

人間の温度感覚に関する伝熱学的研究 (第1報)

Study on Human Thermal Sensation as a Heat Transfer Problem (I)

棚沢 一郎*・渡部 勇市**

Ichiro TANASAWA and Yuich WATANABE

1. はじめに

本研究は、ヒトの皮膚感覚の一つである温度感覚の諸特性を伝熱学的に解明することを目的とするものである。

周知のように、ヒトの皮膚や粘膜には各種の感覚点が分布しているが、その中で温度を感じ識別する点として温点と冷点の2種が区別されている。これまでの報告によれば、温点の分布は冷点より疎であり、たとえば手の甲での分布密度は、冷点が7.5個/cm²であるのに対し温点は0.5個/cm²であるという¹⁾

ところで、これらの感覚点がどのようなメカニズムで作動するかについては、これまで多くの報告があるにもかかわらず、まだ決定的な答が得られていない。感覚心理学の教科書によれば、ヒトが温かさや冷たさを感じるのは、表皮下にある温度受容器(温覚についてはRuffini小体、冷覚についてはKrause棍状小体)が何らかの形の温度刺激を受けて興奮し、それが神経中枢に伝えられるからだということになっている。しかし、最近の研究によれば、上に名前を挙げた二つの小体が本当に温度受容器であるかどうかは、かなり疑わしいとされている^{1), 2)} 一方、どのような形の温度刺激が受容器の興奮をひき起こすかについても一致した結論は得られていない。

著者ら³⁾は、かつて接触非正常法という方法によって、生体組織の熱的物性値を組織に損傷を与えずに測定することを試みたが、その後この方法をヒトの皮膚の温度感覚の解明に応用することを思いついた。本報では、接触非正常法によるヒトの温度感覚の刺激閾の測定結果について報告する。

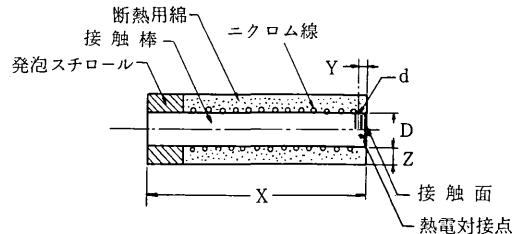
2. 測定の原理と方法

皮膚の表面に、皮膚とは温度の異なる固体を接触させると、「冷たい」とか「温かい」とかいう感覚が生ずる。これは、皮膚と固体との間で熱移動が生じ、表皮下の温度受容器が刺激されるからである。このとき、同一温度の物体を接触させても、その熱的物性の違いによって、生ずる温度感覚に強弱の差ができることは日常経験されるとおりである。たとえば、低温の銅棒と木の棒とを較べた場合、銅棒の方がより「冷たい」感じを与える。こ

れは明らかに銅の熱伝導性が木に較べて大きいからである。著者らが温度感覚測定に利用しようと考えたのは、この現象にはかならない。

すなわち、熱伝導性の異なるいろいろな固体材料でつくった丸棒を用意し、それを皮膚表面とは異なる温度にしておく。この丸棒の一端を被験者の皮膚に接触させ、被験者の反応を調べていくことによって、その温度感覚の諸特性(たとえば刺激閾、弁別閾など)を知ることができる。さらに、皮膚側の熱定数および温度受容器の配置がわかっているならば、人間の温度感覚がどのような伝熱学的条件(温度、温度変化、熱流束など)によって作動するものであるかを明らかにすることができるはずである。

図1に温度感覚測定用のプローブ(接触棒)を示す。



材質	D	Y	X	Z	d
銅	3	1.53	130	10	0.5
	10	2.32			
ビスマス	3	1.45	70	10	0.5
	5	2.35			
	10	2.26			
テフロン	3	1.45	50	10	0.5
	10	1.18			

図1 温度感覚測定用接触棒

固体(銅、ビスマス、テフロン)の丸棒(直径3mm, 5mm, 10mm)の周囲に加熱用ニクロム線を巻き、さらにそのまわりを断熱用綿で覆ってある。3種の材料を選んだのは、それらの熱定数(熱伝導率、温度伝導率)の違いが顕著なためである。ちなみに、これら3種の材料の熱伝導率 k [kcal/mh deg]および温度伝導率 a [m/h]の室温での値を列記すると、銅では $k = 332$, $a = 0.435$ 、ビスマスでは $k = 7$, $a = 0.021$ 、テフロンでは $k = 0.22$ 、

* 東京大学生産技術研究所 第2部

** 自治省消防研究所

研究速報

$a = 0.0004$ である。

一方、皮膚の初期表面温度を測定するために、図2のような用具をつくった。これは、かまぼこ形の発泡スチロールのブロックの上に、直径 80μ の銅・コンスタンタン熱電対の接点を接着し、その上に厚さ 10μ 、大きき 10

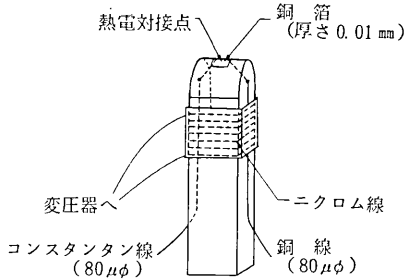


図2 皮膚表面温度測定用具

$10 \times 10 \text{ mm}$ の銅箔を貼付けたものである。これを皮膚表面に押しつけて測定するわけであるが、接触にもなる熱移動による皮膚温の変化を避けるために、発泡スチロールのまわりに加熱用ニクロム線を巻き、これによって熱電対接点の温度をできるだけ皮膚温に近づけるようにした。この用具による皮膚温の測定精度は $\pm 0.1^\circ\text{C}$ と推定される。

上述のようなプローブと皮膚温度計を用いて、たとえば温覚の刺激閾を求めるには次のような手順に従った。最初プローブの温度と皮膚温との差を十分温覚が感じられる程度に大きくとっておき、これを以後3分ごとに 0.5 deg ずつ小さくしていきながら、被験者の手の甲の定まった温点に接触させて、被験者が温覚を感じなくなる温度差を見出す。温覚がなくなったところで、今度は逆にプローブの温度を上げていき、温覚が復活する点を求める。

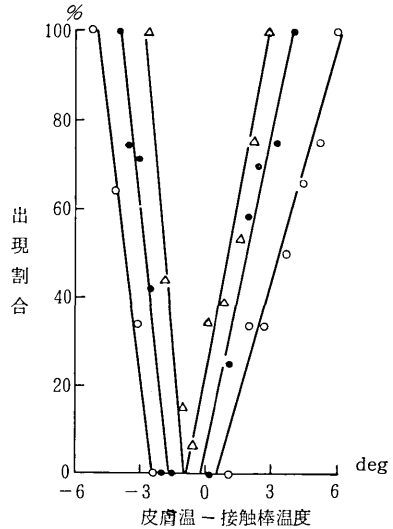
こうした繰返しを約90分間連続して行なった。冷覚についても同様の方法をとった。

3. 測定の結果および検討

ヒトの他の感覚の場合と同様に、上に述べた方法による温度感覚の測定結果にはかなりのばらつきが生ずる。そこで著者らは、心理学的測定法において用いられる各種整理法を参考にした上で⁴⁾、一応今回は、何回かの測定の結果50%の割合で温覚あるいは冷覚が現われる点を刺激閾(絶対閾)と定義することにした。

著者らの一人が被験者となつての測定結果を以下に示す。

図3は、ビスマスのプローブによる測定結果である。横軸に皮膚とプローブの初期温度差、縦軸に温冷覚の出



(記号と測定条件)

直径	皮膚温 [$^\circ\text{C}$]		測定回数	
	温	冷	温	冷
○ 3	31.3~33.5	23.3~25.5	31	30
● 5	27.0~32.6	25.5~27.2	36	21
△ 10	24.0~33.5		108	

(室温 $10 \sim 12^\circ\text{C}$)

図3 ビスマス接触棒による刺激閾測定結果

現率と温度差の関係はほぼ直線的になることがわかる。この図の縦軸の50%に対応する横軸の数値が、上の定義による刺激閾ということになる。

表1は、各種プローブ材料および直径における刺激閾の測定値をまとめたものである。この結果をみると、温

表1 刺激閾における接触棒と皮膚表面の温度差 (単位: deg C)

温度感覚 材質 \ 直径	温			冷		
	3	5	10	3	5	10
銅	2.4	-	-0.5	-2.6	-	-1.9
ビスマス	3.5	1.9	1.0	-4.0	-3.1	-2.0
テフロン	7.0	-	0.8	-5.1	-	-4.5

覚・冷覚の刺激側での(プローブと皮膚との初期温度差)の閾値は、プローブの材質によっても直径によっても影響を受けることがわかる。すなわち、熱伝導性のいい材料ほど(ただし、直径 10 mm のビスマスとテフロンを除く)、また直径が大きいほど閾値が小さくなっているが、これは日常の経験とも一致する。

次に、プローブと皮膚表面とが接触した直後の接触面温度を、二つの半無限固体の接触時の非定常熱伝導の解として求め、これと初期皮膚温との差を、表1の各閾値について計算してみると表2が得られる。この結果をみ

表2 刺激閾における皮膚表面の瞬間温度変化
[単位: deg C]

材質 \ 直径	温			冷		
	3	5	10	3	5	10
銅	2.3	-	-0.5	-2.5	-	-1.8
ビスマス	2.6	1.4	0.7	-2.9	-2.3	-1.5
テフロン	2.5	-	0.3	-1.9	-	-1.7

ると、プローブ材料による差は小さくなるが、直径の影響は残っており、直径が大きいほど閾値の絶対値が小さくなることからわかる。

このことは、温度感覚の刺激閾が、皮膚表面の温度変化によってきまるのではなく、皮膚表面を通過する熱量によることを示すものである。

もし温度感覚が、表皮下にある受容器が興奮することによって生ずるものであるとすれば、刺激閾の値は究極的には受容器の位置での温度刺激と対応づけられるものでなければならない。前述のように、ヒトの皮膚内の温度受容器が果してどのようなものであるかについては、現在までのところ定説はないが、一応これを深さ約0.2mmのところにあるといわれているKrause小体(冷覚)および深さ0.4mmのところのRuffini小体(温覚)と仮定して、前に求めた各刺激閾に対応するそれぞれの位置での温度変化を求めてみた。すなわち、(詳しい説明は省くが)、プローブを皮膚に接触させた直後の皮膚内の温

度変化を、差分法によって解き、接触後3秒経過した時点での深さ0.2mmおよび0.4mmの位置での冷覚閾および温覚閾に対応する温度変化を計算すると、直径3mmのプローブの場合、それぞれ約1.8degおよび1.6degという値が得られた。一方、直径10mmのビスマスの場合には、それぞれ約0.6deg、0.5degとなった。まだ少数の実験データしか得られていないので、断定的な結論は出せないが、この結果は、温度感覚が、従来言われていたような受容器の位置での温度変化によるものではないことを示すものである。従って、今後の研究によって、温度感覚が働くための伝熱学的条件を明らかにして行く努力が必要だということになる。

* * * * *

この研究の遂行に当たっては、生産技術研究所から昭和51年度選定研究費の補助を受けたことを付記する。

(1977年8月15日受理)

参 考 文 献

- 1) 間田直幹, 内園耕二(編):「新生理学(上)」(1975) 722-730, 753-757, 医学書院
- 2) 市岡正道:「皮膚感覚」(1969), 155-163, 医歯薬出版
- 3) 棚沢一郎, 勝田直:バイオメカニズム2 (1973), 17-23, 東大出版会
- 4) 田中良久:「心理学的測定法」(第2版), (1977), 東大出版会

東京大学生産技術研究所報告刊行予告

第26巻 第8号 (英文)

鈴木 弘・木内 学

中島 聡・市田山 正昭・高田 研二 著

EXPERIMENTAL INVESTIGATION ON COLD-ROLL-FORMING PROCESS II

— Distribution of Contact Pressure on Interface between Sheet Metal and Forming Rolls in Roll-Forming Process through Tandem Mills —

ロールフォーミングに関する実験的研究II

— タンデム成形過程におけるロール材料間の接触圧力分布に関する検討 —

本報告は板材の成形加工の分野で重要な役割を果たしつつあるロールフォーミング加工に関して筆者らがこれまで継続してきた一連の研究の一部をまとめたものである。本報告では、なかでも特に生産量の多い電線管や軽量形鋼の成形プロセスの基本となる円弧形・V形・台形断面の単スタンド成形およびタンデム成形について、主として成形時の素材とロール間の接触状況ならびに接触圧力分布に着目し、新たに考案した測定法を用いて広汎な実験を行ない、各種の成形条件因子が上記の接触状況ならびに接触圧力分布に与える影響を系統的に明らかにした結果を示した。この結果多くの結果多くの新しい知見が得られたが、それらは実際生産の場におけるロールデザインや成形プロセスの安定化、新プロセスの開発のために応用され、既に幾つかの具体的なパススケジュールの改善例や、合理化されたロールフラワーあるいは新しいプロセスの開発の事例がある。

(1977年11月発行予定)