

「都市鉄道の混雑率の測定方法」

1. 調査の背景と目的

「混雑率」は輸送力増強を目的としたインフラ整備の必要性と達成度を測るための一つの指標として、最混雑区間のラッシュ1時間及び終日のデータが用いられてきた。

しかし、測定方法としては、主として目視測定に頼られてきたため、個人の経験上の判断に頼っており、客観性という面で課題があげられる。

また、成熟期を迎えた国民のニーズは、量の充実から質の向上や豊かさへ移行しており、今後は、現在指標としている混雑率

に加え、時間別混雑率、混雑区間長、列車種別ごとの混雑率など、様々な混雑率を取り上げ、利用者ニーズに合ったサービス提供の指標として検討していくことも重要と考えられる。このような状況を踏まえ、本調査では、混雑率測定の現状について整理し、新たな混雑率測定方法の導入の可能性について検討するものである。

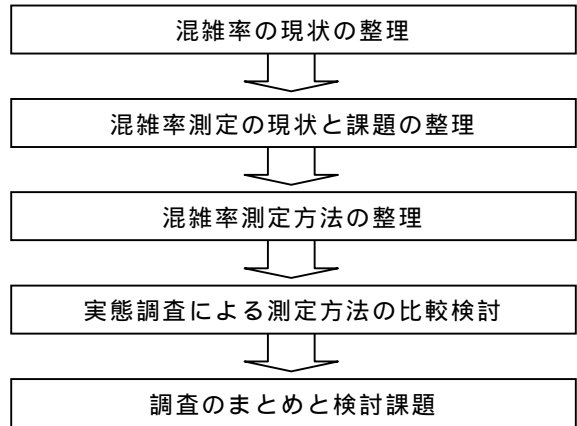


図-1 調査フロー

2. 混雑率の現状の整理

はじめに、混雑率の算出方法とその役割等を整理する。

(1) 混雑率の算出方法

混雑率は、輸送量の輸送力に対する割合として表わされる。

$$\text{混雑率} = \frac{\text{輸送量}}{\text{輸送力}} \times 100\%$$

ただし、輸送量 = 通過人員

輸送力 = 車両定員 × 通過車両数

このうち、「車両定員」は一般に、国土交通省で規定する標準定員（『都市交通年報（*）』に記載）、および JIS規格による乗客定員、によって規定されているが、算出方法の違いにより同じ輸送量でも混雑率に差が生じる。

（*）「都市交通年報」とは、公共輸送機関の輸送量、輸送力について、各企業が行う実態調査結果を中心に、都市交通に関する諸資料を整理したものであるが、その中で、首都圏、中京圏、京阪神圏における主要区間のピーク時および終日混雑率が掲載されている。

(2) 混雑率の役割

鉄道整備の目標

運輸政策審議会の答申第19号では、今後の鉄道整備について国・地方公共団体及び鉄道事業者の三者が一体となった中長期的な「政策目標」を設定、特に重要なものについては国が「整備水準」として数値による指標を設定し、国民に明確

に提示することが必要であるとしている。このうち都市鉄道に関する「政策目標」の一つである、通勤・通学混雑の緩和の指標として混雑率を用いている。

- ・混雑率 150%：大都市圏における都市鉄道の全ての区間の目標値
(ただし、東京圏においては当面の主要区間の目標平均値)
- ・混雑率 180%：当面の東京圏の全区間の目標値

鉄道事業者の施策検討資料

各鉄道事業者が、運行ダイヤ、車両編成、設備投資(駅舎改修等)といった施策の検討のための基礎資料として用いている。

3. 混雑率測定の実状と課題の整理

新たな混雑率測定方法の検討を行うために、鉄道事業者における混雑率測定方法の実状を把握するとともに、実状の混雑率測定に対する課題を整理した。

(1) 混雑率測定の実状

東京圏、中京圏、京阪神圏の主要鉄道事業者を対象として、混雑率測定の実状に関する以下の項目についてヒアリングを実施した。

- ・輸送人員、車両定員の算出方法
- ・混雑率測定方法
- ・測定頻度、測定時間、測定対象列車、測定対象車両
- ・測定精度、測定費用
- ・混雑率の活用方法

ヒアリングの結果、大半の事業者が目視測定を行っており、また測定装置を搭載した車両を保有している事業者があることが明らかとなった。下記が実施されている測定方法に対するヒアリングの要旨である。

目視測定

目視測定を行っている事業者が、自動改札データ等の方法との併用も含め7割を占めている。その採用している理由として、測定の簡易性を上げている鉄道事業者が多く、調査員に経験者をあてたり、訓練を積むことで、精度についても概ね問題ないという認識をもっている。

測定にあたっては、自社の社員が業務範囲内で行っている鉄道事業者が大半であり費用についても概ね問題ないと考えている。

ただし、同じ目視測定でも、混雑率の判定基準、調査員の配置、測定対象が混雑率自体の場合と輸送人員の場合等、事業者によって方法が異なっている。

応荷重装置を利用した混雑率測定装置

新型車両の導入に伴い、乗務員支援システム()の中に混雑率の測定機能を付加した車両を保持している事業者もあるが、現段階では混雑率の測定に殆ど利用されていない。その理由としては、普及率が低いことや、混雑率を測定するにはまだ精度が十分でないという認識を鉄道事業者自身がもっていること等があげられている。

- () 車両運行中における各装置・機器の状態に関する情報を常時把握し、異常等が生じた場合に乗務員に対しモニタ表示で情報を与え、また故障マニュアルを取り入れることにより乗務員への支援機能を有する装置である。

自動改札データ

鉄道事業者の改札口にある自動改札機を用いた測定方法である。自動改札機から出入数を集計し、ある時間に到着した列車の輸送力との比較から、混雑率を算出する。複数の路線が輻輳せず、列車種別等をほぼ把握出来るような路線であれば乗客の出入りをほぼ正確に測定することが出来るが、1編成ごとの測定等は不向きである。

ひずみゲージ

レールにひずみゲージを取り付けて、走行する車両の重量を測定し、空車重量を差し引くことで乗車人員の重量を算定し、混雑率を測定する方法である。過去に実験的に設置し測定したことはあるが、現在活用している例はない。

OD調査

調査票を配布し、データを分析することにより、混雑率を測定する方法である。これまでのように調査員が調査票の配布等を行う場合、多くの人員が必要となり調査が大がかりになる。

(2) 混雑率測定の課題

現在公表されている混雑率は、最混雑区間における最混雑1時間、および終日の混雑率となっている。しかし、以下の点が課題としてあげられる。

混雑区間長が反映されていない。

時系列での変化が反映されていない。

列車種別による偏りが反映されていない。

1編成内の偏りが反映されていない。

主に目視測定に頼るところの人的負担が大きい。

主に目視調査に頼るところの客観性の欠如が課題である。



図-2 1編成内に混雑率の偏りがある事例

4 . 混雑率測定方法の整理

混雑率測定の問題を解決する為に、今後の普及にも配慮して、既存もしくは開発段階にある混雑率測定方法を比較検討した。検討結果を下表に示す。

表-1 測定方法の整理

	測定方法	利点	問題点等
既存の混雑率比較的方法(比較的方法)	(1)目視測定	<ul style="list-style-type: none"> ・簡易性が高い。 ・訓練すれば自社職員で調査を行うことができる。 ・過去の調査結果との連続性の確保といった観点から、今後も継続しうる方法であると考えられる 	<ul style="list-style-type: none"> ・終日、または毎日の混雑率測定といった観点からは、人的負担、費用負担が大きくなる。 ・個人の判断に頼るところの客観性の欠如といった問題もある。
	(2)応荷重装置を利用した混雑率測定装置	<ul style="list-style-type: none"> ・新型車両のように乗務員支援システムの中に混雑率の測定機能が付加された車両であれば、混雑率測定のためだけの新たな費用は生じない(測定結果の集計には、別途システムの構築が必要) ・路線の立地条件に左右されないことから、今後の普及が期待できる測定方法であるといえる。 	<ul style="list-style-type: none"> ・普及率が高くないことから、すぐに全列車を対象とした混雑率測定を実施しようとする場合には、測定装置の後付け、もしくは新規車両の導入が必要となる。
	(3)自動改札データ	<ul style="list-style-type: none"> ・複数の路線が輻輳せず、列車種別等ほぼ把握出来る路線であれば、自動改札データを加工することによって高い精度を期待することができる。 	<ul style="list-style-type: none"> ・改札を通過しない乗換えや相互直通運転が実施されているような路線での適用は困難である。 ・1編成毎の測定は困難である。
既存の混雑率測定方法	(4)ひずみゲージを利用した混雑率測定装置	<ul style="list-style-type: none"> ・基本的には重量を測定することから、混雑率測定の原理としては、高い精度を確保できる可能性がある。 ・過去に実験的に設置され、精度の確認がなされてきた。 	<ul style="list-style-type: none"> ・線路に装置を設置する方式のため、各区間での混雑率を測定する場合には設置箇所が多くなり、保守面での問題も生じる。
	(5)OD調査	<ul style="list-style-type: none"> ・推計システムを導入できれば、調査票の質問内容によっては比較的高い精度で推計することが可能である。 	<ul style="list-style-type: none"> ・調査員が調査票の配布等を行う場合、多くの人員が必要となり調査が大規模になる。
新たな混雑率測定方法	(6)映像解析システム・赤外線センサの利用	<ul style="list-style-type: none"> ・店舗等、施設の出入口等での流動人数・出入り人数の測定に関してはシステムが確立しており実用化されている。 	<ul style="list-style-type: none"> ・鉄道車両に搭載できるような機器の開発が必要となる。 ・混雑時の場合でも一定の精度を確保できるような機器の開発が必要となる。 ・扉ごとに大量の計測カメラ、センサを設置する必要がある。
	(7)ICカード・ICタグの利用	<ul style="list-style-type: none"> ・定期券や切符にICタグを組込むことで車両毎、1編成毎等、さまざまな測定方法が可能となる。 ・利用者の側にも、調査を実施する側にも負担が少ない。 	<ul style="list-style-type: none"> ・定期券や切符にICタグを組込むことが必要となる。 ・鉄道車両にリーダーを搭載し、一定の感度を確保することが必要となる。

5. 実態調査による測定方法の比較検討

(1) 営業路線によるケーススタディの実施

既存の混雑率測定方法の妥当性、または新たな混雑率測定方法の実用化に向けた課題を検証するために、営業路線を利用して混雑率測定のケーススタディを実施した。

表-2 ケーススタディ概要

項目	内容
ケーススタディを実施する混雑率測定方法	カウンター測定（比較検討の基準として） 目視測定 応荷重を利用した混雑率測定装置 ひずみゲージを利用した混雑率測定装置
ケーススタディにより検証する項目	・測定精度（測定値により導き出される相関式に対し、概ね90%程度が収まるような精度の範囲によって各方法を比較検討する）
実施路線	東京地下鉄東西線 西船橋～南砂町間（西船橋から南砂町方向の路線）
対象列車・対象車両	・西船橋駅または妙典駅始発の列車に対し、指定車両（1号車）の混雑率を測定する。 ・応荷重を利用した混雑率測定装置については、装置搭載車両（東京地下鉄05系、JR東日本E231系）が測定対象となる。
車両定員	JIS規格により算出した車両定員（東京地下鉄の使用値）
測定日	H16.11.16（火）
測定時間	最混雑1時間及び前後1時間（AM7:00～AM10:00）
取得データ数	目視測定：186 応荷重装置を利用した測定装置：54 ひずみゲージを利用した測定装置：17

表-3 目視測定による混雑率測定の基準表（東西線の場合）

区分	車内の状況	混雑率
1	座席一杯	35%
2	座席一杯と吊革半分程度	68%
3	座席一杯と吊革90%程度	100%
4	吊革全部の外、各ドア付近に10人ほど	130%
5	吊革全部の外、中間にあまり隙間がなくなる	150%
6	中間に隙間がなくなるが若干余裕がある	180%
7	肩がふれあい、ほぼ満員状態だが新聞等はまだ読める	200%
8	満員、新聞等は読めない	230%
9	旅客は吊革、パイプ等につかまり、入口からの圧力にやっところらえている	250%
10	係員の手を借りないと車両に入れず乗り残りが出る。車内はほぼ超満員	280%
11	超満員。ドアが開かないことがあり座席前の旅客は窓ガラスに手をつく。窓ガラスが破れることがある	300%



図-3 目視測定の様子



図-4 応荷重より算定される混雑率の表示画面例



図-5 ひずみゲージのレール貼付状況

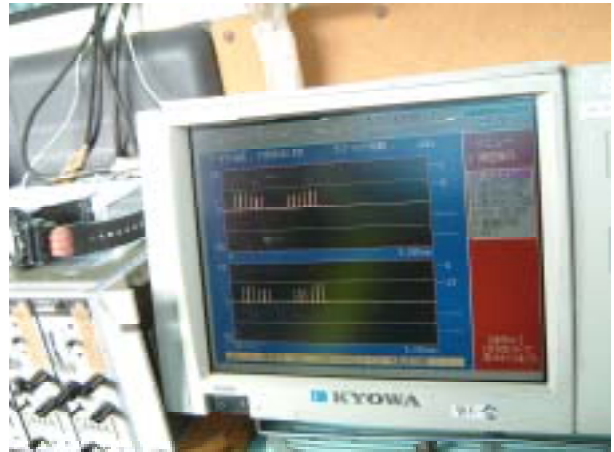


図-6 ひずみゲージによる輪重測定状況

(2) ケーススタディ結果の分析と課題の抽出

カウンター測定結果（比較検討の基準としてカウンター測定を用いる。）

後述する手法の妥当性をチェックするため、カウンターを用いて乗降客を数えた。ラッシュ時における列車混雑についての分析結果を示す。

【分析結果】

- ・実施路線の混雑率は、最混雑 30 分の中でも 40%程度のばらつきがあり、最混雑 1 時間の中では 90%程度のばらつきがある。最混雑時間内においても、混雑率の変化が大きいため、混雑率をより詳細に時系列で把握することが重要である。
- ・各駅間でみた混雑率の増減傾向として、都心へ向かって混雑率が増加するばかりではなく、快速停車駅での乗換えによる混雑率の減少傾向も見られた。
- ・混雑率の区間別の変化の度合いも大きいことから、混雑率を区間毎に把握することも重要である。

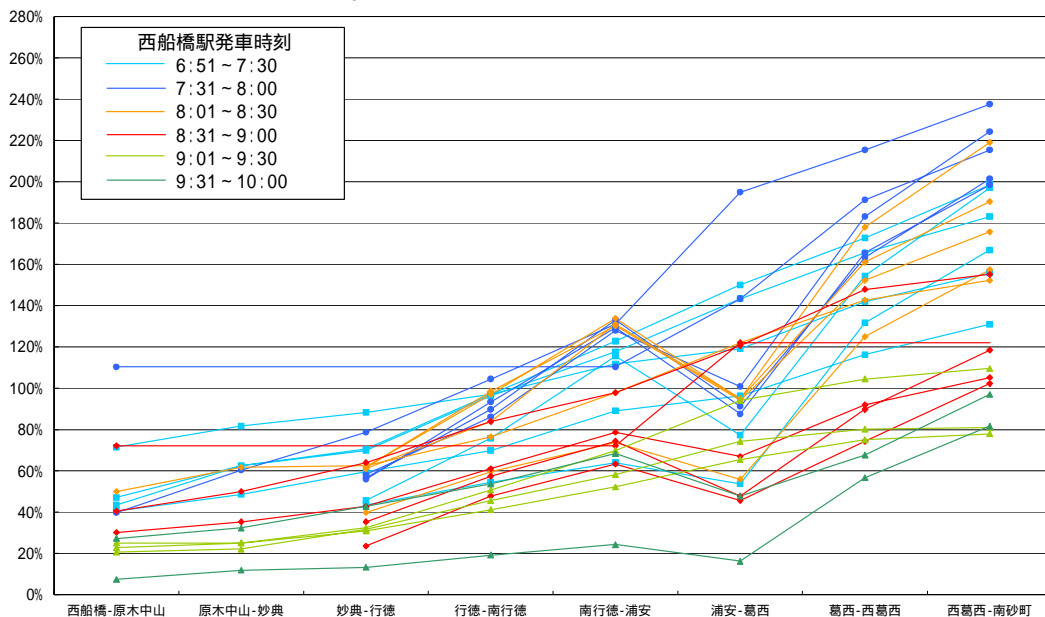


図-7 カウンター測定による各列車の駅間混雑率の推移

目視測定結果の分析と課題の抽出

目視測定より得られた混雑率について、カウンター測定から得られた混雑率と比較した。分析結果と抽出された課題を示す。

【分析結果】

- ・カウンター測定結果に対して、目視測定による測定値のうち概ね 90% は ±20% の精度の範囲に収まる結果となっている（なお、本調査では、一人が 1 車両内の混雑率を測定する方法）。
- ・各駅毎の測定結果より、目視測定員によって多少の精度のばらつきは認められるものの、熟練した測定員であり、そのばらつきは小さいといえる。
- ・測定結果の傾向を分析すると、低い混雑率では測定精度が高く、100～200% 付近で若干高めめの値を取る傾向が見られ、200% を超えると若干低めめの値を取る傾向が見られた。

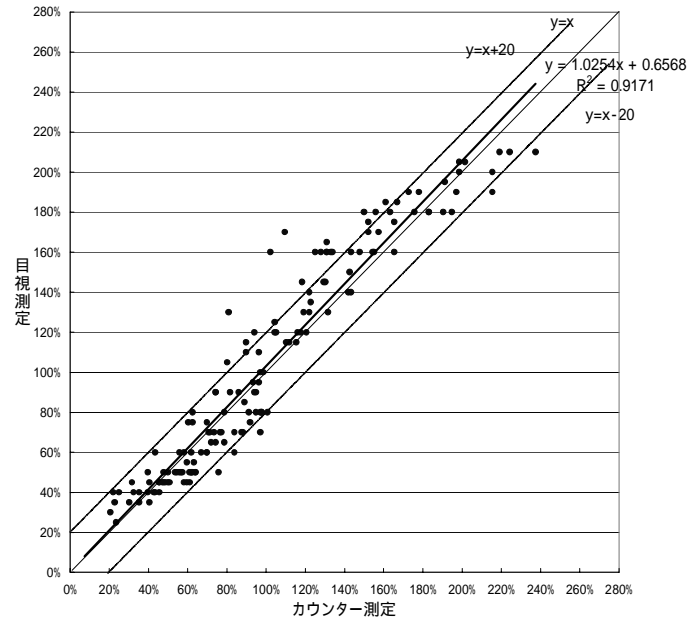


図-8 カウンター測定と目視測定による混雑率の比較

【抽出された課題】

- ・一人の測定員が 1 車両内の混雑率を計測する方法であれば、比較的高い測定精度を期待することができるものの、目視測定の方法は多様であり（一人の測定員が 1 車両内の混雑率を測定するケースは少ない）その他の方法で目視測定を実施する場合には、その方法に応じた精度確認を行う必要がある。

応荷重を利用した混雑率測定装置の分析と課題の抽出

応荷重を利用した混雑率測定装置による算出値について、カウンター測定から得られた混雑率と比較した。分析結果と抽出された課題を示す。

【分析結果】

- ・カウンター測定結果に対して、応荷重装置による測定値のうち概ね 90% は ±30% の精度の範囲に収まる結果となっており、重量から混雑率を推定する方法にも関わらず、比較的高い精度が得られた。
- ・東京地下鉄 05 系に搭載されている乗務員支援システムを例にとると、応荷重から混雑率を算定する式、

$$\text{混雑率(\%)} = \frac{(\text{現在のAS圧} - \text{空車AS圧})}{(\text{満車AS圧} - \text{空車AS圧})} \times 250 \quad * \text{AS圧: 空気ばね圧力}$$

のうち、現在の AS 圧は測定値、空車 AS 圧は列車起動時の測定値、満車 AS 圧はプログラムの既設定値であることから、パラメータにできる数値は比例定数の 250 のみのため、これをパラメータとして最適式を検討した場合、以下の式となる。

$$\text{混雑率(\%)} = \frac{(\text{現在のAS圧} - \text{空車AS圧})}{(\text{満車AS圧} - \text{空車AS圧})} \times 248 - 13$$

【抽出された課題】

- ・ 応荷重を利用した混雑率測定装置の精度向上は、応荷重から混雑率を算定する式の検討によるところが大きいと考えられる。本調査において混雑率算定式は既存の設定式を用いたが、乗客の属性(利用目的、年齢層、性別等)や路線の特性、季節、時間帯等によって変動すると考えられるため、これらに対応した最適式について検討を行う必要がある。

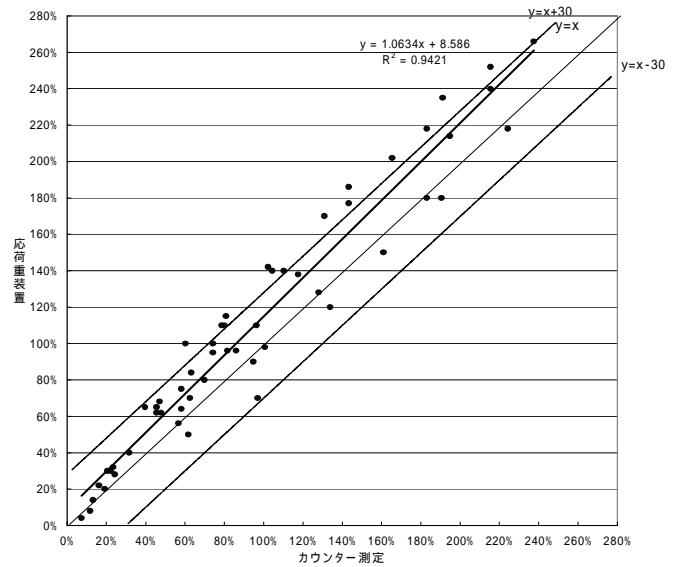


図-9 カウンター測定と応荷重装置による混雑率の比較

ひずみゲージを利用した混雑率測定装置の分析と課題の抽出

南行徳駅、浦安駅間に設置したひずみゲージによる混雑率測定について、カウンター測定から得られた混雑率と比較した。分析結果と抽出された課題を示す。

【分析結果】

- ・ カウンター測定結果に対して、ひずみゲージによる測定値のうち概ね 90% は ±40% の精度の範囲に収まる結果となっている。
- ・ 測定誤差の原因として、測定方法そのものの誤差(一般に 3~5%)に加え、一人当たりの体重設定(55kg)が適切で

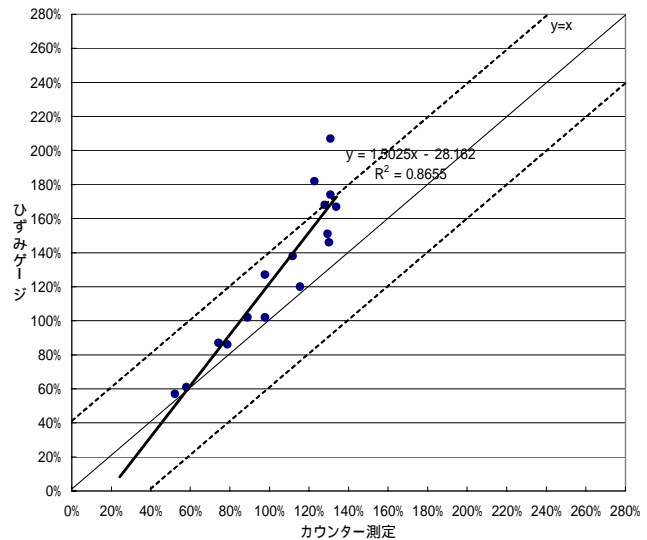


図-10 カウンター測定とひずみゲージによる混雑率の比較

はなかったことなどが主要因として考えられる。他にも荷重校正器によって設定する測定基準値の補正()に必要なサンプル数の不足、車輪の傷(フラット)による異常値の影響などが挙げられる。

() ひずみゲージ設置時にジャッキ(荷重校正器)を用いて負荷荷重とレールひずみ量の関係を把握するが、ジャッキによって静的に作用させる荷重と走行中の車両から動的に作用する荷重では、同じ荷重でもレールひずみ量に差が生じるため、その誤差を補正する必要がある。

- ・ひずみゲージにより測定された輪重（車両重量）から混雑率を算定する式、

$$\text{混雑率(\%)} = \frac{(\text{現在の車両重量} - \text{空車重量}) / \text{体重設定値}}{\text{車両定員}} \times 100$$

この式において、体重設定値をパラメータとして最適式を検討した場合、以下の式となる。

$$\text{混雑率(\%)} = \frac{(\text{現在の車両重量} - \text{空車重量}) / 83}{\text{車両定員}} \times 100 + 19$$

【抽出された課題】

- ・測定誤差の補正に関しては、継続的な測定により多くのサンプル数を収集することによって、補正方法を検討していくことが必要である。
- ・一人当たりの体重設定については、乗客の属性（利用目的、年齢層、性別等）や路線の特性、季節、時間帯によって変動すると考えられるため、これらに対応した最適値について検討を行う必要がある。

(3) ケーススタディ結果から得られた今後の検討の方向性

ケーススタディ結果を踏まえ、今後の混雑率測定の方向性を検討した。検討内容を下表に示す。

表-4 測定手法に関する今後の検討の方向性

項目	検討の方向性
目視測定	<ul style="list-style-type: none"> ・一人の測定員が1車両内の混雑率を測定する方法であれば、比較的高い測定精度を期待することができることが確認できたが、目視測定の方法は多様であり(一人の測定員が1車両内の混雑率を測定するケースは少ない)、その他の方法で目視測定を実施する場合には、その方法に応じた精度確認を行う必要がある。
応荷重を利用した混雑率測定装置	<ul style="list-style-type: none"> ・精度向上は、応荷重から混雑率を算定する式の検討によるところが大きい。本調査において混雑率算定式は既存の設定式を用いたが、乗客の属性（利用目的、年齢層、性別等）や路線の特性、季節、時間帯等によって変動すると考えられるため、これらに対応した最適式について検討を行う必要がある。 ・乗務員支援システムに測定機能が付加された車両の普及率が高くなく、早急な追加導入も難しいことから、現状の普及率でどのような測定方法が可能であるか、他の測定方法との併用も視野に入れて検討する必要がある。
ひずみゲージを利用した混雑率測定装置	<ul style="list-style-type: none"> ・混雑率測定に求められる精度、および車両重量・空車重量から混雑率を算定する式については、応荷重装置を利用した混雑率測定装置と同様の検討が必要になる。 ・各区間に装置を設置する場合、集中管理システムや通過車両認識システムの導入が必要になる。 ・全区間に装置が設置出来ない場合、他の測定方法との併用も視野に入れて検討する必要がある。

6．調査のまとめと検討課題

本調査は、混雑率の測定方法に着目して、現在行われている測定方法の種類を整理するとともに、一部の測定方法については、精度確認を行ったものである。これらを踏まえた今後の検討課題は以下のとおりである。

(1) 混雑率の算出方法の整理

今後、混雑率の算出方法の整理を図っていくことで、指標としての妥当性を高めていく必要がある。

(2) 多様な測定方法についての精度検証

目視測定の精度検証

1人で1車両を測定した場合はある一定の精度は確認出来たが、目視測定の方法は1人で2,3車両を測定する場合もあり、測定者の配置も異なるため、その方法に応じた精度確認を行う必要がある。

混雑率測定装置における混雑率算定式の検討

応荷重やひずみゲージを利用した混雑率測定装置の精度向上は、混雑率算定式の検討によるところが大きい。乗客の属性(利用目的、年齢層、性別等)や路線の特性、季節、時間帯等に対応した最適式について検討を行う必要がある。

自動改札データから混雑率を測定する方法の精度検証

本調査においては、自動改札データを利用して混雑率を推定する方法のケーススタディを実施することができなかったが、自動改札の出入記録を用いた混雑率測定を実際に活用している鉄道事業者もあり、複数の路線が輻輳しないような路線での導入といった制約条件を満たせば、ある程度の信頼性が見込めるため、別途その精度を検証しておくことが必要である。

(3) 線区の状況に応じた測定方法の検討

さまざまな線区の状況に応じて、どのような混雑率測定方法を用いることが適当であるか、測定手法の組合せを視野に入れながら、検討を行うことが必要である。

(4) 混雑率測定のあり方

現状の混雑指標が受け持つ役割を再度認識するとともに、混雑率測定に求められる精度についても整理する必要がある。

(5) 混雑率の活用方法の拡大

サービスの多様化への社会のニーズに配慮して、混雑率に今後求められる役割を、利用者や経営の観点から調査し、混雑率の活用方法を検討する必要がある。