

令和 3 年 6 月 15 日現在

機関番号：13301

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2017～2020

課題番号：17H02857

研究課題名(和文)連続体における不連続現象の数理モデリングと数学解析

研究課題名(英文) Mathematical modeling and analysis of discontinuous phenomena in continuum body

研究代表者

木村 正人 (KIMURA, Masato)

金沢大学・数物科学系・教授

研究者番号：70263358

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 13,100,000円

研究成果の概要(和文)：3つのチームを編成し研究を推進した。研究チーム1は、接触と剥離現象・粒子法、研究チーム2は、ゲル破壊と亀裂進展問題、研究チーム3は、摩擦項を含む不連続界面の解析と断層破壊への応用を中心に研究をすすめた。チーム1の主要な結果として、相互作用する粒子運動の連続極限問題と境界条件の数学解析、剥離を伴う双曲型PDEモデリングと解析などの成果が得られた。チーム2では、粘弾性モデルおよび粘弾性破壊モデルの変分構造の解析、亀裂の単方向進展モデルの数学解析ほかを得られた。チーム3では、接触や摩擦を含む亀裂問題の数学解析、断層破壊問題の数学解析などについて、多くの成果が得られた。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本来、滑らかに変化する現象を記述するためにニュートンやライブニッツによって発明された「微分」と「微分方程式」は、現代の科学技術における、数理モデリングとコンピュータ・シミュレーションの基礎となっている。本研究では、亀裂や界面、接触、剥離、摩擦などの様々な「不連続な現象」を微分方程式によって扱うための、数学解析・数理モデリング・数値計算の新たな手法を開発した。これは、モデリングとシミュレーションの可能性と信頼性を大きく広げることにつながる成果である。

研究成果の概要(英文)：We conducted the following three research teams. Team 1 studied the contact and delamination phenomena, and the particle systems. Team 2 studied the fracture in gel and crack propagation models. Team 3 focused on the friction and the contact on the discontinuity surface and considered applications to the fault dynamics. The main results we obtained in this project are as follows. (1) mathematical analysis of the continuous limit problem and the boundary conditions for interacting particles [Team 1], (2) mathematical modeling of hyperbolic PDEs with delamination and their analysis [Team 1], (3) variational structures for a viscoelasticity model and a viscoelastic fracture model [Team 2], (4) mathematical analysis of a unidirectional evolution model related to the crack propagation [Team 2], (5) mathematical analysis of crack problems with the friction and the contact [Team 3], (6) mathematical analysis of the fault destruction.

研究分野：応用数学・数理モデリング・数値解析・偏微分方程式

キーワード：連続体力学 亀裂問題 不連続現象 接触 摩擦 剥離 粒子法

## 1. 研究開始当初の背景

弾性体内の亀裂進展および破壊現象は、古くから理工学で研究の対象とされてきた。特に 1950 年代から 1980 年代にかけ、工学では線形破壊力学が確立され、Griffith の亀裂進展基準による安全設計は現代社会を支える基盤技術として不可欠なものとなっている。これは、亀裂が進展しないための条件を見積もるもので、亀裂先端部での応力場の特異性を数学的に取り出したエネルギー解放率や応力拡大係数などが用いられ、数学が社会的課題の解決に有効に使われた事例である。一方で、亀裂進展や破壊現象そのものの数理的説明はほとんど進んでおらず、数学的理論整備の遅れが顕著である。

## 2. 研究の目的

本研究課題では、亀裂進展や破壊現象を中心に、連続体力学における時間発展する不連続性(亀裂・界面)の総合的数理モデル理論の構築と応用展開を行う。特に、

- (1) 流体構造連成 (FSI) における接触・剥離・摩擦などの不連続現象のモデリング
- (2) フェーズ・フィールド・亀裂進展モデルの拡張とゲル破壊実験による比較検証
- (3) 動的亀裂進展解析と断層破壊のモデリング

を主要研究テーマとして取り組む。将来的な応用展開を見据えた数学的基礎研究を目指し、幅広い波及効果が期待される社会的テーマとして、非線形応答材料における破壊モデルへの拡張や、地震学における断層破壊現象への理論展開を行うことも本研究課題の目標とする。

## 3. 研究の方法

研究計画を迅速かつ確実に推進するために、研究代表者は3つの研究チームを組織し積極的に研究の指揮をとる。そのため、金沢大学や東京理科大学などで定期的に研究打合せの会合を持ち、互いの研究の進捗状況を把握しつつ、議論を深めることで着実に研究計画全体の推進を図る。それにより、様々な不連続現象の数理モデリングの知見を集積し、効率的かつ実効的に研究成果を挙げるものとする。研究代表者は全体の研究進展状況に気を配り、上記研究計画が予定通り進まない場合には、その問題点を明らかにした上で状況に応じて研究計画の修正を行う。

本研究計画では、(1) 流体や構造連成における剥離や接触、分裂などの不連続現象のモデリング、(2) フェーズ・フィールドによる亀裂進展モデルの実験検証と展開、(3) 動的亀裂進展解析と断層破壊のモデリング、について研究を推進する。研究メンバーは、応用数学者を中心にレオロジー学者や地震学者からなり、数学解析と数値解析に基づくモデリングに加え、ソフトウェアの破壊モデルや、動的断層破壊などの応用展開にも取り組む。

## 4. 研究成果

次の3つのチームを編成し研究を推進した。研究チーム1は、木村・小俣・田上を主メンバーとし、接触と剥離現象・異方的界面成長および粒子法の数理モデリングと解析をテーマとして、数値シミュレーションとモデリングをベースにそれらの数学解析を行った。研究チーム2は、木村・高石・田中を主メンバーとし、ゲル破壊と亀裂進展シミュレーションの解析をレオロジーと応用数学の分野融合型研究として推進した。研究チーム3は、木村・伊藤・平野を主メンバーとし、摩擦項を含む不連続界面の解析と断層破壊への応用を中心に研究をすすめた。

得られた成果は、別表の25件の論文および、56件の研究発表として公表されている。また、本科研費を利用して6件の国際会議が開催され、それぞれのウェブサイトが公開されている。特に、国際会議 CoM Fo S18 のプロシーディングスが Springer 社から発行済みである。

[2017 年度]

3つのチームそれぞれ主に以下の研究テーマについて研究を推進し、チーム間の相互連携および国際研究動向調査・成果発表を兼ねて、国際会議 CoM Fo S17 (OIST, 2017.9.20- 22) の開催に協力した。(1) 研究チーム1(木村・小俣・田上) 接触と剥離現象の数理モデリングと解析: 接触と剥離を伴う静弾性体および動弾性体方程式のフェーズフィールドモデルを考察し、解の弱定式化と有限要素解析を行った。また、SPH 法などの粒子法の数学解析の試みとして、粒子法における近似作用素の打ち切り誤差評価で用いる離散化パラメーターの選択に関する十分条件を導出することで、Poisson 方程式、熱方程式、および移流拡散方程式に対する一般化粒子法の誤差評価を導いた。(2) 研究チーム2(木村・高石・田中) ゲル破壊と亀裂進展シミュレーションの解析: ゲル破壊の数理モデルとして、粘弾性体方程式の勾配構造の数学解析と粘弾性体における亀裂進展モデルの提案と数値シミュレーションを行い、粘弾性破壊におけるいくつかの特徴的な性質を調べた。(3) 研究チーム3(木村・伊藤・平野) 摩擦項を含む不連続界面の解析と断層破壊への応用: 地震時の断層破壊における系のエネルギーの自己相似性について、動

の問題に対する積分方程式の観点から数学的に考察する試みを開始した。

[2018 年度]

3つのチーム間の相互連携および国際研究動向調査・成果発表を兼ねて、国際会議 CoMFoS18(京都大学, 2018.6.13-15)の開催に協力した。また、亀裂進展モデルに関する国際会議 Phase-Field Models of Fracture(Banff, Canada, 2019.3.3-8)を開催した。(1)研究チーム1(木村・小俣・田上)接触と剥離を伴う弾性体の数値モデル解析を行い、変分構造に着目した新たな数値モデルをいくつかのケースについて考察した。得られた結果の一部が、2編の研究論文として掲載された。(2)研究チーム2(木村・高石・田中)粘弾性体における亀裂進展モデルの構築を行った。また、同時に粘弾性体の Maxwell 型数値モデルの勾配流構造を発見し、それを利用した有限要素スキームの開発を行い、論文として発表した。また、亀裂進展モデルに特有の単方向型の勾配流モデルに関する数学解析の結果が、研究論文として発表された。(3)研究チーム3(木村・伊藤・平野)断層破壊などの動的破壊や、摩擦項を含む亀裂問題に関する研究を推進した。また、同テーマを中心とした国際会議 CoMFoS18 を開催した。非線形粘弾性体におけるき裂問題の数学解析の結果および、亀裂再構成の逆問題に関する研究成果を論文として発表した。

[2019 年度]

連続体力学における時間発展する不連続性(亀裂・界面)の総合的な数値モデル理論の構築と応用展開をテーマに研究チームを組織した。特に、1)フェーズ・フィールド亀裂進展モデルの様々な拡張 2)粒子法や様々な連成問題における異方的界面成長・接触・剥離・摩擦などの不連続現象のモデリング 3)動的亀裂進展解析と断層破壊のモデリングを主要研究テーマとして取り組んだ。将来的に幅広い波及効果が期待される社会的テーマとして、非線形応答材料における破壊モデルへの拡張や地震学における断層破壊現象への理論展開も行った。3つの研究チームを核にして、相互にアイデアを交換しながら有機的に共同研究を推進し、1)構造体の接触・摩擦・剥離の変分的アプローチによる数値モデリングとシミュレーション法の開発 2)双曲型自由境界問題の数学的基礎付け 3)一般化クリスタライン法を用いた異方的界面成長問題への変分的アプローチ 4)領域内に閉じ込められた粒子運動の数理解析とその応用 5)相互作用する粒子の平衡状態が粒子数無限大の極限でとる粒子密度分布の精密解析 6)ゲルなどの粘弾性体の変分型亀裂進展モデル 7)亀裂面に非貫通条件と摩擦条件を課した断層破壊モデルの数学解析など多くの成果を挙げ、それぞれ学会発表や論文執筆などを積極的に行った。また、CoMFoS19 など2つの国際会議を開催し、海外研究者との交流を行うとともに、本研究計画によって得られた研究成果の発信に努めた。

[2020 年度]

具体的な研究テーマは次のようであった。1.構造体の接触・摩擦・剥離の変分的アプローチによる数値モデリングとシミュレーション法の開発、2.一般化クリスタライン法を用いた異方的界面成長問題への変分的アプローチ、3.SPH法などの粒子法の数理解析とその応用、4.ゲルの亀裂進展実験による変分型亀裂進展モデルの信頼性検証とモデル改良、5.摩擦項を含む動弾性方程式を支配方程式とする亀裂問題の数学的定式化とその解析、6.断層破壊および動的自己相似亀裂の解析。2020年度内には、計7編の査読付き論文の出版、16件の学会発表、1件のオンライン国際会議の開催、を行うなど、コロナ禍において様々な制約がある中、活発な研究推進と研究成果発表を推し進めることができた。

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計25件（うち査読付論文 25件 / うち国際共著 11件 / うちオープンアクセス 9件）

1. 著者名 Kimura Masato, van Meurs Patrick	4. 巻 53
2. 論文標題 Quantitative Estimate of the Continuum Approximations of Interacting Particle Systems in One Dimension	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 SIAM Journal on Mathematical Analysis	6. 最初と最後の頁 681 ~ 709
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1137/20M1322054	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 Md. M. Murshed, K. Futai, M. Kimura, and H. Notsu	4. 巻 14
2. 論文標題 Theoretical and numerical studies for energy estimates of the shallow water equations with a transmission boundary condition	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Discrete & Continuous Dynamical Systems - S	6. 最初と最後の頁 1063 ~ 1078
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3934/dcdss.2020230	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 Itou Hiromichi, Kovtunen Victor A., Rajagopal Kumbakonam R.	4. 巻 - (オンライン公開)
2. 論文標題 Lagrange multiplier approach to unilateral indentation problems: Well-posedness and application to linearized viscoelasticity with non-invertible constitutive response	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Mathematical Models and Methods in Applied Sciences	6. 最初と最後の頁 1 ~ 26
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1142/S0218202521500159	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 Hirano Shiro, Itou Hiromichi	4. 巻 223
2. 論文標題 Parameter interdependence of dynamic self-similar crack with distance-weakening friction	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Geophysical Journal International	6. 最初と最後の頁 1584 ~ 1596
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1093/gji/ggaa392	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 高石 武史	4. 巻 6
2. 論文標題 勾配流型き裂進展モデルの拡張について	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 武蔵野大学数理工学センター紀要	6. 最初と最後の頁 39-48
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 Tanaka Yoshimi, Takaishi Takeshi	4. 巻 89
2. 論文標題 Gradient Flow Model of Mode-III Fracture in Maxwell-type Viscoelastic Materials	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Journal of the Physical Society of Japan	6. 最初と最後の頁 084801 ~ 084801
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.7566/JPSJ.89.084801	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 Omata Seiro	4. 巻 33
2. 論文標題 A hyperbolic free boundary problem and its numerical and mathematical analysis	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Sugaku Expositions	6. 最初と最後の頁 31 ~ 55
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1090/suga/447	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 M. Kimura and P. van Meurs	4. 巻 26
2. 論文標題 Regularity of the minimiser of one-dimensional interaction energies	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 ESAIM: Control, Optimisation and Calculus of Variations	6. 最初と最後の頁 Article Num. 27
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1051/cocv/2019043	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 M. Kimura, K. Matsui, A. Muntean, H. Notsu	4. 巻 36
2. 論文標題 Analysis of a projection method for the Stokes problem using an $\alpha$ -Stokes approach	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Japan Journal of Industrial and Applied Mathematics	6. 最初と最後の頁 959-985
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s13160-019-00373-3	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 M. Kimura, P. van Meurs, Z.X. Yang	4. 巻 51 (6)
2. 論文標題 Particle dynamics subject to impenetrable boundaries: existence and uniqueness of mild solutions	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 SIAM J. Math. Anal.	6. 最初と最後の頁 5049-5076
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1137/18M1235922	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 Itou Hiromichi, Kovtunen Victor A., Rajagopal Kumbakonam R.	4. 巻 151
2. 論文標題 The Boussinesq flat-punch indentation problem within the context of linearized viscoelasticity	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 International Journal of Engineering Science	6. 最初と最後の頁 103272-103272
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.ijengsci.2020.103272	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 Y. Tanaka, M. Seii, J. Sui and M. Doi	4. 巻 152
2. 論文標題 Gel dynamics in the mixture of low and high viscosity solvents: Re-entrant volume change induced by dynamical asymmetry	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Journal of Chemical Physics	6. 最初と最後の頁 184901:1-8
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1063/5.0002266	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 Kimura Masato, Notsu Hirofumi, Tanaka Yoshimi, Yamamoto Hiroki	4. 巻 78
2. 論文標題 The Gradient Flow Structure of an Extended Maxwell Viscoelastic Model and a Structure-Preserving Finite Element Scheme	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Journal of Scientific Computing	6. 最初と最後の頁 1111 ~ 1131
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s10915-018-0799-2	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 Akagi Goro, Kimura Masato	4. 巻 266
2. 論文標題 Unidirectional evolution equations of diffusion type	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Journal of Differential Equations	6. 最初と最後の頁 1 ~ 43
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.jde.2018.05.022	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 J. Minarcik, M. Kimura, and M. Benes	4. 巻 -
2. 論文標題 Comparing motion of curves and hypersurfaces in $R^m$	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Discrete & Continuous Dynamical Systems - B	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3934/dcdsb.2019032	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 Kimura Masato, Suzuki Atsushi	4. 巻 34
2. 論文標題 Deformation Problem for Glued Elastic Bodies and an Alternative Iteration Method	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Mathematical Analysis of Continuum Mechanics and Industrial Applications III. CoMFoS 2018. Mathematics for Industry, Springer, Singapore	6. 最初と最後の頁 81 ~ 94
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/978-981-15-6062-0_6	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 Yoshiho Akagawa, Shuichi Morikawa, Seiro Omata	4. 巻 63
2. 論文標題 A numerical approach based on variational methods to an elastodynamic contact problem	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Sci. Rep. Kanazawa Univ.	6. 最初と最後の頁 29-44
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 オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Hasanov Alemdar, Itou Hiromichi	4. 巻 87
2. 論文標題 A priori estimates for the general dynamic Euler-Bernoulli beam equation: Supported and cantilever beams	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Applied Mathematics Letters	6. 最初と最後の頁 141 ~ 146
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.aml.2018.07.038	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 Itou Hiromichi, Kovtunen Victor A., Rajagopal Kumbakonam R.	4. 巻 29
2. 論文標題 Crack problem within the context of implicitly constituted quasi-linear viscoelasticity	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Mathematical Models and Methods in Applied Sciences	6. 最初と最後の頁 355 ~ 372
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1142/S0218202519500118	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 Hauptmann Andreas, Ikehata Masaru, Itou Hiromichi, Siltanen Samuli	4. 巻 35
2. 論文標題 Revealing cracks inside conductive bodies by electric surface measurements	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Inverse Problems	6. 最初と最後の頁 025004 ~ 025004
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1088/1361-6420/aaf273	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 Itou Hiromichi, Kovtunenکو Victor A., Rajagopal Kumbakonam R.	4. 巻 136
2. 論文標題 Well-posedness of the problem of non-penetrating cracks in elastic bodies whose material moduli depend on the mean normal stress	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 International Journal of Engineering Science	6. 最初と最後の頁 17 ~ 25
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.ijengsci.2018.12.005	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 Hirano Shiro	4. 巻 34
2. 論文標題 Friction Versus Damage: Dynamic Self-similar Crack Growth Revisited	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Mathematical Analysis of Continuum Mechanics and Industrial Applications III. CoMFoS 2018. Mathematics for Industry, Springer, Singapore	6. 最初と最後の頁 171 ~ 179
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/978-981-15-6062-0_12	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 Shiro Hirano	4. 巻 124
2. 論文標題 Modeling of Unilateral Rupture Along Very Long Reverse Faults	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Journal of Geophysical Research: Solid Earth	6. 最初と最後の頁 1057 ~ 1071
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1029/2018JB016511	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 Itou Hiromichi, Kovtunenکو Victor A., Rajagopal Kumbakonam R.	4. 巻 9
2. 論文標題 Contacting crack faces within the context of bodies exhibiting limiting strains	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 JSIAM Letters	6. 最初と最後の頁 61-64
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.14495/jsiaml.9.61	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 Itou Hiromichi, Kovtunenکو Victor A, Rajagopal Kumbakonam R	4. 巻 23
2. 論文標題 On the states of stress and strain adjacent to a crack in a strain-limiting viscoelastic body	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Mathematics and Mechanics of Solids	6. 最初と最後の頁 433-444
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1177/1081286517709517	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

[学会発表] 計56件 (うち招待講演 35件 / うち国際学会 37件)

1. 発表者名 Masato Kimura
2. 発表標題 Two dimensional snow crystal growth model using generalized crystalline motion
3. 学会等名 RIMS Workshop: " Pattern formation and defects in biology and materials science " (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 木村正人
2. 発表標題 一般化クリスタライン法による2次元雪結晶成長モデル
3. 学会等名 非線形偏微分方程式の理論と応用 (招待講演)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Hiromichi Itou
2. 発表標題 On unilateral contact problems with friction for an elastic body with cracks
3. 学会等名 RIMS共同研究 (公開型) 「偏微分方程式による逆問題解析とその周辺」 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Hiromichi Itou
2. 発表標題 On some problems for fracture phenomena
3. 学会等名 Russia-Japan Workshop "Mathematical analysis of fracture phenomena for elastic structures and its applications" (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Hirano, S.
2. 発表標題 A nonlinear integro-differential equation for earthquake faulting
3. 学会等名 RIMS Workshop on Analysis of inverse problems through partial differential equations and related topics (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Hirano, S.
2. 発表標題 Dynamic growth of a self-similar anti-plane crack during earthquakes
3. 学会等名 Russia-Japan Workshop "Mathematical analysis of fracture phenomena for elastic structures and its applications" (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Hirano, S.
2. 発表標題 Energy dissipation during dynamic antiplane self-similar crack growth
3. 学会等名 CoMFoS19:Mathematical Analysis of Continuum Mechanics and Industrial Applications (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Hirano, S.
2. 発表標題 Analytical solution of dynamic self-similar crack growth under distance-weakening friction
3. 学会等名 Numerical Modeling of Earthquake Motions: Waves and Ruptures (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 田中良巳
2. 発表標題 螺旋の濡れの安定形態
3. 学会等名 界面現象の数理・モデリング研究合宿2019
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 田中良巳
2. 発表標題 ソフトマターの破壊：柔らかさが応力集中を低減する2つの事例
3. 学会等名 大阪大学基礎工学研究科機能創成セミナー 兼 日本材料学会・塑性工学部門委員会講演会（招待講演）
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 増田千紘, 工藤大嗣, 松井和己, 田中良巳
2. 発表標題 狭空間での弾性シートの破壊：座屈とき裂伸展の干渉効
3. 学会等名 日本応用数理学会 第16回研究部会連合発表会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Masato Kimura
2. 発表標題 A delamination-vibration model and its finite element analysis
3. 学会等名 ComFoS18: Mathematical Analysis of Continuum Mechanics II (Kyoto, June 13-15, 2018) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Masato Kimura
2. 発表標題 Gradient flow structure of the Maxwell-Zener model for viscoelasticity
3. 学会等名 The 12th AIMS Conference on Dynamical Systems, Differential Equations and Applications (Taipei, July 5-9, 2018) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Masato Kimura
2. 発表標題 Snow crystal growth model with supersaturation of vapor
3. 学会等名 Czech-Japanese Seminar in Applied Mathematics 2018 (Noto, Japan, July 13-16, 2018) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Masato Kimura
2. 発表標題 Phase field modeling for crack propagation with irreversibility
3. 学会等名 China-Japan Symposium on Defects and Cracks in 2018 CSIAM Annual Meeting (Chengdu, China, September 14-16, 2018) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Masato Kimura
2. 発表標題 A structure preserving finite element method for Maxwell type viscoelasticity problem
3. 学会等名 Japan-Taiwan Joint Workshop on Scientific Computation and Related Topics (Taipei, November 24-26, 2018) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 木村正人
2. 発表標題 蒸気過飽和度を考慮した2次元雪結晶成長モデル
3. 学会等名 日本数学会2019年度年会 (東京工業大学、2019年3月18日)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Masato Kimura
2. 発表標題 Snow crystal growth model using generalized crystalline method
3. 学会等名 Taiwan-Japan Joint Workshop on Inverse Problems in Kyoto 2019 (Kyoto, Japan, March 30-31, 2019) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 高石武史
2. 発表標題 Mathematical model of the crack growth with phase field approach and its numerical simulation
3. 学会等名 第12回 産総研・東北大 MathAM-01L セミナー (東北大学、2018年5月15日) (招待講演)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 高石武史
2. 発表標題 エネルギー勾配流によるき裂進展モデルの導出とその応用について
3. 学会等名 大阪大学MMDSワークショップ 工学と数学の接点を求めて（大阪大学、2018年11月28日）（招待講演）
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 高石武史
2. 発表標題 エネルギー勾配流によるき裂進展モデル：粘弾性や脆化を伴う現象への応用
3. 学会等名 大阪大学MMDS主催スタディーグループ マルチマテリアル産業へ向けての数理とデータサイエンス（大阪大学、2019年2月6日）（招待講演）
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Yoshimi Tanaka
2. 発表標題 Soft Matter Mechanics
3. 学会等名 CoMFoS18: Mathematical Analysis of Continuum Mechanics II (Kyoto, June 13-15, 2018) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 赤堀 裕介, 増田千紘, 田中 良巳
2. 発表標題 制限された空間での弾性薄膜の破壊
3. 学会等名 日本応用数理学会2018年度年会（名古屋大学、2018年9月3-5日）
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Yoshimi Tanaka
2. 発表標題 Gradient Flow Model of Fracture and Its Applications
3. 学会等名 BIRS workshop "Phase-Field models of Fracture (Banff, Canada, 2019.3.3-8) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Seiro Omata
2. 発表標題 Free boundary problems of hyperbolic type with a focus on the free boundary conditions
3. 学会等名 The 11th MSJ-SI (北海道大学、2018年7月2-13日) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Hiromichi Itou
2. 発表標題 On an interfacial self-similar crack problem in anti-plane deformation
3. 学会等名 9th International Conference IP:M&S (Inverse Problems: Modeling and Simulation) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Masato Kimura
2. 発表標題 A phase field model for crack propagation and some applications
3. 学会等名 Applied Analysis Seminar, Louisiana State University (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年



1. 発表者名 Masato Kimura
2. 発表標題 Unidirectional diffusion equation and application to crack growth models
3. 学会等名 Karlstad Applied Analysis Seminar (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 木村正人
2. 発表標題 Maxwell-Zener 粘弾性モデルの勾配流構造とその数値解法
3. 学会等名 日本応用数学会2017年度年会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Masato Kimura
2. 発表標題 Analysis of unidirectional diffusion equation and its gradient flow structure
3. 学会等名 The 42nd Sapporo Symposium on Partial Differential Equations (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Hiromichi Itou
2. 発表標題 Nonlinear elasticity with limiting small strain for cracks subject to non-penetration
3. 学会等名 International Conference on Elliptic and Parabolic Problems (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Hiromichi Itou
2. 発表標題 On crack problems for nonlinear elasticity
3. 学会等名 保存則をもつ偏微分方程式に対する解の特異性および漸近挙動の研究(招待講演)(国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 伊藤弘道
2. 発表標題 き裂を含む領域における偏微分方程式の解析
3. 学会等名 2017年日本数学会 秋季総合分科会 函数方程式論分科会 特別講演(招待講演)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Hiromichi Itou
2. 発表標題 On direct and inverse problems involving cracks in elasticity
3. 学会等名 Geometry and Inverse Problems(招待講演)(国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Hiromichi Itou
2. 発表標題 On inverse crack problems by means of the enclosure method
3. 学会等名 The 15th Annual Meeting of the China Society for Industrial and Applied Mathematics(CSIAM2017), A3 Workshop on Modeling and Computation of Applied Inverse Problems(招待講演)(国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Hiromichi Itou
2. 発表標題 On inverse problems of a crack and a cavity in linearized elasticity
3. 学会等名 A3 Workshop on Applied Inverse Problems and Related Topics (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Hiromichi Itou
2. 発表標題 Contacting crack faces within the context of nonlinear elastic bodies exhibiting limiting strain
3. 学会等名 2nd International Conference on "Modern Mathematical Methods and High Performance Computing in Science and Technology" (M3HPCST-2018) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 伊藤弘道
2. 発表標題 ある非線形弾性体におけるき裂問題とその面外変形の場合について
3. 学会等名 第54回東工大数理解析セミナー (招待講演)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Hiromichi Itou
2. 発表標題 On frictional problems in elasticity
3. 学会等名 Seminar "Boundary-value problems in domains with nonsmooth boundaries" (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 高石武史
2. 発表標題 フェーズフィールド法による破壊現象の数値解析および粘弾性流体への適用
3. 学会等名 粘弾性流体の破壊・勉強会 (東京大学地震研究所) (招待講演)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 高石武史
2. 発表標題 フェーズフィールドを用いた粘弾性き裂進展モデル
3. 学会等名 先端化学・材料技術部会 コンピュータケミストリ分科会 講演会(新化学技術推進協会) (招待講演)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 高石武史
2. 発表標題 Maxwell粘弾性き裂モデルとその数値シミュレーション
3. 学会等名 第22回計算工学講演会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 高石武史
2. 発表標題 フェーズフィールドを用いたき裂進展モデルとその拡張
3. 学会等名 第30回計算力学講演会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Takeshi Takaishi
2. 発表標題 To extend the phase field model to non-brittle crack growth
3. 学会等名 International Conference CoMFoS17: Mathematical Analysis of Continuum Mechanics (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Yoshimi Tanaka
2. 発表標題 Shape transition of looped elastic ribbons under tension
3. 学会等名 International Conference CoMFoS17: Mathematical Analysis of Continuum Mechanics (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 平野史朗
2. 発表標題 高速で拡大する自己相似な面外亀裂の特異積分方程式
3. 学会等名 日本応用数理学会 第14回 研究部会連合発表会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Shiro Hirano
2. 発表標題 Mathematical modeling and numerical simulation of unilateral dynamic rupture propagation along very-long reverse faults
3. 学会等名 American Geophysical Union 2017 Fall Meeting (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 平野史朗
2. 発表標題 長大逆断層の一方破壊をもたらす媒質境界と応力場
3. 学会等名 日本地震学会2017年秋季大会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Shiro Hirano
2. 発表標題 Unilateral dynamic rupture propagation along earthquake faults
3. 学会等名 International Conference CoMFoS17: Mathematical Analysis of Continuum Mechanics (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 平野史朗
2. 発表標題 地球内部における歪み-応力構成関係とダメージの考え方
3. 学会等名 日本応用数理学会2017年年会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Shiro Hirano
2. 発表標題 Energy estimation of earthquake faulting based on a wavefield inversion
3. 学会等名 RIMS workshop on "Singularity and asymptotic behavior of solutions for partial differential equations with conservation law" (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Daiuke Tagami
2. 発表標題 Some remarks on a time-explicit particle methods for flow problems
3. 学会等名 ANZIAM Conference 2018 (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Daisuke Tagami
2. 発表標題 Numerical analysis of a generalized particle-based method for convection-diffusion equations and its application
3. 学会等名 ENUMATH 2017 (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Daisuke Tagami
2. 発表標題 Mathematical analysis of characteristic generalized particle methods for convection-diffusion equations
3. 学会等名 The 12th International SPHERIC Workshop (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Daisuke Tagami
2. 発表標題 A reduced iterative domain decomposition method for magnetic field problems with the gauge condition
3. 学会等名 KAUST Workshop on Computational Science and Engineering with High Performance Computers (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Seiro Omata
2. 発表標題 Free boundary problems of wave type
3. 学会等名 Free Boundary Problems and Nonlinear PDEs (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2017年

〔図書〕 計1件

1. 著者名 H. Itou, S. Hirano, M. Kimura, V.A. Kovtunenkov, and A.M. Khludnev (Eds.)	4. 発行年 2020年
2. 出版社 Springer Singapore	5. 総ページ数 204
3. 書名 Mathematical Analysis of Continuum Mechanics and Industrial Applications III, Proceedings of the International Conference CoMFoS18	

〔産業財産権〕

〔その他〕

<p>本科学研究費を使用して開催した国際会議のホームページ</p> <p>[1] CoMFoS17: <a href="https://sites.google.com/site/comfos2017/">https://sites.google.com/site/comfos2017/</a></p> <p>[2] CoMFoS18: <a href="https://sites.google.com/site/comfos2018/">https://sites.google.com/site/comfos2018/</a></p> <p>[3] BIRS workshop "Phase-Field models of Fracture" : <a href="https://www.birs.ca/events/2019/5-day-workshops/19w5207">https://www.birs.ca/events/2019/5-day-workshops/19w5207</a></p> <p>[4] CoMFoS19: <a href="https://sites.google.com/view/comfos19/">https://sites.google.com/view/comfos19/</a></p> <p>[5] Kanazawa workshop: Gradient flows and related topics: analysis and applications: <a href="https://sites.google.com/view/kanaworks2019/">https://sites.google.com/view/kanaworks2019/</a></p> <p>[6] CoMFoS20: <a href="http://conf.nsc.ru/rusjapfrac2/en/">http://conf.nsc.ru/rusjapfrac2/en/</a></p>
---

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	高石 武史  (TAKAISHI Takeshi)  (00268666)	武蔵野大学・工学部・教授    (32680)	



## 6. 研究組織（つづき）

	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	田中 良巳 (TANAKA Yoshimi) (10315830)	横浜国立大学・大学院環境情報研究院・准教授  (12701)	
研究分担者	小俣 正朗 (OMATA Seiro) (20214223)	金沢大学・物科学系・教授  (13301)	
研究分担者	伊藤 弘道 (ITOU Hiromichi) (30400790)	東京理科大学・理学部第二部数学科・教授  (32660)	
研究分担者	田上 大助 (TAGAMI Daisuke) (40315122)	九州大学・マス・フォア・インダストリ研究所・准教授  (17102)	
研究分担者	平野 史朗 (HIRANO Shiro) (60726199)	立命館大学・理工学部・助教  (34315)	

## 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6件

国際研究集会 CoMFoS19: Mathematical Aspects of Continuum Mechanics	開催年 2019年～2019年
国際研究集会 Kanazawa workshop: Gradient flows and related topics: analysis and applications	開催年 2019年～2019年
国際研究集会 International Conference CoMFoS18: Mathematical Analysis of Continuum Mechanics II	開催年 2018年～2018年
国際研究集会 BIRS workshop "Phase-Field models of Fracture (Banff, Canada, 2019.3.3-8)	開催年 2019年～2019年
国際研究集会 International Conference CoMFoS17: Mathematical Analysis of Continuum Mechanics	開催年 2017年～2017年

国際研究集会 CoMFoS20 (The Second Russia-Japan Workshop "Mathematical analysis of fracture phenomena for elastic structures and its applications" との共同開催 (オンライン))	開催年 2020年 ~ 2020年
--	----------------------

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			
スウェーデン	Karlstard University			
チェコ	Czech Technical University in Prague			
オーストリア	University of Graz			
米国	Texas A&M University			