

デザイン学研究 (Bulletin of Japanese Society for the Science of Design)  
透過型情報提示の歩行時における安全性の評価 ―ヘッドマウントディスプレイを使用した音の可視化研究 ( 1 )  
--Manuscript Draft--

受付番号:	JSSDJ-D-13-00048R2
論文種別:	報告 / Research Report
標題:	透過型情報提示の歩行時における安全性の評価 ―ヘッドマウントディスプレイを使用した音の可視化研究 ( 1 )
標題 ( 英語 ) :	Assessment of the Safety of the See-through Information Presentation during Walking -A Study on the Visualization of Sounds Using a Head-mounted Display
筆頭著者:	須藤 正時, 学士
全著者:	須藤 正時, 学士 深谷 晃輔, 修士
責任著者:	須藤 正時, 学士 国立大学法人 名古屋工業大学 名古屋市御器所町, 愛知県 JAPAN
抄録:	本研究は透過型情報提示における歩行時の安全性を反応時間と認知負荷を基準に検討するものである。評価実験1では健常者を対象に音の種類, 方向, 後方視界の情報を用いた屋内でのモデル実験による事前検証を行った。その結果, 危険回避に対する人の知覚反応時間0.7~1秒程度を安全の基準として, 音の種類, 方向に対する反応時間に遅延はなくHMD利用の安全性が確認できた。評価実験2では聴覚障害者と成人を対象に音の種類, 方向の情報を用いて実際の使用環境に近い模擬評価実験を行った。屋外で歩行しながら透過型情報提示された場合, 個人によっては反応時間の遅延が見られ, 安全性が誰にでも確保されるものではないことがことが明らかとなった。
抄録 ( 英語 ) :	This study is to examine the safety of the see-through information presentation on basis of the reaction time and the cognitive load when walking. In Assessment experiment 1, advanced validation was conducted on healthy individuals by performing an indoor model experiment. The results showed no delays in reaction time in terms of the types and directions of sounds using a perception-reaction time of approximately 0.7 to 1 s as a safety standard, thus confirming the safety of the see-through information presentation. In Assessment experiment 2, a simulated assessment experiment in a realistic environment was conducted on both individuals with impaired hearing and healthy adults. The results showed that when the see-through information presentation was used while walking outside, the reaction time of some individuals was delayed.
分野:	Human Factors; Universal Design; Information Design; Interaction Design
キーワード:	Key words: See-through Information Presentation, Visible of The Sound, The Hard of Hearing Person, Head-mounted Display
査読者への回答:	査読者からの指摘に対する解答は対応表で事務局に提出致します。 ここでは主な点のみ記載。  未完成的な技術で何をする?との指摘がありました。 この指摘に対しまず研究名称を変更しました。研究内容を明解に示すように表現を変えました。 本研究は透過型情報提示における歩行時の安全性を反応時間と認知負荷を基準に検討した研究報告です。この点については本実験計画に対し正しい結果が得られたと本研究者は考えてます。また今回の屋外評価実験では一部の箇所直射日光下で評価致しました。想定結果通り認知レベルに不具合がありました。これは報告書に明記し今後の開発に活かす為に行いました。(現在本研究者は最新の透過型情報提示装置を用いいろいろ試しておりますが未だ直射日光下で十分な視認性を確保できるものを知りません。この点が満足できないから研究が行えないというものではないと思います。研究開発は日々改良の連続とします)。今回の指摘に対する修正として出来るだけ誤解を与えないように研究のテーマと結果が分るように記載致しました。よろしくお願

い致します。

## 研究論文 :

## 透過型情報提示における歩行時の安全性の評価

—ヘッドマウントディスプレイを使用した音の可視化研究 ( 1 )

### Assessment of the Safety of the See-through Information Presentation during Walking

— A Study on the Visualization of Sounds Using a Head-mounted Display (1)

## ● 須藤正時

名古屋工業大学大学院

Suto Masatoki

Graduate School of

Nagoya Institute of Technology

## ● 深谷晃輔

名古屋工業大学大学院

Fukaya Kosuke

Graduate School of

Nagoya Institute of Technology

● Key words: See-through Information Presentation, Visible of The Sound, The Hard of Hearing Person, Head-mounted Display

## 要旨

本研究は透過型情報提示における歩行時の安全性を反応時間と認知負荷を基準に検討するものである。評価実験 1 では健康者を対象に音の種類、方向、後方視界の情報を用いた屋内でのモデル実験による事前検証を行った。その結果、危険回避に対する人の知覚反応時間 0.7～1 秒程度を安全の基準として、音の種類、方向に対する反応時間に遅延はなく透過型情報提示の安全性が確認できた。評価実験 2 では聴覚障害者と成人を対象に音の種類、方向の情報を用いて実際の使用環境に近い模擬評価実験を行った。屋外で歩行しながら透過型情報提示を利用する場合、個人によっては反応時間の遅延が見られ、安全性が誰にでも確保されるものではないことが明らかとなった。

## Summary

This study is to examine the safety of the see-through information presentation on basis of the reaction time and the cognitive load when walking. In Assessment experiment 1, advanced validation was conducted on healthy individuals by performing an indoor model experiment. The results showed no delays in reaction time in terms of the types and directions of sounds using a perception-reaction time of approximately 0.7 to 1 s as a safety standard, thus confirming the safety of the see-through information presentation. In Assessment experiment 2, a simulated assessment experiment in a realistic environment was conducted on both individuals with impaired hearing and healthy adults. The results showed that when the see-through information presentation was used while walking outside, the reaction time of some individuals was delayed.

## 1. はじめに

我が国の 65 歳以上の高齢者人口は 2010(平成 22)年には 2,948 万人で、総人口に占める割合は 23.0%にあたる。2035(平成 47)年にはおよそ 3,741 万人が高齢者となり、3 人に 1 人を上回る割合になることが推定されている [注 1]。急速な高齢化が進行している現状において、高齢に伴う障害も顕著になっている。聴覚の障害である老人性難聴や中途失聴は多くの人が発症する障害のひとつである。2006(平成 18)年での聴覚・言語障害者数は 36 万人であり、そのうち 68%が高齢者となっている [注 2]。また、聴力の低下は自覚しにくいいため、潜在的な補聴器使用者を含めた推定難聴者数はおよそ 1,994 万人(人口比 15.4%)に上ると試算されている [注 3]。

聴覚障害者は一般的に補聴器を使用することで聴覚を補うが、雑音の多い屋外や人の集まる場所では音声を正確に聞き取ることは難しいとされる。また、補聴器の使用はその使用者の障害の程度によって効果が異なると言われていたことから、聴覚障害者にとって音情報の受容は困難となる。そのため、聴覚障害者の多くが視覚情報に頼ることで周囲環境の把握に努めているが、情報があふれる屋外では危険な場面に遭遇することが多い。安全な生活環境の確保が求められる一方で、歩行者としての聴覚障害者に対する支援は未だ不十分な現状である [注 4]。このような日常生活での不便さ、社会における不安や孤立が人とのコミュニケーションを希薄なものとし、ひきこもりにつながるとも言われている。中途失聴者については発症前までの正常な聴覚に基づく生活とのギャップが大きく、より強いストレスとなることが聞き取り調査の結果からも分かっている。

聴覚障害者支援の考え方として、健聴者の音声による情報取得と同等となるように、音声を聴覚障害者が理解しやすい別の情報に変換して提供することが有効である。これを情報保障と呼ぶ。すでに確立されている字幕や手話のように、情報保障手段として最も有用とされているのは音の可視化による視覚情報への代替である。岩佐ら(2007)は人間の聴覚情報処理機構を模倣した聴覚情報処理システムをパルスニューロンモデルにより実現し、「音の見える化」を行っている [注 5]。これをハードウェア化した周辺環境音警報装置「サウンド・ウォッチャー」は収集した音信号からリアルタイムに音源定位と音源種類の識

外観	仕様	
	画角 (対角)	16°
	解像度	320x240
	輝度	200cd/m <sup>2</sup>
	色	24bit
	重さ	27g
	表示部厚さ	3.5mm
	透過率	85%

図1 使用した HMD

別を同時に行い、装置本体や腕時計型携帯端末に絵文字で通知することができる。

音の可視化による効果を最大限活用するために、透過型情報提示方式が注目されている。透過型情報提示をした場合、提示される情報を使用者が見る視界と重ねて参照することが可能となる。そのため、スマートフォンなどの一般的な携帯情報端末を用いたときよりも、注視点移動の頻度を軽減し、可視化した音情報を被保障者に対し効率的に提供できる。透過型情報提示方式を用いることで聴覚障害者の音環境把握を支援し、生活の質向上に貢献すると期待されている [注 6-8]。

しかしながら、透過型情報提示における歩行時の安全性は反応時間と認知負荷を基準とした点でまだ明らかになっていない。そこで本研究では情報保障を目的とした透過型情報提示の機能・システムの開発に先立ち、透過型情報提示における歩行時の安全性を反応時間と認知負荷を基準に検証することを目的とする。

本研究では限られた条件の中での透過型情報提示の安全性を検証する。この実験に適した機器の一つとしてヘッドマウントディスプレイ (HMD: Head-mounted Display)を用いた。概念デザインとしては透過型情報提示装置を必要ときにスポット的 (例えば自宅から駅まで) に短時間の利用を想定している。

## 2. 評価実験 1

### 2.1. 目的

聴覚障害者への情報保障手段として、音情報を絵文字などの図記号で可視化して HMD に提示する情報保障環境を想定し、屋内でのモデル実験を構築した。本実験を事前検証と位置づけ、提示される情報に対する反応時間を測定し、HMD 使用に伴う認知負荷の評価を行った。音の種類、音の方向、前方と後方とに分けて情報を付加していった際に何処まで安全な範囲で反応できるかを評価した。

### 2.2. 実験方法

(1)被験者 裸眼または矯正視力により健常な視力を有する学生 11 名 (21-25 歳, 平均年齢 22.4 歳) を対象とした。

(2)装置 コニカミノルタ株式会社が研究用に開発した反射型ホログラム光学素子による小型軽量の透過型単眼 HMD(図 1) を使用した。表示部は右眼側に位置し、表示される映像 (1 m 先に 10 型相当) を外界の視界と重畳、透過して見ることができる。この HMD は予備実験により評価装置としての要件を満たすと確認した上で選定した。実験では無線機を介して PC から HMD に映像を出力した。

(3)音の可視化方法 聴覚障害者が屋外で必要とする音を既存

HMDの映像 (1m先の映像) とした場合の大きさ 単位: mm




音	車のクラクション 「ブツ」	救急車のサイレン 「ピーポーピーポー」	自転車のベル 「チリンチリン」
絵文字			

図2 音の可視化 (絵文字)

HMDの映像 (1m先の映像) とした場合の大きさ 単位: mm

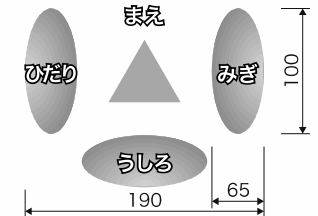
方向の表現方法	
①三角上部を進行方向とする平面で表現する	
②楕円記号を方向に対応する位置に点滅表示する	
③「左」、「後」、「右」の3方向をHMDに表示する	

図3 音の可視化 (方向)

のアンケート調査 [注 9] を参考に 3 種類選定した。著者によるこれまでの調査で、絵文字による可視化が音を連想しやすい表現として有効であることから、これらの音を図像化した絵文字を作成した (図 2)。デザインは通信機器の表示用図記号 [注 10] をベースに HMD での視認性を高めるため、黒地の背景に白の図で描いた。また音の方向を可視化するため、方向に対応する画面位置に楕円状の記号を点滅表示することで音が鳴っている方向を表現した (図 3)。HMD に表示する方向は歩行時の死角となる、「左」、「後」、「右」の 3 方向とした。画面中央の三角の位置には方向と同時にその音の種類を表す絵文字も表示させた。絵文字との区別のしやすさと色覚特性 [注 11] を考慮し方向は黄色に配色した。本研究の目的から、実験では音源識別装置を用いて実際に音声情報を変換し提示するのではなく、実験者が定める任意のタイミングで、音の可視化情報を HMD に提示できるようにした。また、これら提示される情報を実験では刺激として扱った。

(4)タスク設定 安全な屋外歩行を確保するために、人は周囲で起こる予測できない事象に対し、視覚や聴覚を通して得られる複数の情報の中から必要な情報を取捨選択し適切な行動を取る必要がある。一方で、HMD を用いて情報保障を行う場合、周囲の情報や HMD の提示情報などすべてを視覚情報に頼って行動することになる。本実験ではこれら歩行時の移動、認知行動における情報処理をモデル化したタスクを設定した。すなわち、歩行時の前方への視覚的注意作業を再現する課題として「歩行タスク」を、音環境把握場面に相当する課題として「認知タスク」を設け、二重課題によるタスクを遂行させた。認知タスクは T1-T3 の 3 種類とし、その概要を表 1 に示す。

【歩行タスク】 前方のスクリーン (視野角 35°) 内に投影される複数のランドルト環様の妨害図形 (図 4) の中から円環に切れ目の無い標的図形 (図 5) を探す視覚探索課題を用いた。ひとつの図形の大きさを 25-650mm (視野角 0.8-19.4°) で大きさを徐々に変化させ、図形が奥から手前に向かって近づいてくるように動画で表現した。その速さは成人の歩行速度 4 km/h と同等となるように設定した。表示されるすべての図形

表 1 評価実験 1 認知タスクの概要

認知タスク	タスクの内容	刺激の提示方法	評価データ名	
			反応時間	主観評価
T1 音源識別タスク	音／絵文字の提示 音の種類を識別する課題	音を再生する	音	
		HMDに絵文字を表示する	絵文字(HMD)	
		前方のスクリーンに絵文字を表示する	絵文字(スクリーン)	
T2 音源定位タスク	方向／絵文字の提示 音の方向を識別する課題	HMDに左／後／右の3方向を表示する	方向(右/後/左)	音の方向
		前方のスクリーンに絵文字を表示する	方向(前)	
T3 後方視界タスク	後方視界／絵文字の提示 音の種類を識別する課題	HMDに映る後方視界に絵文字を表示する	後方	後方／前方の絵文字
		前方のスクリーンに絵文字を表示する	前方	

は視力 0.7 [注 12] で判別可能である。この連続的なタスクを遂行させることによって、被験者には試行中常に標的図形の探索を続けるよう教示した。歩行タスクの流れを図 6 に示す。

**【T1 音源識別タスク】** 音の種類を識別する選択反応課題である。刺激の提示方法が異なる 3 条件を設定した。「音」条件では被験者後方のスピーカーから音を再生させ (約 60dB)、「絵文字 (HMD)」条件では HMD 上に、「絵文字 (スクリーン)」条件では歩行タスクの映像と同じスクリーン上に絵文字を提示した。反応ボタンには刺激と同一の 3 種類の絵文字が割り当てられており、提示される刺激と対応する絵文字のボタンを押してもらった。反応ボタンの操作は右手の人差し指、中指、薬指で行い、刺激に気づき次第正確に判断し、できるだけ素早く押すように教示した。音源識別タスクの反応方法を図 7 に示す。これにより、音条件は健聴者の音に対する聴覚による一般的な反応を、絵文字 (スクリーン) 条件は前方に現れる注意対象に対する視覚による一般的な反応を簡素化したタスクとなっている。

**【T2 音源定位タスク】** 音の方向を識別する選択反応課題である。HMD に提示される方向の刺激に対し、矢印が表記された反応ボタンの中から対応する方向を選択して押してもらった (「方向 (左/後/右)」。また日常では前方の遮蔽物 (トラックや建物など) の陰から緊急車両や自転車が急に出来る場面も多くある。そこで前方のスクリーンにもランダムに絵文字を提示し、その際は「前」方向のボタンを押すように教示した (「方向 (前)」。反応ボタンの操作は T1 と同様である。音源定位タスクの反応方法を図 8 に示す。

**【T3 後方視界タスク】** 後方は聴覚障害者にとって死角になる。後方視界の情報提示は後方の死角を排除する方法として効果的と考えた。そこで HMD 使用者の後方を映す小型カメラの映像を HMD に映すことで情報保障を行う環境を想定した。音の種類を識別する選択反応課題である。HMD には歩行時の後方視界を模式的に表すため、歩行タスクの図形が遠ざかるように次第に小さくなっていく映像の中を絵文字が後方から近づいてくるように次第に拡大されていく動画を提示した (「後方」。また前方のスクリーンにもランダムに絵文字を提示した (「前方)」。後方／前方に提示される絵文字の刺激に対し、対応する絵文字のボタンを押すように教示した。反応ボタンの操作は T1 と同様である。後方視界タスクの反応方法を図 9 に示す。

**(5) 主観評価** 各タスクにおける被験者の主観的な認知負荷を日本語版 NASA-TLX (NASA Task Load Index) [注 13] を用いて評価を行った。全被験者 11 名のうち 8 名の被験者に対して各タ

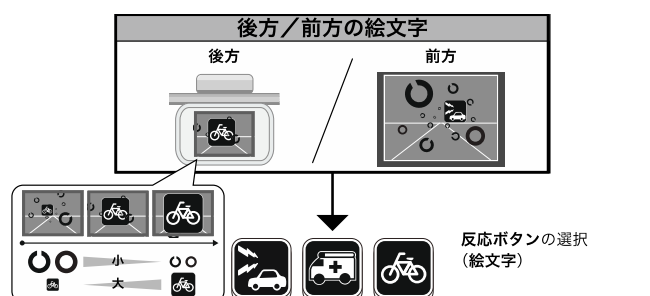
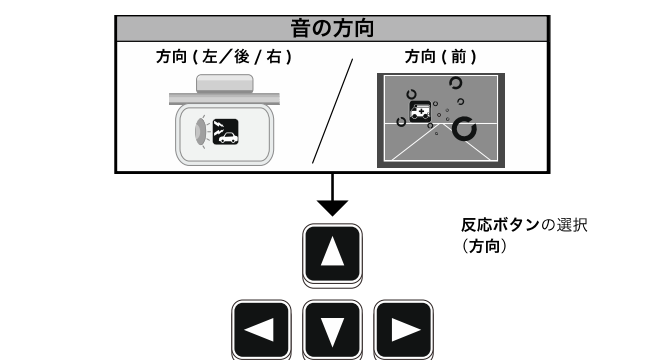
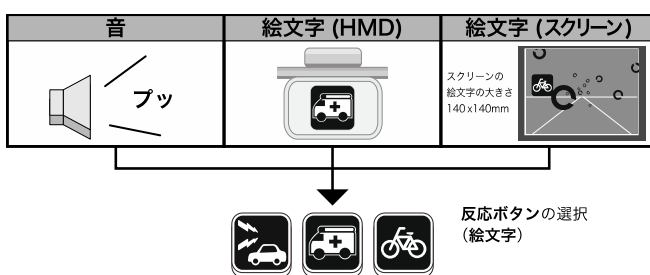
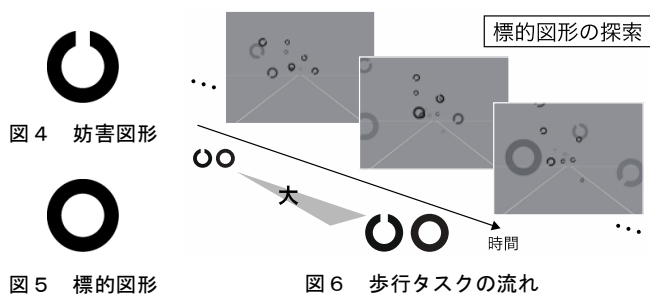


表 2 NASA-TLX の評価項目

評価項目 (端点)	項目の説明
精神的要求 (小/大)	課題を実行中に、図形を探す、音を聞く、HMDの表示を見る等どれくらいの知覚的活動が必要だったと感じましたか
身体的要求 (小/大)	課題を実行中に、反応ボタンを押すのにどれくらいの身体的活動が必要だったと感じましたか
時間的圧迫感 (小/大)	課題を実行するにあたって、課題の頻度または速度から感じた時間的圧力はどの程度だったと思いますか
作業成績 (良い/悪い)	課題目標について、あなたはどの程度成功したと思いますか
努力 (少ない/多い)	与えられた課題の維持・達成にどの程度がんばったと思いますか
不満 (低い/高い)	課題を実行中に、いろいろ、不安、落胆、ストレス、悩み等どの程度感じましたか (作業がうまくできなかったという思い)

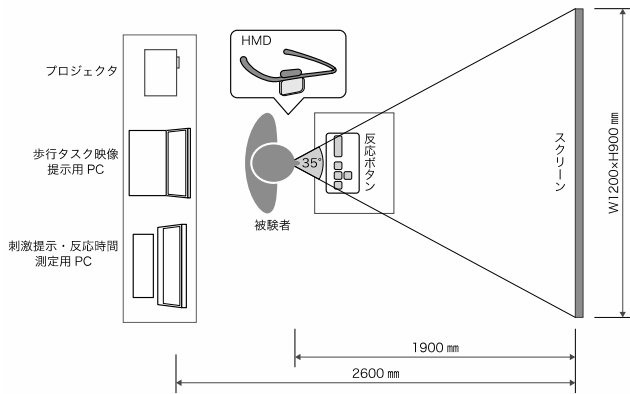


図 10 実験環境

スク終了後に表 2 に示す評価項目について 0 ～ 10 点で評価をしてもらい、各得点の加重平均で算出される総合値 AWWL (Adaptive Weighted Workload) を求めた。総合値は得点が高いほど主観的な負担が高いことを表している。

(6) 手続き 評価実験 1 は 2012 年 3 月に名古屋工業大学で行った。実験室は室外からの光を遮断し消灯した暗室とした。被験者にはスクリーンに正対する椅子に着席してもらい実験を開始した。実験環境を図 10 に示す。本試行では各タスク (条件) で刺激をランダムに 10 回提示し、1 試行のみ計測した。刺激の提示から対応する反応ボタンを押すまでの反応時間 (msec) を測定した。本試行前には十分に練習を行った。

### 2.3. 結果

T1 音源識別タスクの反応時間の平均は音条件が 800msec、絵文字 (HMD) 条件が 921msec、絵文字 (スクリーン) 条件が 897msec であった (図 11)。反復測定による分散分析の結果、刺激の提示条件の違いによる有意な主効果が認められた ( $F[2, 20]= 8.78, p<.01$ )。また Bonferroni 法を用いて多重比較を行ったところ、音条件の反応時間が絵文字 (HMD) 条件に比べ有意に短かった ( $p<.01$ )。これは筆者が以前行った同様なモデル実験による先行研究 [注 14] と一致する結果であった。

T2 音源定位タスクの反応時間の平均は方向 (左/後/右) が 852msec、方向 (前) が 1,168msec であった (図 12)。t 検定の結果、方向 (左/後/右) の反応時間が方向 (前) よりも有意に短い結果となった ( $t[9]= 2.62, p<.05$ )。

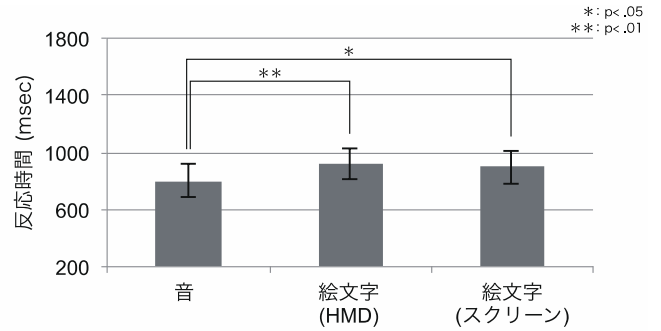


図 11 評価実験 1 反応時間 (T1 音源識別タスク)

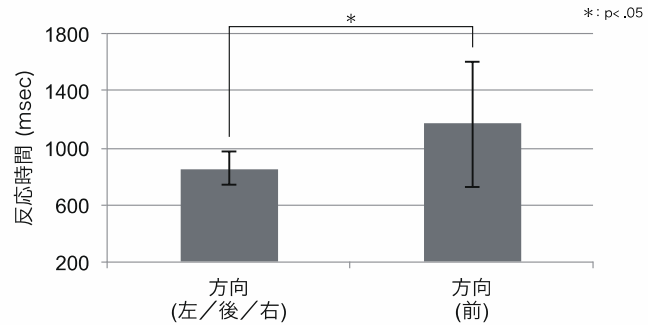


図 12 評価実験 1 反応時間 (T2 音源定位タスク)

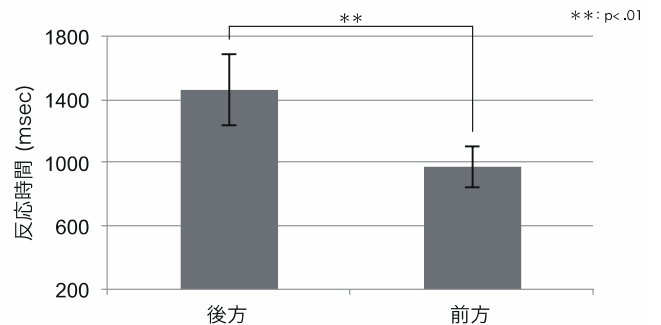


図 13 評価実験 1 反応時間 (T3 後方視界タスク)

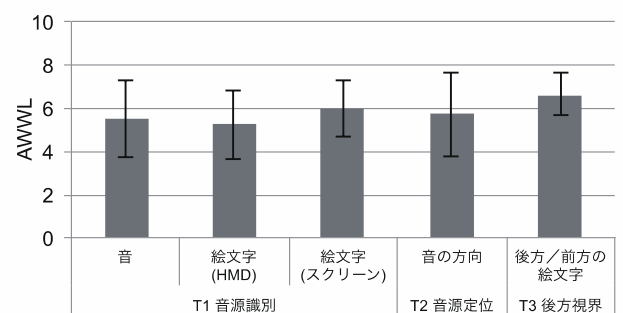


図 14 評価実験 1 NASA-TLX (T1～T3)

T3 後方視界タスクの反応時間の平均は後方が 1,464msec、前方が 968msec であった (図 13)。t 検定の結果、前方の反応時間が後方より有意に短い結果となった ( $t[10]= 7.14, p<.01$ )。

NASA-TLX の結果は、後方/前方の絵文字が最も高い得点 (6.62) となった (図 14)。しかし分散分析の結果では、有意差は認められなかった ( $F[4,28]= 1.22, p>.05$ )。

### 2.4. 考察

危険回避に関する知見として、一般に人の知覚反応時間は

表3 評価実験2被験者構成

被験者	障害程度	年齢	性別
a	中途失聴 (2級)	70代	男
b		60代	女
c	先天性難聴 (2級)	30代	男
d		30代	女
e	健聴者	50代	女
f		40代	女

0.7～1秒程度 [注 15] とされており、この指標は自動車事故の過失調査でよく用いられている。本研究については歩行者と運転者の違いはあるものの、聴覚、視覚による一般的な反応としてそれぞれ T1 の音、絵文字 (スクリーン) の反応がこれに対応する行動指標であると考えられる。実際に両条件の反応時間はこの知覚反応時間に当てはまる数値であった。同様に、HMD に提示される情報に対し反応する絵文字 (HMD) と方向 (左/後/右) の反応時間と比較すると、この指標に収まる結果となった。したがって、知覚反応時間を指標としたとき、HMD を用いて音を表す絵文字や方向を提示しても安全性は確保されることが分かった。ただし、本実験の T2 では絵文字と同時に提示される方向に対し、その方向のみを選択する反応課題であった。絵文字と方向を同時に提示することによる情報量の増加が HMD での情報処理速度にどのような影響を与えるのか今後精査していく必要がある。

一方、T3 の後方の反応時間は1秒を超える結果となった。HMD に表示される後方視界の映像は絵文字の大きさが小から大へと変化する表現であり、被験者が絵文字の出現に気づいてもその種類を識別できず、注視するための時間を要したことが示唆される。また、HMD には常に後方視界の映像が表示されており歩行タスクに注意を向けるため、HMD の表示内容を一時的に無視しようとする意識が働いたことも影響したと考える。前方の反応時間に遅延は見られなかったが、このような HMD への注視時間の増加は周囲で発せられる情報に対する認知の欠落、危険事象への回避失敗につながる可能性がある。主観評価の結果からも HMD による後方視界の情報取得に負担を感じやすいことが推察できる。また聴覚障害者にとり死角となる後方視界の提示は有効と考えたが、本実験による画像情報の提示では安全な範囲で反応することができなかった。

T1 において絵文字 (HMD) と絵文字 (スクリーン) に有意差が認められなかったことから、前方の視野内に現れる注意対象を HMD にあえて表示する必要はないと言える。しかし、障害物などにより前方の視界が遮られている場合はこの限りではない。その場の状況に適したより安全で効率的な提示手法を構築する必要がある。T2 において方向 (前) の反応時間が方向 (左/後/右) に比べ遅延したのは、スクリーンに提示される絵文字に対し「前」の反応ボタンを押すために指 (中指) を移動して押さなければいけなかったことが影響したと考えられる。その他のタスクでは指の移動を伴う反応方法はなかった。この反応方法の問題については再考し再度評価する必要があるが、T3 での前方の反応時間では遅延は見られなかったことから、HMD による方向の情報を確認しつつ前方の情報に対しても正確に認知し処理することができると示唆される。

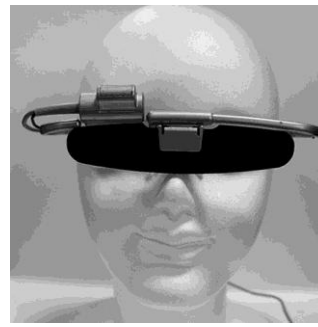


図 15 偏光板付きの HMD

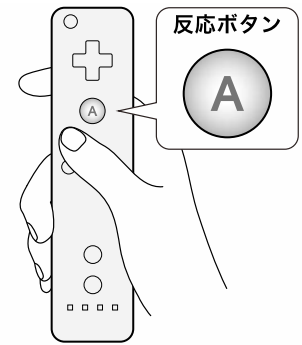


図 16 反応操作リモコン

以上より、歩行時の HMD 使用に伴う認知負荷をモデル実験により評価可能であることが示された。また、HMD には複雑な情報を提示するのではなく、音の種類や方向といった直感的にわかりやすい情報を提示することで、適切な情報の認知や心理的負担の軽減を促す効果が見られた。結果として、HMD を用いた情報保障の安全性が確保されることが示唆された。

### 3. 評価実験 2

#### 3.1. 目的

聴覚障害者のための情報保障手段として HMD を用いた音の可視化情報提示について実際の使用環境に近い屋外での模擬評価実験を行い、認知負荷の再評価を行った。

#### 3.2. 実験方法

(1) **被験者** 中途失聴者、先天性難聴者、および健聴者を含む男女6名 (a～f) を対象とした (表3)。なお、障害を持つ被験者の障害等級は2級に当たる。

(2) **装置** 評価実験1と同一の透過型単眼 HMD を使用した。屋外での使用を考慮し視認性を高めるため、HMD の前面に付属の偏光板 (透過率 24%) を取り付け (図 15)。また、反応ボタンを操作するためのリモコン (図 16) を携帯させた。

(3) **音の可視化方法** 評価実験1同様、「車のクラクション」、「救急車のサイレン」、「自転車のベル」の3種類の音を図像化した絵文字を使用した。方向についても同様に「左」、「後」、「右」の3方向を記号で表現し、これらを刺激として実験者が定める任意のタイミングで HMD に提示した。

(4) **タスク設定** HMD を装着して実験コースを自然歩行で歩行してもらい、その最中に HMD に提示される刺激に反応する認知タスク (T1, T2) を設定した。認知タスクの概要を表4に示す。実験コースは屋外歩行路の環境と同等となるように名古屋工業大学敷地内に設定した (図 17)。本学3号館のエントランススペースを中心とする平坦な周囲コース (経路 A→B→C→D) となっている。なお、コースは屋根のある場所 (A, C, D 地点)、ない場所 (B 地点) が含まれている。

【T1 音源識別タスク】 HMD に提示される絵文字に対し反応する単純反応課題である。被験者には提示されるすべての絵文字の刺激に対し、気づき次第できるだけ素早く反応ボタンを押してもらった。さらに、その場で立ち止まった後、絵文字の種類を識別し口答するよう教示した。音源識別タスクの反応方法を図 18 (左) に示す。

【T2 音源定位タスク】 HMD に提示される方向に対し反応す

表 4 評価実験 2 認知タスクの概要

認知タスク	タスクの内容	刺激の提示方法	評価データ名 (反応時間/主観評価)
T1	音源識別タスク 絵文字の提示 音の種類を識別する課題	HMDに絵文字を表示する (車のクラクション/救急車のサイレン/自転車のベル)	絵文字
T2	音源定位タスク 方向と絵文字の提示 音の方向を識別する課題	HMDに3方向と絵文字を同時に表示する (右/後/左)	方向

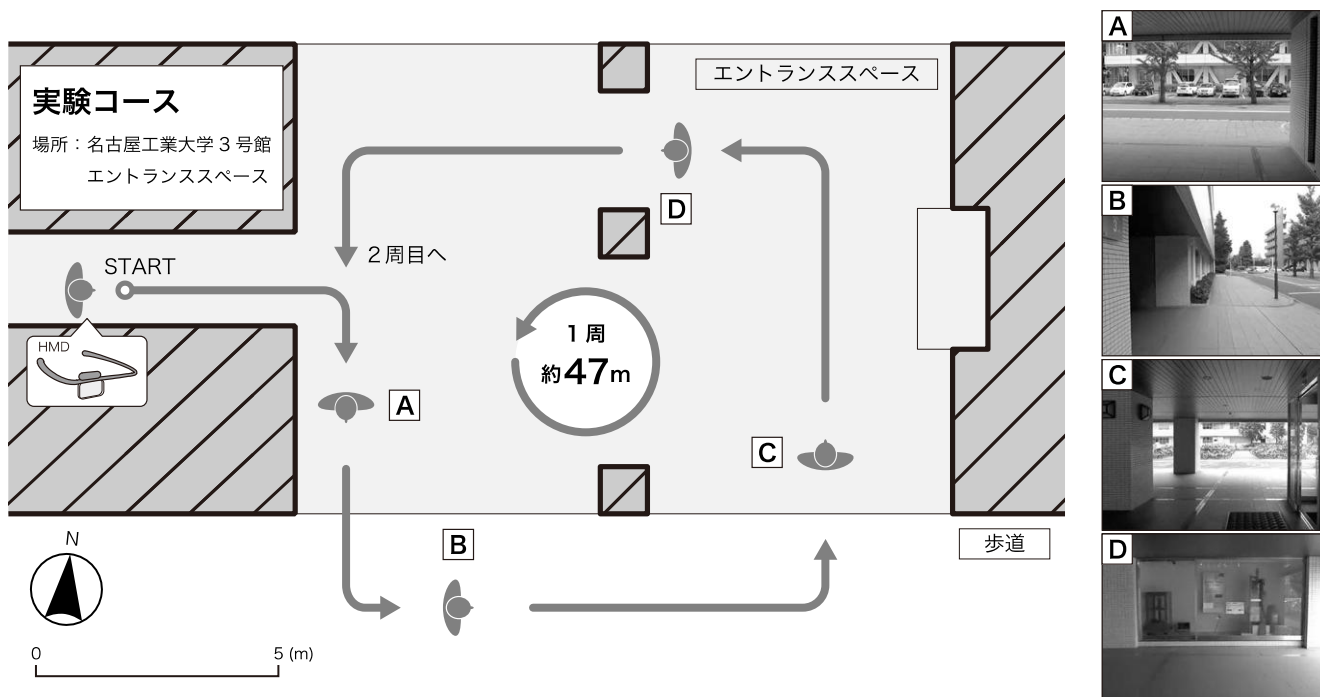


図 17 実験コース

る単純反応課題である。反応ボタンの操作は T1 と同様である。さらに T2 については、その場で立ち止まった後、提示される方向を識別し口答する、もしくは同じ方向にリモコンを向けるように教示した。音源定位タスクの反応方法を図 18 (右) に示す。

(5) 主観評価 各タスクにおける HMD による音の可視化情報提示に関する主観評価を各タスク終了後に行った。主観評価は 7 項目 (5 段階) で構成されている (表 5)。「①利便性」については「絵文字」と「方向」の 2 条件で評価し、「③表示の明るさ」と「④表示の大きさ」については中央値 (3 点 = 「ちょうどいい」) に近いほど高い評価であるとした。

(6) 手続き 評価実験 2 は 2012 年 7 月に午前 11~12 時の時間帯 (晴天下) で行った。本試行では各タスクで実験コースを 3 周する間に刺激をランダムに 10 回提示し、1 試行のみ計測した。刺激の提示から反応ボタンを押すまでの反応時間 (msec) を測定した。本試行前には十分に練習を行った。実験風景を図 19 に示す。

### 3.3. 結果

T1, T2 ともに各被験者の反応時間にばらつきがあり、異なる傾向を示した。したがって、評価実験 2 では被験者間で結果の比較を行った。また測定結果を観察すると、反応時間が 2 秒を超える反応や反応ボタンを押せず測定不能となる場合が全被験者で見られた。これらは HMD の刺激提示に気づくことができなかったことを意味しており、反応の「エラー」として被験者

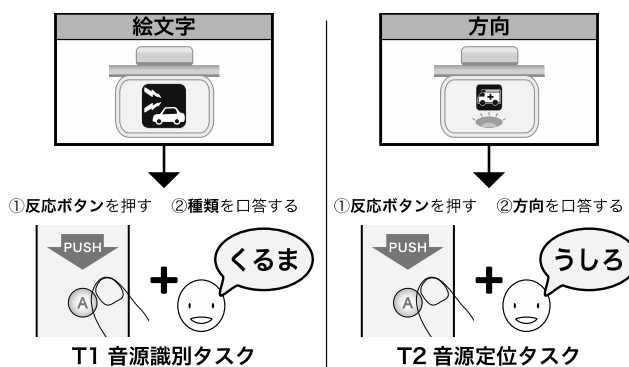


図 18 認知タスク (T1, T2) の反応方法

表 5 主観評価の評価項目

評価項目	説明	評価尺度 (点)
		1 - 2 - 3 - 4 - 5
① 利便性	絵文字	役に立たない — 役に立つ
	方向	
② 歩行中の読み取り	歩きながら HMD の表示を見ることが難しいか	困難 — 簡単
③* 表示の明るさ	HMD の表示画面の明るさ	かなり暗い — かなり明るい
④* 表示の大きさ	HMD の表示画面の大きさ	かなり小さい — かなり大きい
⑤ 目の疲れ	HMD を使用することでの目の疲れ具合	かなり疲れた — まったく疲れなかった
⑥ 絵文字と方向の読み取り	絵文字と方向を同時に読み取ることができるか	できなかった — できた
⑦ 斜め方向の提示	斜めからの方向の表現は必要か	不必要 — 必要

※評価項目③・④は「3点」に近いほど高評価





図 19 評価実験 2 実験風景 (T2 音源定位タスク, A 地点)

ごとにその回数を算出した。分散分析には Kruskal-Wallis 検定を用い、多重比較には Steel-Dwass 法を採用した。

T1 の絵文字の反応時間の平均は被験者 a (1,386msec), b (1,257msec), e (915msec), d (610msec), f (553msec), c (428msec) の順に遅かった (図 20)。Kruskal-Wallis 検定の結果、被験者の違いによる有意な主効果が認められた ( $p < .01$ )。

T2 では被験者 a のエラー数が 8 回と多く反応時間の測定が困難であったため、データ分析から除外した。方向の反応時間の平均は被験者 e (1,167msec), b (992msec), c (703msec), d (675msec), f (653msec) の順に遅かった (図 21)。Kruskal-Wallis 検定の結果、被験者の違いによる有意な主効果が認められた ( $p < .01$ )。

主観評価の結果を表 6 に示す。「②歩行中の読み取り」、「③表示の明るさ」、「④表示の大きさ」について半数以上の被験者が 3 点以下の低い評価得点となった。HMD の表示映像が暗く、小さいと評価したことを意味している。一方で「①利便性」は絵文字・方向ともにすべての被験者が 3 点以上であり、役に立つことが示された。「⑤目の疲れ」と「⑥絵文字と方向の読み取り」は 4 点以上の高い評価得点が得られた。

### 3.4. 考察

評価実験 1 同様に、安全な反応の指標となる知覚反応時間 0.7〜1 秒と比較すると、被験者 c, d, f は T1, T2 の両タスクで安全な認知反応ができていたことが示された。透過型情報提示として HMD を用いたとき、被験者 6 人中 3 人について認知負荷は低く安全確保を図ることができると示唆された。

一方で被験者 a, b, e は 1 秒を超える反応も多く、個人によっては安全性が維持されるとは限らないことが明らかとなった。このような一部の被験者で見られた反応遅延の原因として、歩く、見る、判断する、反応動作をするという複数の動作を同時にする際の認知処理能力の個人差によるものと考えられる。しかし、本実験では統計的に明確にすることはできなかった。

また、HMD への表示自体に気づかない反応も全被験者について観察された。これは実験室環境で行われた評価実験 1 では見られなかった現象である。透過型情報提示の課題として直射日光下での明るさが影響したことが考えられる。本実験コースの B 地点は屋根がなくその他の地点よりも明るい場所であったため、表示映像が見づらくなっていたことが予想できる。実際に、反応のエラーや大きな遅延が観測されたときの歩行位置は B 地点で頻発していた。これは HMD の表示が暗く見づらいと

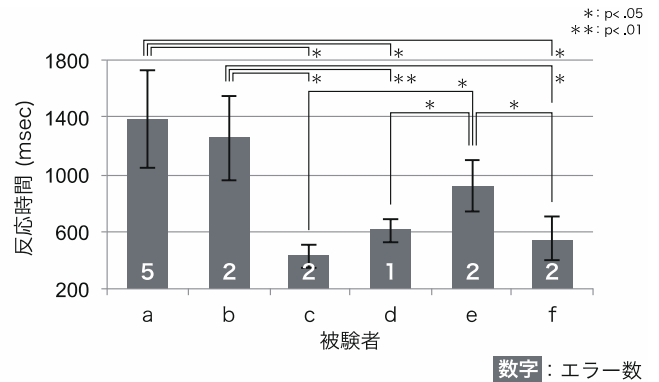


図 20 評価実験 2 反応時間 (T1 音源識別タスク)

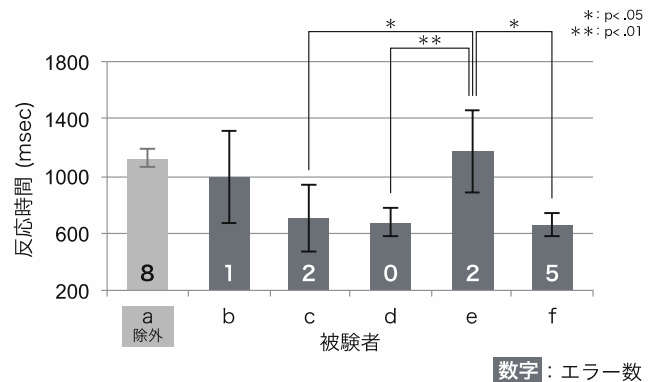


図 21 評価実験 2 反応時間 (T2 音源定位タスク)

表 6 評価実験 2 主観評価

評価項目	平均	評価得点の分布				
		1人	2人	3人	4人	5人
① 利便性	絵文字	3.5	0	0	0	0
	方向	3.7	0	0	0	0
② 歩行中の読み取り	2.8	1	1	1	1	1
③* 表示の明るさ	2.0	1	1	1	1	1
④* 表示の大きさ	2.5	1	1	1	1	1
⑤ 目の疲れ	4.0	0	0	0	0	0
⑥ 絵文字と方向の読み取り	4.2	0	0	0	0	0
⑦ 斜め方向の提示	3.7	0	0	0	0	0

※評価項目③・④は「3点」に近いほど高評価

する主観評価の結果とも一致している。この課題に対する解決策として、周囲環境の明るさに影響されにくい網膜走査ディスプレイ [注 16] や読み取りやすさを考慮した情報提示手法 [注 17] の利用が挙げられるが、現時点で実用に至っていない。

個々の被験者間で見られた反応差の原因については人間の特性に基づいた評価により今後明らかにする必要がある。

### 4. まとめ

本研究では聴覚障害者支援として透過型情報提示における歩行時の安全性を反応時間と認知負荷を基準に検証した。限られた条件の中で検証するため実験に適した機器の一つとして

HMD を用いた。この検証のために音の可視化による情報保障について二つの評価実験を行った。学生を被験者としたモデル実験による評価実験1では、HMD に提示される音の種類、方向の情報に対する反応時間が安全の指標となる知覚反応時間0.7〜1秒の範囲に収まる結果が得られた。また HMD による情報提示に対する主観的負荷は聴覚による音の認知負荷と有意差がなく、HMD を用いた音の可視化の安全性が示唆された。

聴覚障害者と健常者成人を対象に実際の情報保障環境に近い場面を想定して行った評価実験2では、評価実験1同様、知覚反応時間を安全な反応の指標として、被験者6人中3人が両タスクで安全な認知反応結果が得られた。屋外での透過型情報提示の安全性を被験者の半数の人で確かめられた。

一方、歩行しながら前方を見る、確認する、刺激に対し反応動作を行うという複合的なタスクに適応が難しい被験者がいることが分かった。このことから透過型情報提示は人の適性によっては使用に向いている人と一定の訓練を行ってからでないと安全が確保できない、もしくは訓練を受けても使用は避けた方がいい人がいると予測される。

屋外での歩行に伴う人の透過型情報提示に対する個人の適性と装置としての問題（日差しの強い直射日光下での視認性の低下）は HMD を用いた情報保障を行う上で解決すべき重要な課題である。今後は本研究で得られた結果を基に、ユーザーの視点に立ったハードウェア、ソフトウェアの最適化につなげ、HMD の視認性や装着性、インターフェイスの向上を図ることが望まれる。また、実際に音源識別装置を実装した HMD を用いて、安全性に関するより実践的な検証も求められるであろう。

## 謝辞

本研究は科学研究費補助金（課題番号 23500649）の助成を受けたものです。また本研究で使用した HMD はコニカミノルタ株式会社から貸与して頂きました。最後に、実験に協力し参加して頂きました本学学生、並びに愛知県難聴・中途失聴者協会、愛知県聴覚障害者協会の皆様に感謝の意を表します。

## 注および参考文献

- 1) 国立社会保障・人口問題研究所：日本の将来推計人口（平成24年1月推計）,厚生統計協会,2012
- 2) 厚生労働省社会・援護局障害保健福祉部企画課：平成18年身体障害児・者実態調査結果, 2008
- 3) 補聴器供給システムの在り方研究会：補聴器供給システムの在り方に関する研究 2年次報告書—補聴器普及のためのシーズに関する調査—, 日本補聴器工業会, 2003.9
- 4) 稲葉通太：聴覚障害をもつ歩行者の問題とそれに対する支援, 国際交通安全学会誌, Vol.28, No.1, pp.34-40, 2003.5
- 5) 岩佐要, 黒柳奨, 岩田彰：FPGA を用いたパルスニューロンモデルによる音源定位及び音源種類識別システムの実装, 電子情報通信学会論文誌 D, J90-D, 11, 3079-3090, 2007.11
- 6) 徳田浩一, 駒谷和範, 尾形哲也ほか：音源定位結果と音声認識結果を HMD に統合提示する聴覚障害者向け音環境理解支援システム, 情報処理学会全国大会講演論文集, 70, 4, "4-281"- "4-282", 2008.3
- 7) 小坂井敦, 奈良博之, 井野秀一ほか：音声認識技術と透過型 HMD を利用した聴覚補助方式, 電子情報通信学会技術研究報告, 100, 712, 35-41, 2001.3
- 8) 須藤正時：難聴者の生活環境向上のため「音の可視化」を目的としたウェアラブル画像入出力の形態研究, 財団法人日比科学技術振興財団, 生活環境向上のための報告書, 1, 10, 97-110, 2007.4
- 9) 財団法人共用品推進機構 東京会議聴覚情報障害班：聴覚障害者が必要としている音情報～「音見本」調査報告書～, 2002.3
- 10) 情報通信ネットワーク産業協会デザイン委員会 図記号ワーキンググループ：通信機器の表示用図記号規格 CES-DZ
- 11) 色覚の異常により色の見え方・感じ方が正常な人と異なる状態のことを指す。色の見え方は型によって異なるが、黄色は本来の色合いと近い彩りで知覚することができる。
- 12) 普通自動車運転免許の適性検査では両眼で視力 0.7 以上であることが定められている。
- 13) 三宅晋司, 神代雅晴：メンタルワークロードの主観的評価法—NASA-TLX と SWAT の紹介および簡便法の提案—, 人間工学, 29, 6, 399-408, 1993.12
- 14) 深谷晃輔：聴覚障害者のための HMD による情報保障に関する研究—音を絵文字で提示した際の認知負担度—, 名古屋工業大学建築・デザイン工学科 2009 年度卒業論文梗概集, 99-100, 2009.12
- 15) 林洋：実用 自動車事故鑑定工学, 技術書院, 204, 2002.4
- 16) 岡田有策, 中西美和：網膜走査ディスプレイの現実場面への応用に関するヒューマンファクター的研究, 立石科学技術振興財団助成研究成果集, 16, 54-59, 2007.9
- 17) 田中宏平, 岸野泰恵, 宮前雅一ほか：光学式シースルー型 HMD のための読みとりやすさを考慮した情報提示手法, 情報処理学会論文誌, 48, 4, 1847-1858, 2007.4