

都市内鉄軌道網へのパルス・タイムテーブル・システム導入に関する研究*

A Study on Introductions of Pulse Timetable System to City Rail Network*

野中 邦宏**・波床 正敏***

By Kunihiro NONAKA**・Masatoshi HATOKO***

1. 研究の背景と目的

大都市内には鉄軌道路線が多数あるが、その相互の路線の乗り継ぎ利便性は必ずしも良好ではない。異なる路線間の乗り継ぎにおいては列車の待ち時間、切符の買い替え、徒歩での乗り場間の連絡の問題がある。このような乗り継ぎについては、改善検討がなされている都市もある。例えば京都市交通局では、烏丸御池駅において午後9時以降の地下鉄烏丸線（南北）と東西線を等間隔とし、交互に到着させることで乗り継ぎ時間を5分程度に均等化することを発表している¹⁾。しかし、市内全体の鉄軌道路線ではこのような乗り継ぎ利便性の向上について改善や検討がされておらず、不十分なままである。

鉄道ネットワークの乗り継ぎ利便性を高める方法としては、スイスの幹線鉄道において運行周期をパターン化し、主要駅での乗り継ぎが改善されている。これは1987年計画のRail 2000^{2) 3)}によるもので、16年間かけて鉄道網の整備がされている。このようなシステムをパルス・タイムテーブル・システム（Pulse Timetable System 以下、PTS と省略）と呼ぶ。スイスでは主要駅間の所要時間を30分の倍数にし、実際の運行は30分よりも少し短い時間としている。これにより、主要連絡駅でほぼ同じ時刻に各方面からの列車が到着し、相互の乗り換えの後、ほぼ同じ時刻に各方面へ発車してゆく。

このような背景の下、本研究では京都市内交通の重要な骨格をなす鉄軌道ネットワークを例として、ダイヤ調整によるPTSを構築し、出発地から目的地への乗り継ぎの利便性を高められるのかについて研究を行った。

本研究では、京都市内の鉄軌道ネットワークを対象とし、主として運行周期と発着のタイミング（ダイヤ）

の調整によって市内主要地間の移動利便性の向上を図ることを目的とする。スイスの幹線鉄道で実用化されている乗り継ぎ利便性向上策であるPTSを適用して、京都市内の主要地間の移動に要する時間を求めた。

2. 京都市内の鉄軌道路線について

現在の京都市内の鉄軌道路線は、図1のように7事業者17路線ある^{5) 6) 7)}。本研究では、相互の鉄道会社路線による乗り継ぎ駅として図1の○又は●で示している駅を対象とする。また、各鉄道会社の主要駅も○で示している。

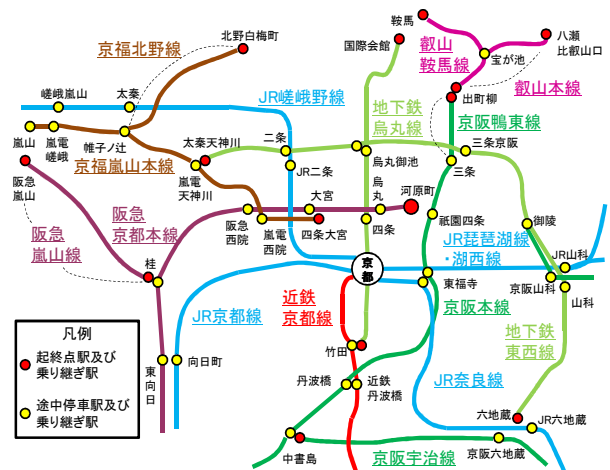


図1 京都市内の路線図

3. 毎時の運行本数と所要時間

各路線の駅間の所要時間と毎時の運行本数は、各駅停車列車をもとに設定し、時間帯は10時台から15時台とした。また、毎時の本数もこの時間帯の本数とし、JTB私鉄時刻表2009年春号西日本版（JTBパブリッシング、2009年）とJTB時刻表（2009年11月号、JTBパブリッシング、2009年）により調査した。日中時間帯は運行本数が朝夕ラッシュ時間帯と比べ少なく、運行本数や所要時間がほぼ一定であるため、この時間帯を選択した。

*キーワード：公共交通計画、鉄道計画、パルスタイムテーブルシステム

**学生員、大阪産業大学工学研究科都市創造工学専攻

***正員、博士（工）、大阪産業大学工学部都市創造工学科

（大阪府大東市中垣内3-1-1、TEL:072-875-3001、

E-mail : hatoko@ce.osaka-sandai.ac.jp)

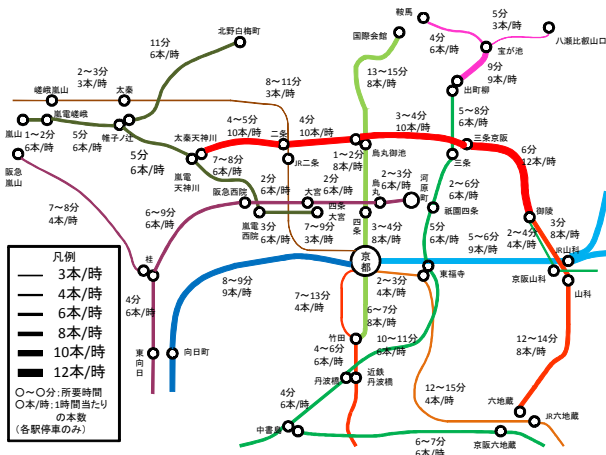


図2 各路線の毎時の運行本数と所要時間

図2に示した毎時の運行本数は、各路線で異なっているため、線の太さで表している。所要時間も運行状況によって異なるため、各区間での最短時間と最長時間の範囲で表わしている。

4. 乗り継ぎ時間の調査

乗り継ぎ時間の計測は、歩測で行った。徒歩速度は個人差があるため^{8) 9)}、まず、調査員(野中)の歩行速度を計測した。地点A及びB点間(直線距離100m)を5往復(計10回)した結果、100mを移動するのに要した時間は、平均1分27秒であった。これより、速度は、1.14m/sとなる。本研究では歩行速度を1.1m/sとした。この1.1m/sという歩行速度は平均的な歩行速度1.3m/sよりも遅く設定されており、乗り継ぎ時間は長めになっている。

乗り場間の乗り継ぎ所要時間の調査方法は図3のように行った。乗り継ぎ元の列車については、乗り継ぎ経路となる階段等に最も近い乗降口を使い、同様に乗り継ぎ先の列車についても、階段等に最も近い乗降口を使うと仮定し、これら乗降口間の移動に要する時間を上述の調査員の歩測によって計測した。その結果を図4に示した。また、図5には京都駅についての拡大図を示した。

図4の乗り継ぎ所要時間の調査結果では、太秦-帷子ノ辻間及び河原町-祇園四条間、東向日-向日町間は乗り継ぐことは可能であるが、11分以上要しており乗り継ぎ利便が良いとはいえない。また、六地蔵での京阪宇治線と地下鉄東西線及びJR奈良線間との乗り継ぎでは、駅間の距離が大きいので、所要時間も大きく不便ではあるが、調査時には多くの人を利用していた。

図5の京都駅での乗り継ぎ所要時間の調査は、駅構内図¹⁰⁾に乗り継ぎルートとして案内されているルー

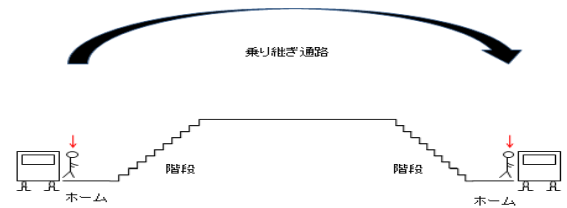


図3 乗り継ぎ所要時間の調査方法

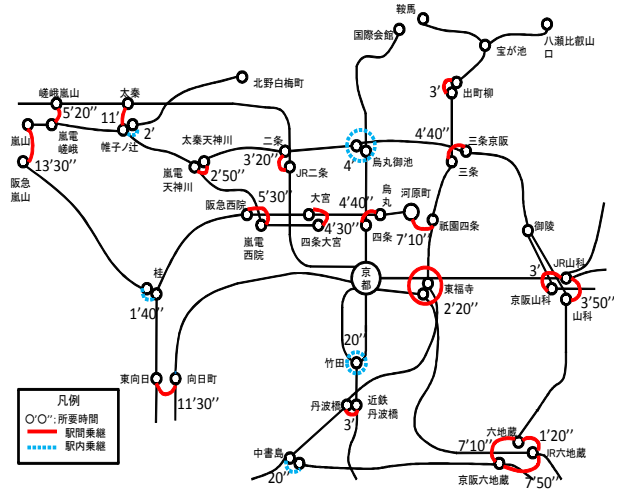


図4 乗り継ぎ所要時間の調査結果(京都市内)

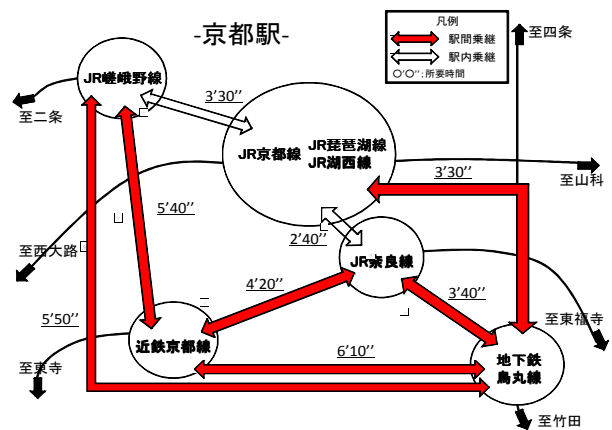


図5 駅間及び乗り場間での乗り継ぎ所要時間の調査結果(京都駅の拡大図)

トを採用した。また、複数の乗り継ぎルートが考えられる場合は所要時間が長く掛かるルートの方を選択し、そのルートの所要時間を乗り継ぎ所要時間とした。例えばJR京都線、JR琵琶湖線または湖西線とJR奈良線との乗り継ぎでは、駅構内の西口通路と地下通路の2種がある。乗り継ぎ所要時間の結果では、西口通路は2分40秒、地下通路では2分30秒であった。この場

合では、西口通路が地下通路よりも10秒の所要時間が長く掛かるため、西口通路のルートを選択した。この理由として実際は、西側の西大路へ出発する JR 京都線と東側の山科へ出発する JR 琵琶湖線・湖西線のホームは2か所ある。JR 京都線と JR 琵琶湖線は JR 東海道本線であるのでホームを1か所と考えたためである。

5. パルス・タイムテーブル・システムについて

(1) パルス・タイムテーブル・システムとは

パルス・タイムテーブル・システム（以下、PTS）²⁾⁴⁾は、鉄道やバスなどの運行周期をパターンダイヤにし、主要駅での全路線の相互乗り継ぎをスムーズに行えるようにしたシステムのことである。このシステムを実施するには、ダイヤ構成上、いくつかの条件がある。以下にその条件を示す。

(2) 基礎条件

PTS を構築する際、路線ごとに運行周期が異なると、乗り継ぎが成功したり失敗したりするため、まず次の条件が必要である。

①乗り継ぎ元と乗り継ぎ先の運行間隔をそろえること

また、乗り継ぎ時間が長すぎると利便を損なうので、次の条件が必要である。

②不必要に乗り継ぎ先の出発時刻を遅らせないこと

(3) 閉ループを持たないネットワーク

PTS を導入しようとしている公共交通ネットワークが、**図6**のように、唯一の乗り継ぎ拠点しか持たないネットワークでは、周期をそろえておけば、各リンクの所要時間に関する制約はない。例えば、A~H 駅のいずれかを出発して X 駅を経由し、A~H 駅のいずれかに向かう場合、X への到着時刻を決めれば、A~H の出発時刻または到着時刻は AX~HX との各リンクの所要時間だけを用いて決めることができる。

(4) 閉ループであるネットワーク

もし、**図7**のような閉ループを持つネットワークの場合の次のような関係が成立する。

例えば、公共交通の運行周期を T とし、ある地点 U

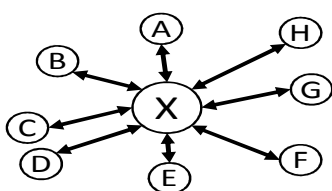


図 6 閉ループを持たないネットワーク

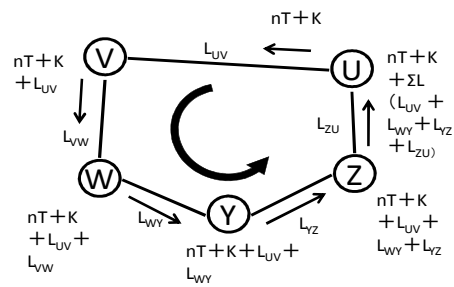


図 7 閉ループであるネットワーク

駅を時刻 $t_U^{(Dep)}$ に出発し、ループに沿って一周し、元の U まで持ってくることを考える。このときの経路上のすべてのリンクの運行周期を T とする。

$$t_U^{(Dep)} = nT + K \quad (1)$$

n は整数、K は基準時刻からのズレである。

リンク UV の走行時間を L_{UV} とすると、V の到着時刻は次のようになる。

$$t_V^{(Arr)} = t_U^{(Dep)} + L_{UV} = nT + K + L_{UV} \quad (2)$$

以下、同様にして一周してもとの W の手前の Z 駅まで達した時の Z 駅への到着時刻を $t_Z^{(Arr)}$ ($=t_Z^{(Dep)}$) とすると、1 周して、もとの U に到着する時刻は次式のようになる。

$$\begin{aligned} t_p^{(Arr)} &= t_z^{(Dep)} + L_{ZU} \\ &= nT + K + L_{UV} + \dots + L_{ZU} \\ &= nT + K + \Sigma L \end{aligned} \quad (3)$$

PTS が実現した状態では、再び U に戻った際にも速やかに乗り継ぎが行わなければならないので、(1) (3) より、次の条件を満たす必要がある。

$$\begin{aligned} t_U^{(Arr)} &= t_U^{(Dep)} = nT + K = n'T + K + \Sigma L \\ mT &= \Sigma L \end{aligned} \quad (4)$$

n' 及び m は整数である。すなわち、次の条件が必要となる。

③ネットワーク上の閉ループについて、一周した際のリンク走行時間の総和は、運行周期の整数倍でなければならない。

(5) 複数の乗り継ぎ拠点がある場合のネットワーク

図8では複数の乗り継ぎ拠点間（交通結節点間）があるが、それぞれの乗り継ぎ拠点だけについて着目すれば、(3)で述べたように中心となるノードへの集合時刻さえ決めておけば各リンク間の相互の円滑な乗り継ぎが可能である。ところが、**図8**のように複数の乗り継ぎ拠点がある場合では、次のような関係が成り立つ。

$$t_J^{(Arr)} = t_I^{(Dep)} + L_{IJ} \quad (5)$$

$$t_I^{(Arr)} = t_J^{(Dep)} + L_{JI} \quad (6)$$

また、 $t_I^{(Dep)} = nT + K$ (7)

(5)と(7)、及び(6)と(7)より、 $t_{JI}^{(Arr)} = t_I^{(Dep)}$ 、 $t_J^{(Arr)} = t_J^{(Dep)}$ 、 $L_{IJ} = L_{JI}$ を考慮すると

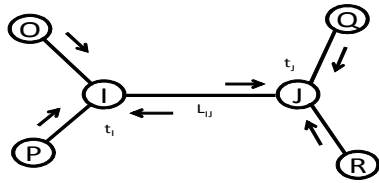


図8 複数の乗り継ぎ拠点間があるリンク

$$t_J^{(Arr)} = nT + K + L_{IJ} \quad (8)$$

$$n'T + K = t_J^{(Dep)} + L_{IJ} \quad (9)$$

となる。したがって、次の条件が導きられる。

$$n'T + K = nT + K + 2L_{IJ}$$

$$mT = 2L_{IJ} \quad (10)$$

n' と m は整数である。すなわち、次の条件が必要となる。

④乗り継ぎ拠点間のリンク走行時間は、運行周期の半分の整数倍でなければならない。

6. 京都市内鉄軌道における PTS

(1) PTS 構築手順

本研究における PTS 構築手順は、次のようになる。

図9より、まずネットワーク全体の運行周期： T を決める。この例では $T=10.0$ 分とする。

次に図10のように、駅間の運行周期を $T/2$ の整数倍となるようにする。運行周期 10.0 分の場合 $T/2=5.0$ 分となり、嵯峨嵐山-嵐電嵯峨間の所要時間 10 分は $T/2=5.0$ 分の整数倍になっている。さらに、ループに沿った全体の所要時間は、 T の整数倍となるように調整する。

図10では、1周すると30分となり、 $T=10.0$ 分の整数倍となっている。また、●と○は毎時での出発時刻を示しており、●の駅では、0、10、20、・・・、50分の時刻に出発し、○の駅では、5、15、25、・・・、55分の時刻に出発することを示している。

以上の手順は、駅での乗り継ぎに余裕時間を考えていない。しかし、実際の乗り継ぎにおいては、乗り継ぐための余裕時間は必要であるため、次のように余裕時間を考えることとした。

図11のように乗り継ぐための余裕時間を確保するために、路線の区間所要時間から1分を差し引く（例えば嵯峨嵐山-太秦間の所要時間5分を4分に）が、徒歩の区間の所要時間はそのままとした。

(2) PTS 構築結果

PTS 構築にあたり運行周期を毎時の運行本数が8本となる $T=7.5$ 分、毎時の運行本数が10本となる $T=6.0$ 分、毎時の運行本数が6本となる $T=10.0$ 分の3種につ

いて分析した。PTS 構築手順については、前述の手順で行った。余裕時間は1分とした。

例として、運行周期： $T=10.0$ での乗り継ぎの余裕時間を1分考慮した場合（図12に京都市内図、図13に京都駅の拡大図）を示した。図12と図13の数値は現状の区間所要時間とPTS構築結果としての所要時間との差を示したものである。

図12では、所要時間が長くなっている区間は点線、短くなっている区間は太い実線、所要時間が変わっていない区間は細い実線で示している。運行周期 10.0 分では、運行本数は毎時6本であるため、他の運行周期に比べて少なくなるが、各駅に停車する路線を対象としているので運行本数は概ね適切だと考えられる。所要時間が短くなる区間があるが、1分以下の時間短縮であるため改善しやすく、出発時刻が10分単位でわかりやすいのが特徴である。また、嵐電嵯峨-阪急嵐山線桂間では現状の運行時間及び歩測時間より30秒短くなっているが、阪急嵐山線と阪急京都本線との乗り場間（駅内）乗り継ぎ駅である桂駅で、乗り場間の所要時間を嵐電嵯峨-阪急嵐山線・桂間と含めて1つのルートと見なすと、2分50秒長くすることができる。

現状の所要時間

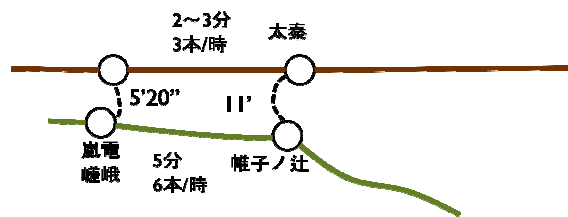


図9 PTS 構築手順

● 毎時の出発時刻
0, 10, 20, 30, 40, 50 分発
○ 毎時の出発時刻
5, 15, 25, 35, 45, 55 分発

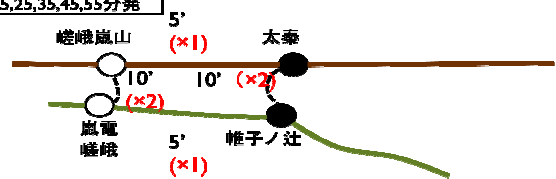


図10 PTS 構築手順

● 毎時の出発時刻
0, 10, 20, 30, 40, 50 分発
○ 毎時の出発時刻
5, 15, 25, 35, 45, 55 分発

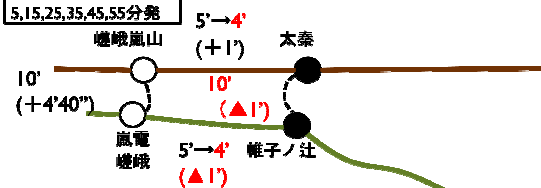


図11 PTS 構築手順

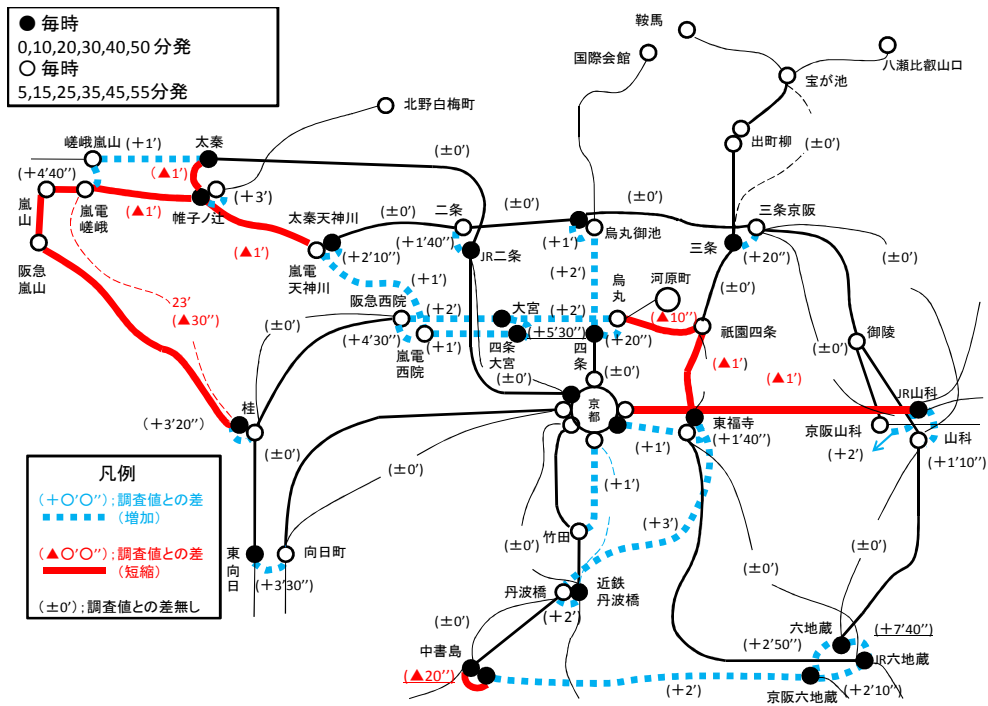


図12 運行周期10.0分で乗り継ぎの余裕時間1分考慮した場合：京都市内図

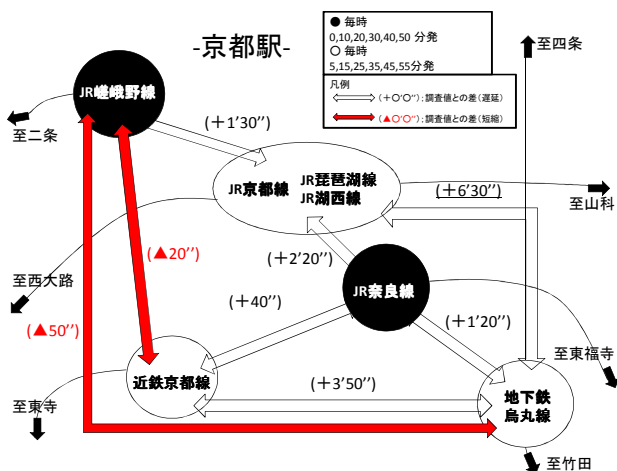


図13 運行周期10.0分で乗り継ぎの余裕時間1分考慮した場合：京都駅の拡大図

図13では、所要時間が長くなっている区間は白抜きの矢印、短くなっている区間は黒色の矢印で示している。連絡時間が短くなっている区間は、JR嵯峨野線と近鉄京都線との間で20秒、JR嵯峨野線と地下鉄烏丸線との間で50秒となった。また、その他の区間では歩測時間より長くなっており、所要時間に下線が引かれている地下鉄烏丸線とJR京都線・琵琶湖線・湖西線との間は、6分30秒増となった。

7. 運行周期の比較分析

各運行周期 (T=7.5分、6.0分、10分) の比較は、市役所及び区役所の最寄り駅間¹¹⁾の移動に要する所要時間で行った。用いたPTS構築結果は、各運行周期で乗り継ぎの余裕時間1分を考慮した場合である。全316あるODの重みは全て同じとした。

表1 最寄り駅間で要する時間の合計及び平均時間

	運行周期6.0分	運行周期7.5分	運行周期10.0分
合計所要時間(分)	7619.60	8204.94	7858.60
平均所要時間(分)	24.11	25.97	24.87

表1は市役所及び区役所の最寄り駅間の移動に要する時間の合計所要時間、平均所要時間を示している。所要時間には乗り継ぎ時の時間は含まれるが、出発時の待ち時間は含まれていない。表1より運行周期6.0分が他の運行周期に比べて、合計所要時間及び平均所要時間が短くなった。運行周期6.0分を基準として平均所要時間を他の運行周期と比べると、T=7.5分は+1.86分、T=10.0分は+0.76分であり、運行周期6.0分と10.0分との差はあまりない。T=6.0分は良好だが、本数が多く実現しにくい路線もある。T=10.0分は本数が少なくても比較的良好だったため、実現性が高いと思われる。

8. 今後の課題

本研究では手作業によるPTS構築を行った。今後は、

①制約条件付きの連立方程式を用いて PTS を構築、② GA (Genetic Algorithm、遺伝的アルゴリズム) を用いた PTS の分析などの改善が考えられる。また、③余裕時間として考慮した乗り継ぎ時間の設定時間を 1 分としたことについての再検討、④現状の運行ダイヤとの比較分析、⑤バス路線も含めた PTS 構築、⑥バス路線の遅れなどの考慮が考えられる。

【参考文献】

- 1) 京都市情報館：地下鉄最終列車の全方向乗り継ぎ「シンデレラクロス」の実施について，2010 年 1 月 29 日
- 2) Hans Leister：「スイスそしてヨーロッパで成功したダイヤグラム、パルスタイムテーブル・システム」，鉄道ファン Vol. 47，2007 年 11 月号，pp. 150-153，交友社，2007 年
- 3) SBB: Rail 2000 – A Public Transport Network for the Third Millennium,
<http://mct.sbb.ch/mct/en/bahn2000-summary.pdf>
- 4) 波床 正敏・中川 大：「公共交通網におけるパルスタイムテーブルシステム成立条件に関する研究」，土木計画学研究・論文集，Vol. 24-4，pp. 693-702，2007 年
- 5) 今尾 恵介：「鉄道手帳 西日本編」，東京書籍，2009 年
- 6) JTB 私鉄時刻表 2009 年 西日本版，JTB パブリッシング，2009 年
- 7) 川島 令三：「日本の鉄道 東海道ライン全線・全駅・全配線」，第 6 巻，米原駅-大阪エリア」，講談社，2009 年
- 8) 不動産公正取引協議会連合会：「不動産の表示に関する公正競争規約施行規則：第 5 章表示基準第 11 条(10)」，2002 年
- 9) 塚口 博詞・塚本 直幸・日野 泰雄：「交通システム」，国民科学社，pp. 91-93，1996 年
- 10) JR 西日本HP：「JR おでかけネット，構内図-京都駅-」，
<http://www.jr-odekake.net/eki/premises.php?id=0610116>，2009 年
- 11) 京都市情報館：各区役所のページ，
<http://www.city.kyoto.lg.jp/>