

振り子式加速度低減システムを活用した ペット向け価値探索活動について

1. はじめに

第1 先行開発部では、2035年頃までの市場実装を目標に技術テーマの活用による価値探索活動を推進してきた。今回、このトピックで紹介する振り子式加速度低減システム(以降PARS: Pendulum Acceleration Reduction System)技術も、さまざまな価値探索を推進してきた技術テーマである。技術支援による顧客課題の直接的な解決を目指し、現場の視察や検証を通じ、提供すべきソリューションの要件定義を様々な顧客に対し試みてきた。

「丁寧に運ぶ」という機能要件が、われわれの技術で提供しうる最大の提供価値ととらえて、2020年頃から物流を中心に、また近年ではさらに幅広い関連市場を対象にしたPoC(Proof of Concept)検証を実施してきた。今回は価値探索活動の中から、ペット向けの企画活動で得られた興味深い効果について紹介する。

2. 振り子式加速度低減システム(PARS)について

2.1 PARS技術の開発経緯と技術概要について

まず基本の提案手段となるPARS技術(図1)の開発経緯と技術概要について説明する。2018年頃から自動車の領域は「100年に一度の大変革期」といわれる時代に突入し、MaaS(Mobility as a Service)という新たな概念のもと、乗用車の価値は「所有」から「共有」へと変化し、特に自動運転の環境では、移動中の車室内で行われる食事やその他の様々な作業支援、もしくは要介助者への移動支援などの付加価値が求められる時代になってきた。



図1 振り子式加速度低減システム(PARS)

われわれも当時から、移動中の車室内での「快適な空間の実現」をあるべき姿と考え、将来求められる新たな価値に着目してきた。しかし実際は、走行中の加減速や旋回による水平方向の加速度変化(=揺れ)の影響により、車室内の乗員に対する作業の困難さや不快感を与える要因となり、MaaSに求められる世界観を実現するためにはこれら揺れの影響を低減しなければサービス品質が向上しないことが判っている。

これらの課題を解決する手段として2019年に自動車技術会の秋季大会で提案したのがPARS技術の基本構造である。ここでの詳細な説明は割愛するが、発生した揺れに応じて構造体(車室)が振り子のように受動的に傾き、さらにモータ制御を連動させて揺れ発生時の傾斜角度の補正や「揺り戻し」を抑えることで、移動する車室内の揺れを低減できる画期的な技術である。それでも、安全面が重視される自動車の車室空間に採用するのは容易ではなく、適用先や効果の体感など継続的な周知活動によりその活用領域を拡大しようとしている。

2.2 様々な適用事例からようやく見出した価値

「丁寧かつ早く運ぶ」ことが顧客課題に直結する領域として、これまで物流を中心に価値探索を進めてきた。しかしながら物流には「送料無料」という言葉が当たり前の感覚が定着し「ものを運ぶ」こと自体は一般消費者にとっては価値が低い。物流事業者にとっても「早く、安く運べることは機能的な価値でしかなく「丁寧に運ぶ」ことが大きな価値につながる場面はほとんど見つけられなかった。そこで、感情的な価値に訴求できる場面に焦点

を当て、輸送が「不安の軽減」に寄与するような可能性について検討した。具体的な対象としてペット、特に犬に着目した。

現在、日本における犬のペット市場は、約8割が小型犬であるが、その内の1~3割程度の個体は長時間の車移動が苦手と言われている。人間と同様に体質には個体差が大きく、犬種や年齢などで一概に層別できない。移動が得意な個体であれば、飼い主は車で日常的に大きな不安もなく外出することができるが、苦手な個体となると、たとえ近場であっても一緒に連れて行けない場合や、動物病院でのワクチン接種や定期健診など短距離の必須移動でもひどく酔ってしまう場合もある。こうした個体を愛犬として一緒に暮らしている飼い主とその家族にとっては、お出かけが相互につらい思い出になってしまうため、日常にお出かけすることを諦めてしまう場合も少なくない。

以上のような背景において、こうした「移動が苦手な」個体であっても、日常的に飼い主と愛犬がお出かけできる日常を実現するために、われわれの技術手段がこれらの個体にどのような影響を与えるかを把握するため、次項に示す予備試験を計画した。

2.3 予備試験について

予備試験では図1の装置を車両に設置し、その上にクレートと呼ばれる収容器を載せてしっかり固定した。加減速や旋回の時に発生する揺れを計測できる加速度センサを設置して走行中の被験体の様子と合わせてデータを取得した(図2)。なお今回の予備試験は、国土交通省が定める保安基準に適合した車両を使用し、車両改造にあたる行為は行わず、走行条件についても道路交通法が定める走行範囲で適切に実施した。



図2 予備試験時の車室内の状況

この試験では、片道93.9km(走行時間約2時間半)に対して「加速度軽減制御あり(以降、PARS制御ありとよぶ)」と「加速度軽減制御なし(以降、PARS制御なしとよぶ)」の2回に分けて往復移動を実施した。定性的な結果ではあるが、PARS制御ありでは山道の連続カーブでも

ゆったりとリラックスした様子で、移動先でも元気な様子で走り回ることができたのに対し、PARS制御なしでは、移動中に落ち着かず頻繁に向きを変えたり「ハア、ハア」という小刻みな呼吸や、クンクンとつらそうに鳴く様子が観察されたりした。日常の移動の様子を知る飼い主の視点からみても、被験体の挙動にもこれらの行動変化の差が確認できたようであった。そこでわれわれはより詳細に専門的、かつ定量的な情報から被験体に対する効果を把握するため、動物行動学専門の獣医師を帯同した走行試験(以下、本試験とよぶ)を計画し、複数の被験体に対して同様の試験条件での比較実験を実施した。

3. 本試験実施に向けた新たな課題について

本試験を実施するにあたり「移動が苦手な」被験体を集めること、個体差がある中で複数の被験体に対して効果が比較・実証できるような負荷強度をもった走行試験を計画すること、社内で人間以外の被験体を取り扱うことなど、多くの課題を解決する必要があった。これらについて、代表的なものを以下に紹介する。

①移動が苦手な被験体を集めた動物実験の実施

本試験では、通常の人に対する開発品評価と異なり犬という言葉でのフィードバックが得られない被験体に対して比較検証を行う必要がある。この対処として、動物行動学専門の獣医師との人脈を構築し、予備実験で観察されたような定性的な行動の分析と、ストレス状態と密接に関係していることが学術的に認められている心拍数の定量的な情報を取得し、総合的に被験体のストレス状態を推定・把握できる環境を構築した。

次に課題となったのが、車での移動が苦手な少数派にあたる被験体を集約することであった。この課題に対し今回は2つの手段を選択した。1つは、酔い止めを処方されるような個体の飼い主に対する動物病院の獣医師からの依頼、もう1つは社内イントラを活用した当社従業員への依頼である。結果として、すべての個体が「移動が苦手な」体質で統一することはできなかったが、効果を検証するには十分な合計11体のサンプルを得ることができた。日本のペット市場で7割を占めるトイプードルなどの小型犬を中心に、柴犬やイタリアングレーハウンドなどの中型犬が被験体となった。

同様に配慮が必要になったのは飼い主への同意であった。一般に、論文などに動物実験結果を論証する大学などの研究機関では、組織内に動物実験委員会を設立し、試験条件や評価内容の有効性の検証に加えて、被験体の倫理的な取扱いについても厳しく議論される。理想的には予備試験も本試験も、同様に動物実験委員会を設置して対処するのが望ましいが、まずは客観性や学

術的な立証よりも効果の確認を主目的とし、短期的な日程で帯同した獣医師に効果を認めてもらうことを目標とした。「被験体の倫理的な取扱い」の対応については、試験中は飼い主が被験体の状態を常に把握できる環境を提供し、被験体の保護を最優先事項とした。いつでも試験が中断できることを試験の詳細とともに事前に飼い主に説明して同意書を残し、さらに本試験に関しては、すべての試験を獣医師立会の下で実施することで、被験体に過度な負担を与えないように十分な配慮をおこなうことで倫理性を確保した。

②効果を立証するための同一の試験条件の設定

本試験において、効果を立証するデータを収集するには「移動が得意/苦手」が混在する被験体が「PARS制御あり/なし」によって有意な差によって層別できる必要があるが、これまで予備試験で一般道を道なりに走行したサンプルしかなく「この走行条件なら結果が得られる」という確証がない手探りの状況で走行条件を設定しなければならなかった。さらに今回は、本社技術センター内の試走路で走行試験を行う必要があった。藤岡試験場の設備を利用すれば、より自由度の高い走行条件が設定できるが、山の中のロケーションのために、試験場までの移動で体調変化が発生する可能性が考えられたためである。以上より、試走路に図3に示すようなシンプルな周回レイアウトを構成し、アクセル/ブレーキや旋回時の最大加速度を変数パラメータとして表1に示すような走行条件を設定した。具体的な加速度条件は、比較的「移動耐性」をもつ被験体に対する確認試験を実施し、被験体が定性的なストレス反応（落ち着きがなくなる、鼻をならすなど）を示し始める加減速を「最大負荷」条件として設定することにした。また、試験開始時の慣れない試験環境により生じるストレスを緩和させるため、最初の数周を「慣熟走行」条件として設定し、それらの条件の中間にあたる負荷強度を「中強度負荷」条件として設定した。



図3 試走路における周回レイアウト

表1 本試験の負荷条件(PARS制御あり/なし)

	負荷条件	最大加速度	最大周回
Step 1	低強度(慣熟)走行	~0.10G以下	2周
Step 2	中強度負荷走行	~0.15G	6周
Step 3	高強度負荷走行	~0.25G	12周

4. 本試験について

4.1 実施日程と参加した被験体について

2025年2~3月にかけて、移動耐性に差がある合計11体の被験体に対して本試験を実施した。被験体の過去の体験や記憶が試験結果に影響することを抑えるため、試験順序は被験体に対する負担が少なくなると考える『PARS制御あり』の試験を先に行い、2週間以上あけてから『PARS制御なし』の試験を行った。また、各試験とも負荷条件はより軽いものから実施した。

4.2 取得データについて

本試験では、負荷条件ごとの実際の前後/旋回の加減速、周回ごとの被験体の定性的なストレス反応、および定量的な心拍数の計測を行った。加減速については、車両自体に発生するものと被験体が体感する軽減されたものとの差が比較できるよう、加速度センサを荷室床面と被験体が収容される装置天板上の2か所に設置して計測した。また被験体のストレス反応については、試験中の被験体の様子を動画で撮影し、獣医師による行動分析作業により詳細解析区間を特定し、そこでの加減速と心拍数の取得からストレススコアの変化から分析を行った。ストレススコアについては後述する。

4.3 得られた結果について

本試験で得られた結果の前に、試験装置による加減速の低減効果について簡単に説明する。図4(a)にPARS制御なしの場合、図4(b)にPARS制御ありの場合の旋回加減速の様子を示す。(a)と比較して(b)は装置上面が傾くことによって旋回加減速を打消すような力がかかるため、装置上面の被験体にかかる力を軽減することができる。



(a)PARS制御なし (b)PARS制御あり

図4 旋回時に個体にかかる力の差

図5には、本試験の走行条件(表1)ごと最大加速度に対するねらい値との比較を示す。最も厳しい高強度負荷の走行条件の最大加減速に対しては約52%の低減をすることが見込まれる。これらの差によって被験体にどのような変化が見られたかを評価するため、各サンプルデータの解析と比較を実施した。次項ではこれらの結果について示す。

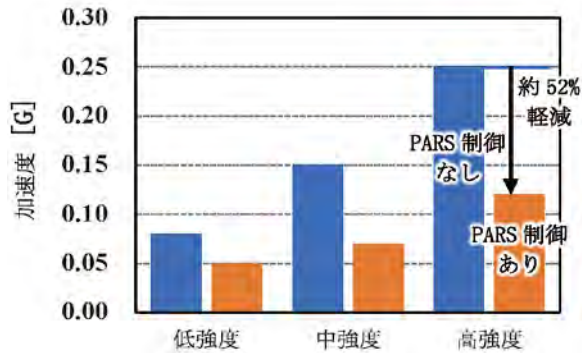


図5 回転時にペットにかかる力の差(ねらい値)

なお11の被験体に対し、2体の被験体については今回の検証データから除外している。その理由は、1体については飼い主から離れた試験環境において試験開始直後から分離不安症を発症し、高い心拍数とストレス状態が継続したため獣医師の判断で中断し計測できなかった事例であり、もう1体については極度に移動が苦手な被験体のため試走路まで移動して頂くことも難しい状況だったため、飼い主様のご自宅付近の市街地コースを特設して計測を実施したためである。

こうして得られた9被験体のサンプルを用いて、以下の2点について比較検証を行った。1点目は、クレート内の被験体が座った状態(座位)と伏せた状態(伏臥位)とを変化させる『ポジションチェンジの回数』であり、2点目は、被験体の心拍数と密接な関係を示す『ストレススコア』である。

図6にポジションチェンジの回数を示す。図中、横軸のA~Iは9体の被験体を示す。各被験体に対し、左側にPARS制御ありの場合、右側に制御なしの場合の回数の総数をそれぞれ示す。被験体DとH以外のサンプルについては、個体差があるものの、PARS制御なしの場合よりもポジションチェンジの回数が増加する傾向であることが判った。

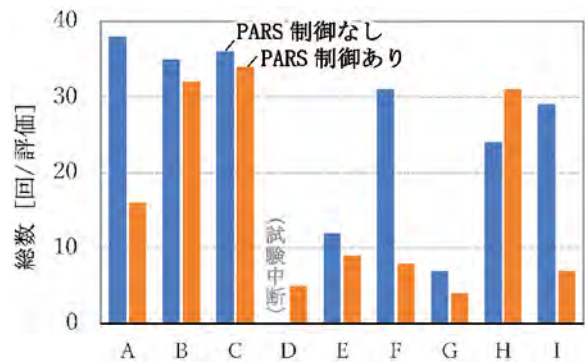


図6 ポジションチェンジ(座位と伏臥位)の総数比較

また、被験体Dについては、試験途中でドクターストップにより棄権して記録が残らなかったサンプルである。つまり、揺れ低減制御を行わなかったときは棄権し、制御を行った場合は完走ができた事例となった。また、唯一回数の大小が逆転した被験体Hに関しては、試験のようすを撮影した動画を確認したところ、クレートの壁にもたれて伏せたことで体が揺さぶられるような状況が発生しなかったことにより、ポジションチェンジの回数が少なくなったと考える。以上のことから、今回有効なサンプルの比較結果としては、クレート内で体勢が安定しない被験体はポジションチェンジの回数が多くなる傾向であり、揺れ低減制御を行わない場合よりも制御を行った場合の方がその総回数は減る傾向にあることが明らかとなった。

図7にストレススコアを示す。ストレススコアは参考文献²⁾に示される通り、心拍数と密接に関係していることが知られている。心拍数(HR:Heart Rate)に加えて、心拍間隔(R-R間隔)のゆらぎの程度を表す心拍変動(HRV:Heart Rate Variability)は、輸送による急性ストレスの反応と一致しており、交感神経と副交感神経のどちらかが活性しているかを見ることによってストレス値として把握することができる。心拍数とストレススコアは、非侵襲でリアルタイムに計測できる汎用装置を用いて計測した。

ストレススコアは、PARS制御あり/なしともに、各被験体に対し負荷強度を変化させて計測を実施しているが、負荷強度ごとの全体傾向を把握するため、それぞれの条件における全被験体の平均値として比較した。またPARS制御あり/なしは各被験体で2週間以上の間隔をあけて実施したが、過去の試験の記憶により2回目に実施したPARS制御なしのストレススコアの方が低くなる傾向がみられた。このため、どちらの水準も同等のストレス状態となる『試験前』の平均ストレススコア値を100とした補正值で示している。

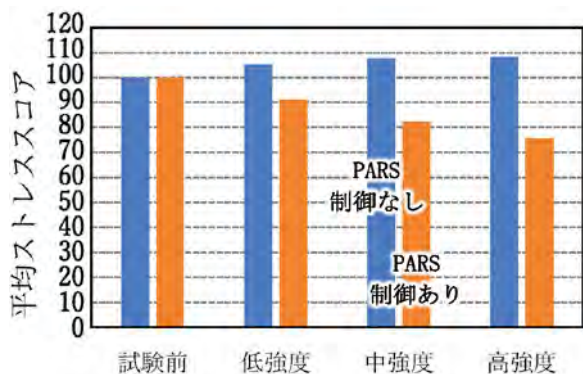


図7 走行前と各負荷強度の平均ストレススコア

PARS制御なしの場合、平均ストレススコアは負荷強度が上がるにつれて少しずつ増大していくのと対照的に、PARS制御ありの場合、負荷強度が上がるにつれて減少していく傾向があることが明らかとなった。この傾向についての獣医師の見解は以下の通りで、「PARS制御なし」の時は、負荷強度が上がるにつれて被験体の環境が自身でコントロールできない不安定な環境になっていったことでストレスが増大する結果につながったのに対し、「PARS制御あり」の時は、被験体が許容できる範囲の負荷強度に収まったことにより、自分を落ち着かせられる空間として認識し、リラックスできる状態を与えた結果であると推察された。

今回の結果を学術的に論証するためには、学会などでの客観的な検証結果が必要との認識であるが、自社の簡便な検証実験として、PARS制御装置が被験体にストレスの少ない落ち着いた移動空間を提供することが結論づけられたと考えている。

5. おわりに

これらの結果を通じて2025年6月のインターペット大阪に出展し、愛犬を優しく運ぶだけでなく、飼い主と愛犬が日常的に一緒に過ごせる『生活の質(QOL)の向上』という提供価値を多くの飼い主に向けて提案することができた。肯定的なご意見や次の開発ステップにつながる人脈を築くことにつながり、近い将来の商品化に向けた意欲が非常に高まった。

今回の活動では、初めて挑戦する様々な取り組みがあったが、特に大きな経験となったのは社内公募による被験体募集であった。社内のポータルに投稿して間もなくアンケートに続々と回答があり、募集開始から1日という短期間で移動が苦手な被験体を予定数集めることができた。多様性に富んだ会社の仲間と社内イントラのよい活用事例として実感することができた。

最後に本試験において被験体を提供いただいた社内外の飼い主の方に深く感謝する。また、本活動の計画、評価、分析、さらに展示会でのPR活動に至るまでに幅広

い知見と協力を賜った株式会社モンパニエの茂木獣医師ならびに橋爪氏に謝意を表す。

参考文献

- 1) 信時 正嗣(自動車技術会):秋季大会(2019)
- 2) Søren Saxmose Nielsen, et al.(efsa JOURNAL):Welfare of equidae during transport, 20(9):7444(2022)

筆者



三嶋 啓介

第1先行開発部 新事業企画1G
PARS事業企画・検証活動に従事



信時 正嗣

第1先行開発部 新事業企画1G
PARSプロジェクトリーダー
PARS要素技術開発に従事



高柳 渉

第1先行開発部 新事業企画1G
PARS制御技術開発、UX開発に従事



石田 直也

第1先行開発部 新事業企画1G
PARSエレキ要素技術開発に従事