

# 仮想空間内の視聴覚情報と現実の風が温度の体感に与える影響について

鈴木将敏<sup>†</sup> 松浦昭洋<sup>†</sup>

仮想空間内の視聴覚情報に、現実世界の温度制御された送風による刺激を加えることが、人の温度の体感に与える影響を調査した結果を報告する。実験においては、仮想空間に設置された焚き火の方向から、体験者に対し温度制御された現実の風が送られる。その際の仮想的な焚き火の強さを表す視聴覚情報や風の温度など物理条件が体験者の温度の体感に与える影響を感性評価アンケートの結果から定量的に評価する。

## Effect of Audiovisual Information in the Virtual Space and the Real Wind on the Sense of Temperature

MASATOSHI SUZUKI<sup>†</sup> AKIHIRO MATSUURA<sup>†</sup>

We present experimental results of how the stimulus of temperature-controlled real wind incorporated with the audiovisual information in the virtual space affects the human sense of temperature. In the experiments, temperature-controlled wind is blown to the examinees from the direction bonfire is set in the virtual space. We evaluate the effect of the audiovisual information in the virtual space that represents the strength of the bonfire and the real wind on the human sense of temperature from the Kansei evaluation questionnaire answered by the examinees.

### 1. はじめに

近年 HMD の普及に伴い、クロスモーダル現象による五感の錯誤やそれを応用する研究が多く行われている。例えば、Unlimited Corridor [1]では、視触覚相互作用により体験者の空間知覚を操作し、体験者に無限に歩いていると錯覚を起し、狭い空間で歩行型の VR 体験を実現する。

本研究では、実空間と仮想空間双方を用いたメディアコンテンツに、現実の風を適切な温度で用いることを目的として、仮想空間内の視聴覚情報に温度とタイミングを制御された実際の風による刺激を与えることで、人の温度の体感にどのような影響を及ぼすかを調査する。これまでに、制御された風を発生させる送風装置の作製と、HMD を利用した VR アプリケーションの開発を行い、さらにそれらの装置とアプリケーションを用いて、温度の体感を評価する実験を実施した。

### 2. システムの概要

本システムは、温度とタイミングを制御可能な送風装置と VR アプリケーションにより構成されている。システムの概要図を図 1 に示す。以下、それぞれについて記述する。

#### 2.1 送風装置

##### 2.1.1 装置の構成要素

本送風装置は、風を発生させるモータとプロペラ、温度を変化させるサーモモジュール（ $-55^{\circ}\text{C}\sim 80^{\circ}\text{C}$ の温度をとる 15.4V, 5A のペルチェ素子, TES1-12705）と放熱のため

のヒートシンク、ヒートシンク内の温度を測定する温度センサ (GAOHOU 社, DS18B20)、それらを制御する Arudino Uno によって構成されている。

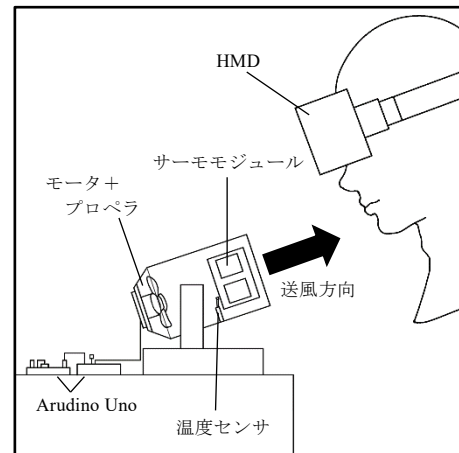


図 1 システムの概要図

##### 2.1.2 装置の詳細

送風装置は、送風装置内の温度を測定し温度を制御する機能と送風を行う機能をもつ。送風装置内の温度は、装置内に設置された温度センサから得られる値により、Arudino Uno からトランジスタ (サンケン電気株式会社, 160V, 10A, 2SD2390) に対して信号を送ることでリアルタイム制御されている。温度センサの値が所定の温度より低くなると、トランジスタのスイッチング回路が開通してサーモモジュールに電流が流れ、装置内の温度を上昇させる。本処理は、

<sup>†</sup>東京電機大学  
Tokyo Denki University

Arudino Uno 本体内のスケッチを用いて行われている。

送風は、強さとタイミングを制御することができる。強さの制御は、Arudino Uno から PWM 信号をトランジスタ ON Semiconductor 社, 50V, 0.2A, BC547B) に送り, 256 段階で行っている。送風のタイミングは, 2.2 節で述べる VR アプリケーション内の情報とリンクさせるために, ポート通信により指令が送られてきた場合に開始されることとしている。作製した送風装置を図 2 に示す。

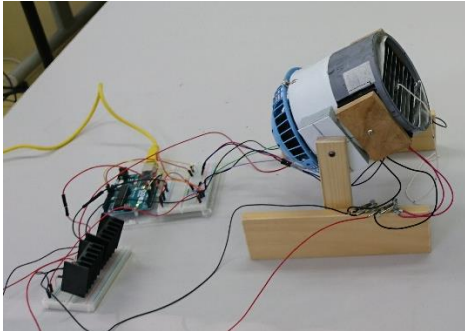


図 2 送風装置

## 2.2 VR アプリケーション

今回, 仮想空間を取り扱うためにゲームエンジンである Unreal Engine4 (以下, UE4) を採用した。開発環境は, Windows10, UE4 独自開発スクリプト Blueprint, HMD として HTC-Vive を利用した。

VR アプリケーションを構成する仮想空間内の視聴覚情報は, 光の遮断された洞窟, 焚き火, 風のたなびくエフェクトである。温度の体感の検証実験を行うために, 焚き火は, 消えた焚き火, 普通の焚き火, 強い焚き火, の 3 状態をとれるようにした。VR アプリケーション内での焚き火と風のエフェクトの描画結果を図 3(a)~(d)に示す。

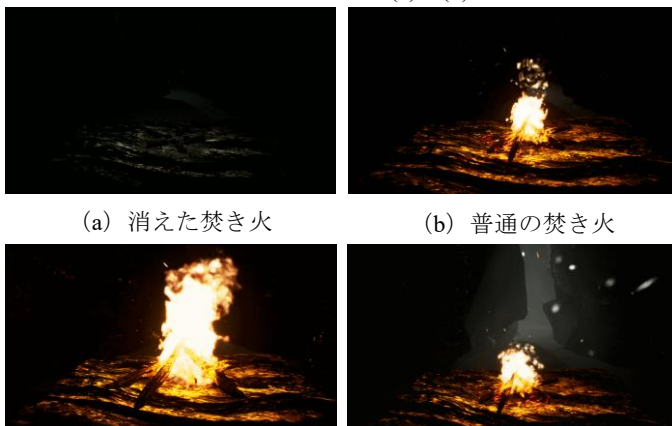


図 3 VR アプリケーション内の提示画面

## 2.3 送風装置と VR アプリケーションの連動

送風装置での送風と VR アプリケーション内の風のエフェクトの提示タイミングを同期させるために, VR アプリケーション内の風エフェクトが発生すると同時にポート通信により Arudino Uno に指令が送られ, PWM 信号によって

モータが回転する仕組みとなっている。送風装置と VR アプリケーションの依存関係を図 4 に示す。

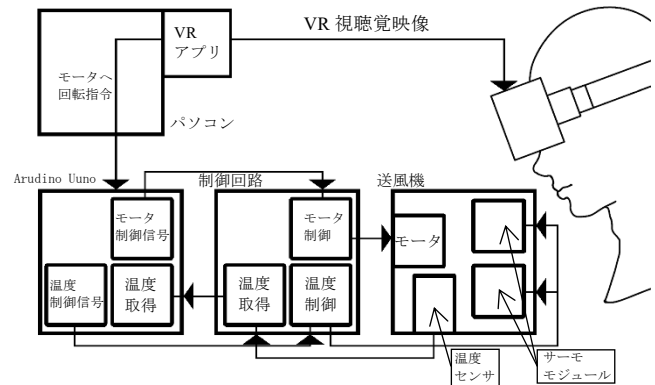


図 4 送風機と VR アプリケーションの依存関係

## 3. 温度の体感の検証実験

### 3.1 実験の目的

仮想空間内の焚き火の勢いが強くなれば, 実空間や吹く風の温度等について何らかの条件の下では, 実空間で吹いてくる風をより温かいと感じるのではないかと予想した。その検証のために, 仮想空間内の焚き火の強さと実空間における温度とタイミングが制御された風の条件が人の温度の体感にどのような影響を与えるかを調べる実験を 2 章で述べた送風装置と VR アプリケーションを用いて行った。

### 3.2 実験環境と被験者

実験を行った部屋は, 夏場の快適な室温とされる  $27^{\circ}\text{C}$  (誤差  $\pm 1^{\circ}\text{C}$ ) [2], 湿度を建造物衛生法によって定められている  $40\sim 70\%$  [3], 室内の環境が変わらないように照明を落として実験した。図 5 のようにテーブル上に 2 章で述べた送風装置を設置し, 被験者に HMD を装着してもらい, 送風装置との距離がおおよそ 30 cm となる, 風が肌の露出の多い鼻から首にかけて行われる位置に椅子に掛けて座ってもらった。被験者は 19~25 歳の大学生・院生 15 名で, 実験は本年 7 月に 4 日間実施した。



図 5 送風装置と被験者

### 3.3 評価方法

仮想空間内の視聴覚情報に現実の制御された風の刺激を加えることが温度の体感にどのような影響を与えるかを検討するために, 室温による送風と, 室温より  $2^{\circ}\text{C}$  高い温度による送風 (以下, 室温  $+2^{\circ}\text{C}$  による送風) の 2 条件での実験を行った。本実験では, 焚き火の状態の提示する順序が

温度の体感の評価に影響がある可能性があるため、消えた焚き火・普通の焚き火・強い焚き火の中から2つの条件(条件A, B)を選ぶ全ての組み合わせ(6パターン)を用意し、それらに無作為に順序を決めて被験者に提示した。また、評価に際して先入観が入らないようにするため、「仮想空間内で焚き火の視聴覚情報が提示され、その演出に合わせて身体に送風が行われます。1回の実験で、2種類の条件で情報提示と送風が行われるので、それぞれの条件についての室温との体感の違いを評価してください」とのみ伝え、実験を開始した。

実験では、室温に慣れてもらうためにまず2分間リラックスしてもらい、その後HMDを着用し、条件A, Bの焚き火の視聴覚映像と風を受ける体験をしてもらい、続いて、条件A, Bそれぞれの風と室温の温度の体感の違いを、[4]に倣い、体験した風が室温より涼しい/少し涼しい/室温と同じ/少し暑い/暑いのSD法に基づく5段階の感性評価アンケートにより評価してもらった。表1に実際に使用した感性評価アンケートを示す。ここで、1つの条件の視聴覚映像は、開始20秒後に送風が3秒間行われ、送風終了後10秒経過した後に終了となる。以上の視聴から評価までを1回の実験として、本実験を室温の風、室温+2℃の風に対してそれぞれ6回ずつ行った。

表1. 使用した感性評価アンケート (1回分)

	評価				
	1	2	3	4	5
	涼しい	少し涼しい	室温と同じ	少し暑い	暑い
条件A					
条件B					

## 4. 実験結果と考察

### 4.1 実験結果

室温の風、および室温+2℃の風の2条件での感性評価アンケートの15人分の感性評価値(1~5)の選択数のグラフを図6, 図7に示す。ここで、室温での送風時の消えた焚き火を「消」、普通の焚き火を「普」、強い焚き火を「強」とし、室温+2℃による送風実験では、それらに「+2℃」と追記した。いずれの条件においても、評価値2の「少し涼しい」が最も多く選択された。室温での送風に比べ、室温+2℃の送風は、焚き火に炎が灯っている場合は1(涼しい)の評価が少なく、3(室温と同じ)と4(少し暑い)が同数程度選択された。

次に、焚き火の各提示パターンのそれぞれの実験に対する評価値の平均値のグラフを図8に示す。室温+2℃による送風の消えた焚き火から普通の焚き火の順に条件を提示する場合に、順序を含めた条件A, B評価値の差が表れた。また、順序を逆にした2パターン間を比較したところ、室温での送風時は、特に影響が見えなかったが、室温+2℃に

よる送風においては、消えた焚き火から炎のある焚き火(普通の焚き火, 強い焚き火)が提示された場合、風の温度をより高いものと体感していた。

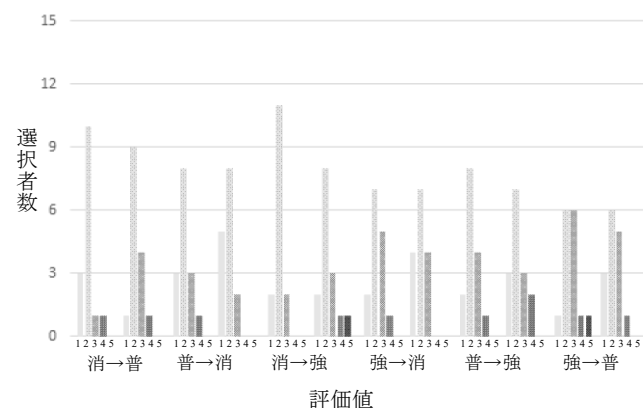


図6 感性評価アンケートの集計結果(室温)

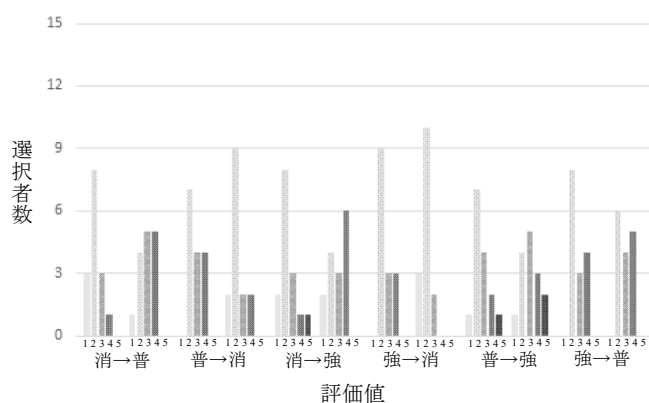


図7 感性評価アンケートの集計結果(室温+2℃)

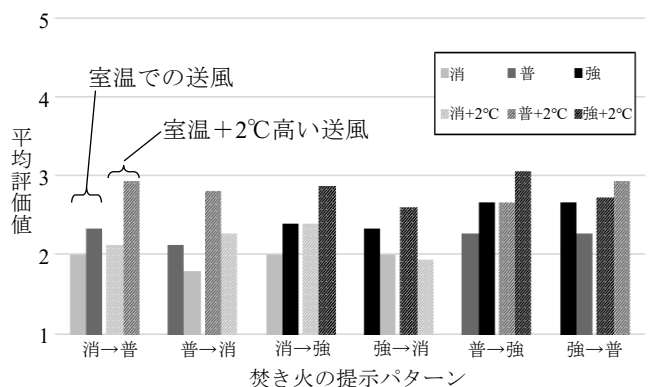


図8 焚き火の提示順序を含めた送風実験の結果

次に、2条件での送風実験の評価値の平均値と標準偏差を表2に示す。平均値は、室温での送風では、焚き火の勢いが増すにつれて大きくなった。室温+2℃による送風では、焚き火の炎の有無により、室温での送風の最大の変化値より大きな変化をもたらした。しかし、焚き火の勢いの違いにおいては、普通の焚き火2.833に対して強い焚き火2.817と強い焚き火の値が普通の焚き火の値を下回るという結果がでてきた。標準偏差は、2条件ともに焚き火の勢いが増すにつれて大きくなった。室温+2℃による送風時の強い焚き火の場合に標準偏差は0.991で最大となっており、温度の

体感の違いが被験者によって大きく出ることが伺える。

表 2. 感性評価アンケートの平均値と標準偏差

	焚き火の状態		
	消えた焚き火	普通の焚き火	強い焚き火
室温での平均値	1.95	2.25	2.417
2℃高い温度の平均値	2.183	2.833	2.817
室温での標準偏差	0.669	0.788	0.936
2℃高い温度の標準偏差	0.846	0.916	0.991

#### 4.2 考察

図 6, 図 7 から, 消えた焚き火ではいずれの条件においても 2 (少し涼しい) の評価数が最も多いが, 炎がある焚き火 (普通の焚き火, 強い焚き火) は 3 (室温と同じ) と 4 (少し暑い) にも評価数が分かれており, 焚き火の炎の有無で温度の体感に影響が生まれることが示唆される。

図 8 では, 室温+2℃による送風において, 消えた焚き火から炎がある焚き火 (普通の焚き火, 強い焚き火) が提示された場合に評価値の差が大きく上昇している。これは, 炎が無い状態から炎がある状態へと状況を大きく変化させることによりもたらされていると考えられ, 温度の体感を制御するための演出に利用されることが期待される。

表 2 においても図 6, 図 7 と同様に, 温度の異なる 2 条件での送風実験において, 仮想空間の焚き火の情報が温度の体感の違いを生むことが示唆された。また, 室温+2℃の強い焚き火の例外を除き, 室温, 室温+2℃での消えた焚き火, 普通の焚き火, 強い焚き火と平均値が上昇していることから, より勢いのある焚き火を暑いと感じる感覚を人が持つことが示唆される。しかし, 表 2 では, 室温+2℃による送風時かつ強い焚き火のときの評価値 (2.817) と普通の焚き火のときの評価値 (2.833) が同程度となった。そこで, 炎が無い焚き火 (消えた焚き火) に対して炎がある焚き火 (普通の焚き火, 強い焚き火) をどう感じたかの割合を集計すると表 3 のようになった。表 3 から, 炎がある焚き火を涼しく感じた被験者が, 室温では 23%, 室温+2℃では 15%存在していることが分かった。その原因として, 風のたなびくエフェクトが提示されている最中に風が送られることによって, 「風は冷たいもの」と思い込むクロスモーダル知覚が呼び起され風を冷たく感じ, 焚き火が提示されることで, その効果が増大され, より風を冷たいと感じたのではないかと考えられる。

表 3. 炎が無い焚き火に対して炎がある焚き火をどう感じたかについての集計結果 (%)

	涼しく感じる	変化なし	暑く感じる
室温での送風	23	17	60
室温より 2℃高い送風	15	17	68

焚き火の炎によって風を冷たく感じた被験者から, 「大きい炎の時涼しいと感じることがあった。小さい火だとそこまで涼しく感じず暑く感じた」などの感想もあり, 被験

者の受け取り方によって暑いと思わせようとした演出が逆の効果を生み出してしまう可能性が危惧される。

また, 提示される条件・組み合わせが変化しても風の温度を常に一定の体感をした被験者に口頭で, 「キャンプファイヤやバーベキューなどの経験がありますか」と質問したところ, ほとんど経験が無い場合と記憶にそこまで残っていない場合があり, 過去の経験が少ないことによりクロスモーダル知覚が呼び起こされなかったことも考えられる。

以上のことから, 暑いと体感すると期待される仮想空間内の演出に対して現実空間から風による刺激を与えることによって, 温度の体感を上昇, 場合によっては下降させることができることが示唆された。仮想空間内で演出によって誘導し, 体験者に効果的に提示することにより, 想定した温度の体感の効果をもたらすことができる可能性がある。

## 5. おわりに

本研究では, 制御された風を発生させる装置の検討と製作, HMD を使用したアプリケーションの開発, HMD 着用時の温度の体感の調査実験と分析を行った。その結果, 暑いと感じさせる演出において, 多くの場合より被験者がより暑いと感じる場合が多く確認された。また, 逆に演出次第では反対に涼しいと感じさせることができる可能性も見出した。

室温および室温より 2 度高い温度で送風を行い, 感性アンケートの結果を比較したことにより, クロスモーダル現象によって温度の体感を操作することができる可能性が見えてきた。今後, より詳細に温度の体感の変化を定量化することは, 仮想空間を用いた温度の体感を伴うコンテンツの開発に有用と考えられる。

本研究では, 感性アンケートを用いた主観的な観測に留まったが, 発展として相対的な体感温度との組み合わせにより具体的な温度の体感への影響を検討し, 結果を生かしたコンテンツ制作を行うことが今後の課題である。

**謝辞** 本研究は JSPS 科研費 16K00507 の助成を受けて行った。

## 参考文献

- 1) Matsumoto, K., Ban, Y., Narumi, T., Yanase, Y., Tanikawa, Y. and Hirose, M.: Unlimited Corridor: Redirected Walking Techniques Using Visuo-Haptic Interaction, Proc. of ACM SIGGRAPH 2016 Emerging Technologies, Article No.20 (2016).
- 2) 株式会社クレセル/快適な温度・湿度は?, <http://www.creecer.jp/Q-A/HTML/A-11.html>
- 3) 厚生労働省/建造物環境衛生管理基準について, <https://www.mhlw.go.jp/bunya/kenkou/seikatsu-eisei10/>
- 4) 伴野明, 山本修平: 心理的要因による体感温度への影響の数値評価法, 電気学会論文誌 E, Vol.133, No.6, pp.190-198 (2013).