

# 皮膚の熱的性質について

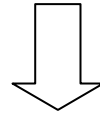
大阪府立大学大学院 工学研究科 機械系専攻  
吉田篤正

# 研究内容

熱浸透率測定モデルの考案

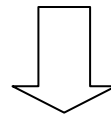
開放型光音響セルの開発

生きた状態の皮膚を測定するため



天然ゴムの熱浸透率測定

皮膚を模擬した材料で検証



皮膚の熱浸透率測定

# 光音響法とは

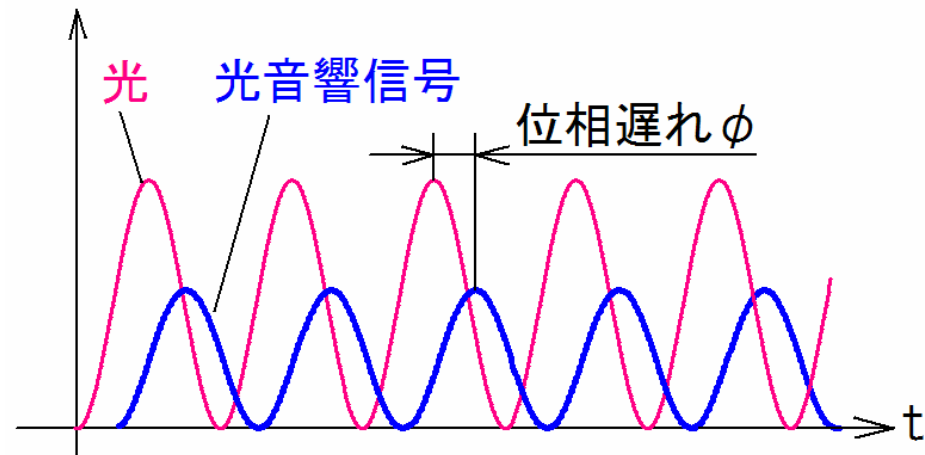
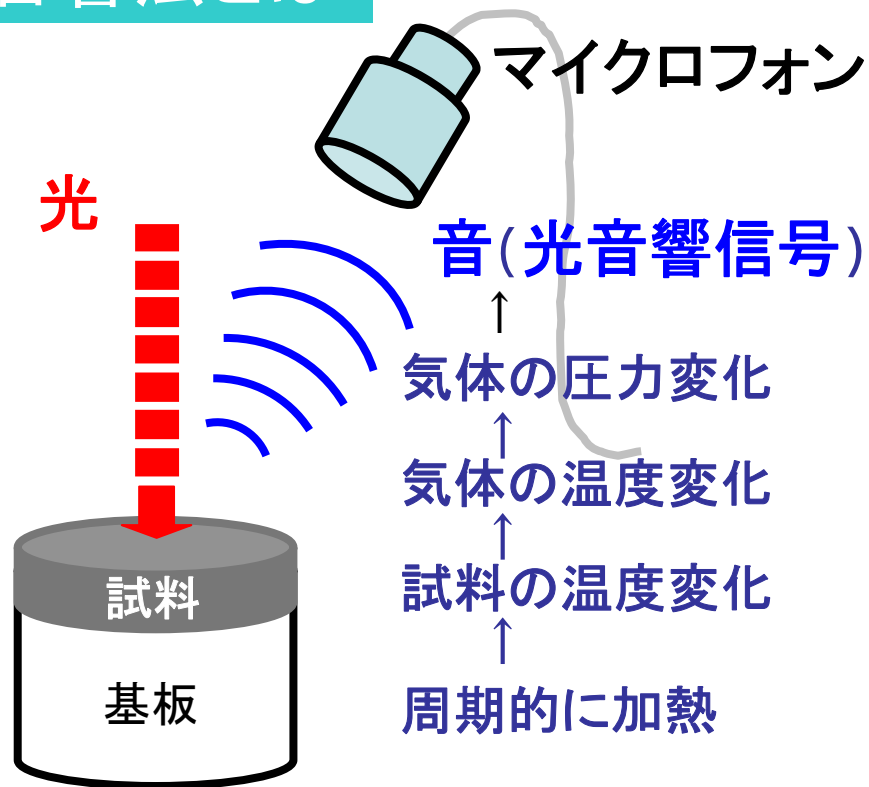


図 測定信号イメージ

光音響信号には試料の熱的性質の情報が含まれる。

位相遅れを解析する事で、試料の熱的性質を知ることができる。

非破壊，簡便な測定技術

[RG理論]

一次元熱拡散方程式に基づく

[気体部分]

$$\left(\frac{\partial^2}{\partial x^2} - \frac{1}{\alpha_g} \frac{\partial}{\partial t}\right) T_g(x, t) = 0$$

[試料部分]

$$\left(\frac{\partial^2}{\partial x^2} - \frac{1}{\alpha_s} \frac{\partial}{\partial t}\right) T_s(x, t) \text{ 熱の生成項} \\ = -A \exp(Kx) \{1 + \exp(j\omega t)\}$$

[基板部分]

$$\left(\frac{\partial^2}{\partial x^2} - \frac{1}{\alpha_b} \frac{\partial}{\partial t}\right) T_b(x, t) = 0$$

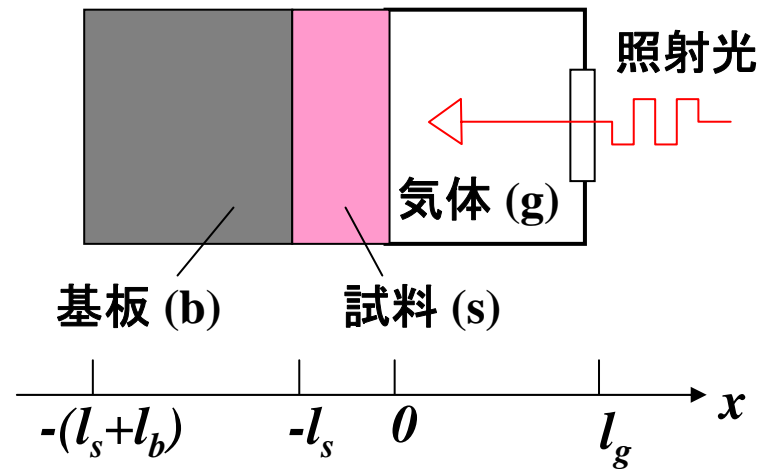
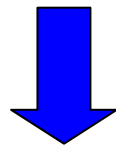
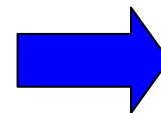


図 光音響法測定モデル(RG理論)



気体の周期的な温度変化  $T_g$  が求まる。



圧力変化  $\delta P(t)$  (光音響信号)

# 測定理論

位相遅れ  $\phi$  は周波数と  $\xi$  と  $b$  の関数

$$\phi = F(f : \xi, b)$$

$$\xi = \frac{l_s}{\sqrt{\alpha_s}}$$

厚さ(試料)  $\alpha_s$  熱拡散率(試料)

$$b = \frac{e_b}{e_s}$$

熱浸透率(基板)  $e_s$  熱浸透率(試料)

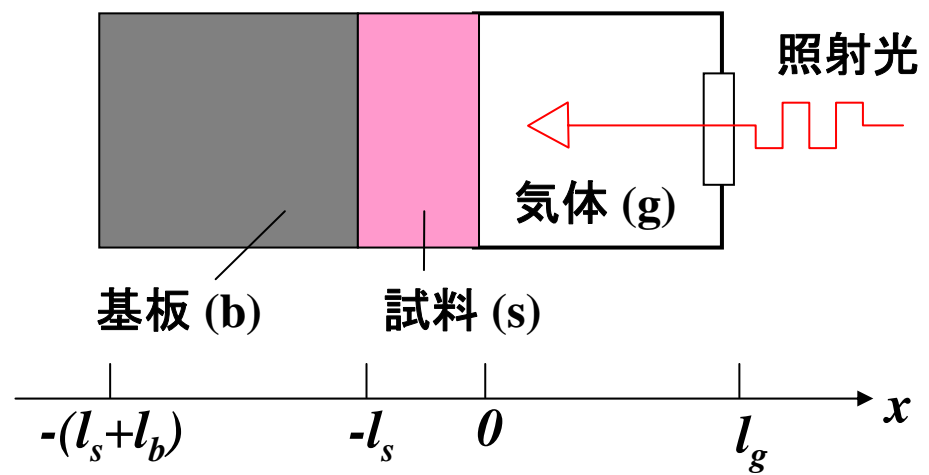
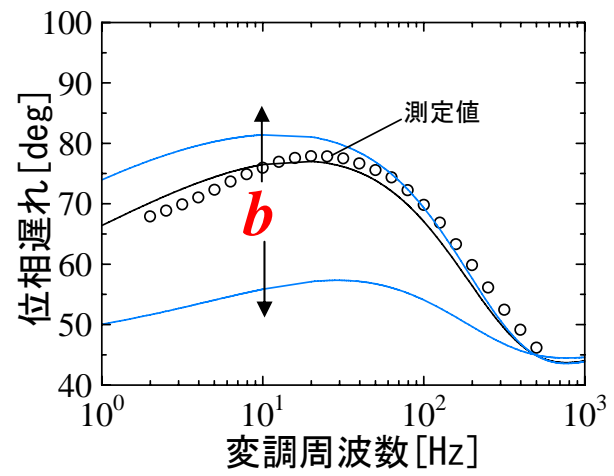
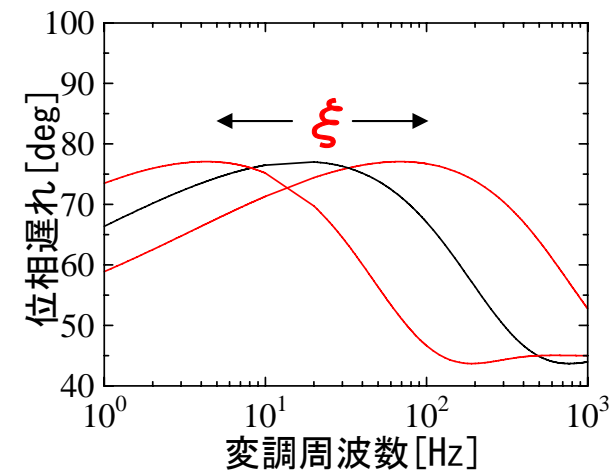


図 光音響法1次元測定モデル



複数の周波数における  
位相遅れを測定  
↕  
最も一致する  
 $\xi$  と  $b$  を求める

# 皮膚の熱浸透率測定モデル

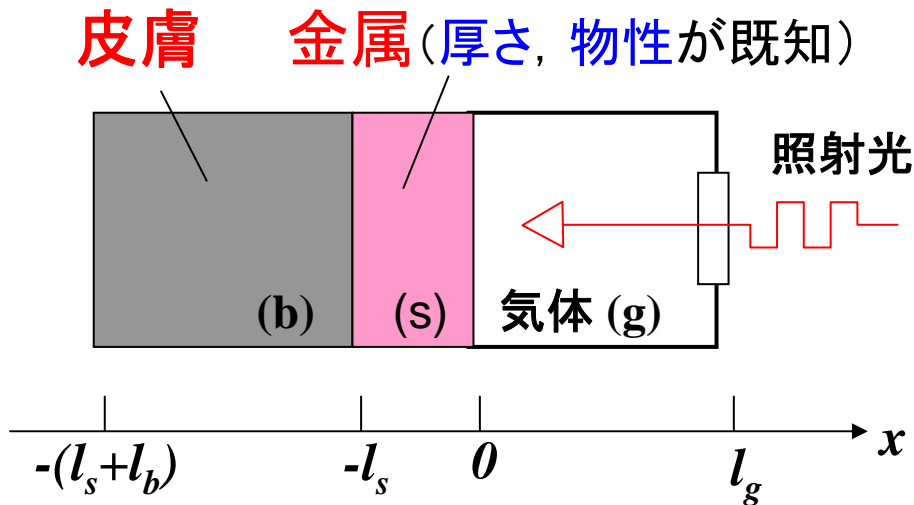


図 皮膚の熱浸透率測定モデル

$$\xi = \frac{l_s^{\text{既知}}}{\sqrt{\alpha_s^{\text{既知}}}}$$

$$b = \frac{e_b^{\text{皮膚の熱浸透率}}}{e_s^{\text{既知}}}$$

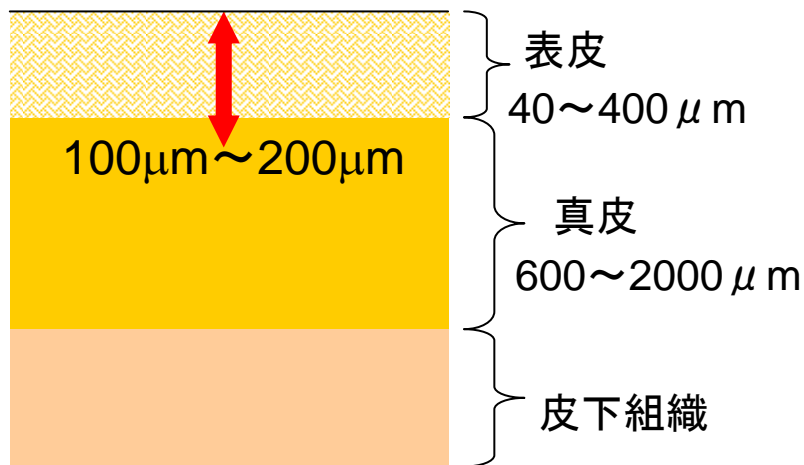
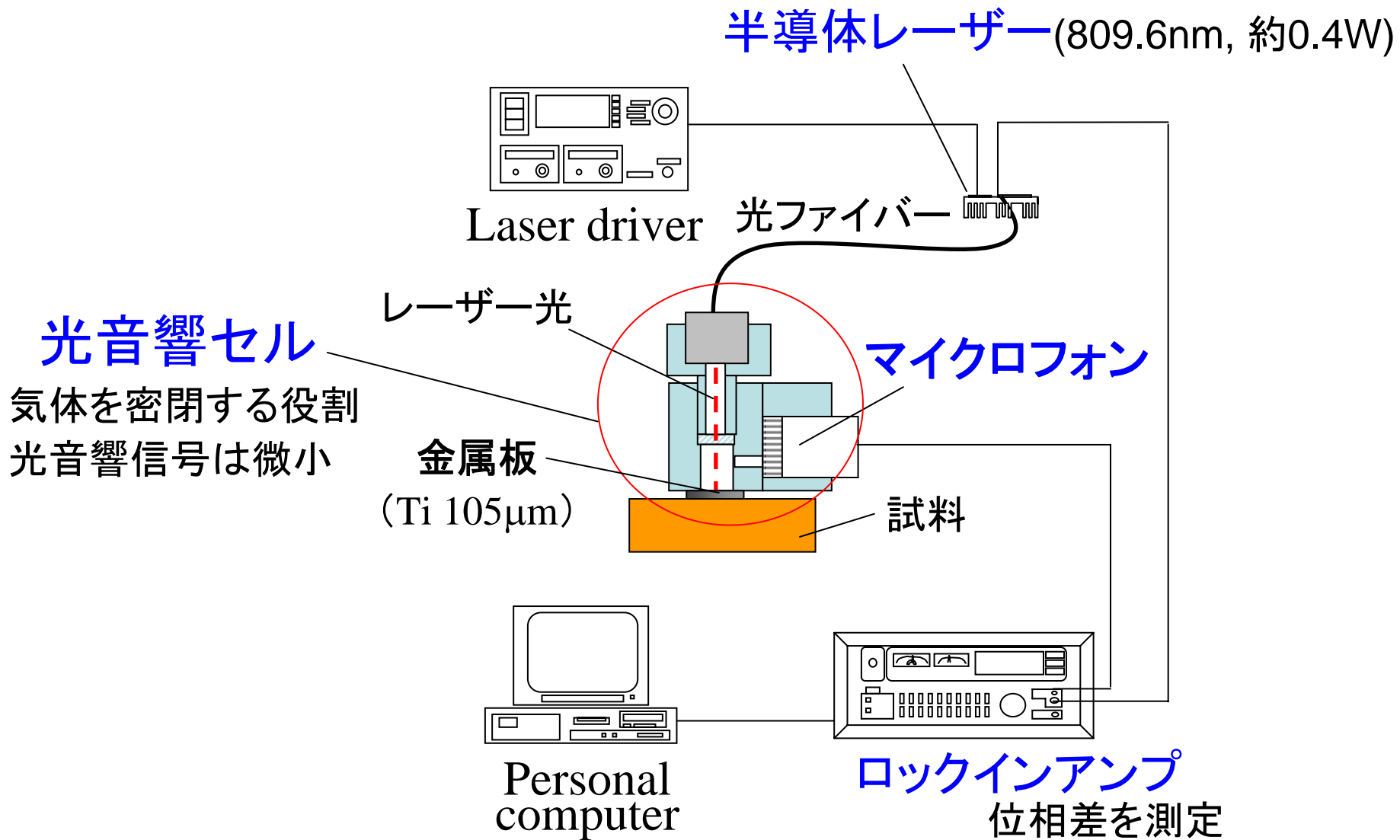


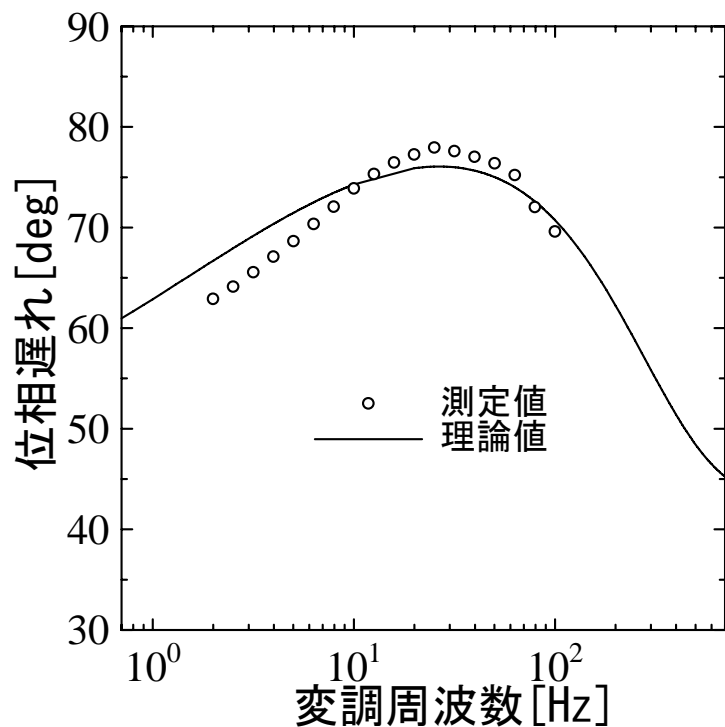
図 皮膚の構造

# 測定装置

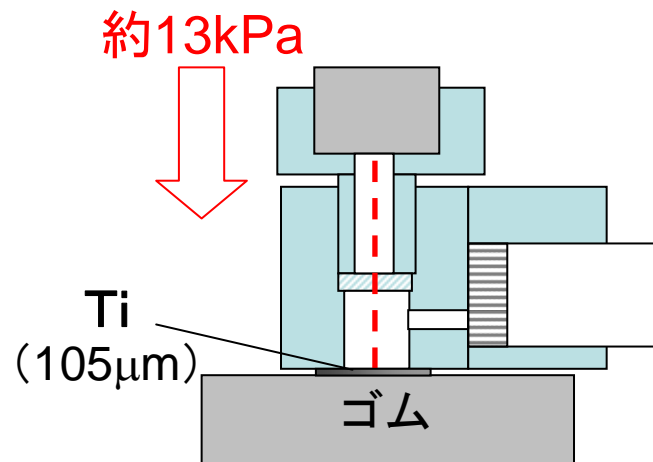


# 天然ゴムの熱浸透率測定

皮膚を模擬した材料として  
天然ゴムを測定



[熱浸透率]



測定結果: **915 ± 51** [Ws<sup>1/2</sup>/(m<sup>2</sup>K)]

差は約9%

参考値: **842** [Ws<sup>1/2</sup>/(m<sup>2</sup>K)]

(他の方法で測定した密度, 比熱, 熱伝導率から)  
±5% ±4%



# 皮膚の熱浸透率測定

6人の被験者，複数の部位の皮膚を測定

被験者	A	B	C	D	E	F
年齢	24	25	55	51	37	23
測定部位	腕 手のひら	腕 手のひら	腕 手のひら	腕 手のひら	腕 手のひら	腕 手のひら
	指先 かかと 手の甲 腕の裏側		指先 かかと			

部位差について

個人差について

# 測定結果(位相遅れ)

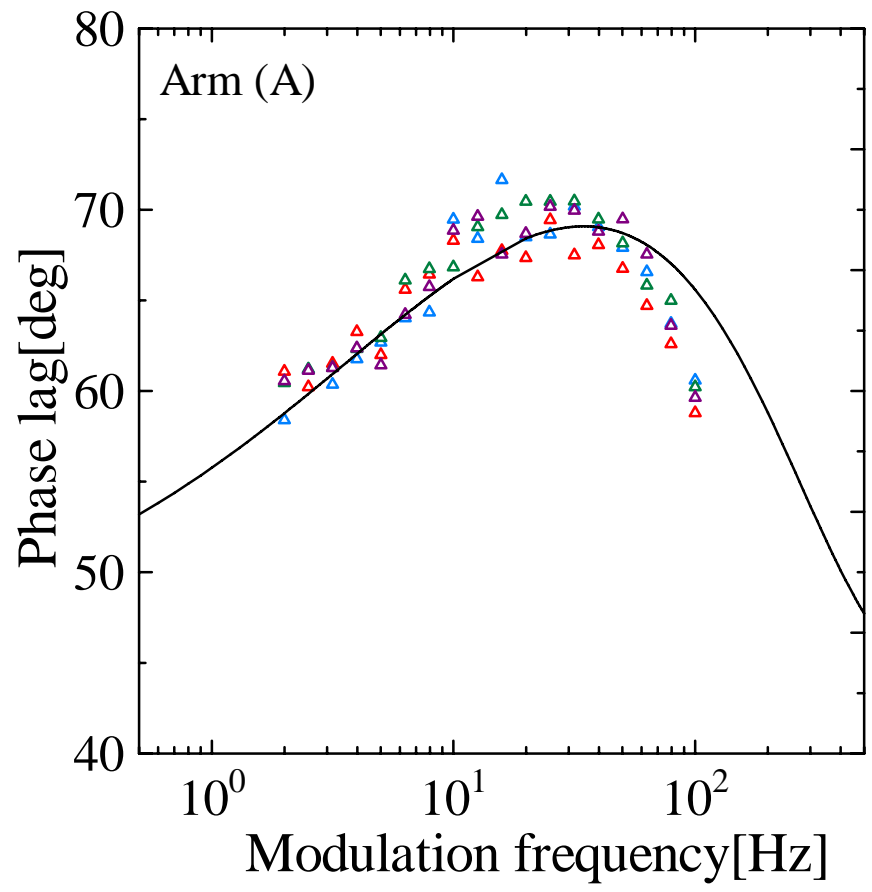


図 被験者Aの腕から得られた位相遅れ

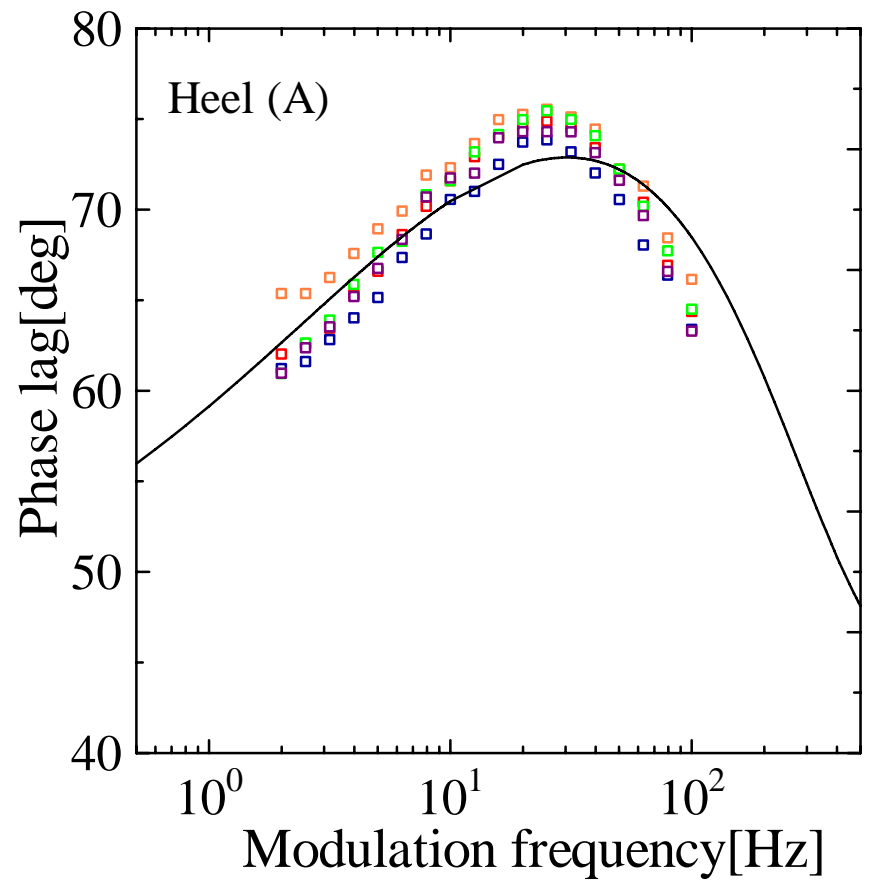


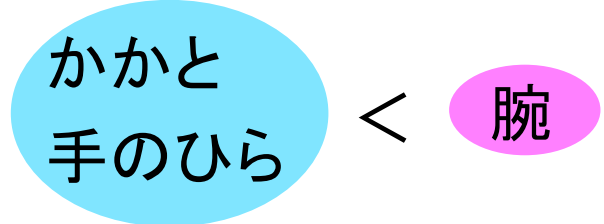
図 被験者Aのかかところから得られた位相遅れ

【被験者A, Cの熱浸透率】

・他の研究結果と同程度

(1100~1740 [Ws<sup>1/2</sup>/(m<sup>2</sup>K)])

・部位による差が見られる



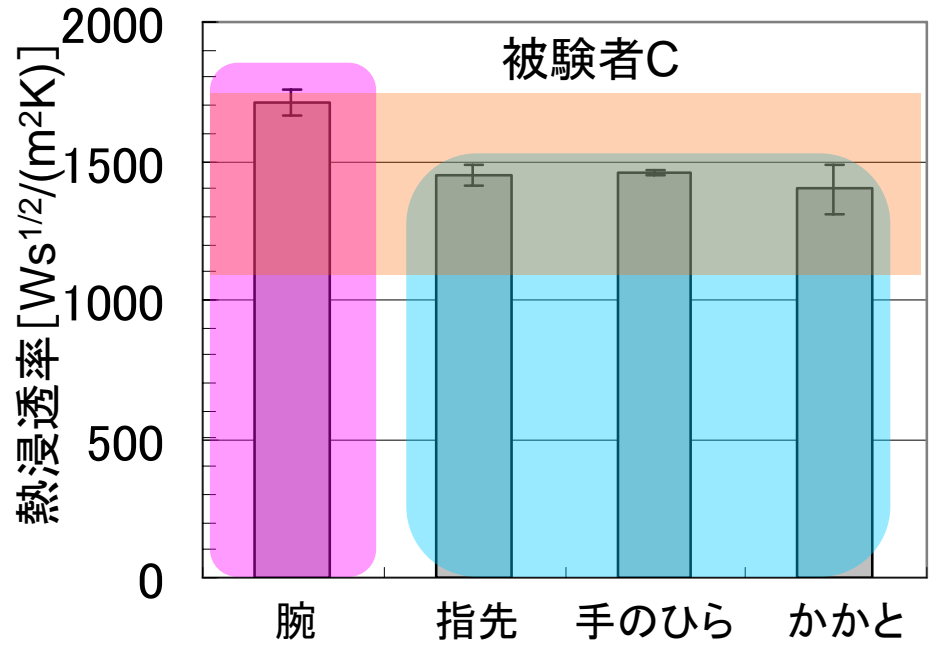
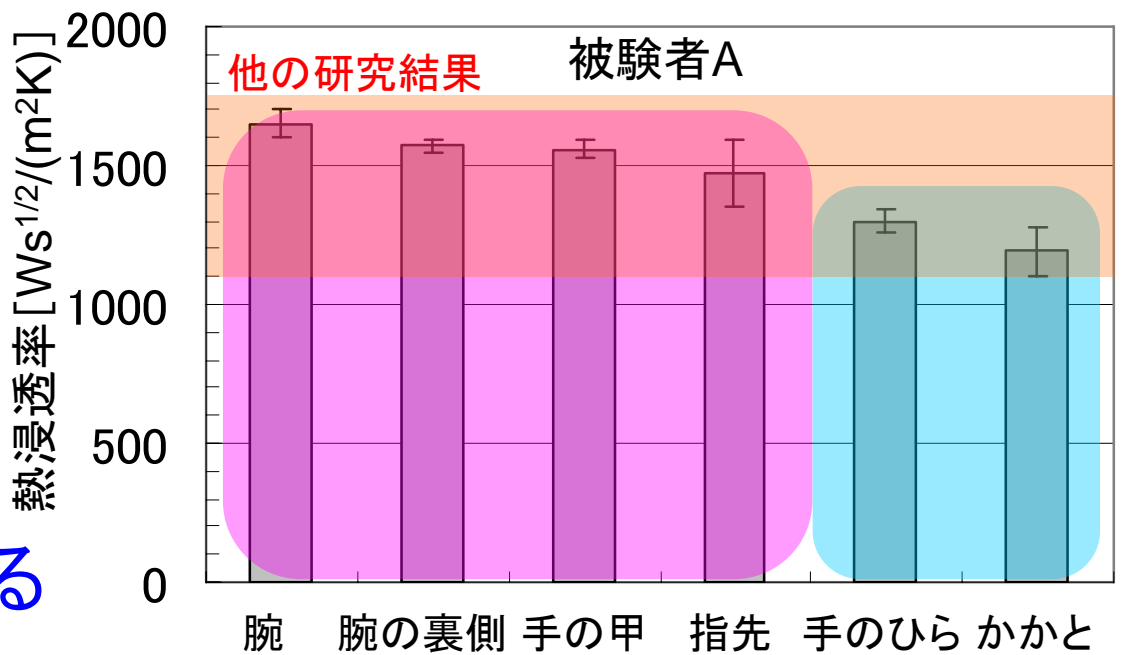
他の研究結果でも同じ傾向

棚沢ら(1972)

手のひら:1260 < 腕:1360

KRANINGら(1973)

かかと:1100 < 腕:1590



# 【6人の被験者の腕, 手のひらの熱浸透率】

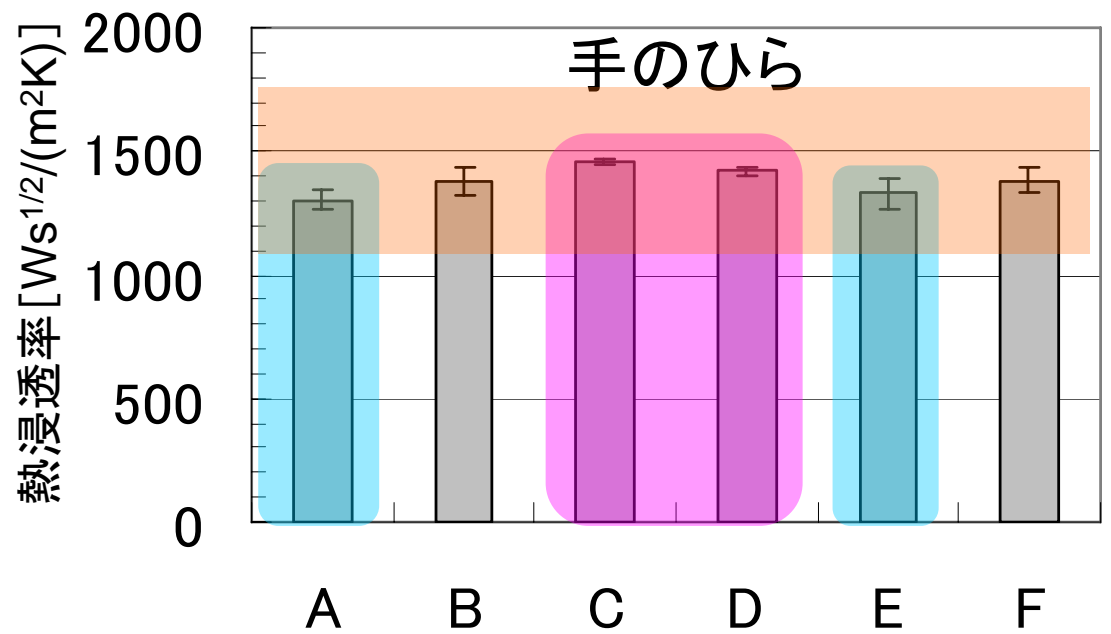
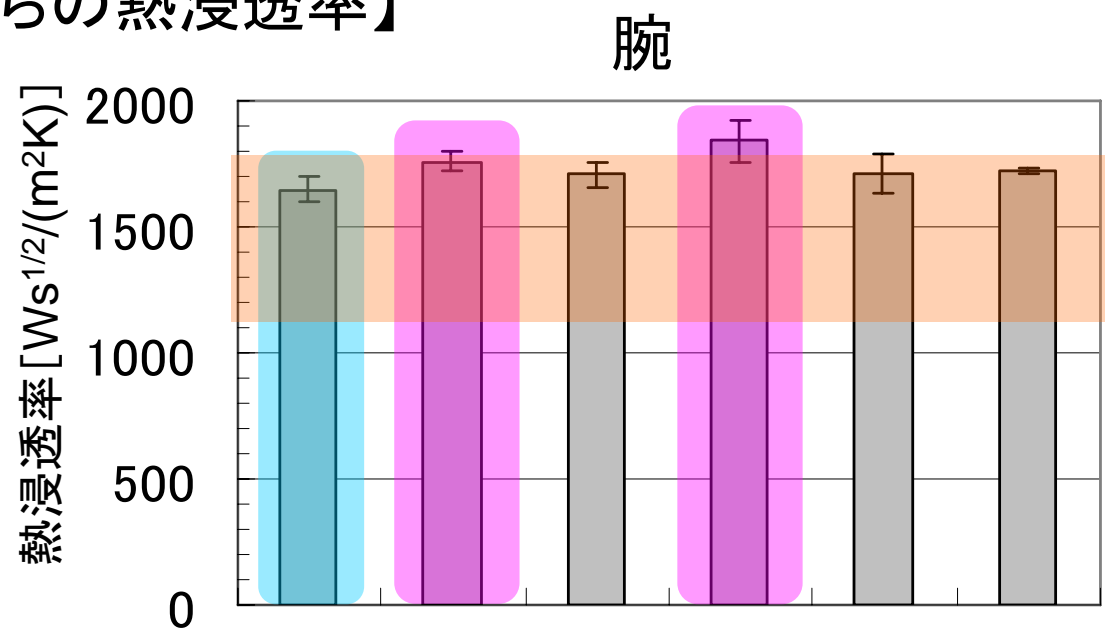
・ 他の研究結果と同程度

・ 個人差が見られる

腕: A と B,D

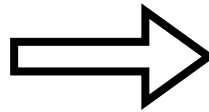
手のひら: A,E と C,D

・ 手のひら < 腕

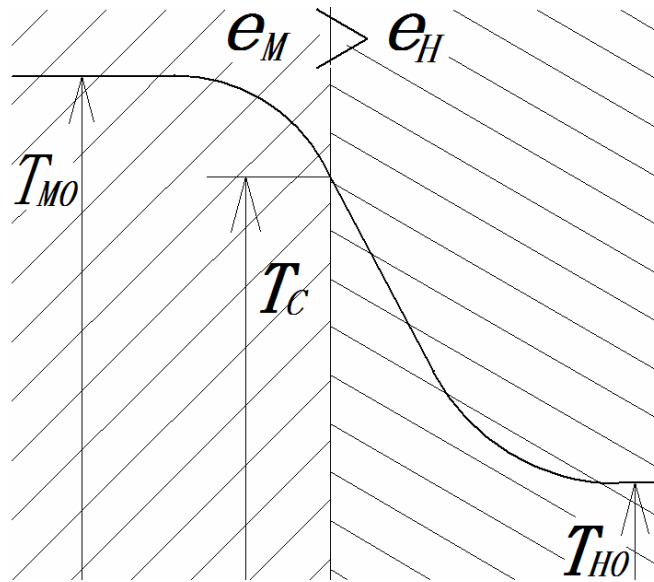


光音響法により、皮膚の熱浸透率の部位差や個人差が確認された。

部位によって  
熱浸透率が異なる



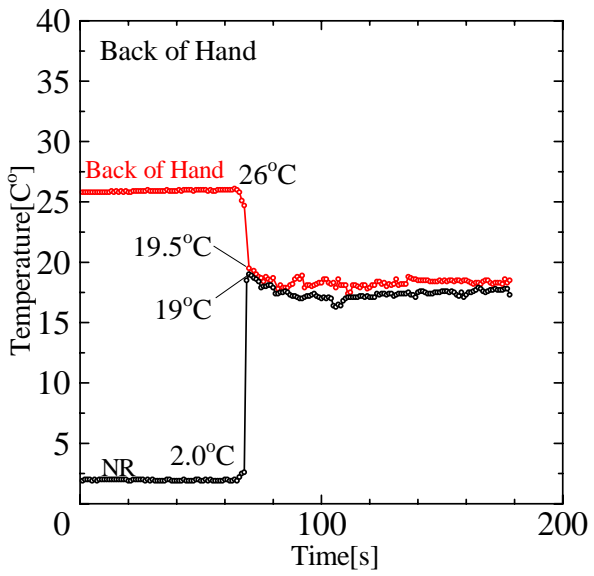
部位によって  
接触面温度も異なるはず



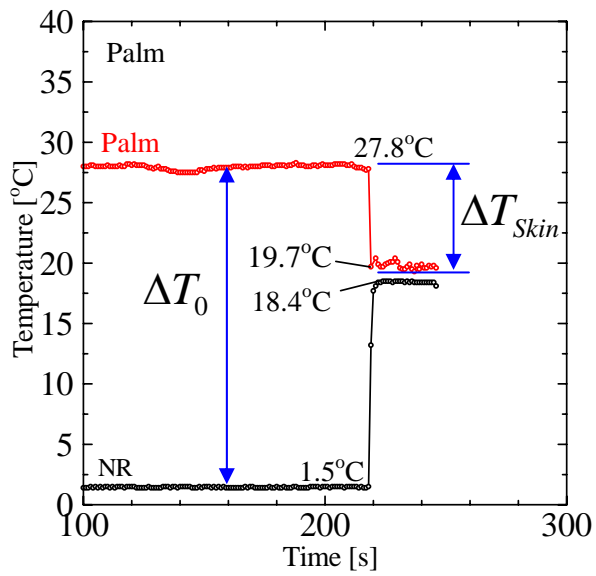
接触する2つの半無限体の接触面温度

## 実際に皮膚と天然ゴムを接触

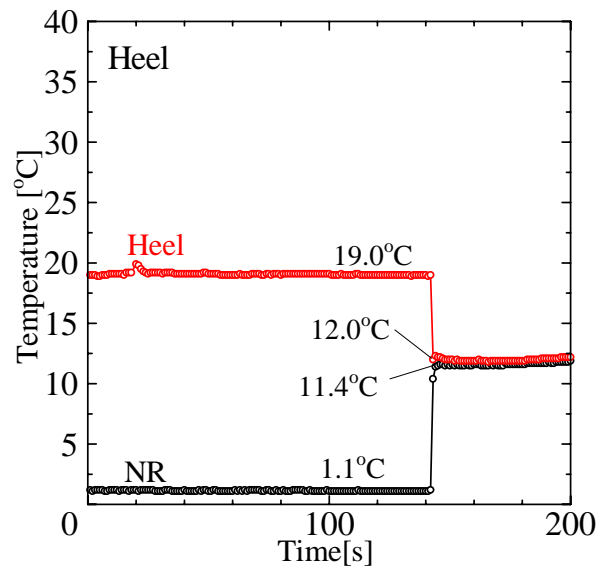
手の甲 1560 [Ws<sup>1/2</sup>m<sup>-2</sup>K<sup>-1</sup>]



手のひら 1300 [Ws<sup>1/2</sup>m<sup>-2</sup>K<sup>-1</sup>]



かかと 1190 [Ws<sup>1/2</sup>m<sup>-2</sup>K<sup>-1</sup>]



$$\frac{\Delta T_{Skin}}{\Delta T_0} = \frac{\text{皮膚の温度変化 [C°]}}{\text{初期温度の差 [C°]}} \quad \text{で比較}$$

	手の甲	手のひら	かかと
$\Delta T_{Skin} / \Delta T_0$	0.28	0.33	0.41

熱浸透率 → 低

熱浸透率が低い部位, 温度変化が大きい(接触面温度が低い)

## まとめ

- 光音響法を用いて生きた状態の皮膚の熱浸透率測定が可能である
- 部位, 個人によって熱浸透率に差がある
- 接触実験の結果, 熱浸透率の違いにより  
接触面温度が異なる事を確認