

## 論文の内容の要旨

### 論文題目

運輸部門における都市・地球環境改善のためのハイブリッドトロリーバスに関する研究

工 藤 祐 揮

運輸は経済社会活動の基盤であり、人間生活には必要不可欠な存在である一方で、その移動体である自動車などの交通手段によりエネルギーが多量に消費され、その結果として地球温暖化の原因となる  $\text{CO}_2$  や大気汚染の原因となる  $\text{NO}_x$  や PM（浮遊粒子状物質）など、環境負荷を与える物質が排出される。運輸部門においては今後もその需要が着実に伸び続けることが予想されており、今後見込まれる交通需要や利用者のニーズに地域性を考慮して適切に応えながら、環境負荷の低い交通体系を構築する必要がある。こうした背景から、本研究では旅客部門におけるモーダルシフトの推進を念頭に置き、乗用車からの代替輸送機関としてハイブリッドトロリーバスに着目し、ハイブリッドトロリーバスの走行の自由度向上のために必要不可欠ではあるが、技術的課題の1つであるトロリーポール自動昇降システム構築に関するシステム提案を行うとともに、ハイブリッドトロリーバスが都市内交通として導入された場合の環境影響評価を行った。

まず走行時における、ライフサイクルアセスメント (LCA) の観点から算出されるライフサイクル  $\text{CO}_2$  ( $\text{LCCO}_2$ ) 排出量を、都市部における道路状況を考慮した上で算出を行った (図1参照)。その結果、東京都内の路線バスの平均走行速度 11.3km/h では、トロリーバスの  $\text{LCCO}_2$  はディーゼルバスの 29.1%となることが判明した。さらに、現在の多くのトロリーバスシステムにおいては給電設備の制約のために利用されていない回生電力を利用することにより、トロリーバスの  $\text{LCCO}_2$  はディーゼルバスの 16.0%となり、ランニングコスト削減のみならず  $\text{CO}_2$  排出量削減のためにも、都市内交通としてトロリーバスシステムにあっては、回生電力を利用可能な給電システムの導入が望ましいとの知見を得た。また公共輸送機関のシステム全体における  $\text{LCCO}_2$  排出量を検証するために、LCAを行った (図2参照)。この分析結果から、トロリーバスシステムは走行時の排出に加えインフラ建設時、車両製造時からの排出を含めると、システム全体での  $\text{LCCO}_2$  排出量は、公共輸送機関としての特性が異なる

る、多頻度大量輸送機関である大都市高速鉄道や地下鉄よりは多くなるものの、乗用車の 22.3%、ディーゼルバスの 48.9%となることが判明した。

トロリーバスは  $\text{LCCO}_2$  排出量が少ないことが明らかとなり、また排気ガスを排出しないことから公共輸送機関としての環境負荷は低い、都市内交通として導入する場合にはその走行路線が電車線敷設箇所に制限されるために、ディーゼルバスと同等の走行の自由度を得ることは不可能である。トロリーバスの走行の自由度を向上させるための手段の 1 つは、電車線からの給電以外の方法で自走することを可能にするためにハイブリッド化することであるが、その際に問題となるのが、トロリーポールの昇降、特にトロリーポールを上げて電車線からの給電走行に切り替える動作である。現在のハイブリッドトロリーバスはこの動作を主に手動操作で行うために、一旦停止することを余儀なくさせられる。本研究ではこの動作の自動化を目指し、トロリーポール自動昇降システム構築に関するシステム提案を行うため、ロボットマニピュレータ、アクチュエータ、ビデオカメラ、PC から構成される実験装置により、画像情報から電車線の位置を推定するための基礎的なシステムを構築した。その結果、最適制御理論の 1 つである Kalman filter を用いることにより、系に加わるノイズの大小にかかわらず、取得した画像情報から精度良く電車線の位置を推定でき、本研究で提案した電車線位置推定システムの概念が、実際のトロリーポール自動昇降システムへの適用に有望視できることを基礎制御実験により確認した。

最後に、トロリーポール自動昇降システム搭載により走行の自由度を高めたハイブリッドトロリーバスが、路線バスの代替として導入された場合の自動車交通システム全体での環境影響評価を、東京 23 区とその周辺地域を対象に動的交通流モデルを用いて行った（図 3 参照）。その結果、旅客部門のモーダルシフトを推進し、現在の自動車需要のうち、軽乗用車、乗用車需要が 2%削減された場合の  $\text{NO}_x$ 、 $\text{LCCO}_2$  排出量削減率はそれぞれ 0.3%、0.8%にとどまるのに対し、現在の自動車需要にハイブリッドトロリーバスを導入した場合の  $\text{NO}_x$ 、 $\text{LCCO}_2$  排出量削減率はそれぞれ 5.5%、2.1%となり、運輸部門における都市・地球環境改善のためには、ハイブリッドトロリーバスの導入が効果的であることが判明した。これら排出量削減率は、モーダルシフトを推進した上でハイブリッドトロリーバスを導入することにより、それぞれ 6.1%、3.4%まで向上する。また  $\text{NO}_x$  は普通貨物車、小型貨物車から、 $\text{LCCO}_2$  は乗用車からの排出量が全体に大きな影響を与えることから、更なる環境改善を図るためには、旅客、貨物両部門においてモーダルシフトの推進が必要不可欠であり、特に旅客部門においては、排気ガスを排出せず、 $\text{LCCO}_2$  排出量の低いハイブリッドトロリーバスは、乗用車需要からの代替輸送手段として有力なオプションの 1 つであることが結論づけられる。

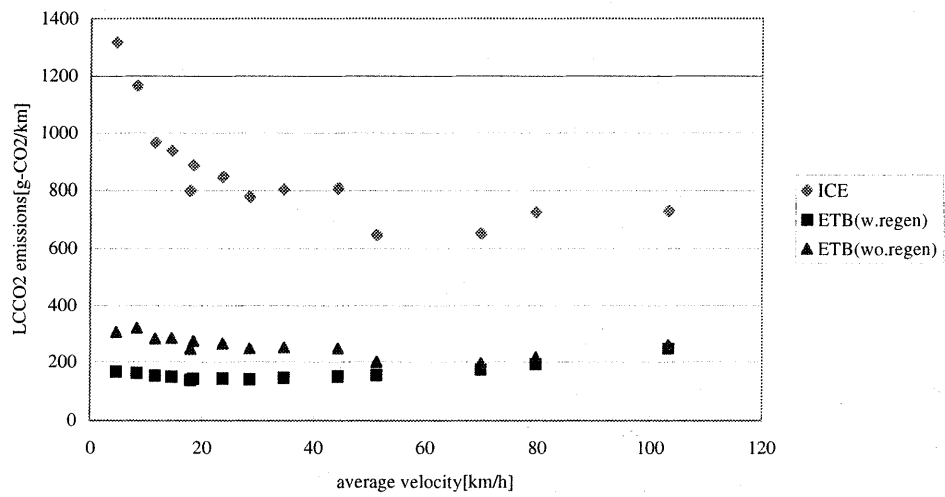


図 1: 実走行時の LCCO<sub>2</sub> 排出量 (ICE：ディーゼルスバス、wo.regen：回生電力を利用しないトロリーバス、w.regen：回生電力を利用するトロリーバス)

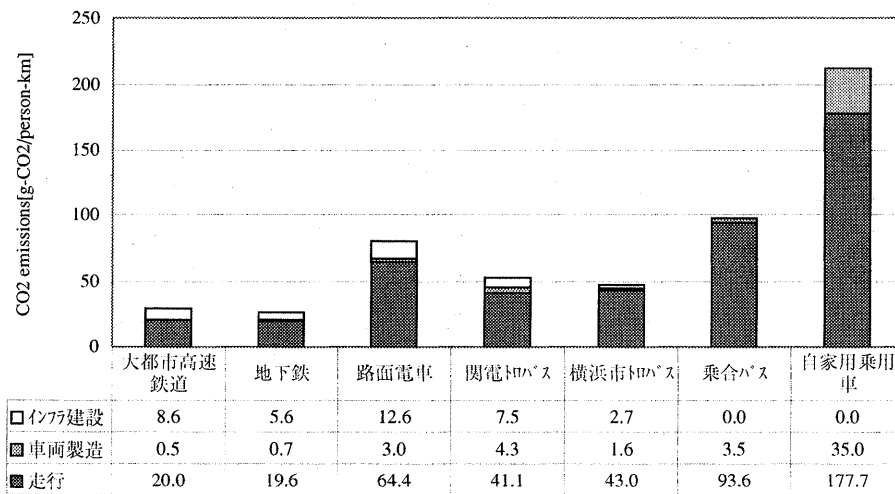
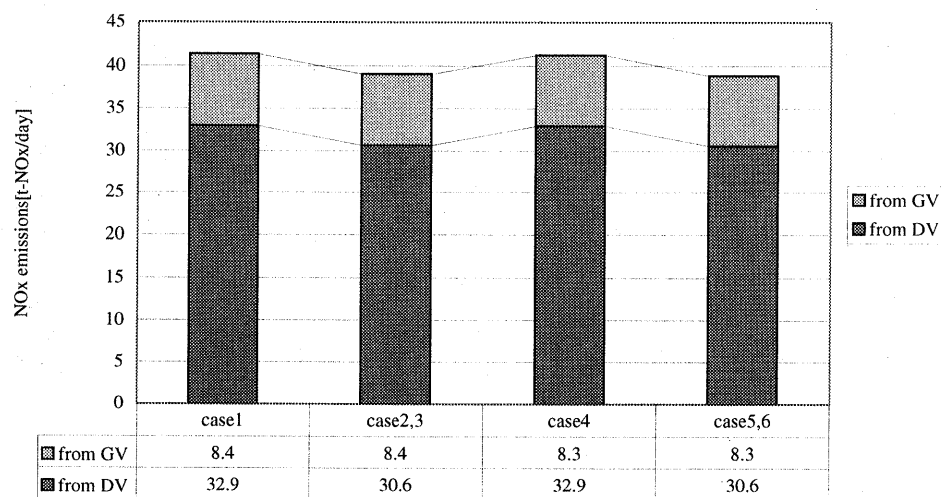


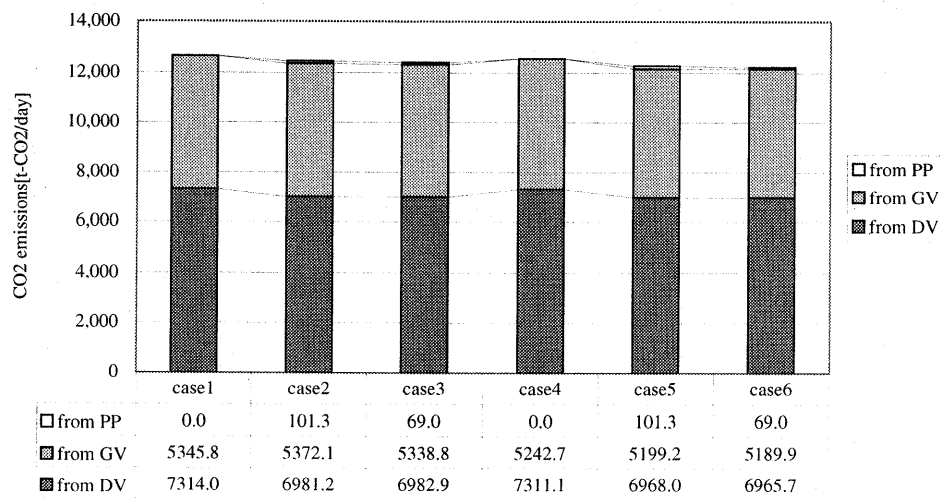
図 2: 公共輸送機関の LCCO<sub>2</sub> 排出量

表 1: 図 3 のケース設定

case1	現行ケース
case2	case1 で、路線バスの代替として回生電力を利用しないハイブリッドトロリーバスを導入
case3	case1 で、路線バスの代替として回生電力を利用するハイブリッドトロリーバスを導入
case4	case1 で、軽乗用車、乗用車需要が 2%削減
case5	case4 で、路線バスの代替として回生電力を利用しないハイブリッドトロリーバスを導入
case6	case4 で、路線バスの代替として回生電力を利用するハイブリッドトロリーバスを導入



(a) 移動発生源からの NO<sub>x</sub> 排出量



(b) LCCO<sub>2</sub> 排出量

図 3: ハイブリッドトロリーバス導入による自動車交通システム全体での環境改善効果