

自動二輪車の人間中心設計に基づく 人間工学的手法の研究事例

大本浩司*

米田圭祐**

人間中心設計の考え方に基づいて自動二輪車を開発する場合、人間中心設計プロセスの四つの段階を経て開発することになり、特に人間工学的手法が必要とされる。具体的には、利用状況を把握するための調査手法、要求事項に適合した設計になっているか評価するための主観的、行動的、生理的な測度を用いた評価手法が必要である。本稿では、自動二輪車の人間中心設計に有効な人間工学的手法の研究事例として、シナリオベースデザイン手法、ライダーの操縦技量に関する行動的評価手法、およびメンタルワークロードの生理的評価手法について示す。

Case Studies on Ergonomic Methods based on Human Centred Design for Motorcycles

Hiroshi DAIMOTO*

Keisuke YONETA**

When we develop motorcycles based on the concept of the human centred design, it is shown to develop through four phases in the human centred design process. The ergonomic methods are especially needed to achieve the human centred design process. Specifically, the research techniques to understand the context of motorcycle, and the evaluation techniques of the subjective, behavioral, physiological measures are used to evaluate designs against requirements. This paper describes ergonomic methods for motorcycle developments that are effective for the human centred design. As case studies, the three techniques are shown that are the research technique for rider's scenario-based design, the behavioral evaluation technique of the rider's skill, and the physiological evaluation technique of mental workload in motorcycle riding.

1. はじめに

現代社会は、さまざまなメディア（テレビ、パーソナルコンピュータ、携帯電話等）を受入れ、メディアを活用し、新しいメディアを生み出している。近年の情報通信技術の進展により、これらのメディアは急速に多様化・複雑化して、人々がさまざまな

情報を簡単に得ることができるようになった一方で弊害も生じている。例えば、自動二輪車の運転を例にすると、従来のライダーは「ハンドル」「アクセルグリップ」「ブレーキレバー」「クラッチレバー」「シフトペダル」を操作しながら、「道路環境（他車両、歩行者、標識など）」「メーターパネル」を視認して、自動二輪車を運転していた。最近では自動二輪車にも「カーナビゲーションシステム」「ハンズフリーのインターコミュニケーションシステム（携帯電話・音楽聴取・トランシーバー会話が可能な情報通信機器）」などの情報通信機器が搭載され始めており、ライダーの運転中の情報処理負担は増大する傾向にある。ライダーへの過剰な情報提供は、見

* ヤマハ発動機株式会社技術本部研究開発統括部主務
Senior Supervisor, Research & Development Section,
Technology Center, YAMAHA MOTOR Co., Ltd.

** ヤマハ発動機株式会社技術本部研究開発統括部
Research & Development Section,
Technology Center, YAMAHA MOTOR Co., Ltd.
原稿受理 2011年4月14日

誤り、誤判断、誤操作を導くことになり、事故の発生を増やすことになると考えられる。情報通信機器の利用者が処理できる容量には限界があり、その容量を超えるとユーザビリティが低下する。新しい情報提供システムを開発する際には、ライダーにとって必要な情報を適切なタイミングで提供し、その情報がライダーの運転挙動へ悪影響を及ぼさず、情報処理の負担も少ないことが求められる。そのためには、人間中心設計の考え方に基づいて自動二輪車の情報提供システムを開発する必要がある。

人間中心設計とは、1999年に制定されたISO13407¹⁾に規定されている「Human-centred Design Processes for Interactive Systems」に基づいて製品を開発することを示す¹⁾。2010年には、その改訂版であるISO9241-210²⁾「Human-centred Design for Interactive Systems」が制定された。ISO9241-210は、ISO13407で規定されている設計プロセスの基本的な考え方に変更はないが、次の3点の変更がなされた³⁾。①規格番号、タイトルが変更され、規格対象にサービスが含まれるようになった。②プロセスで規定される四つの活動の記述がより明確で具体的に、要求項目(shall)が増えた。③UX(ユーザ体験:User Experience)の用語が定義され、人間中心設計による設計が達成すべき目標として位置づけられた。

人間中心設計プロセス⁴⁾に基づいて自動二輪車を開発する場合、(1)自動二輪車の利用状況の把握と明確化、(2)ライダーや組織の要求事項の明確化、(3)設計による解決策の作成、(4)要求事項に対する設計の評価という四つの段階を経ることになる。

(1)自動二輪車の利用状況の把握と明確化

ライダーが自動二輪車に乗車する利用状況をライダー特性(経験、スキル等想定ライダーの特性)、タスク特性(ライダーが自動二輪車を操縦して実行するタスクの特性)、環境特性(物理的環境[空間、温熱、照明等]および社会的環境[法律、文化等]の特性)の観点で明確化する。この段階は、「自動二輪車は、どんな人が、どのように、どんな環境の中で、使用するのか」を明確化する活動である。

(2)ライダーや組織の要求事項の明確化

自動二輪車への要求仕様の記述にあたって、ライダーの要求を利用状況との関係から明示的に記述することになる。具体的には、「ユーザの範囲」「明確な設計目標」「異なった要求項目間の優先順位」「設計評価のための測定可能な基準」「法的要求事項」を記述することで、設計のための要件定義ではなく、

ライダーの立場に立った要求仕様を作成する。この要求仕様は、製品企画と設計の間のコミュニケーションツールとして利用する。この段階では、組織におけるコストや開発期間等の制約事項も踏まえて要求事項の優先順位を検討し、ライダーの要求事項を明確化する。

(3)設計による解決策の作成

要求仕様に従って具体的な設計を行い、設計の妥当性を次のような手順で確認する。

- ・人間工学や認知科学等の既存知識の活用
- ・シミュレーションやモックアップ等を用いた具体的な設計
- ・プロトタイプのライダーへの提供と模擬タスクの実行

この段階では、この手順を設計目標が達成するまで繰り返すことで、人間中心設計の具体化を図る。

(4)要求事項に対する設計の評価

ユーザビリティ評価における専門家評価やユーザテスト等が実施される。具体的には、「設計改善のためのフィードバックの提供」「ライダーおよび組織の目標を達成したかどうかの査定」「長期的なモニタリング」が行われる。この段階では、ライダーの視点に立って作成された(2)の要求仕様に対して評価を行い、人間中心設計の考え方が反映されているかを確認する。この段階で不具合が確認された場合には、再度、上流段階から人間中心設計プロセスを経ることになる。

この人間中心設計プロセスを実行するためには、特に人間工学的手法が必要とされる。具体的には、人間中心設計プロセスの第一段階では、利用状況を把握するために、行動観察、インタビュー調査、アンケート調査などの人間工学的調査手法が必要である。第四段階では、要求事項に適合した設計になっているかを評価するために、主観的、行動的、生理的な測度を用いた人間工学的評価手法が必要である。人間工学は、システムにおける人間とその他の要素の相互作用を科学的に理解すること、そして人間の福祉と人間を含むシステム全体の遂行能力を最適化するために、その理論、原則、データ、および方法を設計に活かすことを目的とする実践科学である⁵⁾。人間工学では、人間中心設計プロセスを人間工学のアプローチとして位置づけており、その中で観察、インタビュー、質問紙調査、実験室実験等の人間工学的手法が示されている⁶⁾。

本稿では、人間中心設計で有効な人間工学的手法

の研究事例として、「自動二輪車の利用状況を把握するためのシナリオベースデザイン手法」「ライダーの操縦技量の行動的評価手法」「自動二輪車乗車時におけるメンタルワークロードの生理的評価手法」について示す。

2. シナリオベースデザイン手法

2-1 シナリオベースデザイン

ユーザの視点をシステム開発に取り入れるための技術として、シナリオに基づく設計・開発の重要性が指摘されている^{7,8)}。シナリオとは、ユーザが目標を達成するための行動と、その過程で得られる事象を時系列で記述した文の集合体である。場合によっては、写真やイラストなども活用される。シナリオには、登場人物の属性や生活状況、そしてその人物がどのような目的で、どのような行動を、どのような人工物を利用して、どのような結果になるかという文脈が示される。シナリオは、関係者の分析、ユーザに対するインタビュー調査や行動観察から得られる定性的なデータをもとに作成することによって、実際のユーザニーズに適合した妥当性の高いシナリオとなる。

このシナリオを開発工程に導入することによって、ユーザの視点がシステム設計に取り込まれ、ユーザビリティの観点から、開発されるシステムの品質向上が期待される。しかし、このシナリオに基づく設計方法論は確立されたものではなく、「どうすればシナリオ作成作業を軽減することができるのか?」「どうすればシナリオの質を統一できるのか?」「どうすればシナリオをうまく再利用できるのか?」など手法自体に問題点が指摘されている⁸⁾。

2-2 マイクロシナリオ手法

マイクロシナリオ手法とは、シナリオベースデザインの一つであり、個別の問題点の記述に着目したシナリオ手法である⁹⁾。具体的には、従来のKJ法¹⁰⁾や品質機能展開(QFD: Quality Function Deployment)¹¹⁾、マイクロエスノグラフィ¹²⁾等の技法を取り込み、問題点の微細構造を個別に問題マイクロシナリオ(pMS: problem Micro-Scenario)として記述する点が特徴的な手法である。従来のシナリオ手法とは異なり、インフォーマント(フィールド調査等での情報提供者)に関する情報は、共通情報(GI: Ground Information)として記述し、相互にリンクを貼る形で問題シナリオを記述する。pMSには、その内容を表すキーワードをタグの形で記述する。

このタグを利用することで、類似の問題点をまとめ、その問題点に対する解決案を検討する。その際、各問題点が解決された状態を解決マイクロシナリオ(sMS: solution Micro-Scenario)として記述し、実現可能性、コスト、魅力等の観点でタグ付けを行って最適な解決案を選出する。

マイクロシナリオ手法は、人間中心設計プロセスにおける第一段階の「利用状況の把握と明確化」と第二段階の「要求事項の明確化」に用いることができる。具体的には、フィールド調査等から得られた個々の問題点をpMSとしてシナリオ化し、タグによって整理することで、「利用状況の把握と明確化」が可能となる。また、開発関係者が各問題点を解決する案を発想してsMSとしてシナリオ化し、優先順位を明確化することで、「要求事項の明確化」が可能となる。

以上のことから、マイクロシナリオ手法は、人間中心設計の観点から問題点を明確化し、解決案を導出するための有効な手法であると考えられる。そこで、本稿ではこのマイクロシナリオ手法を自動二輪車の安全情報支援システムに関するユーザ調査に適用した事例を紹介する。

2-3 マイクロシナリオ手法の適用事例³⁾

自動二輪車の安全情報支援システムに関するユーザ調査にマイクロシナリオ手法を適用し、pMSの作成方法を改善した事例を紹介する。改善内容は、pMSをタグ付けするキーワードで構成される規範モデルを作成した点と、pMSの作成に記述ルールを用いた点である。

規範モデルとは、文献調査やインタビュー調査で得られたキーワードを構造化したもので、開発関係者が調査内容を容易に理解できることを目的としたものである。

Fig.1に自動二輪車の事故要因についての規範モデルを示す。この規範モデルは、

- ①ライダー要因…身体的要因(疲労、眠気、身体能力など)、感情的要因(ストレス、イライラなど)、パーソナリティ要因(怠慢、自信過剰など)、情報処理要因(見えない、予測外れ、誤操作、知識不足、メンタルワークロードなど)
- ②車体要因…故障、整備不良など
- ③環境要因…周辺車両、交通状況、路面状況などの三つの観点で、キーワードをKJ法のようにグループ化して、構造的に整理したものである。この規範モデルを用いることで、インタビュアーはインタ

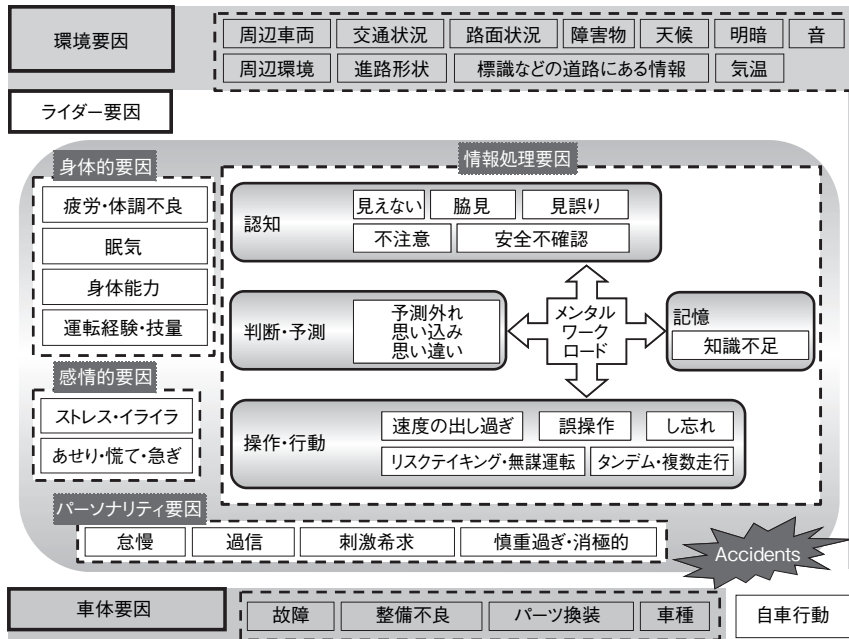


Fig. 1 プロブレムマイクロシナリオ (pMS) の事例

ビューを受ける人と事故原因の全体像を共有でき、従来より漏れなく要求事項を聞き出すことができる。また、pMSとキーワードの対応関係を分析することで、規範モデルの中で重要なキーワードを抽出することができる。

Fig.2に自動二輪車の安全情報支援システムに関するpMSの事例、Fig.3にその交通場面を示す。このpMSは、文献調査やインタビュー調査から得られた定性データをもとに作成したものである。このシナリオの作成にあたっては、予め記述ルールを設定した。シナリオの作成作業には多くの時間を要し、記述方法が個人ごとでかなり異なるため、シナリオ作成者は、記述ルールを参照することで従来より容易に記述できる。具体的には、記述ルールで「[主体-客体] [提供情報] [誰に] [タイミング] [ライダーの状態] [外部環境や他車の状況] [ハザードの種類] [手段] を明記する」ことを取り決める。シナリオ作成者は、この記述ルールを参照して、文献調査やインタビュー調査で得られた定性データをもとにpMSを作成する。

作成した各pMSは、次の質問事項を設定したアンケート調査により、解決すべき重要なpMSを抽出することができる。「Q1. 重要度 (この問題点は自動二輪車の安全を解決するためにどれくらい重要か?)」「Q2. 危険度 (この問題を解決する手段がない

自車 (二輪) が青信号の交差点を直進する時に、右折車 (トラックなど) がいて、こちらからも対向車からもお互いの存在が見えない場合、対向右折車が誤って進入してくる危険性があるので、対向右折車側に「自車の存在」を知らせたいがその手段がない

Fig. 2 二輪車の事故要因についての規範モデル



Fig. 3 プロブレムマイクロシナリオ (pMS) 事例の交通場面

とどれくらい危険か?)」「Q3. 発生頻度 (この問題はどれくらい発生するのか?)」。この質問項目に関する5段階評価のデータを掛け合わせることで総合スコアを算出し、この総合スコアの高い上位のpMSを解決すべき重要なpMSとする。Fig.2のpMSは、自動二輪車の安全情報支援システムの調査で作成した全66のpMSのうち最も総合スコアの高かったシナリ

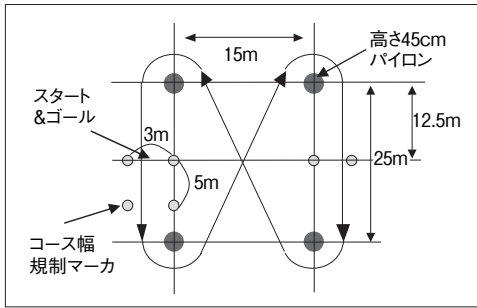


Fig. 4 トライカーナコース概略図

オである。このpMSは、重要度=4.19point、危険度=4.31point、発生頻度=3.44pointで総合スコア=62.12pointであった。このpMSのタグ付けキーワードは、「周辺車両」「見えない」「道路形状」であった。このように重要なpMSからキーワードを抽出して、規範モデルの中で可視化(強調表示)することで、問題点の位置づけを明確化した上で、開発関係者は解決案(sMS)を効率的に発想することができる。

3. ライダーの操縦技量評価手法

3-1 ライダーの操縦技量評価

自動二輪車における操縦技量の評価は、ライディングスクールや教習所などの限定されたコースにおいて、走行タイムの計測や、指導員の評価によって行われている。しかしながら、ライダーの操縦技量の自己評価はさまざまな走行状況下で随時行われていることから、教育機関における一時的な評価だけでは、適正な自己評価を助ける上で不十分であると考えられる。適正な自己評価ができなければ、ライダーは自己の技量を過大評価し、それがリスクテイキング傾向につながる可能性がある。これを防ぐために、ライダーが自動二輪車に乗車している間に随時、客観的・定量的な技量評価をライダーにフィードバックするシステムが必要であると考えられる。これを実現するためには、自動二輪車乗車時において計測可能なライダーの操作行動、車両挙動のデータを用いて、指導員による主観的な操縦技量評価を客観的に定量評価する必要がある。

以上のことから、ライダーの操縦技量を客観的・定量的に評価できれば、ライダーの技量向上教育を実際の走行場面で実施できるようになる。この操縦技量の評価技術は、人間中心設計プロセスにおける第一段階の「自動二輪車の利用状況の把握と明確化」や第四段階の「要求事項に対する設計の評価」で活

Table 1 操縦行動シナリオの例

熟練度	非熟練	熟練
シナリオ内容	コーナー進入時に、ブレーキをかけた際に発生する減速Gに対して、腹筋や背筋を使った姿勢維持ができないため、腕に過剰な力が入り、ハンドルの把持力が大きくなる。そのためハンドルの動きが阻害されたり、ブレーキ操作が制限される。結果としてハンドルを切るタイミングが遅れ、旋回半径が大きくなり旋回に要する時間が長くなる。	コーナー進入時に、ブレーキをかけた際に発生する減速Gに対して、腹筋や背筋を使った姿勢維持をして、腕に不要な力を入れないようにしている。そうすることでハンドルやブレーキを自由に操作できるようにしている。結果として意図したタイミングでハンドルを切ることができ、旋回半径を小さくすることができることから、旋回に要する時間が短くなる。

用できる有効な行動評価手法になると考えられる。そこで、本稿では自動二輪車における走行指導員による操縦技量の評価視点に関する主要因調査事例と、走行中に計測可能なライダーの操縦行動、車両挙動から操縦技量を客観的に定量化する評価手法に関する事例を紹介する。

3-2 ライダーの操縦技量に関する調査事例¹⁴⁾

走行指導員による技量評価視点を明らかにするために、熟練者と非熟練者の操縦行動の違いについて、自動二輪車メーカーにおいて走行教育を担当している指導員を対象としたインタビュー調査を行った。インタビューは、トライカーナコース走行時における熟練者と非熟練者の操縦行動の違いについて、インフォーマントに自由に発言させるデプスインタビュー方式¹⁵⁾で行った。調査の対象としたトライカーナコースの概略をFig.4に示す。トライカーナコースには、発進→加速→減速→向き変え→旋回→加速→…→停止といった自動二輪車における基本的な操縦操作が含まれている。

計4時間のインタビュー調査の結果、熟練者・非熟練者の操縦行動に関して25,000文字程度のテキストデータが得られた。このテキストデータを分類・整理し、熟練者、非熟練者の特徴情報を集約するために、マイクロシナリオ手法²⁾を応用した。非熟練者の操縦行動は理想とされる操縦行動からみると何らかの問題をはらんだ状態であり、熟練者の操縦行動はその問題が解決された状態であると考えられる。つまり非熟練者の操縦行動と熟練者の操縦行動の間には、マイクロシナリオ手法における、pMSとsMSの関係が成り立つといえる。そこで、非熟練者、熟練者の操縦行動をマイクロシナリオとして記述し、

このシナリオを集約することでそれぞれの操縦行動の特徴抽出を試みた。ここでは、テキストデータをもとに、熟練者・非熟練者の操縦行動についてのシナリオを各22篇、計44篇記述した。この際、「[走行状況、行動、結果]を明記する」とした記述ルール¹³⁾を設けた。Table 1に作成したシナリオの一例を示す。マイクロシナリオ手法ではシナリオをタグ付けによって集約していくが、ここでは、タグ付けに加えて、KeyGraph¹⁶⁾手法によるシナリオマップの作成を行い、シナリオ内に含まれる「語」の共起関係を視覚化することで、解析者に対するシナリオ集約のための発想支援を併せて行った。

これらの手法によるシナリオ集約の結果、操縦技量評価視点の主要因として以下の五つが得られた。

①「ハンドル操舵の力加減」要因

ハンドル操舵の力加減が、旋回時におけるハンドルの動きに影響し、旋回時間や旋回半径に影響を及ぼす。

②「車両傾斜時のスロットル・ブレーキ操作」要因

路面に対して車体が傾いている時のスロットル操作・ブレーキ操作の仕方が、旋回時の旋回半径、旋回時間ならびにスリップの危険性に影響を及ぼす。

③「視認行動」要因

視線位置、視認タイミングがコーナー全体での情報の取得、操作に影響を及ぼし、旋回時の走行ライン、旋回に要する時間に影響を与える。

④「修正操作」要因

ハンドル、スロットル、ブレーキの各操作の修正量が、旋回時の旋回半径、旋回時間に影響を及ぼす。

⑤「車輛傾斜量とフロントブレーキ操作の関係」

コーナー進入、立ち上がり時の路面に対する車体の傾きの大きさと、それに応じたフロントブレーキの操作が、旋回時におけるハンドルの動きに影響し、旋回時間や旋回半径ならびにスリップの危険性に影響を及ぼす。

以上、マイクロシナリオ手法を応用したインタビューデータの特徴集約により、五つの技量評価視点の主要因を明らかにすることができた。

3-3 ライダーの操縦技量評価手法の事例¹⁴⁾

五つの技量評価視点の主要因を、計測可能なライダーの操縦行動、車両挙動から検証するために、ライダーの腕の筋活動、頭部運動、ならびに各種操作、車両挙動を同期計測するシステム（ベース車：XJR400R、ヤマハ発動機製）を用いて、操縦技量の異なる3名の被験者を対象に、トライカーナコース走行

時における計測を行った。被験者の操縦技量はトライカーナコースを「安全マージンを確保した上で、できるだけ早く走行すること」と教示して走行した際のコース2周のタイムを基準に、上級者(36.2秒)、中級者(41.3秒)、初級者(49.5秒)と定めた。

以下では、五つの主要因のうち、④「修正操作」について実測データを用いた検証を行い、その結果から操縦技量評価視点の定量化を行った例について示す。五つの主要因はいずれもコーナーにおける旋回時の行動に関するものであるため、旋回区間に絞って検証を行った。なお、旋回区間は車体のヨーレート値が2秒以上連続して5deg/sec以上を記録した区間と定義した。

④「修正操作」要因から旋回時におけるハンドル、スロットル、ブレーキの修正操作が操縦技量を表す指標となると考えられる。そこで、ここでは操舵の修正操作に着目する。四輪車の操舵の修正に関する先行研究¹⁷⁾では、ステアリング操作はその周波数特性により道路形状成分、予測操作成分、修正操作成分に分けられ、0.3Hz以上に修正操作成分が存在するとされている⁵⁾。そこで本研究でもステアリング操作を0.3Hzを閾値として切り分け、0.3Hz以上の修正操作成分に着目した。ただし、二輪車の操向角は車体のロール運動、ピッチ運動にも影響をうけステアリング角度のみでは決まらない。そこで、車両の操向角の変化を表すヨーレートに着目し、その修正成分についても検討した。修正成分は、ハイパスフィルタ（修正Bartlett Hamming windowを適用した線形位相FIRフィルタ、カットオフ周波数0.3Hz）をステアリング角度データならびにヨーレートデータに適用することで抽出した。Fig.5に旋回区間における各ライダーのステアリング角度修正成分ならびにヨーレート修正成分の最大値を示す。図より、初級者

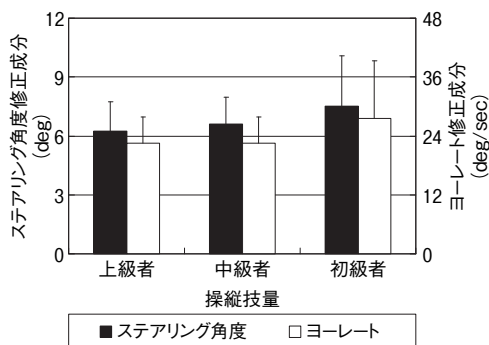


Fig. 5 操縦技量とステアリング角度・ヨーレート修正成分の関係

はステアリング角度・ヨーレートともに修正成分が多いことがわかる。また、上級者に比べて初級者の方が値のばらつきも大きく、運転行動が安定していないことがわかる。よって旋回区間におけるステアリング角度並びにヨーレートの修正成分は操縦技量の違いを表す操縦技量評価指標として有望であるといえる。

上記と同様の検証を3-2節で明らかにした他の4要因についてもを行い、10の操縦技量評価指標が得られた。3-2節①の要因からは「上腕二頭筋活動量」「三角筋活動量」「ハンドル荷重と上腕二頭筋活動量の関係」の3指標が得られた。3-2節②の要因からは「スロットル操作とリアブレーキ操作の関係」指標が得られ、3-2節③の要因からは「水平方向頭部回転角速度」「垂直方向頭部回転角速度」の2指標が得られた。3-2節④の要因からは「ステアリング角度修正成分」「ヨーレート修正成分」「スロットル操作修正量」の3指標が得られた。3-2節⑤の要因からは「フロントブレーキ操作と車体ロール角度の関係」指標が得られた。

これらの指標をそのまま用いてライダーの操縦技量を評価しようとした場合、評価次元数が多いため解釈が困難になると考えられる。また指標間の相関関係も考慮する必要がある。そこで、3名のライダーのカーブ毎の各操縦技量評価指標の値を用いて主成分分析を行い、次元の圧縮を試みた。分析では固有値が1以上となる合成指標を選択し、バリマックス法による座標軸の回転を行った。分析の結果、10の操縦技量評価指標は三つの合成指標に要約され、その累積寄与率は70.01%であった。

ここで、合成指標それぞれに対して意味づけを行う。合成指標1は、「ステアリング角度修正成分」「車体ヨーレート修正成分」指標と相関係数0.9程度

の極めて強い相関関係がみられることから、修正操作の指標であると解釈した。合成指標2は「ハンドル荷重と上腕二頭筋活動量の関係」「スロットル操作とリアブレーキ操作の関係」「フロントブレーキ操作と車体ロール角度の関係」指標と相関係数0.7以上の強い相関関係がみられる。これらの指標はすべて、積極的に車体に対して操作入力をして車両の挙動をコントロールしようとする際に高い値を示すと考えられる。よって合成指標2を「積極的操作」の指標であると解釈した。合成指標3は、針路確認動作の指標である「水平方向頭部回転角速度」指標と相関係数0.9以上の非常に強い相関関係がみられることから、針路確認動作の指標であると解釈した。

修正操作指標を縦軸、積極的操作指標を横軸にとり、各ライダーのカーブ毎の得点をプロットした例をFig.6に示す。図から、技量に応じて座標上で特徴を持って分類されていることがわかる。具体的には、次のように解釈できる。初級者は修正操作が多く、車両の挙動を積極的にコントロールする操作が少ない。上級者は修正操作が少なく、車両に対して積極的に操作入力を行い車両の挙動を積極的にコントロールしている。中級者は積極的な操作は少ないが修正操作も少ないことから、無理をせず安定した走行を行っている。以上の結果から、走行中に計測可能な操縦行動、車両挙動を用いて操縦技量を客観的に定量評価する可能性を示すことができたと考えられる。

4. ライダーのメンタルワークロード評価手法

4-1 ライダーのメンタルワークロード評価

近年の情報通信技術の進展により、ITS (Intelligent Transport Systems)やASV (Advanced Safety Vehicle)のような情報化が進展し、自動二輪車でも情報提供システムが利用され始めた。しかし、情報提供システムを利用するライダーが処理できる情報量には限界があり、新しい情報提供システムを開発する際には、ライダーの情報処理への影響を踏まえて開発する必要がある。そのためには、ライダーの情報処理過程(認知・判断・操作)におけるメンタルワークロード(MWL)を客観的に定量化する評価手法が必要である。

以上のことから、ライダーの情報処理に伴う負担レベルを脳で行われる情報処理過程を反映する評価手法で評価できれば、ライダーにとって適切な情報提供が可能になる。このMWL評価技術は、人間中

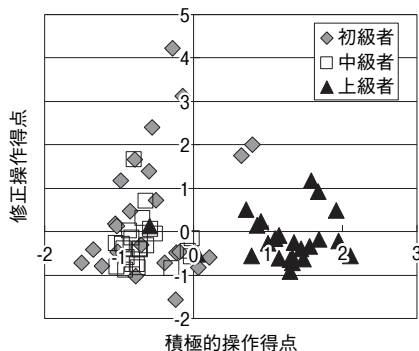


Fig. 6 操縦技量と修正操作得点、積極的操作得点の関係

心設計プロセスの第四段階で行う「要求事項に対する設計の評価」での有効な生理的評価手法になると考えられる。

4-2 事象関連電位によるメンタルワークロード評価

事象関連電位 (ERP) は、脳波の一種で、外的あるいは内的な事象に関連する脳電位であり、脳の情報処理過程を直接反映する指標である。MWLに関する研究では、注意 (処理資源) の観点から、視覚や聴覚刺激に対するERPを用いてユーザの情報処理に伴うMWLを評価する手法が提案されている¹⁸⁾。研究事例としては、複合的トラッキング作業におけるMWLをERPによって評価する筆者らの研究がある^{19, 20)}。この研究では、トラッキング課題 (車線保持や車間維持を単純化した知覚-運動系の課題) を遂行中に、数的課題 (道路標識の認識やナビゲーションなどの情報通信機器の利用に伴う情報処理を単純化した知覚-中枢系の課題) を遂行し、さらに聴覚オドボール課題 (周波数の異なる三つの純音がランダムな順序で提示され、その中からターゲット音を検知する課題) を遂行した際に、トラッキング課題、数的課題のそれぞれの難易度によって、事象関連電位の聴覚P300がどのような反応を示すかを実験的に検討している。聴覚P300は、聴覚オドボール課題のターゲット音の提示時点を基準として、主に頭頂部 (Pz) から導出される脳波を加算平均すると、ターゲット音の提示時点から約300ms後に出現する陽性成分である。実験の結果、知覚-運動系と知覚-中枢系それぞれにおいて、負荷が大きくなると聴覚P300のピーク振幅が低減することが示されている。この結果より、聴覚P300は知覚-運動系ならびに知覚-中枢系のMWLを総合的に評価できる指標であると考えられる。

以上のことから、ライダーのMWLを事象関連電位で評価する際には、聴覚P300を評価指標として用いることで、情報提供システムの利用に伴う知覚-中枢系のMWLを客観的に評価できると考えられる。しかし、自動二輪車における情報提供システムの利用場面を想定すると、音刺激の提示を必要とする聴覚P300をMWLの指標として用いることは難しい。「自動二輪車は機器の設置スペースが狭い」「ライダーはヘルメットを装着する必要があるため視野が狭まる」等の理由から見やすい位置に視覚情報提示機器を設置しにくい。また、ライダーはグローブを装着する必要があるため手指による機器の操作性が悪く、四

輪車に比べるとカーナビ等の視認操作系を主とする情報提供システムを利用しにくい。以上のことから、自動二輪車は、携帯電話によるハンズフリーの音声対話や音声認識技術を活用したナビゲーションシステムなど、音声インタラクションを主とする情報提供システムとの親和性が高いと考えられる。よって、自動二輪車を想定した実験では、聴覚系の情報処理負荷と同一モダリティとなる聴覚P300を評価指標として用いるのではなく、聴覚系の情報処理と干渉しないLED発光による視覚刺激を用いたオドボール課題によって測定する視覚P300を評価指標として用いるべきであると考えられる。そこで、本稿では、トラッキング作業中に聴覚系を主とする知覚-中枢系のMWLと視覚オドボール課題を被験者に課し、視覚P300によって聴覚系を主とするMWLを評価する事例について紹介する。

4-3 ライダーのメンタルワークロード評価事例²¹⁾

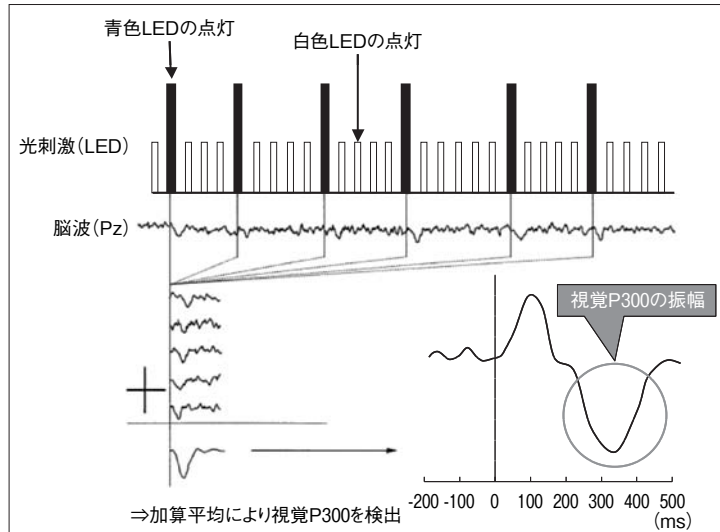
ライダーへの聴覚系のMWLを評価するため、被験者に3種類の課題 (トラッキング作業課題、視聴覚刺激の提示課題、視覚オドボール課題) を先行研究^{19, 20)} に準じて課した。各課題の優先順位は、1 = トラッキング作業課題、2 = 視聴覚刺激課題、3 = 視覚オドボール課題とした。

トラッキング課題は、知覚-運動系の負荷課題として設定し、ランダムな方向へ移動するターゲットが追尾枠から逸脱しないように追尾枠をトラックボールで移動させる作業であった。視聴覚刺激課題は、知覚-中枢系の負荷課題として設定し、AU (0~9の一桁数字を聴取して追唱する) 条件、VU (0~9の一桁数字を視認して追唱する) 条件、AA (0~9の一桁数字を聴取して足算する) 条件、MU (自身が選択した好みの音楽を聴取する) 条件、CO (音声認識ゲームで対話する) 条件、None条件 (視聴覚刺激の提示課題のないコントロール条件) の6条件であった。視覚オドボール課題は、視覚P300を計測するための課題として設定し、被験者は、Fig.7のインターコミュニケーションシステム (サインハウス社製、B+Com SB213) を設置したヘルメット (ヤマハ発動機製、YF-5) の開口部下部に取り付けられたLEDの発光に対して、左手に持ったスイッチの押下により反応した。LEDの設置位置は、被験者の各眼球の中央 (開口部下部上) となるように調整された。Fig.8に、視覚オドボール課題による視覚P300の測定手法を示す。LEDの発光色は、青と白の2種類であった。青



Fig. 7 インターコミュニケーションシステムを設置した実験用ヘルメット

Fig. 8 視覚オドボール課題による視覚P300の測定手法



は20%、白80%の割合でランダムに点灯した。LEDの発光間隔は700msであり、低頻度の青色LEDは連続して点灯しないように設定した。被験者は、低頻度の青色LEDが点灯した場合に反応した。

その結果、青色LEDへの反応課題に正しく反応した場合に、青色LEDの点灯時点を基準に脳波を加算平均すると、全ての条件で視覚P300が検出された。

Fig.9に各条件におけるピーク振幅の平均値とその標準偏差を示す。Fig.9から、特にAA条件とCo条件でピーク振幅の低減が認められ、「AA条件、Co条件」と「AU条件、VU条件、Mu条件、None条件」の間に5%水準で有意差が認められた。AA条件とCo条件は、他の条件に比べて、視聴覚刺激の提示課題に対する処理資源の配分量が増し、知覚-中枢系のMWLが高くなったと考えられる。一方、音楽聴取(Mu条件)や記憶を伴わない数字の追唱(AU条件、VU条件)は、コントロール条件(None条件)との差が認

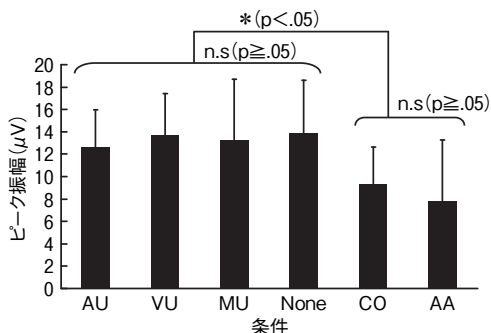


Fig. 9 各条件における視覚P300のピーク振幅 (平均値±標準偏差)

められなかったので、知覚-中枢系のMWLは高くなかったと考えられる。以上の結果から、聴覚刺激に伴う知覚-中枢系のMWLを計測する際には視覚P300を評価指標として利用するのが有効であると考えられる。

5. まとめ

本稿では、自動二輪車の人間中心設計に基づく人間工学的手法の研究事例として「自動二輪車の利用状況を把握するためのシナリオベースデザイン手法」「ライダーの操縦技量に関する行動的評価手法」「自動二輪車乗車時におけるメンタルワークロードの生理的評価手法」を紹介した。シナリオベースデザイン手法は、自動二輪車の利用状況を把握する際に有効な定性的調査手法であり、自動二輪車の安全情報支援システムに求められる機能を明確化する際に役立つと考えられる。ライダーの操縦技量に関する行動的評価手法は、実際のライダーが自動二輪車をどのように操縦しているのかを調べる際に有効な客観的・定量的計測手法であり、実際のライダーの技量に合わせた自動二輪車開発や安全教育に役立つと考えられる。メンタルワークロードの生理的評価手法は、ライダーへ提供する情報の負担レベルを評価する際に有効な客観的・定量的評価手法であり、ライダーの情報処理能力に合わせた情報提供システムの評価に役立つと考えられる。

自動二輪車は、車両を操縦するために両手でハンドル操作、右手でアクセルとブレーキ操作、左手でクラッチ操作、右足でブレーキ操作、左足でシフト

操作を行う。さらに、乗車姿勢を変えて重心を移動することが求められる乗り物であるので、自動四輪車のドライバーに比べると、自動二輪車のライダーは複雑な操作や行動が求められる。したがって、自動二輪車の安全性を高めるためには、自動四輪車以上にヒューマンファクターを考慮する必要がある、本稿で取り上げた人間工学的手法が有効であると考えられる。具体的には、マイクロシナリオ手法を用いることでライダーにとって不要な情報提供を削減し、提供した情報がライダーの運転挙動や、ライダーの情報処理負担に悪影響を及ぼさないかをチェックすることで、自動二輪車の安全性を高められる可能性がある。今後は、これらの人間工学的手法が実際の開発現場に適用できるように完成度を高め、自動二輪車の安全性向上に貢献していきたい。

参考文献

- 1) ISO 13407: Human-centred design process for interactive systems,1999/JIS Z 8530:2000 人間工学-インタラクティブシステムのための人間中心設計プロセス、2000年
- 2) ISO 9241-210: Human-centred design for interactive systems,2010
- 3) 安藤昌也「人間中心設計の国際規格の改訂とISO9241-210のポイント」『人間生活工学』12(1)、10-13、2011年
- 4) 黒須正明、平沢尚毅、堀部保弘、三樹弘之『ISO13407がわかる本』オーム社出版局、2001年
- 5) 人間工学技術戦略委員会『人間工学技術戦略ロードマップ(改定1)』日本人間工学会、2008年
- 6) 伊藤謙治、桑野園子、小松原明哲・編『人間工学ハンドブック』朝倉書店、11-15、2003
- 7) Carroll, J.: M.Scenario-Based Design of Human-Computer Interactions, MIT Press, Boston, MA, 2000
- 8) 郷健太郎、John M. Carroll、今宮淳美「ユーザの視点を取り入れる技術：システム開発におけるシナリオの役割」『情報処理』41(1)、pp.82-87、2000年
- 9) 黒須正明「マイクロシナリオ手法」メディア教育開発センター研究報告、2006年
- 10) 川喜田二郎『発想法－創造性開発のために』中公新書、1967年
- 11) 水野滋、赤尾洋二『品質機能展開 全社的品質管理へのアプローチ』日科技連、1978年
- 12) 箕浦康子『フィールドワークの技法と実際－マイクロエスノグラフィ入門』ミネルヴァ書房、1999年
- 13) Hiroshi Daimoto, Sachiyo Araki, Masamitsu Mizuno, Masaaki Kurosu : Application of Micro-Scenario Method (MSM) to User Research for the Motorcycle's Informatization - A Case Study for the Information Support System for Safety, Lecture Notes in Computer, 4550, pp.49-57, Heidelberg, Springer, 2007
- 14) 米田圭祐、大本浩司、山本熱男「自動二輪車ライダーの操縦技量の定量化の試み」『ヒューマンインタフェースシンポジウム2010論文集』3144、2010年
- 15) ユーザビリティハンドブック編集委員会『ユーザビリティハンドブック』共立出版、第4部、2007年
- 16) 大澤幸生『チャンス発見のデータ分析』東京電機大学出版局、第4章、2006年
- 17) 磯村有宏、原徹、神谷公一「ドライバのハンドル操作におけるヒューマンファクタ」『自動車技術会論文集』27(1)、pp.122-126、1996年
- 18) Kramer, A. F., & Weber, T.: Application of psychophysiology to human factors, In J. T. Cacioppo, L. G. Tassinary, & G. G. Berntson (Eds), Handbook of psychophysiology, 2nd ed, New York, Cambridge University Press, pp.794-814, 2000
- 19) 大本浩司、高橋勸、藤本清、高橋秀明、黒須正明、八木昭宏「複合的トラッキング作業における眼球停留関連電位と聴覚的P300の比較」『ヒューマンインタフェース学会誌』10(2)、pp.39-47、2008年
- 20) 大本浩司、高橋勸、藤本清、高橋秀明、黒須正明、八木昭宏「事象関連電位によるメンタルワークロードの評価」『人間中心設計機構誌』5(1)、pp.29-37、2009年
- 21) 大本浩司、米田圭祐、吉倉肇、八木昭宏「二輪車乗車時におけるメンタルワークロード評価手法の基礎検討」『ヤマハ発動機技報』45、pp.94-105、2009年