

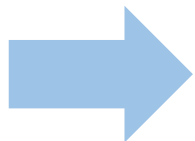
非接触の温冷刺激による 即応性と没入感に優れた空間メディア技術

筑波大学 システム情報系
教授 黒田 嘉宏

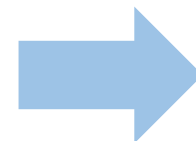
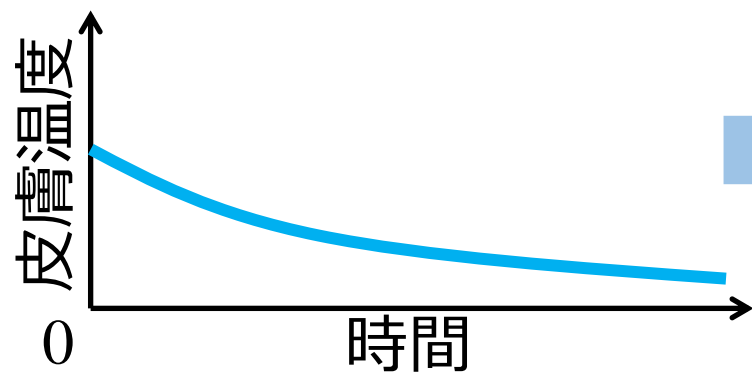
2025年9月16日

- 非接触で温冷感を伝える空間メディア技術
 - 皮膚温度を一定範囲に留めたまま温冷覚提示
 - 一体感（没入感）のある温冷覚
- 想定される用途
 - XR旅行（環境にやさしい、時間を選ばない、病気でも思い出の土地に）
 - 遠隔会議（多様な空間を楽しむ）
 - 自律神経制御（睡眠導入、覚醒度制御、情動制御）
- 実用化に向けた課題・社会実装への道筋
 - 装置の小型化、デバイス・椅子等への組み込み
 - ソフトウェア開発（ライブラリ、Unityプログラム）
 - 組み込み装置およびコンテンツの開発
- 企業への期待
 - 技術の未来への共有・共感
 - 社会実装の取り組み
 - 製品化に向けた社会実装の取り組み、社会でのニーズの掘り起こし
- 本技術に関する知的財産権
 - 2件（うち1件は米国出願済） + 1件

温度刺激



温度変化



温度感覚

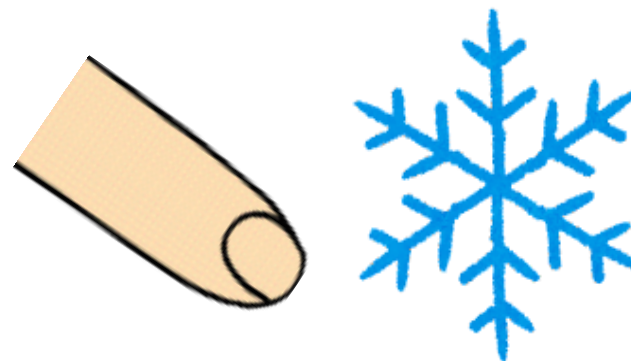


温度刺激の与え方

- 接触式

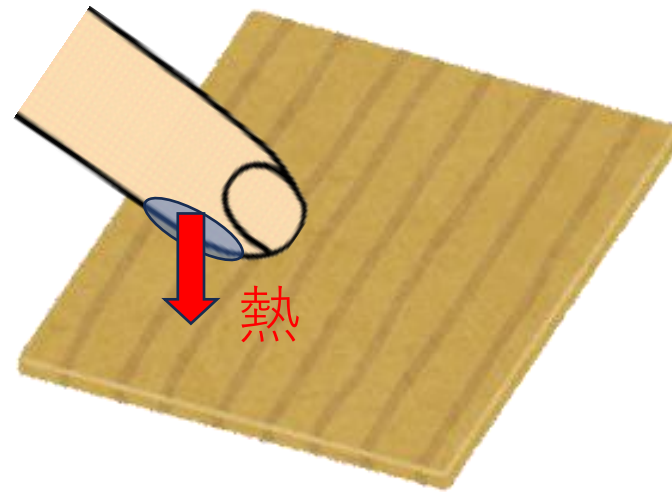


- 非接触式

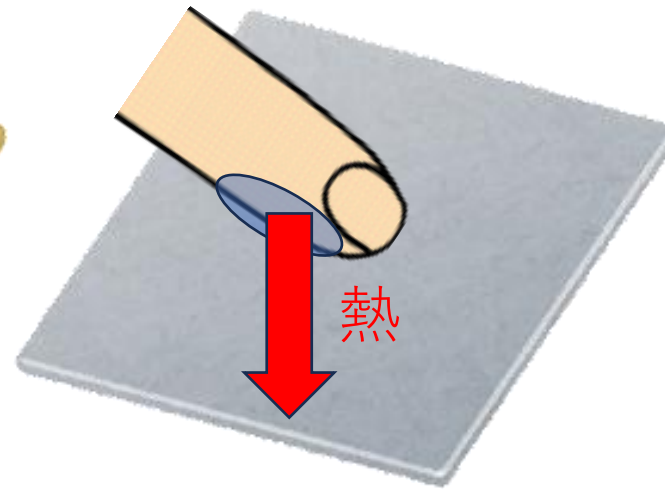


従来：触れて感じる温冷感

- 物体に触れたとき、素材に応じた 温かさ／冷たさ を感じる
- どちらの材質を 冷たいと感じるか？



木材



金属



ペルチェ素子

- 熱伝導率による違い。温冷感覚を素材の識別に利用
- 従来：ペルチェ素子など接触型温冷提示装置が多く提案

研究対象：非接触で感じる温冷感

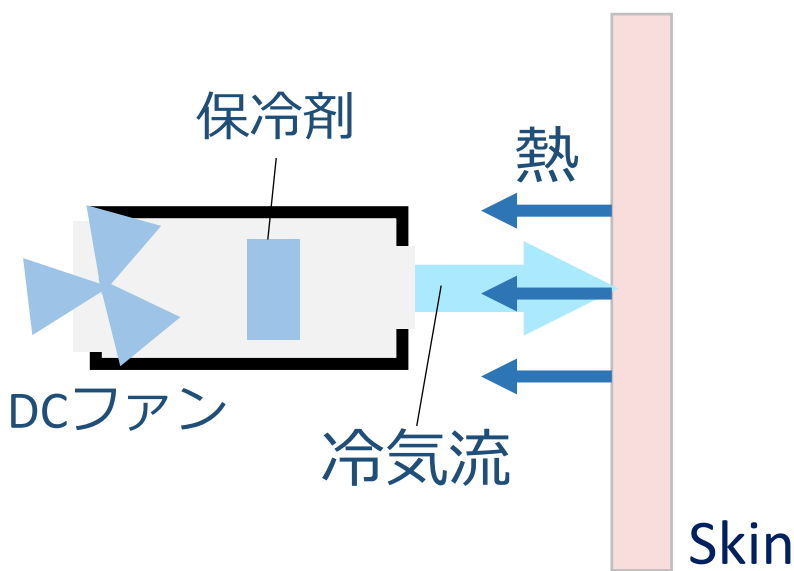
- 環境を温冷感覚で認識



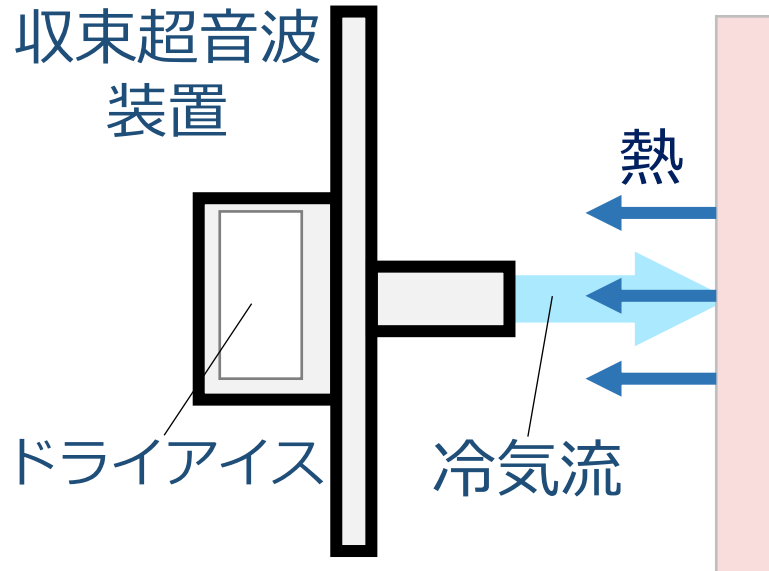
- 周囲環境（空気）との熱交換
- 本技術の対象：非接触型の装置が望ましい

- 非接触型の装置
- 提示方法

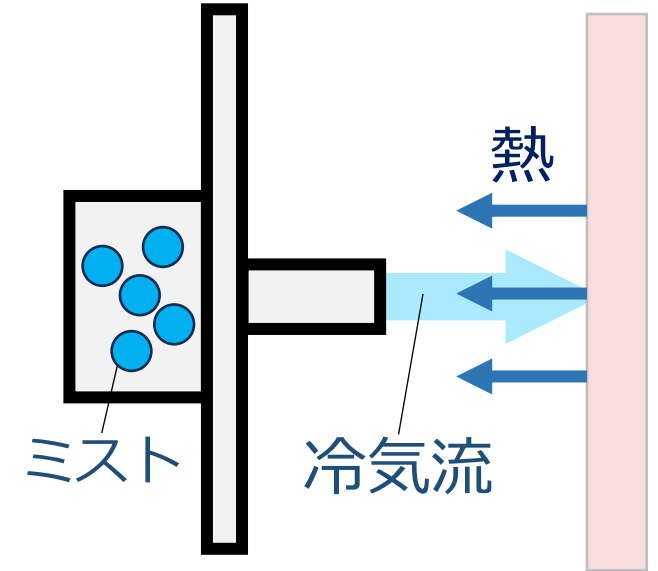
- 非接触型の装置
 - 温覚提示
 - ハロゲンランプ → 制御が難しい
 - LED → 制御が容易（有力）
 - 冷覚提示
 - エアコン（加圧・減圧、冷媒）→ 空気全体の入れ替え
 - 保冷剤・ミスト → 持続性の低さ、提示部の大きさ
- 提示方法



[Kume+ 2019]



[Nakajima+ 2018]



[Nakajima+ 2021]

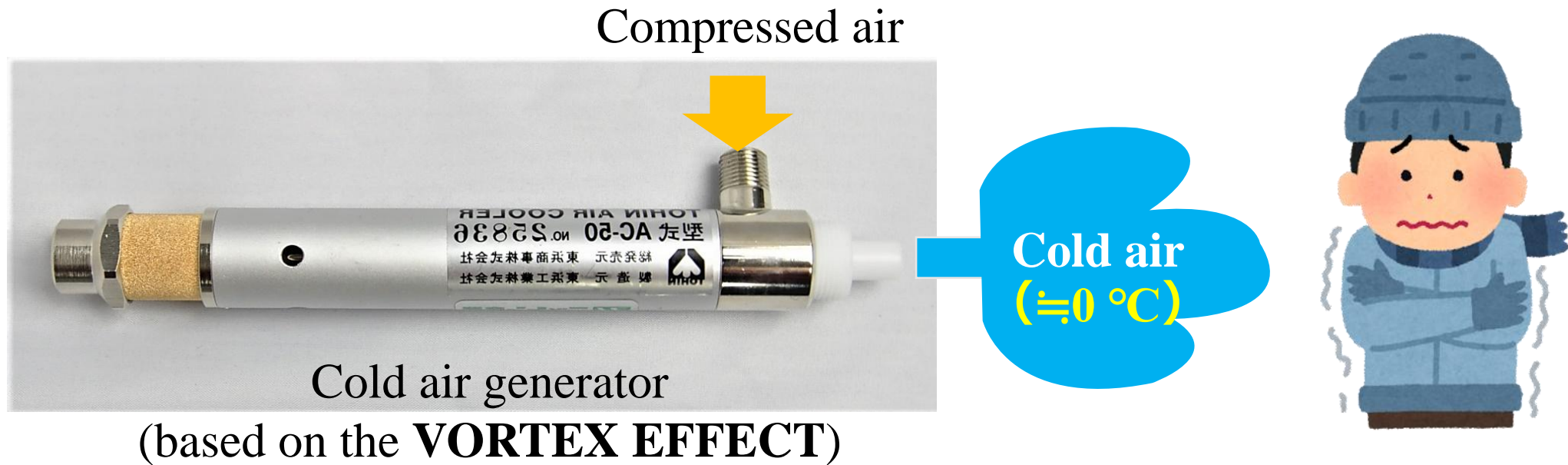
問題

- 保冷剤・ドライアイスを用いた場合、持続性が低い
- 収束超音波装置の場合、提示部が大きい

温覚提示： **LED**光を用いた温覚提示[Sakai+, 2019] を利用

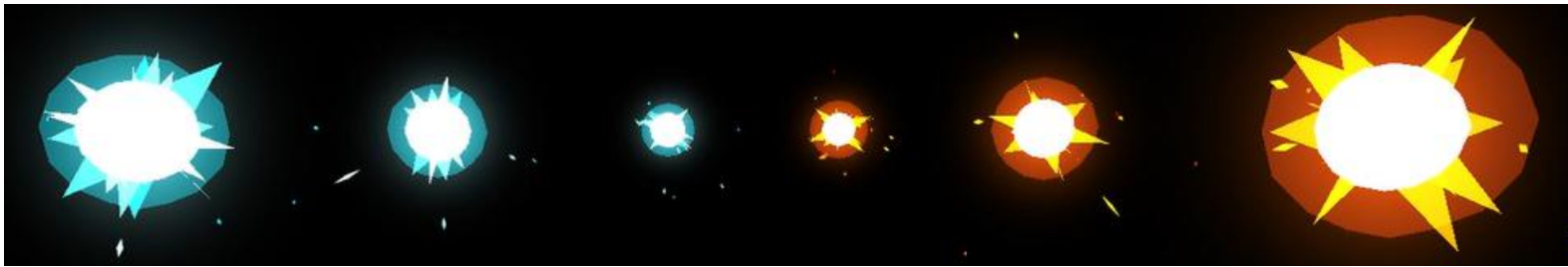
冷覚提示： **冷気流**を用いた冷覚提示を提案

ボルテックス効果

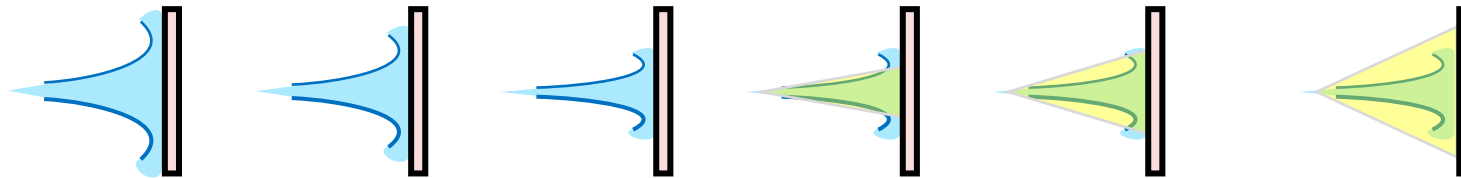


- 強度変化可能な温冷覚フィードバック

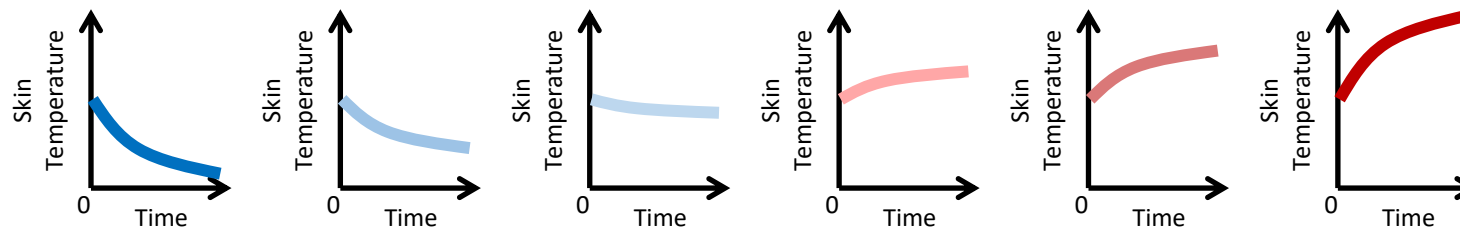
視覚情報



温冷刺激



刺激パターン

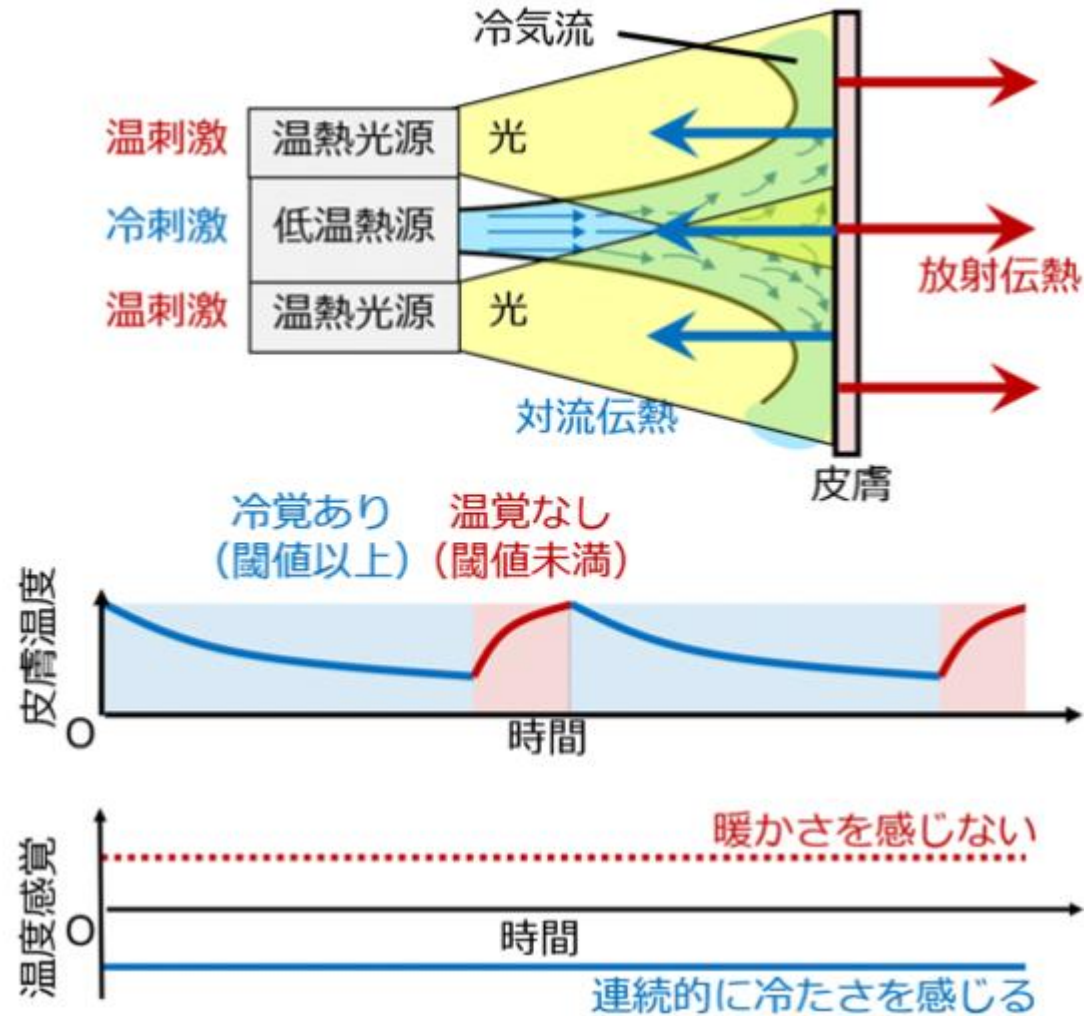


- 非接触型の装置
- 提示方法
 - 温刺激・冷刺激を継続
 - 皮膚温度の大きな変化

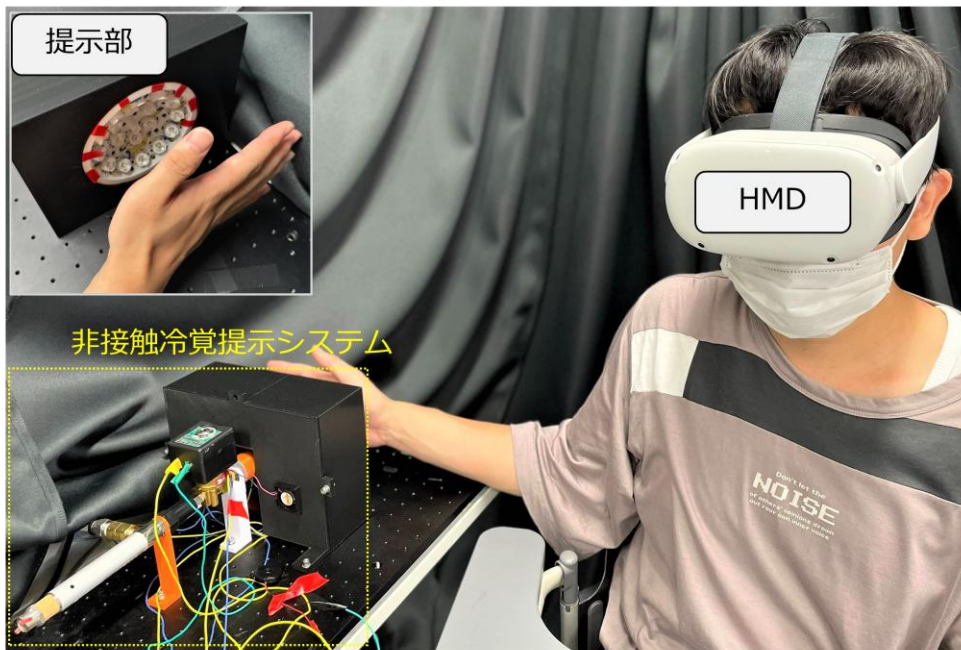
結果として

- 感度の変化 : 思い通りの感覚を出せなくなる
- 過度な加熱・冷却 : 皮膚が熱く／冷たくなりすぎる

本技術1 皮膚温度を保つ非接触冷覚提示



本技術1（手法）：具体例



- STEP 1:** HMDを装着し、右手はハンド固定台に置いてください
- STEP 2:** 仮想世界で自分の左手を見つけて熱源に近づいて体験しましょう！



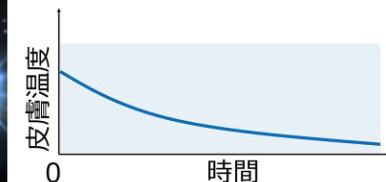
一時的な冷覚提示



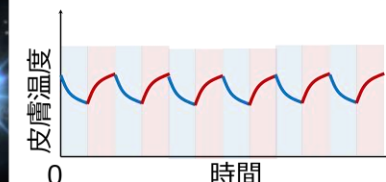
一時的な温覚提示



連続的な冷覚提示（従来手法）

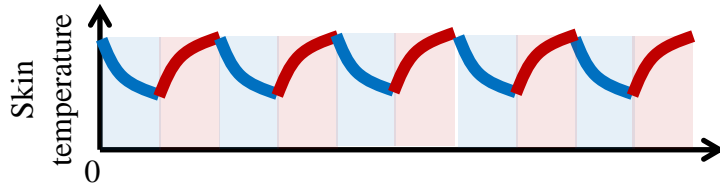


連続的な冷覚提示（提案手法）

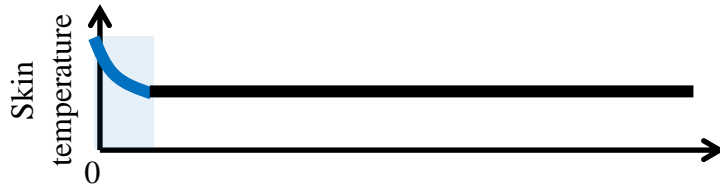


・刺激パターン

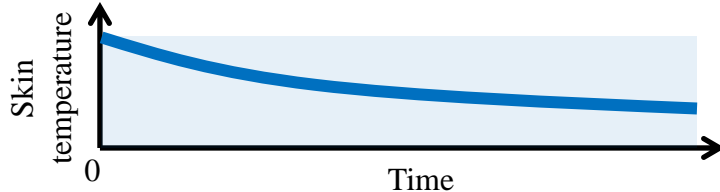
- ・ S1（提案手法）



- ・ S2（冷刺激、短時間）



- ・ S3（冷刺激、持続的）



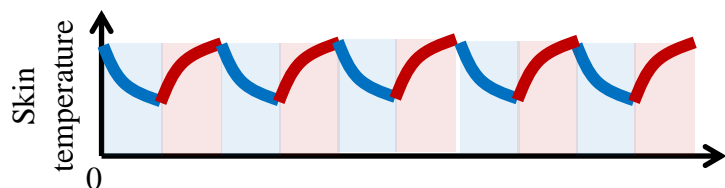
持続性を感じる
確率 [%]

		刺激パターン		
		S1	S2	S3
冷却速度 [$^{\circ}\text{C}/\text{s}$]	-0.08	0	0	33.33
	-0.12	2.668	0	93.33
	-0.16	42.666	40	93.33
	-0.2	84.002	66.67	93.33
	-0.24	86.666	100	100

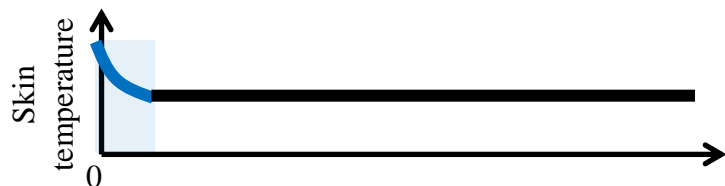
- ・ 冷却速度が大きくなると、持続的に冷たさを感じやすくなる傾向も見られる
- ・ 冷却速度が $-0.2 \sim -0.24 \text{ }^{\circ}\text{C}/\text{s}$ で、参加者の 80 % 以上が冷たさのみを持続的に感じる

- 刺激パターン

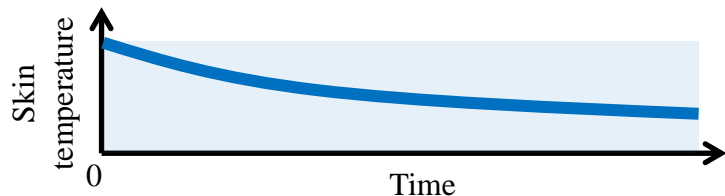
- S1（提案手法）



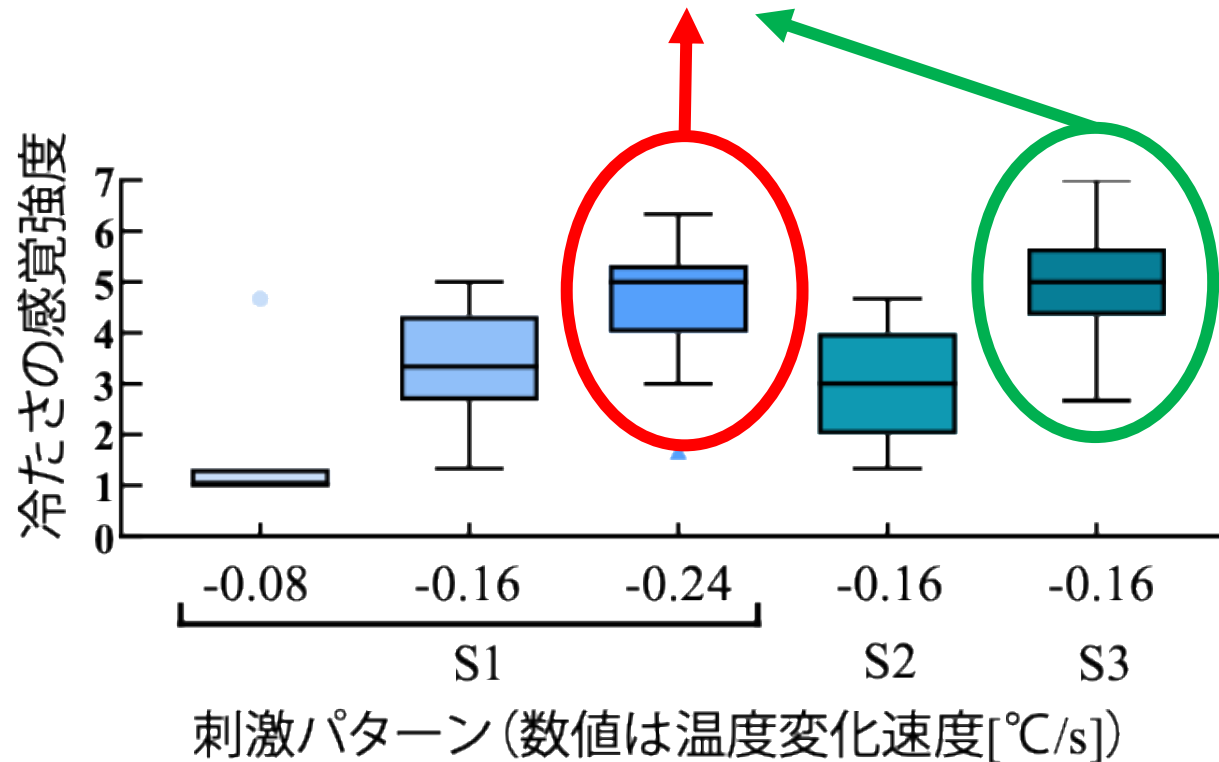
- S2（冷刺激、短時間）



- S3（冷刺激、持続的）



同程度の感覚強度を実現

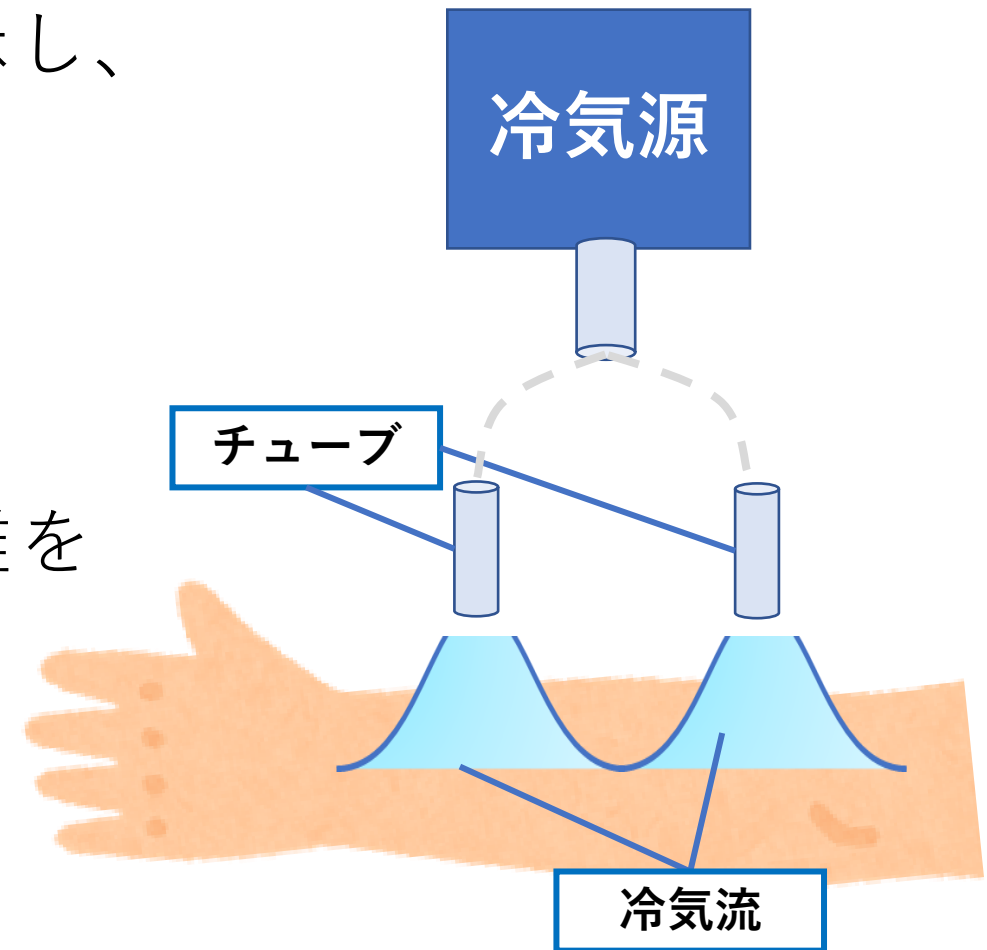


背景

素早く**一体感のある温冷感**を提示し、
没入感を向上させたい

方法

- 冷気や熱気をノズルから提示
- 一体として感じるノズル間距離を
測定・算出



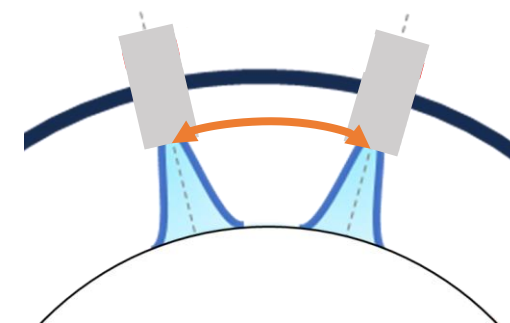
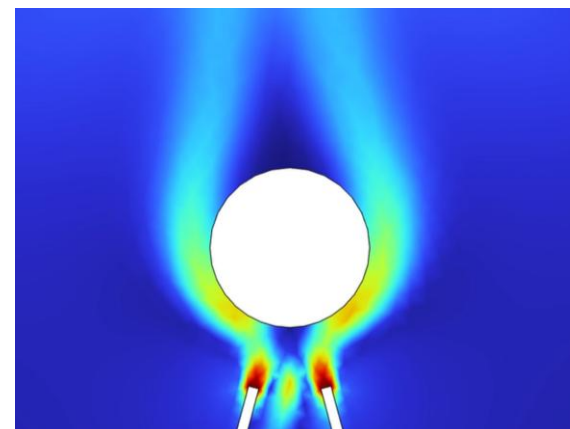
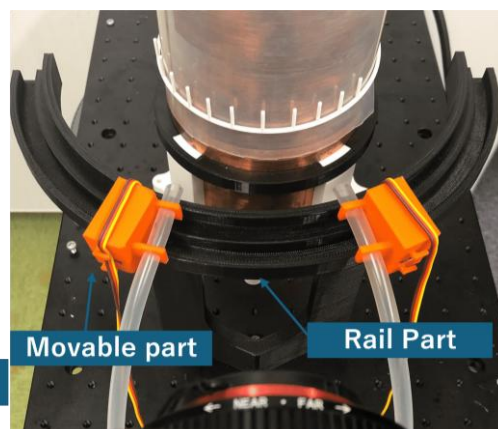
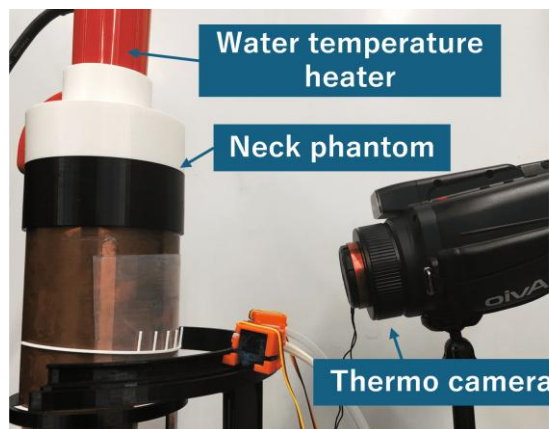
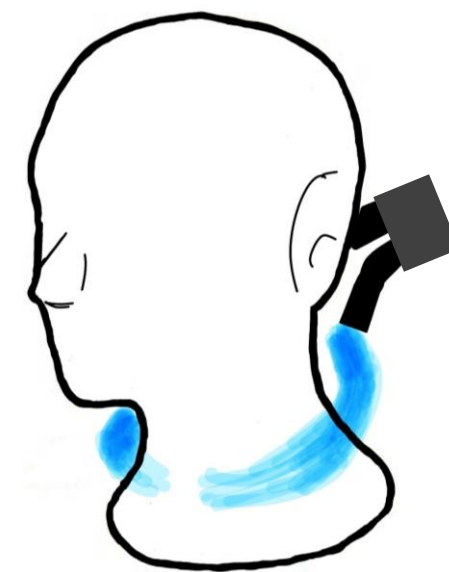
目的

湾曲した皮膚（例えば、首）に対し、コアンダ効果を用いて効率的に一体感のある冷感を提示し、没入感を向上

内容

どのようなノズルの位置、向きであれば、体の全周に温冷感を提示できるか

実施：首のファントムを用いた温度変化調査、数値解析



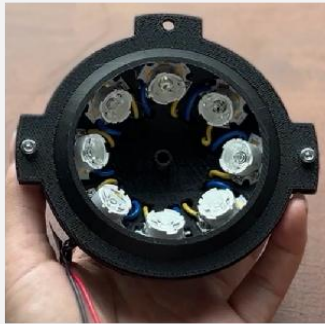
ノズル間距離

首ファントムを用いた温度実験

シミュレーション

- 装置の小型化、デバイス・椅子等への組み込み
- ソフトウェアの開発（ライブラリ、Unityアセット）

System (Hardware)



Thermal Feedback Module

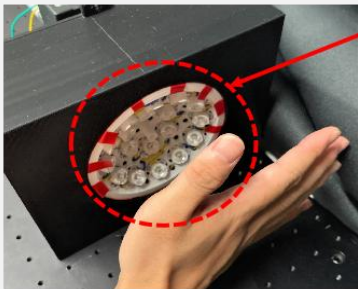


Table Fixed



Chair Fixed



HMD Fixed

Authoring Tool (Software)

Stimulus Pattern

Select Stimulus Patterns (Hot, Cold, ...)

Hot Level

Stimuli Level

Select Stimulus Level

Lv. 4

Time Setting

When "Time Setting" is off, the stimulus will not stop

Stimulus Delay

When "Stimulus Delay" is off, the stimulus will be presented just on time

Setting

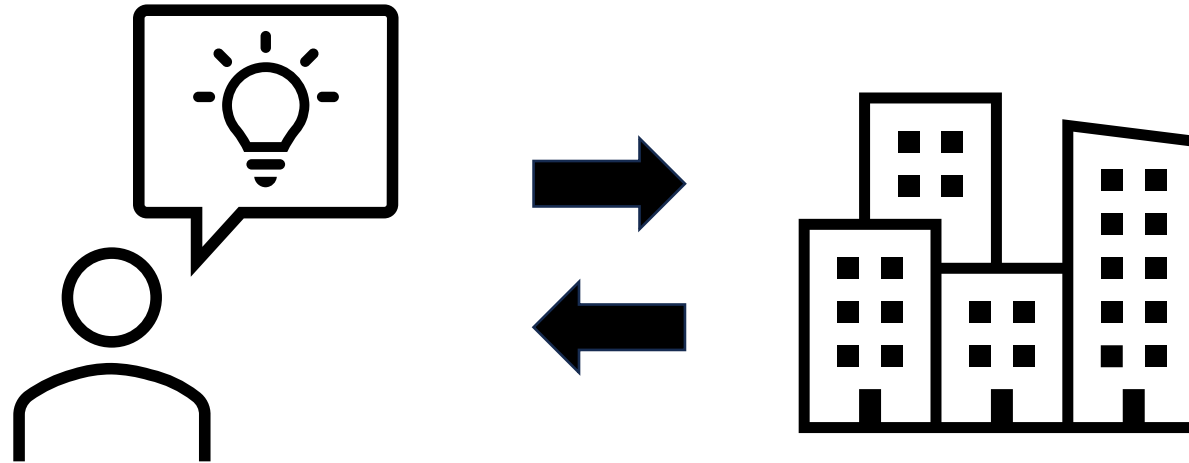
- 感覚フィードバック技術
- 仮想旅行
- 教育訓練（消火活動、科学教育）
- 自律神経制御（睡眠導入、覚醒度制御、情動制御）



- 組み込み装置の開発
- コンテンツの開発
- 新たな空間メディア技術に興味のある企業



- 技術の将来性への共有・共感
- 社会実装の取り組み
- 社会でのニーズの掘り起こし



- 特許1
 - 発明の名称 : 冷覚呈示装置及びプログラム
 - 出願番号 : PCT/JP2022/021922
 - 出願人 : 筑波大学
 - 発明者 : 黒田 嘉宏、キヨ カイ
- 特許2
 - 発明の名称 : 温冷覚呈示装置、二点弁別閾測定方法、呈示部間距離算出方法、及びプログラム
 - 出願番号 : 特願2022-142263
 - 出願人 : 筑波大学
 - 発明者 : 黒田 嘉宏、牧野 皓陽、キヨ カイ、金子 暁子
- 特許3：特許2の発展
 - 発明の名称 : 温冷覚呈示装置およびプログラム
 - 出願番号 : 特願2025-114324
 - 出願人 : 筑波大学
 - 発明者 : 黒田 嘉宏、秋元 快成、星 颯太郎、金子 暁子

- 温冷感提示
- 本技術1：皮膚温度を保つ非接触冷覚提示
- 本技術2：一体感のある温冷覚提示
- 発展：回り込み気流による没入感提示

少しでもご関心があれば、遠慮なくご連絡いただければ幸いです

国立大学法人 筑波大学 産学連携部
技術移転マネージャー

e-mail event-sanren@un.tsukuba.ac.jp

Webからのお問い合わせ：

https://www.sanrenhonbu.tsukuba.ac.jp./joint-research/for_company/