

論文の内容の要旨

氏名：田 川

博士の専攻分野の名称：博士（工学）

論文題名：個別輸送システムにおける輻輳現象のモデル化と解析に関する研究

本論文は、個別輸送システム（Personal Rapid Transit, PRT）を対象にしている。PRT は、少人数乗りで自動運転を基本とするタクシータイプの新交通システムである。PRT の軌道ネットワークにおいて、混雑した状況が発生しやすい合流部は、システムの円滑な運行を妨げるボトルネックになる。したがって、本研究では、PRT システムのボトルネックとなる合流部やインターチェンジを対象にしている。このようなシステム全体の設計において、合流部やインターチェンジにおける効率的な合流制御方式を検討することは、システムを実現する立場からも重要な課題である。第2章では、本論文で扱う合流部モデルとインターチェンジモデルの概略について述べる。

合流部に関する問題は、一般道路交通も含め、既に数多くの研究が行われている。一般的に合流制御戦略は、空間的制約、時間的制約、および両方を合わせたものの三種類が考えられる。しかし、これらの研究ではいずれの方式も Gap Acceptance Model に代表されるように走行する車両間の Gap に他の車両を合流させるものである。本論文で扱う合流部は、1台の車両が別々に走行するのではなく、場合によっては列車編成の状態で行くシステムである。フランスで開発された ARAMIS では、車両が軌道上で約 300mm の間隔で電子的制御によって相互に結合され、列車編成の状態を保って走行する。このような車両運行制御方式を行う理由は、出力路線側の容量が限られている中で、PRT の輸送能力を向上させるためである。また、合流部において車両を連結させるとき、たまたま合流部に同時に到来した車両同士を連結させる方法の他に、1台で合流部に到来した車両は他の車両が到来するまで待たせる方法も考えられる。しかし、後者の方法をとるとき、旅行時間の観点からすれば待っている車両を無制限に待たせてしまうことは好ましくない。このため、車両の待ち台数に制限（制限台数）を設ける。第3章では、このような合流部モデルの待ち台数の制限と車両挙動の関係に関する基礎的な検討を行う。さらに、一方の制限台数を 0 とした場合や無限大とした特別な場合についても解析的に明らかにする。車両が連結して走行する輸送システム合流部において、マルコフ連鎖の手法を用いて数理モデルを構築し、平衡状態確率分布および各 Line の平均待ち台数を解析的に求めた。また、各 Line の平均待ち台数の式と M/M/1/N 待ち行列システムとの対応関係や両路線の制限台数の値が互いに影響し合う相互関係が存在することなどを明らかにした。さらに、各 Line の車両到来確率が等しいとき、1台で出力される車両の割合が最小となり、制限台数と1台で出力される車両の割合との関係を定量的に明らかにした。今回の解析から一方の制限台数が無限に近づく場合にのみ、待ち行列長の発散条件が存在し、制限台数を設けない路線側の平均待ち台数の式が M/M/1 待ち行列システムと類似の結果となることもわかった。なお、第3章の連結走行する個別輸送システム合流部において、軌道ネットワークを考えた場合、合流部からの出力は、次の合流部の入力となっている。したがって、今後の課題として、連結されて出力する車両や1台のみで出力する車両の合流部からの出力時間間隔分布などについても検討が必要である。

次に、一般的に合流部は PRT システム全体の中の一つのサブシステムとして考えられる。さらに、軌道ネットワーク内に複数の合流部が存在し、高速路および低速路の重なり合った二重構造となっている。ネットワーク全体の輻輳解析を行うことは、システムを実現する立場からも重要な課題であると考えられる。したがって、第4章では、インターチェンジのモデルを検討する。インターチェンジに関する研究では、インターチェンジの形態から、高速路同士、低速路同士、および高速路と低速路とのインターチェンジの3種類が報告されている。高速路と低速路とのインターチェンジは、一般的に立体交差であり、合流部においては高速路上の車両が低速路上の車両よりも優先される点が他のインターチェンジと異なる特徴であり、本論文のインターチェンジモデルとして扱う。従来研究では、低速路上の分岐希望車と直進希望車の待ち時間分布が異なってしまう数理モデルの構築が困難などの理由から、低速路から高速路への合流のみを考慮したインターチェンジモデルであり、高速路から低速路への合流は考慮されていない。すなわち、高速路上には直進希望車しか到来しないものとしてい

る。しかし、実際のインターチェンジでは、高速路から低速路への合流を希望する分岐希望車も存在するため、この点を考慮しなければ実際の輻輳現象を明らかにしたことはない。そこで、本論文の第4章において、本線から副線に合流する車両も考慮した数理モデルを隠れマルコフ連鎖の手法を用いてインターチェンジの数理モデルを構築し、平均待ち台数や平均待ち時間などのシステム評価の指標となる諸量を解析的に求める。ただし、本論文では平均待ち台数を減少させるために待ち回数に制限を設けたが、それにより迂回が発生する。しかし、少しの迂回により、大幅に平均待ち台数を減少させられることを定量的に明らかにし、具体的に制限待ち回数の値を検討するための手がかりを示すことができた。これらの結果、PRTシステムの設計や制御方式の検討に際して有用な資料を提供することができた。また、PRTシステムのネットワーク全体を対象にした詳細なシミュレーションにおける各種パラメータの設定やシミュレーション結果の整理にも役立てることができる。なお、第4章のインターチェンジモデルにおいて、分岐点以降で車両を待たせる方法も考えられる。ただし、待ち行列が異なる2個所に形成され、それぞれの待ち行列が互いに独立ではないため、本研究で用いた隠れマルコフ連鎖によるモデル化の手法を適用することはできない。したがって、分岐点以降で車両を待たせる制御方式について詳細な検討を行う必要がある。

さらに、個別輸送システム以外では、生産システムにおいて、工場や倉庫の無人化に有用なAGVS (Automated Guided Vehicle System) もまた本論文で想定している輸送システムの一つであり、本論文の成果を応用することができる。AGVS運用上の問題点としては、同一の搬送系内に複数のAGVが走行している場合、AGV間での干渉が発生することが挙げられる。合流部でのブロッキングやデッドロックといった車両同士の干渉は、生産システムのスケジューリングに影響を与えるため、生産効率の低下や製造コストの増大につながる。したがって、本研究の結果からAGVシステム合流部の設計や評価に対して有益な資料を提供することができる。