

緊急時の掛け声を可視化する拡張現実感システムにおける 警告機能の性能評価

田中聖也*1 外村佳伸*1 池田聖*1

多種多様な情報伝達手段が確立された現代においても、他者に危険を知らせる必要のある緊急時において声は最も有効な手段である。しかし声による警告は声が相手に聞こえる必要があることや、誰に向けた警告かわからないという問題がある。本研究では緊急時における他者への警告をより確実かつ正確に伝えるシステムの開発を目的とし、警告の掛け声を可視化することで警告される人と領域を明確化する拡張現実感システムを提案する。提案システムでは利用者が警告を行うと警告ディスクという円が正面に進行し、警告ディスクが通過した領域内に警告する。領域に対する警告機能の評価の結果、警告ディスクによる可視化によって警告する対象に対して誤差 2° 以下の精度で警告をできること、警告ディスクのサイズのさらなる検討が必要であることが明らかとなった。

Keywords: 緊急時, 警告, 掛け声, 拡張現実感

1 はじめに

人どうしの情報伝達において最も基本的な手段は音声である。多種多様な情報伝達とそのために入力手段が確立された現代においても、他者に危険を知らせる必要のある緊急時においては、煩雑な入力手段は用いることができず、単に大声で叫ぶといった警告が最も重要である。例えば、ゴルフではミスショットによってボールが大きくそれたことを警告する「ファー」や、登山では落石の発生を知らせる「らーく」といった掛け声が慣例となっている。また工事現場のような資材や重機の移動などによって危険が発生する場所においても声による警告は重要であると考えられる。

しかしこれらの声による警告にはいくつかの懸念が存在する。まず声による警告である以上、相手に聞こえない場合効果がない。その要因として、距離による減衰や、周囲の騒音にかき消されてしまうということが考えられる。他にも、警告が誰を対象としたものかわかりづらいという問題がある。名指しやジェスチャーを用いるという方法も考えられるが、名前が不明の場合、両手

が塞がっているなど使用できないシーンも多い。これらの問題を解決するためには音以外の方法で警告をすること、警告したい対象を明確にすること、手を使ったジェスチャーなど複雑な操作をしないことが必要である。

警告の掛け声を音以外で知らせる手段として拡張現実感(以下、AR)技術を用いた可視化が有効である。AR技術やバーチャルリアリティ(VR)技術を用いて本来見えないものを可視化するという試みは様々行われており、音源からの音の広がりを実環境に可視化する研究[1]や音源の位置や特徴、種類を視覚化する研究[2]などがある。対して本研究では、それらのような音響的な可視化を行うのではなく、警告者が掛け声によって警告を行いたい領域を可視化し、その領域内の人に対してのみ視覚による警告を行うことで前述の問題を解決する。また掛け声と顔の向きのみによる操作を可能にすることで様々な状況下において使用が容易となる。

本研究では、緊急時における他者への警告をより確実かつ正確に伝えるシステムの開発を目的とし、警告の掛け声を可視化することで視覚情報により警告される人と領域を明確化する拡張現実感システム(警告可

*1 龍谷大学

視化システム)を提案する。

本稿では、本研究における警告可視化システムの機能を評価する予備実験について報告する。具体的には、2章で提案システムに要求される仕様を述べ、3章でその仕様を満たす警告可視化システムの具体的な機能を明らかにする。4章では提案システムの予備実験結果を報告したのち、最後に5章で結論を述べる。

2 警告可視化システムの仕様

目的の達成のためには、次の3つの仕様を満たさなければならない。ただし、警告を行う人を「警告者」、警告される人を「被警告者」、及びその領域を「警告対象領域」とする。またそれら以外の人を「第三者」とする。

1. 声が直接届かなくても警告できる
2. 警告者が警告対象(被警告者と警告対象領域)を自由に選択できる
3. 通常時に他の作業や AR アプリケーションに干渉せず、何らかの作業中であっても即座に本システムを利用できる

各仕様について1章で述べたゴルフ・登山・工事現場の3つの状況を例に説明する。仕様1はゴルフ場のような警告者と被警告者が離れている場合や、工事現場のように騒音により声がかき消される環境下においても、警告できることである。仕様2は、ゴルフや登山などの状況において危険性のある領域や、その領域内の人に対してのみ警告できることである。仕様3は、緊急時用途であるためシームレスかつ直感的な操作が必要なことである。

3 提案システム

本章では、前章で述べた仕様を満たすため、図1のように掛け声をトリガーとして AR 空間上に警告範囲を表示するシステムを説明する。

提案システムでは、図2のように、警告者が一定以上の音量で叫び声を出すと警告ディスクという放射状に広がりながら顔の正面方向に対して進行する円が発生する。この警告ディスクの円の内側が警告範囲となり、範囲内にいる人は被警告者となる。これにより警告者

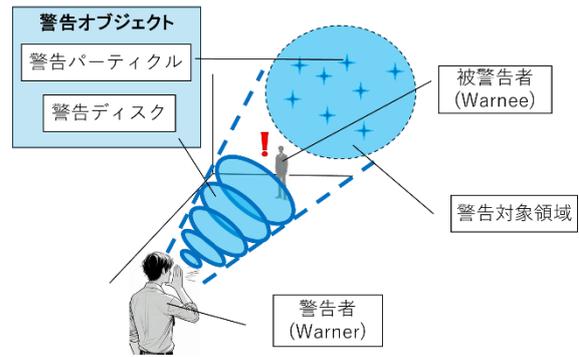


図1 警告可視化システム



図2 警告ディスク

は、警告したい人が範囲内に収まっているかどうかを確認することができる。そしてこの被警告者に対して視覚や触覚刺激による警告(例として、視界上に点滅する警告灯の表示や振動による警告など)をすることで、音に頼らない警告が可能となる。

警告ディスクは、人に警告を与えると同時に領域に対しても警告を与える。具体的には、警告ディスクが壁や地面などの実物体表面に対して接触した際は、その表面上に警告パーティクルが生成され、被警告者だけでなく第三者にも提示される。また警告ディスクの見かけの大きさが一定になるように距離とともに拡大されるため、より広い領域を警告する場合は、顔の向きを変え警告パーティクルにより領域を塗り潰すように警告をする必要がある。

4 警告機能の評価実験

本稿では、3つの実験について報告する。実験1では警告ディスクの最小半径を決定し、実験2では警告ディスクの位置精度、実験3では警告対象領域の指定に要する時間を評価した。全ての実験で HMD として Hololens2 を用い、実験2と3については Hololens2 使

用経験がある 20 代男性 6 名に参加を依頼した。また各被験者には実験 2, 3 の順に続けて行ってもらった。

4.1 実験 1: 警告ディスクの最小半径の決定

警告ディスクの最小半径は、頭部の振動等による警告ディスク射出方向のばらつきを元に定めた。これを決めるため被験者を著者 1 名で以下の実験を行った。まず Hololens2 を用いて正面の 5m 先に白い壁を設置し、その壁面上の半径 50cm の円周上を 7.2 秒で一周する直径 10cm の球体マーカを表示した。マーカに警告ディスクを当てるつもりで 5 秒間声を出しながら顔の向きを変えた。ただし警告ディスクは著者からは見えないようにした。マーカに対する警告ディスクの位置誤差ベクトルの水平、垂直方向別の標準偏差を算出した。

その結果、水平 0.96° 、垂直 1.35° であった。そこで今回誤差の大きかった垂直 1.35° から基準となる誤差角度 $\sigma = 1.35^\circ$ とした。この σ は顔の向きを変える際に生じる頭の揺れに相当するため、それ以上正確に領域を指定することはできないと考えられる。警告ディスクの見かけ半径 $r = 2\sigma = 2.7^\circ$ として、実験 2 および 3 を実施した。

4.2 実験 2: 警告位置精度の評価

ここでは警告ディスクの位置精度を評価する。提案手法では非警告時に視界の妨げにならないよう、自身の正面方向や警告ディスクの到達先を示すようなインジケータ等は表示しない。そのため警告者は自身の正面方向と警告ディスクの進行先をある程度予測して警告する必要がある。そこで警告者が意図した方向と実際の方向との誤差(角度)を調べる。

まず訓練のため 5m 正面の壁に向かって声を発してもらい、提示される警告ディスクの範囲や警告に必要な声量を確認させた。その後、図 3 に示すように、同じ壁に警告ディスクと同じ大きさの目標領域を表す円を表示した。警告範囲と目標領域が重なるよう 5 秒間警告してもらい警告ディスクの位置を取得した。目標領域の位置を変えて同じタスクを計 5 回実施した。また目標領域の位置は、1m 程度の間隔となるようランダムに 5 か所設定した。順序効果を差し引くため、半数の被験



図 3 実験 2 の目標領域

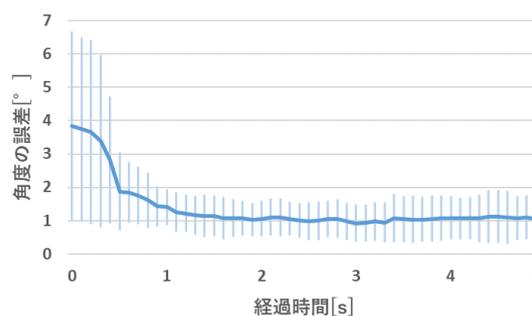


図 4 位置精度の変化

者に対しては目標領域の表示順を逆順とした。

警告開始からの時間に対する警告ディスクの誤差の変化を図 4 に示す。太い実線は、5 か所に表示した目標領域に対する各被験者の警告位置の平均誤差の平均を示し、水色のエラーバーは標準偏差を表す。警告開始時の警告位置の平均誤差は 3.8° であり、時間がたつにつれ 1° 程度の誤差に収束し、標準偏差も開始時のみ大きく時間経過とともに 1° 以下になった。

開始時に 3.8° あった誤差は徐々に小さくなっているのは警告ディスクが可視化されていることにより、被験者がその目標領域とのずれを見て誤差を適宜修正しているためと考えられ、警告ディスクによる警告範囲の可視化が有効に作用した証拠と考えられる。また修正後の誤差は 1° 程度、標準偏差は 1° 以下であったが、一定方向に警告ディスクを射出しようと意図しても生じる誤差であるため、これよりも細かい領域の指定はできないことを意味する。実験 1 で決定した警告ディスクの最小半径 2.7° がおおよそ妥当であることが分かる。

4.3 実験 3: 警告効率の評価

目標領域に対する警告に要する時間とその精度を調

べた。実験 2 同様、図 5 の灰色の領域で示すように、5 m の距離の壁に目標領域を表す円を提示した。目標領域のサイズは、警告ディスクの半径 r に対して、 $2r, 3r, 4r$ の計 3 種類とし、目標領域内の警告対象領域は青、目標領域外は赤で表示した。被験者には、10 秒以内で可能な限り早く正確に目標領域を警告対象領域で塗り潰すよう指示した。順序効果を除くため、3 種類の目標範囲を 6 人全員が異なる順序で行った。

図 6 に警告開始時からの経過時間と上記タスクの達成率の関係を示す。青、オレンジ、灰色はそれぞれ、半径 $2r, 3r, 4r$ の目標領域の平均達成率を表す。また各目標領域に対して達成率が 95% に達する時間を縦の点線で示す。半径 $2r, 3r, 4r$ の目標領域に対する、各時間はそれぞれ 4.7 秒、6.4 秒、7.8 秒であった。

予想通り目標領域のサイズに応じて警告し終える時間が増加した。タスク達成の時間は、単純には面積に比例し半径の 2 乗に比例すると考えられるが、実際には $2r$ から $4r$ に半径が 2 倍となっても経過時間は 4 倍にはならなかった。 $2r$ の曲線に注目すると 3 秒付近までは急峻に達成率が増加するが、それ以降は増加率の勾配が低下している。考えられる原因は、頭部姿勢のゆらぎが原因で、最後の約 20% の塗りつぶしに時間を要したことが考えられる。

最長発声持続時間 (MPT : maximum phonation time) の平均が男性 30 秒、女性 19 秒である[3]ことを考えると、半径 $4r$ の目標範囲を警告するのに要する時間は、その範囲内ではある。しかし、頭部姿勢のゆらぎや警告時の緊急性が高い場合を考慮すると警告ディスクのサイズは、もう少し大きい方がよい可能性があり、この点については更に詳しく検討したい。

5 結論

本稿では、声による警告を拡張現実感により可視化する警告可視化システムを提案した。提案システムでは、通常時は他のアプリケーションに干渉しないように一切のインジケータ等は表示されず、両手が塞がっている状態でも使用でき、一度大声を発生すると警告範



図 5 実験 3 の目標領域

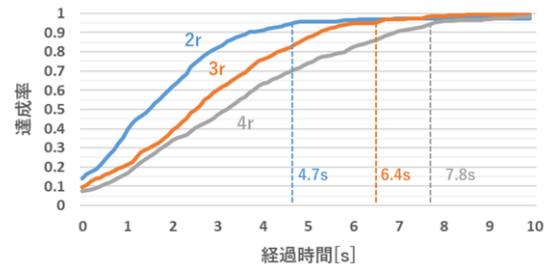


図 6 達成率の推移

圍を可視化する警告ディスクや警告対象が可視化される。実験では、可視化により警告者が、警告ディスクの方向を約 3° 修正することが分かり、可視化の有効性が確認された。可視化によるフィードバックが得られた後は、警告ディスクの射出精度はおおよそ 2° 以内である。最長発声持続時間内に警告ディスクの 4 倍の領域を警告対象として指定できることが確認されたが、警告ディスクのサイズは実利用を想定して更に検討が必要である。今後は警告者だけでなく、被警告者への警告提示、第三者への警告対象領域の共有についても確認する。

6 参考文献

- [1] A. Inoue, et al.: “Visualization of 3D sound field using see-through head mounted display,” ACM SIGGRAPH 2017, No. 34, pp 1–2, 2017.
 - [2] Z. Li, et al.: “SoundVizVR: Sound Indicators for Accessible Sounds in Virtual Reality for Deaf or Hard-of-Hearing Users,” Proc. 24th Int. ACM SIGACCESS Conf. on Computers and Accessibility, No. 5, pp 1–13, 2022.
 - [3] 竹本ら: “発声持続時間・音域の検査”, 耳鼻咽喉科・頭頸部外科, Vol. 94, No. 5, pp 288-291, 2022.
- (c) 2024 by the Virtual Reality Society of Japan (VRSJ)