

Title	再帰性投影技術による自動車Aピラーの透明化に関する研究
Sub Title	Study on designing transparent A-pillar by retro-reflective projection technology
Author	長谷川, 洵希(Hasegawa, Shunki) 稲見, 昌彦(Inami, Masahiko)
Publisher	慶應義塾大学大学院メディアデザイン研究科
Publication year	2013
Jtitle	
JaLC DOI	
Abstract	
Notes	修士学位論文. 2013年度メディアデザイン学 第321号
Genre	Thesis or Dissertation
URL	https://koara.lib.keio.ac.jp/xoonips/modules/xoonips/detail.php?koara_id=KO40001001-00002013-0321

慶應義塾大学学術情報リポジトリ(KOARA)に掲載されているコンテンツの著作権は、それぞれの著作者、学会または出版社/発行者に帰属し、その権利は著作権法によって保護されています。引用にあたっては、著作権法を遵守してご利用ください。

The copyrights of content available on the KeiO Associated Repository of Academic resources (KOARA) belong to the respective authors, academic societies, or publishers/issuers, and these rights are protected by the Japanese Copyright Act. When quoting the content, please follow the Japanese copyright act.

修士論文 2013 年度（平成 25 年度）

再帰性投影技術による自動車 A ピラーの
透明化に関する研究

慶應義塾大学大学院
メディアデザイン研究科

長谷川 洵希

本論文は慶應義塾大学大学院メディアデザイン研究科に
修士(メディアデザイン学) 授与の要件として提出した修士論文である。

長谷川 洵希

審査委員：

稲見 昌彦 教授 (主査)

太田 直久 教授 (副査)

植木 淳朗 特任講師 (副査)

修士論文 2013 年度（平成 25 年度）

再帰性投影技術による自動車 A ピラーの 透明化に関する研究

カテゴリー：サイエンス / エンジニアリング

論文要旨

本研究では、自動車の車内から車外の全景が視認できる 360 °クリアビューの自動車の完成を最終目的とし、再帰性投影技術を用いた自動車 A ピラー透明化のためのディスプレイシステムの設計および実車への実装を行った。既存の再帰性投影技術に必要であったハーフミラーやヘッドマウンテッドディスプレイなどを介さない、オフセット型の再帰性投影技術を用いた裸眼立体ディスプレイシステムを設計し、その評価を行った。また、その設計論に基づき、実際の社内環境にディスプレイシステムを実装し、ピラー透明化システムを試作した。さらに実装したシステムに対して視点位置の限界や、速度による投影映像の遅延など課題に挙げ、その実装したシステムの考察を述べた。実装したオフセット型再帰性投影システムを自動車 A ピラーに適応することで、自動車 A のピラー透明化の実現可能性を示し、360 °クリアビューの自動車を作る際の 1 つの設計指針を作り上げた。

キーワード：

ピラー透明化, 再帰性投影技術, 3D ディスプレイ, 拡張現実感, ドライビングエクスペリエンス

慶應義塾大学大学院 メディアデザイン研究科

長谷川 洵希

Abstract of Master's Thesis of Academic Year 2013

Study on Designing Transparent A-pillar
by Retro-reflective Projection Technology

Category: Science / Engineering

Summary

In this study, to make car 360 °clear view from inside, we designed display system to make A pillar transparent by using retro reflective projection technique(RPT) and implemented it to actual car. We built naked eye stereoscopic display by offset RPT without half mirror or head mount display that is required for conventional RPT and evaluated it. And based on a design method, we applied this display system to inside car and made pillar transparent system. Furthermore, we indicated a limit of view point and cited the issue of delay of projected image by velocity and then considered it. We showed possibility of making A pillar transparent by applying offset RPT to it and built a design guideline for 360 °clear view car.

Keywords:

Transparent Pillar, Retro-reflective Projection Technology, 3D Display, Augmented Reality, Driving Experience

Graduate School of Media Design, Keio University

Shunki Hasegawa

目 次

第 1 章 序論	1
1.1. 背景	1
1.2. 目的	3
1.3. 本論文の構成	4
第 2 章 先行事例	5
2.1. 車内ディスプレイを用いた運転支援システム	5
2.2. ピラーの死角削減への取り組み	8
2.3. 再帰性投影技術を用いた車両透明化	10
2.4. 本研究の立ち位置	13
第 3 章 システム設計	15
3.1. オフセット型再帰性投影システムの必要性	15
3.2. 単眼式システムの検証	16
3.2.1 システム構成	16
3.2.2 システム実装	17
3.2.3 構築したシステムの考察	18
3.2.4 実車への実装及び検証	19
3.3. 両眼式ディスプレイシステムの設計	21
3.3.1 設計要件	21
3.3.2 システム設計	21
3.4. 両眼式システムの構築と評価	25
3.4.1 システム構築	25
3.4.2 システム検証	26

3.4.3 システム評価	28
3.5. システム設計のまとめと考察	30
第4章 実車への応用	31
4.1. 実車への適用条件	31
4.2. 実装	31
4.3. 結果と課題	34
4.3.1 両眼融像	34
4.3.2 観察映像の明るさ	35
4.3.3 映像の遅延	36
4.3.4 課題のまとめ	37
第5章 結論	38
謝辞	40
参考文献	42

目 次

1.1	全天周囲モニタ ¹	3
1.2	360 °クリアビュー自動車のイメージ [8]	4
2.1	トヨタ社 バックガイドモニター ²	6
2.2	日産社 アラウンドビューモニタ ³	6
2.3	全周囲立体モニタ [2]	7
2.4	鈴木らによる前景視界補助システム [2]	7
2.5	日産社 コンセプトカー PIVO のシースルーピラー ⁴	8
2.6	ホンダ社 極細フロントピラー [4]	9
2.7	Volvo 社 ピラー素材の透明化による車両周辺環境視認性向上の提案 [5]	9
2.8	再帰性投影技術原理 [6]	10
2.9	光学迷彩 ⁵	11
2.10	再帰性反射材原理	11
2.11	透明プリウス [8]	12
2.12	Transparent Cockpit [9]	12
2.13	拡散板 (LSD) の特性 ⁶	13
2.14	拡散板 (LSD) の特性比較 [11]	13
3.1	透明プリウスに用いられたハーフミラー ⁷	16
3.2	Transparent Cockpit に用いられた HMP [9]	16
3.3	単眼式システムの設計	17
3.4	単眼式システム正面図	18
3.5	単眼式システム全体図	18

3.6	適切でない観察位置 (左目位置) から見た投影映像	19
3.7	観察位置 (右目位置) から見た投影映像	19
3.8	システムの全体図	22
3.9	上方から見たシステムの設計図	23
3.10	側方から見たシステムの設計図	24
3.11	システム正面図	26
3.12	システム全体図	26
3.13	右目視点位置から撮影した写真	27
3.14	左目視点位置から撮影した写真	27
3.15	測定した平均輝度の遷移	28
4.1	A ピラーカバーユニット	33
4.2	車外から撮影した実装システムの全体図	33
4.3	車内から撮影した実装システムの全体図	34
4.4	ピラー透明化の映像	35
4.5	実装したシステムにおける LSD による分離性能	36

目 次

3.1	単眼式システム構成機材一覧	17
3.2	システム構成機材一覧	25
3.3	システム構成機材一覧	25
3.4	測定した平均輝度値	29
4.1	実装したシステムの設計値	32
4.2	実装したシステムの構成機材一覧	32

第1章 序

論

1.1. 背景

現在，我々の生活において自動車は生活に欠かせない移動手段の1つとなっている．世界的にみて年々自動車の普及率は増加しており，2011年には世界で自動車の保有台数が10億台を超え [1]，計算上1世帯に1台以上車が普及している．多くの先進国，さらに最近では殆どの国においてモータリゼーションが進み，道路などの自動車が走るためのインフラが整備され，誰もが自動車を運転することが可能な世の中になってきた．

自動車を運転する際，我々は様々な知覚を頼りに道路や自動車そのものの状況を把握し，それに基づいて瞬時に運転行動を判断している．その中でも，特に視覚による知覚は非常に重要な役割を果たしており，ティムダントは様々な知覚や身体的記憶により運転行動をおこなってはいるものの，「運転者，自動車，道路の間の重要なコミュニケーションは視覚能力に依存して」おり，「視覚があるかぎり運転能力を習得できない人はほとんどいない」と述べている．そのため，自動車運転時において視覚による安全確認は必須であり，常に車外の視覚情報に注意を向けながら運転行為を行わなくてはならない．また，自動車運転時における視覚の役割は安全な運転行為のためだけでなく，運転体験にも大きく作用する．移動時に車外に見える景色を楽しむことはドライブという運転体験の1つの楽しみであり，これはやはり視覚による恩恵である．また，単純に景色を切り取るだけでなく，自身が移動することによる車外風景の変遷を運動視野で知覚することで，自動車で移動すること自体が運転することの価値に成りうる．つまり，自動車という人間のエネルギーを大きく超えた移動体から得るスピード感や走行感も視覚的

に得られる運転体験として考えられる。

このように、視覚による車外情報の知覚行為は自動車の運転時にとって非常に重要な役割を果たしている。しかし、自動車にはその構造上、遮蔽物によるデッドスポットが多く存在している。自動車の堅牢性を保つ都合上、車体を支えるための柱は自動車に必須であり、また現在鉄製のフレームで構成されるそれら部分を強化プラスチックなどの透明な素材で構成することは、現在ある素材の耐久性から実現は難しい。

その一方で、オープンカーのように乗車席を覆う構造物がなく、視界が広く開放されている自動車も存在している。オープンカーは物理的な堅牢性は一般的な自動車に劣るものの、特に視界が開けている開放感や風をきって走る走行感から、一般的な自動車では得られない運転体験を獲得でき、また視覚による車外の危険因子の発見も容易である。しかし、この物理的な天井をなくすことにより与えられる視界の開放性は天候や気候に左右され、また、一般的な自動車のもつ物理的密閉性がないことから、自動車のもつプライベートな空間性が失われる要因にもなり得ている。

1.2. 目的

これらの背景を踏まえ、本研究が最終段階として目指すのは図 1.1 のようにかつてのロボットアニメの定番のコックピットの形態であった全天周囲モニタと同様の運転環境である、これは内部からは全周囲の視界が開放的に広がる一方で、車内空間は外から覗き見ることが出来ない特徴をもった操縦環境である。このような環境を自動車に適応することにより、図 1.2 に内側からのみ車外の情報が全周囲透けて見える 360 °クリアビューの自動車の完成により、車内のプライベート空間を守りながらもどのような天候下であってもオープンカーのような開放感ある運転体験が生じる自動車環境が構築されることが見込まれる。



図 1.1: 全天周囲モニタ¹

上記のような車内からの視界が 360 °クリアビューになる自動車の完成を最終目的とした上で、本研究では大部分ある自動車の遮蔽物の中でも、運転時前方の視界に遮蔽物として存在している A ピラーの透明化を目的とする。具体的には、自動車 A ピラーを透明化するためのディスプレイシステムを設計を行い、その性能評価、さらには実車への実装を行うことで、自動車 A ピラー透明化の実現可能性を計る。

¹機動戦士ガンダム Z OP 映像より



図 1.2: 360 °クリアビュー自動車のイメージ [8]

1.3. 本論文の構成

本研究では、本章で述べた背景を元に、ピラーを透明化するためのディスプレイシステムの設計を行い、実際の車に搭載可能なシステムの実装を行う。本論文の構成を以下に示す。第1章では背景及び目的について述べる。第2章では本研究に関連する先行事例について述べる。主に車内ディスプレイを用いた運転支援システムについての事例、ピラーの死角解決に取り組んだ事例、再帰性投影技術を用いた車両透明化に関する事例の3つの観点から先行事例を取り上げ、本研究の立ち位置を明確にする。第3章では本研究で行ったピラー透明化のためのディスプレイシステムの設計について述べる。単眼式ディスプレイシステムの実装から得た課題から設計要件を明らかにし、それをもとに両眼式ディスプレイシステムの設計について述べる。さらに、設計した両眼式システムの性能評価を行い、システムの課題を明らかにする。第4章では、自動車へ組み込んだ試作システムの実装について述べる。実装した車両を用いて、実車へのシステムの適応性を計り、考察と今後の課題について述べる。第5章では本研究の結論として、本研究のまとめと本研究の学術的及び社会的貢献について述べる。

第2章

先行事例

本章では本研究に関連する先行事例を以下の3つの分類に分けて取り上げる。

- 車内ディスプレイを利用した運転支援システム
- ピラーの死角削減に向けた取組
- 再帰性投影技術を用いた車両透明化システム

これらの3点から先行事例を取り上げ、本研究を目的を達成するに当たる課題と本研究の差異を明確にする。

2.1. 車内ディスプレイを用いた運転支援システム

本研究ではピラーを透明化することで、自動車のフレームに遮られている車外の視覚情報をドライバーに提示することを目的としている。これまでにも、自動車に設置されたモニターやヘッドアップディスプレイ (以下 HUD) などを通じて車外の視覚情報を提示している事例は多く存在している。

¹http://toyota.jp/dop/navi/lineup/option/back_guide_monitor

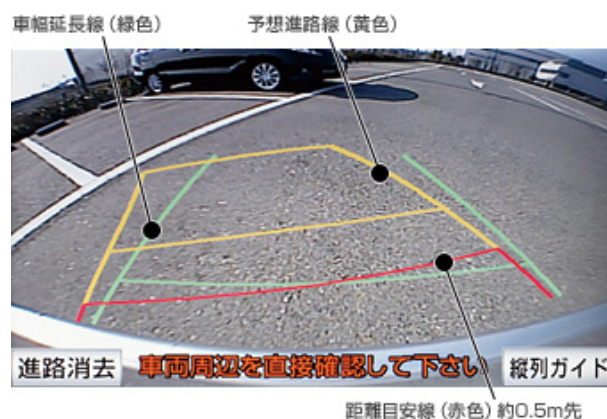


図 2.1: トヨタ社 バックガイドモニター¹

トヨタ社のバックガイドモニター¹をはじめ、現在多くの車に搭載されている車両後方の映像を車内のモニターに提示するシステムもその1つである。これは、車外後部に設置された車載カメラから、後部座席などによりデッドスポットとなっている車両後方の映像を取得し、車内のモニターに提示するシステムで、主に自動車を駐車する際に活用されている。

また、日産社のアラウンドビューモニター²や富士通社の全周囲立体モニタシステム/citearoundなどもこれに相当する。これらは自動車外装に設置されたカメラより前後左右の車外映像を取得し、その映像を画像処理した上で自動車の真上から見た俯瞰画像へと変換しモニタから提示するシステムである。これにより、全

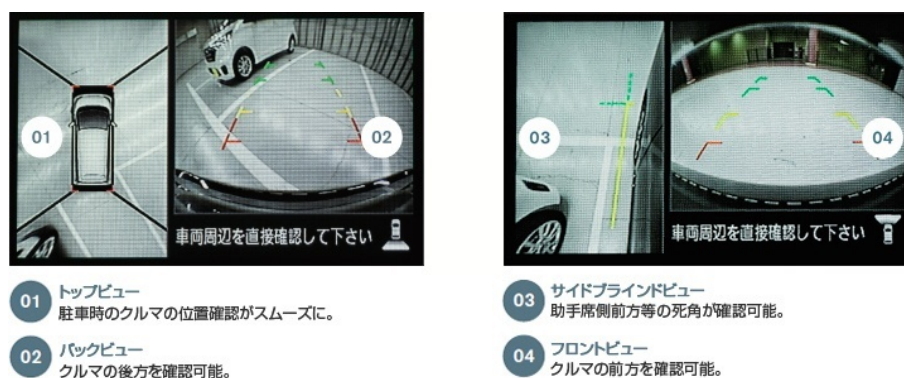


図 2.2: 日産社 アラウンドビューモニタ²

²日産：http://www.nissan.co.jp/DAYZ/equip_avm.html

周囲を視覚的に把握できるため、車外の障害物を把握するために活用される。

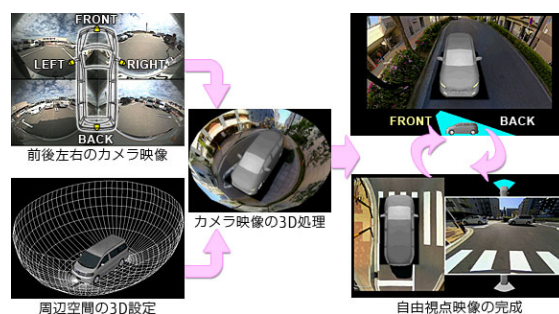


図 2.3: 全周囲立体モニタ [2]

さらに、鈴木らによる前景視界補助システム [2] などもある。これは、自車の構造上の死角を補うシステムではないが、自社に設置された HUD に前を走る車(先行車)の前方の視覚情報を提示する。このシステムは先行車の車載カメラから取得した映像に画像処理をかけ、HUD を通じて先行車の社外交部に重畳させるシステムである。



図 2.4: 鈴木らによる前景視界補助システム [2]

これらのシステムが車内に設置されたディスプレイを用い、視覚補助を行うことで運転支援を行っているシステムに位置づけされる。

2.2. ピラーの死角削減への取り組み

本研究ではピラーの透明化を目的としているが、これまでもピラーによる死角を削減するための取り組みは多く存在する。

日産社の大泉らが2005年に発表したPIVO(ピボ)というコンセプトカーには、自動車Aピラーに液晶ディスプレイを埋めこんだ「シースルーピラー」が搭載されている [3]。これは車外に設置したカメラから車外映像を取得し、ドライバーの視点からみた像になるよう画像処理を施した映像を、車内のAピラー内側に設置された液晶ディスプレイに映し出す技術である。これにより、ピラーの死角となっている大部分が可視化され、安全な運転が可能になるシステムである。

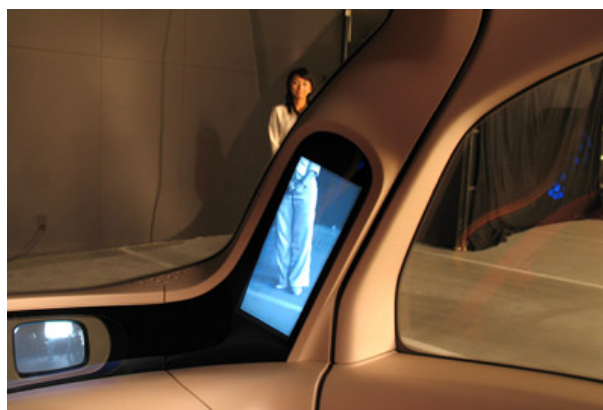


図 2.5: 日産社 コンセプトカー PIVO のシースルーピラー³

また、ディスプレイを用いた視覚補助システムだけではなく、車体のフレームを工夫することにより視界を拡張する試みもなされている。

ホンダ社のオデッセイのピラーには「極細フロントピラー」が採用されている。これは「高強度材の使用と高精度な製法・工法により、フロントピラーを高強度化しながら、約30%もの大幅なスリム化を実現」し、「フロントピラーの強度を高めたことで、フロントクォーターピラーの廃止も可能にし、右左折時の死角削減と気持ちよい視界」を生み出している。

³Tech on 『【東京モーターショー・プレビュー】日産、キャビンが回転する電気自動車「ピボ」を出展』, http://techon.nikkeibp.co.jp/article/EVENT_LEAF/20050930/109113/

さらに、Volvo 社はピラーを透明な材料で構成することによるドライバの視界の拡張を提案している [5]。これはピラー外部をフロントガラスなどと同様に透明な素材で多い、ピラーの軸としてトラス構造をしたフレームを配置することで、ドライバーのピラーによる死角を解消しようとしたものである。しかし、このように車体を構成する材料を変更することによる視認性向上と車体の堅牢性や運転の安全性は、常にトレードオフの関係にある.. そのため、実際に Volvo 社は当該コンセプトについて、強度、構造の複雑さ、コストが課題となり製品化が困難であると報告している。



図 2.6: ホンダ社 極細フロントピラー [4]



図 2.7: Volvo 社 ピラー素材の透明化による車両周辺環境視認性向上の提案 [5]

2.3. 再帰性投影技術を用いた車両透明化

再帰性投影技術を用いて自動車のフレームを透明化しようとする研究は多く存在している。

再帰性投影技術とは、稲見らの光学迷彩に応用されている光学的に物体を透明に見せる技術である [6]。原理としては図 2.8 ののようになっている。図 2.8 のように透明化させたい対象の背景画像をビデオカメラで取得し、適切な画像処理を行った後プロジェクタで投影する。プロジェクタの映像はハーフミラーで反射され、再帰性反射材（Retro-reflective material）をまとった対象（人）に投影される。そして、図 2.8 のようにハーフミラーを通して観察することであたかも対象（人）が透明になったかのような光学迷彩を実現している。図 2.9 に実際にシステムを通して対象を観察した様子を示す。

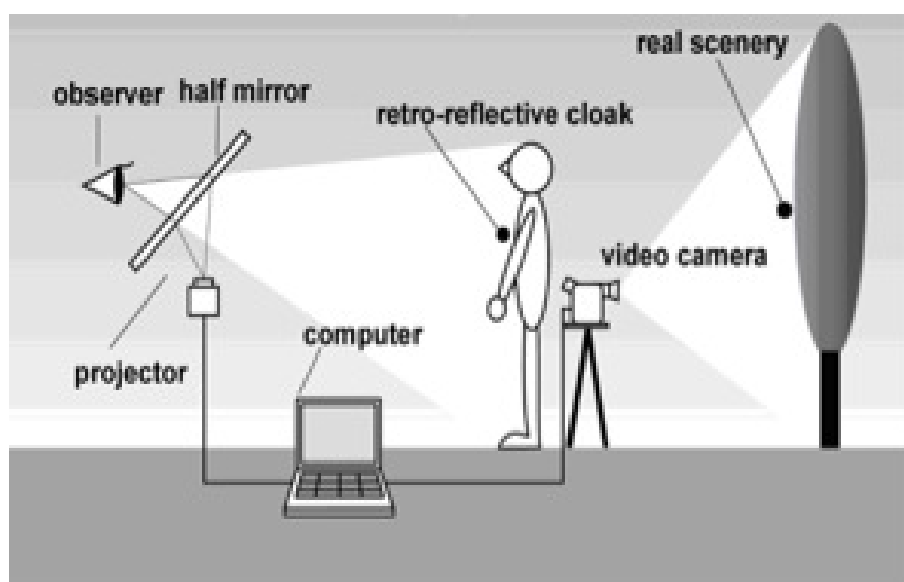


図 2.8: 再帰性投影技術原理 [6]

プロジェクタの光源と観察位置はハーフミラーを介して共役な関係になっており、対象にプロジェクションした際に影になり得る領域と、観察者から対象を見た死角が一致するため、プロジェクションによる影はできないといった構成になっ

⁴撮影：Ken Stration



図 2.9: 光学迷彩⁴

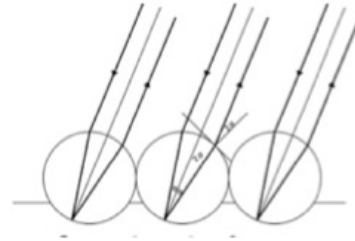


図 2.10: 再帰性反射材原理

ている。

透明化する対象を覆う再帰性反射材は RPT の実現において必要不可欠な素材である。再帰性反射材には特殊な光反射性質があり図 2.10 のように光が入射した方向に光を反射する。これによりプロジェクタ光源からの光を効率よく観察位置に集光させることが可能であり高輝度な投影が可能である。高輝度なことからプロジェクタの絞り値を大きくすることも可能であり投影映像の被写界深度を深く保つことも可能である。また、再帰性反射材で構成するスクリーンは形状の自由度が高く、平面に限らず局面や、さらには歪な物体の表面に貼付して利用することも可能である。

上間らは再帰性投影技術を応用し、自動車後部座席の透明化させる透明プリウスを開発している [7] [8]。車外後部に設置されたウェブカメラから取得した映像を、後部座席に貼り付けた再帰性反射材に投影しており、運転席からハーフミラー越しに後部座席をみると、後部座席が透けて見えるシステムである。システムを利用することによりドライバから後部座席が透かして車外を観察できるようになり、特にバック駐車時の操作性向上を目指したものである。

また、吉田らは再帰性投影技術を応用し自動車の助手席側前方及びドア付近の透明化を行った Transparent Cockpit を開発している [9]。これは、助手席前方及び



図 2.11: 透明プリウス [8]

ドア付近に再帰性反射材を貼付け，頭部搭載型の Head Mounted Projector(HMP) を利用することで，車体が透明になったかのように周辺環境を観察できるシステムであり，ドライバの首振り動作にも対応可能となっている．



図 2.12: Transparent Cockpit [9]

また、齊藤らは再帰性投影技術を車内のピラーへ応用することを提案している。齊藤らの提案では、再帰性投影技術を自動車へ適用するより現実的な手法として、再帰性反射スクリーンと拡散板（Light Shaping Diffuser: LSD）を組み合わせた光学系を提案している。LSD とは図のように入射した光をその拡散板の拡散角度に応じて均質に拡散させ透過する素材である。

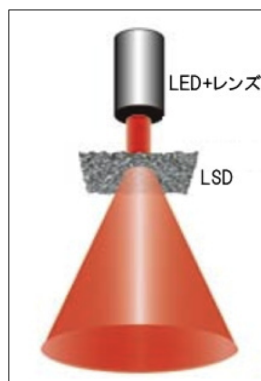


図 2.13: 拡散板 (LSD) の特性⁵

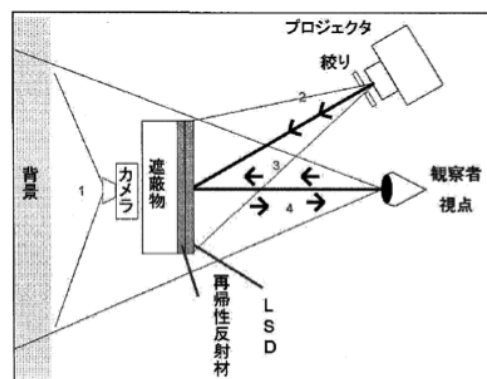


図 2.14: 拡散板 (LSD) の特性比較 [11]

この手法により、ドライバーとピラーとの間に特殊な機器（ハーフミラーやHMPなど）を介さずに再帰性投影技術の応用が可能になることを明らかにしている。齊藤らはピラー透明化のためのスクリーンとして拡散板と再帰性反射材の組み合わせ適しているということを明らかにしているが、実車への実装は行われていない。

2.4. 本研究の立ち位置

このように自動車の死角削減のための事例は数多く存在しているがそれぞれにおいて、果たす価値がそれぞれ異なる。

まず最初にあげた、車内ディスプレイを用いた運転支援システムにおいては、主に駐車や追い越しなどの、事故が多いシーンを限定した運転支援システムである。特に運転初心者や、狭い空間での駐車時などにおいては運転の負担が大きいため、自動車の死角となっている部分をこれらのシステムを通じ運転手に提示している。

⁵ オプティカルソリューションズ：<http://www.osc-japan.com/lcd-corp/lcd-about/>

しかし、これらのシステムにおいては限定的な運転環境において安全性を高めるためにおいて価値があり、本研究の目的とする自動車の死角の透明化の目指す運転環境とは全く別のアプローチである。

次に、ピラーの死角解決に取り組んだ事例においては、その多くがピラー越しの危険察知のためにそれらの事例が機能している。全ての事例において従来のピラーの死角に隠れていた危険因子の発見を促すことが可能である。しかし、全ての事例において、依然自動車ピラーのフレームが残っており、フロントガラスと左右の窓がシームレスにつながっているわけではないため、本研究が目指すピラーの透明化とは求められている運転支援の目的が異なってくる。本研究におけるピラーの透明化においては、これらの研究とは異なり、ピラーをシームレスに透明化することで、ピラーによって視界が分断されない運転環境を構築する。

最後に再帰性投影技術を用いた車両透明化に関しては、これまで同様目的が安全な自動車や移動体の操縦にあるが、その一方で運転体験も大きく拡張されていると考えられる。全てにおいて車外の実環境とシームレスに投影映像がつながっていることで、自動車を自身の身体の延長として捉えやすくなり、既存の運転感覚とは全く違う操縦感を得ることができるのではなかろうか。また、斉藤らのように本技術をピラーに応用することで、シームレスにフロントガラスと左右の窓を視界を繋ぐことが可能である。ただし、斉藤らピラーの透明化に関しては未だ明らかでなく、実車への応用も行われてない。

そこで、本研究では再帰性投影技術を用いて、自動車 A ピラーの透明化を目指す。具体的には、斉藤らの研究をベースに追試実験を行い、実装において必要な設計要件を明らかにし、それに基づき A ピラー透明化のためのディスプレイシステムの設計を行う。これにより、自動車のピラーの太さや形状に依存せず、シームレスにフロントガラスと左右の窓がつながっているよう感じられる透明ピラーの設計を目指す。

第3章

システム設計

2章を踏まえ、本章ではオフセット型の再帰性投影システムを設計を行う。まず、オフセット型再帰性投影システムの必要性について論じる。次に斎藤らの研究をベースに単眼式のオフセット型再帰性投影システムの実装を実装し、システムについての検証を行う。そこで得た検証結果を踏まえて、両眼融像可能なオフセット型再帰性投影システムの設計について論じる。最後に本章でのまとめについて述べる。

3.1. オフセット型再帰性投影システムの必要性

本研究において設計するシステムでは、斎藤らの研究同様ピラーとドライバー間にハーフミラーやヘッドマ운テッドプロジェクタなど特殊な機器を介さない、オフセット型の再帰性投影システムの設計を前提とする。

一般的に再帰性投影技術には、観察位置と再帰性反射材の間にハーフミラーが必要であり、ハーフミラーを介して観察位置と共役な位置にプロジェクタを設置しなくてはならない。また、吉田らの Transparent Cockpit など、ハーフミラーとプロジェクタを頭部搭載型にしたヘッドマ운テッドプロジェクタを用いた例も存在する。

本研究の目指すピラーの透明化においてドライバー-ピラー間に特殊な機器を介したり、大型の頭部搭載型デバイスを装着することは、ピラー透明化により得られる開放感が減衰することや、運転者の負担が増すことで安全性が落ちる可能性が存在する。そのため、本研究ではピラーの透明化を行うためのシステムにおいてオフセット型の再帰性投影技術を使用することを設計要件とする。



図 3.1: 透明プリウスに用いられたハーフミラー¹

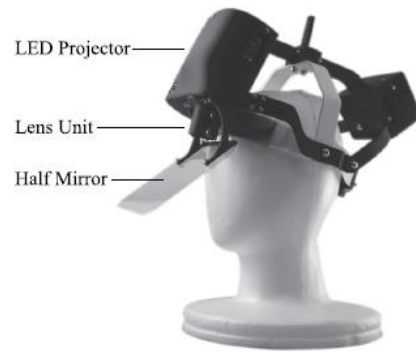


図 3.2: Transparent Cockpit に用いられた HMP [9]

3.2. 単眼式システムの検証

システムを設計するにあたり，はじめに斉藤らの研究をベースに最もシンプルな構成でのシステムを構築した．この斉藤らの研究をベースに構築したシステムを以降“単眼式システム”と呼ぶ．単眼式システムを用いて，ピラーの透明化を目的としたシステムの設計にあたり，求められる設計要件を明らかにする．

3.2.1 システム構成

単眼式システムはプロジェクタ 1 台，再帰性反射材，LSD を用い，室内環境でシステムの構築を行った．使用した機材を以下の表に示す．

斉藤らの研究をベースに，本単眼式システムにおいては，LSD に $40^{\circ} \times 0.2^{\circ}$ の拡散角を持つオプティカルソリューションズ製のものを使用する．また，実車に装填することを考慮し，プロジェクタは小型の TAXAN 社製 KG-PLO33W，再帰性反射材には反射性能の高いナイキ社 Vaporflash のジャケット素材を使用した．また，実際の運転環境においてはピラー越しの景色が常に遷移するため，ビデオカメラを用いてリアルタイムにピラー越しの景色を取得する必要があるが，単眼

¹ねとらぼ『デジタルコンテンツ EXPO 2012：スケスケになっちゃう「透明プリウス」 実際に乗ってみた』：<http://nlab.itmedia.co.jp/nl/articles/1210/29/news056.html>

表 3.1: 単眼式システム構成機材一覧

項目	型式・仕様 (メーカー)
プロジェクタ	KGPLO33W(TAXAN)
再帰性反射材	Vapor Flash ジャケット生地 (Nike)
LSD	40 × 0.2deg(オプティカルソリューションズ)
カメラ	事前に撮影した静止画写真を使用

式システムでは室内環境での実装を行ったため、事前に視点位置から撮影された静止画の写真を使用した。

3.2.2 システム実装

本単眼式システムの実装において用いた設計を以下に示す。

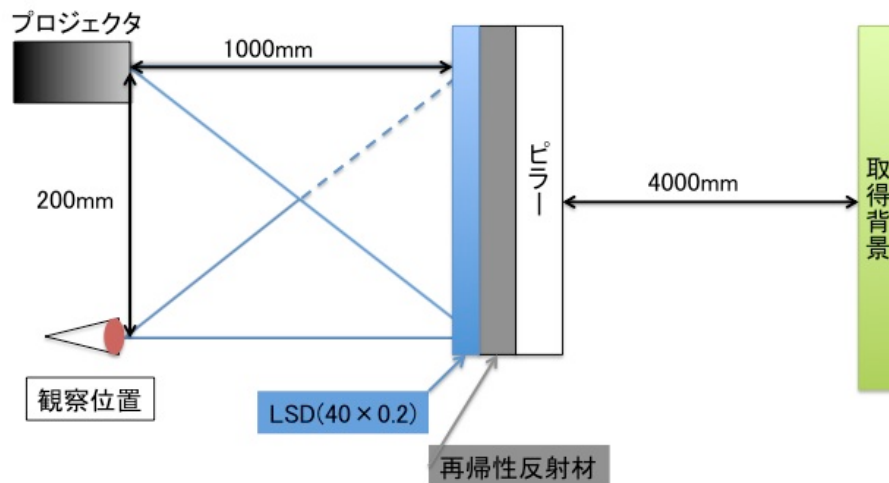


図 3.3: 単眼式システムの設計

再帰性反射材表面に LSD を貼り付けた投影対象を観察者の 1000mm 先に設置し、更にその 4000mm 先に背景となるパネルを設置した。本単眼式システムでは事前に観察者の右目位置から投影対象を除いた状態で写真を撮影し、観察者の右目から 200mm 鉛直上に設置したプロジェクタから投影対象に投影し、背景に合

わせたキャリブレーションを行った．つまり観察位置となるのは観察者の右目位置となる．実際に構築したシステムの写真を図に示す．

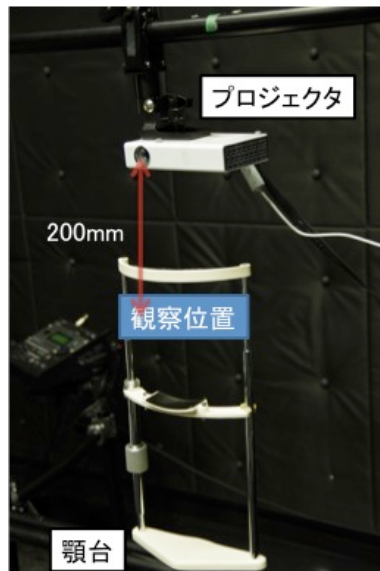


図 3.4: 単眼式システム正面図

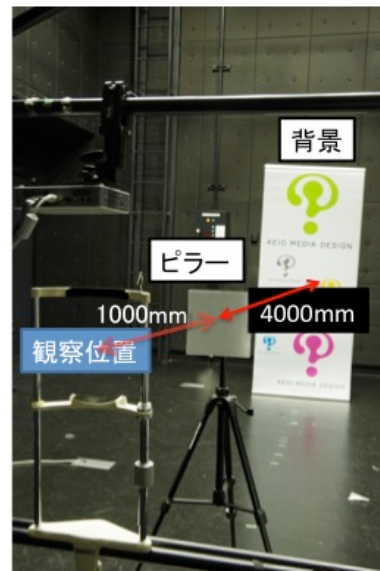


図 3.5: 単眼式システム全体図

上記の条件のもと，実装したシステムにおいてピラーを模した投影対象の透明化を図った．その際の観察位置にあたる右目から見た写真，また左目から見た写真をそれぞれ図に示す．

3.2.3 構築したシステムの考察

本単眼式システムは斎藤らの研究をベースにオフセット型の再帰性投影システムを構築した．観察者と投影対象の間に特殊な機器を介さないオフセット型の再帰性投影を可能にした．しかし，本単眼式システムにおいては，いくつか問題点が発見された．まず1視点分の映像しか投影されていないため，写真からも分かる通り投影されていない左目には映像がほとんど映らなず，明らかに暗くなり左目の視点からは大きくずれた右目用の背景映像が写っていることが確認できた．そのため，運転を単眼のみの視界で行うことは考えられにくく，両眼を使い自然に投影対象を見た時に，他方の目の映像がなく違和感が大きいため，投影対象を透



図 3.6: 適切でない観察位置 (左目位置) から見た投影映像



図 3.7: 観察位置 (右目位置) から見た投影映像

明だと感じることが難しかった，また，投影対象に映像が張り付いているように見えてしまうという現象も確認された．これは両眼視による輻湊のズレが投影対象と背景の間に大きく生じていることが原因であると考えられる．そのため，単眼式の本システムでは投影対象を透明だと感じさせることが出来ず，実車に装填した際にも自然な左右確認動作の中でピラーによる死角の安全確認を行うことは難しいと考えられた．そのため，ピラーが透明だと感じるためには，両眼立体視により投影映像を背景位置まで奥行方向に輻湊位置をずらし，背景と投影映像が重なったことを知覚させる必要性が考えられた．

3.2.4 実車への実装及び検証

また，上記の通り設計したシステムを車内に実装し，課題点について検討した．A ピラーの透明化を量り，助手席側（進行方向左側）と運転席側（同右側）の両方について透明化を試みた．その結果，1 視点分ではやはりどちらも映像が張り付いて見えるうえに，特に運転席側のピラー綿に関しては，ドライバーとピラーの距離が近く，輻湊位置が近いとため，運転席側のピラーには同様のシステムを用

いて自然な透明感を感じさせることは難しいと考えられた.

3.3. 両眼式ディスプレイシステムの設計

3.3.1 設計要件

上記の追試実装を踏まえ、本研究における設計要件として以下の2点を設定する。

1. ピラー - ドライバー間に機器を介さない。
2. 裸眼での両眼融像が可能。

まず、単眼式システム同様、ピラー-ドライバー間にハーフミラーなどの機器を介さないことである。ドライバーの視界にハーフミラーを介したり、頭部搭載型の機器を使用しないオフセット型のシステムを設計する。次に、単眼式システムの考察から、裸眼での両眼融像が可能であることも設計要件とする。これは、単眼式システムにおいては、両眼で視認した際に視差映像のない単眼の映像提示ではピラーに映像が張り付いて見える上、他方の視点から見た映像に違和感が発生するため、実際の運転環境に本システムを適用するためには両眼融像可能な映像提示が必要になるためである。

また、本システムでは運転席側のピラーではなく、助手席側のピラーを透明化するシステムを設計する。単眼式システムを自動車に実装した際の検討から、斉藤らの研究をベースにした光学系を設計する場合、運転席側のピラーを透明化することはピラー面が非常に近いため奥行き提示が非常に難しいことから、運転席側のピラーの透明化に関しては本手法とは別の光学系を設計する必要性があった。そのため、本研究においては助手席側のピラーを透明化するためのシステムを設計する。

3.3.2 システム設計

上記の設計要件をもとに、設計したシステム図 3.8 を以下に示す。本システムでは、ピラー外部に設置した2つのカメラから左右それぞれの目に対応した映像を取得する。その映像をPCでキャリブレーションを行い、再帰性反射材とLSDを貼付したピラーに2台のプロジェクタから照射される。照射された映像はLSD

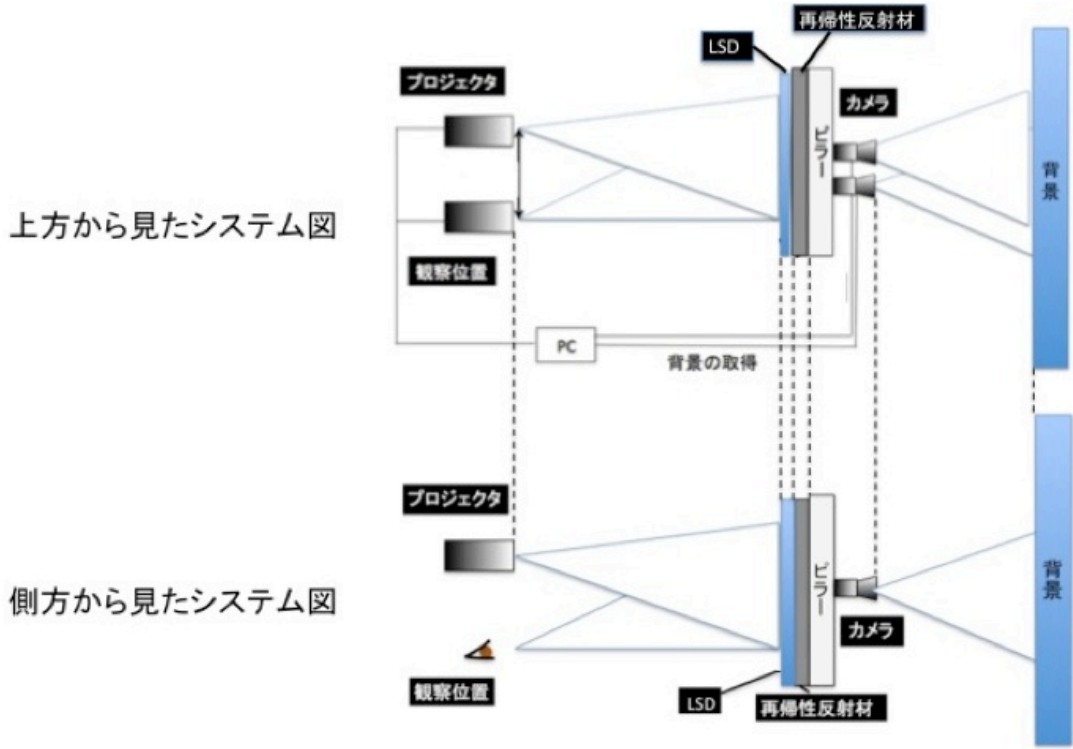


図 3.8: システムの全体図

により拡散され，縦方向の拡散により 2 台のプロジェクタの鉛直下で両眼に対応した当映像を観察することが可能になる

本システムは斎藤らの提案したシステムを応用して，設計要件を満たすために再帰性反射材，LSD，プロジェクタ 2 台，カメラ 2 台を用いて構成される．本システムではプロジェクタ，カメラをそれぞれ 2 つずつ用い，図 3.9 のように配置することで，左右に眼に合わせた映像を取得し，両眼立体視を可能にしている．設置するカメラ間の距離 l_c は，得する背景の距離 l_b を設定した上で数式 3.1 によって算出する．

$$l_c = \frac{l_b}{l_b + l_c} w \quad (3.1)$$

$$\theta_h < 2 \arctan \frac{w}{l_p} \quad (3.2)$$

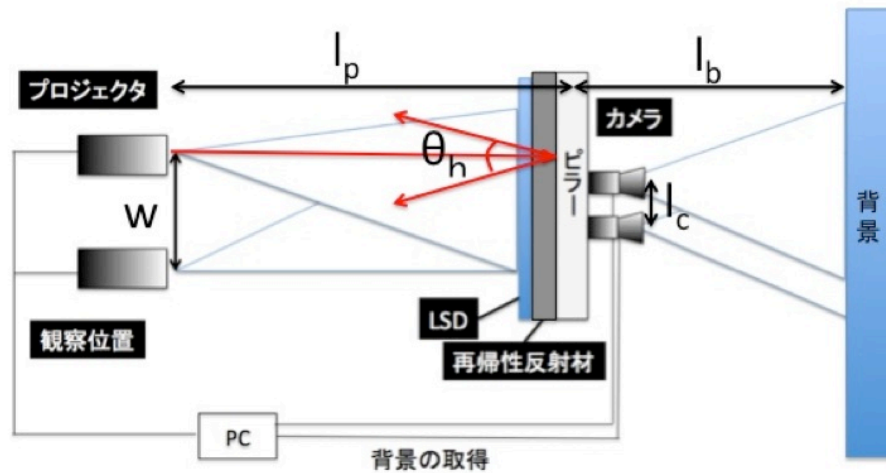


図 3.9: 上方から見たシステムの設計図

また、クロストークを抑えるためにそれぞれの眼に対応した映像が一定の水平方向で輝度を抑える必要がある。そこで、LSD の水平方向の拡散を数式 3.2 のようにすることで、光軸において再帰性反射する光の強度を最大値の半分以下に抑えることが可能となる。ただし、ドライバの視点位置の鉛直方向下にプロジェクタを設置する場合、水平方向への拡散角は 0° でも構わない。そのため、拡散角を狭くするほどクロストークが抑えられ、拡散角が広くするほど水平方向への自由度が増すことになり、必要とするシステムに合わせた拡散角の設計が必要となる。本システムでは、図 3.10 のようにプロジェクタ、LSD、再帰性反射材を配置することで、ハーフミラーや HMP などの特殊な機器を用いない設計を行った。鉛直方向にのみ大きく拡散する LSD を用いることで、左右の投影映像のクロストークを抑えることが出来る。LSD においては数式 3.3 に基づき鉛直方向への拡散角を設計することで、プロジェクタ位置に再帰性反射してくる映像の半分以上の強度を担保することが可能になる。

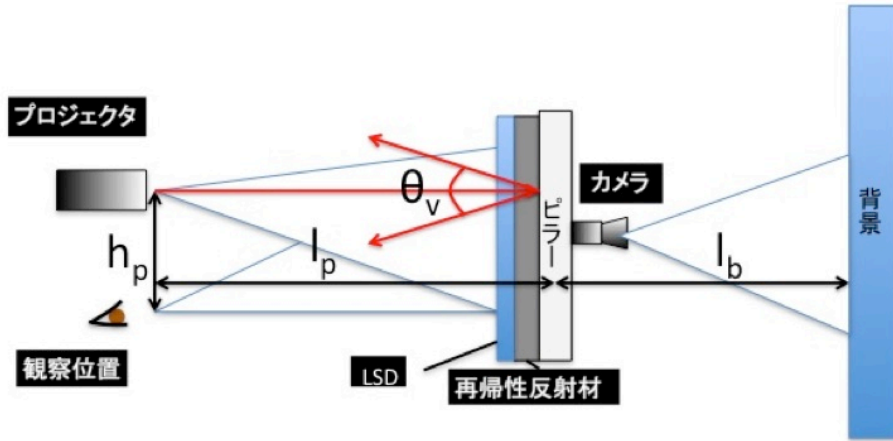


図 3.10: 側方から見たシステムの設計図

$$\theta_v > 2 \arctan \frac{h_p}{l_p} \quad (3.3)$$

ただし、 θ_h が右辺に近づくほどプロジェクタに再帰性反射する映像の強度があがり、右辺から離れるほど強度が下がる。そのため、3.3 を達成しながらも、プロジェクタの光量に応じて拡散角を設計する必要がある。

3.4. 両眼式システムの構築と評価

3.4.1 システム構築

また，これらの設計をもとに室内環境にてシステムの構築を行い，システム性能の評価を行った．構築したシステムの設計パラメータを表に示す．

表 3.2: システム構成機材一覧

変数	設計項目	設計値
w	眼間距離 (プロジェクタ間)	64mm
l_p	観察位置 - ピラー	1000mm
l_b	ピラー - 取得背景	4000mm
h_p	プロジェクタ - 観察位置	
	右目観察位置	200mm
	左目観察位置	270mm
	室内照度 (ピラー面で測定)	154lx

また，本システムの構築に用いた機材の一覧を表 3.3 に，実際に構築したシステムを図に示す．

表 3.3: システム構成機材一覧

項目	型式・仕様 (メーカー)
プロジェクタ	KGPLO33W(TAXAN) × 2 台
再帰性反射材	Vapor Flash ジャケット生地 (Nike)
LSD	40 × 0.2deg(オプティカルソリューションズ)
カメラ	事前に撮影した静止画写真を使用

本システムにおいて，プロジェクタは今回使用したプロジェクタのサイズの使用上，上下にやや離れて設置されているが，縦方向に 40 °拡散する LSD を選定しているため，どちらも設計した θ_v の拡散内に収まっている．

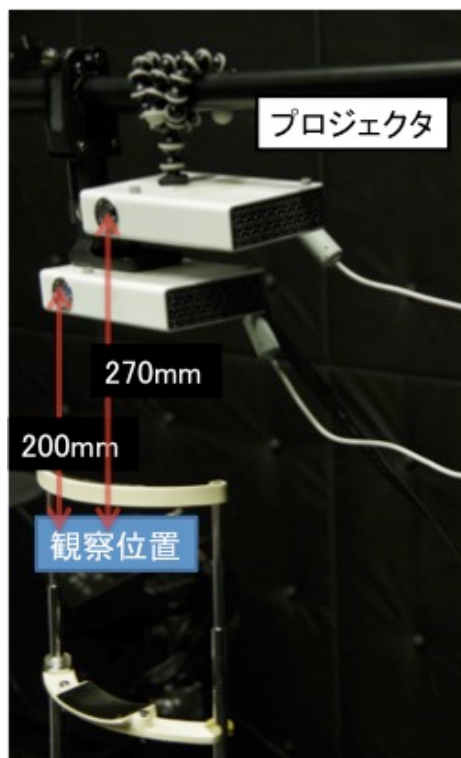


図 3.11: システム正面図

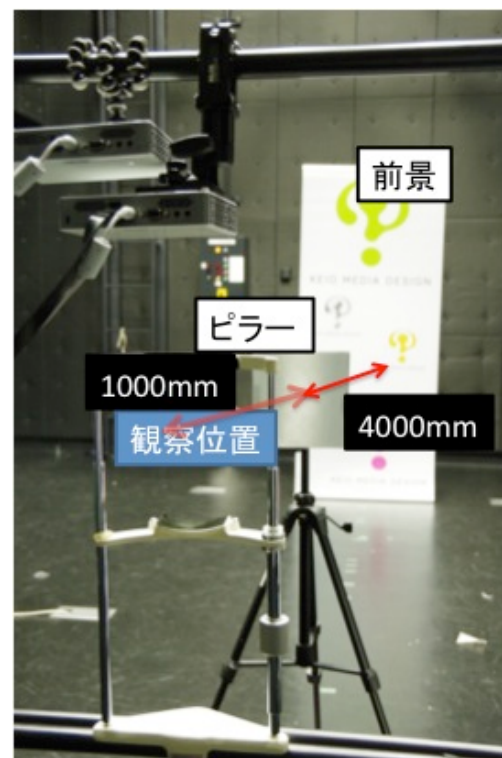


図 3.12: システム全体図

3.4.2 システム検証

本システムを用いて実際にピラー部の透明化を行い、それぞれ左右の視点位置で撮影した画像を図に示す。黄色の点線で囲っている部分がそれぞれ他方の視点位置の映像のクロストークが生じている部分である。

図を見ると、左右それぞれの観察位置に応じた投影映像が視認できることが確認でき、特に背景位置に設定しているバナーを透明化している部分では映像がほとんど分離され、他方の映像のクロストークが大幅に抑えられていることが写真から確認できた。その一方で、黄色で囲っている部分を見てみると、背景が黒などで明度が低く、他方の映像とのコントラストが低い状態では、クロストークの影響が大きいことが確認される。構築したシステムでこれらのことを確認することが出来た。

図 3.13, 3.14 を見ると、左右それぞれの観察位置に応じた投影映像が視認でき



図 3.13: 右目視点位置から撮影した写真



図 3.14: 左目視点位置から撮影した写真

ることが確認できる．特に背景位置に設定しているバナーを透明化している部分では映像がほとんど分離され，他方の映像のクロストークが大幅に抑えられていることが写真から確認できた．その一方で，黄色で囲っている部分を見ると，背景が黒などで明度が低く，他方の映像とのコントラストが低い状態では，クロストークの影響が大きいことが確認される．そのため，観察位置において他方の映像とのコントラストが高いほど，クロストークの影響が抑えられ，より高い精度で映像が分離されることがわかった．構築したシステムでこれらのことを確認することが出来た．

3.4.3 システム評価

構築したシステムを用いて、映像の分離性能の評価を行った。実験条件は以下の通りである。

- 左右それぞれのプロジェクタから白色投影を行い、その輝度値を測定した
- 右目用のみで投影、左目用のみで投影、左右両方で投影、の3パターンで輝度を測定
- 眼間距離を 64mm と設定し、それぞれの観察位置の外方 24mm の間を 8mm 間隔、計 15 箇所において測定

これらの条件を元に全パターンの各ポイントにて3回ずつ輝度の測定を行い、その平均値を図 3.15 と表 3.4 に示す。なお図 3.15 の横軸の値は眼間中央からの距離を表しており、右目方向に移動するに連れてプラス、左目方向に移動にするに連れてマイナスで表記されている。また、表 3.4 の 1 列目も同様である。

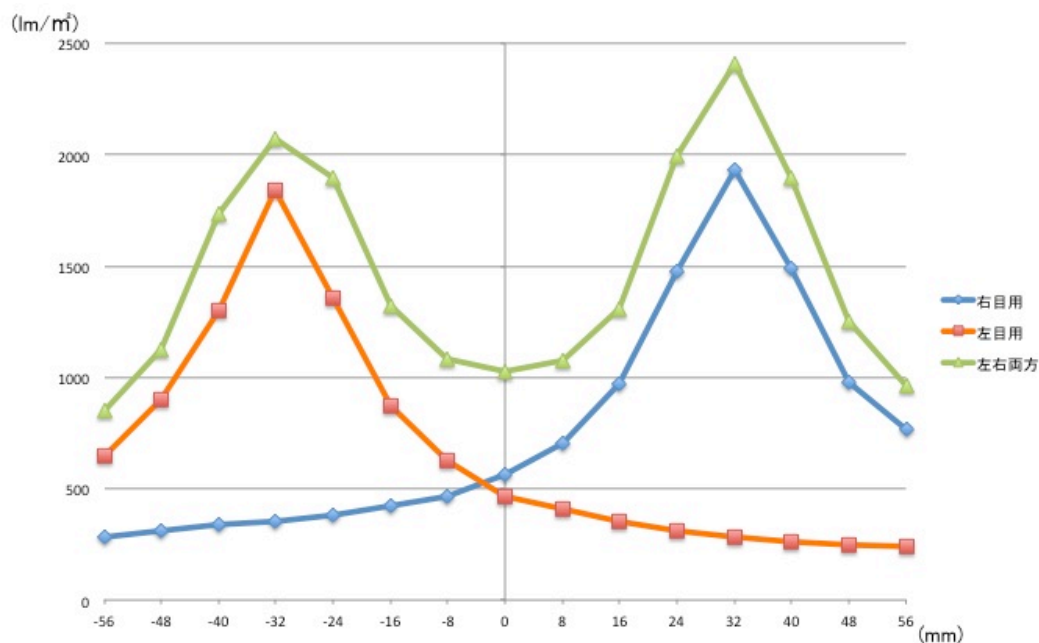


図 3.15: 測定した平均輝度の遷移

表 3.4: 測定した平均輝度値

眼間中央からの距離 (mm)	右目用 (lm/m^2)	左目用 (lm/m^2)	左右両方 (lm/m^2)
-56	282	651	848
-48	313	897	1126
-40	338	1297	1732
-32(左目視点位置)	351	1840	2073
-24	381	1358	1900
-16	420	874	1318
-8	467	628	1081
0	563	467	1024
+8	702	412	1078
+16	973	356	1304
+24	1475	308	1993
+32(右目視点位置)	1930	285	2410
+40	1488	263	1894
+48	978	251	1250
56	769	239	960

これらの結果をみると、左右両方のプロジェクタで映像を投影した際はそれぞれの観察位置で最も輝度が高くなっている。また、左右一方ずつの輝度をそれぞれ比較すると、観察位置で最も左右の輝度の比が大きくなるため、それぞれの観察位置においてコントラストが最も高くなることがわかった。このことから、設計した両眼式ディスプレイシステムにおいては、それぞれの観察位置で、もっとも輝度の高い映像が視認可能であり、またそれらの位置において最大限左右の映像の分離が行われているということが言える。

3.5. システム設計のまとめと考察

本章ではピラー透明化のためのディスプレイシステムの設計を行った。まず、斉藤らの提案するシースルーピラーのための単眼式システムを追試実装し、本システムにおいて必要とされる設計要件を明らかにした。それに基づいて、助手席側ピラーの透明化を目的とした両眼融像可能なオフセット型ディスプレイシステムとして、両眼式システムの設計を行った。それに基づき、室内環境においてシステムの実装を行い、検証及び評価を行った。

また、これらを踏まえ設計したシステムの考察を行った。本システムにおいては設計要件にあげていたように、ピラー-ドライバー間に新たな機器を介さない、再帰性投影システムを達成した。また、両眼融像に関しては、構築したシステムや測定した輝度値の結果から、完全な映像の分離は難しいが観察位置でそれぞれ最大限に映像が分離されるような映像の提示が可能であるということがいえる。ただし、本システムにおいてはそれぞれの視点位置に対応する映像の明るさで他方の映像を打ち消しているような形でクロストークが抑えられているため、左右の映像のコントラストが低いと分離性能が低く、クロストークが生じやすいということが明らかになった。

第4章

実車への応用

本章では第3章で述べた設計に基づき、試作システムの実装を行った。まず、試作システムを実装するにあたり設定した条件について述べる。次に、その条件を元に各設計パラメータが設定し、それに基づき実車に試作システムの実装を行った。また、システムを試作した結果明らかになったことを述べ、それに対する考察を述べる。

4.1. 実車への適用条件

3章で述べた設計に基づきシステムの試作を行った。本試作システムにおいては、TOYOTA 社のマジェスタをシステム搭載車として用い、ドライバの視点位置及びプロジェクタからピラーまでの長さが1050mm と設定した。また、ピラーからカメラが取得する背景までの距離を4000mm 先に設定し、2つのプロジェクタ間の距離を一般的な眼間距離に等しい64mm 設置する。それらの数値から3章で述べた両眼式システムの設計に基づきカメラ間距離を51mm とする。これらの設計値を表4.1 にまとめたものを示す。

4.2. 実装

投影する背景映像を取得するためのカメラとして、Microsoft 社製の Web カメラ Q2F-00020 を2台使用した。また、これまでのシステム同様プロジェクタはTAXAN 社製の KGPLO33W を2台使用し、再帰性反射材には屋外太陽光下での使用を考慮し、反射輝度の高いナイキ社製ベイパーフラッシュのジャケット生地、

表 4.1: 実装したシステムの設計値

設計項目	設計値
眼間距離 (プロジェクタ間)	64mm
カメラ間距離	51mm
観察位置 - ピラー	1050mm
ピラー - 取得背景	4000mm
プロジェクタ - 観察位置 (左右共)	200mm

LSD には鉛直方向の拡散特性を持たせるために $40^{\circ} \times 0.2^{\circ}$ の反射性能をもつオプティカルソリューションズ製の物を使用する．表 4.2 に実装したシステムの構成機材をまとめたものを示す．

表 4.2: 実装したシステムの構成機材一覧

項目	型式・仕様 (メーカー)
搭載車	マジスタ DBA-UZS186(TOYOTA)
プロジェクタ	KGPLO33W(TAXAN)
再帰性反射材	Vapor Flash ジャケット生地 (Nike)
LSD	$40 \times 0.2\text{deg}$ (オプティカルソリューションズ)
カメラ	Web カメラ Q2F-00020(Microsoft)

車内ピラー内側には，スクリーン素材となる再帰性反射材と LSD の貼付のしやすさ，投影した映像の画像処理の簡素化を考慮し，マジスタのピラー形状に合わせた A ピラーカバーユニットを作成した．これは図 4.1 のように，ピラー表面を覆うよう形状に切削した板に再帰性反射材と LSD を貼り付けたものである．この A ピラーカバーユニットを車内のピラー位置に設置し，そこに映像投影を行った．

これらの条件をもとに実装したシステムの全体を車外から撮影した写真を図 4.2 に，車内から撮影した写真を図 4.3 に示す．

実装したシステムを用い，ドライバーの視点から撮影したピラーの映像を図 4.4

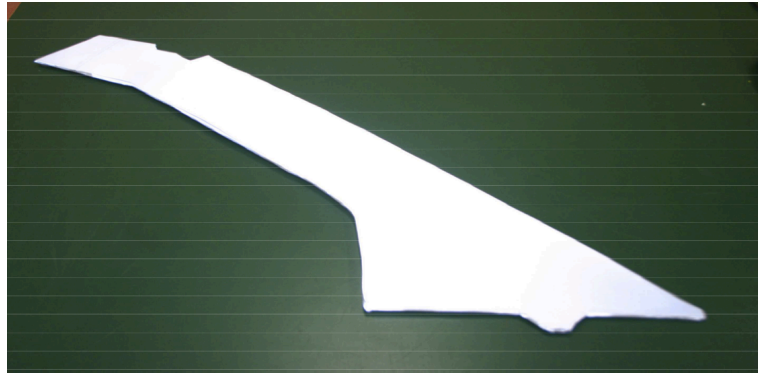


図 4.1: A ピラーカバーユニット

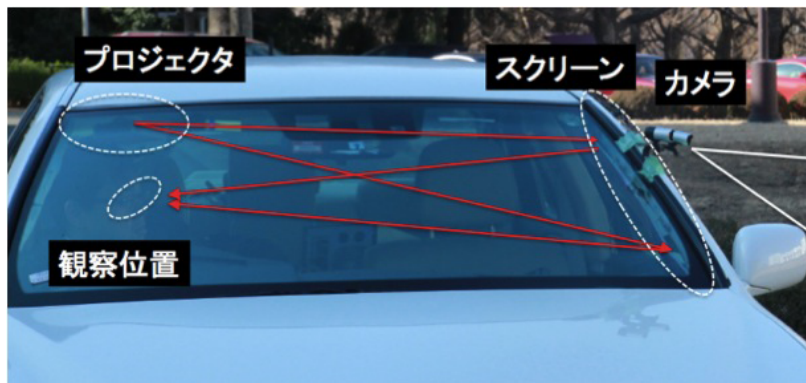


図 4.2: 車外から撮影した実装システムの全体図

に示す．本実装は1月の晴天の午後14時に屋外で行われ，図4.4の映像はドライバーが左目で観察した映像を撮影したものである．ピラーには右目に対応する映像も投影されているため，撮影位置でもわずかに他方の映像が視認可能であるが，映像の重なりの影響が少なく，クロストークの影響を軽減できているといえる．

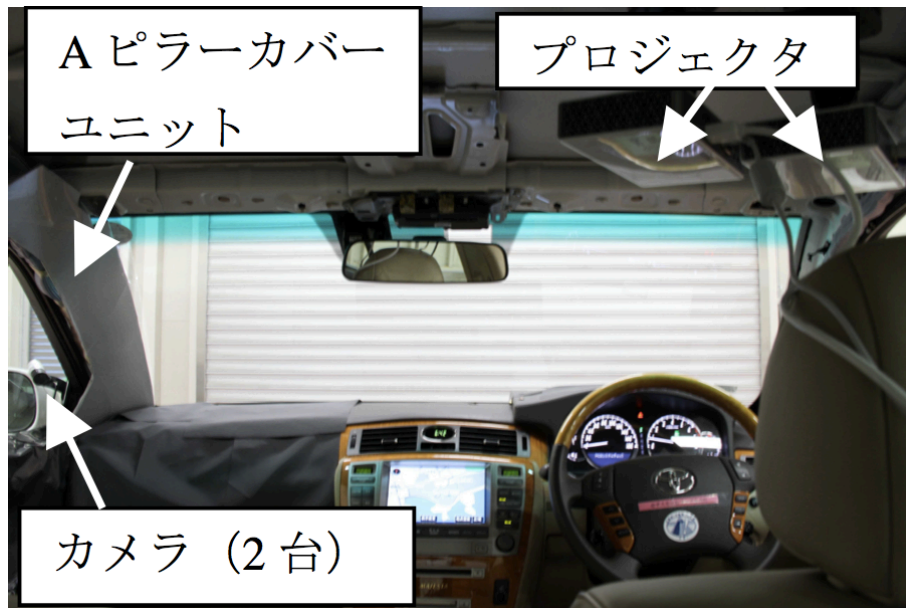


図 4.3: 車内から撮影した実装システムの全体図

4.3. 結果と課題

これらの実車への実装結果から、いくつかのことが明らかになったことを述べ、その考察及び、今後の課題について述べる。

4.3.1 両眼融像

これまでのシステム同様、実車に実装したシステムにおいても両眼融像が可能であった。図からも両眼の映像がそれぞれ分離できていることがわかる。図は、スクリーンとなるピラーの右半分のみ拡散板を使用し、拡散板の有無の違いを左目視点位置から観察し確かめたもので、拡散版を使用することによって、右目用の投影像が肉眼では観察できない程度まで映像の分離が行われていることがここからわかる。

ただし、本システムにおいては適切に観察できる範囲が厳しく限定されていたため、ある一定の運転姿勢のみでしか映像を視認することが出来なかった。これは、ドライバーの観察位置を固定し、背景と投影映像のキャリブレーションを行っ



図 4.4: ピラー透明化の映像

ているためである．本課題に対しては，レンズアレイなどを用いて映像を分割し多視点化することで解決できると考えられる．つまり，ドライバーが自動車走行時にピラーを見る領域内で，適切な視差映像が観察できれば良い．そのためにドライバーがピラーを観察する際の行動を観察し，観察範囲において必要十分な視差数を検討していく必要がある．

4.3.2 観察映像の明るさ

また，本システムを実車に実装した結果，試作システムは日中でも肉眼で十分に使用可能であることがわかった．しかし，その一方で映像の輝度が高すぎることで，背景との明るさのバランスが極端に大きい場合，ピラー面に注目しすぎてしまう可能性が示唆された．このことから背景となる周辺環境と投影映像の明るさについて，輝度の違いの許容範囲などを明らかにし，システムを改善する必要があると言える．



図 4.5: 実装したシステムにおける LSD による分離性能

4.3.3 映像の遅延

システムを搭載した実車を用いて自動車を運転した場合、ピラーに投影される映像に遅延が発生し、車外の背景との整合性が保てなくなるというリミテーションが確認できた。遅延は主にコンピュータ上の処理の過程において発生し、ある程度は機材のスペックを上げることで解決することができるものの、遅延をゼロにすることは不可能であるうえ、車速をあげるにつれて遅延は大きくなっていく。実際には約 20km/h を超えると映像の整合性が保てない程度に遅延が発生した。ただし、映像の解像度と遅延はトレードオフの関係にあり、映像の解像度をおとすことで、少しでも遅延を抑えることも可能である。自動車走行時には両眼融像だけでなく運動視差が立体感知覚の主要因となるため、本システムを用いて最も最適なパラメータでピラーを透明だと感じられるように、ドライバの観察範囲、解像度、車の走行速度などのパラメータを含めて透明感の性能評価をする必要があることが示唆される。

4.3.4 課題のまとめ

ピラー透明化のためのディスプレイシステムをにおける今後の課題を明らかにする．まず，人がピラーの存在する方向を観察する際に注意を払う領域，車速などの透明化する範囲を明確にし，人の立体知覚に関する生理的な知見を含め，システムを設計する必要がある．また，本研究で提案するシステムは立体ディスプレイに関する知見の基に設計されているが，「透明感の強度」という切り口からディスプレイ設計論を再設計する必要があることも考えられる．

第5章

結

論

本研究では、安全性を向上するだけでなく、自動車による移動過程の価値の向上も目指した運転体験を可能とするシステムとして、車両 A プレーの透明化に関する検討を行った。また、プレー透明化を目的として、斉藤らの研究をベースにオフセット型の再帰性投影技術を用いた両眼立体ディスプレイシステムの設計を行い、その設計に基づいて実車への実装を行った。

第1章では、現代において変化する自動車の移動の価値に着目し、自動車の移動過程における価値と安全性についての概説を行った。また、多くがトレードオフの関係にあるそれらを同時に向上可能なものとして、車両 A プレーの透明化を本研究の目的とした。

第2章では、第1章で述べた背景に関連して先行事例を紹介した。主に、車内ディスプレイを用いた運転支援システム、プレーの死角解決への取り組み、再帰性技術による車両透明化の3つの観点から概説し、安全性だけでなく運転体験にも価値をもたせることのできるため、斉藤らの研究をベースに再帰性投影技術を用いた車両透明化の観点でプレーの透明化を目指すとした。

第3章では、車両 A プレー透明化に際して、オフセット型の再帰性投影システムの必要性を述べ、斉藤らの研究をベースとした単眼式システムの実装及び評価を行った。そこで明らかになった問題点から、自動車へ実装可能なプレー透明化を目的とするディスプレイシステムの設計に必要な要件を明らかにし、それを元に両眼立体ディスプレイの設計を行った。

第4章では、第3章で設計した立体ディスプレイシステムを元にトヨタ社のマジスタヘシステムの実装を行い、そのシステムから明らかになったことに対する考察と今後の課題を述べた。

本研究の学術的貢献は既存の再帰性投影技術に必要であった投影対象と観察者間のハーフミラーのない、オフセット型の再帰性投影システムを車両透明化に応用をしたことにある。本システムではハーフミラーを使用せず再帰性投影技術の長所である、観察点での光量の減衰を抑えた投影手法を設計し、両含有像を可能にし奥行き感を提示することで、運転環境に支障を与えにくい車両透明化システムを提案した。その一方で、既存のハーフミラーを用いた再帰性投影システムとくらべて、どちらがより透明に見えるかは明らかではなく、今後、透明性の概念を明らかにした上で、両システムの透明感の評価を行っていかなくてはならない。

また、社会的貢献は設計したシステムを実際にピラーに組み込み実装することで、自動車の A ピラー透明化の実現可能性を明らかにしたことにある。

しかし、現状我々の提案するシステムを理想的な状態で実装した際、鉛直方向への観察位置の移動には対応することができないということが問題としてあげられる。水平方向への観察位置が限定されている問題に関しては、前述のとおりレンズアレイなどを用いて視点数を増やすことで解決することは可能だが、本システムにおいては鉛直方向へ映像を拡散させなくてはならないため、各観察位置の鉛直上には 1 視点分の映像しか提示することしか出来ない。運転時には大きな観察位置の上下移動は発生しにくいものの、ドライバーの身長や姿勢に大きく上下されれば、適切な映像の提示というものが本システムを用いては達成できないことが、本システムのリミテーションとして存在する。

また、そのピラーの透明化がユーザーにどのような印象をあたえるのかという点に関しては、未だ評価を行っておらないため、今後はユーザーの自動車運転体験においてプラス要因になりうる感情因子を明らかにしつつ、本システムがユーザーにどのような運転体験を提供できるのかを評価していかなくてはならない。

謝 辞

本研究の指導教員である稲見昌彦教授には、研究に対してご指導していただくだけでなく、研究分野以外でも常に新たな刺激を与えていただきました。稲見教授のおかげで、ここまで辛いことも何度かありながらも、常に楽しいという思いを持ちながら研究生活並びに大学院生としての生活を送ることが出来たと感じております。心から稲見昌彦教授に感謝しております。

本研究、および論文執筆において、副査を努めて頂きました太田直久教授、植木淳朗特任講師に心から感謝申し上げます。

南澤孝太先生には、研究指導や論文執筆での助言において、私の考えの至っていないところからアドバイスをいただき、いつも研究者として強い刺激を受け勉強させていただきました。心から感謝いたします。

古川正紘先生には、私の大学院での研究面や研究室での生活において日頃から暖かくご指導いただき、最も親しみやすい立場の教員として、常に頼りにさせていただいておりました。頻繁にご迷惑をお掛けしていたにも関わらず、私のくだらない話や小さな疑問に対しても親身に対応していただき、常に助けられておりました。

本研究プロジェクトのメンターである上間裕二研究員からは、研究面において何も出来ない私に辛抱強くご指導いただいただけでなく、私の最も尊敬できる先輩として大変多くのことを学ばせていただきました。生活面においても常に温かい心遣いを頂き、心から上間裕二研究員に感謝しております。

安健太郎氏、杉浦裕太氏、小泉直也氏の皆様には、研究面、生活面ともにご指導いただき、心から感謝しています。

大学院生活のみならず、私生活においても苦楽を共にした、穴井佑樹君、張衍義さん、手塚健太郎君、川口玄君、渡島健太君ら、team panai のメンバー並びに、

水品友佑君には，心から感謝しております。

青木透君と山本諒君には，私の後輩として開発面や言語面でのカバーをしていただき，先輩という立場でありながら助けられることばかりでした．心から感謝しております。

日吉のカレー屋“ Hi, How are you ? ”のマスターである萩谷雄一様には，いつも美味しいカレーを提供していただき，日吉の数少ない憩いの場として研究の疲れを癒していただきました．心から感謝いたします。

最後に，大学院まで通わせていただき，ここまで育てていただいた母親，面倒を見続けてくれている兄には心から感謝をしております..

参 考 文 献

- [1] 日本自動車工業会 , <http://www.jama.or.jp/world/>
- [2] 鈴木光一郎, 橋本直樹: "車載カメラ映像の共有による前景視界補助システム," ITE Technical Report Vol36, No8, ME2012-8
- [3] 大泉謙, 井上真人, 赤塚健, 北崎智之"シースルーピラーの開発, 自動車技術会 学術講演会前刷集, 56-07 号 , pp.27-30
- [4] Honda 「安全への取組」:<http://www.honda.co.jp/safety/technology/scene/long/front-pillar/>
- [5] Volvo 「SUSTAINABILITY NEWS」
<http://www.volvocars.com/intl/top/corporate/volvo-sustainability/pages/sustainability-news.aspx?itemid=303>
- [6] Telexistence and Retro-reflective Projection Technology (RPT), Proceedings of the 5th Virtual Reality International Conference (VRIC2003), pp. 1-9 2003.
- [7] Yuji Uema, Naoya Koizumi, Shian Wei Chang, Kouta Minamizawa, Maki Sugimoto and Masahiko Inami, Optical Camouflage III: Auto-stereoscopic and Multiple-view Display System using Retro-reflective Projection Technology, IEEE VR 2012, March 4 8, 2012.
- [8] みんなのエコカー会議 透明プリウス研究室: <http://blog.ecocar-kaigi.jp/toumei/>
- [9] Takumi Yoshida, Kensei Jo, Kouta Minamizawa, Hideaki Nii, Naoki Kawakami, Susumu Tachi : Transparent Cockpit: Visual Assistance System

for Vehicle Using Retro-reflective Projection Technology, IEEE Virtual Reality 2008, March 8-12, 2009.

- [10] 齊藤綾亮, 柳田康幸: 再帰性投影技術を用いたシースループレイヤーの可能性に関する検討, 日本バーチャルリアリティ学会第12回大会論文集, 2007.
- [11] 安藤友二, 齋藤綾亮, 柳田康幸: 投影型シースループレイヤーのための画像生成・補正, 電子情報通信学会技術研究報告. MVE, マルチメディア・仮想環境基礎 108(379), pp51-55, 2009.