

# 力学的シミュレーションによるマットレス変形量の予測と検証

機械科 船井 孝 鈴木敬明  
 理化学研究所 中村佐紀子 横田秀夫  
 ソフトプレックス工業株式会社 袴田恭正 前嶋文明

## Mechanical Simulation for Deformation of Mattress and Assessment of Their Accuracy

Takashi Funai, Takaaki Suzuki, Sakiko Nakamura  
 Hideo Yokota, Yasumasa Hakamata and Fumiaki Maejima

### 1. はじめに

シミュレーション技術を活用してマットレスの開発を行うためには、マットレスの素材であるウレタンフォームの変形挙動をシミュレーションで精度よく再現する必要がある。これまでに、ウレタンフォームの引張り・圧縮試験を実施し、その結果に超弾性体モデルを近似することで力学的特性値を導出した<sup>1)</sup>。本研究では人がマットレスに寝た状態を想定し、剛体とみなした人体形状モデルがマットレスに乗ったときのマットレス変形量をシミュレーションで予測した。また、人体形状モデルと同様の形状の模型をマットレスに乗せたときのマットレスの変形量を測定し、予測値と比較することで、シミュレーションによるマットレス変形量予測の誤差を評価した。

### 2. シミュレーションによるマットレス変形量の予測

#### 2.1 解析モデルの作成

マットレスの変形は、肩甲骨周辺と臀部周辺の接触部が最も大きくなる<sup>2)</sup>。本研究では人体の肩から臀部までを評価対象とし、理化学研究所の人体形状データ<sup>3)</sup>から不要な部分（頭部、腕、足、腹部、人体内部の情報）を削除した。Pro/Engineer Wildfire4.0で作成したマットレスの三次元形状モデルの上に人体形状モデルを配置し、解析モデルを作成した（図1）。

#### 2.2 シミュレーションによるマットレス変形量の予測

2.1節で作成した解析モデルを使い、マットレスの変形量を予測するシミュレーションを実施した。

シミュレーションでは人体形状モデルを剛体とし、体重に相当する荷重として343.5Nを図1の矢印で示す平面に均等に印加した。マットレスの物性には、材料試験結果から導出したウレタンフォームの力学的物性値<sup>1)</sup>を適用した。人体形状モデルは1辺10mmの三角形シェル要素に分割し、マットレスの三次元形状データは10（水平方向）×10（水平方向）×20（厚さ方向）mmの六面体要素に分割した。シミュレーションは、荷重増分を初期100、最少10、最大100とし、幾何学的非線形を定義してANSYS13.0SP2で実施した。シミュレーション結果から、図2に示す①～⑨断面のマットレス変形量を抽出した。

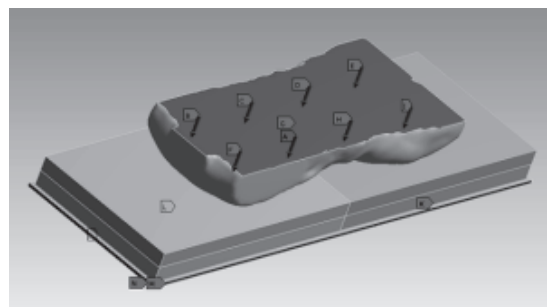


図1 解析モデル  
 (矢印で示す人体モデル上面に343.5Nを均等に印加)

### 3. CT撮影による変形量測定

#### 3.1 人体模型の作成

シミュレーションによる予測値の精度を評価するため、マットレス変形量を測定する実験を行った。シミュレーションでは、人体形状モデルを剛体としたため、実験ではウレタンフォームに対して剛体とみなせる硬さの人体形状モデルと同様の形状の模型（人体模型）を使うこととした。そのため、2.1節で作成した人体形状データを使い、光造形法で人体模

型を作成した。

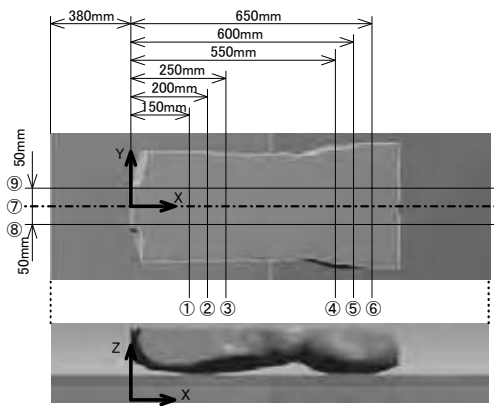


図2 マットレス変形量を数値化した断面

### 3. 2 CT撮影およびマットレス変形量の数値化

3. 1節で作成した人体模型を、CT（コンピュータ断層撮影）で変形状態を可視化できる測定用マットレス<sup>2)</sup>に乗せ、シミュレーションと同様に体重に相当する荷重（343.5N）を均等に負荷した状態で撮影した。撮影はPHILIPS製CT Brilliance CT16で行い、得られた断層画像から図2に示す①～⑨断面のマットレスの変形量を画像処理ソフトEasy Access（株アドサイエンス）で数値化した<sup>2)</sup>。

## 4. 結果

2章で実施したシミュレーション結果と、3章で得た測定結果の比較を行った。比較は図2に示す①～⑨断面とし、①～⑥断面では $Y = -100 \sim 100\text{mm}$ の範囲、⑦～⑨断面では $X = 50 \sim 300\text{mm}$ 、 $X = 500 \sim 600\text{mm}$ の範囲の平均誤差を評価した。その結果、実験とシミュレーションの差は約1～13%であった。①断面および⑦断面における比較結果を図3、4に示す。

## 5. まとめ

本研究では、人体形状がマットレスに乗ったときのマットレス変形量をシミュレーションで予測し、実験による測定結果と比較した。その結果、マットレスの変形量を1～13%の誤差で予測できることが明らかとなった。本研究で実施したシミュレーションでは、マットレスにかかる力は主に圧縮であるが、人体模型と接するマットレス表面には引張りの力が生じる。本研究では、引張りと圧縮が混在するウレ

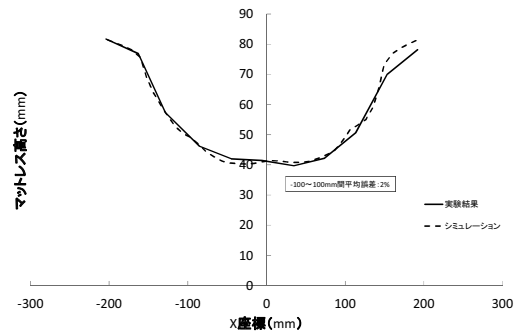


図3 変形後のマットレス形状比較（①断面）

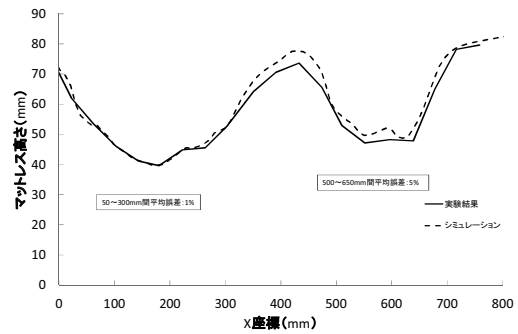


図4 変形後のマットレス形状比較（⑦断面）

タンフォームの変形挙動も、超弾性体で近似した力学的特性値を用いることで精度よく予測可能であることが示され、ウレタンフォームを素材とする製品開発にシミュレーションを活用できることが示唆された。

## 謝辞

本研究は、独立行政法人科学技術振興機構A-STEPシーズ顕在化事業の成果である。また、コンピュータ断層撮影は、碑文谷病院の深作先生にご協力頂いた。

## 参考文献

- 1) 船井 孝他：軟質ポリウレタンフォームの力学的シミュレーションに関する研究，静岡県工業技術研究所研究報告，第4号，75-76（2011）。
- 2) 船井 孝他：生体力学シミュレーションに向けた仰臥位におけるマットレスの変形量測定，静岡県工業技術研究所研究報告，第3号，32-33（2010）。
- 3) 横田秀夫他：人体ボクセルモデル構築：計測・マルチモーダル・画像処理技術，RIKEN SYMPOSIUM Biomechanical Simulation Research，9 March 2010，10-12（2010）。