

令和 4 年 6 月 9 日現在

機関番号：14301

研究種目：基盤研究(B)（一般）

研究期間：2018～2021

課題番号：18H02766

研究課題名（和文）統計呼吸動体モデルを軸とした寡分割高精度放射線治療技術の開発

研究課題名（英文）Development of hypofractionated high-precision radiotherapy technique based on statistical respiration dynamic model

研究代表者

中村 光宏（Nakamura, Mitsuhiro）

京都大学・医学研究科・准教授

研究者番号：30584255

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 11,500,000円

研究成果の概要（和文）：呼吸性移動を伴う病変に対する寡分割高精度放射線治療では、体内臓器の状態変化に伴う線量分布への影響に加えて、体内マーカー留置に伴う侵襲性や病変の動きとの非同調性に関する問題が内在している。本研究では、これらの問題を解決すべく、膨大な時空間画像データに基づいて多臓器変位を記述した統計呼吸動体モデルの創出と統計呼吸動体モデルを用いた非侵襲呼吸性移動対策照射法の開発に取り組んだ。その結果、上腹部から骨盤領域にかけて高精度なモデル生成に成功した。また、X線画像上で目視不可能な標的に対する非侵襲呼吸性移動対策照射法への応用に向けて本モデルを拡張し、提案手法の有用性を確認した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

膨大な時空間画像データと多臓器変位の自動認識技術によって統計呼吸動体モデルを創出した研究は現時点では見当たらない。このモデルは本研究の軸であり、放射線治療における様々なシーンで活用できる。例えば、呼吸性移動対策では動体追尾照射が理想的であるが、その可否は腫瘍サイズや密度に依存するため、適用率は極めて限定的である。一方、肝臓及び膵臓に対する呼吸同期照射や動体追尾照射では、照射位置確認のために体内マーカーの留置が必須である。統計呼吸動体モデルを用いた非侵襲呼吸性移動対策照射法は呼吸性移動を伴う全ての病変に対して適用可能な技術であり、寡分割高精度放射線治療を遂行するために必須な開発項目である。

研究成果の概要（英文）：In the highly accurate hypofractionated radiotherapy for moving targets, there are problems inherent in the dose distribution due to changes in the state of organs in the body, as well as the invasiveness of marker implantation and the non-synchronization with the moving targets. In this study, to solve these problems, we generated a statistical respiratory dynamic model describing multi-organ displacement based on a large amount of spatio-temporal image data and developed a non-invasive irradiation technique using the statistical respiratory dynamic model. As a result, we succeeded in generating a highly accurate model from the upper abdomen to the pelvic region. The model was extended to non-invasive irradiation of targets that are not visible on X-ray images, and the usefulness of the proposed method was confirmed.

研究分野：医学物理学

キーワード：医学物理学 統計呼吸動体モデル 時空間画像データ 適応放射線治療 非侵襲呼吸性移動対策

## 1. 研究開始当初の背景

近年、病変に対して放射線量集中性を高めると同時に、周辺の正常臓器の放射線量を低減することを可能とする強度変調放射線治療(IMRT: intensity-modulated radiotherapy)や回転型 IMRT である強度変調回転照射(VMAT: volumetric-modulated arc therapy)、陽子ビームを細いまま移動させて連続的に照射していくスポットスキニング法に加え、呼吸性移動を伴う病変に対しては呼吸同期照射や動体追尾照射等の高精度照射技術が臨床現場に普及しつつある。

これらの高精度照射技術を用いる場合、治療数日前に CT 画像を撮影し、それに基づいて最適な放射線治療計画を立案する。治療当日は、放射線出力や照射野形状等を時間の関数として変化させながら照射するが、体内臓器の状態(移動量、位置、形状)変化は放射線治療計画時とは異なっているため、治療期間を通して体内臓器に吸収された線量は計画通りではない。特に、呼吸性移動を伴う病変(肺癌、肝癌、膵癌)においては、呼吸性移動と変調された放射線出力の関係から、臓器への放射線量が刻一刻と変化するため、この傾向が顕著である。

最近では、照射回数を減らして 1 回に照射する線量を増加させる寡分割照射に注目が集まっている。本邦ではその有用性が認められ、乳癌や前立腺癌に対しても寡分割照射の医療保険が適用された。海外においても、様々な病変に対して寡分割照射を採用した臨床試験が数多く存在する[1]。国内外の情勢を鑑みると、更なる寡分割照射時代に突入することが予想される。

治療期間中の照射位置誤差とそれに伴う線量誤差を考慮に入れた線量分布を計算できる商用放射線治療計画装置は存在するが、肝心の体内臓器の状態変化を考慮することはできない。また、治療当日に撮影した画像と非剛体画像レジストレーションを活用して治療当日における体内臓器の線量分布を把握することも可能であるが、呼吸性移動を伴う病変に対する精度は極めて懐疑的である[2]。呼吸性移動対策を講じる場合に病変の視認性向上を目的に体内マーカーを留置することが多いが、これは患者にとって侵襲的である。しかも、体内マーカーが病変の動きと完全に同調しておらず[3,4]、また、正常臓器の動きを反映しているわけでもない。

[1] Timmerman R. Semin Radiat Oncol, 18, 215~222, 2008.

[2] Brock K, et al. Med Phys, 44, e43~76, 2017.

[3] Takamiya M, et al. Med Phys, 43, 1907~1912, 2016.

[4] Nakamura M, et al. Phys Med, 31, 934~941, 2015.

## 2. 研究の目的

本研究では、膨大な時空間画像データと多臓器変位の自動認識技術によって創出された統計呼吸動体モデルを軸に、呼吸性移動を伴う病変に対する寡分割高精度放射線治療における諸問題を解決することを目的とした。

上記の諸問題を解決するために、膨大な時空間画像データに基づいて以下の 2 点に取り組んだ。

- (1) 多臓器変位を記述した統計呼吸動体モデルの創出
- (2) 統計呼吸動体モデルを用いた非侵襲呼吸性移動対策照射法の開発

## 3. 研究の方法

### (1) 多臓器変位を記述した統計形状モデルの創出

臓器の輪郭データセットに対して、局所変位を含めた臓器の自動位置合わせを行い、患者の個人差を表現できる統計呼吸動体モデルを創出した。輪郭が局所的に大きく変形している場合は、その原因を精査した後、位置合わせアルゴリズムを改良した。

### (2) 統計呼吸動体モデルを用いた非侵襲呼吸性移動対策照射法の開発

統計呼吸動体モデル、4D-CT 画像及び動体追尾照射当日に取得した X 線画像と呼吸波形を用いて、時刻  $t$  における体内画像を生成し病変位置の推定を可能とするアルゴリズムを開発した。一方、病変位置の推定が困難である場合を想定し、事前に体内特徴点と病変の空間的関係性を学習することで、病変周囲の体内特徴点群から病変位置を推定するアルゴリズムも開発した。

## 4. 研究成果

### (1) 多臓器変位を記述した統計形状モデルの創出

#### 前立腺癌に対する統計形状モデルの構築

統計呼吸動体モデルの前段階として、統計形状モデルを創出した。対象は局所前立腺癌に対して強度変調放射線治療を施行した 220 症例とした。DICOM-RT structure ファイルに記述されている前立腺、精嚢、直腸、膀胱の三次元輪郭情報を PLY 形式で出力し、各臓器の統計形状モデルを創出した。その際、以下の異なる 2 パターンの位置合わせアルゴリズムを適用した。

(A)一様アフィン変換+区分線形アフィン変換による概形の位置合わせに加え、離散ラプラシアン

形状修正による局所形状位置合わせ

(B)一様アフィン変換+区分線形アフィン変換による概形の位置合わせ

まず、アルゴリズム(A)について、異なる症例数から創出した統計形状モデルの位置合わせ精度を検討した。220 例に症例番号を割り振り、前半 10, 20, 50 症例から統計形状モデルを創出し、後半 100 症例に対して位置合わせを実行した。その結果、いずれの症例数から創出された統計形状モデルを用いても位置合わせ精度に有意差は見られなかった。

次に、アルゴリズム(A)及び(B)を用いて前半 20 症例から各臓器の統計形状モデルを創出し、残りの 200 症例の各臓器とのハウスドルフ距離を算出した。その結果、前立腺、精嚢、直腸、膀胱におけるハウスドルフ距離の中央値は、アルゴリズム(A)では 0.2 mm, 0.4 mm, 0.5 mm, 0.4 mm であり、アルゴリズム(B)では 2.9 mm, 5.9 mm, 10.9 mm, 8.6 mm であった。位置合わせが完了するまでの時間の中央値は、アルゴリズム(A)では 53.8 s, 100.9 s, 44.1 s, 70.6 s であり、アルゴリズム(B)では 3.8 s, 15.4 s, 3.8 s, 5.2 s であった。

### 膵臓癌に対する統計形状モデルの構築

膵臓がん患者に対する統計的形状モデル(SSM)に基づく計画危険臓器(sPRV)の概念を導入した。計画標的体積(PTV)の重心位置の患者間のばらつきを補正した後、変形可能なテンプレートモデルを胃と十二指腸の個別モデルに登録することで、患者間のばらつきの異なる要素に着目したsPRVを作成した。

2009年2月から2019年4月の間に息止めIMRT/VMATを施行した膵臓がん症例のうち、PTV、胃及び十二指腸の輪郭が入力されている120症例を対象に本手法の有用性を検討した。まず、臓器変形の空間的な偏りのみを評価するため、各臓器の位置ずれは除去した。次に、胃及び十二指腸の平均形状モデルを作成し、各症例の臓器表面からの法線ベクトル及び変形量を算出した。各臓器の法線ベクトルに対して固定値R(mm)で拡張した領域cPRV(R)を設定し、平均形状モデルにおいてcPRV(R)との体積差が1%未満となる法線ベクトルの変形量を、臓器存在確率P(%)を用いて定義した。最後に、leave-one-out交差検証を用いて統計学的PRVであるsPRV(P)を生成し、PTVと各PRVとのオーバーラップ率を算出した。胃及び十二指腸におけるR-P関係はそれぞれ $P=50+50 \times (0.79 / (1+46.61 \exp(-0.35 \times R)))$ 及び $P=50+50 \times (0.90 / (1+44.63 \exp(-0.39 \times R)))$ で表現できた。胃においてR=10mmの場合、PTVとsPRV(P)の平均オーバーラップ率はcPRV(10)よりも10%小さく、患者の78.3%(94症例)でオーバーラップ率が低減した。一方、十二指腸においてはPTVとsPRV(P)の平均オーバーラップ率はcPRV(R)よりも大きく、PTV周辺の空間的な偏りを過小評価している可能性が示唆された。胃及び十二指腸はPTV周辺の空間的な変形の偏りが大きいため、統計学的手法を用いたPRVマージンの設定が有用であることが分かった。

### 子宮頸癌に対する統計形状モデルの構築

子宮頸がんに対するMR画像誘導放射線治療期間中に得られた日々のMR画像から子宮頸部、体部の非等方マージンを決定した。子宮頸がん11症例を対象とした。骨構造に基づいて計画及び各照射回のMR画像の位置合わせを行った。続いて、臓器輪郭メッシュを得た後、計画時の基準輪郭外頂点を特定した。患者毎に輪郭外頂点の95%を内包する非等方マージンを算出し、各方向で90パーセントイル値をpopulation-basedマージンと定義した。各患者に対してpopulation-basedマージンまたは従来マージンを適用して拡張ROIを作成し、カバー率と体積を求めた。頸部、体部に対する従来マージン[mm]は(左, 右, 腹, 背, 頭, 尾) = (5, 5, 15, 15, 10, 10)及び(10, 10, 20, 20, 15, 15)とした。頸部、体部のpopulation-basedマージン[mm]は(左, 右, 腹, 背, 頭, 尾) = (7, 7, 11, 6, 11, 7)及び(13, 12, 25, 18, 18, 20)で、カバー率の中央値(範囲)は、頸部97%(94-100)、体部99%(82-100)であった。従来マージンでは、頸部98%(92-100)、体部97%(76-100)であった。Population-basedマージンを付与して作成した拡張ROIの体積は従来マージンに比べ頸部で中央値(範囲)0.8(0.8-0.9)倍、体部で1.2(1.2-1.4)倍であった。本研究で提案した非等方マージン決定法により、頸部ではカバー率を担保した上で拡張ROIを縮小できた。一方、体部ではカバー率を改善させるために拡張ROIの拡大が必要であることも明らかにした。

### (2) 統計形状モデルを用いた非侵襲呼吸性移動対策照射法の開発

X線透視画像上で目視不可能な臓器における動体追尾放射線治療への応用のために、複数臓器の多次元特徴量に基づく腫瘍変位推定法を提案した。25症例の4D-CTから抽出した10位相の臓器形状データを対象に臓器形状テンプレートとの形状間位置合わせを行うことによって頂点単位の統計的変位モデルを構築した。胃、肝臓、左腎、右腎、十二指腸の多次元特徴量からLASSO回帰を用いて膵臓の重心変位を求めた。その結果、胃、十二指腸、左腎の重心変位が推定に有効な特徴量として選定され、膵臓の重心変位を $2.75 \pm 1.70$  mmの誤差で推定可能であった。

次に、本研究を拡張させ、単一視点の投影画像から変形可能な形状を再構成するためのImage-to-Graph Convolutional Network(IGCN)を提案した。IGCNは形状/変形の変動性とワープされた投影スキームに基づく深い画像特徴との関係を学習する。呼吸性移動を有する腹部臓器を対象とした実験では、正則化損失関数を用いた提案フレームワークが1枚のデジタル再構成X線画像から肝臓の形状を平均距離誤差3.6mmで再構成できることを確認した。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計13件（うち査読付論文 11件 / うち国際共著 1件 / うちオープンアクセス 8件）

1. 著者名 Norimasa Matsushita, Mitsuhiro Nakamura, Makoto Sasaki, Shinsuke Yano, Michio Yoshimura, Takashi Mizowaki	4. 巻 21
2. 論文標題 Analyses of integrated EPID images for on-treatment quality assurance to account for interfractional variations in volumetric-modulated arc therapy	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 J Appl Clin Med Phys	6. 最初と最後の頁 110-116
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/acm2.12805.	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Takashi Shintani, Mitsuhiro Nakamura, Yukinori Matsuo, Yuki Miyabe, Nobutaka Mukumoto, Takamasa Mitsuyoshi, Yusuke Iizuka, Takashi Mizowaki	4. 巻 61
2. 論文標題 Investigation of 4D dose in volumetric modulated arc therapy-based stereotactic body radiation therapy: Does fractional dose or number of arcs matter?	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 J Radiat Res	6. 最初と最後の頁 325-334
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1093/jrr/rrz103.	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Ryo Ashida, Mitsuhiro Nakamura, Michio Yoshimura, Takashi Mizowaki	4. 巻 21
2. 論文標題 Impact of interfractional anatomical variation and setup correction methods on interfractional dose variation in IMPT and VMAT plans for pancreatic cancer patients: A planning study	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 J Appl Clin Med Phys	6. 最初と最後の頁 49-59
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/acm2.12883	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Makoto Sasaki, Mitsuhiro Nakamura, Tomohiro Ono, Ryo Ashida, Michio Yoshimura, Manabu Nakata, Takashi Mizowaki, Naozo Sugimoto	4. 巻 61
2. 論文標題 Positional repeatability and variation in internal and external markers during volumetric-modulated arc therapy under end-exhalation breath-hold conditions for pancreatic cancer patients	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 J Radiat Res	6. 最初と最後の頁 755-765
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1093/jrr/rraa054	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Noriko Kishi, Mitsuhiro Nakamura, Hideaki Hirashima, Nobutaka Mukumoto, Keiichi Takehana, Megumi Uto, Yukinori Matsuo, Takashi Mizowaki	4. 巻 21
2. 論文標題 Validation of the clinical applicability of knowledge-based planning in single-isocenter volumetric modulated arc therapy for multiple brain metastasis.	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 J Appl Clin Med Phys	6. 最初と最後の頁 141~150
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/acm2.13022	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 羽瀬 拓視, 中尾 恵, 今西 勁峰, 中村 光宏, 松田 哲也	4. 巻 156
2. 論文標題 Cone-beam CT画像の画質改善を目的とした3次元敵対的生成ネットワークの提案	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 電子情報通信学会技術報告	6. 最初と最後の頁 45-50
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Fei Tong, 中尾 恵, 武 淑瓊, 中村 光宏, 松田 哲也	4. 巻 156
2. 論文標題 グラフ畳み込みネットワークを用いた単一X-ray 画像からの3次元臓器形状の再構成	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 電子情報通信学会技術報告	6. 最初と最後の頁 51-56
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Mitsuhiro Nakamura, Megumi Nakao, Hideaki Hirashima, Hiraku Iramina, Takashi Mizowaki	4. 巻 60
2. 論文標題 Performance evaluation of a newly developed three-dimensional model-based global-to-local registration in prostate cancer	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 J Radiat Res	6. 最初と最後の頁 595-602
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1093/jrr/rrz031	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Marc Ziegler, Mitsuhiro Nakamura, Hidekaki Hirashima, Ryo Ashida, Michio Yoshimura, Christoph Bert, Takashi Mizowaki	4. 巻 46
2. 論文標題 Accumulation of the delivered treatment dose in VMAT with breath-hold for pancreatic cancer patients based on daily CBCT images with limited field-of-view	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Med Phys	6. 最初と最後の頁 2969-2977
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/mp.13566	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

1. 著者名 Yuta Miyamae, Mami Akimoto, Makoto Sasaki, Takahiro Fujimoto, Shinsuke Yano, Mitsuhiro Nakamura	4. 巻 21
2. 論文標題 Variation in target volume and centroid position due to breath holding during four dimensional computed tomography scanning: A phantom study	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 J Appl Clin Med Phys	6. 最初と最後の頁 11-17
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/acm2.12692	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Makoto Sasaki, Mitsuhiro Nakamura, Nobutaka Mukumoto, Yoko Goto, Yoshitomo Ishihara, Manabu Nakata, Naozo Sugimoto, Takashi Mizowaki	4. 巻 20
2. 論文標題 Variation in accumulated dose of volumetric-modulated arc therapy for pancreatic cancer due to different beam starting phases	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 J Appl Clin Med Phys	6. 最初と最後の頁 118-126
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/acm2.12692	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Mitsue Kawamura, Michio Yoshimura, Hiromi Asada, Mitsuhiro Nakamura, Yukinori Matsuo, Takashi Mizowaki	4. 巻 14
2. 論文標題 A scoring system predicting acute radiation dermatitis in patients with head and neck cancer treated with intensity-modulated radiotherapy	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Radiat Oncol	6. 最初と最後の頁 1-9
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1186/s13014-019-1215-2	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 岩井 泰児, 中尾 恵, 中村 光宏, 松田 哲也	4. 巻 118
2. 論文標題 動体追尾放射線治療のための複数周辺臓器の多次元特徴量に基づく膵癌変位推定法	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 信学技報	6. 最初と最後の頁 7~12
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計9件 (うち招待講演 1件 / うち国際学会 2件)

1. 発表者名 中村 光宏, 椋本 宜学, 田邊 裕朗, 飯塚 裕介, 吉村 通央, 小久保 雅樹, 松尾 幸憲, 溝脇尚志
2. 発表標題 深層学習を用いた腫瘍位置予測モデルの開発
3. 学会等名 第33回日本放射線腫瘍学会学術大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 岩井 泰児, 中尾 恵, 中村 光宏, 松田 哲也
2. 発表標題 複数周辺臓器の形状特徴に基づく膵癌変位推定法
3. 学会等名 第63回システム制御情報学会研究発表講演会
4. 発表年 2019年 ~ 2020年

1. 発表者名 中村 光宏
2. 発表標題 生体医工学と医学物理学の融合がもたらす放射線治療学の新展開
3. 学会等名 第58回日本生体医工学学会大会 (招待講演)
4. 発表年 2019年 ~ 2020年

1. 発表者名 Shuqiong Wu, Megumi Nakao, Keiho Imanishi, Mitsuhiro Nakamura, Tetsuya Matsuda
2. 発表標題 Computed Tomography Image Reconstruction from Neighbor Slices using 2D U-Net Convolutional Networks
3. 学会等名 第38回日本医用画像工学会大会
4. 発表年 2019年～2020年

1. 発表者名 中村 光宏, 中尾 恵, 棕本 宜学, 芦田 良, 平島 英明, 吉村 通央, 溝脇 尚志
2. 発表標題 統計学的手法によるマージン算定アルゴリズムの開発
3. 学会等名 第32回日本放射線腫瘍学会学術大会
4. 発表年 2019年～2020年

1. 発表者名 Iwai T, Nakao M, Nakamura M, Matsuda T
2. 発表標題 A Preliminary Study on a Statistical Deformation Model of Multiple Organs for Reconstructing Respiratory Displacement
3. 学会等名 40th Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society (EMBC'18) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Nakamura M, Nakao M, Hirashima H, Iramina H, Mizowaki T
2. 発表標題 Performance Evaluation of 3D Model-Based Global-To-Local Deformable Surface Registration of Multi Organs in Prostate Cancer
3. 学会等名 AAPM2018 (国際学会)
4. 発表年 2018年



1. 発表者名 岩井 泰児, 中尾 恵, 中村 光宏, 松田 哲也
2. 発表標題 呼吸性変位を表現可能な複数臓器の統計的変位モデル構築の試み
3. 学会等名 第57回日本生体医工学会大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 中村 光宏, 中尾 恵, 平島 英明, 伊良皆 拓, 溝脇 尚志
2. 発表標題 前立腺領域における三次元モデルに基づく大域的-局所的位置合わせアルゴリズムの性能評価
3. 学会等名 第32回高精度放射線外部照射部会学術大会
4. 発表年 2018年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究 分担者	中尾 恵  (Nakao Megumi)  (10362526)	京都大学・医学研究科・教授   (14301)	

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------