

科学研究費助成事業（学術研究助成基金助成金）研究成果報告書

平成25年5月30日現在

機関番号：82664

研究種目：若手研究（B）

研究期間：2011～2012

課題番号：23760496

研究課題名（和文） 首都直下地震時における都市鉄道の代行バスに関する研究

研究課題名（英文） Study on Bus Operation as Substitute for Urban Railway after a Metropolitan Big Earthquake

研究代表者

室井 寿明（MURAI TOSHIAKI）

一般財団法人運輸政策研究機構・運輸政策研究所・研究員

研究者番号：00516031

研究成果の概要（和文）：

首都直下地震を想定し、首都圏における鉄道の長期途絶時における代替輸送手段としてバスによる輸送を検討するための技術的課題を整理し、またその効果について検証した。まず、鉄道は大量輸送交通機関であり、一般的にバスは鉄道と比較して輸送力が極めて小さいため、バスで鉄道を完全に代替することは困難である。しかし、バスの運用の方法によって効果的な輸送が可能になること、および首都圏は鉄道網が高密度に存在するため、鉄道が被災しても他の鉄道による迂回が利用可能であれば、バスによる代替輸送手段も有効になるということが分かった。

研究成果の概要（英文）：

This research assumed the metropolitan big earthquake. The problem of transportation by the bus was understood as substitution of the railway and the effect was verified. Firstly, it is difficult to substitute the railway with the bus completely because the railway is mass transportation, and the transportation capacity of the bus is extremely small generally compared with the railway. However, transportation by bus is high capacity becomes possible by devising the operation method. And, the railway is effective because the railway system exists high closely in the metropolitan area and if the detour with other railways can be used even if struck, the alternative transportation means by the bus is also effective.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
交付決定額	1,500,000	450,000	1,950,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：土木工学・土木計画学・交通工学

キーワード：首都直下地震，防災計画，都市鉄道，バス，代替輸送

1. 研究開始当初の背景

東日本大震災を受け、未曾有の首都直下地震時にも国民のモビリティを確保し、安全で安心な社会を構築するための震災対策の重要性は以前にも増して高まっており、帰宅困難者対策や地域防災計画の策定、耐震補強実施などが進められている。しかし、現在の対策は被害をいかに防ぐか、または被害を小さくするかという防災や減災の観点によるも

のが中心であり、日常生活の早期復帰という観点から鉄道復旧までの代替輸送計画は重要であるにも関わらず、十分な対策が取られているとはいえない。

首都圏の一部地域で大震災により鉄道が被災した場合は極めて大きな問題がある。被災を免れた地域ではほぼ通常通りの交通需要が発生するため、鉄道復旧までの数週間から数ヶ月程度にわたって代替交通機関の確

保が必要であるが、そのための制度が存在せず、また防災計画上也必要性が十分に述べられていないと言いはる。このままでは鉄道途絶時に社会活動は機能停止を余儀なくされ、国内経済は大きな損失を被ると考えられる。これに対し、バスは道路さえ利用可能であれば鉄道よりも自由に走行でき、また道路は鉄道より比較的早期に応急復旧が可能という特徴がある。さらに、陸上交通の中では最も輸送力の高い手段であるため、鉄道の代替手段として適していると考えられる。しかし、バスは鉄道と比較して極めて輸送力が乏しく、一般に都市鉄道の代替手段にはなり得ないと認識されている。その一方で、阪神・淡路大震災時は代行バスによって1日あたり最大で約23万人を輸送した実績がある。すなわち、バスでもある程度の輸送が可能であり、鉄道の代替交通手段として機能し得る可能性があることを示している。

1日あたり数十万人規模の都市鉄道の代替を担うには、数百台規模のバスで対応する必要がある。したがって、被災後に全ての鉄道被災区間に満遍なく少しずつバスを投入するよりも、集中して代行バスを投入しなければならない区間はどこかを即時に検討することが求められる。この時、通常の道路や信号制御は大量のバスを円滑に通行させるような設計になっておらず、また被災地域は救急、支援物資、復旧等の通常とは異なる様々な車両が通行する。したがって、道路上をどのようなルートでバスを走らせるかという検討が必要になり、科学的な方法に基づいて大量のバスを円滑に通行させる走行ルートの評価方法の提案も合わせて求められる。このように、被災後の首都圏鉄道網が復旧するまでの代替交通確保が求められるものの、首都圏の鉄道網および道路網は極めて複雑で直感的に判断することは困難である。したがって、これを支援する理論的、かつ実践的な計画、評価手法が必要となっている。

2. 研究の目的

震災時における公共交通のあり方に関する研究としては、(財)関西交通経済研究センター(1995)『兵庫県の公共交通機関復興のあり方に関する調査研究報告書』など、公共交通のあり方を定性的に示した文献は見受けられるが、学術研究が十分になされていると言いはる。平常時の鉄道やバスなど公共交通のあり方に関する研究は、国内外を問わず今までに多くの研究がなされてきた。しかし、長期鉄道途絶時の代行バスの運行に関しては、平常時とは異なる極めて複雑な要因を考慮する必要がある。そのため、被災を免れた鉄道を含め、代行バスがどのような場所に、どのタイミングに、どの程度確保されるべきか把握することが重要であり、そのための運

行計画モデルの提案が本研究の目的である。

3. 研究の方法

本研究では、まず、1)過去に鉄道の代替輸送手段として大規模な代行バスが運行された阪神・淡路大震災時の事例を整理することとした。これにより、①被災規模による震災後の交通需要を明示し、また鉄道と代行バスの輸送力の関係から、②代替交通の確保が交通需要にどのような影響を与えたかを明らかにする。そして、限られたバスや運転士、道路空間の活用方法を整理することで、③代行バスの運行による輸送力向上のための施策を明示する。この結果を踏まえ、バスによる大規模な鉄道の代替輸送を実施していく上での制度的・技術的な面からの検討を行い、2)首都圏における具体的な代行バスの運行計画モデルを提案し、実際に首都圏における鉄道長期不通時の代行バスのシミュレーションを実施し、そこから得られた結果から代替輸送に関する示唆を得た。

4. 研究成果

(1) 阪神・淡路大震災時の実績

まず、首都直下地震発生を想定する際に、地震発生から通勤・通学が再開する段階で、震災前と比較してどの程度通勤・通学が再開するかが重要になる。それによって、必要な代替交通手段の規模も変わってくるためである。図1には阪神・淡路大震災後、通常の通勤・通学の再開を始めた人の累積数を示したものである¹⁾。被災地から比較的遠かった大阪府に居住していた人は地震発生から3日で80%が通勤・通学を再開していた。そこから震度7の地域、すなわち被災の度合いが大きい地区に居住していた人ほど通勤・通学の再開に時間を要していたが、震度7の地域に居住し、かつ地震のために避難所に行った人であっても、地震発生から1週間で約60%の人が通常の通勤・通学を再開していたことが分かった。実際に首都直下地震が発生した際の通勤・通学需要が再開する段階については内閣府のアンケート結果等もあるが、場合に

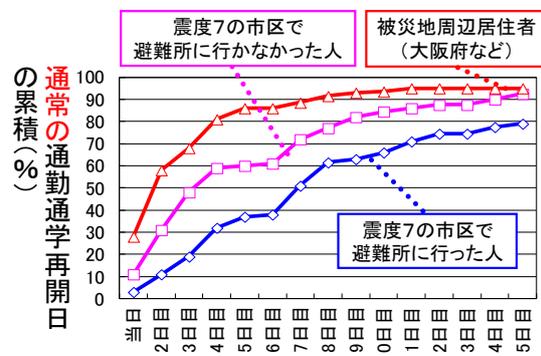


図1 通勤・通学再開時期 (阪神・淡路大震災時)
(文献1)を参照に筆者グラフ作成)

よっては阪神・淡路大震災時のように、震災から1週間程度の比較的早い段階でも通常時の何割かの交通需要が発生することも視野に入れる必要があると考えられる。

これらの需要に対応するための代替交通手段が必要になる。一般的に、鉄道は10両編成で最大3,000人程度輸送可能なのに対し、バスは1台あたり60~70人程度であり、両者では輸送力が大きく異なるため、バスで鉄道の代替を行うのは困難であると認識されている。しかし、平成7年度におけるJR西日本（以降、JR）東海道線（快速）のピーク時通過人員が31,110人/時に対し、阪神・淡路大震災時のJRバス代行輸送では約9,800人/時と、鉄道のおよそ1/3をバスで輸送したという実績がある。すなわち、バスでもある程度の輸送を実現しており、鉄道復旧までの緊急対応輸送手段として有効であるといえる。そこで、具体的にどのようにバスで大量に輸送するための工夫が取られたかを分析することとした。

まず、バス利用者の大半は鉄道途絶区間の両端間を移動するようなバスの利用をしていたことから、制度的工夫として、阪神間を結ぶ主要幹線道路である国道43号でバス専用レーンを導入し、国道2号上を走行して鉄道途絶区間の各駅に停車する「各駅停車便」と、国道43号上のバス専用レーン上を走行

して鉄道途絶区間の両端をノンストップで結ぶ「直行便」のバスを運行させることで、所要時間の短縮と輸送力の増強を図り、この直行便によって限られたバス台数でより多くの利用者を輸送するという効果的な運行を実現した。

また、当時、一般車両の流入規制は実施されていたが、緊急物資輸送車両や廃棄物処理車両等、震災時には多くの緊急車両が被災地に流入し、渋滞が発生した。そのために代行バス運行に大きな支障をきたしていた。この問題を緩和するためバス専用レーンが導入され、1/28時点で代行区間長11.4kmのところ所要時間は約70分~240分であったのが、約50分~120分に短縮された。すなわち、一般車両の規制だけに留まらず、バス代行輸送に際してはバス専用レーンの導入およびそのための事前検討が必要不可欠であることを示している。図2に示すとおり、バス専用レーンの導入によるバスの所要時間の削減および鉄道の順次復旧により阪神間の所要時間が震災前の水準に近づくにつれ、バス代行輸送利用者が増加しており、社会経済活動の回復に大きく寄与したことが分かる。

バス専用レーンの導入により、所要時間の大幅な短縮を実現したものの、それだけでは輸送力を大幅に向上させることはできない。通常の乗降場では、バスが到着次第、乗客を

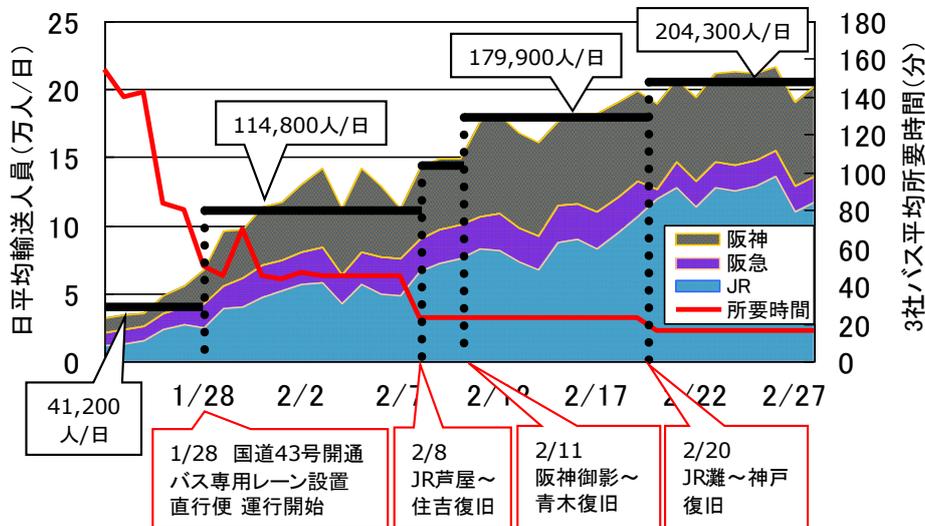


図2 阪神・淡路大震災時における代行バスの利用者数の推移

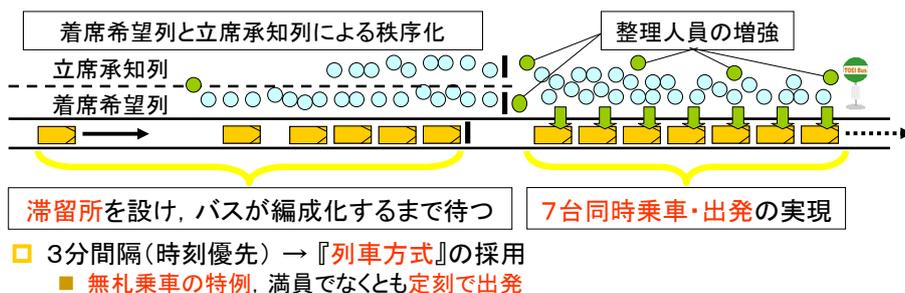


図3 列車方式による複数台バスの同時乗車および出発

乗降させる。これは最も単純な方法であり、バス台数および列整理人員も最小限で済むというメリットがある。しかし、連続でバスが到着した場合は、先頭のバスだけが乗降を行い、後続のバスは先頭のバスが発車するまで何もせず、ただ待機しなければならない。1台あたり約3分の乗降時間を要したとすると、この方法では1時間あたり20台のバスしか出発させることができず、輸送力はせいぜい1,500人程度に留まってしまう。そこで、阪神・淡路大震災時では、図3に示すように“バス滞留所”を設け7台で1編成化させるまでバスを待たせることとした。編成化したバスを乗降場まで移動させ、利用者は7台のバスに一斉に乗車することとした。さらにバスの運行を3分間隔に維持することを最大優先とした、いわゆる「列車方式」を採用した。この工夫により、定員70人/台×7台を1時間に20回(3分間隔)運行することで、約9,800人/時という輸送力を実現していた。

しかしながら、この列車方式の採用にあたっては、課題が山積していた。

- ①バス編成化に必要な滞留所の確保
- ②運行台数調整に必要な待機場所
- ③利用者の乗車待ち空間
- ④多くのバス台数が必要
- ⑤発車承認者および整理人員の確保

滞留所を設置するだけの道路空間確保も大きな問題だが、バスが延々と道路上に待機すると他の一般交通への影響も小さくない。そこで、一時的にバス台数を調整するための“バス待機場所”を設置した。これは復旧予定地を臨時で借用、あるいは建設予定地であった場所を一時的に利用した。また、利用者の乗車待ち空間が確保できるだけの駅前広場がなく、やむを得ず駅から数百m程度離れた道路上に乗降場を設置するなどの工夫もとられた。

以上のような技術的工夫が取られたことにより、なるべく鉄道の輸送力に近付ける努力がなされ、実際にバスでも大量輸送を実現したことが明らかになった。

(2) 首都圏における代行バス運行計画モデルの構築とケーススタディの試行

本研究では、首都直下地震時における鉄道長期不通時の代行バスのシミュレーション実施の参考例として、需要分析を行うことによりバス輸送による影響を定量的に把握する手法を構築し、不通区間を設定する対象路線は京王線としてケーススタディを行った。また大都市圏の広域に渡る検討に資するため、輸送密度の高い地域と低い地域の2箇所それぞれにおいて鉄道不通区間が発生した場合の影響の比較を行った。

ケーススタディを通じて得られた結果を

以下に示す。

○路線密度が高く、輸送密度が60万人/日を超える区間が運行不通になった場合

- ・ 不通区間と並行する他路線において250%を超える激しい混雑となる区間が生じる。
- ・ 不通区間を迂回する経路の利用者が増加するため、環状路線においても並行路線を結ぶ一部の区間に集中して激しい混雑となる。
- ・ 並行路線と環状路線の乗換駅では利用者数が平常時の2倍以上となる。これらの乗換駅の多くは郊外部にあるため、都心のターミナル駅に比べて駅施設が小規模であることが多く、駅構内・構外において混乱が起きると考えられる。
- ・ ターミナル駅においても、運行している並行路線と他路線間の乗換利用は通常の1.2倍以上となる駅があることから、駅構内の誘導方策を検討しておく必要がある。

○路線密度が低く、輸送密度が30万人/日程度の区間が運行不通になった場合

- ・ 利用可能な特定の路線に混雑が集中し、利用者が平常時の3倍以上となる区間、駅が生じる。
- ・ 並行路線では250%を超える混雑区間は発生しないものの、環状路線の一部区間や乗換駅では平常時と比べて激しい混雑となる箇所が見られる。
- ・ 郊外部の駅は都心のターミナル駅に比べて駅施設が小規模であることが多く、駅構内・構外において混乱が起きると考えられる。

○路線密度、輸送密度が高い地域においてバス輸送を行った場合

- ・ 不通区間と並行に都心部へ向かうバスルートでは、過去の代替バス輸送と同程度の1日あたり10万人の利用者があり、並行路線の混雑は20%程度緩和される。
- ・ 環状方向のバスルートでは1日あたり1.4~3万人の利用者であり、混雑率に余裕がある他路線と結ぶことで、並行路線への集中を分散させる効果がある。
- ・ バスルートを設定する際には、緊急輸送路、発着場の他に周辺路線の混雑状況を加味して検討を行うことが望ましいと考えられる。
- ・ また鉄道路線、駅の混雑状況によっては、混雑を回避し他路線へ迂回する行動が考えられるため、混雑緩和のために混雑状況等の利用者に対する情報提供方法について検討しておくことが重要である。

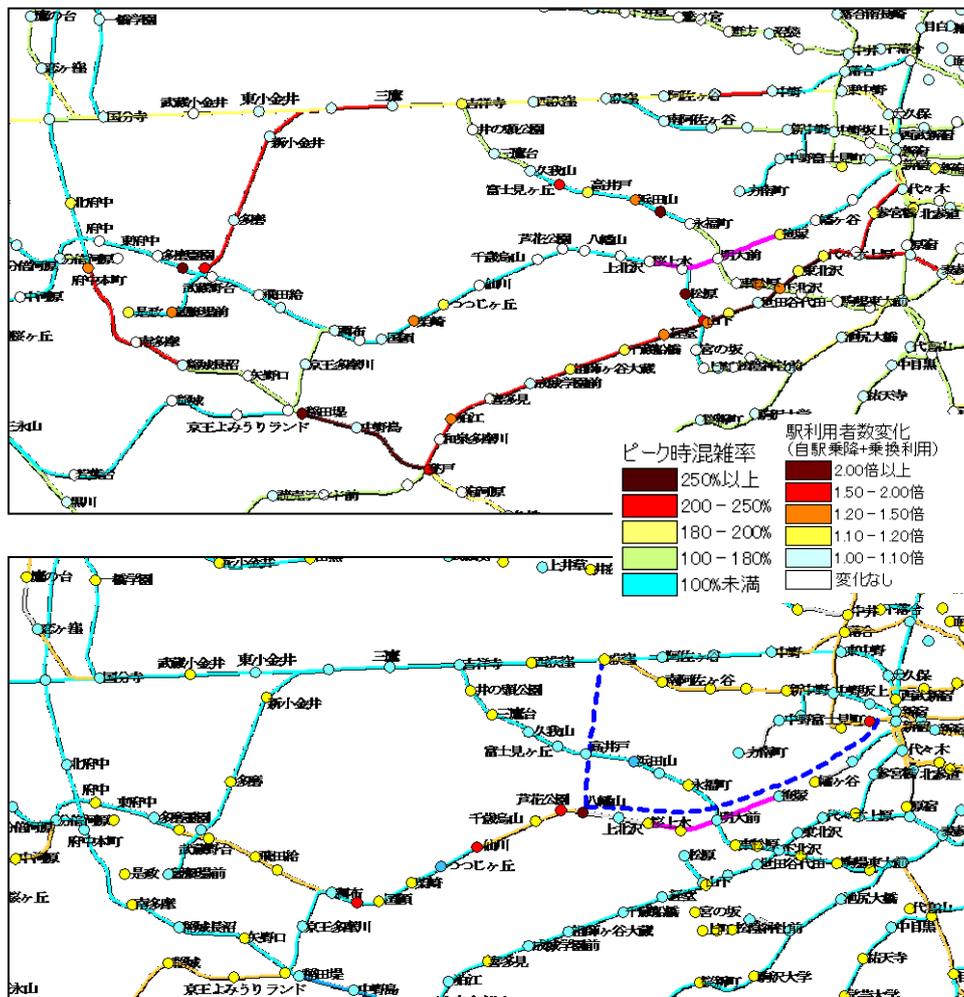


図4 ピーク時混雑率変化(上図は鉄道途絶のみ, 下図はバス運行想定時)
(京王線・笹塚～桜上水間が運行途絶, 青の破線がバスの運行想定路線)

○路線密度, 輸送密度が低い地域においてバス輸送を行った場合

- ・ 不通区間を並行につなぐバスルートよりも, 並行する鉄道路線に接続する環状方向のバスルートの方が多く利用される.
- ・ ただし, 路線密度が低い地域では利用可能な鉄道路線の選択肢が少ないため, 沿線住民地域の利用者が利用できないシャトル方式のバス輸送では, 混雑を緩和できない鉄道路線もある.
- ・ 路線密度の低い地域では, バス輸送を行う際にシャトル方式の他に沿線住民が利用可能なルートを設定する必要があると考えられる.
- ・ バスルートを設定した鉄道駅では, バス輸送を行うことにより利用者数が 20~50%増加するため, 発着場から駅までの誘導方策等を検討しておく必要がある.

以上のシミュレーション結果に関しては, 以下の技術的課題が存在し, その課題につい

ては, マクロ的課題 (前提に関する課題) とミクロ的課題 (需要予測に関する課題) に分けて整理した. 今後は, これらの課題について取り組むことが重要と考えられる.

①マクロ的課題 (前提条件に関する課題)

- ・ 大規模災害後に発生する需要の変化を考慮していない.

大規模災害時においては, 通勤需要の減少や勤務地の変更等が考えられるが, 本ガイドラインで想定している状況は, 災害発生から緊急活動がほぼ終了し, 通勤・通学等が再開しはじめ経済活動が回復しつつある状況であり, シミュレーションでは平常時と同様の交通需要が発生している状況を想定している. 今後, 企業BCP等の情報を収集し, 発災後の通勤需要について検討を行うことが考えられる.

- ・ バス輸送を行う操車場等の施設について実際に操車可能な台数を考慮していない.

シミュレーションでは航空写真等を活用

して操車場候補地の抽出を行っているが、面積や施設の状況を踏まえた操車可能台数は設定していない。候補地については現地調査により情報を把握しておく必要がある。

・駅前広場（バス乗降場所）や駅からの誘導路の容量を考慮していない。

バス等による輸送を行う場合、通常時に比べて多くの利用者が駅前広場に集中することが想定される。バスの乗降場所候補地においては現地調査を行い、面積や人員整理方法を検討しておく必要がある。

・バス等による輸送の利用者のアクセス範囲の設定

バス等による輸送の利用形態は、対象路線からの乗換利用に加えて、周辺住民が直接バスを利用することも考えられる。シミュレーションでは、通常時に対象駅（バス発着場所が設定されている駅）を利用している地域からアクセスさせているが、実際に不通区間が発生した場合にはより広域からアクセスしてくることが考えられる。

・道路上の交通量変化を考慮していない。

災害時には物資輸送等によるトラック交通の増加や、幅員減少に伴う混雑の発生が考えられるが、シミュレーションにおいては一定の速度でバスが走行できる状況を想定している。これらを考慮するには災害時の道路交通量配分やマイクロシミュレーションを用いた分析が考えられる。

②ミクロ的課題（需要予測に関する課題）

・混雑率の上限値を設定していない。

通常、鉄道の最混雑区間における混雑率は200%程度であるが、シミュレーションの中では300%や400%となったとしても、計算上鉄道を利用するものとしている。上限値を設定し、それを上回る場合は乗車不可とするといった方法も考えられる。

・鉄道駅・車両内の混雑に伴う所要時間変化を考慮していない。

現状においても鉄道駅・車両内混雑による、駅構内の滞留や列車遅延が生じているが、大規模災害時のように影響が広範囲に広がる場合にはさらに激しい混雑となる可能性がある。シミュレーションでは、混雑に伴う所要時間変化は考慮していないが、マイクロシミュレーションの活用や混雑と遅延の相関分析を行い検討していくことも考えられる。

【参考文献】

1) 本間正勝, 森健二, 木戸伴雄, 齊藤威: 大規模災害時の交通行動実態—阪神・淡路大震

災を例として—, 土木計画学研究委員会 阪神・淡路大震災調査研究論文集, 1997, pp. 327-332

5. 主な発表論文等

(研究代表者, 研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計3件)

(1) 室井寿明, 首都圏大震災後の鉄道運行と代行バスのあり方に関する研究, 運輸政策研究, 運輸政策研究機構, 査読無, 第53巻, 2012, pp. 68-75

(1) 室井寿明, 帰宅困難者対策としての鉄道代行バスの可能性に関する一考察, 運輸と経済, 運輸調査局, 査読無, 第72巻第9号, 2012, pp. 41-50

(2) 室井寿明, 大震災後の鉄道運行と代行バスに関する一考察, 鉄道ピクトリアル, 電気車研究会, 査読無, 第62巻第2号, 2012, pp. 106-113

[学会発表] (計2件)

① 室井寿明, スペシャルセッション・災害時交通マネジメント—公共交通の観点から—, 第43回土木計画学研究発表会, 2011年5月28日, 筑波大学

② 室井寿明, 首都直下地震時における都市鉄道代行バスの効果的な運行に関する研究, 第43回土木計画学研究発表会, 2011年5月28日, 筑波大学

6. 研究組織

(1) 研究代表者

室井 寿明 (MUROI TOSHIKI)
一般財団法人運輸政策研究機構
研究者番号: 00516031