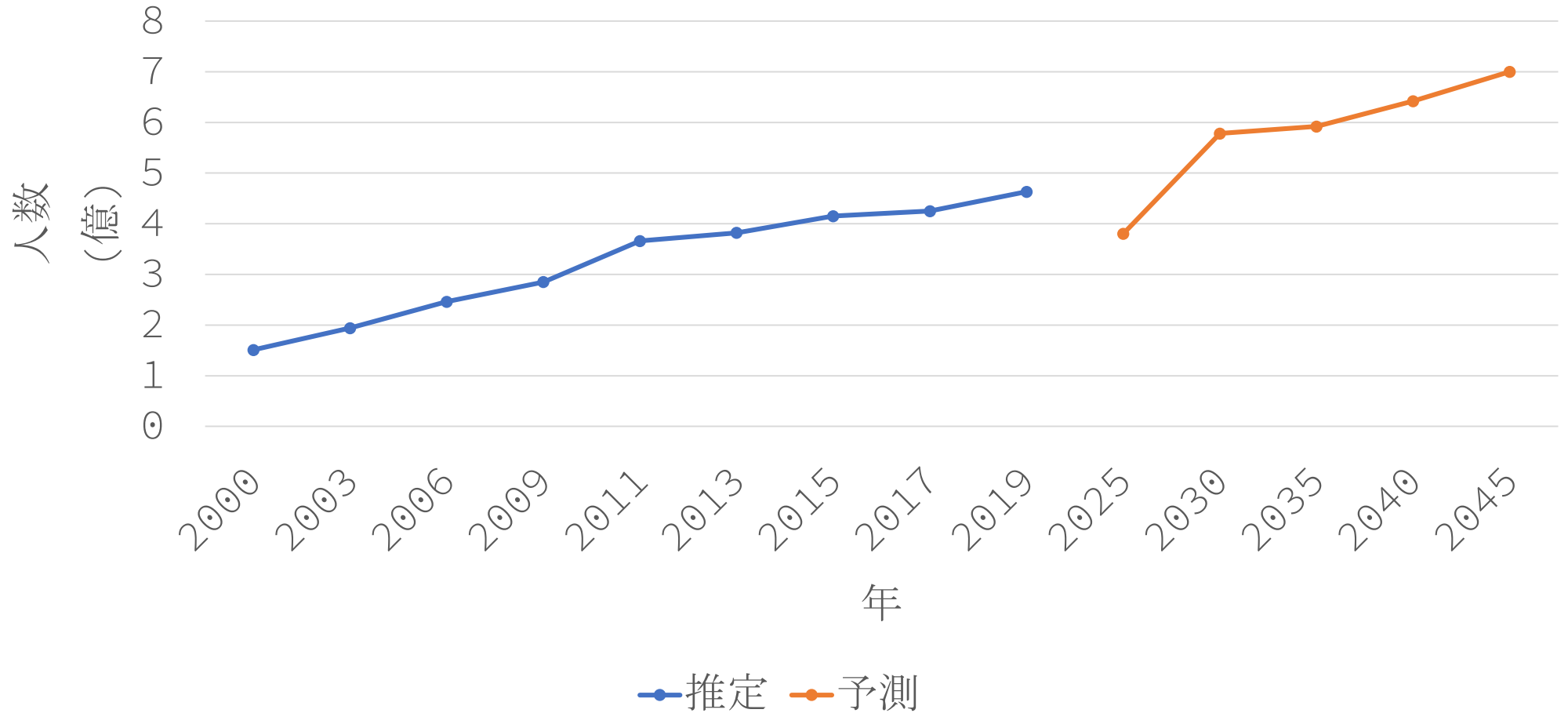


0.5mm径ワイヤ型センサによる 靴内剪断力計測システム

東京電機大学 工学部 機械工学科
教授 井上 淳

2023年10月26日



20-79歳における糖尿病患者数の推定と予測

IDF DIABETES ATLAS Ninth edition 2019

【糖尿病】

血糖値やHbA1cが一定の基準を超えている状態をさす疾患

→三大合併症（網膜症・腎症・神経障害）

【糖尿病性足病変】

糖尿病性神経障害により引き起こされる足壊疽など

→糖尿病で、足を失う

国内だけで毎年1万人以上が下肢切断に至る

糖尿病性神経障害が足病変に至る理由

- **運動神経障害** → 筋肉・腱組織のバランスが崩れる

履物が適合しなくなる

- **知覚神経障害** → 痛みを感じなくなる
傷や胼胝が起こっても放置

胼胝(べんち):皮膚の角質が変質し、厚くなった状態

- **自律神経障害** → 発汗機能が障害される
感染しやすくなる

糖尿病患者用治療靴等の使用が有効とされている

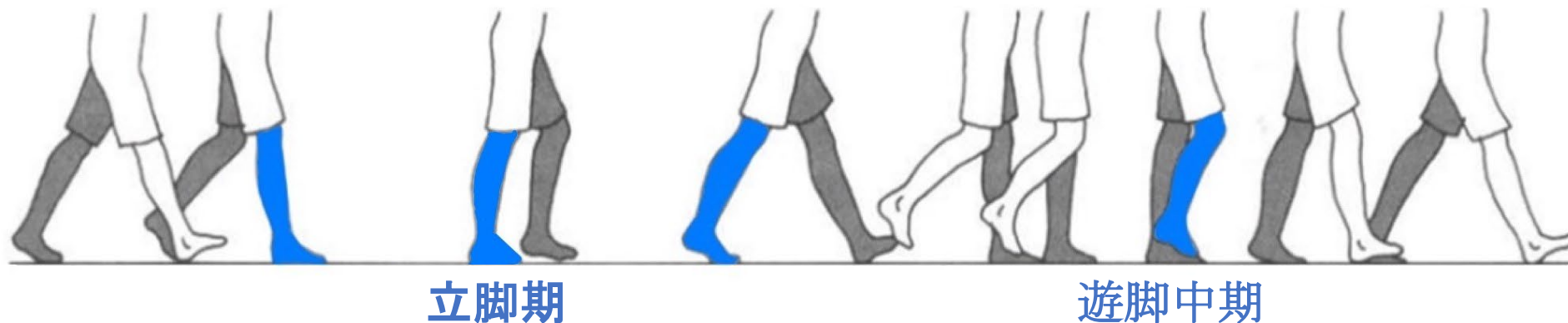
しかし、全ての患者に適用できるわけではなく、
患者本人にマッチした靴を選定する必要がある。

現状、病院での靴の処方は定性的な処方と経験が
大きな役割を占めている。

従来の計測システム

計測システム	足部全体計測	リアルタイム計測
足圧分布測定	—	○
サーモグラフィ	○	—
3軸力覚センサ	—	○
理想	○	○

足部のどこでも、リアルタイムに計測できることが必要
軽量・薄型・柔軟性・耐久性が求められる



1. 剪断力は靴と足の上に接触力がある状態で、
接触点がずれることで発生する
2. ずれが起きるときには振動が発生する

振動と剪断力の関係を求めれば剪断力が推定可能

足部全体かつリアルタイム
計測可能なセンサが必要



極細径ピエゾワイヤセンサを用いた
振動計測



機械学習を用いた
剪断力推定手法開発



極細径ピエゾワイヤセンサ

特徴

- 厚さ : 0.5 mm
- 軽量
- 柔軟
- 高い耐久性

計測対象

- 振動

ピエゾセンサ



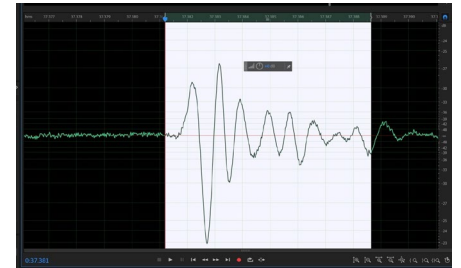
振動計測

マイコン



信号増幅
符号化

PC

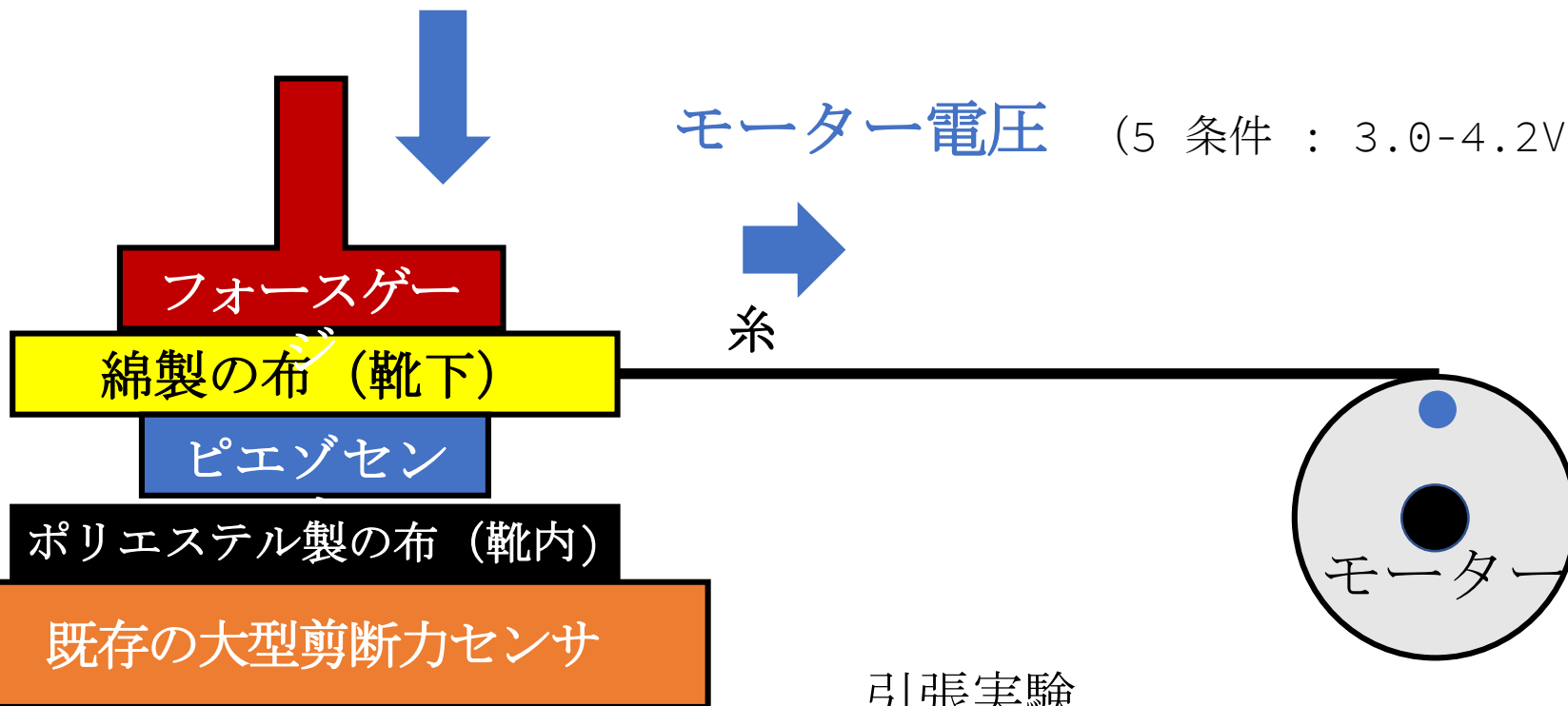


解析

振動計測システム

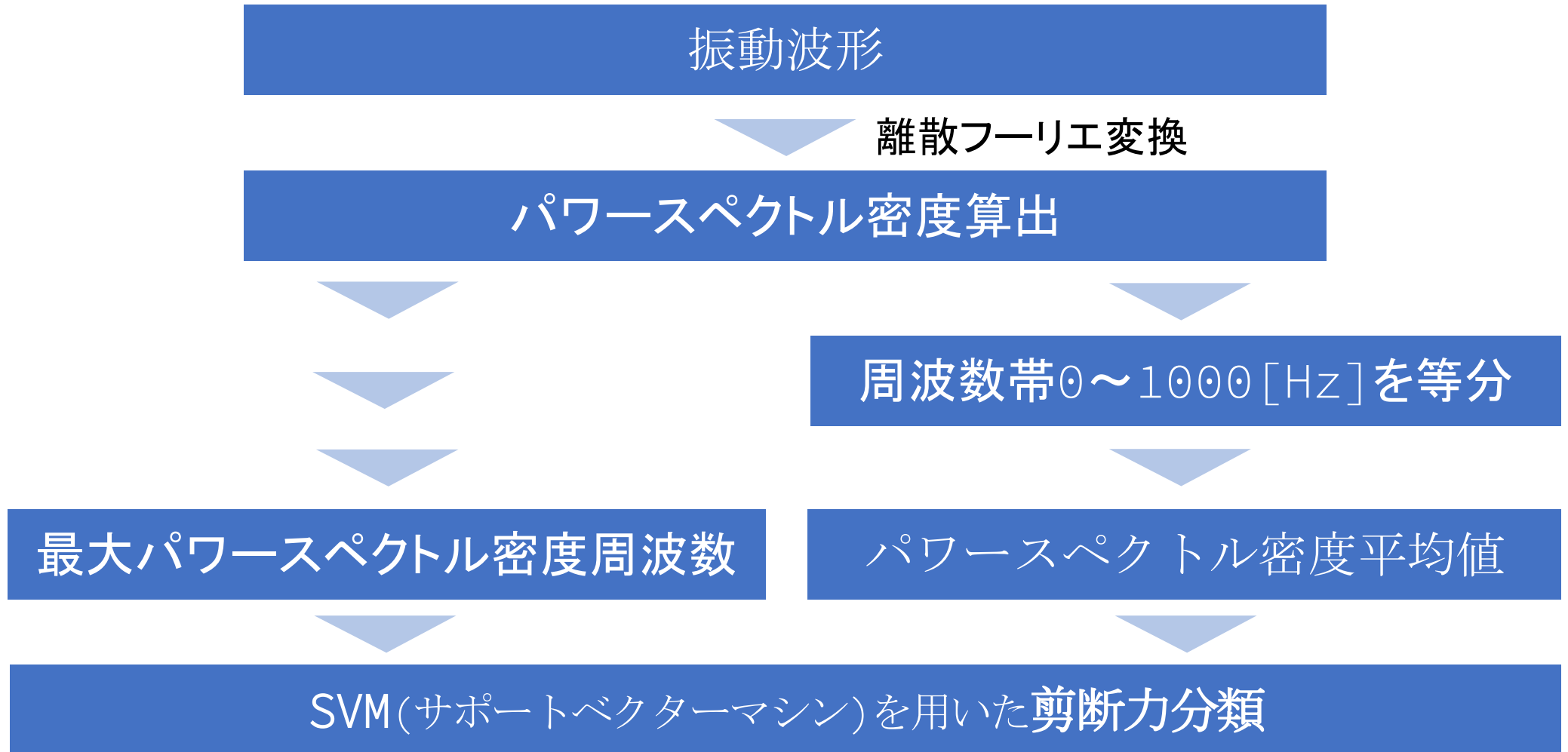
垂直荷重 (11 条件 : 1.2-20N)

モーター電圧 (5 条件 : 3.0-4.2V)

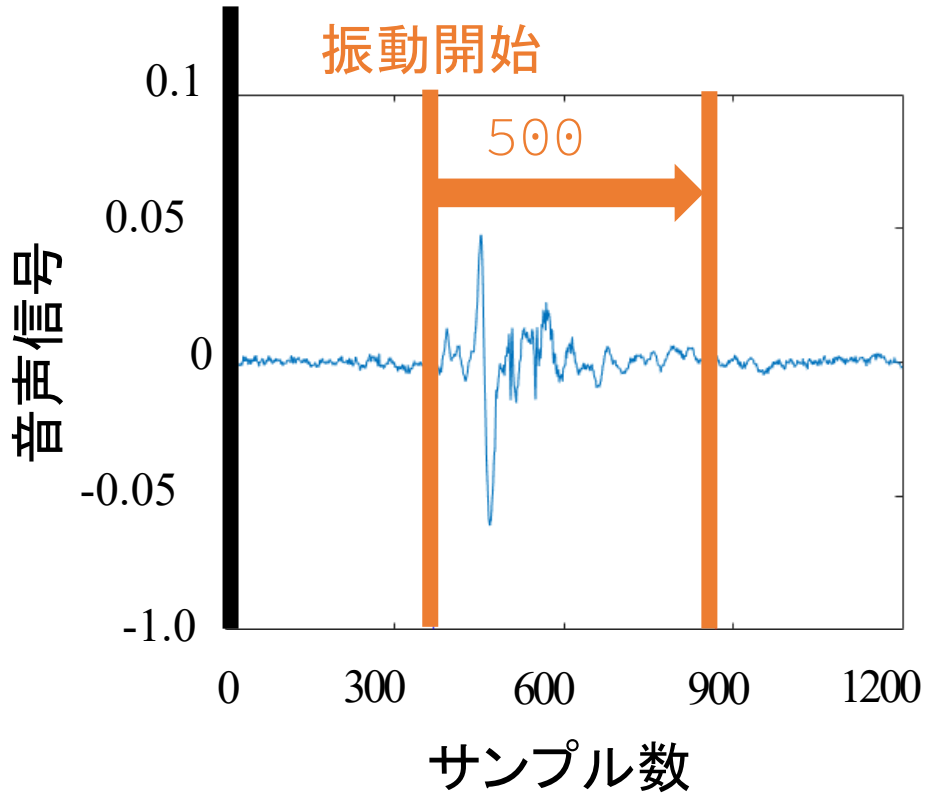


合計
55 条件
各試行
10 回

引張実験

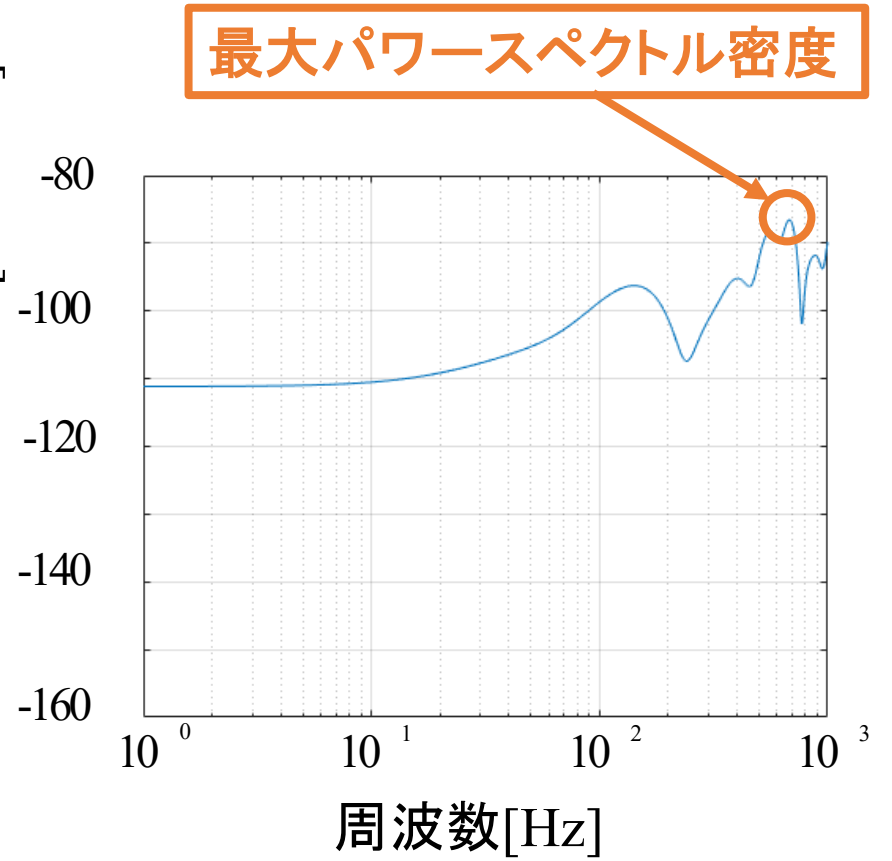


剪断力発生



振動波形

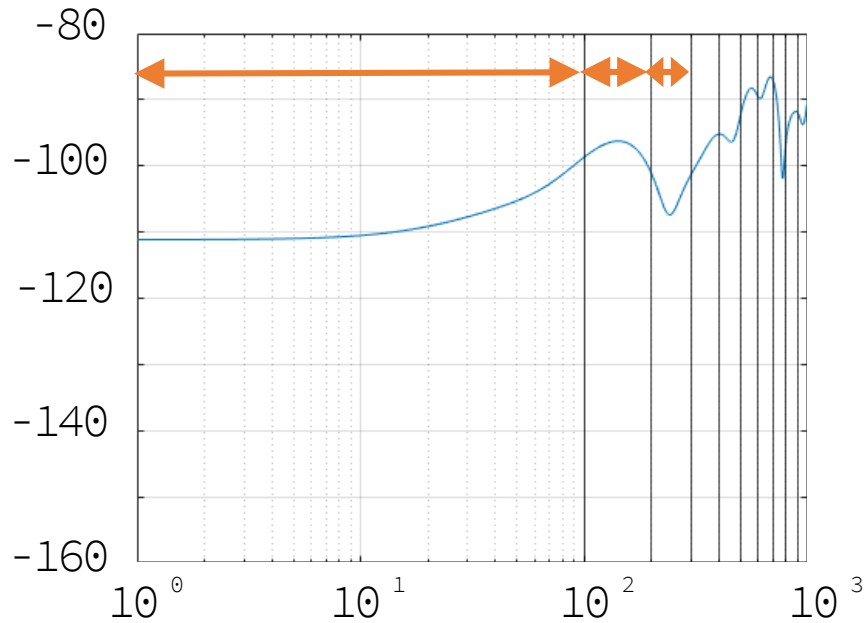
パワースペクトル密度[dBV/Hz]



最大パワースペクトル密度周波数

▶ 10-100区間に分割 (周波数帯0~1000 [Hz]) 計91種類

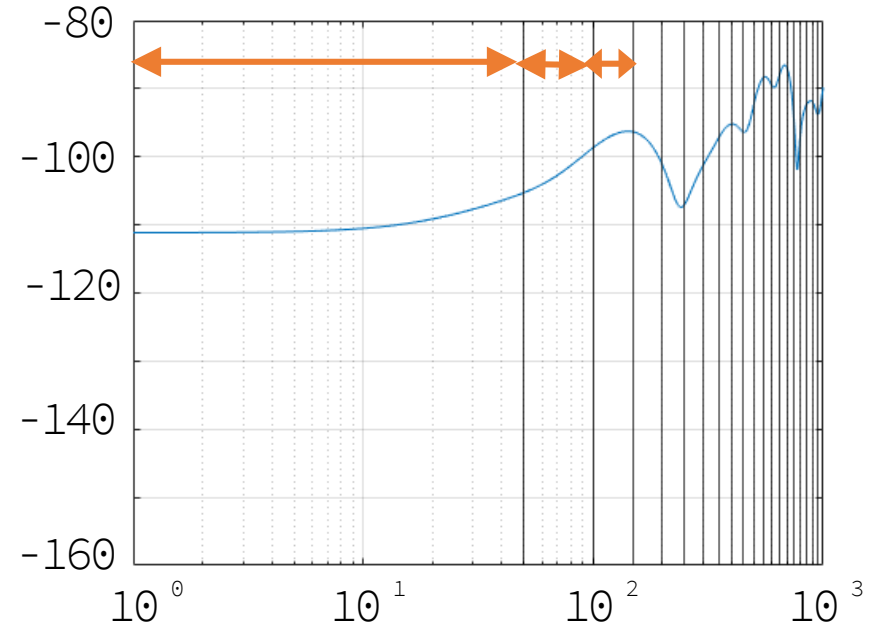
パワースペクトル密度 [dBV/Hz]



周波数 [Hz]

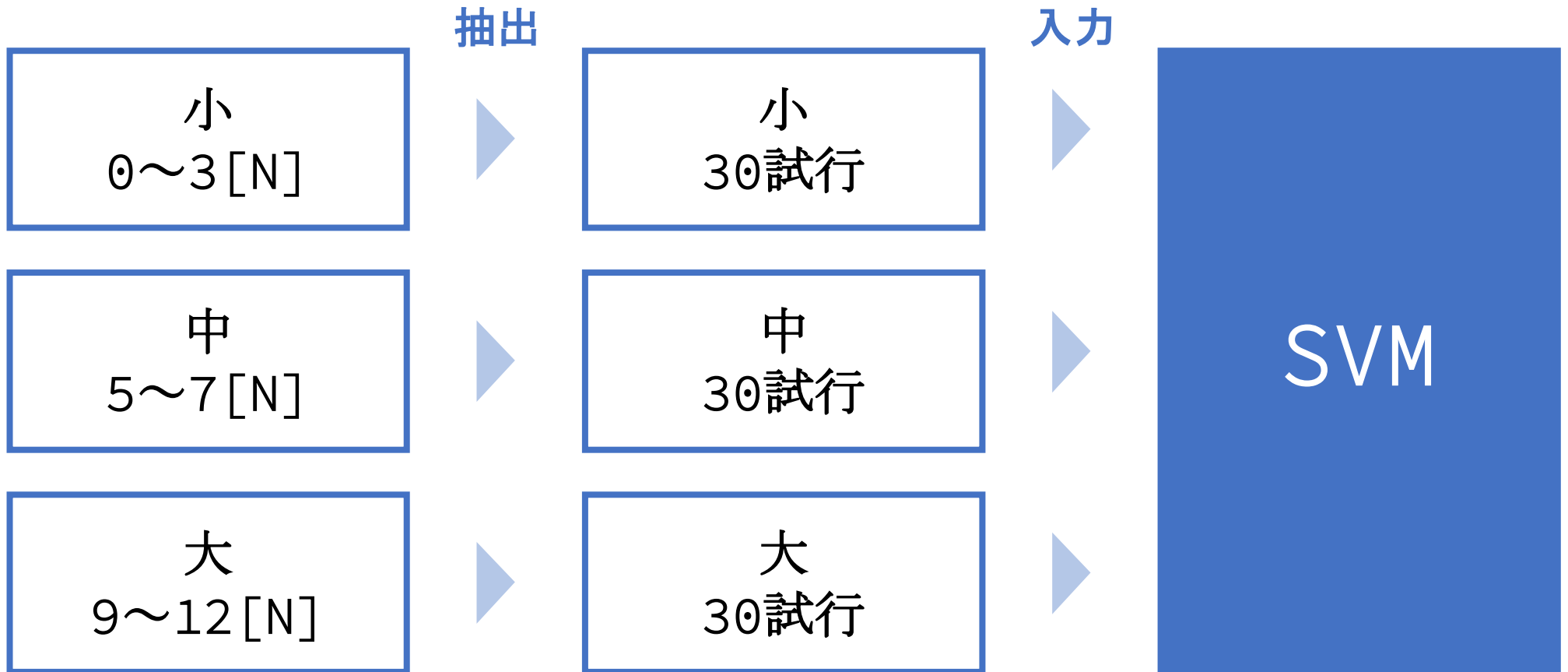
10区間 (100 [Hz]
毎)

パワースペクトル密度 [dBV/Hz]



周波数 [Hz]

20区間 (50 [Hz]
毎)



分類精度上位10個

分類精度	特徴量選択手法	特徴量選択数	区間数	SVMの種類
73.3%	ReliefF	10	44	3次
73.2%	ReliefF	10	55	3次
73.1%	ReliefF	10	71	3次
73.0%	ReliefF	10	61	3次
72.8%	ReliefF	10	86	3次
72.5%	ReliefF	10	59	3次
72.4%	ReliefF	10	64	3次
72.3%	ReliefF	10	79	3次
72.3%	ReliefF	10	57	3次
72.2%	ReliefF	5	23	3次

結論

- 最適な特徴量選択手法、SVMの算出
- 適した周波数分割区間数は特徴量個数に依存
- 分類精度：73.3%

(PortioFE 特徴量個数：10，区間数：44，3次SVM)

今後の展望

- 特徴量個数に対する最適な区間数及び分類精度検証
- 時間領域特徴量を用いた場合の分類精度検証

想定される用途

- 本技術の特徴から、靴のフィッティング・インソールの評価への利用が考えられる。
- 上記以外に、人間が着用、使用するもの、（ゴルフクラブのグリップやランドセルの肩ベルトフィッティング等）における剪断力計測全般で力を発揮することが期待。
- また、機械要素同士の接触力推定等の用途に展開することも可能と思われる。

実用化に向けた課題

- 現在、センサ形状が円形の場合、直線形状センサを綿製の布へ縫い込んだ場合のモデル構築が成功している。
- 今後、異なる素材・編み方の布について実験データを取得、モデルの構築を行い、様々な素材での実用性の検討行っていく。
- 実用化に向けて、剪断力推定の精度を90%以上まで向上できる手法の確立が必要。

企業への期待

- 素材の違い等については、同条件での計測とモデルの構築によって対応可能。
- 使用感の良好なセンサシステムを目指し、靴下やサポーター製作の技術を持つ企業との共同研究を希望。
- 靴・インソールを開発中の企業、ヒトが使用する製品のズレカの評価を考えている企業には、本技術の導入が有効と思われる。

本技術に関する知的財産権

- 発明の名称 : 線状センサ装置、繊維状センサ装置、剪断力の検出方法
- 出願番号 : 特願2022-201144
- 出願人 : 東京電機大学
- 発明者 : 井上淳、樋口航生、平石裕二

産学連携の経歴

- 2015年-2016年 花王株式会社と共同研究実施
- 2017年-現在 国立国際医療研究センター病院と共同研究
- 2021年 株式会社TSUKUMOと共同研究実施
- 2021年-現在 株式会社関電工と共同研究実施
- 2022年-現在 株式会社IBSと共同研究実施
- 2023年-現在 株式会社ハルタと共同研究実施

お問い合わせ先

東京電機大学

研究推進社会連携センター 産官学連携担当

TEL 03-5284-5225

FAX 03-5284-5242

e-mail crcc@jim.dendai.ac.jp