

6. 考察

6.1 本研究における諸検討の概要と得られた知見

本研究では、立体音響による聴覚・音声情報に空間的な意味づけを行い、これを車載情報機器から呈示する手法を提案した。そして、自動車運転中に情報機器から情報獲得を行う状況において、従来の単一音源から聴覚・音声を呈示する方式に比べて情報を効果的に獲得できるかについて実験的検討を行った。評価は、多くの要因から構成される実走行環境では行わず、要因を限定することができるシミュレータ環境を実験室空間に構築して行った。各章における諸検討の概要とその結果得られた知見を以下に述べる。

(1) 第1章 序論

総論的に先行研究と比較することで本研究の立脚する場所の位置付けと新規性を明確化した。具体的には、まず、運転中に車載情報機器から視覚情報を獲得することの問題点を述べ、聴覚を利用したUIの必要性を述べた。つぎに、聴覚利用の問題点について述べ、空間的な位置情報を聴覚・音声情報に付加して意味づけを行うことで、運転者が情報を効果的に獲得できるのではないかという仮説を立てた。そして、立体音響を利用したUI研究の多くが視覚情報への注意喚起を目的としていることを指摘したうえで、本研究が聴覚・音声を積極的に利用するための研究であることを位置づけた。最後に、本研究で用いた立体音響技術について述べた。

(2) 第2章 音源数と音色数が記憶に与える影響の検討

本章では、空間的に配置した音源数の増加が従来手法である単一音源からの呈示に対して有効であるかについて、音源数と音色数を要因とする実験を行った。評価指標は自由再生による単語記憶数と主観的な精神的作業負担を用いた。その結果、以下の知見が得られた。

- 1) 音源数が1, 3, 5の場合、音色数に関わりなく1に比して3の場合に顕著な記憶力向上が認められた。したがって、従来の単一音源の呈示手法に比して音源数を3に増加させる手法は音声情報のより効果的な理解に寄与する。
- 2) 音色数は1から2に増加した場合、音源数に関わりなく記憶特性に顕著な向上が見られない。
- 3) 音色数が1から2に増加した場合、音源数に関わりなく精神的作業負担が増加する傾向にある。ただし、より実際の場面ではこれと異なる結果となる可能性が示唆される。

4) 音源数を増加しても、記憶できる容量には限界があることが示唆される。

(3) 第 3 章 ユーザテストによる対話エラーの検討

本章では、逐次音声操作型 UI におけるユーザビリティ評価を行うための新しい手法を開発し、効果の検討を行った。まず、ストーリーボード法と行動観察法を組み合わせたユーザテスト手法を開発した。つぎにこれを用いて、市販の音声対話型カーナビ 3 種類を対象に実車環境におけるユーザテストを行った。その結果、以下の知見を得た。

1) 4 種類のエラー（発話タイミングエラー、誤認識エラー、不認識エラー、誤操作エラー）が今回調査した市販カーナビ 3 機種全てにおいて発生している。

2) 操作系が切り替わる箇所で音声誤認識エラーが発生し、機器から呈示された復唱音声をユーザが理解できずに操作を進めた結果、音声誤認識エラーが連続的に発生してタスクが失敗に終わってしまうパターンが認められる。

3) 2) より、直前の階層で入力した音声コマンドの入力結果がガイダンスの最初の部分にフィードバックされる復唱音声をきちんと聞いて理解できたかどうか、タスク達成の成否に関わっていると考えられる。

(4) 第 4 章 立体音メニューを用いた効果的な音声呈示の検討

本章では、第 3 章で明らかとなった復唱音声を理解していない問題を解決するために、複数の音声認識候補を音声呈示して運転者に選択させるメニュー方式と、音声情報の内容を空間的な位置情報として意味づける立体音方式の 2 種類の手法を提案し、効果の検証を行った。本研究では速度制御機能をもったドライビングシミュレータと音声認識性能を統制した逐次音声操作シミュレータを作成し、これらを同時に操作するデュアルタスク環境において実験を行った。評価指標は、復唱音声の理解度をみるためにタスクの達成率を使用し、運転に対する影響および各条件における人間の情報処理資源の消費を見るために運転中の速度不安定度を用いた。その結果、以下の知見が得られた。

1) 音声認識結果の復唱はされない場合に比べて運転への影響が若干減少する程度だが、方向定位音によって音源の位置情報を加えると、状況把握の正確性が向上する。

2) ただし、ユーザが音源の位置と音源を分けた意味を対応づけられない場合、運転に必要な認知的情報処理資源を情報機器操作にまわしてしまうことがあり、運転に対する負の影響がみられた。

3) 音声認識候補のメニューは選択肢が 3 の場合、一次元的に呈示すると運転に対して顕著な負の影響を与えるので好ましくない。

4) ただし、音源の位置情報を加えて、情報の整理がうまくなされたメニューを呈示することによって、状況の把握、運転への低影響という点で非常に有用である。

(5) 第5章 音源の遠近による ITS 情報の優先度表現

本章においては、ITS 情報の優先度管理手法に基づき、情報の優先度と音源の空間的な位置情報とを意味づけて呈示する手法の提案と実験的検討を行った。まず、運転者からみて水平面上前方 30° 距離 80cm の位置において低優先度情報である経路案内系情報を呈示中に、割り込む形で高優先度情報である警報系情報を頭部近傍に呈示する手法を提案した。そして、水平面上前方 30° 距離 80cm の位置において呈示される低優先度情報と同一位置において高優先度情報が割り込み呈示を行う、単一音源を用いた従来手法と比較を行った。実験は視聴覚情報が同時呈示される状況を想定したシミュレータ環境において行った。評価指標は高優先度情報獲得の迅速性を見るために反応時間を、正確性を見るために記憶成績を、そして運転に対する影響を見るために高優先度情報呈示時の視覚モニタに対する視認頻度および視認時間を用いた。その結果、以下の知見が得られた。

- 1) 頭部近傍では比較的小さい音でも主観的重大性を高く感じる傾向がある
- 2) 短期記憶の保持に大きく貢献する。
- 3) モニタに対する視認頻度を顕著に減少させる。
- 4) メンタルワークロードに大きな影響はない。
- 5) 聴覚中心の情報受容を行わせることができる。
- 6) 今回の条件下において方向要因は影響しない。

6.2 知見のまとめ

本研究で得られた知見は、ITS 優先度別に管理する統合管理手法の概念を導入することで、以下のようにまとめることができる。

- (A) 音源数の増加が聴覚・音声情報の記憶に与える効果の検討
- (B) 優先度の低い聴覚・音声情報を効果的に獲得する手法の検討
- (C) 優先度の高い聴覚・音声情報を効果的に獲得する手法の検討

以上を踏まえて、得られた知見のまとめを行った。

(A) 音源数の増加が聴覚・音声情報の記憶に与える効果の検討

運転作業中に音声単語を連続して聴取、記憶する場合、従来の単一音源から呈示した場合に比して、複数の音源から呈示する方が作動記憶を有効に活用できる。ただし、音源数を増加しても、記憶できる容量には限界があることが示唆される。(図 6.1)。

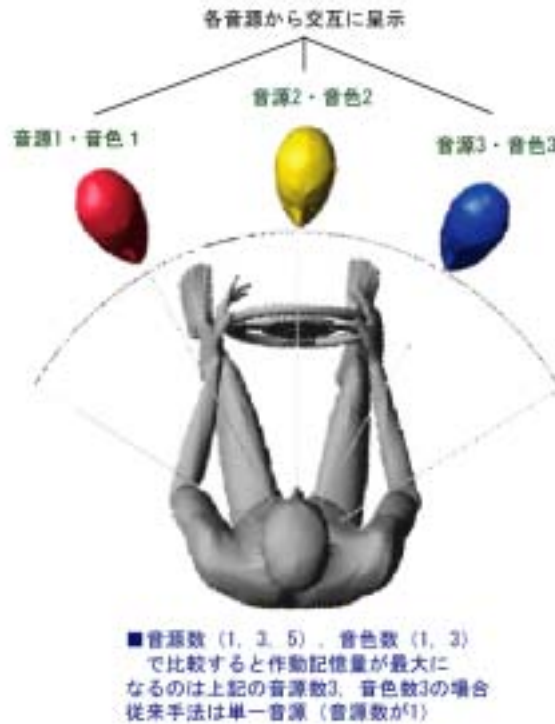


図 6.1 音源数の増加が記憶に与える効果

(B)優先度の低い聴覚・音声情報を効果的に獲得する手法の検討

逐次音声操作型のUIを使用する場合、4種類のエラー（発話タイミングエラー、誤認識エラー、不認識エラー、誤操作エラー）が発生しうる。また、操作系の分岐点において誤認識エラーが発生した場合、認識結果の復唱音声を運転者が理解できないことによって、さらに誤認識エラーを誘発する可能性がある。しかし、認識候補に立体的な位置情報を与えて、かつ音声メニューとして呈示すると、認識結果の復唱音声の理解度が高くなり、かつ運転に対する影響が大きくなる（図 6.2）。ただし、音源の位置情報と呈示音声との意味づけを運転者に理解できるように設計する必要がある。

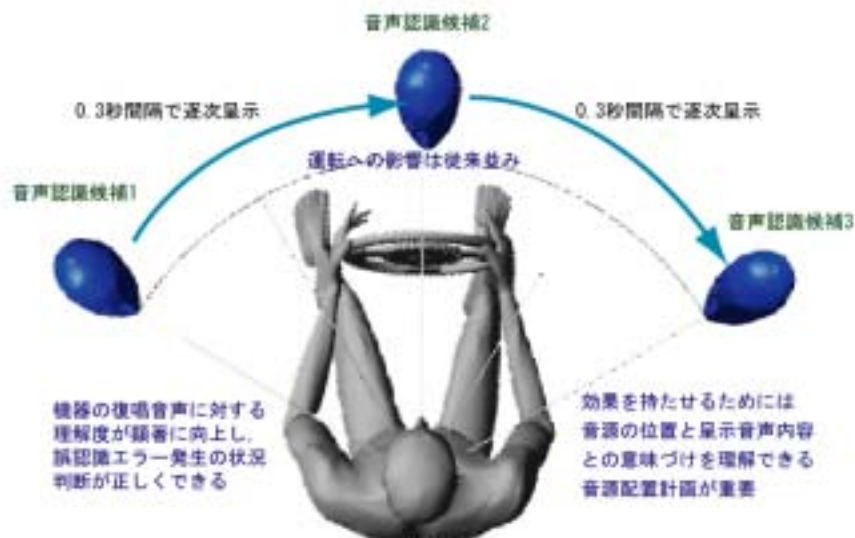


図 6.2 低優先度情報による対話時の音声呈示手法と得られる効果

(C) 優先度の高い聴覚・音声情報を効果的に獲得する手法の検討

複数の優先度情報を統合管理する場面において、従来の運転者から離れた位置において低優先度情報を呈示中に警告系情報を頭部近傍に割り込み呈示させると、従来の単一音源呈示の場合に比べて顕著に高優先度情報への反応時間、情報の記憶・理解度が向上する。さらに、モニタに対する視認頻度が顕著に低下する。また、メンタルワークロードは従来と同程度である（図 6.3）。

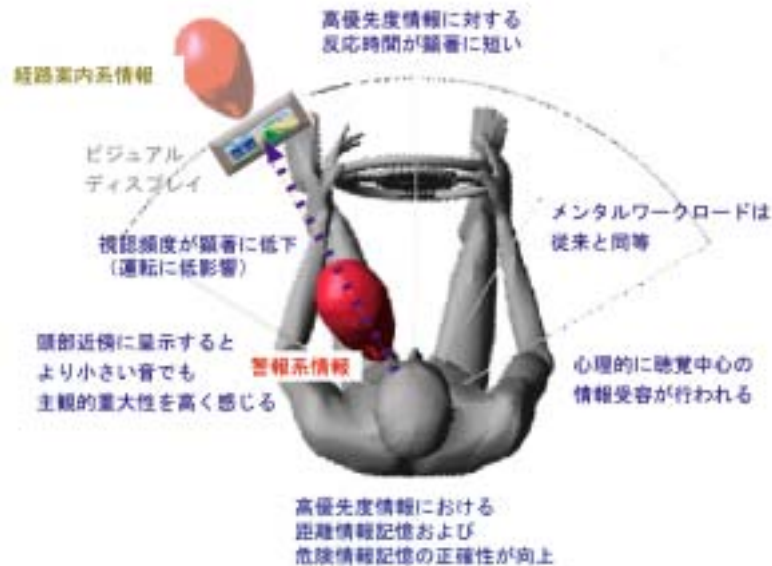


図 6.3 遠近情報による高優先度情報呈示手法と得られる効果

6.3 今後の課題

本論文では、聴覚情報の効果的な獲得を目指した手法の検討を行った。その際、人間のモニタに対する視認特性を有効性のひとつの指標として扱った。しかし、ごく最近になってこの指標の問題点も指摘され始めている。それは、いわゆる「意識の脇見」の問題である。これは、主に携帯電話を運転中に使用することの安全性について議論が行われている。例えば、暗算タスクを行わせることで非視覚的な情報処理負荷をかけることで、情報処理の余裕容量の減少度が無負荷の状態に比べて、7.0~7.8bits/sec 減少することが報告されている[6-1]。ただし、視線計測が意味をもたなくなるわけではない。例えば内田ら(2002)の報告によれば、携帯電話を使用した会話のような認知的負荷を伴う対話を行うことによって、左右両眼の注視位置にギャップが生じることが報告されている[6-2]。本研究も含め、多くの研究は視線計測を行う際には片眼で計測を行うことが多い。今後は、両眼視差のギャップを考慮に入れることで、より多くの情報を得ることができると考えられる。

その他に、情報処理作業における認知負荷と認知負担について、心拍特性などの生理的負担を計測することが有用であるとの指摘がある[6-3][6-4]。今後は、生理指標を併せて検討することで、より定量化を進めることができると考えられる。また、視覚以外のモーダル必要性として、触覚の利用性の検討[6-5]も残された課題のひとつである。

また、今回は実験室における理想条件下においてヘッドホン呈示による検討を行ったが、

今後実装を進める上で、呈示装置の非侵襲化を図る必要がある。そのためには実車環境を想定した環境においてスピーカアレイを用いた呈示システムの検討が必要になるだろう（図 6.4）。その際は、実車空間での音響特性を調べた上で、実時間畳込演算システム（図 6.5）を利用しながら、発生したイベントに対して動的に処理を行う方式の検討が必要となるだろう。また、頭部の動揺に対応した音響信号の補正、実際の使用場面を想定した総合的な情報デザインの検討があげられる。

さらに、他の基礎研究分野との連携を図ることも重要だと考えられる。例えば、脳の側頭葉内側部にある大脳辺縁系、特に海馬体における「場所ニューロン」の存在が人間の記憶の過程に深く関わっていることがわかってきている [6-6]。具体的には、エピソード記憶といわれる、出来事に関する記憶には場所の概念が含まれているといわれ、これに場所ニューロンの活動が大きく関与していることが明らかになっている。本研究における作動記憶特性と場所ニューロン活動との関連を見ることにより、定量的な評価を行える可能性が考えられる。

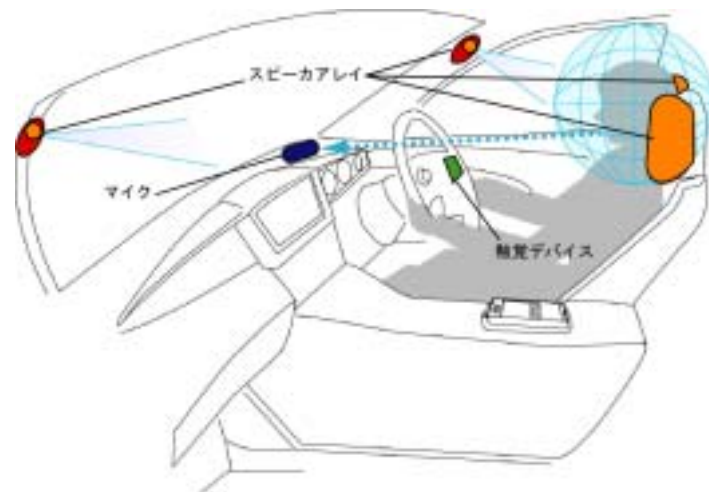


図 6.4 実装予想



図 6.5 実時間畳込演算システムを利用したスピーカアレイシステム

7. 結論

近年、高度交通システム（以下、ITS）の発達に伴ってカーナビゲーションシステム（以下、カーナビ）など車載情報機器は外部ネットワークへの接続が可能となり、自動車空間の高度情報化が進んでいる。これにより、自動車を運転しながら同時にさまざまな情報を受け取り、情報機器操作を行う必要性が高まってきた。その一方で情報機器の呈示する情報の多くが視覚情報であるため、主作業である運転に負の影響があることが指摘されている。また、カーナビのモニタ注視前後の前方へ注意の働き方を検討した先行研究によって、運転中に視覚モニタを使用することは基本的に問題があることが指摘されている。

一方、聴覚は、視覚に次いで多くの情報量を扱うことができ、注意喚起機能に加えて情報の時系列的、逐次的な呈示の処理に優れた感覚チャンネルである。また聴覚は原理的に視覚の利用を必要としないため情報獲得に視線移動を伴わない。したがって視覚を使用した場合に比べて運転に対して低影響であることが予想される。しかし、聴覚は視覚のような情報の一覧が困難で情報の享受が直列的であり、聞き漏らした場合には再度新しい情報が得にくいなどの短所もある。そこで、本研究では立体音響に着目した。立体音響とは我々を取り巻く実音響空間と同様に全方位的に音を聴取することができる音響的な仮想現実のことであり、人間が立体的に音を聴取するために必要な頭部伝達関数(HRTF)を人工的に再現することができる。この点において、左右の音圧レベル差と時間差によって左右方向の広がりのみを再現した従来のステレオ音響に比べて、高い空間再現性をもっている。これをユーザインタフェース（以下、UI）に利用した場合、聴覚・音声情報に空間的な意味づけを行うことで音に対する注意を効果的に向けさせることができるといわれている。

そこで、本研究では、立体音響を用いて聴覚・音声情報に空間的な意味づけを行い、これを車載情報機器から呈示する手法を提案した。そして、自動車運転を行うと同時に情報機器からさまざまな情報を受け取り、操作を行う状況において、従来の単一音源から情報呈示を行う方式に比べて機器からの呈示音声情報を効果的に獲得できるかについて実験的検討を行った。評価は、多くの要因から構成される実走行環境では行わず、要因を限定することができるシミュレータ環境を実験室空間に構築して行った。

立体音響を運転・操縦環境における情報機器 UI に応用した先行研究はいくつか見受けられるが、その多くは視覚情報への注意喚起を目的としている。これに対して、本研究では積極的な聴覚・音声情報利用を支援するための検討を行った。これにより、現在の視覚中心のUI設計手法に対して、新しい方略を示すことができると考えた。

最終的に本研究で行った諸検討について情報の優先度管理の概念を導入して以下のようなアプローチとしてまとめた。

- (A) 音源数の増加が聴覚・音声情報の記憶に与える効果の検討
- (B) 優先度の低い聴覚・音声情報を効果的に獲得する手法の検討
- (C) 優先度の高い聴覚・音声情報を効果的に獲得する手法の検討

(A) 音源数の増加が聴覚・音声情報の記憶に与える効果の検討

- 1) 運転作業中に音声単語を連続して聴取，記憶する場合，従来の単一音源から呈示した場合に比して，複数の音源から呈示する方が作動記憶を有効に活用できる．
- 2) ただし，音源の増加による記憶には上限が存在することが示唆される．

(B) 優先度の低い聴覚・音声情報を効果的に獲得するための検討

- 1) 逐次音声操作型の UI を使用する場合，4 種類のエラー（発話タイミングエラー，誤認識エラー，不認識エラー，誤操作エラー）が発生しうる．
- 2) 操作系が切り替わる箇所で音声誤認識エラーが発生し，機器から呈示された復唱音声をユーザが理解できずに操作を進めた結果，音声誤認識エラーが連続的に発生してタスクが失敗に終わってしまう場合がある．
- 3) 音声認識候補に立体的な位置情報を与えて，かつ音声メニューとして呈示すると，理解度が向上し，タスク失敗を抑制できる．
- 4) 音声認識候補に立体的な位置情報を与えて，かつ音声メニューとして呈示しても，運転に対する影響が大きくなる．
- 5) ただし，音源の位置情報と呈示音声との意味づけをユーザに理解できるよう留意する必要がある．

(C) 優先度の高い聴覚・音声情報を効果的に獲得するための検討

- 1) 複数の優先度情報を統合管理する場面において，従来の運転者から離れた位置から低優先度情報を呈示中に警告系情報を頭部近傍に割り込み呈示させると，従来の単一音源呈示の場合に比べて顕著に高優先度情報への反応時間，情報の記憶・理解度が向上する．
- 2) モニタに対する視認頻度が顕著に低下する．
- 3) メンタルワークロードは従来と同程度である．

本研究で確かめられた効果を実用化していくうえで，以下の課題について検討を進める必要があると考えられた．

- 1) 詳細な視線計測による「意識のわき見」問題の検討
- 2) 心拍など生理指標導入の検討
- 3) 実装のための呈示装置の非侵襲化に関する検討
- 4) より実用的な場面を想定した総合的な情報デザインの検討
- 5) 脳機能との関連性の検討

今後、自動車運転環境における高度情報化は一層進み、非視覚メディアに対する期待はさらに高まると思われる。このようなニーズのもとで、従来に比して効果的な聴覚・音声情報活用を行うための新しい手段を本研究は示すことができた結論づけられる。