

ロバストな深部体温センサのトポロジー最適化を利用した設計

Core body thermometer design with topology optimization

¹NTT先デ研, ²バイオメディカル情報科学研究センター, 日本電信電話株式会社

○田中 雄次郎^{1, 2}, 松永 大地^{1, 2}, 田島 卓郎¹, 瀬山 倫子^{1, 2}

¹NTT Device Technology Laboratories, NTT Corporation

²Bio-Medical Informatics Research Center, NTT Corporation

○^{1,2}Yujiro Tanaka, ^{1,2}Daichi Matsunaga, ¹Takuro Tajima, ^{1,2}Michiko Seyama

【序論】

深部体温(CBT)の振舞いは、概日リズムを反映し我々の体調に密接に関係している。従来の測定技術ではセンサを直腸等に挿入するため測定の負担が大きく、日常測定は難しい。代替手法には図 1(a)に示すような生体の熱等価回路を考え、皮膚に貼ったセンサで測定される皮膚温度 T_{Skin} と熱流束 H_{Skin} を用いて CBT を推定する熱流束法がある[1]。しかし、深部から熱が損失なしでセンサへ輸送されることを仮定するが、外気の流れによるセンサ近傍の熱伝達が損失となり推定誤差を生む。外気の流れは我々の活動によっても生じるため日常測定の大きな課題の一つとなる。本研究ではセンサ構造設計で損失を最小化し、外気の流れがあっても誤差を生じないロバストな深部体温センサをトポロジー最適化を用いて設計したので報告する。深部体温センサの構造設計にトポロジー最適化を適用した初めての例である。

【最適化構造設計】

図 1 (b)に本報告で用いた最適化問題を示す[2]。熱の損失が最小化に向けセンサ中央の皮膚温度 T_s の最大化する設計領域 Ω の材料分布を最適化した。材料はアルミニウムとした。温度 $T_{Air}=15^\circ\text{C}$ 、風速 $V_{in}=2\text{ m/s}$ とし風向はセンサ鉛直方向とした。設計領域内はケースによって覆われており風速を与えていない。生体表面から深部体温までの深さは $d=10\text{ mm}$ と仮定した。深部体温は $T_{Body}=37^\circ\text{C}$ と設定した。トポロジー最適化で得られた構造は複雑な構造を含んでいるため、特徴をもとに作製トレランスを考慮して構造を数値解析でさらに最適化し図 1(c)に示すアルミニウムの円錐台構造を得た。数値解析では風速(0-5 m/s)、外気温度

(15-25 $^\circ\text{C}$)に対する誤差を最小した。図 2 の構造の物理的な理解としては、(1)センサ外周部から中央への熱輸送と(2)中央部の穴(空気)により熱抵抗増加による中央の測定部での熱損失抑制である。本構造の深部温度測定誤差は $\pm 0.1^\circ\text{C}$ 以下であった。数値解析は COMSOL Multiphysics®により行った。

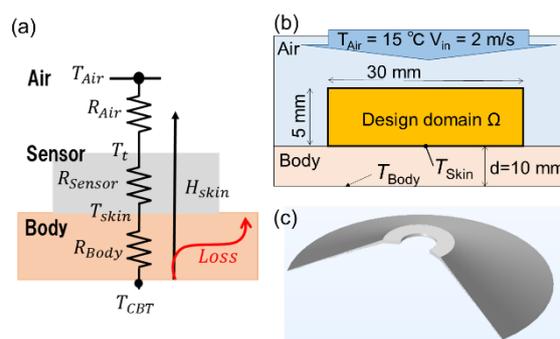


図 1 ロバストな深部体温センサの設計

(a)深部体温推定の熱等価回路, (b)最適化問題の模式図, (c)最適化されたアルミニウム構造

【結論】

外気の影響にロバストな深部体温センサ実現に向けトポロジー最適化によって深部からの熱の損失を最小化する構造を設計した。円錐台中央の構造や穴は一般の設計では考案に多くの試行錯誤が必要といえる。また、数値解析的に性能評価を行ったが作製精度や温度センサの精度などの影響を受ける。今後は目的関数の検討をさらに進めるとともに実験的な構造の精度評価を進める。

参考文献

- [1] K. Kitamura et al., Med. Eng. Phys., vol. 32, pp. 1-6, Jan. 2010
 [2] Yoon, J. Mech. Sci. Tech. vol. 24.6 pp. 1225-1233, 2010