

令和 2 年 6 月 4 日現在

機関番号：32641

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2017～2019

課題番号：17K06062

研究課題名(和文)多孔質高分子膜の変形と破壊

研究課題名(英文) Deformation and fracture of porous polymer membranes

研究代表者

米津 明生 (Yonezu, Akio)

中央大学・理工学部・教授

研究者番号：40398566

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,700,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、多孔質高分子膜の変形と破壊の力学解析法を構築する。はじめに、X線CT、走査型電子顕微鏡、原子間力顕微鏡などの観察装置を用いたその場観察装置を開発し、負荷中の細孔(マイクロ・ナノポア)構造のミクロ変形の検討、さらには全視野画像計測による変位場計測法を用いて高分子膜の巨視的な変形と破壊特性を評価する。そして、細孔形状の3次元構造をモデル化した有限要素法により、多孔質高分子膜の力学解析法を構築する。つまり、実際のランダム性を考慮した細孔構造モデルを構築することで、巨視的な力学応答のみならず、負荷中に変形する細孔のミクロ構造シミュレーションを可能にした。

研究成果の学術的意義や社会的意義

マイクロ・ナノポア細孔を有する多孔質高分子膜の変形および破壊特性を明らかにできる。特に、細孔構造(サイズと配列)は負荷中に大きく変化するため、膜分離機能をつかさどる細孔の幾何学的な形状変化の制御手法が重要であり、本解析法によって実現できると期待している。したがって、本研究の成果は、今までの経験に基づく多孔質膜の開発から、ナノ・マイクロ構造の力学シミュレーションに基づく膜開発へ移行できると思われる。つまり、膜分離機能(ろ過性能)の検討や物理的洗浄の最適化、さらには材料自身の長寿命化(損傷や破壊の制御)が試行錯誤を伴うことなく容易に達成でき、開発スピードが格段に速まることが期待される。

研究成果の概要(英文)：This study developed computational modeling for deformation and fracture of porous polymer membranes. First, we developed a loading device for in-situ observation using X-ray CT, scanning electron microscope(SEM), atomic force microscope(AFM) in order to examine the microscopic mechanics for the porous structure (micro/nano pores) during tensile loading. Furthermore, macroscopic deformation and fracture characteristics of the polymer film are evaluated by using the displacement field measurement by digital image correlation method. Finally, mechanical modeling for the porous polymer membrane is constructed by finite element method (FEM) that models the three-dimensional structure of the porous structure. The created structure model considers actual in-homogeneous characteristics and it enables not only macroscopic mechanical response but also microscopic deformation behavior during uni-axial loading.

研究分野：材料力学

キーワード：多孔質高分子膜 変形 破壊 その場観察法 有限要素法

## 様式 C-19、F-19-1、Z-19 (共通)

### 1. 研究開始当初の背景

サブミクロンからナノサイズの細孔(マイクロ・ナノポア)を有する多孔質高分子膜は数多く使われており、水処理膜、セパレータ、高分子電解質膜、生体模倣膜など、膜分離操作を行っている。例えば、水処理膜では、サブミクロンスケールのオープンセル構造(ネットワーク構造)によって水処理(ろ過)機能を発現するが、細孔の目詰まり(膜ファウリング)が問題となる。そのため空気洗浄や逆圧洗浄など、機械的な強制変形によって連続運転を行うが、多孔質高分子膜は従来の無機系材料(ゼオライトなど)よりも損傷を受けやすく、物理的強度の確保や機械的耐久性が材料設計上重要となりつつある。また、電池材料でもセパレータ、イオン交換膜などの強度設計が電池全体の長寿命化に大きく影響する。これまで多孔質材料の変形力学は提唱されているが、例えば Gurson モデルは 10%以下の低い空孔率が対象であり、一方、高空孔率のセル構造体に対しては Gibson-Ashby モデルが有名であるが理想的な周期構造が前提で、本供試材のような不均質細孔構造への適用には限界がある。さらには、本研究の多孔質高分子膜は、変形しやすい高分子材料を骨格とし、高空孔率のオープンセル構造のため、その変形や強度特性は均質固体とは全く異なることから、新たな力学モデリングや解析手法が必要である。

### 2. 研究の目的

本研究では、多孔質高分子膜(ポラスポリマーメンブレン)の変形と破壊の力学の解析法を構築する。はじめに、X線CT、走査型電子顕微鏡、原子間力顕微鏡などの観察装置を用いたその場観察用負荷装置を開発し、負荷中の細孔(マイクロ・ナノポア)構造のミクロ力学場の検討、さらには全視野画像計測による変位場計測法を用いて高分子膜の巨視的な変形と破壊特性(力学応答)を評価する。なお、観察装置は対象材料のポアサイズによって使い分ける。そして、細孔形状の3次元構造をモデル化した有限要素法(FEM)により、多孔質高分子膜の力学解析法を構築する。つまり、実際のランダム性を考慮した細孔構造モデルを構築することで、巨視的な力学応答のみならず、負荷中に変形する細孔のミクロ構造シミュレーションを可能にする。

### 3. 研究の方法

供試材として水処理用中空糸膜を用いた。骨格にはポリフッ化ビニリデン(polyvinylidenedifluoride; PVDF)が使用されている。PVDFは結晶性高分子材料であり、結晶構造にはいくつかの種類が存在する。そこで、フーリエ変換赤外分光光度計(FT-IR, AIM-8800, 株式会社島津製作所)を用いて、透過法で本供試材の結晶構造を測定した。その結果、 $\alpha$ 結晶構造であることがわかった。また、冷却により相分離を誘起する熱誘起相分離法(Thermally induced phase separation; TIPS法)により製膜されているため、内部に細孔構造を有する。そこで、本供試材の空孔率をPVDFの母材の密度(1.78 g/cm<sup>3</sup>)を用いて質量比を計算したところ、本供試材の空孔率は65%であった。

Fig. 1に本研究で使用したPVDF中空糸膜を示す。Fig. 1(a)は、供試材の断面である。供試材の断面は外径が1.23 mm、内径が0.67 mm、肉厚が0.28 mmのチューブ状である。また、本供試材の不均質な細孔構造を調べるため、電界放出型走査電子顕微鏡(FESEM)を用いて内部構造を観察した。Fig. 1(b)に示す観察結果より、細孔構造は不均質なオープンセルであることがわかった。また、中空糸膜断面の外表面付近、内表面部分および肉厚方向の中間部をあそれぞれ観察したところ、位置による細孔構造の大きな変化は見られなかった。つまり、材料内部のオープンセルの細孔構造は不均一であるものの、その細孔などの分布特性は断面に対してほぼ変化はなく一様であった。続いて、FEMモデルの作成に利用するために、FESEM画像から微視的構造の幾何運情報である最高の大きさ分布を取り出した。細孔を真円と仮定したときの細孔直径の分布を計測したところ、その平均は160 nmであった。この試験に対して単軸引張試験およびFEM解析を行った。

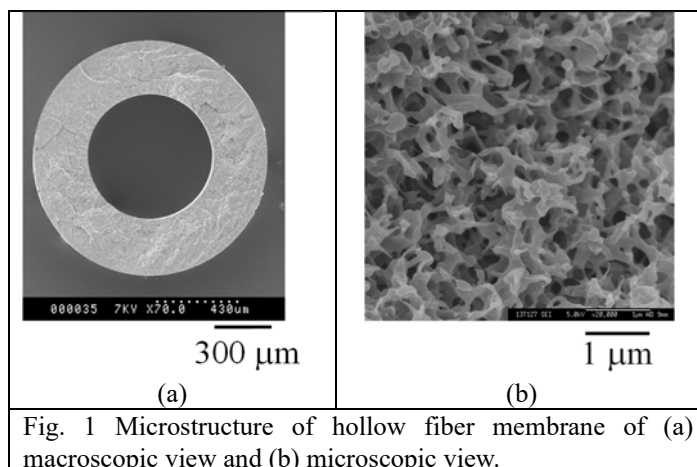


Fig. 1 Microstructure of hollow fiber membrane of (a) macroscopic view and (b) microscopic view.

### 4. 研究成果

#### 4. 1 単軸引張試験

本供試材の巨視的な変形特性を調べるため、単軸引張試験を実施した。単軸引張試験には精密万能試験機オートグラフ(AG-1, 株式会社島津製作所)を用いた。荷重は試験機に設置されているロードセルを用いて測定し、変位は試験機のクロスヘッドの移動量とした。また、試験片は島津オートグラフ用100 kgキャプスタン式つかみ治具を用いて取り付けた。荷重負荷は変位制御の下で行い、試験片が破断に至るまで試験を行った。試験は室温(約25°C)環境下で、異なる四種類のひずみ速度(0.9×10<sup>-4</sup>, 4.8×10<sup>-4</sup>, 4.8×10<sup>-3</sup>, 1.4×10<sup>-2</sup> 1/s)で試験を実施した。

Fig.2に各ひずみ速度における単軸引張試験の結果を示す。各ひずみ速度において、三回試験を実施した。引張負荷を加えると、初期では線形的な応力の上昇が見られた。その後応力が4 MPa程度まで上昇すると、応力が折れ曲がり、その後は再び破断まで線形的に応力が上昇した。飯尾らも同様な実験を行い、FESEM画像や荷重除荷試験などの詳細な検討を行った。その結果、初期の線形領域を弾性変形領域、折れ曲がり以降を塑性変形領域と結論づけた。これらの傾向はどのひずみ速度においても見られた。ひずみ速度による差異は、弾性域ではあまり見られないが、折れ曲がり点以降で大きく表れた。

#### 4. 2 有限要素解析

本研究では、供試材の不均質構造を Surface Evolver を用いて作成する。Surface Evolver は発泡の構造解析ソフトウェアであり、プラトーの法則を満たすことにより、表面エネルギーと機械的な力のバランスが最小になるように計算を行う。モデル作成の初期条件として、立方体の空間にケルビン構造体を125個(5×5×5個)並べた。この立方体は後述するFEM解析の代表体積要素(Representative Volume Element: RVE)に相当する。立方体内で各ケルビン構造体をランダムに体積変化させてSurface Evolverによって発泡解析を行う。発泡後のケルビン構造体の骨格と頂点の情報をもとに構造を決定し、任意の骨格の断面直径を定めることで、3D離散構造モデルを作成した。断面直径は、骨格の断面を真円と仮定し、モデルの空孔率が実際の空孔率である65%と一致するように決定した。Fig.3に作成したFEMモデルと細孔直径の分布をそれぞれ示す。Fig.3(b)から、細孔直径の分布は観察結果とよく一致していることがわかる。以上のように作成したモデルに周期境界条件を付与した。実験と同様の単軸引張ひずみを付与するにより、材料の巨視的な変形挙動を計算する。

PVDF母材の弾塑性特性は既往研究をもとに決定し、弾性変形はフックの法則に従い、塑性変形中は以下の構成則により表した。

$$\sigma = Ke^{hg\bar{\epsilon}_p^2} \cdot \bar{\epsilon}^m \quad (1)$$

ここで、 $K$ は加工硬化係数、 $hg$ は加工効果指数、 $m$ はひずみ速度依存項の係数であり、弾塑性解析を行った。FEMの解析結果を実験結果(ひずみ速度 $0.9 \times 10^{-4}$  1/s)と合わせてFig.4に示す。弾塑性解析の結果を○で示す。実験結果とFEM解析結果を比較すると、弾性域および降伏以降の挙動が、比較的良好に一致していることがわかる。このFEM解析は、Fig.3(a)のように不均質な細孔構造もモデル化しているため、単軸引張負荷中の細孔構造の変形挙動も計算できる。

本研究では、有限要素法(FEM)を用いてマイクロ・ナノ細孔構造を有する多孔質高分子材料の単軸引張応力の変形解析法について検討した。PVDF中空糸膜は三次元オープンセル構造を有する。単軸引張試験を行ったところ、ひずみ1を超えるほど、大きく変形した。微視的構造の観察結果をもとに、三次元オープンセル構造を再現したモデルを発泡解析によって作成した。この離散構造モデルを用いて、弾塑性解析を実施したところ、弾性域の変形挙動は実験と近い値を示した。また、塑性域に関しても実験と同様に緩やかな上昇を示した。以上より、マイクロ・ナノサイズの細孔構造を有する多孔質高分子材

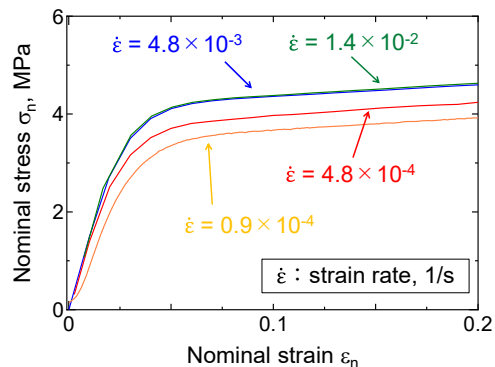
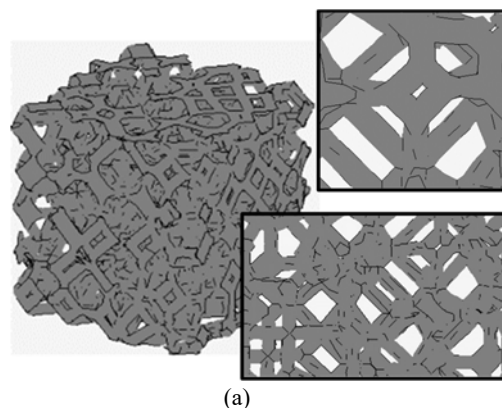
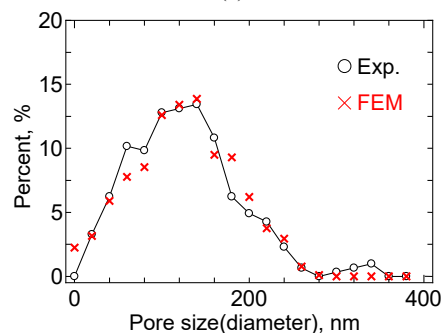


Fig. 2 Nominal stress-nominal strain curves.



(a)



(b)

Fig. 3 3D FEM model; (a) is the 3D open-cell structure and (b) is distribution of pore size.

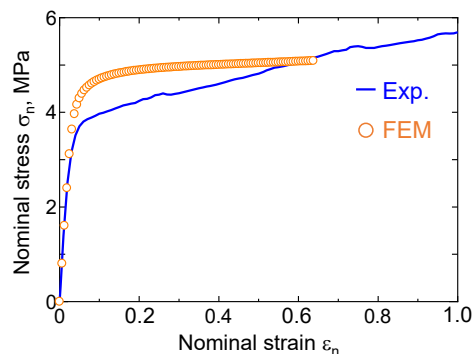


Fig. 4 Nominal stress - Nominal strain curves from experiment and FEM computation.

料の大変形における解析手法を確立した.

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計18件（うち査読付論文 18件 / うち国際共著 2件 / うちオープンアクセス 4件）

1. 著者名 Kanao Emori, Tatsuma Miura, Takumi Nagakura, Akio Yonezu	4. 巻 115
2. 論文標題 Indentation Failure of Polymeric Membrane with Anisotropic Pore Structures	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Engineering Failure Analysis	6. 最初と最後の頁 104620
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) <a href="https://doi.org/10.1016/j.engfailanal.2020.104620">https://doi.org/10.1016/j.engfailanal.2020.104620</a>	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 Kanao Emori, Shugo Fushimi, Tatsuma Miura, Akio Yonezu	4. 巻 82
2. 論文標題 FEM simulation of polymeric foam with random pore structure: uniaxial compression with loading rate effect	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Polymer Testing	6. 最初と最後の頁 106303
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) <a href="https://doi.org/10.1016/j.polymer.2019.106303">https://doi.org/10.1016/j.polymer.2019.106303</a>	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 Daiki Ikeshima, Akihiro Matsuzaki, Takumi Nagakura, Kanao Emori, Akio Yonezu	4. 巻 28
2. 論文標題 Non-linear Creep Deformation of Polycarbonate at High Stress Level: Experimental Investigation and FEM Modeling	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Journal of Materials Engineering and Performance	6. 最初と最後の頁 1612-1617
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) <a href="https://doi.org/10.1007/s11665-019-03945-z">https://doi.org/10.1007/s11665-019-03945-z</a>	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 Ikeshima Daiki, Miyamoto Kazunori, Yonezu Akio	4. 巻 173
2. 論文標題 Molecular deformation mechanism of polycarbonate during nano-indentation: Molecular dynamics simulation and experimentation	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Polymer	6. 最初と最後の頁 80 ~ 87
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) <a href="https://doi.org/10.1016/j.polymer.2019.04.029">https://doi.org/10.1016/j.polymer.2019.04.029</a>	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 Daiki Ikeshima, Fumika Nishimori, Akio Yonezu	4. 巻 26
2. 論文標題 Deformation Modeling of Polyamide 6 and the Effect of Water Content using Molecular Dynamics Simulation	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Journal of Polymer Research	6. 最初と最後の頁 151-162
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) <a href="https://doi.org/10.1007/s10965-019-1815-4">https://doi.org/10.1007/s10965-019-1815-4</a>	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 Miyamoto Kazunori, Ikeshima Daiki, Furutani Takumi, Xiao Hang, Yonezu Akio, Chen Xi	4. 巻 7
2. 論文標題 On the surface hydrophilization of a blended polysulfone membrane: atomic force microscopy measurement and molecular dynamics simulation	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Surface Topography: Metrology and Properties	6. 最初と最後の頁 035003 ~ 035003
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) <a href="https://doi.org/10.1088/2051-672X/ab2e4f">https://doi.org/10.1088/2051-672X/ab2e4f</a>	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 Yusaku Saito, Hiroki Watanabe, Takeshi Yamada, Kohei Kanamori, Akio Yonezu	4. 巻 28
2. 論文標題 Interfacial strength evaluation of oxide films on carbon steel by using the laser shock adhesion test	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Journal of Materials Engineering and Performance	6. 最初と最後の頁 4762-4773
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) <a href="https://doi.org/10.1007/s11665-019-04246-1">https://doi.org/10.1007/s11665-019-04246-1</a>	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 Liao Xiangbiao, Zhang Baidu, Furutani Takumi, Chen Youlong, Xiao Hang, Ni Yong, Yonezu Akio, Chen Xi	4. 巻 15
2. 論文標題 Strain Guided Oxidative Nanoperforation on Graphene	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Small	6. 最初と最後の頁 1903213 ~ 1903213
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) <a href="https://doi.org/10.1002/smll.201903213">https://doi.org/10.1002/smll.201903213</a>	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 Emori Kanako, Miura Tatsuma, Kishida Hiroshi, Yonezu Akio	4. 巻 80
2. 論文標題 Creep deformation behavior of polymer materials with a 3D random pore structure: Experimental investigation and FEM modeling	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Polymer Testing	6. 最初と最後の頁 106097 ~ 106097
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) <a href="https://doi.org/10.1016/j.polymeresting.2019.106097">https://doi.org/10.1016/j.polymeresting.2019.106097</a>	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 赤堀智紀, 伏見脩吾, 長倉匠, 米津明生	4. 巻 63
2. 論文標題 マイクロインデンテーション法による金属材料の塑性特性と残留応力の同時推定法	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 材料試験技術	6. 最初と最後の頁 4-10
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 Tomoki Akahori, Takumi Nagakura, Shugo Fushimi, Akio Yonezu	4. 巻 70
2. 論文標題 An indentation method for evaluating the residual stress of polymeric materials: Equi-biaxial and non-equi-biaxial residual stress states	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Polymer Testing	6. 最初と最後の頁 378-388
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) <a href="https://doi.org/10.1016/j.polymeresting.2018.07.024">https://doi.org/10.1016/j.polymeresting.2018.07.024</a>	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 Xiangbiao Liao, Youlong Chen, Takumi Nagakura, Liangliang Zhu, Mingjia Li, Xiaoyang Shi, Akio Yonezu, Hang Xiao, Xi Chen	4. 巻 25
2. 論文標題 Unconventional Localization Prior to Wrinkles and Controllable Surface Patterns of Film/substrate Bilayers through Patterned Cavities	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Extreme Mechanics Letters	6. 最初と最後の頁 66-70
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) <a href="https://doi.org/10.1016/j.eml.2018.10.009">https://doi.org/10.1016/j.eml.2018.10.009</a>	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 Xiangbiao Liao, Takumi Nagakura, Youlong Chen, Liangliang Zhu, Xiaoyang Shi, Akio Yonezu, Xi Chen, Hang Xiao	4. 巻 98
2. 論文標題 Tunable Surface Morphology via Patterned Cavities in Soft Materials	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Physical Review E	6. 最初と最後の頁 63004
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) <a href="https://doi.org/10.1103/PhysRevE.98.063004">https://doi.org/10.1103/PhysRevE.98.063004</a>	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 Fushimi Shugo, Nagakura Takumi, Akio Yonezu	4. 巻 63
2. 論文標題 Experimental and numerical investigations of the anisotropic deformation behavior of low-density polymeric foams	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Polymer Testing	6. 最初と最後の頁 605 ~ 613
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.polymertesting.2017.09.011	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 Hiroshi Kishida, Satoshi Ishizaka, Takumi Nagakura, Hiroaki Suzuki, Akio Yonezu	4. 巻 50
2. 論文標題 Fracture characterization of inhomogeneous wrinkled metallic films deposited on soft substrates	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Journal of Physics D: Applied Physics	6. 最初と最後の頁 495301
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1088/1361-6463/aa95cb	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 Hidehiko Toyama, Hiroshi Kishida, Akio Yonezu	4. 巻 83
2. 論文標題 Characterization of fatigue crack growth of concrete mortar under cyclic indentation loading	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Engineering Failure Analysis	6. 最初と最後の頁 156-166
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.engfailanal.2017.10.004	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 Yousuke Watanabe, Akio Yonezu, Xi Chen	4. 巻 37
2. 論文標題 Measurement of interfacial fracture toughness of surface coatings using pulsed-laser-induced ultrasonic waves	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Journal of Nondestructive Evaluation	6. 最初と最後の頁 1-11
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s10921-017-0456-y	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 Daiki Ikeshima, Akio Yonezu, Ling Liu	4. 巻 145
2. 論文標題 Molecular origins of elastoplastic behavior of polycarbonate under tension: A coarse-grained molecular dynamics approach	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Computational Materials Science	6. 最初と最後の頁 306-319
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.commatsci.2018.01.001	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

〔学会発表〕 計45件 (うち招待講演 0件 / うち国際学会 16件)

1. 発表者名 三浦竜馬, 江守香南子, 米津明生
2. 発表標題 多軸負荷を受ける多孔質高分子膜の変形挙動
3. 学会等名 日本材料学会関東支部 2019学生研究交流会,
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 小平恭久, 三浦竜馬, 伊藤翔馬, 江守香南子, 米津明生
2. 発表標題 有限要素法による多孔質高分子膜のき裂先端応力場解析
3. 学会等名 日本材料学会関東支部 2019学生研究交流会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 江守香南子, 齋藤佑朔, 米津明生
2. 発表標題 2層の球状ソフトマテリアルに発生する表面パターン
3. 学会等名 日本材料学会関東支部 2019学生研究交流会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 江守香南子, 齋藤佑朔, 米津明生
2. 発表標題 軟質な球状構造体上の薄膜に形成される凹凸形状
3. 学会等名 日本機械学会M&M2019材料力学カンファレンス講演論文集
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Kanao Emori, Akio Yonezu, Takumi Nagakura, Tatsuma Miura
2. 発表標題 Anisotropic Deformation Behavior of Porous Polymeric Membranes Under Uni-Axial and Bi-Axial Loadings
3. 学会等名 ASME2019 International Mechanical Engineering Congress & Exposition (IMECE) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Kanao Emori, Tatsuma Miura, Akio Yonezu
2. 発表標題 Large Deformation Behavior of Porous Polymer Materials With 3D Random Pore Structure: Experimental Investigation and FEM Modeling
3. 学会等名 ASME2019 International Mechanical Engineering Congress & Exposition (IMECE) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Yusaku Saito, Shuhei Yoshioka, Kanako Emori, Brenda Teoh Rui Ern, Akio Yonezu
2. 発表標題 Experimental Investigation of Spontaneous Buckling-Driven Delamination of Thin Films on Soft Spherical Substrate
3. 学会等名 ASME2019 International Mechanical Engineering Congress & Exposition (IMECE) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 江守香南子, 三浦竜馬, 米津明生
2. 発表標題 スモールパンチ試験による延伸多孔質ポリマー膜の変形特性評価
3. 学会等名 日本機械学会 第27回機械材料・材料加工技術講演会 (M&P2019)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 江守香南子, 齋藤佑朔, 米津明生
2. 発表標題 球状ソフトマテリアル上の表面膜の座屈モデリング
3. 学会等名 日本機械学会 第27回機械材料・材料加工技術講演会 (M&P2019) 若手ポスターシンポジウム
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 三浦竜馬, 江守香南子, 米津明生
2. 発表標題 多孔質高分子膜の多軸引張試験装置の開発
3. 学会等名 日本機械学会 第27回機械材料・材料加工技術講演会 (M&P2019) 若手ポスターシンポジウム
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 小平恭久, 三浦竜馬, 伊藤翔馬, 江守香南子, 米津明生
2. 発表標題 有限要素法と画像相関法を用いた多孔質高分子膜のき裂先端応力場評価
3. 学会等名 日本非破壊検査協会 第51回応力・ひずみ測定と強度評価(SSE)シンポジウム
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 三浦竜馬, 江守香南子, 小平恭久, 米津明生
2. 発表標題 多孔質高分子膜の二軸引張負荷装置の開発とその変形挙動
3. 学会等名 日本非破壊検査協会 第51回応力・ひずみ測定と強度評価(SSE)シンポジウム
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 江守香南子, 齋藤佑朔, 米津明生
2. 発表標題 二軸圧縮ひずみによる球状ソフトマテリアルの表面座屈と剥離パターン
3. 学会等名 日本非破壊検査協会 第51回応力・ひずみ測定と強度評価(SSE)シンポジウム
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 池嶋大貴, 宮本和典, 米津明生
2. 発表標題 高分子材料のナノインデンテーション変形挙動に関する分子動力学シミュレーション
3. 学会等名 日本機械学会 関東支部第24期総会・講演会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 江守香南子, 伏見脩吾, 長倉匠, 米津明生
2. 発表標題 周期的細孔構造を有する高分子繊維膜の引張変形特性評価
3. 学会等名 日本機械学会 関東学生会第57回学生員卒業研究発表講演会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Daiki Ikeshima, Kazunori Miyamoto, Akio Yonezu
2. 発表標題 Investigation of Elastoplastic Deformation Behavior of Polycarbonate Using Molecular Dynamics Simulation
3. 学会等名 The 13th World Congress in Computational Mechanics (WCCMXIII and PANACM II) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Kazunori Miyamoto, Daiki Ikeshima, Akio Yonezu
2. 発表標題 AFM adsorption measurements of water purification membranes
3. 学会等名 Water on Materials Surface 2018 (WMS2018) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 池嶋大貴, 西森文香, 米津明生
2. 発表標題 分子動力学法によるナイロン6の変形解析と水分子の効果
3. 学会等名 日本機械学会 2018年度茨城講演会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 鳥海柊人, 池嶋大貴, 山田剛史, 米津明生
2. 発表標題 分子動力学法によるCuとFe界面の衝撃破壊シミュレーション
3. 学会等名 日本材料学会関東支部 2018年度学生研究交流会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 古谷拓己, 宮本和典, 米津明生, Xiangbiao Liao, Xi Chen
2. 発表標題 グラフェンのひずみ誘起ナノポーラス化に関する検討
3. 学会等名 日本材料学会関東支部 2018年度学生研究交流会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 西森文香, 池嶋大貴, 米津明生, 渡辺真, 金原友美
2. 発表標題 長期間屋外曝露された高分子材料の耐候劣化特性評価
3. 学会等名 日本材料学会関東支部 2018年度学生研究交流会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Daiki Ikeshima, Fumika Nishimori, Akio Yonezu
2. 発表標題 Evaluation of Surface Degradation of Polymer Materials by Using Indentation Method
3. 学会等名 The 15th Asia-Pacific Conference on Fracture and Strength (APCFS2018) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 江守香南子, 長倉匠, 三浦竜馬, 米津明生
2. 発表標題 不均質細孔構造を有する高分子膜の引張変形特性評価
3. 学会等名 日本機械学会 第26回機械材料・材料加工技術講演会(M&P2018) 第2回若手ポスターシンポジウム
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 宮本和典, 池嶋大貴, 山村寛, 米津明生
2. 発表標題 水処理用ポリマーブレンド膜のAFM 吸着力測定
3. 学会等名 日本機械学会 第26回機械材料・材料加工技術講演会 (M&P2018)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 古谷拓己, 宮本和典, 米津明生
2. 発表標題 ナノ粒子配列を利用したポラスグラフェンの創製
3. 学会等名 日本機械学会 第26回機械材料・材料加工技術講演会 (M&P2018)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Kazunori Miyamoto, Daiki Ikeshima, Kenji Furuya, Hiroshi Yamamura, Akio Yonezu
2. 発表標題 Nano Surface Adhesion and Deformation Behaviors of Polymer Blend Membranes for Water Purification by Using Atomic Force Microscopy
3. 学会等名 ASME2018 International Mechanical Engineering Congress & Exposition (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Takumi Nagakura, Kanako Emori, Hiroshi Kishida, Akio Yonezu
2. 発表標題 Anisotropic Deformation Behavior of Polymeric Microfiltration Membranes: Experiment and FEM modeling
3. 学会等名 ASME2018 International Mechanical Engineering Congress & Exposition ( 国際学会 )
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Hiroshi Kishida, Shugo Fushimi, Takumi Nagakura, Kanako Emori, Akio Yonezu
2. 発表標題 Deformation Modeling of Porous Polymer Materials with 3D Random Pore Structure
3. 学会等名 ASME2018 International Mechanical Engineering Congress & Exposition ( 国際学会 )
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Kanako Emori, Yoshiki Nishiyama, Takumi Nagakura, Akio Yonezu
2. 発表標題 Effect of Porous Structure on Tensile Deformation of Porous Polymer Membranes: FEM Computations of Periodic and Random Pore Structures
3. 学会等名 ASME2018 International Mechanical Engineering Congress & Exposition ( 国際学会 )
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 池嶋大貴, 西森文香, 米津明生, 渡辺真, 金原友美
2. 発表標題 インデンテーション法を用いたポリカーボネートの屋外大気曝露による耐候劣化評価
3. 学会等名 日本非破壊検査協会 平成30年度 秋季講演大会
4. 発表年 2018年



1. 発表者名 池嶋大貴, 宮本和典, 米津明生
2. 発表標題 分子動力学法によるポリカーボネートの AFM ナノイン デンテーション
3. 学会等名 日本機械学会 第31回計算力学講演会 (CMD2018)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 長倉匠, 江守香南子, 岸田啓史, 米津明生
2. 発表標題 水処理用高分子膜の変形挙動
3. 学会等名 日本機械学会 M&M2018材料力学カンファレンス
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 伏見脩吾, 米津明生
2. 発表標題 ポラスポリマーの変形特性に及ぼす発泡構造の影響
3. 学会等名 日本機械学会 関東支部第23期総会・講演会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 岸田啓史, 長倉匠, 野口峻太郎, 米津明生
2. 発表標題 不均質構造を有するポラス材料の変形特性評価
3. 学会等名 日本機械学会 関東支部第23期総会・講演会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 池嶋大貴, 米津明生
2. 発表標題 高分子材料の引張変形に関する分子動力学シミュレーション
3. 学会等名 日本機械学会 関東支部第23期総会・講演会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 石坂聡, 岸田啓史, 長倉匠, 米津明生
2. 発表標題 不均質リンクル構造を有する金属ナノ薄膜の破壊特性評価
3. 学会等名 日本機械学会 関東支部第23期総会・講演会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 池嶋大貴, 米津明生
2. 発表標題 分子動力学法による高分子材料の変形挙動解析
3. 学会等名 日本機械学会2017年度年次大会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 長倉匠, 岸田啓史, 西山桂樹, 米津明生
2. 発表標題 マイクロポラスポリマー膜の変形特性評価
3. 学会等名 日本材料学会第3回材料WEEK材料シンポジウム若手学生研究発表会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 江守香南子, 伏見脩吾, 長倉匠, 米津明生
2. 発表標題 X線CT法を用いた周期的マイクロ細孔構造を有する高分子繊維膜の変形挙動その場観察
3. 学会等名 日本材料学会関東支部2017年度学生研究交流会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Hiroshi Kishida, Takumi Nagakura, Noguchi Shuntaro, Akio Yonezu
2. 発表標題 FEM modeling of deformation behavior of porous polymer membrane with random cellular structure
3. 学会等名 ASME2017 International Mechanical Engineering Congress & Exposition (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Shugo Fushimi, Akio Yonezu
2. 発表標題 Static and dynamic deformation behavior of porous polymer materials
3. 学会等名 ASME2017 International Mechanical Engineering Congress & Exposition (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Hiroshi Kishida, Satoshi Ishizaka, Takumi Nagakura, Akio Yonezu
2. 発表標題 Fracture characterization of inhomogeneous wrinkled metallic films deposited on soft substrates
3. 学会等名 ASME2017 International Mechanical Engineering Congress & Exposition (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Daiki Ikeshima, Keisuke Abo, Kazunori Miyamoto, Akio Yonezu
2. 発表標題 Coarse grained molecular dynamics simulation of deformation behavior of polymer materials
3. 学会等名 ASME2017 International Mechanical Engineering Congress & Exposition (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Takeshi Yamada, Hiroki Watanabe, Yusaku Saito, Akio Yonezu
2. 発表標題 Non-contact measurement of coating adhesion by using pulsed laser irradiation
3. 学会等名 ASME2017 International Mechanical Engineering Congress & Exposition (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Kazunori Miyamoto, Keisuke Abo, Liu Ze, Hiroshi Yamamura, Akio Yonezu
2. 発表標題 AFM measurement of surface adhesion of chlorine degraded reverse osmosis membrane for seawater desalination
3. 学会等名 ASME2017 International Mechanical Engineering Congress & Exposition (国際学会)
4. 発表年 2017年

〔図書〕 計1件

1. 著者名 Akio Yonezu, Xi Chen	4. 発行年 2018年
2. 出版社 Springer	5. 総ページ数 572
3. 書名 Hydrogen embrittlement cracking produced by indentation test (Handbook of Nonlocal Continuum Mechanics for Materials and Structures)	

〔産業財産権〕

[ その他 ]

研究室のホームページ  
<http://mater.mech.chuo-u.ac.jp/index.html>  
所属機関のホームページ  
<http://researchers.chuo-u.ac.jp/Profiles/3/0000280/profile.html>  
研究室のホームページ  
<http://mater.mech.chuo-u.ac.jp/index.html>  
所属機関のホームページ  
<http://ir.c.chuo-u.ac.jp/researcher/profile/00015338.html>

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