

平成 26 年度 未来研究ラボシステム 研究成果報告書

研究種目：個人研究

研究期間：平成 26 年 10 月～平成 27 年 3 月

研究課題名：電気インピーダンストモグラフィに基づく応力時空間分布計測とその応用
ラボ長

所属：基礎工学研究科機能創成専攻生体工学領域

氏名：吉元俊輔

研究成果（当初の研究目的と得られた結果を記載してください。図表を含め 2 ページ程度）：

任意形状の物体と身体との接触問題における力学的相互作用を電氣的に計測し、運動を制約することなく応力の時空間分布を取得する技術を開発することを目的としている。提案する計測手法では、二つの対象物に電圧を印加し、接触時に生じる電位分布から、物体間の接触に伴う圧力と接触位置の推定を行う。推定には導電体の電位分布モデルを利用し、計測された複数の部位の電位から逆問題を解くことで、力学的相互作用と関係のある電氣的な境界条件を得る。当該年度は（1）計測装置の実装、（2）応力分布再構成アルゴリズムの実装、（3）計測システムの基本性能評価に取り組んだ。

（1）計測装置の実装：計測装置では、対象物への電圧の印加と、各電極における電圧の計測を行う。また、逆問題を解くため、複数の電圧印加状態の電位を計測する必要がある。本研究では、図 1(a)に示すように、対象物に接続する電極、印加状態を切り替えるためのマルチプレクサ、電源、AD/DA 変換器（USB-6216, National Instrument 社製）から成る計測装置の実装を行った。一方の対象物に接続する計測電極の数は 16 点であり、もう一方の対象物に電源の 5 V 端子を一つ接続する。計測電極はマルチプレクサに接続されており、接地される電極を時分割で切り替えることにより、16 種類の電圧印加状態を再現する。本実装では、切り替えの周波数を 1 kHz とし、計測のサンプリング数周波数を 10kHz とした。導電性のシートに計測電極を接続し、一端にもう一方の対象物を接触させた場合の計測結果の一例を図 2 に示す。図 1(b)は 16 点の電極における計測された電圧の時系列データを示したものである。結果より、1 msec ごとに接地電極が切り替わることで電位に変化が生じていることがわかり、設計通りの出力が得られることが確認された。また、接触圧に応じて、計測される電位が高くなり、提案する計測装置により力学的相互作用に関連した情報を取得できることを確認した。

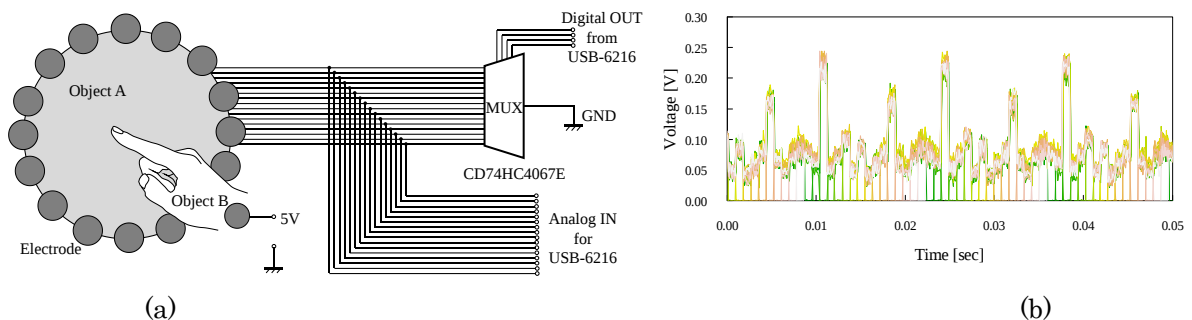


図 1：計測装置の構成および出力電圧の一例

(2) 応力分布再構成アルゴリズムの実装：計測された電位から接触圧と部位を推定するために，導電体の電位分布モデルを利用し，逆問題を解くことで物体間の境界部位の電位と位置を推定する．境界部位の電位は接触抵抗に依存しており，接触圧を反映した情報であるため，計測された電位から接触圧を求めることができる．当該期間では，接触部位が 1 点であり，対象物の形状にも変化がないという仮定で境界部位の電位とその位置を求める，下記のアルゴリズムの実装を行った．

i ラプラス方程式により導電体の電位分布をモデル化，電位の計算に利用する．

$$-\nabla \cdot (\sigma \nabla V) = 0 \quad (\sigma \text{ は導電率, } V \text{ は電位である.})$$

ii 計測された電位とモデルの電位の最小二乗誤差を評価指標として算出する．

$$E(\phi(\mathbf{x})) = \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N (\phi_j(\phi^i(\mathbf{x})) - \hat{\phi}_j)^2$$

($\phi^i(\mathbf{x})$ は i 番目の電圧印加状態， $\phi_j()$ はその状態での j 番目の電極の電位， $\hat{\phi}_j$ は計測された j 番目の電極の電位である．ただし， ϕ はモデル・計測毎に最小値 $V_{\min} \cdot \hat{V}_{\min}$ ，最大値 $V_{\max} \cdot \hat{V}_{\max}$ を利用して正規化した値である．)

iii 誤差を最小化する電位境界条件を求める．

$$\mathbf{x}_f = \arg \min_{\mathbf{x}} E(\phi(\mathbf{x})), \quad V_f = (\hat{V}_{\max} - \hat{V}_{\min}) / (V_{\max} - V_{\min})$$

($\mathbf{x}_f$ は接触位置， V_f は接触位置での電圧値であり，接触圧に関係した量である．)

本実装においては，対象物の形状データをメッシュ表現しておき，有限要素法によって電位分布を計算した．また，高速な計算を実現するため，全ての点について境界条件を与えた際の電位分布を予め計算してデータ化おき，最小化問題の計算に利用した．

(3) 計測システムの基本性能評価：縦 230 mm，横 330 mm，厚さ 2 mm の導電性シートと金属片の接触を例に，実装したシステムの動作確認を行った．対象物は要素数 4800，節点数 1722 の四面体メッシュに分割し，導電解析を行った際の各電極位置の電圧を推定に用いた．図 2 に計測の様子と推定された電位境界条件を用いて，左下に接地電極がある場合の電位分布を可視化した結果を示す．結果より，推定された接触部位（最も電位が高い部位）が実際の接触位置に概ね一致することが確認された．また，推定に要する計算時間は 7.0×10^{-7} sec であり，良好な結果が得られることがわかった．今後は位置と力の推定結果を定量的に評価し，計測装置およびアルゴリズムの改良を重ねる予定である．

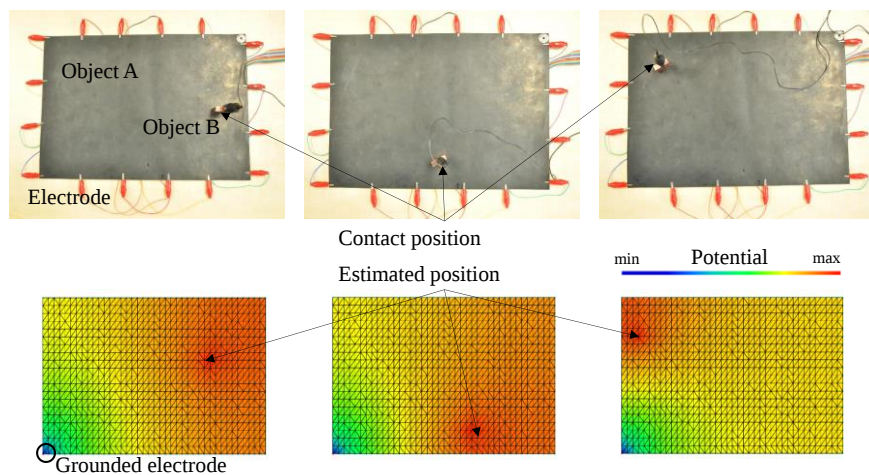


図 2：計測の様子（上段）と電位分布の推定結果（下段）の一例

キーワード：触覚センサ，応力計測，電気インピーダンストモグラフィ，接触解析

研究経費（H26 年度）の内訳

備品費	消耗品費	旅費	謝金	その他	合計
370,548 円	80,252 円	49,200 円	0 円	0 円	500,000 円

共同研究者等

(1) 共同研究者（氏名・所属）

該当なし

(2) 研究協力者（氏名・所属・学年（学生の場合））

該当なし

発表論文等（平成 27 年 3 月 31 日現在）

〔雑誌論文〕 該当なし

〔著書〕 該当なし

〔学会発表〕 該当なし（IEEE EMBC 2015 への投稿準備中）

〔その他〕 該当なし

外部資金獲得状況・申請状況（本研究課題に関連して、科研費、JST 等の競争的資金、受託研究、奨学寄付金を受給された場合、また、申請された場合はその状況を記入ください）

該当なし

参考となるHP等

<http://oshiro.bpe.es.osaka-u.ac.jp/people/staff/yoshimoto/>