

# 自動運転時代の貨物輸送網の実現に関する検討 —情報通信網との類似性に着目して—

On the mechanism for unmanned freight transport between shipper-sorter-shipper analogous to the mechanism of information communication



増田悦夫：流通経済大学 流通情報学部 教授

## 略 歴

1977年3月電通大修士修了。同年4月日本電信電話公社（現在NTT）入社。2002年3月NTT退職。同年4月より現職。日本物流学会・電子情報通信学会などの会員。

[要約] 少子・高齢化の進行に伴う人手不足が深刻化する事態を背景に、人手介在を減らす自動化の動きが積極的に進められている。貨物輸送の分野においても、自動運転・無人運転を社会実装するための取り組みや拠点作業を自動化する取組みが積極的に進められている。

本稿では、完全自動運転の社会実装が可能な時代における貨物輸送網の実現に関する検討を行った。完全自動運転が社会実装される時代には、全自動の貨物輸送の可能性も否定できないことより、元々人手介在を必要としない情報通信網との類似性を考慮しつつ貨物輸送網の実現について検討を行ない、一案として、自動走行・自動仕分けを基本とする、ATM (Asynchronous Transfer Mode、非同期転送モード) ベースの貨物輸送網を提案した。

キーワード 貨物輸送、自動走行、自動仕分け、自動運転、情報通信、ATM

## 1. はじめに

少子・高齢化の進行に伴う人手不足が深刻化する事態を背景に、ロボット、IoT、AIなどを活用し、人手介在を減らす自動化の動きが積極的に進められている。輸送分野においても、車両の運転を自動化・無人化する<sup>注1)</sup> 取り組みや拠点作業を自動化する取組みが積極的に進められている。輸送の自動化により、人手不足への対応が可能となるだけでなく、

車間距離の維持や短縮による燃費の向上、事故や渋滞による経済的損失の削減などの効果も期待できる。運転の自動化については、自動運転バス・タクシーや同トラックの社会実装に向けた各種実験、3次元高精細地図の整備、特にレベル3以上の高度自動運転に対応可能な法律の整備などが進められている。また、拠点作業の自動化においても、搬送や荷役を支援する各種ロボットが開発され、実導入が進められつつある。さらに、自動運転車を利用する未来の移動（モビリティ）サービスのコンセプトも登場してきている<sup>[1] [2]</sup>。

本稿では、完全自動運転の社会実装が可能

な時代における貨物輸送網について、情報通信網との類似性の観点から基礎的な検討を行ない、実現方法の一案を提示する。第2章では、貨物輸送における最近の課題を示し有効なひとつの対応策としての自動運転について取り組み状況を示す。第3章では、貨物輸送の分野に自動運転を導入する際の課題を、①自動運転自体を社会実装するための課題と②社会実装が可能な時代の貨物輸送網をどのように実現するか課題の2つに大別し、本稿では②の課題を扱うことを示す。第4章では、自動化が進む貨物輸送網の仕組みが情報通信網の仕組みに似てくる可能性があることを考慮し、両者の類似性について整理する。さらに、第5章では、情報通信網のノードにおけるスイッチングを効率的に行えるATM(Asynchronous Transfer Mode、非同期転送モード)方式を取り上げ、その仕組みや特徴を整理するとともに、それを応用した、自動運転時代の貨物輸送網の実現イメージを提案する。第6章では、今後に向けての課題や展望を述べる。

## 2. 貨物輸送における課題と自動運転

まず、貨物輸送における最近の課題を示し、有効なひとつの対応策としての自動運転について最近の取り組み状況を示す。

### 2.1 貨物輸送における最近の課題<sup>[3]</sup>

貨物輸送の分野が直面する課題として、①トラックドライバーの不足への対応や労働環境の改善、②小口・多頻度化に伴う非効率な

輸配送の改善、③ネット通販の増加に伴う宅配需要の増加への対応としてのラストマイル配送の効率化などが挙げられている。①については、大型トラックドライバーが2020年には約10.6万人、2030年には約8.6万人不足すると予想され(鉄道貨物協会)、また、1運行当たりの平均拘束時間が荷待ちありのケースで約13時間半と長くなっている(国土交通省)。②についても、営業用トラックの2011～2015年の積載効率が40%余りと低い状態が続いている(国土交通省)。③については、2割前後を占める再配達率の削減や①のドライバー不足への対応などから各種取り組みが進められている。

### 2.2 対応策としての自動運転

節2.1に挙げた課題への対応策として、人手不足や輸送能力拡大のための(後続無人)隊列走行や自動運転車の導入、規制緩和による輸送効率改善のための貨客混載方式の導入、労働環境改善のための中継輸送の導入などが行われつつある。自動運転の社会実装化は、貨物輸送の最近の課題を改善するための有力な対応策と考えられており、官民が一丸となって取り組みを進めている。最新のロードマップは、図1のようになっており<sup>[4]</sup>、トラックの自動運転技術の確立、商用化に向けた取り組みが進められている。

1) 高速道路での隊列走行トラック(レベル2)の実現

2018年度より、後続無人隊列システムの公道実証試験が開始され、2020年度には高速道路(新東名)での後続無人隊列走行技術を確

図1 2019年版官民ITS構想・ロードマップと主な改定項目<sup>[4]</sup>

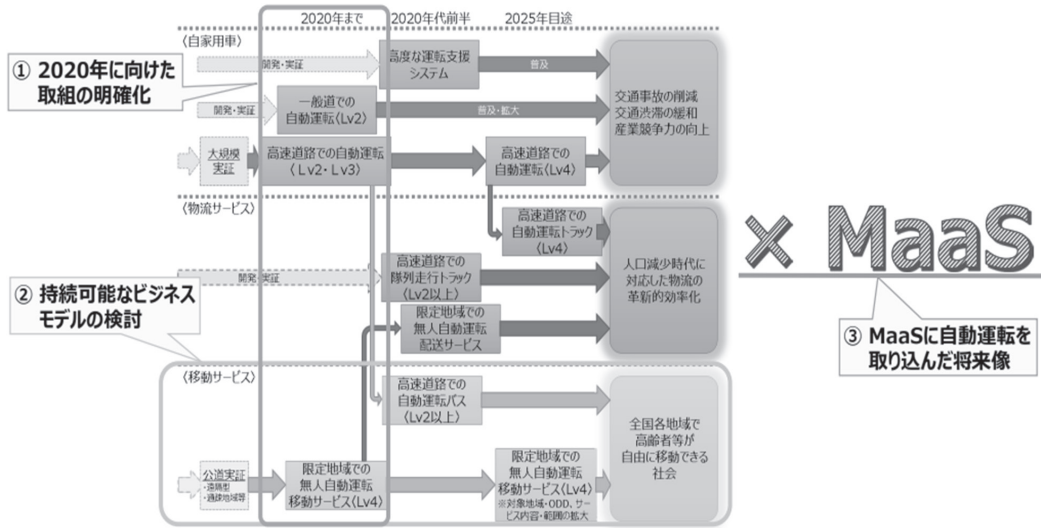


図2 自動運転に関する2018年度以降の実証実験（2019年3月時点）<sup>[4]</sup>

■ 地方部における自動運転による移動サービス(国交省/内閣府SIP)	■ 空港制限区域における自動運転(国交省)	■ ラストマイル自動運転(経産省&国交省)
<ol style="list-style-type: none"> <li>2018.12~2019.2 秋田県上小阿仁村 道の駅「かみこあに」</li> <li>2019.1~3 熊本県戸北町 道の駅「戸北でこぼん」</li> <li>2019.5~6 北海道大樹町 道の駅「コスモール大樹」</li> <li>2018.11 長野県伊那市 道の駅「南アルプス長谷」</li> <li>2018.11~12 福岡県みやま市 みやま市役所 山川支所</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>2018.12 仙台空港 豊田通商</li> <li>2018.12, 2019.1 成田空港 鴻池運輸、ZMP、丸紅</li> <li>2019.1, 2 羽田空港 愛知製鋼、NIPPO、日本電気、SBドライブ、先進モビリティ</li> <li>2019.2以降 中部空港 アイサンテクノロジー、ダイナミックマップ基盤、丸紅、ZMP</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>2018.10 茨城県日立市 日立市、産総研、SBドライブ等</li> <li>2019.2 石川県輪島市 輪島市、輪島商工会議所、産総研、ヤマハ発動機等</li> <li>2018.10~11 福井県永平寺町 永平寺町、福井県、産総研、ヤマハ発動機等</li> <li>2019.1~2 沖縄県北谷町 北谷町、産総研、ヤマハ発動機等</li> </ol>
<b>■ ニュータウンにおける自動運転サービス(国交省/内閣府SIP)</b> <ol style="list-style-type: none"> <li>2019.2 東京都多摩市 日本総研、京王電鉄バス</li> <li>2019.2 兵庫県二木市 日本工営、大和ハウス</li> </ol>	<b>■ 自治体、民間又は大学 (※主な実証実験を記載)</b> <ol style="list-style-type: none"> <li>2018.4 神奈川県藤沢市 ヤマト運輸、DeNA</li> <li>2018.4 岡山県赤松市 SBドライブ、宇野自動車</li> <li>2018.4 福島第一原子力発電所 東京電力、SBドライブ</li> <li>2018.8 東京都千代田区 東京都、日の丸交通、ZMP</li> <li>2018.8~ 兵庫県神戸市 神戸市、日本総研、関西電通、NTTデータ、群馬大、沖電気等</li> <li>2018.9 神奈川県藤沢市 神奈川県、小田急、SBドライブ</li> <li>2018.11 群馬県前橋市 前橋市、NTTデータ、日本中央バス、群馬大</li> <li>2018.11 長野県飯田市 飯田市、KDDI、アイサンテクノロジー</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>2018.12~ 岩手県大船渡市 JR東日本、先進モビリティ、愛知製鋼、京セラ、ソフトバンク、日本信号、日本電気</li> <li>2018.12 東京都三宅島 東京都、アイサンテクノロジー、群馬大</li> <li>2019.1 静岡県袋井市 静岡県、袋井市、名古屋大</li> <li>2019.2 愛知県一宮市 愛知県、KDDI、KDDI総研、アイサンテクノロジー、ティアフォー、名古屋大、岡谷鋼機、損保ジャパン日本興亜</li> <li>2019.2 東京都多摩市 東京都、神奈川県中央交通、SBドライブ</li> <li>2019.2~3 神奈川県横浜市 日産、DeNA</li> <li>2019.3 滋賀県大津市 大津市、京阪バス</li> </ol>

立し、さらに2022年度以降には高速道路（東京－大阪間）の長距離輸送等における隊列走行の事業化実現を目指している。

2) 高速道路での完全自動運転トラックの実現

自家用車における自動運転システムの技術面での進展や、隊列走行トラックの実証実験の成果等を鑑みつつ、高速道路での完全自動

運転トラック（レベル4）について、2025年以降の実現を視野に検討を進めている。また、限定地域での無人自動運転移動サービス（レベル4）の技術を応用する形で、2025年までに限定地域の無人自動配送サービスの実現を目指している。

図2に、2018年度以降に行なわれている、

自動運転に関する実証実験の状況を示す。

### 3. 貨物輸送における自動運転導入上の課題

貨物輸送の分野に自動運転を導入する際の課題は、(1) 自動運転自体を社会実装するための課題と (2) 社会実装が可能な時代の貨物輸送網をどのように実現するか、の2つに大別できる。

#### 3.1 自動運転自体の社会実装に向けた課題<sup>[5]</sup>

この課題の主要なものとしては、①車両の開発やそれとつながる道路の整備、②高精細三次元地図の整備、③車両との通信技術 (5G、V2X) の確立、④法整備が挙げられる (表1)。

1) 自動運転は、車と道路などがつながった1つのシステムと考えられ、自動運転を可能とする車両の開発だけでなく、車と連携する標識や標示、信号機などの道路側の整備も必要となる。

2) また、自動運転車が走行するためには、道路の傾斜や立体交差などの識別が可能な「高精細3次元地図」の利用が不可欠である。自動運転車は、GPSで求めた位置情報やセン

サーで求めた周囲の状況と高精細3次元地図とを照合させて自車位置を推定し走行経路を確認しながら走行する。

3) さらに、高精細3次元地図を基盤として、動的 (ダイナミック) に変化する渋滞、事故、路面、通行規制の状況などのリアルタイムな情報もネットワーク側から送り込む必要がある。このため、車両とネットワークとをリアルタイムに接続するミッションクリティカルな高性能通信方式 (5G、即ち、第5世代移動通信システム) も利用可能とならなければならない。その他、周辺の移動体 (車、人など) や施設 (信号機など) と双方向に通信できる機能 (V2Xと呼ばれる) の実現も求められる。

4) また、高度自動運転 (レベル3以上) の場合、ドライバーによる運転を前提とする現行の交通関連法規では対応仕切れないため、従来の法制度の全面的な見直し<sup>注2)</sup> がなされない限り公道を走らせることはできない。

#### 3.2 完全自動運転が社会実装される時代の貨物輸送網の実現課題

この課題の主要なものとして、①貨物輸送網における輸送業務の自動化、即ち、仕分け

表1 自動運転自体の社会実装に向けた課題

No	項目	内容
1)	車両の開発およびつながる道路の整備	自動運転は車と道路などがつながった1つのシステムで、自動運転を可能とする車両の開発だけでなく、それと連携する標識や標示、信号機などの道路側の整備も必要。
2)	高精細三次元地図の整備	自動運転車は、GPSで求めた位置情報やセンサーで求めた周囲の状況と地図とを照合させて自車位置を推定し走行経路を確認しながら走行するが、その際、道路の傾斜や立体交差などの識別が可能な「高精細3次元地図」の利用が不可欠。
3)	車両との通信技術 (5G、V2X) の確立	高精細3次元地図を基盤として、動的 (ダイナミック) に変化する渋滞、事故、路面、通行規制の状況などのリアルタイムな情報をネットワーク側から送り込む必要あり。車両とネットワークとをリアルタイムに接続する高性能通信方式 (5G) の他、周辺の移動体 (車、人など) や施設 (信号機など) と通信する機能 (V2Xと呼ばれる) も確立する必要あり。
4)	関連する法の整備	高度自動運転 (レベル3以上) の場合、ドライバーによる運転を前提とする現行の交通関連法規では対応仕切れない。従来の法制度の全面的な見直し <sup>注2)</sup> がなされない限り公道を走らせることはできない。

拠点での仕分け処理も含めた業務の自動化の実現、および②自動運転時代の貨物輸送の効率化、特に最適経路のリアルタイム設定、の2つが考えられる。

1) 貨物輸送網における仕分け処理も含めた業務の自動化の実現

貨物輸送網のノードに当たる仕分け拠点が無人で運用される際の、貨物仕分けの効果的な実現が求められる。完全自動運転の社会実装が可能な時代には、発荷主から着荷主まで、特に人が介在しない全自動の貨物輸送が可能となる可能性も否定できない。そうすると、「貨物輸送」の仕組みが、「情報通信」の仕組みに近くなるのではないかと考えられる。そこで、この課題の対策として、情報通信網との類似性からスイッチング方式の適用方法を検討するのが一案と考えられる。

2) 貨物輸送の効率化（即ち、最適経路のリアルタイム設定）

災害や事故、需要変動により予想される渋滞を回避し効率的な貨物輸送を実現するために、最適経路のリアルタイム設定を効果的に実現する必要がある。対策として、V2Xを利用したダイナミックデータの効率的収集とAIによる分析を用いたCPS/IoTの仕組みの確立が必要と考えられる。

本稿の第4章以降では、3.1節の課題が成功裏に解決し完全自動運転の社会実装が可能な時代を想定した上で、3.2節の特に1) の課題について検討を行う。

## 4. 貨物輸送網と情報通信網の類似性

本章では、貨物輸送網と情報通信網について、特に（1）運ばれる/伝達される対象の貨物と情報について基本的事項を比較対照し、その上で（2）貨物輸送と情報通信、さらに（3）貨物輸送網と情報通信網について、仕組みにおける基本的な類似性を示す。

### 4.1 貨物と情報

「貨物」と「情報」に関する基本的事項を比較対照し、表2に示す。

#### 1) 定義

「貨物」は陸、海、空などを經由して運ばれる物品。一方、「情報」は有線、無線等の媒体を介して伝えられる物事の内容や事情（コンテンツやデータなど）

#### 2) 特徴

「貨物」は価値(所有権)の移動を伴ったり、そうでなかったりする。一方、「情報」は、受け手の知識構造を変化させたり・判断を支援したり、そうでなかったりする。

#### 3) 取り扱う主体の呼称

「貨物」を取り扱う主体として、送り側は「発荷主」あるいは「荷送り人」、受け側は「着荷主」あるいは「荷受人」などと呼ばれる。一方、「情報」を取り扱う主体として、送り側は「発信者」あるいは「送信者」、受け側は「着信者」あるいは「受信者」などと呼ばれる。

#### 4) 取り扱う主体の属性

「貨物」を取り扱う主体の送り側、受け側の属性には、法人（在庫等を保持する事業者：

表2 「貨物」と「情報」の対照表

項目	貨物（注：荷物も含む）	情報（注：データも含む）
1) 定義	陸、海、空などを經由して運ばれる物品	有線、無線等の媒体を介して伝えられる物事の内容や事情（コンテンツやデータなど）
2) 特徴	価値（所有権）の移動を伴ったり、そうでなかったりする。	受け手の知識構造を変化させたり・判断を支援したり、そうでなかったりする。
3) 取扱う主体の呼称	送り側	発信者（端末あるいはシステム）、送信者（端末あるいはシステム）、送り手など
	受け側	着信者（端末あるいはシステム）、受信者（端末あるいはシステム）、受け手など
4) 取扱う主体の属性	送り側	・法人（サービス・コンテンツ等提供事業者：ISP、サイト運営者など）、 ・個人（生活者：ユーザ、契約者）
	受け側	

製造、卸売、小売）、個人（生活者：消費者、利用者）などの種類がある。「情報」を取り扱う主体の送り側、受け側の属性には、法人（サービス・コンテンツ等の提供事業者：ISP、サイト運営事業者など）、個人（生活者：ユーザ、契約者）などの種類がある。

#### 5) その他

「貨物」は、複製が容易なものとそうでないものがある。「情報」（デジタル情報の場合）は、複製すなわちコピーは容易である。

## 4.2 貨物輸送と情報通信との類似性

貨物輸送の仕組みと情報通信の仕組みを図3に示す。

1) 「貨物輸送」は送り側から受け側まで貨物を運ぶこと。

貨物は宛先が指定された状態で受け側まで運ばれる。運ばれる貨物の経由する場所は、陸上、海上、空中、それらの組み合わせのパターンが存在する。送り側、受け側の属性に応じて、製造業者（在庫拠点）－卸売業者（在庫拠点）間、製造業者（在庫拠点）－個人（生活者）間、生活者相互間などの各種の輸送パターンが存在する（図4）。紛失あるいは破損

した場合、複製できないモノの回復は困難である。

2) 「情報通信」は送り側から受け側まで情報を伝えること。

情報は宛先が指定された状態で受け側まで伝えられる。伝達される情報の経由する場所は、有線、無線、両者の組み合わせのパターンが存在する。送り側、受け側の属性に応じて、サイト運営者相互間、サイト運営者－生活者間、生活者相互間などの各種の通信パターンが存在する（図5）。紛失あるいは誤って受信された場合、回復することは原理的には可能である。

## 4.3 貨物輸送網と情報通信網との類似性

図3～図5は、送り側と受け側が1:1の輸送/伝送パターンを示しているが、一般には、送り側、受け側のいずれか一方あるいは両方が複数である1:N、N:1、N:Nのパターンとなる。このような輸送/伝送パターンにおいて、送り側と受け側の各ペアについての輸送/伝送を1:1の形で行なうのは非効率のため、途中に仕分け拠点/スイッチングポイントを配置するのが一般的である。例えば、n:mのパターンにおいて、貨物輸送網の場合は、多方面か

図3 貨物輸送の仕組みと情報通信の仕組み

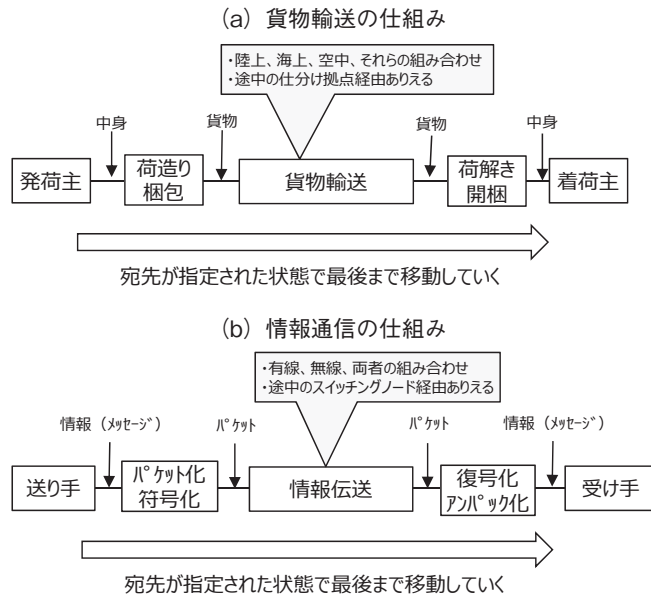
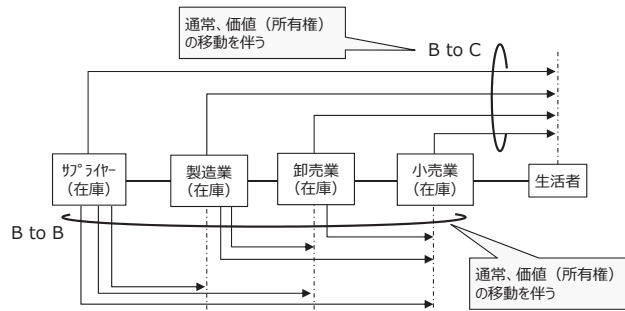


図4 貨物輸送の各種パターン (B to B、B to C、C to C)

(a) サプライチェーンにおける貨物輸送の各種パターン (B to B、B to C)



(b) その他の貨物輸送パターン (C to C)

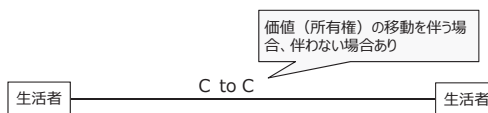
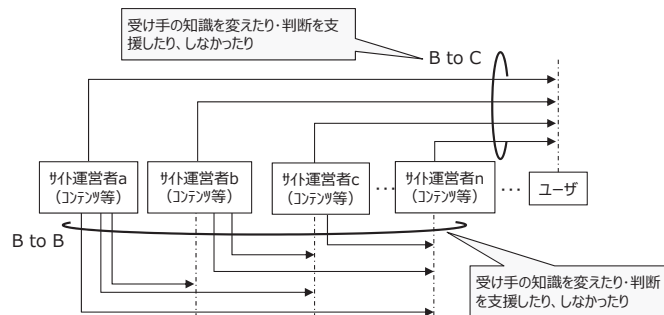


図5 情報通信の各種パターン (B to B、B to C、C to C)

(a) 情報通信の各種パターン (B to B、B to C)



(b) その他の情報通信パターン (C to C)

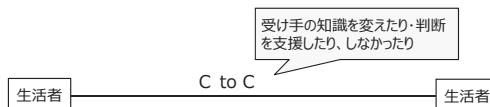
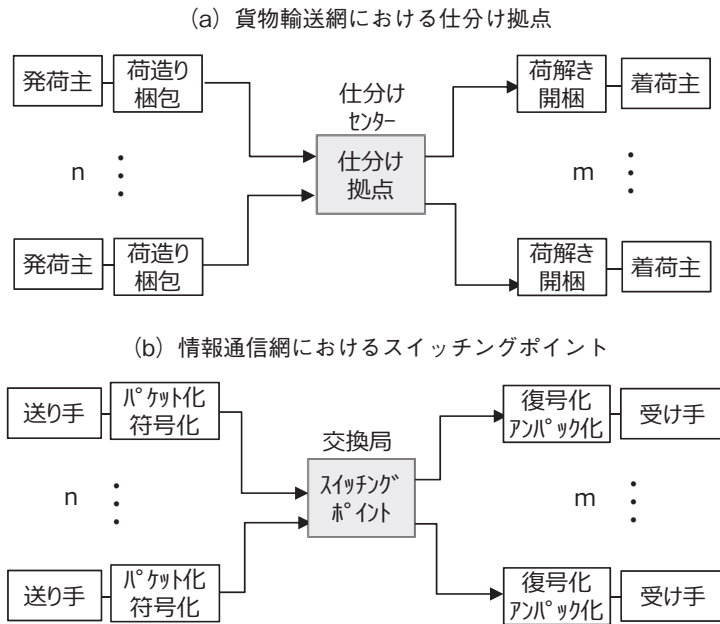


図6 貨物輸送網の仕分け拠点と情報通信網のスイッチングポイント



ら輸送されてくる貨物を一旦受け入れ、宛先や届け日時等をチェックして、所定の宛先方面別に仕分けして出荷するようなことを行なう「仕分け拠点」が設置される（図6（a））。同様に、情報通信網の場合においても、複数の入力側回線から送られてくる情報パケットを一旦受け入れ、その後、取り出して宛先に対応した出力側回線に送り出すようなことを行なう「スイッチングポイント」が配備される（図6（b））。

## 5. ATM 網を応用した貨物輸送網の実現

本章では、完全無人自動運転の社会実装が可能な時代（注：2025～2030年以降と想定）を想定し、情報通信網との類似性の観点から、貨物輸送網の実現方法、即ち、オペレーション方法について検討する。

### 5.1 情報通信網におけるATM型スイッチング方式

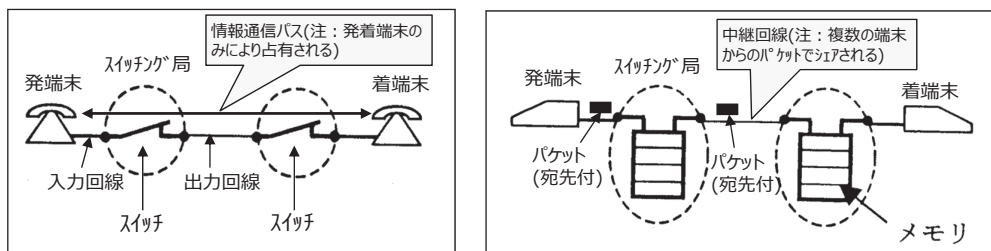
#### 5.1.1 スイッチングの基本的な2方式

情報通信網におけるスイッチングのやり方として、基本的には、「回線スイッチング」と「パケットスイッチング」の2つがある。図7に回線スイッチングおよびパケットスイッチングの概念図を示す。

回線スイッチングは、発着端末間の情報やり取りに先だって、各スイッチング局内で該当スイッチを閉じることにより、両端末間に電氣的に繋がった「情報通信パス」を設定し、その後、当該パスを占有する形で両端末が情報のやり取りを行う方式である。情報やり取り終了後は、閉じられたスイッチを開放し、両端末によるパスの占有状態を解除する。ここで、情報通信パスの設定は、以下のように行なわれる。まず、①発端末に近いスイッチング局において、着端末の電話番号などの宛先情報に基づき、空きの出力回線を捕捉し、続いて、②入出力回線間のスイッチを閉じる。さらに、③発端末側のスイッチング局から着



図7 回線スイッチング、パケットスイッチングの概念図  
(a) 回線スイッチング (b) パケットスイッチング



端末側の方向へ、各スイッチング局において①、②の処理を繰り返し、最終的に着端末までのパスを設定する。回線スイッチングでは、スイッチの開閉処理をプログラム介在なしにハードウェアで処理するため効率のよいパス設定が可能であり、発着両端末はパスを占有して使用できるため、遅れを伴うことを許さないリアルタイム情報のやり取りに向いている。課題としては以下のような点が挙げられる。

★1 情報通信パス上の情報転送速度が固定的に決まってしまう、端末の多様化に対応しにくい。

★2 情報通信パスは発着両端末によって占有されるため、その間、パスの使用状態の如何にかかわらず、他の端末が使用できず効率的な回線運用ができない。

一方、パケットスイッチングでは、発端末から送信すべき情報を、「パケット」(注：そのサイズは128～4kバイトなどの範囲で可変、各パケットには宛先情報が付加されている)と呼ばれる単位に分割し、回線に送出するようになっている。パケットスイッチングは、複数の発端末から送出されたパケットを、スイッチング局内のメモリに順番に蓄積し、その後、メモリから順に取り出して、宛先に向

かう出力回線上に送出する方式である。パケットスイッチングでは、各パケットに宛先情報が含まれているため、回線スイッチングのようなパス設定は必要なく、発端末からいきなりパケットを送出することが可能であり<sup>注3)</sup>、また出力回線も複数の発端末から送出されたパケットで共用(シェア)できるため効率的である。また、パケットスイッチングの処理は、コンピュータプログラムで行なわれるため、入力してくるパケットが混雑すると処理の遅れが発生する。このため、遅れて到着することも許容され、回線をより効率的に利用したいような場合に向いた方式である。課題としては以下のようなものが挙げられる。

★3 パケットのスイッチング処理は、プログラム(即ち、ソフトウェア)により集中的に行なわれるため、プログラムの処理容量に近い、あるいはそれ以上のパケットが入力されると処理しきれない状況が起こり得る。

### 5.1.2 両方式の欠点を同時に解決するATM方式<sup>[6] [7]</sup>

前項で挙げた両スイッチング方式の課題★1～★3を解決し、音声・データ・映像など多様なメディアの情報を総合的に扱える転送方式として、ATM(Asynchronous Transfer Mode、非同期転送モード)方式が

開発された。低速から高速まで様々なメディアの情報を効率良く扱うことが可能である。我が国では1990年代に商用化されている。現状では、インターネットアクセス回線のひとつであるADSL (Asymmetric Digital Subscriber Line) や企業向けATM専用線のデータ転送技術として利用されている。

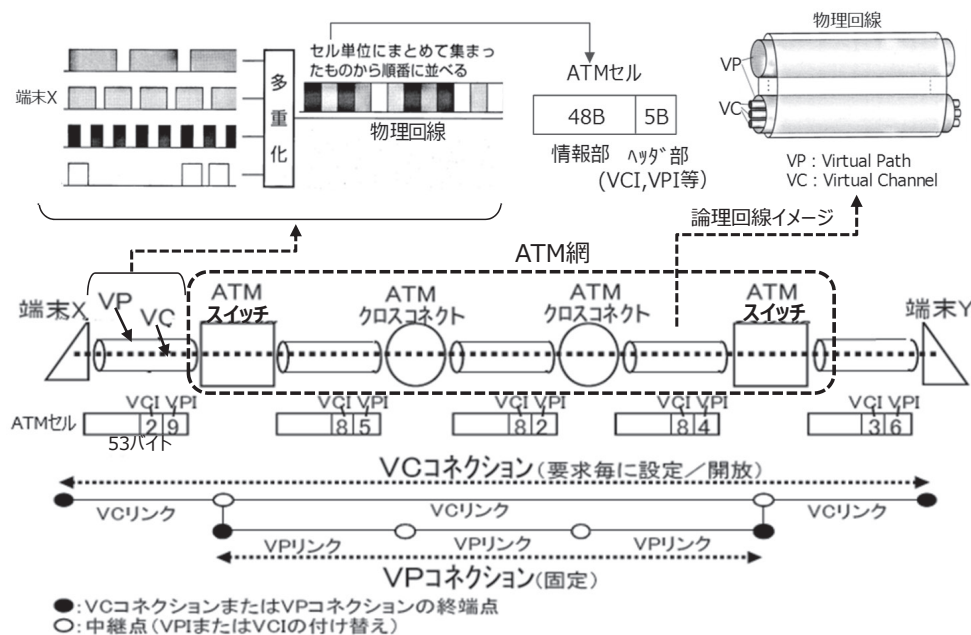
ATMでは、様々なメディアからの情報を、53バイト (ヘッダ部：5バイト、情報部：48バイト) という固定サイズの「セル」に分割し、物理回線上で非同期に時分割多重して高速転送する。回線スイッチングと同様に、事前にコネクションを設定した上で情報通信を行う方式である。すなわち、通信する端末間に事前に仮想回線 (ATMコネクション) を設定する。ATMのセルのヘッダ部には、この仮想回線を識別するための識別子としてVPI (Virtual Path Identifier、仮想パス識別子)、VCI (Virtual Channel Identifier、仮想回線識別子) が設定される。ATM方式は、

以下のような特徴を持っている。

- 1) ユーザ情報をセルに組み立てる点はパケットスイッチングに似ているが、可変サイズでなく固定サイズにすることで、セルのヘッダ部 (行先ラベル) を見てソフトウェアの介在なしに自律的にスイッチングが可能である。
- 2) 情報の発生に応じてセルを送出するため、一定時間中に送出手数を減らすことで、任意の転送速度に対応できる。
- 3) 53バイトという短くかつ固定長のセルで情報を転送することから、きめ細かな品質制御が可能である。

ATM網におけるセルベースのマルチメディア情報の転送イメージを図8に示す。図8には、ATMセル内のVPI、VCIの具体例を付記している。ATM網は、一般に、端末を収容する「ATMスイッチ」およびATMスイッチ間を接続する「ATMクロスコネクト」から構成される。ATMスイッチ間には、複

図8 ATM網におけるセルベースのマルチメディア情報の転送イメージ



数のVPリンクを繋いだ「VPコネクション」が固定的に設定される。なお、端末とATM交換機間にもVPコネクションが設定される。ATMクロスコネクは、受信したセルを次の区間のVPリンクに中継する。ATMクロスコネクは、VCIには関与せず、VPIだけをみてセルを中継する。端末Xから端末Yへの送信要求を受けたATMスイッチは、端末Yを収容するATMスイッチとの間に固定的に設定されているVPコネクション内にVCリンクを設定する。VCIの付け替えはATMスイッチのみで行い、ATMクロスコネクは、VCIをそのまま転送する。端末Xと端末Yとの間のVCリンクの連結を「VCコネクション」と呼ぶ。

なお、ATMスイッチでは、セルのスイッチングが行われるが、このスイッチングはプログラムでなく、2入力・2出力の単位スイッチを何段も縦列に接続した構成のハードウェアによって実現される。代表的なものとして、図9に示すようなバンヤンスイッチが知られている。単位スイッチは入力ビットが“0”なら上の出力端子から、“1”なら下の出力端

子から出て行くように作られている。スイッチの各段は、ATMセルのヘッダ部の各ビットに対応し、最終段のスイッチの出力端子を出たところでスイッチングが完了する。図9では、セルのヘッダ部が“010”の場合であり、“010”の出力端子からセルが出て行く。どの入力端子から入力されても、同じ出力端子から出て行くように単位スイッチが接続されている。自律的に経路選択される方式のスイッチングであるため「セルフ（自己）ルーチングスイッチ」とも呼ばれる。

## 5.2 ATM方式を適用する貨物輸送網の実現

前節で示したATM方式では、複数のメディアから送出される多様な情報を、固定サイズのセルに分割し、物理回線を多様な品質条件を満足させて効率良く伝送でき、しかもソフトウェアの制御なしに自律的なスイッチングが行える点で、その仕組みは、自動走行・自動仕分けを基本とする全自動な貨物輸送網の実現との親和性が高いと言える。

そこで、ATM型の情報通信網の仕組みをベースとして貨物輸送網を実現し、人手介在

図9 ATMスイッチングに利用される自己ルーチングスイッチ（バンヤンスイッチ）の動作例

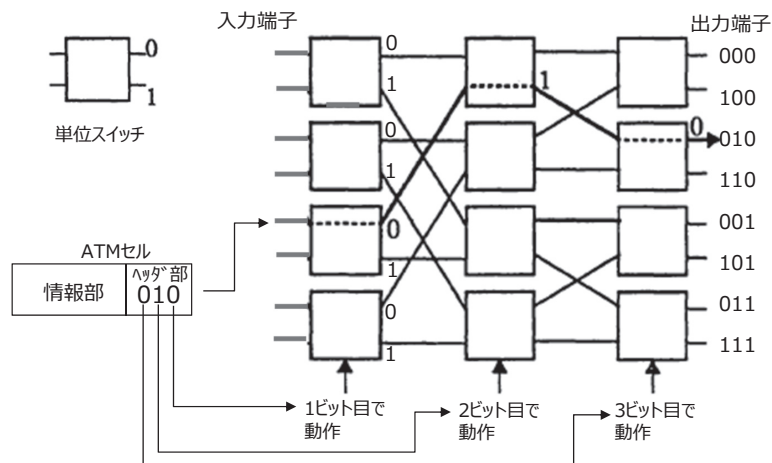


図10 自動走行・仕分けを基本とするATMベースの貨物輸送網の実現イメージ

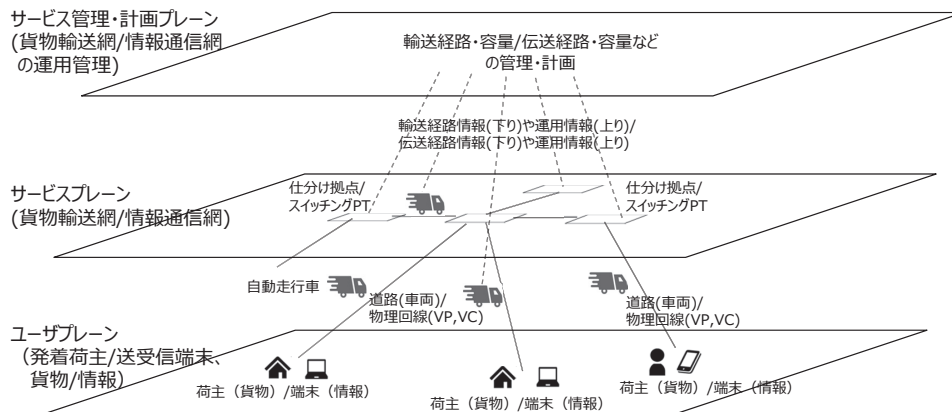


表3 自動走行・自動仕分けを基本とする貨物輸送網とATM網との対応関係

項目	貨物輸送網	ATM 網
1) サービスの対象 (ユーザ)	発着荷主	送受信端末
2) 輸送 / 伝送の媒体	道路	物理回線
3) 拠点の種類	仕分け拠点、積み替え拠点	ATM スイッチ、クロスコネク
4) 輸送 / 伝送の対象	(種々の) 貨物	(マルチメディア) 情報
5) 対象を輸送 / 伝送する単位	例えば、規格化された輸送容器	ATM セル
6) 輸送 / 伝送の際に、媒体上で利用できるリソース類	道路を使用する自動走行車あるいは時間帯など	物理回線上の仮想パス (VP)、仮想回線 (VC)
7) 輸送 / 伝送の経路	拠点間	仕分け拠点間の経路: 経路上で使用する自動走行車あるいは時間帯など
	荷主相互間 / 端末相互間	荷主相互間の経路: 経路上で使用する自動走行車あるいは時間帯など
8) 拠点における仕分け / スイッチング	輸送容器に貼付されたラベルをスキャンして自律的に仕分け	自己ルーチングスイッチにより、プログラム非介入で自律的にスイッチング

を必要としない貨物輸送サービスを提供することを考える。図10に自動走行・自動仕分けを基本とするATMベースの貨物輸送網の実現イメージを示す。この図では、それぞれの項目を情報通信網と対応づけて示している。ユーザプレーン、サービスプレーン、サービス管理・計画プレーンの3階層で構成している。破線は、サービス管理・計画のための情報をやり取りする通信回線を意味している。荷主に対する輸送サービスは、サービスプレーンとユーザプレーンとが連携し、基本的に人手介在なしの形で提供される。なお、輸送サービスが行われている間は、サービス管理・計画プレーンが、輸送の実績に関するデー

タや網の運用状況に関するデータを定期的に収集し、収集データを分析して、計画との食い違いの確認、次の計画へのフィードバックを行う。

表3に自動走行・仕分けを基本とする貨物輸送網とATM網との対応関係を具体的に示す。この表に示すように、貨物輸送網によるサービス提供に関する各項目について、ATM網と対応づけることができる。この表における項目の5)～8)が、ATMの特徴的な仕組みに対応する項目である。項目5)については、ATM網において、ユーザから送られる情報を小分けして保持する固定サイズのATMセルは、貨物輸送網では、荷主の

貨物を小分けして入れるコンパクトな輸送容器のようなものと考えている。自動走行車用に規格化する必要があるかも知れない。また、項目6) について、ATM特有のVPやVCは、同一物理回線を複数のユーザからの情報で時分割共用するための概念であるが、貨物輸送網においては、同一の道路を複数の荷主の貨物の輸送のためにシェアして使用する複数の自動走行車や複数の時間帯が該当するものと考えている。項目7) は、6) の延長上の概念である。項目8) において、ATM網における自律的なスイッチングは、貨物輸送網では、仕分け拠点において、ATMの自己ルーチングスイッチと同様の仕組みを実現し、仕分け拠点に入庫した輸送容器に貼付されたラベルをスキャンして自律的に仕分けを行なえるものと考えている。以上のようにして、ATMの仕組みを応用した、人手介在なしの貨物輸送網の実現が可能であると考えられる。

## 6. 実用化に向けての課題と展望

5.2節で提案した仮想輸送網の内容は、完全自動運転の社会実装が可能な時代を前提としての概念的なものであり、具体化・実用化に当たっては多方面からの検討が必要と考えられる。主に、以下のようなものが考えられる。

### 1) 自動運転自体の社会実装に向けた課題

まずは、3.1節に挙げた、自動運転自体の社会実装に向けた課題、特にレベル3以上の高度自動運転が社会実装されるための車両、道路、ダイナミック地図、法整備等の課題の

クリアが必要となる。車両の開発は民間主導で積極的に行なわれているが、自動走行に必要なダイナミックマップのベースとなる3次元高精細地図の整備、自動運転に対応した道路インフラの整備、関連する法律の整備等をクリアする必要がある。

### 2) ATMベースの貨物輸送網の実現に向けた課題

それと並行して、図10に示すような、自動走行・自動仕分けを基本とするATMベースの貨物輸送網の課題を検討する必要がある。この検討に当たっては、表3に示す貨物輸送網についての項目5)～8) を具体的に詰めて行く必要がある。その場合、貨物輸送網が提供する貨物輸送サービスの提供地域や形態(B-B、B-C、C-Cなど)、貨物の種別や品質条件なども考慮する必要がある。その上で、表3の5) に示すような、自動走行車向けに規格化された輸送容器の開発、6) に関連しATM網におけるVPやVCの貨物輸送網へのマッピング方法やVPI、VCIに対応する番号体系化、8) の仕分け拠点における自律仕分けの実現などが課題となる。

### 3) 情報通信網にない、貨物輸送特有の形態への対処法

一方、貨物輸送特有の形態への対応も考慮する必要がある。例えば、巡回型の配送は、1箇所から1台の車両で出発して複数の宛先へ(ドライバーが仕分けをしながら)届けるような形態であり、これは情報通信網にはみられない形態であり、情報通信の仕組みをベースとする貨物輸送サービスにおいて巡回型配送をどのように扱えばよいかについて明確にする必要がある。同様に、発荷主への自動走

行車による集荷の仕方、あるいは着荷主へ届けた後、別な荷主のところへ立ち寄って帰り荷を乗せて配送するような形態をどのように扱えばよいかについても整理が必要となる。

以上のように、提案した貨物輸送網の無条件での実現には相当の時間を要するものと考えられる。自動走行の空間、時間を限定するレベル4の自動運転の実装時期は遠くないと思われるが、完全無人運転のレベル5の社会実装の時期は見えない。今回の貨物輸送網の実現に当たっては、限定条件を付けた上でのトライアルを繰り返しつつ、ステップを踏んで進めていく必要がある。

## 7. おわりに

以上、本稿では、完全自動運転の社会実装が可能な時代における貨物輸送網の実現方法について検討した。完全自動運転が社会実装される時代には、発荷主から着荷主までの範囲に人が介在しない全自動の貨物輸送の可能性も否定できないことより、今回、人手介在を元々必要としない情報通信網との類似性を考慮しつつ貨物輸送網の実現方法を検討した。その結果、複数のメディアからの多様な情報を効率よく転送でき、かつソフトウェアの介在なしに自律的なスイッチングを行えるATM通信方式との親和性から、それと貨物輸送とを対応づけつつ、自動走行・自動仕分けを基本とするATMベースの貨物輸送網の実現方法を提案した。

まず、第2章では、貨物輸送における最近の課題を示し、対応策のひとつとして自動運

転が検討されていることや現時点の取組み状況を示した。続く第3章では、貨物輸送に自動運転を導入するに当たっての課題として、①自動運転自体の社会実装に向けた課題と②完全自動運転が社会実装される時代の貨物輸送網の実現に関する課題の2つを挙げ、特に②において、情報通信網との類似性の観点から貨物輸送網の効率的な運用を可能とする方法の実現について検討することとした。情報通信網との類似性の観点からの検討に当たり、第4章では、貨物輸送網と情報通信網との類似性というテーマの下で、まず「貨物」と「情報」との対応づけを行い、貨物輸送と情報通信の類似性について整理を行なった。その上で、仕分けポイントやスイッチングポイントなども含めた貨物輸送網と情報通信網との類似性について整理した。続く第5章では、情報通信網におけるスイッチング方式として基本的な「回線スイッチング」と「パケットスイッチング」を取り上げ、それぞれの特徴や課題を示し、その後で、両者の課題を同時に解決し得るATMと呼ばれる方式について、仕組みや特徴を整理した。そして、ATM通信網と貨物輸送網との親和性を考慮し、自動走行・自動仕分けを基本とするATM型スイッチング方式を適用する貨物輸送網の実現イメージを示した。最後に、第6章において今後に向けての課題や展望を述べた。

近い将来、車やそれによる移動サービスは大きな変革が予想される。自動運転の導入の広がりや相俟って、色々なものを運ぶ移動サービスが登場してくるものと思われる。先を読みにくい時代であるが、今回、提案した、

貨物輸送網の実現イメージについては、具体化に向けた種々の検討をさらに進めていくことが必要である。

- 注1) 人手によるハンドル、アクセル、ブレーキ等の操作をシステムに任せること、すなわち、GPSやカメラ・センサーからの情報等に基づき、AIで判断し、コンピュータで制御して自動走行させることである。
- 注2) 以下のようなものについて検討されている：自動運転車の安全確保（道路運送車両法等）、交通ルール（道路交通法等）、責任関係（自動車損害賠償保障法、民法、製造物責任法、自動車運転死傷処罰法等）、運送事業に関する法制度との関係、路車協調等のインフラや消費者への説明など
- 注3) パケットスイッチングにおいても、回線スイッチングと同じように、前もって、宛先端末までの仮想パスを設定し、その上で仮想的に接続された発着端末間でパケット送受信を行なう「仮想回線（VC:Virtual Circuit）方式」も存在する。なお、いきなりパケットを送出する方式は、「データグラム方式」と呼ばれる。

#### 参考文献・サイト

- [1] 日産とDeNAが「Easy Ride」で目指す未来、日産自動車、2018/02/22 に公開、  
[https://www.youtube.com/watch?time\\_continue=87&v=9q4cInoT99M](https://www.youtube.com/watch?time_continue=87&v=9q4cInoT99M)
- [2] トヨタ自動車、モビリティサービス専用EV “e-Palette Concept” をCESで発表、2018年01月09日、トヨタ自動車、  
[https://global.toyota.jp/newsroom/corporate/20508200.html?padid=tjptop\\_mk-acts\\_e-palette](https://global.toyota.jp/newsroom/corporate/20508200.html?padid=tjptop_mk-acts_e-palette)
- [3] 増田悦夫：スマート・デジタルロジスティクスの実践—情報システムはこれからの物流をいかに支援するか—、情報管理、Vol.60、No.11、2018年2月。
- [4] 官民ITS構想・ロードマップ2019<概要版>、内閣官房IT総合戦略室、2019年6月7日、  
[https://cio.go.jp/sites/default/files/uploads/documents/its\\_roadmap\\_2019\\_point.pdf](https://cio.go.jp/sites/default/files/uploads/documents/its_roadmap_2019_point.pdf)
- [5] 増田悦夫：高度道路交通システムの変革に向けた動きとロジスティクスへのインパクト、流通経済大学流通情報学部紀要、Vol. 23、No.1、2018年10月。
- [6] 小峯隆宏：非同期転送モード（ATM）の概要と技術動向、通信総合研究所季報 vol.36、No.180、1990-09。
- [7] 栗林伸一：ATMシステム、電子情報通信学会「知識ベース」、5群-4編-3章、3-2、2010年、電子情報通信学会、  
[http://www.ieice-hbkb.org/files/05/05gun\\_04hen\\_03.pdf#page=9](http://www.ieice-hbkb.org/files/05/05gun_04hen_03.pdf#page=9)