

低エネルギー生体融着デバイスの発熱機構の開発

Development of Heat System of Low Energy Tissue Adhesion Device

○ 猪野学 (茨城大院) 増澤徹 (茨城大) 青代敏行 (茨城大) 尾関 和秀 (茨城大)

加藤綾子 (埼玉医科大) 岸田晶夫 (東京医科歯科大) 樋上哲也 (札幌医科大)

Manabu INO, Graduate school of science and Engineering, Ibaraki University, 4-12-1 Nakanarusawa, Hitachi, Ibaraki, Japan
 Toru MASUZAWA, Ibaraki University Toshiyuki AODAI, Ibaraki University Kazuhide OZEKI, Ibaraki University
 Ayako KATO, Saitama Medical University Akio KISHIDA, Tokyo Medical and Dental University Tetsuya
 HIGAMI, Sapporo Medical University

Key Words: Adhesive Technology, Low Energy, Temperature, Heat Transfer,

1. 緒言

針と糸に替わる生体組織融着技術として、超音波メスや電気メスの応用が検討されている。しかし、高エネルギーを用いた組織融着では、生体組織の損傷が問題となっている。我々は、熱、圧力、振動の3種類の複合低エネルギーを利用した低損傷な生体組織融着方法を研究している。そこで今回、本技法を用いたハンドピース型の生体融着デバイスの発熱機構について伝熱解析を行い、昇温特性と断熱効果を検討したので報告する。

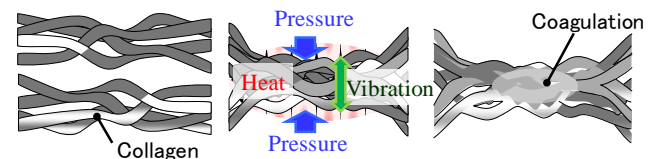


Fig. 1 Mechanism of adhesion tissue

2. 生体融着デバイスと発熱機構

本生体融着デバイスは、図1のように生体組織に含まれるコラーゲン線維を熱でゲル化させ振動や圧力によって、その融合を増進させることで、生体組織同士の強固な接合を行う。図2に生体融着デバイスと発熱機構の概要図を示す。本デバイスは全長が200mmのハサミ型であり、その先端に専用に設計した発熱体を配置し、生体組織を挟みこみ、熱と圧力を与える。発熱部分の断面の大きさは6.5mm×8mmである。発熱体には、径0.2mm、長さ1mのニクロム線を、幅1mm、長さ10mmのアルミニウム片に巻いたものを作製した。発熱機構周囲に断熱材としてテフロンを配置することにより、融着対象以外の部分の温度上昇をタンパク質変性が起きない60度前後に抑えることを目指した。また、発熱体周囲に血流を遮断し、融着対象のみを加熱するよう圧迫部を設けた。

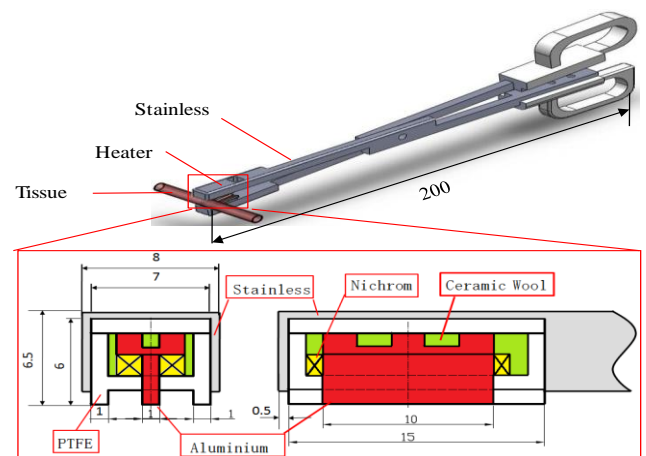


Fig. 2 Hand-piece type adhesion tissue device

融着デバイスの温度制御を図3に示すデジタルPIDコントローラと専用PWMアンプを用いて行う。発熱機構に取り付けた熱電対による融着中の発熱機構と生体組織温度を制御用ソフトLabVIEWによって計測してデジタルPID制御する。PID信号は専用PWMアンプに入力され、PWM信号は生成される。そして、PWM信号をFETに入力することで、発熱体に流す電流をスイッチング制御し、発熱機構、生体組織の温度を制御する。

3. 伝熱解析方法

生体融着デバイスの昇温特性と発熱機構の断熱特性を検討するために、融着中の発熱体温度を150℃、発熱機構の昇温時間10秒程度として汎用有限要素解析ソフトANSYSを用いて伝熱解析を行った。

生体融着デバイスの過渡伝熱解析に入力する発熱体温度を求めるために発熱体機構について定常伝熱解析を行った。ただし、本研究で用いるニクロム線の抵抗率を33Ω/mとし、電圧10V、電流1Aを印加した。発熱体の伝熱解析結果を図4(a)に示す。10秒程度でアルミニウムは150度、ニ

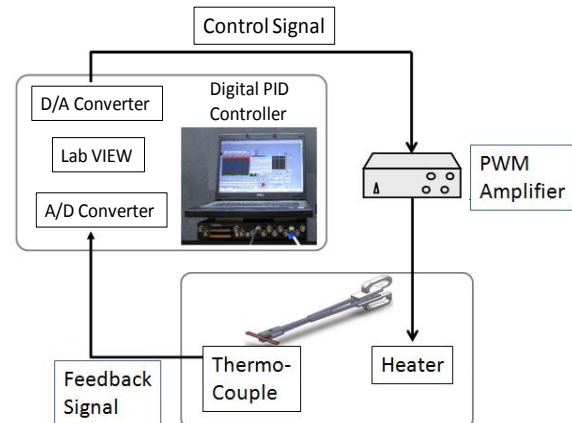
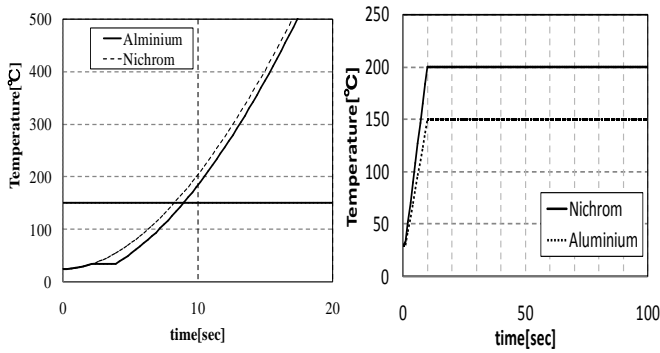


Fig. 3 Temperature control system

クロム線は200度程度となった。この結果から、過渡伝熱解析に入力するニクロム線とアルミニウムの温度プロファイルはそれぞれ、10秒で200度、150度に達し、それ以降は、温度一定とした(図4(b))。また、本融着デバイスは、



(a) Temperature rising of heat element

(b) Thermal Input Properties

Fig. 4 Analysis result of heat element temperature

Table 1 Materials Properties

	ρ [kg/m ³]	C [J/kgK]	λ [W/mK]
Nichrom	8670	444	17.4
Aluminium	2670	905	237
PTFE	2170	960	0.24
Ceramic Wool	16	870	0.034
Stainless (SUS304)	7920	499	16.0

Table 2 Analysis Condition

Initial Temperature of Each Materials [K]	303.16
Atomosphere Temperature [K]	303.16
Heat generation of Nichrom line [W]	33.78
Heat Transfer Coefficient [W/m ² K]	10
Radiation ratio of Nichrom line	0.8
Radiation ratio of Aluminium	0.4
Analysis Time [sec]	100
Step [sec]	0.1
Mesh Number	13858

ハサミ型であり、同一の発熱機構を2個上下対称に配置する構造である。今回は、下側の1つの発熱機構に対してのみ過渡伝熱解析を行った。解析で用いたメッシュモデル、各材料の物性値、解析条件をそれぞれ図5、表1、2に示す。解析モデルのメッシュ数は約14000である。また解析モデルの100秒間の温度分布を0.1秒毎に測定した。

4. 解析結果及び考察

図6に伝熱解析より得られた発熱機構の温度分布図を示す。また図6中、表3の温度測定点の温度変化を図7に示す。図6の温度分布図から、③部分の温度が最も高く、徐々に後端の部分に熱が伝わっていることが分かる。図7のグラフから温度測定点①～⑤の最終温度は80°C以上となった。特に、温度測定点③は、断熱材のPTFEとニクロム線が接触しているため最終温度は120°Cとなった。温度測定点⑥～⑧の温度は、50°C程度であり、温度測定点⑧より後端部は30°C程度であった。

これらの結果から、発熱機構近傍、特に先端から7mm以内の部分は80度以上の温度になることがわかった。しかし、先端より15mm以上離れると温度上昇は60度以下となり、融着中の融着対象への熱伝導に問題がないと考えられる。

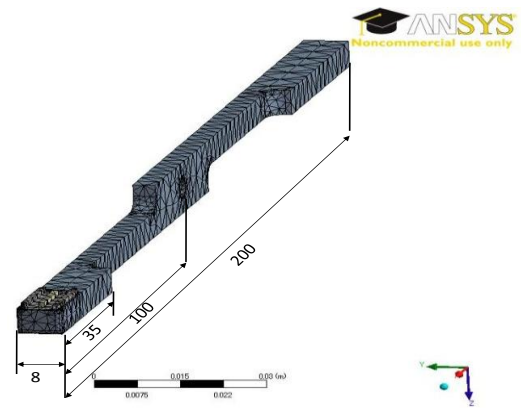


Fig. 5 Analysis Mesh Model

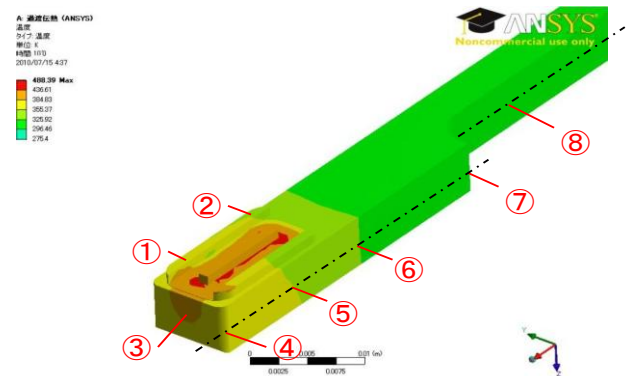


Fig. 6 Temperature contour figure

Table 3 Thermometric Point

①	PTFE top front
②	PTFE top back
③	Stainless front face
④	Stainless side 0 mm from the edge
⑤	Stainless side 7 mm from the edge
⑥	Stainless side 15 mm from the edge
⑦	Stainless side 35 mm from the edge
⑧	Stainless side 50 mm from the edge

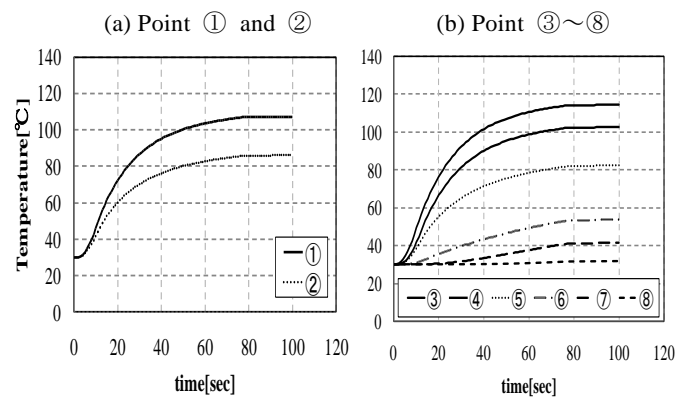


Fig. 7 Analysis results

5. 結言

本研究では、ハンドピース型生体融着デバイスの開発を目的に、発熱機構の熱特性について伝熱解析により検討した。その結果、ニクロム線に電圧10V、電流1Aを印加時に10秒で100°Cの温度上昇が可能な発熱応答特性を有していること、生体組織融着時に十分な急加熱が可能であることを確認した。