

# 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 朋子 (15814012)

ロペズ研究室

## 1. はじめに

昨今、居眠り運転による悲惨な死亡事故が相次いでおり、この現状を防止すべく香り・音楽・振動など多くの覚醒度を向上するためのフィードバック

(以下 FB) 方法が検討されているが、これらの FB 手法による効果は十分とは言い難い[2].

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)」[3] に着目し、その発生要件を明らかにする。

## 2. TGI 提示デバイスの開発

### 2.1 温冷切り替え可能な温度制御方法

TGI 発生要因には、素子配置間隔を配慮する必要があり、皮膚への接触面積が小さい方が、TGI の発生要件が検証しやすい。そこで TGI 提示を行うための小型デバイスを試作した。本デバイスでは、エネルギー効率が高く、電流の向きによって容易に温・冷面が切り替え可能なペルチェ素子を用いた。ペルチェ素子と銅板の間に配置したサーミスタで温度提示部の温度を計測し、その温度情報をマイコンに送信することで、必要な電圧を算出させ、設定温度を維持する仕組みにて動作している。

また、TGI 発生の為には温冷両方の温度が必要であり、放熱にはファンを用いずヒートシンクのみで小型化を図っている。そのため、電流向きを必要に応じて切り替え、温熱面の放熱を助ける必要がある。

ペルチェ素子の温度制御法として、PID 制御に加え、モータードライバを用い、目標温度が皮膚温度と比較し低温でも高温でも加熱・冷却両方向の温度制御が可能にした。PID 制御には式 (1) を用いた。

$$\text{Input} = -1 \times (\text{Target} - T_{\text{now}}) \dots\dots\dots (1)$$

Input: 入力値 Target: 目標値 (=0) T<sub>now</sub>: 現在温度

### 2.2 温度提示システムの構造設計

TGI 発生要件を検証するため、図 1 に示す TGI 提示デバイスを制作した。本システムは目標温度への設定を行うボタンと情報出力を行うディスプレイから成る「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」、電源供給を行う「電源部」、温度刺激提示と温度取得を行う「温度提示部」から成る。

また本研究では、TGI 生起のために異なる 2 つの温度提示を行う必要があるため、温度提示部も制御部も図 1 のように 2 セット制作した。

ここで、完成した温度提示システム全体の外観とインターフェース部の外観を図 1 に示す。

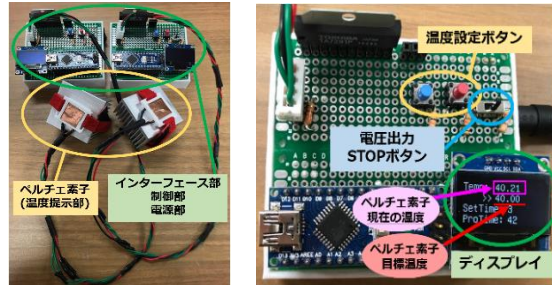


図 1 システム外観(左),インターフェース部外観(右)

## 3. サーマルグリル錯覚発生要件の検証

### 3.1 発生要件検証項目と実験条件

本研究では TGI 発生要件の検証項目として、提示温度・温度提示場所・素子配置間隔・皮膚接触方法の計 4 項目を用意した。ここで、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℃の温刺激、33℃の常温刺激を用意した。また温度提示場所は前腕部内側と掌の指尖球部の 2 条件、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、温冷刺激間の距離となる素子配置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。

### 3.2 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 Part と 4 つの Section に分かれており、各 Part, Section における実験条件を表 1 に示す。表 1 に示される”5 刺激”とは 20℃-20℃, 40-40℃, 45-45℃, 20-40℃, 20-45℃ の温度刺激対を指し、被験者毎に順序をランダムに並べ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”、“熱い”、“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で評価させた。

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。

表 1 各 Part・Section の実験条件まとめ

Part&Section	温度提示場所	素子配置間隔	皮膚接触方法	温度提示時間
Part① Section①	前腕部	5mm	瞬間皮膚接触	20 秒×5 刺激
Part① Section②	前腕部	10mm	瞬間皮膚接触	20 秒×5 刺激
Part① Section③	前腕部	20mm	瞬間皮膚接触	20 秒×5 刺激
Part① Section④	前腕部	30mm	瞬間皮膚接触	20 秒×5 刺激
Part② Section①	前腕部	5mm	常時皮膚接触	30 秒×5 刺激
Part② Section②	掌	5mm	瞬間皮膚接触	20 秒×5 刺激

2017 (平成 29) 年度卒業論文要旨

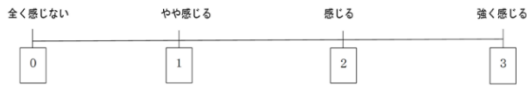


図 2 感じた皮膚感覚に対する主観評価指標

3.3 実験結果, 考察

全検証項目の組合せ結果から, 以下の条件下において TGI 生起率が 85% と最も高確率になった.

- 提示温度: 20°C-45°C
- 温度提示場所: 前腕
- 素子配置間隔: 5mm
- 皮膚接触方法: 瞬間皮膚接触

以下に検証項目毎の TGI 発生要件の検証結果と考察を示す.

① 提示温度, 温度差による影響

各提示温度における, 20 名の被験者の TGI 平均生起率, 評価値の結果を表 2 に示す. 結果から, TGI 感覚は 20-45°C 提示時に最も高確率で生起し, 感覚の大きさも最大となることが分かった.

表 2 提示温度毎の TGI 平均生起率, 評価値 (提示場所:前腕, 素子間隔:5mm, 皮膚接触:瞬間)

提示温度	20°C-20°C	40°C-40°C	20°C-40°C	45°C-45°C	20°C-45°C
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%

② 温度提示場所の影響

表 3 に示す結果より, 20-45°C 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. Wilcoxon の符号付順位検定を用いた検定では, 提示場所による TGI の大きさ (評価値の大小) に有意差は見られなかった. 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).

表 3 温度提示場所毎の TGI 平均生起率, 評価値 (温度:20-45°C, 素子間隔:5mm, 皮膚接触:瞬間)

温度提示場所	前腕	掌
TGI 平均評価値	2.5	2.35
TGI 平均生起率	80%	80%

表 4 被験者毎の痛み生起場所の差異まとめ (温度:20-45°C, 素子間隔:5mm, 皮膚接触:瞬間)

温度提示位置	前腕のみで生起	掌のみで生起	両方で同じ生起結果
人数	3人	2人	15人

③ 素子配置間隔の影響

表 5 より, TGI 感覚は温冷刺激 (20-45°C) 同時提示下においては素子配置間隔が短くなる程に, 高確率の被験者で生じ, 感覚も増大する傾向が示唆された. このことから触二点弁別閾を超えない長さであっても TGI を高確率で生起させるには, より近い 2 点に温冷刺激を提示する必要があると考えられる.

表 5 素子配置提示間隔毎の TGI 平均生起率, 評価値 (提示場所:前腕, 温度:20-45°C, 皮膚接触:瞬間)

素子配置間隔	20°C-45°C			
	5mm	10mm	20mm	30mm
TGI 平均評価値	1.25	1.05	1.00	0.90
TGI 平均生起率	85%	80%	75%	75%

④ 皮膚接触方法の影響

表 6 より, 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ことが示唆された. また TGI 生起率が最も高いのは, 温冷刺激 (20°C-45°C) 同時提示下の瞬間皮膚接触時であり, TGI 平均生起率は 85% である. これは, 目標温度に達してから皮膚を温度提示部に接する”瞬間皮膚接触”が, 目標温度に達するまでずっと皮膚を温度提示部に接する”常時皮膚接触”より, 皮膚の温度変化速度が速く急激であることで, 被験者が感じる TGI 感覚が大きくなるからだと考えられた. ゆえに, より短時間で目標温度までの温度制御を行うことで TGI をさらに高確率で生起できる可能性が高いことが示唆された.

表 6 皮膚接触方法毎の TGI 平均生起率, 評価値 (提示場所:前腕, 素子間隔:5mm, 皮膚接触:瞬間)

皮膚接触方法	45°C-45°C		20°C-45°C	
	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. おわりに

本研究では, TGI の発生要件検証を行うことを目的として小型の TGI 提示デバイスを試作し, 小型デバイスを用いて TGI 発生要件の検証を行い, 検証結果からは, 以下のことが示唆された.

- ① 高確率 (85%) で TGI を生起させるためには, 20-45°C あるいはそれ以上の温度差をもつ温冷刺激を, 間隔を開けず皮膚上の近傍に提示する必要がある. 20-40°C では温度差が不足する.
- ② デバイス常時装着時には, 本実験の温度制御より短時間で目標温度への温度制御が必要である. 提示する温冷刺激間の温度差が大きくても, 温度変化速度が低速だと TGI 生起率は減少する.
- ③ TGI 感覚への敏感さは身体部位 (前腕部内側と掌の指尖球部) に依らず, 被験者毎の特徴である可能性が高い.

今後は, 本研究で検証した 4 項目の他に温冷刺激の繰り返し回数や前腕部・掌以外の身体部位, 41°C ~ 44°C・16~19°C の温度条件等についても同様の実験を行い, 更に詳しい TGI 発生要件を検証したい.

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 FB 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方法の検討が必要である.

そして上記に挙げた課題が解決された後は, 実際に TGI 刺激を覚醒低下が生じた人に対する FB として提示し, 覚醒度向上の効果有無を検証する実験を行うことで, 人の覚醒度を向上させる技術としての TGI の有効性を確かめたい.

5. 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, (<https://www.e-stat.go.jp/>).
- [2] 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.
- [3] 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.