

論文 / 著書情報  
Article / Book Information

|                   |   |
|-------------------|---|
| 題目(和文)            |   |
| Title(English)    | Fatigue Analysis and Internal Strain Measurement in Bending Polymer Films   |
| 著者(和文)            | 岸野真之  |
| Author(English)   | Masayuki Kishino  |
| 出典(和文)            | 学位:博士(工学),<br>学位授与機関:東京工業大学,<br>報告番号:甲第12416号,<br>授与年月日:2023年3月26日,<br>学位の種別:課程博士,<br>審査員:穴戸 厚,原 正彦,大塚 英幸,中嶋 健,久保 祥一  |
| Citation(English) | Degree:Doctor (Engineering),<br>Conferring organization: Tokyo Institute of Technology,<br>Report number:甲第12416号,<br>Conferred date:2023/3/26,<br>Degree Type:Course doctor,<br>Examiner:,,,,, |
| 学位種別(和文)          | 博士論文  |
| Category(English) | Doctoral Thesis   |
| 種別(和文)            | 論文要旨  |
| Type(English)     | Summary   |

## 論文要旨

THESIS SUMMARY

|  |              |          |   |                 |      |
|--|--------------|----------|---|-----------------|------|
| 系・コース：<br>Department of, Graduate major in | 応用化学<br>応用化学 | 系<br>コース | 申請学位 (専攻分野)：<br>Academic Degree Requested | 博士<br>Doctor of | (工学) |
| 学生氏名：<br>Student's Name                    | 岸野 真之        |          | 指導教員 (主)：<br>Academic Supervisor(main)    | 宍戸 厚            |      |
|  |              |          | 指導教員 (副)：<br>Academic Supervisor(sub)     | 久保 祥一           |      |

### 要旨 (和文 2000 字程度)

Thesis Summary (approx.2000 Japanese Characters )

本論文は、「Fatigue Analysis and Internal Strain Measurement in Bending Polymer Films (湾曲高分子フィルムの疲労挙動解析と内部ひずみ計測)」と題して、高分子フィルムの湾曲挙動に関する研究成果が英文で記されており、全7章より構成されている。

第1章「General Introduction (序論)」では、高分子フィルムの変形挙動と既存の湾曲解析手法について説明するとともに、本研究の意義と目的を述べている。

第2章「Fatigue Analysis of Various Polymer Films Subjected to Cyclic Bending (様々な高分子フィルムの繰り返し湾曲に伴う疲労挙動解析)」では、繰り返し湾曲による疲労試験中に曲率半径や発熱をリアルタイムで測定可能な装置を開発し、様々な高分子フィルムの湾曲疲労挙動を多面的に解析している。湾曲疲労寿命の高分子構造依存性は靱性と破壊モードで説明できることを明らかにしている。さらに、高分子の粘弾性に起因する湾曲疲労寿命の速度依存性については、降伏応力の変化や繰り返し湾曲に伴う発熱が影響を及ぼすと考察している。

第3章「Machine Learning Approach to Fatigue Life Prediction of Bending Polymer Films (機械学習による高分子フィルムの湾曲疲労寿命予測)」では、第2章における解析結果に基づき、様々な高分子フィルムの湾曲疲労寿命を機械学習により予測することを検討している。説明変数の選定や機械学習モデルの構築により、高分子フィルムの湾曲疲労寿命を高精度かつ効率的に予測することに成功している。

第4章「Internal Strain Measurement of Polydimethylsiloxane Film using Cholesteric Liquid Crystal Elastomer Sensor (コレステリック液晶エラストマーひずみセンサーを用いたポリジメチルシロキサンフィルムの内部ひずみ解析)」では、フレキシブルデバイスの基板として用いられるポリジメチルシロキサンフィルムの湾曲に伴う内部ひずみ分布をコレステリック液晶エラストマーの選択反射を利用して測定し、湾曲挙動を解析している。内部ひずみ分布の測定により、ひずみの生じない中立面が湾曲に伴い湾曲内面側へ可逆的に移動することを明らかにしている。さらに、定量化した中立面移動を考慮することで、湾曲耐久性の高い電子デバイス設計にも成功している。

第5章「Out-of-plane Strain Analysis in Bending and Stretching Polydimethylsiloxane Films (湾曲または引張に伴うポリジメチルシロキサンフィルムの面外ひずみ解析)」では、第4章で作製したひずみセンサーを用いて、湾曲と引張における面外ひずみを測定し、その相違点について議論している。湾曲では、引張よりもはるかに小さい力学的エネルギーで面外ひずみを誘起できることを実験的、理論的に明らかにした。さらに、湾曲に伴い生じる面外ひずみを、フィルムの寸法を設計することで簡便に制御することにも成功している。

第6章「Modulating Selective Reflection of Cholesteric Liquid Crystal Elastomer by Bending Strain (湾曲ひずみを利用したコレステリック液晶エラストマーの選択反射制御)」では、第4章、第5章で得た湾曲ひずみの知見を利用して、コレステリック液晶エラストマーの選択反射を多彩な制御を検討している。湾曲ひずみの空間分布を利用することで、選択反射を短波長、長波長シフト、さらに分割、広帯域化することに成功している。加えて、これらの湾曲ひずみによる選択反射の制御が様々な光学応用に有用であることを実証している。

第7章「Summary (総括)」では、本論文で得られた研究成果を総括するとともに、今後の課題と研究展望を述べている。

以上を要するに本論文では、疲労過程に曲率半径や発熱をリアルタイムで測定可能な装置や内部ひずみを測定可能なひずみセンサーを開発し、高分子フィルムの湾曲挙動を解明した成果について述べている。さらに、解析から得た湾曲挙動の知見を活かし、フレキシブルデバイスの高耐久化や力学応答性光学材料の設計に成功している。高分子フィルムの湾曲挙動に基づいて、高機能なフレキシブルデバイスの設計も可能であることから、工学上貢献するところが大きい。したがって本論文は、博士(工学)の学位論文として十分な価値があるものと認められる。

備考：論文要旨は、和文 2000 字と英文 300 語を 1 部ずつ提出するか、もしくは英文 800 語を 1 部提出してください。

Note：Thesis Summary should be submitted in either a copy of 2000 Japanese Characters and 300 Words (English) or 1copy of 800 Words (English).

注意：論文要旨は、東工大リサーチリポジトリ(T2R2)にてインターネット公表されますので、公表可能な範囲の内容で作成してください。

Attention: Thesis Summary will be published on Tokyo Tech Research Repository Website (T2R2).

(博士課程)  
Doctoral Program

## 論文要旨

THESIS SUMMARY

|  |              |          |   |                                    |
|--|--------------|----------|---|------------------------------------|
| 系・コース：<br>Department of, Graduate major in | 応用化学<br>応用化学 | 系<br>コース | 申請学位 (専攻分野)：<br>Academic Degree Requested | 博士 (工学)<br>Doctor of (Engineering) |
| 学生氏名：<br>Student's Name                    | 岸野 真之        |          | 指導教員 (主)：<br>Academic Supervisor(main)    | 宍戸 厚                               |
|  |              |          | 指導教員 (副)：<br>Academic Supervisor(sub)     | 久保 祥一                              |

要旨 (英文 300 語程度)

Thesis Summary (approx.300 English Words)

Devices including displays, batteries, and sensors are becoming flexible because of the demand for bio- and eco-compatibility. For the development of such flexible devices, it is crucial to understand the bending behavior of polymer films, which are used for a device substrate. However, the cyclic and large bending behavior still remains unclear due to a lack of quantitative analysis methods of fatigue and internal strain. In this thesis, the author developed the bending fatigue tester and flexible strain sensor and investigated the fatigue behavior and the internal strain of various bending polymer films. In addition to these investigations, the author designed flexible devices based on the analyzed bending behavior.

The author analyzed the fatigue behavior of various polymer films subjected to cyclic bending with the developed bending fatigue tester. The analysis revealed that the fatigue life of the polymer films, which possess large toughness and show a ductile fracture, was relatively long. Owing to the viscoelastic property, high-speed cyclic bending shortened the fatigue life of polymer films where heat was accumulated. These investigations elucidated the fatigue behavior of the bending polymer films depending on the polymer structure and test conditions.

In addition to the fatigue analysis, the author explored the bending behavior of a polydimethylsiloxane (PDMS) film through the internal strain measurement using a cholesteric liquid crystal elastomer (CLCE) sensor. The CLCE sensor experimentally quantified internal strain distribution in the bending PDMS film from reflection wavelength change. The internal strain measurement clarified that the position of the neutral mechanical plane, where strain is zero, in the bending PDMS film shifted from the center of the thickness toward the inner bending surface during large bending. Considering this bending behavior, the author successfully improved the bending durability of a flexible electronic device.

This research will contribute to the clarification of the bending behavior of polymer films and the development of next-generation flexible devices.

備考：論文要旨は、和文 2000 字と英文 300 語を 1 部ずつ提出するか、もしくは英文 800 語を 1 部提出してください。

Note: Thesis Summary should be submitted in either a copy of 2000 Japanese Characters and 300 Words (English) or 1 copy of 800 Words (English).

注意：論文要旨は、東工大リサーチリポジトリ(T2R2)にてインターネット公表されますので、公表可能な範囲の内容で作成してください。

Attention: Thesis Summary will be published on Tokyo Tech Research Repository Website (T2R2).