

国立大学法人 豊橋技術科学大学
文部科学省特別経費

サステナブルな社会における未来ビークルシティ事業

ー 低炭素社会における安全安心なビークルシティー ー

平成 22 年度研究成果報告書

平成 23 年 3 月

巻頭言

未来ビークルリサーチセンター長

角田 範義

未来ビークル事業は平成21年度に第1フェーズを終了し、平成22年度から文部科学省特別経費による「サステナブルな社会における未来ビークルシティ事業：低炭素社会における安全・安心なビークルシティ」を課題とした第2フェーズに入りました。

持続的に発展可能な「低炭素社会」や「安全・安心社会」の構築は、今後の日本が目指す重要課題（グリーンイノベーション、ライフイノベーション）の中に位置づけられています。その中で二酸化炭素を大量に放出する道路輸送に代わる、船舶輸送が低炭素社会の重要な輸送手段として再認識されています。それは、来るべき電気自動車社会に於いても同じことが言えます。電気自動車の弱点である電池の能力と充電に関する問題（充電時間、場所）は、長距離移動の難しさを浮き彫りにしていますが、船舶を利用することでその問題点は克服され、その結果、電気自動車化の推進における電気インフラは限られた範囲での整備を行えばよいことになります。豊橋を中心とする三河港は、地理的にも日本の中心に位置しており、関東圏、関西圏、さらには日本海側への物流、移動拠点（海外輸送も含む）として恵まれています。また、周辺の豊川、蒲郡および南信州地域は観光地があり、輸送手段としての港湾の役割への期待が増しています。そのため、低炭素社会を意識した港湾や都市交通システムの整備は、本地域が電気自動車社会を見据えたモーダルシフト化による船舶の利用には最も適した環境であると思います。

さらに、第1フェーズの事業で培われた「自動車の視点から見た安全・安心」の技術を「各世代からの視点から見た安全・安心」に発展させることにより新しい視点での自動車社会が提案できると考えています。これまでの自動車社会における安全・安心は、主に自動車というハード面を中心に行われており、歩行者である人の視点からの交通のあり方については欠落していた感が否めません。直面する少子高齢化社会においてはこれらの弱者の視点から見たビークルシティを構築することが必要であり、本事業は、今までの視点を変えた新規な試みという点で、その成果は行政および自動車産業に対して強く影響を与えるものであると確信しています。

未来ビークルシティ事業では、以下の2つの課題に取り組みます。

1. 地の利を生かした陸上輸送から港湾：電気自動車社会に向けたモーダルシフト化における港湾の低炭素化と災害時における拠点としての港

- ✓船舶への陸上電力供給施設の導入のための電力源としての再生可能エネルギーを活用する。
- ✓先を見据えた港湾機能の能力向上のための環境アセスを含め調査する。
- ✓トラック専用道などによる幹線との接続を目指した新構想道路網を策定する。
- ✓海上、陸上交通の効率的運用と水域環境、陸域環境保全技術を確立する。

2. 「弱者」の目線による交通環境のあり方

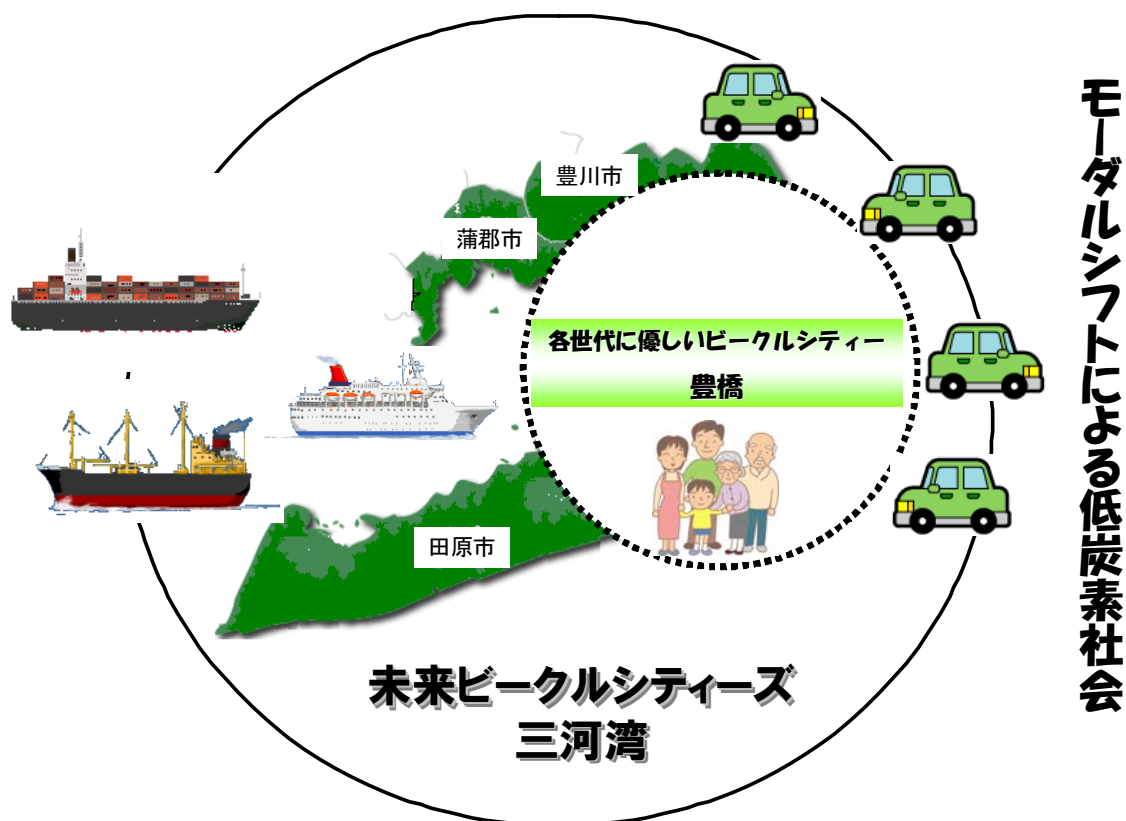
- ✓今までの車から見た弱者観察を人間工学的に弱者から見た車観察を行い、交通システム（交差点、通学路、交通標識など）の洗い出しと解決策を示す。
- ✓電気社会のため電力源としての再生可能エネルギーを利用した、給電インフラを構築する。
- ✓モーダルシフト化を目指し、現交通システムの問題点の洗い出しと解決策を示す。
- ✓今まであまり検討されていなかった「低炭素」、「安全・安心」という観点での二輪やタイヤの役割を調べ、新しい視点での低炭素社会に向けた取り組みを行う。

以上の事業を遂行するためには豊橋市を中心とする近隣自治体や愛知県との連携が欠かせません。

最後に、第1フェーズの事業（平成17～21年度特別教育研究経費【連携融合事業】）によって築きあげた三河港を持つ周辺地域との連携による成果は、本事業が対象とする現代社会の抱える高齢化社会、地球温暖化といった問題の解決にあたり、より有益で社会的意義が大きいと考えられます。本成果は港湾機能の活用を通じた低環境負荷輸送拠点、周辺地域の高齢化社会における新しい自動車社会のモデルケースとして全国に波及させて行きたいと考えています。

本事業に対する皆様のご協力をよろしくお願いいたします。

未来ビークルシティ事業のイメージ



□□□ 目 次 □□□

研究成果

1. 交通弱者のための交通システム

1-1 ドライバの個性に着目した社会共生型安全運転支援に関する研究

【機械工学系 教授 章 忠, 准教授 三宅 哲夫, 助教 今村 孝】

- (1) ドライバ行動計測に関する研究
- (2) ドライバ心理に関する研究
- (3) 研究発表実績, 今後の課題

1-2 交通弱者のための道路標識の強調提示方法の一検討

【情報・知能工学系 准教授 金澤 靖】

- (1) はじめに
- (2) 交通弱者の道路標識の見え方と問題点
- (3) 道路標識の検出技術
- (4) 交通弱者のための標識の強調提示法
- (5) 今後の課題

2. 低炭素型社会に貢献する交通体系

【建築・都市システム学系 教授 廣畠 康裕】

2-1 はじめに

2-2 EST の考え方に基づく交通施策

- (1) EST の定義と基準
- (2) EST の施策の特徴
- (3) 我が国における EST の支援システム
- (4) EST モデル都市における EST 施策
- (5) 我が国における EST 施策に関する今後の課題

2-3 豊橋市における交通政策の方向性と課題

- (1) 豊橋市都市交通ビジョンおよび豊橋市都市交通マスタープランの概要
- (2) 豊橋市における交通施策の実施状況
- (3) 低炭素型社会に向けての豊橋市における交通施策に関する課題

2-4 おわりに

3. 工学的技術面から見た導入条件

【電気・電子情報工学系 教授 滝川 浩史】

- 3-1 はじめに
- 3-2 自然エネルギーの利用
 - (1) はじめに
 - (2) 大学への導入効果
 - (3) 一般家庭への導入効果
 - (4) まとめ
- 3-3 電力供給システム
 - (1) はじめに
 - (2) バッテリーの劣化要因と劣化緩和運転方法
 - (3) キャパシターバッテリー併用システム
 - (4) システム概要と導入効果のシミュレーション
 - (5) 車両搭載時の制約とシミュレーション結果
- 3-4 デモンストレーション
 - (1) 市民へのデモンストレーション
 - (2) 小型電気自動車
 - (3) 卓上エネルギー回生試験機
- 3-5 今後の課題

4. 交通需要から見た導入条件

【建築・都市システム学系 教授 廣畠 康裕】

- 4-1 はじめに
- 4-2 住民アンケート調査の概要
 - (1) 豊橋市の概要
 - (2) アンケート調査の概要
 - (3) 回答者の属性
 - (4) 交通手段に対する評価と公共交通の必要度
 - (5) 提供した情報の納得度および交通する際の重視項目の変化
- 4-3 電気バスに対する選好意識モデルの構築と電気バス利用者数の予測
 - (1) 電気バスの利用経験・利用意向の集計結果
 - (2) 電気バス路線に対する利用意志
 - (3) 電気バス選択モデルの構築
 - (4) 電気バス利用者数の予測について
- 4-4 今後の課題

5. 電気バス導入効果

5-1 既存ルートへの電気バス導入効果

【電気・電子情報工学系 教授 滝川 浩史】

- (1) はじめに
- (2) 国内の電気バス導入事例
- (3) 導入対象
- (4) シミュレーションモデル
- (5) 運行コストおよびCO₂排出量の変化
- (6) エネルギー需要の量的・質的变化
- (7) 今後の課題

5-2 電気自動車生産の経済効果

【建築・都市システム学系 教授 宮田 譲】

- (1) 豊橋市の産業連関表
- (2) 豊橋市の経済会計行列
- (3) 電気自動車導入の応用一般均衡分析
- (4) シミュレーション分析
- (5) シミュレーションの考え方
- (6) シミュレーションケースの設定
- (7) シミュレーションの結果
- (8) まとめと今後の課題

6. ハイブリッド・電気自動車の普及がもたらす経済効果の評価

【建築・都市システム学系 准教授 渋澤 博幸】

- 6-1 はじめに
- 6-2 日本自動車産業の動向
- 6-3 分析対象地域
- 6-4 分析手法
- 6-5 産業連関表
- 6-6 日本自動車産業の現状
- 6-7 スカイライン分析
- 6-8 日本全国の経済波及効果分析
- 6-9 日本9地域の経済波及効果分析
- 6-10 アジアの経済波及効果分析
- 6-11 今後の課題

7. 交通部門における持続型資源消費の分析

【環境・生命工学系 准教授 後藤 尚弘】

- 7-1 緒論
- 7-2 手法
- 7-3 結果・考察
- 7-4 まとめ

8. 水熱反応を用いる自転車タイヤチューブのケミカルリサイクル

【環境・生命工学系 准教授 大門 裕之】

- 8-1 自転車社会の現状と課題
- 8-2 電気自転車の現状
- 8-3 自転車のリサイクル活動
- 8-4 水熱反応を用いたケミカルリサイクル
- 8-5 今後の課題

9. 三河港水路内の夏期の水質悪化の実態とその要因に関する研究

【建築・都市システム学系 教授 青木 伸一, 井上 隆信】

- 9-1 研究の背景と目的
- 9-2 現地調査の概要
- 9-3 結果と考察

平成22年度活動状況

1. 未来ビークルリサーチセンター第14回シンポジウム開催報告

【電気・電子情報工学系 教授 櫻井 庸司】

2. その他の活動状況

学生への支援

自動車研究部 2010シーズン活動報告書

組織・構成

1. 交通弱者のための交通システム

1-1 ドライバの個性に着目した社会共生型安全運転支援に関する研究

機械工学系 章 忠, 三宅 哲夫, 今村 孝

大都市と異なり地方都市にとって、自動車は重要な移動手段である。また、高齢者ドライバの急増、安全性や環境性など運転に求められる要素の多様化に伴い、自動車側の運転支援能力も高度化・多様化しつつある。そのため自動車の持つさまざまなリスクと社会生活との両立・共生が不可欠である。

本研究ではドライバの個性を情報・数値化する技術を通じ、社会や歩行者に対して安全な運転の実現、多様化するドライバの運転能力の平準化を目指した新たな運転支援のあり方について研究を行う。

本報告では、その基礎技術として、主に（１）ドライバ行動計測、および（２）ドライバ心理に関する研究成果を報告する。（１）ドライバ行動計測としては、主にドライバの視線行動の計測・評価技術について研究を行った。また（２）ドライバ心理としては、従来のあせりやイライラといった負の心理要素に対して、これを改善する正の心理要素実現に向けた実験デザイン手法、およびドライバ表情の変化から心理状態を推定する手法について研究を行った。

（１）ドライバ行動計測に関する研究

1) 眠気早期検出のための眼部情報検出手法に関する検討

①はじめに

近年の日本では交通事故の件数も増える傾向にあり、交通事故の主な原因のひとつは居眠り運転である。またその前兆として運転中の注意・意識レベルが低下する現象が危険要因であることが近年の研究で明らかになっている⁽¹⁻¹⁻¹⁾。そのため、眠気を早期に検出できるシステムが構築できれば、ドライバに警告を与え、交通事故を未然に防ぐことができる。眠気を検出する方法としてドライバに負担の少ない方法は顔表情変化を用いる方法である。その中で最も眠気に関係があるのは目の動きである。眼球運動のひとつであるサッケードは眼球の跳躍運動である。また、眠気が発生する際に、眼球速度の低下と共に、サッケードの発生頻度が低下するといった関連性がある⁽¹⁻¹⁻¹⁾。そこで、本研究ではこのことを利用した眠気判定方法を検討する。被験者の顔画像を画像処理し、黒目の位置を検出する方法を用いる。精度検証には接触型計測方法であるEOG(electro-oculography)を併用し、その計測結果と画像から求めた眼球移動データとの比較を行う。

②実験方法

本研究では画像計測システムを用い、EOG と同期しながら 60[fps]のフレームレートで画像撮影を行って眼球速度を計測した。移動標識を表示するディスプレイは被験者から 610[mm]離れた前方に設置し、カメラは被験者の正面に 900[mm]離れているところに固定している。被験者は顔をあご乗せ台にて固定され、目のみで移動標識を追跡するように指示された。ディスプレイに表示される視標は横往復移動の 3 種類をそれぞれ 0.3[Hz]、0.5[Hz]、1[Hz]とし、各種類を 30 秒間表示した。また、EOG の計測においては、右眼の周りに電極を配置し、水平の EOG 波形を記録した。EOG のサンプリング周波数は 1[kHz]に設定した。

③実験結果

3 種類の視標移動より、視標の移動速度が高くなるほどインパルスの発生頻度が高くなる。ここで、視標移動が最も速い 1[Hz]のときの実験データで検証を行った。10.4–12.4[s]の間の EOG を切り出し、図 1 – 1 – 1 に示す。図に示すように、サッケードは視標の移動周期にほぼ同期して発生するが、発生時刻や持続時間が不規則である。一方、図 1 – 1 – 2 は画像から得た眼球速度結果であるが、図 1 – 1 – 1 と比較して波形はよく一致している。そこで、すべての計測時間において、画像計測により得たサッケード発生区間での最大眼球速度と同区間での EOG 値との相関係数を求めた。ただし、本報では 30[pixel/s]を超えた眼球速度をサッケードとした⁽¹⁻¹⁾。図 1 – 1 – 3 に示すようにサッケードの最大眼球速度と EOG の値の相関係数は 0.94 となり、両方の計測値の間に強い相関関係があることが分かった。

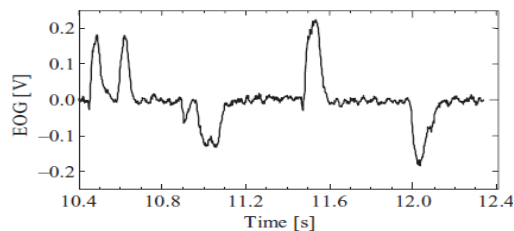


図 1 – 1 – 1

10.4–12.4[s]領域における EOG

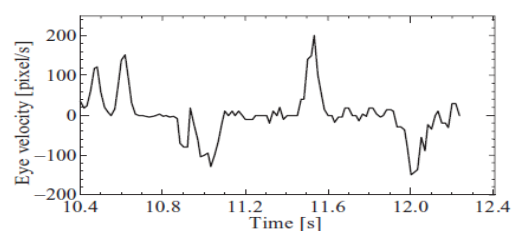


図 1 – 1 – 2

10.4–12.4[s]における画像処理による

眼球速度計測結果

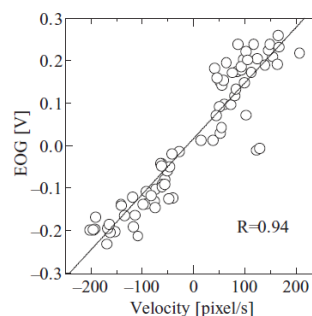


図 1 – 1 – 3 EOG と画像処理による眼球速度結果の相関

④おわりに

本研究では画像を用いた眼球速度計測システムを構築し、その計測結果を同時に計測した EOG の結果と比較することで、計測システムの計測精度を検証した。その結果、眼球運動の計測精度は、信頼性の高い EOG とほぼ一致していることがわかり、サッケードのように高速な眼球運動に対しても、本計測システムが適用可能であることが確かめられた。

(章 忠, 三宅 哲夫, 今村 孝, Ahmad Fathullah Bin Rahim)

2) 単眼カメラを用いた安全運転支援システムのための視線計測

①はじめに

近年、最先端の情報通信技術を用いて人と道路と車両とを情報でネットワークすることにより、交通事故、渋滞などといった道路交通問題の解決を目的に、Intelligent Transport Systems(ITS)という新しい交通システムが盛んに開発されている⁽¹⁻¹⁻³⁾。実用化されているものでは、ETC による自動料金収受システムや、VICS によるナビゲーションシステムの高度化が挙げられ、交通渋滞の解消に役立っている。交通事故を防止する目的では、見通しの悪いカーブなどで対向車が来ていることを知らせるシステムなどがある。しかし、交通事故の大半がドライバの注意不足であることから⁽¹⁻¹⁻⁴⁾、ドライバの状態を推定し、注意不足を解消できるシステムが交通事故の防止に有効である。そこで、我々はカメラを用いてドライバの集中度を推定する事を目的としている。

②システム概要

我々が提案している安全運転支援システムは、車内に 2 台のカメラを設置し、1 台は車両前方を撮影し、もう 1 台がドライバの顔を撮影する。(図 1-1-4)ドライバの顔画像からドライバの視線方向を計測し、車両前方画像から注視すべき対象物体を検出する。その 2 つの情報から、ドライバが何を見ているかを判断し、ドライバの集中度を推定する。

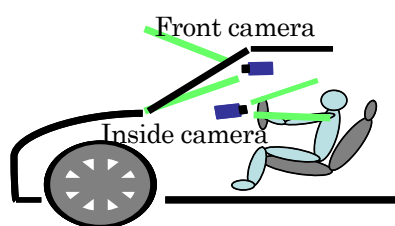


図 1-1-4 安全支援システムの概略図

③視線計測手法

本提案手法における視線計測の手順を以下に示す。

- i) Active Shape Model⁽¹⁻¹⁻⁵⁾を用い、顔の特徴点を検出する
- ii) 顔の特徴点の中から、目の領域を抽出し、モルフォロジー演算により、黒目のみの画像に変換する
- iii) 黒目の図心を取り、両黒目の図心の中央(図 1-1-5 内 a)と目尻、目頭などの特徴点から得た基準点(図 1-1-5 内 b)と比較し、その距離によって視線の角度を計測(水平方向のみ)する



図 1－1－5 視線方向計測時の画像処理例

④視線計測実験結果

③に示した手法を用い, 1[m]の距離のディスプレイに-10[deg]～10[deg]に 5[deg]刻みに視標を表示し, 顔は固定せず, その視標を注視する実験を行った。結果を図 1－1－6 に示す。

この視線計測実験の結果, 視線計測の標準偏差は 1.1～1.3[deg]で, 最大値-最小値は 5.2～8.5[deg]であった。

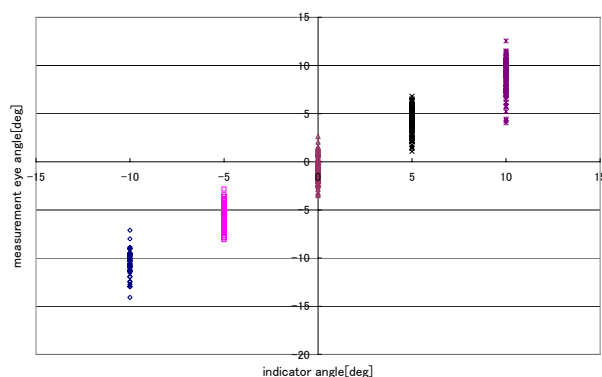


図 1－1－6 提案手法による視線方向計測の結果

⑤おわりに

本報告で提案した, 黒目の図心をとる手法では, 水平方向の黒目の中心は精度よく計測ができている。一方, 垂直方向の眼球運動では, 黒目が目蓋で隠れる部分が多いので精度が確保できていない。安全運転支援システムの構築においては, 水平方向のみの視線方向では確実に注視行動をモニタリングできないため, 垂直方向への対応は必須であり, 今後, 黒目の可視化可能な部分のみを用いて楕円フィッティング処理などを行い, 視線計測精度の向上を目指す予定である。

(三宅 哲夫, 今村 孝, 章 忠, 藤本 準, 松永 惇)

3) ドライバの注視行動計測に基づく運転集中度の検出

①はじめに

近年の交通安全運動や ITS 技術の発達により, 交通事故死傷者数は平成 21 年度を含めて 5 年連続で減少したが, 依然として高い水準にある⁽¹⁻¹⁴⁾。交通事故の原因の多くは居眠り運転や漫然運転といったドライバの集中力不足である。従ってドライバの運転状態を評価するシステムにより集中力低下を検出し, ドライバに警告することで事故を未然に防ぐことが出来ると考えられる。

前節で示したとおり，本研究室では，車に二台の単眼カメラを設置し，ドライバの運転状態を評価するシステムを提案している。図 1-1-4 に示したシステムにおいて，カメラのうち一台は車両前方を撮影し，通常の運転状態で注視する可能性のある物体を検出する。もう一台はドライバの顔を撮影し，ドライバの視線を推定する。本節では，二台のカメラから得られる注視対象とドライバの視線の情報を統合することにより，注視行動の妥当性を判断し運転状態を評価する方法を提案する。

ドライバの運転集中度は次の手順により決定する（図 1-1-7）。まず，車両前方カメラで撮影した画像から標識と車両を抽出し，過去のそれぞれの抽出結果を参考にドライバが注視する対象の優先順位を決定する。次に車内カメラで撮影した画像から視線を計測する。そして視線ベクトルを車両前方カメラの画像平面に投影し，注視行動を評価する。この結果得られる値を集中度定数と定義し，これを積分することで瞬時集中度を，瞬時集中度を積分することで運転集中度を決定する。

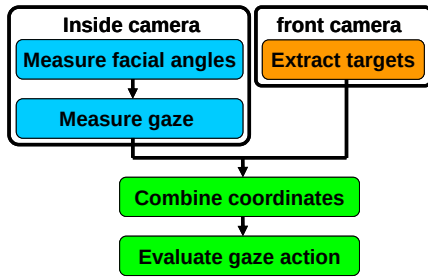


図 1-1-7 提案手法のフローチャート

②座標系の統合

提案手法では，車両前方カメラから得られる画像平面に，車内カメラから得られる視線ベクトル v_{gaze} を投影する必要がある。この関係を図 1-1-8 に示す。世界座標系は車両前方を撮影するカメラの座標系に一致させ， $\Sigma_2(o_2 - x_2 y_2 z_2)$ とする。顔を撮影するカメラの座標系 $\Sigma_1(o_1 - x_1 y_1 z_1)$ は， Σ_2 に対して回転運動 R_{21} ，並進運動 t_{21} が加わっている。 Σ_1 における視線の y_1 軸を中心とした回転の角度を θ_{gaze} ， x_1 軸を中心とした回転の角度を ψ_{gaze} ， Σ_1 における v_{gaze} の並進運動を t_{10} とおき，車両前方画像に投影した視線ベクトル v_2 を次式で示す。

$$v_2 = \begin{pmatrix} -v_{gaze} \sin \theta_{gaze} - t_{x10} + t_{x21} \\ v_{gaze} \sin \psi_{gaze} + t_{y10} + t_{y21} \end{pmatrix}$$

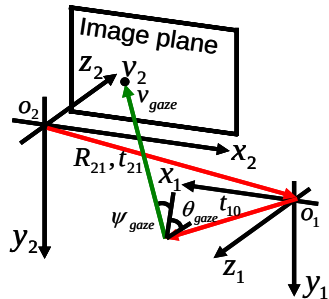


図 1-1-8 提案手法における座標系

③注視行動の評価

ドライバの運転集中度は現在までの走行環境が影響するため、瞬時的に変化するものではなく、持続的に変化すると考えられる。提案手法では、注視行動は対象を注視する時間、同一対象を注視する回数、視覚特性に基づく注視の優先順位、および視線のばらつきにより評価する。各条件に対して注視行動が適切であれば集中度定数 α を増加させ、不適切であれば α を減少させる。ドライバが注視行動を行うたびに注視行動を評価し、その結果に応じて α を更新する。 α は瞬時集中度 p に加算し、 p は集中度 Cr に加算する。 Cr を監視することでドライバの集中度、即ち集中力の低下を検出する。

④おわりに

本報では、ドライバの注視行動から集中力低下を検出する手法を提案した。今後は時系列画像を用いてシステムの有用性を検討する。

(三宅 哲夫, 今村 孝, 章 忠, 松永 惇, 藤本 準)

4) ハンドル操作における動作特徴の抽出とそのアトラクタ表現

①はじめに

交通事故や交通違反の経験頻度には個人差のあることが知られている。そのため予防安全に向けた取り組みの一つとして、各ドライバの運転技能・特性の違いを知ることは重要である。本稿では、ハンドル操作における動作特徴をその前腕運動に応じた加速度・角速度データから抽出し、これを非線形力学系におけるアトラクタとして表現する方法を述べる。本手法では、まず、ドライバの前腕運動を無線加速度・角速度センサをもちいて無拘束で計測する。つぎに、計測データを可視化のために主成分分析によって低次元の空間に写像する。その後、低次元化されたデータに対しクラスター分析をおこない、ハンドル操作動作を分節化する。さらに、分節化されたデータを非線形力学系におけるアトラクタによって表現し、岡田ら^(1-17,1-18)によって提案された設計手法に基づき連続的記号空間を導く。このとき、分節化されたひとつの動作は記号空間の一点として表される。また、設計された記号空間は、ハンドル操作動作における動作の大きさや素早さといった抽象化された動作情報を含んでいると考えられる。この記号空間を利用し、ドライバごとのハンドル操作動作の違いを観察する。その結果、本手法によって各ドライバの運転技能の特徴を把握できることを示す。

②軌道アトラクタによる運動記述

身体の動きを伴う人の運動は、物理法則に従うある力学系として表現できる。ところが、人の身体は多くの関節と筋肉から構成され、数理モデルとして記述するには自由度が非常に高く、またそれらのパラメータを同定することも一般には困難である。本報告では、 n 次元状態空間内へ観測された時系列を展開することで閉曲線軌道を構成し、これより計測信号のダイナミクスを再構成する図1-1-9に示す方法を提案した。

■運動データからの記号空間構成

本節では、運動データから人の動作特徴を抽出し、これを非線形力学系により分析する手法を新たに提案する。本手法では、図 1-1-9 に示すように手続きごとに 4 つの空間を定義し、運動データを抽象化する。

- ・計測空間：モーションセンサによる身体動作計測
- ・信号空間：運動データの低次元化とその分節化
- ・状態空間：分節化された運動データからの軌道アトラクタの構成とその力学系への埋め込み
- ・記号空間：力学系パラメータのある類似性に基づいた空間内への配置

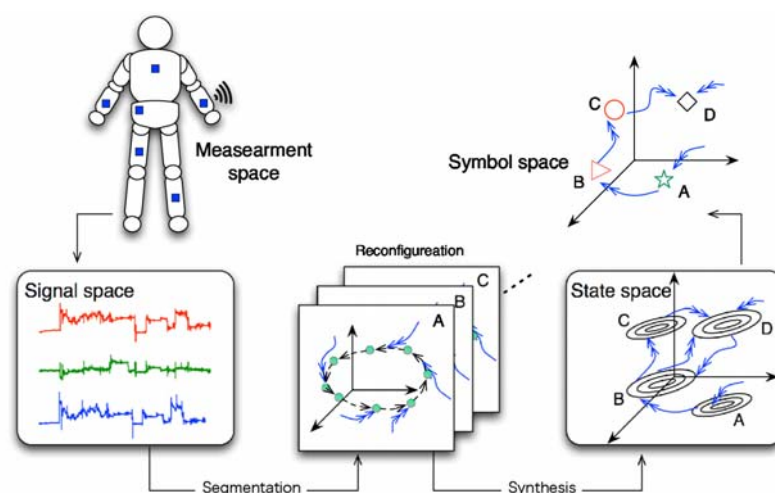
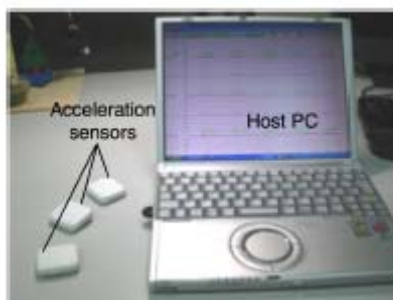


図 1-1-9 非線形ダイナミクスを用いた人間動作解析に関する提案手法の概略

■身体運動の計測

まず、3 軸モーションセンサによって前腕運動に伴う加速度・角速度を無拘束で計測する。計測には、ATRPromotions 社 WAA-006 (W:39[mm]×H:44[mm]×D:12[mm], 20[g]) を使用し、2 つのセンサを左右両手首にそれぞれリストバンドにより装着した。サンプリング周波数 100[Hz] とし、ホスト PC へ Bluetooth 無線により計測データを送信する。各サンプル時刻ごとに x ; y ; z 軸の加速度・角速度がそれぞれ計測される。図 1-1-10 に計測システムおよびドライバへの装着例をそれぞれ示す。



(a)センサユニット構成



(b)センサ設置例

図 1-1-10 3 軸モーションセンサを用いた運転操作計測システム

■運動データの分節化

つぎに、計測した運動データを分節化する。ここでは、人の振る舞いは、基本的な運動パターンの組み合わせからなる、と考える。計測した運動データからこの基本的な運動パターンを抽出するためには、動作の切り替えポイントごとにデータを分割する必要がある。代表的な手法として、クラスタリング法やダイナミクスの収束点に基づく方法がある。本稿では、観測された時系列から基本的な運動パターンを見いだすために、クラスター分析により、データを類似する部分系列の集合に分割した。その前処理として主成分分析による低次元化やウェーブレット解析による特徴量抽出を行った。その後、軌道アトラクタの抽出、記号空間の構成を経て、ハンドル操作動作解析への応用を試みた。

■ハンドル操作動作解析への応用

提案手法によって、ハンドル操作動作における動作特徴を記述できるかを検討するために、単純な前腕運動を計測した。左右前腕を前後に繰り返し振出しながら、振り出しの大きさ・早さを10[sec]おきに变化させた（P1:小さく・ゆっくり→P2:小さく・素早く→P3:大きく・ゆっくり→P4:大きく・素早く）。収集したデータは、カットオフ周波数 12.5[Hz] のローパスフィルタにより、身体動作に関係のない成分を除去した。図 1-1-11 に記号空間の設計結果を示す。図示するように、抽出された 4 つの力学系パラメータを線形補間し、合計 63 個のパラメータから記号空間が導出された。この空間内で、運動パターン P1 から P4 への遷移を記号 M1 から M4 で表現できていることが確認できた。

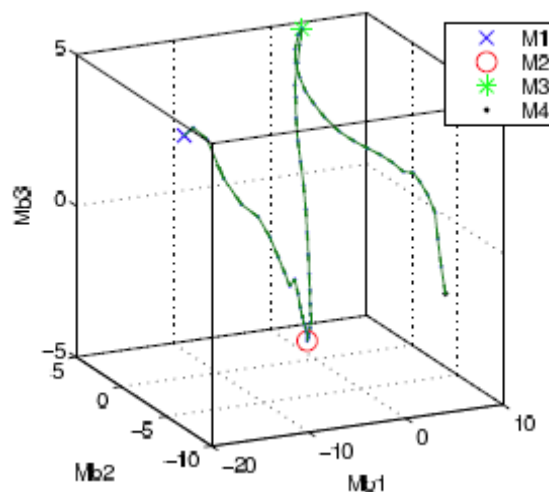


図 1-1-11 ハンドル操作動作からの記号空間設計結果

③おわりに

人の身体のような大自由度系の運動について、その数理モデルを構築することは一般に困難を伴う。この問題に対し、本稿では、観測された時系列データから人の動作特徴を抽出し、これを非線形力学系により分析する方法を述べた。本手法では、（１）ウェアラブル型のモーションセンサにより身体動作を計測し、（２）観測された時系列から身体動作のダイナミクスを再構成し、

その特徴を記号空間内で記述した。ハンドル操作を想定した前腕運動に本手法を適用し、動作の連続的な遷移過程を低次の空間で表現することができた。また、同空間を利用して、被験者間/内の違いを考察することは、今後の課題である。

(章 忠, 今村 孝, 三宅 哲夫, 秋月 拓磨)

(2) ドライバ心理に関する研究

1) 自動車運転時における心理実験のデザインとその効果の検証

①はじめに

近年、自動車事故とその死傷者の増加を未然に防ぐことを目的とした予防安全装置の開発・実用化が進められている。この自動車事故原因としては、特に全体の約 75 %が漫然運転などのドライバの不注意によって引き起こされている⁽¹⁻¹⁴⁾。また、その原因は、あせりや苛立ちなどの心理的な要因があると考えられ、心理分野に着目した安全運転支援システムの構築が必要とされている。しかし、人間の心理という不確定な要素を推定・認識することは容易ではなく、その真値に関する十分な検討もなされていない。

そこで本研究では、心理状態の変化を量的に捉え評価・コントロールする要素の検討による、予防安全システム構築を目指している。このうち、心理状態の定量化手法として、運転実験に関する従来研究の知見に基づき、ドライバ（以下、被験者）の心理状態を、任意に実現しうる運転時心理実験デザインの基礎的検討を行う。そしてアンケート調査、生体生理指標、被験者の口述により、被験者の心理状態との整合性を検証し、提案する実験デザイン手法の妥当性を検証する。

②運転時心理実験のデザイン

本章では、ドライビングシミュレータ（DS）を用いた運転時心理実験の実験設定（デザイン）を検討・提案する。従来、被験者の心理状態は、運転行動のほか、発汗量、脈拍などの生理指標を用いた評価により、特にストレス要素や不注意といった負の心理要素の抽出がなされてきた。そこで、本研究では、従来知見にもとづき、ドライバを一旦、明らかに負の心理状態とさせ、そこから適正状態へ復帰させる心理実験設定を提案する。これにより、心理状態の復帰に効果のある要素・要因についても検討する。

次節では、被験者に対する、任意のストレス付与とその復帰状況の検出方法を検討する。

■運転時心理実験

本研究では、ストレス付与要素として、運転環境と知覚情報の 2 点について検討した。まず、被験者に対し、運転環境ストレスとしてタイムトライアルを課し、また、知覚情報ストレスとしてホワイトノイズ音を提示した。

一方、ストレスからの復帰要素として、音楽を取り入れた。ここでは、被験者の好みの音楽と、自律神経のバランスを整えるセラピーCD「自律神経にやさしい音楽（牧野真理子医学博士監修株式会社デラ）」の 2 点を実験に適用する音楽とした。なお、好みの音楽については、個人適合性を考慮し、被験者自身に持参するよう依頼した。以上の運転環境、知覚情報を用いて、それぞ

れのストレス要素の適切性および音楽が与える効果を検証する。

■計測項目

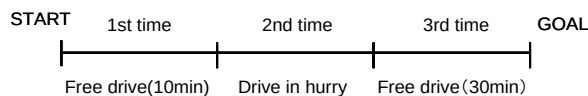
本研究では、心理状態評価のため、生理データ収集とアンケート調査を実施した。まず、生体データとしては、心拍情報を採用し、多機能ワイヤレスホルタ型計測器（株式会社メディリンク製 carpod）を被験者に装着させた。一方、アンケート調査としては、SD（Semantic Differential）法で作成した筆記式アンケートおよび口頭アンケートの2種類を、いずれも実験実施後に実施した。筆記式アンケートには、対比する形容詞を文献⁽¹⁻¹⁻¹²⁾より選出し、提示された音楽およびDSの乗り心地などに関するアンケートとした。口頭アンケートでは、実験の様子をビデオ録画し、実験後に被験者と実験者で確認しながらアンケート回答を行う形を採用した。アンケート項目は「眠気の有無」「どんな気分であったか」「DSの操作性の違和感」の3点を中心に質問した。またその実施箇所は、被験者の心理状態の変化が予想される13箇所を予め抽出し設定した。

<First day>

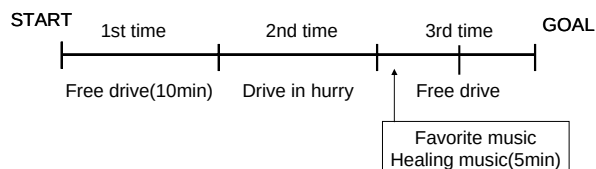
- DS practice (5times)
- listen to favorite music (*)
- listen to healing music (*)
- listen to white noise (*)

* : 5min in a sitting posture without driving operation

<Second day>



<Third day>



<Fourth day>

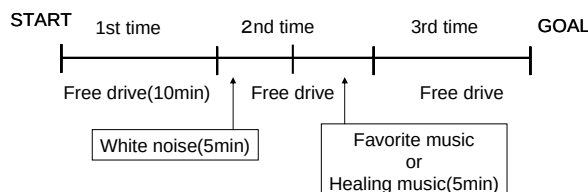


図 1-1-12 提案する実験の流れ

■運転時心理実験手順の提案

以上の実験条件から、DSを用いた運転時心理実験手順を提案し、実施した。本研究における実験は、本学ヒトを対象とする実験計画申請の上、十分な説明の後インフォームドコンセントを得た被験者5名の協力を得た。そして各被験者に対し、1日約3時間の実験をのべ4日間実施した。このうち、心拍情報については、その日内変動を記録するため、計測器を10時から18時まで装着させて記録した。また、DSは実車とは操作性が異なり、慣れるまでに時間がかかるため、操作性の違和感による被験者心理への影響を考慮し、DS運転予備実験を含めた。実験の手順を

図1-1-12に示す。なお、タイムトライアルは、1日目の乗車実験時の平均走行タイムの、その1分短いものを目標値として被験者に指示した。

③実験・解析結果

上記の運転時心理実験を行い、取得した計測項目を個々に分析した。まず心拍情報はソフトウェアで心拍数、副交感神経・交感神経の亢進指標などを算出した。アンケートデータは、筆記式アンケートに関して主成分分析を行い、それをもとにクラスタ分析を行った。

■心拍データの分析

心拍情報からR-R間隔（1心拍内に生じる心電ピーク値間の時間間隔）を算出し、それをもとに副交感神経・交感神経の亢進指標を算出した。本研究では、生体情報を計る指標として多く採用されている⁽¹⁻¹⁻¹¹⁾、SDNN（NN間隔標準偏差値）とHF（副交感神経の指標）、LF/HF（交感神経の指標）を採用することにした。

また分析区間はストレス付与前(scene1)、ストレス付与中(scene2)、音楽提示中(scene3)、音楽提示後(scene4)の4箇所とし、各5分間とした。結果の一例を、表1-1-1に示す。

表1-1-1 実験3日目における「好みの音楽」聴取時の分析結果

	scene1	scene2	scene3	scene4
SDNN	40.383	28.647	43.504	41.601
HF	15	14	16	12.9
LF/HF	0.9	0.6	0.8	1.2

表1-1-1に示す例と同様に、ほとんどの実験でscene2では、交感神経の亢進指標が下降し、scene3では副交感神経の亢進指標が上昇していた。このことから、音楽を提示したことにより副交感神経が亢進し、リラックスが得られたことが示唆される。

■筆記式アンケートの主成分分析

筆記式アンケートに対しては主成分分析を行い成分抽出を行った。その結果DSに関するアンケートでは3成分、音楽に関するアンケートでは2成分が検出された。なお、主成分分析では、文献⁽¹⁻¹⁻¹²⁾をもとに寄与率60%の主成分を採用した。そして主成分に含まれていた形容詞成分をもとに、それぞれを快適成分、注意力成分、安静成分、好感成分、覚醒成分と命名した。

■筆記アンケートのクラスタ分析

次に前節の主成分分析結果にもとづき、クラスタ分析を行った。その結果、DSに関するアンケートは8つ、音楽に関するアンケートは4つのクラスタに分類された。それぞれのクラスタにおいて、各成分の寄与度に応じて表1-1-2、1-1-3のような命名を行った。

また、DSに関するアンケートについて、前掲した分析区間に対する分類状況を分析した結果、表1-1-4に示すようにストレス中はイライラや疲れ、眠気など、運転に不適切と考えられる状態に分類されていることがわかった。一方、音楽中は、好みの音楽提示時において運転に適切な状態に40%、興奮状態に50%分類された。また、音楽に関するアンケートに関しても同様の

分析区間で解析した結果、表 1-1-5 に示すようにホワイトノイズ提示時に不快な状態を表すクラスタに 100% 分類されることを確認した。

以上のクラスタ分析の結果、ホワイトノイズとタイムトライアルは、いずれもストレスを与える要因として有効であることが示唆された。

表 1-1-2 DS に関するクラスタ命名結果

cluster1	irritation
cluster2	relax & sleepy
cluster3	loose
cluster4	tired
cluster5	appropriate to driving
cluster6	sleepy
cluster7	haste
cluster8	excitement

表 1-1-3 音楽に関するクラスタ命名結果

cluster1	good feeling
cluster2	good feeling & concentration
cluster3	unpleasantness
cluster4	good feeling & sleepy

表 1-1-4 DS に関するクラスタ分類状況

	ratio(favorite)	ratio(helling)
cluster1	0.5	0.5
cluster2	0	0.2
cluster4	0.4	0.1
cluster6	0.1	0.2

表 1-1-5 音楽に関するクラスタ分類状況

	ratio
cluster1	0
cluster2	0
cluster3	1.0
cluster4	0

④おわりに

本研究では、自動車運転時の心理状態を計測・推定を目的とし、運転時心理実験設計手法の提案とその検証を行った。実験・解析の結果、定量的データにおいて、音楽による心理状態の復帰効果が、定性的データによって実験時のストレス提示方法の妥当性がそれぞれ示唆された。これにより、提案した実験デザインの有効性を確認した。今後は、被験者数の増加、計測情報の更なる評価・分析によるより自由度の高い実験設計手法の確立が望まれる。

(今村 孝, 章 忠, 三宅 哲夫, 笠井 かおり)

2) 顔部位の時間変化量を用いた表情推定

①はじめに

表情は、ヒトの状態や意図を良く表しており、意思伝達において大きな役割を果たしている。また、低負荷なマンマシンインターフェースが求められている。そこで、マシンがヒトの表情を認識できれば低負荷な入力により良い対応が期待できる。しかし、従来研究の表情を入力とするインターフェースは、事前にヒトの表情の基準となる情報が必要であるため、その取得に時間を要する。そこで、本研究では基準情報を必要とせずに、6 表情(幸福, 悲しみ, 怒り, 驚き, 嫌悪, 恐怖)と平常顔の検出が可能な、認識手法の構築を目標とする。

②特徴量の検出

基準顔（平常顔）からの目頭や眉の端点などの特徴点移動量（以下、特徴量）は、頬や額の部分で動きを捉えることが困難である。そこで、本研究では端点を必要としない顔部位の特徴量検出のためにオプティカルフローを用いる。このオプティカルフローを用いた特徴量の検出は、1フレーム前の画像を基準とする。そのため、基準顔を必要としない。図1-1-13に特徴量の検出結果を示す。特徴量の検出場所は、図1-1-13で示す格子上の交点とした。このときの特徴量検出数は400である。図1-1-13では、被験者が口角を上げる動作をしており、提案手法により、口の動きの特徴が捉えられていると考えられる。



図1-1-13 オプティカルフロー検出結果の一例

③表情の推定

表情を識別する識別器として階層型ニューラルネットワーク（以下、NN）を用いた。学習は顔の特徴量とそのときの表情を入力として行なった。NNの入力層は、特徴量の数である400とした。出力層は、平常顔から6表情への変化、6表情から平常顔への変化の検出を目的とし、12とした。また、中間層を入力層と同じ400とした。図1-1-14に表情変化の動画像を入力としたNNの出力結果を示す。

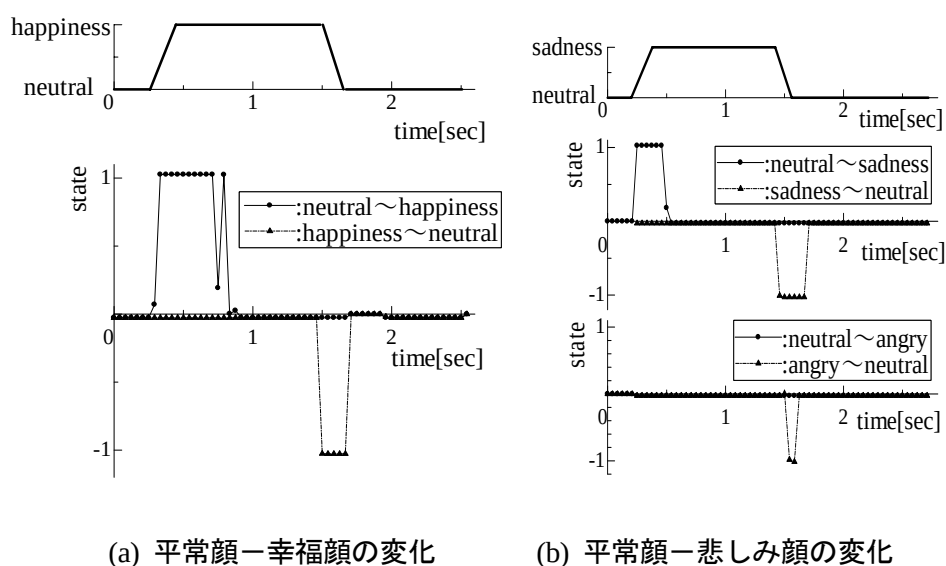


図1-1-14 表情変化の認識結果

図 1-1-14 の縦軸は表情変化の状態を表しており 1 は平常顔からの変化を表し -1 は平常顔への変化を表す。図 1-1-14 (a) は、0.3[sec] に平常顔から幸福顔へ変化し、1.5[sec] に平常顔へ戻る動画を入力とした結果である。このとき、幸福顔の変化だけを検出できた。しかし、図 1-1-14 (b) の 1.4[sec] に悲しみ顔から平常顔へ戻る区間では、悲しみ顔から平常顔と怒り顔から平常顔への変化が検出された。これは、悲しみ顔から平常顔への変化時に現れる眉間に寄せた眉と下がった口の両端が元に戻る動きが、怒り顔から平常顔への変化時に現れる動きと同様であるために生じた誤検出と考えられる。表 1-1-6 に表情変化の検出率を示す。

表 1-1-6 提案手法による表情認識率

Expression	Recognition ratio	Expression	Recognition ratio
neutral～happiness	66.7 %	happiness～neutral	100 %
neutral～sadness	75 %	sadness～neutral	25 %
neutral～angry	75 %	angry～neutral	50 %

半数以上の表情変化において 60% 以上の高い検出率が達成できていることから提案した手法の有効性が示唆されたといえる。ただし、一部の表情では 25% までの検出率の低下が確認でき、その理由は同様の特徴量変化を有する表情変化が存在することである。

④おわりに

本研究では、オプティカルフローを用いて顔部位の時間変化量を検出し、これを特徴量とすることで、基準となる顔情報を必要としない特徴量検出手法を提案した。また、この特徴量を入力としてニューラルネットワークを用いることで表情を推定した。

(三宅 哲夫, 今村 孝, 章 忠, 松本 卓也)

(3) 研究発表実績, 今後の課題

本研究テーマについては、平成 22 年度において、以下の研究発表を行った。

■学術論文投稿

1. 章忠, 鈴木直也, AHMAD FATHULLAH Bin Rahim, 今村 孝, 三宅哲夫, 画像解析による高速眼球運動速度の計測システムの開発, 日本機械学会論文集 C 編, Vol.76, No.772, pp.3438-3445, (2010.12)

■国際学会論文発表

1. T. IMAMURA, T. TAKAHASHI, Z. ZHANG and T. MIYAKE, Estimation for Driver's Intentions in Straight Road Environment using Hidden Markov Models, Proc. of IEEE International Conference on System, Man and Cybernetics(SMC2010, Oct. 10-13, 2010, Istanbul, Turkey), pp.2971-2974.
2. Zhong Zhang, Ahmad Fathullah Bin Rahim, Takashi Imamura and Tetsuo Miyake, Detection of Saccade Using Image-Based Measurement System to Estimate Early Signs of Drowsiness,

- International Conference on Innovative Computing, Information and Control 2010 (ICICIC2010, Dec. 20-22, 2010, Xi'an, China), ICIC Express letters, Part B: Applications, Vol. 2, Num. 3, June 2011 pp.635-640
3. Tetsuo Miyake, Takuya Matsumoto, Takashi Imamura and Zhong Zhang, Estimation of Facial Expression from Its Change in Time, International Conference on Innovative Computing, Information and Control 2010 (ICICIC2010, Dec. 20-22, 2010, Xi'an, China), ICIC Express letters, Part B: Applications, Vol. 2, Num. 3, June 2011 pp.641-646
 4. Takashi Imamura, Hagito Yamashita, Zhong Zhang and Tetsuo Miyake, A Study of Classification for Driver's Normality Using Cooperativeness of Driving Behaviors, International Conference on Innovative Computing, Information and Control 2010 (ICICIC2010, Dec. 20-22, 2010, Xi'an, China), ICIC Express letters, Part B: Applications, Vol. 2, Num. 3, June 2011 pp.647-652
 5. Tetsuo Miyake, Jun Fujimoto, Makoto Matsunaga, Takashi Imamura and Zhong Zhang, Measurement of Viewing Direction for Safety Driving Support System with Monocular Camera, International Conference on Innovative Computing, Information and Control 2010 (ICICIC2010, Dec. 20-22, 2010, Xi'an, China), ICIC Express letters, Part B: Applications, Vol. 2, Num. 3, June 2011 pp.653-658
 6. Md Rizal Othman, Zhong Zhang, Takashi Imamura and Tetsuo Miyake, Driver Inattention Analysis Using Neural Network Based Nonlinear ARX Model, International Conference on Innovative Computing, Information and Control 2010 (ICICIC2010, Dec. 20-22, 2010, Xi'an, China), ICIC Express letters, Part B: Applications, Vol. 2, Num. 3, June 2011 pp.679-686

■国内学会発表

1. 松永惇, 藤本準, 三宅哲夫, 今村孝, 章 忠, ドライバの注視行動計測に基づく運転集中度の検出, 平成 22 年度電気関係学会東海支部連合大会, pp.E4-3 (2010.08.30-31)
2. 松本卓也, 三宅哲夫, 今村孝, 章 忠, 顔部位の時間変化量を用いた表情推定, 平成 22 年度電気関係学会東海支部連合大会, pp.P5-1 (2010.08.30-31)
3. 藤本準, 松永惇, 三宅哲夫, 今村孝, 章 忠, 単眼カメラを用いた安全運転支援システムのための視線計測, 平成 22 年度電気関係学会東海支部連合大会, pp.P5-4 (2010.08.30-31)
4. Ahmad Fathullah Bin Rahim, 章 忠, 今村 孝, 三宅 哲夫, 眠気早期検出のための眼部情報検出手法に関する検討, 平成 22 年度電気関係学会東海支部連合大会, pp.Po22_2 (2010.08.30-31)
5. 秋月拓磨, 章 忠, 今村 孝, 三宅哲夫, ハンドル操作における動作特徴の抽出とそのアトラクタ表現, 第 20 回インテリジェント・システム・シンポジウム, paper_60.pdf (2010.09.25-26)
6. 笠井かおり, 章 忠, 今村 孝, 三宅哲夫, 自動車運転時における, 心理実験のデザインとその効果の検討, 第 11 回公益社団法人計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会 (SI2010) , pp.390-393 (2010.12.23-25)

本報告に示したように、ドライバ計測に関する基礎技術の構築が進んでいる。今後は研究室内の基礎実験のみならず、実車環境や一般ドライバを対象とした検証実験を重ね、実装・実用化に向けた検証・知見蓄積を行い、計測精度や実現性の向上を行うことが課題である。

参考文献

- (1-1-1) 鈴木一弥, 北島洋樹, 飯田裕康, 大型トラックによる予感長距離走行時の眠気発生に伴う瞬目・眼球運動指標の変化, 労働科学, Vol.79, No.6, pp.,299-316, 2003
- (1-1-2) 坂下, 藤吉, 平田, 画像処理による3次元眼球運動計測, 実験力学, Vol.6 No.3, pp.236-242, 2006
- (1-1-3) 国土交通省道路局, <http://www.mlit.go.jp/road/ITS/j-html/>
- (1-1-4) 内閣府, 平成22年度版「交通安全白書」
- (1-1-5) T.F.Cootes, “Active Shape Models-Their Training and Application”
- (1-1-6) 長田他, 電気学会電力・エネルギー部門大会, No.423, 2002
- (1-1-7) 岡田, 中村, 脳型情報処理を行う力学系の多項式設計法とそのヒューマノイドの全身運動生成への応用, JRSJ, Vol.22, No. 8, pp. 98-108, 2004
- (1-1-8) 岡田, 中村, 力学的情報処理による連続的記号空間の設計と全身運動の生成, JRSJ, Vol.23, No.7, pp. 858-863, 2005
- (1-1-9) 多田, 納谷, 大村, 岡田, 野間, 鳥山, 小暮, 無線加速度センサを用いた運転者行動の計測・解析手法, 信学論, Vol.J91-D, No.4, pp.1115-1129, 2008
- (1-1-10) 樋口香織, 堀畑聡, 杉本俊二, 堀川順生, 脳波による快音と不快音の感性評価の検討, 日本音響学会研究発表会講演論文集, Vol.2006 秋季, 2006, pp. 3-P-19.
- (1-1-11) 谷明博, 山崎義光, 堀正二, 心拍変動の意義と測定・解析法, 林博 史編, 心拍変動の臨床応用- 生理的意義,病態評価,予後予防, 医学書院, p.28, 1999.

1-2 交通弱者のための道路交通標識の強調提示方法の一検討

(1) はじめに

国土交通省道路局のWebページ¹において、「高度道路交通システム(Intelligent Transport Systems, ITS)とは、最先端の情報通信技術を用いて人と道路と車両とを情報でネットワークすることにより、交通事故、渋滞などといった道路交通問題の解決を目的に構築する新しい交通システムである」と定義されている。ITSにおける9つの開発分野は

- ① ナビゲーションシステムの高度化
- ② 自動料金収受システム
- ③ 安全運転の支援
- ④ 交通管理の最適化
- ⑤ 道路管理の効率化
- ⑥ 公共交通の支援
- ⑦ 商用車の効率化
- ⑧ 歩行者などの支援
- ⑨ 緊急車両の運行支援

とされており、⑧を除き、情報通信技術を用いた安全な車の開発、道路インフラの利用および管理の効率化など、そのほとんどが車やドライバーを中心とした技術の開発を目的としている。唯一歩行者を対象とした⑧の「歩行者などの支援」においても

- ① 経路案内
- ② 危険防止

が開発すべき利用者サービスとされているに過ぎない。交通弱者である高齢者は、車のドライバーとして事故の加害者になる可能性が高いだけでなく、歩行者として事故の被害者になることも多い。また、現在の標識や信号などのシステムは、大人の健常者を対象としているため、子供や、視覚や聴覚の衰えた高齢者、視覚や聴覚などに障害を持つ方々にとって、本当に安心して利用できる交通システムとは言えない。

その一方で、近年、バリアフリーを目指して、ユニバーサルデザイン(Universal Design)と呼ぶ、文化や言語、国籍の違い、老若男女といった差異、障害や能力の如何を問わずに利用することができるように、施設や製品を設計するという考え方が重要視されてきている。ユニバーサルデザインの考え方を色や配色に適用した設計をカラーユニバーサルデザイン(Color Universal Design)と呼ぶ^[1]。これは色に関するバリアフリー化を目指すものであり、高齢者や色覚障害者など、色覚機能に衰えや障害を持つ方に対しても、識別しやすい配色デザインとすることで、正しく情報が伝わるようにしようとするものであり、現在、Webでの配色の指針のほか、チョークの色や、リモコンのボタンの色、地下鉄の路線図、建物の案内図など、さまざまな個所で見ることができる。しかし、一歩建物の外に

¹ <http://www.mlit.go.jp/road/ITS/j-html/whatsITS/index.html>

出た場合、ありふれている道路標識の配色はこのカラーユニバーサルデザインにのっとっておらず、色覚障害者や高齢者等にとって、背景と標識の識別が難しかったり、また見逃してしまう場合も多い。

本研究では、このカラーユニバーサルデザインの考え方に準じ、交通弱者に対して、安全・安心な交通システムを提案・開発することを目的とする。ここでは、色覚障害者や高齢者に対して、シーン内の標識検出技術により検出した道路交通標識を強調提示することで視認性を高め、より安全性を高めることを考える。

（２）交通弱者の道路標識の見え方と問題点

交通システムの中で重要な役割を果たす交通信号については、色覚障害者にとっても比較的識別しやすい配色となっているのに対し、道路標識の配色は JIS 規格で規定されており、カラーユニバーサルデザインでの指針とは関係なく配色のデザインがされている。この標識に対する見え方を図 1－2－1 に示す。ここでは、健常者による標識の見え方と、第一色盲²と呼ばれる色覚障害の方の標識の見え方をシミュレーションしている。



図 1－2－1 健常者の見え方（左）、色覚障害者の見え方（右）

見てわかる通り、このようなシーンでは、止まれの標識と背景の木の葉がほぼ同じ色に知覚され、本来目立つべき「止まれ」の標識が返って目立たなくなっていることがわかる。これは、健常者では、網膜内に色を知覚する錐体が L（長波長）、M（中波長）、S（短波長）の 3 種類あるのに対し、色覚障害者においては、これらのうち、1 つまたは 2 つの錐体が異常を持っていたり、錐体自身がないため、このような見え方となる[1, 2]。二色型と呼ばれる色覚障害における、第一色盲および第二色盲³の方の色覚は次のように近似される[2]。

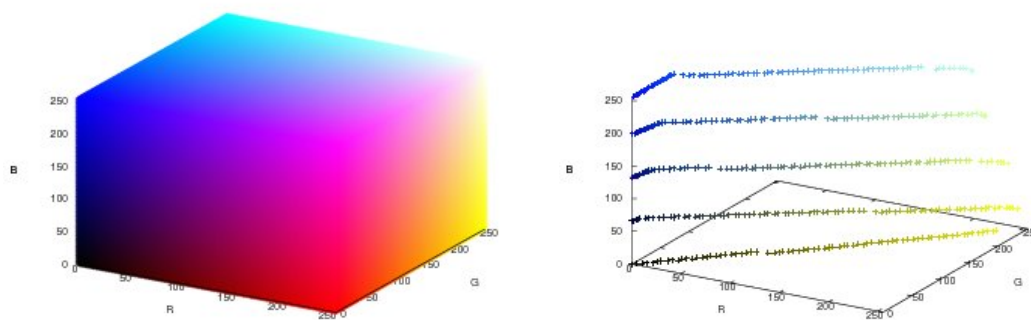
$$\begin{pmatrix} L_p \\ M_p \\ S_p \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0.0 & 2.02 & -2.52 \\ 0.0 & 1.0 & 0.0 \\ 0.0 & 0.0 & 0.16 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} L \\ M \\ S \end{pmatrix}$$

² L 型錐体の欠損あるいは異常による色覚障害。

³ M 型錐体の欠損あるいは異常による色覚障害。

$$\begin{pmatrix} L_p \\ M_p \\ S_p \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1.0 & 0.0 & 0.0 \\ 0.49 & 0.0 & 1.25 \\ 0.0 & 0.0 & 1.0 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} L \\ M \\ S \end{pmatrix}$$

これは、RGB 色空間において、健常者は図 1－2－2 (a)のような空間内のすべての点を知覚しているのに対し、第一色盲の方は、図 1－2－2 (b)のような平面上の点を知覚していることに相当する。



(a) 健常者の色空間

(b) 第一色盲の方の色空間（平面）

図 1－2－2 RGB 色空間

この知覚される色空間の退化により、健常者にとっては異なる色が、色覚障害者にとっては同じ色に知覚されてしまう。この同じと知覚される色は xy 色度図上で図 1－2－3 のように直線となり、これを混同色線と呼ぶ。カラーユニバーサルデザインの考え方においては、区別して欲しい色は同じ混同色線上に乗らないように配色を決定している。

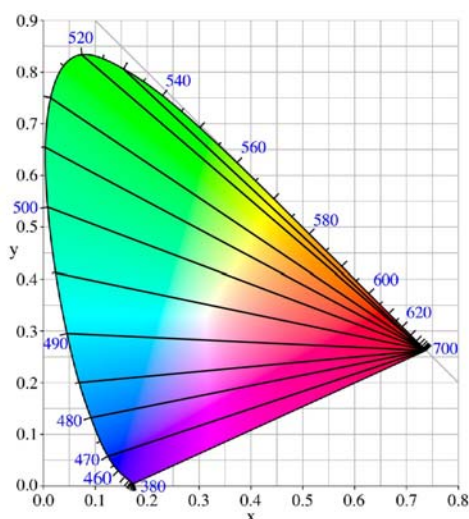


図 1－2－3 混同色線（第一色盲）

一方、高齢者においては、加齢とともに水晶体が濁ってくるため、その見え方をシミュレートすると図 1－2－4 のようになる[3]。



図 1－2－4 左から，20 歳，60 歳，70 歳の見え方

これは，次のようにモデル化される[3]。波長を λ としたとき， n 歳の水晶体の分光透過率を $S_n(\lambda)$ ，物体からの放射光の分光分布を $E(\lambda)$ ，等色関数を $\bar{x}(\lambda), \bar{y}(\lambda), \bar{z}(\lambda)$ としたとき， n 歳の知覚する3刺激値 X_n, Y_n, Z_n は次のように表せる。

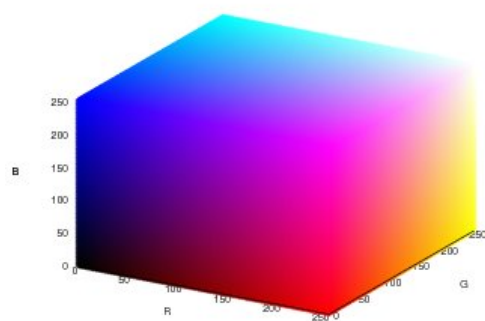
$$X_n = \frac{\int S_n(\lambda)E(\lambda)\bar{x}(\lambda)d\lambda}{\int S_{20}(\lambda)E(\lambda)\bar{x}(\lambda)d\lambda} X, \quad Y_n = \frac{\int S_n(\lambda)E(\lambda)\bar{y}(\lambda)d\lambda}{\int S_{20}(\lambda)E(\lambda)\bar{y}(\lambda)d\lambda} Y, \quad Z_n = \frac{\int S_n(\lambda)E(\lambda)\bar{z}(\lambda)d\lambda}{\int S_{20}(\lambda)E(\lambda)\bar{z}(\lambda)d\lambda} Z$$

ここで， X, Y, Z は元の3刺激値であり，

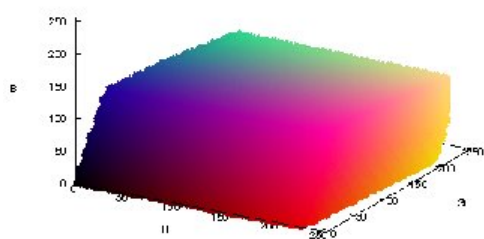
$$S_n(\lambda) = 10^{-DS_n(\lambda)}$$

$$DS_n(\lambda) = \begin{cases} T_{L1}(\lambda)[1+0.02(n-32)]+T_{L2}(\lambda) & (20 \leq n \leq 60) \\ T_{L1}(\lambda)[1.56+0.0667(n-60)]+T_{L2}(\lambda) & (n \geq 60) \end{cases} \quad (20 \leq n \leq 60) \quad (n \geq 60)$$

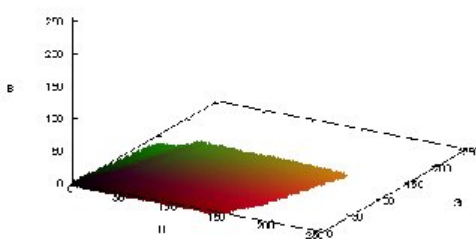
とする。 $T_{L1}(\lambda), T_{L2}(\lambda)$ は波長毎に決められた定数とする[3]。このモデルにより，高齢者の知覚できる色空間を求めると図 1－2－5 のようになる。見てわかる通り，加齢とともに，知覚できる色の空間が“平たく”なることがわかる。したがって，図 1－2－4 に示す通り，本来のコントラストが得られなくなるために，標識などを見逃してしまうことに繋がる。



(a) 20 歳



(b) 60 歳



(c) 70 歳

図 1-2-5 高齢者の知覚できる色空間

(3) 道路標識の検出技術

道路標識には大きく分けて規制標識，指示標識，警戒標識，案内標識の 4 種類があり，このうち交通の安全に大きく関連するのは，規制標識と警戒標識である。



図 1-2-6 標識の例

車載されたカメラの映像などからの道路標識の検出および認識に関しては、そのままドライバーの見落としの補助となることから、ITS 技術の中心的課題の一つとなっている。このような道路標識の検出および認識技術は、その目的に応じて次の2つに分類することができる。

- ① ドライバーなどの安全運転のために、見落とすと危険な標識、例えば「止まれ」や「進入禁止」などの規制標識を主に検出する。これはその重要性からリアルタイム処理が必要となる。
- ② 道路管理者のために、標識の位置や状態のデータベースを作成する。これはリアルタイム性は必要ないものの、全ての種類の標識を漏れなく検出・認識することが重要となる。

以下、代表的な検出手法について概説する。

道満ら[6] は Haar-like 特徴を用いた AdaBoost によるカスケード型識別器[7]を用いて、人工的に作成した見え方の変化させた多くの標識画像を学習させることで、高精度な認識を実現した。杉本[8] は、車載カメラの動画像から、標識のデータベースを作成することを目的とし、標識で使われている色同士の変化を使った Mean-Shift 法[9]による検出法を提案している。道満らのような AdaBoost によるカスケード型識別器による認識は、学習には膨大な時間がかかるものの、一度学習させれば、認識自体は高速に処理できる。一方、杉本の方法は、シーン内で見落とすことのないよう全ての動画をチェックしており、やや検出に時間がかかる欠点がある。

（４）交通弱者のための標識の強調提示法

従来より、色覚障害者に対しては、レンズに特殊なコーティングを行って色を変換して交通標識などを識別しやすくする色覚補正メガネが市販されている⁴。しかしこのようなメガネは光学的なフィルタにより実現されているため、判別しづらい色だけでなく、関係ない他の色も変換してしまうことから、見ている視野全体の色が変わってしまう。したがって、メガネをかけている場合としない場合との見え方のギャップも大きく、慣れが必要となる。また長時間そのようなメガネを装着することによる目の疲労も問題となる。

コンピュータによる画像処理を用いた画像を変換する技術として目黒の研究[4]や田中らの方法[5]がある。目黒は、まず色の弁別が困難な混同色を検出し、色覚障害者自身のインタラクティブな操作で知覚しやすい画像に変換した。また田中らは、入力画像内の色の違いに基づいて、色相を変化させないようにしながら、明度を変化させることで、識別しやすい画像に変換した。いずれの場合も、画像全体に対して識別困難色を検出し、色変換を行うため、必ずしも道路標識が強調されるとは限らないだけでなく、色覚補正メガネと同様に、関係ない部分も変換してしまう。

一方、高齢者が見やすくするために、コントラストが上がるように、階段などの段差のある部分にテープやペイントをしたり、道路などでは車線に目立つペイントをすることなどが行われているが、標識などは JIS 規格でその色が決まっているため、目立たせるために簡単にペイントしたりすることはできない。

⁴ <http://www.daltontokyo.com/>など。



図 1－2－7 標識画像の強調提示例

本研究では、交通弱者の安全のために、図 1－2－7 のように、高齢者や色覚障害者などのユーザの視野をカメラで撮影し、その画像内の標識のみ選択的にユーザに強調提示することを考える。このとき、標識以外の他の部分の見え方は変化させない。これにより、色弱補正メガネや従来の研究[4, 5]のように、知覚できるシーン内の色全部を変更してしまうことがないため、メガネをかけた場合と外した場合のギャップや、目の疲労も少ないと考える。

提案法の手順の概略を以下に示す。

- ① 道路標識の検出。
- ② 標識領域とその周囲領域の知覚可能色空間への投影。
- ③ 標識領域の色の再配置。
- ④ 再配置後の画像の健常者の色空間への逆投影。

以下、簡単にそれぞれ説明する。

① 道路標識の検出

予め手で切り出した標識部分の画像のデータベースを用いて学習させた AdaBoost によるカスケード型識別器を用いる。検出例を図 1-2-8 (a) に示す。図では検出された領域を赤枠で示しており、内側の赤枠領域が検出された標識領域、外側の赤枠を周辺領域とする。

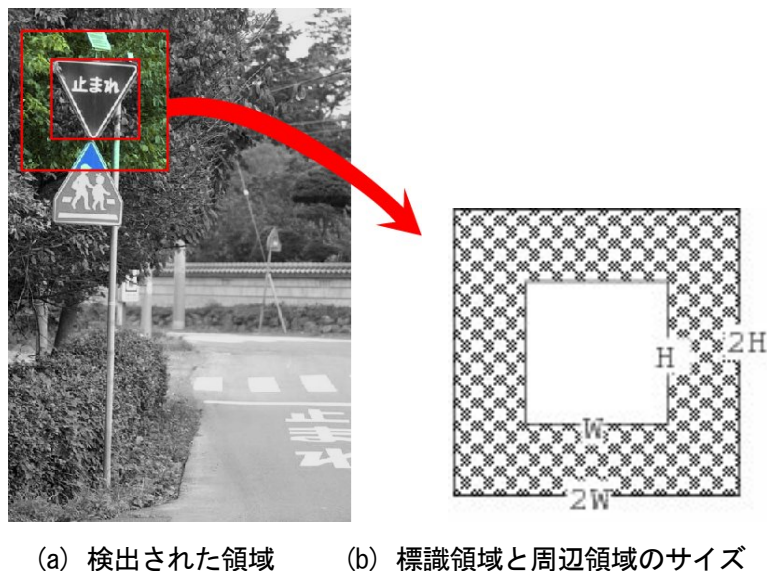


図 1-2-8 標識の検出

② 標識領域とその周辺領域の知覚可能色空間への投影

次に、検出された標識領域とその周辺領域をそれぞれ色覚障害者あるいは高齢者の知覚可能色空間 (図 1-2-2 (b), 図 1-2-5 (b), (c)) に投影する (図 1-2-9)。見てわかる通り、図 1-2-9 の色空間においては周辺領域と標識領域がほぼ重なっており、識別が困難であることがわかる。

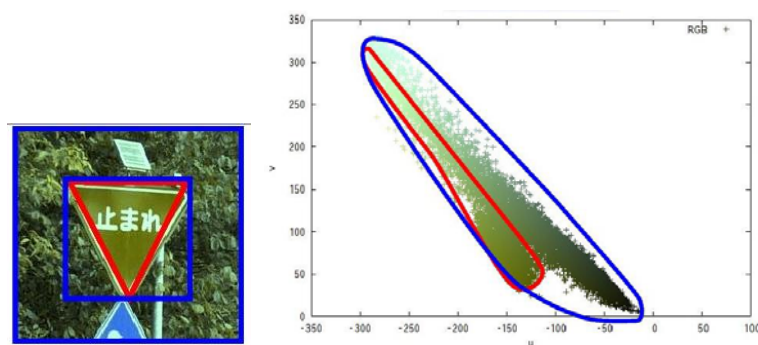


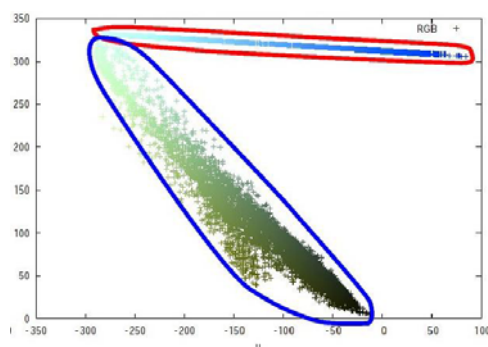
図 1-2-9 検出した標識とその色分布

③ 標識領域の色の再配置

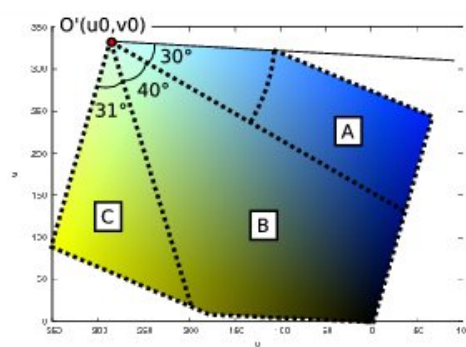
この知覚可能色空間（平面）において、周辺領域と最も重なっていない領域を探し、標識領域内の色をその色に再配置する（図1-2-10）。ここでは、色空間を図1-2-10(c)のようにA, B, Cの3つの領域に分け、最も周辺領域の色が少ない領域を探し、その領域の角度を用いて標識領域の色の再配置を行う。



(a) 色を再配置した例



(b) 色の再配置



(c) 再配置可能な空間の探索

図1-2-10 知覚可能空間での色の再配置の例

④ 再配置後の画像の健常者の色空間への逆投影

標識色のみ変換した画像を健常者の色空間に逆投影する。

以上の処理により、検出された標識部分のみを、その周囲の背景から目立つように変換処理を行うことで、標識の強調提示を行う。

次に第一色盲と呼ばれる色覚障害者に対する実験結果とその評価結果を図1-2-11および図1-2-12に示す。いずれも左上の(a)が入力画像、(b)が提案法によって得られた画像、(c)が入力画像に対する第一色盲の方の見え方のシミュレーション結果、(d)が処理後の画像に対する見え方のシミュレーション結果である。いずれの例においても、入力画像では目立たなかった標識が、処理後においては目立つような色に変換されており、かつ、その他の部分では全く変化がないことがわかる。



(a) 入力画像



(b) 最終画像



(c) 入力画像に対するシミュレーション



(b) 最終画像に対するシミュレーション

図 1-2-11 処理例 1



(a) 入力画像



(b) 最終画像



(c) 入力画像に対するシミュレーション



(b) 最終画像に対するシミュレーション

図 1-2-12 処理例 2

次に、この提案法による変換結果を混同色線で評価した結果を図1-2-13に示す。見てわかる通り、標識領域とその周囲の領域は、変換前はほぼ同じ混同色線上に載っていたのに対し、変換後はそれぞれ異なる混同色線上に載っていることがわかる。以上により、提案法の有効性を確認できる。

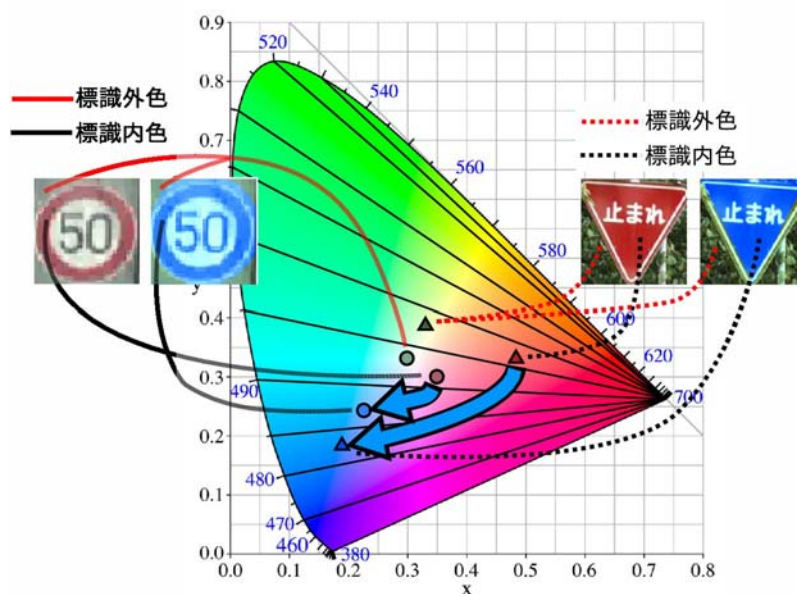


図1-2-13 混同色線による評価

(5) 今後の課題

本研究では、カラーユニバーサルデザインの考え方に準じ、交通弱者に対して、安全・安心な交通システムを提案・開発することを目的とし、色覚障害者や高齢者に対して、シーン内の標識検出技術により検出した道路交通標識を強調提示することで標識の視認性を高めることが可能な方法を提案した。しかし現時点では、第一色盲の方のシミュレーションにより有効性を確認したに過ぎず、実際第一色盲の方による評価を行うことと、高齢者向けの同様な色変換手法の開発が必要となる。同じく交通弱者である子供に対しては、標識の見逃しなどは、視覚の問題ではないことから、このような強調提示法はあまり有効ではないと考えられる。したがって、別の手法を検討することが必要となる。

また提案法は標識検出の精度に大きく依存しているため、より高精度な標識検出技術を開発することも重要となる。更に、実際の提示デバイスをどうするかについても、検討を要する。

参考文献

- [1] カラーユニバーサルデザイン機構著, カラーユニバーサルデザイン, ハート出版, 2009.
- [2] F. Vienot, H. Brettel, and J.D. Mollon, Digital video colourmaps for checking the legibility of displays by dichromats, *COLOR research and application*, Vol. 25, No. 4, August 1999.
- [3] J. Pokorny, V.C. Smith, and M. Lutze, Aging of the human lens, *APPLIED OPTICS*, Vol. 26, No. 8, April 1987.
- [4] 目黒光彦, 色覚障害を克服するカラー画像の色変換処理, 電気通信普及財団研究調査報告書, Vol. 21, pp. 449–508, December 2006.
- [5] 田中豪, 末竹規哲, 内野英治, Cielab 色空間における二分法を用いた色域把握法とその画像強調への応用, 電子情報通信学会論文誌(A), Vol. J92-A, No. 4, pp. 258–262, April 2009.
- [6] P. Viola and M. Jones, Rapid object detection using a boosted cascade of simple features, *Proc. of IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition*, Vol. 1, pp. 511–518, December 2001.
- [7] 道満恵介, 高橋友和, 目加田慶人, 井手一郎, 村瀬洋, 生成型学習とカスケード型識別器による道路標識検出・認識, 画像の認識・理解シンポジウム (MIRU2008) 講演予稿集, pp. 376–381, July 2008.
- [8] 杉本真崇, 車載カメラ映像からの色変化特徴に基づく道路標識の検出, 平成 20 年度豊橋技術科学大学工学研究科修士論文, 2009.
- [9] D. Comaniciu, V. Ramesh, and P. Meer, Kernel-based object tracking, *IEEE Trans. PAMI*, Vol. 25, No. 5, pp. 564–575, May 2003.

2. 低炭素型社会に貢献する交通体系

2-1 はじめに

ここでは、低炭素型社会に貢献する交通体系を検討するために、まず OECD の提唱する EST の考え方および我が国の EST モデル都市における EST 施策についてレビューした後、これまでの豊橋市の交通政策の方向を概観し、今後、豊橋市において低炭素型社会に貢献する交通体系を実現する上での課題や問題点を整理するものとする。

2-2 ESTの考え方に基づく交通施策

(1) ESTの定義と基準

EST (Environmentally Sustainable Transport ; 環境的に持続可能な交通) の概念は、1990 年代半ば以来、この名称を用いた OECD (Organization for Economic Co-operation and Development) のプロジェクトの開始とともに、広く知られてきた。この概念に基づいて、地球温暖化を防止するためにヨーロッパ諸国において EST 施策が実施されてきた。EST の定義は、以下の通りである (OECD, 2002; Wiederkehr, P. *et al*, 2004, 交通工学研究会 EST 普及グループ, 2009)。

「再生可能なレベル以下でしか再生可能な資源を使用せず、再生可能な代替物の開発レベル以下でしか再生不可能な資源を使用しないことにより、人々の健康と生態系を危険にさらさずにアクセスに関するニーズを満たすような交通」

持続可能性は一般に、環境面のみでなく経済面および社会面を含むべきものと認識されてきたが、交通に関しては、経済面の持続可能性は安全・便利・快適な交通サービスが最も効率的かつ安定的に供給されることを意味し、社会面の持続可能性は公平性の観点から社会参加に必要な最低限度の交通サービスがすべての人々に、特に、貧しい人々、高齢者、障害者、子供たちに提供されるべきであることを意味している。すなわち、EST は交通の環境面での要求を強調した概念である。

それゆえ、EST 施策の検討に際しては、持続可能性に関するこれら 3 つの側面のトレードオフ関係を考慮しながら、それらのバランスを評価する必要がある。しかしながら、持続可能性はそれ自体、交通政策の目標ではなく、むしろ、それは制約であると認識されるべきであり、EST 施策を展開する際には社会の最終目標を追求しなければならないと言える。

交通部門に対しては、交通による健康面や環境面への多様な影響を抑えるのに必要な最小の数値として 6 つの基準が設定されている。これらの基準は地区、地域、地球規模における懸念、とりわけ土地利用、騒音、大気質、地域の酸性化、オゾンおよび世界的気候変動に取り組むために選定されている。

これらの影響に関係する既存の国際的な目標、指針、基準を用いて、二酸化炭素 (CO₂)、窒素酸化物 (NO_x)、揮発性有機化合物 (VOCs)、浮遊性粒子状物質 (PM)、騒音、土地利用に関する基準が設定されている。「環境的に持続可能な交通2030のビジョン」に沿ったOECDのESTプロジェクトにおけるESTの基準は以下の通りである。(OECD, 2002; Wiederkehr, P. *et al*, 2004)。

- ・二酸化炭素： 交通によるCO₂の総排出量を各国の状況に応じて1990年の20%～50%に削減する
- ・窒素酸化物： 交通によるNO_xの総排出量を1990年の10%以下に削減する
- ・揮発性有機化合物： 交通に係るVOCsの総排出量を1990年の10%以下に削減する
- ・浮遊性粒子状物質： 地区や地域の条件に応じて、交通からの総排出量を1990年の55%～99% に削減する
- ・騒音： 地区や地域の条件に応じて、交通騒音を最大で昼間は55 dB(A) ， 夜間は45 dB(A) を超えないレベルにする
- ・土地利用： 車両の移動，保守，保管のための土地利用や施設が大気，水質，生態系，生物多様性確保のための地区や地域の目的と整合するよう，1990年よりも市街地での緑化空間を回復・拡張する

（２） E S T 施策の特徴

EST 施策には様々な種類があり，それらは表 2－1－1 のように分類される。まず，戦略（政策の方向性）に基づいて5つのカテゴリー（交通需要の削減，自動車利用の削減，自動車から公共交通および自転車等への利用交通手段の転換，道路交通の効率性の向上，車両関連の技術革新）に分類される。一方，政策目的の実現手段は4つのカテゴリー（交通基盤施設や車両・燃料に関連する技術，交通管理，交通制御，交通サービス供給などを含む規制，リアルタイムの交通情報提供，モビリティマネジメントに代表される自動車利用者の意識啓発などを含む情報，ロードプライシングや課税などの経済的手段）に分類される。

「交通需要の削減」戦略は，交通需要それ自体の減少を通じて交通の環境影響を軽減することを目的としている。その手段として，交通需要を減らすような都市構造の改編（長期の交通需要マネジメント(TDM)施策：コンパクトシティ化や TOD（公共交通指向型開発）あるいは通信による交通の代替（短期の TDM 施策）などがある。

「自動車利用の削減」戦略は，例えば，ロードプライシングなどの短期的 TDM 施策や VICS(Vehicle Information and Communication System)などの交通情報関連 ITS(Intelligent Transportation Systems)の導入により，自動車の走行距離の削減，交通需要の時間分布の変更，自動車の利用効率（1台当たりの乗車人員や貨物積載量）の向上等を通じて，交通による環境影響を軽減することを目的としている。

「自動車から公共交通や自転車等への利用交通手段の転換」戦略は，TDM 施策の実施や公共交通や自転車等の魅力度の向上により，自動車という環境負荷の大きい交通手段から環境負荷の小さい公共交通や自転車等の交通手段への利用転換を図ることを通じて，交通による環境影響を軽減することを目的としている。

「道路交通の効率性の向上」戦略は，一般に自動車の走行速度が低い場合には環境への負荷が大きいことから，道路整備や高度交通管理の導入などにより，道路交通の円滑性や平均走行速度の向上を図ることを通じて，交通による環境影響を軽減することを目的としている。

「車両関連の技術革新」戦略は，最新の車両・燃料関連の技術開発やそれを促進するような新たな

経済的方策の導入により、1 台当たりの排出量の低減を実現することを通じて、交通による環境影響を軽減することを目的としている。

表 2－1－1 EST 施策の分類と具体的施策例

		戦略 (政策の方向性)				
		交通需要の削減	自動車利用の削減	代替交通手段の改善	交通流の効率性の改善	自動車関連の技術革新
手段	技術： インフラ； 車両・燃料	TOD (公共交通指向型開発)； コンパクトシティ化	ITS (Intelligent Transportation Systems；高度道路交通システム)	LRT (ライトレール)； BRT (幹線バスシステム)； トランジットモール	AHS (走行支援システム)； ETC (Electronic Toll Collection System)	低公害車； 代替燃料
	規制： 管理； 制御； サービス	土地利用規制	アクセス許可； 交通静穏化	TDM (交通需要マネジメント)； PTPS (公共交通車両優先通行システム)	高度交通管理	燃料規制 燃料質規制 車検
	情報： 助言； 啓発； 通信	テレワークینگ	MM (モビリティマネジメント)；意識啓発キャンペーン；	リアルタイム交通情報提供システム	VICS (路車間通信システム)	エコドライブ
	経済手段： 課金； 課税	土地税	ロードプライシング； 燃料税	運賃政策	駐車料金政策	グリーン税

Source: 交通工学研究会 EST 普及研究グループ (2009) (Revised by author)

(3) 我が国における E S T の支援システム

我が国においては、EST 政策を推進する先進的な都市や地域にインセンティブを与えることをねらいとして、2004 年以来、国土交通省が中心となって、警察庁や環境省の協力の下で、EST モデル事業が実施されてきた。この事業は、京都議定書の目標達成計画の促進計画に基づいたものである。2004 年からの 3 年間で 27 の地域・都市が EST モデル地域として選定され (図 2－1－1 参照)、多くの EST 施策が実施されている。

この他、我が国においては EST 関連事業を支援するシステムとして、「低炭素社会実現のための環境モデル都市認定」がある。これは内閣府が中心となって 2008 年に発足したものであり、この事業においては、各地域・都市が「低炭素型社会」への移行することを促すとともに、そのイメージを明確にするために、地球温暖化ガスの削減に積極的に取り組んでいる都市・地域を選定し、政府がそれらの計画の実現を支援するものである。

10 都市を予定していた環境モデル都市の募集に対し、82 の提案が寄せられ、これまでに 13 都市が環境モデル都市として選定されている。我が国の場合、交通部門は総 CO₂ 排出量の約 2 割を占めていることから、選定された計画は交通部門や都市構造に関係する多くの施策を含んでいる。

(4) E S T モデル都市における E S T 施策

前述したように、27 の都市・地域が EST モデル都市として選定されており、EST 施策パッケージが実施されている。それらの EST 施策の内容と各施策を採用している都市・地域数は以下の通りである。

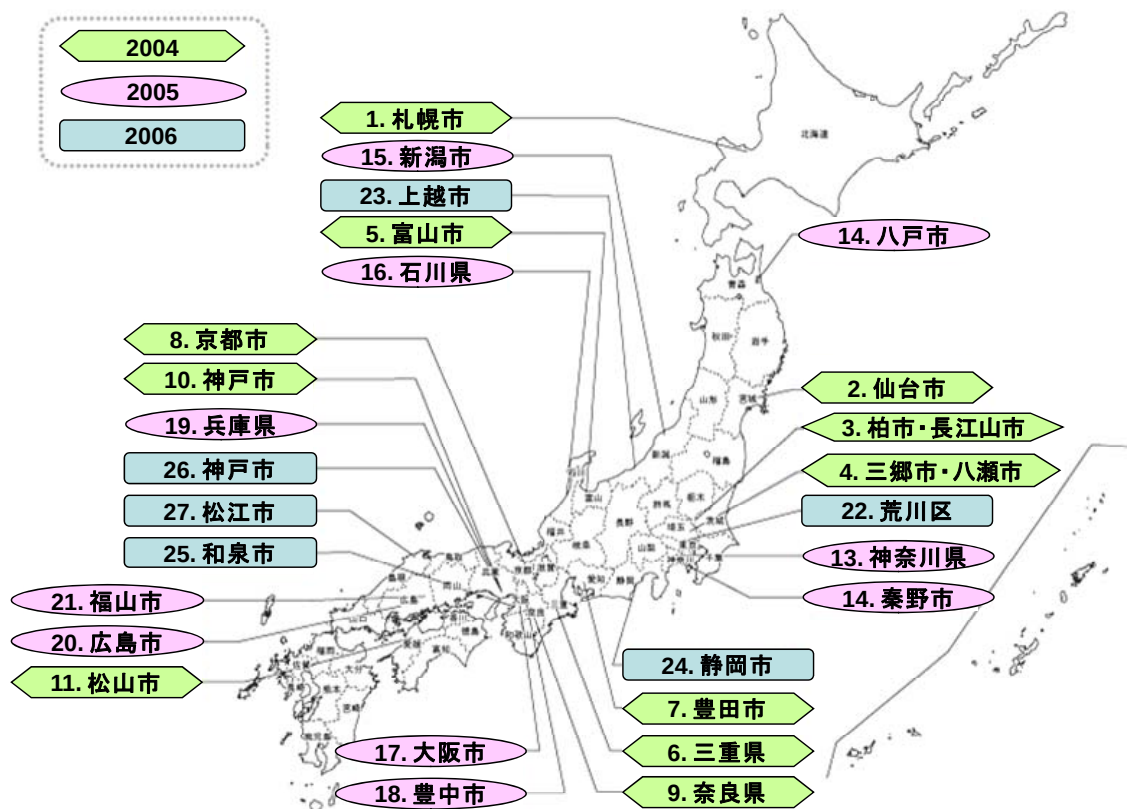


図 2-1-2 選定された EST モデル都市

1. 交通効率性向上のための道路システム改善：
 - 道路整備 (11/27： 27 都市・地域中 11 都市・地域で実施)
 - 交差点改良 (5/27)
 - ボトルネック地点の改良 (4/27)
2. TDM (交通需要マネジメント)：
 - パーク &ライド (9/27)
 - フレックスタイム制の促進 (3/27)
3. 自動車利用からの転換のための公共交通機関の活性化：
 - ターミナル・アクセスポイントの改善 (8/27)
 - LRT プロジェクト (3/27)
 - 鉄道 IC カードの導入(4/27)
 - バス IC カードの導入(4/27)
 - バス路線網の再編 (2/27)
 - PTPS (Public Transit Priority System；公共交通車両優先システム) (5/27)

- バスレーン設置(1/27)
- バス停改善 (4/27)
- バスロケーションシステムの導入(5/27)
- コミュニティバスの導入(4/27)
- 公共交通の情報提供システム(5/27)

4. 自動車利用からの転換のための自転車・歩行環境に関する施策：

- 鉄道駅環境の改善 (5/27)
- 自転車専用道路等の改善 (6/27)
- 自転車駐輪場の改善 (4/27)
- トランジットモールの導入 (2/27)

5. その他：

- 低公害バスへの補助(6/27)
- 低公害車への補助 (2/27)
- 低公害公用車への補助 (3/27)
- EST 政策の普及促進 (13/27)
- MM (モビリティマネジメント)の実施 (13/27)

上のリストから分かるように、道路システムの改善に加えてMMや EST の普及促進に関連するプログラムが多いことが分かる。これは、我が国における財源支援システムに起因していると思われる。また、我が国の EST モデル事業における主要な施策は陸上交通と旅客輸送のみに焦点が置かれていることが分かるが、これは OECD 諸国と大きく異なる点であると言える。

(5) 我が国におけるEST施策に関する今後の課題

我が国における EST 施策に関しては、以下の課題が挙げられる。

- (i)我が国における EST 施策を支援するシステムはいまだ十分であるとは言えず、財源確保を含め、より多様な EST 施策を展開できるよう各種支援体制の充実が必要である。
- (ii)今後さらに効果的かつ効率的に EST 施策を展開していくためには、各 EST 施策の特性を踏まえつつ、対象地域の特性や状況に応じて有効に組み合わせる施策パッケージを考案していく必要がある。
- (iii)これまで EST 事業の各施策に対して、効果計測が試みられ、予算と効果を比較するなど費用有効度分析等が実施されている。しかしながら、データ蓄積が十分でないこともあって、推定の精度はそれほど良好ではなく、新たな効果計測手法の開発を含めて、さらなる検討が必要である。

2-3 豊橋市における交通政策の方向性と課題

(1) 豊橋市都市交通ビジョンおよび豊橋市都市交通マスタープランの概要

豊橋市では、将来交通体系として目指すべき姿を明らかにし、それを達成するための基本目標および方針を示す「豊橋市都市交通ビジョン」を平成16年3月に策定した。そして、この都市交通ビジョンを実現するための交通施策を計画立案し、計画の進め方を示すものとして、「豊橋市都市交通マスタープラン」を平成18年3月に策定した。これらは上位計画である豊橋市総合計画および豊橋市都市計画マスタープランで定められた都市交通に関する基本目標・基本方針を受け継ぐものである。

豊橋市都市交通ビジョンは、平成36年(2024年)を見据え、「多様な交通手段を誰もが使い、過度に自動車交通に依存しない都市交通体系の構築」を基本理念とし、「人・地域・環境をつなぐみんなにやさしい交通のまち・とよはし」を目指すべき将来像として設定している。そして、基本目標として、「人にやさしく、安全・安心な交通づくり」、「生活に魅力を感じる交通づくり」、「地域の活力を高める交通づくり」、「環境に配慮した交通づくり」の4つを設定し、それぞれについて3つずつ基本方針を定めている。

このうち、低炭素型社会に関わりのある基本目標である「環境に配慮した交通づくり」における基本方針として、「低公害・省エネルギーの交通手段への利用転換を進めること」、「環境負荷の小さい交通基盤の整備を進めること」、「環境に配慮した交通行動への市民参加を進めること」が定められている。そして、それらに關係する施策として、近郊・郊外部の交通結節点の整備によりパーク＆ライドやサイクル＆ライドを推進し、自動車から低公害・省エネルギーの交通手段である「公共交通機関・自転車への利用転換に取り組む」、自動車利用の面でも環境負荷を軽減させるために「自動車の低公害化・省エネルギー化を促進する」、バス路線の幹線化や住民ニーズに応じた路線設定により「利用しやすい公共交通網をつくる」、ノーカーデーの普及、時差出勤やフレックスタイム制の奨励により「通勤時の自動車利用の抑制・平準化を進める」、交通意識の変革プログラム(モビリティ・マネジメント(MM)施策の代表的プログラム)の作成・実施や環境行動に対する特典制度の導入により「市民意識の変化を促進させる」が例示されている。

また、「地域の活力を高める交通づくり」のための基本方針である「道路交通の円滑化を進めること」は地域の活力を高めることに貢献するだけでなく、交通流の円滑化によって温暖化ガスの排出原単位が小さくなることから総排出量の抑制につながるなど、多くの基本目標・基本方針に関わる施策は間接的に低炭素型社会の実現に貢献しうると言える。

豊橋市都市交通マスタープランは、平成18年から平成27年までの10年間を計画期間としており、交通施策の立案に当たっての基本的な考え方として、(1)自動車優先となる施策からの転換、(2)地域の状況に応じた施策の実施、(3)連携・協働による施策の推進を挙げている。また、都市交通ビジョンで掲げた基本方針のうち、(1)誰もが移動しやすい交通環境の構築を進めること、(2)生活環境を維持・向上させる交通環境の構築を進めること、(3)道路交通の円滑化を進めること、(4)低公害・省エネルギーの交通手段への利用転換を進めること、の4つの基本方針を重点方針として定め、計画の効果的かつ効率的な実現を目指している。そして、都市交通ビジョンで掲げた基本目標および地域特性、交通手

段別特性の3つの観点から施策を整理している。

さらに、以上の計画を着実に進めるために、(1)既存ストックの有効活用や重点的投資による効率的な施策の推進、(2)行政、交通事業者、NPO、市民の連携・協働による取り組みの実施、(3)取り組みの進捗状況や目標の達成状況の確認、関係主体相互の情報交換を行う体制の確立、(4)PDCAサイクルの流れでの評価・検証と必要に応じた計画の見直し、の4つの視点から計画を進めるものとしている。また、計画の進捗状況を適切に評価していくために、基本理念である「過度の自動車依存からの転換」の達成の目安となる「政策指標」(代表交通手段における自動車分担率の値)と、施策の実施状況を表す「施策指標」(施策ごとのアウトプット指標)を設定している。

以上のように、豊橋市の都市交通ビジョンおよび都市交通マスタープランは、交通やその課題に関わるほとんどの側面を考慮して策定されており、その実施体制についても周到な検討が加えられていると言える。また、そこで設定されている多くの施策が直接的あるいは間接的に低炭素型社会の実現に貢献しうるものであると言える。

(2) 豊橋市における交通施策の実施状況

豊橋市における交通施策は、基本的に豊橋市都市交通マスタープランで策定された内容、実施主体、施策指標値等に従って実施されている。このうち、公共交通に関する施策は、平成18年9月に策定された「豊橋市地域公共交通活性化方策」に基づいて実施されてきた。ここで地域公共交通とは、通勤、通学、通院、買い物など、地域住民の日常生活において利用される乗合型の公共交通のことを指している。

この活性化方策は、路線バスを中心とした交通機関相互の連携強化や公共交通のサービス水準向上により公共交通の活性化を実現させるとともに、相次ぐバス路線廃止により拡大している公共交通空白地域における移動手段を確保することを目的としている。その後、この活性化方策は、平成19年10月に制定された「地域公共交通の活性化及び再生に関する法律」に基づく制度を活用して事業を効率的に進めていくこととなり、平成20年3月に「地域公共交通総合連携計画」として位置づけられ、それ以来、「豊橋市地域公共交通活性化・再生協議会」および「豊橋市地域公共交通バス・タクシー会議」が推進主体となって様々な事業が進められてきた。

最近の主な事業として、①「地域生活」バス・タクシー実証運行事業(東部地区東山線と北部地区西川・賀茂線および下条・森岡線の2路線)、②ICカード導入事業(路面電車、豊鉄渥美線)、③公共交通利用促進イベント実施事業、④かしこい「クルマと公共交通」の使い方を考えるプロジェクト実施事業(モビリティ・マネジメント(MM)を実施し、交通意識と行動を好ましい方向へ自発的に変化することを促し、公共交通利用促進や自家用車の利用頻度の減少を図る事業)、⑤バス停案内板LED証明設置事業などが挙げられる。

一方、都市交通マスタープランで設定された公共交通関係以外の施策については、国、県、市の担当部局、交通事業者、市民または一般企業により推進されることになっているが、その進行管理は、豊橋市都市計画部都市計画課に設置された豊橋市都市交通環境整備委員会事務局が行っており、同委

員会構成員に対して定期的に施策指標値が報告されている。

（３） 低炭素型社会に向けての豊橋市における交通施策に関する課題

上述したように、豊橋市における交通政策の方向性は基本的に EST と整合しており、低炭素型社会に貢献する交通体系の実現を目指すものであることが分かる。また、豊橋市における交通施策は EST 施策の多くをカバーしていることが分かる。しかしながら、それらの施策の実施は限定的であり、豊橋市都市交通ビジョンの基本理念である「多様な交通手段を誰もが使い、過度に自動車交通に依存しない都市交通体系」は未だ実現しておらず、自動車分担率および自動車交通量に減少傾向は見られない。よって、今後、低炭素型社会に貢献する交通体系を実現していくには、市民や関係主体の合意を得ながら、施策の積極的展開を行っていくことが必要であると言える。このためには、実務面では、施策展開のための財源確保を図りつつ各交通施策の考え方について広く関係者に PR し合意を得ていく必要がある。特に、低炭素型社会に貢献する交通体系を実現するための多くの交通施策については多額の税金投入が不可欠であり、それに対する市民の合意を得ることが不可欠である。また、交通行動を変更するよう市民の意識に働き掛ける施策であるモビリティ・マネジメントは、予算はそれほど要しないものの、施策が効果を発揮するためには施策の狙いに対する多くの市民の納得・受容が不可欠である。一方、研究面では、事例研究を重ねながら各交通施策の効果を的確に計測した上で施策実施の是非を適切に評価する手法の開発について検討していくことが必要である。その研究成果は、施策実施に向けて関係者の合意形成を得る上でも極めて重要であると言えよう。

２－４ おわりに

本章では、低炭素型社会に貢献する交通体系の方向性を検討するために、まず OECD の提唱する EST（環境的に持続可能な交通）の概念・定義・基準等を述べた後、我が国の EST モデル都市における EST 関連施策の策定・実施状況を概観した。次に、豊橋市における交通施策・交通事業の基本を定めた豊橋市都市交通ビジョンおよび豊橋市都市交通マスタープランを取り上げ、それらの内容と実施状況について整理した。これらに基づき、低炭素型社会に貢献する交通体系を実現する上での豊橋市の現状および交通政策・交通施策に関する課題を検討した。

参考文献：

- 1) OECD, *OECD Guideline towards Environmentally Sustainable Transport*, Organization for Economic Co-operation and Development, 2002.
- 2) Wiederkehr, P., Gilbert, R., Crist, P., and Caïd, N.: Environmentally Sustainable Transport (EST): Concept, Goal, and Strategy – The OECD's EST Project, *J EJTIR*, 4, no.1, 11-25, 2004.
- 3) 交通工学会 EST 普及研究グループ（編著）：地球温暖化防止に向けた都市交通－対策効果算出法と EST の先進都市に学ぶ－，（社）交通工学会，2009.
- 4) 交通エコロジー・モビリティ財団ホームページ，<http://www.estfukyu.jp/chihojichitai.html>
- 5) 中村英夫，林 良嗣，宮本和明： 都市交通と環境－課題と政策，運輸政策機構，2004.
- 6) 豊橋市都市交通ビジョン，豊橋市，2004.
- 7) 豊橋市都市交通マスタープラン，豊橋市，2006.
- 8) 地域公共交通活性化方策－豊橋市地域公共交通総合連携計画－，豊橋市，2008.

3. 工学的技術面から見た導入条件

3-1 はじめに

我々の日常におけるエネルギー消費からくる地球環境問題は、より深刻化し切迫した問題となっている。その対策として、省エネルギー、高効率エネルギー変換技術などの開発が進められている。現在、世界中の国々で、京都議定書やグリーン・ニューディール政策に沿った議論が活発化している。その議論の中で、ガソリン車から電気自動車への移行が大きく注目されている。また、電気自動車やプラグインハイブリッド車を、蓄電デバイスとして公共の電力網に組み込む方法も検討され始めている。これらのことから、次世代自動車や、そのエネルギー供給システム、次世代自動車をインフラネットワークに組み込む手法などに関する技術は日々進歩している。本項では主に、未来ビークルシティの工学的技術面に関して、現状と本学の取り組み内容について述べる。

現在、ガソリン車から電気自動車へ移行するための研究開発や実証試験が各地で多く行われており、日本国内においても徐々に動きが活発化してきている。電気自動車は、(1) 深夜電力の利用により安価で自宅で充電でき、エネルギー費用が抑えられる、(2) 電動のため走行時に CO_2 や NO_x を排出しない、といったメリットを有する。しかし、(1) 導入コストが高い、(2) 走行距離が短い (ガソリン車 : 500 km, 電気自動車 : 160 km)、(3) 二次電池の充電にかかる時間 (急速充電で 30 分)、(4) 二次電池のリサイクル、といった問題もあり、実用化へ向けて解決していかなければならない。他にも、自然エネルギーを利用して発電する太陽電池を自動車の部品として組み込み、走行中でもバッテリーが充電できるシステムなどの開発も進んでいる。

電気自動車や太陽光発電の導入効果を議論する際に、導入する土地の条件で効果は大きく変化するため代表的な値を用いることは困難である。また、市民の理解、協力も不可欠である。そのため、実データを用いた、技術的な面からの検討・シミュレーション等が必要である。本稿ではまず、次世代自動車のエネルギー源として有望視されている太陽電池の導入可能性について検討する。太陽電池は、発電時に CO_2 を排出しない、騒音を発生しない、系統への連携と売電が可能という利点がある。続いて、電気自動車の電力供給システムについての現状と、期待される新しい電源システムについて述べる。最後に、本研究室で実施または計画中の、市民へのデモンストラレーションの内容について述べる。

3-2 自然エネルギーの利用

(1) はじめに

電気バスなどの次世代自動車へ自然エネルギーを利用した発電システムを用いることにより、更に環境に優しい交通システムを構築できると考えられる。今回は太陽光発電を電気バスの電源として利用することができるか、を検証すると同時に、太陽光発電システムのコストペイバックタイム、CO₂ペイバックタイム計算を行った。検証対象は、豊橋技術科学大学のA棟屋上に設置された太陽電池とした。また、豊橋市の一般家庭で計測した電力需要データから、家庭に設置された太陽電池のペイバックタイムの検討も行った。

(2) 大学への導入効果

豊橋技術科学大学のA棟屋上に設置されている太陽電池は、定格出力20 kW、総面積142.56 m²で、設置も含めた導入コストは1840万円である。この太陽電池を対象に、豊橋技術科学大学の自然エネルギー棟屋上で計測した日射量をもとに発電量を予測した。表3-2-1に各月の発電電力量を示す。一日の発電量の年間の平均値は、約60 kWh/日である。これは現状の電気バスが一日に使用する電力量の半分以上である。また、電費の向上や、運行回数の制限などを行えば、一日に電気バスが使用する電力の全てを賄える可能性もある。次に、表3-2-1の発電電力量から次の3種類のペイバックタイムの検討を行った。各ペイバックタイムは、システムのライフサイクルで使用されるエネルギーを回収できるまでの期間である、エネルギーペイバックタイム(EPT)、システムのライフサイクルで排出される二酸化炭素を回収するまでの期間であるCO₂ペイバックタイム(CO₂PT)、導入費用を回収するまでの期間であるコストペイバックタイム(CPT)の3種類である。各ペイバックタイムの計算値を表3-2-2に示す。EPTとCO₂PTは太陽電池の寿命である20年より短くなった。しかし、CPTは太陽電池の寿命より長い期間となり、回収することができない。EPTとCO₂PTは3年以下であり、その期間が経過することにより、それ以降は完全にクリーンな発電なる。コスト面でのメリットは無いが環境対策として太陽電池は優れていると言える。

表3-2-1 各月の発電電力量

月	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
発電電力量 E_M (kWh)	1,391	1,185	1,938	2,683	2,418	2,214	1,986	2,418	2,065	1,613	1,222	1,220

表3-2-2 A棟屋上太陽光発電システムの各ペイバックタイム

エネルギーペイバックタイム (EPT)	1.86 (年)
CO ₂ ペイバックタイム (CO ₂ PT)	2.64 (年)
コストペイバックタイム (CPT)	74.4 (年)

（３）一般家庭への導入効果

前項の結果より、太陽光発電の導入コスト回収は難しいことがわかった。しかし、住宅向けの太陽発電システムの場合、国と市から補助金に加え、余剰電力を電気事業者に売電することができる。これらの条件を加え、住宅用太陽光発電システムのペイバックタイムを算出することによって、システムの妥当性を検討した。導入したと仮定した太陽電池の定格出力は 3.72 kW，導入コスト 229 万円とした。この値は、2008 年度の導入件数 55,100 件の平均値である 3.6 kW と近いことから、妥当であると言える。また保守費用は、パワーコンディショナーを一度交換するとして、33 万円とした。発電量は 2009 年 12 月～2010 年 11 月に計測された日射量からの予測値、電力需要は同期間に豊橋市内の一般家庭で計測したデータを使用した。補助金は国と市からそれぞれ 7 万円/kW が支給される。よって今回のシステムでは合計で約 52 万円である。また売電単価は 48 円/kWh とした。図 3-2-1 と図 3-2-2 に売電している日としていない日の電力データの例を示す。斜線部分が発電電力で、灰色部分が売電電力である。表 3-2-3 に住宅用太陽光発電システムの各ペイバックタイムを示す。全てのペイバックタイムが太陽電池の寿命である 20 年よりも短くなった。EPT と CO₂PT が短い期間であることは前項の結果と同様だが、CPT も寿命の半分強である。CPT が短くなったのは売電による効果が大い。

（４）まとめ

大学に設置された太陽電池の発電量から、電気バスへの自然エネルギーによる給電の可能性が示された。しかし、売電を行えなければ導入コストを回収することは難しい。

３－３ 電力供給システム

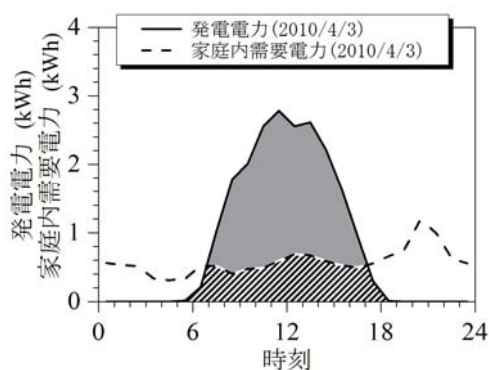


図 3-2-1 売電をしている日の
電力データの例

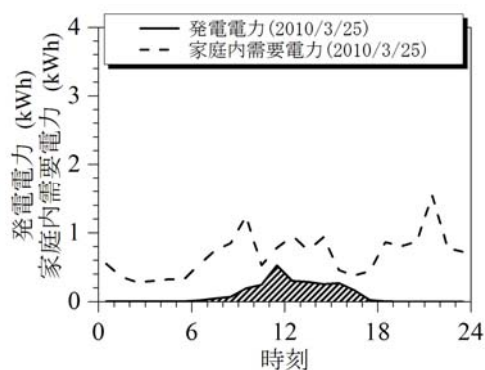


図 3-2-2 売電をしていない日の
電力データの例

表 3-2-3 住宅用太陽光発電システムの各ペイバックタイム

エネルギーペイバックタイム (EPT)	1.95 (年)
CO ₂ ペイバックタイム (CO ₂ PT)	2.24 (年)
コストペイバックタイム (CPT)	13.1 (年)

（１）はじめに

電気自動車の歴史は古く、内燃機関を用いた自動車の実用化される以前から、研究・開発が進められてきた。近年では、動力源であるモータの効率向上や、半導体技術の進歩によるパワーエレクトロニクス素子の性能向上、電源であるバッテリーの性能向上により、次第に実用化が近づいてきた。しかし、現行のガソリン車に比べると、まだその性能は十分とはいえない。特に、走行のエネルギー源となる電源の性能向上が重要である。現在の電気自動車は、そのほとんどが、ニッケル水素やリチウムイオン電池といった、二次電池を電源として走行する。これら二次電池は、使用する度に劣化し、性能が低下する。最新のリチウムイオン電池を用いた、長期的なサイクル特性の測定例はあまり見られないが、現在の市販品の性能では、自動車の平均的な寿命である 10 年のうちに、最低でも 1 回は交換が必要との見方もある。二次電池は、車両の安全性に直接影響する部品であるために、交換は容易ではない。また交換のコストも高く、将来、電気自動車が普及し、大量の廃棄電池が生まれれば、リサイクルのための技術やしくみを確立する必要がある。以上のことから、電気自動車の普及のためには、走行用電源の性能向上が重要と思われる。このためには、現在、電源の主流である二次電池そのものを改良する方法と、二次電池の運用方法を改善する方法とが考えられる。本研究室では、大電流充放電特性が良く、長寿命な電気二重層キャパシタ（Electric Double Layer Capacitor : EDLC）に着目し、二次電池とキャパシタを電子回路でハイブリット化した、キャパシタ-バッテリー併用システムについて、実証を含めた研究を計画し、シミュレーションと並行して進めている。

（２）バッテリーの劣化要因と劣化緩和運転方法

バッテリーの劣化には、容量の低下と出力密度の低下の 2 種類がある。容量は、バッテリーが蓄えられるエネルギー量の上限を表し、出力密度は、バッテリーが単位時間あたりに出力できるエネルギーを表す。これらの劣化は、電解液や電極の劣化によって引き起こされると考えられているが、詳細なメカニズムは解明されていない。電気自動車において、この 2 種類の劣化は、それぞれ異なる性能の低下をもたらす。まず、バッテリーの容量が低下した場合、蓄えられるエネルギー量が減るため、1 回の充電で走行できる距離（航続距離、一充電走行距離）が短くなる。容量の低下による寿命の定義は複数あるが、主に、初期容量の 80 % まで低下したときを、バッテリーの寿命とすることが多い。次に、出力密度が低下した場合、単位時間に出力できるエネルギーが小さくなるため、モータへのエネルギー供給が不十分になり、加速性能が低下する。電気自動車のバッテリーには、出力密度が約 150 W/kg 必要との試算があり、バッテリーの劣化が進み、この値より小さくなったときも、バッテリーが寿命に達したと言える。容量が低下しても、航続距離が短くなるだけで車としての走行は可能だが、出力密度が低下すると、車としての走行性能を満足できなくなる。また、リチウムイオン電池では、容量の低下よりも出力密度の低下が早く起こることが報告されている。このため、出力密度の低下がバッテリー寿命を決定しているといえる。

（３）キャパシターバッテリー併用システム

電気自動車の電源には、走行中の加速に伴う大電流放電が要求され、回生ブレーキ等による充放電サイクルの繰り返しが行われる。これらはいずれも、バッテリーの劣化を加速させる要因である。バッテリーの劣化を抑制し、長寿命運用を行うには、バッテリーの出力を一定にし、充放電の繰り返し回数を減らせばよい。この相反する要求を満たすために、本研究室では、バッテリーに電気二重層キャパシタ（Electric Double Layer Capacitor : EDLC）を付加し、電源システムとして電気回路で結合する方法に注目した。大容量キャパシタには複数の種類があるが、本研究室では主に EDLC の研究を行っている。EDLC は、二次電池に比べて高い出力密度を持つ。また、科学反応を経ずに電荷を直接蓄電するため、特性の劣化も少なく非常に長寿命である。ただし、容量は二次電池に比べて小さく、現在の市販品レベルでは、鉛蓄電池の 1/5、ニッケル水素系蓄電池の 1/10～1/15、リチウムイオン系蓄電池の 1/15～1/20 程度しかない。このように、EDLC は優れた入出力特性を持つが、電気自動車の電源として単独搭載するためには、容量の大幅増加が必須である。しかし、一時的なエネルギー供給や、エネルギー回生の用途には適用可能であり、ハイブリッド車の電源として搭載された例も報告されている。電気自動車の場合も同様に、バッテリーの出力補助や、エネルギー回生のための蓄電装置として、EDLC を利用できる可能性がある。この考え方は、ハイブリッド車に似ている。エンジンとモータのハイブリッド車では、エンジンをなるべく高効率で運用するために、モータとバッテリーでアシストを行う。この考え方を電気自動車に移し、バッテリーを最適な状態で運用するために、EDLC でエネルギーのアシストを行うという発想である。

（４）システム概要と導入効果のシミュレーション

システムのエネルギーフローを図 3-3-1 に、動作フローを表 3-3-1 に示す。走行時のエネルギーは、基本的に EDLC から出力する。EDLC の充電状態が低くなったら、バッテリーから EDLC を充電する。このため、加速時の大電流放電に対応しつつ、バッテリーをほぼ一定電力出力で運用できる。また、減速に伴うエネルギー回生は EDLC で行い、走行中はバッテリーへの充電を行わない。これにより、バッテリーの充放電サイクル数を少なくできる。システムを電気自動車に搭載した場合の効果について、車両の物理モデルを用いたシミュレータを作成し、検討を行った。車両の特性を表すパラメータは表 3-3-2 のように定めた。モデルに車速の時系列データを与えることで、走行に必要なエネルギーを算出できる。今回は、ガソリン車やハイブリッド車の燃費測定に使用される、JC08 モードの車速時系列を使用した。算出したエネルギーから、表 3-3-1 のルールに基づいてバッテリーと EDLC の出力電力を求めた。

（５）車両搭載時の制約とシミュレーション結果

先も述べたように、現在市販の EDLC のエネルギー密度は二次電池と比べて小さい。このため、現行の電気自動車に、単に EDLC を追加しようとする、車両に収まらない可能性がある。そこで、バッテリーと EDLC が車両中で占有できる体積を決め、その中で EDLC が占める体積比率（EDLC 体積比率）を変化させてシミュレーションを行った。EDLC 体積比率 10 %のときの

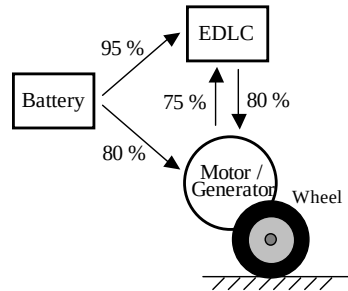


図 3－3－1 キャパシタ-バッテリー併用システムのエネルギーフローと効率

表 3－3－1 動作フロー

状態	動作
加速	EDLC から優先的に放電し、エネルギーが不足した場合はバッテリーから放電する。
減速	制動エネルギーを EDLC で回収する。 EDLC が満充電の場合は、油圧ブレーキによって減速する。
バッテリーからの EDLC 充電	バッテリーは 0.5 C で放電し、EDLC を充電する。 EDLC の SOC が 80 %を超える場合、バッテリーからの充電は行わない。

表 3－3－2 シミュレーション条件

車両 (軽自動車)	電源体積	85 L
	車両重量（電源重量除く）	920 kg
	搭乗者重量	55×2 kg
	全面投影面積	2 m ²
	空気抵抗係数 Cd 値	0.24
バッテリー (Li-ion)	質量エネルギー密度	100 Wh/kg
	体積エネルギー密度	190 Wh/L
	出力密度	500 W/kg
EDLC	質量エネルギー密度	5 Wh/kg
	体積エネルギー密度	6 Wh/L
	出力密度	4000 W/kg
初期条件	バッテリーと EDLC は満充電	
走行 パターン	JC08 モード	
	走行距離	8.172 km
	走行時間	1204 s

シミュレーション結果を図 3-3-2 に示す。バッテリーがほぼ一定電力出力で運用できたことがわかる。EDLC 体積比率をさらに増やせば、バッテリーは完全に一定電力出力で運用できるようになる。EDLC 体積比率が 0 %～30 % のときの、バッテリーの負荷持続曲線を図 3-3-3 に示す。負荷持続曲線とは、負荷（出力電力）の時系列を降順に並べ変えたもので、負荷の大きさや持続時間を把握するために用いられる。EDLC 体積比率が 0 % のときは、エネルギーの回生を行わない電気自動車と等価である。EDLC 体積比率 10 % のとき、全放電時間のうち 93 % が一定電力出力であった。また、EDLC 体積比率 0 % の場合に比べて、放電時間を 26 % 短縮できた。以上のことから、バッテリーの長寿命化が期待できる。また、EDLC 体積比率が 30 % のとき、バッテリー出力を全時間で一定とできた。

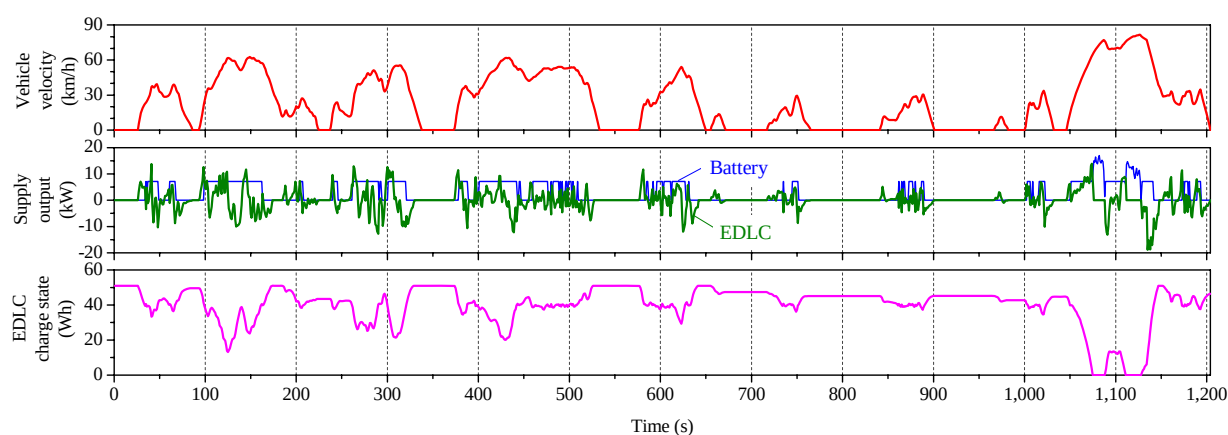


図 3-3-2 JC08 モード 1 回走行のシミュレーション結果（EDLC 体積比率 10 %）

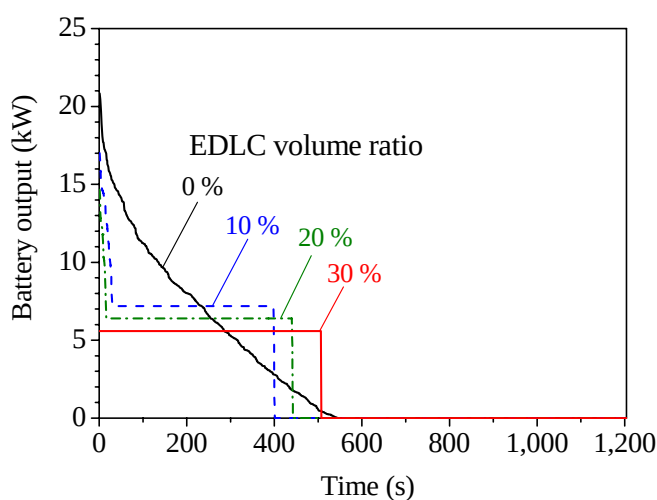


図 3-3-3 バッテリー負荷持続曲線の EDLC 体積比率依存性

3-4 デモンストレーション

(1) 市民へのデモンストレーション

次世代ビークルは、環境への負荷を軽減できるという利点を持つ。しかし、それは旧来からあるビークルとは利用形態が異なる場合が多い。例えば、電気自動車の場合、ガソリン車からの大きな変化は、走行エネルギーの供給形態である。電気はガソリンより単価が低いことから、これまでのガソリンスタンドのような形態のビジネスは成り立ちにくい。車両へのエネルギー供給（電気自動車では充電）は自宅で行うケースが増えるであろう。また、安価な夜間電力を利用するようになれば、エネルギー供給のタイミングも変化することとなる。これらのことから、次世代ビークルの導入によって、市民の生活も変化することが予想される。また、次世代ビークルの技術は発展段階にあり、特に航続距離は、従来車に比べてまだ 1/3 程度である。現状の技術がどの程度であり、次世代ビークルの特徴はどういったものなのか、市民へ情報を発信し、理解してもらうことが重要である。また、市民からの声をフィードバックすることで、次世代ビークルを含めた未来ビークルシティの構想を、より良いものにできると考えられる。本研究室では、技術や概要を市民に理解し、興味を持ってもらうためにエコ電気エネルギーに関するイベントの開催やデモンストレーションを行っている。

① 工作教室（夏休み特別教室@こども未来館）

2010 年 7 月 31 日に、豊橋少年少女発明クラブ主催にて「夏休み特別教室」が、本研究室の助教、および学生が講師として、豊橋市こども未来館「ココニコ」にて開催された。このイベントは小学 4 年生以上の児童を対象に、豊橋少年少女発明クラブが毎年実施しているものである。今回、本研究室から「よく回るサボニウス風車をつくろう」「よく回るフランクリンモーターをつくろう」の二種類の体験講座を行った。図 3-4-1 は当日の参加者作業風景である。参加者は皆、熱心に作業を行っており、大変好評であった。



図 3-4-1 参加者の作業風景（2010 年 7 月 31 日 ココニコにて）

② 電気自動車の展示（第 27 回 豊橋技術科学大学オープンキャンパス）

2010 年 8 月 29 日に豊橋技術科学大学にて、第 27 回オープンキャンパスが開催された。そこで、本研究室は中部電力、豊橋営業所の協力のもと、三菱自動車から販売されている電気自動車の i-MiEV の展示を行った。図 3-4-2 は展示されている i-MiEV である。この i-MiEV は実際に営業で使われている車両であり、来場者は普段この車を利用している説明員による生の声を聞くことができ、電気自動車を身近に感じることができた。

③ パーソナルモビリティ試乗体験（ものづくりフェア 2010 in 東三河）

2010 年の 11 月 26 日～27 日にかけて、ものづくりフェア 2010 in 東三河が豊橋市総合体育館にて開催された。これは、東三河のものづくり企業や大学が集まり展示を行うもので、地元のものづくりを体験できるというものである。本研究室では、次世代のパーソナルモビリティとして、セグウェイ（セグウェイ社）と Twin wheeler GT（KOKUFUMOBIL）の試乗体験を実施した。図 3-4-3 は当日の体験会場の様子である。本イベントでは、老若男女問わず、延べ 800 名以上の方が試乗体験し、大いに賑わった。



図 3-4-2 電気自動車展示風景（2010 年 8 月 29 日 豊橋技術科学大学にて）



図 3－4－3 試乗体験会場の様子（2010 年の 11 月 26 日～27 日 豊橋市総合体育館にて）

④エコエネルギー体験（計画中）（豊橋総合動植物公園 のんほいパーク）

豊橋総合動植物公園（のんほいパーク）でのデモンストレーションを計画するため、昨年（2009）の 6 月 19 日に現地調査を行った。その結果、「エコ電気エネルギーを覚えて体験してもらう」という目的のもと、次のような二つの具体案を考えた。

具体案 1：

のんほいパーク内には、多くの太陽電池が設置されている。図 3－4－4 は、自然史博物館屋上の太陽電池パネルと、自動販売機に設置された太陽電池である。これらを利用して、園内を回るツアー・説明を行い、何気なく設置されている太陽電池とエコエネルギーに興味を持ってもらう。

具体案 2：

のんほいパークには多くの子供が訪れる。このため、子供が興味を持ちやすい、遊びながら学ことができる物が有効と思われる。この一例として、ミニ四駆に太陽電池を搭載したものが挙げられる。これは、岡山県等での実施例があり、好評だったとのことである。

具体案 3：

現在ののんほいパークにはガソリンエンジン式のトーイングトラクターによる園内バス（図 3－4－5）が巡回している。このバスを電気バスに改造をする。それにより、運行コストの削

減と CO2 排出量の減少ができる。また、排気ガスによる汚染や悪臭がなくなるので、動植物公園に適した移動手段になると思われる。

上記以外にも、広い敷地を有効活用した電気自動車のデモなども考えられる。

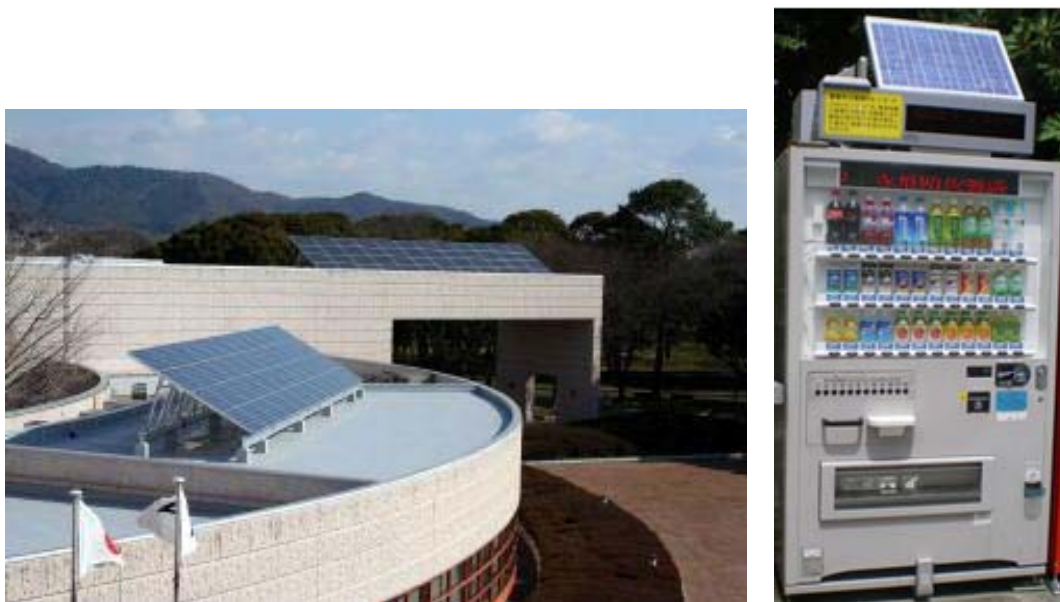


図 3-4-4 各所に設置された太陽電池パネル



図 3-4-5 のんほいパーク園内バス

（２）小型電気自動車

キャパシタ・バッテリー併用システムの実証実験に向け、１人乗りの小型電気自動車の製作を進めている。50 cc のガソリン車をベースに、走行用動力を 600 W のインホイールモータに置き換え、電気自動車に改造中である。インホイールモータは、駆動輪のホイール中にモータを内蔵したもので、ギアなどの機械的な伝達機構を介さずに駆動輪を駆動するため、高効率である。また、ギアレス構造により、軽量化・省スペース化を実現している。図 3－4－6 は、改造中の電気自動車のフレームである。ベースとした車両は、光岡自動車製の 3 輪小型自動車 BUBU503 で、後輪の 1 輪駆動輪をインホイールモータに置き換えた。次年度以降の実験の計画として、まずは、バッテリーのみを搭載した電気自動車として組み上げ、各機器のエネルギー収支と温度の測定器を仕込む。また、車速なども併せて測定し、実車両の、実走行下における機器のエネルギー効率や温度上昇を測定する予定である。次に、電源をキャパシタ・バッテリー併用システムに置き換え、実車両への導入効果を検討する。また、現在は 3 輪車で後輪 1 輪駆動だが、将来的には 4 輪車の後輪 2 輪駆動に改造予定である。駆動輪にはインホイールモータを用いるため、駆動輪が 2 つに増えることで、内輪差や車速を考慮した制御が必要となるが、車両の特性をより一般的なものに近づけることができる。



図 3－4－6 改造中の小型自動車（モータ換装後のフレーム）

(3) 卓上エネルギー回生試験機

小型電気自動車の製作と並行して、卓上型のエネルギー回生試験機を製作している。外観を図3-4-7に示す。図中の左から、モータ、フライホイール、電磁ブレーキの順に、同一軸上に配置してある。この装置では、まず、モータでフライホイールを回転させ、フライホイールに回転エネルギーを蓄える。続いて、モータを発電機として使用し、回転エネルギーを電気エネルギーとして取り出すことで、車両のエネルギー回生動作を模擬できる。次年度以降、同装置を用い、エネルギー回生に対応したモータドライバの開発や、エネルギー回生効率の実験を行う予定である。

3-5 今後の課題

本項では、未来ビークルシティの工学的技術面から見た導入条件について検討した。以下に、その結果と課題を示す。

- (1) 次世代ビークルのエネルギー供給源として有望視されている、太陽光発電の導入条件について、本学と豊橋市内の一般家庭の電力負荷データを用いて検討を行った。一般家庭の場合、余剰電力を電力会社へ売電することで導入コストを取り戻すことができるが、太陽電池の寿命（約20年）の間にペイバックするためには、国や地方自治体等による補助金が必要不可欠との結果になった。
- (2) 電気自動車の電力供給システムについて、キャパシタとバッテリーを用いた新しい電源システムの実用可能性について検討を行った。キャパシタとバッテリーの併用により、電気自動

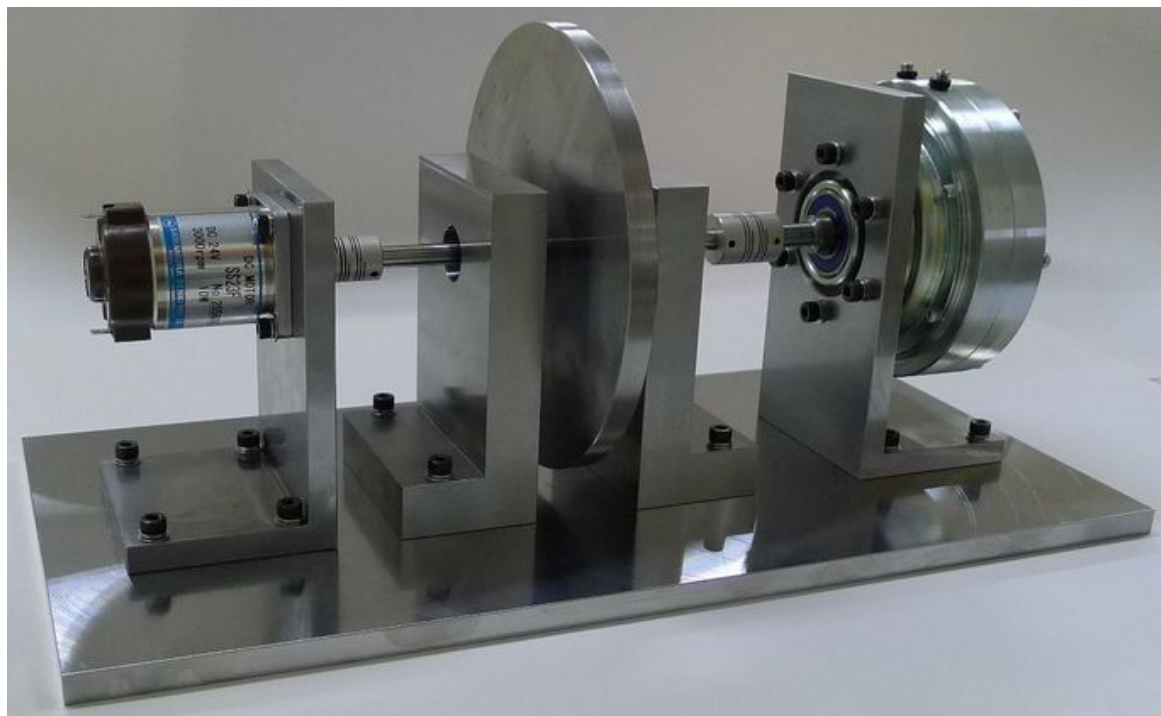


図3-4-7 卓上型エネルギー回生試験機

車用電源で重要な、大電流充放電の要求を満たしつつ、高サイクル特性を実現し、長寿命運用が可能となる。キャパシタを用いてバッテリーを一定電力出力運用し、長寿命化を狙うことで、これを実現する。車両の物理モデルに本システムを組み込んだシミュレータを作成し、JC08 モードを走行した場合のバッテリー出力を求めた。その結果、キャパシタの付加によって、バッテリーを一定電力出力運用できることがわかった。航続距離のさらなる延長など、車両性能向上のためには、キャパシタのエネルギー密度の向上が望まれる。エネルギー密度が二次電池と同程度になれば、現在の電源を完全にキャパシタに置き換えることも不可能ではなくなる。

- (3) 市民へのデモンストレーションの実施結果と今後の実施計画について述べた。次世代ビークルの技術や、特性、現状を理解してもらう上で、デモンストレーションは重要である。また、市民の声をフィードバックすることで、未来ビークルシティの構想をより良いものにすることができると考えられる。本年度は、オープンキャンパスを初めとする 3 つのデモンストレーションを実施し、いずれも好評であった。また、来年度のデモンストレーションについても計画中である。

4. 交通需要から見た導入条件

4-1 はじめに

電気バスの導入に当たっては運行ルートと運行サービス条件の設定が重要となるが、そのためには各運行ルート代替案に対する交通需要予測が不可欠である。そこで、本研究では豊橋市民を対象としてアンケート調査を実施し、日常の交通行動実態および電気バスに対する利用意向を把握するとともに、仮想的な電気バス運行条件に対する選好質問に基づいて非集計ロジット型の電気バス選択モデルを構築する。次いで、設定された電気バス運行ルート・運行サービス条件に関する代替案について、構築された電気バス選択モデルを適用し、OD別に電気バス利用者数を推定する。

本報告書では、住民アンケート調査の概要について述べるとともに、電気バス選択モデルの概要およびその推定結果を示すものとし、電気バス運行ルート・運行サービス条件の代替案別の電気バス利用者数の推定に関しては、方法論を中心に述べるものとする。なお、本研究において実施した住民アンケート調査は、電気バス選択モデル構築や交通需要予測のためのデータを収集するためのみでなく、モビリティ・マネジメント（MM）の効果計測のためのデータを収集することをも目的としている。このMM施策は、人々の交通行動（モビリティ）を社会的に望ましい方向（自家用車利用から公共交通や自転車の利用）に自発的に変更するよう促すコミュニケーションを中心とした施策であり、低炭素社会における交通体系を実現する上で重要な交通施策であると考えられることから、本報告書では、それに関連する質問項目の集計・分析結果についても触れるものとする。

4-2 住民アンケート調査の概要

（1）豊橋市の概要

1）豊橋市の人口・土地利用等の概要

（i）位置、特徴

豊橋市は、愛知県の南東部に位置し、豊川市、新城市、田原市、静岡県と隣接している。地形は概ね平坦であり、東部の山地から西部の低地へと、緩やかに傾斜している。北部から中央部は豊川沿いに豊橋平野が広がり、南部一帯は天伯台地と呼ばれる台地を形成し、太平洋側は急な崖となっている。市域は東西に17.8キロメートル・南北に23.9キロメートル、面積は261.35平方キロメートルで、県下60市町村中6番目の広さとなっている。また、東三河地区の中心都市であり、同地区の人口の約半数を占めるとともに、中核市に指定されている。また、東西の幹線として東海道本線、国道1号、南北の連絡線として飯田線、国道151号線などが通っているため、三遠南信における交通の要衝ともなっている。

(ii) 人口

豊橋市は、平成 22 年 10 月 1 日現在、総人口 38 万 2502 人、総世帯数 14 万 9838 世帯となっている。まず、表 4-2-1 をみると、男女比はあまり変わらないものの、男女ともに 60 代以上の割合が 20%をこえており、高齢化が進んでいることがわかる。また、平成 21 年度の人口・世帯数データにより作成した 1 km メッシュの人口分布を図 4-2-1 をみると、一部の人口が中心に集中しているものの、郊外含む市全体に人々が住んでいることがわかる。

表 4-2-1 年齢・男女別豊橋市の人口割合(平成 22 年 10 月 1 日現在)

年齢	人口総数(人)	人口割合 (%)	年代別割合 (%)		男女の比率 (%)	
			男	女	男の割合	女の割合
0～9	37040	9.7	9.9	9.5	51.2	48.8
10～19	39324	10.3	10.5	10.0	51.2	48.8
20～29	45885	12.0	12.7	11.3	53.1	46.9
30～39	57970	15.2	15.9	14.4	52.5	47.5
40～49	51211	13.4	13.8	13.0	51.6	48.4
50～59	46705	12.2	12.3	12.1	50.6	49.4
60～69	51622	13.5	13.3	13.7	49.4	50.6
70～	52745	13.8	11.5	16.1	41.9	58.1
総数	382502	100	100	100	50.1	49.9

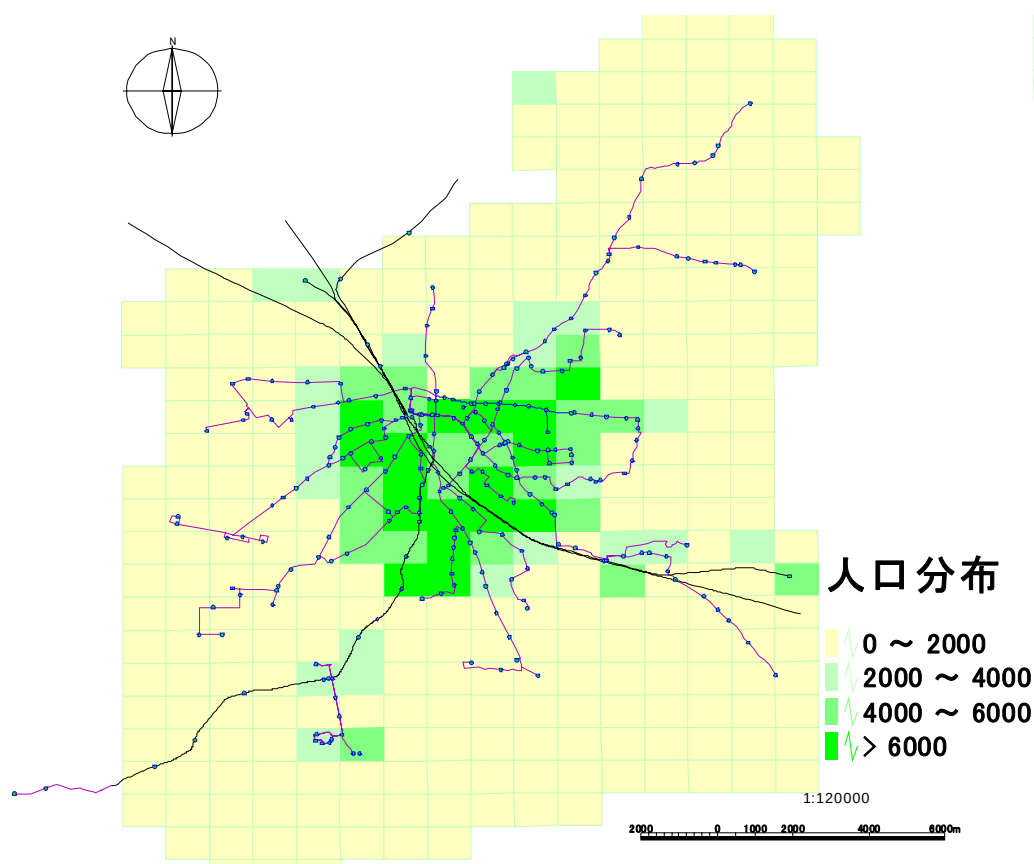


図 4-2-1 豊橋市の人口分布(平成 21 年度)

(iii) 土地利用

豊橋市は、市域面積の 3/4 が市街化調整区域となっている。商業地および住宅地系を含む市街地は豊橋駅を中心とした駅の周辺に集積し、特に駅の東側に集積度が高くなっている。工業地域においては比較的郊外に点在しているが、港のある大崎地区に特に集積している。しかし近年、大型ショッピングセンターやアミューズメント施設が郊外に立地され、市が目指す「都市機能をコンパクトに集積させる都市構造」に支障をきたすことが考えられるため、広域的に大規模集客施設の立地を制限することとした。具体的には、都市計画区域内のすべての準工業地域を対象として特別用途地区を決定し、大規模集客施設の立地を規制している。

2) 豊橋市の交通

(i) 公共交通

豊橋市内の公共交通は、鉄道、バス、路面電車などがあり、運営主体は豊橋鉄道(豊鉄バス含む)、J R 東海、名鉄バス東部の 3 主体がある。鉄道は、J R 東海道線が豊橋を南東から北東方向、つまり東海道に沿って走り、J R 飯田線が豊橋から豊川、新城の奥三河のほうへ走っている。また、豊橋鉄道渥美線が新豊橋駅から田原方面へ向かって南北に走っている。バスは、殆どの路線が豊鉄バスによる運営であるが、豊橋駅前から蒲郡方面は名鉄バス東部が路線を持っている。愛知県では唯一の路面電車は、豊橋鉄道が運営主体となり豊橋駅前から東田、岩田方面へ走っている。表 4-2-2 に具体的な鉄道、バス、路面電車などの系統名を示すとともに、図 4-2-2 に公共交通路線網を示す。

表 4-2-2 豊橋市内を発着する公共交通

系統名				
豊鉄バス	伊良湖本線	二川線	名鉄バス東部	西浜循環線
	中浜大崎線	豊橋和田辻線		西浦豊橋線
	小浜大崎線	豊川線	コミュニティバス	東部東山線
	大崎線	新豊線		石巻西川・賀茂線
	三本木線	豊橋市民病院線		下条・森岡線
	豊橋技科大線	卸団地線	豊鉄	渥美線
	牛川金田線	牟呂線	路面電車	市内線 運動公園前
	飯村岩崎線	神野ふ頭線		市内線 赤岩口
	天白団地線	レイクタウン線		市内線 競輪場前
	西口線		J R	東海道本線
	岩田団地線			飯田線

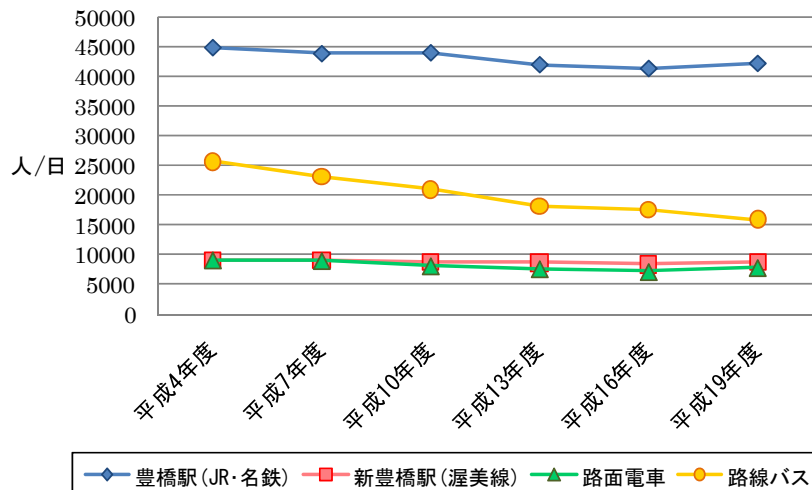


図 4－2－3 公共交通機関利用者数の推移 (人/日)^{4.4}

(iii) 交通手段分担率

図 4－2－4 に、平成 13 年に実施された第 4 回中京都市圏パーソントリップ調査から得られた代表交通手段分担率を示す。豊橋市では、代表交通手段分担率の 64.8% が自動車、鉄道は 6.0%、バスは 0.9% となっており、中京都市圏全体と比べても公共交通の利用率は低くなっていることがわかる。これは、表 4－2－2 と図 4－2－2 に示した通り、公共交通が年々減少してサービスが低下していること、および豊橋市の公共交通が豊橋駅を中心に放射線状に延びていることから移動が制約されることが大きく影響している。

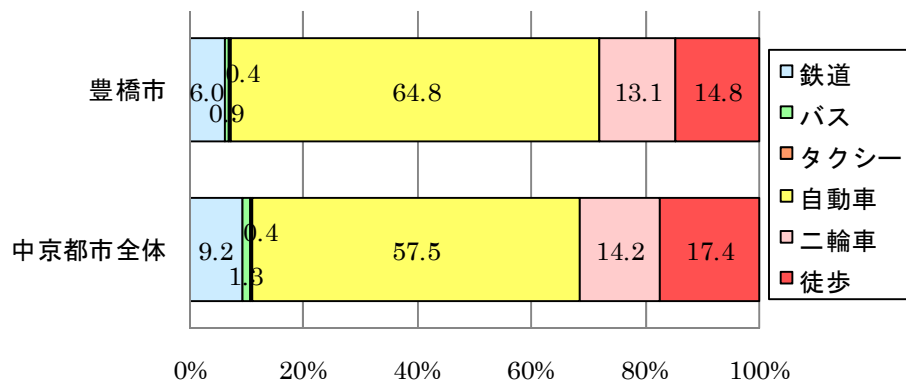


図 4－2－4 代表交通手段分担率

(参考：第 4 回中京都市圏パーソントリップ調査(H13))

(2) アンケート調査の概要

1) 調査対象者の抽出および調査票の配布・回収方法

アンケートは平成 22 年 10 月～11 月に、豊橋市全域を対象として世帯票と個人票を配布し、郵送配布・郵送回収方式で行った。配布・回収状況を表 4-2-3 に示す。なお、アンケートを配布する世帯の選定は、豊橋市の町別人口の値をもとに、住宅地図から任意抽出によって行った。平成 22 年 10 月現在の豊橋市の世帯数は 149,838 世帯であり、本アンケートの配布数は 1950 世帯であることから、抽出率は市全体の 1.3% となった。

表 4-2-3 配布・回収状況

配布日	平成22年10月23日			
回収期限	平成22年11月10日			
配布・回収方法	郵送配布・郵送回収			
配布数	世帯票	1950世帯	個人票 (3通)	5850部
回収数		471世帯		875部
回収率		24.2%		15.0%

2) 調査内容

調査内容として、世帯票は住所、最寄りのバス停・駅、家族構成、収入などを、個人票では個人属性、外出目的、利用交通手段、外出頻度、交通の際に重視する項目、公共交通の必要度などの設定他に、電気バス選択モデル構築のためのデータを得るための仮想的な条件下での電気バス選択に関する SP 質問を行った。この SP 質問に関しては、電気バスの運行サービス条件としてバス乗車時間、バス料金、運行間隔、バス停までの徒歩時間の各水準の組み合わせ提示し、電気バスを利用するか否かを問う形で実施した。サービス水準の組み合わせは直交表を用いて 25 ケース作成しておき、各個人には 5 ケースずつ提示した。さらに同じ項目で設定サービス水準値を変えた別のケースを 25 種類用意し、計 50 ケースとした。

また、本アンケートは MM の情報提供の効果計測も目的としたため、それに関連する質問を多く盛り込んでいる。MM の情報提供は、各交通手段に関して、安全面、健康面、環境面、経済性、利便性、快適性の特性比較について、豊橋市に対応した内容に置き換えて提示することにより行った。また、MM の情報提供の効果および情報提供の与え方(4種類)による効果の違いをみるため、情報提供群は「カラー(絵と文章)」、「モノクロ(絵と文章)」、「文章のみ」のいずれかで情報提供を行い、制御群に対しては情報提供を全く行わなかった。

アンケートの詳細については付録を参照されたい。

(3) 回答者の属性

1) 性別

図4-2-5(1)をみると、「男性」が55.7%、「女性」が42.7%と、男性の回答者が多少多いことがわかる。図4-2-5(2)はH22.10.現在の男女の比率を示したものであるが、「男性」が50.1%、「女性」が49.9%と、この図と見比べても、回答者が男性に多少片寄っていることが伺える。

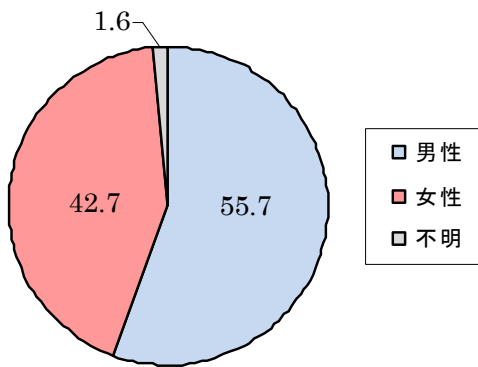


図4-2-5(1)

アンケート回答者の性別(n=875)

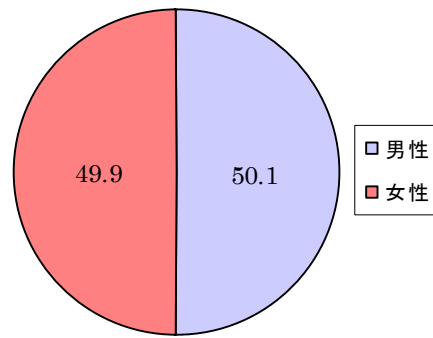


図4-2-5(2)

母集団(H22.10.現在)の性別

2) 年齢

図4-2-6(1),(2)をみると、H22.10.現在における豊橋の人口分布は、多少高齢者が多いものの、ほぼ均等に各年齢に分布しているのに対し、アンケートの回答者は年齢を追うごとに回答者の割合が増加し、60代以上で52.9%を占めるなど、年齢層に相当偏りが生じていることがわかる。これは、対象者の抽出に際して住宅地図を利用したため、世帯主に高齢者が多かったことが影響していると考えられる。

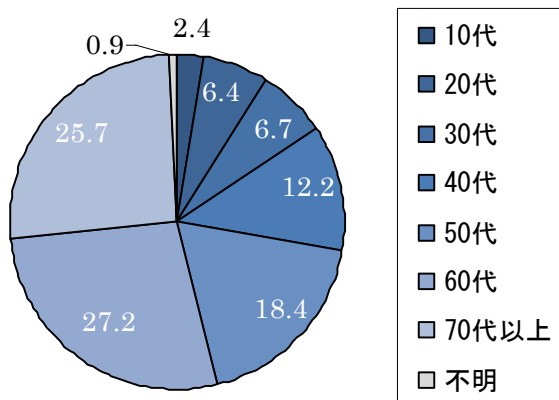


図4-2-6(1)

アンケート回答者の年齢(n=875)

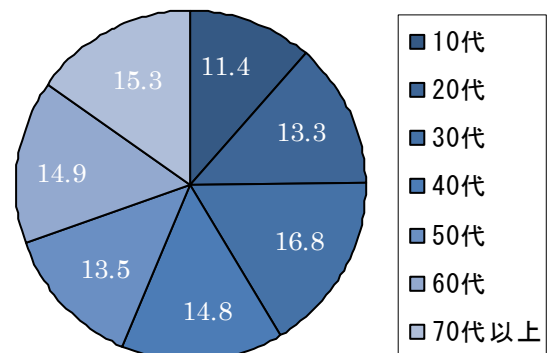


図4-2-6(2)

母集団(H22.10.現在)の年齢(n=345462)

3) 職業

図4-2-7をみると、「無職」が26.6%と最も多く、ついで「会社員」が23.5%、「主婦(夫)」が14.7%となっている。これは、年齢同様アンケートを配布する際に、世帯主に高齢者が多かったため、年金生活者が多数存在したためと考えられる。会社員は通勤を、高齢者や主婦(夫)は公共交通を利用すること、および時間があるため回答が多くなっていると考えられる。

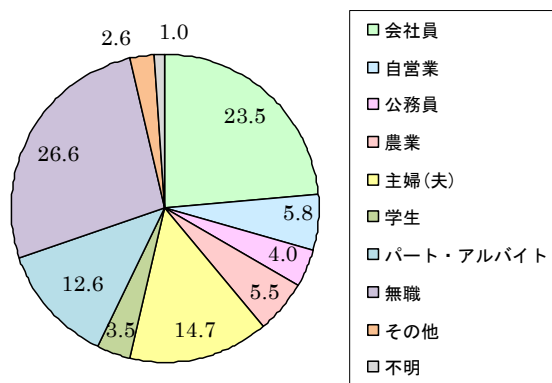


図4-2-7 職業(n=875)

4) 免許保有率・自動車保有率

図4-2-8(1)をみると、83.0%の人が「自動車の免許を保有」しており、「免許がない」人は14.6%に留まった。図4-2-8(2)をみると、71.7%の人が「自動車を保有」しており、「自動車・二輪がない」人は15.0%と免許保有率同様自動車を保有している人が圧倒的に多い結果となった。このように、豊橋市における公共交通路線が、豊橋駅を中心に放射線状にしかでていないため、通勤や買い物などで公共交通が思うように使用できず、自動車に頼るほかないといった現状が垣間見える。

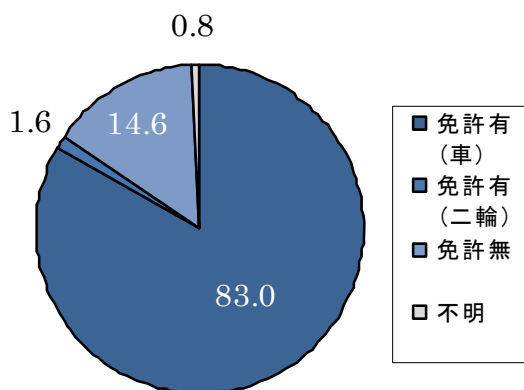


図4-2-8(1)
免許保有率(n=875)

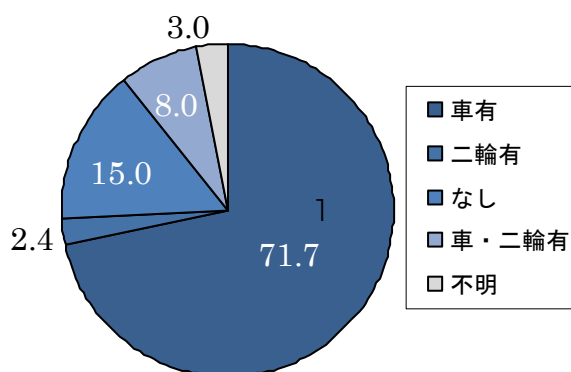


図4-2-8(2)
自動車保有率(n=875)

5) 利用交通手段(複数回答あり)

図4-2-9をみると、最も利用率が高かったのが、「自動車(自分で運転)」の52.2%、次いで「自転車」の13.4%、「徒歩」の8.9%となったが、自動車の割合は「送迎」を含めても6割弱にとどまっている。先に述べたとおり、豊橋市における自動車交通分担率は64.8%(H13)であったことから、ア

ンケート回答者の偏りによる影響が利用交通手段にも及んでいることが考えられる。

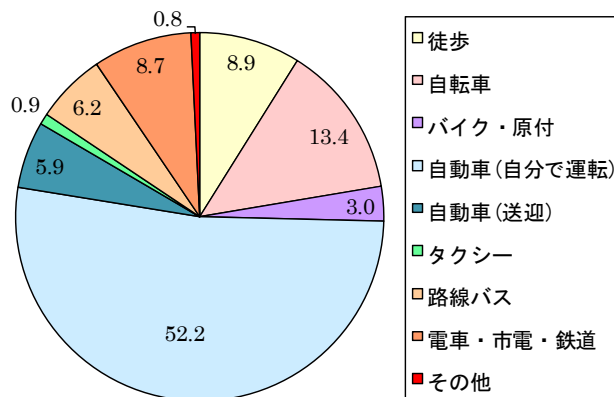


図 4 - 2 - 9 利用交通手段 (n=1056)

6) 外出目的

自宅からの主な外出目的は図 4 - 2 - 1 0 のように、「通勤」が 41.3%と最も多く、ついで「買い物」が 24.9%、「通院」が 11.2%となっている。

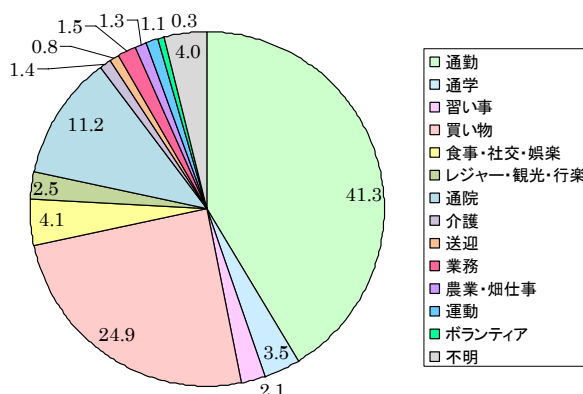


図 4 - 2 - 1 0 外出目的 (n=875)

7) 居住地域

現在、豊橋市には 3 5 0 以上の町丁目が存在しており、おおまかに分類してデータを用いる必要がある。そこで、平成 17 年度の交通センサス B ゾーン(豊橋市市内を 17 ゾーンに分割)、および工業地帯や公共交通機関の路線網などを目安に新たに 7 ゾーンに分割した。そのゾーニング図を図 4 - 2 - 1 1 (1) に示す。また、7 分類した場合の各居住地域に対する回答者の割合を図 4 - 2 - 1 1 (2), (3) に示す。回答者の居住地域は「中心部」で 33.1%,「渥美線沿線」で 19.1%,「北東部」で 13.5%であり、公共交通空白地域が目立つ北東部の回答者も多いことが分かった。また、現在の実際の分布と比較すると、基本的に同様の分布をしているが、中心部が約 1 割減少し、渥美線沿線が 1 割多いことが伺える。

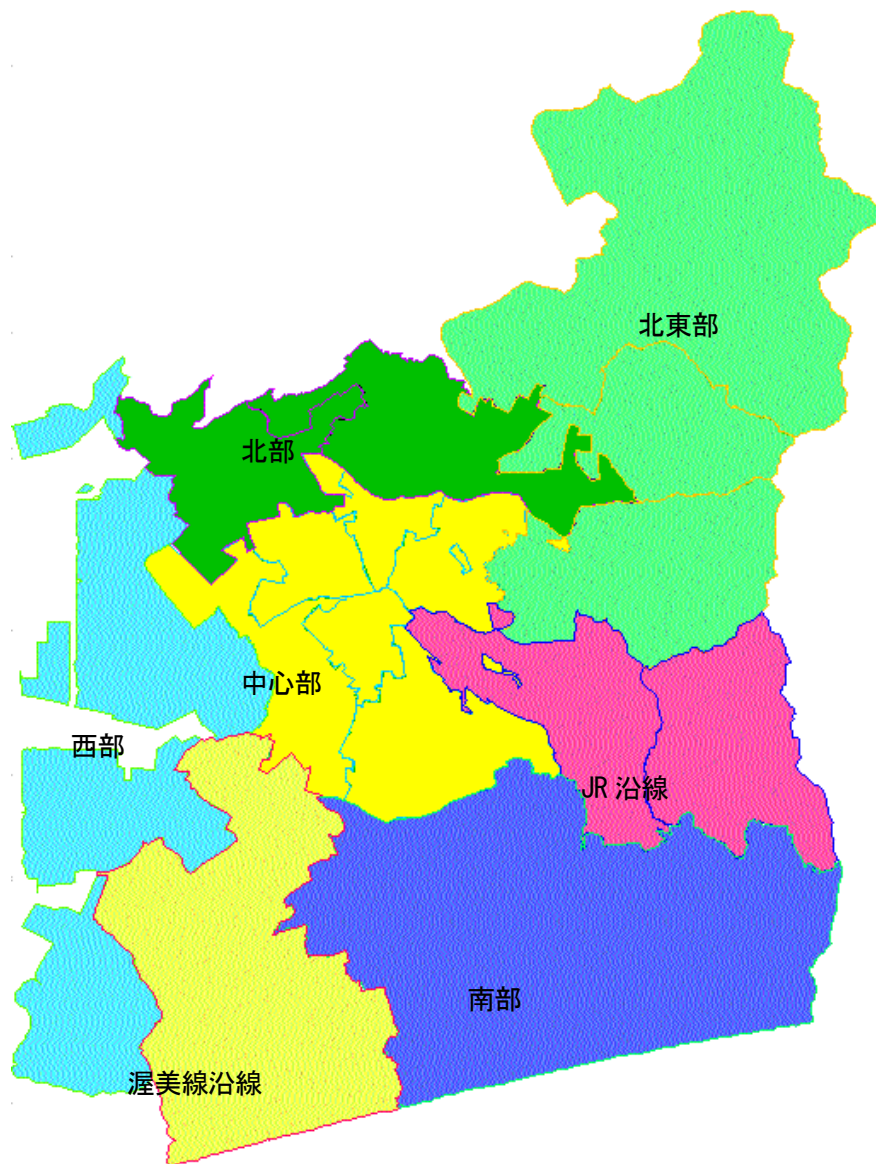


図４－２－１１（１） 豊橋市居地域のゾーニング図

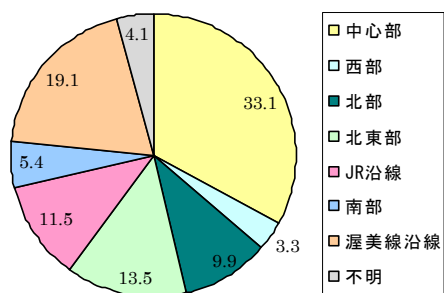


図４－２－１１（２）

アンケート回答者の居住地域 (n=875)

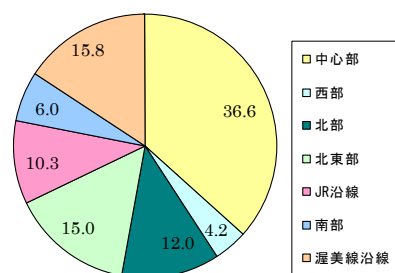


図４－２－１１（３）

母集団（H22. 10. 現在）の居住地域 (n=382502)

8) 行き先（交通の目的地）

図4-2-12をみると、中心部が21.3%と最も多く、次いで豊橋市内が20.5%、JR沿線が11.2%となっている。中心部や、JR沿線、渥美線沿線が全体的に多く、路線網や施設がある地域に人が集まっていることがわかる。市内が多い理由として、主婦(夫)や無職が多く、身近な移動が多いことも影響していると考えられる。また、市外にも17.8%の人が出かけており、通勤や通学によるものが多いと考えられる。

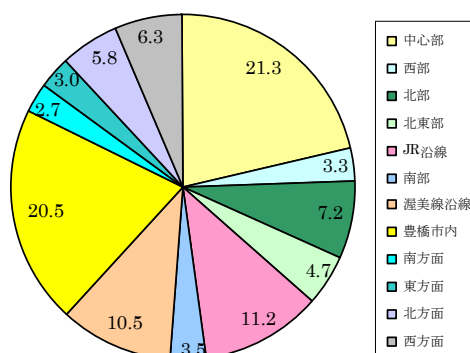


図4-2-12 行き先 (n=765)

9) OD（交通の起終点）

図4-2-13をみると、出発地が渥美線沿線の人の目的地は渥美線沿線が21.2%と最も多く、次いで豊橋市内が19.9%、中心部が14.6%となっている。同様に各地域で移動の多い順をみると、南部の人は中心部に33.3%、豊橋市内に23.8%、JR沿線に14.3%、JR沿線の人はJR沿線が24.2%、豊橋市内が17.6%、中心部が15.4%、北東部の人は豊橋市内が20.4%、中心部が16.3%、JR沿線が15.3%、北部は中心部が22.7%、東方面が18.7%、豊橋市内が17.3%、西部は豊橋市内が25.9%、中心部が18.5%、渥美線沿線が14.8%、中心部は中心部が28.0%、豊橋市内が21.7%、渥美線沿線が9.8%となっている。このように、どの地域も中心部やJR沿線、渥美線沿線が多く、またこの3地域の人は同地域内での移動が多いことがわかる。一方、南部、北東部、西部に関しては主要施設がないため他の地域への移動が多くなっているが、そもそも西部は工業地帯であるため住居が少ない事が影響していると考えられる。

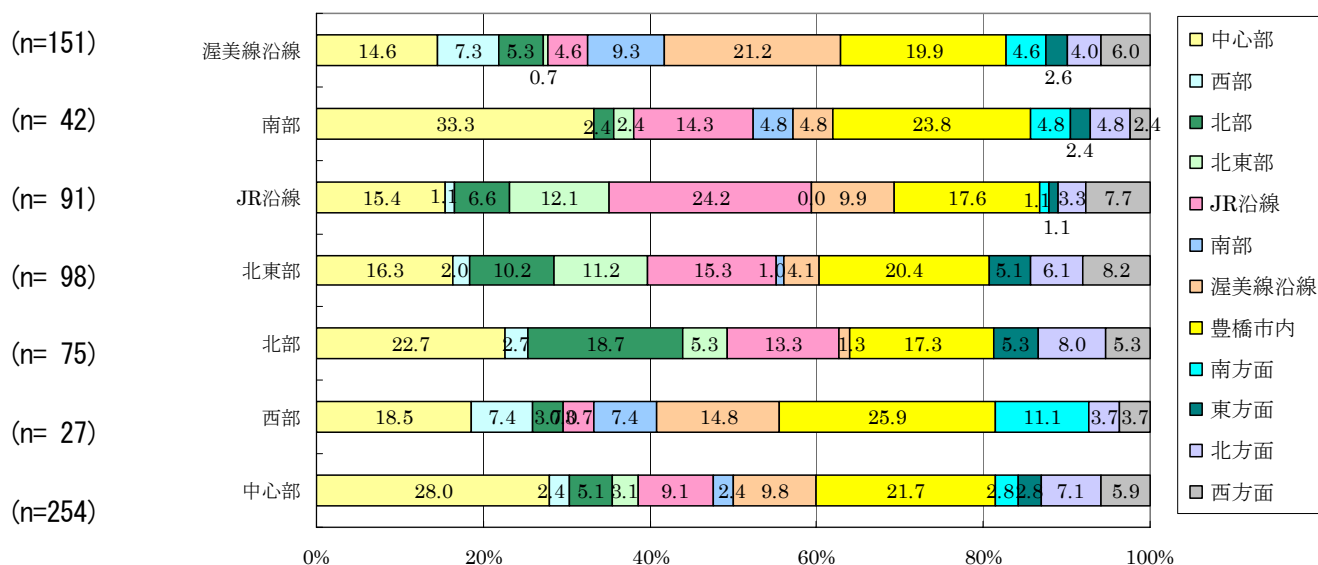


図4-2-13 OD（出発地別の目的地比率）

（４）交通手段に対する評価と公共交通の必要度

モビリティ・マネジメントは、「過度な自動車利用から公共交通・自転車を適切に利用する方向へ促す手法」であり、主に自動車利用者を対象に研究が進められている。そこで、本研究においても利用交通手段別にどのような意識の差が生じているかを検討する。なお、以下において「徒歩」は徒歩、自転車、原付・バイクを、「自動車」は自動車(自分で運転)を、「公共交通」は自動車(送迎)、タクシー、路線バス、電車・市電・鉄道の利用者を指すものとする。ただし、車から公共交通への乗り継ぎ（パーク&ライドなど）をしている回答者は、徒歩と公共交通、徒歩や自動車など手段を複数使用しており、異なる手段において同じ個人が含まれているケースも存在している。

１）現在利用している交通手段に対する評価

図4-2-14（１）に全体、図4-2-14（２）に徒歩、図4-2-14（３）に自動車、図4-2-14（４）に公共交通を対象とした利用交通手段に対する認識を示す。総合満足度をみると、徒歩・公共交通は約５割、自動車は約７割の人が「総合的にみて満足している」と回答しており、やはり自動車の満足度が最も高くなっている。徒歩の認識「大変そう思う」、「ややそう思う」をみると、「経済性」が57.5%と最も高く、次いで「自由度が高い」が56.7%、「環境面に良い」が54.9%、「健康面に良い」や「利便性に優れている」がともに50.2%となっている。利便や自由の評価が高いことから、徒歩に対してあまり苦のイメージがないものと考えられる。自動車の認識は、「自由度が高い」が83.4%と最も高く、次いで「利便性に優れている」が74.6%、「プライバシーが確保できる」が70.1%、「疲労度が低い」が54.8%となっている。やはり自動車のメリットである自由や利便が高く評価されており、依存度が高いことが考えられる一方、約５割が健康や環境によくないと認識しながら自動車を利用していることが分かった。公共交通の認識は、「利便性に優れている」が52.9%と最も高く、

次いで「防犯面で安心できる」が 46.6%，「環境面に良い」が 45.4%となっている。利便性が高いのは意外であったが、公共交通を利用する人は路線が近くにある人と考えられるため、不便に感じる人が少なかったと考えられる。

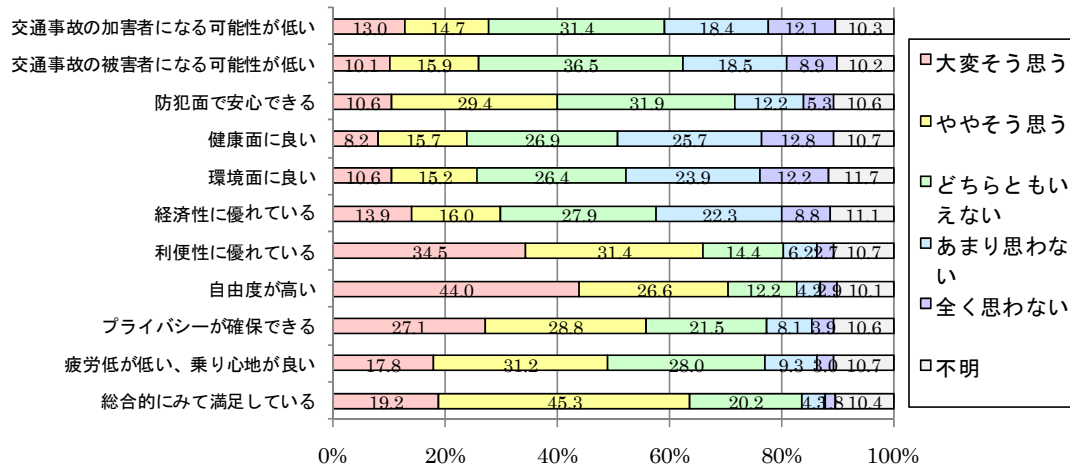


図 4-2-14 (1) 利用交通手段の認識(全体) (n=875)

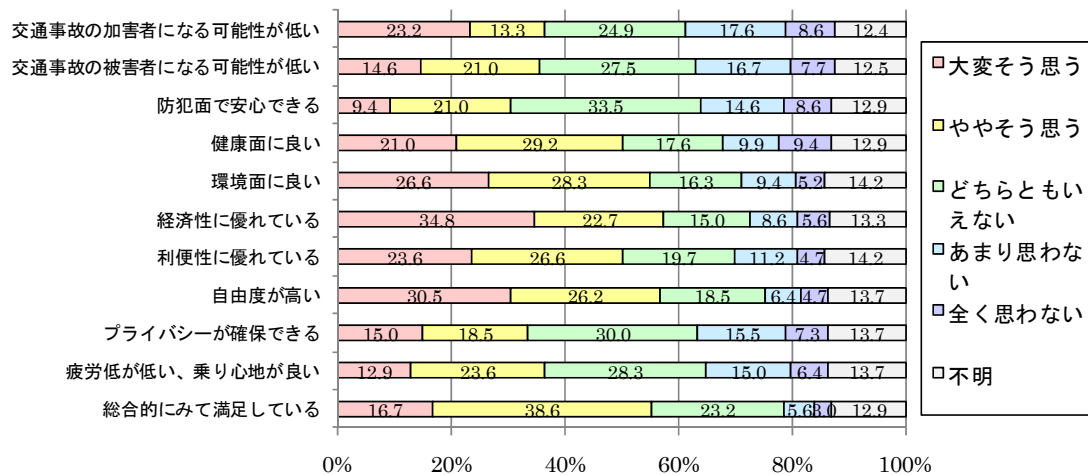


図 4-2-14 (2) 徒歩を対象とした利用交通手段の認識 (n=233)

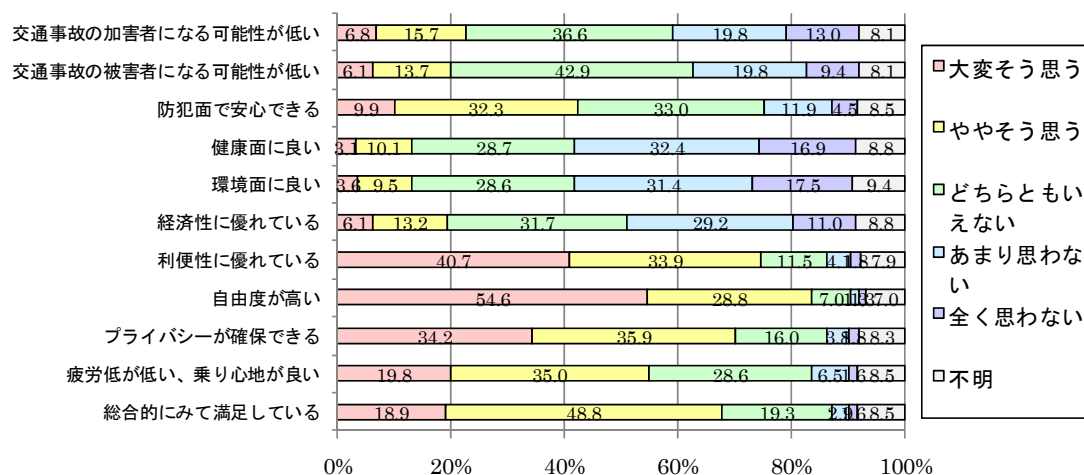


図 4-2-14 (3) 自動車利用者を対象とした利用交通手段の評価(n=555)

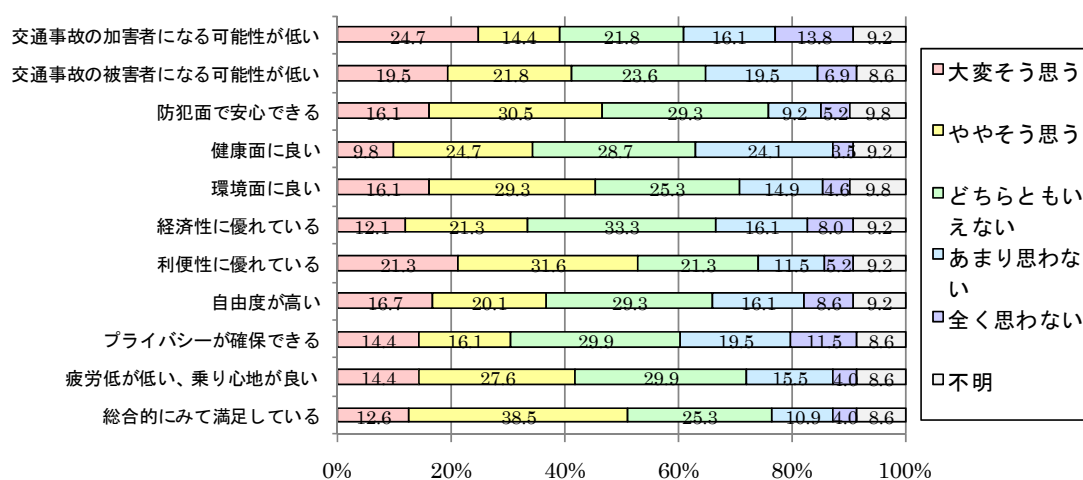


図 4-2-14 (4) 公共交通利用者を対象とした利用交通手段の評価(n=174)

2) 公共交通の必要性・利用理由

利用交通手段別の公共交通の必要性を図 4-2-15 (1) に、公共交通の利用理由を図 4-2-15 (2) に、自由記述欄の一例を表 4-2-4 に示す。利用交通手段別の公共交通の必要性をみると、公共交通利用者の 44.3% が「日常生活に不可欠」と回答しているのに対し、徒歩は 24.0%，自動車は 6.3% とわずかであったが、全手段とも、「時々が必要」が約 3 割で、「たまに必要」まで加えると 9 割近くが公共交通を必要としていることがわかった。また、「なくても良い」という意見はわずか 3% 程度であり、日常的には利用しないものの、少なからず必要な存在であることを認識していることが伺える。

交通手段別の利用理由をみると、どの手段も最も多い理由は「他の交通手段と使い分けしている」が徒歩で 46.9%，自動車で 56.9%，公共交通で 40.2% となった。次いで、徒歩は「雨の日には利用している」が 15.2%，自動車は「特になし」が 14.5%，公共交通は「時間が合った場合は利用する」が 13.7% となった。また、「バス路線を廃止させないために利用している」と回答したのは、徒歩で 3.6%，自

動車で4.1%、公共交通で9.8%であり、公共交通利用者が最もバス路線の廃止に危機感を感じている様子が伺える。「その他」においては、飲酒した場合といった理由が多くみられた。

自由記述欄においては、今後高齢になり、自分では運転できなくなるとの認識から、将来的には活用したいという意見もみられた。しかし、最も多い内容は、バスのサービスについての不満であり、公共交通の利用を促すには、サービス水準を上げることが重要視されていると言える。また、道路の改良を求める意見も多く、自動車利用から公共交通への転換が見込めない個人も多いことがわかった。

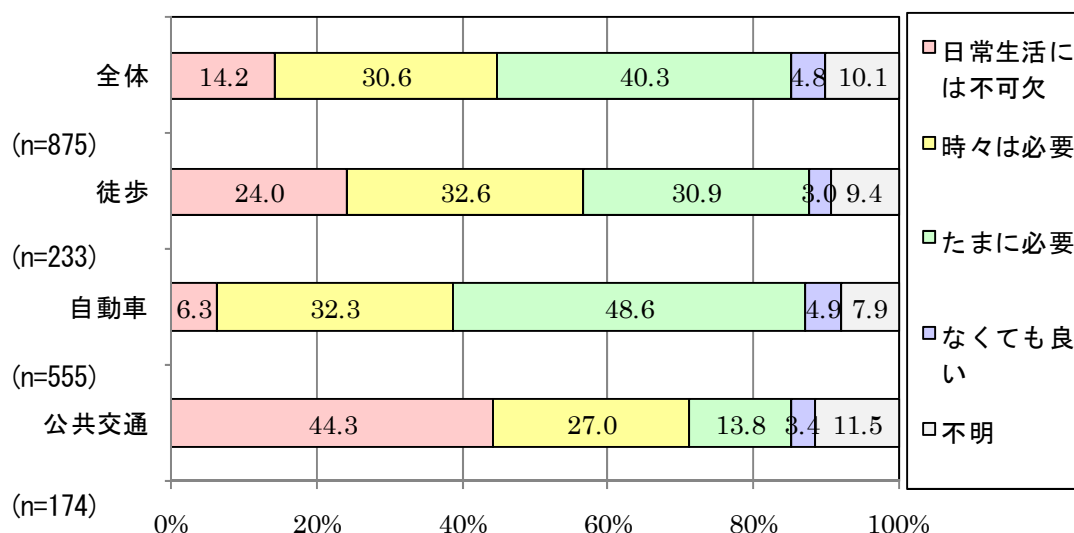


図4-2-15 (1) 交通手段別・公共交通の必要性

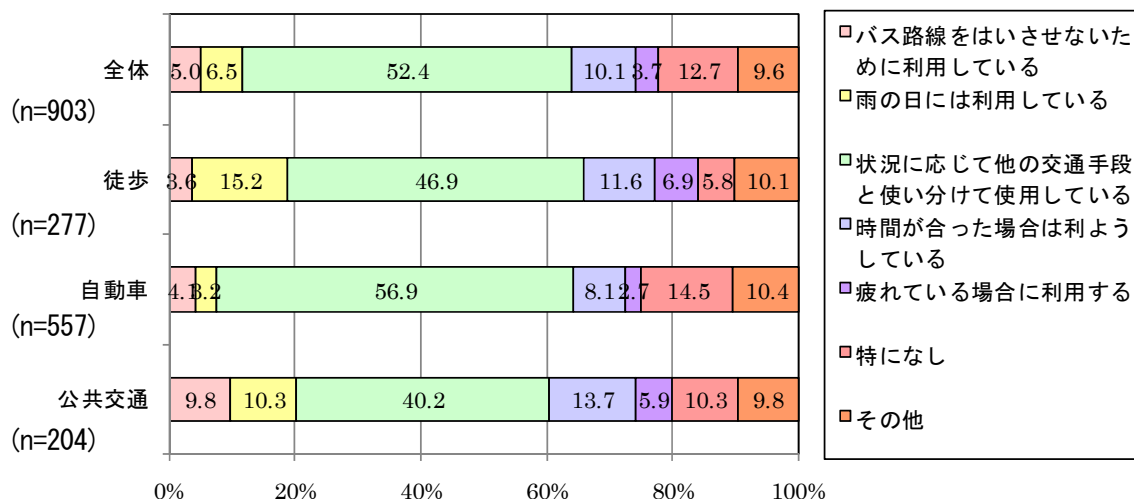


図4-2-15 (2) 交通手段別・公共交通の利用理由

表 4－2－4 自由記述欄の一例

自由記述欄例	
・将来的に利用したい ・バス停・駅が遠い ・サービス(始発・終発の時間，運行頻度，高料金)が悪く，渋滞による時間の変化が大きい ・身体が不自由で公共交通を利用できない ・環状線が欲しい ・市電を延長して欲しい ・道路の質・渋滞を改善して欲しい ・無料駐車場を増やしてほしい	etc.

(5) 提供した情報の納得度および交通する際の重視項目の変化

1) 種類コードの構成

種類コード（情報提供方法）の構成を図 4－2－1 6 に示す。どの手段も 5%以内の誤差であり，ほぼ均等に回収できたことがわかった。

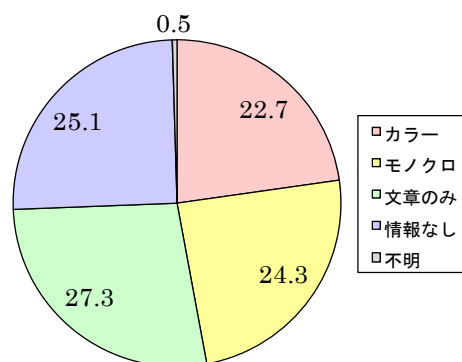


図 4－2－1 6 種類コードの分類 (n=875)

2) 納得度

情報提供方法別の納得度を図 4－2－1 7 に示す。全体の納得度は「情報を提示していない」を 25.1%含んでいるため，「納得した」と回答したのは 42.7%となった。「カラー」の納得度は 54.8%，「モノクロ」は 61.5%，「文章のみ」は 56.1%となった。5%ほどであるが，モノクロが最も「納得した」という回答が多く，ついで，文章のみ，カラーとなった。これは，モノクロで「読んでない」と回答した人が，わずか 1.4%しかいなかったことが影響したと考えられる。これに対し，「納得できない」と回答したのは全体で 3.2%，カラーで 20.1%，モノクロで 20.2%，文章のみで 28.5%であり，文章のみに比べ，図柄が入っているカラー，モノクロは 1 割ほど少ないことが分かる。ここで，「読んでない」と回答した人は「情報を提示していない」人と同類と考えている。

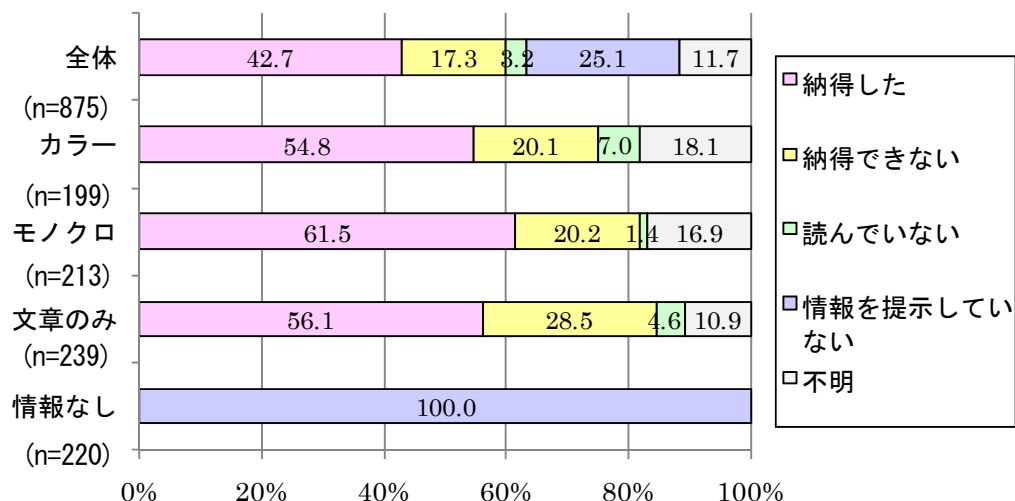


図 4-2-17 種類コード別の納得度

3) 交通する際に重要視している項目

まず、1 位を 3 点、2 位を 2 点、3 位を 1 点とし、情報提供の事前・事後で点数差を作成し、安全面など情報毎に重回帰分析を行ってみたが、どの項目においても決定係数が非常に小さかったため、点数差では情報提供の違いと項目の関係性は見られなかった。そこで、以下、各順位毎に重要視する項目に着目していく。

現在交通する際に重要視している項目を図 4-2-18 (1) に、今後交通する際重要視する項目を図 4-2-18 (2) に示す。本設問は、重要と思う順に 3 つまで回答してもらい、2 以降は 1, 2 位を省いて選択している。ただし本設問では、情報なしのグループにおいては現在交通する際に重要視している項目のみ質問しており、今後交通する際重要視する項目は、情報を与えていないグループと情報を見ていない個人は対象から外れている。

現在の 1 位をみると、利便性の 49.5% が最も重要視され、次いで安全面が 28.7% となっている。2, 3 位はともに経済性、快適性などが重要視されており、現在の公共交通を考えると、サービス水準を上げ、運賃を下げる必要があると考えられる。一方、情報を与えた後の今後の 1 位をみると、安全面の 43.5% が最も高く、次いで利便性が 29.3% となった。2 位以降は現在と同様、経済性、利便性などが重要視されている。このように、情報を与えたことで、重要視する項目が、利便性から安全面への意識が強まったことが伺えた。

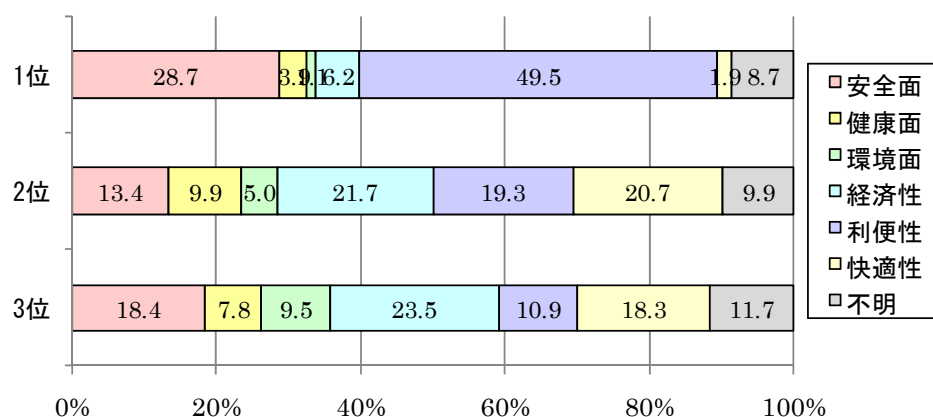


図4-2-18 (1) 現在交通する際に重要視している項目 (n=875)

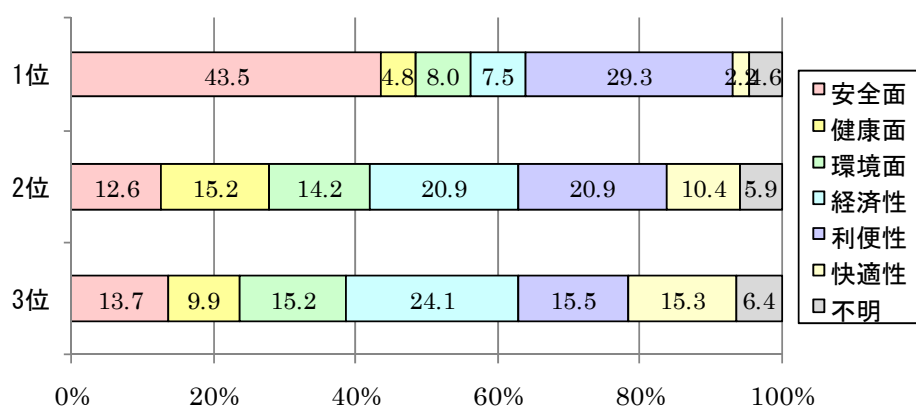


図4-2-18 (2) 今後交通する際に重要視する項目 (n=627)

また、情報を与える前後で重要視する項目がどう変化したかの内訳を表4-2-5 (1), (2), (3), (4) に示す。全情報の与え方において、最も変化したのは利便性から安全面の約 15.0%であり、意識に変化が起きた中で最も影響を与えたことが伺える。従って、安全面からアプローチを行うことで、利便性を重要視していた人の意識がかえられるとも考えられる。また、多少であるが、カラーと文章のみでは約 4.5%の人が利便性から環境面を、モノクロでは 4.8%が利便性から経済性へと移行しており、自動車のメリットよりも環境などを重要視するようになったことが伺える。

表4-2-5 (1) 交通する際重要視する項目の移行 (n=586)

現在重要1	今後重要1							総計
	安全面	健康面	環境面	経済性	利便性	快適性		
安全面	25.6	0.7	1.4	0.7	1.5	0.5		30.4
健康面	2.0	1.5	1.0	0.0	0.2	0.0		4.8
環境面	0.3	0.0	0.9	0.2	0.0	0.0		1.4
経済性	1.9	0.2	0.9	3.2	0.3	0.2		6.7
利便性	15.0	2.4	4.1	3.9	29.0	0.7		55.1
快適性	0.0	0.2	0.2	0.2	0.2	1.0		1.7
総計	44.9	4.9	8.4	8.2	31.2	2.4		100.0

表 4-2-5 (2) 交通する際重要視する項目の移行(カラー) (n=171)

今後重要1 現在重要1		安全面	健康面	環境面	経済性	利便性	快適性	総計
	安全面	22.2	0.6	1.8	0.0	1.8	0.6	26.9
	健康面	4.1	1.2	0.6	0.0	0.0	0.0	5.8
	環境面	0.0	0.0	1.8	0.0	0.0	0.0	1.8
	経済性	4.1	0.0	1.2	5.3	0.0	0.0	10.5
	利便性	14.0	1.8	5.3	2.9	30.4	0.0	54.4
	快適性	0.0	0.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.6
	総計	44.4	4.1	10.5	8.2	32.2	0.6	100.0

表 4-2-5 (3) 交通する際重要視する項目の移行(モノクロ) (n=188)

今後重要1 現在重要1		安全面	健康面	環境面	経済性	利便性	快適性	総計
	安全面	30.2	0.9	1.3	0.4	1.3	0.0	34.2
	健康面	1.3	2.2	1.8	0.0	0.0	0.0	5.3
	環境面	0.0	0.0	0.4	0.0	0.0	0.0	0.4
	経済性	0.4	0.4	0.9	0.9	0.4	0.0	3.1
	利便性	16.0	3.1	3.6	3.1	27.6	0.9	54.2
	快適性	0.0	0.0	0.0	0.0	0.4	2.2	2.7
	総計	48.0	6.7	8.0	4.4	29.8	3.1	100.0

表 4-2-5 (4) 交通する際重要視する項目の移行(文章のみ) (n=225)

今後重要1 現在重要1		安全面	健康面	環境面	経済性	利便性	快適性	総計
	安全面	23.4	0.5	1.1	1.6	1.6	1.1	29.3
	健康面	1.1	1.1	0.5	0.0	0.5	0.0	3.2
	環境面	1.1	0.0	0.5	0.5	0.0	0.0	2.1
	経済性	1.6	0.0	0.5	4.3	0.5	0.5	7.4
	利便性	14.9	2.1	3.7	4.8	29.8	1.1	56.4
	快適性	0.0	0.0	0.5	0.5	0.0	0.5	1.6
	総計	42.0	3.7	6.9	11.7	32.4	3.2	100.0

同様に、交通手段別に情報を与える前後で重要視する項目がどう変化したかの内訳を表 4-2-5 (5), (6), (7) に示す。総計をみると、全手段において事前・事後ともに安全面と利便性を重要視するという回答が最も高くなっているが、情報を与えたことで徒歩、公共交通利用者については安全面、環境面が増加し、自動車利用者は安全面が大きく増加したことがわかる。内訳も同様で、全手段において多くの人が重要視する項目を利便性から安全面に変えたことから、車のメリットである利便性の重要度を下げるには、安全面をおしたアプローチが有効に働くと考えられる。また、多少であるが、徒歩利用者は利便性から環境面が 4.4%、自動車利用者は利便性から環境面が 4.7%、利便性から経済性が 4.2%と変化し、情報を与えることで重要視する項目が変化したことがわかる。

表 4-2-5 (5) 交通する際重要視する項目の移行(徒歩) (n=159)

今後重要1 現在重要1	安全面	健康面	環境面	経済性	利便性	快適性	総計
	安全面	健康面	環境面	経済性	利便性	快適性	総計
安全面	27.7	1.3	1.3	0.0	1.3	0.6	32.1
健康面	5.7	4.4	3.1	0.0	0.0	0.0	13.2
環境面	0.6	0.0	1.3	0.6	0.0	0.0	2.5
経済性	3.8	0.0	2.5	5.7	1.3	0.6	13.8
利便性	10.7	0.6	4.4	1.9	16.4	1.3	35.2
快適性	0.0	0.0	0.6	0.0	0.6	1.9	3.1
総計	48.4	6.3	13.2	8.2	19.5	4.4	100.0

表 4-2-5 (6) 交通する際重要視する項目の移行(自動車) (n=385)

今後重要1 現在重要1	安全面	健康面	環境面	経済性	利便性	快適性	総計
	安全面	健康面	環境面	経済性	利便性	快適性	総計
安全面	24.4	0.8	1.0	0.8	1.8	0.5	29.4
健康面	0.3	0.8	0.3	0.0	0.3	0.0	1.6
環境面	0.3	0.0	0.5	0.0	0.0	0.0	0.8
経済性	1.0	0.3	0.3	1.6	0.0	0.0	3.1
利便性	16.6	3.1	4.7	4.2	35.1	0.5	64.2
快適性	0.0	0.3	0.0	0.3	0.0	0.5	1.0
総計	42.6	5.2	6.8	6.8	37.1	1.6	100.0

表 4-2-5 (7) 交通する際重要視する項目の移行(公共交通) (n=106)

今後重要1 現在重要1	安全面	健康面	環境面	経済性	利便性	快適性	総計
	安全面	健康面	環境面	経済性	利便性	快適性	総計
安全面	33.0	0.9	1.9	0.9	1.9	1.9	40.6
健康面	0.9	2.8	0.9	0.0	0.0	0.0	4.7
環境面	0.9	0.0	0.9	0.0	0.0	0.0	1.9
経済性	1.9	0.0	0.9	8.5	0.0	0.0	11.3
利便性	13.2	0.9	3.8	0.9	21.7	0.0	40.6
快適性	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.9	0.9
総計	50.0	4.7	8.5	10.4	23.6	2.8	100.0

4) 今後の交通の仕方

(i) 「まとめて用事を済ますなど、交通自体を減らそうと思う」への賛否

図 4-2-19 (1) をみると、「大変そう思う」において、カラーが 38.6%と最も多く、次いでモノクロが 30.6%，文章のみが 25.9%，情報なしが 25.1%と、丁寧に情報提供を行ったグループほど交通を減らそうという意識が働いたことがわかる。しかし、「ややそう思う」まで含めると、順にモノクロ、文章のみ、カラー、情報なしとなっており、あまり効果に差が見られないことがわかった。

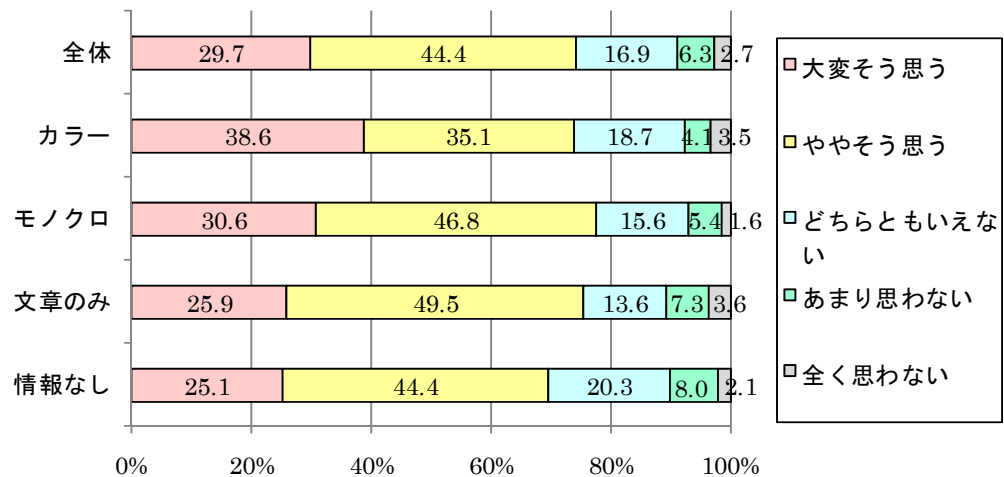


図４－２－１９（１）

情報提供方法別の「まとめて用事を済ますなど、交通自体を減らそうと思う」への賛否

同様に交通手段別に着目したものを図４－２－１９（２）に示す。全手段において「ややそう思う」、「大変そう思う」が約７割を占めており、肯定的な意見が多くみられた。自動車利用者が最も肯定的な意見が多いことが予想されたが、交通手段別に差が見られないことから、あまり情報提供の効果が得られないとも捉えられる結果となった。

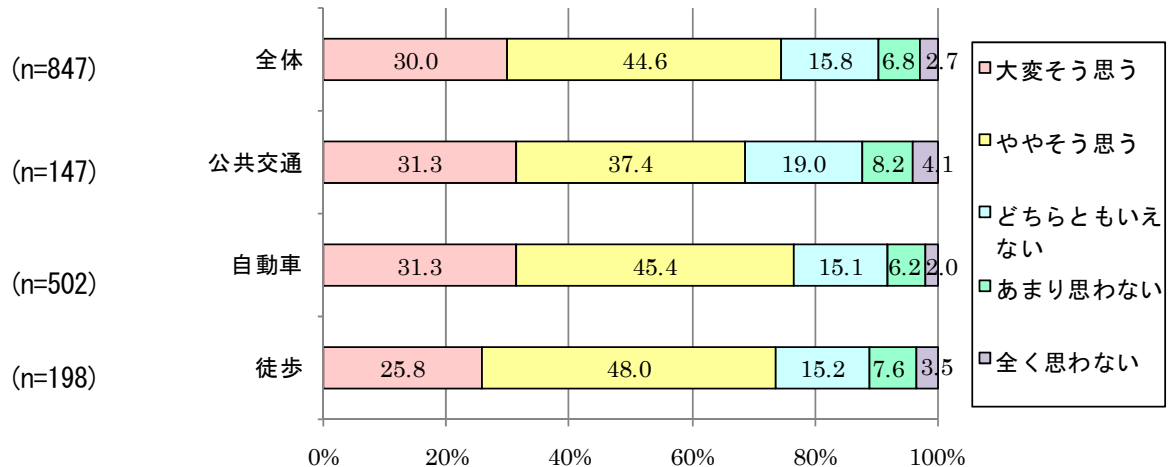


図４－２－１９（２）

交通手段別の「まとめて用事を済ますなど、交通自体を減らそうと思う」への賛否

(ii) 「目的地を変更して近くで買い物や通院をしようと思う」への賛否

図４－２－１９（３）の「大変そう思う」「ややそう思う」の合計をみると、カラーが 51.8%と最も多く、次いでモノクロが 49.5%、情報なしが 47.3%、文章のみが 36.0%であり、文章のみの提示では逆効果がみられる結果となった。また、1)交通自体を減らそうという問いに比べ「どちらともいえない」「あまり思わない」が約１割から２割増加しており、目的地を変更することに、より抵抗を感じ

じていることが伺える。

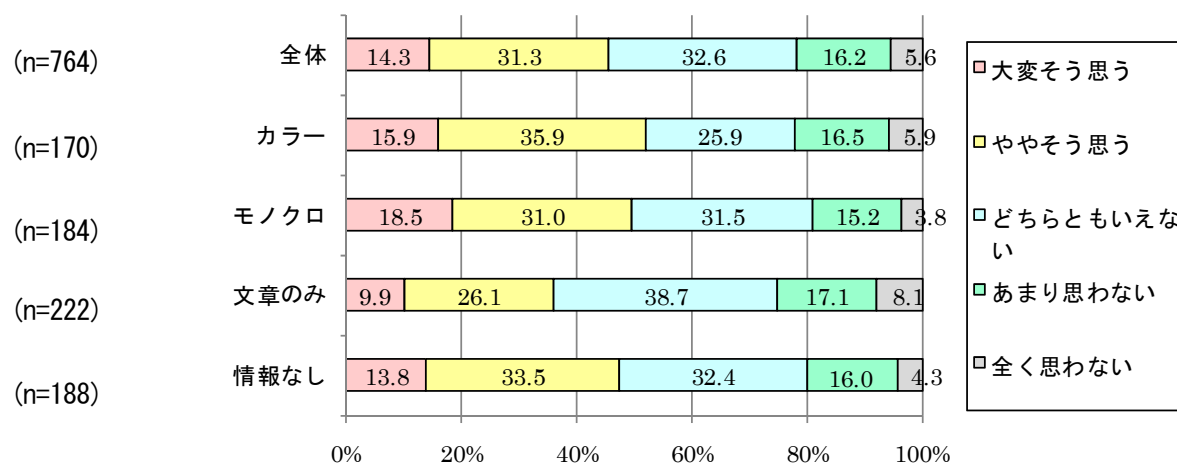


図４－２－１９（３）

種類コード別の「目的地を変更して近くで買い物や通院をしようと思う」への賛否

同様に交通手段別に着目したものを図４－２－１９（４）に示す。全手段において「ややそう思う」、「大変そう思う」が約４割を占めており、肯定的な意見が多くみられた。しかし、1)の「まとめて用事を済ますなど交通自体を減らそうと思う」に比べ、「目的地を変更しようと思う」とした本設問の方が否定的な意見が１割、公共交通については２割ほど多くなった理由としては、以下の内容等が考えられる。

①公共交通路線網が限られているため、近くても路線から離れていては利用し難い

②通院者は病院をかえることに抵抗がある

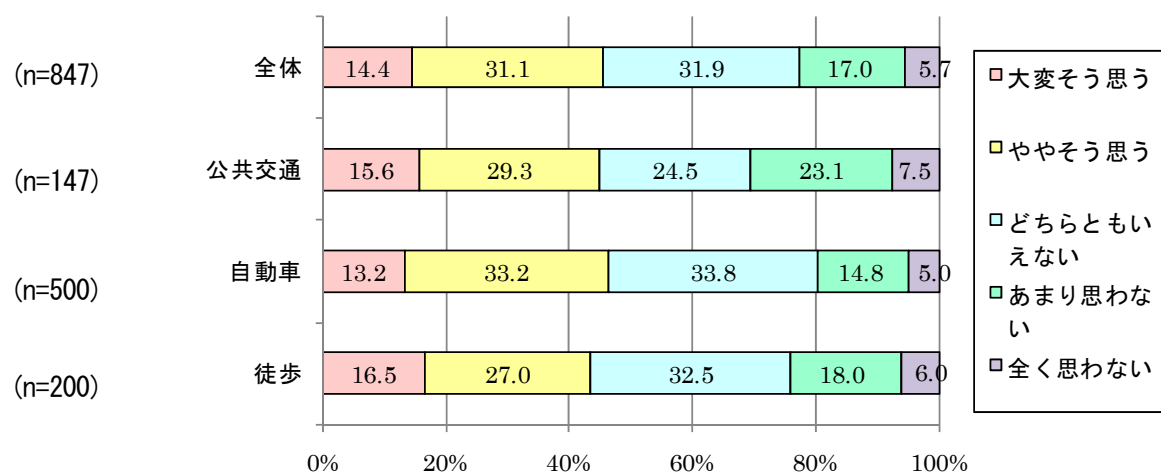


図４－２－１９（４）

交通手段別の「目的地を変更して近くで買い物や通院をしようと思う」への賛否

(iii) 「車の利用を減らそうと思う」への賛否

本設問は、利用交通手段が自動車(自分で運転・送迎)と回答した人を対象に行っている。図4-2-19(5)の「大変そう思う」「ややそう思う」の合計をみると、2)目的地を変更して近くで買い物や通院をしようと思うと同じような形状になり、カラーが48.1%と最も多く、次いでモノクロが43.3%、情報なしが43.2%、文章のみが34.6%であり、文章のみの提示では逆効果がみられる結果となった。これは、自動車利用者のみというのが影響し、肯定的な意見が1)に比べ少なくなっていることによると考えられる。

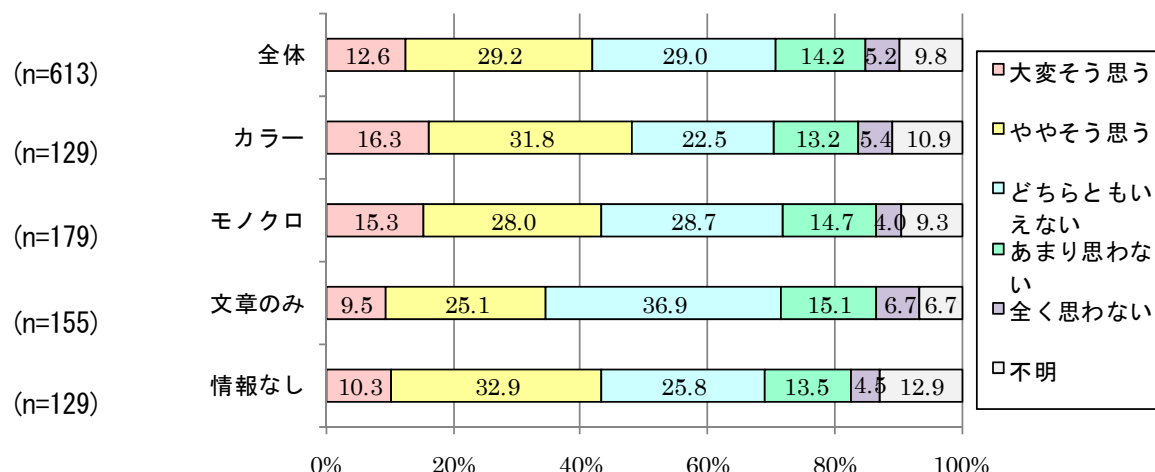


図4-2-19(5) 情報提供方法別の「車の利用を減らそうと思う」への賛否

同様に交通手段別に着目したものを図4-2-19(6)に示す。運転している人の約4割が利用を減らそうという設問に「ややそう思う」「大変そう思う」と肯定的にとらえており、送迎の立場に比べ1割ほど意識が高くなっていた。送迎の立場の人の一部が、自由記述で「体が悪く公共交通も利用できない」と回答していたことも影響していると考えられる。

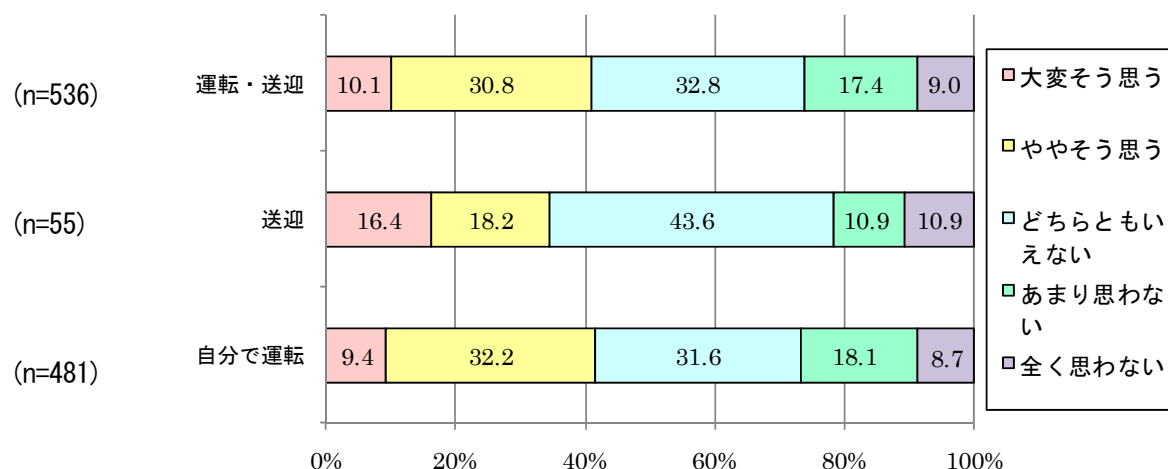


図4-2-19(6) 交通手段別の「車の利用を減らそうと思う」への賛否

4-3 電気バスに対する選好意識モデルの構築と電気バス利用者数の予測

(1) 電気バスの利用経験・利用意向の集計結果

1) 電気バスの利用経験

多くの回答者が電気バスの利用経験はないとしているが、利用経験者の多くが良い評価を述べている。また、否定的な意見としては、「エンジン音が静か過ぎるため歩行者にとって危険ではないか」「いつ発進したのか分からないので不安」等といったエンジン音の静かさを快く思わない人もいる。

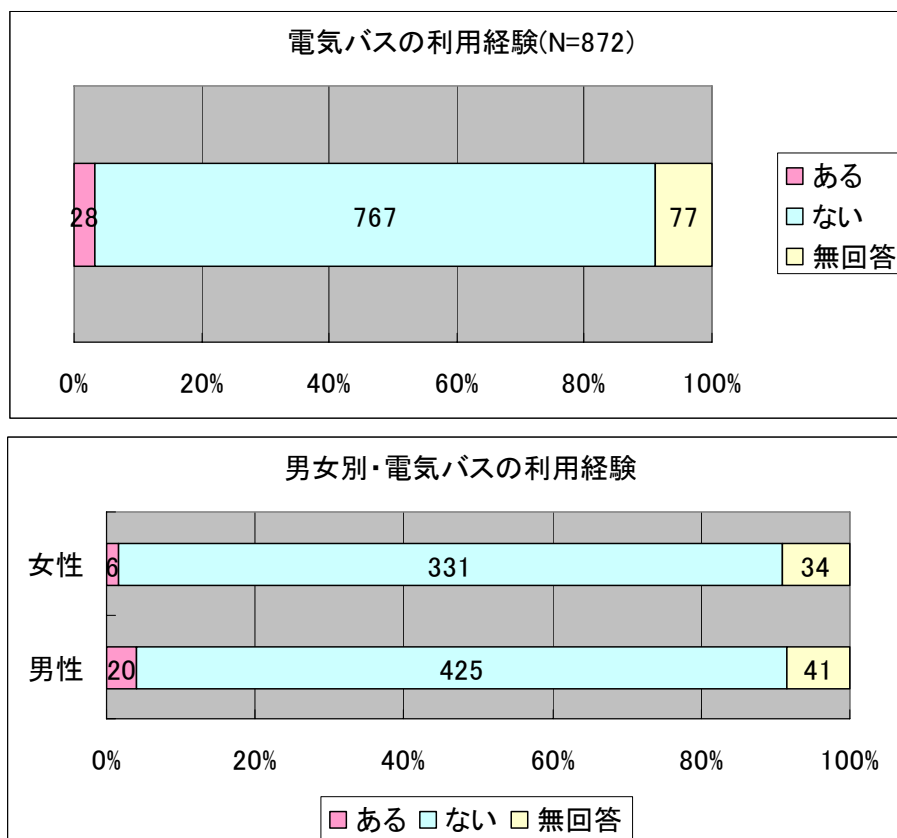


図4-3-1 電気バスの利用経験の有無

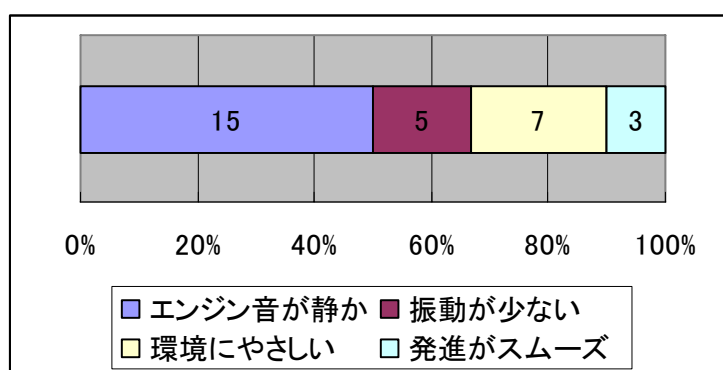


図4-3-2 電気バス乗車に対する感想

2) 電気バスに対する利用者の評価

多くの人が好意的な回答を示しており，男女で大きな差は見られなかった。

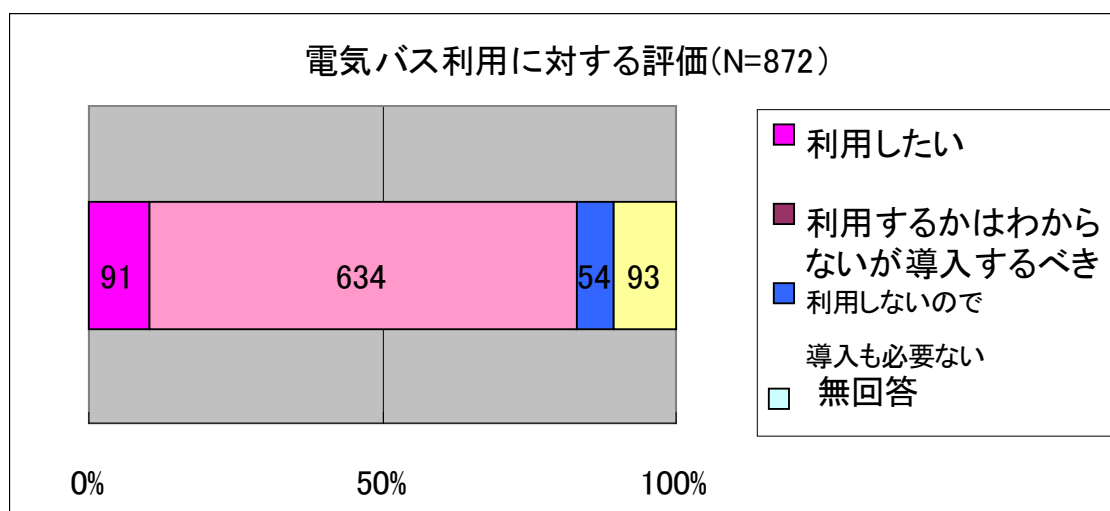


図4-3-3 電気バスへの利用意向

中心部や鉄道・バス路線が充実している地域，不足している地域など，豊橋市内を大きく7地域に分類した居住地域別にみると，現在，路線バスの本数が少なく公共交通に対し満足していない人が多い地域では利用意思が高い傾向にある。また，現在鉄道が通っている地域や公共交通が充実している市の中心部では，条件次第の利用という意向を示す人が多い。

表4-3-1 居住地域別の電気バス利用意向

	利用 したい	利用するか 分からないが 導入すべき	利用する つもりはない	無回答	計
中心部	27	216	15	31	289
西部		24	3	2	29
北部	12	58	7	10	87
東北部	14	89	6	9	118
JR 沿線	10	76	5	10	101
南部	6	33	3	5	47
渥美線沿線	17	116	15	21	169
計	91	634	54	93	872

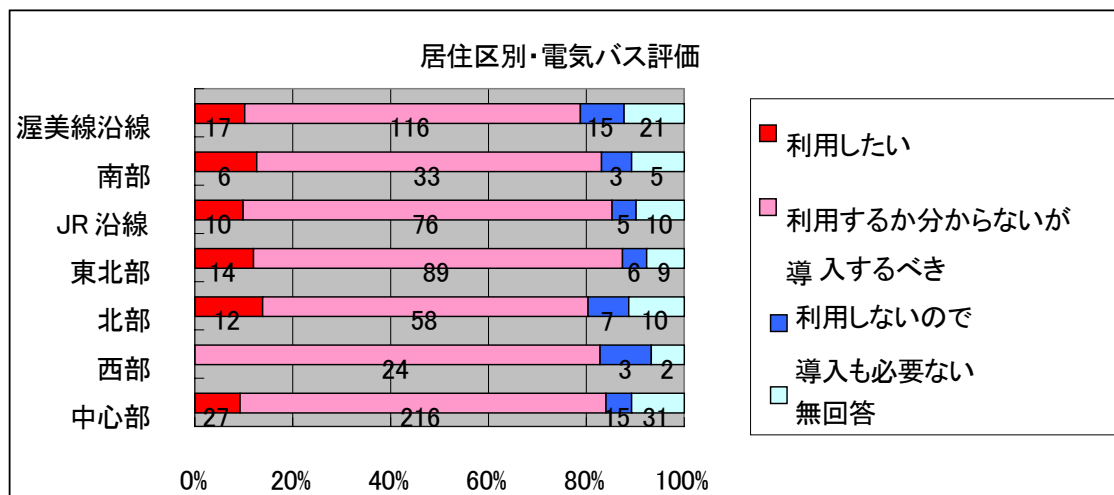


図4-3-4 居住区別の電気バスへの評価

3) 外出目的別にみた電気バスへの評価

女性は市内に出かける際（市内で用事を済ませる場合）に利用を希望しているが、これは買い物等の日常的な交通手段に用いたいためであると考えられる。逆に、男性は市外に出かける際に利用しようという傾向があるが、これは通勤時の駅までの交通手段として考えているためと思われる。

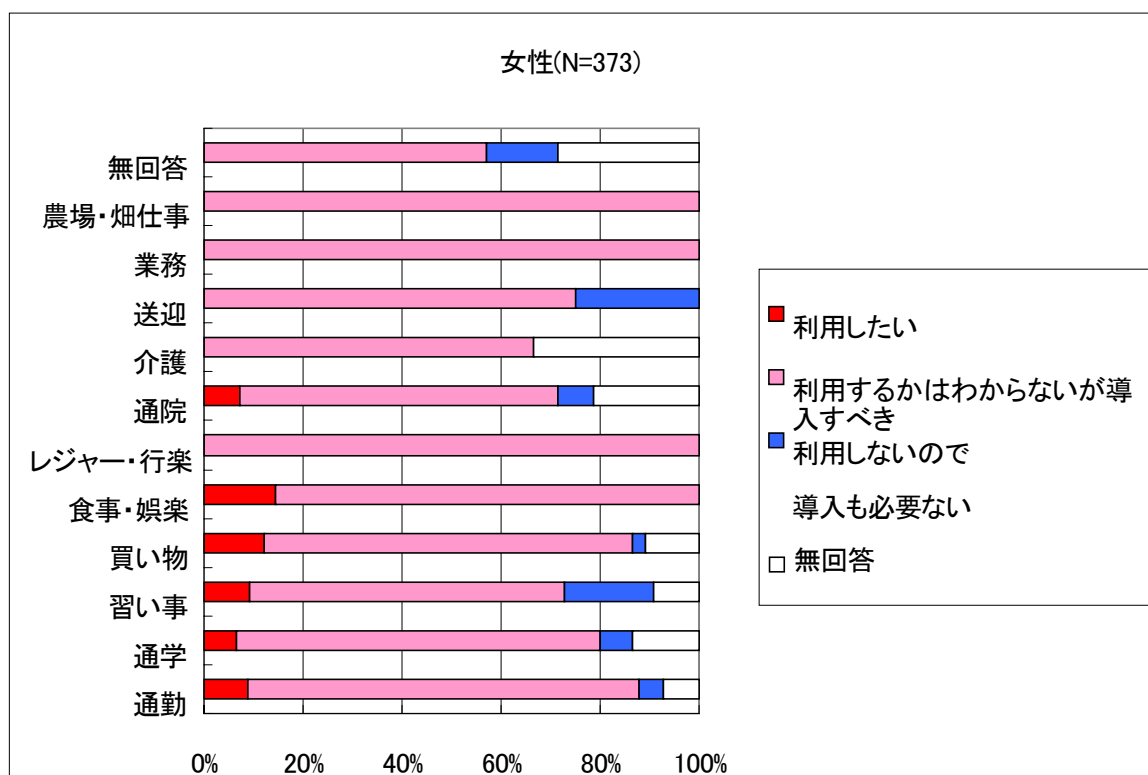
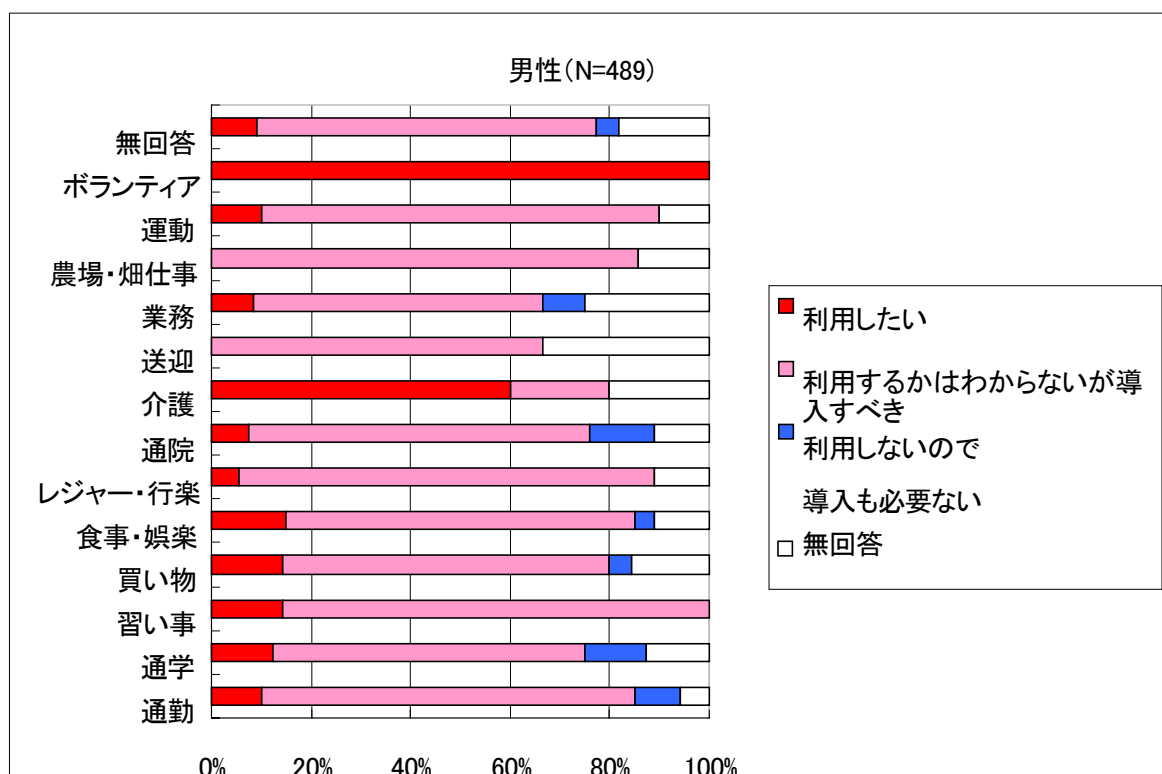


図4-3-5 外出目的別・電気バスへの評価

4) 行き先別にみた電気バスへの評価

行き先の違いによる差はそれほどない。

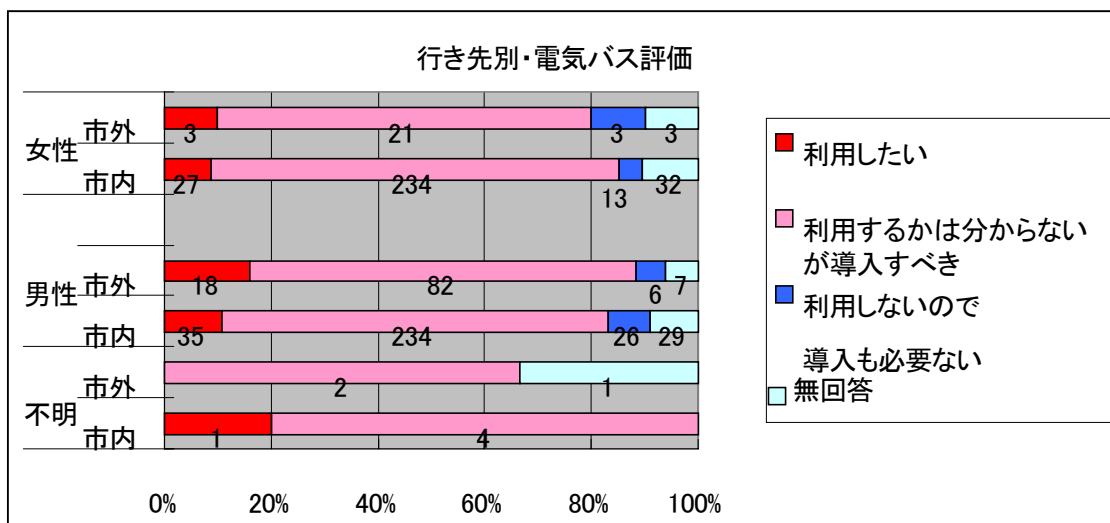


図4-3-6 行き先別・電気バス評価

5) 利用交通手段・外出先別にみた電気バス評価

現在、公共交通を利用している人は、電気バス導入に賛成の意思を示している人が多いが、自動車を利用している人はそうでない人が多く見られる。これは現在の自動車での生活に慣れているからであり、現時点で電気バスの利便性が具体的でないためであると思われる。

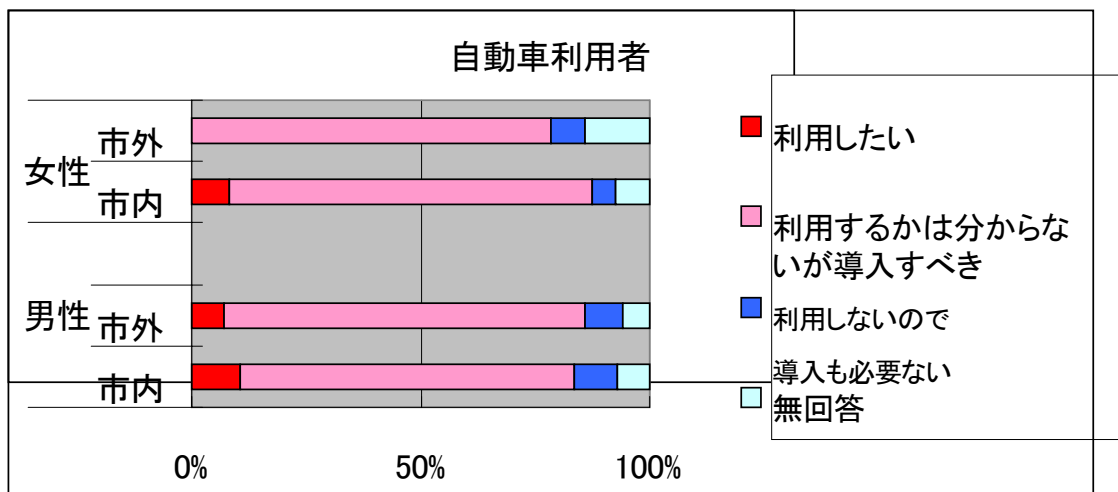


図4-3-7 利用交通手段・外出先別, 電気バス評価

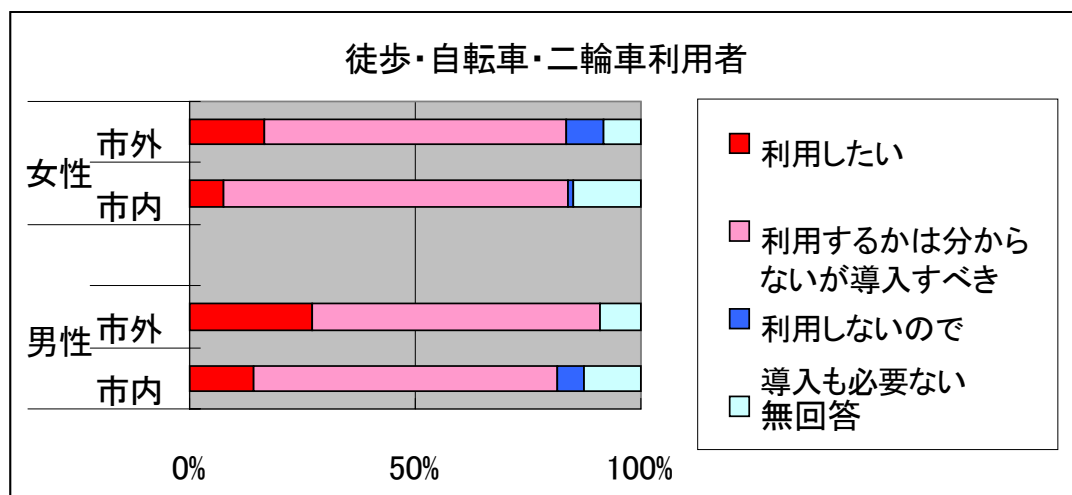
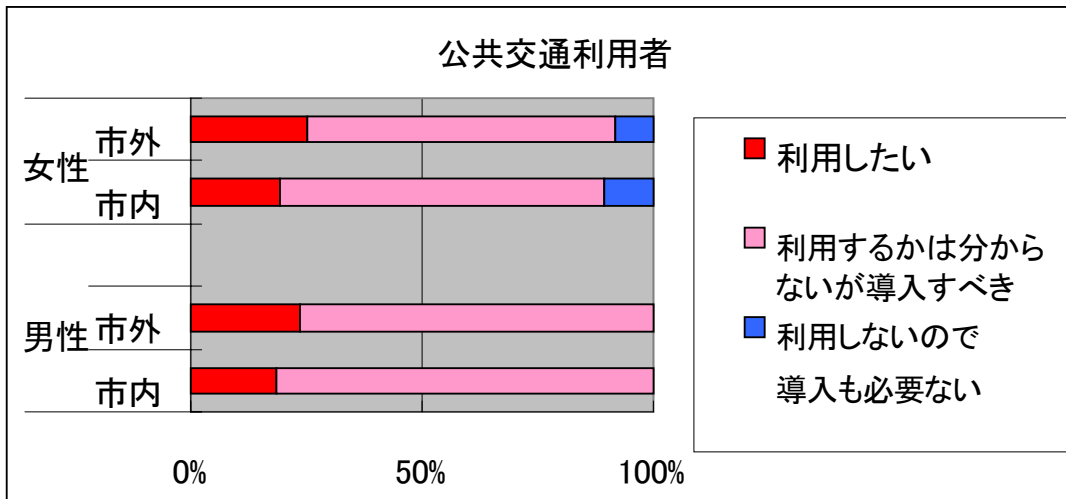


図4-3-8 利用交通手段・行き先別 電気バスへの評価

6) 居住地域・利用交通手段別にみた電気バスへの評価

現在、公共交通を利用している人や公共交通が充実していない人ほど、電気バスへの関心事が高いことがわかる。他の利用手段に比べ、自動車利用者は、必要ないと回答している人が多いが、導入に対しては前向きな考えを示している

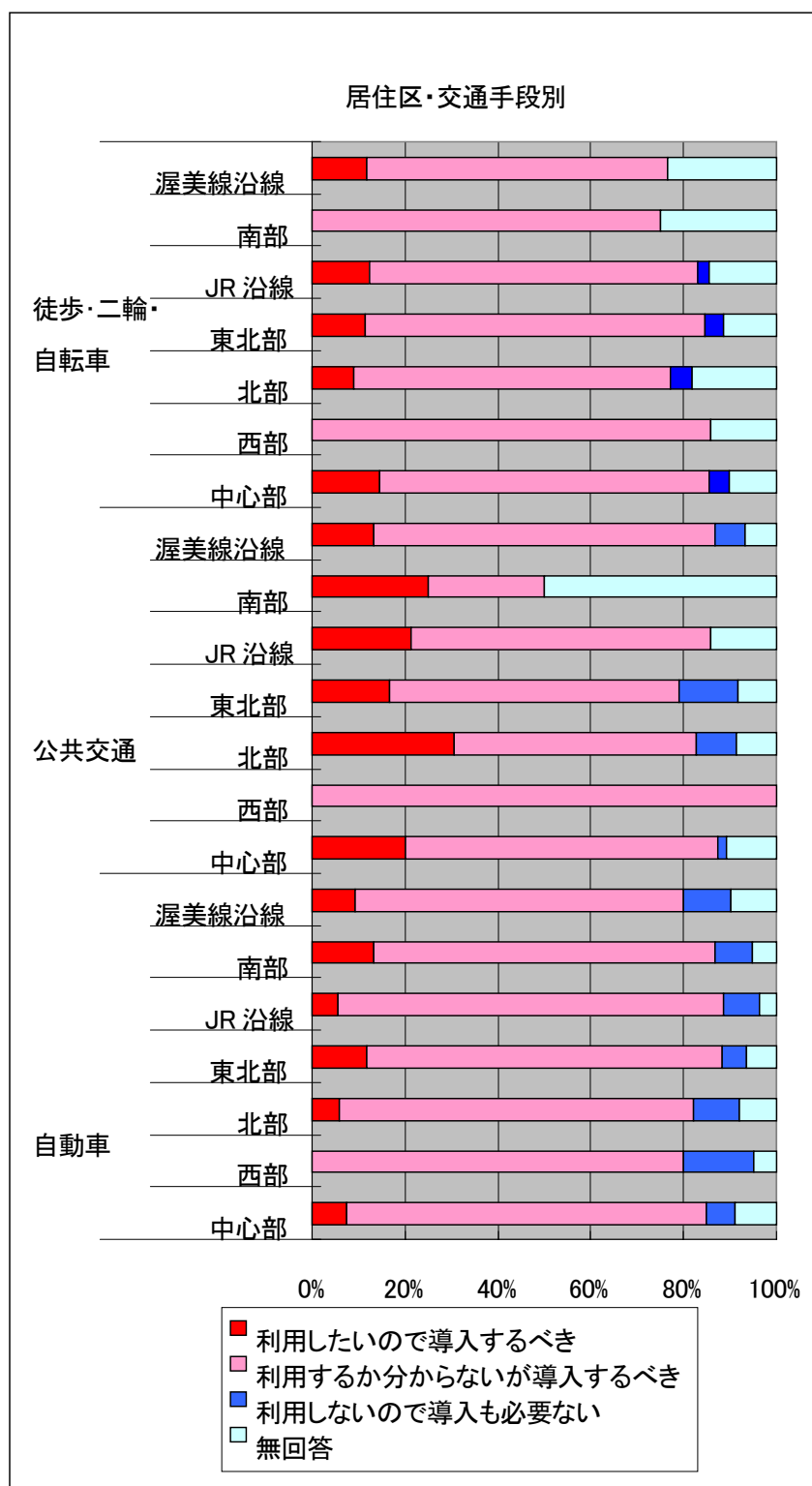


図4-3-9 居住地域・利用交通手段別、電気バスへの評価

（２）電気バス路線に対する利用意志

前設問では、多数の回答者が電気バスに対して好意的な回答を示したが、この質問では、豊橋市内の主要施設を結ぶ電気バス路線網が設置されると仮定し、その利用意志を回答してもらった。すなわち、現在利用している交通手段の代わりに利用する意志があるかどうかをたずねた。

１）電気バス利用に対する意思

電気バスの利用意思に関しては、条件によっては利用を検討すると回答している人が多数を占めており、男女で大きな差はみられなかった。

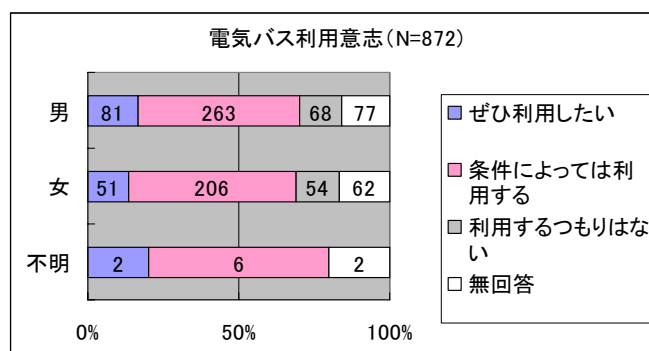


図4-3-10 電気バス利用に対する意思

２）年齢・性別にみた電気バス利用意思

年齢別に考慮すると、60代以上の高齢者は利用に対してかなり積極的な移行を示している。

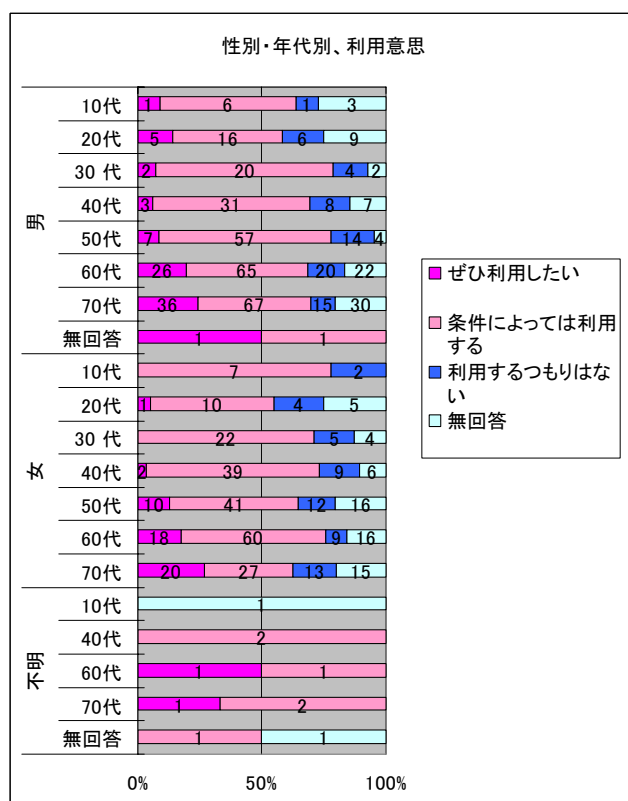


図4-3-11 年齢・性別、電気バス利用意思

3) 居住地域別にみた電気バス利用意思

北部や南部では、利用意思を強く示す人も多いが、必要ないとする人も多い。これは現在の公共交通が不十分な地域であり、自動車への依存の高さと公共交通の充実を望む声が多いことを示している。

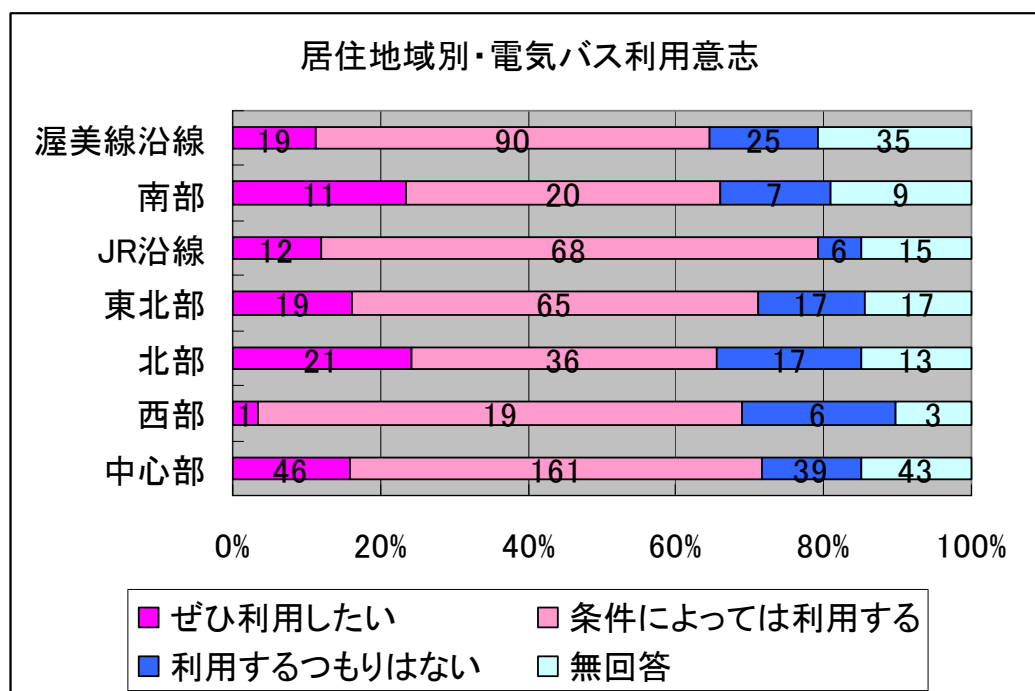


図4-3-12 居住地域別・電気バス利用意思

4) 外出目的別にみた電気バス利用意思

高齢者を代表とする介護や通院などのための利用者は肯定的な意見が大半であろうと予想していたが、利用意思がないという回答が何件か示された。これは現在送迎などにより通院をしている人にとっては、公共交通をひとりで利用することが難しいためではないかと思われる。また、条件次第では通勤を目的に公共交通の利用を考えているという意思を示す人の割合が多い。

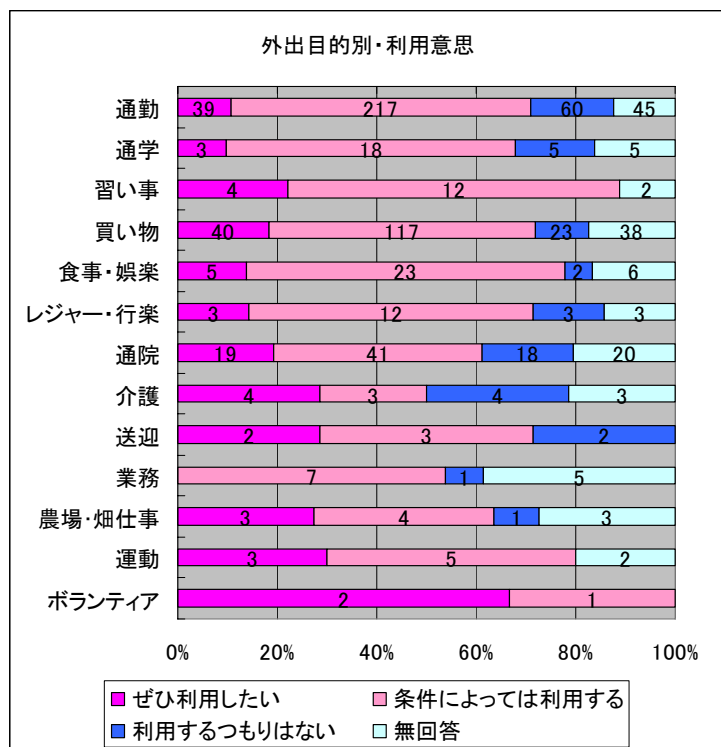


図4-3-13 外出目的別・電気バス利用意思

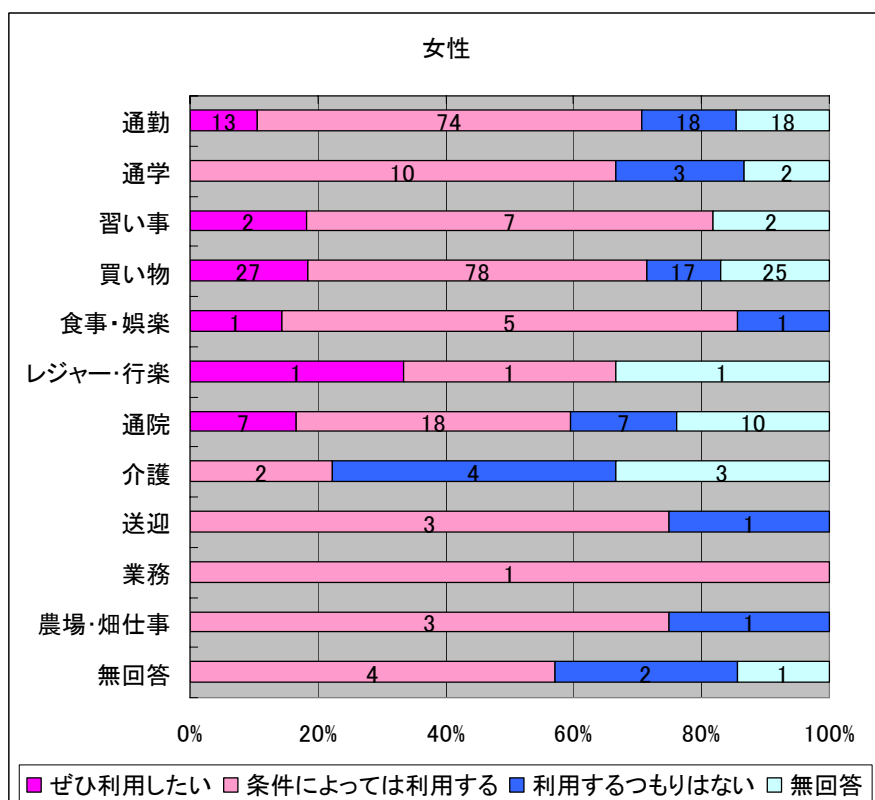
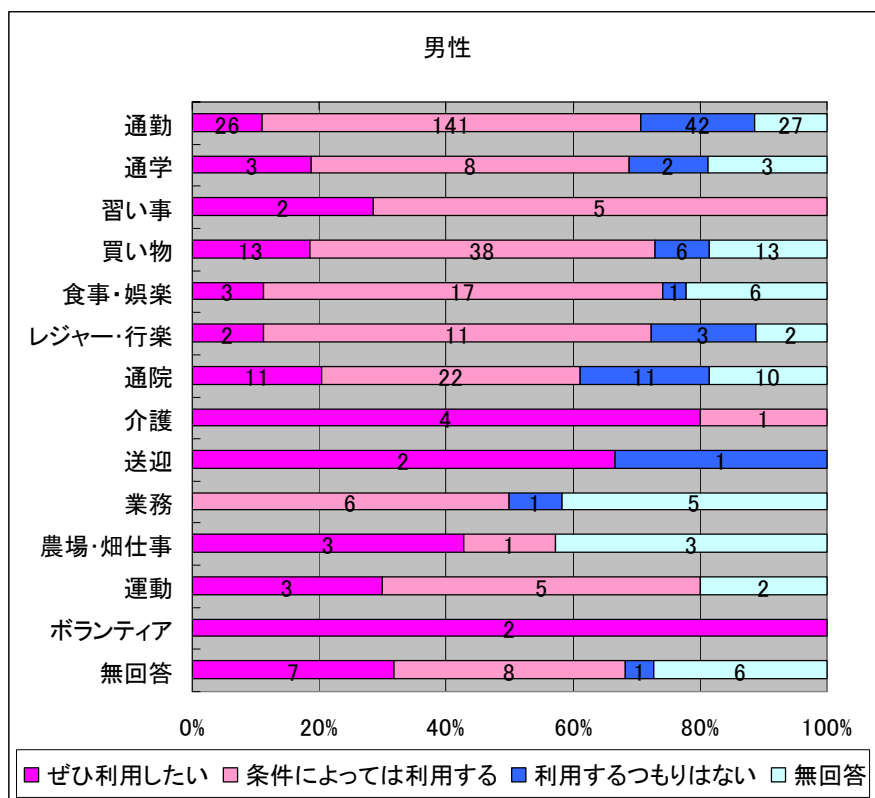


図4-3-14 男女・外出目的別、電気バス利用意思

5) 行き先・利用交通手段別にみた電気バス利用意思

どの利用交通手段でも、市内での活動を希望する人のほうが、利用意思が強い傾向にある。

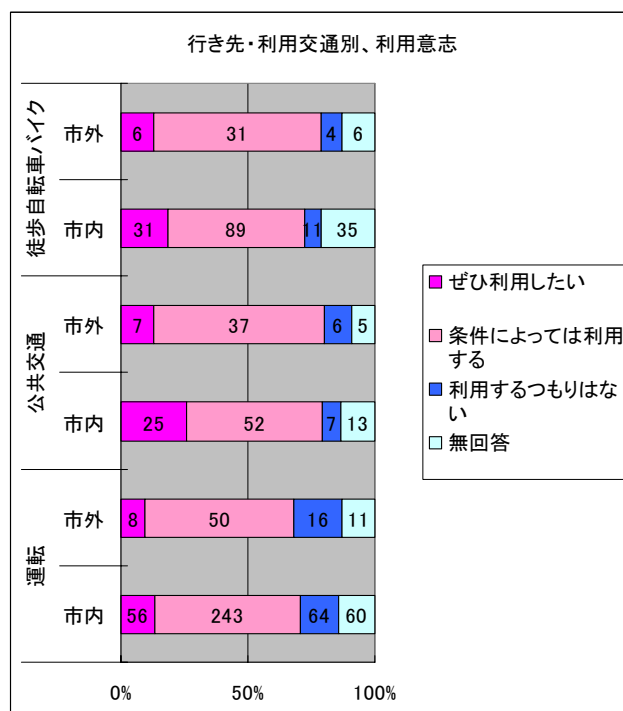


図4-3-15 外出先・利用交通手段別、電気バス利用意思

6) 居住地域・利用交通手段別にみた電気バス利用意思

徒歩や自転車で移動をしている人よりも現在も公共交通を利用している人のほうが利用意思が強い傾向にある。また、地域別にみると南側の地域の需要が大きい。

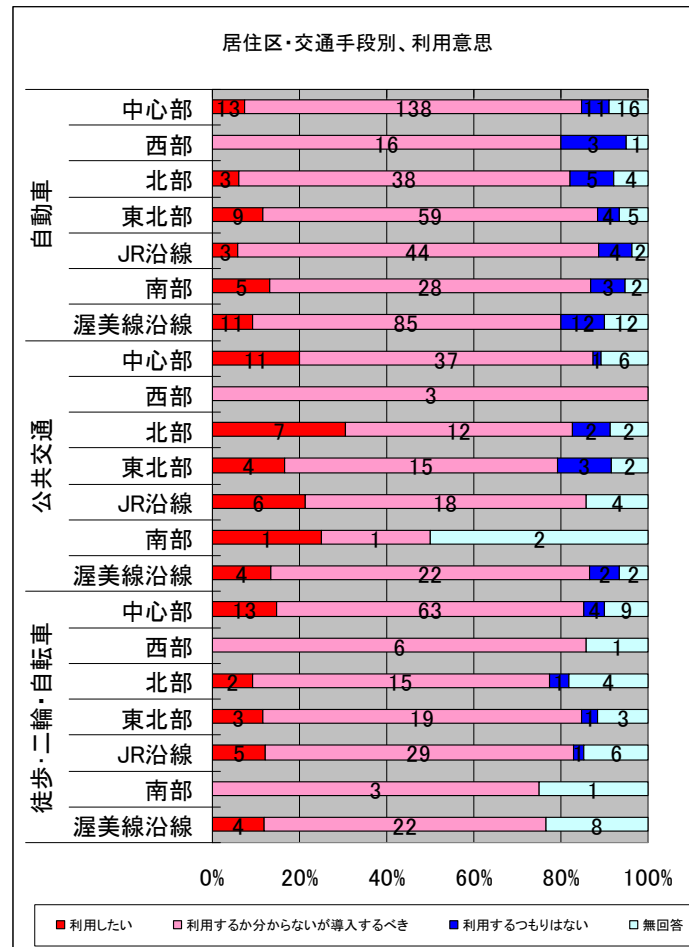


図4-3-16 居住地域・利用交通手段別、電気バス利用意思

1. 電気バス利用の経験者は回答者の3%しかいないが、ほとんどの人が静かで環境に良い、と電気バスに対し高評価をつけている。
2. 回答者の約7割が電気バスの導入に対し前向きで、好条件であれば利用の意思があることを示している。
3. 現在、自動車を利用して生活している人は、自動車への依存傾向が強く、電気バス路線が設置されたとしても利用が難しいと考える人が多い。
4. 公共交通が不十分な地域ほど、電気バス路線の実現を望む人が多いが、自動車に依存している人も多い。
5. 男性は通勤手段として駅へ、女性は買い物等の身近な生活レベルの交通手段として考えている傾向がある。

(3) 電気バス選択モデルの構築

1) SP 質問の概要

本質問では、豊橋市に電気バス路線が設置されたと仮定し、現在利用している交通手段と比較しながら、どのような条件であれば電気バスを利用する意志があるかを回答してもらった。電気バスの交通サービス水準を規定する4つの項目（乗車時間、運行間隔、徒歩時間、運賃）の水準の組み合わせが異なるケースを50ケース設定しておき、各回答者には、回答への負担を考慮して、そのうちの5ケースを提示した。質問の例を図4-3-17に示す。

下記のそれぞれのケース（条件）において、あなたは電気バスを利用しますか。該当する番号に○をお付けください。

※なお、以下の条件のうち、「バス乗車時間」はあなたの目的地が市内の場合はその目的地付近までの乗車時間、市外の場合は乗り継ぎ駅（豊橋駅、二川駅など）までの乗車時間であるとお考えください。また、下記に設定されていない項目は、現状の条件のままであるとお考えください。（降車後の目的地までの所要時間、乗り換え回数など）

	バス 乗車時間	バス料金 (片道)	運行間隔（1時間 あたりの本数）	バス停まで の所要時間 (徒歩)	利用 する	どちらか といえ ば 利用する	どちらかと いえ ば 利用しない	利用 しない
ケース1	20分	100円	10分 (6本/時)	15分	4・・・3・・・2・・・1			
ケース2	20分	500円	20分 (3本/時)	10分	4・・・3・・・2・・・1			
ケース3	30分	300円	10分 (6本/時)	10分	4・・・3・・・2・・・1			
ケース4	40分	100円	30分 (2本/時)	5分	4・・・3・・・2・・・1			
ケース5	40分	500円	10分 (6本/時)	15分	4・・・3・・・2・・・1			

図4-3-17 電気バスに関するSP(選好意識)質問の例

表4-3-2(a) 電気バス SP 質問の各条件(パターン1~5)

パターン	ケース	バス乗車 時間	運賃 (片道)	運行間隔 (1時間当りの本数)	バス停までの 徒歩時間
1	1	20分	100円	10分(6本/時)	15分
	2	20分	500円	20分(3本/時)	10分
	3	30分	300円	10分(6本/時)	10分
	4	40分	100円	30分(2本/時)	5分
	5	40分	500円	10分(6本/時)	15分
2	6	20分	100円	20分(3本/時)	10分
	7	20分	300円	30分(2本/時)	5分
	8	30分	500円	30分(2本/時)	10分
	9	40分	100円	10分(6本/時)	10分
	10	40分	300円	20分(3本/時)	15分
3	11	20分	300円	30分(2本/時)	10分
	12	30分	100円	20分(3本/時)	5分
	13	30分	500円	10分(6本/時)	15分
	14	40分	100円	30分(2本/時)	5分
	15	40分	500円	10分(6本/時)	15分
4	16	20分	300円	20分(3本/時)	15分
	17	20分	500円	20分(3本/時)	10分
	18	30分	300円	30分(2本/時)	5分
	19	40分	100円	20分(3本/時)	15分
	20	40分	100円	10分(6本/時)	10分
5	21	20分	300円	30分(2本/時)	10分
	22	20分	500円	10分(6本/時)	15分
	23	30分	100円	30分(2本/時)	10分
	24	30分	500円	20分(3本/時)	5分
	25	40分	300円	10分(6本/時)	5分

表4-3-2(b) 電気バス利用質問の各条件(パターン6~10)

パターン	ケース	バス乗車 時間	運賃 (片道)	運行間隔 (1時間当りの本数)	バス停までの 徒歩時間
6	26	15分	100円	10分(6本/時)	12分
	27	15分	500円	20分(3本/時)	7分
	28	30分	300円	10分(6本/時)	7分
	29	60分	100円	30分(2本/時)	3分
	30	60分	500円	10分(6本/時)	12分
7	31	15分	100円	20分(3本/時)	7分
	32	15分	300円	30分(2本/時)	3分
	33	30分	500円	30分(2本/時)	7分
	34	60分	100円	10分(6本/時)	7分
	35	60分	300円	20分(3本/時)	12分
8	36	15分	300円	30分(2本/時)	7分
	37	30分	100円	20分(3本/時)	3分
	38	30分	500円	10分(6本/時)	12分
	39	60分	100円	30分(2本/時)	3分
	40	60分	500円	10分(6本/時)	12分
9	41	15分	300円	20分(3本/時)	12分
	42	15分	500円	20分(3本/時)	7分
	43	30分	300円	30分(2本/時)	3分
	44	60分	100円	20分(3本/時)	12分
	45	60分	100円	10分(6本/時)	7分
10	46	15分	300円	30分(2本/時)	7分
	47	15分	500円	10分(6本/時)	12分
	48	30分	100円	30分(2本/時)	7分
	49	30分	500円	20分(3本/時)	3分
	50	60分	300円	10分(6本/時)	3分

2) 非集計ロジットモデルの概要

交通需要予測における非集計分析によって構築される非集計モデルは、単に個人の交通行動を記述するのでなく、個人が「利用可能な選択肢群の中から最も望ましい選択肢を選ぶ」といった合理的な選択ルールに基づいて行動することを仮定してモデル化しようとしていることから、非集計行動モデル、あるいは個人選択モデルとも言われる。

非集計モデルとしては、ロジットモデル (BL, ML, NL モデル) 以外にもプロビットモデル, GEV モデル, DOGIT モデル, Mixed Logit 等, 多くのモデルが開発されているが、今回は最も基本的な非集計モデルであるロジットモデルを適用するものとする。

非集計モデルは、基礎理論であるランダム効用理論の考え方に従って定式化される。ある選択肢 j の持つ「効用 (Utility: U_j)」は、その選択肢の持つ特性 (X_j) と個人の社会経済属性 (S_n) によって異なると考えられるが、その要因のすべてを観測することは不可能であることから、効用は確率的に変動すると考えるのがランダム効用理論のアプローチである。

ここで、2 肢選択について考えると、個人 n が選択肢 2 に対して選択肢 1 を選ぶのは、選択肢 1 の効用が選択肢 2 の効用より大きい場合であり、

$$U_{1n} > U_{2n} \dots \dots \dots (1)$$

と表せる。効用 U_{jn} が確率的に変動すると考えると、個人 n が選択肢 2 に対して選択肢 1 を選ぶ確率 P_{1n} は、

$$P_{1n} = \Pr[U_{1n} > U_{2n}] \dots \dots \dots (2)$$

$\Pr[*]$: * の成立する確率
と表される。

次に、効用 U_{jn} のうち、観測可能な要因による確定項を V_{jn} 、観測不可能な要因により確率的に変動する確率項を ε_{jn} とし、その線形性を仮定すると、

$$U_{jn} = V_{jn} + \varepsilon_{jn} \dots \dots \dots (3)$$

ここで、 V_{in} は観測可能な要因 X_{in} と対応付けられる効用の確定的変動項、 ε_{in} は観測不可能な要因 $\bar{X}_{in}$ や個人特有の観測不可能な嗜好によって変動する効用の確率的変動項である。

また、 V_{in} は、扱いやすさのために通常次のように仮定される。

$$V_{in} = \sum_k \beta_{ki} \cdot x_{kin} \quad \text{ただし, } x_{kin} = g_{ki}(SE_n, A_{in})$$

ここで、 $g_{ki}(SE_n, A_{in})$ は観測可能な社会経済特性と選択肢特性とに対応する効用の確定的変動項 V_{in} への影響要因ベクトル $\bar{X}_{in}$ の成分 x_{kin} を作り出すための関数である。

次に、母集団から抽出された個人 n が選択肢 i を選択する確率 P_{in} は次式のようになる。

式 (3) を式 (2) に代入して整理すると、

$$\begin{aligned} P_{1n} &= \Pr[U_{1n} > U_{2n}] \\ &= \Pr[U_{1n} + \varepsilon_{1n} > U_{2n} + \varepsilon_{2n}] \\ &= \Pr[\varepsilon_{1n} + V_{1n} - V_{2n} > \varepsilon_{2n}] \end{aligned}$$

$$=Pr[\varepsilon_{1n} = \eta, \varepsilon_{2n} < \eta + V_{1n} - V_{2n}], \quad -\infty < \eta < \infty \dots\dots\dots (4)$$

したがって、確率項の分布が異なれば、上式から導出される P_{1n} の式形は異なるものになる。ロジットモデルは、確率項の分布関数が次式で与えられるような、選択肢間で独立で分散一定のガンベル分布に従うと仮定することによって導出される。

$$\begin{aligned} \phi(\eta) &= Pr[\varepsilon_{1n} > \eta] \\ &= \exp[-\exp(-\eta)] \dots\dots\dots (5) \end{aligned}$$

この時、選択肢 1 の選択確率は次式となる。

$$P_{1n} = \frac{\exp(V_1)}{\exp(V_1) + \exp(V_2)} \dots\dots\dots (6)$$

二項ロジットモデルにおいて、選択確率 P_{1n} は効用差 ($V_{2n} - V_{1n}$) の関数として求められ、ロジットモデルの選択確率は、0～1 の範囲で連続的な S 字形となる。なお、本研究の適用においては、 V_{1n} は電気バスの効用、 V_{2n} は現在利用交通手段の効用となり、 P_{1n} は電気バス選択確率となる。また、一般に添字 n は個人を指すが、本アンケートの場合には、SP 質問のケースと個人の組み合わせに対応する。

3) モデルの推定結果

SP 質問のデータを用いて、様々な説明変数組に対してロジットモデルの推定を行っているが、その一例を表 4-3-3 に示す。これより、 ρ^2 は 0.21、的中率は 72% であり、モデルの適合度は比較的良好であると言える。また、電気バスのサービス水準を規定する 4 つの説明変数のパラメータはすべて統計的に有意となっており、電気バスの選択確率はサービス水準に応じて有意に変動することが分かる。住所の影響を見ると、JR 沿線地区は、現在利用手段に対する効用に対するパラメータが有意で正の値をとっていることから、他の地区に比べて電気バスを選択しにくい傾向にあり、行き先に関しては、市外東方面（浜松）のパラメータが負で有意な値をとっていることから、電気バスを選択しやすい傾向にあることが分かる。また、交通目的が通勤の人および現在利用手段が自動車の人は、その他の場合に比べて電気バスを選択しにくいことが分かる。このように、多くの説明変数が有意となっていることから、電気バスのルートおよび運行条件に関する代替案が与えられたならば、地区別・現在利用交通手段別・交通目的別といったセグメント別にその利用確率が推計でき、各セグメントの人数が推定されていれば、電気バス利用者数が推定できることになる。同時に、効用関数を利用すれば利用者便益を推計することも可能であるし、さらに CO2 排出原単位が与えられていればその排出量の算出も可能である。

表4-3-3 SPデータを用いた電気バス選択ロジットモデルの推定結果

説明変数			平均値	B	t 値
定数項			1.000	-4.588	-11.30
住所 ダミー	西部	V2	0.032	-0.346	-1.11
	北部		0.104	0.115	0.59
	北東部		0.138	0.245	1.42
	JR 沿線		0.138	0.701	4.04
	南部		0.046	-0.351	-1.34
	渥美線沿線		0.185	-0.063	-0.40
	中心部			0.000	
目的 ダミー	通勤	V2	0.581	0.461	3.75
	その他			0.000	
交通 手段 ダミー	徒歩・二輪	V2	0.161	0.103	0.54
	自動車		0.627	0.400	2.64
	公共交通			0.000	
行き先 ダミー	西部	V2	0.033	0.235	0.72
	北部		0.073	0.133	0.58
	北東部		0.047	0.047	0.17
	JR 沿線		0.112	-0.238	-1.20
	南部		0.044	-0.222	-0.79
	渥美線沿線		0.091	0.169	0.81
	豊橋市内(その他)		0.152	-0.170	-0.95
	市外南方面(田原)		0.036	-0.227	-0.75
	市外東方面(浜松)		0.029	-0.802	-2.35
	市外北方面(豊川市, 新城市, 蒲郡市, 東三河 等)		0.062	0.347	1.42
	市外西方面(岡崎市, 豊田市, 名古屋市, 西三河 等)		0.078	-0.177	-0.75
	中心部			0.000	
交通 サービス 項目	乗車時間	V1	30.905	-0.019	-4.83
	運行間隔		20.616	-0.034	-4.34
	徒歩時間		8.699	-0.104	-6.26
	運賃		286.965	-0.007	-18.58

サンプル数=1964, $\rho^2=0.21$, 平均選択確率=0.49, 的中率=72%

（４）電気バス利用者数の予測について

以上で述べた電気バス選択モデルを用いることによって、今後豊橋市内に電気バス路線が導入されるとした場合の利用者数および導入効果（利用者便益とCO₂排出量の変化）を推計することが可能となる。その手順は以下の通りである。

電気バス路線網代替案の設定→OD 別の電気バス利用条件の算出→OD 別現在利用交通手段別の電気バス平均選択確率の推計→OD 別現在利用交通手段別の電気バス利用者数の推計→電気バス路線網代替案に対する利用者便益およびCO₂排出量の推計

この推計を精緻に行うためには、現在利用手段別等の OD 表が必要になるが、今回のアンケート調査結果からそのデータを何とか作成できる見通しは得ていることを付記しておく。

4－4 今後の課題

本章では、電気バスの運行条件を交通需要面から検討する際に必要となるデータを得るために住民アンケート調査を実施し、その集計および分析・モデル構築を行った結果についてまとめた。本アンケート調査では、現在の交通行動実態等を把握した後、電気バスの利用経験や利用意向を尋ねるとともに、電気バス路線のルートや運行条件の違いによる利用者数の変化を予測する際に用いられる電気バス選択モデルを構築するための SP 質問を行った。また、アンケート調査では、低炭素社会における交通体系を実現する上で重要となると考えられるモビリティ・マネジメント施策について、その効果計測のための質問を行った。調査および分析の結果、豊橋市における最新の交通行動実態を把握することができたとともに、電気バスに対する住民の利用意向や選好意識構造をある程度明らかにすることができた。また、簡易的なモビリティ・マネジメント（MM）施策の効果を示すことができた。

今後の課題としては、具体的な電気バス路線とその運行条件が設定された場合の効果を交通需要面から検討することが挙げられるが、その精緻化のためには、電気バスに対する選択行動モデルに関して、個人属性別・交通目的別・現在利用交通手段別などの詳細な分析が必要である。また、電気バス選択モデルの構築において、OD 別の現在利用交通手段のサービス水準を適切に考慮することも今後の重要な課題である。

参考文献：

- 1) 土木学会：MM の手引き，2005
- 2) 谷口綾子：英国における個人対象モビリティ・マネジメントの現状と我が国への政策的含意，計画学研究・論文集，Vol. 23，no.4，pp.981-988，2006
- 3) 財団法人 社会経済生産性本部：交通政策特別委員会提言報告書「環境時代に求められる『ソフトな交通政策』」～交通行動の変化により持続可能な都市交通～，2006
- 4) 牧村和彦：コミュニケーションによる公共交通利用促進策～モビリティ・マネジメント～，PDF，2008
- 5) 国土交通省：モビリティ・マネジメント～交通をとりまく様々な問題の解決にむけて～，PDF，2007
- 6) 豊橋市役所：モビリティ・マネジメント関連の資料
- 7) 山口幸生，武田典子：かしこいクルマ利用を促す異なった冊子の配布と最寄り駅からの距離が行動意図へおよぼす影響，第 41 回土木計画学研究発表会・講演集，2010
- 8) 伊藤雅：堺市 LRT の導入に向けたモビリティ・マネジメントのための基礎調査
- 9) 豊橋市ホームページ：<http://www.city.toyohashi.aichi.jp/>
- 10) 豊橋市都市計画部都市計画課：豊橋市都市計画マスタープラン(資料編)，2010.11.
- 11) 豊橋市：豊橋市中心市街地活性化基本計画，2010.3.
- 12) 豊橋市環境部環境政策課：ストップ・ザ・温暖化プラン 9 豊橋市地球温暖化対策地域推進計画【概要版】，2010.3.
- 13) 一畑電車沿線地域対策協議会：松江，出雲のかしこいクルマと公共交通の使い方を考えるプロジェクト
- 14) 中西仁美，廣畠康裕，高木健太郎：公共交通空白地域における公共交通の導入に対する支払意額構造に関する研究，土木計画学研究・論文集，Vol.25，no.2，pp.543-550，2008
- 15) 肥田野登：環境と行政の経済評価，勁草書房，1999

付録：

アンケート調査票関係（依頼文；世帯票；個人票）

◆◆◆◆アンケート調査への御協力をお願い◆◆◆◆

豊橋技術科学大学 建築・都市システム学系 交通計画研究室

私どもは、安全で快適な都市交通のあり方とその実現方法について研究しており、その一環として、豊橋市民の皆様の交通実態に関するアンケート調査を実施することになりました。

この調査は大学が独自の立場で行うもので、その集計・分析の結果、具体的な問題点が明確になれば、関係機関に対してその改善を要望する予定となっています。間接的ではありますが、望ましい都市交通の実現につながるものと考えていますので、是非とも調査にご協力お願い致します。

誠に勝手ではございますが、あなたのお名前は住宅地図より無作為に抽出させていただきました。そのため、ご住所やお名前に間違いがあるかもしれません。これらの点を、どうかご容赦くだされば幸いです。改めて申すまでもございませぬが、この調査結果は上記目的のみに用いるものであり、他の目的に使用することは一切ございませぬので、ありのままをお答えくださるようお願いいたします。

◇◇◇◇◇アンケートにご記入いただく前にまずお読み下さい◇◇◇◇◇

1. アンケートは世帯票、個人票に分かれています。それぞれ、下記のとおりご記入ください。

世帯票：なるべく世帯主の方がご記入ください。

個人票：15歳以上の方（中学生以下は除く）がご記入ください

（1世帯最大3名までの方がお答えください）

2. ご記入は指示に従い、**該当する質問のみ**ご記入ください。

3. ご記入いただきました調査票は、**すべて同封の返信用封筒に入れて、切手を貼らずに平成22年11月10日までにご投函ください。**

4. 本調査に関するご質問等がございましたら、下記までお問い合わせください。

豊橋技術科学大学 建築・都市システム学系 交通計画（教授：廣島康裕）研究室
担当：浅見、滝川 TEL：0532-47-0111（内線：5625）

世帯票

回答は、当てはまる項目の番号に○印をつけるか、() 内に数字または語句を記入してください。

問1 居住地についてお伺いします。

(1) 住所

豊橋市	()	町(字) 丁目	()
-----	-----	------------	-----

(2) 小学校区

()	校区
-----	----

(3) 自宅から最寄りの、①路線バスの停留所、②電車の駅を1つずつお答えください。
また、そこまでの距離あるいは徒歩でかかる時間もお答えください。

バス停名 ()	距離 約()m または 徒歩 約()分
駅名 ()	距離 約()m または 徒歩 約()分

問2 ご家族の構成についてお伺いします。

(1) 同居されているご家族の人数は

()人

(2) 15 歳以下の方の人数は

()人

(3) 65 歳以上の方の人数は

()人

問3 差支えなければ、ご家族全体での年間の総収入(税込み)をお答え下さい。

①200 万円未満	②200～399 万円	③400～599 万円
④600～799 万円	⑤800～999 万円	⑥1000～1199 万円
⑦1200～1499 万円	⑧1500 万円以上	

個人票

この質問票は、15 歳以上の方(中学生以下は除く)がお答えください。

回答は、あてはまる項目の番号に○印を付けるか、()内に数字または語句を記入して下さい。

問1. あなた自身のことについてお伺いします。

1-1 性別 1. 男性 2. 女性

1-2 年齢 1. 10代 2. 20代 3. 30代 4. 40代 5. 50代 6. 60代 7. 70代以上

1-3 職業 1. 会社員 2. 自営業 3. 公務員 4. 農業 5. 主婦(夫) 6. 学生
7. パート・アルバイト 8. 無職 9. その他()

1-4 (1) 運転免許の保有状況

1. 自動車の免許を保有 2. 原付・バイクの免許のみを保有 3. 保有していない

(2) 自由に使える自動車、二輪車の保有の有無(自動車とバイク・原付の両方をお持ちの方は1、2の両方に○をおつけください)

1. 自動車あり 2. バイク・原付あり 3. なし

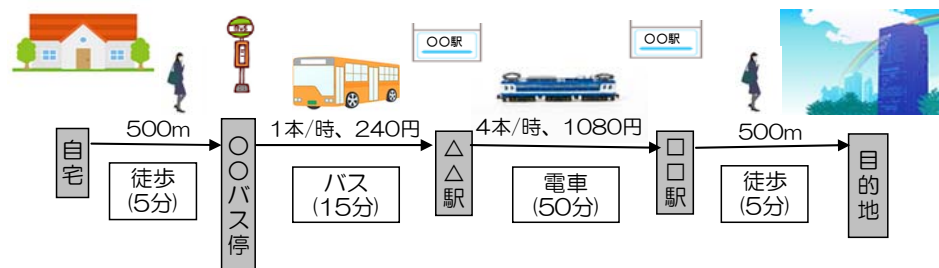
問2. 日常生活での外出行動についてお伺いします。

2-1 あなたの代表的な外出行動を一つお考えください。その外出の目的・頻度・時間などをお答えください。ただし、乗り換えなどをしており、幾つか交通手段を利用される方は、複数の数字に○をおつけください。

外出目的	具体的な行き先 ・ 外出頻度	目的地までの総所要時 間・距離・費用	利用交通手段
1.通勤 2.通学 3.習い事 4.買い物 5.食事・社交・娯楽 (日常生活圏内) 6.レジャー・観光・ 行楽 (日常生活 圏をこえる) 7.通院 8.介護 9.送迎 10.業務 11.その他 ()	行き先： (市 町) 外出頻度： 1. 週に()回 または 2. 月に()回	総所要時間： 約()分(片道) または 約()時間(片道) 総距離： 約()km(片道) 総交通費用： 約()円(片道) または 約()円/月	1.徒歩 2.自転車 3.バイク・原付 4.自動車(自分で運転) 5.自動車(送迎) 6.タクシー 7.路線バス 8.電車・市電・鉄道 9.その他 ()

2-2 2-1 の利用交通手段において、7.路線バス、8. 電車・市電・鉄道に○を付けた方は、自宅から目的地までの移動の流れを、記入例を参考にご記入ください。

問 2-2 の記入例



自宅から目的地までの 経由駅・バス停名	利用交通手段	所要時間	バス・電車の1時間 当たりの本数	バス停・駅ま での距離
具体的な駅・バス停名を記 入し、駅かバス停に○印	下記のA欄か ら該当する番 号を記入	乗り継ぎ・待 ち時間込み	公共交通(路線バス・電車・市電な ど)を利用している方は分かる範囲で お答え下さい	
自宅				
(○○) 駅・バス停	(①)	(5) 分	() 本/時	(0.5) km
(△△) 駅・バス停	(⑦)	(15) 分	(1) 本/時	(1.8) km
(□□) 駅・バス停	(⑧)	(50) 分	(4) 本/時	(60) km
() 駅・バス停	(①)	(5) 分	() 本/時	(0.5) km
() 駅・バス停	()	() 分	() 本/時	() km
目的地				

自宅から目的地までの 経由駅・バス停名	利用交通手段	所要時間	バス・電車の1時間 当たりの本数	バス停・駅ま での距離
具体的な駅・バス停名を記 入し、駅かバス停に○印	下記のA欄か ら該当する番 号を記入	乗り継ぎ・待 ち時間込み	公共交通(路線バス・電車・市電な ど)を利用している方は分かる範囲で お答え下さい	
自宅				
() 駅・バス停	()	() 分	() 本/時	() km
() 駅・バス停	()	() 分	() 本/時	() km
() 駅・バス停	()	() 分	() 本/時	() km
() 駅・バス停	()	() 分	() 本/時	() km
() 駅・バス停	()	() 分	() 本/時	() km
目的地				

A：利用交通手段

①徒歩 ②自転車 ③バイク・原付 ④自動車(自分で運転) ⑤自動車(送迎)
⑥タクシー ⑦路線バス ⑧電車・市電・鉄道 ⑨その他()

2-3 2-1 で回答された普段あなたが利用している主要な交通手段に関して、①～⑪のそれぞれの項目に対してどのように思っていますか。該当する番号 1 につにQをお付けください。

	大変そう思 う	ややそう思 う	どちらとも いえない	あまり思わ ない	全く思わ ない
①交通事故の加害者になる可能性が低い	5	4	3	2	1
②交通事故の被害者になる可能性が低い	5	4	3	2	1
③防犯面で安心できる	5	4	3	2	1
④健康面に良い	5	4	3	2	1
⑤環境面に良い	5	4	3	2	1
⑥経済性に優れている (費用が安い・かからない)	5	4	3	2	1
⑦利便性に優れている(所要時間が短い、 同行者を連れていける 等)	5	4	3	2	1
⑧自由度が高い (どこにでも移動できる)	5	4	3	2	1
⑨プライバシーが確保できる	5	4	3	2	1
⑩疲労度が低い、乗り心地が良い	5	4	3	2	1
⑪総合的にみて満足している	5	4	3	2	1

2-4 (1)2-1 で回答された交通において、普段あなたが利用している交通手段の代わりに他の交通手段を利用するとすれば、その交通手段は何ですか。該当する番号 1 につにQをお付けください。

利用交通手段				
1.徒歩	2.自転車	3.バイク・原付	4.自動車(自分で運転)	5.自動車(送迎)
6.タクシー	7.路線バス	8.電車・市電・鉄道	9.その他()	

(2) (1)で回答した交通手段の満足度について、該当する番号 1 につにQをお付けください。

	大変そう思 う	ややそう思 う	どちらとも いえない	あまり思わ ない	全く思わ ない
総合的にみて満足できる	5	4	3	2	1

2-5 現在、交通する際に重視している項目を、重要と思う順に3つまでお答え下さい。

①安全面 ②健康面 ③環境面 ④経済性 ⑤利便性 ⑥快適性

1 位	()	2 位	()	3 位	()
-----	-----	-----	-----	-----	-----

まず、以下の 2 ページの内容「自動車と公共交通の特性の比較メモ」をご覧ください。

～ 自動車から公共交通へ乗り換えた場合…実はこんなことが！ ～

最近、環境問題や健康問題などが取り上げられるようになってきました。ここで、自動車からバスや電車などの公共交通に乗り換えた場合のことを考えてみましょう。

安全面

豊橋での免許保有者が約 26 万人。人身事故件数は 3283 件であるから、1 年間で人身事故を起こす確率は 1.3%、一生(50 年)乗り続けた場合は 47% となります。(H21)



交通事故は金銭的、精神的、肉体的にも苦痛を伴います。眠気や疲労がたまっていて運転がおぼつかない場合はバスや電車で通勤したり、普段から抜け道を通ったりしないなど危険要素をなくすことも大切です。

健康面

体重 60kg の 35 歳の男性が 20km 先に通勤すると考えると、消費カロリーは
自動車(時速 50km)の場合 $\approx 39.5\text{kcal}$
1km 徒歩+4km バス+15km 電車 $\approx 152\text{kcal}$



実際公共交通を利用した場合は、階段の乗降などもあるため更にカロリーの消費が見込めます。たまには利用してみるのも良いかもしれません。

経済性

最近普及している低燃費の普通車(1500cc)の維持費を例にみると、1 年で約 53 万円かかっているのです。これは、1 日に約 1500 円かかっている計算になります。

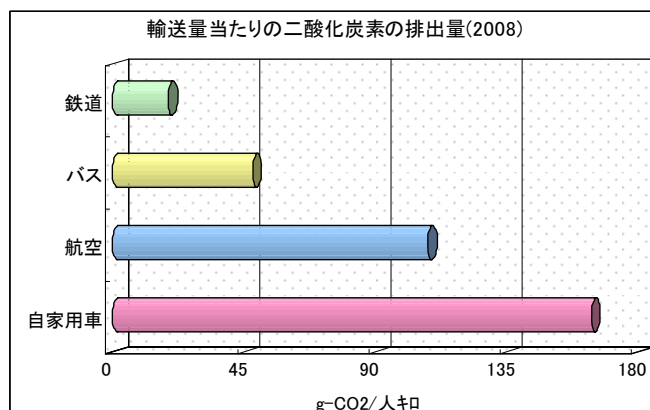
また、愛知県における渋滞による損失時間は 46.4 百万人時間。1 人あたりに換算すると、年間約 62 時間にもなります。(H18)



普段の暮らしを振り返ってみると、公共交通を利用した方が安上がりかもしれません。

環境面

右図は、交通機関別の単位輸送量当たりの二酸化炭素の排出量を表したものです。輸送した人数、距離を考慮した場合、自家用車が最も CO_2 を排出していることがわかります。1 日の移動を考えると、自家用車の CO_2 排出量は膨大な値となります。



出典：国土交通省

利便性

公共交通を利用すると、どんなに混雑していても、駐車場を探す手間がないから、乗り換えや移動が楽にできます。また、お祭りやイベントなどでお酒を飲みながら楽しむことができます。



快適性

公共交通を利用すると、運転しないですむことから、座りながら本を読んだり、景色を楽しんだり、寝ることができたりと、時間を有意義に活用することが出来ます。



公共交通の利用は、安全、環境、健康、経済など様々な面でのプラスに繋がるのですね。たまに利用するのも悪くないかもしれません。

問 3. 先の 2 ページに書かれていた内容についてお伺いします。

3-1 内容に納得できましたか。

1. 読んで納得した 2. 読んだがあまり納得できない 3. 読んでいない

3-2 今後、交通する際に重視する項目を、重要と思う順に 3 つまでお答え下さい。

①安全面 ②健康面 ③環境面 ④経済性 ⑤利便性 ⑥快適性

1 位	()
2 位	()
3 位	()

3-3 今後、あなたの普段の交通の仕方に関して、①～③のそれぞれの項目に対してどのように思いますか。該当する番号 1 つに○をお付けください。ただし、③については、2-1 の利用交通手段で自動車(運転・送迎)に○を付けた方のみお答え下さい。

	大変そう思う	ややそう思う	どちらともいえない	あまり思わない	全く思わない
①まとめて用事を済ますなど、交通自体を減らそうと思う	5	4	3	2	1
②目的地を変更して近くで買物や通院をしようと思う	5	4	3	2	1
③車の利用を減らそうと思う	5	4	3	2	1

問 4. 公共交通(路線バス、電車・市電・鉄道)の利用についてお伺いします。

4-1 (1) あなたにとって、公共交通(路線バス、電車・市電・鉄道)はどの程度必要ですか。該当する番号 1 つに○をお付けください。

1. 日常生活には不可欠 2. 時々が必要 3. たまに必要 4. なくても良い

(2) (1)において、1～3 に○をつけた方にお伺いします。1～3 の数字を選んだ理由として該当する番号すべてに○をお付けください。

1. バス路線を廃止させないために利用している 2. 雨の日には利用している
3. 状況に応じて他の交通手段と使い分けて利用している
4. 時間帯が合った場合は利用している 5. 疲れている場合に利用している
6. 特になし 7. その他()

4-2 2-1 で回答された交通において、現在公共交通を利用していない方にお伺いします。あなたが今の交通手段から公共交通へ移動手段を替えた場合を想定して、以下の設問にお答え下さい。

(1) 公共交通(路線バス、電車・市電・鉄道)を利用する場合の ①総所要時間 と ②総費用 をお答え下さい。

①総所要時間：約()分(片道) または 約()時間(片道)

②総交通費用：約()円(片道) または 約()円/月

(2) 公共交通(路線バス、電車・市電・鉄道)を利用する場合、具体的にどのように交通手段を利用して移動しますか。2-2 の記入例を参考に記入ください。(※必ずしも正確でなくてもかまいません。)

自宅から目的地までの 経由駅・バス停名	利用交通手段	所要時間	バス・電車の1時間 当たりの本数	バス停・駅ま での距離
具体的な駅・バス停名を記 入し、駅かバス停に○印	下記のA欄か ら該当する番 号を記入	乗り継ぎ・待 ち時間込み	公共交通(路線バス・電車・市電な ど)を利用している方は分かる範囲で お答え下さい	
自宅				
() 駅・バス停	()	() 分	() 本/時	() km
() 駅・バス停	()	() 分	() 本/時	() km
() 駅・バス停	()	() 分	() 本/時	() km
() 駅・バス停	()	() 分	() 本/時	() km
() 駅・バス停	()	() 分	() 本/時	() km
目的地				

A：利用交通手段

①徒歩 ②自転車 ③バイク・原付 ④自動車(自分で運転) ⑤自動車(送迎)
⑥タクシー ⑦路線バス ⑧電車・市電・鉄道 ⑨その他()

問 5. 電気バスについてお伺いします。

電気バスは、電池を積載しモーターで走行するため、地球環境にとってもやさしくクリーンな乗り物として、近年注目を集めている新しい公共交通機関です。

電気バスの長所

- ・排気ガス(CO₂)を排出しない
- ・エンジン音がとても静か
- ・振動が少なく乗り心地が良い
- ・低床型で乗り降りがスムーズにできる



東京丸の内シャトルバス

5-1 (1) あなたは以前に、電気バスを利用したことがありますか。

1. ある 2. ない

(2) 「1.ある」と回答された方にお伺いします。バスのイメージや乗り心地などの感想をお聞かせください。

5-2 環境にやさしい電気バスについて、あなたはどのように感じていますか。

1. 利用したいので、ぜひ導入すべき
2. 利用するかは分からないが、導入したほうが良い
3. 利用はしないし、導入も必要ない

5-3 いま仮に、豊橋市内に主要施設(市役所、病院 等)を結ぶ「電気バス」路線網が設置され、あなたが2-1 でお答えいただいた交通において、電気バスが利用可能になるとお考えください。

(1) その交通において、あなたは電気バスを利用したいと思いますか。

- | | | | |
|----------------|---|-----|---|
| 1. ぜひ利用したい | } | (2) | へ |
| 2. 条件によっては利用する | | | |
| 3. 利用するつもりはない | | | |

(2) 下記のそれぞれのケース(条件)において、あなたは電気バスを利用しますか。該当する番号に○をお付けください。

※なお、以下の条件のうち、「バス乗車時間」はあなたの目的地が市内の場合はその目的地付近までの乗車時間、市外の場合は乗り継ぎ駅(豊橋駅、二川駅など)までの乗車時間であるとお考えください。

また、下記に設定されていない項目は、現状の条件のままであるとお考えください。(降車後の目的地までの所要時間、乗り換え回数など)

	バス 乗車時間	バス料金 (片道)	運行間隔(1時間 あたりの本数)	バス停まで の所要時間 (徒歩)	利用 する	どちらか といえ ば利用 する	どちらか といえ ば利用 しない	利用 しない
ケース1	20分	100円	10分(6本/時)	15分	4・・・3・・・2・・・1			
ケース2	20分	500円	20分(3本/時)	10分	4・・・3・・・2・・・1			
ケース3	30分	300円	10分(6本/時)	10分	4・・・3・・・2・・・1			
ケース4	40分	100円	30分(2本/時)	5分	4・・・3・・・2・・・1			
ケース5	40分	500円	10分(6本/時)	15分	4・・・3・・・2・・・1			

問6. 豊橋市の交通に関して、意見がありましたらご記入下さい。

5. 電気バス導入効果

5-1 既存ルートへの電気バス導入効果

(1) はじめに

近年、地球温暖化問題やエネルギー問題が深刻化している。日本は、2005年の京都議定書が発行され、2008年から2012年までに1990年比で6%のCO₂排出量削減が義務付けられた。しかし、逆に排出量は増加しているのが現状である。また、石油燃料の枯渇や発展途上国の台頭による、世界的石油需要の増加から、石油に依存しない社会作りといった課題も持ち上がっている。その解決策の一つとして、化石燃料を使わず、走行時に二酸化炭素を排出しない電気自動車の開発や導入・利用が活発になっている。現在、電気の発電には化石燃料への依存度が大きいですが、これからクリーンな発電方法に切り替わっていくことにより石油への依存度を下げることができる。しかし、電気自動車には、一充電での走行距離が短い、という欠点がある。従来のガソリン車では500 km程度走ることができたが、電気自動車では160 km程度しか走ることができない。このため、走行が必要なときに走ることができない状況が発生することがある。街中旅客向けの電気バスは、あらかじめ運用者が運行パターン（路線とタイムスケジュール）を決められるため、一充電の走行距離が短いという現在の電気自動車の欠点を回避しながら利用することができる。しかしながら、現在のところ、電気バスは高価であり、導入による効果を見積もる必要がある。今回、電気バスを実際の路線に導入した場合、運行コストと二酸化炭素排出量に対しどのような効果があるかについて、バス運行シミュレータを作成し、検討した。

(2) 国内の電気バス導入事例

現在、国内の電気バスの導入事例は数例存在する。表5-1-1に導入事例を示す。同表は上から①富山市、②大阪市、③神奈川市、④京都市の導入事例である。いずれも実証試験や開発段階であり、本格的な運用を開始してはいない。

① 富山市

2010年2月に富山市で実証試験が行われた小型電気バスである。CO₂排出量は、発電所などで出る分を換算してもディーゼル車の3分の1になる。電気路線バスとしては全国初となる運行試験が行われた。乗車定員は28名で、高齢者も利用しやすい低床型であり、リチウムイオン電池を搭載し、フル充電すると68 km走行できる。富山地鉄が運行するコミュニティバス「まいどはや」の一部ルート（約7 km）の1日31便のうち9便に導入し、試験が行われた。

② 大阪市

2010年2月に実証試験が行われた国内最大級の大型路線ノンステップ電気バス。大容量のニッケル水素電池（川崎重工：ギガセル）を搭載し、20分間の急速充電で30 km走行可能。改造費に1億円かかっており、電池だけで従来車1台に匹敵する2000万円以上かかっている。また電池を搭載するスペース確保のために座席を一部取り払ったため、乗

表 5－1－1 国内の電気バス導入事例

	7500 万円 (改造)	北陸電力 富山市 東京 R&D	定員 29 名の底床型コミュニティバス。充電装置を含め改造に 7500 万円。
	1 億円 (改造)	東京 R&D 大阪市 川崎重工	ニッケル水素電池を搭載した大型路線底床型電気バス。通常の 4 倍の一億円かかった。電池だけで従来車 1 台に匹敵する 2000 万円以上。
	ディーゼル車と 同等 (量産)	慶応大学 いすゞ自動車 神奈川県	500 台生産すると、車体価格はディーゼル車と同等になる。改造でなくゼロから作るによりランニングコストや価格を低下。
	3 億円 (改造)	三菱重工 京都市	充電設備や改造費でトータル 3 億円弱かかった。バッテリー交換装置や情報通信システムを装備。24 年度の量産化が目標。

車定員が改造前に比べ減少している。

③ 神奈川市

改造車でなくゼロから作るによりランニングコストの大幅低下や中量生産以上での価格の低下が可能。インホイールモーターを使用するなど、車内空間を広く取ることができ、中型サイズで大型並の乗車定員があるなどのメリットがあり、エアコンを使用しながらの実走行で 150 km 走れることを目標としている。完成次第性能評価が始まり、500 台生産することによって、車体価格はディーゼル車と同等になると予想されている。

④ 京都市

2011 年 2 月に京都で実証試験が予定されている大型ノンステップ電気バスである。充電施設や改造費で合計 3 億円弱かかっている。バッテリー交換装置や停留所での情報通信システム、車内コミュニケーションシステムなどが装備されている。リチウムイオン電池を

搭載した 65 人乗りで、約 1 時間の急速充電で 30 km の走行が可能であり、CO₂ の排出量はディーゼルバスの半分程度になると試算されている。平成 24 年度の量産化を目標としている。

今回の研究では、豊橋市民病院線で走行しているワンステップグリーンバス(PDG-AR820GAN)と同程度のサイズである、大阪市の実証試験で使用された、UD トラックス（改）をシミュレーションに使用した。

（３）導入対象

今回のシミュレーションの流れを図 5－1－1 に示す。導入対象条件、バス仕様およびエネルギー価格を入力すると、電気バスの運行および充電タイミングを計算し、電気バスの運行コストと CO₂ 排出量を計算するものとした。導入検討対象は、愛知県豊橋市の豊橋市民病院線とした。この路線は豊橋駅から市民病院を経由し総合スポーツセンターまで往復運行をする路線である。この路線のうち、一般市民の利用が多く、環境意識向上へのアピールに有効であると思われる、豊橋駅から市民病院までの往復運行を行う路線（片道 4.5 km）のみ対象とした。また、充電ステ

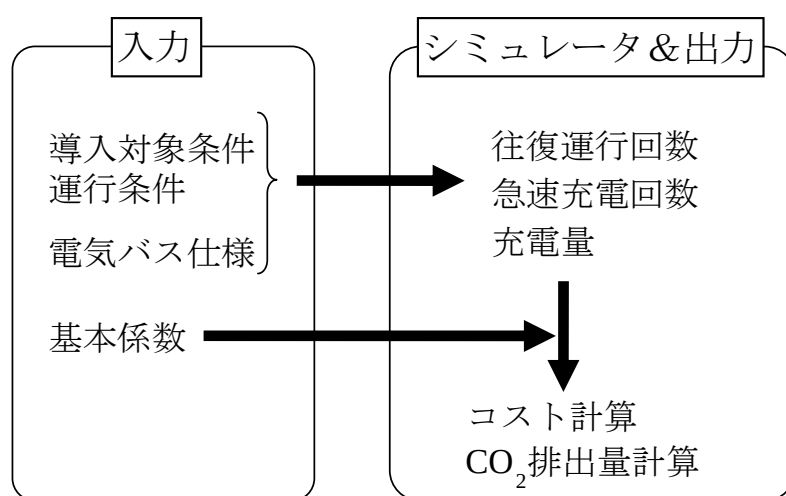


図 5－1－1 シミュレーションの流れ

表 5－1－2 ワンステップグリーンバスと UD トラックス（改）の比較

	PDG-AR820GAN	UD トラックス（改）
乗車定員（人）	57	47
燃費（km/L）	4.65	—
電費（km/kWh）	—	1.03
走行時 CO ₂ 排出量（kg/km）	0.564	0

ーションを設置したと仮定し、電気バスのバッテリー残量が少なくなり次の往復運行が無理な場合、豊橋駅から市役所へ移動し、急速充電を行うこととした。豊橋駅から市役所までの移動距離は片道 1.6 km である。なお 60%までの急速充電を行った直後に関わらず往復運行を行うことができない場合は、運行失敗としてシミュレーションを終了するとした。現在この路線で運行しているワンステップグリーンバス(PDG-AR820GAN)の 1 台（定員：57 人）を、平成 22 年 2 月に大阪市で実証試験に使用された UD トラックス(改)（定員：47 人）の電気バスに置き換えるとし、空調は利用せず、時刻表を踏襲した形で導入するとした。この電気バスは 48.6 kWh のニッケル水素バッテリーを搭載し、満充電で 50 km の走行が可能であるとされ、また、20 分間の急速充電をすることにより 30 km の走行が可能だとされている。この走行距離は 10・15 モードによる計算値であり、空調を使用していない値である。表 5－1－2 にワンステップグリーンバス(PDG-AR820GAN)と UD トラックス(改)の仕様の比較を示す。UD トラックス(改)は走行時の CO₂ 排出量が 0 だが、充電した電気は発電時に発電所にて CO₂ を排出するため、これを UD トラックス(改)の CO₂ 排出量とみなし、考慮した。

（４）シミュレーションモデル

大まかな条件およびパラメータを表 5－1－3 に示す。既に説明したものも含め、7 つの運行条件を設定した。一日の始めを満充電状態とし、時刻表に定められた路線が無くなると市役所に帰還するとした。一度往復運行が終わり、豊橋駅に帰還すると乗客の降車、乗り場への移動を考慮し、最低 3 分間の停止時間を設けた。ドライバーの入れ替えなどが必要な場合はこの時間を利用する。基本係数は、シミュレーションの出力である走行距離（運行、充電回数）と充電量から運行コストと CO₂ 排出量の算出に使用した。ワンステップグリーンバスの運行コストの算出には軽油価格を使用する。軽油価格は変動が激しく、今後上昇することが予想される。今回は豊橋市の平均店頭価格における平成 22 年 9 月までの一年間の平均価格である 110.75 円/L を使用するとした。また、CO₂ 排出量はバスの仕様にある 0.564 kg-CO₂/km を使用した。電気バスの運行コストと CO₂ 排出量の算出には電気料金単価と発電時の CO₂ 排出係数を使用した。電気料金単価には中部電力の高圧業務用プランを使用した。これは夏季の単価が他の季節より高くなっている。時刻表は一年を通して同じなので、今回は一年間の平均単価である 10.75 円/kWh を使用した。CO₂ 排出係数は同じく中部電力の 2008 年の実排出係数の実績値である、0.455 kg-CO₂/kWh を使用した。排出係数には実排出係数と調整後排出係数の二種類があるが、調整後排出係数とは、電気事業者が CO₂ 削減事業に出資をする、または外部から排出権を購入するなどによって得たクレジットを実排出量から差し引いた値であり、今回実排出係数を使用したのは妥当である。

表 5-1-3 シミュレーション条件

前提条件	導入対象条件	電気バス導入台数：1 台 路線：愛知県豊橋市の豊橋市民病院線（豊橋駅-市民病院間 片道 4.5 km） 充電場所：豊橋市役所（駅から片道 1.6km）
	運行条件	① 電気バス 1 台以外は従来ディーゼル車. ② 空調：考慮しない ③ スケジュール：現時刻表をほぼ踏襲. ④ 豊橋駅での最低停止時間：3 分 ⑤ 一日の最初は満充電状態 ⑥ 急速充電：バッテリー容量の 60 %まで ⑦ 60 %急速充電しても往復できない場合は運行不可
パラメータ	電気バス仕様	電費：1.03 km/kWh（基準値） バッテリー容量：48.6 kWh（基準値） 急速充電時間：20 分で 60 %（固定値） 充電効率：0.9（固定値）
	基本係数（基準値）	置き換えるバス：PDG-AR820GAN 燃費：4.65 km/L CO ₂ 排出量：0.564 kg-CO ₂ /km 軽油価格：110.75 円/L (2009 年 10 月～2010 年 9 月までの店頭価格の平均値) 発電時 CO ₂ 排出係数：0.455 kg-CO ₂ /kWh 電気料金単価：10.75 円/kWh (中部電力(株)の高圧業務用電力の年平均単価:標準電圧 6,000 V, 契約電力 500 kW 未満 プラン C)

（5）運行コストおよび CO₂ 排出量の変化

前項の条件の下でシミュレーションを行った結果、次のことがわかった。

- ① UD トラックス(改)の仕様をそのまま用いると、平日には往復 10 回(32 回中)と急速充電 3 回、土休日には往復 8 回(11 回中)と急速充電 2 回となり、一年間の運行コスト削減量は 40 万円、CO₂ の削減量は 400 kg-CO₂ となった。運行コスト削減量は電気バスの導入価格（約 1 億円）に対して小さく、導入コストを償却するには 250 年かかる。
- ② エネルギーの価格は絶えず変動しており、特に軽油価格は今後の上昇が予想される。エネルギー価格を変化させた際の運行コスト削減量を図 5-1-2 に示す。また、電気料金単価が 0 円、10 円、20 円、30 円のときのそれぞれの断面にて切り出しを行い、一

つのグラフ上にプロットしたものを図5-1-3に示す。どの電気料金単価にて運行コストは単価の変化に比例し、電気料金単価0円(太陽電池などで全て自給)、軽油単価100円にて約74万円の削減となった。しかし、電気料金単価が上昇した場合、現在の軽油価格でも運行コストが削減できない。なお、電気料金単価0円/kWhとは通常では考えられないが、電気バスが使用する全ての電気を太陽電池などにより自給している状態である。平日における一日の電気バスの総消費電力は約100kWh/日なので同程度の太陽電池を設置することにより自給することができる。

- ③ バッテリー容量と電費を変化させた際の運行コスト削減量とCO₂削減量を、それぞれ、図5-1-4および図5-1-5に示す。電気バスの仕様を変化させると運行回数や、充電タイミングなどが変化する。電費とバッテリー容量を増加させると両削減量は増加した。しかし、時刻表に定められている以上の回数の運行は行えないため、性能の向上に対する削減量は頭打ちになる。
- ④ バッテリー容量が10kWh、30kWh、50kWh、70kWhのときのそれぞれの断面にて切り出しを行い、一つのグラフ上にプロットしたものを図5-1-5および図5-1-6に示

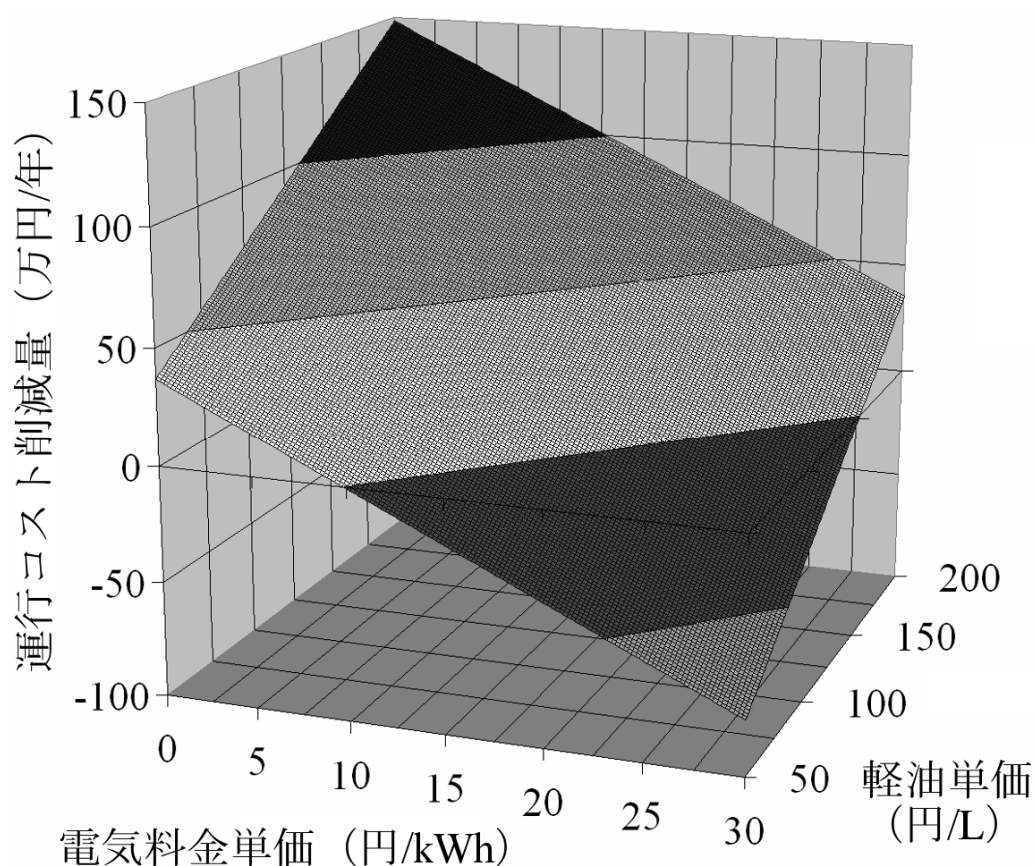


図5-1-2 軽油単価と電気料金から見た運用コスト削減量

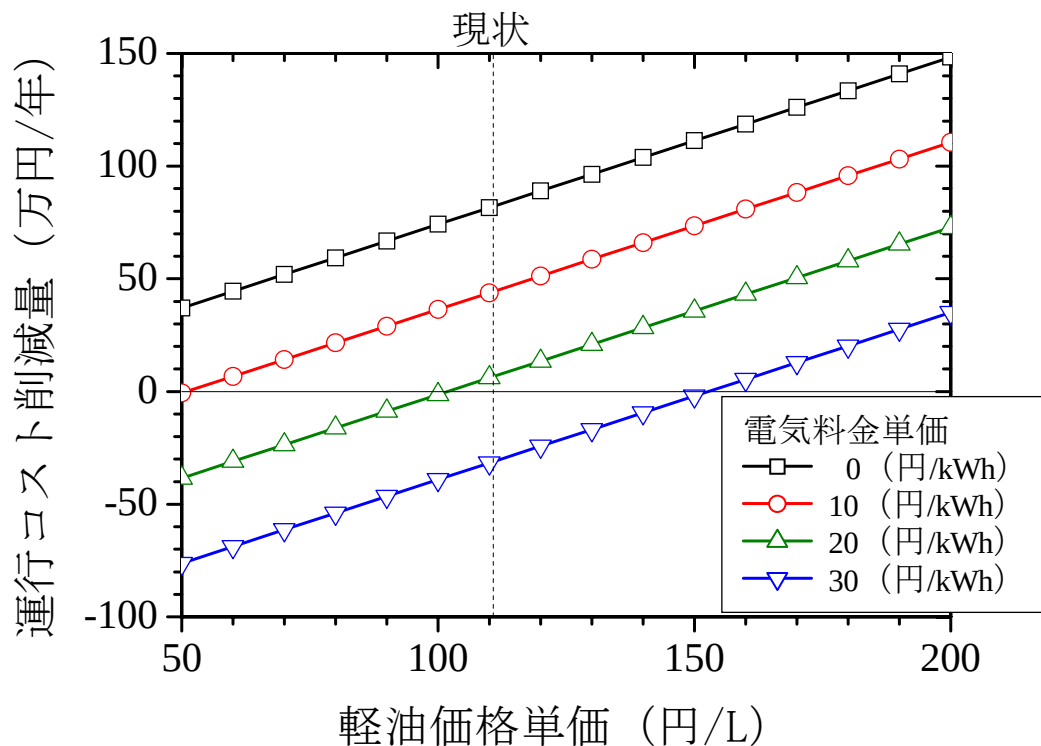


図5－1－3 各電気料金単価における軽油価格と運航コスト削減量の関係

す。現状の電費が 1.03 km/kWh なので、同図から、UD トラックス(改)は電費の向上によって削減量の増加が期待できる。一方、各プロットがほぼ重なっていることから、バッテリー増量では削減量の増加は期待できないことがわかる。

現状の条件下では電気バスの高い導入コストに対する十分な導入効果が得られない。そこで、どのような条件下で導入効果が高くなるために条件を変化させてシミュレーションを行った。エネルギーの価格変動に運用コストは比例変化をする。バッテリー容量を増加することによる削減量は多くないが、減少させることにより、導入コストの低下、重量の軽減から電費の向上が期待できる。現状の電費が 1.03 km/kWh なので、電費の向上によって削減量の増加が期待できる。今回検討に使用した大型バスではなく、電費の良い小型バスが望ましく、導入コストを低減させるために、搭載バッテリー容量を減らす、量産化をする、等が必要であると言える。また、更に多く削減を行うには、他の導入対象や運用方法により、一日の走行距離を増やす必要がある。

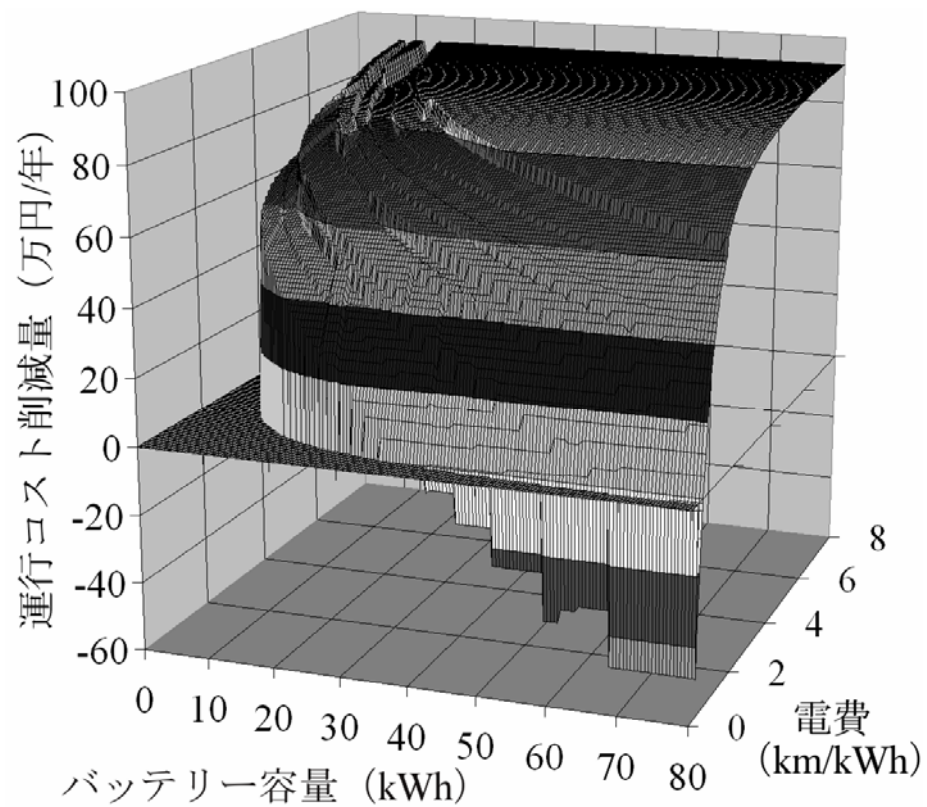


図5-1-4 電費とバッテリー容量から見た運用コスト削減量

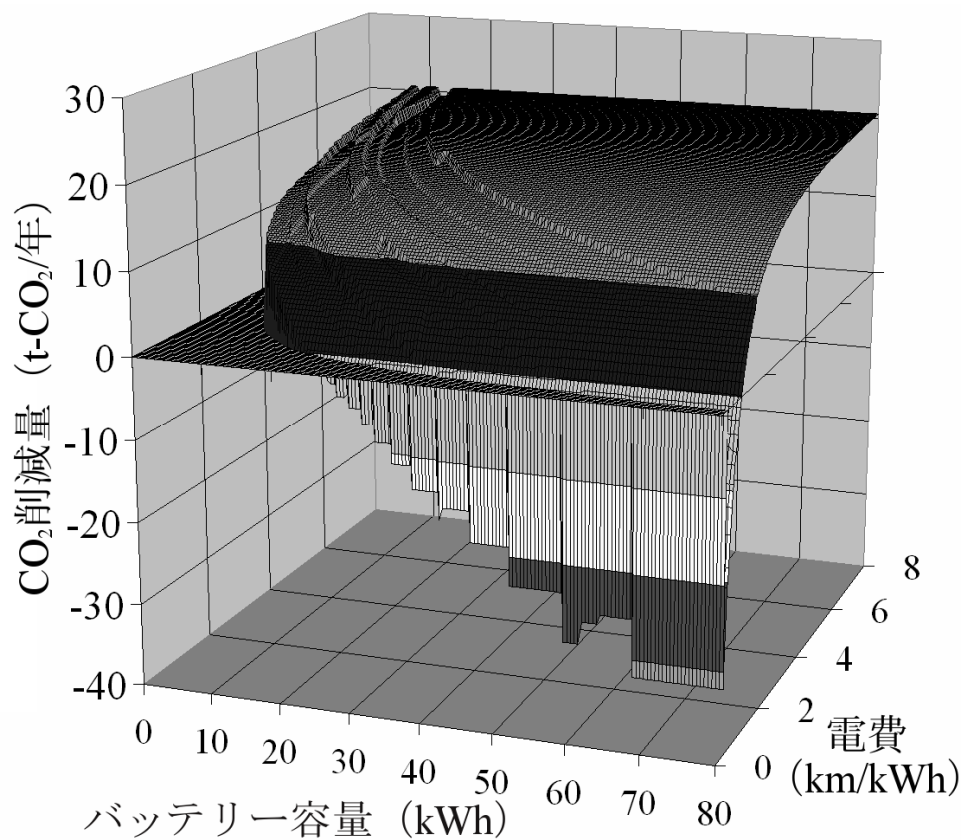


図5-1-5 電費とバッテリー容量から見たCO₂削減量

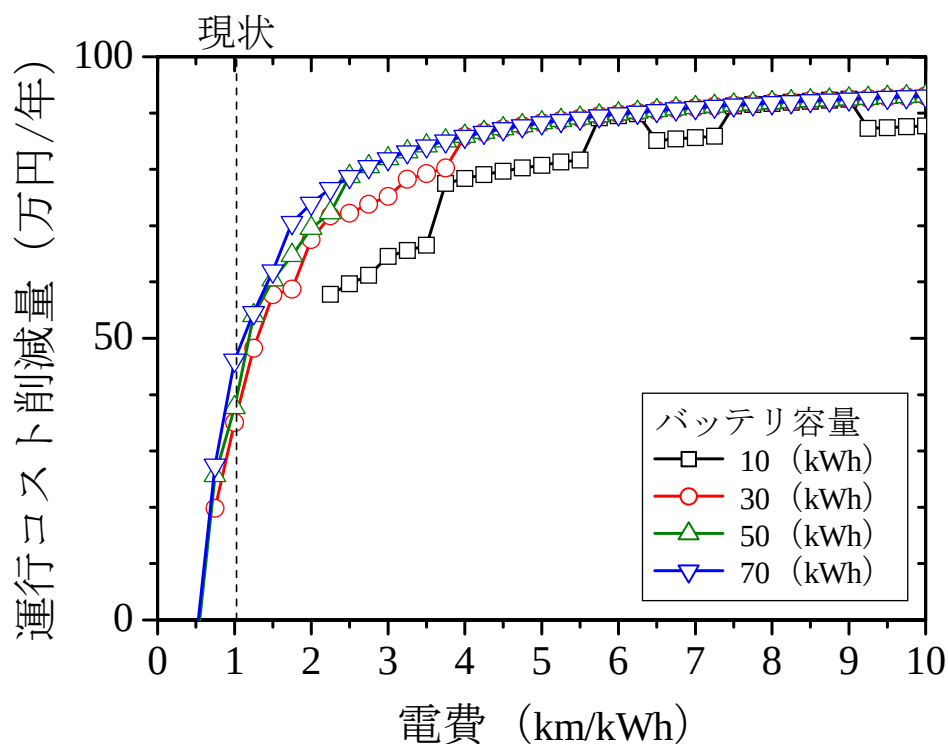


図5-1-6 各バッテリー容量における電費と運行コスト削減量の関係

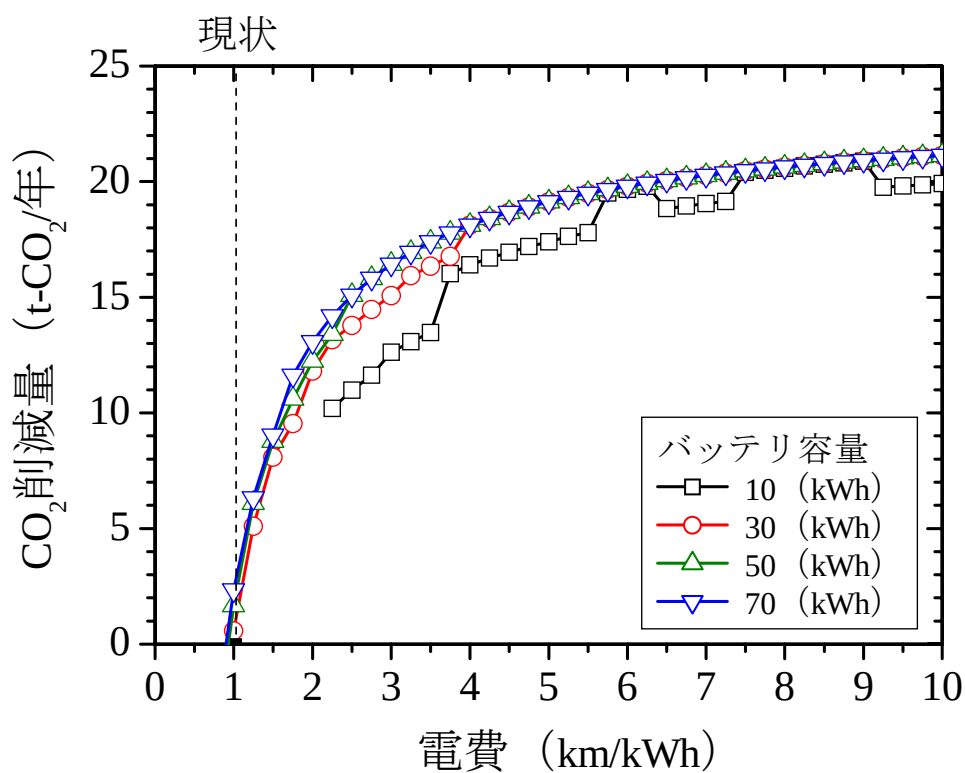


図5-1-7 各バッテリー容量における電費とCO₂削減量の関係

（６）エネルギー需要の量的・質的变化

従来型バスから電気バスに置き換えることにより、走行に必要な一次エネルギーは、約 10 分の 1 になる。これは、化石燃料から動力へ変換する際に、従来型バスでは小さなエンジンで行っているのに対し、発電は圧倒的に大きな規模で行っているからである。また、質的变化としては、従来型バスでは軽油が必要であるのに対して、電気バスはその名のとおり電気を使用する。現在は、発電は化石燃料の依存度が大きいですが、2011 年 1 月 25 日に行われた一般教書演説にてアメリカのオバマ大統領は、2035 年までにアメリカの電力の 80 % をクリーンエネルギー由来にするというビジョンを掲げた。今後、このように徐々にクリーンな発電に移り変わっていくことにより、電気バスは化石燃料に依存しない移動手段の一つになると思われる。

（７）今後の課題

豊橋市へ電気バスを導入した際の運行コスト、CO₂ 排出量の削減効果とエネルギー需要の質的、量的変化について検討した。以下のような結果と課題点が挙げられる。

- ① 現在の条件下では電気バスの高い導入コストに対し十分な削減効果を得ることができない。しかし、今後、軽油価格が上昇することにより削減効果は高くなると思われる。電気料金単価が下がることによっても削減効果は高くなるが、軽油価格に対して変動が小さく、単価が下がるとは予想できない。太陽電池などにより電気を自給するという方法はあるが、家庭用のシステムのように売電がなければ、太陽電池自体の導入コストを回収することが難しい。
- ② バスの電費の向上により削減効果は高くなる。だが、大型バスの電費の改善は難しく、バッテリーの搭載量を減らしたとしても大幅な車体の軽量化が必要である。よって、導入コストが大型バスに比べ小さく、電費の良い小型バスが有効だと思われる。また、電費やバッテリー容量をどれだけ増やしても対象路線の走行距離の上限が少なければ削減効果が低くなってしまう。電気バスの走行量ができる限り多くなる路線を対象とすべきである。
- ③ 以上のことを含めても、電気バスの導入コストが大きいいため、導入コスト回収は難しい。そのため、既存のバスを電気バスに改造するという現在の手法をやめ、電気バスの量産化を行いコストの低減と、高性能化が必須であると思われる。

今後は、電気バス以外にも環境に優しく比較的安価なハイブリッドバスや、バイオディーゼルなども含め、運用方法やサービスの形態、自然エネルギーによる電力供給可能性などの検討を行っていく。

5-2 電気自動車生産の経済効果

本節では豊橋市において自動車(関連)生産を 100%電気自動車とした場合に、豊橋市経済にどのような影響があるのかを調べる。ガソリン自動車は裾野の広い産業であり、電気自動車生産へ転化した場合には経済へのマイナスの影響が懸念されている。しかしながら現実の経済において、全ての市場や経済資源を総合的に考慮した研究はほとんど皆無である。本節で用いる応用一般均衡モデルはそれを全て考慮することができ、電気自動車生産のプラスとマイナスの両面を理論整合的に計測できることが特長である。

電気自動車の導入は生産面よりも導入後の社会経済変化の方が、低酸素社会への貢献という観点からは重要と考えられる。そのような問題も本節のモデルでは分析可能であり、今後の研究継続の中で考察していくこととする。以下では最初に本節のモデルで用いるデータの解説から始める。

(1) 豊橋市の産業連関表

豊橋市には産業連関表がないため、公表されている産業連関表の最新年次である 2005 年の愛知県産業連関表をブレイクダウンすることによって、豊橋市の産業連関表を推計した。基本となるのは愛知県の 40 部門産業連関表である。これを自動車産業に合わせる形で 31 部門表(表 3-2-1 参照)に集計し、国勢調査、工業統計、商業統計、事業統計などを用いて豊橋市の産業連関表を推計した。

(2) 豊橋市の経済会計行列

経済会計行列は通常、社会会計行列 (Social Accounting Matrix : SAM) と呼ばれ、ノーベル経済学賞受賞者 Stone(例えば武野秀樹, 金丸哲, 1997)によって体系化されたものである。SAM は経済体系を支払いと受取りという概念により記述する。

応用一般均衡モデルでは経済会計をベンチマークデータセットとして用いるのが通常である。本研究は愛知県 2005 年産業連関表を用いて、豊橋市の経済会計行列を推計した。経済主体は 31 産業部門、2 制度部門 (家計, 政府)、2 生産要素 (資本, 労働)、資本勘定 (資本調達, 資本蓄積)、市外部門の 5 区分から構成されている。

豊橋市の経済会計行列は表 5-2-2 に表される。この表で縦方向は各経済主体の金銭的支払いを表し、横方向は逆に金銭的受け取りを表している。行列の縦方向、横方向には同じ経済主体が並べられ、ある行とある列とが交わる部分が、それぞれの経済主体間の金銭的取引を表している。

豊橋市の経済会計行列を見ると、31 産業部門で 3 兆 1,524 億円の財生産が行われている。産業活動により 4,989 億円の資本所得、9,704 億円の労働所得が生み出されている。政府部門では、純間接税、直接税、市外部門からの経常移転により 5,680 億円の歳入を得ている。家計は 1 兆 6,168 億円の所得を得て、9,347 億円の消費と 2,969 億円の貯蓄を行っている。

表 5－2－1 産業分類

1	農林魚業
2	鉱業
3	飲食料品
4	繊維製品
5	パルプ・紙・木製品
6	化学製品
7	石油・石炭製品
8	プラスチック製品
9	陶磁器
10	その他の窯業・土石製品
11	鉄鋼
12	非鉄金属
13	金属製品
14	一般機械
15	電気機械
16	情報・通信機器
17	電子部品
18	自動車
19	航空機
20	その他の輸送機械
21	精密機械
22	その他の製造協業製品
23	建設
24	電力・ガス・熱供給
25	水道・廃棄物処理
26	商業
27	金融・保険
28	不動産
29	運輸
30	情報通信
31	サービス

表 5－2－2 豊橋市の経済会計行列

(単位：百万円)		生産活動	制度部門		生産要素		資本蓄積	市外部門	合計
		1－38産業	政府	家計	資本	労働			
生産活動	1－38産業	1,298,045	230,576	934,725	0	0	437,666	251,395	3,152,407
制度部門	政府	115,703	0	352,756	0	0	0	99,526	567,985
	家計	0	162,866	0	446,247	920,522	0	87,165	1,616,800
生産要素	資本	498,892	0	0	0	0	0	0	498,892
	労働	922,275	0	0	0	0	0	48,129	970,404
資本調達		317,492	4,302	296,854	0	0	0	0	618,648
市外部門		0	170,241	32,465	52,645	49,882	180,982	0	486,215
合計		3,152,407	567,985	1,616,800	498,892	970,404	618,648	486,215	8,019,616

(3) 電気自動車導入の応用一般均衡分析

1) モデルの主要前提条件

本研究の主要な前提条件は以下のようであるが、この他にもモデルの細部について様々な仮定を設定する。それらについてはモデルの説明の中で適宜言及する。

- (1) 2005 年の豊橋市の経済を対象とし、経済主体は豊橋市の家計、31産業、政府、市外部門とする。
- (2) 市場は31生産物市場、労働市場、資本市場の33市場とし、これらの市場は完全競争的で、2005年時点で均衡状態にあるとする。

2) モデルの構造

本研究のモデルは静学的応用一般均衡モデルであり、経済主体は豊橋市の家計、産業(31産業分類)、政府、市外部門とする。市場は31生産物市場、労働市場、資本市場の33市場とする。産業は集計化された企業が利潤最大化を行い、条件付中間投入、条件付労働需要、条件付資本需要を決定する。家計は予算制約のもとで効用最大化を行い、財消費、余暇時間、貯蓄の決定を行う。本研究のモデルは全て数式での記述が可能であるが、その構造はかなり複雑であるためここでは省略する。

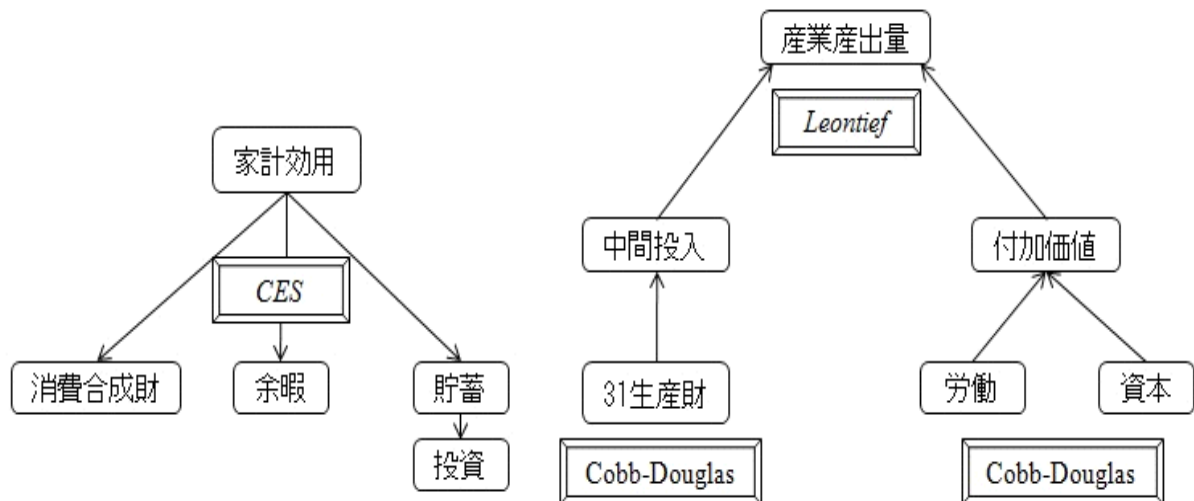


図5-2-1 モデルの構造

3) パラメータの設定

モデルにおいて、*Cobb-Douglas*型生産関数、*CES*型効用関数を始めとするいくつかの関数については、パラメータを設定する必要がある。*CGE*モデルでは、基準年次のデータセットが長期均衡状態を反映したものという前提条件に立っている。従って *CGE*モデルでのパラメータ設定は基準年次のデータセットを正確に再現するようなパラメータを連立方程式や収束計算によって求めるというキャリブレーションの方法を用いることが特徴である。本モデルでは2005年豊橋市の実績データを用いることによりパラメータ設定を行った。

(4) シミュレーション分析

1) ガソリン乗用車と電気自動車の比較

一般にガソリン乗用車の部品点数は多いといわれ、その約半分はガソリンエンジン関連だといわれる。EV化が急速に進めば、こういう部品は不要となる。

電気自動車の部品をガソリン乗用車との比較で見えておくと、両車の簡単な図を示す(図5-2-2, 5-2-3)。両車の違いは一目瞭然である。ガソリン乗用車と電気自動車の違いは、燃料に代わってバッテリーが、エンジンに代わってモーターがつくということである。電気自動車は排気ガスのような有毒物資を排出しない。

電気自動車となった場合、ガソリン乗用車で失われる部品は次のようになるだろう。1つは、エンジン系部品である。エンジン本体とラジエタなどの冷却系、そしてエアコンなどの補機系である。2つは燃料系で、燃料タンク、ポンプ、パイプ類である。そして3つは、給排気系で、エアクリーナ、インテークマニホールド、マフラーなどである。

新しく生まれた部分は、主にバッテリーとモーターとモーターをコントロールするコントローラが新たに加わる事となる。部品点数を見れば、確かにガソリンエンジン車と比較すれば電気自動車のほうが数割少ないといわれるが、エンジン部品の占める比率が大きく、もしエンジンを一つ部分と考えれば、部品点数にさほどの差は無い。問題は部品の数というよりは、エンジン関連部分がなくなる。

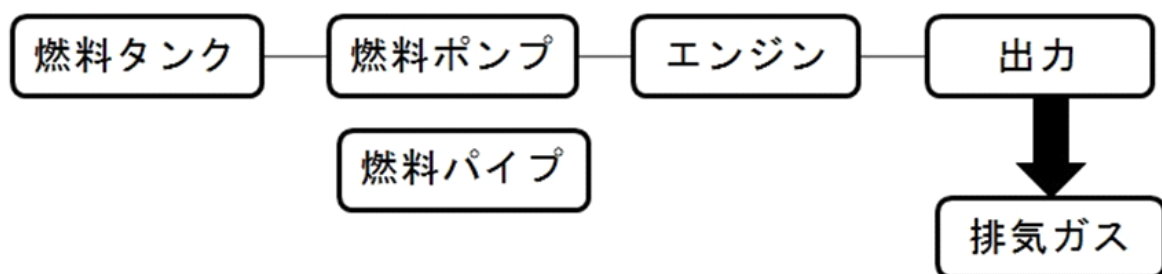


図5-2-2 ガソリン乗用車の構造

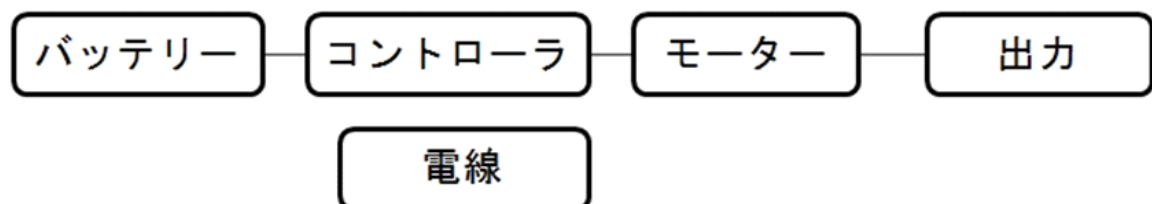


図5-2-3 電気自動車の構造

(5) シミュレーションの考え方

シミュレーションは上述した静学的応用一般均衡を用いて、電気自動車の生産が及ぼす豊橋市経済への効果を分析するものである。

本研究は全国版産業連関表のガソリン乗用車とハイブリッド車投入係数をベースにし、ハイブリッド車を電気自動車にした場合はエンジンに関する部分をなしとした。次に産業31部門に合せて、表5-2-3のようにガソリン乗用車と電気自動車の投入係数を計算した。そして豊橋市投入係数×全国の部門別投入係数の変化率によって、豊橋市のガソリン乗用車と電気自動車の投入係数を推計した。

表5-2-3 全国におけるガソリン乗用車と電気自動車の投入係数

部門分類		乗用車	電気自動車
1	農林漁業	0	0
2	鉱業	0	0
3	飲食料品	0	0
4	繊維製品	0.004	0.003
5	パルプ・紙・木製品	0.00005	0.00005
6	化学製品	0.004	0.003
7	石油・石炭製品	0.001	0.001
8	プラスチック製品	0.032	0.025
9	陶磁器	0	0
10	その他の窯業・土石製品	0.016	0.015
11	鉄鋼	0.07	0.07
12	非鉄金属	0.003	0.004
13	金属製品	0.001	0.001
14	一般機械	0.002	0.002
15	電気機械	0.048	0.03
16	情報・通信機器	0.000048	0.000048
17	電子部品	0.000096	0.000096
18	自動車	0.605	0.35
19	航空機	0	0
20	その他の輸送機械	0	0
21	精密機械	0.0004423	0.0004423
22	その他の製造工業製品	0.0009	0.0009
23	建設	0.001	0.001
24	電力・ガス・熱供給	0.005	0.01
25	水道・廃棄物処理	0.001	0.001
26	商業	0.016	0.016
27	金融・保険	0.008	0.008
28	不動産	0.001	0.001
29	運輸	0.016	0.02
30	情報通信	0.002	0.002
31	サービス	0.072	0.072

（６）シミュレーションケースの設定

本研究では以下の２つのケースにおいてシミュレーション分析を行う。

１）基準ケース

豊橋市の現状を仮定するケース。

２）ケース１

豊橋市において自動車(関連)業種が 100%電気自動車生産に特化するケース。

（７）シミュレーションの結果

以上２つのケースについてシミュレーションを行った結果を図５－２－４から図５－２－１５に示す。

１）産業産出量

まず産業産出量の変化を図５－２－４と図５－２－５で見てみよう。産出量が多い産業はサービス、商業、自動車、建設の順で、トヨタの関係で豊橋でも自動車関連産業が大きいことがわかる。産出量増加率が大きい産業は非鉄金属(74.1%)、鋁業(10.3%)、建設業(9.4%)、精密機械(7.0%)、一般機械(5.6%)、電力・ガス・熱供給(4.8%)などである。非鉄金属への波及効果はやや過大推計している可能性が高いが、電気自動車で使われる電池には多くの非鉄金属が必要であり、その影響を受けたものと解釈される。この結果は全国の産業連関分析によっても得られており、定性的には誤りのないものと言える。ただし実際には移輸入代替されることが想定され、市内への波及効果はもう少し小さなものとなろう。

鋁業への波及効果は非鉄金属の増加を受けたものである。建設業への波及効果は自動車産業から派生するものではなく、移輸入依存度の高い産業が伸びることにより、市外部門への資本流出が減り、市内投資額への資金が増える。そのことにより市内投資が増加し、それが建設業の拡大へとつながったものである。精密機械、一般機械、電力・ガス・熱供給の増加は電気自動車の部品構成や製造工程の違いから得られたものである。

産出量でマイナスとなるのは自動車産業(-9.3%)自身で、興味深い結果である。これは電気自動車では部品点数が減り、自動車関連産業への波及効果が減少するためである。豊橋市にとっては一時的にはマイナス要因であるが、それを埋め合わせる新たな産業転換が必要であることを示唆している。

２）市内 GDP

市内 GDP は産業生産に伴う粗付加価値を表す。図５－２－６と図５－２－７に示されるように市内 GDP の増減率は総じて産業産出量のそれとほぼ同じである。しかしながら大きく異なっているのは自動車産業の GDP が 4.1%伸びることである。これは電気自動車製造では部品点数が減るのとは逆に、粗付加価値率は高くなるためである。そのため一般均衡効果はガソリン車では自動車関連産業への波及が大きいのに比べ、電気自動車では賃金や企業利潤が増え、それが消費支出を刺激するという異なる波及効果となる。

実際には名目の雇用者所得や営業余剰は増えているものの、資本や労働の雇用増加から資本収益率が上がり、財価格も上昇するため、実質賃金率は減少する結果となった。このため所得効果により家計消費は減少している。なお実質市内 GDP 総額は 0.9%の増加となっている。

3) 労働需要

図 5-2-8 と図 5-2-9 で産業別労働需要の変化を見ると、ほぼ市内 GDP の変化と対応している。すなわち自動車産業において産出量は減少しているものの、労働需要は 4.3%の増加を示している。これは自動車産業における粗付加価値の高まりから生じている。実質市内 GDP の増加率は 0.9%であるのに対し、総労働需要量は 1.6%とより高い増加を示している。これは市内の雇用情勢を見ればプラスとも読み取れるが、余暇需要を減らすことにもなっており、家計効用にはマイナスに働く場合もある。

4) 資本需要

本モデルでは家計による総資本供給量が固定されている。そのため総資本需要量も変化していない。図 5-2-10 と図 5-2-11 で産業別資本需要の変化を見ると、やはり市内 GDP の変化と類似している。ただし総資本供給量が一定であるため、労働需要に比べプラスになる産業では増加率が押さえられ、マイナスになる産業ではよりマイナス幅が大きくなっている。特に自動車産業では労働需要が 4.36%の増加に対し、資本需要は 3.6%の増加であり、やや抑制された結果となった。

5) 財価格

財価格はモデルの導出課程により生産要素価格によって決定される。本モデルでは労働をニューメール財としているため、変化するのは資本収益率である。資本収益率は総資本供給量と総資本需要量が均衡することによって決定されるが、電気自動車を導入した場合には資本需要を高める変化が生じるため、資本収益率は 0.7%高まる結果となった。これを受けて財価格は全ての財で上昇しており、その幅は 0.22%から 0.63%である。図 5-2-12 と図 5-2-13 を見ると、最も高いのは不動産業の 0.63%、最も低いのは建設業の 0.22%である。不動産業では資本雇用比率が最も高く、逆に建設業では粗付加価値の大きな部分が労働分配に回っているためこのような結果となったと解釈される。財価格の上昇は実質家計所得を押し下げるため、厚生損失につながるケースが多くなる。

6) その他の変数

図 5-2-14 と図 5-2-15 でその他の変数の変化を見ておこう。増加率が大きいのは投資総額、純間接税、労働供給量、資本収益率、消費合成財価格などである。投資総額については移輸入依存度の高い産業が伸びることにより、市外部門への資本流出が減り、市内投資額への資金が増えたことによるものである。純間接税は豊橋市の粗付加価値率が高まることによるものである。労働供給量は粗付加価値率上昇に伴う労働需要増加に対応するものである。資本収益率上昇についても粗付加価

値率上昇に伴う資本需要増加に対応するものである。消費合成財価格は資本収益率上昇に伴うものである。

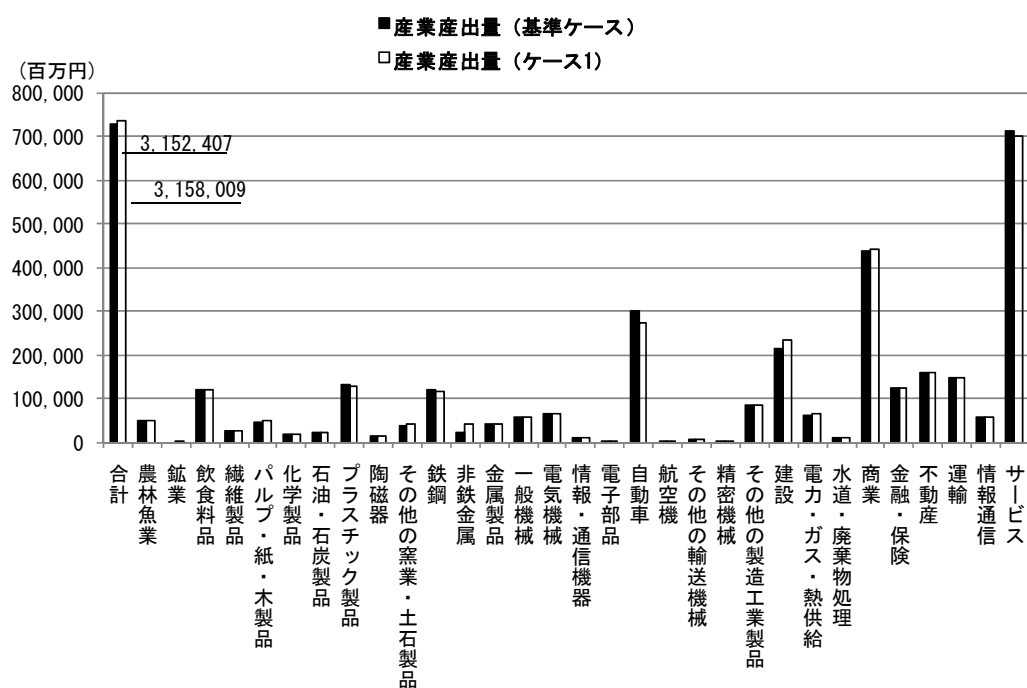


図5-2-4 産業産出量のシミュレーション結果

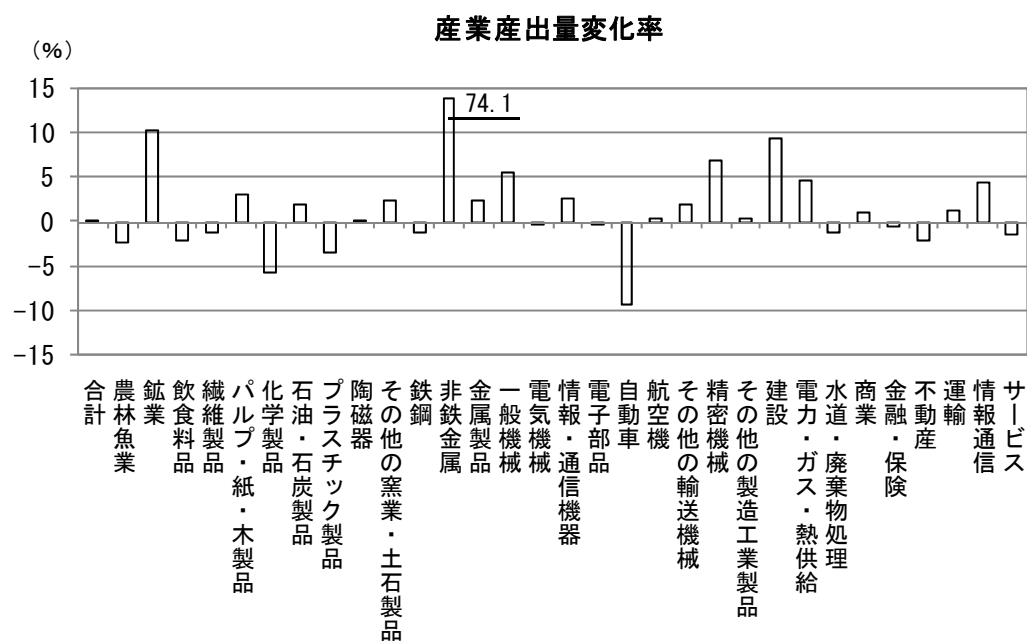


図5-2-5 産業産出量の変化率

逆に減少するものは家計所得や政府歳入である。これらは市外部門への移転所得が増えるため、豊橋市に帰着する所得が減少したためと考えられる。家計部門では名目所得の減少、財価格の上昇を受けて家計消費、余暇需要とも減少し約 508 億円の厚生損失、人口 1 人当りで見ても約 14 万円の厚生損失となった。

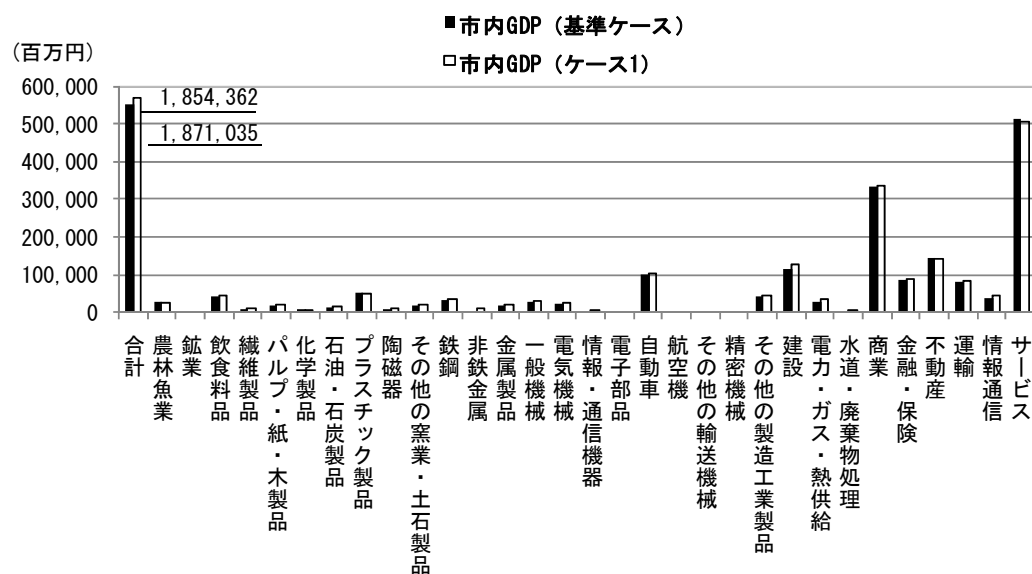


図5-2-6 市内GDPのシミュレーション結果

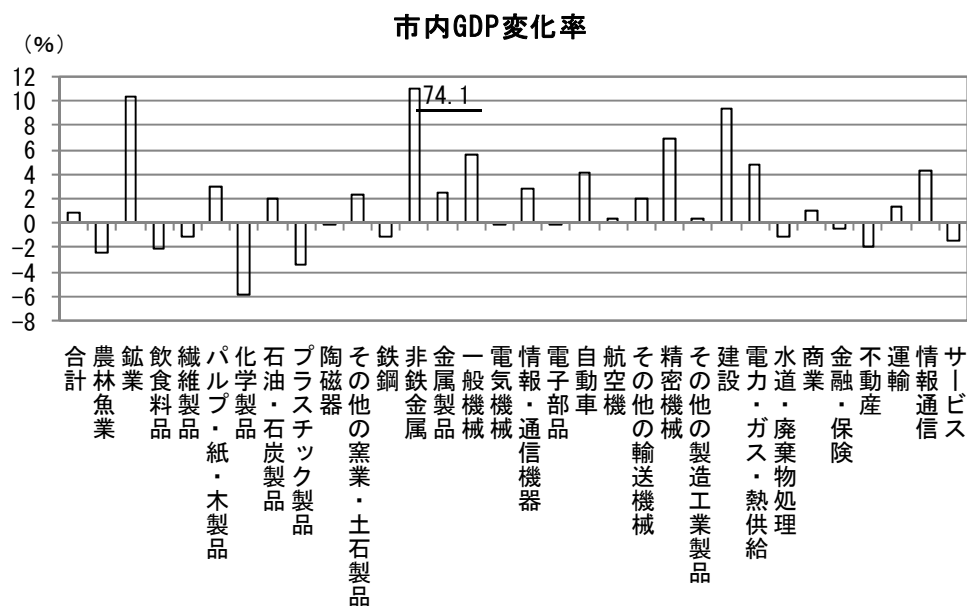


図5-2-7 市内GDPの変化率

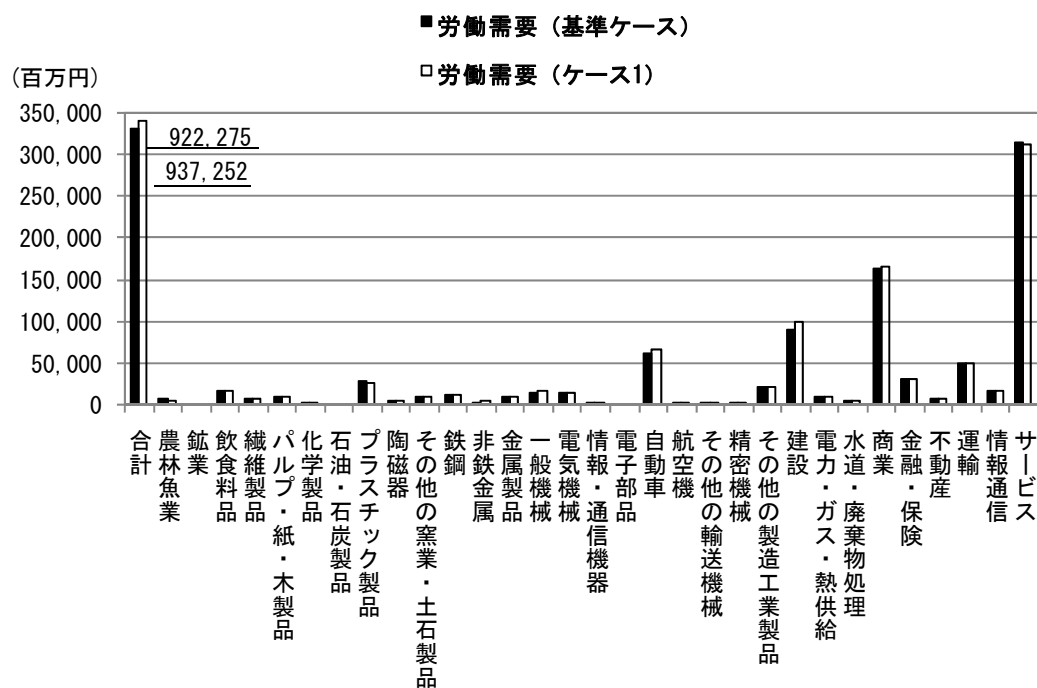


図5-2-8 労働需要のシミュレーション結果

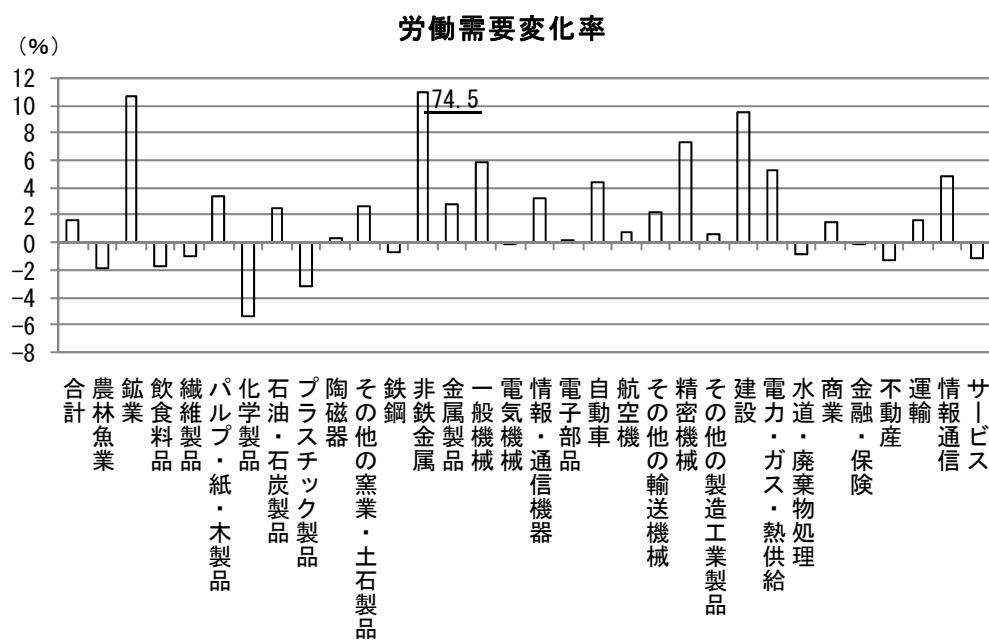


図5-2-9 労働需要の変化率

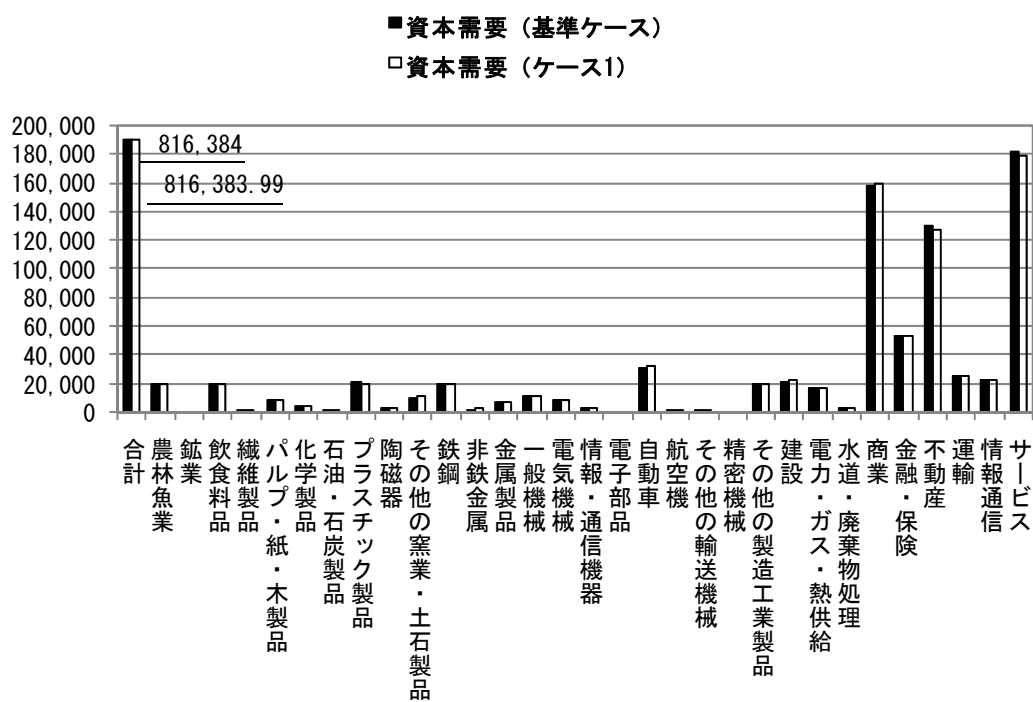


図5-2-10 資本需要のシミュレーション結果

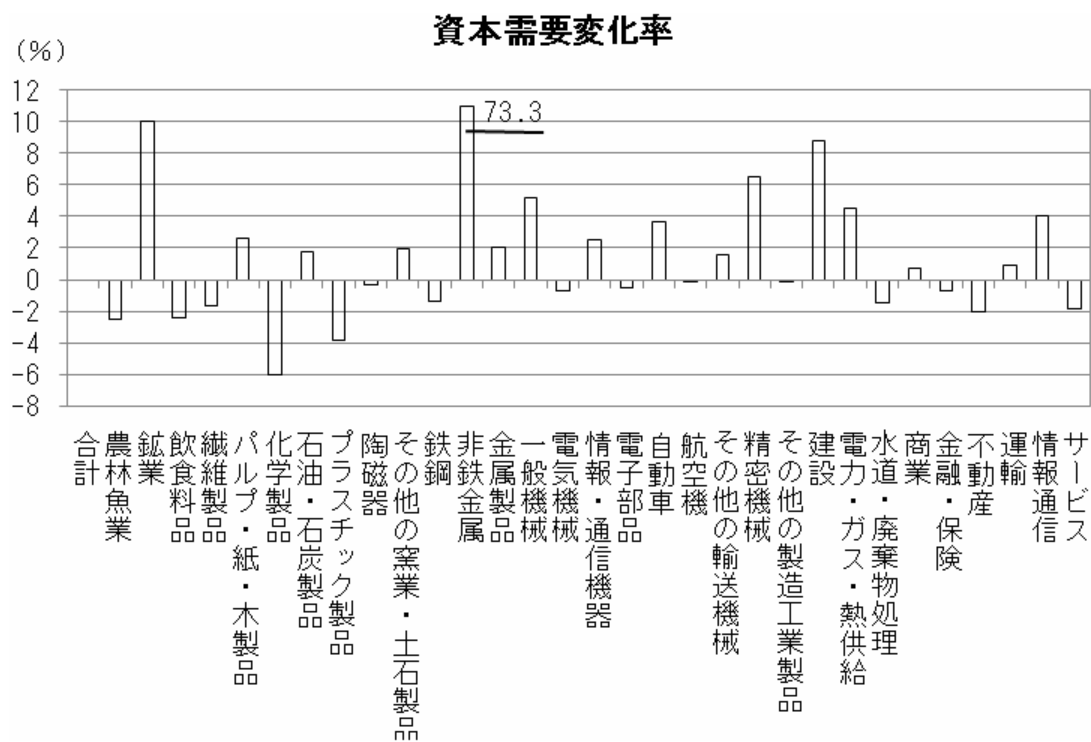


図5-2-11 資本需要の変化率

財価格（ケース1）

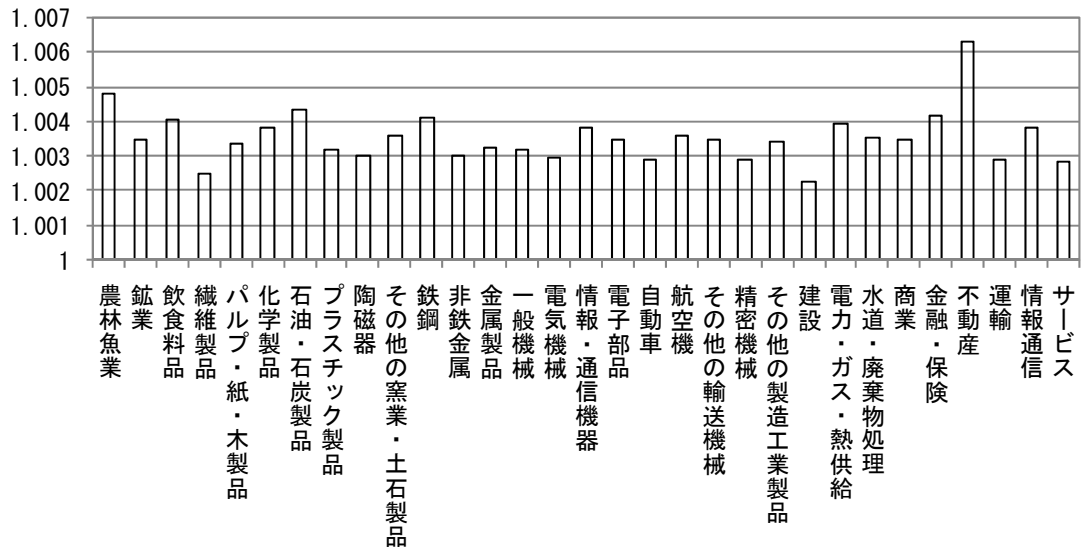


図5-2-12 財価格のシミュレーション結果

財価格変化率

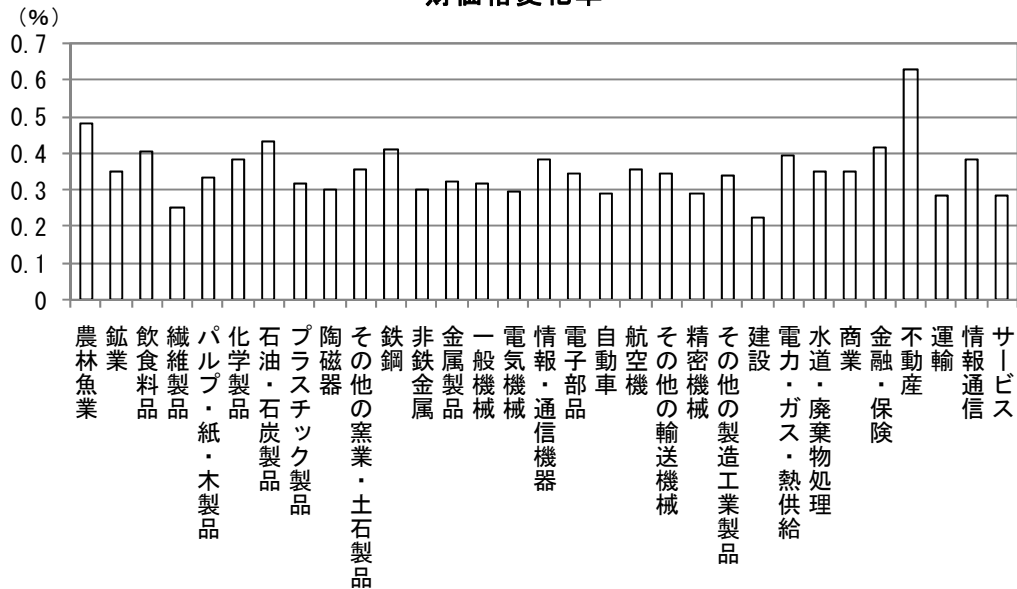


図5-2-13 財価格の変化率

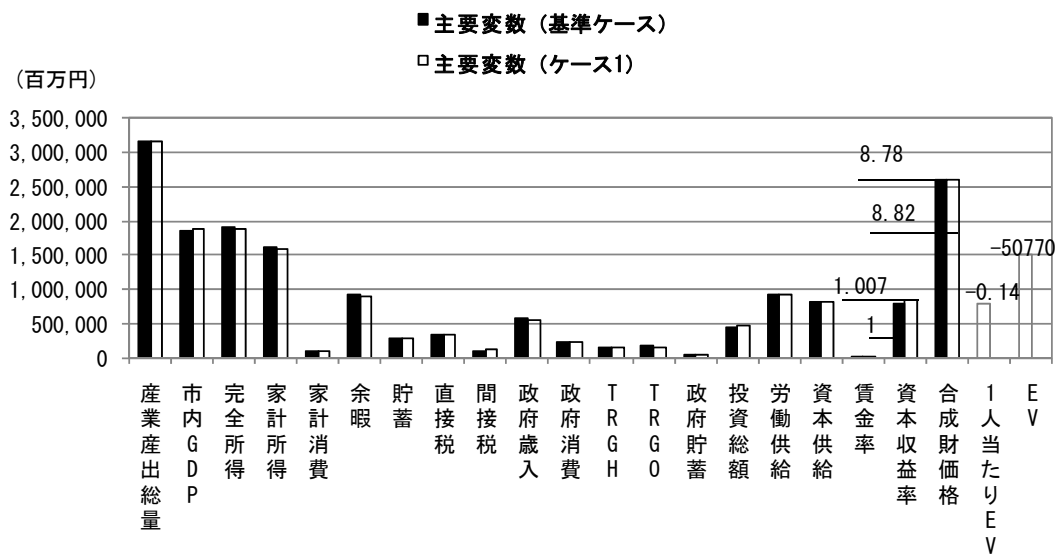


図5-2-14 その他主要変数のシミュレーション結果

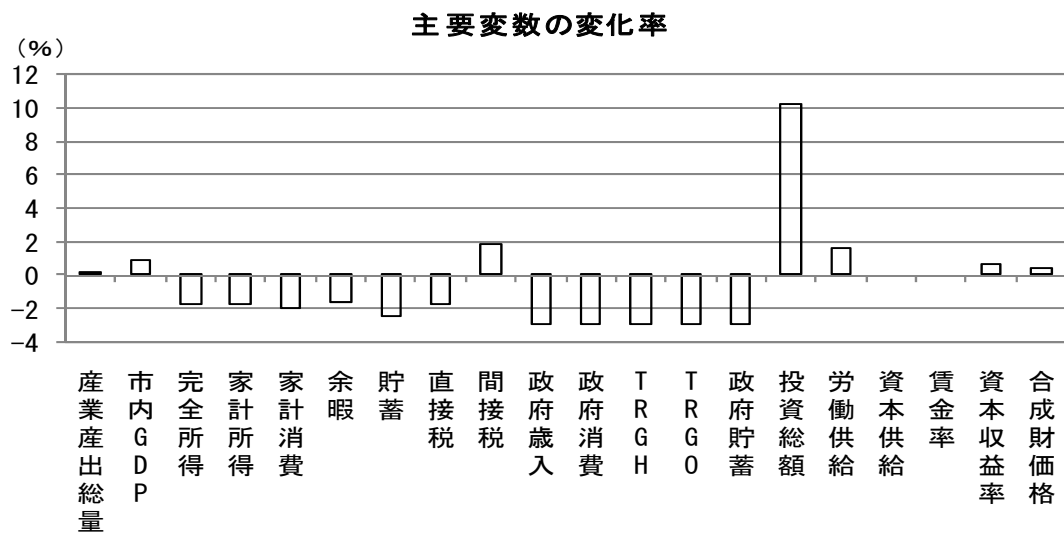


図5-2-15 その他主要変数の変化率

（８）まとめと今後の課題

以上に述べたように豊橋市における電気自動車生産への転換は、市全体の産業生産量を減少させるものの、市内 GDP は増加するという興味深い結果が得られた。また労働需要も増加し、昨今の雇用不足に寄与する結果も得られている。本モデルは一般均衡モデルであるため失業という概念がないため、雇用の増加は賃金所得を増加させる一方、余暇需要を減少させ厚生損失につながる結果となった。豊橋市においては電気自動車生産に向けた新たな産業作り（例えば非鉄金属製品製造業の育成）などにより、電気自動車生産の波及効果を市内にできるだけ取り込むことが必要となろう。

今後の課題としてはデータ推計の精緻化があげられる。応用一般均衡モデルでは産業連関表が最も基礎的なデータとなる。本研究の推計ではシミュレーション結果から見て、やや不整合性も見られるため、より多くの統計データを駆使して産業連関表の精緻化が必要とされる。

また本研究では電気自動車生産に焦点を当てているが、電気自動車が実際に社会に普及した場合に二酸化炭素排出量も大きく減少すると考えられる。この視点からの研究も今後の課題である。

6. ハイブリッド・電気自動車の普及がもたらす経済効果の評価

6-1 はじめに

経済再生政策の一手段として高い環境性能を持った自動車への補助金政策が 2009 年より昨年 2010 年の末まで実施されてきた。補助金対象車種には従来のガソリン自動車も多く含まれているが、補助金政策で主役になったのは、ハイブリッド自動車であった。世界初のハイブリッド自動車であるトヨタ自動車の「プリウス」は、補助金政策をきっかけに我が国の自動車販売で 1 位を獲得した。ハイブリッド自動車は次世代型自動車のひとつであり、その他にも電気自動車やバイオエタノール自動車、水素自動車などがある。次世代型自動車出現の背景には、二酸化炭素削減による地球温暖化防止と省エネ対策がある。次世代型自動車は世界経済同時不況の経済再生政策として利用された一面もあるが、経済再生策終了後は、本来の環境問題対応のために次世代型自動車を普及させる新たな政策が期待されるところである。

次世代型自動車は、自動車産業における初めての本格的な技術革新を意味する。1908 年の「T 型フォード」発売以来、内燃機関を搭載する自動車が主流であり続けてきた。これまでの自動車技術は、内燃機関技術を核としてきた。日系自動車メーカーは、内燃機関技術で世界をリードし、優位性を保ってきた。次世代型自動車の中でも、電気モータのみを動力とする電気自動車・燃料電池自動車が主流になれば、これまでの優位性は完全に失われる。日系自動車メーカーが内燃機関を搭載するハイブリッド自動車に力を入れるのは、従来の優位性を活かすことが出来るからだ。逆に言えば、新しい動力機関を搭載した自動車が主流になれば、世界のプレイヤーにとっては自動車産業の勢力図を塗り替える大きなチャンスが訪れる。新たな有力プレイヤーの潜在的な候補として有名なのは、中国の BYD、米国のベンチャー企業・ステラモーターズ等である。世界の自動車市場は、従来の日米欧の先進国から新興国市場の登場により拡大・多様化しつつある。市場の多様化は、新しい動力機関に関連した市場を誕生させる可能性を意味している。先進国では、従来型自動車のインフラを抱えるため、次世代型自動車の普及は緩やかなものになる。一方、新興国では、電気自動車を中心とした市場がより早く登場する可能性もある。現状では、内燃機関を中心とした市場環境が世界で維持されるとしているが、今後さらなる多様化が進むものと思われる。

一方、国内に目を向ければ、愛知県や静岡県といった自動車産業に強く依存している地域では、次世代型自動車の登場、世界市場の環境の変化に、日々、危機感を持つようになってきている。新技術やエネルギーシフトがもたらす影響は実際に大きいだろう。各地域の特性や状況に合わせた自動車産業振興策の政策立案には、次世代型自動車の経済波及効果の計測が不可欠となる。本稿では、産業連関モデルを用いて、次世代型自動車出現の経済波及効果を推計する。次世代型自動車を想定した投入係数における生産誘発係数の評価に重点を置いて説明する。ハイブリッド自動車や電気自動車の生産拡大が、経済や産業に与える影響を全国レベル及び地域レベルの両面から明らかにする。また、アジア地域を対象とした同様の分析も行う。従来の研究では 2000 年表の全国及び地域間産業連関表を用いて生産誘発係数の推計を行ったが（渋澤・菅原 2010）、新た

な全国及び地域間産業連関表（2005 年表）が公開されたため、データを更新して生産誘発係数の再推計を行う。

先端科学技術がもたらす経済波及効果については、国際科学振興財団(1986)が、産業連関モデルを用いた分析的枠組みを示している。ここでは、産業連関モデルを用いて、日本経済のハイテク化がもたらす国際的波及効果を明らかにしている。三好・谷下(2008)では、自動車企業における技術革新の成果を、いかにして経済厚生水準の向上や交通事故・地球環境問題の解決に結びつけるかを総合的なアプローチで分析している。多地域経済モデルの例としては、溝口・森本・森(2006)が、国際産業連関表に、動学多地域最適化モデルを適用し、自動車産業の成長が国際的な産業構造に及ぼす影響を評価している。

次世代型自動車については、(財)機械振興会経済研究所(2008)は、電気自動車の市場動向と機械関連産業の今後の動向について事例の紹介を中心に整理している。同様に、(財)機械振興会経済研究所(2010)が次世代型自動車による自動車産業の構造変化を前提とした自動車部品メーカーの戦略について調査研究を行っている。

このように自動車産業の成長とその需要に関連した既存研究及び次世代型自動車に関する事例・調査研究は多く見られる。本研究のように、自動車産業の技術革新による生産構造の変化がもたらす効果については、既存文献が少ない。特に次世代型自動車（ハイブリット、電気自動車）の生産構造の変化がもたらす経済波及効果について計測した例はほとんどみられない。

6-2 日本自動車産業の動向

日本の自動車産業の動向を、経済産業省編『産業構造ビジョン 2010～我々はこれから何で稼ぎ、何で雇用するか』から整理する。

(1) 世界自動車市場の概観

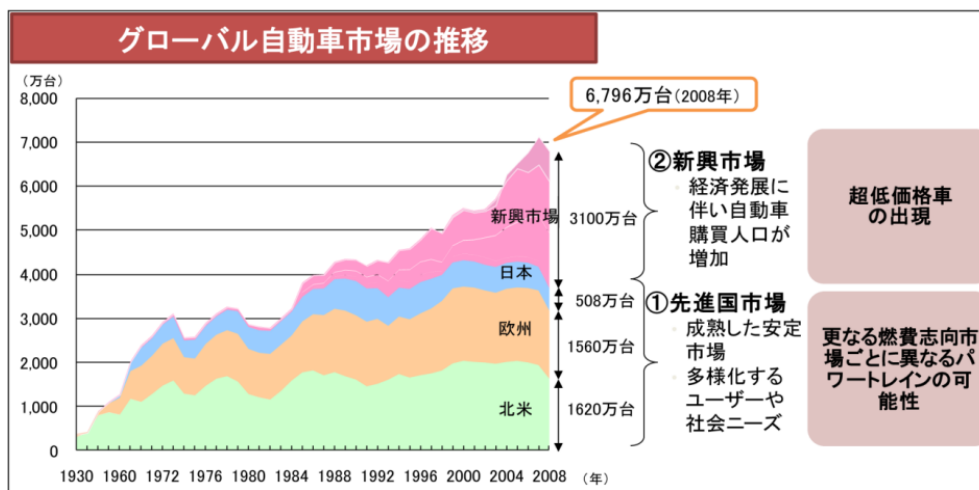
世界自動車市場の概観としては、“市場の拡大・多様化”が進んでいることを指摘している。新興国の経済発展により、新興国市場のシェア（BRICS 中心）は急速に高まっている。2009 年においては、中国市場が米国市場を追い越し、世界最大の自動車市場となった。日本では、環境意識の高い市場に注目が集まっている。各国市場の特性を見ると、次のような市場に分かれてきている（図 6-2-1）。

① 先進国市場

従来型傾向の強い市場

環境意識の強い市場

② 新興国市場（エントリーカー市場）



出所：各種資料より経済産業省作成

図6-2-1 グローバル自動車市場の推移

先進国では各市場の特質（地域特性，エネルギー源のポテンシャルや価格，所得レベル，消費者選好等）に応じて，従来型傾向の強い市場，環境意識の強い市場に分けられ，パワートレインの多様化が進みつつある。

米国では，長距離・大型車への需要が強く，今後も内燃機関自動車中心の従来型市場が続くと予想される。日本や欧州では，環境意識が高く，低燃費の小型車に人気が高まっている。特に欧州では，都市の構造上，近距離移動体として電気自動車にポテンシャルがある。一方，長距離向けにはディーゼル自動車の需要が強い。

BRICS 等の新興国市場では，低価格の自動車の伸びが著しい。低所得者向けに低価格車の需要が拡大する一方，格差の拡大により富裕層向けの高級車需要の拡大も見込まれる。新興メーカーの参入も多く，メーカー間のシェア変動は大きい。

（2）次世代型自動車対策

「次世代自動車戦略研究会」（2010年4月12日とりまとめ）においては，メーカーが燃費改善，次世代型自動車開発等に最大限の努力を行った場合の民間努力ケースにおいて，車種別普及見通し（新車販売台数に占める割合）の検討を行っており，表6-2-1に示すような見通しを行っている。当面の間，内燃機関自動車は国内外市場の高い比率を占め続けると政府では予想している。内燃機関自動車の性能向上を図ることは，引き続き最重要課題であると言える。

次世代型自動車戦略研究会では，次世代型自動車の普及加速のため，政府が目指すべき車種別普及目標（新車販売台数に占める割合）を表6-2-1のように設定している。この目標では，政府による積極的なインセンティブ施策（生産規模拡大のための投資優遇措置，開発・購入補助，優先レーン・駐車場，有料道路での優遇料金，インフラ整備等）を行うことを前提としている。

表 6－2－1 乗用車車種別普及見通しと政府目標

	民間努力ケース		政府目標	
	2020年	2030年	2020年	2030年
乗用車	80%以上	60～70%	50～80%	30～50%
次世代自動車	20%未満	30～40%	20～50%	50～70%
ハイブリット自動車	10～15%	20～30%	20～30%	30～40%
電気自動車 プラグイン・ハイブリット自動車	5～10%	10～20%	15～20%	20～30%
燃料電池自動車	僅か	1%	～1%	～3%
クリーンディーゼル自動車	僅か	～5%	～5%	5～10%

出所：経済産業省作成

（３）従来型自動車対策

政府は、“2020 年度燃費基準”を策定している。この基準は、民間の開発努力を最大限にする観点から、技術的議論に立脚して策定されており、“環境性能に特に優れた従来型車”の普及を目的としている。従来型車・次世代型自動車を併せて、環境性能に優れた自動車（政府では“先進環境対応車”と呼ぶ）を 2020 年において 80%にすることを目標としている。

その他の従来型自動車の対策としては、“経年車（保有者）から環境性能に優れた自動車への買い換えの促進”や、“交通流の円滑化により無駄な燃料消費の削減”，“エコドライブの推進”等が考えられている。

（４）燃料多様化

“燃料多様化”は、広義には、次世代型自動車対策の一つに含まれている要素である。次世代型自動車対策とは別に、“燃料多様化対策”を政府は掲げている。これは、自動車のエネルギー源をガソリン中心から多様化させ、化石燃料の枯渇に備えるものである。具体的な車種としては、バイオ燃料自動車、クリーンディーゼル自動車、燃料電池自動車が含まれる。

6－3 分析対象地域

本研究では、日本全国、日本地域、及びアジアの 3 つの地域レベルを対象として産業連関分析を行う。日本全国レベルでは、日本を 1 つの経済として取り扱う。総務省統計局が作成・公開している全国産業連関表に基づいている。日本地域レベルでは、日本を 9 つに区分した 9 地域経済を分析対象として取り扱う。経済産業省が作成・公開している地域間産業連関表に基づいている。9 地域は、北海道、東北、関東、中部、近畿、中国、四国、九州、及び沖縄である。アジアレベルでは、東アジア、東南アジア、アメリカ合衆国を中心とした 10 ヶ国を対象とする。アジア経済研究所が作成・公開しているアジア国際産業連関表に基づいている。10 ヶ国は、日本、アメリカ合衆国、中国、台湾、韓国、タイ、シンガポール、フィリピン、マレーシア、及びインドネシアである。東アジア、東南アジアにアメリカ合衆国を加えた経済圏である。

6-4 分析手法

(1) 産業連関分析

産業連関分析は、ロシア出身のアメリカの経済学者ワシリー・W.レオンチェフ (Wassily W.Leontief, 1906-1999) によって開発された分析手法であり、産業連関表を用いて分析を行う。産業連関表は、産業間の相互依存関係や、家計消費、行政支出、移輸出入など、経済取引の総体をひとつの表に表したものである。

産業連関表を用いた分析としては、基本取引表から、国や地域の経済の規模や産業構造、産業間の相互依存関係などの全体を把握する構造分析などができる。また、公共投資や地域のイベントといった政策評価やプロジェクトの効果を数量的に試算することができる。

(2) 全国産業連関モデル

日本全国レベルでは、競争移輸入型均衡産出モデルを採用する (Leontief, 1966)。競争移入型均衡産出モデルの式は、

$$X = [I - (I - \bar{M})A]^{-1}[(I - \bar{M})F + E]$$

である。ここで、 X :生産額列ベクトル、 A :投入係数行列、 F :国内最終需要ベクトル、 E :輸出行列ベクトル、 $\bar{M}$:輸入係数行列、及び I :単位行列である。

本稿では、次世代型自動車出現を、乗用車部門における生産構造の変化としてとらえる (国際科学振興財団, (1986))。次世代型自動車の生産技術の変化により乗用車部門の構造が変化する。これを投入係数の変化 $A \rightarrow A_{case}$ として解釈する。国内需要と輸出の変化($\Delta F, \Delta E$)による経済波及効果(ΔX)は次式を用いて求めることができる。

$$\Delta X = [I - (I - \bar{M})A_{case}]^{-1}[(I - \bar{M})\Delta F + \Delta E]$$

(3) 地域間産業連関モデル

日本地域レベル及びアジアレベルでは、チェネリー・モーゼス型モデルを採用する。地域間産業連関モデルには、地域間非競争移入型産業連関表を基にしたアイサード型モデル (Isard, 1951) と競争移入型産業連関表を基にしたチェネリー・モーゼス型モデル (Chenery, 1953, Moses, 1955) がある。本稿では、次世代型自動車出現による自動車産業の技術変化を、投入係数の変化として取り扱う。地域別投入係数の変化がもたらす経済効果を計測できる、チェネリー・モーゼス型のモデルを用いることにする。

チェネリー・モーゼス型の均衡産出モデルの式は、

$$X = [I - TA + \hat{M}^*(T^*A)]^{-1}[TF - \hat{M}(T^*F) + E]$$

である。ここで、 X :生産額列ベクトル、 T :地域間交易係数行列、 A :地域別投入係数の対角ブロック行列、 F :最終需要行列、 E :輸出行列ベクトル、及び $\hat{M}$:輸入係数の対角行列である。*の付いた変数は、自地域内取引を対角ブロック要素とした対角ブロック行列を意味する。輸出については、 $TF - \hat{M}(T^*F)$ の行列に輸出行列ベクトル E を付加することを意味する。

地域間産業連関モデルにおいても、次世代型自動車出現を地域における生産面の構造変化とし

てとらえる。これは、地域別の投入係数の変化として表現されよう。全国モデルの場合と比べて、地域における自動車産業の構造変化の効果を計測することができる。

6-5 産業連関表

(1) 日本全国レベル

2005 年と 2000 年の総務省統計局作成の「全国産業連関表基本表」(2005 年生産者価格表, 行 520×列 407 及び 2000 年生産者価格表, 行 517×列 405) を用いる。分析のため, 前者を 111 部門(2005 年)に統合し, 後者を 108 部門(2000 年)に統合した。この 2 つの産業連関表を, 「自動車産業分析用産業連関表」と呼ぶことにする。

この産業連関表は, 総務省統計局が公開している 108 部門表 (2005 年表, 中分類表, Excel 形式), 104 部門表 (2000 年表, 中分類表, Excel 形式) と基本的に同じ分類である。ただし, 2005 年統合表の一部 (「重電機器」「その他電気機器」) は, 2000 年表の中分類表 (104 部門) と同じように統合にした。

表 6-5-1 分析対象の部門 (日本全国, 2000 年と 2005 年共通)

部門名	業務
乗用車	自動車組立
トラック・バス・その他自動車	同上
二輪自動車	同上
自動車車体	自動車部品
自動車用内燃機関・同部分品	同上
自動車部品	同上
重電機器	HEV・EV用電気モータ(想定)
その他電気機器	HEV・EV用電気二次電池(想定)

本研究は自動車産業を詳細に分析することが目標であり, 一般公開されている中分類表では 3 部門 (「乗用車」「その他自動車」「自動車部品・同付属品」) の自動車産業を, 基本表と同じ 6 部門 (「乗用車」「トラック・バス・その他自動車」「二輪自動車」「自動車車体」「自動車用内燃機関・同部分品」「自動車部品」) に分割している。また, 次世代型自動車向けの部品を製造する産業として, 「重電機器」「その他電気機器」を位置づけている。2005 年表では, この 2 部門の統合構成が一部変わり, 「重電機器」は「産業用電気機器」に変更されている。2000 年表と 2005 年表には若干の部門の相違があるが, 本稿では, 2000 年表における統合方法をベースとして, 自動車産業に関連する部門を表 6-5-1 のように分類している。

(2) 日本地域レベル

日本地域レベルでは, 経済産業省「平成 17 年地域間産業連関表」(2005 年 9 地域 53 部門) と経済産業省「平成 12 年試算地域間産業連関表」(2000 年 9 地域 52 部門) を用いる。分析対象部門を表 6-5-2 に示す。2000 年表では, 「その他自動車」には二輪車・商用車に加え, 自動車

部品産業が統合されていた。2005 年表では、「自動車部品・同付属品」が新たな部門として分けられ、自動車産業と自動車部品産業は完全に分離されている。また、全国表と同様に、「重電機器」「その他電気機器」(2000 年表)の統合は変更され、「産業用電気機器」「その他電気機器」(2005 年表)に変更されている。より正確な分析をするためには、前述した全国表と同様の理由で再統合をする必要がある。しかし、全国基本表のような詳細な情報は公開されていない。

表 6－5－2 分析対象部門表（日本地域）

2005年		2000年	
部門名	業務	部門名	業務
乗用車	自動車組立	乗用車	自動車組立
その他自動車	同上	その他自動車	自動車組立・自動車部品製造
自動車部品・同付属品	自動車部品製造		
産業用電気機器	HEV・EV用モータ(想定)	重電機器	HEV・EV用モータ(想定)
その他電気機器	HEV・EV用二次電池(想定)	その他電気機器	HEV・EV用二次電池(想定)

（3）アジアレベル

アジアレベルでは、独立行政法人日本貿易振興機構アジア研究所作成の「2000 年アジア国際産業連関表」(10 ヶ国 76 部門)を用いる。分析対象部門を表 6－5－3 に示す。全国表、地域表との違いは、(1)四輪車（乗用車・商用車）は「Motor Vehicles」の 1 部門に統合されていること、(2)電池産業に対応する部門を「Lighting fixtures, batteries, wiring and others」としていることである。

表 6－5－3 分析対象部門表（アジア）

部門名	業務
Motor Vehicles	自動車組立・自動車部品製造
Motor Cycles	自動車組立・自動車部品製造
Heavy Electrical Equipment	HEV・EV用モータ(想定)
Lighting fixtures, batteries, wiring and others	HEV・EV用二次電池(想定)

6－6 日本自動車産業の現状

本章では、全国産業連関表を用いて日本自動車産業の現状分析を行う。自動車産業及び自動車関連産業の位置づけを、2000 年と 2005 年の自動車産業分析用産業連関表を用いて明らかにする。ここでは、投入係数、中間需要比率、中間投入比率、影響力係数、及び感応度係数を用いて比較分析を行う。

（1）投入係数

最初に、分析対象部門における 2 時点の「乗用車」の投入係数を比較する（表 6－6－1）。自動車部品産業である「自動車車体」と「自動車部品」で一部変動は見られるものの、全体的には安定している。なお、自動車産業 3 部門（乗用車、トラック・バス・その他の自動車、二輪自

動車）は完成車産業であるため、分析対象部門から乗用車への投入係数は 0 になっている。

表 6－6－1 投入係数比較

	乗用車	
	2000年表	2005年表
乗用車	0	0
トラック・バス・その他の自動車	0	0
二輪自動車	0	0
自動車車体	0.0665366	0.1433235
自動車用内燃機関・同部分品	0.1591836	0.1510571
自動車部品	0.3794292	0.3087504
重電機器	0	0
その他の電気機器	0.0355775	0.031254

（２）中間需要比率・中間投入比率

中間需要比率は、各産業の生産物が原材料などの中間財として需要される割合のことであって、この比率の高い産業は中間財産業に、反対にこの比率の低い産業は最終財産業に分類される。中間投入比率は、各産業部門の投入構成に占める原材料投入の比率を示す指標であって、これが高いことは、付加価値率が低いことを、また反対にこれが低いことは付加価値率が高いことを示す。

産業連関表から各部門の中間投入比率と中間需要比率を計算し、それらの平均値 **RU**、**RZ** を用いて各産業を 4 つに分類する。横軸に中間投入比率をとり、縦軸に中間需要比率をとれば、平均値 **RU** と **RZ** で 4 象限に分割される。通常、第 I 象限は中間財製造業、第 II 象限は中間財基礎産業、第 III 象限は最終財基盤産業、第 IV 産業は最終財製造業として解釈される。

（３）影響力係数・感応度係数

逆行列係数表の列和（列方向の合計）は、第 j 部門に 1 単位の需要があった場合、それが全ての産業に与える総効果を示すことになる。そこで、全産業に及ぼす総効果がどの部門で大きいかを見るために、表の全部門のその平均値からの離れの程度を求めておくとう理解しやすい。この係数は影響力係数と呼ぶ。この係数が 1 より大きい部門は、影響力が平均より大きいことになる。

逆行列の行和（行方向の合計）は、各部門に最終需要が 1 単位ずつあった場合に第 i 部門が影響を受ける単位を表している。この平均値からの離れの程度を感応度係数と呼ぶ。この係数が 1 より大きい部門は、感応度が平均より高いことになる。

影響力係数、感応度係数及びそれらの平均値を用いて全ての産業を 4 つのグループに分類する。通常、第 I 象限は、他産業に与える影響力と他産業から受ける影響（感応度）が共に大きい産業を意味する。部品や原材料といった生産財に関わる産業が中心となる。第 II 象限は、他産業に与える影響力は小さく、他産業から受ける影響は大きい産業を意味する。電力・運輸といったインフラ産業が中心となる。第 III 象限は、他産業に与える影響力と他産業から受ける影響が共に小さい産業を意味する。第 IV 象限は、他産業に与える影響力は大きく、他産業から受ける影響は小さ

い産業を意味する。乗用車，一般産業機械といった消費財（完成品）に関わる産業が中心となる。

（４）中間需要比率と中間投入比率による分析

自動車産業分析用産業連関表（2000 年表・2005 年表）から，中間需要比率・中間投入比率を求め，プロットすると図 6－6－1 のようになる(2005 年のみ)。また，表 6－6－2 に分析対象部門の中間需要比率と中間投入比率を示す。

（a）自動車組立産業（乗用車，トラック・バス・その他自動車，二輪自動車）

2000 年，2005 年共に，この 3 部門は第Ⅳ象限の最終財製造産業に分類された。完成車は，原材料（部品等）が多く投入され，最終消費としてそのまま消費されるという，業務の性質通りの結果となっている。「乗用車」及び「二輪車」は中間需要比率がゼロとなっていることも 2 時点間で変化はない。一方，「トラック・バス・その他自動車」は，中間需要比率が非常に小さい値である。

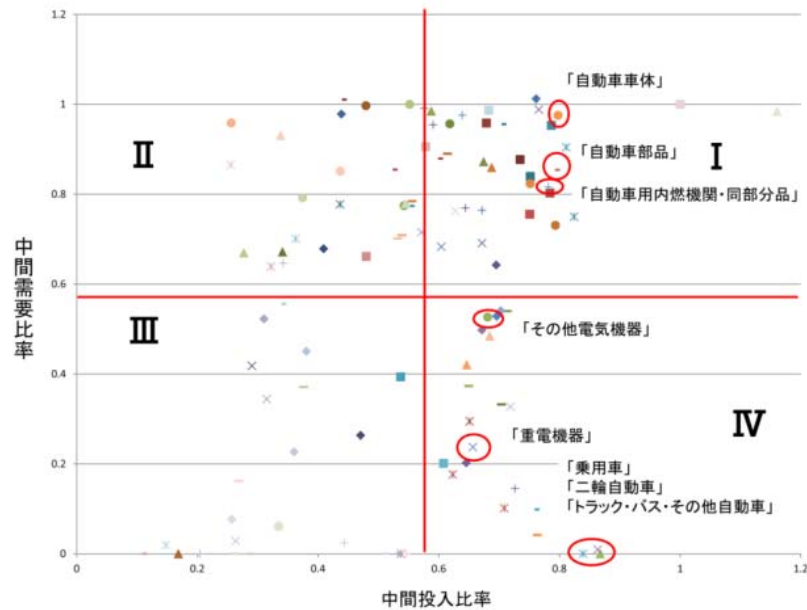
（b）自動車部品産業（自動車車体，自動車用内燃機関・同部分品，自動車部品）

この 3 部門は，いずれも第Ⅰ象限の中間財製造産業に分類された。原材料が多く投入され，製品が完成車部門へ投入されるという，業務の性質通りの結果となった。自動車車体は，中間需要比率が 2000 年と比べて 2005 年は大きく上昇している。

（c）電気自動車関連産業(重電機器，その他電気機器)

2005 年表では，第Ⅳ象限の最終財製造産業に分類された。一方，2000 年表では，「重電機器」は第Ⅳ象限の最終財製造産業に，「その他電気機器」は第Ⅰ象限の中間財製造産業に分類された。「その他電気機器」は，最終財産業に移行している。

これらは，「HEV・EV 用モータ」「二次電池（ニッケル水素電池・リチウムイオン電池）」のような HEV・EV 向け部品を供給するとされる産業であり，将来的には中間財産業としての特性が強まっていくと考えられる。



- ◆ 耕種農業
- × 漁業
- 原油・天然ガス
- × たばこ
- 家具・装備品
- ▲ 化学肥料
- + 合成樹脂
- 石油製品
- なめし革・毛皮・同革製品
- ◆ その他の窯業・土石製品
- × その他の鉄鋼製品
- その他の金属製品
- × 事務用・サービス用機器
- 電子応用装置・電気計測器
- ▲ その他の電気機器
- + 自動車車体
- その他の輸送機械・同修理
- 建築
- ◆ 電力
- × 商業
- 住宅賃貸料 (帰属家賃)
- × 水運
- 運輸付帯サービス
- ▲ 社会教育・その他の教育
- + 介護
- 自動車・機械修理
- 旅館・その他の宿泊所
- 畜産
- 金属鉱物
- ◆ 食料品
- × 繊維工業品
- パルプ・紙・木製品
- × 無機化学基礎製品
- 化学繊維
- ▲ 石炭製品
- + ガラス・ガラス製品
- 鉄鉄・粗鋼
- 非鉄金属製錬・精製
- ◆ 一般産業用機械
- × 民生用電子・電気機器
- 半導体素子・集積回路
- × 乗用車
- 自動車用内燃機関・同部分品
- ▲ 精密機械
- + 建設補修
- ガス・熱供給
- 金融・保険
- ◆ 鉄道輸送
- × 航空輸送
- 通信
- × 研究
- その他の公共サービス
- ▲ その他の対事業所サービス
- + その他の対個人サービス
- ▲ 農業サービス
- + 非金属鉱物
- 飲料
- 衣類・その他繊維製品
- ◆ 紙加工品
- × 有機化学基礎製品
- 医薬品
- × プラスチック製品
- セメント・セメント製品
- ▲ 鋼材
- + 非鉄金属加工品
- 特殊産業用機械
- 電子計算機・同付属装置
- ◆ 電子部品
- × トラック・バス・その他の自動車
- 自動車部品
- × その他の製造工業製品
- 公共事業
- ▲ 水道
- + 不動産仲介及び賃貸
- 道路輸送
- 貨物運送取扱
- ◆ 放送
- × 医療・保険
- 広告・調査・情報サービス
- × 娯楽サービス
- 事務用品
- × 林業
- 石炭
- ▲ 飼料・有機質肥料 (除別掲)
- + 製材・木製品
- その他の製造工業品
- 有機化学製品
- ◆ 化学最終製品 (除医薬品)
- × ゴム製品
- 陶磁器
- × 鋳造品
- 建設・建築用金属製品
- ▲ その他の一般機器
- + 通信機械
- 重電機器
- 二輪自動車
- ◆ 船舶・同修理
- × 再生資源回収・加工処理
- その他の土木建設
- × 廃棄物処理
- 住宅賃貸料
- ▲ 自家輸送
- + 倉庫
- 公務
- 社会保障
- ◆ 物品賃貸サービス
- × 飲食店
- 分類不明

2005 年

図 6-6-1 中間需要比率と中間投入比率による分類

表 6-6-2 分析対象部門の中間投入比率・中間需要比率

部門名	2005 年表		2000 年表	
	中間投入比率	中間需要比率	中間投入比率	中間需要比率
乗用車	0.86761	0.000	0.84952	0.000
トラック・バス・その他の自動車	0.86352	0.00944	0.85581	0.01380
二輪自動車	0.83936	0.000	0.84123	0.000
自動車車体	0.79766	0.97565	0.72460	0.65154
自動車用内燃機関・同部分品	0.78167	0.81647	0.72472	1.00077
自動車部品	0.79358	0.85399	0.73610	0.99924
重電機器	0.65673	0.23753	0.61715	0.32550
その他の電気機器	0.68104	0.52665	0.63938	0.84373

（５）影響力係数と感応度係数による分析

逆行列係数表の列和は、第*i*部門に 1 単位の需要があった場合、それが全ての産業に与える総効果を示す。この係数は影響力係数と呼ぶ。逆行列の行和は、各部門に最終需要が 1 単位ずつあった場合に第*i*部門が影響を受ける単位を示す。この平均値からの離れの程度を感応度係数と呼ぶ。この係数が 1 より大きい部門は、感応度が平均より高いことになる。表 6－6－3 に分析対象部門の影響力係数・感応度係数を示す(2005 年のみ)。

（a）自動車組立産業（乗用車，トラック・バス・その他自動車，二輪自動車）

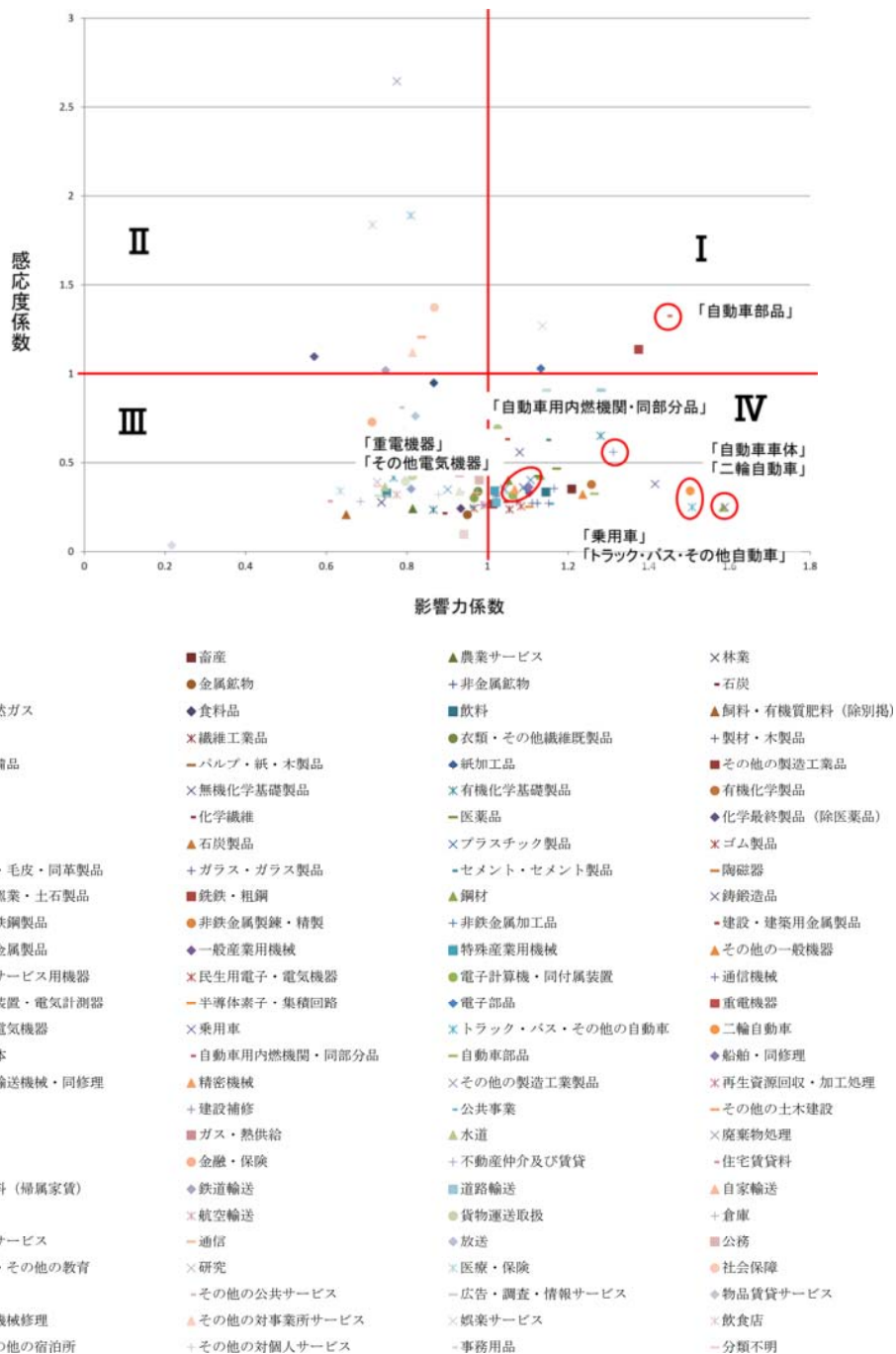
「他産業に与える影響力は大きいが他産業から受ける影響は小さい産業である」第Ⅳ象限に、2000 年表と同様に分類された。2005 年表は、3 部門とも影響力係数が増加し、1.5 を上回った。一方、感応度係数は、2000 年表から大きく変化していない。以上からさらに基幹産業としての自動車産業の特徴が顕著になった。

（b）自動車部品産業（自動車車体，自動車用内燃機関・同部分品，自動車部品）

「自動車車体」及び「自動車用内燃機関・同部分品」は第Ⅳ象限に、「自動車部品」は他産業に与える影響、他産業から受ける影響が共に大きい産業に、2000 年表と同様に分類された。2005 年表は、影響力係数、感応度係数が 3 部門とも上昇した。影響力係数・感応度係数の結果だけで判断することはできないものの、取引の多くを占める自動車組立産業の影響力が増加したため、同様に自動車部品産業の影響力も向上したものと推測される。

（c）電気自動車関連産業(重電機器，その他電気機器)

これらの部門は、第Ⅳ象限に 2000 年表と同様に分類された。自動車産業関連部門 6 部門と比べると影響力係数が小さい部門となっている。



6-7 スカイライン分析

スカイライン分析は、産業部門ごとの自給率や輸出入率をビジュアルに分析するための指標である。最終需要 F を国内最終需要(F_d)、輸出(F_e)、及び輸入(F_m)に分ける。

$$X = (I - A)^{-1}F = (I - A)^{-1}(F_d + F_e - F_m)$$

次の3種類の生産額を計算する。

$$X_d = (I - A)^{-1}F_d, \quad X_e = (I - A)^{-1}F_e, \quad X_m = (I - A)^{-1}F_m$$

自給率(s)、輸出率(e)、及び輸入率(m)は次のように定義される。

$$s = \frac{X}{X_d}, \quad e = \frac{X_e}{X_d}, \quad m = \frac{X_m}{X_d}$$

これを部門別に並べてグラフ化したものをスカイライン分析といい、各部門の自給率などを一目で見る事が出来る。「自動車分析用産業連関表」(111部門、2005年)を基に自給率%、輸出率%、輸入率%を求め、面グラフにまとめたものを示す。

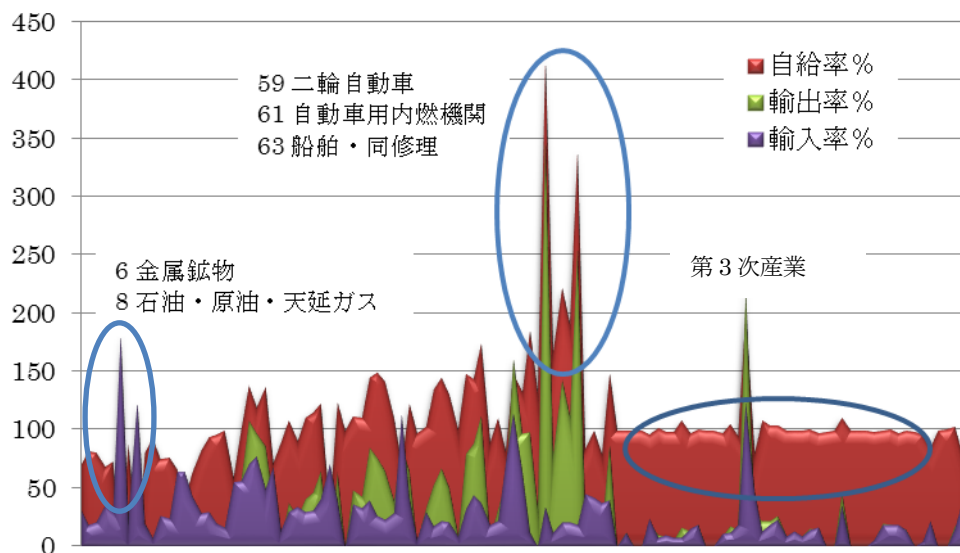


図6-7-1 スカイライン分析

図6-7-1から日本の産業の特徴をみることが出来る。ここでは、分析対象部門に限らずに特徴のある部門について述べる。第一は「金属鉱物」「石油・原油・天然ガス」である。輸入率がそれぞれ、183.2%、124.8%となっている。また、「金属鉱物」に関しては輸出率も高い比率(84.5%)となっている。原材料を加工し、海外に輸出するという我が国の産業構造の特徴を明確に表している。

次に、「二輪自動車」「自動車用内燃機関」「船舶・同修理」である。これらは主に、自給率及び輸出率が特に高い産業である。特に「二輪自動車」は、自給率(423.3%)、輸出率(357.8%)となっている。その他にも、第3次産業は、自給率が軒並み100%となっていることは特徴であると言える。

6－8 日本全国の経済波及効果分析

日本全国レベルにおける次世代型自動車の経済波及効果の推計を行う。日本全国レベルでは、「自動車分析用産業連関表」（111 部門，2005 年）を用いる。

（１）シミュレーション

乗用車の需要（家計消費，輸出等）が 1 兆円増加（1 単位）し，新たに乗用車生産を行う場合の経済波及効果を示す。

（a）シナリオ設定

想定ケースは，乗用車の新規需要が「全てガソリン乗用車（Base）である場合」，「全てハイブリッド乗用車（HEV）である場合」，「全て電気自動車（EV）である場合」の 3 つである（表 6－8－1）。

Base ケースについては，産業連関表から導出された産業構造を表す投入係数 A_{Base} をそのまま用いた。HEV 及び EV ケースについては，先の投入係数を基本に，（財）日本エネルギー経済研究所発行の文献，及び従来研究の情報を用いて，乗用車産業の投入係数を一部変更して各ケースの投入係数 A_{HEV} ， A_{EV} を特定化した。これらのケースでは，HEV・EV 用電気モータを製造するとされる「重電機器」と HEV・EV 用二次電池を製造するとされる「その他電気機器」の 2 部門の投入規模が拡大すると設定した。逆に「乗用車」部門における投入規模が縮小すると設定したのは従来から自動車部品を製造してきた「自動車車体」「自動車用内燃機関・同部分品」「自動車部品」の 3 部門である。

表 6－8－1 想定ケース（日本全国）

ケース名	内容	投入係数
Base	ガソリン車のみ生産	A_{base}
HEV	ハイブリッド自動車のみ生産	A_{HEV}
EV	電気自動車のみ生産	A_{EV}

（b）投入係数の設定方法

全国レベルの分析では，（財）日本エネルギー経済研究所発行の文献，及び従来研究の情報に基づき投入係数を設定した。ここでは，2005 年表における投入係数決定の過程を具体的に示す。投入係数の設定の際，考慮したのは以下の 2 点である。

a) 日本エネルギー研究所の文献及び従来研究の投入係数に基づく設定

b) 2000 年の経済波及効果の結果に基づく設定

b)では，2000 年と 2005 年の経済波及効果に大きなずれが生じないように調整が行われる。このような視点から，HEV ケースを想定した経済波及効果の試算を行った。試算に用いたケースは，以下の 3 つである（表 6－8－2）。

表 6－8－2 想定ケース（試算）

ケース名	内容	投入係数
Base	ガソリン車のみ生産	A_{base}
HEV1	ハイブリッド自動車のみ生産 ^{*1}	A_{HEV1}
HEV2	ハイブリッド自動車のみ生産 ^{*2}	A_{HEV2}

*1 投入係数設定は日本エネルギー研究所の文献及び従来研究に基づく。

*2 投入係数設定は日本エネルギー研究所の文献及び従来研究の投入係数に基づく。

表 6－8－3 に、変更した「乗用車」部門の投入係数の概要について示す。HEV1 と HEV2 は共に、「乗用車」部門の自動車部品産業（機械系技術中心）からの投入が相対的に減少し、電気産業（電気系技術中心）からの投入が相対的に増加することを想定している。“相対的な増減”としているのは、ハイブリッド自動車は、2つの動力システムを搭載し、従来技術も従来型自動車に引き続き搭載しているからである。また、部品点数も増加すると想定される。

表 6－8－3 試算用の HEV 投入係数

HEV1

部門番号	部門名	変更前	変更後	増減
60	自動車車体	0.14332	0.05	(↓)
61	自動車用内燃機関・同部分品	0.15106	0.15	(↓)
62	自動車部品	0.30875	0.3	(↓)
49	重電機器	0	0.04	(↑)
51	その他電気機器	0.03558	0.15	(↑)

HEV2

部門番号	部門名	変更前	変更後	増減
60	自動車車体	0.14332	0.1	(↓)
61	自動車用内燃機関・同部分品	0.15106	0.15	(↓)
62	自動車部品	0.30875	0.3	(↓)
49	重電機器	0	0.04	(↑)
51	その他電気機器	0.03558	0.1	(↑)

表 6－8－4 に、経済波及効果の試算結果を示す。各ケースとも自動車の新規需要が 1 兆円生じた場合を想定している。少数点第 3 位以下は四捨五入している。

表 6－8－4 経済波及効果

	経済波及効果	Base比
Base	2.756兆円	100%
従来研究(投入係数)	2.753兆円	99.88%
従来研究(波及効果)	2.799兆円	101.55%

Base と比べ、HEV1 はわずかに経済波及効果が減少するという結果となった。前述したように、2005 年表は、自動車部品産業内の乗用車への投入構造が変化している。このことから経済波及効果が減少する傾向になったと推測される。部品点数が増加し、より幅広い産業に効果が波及するという想定に適さないことから、2000 年の経済波及効果を考慮した HEV2 の考え方を採用する。このような感度分析を行い、2005 年の自動車産業の投入係数の特定化を行った。

(2) マクロの経済波及効果

想定ケースに基づき、1 兆円の新規需要に対する経済波及効果の測定及び分析を行う。1 兆円の乗用車の新規需要に対して、Base ケースでは 2.756 兆円、HEV ケースでは 2.799 兆円、EV

ケースでは2.633兆円の経済波及効果が全国内産業にもたらされるという結果になった（表6－8－5）。1単位の需要増加に対して約2.6～2.8の範囲で効果が出ている。ハイブリッド車では、中間需要の割合が大きくなるため、より裾野が広い産業に効果が広がる。電気自動車では、機械産業からの中間投入が減るので効果が小さくなる。

表6－8－5 各ケースの経済波及効果（日本全国）

ケース	経済波及効果	ガソリン自動車比
ガソリン自動車(Base)	2.756兆円	100%
ハイブリッド自動車(HEV)	2.799兆円	101.55%
電気自動車(EV)	2.633兆円	95.55%

（3）各産業の経済波及効果

各ケースにおける産業部門別の経済波及効果を示す。各産業部門の経済波及効果額を降順に並べると、新規の乗用車需要の発生によってどのような産業がより大きな経済波及効果をもつのかを分析することができる。Base ケースの産業別効果を、表6－8－6に示す。Base ケースでは、自動車部品関連3部門を始め、研究、商業といった産業が上位を占めている。また、「その他電気機器」は9位に入っており、「重電機器」は76位となっている。

表6－8－6 産業別効果（Base ケース）

順位	Base	単位(100万円)	順位	Base	単位(100万円)	順位	Base	単位(100万円)	順位	Base	単位(100万円)
1	乗用車	847998.286	29	造船	11470.200	57	車路用品	2358.885	85	産産	186.728
2	自動車部品	847493.256	30	情報サービス	11281.055	58	その他の製造工業製品	2193.818	86	洗濯・理容・美容・浴場業	186.368
3	自動車用内装機関・同部分品	192838.636	31	映像・文字情報制作	11145.645	59	インターネット附属サービス	1870.513	87	化学肥料	169.728
4	自動車車体	130067.363	32	不動産仲介及び賃貸	10338.555	60	廃棄物処理	1841.721	88	石炭・原油・天然ガス	164.325
5	商業	113136.819	33	非鉄金属製錬・精製	10271.741	61	家具・装備品	1826.559	89	民生用電気機器	149.625
6	研究	73678.244	34	印刷・製版・製本	10073.941	62	その他の公共サービス	1759.246	90	なめし革・毛皮・同製品	108.227
7	鋼材	66623.948	35	自家輸送	9693.017	63	公務	1682.158	91	金属鉱物	88.557
8	プラスチック製品	63441.358	36	その他の鉄鋼製品	9483.585	64	航空輸送	1317.710	92	医薬品	84.522
9	その他の電気機器	50204.322	37	建設補修	9137.100	65	貨物利用運送	1224.617	93	船舶・同修理	81.264
10	その他の対策業務サービス	44515.573	38	その他の一般機械器具及び部品	8581.331	66	製材・木製品	1195.024	94	産業サービス	71.670
11	金融・保険	40808.028	39	石油化学基礎製品	6798.738	67	特殊産業機械	1106.110	95	電子応用装置・電気計測器	56.018
12	鉄鉄・組鋼	38191.205	40	パルプ・紙・板紙・加工紙	6297.681	68	建設・建築用金属製品	957.173	96	飲料	30.613
13	電力	30002.834	41	放送	6279.740	69	非金属鉱物	931.169	97	漁業	27.701
14	道路輸送(除自家輸送)	28415.503	42	運輸付帯サービス	6046.855	70	耕種農業	925.790	98	電子計算機・同付属装置	17.200
15	非鉄金属加工製品	28306.631	43	分類不明	6015.171	71	教育	888.651	99	医療・保健	13.832
16	広告	24195.670	44	農産業機械	5763.663	72	衣服・その他の繊維既製品	823.158	100	トラック・バス・その他の自動車	1.404
17	物品賃貸サービス	22000.868	45	その他の窯業・土石製品	4572.331	73	精密機械	777.678	101	たばこ	0.217
18	自動車・機械修理	20708.071	46	水運	4521.369	74	事務用・サービス用機器	771.470	102	二輪自動車	0.000
19	ゴム製品	20475.743	47	無機化学工業製品	4271.053	75	その他の対個人サービス	744.606	103	建築	0.000
20	鉄鋼造品	18156.780	48	機械工業製品	4212.111	76	重電機器	712.985	104	公共事業	0.000
21	その他の金属製品	16816.725	49	ガス・熱供給	4101.619	77	娯楽サービス	711.785	105	その他の土木建設	0.000
22	化学最終製品(除医薬品)	15893.609	50	半導体素子・集積回路	3721.953	78	化学繊維	545.376	106	住宅資資料	0.000
23	石油製品	15558.341	51	水道	3665.846	79	陶磁器	457.703	107	住宅資資料(掃屋資資)	0.000
24	遠隔機械・同関連機器	14640.340	52	紙加工品	3635.716	80	その他の輸送機械・同修理	399.365	108	社会保険	0.000
25	ガラス・ガラス製品	14242.881	53	食産	3605.577	81	セメント・セメント製品	352.531	109	介護	0.000
26	その他の電子部品	12000.738	54	鉄道輸送	3475.706	82	食料品	256.453	110	飲食店	0.000
27	合成樹脂	11901.675	55	石炭製品	3323.562	83	肥料・有機質肥料(除別掲)	227.941	111	宿泊業	0.000
28	有機化学工業製品(除石油化学基礎製品)	11498.873	56	再生資源回収・加工処理	2795.046	84	林業	201.347			

(Base)

HEV・EV 専用部品関連2部門は、HEV ケースでは「その他電気機器」が5位、「重電機器」が15位となっている（表は省略）。EV ケースでは「その他電気機器」が3位、「重電機器」が7位となっている（表は省略）。これらのHEV・EV 専用部品関連2部門は、自動車製造によって大きな経済波及効果が生じる産業に変化すると考えられる。また、以上の5部門は、投入係数を調整した部門であり、予想通りの結果といえる。

続いて、各産業別にHEVとBaseの生産誘発係数の差、EVとBaseの生産誘発係数の差をそれぞれ算出し、降順に並べたものを表6－8－7（HEV・Base ケース、EV・Base ケース）を示

す。次世代型自動車の登場によって、各産業にどのようなインパクトが生じるのかを理解することができる。HEV-Base ケースでは、「研究」は3位、「非鉄金属加工製品」は4位、「プラスチック製品」が5位、「非鉄金属製錬・精製」が6位となっている。EV-Base ケースでは、先の4部門のうち3部門が引き続き上位（「プラスチック製品」(3位)、「研究」(5位)、「非鉄金属製錬・精製」(7位)）となっている。「その他電子部品」(4位)、「物品賃貸サービス」(6位)、「情報サービス」(8位)であり、電子部品、サービス産業への波及に繋がっていることが分かる。

表6－8－7 産業別効果（HEV-Base ケース，EV-Base ケース）

順位	HEV-Base	単位(100万円)	順位	HEV-Base	単位(100万円)	順位	EV-Base	単位(100万円)	順位	EV-Base	単位(100万円)
1	その他の電気機器	59741.96606	57	特殊産業機械	43.41159466	1	その他の電気機器	96397.34857	57	その他の土木建設	0
2	電機機器	22432.96736	58	事務用・サービス用機器	35.34633503	2	電機機器	65234.21515	58	住宅資材	0
3	研究	5061.847112	59	医薬サービス	25.14809415	3	プラスチック製品	2472.836047	59	住宅資材(帰属家賃)	0
4	非鉄金属加工製品	3506.857448	60	精密機械	21.15639347	4	その他の電子部品	2200.737288	60	社会保険	0
5	プラスチック製品	3090.578763	61	セメント・セメント製品	20.9802013	5	研究	1313.379488	61	介護	0
6	非鉄金属製錬・精製	2194.793079	62	その他の輸送機械・同修理	20.46366879	6	物品賃貸サービス	1158.624616	62	飲食店	0
7	商業	1815.920682	63	化学繊維	15.44187858	7	非鉄金属製錬・精製	1066.796296	63	宿泊業	0
8	その他の対事業所サービス	1734.488811	64	化学肥料	14.24539091	8	情報サービス	1061.327984	64	医療・保健	-0.317249012
9	金融・保険	1597.316376	65	飼料・有機質肥料(除別掲)	13.58117697	9	半導体素子・集積回路	1056.468126	65	医薬品	-0.323466526
10	物品賃貸サービス	1593.27007	66	鉄業	13.40734951	10	ハルフ・紙・板紙・加工紙	960.6702824	66	電子計算機・同付属装置	-0.396719473
11	その他の電子部品	1567.161685	67	貨物利用運送	11.98020205	11	ガラス・ガラス製品	817.208822	67	その他の輸送機械・同修理	-0.548934699
12	その他の金属製品	1507.789342	68	畜産	10.7263196	12	その他の金属製品	709.1408105	68	飲料	-0.894563497
13	情報サービス	1162.169501	69	通信機械・同関連機器	8.54991927	13	合成樹脂	580.6923665	69	なめし革・毛皮・同製品	-1.07811871
14	電力	834.4303831	70	食料品	7.810070917	14	無機化学工業製品	463.3709185	70	通信機械・同関連機器	-2.765180854
15	自動車・機械修理	757.4397988	71	金属鉱物	7.463721932	15	運輸付帯サービス	348.3437222	71	民生用電気機器	-3.110519189
16	ハルフ・紙・板紙・加工紙	751.2592406	72	民生用電気機器	5.662727993	16	紙加工品	280.9630944	72	船舶・同修理	-4.268977558
17	広告	664.2870809	73	繊維業	3.536616393	17	その他の窯業・土石製品	232.7850701	73	その他の製造工業製品	-4.689434754
18	合成樹脂	635.2652611	74	医薬品	2.743926916	18	電子応用装置・電気計測器	208.9917759	74	農業サービス	-6.643557725
19	通信	589.1465464	75	石炭・原油・天然ガス	2.400528622	19	陶磁器	189.6178182	75	事務用・サービス用機器	-7.439913314
20	不動産仲介及び賃貸	573.8365921	76	なめし革・毛皮・同製品	1.785656172	20	石油化学基礎製品	162.3746288	76	娯楽サービス	-8.470360173
21	ガラス・ガラス製品	544.8607853	77	飲料	1.263623162	21	建設修繕	150.368489	77	特殊産業機械	-9.946367257
22	建設修繕	536.6221668	78	漁業	1.053245802	22	一般産業機械	136.0489803	78	石炭・原油・天然ガス	-10.8317138
23	映像・文字情報制作	525.674942	79	農業サービス	0.775064907	23	衣服・その他の繊維既製品	103.601045	79	インターネット附随サービス	-15.84888461
24	半導体素子・集積回路	510.284907	80	電子計算機・同付属装置	0.623205797	24	無機化学工業製品(除石油化学基礎製品)	98.97712891	80	その他の公共サービス	-16.46915547
25	印刷・製版・製本	475.877554	81	医療・保健	0.547885384	25	繊維工業製品	71.40465097	81	航空輸送	-20.92642778
26	道路輸送(除自家輸送)	473.9837686	82	船舶・同修理	0.542459005	26	製材・木製品	61.00616638	82	貨物利用運送	-57.98399186
27	石油製品	460.1191111	83	トラック・バス・その他の自動車	0.094914828	27	精密機械	60.94661237	83	不動産仲介及び賃貸	-64.44120518
28	有機化学工業製品(除石油化学基礎製品)	401.3841387	84	たばこ	0.014635626	28	映像・文字情報制作	58.06795161	84	繊維業	-100.1544823
29	自家輸送	399.4693853	85	洗濯・理容・美容・浴場業	0.005657241	29	非金属鉱物	51.24658964	85	倉庫	-107.1647594
30	運輸付帯サービス	394.3406141	86	その他の対個人サービス	0.001418058	30	鉄道輸送	44.65887876	86	放送	-141.6179842
31	無機化学工業製品	391.1610883	87	事務用品	0.000450855	31	印刷・製版・製本	39.06001093	87	再生資源回収・加工処理	-171.1196411
32	紙加工品	360.4620772	88	分類不明	0.000173629	32	公務	37.34619596	88	その他の鉄鋼製品	-198.8833751
33	その他の一般機械器具及び部品	354.5019929	89	二輪自動車	0	33	教育	34.82417613	89	自家輸送	-216.8570632
34	石油化学基礎製品	274.4303666	90	乗用車	0	34	家具・装飾品	33.3776342	90	通信	-242.3228992
35	その他の窯業・土石製品	269.9554872	91	宿泊業	0	35	建設・建築用金属製品	14.7062017	91	水産	-294.944865
36	鉄道輸送	204.552799	92	住宅資材(帰属家賃)	0	36	水道	14.62240413	92	石炭製品	-381.805933
37	放送	176.9831923	93	住宅資材	0	37	化学繊維	14.33336393	93	自動車・機械修理	-486.3207064
38	放送	174.2453569	94	社会保険	0	38	化学肥料	14.20984097	94	その他の一般機械器具及び部品	-516.0066838
39	一般産業機械	153.7909616	95	公共事業	0	39	林業	9.774894521	95	広告	-545.2923835
40	倉庫	130.1590266	96	建築業	0	40	廃棄物処理	7.647121385	96	ガス・熱供給	-552.9880136
41	公務	113.7061763	97	介護	0	41	セメント・セメント製品	6.032561817	97	石油製品	-648.0852363
42	教育	106.4339038	98	飲食店	0	42	食料品	3.644323093	98	化学最終製品(除医薬品)	-724.0171915
43	陶磁器	101.9081742	99	その他の土木建設	0	43	畜産	2.203010852	99	金融・保険	-832.0917587
44	電子応用装置・電気計測器	94.15975246	100	ガス・熱供給	-0.424893128	44	洗濯・理容・美容・浴場業	0.914460725	100	非鉄金属加工製品	-944.7058418
45	インターネット附随サービス	93.48078739	101	水道	-14.38356038	45	飼料・有機質肥料(除別掲)	0.90130542	101	その他の対事業所サービス	-1179.783879
46	その他の公共サービス	91.26121908	102	ゴム製品	-82.0144952	46	その他の対個人サービス	0.900727628	102	道路輸送(除自家輸送)	-1332.311419
47	その他の製造工業製品	90.82880288	103	石炭製品	-164.1876949	47	分類不明	0.896856708	103	電力	-2104.565694
48	製材・木製品	86.2936515	104	鋳造品	-270.4100499	48	事務用品	0.884089096	104	ゴム製品	-2766.66098
49	衣服・その他の繊維既製品	77.31513789	105	その他の鉄鋼製品	-445.6763761	49	金属鉱物	0.416565909	105	鉄鉄・粗鋼	-4447.456763
50	繊維工業製品	75.67929657	106	化学最終製品(除医薬品)	-728.7395445	50	漁業	0.106842828	106	鋳造品	-5344.072893
51	家具・装飾品	71.50126415	107	自動車用内装機関・同部分品	-1880.395672	51	トラック・バス・その他の自動車	0.031174276	107	銅材	-6711.518396
52	航空輸送	60.38141098	108	鉄鉄・粗鋼	-2692.856888	52	たばこ	0.004806994	108	商業	-10625.24012
53	建設・建築用金属製品	55.96418798	109	銅材	-5091.154119	53	乗用車	0	109	自動車車体	-38161.76779
54	廃棄物処理	55.35336257	110	自動車車体	-38146.22026	54	二輪自動車	0	110	自動車部品	-40052.82686
55	再生資源回収・加工処理	50.67178196	111	自動車部品	-39787.37491	55	建築業	0	111	自動車用内装機関・同部分品	-185037.4461
56	非金属鉱物	44.57208425				56	公共事業	0			

(HEV-Base)

(EV-Base)

6—9 日本9地域の経済波及効果分析

日本地域レベルにおける次世代型自動車の経済波及効果の推計を行う。日本地域レベルでは、2000 年表・2005 年表の分析結果をそれぞれ示す。分析に用いた産業連関表は、2000 年表は経済産業省「平成 12 年試算地域間産業連関表」、2005 年表は経済産業省「平成 17 年地域間産業連関表」である。

（１）シナリオ設定

乗用車の需要（家計消費，輸出等）が１兆円（１単位）増加し，新たに乗用車の生産を行う場合の経済波及効果を示す。日本全国レベルの分析では，全国一括で最終需要を増加させたが，９地域レベルの分析では，９地域の最終需要（市場規模）の比率に併せて，１兆円の最終需要増額分が９地域に分配されている。

想定ケースは，乗用車の新規需要が「ガソリン乗用車（Base）である場合」，「ハイブリッド乗用車（HEV）である場合」，「電気自動車（EV）である場合」の３つである（表６－９－１）。３つの車種を想定している部分は，日本全国レベルのケースと同じである。日本地域レベルでは，地域別に生産技術の条件を変えることができる。HEV あるいは EV を生産する地域を変更させて，経済波及効果を計測する。

Base ケースは，ガソリン車を全地域（全国）で生産する１ケースのみである。HEV，EV のケースでは，全地域で生産する場合に加えて，ある１つの地域で次世代型自動車を生産する場合を想定している。生産地域となりえるのは，東北，関東，中部，近畿，中国，及び九州の６地域である。北海道，四国，沖縄は，自動車の生産が行われていないため除外している。

次に，「乗用車」部門の投入係数の設定方法について示す。Base ケースについては，産業連関表から導出された産業構造を表す投入係数 A_{Base} をそのまま用いた。HEV 及び EV ケースについては，（財）日本エネルギー経済研究所発行の文献，従来研究の情報及び日本全国レベルの結果を基に，各ケース A_{HEV} ， A_{EV} の投入係数を作成した。これらの産業構造では，HEV・EV 用電気モータを製造するとされる「産業用電気機器」と HEV・EV 用二次電池を製造するとされる「その他電気機器」の２部門の投入規模が拡大すると設定した。逆に投入規模が縮小する産業と設定したのは従来から自動車部品を製造してきた「自動車部品・同付属品」の３部門である。

表６－９－１ シナリオ（日本地域）

ケース名	内容	投入係数	生産地域
Base	ガソリン車を生産	A_{base}	全地域
HEV	ハイブリッド自動車を生産	A_{HEV}	全地域or各地域
EV	電気自動車を生産	A_{EV}	全地域or各地域

（２）2005 年表の分析結果

2005 年の地域間産業連関表を用いた分析結果についてまとめる。

（a）Base ケース

Base ケースでは，１兆円の乗用車の新規需要に対して，２.915 兆円の経済波及効果が９地域の全産業にもたらされるという結果になった（表６－９－２）。１単位の需要増加に対しておおよそ 2.9 の経済効果が出ている。日本全国の結果（2005 年表）と比べて生産誘発係数は，約 0.2 大きくなっている。これは，地域間交易係数の影響と考えられる。

表 6－9－2 Base ケースの経済波及効果(2005)

単位:1兆円		各地域の経済波及効果									合計
		北海道	東北	関東	中部	近畿	中国	四国	九州	沖縄	
	全地域	0.020	0.087	1.028	1.036	0.227	0.301	0.017	0.198	0.001	2.915

(b) HEV ケース

HEV ケースでは、HEV が全地域、東北、関東、中部、近畿、中国、及び九州で生産される場合を想定し、地域別の技術変化の効果を分析する。表 6－9－3 に、「HEV ケースの経済波及効果」を示す。Base ケースとの比較をしやすくするため、Base ケースを 100% に基準化した表を示す。

表 6－9－3 HEV ケースの経済波及効果(2005)

単位:1兆円		各地域の経済波及効果									合計
		北海道	東北	関東	中部	近畿	中国	四国	九州	沖縄	
生産地域	東北	0.020	0.087	1.029	1.035	0.228	0.301	0.017	0.199	0.001	2.916
	関東	0.021	0.089	1.029	1.034	0.234	0.301	0.019	0.200	0.001	2.928
	中部	0.020	0.089	1.048	1.024	0.233	0.302	0.018	0.200	0.001	2.934
	近畿	0.020	0.087	1.029	1.035	0.228	0.301	0.018	0.199	0.001	2.917
	中国	0.020	0.087	1.032	1.034	0.230	0.298	0.018	0.199	0.001	2.920
	九州	0.020	0.087	1.031	1.033	0.231	0.301	0.018	0.198	0.001	2.920
	全地域	0.021	0.093	1.059	1.018	0.247	0.299	0.020	0.201	0.001	2.959

単位:%		各地域の経済波及効果									合計
		北海道	東北	関東	中部	近畿	中国	四国	九州	沖縄	
生産地域	東北	100.0%	100.2%	100.1%	99.9%	100.2%	100.0%	100.4%	100.0%	100.1%	100.0%
	関東	101.2%	102.8%	100.1%	99.9%	103.1%	100.2%	106.6%	100.6%	100.6%	100.4%
	中部	99.3%	102.7%	101.9%	98.9%	102.3%	100.4%	104.9%	100.7%	101.0%	100.6%
	近畿	100.0%	100.2%	100.1%	99.9%	100.4%	100.0%	101.0%	100.1%	100.1%	100.1%
	中国	100.3%	101.0%	100.4%	99.9%	101.3%	98.9%	101.9%	100.3%	100.3%	100.2%
	九州	100.1%	100.6%	100.3%	99.8%	101.5%	99.9%	101.3%	99.8%	100.2%	100.2%
	全地域	101.1%	107.3%	103.0%	98.3%	108.8%	99.3%	116.0%	101.4%	102.3%	101.5%

HEV 想定投入係数での生産誘発係数（1 単位増）は、Base ケースと同様に約 2.9 となっている。Base ケースを基準にした変化率をみると、全地域で HEV を生産した場合は、正の経済波及効果となっている。生産誘発係数（合計）を降順に並べると、全地域、中部、関東、中国、九州の順となった。これらの地域は主に機械産業、自動車産業の有力地域である。一方、各地域別の生産誘発係数をみると、Base ケースと比べて、中部と中国では、負の効果が生じている。その他の機械産業の有力地域も伸び悩む結果となっている。ハイブリッド自動車は、従来型の自動車と同様に機械部品を中心に搭載し、さらに電気部品を新たに搭載する。自動車・機械産業が有力な地域でハイブリッド自動車を生産すると、その他の地域における電気部品の生産を誘発することになり、日本経済全体に広い波及効果をもたらす。一方、ハイブリッド自動車を生産している地域には、負の効果をもたらす。この背景としては、ハイブリット自動車の本格的普及の際は、従来型自動車並みの価格やコストが求められるようになるため、ハイブリッドシステムの追加搭載により、機械部品は金額的・相対的、共に下落することが考えられる。

(c) EV ケース

同様に EV ケースでは、EV が全地域、東北、関東、中部、近畿、中国、及び九州で生産される場合を想定し、地域別の技術変化の効果を分析する。表 6－9－4 に、「HEV ケースの経済波及効果」を示す。Base ケースとの比較をしやすいするため、Base ケースを 100% に基準化した表を示す。

EV 生産を想定した投入係数での生産誘発係数は、約 2.8～2.9 となっている。Base ケースを基準においた変化率をみると、全地域で負の経済波及効果となっている。生産誘発係数（合計）を昇順に並べると、全地域、中部、関東、中国、九州となった。これらの地域は、HEV ケースでは降順に並べた場合に上位に位置している地域である。電気自動車は、内燃機関を搭載しないため、機械部品は大幅に減少する。自動車・機械産業の有力地域は、大きな負の効果を受ける。有力地域で電気自動車を生産すると、その他の地域で電気自動車を生産する場合に比べて、さらに大きな負の効果をもたらす。

表 6－9－4 EV ケースの経済波及効果(2005)

経済波及効果(EV)		各地域の経済波及効果									合計
単位:1兆円		北海道	東北	関東	中部	近畿	中国	四国	九州	沖縄	
生産地域	東北	0.020	0.086	1.028	1.032	0.228	0.300	0.017	0.199	0.001	2.912
	関東	0.020	0.088	0.990	1.022	0.236	0.300	0.019	0.199	0.001	2.876
	中部	0.019	0.089	1.037	0.971	0.229	0.300	0.018	0.199	0.001	2.863
	近畿	0.020	0.087	1.028	1.031	0.227	0.300	0.018	0.199	0.001	2.910
	中国	0.020	0.088	1.031	1.028	0.230	0.284	0.018	0.199	0.001	2.898
	九州	0.020	0.087	1.025	1.024	0.231	0.298	0.018	0.195	0.001	2.899
	全地域	0.019	0.091	1.001	0.931	0.244	0.277	0.021	0.197	0.001	2.782
変化率(Base比)		各地域の経済波及効果									合計
単位:%		北海道	東北	関東	中部	近畿	中国	四国	九州	沖縄	
生産地域	東北	99.8%	99.4%	100.0%	99.7%	100.2%	99.9%	100.4%	100.0%	99.9%	99.9%
	関東	99.9%	101.7%	96.4%	98.7%	103.9%	99.5%	108.9%	100.4%	99.0%	98.7%
	中部	92.9%	102.6%	100.9%	93.8%	100.7%	99.6%	105.3%	100.2%	98.8%	98.2%
	近畿	99.7%	100.1%	100.0%	99.6%	100.0%	99.7%	101.2%	100.1%	99.9%	99.8%
	中国	99.9%	101.4%	100.3%	99.2%	101.0%	94.4%	102.3%	100.1%	99.7%	99.4%
	九州	99.1%	100.1%	99.8%	98.9%	101.6%	98.9%	101.3%	98.3%	99.5%	99.4%
	全地域	91.4%	105.2%	97.4%	89.9%	107.5%	92.1%	119.3%	99.2%	96.9%	95.4%

(3) 2000 年表の分析結果

2000 年の地域間産業連関表を用いた分析結果についてまとめる。

(a) Base ケース

Base ケースでは、1 兆円の乗用車の新規需要に対して、2.829 兆円の経済波及効果が全国内産業にもたらされるという結果になった（表 6－9－5）。

表 6－9－5 Base ケースの経済波及効果(2000)

		各地域の経済波及効果									合計
単位:1兆円		北海道	東北	関東	中部	近畿	中国	四国	九州	沖縄	
全地域		0.015	0.068	1.016	1.069	0.242	0.242	0.015	0.161	0.001	2.829

(b) HEV ケース

HEV ケースでは、HEV を生産する地域を変えて、7 ケース（全地域1 ケース、各地域6 ケース）のシミュレーションを行った。表6－9－6に「HEV ケースの経済波及効果」を示す。結果は2005 年の HEV ケースとほぼ同様な傾向となった。

表6－9－6 HEV ケースの経済波及効果(2000)

		各地域の経済波及効果									合計
単位:1兆円		北海道	東北	関東	中部	近畿	中国	四国	九州	沖縄	
生産地域	東北	0.015	0.068	1.017	1.069	0.242	0.242	0.015	0.161	0.001	2.830
	関東	0.015	0.073	1.015	1.069	0.257	0.243	0.017	0.164	0.001	2.853
	中部	0.015	0.071	1.047	1.054	0.255	0.245	0.017	0.165	0.001	2.870
	近畿	0.015	0.068	1.017	1.068	0.244	0.242	0.016	0.161	0.001	2.833
	中国	0.015	0.069	1.021	1.067	0.249	0.238	0.016	0.162	0.001	2.839
	九州	0.015	0.068	1.020	1.067	0.246	0.244	0.016	0.160	0.001	2.837
	全地域	0.015	0.078	1.055	1.048	0.286	0.243	0.020	0.170	0.001	2.916
単位:%		北海道	東北	関東	中部	近畿	中国	四国	九州	沖縄	合計
生産地域	東北	100.0%	100.4%	100.1%	100.0%	100.2%	100.0%	100.3%	100.1%	100.1%	100.0%
	関東	97.7%	107.1%	99.9%	100.0%	106.5%	100.2%	109.8%	102.2%	101.7%	100.9%
	中部	102.8%	104.1%	103.0%	98.6%	105.7%	101.1%	111.2%	102.7%	103.3%	101.4%
	近畿	100.9%	100.1%	100.1%	99.9%	101.1%	100.1%	102.4%	100.3%	100.3%	100.1%
	中国	100.0%	102.0%	100.4%	99.8%	103.0%	98.4%	104.9%	101.0%	100.8%	100.3%
	九州	100.5%	100.5%	100.3%	99.8%	101.9%	100.8%	102.5%	99.5%	100.5%	100.3%
	全地域	101.9%	114.1%	103.8%	98.0%	118.4%	100.5%	131.1%	105.8%	106.6%	103.1%

(c) EV ケースの結果

EV ケースでは、EV を生産する地域を変えて、7 ケース（全地域1 ケース、各地域6 ケース）のシミュレーションを行った。表6－9－7に「EV ケースの経済波及効果」を示す。結果は2005 年の HEV ケースとほぼ同様な傾向となった。

表6－9－7 EV ケースの経済波及効果(2000)

		各地域の経済波及効果									合計
単位:1兆円		北海道	東北	関東	中部	近畿	中国	四国	九州	沖縄	
生産地域	東北	0.015	0.068	1.016	1.068	0.242	0.242	0.015	0.161	0.001	2.827
	関東	0.013	0.071	0.960	1.052	0.257	0.239	0.017	0.164	0.001	2.773
	中部	0.015	0.069	1.024	0.981	0.247	0.241	0.017	0.164	0.001	2.759
	近畿	0.015	0.068	1.013	1.064	0.243	0.241	0.016	0.161	0.001	2.822
	中国	0.015	0.069	1.012	1.059	0.247	0.228	0.016	0.162	0.001	2.809
	九州	0.015	0.068	1.013	1.059	0.246	0.244	0.016	0.154	0.001	2.815
	全地域	0.013	0.073	0.956	0.936	0.274	0.224	0.020	0.162	0.001	2.659
単位:%		北海道	東北	関東	中部	近畿	中国	四国	九州	沖縄	合計
生産地域	東北	99.9%	100.1%	99.9%	99.9%	100.1%	99.9%	100.3%	100.1%	100.0%	99.9%
	関東	88.7%	103.9%	94.4%	98.4%	106.4%	98.6%	109.6%	101.8%	98.3%	98.0%
	中部	99.9%	101.8%	100.7%	91.7%	102.3%	99.4%	109.3%	102.1%	100.2%	97.5%
	近畿	100.4%	99.6%	99.7%	99.5%	100.6%	99.7%	102.6%	100.3%	99.9%	99.7%
	中国	98.4%	102.0%	99.6%	99.0%	102.1%	94.3%	105.1%	100.7%	99.9%	99.3%
	九州	100.0%	99.7%	99.7%	99.1%	101.9%	100.6%	102.2%	95.7%	99.4%	99.5%
	全地域	87.2%	107.1%	94.0%	87.6%	113.5%	92.6%	129.0%	100.7%	97.6%	94.0%

(4) 集積とサービスを考慮した経済波及効果分析

いくつかの拡張的なシナリオを想定して経済波及効果を計測した。

1. 従来型自動車
2. HEV
3. HEV(集積)
4. EV
5. EV(集積)
6. EV(サービス含む)
7. EV(集積・サービス)

1, 2, 4は、これまで示してきた結果と同じである。3, 5の“集積”とは、「産業用電気機器」「その他電気機器」部門が、既存の自動車産業集積地に立地することを意味する。これは、既存の自動車部品産業が、HEV と EV の生産に対応して、モータや二次電池の部品を生産するようにシフトすると解釈することができる。シミュレーションでは、具体的には、次世代型自動車関連産業（想定）である「産業用電気機器」・「その他電気機器」の地域間交易係数を、「自動車部品・同付属品」の地域間交易係数に近づけることによって、“集積”の傾向を表している。6, 7の“サービス”とは、電気自動車の普及に伴い新たなサービスが派生することを想定している。サービス産業である「情報サービス」「物品賃貸サービス」「その他の対事業所サービス」「対個人サービス」の投入係数を増やすことで実現している。すべてのケースについて、全地域で、従来型自動車、HEV あるいは EV を生産することを想定している。

図6－9－1に、各ケースにおける自動車需要増がもたらす地域別経済波及効果を示す。2005年地域間産業連関表（経済産業省作成）を用いている。従来型乗用車の経済波及効果を基準(100%)にしている。図の横軸は、今後予想される次世代型乗用車の生産シフトのシナリオとして解釈することができる。この図は、生産シフトに伴う地域別の経済波及効果を概略的に示している。

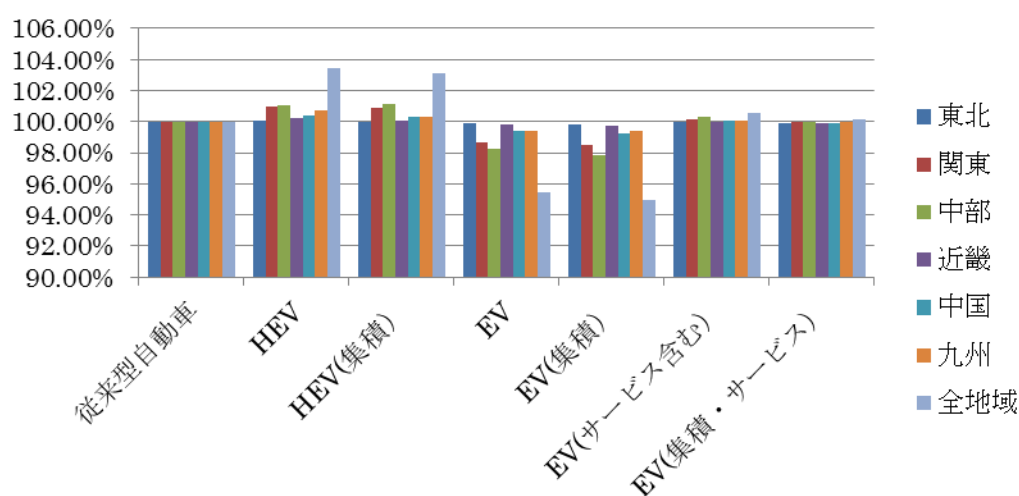


図6－9－1 次世代型乗用車生産の地域経済効果

6－10 アジアの経済波及効果分析

アジアを対象とした次世代型自動車の経済波及効果の推計を行う。

（１）シナリオ設定

ある国である部門の新規需要（家計消費，輸出等）が１兆円（１単位）増加し，新たに生産を行う場合の経済波及効果を示す。新規に需要が発生するとした部門は，「Motor Vehicles」「Motor Cycles」，「Heavy Electrical Equipment」及び「Lighting fixtures, batteries, wiring and others」であり，自動車産業と深い関わりのある産業である。ここでは，これらの産業の特徴を明らかにするために，前述した日本全国，日本地域レベルの分析とは異なり，投入係数の変化を伴わない基礎的な生産誘発係数の分析を行う。

（２）分析結果

「Motor Vehicles」，「Motor Cycles」，「Heavy Electrical Equipment」及び「Lighting fixtures, batteries, wiring and others」の需要１単位増加がもたらす生産額（生産誘発係数）表 6－10－1 に示す。10ヶ国の各国にそれぞれ需要１単位を与えて，国別に需要増加がもたらす生産誘発の効果を求めている。

Motor Vehicles の生産誘発係数は 2.2～3.1 となった。中国，日本，韓国は，特に誘発係数の高い国になっている。東南アジアでは，生産誘発係数の内訳のうち，日本の割合が高い傾向にある。生産誘発係数からみると，東南アジアのモータリゼーション，経済発展は，日本経済に大きな経済波及効果をもたらすといえる。なお，東南アジアの市場規模（2000 年）は，日本の 0%～4% の範囲にあるため，市場規模の拡大が期待される。

Motor Cycles の生産誘発係数は 2.0～3.1 となった（シンガポール除く）。中国，日本，及び韓国は，特に誘発係数の高い国になっている。東南アジア（フィリピン，マレーシア，タイ）では，生産誘発係数の内訳のうち，日本の割合が高い傾向にある。また，アメリカでは，生産誘発係数は日本と中国に分散している。Motor Vehicles ケースと比べ，Motor Cycles ケースは他地域にも生産の誘発が分散する傾向にある。

Heavy Electrical equipment の生産誘発係数は 1.7～2.7 となった。中国は，特に誘発係数の高い国になっている。東南アジアは，日本の生産誘発係数の割合が高い傾向は変わらないものの，アメリカと中国にも波及している。

Lighting fixtures, batteries, wiring and others の生産誘発係数は 1.6～2.9 となった。中国は，特に誘発係数の高い国になっている。

表6－10－1 国別部門別の生産誘発係数

Motor Vehicles の生産誘発係数

		各国の生産誘発係数										合計	内自地域
		日本	アメリカ	中国	台湾	韓国	タイ	シンガポール	フィリピン	マレーシア	インドネシア		
需要発生国	日本	2.69	0.05	0.02	0.01	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.01	2.80	96%
	アメリカ	0.25	1.93	0.03	0.01	0.04	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	2.27	85%
	中国	0.14	0.03	2.83	0.03	0.04	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	3.09	92%
	台湾	0.33	0.07	0.03	1.76	0.05	0.01	0.01	0.00	0.01	0.01	2.27	77%
	韓国	0.19	0.08	0.04	0.01	2.46	0.01	0.00	0.00	0.01	0.01	2.81	88%
	タイ	0.65	0.08	0.05	0.03	0.04	1.60	0.02	0.02	0.02	0.02	2.54	63%
	シンガポール	0.90	0.15	0.05	0.03	0.13	0.04	0.81	0.00	0.05	0.04	2.21	37%
	フィリピン	1.14	0.17	0.07	0.12	0.16	0.09	0.01	0.70	0.03	0.05	2.55	28%
	マレーシア	1.00	0.08	0.04	0.03	0.05	0.04	0.05	0.01	1.08	0.03	2.41	45%
	インドネシア	0.61	0.08	0.03	0.02	0.02	0.03	0.01	0.01	0.01	1.39	2.20	63%

Motor Cycles の生産誘発係数

		各国の生産誘発係数										合計	内自地域
		日本	アメリカ	中国	台湾	韓国	タイ	シンガポール	フィリピン	マレーシア	インドネシア		
需要発生国	日本	2.51	0.19	0.03	0.07	0.01	0.06	0.01	0.07	0.01	0.01	2.98	84%
	アメリカ	1.03	0.91	0.58	0.08	0.03	0.01	0.01	0.01	0.01	0.00	2.67	34%
	中国	0.08	0.03	2.88	0.03	0.03	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	3.07	94%
	台湾	0.16	0.06	0.07	1.94	0.03	0.01	0.02	0.00	0.01	0.01	2.32	84%
	韓国	0.23	0.12	0.17	0.03	2.42	0.00	0.01	0.00	0.01	0.01	3.00	81%
	タイ	0.55	0.12	0.08	0.06	0.03	1.72	0.02	0.01	0.02	0.01	2.62	65%
	シンガポール	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.10	-0.01	0.00	0.00	0.00	0.11	-10%
	フィリピン	1.84	0.05	0.10	0.12	0.04	0.22	0.01	0.28	0.03	0.12	2.82	10%
	マレーシア	1.03	0.13	0.05	0.06	0.03	0.05	0.06	0.00	1.37	0.03	2.80	49%
	インドネシア	0.09	0.02	0.06	0.01	0.01	0.01	0.01	0.00	0.01	1.81	2.03	89%

Heavy Electrical equipment の生産誘発係数

		各国の生産誘発係数										合計	内自地域
		日本	アメリカ	中国	台湾	韓国	タイ	シンガポール	フィリピン	マレーシア	インドネシア		
需要発生国	日本	1.98	0.04	0.07	0.03	0.03	0.03	0.01	0.00	0.01	0.01	2.21	89%
	アメリカ	0.12	1.41	0.04	0.05	0.04	0.01	0.01	0.00	0.01	0.01	1.69	84%
	中国	0.36	0.05	2.01	0.06	0.10	0.03	0.01	0.00	0.01	0.01	2.65	76%
	台湾	0.90	0.25	0.11	0.67	0.06	0.03	0.05	0.00	0.03	0.02	2.12	32%
	韓国	0.29	0.16	0.07	0.03	1.54	0.01	0.01	0.00	0.01	0.01	2.15	72%
	タイ	0.71	0.16	0.38	0.11	0.10	0.55	0.11	0.00	0.08	0.03	2.23	25%
	シンガポール	0.70	0.35	0.42	0.08	0.03	0.06	0.18	0.00	0.07	0.13	2.02	9%
	フィリピン	0.45	0.59	0.06	0.17	0.24	0.06	0.12	0.41	0.08	0.02	2.20	18%
	マレーシア	0.71	0.20	0.26	0.08	0.05	0.11	0.42	0.00	0.08	0.20	2.12	4%
	インドネシア	0.53	0.21	0.11	0.06	0.07	0.03	0.10	0.00	0.03	0.84	1.98	43%

Lighting fixtures, batteries, wiring and others の生産誘発係数

		各国の生産誘発係数										合計	内自地域
		日本	アメリカ	中国	台湾	韓国	タイ	シンガポール	フィリピン	マレーシア	インドネシア		
需要発生国	日本	2.00	0.08	0.07	0.01	0.01	0.01	0.00	0.00	0.01	0.01	2.21	91%
	アメリカ	0.21	1.43	0.24	0.03	0.02	0.01	0.00	0.01	0.01	0.01	1.97	72%
	中国	0.15	0.06	2.54	0.04	0.04	0.01	0.01	0.00	0.01	0.01	2.85	89%
	台湾	0.61	0.11	0.17	1.27	0.04	0.01	0.01	0.01	0.03	0.02	2.26	56%
	韓国	0.73	0.09	0.10	0.01	1.34	0.01	0.01	0.00	0.02	0.01	2.32	58%
	タイ	0.73	0.19	0.27	0.10	0.02	0.45	0.02	0.03	0.07	0.03	1.92	24%
	シンガポール	0.49	0.34	0.26	0.06	0.08	0.04	0.41	0.01	0.21	0.27	2.17	19%
	フィリピン	0.69	0.30	0.13	0.11	0.08	0.07	0.03	0.44	0.03	0.07	1.95	22%
	マレーシア	0.81	0.27	0.20	0.03	0.09	0.05	0.04	0.02	0.09	0.04	1.66	6%
	インドネシア	0.14	0.07	0.07	0.04	0.06	0.02	0.02	0.00	0.03	1.53	1.98	77%

最終需要1単位がもたらす生産誘発の効果をベースに分析を行った。実際には、市場規模が異なるため、市場規模に比例した効果も考慮しておく必要がある。表6－10－2に国別別市場規模（日本基準＝100%）を示す。

表6－10－2 国別市場規模（日本基準＝100%）

	Motor Vehicle	Motor Cycle	Heavy Electrical Equipment	Lighting fixtures, batteries, wiring and others
日本	100.000%	100.000%	100.000%	100.000%
アメリカ	206.907%	419.007%	100.514%	107.287%
中国	21.027%	2077.438%	27.239%	150.299%
台湾	4.223%	179.215%	9.043%	21.738%
韓国	13.378%	25.850%	31.363%	9.316%
タイ	3.158%	40.831%	3.903%	5.795%
シンガポール	0.430%	21.403%	6.355%	0.759%
フィリピン	0.451%	15.623%	1.590%	1.074%
マレーシア	1.974%	35.813%	3.124%	3.478%
インドネシア	2.513%	455.022%	1.841%	3.492%

6－11 今後の課題

日本全国・地域レベルでは、(1)「乗用車」全国生産の生産誘発係数は2.8～2.9であり、(2)HEV生産の場合は正の効果、EV生産の場合は負の効果を全国にもたらす、(3)機械産業の有力地域（中部・中国等）は負の効果を受ける、ことを把握することが出来た。アジアレベルでは、(1)東南アジア地域の自動車需要増は日本への生産誘発係数の比率が高い、(2)日本の自動車需要は日本への生産誘発係数の比率が高い、ことを把握することが出来た。次世代型自動車の本格的な普及を進めると共に、東南アジアを中心に新興国への進出を進めていくことが、我が国の自動車産業の発展に欠かせないことを確認する結果となった。

今後の展開を示す。第一に、「アジアレベルで次世代型自動車想定投入係数による生産誘発係数の分析」である。日本全国・地域と次世代型自動車の分析を進めてきたが、アジアレベルの分析を試みる必要がある。第二に「次世代型自動車の走行段階における経済波及効果」である。今回は次世代型自動車の評価においては、生産構造の変化のみに焦点を当ててきたが、石油・電力等のエネルギー産業への影響を見る必要があるため、次世代型自動車の運用による影響を把握することを考えている。第三に「技術進歩の分析」である。自動車産業における技術進歩が他産業にもたらす多様な影響も考慮する必要がある。次世代型自動車を実際にどのように社会に受け入れられるのかということ、最適化手法等を用いながら、GDPや二酸化炭素排出量といった観点から把握することを考えている。

参考文献

- [1] 浅利一郎, 山下隆之, 伊藤暁人, 石橋太郎, 黄愛珍, 『[第 3 版] はじめよう経済学のための情報処理』, 2008
- [2] Chenery, H.B., “Regional Analysis,” in H. B. Chenery, P.G. Clark and V.C. Pinna (eds.), *The Structure and Growth of the Italian Economy*, Rome; US Mutual Security Agency, 1953, 97-129
- [3] Isard, W., “Interregional and Regional Input-Output Analysis: A Model of a Space Economy,” *Review of Economics and Statistics*, 33, 1951, 318-328
- [4] 経済産業省, 平成 12 年試算地域間産業連関表
- [5] 経済産業省, 平成 17 年地域間産業連関表
- [6] Leontief, W., *Input-Output Economics*, New York: Oxford University Press, 1966
- [7] Miller, R. and Blair, P.D., *Input-Output Analysis Foundations and Extensions*, Second Edition, Cambridge University Press, 2009
- [8] 株式会社アイアールシー, 世界自動車メーカーのエコカープロジェクトと環境政策 2009 年版, 2009
- [9] 渋澤博幸, 菅原喬史, “技術革新を伴う次世代型自動車の生産拡大がもたらす経済波及効果,” 『地域学研究』 (印刷中)
- [10] 総務省統計局, 平成 12 年 (2000 年) 産業連関表
- [11] 総務省統計局, 平成 17 年 (2005 年) 産業連関表
- [12] 社団法人 日本能率協会, EV/HEV を取り巻く環境～様々な視点から～, 『第 30 回モータ技術シンポジウム』, 2010
- [13] 電力中央研究所経済社会研究所編, “自動車買替サイクルの長期化が国内経済に与える影響についてーマクロ経済・産業連関モデルによる評価ー,” 『電力研究所報告書』, p22, 1999
- [14] 独立行政法人 日本貿易振興機構 アジア経済研究所, 平成 12 年アジア国際産業連関表
- [15] (財) 機械振興協会 経済研究所, 『電気自動車の市場動向と機械関連産業の展開方策調査』, 2008
- [16] (財) 機械振興協会 経済研究所, 『次世代型自動車及ぼす自動車産業の構造変化とモノづくり企業の発展戦略』, 2010
- [17] (財) 日本エネルギー経済研究所, “3 「高効率自動車 (ハイブリッド自動車)」 の評価,” 『総合的な経済・エネルギー・環境分析に資する技術情報の整備のための研究』, 2006, pp.33-49
- [18] Jacoby, H.D., Reilly, J.M., McFarland, J.R., Paltsev, S., “Technology and Technical Change in the MIT EPPA Model,” *Energy Economics*, Vol. 28, 2006, pp.610-631
- [19] 国際科学振興財団, “先端科学技術が与える国際的波及効果の分析,” 『総合研究開発機構助成研究』, 1986
- [20] 丸谷レイ史, “技術変化の産業連関分析,” 『国民経済雑誌』, 165(5), 89-109 (1992)

- [21] 三好博昭，谷下雅義編，『自動車の技術革新と経済厚生』，白桃書房（2008）
- [22] 溝口裕美，森本慎一郎，森俊介，“動学的多部門多地域モデルを用いた自動車産業の労働供給と国際産業エネルギー構造に及ぼす影響評価，”『第 22 回エネルギーシステム・経済・環境コンファレンス 講演論文集』，pp.349-352，2006
- [23] Moses, L, N., “The Stability of Interregional Trading Patterns and Input-Output Analysis,” *American Economic Review*, 1955, 803-832
- [24] 徳永澄憲，武藤慎一，黄永和，孫林，沖山充，『自動車環境政策のモデル分析：地球温暖化対策としての環境車普及促進政策』，文眞堂，2008
- [25] Wolf, G., Rigby, D. Cenzatti, M., “The Potential Impacts of an Electric Vehicle Manufacturing Complex on the Los Angeles Economy,” *Environmental and Planning A*, Vol.25, 1995, pp.877-905
- [26] 中村準・内田洋子編，「アジア国際産業連関シリーズ」

7. 交通部門における持続型資源消費の分析

7-1 緒論

近年大量生産、大量消費、大量廃棄社会から持続社会への移行が求められている。持続社会は「持続可能な開発」という国連のブルントランド委員会（1986）で提案された概念に基づくものであり、環境と経済の両立を図り、人類が将来にわたって発展していくことを目的としたものである。持続可能性の概念の中でも資源消費は大きな課題である。我々が経済発展を実現するためには、資源消費が必ず伴う。しかしながら、「成長の限界」でローマクラブが指摘したように、資源の枯渇が経済発展の足かせになる可能性が高い。よって、資源をなるべく使わずにもしくは資源を循環利用し、経済を発展させることが必要であり、それが実現した社会を持続可能社会という。

持続可能社会において資源消費の持続性は最も重要な要素の一つである。資源消費の持続性を高めるためには、地球の再生能力の範囲内で資源を消費するように努めることである。真っ先に挙げられるのが化石資源の持続性である。化石資源は過去のバイオマス遺物であり、再生資源ではないことから使えば使うほど枯渇へ近づく。他の鉱物資源についても同様である。廃棄物からの資源のリサイクルは近年盛んにおこなわれているが、その量は全体の資源省に比べるとわずかである。

一方、経済の持続性も大事である。経済は基本的にヒト・モノ・カネ・情報の移動によって成り立つといえよう。現在のグローバリゼーションの時代において、これらの移動時間は極端に短くなり、世界各地の出来事が世界の経済に大きな影響を及ぼすこととなった。

なかでも、運輸部門は資源消費と経済活動の両面から欠かすことができない部門である。よって、本研究では運輸部門の持続性を資源消費の面から検討をする。

（1）背景—道路の重要性—

道路は、日常生活や経済活動に欠くことのできない社会資本であり、その機能は大別すると交通機能と、空間機能に大別される。

道路の交通機能には、自動車や歩行者などに通行サービスを提供する「トラフィック機能」、沿道の土地・建物・施設などへの出入りサービスを提供する「アクセス機能」、車の駐停車や歩行者の立ち話や休憩などのための「たまり機能」がある。これらの機能は、通勤・通学、買い物、余暇などの一般の生活から、運搬・配達、営業活動などの経済活動に至るまでの、あらゆる社会生活を支えている。

道路の空間機能には、都市の骨格や街区を形成する市街地形成機能。災害時の避難路や延焼防止のための防災空間機能、干涉空間、通風・採光の確保、人々が集い、憩う場所の形成、修景といった環境空間としての機能、公共空間施設や上下水道、電力などのライフラインの収容空間としての機能がある。これらは都市生活や産業活動を支える重要な機能であり、都市内道路の持つ空間機能の果たす役割は極めて大きい。駅前や中心市街地など都市の顔となるような地区では、

必要に応じてシンボル道路としての整備が行われている。

以上の道路の主な機能を表 7-1-1 にまとめる²⁾。

表 7-1-1 道路の機能^{2) 6)}

道路機能			効果など
交通機能	トラフィック機能	自動車・自転車・歩行者などへの通行サービス	時間距離の短縮
			交通混雑の緩和
			輸送費用の低減
			道路交通の安全確保エネルギー消費量の節約
			環境問題の軽減
	アクセス機能	沿道の土地・建物・施設などへの出入りサービス	生活基盤の拡充
			土地利用の促進
			地域開発の基盤整備
空間機能	市街地形成		都市の骨格形成、街区形成
	防災空間		避難路、消火活動、延焼防止
	環境空間		緩衝空間、緑化、通風、採光などのアメニティ
	収容空間		ライフライン、駐車場、地下鉄などの収容

(2) 道路の分類—道路法による分類—

日本の道路は、道路法による分類では高速自動車国道と一般道路で構成される。さらに一般道路は、一般国道、都道府県道、市町村道に分類される。これら4種の道路は、道路法によってその認定要因が具体的に定められており、高速自動車国道については高速自動車国道法の適用を受けている。これ以外の、道路法によらない道路として、道路運送法による一般自動車道、港湾法による臨港道路、森林組合法による林道、自然公園法による公園道などの、限定されて利用者を想定して建設される道路がある。図 7-1-1、表 7-1-2 に道路の分類と法令上の路線指定・認定要件を示す。

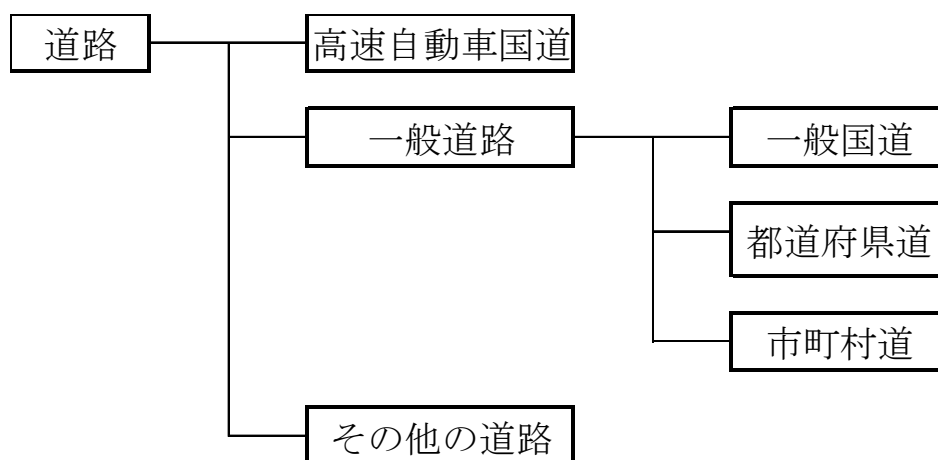


図 7-1-1 道路分類^{2) 6)}

表 7－1－2 法令上の路線指定・認定要件^{2) 6)}

道路種別	要件	根拠法
高速自動車国道	自動車の高速交通の用に供する道路で、全国的な自動車交通網の枢要部分を構成し、かつ、政治・経済・文化上特に重要な地域を連絡するもの、その他国の利害に奥に重大な関係を有するものである。 〔参考〕 高速自動車国道の管理は、建設大臣が行う。	高速自動車国道法第 4 条 法第 6 条
一般国道	高速自動車国道とあわせて全国的な幹線道路網を構成し、かつ、次の各号の一に該当する道路で、政令でその路線を指定したもの 1 国土を縦断し、横断し、または循環して、都道府県庁所在地（北海道の支庁所在地を含む）その他政治上、経済上または文化上特に重要な都市（以下「重要都市」という）を連絡する道路。 2 重要都市または人口 10 万人以上の市と高速自動車国道または前号に規定する国道とを連絡する道路。 3 2 以上の市を連絡して高速自動車国道高速自動車国道または第 1 号に規定する国道に達する道路。 4 港湾法(昭和 25 年法律第 218 号)第 42 条第 2 項に規定する港湾、重要な飛行場または国際観光上重要な地と高速自動車国道または第 1 号に規定する国道と連絡する道路。 5 国土の総合的な開発または利用上特別の建設または整備を必要とする都市と高速自動車国道または第 1 号に規定する国道とを連絡する道路。 〔参考〕 一般国道には、政令により建設大臣が管理する区間「指定区間」と都道府県知事または指定市の長が管理するその他の区間「指定外区間」がある。	道路法 第 5 条 第 12 条 第 13 条 第 17 条
都道府県道	地方的な幹線道路網を構成し、かつ、次の各号の一に該当する道路で、都道府県知事が当該都道府県の区域内に存する部分につき、	道路法

	その路線を認定したもの 1 市または人口 5000 以上の町（以下これらを「主要地」という）とこれらと密接な関係にある主要地，港湾法第 2 条第 2 項に規定する重要港湾もしくは地方港湾，漁港法（昭和 25 年法律 137 号）第 6 条に規定する第 2 種漁港もしくは第 3 漁港もしくは飛行場（以下これらを主要停車場という）また主要な観光地と連絡する道路 2 主要港とこれ密接な関係にある主要な観光地とを連絡する道路 3 主要停車場とこれと密接な関係にある主要な観光地とを連絡する道路 4 2 以上の市町村を經由する幹線で，これらの市町村とその沿線地方に密接な関係がある主要地，主要港または主要停車場とを連絡する道路 5 主要地，主要港，主要停車場または主要な観光地とこれらと密な関係にある高速自動車国道，国道または前各号の一に規定する都道府県とを連絡する道路 6 前各号に掲げるものを除くほか，地方開発のため特に必要な道路 [参考]都道府県道の管理はその路線の存する都道府県・政令市が行う。	第 7 条 第 15 条 第 17 条
市町村道	市町村の区域内に存する道路で，市町村長がその路線を認定したものをいう。 〔 高速自動車国道，一般国道および都道府県道のような法令上の要件は特に必要とされていない 〕 [参考]市町村道の管理は	

（３）道路の構造

道路の基本的な構造は，路床，路盤，表層，基層からなる。

a) 表層

道路の表面（最上層）のことで，一層が 5cm 程度のアスファルト混合物の層である。その層の役割は交通荷重を分散して下層に伝達するとともに，交通荷重による流動，摩耗，ひびわれに抵抗し，平坦ですべりにくく，快適な走行が可能な路面を確保する。雨水が下部に浸透するのを防ぐ。

b) 基層

表層の一つ下層に敷設される 5cm 程度のアスファルト混合物の層。表層に加わる交通荷重を路盤に均一に伝達する。重車両の交通量に応じて省略される。

c) 路盤

路盤は、上層から伝達された交通荷重をさらに分散させ路床に伝達する。

d) 路床

舗装の直下にあたる約 1m の部分。路床は舗装と一体になって交通荷重を支持し、路床の下部にある路体に対して交通荷重をほぼ一定に分散させる。盛土区間では良質土により十分に締め固められた層が構築され、切土区間の多くでは現地盤がそのまま用いられる。軟弱地盤では、一定の厚さの地盤を良質土で置き換えたり、セメントや石灰等による安定処理工法が施される。

e) 路体

盛土をして道路を築造するとき、舗装に働く荷重を直接支持する部分である路床以下の盛土部

図7-1-2に道路の基本的な構成を示す。

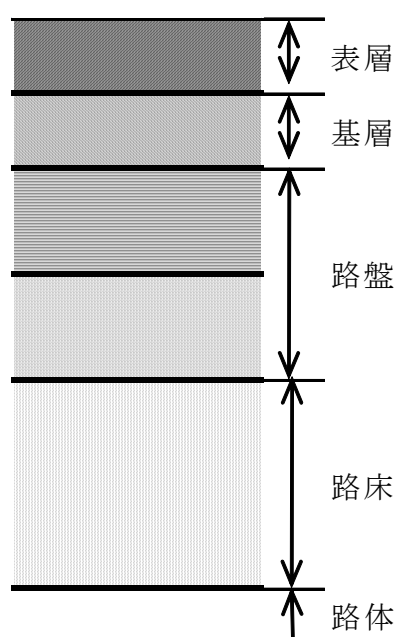


図 7 - 1 - 2 道路の基本的な構成 ^{2) 6)}

1) 路建設に用いられる資源

道路建設に用いられる主な資源は骨材（砂，石）と舗装材料（アスファルト，セメント，骨材）である。

2) 舗装の種類

舗装には、大別してコンクリート舗装とアスファルト舗装がある。それぞれの舗装の特徴、構

成を以下に示す。

a) コンクリート舗装

コンクリート舗装は、コンクリート版を表層とする舗装をいい、一般には単にコンクリート舗装と称される。コンクリート舗装の特徴を表 7-1-3 に、舗装の構成を図 7-1-3 に示す。

表 7-1-3 コンクリート舗装の特徴

長所	・ 荷重による変形が少なく，耐久性に優れる。 ・ 長寿命（一般的な設計寿命：20 年⇔アスファルト舗装の一般的な設計寿命 10 年） ・ 長期的コストに優れる。
短所	・ 初期コストが割高 ・ 一般的な普通ポルトランドセメントだと施工後の養生期間が約 2 週間と長い（早強ポルトランドセメントなら約 1 週間） ・ 温度による伸縮を避けるための目地による走行性の悪さ，騒音 ・ 破損時の修復が手間

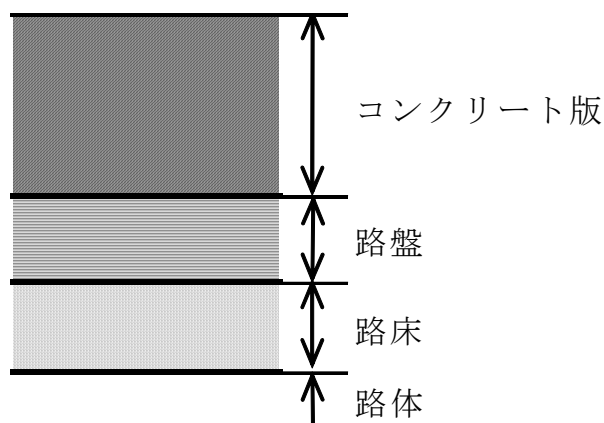


図 7-1-3 コンクリート舗装構成^{2) 6)}

b) アスファルト舗装

アスファルト舗装は、一般に表層，基層に加熱アスファルト混合部を用いた舗装をいう。アスファルト舗装の特徴を表 7-1-4 に、舗装の舗装構成を図 7-1-4 に示す。

表 7-1-4 アスファルト舗装の特徴

長所	・ 走行時の騒音性が低い ・ 施工後から短時間で交通可能 ・ 修繕が比較的容易 ・ 初期コストが低め
短所	・ アスファルトの熱可塑性によりわだち割れが発生する ・ コンクリート舗装に比べ、強度が低いため長期的コストが高め。

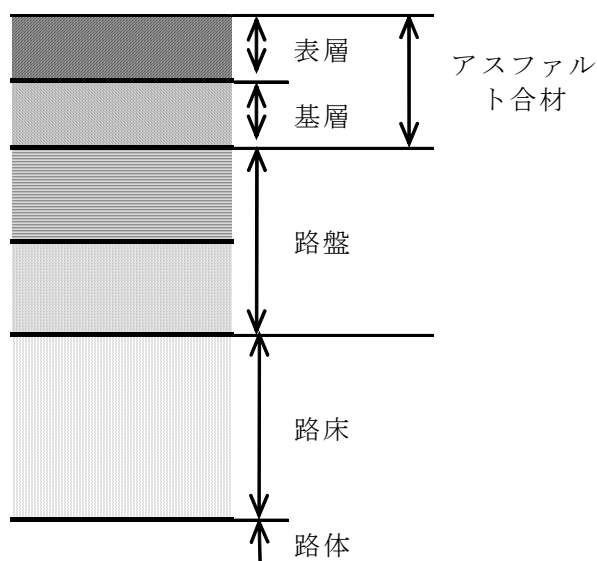


図 7-1-4 アスファルト舗装構成^{2) 6)}

c) 簡易舗装

軽交通路に適用される簡易なアスファルト舗装であり、自動車交通が少なく、かつ従者量が少ない、面が両側の最高水位より 30cm 高く、排水条件が良好であるなどの設計上の条件を満たすことが必要とされる。舗装構成は、表層と路盤から構成され、在来砂利層は一般に下層路盤に含まれる。表層は厚さ 3~4 [cm] となっている。簡易舗装に対して一般的なコンクリート舗装とアスファルト舗装を高級アスファルト舗装はとも呼ばれる。簡易舗装の構成を図 7-1-5 に示す。

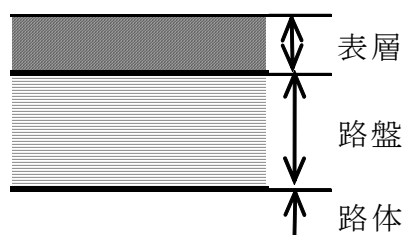


図 7-1-5 簡易舗装^{2) 6)}

（４）既往研究

物質フロー解析に関する研究は世界各地で盛んに実施されているが、代表的なものがWeisら(2005)による研究⁷⁾である。彼女らはEU各国の資源消費を比較している。北欧の国々の建設資材の消費が多いとの結果を得ており、その理由として国土が広いこと社会基盤の整備に資源が消費されているとしている。また、イギリスは建設資材の消費が少ないが、これは社会が成熟しているので、社会基盤の整備にそれほど資源を消費しないとしている。このように物質フロー解析において道路関連の建設資材は大変重要であるといえる。また、Kapurらによって⁸⁾、アメリカの20世紀の間に利用された道路建設材料であるセメントのストックとフローに関する研究は実施されている。セメントのストックとフローの年代在庫を推定する目的は、アメリカの社会基盤における現代のセメント資源消費と将来廃棄の正確な推定を、関連する利害関係者に提供するためである。このような情報は、将来の社会基盤システムのより良い管理に役立つ。セメント社会基盤の推定から、セメントがどの程度まで二酸化炭素吸収源としての機能を果たせるか明らかになる。セメントの最終用途の3つの統計寿命分布(ワイブル、ガンマ、対数正規)を用いて、動的なストック・フローモデルを開発した。導出されたアメリカにおける“消費”セメントストックの推定モデルは、42億～44億トンの範囲となる。これは、前世紀に利用されたセメントの82%～87%が、まだ使用されていることを示している。均等割では、一人当たりの消費セメント資源は、14.3～15.0トンに相当する。一人当たりの使用中セメントストックは、過去50年で2倍となったが、成長率は減速してきている。

（５）研究目的

持続可能社会を形成するために社会の資源消費量を可視化する「物質フロー解析」研究が実施されている。しかしながら、これまでの研究は資源の供給に関する研究が多く、資源を使って実現される社会の機能(衣食住、移動する、通信するなどの生活の基盤)に関する視点がなかった。持続社会においては限られた資源を有効に利用し、社会全体の効用(機能の集まり)を最大化することが求められる。そのために、人間生活に必要な機能とそれを実現するために必要な資源の関係を、機能別に明らかにする必要がある。そうすれば、社会生活を営む上での最低限の機能と、それを実現するための最小の資源消費量を明らかにすることができる。

本研究ではその第一歩として、移動するという機能に焦点を当て、道路の形成と資源消費の関係を明らかにすることを目的とした。

2-2 手法

道路建設における資源消費を研究するにあたり、本研究では道路舗装の資源消費を対象として、道路舗装に使われる主な資源であるアスファルト、セメント、骨材のストック量を推計した。

(1) 用いた統計資料

本研究では道路建設資源の消費量を推計するために以下の統計資料を用いた。

- ・ 道路統計年報（2007～2009）¹⁾
- ・ 高速道路便覧（1992）
- ・ 平成 17 年度道路交通センサス調査結果

1) 道路統計年報

道路統計調査とは、国土交通省によって行われる日本で唯一の道路（道路法第 3 条に定める、高速自動車国道、一般国道、都道府県道、市長村道）に関する調査である。この調査は社会状況に対応した道路整備計画等の立案、策定及び道路施設の管理等、今後の道路行政に資するための基礎資料を得ることを目的として実施されている。同調査は、「道路施設現況調査」と「道路事業費等調査」の 2 つから構成されている。道路施設現況調査は、全国における道路の現況を明らかにし、道路整備計画の立案、策定及び道路施設の管理に関する基礎資料を得ることを目的として市町村単位を対象に行われている。調査対象とする道路は、道路法第 3 条に定める道路である高速自動車国道、一般国道、都道府県道、市長村道であり、毎年 4 月 1 日時点の、道路管理者が調査を行っている。調査管理者とは都道府県や政令指定都市、各地方整備局、北海道開発局、沖縄総合事務局、日本道路公団等である。

道路事業費等調査は、各年度における道路投資等を体系的にとりまとめることにより道路に関する唯一の統計資料として作成し、かつ、今後の道路整備計画の立案、策定等の基礎資料に資することを目的としている。道路事業費（一般道路事業、都市計画街路事業、有料道路事業、道路災害復旧事業、失業対策事業、その他事業Ⅰ・Ⅱ）、道路（街路）に関する収入及び車税、歳出総額等、道路事業量（一般道路事業）、道路事業量（都市計画街路事業）、雪寒地域道路事業費、交通安全施設等整備事業費、道路事業費（沿道整備資金貸付金、道路開発資金貸付金、街路事業資金収益回収特別貸付金）について調査しており、各年度において対象事業を実施した道路管理者（都道府県、政令指定市、北海道開発局、沖縄総合事務局、各地方整備局、日本道路公団など）が調査を行う。

2) 高速道路便覧

高速道路便覧は、整備の推移、高速道路の仕組みや、利用実態、採算関係、料金関係、予算と財源、防災・震災対策、環境対策など高速道路行政についてまとめられた資料である。監修、建設省道路局。

3) 平成 17 年度道路交通センサスについて

国土交通省は道路交通センサスにおいて、全国の道路と道路利用の実態を捉えて将来の道路整備の方向を明らかにすることを目的とし、全国の道路状況、交通量、旅行速度、自動車運行の出発地・目的地、運行目的等の調査を行っている。

道路の計画立案のためには、道路及び道路利用の現況調査をはじめとし、各種の調査を実施する必要がある。このため、道路交通センサスでは（全国道路・街路交通情勢調査）などの各種項目を5年毎に調査している。

調査内容は、交通量・旅行速度などの実測を行う「一般交通量調査」、アンケート調査等により地域間の自動車の動きを把握する「自動車起終点調査」の2つから構成されている。

一般交通量調査は、高速道路、一般国道、都道府県道、一部の指定市の一般市道を対象としており、道路の幅員やその幅員構成、交差点、バス停、歩道の設置状況、整備状況を調査する「道路状況調査」と、平日及び休日における自動車（4車種）、二輪車、歩行者の交通量を1時間毎に計測する「交通量調査」、朝または夕方のピーク時における実走行により区間の旅行速度を自動車で実走して計測する「旅行速度調査」の3つの調査を行っている。また、このうち「交通量調査」と「旅行速度調査」については、平日は全箇所を対象に1日ずつ調査を行うが、休日は全箇所を対象とせず、休日交通量が卓越した区間を道路管理者が選定し、調査を行う。

自動車起終点調査は、一部の県境等を横切る道路で自動車を道路脇に停車してもらい、聞き取り方式により出発地・目的地等の運行状況を把握する「路上路側OD調査」、フェリー乗船時に聞き取り方式により出発地・目的地等の運行状況を把握する「フェリーOD調査」、自動車の使用者、所有者の中から無作為に選定された人を対象とし、アンケート方式で車の1日の動きを調査して、自家用乗用車の世帯単位での保有状況・利用状況、貨物車の荷物の積載状況（品目、重量）について把握する「オーナーインタビューOD調査」の3つの調査を行っている。

（2）道路建設資源消費量の推計手法

本研究では、道路の形成と資源消費の関係を明らかにすることを目的とした。解析に用いた道路の設計、ストック量、消費量の推計方法を示す。

1）道路の設計

道路舗装の体積を推計するために、道路の実延長、平均幅員、舗装厚を道路種別（高速道路、一般国道、都道府県道、市町村道）、舗装種別（コンクリート系、アスファルト系）に設定を行った。

① 路延長

道路延長は、道路統計年報¹⁾に記載されている実延長を用いた。実延長とは、総延長（道路法に基づき指定又は認定された路線の全延長）から重用延長（重複している区間）、未供用延長（供用開始の告示がなされていない区間）及び渡船延長（海上、河川、湖沼部分で渡船施設がある区間）を除いたものである。道路統計年報(2008)から表2-2-1に示すデ

ータを取得した。

表 7－2－1 道路統計から取得した項目

項目	対象	項目対象合計
道路種別	全道路，高速道路，一般国道，都道府県道，市町村道	4
舗装種別	総実延長，舗装済延長（簡易舗装含む），舗装済延長（簡易舗装除く），未舗装延長	4

簡易舗装の実延長は，式(1)によって算出した。

各道路種の簡易舗装延長[km]

＝各道路種の舗装済延長（簡易舗装含む）[km]

－各道路種の舗装済延長（簡易舗装除く）[km] … 式(1)

道路実延長の推移を図 7－2－1 に，舗装済道（簡易舗装除く）実延長の推移を図 7－2－2 に，式(1)から算出した簡易舗装道実延長の推移を図 7－2－3 に示す。

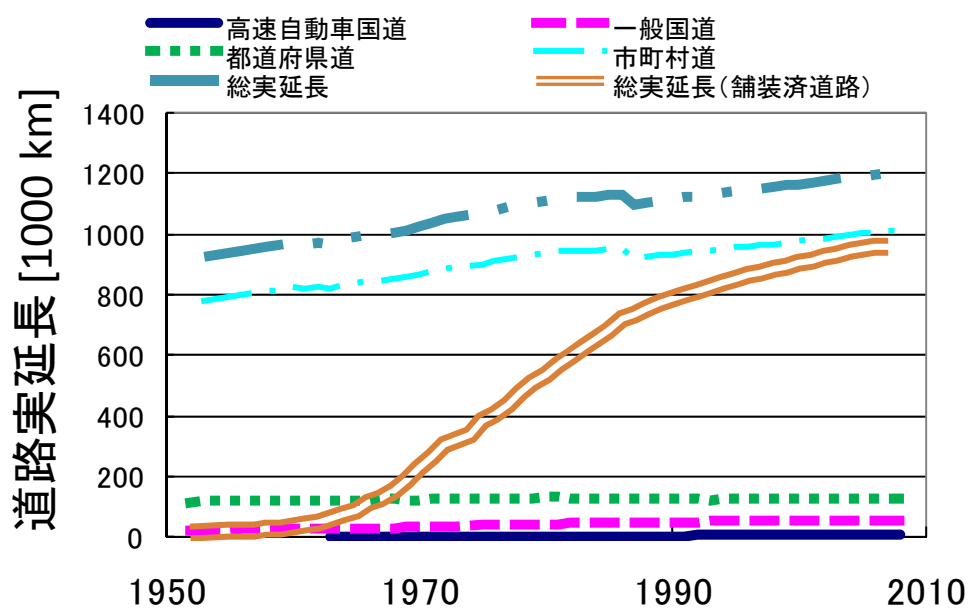


図 7－2－1 道路実延長の推移¹⁾。

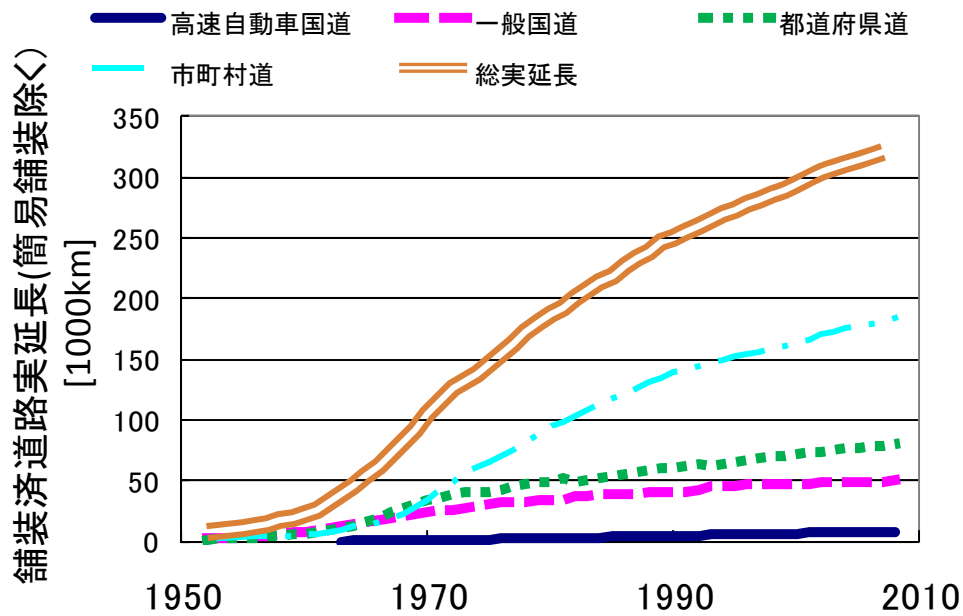


図 7-2-2 舗装済道（簡易舗装除く）実延長の推移¹⁾.

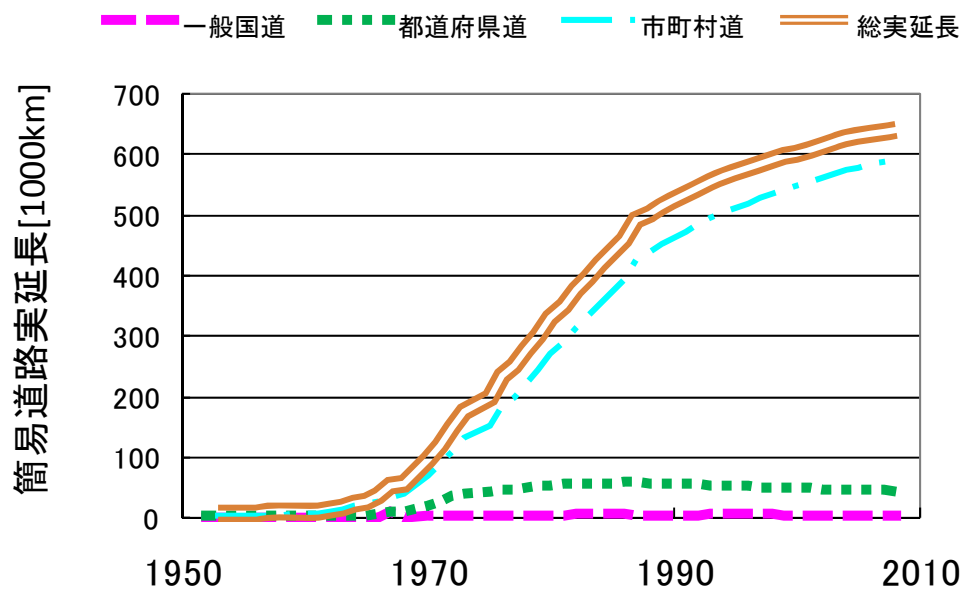


図 7-2-3 簡易舗装道実延長の推移

道路交通センサスを行った平成 17 年度(2005)における道路種ごとのコンクリート舗装道路，アスファルト舗装道路，簡易舗装道路，未舗装道路の実延長を道路統計年報(2008)から取得した。各道路種ごとの路面別の実延長を表 7-2-2，図 7-2-4 に示す。

表 7－2－2 道路種別路面別の実延長

[単位：km]

道路種別	実延長					簡易舗装	未舗装道
		舗装道					
			コンク リート系	アスファ ルト系			
高速自動車国道	7383	7383	451	6932	0	0	
一般国道	54265	48900	2086	46814	4979	386	
都道府県道	129139	77216	1739	75477	46874	5049	
市町村道	1002185	177513	50848	126665	579542	245130	

道路種別実延長（2008年度）[1000 km]

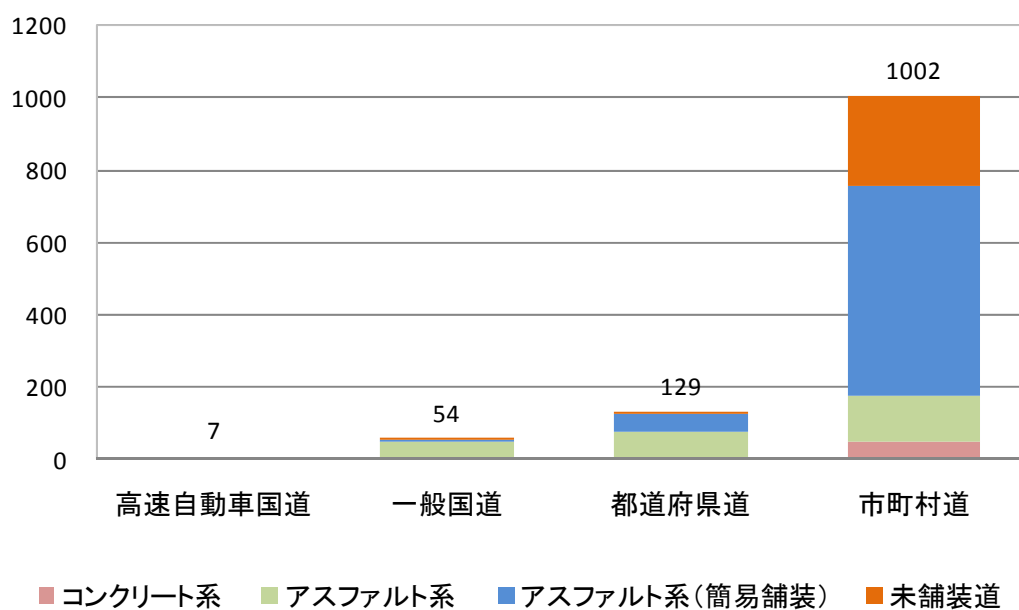


図 7－2－4 道路種別実延長(2005)¹⁾

表 7－2－2 を基に、道路種別の簡易舗装を除く舗装済道路延長にコンクリート系舗装とアスファルト系舗装の実延長と割合を算出し、表 7－2－3 に示した。

表 7－2－3 道路種別，簡易舗装を除く舗装済道路における
コンクリート系舗装とアスファルト系舗装の実延長と割合

[単位：km]

道路種別	舗装済道路	コンクリート系	アスファルト系
高速自動車国道	7383	451	6932
(舗装道における割合[%])	100	6.1	93.9
一般国道	48900	2086	46814
	100	4.3	95.7
都道府県道	77216	1739	75477
	100	2.3	97.7
市町村道	177513	50848	126665
	100	28.6	71.4

表 7－2－3 を基に，各道路種ごとの舗装済道路実延長から，それぞれのコンクリート系舗装道路とアスファルト系舗装道路の実延長を算出し，図 7－2－5，図 7－2－6 に示した。

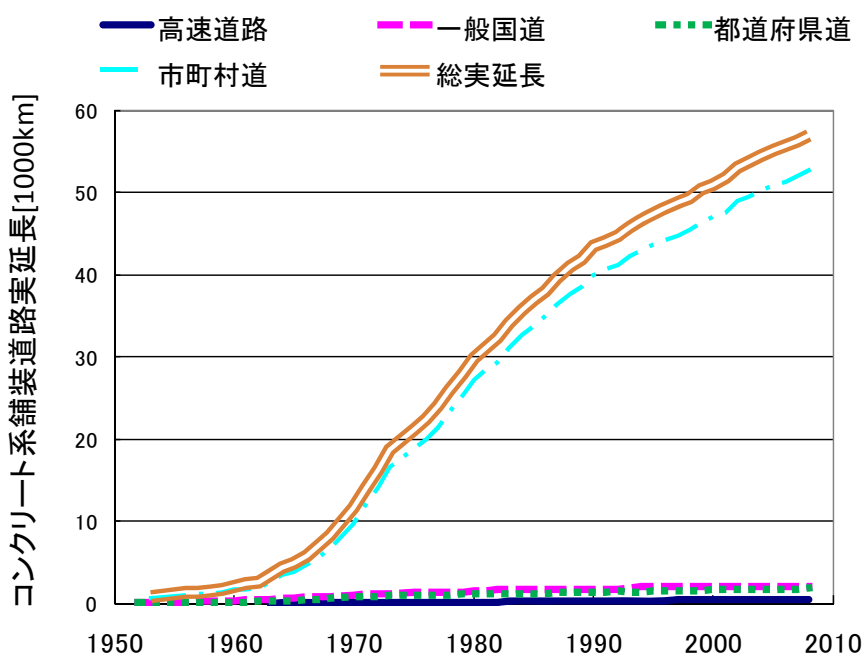


図 7－2－5 道路種別コンクリート系舗装道実延長の推移

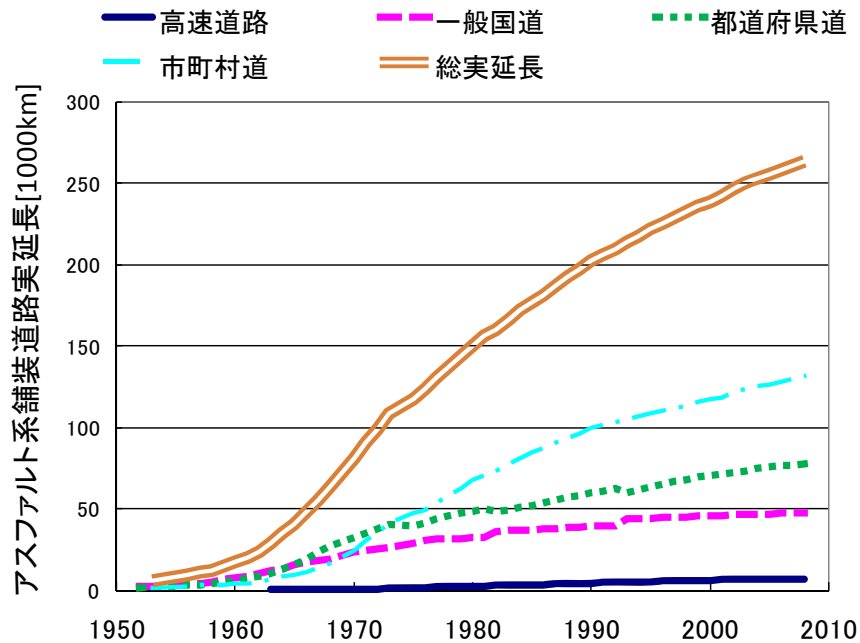


図 7-2-6 道路種別系アスファルト舗装道実延長の推移

②道路幅員

道路種ごとに道路幅員を設定した。高速道路は、高速道路便覧に記載された 1991 年の高速道路 23 路線 130 区間から平均幅員を算出した。一般国道、都道府県道、市町村道は、道路統計年報 2009 年から 2008 年の道路部平均幅員を使用した。道路種ごとの平均幅員を表 7-2-4 に示す。

表 7-2-4 道路平均幅員

道路種	高速道路	一般国道	都道府県道	市町村道
平均幅員 [m]	24.0	13.0	10.5	5.2

③道路舗装厚

コンクリート舗装におけるコンクリート版の厚さと、アスファルト舗装におけるアスファルト混合物の表層と基層を加えた厚さは、一般には設計交通量の区分によって決められる²⁾。

交通量とは、道路のある地点を、単位時間あたりに通過する自動車・自転車・歩行者などの数のことである。平成 17 年度道路交通センサスの道路交通の現況(平成 17 年度)⁴⁾から取得した平均交通量を表 7-2-5 に示す。

表 7-2-5 道路交通の現況（平成 17 年度）

	道 路 内 訳			
	合 計	高速道路計	一般国道計	地方道計
調 査 延 長 (km)	190,608 (100.0)	8,054 (4.2)	54,236 (28.5)	128,318 (67.3)
平 均 交 通 量 台/12h	6,088	19,935	9,049	3,919
昼 夜 率	1.35	1.45	1.35	1.32
大 型 車 混 入 率 (%)	16.3	26.8	17.0	12.2

昼夜率とは、12時間交通量に対する24時間交通量の割合であり、式(2)のようになる。

{昼夜率 (7:00～翌朝 7:00)}

= {12時間交通量 (7:00～19:00)} ÷ {24時間交通量 (7:00～翌 7:00)}

…式(2)

コンクリート舗装におけるコンクリート版の厚さと、アスファルト舗装におけるアスファルト混合物の表層と基層を加えた厚さは、一般には大型車の交通量区分によって決められる²⁾。1日の一方向当たりの大型車の交通量によって区分され、表 7-2-6 に示すように L～D に区分される。

表 7-2-6 設計交通量区分^{2) 6)}

区分	大型車交通量[台/日・方向]の範囲
L交通	100未満
A交通	100以上 250未満
B交通	250以上 1000未満
C交通	1000以上 3000未満
D交通	3000以上

表 7-2-6，式(2)を基に、道路種ごとに大型車平均交通量の推計を行った。算出式を式(3)に示す。

大型車平均交通量[台/日・方向]

= 平均交通量[台/12時間]×昼夜率×大型車混入率[%]÷100

…式(3)

式(3)，表 7-2-6 を基に算出した道路種ごとの一日当たりの大型車交通量を表 7-2-7 に示す。

表 7-2-7 道路種ごとの大型車交通量，設計交通量区分

	道 路 内 訳		
	高速道路計	一般国道計	地方道計
大 型 車 交 通 量 [台/24h]	7735	2080	633
設計交通量区分	D交通	C交通	B交通

算出した道路種ごとの設計交通量区分を基に、各舗装の厚さの推計を行った。設計交通区分ごとに決められるコンクリート舗装におけるコンクリート版の厚さと、アスファルト舗装における

アスファルト混合物の表層と基層を加えた厚さを、表 7-2-8、表 7-2-9 に示す。

表 7-2-8 コンクリート舗装：コンクリート版の厚さ^{2) 6)}

設計交通量区分	コンクリート版の厚さ [cm]
L交通	15
A交通	20
B交通	25
C交通	28
D交通	30

表 7-2-9 アスファルト舗装：表層と基層の最小厚さ^{2) 6)}

設計交通量区分	表層と基層を加えた厚さ [cm]
L, A交通	5
B交通	10
C交通	15
D交通	20

簡易舗装の表層の厚さは、一律 3[cm]とした。

表 7-2-8、表 7-2-9 を基に道路種別・舗装種別の舗装厚の推計結果を表 7-2-10 に示す。

表 7-2-10 道路種別・舗装種別の舗装厚

		高速道路	一般国道	地方道
アスファルト舗装 (表層＋基層)の厚	[cm]	20	15	10
コンクリート舗装厚 コンクリート版の厚	[cm]	30	28	25
簡易舗装 表層の厚さ	[cm]	-	3	3

2) 舗装体積

推計した各道路種別・舗装種別道路の実延長、平均幅員、舗装厚を基に、各道路種別にコンクリート舗装体積、アスファルト舗装体積を推計した。算出式を式(4)に示す。

$$V = A \times W \times T \quad \dots \text{式(4)}$$

V：道路体積 [m³]

A：道路実延長[m]

W：道路平均幅員[m]

T：道路舗装厚[m]

以上の計算を基に、各道路種別にコンクリート舗装体積、アスファルト舗装体積を推計した。算出結果を図 7-2-7、図 7-2-8 に示す。アスファルト舗装体積は、簡易舗装と高級アスファルト舗装の合計を全アスファルト舗装の体積とした。

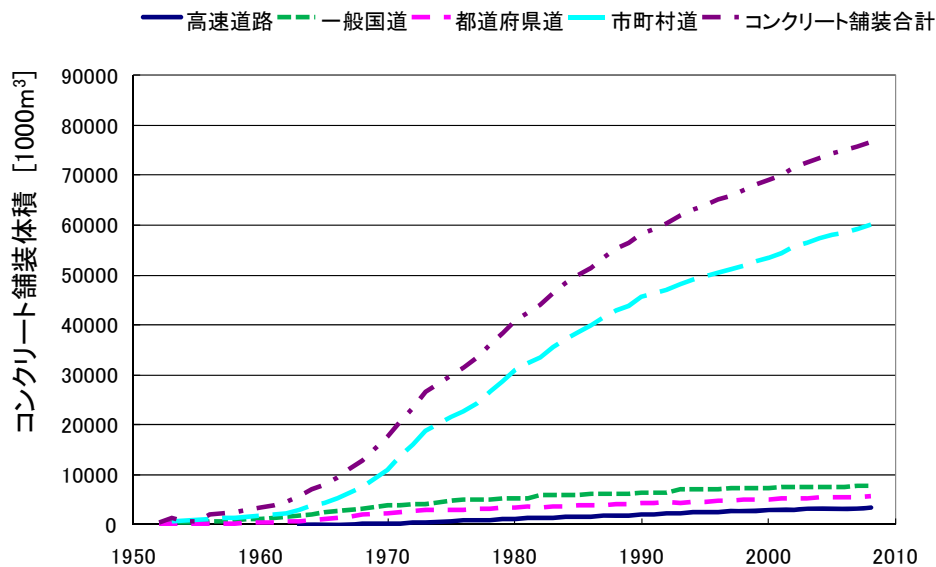


図 7-2-7 コンクリート舗装体積

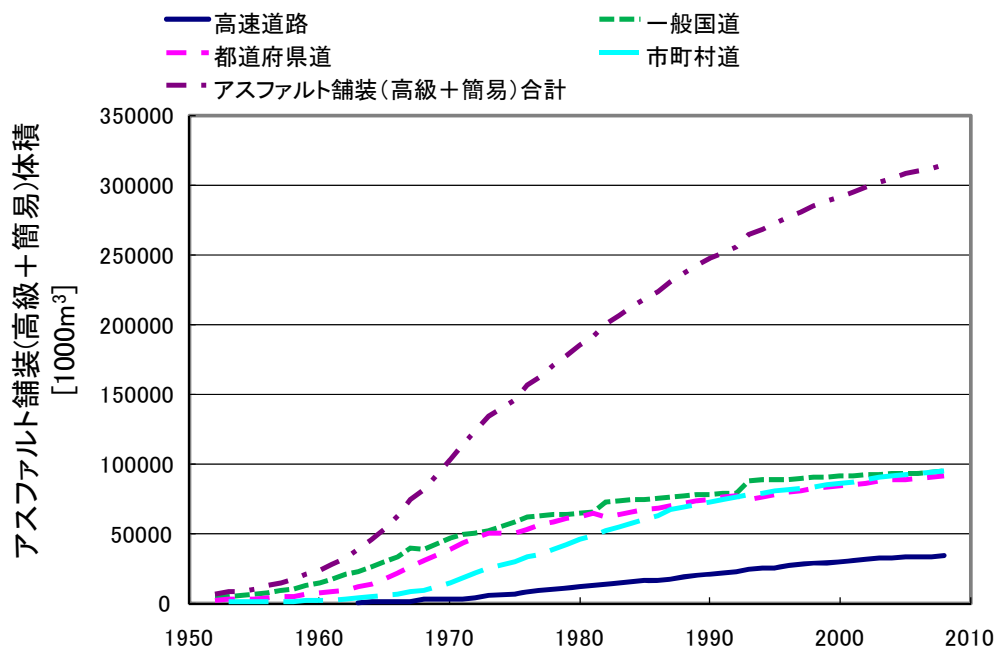


図 7-2-8 アスファルト舗装（高級＋簡易）体積

3) 舗装ストック量

推計した体積から、各舗装材料の配合を基に、舗装道路建設に使用されたセメント量、アスファルト量、骨材量を道路種別、舗装種別に推計した。コンクリート舗装 1 $[m^3]$ 当たりのセメント量と骨材量を表 7-2-11 に²⁾、アスファルト舗装 1 $[m^3]$ 当たりのアスファルト密度、アスファルト重量百分率、骨材密度、骨材重量百分率を表 7-2-12 に示した⁶⁾。

表 7-2-11 コンクリート舗装単位量^{2) 6)}

コンクリート舗装 1 [m ³]当たりのセメント量 [t/m ³]	0.315
細骨材量 [t/m ³]	0.703
粗骨材量 [t/m ³]	1.246

表 7-2-12 アスファルト舗装単位量^{2) 6)}

アスファルト舗装 1 [m ³]当たりのアスファルト重量百分率 [%]	5.34
アスファルト密度 [t/m ³]	2.35
骨材量重量百分率 [%]	94.0
骨材量密度 [t/m ³]	2.14

セメントストック量，アスファルトストック量，骨材ストック量の算出式を以下に示す。

$$C_e = V \times C \quad \dots \text{式(5)}$$

$$A_s = V \times \frac{P_{As}}{100} \times D_{As} \quad \dots \text{式(6)}$$

C_e : セメントストック量[t] C : 単位セメント量[t/m³] A_s : アスファルトストック量[t]

P_{As} : アスファルト重量百分率[%] D_{As} : アスファルト密度[t/m³]

$$A_{g_{Ce}} = V \times (S + G) \quad \dots \text{式(7)}$$

$$A_{g_{As}} = V \times \frac{P_{Ag}}{100} \times d_{ag} \quad \dots \text{式(8)}$$

$A_{g_{Ce}}$: コンクリート舗装中の骨材量[t] S : 単位細骨材量[t/m³]

G : 単位粗骨材量[t/m³] $A_{g_{As}}$: アスファルト舗装中の骨材量[t]

P_{Ag} : 骨材重量百分率[%] D_{Ag} : 骨材密度[t/m³]

以上の結果を基に道路種別，舗装種別にセメントストック量，アスファルトストック量，骨材ストック量を算出した。算出結果を図 7-2-9，図 7-2-10 に示した。

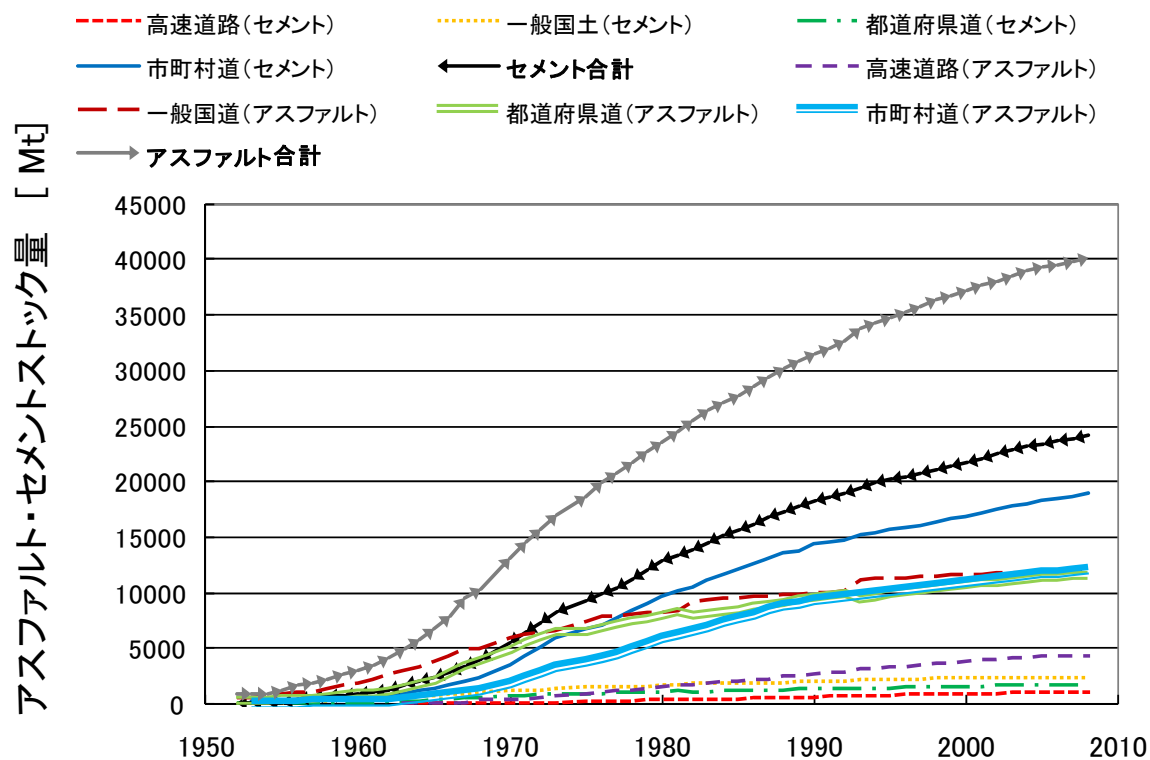


図 7-2-9 道路種別セメント・アスファルトストック量

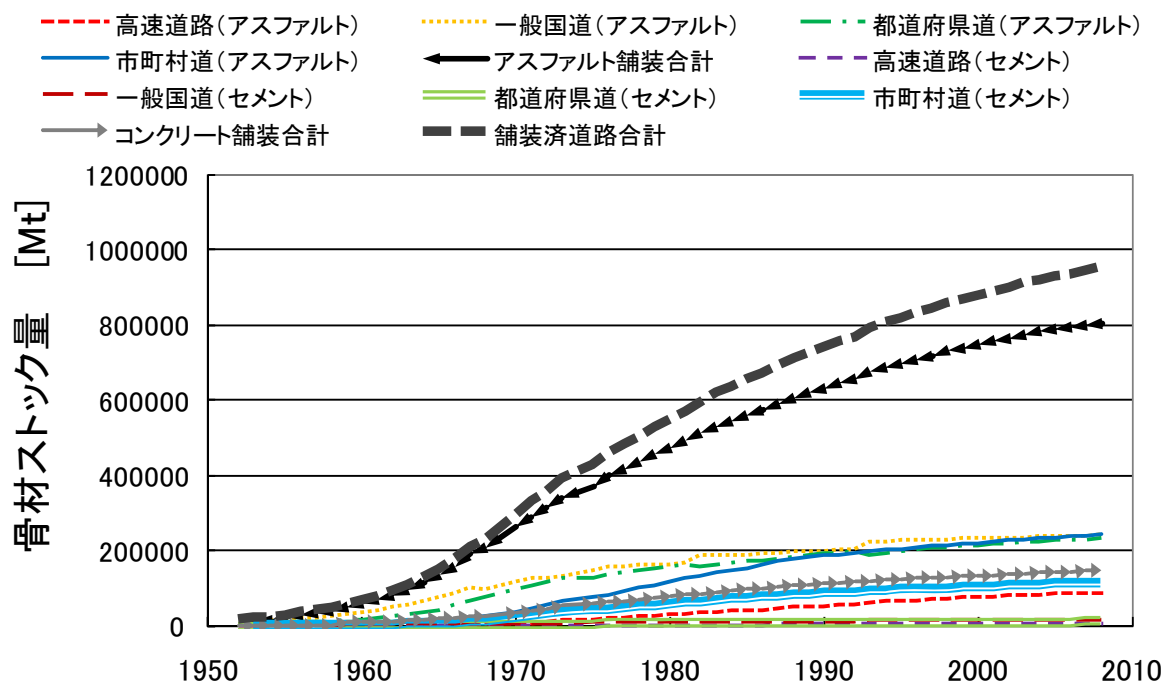


図 7-2-10 道路種別骨材ストック量

4) 年間資源消費量

年間の舗装道路の道路実延長増加量を基に年間資源消費量を推計した。算出式を式(9)に示す。

$$V_i = A \times W \times T \quad \dots \text{式(9)}$$

V_i : n 年度道路体積増加量 [m^3]

A_n : n 年度道路実延長 [m]

A_{n-1} : (n-1)年度道路実延長 [m]

W: 道路平均幅員[m]

T: 道路舗装厚[m]

式(9)から算出した1年間に増加した道路延長（前年度との道路延長差）を基に年間資源消費量を算出した。算出結果を図7-2-11に示す。

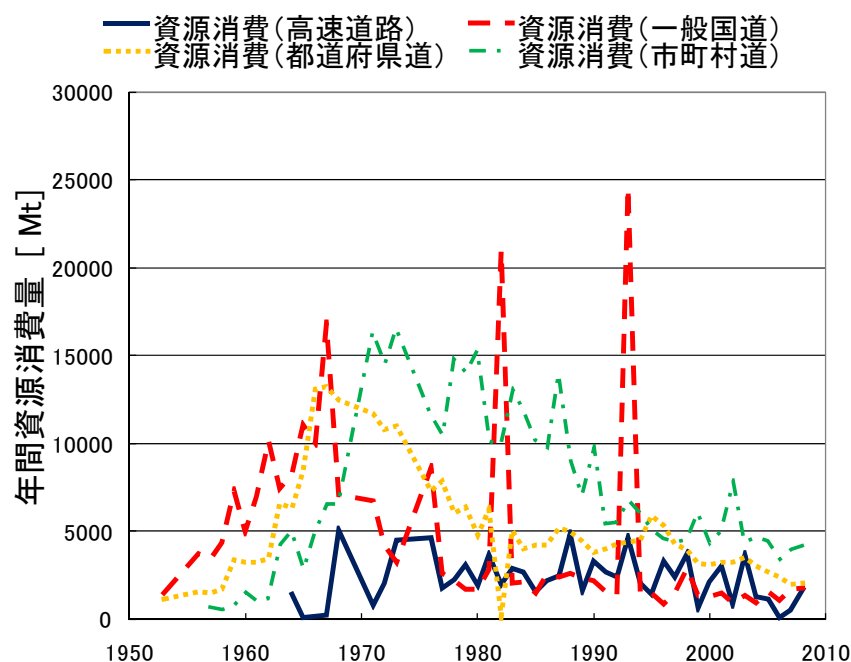


図7-2-11 年間資源消費量

7-3 結果・考察

図7-2-1によると1960年代から舗装済道路延長が伸び始めたことがわかる。これは、1964年の東京オリンピック開催を契機に、日本の交通網整備に多額の建設投資が行われたためである。その後の伸びは高度経済成長期（1955-1973）、安定成長期（1973-1991）による。

図7-2-3より道路距離は市町村道が圧倒的に長く、図7-2-4によると市町村道の多くはアスファルトによる簡易舗装の道路であることがわかる。しかしながら、図7-2-9より市町村道のストック量はそれほど多くないことがわかる。これは、道路延長の最も長い市町村道には簡易舗装が多いこと、幅員が短いためである。道路の実延長の長いことが、そのまま資源消費量の多いことにつながるわけではなく、舗装種・道路種ごとに幅員や、舗装厚が異なるため、道路実延長の増加量当たりの資源消費量は変化するためである。また、図7-2-10よりアスファルト、アスファルト舗装骨材のストックが多いことがわかる。これは、近年迅速な交通網整備を行うため、アスファルト舗装の割合が多くなっているからである。これに対して、1950年代後半までは、アスファルト舗装とコンクリート舗装の比がだいたい50:50～40:60であっ

た。アスファルト舗装は初期コストが比較的安く、施工後、すぐに通行することも可能であり、走行時の騒音が低い舗装である。それに対して、コンクリート舗装は施工後養生期間が約2週間であり、アスファルトに比べ初期コスト高めである⁵⁾。コンクリート舗装はトンネル内や交通量の多い交差点等の強度を要する場所に絞って用いられる。

国土面積に対する舗装道路の割合を国際比較する方法に、国土面積あたりの舗装道路延長や道路密度で比較する方法がある^{10) 11)}。算出式を式(10)に、各国の算出結果を表7-3-1に示す。

舗装道路延長 / 国土面積 [km/km²]

$$= (\text{全道路延長}[\text{km}] \times \text{舗装率}[\%] \div 100) \div \text{国土面積}[\text{km}^2]$$

$$= (\text{全道路延長}[\text{km}] \div \text{国土面積}[\text{km}^2]) \times \text{舗装率}[\%] \div 100$$

$$= \text{道路密度}[\text{km/km}^2] \times \text{舗装率}[\%] \div 100$$

…式(10)

表7-3-1から日本の道路網は他の国と比べると多いことがわかる⁶⁾。つまり、日本の道路網は飽和に近付いており、そのため、図7-2-1より資源の年間消費量も少なくなっている。各国が日本並みの道路網を整備をすれば、世界的に原油や骨材が不足することも考えられる。

表7-3-1 各国の道路密度と国土面積あたりの舗装道路延長^{10) 11)}

国名	全国道路 延長	舗装道延 長	舗装率 [%]	国土面積 [km ²]	道路密度 [km/km ²]	舗装道延長 /国土面積 [km/km ²]
	合計 [km]	合計 [km]				
(ヨーロッパ)						
オーストリア	133,718	133,718	100.0	83,860	1.59	1.59
デンマーク	71,847	71,847	100.0	43,090	1.67	1.67
フランス	891,290	891,290	100.0	551,500	1.62	1.62
ドイツ	231,581	231,581	100.0	357,030	0.65	0.65
イギリス	619,398	619,398	100.0	242,910	2.55	2.55
イタリア	479,688	479,688	100.0	301,340	1.59	1.59
オランダ	116,500	104,850	90.0	41,530	2.81	2.52
スウェーデン	424,981	132,339	31.14	449,960	0.94	0.29
スイス	71,220			41,290	1.72	
(アフリカ)						
エジプト	64,000	49,984	78.1	1,001,500	0.06	0.05
エチオピア	33,856	4,367	12.9	1,104,300	0.03	0.00
ケニア	63,941.5	7,737	12.1	580,370	0.11	0.01
南アフリカ	362,099	73,506	20.3	1,219,100	0.30	0.06
(アメリカ)						
ボリビア	60,762.4	4,314	7.1	1,098,600	0.06	0.00
ブラジル	1,724,929	94,871	5.5	8,514,900	0.20	0.01
カナダ	1,408,900			9,970,600	0.14	
メキシコ	349,038	116,928	33.5	1,958,200	0.18	0.06
アメリカ合衆国	6,378,154	3,750,355	58.8	9,629,100	0.66	0.39
(アジア及び中近東)						
中国	1,809,829	1,438,633	79.49	9,598,100	0.19	0.15
インド	3,851,440	2,411,001	62.6	3,287,300	1.17	0.73
インドネシア	368,360	213,649	58.0	1,904,600	0.19	0.11
日本	1,187,638	933,483	78.6	377,880	3.14	2.47
韓国	97,252	74,641	76.75	99,260	0.98	0.75
サウジアラビア	152,044	45,461	29.9	2,149,700	0.07	0.02
タイ	57,403	56,542	98.5	513,120	0.11	0.11
オセアニア						
オーストラリア	811,601			7,741,200	0.10	
ニュージーランド	92,662.1	59,109	63.79	270,530	0.34	0.22

7-4 まとめ

本研究によって道路建設に係る資源消費量を明らかにすることができた。アスファルト舗装は石油精製過程で製造されるアスファルトを材料としており、アスファルトは道路以外の需要が少ないことから、石油資源の利用先としては大変有効である。今後はこれまでのような大規模な道路建設は少なくなり、道路網の維持が主流となり、道路建設に関しては以前ほどの資源消費は必要なくなるであろう。日本においては道路に関して持続可能な社会に近づいたといえるが、他国が今後道路整備をする過程において道路建設に係る資源消費は増加し続けるであろう。今後、我が国での石油精製から発生するアスファルトを消費するためにも道路整備が盛んな国との連携が必要となるであろう。

参考文献

- 1). 国土交通省道路局企画課:道路統計年報(2007-2009), 全国道路利用者会議 (2010)
- 2). 多田 宏行ら:道路工学, オーム社、(1998)
- 3). 全国高速自動車国道建設協議会:高速道路便覧, 全国高速自動車国道建設協議会, (1992)
- 4). 国土交通省交通局:道路交通の現況, <http://www.mlit.go.jp/road/ir/ir-data/data/104.xls> (2005)
- 5). 舗装技術専門委員会報告, 既存コンクリート舗装のライフサイクルコスト調査結果報告書 <http://www.jcassoc.or.jp/cement/1jpn/jk1.html> (2009)
- 6). 近藤 茂夫ら:道路建設講座 6 道路舗装の施工, (1971)
- 7). Helga Weis, Fridolin Krausmann, Christof Amann, Nina Eisenmenger, Karl-Heinz Erb, Klaus Hubacek, Marina Fischer-Kowalski: The physical economy of the European Union: Cross-country comparison and determinants of material consumption, *Ecological Economics* 58 ,676– 698 (2006)
- 8). Amit Kapur, Gregory Keoleian, Alissa Kendall, and Stephen E. Kesler: Dynamic Modeling of In-Use Cement Stocks in the United States *Journal of Industrial Ecology*, 12(4), 539–556 (2008)
- 9). 牧田和也, 天野耕二, 宮崎元紀: セメント産業を中心とした舗装道路建設に伴うライフサイクルCO₂排出量評価, 平成9年度土木学会全国大会年次学術講演会 (1997)
- 10). 社団法人 日本道路協会: 世界の道路統計, http://www.road.or.jp/dl/pdf/stat_2004.pdf (2004)
- 11). 国土交通調査室: 路舗装率の国際比較等について, <http://www.murai.tv/nesage/7a.pdf> (2008)

8. 水熱反応を用いる自転車タイヤチューブのケミカルリサイクル

地球環境を重視する自転車社会の構築が促進されるにつれ、社会基盤の整備が必要となると同時に、自転車の使用台数が増加する。そのため、自転車廃棄物の再利用および再資源化方法を検討していく必要がある。当該プロジェクトでは、自転車タイヤの総合的な再利用方法を評価する。その中でも、特に、高い加水分解能力を有する水熱反応を用いて、自転車タイヤチューブのケミカルリサイクルの可能性について検討する。今回はその序論として、自転車を取り巻く現状を調査した。さらに、当該分野において、水熱反応を用いたケミカルリサイクルに関する既往の研究を紹介する。

8-1 自転車社会の現状と課題

(1) 国内

自転車は誰でも手軽に乗り、短距離移動に適した交通手段であり、また、「地球温暖化防止のための今後の道路対策について」などの施策が相次いで提唱され、地球環境にやさしい交通手段として注目されている。平成 11 年に国土交通省が自転車利用環境整備モデル都市を公募し、現在 30 都市が選定されている。また、自転車の年間の供給台数は約 1000 万台である。しかし、その一方で、放置された自転車が通行の障害や景観の阻害をもたらすマイナスイメージもある。自治体への調査によると、撤去された放置自転車の 53%は持ち主に返還され、22%が民間へ売却および払い下げられている。また、廃棄の対象として清掃部署に持ち込まれているのは全体の 6%である。小売店および自治体等、全ルートにより推計した自転車の資源リサイクル率は 78%であり、その内訳は再資源化が 68%、再利用が 10%、埋め立て処分が 22%である¹⁾。再資源化に向けた課題として自転車業界が独自に処理施設を整備すること、製造者の不要自転車回収ルートの確立などが挙げられる。

道路整備に関しては、国土交通省が自転車用の道路を 2010 年頃から、集中的に整備する方針を明らかにした。国内においては課題が残るが、今後徐々に解消される期待できる。

(2) 海外

自転車通勤促進政策を進めている都市の中で、最も成功している都市の 1 つが、イギリスのノッティンガムである。1990 年から 2001 年にかけて自転車の利用者数は、イギリス全体で 22.6%減少したのに対して、ノッティンガムにおいては、17.2%増加した。施策は、ノッティンガム市内の自治体、大学および民間の大規模な 8 団体の協力を得て、自転車通勤および業務利用促進を中心として取り組んだ。具体的な内容は、職場で安全な駐輪施設の整備に加え、シャワーおよび更衣室の整備を行った。さらに、業務上の移動に対する自転車マイレージ手当の導入、自転車購入手当を 2 年間で 800 ユーロ支給した。また、会社共有の自転車も購入した。このプロジェクトは官民を巻き込んだ協力体制の下、自転車通勤を促進したという点が成功へと繋がったと考

えられる。この事例は、自転車利用促進のためには、ハードの整備によって利用環境を整えることが前提であるとした上で、実際に自転車への手段転換を図るには、利用者に対して細かなソフト面の配慮が必要であることを示した²⁾。

また、2010年7月、ロンドンでは「パークレイズサイクルハイヤー」事業が開始された。これは、共用の自転車を通常のレンタルのように借りた場所に返すだけでなく、他の駐輪場でも借りたり返したりすることができるシステムである。

中国では2008年の電動自転車の販売台数は2100万台に上り、同年の世界の販売台数である2300万台の90%以上を占める。その要因は、中国政府の電動自転車推進政策によるところが大きい。中国政府は1991年に電動自転車の研究・開発を正式に決定するとともに、各地で電動自転車やバイクのための専用道路を設け、道幅拡大などの政策を推進してきた。また、上海市では石油燃料を使用したバイクなどの免許認可費用を高く設定するなど、環境問題に配慮した政策が電動自転車の普及を一層促進してきた。その結果2006年時点で、電動自転車メーカーは中国国内に2700社も存在した。

8-2 電動自転車の現状

電動アシスト自転車は、自転車にモーターバッテリーを搭載し、人の動く力に応じてモーターで駆動力をアシストするもので、アシスト比率を人の力「1」に対して、モーターの力が「2」を超えない範囲に制御することで、原付免許およびヘルメット不要で普通自転車として公道を走行することができる。人がペダルをこぐことによる駆動力に加えて、ペダルの踏力をトルクセンサで検出し、それに応じた力をコントローラで制御する。そして、前輪のモーターに力を与えると同時に、自転車の制御時にはモーターを発電機として使用し、制御力に応じた電力でバッテリーを充電する。これにより、一充電での走行距離の延長を可能とする。

一方では、原動付自転車のようにペダルをこぐことなくハンドルをひねることで走行が可能なフル電動自転車も出てきた。道路交通法では原動機付自転車に分類され、歩道の走行は禁じられている。折りたたみが可能でコンパクトなものが多いが、サドル下に大きなバッテリーを搭載しており、重量も重たい。しかし、一見折りたたみ自転車に見えるため、それがフル電動自転車であると判断することは困難である。運転手が、ペダルをこがず、長距離を走っていると気づくが、うまくペダルをこぎ進むと区別が難しい。この自転車は、スピードが速く、ブレーキをかけても完全に停止するまでに距離が必要である。そのため、事故が多発した事から取り締まりが行われるようになった。

最新の技術では、SiGNa Chemistry 社が開発した電動自転車は燃料電池を動力とし、1回の充電で約97Km 走行が可能である。燃料電池は粉末状のナトリウムシリサイド (NaSi) を使用したもので、この粉末に水を加えると水素ガスが発生し、電気を生成するために使用される。水素は貯蔵されないため、安全性が確保される。また、燃料のカートリッジは機器の電源を入れたまま交換することが可能で、リサイクルもできる。普及させるためには、燃料電池をいつでも交換

できるようにインフラの整備が必要である。

また、Neodymics 社の Cyclemotor は普通の自転車と前輪を交換するだけで即座に電動自転車に変えることができる。電動工具用バッテリーを 4 個使用して、1 馬力のモータを動かす。最高時速は 45Km、1 回の充電で 16-32Km 走行することが可能である。留め金で固定して、手軽に取り付けられるため、電池の充電が切れてもタイヤを付け替えることにより、普通の自転車として利用できる。

8-3 自転車のリサイクル活動

放置自転車対策の一環として、レンタサイクルなどを導入する市町村が増えている。回収した放置自転車を共同で利用することにより、自転車総量および放置自転車の削減を図ろうとするものである。さらに、近距離交通手段として位置付けることも目的としている。

他に、中古自転車を輸出販売している業者もある。そのフローチャートを図 8-3-1 に示す。不要となった自転車を買い取り輸出する。輸出先は、東南アジア、中東およびアフリカ地域が中心である。

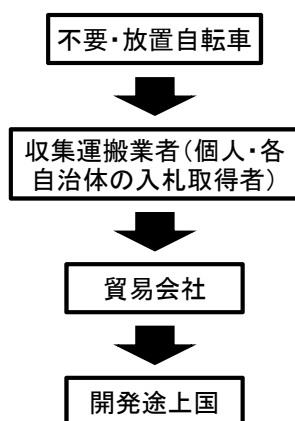


図 8-3-1 自転車輸出版売のフローチャート

一方で、有償ではなく無償で自転車をケニア中心に送る支援活動を行っている NGO 団体もある。現地では、自転車は重い荷物を運ぶための貴重な手段となっている。自転車はかさばるため、ペダル等を外して分解してからコンテナに積み、現地で組み立てられる。本体だけでなく、スペアのチューブおよび部品も一緒に梱包しなければならず、コスト面での課題が残っている。

電動自転車においては、「資源有効利用促進法」の施行に伴って、2001 年 4 月から、電池メーカーとそれを内蔵する機器のメーカー各社に小形充電式電池のリサイクルが義務づけられた。これを受けて、電動アシスト自転車に使用されている二次電池のリサイクルも広まった³⁾。

自転車タイヤのリサイクルでは、2010 年 6 月に自転車の使用済みタイヤチューブを採用したシヨルダーバックが発売された。バックの全面にタイヤチューブが利用されており、素材の粉碎および特殊な加工は施さず、素材そのままの状態で利用されている。そのため、タイヤチューブの特性を生かした耐衝撃および防水効果が期待できる。

8-4 水熱反応を用いたケミカルリサイクル

水熱反応

図8-4-1に水の状態図を示す。この状態図にある、三重点は気体、液体、固体の三相が共存する状態である。三重点より高い温度では、液体とその蒸気が平衡になり、この時の圧力が飽和蒸気圧で、蒸気圧曲線で表される。この蒸気圧曲線には高温、高圧側に終点があり、これを臨界点(critical point)という。臨界点以上では、液体と気体との区別がつかなくなる状態となり、気液の境界面も消失する。それゆえ、この臨界点より高温の状態では、気液共存状態を生じることなく液体と気体の間を連続的に移り変わることができる。この領域ではいくら密度を増大させても凝縮が起こらなくなる。この臨界温度以上で、かつ臨界圧力以上の状態にある流体を超臨界流体と呼ぶ。水熱反応は、これらの超臨界流体と亜臨界流体等の高温高圧の水が共存する条件下で進行する化学反応である。

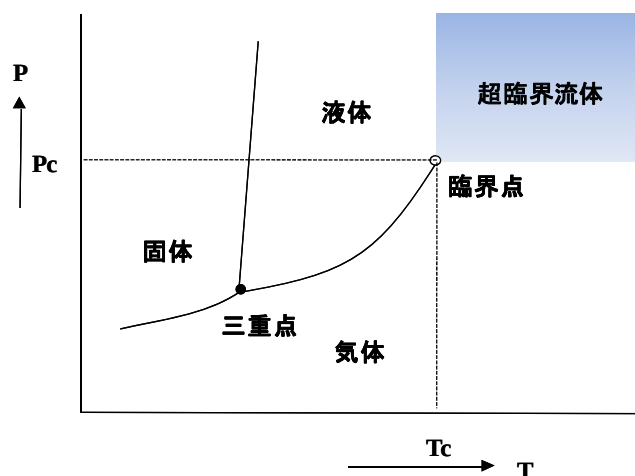


図8-4-1 水の状態図

高温高圧状態における水の特性

水の分子量は 18 であり、二酸化炭素に比べると分子量が小さく、凝集力はかなり小さいと思われるが、臨界温度 374℃、臨界圧力 22.1MPa であり、とても高い値を示す。これは、水分子同士が水素結合で結ばれたクラスターを形成しているためである。クラスター構造とは分子間力の強い溶質分子の周りに溶媒分子が引き付けられ、溶媒和が形成された構造である。つまり、安定な凝集相が水素結合の存在により、高温、高圧領域まで存在する。拡散力が大きな高温領域で安定な水素結合を形成するためには、分子の密度がある程度以上大きくなければならず、臨界圧力も他の多くの物質に比べ、非常に大きな値を示す。このように三次元の網目構造状に形成された水素結合が温度の上昇により壊れていく過程と密度変化による形態の変化が、水の特性を劇的に変化させる要因であると考えられるが、その定量的な考察はほとんどされていない。以下に、超臨界水の特徴をまとめる。

- ・ 反応溶媒としての効果が大きく、圧力・温度を変化させることで流体の諸物性を制御できる。
- ・ 誘電率は極性溶媒から無極性溶媒に匹敵する 20-30 程度の値を持つため、常温・常圧の水では溶解しないような有機物質を溶解することができる。

- ・水素イオン濃度は常温・常圧の水と比較すると 20-30 倍の増加が見られ酸触媒の効果がある。
- ・加水分解の反応時間も数分から 30 分と短く、添加物も不要。
- ・分子運動が激しく、水素結合などによる分子会合の程度も低いので、常温の水よりも拡散速度は速く、また、粘性は低い。このために浸透性に優れ、多孔性物質中での高い物質移動速度が期待できる。
- ・常温常圧の水は中性であるが、超臨界水はハステロイや白金－イリジウム合金、さらに金やタングstenのような金属ですら腐食するほどの超強酸性を示す。

水熱反応を用いたケミカルリサイクルに関する既存の研究

水熱反応を用いた応用例を 2 つ挙げる。1 つ目は、プラスチック類の中でも最も多くの生産量を有する付加重合系ポリマー (PE, PP, PS) を対象とした水熱反応である⁴⁾。結果より、PE, PP, PS の超臨界水による分解は、コークの生成もなく容易に油化できることがわかった。油化に必要な反応時間に関しては、PS の場合が 1 ～ 2 分で最も短く、PP で 50 分、PE で 100 分であった。また、各プラスチックの分解で生成した油の主要成分はポリマーの主鎖構造を反映して、それぞれのプラスチックでまったく異なる物質が生成した。

応用例の 2 つ目に加硫エチレン/プロピレン三元共重合体 (EPDM) ゴム廃棄物の再資源化を目的とした研究例がある⁵⁾。これは、自動車窓のシール用ゴム部品であるウェザーストリップを別途処理する方法であり、超臨界域のアルカリ水溶液を反応媒体として用いる。この研究により、アルカリ水熱処理によって生成した油状物をゴムに配合すると、市販のパラフィン系軟化剤を配合したものと同様の物性を示し、生成油状物をゴム用軟化剤として再利用できることが明らかになった。

8-5 今後の課題

水熱反応における、自転車用タイヤチューブの分解反応機構の解析を行うとともに、生成物の物性の確認および用途の開拓を行う。一方、自転車用タイヤチューブに限定し現在の処理方法からリサイクル方法の評価を行う。燃料化をも含めて総合的な再利用方法を検討し将来の方向性を示す。

参考文献

- 1) 平成 15 年度不要自転車の回収・処理及び再資源化に関する調査報告書概要版, 財団法人自転車産業振興協会, 2004.
- 2) 自転車通勤の推進に関する研究: 自動車から自転車への手段転換に着目して. 留守洋平, 大森宣暁, 原田昇, 土木計画学研究・論文集, 22(0), 551-557, 2005.
- 3) 平成 18 年度廃棄自転車の処理調査補助事業報告書, 社団法人自転車協会, 2007.
- 4) 木下陸, 菅井裕一, 竹森進也, 小泉信吾, 金放鳴, 榎本兵治, 守谷武彦, 環境資源工学, 52(1), 5-13, 2005.
- 5) 加硫 EPDM ゴムの油化における超臨界域のアルカリ水熱反応の特徴と生成油状物の工学的利用, 天王俊成, 藤田恵美, 榎本兵治, 資源と素材, 112 (13), 941-946, 1996.

9. 三河港水路内の夏期の水質悪化の実態とその要因に関する研究

9-1 研究の背景と目的

三河湾の湾奥に位置する三河港では、港湾域全域で富栄養化状態にあり、特に航路・水路内では夏期に頻繁に貧酸素水塊が発生し悪臭の要因となっているだけでなく、三河湾湾奥の水質悪化の要因ともなっている。貧酸素水塊の抑制のためには、港内に流入する河川からの汚濁負荷を低減するとともに、湾奥全体の窒素、リンといった栄養塩の濃度を低下させる必要がある。また、貧酸素水塊の発生状況を把握するとともに、発生のメカニズムや影響範囲を明らかにする必要がある。

河川からの流入負荷削減については、総量規制が実施されているものの濃度は横ばい状態が続いている。栄養塩の供給源は、底質からの溶出と降雨および流域からの流入であるが、底質に蓄積した栄養塩も元は湾内に流入したものである。富栄養化の根本的な抑制には流域からの流入量削減が不可欠であるが、その発生源からの排出特性や排出負荷量について正確な見積もりがなされていないのが現状である。水質評価の方法には、濃度と負荷量の二つがあり、一般的には濃度による評価が行われる。しかし、湖沼や閉鎖性水域においては、いくつもの河川がこれらに流入するため濃度の評価だけでは湖沼や閉鎖性海域にどの河川が影響を与えているか判断しにくい。この場合に負荷量が用いられる。汚染源からの負荷量を算出するには、平水時調査のみならず流量や懸濁物質が増加する降雨時調査を同時に行うことが重要である。

海域での貧酸素水塊については、その発生時期や規模を予測することはアサリの大量斃死を防ぐ上でも重要であり、貧酸素水塊の発生特性や水質動態の研究は重要な研究テーマである。また、港内の航路や水路内で継続的に高濃度に発生する貧酸素水塊の鉛直混合や港外への拡散による周辺海域への影響などについてはほとんど明らかにされておらず、今後の重要な研究課題である。

本研究では、三河湾湾奥へ流入する河川を定期的に調査し、平水時調査のみでなく、降雨時調査を実施する。これより、水質特性を把握すると共に、降雨時の影響を考慮し、中小河川も含めた三河湾湾奥への流出負荷量を算出し、三河湾湾奥への影響を検討した。また、三河港港内では、夏期に水質観測を継続的に実施し、貧酸素水塊の発生状況や拡散状況を把握するとともに、水塊構造や1次生産、栄養塩濃度などと比較してその発生要因を考察した。

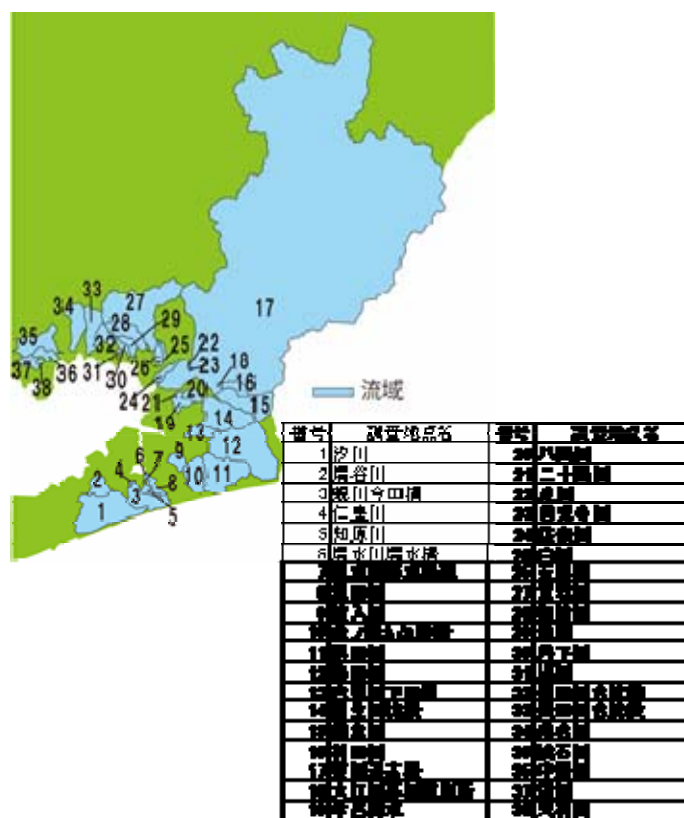


図9-1-1 調査対象河川

9-2 現地調査の概要

(1) 流入河川における調査

調査地は、図9-1-1に示す愛知県内の田原市、豊橋市、蒲郡市から三河湾湾奥へ流入する38河川である。2008年4月から月1回の間隔で採水を行った。なお、2009年4月からは2008年度の結果より、16河川に、2010年4月からは10河川に絞り平水時調査を実施した。また、降雨時調査を豊川、梅田川、西の川で行った。現地では採水の他に流量を測定し、測定水質項目は、全窒素(TN)、溶存態窒素(DN)、全リン(TP)、溶存態リン(DP)、リン酸態リン($\text{PO}_4\text{-P}$)、懸濁物質(SS)、生物化学的酸素要求量(BOD)である。懸濁態窒素(PN)、懸濁態リン(PP)はそれぞれ TN-DN 、 TP-DP より算出した。



図9-2-1 水質観測地点（図中 Stn. 11-18 が港内の観測点）

(2) 水路内における調査

海域での調査は、図9-2-1に示す地点で7月12日から11月6日までの約4ヶ月間、およそ10日間隔で計12回実施した。港内の観測点は、図中の Stn. 11 から 18 までの8地点である（ただし Stn. 11 については防波堤工事のため実質的にはデータが取得できていない）。観測では、投入型水質計（ASTD, JFE アドバンテック社製）を用いて、塩分、水温、クロロフィル濃度、濁度、溶存酸素濃度の鉛直プロファイルを計測するとともに、海表面下1mおよび海底上1mの水深から海水を1Lサンプリングし、栄養塩濃度などの水質分析を実験室に持ち帰り実施した。

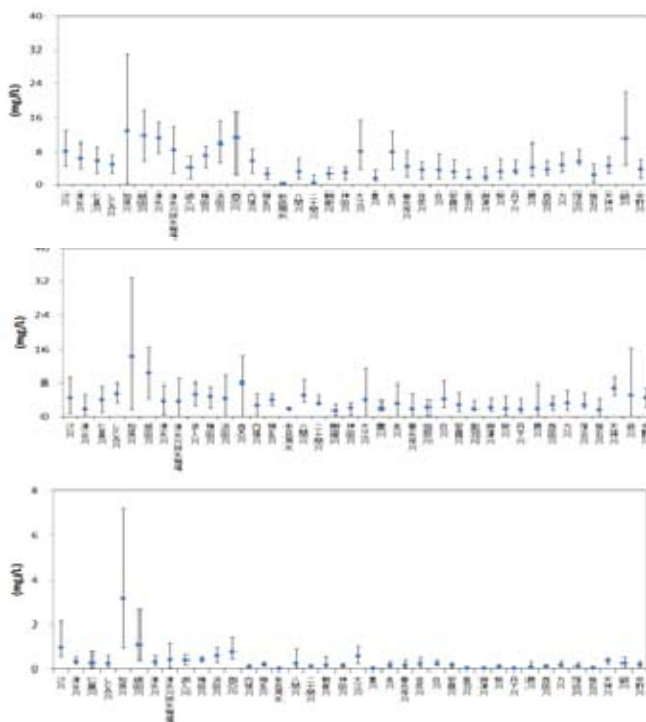


図9-3-1 平水時の河川濃度

9-3 結果と考察

(1) 河川からの流入負荷の特性

図9-3-1に各河川の水質項目(濃度mg/L)の最低値, 最高値, 平均値を示した。河川の水質基準となるBOD, 富栄養化の原因とされる窒素(TN)とリン(TP)の値を示す。なおBODは2008年度のみ測定した。

BODは環境基準AA類型(1mg/L以下)を満たしている河川はほとんどなく, 平均値は環境基準B, C類型(3mg/L, 5mg/L以下)に属している河川が多いことがわかった。知原川,

紙田川, 西の川は平均値も他河川より高く, 非常に高濃度の時期もあるため特に注意が必要である。

TNに関しては, 汐川, 知原川, 紙田川, 西の川で平均値が10mg/L以上, 最高値は知原川で32.5mg/L, 紙田川, 西の川で18mg/Lとなり非常に高濃度であった。全河川中最も高濃度であった知原川では2008年度の7月・9月, 2009年度の9月に特に高濃度であり, 他河川については10月に最高値となる河川が多く, 施肥期間中の土から流出した畑の肥料などが原因として考えられる。

TPに関しては知原川の濃度が平均3.2mg/L, 最高7.2mg/Lと群を抜いて高濃度であった。他河川は平均が0~1mg/Lに収まり低い濃度であったといえるが, 汐川, 紙田川で最高2mg/Lを越える月があった。

図9-3-2に2009年10月7日~8日の降雨時イベントの雨量, 流量, 窒素, リンの時間変化を示した。降雨量は58mmで7日の7時から降り始め, 7日の20時にピークの10mmとなった。流量のピークとほぼ同時刻にSS濃度のピークがきていた。SSの平水時平均とピ

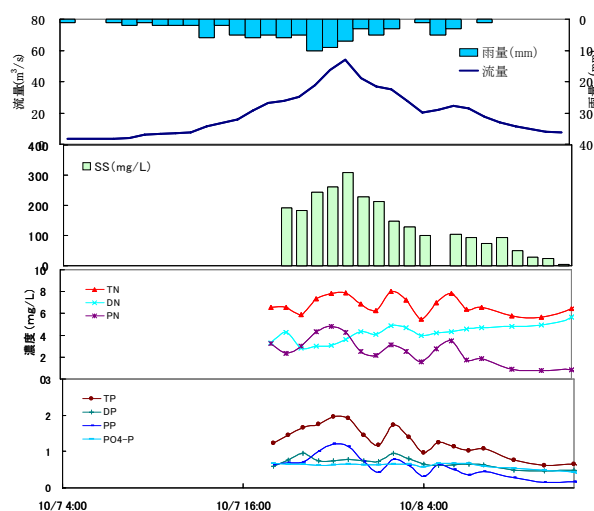


図9-3-2 降雨時の濃度変化

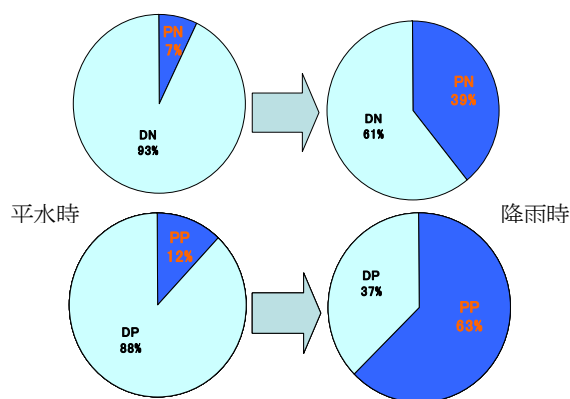


図9-3-3 平水時と降雨時の栄養塩の組成比

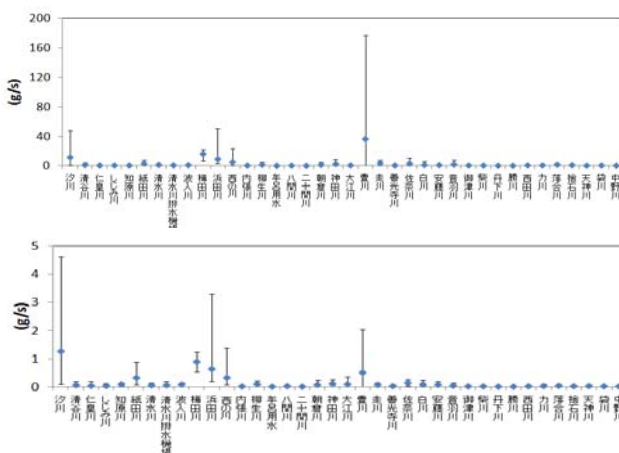


図9-3-4 平水時の河川流出負荷量

ーク時濃度は、4.2mg/L, 308 mg/L
で約 73 倍の濃度で流出していた。

TN 濃度については流量のピーク後
に濃度のピークがきていた。濃度は
平水時平均, ピーク時でそれぞれ
7.05mg/L, 8.01mg/L で約 1.1 倍の
濃度となっていた。TP の濃度につ
いては, ピークの濃度は流量のピー

クと同時刻で 1.95 mg/L, 平水時平均の 0.45 mg/L の約 4.3 倍であった。また, 図 9-3-3 に平水
時と降雨時のリンの組成比のグラフを示した。平水時では, 溶存態として 88%を検出したが, 降雨時
においては, 懸濁態として 63%検出した。このことから降雨時において栄養塩は懸濁物質とともに流出
すると言える。

図 9-3-4 に平水時の TN, TP の平水時の流出負荷量(g/s)を示す。先述の濃度では知原川や紙
田川で高濃度であったのに対し, TN 負荷量では汐川, 梅田川, 豊川, 佐奈川, TP 負荷量では汐川,
梅田川, 豊川といった流量の多い河川で負荷量を多く流出している結果となった。

年間流出負荷量の算出には, 降雨時の流量増大に伴う栄養塩の流出特性を把握し, 負荷量の増大を
考慮しなければならない。本研究では豊川・梅田川(各 5 回/2008~2010), 白川(2 回/2008), 西の
川(3 回/2009・2010)で行った。表 9-3-1 に各イベントの総雨量, 一降雨あたりの負荷量と平水
時との比較を示す。

イベント 1, 3, 5 は短期間集中型, イベント 2, 4 は長時間分散型の降雨であった。平水時の負荷量
と比較すると, 降雨によって特にリンが多く流出していた。4 河川中, 特に西の川での流出負荷量の
増加は顕著であり, イベント 2 の TN 負荷量は平水時の約 49 日, TP 負荷量では 150 日分を超える負
荷量が流出しており, 降雨による影響が非常に大きいことがわかる。また, 西の川のイベント 1 と 2
の総雨量は 13mm 程度であるが, 流出負荷量は TN が 10 倍以上, TP が約 3 倍の差があり, 雨量が
同程度であっても降雨タイプの違いによって流出する負荷量の差は大きいことがわかる。

年間流出負荷量の算出には, 2008 年度 1 時間毎の連続データの得られた豊川, 梅田川については 4
つの推定方法を用い, 評価を行った。

・推定方法①<濃度・流量一定法>: 月 1 回の調査日の流量 Q (m³/s) と濃度 c (mg/L) がその一ヶ月一
定だと仮定して, 負荷量 L (g/s)= $c \cdot Q$ より算出した。

・推定方法②<L・Q 式対数法>, ③<L・Q 式直接法>: 流量と負荷量に高い相関関係があることに着
目した方法で(1)式を用いる。

$$L = a \cdot Q^n \quad (1)$$

(Q : 流量(m³/s), L : 流出負荷量(g/s), a , n : 係数) 定期調査と降雨時調査における流量と水質成分負荷
量の関係から a , n の係数を計算し, 1 時間毎の流量から負荷量を算出した。推定方法②では式(2)の
回帰直線として求めた。

表 9-3-1 降雨時調査日データと一降雨あたりの負荷量

河川		日時	雨量(mm)	TN負荷量(t)	TP負荷量(t)	TN平水時日	TP平水時日
豊川	イベント1	2008/8/28	93	367	2.4	13.8	57.9
	イベント2	2008/9/18~9/21	68	11.7	0.5	4.4	12.1
	イベント3	2009/8/9~9/14	19	152	1.1	4.5	11.3
	イベント4	2009/10/7~10/8	56	762	4.2	22.5	43
	イベント5	2010/10/30~10/31	34	334	2.8	7	36
梅田川	イベント1	2008/8/28	227	118	7.2	5.2	56.6
	イベント2	2008/9/19	54	96	5	4.3	38.6
	イベント3	2009/8/9~9/11	43	57	0.9	5.3	13.9
	イベント4	2009/10/7~10/8	58	136	2.7	12.7	41.7
	イベント5	2010/10/30~10/31	69	103	1.7	13.4	30.7
白川	イベント1	2008/8/28	93	14	0.7	7.5	54
	イベント2	2008/9/19	68	12	0.2	6.4	154
西の川	イベント1	2009/8/9~9/11	43	12	0.9	4.3	57.9
	イベント2	2009/10/7~10/8	58	136	2.4	48.9	154.3
	イベント3	2010/10/30~10/31	69	53	0.9	25.5	89

$$\log L = \log a + n \cdot \log Q \quad (2)$$

推定方法③は調査時の流量 Q と負荷量 L から直接二乗法により試行錯誤的に係数の最適解を求めた。 n の値によって流出負荷量は、 $n>1$ で「溶脱型」、 $n \div 1$ で「濃度一定型」、 $n<1$ で「希釈型」に分類される。

・推定方法④< $\Sigma L \cdot \Sigma Q$ 法>：降雨による影響を考慮した年間負荷量を算出するため、降雨の影響と関係なく常に流出している成分(基底流量、基底負荷量)と降雨により増加して流出する成分(累加流量、累加負荷量)がある。推定方法④は調査日で降雨の影響がないと考えられる日の負荷量の平均値から基底負荷量を求め、降雨の影響で増加した負荷量を加え年間負荷量を算出する方法である。豊川、梅田川、西の川、および中小河川の年間流出負荷量の算出に用いた。

図9-3-5に豊川の $L-Q$ 式の対応性を示す。二つの方法でも推定方法③直接法が高流量時に多く流出する水質特性

の N, P を評価できており最も正值に近い値となると考えられる。

表9-3-2に各河川推定方法別の算出結果を示す。推定方法①は濃度、流量変化が考慮されていないため、調査当日の数値に依存し、負荷量が過小評価になったり過大評価になったりした。推定方法④は豊川では、TNは約1.5倍、TPは約4.5倍、梅田川ではTNは約2.7倍、TPは約4.5倍多く算出されたが、推定方法③④との差が大きく、豊川は過大評価、梅田川は過小評価されていると考えられる。推定方法④は、平水時の値を基底負荷量とするため、晴天降雨を考慮していない2008年度、2009年度の調査値では、誤差がでるといえる。また、降雨時に増加する負荷量を評価できるが、様々な降雨条件で多くの降雨時調査が必要であり、現実的には採用しにくい方法である。

つまり、推定方法③④の $L-Q$ 式から算出した負荷量は流量、濃度変化を考慮できており、正值に近くなるといえる。

(2) 水路内の水質の特性

以下では、8月の観測結果をもとに三河港水路内での貧酸素水塊の特性と栄養塩濃度の変化について考察する。7月から8月にかけての気象条件は、7月中旬の梅雨明けから7月28日までは降雨もな

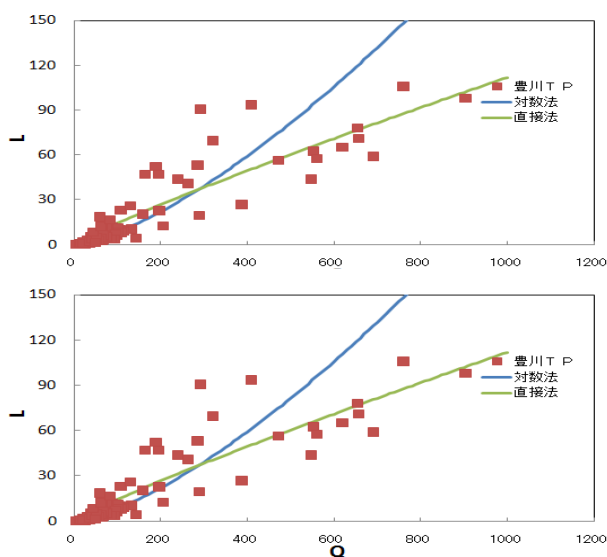


図9-3-5 豊川における $L-Q$ 曲線

表9-3-2 推定方法別負荷量(t/year)

2009年度		①	②	③	④
豊川	TN	1275	1555	1890	1964
	TP	38	75	137	168
	$Q(m^3/year)$	1.2×10^9	3.3×10^8		***
2009年度		①	②	③	④
梅田川	TN	271	1449	1212	756
	TP	18	276	171	84
	$Q(m^3/year)$	4.6×10^7	2.3×10^8		***

く安定した猛暑が続いていたが、7月29、30および8月10日前後に雨が降った。特に8月12日は台風の影響でまとまった雨と強風が観測されている。その後は再び安定した猛暑が続いた。

図9-3-6は、水路内の観測点 Stn.17 における、8月の3回の観測日における溶存酸素飽和度の鉛直分布を示したものである。これより、水路内の溶存酸素濃度の鉛直分布は気象条件の変化に対応して大きく変動していることがわかる。小雨安定期末期の8月1日では、表層で高いDOと4m以深の貧酸素水塊の形成が特徴的で、明確な2層構造を有しているのに対し、まとまった降雨と強風の影響を受けた8月13日にはかなり鉛直混合が進み、底層の貧酸素水塊が表面まで上昇して表層のDO濃度がかなり低下するとともに底層のDO濃度が上昇している。この混合は気候の安定とともに次第に安定化に向かい、8月23日には再び底層に貧酸素水塊が形成されている。このように、流入河川につながる水路内では貧酸素水塊の構造は時間的に大きな変化を示すことがわかった。

図9-3-7は、図9-2-2に示した海域の観測点で採水したサンプルの栄養塩濃度のうち、8月に実施した3回の観測における溶存態リン濃度(DP)の分布を示したものである。図には、観測点毎に表層(UP)および底層(LOW)の濃度を示してある。これらの図より、いずれの日においても、港内(ST12-ST18)のリン濃度は豊川河口沖(ST3-ST10)に比べて高くなっており、港奥すなわち河口部(ST15: 汐川河口部, ST18: 梅田川および柳生川河口部)に近いほど高い値を示していることがわかる。時間的な変化については、8月1日にはそれまでの小雨と安定した天候のためにリン濃度は低い値を示しているが、降雨後の河川水の流入により、豊川河口沖および港内ともにリン濃度が上昇している。また、安定期には表層のリン濃度が非常に小さいのに対し、降雨後には特に港内の観測点で表層のリン濃度が著しく上昇している。これは、港内に流入する河川からの供給が非常に大きいことを意味している。8月11日から23日の変化を見ると、全体的に表層の濃度が低下し底層の濃度が増大している。これは、栄養塩の流入後に発生した植物プランクトンの分解によるものと考えられる。

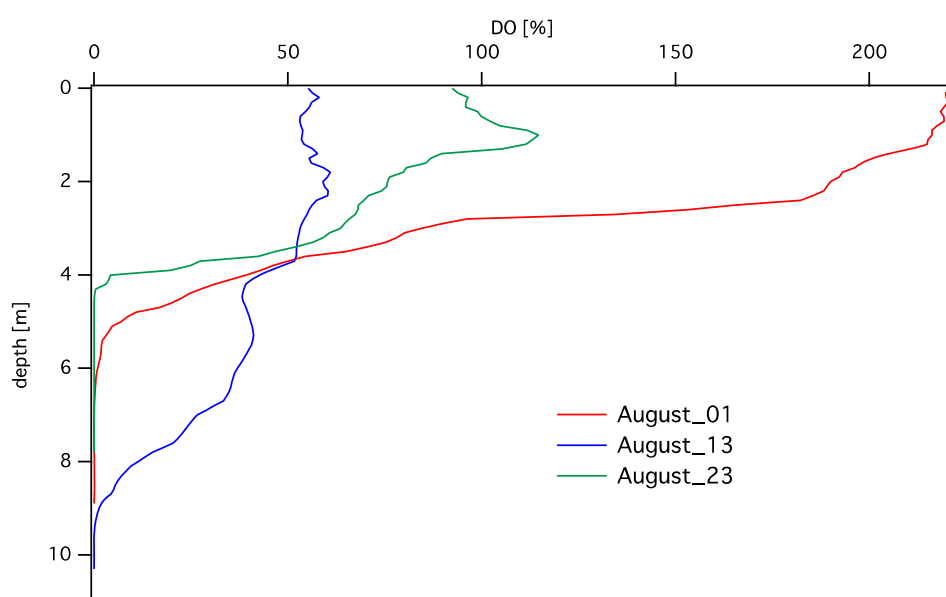


図9-3-6 8月の水路内 Stn. 17 での溶存酸素飽和度 (DO) の鉛直分布

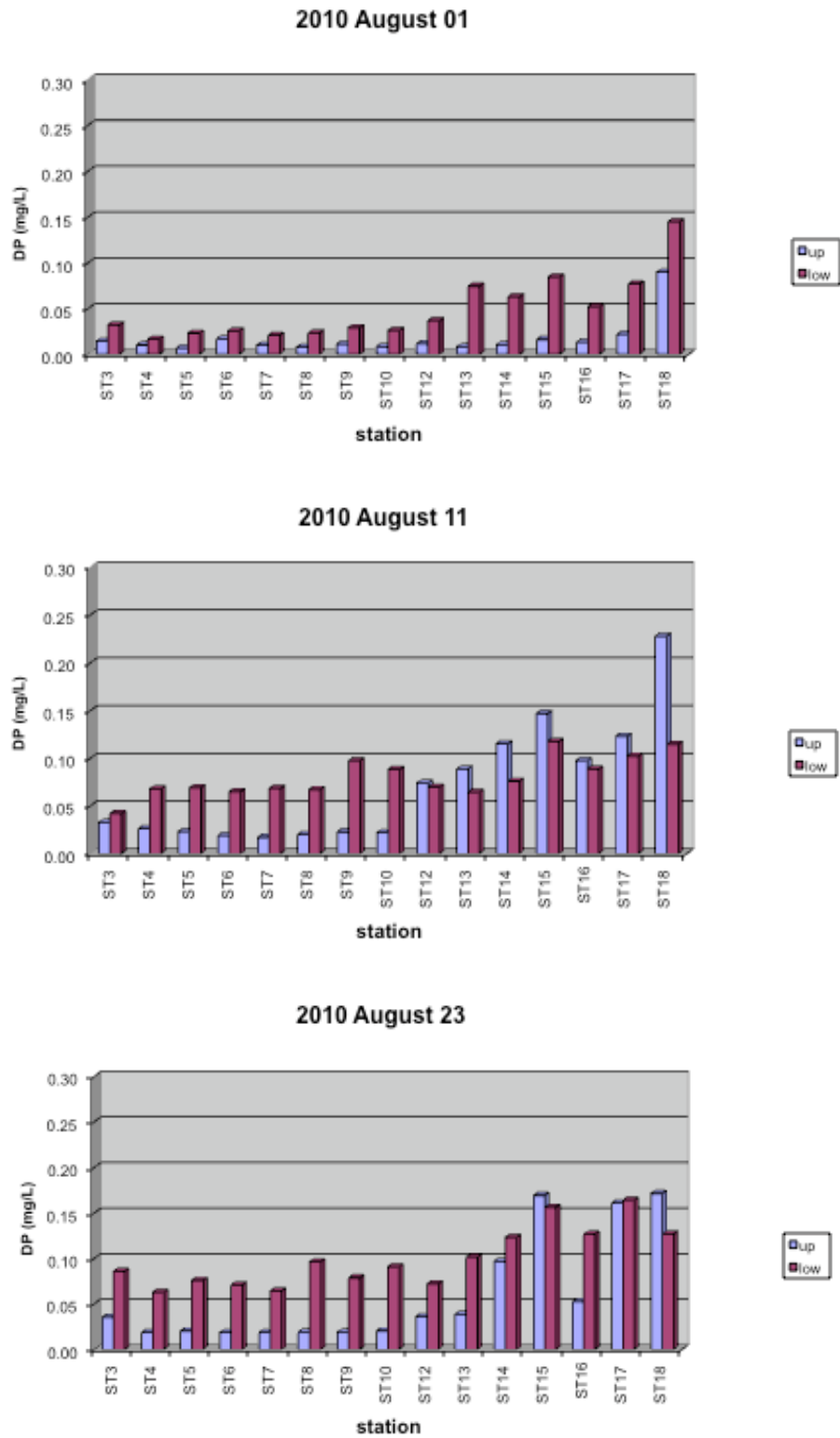


図9-3-7 海域での8月の溶存態リン濃度の分布状況

平成22年度活動状況

1. 未来ビークルリサーチセンター第14回シンポジウム開催報告

未来ビークルリサーチセンター 低炭素社会と安全・安心コア
電気・電子情報工学系 教授 櫻井 庸司

低炭素社会実現に向けて、大幅な燃費向上・CO₂排出量削減に威力を発揮する高性能二次電池が注目を集めています。このような背景の下、平成22年12月6日に本学において、「次世代都市交通システム・移動体への電池応用」と題して、未来ビークルリサーチセンター第14回シンポジウムを開催致しました（別添プログラム参照）。

本シンポジウムでは、電動二輪車、EV、コミュニティ電気バス、路面電車、トランスファークレーンなど、地域社会から港湾に至るさまざまな利用シーンで普及が期待されている低環境負荷型移動体への新しい電池応用に関して、この分野の第一線でご活躍中の外部講師4名をお招きし、ご講演頂きました。

まず始めに、世界の二輪EVの現状とホンダの取り組みについて、本田技術研究所・大田氏からお話を伺いました。続いて、新しい電気自動車と充電インフラの特徴とその普及のために必要な取り組みについて、東京電力・丸田氏にご講演頂くとともに、北陸電力・松田氏、川崎重工業・寺田氏に、リチウムイオン電池およびニッケル水素電池を用いた電気コミュニティバス・路面電車・トランスファークレーンなどの移動体用電池応用についてご紹介頂きました。

当日は、学外から90名、学内から66名、計156名の参加者があり、質疑応答においても活発な議論がなされ、盛会のうちに講演会を終了致しました。

末尾ながら、本シンポジウム開催に当たりご協力頂きました関係各位に厚くお礼申し上げます。



本田技術研究所・大田氏



東京電力・丸田氏



北陸電力・松田氏



川崎重工業・寺田氏

豊橋技術科学大学 未来ビークルリサーチセンター 第14回シンポジウム
「次世代都市交通システム・移動体への電池応用」

【概要】

低炭素社会実現に向けて、大幅な燃費向上・CO₂排出量削減に威力を発揮する高性能二次電池が注目を集めています。

本シンポジウムでは、電動二輪車、EV、コミュニティ電気バス、路面電車、トランスファークレーンなど、地域社会から港湾に至るさまざまな利用シーンで普及が期待されている低環境負荷型移動体への新しい電池応用に関して、この分野の第一線でご活躍中の講師の方々にご講演頂きます。

●日時： 平成22年12月6日（月）13:00～16:40

●場所： 豊橋技術科学大学 A講義棟 A-101

●主催： 豊橋技術科学大学 未来ビークルリサーチセンター

●後援： 豊橋市、田原市、豊橋商工会議所、田原市商工会

●協賛： 電気化学会電池技術委員会、電気化学会東海支部、電気学会東海支部、
IEEE名古屋支部、自動車技術会

【プログラム】

時間	講演タイトル	講演者
13:00 ～13:10	未来ビークルリサーチセンター紹介	豊橋技術科学大学 副学長 未来ビークルリサーチセンター長 角田 範義
13:10 ～14:00	【講演1】 「世界の二輪EVの現状とホンダの取り組み」	(株)本田技術研究所 二輪 R&D センター 技術開発室 0ブロック 主任研究員、シニアマネージャー 大田 淳朗 氏
14:00 ～14:50	【講演2】 「新しい電気自動車と充電インフラの特徴 ～その普及のために必要な取り組み～」	東京電力(株) 技術開発研究所 電動推進グループ 主任研究員 丸田 理 氏
14:50 ～15:00	休憩	
15:00 ～15:50	【講演3】 「リチウムイオン電池を用いた電気コミュニティ バスの開発と実証試験」	北陸電力(株) 技術開発研究所 技術開発チーム 課長 松田 弘治 氏
15:50 ～16:40	【講演4】 「大容量ニッケル水素蓄電池ギガセルの各種移動体 への適用開発」	川崎重工業(株) 車両カンパニー ギガセル電池センター 部長 寺田 誠二 氏

●世話人・問合せ先： 豊橋技術科学大学 電気・電子情報工学系 櫻井庸司

E-mail: sakurai@ee.tut.ac.jp , Tel./FAX: 0532-44-6722

2. その他の活動状況

○ あいち IS 大学セミナー

「日本の ITS の現状と今後の展望～新サービスシステム開発の最前線～」

日 時：平成 22 年 7 月 13 日

場 所：豊橋技術科学大学 A 講義棟

○ 第 27 回豊橋技術科学大学オープンキャンパス

日 時：平成 22 年 8 月 27 日

場 所：豊橋技術科学大学 A 講義棟

○ 三遠南信クラスター推進会議・次世代用輸送機器産業クラスタープロジェクト

ものづくり産業活性化フォーラム in とよはし

「次世代ビークルへの挑戦」

日 時：平成 22 年 9 月 17 日

場 所：豊橋商工会議所 9 階ホール

○ 平成 22 年度広域的産業立地・人材養成等支援事業（経済産業省）

低炭素社会に向けてのグリーンエネルギーフォーラム

日 時：平成 22 年 9 月 27 日

場 所：アクトシティ浜松 コンgressセンター 22・23 会議室

○ 「ものづくりはひとづくり」ものづくりフェア 2010 in 東三河

日 時：平成 22 年 11 月 26 日・27 日

場 所：豊橋総合体育館

学生への支援

豊橋技術科学大学 自動車研究部 TUT FORMULA 2010 シーズン活動報告書



目次

1	はじめに.....	198
2	全日本学生フォーミュラとは.....	198
2.1	大会概要	
2.2	大会理念	
2.3	主要ルール	
3	大会結果.....	199
3.1	審査内容	
3.2	各審査結果	
3.3	大会を終えて	
4	TG05 の紹介.....	200
4.1	車輛概観	
4.2	主要諸元	
4.3	技術解説	
5	TUT FORMULA の活動実績.....	202
6	スポンサー紹介.....	205
7	ファカルティアドバイザーより.....	203
8	チーム代表挨拶.....	204

はじめに

私たち、豊橋技術科学大学自動車研究部(以後 TUT FORMULA と称す) は、去る 2010 年 9 月 7 日から 11 日に静岡県小笠山総合運動公園エコパにて開催された、自動車技術会主催『第8回 全日本学生フォーミュラ大会』に参加しました。そこで大会の結果と今年度の活動報告をいたします。

全日本学生フォーミュラとは

大会概要

大会には、学生がチームを組んで企画・設計・製作したフォーミュラスタイルの小型レーシングカーを持ち寄ります。そして、車輛の走行性能だけでなく、車輛コンセプト・設計・製作コストなど、ものづくりの総合力が評価されます。

大会理念

- ・ ものづくりの機会を提供することによって、大学・高専等の工学教育活性化に寄与する。
- ・ 学生自らがチームを組み約 1 年間でフォーミュラスタイルの小型レーシングカーを開発・製作することによって、学生がものづくりの本質やそのプロセスを学び、ものづくりの厳しさ・おもしろさ・喜びを実感する。
- ・ 競技会では、走行性能だけでなく、車輛のマーケティング、企画・設計・製作、コスト等のものづくりにおける総合力を競う。
- ・ 学生に対しては自己能力向上の場、企業に対しては将来を担う有能な人材発掘の場を提供する。

主要ルール

- ・ オープンホイール・オープンコクピットのフォーミュラカースタイルの車輛であること。
- ・ 総排気量 610cc 以下の、4 ストロークガソリンエンジンを使用すること。
- ・ 直径 20mm 以下の吸気リストリクタを装着すること。
- ・ 加速、旋回、耐久イベントによる走行性能審査(動的審査)と設計やコストなどの審査(静的審査)を行い、各チームは得点を競う。
- ・ 安全面については、厳格で緻密なルールを定められている。
- ・ 車検に合格した車輛でなければ、プラクティス走行及び動的審査に参加できない。また、大会会場でエンジンを掛けることも許されない。

大会結果

審査内容

第8回全日本学生フォーミュラ大会では、海外チーム7チームを含む合計70チームが参加しました。大会の審査は動的審査と静的審査に分けられ、静的審査はコストレポートの正確さやコスト削減の手法を競うコスト審査・車両を販売するためのマーケティング手法を競うプレゼンテーション審査・車両設計の妥当性を競うデザイン審査の3種目、動的審査は加速性能を競うアクセラレーション・旋回性能を競うスキッドパッド・総合的な走行性を競うオートクロス・耐久性を競うエンデュランス・燃費の5種目で、これらの合計が総合成績として評価されます。

なお、燃費はエンデュランス完走後のガソリンタンク残量から評価するため、エンデュランスを完走しなければ審査対象となりません。

各審査結果

静的 審査	コスト審査	40.3 / 100 pt	31 位
	プレゼンテーション審査	37.50 / 75 pt	29 位
	デザイン審査	125.0 / 150 pt	5 位
動的 審査	アクセラレーション	0 / 75 pt	DNA
	スキッドパッド	0 / 50 pt	DNA
	オートクロス	7.5 / 150 pt	47 位
	エンデュランス	0 / 300 pt	DNF
	燃費	0 / 100 pt	DNF
	総合成績	210.3 / 1000 pt	44 位

※DNA : Do Not Attack

※DNF : Do Not Finish

大会を終えて

今シーズンも当初予定していた日程より車両完成が遅れてしまいました。また、大会前に十分な問題点の洗い出しやセッティングを行うことができず、大会では車両トラブルにより全ての動的競技に参加することができませんでした。しかし、デザイン審査ではデザイン審査の上位5校が参加できるデザインファイナルに進出することができ、我々の車両の設計を多くの方々に評価していただくことが出来ました。

TG05 の紹介

車輛概観

Fig.1 に第8回全日本学生フォーミュラ大会参戦車輛 **TG05** の概観を示します。車輛の設計に約 5 ヶ月、製作に 5 ヶ月を費やしました。

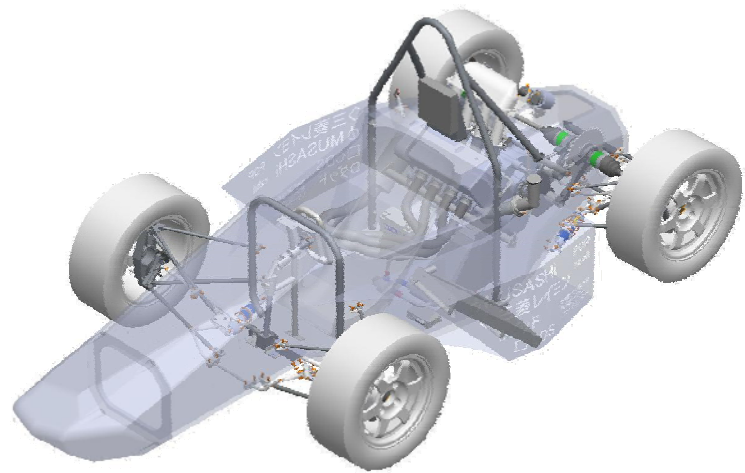


Fig.1 TG05 3D Model

主要諸元

名称	TG05
全長	2892mm
全高	1116mm
全幅	1405mm
ホイールベース	1550mm
トレッド 前/後	1200mm / 1100mm
車輛質量	195kg
エンジン	HONDA CBR600RR PC37E 599cc
最大出力(クランク軸出力補正值)	78.8ps/12600rpm
最大トルク	5.3kgf-m/10200rpm
駆動方式	チェーン駆動
サスペンション 前/後	ダブルウィッシュボーン / ダブルウィッシュボーン
ブレーキ 前/後	アウトボードツインローター / アウトボードツインローター
タイヤ 前/後	180/510-13 Bridgestone / 180/510-13 Bridgestone

技術解説

- ・ コンセプト

2009 シーズン車輦 **TG04** は、大会結果から加速性能に対して旋回性能が劣っていると考えられます。そこで、**TG05** では **TG04** の加速性能を維持しつつ旋回性能を向上させることで、より完成度の高い車輦を製作しようと考え、2010 シーズン車輦 **TG05** の開発コンセプトを「**Basic for Perfect** ～軽量・低重心・低ヨー慣性モーメント～」といたしました。そのため今シーズンは車輦の大幅な設計変更を行わず、定向進化を意識して開発を行いました。

- ・ シャシ

コンセプトの1つである軽量化を達成するため、**TG04** に引き続き **TG05** でも軽量であるカーボンモノコックシャシを採用しました。また、学生が設計・製作からドライバーまでを担当する学生フォーミュラにおいて、カーボンモノコックシャシは優れたエネルギー吸収性とドライバーを完全に覆うモノコック構造により、高い安全性も実現しています。

- ・ サスペンション

TG05 では旋回性能の向上のためにホイールベースを **1550mm** に狭め、サスペンションは低重心化のためにフロント、リアともにダブルウィッシュボーン・プルロッド式を採用しました。また、サスペンションアームにカーボンパイプを採用することによりバネ下重量の削減を行い、低ヨー慣性モーメントに貢献しました。

- ・ パワートレイン

TG04 と同じく、**CBR600RR** のパワーユニットである **PC37E** を搭載しました。ヘッド面の研削により圧縮比を上げ、出力と燃費の向上を図りました。

吸気系は **CFRP** を用いた事により、大幅な軽量化を達成しました。また、排気系はチタンの三次元曲げを用い繋ぎ目のない排気管にすることにより馬力向上を達成しました。

- ・ ドライブトレイン

TG05 では、車体重量、過去の大会走行データ、駆動力線図の見直しにより最終減速比を検討した結果、1 速と 2 速のみでエンデュランスコースを走行できるようにしました。また、それに伴い不要なギアを排除することにより約 **1400g** の軽量化を達成しました。

TUT FORMULA の活動実績

日付	車両・活動
2009 年 9 月	・ 新体制発足 ・ スポンサーに大会結果報告
10 月	・ 技科大祭にて車両展示とデモ走行を行う ・ TG05 開発のためのテスト走行
11 月	・ TG05 各部品設計開始
12 月	
2009 年 1 月	
2 月	
3 月	
4 月	・ TG05 部品製作開始 ・ 新入部員入部
5 月	・ カーボンモノコックシャシ製作開始 ・ 車両安全性証明書類の作成
6 月	・ 車両安全性証明書類提出 ・ デザインレポート作成・提出 ・ コストレポート作成・提出
7 月	・ 車両製作 ・ カーボンモノコックシャシ完成
8 月	・ 車両組立 ・ TG05 シェイクダウン
9 月 7 日～11 日	・ 第 8 回全日本学生フォーミュラ大会参戦

スポンサー紹介

2010 シーズンに御支援いただいたスポンサー(敬称略)を以下に記します。

資金支援

武蔵精密工業株式会社	株式会社ダッド
CDS 株式会社	三菱レイヨン株式会社
豊橋技術科学大学 未来ビークルリサーチセンター	ポップリベット・ファスナー株式会社
株式会社 山武	

物品支援

株式会社 豊栄工業	三菱レイヨン株式会社
トピー工業株式会社	ポップリベット・ファスナー株式会社
豊橋技術科学大学 情報メディア基盤センター	NTN 株式会社
ソリッドワークスジャパン株式会社	サイバネットシステム株式会社
ANSYS, Inc.	株式会社 WINKS
ハンツマン・ジャパン株式会社	株式会社レント
ミスタータイヤマン豊橋店	株式会社 和光ケミカル
株式会社アクロス	ヘンケルジャパン株式会社
イブリダセル株式会社	昭和飛行機工業株式会社
株式会社サイマコーポレーション	株式会社 富士精密
株式会社ミスミグループ本社	株式会社羽生田鉄工所
日本インシュレーション株式会社	有限会社ツゲプラセス
オーエスジー株式会社	協和工業株式会社
住友電装株式会社	株式会社 玉津浦木型製作所
大同アミスター株式会社	

技術支援

豊橋技術科学大学 研究基盤センター工作機器部門	本田技研工業株式会社
YSP 豊橋南	株式会社ネクスト

個人支援

栗原 義文	中村 克己	村尾 卓児	赤沢 伸一	中西 利明
-------	-------	-------	-------	-------

OB会

茅野 浩之	手塚 康瑛	我妻 裕樹	真鍋 敬介	塩原 正行
奥田 裕也	谷 智英	石森 慎弥	田中 和宏	島田 卓弥
近藤 圭太	永井 宏典	澁江 佑介	熊谷 匡明	野口 健太

ファカルティアドバイザーより

豊橋技術科学大学 機械工学系 准教授

顧問兼ファカルティアドバイザー 安井 利明

今年度は、自動車研究部のファカルティアドバイザーとなって初めて全日本学生フォーミュラ大会へ同行しました。全参加チームの中でも本学は、大会参加者のみならず運営に関わる企業の方からも非常に注目され評価が高いことに驚きました。しかし、車両製作が大会直前となったため、車検に手間取り、動的競技の一部参加でませんでした。それでも、デザインファイナルに残ると共に、オートクロスやエンデュランスには参加できました。結果は残念でしたが、最後まであきらめなかった学生の頑張りには拍手を贈りたいと思います。今回の悔しさをバネに次年度は頑張ってくれると思います。

全日本学生フォーミュラ大会への参加は、車輛の企画・設計・製作のみならず、資金集め・コスト管理・プレゼンなど“ものづくり”に必要な全てを学生自身が行うところに大きな意義があります。大学の課外活動ではありますが、日本の“ものづくり”を支える若い技術者を育成する産官学民で支援するPBL (Project Based Learning) 教育として、スポンサー企業様、未来ビークルリサーチセンターを始めとする学内関係者各位には引き続きご支援・ご指導いただきたいと存じます。どうかよろしくお願い致します。

チーム代表挨拶

豊橋技術科学大学 機械工学専攻 博士前期課程 1 年

自動車研究部 2010 シーズン 部長 赤澤 直哉

自動車研究部 2010 シーズンの部長を務めました赤澤と申します。

自動車研究部では2008シーズンに製作したTG03以来、カーボンモノコックをシャシに採用し、車輛の軽量化を図っております。カーボンモノコックを始めとしたCFRP製品は強度を損なうことなく軽量化を可能とし、車輛重量の軽量化は燃費に直接影響します。自動車研究部の参加している学生フォーミュラでは2009年大会に燃費競技の配点を増やしており、私たちとしても燃費は意識するべき点であります。また、2010年大会では学生の製作したEVの展示を行っており、EVが競技に参加できるようルールを整備も進められております。現在の日本ではEVやハイブリッド自動車が増え、ガソリン車には排出ガスの規制や低燃費であることが求められてきています。それらを受け止め、学生フォーミュラ大会も社会情勢に対応するべく上記のような内容の変化を行い、私たち参加チームに実践的なものづくりの場を与え続けてくれています。私たちも自らが社会の現状やこれからの自動車業界を考え、真剣にものづくりを行える学生フォーミュラを通して、今後も自身を成長させていきたいと思っております。

最後になりますが、自動車研究部の活動初年度から御支援を頂いている未来ビークルリサーチセンターの皆様、他のスポンサーの皆様、私たちの活動を最も近い場所で支えてくれるファカルティアドバイザーの先生方、OBの先輩方には本当に感謝しております。この場を借りて厚く御礼申し上げます。これからも「未来ビークル」を意識したものづくりを行い日々努力して参りますので、応援よろしくお願い致します。

組織・構成

センターは、「低炭素社会と産業育成コア」と「低炭素社会と安全・安心社会コア」から構成されています。

2つの研究コアにそれぞれ複数の分野が設定されています。

低炭素社会と産業育成コア

▷ 自然・エネルギー分野

▷ 物流分野

▷ 環境分野

▷ 都市システム分野

低炭素社会と安全・安心コア

▷ 安心・安全分野

▷ 自然エネルギー分野

▷ 環境分野

低炭素社会と産業育成コア

滝川 浩史	電気・電子情報工学系教授
廣畠 康裕	建築・都市システム学系教授
青木 伸一	建築・都市システム学系教授
井上 隆信	建築・都市システム学系教授
宮田 謙	建築・都市システム学系教授
洪澤 博幸	建築・都市システム学系准教授

低炭素社会と安全・安心コア

章 忠	機械工学系教授
金澤 靖	情報・知能工学系准教授
滝川 浩史	電気・電子情報工学系教授
櫻井 庸司	電気・電子情報工学系教授
角田 範義	環境・生命工学系教授
後藤 尚弘	環境・生命工学系准教授
大門 裕之	環境・生命工学系准教授

サステナブルな社会における未来ビークルシティー事業
－ 低炭素社会における安全・安心なビークルシティー －
平成 22 年度研究成果報告書

発 行 平成 23 年 3 月
発行者 国立大学法人豊橋技術科学大学
未来ビークルリサーチセンター
〒441－8580 愛知県豊橋市天伯町雲雀ヶ丘 1－1



国立大学法人 豊橋技術科学大学

未来ビークルリサーチセンター

〒441-8580 愛知県豊橋市天伯町雲雀ヶ丘 1-1

電話 (0532) 44-6574