

# 三菱プレジジョン技報

## 2014



## 表紙写真



当社のパーキングシステムは、小規模システムから POS 連動割引サービス※<sup>1</sup>や買上げ認証サービス※<sup>2</sup>といった 全自動精算による大規模システムまで幅広くラインアップしています。先進のシステムと長年にわたる経験を生かし、あらゆるニーズに応じた最適なトータルソリューションを提供しています。



### 小規模システム適用例

MP シリーズの全自動精算機 AP-100 は、機能の絞込みを行い、中小規模のシステムに適合した製品です。(論文 pp.11)



### 大規模システム適用例

MFC シリーズの全自動精算機 AP-695 は、高機能でお客様の様々なニーズに対応可能な製品です。(論文 pp.7)

※<sup>1</sup> : POS(Point Of Sale)連動割引サービス。商品買上げ時点で買上げ金額と駐車券番号を POS レジで読取り集計する。合計買上げ金額に応じた駐車場利用料金の割引サービスを付与するシステム。

※<sup>2</sup> : 買上げ認証サービス。各店舗での商品買上げ金額を認証機で入力する。買上げ合算値に応じた駐車場利用料金の割引を行う。

当社ホームページのパーキングシステム中に関連する解説記事を掲載しています。  
<http://www.mpcnet.co.jp/product/parking/system/discount.html>

目 次

巻 頭 言

人に優しい技術開発への取り組み .....3  
 代表取締役  
 取締役社長 下村 寛士

特別寄稿

駐車場についての考現学 .....4  
 全日本駐車協会副会長  
 東京ガレーヂ(株)代表取締役 C.E.P 小清水 琢磨

論 文

自動車関連製品特集

新MFC精算機の開発  
 — 全自動精算機 AP-695 — ..... 7  
 早川 正昭, 瀬戸 達也, 中丸 平

全自動精算機の開発  
 — ゲート式全自動精算機 AP-100 — ..... 11  
 西田 博行, 佐々木 秀一

ドライビングシミュレータ・鉄道シミュレータ用模擬視界発生装置の開発  
 — ハイダイナミックレンジ(HDR) レンダリングによる光の表現 — ..... 17  
 松本 律樹, 安達 裕紀, 矢野 徹, 若林 知行

飲酒教材の開発 ..... 23  
 栗田 弦太

大型トラックドライビングシミュレータ向けステアリング反力装置の開発 ..... 29  
 村松 幸治

CH-47 操縦シミュレータの最新技術 ..... 35  
 清水 昭彦



## 人に優しい技術開発への取り組み

代表取締役  
取締役社長

下村 寛士



三菱プレジジョン技報第8巻を上梓させていただきます。今回は、全日本駐車協会副会長の小清水琢磨 東京ガレージ(株)代表取締役に『駐車場についての考現学』と題しての特別寄稿を載せました。駐車場経営になくてはならないICT(情報通信技術)と、技術に走り過ぎない顧客満足度を高める駐車場経営に求められるものは何か、業界全体で取り組むべき課題をご提示戴きました。技術は人類の幸せと満足を実現する手段であって、決して技術が人類を駆り立ててはならないとの思いは、特に人と車の接点を提供する駐車場事業にとって非常に重要なことと考えます。

今回は、自動車関連製品特集として、一般利用の駐車場において、はじめて訪れたお客様に対しても使いやすい操作性を提供するとともに、駐車場係員の集金や駐車券回収などのメンテナンス性をも飛躍的に向上させた、全自動精算機新MFC精算機の開発成果についてご紹介しており、既に多くのお客様に、その素晴らしさを体感していただいております。

また、ユーザビリティを向上させながらも機能を絞り込みシンプルな構成で低価格を実現した新マイパークシリーズの開発成果についてもご紹介しております。

シミュレータ分野では、各種シミュレータで人間の視覚環境に近い輝度範囲で光の計算を行うことを特徴としたドライビングシミュレータ・鉄道シミュレータ用模擬視界発

生装置の開発で圧倒的なリアリティを提供させていただいており、お客様からも大きな反響をいただいております。

社会悪である危険な飲酒運転をなくすために開発した飲酒シミュレータ教材の開発においては、国立病院機構久里浜医療センターの樋口院長先生をはじめ、関係各位にご協力・ご指導をいただいで、より教習効果の高い教材を提供することができました。

また、従来の乗用車向けシミュレータではステアリング反力模擬が困難であった大型トラックドライビングシミュレータ向けステアリング半力装置の開発の紹介を、陸上自衛隊殿向けCH-47操縦シミュレータでは、ボーイング社開発のタンデムロータ式の大型輸送ヘリコプターであるCH-47の操縦訓練を実現した最新技術を紹介させていただいております。

当社は、引き続きお客様の様々なご要望に確実かつ迅速にこたえ、ご満足のいただけるソリューションをご提供させていただくべく、これからも各種開発を推進していく所存です。皆様の、忌憚無きご意見・ご要求を賜り、共に利便性・満足度の高い社会の実現に貢献していきたいと考えます。

本号をご高覧いただきますとともに、今後とも三菱プレジジョン株式会社のシステム、製品、ソリューションをご愛顧賜りますよう、よろしく申し上げます。

## 駐車場についての考現学

全日本駐車協会副会長  
東京ガレーヂ（株）  
代表取締役 C.E.P \*  
小清水 琢磨



### <はじめに>

技術論文発表の場に純文系の身で甚だ僭越ながら、駐車場と情報通信技術の関連をテーマに所感を述べたい。

戦後復興の過程でビルや道路が近代化されモータリゼーションが高度成長を支える中、大都市圏での円滑な都市交通と附置義務充足等の見地から駐車場不足の解消が主たる目標とされた時代が長く続いた。特にスペース的制約に悩む大都市中心部で、附置義務台数を確保するため立体機械式駐車設備が世界に先駆けて発達したのも、我が国駐車業界の特色の一つと見る。一方で 1980 年代後半のバブル経済到来までは、比較的潤沢で低廉な労働力に恵まれていたため、運営管理面での機械化・省力化の要請は大都市圏、しかも繁忙で規模の大きな駐車場に限定されていたと言えよう。

### <駐車場経営に無くてはならぬ情報通信技術（ICT \*1）>

しかしバブル期以降は人件費の高騰、駐車場係員のなり手不足、一方で多機能・高速、且つ金銭管理面でも確実な全自動精算機の評価浸透等々が相まって、自動化、機械化、無人化が駐車場管理の主流となった。この動きを加速させたものの一つが無人・自動ベースの新たなビジネスモデル「コインパーク」であったと言えよう。商業施設等で利便性を高め、同時にソフトウェア次第で防犯や経営管理・分析にも威力を発揮する車番認識システムの登場も、映像処理を含めたデジタル管理技術の結実として画期的であった。

他にも各種のキャッシュレス決済、満空管理、駐車場案内システム、遠隔操作、監視や防犯関連等々、今や駐車場管理・管制の高度化、経理システムとの連動など経営合理化に、ICT が欠かせないツールとなっている。従来駐車場の機械化テンポが鈍かった国々を含めて、今日では先進各国の駐車協会では例外なく ICT 活用を業界発展の要と捉えている。

表 1 は昨 2013 年夏に米・英・独・伯・日本など世界 13 か国の駐車協会の連携組織 GPALS\*2 が行った駐車問題の意識アンケート GLOBAL PARKING SURVEY の冒頭設問「それぞれの国の駐車場業界または駐車場経営にとり最も重要な、或いは大きな影響力を持つことを回答選択肢から最大 5 項目選べ」に対する各国回答集計を示している。このように参加 13 か国の全てが先進技術を駐車場管理面の改善に利用すべきと答え、キャッシュレス決済の必要性を挙げたのが 12 か国と、ICT 活用の重要性が各国共通の認識となっている。（註：全日本駐車協会の回答は東京駐車協会理事会メンバーの無記名回答がベース）また環境との共生の面で最も大切な事柄は何かとの設問に対しては、表 2 のように駐車場探しの交通を減らし低炭素社会実現を助ける駐車案内標識整備（満空案内含め）を全参加国が支持、これもまた ICT 活用なしには実現できないことは自明である。

### <無くてはならないが、万能ではない ICT >

しかし情報通信技術一本槍で万事解決するほど単純ではない。ETC \*3 に使われる DSRC \*4 技術の応用もその一例

\* C.E.P : Chief Executive Partner

\*1 ICT:Information and Communication Technology

\*2 GPALS:Global Parking Association Leaders and Summit

\*3 ETC : Electronic Toll Collection System

\*4 DSRC : Dedicated Short Range Communication (狭域通信)

表1 Most Impactful Trends

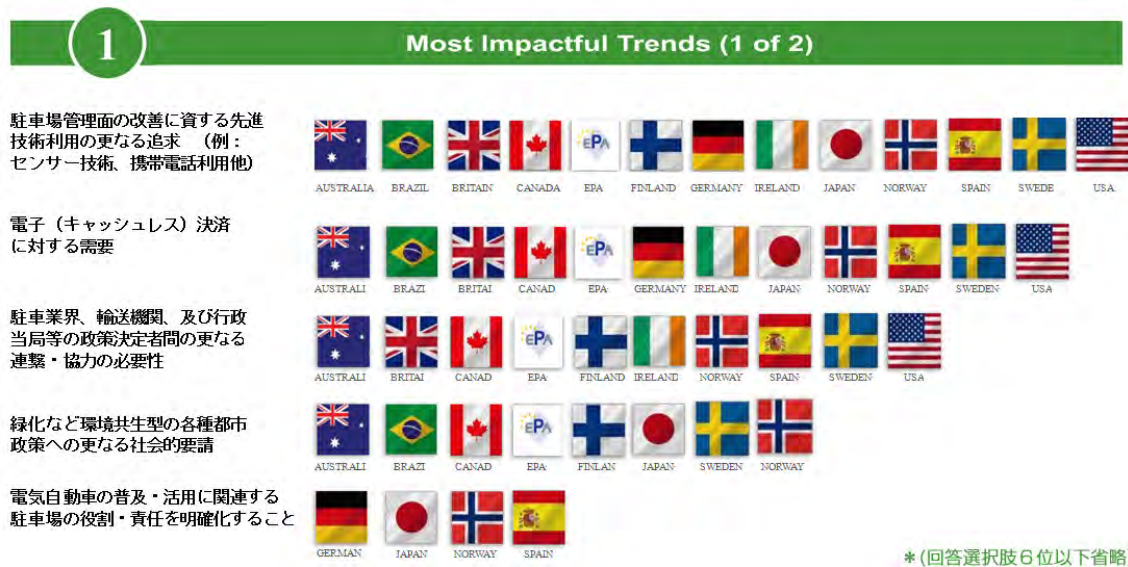


表2 What Has Greatest Potential to Improve Sustainability?



だが、一般に粗利益率が低く、またやろうと思えば大抵のことは人手で代替できる駐車場運営では、技術的に優れ効用が認められても費用を無視したマニアックな投資をすることは許されない。常に必要経費 vs. 効果・付加価値のシビアな検証に曝されるので、学術的発想に偏らず市場ニーズに的確に答え利用者にも真の満足をもたらす技術開発、そして比較的短期間に投資回収が見込めるものだけが陽の目を見ることになる。駐車場経営者はコストのかかる斬新な新機軸よりも身近な改善、例えば自動精算機のPOS<sup>\*5</sup>化とか、管理機器の基本規格やデータ形式の共通化を通じてメーカーを問わぬ機器互換性の実現を求めている。

また、地域密着で目細かいサービスを売り物にする有人ガソリンスタンドが近年見直されているのと同様、商業施設などでは人件費面で多少時代と逆行しても、優れた接客マナーや、施設案内から荷物運びまでのヒューマンサービスで顧客満足度を高める駐車場経営が評価されるように、

一時的かも知れぬが機械化万能に揺り戻しが起きていることも事実であろう。その場合でも浮いた人手を教育し場内誘導その他温かい人的サービスに振り向け得るよう、満空管理や精算処理効率化などICT導入がサービス向上と省力化に直結する処は、縁の下の力持ちとして積極的に活用したいものである。

<むすび・・駐車場を巡る将来課題>

最後に情報通信技術からやや離れるが、日本の駐車場業界が長期的視野で対処すべき社会的課題として、我々が前述の世界アンケートで指摘したことを紹介したい。これらは日本の協会が目指している将来課題として独自に自由記述したもので、米・独など一部先進国で意識を共有する事項(例えば人口高齢化)もあったが、概して諸外国の協会では近未来の問題としての意識が無かったようだ。それは自動車利用の減少、延いては駐車需要の減退に繋がりにかねない諸々の社会的問題、即ち人口の高齢化から来る車両保

\*5 POS:Point Of Sales system(販売時点管理)

有数減，出生率低下が導く少子化と総人口の減少，若者の車離れ，徒歩で生活が成り立つコンパクトシティ政策，都市中心部への車両乗り入れ制限やロードプライシングなど環境保護視点と一体となった法的・社会的規制等々である。

環境保護政策と並行して益々強まる，障害者や高齢者・乳幼児連れ等社会的弱者ドライバー保護の要請も，駐車場の設備設計，操業方法，スタッフ教育訓練などの面で潜在的成本増因となる可能性を秘めている。附置義務の徹底や大店立地法等整備の進化，またコインパークの勃興など官民挙げた整備により今や大都市中心部では駐車場不足を脱しむしろ過剰感すら有る状況下，附置義務の適法な弾力運用によって，広幅の「思いやり」スペース，カーシェアリング用，EV 充電用車室，或いはバイク専用車室の拡充なども，業界全体で取り組むべき課題と言えよう。

#### <執筆者プロフィール>

こしみず たくま  
小清水 琢磨

1939 年 (S14 年)

横浜生まれ

1962 年 (S37 年)

慶應義塾大学経済学部卒業

同年三菱商事株式会社入社

本店，米国シカゴ支店，独国デュッセルドルフ店在勤を経て

約 30 年間，全世界向け鉄鋼製品貿易業務に従事。

1987 年 (S62 年)

本店・鉄鋼輸出第一部長

1993 年 (H5 年)

参与・全社情報化企画室長

1997 年 (H9 年)

三菱商事退社

リンデマン・ジャパン株式会社代表取締役

1998 年 (H10 年)

父親が 1951 年に創業した東京ガレーヂ (株) 他 2 社の取締役社長 就任

同時に全日本駐車協会・東京駐車協会の常任理事就任，

爾来，広報副委員長，企画委員長，技術委員長等を歴任

2007 年 (H19 年) (社) 東京駐車協会副会長就任

2012 年 (H24 年) (一社) 全日本駐車協会副会長就任

2014 年 (H26 年) 東京ガレーヂ (株) の代表取締役 C.E.P に就任

三菱商事では鉄鋼貿易業務の後，90 年代中盤には全社情報化企画部長

として分散型コンピューティングへの転換，電子メール活用，個別商権での

戦略的情報システム構築等を推進。

駐車協会では技術委員長として JPA 規格汎用（共通）磁気サービス券制定を主導。



# 新MFC精算機の開発

## — 全自動精算機 AP-695 —

早川 正昭, 瀬戸 達也, 中丸 平

**要旨:** 全自動精算機 AP-695 を開発し 2013 年 9 月より導入を開始した。AP-695 は一般利用の駐車場において駐車場料金を無人で精算する装置であり、はじめて訪れた利用客に対して使いやすい操作性が求められるだけでなく、駐車場係員が集金や駐車券の回収などの作業を行なうためメンテナンス性の向上も求められる。本稿では開発した AP-695 の製品概要、ユーザビリティ、新機能、および今後の展開について紹介する。

### 1 まえがき

一般利用の駐車場において無人の精算機は広く利用されており、利便性が求められる。当社ではこれまでも、無人で精算を行なうための MFC<sup>\*1</sup> シリーズの全自動精算機を開発してきた。今回開発した全自動精算機 AP-695 (図 1) は、中規模から大規模の駐車場において使用する機種であり、精算機ラインナップの最上位機種にあたる。その新 MFC 精算機の開発について紹介する。

<sup>\*1</sup> MFC:Mitsubishi Fee Calculator



図 1 全自動精算機 AP-695

### 2 システム構成

#### 2.1 無人駐車場システム

本システムの標準構成を図 2 に示す。各機器は入出庫データや料金データ等のデータ通信を行なっている。

##### (1) 入口

駐車券発行機 (TD) で駐車券を発行し、利用客が券を引き抜くとゲートバーを開放し入庫を許可する。ナンバープレート (自動車登録番号標, 以下車番) を読み込み、駐車券発行連番と関連付けして出口でスムーズな出庫を行なう。

##### (2) 事前精算

買物などにより割引サービスを受けるときは、駐車券を認証機に通して認証を受ける。サービス券を配ることもある。事前精算機により、車両に乗る前に駐車券の精算を行なうことが可能である。

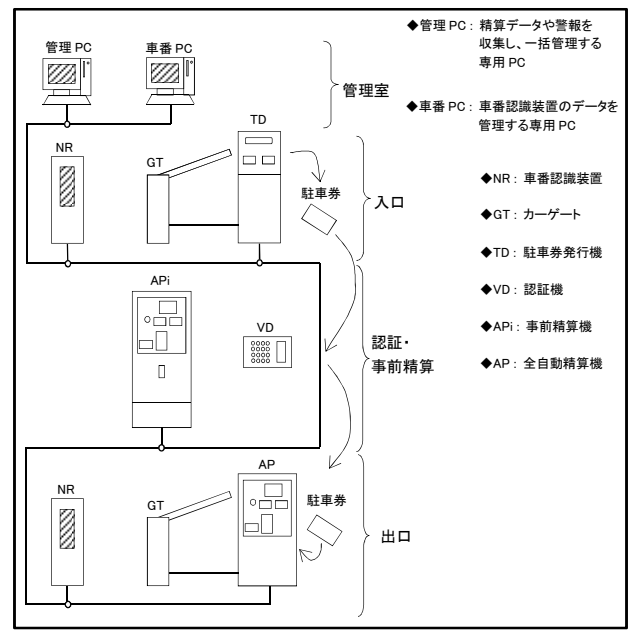


図 2 駐車場システムの構成

### (3) 出口

駐車券を挿入することで入場から退場までの時間を計算して駐車料金を算出し料金の徴収を行なう。正しい料金を精算したらゲートバーを開き退場を促す。車番と連動している場合、事前精算済の駐車券番号の車両は駐車券を入れずにゲートバーが開く。

### (4) 管理室

管理 PC で精算データや警報を収集し一括管理する。管理 PC を設置しない場合は AP が代用する。車番 PC は車番認識装置のデータを管理する専用 PC である。

## 2.2 全自動精算機の概略仕様

表 1 に概略仕様を示す。本仕様とは別に紙幣は千円札まで使用可能なタイプが存在する。また硬貨は一括投入可能なタイプと一枚投入タイプが存在する。

また使用する駐車券は弊社仕様のファンフォールド券とロール券の 2 種類のタイプが選択可能である。

## 2.3 全自動精算機の操作部

AP-695 の前面パネルを図 3 に示す。

料金表示等の案内表示器、駐車券挿入口、硬貨投入口、紙幣投入口、つり銭口、電子マネーリーダー（オプション）、クレジットカードリーダー（オプション）などから構成される。

## 3 操作性向上をめざした開発

### 3.1 ユーザビリティ向上について

AP-695 ではユーザビリティ向上をめざした開発を実践した。旧機種種の AP-690 を社内に設置して、精算機に不慣れな人（28 人）を対象に操作性を確認した。実車両から精算動作をおこない、精算完了後に操作性についてアンケート

表 1 概略仕様

番号	項目	詳細内容
1	外形寸法	662(W)×1390(H)×632(D)
2	質量	250kg 以下
3	電源	AC100V±10% 50/60Hz
4	券取扱機能	駐車券、定期券、サービス券、認証券
5	料金精算	1 分単位管理、1 年以内 10 円単位 0~999,990 円
6	台数計数	入車、出車、在車 各最大 9,999 台
7	金額集計	定時刻自動集計等
8	使用貨幣	千円/2 千円/5 千円/1 万円札(タイプによる) 500 円, 100 円, 50 円, 10 円硬貨
9	操作案内	ランプ、音声、LCD 等
10	印字	ラインマルチドット方式

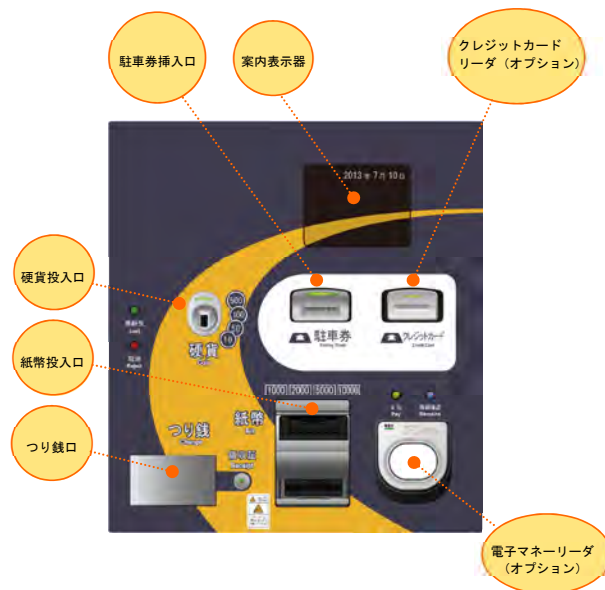


図 3 AP-695 前面パネル

調査（図 4）を行なった。

この結果、駐車券挿入口は 94 % の人がすぐにわかったのに対して、硬貨投入口がすぐにわかった人は 68 % となり、32 % の人が硬貨を投入する場所がすぐにわからないと答えた。また硬貨投入口の場所は光の点滅や文字表示などではなく、硬貨投入口の形状で認識しており、AP-695 では形状や図による認識を高めることを考えた。

### 3.2 デザイン

開発時におけるデザイン候補の中から 2 例紹介する。

図 5 は硬貨投入口が中央に位置して認識しやすいが、各ユニットの配置が横に広がっていた。

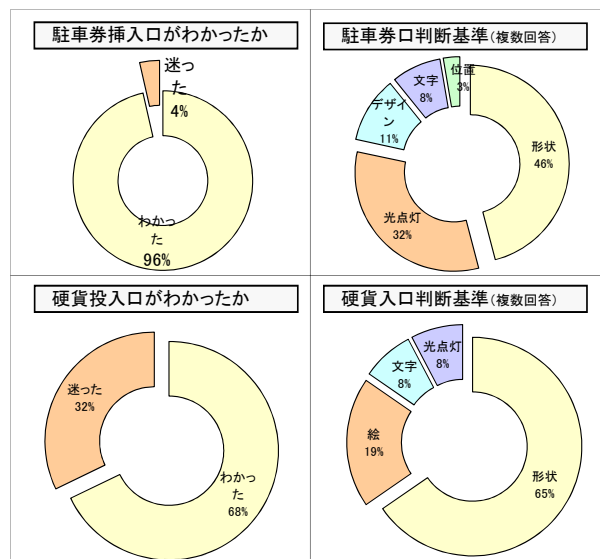


図 4 操作テストアンケート結果

図6は製品と同じ配置となる最終候補案であった。硬貨投入口の見た目の強調度が弱いとされ、視線を硬貨投入口に流し、硬貨投入口を目立たせるデザイン(図1)を採用した。

### 3.3 ソフトウェア

駐車場のシステム要求から見直した設計を行い、ソフトウェアを全面的に見直すとともに、現在想定される改造内容をあらかじめ組み込んだソフトウェア設計を行なった。

メモリ容量を増やしているためソフトウェアの拡張性が向上しており、特殊改造に柔軟に対応できるソフトウェア構造に変更した。



図5 デザイン案

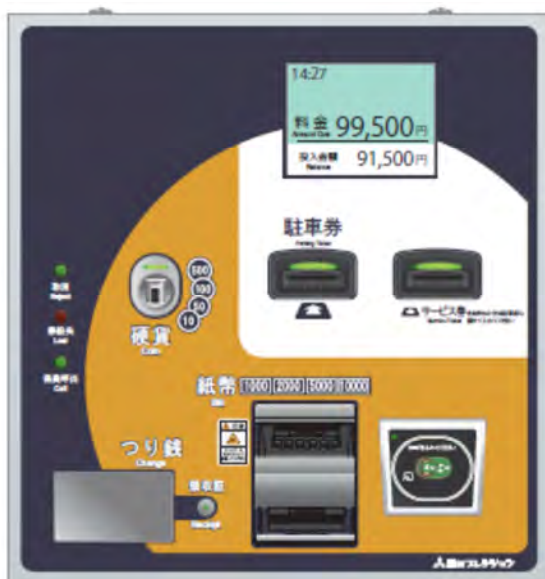


図6 デザイン案

## 4 新機能と利便性向上

### 4.1 電子ジャーナル

現金収入記録は従来のロール紙による記録から電子ジャーナルを標準とした。電子ジャーナルはデータの改ざんをできないように暗号化してデータ記録として保存し、必要に応じて複合化して使用する。

### 4.2 案内表示器

8.4インチのモニタに256色の表示を行なう。従来品の7.2インチ16色に比べ視認性が向上し、実写的な画像を表示することが可能となり、わかりやすい案内ができるようになった。

### 4.3 防犯性向上

バールにより扉をこじ開けて金銭を盗難する事件が発生している。AP-695はバールを入れにくい構造とドリルの歯から鍵部分を保護する構造を持っている。さらに補強するために金属製の防犯ベルトをオプションで用意している。図1の写真はオプションの防犯ベルトを取り付けた状態である。

### 4.4 その他

- ① 券回収箱は、収納枚数を従来品の約1.5倍に拡大し、係員による券回収の間隔を広げ、回収作業の負担を軽減した。
- ② コインメックを搭載した装置を選択できるようにして従来品よりコストを低減した。
- ③ 従来のコンパクト・フラッシュ・カードからSDカードに変更しSDカードを使用した電子ジャーナルと、SDカードを用いてプログラムのダウンロードを行なうことを実現した。
- ④ LANによる通信を基板上に搭載し、外部との通信に利用可能とし、従来必要であったLANコンバータを不要とした。

## 5 今後の展開

### 5.1 LAN機能の拡張

現在、クレジットカード対応など一部の機能に限定しているLAN機能であるが、将来は使用用途を拡張し、コールセンター対応、遠隔ダウンロードを計画している。

## 5.2 ユニバーサル・デザイン

事前精算機について車椅子に乗ったまま精算が可能な形状に変更することを計画している。また案内操作は日本語がわからない外国人に対しても、案内表示器を用いて絵図による操作案内を行なう。

## 6 むすび

AP-695 は 2013 年 9 月に 1 号機を出荷し稼動した。特に大型駐車場において出口での渋滞緩和はエネルギーの節約につながり、スムーズな出庫はニーズが高まると予想される。今後もより優れた製品を継続的に提供できるよう、改良を加え展開をはかる予定である。

## 謝 辞

本機試験のために駐車場の場所を提供していただきました青菱コミュニティ株式会社、並びに開発に当たり協力をいただきました関係各位に感謝の意を表します。

## [執筆者紹介]



早川 正昭 略歴

1990 年入社，車両感知器の開発，磁気カードリーダーの開発を経て，駐車場機器の電気設計に従事。



瀬戸 達也 略歴

2010 年入社，駐車場機器の電気設計に従事。



中丸 平 略歴

2013 年入社，駐車場機器の機構設計に従事。

# 全自動精算機の開発

## — ゲート式全自動精算機 AP-100 —

西田 博行, 佐々木 秀一

要旨： 中小規模向けゲート式駐車場に用いる小型な全自動精算機を開発した。構造、製造方法の簡略化により小型化を行い、生産性及び操作性を向上。新規基板の開発と新塗装の採用により信頼性を向上させた。

### 1 まえがき

ゲート式駐車場は、入口で駐車券を発行する駐車券発行機と入場を制限するカーゲート、出庫時に駐車料金を精算する精算機及び出庫を制限するカーゲートからなる。

今回開発した精算機は、中小規模の駐車場をターゲットとし、機能を限定して上位機種との棲み分けを図った中小規模向けの精算機であり、ニーズにより車番認識システム、割引・認証システム、キャッシュレスシステム等に対応し、一連の動作を全自動で行うゲート式全自動精算機（以下全自動精算機）である。

以下、2章でゲート式駐車場の構成、3章で開発コンセプト実現の手法、4章で生産性向上の手法、5章で開発した機器概要を述べる。

### 2 ゲート式駐車場の構成

図1にゲート式駐車場の最小構成を示す。図中、①は駐車券発行機、②はカーゲート、③は全自動精算機、④はループコイルである。

入口に設置された①駐車券発行機にて、磁気データを書き込んだ駐車券を受け取ると、②カーゲートのバーが開放され、入庫を許可する。その後、③全自動精算機にて駐車料金を精算し出庫を行う。このとき、④ループコイルにより車両の有無を検知し、入出庫の音声案内やゲートバーの開閉動作を行うことで、速やかな入出庫システムを実現している。

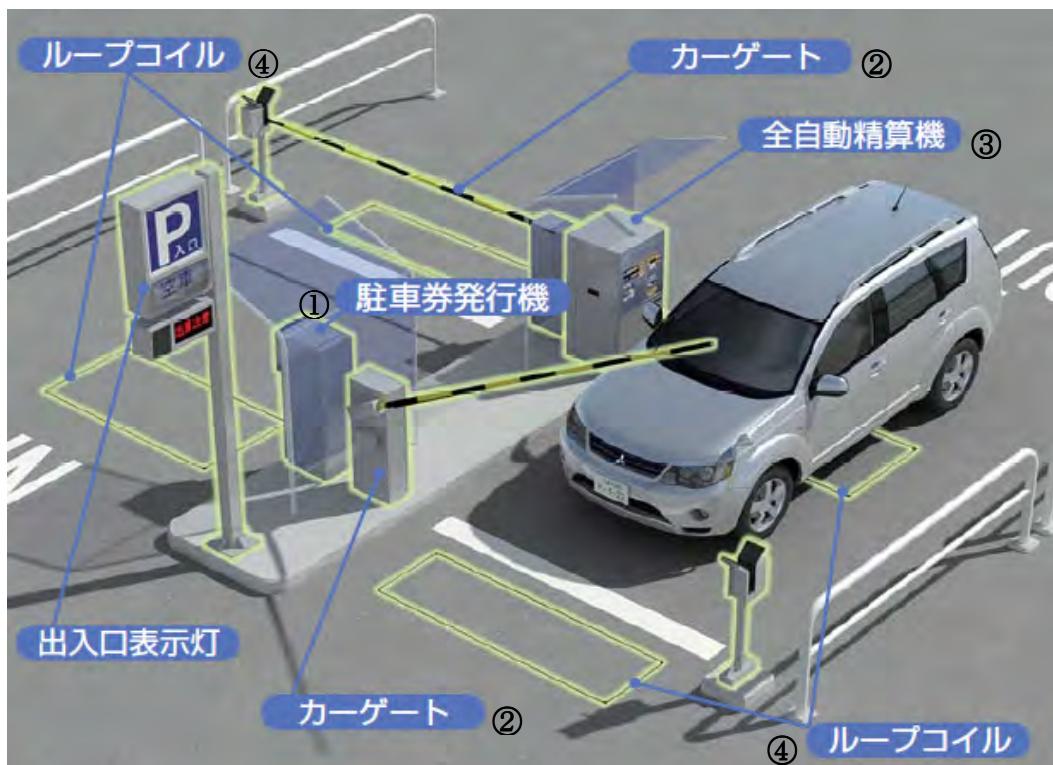


図1 中小規模向けゲート式駐車場の構成

### 3 開発コンセプト実現の手法

開発に当たり、筐体の小型化、また従来機における市場評価の高い機能を保持・向上させること、および生産性の向上の3点を開発コンセプトとした。生産性の向上については後の4章で述べることとする。

#### 3.1 筐体の小型化

筐体の小型化は、設置工事における自由度が向上する。図2に示すように全自動精算機はアイランドの上にアンカーを打ち設置される。入出庫車路幅、また扉開閉を考慮した機器メンテナンス作業領域、および背面側に設置される機器とのクリアランス確保を行う上で、設置機器の中で最も大きな全自動精算機の筐体小型化を行うことは、新規・更新を問わずメリットが大きい。

従来機と開発機の筐体外形比較を図3に示す。開発機は従来機よりも、幅75mm、奥行120mmの削減を行うことで設置環境への対応力を大幅に向上させている。

筐体小型化のメリットは前述の通りだが、実現するためには取り扱い性を考慮し、ユニットの最適な配置を行うことが重要となる。

開発段階では扉開閉はもちろんのこと、内部構造物の回転・開閉・前後駆動全てに関節・駆動情報を付与し、図4の干渉・組立性検証ツールによる事前検証を行うことで、内部スペースを有効活用した。

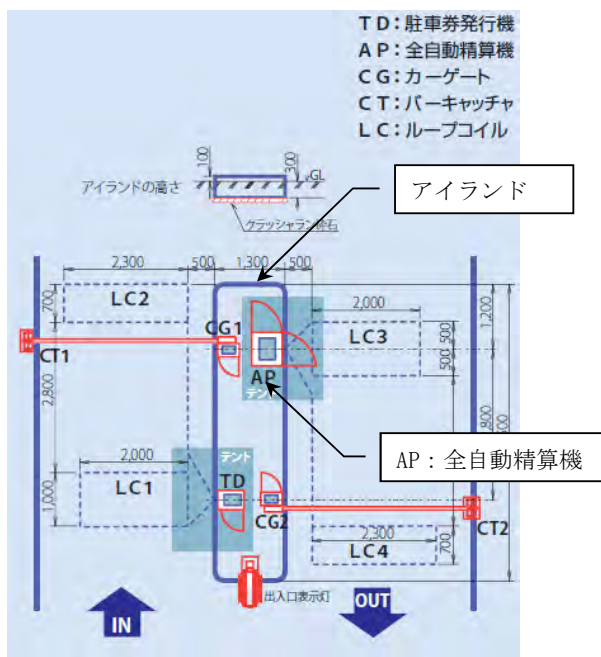
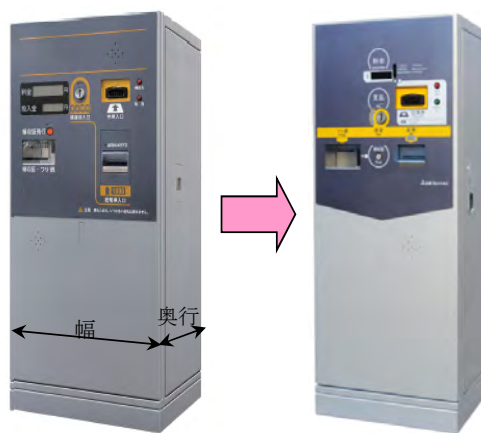


図2 中小規模向けゲート式駐車場の設置例

#### 3.2 市場評価の高い機能の保持・向上

開発機では従来機の対応事例反映と共に、開発初期段階で営業・販社へのアンケート・意見交換会を実施した。従来機と競合機を設計・営業・保守それぞれの視点で比較し、要望事項を図5のように取りまとめ、機能の保持・向上を行っている。

この内、機能の保持・向上の一例を図6に示す。駐車場利用客の操作性向上に関して、車中から手を伸ばしての精算動作において“上から下へ”また“右から左へ”を基本とし、自然と手が流れて行く方向と精算動作順序を、デザイン性と配置により一致させた。



従来機

開発機

	従来機	開発機	従来比
高さ (H)	1300mm	1300mm	—
幅 (W)	625mm	550mm	88%
奥行 (L)	592mm	470mm	79%
重量	180kg	155kg	86%

図3 従来機との筐体外形比較

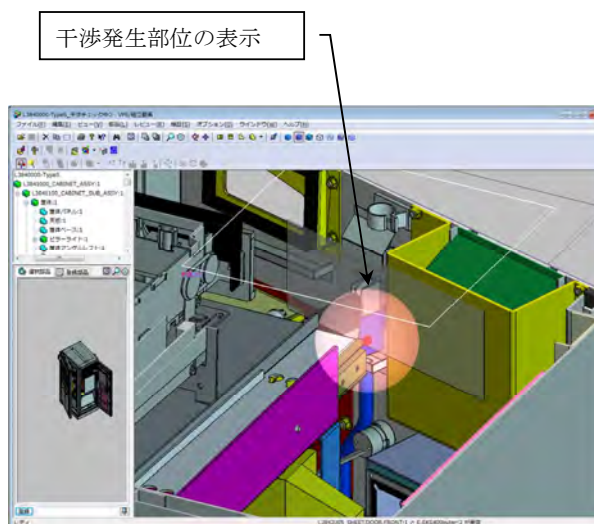


図4 干渉・組立性検証ツール

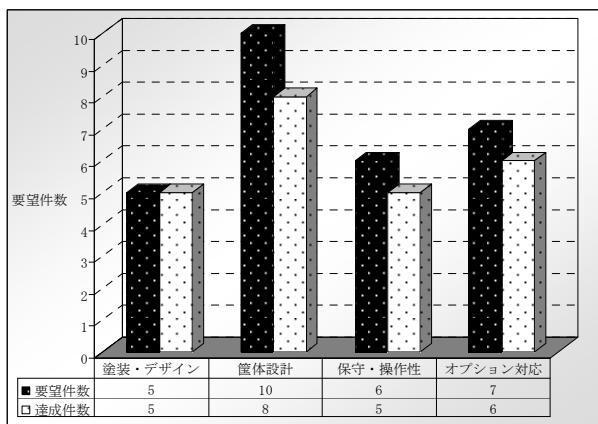
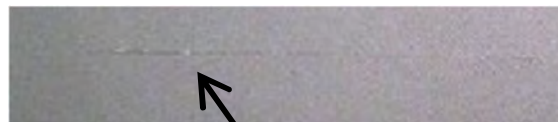
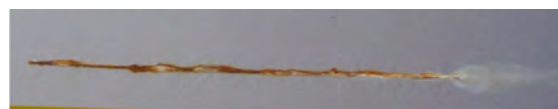


図5 各分野要望への達成状況



(a) サイクル腐食試験後の試験片。素地に達した切口があるにも関わらず、腐食の進行なし



(b) 腐食進行例

図7 塗装条件の最適化

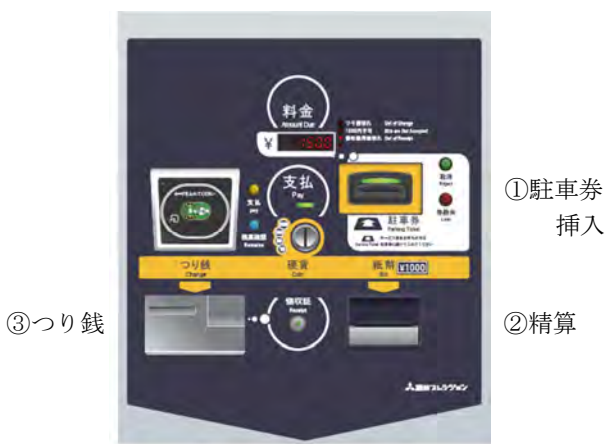
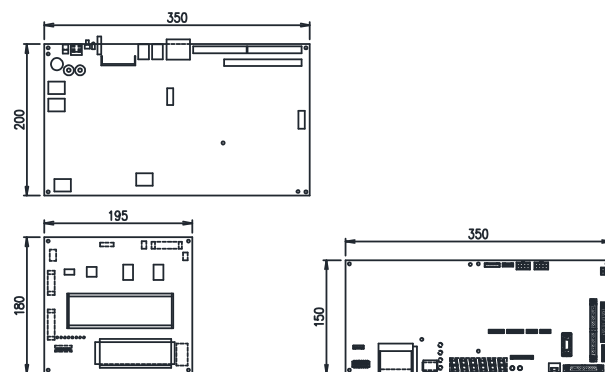


図6 精算動作順序とデザイン性



	従来機	開発機	削減比
基板枚数	2枚	1枚	50%
面積	1,121 cm <sup>2</sup>	525 cm <sup>2</sup>	47%

図8 従来機との基板外形比較

### 3.3 塗装品質の向上

開発機の筐体は、従来と開発機共にアクリルウレタン樹脂焼付塗装を採用している。アクリル系に分類される塗料は様々あるが、開発機においては、耐候性に優れた新規塗料の適用と塗装条件の最適化により、塗装品質を向上させている。

#### 【塗装条件の最適化】

- ・電気亜鉛メッキ鋼板と脱脂種類・条件の適正化
- ・塗膜の研ぎ状態の影響調査と最適化
- ・塗膜焼付け条件の影響調査と最適化
- ・膜厚管理

塗装条件の最適化により、物理的な密着性確保に加え、促進耐候性試験、サイクル腐食試験<sup>\*1</sup>によりその耐候性の性能向上を確認した。(図7)

<sup>\*1</sup> サイクル腐食試験：塗装試験片にカッターナイフ刃先で、塗膜の上から素地に達する100mmの直線を引き、塩水噴霧と休止を規定サイクル回数実施する。

## 4 生産性向上への対応

生産性向上には、基板と板金設計の最適化を行った。短期間で最適価値を得るため、資材・生産技術・工作・品質管理・設計・加工外注エンジニアからなるワークチームによる取組みを行い、要求性能を維持した上で、生産性の向上に適した設計を行った。

### 4.1 基板の生産性向上

従来は、ディスプレイ用の表示基板とメインシステムコントロール用の制御基板の2枚を搭載していた。図8に従来機と開発機の基板外形比較を示す。開発機の筐体小型化における最適な基板サイズを計算し、かつ2枚の基板を一体化することで、筐体の小型化と生産性の向上を両立した。

## 4.2 板金の生産性向上

板金の一般的な生産性向上の取組みとしては、主要工法として工程の大半を占めると言われる『抜き・曲げ』『溶接』『絞り』の無駄を省いてゆく。この一般的な手法に加え、近年の板金加工に携わる機械の高効率化・高精度化・自動化の進歩や導入状況を加味し、加工外注先の環境に合った設計を行うことが有効である。

開発機では、人の作業性や熟練度が大きく影響する作業の工数削減の優先度を高め、生産性を向上させた。このとき、板金の『抜き』に関して加工外注先の最新機種のパフォーマンスを加味し、その優先度を下げ設計作業の効率化を図った。

(図 9)

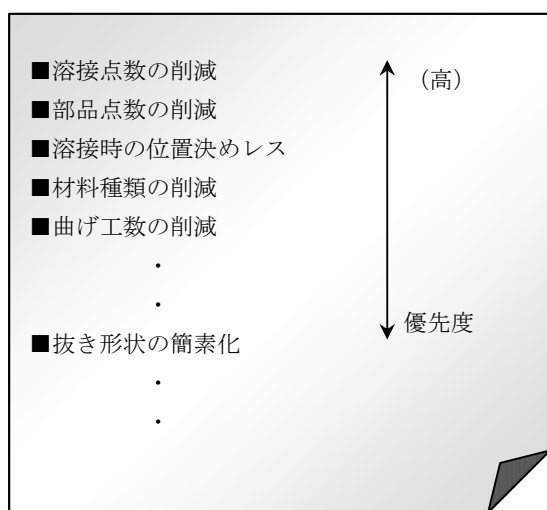


図 9 板金生産性向上への取組み～ガイドライン

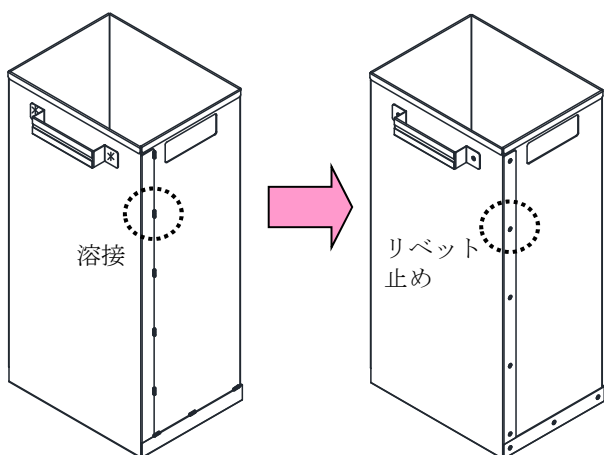


図 10 ボックス構造のリベット化

### (1) 溶接点数の削減・最適化

精算機は筐体、および筐体内の板金でも多くの溶接を要する。筐体に関しては、防犯構造に関わるため溶接部位の記載は避けるが、構造改善と溶接長・位置の適正化で高剛性な性能を保持し、溶接点数の削減を行った。

図 10 に筐体内板金の溶接削減の一例を示す。溶接点数の多さはそれのみで多大な工数となると共に、歪も生じやすく、溶接後の手直し作業が必要となることも多い。その部品の機能を理解した上で、リベット化することも有効である。

### (2) 部品点数の削減

生産性を向上させる上で、部品点数の削減は最もシンプルで有効な手段である。図 11 のような 4 部品の一体化は、曲げ工数の削減と共に、後の組立作業性向上に寄与する。

### (3) 板金の生産性向上～総括

開発機は生産性向上の取組みに関するガイドライン上位 5 項目に関して表 1 に示す結果を得た。

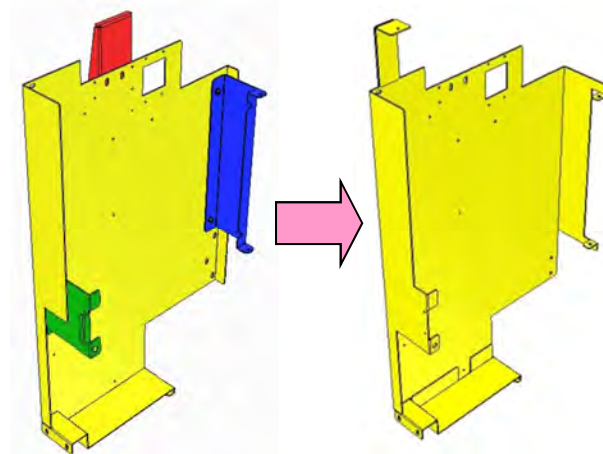


図 11 機能部品の集約化

表 1 板金の生産性向上～取組み結果

	開発機での適用
溶接点数の削減	9部品
部品点数の削減	62種類 → 52種類
溶接時の位置決めレス	4部品
材料種類の削減	20種類 → 10種類
曲げ工数の削減	全52種類で実施



## 5 開発機の機器概要

開発した ゲート式全自動精算機（以下 AP-100\*2）の機器の概観を図 12、諸元を表 2 に示す。

\*2 AP-100：開発したゲート式全自動精算機の型番



図 12 AP-100 概観

表 2 AP-100 諸元

番号	項目	仕様	
1	形状	自立型	
2	構造	防雨構造	
3	外形寸法	555W×1300H×485D (突起物を含む)	
4	表面処理	アクリルウレタン樹脂焼付塗装	
5	塗装色	本体	シルバー
		パネル	グレイッシュパープル
		シルク	白, 黄
6	質量	155kg 以下 (オプションを除く)	
7	電源	AC100V±10% 50/60Hz	
		消費電力	待機時
		動作時	200VA 以下
9	使用条件	周囲温度	-10℃～+40℃
		湿度	10～90%Rh
10	絶縁耐力	絶縁耐圧	AC1500V, 1 分間
		絶縁抵抗	DC500V, 20MΩ 以上

## 6 むすび

AP-100 は当社比で従来機から容積比 70 %の小型化と、生産性の向上を実現した。2014 年 3 月から製品を出荷し運用を開始し、中小規模のゲート式駐車場市場での受注拡大に繋がることが期待される。

### [執筆者紹介]



西田 博行 略歴

2013 年入社, 各種駐車上機器の機構設計に従事。



佐々木 秀一 略歴

1984 年入社, 各種電気設計に従事。



# ドライビングシミュレータ・鉄道シミュレータ用 模擬視界発生装置の開発

－ ハイダイナミックレンジ (HDR) レンダリングによる光の表現 －

松本 律樹, 安達 裕紀, 矢野 徹, 若林 知行

要旨：ドライビングシミュレータ・鉄道シミュレータで用いる模擬視界発生装置の後継機種として、ヘッドライト・街灯・建物の影などの映像模擬機能を実現した DiaScene IG<sup>\*</sup>-88（以下、IG-88）を開発した。これら映像模擬機能のベースとなっているのが、人間の視覚環境に近い輝度範囲で光の計算を行うことを可能とする、HDR レンダリングである。このレンダリング手法を適用することにより、シミュレータ運用時の視認性が向上した。

## 1 まえがき

模擬視界発生装置は、シミュレータ用のコンピュータグラフィックスの映像をリアルタイムに生成するためのものであり、ドライビングシミュレータ・鉄道シミュレータ用に幅広く利用されている。

自動車関連メーカーや研究機関向けの研究・開発用ドライビングシミュレータは、ITS<sup>\*1</sup>技術開発やヒューマンマシンインタフェースの評価用途等で使用され、自動車教習所や運転免許センター向けの教育・教習用ドライビングシミュレータは、運転免許取得時の講習、違反者教習等で使用されている。また、鉄道事業者向けの鉄道シミュレータは、運転士の運転走行、車掌のプラットフォーム安全確認の教育・訓練、異常時のトラブル対応訓練で使用されている。

このようにシミュレータとしての使用用途は様々であり、模擬視界発生装置には常により現実的な映像表現が求められている。視覚は光を媒介としているため、映像表現を向上させるためには、光の表現力向上が必須である。今回、IG-88にHDRレンダリングを取り入れることで実現可能な光の表現の幅を広げ、昼間の太陽光による影、夜間のライトによる照明表現など、現実存在する光の効果を追加した。

図1はIG-88で描画した昼間の市街地映像、図2は夜間の市街地映像である。これまでハードウェアの制約により実現が困難であった車両のヘッドライトや、街灯による光の照射処理を追加したことにより、夜間の映像がより現実的になり、結果、夜間の視認性が向上した。また、影の効果により、立体感のある映像となった。



図1 昼間の市街地映像



図2 夜間の市街地映像

以下、2章ではIG-88のレンダリングのベースとなるHDRレンダリングについて、3章ではIG-88に追加した映像模擬について、4章ではまとめを述べる。

\* IG : Image Generator の略。

\*1 ITS : Intelligent Transport Systems の略。高度道路交通システム。

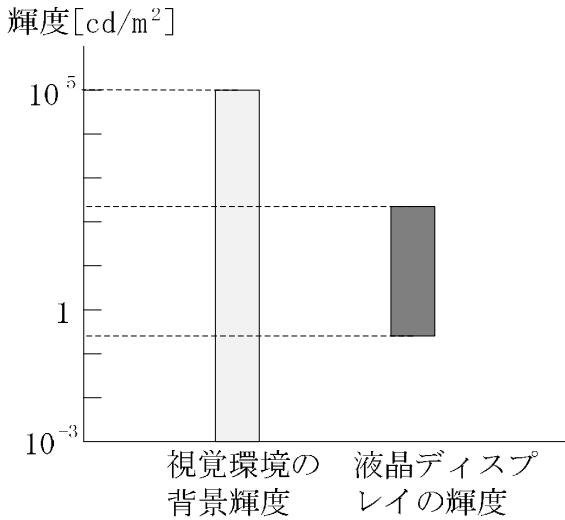


図3 視覚環境の背景輝度と液晶ディスプレイの輝度との比較

## 2 HDR レンダリング

### 2.1 HDR レンダリングについて

模擬視界発生装置では画素ごとに光の計算を行う。例えば、解像度 Full HD(横 1920 画素×縦 1080 画素)、映像更新レート 60Hz (1 秒間に 60 回の映像更新) の場合、1 秒間の描画に必要な画素の計算回数は、 $1920 \times 1080 \times 60 = 124416000$  回と、非常に高速な計算処理能力が求められる。今まで、模擬視界発生装置内部で処理する画素とディスプレイ等に入力する際の画素は全く同じものであった。画素は光の 3 原色である赤・緑・青のデータであり、赤・緑・青がそれぞれ 8bit (256 階調) を持つ。

HDR レンダリングとは、ディスプレイの輝度・階調の範囲にとらわれず、より広い範囲での画素の計算を行うことをいう。

視覚環境 (人間の暮らす周囲の風景) の背景輝度は、図 3 の通り、 $10^{-3} \text{cd/m}^2$  (星空の下) から  $10^5 \text{cd/m}^2$  (太陽光の下) 程度である。一方、液晶ディスプレイの輝度は  $0.3 \text{cd/m}^2 \sim 300 \text{cd/m}^2$  程度である。

IG-88 では、この視覚環境の輝度範囲にて光の計算を行うことにより、陰影やライト表現において、より自然な映像表現を可能とした。

また、IG-88 内部で処理する画素の階調は 8bit (256 階調) ではなく、赤・緑・青にそれぞれ 16bit 浮動小数点を用いた。32bit 浮動小数点を用いた方がより正確な計算が可能であるが、描画処理の負荷が高く、実用性が損なわれるため、16bit 浮動小数点を採用した。

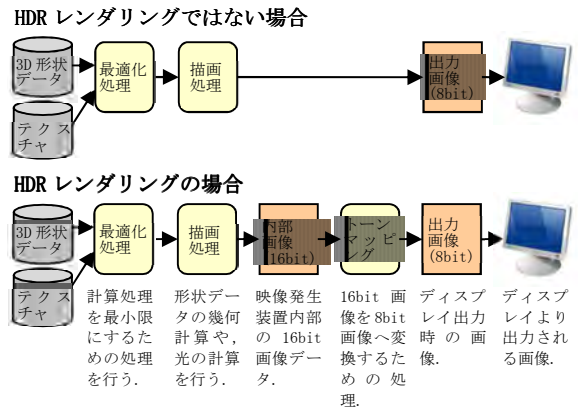


図4 処理の流れ

### 2.2 トーンマッピング

HDR レンダリングを行わない場合は、図 4 の上図の通り、描画結果がそのままディスプレイへ出力される。

それに対し、IG-88 の処理の流れは図 4 の下図の通りである。初めに処理負荷軽減のため、計算処理が最小限となるよう最適化を行い、次に 3 次元の形状データや物体の質感を表現するためのテクスチャ等のデータを基に描画処理を行う。描画結果は 16bit の 2 次元画像となる。最後に、トーンマッピング<sup>\*2</sup>にて、ディスプレイで表示できる色範囲 (256 段階) に変換し、ディスプレイに出力する。

本来、IG-88 計算時の 16bit 画像をそのままディスプレイに出力するのが望ましいため、なるべく IG-88 の画像とディスプレイからの出力画像を近づける必要がある。液晶ディスプレイ等では、通常入力時の色値と出力時の輝度値は比例関係にあるわけではなく、 $B = A^\gamma$  (A は入力値、B は出力値) のガンマ ( $\gamma$ ) 特性があり、一般的に  $\gamma = 2.2$  である。そのため、IG-88 の出力画像はガンマ特性を考慮した出力にする必要がある。トーンマッピングの処理方式には多様な種類が存在するが、IG-88 では、トーンマッピングにて 8bit 映像に変換する際の変換式として、ガンマ補正を採用している。ある画素 ( $x, y$ ) でのトーンマッピングの計算式は式 (1) となる。

$$p(x, y) = \frac{L(x, y) - L_{\min}}{L_{\max} - L_{\min}} \quad (1)$$

$$p(x, y) > 1 \text{ のとき, } p(x, y) = 1$$

$$p(x, y) < 0 \text{ のとき, } p(x, y) = 0$$

$$C(x, y) = p(x, y)^{\frac{1}{\gamma}} \quad \gamma = 2.2$$

$x$  は横方向の画素位置、 $y$  は縦方向の画素位置、 $L(x, y)$  は IG-88 内部画素の輝度値、 $L_{\min}$  は 8bit 映像に変換する

\*2 トーンマッピング：標準以上のダイナミックレンジを圧縮・再配置するなどして標準のダイナミックレンジの画像を得る手法・手段。

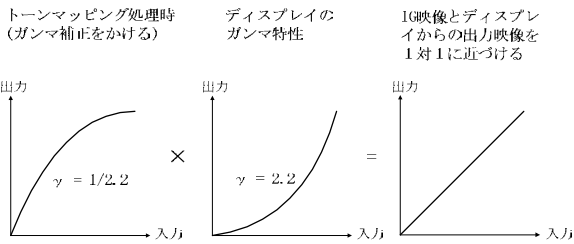


図5 ディスプレイのガンマ特性とトーンマッピング処理時のガンマ補正のイメージ

際に用いる下限輝度,  $L_{\max}$  は上限輝度,  $p(x, y)$  はガンマ補正前の画素値,  $C(x, y)$  はガンマ補正後の 8bit 映像の画素値であり,  $0 \leq C(x, y) \leq 1$  の範囲で表す. 式 (1) の計算を赤・緑・青の 3 成分に分割し, 3 成分それぞれに対して行う.

図 5 のように, あらかじめトーンマッピング処理時にディスプレイのガンマ特性を打ち消すような補正を行うことによって, IG-88 内部画像とディスプレイからの出力画像の輝度値を近づける.

ここで, トーンマッピング処理時のグラフにある入力値は式 (1) の  $p(x, y)$  に, 出力値は式 (1) の  $C(x, y)$  に該当する.

### 2.3 HDR 合成

IG-88 では, トーンマッピングにて 8bit に変換する際, 1000:1 程度のコントラスト比となるように変換しており, 非常に明るい部分, 暗い部分の情報を切り捨てている. そのため, 非常に明るい部分は白く飛び, 暗い部分は黒くつぶれる問題が発生する. コントラスト比を上げれば切り捨てずに済むが, コントラスト比を上げすぎると, 陰影の弱い映像となる.

この白飛び等の問題を軽減するため, IG-88 では HDR 合成<sup>\*3</sup>の考え方を取り入れた. トーンマッピング時に明部優先の画像と, 暗部優先の画像を作成し, それら 2 枚の画像を混ぜ合わせる. 非常に明るい部分は明部優先の画像を使用し, 非常に暗い部分は暗部優先の画像を使用するように混ぜ合わせることによって, 白飛びや黒つぶれを抑える.

### 2.4 HDR レンダリングにより可能となった光の表現

HDR レンダリングを行うことにより, 点光源やヘッドライト等の光の模擬を行う際, 次の表現を実現した.

<sup>\*3</sup> HDR 合成: ハイダイナミックレンジ合成. 通常より幅広いダイナミックレンジを表現するための画像合成技術. 写真技法の一種. HDR レンダリングとは意味合いが異なる.

### (1) 点光源で照らされた地面のグラデーション表現

点光源の場合, 受光面における放射照度が光源からの距離の 2 乗に反比例して低下していくという放射照度に関する距離の逆 2 乗則で表現される [1]. HDR レンダリングではない場合, 距離の逆 2 乗則をそのまま適用すると, 階調不足により照射部に等高線のような縞模様が発生する. HDR レンダリングの場合, 問題なく逆 2 乗則の計算ができ, 結果, 自然なグラデーションとして映像に表れる.

### (2) 多数の光源で照らされた物体の表現

太陽光や街灯などのインコヒーレント光<sup>\*4</sup>では各光源からの光同士が干渉しないため, 任意の点における放射照度は, 各光源からの放射照度の足し合わせで表すことができる. HDR レンダリングを行わない場合, 各光源からの放射照度をそのまま足し合わせる際, 放射照度を 8bit の範囲に丸めこむ処理を行わなければならない. 結果, 各光源からの照射の重なり部分が不自然に見えることがある. HDR レンダリングの場合, 例えばヘッドライトと街灯によって複数照らされた地面や壁等においても, 自然な映像表現が可能である.

### (3) 擬似的な明順応, 暗順応の表現

人間は昼間の太陽光など光強度レベルが高いところから, 照明が消されている例えば映画館の中に入ったような場合, はじめは見えない周囲が, しばらくすると見えるようになる. このように光感度が回復していく過程を暗順応と呼ぶ [2]. 一方, 暗所から急に明るいところへ移ったとき, 最初はまぶしさを感じるがしばらくすると物体を明確に認知できるようになるのを明順応と呼ぶ. トーンマッピング処理を行う際, 採用する輝度の範囲を連続的に変化させることにより, 擬似的な明順応, 暗順応の表現が可能となる.

## 3 追加模擬

### 3.1 ヘッドライトの模擬

通常, 自動車のヘッドライトのロービームはすれ違い用前照灯である. 国土交通省告示の「道路運送車両の保安基準の細目」によると, すれ違い用前照灯の照射光は, 夜間に前方 40m 先にある障害物を確認でき, かつ, 対向車等の他の交通を妨げないものでなければならない. そのため, ロービームの場合は対向車線をあまり照らさないことが多い.

このような複雑なライト特性の模擬を可能とするため, IG-88 では実車のヘッドライト照度分布等のデータを取り込み, 内部の描画処理上において再び照射を行う仕組みを

<sup>\*4</sup> インコヒーレント光: 波長や位相が一定でない光のこと. 自然界に存在するほとんどの光はインコヒーレント光である.



図6 ヘッドライト照射映像

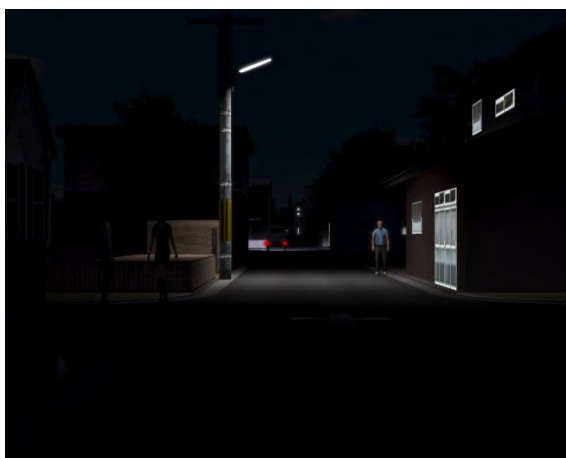


図7 街灯に照らされる地面や人物の映像

確立した。結果、図6の通り、対向車をあまり照らさないロービームの特性を持った映像表現が可能となる。

なお、図6では、対向車のヘッドライトは消灯している。

また、夜間に自動車を運転している際、ヘッドライトの照射光により、標識が地面や建物に比べ非常に明るく照らされる現象がある。これは再帰反射という、入射した光が再び入射方向へ帰る反射現象である。再帰反射が起こる物体は、標識のほかに反射板や白線などがある。図6では、標識が明るく照らされているのが分かる。図6中の、「うどん」の看板は自発光である。

### 3.2 街灯の模擬

夜間に道路や人物等を照らす街灯の模擬を実現した。図7では、街灯の光により、道路を歩く人物が確認できる。

IG-88では街灯の照明を点光源とみなし、点光源による街灯の模擬を実現している。IG-88では全方向に一様に光を放射する点光源と、スポットライトのように指向性のある点光源の2種類の模擬を行っている。

昼間



夜間

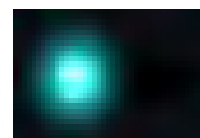


図8 グレア効果による昼間と夜間の信号機の見え方の違い

### 3.3 グレア効果の模擬

グレアとは不快感や物の見えづらさを生じさせるようなまぶしさと呼ぶ。夜間など周囲が暗い環境で、自動車のヘッドライトや街灯などの高輝度照明を直視した場合にグレアが起こりやすく、その際、照明の光の周りに円状に広がるハロー（以下、グレア光幕と呼ぶ）が生じる。

IG-88では、「光源の輝度が高い」、「周囲の輝度が低い」、「視点の向きと光源の向きとのなす角が小さい」という3つの条件によって、グレア光幕が強くなるよう模擬をしている。図8は、昼間の信号機と夜間の信号機の映像を比較したものであり、信号機自体は同じ明るさであっても夜間は周囲の輝度が低いため、夜間の信号機にのみグレア光幕がかかっている。

### 3.4 影の模擬

HDR レンダリングには、光の表現を向上させる効果がある一方、影となる部分の陰影表現を豊かにする効果もある。IG-88では太陽光による影の映像表現を可能としている。影映像の描画には、カスケードシャドウマップ技法（以下、CSM<sup>\*5</sup>）[4]とバリエーションシャドウマップ技法（以下、VSM<sup>\*6</sup>）[5]という一般的なコンピュータグラフィックスの技法を採用している。

シャドウマップ技法では、光源を視点とみなして光源の位置・向きから建物等の遮蔽物までの深度値をシャドウマップ（深度値の2次元画像バッファ）に描画し、次に、視点から描画する際にシャドウマップの深度値によって影になる部分を判定し、影を描画する。CSMは、シャドウマップを視点からの距離に応じて複数枚描画する技法であり、IG-88では、視点から近距離・中距離・遠距離の3枚のシャドウマップを用いている。VSMは、影になる部分とならない部分の境界線をぼかすための処理で、ソフトシャドウ表現と呼ばれる。

シャドウマップは処理負荷の関係上、サイズに限りがあり、1000×1000程度を採用している。そのため、シャドウマップの1画素以下での誤差が存在する。例えば、シャ

\*5 CSM : Cascaded Shadow Maps の略。

\*6 VSM : Variance Shadow Mapping の略。

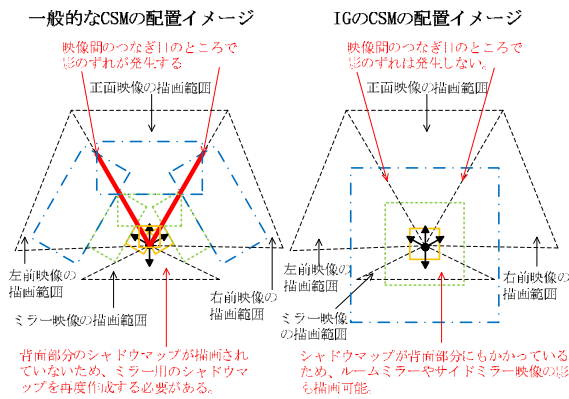


図 9 シャドウマップの配置イメージ 左が一般的な CSM, 右が IG-88 で採用している CSM

ドウマップが 200m × 200m の範囲の深度値情報を持つ場合、1画素以下での誤差は 0.2m × 0.2m 程度となる。そのため、Shadowマップの情報を有効に活用するためには、視点から近い場所には高密度のShadowマップを配置し、かつ、視点移動時にShadowマップの描画範囲を視点に追従させる必要がある。

このShadowマップの1画素以下の誤差とShadowマップを視点に追従させることが、「複数の IG-88 間の映像の影が繋がらない」「視点移動した際、地面に落ちる建物の影と影がかかっていない部分との境界線付近でちらつきが発生する」という問題を生む。

図 9 は、俯瞰したときの複数映像 (左前映像, 正面映像, 右前映像, ミラー映像) の描画範囲と、Shadowマップ 3 枚 (黄 (実線) が近距離用, 緑 (点線) が中距離用, 青 (一点鎖線) が遠距離用) の配置イメージを示したものである。

点線内部が描画範囲であり、赤い太実線が、左前映像と正面映像、正面映像と右前映像の繋ぎ目にあたる。通常、CSM では図 9 の左図のようにShadowマップを視点の前に配置する。このとき、IG-88 ごとにShadowマップを描画する位置が異なるため、1画素以下での誤差が生まれ、結果、映像間の影の連続性が確保できなくなる。また、視点移動時にShadowマップが追従するとき、1画素以下の誤差により、影の境界線の位置に変化が生じ、その位置変化が影映像のちらつきとなる。

これらの問題を解決するため、図 9 の右図のようにShadowマップを視点の周囲に配置した。視点の周囲に配置することにより、すべての IG-88 において同じ位置・向きのShadowマップを描画することが可能となるため、IG-88 間の影の連続性の問題が解決される。また視点の回転移動により、Shadowマップを回転させる必要がないため、視点の回転移動によって境界線部分のちらつきが発生しない。視点の平行移動によるちらつきに関しては、Shadowマップ

の 1 画素以下内でShadowマップの位置補正を行うことにより解決できる。また、ドライビングシミュレータではルームミラー等の視点と逆向きの映像を描画する必要があるが、これらミラー映像に映る影の描画も可能となる。

#### 4 むすび

本稿では、IG-88 に適用した HDR レンダリングについて、追加した光の効果について述べた。光の表現力向上により、シミュレータ運用時の視認性向上の効果が得られた。現在、本稿で説明した機能を追加した IG-88 は、研究・開発用ドライビングシミュレータと鉄道シミュレータの模擬視界発生装置として納入、運用されている。また、自動車運転シミュレータ DS-7000 の映像に本技術の一部が使用されている。

模擬視界発生装置にとって現実的な映像表現を迫及する課題に終わりなく、また、ハードウェアの更なる進歩により、実現可能な映像表現は広がるため、継続的な模擬機能追加や新たな表現の開発が必要であると考えられる。

#### 参考文献

- [1] 牛山善太, 草川徹: シミュレーション光学 多様な光学系設計のために, 東海大学出版会, 2003.
- [2] 内川恵二, 映像情報メディア学会: 視覚心理入門 ー基礎から応用視覚までー, オーム社, 2009.
- [3] 青木義郎, 豊福芳典, 塚田由紀, 関根道昭, 森田和元: 高齢運転者の知覚特性の劣化とその対策について, 独立行政法人 交通安全環境研究所 フォーラム 2007.
- [4] Rouslan Dimitrov: Cascaded Shadow Maps, NVIDIA Corporation, 2008.
- [5] Kevin Myers: Variance Shadow Mapping, NVIDIA Corporation, 2007.
- [6] 宮崎正剛, 若林知行, 矢野徹, 川上隆行: PCIG DiaScene IG-95/80 の開発, 三菱プレジジョン技報, vol.2, pp.44-50, 2006.

## [執筆者紹介]

---



松本 律樹 略歴  
2005年入社，主にビジュアル関連のソフトウェア設計に従事。



安達 裕紀 略歴  
2008年入社，主にビジュアル関連のソフトウェア設計，データベース設計に従事。



矢野 徹 略歴  
1989年入社，主にビジュアル関連のソフトウェア設計，システム設計に従事。



若林 知行 略歴  
1989年入社，主に実時間コンピュータグラフィックス関連の製品開発に従事。



## 飲酒教材の開発

栗田 弦太

**要旨：** 飲酒運転は2013年4月より違反者に対して厳しい処罰が法令化されるほどの社会問題となっている。そこで、ドライビングシミュレータを通じて飲酒状態での運転の危険性を認識してもらい、飲酒運転の撲滅に向けてリアリティのある飲酒教材を開発した。開発課題あった「運転操作の反応遅れ」及び「視野機能の低下」を模擬する飲酒フィルターの概要と飲酒フィルターの妥当性を検証するために実施した飲酒実験の結果について報告する。

### 1 まえがき

2008年より、警察庁を中心に常習飲酒運転者に講ずべき安全策に関する調査研究が行なわれ、2013年4月より、飲酒運転違反者に対して新たな処罰が法令化された。処罰の内容は罰則を強化すると共に、飲酒により検挙された運転免許取消処分者の、飲酒行動や生活習慣にまで及び、警察の担当者が簡易介入を行なうという新しい試みがなされてる。弊社教材ラインナップには、1999年に開発したドライビングシミュレータ DS-100 用の古い飲酒運転用教材が存在する。(図1)

この教材は、アルコールの視覚への悪影響として、視野狭窄に注目し、周辺視野が見えにくくなるようなフィルターを付加する方式である。しかし、導入当初より、運転体験されたお客様より、「飲酒状態の模擬がリアリティに欠ける。事前説明や解説が不十分で共感／理解を得られない。」等の改善要望があった。

そこで、新しい飲酒教材を開発するにあたり、リアリティ向上を第一の目標と定めて開発した。

### 2 開発仕様

#### 2.1 リアリティ向上

飲酒状態のリアリティ向上を目標としたが、実際に飲酒による運転への影響を模擬するための開発仕様を定義する必要がある。飲酒は個人差はあるもののアルコールの運転技術や行動に対する影響は、「アルコールの運転におよぼす影響」[1]において、極めて低いアルコール血中濃度から始まるという報告もあり、飲酒の摂取量に対する影響を特に考慮する必要がある。

飲酒時の運転への影響を教育する教材に必要な要素は、大きく分けて次に区分されると考えた。

- ① 運転操作の反応遅れ
- ② 視野機能の低下

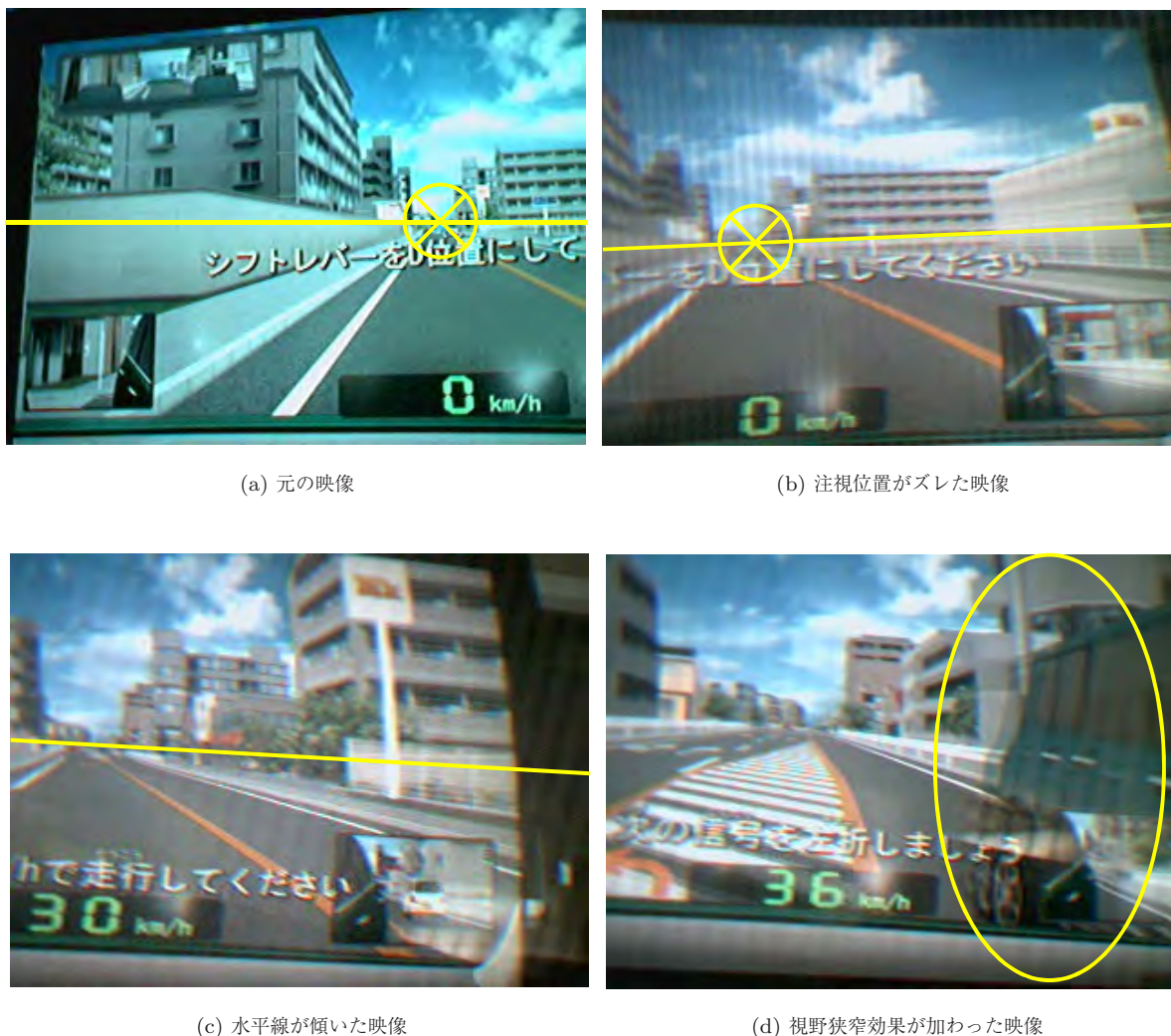
最初の「運転操作の反応遅れ」については、飲酒の影響によりハンドル、アクセル、ブレーキの運転操作が遅くなる現象である。この現象を模擬するために各種運転操作の変位量の取り込みタイミングを遅らせる遅延フィルターを開発することとした。飲酒時の運転操作の遅れ時間については、科学警察研究所交通安全研究室が実施した「低濃度のアルコールが運転操作等に与える影響に関する調査研究」[2]で、呼気中アルコール濃度別、酒の強さ別の反応時間(やや複雑な判断・平均値)として報告されているものを参考とした。

次に「視野機能の低下」については、飲酒の影響により視野が狭くなる眼球運動障害、水平視野を維持できなくなる平衡感覚障害などの現象である。この現象を模擬するために正面の窓外視界の画像を変化させる画像フィルターを開発することとした。警察の講習でも飲酒における視野機能の低下状態を体験させるために酒酔い体験ゴーグル「Fatal Vision®」(フェイタル・ビジョン)[3]を使用している。この酒酔い体験ゴーグルは、米国製で全米50州だけでなく日本や世界の48ヶ国以上で交通安全教育の場で広く使われているものである。画像フィルターの開発では、この酒酔い体験ゴーグルも参考として使用した。

図2は酒酔い体験ゴーグルを通してドライビングシミュレータの正面の画面を撮影した映像である。図2(a)は元の



図1 DS-100用飲酒教材の画面例



(a) 元の映像

(b) 注視位置がズレた映像

(c) 水平線が傾いた映像

(d) 視野狭窄効果が加わった映像

図2 酒酔い体験ゴーグルを通して見た映像

映像でカメラアングルを変えず酒酔い体験ゴーグルを通して撮影した映像が図2(b),(c),(d)である。図2(b)の映像は図2(a)の画面を全くカメラ位置を変えずに酒酔い体験ゴーグルを通して撮影した場合である。図2(a)の画面の左側走行車線の注視点(マーク部分)が酒酔い体験ゴーグルの偏向フィルターを通して画面の左の端に大きくズレているのが判る。図2(c)は図2(b)の状態に酒酔い体験ゴーグルを左に少し傾けた場合である。少しの傾きで水平線が大きく傾き、平衡感覚の異常を表現しているのが判る。図2(d)は酒酔い体験ゴーグルの端を通して見た映像である。周辺の視野が二重になり、ぼけて周辺視野が見難くなり視野狭窄の効果表現していることが判る。

飲酒における「視野機能の低下」として、次の3点の「視覚機能の低下」の模擬が必要であると分析した。

- ・注視点のズレ(注視点の錯乱)
- ・水平線が傾いた(平衡感覚の錯乱)
- ・周辺視野が歪んだ(周辺視野の歪み)

また併せて、監修して頂いていた久里浜医療センターの樋口院長先生より、飲酒時の視覚の特徴として、アルコールの影響で、左右眼球の位置制御に誤差が生じ、ものが二重に見える「複視」という症状を提案して頂き、4点目として追加した。

開発する画像フィルターは、注視点の錯乱と平衡感覚の錯乱を発生させる「位置変更フィルター」、「乱屈折フィルター」、周辺の視野に歪みを発生させる「視野狭窄フィルター」、複視を発生させる「複視フィルター」の4つとした。開発する飲酒フィルターとして遅延フィルターと画像フィルターの効果を表1に示す。

## 2.2 運転者の共感を得られる機能

「運転者の共感を得られる機能」として、運転者の飲酒運転をする場面を想定した。最初に日頃の飲酒量を質問し、飲酒量に応じて飲酒フィルターの強度を、変更する機能を付加した。各運転者に対して講習内容に、自分自身の設定

で進められる機能を付加することで、参加意識を高め、より共感を得てもらおうと同時に飲酒状態の脅威を認識してもらえるものと考えた。

更に「理解を深め、学習効果を向上」するため、アルコール症スクリーニングテストや、運転結果に基づいた個別の解説等も付加した。

### 3 開発項目と検証

#### 3.1 飲酒フィルター

開発した5つのフィルターを次に示す。

##### (1) 遅延フィルター

運転操作に関係するハンドル、ブレーキ、アクセルからの操作の変位量を計算機に取り込み、運動モデル（ソフトウェア）に反映する際に所定の遅延時間（最小1msec単位）を加算し、遅延状態を模擬する設計とした。

##### (2) 位置変更フィルター

「注視点の錯乱」と「平衡感覚の錯乱」を発生させるため、画像全体を並行且つ回転移動させるフィルターである。飲酒状態のふらつきを模擬するため、ゆっくり8の字型に回転させながら移動させた。また、飲酒量によりフィルターの移動量と速度を変更する設計とした。（図3）

表1 飲酒フィルター一覧

フィルター種類	フィルター効果	
遅延フィルター	シミュレータの操作位置検出に遅れを持たせる（操作が遅れる）	
画像フィルター	位置変更フィルター	描画する画像全体を、並行移動、回転移動させる（ズラして表示）
	乱屈折フィルター	あらかじめ設定されたパターンに沿って屈折計算を行ない、画面全体を歪ませる
	視野狭窄フィルター	中心楕円を中心に周辺に向けて、3×3空間フィルターで段階的に画像をぼやかす（視野狭窄を模擬）
	複視フィルター	画面全体を二重にずらして合成する（複視を模擬）



図3 位置変更フィルターの画面例

##### (3) 乱屈折フィルター

視野の歪みを表現するため、あらかじめ決めたパターンで画面を歪ませるフィルターである。複数のパターンを試行し、屈折間隔、屈折度合（波うち）など最適なパターンを選定した。また、飲酒量によりその歪みの強度も変更する設計とした。（図4）

##### (4) 視野狭窄フィルター

周辺に向けて画像を段階的にぼかすフィルターである。3×3の空間フィルターを用い画素の色の混ぜ合わせる方式とした。また、飲酒量によりぼける量を変更する設計とした。（図5）

##### (5) 複視フィルター

複視の状態を画像を二重にすることで模擬するフィルターである。2枚の同一画像の位置をずらし、画像を重複させ、合成することにより複視の状態を模擬した。また、飲



図4 乱屈折フィルターの画面例



図5 視野狭窄フィルターの画面例



図6 複視フィルターの画面例

表2 画像フィルター設定値一覧

フィルター	値※	変数の意味
位置変更	400x <sup>2</sup>	移動する視点のX座標係数, 横方向移動の範囲を決定する.
	160x	移動する視点のY座標係数, 縦方向移動の範囲を決定する.
	0.15x <sup>2</sup>	回転する視点の角速度係数, 回転する速さを決定する.
乱屈折	20x-1.5x <sup>2</sup>	乱屈折を発生させる画像パターン強度係数, 歪の強度を決定する.
視野狭窄	20x-1.5x <sup>2</sup>	周辺ぼかし強度係数, ぼかしの強度を決定する.
	120-40x <sup>2</sup>	ぼかし回避領域係数, 中心のぼかさない楕円の大きさを決定する.
複視	80x	左目用パラメータ, 二重に重なる左方向のズレを決定する.
	8x	左目用パラメータ, 二重に重なる上下方向のズレを決定する.
	0.6x	左目用パラメータ, 表示する濃さを決定する.
	40x	右目用パラメータ, 二重に重なる右方向のズレを決定する.
	4x	右目用パラメータ, 二重に重なる上下方向のズレを決定する.
	0.7x	右目用パラメータ, 表示する濃さを決定する.

※表中 x は体内アルコール濃度 [%] を代入するものである.

酒量により重複させる位置ズレの幅を変更する設計とした。(図6)

(6) 飲酒フィルターの設定値

遅延フィルターの設定値は, 科学警察研究所交通安全研究室が実施した「低濃度のアルコールが運転操作等に与える影響に関する調査研究」[2]で報告されている酒に強い人と酒に弱い人の平均値とした。また, 画像フィルターの設定値は, それぞれのパラメータに対して表2の通りとした。

これらの値は「アルコールが運転操作等に与える影響に関する研究」[4]の結果を加味し, 同様の結果が得られるよう試算した。

3.2 飲酒フィルターの検証

飲酒フィルターの強度設定と実際の飲酒の相関を検証するため, 実際に飲酒した被験者にドライビングシミュレータを運転してもらい実験した。この実験は客観性を維持するため, 第三者機関, 国立病院機構久里浜医療センターと共同研究(樋口院長先生 監修)の形式で実施した。実際の飲酒状態と飲酒フィルター機能の相関をとるため, 被験者検査・調査の予備実験, 飲酒を伴わない別実験, 飲酒を伴う本実験の3段階の実験を実施した。

実験の流れを図7に示す。実験で使用したドライビングシミュレータは, 弊社製ドライビングシミュレータ DS-300(図8)を使用した。また, 検査用のソフトウェアは, 高齢者用運転適性検査ソフトを使用した。この検査ソフトは4種類あり, 検査項目の中でもっとも難易度の高い「注意配分・複数作業検査」を採用した。「注意配分・複数作業検査」ではジグザグのコミュニティロード(図9(a))で, 出来る限り車線中央を走行(トラッキング)するよう求められる検査である。検査では運転中に「子供の飛出し」(図9(b)), 「大人の横断」, 「自転車の通過」の映像がイベント(刺激)として発生し, 「子供にはブレーキ操作」, 「大人にはアクセル離し(ブレーキを踏んではいけない)」, 「自転車には反応してはいけない」, との運転操作上の対処条件が設定され, それぞれの刺激に対する反応時間, 正確性を計測する。

1番目の予備実験は, 被験者の健康状態やアルコール耐

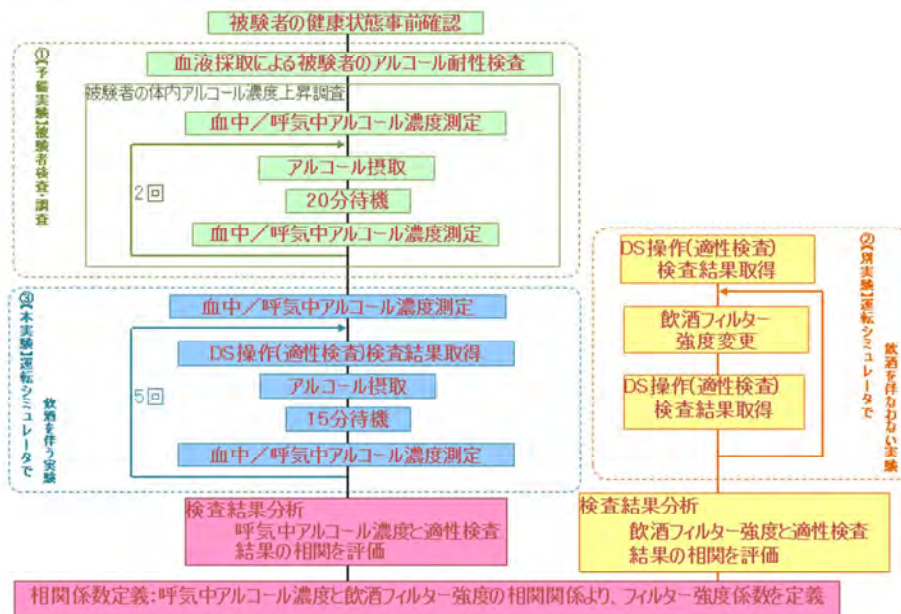


図7 実験の流れ

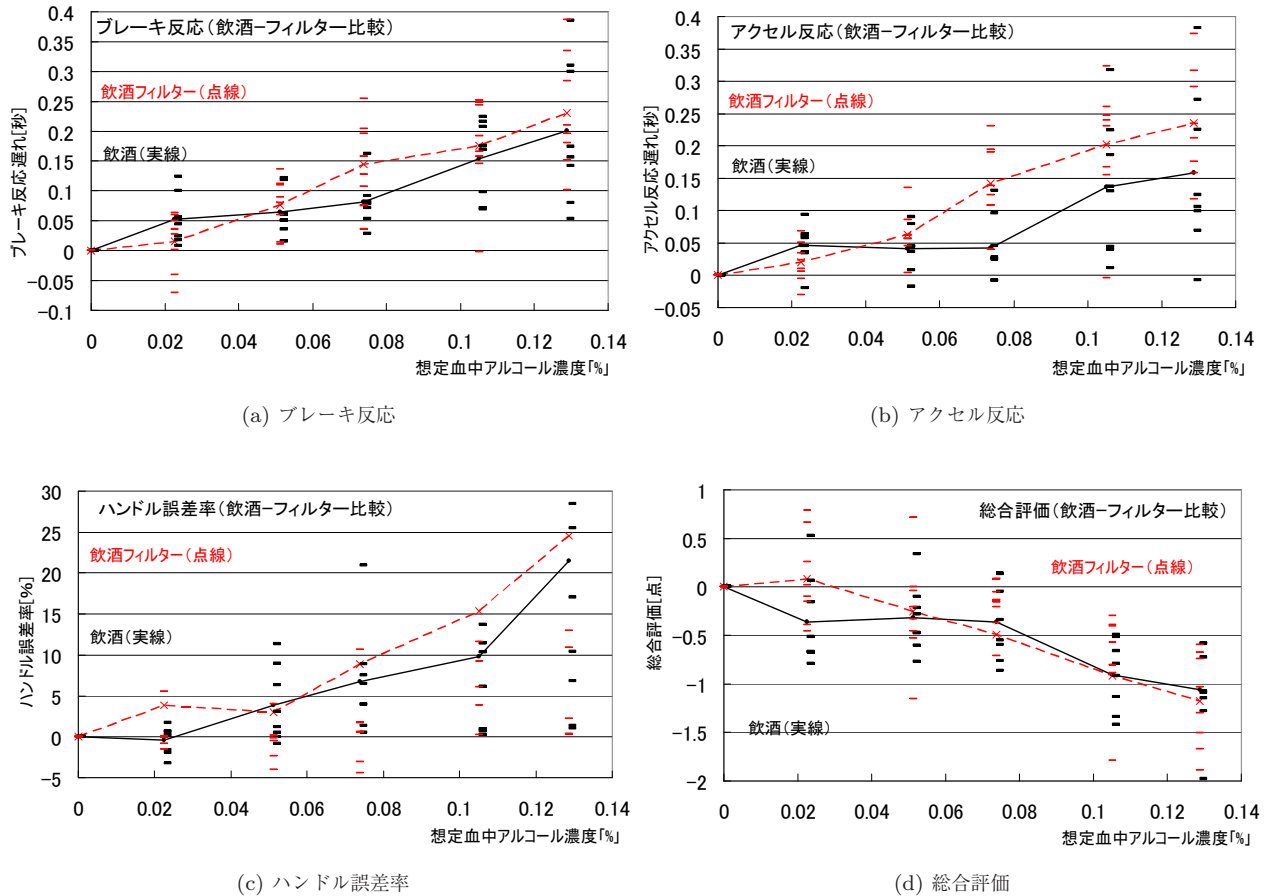


図 10 実験結果



図 8 ドライビングシミュレータ DS-300 及び実験風景



(a) コミュニティロード (b) 「子供の飛出し」場面

図 9 高齢者用適性検査ソフトの画面例

性を調査した。本実験ではかなり多くのアルコールを摂取する計画であり、この予備実験で問題ないと医師により診断された被験者のみで実施するものとした。被験者はアルコール（ワイン 2 杯、300cc）を摂取し、アルコール耐性を医師に判断して頂き選定した。また、問題ないと診断された被験者は、摂取アルコール量に対し、血中アルコール濃度を測定し、アルコールの摂取量に対する影響度合いを調査した。この予備実験の結果、候補者 10 名から被験者 8 名を選出した。

2 番目の別実験は、開発した飲酒フィルターをドライビ

ングシミュレータに適用し、運転操作に与える影響を「注意配分・複数作業検査」で反応時間、正確性を測定した。これは実際の飲酒と飲酒フィルターの強度の相関を比較するためのものである。アルコールを摂取せず、飲酒フィルターの強度（想定した飲酒量に対応）を段階的に変更して測定した。

3 番目の本実験は、実際にアルコールを摂取し、運転操作に与える影響を測定した。別実験と同様にドライビングシミュレータを使用し「注意配分・複数作業検査」で反応時間、正確性を測定した。

## 4 実験結果

被験者ごとの、想定血中アルコール濃度と「注意配分・複数作業検査」の刺激に対するブレーキ反応、アクセル反応、ハンドル誤差率、総合評価の実験結果を図 10(a),(b),(c),(d) に示す。総合評価とは警察の基準適合で指定されているもので、計算式 (1) で算出する値である。式 (1) 内、ペダル反応時間評価及びハンドル誤差率評価は、2000 人の測定データを統計分析して得られた 5 段階の評価に基づいている。この 5 段階の評価は、高齢者の運転免許更新時に実施する運転適性検査に使用している値である。

$$\left[ \begin{array}{c} \text{総合} \\ \text{評価} \end{array} \right] = \left( \left[ \begin{array}{c} \text{ペダル反応} \\ \text{時間評価} \end{array} \right] + \left[ \begin{array}{c} \text{ハンドル} \\ \text{誤差率評価} \end{array} \right] \right) \text{の平均} \quad (1)$$

実験結果 (図 10(a),(b),(c)) のグラフから開発した飲酒フィルターの傾向として、実際に飲酒した際の傾向と同様にブレーキ反応、アクセル反応、ハンドル誤差率は想定血中アルコール濃度の上昇により、ブレーキ反応の遅れ、アクセルの反応の遅れ、ハンドルの誤差率の増加が生じて運転操作が悪化していることが判る。

また、飲酒フィルターの総合評価 (図 10(d)) の傾向としても想定血中アルコール濃度の上昇により、他の評価項目と同様に総合評価が悪化していることが判る。

## 5 むすび

次の成果があった。

- ① 開発の課題であった従来教材よりリアリティのある理解の得やすい機能の達成に対しては、飲酒フィルターの開発 [5]、運転者の設定による飲酒量の反映などリアリティの向上と飲酒体験による共感を与える目的を達成できた。
- ② 開発した飲酒フィルターと実際の飲酒状態での運転に与える影響を実験を通して相関関係があることを検証できたことで、開発した飲酒フィルターの有効性を示した。
- ③ 開発した飲酒教材の有効性を複数の警察から評価を頂き、講習に採用されている。

今後は更に運転講習をより効果的に実施する教材に開発を進めていく。

## 謝辞

本稿の執筆にあたり開発、実験にご協力頂いた久里浜医療センターの樋口院長先生はじめ、多くの関係者の方々に深く御礼申し上げます。

## 参考文献

- [1] 樋口 進, 「アルコールの運転におよぼす影響」, 日本アルコール関連問題学会, 2011
- [2] 科学警察研究所交通安全研究室, 「低濃度のアルコールが運転操作等に与える影響に関する調査研究」, 科学警察研究所交通安全研究室
- [3] Fatal Vision®(酒酔い体験ゴーグル), <http://fatalvision.com/simulation-goggles/fatal-vision-goggles.html>, (2014.07.31)
- [4] 樋口 進, 「アルコールが運転操作等に与える影響に関する研究」, 国立病院機構久里浜医療センター, 2013
- [5] 三菱プレジジョン株式会社, 画像生成装置, 特開 2014-109972, 2014.06.12

## [執筆者紹介]



栗田 弦太 略歴

1990 年入社, 主にドライビングシミュレータのシステム設計, 製造に従事。

# 大型トラックドライビングシミュレータ向け ステアリング反力装置の開発

村松 幸治

**要旨：** 線形な入力変位に対して、ある変位量において剛性が減少変化する反力装置を開発した。本装置によって、従来の乗用車向けドライビングシミュレータ（以後 DS\*）に採用されているステアリング反力模擬方式では対応が困難だった大型トラックなどのハンドル操作力模擬が可能になる。複雑な能動機構によることなく、弾性体を並列・直列つなぎで併用することにより先述した反力特性を表現する方式について定式化も含めて報告する。本方式は、DS のハンドル操作力模擬装置に限らず他の反力装置にも適用可能な汎用性及び拡張性を備えている。

## 1 まえがき

DS におけるステアリング感模擬の重要性の高さは、運転時にハンドルを操作する頻度を鑑みれば容易に想像できる。従来、ステアリング反力模擬は、現実の操作感により近づけるため、サーボモータ等の能動的なアクチュエータ\*1が使用されてきた。サーボモータは、運転状況に応じて算出された反力を出力することでハンドルへステアリング操作感を与える。そのため、DS の操作感はサーボモータの性能や反力算出方法に依存することになる [1]。また、減速機等で間接的にモータの出力不足を補う方式もいくつか見受けられる [2] [3]。しかしながら、アクチュエータの適用は、必然的にハンドルの回転量等を検出するための各種センサや制御装置を設置および設定しなければならない。これらの要素は、製造コストや信頼性に対する品質コストの増加に繋がる。とりわけ、大型トラックのような重量の大きい車両はパワーステアリング\*2を介しても、なお大きいステアリング反力特性を有するため、アクチュエータの出力要求増大によるコスト上昇に繋がりやすい。アクチュエータを用いず簡易にステアリング感を模擬する方式としては、直動装置と弾性体及び粘性体を併用したものなどがある [4]。この方式は、サーボモータ等を用いないため電気部品はハンドルの回転量検出センサのみである。また、制御系構築の煩わしさが無くなるため、製造時の品質コストを大幅に低減できる。製造及び品質、運用コストを低減する上で前述した簡易的な模擬装置の要求は依然として大きい。しかしながら、こうした方式はアクチュエータを使用したものに比べて反力特性は線形な特性を一種類しか表現できない。教習目的 DS のように限られた走行条件に対しては一種類

の特性で事足りるわけだが、反力特性をより実車に近づけるためには弾性体や粘性体の使用方式を工夫する必要がある。そこで、新たに実車のステアリング操作感をより良好に再現できる反力発生方式を開発したので報告する。

## 2 実車の反力特性

最初に実車の典型的なステアリング反力特性について紹介する。反力特性の定義方法としては、一般的にハンドル回転量とその時のハンドル保持トルクを用いる。保持トルクとしたのは、ハンドルの操作半径に依存しないようにするため（ハンドルの操作半径が大きいほど、運転者が操作する際に必要な力は小さくなる）と停車時にハンドルを操作するいわゆる“すえきり操作”を除いて考えるためである。反力特性は車の種類（重量、タイヤの付き方）や走行速度などで増減があるが、定性的な特性は概ね図 1 で示される。図 1 ではタイヤが左右対称に装着されていると仮定して、片方向の操作に対する反力特性のみを表すものとする（ステアリング反力特性が左右対称と仮定している）。

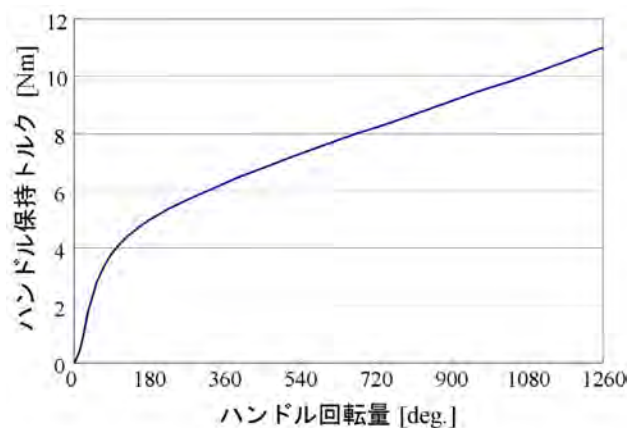


図 1 典型的なステアリング反力特性

\* Driving Simulator の頭字語

\*1 駆動装置

\*2 操舵力補助装置

図1よりハンドルの回し始めでは保持トルクの増分が大きくなり、途中からその増分が小さくなる傾向を持つことが分かる。この特性を弾性体で表現する場合、変形の途中で弾性係数が小さくなるような素材又は機構にしなければならない。しかしながら、素材に依る場合はアクチュエータを採用することと本質的に同義であり経済性・汎用性に欠ける。そのため、今回は機構に依る実現方式を構築するものとする。以下、このような前提に則って説明していく。

### 3 反力発生方式

#### 3.1 方式

新しい方式としては入手性・計算性が良い弾性体（例えばコイルバネ）でシステムが構築できることが理想である。ここで言う“計算性が良い”というのは、反力の計算が容易であることはもちろん計算した結果と実際に計測された結果が良く一致するという意味も含んでいる。上記のことを鑑みて、線形のコイルバネを利用した方式の模式図を図2に示す。

本方式では、線形の圧縮コイルバネを2種類（同じものでも構わない）使用する。第1のコイルバネ（弾性係数： $k_1$  [N/m]）と第2のコイルバネ（弾性係数： $k_2$  [N/m]）を図2の如く配置（ $k_1 \leq k_2$ ）し、それぞれの端部をストッパブロックで固定する。この時、ストッパブロックは上下共にストッパブロック連結シャフトによって固定されて

いるものとし、 $L$  [m] は任意の不変数となる。バネの変形は直動ナットがストッパブロック連結シャフトに沿って移動することで行われる。

この方式で重要なのは、第1, 2のコイルバネ自然長をそれぞれ  $L_{N1}$  [m],  $L_{N2}$  [m] とすると  $L$  は式(1)の関係式を満たすよう配置されることである。

$$L < L_{N1} + L_{N2} \tag{1}$$

簡単のため式(1)において、直動ナットの  $x$  軸方向厚みは無視している。式(1)が意味するところは、この系が釣合の状態において第1, 2のコイルバネは共に圧縮された状態ということである。釣合時における第2のコイルバネ自然長からの圧縮長を  $L_{C2}$  [m] とする。図2において、STAGE 1は直動ナットが第1, 2のコイルバネ両方から荷重を荷重されている変形段階を示し、STAGE 2は直動ナットが第2のコイルバネから完全に離れて第1のコイルバネからのみ荷重を荷重される変形段階を示している。

#### 3.2 見かけの弾性係数

ここで、STAGE 1とSTAGE 2における見かけの弾性係数を算出する。

##### (1) STAGE 1

この段階では、直動ナットは第1, 2のコイルバネから荷重が荷重されている。コイルバネはフック則に従う変形範囲で使用されるとして、荷重条件式を式(2),(3)で示す。

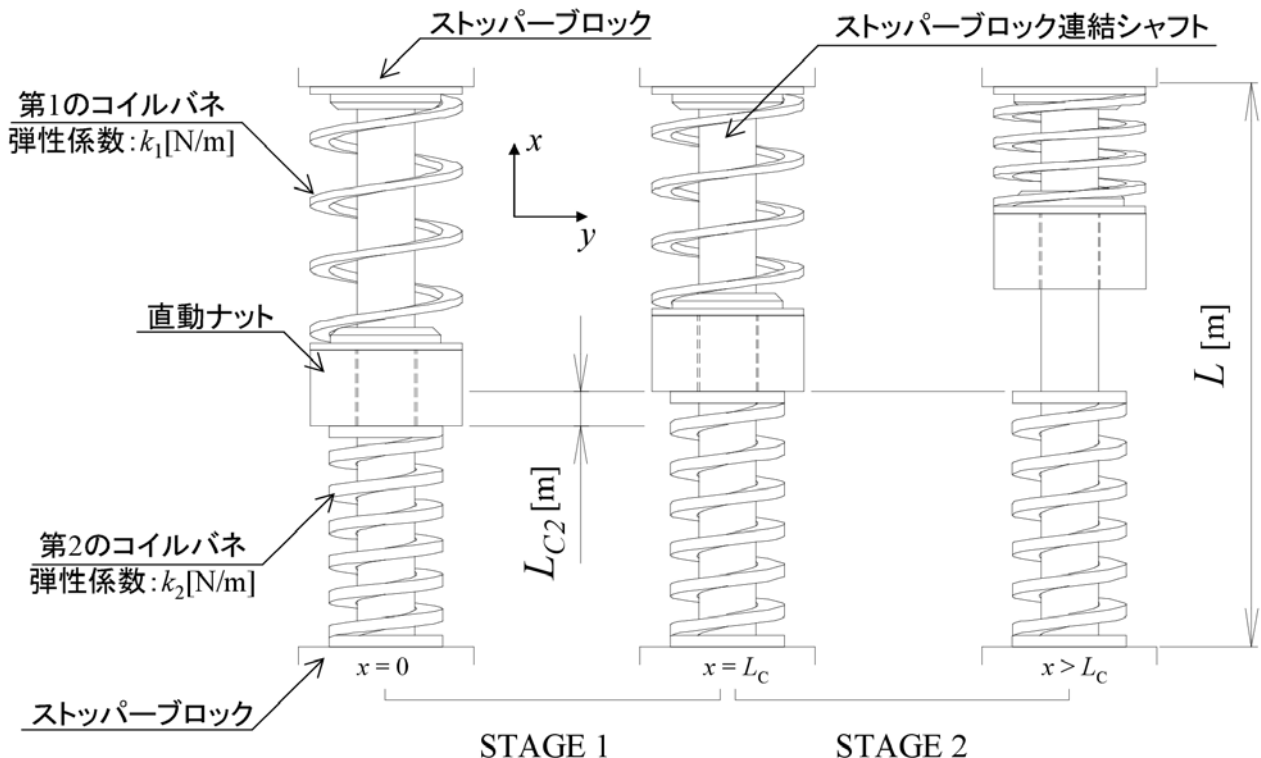


図2 コイルバネを利用した方式の模式図



$$F_1 = -k_1 \times x \quad (2)$$

$$F_2 = k_2 \times x \quad (3)$$

釣合時における第 1, 2 のコイルバネの荷重値  $F_{N1}$ ,  $F_{N2}$  [N] は式 (4),(5) で示される.

$$F_{N1} = -k_1 \times L_{C1} \quad (4)$$

$$F_{N2} = k_2 \times L_{C2} \quad (5)$$

ここで,  $L_{C1}$  [m] は釣合時における第 1 のコイルバネ自然長からの圧縮長である. 釣合状態において, 直動ナットが受ける  $x$  軸方向荷重は式 (6) のようにゼロとなる.

$$F_{N1} + F_{N2} = 0 \quad (6)$$

釣合の状態から直動ナットが  $dx$  [m] ( $0 < dx \leq L_{C2}$ ) 移動した時の荷重値  $F_{D1}$ ,  $F_{D2}$  [N] は式 (7),(8) で示される.

$$F_{D1} = -k_1 \times (L_{C1} + dx) \quad (7)$$

$$F_{D2} = k_2 \times (L_{C2} - dx) \quad (8)$$

式 (7),(8) は式 (4),(5) より次のように変形できる.

$$F_{D1} = F_{N1} - k_1 \times dx \quad (9)$$

$$F_{D2} = F_{N2} + k_2 \times (-dx) \quad (10)$$

この時に直動ナットが受ける  $x$  軸方向荷重は式 (6) より式 (11) で示される.

$$F_{D1} + F_{D2} = -(k_1 + k_2) \times dx \quad (11)$$

式 (11) において,  $dx$  が微少の変化量と考えると系の STAGE 1 における見かけの弾性係数は  $k_1 + k_2$  で表現される. つまり, STAGE 1 では第 1, 2 のコイルバネが見かけ上並列に作用していることになる.

#### (2) STAGE 2

この段階では, 第 2 のコイルバネが直動ナットから完全に離れて作用していない状態であるので, 見かけ上の弾性係数は第 1 のコイルバネの弾性係数  $k_1$  と等しい.

よって, STAGE 1 と STAGE 2 では STAGE 1 の方が  $k_2$  だけ弾性係数が大きくなる. これで線形の入力変位において, ある変位で剛性が減少変化する反力方式を構築することができる.

### 4 ステアリング反力装置への適用

本章では 3 章で構築した反力発生方式をステアリング反力装置に適用する事例を紹介する. 図 3 は大型トラック向けの DS 模式図である. ステアリング反力装置はハンドルの回転軸に連結シャフトを介して反力トルクを伝達する仕組みとなっている.

本 DS で模擬するステアリング反力特性は図 1 で示したものを目標とする. 乗用車向けの DS では, 概ね最大反力トルクは 2~4[Nm] であるが, 大型トラック向けの DS では最大反力トルクが 10~12[Nm] 必要になってくる.

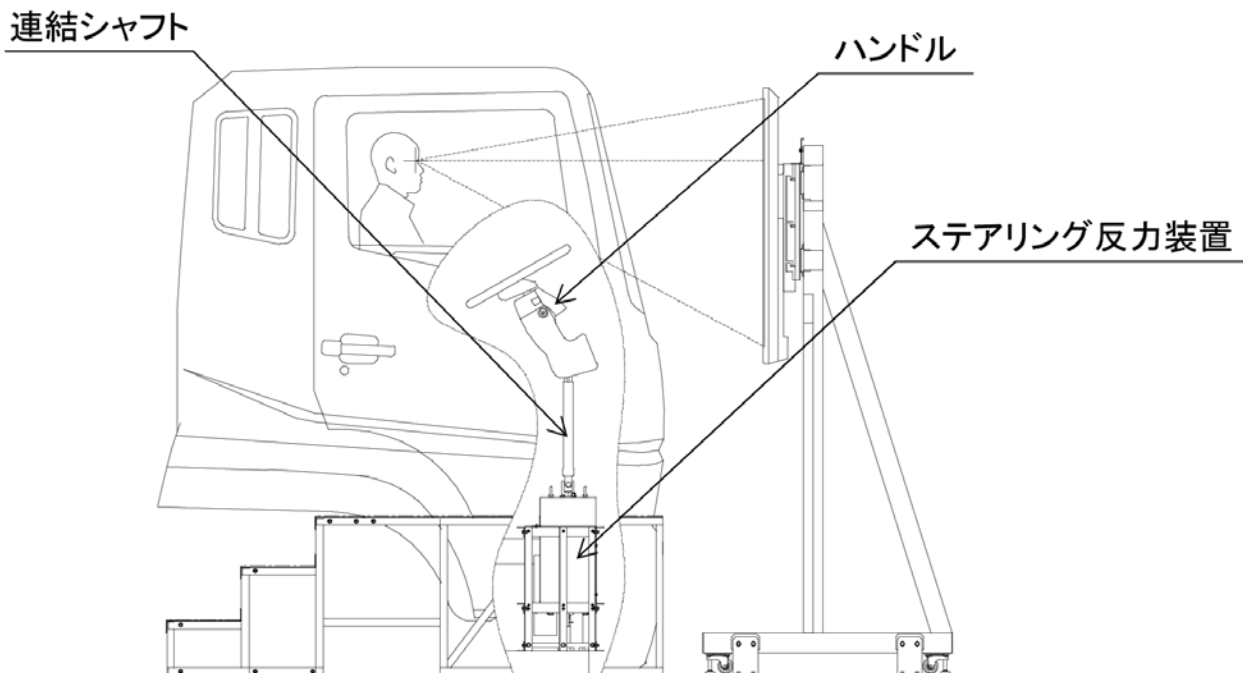


図 3 シミュレータ模式図

#### 4.1 必要な反力トルクが大きい理由

大型車向けのステアリング反力発生に必要な反力トルクが乗用車向けに対して大きいのは、ハンドルの回転半径  $R$  [m] が大きく影響している。乗用車のハンドルは  $R$  が 150~200[mm] であるのに対して、大型車のハンドルは  $R$  が 200~250[mm] と大きい。回転半径が大きいと運転者はステアリングに必要な力が減るため、実車では有利である。これは運転者が負荷として感じるのは図 4 に示すようにハンドルを操作するために必要なトルク  $T$  [Nm] ではなく、ハンドル把持部に加えなければならない力  $F$  [N] だからである。よって反力トルクが同じでもハンドルの回転半径が異なれば、運転者が感じる負荷も異なる。

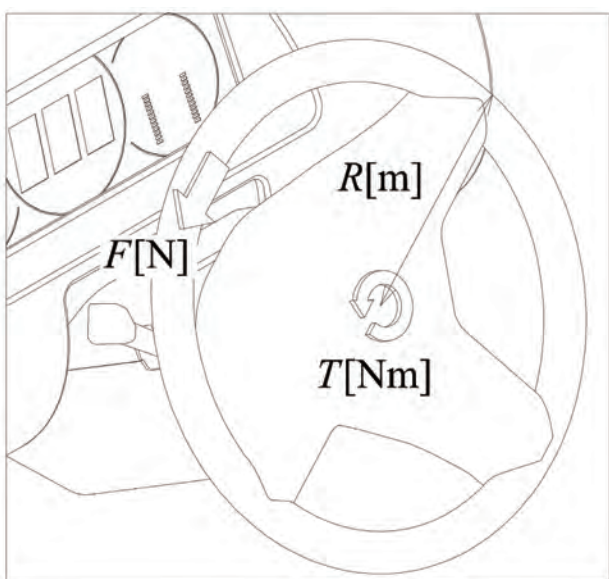


図 4 ハンドル模式図

#### 4.2 反力特性の単純化

次に図 1 で示した反力特性を本反力装置で表現するために、反力特性を離散的に線形化する。図 1 における横軸 180[deg.] を変化点とみなし、図 5 のように表現する。

#### 4.3 直動部品

次に直動部品の選定をする。本反力発生装置に適用するためには、ハンドルの回転変位を並進変位に変換する必要がある。より汎用的で計算性の良い部品ということでボールネジを採用する。ボールネジは、その諸元によってトルクを並進力に変換する場合の効率（いわゆる正作動効率）と並進力をトルクに変換する場合の効率（いわゆる逆作動効率）が異なる。本装置に採用するボールネジは、正作動効率と逆作動効率ができるべく近くなるような諸元を持つものを選定した。（正作動効率：93.3[%]，逆作動効率：92.9[%]）

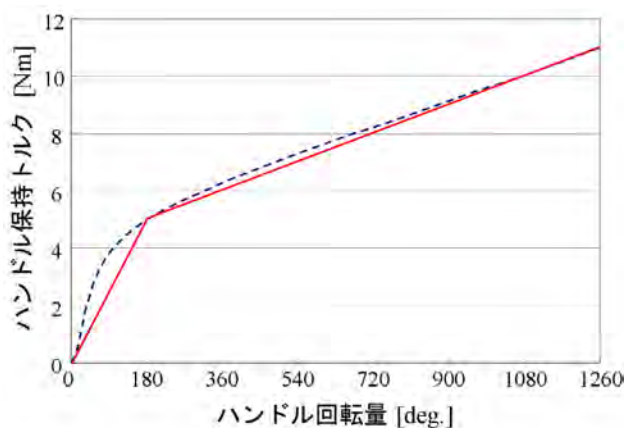


図 5 図 1 の単純化

#### 4.4 反力装置コイルバネ

ステアリング反力装置が最終的に出力する必要があるのはトルクだが、大元となる反力ユニットは並進力を出力する方式である。そのため、反力ユニットを設計するためには要求されているトルクをボールネジの作動効率により対応する並進力に変換する必要がある。図 5 のハンドル保持トルクを選定したボールネジの作動効率に従って、並進力に変換した反力特性を図 6 に示す。

図 6 から第 1, 2 のコイルバネに求められる弾性係数が決定される。まず、STAGE 2 における弾性係数は第 1 のコイルバネと等しいので  $k_1 = k_{ST2}$  となる。次に STAGE 1 での弾性係数は第 1, 2 のコイルバネの弾性係数の和で表されるので  $k_2 = k_{ST1} - k_{ST2}$  となる。また、第 2 のコイルバネは 16[mm] 変位に耐えられれば良いこともわかる。反力ユニットを構成する上で必要な諸元は  $L$  と  $L_{C1}$  である。 $L_{C1}$  に関しては、釣合の反力ユニットの釣合状態における第 1 のコイルバネ圧縮長であるので式 (12) で求められる。

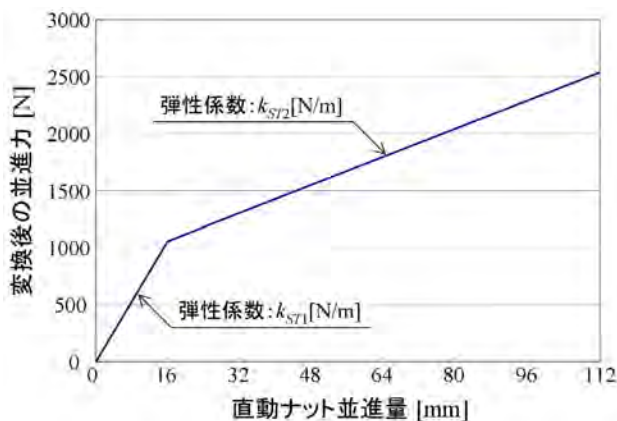


図 6 並進力への変換

$$L_{C1} = \frac{16 \times 10^{-3}}{k_{ST2}} \times (k_{ST1} - k_{ST2}) \quad (12)$$

よって、 $L$  は次のように定められる。

$$L = (L_{N1} - L_{C1}) + (L_{N2} - L_{C2}) \quad (13)$$

以上で必要な諸元の算出は終了である。

#### 4.5 ステアリング反力装置の構成

4.4 節で算出された諸元から構成したステアリング反力装置 (片側分) を図 7,8 に示す。図 7 は中立時の構成を、図 8 は STAGE 2 の状態を表している。

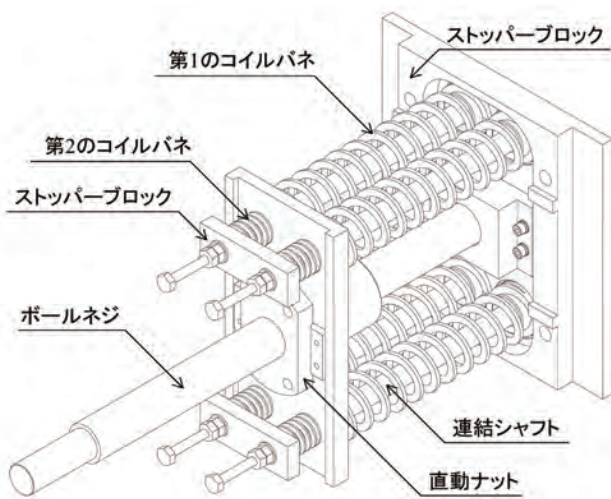


図 7 ステアリング反力装置 (片側：釣合)

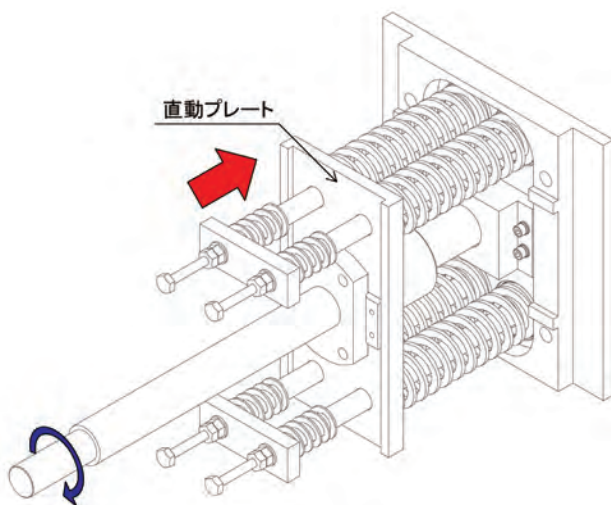


図 8 ステアリング反力装置 (片側：STAGE 2)

図 7 から分かるように、反力ユニットは 4 つを並列に組み込んでいる。並列に使用することで第 1, 2 のコイルバネに必要な弾性係数は 4.4 節で求めた値の 4 分の 1 で良いことになり、許容変位がより大きいコイルバネを選びやすくなっている。

ハンドルの操作によってボールネジが回転し、図 8 の如く直動ナットが直動プレートを押して第 1 のコイルバネを圧縮していく。運転者はこの直動プレートが受ける抵抗力をステアリング操作感として感じるができる。図 9 に両側の反力ユニットを組み合わせた概観図を示す。実際には図 9 に示すような装置を図 3 の如く配置して使用することになる。

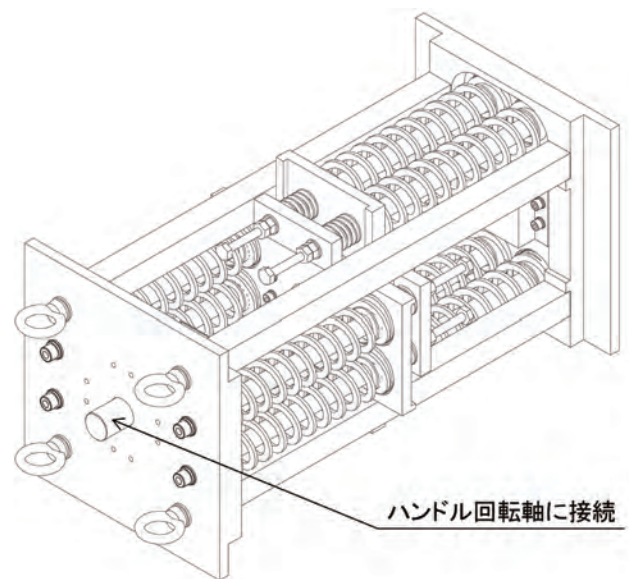


図 9 ステアリング反力装置 (両側)

## 5 むすび

4 章の装置をもって本方式は、剛性値を 2 種類持ち、なおかつ剛性値が減少変化する特性を持つ弾性装置を構成できることが示された。従来のようにモータ等のアクチュエータや複雑で精緻な組立品を用いることなく、図 5 のような反力特性を表現することができる。本方式の特徴的な点は、エネルギーを保存した状態で剛性値を減少変化させることができることである。弾性体の組み合わせ方法で一般的なのはいわゆる“並列つなぎ”と“直列つなぎ”であるが、この方式は“並列”と“直列”を併用している。正確には釣合の状態は“直列”に作用しており、STAGE 1 の状態は“並列”に作用する。3,4 章で示したように、計算はすこぶる簡素で四則演算だけで済ませることができる計算性の良さも長所の一つである。

この方式は本報のようなステアリング反力装置に留まらず、他分野の反力装置にも応用ができる汎用性を備えている。たとえば、制振装置に使用されている剛性装置に組み込むことでアクチュエータに依存していた反力特性を本方式に置き換える。すると、アクティブ制振装置をセミアクティブ・パッシブ化することができる可能性を内包することになる。今後は、本方式を利用した各種反力機構を考案し、顧客の要望に応える開発に繋げていく所存である。

---

#### [執筆者紹介]

---



村松 幸治 略歴  
2012年入社，主に各種シミュレータ  
機構設計に従事。

#### 参考文献

- [1] トヨタ自動車株式会社，操舵装置，特開 2009-137516，  
2009.6.25
- [2] 株式会社セガ・エンタープライゼス，模擬ステアリング  
装置，特開平 6-75520，1994.3.18
- [3] THK 株式会社，ドライブシミュレータ用ステアリング  
及びドライブシミュレータ，特開 2009-14758，2009.1.22
- [4] 三菱プレジジョン株式会社，模擬運転装置用操縦装置，  
特開平 8-262970，1996.10.11

# CH-47 操縦シミュレータの最新技術

清水 昭彦

要旨： CH-47 操縦シミュレータは国内としては前例のないタンデムロータ式\*を模擬した訓練用シミュレータであり、そのロータ及びエンジンの模擬は新規開発モデルにより実現した。飛行中の動揺感覚は大ペイロードを駆動可能な新規開発の電動式動揺装置により発生し、タッチパネルにより模擬された計器板は CH-47J 及び JA 型機†の計器を切り替えて表示可能である。また、国外環境を想定した高標高、酷暑下の飛行、砂漠地域のブラウンアウト‡、車両、航空機、ミサイル等の脅威対象の模擬、実際の個人暗視眼鏡を使用した夜間飛行、発着艦等が、当社製の最新映像発生装置及び市販の大型ディスプレイによる広視野で詳細な視界のもとに可能である。また、国内防衛関連シミュレータでは初めてとなる発煙装置による火災時の煙を模擬している。

## 1 まえがき

CH-47 は米国の現ボーイング社が開発したタンデムロータ式の大型輸送用ヘリコプタで、陸上自衛隊では CH-47J 及び JA 型機を保有している。CH-47 操縦シミュレータ（以下、“本装置”という。）は 2011 年 4 月に基本設計を開始、12 回に及ぶ技術審査を経て 2013 年 5 月に木更津駐屯地に納入し、その機能・性能は訓練用シミュレータとして満足し得るものとして評価されている。

本装置は、その製造にあたり次に示す新規開発要素を実現した。

- ① タンデムロータ式のロータ空力特性の模擬
- ② T55-K-712 型エンジンの性能・特性の模擬
- ③ ペイロード 6000kg の電動式動揺装置
- ④ ディスプレイ直視型による下方 53°、水平 120° の広視野の視界映像
- ⑤ 実際の個人暗視眼鏡を使用可能な夜間視界映像及び模擬操縦室
- ⑥ 煙の模擬

本報では、本装置の概要、上記開発要素に関連した技術及び機能上の特長を紹介する。

## 2 本装置の概要

### 2.1 訓練範囲

本装置の訓練可能範囲を表 1 に示す。基本課目に加え特殊環境条件下の訓練及び戦技操縦が可能であり、国外環境を想定した訓練範囲となっている。

### 2.2 構成

本装置の主要構成は模擬操縦室、映像表示装置、映像発生装置、動揺装置、教官卓、計算機及び電源装置である。

図 1 に本装置の概観を示す。

表 1 本装置の訓練可能範囲

区分	課目
基本操縦	地上取扱操作及び地上滑走
	ホバリング
	空中操作
	各種離着陸
	制限地操作
	緊急操作・手順
	編隊飛行
計器飛行	夜間飛行
	基本計器飛行
	計器進入 計器航法
特殊環境条件下の訓練	水上操作
	発着艦訓練
	ブラウンアウト
	高標高地訓練
	超低空訓練
戦技操縦	回避操作
	戦技操縦応用

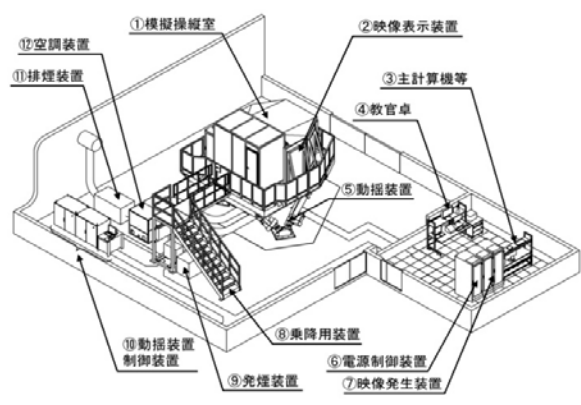


図 1 本装置の概観

## 3 本装置の特徴

### 3.1 ロータ空力特性模擬モデル

CH-47 はタンデムロータ式であり従来のメインロータ＋テールロータ式のロータ空力特性模擬モデル（以下、“ロータモデル”という。）が適用できないため、タンデムロータ

\* 前後に配置された 2 組のロータをもつヘリコプタをいう。  
 † CH-47JA は CH-47J の改良型で航続距離が長い。  
 ‡ ロータの吹き下ろしによる砂煙等により視界が失われる現象。

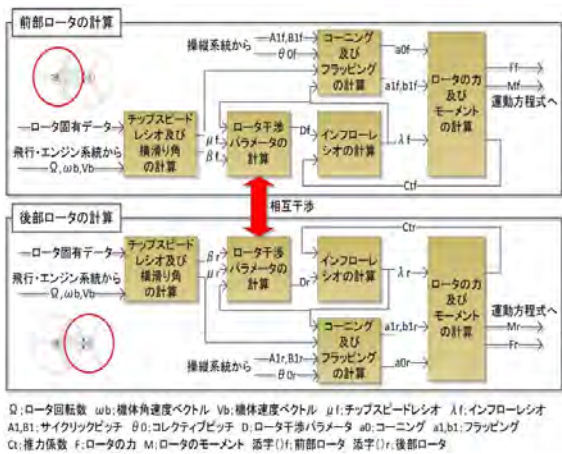


図 2 ロータモデルのブロック図

式のロータモデルを新規に開発する必要があった。そこで、NASA の公開している CH-47B 型機<sup>\*1</sup>のロータ数学モデル [1] を参考として本装置に適用するロータモデルを作成し、CH-47JA 型機の飛行試験結果及び実機パイロットによる本装置の飛行性能・特性の評価により修正を加えた。図 2 にロータモデルのブロック図を示す。前後ロータが発生する空気の流れの相互干渉が、それぞれの空気流に影響を及ぼし合う点がタンデムロータ式の特徴である。

### 3.2 エンジン性能・特性模擬モデル

当社がこれまでに製造した回転翼機シミュレータに採用したガスタービンエンジンの性能・特性模擬モデル（以下、“エンジンモデル”という。）は、図 3 上部に示すようにカスタマデッキ<sup>\*2</sup>の性能データから作られた定常性能データテーブルをメインとした構造であるため、新規エンジンを模擬するためにはメーカーの性能データを入手するかまたは公開されているエンジンスペック、実機フライトマニュアル等をもとに大量のデータテーブルを手作業で変更する必要があった。そこで本装置では、新規に開発した汎用エンジンモデルを採用し上述の非効率的作業を効率化した。本装置のエンジンモデルを図 3 下部に示す。パワー設定及び制限、N1,N2 並びに NR の各ブロックは熱力学的な計算なしに、発生するパワーと負荷の釣り合いから各タービンの回転に関するダイナミクスを解いている。

また、各ブロックは表 2 に示すエンジン固有データを変更することで、その特性を変えることができる。本装置では陸上自衛隊保有の T55-K-712 型エンジンのデータを使用し、不明なデータは CH-47JA 型機の飛行試験結果及び実機パイロットによる本装置のエンジン性能・特性の評価により決定した。

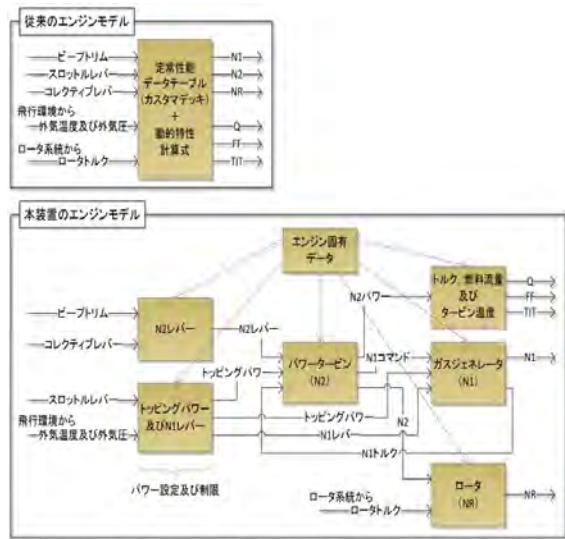


図 3 エンジンモデルのブロック図

表 2 エンジン固有データ

番号	データ名称	番号	データ名称
1	N1 ガバナダンピング係数	16	N1 レートリミッタ
2	N1 ガバナ積分制御ゲイン	17	N2 レートリミッタ
3	N1 ガバナ比例制御ゲイン	18	NR レートリミッタ
4	N2 ガバナダンピング係数	19	N1 コマンドスケジュール
5	N2 ガバナ積分制御ゲイン	20	N2 コマンドスケジュール
6	N2 ガバナ比例制御ゲイン	21	トッピングパワー特性
7	100%相当 N1	22	燃料流量特性
8	100%相当 N2	23	タービン入口温度特性
9	100%相当 NR	24	ドループ補償特性
10	N1 上限値	25	ビーブTrim特性
11	N2 上限値	26	スタータ回転特性
12	NR 上限値	27	トルク配分特性
13	N1 慣性モーメント	28	オーバークラッキング特性
14	N2 慣性モーメント	29	ロータかん合特性
15	ブレード慣性モーメント	30	ロータブレイキ特性

### 3.3 計器板の模擬

本装置の正面及び左右の計器板は拡張性及び整備性に優れたパネル表示方式を採用しており、J 及び JA 型機の計器板を切り替えて表示することが可能である。また、抵抗膜方式のタッチパネルは手袋をした状態でも計器操作が可能となっている。図 4 は正操縦士計器板の例を示す。

### 3.4 動揺感覚の模擬

動揺装置は油圧式よりも電動式の方が構造的にシンプルであり整備性に優れる。したがってアクチュエータに 30 インチ以上の長ストロークが要求されない場合は通常電動式を採用する。このため本装置においても電動式を採用したが、模擬操縦室及び映像表示装置を含めた約 6000kg の

\*1 J 及び JA 型機との差は主としてエンジン及びアビオニクス

\*2 エンジンメーカーのエンジン単体試験装置



図4 正操縦士計器板の例

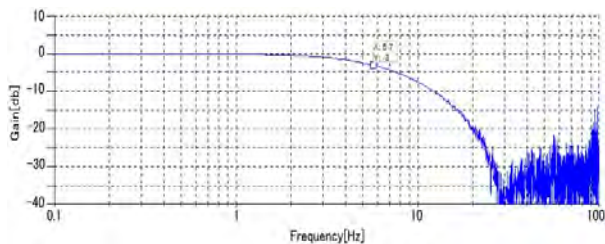


図5 動揺装置の上下運動周波数特性

パイロードを最大上下加速度 0.5G で駆動可能な新規開発の大型装置となっている。また、図5に示す同装置の負荷搭載状態での上下運動に関する周波数特性が示すとおり、ローパス特性の折点周波数は 5.7Hz で回転数 100% のロータブレード 1 枚が発生する 3.8Hz の振動をカバーする。

### 3.5 視界の模擬

本装置の映像表示装置は図6に示すように 85 型ディスプレイ 5 台から構成され、広い視界範囲が必要な発着艦訓練を考慮し正操縦士の視界範囲は前上方 15°、右下方 53°、左 90°、右 120° となっている。映像発生装置は訓練用シミュレータとしては初めて当社製の DiaScene IG-970 を採用した。DiaScene IG-970 は大気中の粒子運動を表現可能であり、後述のブラウンアウトにもその技術が使われている。

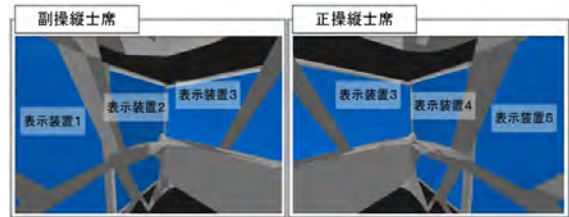


図6 映像表示装置の配置



図7 ブラウンアウト視界映像(左) 同外部視点映像(右)



図8 個人暗視眼鏡モードの視界映像\*4

### 3.6 特殊環境の模擬

#### (1) 高標高、酷暑下の飛行

国外の環境を想定し、従来よりも広い範囲で海面上外気温の設定が可能である。海面上外気温は飛行性能及びエンジン性能の模擬に影響を及ぼす。また、高標高地として富士山及び富士山周辺の地形データベースを利用している。

#### (2) ブラウンアウト

砂漠地域ではブラウンアウト、積雪地域ではホワイトアウト、水上では水煙の設定が可能で、その煙粒子の動きはロータのダウンウォッシュの影響を受ける。図7にブラウンアウト状態における視界映像を示す。

#### (3) 個人暗視眼鏡対応

本装置は実機で使用する第3世代の個人暗視眼鏡に対応するため、視界及び計器板はブルーフィルター処理を施した表示が可能である。図8に個人暗視眼鏡モードの視界映像を示す。また模擬操縦室は外光の遮断及び内部反射抑制対策が施され、個人暗視眼鏡装着状態での夜間飛行訓練が可能となっている。

\*4 この映像の作成に当たっては国土地理院長の承認を得て同院発行の数値地図 50m メッシュ (標高) を使用した。  
(承認番号平 24 情使, 第 588 号)  
使用データ LANDSAT7(C)Geoscience



図9 着艦状態の視界映像(左) 艦船モデル(右)

表3 脅威対象の種類及び搭載先

番号	項目	種類	搭載先
1	歩兵	1種類	—
2	車両	自走火砲, SAM, 搜索レーダ及びトラック	—
3	航空機	ヘリコプター及び飛行機	—
4	携帯ミサイル	1種類	歩兵
5	車載ミサイル	1種類	SAM
6	航空機搭載ミサイル	1種類	航空機
7	曳光弾	1種類	自走火砲及びトラック



図10 脅威対象の表示例

(4) 発着艦

任意の速度、ピッチング及びローリングを設定した輸送艦及び護衛艦に対して発着艦訓練が可能である。飛行甲板の進入角指示灯、水平表示灯等は位置に応じた表示を示し、着艦誘導員は状況に応じて自動的に手旗による誘導を行う。また、風向・風速及び艦船の方位・速度を考慮した艦橋乱気流の設定も可能である。図9に着艦状態の視界映像及び艦船モデルを示す。

(5) 脅威対象

脅威対象として歩兵、車両、航空機、ミサイル及び曳光弾が設定可能である。脅威対象の種類及び搭載先を表3に示す。設定した脅威対象はレーダ警戒装置、ミサイル警戒装置及び自己防御装置と連動させることが可能である。脅威対象の表示例を図10に示す。

3.7 火災の模擬

本装置は国内防衛関連シミュレータでは初めてエンジン火災等による発生を想定した煙を模擬している。煙はステージ等の演出にも使われる発煙装置により発生し、教官卓または模擬操縦室のスイッチ操作により発煙及び排煙の制御が可能となっている。煙は図11に示すように模擬操縦室の上部から流入し床下から排煙される。

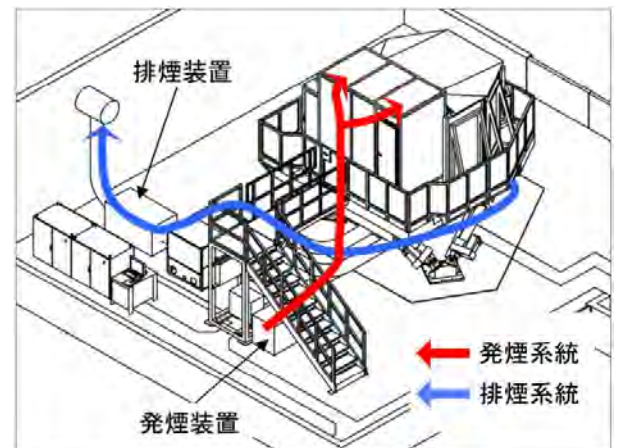


図11 煙の径路

4 むすび

本報では、CH-47 操縦シミュレータの概要、新規開発要素に関連した技術及び機能上の特長を紹介した。これらの技術は今後のシミュレータに利用可能なものである。特にロータモデル及びエンジンモデルはその汎用性からソフトウェア設計の効率を改善することが期待でき、また個人暗視眼鏡対応技術は、シミュレータの要求性能としてその必要性が高まることが予想される。

本装置と同規模のシミュレータにおける技術的課題としては、正・副両操縦士席からの視差が少ない映像表示装置、長ストロークの電動式動揺装置等があり、これらは国交省の模擬飛行装置等認定要領の模擬飛行装置及び飛行訓練装置の比較的高いレベルを満足するために必要な条件となっている。



## 謝 辞

本装置の製造に多大なるご支援及びご指導を頂いた陸上自衛隊関係者の方々並びに関係各位に深謝する。

## 参考文献

- [1] Jeanine M.Weber, Tung Y.Liu and William Chung, “A Mathematical Simulation Model of a CH-47B Helicopter” , NASA-TM-84351, August 1984

## 【執筆者紹介】



### 清水 昭彦 略歴

1986年入社,主にフライトシミュレータの飛行・エンジン性能及び特性に関するプログラムの開発に従事。

三菱プレシジョン技報 Vol.8

©無断転載を禁ず

発効日：2014年10月1日

発行元：三菱プレシジョン株式会社  
URL：<http://www.mpcnet.co.jp/>

本社／〒135-0063 東京都江東区有明 3-5-7  
TOC 有明 イーストタワー13階  
TEL (03)5531-8060

鎌倉事業所／〒247-8505 神奈川県鎌倉市上町屋 345  
TEL (0467)42-5555

発行責任者：平井 俊之

編集責任者：中口 智之

印刷所：株式会社アイプラネット  
〒107-8619 東京都港区南青山 1-1-1  
新青山ビル西館

(非売品)



