

令和 6 年 6 月 5 日現在

機関番号：11301

研究種目：基盤研究(A) (一般)

研究期間：2021～2023

課題番号：21H04530

研究課題名(和文)4DX線エラストグラフィ法の基盤技術の開発

研究課題名(英文)Development of 4D X-ray elastography

研究代表者

矢代 航(Yashiro, Wataru)

東北大学・国際放射光イノベーション・スマート研究センター・教授

研究者番号：10401233

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 32,300,000円

研究成果の概要(和文)：世界で初めてX線エラストグラフィCTの実現に成功した。すなわち、シンクロトロン放射光施設の白色放射光、独自に開発した試料加振回転装置、独自の配置の回折格子干渉計(高感度変位検出法)などを活用することにより、250 msの時間分解能、10 μ mの空間分解能で、ブタ肺内部の貯蔵弾性率、損失弾性率の三次元分布を可視化することに成功した。また、実験室のX線源でも、最先端の高速フォトンカウンティングX線画像検出器、深層学習に基づくデノイジング技術、および圧縮センシングに基づくCT再構成技術などにより、加振により試料が変形するよりも短い時間で、世界で初めてX線エラストグラフィCTを実現した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究では、世界で初めて、X線を用いて高い空間分解能・時間分解能で、試料内部の貯蔵弾性率、損失弾性率の三次元分布を可視化するX線エラストグラフィCTに成功した。当初はシンクロトロン放射光施設の白色放射光による原理実証であったが、最先端の高速X線フォトンカウンティング画像検出器と、深層学習や圧縮センシングなどのデータサイエンスの活用により、実験室X線源でも、高い時空間分解能でX線エラストグラフィの実現に成功した。この成果は、ソフトマテリアルの新たなツールを提供するだけでなく、新たな医療診断機器の実現可能性も示しており、学術的有効性だけでなく、社会的な意義も示すことができたと考えている。

研究成果の概要(英文)：We have succeeded in realizing the world's first X-ray elastography CT. By utilizing white synchrotron radiation beams at synchrotron radiation facilities, an originally developed sample excitation and rotation device, and a uniquely arranged grating interferometer (high-sensitivity displacement detection method), we succeeded in visualizing the three-dimensional distribution of storage and loss elastic moduli inside a pig lung with a temporal resolution of 250 ms and a spatial resolution of 10 μ m. Also, the world's first X-ray elastography CT even with a laboratory X-ray source was realized in a shorter time than the deformation due to sample vibration, using a state-of-the-art high-speed photon-counting X-ray image detector, a denoising technique based on deep learning, and a CT reconstruction technique based on compressed sensing.

研究分野：X線光学

キーワード：X線 イメージング トモグラフィ エラストグラフィ 粘弾性体 複素弾性率 ソフトマテリアル
医療診断

様式 C-19、F-19-1 (共通)

1. 研究開始当初の背景

エラストグラフィは、生体のような粘弾性体内部の弾性率を画像化する方法で、1990年頃に超音波(US)、磁気共鳴(MR)を用いた方法が相次いで提案された。現在では医療診断法として臨床応用に至っている。生体組織のずり弾性率は7桁程度のダイナミックレンジをもつことが知られており、ずり弾性波の伝播を利用してずり弾性率を画像化する動的エラストグラフィなどが広く普及している。しかしながらUS、MRともに、先端的な機器でもサブmm空間分解能であり、数100 μm 以下のスケールでの可視化は実現されていない。

一方で、レントゲン撮影に代表される10keV前後以上のエネルギーの硬X線(本申請では「X線」と呼ぶ)を用いたイメージングは、US、MRに比べて空間分解能が高いことが特長の一つである。50 μm 程度の空間分解能も容易に実現できる。しかしながら、X線イメージングを用いて試料内の弾性率をモデルフリーで画像化した、真の意味での「X線エラストグラフィ」の例はこれまでなかった。

研究代表者らは最近、不透明な粘弾性体内の複素弾性率の分布をMR、USよりもはるかに高い空間分解能で可視化できるX線エラストグラフィの原理実証に世界で初めて成功した[1]。この原理実証は、医療診断法の開発を目指したものであり、実験室X線源を用いた結果であるため、空間分解能75 μm 程度、時間分解能10秒程度の2D画像に留まっている。しかしながら、現存の第三世代、あるいは次世代の高輝度放射光源をフル活用すれば、現状をはるかに超える時間分解能、数10 μm 空間分解能、空間分解能のX線エラストグラフィが実現できると期待された。

2. 研究の目的

本研究では、最先端のX線イメージング技術とデータサイエンス技術を駆使して、高時間分解能、高空間分解能のX線エラストグラフィCT(4DX線エラストグラフィ)の実現可能性について検討した。本研究により開拓を目指した時空間領域は実験レオロジーにおける新たな領域で、様々な未知の現象が潜んでいると期待される。例えば材料破壊であれば、研究代表者らは最近、世界最速の10ms時間分解能でゴム材料破壊の3D可視化に成功したが、引張前の静的な構造や弾性率の空間分布、さらには動的過程における構造や弾性率の変化などが相互に関係する複雑な現象と考えられる。粘弾性体の挙動は数値シミュレーションでも計算されているが、粘弾性体モデルは無数に存在し、様々な仮定を含むのが一般的で、現象の本質的な解明には至っていない。本研究は、このような材料破壊メカニズムの解明に大きく貢献するものであり、学術的な意義に止まらず、持続可能社会に向けた長寿命製品開発など、産業応用の観点からも極めて優先順位が高い研究と考えている。

3. 研究の方法

図1に本研究で採用した高空間分解能・高時間分解能X線エラストグラフィCTの実験配置の例を示す。実験はSPring-8 BL28B2の偏向電磁石、Photon Factory BL14Cの縦型ウィグラーからの白色放射光(図1の例)や、実験室X線源のタングステンターゲットからの連続X線などを用いて行った。試料を加振するため、スリップリングとステッピングモーターからなる試料加振回転装置などを開発し、様々な加振周波数でX線エラストグラフィCTの実現可能性について検討した。

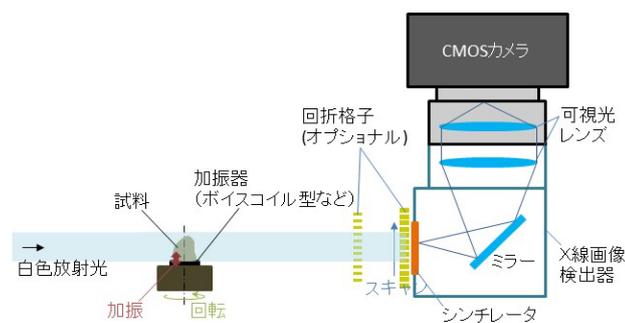


図1 白色放射光による高時間分解能・高空間分解能X線エラストグラフィCTの実験配置。

また、高感度に変位を検出するための新しいアイデアとして、回折格子干渉計を構成し、完全に平行配置にして1/4周期ずらす方法についても試みた(変位の検出の観点から原理的に最高感度の配置になっており、2022年に特許出願済み[2])。また高空間分解能化のための別の試みとして、実験室のマイクロフォーカスX線源(タングステンターゲット)による拡大投影型光学系によるX線エラストグラフィCTの開発も目指した。

4. 研究成果

図2は、図1の実験配置でX線エラストグラフィCTに世界で初めて成功した成果の例である。試料はブタ肺で、時間分解能250ミリ秒、空間分解能10 μm である。左上は投影像、右上は加振の位相が同じ投影像だけを集めてCT再構成した結果の例、左下および中下はCT再構成像の縦断面像およびその像内における水平方向および鉛直方向の変位であり、右下はこれらから

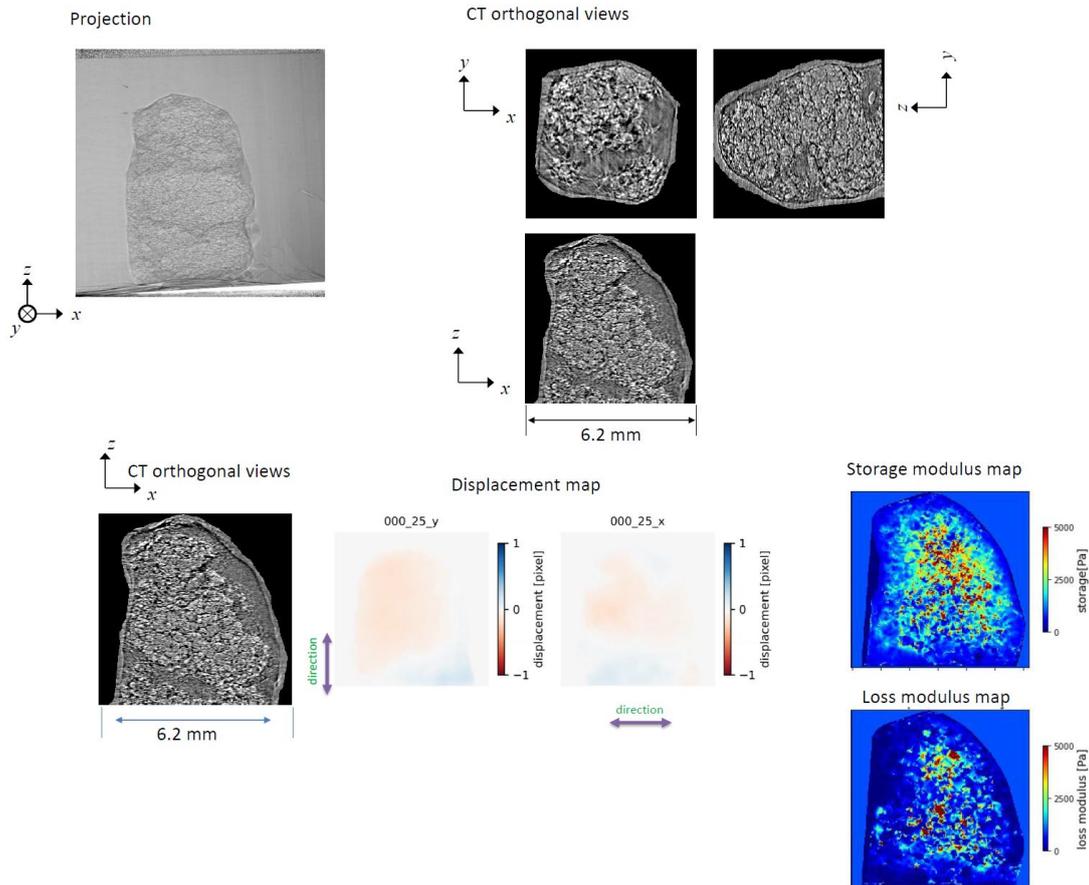


図2 時間分解能 250 ms、空間分解能 10 μm での X 線エラストグラフィ CT の結果。(左上) 投影像の例、(右上) 加振の位相が同じ投影像だけをまとめて CT 再構成した結果の例、(左下および中下) CT 再構成像の縦断面像およびその像内における水平方向および鉛直方向の変位、(右下) 縦断面内の複素弾性率 (貯蔵弾性率および損失弾性率) の分布。

求めた縦断面内の複素弾性率 (貯蔵弾性率および損失弾性率) の分布である。MRI では、変位の検出方向を一方向に特定する必要があるが、X 線エラストグラフィ CT では 1 回の測定で三次元方向の変位の検出が可能であり、その特徴を活かした成果であるといえる。さらに、回折格子干渉計により原理的に最高感度で変位検出を行うことにも成功した。[2]。加振周波数も、従来は 100 Hz 程度であったが、1,200 Hz の振動での変位の検出にも成功した。

一方で、実験室 X 線源でも X 線エラストグラフィ CT の実現を目指した。図 2 の成果は、時間分解能を高くすることで、加振により試料が変形する前に CT 再構成に必要な投影像を取り切ることによって得られたが、実験室 X 線源の場合、X 線の強度が白色放射光に比べてはるかに弱いいため、撮影時間が長かかってしまい、その間に、試料が変形してしまうことが問題であった。しかしながら、非常に S/N のよい最先端の高速 X 線フォトンカウンティング画像検出器 (RIGAKU 社製 UHSS-500K Si センサー) を用い、さらに深層学習に基づくデノイジング法と圧縮センシングに基づく CT 再構成法を適用することにより、画素サイズ 38 μm で X 線エラストグラフィ CT の実現に成功した。実験室 X 線源については、さらにマイクロフォーカス X 線源による X 線エラストグラフィを試みた。空間分解能 400 nm でのイメージングが可能であることまでは確認できたが、撮影時間が長く、試料が変形するなどの問題で、まだ成功に至っていないが、今後、投影数を極端に減らした最先端の圧縮センシングに基づく CT 再構成を適用することにより、空間分解能 1 μm を超える高空間分解能での X 線エラストグラフィ CT の実現の見込みも立ってることができた。

実験室 X 線源で世界で初めて X 線エラストグラフィ CT が実現できたことは、ソフトマテリアルの新たなツールを提供するだけでなく、医療診断機器の実現も視野に入ったことを示しており、学術的有効性だけでなく、社会的な意義も示すことができたと考えている。

<引用文献>

- [1] Chika Kamezawa, Tomokazu Numano, Yoshihiko Kawabata, Hiroyasu Kanetaka, Maiko Furuya, Kotone Yokota, Hidemi Kato, Akio Yoneyama, Kazuyuki Hyodo, and Wataru Yashiro, Appl. Phys. Express 13 (2020) 042004.
 [2] 特願 2022-015491 (PCT 出願) .

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計7件（うち査読付論文 7件/うち国際共著 2件/うちオープンアクセス 3件）

1. 著者名 YASHIRO Wataru, LIANG Xiaoyu, KAJIWARA Kentaro, HASHIMOTO Koh, KUDO Hiroyuki, MASHITA Ryo, BITO Yasumasa, KISHIMOTO Hiroyuki	4. 巻 95
2. 論文標題 ゴム破壊現象の高速3D観察	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 NIPPON GOMU KYOKAISHI	6. 最初と最後の頁 359 ~ 362
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2324/gomu.95.359	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 矢代航	4. 巻 28
2. 論文標題 ミリ秒時間分解能4DX線トモグラフィの開発・応用	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 検査技術	6. 最初と最後の頁 49 ~ 54
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 -

1. 著者名 矢代航	4. 巻 72
2. 論文標題 実材料の4DX線CT観察	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 高分子	6. 最初と最後の頁 55 ~ 57
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 -

1. 著者名 矢代航, 梁晓宇, Wolfgang Voegeli, 荒川悦雄, 白澤徹郎, 梶原堅太郎, 藤井克哉, 橋本康, 工藤博幸	4. 巻 51
2. 論文標題 湾曲単結晶による高速X線CT	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 光学 (日本光学会誌)	6. 最初と最後の頁 351-356
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 -

1. 著者名 Kamezawa Chika, Cramer Avilash, Krull Wolfgang, Yashiro Wataru, Hyodo Kazuyuki, Gupta Rajiv	4. 巻 11
2. 論文標題 Dynamic X-ray elastography using a pulsed photocathode source	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Scientific Reports	6. 最初と最後の頁 24128
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1038/s41598-021-03221-y	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 該当する

1. 著者名 Harasse Sebastien, Kajiwara Kentaro, Datekyu Masanari, Liang Xiaoyu, Yashiro Wataru	4. 巻 4
2. 論文標題 Regularized phase shift estimation in X-ray grating interferometry	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 OSA Continuum	6. 最初と最後の頁 2813 ~ 2813
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1364/osac.442460	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 該当する

1. 著者名 Yashiro Wataru, Voegeli Wolfgang, Kudo Hiroyuki	4. 巻 11
2. 論文標題 Exploring Frontiers of 4D X-ray Tomography	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Applied Sciences	6. 最初と最後の頁 8868 ~ 8868
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3390/app11198868	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 -

〔学会発表〕 計49件 (うち招待講演 45件 / うち国際学会 7件)

1. 発表者名 矢代航
2. 発表標題 放射光による組織イメージングの最前線
3. 学会等名 第128回日本解剖学会総会・全国学術集会 (招待講演)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 矢代航
2. 発表標題 放射光によるミリ秒4D-X線CTの最前線
3. 学会等名 日本機械学会東北支部 第58期総会・講演会（招待講演）
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 矢代航
2. 発表標題 NanoTerasuイメージングビームライン概要
3. 学会等名 次世代放射光施設NanoTerasuセミナー（招待講演）
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 矢代航
2. 発表標題 次世代放射光施設の計測データ解析
3. 学会等名 UDACキックオフシンポジウム（招待講演）
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 矢代航
2. 発表標題 放射光によるバイオメディカルイメージング技術の最前線
3. 学会等名 量子科学技術研究開発機構研究会（招待講演）
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 矢代航
2. 発表標題 非平衡系のための4DX線CTの開発
3. 学会等名 第3回天然ゴム研究会『天然ゴムに学ぶサーキュラー・バイオエコノミー社会におけるものづくり』（招待講演）
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 矢代航
2. 発表標題 放射光イメージング 第六回（第二部）
3. 学会等名 FSBLワークショップ第3シリーズ（招待講演）
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 矢代航
2. 発表標題 放射光イメージング 第六回（第一部）
3. 学会等名 FSBLワークショップ第3シリーズ（招待講演）
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 矢代航
2. 発表標題 ミリ秒オーダー時間分解能X線トモグラフィの開拓的研究
3. 学会等名 Optics & Photonics Japan 2022 (OPJ2022)（招待講演）
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Wataru Yashiro
2. 発表標題 Recent Advances and Future Potential of Synchrotron X-ray Tomography with Millisecond-Order Temporal Resolution
3. 学会等名 The 6th QST International Symposium (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Wataru Yashiro
2. 発表標題 Millisecond-order 4D X-ray Tomography
3. 学会等名 The Asia Oceania International Conference on Synchrotron Radiation Instruments 2022 (AO-SRI 2022) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 矢代航
2. 発表標題 エックス線光学素子のニーズ ~ 新プロセス技術への期待 ~
3. 学会等名 シリコン材料・デバイス研究会 (SDM) 「プロセス科学と新プロセス技術」 (招待講演)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 矢代航
2. 発表標題 ミリ秒時間分解能マルチビーム4DX線CTの開発とその応用 (SPring-8長期課題報告)
3. 学会等名 SPring-8シンポジウム2022
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 矢代航
2. 発表標題 放射光イメージング 第五回（第二部）
3. 学会等名 FSBLワークショップ第3シリーズ（招待講演）
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 矢代航
2. 発表標題 放射光イメージング 第五回（第一部）
3. 学会等名 FSBLワークショップ第3シリーズ（招待講演）
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 矢代航
2. 発表標題 BL09W X線イメージング・トモグラフィ
3. 学会等名 第4回コアリションBLエンドステーション利用技術説明会（招待講演）
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 矢代航
2. 発表標題 微細加工のX線・中性子イメージングへの応用
3. 学会等名 1st Nano-Micro Fabrication Symposium (NMFS2022)（招待講演）
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 矢代航
2. 発表標題 トモグラフィで時空間フロンティアを拓く
3. 学会等名 第14回日本放射光学会 放射光基礎講習会「放射光の基礎と活用の可能性」(招待講演)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 矢代航
2. 発表標題 高輝度放射光による4D時空間フロンティアの開拓
3. 学会等名 第350回日本材料学会疲労部門委員会研究討論会(招待講演)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 矢代航
2. 発表標題 放射光イメージング 第五回
3. 学会等名 量子ビーム分析アライアンス(2022)(招待講演)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 矢代航
2. 発表標題 放射光イメージング 第四回
3. 学会等名 量子ビーム分析アライアンス(2022)(招待講演)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 矢代航
2. 発表標題 放射光イメージング 第三回
3. 学会等名 量子ビーム分析アライアンス(2022)(招待講演)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 矢代航
2. 発表標題 X線イメージングの基礎と応用 第4回(第二部)
3. 学会等名 FSBLワークショップ第3シリーズ(招待講演)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 矢代航
2. 発表標題 X線イメージングの基礎と応用 第4回(第一部)
3. 学会等名 FSBLワークショップ第3シリーズ(招待講演)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 矢代航
2. 発表標題 放射光イメージング 第二回
3. 学会等名 量子ビーム分析アライアンス(2022)(招待講演)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Wataru Yashiro
2. 発表標題 Synchrotron X-ray Tomography with Millisecond-Order Temporal Resolution
3. 学会等名 The 1st EIC Pathfinder-JST CREST Joint International Workshop (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 矢代航
2. 発表標題 放射光イメージング 第一回
3. 学会等名 量子ビーム分析アライアンス (2022) (招待講演)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 矢代航
2. 発表標題 X線で4D世界のフロンティアを拓く
3. 学会等名 2022年度第1回物理工学科教室談話会 (招待講演)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Wataru Yashiro, Hitoshi Soyama
2. 発表標題 Introduction of Partners from Tohoku University
3. 学会等名 MHz Tomoscopy Kick-off Meeting (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 矢代航
2. 発表標題 X線イメージングの基礎と応用 第3回(第二部)
3. 学会等名 FSBLワークショップ第3シリーズ(招待講演)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 矢代航
2. 発表標題 X線イメージングの基礎と応用 第3回(第一部)
3. 学会等名 FSBLワークショップ第3シリーズ(招待講演)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Wataru Yashiro
2. 発表標題 Synchrotron X-ray Tomography with Millisecond-Order Temporal Resolution
3. 学会等名 14th International Conference on Synchrotron Radiation Instrumentation (SRI2021)(招待講演)(国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 矢代航
2. 発表標題 硬X線による4D時空間イメージングの最前線
3. 学会等名 日本材料学会北海道・東北支部合同材料フォーラム(招待講演)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 矢代航
2. 発表標題 硬X線イメージングビームラインによる4D時空間フロンティアの開拓
3. 学会等名 第8回触媒学会次世代放射光勉強会（招待講演）
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 矢代航
2. 発表標題 硬X線イメージングによる4D時空間フロンティアの開拓
3. 学会等名 放射光を利用したサイエンスの展開と次世代放射光源への期待（招待講演）
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 矢代航
2. 発表標題 X線イメージングの基礎と応用 第1回（第二部） 「X線イメージング概論2」
3. 学会等名 FSBLワークショップ第3シリーズ（招待講演）
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 矢代航
2. 発表標題 非平衡系の4D時空間領域のフロンティアの開拓
3. 学会等名 第21回東北大学多元物質科学研究所研究発表会（招待講演）
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 矢代航
2. 発表標題 放射光によるミリ秒X線トモグラフィの開発
3. 学会等名 日本顕微鏡学会 第64回シンポジウム (招待講演)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 矢代航, 間下亮, 尾藤容正, 岸本浩通
2. 発表標題 ゴムの破壊過程の10 ms時間分解能4DX線CT観察
3. 学会等名 日本材料学会第20回破壊力学シンポジウム
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 矢代航
2. 発表標題 次世代3 GeV放射光施設の応用展開の可能性 最先端イメージング技術を中心に
3. 学会等名 第33回マイクロエレクトロニクス研究会 (招待講演)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 矢代航
2. 発表標題 放射光イメージング 第2回「X線トモグラフィ(概論)」
3. 学会等名 量子ビーム分析アライアンス (招待講演)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 矢代航
2. 発表標題 放射光による材料・部材の分析・評価の原理とその優位性
3. 学会等名 第41回Clayteamセミナー・第2回次世代放射光等先端分析機器活用研究会（招待講演）
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 矢代航，梶原堅太郎，工藤博幸
2. 発表標題 シンクロトロン放射光による ソフト材料のミリ秒時間分解能 X線トモグラフィ
3. 学会等名 第55回X線材料強度に関するシンポジウム
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 矢代航
2. 発表標題 ソフト材料内部の4D可視化
3. 学会等名 日本金属学会2021年秋期第169回講演大会（招待講演）
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Wataru Yashiro
2. 発表標題 Synchrotron X-ray Tomography with Millisecond-Order Temporal Resolution
3. 学会等名 The Global Summit and Expo on Laser, Optics and Photonics (GSELOP2021)（招待講演）（国際学会）
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 矢代航, 梁暁宇, Wolfgang Voegeli, 白澤徹郎, 米山明男
2. 発表標題 超伝導ウィグラーからの白色放射光と回折格子干渉計によるX線位相コントラストイメージング・トモグラフィ
3. 学会等名 第15回九州シンクロトロン光研究センター研究成果報告会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 矢代航
2. 発表標題 次世代放射光施設活用に向けたX線イメージング法開発の取組み
3. 学会等名 東北大・九州大次世代放射光シンポジウム2021 (招待講演)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 矢代航, 高橋幸生
2. 発表標題 次世代放射光による3次元可視化 BL-III (BL09W) BL- (BL10U)
3. 学会等名 第6回コアリションコンファレンス (招待講演)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Wataru Yashiro
2. 発表標題 Feasibility Study on 3D Dynamic X-ray Elastography for Soft Tissues and Soft Materials
3. 学会等名 International Conference on X-ray Optics and Applications (XOPT2021) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2021年

〔図書〕 計0件

〔出願〕 計2件

産業財産権の名称 弾性率算出方法及び弾性率算出装置	発明者 矢代航	権利者 同左
産業財産権の種類、番号 特許、PCT/JP2022/047129	出願年 2022年	国内・外国の別 外国

産業財産権の名称 弾性率算出方法及び弾性率算出装置	発明者 矢代航	権利者 東北大学
産業財産権の種類、番号 特許、特願2022-015491	出願年 2022年	国内・外国の別 国内

〔取得〕 計0件

〔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
---------------------------	-----------------------	----

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
---------	---------