

安全ヘルメットの温熱・衛生的デザインに関する研究

神戸芸術工科大学 菅野 昭
(共同研究者) 同 相澤 孝司

Studies on Design of Safety Helmets Relieving Head Temperature Rise and Perspiration

by

Akira Kanno, Takashi Aizawa
Department of Industrial Design, Kobe Design University

ABSTRACT

Generally, safety helmets are not the preferred device to be worn by users. Some users develop mental discomfort and unease caused by the head temperature rising above normal, excess perspiration or oppression when wearing a helmet. These disadvantages, which are incidental to the existing helmets, are brought about by designs which are developed to provide the strength of materials.

A systematic study, together with related experiments, has been launched and proceeded in order to remove the unpleasantness described above by using a bicycle ergometer, an infrared imaging unit and other testing devices.

As a result, the following experimental conclusions have been obtained: The surfaces of a human head (when bald) without the helmet showed rather complicated thermal distribution during the pedaling test, with both the heart rate and temperature increased like a saturation curve to the pedaling time. The helmet with ventilation holes covering the high temperature area of the head was effective enough, not only to cool down the heat of the head, but also to satisfy the strength required by JIS(Japanese Industrial Standard).

Air flows around the helmet placed on a head model of a mannequin were visually identified

by the surface tuft and smoke wire technique in a low -velocity smoke tunnel.

Besides, the mechanical properties gained the process that glass microspheres are filled into the basic materials(polypropylene) have been identified by using various testing devices.

Therefore, future safety helmets are expected to be designed more rationally based upon these experimental data.

要 旨

これまでの安全ヘルメット類は、強度的なデザインを主にしてきたため、ヘルメットを着用する場合は、頭部の異常な温度上昇、過度の発汗および圧迫感等による不快感に悩まされ、一般的にはその装着が嫌われる。

したがって、上記の不快感を除くため、自転車エルゴメータ、熱画像装置およびその他の試験器を用いた一連の実験的研究が行われた。

その結果、次の結論が得られた。すなわち、人体頭部表面(剃髪)は、ペダリング中非常に複雑な温度分布を示すとともに、心拍数や温度も、ペダリング時間に対して飽和曲線的に増大する。

また、頭部の高温領域上に通気孔を有するヘルメットは、冷却のみでなく、JISの強度要件をも満足し、大変効果的である。

マネキン人形頭部に装着されたヘルメットに関する空気流れは、表面タフトとスモークワイヤ法を低速煙風洞内で用い、可視的に確かめられた。

このほか、母材(ポリプロピレン)にガラスマイクロスヘアを充填したときの機械的性質が、各種の試験機を用いて、確認された。

したがって今後、安全ヘルメット類はこれらの実験データに基づいて、さらに合理的にデザインされるものと期待される。

まえがき

これまでの安全ヘルメット類は、人体頭部を外力から保護することを主目的としていたため、強度的なデザインに終始してきた。そのため、ヘル

メットを着用する場合は、いわゆる非衛生的な“蒸れ”と装着による“圧迫感”に悩まされ、着帽を嫌うことがしばしば見受けられる。したがって最近では、これらの欠陥に対し、強度を損わない範囲で、経験的に小孔を設けて通気を図る¹⁾ようにしているが、合理性は確かめられていない。

この観点から本研究では、まず、ヘルメット試料に産業用と自転車安全帽(JIS規格)に着目し、両者に共通する形状・寸法と強度特性を有するものを選び出し、実験的に解析することを試みた。すなわち、ヘルメットの温熱特性を解明する際に基本となる人頭表面の温度分布を、赤外線画像装置と自転車エルゴメータを用いて計測した。

また、ヘルメットの冷却特性を支配すると考えられるその回りの空気流れを解明するため、マネキン頭部に装着したヘルメットを低速風洞内に設置し、スモークワイヤと表面タフト法²⁾により、可視化して観測した。

さらに材料に関して、軽量化や伝熱特性の改良を図るため、母材に中空ガラスマイクロスヘアを充填し、測定値を求めた。

本論文では以上の各実験結果について考察し、安全ヘルメットのデザインとその性能面に寄与することを試みるものである。

1. 試料および実験方法

1. 1 ヘルメット試料

産業用安全帽(JIS T8131-1990)および自転車用安全帽(同 T8134-1995)規格に準拠した製品から、両者に共通する形状・寸法のものを選出し、試料とした。すなわち、いわゆるハーフ

形状の標準形であり、寸法はヘッドバンドにおける内周長さが57～61cm、基礎平面と中央矢状面頂部間の高さは14cmである。

なお、この帽体の外形側面は、後述する図6に示されている。

ヘルメット帽体の母材はポリカーボネイト（平均分子量Mv22500、融点230～240℃）であり、製品には顔料成分（チタン白）が充填されている。

母材の軽量化と伝熱特性の効果を検討するためのフィラーには、中空ガラスマイクロスヘア（東芝パロティーニ社、QCe ℓ 570）を用いた。かさおよび真比重は0.34および0.7を示し、平均粒径20 μ mである。また、その表面はシランカップリング剤で処理されている。

1. 2 実験方法

1. 2. 1 温度測定と負荷装置

人体頭部およびヘルメット帽体外表面の温度分布を測定する場合には、非接触形の赤外線熱画像装置（日本アビオニクス社製）を用いた。温度分解能0.1℃、測定視野角15°（H）×10°（V）、フレームタイム1/30sである。

被験者（22才、男子）の頭部を撮像する場合は、あらかじめ剃髪し、帽体表面には前もって黒色ラッカが塗布されている。

被験者への運動負荷装置には、いわゆる自転車エルゴメータ（コンビ社）を使用した。ペダリング条件は、標準的といわれる範囲内の値すなわち、負荷値80W、回転数60 r.p.m.一定とし、経過時間に対して脈拍数や温度等を記録した。実験室内の温度・湿度はそれぞれ、19～21.5℃、55～65% R.H.である。

1. 2. 2 風洞実験

(a) 風洞 ヘルメットの使用条件からここでは吹き流し形低速煙風洞³⁾を用いた。風速範囲は0.5～25m/s、風速分布は±1%内であり、測定洞部の寸法は1200×1200×5000（L）mmである。マネキン人形頭部に装着されたヘルメット

を、この測定部中央に設置し、洞側面のガラス窓を通して、流れの観測を行った。

(b) 可視化法 次の3方法を用いて、流れの可視化観測を行った。すなわち、スモークワイヤ法の場合は、直径0.1mmの直線状ニクロム線に流動パラフィン塗布し、通電によって発煙させた。発煙量はパラフィン量と通電条件によって定まる。

表面タフト法の場合は、タフトに白色絹手縫糸（JIS9号）を40mm長さに揃え、セロテープとともに10mmピッチで、ヘルメット表面に貼付した。

煙注入流脈法には、多価アルコール溶剤を用いた発煙装置（Fog machine, USA）を用い、その白煙をヘルメット内に導入した。

以上の3方法によって、ヘルメット周辺部の流線や剥離域等が観測・記録された。

(c) 材料および強度試験 ヘルメット母材に関する材料試験には、次の2種類の試験機を使用した。すなわち、プラスチック用引張試験機（島津製作所）およびアイゾット形衝撃試験機（同上）である。用いられた試験片は上記の順序に従って、JIS1号試験片（引張速度5mm/min）およびJISフラットワイズ試験片である。

ヘルメットの強度については、JISに準拠した各試験を行うとともに、通気孔に関しては同指示（(社)、産業安全協会、平成8年8月告示）に従い、適合するように孔明け加工をしている。

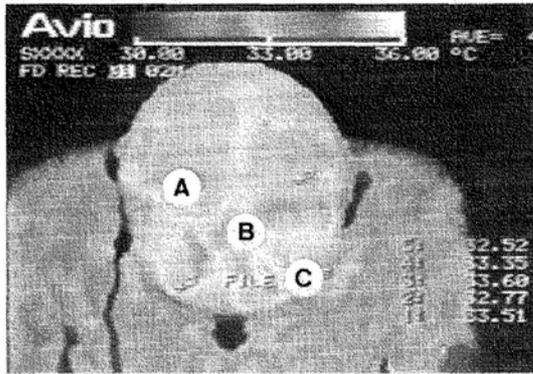
2. 実験結果および考察

2. 1 ペダリング負荷実験

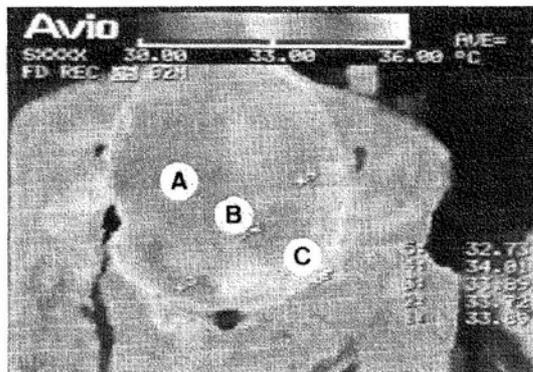
2. 1. 1 頭部表面温度

図1はペダリング中の頭部表面の熱画像を示す例である。また図2は、一連の熱画像から高い温度の3定点を選び出し、負荷時間に対してプロットした結果である。

これらの曲線より、ペダリング開始後10～15



(a) t = 5min



(b) t = 15min

図1 人体頭部表面の熱画像

分で最高温度を示すこと、また20分近傍で変曲点を有し、2点の温度は再度上昇することが分かる。この理由は、10～15分で頭部には著しい発汗がみられることから、蒸発により一たんは冷却される。また頭部の発汗量に関する実験を行っていないので、断言することはできないが、20分

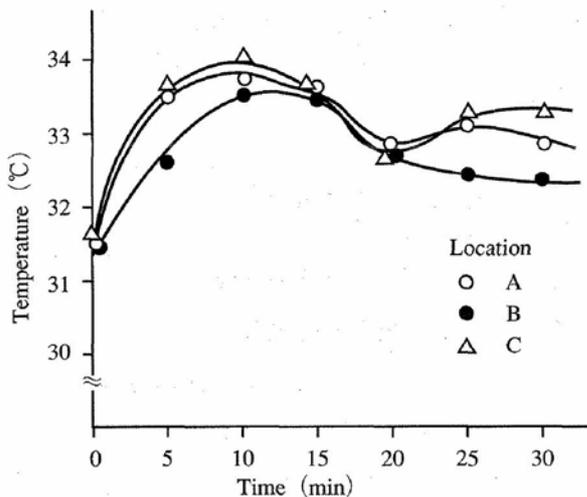
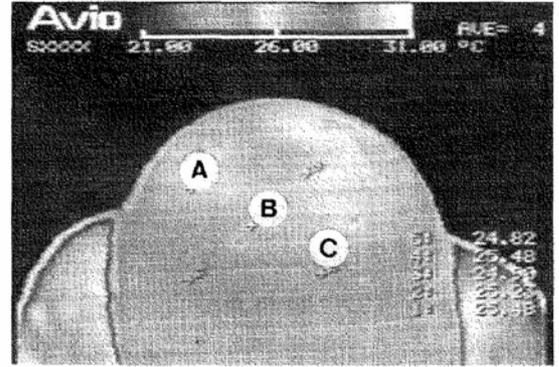
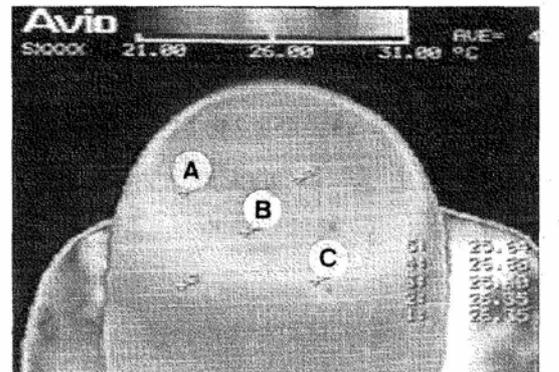


図2 ペダリング中の頭部温度 (剃髪)



(a) t = 10min



(b) t = 20min

図3 ヘルメット外表面の熱画像

近傍で過渡的に発汗が抑制され、以降は再度上温するものと推測される。

2. 1. 2 ヘルメット外表面温度

図3はヘルメット着用時における外表面の熱画像例である。図4は、前項と同様に、3定点に対して追跡した結果である。

この場合は、頭皮表面の温度曲線に比べて、ほぼ単調に増大している。また、頭皮温度の高低順位ではなく、ここでは異なった順位を示していることが分かる。さらに最高点もペダリング開始後20～25分に出現し、以降漸減することが認められる。

このことは、帽体には熱伝導率の低い高分子材が用いられていることと、頭皮と帽体間空隙が一定ではないことによるもので、時間遅れと単調な変化が生ずるものと思われる。なお、画像円孔部を観察すれば、孔部は早期からその周辺よりも高温を示し、頭部の冷却に有効であることが了承さ

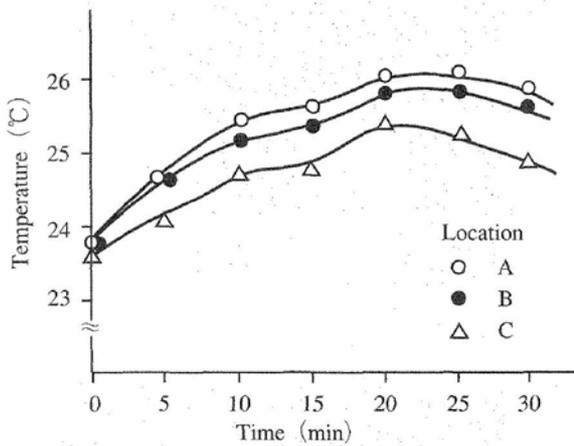


図4 ペダリング中のヘルメット表面温度

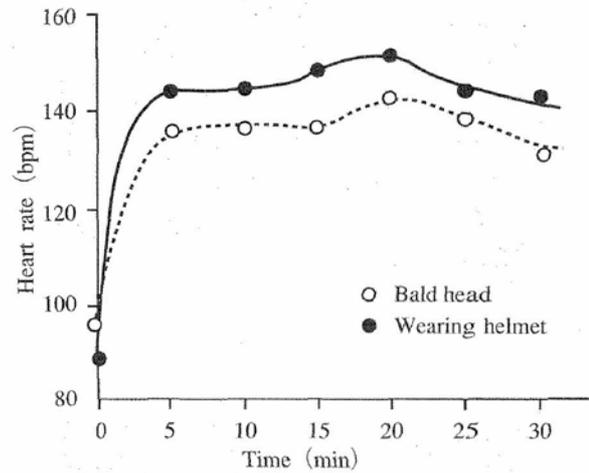


図5 ペダリング中の心拍数

れる。

2. 1. 3 心拍数

図5は、ペダリング時間に対する心拍数を表すもので、ヘルメットの有無に応じて整理している。

この結果から、心拍数はヘルメット着脱にかかわらず、20分前後において最高値を示したのちに漸減することが分かる。この特性は図4のヘルメット外表面の温度特性に類似している。まだヘルメット内の温・湿度を測定していないので、明言することはできないが、心拍数は頭皮温度よりも時間遅れを伴う血流温度に対応するものとするれば、結果的にはヘルメットの外面温度に類似した挙動を示すものと考えられる。

2. 2 風洞実験

(a) スモークワイヤ法 図6は風洞内のヘルメット回りの空気の流れを、煙線によって可視化した例で、風速は1m/sである。この記録から、ヘルメット回りの流れは、マネキン頭部が存在するにもかかわらず、実在気体の球体回りの流れに、非常に類似していることが確かめられる。したがって、本ヘルメットに関する圧力分布が、周知の資料⁴⁾より容易に推測できるので、通気孔の孔明け位置を合理的に定めることが可能である。

(b) タフト法 図7はヘルメット外表面の流れを、タフトによって可視化した例で、風速4m/sである。この風速値をとった理由は、通常の自転車走行速度を対象とすることと、流れを若干強調して観察するためである。

この写真から、ヘルメット前半部では、タフトが表面に沿って予測通りの流れを示すが、後半部では乱れが生じ、渦を発生させていることが分かる。また、この傾向は前傾姿勢をとれば助長され



(a) $\theta = 0^\circ$



(b) $\theta = 30^\circ$

図6 ヘルメット外周部の流れ



(a) $\theta = 0^\circ$

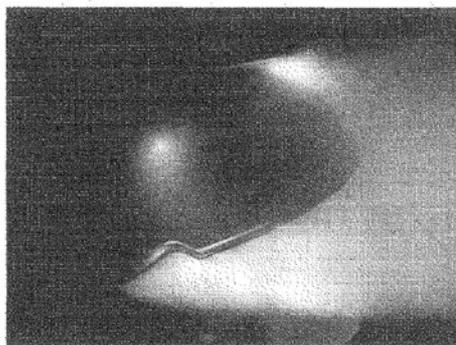


(b) $\theta = 30^\circ$

図7 ヘルメット外周部のタフト



(a) $\theta = 0^\circ$



(b) $\theta = 30^\circ$

図8 ヘルメット内部よりの流れ

ることが確かめられる。

(c) 煙注入流脈法 図8は、ヘルメット内に白煙を導入し、帽体内より流れを観察した例で、風速は前項と同様4m/sである。

この写真から、前傾姿勢が小さければ、予測通り、負圧部の通気孔よりの流出が主体となることが分かる。しかし、前傾角が大きくなれば、ヘルメット前半部にある通気孔は、正の圧力分布領域に入るため、内部の空気はヘルメット前部および側縁から流出することが認められる。

このことは、ヘルメット内の熱気が顔面に沿って流れることを意味するので、眼静脈の冷却機能が低下し^{5, 6)}、脳の冷却には好ましくない結果を与えるものと考えられる。

2. 3 材料試験

図9(a)は、母材に対するガラスマイクロスヘア充填率(重量)と、引張応力との関係を表している。●印はカップリング処理を、○印は未処理であることを示す。

この結果より、10%以上充填すれば、引張応力は約1/2に低下することが分かる。

図9(b)および(c)は、充填に対する伸びと、アイゾット衝撃値の関係を示している。充填率が5%でも、伸びは約1/8に、また衝撃値は1/3程度に減少することが確かめられる。

一方、熱拡散率は充填率が15%まではほとんど変化せず、実測の結果0.0020~0.0021 (cm²/s)の値となることが明らかにされた。このことは、母材に対してガラスの拡散率が大きいことによるもので、複合材としては拡散率が低下しないものと思われる。

したがって、このマイクロスヘアによって、母材の特性を向上させることは、現時点では期待できないことが明らかになった。

3. むすび

これまでの安全ヘルメットにみられた温熱感と蒸れを軽減し、快適性に富むデザインを行うため、

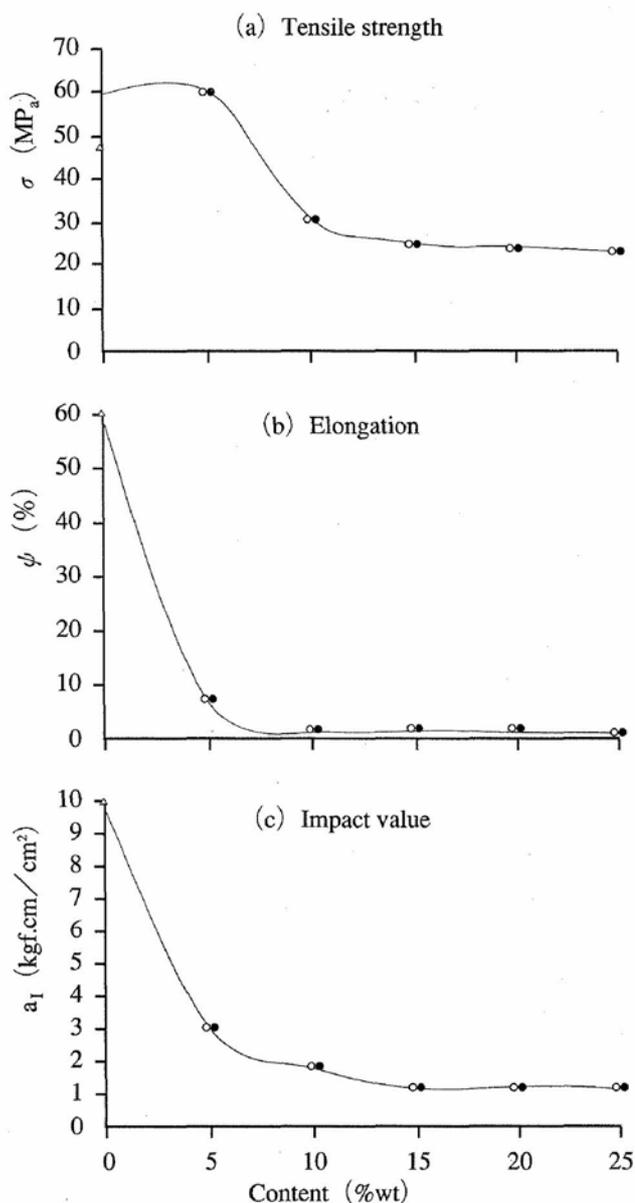


図9 中空ガラスマイクロファイバー含有率と機械的性質

基礎的な研究に着手した。

すなわち、まず産業用と自転車用ヘルメットを

対象とし、温熱的に最も基本となる人体頭部の温度分布を熱画像より解析した。その結果、発汗による新たな特性が明らかとなった。また、ヘルメットの冷却に関する基礎資料を得るため、低速風洞内でその周りの気流を可視化し、流れ特性を求めた。ついで、ヘルメット材料の伝熱性の改良と軽量化を図るため、母材にガラスマイクロファイバー(中空)を充填して試験し、現時点ではとくに有望ではないことを明らかにした。

今後、引き続き上記の各実験のほか、発汗試験を行えば、さらに快適性にすぐれたヘルメットをデザインできるものと期待される。

文 献

- 1) (社)産業安全技術協会; 保護帽の検討における通気孔の指針 (平成3年8月)
- 2) 流れの可視化学会編; 新版 流れの可視化ハンドブック, p.p.124 ~ 156, 朝倉書店 (1986)
- 3) 高木通俊; 煙風洞, 風洞実験と可視化技術前刷, 可視化情報学会 (1991)
- 4) 日本機会学会編; 機械工学便覧, 基礎編, A5 流体工学 p.97, 丸善 (1996)
- 5) 平井敦夫, 平田耕造, 平下政美, 永坂鉄夫; 無風高温環境で頭部の熱移動に及ぼす化粧の影響, 宇宙航空環境医学, 30, p.p.55 ~ 62 (1993)
- 6) Nagasaka. T., Brinnel. H., Hirata. K., Noda. Y., and Sugimoto. N ; Increase in venous flow through ophthalmic veins enhances selective brain cooling in hyperthermic humans. In, *Thermal Physiology 1989*, Edited by Mercer. J. B., Elsevier Science Publishers B. V., Amsterdam, p.205 ~ 210 (1989)