transaction CIT, vol. 5, no. 2, pp. 15-23, Nov. 2011. [http://www.ecti-thailand.org/assets/papers/1208\\_pub\\_41.pdf](http://www.ecti-thailand.org/assets/papers/1208_pub_41.pdf)
10. M. O. Wildeboer, N. Fukushima, T. Yendo, M. P. Tehrani, T. Fujii, M. Tanimoto, "A Semi-Automatic Depth Estimation Method for FTV," The Journal of The Institute of Image Information and Television Engineers, vol. 64, no. 11, pp. 1678-1684, Nov.

2010

<http://nma.web.nitech.ac.jp/fukushima/paper/A%20Semi-Automatic%20Depth%20Estimation%20Method%20for%20FTV.pdf>

11. 澤 祐一郎, 福嶋 慶繁, 石橋 豊, "立体映像通信における画像間でのフレーム遅延が立体視へ与える影響," 電子情報通信学会論文誌, vol. J93-D, no. 9, pp. 1672-1674 Sep. 2010.  
[http://nma.web.nitech.ac.jp/fukushima/paper/j93-d\\_9\\_1672.pdf](http://nma.web.nitech.ac.jp/fukushima/paper/j93-d_9_1672.pdf)
12. 福嶋 慶繁, 石橋 豊, "超解像処理による自由視点画像の画質改善," 電子情報通信学会論文誌, vol. J93-D, no. 9, pp. 1700-1703 Sep. 2010.  
[http://nma.web.nitech.ac.jp/fukushima/paper/j93-d\\_9\\_1672.pdf](http://nma.web.nitech.ac.jp/fukushima/paper/j93-d_9_1672.pdf)

[学会発表] (計 43 件)

1. T. Matsuo, N. Fukushima, Y. Ishibashi, "Weighted Joint Bilateral Filter with Slope Depth Compensation Filter for Depth Map Refinement," Proc. International Conference on Computer Vision Theory and Applications (VISAPP 2013), Feb. 2013.
2. T. Matsuo, N. Fukushima, and Y. Ishibashi, "Depth map refinement with joint bilateral filter using LR-consist weight map," in Proc. 2013 International Workshop on Advanced Image Technology (IWAIT), pp. 739-744, Jan. 2013.
3. N. Kodera, N. Fukushima, and Y. Ishibashi, "Splitting foreground-background images for free viewpoint image synthesis," in Proc. 2013 International Workshop on Advanced Image Technology (IWAIT), pp. 805-808, Jan. 2013.
4. N. Fukushima, T. Inoue, and Y. Ishibashi, "Evaluation of various image codecs with post filter set for depth map coding," in Proc. 2013 International Workshop on Advanced Image Technology (IWAIT), pp. 854-859, Jan. 2013.
5. J. Osada, N. Fukushima, and Y. Ishibashi, "Influence of network delay on

viewpoint change in free-viewpoint video transmission," in Proc. The 18th Asia-Pacific Conference on Communications (APCC), pp. 110-115, Oct. 2012.

6. T. Matsuo, N. Fukushima and Y. Ishibashi, "Reliability based cross trilateral filtering for depth map refinement," in Proc. The 2012 International Workshop on Advanced Image Technology (IWAIT'12), Jan. 2012.

7. S. Lin, N. Fukushima and Y. Ishibashi, "Real-time compression for selective depth image based rendering by using view synthesis prediction," in Proc. The 2012 International Workshop on Advanced Image Technology (IWAIT'12), Jan. 2012

8. T. Yokoi, N. Fukushima, T. Yendo, M. P. Tehrani, T. Fujii and M. Tanimoto "Novel view synthesis for dynamic scene using moving multi-camera array," in Proc. SPIE Vol. 7863, Stereoscopic Displays and Applications XXI, 78630C, Jan. 2011.

9. K. Takeuchi, N. Fukushima, T. Yendo, M. P. Tehrani, T. Fujii and M. Tanimoto "Free-viewpoint Image Generation from a Video Captured by a Handheld Camera," in Proc. SPIE Vol. 7863, Stereoscopic Displays and Applications XXI, 78631N, Jan. 2011.

10. N. Fukushima and Y. Ishibashi "Free Viewpoint Image Rendering System in a Network Environment," in Proc. International Workshop on Advanced Image Technology (IWAIT 2011), no. 6209, Jan. 2011.

11. K. Takeuchi, N. Fukushima, T. Yendo, M. P. Tehrani, T. Fujii and M. Tanimoto "Free-viewpoint Image Generation using Structure from Motion," Proc. International Workshop on Advanced Image Technology (IWAIT 2011), Jan. 2011.

12. K. Suzuki, N. Fukushima, T. Yendo, M. P. Tehrani, T. Fujii and M. Tanimoto "Free-viewpoint Image Generation using Moving Object Detection," Proc. International Workshop on Advanced Image Technology (IWAIT 2011), no. 7325, Jan. 2011.

13. D. Kim, N. Fukushima, T. Yendo, M. P. Tehrani, T. Fujii and M. Tanimoto "Rectification of Camera Array using Bundle Adjustment," Proc. International Workshop on Advanced Image Technology (IWAIT 2011), no. 6683, Jan. 2011.

14. R. Fukami, N. Fukushima, T.

Yendo, M. P. Tehrani, T. Fujii and M. Tanimoto "Multi-view Ray acquisition using Camera and Mirror System," Proc. International Workshop on Advanced Image Technology (IWAIT 2011), no. 6679, Jan. 2011.

15. K. Ando, N. Fukushima, T. Yendo, M. P. Tehrani, T. Fujii and M. Tanimoto "Resolution Improvement of Free-viewpoint Image Generation," Proc. International Workshop on Advanced Image Technology (IWAIT 2011), no. 6947, Jan. 2011.

16. N. Fukushima and Y. Ishibashi "Free viewpoint Image Generation with Super Resolution," Proc. Picture Coding Symposium (PCS'10), pp. 1-4, Dec. 2010.

17. S. Lin, Y. Sawa, N. Fukushima and Y. Ishibashi "Influences of Frame Delay and Packet Loss between Left and Right Frames in Stereoscopic Video Communications," Proc. Picture Coding Symposium (PCS'10), pp. 510-513, Dec. 2010.

18. K. Ando, N. Fukushima, T. Yendo, M. P. Tehrani, T. Fujii and M. Tanimoto "Free-Viewpoint Image Generation Using Different Focal Length Camera Array," Proc. Picture Coding Symposium (PCS'10), pp. 358-361, Dec. 2010.

19. K. Suzuki, N. Fukushima, T. Yendo, M. P. Tehrani, T. Fujii, M. Tanimoto "Parallel Processing Method for Realtime FTV," Proc. Picture Coding Symposium (PCS'10), pp. 330-333, Dec. 2010.

20. S. Lin, N. Fukushima and Y. Ishibashi "Influences of Delay Jitter on Stereoscopic Vision in Stereo Video Communications," in Proc. Workshop on Picture Coding and Image Processing (WPCIP2010), pp. 17-18, Dec. 2010.

21. R. Fukami, N. Fukushima, T. Yendo, M. P. Tehrani, T. Fujii and M. Tanimoto "Multi-view Ray Acquisition Using Hybrid Camera and Mirror System," in Proc. Workshop on Picture Coding and Image Processing (WPCIP2010), pp.128-129, Dec. 2010.

22. D. Kim, N. Fukushima, T. Yendo, M. P. Tehrani, T. Fujii and M. Tanimoto "Calibration of Camera Array Using Bundle Adjustment," in Proc. Workshop on Picture Coding and Image Processing

(WPCIP2010), pp.136-137, Dec. 2010.

23. M. O. Wildeboer, N. Fukushima, T. Yendo, M. P. Tehrani, T. Fujii and M. Tanimoto "A Semi-Automatic Multi-View Depth Estimation Method," in Proc. Visual Communications and Image Processing 2010, vol. 7744, no. 54, July 2010.

24. N. Fukushima, T. Fujii, Y. Ishibashi, T. Yendo and M. Tanimoto, "Real-time free viewpoint image rendering by using fast multi-pass dynamic programming," in Proc. 3DTV-CON'10, June 2010.

〔図書〕 (計1件)

1. R. Szeliski 著, 玉木 徹, 福嶋 慶繁, 飯山 将晃, 鳥居 秋彦, 栗田 多喜夫, 波部 斉, 林 昌希, 野田 雅文訳 "コンピュータビジョン—アルゴリズムと応用—," 共立出版, 864 ページ, ISBN : 978-4-320-12328-1, May 2013. (405-568 ページ担当)

〔産業財産権〕

○出願状況 (計0件)

○取得状況 (計0件)

〔その他〕

ホームページ等

奥行き画像に対する処理をまとめたページ

( 総 アクセス 数 68519 )

<http://nma.web.nitech.ac.jp/fukushima/openni/openni.html>

研究成果 (学会発表 x 論文 x) に関連するページ ( 総 アクセス 数 769 )

<http://nma.web.nitech.ac.jp/fukushima/research/weightedjointbilateralfilter.html>

研究成果 (学会発表 x 論文 x) に関連するページ ( 総 アクセス 数 305 )

<http://nma.web.nitech.ac.jp/fukushima/research/jointBilateralUpsample.html>

多視点映像データベースに関するページ (総 アクセス 数 5274 )

<http://nma.web.nitech.ac.jp/fukushima/multiview/multiview.html>

6. 研究組織

(1)研究代表者

福嶋 慶繁 (FUKUSHIMA NORI SHIGE)

名古屋工業大学・工学研究科・助教

研究者番号 : 80550508