

運転台上の右手の操作範囲に関する基礎検討

齋藤 綾乃* 鈴木 綾子*

Measurement of the Right Hand's Operable Area under a Simulated Driving Situation

Ayano SAITO Ayako SUZUKI

To improve the operability of driver's desk for drivers with wider range of body size, the area in which buttons could be pushed without difficulty was measured under a condition that shorter drivers seated more closely to the desk than taller drivers. Simulated push buttons were used in Exp.1 and actual ones in Exp.2. The area in which over 80% of the participants evaluated the position of buttons as "not difficult to push" in Exp.1 was larger than that in Exp.2. It was considered that the area in Exp.1 was applicable to buttons required for precise positioning, while that in Exp.2 was to crude positioning.

キーワード：運転台，身長差，押しボタン，操作範囲，人間工学

1. はじめに

近年，女性運転士の増加や男性の体格向上によって運転士の身長範囲が拡大している。運転台上の機器はこれに対応する必要があり，多様な体格の人の手が届く共通エリアについてのデータが求められている。

これまでに，人間工学分野の設計指針として，標準的な男性について，手が届く最大限の範囲としての最大作業域や，肘をまげて楽に届く領域である通常作業域¹⁾が明らかにされている。この最大作業域を身長に応じて拡大縮小する手法が提案されているが²⁾，運転台上における体格の大きい人と小さい人の肩の位置が不明であるため，それぞれの作業域の重なりとしての共通エリアを示すことはできない。鉄道分野の検討として，運転台上の手の運動範囲を計測した例³⁾や，海外の鉄道規格における参照値⁴⁾があるが，前者は男性1名の結果であり，後者は対象とする体格が不明であるため，上記のニーズに応えるものではない。その一方で，座席の調節範囲に制約がなければ，体格の小さい運転士が体格の大きい運転士より運転台寄りに着座することが把握されており，着座位置によって体格差を吸収できる可能性もある⁵⁾。

本報告では作業域との混同を防ぐため，操作が可能な範囲を「操作範囲」と呼び，多様な体格における操作範囲の共通エリアを明らかにすることを目指して，押しボタンを対象とした基礎的な検討を行った。通勤近郊車両のワンハンドルタイプの運転台をモデルとし，左手で模擬マスコンハンドルを操作する際の右手の操作範囲を，

十分な身長範囲で計測した。実験1では模擬ボタンを使用して運転台上の広い空間について3次元的に操作範囲を把握し，実験2では実際の押しボタンを使用し，押す際の緊急度別に操作範囲を把握した。操作範囲は，望ましい範囲としての「押しにくい範囲」と，許容できる範囲としての「押しにくいが許容される範囲」の2段階にわけて考えることとした。

2. 実験1 模擬ボタンによる操作範囲の計測

2.1 実験概要

実験1の目的は，右手で押しボタンを操作できる範囲を明らかにすることである。ボタンを高密度に配置し，かつ位置の変更を容易にするため，実際のボタンでなく模擬ボタンを使用した。操作卓に設置されていて鉛直方向に押すボタンを「下向き」，それ以外を「前・横向き」と区別する。

図1に実験装置を示す。模擬操作卓上の前方と右側方に，支持面に垂直方向に移動可能で，支持面からの距離を目盛により読みとることができるφ20mmのスチロール球を設置し，「前・横向き」の押しボタンとみなした。スチロール球は，模擬操作卓上の高さが50～550mmの範囲に設置されており，これらの高さ条件をH50，H100，H150，H200，H250，H300，H350，H400，H450，H500，H550とする。左右の設置間隔は100mmとした。「下向き」は，模擬操作卓そのものを押しボタンとみなした。用いる指は人差し指に統制し，「前・横向きボタン」の操作方向は身体から放射状と想定した。例えば，図1に示すように身体の斜め前方のボタンは，

* 人間科学研究部 人間工学研究室

特集：人間科学

支持棒の向きでなく、指の向きに押しと仮想した。模擬ハンドルは左ハンドルと中央ハンドルの2種類を付け替えて実施した。左ハンドルでは、右手用の手置きも設置した。模擬操作卓の高さは、肘頭の高さになるように座面で調整した。座席の前後位置（操作卓前端を0とした場合の座面後端の位置）と足台の高さは最適な位置になるよう被験者に調節させ、寸法を記録した。

押しやすさの尺度を「1：押しやすい，2：どちらでもない，3：押しにくいだが許容範囲内，4：押しにくく許容範囲外」とした。被験者には各カテゴリ間の境界として、表1に示すA～Cの各遠端を、「前・横向きボタン」についてはスチロール球で、「下向きボタン」については操作卓上に範囲を直接描画することにより回答してもらった。「A：押しやすいエリア」の結果は省略する。列車の走行中を想定した「走行想定」条件と、停車中を想定した「停車想定」条件を設定した。「走行想定」では、前方の注視点を見つめ、模擬ハンドルから左手を離さず実施した。ボタンを押す際の一時的な視線移動は許可した。「停車想定」では、前方注視と模擬ハンドル把持の必要はないものとした。「走行想定」は「B：押しにくく許容範囲内」についてのみ実施した。

「下向きボタン」では、模擬操作卓上の50mm格子の各交点について、「前・横向きボタン」ではその上方への延長による仮想的なセルごとに、「B：押しにくく許容範囲内」と「C：押しにくく許容範囲外」の境界を算出した。目安として、「押しにくく許容範囲内」が80%以上のエリアを、多様な体格の人で「押しにくく許容範囲内」とみなした。

この他、身長、座席の前後位置を計測した。

被験者は鉄道関係者（男性13名、女性6名）であった。平均身長は1682mm、標準偏差は88mmであった。身長分布を、女性20～59歳、男性25～59歳について男女比を1：1として文献^{6), 7)}から推計した日本人の身長分

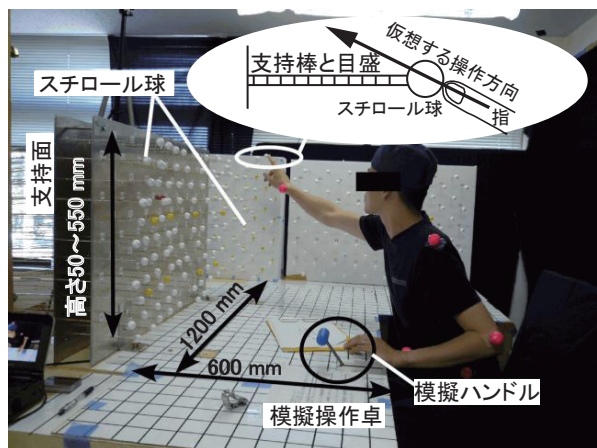


図1 実験1の実験装置

布と併記して図2に示す。被験者の身長範囲は日本人成人の身長範囲をおおむねカバーしている。全体での分析の他、身長1600mm以下の5名(平均1567mm)を「S1570」、身長1750mm以上の5名(平均1784mm)とした身長群別の分析も行った。「S1780」は30歳代男性の90パーセンタイル値(1780mm)⁸⁾、「S1570」は30歳代女性の50パーセンタイル値以下に相当する。

表1 計測対象の操作範囲

種類	説明
A：押しやすいエリア	“押しやすい”と“どちらでもない”の境界。“ここまでなら高頻度でも長時間でも押しやすい”
B：押しにくく許容範囲内	“どちらでもない”と“押しにくいだが許容範囲内”の境界。“ここまでなら無理なく押せる、押しにくくない、これより外側は押しにくい”
C：押しにくく許容範囲外	“押しにくいだが許容範囲内”と“押しにくく許容範囲外”の境界。“押しにくいがここまでならボタンの設置を許容できる、これより外側は許容できない”

※中央ハンドルは、Bの「走行想定」のみ実施した。

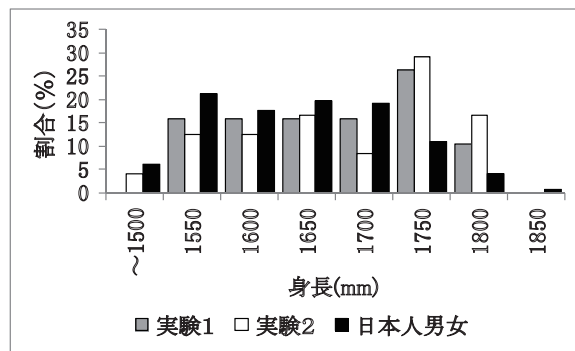


図2 被験者の身長分布

2.2 実験結果

2.2.1 座席の前後位置

座席の前後位置の平均値を表2に示す。平均で模擬操作卓前端から390mm程度であった。S1570ではS1780より着座位置が、左ハンドルで97mm、中央ハンドルで67mm、前方であった。上肢の長さ（背指節点距離）の差は、男性95パーセンタイルと女性25パーセンタイルの値⁸⁾を参照すると約150mmであるので、少なくとも上肢の長さの差の半分程度が着座位置によって解消されていた。

表2 実験1における座席の前後位置

	左ハンドル	中央ハンドル
全体	390 ± 52 mm	385 ± 58 mm
S1570 (5名)	321 ± 28 mm	323 ± 21 mm
S1780 (5名)	418 ± 34 mm	390 ± 47 mm
S1570とS1780の差	97 mm	67 mm

※座面奥行きは380mm

2.2.2 下向きボタンの操作範囲

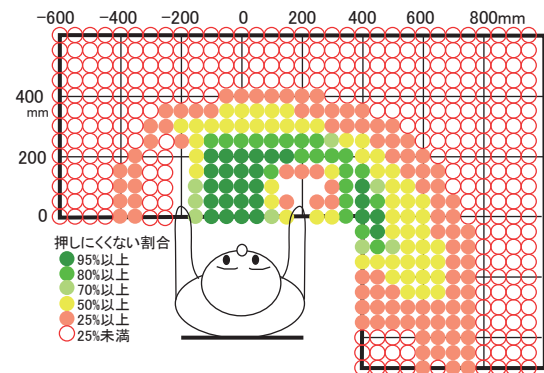
図3 (a) ~ (c) に「押しにくい割合」と「許容割合」を示す。「走行想定」の左ハンドル(図3 (a))と中央ハンドル(図3 (b))を比較する。「押しにくい割合」が25%以上のエリア,50%以上のエリアはほぼ同じであった。「押しにくい割合」が70%以上のエリアは,左ハンドルでは模擬操作卓の左右中央付近,中央ハンドルでは右側に分布している。これはそれぞれのハンドルや手置きの周囲が押しにくいと判断されたためである。ハンドル周囲を除けば,押しにくい割合の分布はほぼ同じであると言える。純粋に右手の到達位置を求めるのであれば,左手の拘束位置が違うので中央ハンドルの方がより右側まで手が届く。しかし,「走行想定」では,通常の運転姿勢が大きく崩れるようなボタンの位置は,ハンドル位置に関わらず「押しにくい」と評価されるので,「押しにくい範囲」には違いが見られないと考えられる。

「走行想定(図3 (a))」と「停車想定(図3 (c))」を比較する。「走行想定」では,前方注視とハンドル操作によって姿勢がある程度拘束されているのに対し,「停車想定」ではそのような拘束がない。このため,「停車想定」の「押しにくい割合」が95%以上や80%以上のエリアが「走行想定」より広がっている。また,これらのエリアの「許容割合」は1ヶ所をのぞき100%であった。

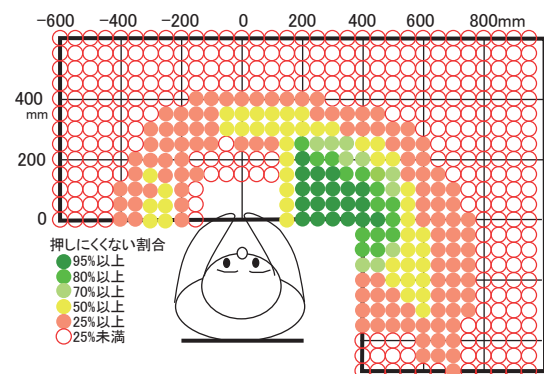
2.2.3 前・横向きボタンの操作範囲

図4に,代表的な高さ(H50, H150, H350, H550)について,「走行想定」で「押しにくい割合」が80%以上であったエリア(太線)と,「停車想定」で「許容割合」が80%以上であったエリア(細線)を示す。「下向きボタン」の場合の対応するエリアをそれぞれ網掛けと灰色線で示す。最も高いH550条件が最も内側であるが,その他の高さについては,「走行想定」の模擬操作卓の右側部分を除けばほぼ重なっており,「下向きボタン」と同程度であった。

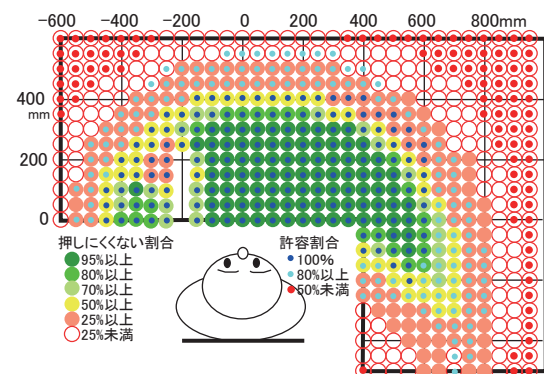
図3, 図4は,操作卓前端位置を基準に,運転台図面に重ねて機器配置の評価に使用できる。



(a) 左ハンドル・走行想定



(b) 中央ハンドル・走行想定



(c) 停車想定

図3 下向きボタンの押しにくい割合と許容割合

3. 実験2 急いで押す場合の操作範囲計測

3.1 実験目的

実験1では, ボタンを押す際の緊急度を考慮していない。実験2では, ボタンを押す際の緊急度によって操作範囲が異なるかどうか検証することを目的とした。また, 実験1は模擬ボタンを使用したので, 緊急でない場合の結果について, 実際のボタンで確認することとした。

図5に実験装置を示す。10個の押しボタン(A~J)が取り付けられた操作盤がレール上を移動して, 模擬操作卓端部からの距離を変更できるものである。ボタンは非常ボタンを模擬するものとして, φ30mm, 赤色, 押しこみ量3mmの凸ボタンを模擬操作卓上150mmの高

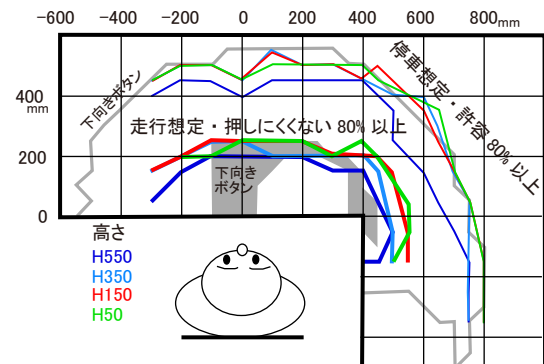


図4 前・横向きボタンの押しにくい割合と許容割合

特集：人間科学

さに設置した。模擬ハンドルの位置は左および中央とした。前方に設置した60インチの透過型スクリーンに、運転室からみた前方風景の動画映像を提示して注視させ、運転中のイメージを持てるようにした。押しボタンの位置条件を図6に示す。模擬操作卓が肘頭の高さとなるように座面高さを調節し、座席の前後位置と足台高さは任意として寸法を記録した。ハンドル条件とボタンの操作順は順番順序効果を相殺するものとした。

ボタンを押す際の緊急度を、「普通」と「緊急」の2条件とした。「普通」条件では右手人差し指で普通に押した。「緊急」条件では、緊急ボタンとして評価するよう指示し、人差し指に限定せず、任意の指もしくは掌で押してよいこととした。実験者が指示したボタンを事前に視覚で確認した後、前方スクリーン上の前方風景を監視し、赤色LEDの点灯後できるだけ早くボタンを押すよう指示した。「緊急」条件においては、模擬ハンドルが最も操作の邪魔になる状態として、ハンドルを最手前(加速側)とした。

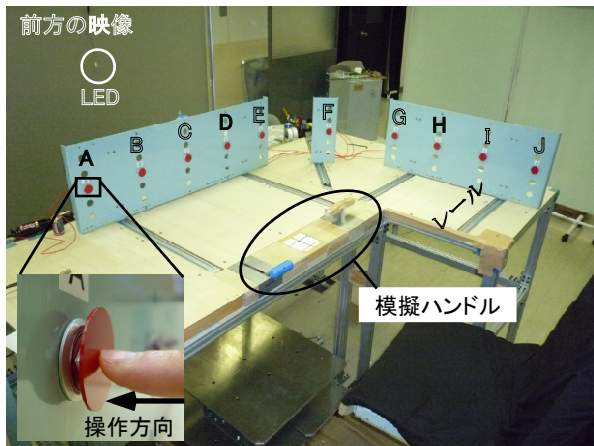


図5 実験2の実験装置

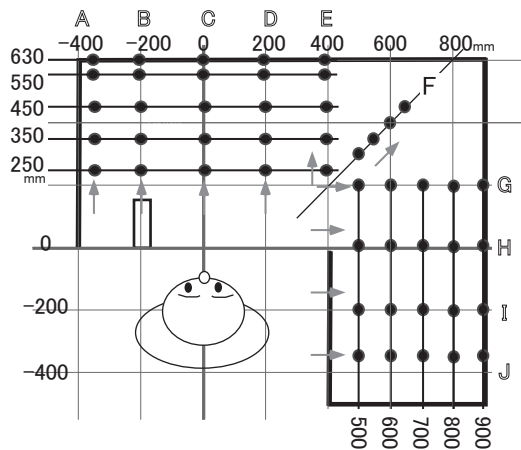


図6 押しボタンの位置と操作方向

※各計測点の位置は、操作卓前端もしくは乗務員中心からの距離で、A250、J500のように示す

計測項目は、主観評価(1:押しやすい, 2:どちらでもない, 3:押しにくい)が許容範囲内、4:押しにくく(許容範囲外)、座席の前後位置、姿勢(肩、腰、肘、手、頭部に貼付したマーカーの位置)、「緊急」条件におけるボタン押しの反応時間とした。姿勢の結果は省略する。「普通」条件で想定する機器の操作頻度は10~15分に1回と指示した。主観評価の平均値、「押しにくい割合(1:押しやすい, 2:どちらでもない)と評価された割合)」および「許容割合」を算出した。

被験者は鉄道関係者(男性18名,女性6名)であった。被験者の平均身長は1688mm,標準偏差は90mmであった。身長分布を図2に示す。十分な身長範囲が得られた。

3.2 結果と考察

3.2.1 座席の前後位置

着座位置を表3に示す。実験1より平均で30mm程度前方に着座していた。身長1600mm以下の6名(平均1560mm, S1560)と、身長1750mm以上の6名(平均1790mm, S1790)を比較すると、実験2においても小柄な人が前方に着座していたことが確認された。

表3 座席の前後位置(実験2)

	左ハンドル	中央ハンドル
全体	364 ± 54 mm	357 ± 60 mm
S1560 (6名)	304 ± 22 mm	296 ± 27 mm
S1790 (6名)	391 ± 57 mm	389 ± 51 mm
S1560とS1790の差	87 mm	93 mm

3.2.2 ボタンの評価結果

図7(a), (b)に、左ハンドルの場合の計測点ごとの「押しにくい割合」を、数値と色わけで示す。各計測点の赤枠は「許容割合」が90%未満の計測点を示す。図中黒点線は、実験1の対応する高さH150における走行想定「押しにくい割合」80%のエリアを示している。反応時間の平均値を図7(c)に示す。

ハンドル条件による各計測点の押しやすさと反応時間の差を調べた。対応のあるt検定の結果、主観評価では、図中に※印で示した「普通」条件のA550、「緊急」条件のA630, E630, F350, I500で差が有意であり(p < 0.05), いずれも中央ハンドルの評価が悪かった。反応時間については、A350, E350, I500で差が有意であり(p < 0.05), いずれも中央ハンドルで長かった。ボタンAは、中央ハンドルでは両手が交差するため評価が低下したものと考えられる。主観評価に有意差のあった計測点は、F350を除き、「押しにくい割合」が80%未満の位置であった。つまり、多くの人が押しにくい共通エリアの目安を「押しにくい割合」が80%以上とすれば、模擬操作卓前方(ボタンA~E)ではハンドル

位置によらず同じ計測点であった。

緊急度による各計測点の主観評価の差を調べた。対応のあるt検定の結果、C630（左・中央）、F450（中央）では緊急時の評価が有意に良かった。また、左ハンドルのE350、I600、I700、I800、J700、J800、中央ハンドルのG800、H600、H700、I600、J900では緊急時の評価が有意に悪かった。ボタンFについては、緊急時のほうが良い傾向（ $p < 0.1$ ）を示す計測点（左F450）と、悪い傾向を示す計測点（中央のF350、F400）があった。緊急時には、前方遠くの押しやすさが上昇し、右側面や右斜め後方は押しにくくなっていた。肩より後方であるボタンIやJでは、上半身を回転させなくてはならないことが、緊急時の押しにくさの原因であると考えられる。肩より前方であるボタンG・Hにおいては、ボタンの位置だけでなく、手を伸ばす方向とボタンの操作方向が一致していないために評価が低くなった可能性がある。緊急度による差が有意であった計測点は、E350をのぞいて「押しにくい割合」が80%未満であった。つまり、多くの人が押しにくい共通エリアの目安を「押しにくい割合」が80%以上とすれば、模擬操作卓前方（ボタンA～E）では緊急度によらず同じ計測点であった。

4. 実験1と実験2の比較

図8に、実験1と実験2の結果、および旧国鉄における検討結果³⁾、海外の参照値⁴⁾を整理して示す。

「前・横向きボタン」を普通に押した場合で比較すると、実験2の「押しにくい」割合が80%以上のエリア（黒線）の方が実験1（紫線）より前方に300mm程度広がった。この理由のひとつとして、実際のボタン押し操作の有無、具体的にはボタンから得られた反力の違いがあげられる。前方遠くにあるボタンを押すには、上半身を大きく前傾させる必要がある。実験1のようにボタンに大きな荷重をかけられない設定では、体幹の力で上半身や右腕を支えなくてはならない。実験2ではボタンに接触した指で前傾姿勢を支えることができる上、ボタンからの反力が姿勢を戻す助けにもなり、負担が軽くなる。また別の観点として、上半身を前傾させるような大きな動きとともに、指先の位置を正確にコントロールすることは難しい。実験2ではボタンによって指が止められるので大雑把な位置決めでよいが、実験1では指を正確に停止させなくてはならない。このような姿勢負担や位置決め困難さによって、上体の前傾が大きい操作卓前方遠くの条件で差が出たものと考えられる。ボタン形状も、実験1ではφ20mmの球、実験2ではφ30mmの円であり、前者でより正確な位置決めが求められていた。その一方で、実験1ではボタンの操作方向を、最も押しやすいと想定される身体から放射状に想定したのに対し、

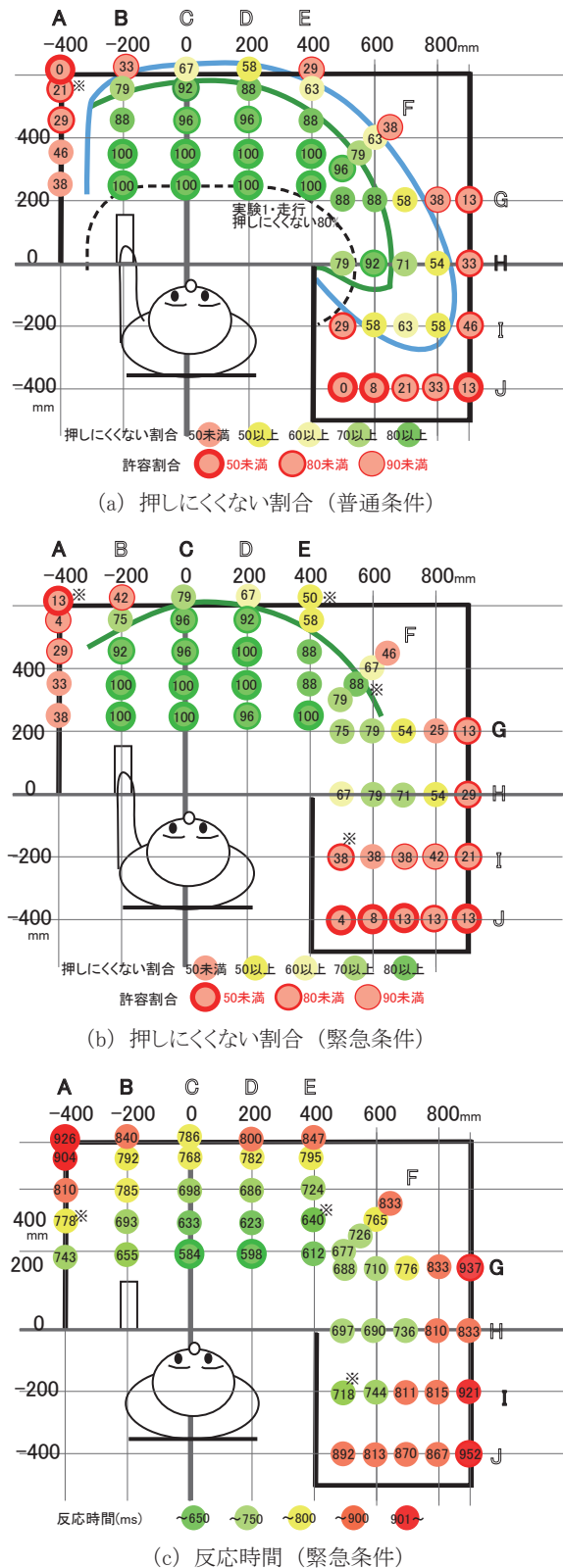


図7 左ハンドルの結果

実験2ではボタンを押す際に力かける向きと、ボタンに到達する際に腕を伸ばす方向のずれが比較的大きいボタン条件（GやH）があった。図8の操作卓右側に、実験2（黒線）が実験1（紫線）より内側となっているエリ

特集：人間科学

アがあるのは、操作方向の影響ではないかと考えられる。

実験1と実験2で実施したボタン押し操作の特徴から、得られた結果の使い分けが考えられる。実験1の結果は、指先の正確なコントロールが必要な状況や、ボタンから反力を得にくい状況、前傾姿勢で滞留時間が生じるような状況に適用できる。例えば、小さいボタンや複数が密集しているボタン、連続して押す場合、ダイヤルやトグルスイッチのように荷重をかけられない操作器などである。実験2の結果は、指先の正確なコントロールが不要で、勢いを利用して瞬間的に押せばよいような状況に適用できる。例えば、大きくて独立した非常ボタンである。

以上の確認は今後の課題であるものの、実験1の「押しにくい」割合が80%以上のエリアは実験2の「押しにくい」割合が80%以上のエリアに含まれており、実験2における反応時間も当然ながら身体に近い位置ほど短かった。また、振動環境で運転することを考えれば、基本姿勢をあまり崩さないで操作できることが望ましい。以上から、緊急ボタンのように他のボタンから離す必要がある機器や、あえて距離を離して意識的に操作させる場合などを除き、身体になるべく近い側から、操作機器を設置することが望ましいと考えられる。

図8中の桃色線は、旧国鉄における身長1630mmの男性1名の計測例³⁾である。範囲IV「背もたれから上体を離して指先のつまみ動作が可能な範囲(桃色実線)」が、実験1の「C:押しにくいボタン設置を許容できる範囲の遠端」におおむね対応すると考えられる。しかし、範囲IVは実験1の許容80%以上のエリアより広い。これは、本実験で多様な体格を考慮したことによる違いと考えられる。図8に赤線で示したUICにおける手の最適な到達範囲の参照値(右手)⁴⁾は、対象とする体格や計測高さが不明であるが、背もたれ位置を合わせて参考として併記した。

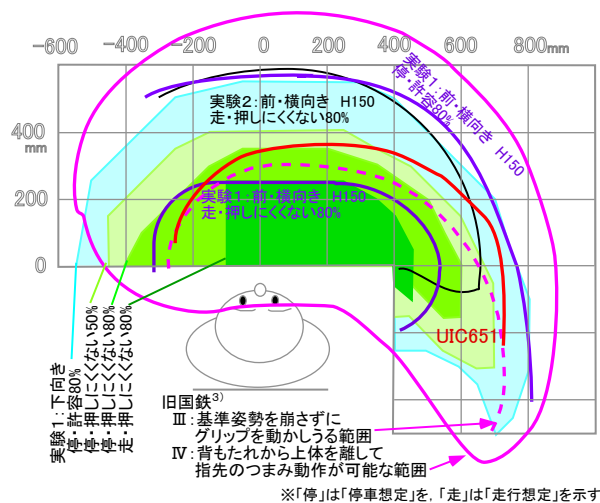


図8 実験結果のまとめ

本実験は、座面高さと座席の前後位置を適切な状態に調整して実施された。小柄な人が大柄な人よりも運転台寄りに座ることで、腕の長さの差がある程度相殺されていた。座席の調節範囲が不足するなど適切な位置に座れない場合には、小柄な人と大柄な人の共通エリアが狭まる可能性があるため、注意が必要である。

5. まとめと今後の課題

運転台設計時の資料とするために、左手で模擬マスコンハンドルを操作する際の右手の操作範囲を計測し、多様な体格の人で押しボタンを押しにくい共通エリアを把握した。模擬ボタンを使用した実験1の結果は指の正確な位置決めが必要な状況に、実ボタンを使用した実験2の結果は大まかな指の位置決めでよい状況に適用できるものと考えられる。今後、姿勢データを解析し、押しやすい姿勢の限界や、押しにくい姿勢の限界を明らかにすることにより、押しにくさの等高線をより詳細なものとする予定である。

操作範囲は、操作器の種類、操作方向、操作する指、操作力、さらには操作環境などの影響を受ける。今後もより多くの条件でデータを収集したい。特に、手を伸ばす方向とボタンの操作方向が異なるケースの確認、得られた操作範囲がどの程度の振動強度まで適用できるかの検証は今後の課題である。

文献

- 1) JIS E6003：通勤電車運転室の設計通則，1985
- 2) 黄経綸，大箸純也，佐藤陽彦：手の最大作業域について，人間工学，Vol. 25, No. 1, pp.27-32, 1989
- 3) 高林盛久，東海道新幹線における人間工学，人間工学，Vol. 1, No. 1, pp.10-23, 1965
- 4) UIC：Layout of driver's cabin in locomotives, railcars, multiple unit trains and driving trailers, UIC CODE 651,2002.
- 5) 斎藤綾乃，鈴木綾子，杉本守久：体格差を考慮した通勤近郊車両の運転台寸法の提案，鉄道総研報告，Vol. 24, No. 11, pp.23-28, 2010
- 6) 社団法人人間生活工学研究センター：アパレル設計用の人体寸法データ集 2004-2006（成人男性用），社団法人人間生活工学研究センター，2009
- 7) 社団法人人間生活工学研究センター：アパレル設計用の人体寸法データ集 2004-2006（成人女性用），社団法人人間生活工学研究センター，2009
- 8) 社団法人人間生活工学研究センター：日本人の人体寸法データブック 2004-2006，社団法人人間生活工学研究センター，2008