

サステイ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ー ～

平成24年度研究成果報告書



平成25年3月

巻頭言

未来ビークルシティリサーチセンター長

角田 範義

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」を課題として、未来ビークルシティリサーチセンターが発足し、第3回目の報告書をお届けできる運びとなりました。ファーストフードの時代からスローライフの時代への転換、それに伴う自動車社会のあり方についての考え方も変わってきました。また、日本の少子高齢化が進むことによる、事故対策として高齢者（弱者）に対する自動車とは（運転者、歩行者）と言う観点からの開発結果が、内外の自動車会社から提案されています。

本センターは、現在進められている車を中心とした次世代自動車の開発という観点とは異なり、今までの自動車を中心（ハード）とする街づくりから弱者や歩行者の視線に重きを置いた（ソフト）未来の自動車街（未来ビークルシティ）を目指しています。そのため、持続的に発展可能な「低炭素社会」や「安全・安心社会」と言う2つの目標を掲げています。具体的には、1）本地域の利点である三河湾を念頭に置く電気自動車社会の構築です。将来の地震に備え港が防災拠点としての機能も持つことをも念頭に置いています。低炭素社会では電気自動車が重要な役割を果たしますが、電気自動車の弱点は、電池の能力と充電に関する問題（充電時間：最低でも30分、場所：非常に少ない）であり、それが長距離移動の難しさを浮き彫りにしています。しかし、船舶を利用による移動中の船舶内での充電が、電気自動車化のためのインフラ整備の範囲を都市単位で考えれば良いというコスト面からの利点を生み出します。そのため、電気自動車はその街のみの使用で遠出は困難とイメージが払拭され、電気自動車の普及が進むものと考えています。もう一つが、2）“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（歩行者）から見た安全・安心”に展開させることにより新しい視点での自動車と街のあり方を提案することです。これまでの自動車社会における安全・安心は、主に自動車（運転者）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。現在の高齢化社会ではこれら弱者の視点から見た街づくりを行うことが必須です。本事業は、これまでの視点を変えた新たな試みであり、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。

本年度は新しいメンバーの加入もありました。本リサーチセンターの主催として、小中学生の未来の“のりもの”ポスターコンクール、豊橋市役所のホールを利用したデモンストレーションを伴う成果報告会など活発な活動を行い、事業の展開を行ってきました。本年度行った活動についての課題を示します。

1. 未来ビークルライフを支えるエネルギーの発生と利用技術に関する研究
2. 三河港田原地区における交通渋滞対策に関する検討
3. 豊橋市における電気自動車導入による都市の変化
4. 三河港の経済効果と海上輸送へのモーダルシフトに関する研究
5. 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
6. 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
7. 交通弱者の安全・安心のためのシステムや装置に関する研究
8. 新しい電池技術の研究開発
9. 電化道路電気自動車EVERの研究
10. 持続可能な移動手段の環境有効性の評価

本年度は、1)と2)の目標に対する10課題(行政と共に取り組んだ課題も含まれています)についての取り組みについて報告しております。特に課題9は、最近注目を浴びている事業ですので、是非ご一読お願いいたします。さらに、本センター事業の内容が「街づくり」という面も併せ持っていることから、本学の「安全安心地域地域共創リサーチセンター」とともに防災という面での共同研究も推進して行きたいと思っております。本年度中に本学と国土交通省中部整備局との間で防災に関わる包括協定を締結する予定です。特に目標1)にある三河港を生かしたビークルシティの構築に向けて、包括協定により中部整備局三河港事務所と連絡を密にすることで事業の進展が期待できます。

24年度の活動成果報告書をご覧になられた皆様からの忌憚のないご意見をいただき本センターの事業をよりよく発展させていきたいと思っております。今後とも、本センター事業へのご支援、ご協力をよろしくお願いいたします。

□□□ 目 次 □□□

研究成果

1. 未来ビークルライフを支えるエネルギーの発生と利用技術に関する研究

【電気・電子情報工学系 教授 滝川 浩史】

..... 1

1-1 公共施設内における EV 車両導入効果の検討

1-2 のんほいパーク内への太陽電池の利用の検討

1-3 湾岸重機の EV 化の効果および自然エネルギーの利用についての検討

1-4 ゴミ収集車の EV 化の効果の検討

1-5 EV 車で利用する電源システムの検討と試作

1-6 二次電池の長寿命化に関する研究

2. 三河港田原地区における交通渋滞対策に関する検討

【建築・都市システム学系 教授 廣畠 康裕】

..... 16

2-1 はじめに

2-2 三河港田原地区における道路交通実態の整理

2-3 渋滞解消のための対策メニューの整理

2-4 三河港田原地区周辺の幹線道路網整備による効果の試算

2-5 結論

3. 豊橋市における電気自動車導入による都市の変化

【建築・都市システム学系 教授 宮田 譲, 准教授 渋谷 博幸】

..... 38

3-1 はじめに

3-2 豊橋市経済会計行列

3-3 電気自動車導入の応用一般均衡分析

3-4 シミュレーション分析

3-5 シミュレーションの結果

3-6 おわりに

4. 三河港の経済効果と海上輸送へのモーダルシフトに関する研究	
【建築・都市システム学系 准教授 洪澤 博幸, 教授 宮田 譲】	
.	58
4-1 三河港の経済波及効果の計測	
4-2 電気自動車による道路からフェリーへのモーダルシフトの試算	
5. 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 客員教授 青木 伸一, 教授 井上 隆信】	
.	72
5-1 研究の背景と目的	
5-2 栄養塩流入負荷量の算定方法	
5-3 流入負荷量の算定	
5-4 海域調査の概要	
5-5 海洋調査の結果と考察	
6. 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】	
.	85
6-1 ハンドルセンサを用いた把持圧力と乗車姿勢の関係解析	
6-2 ドライバの運転中における反応時間の計測	
6-3 車両前方画像からの視覚特性を考慮した物体抽出	
6-4 研究発表実績, 今後の課題	
7. 交通弱者の安全・安心のためのシステムや装置に関する研究	
【情報・知能工学系 准教授 金澤 靖】	
.	102
7-1 全周プロジェクションシステムのオンライン化	
7-2 全方位カメラを用いた危険検知に関する研究	
7-3 2色覚者のためのノイズ付加による色の識別率向上に関する研究	
8. 新しい電池技術の研究開発	
【電気・電子情報工学系 教授 櫻井 庸司】	
.	113
8-1 はじめに	
8-2 CaV_2O_5 の合成	
8-3 CaV_2O_5 の電気化学特性評価	

8-4 充放電に伴う CaV_2O_5 正極の反応機構

8-5 まとめ

9. 電化道路電気自動車 EVER の研究

【電気・電子情報工学系 教授 大平孝】

..... 122

9-1 はじめに

9-2 一般タイヤを用いたタイヤ集電 (V-WPT) 方式による電球点灯システム

9-3 1/10 スケールモデル電気自動車による EVER システム

9-4 研究成果

9-5 おわりに

10. 持続可能な移動手段の環境有効性の評価

【環境・生命工学系 准教授 後藤 尚弘】

..... 132

10-1 二輪 EV の利用実態調査

10-2 二輪 EV 利用による炭酸ガス排出削減量の推計

10-3 結論

平成24年度活動報告

1. 未来ビークルシティリサーチセンター第16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】

..... 145

2. その他の活動報告

..... 147

3. ドライビングシミュレータの活用と交通安全啓蒙活動

【機械工学系 教授 章 忠】

..... 165

学生への支援

自動車研究部 2012 シーズン活動報告書

..... 173

組織・構成

..... 182

活動報告

1. 未来ビークルライフを支えるエネルギーの発生と利用技術に関する研究

電気・電子情報工学系 教授 滝川 浩史

1-1 公共施設内における EV 車両導入効果の検討

(1) はじめに

近年、地球温暖化や原油枯渇などの問題がますます深刻化している。今後、代替エネルギーとなり得る発電方法の見通しが立たなければ、地球温暖化や原油枯渇が加速する可能性がある。このような背景から石油に依存しない社会づくりという課題が指摘されている。

その解決策の 1 つとして、電気自動車 (EV) の普及がある。EV は内燃機関を持たずモータで走行するため、CO₂ などの温室効果ガスを排出しない。また、自然エネルギーなど、化石燃料以外の一次エネルギーを利用することができる。しかし、1 度の給油で 500 km 走行することができるガソリン車と比べて、EV は 1 回の満充電あたり 150 km 程度しか走行することができない。さらには、充電時間が長いなど利便性の低さの問題がある。これらに対し、街中走行の旅客用商業バスなど、路線やタイムスケジュールなど予め走行パターンが決められた車両は充電タイミングを決めやすく、それら問題を回避して利用できると考えられる。

(2) 対象施設および園内バスについて

今回研究対象とした車両は、愛知県豊橋市に位置する豊橋動植物公園 (のんほいパーク) 内で運行している園内バスとした。のんほいパークは植物園、自然史博物館、動物園、遊園地を併せ持つ複合商業施設である。客層は親子連れが多く、園内バスに乗車する約半数が子供である。園内バスは牽引車と客車から構成され、牽引車はガソリンエンジン駆動の TOYOTA L&F 製の 2TG10 である。のんほいパークでは土曜日に 2 台、日祝日に 3 台の園内バスが運行している。本研究では施設内を走行している車両を EV 化し、実際に客車を牽引し走行した。

(3) フィールド試験

これまで本研究室では走行時の簡易な消費エネルギーの計算からバッテリー容量を決定し、牽引車と同型の車両を EV 化してきた。そして、EV 化した車両を実際にのんほいパークへ運び入れフィールド試験を行った。客車は現在運用されているものを用い、実際の運行スケジュールに沿って行った。図 1-1-1 にフィールド試験の様子を示す。搭乗人数は車掌を含み本学の学生 21 人を乗せて行った。



図 1-1-1 のんほいパーク内フィールド試験の様子

(4) 厳密な消費エネルギーの計算について

フィールド試験の結果から、1 周を走行するのに消費する電力量は 1,016 Wh/周となった。園内バスは 1 日に 17 周運行しており、更に安全係数、バッテリーの劣化係数を考慮すると 1 日に必要なバッテリー容量は以下の式で求められる。

$$W_n = W_{round} \times 17 \div \eta_d \times \eta_{safe} = 25,908 \text{ (Wh)} \quad (1)$$

W_n : 搭載バッテリー容量(Wh/日), W_{round} : 1 周の消費電力量(Wh/周),

η_d : 劣化係数(0.8), η_{safe} : 安全係数(1.2)

これまでの簡易な消費エネルギーの計算から求めたバッテリー容量は 8,640 Wh であり、フィールド試験の結果と比較すると、1 日の走行に必要なバッテリー容量に達していないことがわかった。従って、厳密な消費エネルギーの計算が必要と考えた。

簡易な消費エネルギーの計算では、停車駅間速度パターンを加減速を除き一定とし、路面の勾配を考慮しないなど簡略化していた。つまり、簡略化したことでバッテリー容量の計算に大きな差異が生じることとなったと考えた。そこで、停車駅間速度パターンをフィールド試験で計測した値を用い、走行する路面の勾配を計測し計算に適用することとした。園内を 1 周する際に計測したバッテリー出力と厳密な消費エネルギーの計算の結果のバッテリー出力を比較したグラフを図 1-1-2 に示す。加速パターンおよび勾配を考慮することでバッテリー出力はほぼ一致し、1 周の消費エネルギーは実測値 1,016 Wh/周に対し、942 Wh/周と近い値となった。

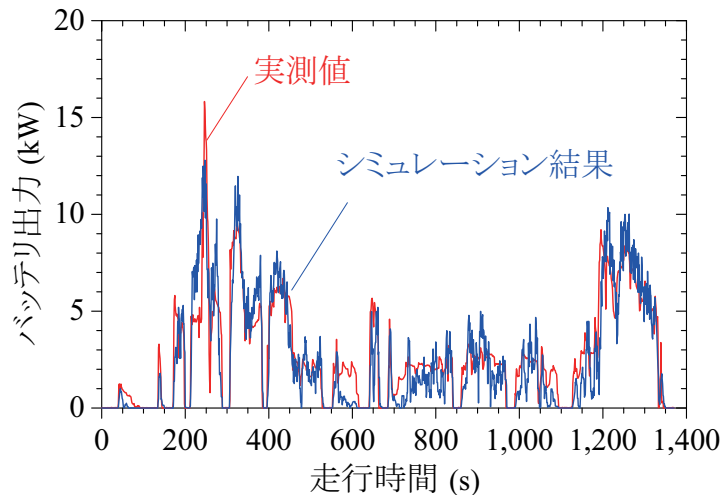


図 1-1-2 シミュレーション結果

(5) バッテリー容量とコスト

先述したように、現在のバッテリー容量では一日中の走行ができない。不足した周回数は現行のガソリン車が行う必要があるため、コスト削減量と CO₂ 排出削減量が少なくなる。逆にバッテリー容量が十分に搭載されている場合でも、過剰に搭載した場合は重量増加により走行消費エネルギーが増加し、コスト削減量と CO₂ 排出削減量が少なくなる。また、バッテリーには寿命があるため、バッテリー容量を多くすると、バッテリー交換費用が多くかかってしまう。

図 1-1-3 に鉛バッテリーを用いた場合の運用コストの削減量を示す。バッテリー容量は走行可能周回数が 5, 10, 15, 17, 20, 25 周となるバッテリー容量とした。鉛バッテリーは耐用年数の都合上、三年毎にバッテリーを交換する必要がある。この時、バッテリーの交換コストの影響が大きく、コスト償却することができないことがわかった。

次に、リチウムイオンバッテリーを用いることを考えた。リチウムイオンバッテリーは鉛バッテリーと比較して、高エネルギー密度で寿命が長いというメリットがある。しかしながら、単位容量当たりの値段は高い。図 1-1-4 にリチウムイオンバッテリーを用いた場合の運用コストの削減量を示す。初期コストがかかるものの、交換サイクルが 16 年と長い場合コスト償却が可能であることがわかる。また、17 周を走りきるだけのバッテリー容量が最もコスト削減量が良いことがわかった。これは前述の通り、運行周回数の 17 周を走りきるバッテリー容量より少ない場合は、現行のガソリン車が行う必要があるため、コスト削減量が少なくなるためである。また、それ以上に搭載した場合は重量増加により走行消費エネルギーが増加し、バッテリー交換コストも高くなり、コスト削減量が少なくなる。

(6) バッテリー容量と CO₂ 排出削減量

同様に、バッテリー容量と CO₂ 排出量の関係を図 1-1-5、図 1-1-6 に示す。鉛バッテリー、リチウムイオンバッテリーどちらを用いた場合でも、運行可能周回数が 17 周となるバッテリー容量が最も削

減量が多くなった。従って、EV 化する場合は最適なバッテリー容量を搭載することで削減量を最大とすることができる。

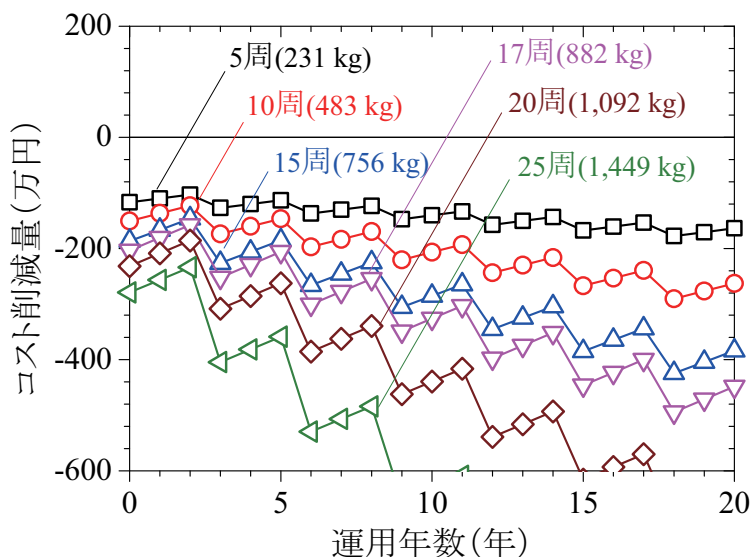


図 1-1-3 鉛バッテリーを用いて EV 化した時の
運行可能周回数とコスト削減量の関係

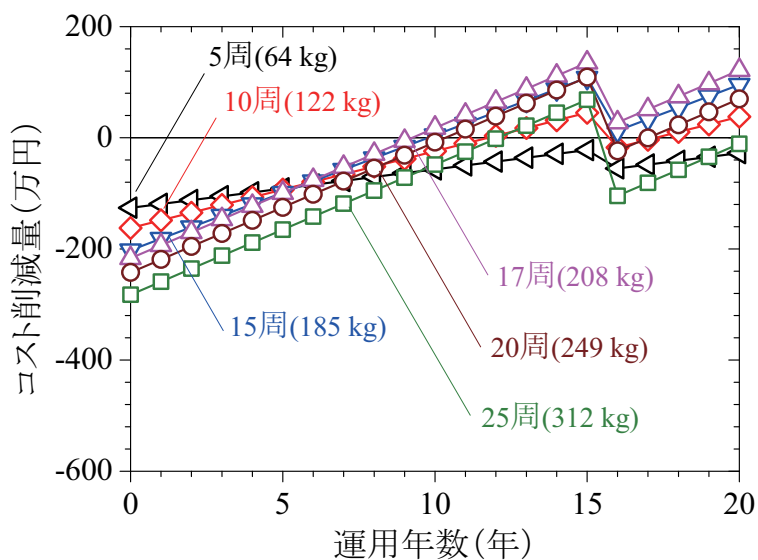


図 1-1-4 リチウムイオンバッテリーを用いて EV 化した時の
運行可能周回数とコスト削減量の関係

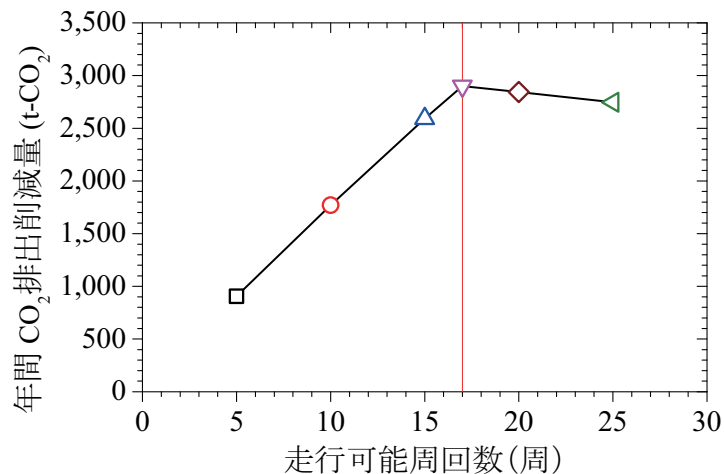


図 1-1-5 鉛バッテリーを用いて EV 化した時の
走行可能周回数と CO₂ 排出削減量の関係

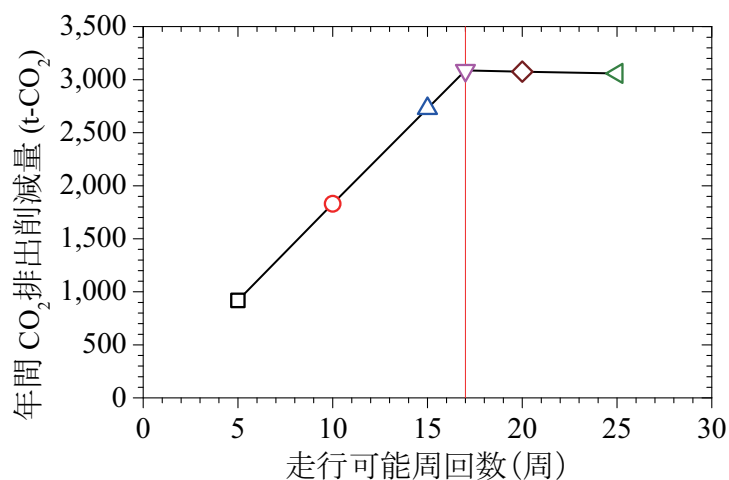


図 1-1-6 リチウムイオンバッテリーを用いて EV 化した時の
走行可能周回数と CO₂ 排出削減量の関係

(7) まとめ

削減量が最大となる条件は、リチウムイオンバッテリーを用いて、走行可能周回数が 17 周となる容量となった。また、その時の運用コスト、CO₂排出量それぞれ 91%、74%と、ともに大きく削減することができる。改造費の償却も約 10 年で可能であり、EV 化のメリットは十分に大きいと考えられる。今回、乗客は満員を想定して計算を行ったが、実際には常に満員ではないことや、利用客の約半分は子供であり重量が軽くなることから、運用コスト、CO₂排出量は更に少なくなる。バッテリー容量を少なくすることができるため、重量の軽量化やバッテリーコストの低減なども期待することができる。

1-2 のんほいパーク内への太陽電池の利用の検討

(1) EV 充電用太陽電池について

のんほいパークへ EV を導入した場合、EV への充電を太陽光発電から供給することができれば、電力コストおよび発電から消費までの CO₂ 排出量はゼロとすることができる。しかし、既存の施設内に太陽光パネルを設置する場合は土地の面積に限られてしまう。従ってソーラーパネルを設置する際には、発電量が最も大きくなる条件を知る必要がある。今回、ソーラーパネルを設置する際の最適条件を見つけることを目的とした。最適条件の考え方として、単位土地面積における発電量が最大かつ、2 列目以降のソーラーパネルは前列のソーラーパネルの影による発電ロスをできる限り抑えることが必要である。

(2) 太陽光パネルの影の長さ、受光面積率について

今回、ソーラーパネルの設置傾斜角と、パネル面長さとパネル間距離の比をパラメータとした。設置傾斜角が大きければ大きいほど、パネル面長さとパネル間距離の比が小さければ小さいほど、影の影響が大きく現れ、受光面積率は減少する。太陽軌道は春分、夏至、秋分、冬至の 4 軌道について検討を行った。太陽光発電での発電量は、日射量に比例する。今回、ソーラーパネルに降り注ぐ日射量は NEDO が提供する日射量データベースを用い、各軌道の日の前後 15 日を平均したデータを用いた。なお、ソーラーパネルは真南に向けることとした。

(3) 最大発電量と設置条件

図 1-2-1 にソーラーパネルの設置傾斜角と、パネル面長さとパネル間距離の比を変化させた場合の単位土地面積あたりの年間発電量とソーラーパネルの利用率の関係について示す。単位土地面積あたりの年間発電量は、各軌道における発電量に重みづけをして求めた。単位土地面積あたりの年間発電量は、設置傾斜角 40°、パネル面長さとパネル間距離の比が 0.6 で最大となった。しかしながら、パネル配置が密であり、影による発電ロスは約 40% となってしまった。そのため、発電ロスが 10% 未満となる制約条件を付けると、ソーラーパネルの設置傾斜角 20°、パネル面長さとパネル間距離の比が 1.2 で単位土地面積あたりの年間発電量は最大となった。しかし、傾斜角による発電量の差はほとんど見られなかった。

日本において、影の影響を考えない場合での最も効率のよい設置角は 35°程度とされている。しかしながら、今回 20°となった原因として影の影響があった。事実、大阪-東京間における太平洋側のメガソーラーは 10~20°でソーラーパネルが設置されている。しかし、メンテナンスや気候条件により、20°が最もよい設置角とは限らない。

(4) のんほいパーク内への太陽電池設置に向けた課題

本研究では、日射量の値として NEDO から提供されているデータを利用したが、NEDO から提供されるデータは、様々な計測点の日射量を平均化されているものであるため、今回のようにあ

る地域（地方）における日射量を正確に把握しているものではない。そのため、より計画的に太陽電池を導入するには、その地域（地方）の日射量を正確に知る必要がある。今後は、分光放射計を用いた日射量の計測を実施することで、豊橋の日射量をある程度正確に把握し、のんほいパークに適した太陽電池の種類や設置方法等条件を見出していく予定である。

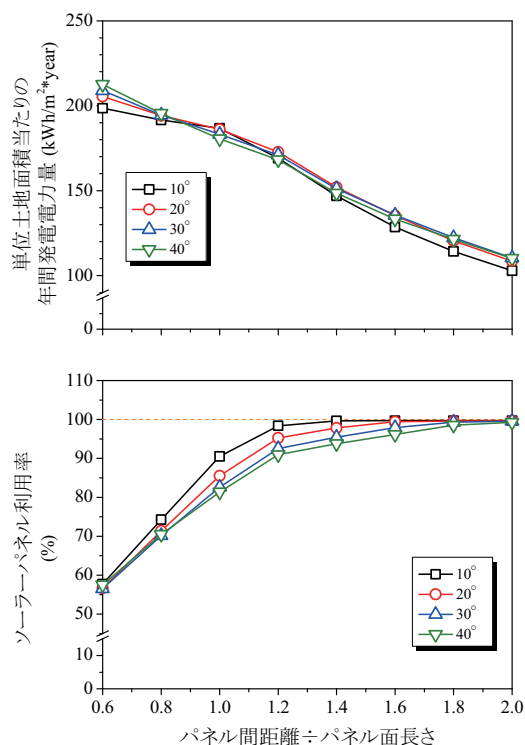


図 1-2-1 設置傾斜角とパネル面長さとのパネル間距離の比に対する、
単位土地面積あたりの年間発電電力量とソーラーパネルの利用率の関係

1-3 湾岸重機の EV 化の効果および自然エネルギーの利用についての検討

(1) 研究対象

本研究では、三河港のコンテナターミナルで稼働しているストラドルキャリア（SC: Straddle Carrier, 図 1-3-1）を対象とし、EV 化による効果を検討した。SC とは、コンテナターミナル内のコンテナの移動、積み上げを行う大型の自動車である。現在は比較的小さな電気自動車が盛んだが、単体でもエネルギー消費が大きいことや、継続的にエネルギーを消費しているため確実にエネルギー消費量の削減ができる大型のものにも普及していくと考えられるためである。SC は現在軽油を燃料としているが、エンジンをモータに、燃料タンクをバッテリーに載せ替え EV 化することで、運用コスト、CO₂ 排出量が削減できると考えた。さらに、電源として再生可能エネルギーを用いれば、運用コスト、CO₂ 排出量はゼロにできる。



図 1-3-1 SC 外観

（２）SC の詳細と EV 化について

コンテナターミナルには計 4 台の SC が稼働している。3 台は三菱重工製ディーゼル SC (DSC) の VSC4434, もう 1 台が TCM 製ディーゼルハイブリッド SC (HSC) の S4WE である。DSC は 11,149 cc のエンジンを 2 基積んでおり、移動時は両方のエンジンを荷役時は片方のエンジンを使用する。HSC はシリーズ式のハイブリッドであり、11,045 cc のディーゼルの発電機で発電し、移動と荷役はモータで行っている。電動ストラドルキャリア (ESC: Electric Straddle Carrier) への EV 化の検討に際し、搭載バッテリーは一日の稼働に必要な容量とし、モータは TCM 製 HSC-S4WE のカタログに記載されている 257 kW のモータとして計算を行った。

（３）運用コスト削減量と CO₂ 排出削減量

現状は DSC, HSC どちらも軽油を使用しており、燃料消費量から軽油単価と軽油の二酸化炭素排出係数を用いて計算を行った。また、EV 化後では電力を消費するため、消費電力量から電力料金単価と電気の二酸化炭素排出係数を用いて計算を行った。燃料単価は三河港コンテナターミナル株式会社、燃料購入実績 (2010 年度) を用い、電力料金単価は三河港コンテナターミナル株式会社、電力料金単価 (2008 年 8 月～2011 年 8 月) を用いて計算を行った。運用コストと CO₂ 排出量の削減率を表 1-3-1 に示す。

表 1-3-1 ESC 化による運用コスト削減率および CO₂ 排出削減率

	削減率 (%)	
	運用コスト	CO ₂ 排出量
HSC→ESC (1 台)	32.4	37.9
DSC→ESC (3 台)	34.7	44.1
Total (4 台)	34.2	42.8

（４）バッテリー価格とコスト削減量

EV 化に必要なコストとして、改造費とバッテリー価格とを考える。ここでの改造費は、バッテリー価格を含まずに、他のモータなどの必要な部品費用は含まれているとした。改造費はモータ出力と比例すると仮定し、以前本研究室で作成したのんほいパーク用の客車牽引車両の改造費を参考にして算出した。のんほいパーク用客車牽引車両のモータ出力は 25 kW、改造費 100 万円だった。ESC のモータ出力は 257 kW であり、約 10 倍の出力であるため、ESC の改造費を 10 倍の 1,000 万円とした。次にバッテリー価格を考える。現状のバッテリー価格は 100~200 円/Wh、2020 年頃には 20 円/Wh になると考えられる。ESC4 台分に必要なバッテリーの価格は、現状で 3~6 億円、2020 年頃には 6,000 万円となる。

この時のコスト償却年数を図 1-3-2 に示す。現在のバッテリー価格は高価であり、コスト償却年数が長い。2020 年からの EV 化であれば、コスト償却年数は 8 年になり、現実的である。ただし、この時バッテリー交換タイミングは考慮していない。また、1 日中稼働することのできるバッテリー量としたが、運用方法および充電タイミングによってバッテリー容量は異なる。そのため、ESC 化の厳密検討には、ESC の適切な運用方法の解析が必要となる。

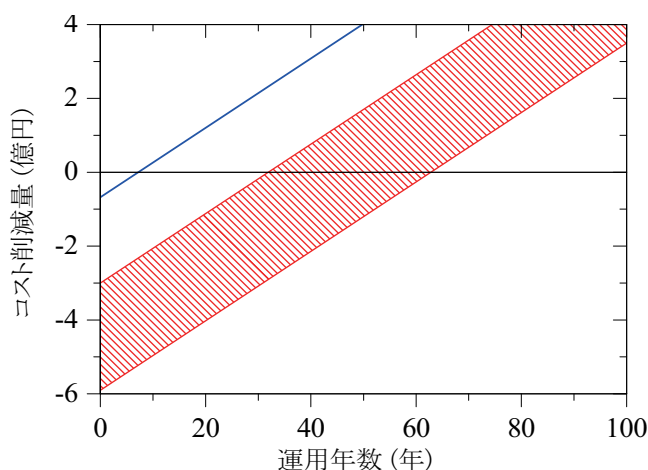


図 1-3-2 バッテリー価格の違いによるコスト償却年数の変化

1-4 ゴミ収集車の EV 化の効果の検討

（１）研究対象

今回は愛知県豊橋市のごみ収集車を対象とし、電動化したごみ収集車（EV ごみ収集車）のコスト削減量、CO₂排出削減量およびコスト償却年数の検討を行った。計算方法として、これまでののんほいパークでの研究を基に、厳密な消費エネルギーの計算を行った。

ごみ収集車は様々なごみを回収するが、今回は最も回収量が多いと考えられる燃えるごみの日を対象とした。燃えるごみを収集する日は週 2 回あり、それを EV に置き換えた場合のコスト削減量、CO₂排出削減量を求めるとした。なお、今回は改造費用は考慮しないこととした。

(2) GPS を用いたごみ収集ルート測定

厳密な走行消費エネルギーの計算では速度パターンが大きく影響する。そのため、速度は実測のものを用いるとし、GPS 機器をごみ収集車に乗せ測定を行った。図 1-4-1 に測定に用いた GPS 機器を示す。GPS で測定したルートはごみ収集車のうち最も消費電力量が多くなると考えた、ストップ&ゴーが繰り返されるルートを対象とした。



図 1-4-1 GPS 測定器

(3) 運用コスト削減量、CO₂ 排出量

EV ごみ収集車の運用方法として、昼休憩にのみ 1 時間の急速充電ができるとした場合（ケース#1）と、昼休憩の急速充電を無くし、ごみ収集を終えて戻ってくる度に 20 分の急速充電を行うとした場合（ケース#2）を検討することにした。後者は、こまめに充電することでバッテリーの搭載量を少なくできるが、バッテリー交換サイクルが短くなる。

図 1-4-2 に、年間運転コストと年間 CO₂ 排出量とを示す。EV 化により運用コストは抑えられるものの、CO₂ 排出量は増加してしまった。また、ケース#1 と#2 とではケース#2 の方が良い結果となった。図 1-4-3 にコスト削減量の経年変化を示す。ケース#1 ではバッテリー交換時に大きな費用が発生し、コスト償却ができない。ケース#2 では頻繁なバッテリー交換のため、コスト償却ができないことがわかる。

コンバージョン費用を考慮しない場合でも、コスト償却ができない理由をのんほいパークの客車牽引車の場合を比較して検討した。園内バス牽引車の場合、総重量 3,976 kg、平均走行速度 6.6 km/h であり、電費が約 410 Wh/km であった。これに対し、EV ごみ収集車は重量 5,700 kg に加え、ごみを最大で 4,000 kg 収集する。さらには、23 号バイパスを通り車速は速く、電費は約 1,740 Wh/km と 4 倍以上となった。そこで、ケース#2 の場合の EV ごみ収集車の電費を園内バス牽引車のそれを同じとしたところ（ケース#3）、図 1-4-3 の#3 に示すように、コスト償却が横ばいとなった。これは、電費がよくなることでバッテリー搭載量が減少したためである。

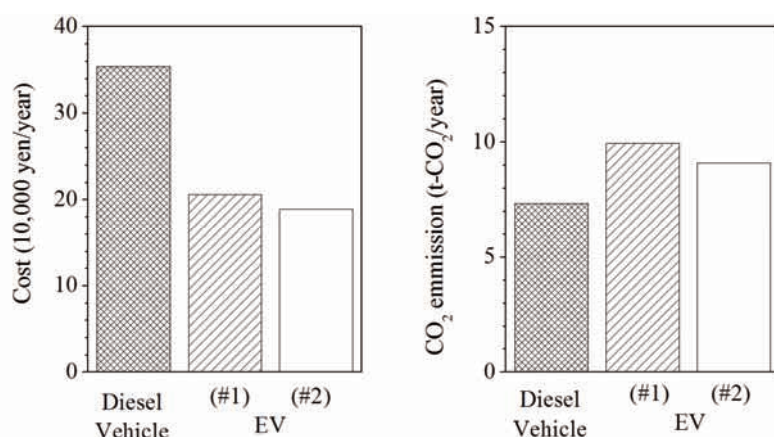


図 1-4-2 現行車と EV 化後の運用コストおよび CO₂ 排出量比較

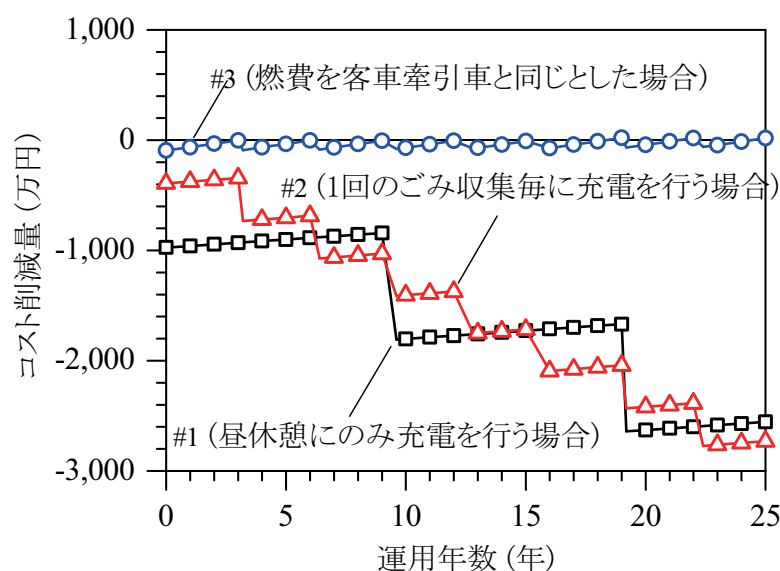


図 1-4-3 コスト削減量

1-5 EV 車で利用する電源システムの検討と試作

(1) はじめに

電気自動車では、定期的なバッテリーの交換が必要である。電気自動車のバッテリーは、大容量で交換には多額の費用がかかる。交換期間を長くする方法として、バッテリーの劣化を抑える方法が考えられる。劣化を加速させる原因には、走行中の加速に伴う大電流放電や回生ブレーキ等による充放電サイクルの繰り返しがある。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エネルギーフローを制御する方法に注目した。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ト車では, エンジンに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応用し, バッテリーを EDLC でエネルギーのアシストを行うという発想である。

(2) これまでの成果

これまでに, ハイブリッド電源を電気自動車に搭載した際の走行シミュレーションを行い, 車両搭載時の制限と, 走行性能に及ぼす影響について検討した。EDLC のエネルギー密度は二次電池と比べて小さいため, 現行の電気自動車に, 単にキャパシタを追加しようとすると, 車両に収まらない可能性がある。そこで, バッテリーとキャパシタが車両中で占有できる体積を決め, その中でキャパシタが占める体積比率(キャパシタ体積比率)を変化させてシミュレーションを行った。その結果, 最適なキャパシタ体積比率を決定するための指針を得ることができた。この指針をもとに, 実証実験を行うために小型の EV とハイブリッド電源の走行システムを製作し, 走行試験を通してその評価を行った。走行試験より, ハイブリッド電源では, バッテリーを一定電流放電で制御できており, 従来のバッテリーのみの電気自動車と比べ, バッテリーの放電電流のピークを 80%低減することができた。

(3) 実験用小型 EV・ハイブリッド電源の改良

試作したハイブリッド電源は, 降圧コンバータを介して一定電流でバッテリーからキャパシタへ電力を輸送し, その後, キャパシタから駆動モータへ電力を輸送するタイプである。走行試験の結果から, 加速時にキャパシタの蓄積エネルギーが消費され, それに伴ってキャパシタの電圧が減少し, その結果十分な電流をモータの送り込めなくなるという問題が見つかった。そこで, この問題を解決するために, バッテリーから直接インバータへ電力供給する切替え回路を付加したシステムを構築し, 製作した。図 1-5-1 に, 今回の走行試験で使用したハイブリッド電源の回路図を示す。電源の運用として, 発進時等の瞬時高負荷時にハイブリッド電源として利用する BCH (Battery-Capacitor Hybrid) モードと, 電圧低下時にバッテリーのみを利用する BO (Battery Only) モードとを切替えることとした。また, 搭載する小型 EV のインバータの最低動作電圧が 42.5 V であるため, これよりキャパシタの電圧が低くならないようモードを切り替えた。坂走行による高負荷走行試験を行い, 改良したハイブリッド電源の評価を行った。走行試験の結果を図 1-5-2 に示す。加速時, キャパシタは大電流放電により, キャパシタの電圧は減少するが, 42.5 V より

低くならないように途中でモードを切り替えることで走行速度が低下することなく走行できた。

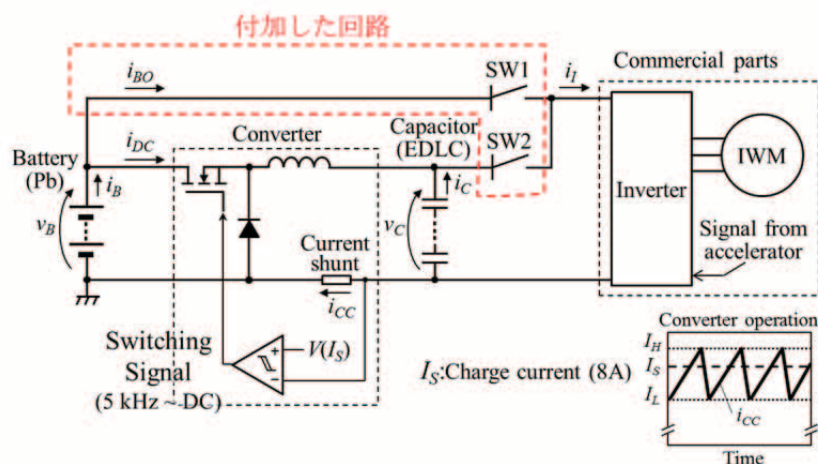


図 1-5-1 改良したハイブリッド電源の回路図

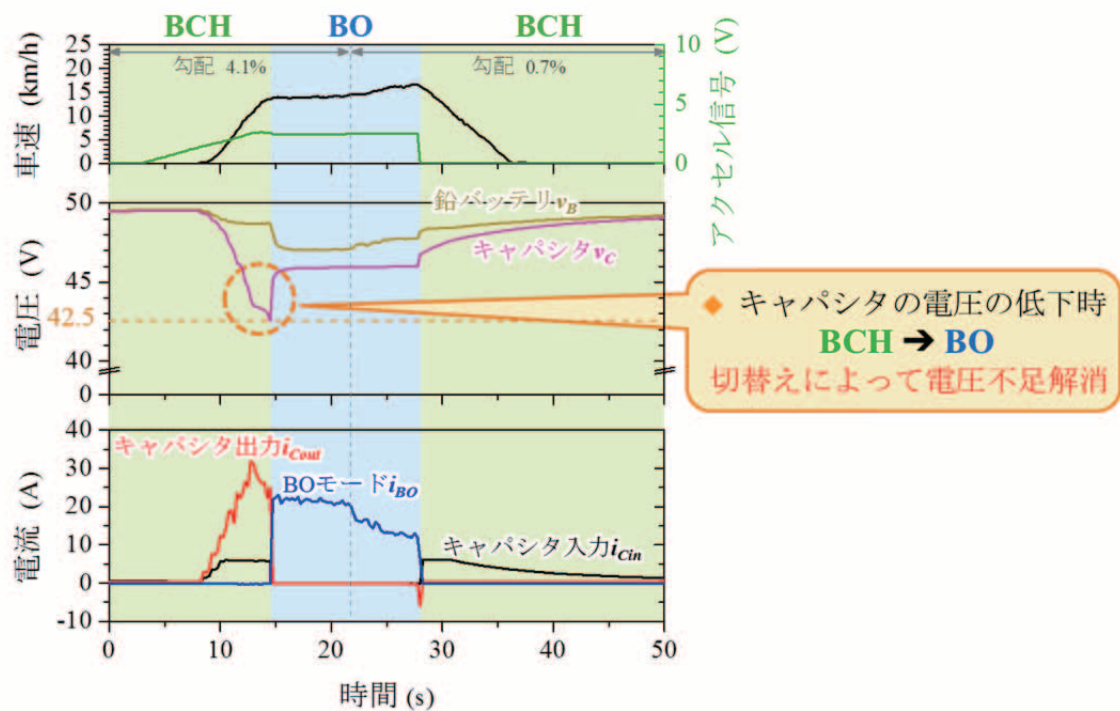


図 1-5-2 高負荷走行試験の結果

1-6 二次電池の長寿命化に関する研究

(1) はじめに

バッテリーの劣化を抑制するために、これまでハイブリッド電源の製作を行い、小型 EV に乗せ走行試験を行ってきた。その結果、バッテリーの放電電流ピークを抑えることはできた。しかしな

がら、ハイブリッド電源によるバッテリーの長寿命化に対して、直接評価することはできていなかった。そこで、図 1-6-1 に示す充放電装置を使用し、バッテリーとバッテリー-キャパシタハイブリッド電源とを充放電を繰り返す試験を行うことで、ハイブリッド電源の長寿命化の評価、特性の比較を行った。



図 1-6-1 二次電池充放電装置

(2) 充放電試験による測定結果

充放電を行う際、バッテリーやハイブリッド電源の周辺温度が特性に影響してくるため、エアコンにより温度を一定に保つことを可能としたビニールルームを製作した。(図 1-6-2)

また、充放電の負荷パターンには、米国新型電池開発協会 (USABC) が電気自動車用電池の評価試験に提案した DST (Dynamic Stress Test) を使用し、負荷のピークを 150 W/kg とした。

試験全体の手順を図 1-6-3 に示す。DST パターンでの放電を全部で 100 サイクル行い、10 サイクルするごとに、1 回の CC 放電を行った際の特性も測定した。この条件でバッテリーのみを測定した結果を図 1-6-4 (a) に、拡大図を図 1-6-4 (b) に示す。図 1-6-4 (b) より、少量ではあるが、100 サイクルの充放電により容量が減少していることがわかる。今後、同様の試験をハイブリッド電源でも行い、長寿命化に対する評価を行う。

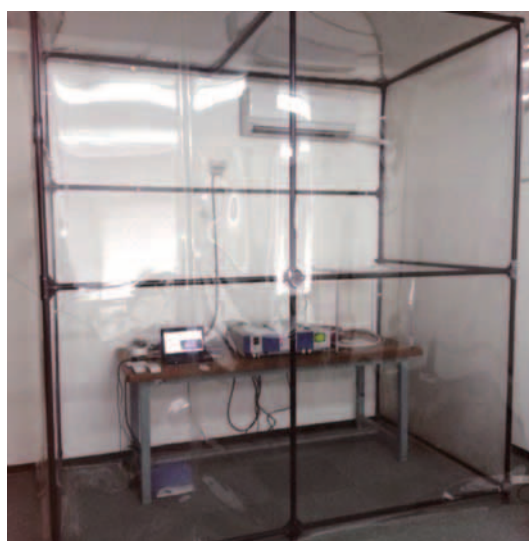


図 1-6-2 ビニールルームの外観

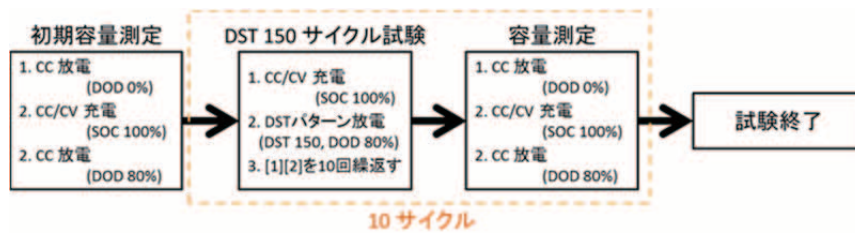
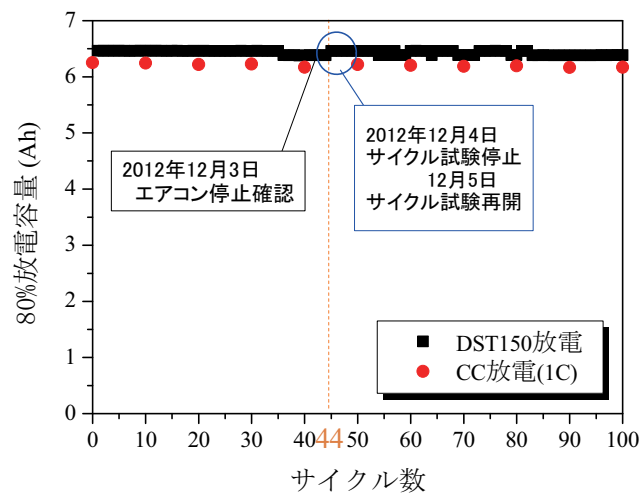
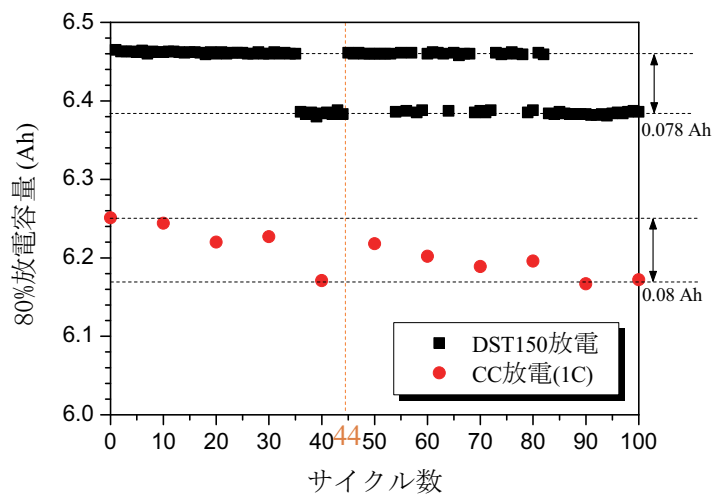


図 1-6-3 サイクル試験手順



(a) 全体図



(b) 拡大図

図 1-6-4 サイクル試験の結果 (DST150)

2. 三河港田原地区における交通渋滞対策に関する検討

建築・都市システム学系 教授 廣畠 康裕

2-1 はじめに

(1) 背景と目的

三河港田原地区は、国内トップ企業群の集積地域でありながら、周辺の幹線道路は慢性的な交通混雑・交通渋滞が発生しており、輸送コスト削減に取り組む企業努力では対処しきれない状況である。また、道路交通問題を抱えた企業分譲地は、他市分譲地に比べて新規立地の優位性が劣ることもあり、早期に道路基盤の改善が必要である。

そこで本研究では、現在の道路整備水準が地域経済に与える損失額などを明らかにし、交通渋滞の解消から得られる便益・効果を整理することによって、道路施策の推進につなげることを最終目的として調査研究を行う。

(2) 臨港道路の概要とその役割

本研究で主たる調査対象とする幹線道路は、緑が浜交差点から、多門田交差点、明海南交差点、明海中央交差点、海軍橋交差点を経て、R23BP 豊橋港 IC を結ぶ三河港臨港道路およびこの道路に接続する主要幹線道路である R23BP（豊橋バイパス、豊橋東バイパス）、R259、R1 等である。これらの道路は、三河港田原地区企業群に勤める従業員の通勤や運送企業の物流において重要な役割を担っている。

(3) 交通渋滞による経済損失

三河港臨港道路およびその道路に接続する R23BP、R259、R1 等における慢性的な交通混雑・交通渋滞は、三河港田原地区企業群に勤める従業員の通勤交通や運送企業の物資輸送における平均的な所要時間・走行費用を増大させているのみならず、交通渋滞に伴う所要時間の不確実性の増大は従業員の日常的活動や企業の業務活動におけるスケジュールコストの増大をもたらしており、交通渋滞による三河港田原地区の経済損失額は膨大なものになると推測される。

(4) 本研究の内容と基本的考え方

本研究では、三河港田原地区における交通渋滞対策として有効と考えられる対策案を見つけ出すという前述の目的を達成するために、①各種の既存データの収集整理、②交通渋滞対策メニューの整理、③道路交通センサス等の交通調査データの集計・分析・加工（対象地域のゾーニング、車種別 OD 表の集計と細分化など）、④道路ネットワークデータの作成（ノード表・リンク表の作成、リンクパフォーマンス関数の設定など）、⑤道路網整備や各種交通渋滞対策実施による効果を計測するためのシミュレーションモデルの構築を行い、最終的には、それらの成果を総動員

して、⑥具体的に設定した道路整備案や交通渋滞対策案の効果を定量的に把握しようとするものである。

交通渋滞や交通環境問題等の解決に有効と考えられる道路整備や交通渋滞対策を実施するためには、それらの整備や対策に要する費用や負担との対比で効果を適切に評価した上で整備や対策を推進する必要があるが、そのためには客観的なデータの収集・分析に基づき具体案を実施した場合の効果の計測を事前に的確に行う必要がある。そして、ある道路区間における整備や対策の実施による効果の計測は、地域の道路網を構成する各路線・道路区間が相互に代替・補完関係を有することを適切に考慮した上で行う必要がある。

本研究では、このような基本的考え方に従って、三河港田原地区に関連する道路整備や交通渋滞対策の効果を定量的に計測するための手法の開発を行い、その適用を試みるものである。

2-2 三河港田原地区における道路交通実態の整理

(1) 道路網の現況

三河港田原地区およびその周辺地域の道路網は図 2-2-1 に示す通りであり、これをリンク数が 1,161 本（うち、ダミーリンクが 402 本）、ノード数が 808 個（うちダミーノードが 371 個）の道路ネットワークとしてモデル化した。モデル化された各リンクの車線数、日交通容量はそれぞれ図 2-2-2～2-2-3 に示す通りである。



図 2-2-1 対象地域周辺の現況道路網

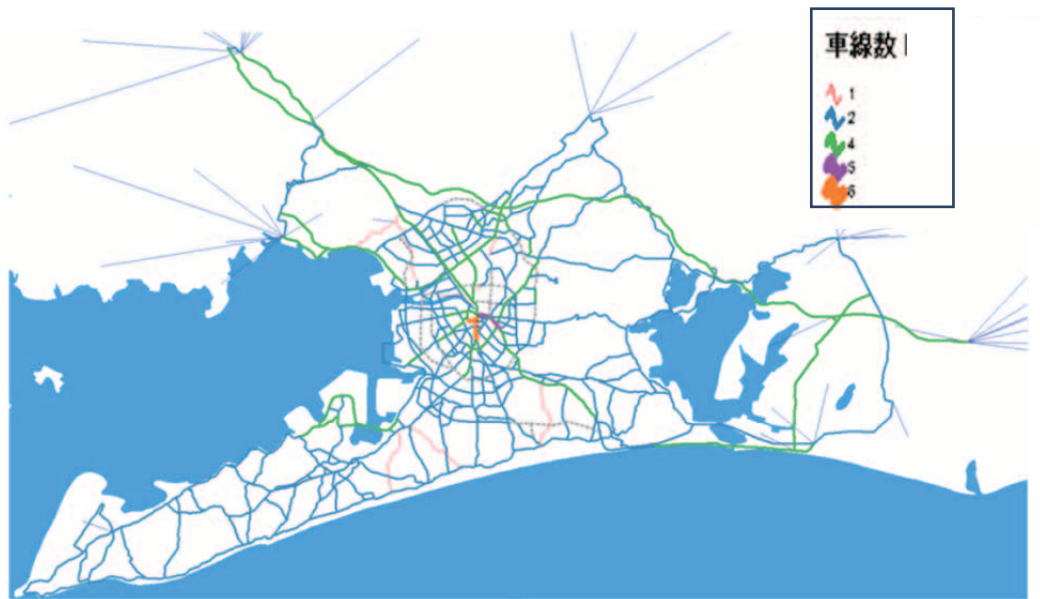


図 2-2-2 各リンクの車線数



図 2-2-3 各リンクの日交通容量（台/日）

（２）交通量および交通混雑・交通渋滞の現況

平成 17 年度の道路交通センサスの一般交通量調査データから各道路区間の 24 時間交通量を推定した結果は図 2-2-4 に示す通りである。ここでの推定においては、各観測地点の観測交通量を、当該観測地点を含む道路路線に引き延ばして適用している。

平日 24 時間交通量

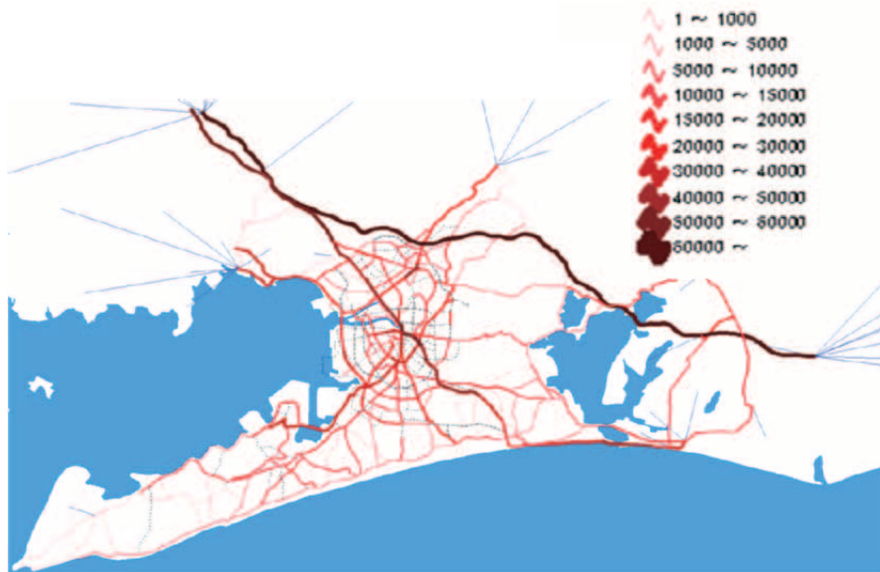


図 2-2-4 各リンクの平日 24 時間交通量（台/日；平成 17 年）

また、同様の考え方により推定された各道路区間の昼間 12 時間の混雑度（昼間 12 時間交通量を昼間 12 時間交通容量で除した値）は図 2-2-5 に示す通りである。これより、三河港臨港道路（県道 2 号線）、R23 バイパス、R1、R259 など多くの幹線道路で混雑度が 1 以上となっていることが分かる。なお、臨港道路の混雑度は、緑が浜交差点から多門田交差点までの区間においてはそれほど高くないが、明海地区から豊橋市の市街地にかけての道路区間でかなり高いことが分かる。



図 2-2-5 各リンクの混雑度（平日 12 時間；平成 17 年）

以上のように、多くの道路区間において交通需要が交通容量を上回っている結果として、夕方のピーク時間帯を中心に、臨港道路の田原から豊橋方向において海軍橋交差点を起点とする交通渋滞、R259 老津交差点を起点とする交通渋滞、R23 豊川橋付近を起点とする交通渋滞等が発生しており、臨港地区立地企業にとっての大きな問題となっている。

（３）対象地域における交通需要の実態

①企業の通勤実態

３企業（トヨタ自動車、アイシンAW、CVTEC）の従業員の居住地分布を図 2-2-6 に示す。これより、田原市の市街地や豊橋市の南部・西部地域などの近隣地域から通勤している割合が多いことが分かる。

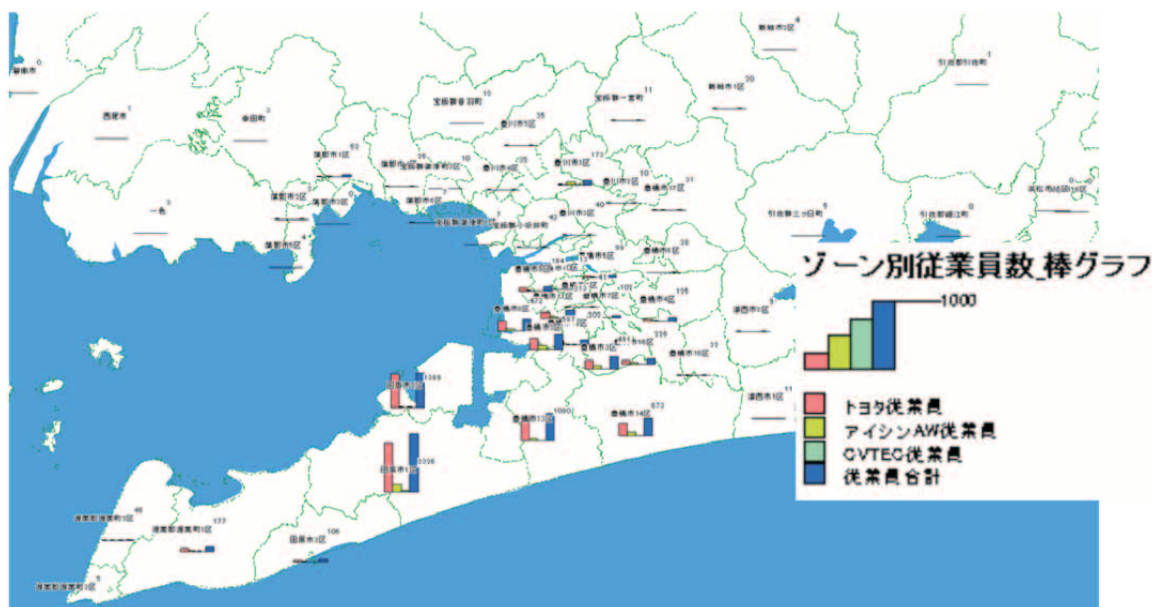


図 2-2-6 従業員の居住地分布

②ゾーン別発生集中交通量

平成 17 年度の道路交通センサスの自動車起終点調査（OD 調査）結果から、対象地域およびその周辺地域における B ゾーン別の発生集中交通量を集計した結果を図 2-2-7(a)(b)に示す。これより、全車種では対象地域である臨港地区における発生集中交通量はさほど多くはないが、大型貨物車の発生集中交通量は他ゾーンに比べて多いことが分かる。

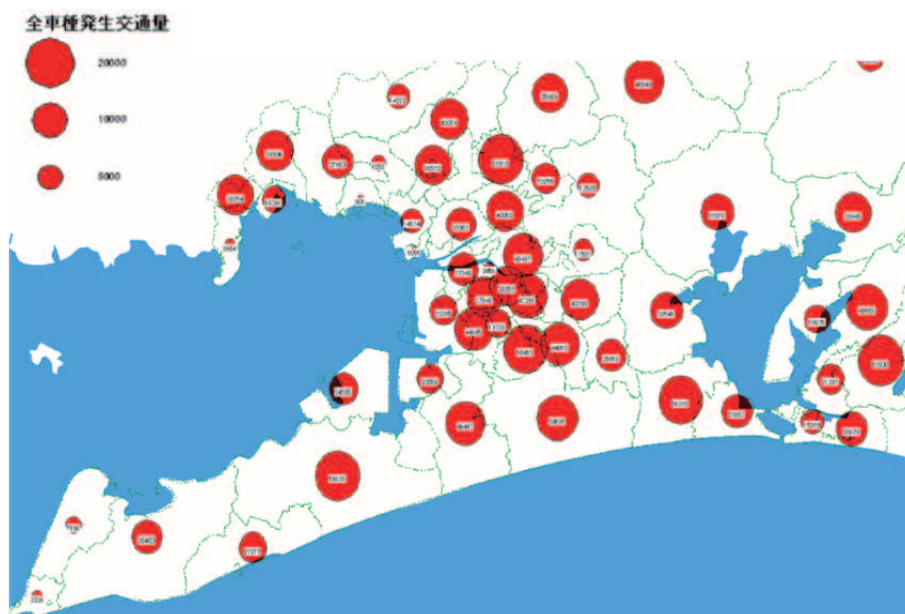


図 2-2-7(a) B ゾーン別発生交通量（全車種）

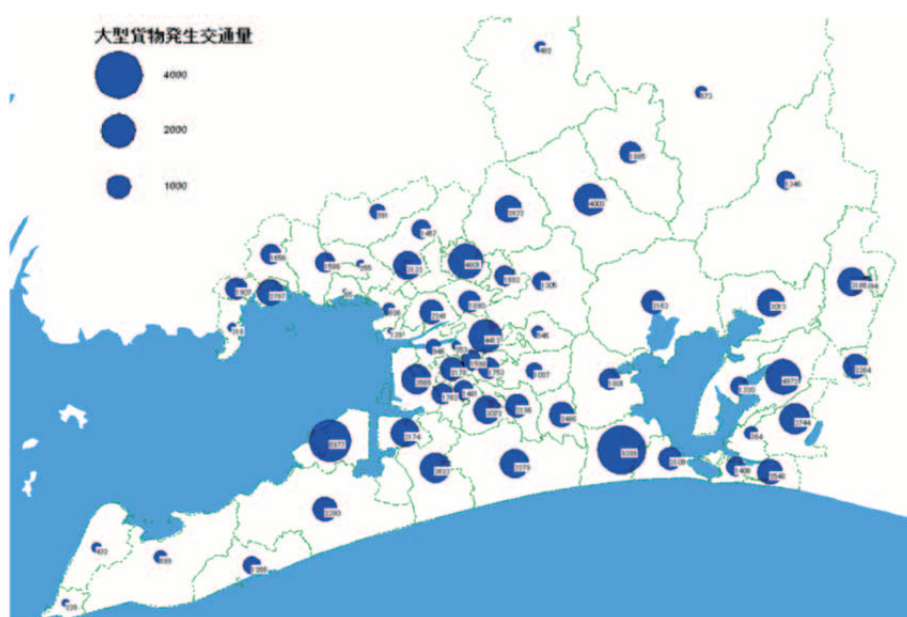


図 2-2-7(b) B ゾーン別発生交通量（大型貨物車）

（４）三河港田原地区に発着する自動車交通の起終点分布

三河港田原地区に関するデザイナーライン図（当該 B ゾーンから発生集中する自動車トリップの相手側ゾーンを直線で結び、そのトリップ数の多少を線の太さによって表現した図）を図 2-2-8(a)～(d)に示す。これより、全車種では近隣の田原市市街地や豊橋市南部・西部地域との結びつきが強いが、名古屋市方面や豊田市方面との結びつきもかなりあることが分かる。車種別に見ると、車種によって結びつきのパターンに違いが見られる。乗用車では近隣地域のみでなく豊田市方面との結びつきが、大型貨物車では豊橋市臨港地区、名古屋市方面、安城方面との結びつきがそれぞれ強いことが分かる。また、小型貨物車については、豊橋市の臨港地区や南西・南部地区などの近隣ゾーンとの結びつきが相対的に強いことが分かる。このように車種によってトリップ起終点分布パターンに違いがあることから、道路整備や交通渋滞対策の効果計測に際しては、車種を区別して取り扱うことが重要であると言える。



図 2-2-8(a) 三河港田原地区からのデザイナーライン（全車種）

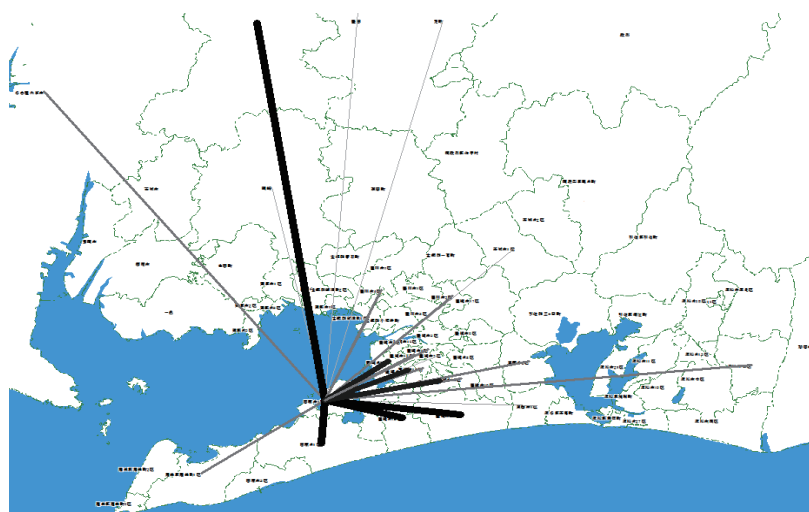


図 2-2-8(b) 三河港田原地区からのデザイナーライン（乗用車）



図 2-2-8(c) 三河港田原地区からのデザイナーライン（大型貨物車）



図 2-2-8(d) 三河港田原地区からのデザイナーライン（小型貨物車）

（５）三河港田原地区に発着する自動車交通の発生集中時刻分布

三河港田原地区，田原市街地地区，三河港豊橋地区それぞれのゾーンにおける全車種および車種別の発生集中時間帯分布の集計結果を図 2-2-9(a)～(b)に示す。これより，三河港田原地区は，田原市街地や三河港豊橋地区に比べてピーク時間帯への集中率がさほど大きくない傾向が見られるが，この傾向は特に大型貨物車の場合において顕著である。

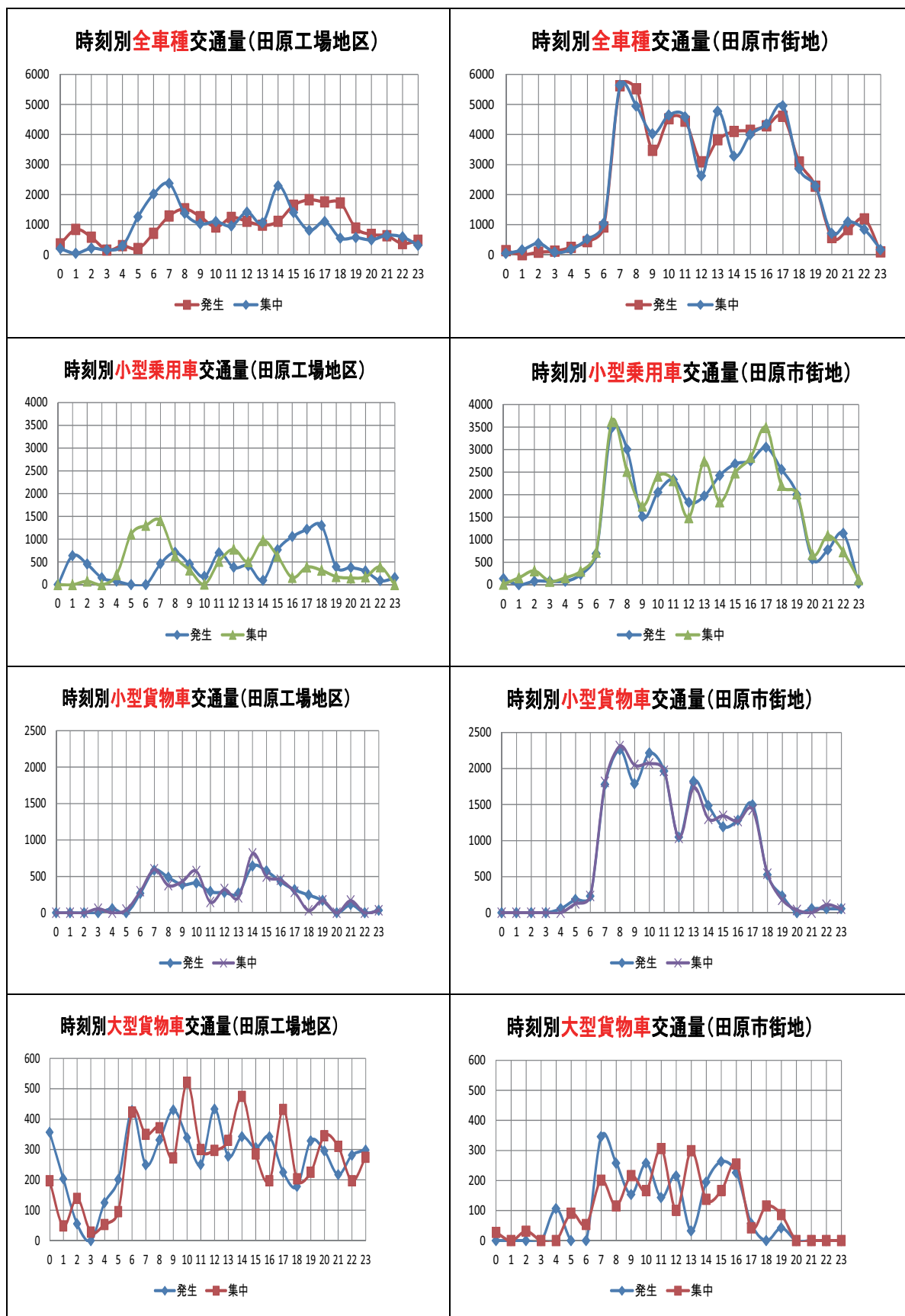
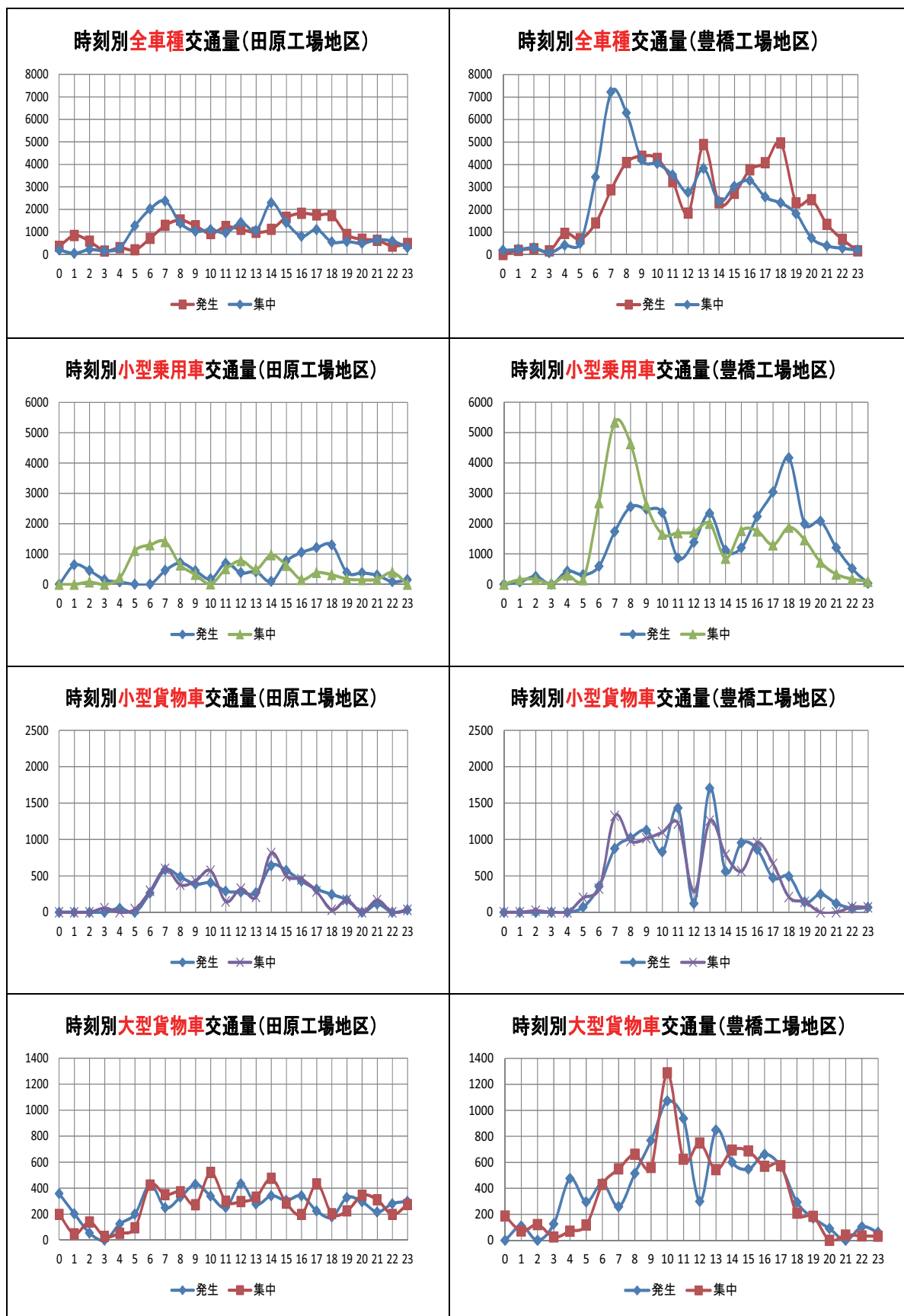


図 2-2-9 (a) 田原工場地区と田原市街地地区の時刻別車種別発生・集中交通量の比較



注) 豊橋工場地区は大崎, 神野, 御津の3つの地区を含んだゾーン集計である。

図 2-2-9 (b) 田原工場地区と豊橋工場地区の時刻別車種別発生・集中交通量の比較

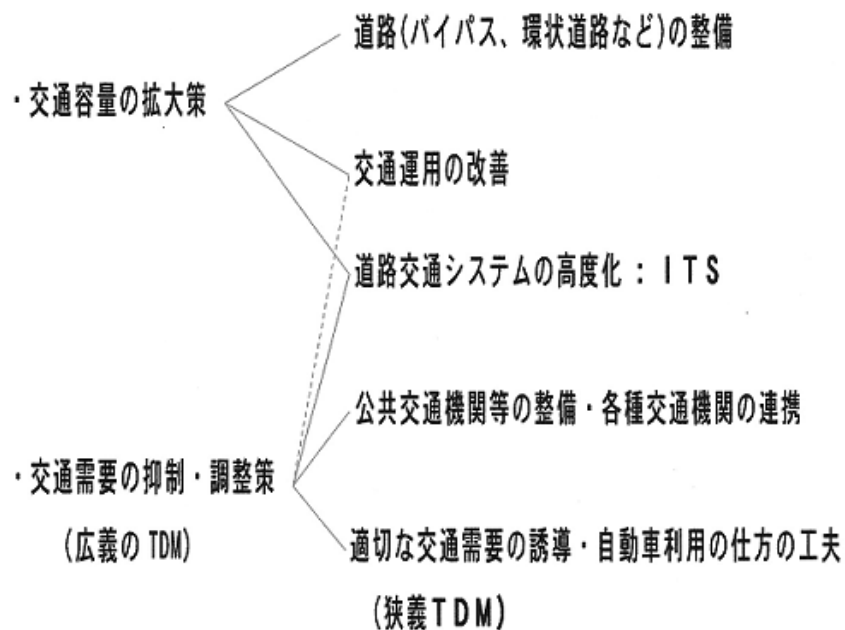
2-3 渋滞解消のための対策メニューの整理

(1) 交通渋滞対策の体系

これまで交通渋滞対策としてハードおよびソフトの様々な対策が考案・実施されてきたが、交通渋滞は交通需要が交通容量を上回ることにより発生することから、それらの対策は、図2-3-1に示すように、「交通容量の拡大策」と「交通需要の抑制・調整策」とに大別される。

交通容量の拡大策には、バイパス、環状道路等の道路整備や交差点改良などのハード的対策と、交通信号制御等の交通運用の改善などのソフト的対策がある。一方の交通需要の抑制・調整策は、**TDM** (Transportation Demand Management ; 交通需要マネジメント) と総称され、情報提供・課金・奨励など様々なソフト的手段により交通の仕方(経路・交通手段・交通時間帯など)の変更を促し、自動車交通需要自体の抑制やその時間的空間的な分散を図るものである。近年、特に都市交通分野においては、増大する自動車交通需要に対して交通容量の拡大といった交通施設の供給サイドのみで対応することは、効果の面や様々な制約(財源制約、空間制約、環境制約)により限界があることが認識されるようになり、それらの補完・代替的な改善策として、需要サイドからのアプローチであるTDMが重視されるようになってきている。

いずれにせよ、渋滞対策の効果を的確に予測するためには、対象道路の交通流特性や渋滞現象を明らかにしておく必要があることは言うまでもない。



※ TDM: Transportation Demand Management(交通需要管理)

- 時差出勤・フレックスタイム、ロードプライシング、P&Rなど

※ ITS: Intelligent Transportation Systems(高度道路交通システム)

- VICS、AHS、ETCなど

図2-3-1 交通渋滞対策の体系

（２）立地企業等による渋滞対策の提案内容

田原臨海企業懇話会と三河湾明海地区産業基地運営自治会は、田原および豊橋明海の両地区から最寄り高速道路までのアクセス性向上と渋滞緩和を図るため、平成 24 年 2 月に共同で愛知県知事あてに「三河港湾地区の幹線道路整備に関する提案書」を提出している。その内容は短期的なものとの長期的なものの両者を含んでいるが、空間的範囲で分類すれば、①R259 植田バイパスの早期開通・4 車線化、臨港道路の右左折レーン増設等の交差点改良や交通信号制御の見直しなど、効果が臨港地区近隣に限定されるものと、②R23 豊橋バイパスの 4 車線化、同蒲郡バイパスの早期完成、小坂井バイパスの無料化、浜松三ヶ日・豊橋道の早期実現など、効果が広域に及ぶものとに大別される。

2－4 三河港田原地区周辺の幹線道路網整備による効果の試算

（１）道路網整備計画案の概要

前述したように対象地域においては様々な渋滞対策の提案がされているが、本年度は都市計画決定されている幹線道路網の整備によって対象地区および周辺地域の交通状況がどのように変化するかをマクロ的に予測し、その結果を用いて三河港田原地区における道路交通サービス水準の変化について検討するものとした。ここで効果計測対象とした将来道路網整備計画案は図 2-4-1 に示すものであり、その主な計画道路路線は以下の通りである。

- ・ 東三河環状線
- ・ R23 豊橋東バイパス
- ・ 一色高洲線
- ・ 外郭線
- ・ 前田豊川線
- ・ 下地牛川線
- ・ R23 蒲郡バイパス（東三河環状線 IC まで）



図 2-4-1 将来道路網（破線の区間が計画路線）

（２）道路網整備による効果の試算方法

道路網整備の効果計測の方法として、本研究では図 2-4-2 に示す作業フローに従った交通量配分を主体とした方法を用いている。このために、対象地域の設定・ゾーニング、詳細 OD 表の作成、交通量配分手法と効果計測指標の選定を行っている。それぞれの内容は以下に述べる通りである。

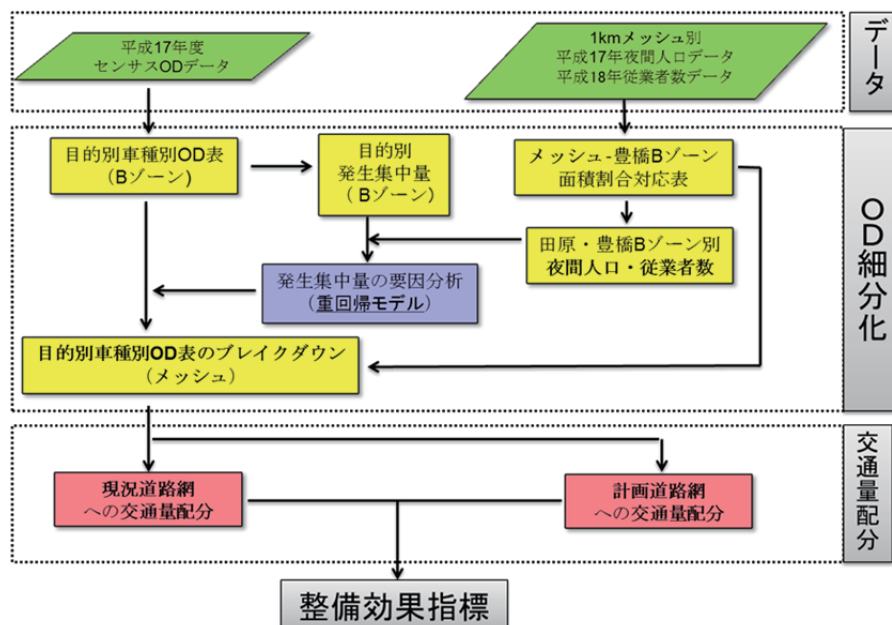


図 2-4-2 交通量配分に基づく効果計測の作業フロー

① 対象地域の設定・ゾーニング

交通需要の空間分布（トリップの起終点分布）を把握し、起終点間の利用経路を設定するためには、地域のゾーニングが必要である。そこで本研究では、平成 17 年度の道路交通センサスの B ゾーンを基本として地域をゾーニングするものとし、分析対象地域である田原市（旧渥美町を除く）およびその隣接の豊橋市については B ゾーンよりも詳細なゾーニング（1km メッシュ）を行うものとし、その外部地域については田原市から遠く離れるほど B ゾーンよりも粗いゾーニングとするものとした。その結果、以下の通りとなった（図 2-4-3 参照）。

- ・ 分析対象地域：371 ゾーン(田原：108 メッシュ，豊橋：263 メッシュ)
- ・ 隣接地域：38 ゾーン(分析対象地域に隣接の東三河および静岡県の一部)
- ・ 周辺地域 1：20 ゾーン（隣接地域の外側の愛知県・静岡県の一部）
- ・ 周辺地域 2：4 ゾーン（名古屋圏，東濃，飯田，清水）
- ・ 外部地域：3 ゾーン（周辺地域 2 の外側地域を 3 つに区分）

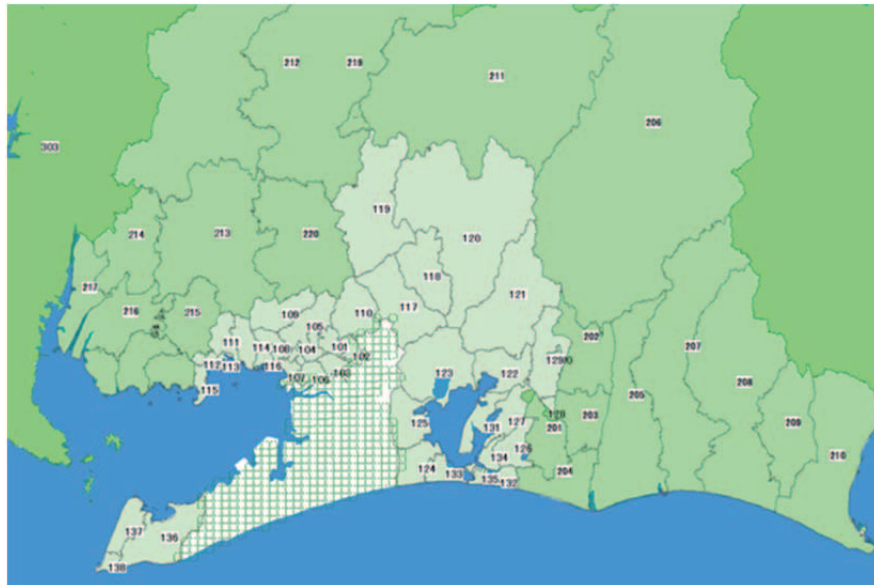


図 2-4-3(a) 本研究における地域ゾーニング

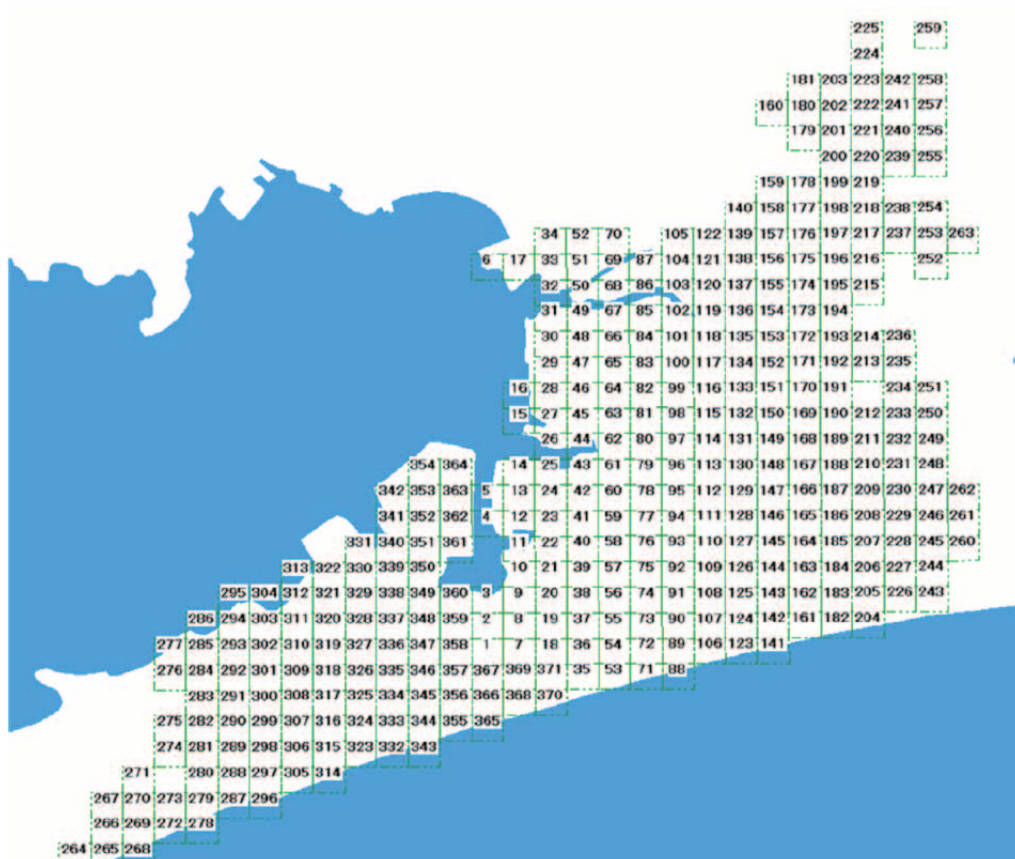


図 2-4-3(b) 本研究における地域ゾーニング

② 詳細 OD 表の作成

本研究では分析対象地域については詳細ゾーニングとしているため、B ゾーンレベルの OD 表を細分化する必要がある。この細分化を合理的に行うため、本研究では、図 2-4-4 に示すフローに従うものとした。この方法は、まず夜間人口と従業者数を説明変数とする B ゾーンレベルでの交通目的別発生集中交通量に関する重回帰モデル（下式参照）を構築しておき、これをメッシュレベルに適用することによりメッシュレベルでの発生集中交通量を推定することを通じて、B ゾーンレベルでの OD 表をメッシュレベルの OD 表に細分化するものというものである。

$$Y_i^m = \alpha_1^m x_{1i} + \alpha_2^m x_{2i}$$

Y_i^m : ゾーン i の交通目的 m の発生量または集中量

x_{1i} : ゾーン i の夜間人口

x_{2i} : ゾーン i の従業者数

α_k^m : パラメータ（交通目的 m, 説明変数 k）

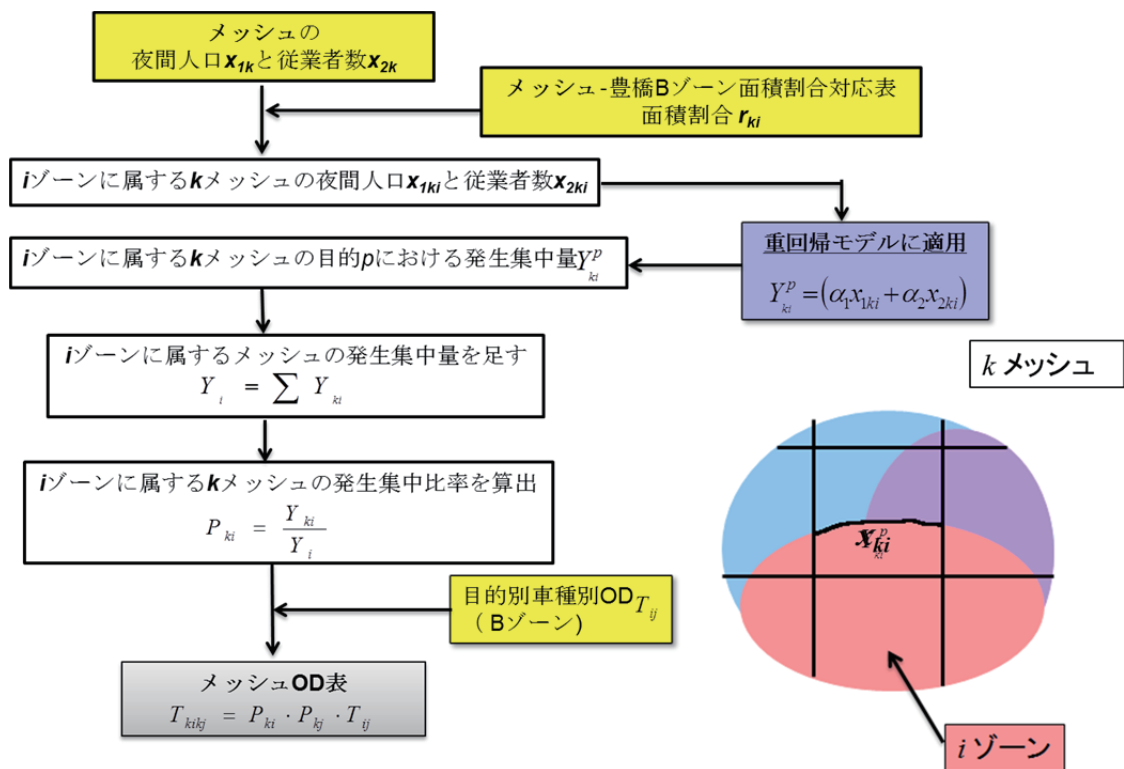


図 2-4-4 OD 表の細分化の作業フロー

発生集中モデルのパラメータ推定結果を表 2-4-1 に示す。これより、良好な結果が得られていることが分かる。また、この結果を用いて推定されたメッシュ別発生交通量を図 2-4-5 に示す。

表 2-4-1 発生集中モデルのパラメータ推定結果

目的名称		α_1 (夜間人口)	α_2 (従業者数)	R ² 値
発生	通勤	0.281(15.67)	—	0.94
	自由	0.226(8.33)	0.186(2.99)	0.97
	業務	0.129(2.48)	0.675(5.65)	0.95
	帰宅	0.218(3.78)	0.582(4.39)	0.95
	不明	—	0.362(12.50)	0.91
集中	通勤	—	0.619(15.78)	0.94
	自由	0.227(5.57)	0.191(2.04)	0.94
	業務	0.135(3.22)	0.669(6.95)	0.97
	帰宅	0.473(14.44)	—	0.93
	不明	—	0.358(14.13)	0.93

() 内は t 値。サンプル数：17

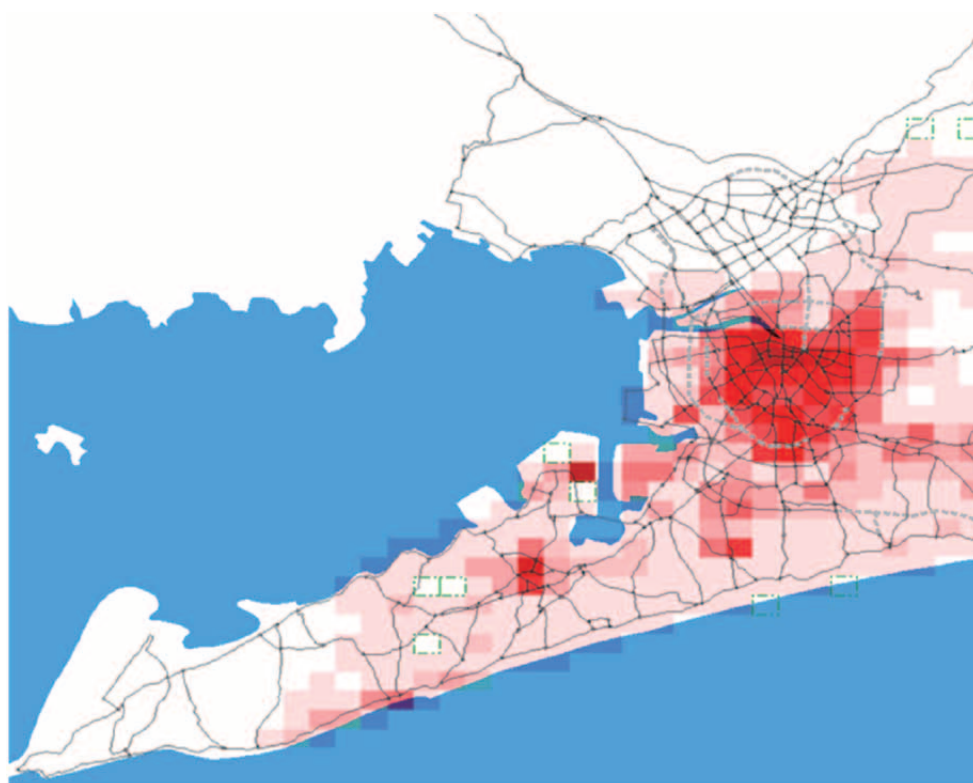


図 2-4-5 メッシュ別発生集中交通量の推計結果

③交通量配分手法と効果計測指標の選定

本研究では、日単位の車種別 OD 表を対象道路ネットワークに静的に配分するものとした。配分手法は確定的利用者均衡配分の考え方に従うものとしたが、解法としてはその近似解法として

の分割配分法を用いるものとした。なお、ドライバーの経路選択は一般化時間に基づくものとし、有料道路リンクの一般化時間はその料金を時間価値で除したものを所要時間に加えることによって求めるものとした。また、混雑による所要時間の増大については BPR 型パフォーマンス関数によって考慮した。

道路網整備による効果の計測指標としては、各道路区間の交通量の変化量、および各メッシュからの他ゾーンや高速道路 IC への一般化時間の変化量を用いた。

現況道路網に対する交通量配分結果を図 2-4-6 に示す。また、観測交通量と配分交通量の相関図を図 2-4-7 に示す。これより、交通量配分結果は現況の観測交通量をほぼ再現できていることが確認できる。

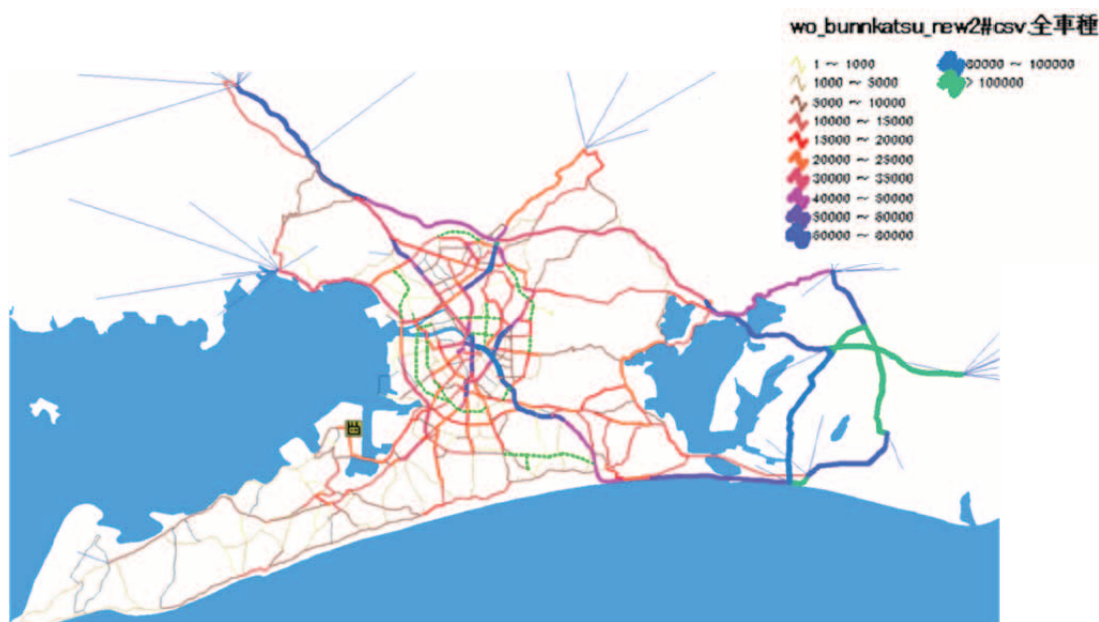


図 4-2-6 現況道路網への交通量配分結果（全車種）

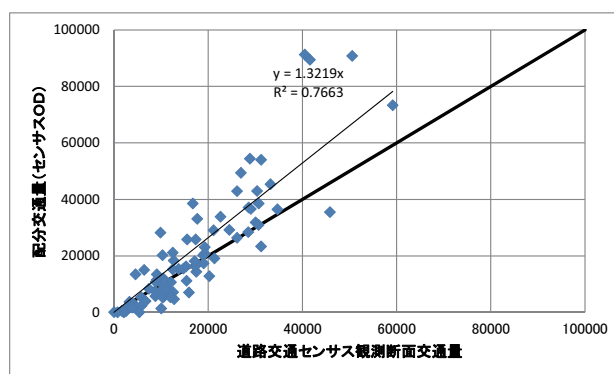


図 4-2-7 観測交通量と配分交通量の相関状況

（３）道路網整備による効果の試算結果

①道路網各区間の交通量の変化

将来道路網に対する交通量配分結果（全車種）を図 2-4-8 に示す。また、将来交通量と現況交通量の差を図 2-4-9 に示す。これより、豊橋東バイパスの延長区間、東三河環状の新設区間等の交通量が多くなり、一方で R1, R23 既存区間等の豊橋市中心部の道路区間で交通量が減少することが分かる。なお、臨港道路の交通量変化はほとんどないことも確認できる。

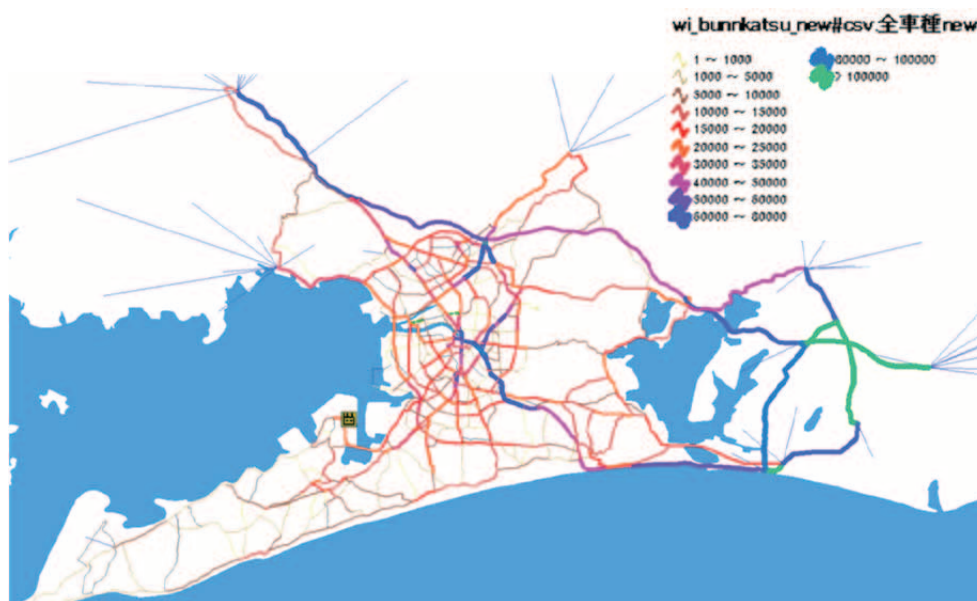


図 2-4-8 将来道路に対する交通量配分結果（全車種）

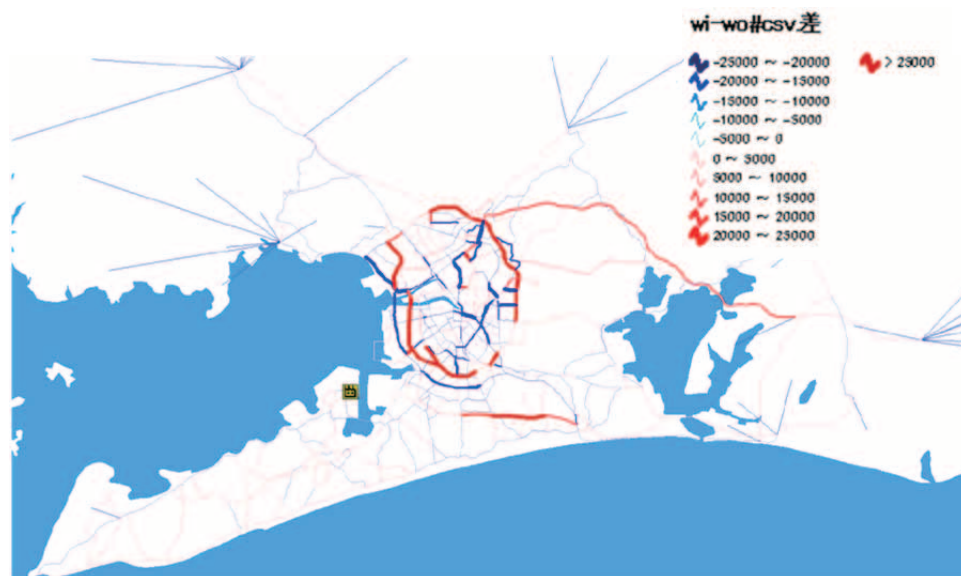


図 2-4-9 将来交通量と現況交通量の差（全車種）

大型貨物車のみについての同様の結果を図 2-4-10, 図 2-4-11 に示す。大型車貨物のみの場合, 全車種と若干変化の傾向が異なることが分かる。



図 2-4-10 将来道路網に対する交通量配分結果（大型貨物車）



図 2-4-11 将来交通量と現況交通量の差（大型貨物車）

②三河港田原地区から主要地点までの平均交通費用の変化

三河港田原地区の代表メッシュ（図 2-4-3(b)のメッシュ番号 363）から他ゾーンまでの平均一般化時間の現況値と将来値をそれぞれ図 2-4-12 と図 2-4-13 に、また現況と将来の平均一般化時間の差を図 2-4-14 に示す。これらより、現況、将来ともに当該メッシュから遠いゾーンほど平均一般化時間は遠くなっていることが確認される。また、当該メッシュから遠いゾーンほど一般化時間の短縮量が大きいことが分かる。

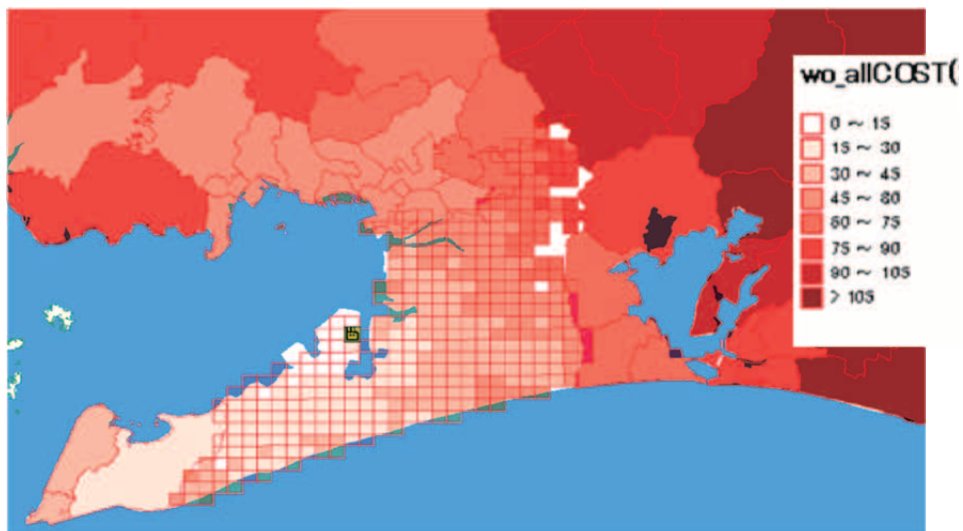


図 2-4-12 三河港田原地区から他のゾーンまでの一般化時間（現況）

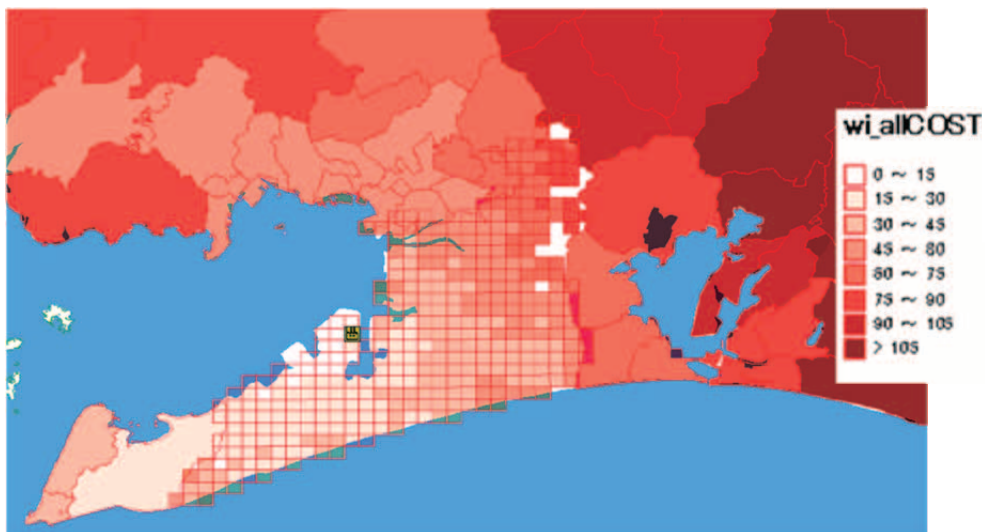


図 2-4-13 三河港田原地区から他のゾーンまでの一般化時間（将来）

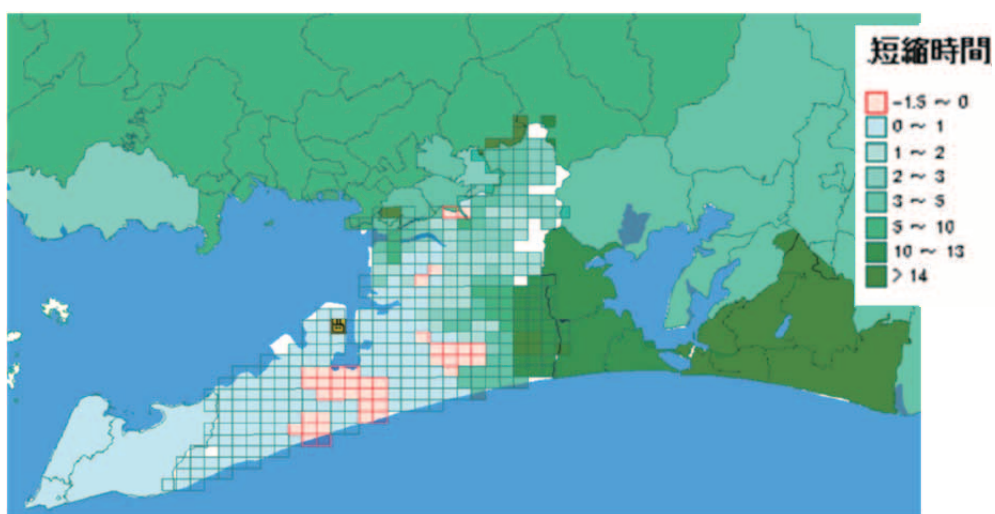


図 2-4-14 三河港田原地区から他ゾーンまでの一般化時間
の変化量（現況－将来）

次に、三河港田原地区の代表交差点である緑が浜交差点から東名高速 IC（音羽蒲郡 IC，豊川 IC，三ヶ日 IC）等への平均一般化時間の現況値，将来値，変化量を表 2-4-2(a)(b)に示す。これらの 2 つの表においては，平均一般化時間を計算する場合の最低速度の設定値が異なり，いずれの設定値を採用するかによって一般化時間の値は大きく異なると言え，厳密な結論は出せないものの，ここで検討した将来道路網に関しては，浜松方面への一般化時間の短縮量が大きいことが分かる。ただし，一般化時間の算出に関しては，交通容量の値や走行時間関数のパラメータなどに見直しの余地が依然として残っており，またここでの結果は日単位の静的交通量配分に基づくものであることから，あくまで試算値であることに注意する必要がある。

表 2-4-2(a) 三河港田原地区から主要 IC 等までの一般化所要時間の変化（全車種）

出発地	到着地	一般化所要時間(分)			
		現在道路網	将来道路網	差(将来-現在)	比(将来/現在)
緑が浜交差点	東名・豊川 IC	57.1	55.3	-1.8	0.97
緑が浜交差点	東名・音羽蒲郡 IC	59.7	56.9	-2.8	0.95
緑が浜交差点	東名・三ヶ日 IC	79.2	77.9	-1.3	0.98
緑が浜交差点	R1/R42 の交差点付近	51.1	38.3	-12.8	0.75
		設定最低速度： 20km/h			

表 2-4-2(b) 三河港田原地区から主要 IC 等までの一般化所要時間の変化（全車種）

出発地	到着地	一般化所要時間(分)			
		現在道路網	将来道路網	差(将来-現在)	比(将来/現在)
緑が浜交差点	東名・豊川 IC	81.4	73.3	-8.1	0.90
緑が浜交差点	東名・音羽蒲郡 IC	77.4	72.5	-4.8	0.94
緑が浜交差点	東名・三ヶ日 IC	103.5	95.9	-7.7	0.93
緑が浜交差点	R1/R42 の交差点付近	64.5	47.1	-17.4	0.73
		設定最低速度： 10km/h			

2-5 結論

(1) 成果のまとめ

本研究の成果をまとめると以下の通りである。

- ・既存データを整理し、対象地域における道路交通実態（地点別交通量、渋滞発生状況、OD 分布パターンやトリップ発生時刻分布等の交通需要実態など）を把握した。
- ・交通渋滞対策メニューを整理した。
- ・交通目的別発生集中交通量モデルのパラメータ推定を行い、その結果を用いて交通量配分のための車種別 OD 表の細分化を行った。
- ・対象地域関連の現在および将来の道路網のデータ化を行った（現時点では将来道路は一部のみ）。
- ・交通量配分手法を中心とする道路整備効果計測シミュレーションモデルを構築し、すべての計画道路が同時に完成したと想定して交通量配分を行い、その効果を試算した。
- ・その結果、OD 別の利用経路の変化に伴う道路区間別交通量の変化状況および主要地点間所要時間の短縮状況を把握した。ただし、この結果に関しては、交通容量の値や走行時間関数のパラメータ値などに関して見直しの余地があり、また静的交通量配分の結果であることから、今後詳細な検討が必要である。

(2) 今後の課題

今後の課題として以下の事項が挙げられる。これらについては、次年度に取り組みたい。

- ・未検討の計画道路案・交通渋滞対策案のデータ化と、各案それぞれについての効果計測シミュレーションの実行
- ・パラメータ設定の再検討（H22 道路交通センサス OD データを用いた検討、リンク交通容量の値、走行時間関数のパラメータ等の見直し）
- ・効果計測手法の精緻化（交通目的による交通行動特性の違いや時間帯による交通状況の違いを考慮できるような手法の開発、ミクロ交通シミュレーションを用いた局所的な対策効果の検討）

3. 豊橋市における電気自動車導入による都市の変化

建築・都市システム学系 教授 宮田 譲, 准教授 洪澤博幸

3-1 はじめに

本研究は CO₂ を削減するために電気自動車に注目し、電気自動車による低炭素社会作りを目指している。このモデルが豊橋市で成功すれば、これを国内の他都市へ展開することで、電気自動車を活用した新たな自動車社会を早期に実現することが可能になる。また、豊橋市と似たような国や都市ではユーザーに受け入れられる。海外に電気自動車社会コンセプトを展開することで、世界の環境・エネルギー問題の解決の糸口にもなる。本研究は豊橋市を事例として、静学的応用一般均衡モデル (CGE) によって豊橋市で電気自動車の生産や利用促進を補助金政策でどのようになるのかを分析したものである。

3-2 豊橋市経済会計行列

(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 部門表である。これを未来ビークル都市に合わせる形で 38 部門表 (表 3-2-1) 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 38 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 3-2-2 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、38 産業部門で 3 兆 1,499 億円の財生産が行われている。産業活動により 4,973 億円の資本所得, 9,126 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 5,664 億円の収入を得ている。家計は 1 兆 6,168 億円の所得を得ており、9,347 億円の消費を行っている。

表 3-2-1 産業分類

部門番号	部門名
1	農 林 漁 業
2	鉱 業
3	食 料 品
4	織 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	ガ ソ リ ン 自 動 車
19	電 気 自 動 車
20	航 空 機
21	そ の 他 の 輸 送 機 械
22	精 密 機 械
23	そ の 他 の 製 造 工 業 製 品
24	建 設
25	電 力
26	太 陽 光
27	都 市 ガ ス
28	熱 供 給
29	コ ジ エ ネ レ ー シ ョ ン
30	水 道 ・ 廃 棄 物 処 理
31	商 業
32	金 融 ・ 保 険
33	不 動 産
34	ガ ソ リ ン 車 輸 送
35	電 気 自 動 車 輸 送
36	そ の 他 輸 送
37	情 報 通 信
38	サ ー ビ ス

表 3-2-2 豊橋市の経済会計行列

		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	1,311,897	230,576	934,725	0	0	437,666	235,133	3,149,997
制度部門	政府	114,152	0	352,756	0	0	0	99,526	566,434
	家計	0	162,866	0	446,247	920,522	0	87,165	1,616,800
生産要素	資本	497,253	0	0	0	0	0	0	497,253
	労働	912,568	0	0	0	0	0	48,129	960,697
資本調達		314,127	4,302	296,854	0	0	0	0	615,283
市外部門		0	168,690	32,465	51,006	40,175	177,617	0	469,953
合計		3,149,997	566,434	1,616,800	497,253	960,697	615,283	469,953	

3-3 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なものであるが、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。なおモデルの詳細はAppendixに示す。

- 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、38産業、政府、市外部門とする。
- ② 市場は38生産物市場、労働市場、資本市場の40市場とし、これらの市場は競争的で、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（38産業分類）、政府、市外部門とする。市場は38生産物市場、労働市場、資本市場の40市場とする。

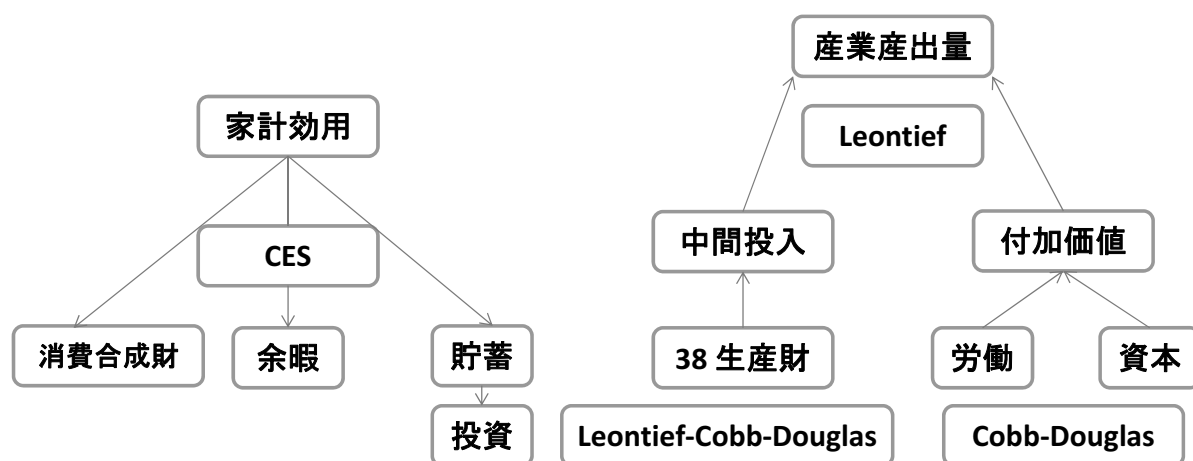


図 3-3-1 モデルの構造

(3) パラメータの設定

本モデルにおいて、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。

3-4 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ておくと、両車の簡単な図を示す（図3-4-1、図3-4-2）。

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。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、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の部品と考えれば、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ことである。

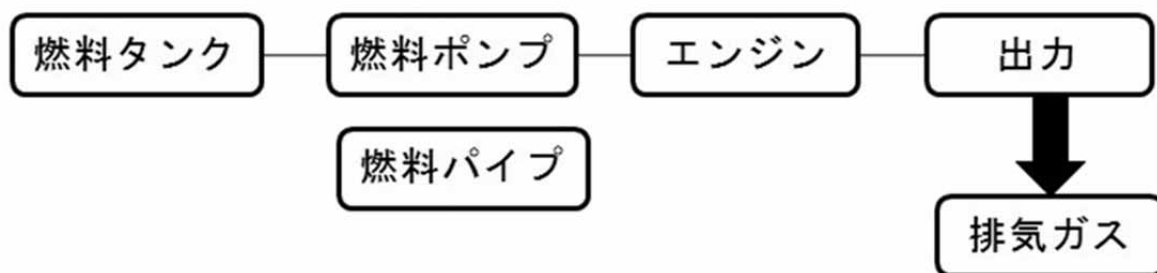


図 3-4-1 ガソリン乗用車の構造

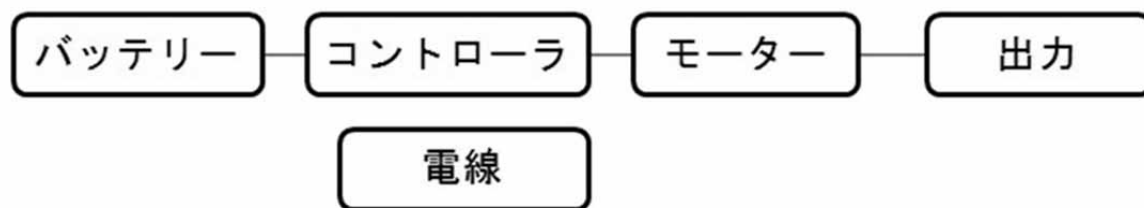


図 3-4-2 電気自動車の構造

（2）シミュレーションの考え方

シミュレーションは前章の静学的応用一般均衡を用いて、電気自動車（EV）の生産や太陽光発電の導入が豊橋市産業への波及効果を分析するものである。

本研究では新たな産業としてEV生産、太陽光発電、太陽光発電とセットになったコジェネレーション、EV輸送の導入を想定した。これらの投入係数は以下のように推計した。

① EV 生産

全国版で公表されているハイブリッド車の投入係数からエンジン部分を取り除いて推計した。

② 太陽光発電

全国版で公表されている自家発電部門において、石油・石炭製品の投入をゼロとして推計した。

③ コージェネレーション

愛知県表で公表されている熱供給業の投入係数について、石油・石炭製品の投入をゼロとして推計した。

④ EV 輸送

愛知県表で公表されている道路輸送において、石油・石炭製品の投入をゼロとし、それと等価な電力の投入を推計し、投入係数を推計した。

(3) シミュレーションケースの設定

本研究は、以下の2 ケースにおいてシミュレーション分析を行う。

① ケース1

EV 生産が自動車生産の15%、太陽光発電が電力供給の10%、太陽光発電とセットになったコージェネレーションがガス・熱供給の10%、EV 輸送が道路輸送の15%を想定する。

② ケース2

ケース1において補助金を支出し、EV 生産、太陽光発電、コージェネレーション、EV 輸送、その他輸送（主として海運を想定）の純間接税率をケース1の80%とする。

3-5 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は、図3-5-1から図3-5-12に示されている。

(1) 産業産出量

まず産業産出量の変化を図3-5-1と図3-5-2で見てみよう。産出量が大きい産業はサービス、商業、GS 車製造、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分かる。今回その成長が期待される新産業については、経済に占めるシェアとしては小さい。

補助金政策により産業間の成長のバランスは変わるが、増加の大きい産業としては太陽光発電(増加率1.42%)、コージェネ(0.85%)、EV 輸送(0.80%)、その他輸送(0.73%)、非鉄金属製造(0.54%)、EV 製造(0.46%)などがあげられる。これらは補助金による産出量増加であるが、非鉄金属についてはEVのバッテリーに関する非鉄金属需要の高まりが、かなり影響しているものと考えられる。

減少する産業としては熱供給業(-0.30%)、石油・石炭製品(-0.13%)、GS 車輸送(-0.10%)、鉱業(-0.06%)、などがあげられる。石油・石炭製品の減少は、EV 車普及、太陽光発電、コージェネの増加によるところが大きい。鉱業の減少は石油・石炭製品の減少に伴うものである。熱供給業の減少もコージェネの増加に伴うものと解釈される。以上の結果から産業産出量の総額は0.07%の増加となった。

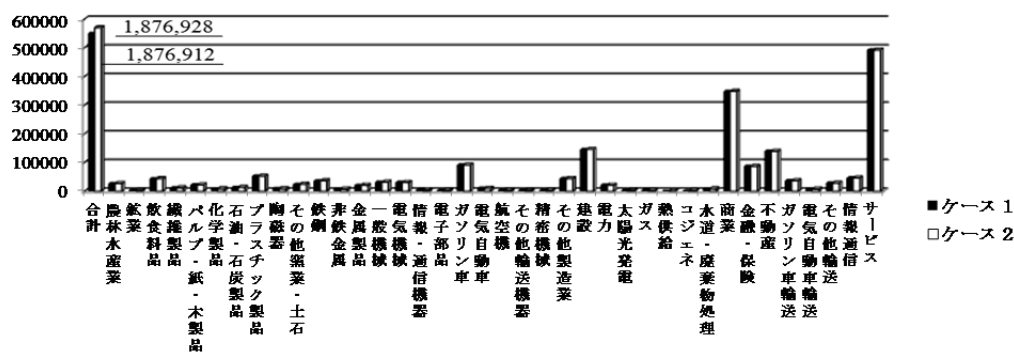


図 3-5-3 市内 GDP の比較

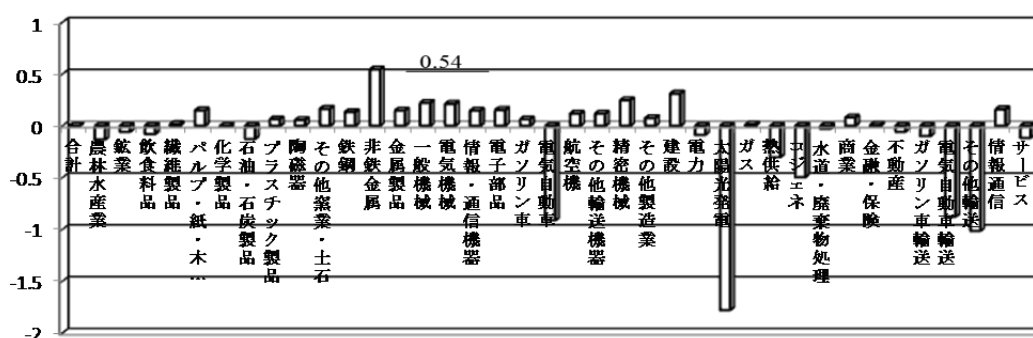


図 3-5-4 市内 GDP の変化率

(3) 労働需要

図 3-5-5 と図 3-5-6 で産業別労働需要の変化を見ると、補助金の支出とほぼ対応している。すなわち追加的な補助金が支出される産業の労働需要が高まっている。労働需要の増加が大きいのは太陽光発電(5.84%)、コジェネ(4.50%)、その他輸送(2.44%)、EV 製造(1.74%)、EV 輸送(1.08%)、非鉄金属製造(0.53%)などである。若干のマイナスを示す産業もあるが、総労働需要は増加している(0.08%)。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。

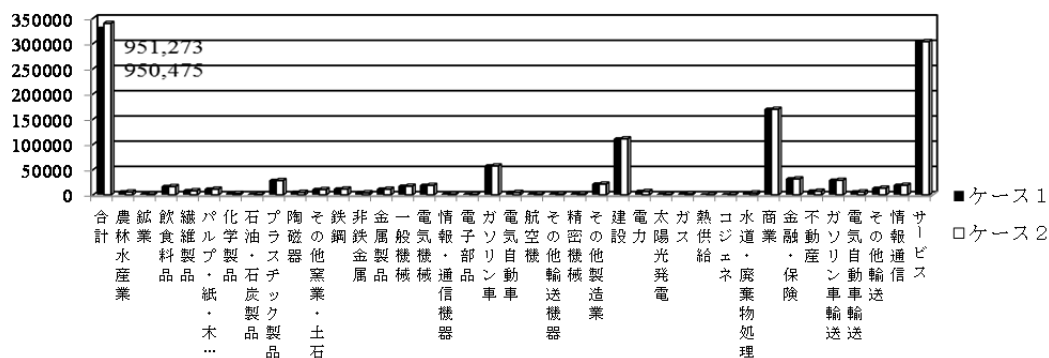


図 3-5-5 労働需要の比較

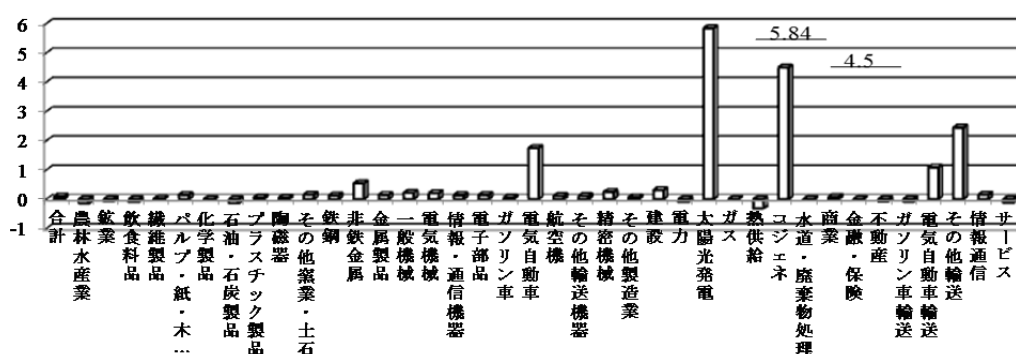


図 3-5-6 労働需要の変化率

(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 3-5-7 と図 3-5-8 で産業別資本需要の変化を見ると、労働需要とはかなり異なる変化をしている。まず資本需要が減少している産業から述べると、太陽光発電(-1.80%)、その他輸送(-1.02%)、EV 製造(-0.91%)、EV 輸送(-0.86%)、コジェネ(-0.50%)、熱供給(-0.30%)などであり、追加的補助金が支出されている産業が多い。これらの産業では資本から労働へ生産要素の代替が起こっていると言えよう。

資本需要が増加するのは非鉄金属製造(0.56%)や建設業(0.33%)であり、産出量の増加に対応したもののとなっている。

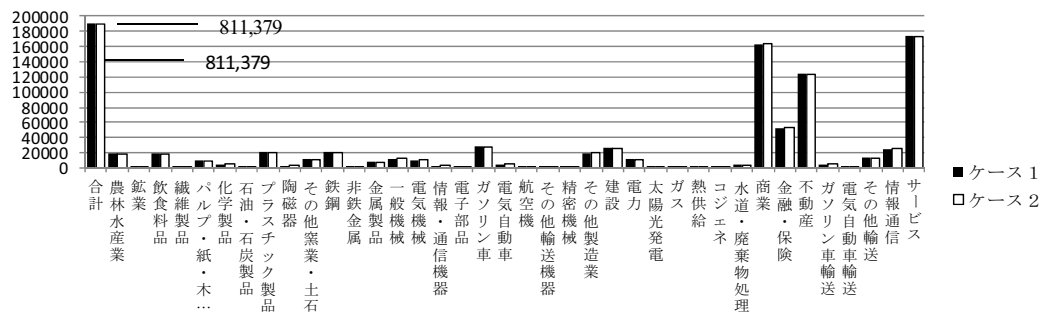


図 3-5-7 資本需要の比較

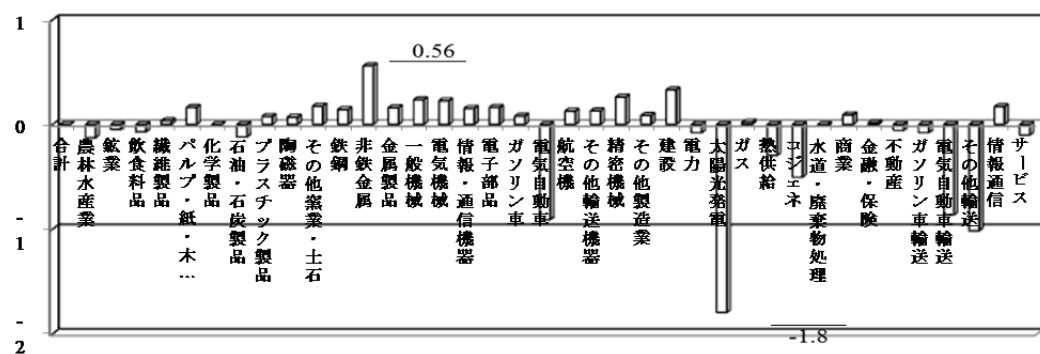


図 3-5-8 資本需要の変化率

(5) 財価格

財価格は Appendix の式(48)から分かるとおり、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レ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、本モデルではベンチマークデータセットが均衡していないため、ケース 1 においても全ての価格は 1 とはなっていない。

補助金を追加するケース 2 においては、追加的補助金がある産業の価格は減少している。すなわち大きく減少しているのは太陽光発電(-1.53%)、その他輸送(-1.09%)、EV 輸送(-1.00%)、EV 製造(-0.42%)となっている。GS 車輸送もやや価格下落(-0.11%)であるが、これはその他輸送の投入による部分が多い。

これらの価格下落を受けて、財価格は全て減少しており、消費者物価指数も 0.05%の下落となっている。

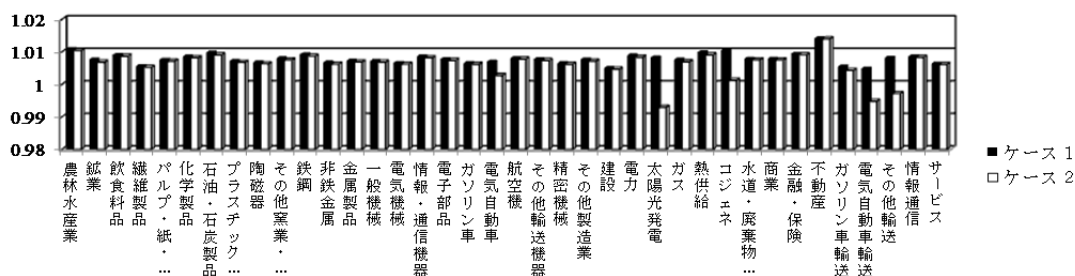


図 3-5-9 財価格の比較

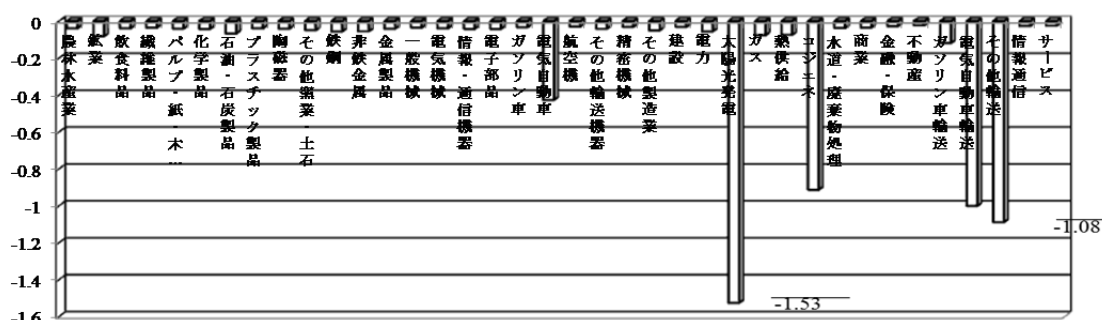


図 3-5-10 財価格の変化率

(6) その他の変数

図 3-5-11 と図 3-5-12 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家計 EV 車購入 (0.33%), 投資総額 (0.29%), 労働供給量 (0.08%) などである。その他のものは減少したものが多い。特に家計所得の減少は資本収益率の減少からきており、生産段階における省資源化が生産要素への需要を減らしていると言えよう。

また政府部門における純間接税収入の減少は、政府所得、政府消費、政府貯蓄の全てを減らしている。ケース 1 を基準としたケース 2 の等価的偏差は-10 億 290 万円であり、人口 1 人当たりで見ても 2,680 円のマイナスである。消費者物価が減少し、プラスの所得効果があるものの、家計所得や余暇時間の減少がそれ以上であるためにこのような結果となった。

豊橋市経済は確実に 1 次エネルギー消費を減らす方向になるものの、現在のライフスタイルとはかなり異なるものとなるため、どのようにして家計効用をプラスにしていくのが課題である。

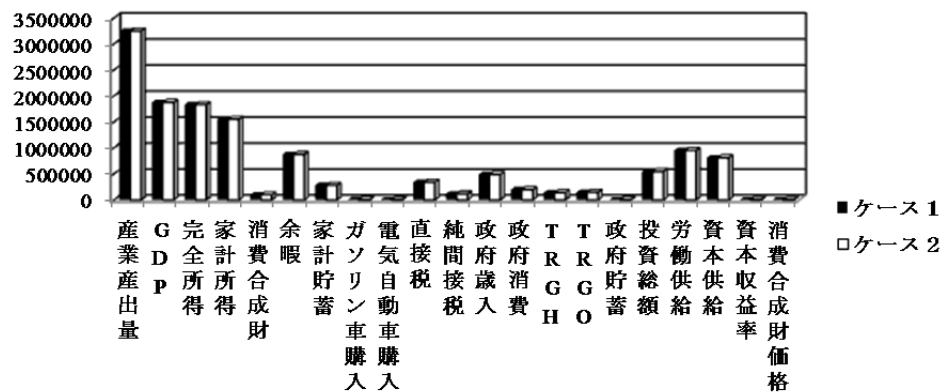


図 3-5-11 主要変数の比較

注：TRGH：政府から家計への経常移転，TRGO：政府から市外への経常移転

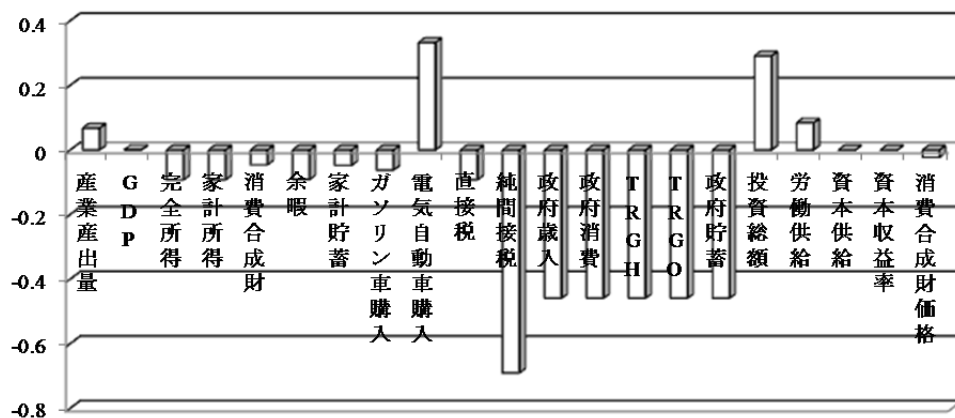


図 3-5-12 主要変数の変化率

注：TRGH：政府から家計への経常移転，TRGO：政府から市外への経常移転

3-6 おわりに

以上に述べたように、豊橋市における補助金による電気自動車社会への転換は、EV 車、太陽光発電、コジェネレーション、EV 輸送、その他輸送の産出額を増加させる結果となった。それと代替する形で鉱業、石油・石炭製品などの産出量は減少している。また家計部門においては EV 車の購入が増加する結果となった。

本研究では補助金制度に焦点を当てているが、その新たな財源には触れられていない。電気自動車社会に相応しくない部門に税金をかけることも 1 つの方法である。

しかしながら上にも述べたように、市民の豊かさを表す等価的偏差が若干減少してしまうのが課題である。1 次エネルギーの節約や CO₂ の減少などを金銭評価すれば、豊橋市民の豊かさは増加しているかもしれない。これらを詳細に検討していくことが今後の課題である。

参考文献

- 1) 愛知県公式HP : <http://www.pref.aichi.jp/>
- 2) 畔柳 創・平井裕太・高田祐樹・松井拓也・前田 恵 : 「電気自動車が活躍できる社会づくり」, ISFJ2009政策フォーラム発表論文, pp.1-25, 2009
- 3) 環境省 HP : <http://www.env.go.jp/>
- 4) 経済産業省HP : <http://www.meti.go.jp/index.html>
「地球温暖化対策について」
「次世代エネルギー・社会システムの構築に向けて」
「次世代自動車戦略2010」
「次世代自動車分野における地域を挙げた国際競争力の強化」
「我が国の太陽光発電の動向」
- 5) 国土交通省HP: <http://www.mlit.go.jp/>
「国土交通省における次世代自動車等取組状況について」
- 6) 宮田 譲・佐藤浩基 : 「二酸化炭素排出問題の動学一般均衡分析」, 土木計画学研究・論文集 Vol.16, pp.431-442, 1999
- 7) 宮田 譲・渋澤博幸・張 鍵 : 「廃棄物を考慮した小地域の応用一般均衡分析 - 帯広都市圏を事例として-」, 地域学研究 第34巻, pp.481-508, 2004
- 8) Miyata, Y., Shibusawa, H. and Khanam, S. : “Economic Impacts of an Electric Vehicle Society in Toyohashi City, Japan - ACGE Modelling Approach -”, IOSR Journal of Business and Management, Vol.2, No.4, pp.29-40, 2012
- 9) 村沢 義久 : 「燃やさない文明と電気自動車の役割」, 予防時報, No. 239, pp.20-25, 2009
- 10) 日本エネルギー経済研究所HP : <http://eneken.ieej.or.jp/>
- 11) 豊橋市HP : <http://www.city.toyohashi.aichi.jp/>
「豊橋市地球温暖化対策地域推進計画」
- 12) 全国地球温暖化防止活動推進センターHP : <http://www.jccca.org/>

Appendix

(1) 産業

産業は中間財、労働、資本を投入し、財を生産する。産業の技術は中間投入に関して *Leontief* 型技術、資本と労働については *Cobb-Douglas* 型技術とし、規模に関する収穫一定を仮定する。産業の行動は技術の一次同次性から、与えられた産出量に対し、費用最小化行動として定式化される。

$$\min \sum_{i=1}^{38} p_i x_{ij} + (1 + tp_j) (wL_j + rK_j) \quad (1)$$

with respect to x_{ij}, L_j, K_j

subject to

$$X_j = \min \left[\frac{1}{a_{10j}} f_j(L_j, K_j), \frac{x_{1j}}{a_{1j}}, \dots, \frac{x'_{ij}}{a'_{ij}}, \dots, \frac{x_{38j}}{a_{38j}} \right] \quad (2)$$

$$x'_{18j} = x_{18j}^{\alpha_{18j}} x_{19j}^{\alpha_{19j}} \quad (\alpha_{18j} + \alpha_{19j} = 1) \quad (\text{GV, EV 生産中間投入の合成財}) \quad (3)$$

$$x'_{25j} = x_{25j}^{\alpha_{25j}} x_{26j}^{\alpha_{26j}} \quad (\alpha_{25j} + \alpha_{26j} = 1) \quad (\text{電力, 太陽光発電中間投入の合成財}) \quad (4)$$

$$x'_{27j} = x_{27j}^{\alpha_{27j}} x_{28j}^{\alpha_{28j}} x_{29j}^{\alpha_{29j}} \quad (\alpha_{27j} + \alpha_{28j} + \alpha_{29j} = 1) \quad (\text{ガス, 熱供給, コージェネ中間投入の合成財}) \quad (5)$$

$$x'_{34j} = x_{34j}^{\alpha_{34j}} x_{35j}^{\alpha_{35j}} x_{36j}^{\alpha_{36j}} \quad (\alpha_{34j} + \alpha_{35j} + \alpha_{36j} = 1)$$

$$(\text{GV 輸送, EV 輸送, その他輸送中間投入の合成財}) \quad (6)$$

$$f_j(L_j, K_j) \equiv A_{1j} L_j^{a_{1j}} K_j^{(1-a_{1j})} \quad (7)$$

ここで,

p_i : 産業 i の生産物価格

x_{ij} : 産業 j の中間投入量

tp_j : 産業 j の純間接税率

w : 賃金率

r : 資本収益率

L_j : 産業 j の労働投入量

K_j : 産業 j の資本投入量

a_{0j} : 産業 j の付加価値率

a_{ij} : 産業 j の中間投入係数

A_{1j}, α_{1j} : 産業 j の技術パラメータ

上式(1)~(7)の最適化問題から、生産量 X_j に伴う産業 j の中間投入、労働、資本の条件付き需要関数を得る。

$$x_{ij} = a_{ij} X_j \quad (8)$$

$$x_{18j} = \frac{\alpha_{18j}}{p_{18}} \left[\frac{p_{18}}{\alpha_{18j}} \right]^{\alpha_{18j}} \left[\frac{p_{19}}{\alpha_{19j}} \right]^{\alpha_{19j}} a'_{18j} X_j \quad (9)$$

$$x_{19j} = \frac{\alpha_{19j}}{p_{19}} \left[\frac{p_{18}}{\alpha_{18j}} \right]^{\alpha_{18j}} \left[\frac{p_{19}}{\alpha_{19j}} \right]^{\alpha_{19j}} a'_{18j} X_j \quad (10)$$

$$x_{25j} = \frac{\alpha_{25j}}{p_{25}} \left[\frac{p_{25}}{\alpha_{25j}} \right]^{\alpha_{25j}} \left[\frac{p_{26}}{\alpha_{26j}} \right]^{\alpha_{26j}} a'_{25j} X_j \quad (11)$$

$$x_{26j} = \frac{\alpha_{26j}}{p_{26}} \left[\frac{p_{25}}{\alpha_{25j}} \right]^{\alpha_{25j}} \left[\frac{p_{26}}{\alpha_{26j}} \right]^{\alpha_{26j}} a'_{25j} X_j \quad (12)$$

$$x_{27j} = \frac{\alpha_{27j}}{p_{27}} \left[\frac{p_{27}}{\alpha_{27j}} \right]^{\alpha_{27j}} \left[\frac{p_{28}}{\alpha_{28j}} \right]^{\alpha_{28j}} \left[\frac{p_{29}}{\alpha_{29j}} \right]^{\alpha_{29j}} a'_{27j} X_j \quad (13)$$

$$x_{28j} = \frac{\alpha_{28j}}{p_{28}} \left[\frac{p_{27}}{\alpha_{27j}} \right]^{\alpha_{27j}} \left[\frac{p_{28}}{\alpha_{28j}} \right]^{\alpha_{28j}} \left[\frac{p_{29}}{\alpha_{29j}} \right]^{\alpha_{29j}} a'_{27j} X_j \quad (14)$$

$$x_{29j} = \frac{\alpha_{29j}}{p_{29}} \left[\frac{p_{27}}{\alpha_{27j}} \right]^{\alpha_{27j}} \left[\frac{p_{28}}{\alpha_{28j}} \right]^{\alpha_{28j}} \left[\frac{p_{29}}{\alpha_{29j}} \right]^{\alpha_{29j}} a'_{27j} X_j \quad (15)$$

$$x_{34j} = \frac{\alpha_{34j}}{p_{34}} \left[\frac{p_{34}}{\alpha_{34j}} \right]^{\alpha_{34j}} \left[\frac{p_{35}}{\alpha_{35j}} \right]^{\alpha_{35j}} \left[\frac{p_{36}}{\alpha_{36j}} \right]^{\alpha_{36j}} a'_{34j} X_j \quad (16)$$

$$x_{35j} = \frac{\alpha_{35j}}{p_{35}} \left[\frac{p_{34}}{\alpha_{34j}} \right]^{\alpha_{34j}} \left[\frac{p_{35}}{\alpha_{35j}} \right]^{\alpha_{35j}} \left[\frac{p_{36}}{\alpha_{36j}} \right]^{\alpha_{36j}} a'_{34j} X_j \quad (17)$$

$$x_{36j} = \frac{\alpha_{36j}}{p_{36}} \left[\frac{p_{34}}{\alpha_{34j}} \right]^{\alpha_{34j}} \left[\frac{p_{35}}{\alpha_{35j}} \right]^{\alpha_{35j}} \left[\frac{p_{36}}{\alpha_{36j}} \right]^{\alpha_{36j}} a'_{34j} X_j \quad (18)$$

$$LD_j = \left[\frac{(1 - \alpha_j) r}{\alpha_j w} \right]^{\alpha_j} \frac{a_{0j} X_j}{A_j} \quad (19)$$

$$KD_j = \left[\frac{\alpha_j w}{(1 - \alpha_j) r} \right]^{(1 - \alpha_j)} \frac{a_{0j} X_j}{A_j} \quad (20)$$

ここで,

LD_j : 産業 j の労働需要

KD_j : 産業 j の資本需要

さらに完全競争下における長期均衡の仮定から、以下のゼロ利潤条件を得る。

$$\text{利潤} = p_j X_j - \sum_{i=1}^{31} p_i x_{ij} - (1 + t p_j)[w \cdot LD_j + r \cdot KD_j] = 0 \quad (21)$$

(2) 家計

家計は豊橋市における集計化された家計を考える。家計は現在消費と余暇との消費合成財である現在財と、貯蓄による将来財に関して CES 型効用関数を持つとし、予算制約のもとで効用を最大化するような現在財と将来財を選択する。

その後、現在財は消費合成財消費と余暇需要(労働供給)に分解され、さらに財別消費(各産業による生産財)に分解される。

家計の予算制約については、家計の全保有時間を労働供給した場合に得られる賃金所得、家計が保有する資本から得られる固定資本減耗控除後の資本所得、政府からの経常移転、市外からの雇用者所得、財産所得、その他経常移転を総所得とし、賃金所得、資本所得の一部については市外への移転所得となる。

移転所得控除後の総所得をタックスベースとして、税率一定の直接税を控除した所得を現在財と将来財に配分するものとする。なお簡略化のために、家計から政府への経常移転全てを直接税として取扱う。

以上の家計行動を順次説明するために、まず将来財について説明する。将来財は貯蓄による将来消費を意味するが、貯蓄は現在時点においてそのまま投資を形成する。従って投資合成財を貯蓄財と見なすことができる。いま投資は各生産財を用いてなされるが、それを *Leontief* タイプと想定しよう。

$$I = \min \{I_1/b_1, \dots, I_{38}/b_{38}\} \quad (22)$$

ここで、

I_i : 投資 I に伴う各生産財の投入量

b_i : 投資 I と I_i との技術的關係 ($b_i > 0$, $\sum_{i=1}^{38} b_i = 1$)

投資 I は投資費用 $\sum_{i=1}^{38} p_i I_i$ が最小となるようになされるものとすれば、投資 I に伴う生産財需要は $I_i = b_i I$ と

なる。この時、投資の価格を p_I とすれば、 $p_I I = \sum_{i=1}^{38} p_i I_i$ が成立し、これより投資財価格は $p_I = \sum_{i=1}^{38} b_i p_i$ と

して求めることができる。さらにこれを貯蓄財価格 p_s と見なす。

さて投資 1 単位による直接税等控除後の収益は $(1 - t_y)(1 - k_o)(1 - k_r)r\delta$ で表されるので、貯蓄財価格 p_s に対する期待収益率、すなわち貯蓄の期待純収益率 r_s は以下となる。

$$r_s = (1 - t_y)(1 - k_o)(1 - k_r)r\delta / p_s \quad (23)$$

ここで、

t_y : 家計の直接税率

k_o : 市外への財産所得移転率

k_r : 資本ストックの固定資本減耗率

δ : 生産財で測った資本ストックとサービス単位で測った資本ストックとの比率

この期待収益は家計の将来消費をファイナンスするものとする。将来財 H の価格を近視眼的期待のもとで現在消費財価格 p と見なし、実質家計貯蓄を S で表せば、

$$p \cdot H = (1 - ty)(1 - k_o)(1 - k_r)r\delta \cdot S \quad (24)$$

が成立する。これより $[p_s p (1 - ty)(1 - k_o)(1 - k_r)r\delta]H = p_s S$ となり、実質貯蓄 S に伴う将来財価格 p_H を

$$p_H = p_s p / (1 - ty)(1 - k_o)(1 - k_r)r\delta \quad (25)$$

とおけば、 $p_s S = p_H H$ が成立する。

さてこのように定式化された将来財、価格のもとで、効用最大化問題は以下のように記述される。なお、現在財の定式化については後に詳述する。

$$\max_{G,H} u(G,H) \equiv \{\alpha^{1/v_1} G^{(v_1-1)/v_1} + (1-\alpha)^{1/v_1} H^{(v_1-1)/v_1}\}^{v_1/(v_1-1)} \quad (26)$$

subject to

$$p_G \cdot G + p_H \cdot H = (1 - ty)FI - TrHO \quad (27)$$

$$FI \equiv (1 - l_o)w \cdot E + LI + (1 - k_o)(1 - k_r)r \cdot KS + KI + TrGH + TrOH \quad (28)$$

ここで、

α : 分配パラメータ

v_1 : 現在財と将来財との代替弾力性

G : 現在財消費量

H : 将来財消費量

p_G : 現在財価格

p_H : 将来財価格

FI : 完全所得

$TrHO$: 家計から市外への経常移転

l_o : 市外への雇用者所得率

E : 家計の労働時間初期賦存量 (= 家計の初期働供給量の 2 倍と設定。これは豊橋市における労働時間と余暇時間との実績値に基づく。)

LI : 市外からの雇用者所得 (外生値)

KS : 家計の資本ストック初期賦存量

KI : 市外からの財産所得 (外生値)

$TrGH$: 政府から家計への経常移転

$TrOH$: 市外から家計への経常移転

この効用最大化問題を解くことにより、現在財需要関数、将来財需要関数、貯蓄を得る。

$$G = \frac{\alpha[(1-ty)FI - TrHO]}{p_G^{v_1} \cdot \Delta} \quad (29)$$

$$H = \frac{(1-\alpha)[(1-ty)FI - TrHO]}{p_H^{v_1} \cdot \Delta} \quad (30)$$

$$S = p_H H / p_s \quad (31)$$

$$\Delta \equiv \alpha p_G^{1-v_1} + (1-\alpha) p_H^{1-v_1} \quad (32)$$

次に式(29)の現在財需要から消費合成財需要と余暇需要を導出する方法について述べる。現在財需要 G は消費合成財需要と余暇需要の合成財であり、以下の最適化問題から得られるものとする。

$$\max_{C,F} G \equiv \{\beta^{1/v_2} C^{(v_2-1)/v_2} + (1-\beta)^{1/v_2} F^{(v_2-1)/v_2}\}^{v_2/(v_2-1)} \quad (33)$$

subject to

$$p \cdot C + (1-ty)(1-l_o)w \cdot F = (1-ty)FI - TrHO - SH \quad (34)$$

ここで

β : 分配パラメータ

v_2 : 消費合成財と余暇との代替弾力性

CC : 消費合成財消費量

F : 余暇需要量

p : 消費合成財価格

SH : 名目貯蓄額($=p_s \cdot S$)

この効用最大化問題を解くことにより、消費合成財需要関数、余暇需要関数、労働供給関数を得る。

$$C = \frac{\beta[(1-ty)FI - TrHO - SH]}{p^{v_2} \cdot \Omega} \quad (35)$$

$$F = \frac{(1-\beta)[(1-ty)FI - TrHO - SH]}{[(1-ty)(1-l_o)w]^{v_2} \cdot \Omega} \quad (36)$$

$$LS = E - F \quad (37)$$

$$\Omega = \beta p^{(1-v_2)} + (1-\beta)[(1-ty)(1-l_o)w]^{(1-v_2)} \quad (38)$$

ここで、

LS : 家計の労働供給

この消費合成財と余暇需要を式(33)に代入し、現在財を間接効用値として求めることにより現在財の価格が以下のように求まる。

$$p_G = \{\beta p^{1-v_2} + (1-\beta)[(1-ty)(1-l_o)w]^{1-v_2}\}^{1/(v_2-1)} \quad (39)$$

さらに消費合成財消費は所得、余暇需要が与えられたもとで、生産財財消費に関する *Cobb-Douglas* 型効用関数の最大化を通じて、生産財財消費に分解される。

$$\max \prod_{j=1}^{38} C_j^{\gamma_j} \quad \left(\sum_{j=1}^{38} \gamma_j = 1 \right) \quad (40)$$

subject to

$$\sum_{j=1}^{38} p_j \cdot C_j = (1 - ty)Y - TrHO - SH \quad (41)$$

ここで,

C_j : 家計の j 財消費量

p_j : j 財の価格

Y : 家計所得 $(= (1-d)w \cdot LS + LH + (1-k)(1-k_r) \cdot KS + KI + TrGH + TrOH)$

これより, 生産財別消費需要関数を得る。

$$C_j = \frac{\gamma_j}{p_j} [(1 - ty)Y - TrHO - SH] \quad (j = 1, \dots, 38) \quad (42)$$

また消費合成財価格と財価格との関係は以下のようになる。

$$p = \prod_{j=1}^{38} \left[\frac{p_j}{\gamma_j} \right]^{\gamma_j} \quad (43)$$

(3) 政府

政府は豊橋市からの直接税及び純間接税の税収と, 市外からの経常移転を歳入とし, 政府消費, 家計への経常移転, 市外への経常移転を歳出とし, 歳入と歳出の差額を貯蓄されるものとする。政府名目消費総額, 政府から家計への経常移転, 政府から市外への経常移転は歳入総額に比例し, 政府消費支出額と財別構成比は固定的とする。これらは以下の予算制約条件として表現される。

$$\sum_{i=1}^{38} p_i \cdot CG_i + TrGH + TrGO + SG = ty \cdot Y + \sum_{i=1}^{38} tp_i (w \cdot LD_i + r \cdot KD_i) + TrOG \quad (44)$$

ここで,

CG_i : 政府消費による i 財の需要

$TrGO$: 政府から市外への経常移転

SG : 政府貯蓄

$TrOG$: 市外から政府への経常移転

(4) 市外部門

市外部門は豊橋市の移輸入, 政府から市外への経常移転, 市外への雇用者所得, 市外への財産所得を所得とする。また豊橋市の移輸出, 家計への経常移転, 政府への経常移転, 豊橋市への雇用者所得, 豊橋市への財産所得を支出する。そして, 所得と支出との差額を貯蓄されるものとする。なお豊橋市への移輸出入は名目値を外生的に固定している。これらは以下の予算制約条件として記述される。

$$\sum_{i=1}^{38} p_i \cdot EX_i + TrOH + TrOG + KI + LI + SO = \sum_{i=1}^{38} p_i \cdot EM_i + TrHO + TrGO + KIO + LIO \quad (45)$$

ここで,

EX_i : 豊橋市の*i*財の移輸出量

EM_i : 豊橋市の*i*財の移輸入量

SO : 市外貯蓄(=豊橋市民経常余剰)

LIO : 市外への雇用者所得の移転(= $l_o \cdot w \cdot LS$)

KIO : 市外への財産所得の移転(= $k_o \cdot r \cdot kS$)

(5) 投資-貯蓄バランス

家計, 政府, 市外部門の貯蓄, 固定資本減耗の総額は, 投資総額を決定する。

$$\sum_{i=1}^{38} p_i \cdot I_i = SH + SG + SO + \sum_{i=1}^{38} DR_i \quad (46)$$

ここで DR_i : 産業*i*の固定資本減耗額

(6) 財価格

産業のゼロ利潤条件から以下の費用構成が導かれる。

$$p_j X_j = \sum_{i=1}^{38} p_i x_{ij} + (1 + tp_j)[w \cdot LD_j + r \cdot KD_j] \quad (47)$$

これより賃金率, 資本収益率が与えられる時, 財価格は以下のように求まる。

$$P = [I - A']^{-1} [(1 + tp_j)(w \cdot ld_j + r \cdot kd_j)] \quad (48)$$

ここで,

P : 財価格ベクトル

A' : 投入係数転置行列

$[\cdot]$: カッコ内を要素とした列ベクトル

$ld_j = LD_j / X_j$, $kd_j = KD_j / X_j$

(7) 市場均衡条件

本研究の市場は38財市場, 労働市場, 資本市場の40市場であり, それらの均衡条件は以下のように表される。

財市場

$$X = AX + C + CG + I + EX - EM \quad (49)$$

労働市場

$$LS = \sum_{j=1}^{38} LD_j \quad (50)$$

資本市場

$$KS = \sum_{j=1}^{38} KD_j \quad (51)$$

ここで,

X : 産業産出量ベクトル

EM : 移輸入ベクトル

A : 産業部門投入係数行列

C : 家計消費ベクトル

CG : 政府消費ベクトル

I : 投資ベクトル

EX : 移輸出ベクトル

KS : 資本ストックの賦存量

もちろん本研究の内生変数を全て解くためには、これらの均衡条件式だけでは不十分で、モデルの全ての式が必要となる。しかし、本研究では産業の技術を一次同次としているため、賃金率、資本収益率が与えられる時、式(48)により財価格が決定され、そのもとでの財需要に見合う形で産業産出量は決定される。

これより本研究のワルラス法則は、労働の超過需要価値額 + 資本の超過需要価値額 = 0, に帰着される。これは労働市場、あるいは資本市場をクリアすれば、全ての均衡解が求まることを示している。そこで、本研究では労働をニュメレール($w=1$)とし、資本市場をクリアする資本収益率を *Newton-Raphson* 法を用いて収束計算している。

4. 三河港の経済効果と海上輸送へのモーダルシフトに関する研究

建築・都市システム学系 准教授 渋谷 博幸, 教授 宮田 譲

4-1 三河港の経済波及効果の計測

我が国は、日本列島と周辺の島々を領土とする国家である。我が国は、天然資源の多くを海外から輸入し、先端的な技術により付加価値の高い製品を生産し、輸出を行う貿易立国である。貿易貨物の輸送のほとんどは、海外輸送に依存しており、経済がグローバル化する中で、港湾の役割は重要性を増している。また、持続的な循環型社会の構築に向けて、環境負荷低減に対する社会的要請は高まっており、輸送の分野においても環境負荷の小さい海運利用への転換が期待されている。

港湾は、後背地の社会経済構造により特徴づけられる。日本のほぼ中央に位置する港湾に三河港がある。三河港は愛知県東部の三河湾・渥美湾の豊橋市、田原市、蒲郡市、豊川市にわたる港湾である。三河港は自動車の輸出入が国内トップレベルであり、多くの自動車メーカーの基幹港として機能している。三河港の後背地には製造業が集積していることから、海上輸送網の拠点として、重要港湾に指定されている。この地域には自然環境、歴史的施設や海洋性レクリエーション施設の観光資源にも恵まれており、広域的な地域資源を活用した取り組みが進められている。

一般的に、港湾における諸活動は、取扱貨物量、貿易額や船舶乗降人員数等の指数で示されることが多い。本稿では、三河港が地域に及ぼす経済効果を定量的に把握し、三河港が地域に果たす役割をわかりやすく示すために、三河港の経済波及効果の計測を試みる。

(1) 直接経済効果

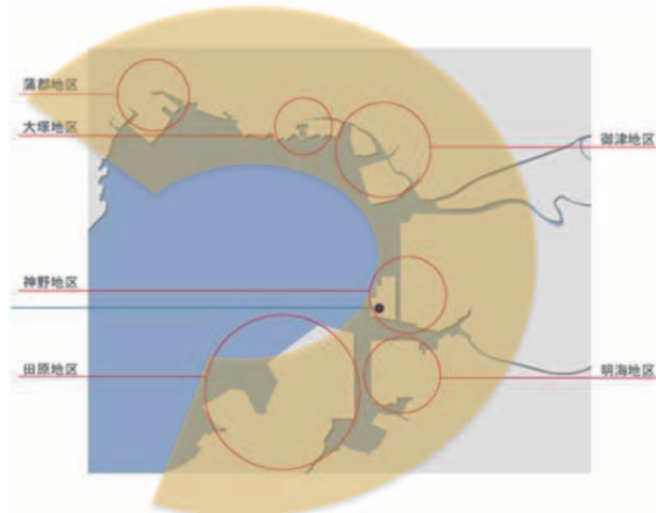
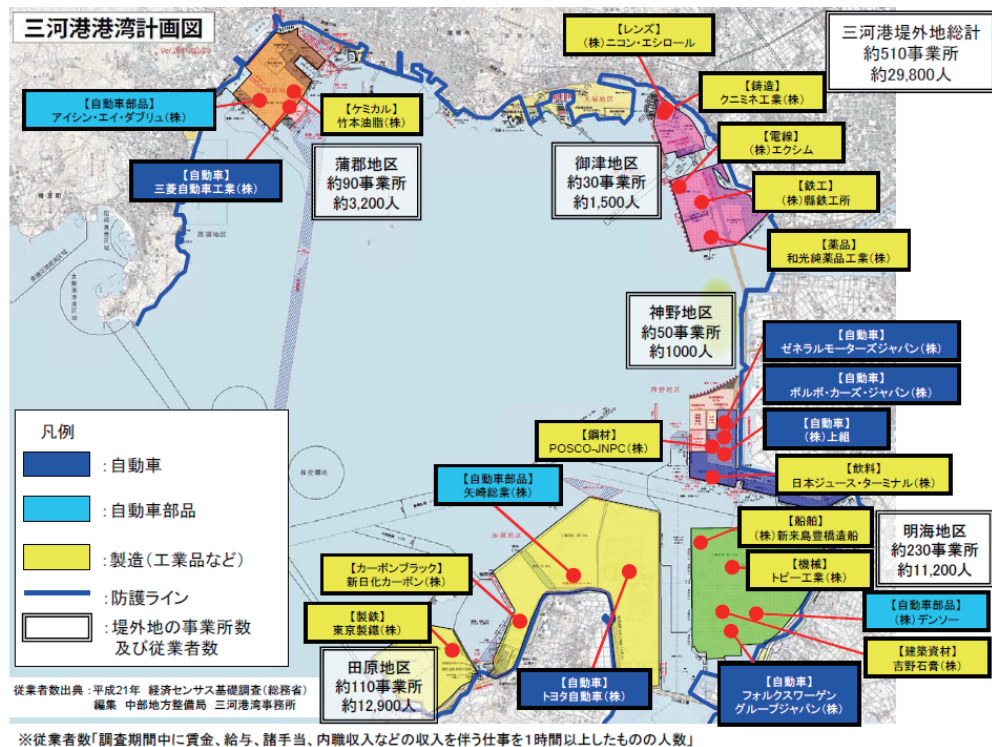
港湾の経済活動の直接効果の推計には、アンケートやヒアリング調査等から求める方法と、既存統計資料を活用した方法がある。前者は、精度の高い情報の収集を得るために十分な準備（時間と費用）が必要となる。後者は、既存統計情報を活用することから、一定の推定手法が確立されており、データの精度の安定性や他の港湾の経済効果との比較が可能であるという利点がある。本稿では、既存統計資料を活用する方法を採用し、付加価値ベースによる経済波及効果の計測を試みる。

(2) 経済波及効果の計測方法

本稿では、三河港の経済波及効果の推計を行う。本調査の対象地域は豊橋市、田原市、豊川市（小坂井町含）、及び蒲郡市の4市とする。産業連関分析を用いて、生産誘発額、粗付加価値誘発額、雇用者所得誘発額、及び雇用者誘発数を推計する。推計する効果は、直接効果（対象産業分野の生産額）、一次波及効果（原材料・サービス調達需要に伴う波及効果）、及び二次波及効果（直接効果及び一次波及効果による個人消費需要に伴う波及効果）である。三河港の経済波及効果推計の対象を、表 4-1-1 と図 4-1-1 に示す。港湾物流支援産業と生活・文化関連産業の対象地域となる港湾関連エリアに関しては、主に三河湾に面している町丁目を選択して設定した。

表 4-1-1 推計対象

機能	対象産業群	役割	該当事業	対象地域
物流	(1)港湾物流産業	船舶の入出港支援 貨物の荷役、保管、輸送	海運・港湾事業など	豊橋・田原・豊川・蒲郡
	(2)港湾物流支援産業	港湾物流産業の間接的な支援	道路貨物運送業、卸売業、金融保険業、公務等	港湾関連エリア
生活文化	(3)生活・文化関連産業	港の景観やイメージを活かした観光・レジャー機能	飲食、小売等のサービス業	港湾関連エリア
生産	(4)港湾依存製造業	港湾を活用した原材料調達や製品出荷などの生産機能	三河港の移輸出入に係る製造業	豊橋・田原・豊川・蒲郡



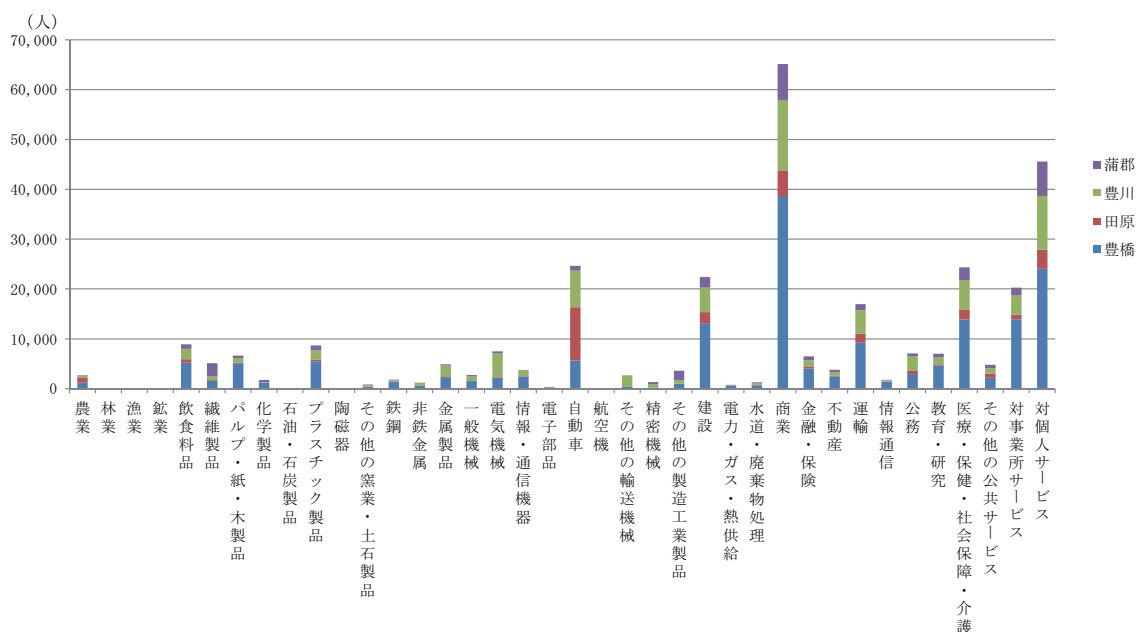
出典：三河港港湾事務所三河港地震・津波対策検討会議資料，三河港振興会ホームページ

図 4-1-1 三河港と港湾関連エリア

直接効果の推計は、港湾の経済波及効果の調査報告書等（堺泉北港，北九州港など）を参考にしながら既存統計を利用して表 4-1-2 に示すように行う。従業者数は，平成 21 年度経済センサスを用いて市別部門別，関連エリア別に集計する。市別部門別の従業者数を図 4-1-2 に示す。一次効果と二次効果の推計については，愛知県の産業連関表を利用して産業連関モデルを用いて行う。経済波及効果計測のフローを図 4-1-3 に示す。

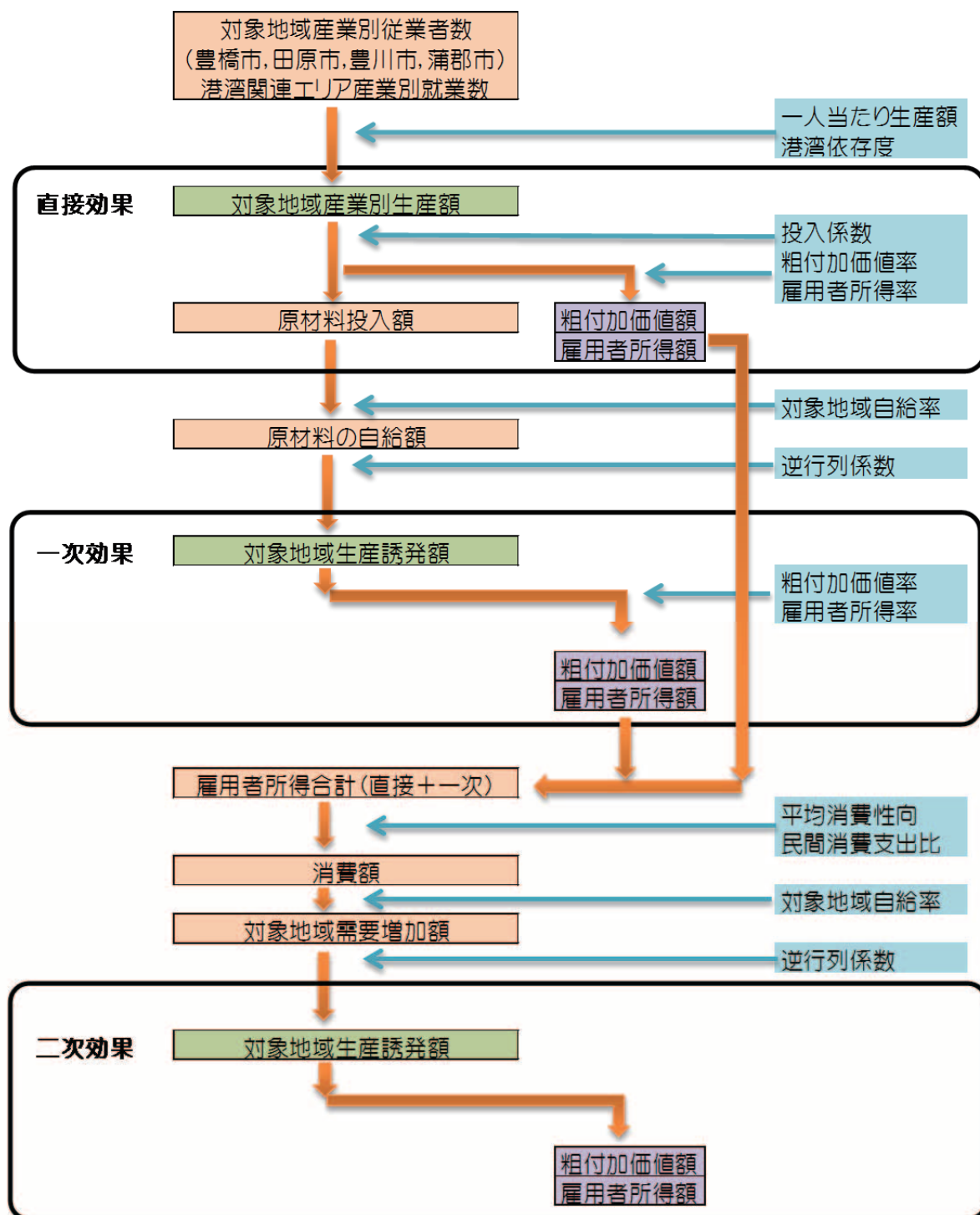
表 4-1-2 直接効果の推計

	直接効果の推計方法
(1)港湾物流産業	H21 経済センサスから 4 市の該当産業の従業者数を求める。H17 愛知県産業連関表（雇用表）の産業別 1 人当たり生産額を乗じて推計する。 直接効果＝従業者数×従業者 1 人当たり生産額
(2)港湾物流支援産業 (3)生活・文化関連産業	H21 経済センサスから港湾関連エリアに立地する事業所の業種別従業者数を求める。H17 愛知県産業連関表（雇用表）の産業別 1 人当たり生産額を乗じて推計する。
(4)港湾依存製造業	H21 経済センサスから 4 市の該当産業の従業者数を求める。H21 港湾統計，H21 貨物地域流動調査から，各産業の港湾利用割合（港湾依存度）を推計する。H17 愛知県産業連関表（雇用表）の産業別 1 人当たり生産額と港湾依存度を乗じて推計する。



出典：平成 21 年度経済センサス

図 4-1-2 市別部門別従業者数



出典：堺泉北港経済波及効果調査報告書より一部修正

図 4-1-3 三河港の経済波及効果の計測

(3) 直接効果の推計

本調査の前提条件のもとで、三河港の港湾関連産業の直接効果は、総額で約 5858 億円と推計された。このうち、港湾物流支援産業が約 37%を占める。港湾依存製造業が約 40%，生活・文化

関連産業が約 20%となった（表 4-1-3）。また、4 市別の直接効果をみると、豊橋市が約 42%、田原市が約 19%、豊川市が約 20%、蒲郡市が約 19%となった。図 4-1-1 に示すように、豊川市と蒲郡市の三河湾臨海部（御津地区、蒲郡地区）の従業員数は、豊橋市と田原市の臨海部の従業者数（明海・神野地区、田原地区）と比べると少ないが、後背地として豊川市（小坂井含む）と蒲郡市の全域を対象としていることから、直接効果の割合はそれぞれ約 1/5 を占めている。

表 4-1-3 直接効果(試算)

	(1)	(2)	(3)	(4)					
	港湾物流 産業	港湾物流 支援産業	生活文化 関連産業	港湾依存 製造業	合計	市別の内訳			
	(百万円)	(百万円)	(百万円)	(百万円)	(百万円)	豊橋市	田原市	豊川市	蒲郡市
1 農業	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2 林業	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3 漁業	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4 鉱業	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5 飲食料品	0	0	0	2,528	2,528	1,503	177	594	254
6 繊維製品	0	0	0	2,344	2,344	714	72	343	1,215
7 パルプ・紙・木製品	0	0	0	2,023	2,023	1,557	36	261	169
8 化学製品	0	0	0	4,834	4,834	3,299	168	66	1,301
9 石油・石炭製品	0	0	0	3,257	3,257	2,671	0	326	261
10 プラスチック製品	0	0	0	9,746	9,746	6,191	386	2,089	1,081
11 陶磁器	0	0	0	10	10	0	0	10	0
12 その他の窯業・土石製品	0	0	0	166	166	79	1	84	2
13 鉄鋼	0	0	0	13,992	13,992	10,088	1,152	1,538	1,214
14 非鉄金属	0	0	0	2,315	2,315	1,086	75	1,154	0
15 金属製品	0	0	0	2,208	2,208	1,048	69	973	119
16 一般機械	0	0	0	9,681	9,681	5,259	145	3,209	1,069
17 電気機械	0	0	0	20,275	20,275	5,969	319	12,721	1,266
18 情報・通信機器	0	0	0	24,704	24,704	15,906	600	7,310	888
19 電子部品	0	0	0	1,538	1,538	143	0	1,349	45
20 自動車	0	0	0	103,524	103,524	23,813	44,947	30,590	4,174
21 航空機	0	0	0	0	0	0	0	0	0
22 その他の輸送機械	0	0	0	10,553	10,553	1,575	59	8,602	317
23 精密機械	0	0	0	2,867	2,867	514	0	1,425	928
24 その他の製造工業製品	0	0	0	9,181	9,181	2,520	78	1,670	4,913
25 建設	0	32,467	0	0	32,467	13,571	5,410	6,143	7,344
26 電力・ガス・熱供給	0	0	0	0	0	0	0	0	0
27 水道・廃棄物処理	0	0	0	0	0	0	0	0	0
28 商業	0	35,246	88,454	0	123,700	52,208	22,765	16,841	31,886
29 金融・保険	0	11,807	0	0	11,807	1,466	4,235	1,559	4,546
30 不動産	0	0	0	0	0	0	0	0	0
31 運輸	15,750	100,598	0	0	116,348	69,736	21,133	9,849	15,630
32 情報通信	0	3,368	0	8,750	12,118	9,018	526	1,108	1,466
33 公務	0	15,932	0	0	15,932	1,639	6,909	457	6,926
34 教育・研究	0	0	0	0	0	0	0	0	0
35 医療・保健・社会保障・介護	0	0	0	0	0	0	0	0	0
36 その他の公共サービス	0	0	0	0	0	0	0	0	0
37 対事業所サービス	0	19,491	0	0	19,491	8,547	1,166	2,692	7,086
38 対個人サービス	0	0	28,145	0	28,145	7,202	2,308	3,660	14,975
39 事務用品	0	0	0	0	0	0	0	0	0
40 分類不明	0	0	0	0	0	0	0	0	0
合計	15,750	218,909	116,599	234,496	585,753	247,321	112,738	116,622	109,073
構成比	2.7%	37.4%	19.9%	40.0%	100.0%	42.2%	19.2%	19.9%	18.6%

（４）三河港の経済波及効果の推計

三河港の生産額ベースの経済波及効果は、約 1 兆 455 億円と推計された。直接効果の誘発効果は約 1.78 倍と推計された。また、粗付加価値額ベースの経済波及効果は、約 5,029 億円と推計された。雇用者誘発数は 51,327 人と推計された。三河港臨海部エリアの従業者数は約 3 万人であり、雇用者誘発数は約 1.7 倍の値となっている。4 市の従業者数は約 32 万人であり、雇用者誘発数は約 16%を占める。

表 4-1-4 三河港の経済波及効果（試算）

総効果	生産額（百万円）	1,045,544
	粗付加価値額（百万円）	502,854
	雇用者誘発数（人）	51,327
直接効果	生産額（百万円）	585,753
	粗付加価値額（百万円）	267,116
	雇用者誘発数（人）	30,161
間接効果 （一次）	生産額（百万円）	307,346
	粗付加価値額（百万円）	140,599
	雇用者誘発数（人）	12,931
間接効果 （二次）	生産額（百万円）	152,445
	粗付加価値額（百万円）	95,138
	雇用者誘発数（人）	8,235
波及倍率 =総効果/直接効果	生産額	1.78
	粗付加価値額	1.88

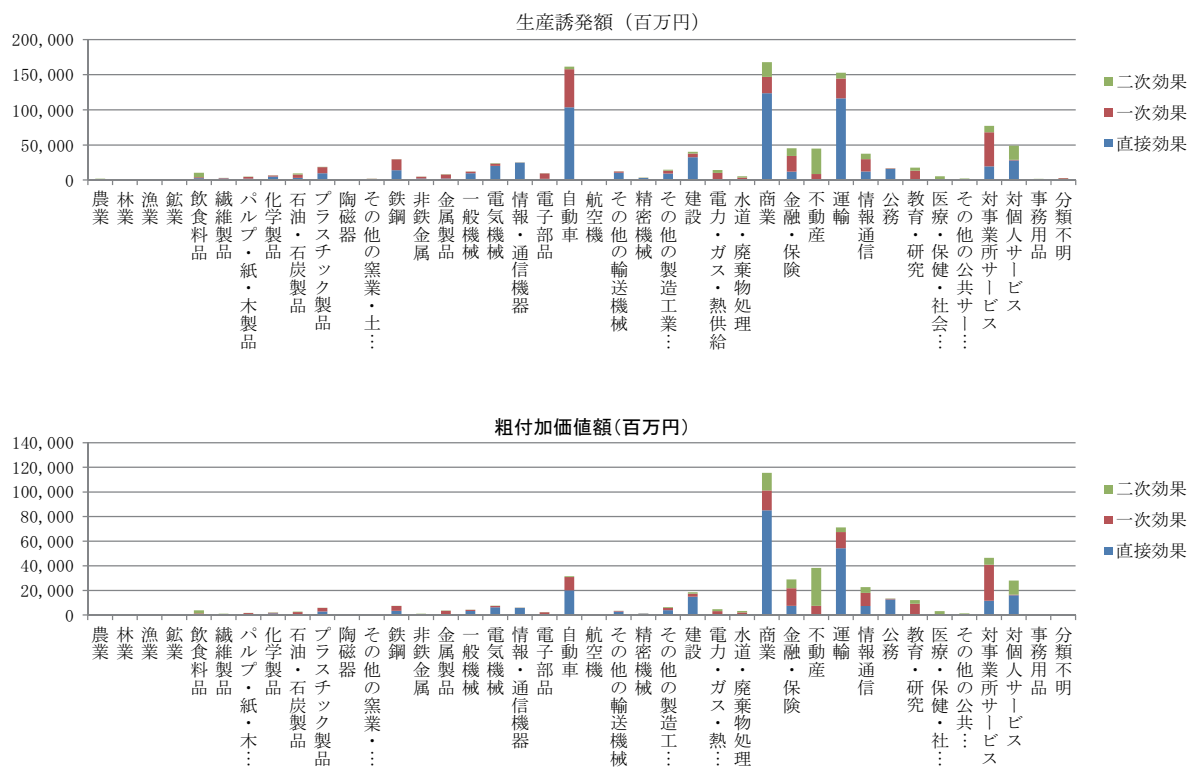


図 4-1-4 三河港の産業別経済波及効果（試算）

（５）経済波及効果の比較

三河港とその他の港湾の経済波及効果の推計結果の比較を行うことから、本調査の推定結果の妥当性を検討する。三河港とその他の港湾の経済波及効果の比較を表 4-1-5 と図 4-1-4 に示す。港湾取引貨物量と経済波及効果（粗付加価値額ベース）にはある程度の相関関係があるものと想定される。港湾取引貨物量と経済波及効果の散布図から、三河港の経済波及効果は、他港の経済波及効果と同様な傾向にあることがわかる。

表 4-1-5 三河港と他の港湾の経済波及効果の比較

港湾	港湾 取扱貨物量 (万トン)	経済波及効果 (粗付加価値) (億円)	雇用者 誘発数 (人)	対象地域	調査年 (事業所統計・ 経済センサス)
三河港	2,330	5,029	51,327	豊橋, 田原, 豊川, 蒲郡	H22 (H21)
姫路港	3,865	6,682	56,830	兵庫県内	H15 (H11)
四日市港	5,957	7,957	86,371	三重県内	H22 (H21)
堺泉北港	7,448	11,287	107,219	大阪府内	H23 (H18)
北九州港	9,373	15,611	141,436	北九州市	H19 (H11)

注：三河港と四日市港の港湾取引貨物量は平成 20,21,22 年の平均値である。

出典：堺泉北港経済波及効果調査報告書から一部修正

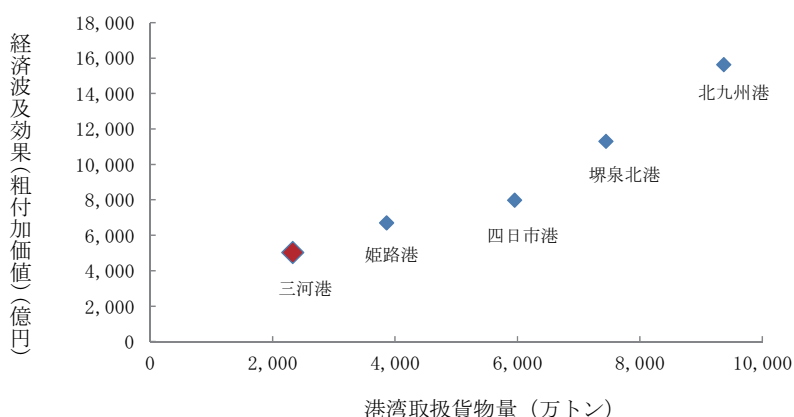


図 4-1-4 三河港とその他の港湾の経済波及効果

（６）まとめと今後の課題

本稿では、三河港の後背圏域である豊橋市、田原市、豊川市、及び蒲郡市を対象として、既存統計資料を活用して、粗付加価値ベースの港湾の経済波及効果の試算を行った。平成 21 年は、リーマンショックの影響を受けて三河港の貨物取扱量が激減した年であり、経済波及効果の推計値も小さくなる傾向があると考えられる。この推計結果は、港湾関連エリアや港湾依存度（愛知県の平均依存度）の設定の仕方にも依存している。部門別の効果等に関しては、アンケートやヒアリング調査等の詳細な情報を加えて評価する必要があるだろう。4 市以外の地域への波及効果の計測も今後の課題である。

4-2 電気自動車による道路からフェリーへのモーダルシフトの試算

本節では、電気自動車利用による陸上輸送から海上輸送へのモーダルシフトの可能性について検討する。昨年の報告書では、電気自動車の出現が、陸上交通から海上交通へのモーダルシフトに与える影響を、簡単な分析的枠組みを用いて検討した。道路からフェリーへのモーダルシフトの可能性を、通常の乗用車（ガソリン車）と電気自動車の分担率という視点から分析するアプローチを示した。本調査では、このアプローチを利用して、我が国の長距離フェリーの航路を参考にしながら、電気自動車による道路からフェリーへのモーダルシフトの可能性を試算する。

（１）方法

電気自動車が、道路とフェリーのどちらの交通機関を利用するかという問題を考える。一般的に、旅客が利用する交通機関の割合は、各交通機関の所要時間と移動費用に依存すると考えられる。所要時間と移動費用の関係から、交通機関の分担率を求める方法に犠牲量モデルがある。東北産業活性化センター『青函カートレイン構想』では、犠牲量モデルを用いて、フェリーとカートレインの輸送機関分担率の分析を行っている。瀬戸大橋開通後の四国各県と本州各県との流動（平成2年度）をもとに、フェリーと高速道路の分担率が、時間価値の関数として表現されている。ここで旅客のフェリーと高速道路の機関分担率の近似式は次のとおりである。

$$\text{旅客} \quad \ln[P/(1-P)] = -7.56566 + 2.30696 \ln \omega \quad \bar{R}^2 = 0.623064, \text{SE} = 1.035969 \quad (1) \\ (2.226862)$$

ここで、 P はフェリーの分担率であり、 $P = \text{フェリー} / (\text{フェリー} + \text{道路})$ である。道路の分担率は $1-P$ である。 ω は各区間の時間価値、すなわち1分当たりの時間価値(円)で、 $\omega = (\text{道路移動費用} - \text{フェリー移動費用}) / (\text{フェリー移動所要時間} - \text{道路移動所要時間})$ である。ここでは、シナリオ分析のための参考情報としてこの推計式を試験的に用いる。

（２）想定シナリオ

①経路と移動手段

ここで、A地域とB地域のある区間に、自動車で移動可能な2つの経路が存在する状況を想定しよう。ひとつは、経路 α 「道路（一般道路と高速道路）」を利用する経路であり、もうひとつは、経路 β 「道路（主に一般道路）とフェリー」を利用する経路である。ここでは、その他の輸送モードによる移動は考えないものとする。2つの経路の概念図を図4-2-1に示す。

ここで、二つのケースを考える。

ガソリン車ケース：A地域とB地域を通常のガソリン車で移動する場合

電気自動車ケース：A地域とB地域を電気自動車で移動する場合

ガソリン車ケースにおける経路 α と経路 β の分担率と、電気自動車ケースにおける経路 α と経路 β の分担率を求める。これらの分担率を比較することから、電気自動車の普及がモーダルシフトに与える影響を検討する。電気自動車のフェリーの分担率が、ガソリン自動車のフェリーの分担率よりも大きければ、モーダルシフトが生じると考えられる。



図4-2-1 経路と交通機関

②フェリーの航路と発着地

フェリーの主な航路を図4-2-2に示す。これは、日本長距離フェリー協会のパンフレットに示されている長距離フェリー航路である。ほとんどの航路のフェリーは1日1便である。図中の番号は各航路を示す。このうちで、4,5,6,8,9の航路は、いくつかの港を経由することから、複数の航路に分けた。また、7番の航路は旅客サービスが提供されていないので考慮しなかった。都道府県を地域単位として考え、各航路の港に対応する都市と発着地点を表4-2-1に示すように定めた。発着地点は、港に最も近い都市（県庁所在）の主要駅とした。

各発着地点間の経路αと経路βに、犠牲量モデルを適用して、道路からフェリーへとモーダルシフトする可能性を検討する。2つの経路、すなわち経路α（道路）と経路β（道路＋フェリー）のルートは、検索サイト（NAVITIME, <http://www.navitime.co.jp>）を利用して求めた。陸上移動では高速道路を利用し、移動時間を最小する経路を優先的に選択した。さらに、ある一定の条件下のもとで、経路αと経路βの区間を、ガソリン車1台で移動した場合の移動費用と移動時間、及び電気自動車1台で移動した場合の移動費用と移動時間を求めた。各経路の移動費用と移動時間から時間価値を求めた。犠牲量モデルの(1)式と時間価値から、経路αと経路βの分担率が求められる。北海道―青森間は、道路が存在しないため、この区間は、経路αの場合においても、北海道―青森間はフェリーを利用するものとし、それぞれフェリーの移動費用と移動時間を道路の移動費用と時間に加えた。



出典：日本長距離フェリー協会ホームページ

図4-2-2 フェリー航路

表4-2-1 発着地と航路

区間	発着地（最寄港）	発着地（最寄港）
1	京都駅(舞鶴)	札幌駅(小樽)
2	新潟駅(新潟)	札幌駅(小樽)
3	福井駅(敦賀)	札幌駅(苫小牧東)
4a	福井駅(敦賀)	新潟駅(新潟)
4b	福井駅(敦賀)	秋田駅(秋田)
4c	新潟駅(新潟)	札幌駅(苫小牧東)
4d	新潟駅(新潟)	秋田駅(秋田)
4e	秋田駅(秋田)	札幌駅(苫小牧東)
5a	名古屋駅(名古屋)	札幌駅(札幌)
5b	名古屋駅(名古屋)	仙台駅(仙台)
5c	仙台駅(仙台)	札幌駅(苫小牧)
6	水戸駅(大洗)	札幌駅(苫小牧)
8a	東京駅(東京)	博多駅(新門司)
8b	東京駅(東京)	徳島駅(徳島)
8c	徳島駅(徳島)	博多駅(新門司)
9	大阪駅(大阪南)	博多駅(新門司)
10	大阪駅(泉大津)	博多駅(新門司)
11	神戸駅(神戸)	博多駅(新門司)
12	大阪駅(大阪南)	大分(別府観光)
13	神戸駅(神戸)	大分駅(大分)
14	大阪駅(大阪南)	鹿児島駅(志布志)
15	大阪駅(大阪南)	宮崎駅(宮崎)

③ガソリン車（通常の乗用車）

ガソリン車で経路 α を移動する場合の所要時間は、道路の移動時間にガソリンの給油時間を加えた時間とする。移動費用は、有料道路の料金と道路走行費からなる。ガソリン車で経路 β を移動する場合の所要時間は、港までの道路移動時間とフェリーの乗船時間および平均待ち時間の合計である。ほとんどのフェリーは1日1便であるため、経路 α に比べると経路 β の場合に発着地において待ち時間が生じる。移動費用は、フェリーの運賃（車両費含む）と道路走行費であるが、フェリーの利用により道路走行時間が減少した分を休息の増加分としてその時間価値を求め割り引いている。

④電気自動車

電気自動車で経路 α を移動する場合の所要時間は、道路の移動時間と総充電時間（充電回数×充電時間）からなる。移動費用は、有料道路の料金と道路走行費からなる。道路走行費は、走行経費原単位に走行距離を乗じて求められる。走行経費原単位は、燃料費、油脂費、整備費、車両焼却費を含む。一般的に、電気自動車の燃料費はガソリン車のそれよりも低い、車両費は電気自動車のほうがより高価である。ここでは、基本ケースとして、電気自動車とガソリン車は同じ走行経費原単位を用いた。

⑤経路 α と経路 β の分担率の推計

表4-2-1に示した発着地点とする各区間において、それぞれガソリン車と電気自動車で経路 α と経路 β を移動した場合の分担率を犠牲量モデルから求めた。これを基本ケースとする。図4-2-3の横軸は、各区間の番号である。縦軸は、経路 β （フェリー&道路）の分担率を示す。一般的に、

経路α（道路）の移動距離が長い区間ほど、すなわち道路を利用すると長距離・長時間・高費用の移動を余儀なくされる区間ほど、経路β（フェリー&道路）を選択する比率が高くなっている。

また、どの区間をみても、ガソリン車よりも電気自動車のケースで、経路β（フェリー&道路）の分担率が上昇している。これは、電気自動車が普及することによって、経路βを利用する可能性がより高まることを示している。ここで、このモーダルシフト率を、

モーダルシフト率＝電気自動車の経路βの分担率－ガソリン車の経路βの分担率
 としよう。各区間のモーダルシフト率を図4-2-4に示す。この平均モーダルシフト率は4.5%となる。

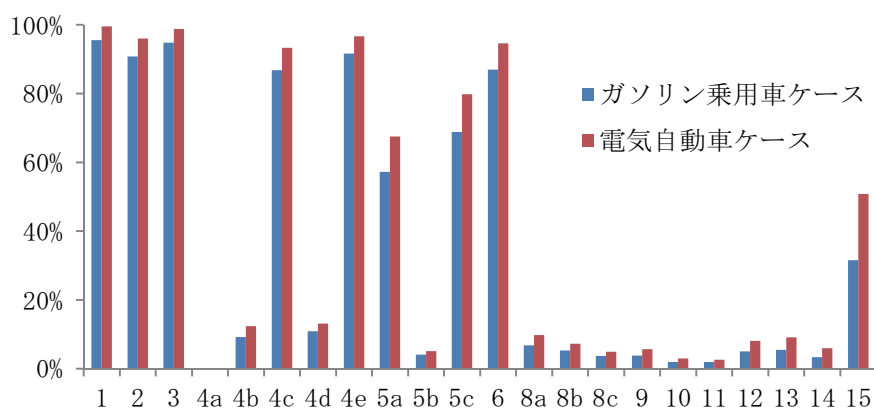


図4-2-3 経路β（フェリー&道路）の分担率

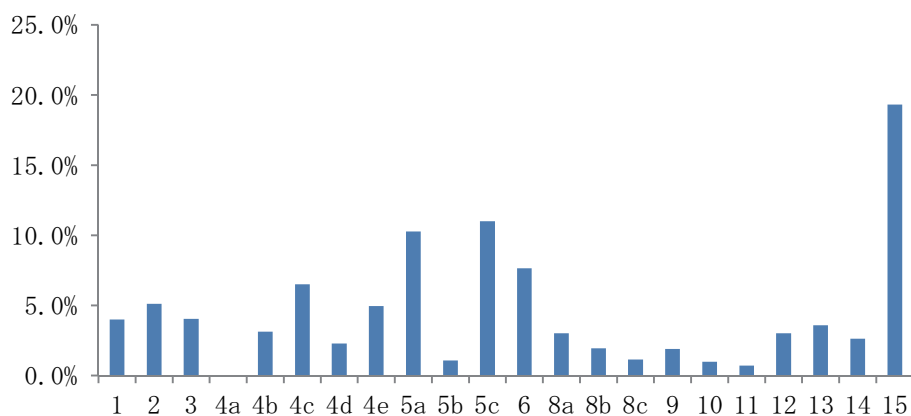


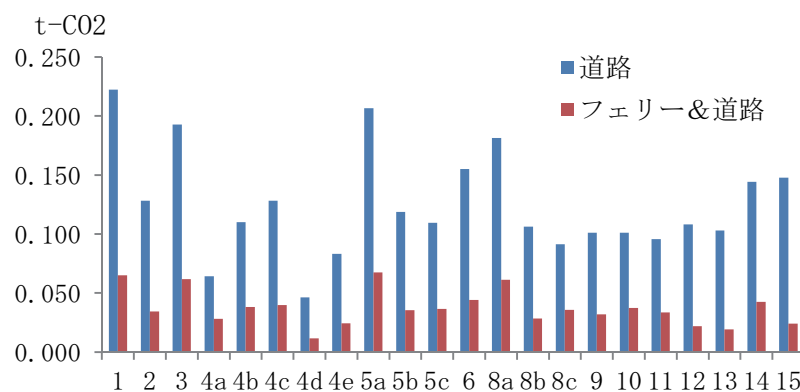
図4-2-4 電気自動車による経路βへのモーダルシフト率

図4-2-5に、各区間を経路α（道路）と経路β（フェリー&道路）を、ガソリン車と電気自動車で移動した場合のCO2排出量を示す。1台1トリップあたりのCO2排出量である。ガソリン車で経路α（道路）を移動する場合に、CO2排出量が最も大きくなっている。ガソリン車で経路β（フェリー&道路）を移動することにより、CO2排出量が減少する。

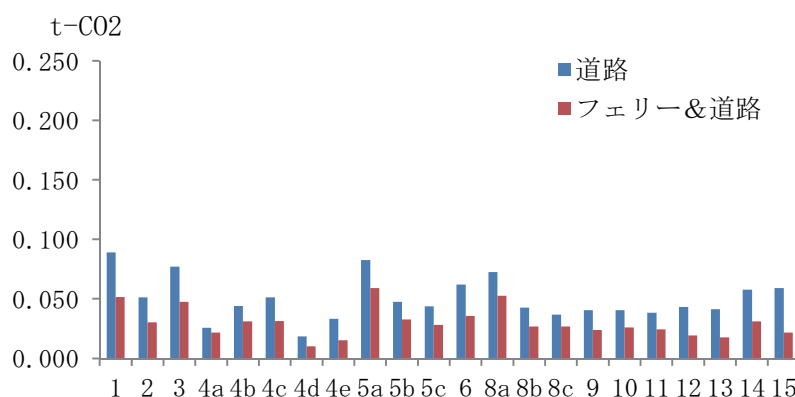
電気自動車で経路αを移動する場合には、ガソリン車で経路αを移動する場合比べて、かなり

CO2排出量は減少している。電気自動車で経路βを移動する場合に、CO2排出量が最も少なくなる傾向がみられる。

すべての区間のCO2排出量を単純に集計すれば、ガソリン車（経路α）は3.567t-CO2、ガソリン車（経路β）は0.822t-CO2、電気自動車（経路α）は1.761t-CO2、電気自動車（経路β）は0.664t-CO2となっている。したがって、ガソリン車（経路α）から、電気自動車（経路β）へモーダルシフトすることによって、最大81.4%のCO2削減となる。



(a) ガソリン車ケース



(b)電気自動車ケース

図4-2-5 CO2排出量

(3) 平均シフト率の感度分析

基本ケースにおける経路αと経路βの分担率は、移動時間と移動費用を求める際に用いたパラメータに依存している。ここでは、いくつかのパラメータを変化させて、経路αと経路βの分担率に与える影響を調べる。ここでは、(a)電気自動車の走行経費原単位、(b)電気自動車の総充電時間、および(c)フェリー平均待ち時間に関するパラメータの変化に注目する。

基本ケースでは、ガソリン車ケースと電気自動車ケースでは同じ走行経費原単位を用いている。走行経費原単位は、燃料費、油脂費、タイヤ・チューブ費、車両整備（維持・修繕費）、車両償却費等の項目から構成されている。充電電池の価格や電気料金の変動などにより、電気自動車の走

行経費原単位の変動が予想される。

電気自動車の航続距離を120kmとして、電気自動車の1回当たりの充電時間を40分（30分＋その他10分）とした。例えば、240kmの移動では、総充電時間は80分と計算される。充電地性能の向上、充電インフラ整備、あるいは充電スタンドの渋滞など、充電時間の変動も想定される。

基本ケースのフェリーの運航頻度は、ほとんどが1日1便である。フェリーの運航回数が変われば、フェリーの平均待ち時間も変動することが予想される。

電気自動車の走行経費原単位の変化、総充電時間の変化、およびフェリーの平均待ち時間の変化が、経路αから経路βへの平均シフト率に与える影響を表4-2-2に示す。変化率が0%は、基本ケースを示す。一般的に、今後の技術革新やインフラ整備により電気自動車の走行費用は減少し、充電時間は短くなることが予想される。感度分析から、走行経費原単位が低下し、充電時間が短縮することにより、電気自動車は道路を利用する移動がしやすくなることから、経路βの分担率が減少する傾向がみられる。一方で、フェリーの利用環境が改善して（たとえば運航回数の増加など）、フェリーの平均待ち時間が減少することにより、経路βへの平均シフト率は増加する傾向がみられる。

表4-2-2 感度分析

電気自動車 走行経費 変化	経路 α → β 平均シフト率	電気自動車 充電時間 変化	経路 α → β 平均シフト率	フェリー 待ち時間 変化	経路 α → β 平均シフト率
-30%	4.01%	-30%	2.99%	-30%	5.35%
-20%	4.16%	-20%	3.48%	-20%	4.97%
-10%	4.31%	-10%	3.97%	-10%	4.68%
0%	4.47%	0%	4.47%	0%	4.47%
10%	4.63%	10%	4.97%	10%	4.31%
20%	4.78%	20%	5.48%	20%	4.18%
30%	4.94%	30%	5.99%	30%	4.09%

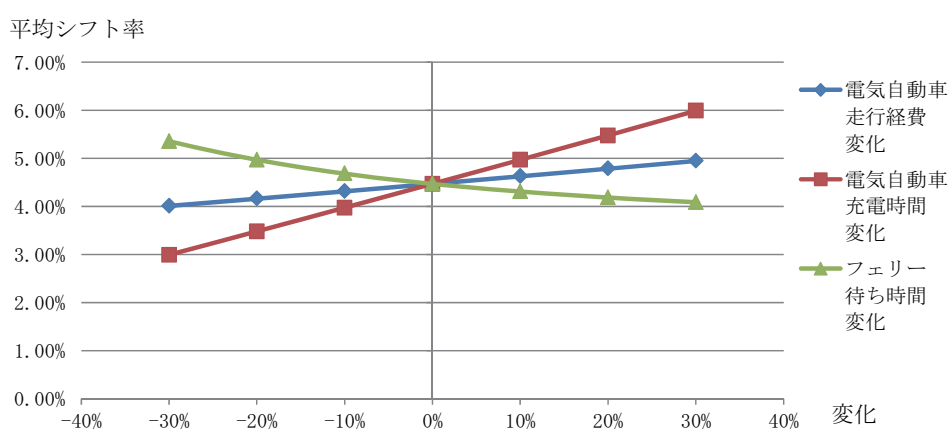


図4-2-6 感度分析

（４）まとめと今後の課題

本節では、仮説的なシナリオと犠牲量モデルを用いて、電気自動車が主に道路を利用したトリップから、長距離フェリーを利用したトリップへモーダルシフトする可能性について検討した。我が国の長距離フェリーの旅客移動に注目して、ある条件下で、全ての航路について道路からフェリーへのモーダルシフト率を試算した。今回の調査では、すべての航路の平均的なシフト率は約4.5%となった。今後の課題としては、シナリオと分析の精度の改善、貨物輸送の場合の分担率の計測があげられる。三河湾の経済波及効果のモデルを利用して、モーダルシフトが港湾後背地の地域経済に与える影響を計測することも重要な課題である。

参考文献

- [1] 愛知県三河港務所，平成23年三河港統計年報，平成24年9月
- [2] 稲村肇，港湾経済効果分析―物流効果，帰属付加価値モデル―，土木学会論文集，第359号/IV-3，1985， pp.53-59
- [3] 一般社団法人日本長距離フェリー協会，ホームページ，長距離フェリー2012春夏号，
http://www.jlc-ferry.jp/2012_spring.pdf，2013年1月15日
- [4] (株)日本能率協会総合研究所，姫路港背後圏社会経的・経済的効果検討業務（概要版），平成15年3月
- [5] 北九州市，北九州港の経済波及効果調査報告書（概要版），平成19年
- [6] 堺泉北港港湾振興連絡協議会，堺泉北港経済波及効果調査報告書（概要版），平成23年3月
- [7] 豊橋技術科学大学未来ビークルシティリサーチセンター，平成23年度研究成果報告書，2012年3月
- [8] 財団法人東北産業活性化センター，青函カートレイン構想，平成9年

5. 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 客員教授 青木 伸一, 教授 井上 隆信

5-1 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・水路内では夏期には慢性的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。

湾内の水質汚濁の原因には流入する河川流域や沿岸域における産業活動や、生活の影響が大きいといわれているが、陸域からの発生負荷量は水質総量規制によって減少傾向にある。しかし、現状では三河湾の水質改善は見られない。この原因として考えられるのが非特定汚染源からの流入負荷量の推定方法である。現在の推定方法は平水時の調査結果を用いて算出しているが、降雨時に多くの栄養塩物質が流出するという報告があり、必ずしも正確な値が用いられていない可能性がある。そのため正確な発生負荷量を降雨時調査によって明らかにする必要がある。昨年度はモデルによる推定手法について示したが、本年度は詳細な調査に基づく正確な負荷量算定手法について検討を行った。

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、貧酸素水塊の発生メカニズムの解明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、港外への移流・拡散による周辺海域への影響などについては未だほとんど明らかにされておらず、今後の重要な研究課題と言えよう。平成 23 年度の調査により、港内には夏期に大規模な貧酸素水塊が発生することが明らかになったが、その影響が干潟域まで伝播して苦潮が発生しているのではなく、風の作用を受けて東西方向に振動する内部波の影響により貧酸素水塊が干潟上に遡上するのではないかと推論された。そこで本年度は、豊川河口沖に 2 点の連続観測点を設けるとともに、短期間の集中的な調査を行って、貧酸素水塊の挙動を把握する目的で調査を実施した。

5-2 栄養塩流入負荷量の算定方法

(1) 対象地域

図 5-2-1 に示す調査河川である梅田川は、愛知県東部の豊橋市雲谷町を源流とし、豊橋市を東西に横断している。一年を通じて晴天日が多く平均気温が 16℃前後、降水量 1,400~1,700 mm と比較的温帯な気候帯である。また、豊川用水が整備され、水田のほか、キャベツやハクサイなどの露地野菜、メロンや花木などハウス栽培、ウズラなどの畜産など農業が盛んな地域である。調査地点までの流域面積は 57.0 km²であり、土地利用は、畑地 28.7 km²、水田 9.58 km²、果樹園 1.32 km²、建設用地 9.25 km²と畑地が流域の約 50 %を占めている。南側の支川は流域に広域に畑地が広がっており、降雨時には畑地の土壌が濁水となって河川へ流入している。

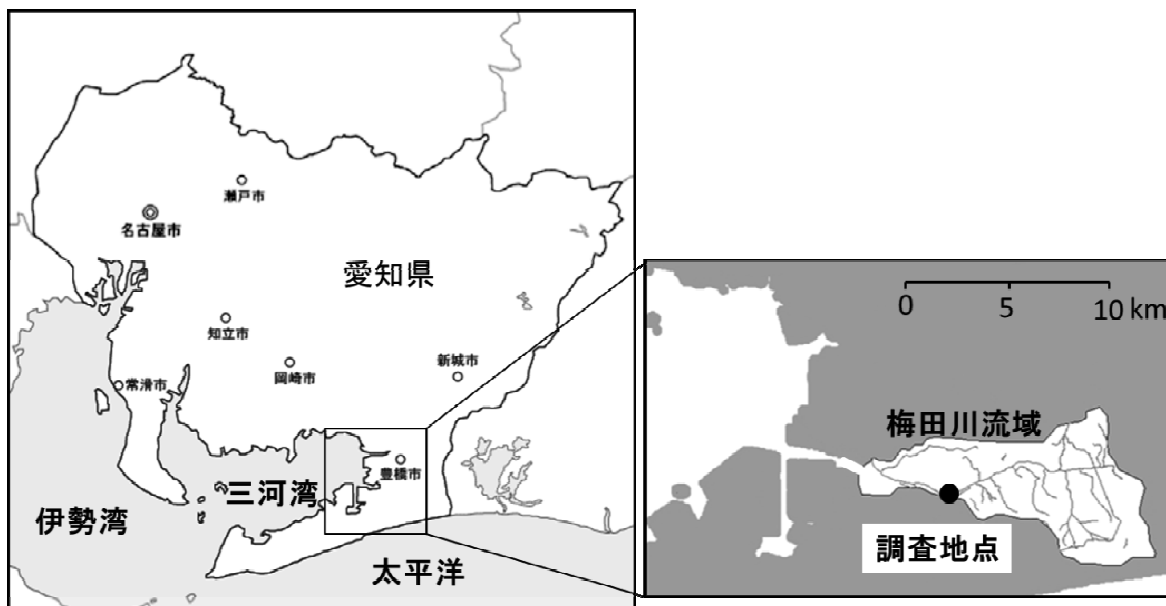


図 5-2-1 対象流域

(2) 流入負荷量算定調査の概要

調査期間を 2010 年 4 月から 2011 年 3 月の 1 年間とし、潮汐の影響を受けない河口から約 7 km 上流の畑田橋（北緯 34°42'35.7″，東経 137°23'47.1″）において実施した調査を用いた。本調査では、自動採水器を用い、定期調査用の自動採水器は 1 日 1 回採水するように設定し、1 週間に 1 回試水を回収した。降雨時にも採水したため、平水時調査でなく、定期調査とした。採水器のトラブルで一部採水できなかった日を除き年間の 73% に相当する 268 日の試料を採水した。一方、降雨時調査は、降雨に伴い水位が 10cm 上昇すると採水するように自動採水器を設定し、その後採水開始から 1～3 時間ごとに 1 回採水し、試水は速やかに回収した。調査は全 18 回（37 日）実施し、合計 396 回採水した。

また、調査地点には、水位計を設置し、水位は 10 分毎の平均値をデータロガーに記録し、定期的にデータを回収した。この水位データから流量を算出するために、試水回収の際に流量を測定し図 5-2-2 に示した水位流量曲線を求め、これをもとに 10 分間平均流量を算定した。降雨時流量実測の最大値は 9 月 16 日の水位 1.83 m，流量 88.2 m³/sec であり、観測した水位の最大値は 2.01 m と流量測定時の最大水位の 1.1 倍程度であった。このため、この水位流量曲線を用いて水位から流量を算定することは妥当であると判断した。

(3) 水質分析

試水は、全窒素（TN）及び全リン（TP）分析用の試料を分取後、100℃で 2 時間焼いたガラス繊維ろ紙（GF/F Whatman）でろ過した。ろ液は溶存態窒素（DN），溶存態リン（DP）の測定をした。

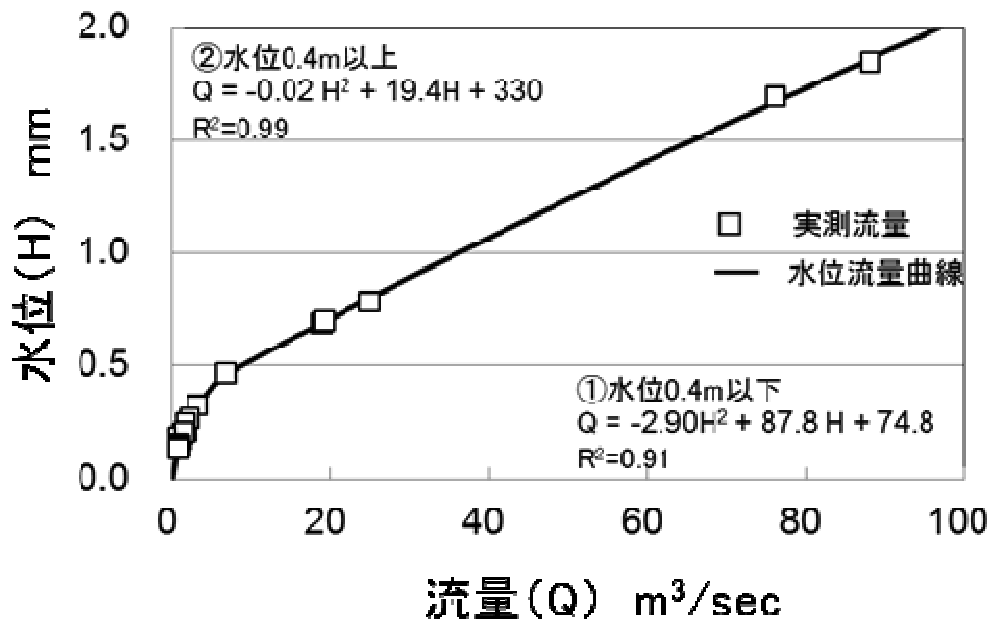


図 5-2-2 水位流量曲線

TN 及び DN は JIS K010 に準じて測定した。TP 及び DP は JIS K0102 に準じて前処理後、リン酸態リンとしてオートアナライザー（Bran+Luebbe）を用いてモリブデンブルー（880nm）法で測定した。

（４）梅田川の水質

定期及び降雨時調査の TN 及び DN, TP 及び DP 濃度の経日変化を図 5-2-3 に示す。また、定期調査での TN, DN, TP, DP の最大濃度、最小濃度、平均濃度及び標準偏差を表 5-2-1 に示す。この値は三河湾の環境基準値（Ⅲ類型：TN0.6 mg/L 以下、TP0.05 mg/L 以下）と比べて 10 倍以上高い値であった。TN 及び DN の濃度は、4 月から 6 月にかけて流量が増加するのに伴い低下し、流量が減少する 10 月に上昇した後、12 月から 1 月にかけては高く推移していた。この期間の平均濃度は TN で 10.7 mg/L, DN で 9.1 mg/L と全期間の 1.2 倍高い値となっていた。TN に占める DN は約 90 % と大部分が DN で存在していた。TP に占める DP は約 70 % で窒素と比べて懸濁態の割合が高く、窒素ほど顕著な季節変化は見られないものの、12 月から 2 月にかけて 1.14, 1.08 倍とわずかに濃度が上昇していた。

閉鎖性海域での植物プランクトンの増殖には様々な要因があるが、河川からの影響は窒素及びリンである。特に、無機態窒素やリンは直接藻類等の栄養源として吸収されることが知られており、その変動は藻類の消長に密接な関係を有しているといわれている。そこで、NP 比について質量比で検討したところ、TN/TP 比が年間の平均 15.1, DN/DP で 17.3 でありいずれも窒素過多であった。流量が少なくなる 12 月では TN/TP 比が 24.2, DN/DP 比が 25.1 と更に窒素が過剰に存在していた。

上述したように 1 年を通じて流量は一定ではないため、採水時刻の流量（m³/sec）と濃度（mg/L）

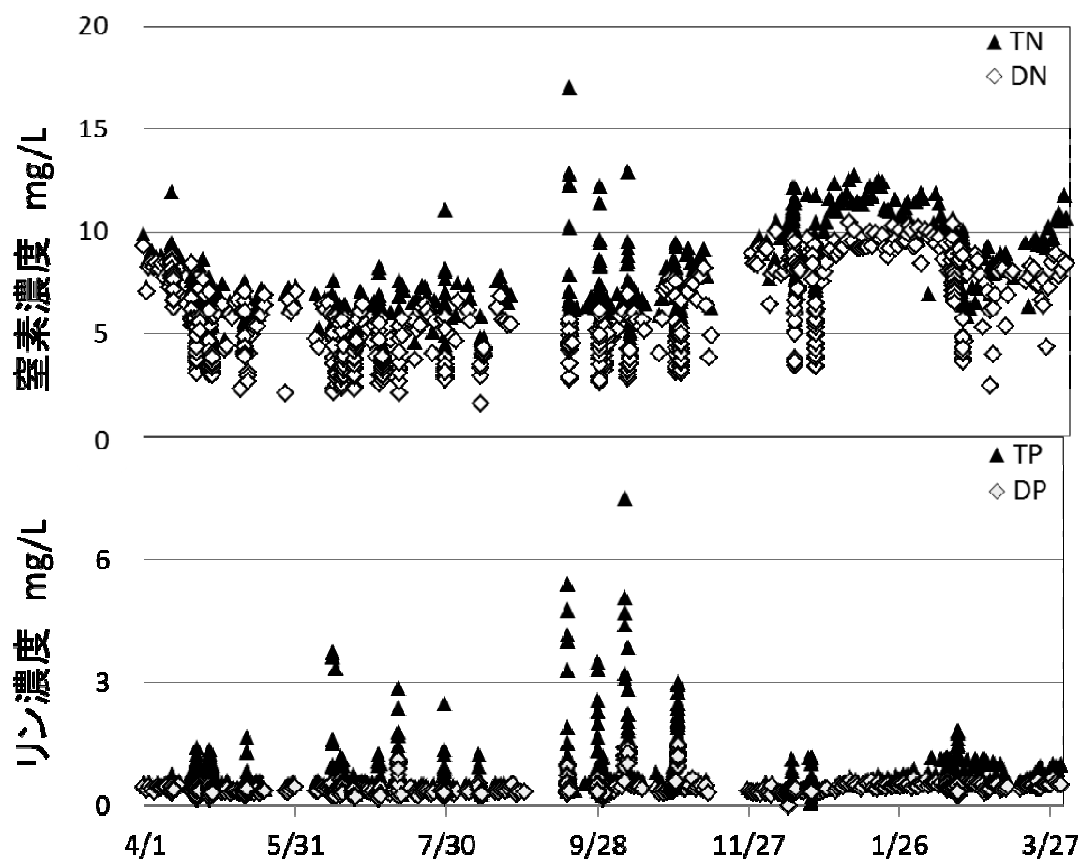


図 5-2-3 窒素・リンの経日濃度変化

表 5-2-1 水質分析結果(定期調査)

	濃度 mg/L				負荷量 g/sec			
	TN	DN	TP	DP	TN	DN	TP	DP
最大値	12.7	10.4	1.16	0.66	105	58.9	8.70	5.40
最小値	4.28	2.10	0.32	0.23	5.05	2.19	0.27	0.24
平均値	8.37	7.22	0.59	0.41	10.2	7.99	0.75	0.51
標準偏差	1.94	1.80	0.19	0.08	7.77	4.34	0.68	0.42

を掛け合わせた負荷量 (g/sec) を算出し、TN、DN、TP、DP の経日変化を図 5-2-4 に示した。定期調査時の最大値、最小値、平均値及び標準偏差を表 5-2-1 に示した。平均値は TN で 10.20 g/sec、DN で 7.99 g/sec、TP で 0.75 g/sec、DP で 0.51 g/sec であった。負荷量の分布について検討したところ、標準偏差は TN で 7.77、DN は 4.34、TP は 0.68、DP は 0.42 であり、懸濁態において分布にばらつきがあるため、TN、TP で値が大きくなった。図 5-3-1 に示した流量と負荷量の関係からも、降雨に伴い流量が増加すると負荷量が増加することがわかるが、それを除く定期調査の結果から負荷量は年間を通じて濃度変化のような経日変化は見られなかった。このことは、汚濁発生量は一年を通じて一

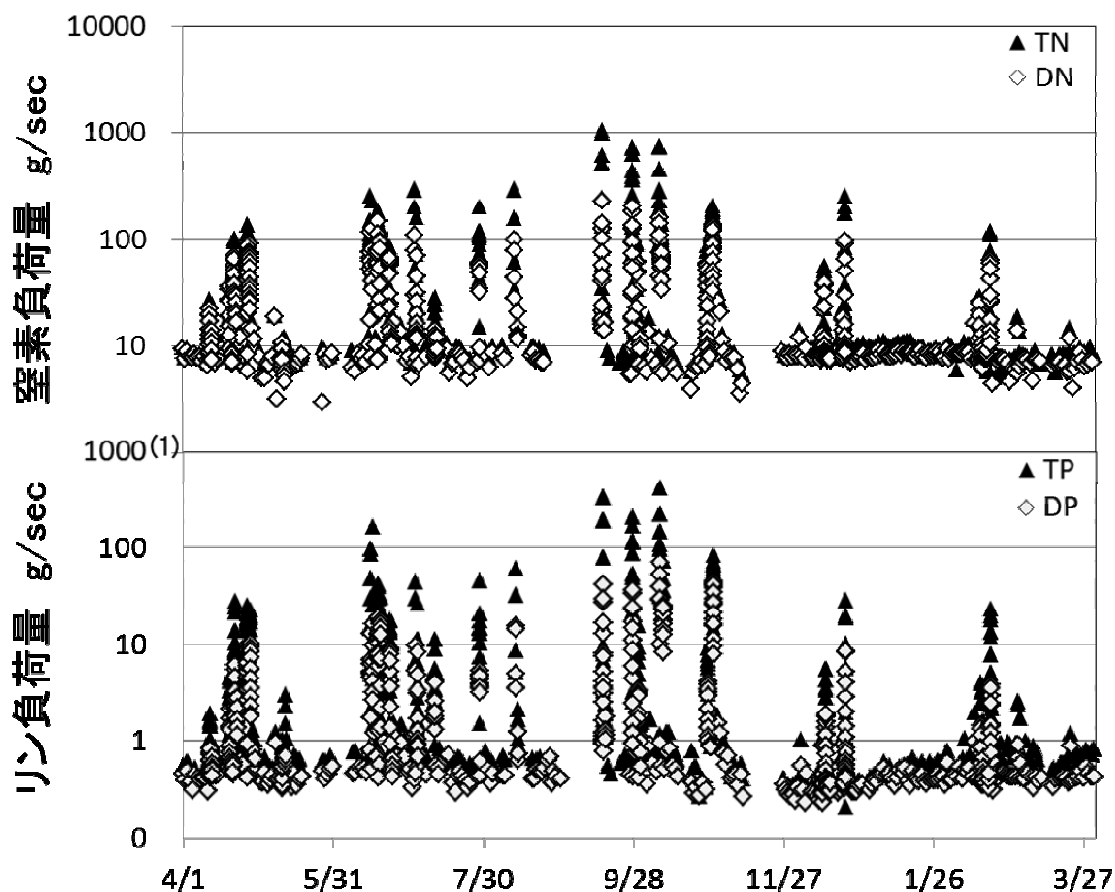


図 5-2-4 窒素・リン負荷量の経日変化

定であり、梅田川の水質は、流量の変化に依存していることが明らかとなった。

5-3 流入負荷量の算定

$L=aQ^n$ の関係式を仮定して、回帰により a , n 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」に分類できる。線形回帰より非線形回帰を用いる方が実測値に近ことが知られおり、推定法 1, 2 により検討した。

推定法 1 は、 $L=aQ^n$ 式を両辺に対数を取り、 $\log L = \log a + n \log Q$ の線形回帰により a , n を決定した。求めた回帰式に連続流量の値を代入し Q の時系列データにし、年間で積算して算出した。

推定法 2 は $L=aQ^n$ の形のまま回帰し、直接最小二乗法により誤差の総和を求め最小となるように a , n の値を決定した。推定法 1 と同様に回帰式に連続流量を代入し Q の時系列データにし、年間で積算することにより算出した。

推定法 1 で算出した年間比負荷量は、TN で 7.3 t/year/km²、TP で 1.0 t/year/km² であり、推定法 2 では、TN で 5.4 t/year/km²、TP で 1.1 t/year/km² であった。窒素負荷量は推定方法 2 が推定方法 1 より小さい結果となったが、図 5-3-1 に示すように、低流量時に、負荷量と LQ 式の関係は、TP で

は分布に即して近似されているが、TN では流量に対して負荷量が小さく算出されていた。そのため、この LQ 式にて算出した TN 年間負荷量は約 70% と過小に評価されたことがわかった。

そのため、推定法 3 として、推定法 2 の係数 a , n を①定期調査と②降雨時調査に分けて算定し、①式と②式の交点 x を求めた。連続流量データを代入する際、 $Q < x$ の時は①にて算定した係数を、それ以上の時は②にて決定した係数を代入して Q の時系列データにし、年間で積算することにより算出した。推定法 1～3 に用いた LQ 式の係数 a , n を表 5-3-1 に示した。

推定法 1 では、TN、TP ともに実測値が多い低負荷量に依存しており、TN は希釈型、TP は溶脱型に分類された。それに対して、推定法 2 では、TN、TP の n の値がそれぞれ 1.42, 1.70 と「溶脱型」に分類され、流量増大に伴う高負荷量を反映していた。推定方法 3 では、低流量時は n の値が TN では 0.88, TP では 0.91 と希釈型であるのが、高流量時は TN では 1.65, TP では 1.68 と溶脱型になっており、降雨に伴う流量増大時には負荷量が大きくなることが反映された結果となった。

推定方法 3 では、一つの LQ 式では対応できなかった TN 負荷量と LQ 式の間関係を低流量時において分布に即して近似されており、高流量時には、より高負荷量に近似され実測に即した結果が得られた。この二つの LQ 式にて算出した TN 年間比負荷量は 8.9 t/year/km² であり、TP 年間比負荷量は 1.3 t/year/km² となった。

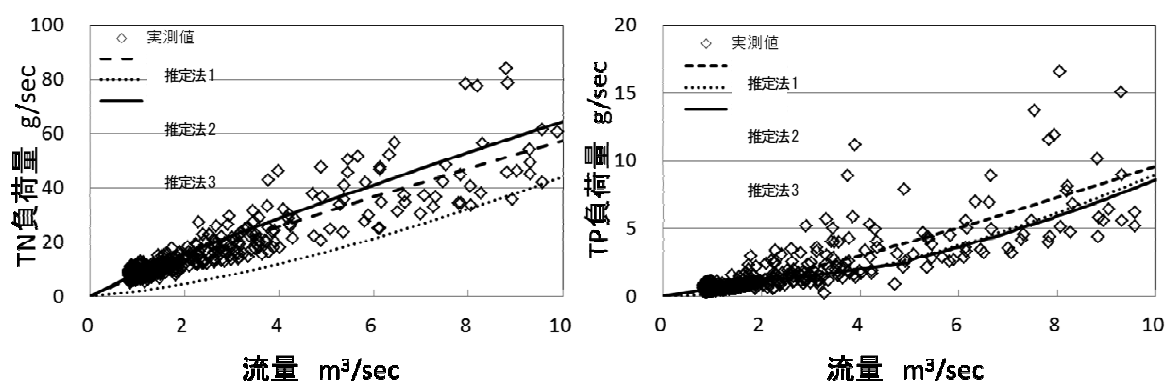


図 5-3-1 流量と負荷量の関係

表 5-3-1 LQ 式の係数

		推定法 1	推定法 2	推定法 3	
				$\leq X \text{ m}^3/\text{sec}$	$X \text{ m}^3/\text{sec} <$
TN	a	7.58	1.68	8.51	0.69
	n	0.88	1.42	0.88	1.65
TP	a	0.53	0.18	0.58	0.18
	n	1.26	1.70	0.91	1.68

5-4 海域調査の概要

海域での調査は、図 5-4-1 に示す地点で 2012 年 8 月 10 日から 9 月 29 日の期間に実施した。図中の St.A および St.B には後述する計測器を設置して、期間中連続して観測を行った。また、St.1～St.12 では、船上から計測器を投入して水質データを取得するスポット観測を実施した。

スポット観測の実施日は、8/10, 8/17, 8/26, 8/27, 8/31, 9/9, 9/15, 9/22, 9/28, 9/29 の計 10 日である。ただし、8/10 と 9/29 を除くすべての日で、水質の空間分布の時間変化を見るために、午前と午後の 2 回観測を実施した。

連続観測用の機器の設置状況を図 5-4-2 に示す。クロロフィル蛍光値、塩分、水温、DO などの水質項目は 10 分間隔、水圧は 1 分間隔で計測・記録した。流速プロファイルについては、鉛直方向に 1 m 間隔で 1 分平均流速を 10 分間隔で観測・記録した。スポット観測の観測点は豊川河口から沖に向けて約 1 km 間隔で 8 点 (St.1～St.8, St.5 は St.B と同一)、豊川河口から港の入口まで南北ライン上に 5 点 (St.A, St.9～St.12)、の計 13 点で実施した。観測は、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 (蛍光値)、濁度、溶存酸素濃度の鉛直プロファイルを計測した。なお、1 日 2 回観測を実施する場合は、概ね、午前中の観測は 8 時前後に、午後の観測は 14 時前後に実施している。

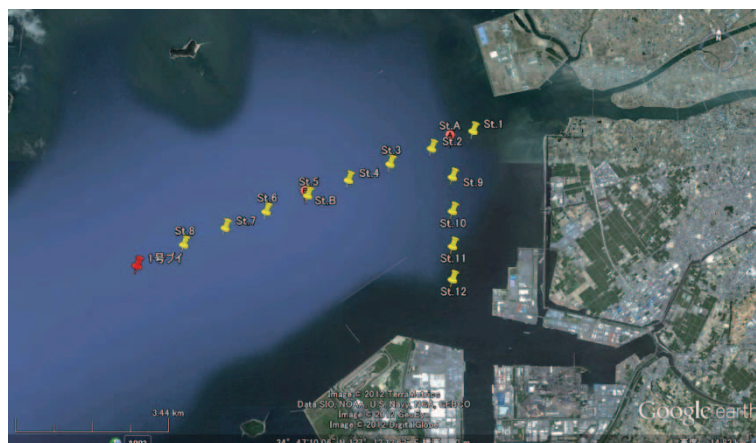


図 5-4-1 水質観測地点 (図中 St. A, B が連続観測点)

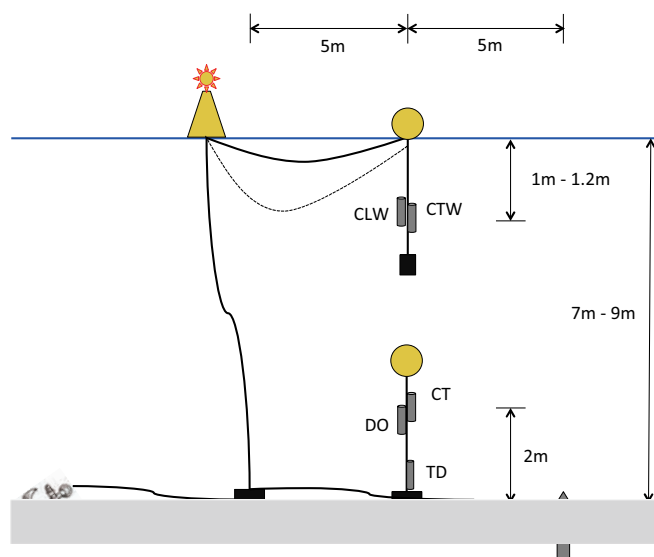


図 5-4-2 連続観測機器の設置概要

CLW : クロロフィル a 濃度・濁度計, CT (W) : 塩分・水温計,
DO : 溶存酸素濃度計, TD : 水圧計, ADCP : 流速プロファイラー

5-5 海洋調査の結果と考察

(1) 連続観測結果

まず、St.A および St.B での連続観測結果について示す。図 5-5-1 は、St.A および St.B での水位（水深）および海底面（海底直上）における水温の観測期間中の変化を示したものである。なお、St.B については、9/28 の観測時に計測ブイが北西方向に約 400 m 移動していることがわかった。データから、9/22 の夕方に漁船により引きずられたものとみられる。したがって、9/22 以降は観測地点がやや異なっている。これより平均水深を求めると、St.A が 7.4 m、St.B が 9.6 m であった。水温については、両地点の水深の違いから観測当初は 2 °C 程度の差が見られるが、9/18 前後でその差がほとんどなくなっている。これは、台風の影響 16 号の気象擾乱によるものと思われる。

図 5-5-2 は St.A での表層（水面下 1 m）と底層（海底面上 2 m）の塩分と水温の変化を示している。ただし、底層塩分については生物付着による劣化が激しく、信頼性が低い。表層塩分については、期間中降雨が非常に少なかったため、高塩分のまま推移していることが分かる。図 5-5-3 は、同様に St.B での表層（水面下 1 m）と底層（海底面上 2 m）の塩分と水温の変化を示したものである。底層塩分についても、高塩分が続いていたことが分かる。

図 5-5-4 は、St.A および St.B での底層溶存酸素飽和度の変化を示したものである。平均水深 9.6 m の St.B では、8 月中旬から 9 月中旬までの期間、ほとんど貧酸素あるいは無酸素状態が継続していることがわかる。一方、河口に近い平均水深 7.4 m の St.A では、8 月 19 日～21 日の間は無酸素状態となっているものの、それ以外では酸素濃度の変動は大きいものの、長期間無酸素状態が続くことはなかった。

図 5-5-5 は、St.A および St.B でのクロロフィル蛍光値の変化を示したものである。観測期間中、例年に比べて透明度が高く、全般的にクロロフィル濃度は低い値を示した。

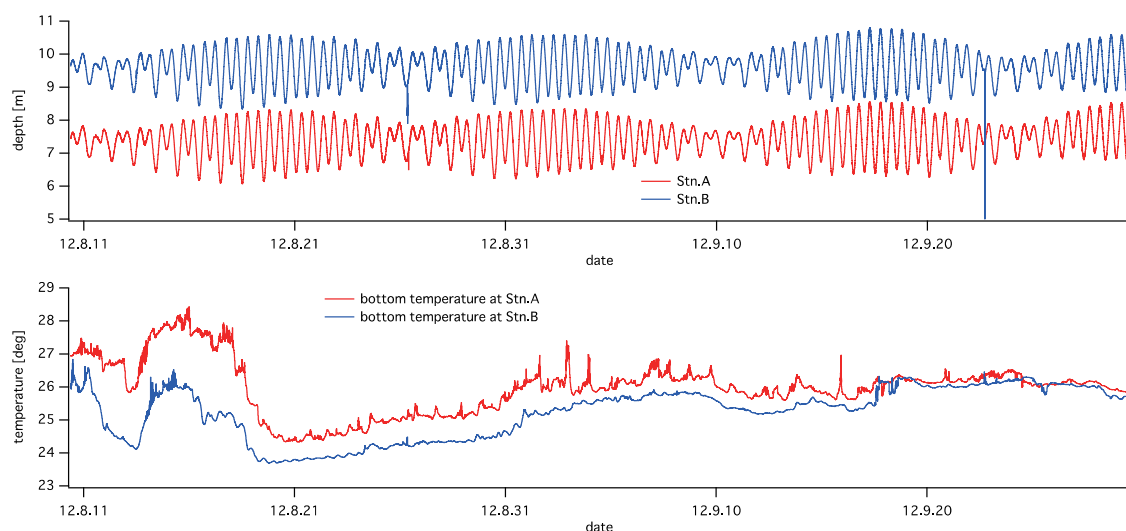


図 5-5-1 St. A および St. B での水位，海底水温の変化

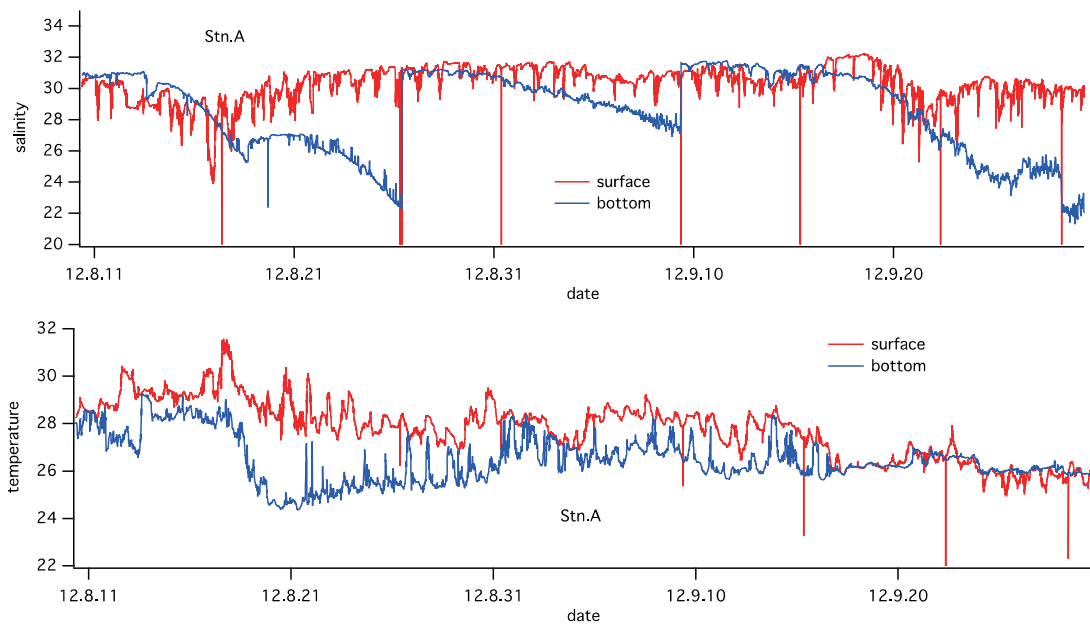


図 5-5-2 St. A での塩分と水温の変化

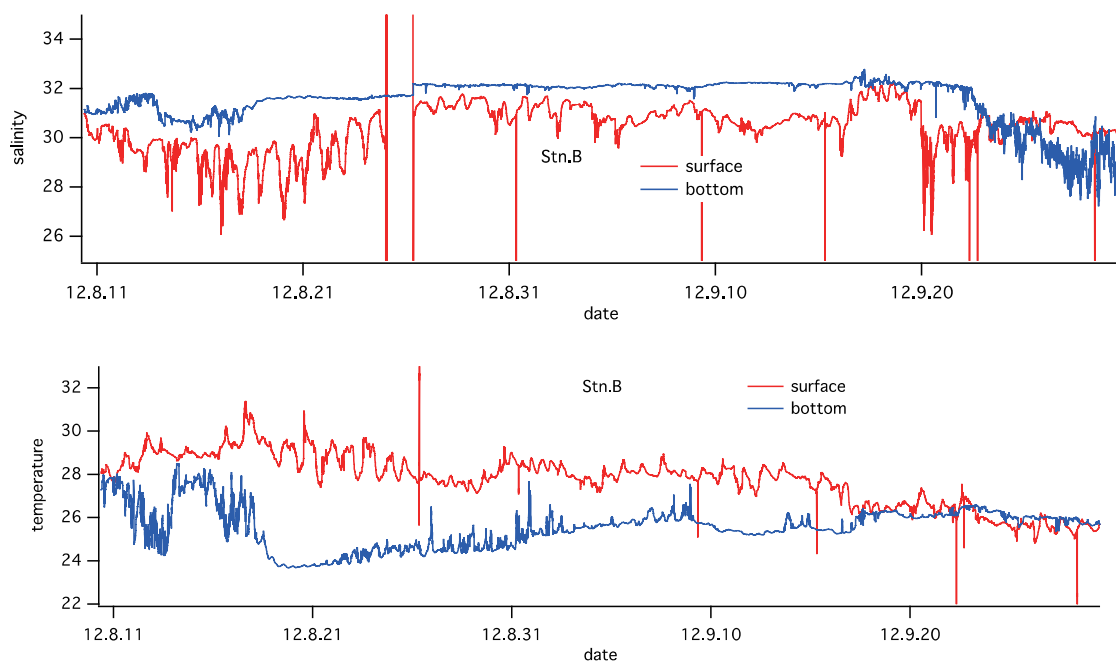


図 5-5-3 St. B での塩分と水温の変化

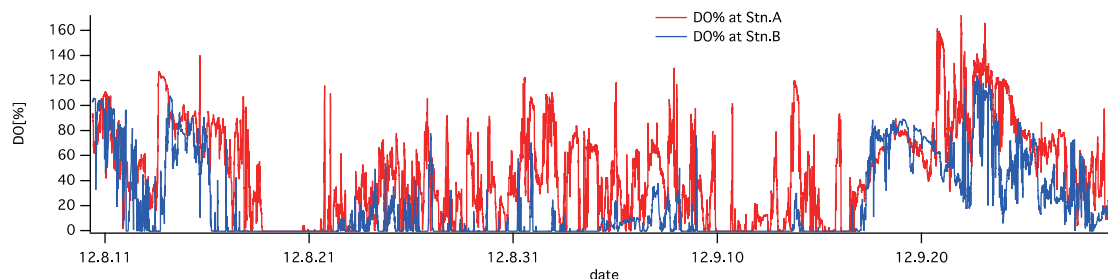


図 5-5-4 St. A および St. B での溶存酸素飽和度の変化

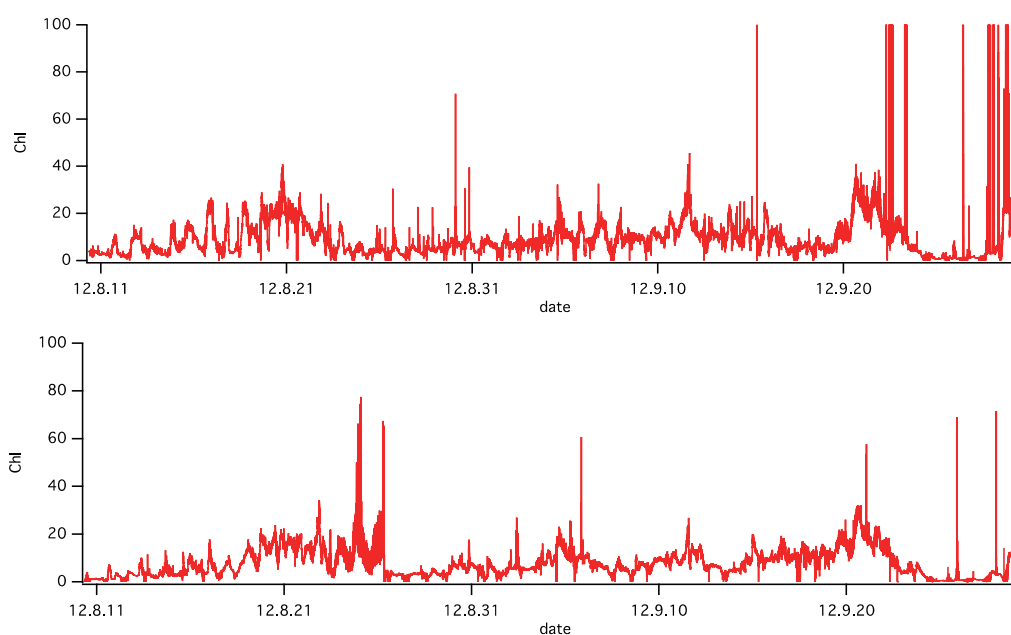


図 5-5-5 St. A (上) および St. B (下) でのクロロフィル蛍光値の変化

(2) 水質分布特性

以下では、スポット観測のデータを用いて水質分布特性を示す。図 5-5-6～図 5-5-13 は、スポット観測を実施した 10 日間のうちの 8 日間について、溶存酸素濃度 (DO) の分布を示したものである (1 日 2 回観測した場合は午前中のデータを使用した)。2 つのコンター図は、それぞれ、St.1～St.8 までの豊川河口から沖合に伸びるライン上の断面、および St.A から St.12 まで南に伸びるライン上の断面について示している。図中、横軸の距離は、それぞれ St.1 および St.A からの距離である。底層の貧酸素水塊 (2 ppm 以下の水塊) の変動に着目すると、その水量の増減は、豊川河口ラインおよび南北ラインとも同様の変化を示していることがわかる。今年度は降雨が少ないため密度成層の発達が弱く、全体的に貧酸素水塊の規模が小さかった。観測期間中、貧酸素水塊が最も発達したのは 9 月 9 日および 9 月 15 日付近であるが、図 5-5-4 を見ると、この期間でも St.A の DO にはかなりの時間変動が見られる。このことは、河口付近では貧酸素水塊は安定して存在するのではなく、外力の作用に対応して常に動いていることを意味している。

次に、貧酸素水塊の時間変動を見るために、8 月 26 日 (午前、午後) および 8 月 27 日 (午前、午後) の 4 回を比較して、図 5-5-14 に示した。これからも、水塊の変動が確認できる。

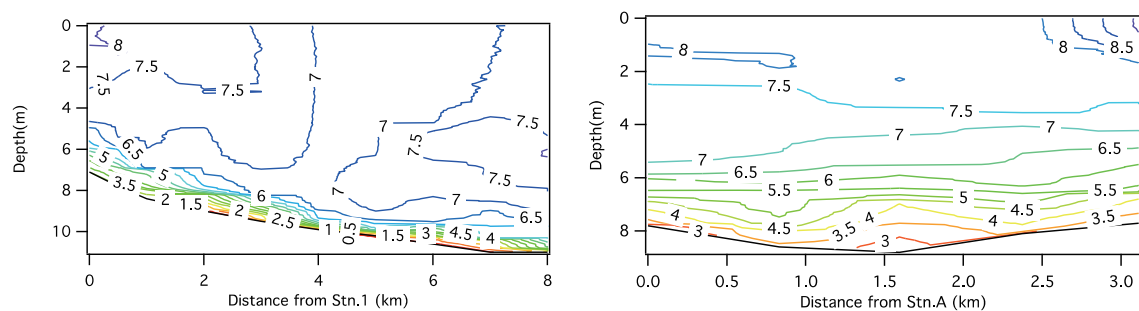


図5-5-6 8月10日の溶存酸素濃度の分布（左：豊川河口ライン，右：南北ライン）

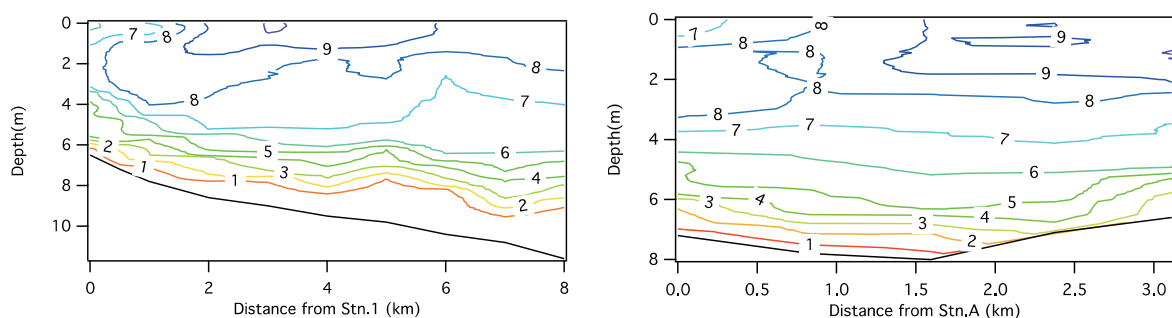


図5-5-7 8月17日の溶存酸素濃度の分布（左：豊川河口ライン，右：南北ライン）

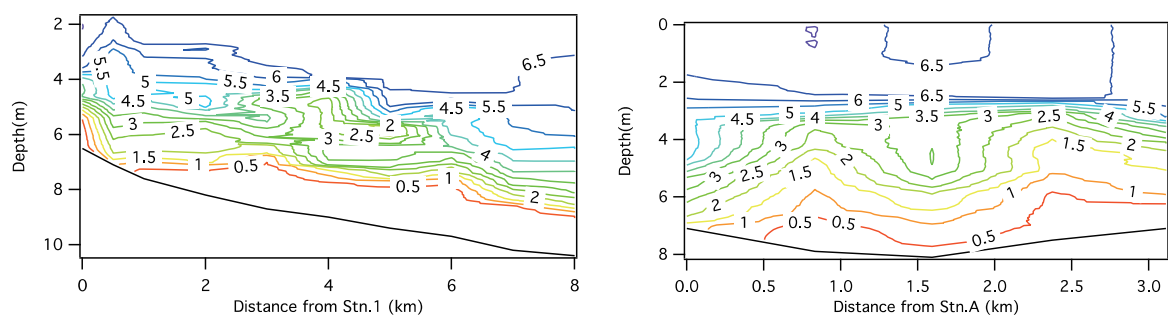


図5-5-8 8月26日の溶存酸素濃度の分布（左：豊川河口ライン，右：南北ライン）

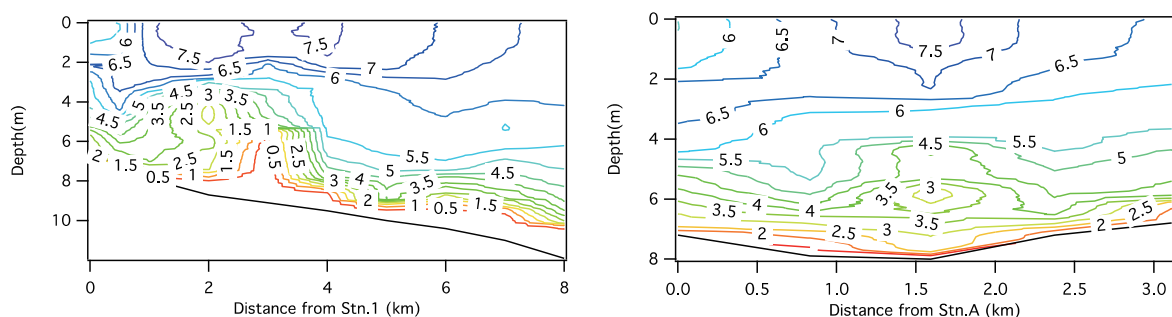


図5-5-9 8月31日の溶存酸素濃度の分布（左：豊川河口ライン，右：南北ライン）

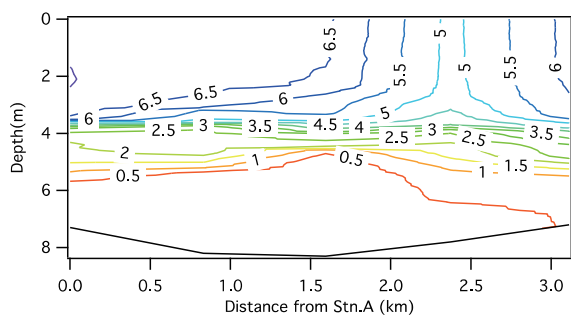
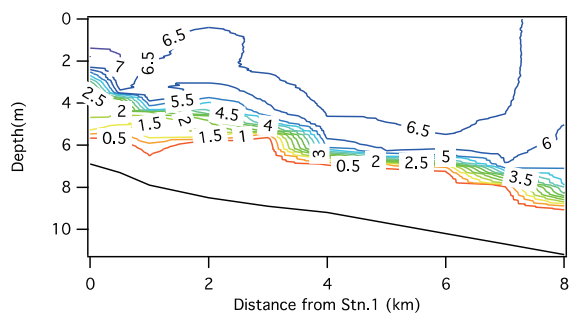


図 5-5-10 9 月 9 日の溶存酸素濃度の分布 (左 : 豊川河口ライン, 右 : 南北ライン)

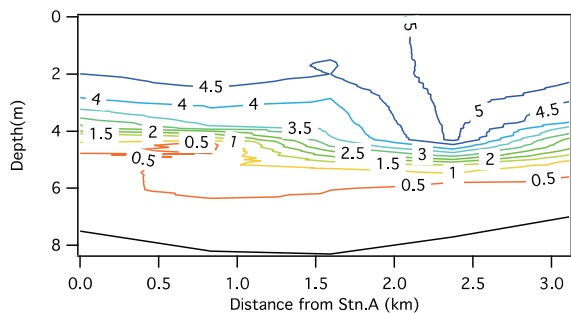
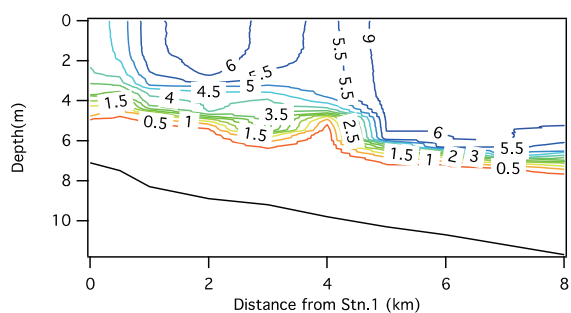


図 5-5-11 9 月 15 日の溶存酸素濃度の分布 (左 : 豊川河口ライン, 右 : 南北ライン)

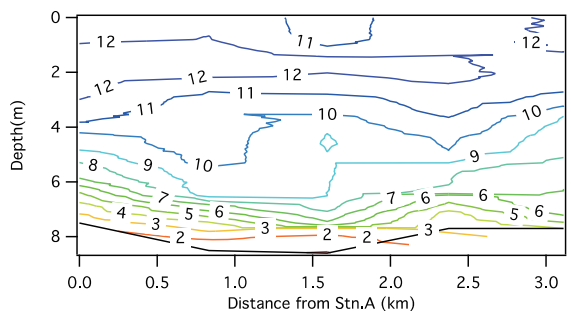
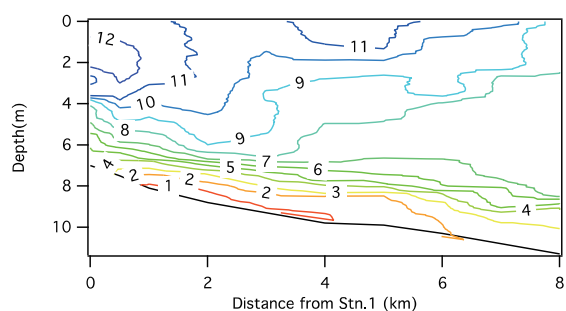


図 5-5-12 9 月 22 日の溶存酸素濃度の分布 (左 : 豊川河口ライン, 右 : 南北ライン)

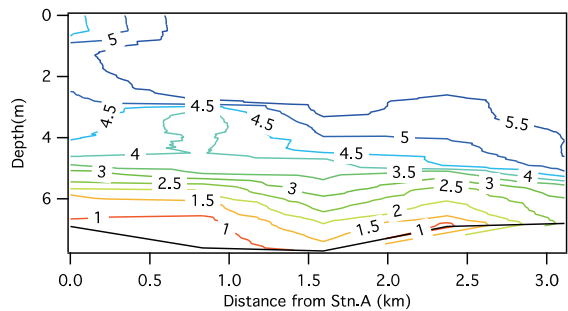
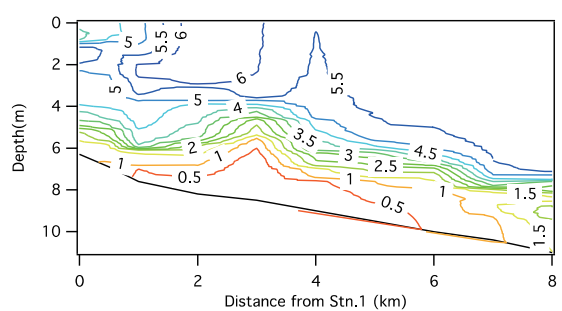


図 5-5-13 9 月 28 日の溶存酸素濃度の分布 (左 : 豊川河口ライン, 右 : 南北ライン)

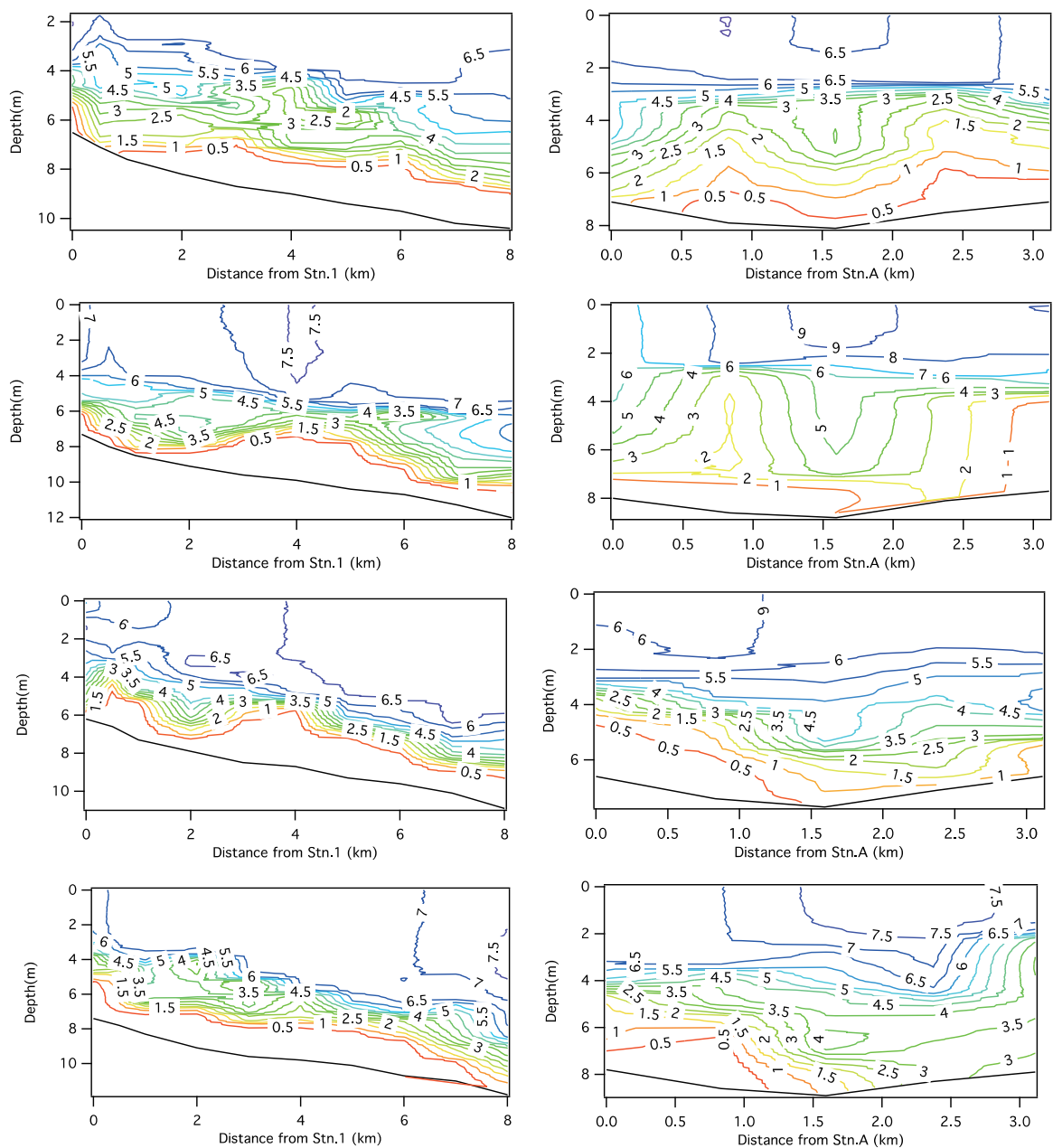


図 5-5-14 溶存酸素濃度の分布の時間変化 (上から 8 月 26 日 AM, 同 PM, 27 日 AM, 同 PM)

(左 : 豊川河口ライン, 右 : 南北ライン)

6. 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、主にドライバ行動計測、ドライバの集中度評価に関する研究成果を報告する。ドライバ行動計測としては、6-1 ハンドルセンサを用いた把持圧力と乗車姿勢の関係解析、および、6-2 ドライバの運転中における反応速度の計測について研究を行った。また、ドライバの集中度評価としては、車外環境情報を考慮した集中度の定量評価を目指し、6-3 車両前方画像からの視覚特性を考慮した物体抽出について研究を行った。

6-1 ハンドルセンサを用いた把持圧力と乗車姿勢の関係解析

(1) はじめに

近年の自動車技術の発展に伴い、交通事故死者数は減少傾向にある。しかし、交通事故の発生件数は依然として高い状態にある⁽⁶⁻¹⁾。これら交通事故原因の大半が、漫然運転や脇見運転といった、安全運転義務違反と呼ばれるものである。特に、少子高齢化社会の到来により、ドライバは「十分な判断力・操作技能」を有し、歩行者は「運動・回避能力の低い幼児・高齢者」という交通社会構成が崩れ、高齢ドライバによる事故の増加も目立ってきている。そのため、交通事故を未然に防ぐために、ドライバの状態を計測・判断する予防安全運転支援システムの重要性が高まってきている。

このような背景より、ドライバの状態計測手法の開発例がいくつかみられる。それらは、ドライバの顔画像から覚醒状態を推定する方法⁽⁶⁻²⁾、心電や脈波からドライバの眠気を検出する方法⁽⁶⁻³⁾などである。一方、ドライバから迅速かつ正確に生体情報を測定するためには、ドライバの皮膚から直接検出する接触式センサを用いることが望ましいが、センサの接触や装着によるドライバへの負担は避けなければならない。

そこで、本研究室ではドライバの運転操作において、必ず触れる必然性を利用したハンドルセンサシステムを提案してきた。これにより、ハンドルの把持行動の定量評価が可能となれば、把持行動と居眠り、漫然運転等の運転時危険行動との関連付けや、把持の特徴を用いた個人識別などの実現可能性がある。

ハンドルセンサシステムは内外周部およびスポーク部の計 28 箇所圧力センサが埋め込まれ

たものである。その外観および圧力センサの配置を図 6-1-1 に示す。なお図中の番号は、計 28 点の圧力センサのうち、本報告にて述べる検証に用いた代表点 8 点の位置を示している。



図 6-1-1 ハンドルセンサシステムの外観と内部のセンサ配置

先行研究において、ドライバが眠気を催した際、ハンドルセンサシステムから得られる圧力データの平均値が低下し、標準偏差が上昇する傾向が実験的に得られており、把持圧力データと運転時危険行動との関連性が示唆されている。また、把持行動を定量化するにあたり、把持行動の定量化パラメータの分類・定義をおこなってきた⁽⁶⁻⁴⁾。これにより、ハンドル形状と手指の位置関係を「把持姿勢」、その姿勢で得られる各点の圧力データを「把持圧力」と定義し、把持圧力の分布比から把持姿勢を推定する方法が提案された。

しかし、これらの手法を一般化するにあたり、個人差の大きな把持圧力を評価する指標の確立が必要である。そのため、ハンドルの把持行動を定量化するにあたり、個々の基準となる把持圧力とその発生要因を明らかにし、把持圧力の定量評価指標の構築を目的とした。本報告では、その基礎実験として、ハンドルセンサシステムで得られる把持圧力に対する運転姿勢の寄与度を明らかにする。

（２）把持圧力の発生要因の考察

一般に、握力計で測定できる握力は、前腕屈伸筋群と呼ばれる筋肉群の伸縮による静的筋力である。そのため、握力は手首の姿勢によって変化することが既存研究で示されている⁽⁶⁻⁵⁾。また、ハンドル操作時の可操作性を評価した研究事例もあり、操作行動により生じる力が存在し、手指を通してハンドルへの圧力となることも予想される。そのため、ハンドルセンサが把持圧力として測定するデータにおける、上記の、姿勢変化による上肢や上半身の重さなどの力の存在の有無とその割合を調査することで、計測された把持圧力から個々の評価基準を推定できる可能性がある。特に、運転時の乗車姿勢や体格を考慮すると、乗車姿勢による把持圧力計測値の変動が大きいと予想した。そのため、特に上半身の姿勢変化に対する把持圧力の変動傾向を把握することを目的とし、以下に示す被験者実験を計画した。

（３）被験者実験による把持圧力計測

既存研究や関連事象による考察にもとづき、以下のような乗車姿勢と把持圧力の関連性を調査する実験を計画・実施した。なお、本実験は、本学「ヒトを対象とする研究規程」に準じ、十分な説明の上、インフォームドコンセントの得られた健康な成人被験者 5 名を対象として実施した。

本実験では、図 6-1-2 に示すように、被験者任意の乗車姿勢(a)、運転教則本で定める基準の乗車姿勢(b)⁽⁶⁻⁶⁾、前のめり（前傾）の乗車姿勢(c)、後ろに反り返った（後傾の）乗車姿勢(d)の 4 種類の乗車姿勢で実験を行った。各乗車姿勢で把持と解放を 5[s]おきに 10 セット 繰り返し、把持圧力を計測した。また、各乗車姿勢における腕のリーチ、肩から腰までの長さを測定した。



図 6-1-2 実験に適用した乗車姿勢

(4) 実験結果および考察

本実験では、計測データの安定化を図るために把持する位置を、図 6-1-1 における 4 番センサ（右下側正面）と 16 番センサ（右下側側面）、10 番センサ（左下側正面）と 18 番センサ（左下側側面）として指定し、以下の解析・考察を行った。本報告では 4 番センサを例に、結果から把持圧力の平均値を求めて図 6-1-3 に示すグラフにまとめた。グラフ縦軸は把持圧力、横軸は把持の試行回数である。

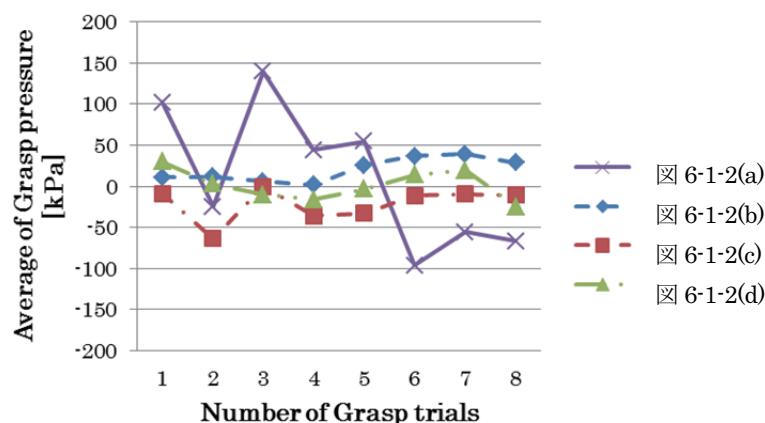


図 6-1-3 乗車姿勢別の把持圧力の変化

把持圧力としては、任意の乗車姿勢（a）を除いては、ほぼ一様な傾向を示している。基準の乗車姿勢（b）、後傾の乗車姿勢（d）、前傾の乗車姿勢（c）については、順に把持圧力の平均値が低下する傾向が一部被験者で確認できた。なお、把持圧力の一部で負の値をとることがあるが、これは握り方によってハンドルセンサの被覆皮革に緩みが生じ、圧力センサを剥離する力が生じたためと考えられる。

本実験前では、前傾の乗車姿勢（c）ではハンドルを前に押す方向の力が加わり、また、後傾の乗車姿勢（d）では反り返った上半身を支えるための力が加わり、いずれも基準の乗車姿勢（b）と比較して把持圧力が上昇すると予想していた。これに対し、前傾の乗車姿勢（c）の最大値では、基準の乗車姿勢（b）の把持圧力の最大値の 170%程度となった。しかし、後傾の乗車姿勢（d）

では、30%程度となった。これは後傾により腕が伸びきった状態になり、把持圧力のかけにくい把持姿勢となったためと考えられる。またこの状態は、腕の関節構造からみてもハンドルの操作性が低下する乗車姿勢である。本実験では、把持圧力変動の全体傾向を把握するため、前傾・後傾の両極端な乗車姿勢を取り入れた。結果として、把持圧力の増加する一部の乗車姿勢を確認した。加えて、把持圧力を発揮するのに有効な把持姿勢がとれない乗車姿勢においては、把持圧力の上昇が見られないことも確認した。

(5) おわりに

本研究では、把持行動のパラメータのひとつである把持圧力に対する、乗車姿勢の影響について調査をした。結果として、把持圧力の増加に寄与する一部の乗車姿勢を確認した。今後は、乗車姿勢のほか、個人差を有するパラメータと把持圧力との関係調査を行い、把持圧力の定量評価手法の構築を目指す。

(今村 孝, 章 忠, 三宅 哲夫, 岩本 拓馬)

6-2 ドライバの運転中における反応時間の計測

(1) はじめに

6-1 で示したように、交通事故の低減対策としてドライバの行動解析技術に関する研究開発が盛んに行われている。

本研究の従来研究として、ハンドルの操舵角・ペダル踏込量・車速から運転特性やドライバの個人性を評価する研究を行ってきた。これらの研究では、データの収集実験として、ドライバに一次タスクである運転行動とは関係のない二次タスク（看板の音読など）を課すことで人為的に注意力の低下した状態を作り出し、運転行動の異常の検出を試みている。これらは、検出はある程度可能な一方、ドライバによって正常に検出できない場合があり、さらなる改善が必要であった。検出ができない原因として挙げられているのは個人の反応特性の違いなどの影響であり、現在運転支援システムを開発している企業においても個人特性の解析・定量化手法は重要課題とされている。

そこで本研究では、ドライバの個人特性の一つとして運転中のイベントに対する反応時間にもとづく個人性解析手法を検討する。そのための手法として、ドライビングシミュレータ(以下DS)を運転しながら、二次タスクを処理することでドライバの運転への二次タスクの影響を調査する。またその二次タスクの影響を反応時間として定義し、個人差の有無を含む測定可能性を調査した。

(2) 反応時間計測の実験デザイン

本研究では、走行データの取得に DS を使用する。これは、実際の自動車の走行では環境の再現性が得られないため、また注意力が低下した状態で実際の運転を行うのは危険であるためである。今回使用する DS には、走行するコースや周囲を走る自動車などの環境を任意に作成し、目的に応じた環境設計が可能な、Forum8 社製 UC-win/Road を適用した。

一方、このシミュレータの適用にあたり問題となるのは、ドライバが実験に集中できる環境を

如何に構築するか、という点である。特に本実験は一次タスク（最も優先すべきタスク）として運転行動、二次タスクとしてそのほかの課題を与える必要がある。しかし「失敗してもシミュレータだから大丈夫」という安心感によって一次タスクではなく二次タスクに集中したり、別のことを考えたりするなどタスクの優先順位が変わる可能性がある。さらに実環境と異なり運転に関係のない注視対象の多い室内での実験では集中力が低下することもあり得る。そのため、前者の問題に対しては、ドライバに対して実験への集中を指示するのはもちろん、運転中の集中度が運転負荷に比例する⁽⁶⁻⁷⁾ことから、コースに曲率が一定でないカーブを多く配置し、常に運転を意識せざるを得ない状態にする。後者についても、外部環境の影響は様々な種類がある。特に、ランダムに動く物体が視界内にあると集中が削がれる⁽⁶⁻⁸⁾可能性が高いことから、DSの周囲を暗幕で覆い、注視対象をDS画面に限定する。以上の対策を施し本実験で用意した実験環境を図6-2-1(a)に示す。

今回の実験では次に挙げる二種類の反応時間の計測を行う。一つ目は静的な反応時間で、信号機が赤から青に変わる時のような待機状態での外乱に対する反応速度と定義する。二つ目は動的な反応時間で、他の車への追従や出現に対する反応のような時間的に変化する外乱に対する反応時間と定義する。以上の反応時間計測、および前述の運転環境整備を考慮し設計したコースの概略を図6-2-1(b)に示す。本コースには各反応時間を計測するため、信号機有りの交差点では「信号機を赤から青へと変化」させ、信号機無しの交差点では「横から車が飛び出す」という二種類のイベントを配置した。図中太線が実験時の走行ルートであり、○印が信号機有りの交差点である。また、交差点を多数配置しイベントの発生する交差点を実験試行ごとに変更することで、ドライバのイベント発生への予測を抑制するとともに、現在位置の把握を困難とするために、各交差点の外観はすべて同様のものとした。

以上の環境において被験者に適用するタスクとして、以下の二つとした。

・タスク1：音読タスク

運転中に道路上の看板を読む行動をイメージし、ドライバの視線を前方からそらすためのタスクとして、画面上に表示されるメッセージを音読するタスクを設定した。メッセージの表示位置は道路標識と同様の画面左上と中央やや上の二カ所で、どちらか一方に表示することとした。図6-2-1(c)にその表示例を示す。また表示されるメッセージは、現実の看板と同様に一部分を見ただけで全体が予想できるよう、ある程度の一般的に知名度のある情報として、都道府県名をランダムに表示することとした。

・タスク2：復唱タスク

運転中に同乗者との会話に集中した状態をイメージし、運転以外に思考を割かせるためのタスクとしてドライバに4文字のランダムな英数字を聴取させ、それを復唱させるタスクを設定した。本実験では、課題提示の再現性を確保するために、英数字を読み上げはPCによる合成音声とし、イヤホンにより被験者へ提示することとした。

以上二つのタスクが「ある状態」と「ない状態」とで反応時間の比較を行う。なお、コースの

1/4 区間ごとに、タスク無し→タスク 1→タスク 2→タスク無しの順で条件を変化させて走行し、それを 10 分間の休憩をはさみながら 5 セット行うこととした。

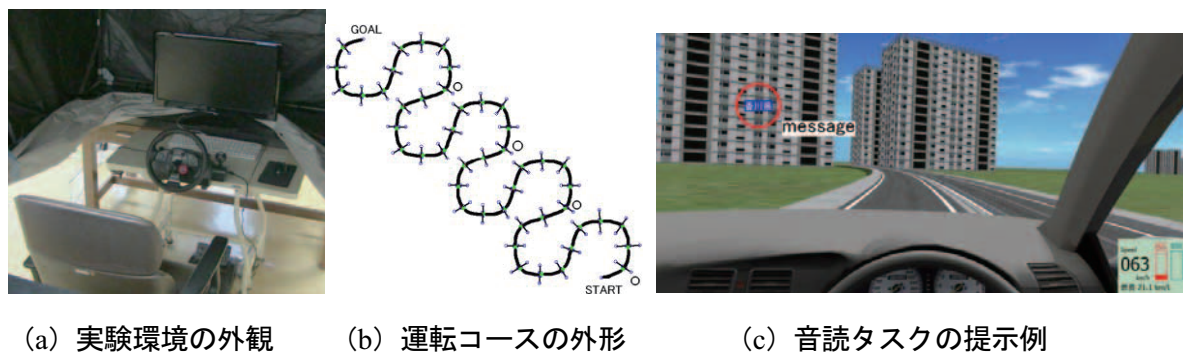


図 6-2-1 実験環境の概要

(3) 反応時間計測実験

本実験は、本学「ヒトを対象とする研究規程」に準じ、十分な説明の上、インフォームドコンセントの得られた健康な成人被験者 5 名を対象として実行した。実験結果のうち、二人の被験者 A, B の結果を例として図 6-2-2 に示す。このグラフは、イベント発生から被験者のペダル操作開始までに要した時間の平均値および標準偏差である。またコース中二カ所存在するタスクの無い区間をそれぞれタスク無し 1 およびタスク無し 2 と表記する。

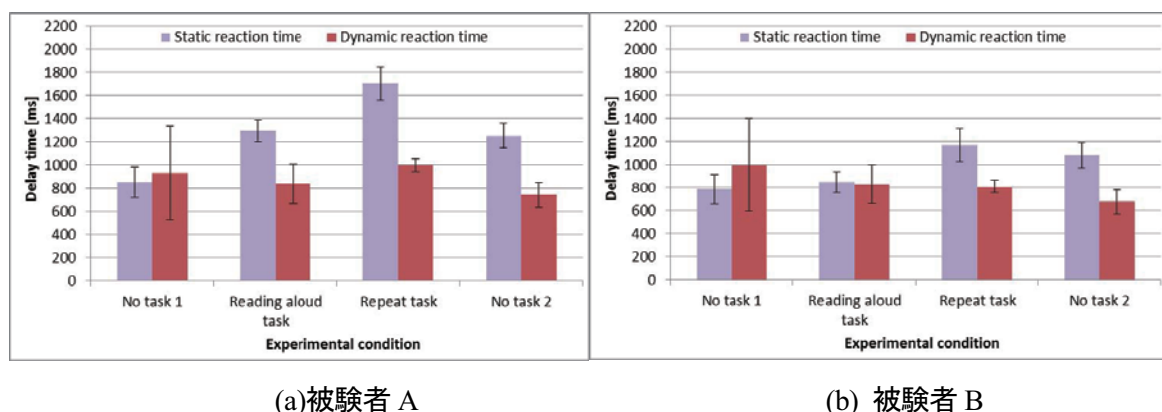


図 6-2-2 反応時間の計測結果

まず、提案手法により被験者 5 名に対する実験・計測を行った結果、被験者間で同一の傾向が得られ、反応時間計測としての本提案手法の妥当性を確認した。次に、図 6-2-2 に示した二つのグラフを比較すると、反応時間の変化の仕方に大きな違いがみられる。また、動的反応時間だけに注目すると、タスク無し 1 の状態よりタスク有りの状態の方が、反応時間が早くなる傾向が確認できる。この結果は当初の予想とは異なるものである。一方、音読および復唱タスクとタスク無し 2 を比較すると、5 名中 4 名はタスク無し 2 の方が反応時間が早く、二次タスクの内容が反応時間に影響しているといえる。また、被験者への直接アンケートの結果では、音読タスクより復唱タスクが難しいと全員が回答したが、被験者 B の動的反応時間は音読タスクの方が、わずかに反応時間が遅くなっている。以上のことから、二次タスクによる反応時間の変化は個人特性に

関連するものと考えられる。

（４）おわりに

本研究では、二次タスクが運転行動に与える影響、及び反応時間からの個人特性の検出可能性を調査することを目的として、ドライビングシミュレータを用いた個人特性計測手法を提案した。そして被験者実験により、本計測手法の妥当性を確認するとともに、タスクの有無と反応時間との関連性・影響の有無を確認した。一方、反応時間の平均時間や標準偏差は被験者によって異なること、またタスク種別の影響の有無は個人特性に関係していることを計測結果の解析より明らかにした。

（章 忠，今村 孝，三宅 哲夫，浅川 祐樹）

6－3 車両前方画像からの視覚特性を考慮した物体抽出

（１）漫然運転検出システム

交通事故の発生件数は2000年まで増加傾向にあったが、2004年から減少傾向にある。しかし、2011年の交通事故発生件数は691,937件⁽⁶⁻¹⁾と依然として多く発生しているのも事実である。

その主な原因として、日常的な走行経路における車両前方不注意、脇見、ぼんやり運転などの、いわゆる漫然運転が多くを占めている。このことは重大な問題であるにも関わらず、現状では積極的な漫然運転の防止対策がなされていない。

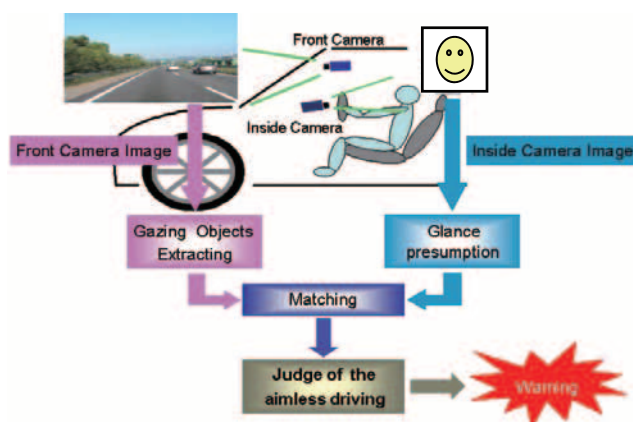


図 6-3-1 提案する漫然運転検出システムの概略

そこで、本研究では、ドライバーの運転状態を判断するシステムとして、図 6-3-1 に示すようなカメラシステムを提案し、これにもとづくドライバーの運転集中度評価法を提案している。このようなシステムを指標とすることでドライバーへの警告や注意喚起をし、交通事故を未然に防止することが可能であると考えられる。提案するシステムは、図 6-3-1 に示すように、車両に二台の単眼カメラを搭載し、ドライバー行動と車両外の環境情報を計測する。Front Camera は車両前方を撮影し、走行環境のうち前方方向に存在する注視すべき対象物を抽出する。一方、Inside Camera はドライバーの顔を撮影し、表情や視線方向の計測を行い、ドライバー行動の特徴量とする。これら二台のカメラから得られる情報にもとづき、相互の関連性や行動の妥当性を判断して、ドライバーの運転集中度の推定を行うのが本システムの概略である。

これまでに、運転集中度の定量化および評価手法について研究を進めてきた。一方で、車外の環境変化がドライバの運転集中に及ぼす影響も示唆されてきており、ドライバの注視行動の評価に加えて、画像解析による車外環境の定量評価法が必要となってきた。次節では、この車両前方面像の処理方法について述べる。

（２）画像取得および画像処理環境

本研究のこれまでの研究では、映像の輝度を確保するために、撮像環境の光学的条件を晴天下の日中に限定し、車両前方面像の解析とドライバが運転中に注視すべき走行環境中の対象物の候補（以下、注視対象候補）の抽出を行っていた。これに対し、本研究では、注視対象候補を抽出するための最適な画像処理上の色空間の適用を試みるとともに、天候などの光学的な撮像環境変化に左右されない画像処理手法を導入する。これにより、対象物体の自車からの距離、相対速度を抽出するシステムの開発を目的とした。

一方、撮像環境の情報としては、道路の形状や車両・建造物などの自車両周辺の物体の情報も、走行とともに変化する。特に道路形状は一般道では多様な交差や分岐を含む上、看板などの道路以外の情報が多量に含まれる。そのため、本研究では道路環境の急激な変化が少なく、看板などの周辺設置物の色・形状が明確に規定された高速道路での走行を対象とした。

なお、抽出のための画像処理・画像認識システムの開発には、C 言語ライブラリである OpenCV を使用する。

（３）色空間での標識特性の検討

道路標識をはじめとする、車両前方面像からの環境情報の抽出には色の特徴を用いる。そのため撮像環境が変化してもパラメータの値が変化しにくい色空間を選択することで、光学的撮像環境の変化に対する頑健性の向上が見込める。そこで、代表的な 3 つの色空間、すなわち RGB 色空間、HSV 色空間、Lab 色空間について案内標識、警戒標識、指示標識それぞれを対象に検討を行った。図 6-3-2 に検証に使用した画像の一例を示す。

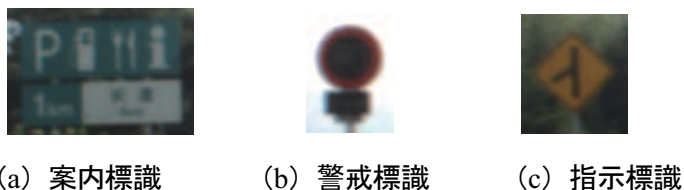


図 6-3-2 色空間の検証対象画像

まず、案内標識に関する撮像環境変化に伴う色分布の検証結果を図 6-3-3 に示す。この結果より、HSV 色空間で彩度が高いことと色相の変化が少ないことが分かる。しかし、HSV 色空間は色相が赤色を 0 とし緑色から青色そして赤色へと円周方向に変化する。そのため、案内標識を主に構成する緑色を抽出するためには、上限の値での閾値処理と下限の値での閾値処理をし、領域の論理積を計算する必要がある、処理時間の増加が予想される。また、Lab 色空間でも変化が少ないことが見て取れるが、上限、下限の閾値処理と論理積の計算を色差 a、色差 b のそれぞれで行う必要がある、色相と同様に処理時間の増加が予想される。したがって、1 回の閾値処理で分

類が可能な、RGB 色空間の R と HSV 色空間の S を用いて、案内標識の抽出を試みる。

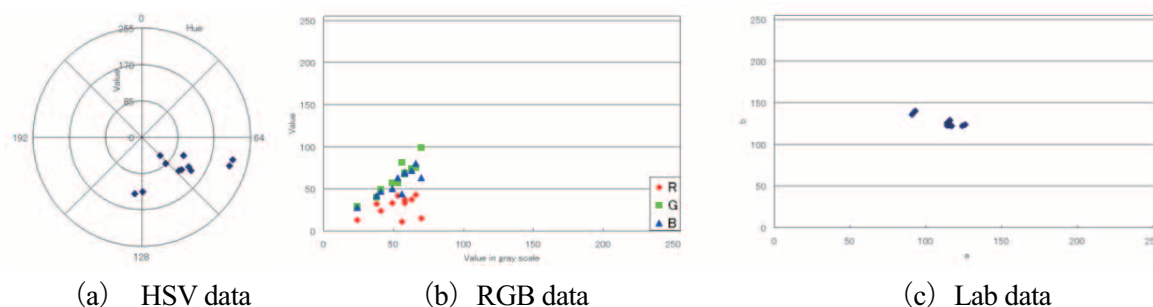


図 6-3-3 案内標識に関する色空間検証結果

次に、警戒標識に関する撮像環境変化に伴う色分布の検証結果を図 6-3-4 に示す。このうち HSV 色空間において彩度が高く色相の値の変化が小さいことが見て取れる。一方、RGB 色空間についてはばらつきが大きく、誤検出が多くなることが、また、Lab 色空間については、ばらつきは少ないものの、色差 a において閾値処理 2 回と論理積の計算を要することから処理時間の増加が、それぞれ予想される。よって、警戒標識の色特徴の抽出は HSV 色空間を用いる。

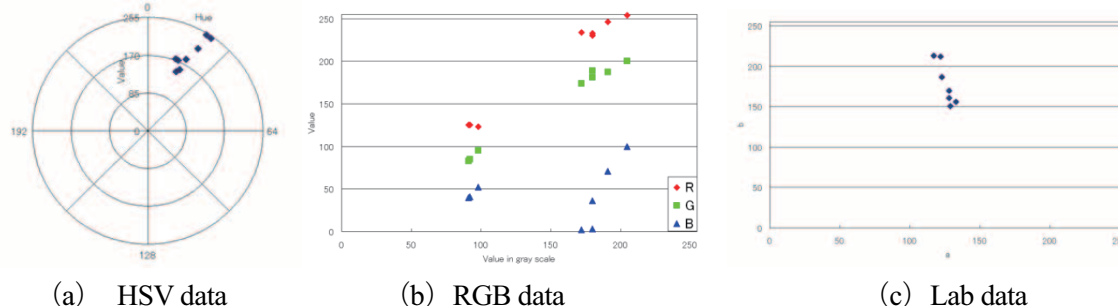


図 6-3-4 警戒標識に関する色空間検証結果

最後に、指示標識に関する撮像環境変化に伴う色分布の検証結果を図 6-3-5 に示す。このうち、Lab 色空間において値の変化が小さいことが見て取れる。一方、その他の色空間については、ばらつきが大きく天候の影響を多く受けることが予想される。よって、指示標識の色特徴の抽出には Lab 色空間を用いる。

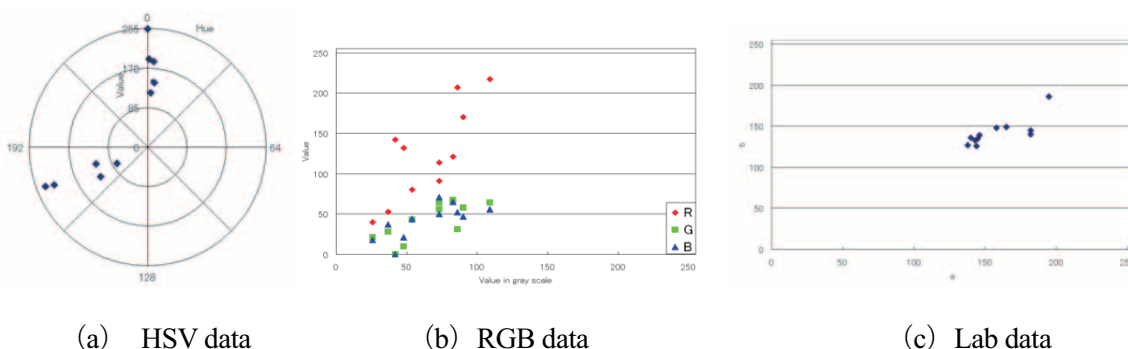


図 6-3-5 指示標識に関する色空間検証結果

(4) 注視対象の抽出

ドライバは、道路標識や自車両以外の車両といった安全や走行に関する物体情報に対して視線が移動しやすい。よって、今回抽出する対象は白線と道路標識、先行車両とする。ここで対象と

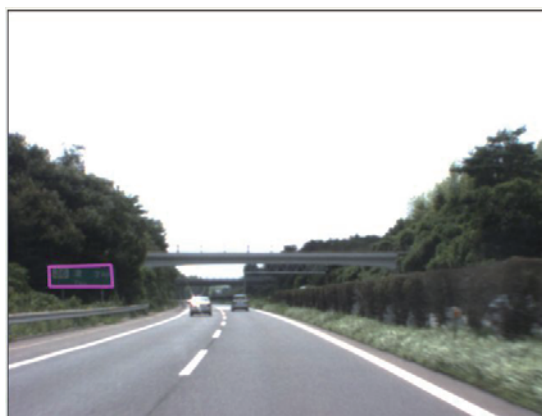
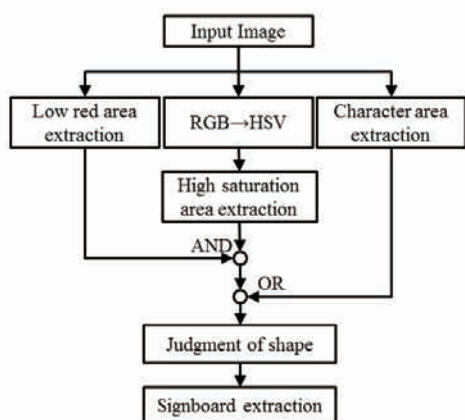
する標識については、形状や色といった規格が道路法や道路交通法により表 6-3-1 のように定められている⁽⁶⁻⁹⁾。これに加えて、前節で行った色空間の検討結果を踏まえ、車両前方画像からの抽出方法を以下の通り個々の標識や白線、先行車両などの注視対象物について検討していく。

表 6-3-1 各種標識の主な規格

	案内標識	警戒標識	指示標識
色	緑	黄	赤 または青
形状	四角形	ひし形	円形
その他	白文字	黒領域を含む	

① 案内標識

案内標識は表 6-3-1 に示した 3 つの特徴を用い、図 6-3-6 (a) に示すフローチャートにより処理を行う。まず、高速道路の案内標識は鮮やかな色であるため色相、彩度、明度の 3 つの成分からなる HSV 色空間に変換し、彩度の高い領域を抽出する。また、標識の背面に植物があった場合、標識とともに植物領域が抽出されることを避けるために、一旦、赤色成分が少ない領域を抽出してから緑色の領域を抽出する。ここで抽出された領域が道路標識であれば、白文字で情報が記載されていることを手掛かりに、抽出した緑色領域と同じ領域内で入力画像の 2 値化を行い、文字部を抽出する。最後に、抽出した緑色領域と文字部の論理和を算出する。論理和を求めて得られた領域より、その領域の輪郭を直線で近似し、コーナーの角度から案内標識の形状と判断した領域を道路領域として抽出する。図 6-3-6 (b) にその抽出結果を示す。



(a) 案内標識抽出のフローチャート

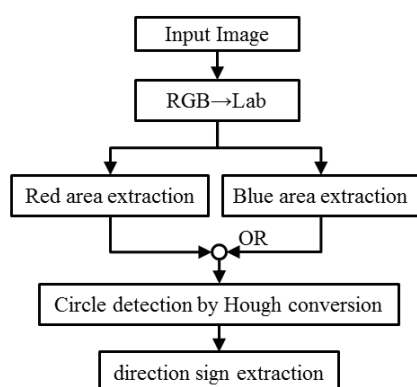
(b) 案内標識の抽出結果

図 6-3-6 案内標識に関する抽出処理とその結果

② 指示標識

指示標識は表 6-3-1 に示した 3 つの特徴を用い、図 6-3-7 (a) に示すフローチャートにより処理を行う。まず、指示標識の特徴である色を抽出するために、入力画像を RGB 色空間から明度と 2 つの色差からなる Lab 色空間に変換する。その後、2 つの色差を用いて赤色と青色の領域を

抽出し、その2つの領域を合成する。その後、標識の形状特徴である円形をもとに、デジタル画像処理で用いられる特徴抽出法である Hough 変換を用いて円を抽出する。図 6-3-7 (b) に指示標識の抽出結果を示す。



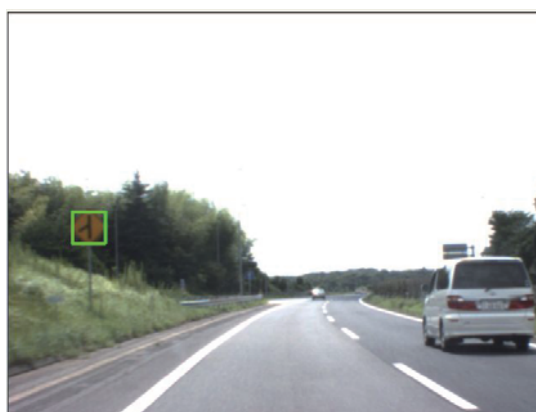
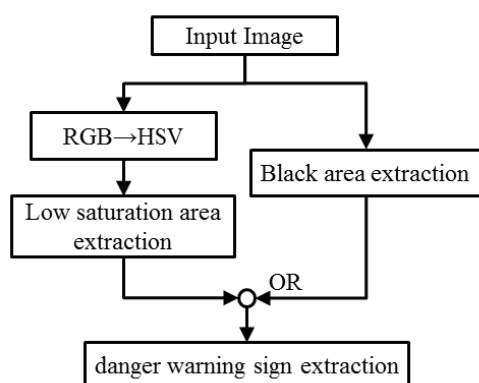
(a) 指示標識抽出のフローチャート

(b) 指示標識の抽出結果

図 6-3-7 指示標識に関する抽出処理とその結果

③ 警戒標識

警戒標識は表 6-3-1 に示した 3 つの特徴を用い、図 6-3-8 (a) に示すフローチャートにより処理を行う。まず、警戒標識の特徴である、彩度が高い黄色を抽出するために RGB 色空間から HSV 色空間に変換し、色相が低い領域と彩度が高い領域を抽出する。次に、抽出した黄色領域を囲う矩形領域を作成し、この領域に着目して処理を行う。このとき矩形の四隅に余分な背景領域が含まれるため、該当する領域を 45[deg]回転させて除去する。その後、同領域中の黒色領域を探索することで、黄色・黒色の混在する警戒標識を抽出する。図 6-3-8 (b) に指示標識の抽出結果を示す。



(a) 警戒標識抽出のフローチャート

(b) 警戒標識の抽出結果

図 6-3-8 警戒標識に関する抽出処理とその結果

④ 白線の抽出

前方映像中において、道路上の白線・走行車線は、自車両の走行位置、前方車両との距離、先行車両の探索領域など、さまざまな物体の検出の基準として有用である。すでに実用化されたシステムでは、自車両の逸脱検出や道路形状の認識などにも応用されている。

この白線の検出についても、本手法では他の標識抽出と同様に色特徴に着目した抽出を試みる。道路の白線は gray スケール画像においては、グレー系の道路の色に対して、輝度が高く、また一定の幅を有して直線への近似が可能という特徴がある。まず、色の観点からは、RGB 色空間から gray スケール画像に変換し、白色の領域を抽出することで検出ができる。またその幅情報を利用し、水平方向にある程度の幅を有するものに対応するフィルタを適用することで、白線の候補が選出できる。ただし、道路上に自車両の走行車線以外に車両が存在する場合、この白線候補の情報が断片化され、誤検出の原因となりうる。そのためクラスタリングを行い、画像中心に最も近いものを抽出することにより白線を選出する。その後、RANdom SAmple Consensus（以下、RANSAC）による直線近似を行うことで、走行車線の両側の白線を抽出し、射影変換行列を求める。さらに、自車両の走行車線以外の車線を抽出するために、先に近似した直線に沿った輝度の分散を求める。最終的には、走行車線の区分線である車線境界線（破線）と、走行車線と路側帯の区分線である車道外側線（直線）とを分類し、車線境界線の場合には隣接する車線があると判断し、射影変換行列をもとに白線の追加を行うことで、車両前方画像中の白線の抽出を完了する。図 6-3-9 に白線抽出結果を示す。前述のように自車両の走行進路を中心に、車線境界線から順に、緑、黄色、赤、青と車道外側線まで抽出ができていくことがわかる。



図 6-3-9 車両前方画像中の白線抽出処理の結果

⑤ 車両の抽出

同様に道路上の移動物体として、他車両の抽出方法についても以下の通り検討した。

まず、先に述べた白線の抽出結果をもとに車両前方画像中の道路面の領域（道路領域）を抽出し、道路領域上に存在する影を識別する。ただし、道路領域は気象条件によりその明度が異なる。そのため、車両前方の道路領域の明度を取得し平均値を算出し、その明度より低い値をとる領域を車両の影として抽出する。また、車両を識別する判断材料として、自車両との相対速度情報が有用である。そのため、これを取得するためにオプティカルフローによる車両抽出も併せて行う。以上の処理により、自車両の前方を走行する車両を抽出した結果を、図 6-3-10 に示す。



図 6-3-10 車両前方画像中の車両抽出処理の結果

(5) 注視対象の優先順位付け

前項までの処理により、車両前方画像に存在する注視対象物の抽出が可能となった。これを用いた運転支援システムとしてドライバの注視行動との整合性を解析するにあたり、各注視対象物について、ある基準にもとづく順位づけ等を行い、注視行動の定量評価へとつなげていく。

ある瞬間において、車両前方画像中には、ドライバの注視対象候補が複数個存在する。しかし、ドライバがその瞬間にどの物体を見て、どの物体を見ないのかは視覚の持つ生理的特性、ドライバの心理状態、過去からその瞬間に至るまでの行動の連続性や経過などに依存すると予想される。これらの真値の予測や推定は困難であるが、自動車の走行環境において、自車両の走行方向前方から後方へと視界のなかを対象物が移動していく状況を想定すると、より近距離の物体から順に処理をしていく過程が、一つの方策として考えられる。以下では、ヒトの視覚特性の分類をするとともに、注視対象候補に対する優先順位付けの方策を検討・実装していく。

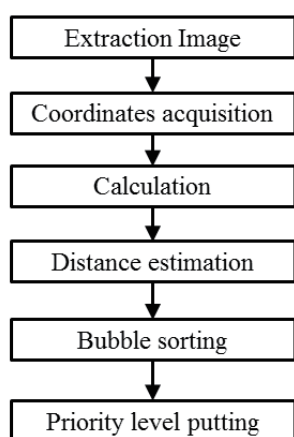
ヒトの視覚特性としては、主に次のようなものが挙げられる。まず、ヒトの網膜周辺部は、光の明滅や動いている物体など時間的に変化する刺激に対して敏感である。そのため周辺視によりそのような物体を発見した場合、その方向に中心窩を向けて光を得るために眼球運動が発生する。一方、自動車運転時のように自身の移動を伴う場合、ドライバは走行（移動）速度が上昇するほど遠方を見て運転するようになり、結果として視野範囲が狭くなる。また、走行速度が低い場合でも混雑時には視野範囲は狭くなり、反応時間も遅くなる⁽⁶⁻¹⁰⁾。しかし、車線変更中などは視線速度が増加し、広い範囲を認識するようになる⁽⁶⁻¹¹⁾。他にも走行に必要な情報の認知をするために、道路のカーブや傾斜などの認知、標識や車等の物体の検知や動きの知覚、自車両の走行状態の認知がなされたり、カーブ部分では自車両の走行車線の位置や、カーブ区間内の位置や他車両の有無を認識したりするために、視線の動きが要求され複雑化していく⁽⁶⁻¹²⁾。これらのほかにも、運転上重要な視覚機能としてあげられる、視野、KVA 動体視力、DVA 動体視力、深視力の 4 つ⁽⁶⁻¹³⁾も運転中の視線の動きには視力の影響が考えられる。

他方、以上で述べたようなヒトの視覚特性をすべて網羅することは、非常に複雑で困難である。これに対し、従来研究においては、自車両と前方車両との幾何学的位置関係から、ドライバの網

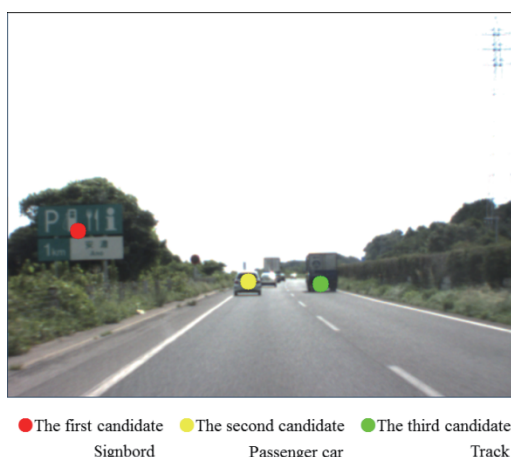
膜上での前方車両形状の専有面積変化をもとに、危険の感知度合を定量化する指標（KdB）などが提案されている。すなわち、車両間の距離情報は、上述の視覚特性と定量情報との接点になりうるといえる。そこで、本研究ではこれまでに述べた車両前方面像の分析結果から得られた、対象物と自車両との距離に着目し、これにもとづき注視対象物の順位付けを行う手法を提案する。その処理の流れを図 6-3-11（a）に示す。

まず、注視対象物のうち、標識については、移動ステレオ法を適用して距離を算出するために、前段階として自車両の移動速度の推定が必要となる。これには、道路上で検出した車線のうち、車線境界線の破線間隔（道路法や道路交通法により高速道路では線の部分が 8[m]、線と線の間隔が 12[m]と規定）を用いることで、自車両の移動量が測定でき、結果として速度の推定・計算を画像 1 フレームごとに行うことができる。また、自車両と先行車両の距離については、抽出した先行車両領域の下端の座標に着目する。この情報と白線抽出で求めた射影変換行列、白線の長さをもとに距離を求めることができる。

以上の処理により、自車両からの各注視対象物までの距離が算出され、それが近い対象物から順に優先順位を図 6-3-11（b）のように設定することができた。



（a）順位付け処理のフローチャート



（b）順位付け処理結果

図 6-3-11 注視対象物の順位付け処理

（6）まとめ

本研究では、道路標識および車両を抽出しドライバが注視すると予想される順番に優先順位を設定するシステムを作成した。これを実現するにあたり、色空間の選択において、撮像環境・対象物の規格を考慮し、対象物ごとの最適な色空間と閾値の選択を行い、従来のシステムでは抽出できなかった対象物の抽出を可能とした。このことにより、本システムの分類・抽出システムは、天候の影響を受けにくいものになったといえる。また、車両抽出においても車両前方の道路の明度の平均を取得して閾値を設定することで、同様に、天候の影響を受けにくいシステムを実現した。道路上の白線の抽出においても、クラスタリングを行うことによってノイズ除去を行い、さらにロバスト推定法である RANSAC による直線近似を行うことで、より安定した白線抽出が可能となった。また、射影変換を用いることにより走行車線以外の車線の抽出も可能とした。

一方、雨天時の検討はしておらず、現在は快晴、晴れ、うす曇、曇りの4つの天候にのみ対応しているが、その環境下においても、色空間の選択で天候の影響を低減できることを確認した。しかし、現在の車両抽出アルゴリズムは白線の抽出精度に依存している。そのため、白線の抽出精度が変動すれば、危険に対する認知として最も見るべきである車両の抽出精度も低くなると考えられる。また、現在1画像あたり約0.3[s]の処理時間を要している。特に、走行環境が変わり、新たな色空間の追加が必要になった場合、処理時間の増加は明らかであり、これをどう削減するかが今後の課題となる。併せて、処理速度の向上、車両検出精度の向上、視覚特性をより考慮した優先順位付のアルゴリズム開発が今後の課題である。

(三宅 哲夫, 今村 孝, 章 忠, 福山 育也)

6-4 研究発表実績、今後の課題

本研究テーマについては、平成24年度において、以下の研究発表を行った。

■学術論文投稿

1. T.Akiduki, Z.Zhang, T.Imamura and T.Miyake, Time-Series Analysis of Motion by Using Nonlinear Dynamical Systems, Innovative Computing, Information and Control ICIC Express letters, Vol. 6, Num. 4(April 2012), pp.1077-1082
2. Md R.Othman, Z.Zhang, T.Imamura, T.Miyake, Analysis and Evaluation of Driver Inattention Using Support Vector Machine, Innovative Computing, Information and Control ICIC Express letters, Vol. 6, Num. 6(June 2012), pp.1453-1458
3. Md Rizal Othman, Zhong Zhang, Takashi Imamura and Tetsuo Miyake, A Novel Method for driver Inattention Detection Using Driver Operation Signals, International Journal of Innovative Computing, Information and Control, Vol.8, No.4(April 2012), pp.2625-2636
4. 秋月 拓磨, 章 忠, 今村 孝, 三宅 哲夫, アトラクタを用いた時系列データからの動作特徴の抽出, 電気学会論文誌 C, Vol.132, No.6(2012.6), pp.975-982.

■国際学会論文発表

1. Tetsuo Miyake, Elvin Tiong Chew Lun, Ikuya Fukuyama, Takashi Imamura, Zhong Zhang, Evaluation of Driving Attentiveness through Usage of Fuzzy Inference, Proc. of the 2012 International Conference on System, Man and Cybernetics(SMC2012, Seoul, 14-17 Oct, 2012), pp.518-523
2. Takashi Imamura, Yuto Takeuchi, Zhong Zhang and Tetsuo Miyake, Estimation for Grasp Behavior of Vehicle Driver by using Steering Wheel Sensor System, Proc. of the 2012 International Conference on System, Man and Cybernetics(SMC2012, Seoul, 14-17 Oct, 2012), pp.1515-1519

■国内学会発表

1. 秋月拓磨, 章 忠, 今村孝, 三宅哲夫, 力学系を用いた時系列データからの動作特徴の抽出, ”センシングアーキテクト”による発表会 最先端インテリジェントセンシング研究開発事例集(2012), pp.62(2012.03.06)

2. 鈴木創, 章 忠, 今村孝, 三宅哲夫, 動的関係ネットワークを用いた漫然運転検出法に関する研究, 日本機械学会東海支部第 61 期総会講演会, pp.63-64(2012.03.15-16)
3. 荻智成, 高橋忠相, 今村孝, 章 忠, 三宅哲夫, ドライビングシミュレータを用いた 運転行動意図の付与とその推定に関する研究, 日本機械学会ロボティクスメカトロニクス部門講演会 (ROBOMECH2012) , pp.2P1-C11(1)-(4)(2012.05.27-29)
4. 内田皓, 章 忠, 今村孝, 三宅哲夫, 秋月拓磨, 加速度センサを用いたドライバの運転動作計測, 計測自動制御学会中部支部オープンラボ・学生発表会(2012.11.22)
5. 佐藤駿佑, 三宅哲夫, 今村孝, 章 忠, パルス光による角膜反射像を用いたサッケード検出法, 計測自動制御学会中部支部オープンラボ・学生発表会(2012.11.22)
6. 福山育也, 三宅哲夫, 今村孝, 章 忠, 車両前方面像からの視覚特性を考慮した物体抽出, 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 (SI2012) , pp.1898-1903(2012.12.18-20)

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とその実験・実証を進めている。また, 昨年度より導入したドライビングシミュレータについて, 運転プラットフォームを追加導入し, より本格的な運転環境を実現できる環境を整備してきている。さらに, 今年度より地元バス会社とともに, 走行中の車両前方映像およびドライバ行動を計測し, 運転改善へ展開するための共同実験に向けた準備を開始した。今後, 本報告で示した各基礎技術について, ドライビングシミュレータへの実装や実車両運転の改善方策の実現へと発展させ, 早期に実証システムとして構築させることを当面の課題として, 更なる研究に取り組みたい。

参考文献

- (6-1) 政府統計の総合窓口,
<http://www.e-stat.go.jp/SG1/estat/eStatTopPortal.do>, 独立行政法人 統計センター, (2012)
- (6-2) 石田ほか, 顔画像の観察分析に基づいた眠気表情の特徴を表す因子に関する研究, 自動車技術会論文集 39(3), pp.251-256(2008)
- (6-3) 柳平ほか, 車両における複合情報計測による安全運転支援技術, 計測と制御 44(3), (2005)
- (6-4) Takashi Imamura, Yuto Takeuchi, Zhong Zhang and Tetsuo Miyake, Estimation for Grasp Behavior of Vehicle Driver by using Steering Wheel Sensor System, Proc. of the 2012 International Conference on System, Man and Cybernetics(SMC2012, Seoul, 14-17 Oct, 2012), pp.1515-1519(2012)
- (6-5) 鈴木ほか, 手関節肢位と握力の関係について, 理学療法学会論文集 13(6), pp.409-413(1986)
- (6-6) Honda の交通安全 運転アドバイス(四輪編) ,
<http://www.honda.co.jp/safetyinfo/kyt/master/master01.html>, 本田技研工業株式会社(2012)
- (6-7) 梶原 ほか, 脳波計測を用いたドライビングシミュレータによるドライバの負荷推定, 近畿大学理工学部研究報告 (45), pp.25-28 (2009)

- (6-8) 橘 ほか，注意領域への集中力向上を目的とした領域外における視覚刺激，第 16 回日本バーチャルリアリティ学会大会論文集(2011)
- (6-9) 道路標識，区画線及び道路指示に関する命令 別表第 2，
<http://www.mlit.go.jp/road/sign/kijyun/kukaku/bpkukaku02.html>，国土交通省(1980)
- (6-10) 三浦利章，運転時の視覚的注意と安全性，映像情報メディア学会誌 Vol61 No.12, pp.1689-1692(2007)
- (6-11) 藤森充，上迫宏計，川村幹也，高速道路運転における頭部運動と視線挙動，計測自動制御学会論文集 Vol.31 No.1, pp.36-43 (2001)
- (6-12) 門間健，岩崎征人，古市朋輝：都市高速道路曲線部における車両の走行特性と運転者の眼球運動，第 27 回土木計画学研究発表会・講演集(2003)
- (6-13) 足立委昭，山本裕，山田宗男，川澄未来子，山本修身，中野倫明，山本新，高齢ドライバーの視覚機能測定と運転視力測定システム，自動車技術会論文集 Vol.39 No.1, pp.157-162(2008)

7. 交通弱者の安全・安心のためのシステムや装置に関する研究

情報・知能工学系 准教授 金澤 靖

7-1 全周プロジェクションシステムのオンライン化

(1) はじめに

既存の建物に立体的な映像を投影するプロジェクションマッピングに代表されるように、プロジェクタによる映像投影は単に臨場感のある映像を投影するだけでなく、その場所ではありえない映像を投影し、仮想的・幻想的な空間を作る手段ともなっている。そのようなシステムの一つである全周マルチプロジェクションシステムは、複数台のプロジェクタを用いて部屋の全ての壁にシームレスな全周パノラマ映像を投影することが可能なシステムであり、臨場感のある映像を投影できるだけでなく、仮想的な空間を作り出すこともできる。

現在、我々の研究室では図 7-1-1 に示すような全周マルチプロジェクションシステムの開発を進めており¹、本研究ではこのシステムを安全・安心のための教育コンテンツの提示システムとして用いることを考える。例えば、危険な交差点での走行や横断の際に全方位カメラで周囲を撮影しておくことにより、実際の現場ではなく、仮想的かつ安全な空間において、臨場感のある映像を投影することができる。これを車の立場での映像だけでなく、歩行者の立場での映像を利用することで、高齢者や子供、ドライバーに対する交通安全教育や各種シミュレーションなどにも利用可能である。

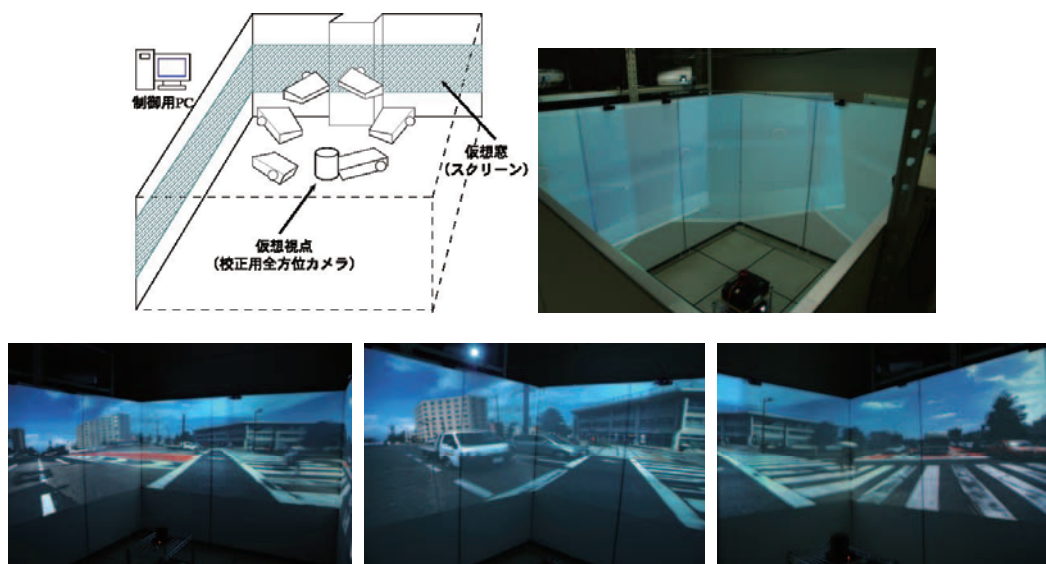
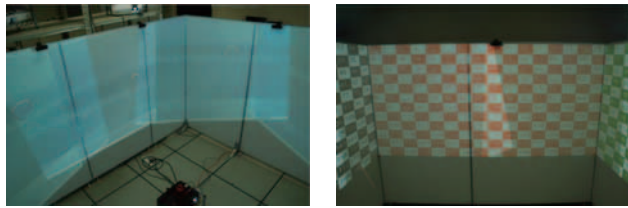


図 7-1-1 システムの構成と実際のシステムおよび投影例

¹ (株)ファンテックス（愛知県豊橋市）との共同研究による。

(2) 映像の変換の高速化とシステムのオンライン化



幾何学的補正前（左）と補正後（右）



光学的補正前（左）と補正後（右）

図 7-1-2 映像の変換

全周カメラで撮影した映像を全周マルチプロジェクションシステムで投影するためには、投影すべき映像に対し、図 7-1-2 に示すように、

- 幾何学的補正: プロジェクタがスクリーンに正対していない場合の映像の変換や壁の凹凸に対する映像の変換。
- 光学的補正: プロジェクタの投影像のムラやプロジェクタの投影像が重なりあっている場合の色や明るさの補正。

の各補正が必要となる。これらは画像の変形や画像内の画素毎の色の調整を行う必要があり、一般に時間のかかる処理となる。また、現在システム全体の処理は

- ① 全周カメラで映像を撮影し、ファイルに保存する。
- ② 全周映像ファイルをオフライン処理により、各プロジェクタ用の映像に変換し、投影用のコンピュータにコピーする。
- ③ 投影用のコンピュータは個々の担当の映像ファイルを読み込み、同期を取りながら投影する。

となっており、カメラで撮影した映像をそのまま投影することはできないこと、また映像変換処理に非常に時間が掛かっていたことなどから、本年度は映像変換処理を高速化し、カメラで撮影した映像をそのまま投影できることを目指した。

図 7-1-3 にオンライン化の際の改良箇所を示す。ここでは、各処理モジュールでボトルネックになっている箇所を洗い出して高速化するとともに、入出力における動画ファイルへの対応およびマルチスレッド化を行うことで、高速化を図った。

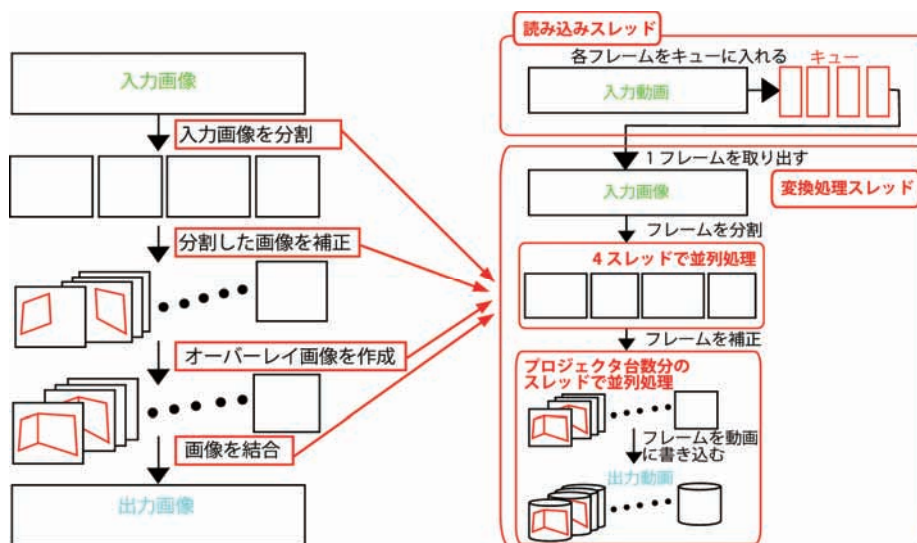


図 7-1-3 従来の処理（右）と高速化後の処理（左）

表 7-1-1 実行時間の測定結果（時:分:秒）

処理フレーム数	高速化前	高速化後	比率
1000	03:46:54	00:01:49	124.9
2000	07:40:43	00:03:40	125.7
4000	15:19:49	00:07:30	122.6

この結果、表 7-1-1 の通り、およそ 120 倍以上の高速化を実現できた。また、ファイルを介さずネットワークを経由して画像の転送を行うことで、カメラからの映像をそのまま 5[fps]程度で投影することも可能となった。

（3）今後の展開

これまで撮影した実際の映像や、車載した場合の映像、歩道や横断歩道での映像等を撮影し、本システムにて投影することで、仮想的な環境を用いた交通安全・モラル教育に活かすことを考えている。更に、高齢者の視覚シミュレーションや色覚障害の方の色覚シミュレーションなどで処理した映像を投影することで、交通弱者の立場を健常者が体験できるような映像コンテンツの作成も進めていく。

7-2 全方位カメラを用いた危険検知に関する研究

(1) はじめに

高齢化社会に伴い、高齢者や子供などの交通弱者に対する安全・安心のための技術の必要性が年々高まっている。現在注目を浴びている自動車に関する安全・安心に関する先進技術の一つにSUBARUのEyeSight²に代表される「プリクラッシュセーフティシステム」がある。これは自動車が主に前方の障害物を感知して衝突に備える機能の総称であり、カメラやレーダーを使って障害物を検出し、自動的にブレーキをかけたり、ドライバーへの警告を行うものである。しかし、歩行者や自転車などを検知できるものは少なく、主に前方車両などの前方にある大きな障害物しか検知できないシステムも多い。一方で、「高度道路交通システム (Intelligent Transport System, ITS)」では、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に関する技術開発が進められている。これも、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となっている。一部、子供や高齢者、視覚障害者向けのシステムとしてアイセイフティ³や、歩行者等支援情報通信システム (PICS)⁴が存在するが、いずれも子供や視覚障がい者、高齢者に携帯情報端末を持たせる必要があり、更にドライバーがその注意喚起に気付くことが必要となっているだけでなく、交差点での受信設備など、交通インフラの整備も必要である。しかし、交通事故はいつどこで起こるか予想することは極めて困難であることから、これらのような特別な装置やインフラ整備を必要とせず、いつでもどこでも使える安全・安心のための装置やシステムの開発が必要とされている。そこで我々は、昨年度から、自分の周囲360度の視界を持つカメラを交通弱者に持たせ、その画像を解析することで自身に向かってくる車などの危険物の検知を行うシステムの開発を目的とし研究を進めている。昨年度は全方位カメラ画像からの向かってくる車に対する危険度の計算方法について検討を行った[1]。今年度は実際に映像中から車を検出することを中心として研究を進めた。

(2) 危険の検知

まず、昨年度の危険度の計算方法[1]について説明する。

全方位カメラとは図7-2-1に示すようなカメラであり、通常のカメラはカメラの前方しか撮影できないが、全方位カメラは後方も含めて周囲360度を全て撮影することができる。

この全方位カメラでは、画像の中心がカメラの位置を表しており、カメラに向かってくる物体は画像上で中心に近づいてくるが、カメラに向かってこない物体は画像の中心に向かってこない、という性質を利用して危険検知に応用している。ここで、次のような危険度 D を定義する。

$$D = \frac{1}{\sum_{\alpha=1}^n w_{\alpha}} \left(w_1 D^t + w_2 D^{t-1} + \cdots + w_n D^{t-n} \right)$$

² <http://www.subaru.jp/eyesight/>

³ <http://www.nttdata.co.jp/release/2005/111600.html>

⁴ <http://www.utms.or.jp/janapese/system/pics.html>

ここで、 D' は瞬間的な危険度を表し

$$D' = D_p D_d, \quad D_p = \cos \theta, \quad D_d = \exp\left(-\frac{d^2}{2\sigma^2}\right)$$

とする。また w_α は重みで、次のようにとる。

$$w_\alpha = \frac{1}{2^\alpha}$$

を用いる。この危険度を歩行者の危険度として評価する。

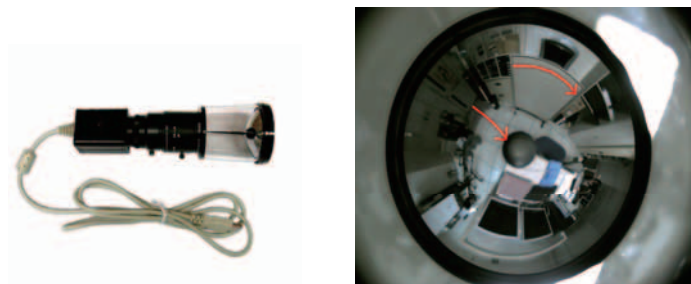


図 7-2-1 全方位カメラとその映像

(3) AdaBoost による車両の検出

上で述べた危険度を検出するためには、全方位画像内の車両を検出する必要がある。一般に向かってくる車はそのフロント部分が見えることになる。そこで、ここでは、Viola-Jones 法[2]による車両フロント部分の検出を試みる。

画像内の顔検出で有名な Viola-Jones 法[2]は、Haar-Like 特徴と呼ばれる非常に単純な特徴を用いており、大量の学習データから AdaBoost により識別器を学習してカスケード構造で識別することで、ロバストで高速に顔の検出を行うことができる。全方位カメラ映像は車両の位置によりその像の見え方が異なることから、通常のカメラと同じ透視投影画像に変換してから検出する。

実験では、Internet 上の画像を用い、図 7-2-2 に示すように、正解画像として車両のフロント部分が写っている画像を 200 枚、不正解画像として道路や市街地の車のない画像を 700 枚用意し、OpenCV⁵を用いて、カスケード型識別器を学習させて実験を行った。結果を図 7-2-3 に示す。見てわかる通り、車両を含む画像においては、車両のフロント部分を正しく検出しているものの、ウィンドウや背景の部分にも多く検出されてしまっている。また車両が含まれていない画像においても検出されてしまっている。これは、学習させる画像の枚数が少ないこと、人の顔における目や鼻、口といったパーツと違い、車両のフロント部分はそのパーツの配置などが車によって大きく異なることなどが理由として挙げられる。今後は、学習に用いる画像枚数を増やすとともに、車種別に識別器を構成することで、正確な検出を目指す。

⁵ <http://opencv.jp/>



正解画像



不正解画像

図 7-2-2 学習に用いた画像



正解画像に対する検出例



不正解画像に対する検出例

図 7-2-3 車両前方部分の検出結果

(4) まとめと今後の展開

AdaBoost を用いて、全方位画像から車両フロント部の検出を試みた結果、まだ十分な精度での検出ができていないことが分かった。今後は車両フロント部の検出手法を改良し、検出精度向上を図るとともに、実画像実験により、実際に手法を評価していく。

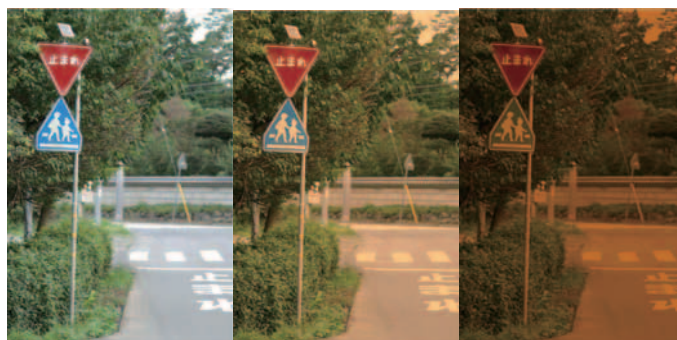
7-3 2色覚者のためのノイズ付加による色の識別率向上に関する研究

(1) はじめに

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) と呼び、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る。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が、一歩建物の外に出た場合、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、図7-3-1のように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。小佐ら[3]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して、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る方法を提案した。しかし、小佐らの方法では、交通標識のみに限定しているため、それ以外の危険を表す掲示等には対応できない。そこで、本研究では画像に特定のノイズを付加することで、2色覚と呼ばれる色覚障害者に対し、いかなる画像に対してもその色の違いが知覚できるような画像の処理方法を提案する。



健常者の見え方 (左) と2色覚者の見え方 (右)



左から20歳、60歳、70歳の見え方

図7-3-1 交通弱者の道路標識の見え方

(2) ノイズ軸の付加による弁別可能空間の拡張

健常者（3色覚）の方は色を検知する錐体がL錐体、M錐体、S錐体の3種類あるのに対し、いずれか一つの錐体が機能不全である場合に2色覚と呼ばれる。その中でもM錐体あるいはL錐体が機能不全である1型2色覚および2型2色覚の方が多く[4]⁶、赤と緑の色の弁別に困難が生じている。この赤と緑は“注意喚起”と“正常／問題なし”のそれぞれに多用される色であり、交通標識や渋滞情報を表すパネルにも利用されている。従って、これらを弁別できるようにすることは重要なこととなる。

健常者は色を3つの異なるセンサーで検知するのにに対し、2色覚者は2つのセンサーで検知している。これは、例えば健常者は3次元空間内の1点として色を知覚しているのに対し、2色覚者は2次元空間すなわち平面上の1点として色を知覚していることに相当する。本研究では、この知覚可能な色平面における色に対し、画像処理を行って人工的に異なる軸を加えることで、疑似的に3次元空間内の1点となるようにすることを考える。その際、健常者にもできる限り違和感が生じないように付加するために、ここでは弁別しづらい色の画素にノイズを付加することを提案する。画像に対するノイズを用いる理由は以下の通りである。

- 軸の向きに対しノイズの強度や発生確率を対応させることで、色の微かな差を表現できる。
- 健常者にとってノイズの付加された画像は「ざらつき」として見え、違和感を減少できる。

似たアプローチとして嶋村ら[5]のアプローチがあるが、嶋村らはグラフなどの人工的な画像に対し、その識別率を向上させるためにハッチングを加えるなどの処理を提案しているが、これが色数が少ない場合には有効であるが、自然画像に適用すると“不自然”になってしまう。

健常者の各錐体への刺激値を L, M, S 、1型2色覚者の刺激値を L_p, M_p, S_p とすると、Vienot[6]による1型2色覚モデルより、これらの関係は次式で表せる。

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

ここで、 $M_p = M, S_p = S$ であるから、 L の差 $|L - L_p|$ が健常者と2色覚者の色の知覚の差となる

と考えられる。そこで、ノイズの発生確率 p をこの差 $|L - L_p|$ に比例するように次式で求める。

$$p = \frac{|L - L_p - 0.1477|}{0.255}$$

ここで、分子分母の定数は正規化のための定数および実際に表せる空間に対するオフセットであ

⁶ 日本では約5%の方が1型2色覚または2型2色覚とされる[4].

る。このような発生確率に対し、輝度と色相の2種類のノイズを考える。

- ノイズ付加後の輝度： $I_N = I + N(0, \sigma_I) + \alpha$
- ノイズ付加後の色相： $H_N = (H + N(0, \sigma_H) + \beta) \bmod 360$

ここで、 σ_I 、 σ_H はそれぞれのノイズの分散、 α および β はそれぞれのオフセット値を表す。このようなノイズを加えることで、グラデーションのような色が滑らかに変化するものや自然画像に対しても識別率を向上させられると考える。

(3) 主観評価実験

図 7-3-2 に示すような1型2色覚者にとって識別しづらいグラデーションに対し、提案法によるノイズの付加画像4種類（輝度／色相，オフセット有／無）を作成し，原画像も加え，5段階の主観評価を行った。実際に用いた画像の一部を図 7-3-3 に示す。

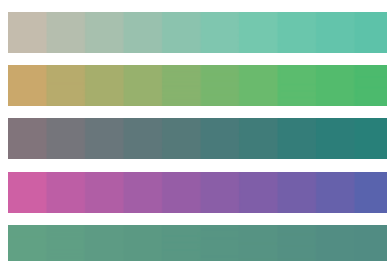


図 7-3-2 評価画像

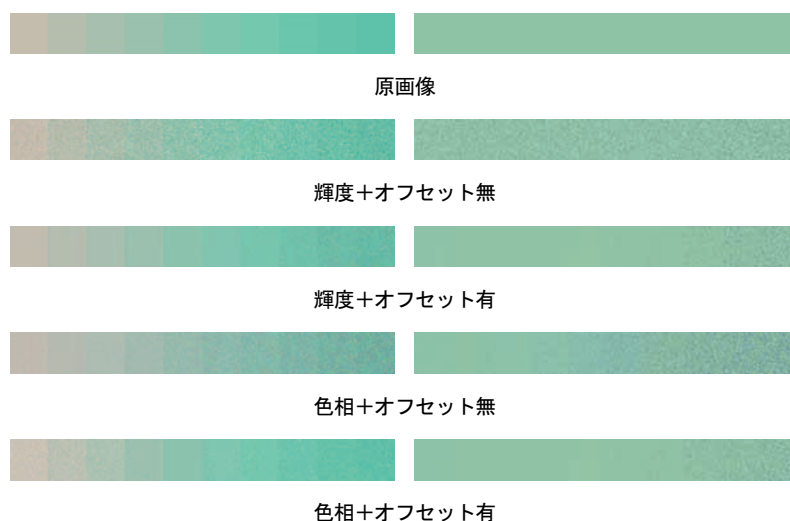


図 7-3-3 ノイズ付加画像（右）と2色覚シミュレート画像（左）

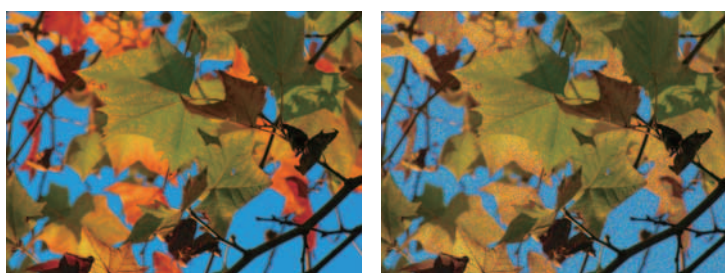
主観評価の結果を表 7-3-1 に示す。表より色相ノイズ+オフセット有が最も有効であることがわかった。しかし、グラデーションのような滑らかに変化している画像に対し、滑らかに変化しているように見えるかどうかについては今後も検討が必要であることもわかった。また自然画像に対する適用例を図 7-3-4 に示す。見てわかる通り、見分けが付きづらい箇所にノイズが付加され

たことはわかるものの、原画像ほど目立ってはいないことがわかる。

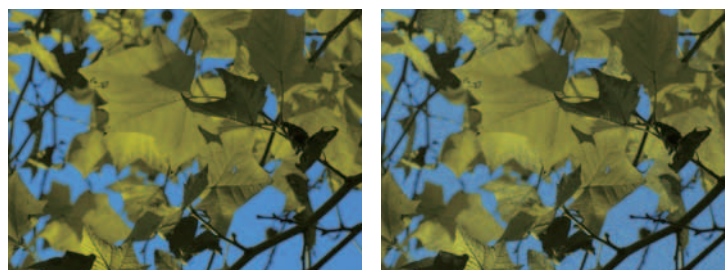
以上より、ノイズを付加することに対し、一定の有効性は確認できたものの、今後更なる検討が必要であることがわかった。

表 7-3-1 主観評価の集計結果（数値は評価値の平均）

	ノイズ無	輝度＋無	輝度＋有	色相＋無	色相＋有
原画像	4.41	4.02	4.25	4.06	4.26
2色覚	1.62	1.61	3.00	3.00	3.37



3色覚画像



2色覚シミュレート画像

図 7-3-4 自然画像への適用例. ノイズ無（左）／ノイズ有（右）

（４）まとめと今後の展開

2色覚者の弁別可能な2次元の色空間に対し、人工的なノイズ軸を加えることで疑似的に3次元空間に拡張し、弁別率を向上させる方法を提案した。人工的なグラデーションなどでは一定の有効性が確認できたものの、自然画像に対してはまだ検討の余地があることがわかった。今後の課題として、より識別しやすく、かつ健常者にとってより自然なノイズおよび付加方法を検討し、交通弱者のためのシステムに組み込むことを考える。

謝辞

本研究を実施するに当たり，補助金を頂いた豊橋市に感謝します。また，全方位カメラによる危険検知システムならびに全周マルチプロジェクションシステムに対し，有益なご意見を頂いた豊橋警察署交通課の小田聡課長はじめ交通課の皆様に感謝いたします。

参考文献

- [1] 小野 勝也，金澤 靖，全方位画像における直線当てはめの標準変位を用いた衝突検知，平成 24 年度電気関係学会東海支部連合大会，2012/9/24,25，豊橋技科大.
- [2] P. Viola, M. Jones, Robust Real-time Object Detection, IJCV, 2001.
- [3] 小佐 亮太，金澤 靖，交通弱者のための道路交通標識の強調提示の一検討，電子情報通信学会技術報告，福祉情報工学会，WIT2011-17, pp.91-96, 2011.
- [4] カラーユニバーサルデザイン機構，カラーユニバーサルデザイン，ハート出版，2009.
- [5] 嶋村 謙太，武田 真弓，鬼頭 伸一郎，洪 博哲，色覚異常者と健常者が認識可能なカラー文書画像変換方式の提案，KONICA MINOLTA TECHNOLOGY REPORT, vol.6, pp.59-63, Jan. 2009.
- [6] F. Vienot, H. Brettel, J.D. Mollon, Digital Video Colourmaps for Checking the Legibility of Displays by Dichromats, COLOR research and application, vol.25, no.4, pp.243-252, Aug. 1999.

対外発表

- [1] 小野 勝也，金澤 靖，全方位画像における直線当てはめの標準変位を用いた衝突検知，平成 24 年度電気関係学会東海支部連合大会，2012/9/24,25，豊橋技科大.
- [2] 脇元 翔，橋本 尚孝，金澤 靖，太田 直哉，色覚障害者の識別率向上のための画像への情報付加に関する検討，平成 24 年度電気関係学会東海支部連合大会，2012/9/24,25，豊橋技科大.

8. 新しい電池技術の研究開発

電気・電子情報工学系 教授 櫻井 庸司

8-1 はじめに

新しい電池として、現行リチウムイオン電池と異なり駆動イオンを二価のカルシウムイオン (Ca^{2+}) とする充電可能なカルシウムイオン電池が注目されている。この電池は原理的に、一価のリチウムイオンをキャリアとするリチウムイオン電池の容量を倍増できるとともに、リチウムイオン電池に比して高安全・低コストという特性も併せ持っている。

しかしながら、この新型電池を実現するためには多くの克服すべき課題がある。最大の課題は、この電池に期待されている所期性能を見通せる電極材料・電解質材料が皆無であり、リチウムイオン電池など既存電池とは全く異なる新規電池材料の探索が必要なことである。特に、カルシウムイオンが挿入／脱離可能な正極材料に関する報告は極めて少なく、我々を含む 2,3 の研究機関がこれまでに検討し報告してきた五酸化バナジウムや二酸化マンガンにとどまる。これらはいずれも、結晶構造中にカルシウムイオンを含んでおらず、リチウムイオン電池のように充電により高電圧を発現する状態に変化させることができない材料であった。

本研究では、材料合成段階で可動カルシウムイオンを構造中に内包させた正極材料を材料設計・創製することを目指した。具体的には、これまで我々が行ってきた材料開発を通して蓄積してきた材料科学的知見を元に、結晶化学的・電気化学的観点から候補材料として CaV_2O_5 に着目した。この材料は図 8-1-1 に示すように合成時点で結晶構造内に Ca^{2+} イオンを内包しており、充電により Ca^{2+} イオンが脱離できるものと考えれば、電池反応は $\text{V}^{4+}/\text{V}^{5+}$ 間の 2 電子レドックス反応であり現行リチウムイオン電池比約 2 倍の容量が期待できる。しかも、充電後の組成は V_2O_5 であり、その結晶構造は、結晶系・空間群が充電前の CaV_2O_5 と同一の斜方晶・ $Pmmn$ であることから、図 8-1-1 に記載したように結晶構造的に可逆的な充放電反応が予想される。

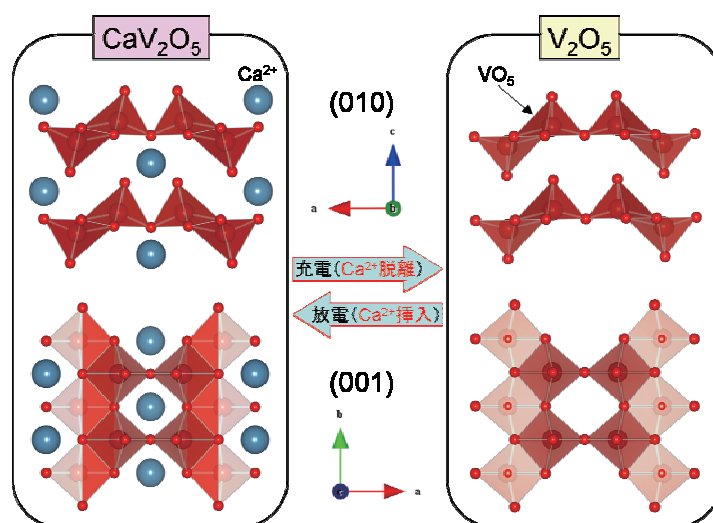


図 8-1-1 CaV_2O_5 の結晶構造と予想される構造可逆性

この材料はこれまで、石英管に原料を真空封入して高温長時間焼成する特殊な方法（真空封管法）のみによって合成されていたが、本研究では、より簡便・低コストな CaV_2O_5 の新規合成プロセスを開発することを第一の目標とした。また、これまで報告例のない CaV_2O_5 の電気化学特性を明らかにすることを第二の目標として、研究を進めた。

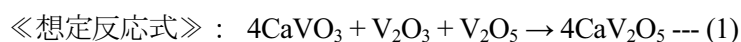
8-2 CaV_2O_5 の合成

CaV_2O_5 は、これまで次のような特殊な合成法によってのみ合成されていた材料であった。

- i) 原材料である 4CaVO_3 , V_2O_3 , V_2O_5 を混合する。
- ii) 混合した試料をディスク状ペレットに成型する。
- iii) 石英チューブ中に真空封管し、 950°C , 24 時間の仮焼成を 2 回行う。
- iv) 1100°C , 30 日間の本焼成を行う。

本研究では、上記のような手間やコストのかかる合成方法ではなく、安価かつ容易に CaV_2O_5 を合成する新規合成手法として、(1)不活性雰囲気下固相反応法、(2)カルボサーマル反応の適用を試みた。想定反応式および代表的な合成条件とともに、得られた結果の概要を下記に示す。合成した試料の相同定は X 線粉末回折法に基づいて行った。

(1) 不活性雰囲気下固相反応法



事前に合成した CaVO_3 と V_2O_3 , V_2O_5 を混合し、 800°C , 24h@Ar ガスフロー(1L/min)の条件で熱処理を行った。その結果、図 8-2-1 に示すとおり、未だ若干の不純物は見られるものの、 CaV_2O_5 を主相とする材料が狙い通り合成できた。さらなる合成条件精査により単相化が可能であると考えられる。

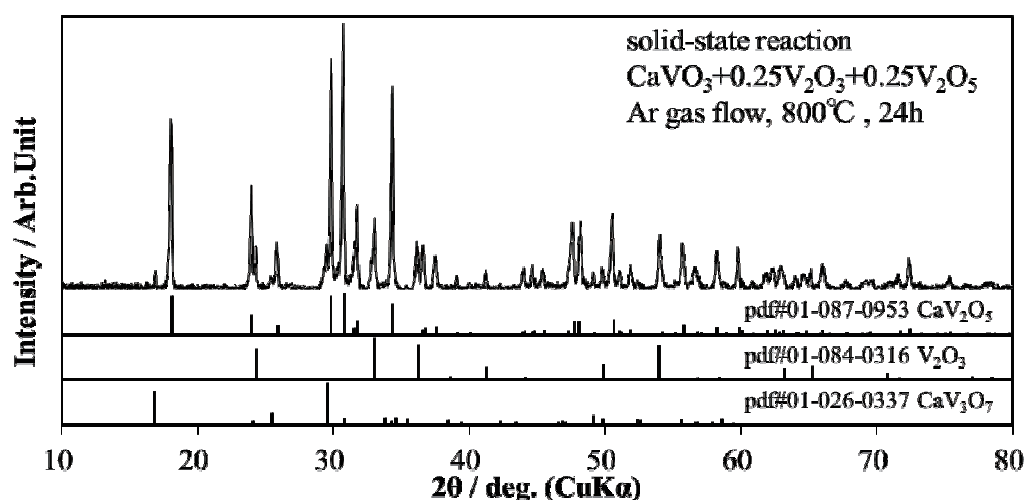
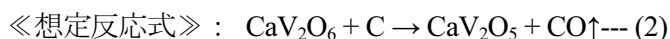


図 8-2-1 不活性ガス流通下固相反応試料の XRD パターン (800°C , 24h @Ar 1L/min)

(2) カルボサーマル反応法



事前に合成した CaV_2O_6 とアセチレンブラック（無定形炭素粉末）の混合粉を用い、 CaV_2O_6 の融点が 778°C であることを考慮して、 $700\sim 770^\circ\text{C}$ の温度範囲で Ar ガスフロー(1L/min)の条件下で合成を行った。この際、カルボサーマル反応において炭素により還元されるプロセスとしては CO_2 生成、CO 生成の二つの過程が考えられるが、この設定温度領域においては CO 生成が優先するとされている材料が多いことから、炭素混合モル比を(2)式のように 1 : 1 に固定して実験を行った。

①熱処理時間依存性の検討

熱処理温度を 750°C として熱処理時間を変化（1, 6, 12, 24h）させ、カルボサーマル反応を行った。得られた試料の X 線回折結果を熱処理時間依存性として図 8-2-2 に示す。当初の予想では(2)式の反応が一段階で進行するものと考えていたが、図の結果から明らかなように、目的物よりも Ca 量が少ない CaV_3O_7 相（バナジウムの価数は 4 価）を経由して目的物の CaV_2O_5 が生成されることが明らかとなった。しかしながら、熱処理温度 750°C の条件下では 24 h 加熱でも反応不十分ため単相化までは至っておらず、次項に示す熱処理温度依存性を検討することとした。

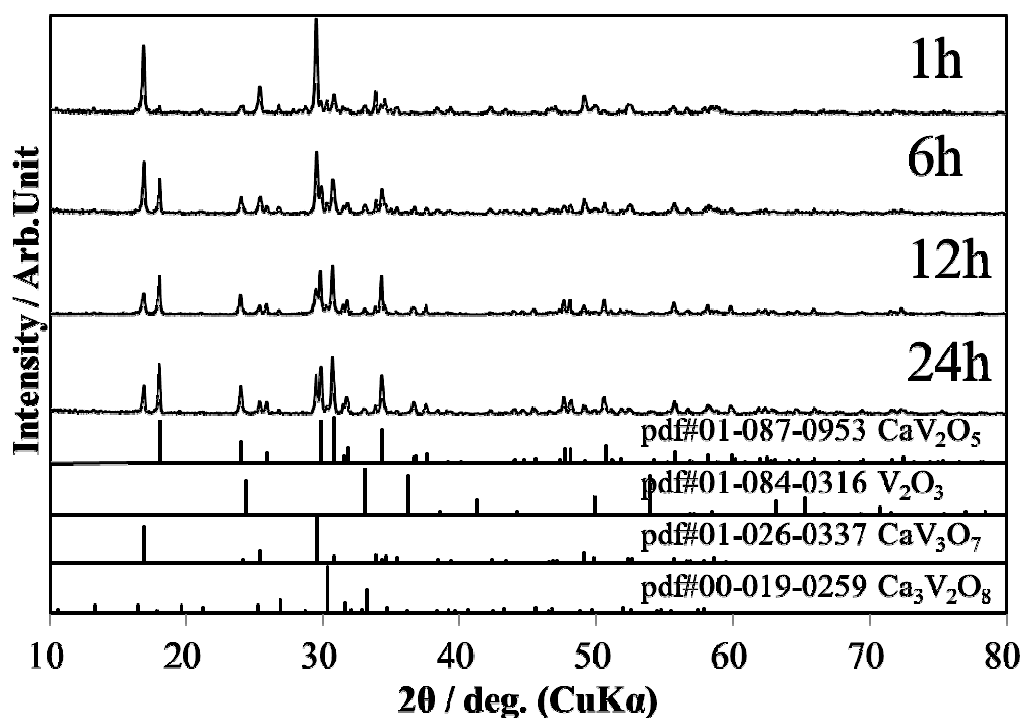


図 8-2-2 カルボサーマル反応の熱処理時間依存性（ 750°C @Ar 1L/min）

②熱処理温度依存性の検討

前項で得られた結果を元に、熱処理時間を 12 時間に固定し、熱処理温度を $700, 750, 770^\circ\text{C}$ と変化させてカルボサーマル反応の熱処理温度依存性の検討を行った。得られた試料の X 線回折測定

結果を図 8-2-3 に示す。700℃, 12h の結果は前項図 8-2-2 の 750℃, 1h の結果とほぼ同様の X 線パターンを示しており、この温度域でのカルボサーマル反応の素過程は同様のものと考えることができ、熱処理温度を上げることで反応速度を高められることが明らかとなった。その結果、微量の V_2O_5 が混入しているものの 770℃, 24h の条件でほぼ単相の CaV_2O_5 が合成できることがわかった。

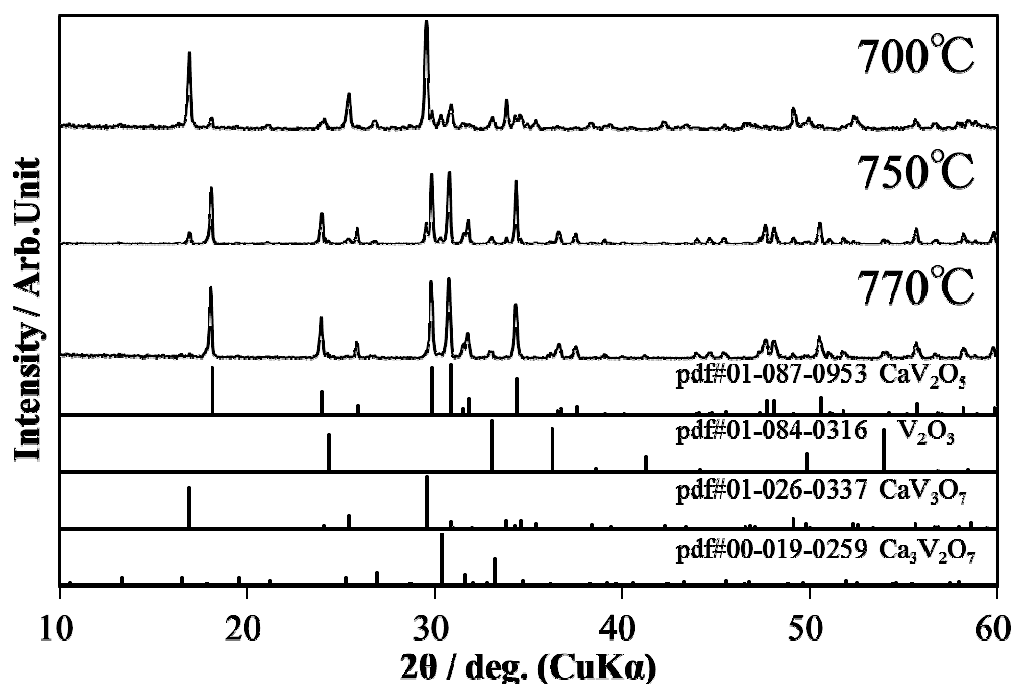


図 8-2-3 カルボサーマル反応の熱処理温度依存性 (12 h @Ar 1L/min)

8-3 CaV_2O_5 の電気化学特性評価

(1) 電極および電池作製

正極活物質、負極活物質として各々 CaV_2O_5 , V_2O_5 を用い、これに導電助剤としてのアセチレンブラックおよびバインダーとしてのテフロン粉末を重量比で 70 : 25 : 5 の割合で混合しロール成形したテフロン結着ペレット電極を作製し、80℃, 12h 真空乾燥したものをそれぞれ作用極、対極とした。参照極には非水溶媒系 Ag/Ag^+ 参照極を用いた。事前検討で CaV_2O_5 の溶出が認められなかった 2 種類の電解液を使用し、三電極ビーカーセルを構成した。電池の作製は、Ar ガスで満たされたグローブボックス中で行った。

なお CaV_2O_5 粉末としては、カルボサーマル反応法により合成したものを用い、電極作製に先立ってメノウ乳鉢／乳棒からなる攪拌播潰機で粉碎処理を行って粒径制御した。粉碎後粉末の走査型電子顕微鏡写真とレーザー回折・散乱式粒度分布測定装置により測定した粒度分布を各々図 8-3-1 および図 8-3-2 に示す。後者については、水中超音波分散処理を行って 5 分毎に 3 回測定しているがほぼ同等の結果が得られており、平均粒径 11 μm (メディアン径) 程度であり、リチウムイオン電池用電極材料に一般的に用いられている粒径と同様なレベルまで粉碎されていることがわかる。

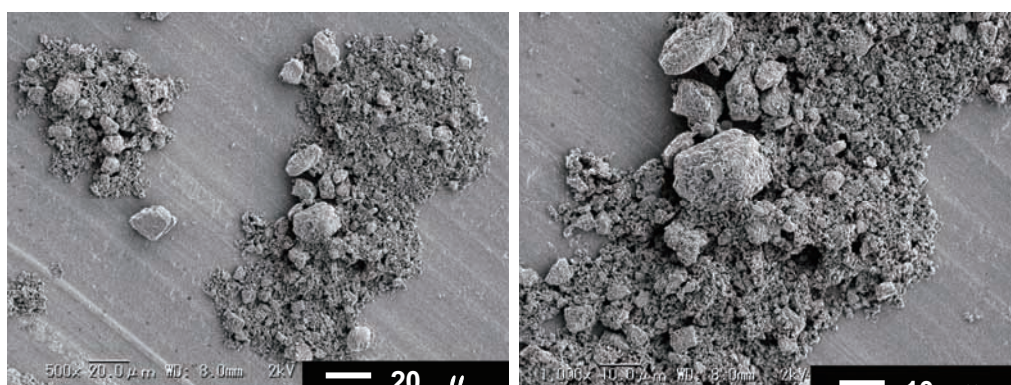


図 8-3-1 CaV_2O_5 粉末の走査型電子顕微鏡写真

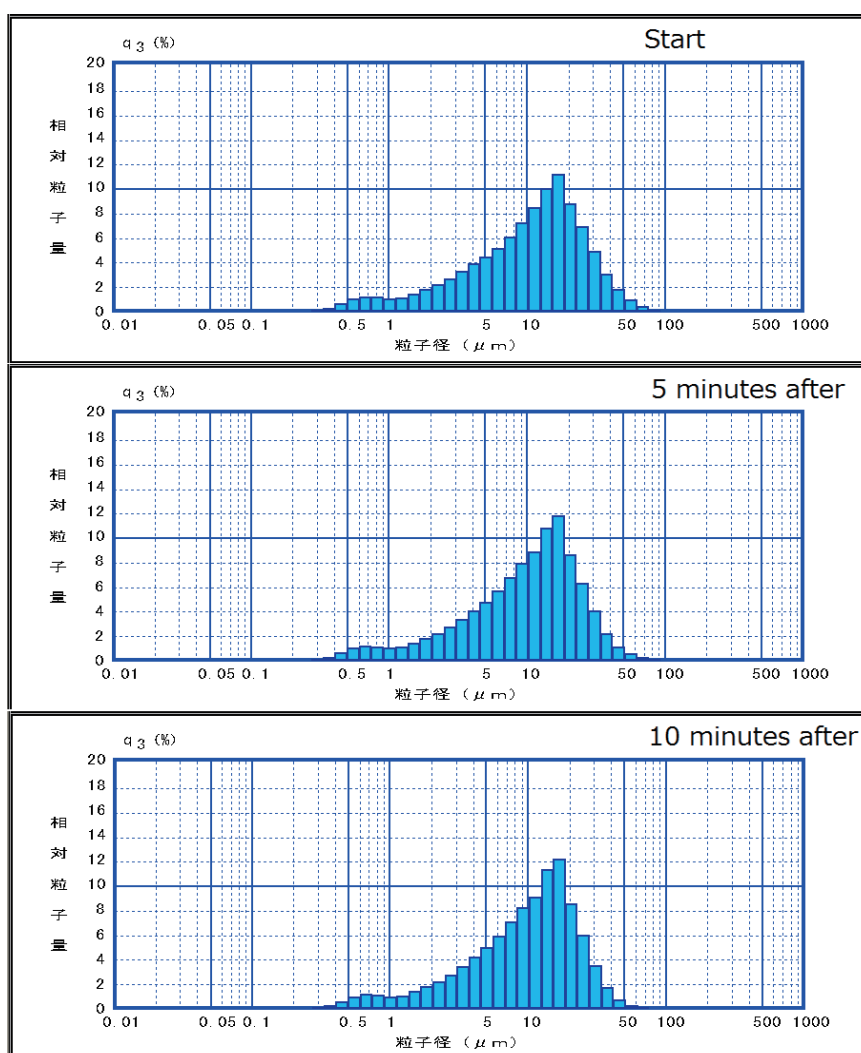
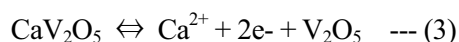


図 8-3-2 CaV_2O_5 粉末のレーザー回折・散乱式粒度分布測定

(2) 定電流充放電試験

CaV_2O_5 の結晶構造中の Ca^{2+} イオンが(3)式に従って全て充放電反応により脱離／挿入可能であ

ると仮定すると、その理論容量は 242mAhg^{-1} (CaV_2O_5 あたり)と計算される。



充放電試験を行うにあたり、この理論容量を上限容量とし、予備検討で決定された電位窓の電位範囲内で、下記の条件で定電流充放電試験を行った。

- ・ 環境温度： 20°C (恒温槽)
- ・ 電流密度： $50\mu\text{Acm}^{-2}$
- ・ 上限容量： 242mAhg^{-1} (CaV_2O_5 あたり)
- ・ 充電時の正極上限電位：
 - 1.5V vs. Ag/Ag^+ ($1\text{mol L}^{-1} \text{Ca}(\text{ClO}_4)_2/\text{AN}$) ,
 - 1.0V vs. Ag/Ag^+ ($1\text{mol L}^{-1} \text{Ca}[\text{N}(\text{SO}_2\text{CF}_3)_2]/\text{DMSO}$)
- ・ 放電時の正極下限電位：
 - -1.5V vs. Ag/Ag^+ ($1\text{mol L}^{-1} \text{Ca}(\text{ClO}_4)_2/\text{AN}$) ,
 - -2.5V vs. Ag/Ag^+ ($1\text{mol L}^{-1} \text{Ca}[\text{N}(\text{SO}_2\text{CF}_3)_2]/\text{DMSO}$)

図 8-3-3 および図 8-3-4 に、得られた試験結果を示す。いずれの電解液中でも、電位窓内の電位で上限容量までの充電・放電を行うことができ、リチウムイオン電池用正極として用いられている LiCoO_2 のおよそ 2 倍の比容量で充放電可能であることが明らかとなった。一方、電位窓の範囲内に収まっていたにも拘らず、充電後半に電解液に着色が見られたことから、カルシウムイオン脱離反応と並行して活物質の溶解反応あるいは活物質による触媒的電解液分解反応が進行している可能性が示唆された。

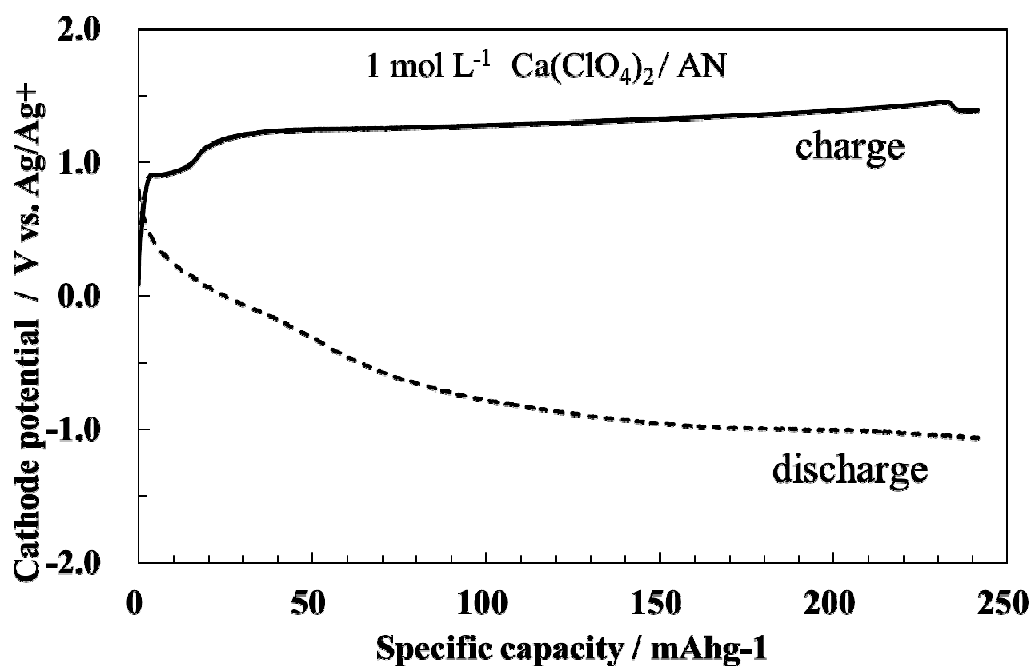


図 8-3-3 $1\text{mol L}^{-1} \text{Ca}(\text{ClO}_4)_2/\text{AN}$ 中における CaV_2O_5 正極の充放電特性

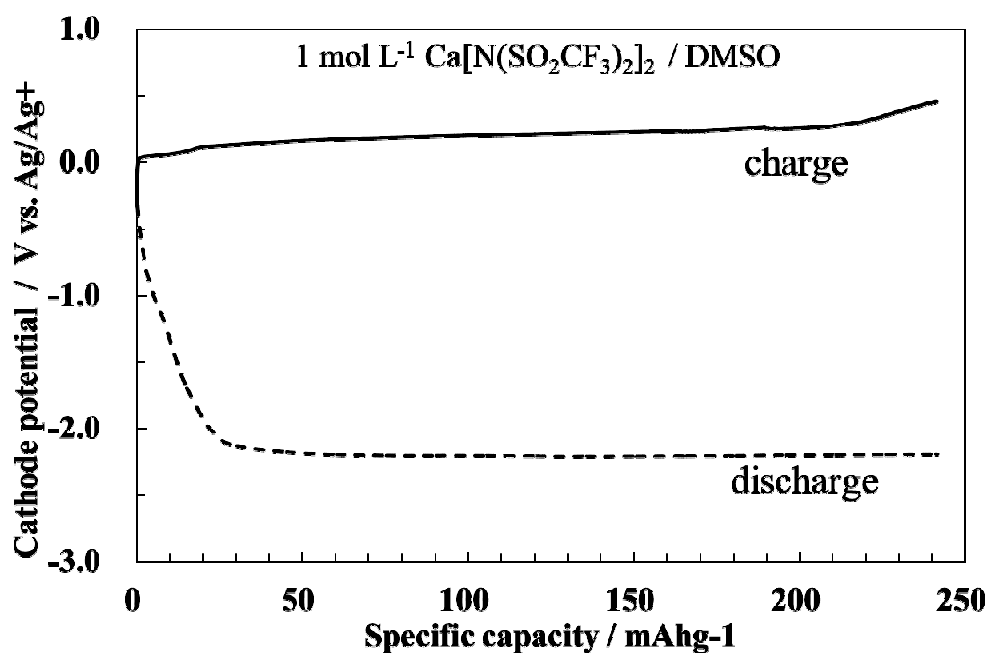


図 8-3-4 1mol L⁻¹ Ca[N(SO₂CF₃)₂]₂/DMSO 中における CaV₂O₅ 正極の充放電特性

8-4 充放電に伴う CaV₂O₅ 正極の反応機構

前節で述べたように、電気化学的には 242mAhg⁻¹ という高容量で充放電できたものの、電解液の着色が見られた。また、充電／放電電位の開きがかなりあり、反応に伴う過電圧が非常に大きい反応となっている。この特異な充放電試験結果を理解するために、充放電後の CaV₂O₅ 正極の結晶構造解析ならびに組成分析を行った。

(1) X線回折による充放電後の CaV₂O₅ 正極の結晶構造解析

各電解液を用いて 242mAhg⁻¹ の充電および充放電を行った後、グローブボックス中でセルを解体して電極を取り出し、ジメチルカーボネートで繰り返し洗浄・真空脱気を行った電極ペレットの X 線回折測定を行った。図 8-4-1 および図 8-4-2 に得られた試験結果を示す。いずれの電解液中でも、充電に伴ってピーク強度が低下しているものの、若干ではあるが全体的に高角度側にピークシフトが認められ、カルシウムイオン脱離に伴い結晶格子が収縮している可能性が示唆された。その後の放電では、ピーク位置が初期状態程度まで戻っているが、1mol L⁻¹ Ca(ClO₄)₂/AN 中の方はピーク強度がかなり低下していた。一方、1mol L⁻¹ Ca[N(SO₂CF₃)₂]₂/DMSO の方は、ピーク強度の復帰が観測されており、反応の可逆性を示唆するものと考えられる。いずれにしても、大きな構造変化を伴わずにカルシウムイオンの脱離／挿入反応が進んでいると思われるが、ピークシフトはわずかであり、今後詳細な構造解析が必要である。

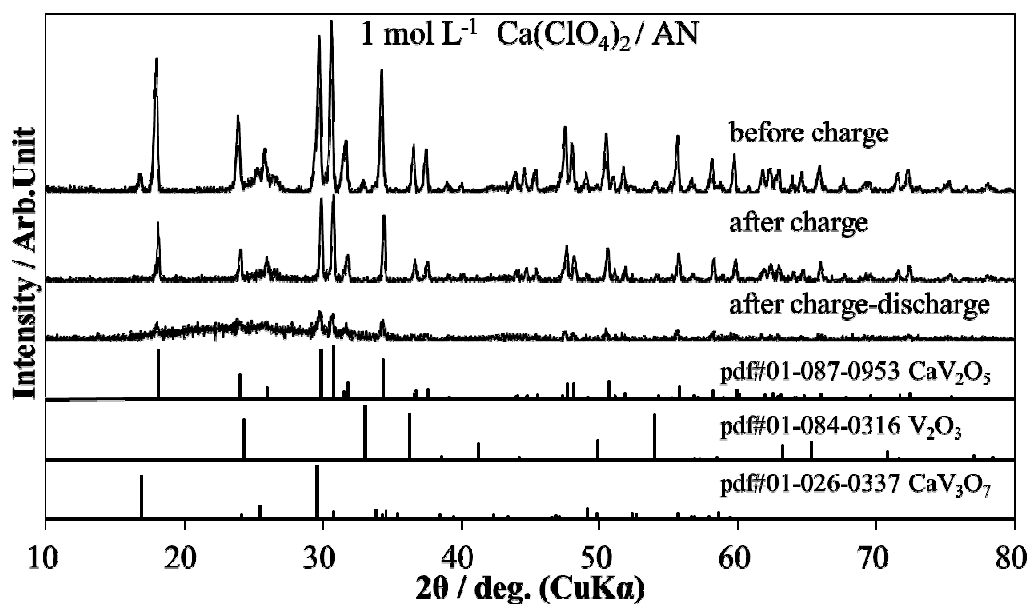


図 8-4-1 充放電前後の X R D パターン比較 (1mol L⁻¹ Ca(ClO₄)₂/AN)

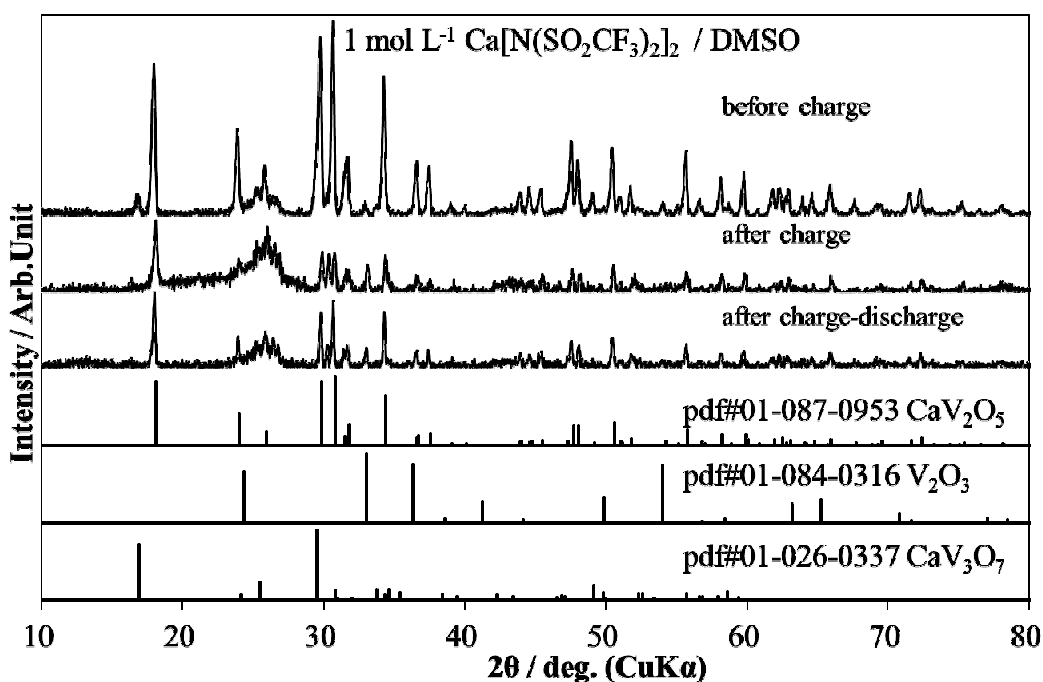


図 8-4-2 充放電前後の X R D パターン比較 (1mol L⁻¹ Ca[N(SO₂CF₃)₂]₂/DMSO)

(2) ICP-OES および EDX による解析

前項の X 線回折による検討の結果ならびに先に述べた充放電中に電解液着色が見られたことから、カルシウムイオンの脱離／挿入反応と電解液の触媒的分解反応が並行して起こっている可能性が示唆された。生じている反応を定量化する目的で、充電後、充放電後の電極中のカルシウムとバナジウムの比率変化を、誘導結合型プラズマ発光分析 (ICP-OES) およびエネルギー分散型 X 線分析 (EDX) により定量化した。その結果を表 8-4-1 に示す。

純粹にカルシウムイオンの脱離／挿入反応のみが起きているとすれば、表の「計算値」に近い値が得られるはずであるが、ICP-OES, EDX とともに高い Ca/V 比となった。測定前の洗浄不足で電極ペレット内に Ca 塩が残留していることも考えられたが、EDX スペクトルには各溶質アニオンに含まれている Cl, S がほとんど見られなかったため、この可能性は低いと考えられる。このことより、充放電反応とともに電解液の触媒的分解が副反応として存在し、電極表面に Ca を多量に含む SEI 的な皮膜を形成し、これが大きな過電圧の原因ともなっていると推察された。今後、この電極上 SEI の分析ならびに生成抑制が必要である。

表 8-4-1 CaV_2O_5 正極の ICP-OES, EDX 測定結果

電解液	状態	Ca/V モル比		
		計算値	ICP-OES	EDX
$1\text{mol L}^{-1} \text{Ca}(\text{ClO}_4)_2/\text{AN}$	充電後	0	0.49	0.48
	充放電後	0.5	0.57	0.63
$1\text{mol L}^{-1} \text{Ca}[\text{N}(\text{SO}_2\text{CF}_3)_2]_2/\text{DMSO}$	充電後	0	0.94	0.56
	充放電後	0.5	1.55	5.37

8-5 まとめ

カルシウムイオン電池用正極材料候補として CaV_2O_5 に着目し、その新規合成プロセスを検討した結果、従来のような真空封管が不要な下記の 2 種類の合成ルートで、ほぼ単相の CaV_2O_5 が合成できることを新たに明らかにした。

(a)不活性雰囲気下固相反応法： $4\text{CaVO}_3 + \text{V}_2\text{O}_3 + \text{V}_2\text{O}_5 \rightarrow 4\text{CaV}_2\text{O}_5$

(b)カルボサーマル反応法： $\text{CaV}_2\text{O}_6 + \text{C} \rightarrow \text{CaV}_2\text{O}_5 + \text{CO}\uparrow$

また、カルシウム塩を有機溶媒に溶解させた非水溶媒系電解液中で、カルシウムイオン電池用正極材料としての CaV_2O_5 の電気化学特性を初めて検討した。その結果、従来のリチウムイオン電池用正極材料である LiCoO_2 のおよそ 2 倍に相当する高容量で充電・放電可能であったが、副反応として電解液の分解反応／表面皮膜生成を伴うことが明らかとなった。

9. 電化道路電気自動車 EVER の研究

電気・電子情報工学系 教授 大平 孝

9-1 はじめに

(1) 省エネルギーの社会を目材して

鉄道の長い歴史を見てもわかるように、動力源は石炭から石油へさらに電気へと進歩している。その理由は、石炭や石油よりも電気の方が圧倒的に高効率すなわち省エネルギーだからである。自動車も同様に石炭から石油へ変化している。しかしながら、電気自動車は未だ本格普及には至っていない。何故ならば、鉄道と異なり、現在の電気自動車は大容量のバッテリーを搭載し、蓄積したエネルギーで走行するからである。

(2) 現状の電気自動車の問題点

現在の電気自動車の普及を妨げている大きな要因は、

1) 航続距離が短い、2) 充電時間が長い、3) 車両価格が高い

の3点である。航続距離を伸ばすには大容量のバッテリーを搭載する必要があり、その結果、充電時間が長くなる。加えて、車両が重くなるためエネルギー効率が低下する。また、重い重量を駆動するためには大容量のバッテリーが必要という悪循環が生じる。この悪循環から抜け出し、電気自動車が移動手段の主流となる省エネルギーでクリーンな社会を構築するにはブレークスルーとなる技術革新が不可欠である。

(3) 電化道路電気自動車

電気自動車問題解決のブレークスルー技術として、「電化道路電気自動車 EVER: Electric Vehicle on Electrified Roadway」の研究を進めている。EVER とは大容量のバッテリーを車載せず、道路インフラからエネルギーを集電して路面電車の様に走行する電気自動車である。つまり、「停車中充電」から「走行中給電」へのパラダイムシフトである。道路インフラの工事が必要であるが、全国津々浦々まで全ての道路を電化することではない。少なくとも高速道路と主要幹線道路に電化工事を施すことで、たとえば自宅から幹線道路入り口までは小容量バッテリーで走行し、幹線道路では路面からのエネルギーで走行する。そして、幹線道路から外れる際には小容量バッテリーは満充電されており、目的地までは小容量バッテリーで走行する。これが EVER の基本コンセプトである（図 9-1-1）。ゆえに、EVER の実現は大容量バッテリーの搭載を不要とする。これにより、電気自動車は一般家庭で購入できる価格となり、さらには途中で充電することなく長距離移動が可能となる。

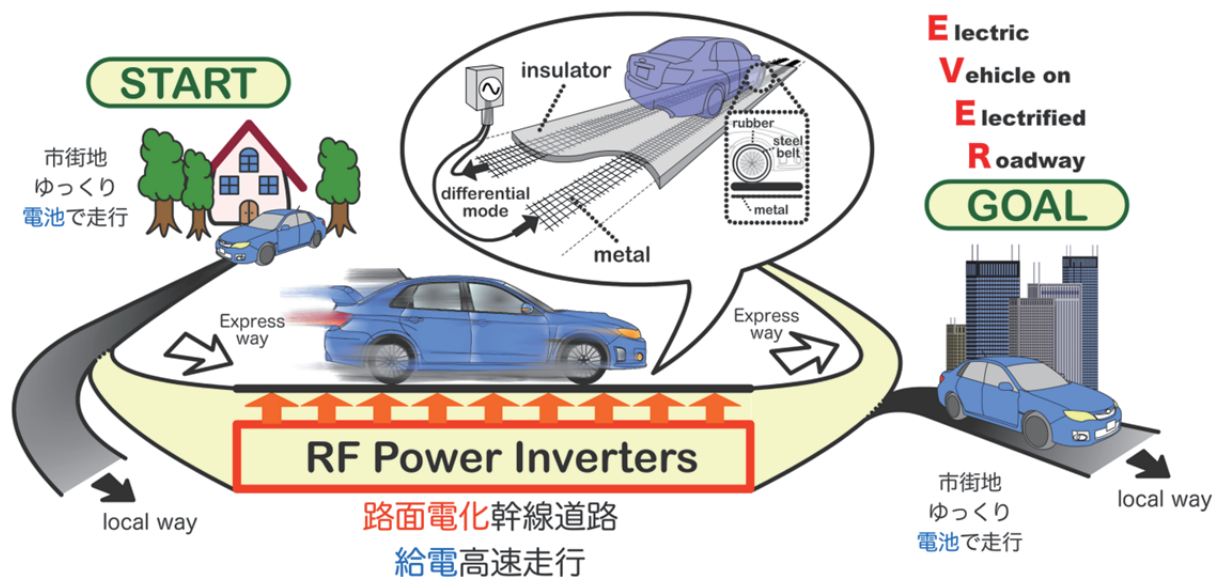


図 9-1-1 EVER のコンセプト

(4) ワイヤレス走行中給電

走行中給電技術として2つの方法がこれまで考えられている。第1の方法が架線とパンタグラフである。これは接触集電とも呼ばれており、路面電車やトロリーバスがこの方法である。この方法は接触した導体から電流をとるのでエネルギー効率は高いという特長がある。しかし、電気自動車は安全性の等の理由からワイヤレスつまり非接触で給電する必要がある、ゆえに採用が困難である。

第2の方法は電磁誘導と呼ばれる方法であり、道路に埋めた巻線コイルと車両に搭載した巻線コイルの間の磁界結合を利用する（磁気共鳴とも呼ばれている方法もこれにあたる）。この方法は非接触であり、これを実用化した車両の報告もある。この方式はコイルの間で共通の磁力線を保つことが重要であり、そのためにコイル同士互いに正しく向き合う必要がある。それゆえこの方式は停車中に高い給電効率を得る事が容易である。その反面、走行中は車が前後に移動するため、コイル間の磁気結合が低下し、給電効率が低下する。加えて、コイル間の距離を少なくとも車両の最低地上高以上はなすことになるゆえ、必然的にエアギャップ（空隙）が生じる。このエアギャップから磁界が外部へ漏洩する安全性への懸念もある。さらには、道路中にコイルを埋設するのは維持コストが高いという大きな問題もある。日々様々な場所で道路を補修している日本において、道路工事の度にコイルを埋設し直すのは非現実的である。

これらに鑑み、タイヤ集電（V-WPT: Via-Wheel Power Transfer）方式を提案する（図 9-1-1 中央上部）。本方法は、現在自動車に通常使われるタイヤはほぼすべてがトレッド表面近くにスチールベルト（導体）が埋め込まれており、これにパンタグラフの働きをさせるという革新的なワイヤレス給電方式である。インフラ側は架線のかわりとなる電極を路面下に埋設する。電極は導体平板あるいは網目状のシートでよいので道路敷設や補修時のメンテナンスが容易であることが期待できる。タイヤは常に路面に設置（ゼロギャップ）しているため、空隙による電

波漏洩も少ない。

一般にトレッド表面はゴム製であり、電極もアスファルトに覆われているため、通常の 50/60Hz の電流は流れない。そこで、電流を数 MHz 以上の高周波エネルギーに変換してタイヤに給電するという仕組みを考える。高周波エネルギーは電氣的導電性が無い材質にも流れるという性質がある。これは変位電流と呼ばれている。我々の研究成果はこの V-WPT 方式を搭載した EVER システムを試作し、高い電力伝送効率を示すと共にそのフィージビリティを明らかにした。

9-2 一般タイヤを用いたタイヤ集電 (V-WPT) 方式による電球点灯システム

(1) 概要

V-WPT 方式の肝である高周波エネルギーが電極からアスファルト、タイヤのゴムを通過し、スチールベルトに伝搬することを、60W 電球とタイヤを用いた点灯実験により明らかにする。構成を図 9-2-1 に示す。この実験により、高い電力伝送効率で 60W 電球が点灯することを確認する。

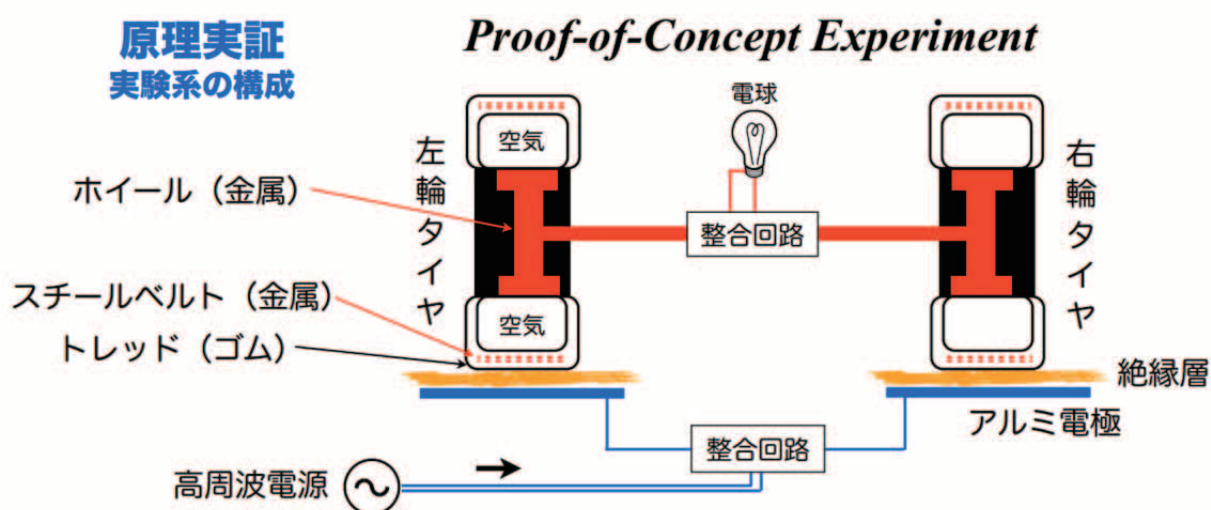


図 9-2-1 V-WPT 方式による電球点灯実証システムの構成

(2) V-WPT 方式

V-WPT 方式の原理について説明する。図 9-2-1 よりタイヤ内スチールベルトと電極は電氣的に結合しており、これはコンデンサと等価である。これを誘電結合と呼ぶ。この誘電結合により、高周波エネルギーは電極、コンクリート、タイヤゴム、スチールベルト、ホイールの順に伝搬する。このとき、高周波エネルギーを電極に印加するだけでは誘電結合部のリアクタンス値が電源の内部インピーダンスより大きいため、高周波エネルギーは電極で反射し電源側に戻ってくる。そこで、路面側および車載側に整合回路を装荷することで、路面からの高周波エネルギーを無駄なく電球へ伝える。

(3) スチールベルトと電極の誘電結合測定

本実験で使用するタイヤ内スチールベルトと電極の誘電結合を実証するため、インピーダンス測定実験を行う。測定系は図 9-2-2 の右下写真である。写真より、タイヤの頭部および底を

アルミ電極で挟み込むことで、誘電結合であるコンデンサを2個直列に接続したものと等価である。これをインピーダンスアナライザーで測定する。また、空隙による誘電結合の影響を調べるため、電極とタイヤの間に厚さ1-4cmの発泡スチロールを入れて測定する。図9-2-2の測定結果より、周波数に対しリアクタンス値が反比例して低減している。その比例係数からスチールベルト、アルミ電極の誘電結合は約160pF程度であることがわかる。また、1cmの空隙があるだけでリアクタンス値が10倍大きくなることから、空隙による誘電結合の著しい低下がわかる。以上のことから、タイヤが路面にギャップ無く接地していることの効果は絶大である。さらに、高周波エネルギーが電極からゴムを通してスチールベルトに伝搬する際の、エネルギー閉じ込め効果も期待できる。

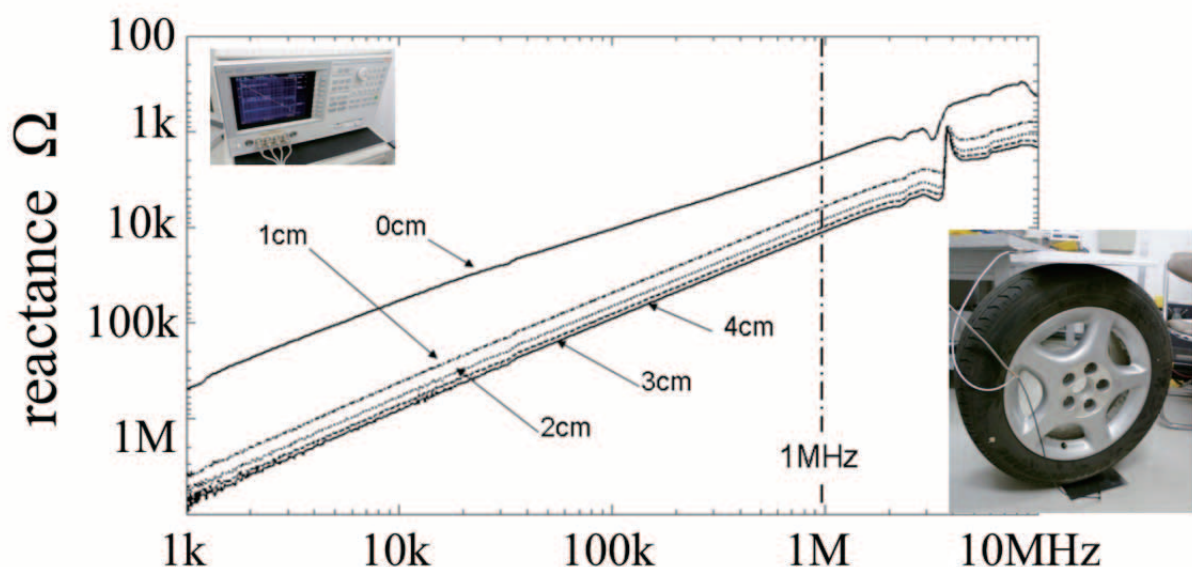


図 9-2-2 エアギャップを0から4cmまで変えた場合のタイヤ電極間リアクタンス実験
(4) 電球点灯システムの電力伝送高率測定

電球点灯実験システムを設計および試作する。試作するシステムの構成を図9-2-1に、試作した電球点灯システムの写真を図9-2-3に示す。整合回路は車両、路面側の入力インピーダンスが 50Ω となるよう設計する。電力伝送効率が最大となるよう回路パラメータを探索する。結果、設計、試作したデモシステムの電力伝送効率は85%を達成し、図9-2-3にも示すとおり白熱電球を点灯することができた。15%の損失の要因はゴムタイヤの誘電体損、コイルやコンデンサ等に含まれる内部損失等が考えられる。

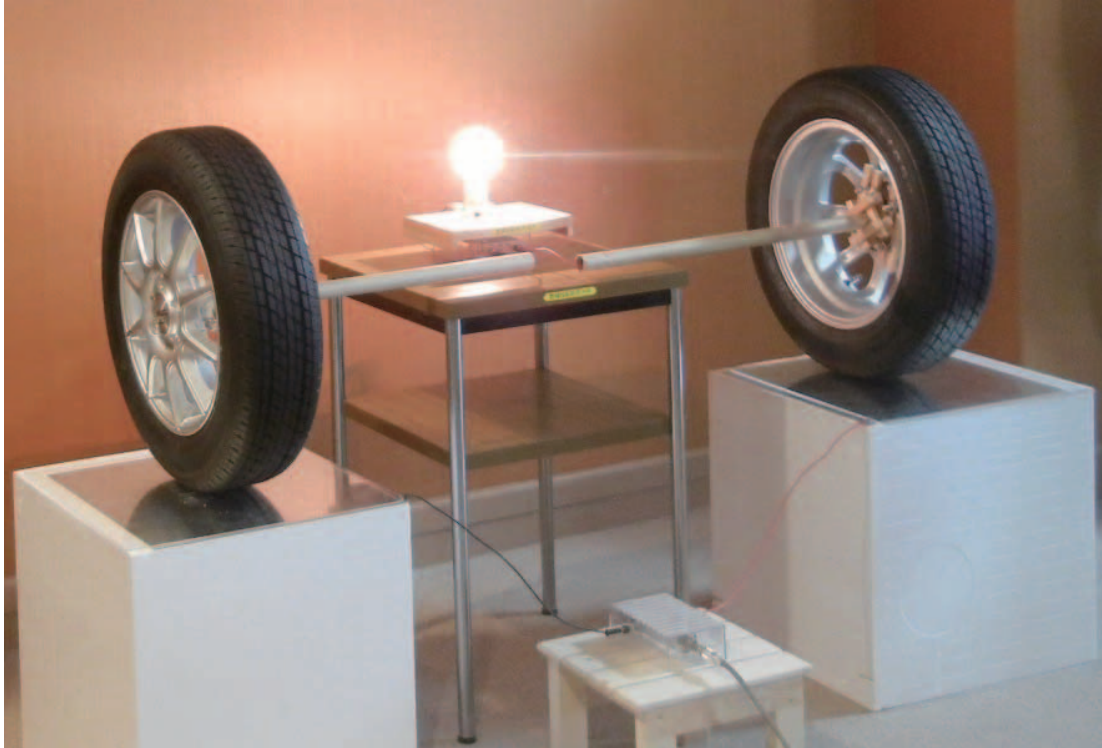


図 9-2-3 60W 白熱電球点灯実験

9-3 1/10 スケールモデル電気自動車による EVER システム

(1) 概要

9-2 節では V-WPT 方式の原理実証を行い、タイヤによる集電が十分可能であることを明らかにした。本節では V-WPT 方式のフィージビリティを示すため、電気自動車のミニチュアモデルを用いた EVER システムを設計、試作する。ミニチュアモデルは 1/10 スケールを用いる。

(2) EVER システムの構成および設計

試作する EVER システムの構成を図 9-3-1 に、試作したミニチュアモデルを図 9-3-2 に示す。EVER システムを設計するにあたり始めに設計周波数を決める。我々は周波数選択に最大有能効率 (MAE: Maximum Available Efficiency) を導入する。MAE は図 9-3-1 に示す電力伝送部の伝送効率の理論限界を表す。MAE の算出式を以下に示す。

$$\text{MAE} = K - \sqrt{K^2 - 1}$$

$$K = \frac{1 - |S_{11}|^2 - |S_{22}|^2 + |S_{11}S_{22} - S_{12}S_{21}|^2}{2|S_{12}S_{21}|}$$

S_{ij} は路面側整合回路と電極の間の線路を #1, 車載側整合回路とスチールベルトの間の線路を #2 の 2 端子対回路網としたときの散乱行列である。そして, MAE が大きくかつ整合回路の設計が容易な 30MHz 帯をキャリア周波数とする。使用モーターの要求性能より給電電力は 10W とする。以上を踏まえ, 整合回路, 整流回路の設計, 試作を行う。整合回路の設計は 9-2 節(4)と同じ手段を用いた。整流回路は交流-直流変換効率が高くなるよう, 低損失ダイオードの利用および電力伝送部のインピーダンスに適する回路トポロジーを工夫した。

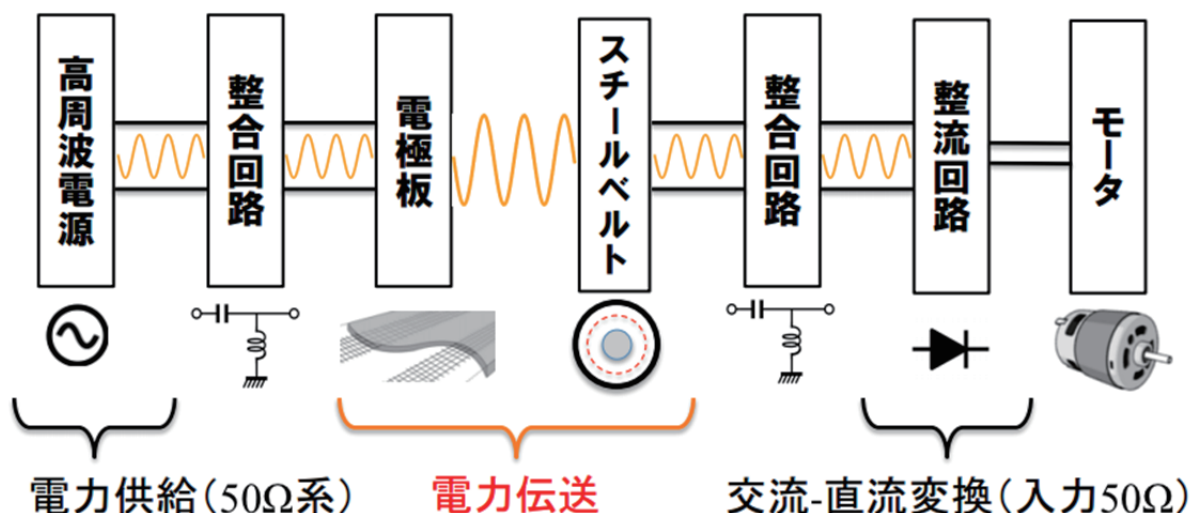


図 9-3-1 1/10 スケールモデル EVER システムの構成図

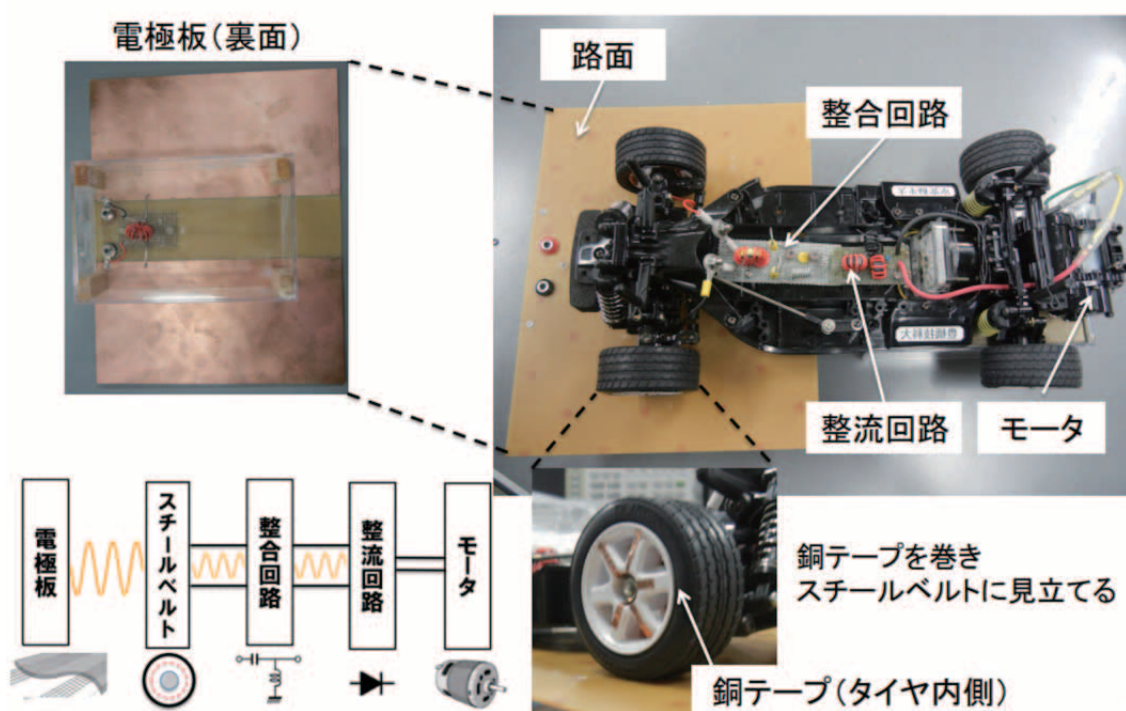


図 9-3-2 試作した 1/10 スケールモデル EVER システム

(3) 試作した EVER システムの電力伝送効率測定

試作した EVER システムの電力伝送部の電力伝送効率を測定する。図 9-3-3 の結果より整合回路装荷前と比較し、電力伝送効率は 0.36% から 61.5% と 61.1 ポイント増加した。また、試作した整流回路を搭載し、電力送電を行ったところモーターを正常に駆動できることを確認した。電力伝送部の損失の要因について、コイルおよびコンデンサの内部損失、電極板の銅表面の損失、誘電体損失等が考えられる。今後はこの損失の要因分析を行い、効率改善する予定である。

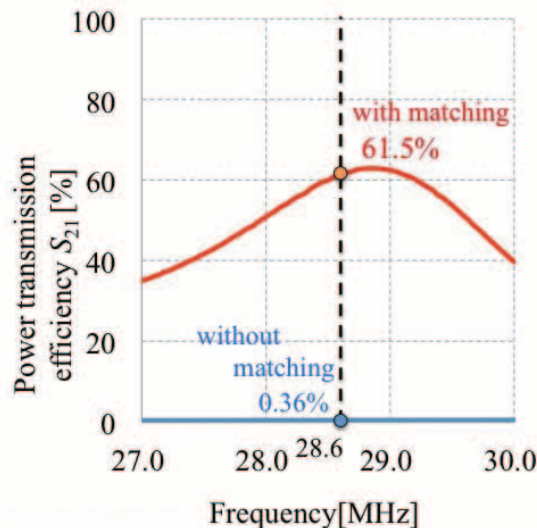


図 9-3-3 試作した EVER システムの電力伝送効率特性

9-4 研究成果

本研究の成果を展示会等に出展したので報告する。

(1) イノベーションジャパン 2012

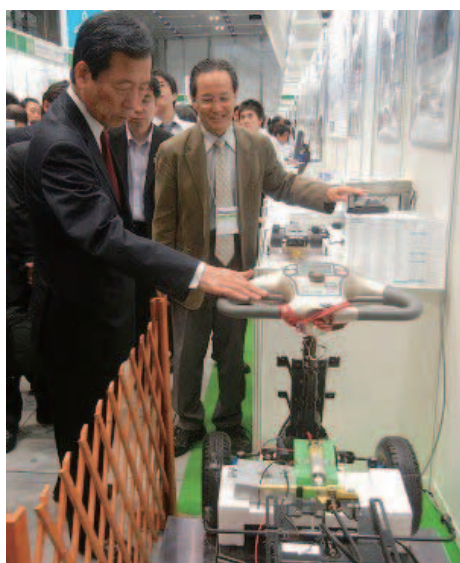
全国規模での大学発「知」の見本市であるイノベーションジャパン 2012 に、1/10 スケールモデル EVER システムを出展した。その際、当時の文部科学大臣である平野博文大臣がご視察くださった。本技術が独創的であり、他の給電技術よりも優れているご高評をたまわった（図 9-4-1(a)）。

(2) CEATEC 2012

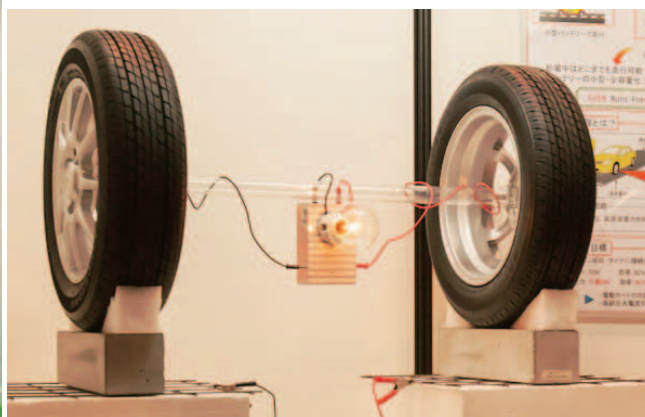
アジア最大級の最先端 IT・エレクトロニクス総合展示である CEATEC2012 に参加し、電球点灯システムおよび 1/10 スケールモデル EVER システムを動態でデモ展示した（図 9-4-1(b)）。我々の研究の独創性、有用性が評価され、「次世代イノベーション・キーテクノロジー部門 準ブランプリ」を受賞した（図 9-4-1(c)）。500 社以上ある企業の中で大学機関の受賞は CEATEC 史上初である。

(3) 報道掲載

本研究の成果に新聞 6 社、テレビ局 3 社（NHK、メーテレ、CBC）から取材を受け、朝の NHK テレビニュース「おはようニッポン」、NHK ラジオ「ラジオ朝いちばん」等で報道された（図 9-4-1(d)）。その報道後、様々な分野から大きな反響があった。



(a) 平野文部科学大臣ご視察



(b) CEATEC での電球点灯システム動態展示



(c) 次世代イノベーション・キー
テクノロジー部門 準グランプリ受賞



(d) NHK テレビ「おはようニッポン」放送



(e) 学生奨励賞受賞式の様子

図 9-4-1 研究業績写真

9-5 おわりに

タイヤ集電 (V-WPT) 方式による走行中電気自動車への給電システム EVER を提案, 原理実証実験を行い, そのフィージビリティを明らかにした。V-WPT 方式とはタイヤを集電に利用した, タイヤ内スチールベルト電極間誘電結合によるゼロギャップ無線電力伝送である。走行中 EV の位置ずれがあっても安定して電力伝送することができる。また, 周囲への電波漏洩が少ないことも期待できる。一般タイヤを用いた V-WPT 方式による電球点灯システムで電力伝送効率 85% を達成, 1/10 スケールモデル EVER システムで電力伝送効率 61.5% を達成した。

業績リスト

■報道掲載

テレビ報道: NHK, CBC, メーテレ

新聞記事: 読売新聞, 朝日新聞, 中日新聞, 日刊工業新聞, 東愛知新聞, 東日新聞

■国内発表

杉浦貴光, 鈴木良輝, 坂井尚貴, ウリン トヤ, 大平 孝, "電化道路電動カート EVER 用高効率整流回路", 信学技報, WPT, pp.7-12, Dec. 2012.

大平 孝, "電気自動車の革新的技術: ワイヤレス走行中給電," 電子情報通信学会エレクトロニクスソサイエティニュースレター, pp.31-32, Oct. 2012.

大平 孝, "[招待講演] 自動車タイヤを介するゼロギャップ走行中給電", 信学技報, WPT, pp.13-16, Aug. 2012.

水谷豊, 谷村晃太郎, ウリン トヤ, 大平孝, "高調波反射回路を挿入した 52MHz 電力増幅器の試作," 東海連大, N4-4, 2012-09.

大平 孝, "電化道路電気自動車 EVER," 自動車技術会中部支部技術交流会, 安城, 2012-08.

大平 孝, "走行中タイヤ内スチールベルトで集電する電化道路電気自動車 EVER," ワイヤレス・テクノロジー・パーク, 横浜, 2012-07.

鈴木良輝, 鳥井俊宏, 水谷 豊, 杉浦貴光, 坂井尚貴, 上原秀幸, 大平 孝, "車両タイヤによるゼロギャップ無線電力伝送," ワイヤレス・テクノロジー・パーク, アカデミアプログラム, 横浜, 2012-07.

大平 孝, "電気自動車走行中給電のためのタイヤ誘電方式," 自動車技術会春季大会, 横浜, 2012-05.

■国外発表

Takashi Ohira, "V-WPT: A Non-magnetic Non-resonant Wireless Power Transfer to Electric Vehicles (Plenary Speech)", International Forum on Electric Vehicles, Daejeon, Nov. 2012.

Naoki Sakai, "Performance Estimation of Seceret Key Agreement System Using ESPAR Antennas", IEEE AP/MTT-S Midland Student Express 2012 Autumn, S1-2, Nagoya, November 2012.

Toshihiro Torii, "Prototype 1/10 Scaled Model EVER", IEEE AP/MTT-S Midland Student Express 2012

Autumn, S1-3, Nagoya, November 2012.

Takashi Ohira, "Via-Wheel Power Transfer V-WPT to Running EVs (invited)", Energy Transfer for Electric Vehicles, Nuremberg, Oct. 2012.

Y. Suzuki, T. Sugiura, N. Sakai, M. Hanazawa, and T. Ohira, "Dielectric Coupling from Electrified Roadway to Steel-Belt Tires Characterized for Miniature Model Car Running Demonstration", IEEE MTT-S International Microwave Workshop Series on Innovative Wireless Power Transmission, IMWS-IWPT2012, pp.35-38, Kyoto, May 2012.

■展示会

未来ビークルシティシンポジウム, 豊橋技術科学大学, Dec. 10, 2012.

Microwave Exhibition, Pacifico Yokohama, Nov. 28-30, 2012.

クルマ未来博, 愛・地球博記念公園, Nov. 16-18, 2012.

Asia-Pacific Interdisciplinary Research Conference, 伊良湖シーパーク & スパ, Nov. 15-16, 2012.

International Forum on Electric Vehicle, KAIST Daejeon, Nov. 07, 2012.

Energy Transfer for Electric Vehicles Conference, Messe Nuremberg, Oct. 16-17, 2012.

CEATEC 2012, 幕張メッセ, Oct. 02-06, 2012.

イノベーションジャパン, 有楽町国際フォーラム, Sep. 27-28, 2012.

電気関係学会東海支部連合大会, 豊橋技術科学大学, Sep. 24-25, 2012.

自動車技術会中部支部技術交流会, 安城市アイシン年金基金会館, Aug. 03, 2012.

Wireless Technology Park 2012, Pacifico Yokohama, July 05-06, 2012.

■表彰

水谷豊 [学生奨励賞] 電気関係学会東海支部連合大会 2013-01-22.

波動工学研究室 [CEATEC2012 次世代イノベーション・キーテクノロジー部門準グランプリ]
CEATEC2012 AWARD 審査委員会 2012-10-4.

鈴木良輝 [WTP2012 アカデミアプログラム成績優秀者] 独立行政法人情報通信研究機構 (NICT)・YRP 研究開発推進協会・YRP アカデミア交流ネットワーク 2012-07.

崎原孫周 [学生研究奨励賞] 社団法人電子情報通信学会東海支部 2012-06-01.

10. 持続可能な移動手段の環境有効性の評価

環境・生命工学系 准教授 後藤 尚弘

10-1 二輪 EV の利用実態調査

温室効果ガス排出抑制対策の一つとしてエコカーなどの新しい交通手段が注目されている。ハイブリッドカーなどのエコカーよりも炭酸ガス排出量を大きく削減することが期待される電動バイクや電動アシスト自転車が注目されている。昨年度は電動バイクや電動アシスト自転車を最大限導入することによる炭酸ガス排出削減量を推計した。本年度は長期実態調査に基づき、より実際の利用形態を考慮した炭酸ガス排出削減量を目的とした。

(1) 二輪 EV の利用実態調査

① 二輪 EV の長期通勤利用実態調査

電動バイク、電動アシスト自転車を通勤利用する被験者それぞれ1名を選定し、1年間運転してもらい、乗車の有無（通勤利用に限る）とその理由についての調査を実施した。なお、本調査における被験者は電動バイク、電動アシスト自転車それぞれ1名ずつであるため、調査結果は必ずしも代表性があるとはいえない。しかしながら、現在、被験者数を増やしており、次年度以降にデータを増やす予定である。

利用した二輪 EV は電動バイクが SUZUKI e-Let's, 電動アシスト付き自転車が YAMAHA PAS ナチュラ M である。以下に写真と仕様を示す。



図 10-1-1 SUZUKI e-Let's



図 10-1-2 YAMAHA PAS ナチュラ M

表 10-1-1 SUZUKI e-Let's 仕様

全長 / 全幅 / 全高				1,665mm / 600mm / 985mm		軸間距離	1,150mm
最低地上高	130mm	シート高	695mm	装備重量※	72kg		
一充電走行距離	30km	最小回転半径	1.8m	原動機型式	Z801		

原動機種類	交流同期電動機	定格出力	0.58kW	
最高出力	1.7kW/ 2,050rpm		最大トルク	15N・m/ 350rpm
バッテリー種類	リチウムイオン電池		バッテリー電圧/容量	50.4V-14.2Ah (5h)
充電時間 約	4時間	バッテリー充電電源		一般家庭用 AC100V (単相)

※：バッテリー充電器を除く重量。(参考：バッテリー2個搭載時は80kg)

表 10-1-2 YAMAHA PAS ナチュラ M 仕様

サイズ	26 インチ	変 速 段 数	3 段変速付き	サドル高さ	745～885mm
26 インチ	約 25.5kg	バッテリー	6.6Ah リチウムイオンバッテリー		
充電時間	約 3.5 時間				
走行距離	強モード走行：約 24km	標準モード：約 29km		オートエコモードプラス：約 35km	

②二輪 EV の短期利用実態調査

豊橋市役所、㈱スズキと共同で社会実験を実施した。㈱スズキより電動バイク 2 台を借り受け、豊橋市役所に公用車として利用を実施した。

(2) 電動アシスト付き自転車の長期通勤利用実態調査結果

①総利用割合

全日程における期間中出勤日は 168 日であり、そのうち利用・不利用の割合は図のとおりである。半数以上が不利用であった。次に、不利用の理由の内訳を図に示す。最も多い不利用の理由は通勤以外の予定であった。次いで雨と雨、雪予報であった。

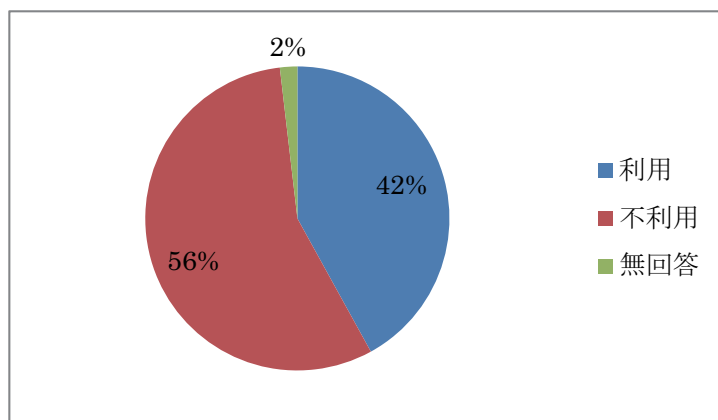


図 10-1-3 全出勤日における電動アシスト付き自転車の利用実態

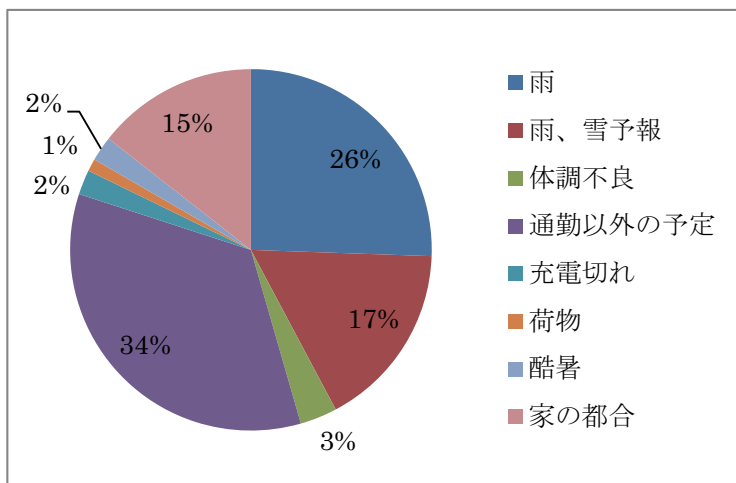


図 10-1-4 全出勤日における電動アシスト付き自転車の不利用理由

②天候別利用割合

次に天候別の利用割合を示す。図は晴天時における電動アシスト付き自転車の利用実態である。こちらも図と同様に、出勤日のうち電動アシスト付き自転車を通勤利用した日は約半数にとどまっている。次に、晴天時の不利用の理由の内訳を図に示す。最も多い不利用の理由は通勤以外の予定であった。次いで家庭の都合、雨予報であった。

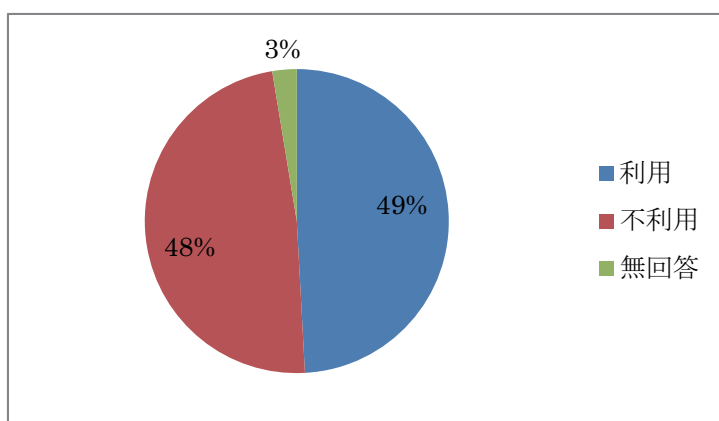


図 10-1-5 晴天時における電動アシスト付き自転車の利用実態

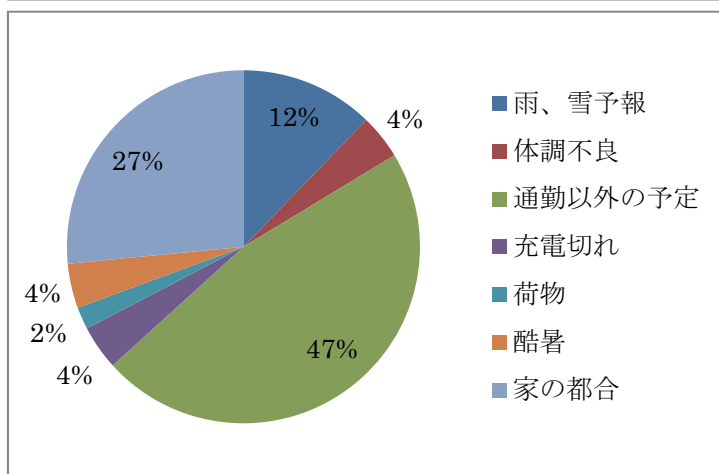


図 10-1-6 晴天時における電動アシスト付き自転車の不利用理由

次に曇天時の利用割合を示す。図は曇天時における電動アシスト付き自転車の利用実態である。曇天時の場合に、出勤日のうち電動アシスト付き自転車を通勤利用した日は約 30%にとどまって

いる。次に、曇天時の不利用の理由の内訳を図に示す。最も多い不利用の理由は雨予報の予定であった。次いで通勤以外の予定、体調不良であった。雨天時は 100%不使用であるために、図は割愛した。

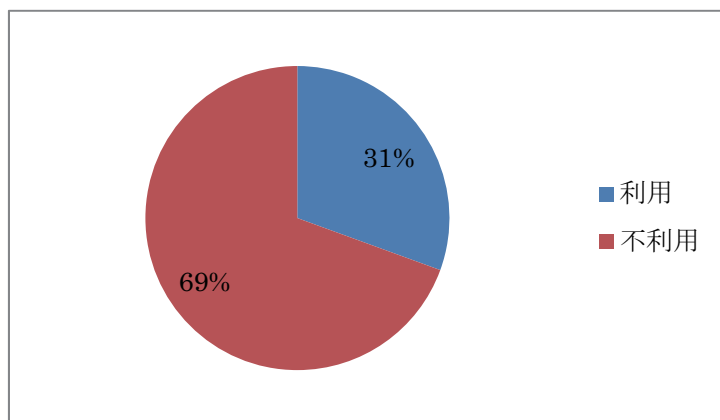


図 10-1-7 曇天時における電動アシスト付き自転車の利用実態

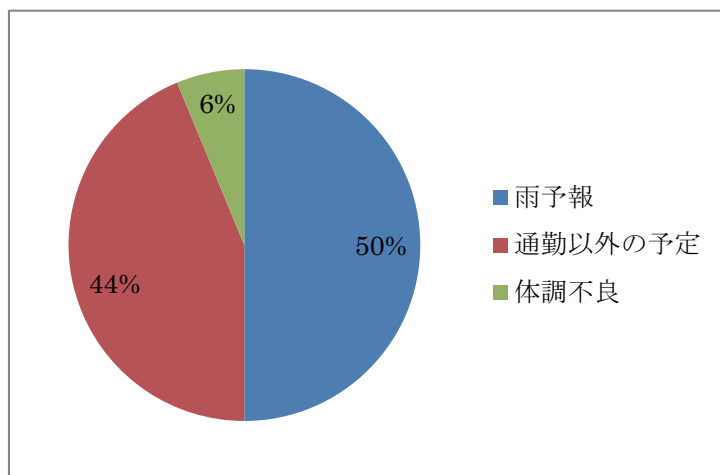


図 10-1-8 曇天時における電動アシスト付き自転車の不利用理由

③気温との関係

最高気温と電動アシスト付き自転車の不利用率の関係を示す。30-36℃もしくは0-4℃での不利用率が上昇している。特に高温の場合は非利用の理由として「酷暑」が挙げられるので、自転車利用は酷暑によって身体の快適性が著しく損なわれることが確認されたといえよう。また、最低気温と電動アシスト付き自転車の不利用率の関係を示す。図によると最低気温が上昇するにつれて、不利用率が上昇している。最低気温はほとんどが早朝に記録されることから、出勤時の体感に関係が深いと思われる。特に最低気温 25℃以上での不利用率が急激に上昇している。

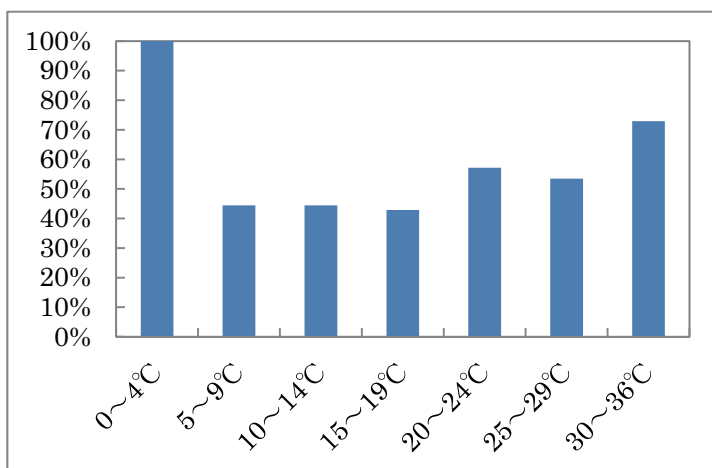


図 10-1-9 最高気温と電動アシスト付き自転車の不利用率の関係

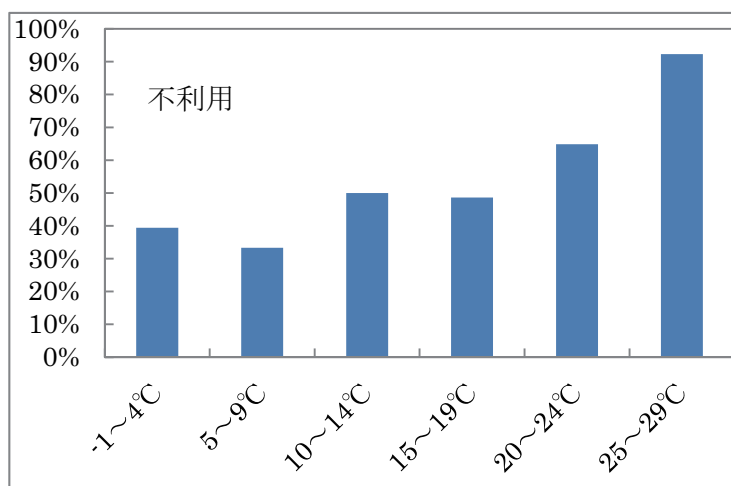


図 10-1-10 最低気温と電動アシスト付き自転車の不利用率の関係

④まとめ

電動アシスト付き自転車の通勤利用についての実態を調査した。それまでに通勤で自家用車を使っていた人が電動アシスト付き自転車を通勤利用した場合、その利用頻度は全通勤日の約半数であることがわかった。電動アシスト付き自転車を使用しなかった理由で最も多かったのが「所用がある」とのことから、自転車の特性に起因する理由（雨天、身体的疲労など）ではなく、ライフスタイルに起因する理由から自転車を利用しないことがわかる。一方、気温との関係から、高温での自転車利用率も下がることがわかった。

（３）電動バイクの長期通勤利用実態調査結果

①総利用割合

期間中出勤日の電動バイクの利用・不利用の割合は図のとおりである。半数近くが不利用であった。次に、不利用の理由の内訳を図に示す。最も多い不利用の理由は業務で乗用車を利用する予定があったためであった。次いで雨、私用であった。電動バイク不利用として気温寒冷がある。これは電動アシスト付き自転車不利用理由の酷暑と異なり、気温の低さがバイク利用に影響を及ぼすことが読み取れる。

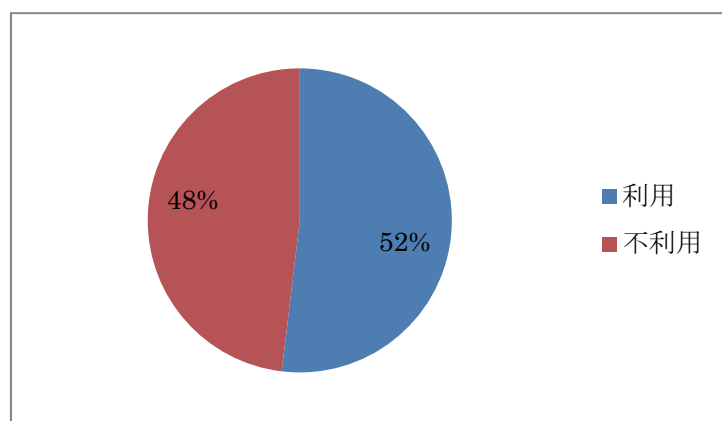


図 10-1-11 電動バイク自転車の利用実態

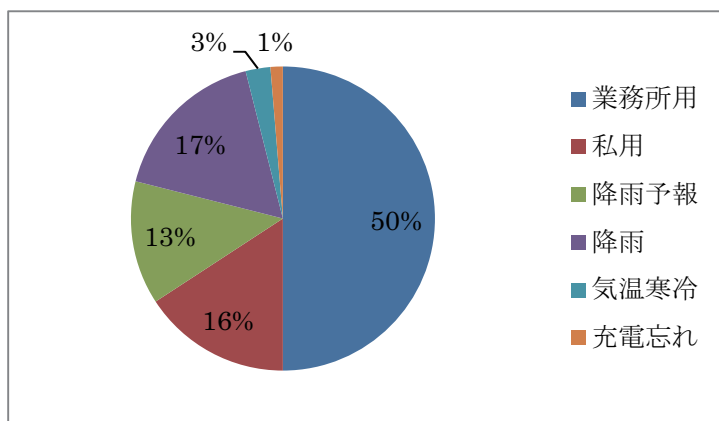


図 10-1-12 電動バイク不利用の理由

②天候別利用割合

次に天候別の利用割合を示す。図は晴天時における電動バイクの利用実態である。こちらも図と同様に、出勤日のうち電動バイクを通勤利用した日は約6割にとどまっている。次に、晴天時の不利用の理由の内訳を図に示す。最も多い不利用の理由は業務利用であった。次いで私用、雨予報であった。

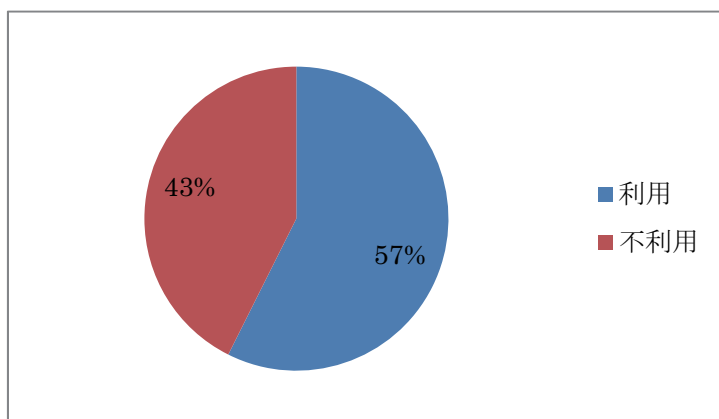


図 10-1-13 晴天時における電動バイク自転車の利用実態

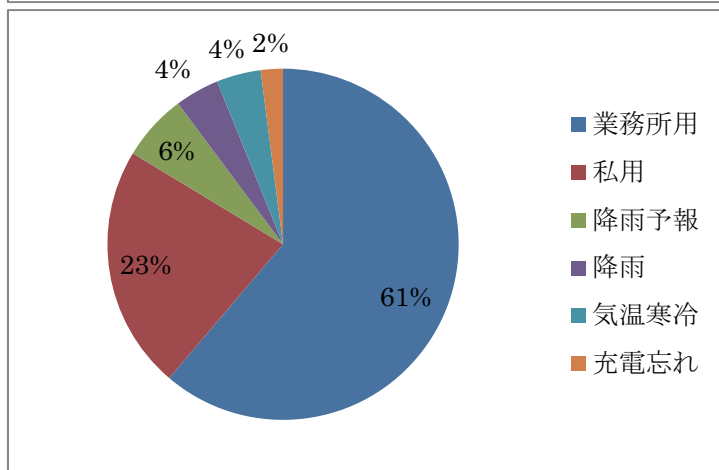


図 10-1-14 晴天時における電動バイク自転車の不利用の理由

図に曇天時における電動バイクの利用実態を示す。出勤日のうち電動バイクを通勤利用した日は約6割にとどまっている。次に、曇天時の不利用の理由の内訳を図に示す。最も多い不利用の理由は業務利用であった。次いで雨予報であった。

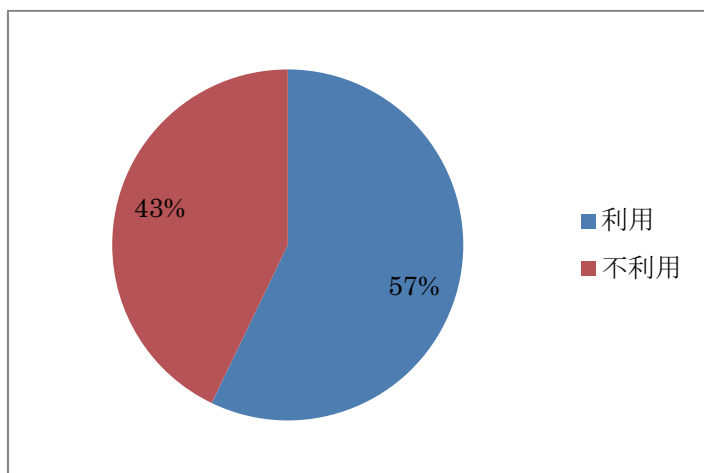


図 10-1-15 曇天時における電動バイクの利用実態

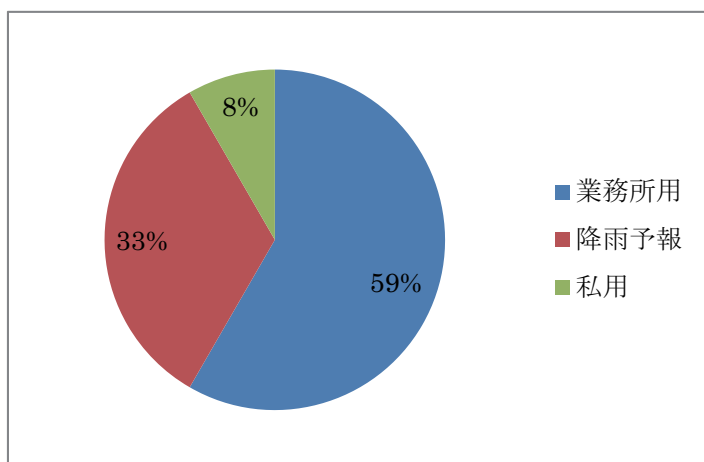


図 10-1-16 曇天時における電動バイク自転車の不利用の理由

③気温との関係

最高気温と電動バイクの不利用率の関係を示す。電動アシスト付き自転車と異なり 30-36℃では不利用率は上昇しなかった。しかしながら、0-4℃での不利用率が上昇している。前述したように、電動バイクの不利用理由に気温寒冷がある。これにより、寒冷な気温がバイク利用の身体快適性を著しく損なうことが示唆される。また、最低気温と電動バイクの不利用率の関係を示す。こちらは最低気温によっては不利用率に変化がなかった。最低気温は出勤時の体感に近いことから、通勤にバイクを利用するかしないかの判断材料の一つは最低気温と考えられる。これは体感以外にも天気予報などを見ての判断ではないかと考えられる。

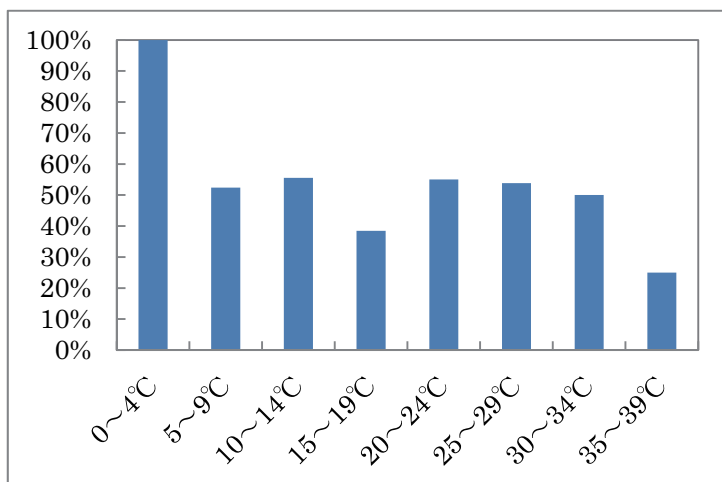


図 10-1-17 最高気温と電動アシスト付き自転車の不利用率の関係

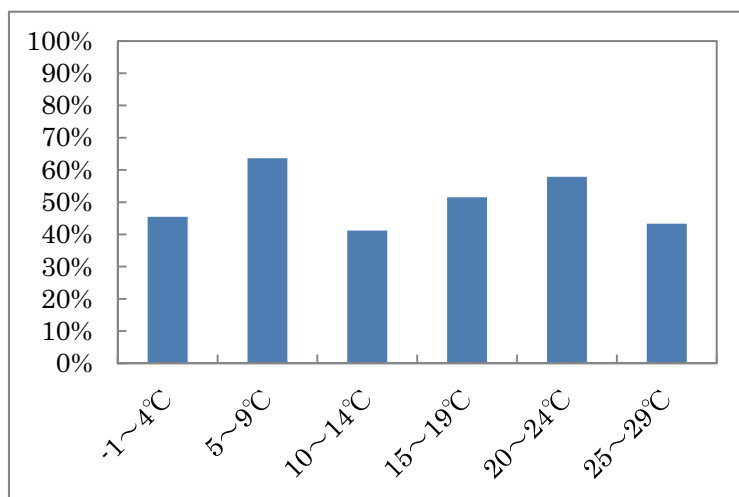


図 10-1-18 最低気温と電動アシスト付き自転車の不利用率の関係

④まとめ

電動バイクの通勤利用についての実態を調査した。それまでに通勤で自家用車を使っていた人が電動バイクを通勤利用した場合、その利用頻度は全通勤日の約 60%であることがわかった。電動アシスト付き自転車に比べて不利用率が低い理由は、電動バイクは電動アシスト付き自転車に比べて身体への快適性を著しく損なわないためと思われる。また、電動バイクを使用しなかった理由で最も多かったのが「業務利用がある」とのことから、バイクの特性に起因する理由（雨天、身体的疲労など）ではなく、ワークスタイルに起因する理由からバイクを利用しないことがわかる。一方、気温との関係から、低温でのバイク利用率も下がることがわかった。

（４）電動バイクの短期利用実態調査結果

豊橋市役所での公用車としての電動バイクの利用に関して、不利用の理由を図に示す。最も多い理由は複数人での移動であった。ついで荷物が多い、車の運転に慣れていると続く。これにより、電動バイクの利用は業務の特性によるものと考えられる。

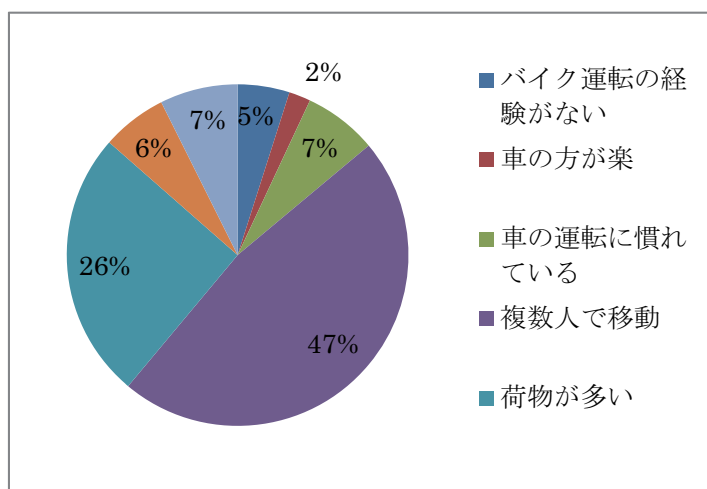


図 10-1-19 電動バイクを公用車として利用しなかった理由

（５）考察

二輪 EV の通勤利用は、炭酸ガス排出量軽減に大いに貢献するが、実際には利用率は 50-60% に留まる。利用率を下げる要因としてライフスタイル、ワークスタイル、気温が挙げられることが分かったが、特にライフスタイル、ワークスタイルが影響を及ぼす。家庭と職場との単純な往復には二輪 EV が利用されるが、それ以外の場合は二輪 EV は選択されない。家庭―職場間の単純往復を増やすためには、職住の接近が有効であろう。住→職→他所→住の 3 角移動を避けるためには、住→職→住→他所→住の住を中心とした移動が実現する環境が必要となろう。

一方、短期調査でもわかるように二輪 EV は移動手段としては乗用車ほど認知はされていない。乗用車の特性である複数人が同時移動可、荷物を多く運べるに関しては二輪 EV は超えることができない。しかしながら、二輪を運転したことがない、もしくは慣れていないと回答も見られた。よって、二輪 EV をまずは体験することが利用者を増やすことにつながるのではないと思われる。

10-2 二輪 EV 利用による炭酸ガス排出削減量の推計

昨年度二輪 EV 利用による炭酸ガス排出削減量を推計したが、本年度は二輪 EV 利用実態調査の結果を踏まえた推計を報告する。

（１）我が国の温室効果ガス排出状況

我が国の 2011 年度の運輸部門からの炭酸ガス排出量は 2 億 3,000 万トンであり、これは全体の排出量の 18.5% に相当する。基準年(1990)と比べると 5.8% (1,260 万 t-CO₂) 増加した。これは、貨物輸送需要の自家用トラックから営業用トラックへの転換に伴う輸送効率の改善等により貨物からの排出量が減少（基準年比 17.4% 減）した一方で、自家用乗用車の交通需要が拡大したこと等により、旅客からの排出量が増加（基準年比 27.7% 増）したことによる。

また、前年度と比べると 0.8% (200 万 t-CO₂) 減少した。1990 年度から 2001 年度までは増加傾向にあったが、その後は減少傾向が続いている。これは、自家用乗用車からの排出量が前年度比 1.3 % (150 万 t-CO₂) 及び貨物自動車・トラックからの排出量が同比 1.2% (100 万 t-CO₂) 減少したこと等による。（以上、環境省資料より）

（２）自家用乗用車通勤利用による炭酸ガス排出量推計

運輸部門のうち自家用乗用車による炭酸ガス排出量は 11,680 万 t-CO₂ であり、運輸部門全体の 50.8% を占める。

(http://www.mlit.go.jp/sogoseisaku/environment/sosei_environment_tk_000007.html)。

他の部門が前年比で減少している中、自家用乗用車の炭酸ガス排出量のみ増加している。しかしながら、マイカーによる炭酸ガス排出量はレジャー利用も含むため、通勤・通学用を抽出する必要がある。通勤・通学用の乗用車利用による炭酸ガス排出量推計方法を以下に示す。

国勢調査より通勤・通学をする人数は 57,797,000 人であり、同じく国勢調査よりそのうち 46.6%

が自家用車だけの利用者である。

表 10-2-1 通勤手段統計（全国） 国税調査（%）

徒歩だけ	電車だけ	バスだけ	自家用車だけ	オートバイ, 自転車だけ	複数
7.4	14.0	2.8	46.6	15.6	12.8

よって、通勤通学で乗用車を利用する人数は

$57,797,000 \text{ 人} \times 46.6\% \div 26,900,00 \text{ 人}$

となる。乗用車の炭酸ガス排出原単位は以下のように表す。

$2.32\text{kg-CO}_2/\text{L} \div 13\text{km/L} = 0.178\text{kg-CO}_2/\text{km}$ * $2.32\text{kg-CO}_2/\text{L}$ はガソリン車の CO_2 排出係数

上式では燃費を 13km/L としているが、国土交通省資料によると車体重量等によって燃費は大きく異なるので、乗用車の炭酸ガス排出原単位としては $0.1 \sim 0.4\text{kg-CO}_2/\text{km}$ まで大きな開きがある。

通勤距離が 25km 通勤日数を 240 日とすると、

$26,933,40 \text{ 人} \times 0.178\text{kg-CO}_2/\text{km} \times 25\text{km} \times 2 \times 240 \text{ 日} = 5,700 \text{ 万 t-CO}_2$

になり、マイカーからの CO_2 排出量の約 81% を占める。

計算に用いたデータを以下の表に示す。

表 10-2-2 通勤用自動車から排出される炭酸ガス推計に用いたデータ

通勤・通学 人	自動車通勤割合 %	人数 人	通勤距離 km	通勤日数 日
57,797,000	46.6	26,900,000	25	240

通勤距離は国土交通省資料より 通勤日数は年間の休日日数を 125 日として計算

（３）電動バイク、電動アシスト付き自転車の炭酸ガス排出量

電動バイクの炭酸ガス排出量は、家庭用電源 100V 、 5A で 4 時間充電することによって 30km 走行可能とする。

炭酸ガス排出原単位は以下のようになる。

$100 \times 5 / 1000 \times 4 \times 0.294 / 30 = 0.020\text{kg-CO}_2/\text{km}$ * 0.294 は kWh 当たりの炭酸ガス排出量

電動バイク、電動アシスト自転車、乗用車の炭酸ガス排出原単位を以下に示す。電動アシスト自転車は 100km/kWh を想定している（草津市資料より）。

表 10-2-3 電動バイク、電動アシスト自転車、乗用車の炭酸ガス排出原単位 $\text{kg-CO}_2/\text{km}$

電動バイク	電動アシスト自転車	乗用車
0.02	0.003	0.178

よって、乗用車から電動バイクに交通手段を変えるだけで年間一人当たり

$$(0.178-0.02) \times 25\text{km} \times 2 \times 120 \text{ 日} = 950\text{kg-CO}_2$$

よって、乗用車から電動アシスト自転車に交通手段を変えるだけで年間一人当たり

$$(0.178-0.003) \times 25\text{km} \times 2 \times 120 \text{ 日} = 1050\text{kg-CO}_2$$

の炭酸ガスを削減することができる。(前述の利用実態調査より、通勤日数の半数の 120 日程度の利用が見込まれるため)

(4) 電動バイク、電動アシスト自転車の導入ポテンシャル

現状では通勤・通学者の利用交通手段は以下のとおりである。

表 10-2-4 全国、愛知県、豊橋市における通勤・通学者の利用交通手段の割合

	徒歩だけ	電車だけ	バスだけ	自家用車 だけ	オートバイ、 自転車だけ	複数
全国	7.4	14.0	2.8	44.3	15.6	12.8
愛知	6.7	10.2	1.7	51.3	15.1	12.3

全国・愛知は国勢調査より

全国の通勤・通学者の割合をベースに乗用車から電動バイクへ交通手段を変更した場合を考える。以下に、乗用車と電動バイクの割合の変動による炭酸ガス排出量を図 10-2-1 に示す。図 10-2-1 によると現在乗用車を通勤・通学に使っている人がすべて電動バイクに切り替えた時は、CO₂ 排出量を 1/10 にすることができる。

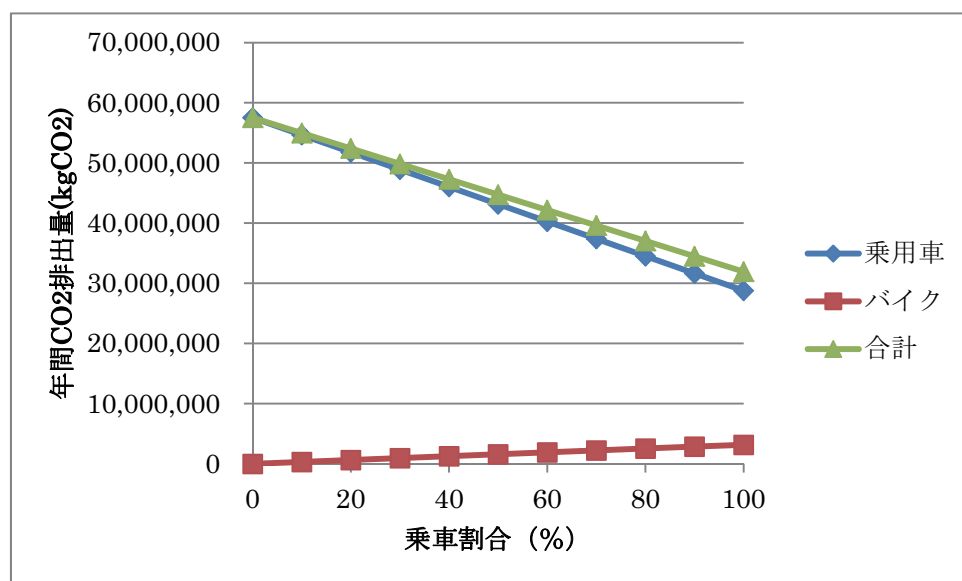


図 10-2-1 乗用車と電動バイクの割合の変動による炭酸ガス排出量

しかしながら、電動アシストバイクは1回の充電での走行距離が限られている。上記電動バイクの場合は 30km である。よって、片道で 15km の通勤利用が限界であると考えられる。通勤距離

が 15km 以下の人数を推計する必要があるが、通勤距離の分布は不明である。しかしながら、国勢調査により通勤時間の分布はわかる。

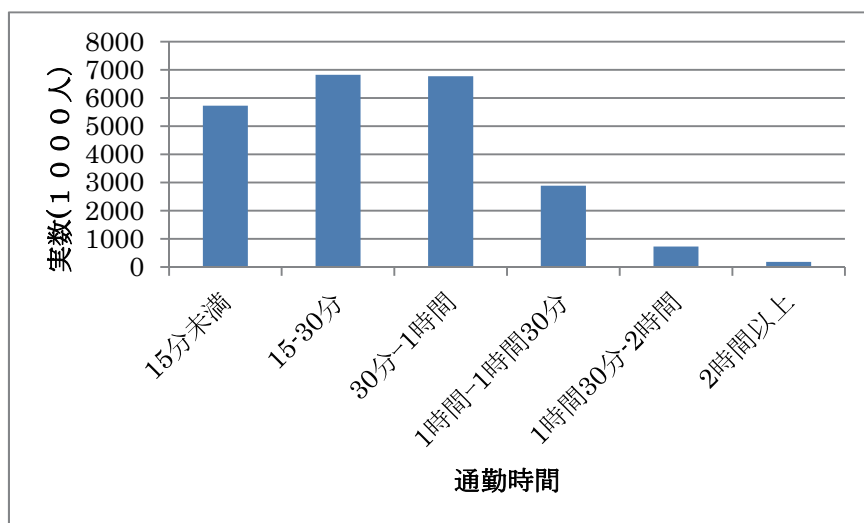


図 10-2-2 通勤時間の分布

図 10-2-2 の通勤時間の平均を計算すると 35 分になることから、平均の通勤距離 25km と平均の通勤時間 35 分が同じであると仮定する。これによって、通勤距離の分布図を得ることができる。

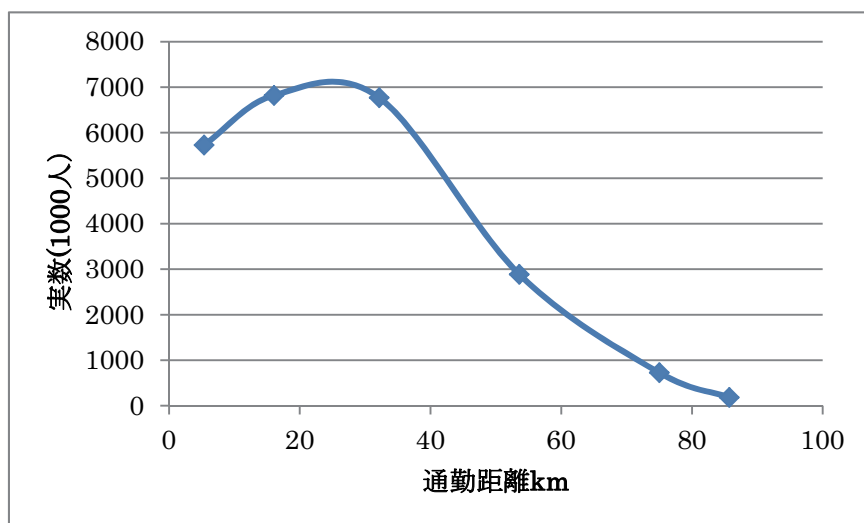


図 10-2-3 通勤距離の分布

10-2-3 図によると、通勤距離が 15km 以下は通勤時間が約 20 分以下に相当し、人数は全体の約 35%を占める。つまり、自動車利用の 35%が電動バイクへの以降の可能性はある。

よって、電動バイクの利用による通勤時の炭酸ガス削減の最大値は 900 万 t-CO₂ と推測することができる。これは現状の乗用車の通勤利用(25km 圏内)による炭酸ガス排出量の約 15%に相当する。

一方、乗用車利用から電動アシスト付き自転車への利用変更も考えられるが、電動アシスト自転車は電動バイクに比べて通勤可能距離が短くなると考えられる。本調査では 5km を電動アシスト付き自転車による通勤可能距離と仮定すると、通勤時間は 7 分に相当し、人数は全体の約 12%

を占める。よって、電動アシスト付き自転車の利用による通勤時の炭酸ガス削減の最大値は 170 万 t-CO₂ と推測することができる。これは現状の乗用車の通勤利用（5km 圏内）による炭酸ガス排出量の約 14%に相当する。

10-3 結論

実態調査より二輪 EV の利用は 50-60%の利用しかないことがわかった。その理由として、仕事や生活のスタイルや気温が関係している。

全国における二輪 EV の利用による炭酸ガス排出量低減は電動バイクの通勤利用によって最大値は 900 万 t-CO₂（現状の通勤 25km 圏内の約 15%に相当）、電動アシスト付き自転車の通勤利用によって最大値は 170 万 t-CO₂（現状の通勤 5km 県内の約 14%に相当）になることがわかった。

成果報告

1. 未来ビークルシティリサーチセンター第16回シンポジウム開催報告

未来ビークルシティリサーチセンター
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、自動車の環境負荷低減技術の開発とその実用化・普及を促進する産学官連携が期待されています。このような背景の下、平成24年12月10日に本学において、「環境先進車両の開発動向と次世代給電技術」と題して、未来ビークルシティリサーチセンター第16回シンポジウムを開催致しました（別添プログラム参照）。



大平 孝 教授
(豊橋技術科学大学)

本シンポジウムでは、新しいコンセプトに基づく電気自動車の次世代給電技術ならびに二次電池を活用した環境先進車両の開発状況、および、産学官連携による中部地域の次世代自動車地域産学官フォーラムの取り組み状況に関して、この分野の第一線でご活躍中の方々にご講演頂きました。



川島 博幸 氏
(スズキ (株))

まず始めに、走行中の電気自動車へ路面から給電する技術の開発状況について、本学電気・電子情報工学系 大平教授からデモンストレーションも交えてお話を伺いました。続いて、スズキ (株) が推進する電気自動車開発への取り組みについて、スズキ (株) 開発企画部 川島氏にご講演頂くとともに、中部経済産業局次世代自動車室長 柳原氏に、次世代自動車地域産学官フォーラムの取り組み状況についてご紹介頂きました。



柳原 和男 氏
(中部経済産業局)

当日は、学外から 51 名、学内から 75 名、計 126 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。

豊橋技術科学大学 未来ビークルシティリサーチセンター
第16回シンポジウム

「環境先進車両の開発動向と 次世代給電技術」



- 日時：平成24年12月10日(月)13:30～16:10
- 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 未来ビークルシティリサーチセンター
- 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

- | | |
|-------------|---|
| 13:30～13:35 | 開会挨拶
豊橋技術科学大学 副学長
未来ビークルシティリサーチセンター長 角田 範義 |
| 13:35～14:25 | 【講演1】
「走行中の電気自動車へ路面から給電する技術の開発」
豊橋技術科学大学
電気・電子情報工学系 教授 大平 孝 |
| 14:25～14:35 | 休憩 |
| 14:35～15:25 | 【講演2】
「スズキの電気自動車開発への取り組み」
スズキ（株）開発企画部
第二プロジェクト 技術専門職 川島 博幸 氏 |
| 15:25～16:05 | 【講演3】
「次世代自動車地域産学官フォーラムの取り組み」
中部経済産業局
次世代自動車室長 柳原 和男 氏 |
| 16:05～16:10 | 閉会挨拶
豊橋技術科学大学
電気・電子情報工学系 教授 櫻井 庸司 |

未来ビークルシティリサーチセンター 研究成果展示 オープンキャンパス

研究成果展示

未来ビークルシティを体験しよう

日時：平成24年8月25日

場所：豊橋技術科学大学

実施内容：

センター紹介ポスター・研究ポスターの展示

電気自動車 運転体験（デモ）

ドライビングシュミレータ体験（デモ）

全方位シームレスプロジェクションシステム体験（デモ）

電動アシスト自転車 運転体験（デモ）

未来のビークルシティを実現する最先端の技術科学を、地域住民や企業の方などにご紹介しました。

当センターブースへの総来場者数は、810名で内体験者数は、225名でした。

今年度は、センターとしては初めてスタンプラリーを実施しました。多くの方に参加していただき、どのブースも好評のうちに終了いたしました。

ご来場の皆様、暑い中、当センターブースへ足をお運びいただき、ありがとうございました。



未来ビークルシティリサーチセンター

ものづくり博2012 in 東三河

ものづくり博2012 IN 東三河

日時：平成24年11月30日～12月1日

場所：豊橋市総合体育館

・未来の‘のりもの’コンクール INもの
づくり博2012

(主催：未来ビークルシティリサーチセンタ
ー、豊橋ものづくり振興会)

「乗ってみたいな」「あると便利だな」そんなゆめのある‘のりもの’の絵を小・中学生を対象に募集したところ、小学生57名、中学生223名の応募ありました。どれも素晴らしい作品でしたが、その中でも特に優秀な40作品(小学生20作品、中学生20作品)を選考し、ものづくり博会場で表彰しました。また、会場では、すべての応募作品を展示しました。応募していただいた皆さん、そして、今回ポスターコンクール開催にあたり、ご協力いただきました関係者の皆様に厚く御礼申し上げます。

・章忠教授のドライビングシミュレータ出展

ブースへの来場者は、約300名(うちシミュレーター体験者は、297名)でした。ドライビングシミュレータでは、子供から大人まで多くの方が、未来シティの走行を体験しました。また、トヨタ自動車名誉会長にもお立ち寄りいただきました。



ポスター募集！

小学生、中学生のみんな、ぜひ応募してね！
(かんじがよめないこは、おとなによんでもらってね！)

未来の‘のりもの’コンクール

「乗ってみたいな」「あると便利だな」
そんな 夢のある ‘のりもの’ を
絵に描いて応募しよう！

in ものづくり博2012

応募について

期間：6月1日～9月14日

対象：東三河の小学生・中学生

方法：次の3点をそろえて申し込み

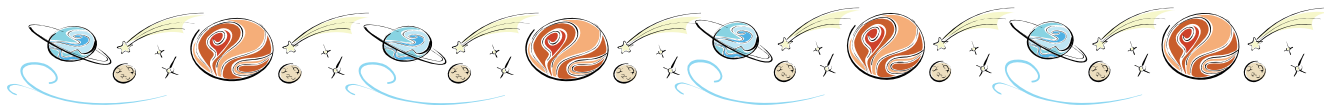
①ハつ切り画用紙

「夢の ‘のりもの’ を描いたもの」

②アイデア用紙（指定用紙）

「描いた絵の説明」

③ 参加申込書（裏面）



表彰・展示

表彰：優秀作品をものづくり博会場にて表彰

【副賞】エコエネルギー実験キット（来年の自由研究に！）

展示：応募作品はすべてものづくり博会場に展示

【参加賞】応募者のうち200名に会場にて素敵な文房具を
お渡しします



SAMPLE

副賞：

エコ・エネルギーカーの
工作キット

ものづくり博2012 in 東三河

日時：11月30日（金）～12月1日（土）

午前10時～午後5時

会場：豊橋市総合体育館

★くわしくはこちら

<http://www.monohaku.info/2012/outline.html>

主催：豊橋技術科学大学未来ビークルシティリサーチセンター， 豊橋ものづくり振興会

審査

- 【基準】
- ①みらいののりものとして「夢」がある
 - ②素材やしくみが「おもしろい」
 - ③「デザイン」がよい

【審査委員長】 未来ビークルシティリサーチセンター長 角田 範義

【審査委員会】 未来ビークルシティリサーチセンター

ものづくり博 in 東三河 ポスターコンクール運営委員会

表彰

【表彰式】 平成24年12月1日(土) ものづくり博会場

【賞】 小学校の部 ・中学校の部

金賞： 賞状と副賞(工作実験キット+図書券3,000円分)

銀賞： 賞状と副賞(工作実験キット+図書券2,000円分)

銅賞： 賞状と副賞(工作実験キット+図書券1,000円分)

お申込先

【お申込先】 ものづくり博 in 東三河 ポスターコンクール運営委員会

〒440-8508 豊橋市花田町字石塚42-1 豊橋商工会議所内

※学校取りまとめの場合は、学校へ提出して下さい

お問合せ先

【お問合せ先】 「ものづくり博2012in 東三河」事務局

電話 (0532)-53-7211

✂ キリトリ

参加申込書

氏名：

学校名：

学年：

※参加申込書は、会場での展示の際に利用します。

「東三河のものづくりがココに集結！」

ものづくり博

2012

in東三河

入場
無料

会期

平成24年
2012

11/30 fri 12/1 sat

会場

豊橋市総合体育館

(豊橋市神野新田町字メノ割1-3)

※無料シャトルバス運行

2日間とも 10:00~17:00



★トヨタパートナーロボット がやってくる! 第1アリーナ奥

生活環境への適応性が高い二足歩行型の当口
ロボットが、緻密で繊細な指と手の動きによりバ
イオリンの演奏を行います。また、「自立歩行ア
シスト」の展示も行います。

協賛：トヨタ自動車(株)

★燃料電池自動車の展示・試乗会

屋外展示エリア

自動車メーカー 3 社による燃料電池自動車の
展示、試乗会を行います。(トヨタ自動車、日産
自動車、本田技研工業)

★「ロボットスーツHAL」 「メンタルコミットロボット パロ」 「狭小空間点検ロボットmooglee」 の展示(体験可能) 第1アリーナ奥

協賛：大和ハウス工業(株)



★ものづくりDEスタンプラリー 第1アリーナ

～ブースを回って豪華賞品をGETしよう～

チェックポイントでスタンプを
集めると、抽選で3DS(1名)、
iPod(4名)、おもちゃ商品券
(4名)をプレゼント!

※もちろん参加賞プレゼント!



©Disney

★ものづくり学園祭 第1アリーナ

～楽しみながらものづくりが学べる～

協力：豊橋技術科学大学、愛知工科大学、豊橋工業高校、豊川工業高校

★未来の“のりもの”ポスター コンクール展示会 第1アリーナ

東三河の小・中学生のアイデアあふれるポスターを会場内に展示
しております。

共催：豊橋技術科学大学未来ビークルシティリサーチセンター

★“地域の絆”商談会2012 2階第1会議室

～ものづくり博で仕事の相手先を見つけよう!～ ※事前申込制

同時開催!!

ええじゃないか!東三河

場所:第2アリーナ

ご当地グルメ・物産大集合

豊橋カレーうどん、いなり寿司、佃煮コロッケなどなど東三河のご当地グルメ・物産が大集合。
試食や飲食もできます!東三河の食づくりをご堪能ください!



〈出店予定〉豊橋カレーうどん／豊川いなり寿司／豊川いなりうどん／有楽製菓株式会社／ヤマサちくわ／トース株式会社／有限会社シャンドフルール／株式会社平松食品
蒲郡市観光協会こはぜの会／株式会社ローチーフーズカンパニー／東三河農産加工販売協同組合／豊橋糧食工業株式会社／株式会社一色屋／植田の大まんじゅう／株式会社ミマス
合名会社日野屋商店／株式会社寺部食品／中央製乳株式会社／株式会社G・ファーム／有限会社まんてん／株式会社お亀堂／株式会社割烹百珍／アンの台所 ※変更になる場合がございます。

※写真はイメージです

主 催 豊橋ものづくり振興会

ものづくり博2012 in東三河 併催行事

11/30
金曜日

就職を控えた大学生・短大生・専門学校生必聴!!東三河就職応援ガイダンス

共催：東三河学生就職情報センター

受講料：無料(事前申込制)

13:30~14:10 第1部 セミナー	第1 アリーナ奥 特設ステージ	「聴いて得する!就活スタートアップ講座」 12月からの就活に対する心構えや押さえておくべきポイントをお伝えします。 【講師】 (株)ダイヤモンド・ビッグアンドリード 名古屋支社長 森 龍二 氏
14:20~15:50 第2部 パネルディスカッション		「就活に役立つ!!東三河の“ものづくり企業”研究」 東三河を代表する「ものづくり企業」5社を招いてパネルディスカッションを開催します!就職活動に関するアドバイスなど地元企業の研究を行います。 【パネリスト】武蔵精密工業(株)、(株)新来島豊橋造船、本多電子(株)、オーエスジー(株)、(株)ニデック(順不同)

★人事担当者・学校就職担当者の方へ

企業と大学・高校とのものづくり人材マッチング情報交流会

主催：東三河産業創出協議会、三遠南信地域連携ビジョン推進会議

受講料：無料(事前申込制)

ものづくり企業の経営者・人事担当者と学校・教育機関の就職支援ご担当者の方を対象に「人材」(雇用・採用)を切り口とした情報交換会を開催いたします。

13:15~14:15 第1部 セミナー	2 階研修室	「企業・地域・教育機関が連携した人材育成(仮題)」 【講師】ヒューマンリソシア(株) 執行役員 笹尾裕子 氏
14:30~16:30 第2部 情報交流会		少人数ごとによるテーブルワークによる情報交流会です。 企業対学校との面談形式で行います。

★東三河県庁開設記念

東三河産学官連携連続講演会(第2回 新分野進出推進フォーラム)

主催：愛知県

受講料：無料(事前申込制)

13:30~16:00 ※各40分	2 階 第2会議室	医工・福祉連携等をテーマに地元3大学による講演会を開催します。 【講師】 ○豊橋技術科学大学 エレクトロニクス先端研究所准教授 鯉田孝和 氏 ○愛知工科大学 電子制御・ロボット工学科教授 大西正敏 氏 ○豊橋創造大学大学院 健康科学研究科・研究科長・教授 後藤勝正 氏
----------------------	--------------	--

植物工場シンポジウム 主催：(株)サイエンス・クリエイト

受講料：無料(事前申込制)

10:00~12:00	2 階研修室	基調講演：「太陽光利用型工場の今後の展望について」(仮) 講 師：豊橋技術科学大学 先端農業・バイオリサーチセンター 特任教授 三枝正彦 氏
-------------	--------	---

小中学生向け!! ものづくり製作教室 主催：エコカーチャンピオンシップ運営委員会

10:00~16:00 10:00~受付 (当日参加OK!)	第1アリーナ	エコライダーの製作 風で発電してLEDが点灯する「エコライダー」を製作します。 参加料：無料 ※数に限りがあります。
--------------------------------------	--------	--

★豊橋商工会議所創立120周年「特別記念講演会」

「研究と創造」～ものづくりの原点～

受講料：無料(事前申込制)

14:00~15:00	ホテル シーパレス リゾート2F	自動車とともに歩まれたご自身のモノづくりのご経験を もとに、モノづくりの大切さや人材育成の重要性などをお 話し頂きます。 講 師：トヨタ自動車(株) 名誉会長 豊田章一郎 氏 ※会場が異なりますので、ご注意ください。 隣接会場となります
-------------	------------------------	--



出展企業

86企業・団体(142.5小間)

※コーナー別(50音順)、()内数字は企業・団体数

■工業コーナー(22)

アイセロ化学(株) / (株)イズミテック / 伊藤光学工業(株) / (株)イマダ / 宇都宮工業(株) / オーエスジー(株) / 花王(株) 豊橋工場 / (株)樹研工業 / (株)ソリッドクラフト / 大陽出版(株) / 大三紙業(株) / TMEH ジャパン(株) / 東海光学(株) / (株)トヨテック / (株)豊明エンジニアリング / (株)トンボ鉛筆 中部店 / 日東電工(株) 豊橋事業所 / (株)ニデック / (株)フカミ / 本多プラス(株) / 三鷹製版(株) / (株)ヤマト

■鉄工コーナー(21)

(株)遠製作所 / (株)蒲郡製作所 / (株)近藤製作所 / (株)シーグイテック / 大森木材(株) / 新東工業(株) 豊川製作所
●豊橋鉄工会
旭精機(株) / アダチ鋼材(株) / (株)三光製作所 / (株)新来島豊橋造船 / シンフォニアテック / ロジー(株) / 竹沢産業(株) / (株)テイスク / トビー工業(株) / 豊橋鉄工会 PR コーナー / 西島(株) / (株)紅久商店 / 豊国工業(株) / (株)丸上製作所 / 宮川工機(株) / 武蔵精密工業(株)

■電子・通信コーナー(9)

音羽電子システム(株) / (株)サードウェーブテクノロジーズ / 田中電機(株) / デュプロ販売(株) 浜松営業所 / (株)浜西電機 / (株)ヒミカ / (株)富士通コンピュータテクノロジーズ / 本多電子(株) / (株)ネットコム

■エネルギーコーナー(3)

(株)荒木石油店 / サラグループ / 中部電力(株) 豊橋営業所

■建築・木工コーナー(4)

(株)オノコム / 玄々化学工業(株) / 豊橋木工(株) / 風来製材協同組合

■食品コーナー(3)

杉本屋製菓(株) / 中央製乳(株) / 東海漬物(株)

■サービスコーナー(2)

(株)アーバス / (株)夏目デザイン

■自動車関連コーナー(1)

(株)吉田商会

■繊維コーナー(2)

豊橋繊維振興会 / 岡本漁網(株) / (株)ジュトク / 愛知県(繊維・窯業)

■研究会・団体・支援機関(10)

●チタノミックス研究会(9)
静岡県工業技術研究所 浜松工業技術支援センター / 昭和医科工業(株) / (有)竹内可鍛工業所 / 東北大学 金属材料研究所 / 析久保 操 / (株)豊栄工業 / 一般社団法人日本チタン協会 / 橋本螺子(株) / (株)吉見製作所
●愛知県(環境ビジネス発信事業) [(有)環境テクシス、(株)環境スーパーテクノ / 山田塗装(株)、(株)イズライフ、東海エコ工業(株)、トーエイ(株)、(株)富田組、日之出(株)、和光技研工業(株)]
愛知県信用保証協会 / 湖西市商工会「湖西市モノづくりひろめ隊」 / (株)サイエンス・クリエイト(食農産業クラスター・植物工場) / 美立吉(大連)国際貿易有限公司、星海模具有限会社、大連栄益工業技術有限公司 3社合同 / 豊橋商工会議所 / (株)日本政策金融公庫 / 三河港振興会 / 三遠南信クラスター推進会議 / 福井ファイバテック(株)、エイアールブイ(株)]

■学校コーナー(ものづくり学園祭)

豊橋技術科学大学 / 愛知工科大学 / 豊橋工業高等学校 / 豊川工業高等学校

■その他特別展示コーナー

豊橋・豊川・蒲郡青少年少女発明クラブ / とよはしの匠 / 高校生技術アイデア賞



豊橋ものづくり振興会

〒440-8508 豊橋市花田町字石塚42-1(豊橋商工会議所内)
TEL.0532-53-7211 FAX.0532-53-7210
E-mail kaigisho@toyohashi-cci.or.jp
http://www.monohaku.info/

主催

後援

協賛

中部経済産業局、愛知県、豊橋市、豊川市、蒲郡市、新城市、田原市、豊橋商工会議所、豊川商工会議所、蒲郡商工会議所、愛知県商工会連合会東三河支部、新城政策支部、田原市商工会、新城市商工会、浜松商工会議所、飯田商工会議所、豊橋市教育委員会、公益社団法人 豊橋青年会議所、NHK豊橋支局、東愛知新聞社(以上予定)
豊橋技術科学大学、(株)サイエンス・クリエイト、東三河産業創出協議会、地域産業活性化東三河協議会、一般社団法人 日本電気計測器工業会、一般社団法人日本電気制御機器工業会、中日新聞社、日刊工業新聞社、中部経済新聞社、東海日日新聞社、(以上 予定)

未来ビークルシティリサーチセンター 研究成果展示 「低炭素と安全安心を目指す街 豊橋」

研究成果展示「低炭素と安全安心を目指す街 豊橋」

日時：平成25年1月7日～1月11日

場所：豊橋市役所 東館市民ギャラリー

未来ビークルシティリサーチセンターで行っている持続的に発展する低炭素社会の構築と安心・安全都市の創成を目指す取り組みに関する研究成果を、ポスター展示、ドライビングシミュレータ、マルチプロジェクションシステム、電化道路電気自動車 1/10 モデル動態などのデモンストレーションを通じて市民の皆様にわかりやすく紹介しました。

また、未来の‘のりもの’コンクール IN ものづくり博2012の優秀作品も同時に展示しました。

期間中の総来場者数は、507名でした。デモの参加者は、下記の通りです。

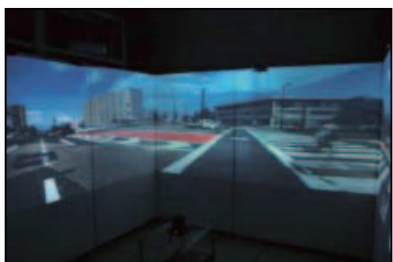
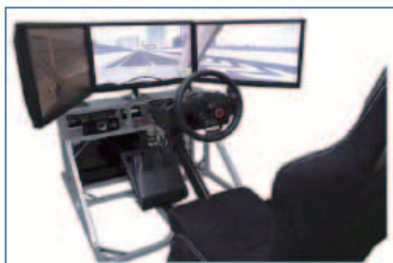
- ・ドライビングシミュレータ 96名
- ・マルチプロジェクションシステム 98名
- ・電化道路電気自動車 1/10 モデル動態 52名

センターとしては初めての試みとなる今回の展示は、普段なかなか大学とは接点のない方々に対しても、貴重な情報発信の機会となりました。

期間中会場に足をお運びくださいました市民の皆様、また、今回の研究展示会開催にあたりご協力いただいた関係者の皆様にこの場をお借りして厚く御礼申し上げます。



豊橋技術科学大学 未来ビークルシティリサーチセンター 研究成果展示 『低炭素と安心安全を目指す街：豊橋』



と き：1月7日（月）～1月11日（金）

10：00～16：00（月曜日のみ13：00～）

ところ：豊橋市役所 東館1階 市民ギャラリー

内 容：未来ビークルシティリサーチセンターで行っている持続的に発展する低炭素社会の構築と安心・安全都市の創成を目指す取り組みに関する研究成果を、ポスター展示、ドライビングシミュレータ、マルチプロジェクションシステム、電化道路電気自動車 1/10 モデル動態などのデモンストレーションを通じて紹介します。

○研究紹介パネル

★期間中、終日展示しております。

○体験および実演

- ・ 電化道路電気自動車 1/10 モデル動態実演 1/7 13:00～16:00
- ・ マルチプロジェクションシステムの体験 1/7 13:00～16:00
1/8～11 10:00～16:00
- ・ ドライビングシミュレータの運用体験等 1/10, 11 10:00～16:00

○ものづくり博 2012 in 東三河

未来の“のりもの”ポスターコンクール優秀作品の展示

★期間中、終日展示しております。

未来ビークルシティリサーチセンター 社会地域連携活動

時習館高校 SS 技術科学講座

日時：平成24年9月27～28日

場所：豊橋技術科学大学

テーマ：交通安全支援技術の体験

時習館高校サイエンスパートナーシッププログラム SS 技術科学 実験実習講座を行いました。シミュレータ器材を用いて、交通事故の仮想体験や日常の交通環境における危険体験をして、まちづくりの改善計画の立案を行いました。シミュレータ環境上で、改善案の効果を評価しました。



三遠南信サミット 2012 in 東三河

日時：平成24年10月2日

場所：ホテル日航豊橋

三遠南信の歩みと未来（～県境連携の先駆けとしての地域創造～）を展望するサミットが開催されました。未来ビークルシティセンターの滝川教授グループ、後藤准教授グループ、大門准教授グループが未来の地域像を示す研究成果について出展しました。



未来ビークルシティリサーチセンター 社会地域連携活動

平成 24 年度 あいち ITS 大学 セミナー

日時：平成 24 年 11 月 5 日

場所：豊橋技術科学大学 講義室 A1-101

講演者：浜田 隆彦 氏（株式会社デンソー
ITS 開発部 担当課長）

テーマ：ITS の今と未来 ～つながるクルマ
社会～

自動車に関連する情報通信技術として、カーナビの変遷、GPS 測位の原理や規格、カーナビ情報の平時・震災時などの多様な活用方法に始まり、ITS を利用した安全で快適な道路・交通環境の構築事例をビデオを交え 100 枚に及ぶスライドでご説明いただきました。

クルマ未来博 2012

日時：平成 24 年 11 月 16～18 日

場所：愛・地球博記念公園

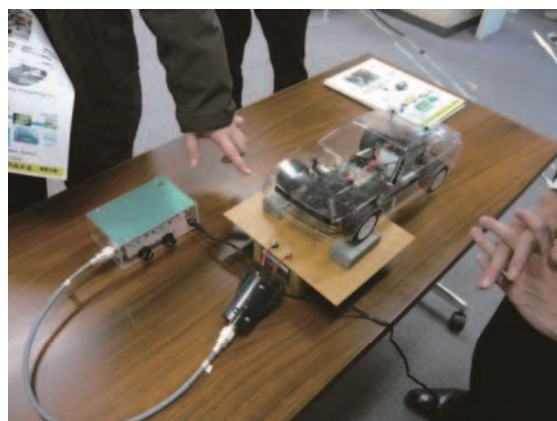
愛知県が次世代自動車をテーマとして、最新動向を紹介する博覧会に、大平教授の研究グループが未来の自動車給電技術を出展しました。

科学三昧 in あいち（高校生 向け講座）

日時：平成 24 年 12 月 26 日

場所：自然科学研究機構岡崎コンファレンス
センター

大平教授が新しい電気自動車の給電システムを出展しました。県内の高校生が興味深く質問していました。



CEATEC 2012

次世代イノベーション・キーテクノロジー部門 準グランプリ

受賞

CEATEC JAPAN 2012 CEATEC AWARD 2012

次世代イノベーション・キーテクノロジー部門 準グランプリ

日時：平成24年10月2日～6日

場所：幕張メッセ

出展社数：600社以上

来場者数：16万人以上

受賞者：大平孝研究室(リサーチパーク)

受賞作品：電化道路電気自動車 EVER のためのタイヤを介した電力伝送

製品概要：路面からタイヤを介して車両に電力を伝送する。EVの行動範囲を飛躍的に拡大することで、EVの普及、環境対策を促進する。路面下の構造が簡単で、経済性も満足させる。

選評：道路走行中に給電できる点は画期的で、発想のユニークさが光る。



教員別 平成24年度 活動実績

1. 滝川浩史 教授

【展示会】

- (1) オープンキャンパス (2012 年 8 月 25 日, 豊橋技術科学大学, 電気自動車デモ, ポスター展示)
- (2) ものづくり博 (2012 年 11 月 30 日～12 月 1 日, 豊橋市総合体育館, ポスター展示)
- (3) 豊橋市役所での展示 (2013 年 1 月 7 日～11 日, 豊橋市役所, ポスター展示)

【学会発表】

1. 平成 24 年度電気関係学会東海支部連合大会

- (1) 著者：織田 俊樹, 山田 幹也, 田上 英人, 須田 善行, 滝川 浩史
タイトル：バッテリー-キャパシタ併用電気自動車における電源切替え時の動作
発表番号：J2-8
日付：2012 年 9 月 24 日
- (2) 著者：山田 幹也, 織田 俊樹, 田上 英人, 須田 善行, 滝川 浩史
タイトル：バッテリー-キャパシタ併用電源搭載 EV 用モータの極数の検討
発表番号：J2-7
日付：2012 年 9 月 24 日
- (3) 著者：伊藤詠太, 佐野幸一郎, 田上英人, 須田善行, 滝川浩史
タイトル：公園内客車牽引用電気自動車の走行消費エネルギーの計測とシミュレーション
発表番号：J1-2
日付：2012 年 9 月 24 日

2. 平成 25 年電気学会全国大会 (予定)

- (1) 著者：織田 俊樹, 山田 幹也, 田上 英人, 須田 善行, 滝川 浩史
タイトル：電気自動車用バッテリー-キャパシタ併用電源におけるキャパシタ電圧低下の改善
発表番号：702-A4
日付：2013 年 3 月 20 日
- (2) 著者：伊藤詠太, 田上英人, 須田善行, 滝川浩史
タイトル：電動ごみ収集車の経済環境効果の検討
発表番号：702-C2
日付 2013 年 3 月 22 日

2. 廣島康裕 教授

【展示会】

平成 25 年 1 月 7 日～11 日に開催された「未来ビークルシティ R C 成果報告展示」において「豊橋市における電気バス導入効果計測」に関するパネルを展示。

【講演会】

平成 24 年 3 月 27 日に臨海企業懇話会において、田原市からの受託研究の成果である「三河港田原地区における幹線道路網整備の効果計測について」講演。今年度も同時期に講演の予定。また、平成 25 年 3 月 16 日に開催予定の田原市民大学において「田原市臨港地区における渋滞対策」について講演予定。

【学会発表】

平成 25 年 3 月 8 日に愛知工業大学で開催予定の土木学会中部支部研究発表会において「交通安全関係」，「自転車交通行動関係」，「コミュニティバス関係」の 3 件の研究を発表の予定。

3. 宮田 譲 教授

【展示会】

- (1) オープンキャンパス (2012 年 8 月 25 日，豊橋技術科学大学，ポスター展示)
- (2) ものづくり博 (2012 年 11 月 30 日～12 月 1 日，豊橋市総合体育館，ポスター展示)
- (3) 豊橋市役所での展示 (2013 年 1 月 7 日～11 日，豊橋市役所，ポスター展示)

【学会発表】

- (1) 宮田 譲・渋澤博幸・Shamsunnahar Khanam

「A Computable General Equilibrium Analysis of Electric Vehicle Society in Toyohashi City, Japan」

2012 年 10 月 8 日 日本地域学会第 49 回(2012 年)年次大会学術発表論文集
CD-ROM

- (2) 宮田 譲・渋澤博幸・Shamsunnahar Khanam

「Economic Assessment of Electric Vehicle Society in Toyohashi City, Japan
- A CGE Modeling Approach -」

2012 年 11 月 7 日 59th Annual North American Meetings of the Regional
Science Association International, Ottawa, Canada

- (3) 宮田 譲・渋澤博幸・Shamsunnahar Khanam

「Economic Impacts of an Electric Vehicle Society in Toyohashi City, Japan -
A CGE Modelling Approach -」

2012 年 7 月 22 日 IOSR Journal of Business and Management, Vol.2, No.4,
pp.29-40

- (4) Shamsunnahar Khanam・宮田 譲

「New Industrial Structure Coping with The Economic Impacts of Shifting

Production to Battery-Based Electric Vehicles in Toyohashi City in Japan –

A CGE Modeling Approach-]

2012 年 12 月 Regional Science Inquiry, Vol.4, No.3, pp.105-125

4. 洪澤博幸 准教授

【展示会】

- (1) オープンキャンパス (2012 年 8 月 25 日, 豊橋技術科学大学, ポスター展示)
- (2) ものづくり博 (2012 年 11 月 30 日～12 月 1 日, 豊橋市総合体育館, ポスター展示)
- (3) 豊橋市役所での展示 (2013 年 1 月 7 日～11 日, 豊橋市役所, ポスター展示)

【学会発表】

- (1) 洪澤博幸, 菅原喬史, 吉田操, 次世代自動車普及の経済効果: 中国と日本を対象として, 日本環境共生学会第 15 回(2012 年度)学術大会発表論文集, pp.23-27
- (2) 洪澤博幸, 李念, 宮田譲, 次世代自動車生産と地域経済～産業連関モデルを用いて～, 日本地域学会第 49 回年次大会, 2012 年 10 月 6 日-8 日, 立正大学, pp.1-15
- (3) 洪澤博幸, 菅原喬史, ハイブリッド・電気乗用車生産の経済効果, 「環境共生」, Vol.22, 2013, pp.28-37
- (4) Shibusawa, H. and Li, N., A Comparative Analysis fo the Economic Impacts of the Environmental Friendly Vehicles: Input-Output Application, The 12th PRSCO Summer Institute, 2012, Beijing, China, 3-6 July, 2012, pp.1-15
- (5) 神崎陽平, 洪澤博幸, 電動アシスト自転車—経済効果と発展性—, 日本計画行政学会関東支部・日本社会情報学会共催第 7 回若手研究交流会予稿集, 名星大学, 東京都, 2013.3.2, pp. 192
- (6) 打田委千弘, 洪澤博幸, 東三河の経済および社会構造: 経済成長と全要素生産性, 「東三河の経済と社会 第 7 輯」, 愛知大学中部地方産業研究所, 2012, pp.115-130

5. 青木伸一 客員教授

【学会発表】

田中康平・青木伸一・Ernawaty Rasul・井上隆信 (2012) : 三河湾奥での貧酸素水塊の発達特性と港湾域の影響について, 土木学会論文集 B2 (海岸工学), Vol. 68, No. 2, pp. I_1046–I_1050.

6. 井上隆信 教授

【学会発表】

- (1) 「梅田川における栄養塩年間流出負荷量の評価」 横田久里子, 井上隆信, 横川雅成, 下山 諒 (豊橋技科大院・工), 第 15 回日本水環境学会シンポジウム講演集,

pp. 55-56, (2012)

- (2) 田中康平・青木伸一・Ernawaty Rasul・井上隆信「三河湾奥での貧酸素水塊の発達特性と港湾域の影響について」, 土木学会論文集 B2 (海岸工学), Vol. 68, No. 2, pp. I_1046–I_1050, (2012)

7. 章 忠 教授

【展示会】

- (1) オープンキャンパス 未来ビークルシティ RC 体験学習, 研究室公開
学内, 2012.08.25
- (2) ものづくり博 2012in 東三河
豊橋市総合体育館, 2012.11.30-12.01
- (3) 未来ビークルリサーチセンター研究成果展示
豊橋市役所, 2013 年 1 月 10-11 日

【学会発表・講演会】

- (1) 荻智成, 高橋忠相, 今村孝, 章 忠, 三宅哲夫,
ドライビングシミュレータを用いた 運転行動意図の付与とその推定に関する研究,
日本機械学会ロボティクスメカトロニクス部門講演会 (ROBOMECH2012)
pp.2P1-C11(1)-(4), (2012.05.27-29)
- (2) Tetsuo Miyake, Elvin Tiong Chew Lun, Ikuya Fukuyama, Takashi Imamura,
Zhong Zhang,
Evaluation of Driving Attentiveness through Usage of Fuzzy Inference,
Proc. of the 2012 International Conference on System, Man and
Cybernetics(SMC2012, Seoul, 14-17 Oct, 2012), pp.518-523
- (3) Takashi Imamura, Yuto Takeuchi, Zhong Zhang and Tetsuo Miyake,
Estimation for Grasp Behavior of Vehicle Driver by using Steering
Wheel Sensor System,
Proc. of the 2012 International Conference on System, Man and
Cybernetics(SMC2012, Seoul, 14-17 Oct, 2012), pp.1515-1519
- (4) 内田皓, 章 忠, 今村孝, 三宅哲夫, 秋月拓磨,
加速度センサを用いたドライバの運転動作計測,
計測自動制御学会中部支部オープンラボ・学生発表会, 資料なし, (2012.11.22)
- (5) 佐藤駿佑, 三宅哲夫, 今村孝, 章 忠,
パルス光による角膜反射像を用いたサッケード検出法,
計測自動制御学会中部支部オープンラボ・学生発表会, 資料なし, (2012.11.22)
- (6) 福山育也, 三宅哲夫, 今村孝, 章 忠,

車両前方画像からの視覚特性を考慮した物体抽出,

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 (SI2012), pp.1898-1903,
(2012.12.18-20)

(7) 平成24年度 あいちITS大学セミナー,

ITSの今と未来 ~つながるクルマ社会~ (講師: 浜田 隆彦 氏 (株式会社デンソー ITS 開発部 担当課長)), 本学 (A1-101), 2012.11.05

【社会実験】

時習館高校 SS 技術科学講座

ドライビングシミュレータを用いた安全教育, 2012 年 9 月 27-28 日

H23,H24 年度受講生を対象に事後アンケートを実施中

8. 金澤 靖 准教授

【展示会】

(1) オープンキャンパス (2012/8/25, 豊橋技術科学大学, デモ, ポスター展示)

(2) ものづくり博 (2012/11/30~12/1, 豊橋市総合体育館, ポスター展示)

(3) 豊橋市役所での展示 (2013/1/7~11, 豊橋市役所, デモ, ポスター展示)

【学会発表】

(1) 小野勝也, 金澤靖,

全方位画像における直線当てはめの標準変位を用いた衝突検知,

平成24年度電気関係学会東海支部連合大会, 2012/9/24,25,

豊橋技科大学

(2) 脇元翔, 橋本尚孝, 金澤靖, 太田直哉,

色覚障害者の識別率向上のための画像への情報付加に関する検討,

平成24年度電気関係学会東海支部連合大会, 2012/9/24,25,

豊橋技科大学

9. 櫻井庸司 教授

【学会発表】

(1) 綱木彰洋, 吉岡雄太郎, Bin Hasanoor Mohamad Syajiril, 福田健人, 石原侑樹, 稲田亮史, 櫻井庸司, “カルシウムイオン電池用 Ca_xCoO_2 正極の電気化学特性”, 第53回電池討論会, 3E04(2012)

(2) 吉岡雄太郎, 石川誠也, Bin Hasanoor Mohamad Syajiril, 福田健人, 石原侑樹, 綱木彰洋, 稲田亮史, 櫻井庸司, “カルシウムイオン電池用 CaV_2O_5 正極の合成および特性”, 第53回電池討論会, 3E05(2012)

(3) 福田健人, 吉岡雄太郎, 稲田亮史, 櫻井庸司, “カルシウムイオン伝導性 Ca^{2+} ” ア

- ルミナの合成条件の検討”, 平成 24 年度電気関係学会東海支部連合大会, Po2-26(2012)
- (4) 吉岡雄太郎, 石川誠也, 福田健人, 稲田亮史, 櫻井庸司, “カルシウムイオン電池用 CaV_2O_5 正極の合成法の検討”, 平成 24 年度電気関係学会東海支部連合大会, Po2-27(2012)

10. 大平孝 教授

【展示会】

- (1) ワイヤレステクノロジーパーク, パシフィコ横浜、7 月 5-6 日
- (2) 自動車技術会中部支部技術交流会, 安城市アイシン年金基金会館、8 月 3 日
- (3) 電気関係学会東海支部連合大会, 豊橋技術科学大学、9 月 24-25 日
- (4) イノベーションジャパン, 有楽町国際フォーラム、9 月 27-28 日
- (5) CEATEC 2012, 幕張メッセ、10 月 2-5 日
- (6) ETEV, メッセ・ニュルンベルグ、10 月 16-17 日
- (7) APIRC 2012, 伊良湖シーパーク&スパ、11 月 15-16 日
- (8) クルマ地球博, 愛・地球博記念公園、11 月 16-18 日
- (9) 未来ビークルシティシンポジウム, 豊橋技術科学大学、12 月 10 日
- (10) 科学三昧 IN あいち、12 月 26 日
- (11) 未来ビークルシティ成果報告会, 豊橋市市役所、2013 年 1 月 7 日

【学会発表・招待講演】

- (1) Takashi Ohira, “Via-Wheel Power Transfer to Running EVs (invited)”,
Energy Transfer for Electric Vehicles Conference, ETEV2012, Nuremberg, Germany,
October 2012.
- (2) 鈴木良輝, 鳥井俊宏, 水谷 豊, 杉浦貴光, 坂井尚貴, 上原秀幸, 大平 孝,
“車両タイヤによるゼロギャップ無線電力伝送,” ワイヤレス・テクノロジー・パーク,
アカデミアプログラム, 横浜, July 2012.
- (3) Yoshiki Suzuki, Takamitsu Sugiura, Naoki Sakai, Masahiro Hanazawa, and
Takashi Ohira, "Dielectric Coupling from Electrified Roadway to Steel-Belt Tires
Characterized for Miniature Model Car Running Demonstration", IEEE MTT-S International
Microwave Workshop Series on Innovative Wireless Power Transmission,
IMWS-IWPT2012, pp.35-38, Kyoto, May 2012.
- (4) Takamitsu Sugiura, "High Efficiency Rectifier in Electric Power Feed System
to Running Automobiles though Tires", IEEE AP/MTT-S Midland Student Express 2012
Spring, S3-4, Nagoya, April 2012.
- (5) Masahiro Hanazawa, Naoki Sakai, and Takashi Ohira, "SUPRA: Supply

Underground Power to Running Automobiles", IEEE International Electric Vehicle Conference, IEVC2012, Greenville, March 2012.

【受賞】

2012 年 10 月 10 日 CEATEC JAPAN 2012 にて CEATEC AWARD 2012 次世代イノベーション・キーテクノロジー部門準グランプリを受賞

11. 後藤尚弘 准教授

【展示会】

- (1) 2013 年 1 月 7 日-11 日 研究成果展示「低炭素と安心安全を目指す
街：豊橋」（豊橋市役所）
- (2) 2012 年 11 月 30 日-12 月 1 日 ものづくり博 2012in 東三河

【社会実験】

豊橋市役所、㈱スズキと共同社会実験を実施 H24.11.1 より
内容：豊橋市役所において、電動バイクを公用車として利用し、電動バイク利用
の有無とその理由に関する社会実験を実施した（H24.7 月末までの予定）

【新聞報道】

東日新聞 10 月 20 日，東愛知新聞 1 月 21 日（社会実験に関する記事）

3. ドライビングシミュレータの活用と交通安全啓蒙活動

機械工学系 章 忠, 三宅 哲夫, 今村 孝

本報告6章にあるように、これまでドライバの行動計測に立脚した安全運転支援システムの開発研究において、その行動計測環境としてドライビングシミュレータを用いてきた。本章ではそれらのシミュレータ環境の整備状況を報告するとともに、これらを用いた交通安全・啓蒙活動について報告する。

(1) ドライビングシミュレータ環境の概要

当研究室では、2006年より各種計測技術や関連研究成果の安全運転支援応用を目的とし、関連研究における運転行動計測のプラットフォーム、および、各種計測システムの実装検証対象としてドライビングシミュレータを導入してきた。当初導入した三菱プレジジョン製 DS-6000 は、自動車教習所などにおける危険予知訓練にも利用されているものである。その基本機能に加え、科学警察研究所における第二種自動車運転免許（営業車両等の運転免許区分）保有者の運転特性評価用のプログラムが導入されており、仮想環境上での自車の走行位置、走行速度、ドライバのハンドル・アクセル・ブレーキの操作量、方向指示器・ワイパー・ヘッドライトの ON/OFF 情報を 0.1[s]ごとにパーソナルコンピュータに記録することが可能である。

これまで、当研究室では、ドライバの運転行動収録、ハンドル操作時の把持行動計測、漫然運転検出、居眠り運転の再現と運転時生体情報の計測などに DS-6000 を活用してきた。特に、運転席の形状や装備は実車同等であり、走行振動や急停車、衝突時の簡易衝撃を発生させることが可能である。一方で、走行経路や環境中に発生するイベント（先行・対向車両の発生、緊急自動車の出現など）が固定されており、また走行環境の任意設計ができず画一的である点が、運転試行を複数回繰り返して長期間の行動計測を行う用途には不向きであった。

このようなドライビングシミュレータとしての研究用途上の不足を補うものとして、2010年度よりフォーラムエイト製 UC-Win/Road を導入した。これは、都市計画・景観シミュレータを骨格とする製品群で、建築・建造物および道路構造物の 3D モデリング性能が高い。初期導入にあたっては、これにドライビングシミュレータを実現する外部機器（ステアリング、ペダル等）インタフェースを有するパッケージを選択した。これにより、小型のステアリング型ゲームコントローラによる、簡易的な運転シミュレーションが可能となったが、座席等を含めた運転席周辺環境としては、上述の DS-6000 に比べて不足する点が多かった。そこで、本年度は研究用運転シミュレータを導入し、ハードウェア面での不足を補った。

以上により、図1に示すように、2台の運転シミュレータと1台の簡易シミュレータを擁することになり、それぞれの特性に応じて、運転行動計測、運転体験、支援システムの実装、安全教育など、多くの面で運転シミュレーションを応用できるようになった。図1(a)は上記のとおり、固定のシミュレータであり、主に運転行動計測や危険状況などに対する反応計測に適している。

また図 1 (b) は自由な環境設計にもとづく運転シミュレーションが可能であり、環境設計と連携した運転体験や、任意の実験環境デザインを適用した実験に適している。図 1 (c) は使用するソフトウェアは図 1 (b) と同様であるが、図 1 (a), (b) が据置型であるのに対して運転装置自体が軽量で可搬なため、本報で報告するような各種イベントや研究紹介等でより多くの方へ運転体験環境を提供できる。



(a) 三菱プレシジョン製 DS-6000 (b) フォーラムエイト製 Compact Research Simulator



(c) UC-Win/Road 対応 簡易シミュレータ

図 1 当研究室の保有するドライビングシミュレータ

(今村 孝, 章 忠, 三宅 哲夫, 荻 智成, ELVIN TIONG CHEW LUN)

(2) 適用事例 1：オープンキャンパスにおける体験学習講座の開講

例年開催している本学オープンキャンパス(平成 24 年 8 月 25 日開催)の体験学習講座として、「車とまちづくりの仮想体験」を実施した。これは、(1)に記載した UC-Win/Road ならびにその簡易シミュレータを用いた体験学習であり、親子もしくは若年層を対象にした都市環境を題材とした交通安全の認識・啓蒙を目的としたものである。その実施状況を図 2 に示す。

まちづくり体験は 1 時間を 1 回とし、1 回あたり 3 組、計 4 回のべ 12 組が参加した。ここでは、UC-Win/Road 付属の運転環境をベースに、事前に作成した資料にもとづいて道路や樹木、建造物の追加や、道路環境(交差点やカーブ)の変更などを行い、改良後の空間を運転体験する構成とした。体験者には、各組ごとに体験学習修了証、エコドライブ診断書(図 3)を配布するとともに、アンケート調査を行い、シミュレーションソフトを用いた安全教育の可能性について調査し

た。アンケートの集計結果を表1に示す。



(a) UC-Win/Road を用いたまちづくり体験 (b) 簡易シミュレータによる運転体験

図2 オープンキャンパス体験学習の様子

受講対象12組の大半は未成年の運転免許取得前の若年者に分類でき、その半数は父兄同伴であった。また事前告知により受講を決めていた受講者が半数を超えており、事前の参加意識が高いことが伺える。受講内容については、全般的に良い印象であったことがわかるが、難易度が高い内容であったことも伺える。この点は、父兄同伴のグループが多いことが奏功し、結果的に「期待以上」の体験になったと思われるが、体験実施環境や参加者の年齢層によっては、内容をより平易にする工夫が必要と思われる。

シミュレータ機材の使用については、大半が未経験にもかかわらず好印象であったことや、地域の公共施設などを中心に設置を希望する回答が高いことから、同様の講座による啓蒙活動の効果が高いことが予想できる。また交通安全に必要な要素としては、運転技能やマナーを重視する傾向がみられ、これらにより重点を置いた講座内容とすることで、交通安全への啓蒙効果が高められることが期待できる。



(a) 体験学習修了証

(b) エコドライブ診断書

図3 オープンキャンパス体験学習での配布物

表1 アンケート集計結果

設問	回答
参加グループ 構成	1人のみ：3組（小学生1／中学生2） 2人グループ：7組（小中学生＋父兄 4／高校・高専生／大学生 3） 3人グループ：2組（小学生＋父兄／高校生＋父兄） グループ構成：家族7／単独3／友達1／その他1
体験学習の周 知状況	事前告知で知った：8組 会場で知った：2組 その他：2組
体験学習の内 容難易度	「むずかしい」：6件（PCの操作／運転シミュレーションなど） 「むずかしい」・「たのしい」：4件（小学生に対しては操作が難しい／建物を建てるのが楽しい） 「ふつう」・「たのしい」：1件（自分で作った街をドライブできるところ） 「たのしい」：1件（ドライビングシミュレーション）
内容に対する 期待度	期待以上：8件（自分が街を作るとパンフに書いていなかったから／作るのが楽しい／全体的に／作るのが面白かった／とても立体的だった／自分で道路を作ったりできるなんてびっくりしました） 期待通り：3件（運転の感じ） 未回答：1件
シミュレータ の経験の有無	ない：9件 ある：3件（自動車学校／横浜／交通公園）
日常的に使用 したいか？	いらない：1件，未回答：1件， あるとよい：10件（設置場所の案：学校1／市役所・ココニコ1／交通公園・各児童館1／家庭で使えるよい3／ゲームセンター2／未回答2）
交通安全に必 要なものは？	運転技能面：5件（交通ルールを守る心／スピードを出しすぎない知識と経験／ブレーキをしっかりと踏む） 車両面：1件（自動運転） インフラ面：3件（分かりやすい標識や信号／整備された道路／渋滞のない道） 無回答：3件

（章 忠，今村 孝，荻 智成，ELVIN TIONG CHEW LUN，岩本 拓馬）

（３）適用事例２：時習館高校 SS 技術科学講座の開講

例年開催している時習館高校サイエンスパートナーシッププログラム SS 技術科学 実験実習講座（平成 24 年 9 月 27、28 日）において「交通安全支援技術の体験」を開講した。これは、10 名の受講学生を対象に 2 日間にわたり開講するもので、（１）に記載した各シミュレータ機材を用いて、事故の仮想体験や日常の交通環境における危険体験を集約し、シミュレータによる改善効果の検証を目的とした。その実施状況を図 4 に示す。



図 4 SS 技術科学 実験実習講座の実施状況

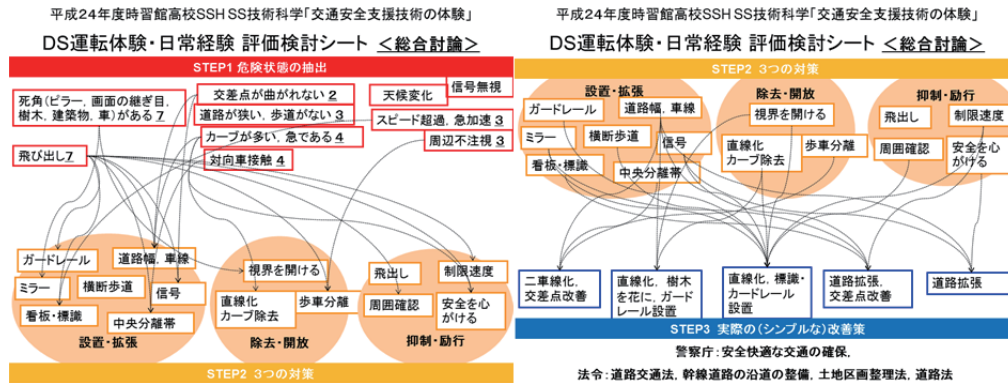
本講座では、まず自動車の仕組みに加え、近年の安全運転支援技術の開発動向を、各社の Web やビデオを用いて説明した。その後、演習を開始し、各自に図 1（a）の DS-6000 の危険予測体験プログラムで運転や事故の体験をさせるとともに、UC-Win/Road の基本操作を習得させた。その後、危険体験に基づくまちづくりの改善計画を立案させ、実際にシミュレータ環境上にて、改善案を施工させた。最終的には、その改善効果を自身あるいは他者による運転により評価した。

なお、改善計画の立案においては、図 5 に示す評価検討シートにより、各事故体験から改善方法の抽出と具体化を段階的に行うよう促すとともに、これを学生間で共有させた。

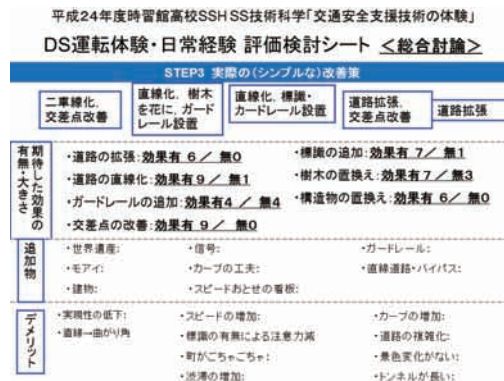
図 5 評価検討シートの例

改善を実施した後は、グループディスカッションにてその評価を行った。グループディスカッションでは、各自の評価検討から改善案の選定までを図 6（a），（b）のように可視化することで、各自の作業・改善内容を意識させた。また、それらをいくつかのクラスに分類した上で、交通環境の改善の視点を数点例示した。これにより最終評価を複数の観点から評価できるように促した。

最後に、改善後の環境をシミュレータにより走行した上で、改善の効果の有無やそのメリット・デメリットを考察させて、図 6（c）のようにまとめた。



(a) 危険状態の抽出から対策検討 (b) 対策の実施・実装案の選定



(c) 改善効果の検証

図6 グループディスカッションにおける検討作業の可視化

本講座の受講者はいずれも運転免許取得前の若年層であるが、シミュレーションを行うことで、自動車運転への興味を喚起する効果が期待できる。これまでの講座は、単なるシミュレーション運転や操作の体験のみであったため、ともすれば単純な興味本位の体験で終わっていた状況となる可能性があった。これに対し、今回は交通事故・安全対策という具体的な目標を明示し、その点を常に可視化して意識させながら作業を実施した。この結果、グループディスカッションにもあるように、交通弱者などの安全対策とそのメリット・デメリットの評価ができ、また興味先行でおこなったシミュレーション操作に対しても交通安全に関連する動機・意味づけを行うことができた。

現在、本講座受講者に対しては、追跡アンケートを実施し、講座終了後の交通安全意識等の持続性について評価を試みている。その結果をもとに、今後これらの講座に改善を加えていきたい。

(今村 孝, 荻 智成, ELVIN TIONG CHEW LUN, 岩本 拓馬, 石川 智規)

(4) 適用事例3：ものづくり博2012への出展

シミュレーション関連技術を中心とした、未来ビークルシティ RC の活動報告を目的として、ものづくり博2012 in 東三河 (平成24年11月30日, 12月1日) に、以下の通り出展した。

本イベントは昭和59年より「ものづくりフェア」の名称で開催されてきている事業で、主に

東三河地域の産業振興を目的に、各技術系関連業を中心に多数の企業がブース出展してその技術やサービスを披露する展示会である。本年は、これに於いて、未来ビークルシティリサーチセンターが主催した「未来の‘のりもの’コンクール」の表彰式ならびに応募作品の展示を行った（図7）。



図7 角田センター長による「未来の‘のりもの’コンクール」の表彰式

また、豊橋技術科学大学ブース内にドライビングシミュレータを設置するとともに、各研究プロジェクトの紹介ポスターを展示した（図8）。本ブースでは、本報（2）、（3）と同様の設備にて、シミュレータによる運転体験やまちづくり体験を開催し、のべ297名の体験者を得た。なお、開催日が平日を含むこともあり、大半が小学校低学年～未就学児であり、ほとんどがシミュレータ運転体験者であったため、体験者には図8に示す「体験免許証」を配布した。



(a) シミュレータ体験の様子 (b) 配布した体験免許証 (c) 豊田章一郎氏の来訪

図8 ものづくり博 2012 in 東三河 出展ブースの様子

一方、ポスター展示や研究紹介については、場内の出展企業等から、技術関係の問い合わせを受けたり、特別講演をなさった豊田章一郎 トヨタ自動車名誉会長のブース来訪を受けた。

主に、子供たちを中心として研究関連設備の体験の場を提供でき、また一般の方へは研究内容やその効果・効用を紹介する非常によい機会となった。

（今村 孝，荻 智成，福山 育也，内田 皓，原田 光）

（5）あいち ITS 大学セミナーの開講

愛知県を中心に高度道路交通システム（ITS）に関する啓蒙を図っている、愛知県 ITS 推進協議会では、各大学向けに表記のセミナーを開催している。本学では、平成 21 年度よりこの活動に参加し、学内の計測技術に関連する講義時間を提供して、毎年セミナーを開講している。本年度は、平成 24 年 11 月 5 日に以下の内容にてセミナーを開講した。

本大学セミナーは、企業の ITS（高度道路交通システム）の関連開発担当者を講師に招き、ITS の解説ならびに、国土交通省受託事業など ITS に関する事例紹介等を行うものである。本年度は、

機械工学課程 3 年次 計測工学の受講生のほか、学内の関連研究室所属学生を含むのべ 70 名近くが参加して、本セミナーを開講した。本年度は、浜田 隆彦 氏（株式会社デンソー ITS 開発部 担当課長）を講師にお招きし、「ITS の今と未来 ～つながるクルマ社会～」と題して講義をして頂いた。講義内容としては、自動車に関連する情報通信技術として、カーナビの変遷、GPS 測位の原理や規格、カーナビ情報の平時・震災時などの多様な活用方法に始まり、ITS を利用した安全で快適な道路・交通環境の構築事例や未来像までを、ビデオを交え 100 枚におよぶスライドでご説明頂いた。終了後は、受講学生から自動車の安全機能のあり方、ドライバセンシングの手法とその重要性、携帯情報端末機器と車との関係など、活発な質疑があり、それに対して丁寧に回答頂いた。これに収まらなかった質問については、ITS および自動車に関する嗜好の調査を目的としたアンケート調査と併せて回収し、別途、浜田氏から回答を頂戴した。

短時間ながら、身近な情報システムと高度な交通システムとのかかわり合い、そして次世代の交通安全技術について学ぶよい機会となった。



図 9 あいち ITS 大学セミナー開講の様子

(章 忠, 今村 孝)

豊橋技術科学大学

自動車研究部

TUT FORMULA

2012 シーズン活動報告書



目次

1	はじめに.....	175
2	全日本学生フォーミュラとは.....	175
2-1	大会概要	
2-2	大会理念	
2-3	主要ルール	
3	大会結果.....	176
3-1	審査内容	
3-2	各審査結果	
3-3	大会を終えて	
4	TG07 の紹介	177
4-1	車両概観	
4-2	主要諸元	
4-3	技術解説	
5	TUT FORMULA の活動実績	179
6	スポンサー紹介	180
7	ファカルティアドバイザーより	181
8	チーム代表挨拶	181

1. 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，2012 年 9 月 3 日から 7 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 10 回 全日本学生フォーミュラ大会』に参加しました。そこでの大会結果と今年度の活動について報告致します。

2. 全日本学生フォーミュラとは

2-1 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，車両の走行性能だけでなく，車両コンセプト・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。

2-2 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，車両のマーケティング，企画・設計・製作，コスト等のも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。

2-3 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両である。
- ・ 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。
- ・ 直径 20mm 以下の吸気リストリクタを装着する。
- ・ 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。
- ・ 車検に合格した車両でなければ，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はできない。
- ・ 指定させた期日までに車両の完成を証明する走行動画の提出がなければ，本大会で動的競技への参加は許されない。

3. 大会結果

3-1 審査内容

第10回全日本学生フォーミュラ大会では、海外6チームを含む合計81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トank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。

3-2 各審査結果

表3-2-1に第10回大会の種目別結果を示します。

表 3-2-1 第10回大会結果

静的審査	コスト審査	35.43 / 100 pt	36 位
	プレゼンテーション審査	19.74/ 75 pt	52 位
	デザイン審査	90.00/ 150 pt	15 位
動的審査	アクセラレーション	50.37 / 75 pt	9 位
	スキッドパッド	0 / 50 pt	DNF
	オートクロス	89.62 / 150 pt	20 位
	エンデュランス	120.28 / 300 pt	31 位
	燃費	31.16 / 100 pt	27 位
	総合成績	416.59 / 1000 pt	31 位

※DNF : Do Not Finish

3-3 大会を終えて

過去2大会は車両のトラブルにより本来の車両性能を発揮することができず、満足のいく結果を残すことができませんでした。そこで、今大会は車両の完成度を意識して、初期不良を発見する為のテスト走行期間の確保と車両の調整に重点を置き大会に臨みました。しかし、スキッドパッド競技中にステアリングのトラブルにより記録を残すことができませんでした。エンデュランス競技におきましても、直前にスロットルセンサーが故障するという事態が発生しましたが、他大学の方のご助力をいただき問題を解消し、同競技を3年ぶりに完走することができました。

全動的競技での完走は果たせませんでしたが、エンデュランス競技の完走やオートクロスの順位向上により、総合得点が昨年を上回り、総合31位となりました。

4. TG07 の紹介

4-1 車両概観

図 4-1-1 に第 10 回全日本学生フォーミュラ大会参戦車両 TG07 の概観を示します。車両の設計に約 5 ヶ月、製作に約 5 ヶ月を費やしました。

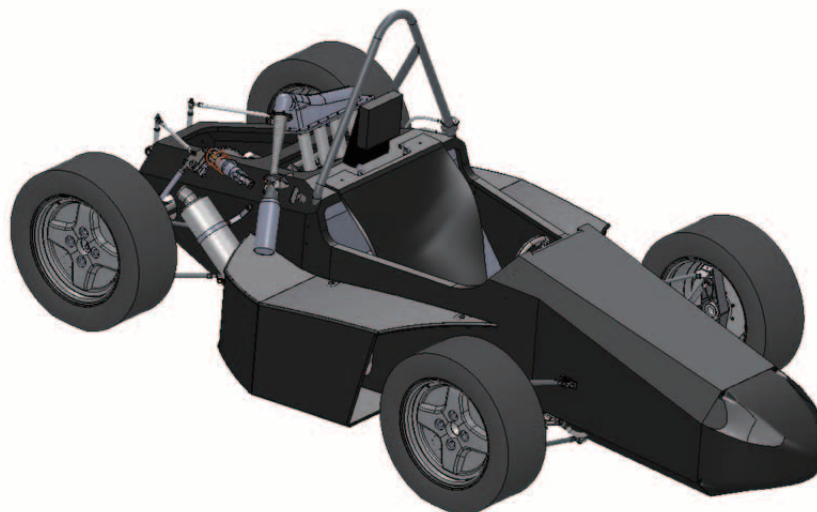


図 4-1-1 TG07 の 3D モデル

4-2 主要諸元

表 4-2-1 に TG07 の主要諸元を示します。

表 4-2-1 TG07 の主要諸元

名称	TG07
全長	2726mm
全高	1136mm
全幅	1405mm
ホイールベース	1550mm
トレッド 前/後	1200mm / 1100mm
最低地上高	35mm
車両質量	195kg
エンジン	HONDA CBR600RR PC37E 599cc
最大出力(クランク軸出力補正值)	80ps/12000rpm
最大トルク	5.3kgf-m/9000rpm
圧縮比	12.6
駆動方式	チェーン駆動
サスペンション 前/後	プルロッド / プッシュロッド

4-3 技術解説

- ・ コンセプト

軽量なカーボンモノコックの利点とパワーとレイン開発の成果により 2009 シーズン車両 TG04 は優れた加速性能を発揮してきました。これを踏まえ、2010 シーズン車両 TG05 はコーナリング性能の向上を重視した設計を行いました。さらに、2011 シーズン車両 TG06 ではコース走行におけるタイム向上のため、これまで培ってきた加速性能とコーナリング性能の更なる向上を目指しました。しかし近年のコースレイアウトの変更により、車両のコーナリング性能がいつそう求められています。そこで、2012 シーズン車両 TG07 はコース走行時のコーナリング性能に重点をおき、コース走行のタイム向上を目指すため「Basic for Perfect ～軽量・低ヨー慣性・低重心～」を開発コンセプトと致しました。

また、過去 2 大会の経験より車両の調整期間の確保により車両完成度の向上に重点を置きました。

- ・ シャシ

過去 4 年間の車両同様、安全性・比剛性の面で優れているカーボンサンドイッチパネルを用いたモノコック構造のシャシを採用しました。TG05 の型を用いて、これまで培ってきた炭素繊維複合材料に関する知識・経験を活かし積層構成を検討することで TG06 からさらに 500g の軽量化を達成致しました。さらに、積層品の加工タイミングの変更やプリプレグ切断形状の工夫により作業効率を上げ TG06 に比べ完成日を約 1 ヶ月短縮することに成功しました。

- ・ サスペンション

低速コーナーが多く小さい旋回半径が要求されるエンデュランスを想定し、ホイールベースを 1550mm と小さくしました。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、旋回性能向上に貢献しました。

- ・ パワートレイン

TG05 と同じく、CBR600RR のパワーユニットである PC37E を搭載しました。TG06 に搭載する吸気・排気系を考慮して燃調や空燃比等を調整し、レスポンス性並びにトルク、馬力の向上を実現しました。

- ・ ドライブトレイン

TG07 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。

5. TUT FORMULA の活動実績

表 5-1 に 2012 シーズンの活動内容を示します。

表 5-1 2012 シーズンの活動内容

日付	車両・活動
2011 年 9 月	・ 新体制発足
10 月	・ 技科大祭にて車両展示とデモ走行を行う ・ スポンサーに大会結果報告
11 月	・ TG07 開発のためのテスト走行 ・ フロンティア 21 エレクトロニクスショー2011 にてブース展示
12 月	・ TG07 各部品設計開始 ・ 名古屋モーターショー あいち ITS ワールド 2011 にて車両の展示
2012 年 1 月	・ 設計会議
2 月	・ 図面作成
3 月	
4 月	・ カーボンモノコックシャシ製作開始 ・ TG07 部品製作開始 ・ 新入部員入部
5 月	・ 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 ・ 車両組立
8 月	・ TG07 シェイクダウン ・ もてぎサスペンションアライメント講座に参加 ・ もてぎ試走会に参加
9 月 3 日～7 日	・ 第 10 回全日本学生フォーミュラ大会参戦

6. スポンサー紹介

2012 シーズンに御支援頂いたスポンサー(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

CDS 株式会社

日本インシュレーション株式会社

株式会社ユタカ技研

三菱レイヨン株式会社

有楽製菓株式会社

共立産業株式会社

豊橋技術科学大学

未来ビークルシティリサーチセンター

物品支援

三菱レイヨン株式会社

YSP 豊橋南

株式会社豊栄工業

株式会社 WINKS

サイバネットシステム株式会社

ソリッドワークスジャパン株式会社

トピー工業株式会社

ハンツマン・ジャパン株式会社

株式会社和光ケミカル

株式会社アクロス

株式会社玉津浦木型製作所

オーエスジー株式会社

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

大同 DM ソリューション株式会社

株式会社レント

有限会社ツゲプラセス

ANSYS, Inc.

有限会社ガレージタカハシ

株式会社オーファ

NTN 株式会社

ポップリベット・ファスナー株式会社

ヘンケルジャパン株式会社

昭和飛行機工業株式会社

三菱マテリアル株式会社

株式会社江沼チエン製作所

豊橋技術科学大学情報メディア基盤センター

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

YSP 豊橋南

伊藤レーシングサービス株式会社

本田技研工業株式会社

株式会社ネクスト

株式会社アクロス

個人支援

畑内 慎也

中村 克己

中西 利明

OB 会

戎野 由展

上嶋 宏紀

澁江 佑介

奥田 裕也

田中 和宏

岡田 隆志

手塚 康瑛

茅野 浩之

東 宏昭

近藤 圭太

谷 智英

永井 宏典

7. ファカルティアドバイザより

豊橋技術科学大学 機械工学系 教授

自動車研究部顧問兼ファカルティアドバイザ 柳田 秀記

本学自動車研究部が全日本学生フォーミュラ大会に参戦するようになってから7年が経過しました。脚光を浴びた2008年大会時から比べ、2010年、2011年大会では全動的競技への参加ができず、またエンデュランス競技では完走できないなど、部員諸君にとっては大変悔しい残念な結果となっていました。2012年大会は従来よりも車両製作が1か月近く早く終わるなど、非常に期待が持てる状況でした。久しぶりにエンデュランスで完走し、総合順位も前回大会より10番近く向上し、上向き傾向に転ずることができました。しかし、目標にはまだ遠く、反省点が多く残ったようです。新しい体制の下、2013年大会に向けてスタートしております。高い目標を掲げましたので、上向き傾向を維持して、目標に近づけることを期待しています。

自動車研究部の活動は、スポンサー様からのご支援に加え、未来ビークルシティリサーチセンターを始めとする学内関係者各位からのご支援により成り立っています。優秀なエンジニア育成プロジェクトである学生フォーミュラ活動を展開する自動車研究部に対し、今後も引き続きご支援頂きますようお願い申し上げます。

8. チーム代表挨拶

豊橋技術科学大学 機械システム工学課程 学部4年

自動車研究部 2012 シーズン 部長 白木 翔平

自動車研究部 2012 シーズンの部長を務めました白木と申します。

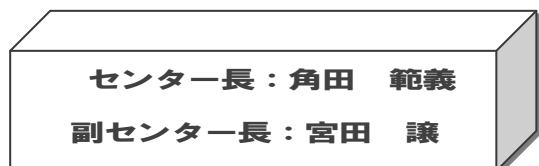
全日本学生フォーミュラ大会も今年で10回目となりました。たくさんの参加チームがある中で空力パーツをふんだんに搭載したマシンや、コースレイアウトに合わせて単気筒エンジンを採用するチームも増えています。動的競技における優勝チームのタイムを見てもレベルが高くなっていることを痛感しました。その中で私たちの車両をどのように仕上げていくのか、様々なトラブルに対処するための準備や大会に向けてのスケジュール管理など多くのことを考えさせられる大会となりました。大会の結果は満足のいくものではありませんでしたが、新たな試みとして、炭素繊維強化熱可塑性プラスチックを用いての部品を製作し最先端の技術に触れることが出来き、大会後からは次期車両でのカーボンホイール装着を目指し、カーボンホイールの疲労試験を行い良好な結果を得る事が出来ました。

私たちはこの大会への取り組みの中で、ものづくりのつらさ、楽しさを知り、一段と成長できたと思います。このように、最先端の技術に触れ、また構想から製作までの一貫したものづくりを経験できるのも、皆様のご支援のおかげです。部員一同、深く感謝致します。現在は、2012年大会の反省を真摯に受け止め、新しい体制のもと次期車両TG08の開発を行なっています。学生フォーミュラを通じてより一層成長していきたいと考えておりますので、今後とも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

滝川 浩史	電気・電子情報工学系教授
田上 英人	電気・電子情報工学系助教
廣畠 康裕	建築・都市システム学系教授
青木 伸一	建築・都市システム学系客員教授

井上 隆信	建築・都市システム学系教授
宮田 譲	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

▷ 安心・安全分野

▷ 自然エネルギー分野

▷ 環境分野

章 忠	機械工学系教授
今村 孝	機械工学系助教
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
田上 英人	電気・電子情報工学系助教

櫻井 庸司	電気・電子情報工学系教授
大平 孝	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 24 年度研究成果報告書

発 行 平成 25 年 3 月
発行者 国立大学法人豊橋技術科学大学
未来ビークルシティーリサーチセンター
〒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

未来ビークルシティリサーチセンター

〒441-8580 愛知県豊橋市天伯町雲雀ヶ丘1-1

電話(0532)44-6574