

論文の要旨

題目 自動車運転操作における人間の上下肢特性と機械特性のヒューマンマシン
マッチング

(Human-Machine Matching of Arm-leg Characteristics and
Mechanical Characteristics in Driving Operations)

氏名 西川 一男

人間は作業を行う環境や目的に応じて身体の各部位の力や速度を適切に調節し、多様性と柔軟性を兼ね備えた巧みな運動を実現している。具体的には腕や脚の筋を収縮させることによって筋力を制御し、その結果、関節トルクを発生させ、手足の硬さや柔らかさなどのインピーダンス特性を巧みに調整し操作機器を操っている。

自動車の操作機器を設計するためには、人間の身体的特徴を的確に捉えた人間側の特性にペダルやシフト操作に代表される機械側の特性を、人間にとって力学的に違和感がないように適合させることが重要になる。本論文では、この考え方をヒューマンマシンマッチングと呼ぶ。自動車の運転操作は上肢と下肢操作があり、上肢操作はシフトとステアリングホイール操作、下肢操作はアクセル、ブレーキ、クラッチのペダル操作に大別される。これらの操作のヒューマンマシンマッチングの実現のためには、上肢と下肢の力発揮特性を明らかにし、各操作機器のレイアウトや Force-Stroke 特性 (以下 FS 特性と略記) 等の機械特性とマッチングさせることが必要となる。

そのためのアプローチとして、上肢操作と下肢操作時の力発揮特性と各関節の動きを詳細に解析し、機械特性との関係を解析することが有効であると考えられる。従来研究では、運動モデルに基づいて操作機器のレイアウト設計を試みたり、力知覚モデルに基づいて人間感覚に合った操作力を予測したりしているが、機械特性の因子である操作機器のレイアウト、FS 特性、および Force-Time 特性 (以下 FT 特性と略記) を総合的に考慮した研究はこれまで行われていない。

そこで本研究では、シフト操作とステアリングホイール操作を上肢の並進操作と回転操作として捉え、またペダル操作を下肢の足関節操作と脚操作に分け、それぞれの力発揮特性と機械特性との関係を解析することにより、上下肢の動きや筋負担への影響を考慮したヒューマンマシンマッチングの考え方に基づいて操作性を評価する。以下、本論文の概要を示す。

第1章では、本研究の背景と目的について述べた後、従来研究と本研究の位置付けを明確にする。

第2章では、操作機器を操作する際の上下肢の力発揮特性を解析する。上肢は、並進操作時と回転操作時の手先力を定置型の実験装置を用い、下肢は、足関節操作と脚操作時の足先力を定置型の関節トルク計測装置を用いた実験にて計測した。上肢の並進操作時の手先力は、自動車のシフトノブ位置を想定した位置 (男性 45 ヶ所, 女性 54 ヶ所) において、手先の発揮力を各 8 方向

で計測した。回転操作時の手先力は、ステアリングホイールを回転させた場合の手先の発揮力を、各々3通りのステアリングホイール前後位置とステアリングコラム角度で計測した。下肢は、足関節操作の場合、各足関節角度での踏み方向と戻し方向の足先力を計測し、脚操作はクラッチペダルの全ストロークを想定した6ヶ所の位置での足先力を計測した。その結果、上肢の並進操作時の手先力は、ショルダーポイントから前方向に450mm、下方向に150~200mm、横方向に200mm以下の位置がもっとも力が出しやすく、回転操作時の手先力は、ショルダーポイントから前方向に500mm、ステアリングコラム角度が15°付近で力が出しやすいことが明らかになった。下肢の足関節操作は、どの足首角度でも踏む時の足関節の力は戻す時の力に比べ強く、戻す力は全体的に小さい、脚操作は、脚を伸ばした状態から足先を0.1m程度縮めた状態で足先力が最も大きいことが明らかになった。

第3章では、生体関節トルク計測を考慮した手先力楕円体モデルで手先力を予測する。シフト操作時の手先力と上肢姿勢を計測し、上肢骨格系を多関節リンクモデル機構でモデル化した。各計測点における手先力の解析評価を行い、楕円体モデルから求めた手先力の理論値と実測値の有効性を検証した。その結果、楕円体から求めた手先力の理論値と実測値はほぼ同じ傾向を示しており、楕円体モデルは人間の手先操作能力をかなり精度良く予測可能なことがわかった。楕円体モデルを用いることにより、実車実験よりも少ない工数で、操作のしやすいシフトレバー位置、ステアリングホイール前後位置、およびステアリングコラム角度の設計が可能となる。

第4章では、上下肢操作時の人間特性と機械特性のヒューマンマシンマッチングによる各操作機器の設計指針を明らかにする。まず、シフト操作がしやすいシフトノブのレイアウト、FS特性、およびFT特性と上肢の筋負担の影響を解析し、次に、ステアリングホイール操作がしやすいステアリングコラム角度と上肢の筋負担、体圧分布、および両腕の運動に与える影響を解析し、最後に、操作がしやすいアクセルペダル、クラッチペダル、アクセルペダルからブレーキペダルへの踏み替えについて、各操作機器のレイアウトやFS特性と下肢の運動と筋負担への影響を総合的に解析した。その結果、並進操作時では、押す操作と引く操作で上肢の筋負担が等しくなるようなシフトレバー位置の場合には人は操作がよいと感じ、操作速度やFS特性の違いが操作性の良し悪しに影響する。一方、回転操作では、上肢の負担が少なくなるようなステアリングコラム角度の場合には人は操作性が良いと感じ、上肢の姿勢や体圧分布は上肢の筋負担に影響を与えることが明らかになった。また、アクセルペダルのような足関節操作は、発揮力や足部の自重の下肢特性を総合的に考えたペダル踏力の設定が重要である。クラッチペダルのような脚操作は、足先力が最も大きくペダル踏力の極大点付近の領域でクラッチミート操作するのが下肢に負担が少なく操作がしやすいこと等が明らかになった。これらのヒューマンマシンマッチングの結果から、操作のしやすいシフト、ステアリングホイール、およびペダルのレイアウトやFS特性等の機械特性の設計が可能となる。

第5章では、本論文の要約と今後の研究課題について述べる。

〔注〕 A4版，縦，左横書きとし，4,000字以内で作成する。
(複数ページになっても構わない。)