



# Transportation & Logistics Division Newsletter

## 日本機械学会 交通・物流部門ニュースレター

No. 65 March, 2023

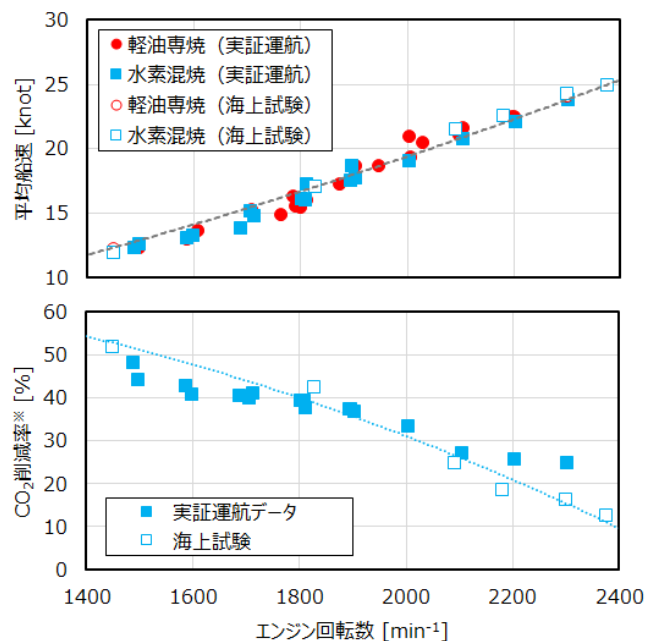
### 水素 - 軽油混焼エンジンを搭載した小型旅客船

日本政府が2050年に水素社会の実現を目指している中で、水素燃料電池車（FCV）やFCバスが商用化されている。船舶業界においても、水素燃料船の開発や運航が進められている。以下に紹介する小型旅客船『ハイドロびんご（Hydro BINGO）』は、2基の水素 - 軽油混焼エンジンを搭載し、最大50%程度のCO<sub>2</sub>排出を低減できる環境に優しい船舶である（図1）。

本船に搭載している水素 - 軽油混焼エンジンは、4ストロークディーゼルエンジンをベースとした最大出力441kW、定格回転数2300min<sup>-1</sup>の新しいエンジンである。水素は給気マニホールに供給され、その供給量はエンジン出力によって自動制御される。エンジンの出力軸には減速機を介して推進用プロペラが取り付けられており、エンジン回転数が高まるにしたがってエンジン出力が増大する。図2に示すように、エンジン回転数が低く、出力が小さいほど水素供給量が増加し、低負荷域において最大50%程度の水素混焼となる。なお、水素 - 軽油混焼エンジンは、比較的純度が低い水素を利用できること、軽油だけで燃焼することができるため水素供給が滞った場合であっても商用運航に支障がないことなどの特徴がある。

また、本船への水素の供給には、図3に示す水素タンクトレーラを使用する。陸上設備で水素を充填した後、港まで運搬し、カートリッジ式で本船に搭載する。安全性が高く、効率的な供給システムであるが、船舶にトレーラを積み込むための岸壁の整備などは今後の課題である。

水素は漏れやすく、燃えやすいといった性質がある。本船の開発においては、水素の安全性に関するリスク評価を行い、水素配管の二重管構造（外側と内側の管の間を通風で使用）や水素モニタ



※ CO<sub>2</sub>削減率は水素混焼率（全供給熱量に対する水素供給熱量の割合）より推定している。

図2 負荷追従性の検証結果

リングシステムの採用などの技術開発やマニュアル整備などを行った。本船の開発・運航実績は、将来のカーボンニュートラル社会の実現に寄与することは間違いなく、100%水素で走る船舶の開発、安全性や信頼性の確保、インフラ設備を含めた水素サプライチェーンの構築など、諸課題の解決に貢献することを期待したい。

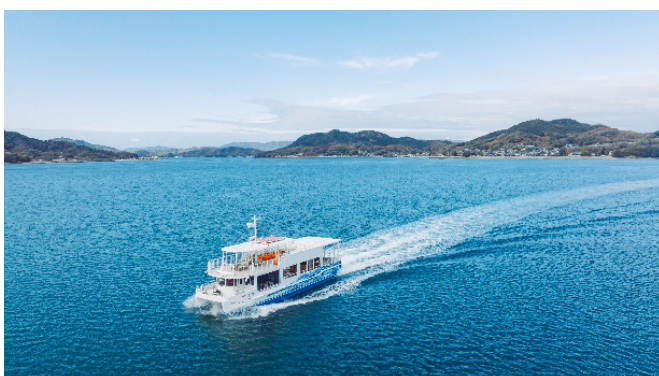


図1 水素 - 軽油混焼エンジンを搭載した小型旅客船『ハイドロびんご』



図3 水素タンクトレーラ

記事・図提供：ジャパンハイドロ㈱、ツネイシクラフト&ファシリティーズ㈱

# 水素ハイブリッド電車「HYBARI」の開発

これまでに鉄道分野では、ディーゼルエンジン搭載車の省エネやCO<sub>2</sub>削減を目的に、環境負荷の小さい車両としてディーゼル・ハイブリッド車両や架線・バッテリーハイブリッド車両の営業導入が進められてきた。鉄道車両の主なハイブリッドシステムの概要を図1に示す。いずれの車両も二次電池として主回路用蓄電池を搭載することで、環境負荷の低減を実現しているが、ディーゼル・ハイブリッド車両はCO<sub>2</sub>排出を抑制する課題が、完全には解消されていない。また、架線・バッテリーハイブリッド車両は走行距離が短く、導入可能線区に限られるという大きな問題を解消する課題がある。

そこで、将来に向けて、化石燃料を使用している地方線区のディーゼル動車の置き換えや、すでに電化されている線区の新しいモードへの転換を意識するとともに、エネルギーの多様化も見据えて、水素をエネルギー源とした燃料電池ハイブリッド試験車両の開発が進められてきた。

水素を燃料として鉄道車両に搭載するための法令や技術基準は定められていない。自動車業界における法令への適合および技術基準策定の考え方についての関係省庁、関係業界への聞き取りの結果、「高压水素を燃料に用いる場合は高压ガス保安法（経済産業省所管）への対応が必要」、「自動車業界同様に技術検証の上で省令の緩和ができることを証明する必要性」があることがわかった。そこで、燃料電池試験車両の開発、本線を走行する実証試験にあたっては、自動車同様に経済産業大臣特別認可（大臣特認）を取得の上で、実施された。

開発された試験車両の形式はFV-E991系、愛称名は「HYBARI（ひばり）」である。「HYdrogen-HYBrid Advanced Rail vehicle for Innovation」の頭文字であり、HYには水素（HYdrogen）の意味とともに、HYBでハイブリッド（HYBrid）の意味が込められている。

HYBARIは水素を燃料とする燃料電池装置と主回路用蓄電池の2つのエネルギー源からなるハイブリッドシステムを採用している。燃料電池装置は、鉄道車両用に新規に開発することはせず、自動車用にすでに実用化されているものを採用し、鉄道車両用にカスタマイズして搭載した。これにより開発費用や開発期間を大幅に縮小することができ、メリットは非常に大きい。HYBARIの燃料電池ハイブリッドシステムの概要を図2に示す。水素タンクに充填された水素は燃料電池装置へ供給され、空気中の酸素との化学反応により発電するが、その際に排出されるのは水のみである。主回路用蓄電池は燃料電池装置からの電力とブレーキ時に発生する回生電力を充電することができる。ハイブリッド駆動システムは燃料電池装置と主回路用蓄電池の両方からの電力を主電動機に供給し車輪を動かす制御を行う。

車両構成と仕様を図3に示す。HYBARIは制御電動車（Mzc）と制御付随車（Tzc'）の2両で構成され、Mzcには床下に電力変換装置と主回路用蓄電池を搭載する。Tzc'には、屋根上に水素タンクを内蔵した水素貯蔵ユニットと、水素の圧力を1MPa以下に減圧する減圧弁を内蔵した屋根上配管ユニットを搭載する。床下には水素の充填口がある床下配管ユニットと燃料電池装置を搭載する。

水素を燃料として走行する鉄道車両は、ドイツなど海外ではすでに実用化されている先例があるが、水素充填圧力は35MPaである。しかしHYBARIは最高充填圧力を70MPaとしており、鉄道車両としては世界初となる。これは自動車用として実用化されている燃料電池装置を採用しているメリットでもあり、一充填あたりの航続距離を延ばすことが可能となる。HYBARIは35MPaでの充填も可能であり、その際の航続距離は約70kmと見込んでいるが、70MPaの充填の場合は、約140kmの走行が可能になる見込みである。

HYBARIは2022年春に完成し、神奈川県横浜市、川崎市に位置する鶴見線、南武線尻手支線、南武線（登戸駅～川崎駅間）において実証試験を開始した（図4）。実証試験では、車両基地等における水素充填試験や各種機能試験、および本線における走行性能試験、燃料電池制御試験、ハイブリッド制御試験など、水素をエネルギー源とする燃料電池鉄道車両としてのさまざまな技術と安全性の検証が実施されている。

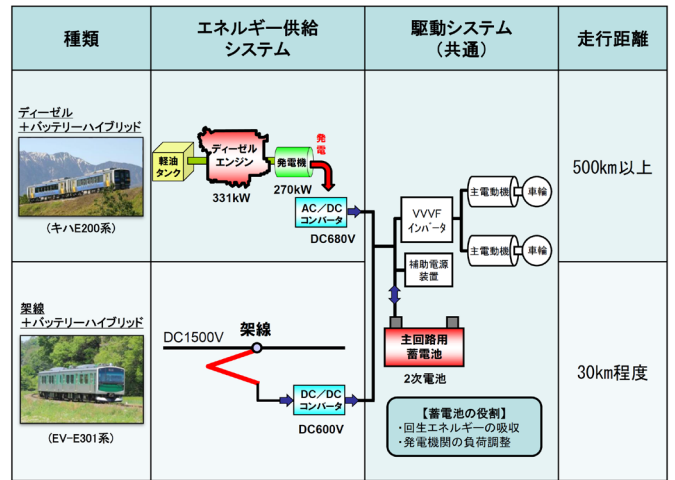


図1 鉄道車両の主なハイブリッドシステムの概要

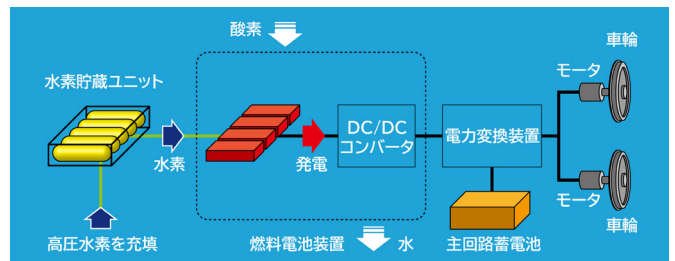


図2 燃料電池ハイブリッドシステムの概要



項目	試験車両の仕様
最高速度 / 加速度	100km/h / 2.3km/h/s
航続距離	約140km
主回路装置	電力変換装置 (VVVFインバータ+SIV)、1C2M×2系
燃料電池	固体高分子型: 60kW×4 (-10°C程度から起動可能)
蓄電池	リチウムイオン電池: 120kWh×2
水素貯蔵	最高充填圧力 70MPa 水素貯蔵容量 512×20本 (水素質量計40kg程度) ※水素タンクは自動車用(炭素繊維複合容器)

図3 HYBARIの車両構成と仕様



図4 HYBARIの実証試験

参考 URL : <https://www.jsme.or.jp/kaisi/1240-13/>  
 鉄道分野における省エネ技術の研究開発 ～JR 東日本 環境技術研究所の取り組み～、日本機械学会誌、Vol.125(2022/3)

参考文献：水素ハイブリッド電車 FV-E991 系 (HYBARI) の概要、JREA (日本鉄道技術協会)、Vol.65.No.9(2022/9)、P27-30(46357-46360)

記事・図提供：東日本旅客鉄道株

# エレベータロープ振れに対する共振時応答倍率の評価

建物の高層化に伴うエレベータロープの長尺化が進むことで、強風や長周期地震動によるロープ横揺れの共振現象が社会的に注目されている。今までに、さまざまなロープ振れ評価は実施されているが、客観性がある手法は提案されていない。そこで、独自手法によらない客観的なロープ振れの計算手法を確立するために、日本機械学会交通・物流部門の研究会「昇降機システム安全・安心問題研究会」で検討を行ってきた。

エレベータロープの振れ計算手法に関しては、公知文献の内容から主に4つの手法が提案されている。

- ・ロープを弦振動の波動方程式で構成し、時間と空間の差分方程式で演算
- ・ロープを多質点のバネマスモデルで構成し、運動方程式を数値積分
- ・ロープを1自由度のバネマス系で近似し、2階の微分方程式(1自由度振動モデル)を解析演算あるいは数値積分
- ・ロープを梁要素あるいはリンク要素の有限要素モデルで作成し、時刻歴応答解析を実施

上記4タイプの手法を比較検討し、比較的扱いが容易な差分方程式と1自由度振動モデルの2タイプの手法を用いて、ロープ振れの評価を行った。

図1で示すとおり、エレベータのかごを上下に駆動する主ロープを対象として、建物の固有周波数とロープ振れの固有周波数が一致する場合の共振応答特性について数値解析を実施した。そ

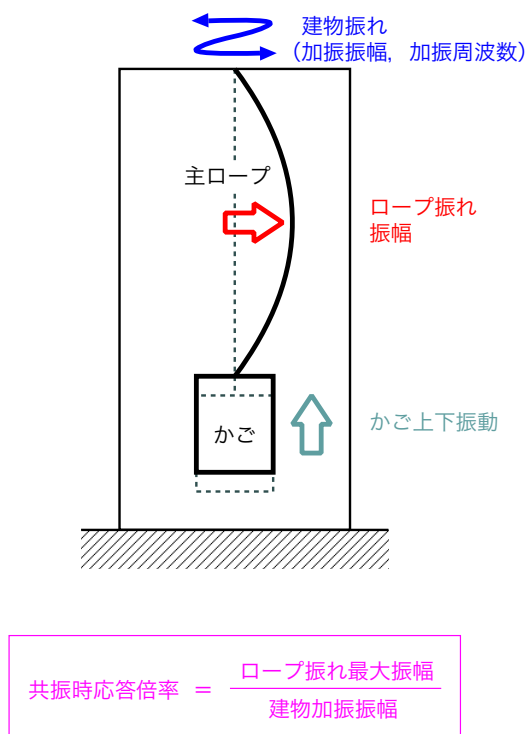


図1 エレベータロープ振れの模式図

の結果、ロープ振れに伴うかご上下振動の影響を受けることで、ロープ振れに対する共振周波数の応答が建物加振入力増大とともに低周波側に移動することを明らかにした(図2)。

なお、共振周波数前後におけるロープ横振動の定常振幅を求める方法では、共振曲線の導出にシミュレーションによる数値計算が毎回必要となり、汎用性に欠ける。そこで、シミュレーションすることなく共振時の応答倍率を簡便に導出することを目的に、1自由度振動モデルを元にして、無次元化した建物加振振幅を入力とする評価式を導出した。

図3で示すとおり、建物加振振幅に対するロープ振れ最大振幅の比である共振時応答倍率を求めると、ロープ振れを線形応答で近似した場合には、建物加振振幅によらず一定となるのに対し、得られた評価式では、建物加振振幅の増大に応じて低下する結果が得られる。また評価式は、○印で示す数値計算結果と対応しており、評価式の妥当性を確認することができた。

これにより、種々のエレベータ仕様・建物の加振条件によらず、共振時応答倍率を1つの曲線として評価することができ、客観的なロープ振れの計算手法として使える見込みを得た。

HPリンク：<https://www.jsme.or.jp/tldnew/division/workshop/a-ts18-05>

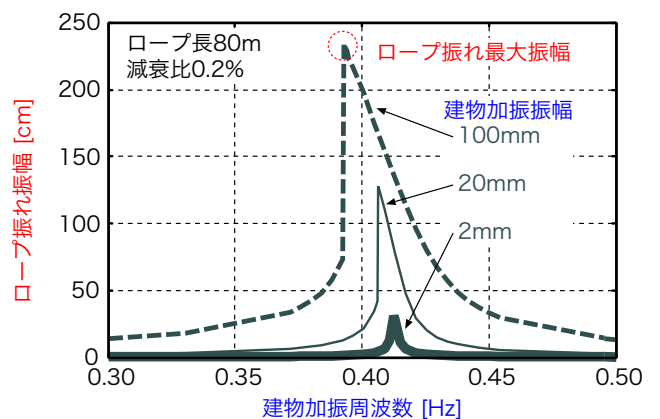


図2 建物振れとロープ振れ最大振幅の関係

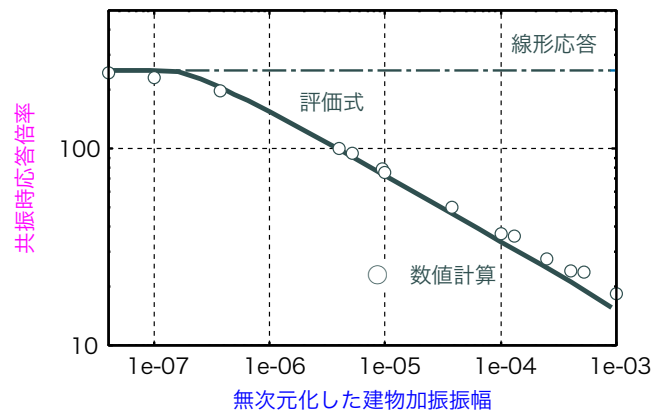


図3 ロープ振れの共振時応答倍率評価

# 自車位置をロバストに推定するセンサデータ統合技術

(株)豊田中央研究所 森大輝、亀川雅仁、藤枝延維、杉浦豪軌、服部義和

自動車は最も多様な環境で利用される工業製品の一つである。そのような自動車の先進安全機能において、あらゆる環境で自車位置をロバストに推定することが非常に重要である。自車位置推定は、先進安全機能を構成する①認知、②判断、③操作の3つの処理のうち、最も前段の①認知に分類される。したがってシステム全体の性能に影響する基盤技術となっている。

自車位置推定において、どの程度の位置精度が求められるのか？ 一般的な高速道路の車線幅から車両幅を引くと、図1のように片側のマージンは0.85mとなる。このマージンは位置推定誤差、制御誤差、安全幅の3つで構成されるため、均等に3で割ると位置推定誤差は概ね0.3m以下に留める必要がある。誤差0.3m以下をあらゆる環境で常に満たすことができる万能なセンサは現状存在しない。したがって複数のセンサデータを組み合わせ、互いの得失を補うデータ統合技術が主流となっている。

データ統合技術で最も難しいのが、センサ自身があたかも正確なデータかのように大きく誤差を含んだ情報を送信してしまうケースである。例えばGPSセンサでは、ビルに反射した電波（マルチパス）が混ざることによって受信機の処理は正常でも誤った位置が出力される。また、図2のようにLiDARデータと3Dマップの重ね合わせが誤取束し、誤った位置データを出力することがある。

本技術はこのような誤情報を、工場の生産ラインの品質管理で利用されている、ホテリングの $T^2$ 検定で検出する。まず6自由度の運動方程式を用いて車両運動を予測する。次に、予測された車両状態からセンサデータまでのマハラノビス距離（標準偏差で

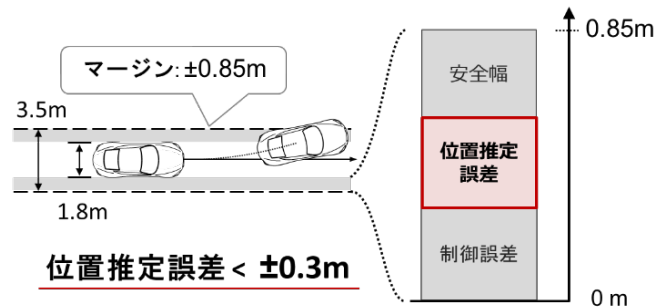


図1 位置推定誤差の見積もり

正規化された2乗誤差)を用いて、センサデータの発生確率を評価する。この発生確率が閾値以下になった場合は、センサデータを異常値としてデータ統合プロセスから取り除く。

図3と図4は本技術によるセンサ異常検知の有無で、経路追従システム全体としての横位置誤差を比較した結果である。異常検知なしの場合は位置誤差が約0.6m程度になるのに対し、ありの場合は0.2m以下と目標精度を達成できている。この結果は、センサの異常値がシステム全体の追従性能へ与える影響の大きさを示すと同時に、異常検知を導入する必要性を示している。本技術は、より多くの環境で先進安全機能が利用できることを目指した研究活動の成果である。今後も、より安心・安全な車社会を実現する研究開発が発展することが期待される。

参考 URL : <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/8917208>

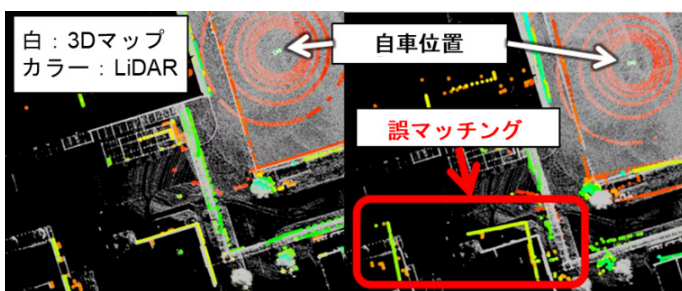


図2 LiDAR とマップの誤マッチングの例



図3 異常検知あり・なしによる実験走行の様子

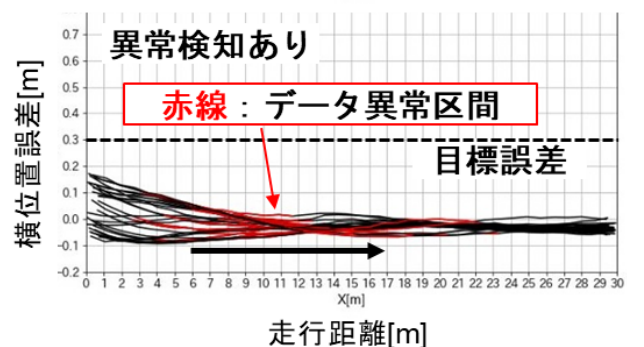
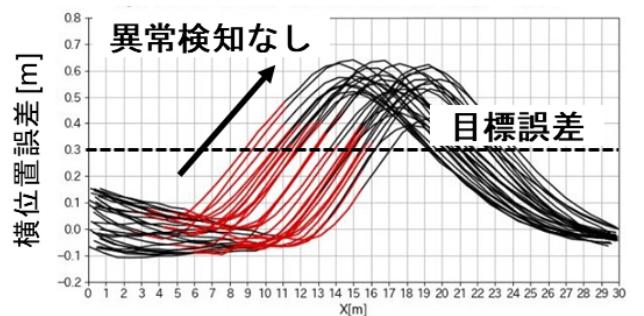


図4 異常検知あり・なしによる車線追従性能の比較

記事・図提供: (株)豊田中央研究所

研究室紹介

近年、ニュースレター記事として企業や研究所における研究開発の紹介が多かったため、大学等教育機関における研究を紹介する場として「研究室紹介」コーナーを前々号より設けました。本コーナーに対するご意見・ご感想を広報・出版委員会までお寄せ頂ければ幸いです。

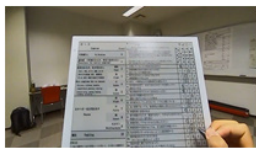
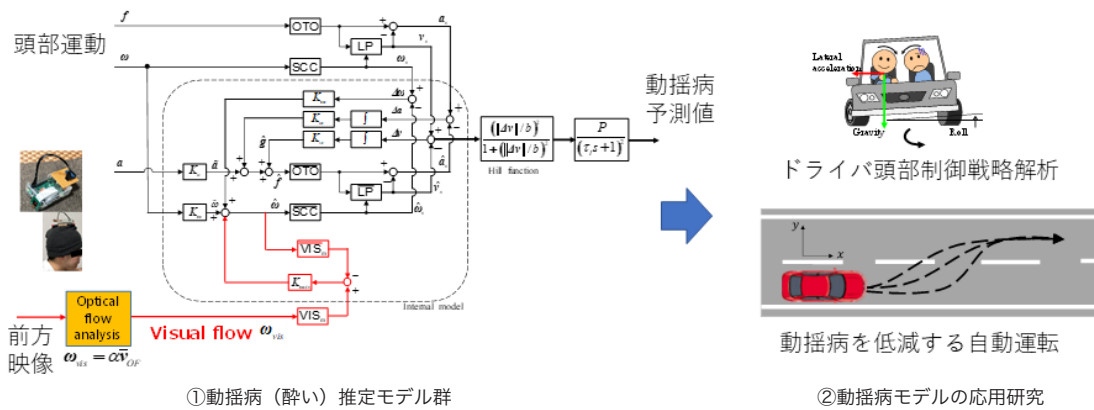
奈良先端科学技術大学院大学 ヒューマンロボティクス(和田)研究室

URL : <https://sites.google.com/view/humanroboticslab>

当研究室では、人間の機能・能力を支援し、向上させる知能機械システムを目指した人間機械システムに関する研究を行っています。これを実現するために、1) ロボティクス：機械システムの運動知能化、2) ヒューマンモデリング：人の感覚運動知能の理解、3) ヒューマンマシンシステム：人の機能の支援・機能/能力向上に関するシステム設計論の3つの柱で研究をしています。

交通・物流に関連する研究としては、車酔いのモデリング研究をこの10年ぐらい行っています(図中①)。乗員の頭部運動や前方画像から酔い(以下、動揺病)の程度を推定するモデルです。このモデルを自動運転車両の経路計画(図中②)、車両制御などの制御問題に応用しています。さらには、乗車中にPCやタブレット、VRゴーグルを付けて文字を読んでも酔いにくく、移動中の生産性向上に関する研究を行っています。最近ではこのモデルを宇宙酔いに応用し、有人宇宙飛行の効率向上を目指す研究も開始しました。自動運転車関連ではこれ以外にも、レベル3自動運転を念頭に、スムーズな運転引継ぎを行うための人間機械協調制御系の研究、歩行者など他の道路ユーザに対する外向けヒューマンマシンインタフェース(HMI)の導入による自動運転に対する信頼感向上の研究が含まれます。さらに、パーソナルモビリティビークル(PMV)の自動化を念頭に、上記乗用車向けの研究成果を、PMV向けに再検討する研究を行っています(図中③)。

また、自動運転のみならず、人間が操縦(運転)する車両型機械システムにおける、人間機械協調系の研究を行っています(図中④)。動揺病モデルが、人間の感覚運動系のモデルに基づいていることからこれを発展させ、人間が自然に制御ループに入れているかどうか、という観点からこのモデリングに尽力しています。



作業中視界



前方視界



③自動運転PMVの研究



④機械の操作性モデリング

編集後記

広報・出版委員会 委員長 飯田浩平(鉄道総合技術研究所)

新型コロナウイルスが感染拡大と収束を繰り返す中、ワクチン接種の効果もあると思いますが、重症化率は低下し、弱毒化についても記事を目にするようになりました。一方で、対面会議、その後の懇親会の対応については各企業・団体の許容度にムラがあり、対面開催の判断が難しい1年だったかと思います。次年度早々には新型コロナウイルスをインフルエンザと同等の5類へと扱いを変えとの報道がされております。次年度こそさまざまな行事がつつがなく対面開催できることを祈念いたします。



第100期 広報・出版委員会

- 委員長 飯田 浩平(鉄道総合技術研究所)
- 幹事 井上 諭(電子航法研究所)
- 委員 関根 太郎(日本大学)
- 丸茂 喜高(日本大学)
- 佐藤 哲郎(日本車輛製造)
- 小嶋 満夫(東京海洋大学)
- 渡辺 誠治(三菱電機)



日本機械学会 交通・物流部門

〒162-0814 東京都新宿区新小川町4-1KDX 飯田橋スクエア2階  
TEL: 03-4335-7610(代表) URL: <https://www.jsme.or.jp/tld/home/>