

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

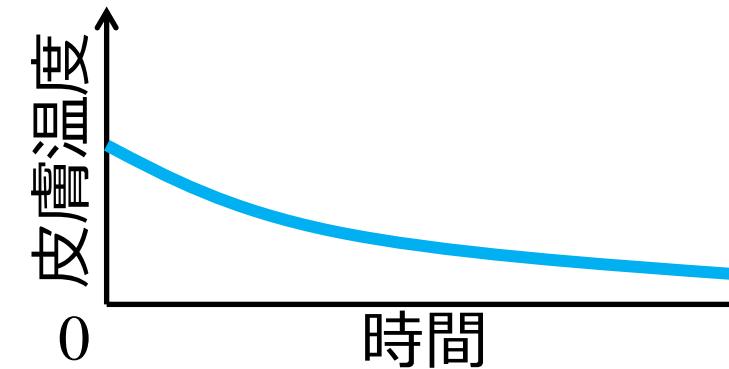
- 非接触で温冷感を伝える空間メディア技術
 - 皮膚温度を一定範囲に留めたまま温冷覚提示
 - 一体感（没入感）のある温冷覚
- 想定される用途
 - XR旅行（環境にやさしい、時間を選ばない、病気でも思い出の土地に）
 - 遠隔会議（多様な空間を楽しむ）
 - 自律神経制御（睡眠導入、覚醒度制御、情動制御）
- 実用化に向けた課題・社会実装への道筋
 - 装置の小型化、デバイス・椅子等への組み込み
 - ソフトウェア開発（ライブラリ、Unityプログラム）
 - 組み込み装置およびコンテンツの開発
- 企業への期待
 - 技術の未来への共有・共感
 - 社会実装の取り組み
 - 製品化に向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

温度知覚の仕組み

温度刺激



温度変化



温度感覚

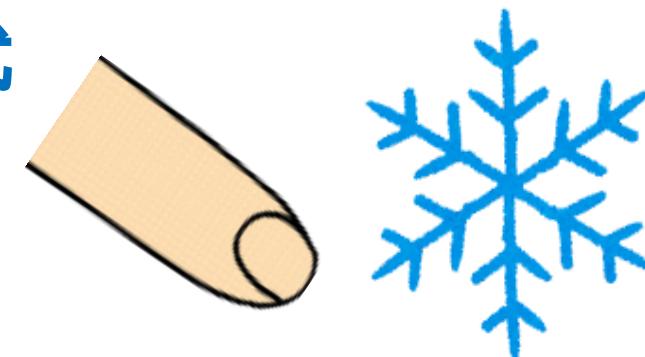


温度刺激の与え方

- 接触式

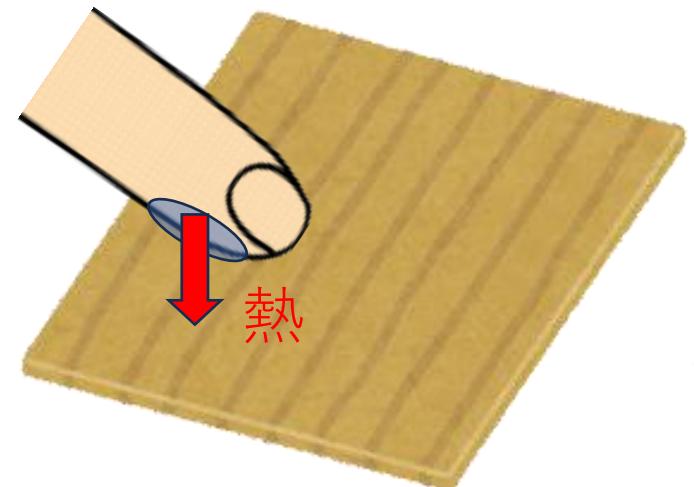


- 非接触式

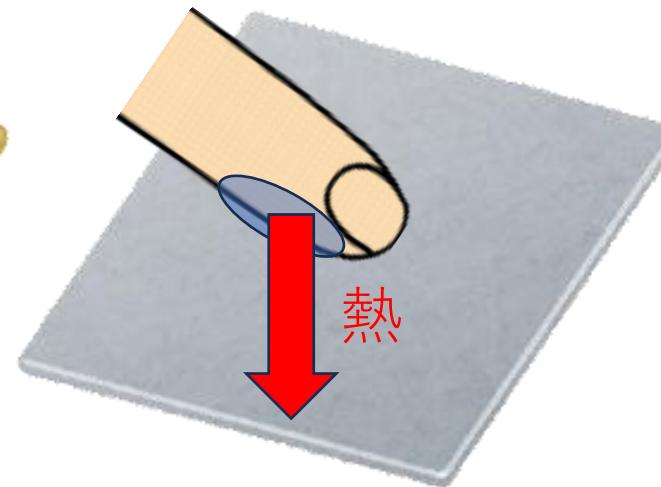


従来：触れて感じる温冷感

- 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



ペルチエ素子

- 热伝導率による違い。温冷感覚を素材の識別に利用
- 従来：ペルチエ素子など**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

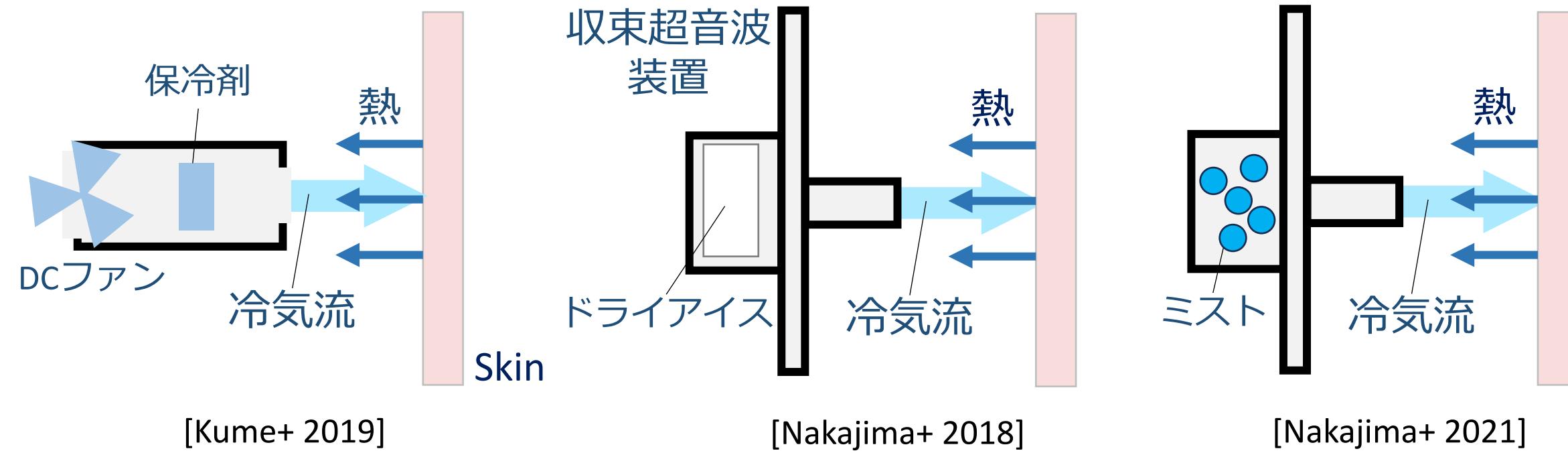


- 周囲環境（空気）との熱交換
- 本技術の対象：非接触型の装置が望ましい

- 非接触型の装置
- 提示方法

- 非接触型の装置
 - 溫覚提示
 - 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

従来技術とその課題



問題

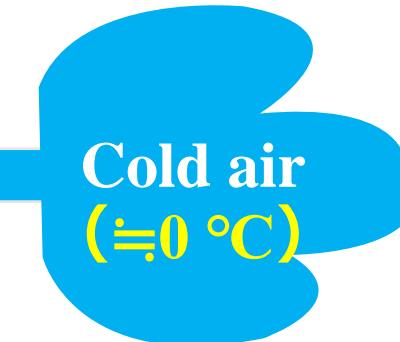
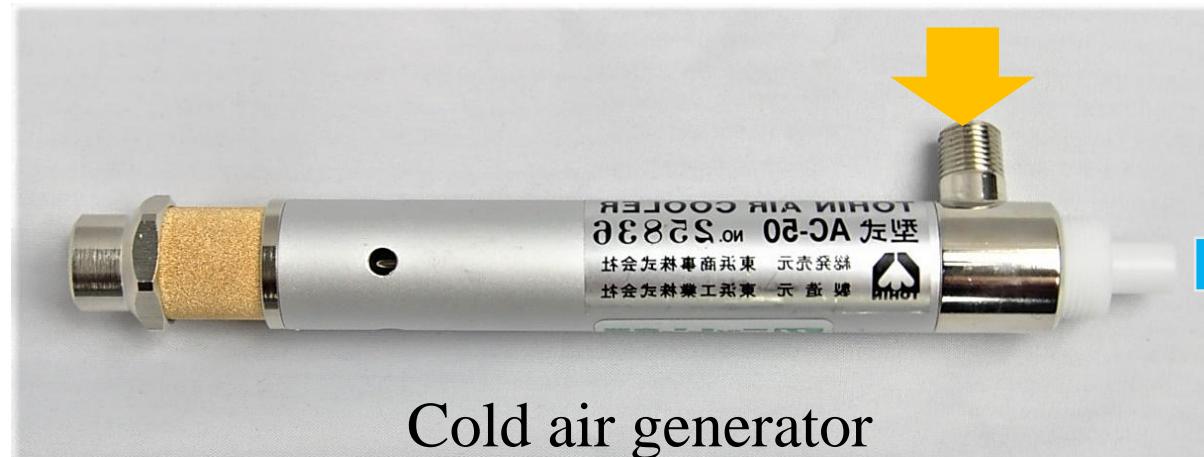
- 保冷剤・ドライアイスを用いた場合、持続性が低い
- 収束超音波装置の場合、提示部が大きい

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

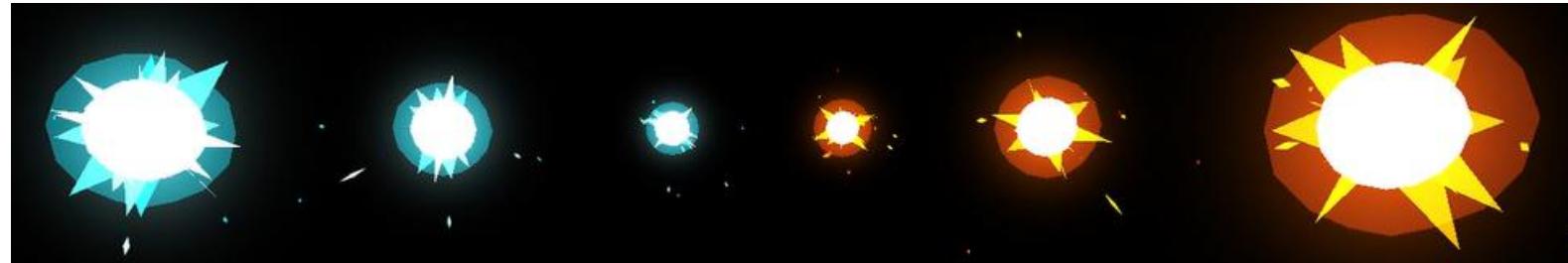
ボルテックス効果

Compressed air

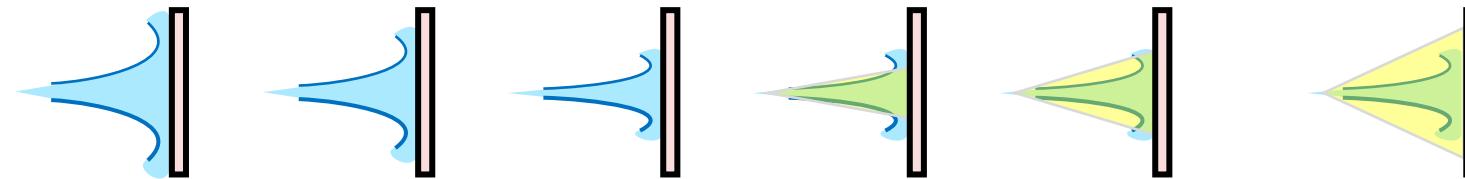


- 強度変化可能な温冷覚フィードバック

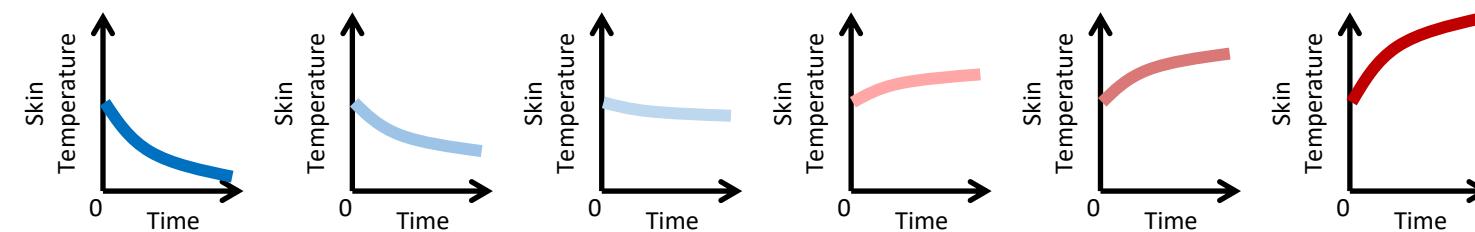
視覚情報



温冷刺激



刺激パターン

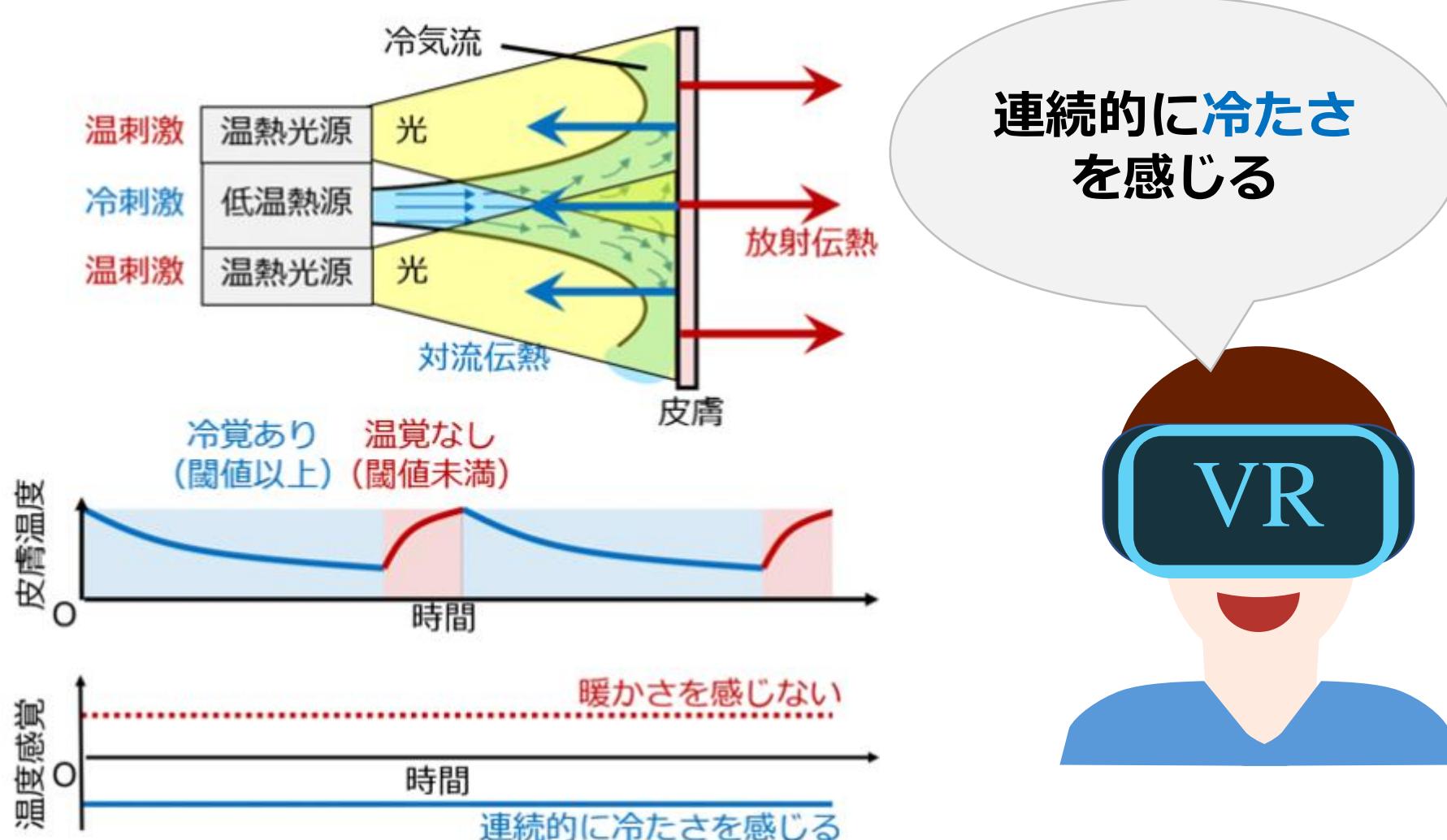


- 非接触型の装置
- 提示方法
 - 温刺激・冷刺激を継続
→ 皮膚温度の大きな変化

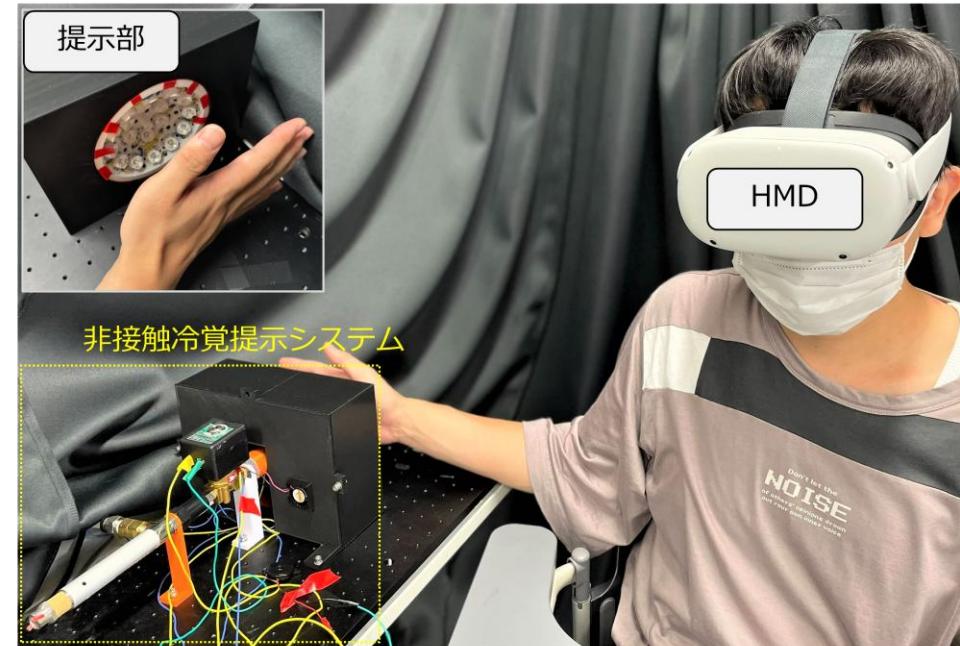
結果として

- 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

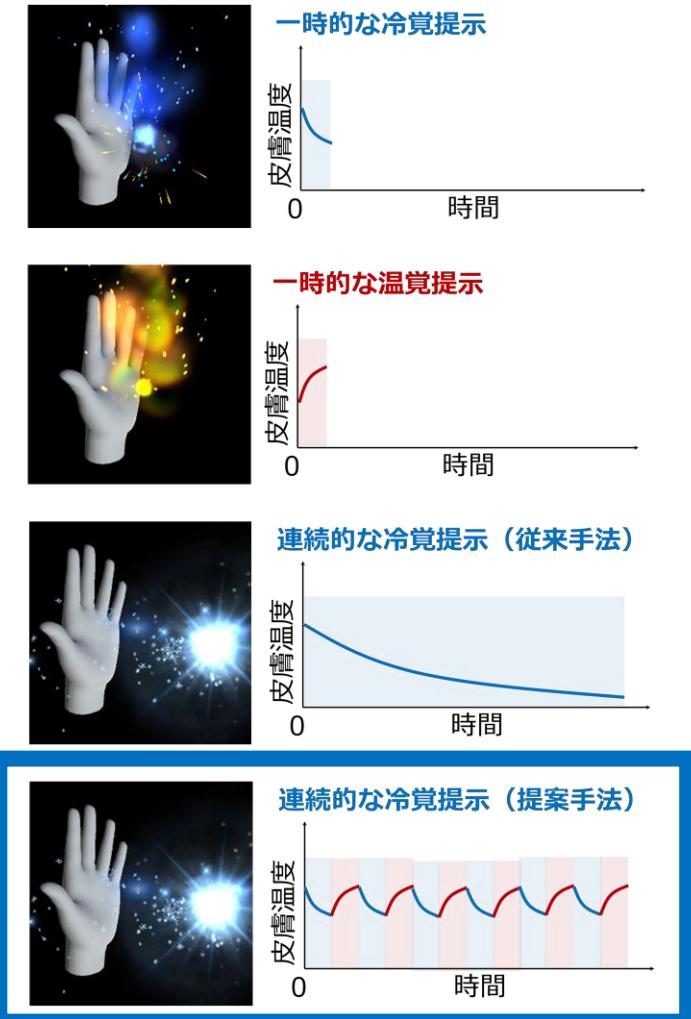
本技術1 皮膚温度を保つ非接触冷覚提示



本技術1（手法）：具体例



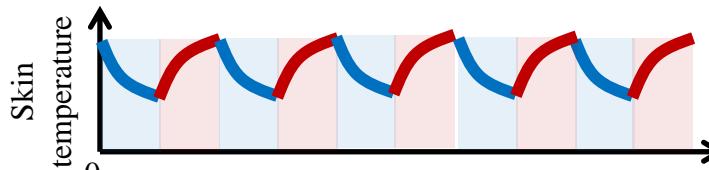
STEP 1: HMDを装着し、右手はハンド固定台に置いてください
STEP 2: 仮想世界で自分の左手を見つけて熱源に近づいて体験しましょう！



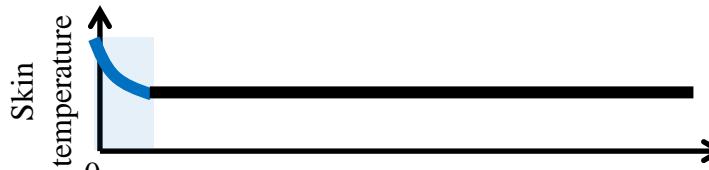
本技術1（評価）：持続性

- 刺激パターン

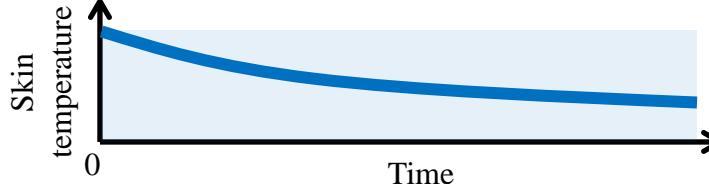
- S1 (提案手法)



- S2 (冷刺激、短時間)



- S3 (冷刺激、持続的)



持続性を感じる確率 [%]

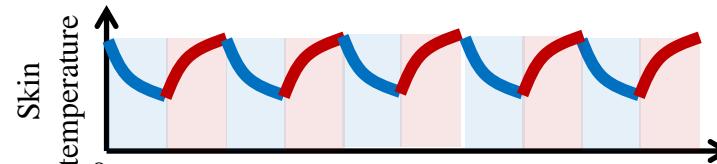
冷却速度 [$^{\circ}\text{C}/\text{s}$]

冷却速度 [$^{\circ}\text{C}/\text{s}$]		持続性を感じる確率 [%]		
		S1	S2	S3
-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

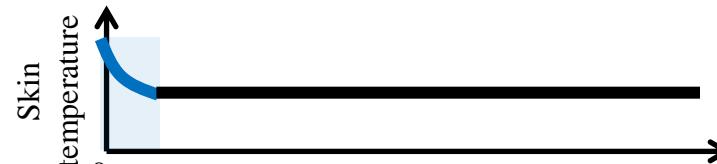
- 冷却速度が大きくなると、持続的に冷たさを感じやすくなる傾向も見られる
- 冷却速度が $-0.2 \sim -0.24 ^{\circ}\text{C}/\text{s}$ で、参加者の 80 % 以上が冷たさのみを持続的に感じる

- 刺激パターン

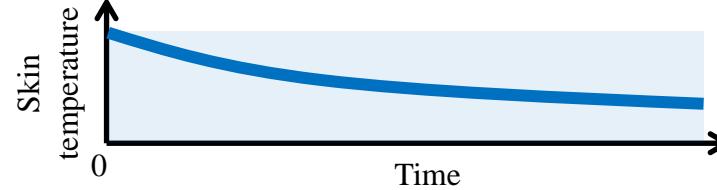
- S1 (提案手法)



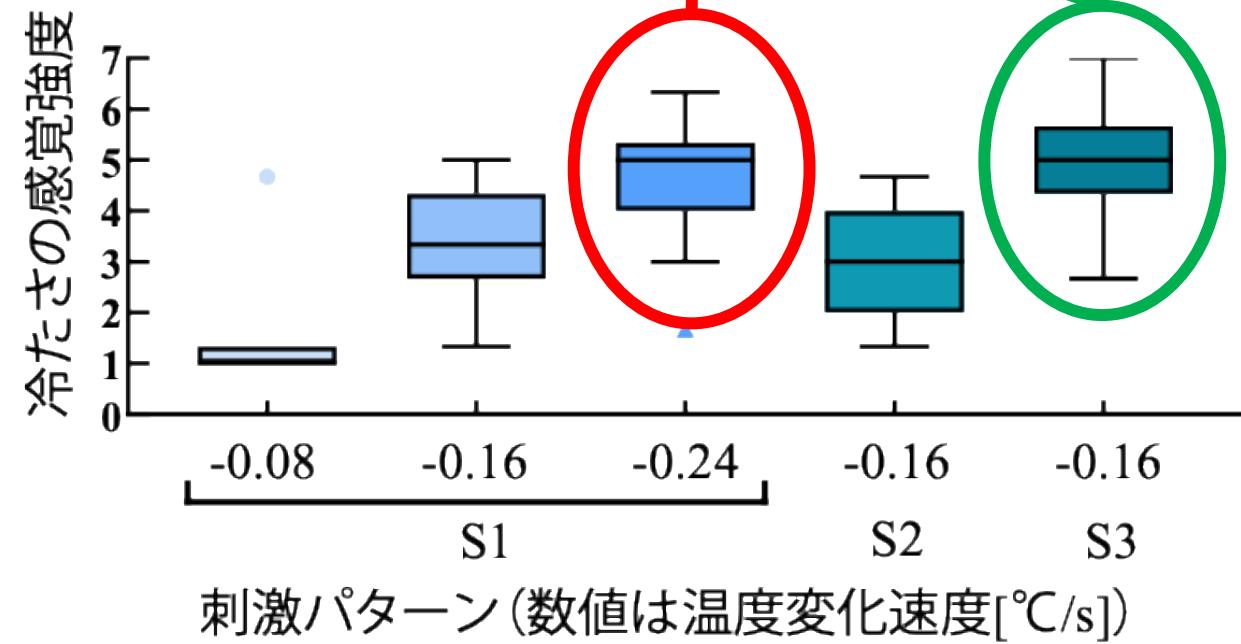
- S2 (冷刺激、短時間)



- S3 (冷刺激、持続的)



同程度の感覚強度を実現



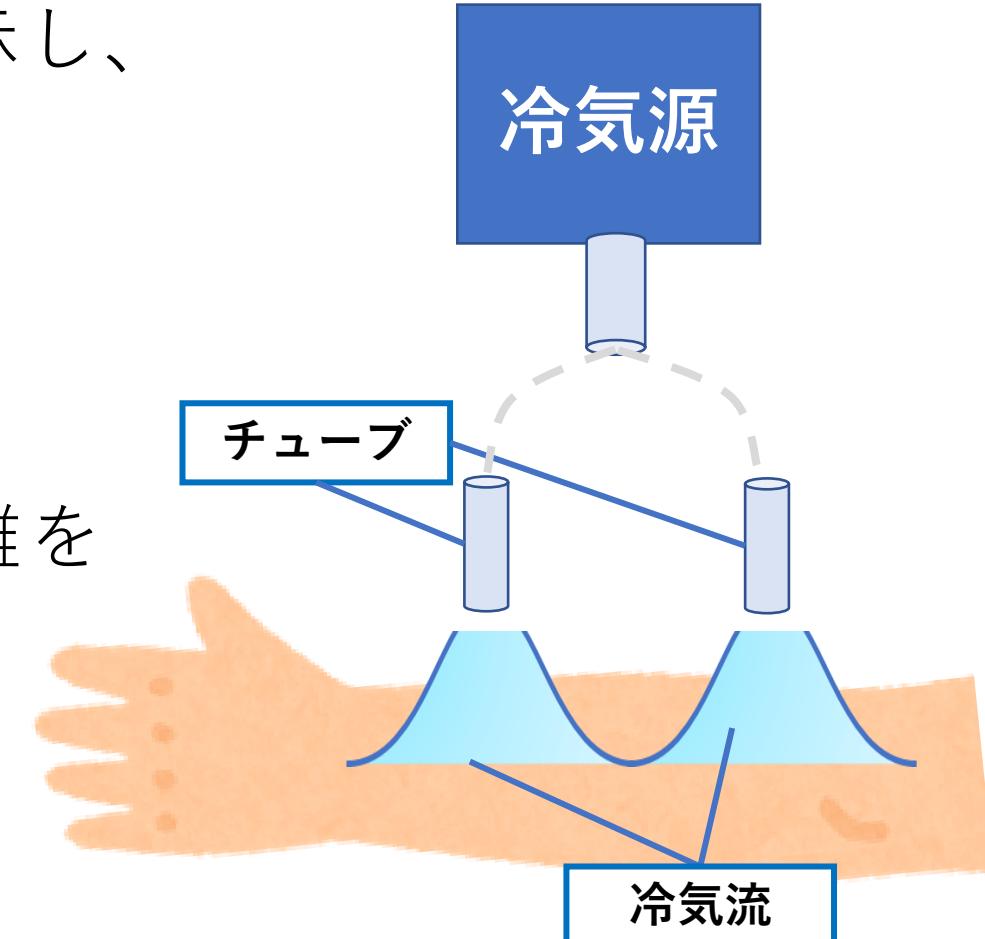
本技術2：一体感のある温冷覚提示

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



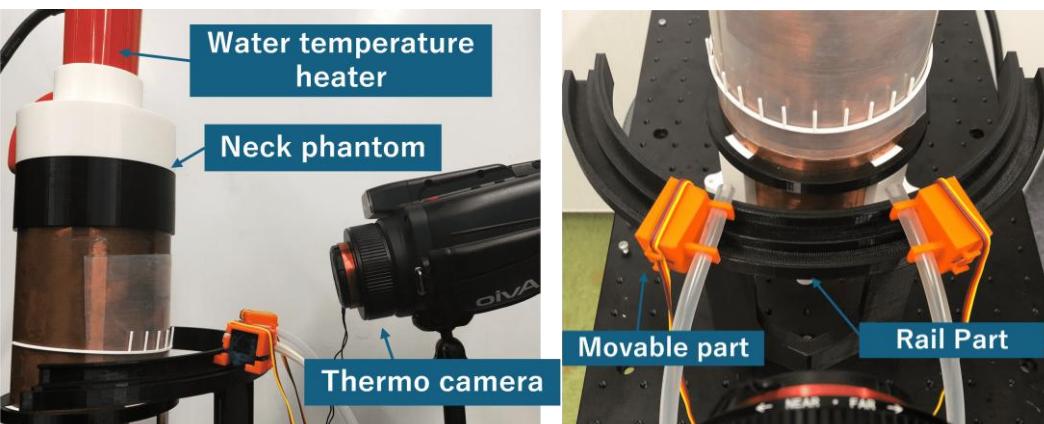
目的

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

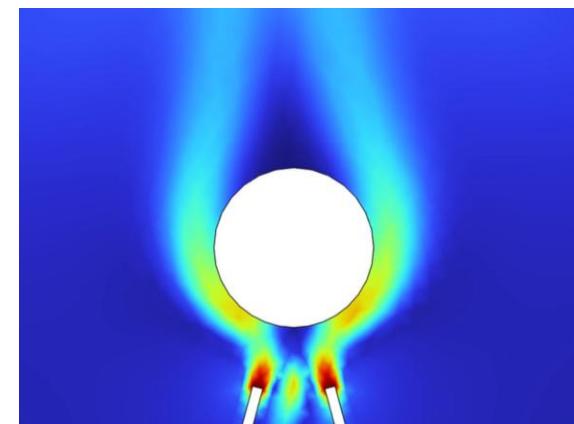
内容

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

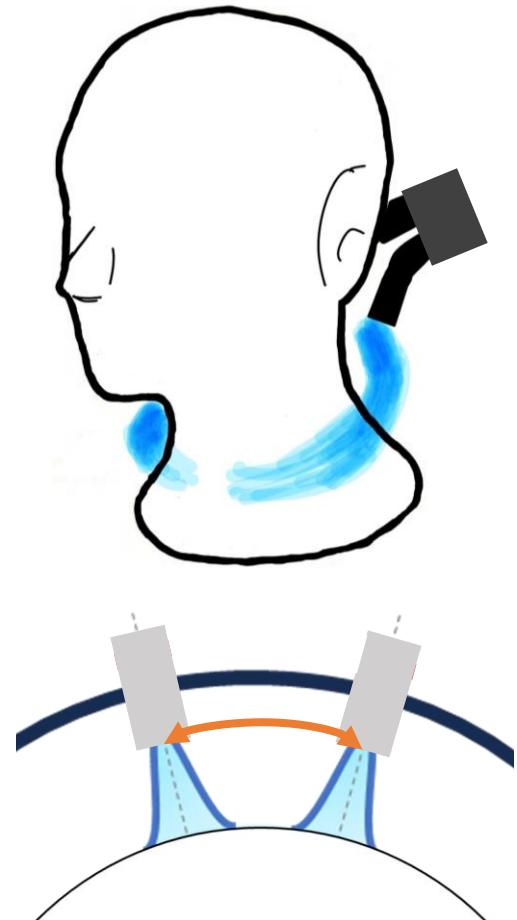
実施：首のファントムを用いた温度変化調査、数値解析



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

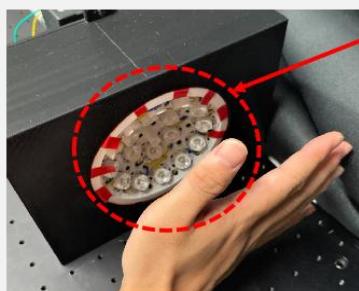
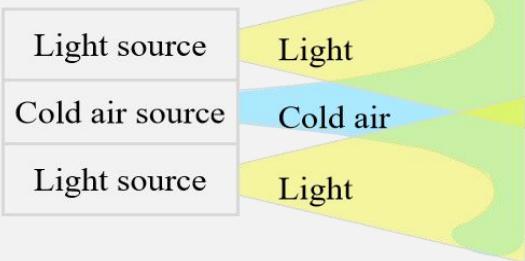


Table Fixed



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

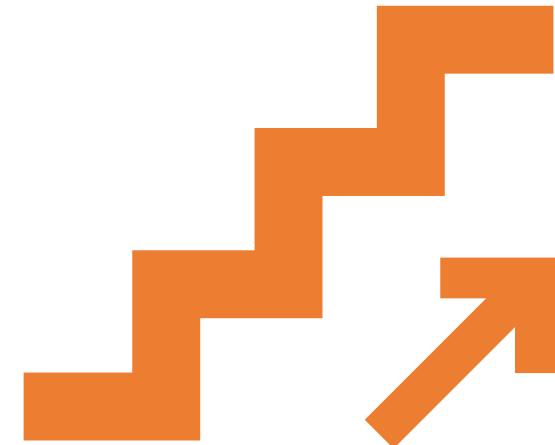
Setting

想定される用途

- ・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）

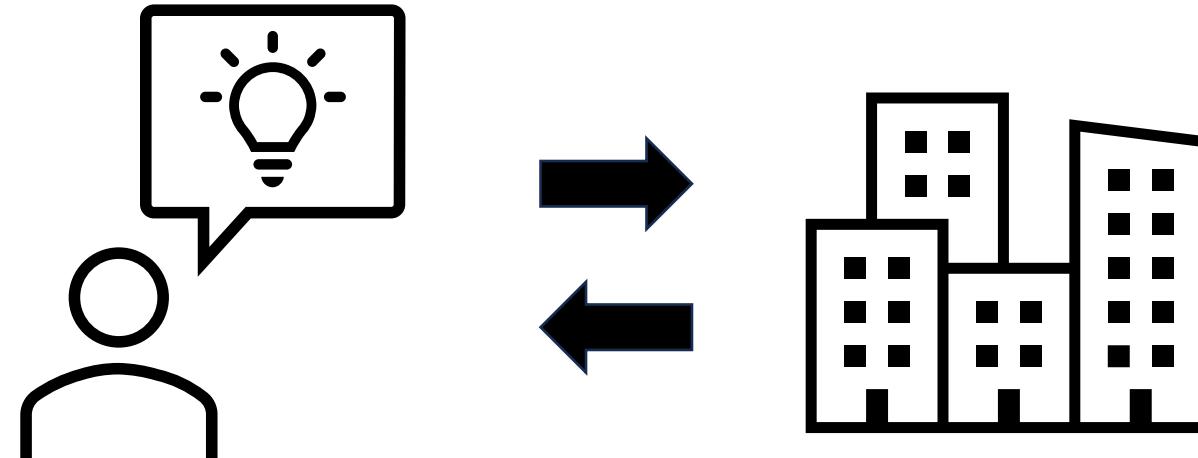


- ・組み込み装置の開発
- ・コンテンツの開発
- ・新たな空間メディア技術に興味のある企業



企業への期待

- ・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 晓子
- 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 晓子

- 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

少しでもご关心があれば、遠慮なくご連絡いただければ幸いです

お問い合わせ先

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/