

小型デバイスによるサーマルグリル錯覚の発生条件の検証

上原 明子¹ 鳴海 侑希¹ 横窪 安奈¹ ロペズ ギヨーム¹

概要: 昨今, 居眠り運転が原因となる死亡交通事故が相次いで問題となっている. この現状の防止策として, 運転中の覚醒度を向上させるために香り・音楽・振動などのフィードバック検討されているが, 効果は十分とは言い難い. そこで, 本研究では, 覚醒度を向上するための新たな刺激として, 皮膚上の近傍に温・冷刺激を同時に提示した際に生じる温度錯覚現象「サーマルグリル錯覚 (以下 TGI)」に注目した. TGI 提示を行う小型デバイスを開発し, TGI 発生要件の検証を行った結果, 発生要件を明確にした. 今後は TGI をフィードバックとした各精度向上の効果有無を検証し, TGI の有効性を確かめていく.

Conditions of Thermal Grill Illusion Occurrence with a Small Device

TOMOKO UEHARA¹ YUKI NARUMI¹
ANNA YOKOKUBO¹ GUILLAUME LOPEZ¹

1. はじめに

現在, 日本では, 居眠り運転によって生じて相次ぐ死亡事故の重大さが認知されている. [1] 交通事故は漫然運転によるものが最も多い原因として統計が出されている. 漫然運転の主要因として考えられるのが, 運転疲労の蓄積や睡眠不足での運転で覚醒低下が起る居眠り運転である.

この現状の防止策として運転手の覚醒度を向上させるために音楽[2]や香り[3]といった FB が検証されているが, 同乗者にもその FB が適用されるため, 共同空間における FB 方法としては適さないと考えられる. そこで, 個人に対する FB 方法として, 振動や温度によるものが検証されている. 振動に関する研究は適しているとは言い難いものであったが, 温度に関する研究から, 覚醒度が低下した運転手に対して温度は有効である可能性が高いと判断された.

本研究では, この温度による FB に注目し, 覚醒度を向上するための新たな刺激として皮膚上の近傍に温・冷刺激を同時に提示した際に生じる温度錯覚現象「サーマルグリル錯覚 (TGI)」に着目した. TGI は個人に対する FB が可能であることから, 共同空間において, 人の覚醒度向上に有効な FB 手法となる可能性がある.

本論文では, TGI 発生要件の明確化を可能とする小型デバイスの開発, および開発した小型デバイスを用いた TGI 発生要件の検証結果を述べる.

2. 関連研究

覚醒低下を検知し, 同乗者に影響がなく運転者個人に対するフィードバックを与える研究として, 久米らは運転者

の顔面へ送風を行うことで覚醒度の向上を目指した[4]. しかし, 顔表情評定値の有意な減少が見られた被験者は半数以下の 1~2 名しかおらず, 効果的な FB 法とは言い難い.

また, 大橋らは足裏から測定可能な, 覚醒度検知が可能とされる交感神経皮膚反応を用いて覚醒低下検知時に, フットレスト型のスピーカーから足裏に振動を付与する FB を行った[5]. しかし, 被験者に対する覚醒度合いの主観評価を全く行わなかったことや, 被験者の人数が 6 名と十分でないことから確実かつ効果的なものとは言い難い. 同様に振動に関する FB 法では, 梅村らがステアリングホイールの左右の握り手部分から振動を与える実験を行ったが, 振動刺激提示時に覚醒低下が起きる結果となり, 防止手法としては適切と言い難い[6].

さらに, 温度に関する FB 法では Goto らが首に提示する温度と人の覚醒レベルとの関係を調査した研究を行った[7]. 結果として, 「冷却刺激は眠気を抑制するが温熱刺激は眠気に効果がない」もしくは「温熱刺激は眠気を促進するが冷却刺激は眠気に効果がない」という知見が得られ, 温度による FB を行うことは覚醒度向上に効果的と考えられるが, どちらの知見が正しいのか結論が出せていない.

そこで本研究では, 個人に対し効果的な覚醒向上を与え, Goto らの研究から効果的と判断される温度による FB 法を検討する. 温度錯覚現象である TGI[8][9]に着目し, 温度提示が可能な小型デバイスの開発と, TGI 発生要件の検証を行う.

¹ 青山学院大学 理工学部 情報テクノロジー学科

3. サーマルグリル錯覚提示デバイスの作成

本研究では、将来的な運転時の装着を目指すため、エネルギー効率がよく小型化が可能な上に、設定した温度の温刺激・冷刺激を迅速に生じさせる必要がある。したがって、加熱によるエネルギー効率が電熱線よりも良く、電流を流すと一方の面が過熱され、一方の面が冷却される性質を持つペルチェ素子を熱源として選択し、用いた[10]。本研究の目的である TGI 発生要件検証の為に、1.5cm 角ペルチェ素子を TGI 提示デバイスの熱源として、実験への利用を検討した。

ペルチェ素子は電圧を付加すると時間の経過とともに温熱面の熱が冷却面に伝導し、冷却面の温度がだんだんと上昇してしまう。温熱面の余分な熱を放熱し、冷却面を低温に保つための装置としてヒートシンクと冷却ファンが検討された。販売されている冷却装置や、ヒートシンクと冷却ファンをともにデバイスに装着すると、システム全体が大きくなってしまい、皮膚上の小さな部分に対し細かく条件を変えて温度提示を行うのが困難になってしまう。そこで、ヒートシンクのみでのデバイス政策をおこなった。

TGI 発生要件を検証するために作成した TGI 提示デバイスは、設定温度への温度変更を行うボタンと温度情報の出力を行うディスプレイからなる「インターフェース部」、温度提示部の温度制御を行う「制御部」、電源の供給を行う「電源部」、皮膚接触部分における温度刺激提示と温度取得を行う「温度提示部」4 構成要素から成っている。温度提示部の温度をサーミスタによって取得し、その温度情報をコンに返すことで、目標温度を維持するための出力電圧の算出・出力を PID(Proportional-Integral-Differential) 制御によって行う。また 1 秒経過毎に、その時点での温度提示部の温度と目標温度をデバイス付属のディスプレイに表示し、インターフェース部の温度設定ボタンの押下回数により、温度提示部の提示温度設定を 20, 40, 45℃の 3 種類に変更可能とした。

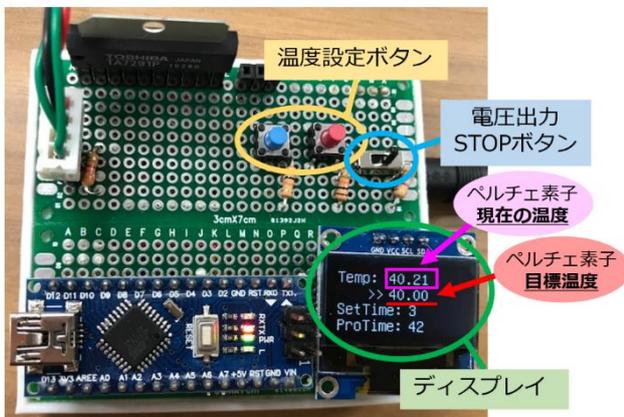


図1 インターフェース部の外観

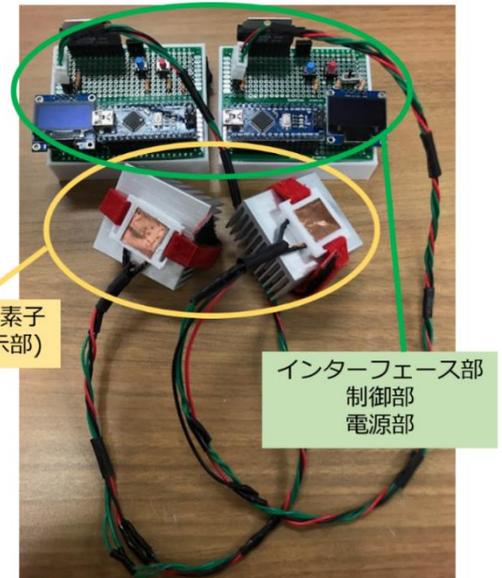


図2 TGI 提示デバイスの外観

4. サーマルグリル錯覚発生要件の検証

4.1 発生要件検証項目と実験条件

本研究では TGI 発生要件を、提示温度・温度提示場所・素子配置感覚・皮膚接触方法の計 4 項目とした。

- 提示温度は低温やけどの危険性と確実な TGI 発生を考慮し、20℃の冷刺激、40, 45℃[11]の温刺激、33℃の常温刺激が発生するように設定した。
- 温度提示場所は前腕部内部と掌の指尖球部の 2 条件とした。
- 皮膚接触方法は、目標温度に達してから皮膚接触を行う”瞬間皮膚接触”と常に皮膚接触を行う”常時皮膚接触”の 2 条件とした。
- 温冷刺激の距離となる素子の配列間隔は触二点弁別閾を超えない 5, 10, 20, 30mm の 4 条件とした。

4.2 実験方法と主観評価項目

室温 21~23℃の環境下で 20 代の女性 12 名、男性 8 名の被験者の皮膚に制作デバイスの温度提示部（銅板）を接触させ、各温度刺激に対する主観評価をアンケート形式で回答させた。実験は計 3 つのパートと 4 つのセッションに分かれており、各パート、セッションにおける実験条件を表 1 に示す。表 1 に示す”5 刺激”とは 20℃-20℃、40-40℃、45-45℃、20-40℃、20-45℃の温刺激対を指し、被験者毎に刺激の順番をランダムに並び替えて提示している。

主観評価では、“冷たい”、“ひんやりする”、“暖かい”、“熱い”、“灼熱感がある”、“気持ちがいい”、“痛い”、“奇妙な”の 9 感覚項目を用意し、図 2 に示す指標を用いて数値によって評価をさせた。

また、TGI 発生を示す感覚として”灼熱感がある”、“痛い”、“奇妙な”の 3 項目が挙げられたが、被験者毎に”奇妙な”という感覚項目の定義に差があることから、本研究で

は「灼熱感がある」と「痛い」の少なくともどちらか一方が選択された際に、TGI が発生した可能性があるとした。

4.3 実験結果・考察

4.3.1 提示温度、温度差の影響

TGI 発生の定義に基づき被験者毎に「灼熱感」あるいは「痛み」の少なくともどちらか一方を知覚した場合に TGI が生じたとして生起率と平均評価値を算出した。

表 1 各温度条件下における TGI 平均評価値・生起率

提示温度	20℃-20℃	40℃-40℃	20℃-40℃	45℃-45℃	20℃-45℃
TGI 平均評価値	0.15	0.55	0.45	1.15	1.25
TGI 平均生起率	20%	50%	55%	80%	85%

TGI 感覚は 20-45℃ 提示時に最も高確率で生起し、感覚の大きさを表す平均評価値も最大となることが分かった。

4.3.2 温度提示場所の影響

温度条件が 20℃-45℃、素子配置間隔が 5mm、瞬間皮膚接触の条件下における TGI の生起率を温度提示部分によって比較した結果を以下の表 4.9 に示す。この結果から、20-45℃ の温冷刺激同時提示下で、TGI は温度提示場所に依らず、同確率で生じることが示唆された。ゆえに、決まった身体部位への温度提示時に TGI 生起率が高いと断定はできない。また、75%(15 人)の被験者が腕と掌で同じ TGI 生起結果を示していることから、TGI 感覚への敏感さは身体部位に依らず、被験者毎の特徴だと考えられる(表 4.10)。

表 2 温度提示場所における TGI 平均評価値・生起率

温度提示場所	前腕	掌
TGI 平均評価値	1.25	1.18
TGI 平均生起率	80%	80%

4.3.3 素子配置間隔の影響

単一温度刺激 (45℃) 提示下では、「灼熱感」と「痛み」の平均生起率・平均評価値の両方が素子配置間隔長に強く依存し、間隔が長くなればなるほど大きく減少する。

温冷刺激 (20℃, 45℃) 同時提示下では、「灼熱感」の平均生起率・平均評価値のみが素子配置間隔長に依存し、ゆるやかに減少する。「痛み」評価値はほぼ変化がないという特徴がある。

TGI 生起率は、温冷刺激 (20℃, 45℃) 同時提示下かつ素子配置間隔が 5mm の際に最も高い確率 (85%) で生起し、素子配置間隔が短いほど生起率・感覚の大きさ(評価値)が高くなる。

表 3 素子配置間隔・提示温度毎の TGI 平均生起率・平均評価値

素子配置間隔	20℃-45℃				45℃-45℃			
	5mm	10mm	20mm	30mm	5mm	10mm	20mm	30mm
TGI 平均評価値	1.25	1.05	1.00	0.90	1.15	0.93	0.68	0.53
TGI 平均生起率	85%	80%	75%	75%	80%	90%	70%	60%

4.3.4 皮膚接触方法の影響

「痛み」と「灼熱感」の両方が、常時皮膚接触時よりも瞬間皮膚接触時で生起する人が多く、生起した感覚も大きい傾向にあることが分かった。しかし唯一、「痛み」の大きさ

を示す平均評価値のみは、温冷刺激 (20℃, 45℃) 同時提示下の常時皮膚接触条件下で、最も高い 1.15 という数値を示す結果となった。全体で TGI 生起率が最も高いのは、温冷刺激 (20℃, 45℃) 同時提示下において瞬間皮膚接触を行う時である。

表 4 皮膚接触方法・提示温度毎の TGI 平均生起率・平均評価値

提示温度	45℃-45℃		20℃-45℃	
	瞬間皮膚接触	常時皮膚接触	瞬間皮膚接触	常時皮膚接触
TGI 平均生起率	80%	70%	85%	60%

4.3.5 考察

TGI 提示デバイスによる TGI 発生要件の検証を行い、以下のことが示唆された。

- ① 85%以上の高確率で TGI を生起させるためには、20-45℃あるいはそれ以上の温度差を持つ温刺激を、皮膚上の近傍に提示する必要がある。
- ② TGI 感覚への敏感さは身体部位に依らず、被験者毎の特徴である確率が高い。
- ③ 素子配置間隔が短いほど生起率・感覚の大きさ(評価値)が高くなる。
- ④ TGI 感覚は常時皮膚接触時よりも瞬間皮膚接触時に高確率で生じる傾向にある。

5. むすび

今後は検証を行った 4 項目のほか、「温冷刺激の繰り返し回数」や前腕部・手のひら以外の身体箇所でも検証を行いたい。

また、快適なデバイス装着と温度制御速度の向上を実現するため、温度提示デバイスを含めたシステム全体の更なる小型化と軽量化に加え、新たな放熱方法と温度制御の検討が必要である。以上の改題が解決されたのち、実際に覚醒低下が生じた人に対する FB として提示し、覚醒度向上に効果的か同課の検証を行いたい。

6. 参考文献

- [1] 政府統計の総合窓口 平成 29 年上半期における交通死亡事故の発生状況及び道路交通法違反取締り状況について (平成 29 年 9 月 14 日) (https://www.e-stat.go.jp/stat-search/files?page=1&layout=datalist&toukei=00130002&kikan=00130&tstat=000001031587&cycle=3&year=20170&month=10010600&result_back=1&result_page=1&second=1&second2=1).
- [2] 加藤千恵, 各務勇氣, 吉田真理子, 山本修身, 山崎初夫, 中野倫明, 山本新, 山田宗男, “ドライバーへの香り提示に基づく疲労回復効果に関する実験検証”, 映像情報メディア学会冬季大会講演予稿集, Vol.2010, 2010.

- [3] 伊藤弘大, 原田圭裕, 谷友貴, 長谷川裕也, 大倉典子, 中辻晴彦, 舘陽介, 瀬戸洋紀, 相川健, 中山記男, “音楽提示による「わくわく感」を利用した覚醒水準の低下の防止—脳波と眼球運動を利用して—”, 人間工学, Vol.52 Supplement 号, pp. 330-331, 2016.
- [4] 久米拓弥, 内藤貴博, 石田健二, “車載装備を利用した漫然状態の検出および解消手法の開発”, 自動車技術会論文集, Vol45, No.3, 2014.3.
- [5] 大橋隼人, 横山清子, 野倉邦裕, “足裏 SSR によるドライバーの居眠り防止のためのフィードバックシステムの提案”, 日本人間工学会大会講演集, Vol.50, 2009
- [6] 梅村紀夫, 河中治樹, 小栗宏次, “ステアリングホイール振動と車体振動音を模擬した刺激によるドライバーの眠気遅延効果検証”, 豊田合成技報, Vol. 56, pp33-42, 2014 振動
- [7] Kiwamu Goto, Hirotohi Asano, Yasutaka Kajiwara, Shizuka Bando, Tota Mizuno, Akio Nozawa , “Comparison of Cool and Warm Thermal Stimulations to Reduce Driver's Drowsiness”, 電気学会論文誌C (電子・情報・システム部門誌), Vol.136 12 号, pp.1815-1820, 2016. 温度提示
- [8] A.D. Craig, M.C. Bushnell, “The Thermal Grill Illusion Unmasking the Burn of Cold Pain”, Science, Vol.265 No.5169, pp.252-255. 1994
- [9] 渡辺亮, “温度感覚がもたらす運動・感覚作用の医療福祉への応用”, 電気通信大学大学院情報理工学研究科博士学位申請論文, pp.16, 2017.3.
- [10] 徳田貴拓, 磯山直也, Guillaume LOPEZ, “リストバンド型省エネ個別暖房デバイスの設計と実装”, 青山学院大学理工学部情報テクノロジー学科 2015 年度卒業論文, 2016.1.
- [11] 兵庫県立健康生活科学研究所生活科学総合センター, “低温やけど” (http://www.kokusen.go.jp/wko/pdf/wko-201511_07.pdf) (2018年1月現在)