大阪環状線におけるホームドア導入に関する費用便益分析

野田　佳克[1]・小川　圭一[2]

1 学生会員　立命館大学大学院　理工学研究科環境都市専攻（〒525-8577　滋賀県草津市野路東 1-1-1）
E-mail: ce0027fv@ed.ritsumei.ac.jp
2 正会員　立命館大学教授　理工学部環境都市工学科（〒525-8577　滋賀県草津市野路東 1-1-1）
E-mail: kogawa@se.ritsumei.ac.jp

近年,日本の鉄道路線における人身事故数は減少傾向にある.国土交通省鉄道局安全監理室によると,この背景には,ホームドア整備をはじめとするホーム整備が行われていったためであるとある.このように,ホームドア導入により人身事故件数を減少させることができれば,負傷者や死亡者の数を減少させるだけでなく,列車遅延に伴う経済的損失も減少させることが可能であるため,多大な便益を生みだすと考えられる.
しかし,ホームドア設置のコストが足かせとなり,ホームドア導入が進んでいない路線も多い.そこで本研究では,JR 西日本内で乗降客数が上位である駅が存在する大阪環状線を対象路線として,死亡者負傷者の減少による便益と遅延の時間的損失減少による便益を考慮して,ホームドア導入を優先する駅の指標を分析した.加えて,便益の 1 項目である時間的損失を列車運休時とダイヤの解消時に分けて算出することで改良した.

Key Words: *cost benefit analysis, platform door*

1.　はじめに

近年, 日本の鉄道路線における人身事故数は減少傾向にある. 国土交通省鉄道局安全監理官室 [1)]によると, 平成 29 年度の鉄軌道の運転事故件数は過去 30 年間で最少となったとある. これは, ホームドア整備をはじめとするホーム整備が行われていったことに起因する. このように, ホームドアの導入により, 人身事故の件数を削減することができれば, 負傷者や死亡者の数を減少させるだけでなく, 列車遅延に伴う経済的損失も減少させることが可能であるため, 多大な便益を生み出すと考えられる.

しかし, ホームドア設置にかかる導入コストが足かせとなり, ホームドアの導入が進んでいない路線も存在する. ゆえに, ホームドアを設置する駅の優先順位をつけていく必要がある.

本研究では, 費用便益分析の観点から各駅のホームドア導入の是非を明らかにし, 便益の 1 項目である時間的損失を列車運休時とダイヤの解消時に分けて算出することで改良することを目的とする.

2.　費用便益分析の方法

本研究では,大阪環状線（駅数 19 駅）を対象路線として取り扱う. 評価期間は, 2023 年から 2072 年の 50 年間として, 横開き型の従来型のホームドア（以降従来型と表記）, 昇降ロープ式ホームドア（以降ロープ式と表記）, 昇降バー式ホームドア（以降バー式と表記）の 3 種類のホームドアの導入を想定し, 費用便益分析を行う. 時間割引率は 4%（年）を用いる. 費用と便益については, 高橋ら [2)]にならって算出を行った. 高橋らと異なる点としては, 便益項目の一つである「遅延事故減少による時間的損失の減少」内の平均遅延時間の求め方である.　高橋らにおいては, 便益を求める式に使用した平均遅延時間を最大遅延時間の半分と定義している. これは, 遅延時間が影響時間に比例して, 減少していくと仮定したからである. しかし, 影響時間は, 事故が発生してからダイヤが正常に戻るまでの時間であるので, 遅延時間が影響時間に比例して減少していくと考えると, 平均遅延時間が実際より大きく算出されてしまうと考えられる. これは, 影響時間が事故発生から列車の運転が再開されるまでの時間と運転再開からダイヤが復旧するまでの時間の 2 段階に分けられるからである.

そこで本研究では,平均遅延時間の算出において影響時間の構成が２段階に分解されることを考慮した手法を考案し,これらを踏まえて,費用便益分析を行っていく.

3. 費用の算定

費用の算出に関しては, 高橋らの研究にならって行う.

(1) 設置費用

『京浜東北線におけるホームドア導入に関する費用便益分析』において行われた日本信号(株)に対する電話インタビューによると,1 つのホーム当たりの設置費用は,従来型は1.28億円,ロープ式は, 6000万円,バー式は5000万円と記載がある.本研究では,これを設置費用とする.

(2) 再設置費用

『京浜東北線におけるホームドア導入に関する費用便益分析』によると,従来型,ロープ式.バー式ホームドアの耐久年数はそれぞれ,20 年,15 年,7 年とある.ゆえに,耐用年数経過後に評価期間初年度と同額の設置費用が必要になると仮定し,時間割引率を用いて現在価値に換算した.

(3) 維持管理費用

『京浜東北線におけるホームドア導入に関する費用便益分析』より,片側 1 ホーム当たりの年間維持管理費用は従来型,ロープ式,バー式それぞれ,208 万円,500 万円,600 万円とし,以下の式から計算した.

$$\sum_{k=1}^{50} a\, r^{k-1} \qquad (1)$$

(a:昇降式ホーム柵の年間維持管理費用,r:{1/(1+時間割引率)})

(4) ホーム改修費用

『京浜東北線におけるホームドア導入に関する費用便益分析』より,片側ホームあたりの改修費用は従来型,ロープ式,バー式それぞれ,11.8 億円,1 億円,1 億円とし,以下の式から計算した. なお,ホーム設置費用は,ホームドアを設置した初年度のみに発生するとする.

4. 便益の算定

(1) 遅延事故減少による時間的損失の減少

ホームドア導入による便益として考えられるものの一つとして,鉄道路線における遅延事故が減少することによって電車利用者の時間的損失が減少することがあげられる.当該便益は評価期間内に起こると推測される事故１件あたりの期待時間損失の合計である.

まず,ホームドア導入による遅延事故減少数について下記の仮定を用いる.

仮定１：「鉄道人身事故データベース」[3] ,「鉄道人身事故データブック 2002～2009」[4] から,大阪環状線の15 駅にホームドアを導入する場合,2002 年～2021 年の総人身事故数は 81 件（死亡 39 件,重傷 15 件,軽傷 27 件）から,評価期間内において,年間 4.05 件（死亡 1.8 件,重傷 0.75 件,軽傷 1.35 件）減少させる.

次に, 事故 1 件あたりの期待時間損失を算出するにあたっては,午前５時から 24 時までの 19 時間の間に一様な確率で人身事故が発生すると仮定し,高橋らの論文を参考に作成した以下の式を用いる.

・大阪環状線における事故１件当たりの期待時間損失額［円］＝駅ごとの事故集中割合×事故１件当たりの期待影響人数（駅別）［人］×平均遅延時間［分］×時間評価値［円/分］

・事故１件当たりの期待影響人数（駅別）［人］＝列車 1 本あたりの定員［人/本］×１時間あたりの平均乗車率×影響時間［分］×影響時間あたり平均運行本数［本/分］

高橋らの論文の式との大きな違いとしては,本研究では,時間帯による影響を除くために時間帯ごとの事故集中割合を用いていない点である.これは,事故が発生した時間帯の影響を除くためである.時間帯の影響を除く理由は,大阪環状線で発生した事故数は 2002 年～2021 年の 10 年間で 81 件と,京浜東北線と比較して,大幅に少ないので,事故の発生した時間帯の偶発性が大きくなってしまうためである.

以降,各パラメータについて説明する.

a) 駅ごとの事故集中割合

駅ごとの事故集中割合は , 死亡事故,重傷・軽傷・そのほか事故それぞれにおいて,

・駅ごとの事故集中割合（死亡事故）＝
個別の駅での事故件数（死亡事故）/
対象となる駅全体の事故発生件数の合計（死亡事故）

・駅ごとの事故集中割合（重傷軽傷その他事故）＝
個別の駅での事故件数（重傷軽傷その他事故）/
対象となる駅全体の事故発生件数の合計（重傷軽傷その他事故）

で求められる.

b) 影響時間

影響時間は,「事故が発生してからダイヤが完全に復旧するまでに要する時間」と定義する. ゆえに影響時間は,

影響時間＝事故が発生してから列車が運転再開するまでの時間＋運転再開からダイヤが完全に復旧するまでに要する時間

と表せる.

まず, 事故が発生してから列車が運転再開するまでの時間（分）について, 吉澤らの「鉄道事故に起因する時間費用の推定方法に関する研究」[5] によると, 人災が原因となる列車の運行停止時間は, 平均 13.1 分, 自殺が原因となる列車の運行停止時間は, 平均 26.0 分となっている. 本研究においては, 自殺の平均運休時間を死亡の平均運休時間とする. ゆえに, 事故が発生してから列車が運転再開するまでの時間（分）は, 死亡事故の場合, 平均 26.0 分, 重傷軽傷その他事故の場合, 平均 13.1 分とする.

次に, 運転再開からダイヤが完全に復旧するまでに要する時間（分）について, 秋山らの「駅プラットホーム危険度評価表の作成」[6]に, 列車の運休時間とダイヤが正常に戻るまでの時間の合計を求めるモデルがある（モデル 1）. モデル 1 から運転再開からダイヤが完全に復旧するまでに要する時間（分）を求める.

モデル 1

$$w_k = M_k/(R_k + D_k)$$

$$M_k + (B_k - w_k)(R_k + D_k) = T_k$$

$$A_k = T_k - M_k$$

w_k・・・運転間隔短縮時間 ［分］

M_k・・・事故が発生してから列車が運転再開するまでの時間 ［分］

B_k・・・運転本数の間隔 ［分］

R_k+D_k・・・運休本数と遅延本数の合計

T_k・・・列車の運休時間とダイヤが正常に戻るまでの時間の合計 ［分］

A_k・・・運転再開からダイヤが完全に復旧するまでに要する時間 ［分］

本研究では, 運転間隔短縮時間（分） w_k=1, すなわち運転間隔を 1 分ずつ縮めることでダイヤの遅れを短縮すると仮定する.

運転本数の間隔については, 大阪環状線の 19 駅中, ホームドアのない 15 駅における 1 時間当たりの運転本数 11 本より, 5 分と仮定する.

運休本数 R_kについては,

運休本数 R_k＝事故が発生してから列車が運転再開するまでの時間/運転本数の間隔

で求める. なお, 小数点以下は切り捨てる.

大阪環状線の条件に合わせて, これらをまとめたのが表 1 である.

表 1 死亡事故と重傷軽傷その他の事故における影響時間

	事故が発生してから列車が運転再開するまでの時間［分］	運転再開からダイヤが復旧するまでの時間［分］	影響時間［分］
死亡事故	26	104	130
重症, 軽傷, その他事故	13.1	52.4	65.5

c) 平均遅延時間

平均遅延時間とは, 人身事故が発生してから乗客が待機する時間の平均である.

平均遅延時間を求める際に, 以下のような仮定をする.

仮定①乗客は, 時間帯によらず一定の間隔で来る.

仮定②ホームに先についた乗客が先に列車に乗る.

仮定③乗車率の最大値は, 100%とする.

仮定④事故が発生していないときの乗車率は 50%とする.

仮定⑤運転再開と同時に事故発生駅に電車が到着する.

死亡事故と重傷軽傷その他事故に関する上記の仮定に基づいた遅延時間と事故が発生してからの経過時間の関係がそれぞれ, 図 1, 2 である.

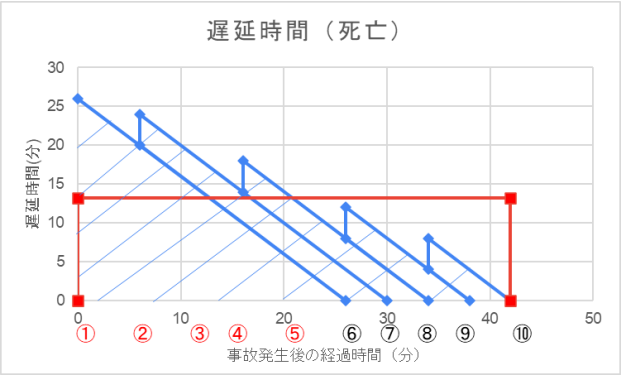


図 1 遅延時間と死亡事故が発生してからの経過時間の関係

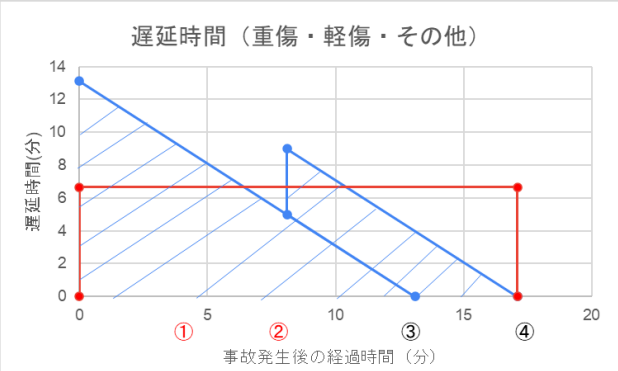


図 2 遅延時間と重症, 軽傷, その他事故が発生してからの経過時間の関係

遅延時間（死亡）のグラフについて説明する. 図 1 に記載している〇内の数字は, 通常来るはずだった列車も含めた事故発生後から事故発生駅に到着する列車の順番を表す. 今回, 事故が発生してから列車が復旧するまでに, 5 本の列車が運休したとする. まず, 運休した①, ②番目の列車に乗る予定であった乗客が運転再開と同時に到着した列車に乗車する. これは, 通常, 乗車率は 50%であるが, 運転再開時は, 100%の乗車率になると仮定したため, 通常の 2 列車分の乗客が列車を利用するからである. 復旧後は 4 分間隔で列車が到着するため, ①, ②番目の列車に乗る予定であった乗客以外の, ③から⑥番目の列車に乗る予定であった乗客は 4 分追加で待つことになる. ⑥から⑦番目の列車に乗る予定であった乗客は, 4 分から比例して減少する時間だけ待つ時間が増える. 事故の影響によりホームで待機する人がいなくなるまでこれを繰り返す. 今回は⑩番目の列車までで事故の影響を受けた乗客を乗せることができ, それ以後通常ダイヤに復旧したと想定した.

遅延時間（重傷軽傷その他）の図 2 の場合も死亡事故の場合と同様にして考える. 今回, 事故が発生してから列車が復旧するまでに, 2 本の列車が運休したとする. まず, 運休した①, ②番目の列車に乗る予定であった乗客が運転再開と同時に到着した列車に乗車する. これは, 通常, 乗車率は 50%であるが, 運転再開時は, 100%の乗車率になると仮定したため, 通常の 2 列車分の乗客が列車を利用するからである. 復旧後は 4 分間隔で列車が到着するため, 運休した①, ②番目の列車に乗る予定であった乗客以外の, ③番目の列車に乗る予定であった乗客は 4 分から比例して減少する時間だけ待つ時間が増える. 事故の影響によりホームで待機する人がいなくなるまでこれを繰り返す. 今回は④番目の列車までで事故の影響を受けた乗客を乗せることができ, それ以後通常ダイヤに復旧したと想定した.

平均遅延時間に関しては, 各グラフと x 軸, y 軸で囲まれた面積（青い斜線部）を, 事故発生後の経過時間を x 軸方向の辺とする長方形（赤い長方形）に換算した y 軸方向の辺の長さとする.

その結果, 死亡事故と重傷軽傷その他事故の平均遅延時間を表 2 にまとめた.

表 2 平均遅延時間

死亡事故 ［分］	13. 19
重傷軽傷その他事故［分］	6. 66

d) 時間評価値

所得接近法によって 2020 年の「毎月勤労統計調査」をもとに推定された大阪府の 39. 9 円を基準とする. 直近のＣＰＩ（2022 年 4 月時点）は 101. 8 であり, 2020 年では 100 であるため, 2022 月 4 月の値に換算した 40. 6 円を使用する.

実質賃金率＝年間賃金÷年間実労働時間

e) 列車 1 本あたりの定員

大阪環状線で運行している旅客列車は全て 8 両編成である.

列車は 323 系と 221 系が主に使用されている. 各 1 両あたりの乗車定員は 323 系が 140 名, 221 系が 113 名であるので 2 つの車両の平均をとると, 平均 126. 5 名となる. ゆえに, 列車 1 本あたりの乗車定員は 1012 名とする.

f) 1 時間あたりの平均乗車率

評価期間中は, 大阪環状線が 2022 年 5 月 22 日時点での時刻表で運行していると仮定する. 平均乗車率については, 外回り（平日）において最も多くの時間を占めている 50%とする.

g) 時間あたり平均運行本数

大阪環状線の運行時間はおよそ 5 時～24 時の 19 時間である. よって, 1 時間当たりの運行本数については

{各駅外回りの 1 日の運行本数（快速含む）} /{19(時間)}

の式で算出する.

(2) 死亡者と負傷者の減少

ホームドア導入により事故が減少し, 負傷者や死亡者の発生を未然に防ぐことが可能である. 国土交通省「交通事故減少便益の原単位の算出方法」（平成 20 年）[7] に記載されている死亡, 重傷, 軽傷その他の原単位（改定後）を参考にした. 死傷者 1 人あたり損失額は人的損失額, 物的損失額, 事業主体の損失額, 各種公的機関等の損失額, 精神的損失額の合計とする. ゆえに, 死亡, 重傷, 軽傷の死傷者 1 人あたり損失額はそれぞれ, 24567. 4 万

円, 925.9 万円, 137.8 万円となる. なお統計的生命価値とは, 人命の価値を貨幣換算する際に設けられる指標である.

(3) 残存価値

本研究の評価期間は 2023 年～2072 年であるが,従来型,ロープ式の場合は2082年まで,バー式の場合は,2078年までの利用が可能である.そこで,ホームドアが毎年生み出す便益(時間的損失額の減少・死亡者及び負傷者の減少)から毎年の維持・管理費用を引いた純便益を計算し,各ホームドアの利用期間を元に時間割引を行い,現在価値に換算することで残存価値を計算した.

5. 分析結果

大阪環状線の全駅にホームドアを設置した場合の, 費用便益分析結果は表 3 となった.

表 3 費用便益分析結果

	単位[万円](B/C を除く)	従来型	ロープ式	バー式
費用	設置費用	435200	204000	170000
	再設置費用	289267	211095	459346
	維持管理費用	151922	365197	438237
	ホーム改修費用	4012000	340000	340000
	費用合計	4888389	1120292	1407583
便益	遅延事故減少による時間的損失の減少	262563	262563	262563
	死亡者と負傷者の減少	1089971	1089971	1089971
	残存価値	49514	37730	37730
	便益合計	1402048	1390264	1390264
	純便益	**-3486341**	**269972**	**-17319**
	B/C	**0.29**	**1.24**	**0.99**

ロープ式ホームドアを設置する場合は, 純便益＞0, B/C＞1 となる. ゆえに, 大阪環状線全駅にロープ式ホームドアを導入することは費用便益分析の観点から肯定される.

また, 表 4 のようにロープ式ホームドアを設置することを想定し, B/C の小さい順に駅を並べ, 費用および便益を求める際に用いた項目との関連性を比較した.

表 4 駅ごとの費用便益分析結果と事故件数, 運行本数およびホーム数との関係

駅名	純便益（万円）	B/C	死亡事故件数(20年間)	重傷・軽傷・その他事故件数(20年間)	プラットホームの数	1日当たりの乗車数（人）-令和3年度
今宮	134059	3.03	6	0	2	3861
大正	120162	2.82	5	5	2	18824
寺田町	109550	2.66	5	0	2	14789
桜ノ宮	72602	2.10	4	2	2	13716
西九条	87419	1.88	5	4	3	24867
桃谷	38266	1.58	3	3	2	15339
福島	2838	1.04	2	4	2	22964
天王寺	-17126	0.90	3	12	5	113905
天満	-25687	0.61	1	4	2	19392
森ノ宮	-30682	0.53	1	3	2	19397
弁天町	-33237	0.50	1	1	2	27645
大阪城	-36203	0.45	1	1	2	8233
玉造	-36205	0.45	1	1	2	14340
野田	-36693	0.44	1	1	2	9982
芦原橋	-66215	0.00	0	1	2	5268

表 4 から, 全体的な傾向として, 死亡事故件数が多い駅ほど B/C が大きくなる傾向があると読み取れる. ゆえに, 死亡事故の発生件数が多い駅から順にホームドアを設置していくと, 費用便益分析の観点から効率的であるといえる.

6. 今後の課題

今後の課題として, 初めに, ロープ式ホームドアの事故防止効果と, 従来型ホームドア, バー式ホームドアの事故防止効果を同一であると仮定している点である. ホームドアの種類の違いによって, 設置費用やホーム改修費用に関しては, 差が生じる. しかし, 今回の仮定の下では, 便益に関して, ホームドアの種類によって, 差が生じないので費用が小さいものを選択することが最善策となってしまい, 現実に即さない部分が生じてしまう.

次に, 平均遅延時間を算出する際に, 簡易化するための仮定条件を用いたため, 現実とのずれが生じている可能性がある点である. 今回は, 平常時の乗車率は, 時間帯によらず 50%, ダイヤ復旧時の乗車率を 100%と仮定した. しかし, 実際の乗車率は, 路線, 時間帯等によって大きく異なると考えられる. また, ダイヤ復旧時の乗車率は, 100%を大幅に上回ると考えられる. ゆえに, 乗車率が異なっても, 同様の方法で遅延時間を算出できるように改良する必要がある.

参考文献

1) 国土交通省： 「～鉄軌道輸送の安全に関わる情報（平成 29 年度）を公表～」, 2022
https://www.mlit.go.jp/common/001246185.pdf (2023 年 10 月 11 日閲覧)

2) 高橋雄一・丁瑞・吉越有沙・吉元康真：「京浜東北線におけるホームドア導入に関する費用便益分析」, 東京大学公共政策大学院, 2014

http://www.pp.u-tokyo.ac.jp/graspp-old/courses/2014/documents/graspp2014-5113090-2.pdf (2023 年 10 月 11 日閲覧)

3) 鉄道人身事故データベース, https://jinshinjiko.com/routes/145 (2023 年 10 月 11 日閲覧)

4) 佐藤祐一：「鉄道人身事故データベース 2002～2009」, 柘植書房新社, 2011

5) 吉澤智幸・高田和幸：「鉄道事故に起因する時間費用の推定方法に関する研究」, 土木計画学研究講演集, 2004, p4 http://library.jsce.or.jp/jsce/open/00039/200411_no30/pdf/7.pdf (2023 年 10 月 11 日閲覧)

6) 秋山和輝・ 伊地知将史 ・千松薫 ・永井彩香 平野成美 ・藤井淳：『「駅プラットホーム危険度評価表」の作成』, 早稲田大学, ISFJ 政策学生会議, 2013 , p33-p37

7) 国土交通省：「交通事故減少便益の原単位の算出方法」, 2008 https://www.mlit.go.jp/road/ir/ir-council/hyouka-syuhou/4pdf/s2.pdf (2023 年 10 月 11 日閲覧)