

7. 交通弱者の安全・安心のためのシステムや装置に関する研究

情報・知能工学系 准教授 金澤 靖

7-1 はじめに

高齢化社会に伴い、高齢者や子供などの交通弱者に対する安全・安心のための技術の必要性が年々高まっている。現在注目を浴びている自動車に関する安全・安心に関する先進技術の一つにプリクラッシュセーフティシステムがあり、これは自動車が主に前方の障害物を感知して衝突に備える機能の総称で、カメラやレーダーを使って障害物を検出し、自動的にブレーキをかけたり、ドライバーへの警告を行ったりするものである。しかし、SUBARU の EyeSight¹や日産自動車のエマージェンシーブレーキなどのように、歩行者や自転車などを検知できるものは少なく、主に前方車両などの前方にある大きな障害物しか検知できないシステムも多い。これを実現するためには、一般にカメラを搭載する必要があるだけでなく、その映像から人を検出する処理が必要となる。したがってコストも高くなる。一方で、「高度道路交通システム (Intelligent Transport System, ITS)」では、情報通信技術を用いた安全な車の開発、道路インフラの利用および管理の効率化などに関する技術開発が進められている。これも、そのほとんどが車やドライバーを中心とした技術の開発となっている。一部、子供や高齢者、視覚障がい者向けのシステムとしてアイセイフティ²や、歩行者等支援情報通信システム (PICS)³が存在するが、いずれも子供や視覚障がい者、高齢者に携帯情報端末を持たせる必要があり、更にドライバーがその注意喚起に気付くことが必要となっているだけでなく、交差点での情報の送受信設備など、交通インフラの整備も必要である。しかし、交通事故はいつでもどこで起こるかなどを予想することは極めて困難であることから、これらのような特別な装置やインフラ整備を必要とせず、いつでもどこでも使える安全・安心のための装置やシステムの開発が急務とされている。

一方近年、色に関するバリアフリーを目指して、カラーユニバーサルデザイン (Color Universal Design) [1]と呼ぶ考え方が提唱されており、高齢者や色覚障害者など、色覚機能に衰えや障害を持つ方に対しても、識別しやすい配色デザインとすることで、正しく情報が伝わるようにしようとするものである。現在、Web での配色の指針のほか、チョークの色や、リモコンのボタンの色、地下鉄の路線図、建物の案内図など、さまざまな個所で見ることができるが、一步建物の外に出た場合、ありふれている道路標識の配色や道路面のペイントは、このカラーユニバーサルデザインにのっとっておらず、色覚障害者や高齢者等にとって、背景と標識の識別が難しくったり、また見逃してしまう場合も多い。

本研究では、幼児や高齢者、色覚障害者などの交通弱者に対し、安全・安心のためのシステムや技術の開発を目的とする。ここでは、カラーユニバーサルデザインの考え方に準じた交通弱者に対する道路標識等の協調提示法や、交通インフラ整備等を必要とせず、交通弱者が自ら自分自身の身を守ることができるシステムや技術の開発を行う。

7-2 交通弱者のための道路交通標識の強調提示方法の提案

(1) 交通弱者の道路標識の見え方と問題点

交通システムの中で重要な役割を果たす交通信号については、色覚障害者にとっても比較的識別しやすい配色となっているのに対し、道路標識の配色は JIS 規格で規定されており、カラーユニバーサルデザインでの指針とは関係なく配色がデザインされている。標識の見え方の例を図 7-2-1 に示す。ここでは、健常者による標識の見え方と、第一色盲⁴と呼ばれる色覚障害の方の標識の見え方をシミュレーションしている。見てわかる通り、このようなシーンでは止まれの標識と背景の木の葉がほぼ同じ色に知覚され、本来目立つべき「止まれ」の標識が返って目立っていないことがわかる。これは色空間において、健常者は図 7-2-2 (a) のような空間内のすべての点を知覚しているのに対し、第一色盲の

¹ <http://www.subaru.jp/eyesight/>

² <http://www.nttdata.co.jp/release/2005/111600.html>

³ <http://www.utms.or.jp/janapese/system/pics.html>

⁴ L 型錐体の欠損あるいは異常による色覚障害。

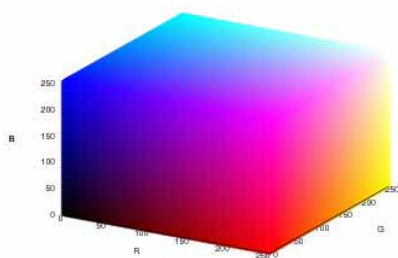


(a) 健常者の見え方

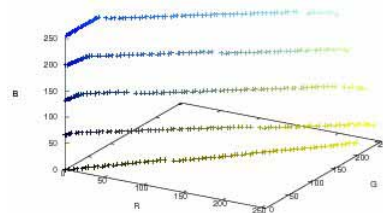


(b) 色覚障害者の見え方

図 7-2-1 標識の見え方の違い



(a) 健常者の色空間



(b) 第一色盲の方の色空間（平面）

図 7-2-2 RGB 色空間



(a) 20 歳の見え方



(b) 60 歳の見え方

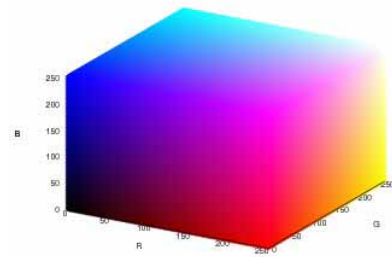


(c) 70 歳の見え方

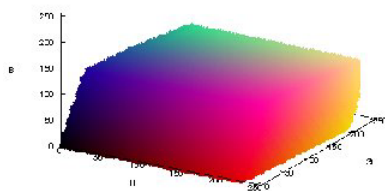
図 7-2-3 加齢による見え方の違い

方は図 7-2-2 (b)のような平面上の点として知覚しているためである。

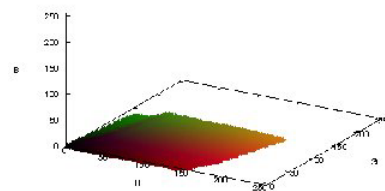
一方、高齢者においては、加齢とともに水晶体が濁ってくるため、その見え方をシミュレートすると図 7-2-3 のようになる[2]。これは図 7-2-4 に示すように、加齢とともに、識別できる色空間が“平たく”になってしまうためであり、本来のコントラストが得られなくなるため、図 7-2-3 のように標識などの見逃しに繋がってしまう。



(a) 20 歳の色空間



(b) 60 歳の色空間



(c) 70 歳の色空間

図 7-2-4 加齢による知覚可能な色空間の違い

(2) 交通弱者のための標識の強調提示法

色覚障害者に対しては、レンズに特殊なコーティングを行って色を変換して交通標識などを識別しやすくする色覚補正メガネ⁵が市販されているが、見ている視野全体の色が変わってしまうことや、それに伴う目の疲労も問題となる。またコンピュータによる画像処理を用いた画像を変換する技術として目黒の研究[3]や田中らの方法[4]があるが、いずれの手法も、画像全体に対して識別困難色を検出し、色変換を行うため、必ずしも道路標識が強調されるとは限らないだけでなく、色覚補正メガネと同様に、関係ない部分も変換してしまう。そこで本研究では、色覚障害者や高齢者の安全のために、高齢者や色覚障害者などのユーザの視野をカメラで撮影し、その画像内の標識のみ選択的にユーザに強調提示することを考える。このとき、標識以外の他の部分の見え方は変化させない。これにより、色弱補正メガネや従来の研究[3,4]のように、知覚できるシーン内の色全部を変更してしまうことがないため、メガネをかけた場合と外した場合のギャップや目の疲労も少ないと考える。

提案法の手順の概略は以下の通りとなる。

- (i) 道路標識の検出。
- (ii) 標識領域とその周囲領域の知覚可能色空間への投影。
- (iii) 標識領域の色の再配置。
- (iv) 再配置後の画像の健常者の色空間への逆投影。

第一色盲と呼ばれる色覚障害者に対する実験結果とその評価結果を図 7-2-5 に示す。図において、左上の (a) が入力画像、(b) が提案法によって得られた画像、(c) が入力画像に対する第一色盲の方の見え方のシミュレーション結果、(d) が処理後の画像に対する見え方のシミュレーション結果である。見てわかる通り、入力画像では目立たなかった標識が目立つような色に変換されただけでなく、その他の部分では全く変化がないことがわかる。

⁵ <http://www.daltontokyo.com/> など。



(a) 入力画像



(b) 最終画像



(c) 入力画像のシミュレーション



(d) 最終画像のシミュレーション

図 7-2-5 処理例

(3) 今後の課題と展開

ここでは、カラーユニバーサルデザインの考え方に準じ、交通弱者に対して、安全・安心な交通システムを提案・開発することを目的とし、色覚障害者や高齢者に対して、シーン内の標識検出技術により検出した道路交通標識を強調提示することで標識の視認性を高めることが可能な方法を提案した。しかし提案法は標識検出の精度に大きく依存しているため、より高精度な標識検出技術を開発することも重要となる。更に、実際の提示デバイスをどうするかについても、検討を要する。

7-3 2色覚者のためのノイズ付加による色の識別率向上に関する研究

(1) ノイズ軸の付加による弁別可能空間の拡張

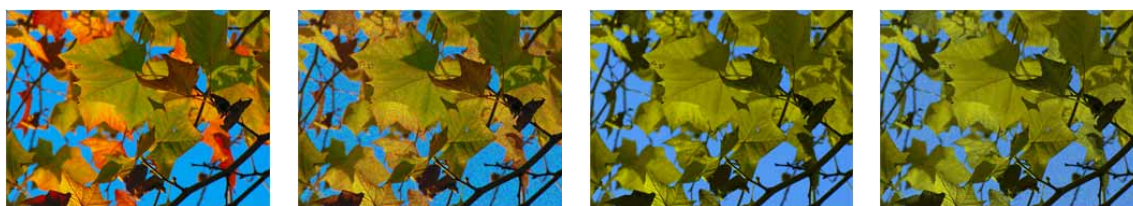
健常者（3色覚）の方は色を検知する錐体がL錐体、M錐体、S錐体の3種類あるのに対し、いずれか一つの錐体が機能不全である場合に2色覚と呼ばれる。その中でもM錐体あるいはL錐体が機能不全である1型2色覚および2型2色覚の方が多く[1]⁶、赤と緑の色の弁別に困難が生じている。この赤と緑は一般に“注意喚起”と“正常／問題なし”のそれぞれに多用される色であり、交通標識や渋滞情報を表すパネルにも利用されている。従って、これらを弁別できるようにすることは重要なこととなる。本研究では、画像に特定のノイズを付加することで、2色覚と呼ばれる色覚障害者に対し、いかなる画像に対してもその色の違いが知覚できるような画像の処理方法を提案する。

2色覚者は2次元空間すなわち平面上の1点として色を知覚していることから、本研究ではこの知覚可能な色平面における色に対し、人工的に異なる軸、ノイズ軸を加えることで、疑似的に3次元空間内の1点となるようにすることで、色の識別能力を向上させようとする。画像に対するノイズを用いる理由は次の2つである。

- (i) ノイズの強度や発生確率を対応させることで、色の微妙な差を表現できる。
- (ii) 健常者にとってノイズの付加された画像はざらつきとして見え、違和感を減少できる。

実際に色相に対してノイズを付加することで得られた画像を図 7-3-1 に示す。2色覚シミュレート

⁶ 日本では約5%の方が1型2色覚または2型2色覚とされる[1]。



(a) 3色覚画像

(b) 2色覚シミュレート画像

図 7-3-1 自然画像への適用例 (左: ノイズ無, 右: ノイズ有)

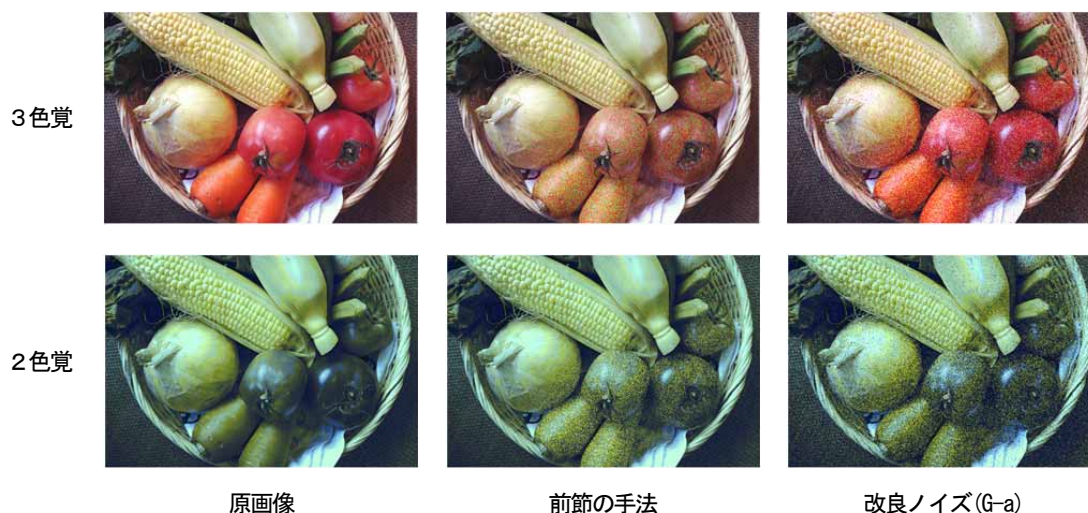


図 7-3-2 改良ノイズによる例

画像においては紅葉した部分にノイズが乗るなど、色の違いをノイズにより認識できているが、元の3色覚画像を見ると、紅葉部分の色および空の色が若干変化してしまっていることがわかる。これは、上記ノイズモデルによるオフセットが原因である。

(2) 双峰性2色ノイズの付加による改良

平均色の変化を抑えるために、実際の色と知覚の差の符号の違いに対し、付加するノイズを変えるだけでなく、それぞれ双峰性のノイズを用いることで、手法の改良を行った。予備実験で良い評価の得られた RGB 色空間における G および Lab 色空間における a に加えた結果を図 7-3-2 に示す。前述の方法に比べ、3色覚画像も自然に見え、かつ2色覚画像においては赤い部分がざらついて見えることがわかる。

(3) まとめと今後の展開

2色覚者の弁別可能な2次元の色空間に対し、人工的なノイズ軸を加えることで疑似的に3次元空間に拡張し、色の弁別率を向上させる方法において、改良したノイズモデルを提案した。従来法に比べ、人工的なグラデーションなどではやや性能が劣るものの、自然画像に対しては原画像に近く違和感の少ない画像を生成できることが分かった。今後の課題として、引き続き、より識別しやすく、かつ健常者にとってより自然なノイズおよび付加方法を検討し、交通弱者のためのシステムに組み込むことを考える。

7-4 交通弱者のための全方位カメラを用いた危険検知に関する研究

(1) 全方位カメラを用いた危険検知

現在のプリクラッシュセーフティシステムや自動ブレーキシステムのように車のブレーキやドライバーに対する注意喚起に依存しない、またインフラ整備の必要のない、交通弱者のためのシステムを開発することを目的として、自分の周囲 360 度の視野を持つカメラを交通弱者に持たせ、その画像を解析することで自身に向かってくる車などの危険を知らせることを考える。

全方位カメラとは図 7-4-1 に示すようなカメラであり、通常のカメラはカメラの前方しか撮影できないが、全方位カメラは後方も含めて周囲 360 度を全て撮影することができる。

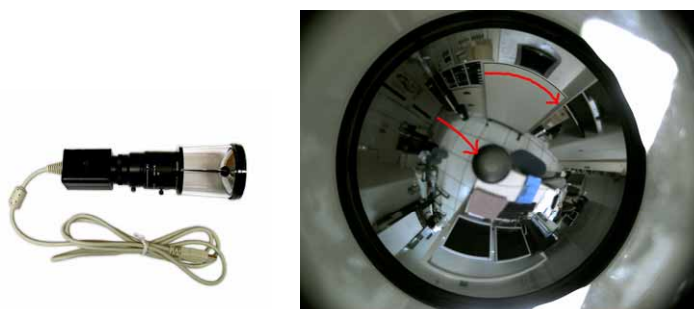


図 7-4-1 Viston 社製全方位センサとその映像例

この全方位カメラで撮影した画像は図 7-4-1 の右のような画像となり、次のような特徴を持つ。

- 全周撮影できることから死角がなく、画像の中心がカメラの位置を表す。
- カメラに向かってくる物体は画像上で中心に近づいてくるが、カメラに向かってこない物体は画像の中心に向かってこない。

これを歩行者に持たせることで、歩行者自身の視界や視野に関係なく、周りの環境を撮影することができるだけでなく、向かってくる物体は画像中心を通ることを用いて危険検知に応用することを考える。

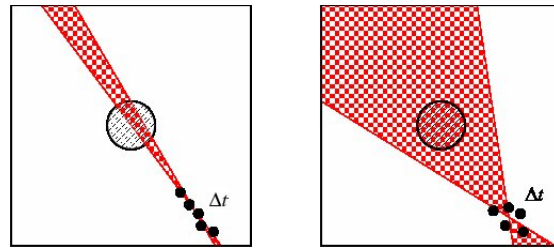
(2) 危険度の計算

ここでは、映像内の車の軌跡から各時刻における瞬間危険度を求め、それらの短時間における過去の経過を考慮して総合危険度を求める。

この瞬間危険度は、図 7-4-2 のように、ぶれなくまっすぐ向かってくる物体は画像上でも直線状の軌跡をとり、ふら付いたり、まっすぐ向かってこない物体の軌跡は直線状にはならないことを利用し、その直線当てはめの精度が高いほど危険度が高いとする。この直線当てはめの精度は当てはめた直線に対する標準変位[4]を利用する。もし直線の当てはめ精度が高い場合には、その 2 本の直線とも当てはめた直線に近づき、その間隔が狭くなるのに対し、直線当てはめの精度が悪い場合、その 2 本の直線の間隔が広がる。従ってこの標準変位の間隔が直線当てはめの精度の目安とすることができる。そして総合危険度は、比較的長時間での危険度であり、過去数回分の瞬間危険度を重み付き平均で求める。また、進行方向を考慮することで、通り過ぎる車の危険度を下げる。

(3) システムと危険検知実験結果

システムは図 7-4-3 に示すようにノートパソコンとカメラのみの構成とし、左の画像のように、ヘルメットに全方位カメラを取り付けている。



(a) 真っ直ぐ来る場合 (b) 曲がる場合
図 7-4-2 直線当てはめの精度と危険性

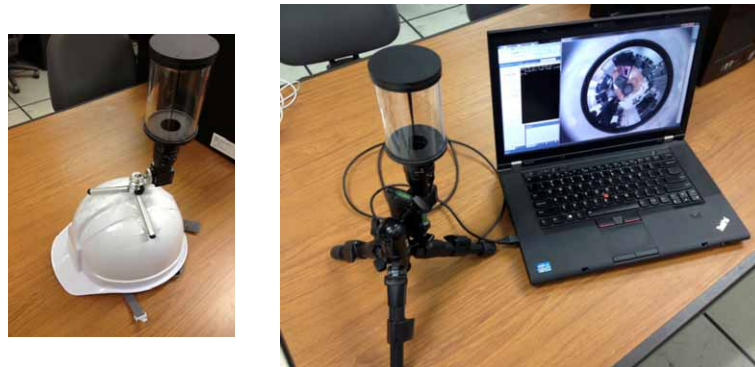


図 7-4-3 実験システム

提案システムがリアルタイム処理可能かどうか、また実際に近い状況で危険検知が行えるのかどうか、実際に実験を行った。ここでは、赤い帽子を車に見立て、代表的な歩行者の動きに対し、車は常に歩行者に向かう状況を想定した。危険検知の状況を図 7-4-4 に、危険度のグラフを図 7-4-5 に示す。図 7-4-4 において、赤くなっている画像は、危険度が 0.8 を超えた場合を表している。グラフより、一瞬横を向いた瞬間や、常にきょろきょろ首を動かしている場合は危険度が下がってしまうことがわかる。これは提案法が車の軌跡の直線当てはめに基いているためであり、よりシステムの信頼性向上のためには、歩行者の首ふりなど、頭（＝カメラ）の動きを検知し、その動きを補償する処理を追加する必要があると考えられる。また、この実験におけるフレームレートは、その処理画像を保存しない場合であれば 25～26[fps] の処理速度を実現しており、提案法はほぼリアルタイム処理が可能であると考えられる。

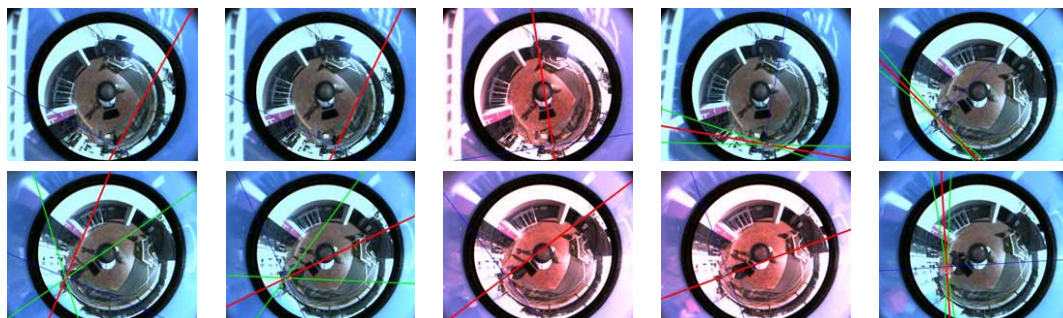


図 7-4-4 一瞬横を向く場合の映像に対する処理結果 (5 フレームおき)

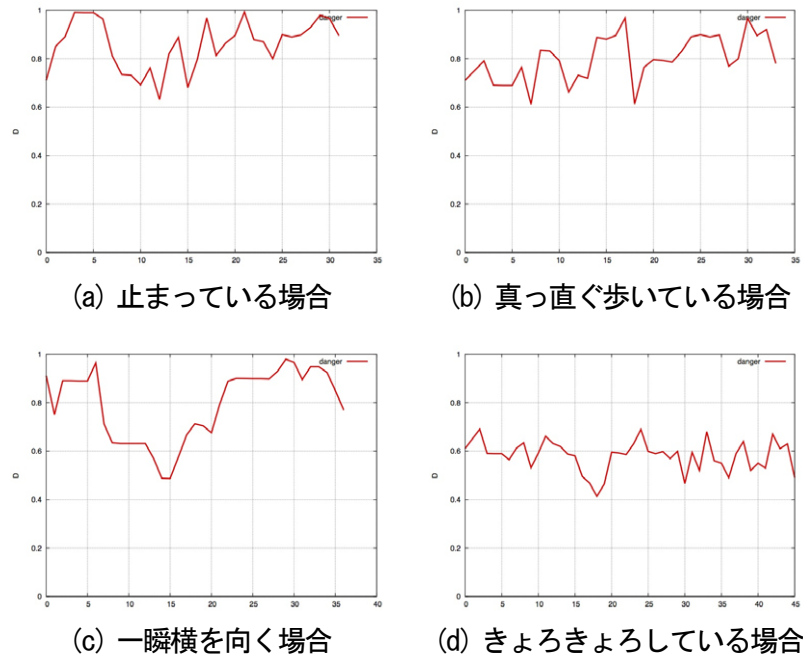


図 7-4-5 危険度のグラフ

(4) 車両の自動検出と今後の課題

全方位カメラ画像からの車両検出には現在 Deep Belief Networks (DBN)[6]を用いており、これを用いた危険度計算結果は図 7-4-6 のようになる。これは、車両の検出が安定していないことが原因となっていることから、今後、車両の検出精度を向上させることが重要となる。

現在、図 7-4-7 のようなシングルボードコンピュータと携帯端末を用いることでシステムの小型化を進め、より実用化に近づけることを検討中である。

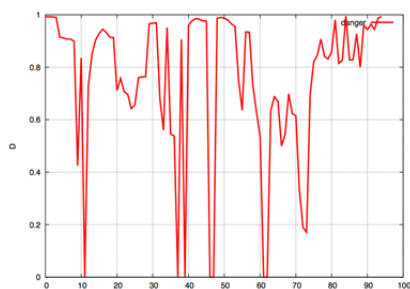


図 7-4-6 車両の自動検出による危険度

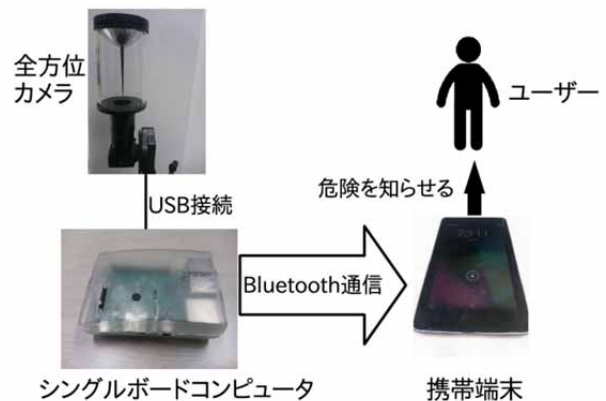


図 7-4-7 検討中の小型システム

7-5 全周マルチプロジェクションシステムの開発

(1) 全周マルチプロジェクションシステム

既存の建物に立体的な映像を投影するプロジェクションマッピングに代表されるように、プロジェクタによる映像投影は単に臨場感のある映像を投影するだけでなく、その場所ではありえない映像を投影し、仮想的・幻想的な空間を作る手段ともなっている。そのようなシステムの一つである全周マルチプロジェクションシステムは、複数台のプロジェクタを用いて部屋の全ての壁にシームレスな全周パノラマ映像を投影することが可能なシステムであり、臨場感のある映像を投影できるだけでなく、

仮想的な空間を作り出すこともできる。

現在、我々の研究室では図 7-5-1 に示すような全周マルチプロジェクションシステムの開発を進めており⁷、本研究ではこのシステムを安全・安心のための教育コンテンツの提示システムとして用いることを考える。例えば、危険な交差点での走行や横断の際に全方位カメラで周囲を撮影しておくことにより、実際の現場ではなく、仮想的かつ安全な空間において、臨場感のある映像を投影することができる。これを車の立場での映像だけでなく、歩行者の立場での映像を利用することで、高齢者や子供、ドライバーに対する交通安全教育や各種シミュレーションなどにも利用可能である。

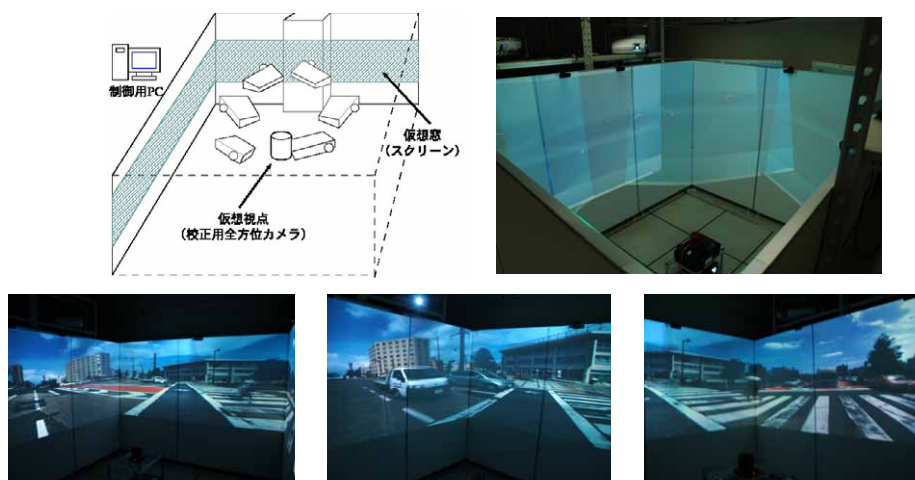


図 7-5-1 システムの構成と実際のシステムおよび投影例

(2) システムを利用した交通安全の啓蒙活動

平成 25 年 11 月 22 日、23 日に豊橋市のこども未来館「ここにこ」で行われた未来ビークルシティリサーチセンター主催の「ぎかだいがやってくる 体験！未来ビークルシティ」において、全周マルチプロジェクションシステムを用いた交通安全の啓蒙デモンストレーション「体験しよう！ここ、わたってあんぜんかな？しんごうみえるかな？」において、色覚障がい者や高齢者の視覚をシミュレートした全周映像を投影し、それらを疑似体験してもらうとともに、交差点での全周映像を投影して、安全に交差点を渡るため気を付けなければならない点など、交通弱者の立場に立った交通安全の啓蒙活動を行った。その際の様子を図 7-5-2 に示す。実際に体験した方の数は 522 名であり、比較的好評であった。



図 7-5-2 デモの様子

⁷ (株)ファンテックス（愛知県豊橋市）との共同研究による。

39名の方からアンケートに回答していただいた結果、「この企画は楽しめましたか」の設問については、「十分楽しめた」、「まあまあ楽しめた」の回答が36名、「このような企画は子供や高齢者などの交通安全に貢献できると思いますか」の設問については、「十分貢献できると思う」、「少し貢献できると思う」の回答が39名で、有効に利用することで、効果を得ることができると考えられる。また自由記述欄には以下のような意見（一部抜粋）があった。

- 小学校などの交通安全教室で活用してもらえたらいいなと思いました。
- 少し見せてもらいましたが、もう少しゆっくりみたいと思いました。
- わかりやすかったです。
- お年寄の見え方や色弱の方の見え方等、分からないことを知ることができたのは発見だった。
- 小さい子供達には分かりやすく説明していただき、良く理解できたと思います。
- とても勉強になりました。新1年生の交通教室にむいていると思います。
- 色盲の方の見え方などは、特に身近にいないけど勉強になりました。子どもにとっては、「車が見にくいなど」十分注意してからわたろうと思ったようでした。ありがとうございました。説明のお兄さんもよかったです。
- 人によって信号や明るさの見え方が違うんだということが分かった。

7-6 おわりに

本稿では、ドライバーや車が主体ではなく、交通弱者が主体となるための安全・安心のためのシステムや技術について概説した。引き続き、今後もこれらのシステムや技術をより一層実用化に近づけるための研究開発を行う。

謝辞

本研究を実施するに当たり、補助金を頂いた豊橋市に感謝します。また、貴重なご意見を頂いた豊橋警察署の交通課の方々、アンケートに回答して頂いた方々に感謝いたします。

参考文献

- [1] カラーユニバーサルデザイン機構著, カラーユニバーサルデザイン, ハート出版, 2009.
- [2] J. Pokorny, V.C. Smith, and M. Lutze, Aging of the human lens, *APPLIED OPTICS*, Vol. 26, No. 8, April 1987.
- [3] 目黒光彦, 色覚障害を克服するカラー画像の色変換処理, 電気通信普及財団研究調査報告書, Vol. 21, pp. 449-508, December 2006.
- [4] 田中豪, 末竹規哲, 内野英治, Cielab 色空間における二分法を用いた色域把握法とその画像強調への応用, 電子情報通信学会論文誌(A), Vol. J92-A, No. 4, pp. 258-262, April 2009.
- [5] Y. Kanazawa and K. Kanatani, Optimal line fitting and reliability evaluation, *IEICE Transactions on Information and Systems*, Vol. E79-D, No. 9, pp.1317-1322, 1996.
- [6] Y. Bengio, P. Lamblin, D. Popovici, H. Larochelle, Greedy Layer-Wise Training of Deep Networks, NIPS, 2007.