

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ー ～

平成23年度研究成果報告書



平成24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」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2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、日本の少子高齢化社会が進むことによる、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）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、電気自動車とその街のみの使用で遠出は困難という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. 豊橋市における電気バス導入効果計測のための交通手段選好意識モデルに関する検討
3. 次世代型自動車普及の経済効果と海上輸送へのモーダルシフトの可能性に関する研究
4. 交通弱者のための交通システム

5. 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
6. 豊橋技科大におけるカーシェアリングの滞在需要と環境への評価
7. 新しい交通手段による温室効果ガス低減効果
8. 水熱反応を用いる自転車タイヤチューブのケミカルリサイクル
9. 三河港水路内の夏期の水質悪化の実態とその要因に関する研究

本年度は、1)と2)の目標に対する9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を報告しております。さらに、本年度の新しい試みとして、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「安全安心地域共創リサーチセンター」と共催で防災に関するシンポジウムを開催したことも報告させていただきます。今後とも両センターと共同で事業を推進していきたいと考えております。

本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 EV 車／ハイブリッド型コミュニティバスの環境・コストメリットの算定

1-2 公共施設内における EV 車両導入効果の検討

1-3 バッテリーキャパシタハイブリッド電源

1-4 高効率回生システムの開発

1-5 大学試作の小型電気自動車のデモンストレーション

2. 豊橋市における電気バス導入効果計測のための交通手段選好意識モデルに関する検討

【建築・都市システム学系 教授 廣畠 康裕】

..... 25

2-1 はじめに

2-2 公共交通の現状

2-3 アンケート調査

2-4 交通手段選択モデルの構築

2-5 おわりに

3. 次世代型自動車普及の経済効果と海上輸送へのモーダルシフトの可能性に関する研究

【建築・都市システム学系 准教授 洪澤 博幸, 教授 宮田 譲】

..... 37

3-1 中国と日本における次世代自動車普及の経済効果

3-2 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の検討

4. 交通弱者のための交通システム

【機械工学系 教授 章 忠】

..... 48

4-1 ドライバの個性に着目した社会共生型安全運転支援に関する研究

4-2 新規導入したドライビングシミュレーターソフト・システムの構築

5. 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】	
	69
5-1 全周プロジェクションシステムを用いた安全・安心のためのコンテンツ作成	
5-2 全方位カメラを用いた危険検知に関する研究	
6. 豊橋技科大におけるカーシェアリングの滞在需要と環境への評価	
【環境・生命工学系 准教授 後藤 尚弘, 建築・都市システム学系 教授 宮田 譲】	
	78
6-1 緒論	
6-2 研究手法	
6-3 結果	
6-4 結論	
7. 新しい交通手段による温室効果ガス低減効果	
【環境・生命工学系 准教授 後藤 尚弘】	
	83
7-1 我が国の温室効果ガス排出状況	
7-2 電動バイク, 電動アシスト自転車について	
7-3 電動バイク, 電動アシスト自転車の導入ポテンシャル	
7-4 豊橋市における電動バイク, 電動アシスト自転車の導入ポテンシャル	
7-5 結論	
8. 水熱反応を用いる自転車タイヤチューブのケミカルリサイクル	
【環境・生命工学系 准教授 大門 裕之】	
	90
8-1 自転車社会の現状	
8-2 研究構成	
8-3 水熱反応	
8-4 高温高圧状態における水の特性	
8-5 水熱反応を用いたゴム製品の再生利用	
8-6 自転車タイヤチューブの材質	
8-7 ヒアリング調査	
8-8 実験装置と操作手順について	
8-9 水熱反応による自転車タイヤチューブの油化実験	
8-10 水熱反応を適用した自転車タイヤチューブの炭素挙動	

- 8-11 まとめ
- 8-12 今後の展望

9. 三河港水路内の夏期の水質悪化の実態とその要因に関する研究

【建築・都市システム学系 教授 青木 伸一, 井上 隆信】

..... 100

- 9-1 研究の背景と目的
- 9-2 梅田川モデルの概要
- 9-3 梅田川流出負荷モデルによる解析結果
- 9-4 海域調査の概要
- 9-5 結果と考察

平成23年度活動状況

1. 未来ビークルシティリサーチセンター第15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】

..... 112

2. その他の活動状況

..... 114

学生への支援

自動車研究部 2011シーズン活動報告書

..... 120

組織・構成

..... 129

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

電機・電子情報工学系 教授 滝川 浩史

1-1 EV車／ハイブリッド型コミュニティバスの環境・コストメリットの算定

(1) はじめに

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

(2) 導入対象

導入対象バス路線は、愛知県豊橋市の豊橋市民病院線（豊橋鉄道株式会社）とした。この路線は、豊橋駅から豊橋市民病院との間、または豊橋駅から同市民病院を経由して豊橋総合スポーツ公園までを往復運行する路線である。これらの運行のうち、豊橋駅から市民病院までの往復（片道4.5 km）を対象とした。なお、導入する電気バスまたはハイブリッドバスはどちらか

表 1-1-1 現行ディーゼルバス PDG-AR820GAN の仕様

全長×全幅×全高	8,990×2,340×2,950 (mm)
車両重量	8,260 kg
乗車定員	57 名
燃費	4.65 km/L
走行時 CO ₂ 排出量	0.564 kg- CO ₂ /km

表 1-1-2 モデル使用および条件

(1) 導入対象路線

豊橋市民病院線（豊橋駅-病院間：片道 4.5 km, 片道所要時間：12 分, 往復所要エネルギー：6.7 kWh）

(2) バス仕様（基準値）

ベース車両：PDG-AR820GAN

効率¹⁾

プラグ経由の系統充電効率：90%

回生充電効率：70%

電気エネルギーに基づく駆動効率：70%

プラグイン電気バス

搭載バッテリー容量：48 kWh

急速充電（容量の 80%以下）：24 Wh/s

通常充電（容量の 80～100%）：0.6 Wh/s

プラグインハイブリッドバス

発電機定格出力：140 kW

燃料消費量：32 L/h

搭載バッテリー容量：16 kWh

発電：搭載バッテリー容量の 40 %以下で開始, 80%で停止

発電機からの充電効率：70%

急速充電なし, 通常充電（上記値）のみ

バッテリー

許容入出力係数：6 W/Wh

許容放電深度：0～100%

(3) 運行条件

① 電気バス／ハイブリッドバス以外は現有ディーゼル車で運行

② 走行パターン：JE05 モードの都市内・渋滞路部

(8.4 km, 1,400 s)

③ 空調：なし

④ スケジュール：現時刻表を踏襲

⑤ 一日の初めは満充電状態

⑥ 豊橋駅での最低停車時間：3 min

⑦ 充電ステーション（豊橋駅）での 6 min を超える待機停車時には充電（6 min 未満の場合, 充電作業時間不十分と仮定）

(4) エネルギー単価（基準値）

軽油単価：113.83 円/L（2010 年 04 月～2011 年 03 月までの愛知県の店頭価格の平均値）

電気料金単価：10.75 円/kWh（中部電力(株)の高圧業務用電力の 2010 年の平均単価：標準電圧 6000 V, 契約電力 500 kW 未満 プラン C：昼夜一定料金）（発電時 CO₂ 排出係数：0.455 kg-CO₂/kWh）

1 台のみとし, そのバスが利用できない運行タイミングには, 現行のディーゼルバスを利用することとした。

(3) バスの仕様

豊橋市民病院線で現在運行しているディーゼルバス（三菱ふそうトラック・バス株式会社,

PDG-AR820GAN) の仕様を表 1-1-1 に示す。このバスを電気バスおよびハイブリッドバスの改造ベース車両とすることにした。

電気バスはエンジンを搭載せず、モータのみで走行するとした。電気バスはエンジンを搭載せず、モータのみで走行するとした。バッテリーの充電は容量 80%までは急速充電、それ以上は通常充電とした。また、制動時の運動エネルギーは電気エネルギーとして回収し、バッテリーに充電するとした。

ハイブリッドバスはエンジンを発電機として仕様し、モータのみで走行する、シリーズ方式とし、エンジンは常に定格運転するとした。エンジン発電による充電は、バッテリー残量が搭載バッテリー容量の 40%以下で開始し、80%以上で停止するとした。また、搭載バッテリーでは力行

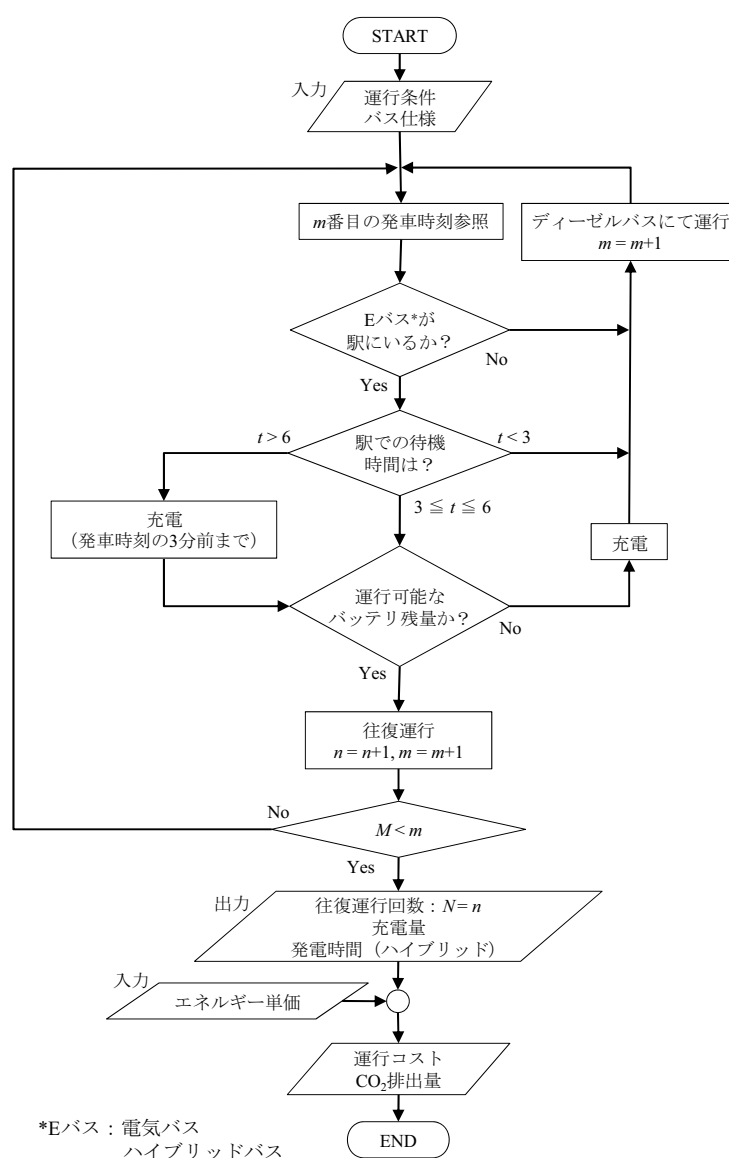


図 1-1-1 搭載バッテリー容量と運行コストの関係（平日）

の要求電力を賄えなかった場合にも発電するとした。なお、エンジン発電機を備えているため、急速充電は行わないとした。

(4) シミュレーションモデル

図 1-1-1 にシミュレーションの流れを示す。実路線への適用を検討するので、まず必要なのは、現在利用されている時刻表に従い、1 日の往復運行回数 M 回のうち、電気バスまたはハイブリッドバスで往復運行ができる回数 N を求めることである。可能運行回数 N は、バッテリーの残量、往復可能になるまでの充電時間 $t_{\min}$ 、および時刻表上の運行タイミングによって決まる。例えば、 m 回目の運行の発車時刻までに電気バスまたはハイブリッドバスの n 回目の運行が終了していたとき、もう 1 回以上往復可能なバッテリー残量があれば、 $m+1$ 回目の運行を電気バスまたはハイブリッドバスの $n+1$ 回目の運行として実施する。しかし、バッテリー残量が十分でない場合、充電を行った後、 $m+2$ 回目あるいはそれより遅い時刻の運行を電気バスまたはハイブリッドバスの運行の $n+1$ 回目として行う。なお、シミュレーションは秒単位で行った。以上の条件およびパラメータを表 1-1-2 に示す。

(5) シミュレーション結果

搭載バッテリー容量をパラメータとして、バス 1 台の一日の運行コスト（軽油代と電気代の和）および CO_2 排出量を求めた。図 1-1-2 および図 1-1-3 に平日の結果を示す。これらから以下のことがわかった。

- ① 電気バスの場合：往復に必要なエネルギー量は 6.7 kWh であるので、搭載バッテリー容量はそれ以上必要である。搭載バッテリー容量が 7 kWh 以上あれば、運行コストと CO_2 排出量はディーゼルバスのそれらより少なくなる。電気バスの一日の運行回数は、 7 kWh のとき 10 回、 8 kWh 以上のとき 12 回であった。運転コストおよび CO_2 排出量は運行回数に比例するため、 8 kWh 以上ではほぼ一定となり、 7 kWh の場合では 8 kWh 以上の場合より少なくなる。 7 kWh の場合の運行回数は 8 kWh 以上の場合より、2 回少ない。その 2 回はディーゼルバスが運行することになる。ディーゼルバスの運行コストは電気バスのそれよりも高いため、電気バスの運行回数が多い方が全体のコストメリットがあることになる。これらのことから、電気バスの搭載バッテリー容量は最少 8 kWh でよいと判断した。
- ② ハイブリッドバスの場合：搭載バッテリー容量に関わらず、平日の場合、一日の運行回数は 12 回であった。搭載バッテリー容量が 9 kWh 未満の場合、運行コストと CO_2 排出量はディーゼルバスのそれらより大きくなった。これは、搭載バッテリー容量が小さい場合、許容出力も小さいため、バッテリーからの出力が足りず、走行中頻繁にエンジンが稼動するためである。 10 kWh 以上の場合、運行コストと CO_2 排出量は、ディーゼルバスのそれらより少なく、かつ、ほぼ一定となった。これは、搭載バッテリー容量が概ね十分であり、エンジン発電への依存があまりないからである。

③ 3 者の比較：運行コストおよび CO₂ 排出量ともに電気バスが最も少なくなることがわかる。搭載バッテリー容量については、電気バスの場合、駅での待機時間に急速充電を行うことによって、ハイブリッドバスと同程度にまで小さくしてもよいことがわかる。

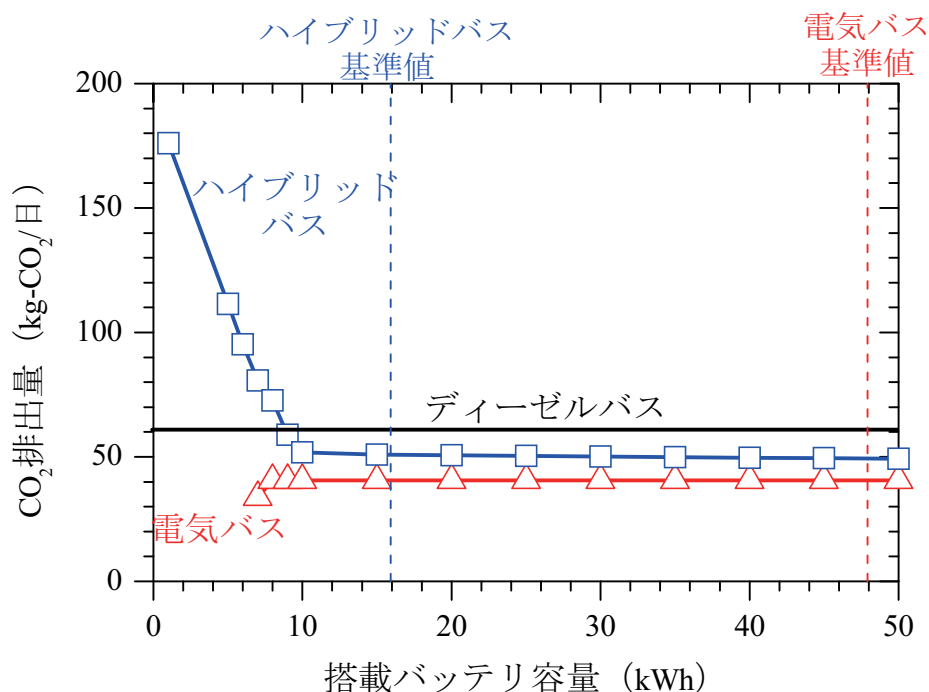


図 1-1-2 搭載バッテリー容量と運行コストの関係（平日）

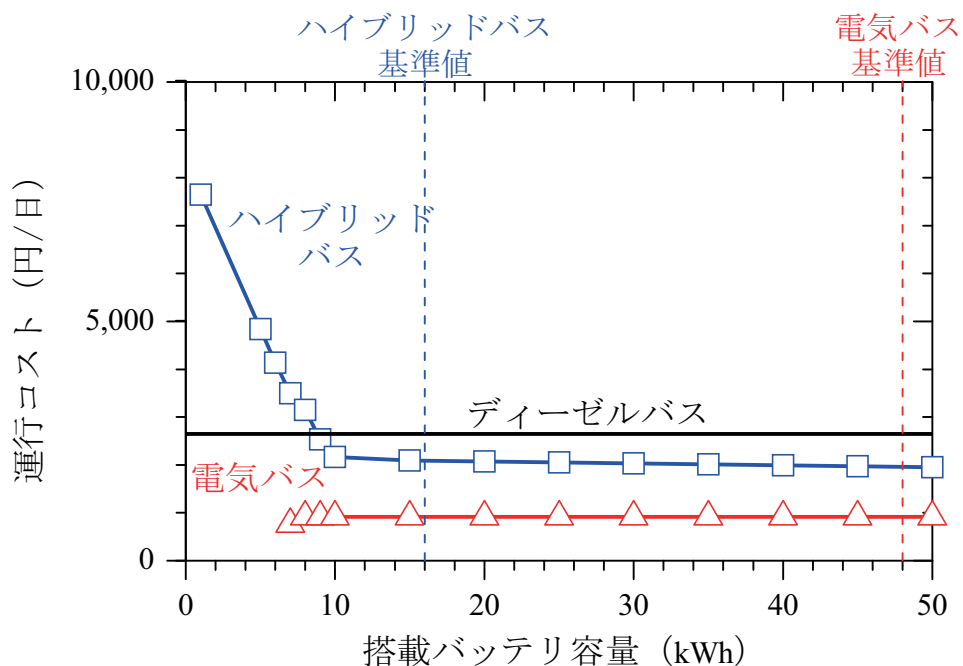


図 1-1-3 搭載バッテリー容量と CO₂ 排出量の関係（平日）

搭載バッテリー容量が同程度ならば、複雑な機構を持つハイブリッドバスより電気バスの方がコストやメンテナンスの点で有利である。なお、電気バスとハイブリッドバスとにおいて、コストの差が生じたのは、急速充電の有無に起因している。つまり、ハイブリッドバスの場合、急速充電なしとしたため、駅で十分な充電ができず、その結果、単価の高い軽油を用いたエンジン発電機で走行することになるからである。

(6) まとめ

電気バスとハイブリッドバスを実路線に導入した際に、ディーゼルバスと比べ、運行コストとCO₂排出量において、どのような効果があるかを検討した。その結果、電気バス、ハイブリッドバスともに運行コストおよびCO₂排出量はディーゼルバスの場合より減少することがわかった。電気バスの場合、待機時間中に急速充電することによって、搭載バッテリー容量を最小 8 kWh まで小さくできることがわかった。つまり、市内路線では、往復に必要なエネルギーよりやや大きな容量のバッテリーを搭載すればよいと言える。高価なバッテリーの量を少なくできることは導入コストへの効果が大きい。ハイブリッドバスの場合、一日の初めの満充電の分の電気エネルギーは運行コストおよびCO₂排出量の削減に寄与できるが、急速充電とできなかったため、運転間に十分な充電ができない。そのため、エンジンが稼働し、電気バスと比べ、運行コストおよびCO₂排出量の削減量が少ない。従って、これらの削減量の観点からは、急速充電ありの電気バスの導入が好適であると言える。

1-2 公共施設内における EV 車両導入効果の検討

(1) はじめに

東三河地域は、全国に誇る農業地帯であり、今後農工商連携の活発化なども期待されている。農業においては、利用エネルギーの変換（重油から、自然エネルギーあるいは電気エネルギーへ）や農業用ビークルの EV 化が検討されており、特に、EV 時代の到来は疑う余地がなく、産業の転換を促す「引き金」となると考えられる。今回、のんほいパークの客車牽引車の現状調査を行うとともに、同車両を EV 化した場合の、環境およびコストメリットを検討した。のんほいパークは、三遠南信地域において、最大規模の動植物公園であり、豊橋市民には非常になじみ深い場所といえる。また、同施設における太陽光発電量を調査し、EV 車両への電力供給の可能性を検討した。

(2) のんほいパーク内における客車牽引者の運行状況

のんほいパークの園内地図を図 1-2-1 に、運行している園内バスを図 1-2-2 に示す。図 1-2-1 の地図中に示されている運行ルートについて調査をした。地図上から運行ルートの距離を 2 km と推定した。停留所が 8 箇所あるので、平均の停留所間隔は 250 m である。このルートを日曜日・祝日は 3 台、土曜日は 2 台のバスが一周約 25 分間で運行している。また、実地での運行調査も行った。図 1-2-3 に調査風景を示す。4 箇所の停留所に待機し営業時間中に停留所を通過し

たバスの乗車人数や停留所への発着時刻を調査した。曜日や祝日、天候などを考慮し合計6回行った。図1-2-2に示した園内バスについても調査をした。この車両はToyota 2TG10 (Toyota L&F) という牽引用トラクタで、燃料はガソリンである。この車両が客車を2両牽引し、運行している。客車の乗車定員は合計20名で、運転手の他に常に車掌が1名乗車している。



図1-2-1 のんほいパーク園内地図



図1-2-2 のんほいパーク園内バス



図 1-2-3 園内バス運行調査風景

(3) コストメリットの算定

① シミュレーション条件

調査した情報を基に運行シミュレーションを行い、客車牽引者を EV 化した際のコストおよび環境メリットの算定をした。表 1-2-1 にシミュレーションで使用した条件とパラメータを示す。シミュレーションは常に満員状態（総重量 3,500 kg）とし、1 日中運行できるバッテリー容量とした。バッテリーの充電は運行終了後の夜間のみに行うとした。また、速度は加減速以外を 7.2 km/h で一定とし停留所の停車時間を 1 分とした。また、勾配はそれほど急なものが無く、結果に大きな影響を与えない判断し、無視した。EV 化することにより、走行時に CO₂ の排出が無くなる。しかし、電気を使用するので、その発電時に排出される CO₂ を考慮する必要がある。この CO₂ 排出量と現状のガソリン車量から排出される CO₂ 排出量を比較することによって環境メリットを算出する。コストメリットは、現状消費しているガソリンの量と、EV 化後に消費される電力量からそれぞれの単価を用いてランニングコストの算定、比較を行った。ガソリン単価は 2011 年 6 月までの愛知県の年間店頭平均価格である 139 円/L を用いた。電気料金は単価は中部電力の高圧業務用電力（標準電圧 6,000 V，契約電力 500 kW 未満，プラン C）の年平均単価である 10.75 円/kWh を用いた。発電時の CO₂ 排出量は中部電力の 2009 年度の実排出係数の実績値である 0.474 kg-CO₂/kWh を用いた。

表 1-2-1 シミュレーション条件とパラメータ

運行	
施設	豊橋動植物公園
ルート	
1 周の長さ	2 km
1 周の所要時間	25 min
停留所数	8 箇所
停留所の停車時間	1 min
1 日に運行数	17 周/台
客車牽引者の仕様	
メーカー / 型番	Toyota / 2TG10
乗車定員	20 人
車両重量	1,470 kg
総重量	3,500 kg
燃費	2.5 km/L
(走行時 CO ₂ 排出量	0.944 kg-CO ₂ /km)
改造価格	1,200,000 円
バッテリー	
メーカー / 型番	Panasonic / EC-FV1260
直列数	12
合計容量	8,640 Wh
サイクル寿命	350 回
バッテリー価格	336,000 円
パラメータ	
ガソリン単価	139 円/L
電気料金単価	10.75 円/kWh
(発電時 CO ₂ 排出量	0.474 t-CO ₂ /kWh)

② シミュレーション結果とコスト・環境メリット

前述の条件下にて、平均停留所間隔である 250 m, 140 秒間のシミュレーション結果を図 1-2-4 に示す。1 区間の消費電力は 48 Wh となったので、1 周の消費電力は 384 Wh、1 日の消費電力は 6,500 Wh である。この結果から EV 化前後のランニングコストと CO₂ 排出量を算出した。結果を図 1-2-5 に示す。ランニングコストは年間 23 万円、CO₂ 排出量は年間 3.7 t-CO₂ の削減となった。EV 化によってランニングコスト、CO₂ 排出量ともに大幅な削減が期待できる。

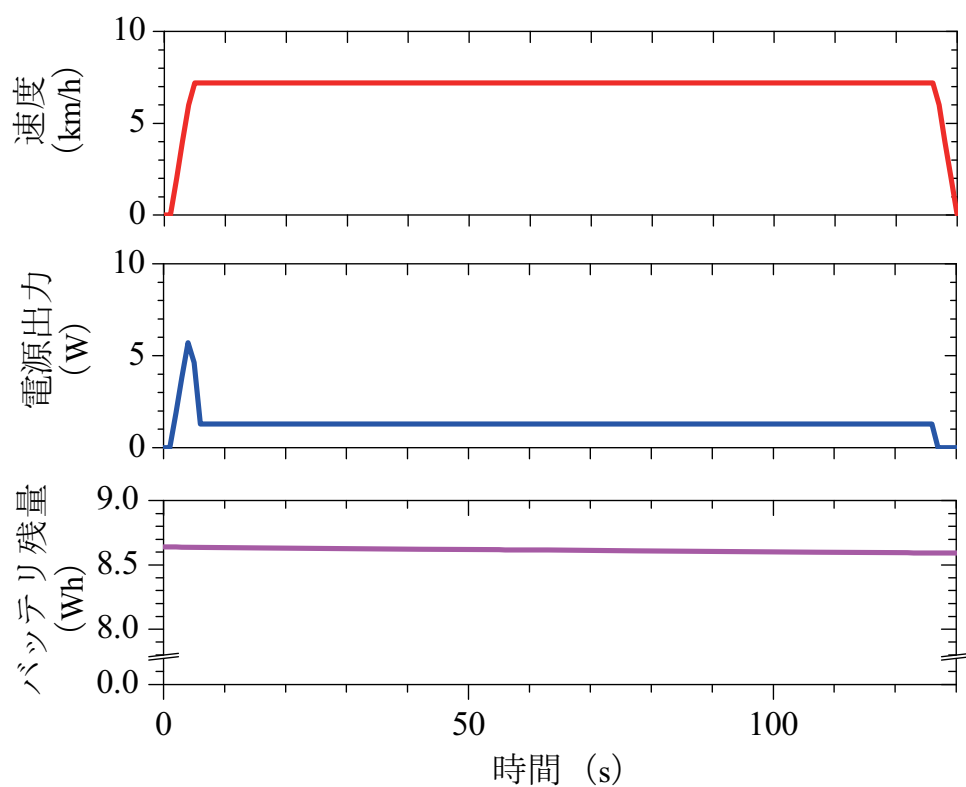


図 1-2-4 停留所間 1 区間のシミュレーション結果

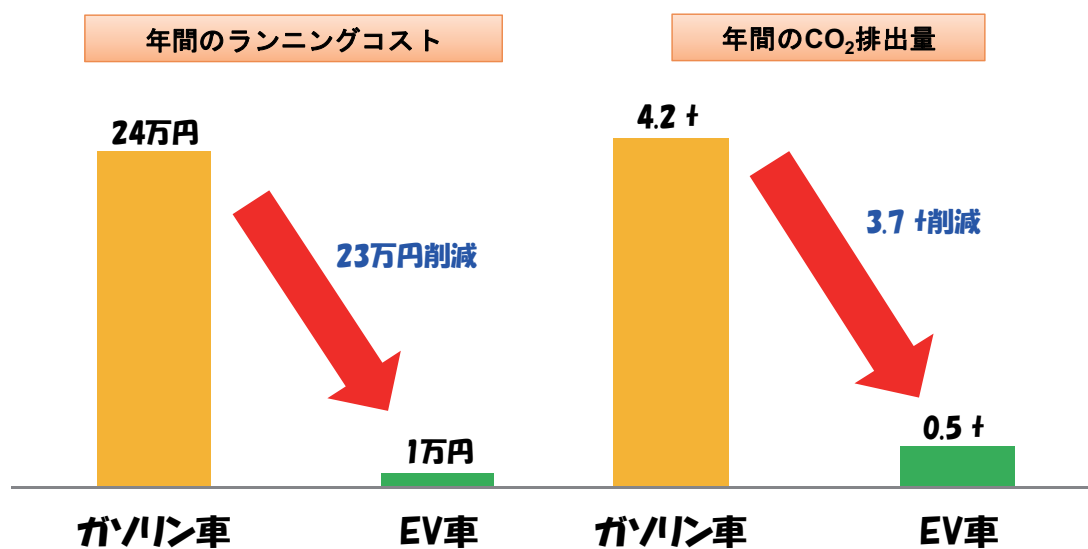


図 1-2-5 EV 化前後のコストと CO₂ 排出量

③ EV 化コストの償却年数

EV 化によって削減されるコストで EV 化にかかる費用（約 120 万円）を償却できる期間を検討した。年間 120 日運行したとすると、バッテリーのサイクル寿命が約 350 回なので、3 年に一度交換が必要になる。EV 化後のコスト収支を図 1-2-6 に示す。同図から約 10 年間で EV 化コストを回収できることがわかる。また、今後バッテリー価格の低下やガソリン価格の高騰などによっては、この期間が短くなる可能性もある。

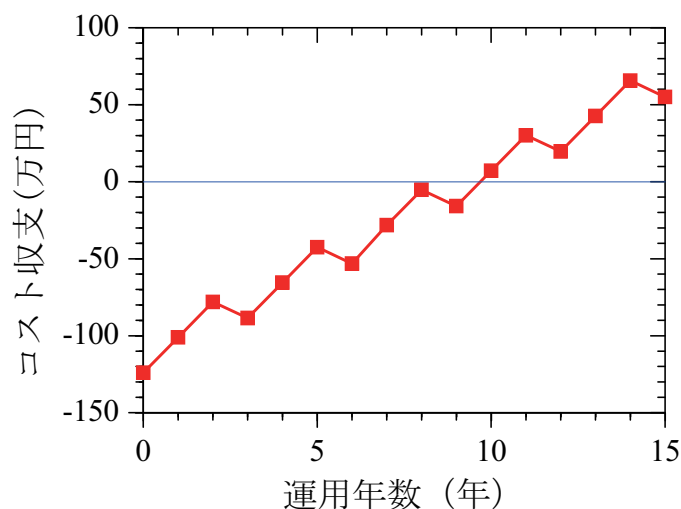


図 1-2-6 EV 化後のコスト収支

（４） EV 車両への太陽電池による電力供給

のんほいパークには自然史博物館の屋上に太陽電池パネル（20 kW）が設置されている。設置されている太陽電池パネルの写真を図 1-2-7 に示す。EV 化したとしても電気の供給源を現状と同じく電気事業者とすると、発電の際に CO₂ を排出してしまう。EV への電力供給に太陽電池を用いることへの可能性を検討した。シミュレーションによって算出した EV の消費電力量と 2010 年度の太陽電池の発電電力量を図 1-2-8 に示す。一日の発電量は EV の消費電力量に対し多く、十分に供給できるといえる。また、EV の年間消費電力量は太陽電池の年間発電量の 3.4%であった。



図 1-2-7 のんほいパークの太陽電池

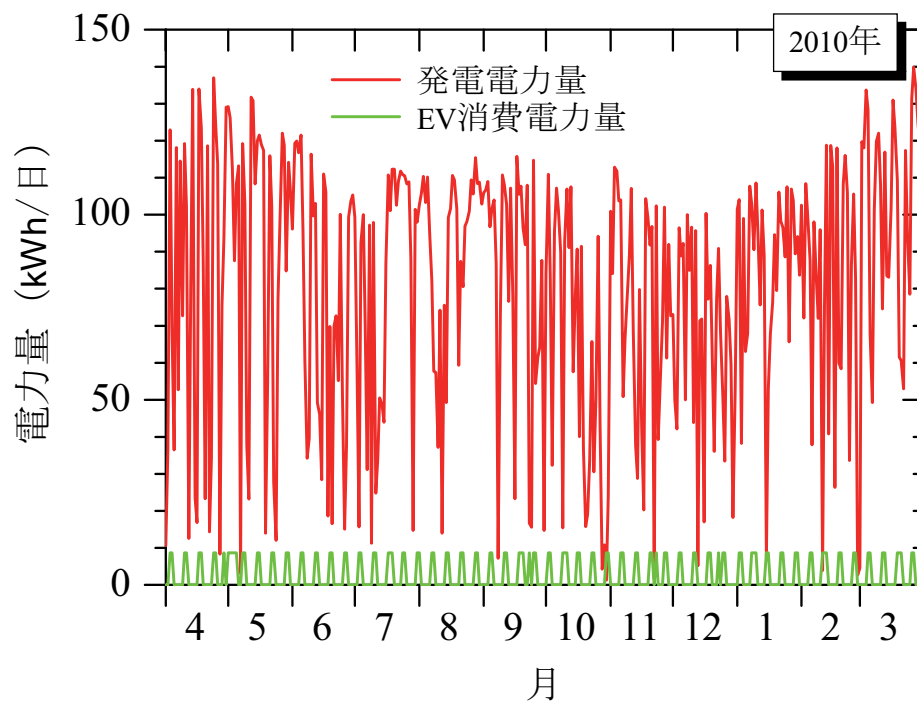


図 1-2-8 年間の発電量と EV 消費電力量

（５） 客車牽引者の EV 化

シミュレーションの結果を基にのんほいパークで運行しているものと同一車両（Toyota 2TG10）をエンジンや燃料タンクを取り外し、モータやバッテリーを搭載し EV 化した。モータは DC ブラシモータ（AMD Motor, FB1-4001, 144 V, 27 kW）を使用した。バッテリーは表 1-2-1 と同様に鉛蓄電池（Panasonic, EC-FV1260, 12V, 60 Ah）を 12 個直列にして使用した。改造作業は EV TOYOHASHI 株式会社に依頼した。EV 化した車両の写真を図 1-2-9 に、改造前後のモータ/エンジンの性能の比較を示す。



図 1-2-9 改造 EV トラクタ外観

表 1-2-2 改造前後のトラクタのモータ/エンジン性能比較

項目	改造 EV トラクタ*	エンジントラクタ
定格出力	28.5 / 5000 ps / rpm	32 / 3100 ps / rpm
最大トルク	12.4 / 0-3300 kg・m / rpm	8.6 / 2200 kg・m / rpm
登坂能力	約 50°	約 25°

*改造 EV トラクタは計算値

（６）フィールド試験

① 試験概要

実際に改造した車両がシミュレーション通りの性能であるかを調べるために、実際にのんほいパークでフィールド試験を行い、評価をした。フィールド試験の詳細を表 1-2-3 に示す。21 名が乗車した客車を改造 EV トラクタに接続し、園内バスが運行している同様のルート进行した。計測項目は、車両速度、バッテリー電圧、バッテリー出力電流の 3 種類とした。図 1-2-10 にフィールド試験風景を示す。

表 1-2-3 走行試験詳細

実施日	2011 年 12 月 26 日
走行ルート	園内バスと同様
周回数	3 周
客車乗員数	21 名
総重量	3,724 kg
計測項目	車両速度、バッテリー電圧、バッテリー出力電流



図 1-2-10 のんほいパークでのフィールド試験

② 試験結果

一例として図 1-2-11 に運行ルートを 1 周した際の計測結果と、計測した走行パターンや重量でのシミュレーション結果を示す。計測した消費電力量は 1,016 Wh、シミュレーションのそれは 709 Wh であった。計測結果のほうが約 300 Wh 多くなった。この消費電力量の差が発生した理由は、シミュレーションは勾配を無視しているからである。図 1-2-12 に計測した消費電力量と勾配を考慮したシミュレーションを示す。勾配を考慮することによって、シミュレーションでの消費電力量は 1,020 Wh となり、計測結果とほぼ同じとなった。しかし、当初のシミュレーションでの 1 周の消費電力量は 384 Wh であり、倍以上の値となってしまった。この理由は、当初推定した運行ルートが 2 km であったのに対し、実際に走行すると 2.5 km と長かったこと、そこから車両の走行速度が当初より速くなったこと、また、図 1-2-4 のように一定の速度パターンは現実には難しく、再現できないことなどが挙げられる。よって現状の搭載バッテリー容量 8,640 Wh では、8 周しかできず、1 日中（17 周）運行するには更に多くのバッテリーを搭載する必要がある。

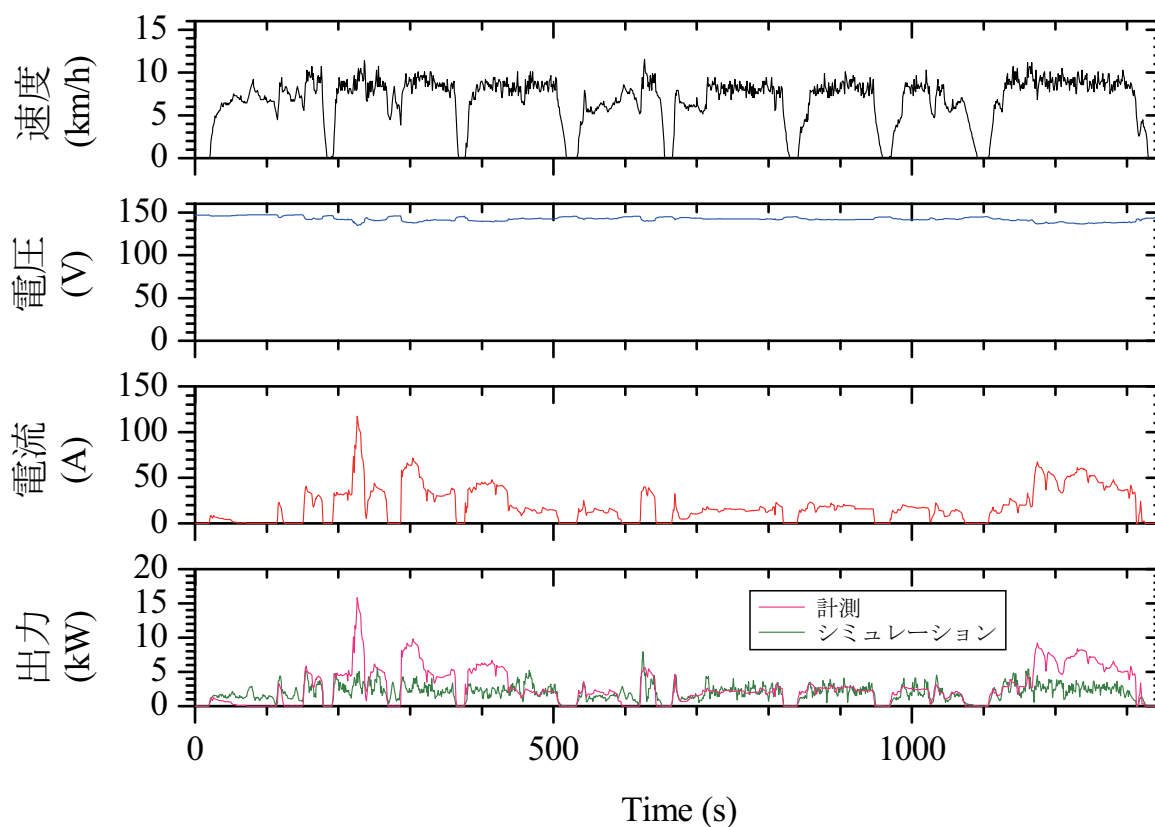


図 1-2-11 計測結果とシミュレーション結果

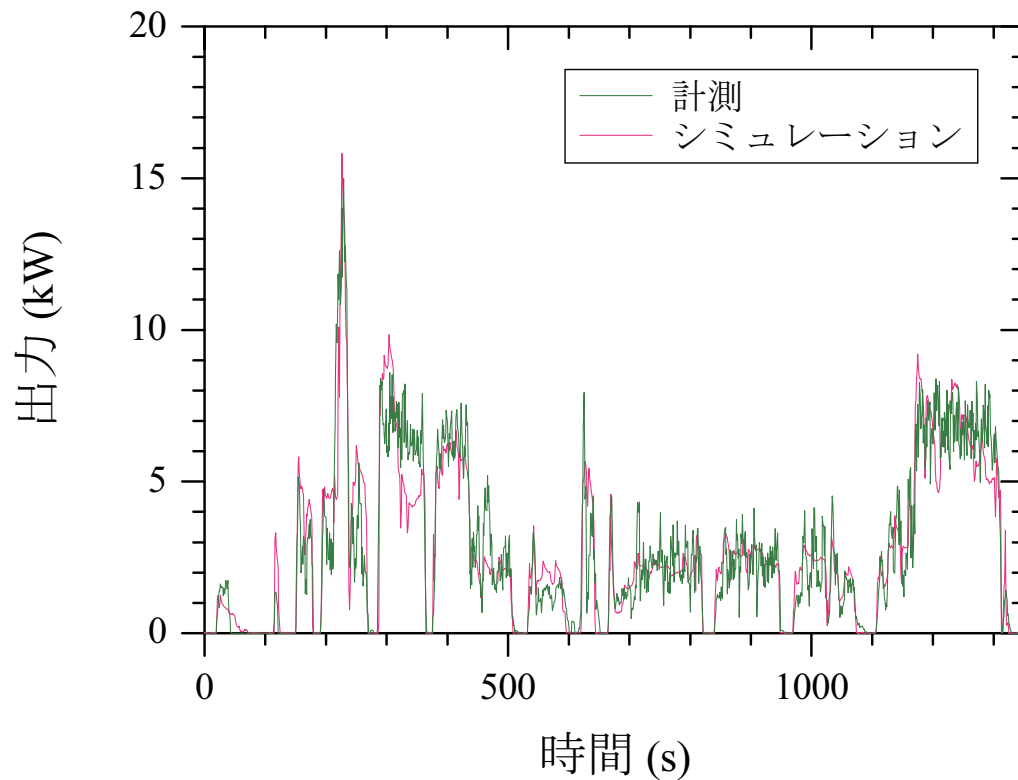


図 1-2-12 勾配を考慮したシミュレーション結果と計測結果

(7) まとめ

のんほいパークの客車牽引者の現状調査および、EV 化した際の環境・コストメリットの検討を行った。当初のシミュレーション結果ではコスト、CO₂ 排出量ともに大幅に削減ができ、EV 化コストも約 10 年で償却可能という結果となった。また、太陽電池からも十分に電力を供給可能であるという結果となった。しかし実際に車両を改造し、フィールド試験を行ったところ、シミュレーションの値より消費電力が多くなってしまい、乗客が定員まで乗車した場合、半日程度しか運行できないという結果となった。対策としては、現状より多くのバッテリーを搭載するなどが挙げられる。

1-3 バッテリー-キャパシタハイブリッド電源

(1) はじめに

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

(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。現在市販のキャパシタのエネルギー密度は二次電池と比べて小さい。このため、現行の電気自動車に、単に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。今年度は、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、走行実験を通してその評価を行った。特に、バッテリーの出力電流・電力の低減効果について評価した。

(3) 実験用小型 EV・ハイブリッド電源の製作

製作した小型 EV の外観を図 1-3-1 に示す。3 輪駆動のガソリン車である BUBU501（光岡自

動車)をベースに、後輪 2 輪駆動の電気自動車に改造した。走行用のモータには、図 1-3-2 に示すインホイールモータ (IWM : In-Wheel Motor) を用いた。IWM は、タイヤの内部にモータが内蔵された一体構造であり、通常の車両で必要とされるギア等の伝達系が不要である。このため、車両の軽量化や高効率化が期待できる。また、1 台の車両に対して個々のタイヤを独立に制御できるため、従来の車にはない、高い制御性を確保できる。この小型 EV は一人乗りで、最高速度は約 25 km/h、バッテリーやキャパシタ等の電源を除いた重量は 151 kg である。この小型 EV にハイブリッド電源を搭載し、実証実験を行った。

ハイブリッド電源を搭載した、小型 EV の駆動制御回路を図 1-3-3 に示す。バッテリーと EDLC とを自作の DC-DC コンバータで接続し、EDLC からインバータを通してモータへ電力を供給



図 1-3-1 本研究室で製作した実験用小型 EV



図 1-3-2 インホイールモータ (600 W, 48 V)

するシステムとした。DC-DC コンバータは、出力電流（EDLC への充電電流）を一定にするよう制御した。従来のハイブリッド電源では、DC-DC コンバータの出力電力を、キャパシタの出力電力の平均値になるよう制御する方式が一般的であった。しかし、電力計測のために多くのセンサを必要とし、また、電力の制御のために高度なコントローラを搭載する必要があった。また、バッテリーの出力電流をあまり一定にできず、キャパシタとハイブリッドすることによる効果が薄かった。そこで本研究室では、DC-DC コンバータの出力電流を一定にするよう制御することで、センサの数を削減し、コントローラの簡素化を図った。

製作したハイブリッド電源を、EV に搭載した様子を図 1-3-4 に示す。バッテリー・EDLC, DC-DC コンバータを、車両の後部に設置した。

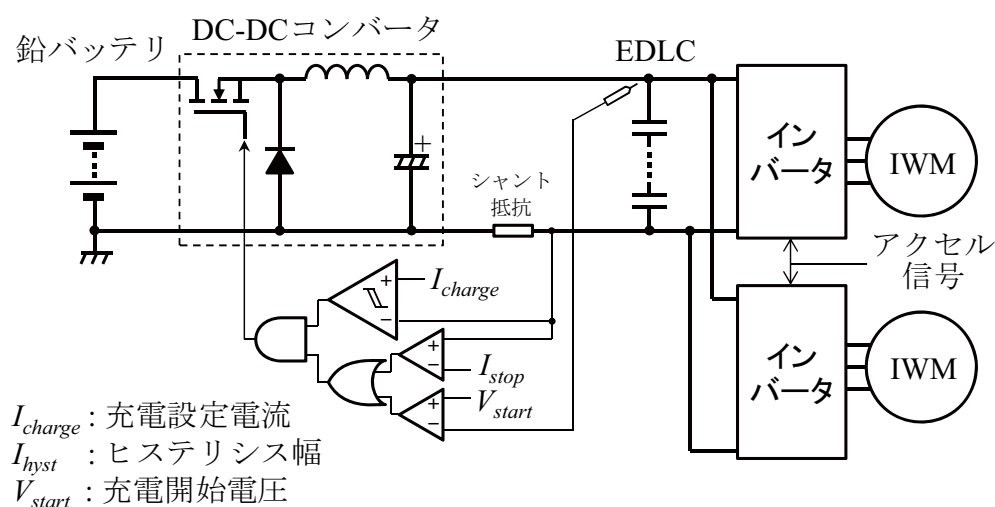


図 1-3-3 小型 EV の駆動制御回路

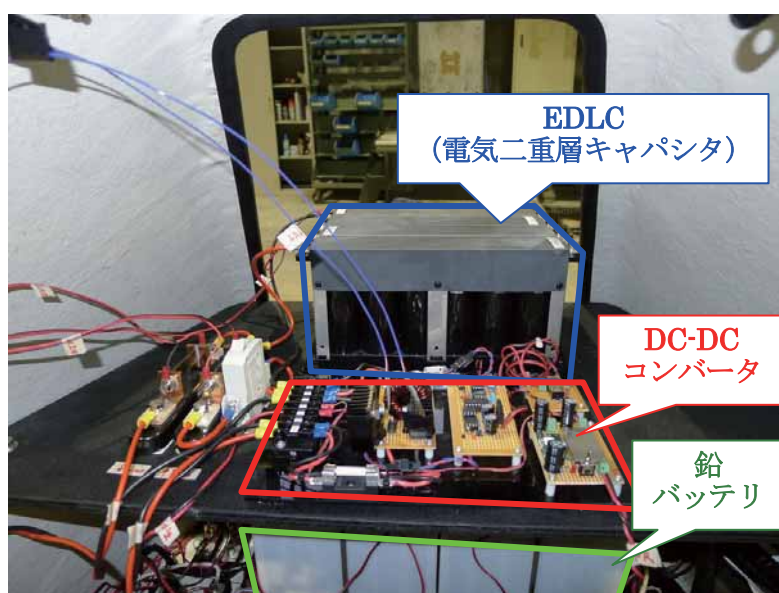


図 1-3-4 小型 EV の駆動制御回路の外観

(4) 走行実験と評価

ハイブリッド電源を搭載した EV (BC-EV) と、バッテリーのみを搭載した EV (B-EV) とを同じ速度パターンで走行させ、バッテリーと EDLC の出力を比較した。B-EV は、BC-EV から EDLC と DC-DC コンバータを取り外し、バッテリーを直接インバータに接続した EV である。走行は、本学学内の、舗装された 50 m の直線道路で行い、加速・定速・減速の一連の速度パターンで走行した。実験の結果を図 1-3-5 に示す。図は上から、車両の速度、バッテリーと EDLC の出力電流、電圧、出力電力である。B-EV では、車両の加速と同時にバッテリーから約 40 A の大電流を放電したのに対し、BC-EV では EDLC が代わりに放電することで、バッテリーの出力電流を小さくすることができた。また、DC-DC コンバータを制御して EDLC を一定電流で充電することで、バッテリーの出力電流もほぼ一定に制御することができた。このことから、従来のハイブリッド電源と比べて、バッテリーをより安定した状態で使用でき、さらなる長寿命化が期待できる。また、B-EV と BC-EV の出力電流の最大値を比べると、BC-EV は B-EV よりも約 70 % も小さくすることができた。さらに、B-EV では回生ブレーキ (Regenerative braking) 時のエネルギー回収をバッテリーに行ったのに対し、BC-EV では EDLC で回収したため、バッテリーの充放電回数を少なくすることができた。以上の結果から、バッテリーの長寿命化が期待できる。

今後の課題として、バッテリーの寿命がどの程度延長するのか、サイクル試験を通した検証が必要である。また、回生ブレーキシステムを改善し、回収電力をより多くする努力が必要であ

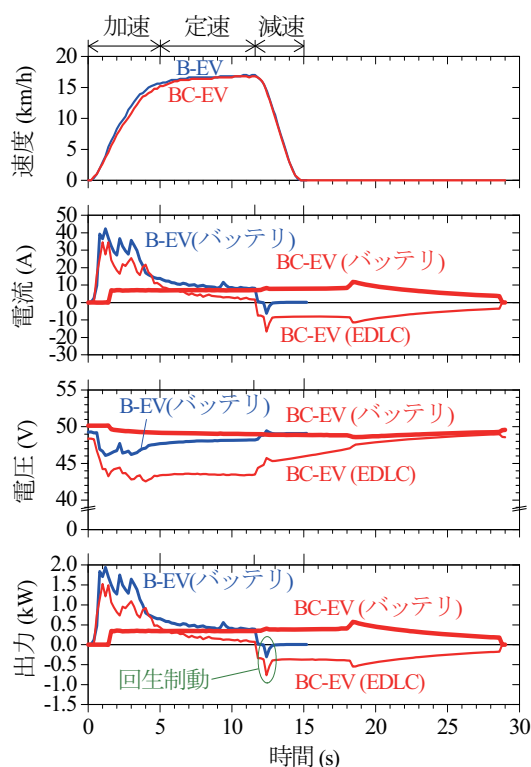


図 1-3-5 走行実験結果

る。

1-4 高効率回生システムの開発

(1) 小型回生試験装置による回生実験

① はじめに

近年、低環境負荷と考えられる電気自動車の開発が進んでいる。そこでの課題は、航続距離の延長とバッテリーの長寿命化である。このような背景から、本研究室ではバッテリー-キャパシタ併用(BCH)電源の開発を進めている。BCH 電源は、キャパシタで加速時に大電流を出力するとともに回生エネルギー（ブレーキ時にモータを発電機として動作させ、回収することができるエネルギー）を吸収し、バッテリー負荷を手源することで、バッテリーの長寿命化を図ろうというものである。また、キャパシタへの回生エネルギー回収効率を向上させることで航続距離も延長することができる。そこで、回生エネルギー回収効率の高いシステムの開発を目指し、小型回生試験装置による回生実験を行った。

② キャパシタへの定電流充電制御回路

キャパシタへの充電は、定電流で充電を行うほうが良いと言われている⁽¹⁾。そこで、定電流充電回路として、降圧コンバータを作製しキャパシタへの充電電流を一定値に制限するようにした。この回生システム図を図 1-4-1 に、実験結果を図 1-4-2 に示す。この結果から、キャパシタの初期電圧が回生効率に影響し、最適値が存在することが分かった。これは、キャパシタの初期電圧が高いほど、入出力の電位差が小さくなりコンバータの動作周波数が低くなる。その結果、コンバータの効率が高くなる。一方、回生時間は短くなることが原因と考えられる。モータの発電効率とコンバータの変換効率が低いことが分かった。コンバータの変換効率の改善手段としては、制御方法を変更が考えられ、モータの発電効率の改善手段としては、極数切替モータの開発を考えた。

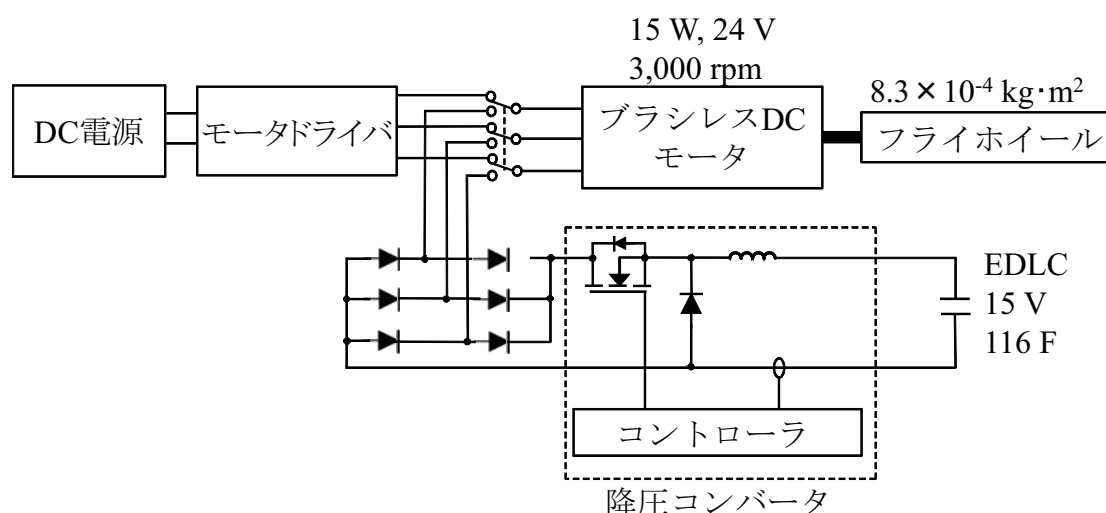


図 1-4-1 小型回生試験装置のシステム図

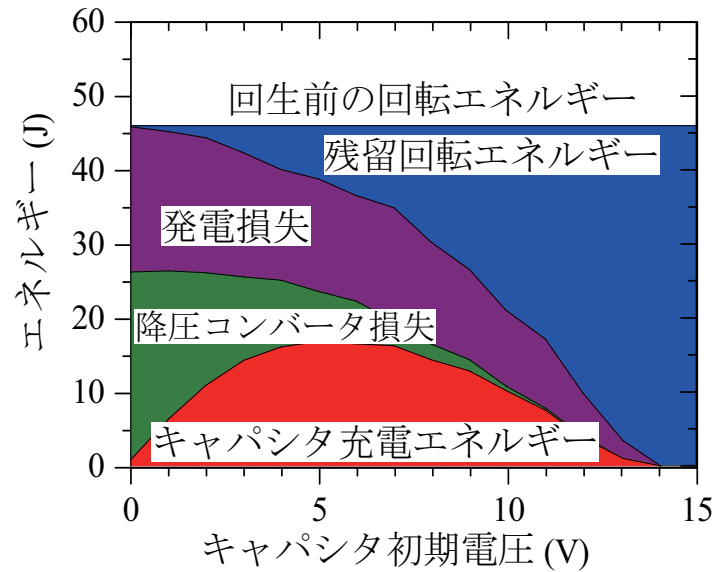


図 1-4-2 小型回生試験装置による実験結果

③ 極数切替モータの開発

モータは走行時に高効率で、発電機は発電時に高効率である。車両用モータは回生時に発電機として動作させるため、回生時の効率が悪い。そこで、回生時にモータの極数を変え、発電機として動作させても高効率なモータを考えた。まず、導入効果の検討のため、極数を切替るとモータの起電圧、電機子リアクタンス、電機子抵抗のみが変わるとしてモータを発電機として動作させた場合の特性を計算した。結果を図 1-4-3 に示す。結果、極数が多ければ銅損が大きいが低回転数でも発電可能であることが分かった。

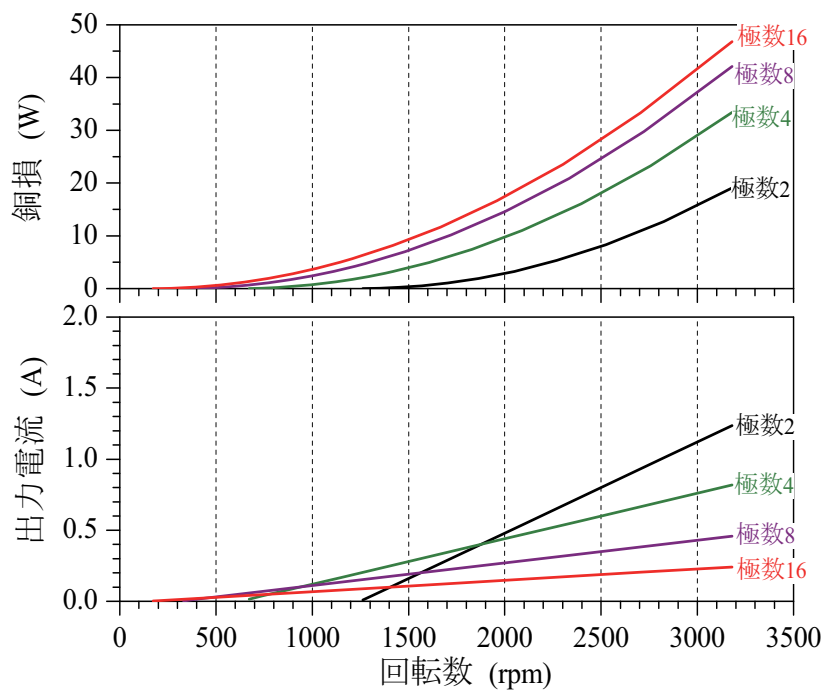


図 1-4-3 極数によるモータ特性の違い

(2) MATLAB/Simulink による車両の回生モデルの作製

① はじめに

回生現象の理解を促進するために、MATLAB/Simulink により車両モデルと回生制動のモデル化を行った。図 1-4-4 に回生制動のモデルを示す。小型 EV による走行試験により BCH 電源を用いた場合、回生エネルギー回収効率がキャパシタへの充電電流に依存していたため、今回作製したモデルでシミュレーションした場合も同様の結果となるか確認を行った。

② シミュレーション

小型 EV による走行試験とシミュレーション結果を比較した結果を図 1-4-5 に示す。結果はほぼ一致し、充電電流を大きくすると回生エネルギー回収効率は向上し、20 A で頭打ちとなった。これは、充電電流を大きくすると制動力が大きくなり、回生時間が短くなる。そのため、走行抵抗の影響が小さくなることが原因と考えられる。また、充電電流を 20 A 以上に設定しても、発電機の出力不足で設定値に制御できないことが、回生エネルギー回収効率が頭打ちになる原因と考えられる。

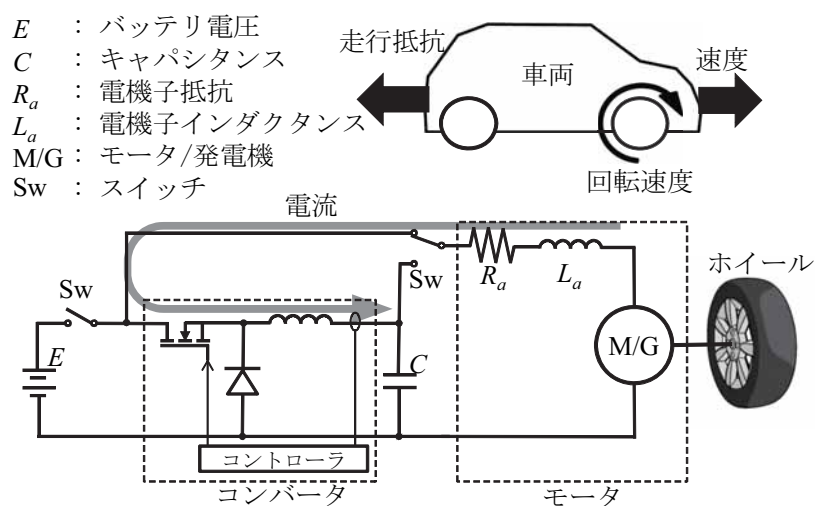


図 1-4-4 車両の回生制動モデル

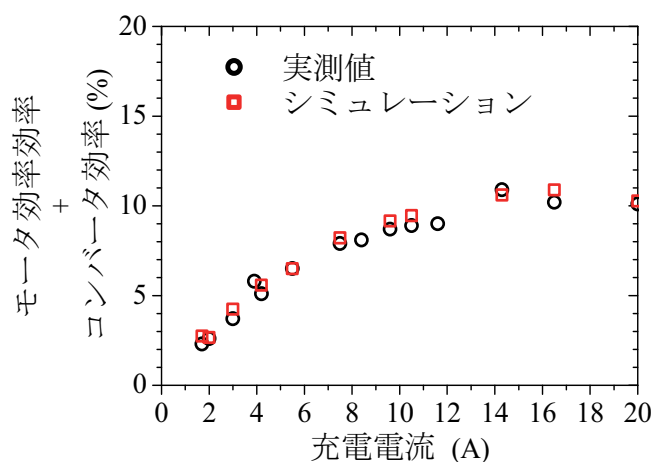


図 1-4-5 充電電流とモータ効率+コンバータ効率の関係

1-5 大学試作の小型電気自動車のデモンストレーション

(1) 市民へのデモンストレーション

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

(2) 小型 EV の試乗体験（第 28 回 豊橋技術科学大学オープンキャンパス）

2011 年 8 月 27 日に豊橋技術科学大学にて、第 28 回オープンキャンパスが開催された。そこで、本研究室では製作した小型 EV の試乗会を行った。図 1-5-1 はその様子である。試乗会では車両の速度を制限し、普段はなかなか電気自動車に乗ることができない高校生から大人の方まで、約 80 名の幅広い年齢層の方々に試乗して頂けた。



図 1-5-1 小型 EV の試乗風景（2011 年 8 月 27 日 豊橋技術科学大学にて）

2. 豊橋市における電気バス導入効果計測のための交通手段選好意識モデルに関する検討

建築・都市システム学系 教授 廣島康裕

学部4年 井上照也

2-1 はじめに

わが国ではモータリゼーションの進展により、自動車利用者が増加し、暮らしを豊かにしてきた。一方で、都市部においては交通渋滞や交通公害が発生するようになり、地方都市では公共交通の衰退が進んでいる。また、資源枯渇や地球温暖化などの環境問題が深刻化するようになった今、環境負荷の小さい都市構造への転換も求められている。そのため豊橋市では、2011年3月に策定した2020年を目標年次とする第5次豊橋市総合計画において、誰もが暮らしやすく環境負荷の小さい交通体系への転換を目指した「歩いて暮らせるまち」の実現を目指している。その中で公共交通の果たす役割は極めて大きく、魅力ある公共交通の整備が重要課題となっている。

そこで本研究では、豊橋市に新たな公共交通として、環境にやさしい電気バスを導入した場合の効果を検討するため、SP データを用いた交通手段選択モデルを構築し、電気バス利用率への影響を分析することを目的とする。

なお、電気バスの特徴として、電動機を動力源とするため、従来のディーゼルエンジンバスと比較して温室効果ガスの排出量が少なく、低振動かつ低騒音であるため快適な車内環境をバス利用者に提供できるという長所がある。しかし、現状では車両価格が非常に高価で、電力供給が蓄電池方式の場合、一回の充電で走ることのできる距離が短いという欠点がある。そのため、将来的には車両価格の低減が望まれ、大容量蓄電池による排気ガスを出さないクリーンなバス車両が走ることが期待されている。

2-2 公共交通の現状

(1) 概説

公共交通は誰でも利用可能な交通手段として、多くの利用者によって支えられてきた。しかし、少子高齢化が進行した結果、2005年には戦後初めて人口が減少する人口減少社会を迎えた。今後、さらに高齢化が進むとされている中、高齢者の移動手段が問題となっている。今まで自動車を運転してきた人たちが、運転能力の低下により運転できなくなったとき、公共交通がなければ移動が大幅に制限されてしまうようになる。ところが、自動車利用者の増加により公共交通利用者数の減少が続く、特に地方都市では採算が取れず、廃止される公共交通路線が増加している状況となっている。

(2) 代表交通手段利用率の経年変化

中京都市圏パーソントリップ調査による代表交通手段の変化について取り上げる。まず、昭

和 46 年から平成 13 年までの代表交通手段別利用率の推移を図 2-2-1 に示す。これより、自動車の利用率が大きく増加し、徒歩が大きく減少する傾向にあることがわかる。一方、公共交通は全体として微減傾向にあり、鉄道の利用率はほぼ横ばいであるが、バスの利用率は減少傾向にあることがわかる。特に地方都市におけるバス利用者の減少の影響を大きく受けていることによると考えられる。

次に、第 4 回中京都市圏パーソントリップ調査（平成 13 年）による年齢階層別代表交通手段構成を図 2-2-2 に示した。これより、高齢になるほどバスの利用率が増加していること、また自動車同乗の割合も増加していることがわかる。

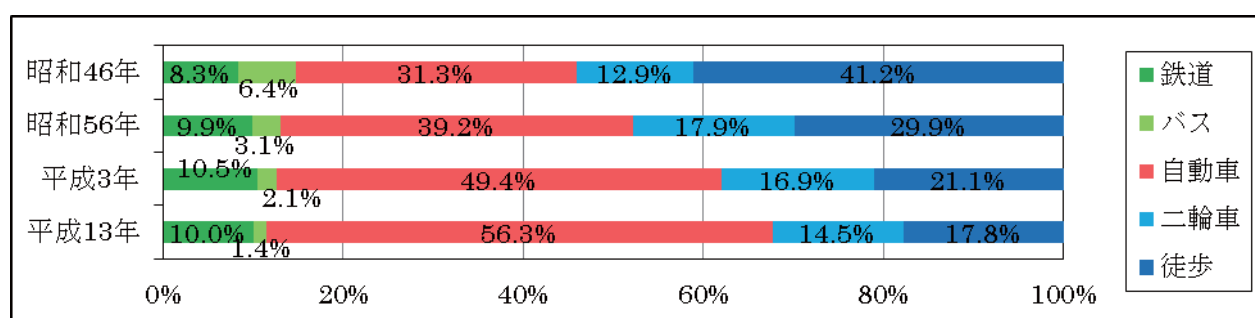


図 2-2-1 代表交通手段別利用率の推移（中京都市圏 PT 調査）

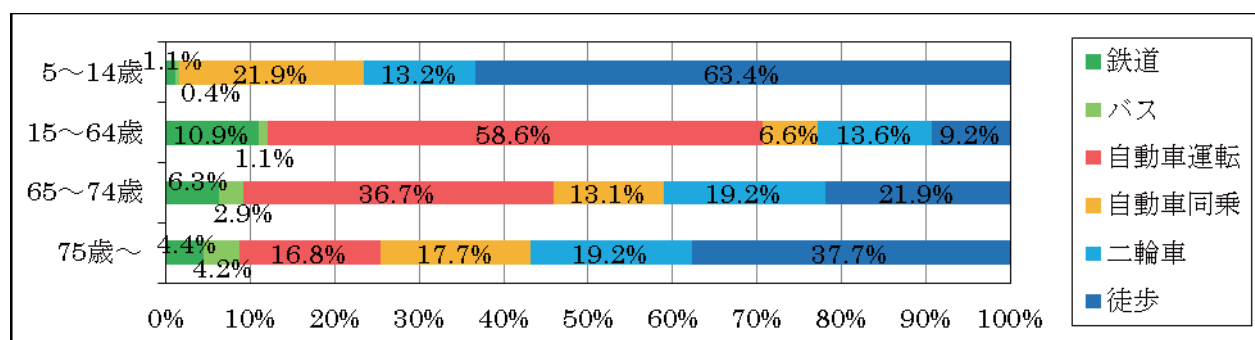


図 2-2-2 年齢階層別代表交通手段構成の現況（第 4 回中京都市圏 PT 調査）

（3） 豊橋市の公共交通の現状

豊橋市の公共交通は、豊橋駅を中心に鉄道・バス路線が放射状に形成され、おおむね市街化区域内を網羅した路線網となっている（表 2-2-1 および図 2-2-3 参照）。鉄道は、新幹線、JR 東海道線、JR 飯田線、名鉄名古屋本線および豊橋鉄道（市内電車・渥美線）が通っている。中でも市内電車は、愛知県内唯一の路面電車の路線であり、駅前から東田、赤岩口、運動公園前方面へ運行している。バスは、市内西部地域を走る一部路線を除き、豊鉄バスによる運行である。また、渥美線大清水駅を発着するレイクタウン線を除き、すべてのバス路線が豊橋駅前から発着している。

かつては、市内北部や南部方面へ向かっていた路線も、採算の悪化等により廃止が行われた

結果、市内北部および南部地域では、自動車なしでは中心部への移動が困難となっている。そのため、鉄道やバス路線のない公共交通空白地域が市内北部や南部に目立って存在している（表 2-2-2 参照）。

表 2-2-1 豊橋市内を発着する鉄道・バス路線

JR	東海道新幹線	豊鉄バス	西口線
	東海道線		岩田団地線
	飯田線		二川線
名鉄電車	名古屋本線		豊橋和田辻線
豊橋鉄道	市内電車		豊川線
	渥美線		新豊線
豊鉄バス	伊良湖本線		豊橋市民病院線
	中浜大崎線		卸団地線
	小浜大崎線		神野ふ頭線
	大崎線		牟呂線
	三本木線		神野ふ頭線
	豊橋技科大線		レイクタウン線
	牛川金田線	名鉄バス 東部	西浜循環線
	飯村岩崎線		西浦豊橋線
	天伯団地線		

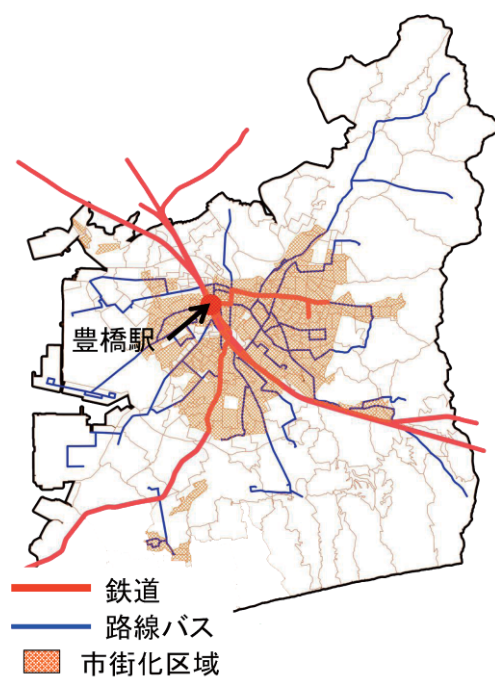


図 2-2-3 豊橋市の公共交通網

表 2-2-2 廃止されたバス路線（平成 14 年度以降）

廃止年月日	事業社名	路線名	廃止区間
平成 14 年 10 月 1 日	JR 東海バス(株)	浜名線	
平成 16 年 10 月 1 日	豊橋鉄道(株)	西川線	三上～西郷小学校前
平成 17 年 10 月 1 日	豊橋鉄道(株)	表浜線	伊古部～城下
		藤並 動物園線	天伯団地入口～ のんほいパーク西門
平成 18 年 10 月 1 日	豊橋鉄道(株)	細谷線	技科大前～細谷東
		表浜線	野依～伊古部
		金沢線	和田辻～江島下
		富岡線	四ツ谷～大原
平成 21 年 10 月 1 日	豊鉄バス(株)	三本木線	西高師～野依

豊橋市と各都市圏の代表交通手段分担率を図 2-2-4 に示す。図から、豊橋市の自動車利用率は 65.2%と中京都市圏の値よりも高くなっており、自動車依存度の高い都市であることがわかる。また、東京都市圏や京阪神都市圏と比較すると、約 2 倍の自動車利用割合になっていることもわかる。このため、公共交通が利用できる地域であるにもかかわらず、自動車利用率が高く、また公共交通を利用する人も年々減少しており、不採算路線の廃止が行われる恐れが指摘されている。

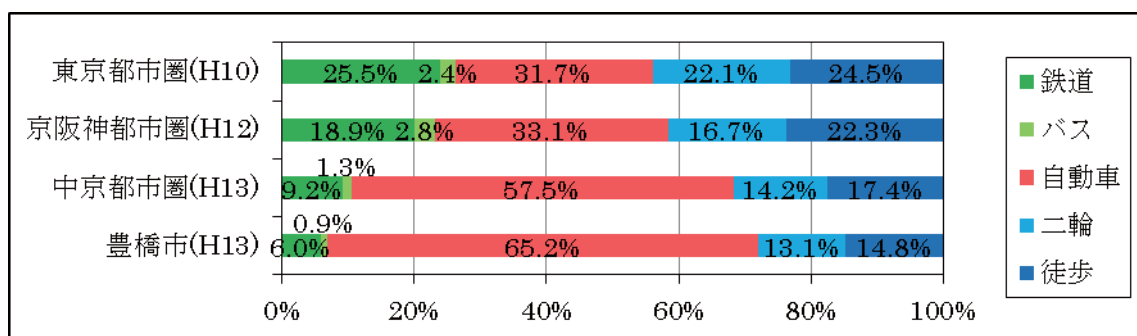


図 2-2-4 都市圏別の代表交通手段分担率の比較

2-3 アンケート調査

(1) 調査の内容

本研究の目的である電気バス路線の需要推計を行うため、豊橋市内の15歳以上の住民を対象に、公共交通に対する意識調査を中心とする交通実態調査を行った。この調査結果により、住民の属性別や居住地域別に電気バス利用意向を知ることができ、電気バス路線の乗車時間、運行間隔、徒歩時間、乗車料金等を変化させた場合の利用意向の変化を知ることができることから、どのようなサービス水準を設定すれば電気バス利用率がどれくらいになるのかを推計するモデルを構築するためのデータを得ることができる。

調査は世帯票、個人票に分かれ、世帯票は各世帯に1部、個人票は原則として3部を郵送により配布した。質問項目は以下のとおりである。なお本アンケートは、本研究のみでの利用ではないため、電気バス路線の需要推計には利用しない項目もある。

●世帯票：

問1 住所・校区・最寄りのバス停と電停・駅の名称・距離・所要時間

問2 家族の人数、15歳未満・65歳以上の家族人数

問3 家族の年間総収入

●個人票：

問1 個人属性（性別・年齢・職業・運転免許の有無・自由に使用できる車の有無）

問2 外出目的、目的地の所在地、外出頻度、所要時間・距離・費用、利用交通手段
利用中の交通手段への意識、満足度

問3 今後の公共交通政策等への意識

問4 公共交通の必要度・利用理由

問5 電気バスに関する知識、利用意思、支払意思額

(2) 調査の実施状況

本アンケートは、郵送配布、郵送回収で行った。日程は表2-3-1の通りである。

表 2-3-1 アンケート実施の概要

配布日	平成22年10月23日
配布方法	郵送配布
回収期限	平成22年11月10日
回収方法	郵送回収

アンケートを配布する世帯の選定は、市販の住宅地図を用いて市内各地域から一定の世帯数を任意抽出することにより行った。平成21年の豊橋市の世帯数は149,345世帯であり、本アンケートの配布数は1,950世帯であることから、抽出率は市全体で1.31%である。

表 2-3-2 回収状況

	世帯数	個人票部数
配布数	1950 世帯	5850 部
回収数	471 世帯	877 部
回収率	24.2%	15.0%

(3) 調査結果と拡大係数の算出

アンケート調査の結果、回答者の性別割合は図 2-3-1 に示す通り、男性が 56%を占めていることがわかる。これは、アンケート送付先の世帯主名が男性である場合が多かったことによるものだと考えられる。次に回答者の年齢別割合を見ると、図 2-3-2 に示す通りとなった。図から 60代と 70代以上の合計の割合が 50%以上を占めていることがわかり、逆に 10代と 20代の合計の割合が 10%を切っているなど、高齢者の回答者数が多く、若い人の回答者数が少ないことがわかる。このように、性別および年齢の構成比から、今回のアンケートでは回答者の属性に偏りが生じていることがわかる。また、地域によっても属性に偏りが生じていることもわかった。

そこで属性間の偏りをなくし、集計や分析の信頼性を向上させるため、居住地域を図 2-3-3 に示すような 15 地域に分類し、アンケート回答データに関して地域別属性別のクロス集計を行った。そして、実際の地域別属性別人口を集計結果で除した値である拡大係数を表 2-3-3 の通り算出した。以下、本研究ではこの拡大係数を回答者の重みとして利用し、各種集計を行った。

表 2-3-3 地域別属性別拡大係数

	男				女			
	10・20代	30～50代	60代	70代	10・20代	30～50代	60代	70代
中心市街地	1529	882	277	508	1410	530	1429	1190
豊橋駅西	925	1152	211	363	891	934	199	486
豊橋駅南	703	631	207	153	987		269	628
牛川・黒丘	863	1528	272	276	1179			769
豊橋駅東	602	396	194	106	543		187	165
芦原	1009	311	174	143	609	347	205	379
東部	1005	392	194	189	993	398	270	372
二川	1503	1503	465	542	880			573
豊鉄沿線	381	593	274	213	619	351	364	629
豊川沿い		1036	463	215		1892	454	625
西部		540		457		619		556
北部		656	425	158		726	248	807
南部		629	309	160		860	375	935
飯村	360	591	165	167	799	386	167	255
高師	444	715	395	118	1176	495	620	729

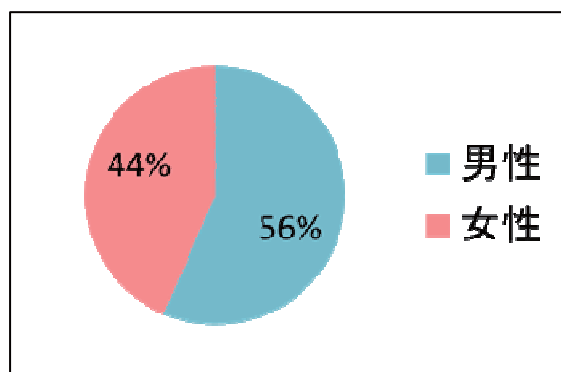


図 2-3-1 性別の構成比

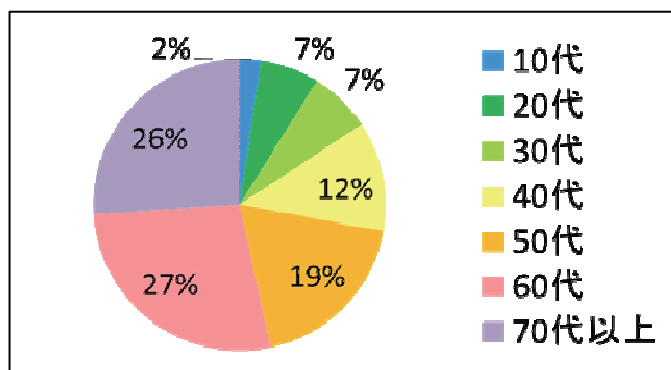


図 2-3-2 年齢の構成比

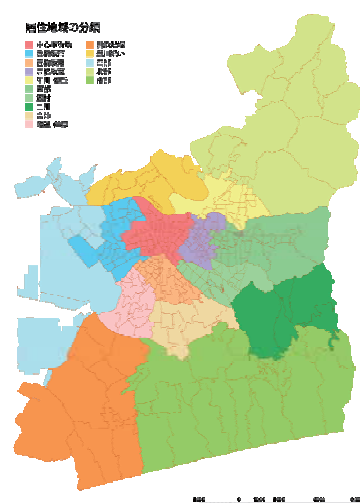


図 2-3-3 居住地域の分類

(4) 集計における地域分類と交通目的分類

アンケート結果の地域別集計のためには地域分けが必要であるが、本研究では用途地域や公共交通路線網を参考に地域分けを行い、図 2-3-4 に示す 5 地域分類とした。中心部は豊橋駅周辺の地域で、路面電車やバス路線が多くあるため、豊橋市で最も公共交通に恵まれた地域となっている。中心部南は、豊橋鉄道渥美線が通っており、豊橋駅からのバス路線も発達している地域となっている。そして、南部、西部、東部と分けており、これら 3 地域には、公共交通を利用した移動が不便な場所が含まれている。

なお、アンケート調査時には、通勤や買い物、通院など細かく分けていた移動目的を、集計結果をわかりやすくするため、自由目的と自由目的外に分類することにした。自由目的には、買い物、レジャー、通院などが含まれ、自由目的以外には、通勤、通学、業務が含まれる

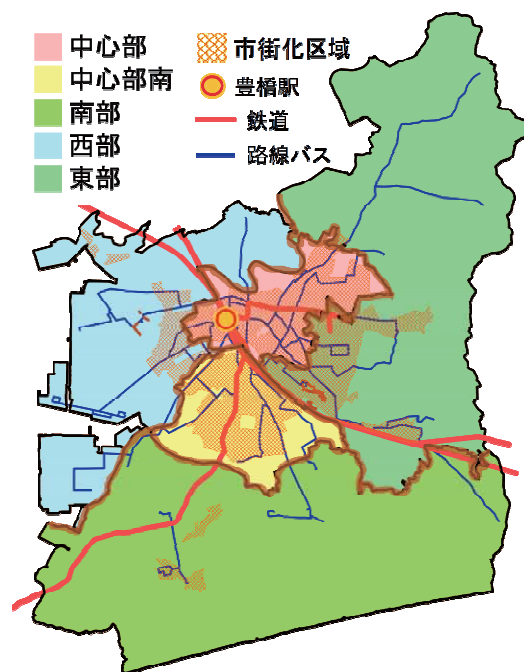


図 2-3-4 豊橋市の居住地域の分類

(5) 集計結果

①利用交通手段

利用交通手段について、居住地域別および目的別に集計を行った。居住地域別の利用交通手段割合を図 2-3-5 に示す。これより、中心部から離れるほど自動車利用率が高くなる傾向にあることがわかる。また、市全体の自動車利用率は 64%と、先に示した図 2-2-4 のパーソントリップ調査による代表交通手段分担率による値である 65.2%に近い値を示していることもわかる。

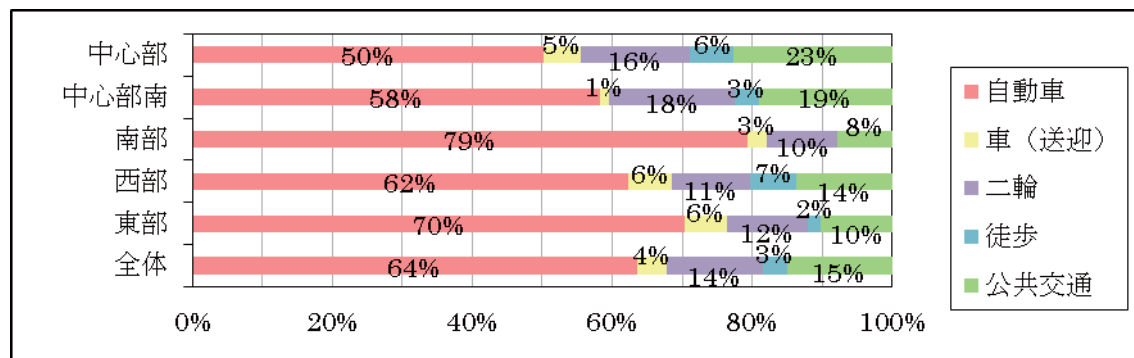


図 2-3-5 居住地域別の利用交通手段

次に、交通目的別の利用交通手段割合を図 2-3-6 に示す。これより、自由目的では送迎によ

る交通の割合が自由目的以外よりも多くみられることがわかる。また、公共交通利用に関しては、自由目的と自由目的以外による違いはあまりないことがわかる。

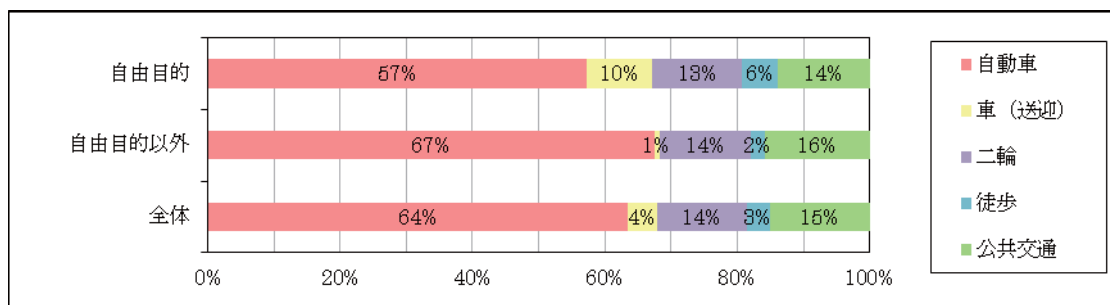


図 2-3-6 外出目的別の利用交通手段

②電気バス利用意向

まず、居住地域別の電気バスの利用意向を図 2-3-7 に示す。これより、中心部に近いほど電気バスを利用したいと考える人の割合が多いことがわかる。しかしながら、すべての地域で「条件によっては利用する」と考える人の割合が多く、電気バスに興味のある人は多いと考えられる。

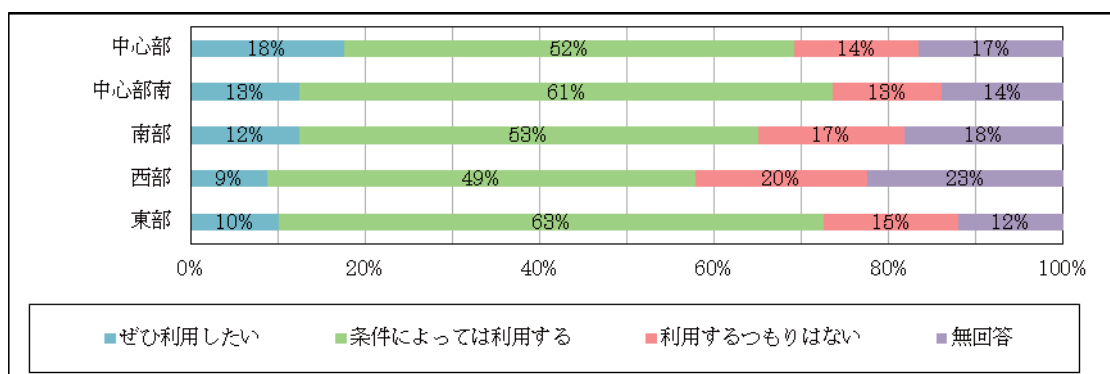


図 2-3-7 居住地域別の電気バス利用意向

次に、交通目的別の電気バス利用意向を図 2-3-8 に示す。これより、自由目的のほうが利用したいと考える人の割合が多いことがわかる。しかし、自由目的以外であっても条件によっては利用したいと考える人は多いこともわかる。

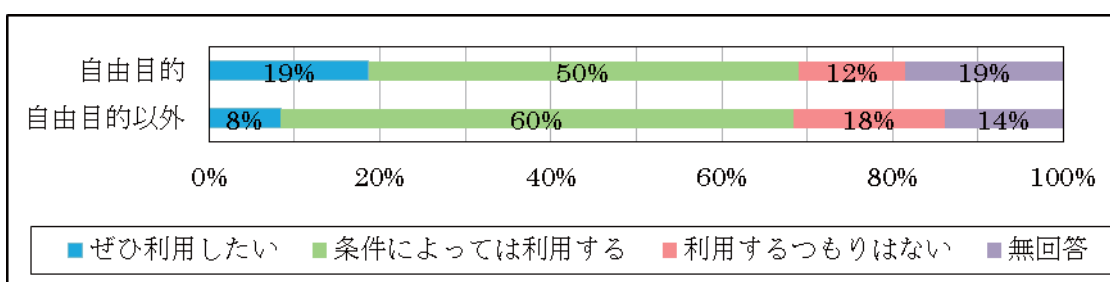


図 2-3-8 交通目的別の電気バス利用意向

2-4 交通手段選択モデルの構築

(1) SP 質問の概要

豊橋市内に電気バス路線が設定された時、現在の交通手段から電気バスに転換する人の割合を推計するため、アンケート調査の SP (Stated Preference : 表明選好) 質問のデータを用いてモデルを構築し、サービス水準の変化が電気バス利用率に与える影響の分析を行った。

本研究の SP 質問は、回答者が現在行っている交通（居住地から目的地までの区間－市外の場合は、豊橋駅などの乗り継ぎ駅まで－）において電気バスが利用可能になった場合を想定してもらい、バス乗車時間、乗車料金、運行間隔およびバス停までの徒歩時間の条件を順次変化させながら、利用意向を尋ねるものである。アンケートに際しては、表 2-4-1 に示すような SP 質問パターンを 10 パターン用意しておき、回答の負担を考慮し、一人に対しては 1 つのパターン（5 ケース）の条件を提示し、各ケースの条件下において電気バスの利用意思を尋ねている。

表 2-4-1 電気バス路線 SP 質問の設定サービス水準

パターン	ケース	乗車時間 [分]	乗車料金 [円]	運行間隔 [分/本]	徒歩時間 [分]
1	1	20	100	10	15
	2	20	500	20	10
	3	30	300	10	10
	4	40	100	30	5
	5	40	500	10	15
2	6	20	100	20	10
	7	20	300	30	5
	8	30	500	30	10
	9	40	100	10	10
	10	40	300	20	15
3	11	20	300	30	10
	12	30	100	20	5
	13	30	500	10	15
	14	40	100	30	5
	15	40	500	10	15
4	16	20	300	20	15
	17	20	500	20	10
	18	30	300	30	5
	19	40	100	20	15
	20	40	100	10	10
5	21	20	300	30	10
	22	20	500	10	15
	23	30	100	30	10
	24	30	500	20	5
	25	40	300	10	5
6	26	15	100	10	12
	27	15	500	20	7
	28	30	300	10	7
	29	60	100	30	3
	30	60	500	10	12
7	31	15	100	20	7
	32	15	300	30	3
	33	30	500	30	7
	34	60	100	10	7
	35	60	300	20	12
8	36	15	300	30	7
	37	30	100	20	3
	38	30	500	10	12
	39	60	100	30	3
	40	60	500	10	12
9	41	15	300	20	12
	42	15	500	20	7
	43	30	300	30	3
	44	60	100	20	12
	45	60	100	10	7
10	46	15	300	30	7
	47	15	500	10	12
	48	30	100	30	7
	49	30	500	20	3
	50	60	300	10	3

得られた SP データの各ケースの電気バス利用率を図 2-4-1 に示す。これより、ケース間に利用率のばらつきが見られ、各ケースに対して有効な回答が得られていることが確認できる。

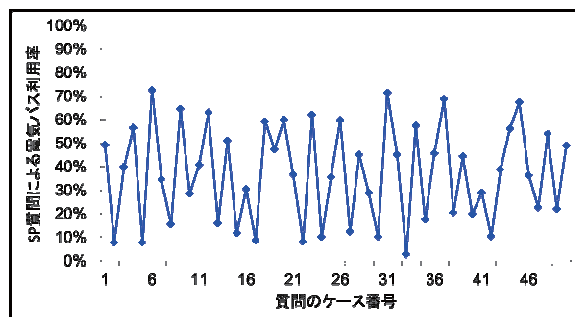


図 2-4-1 SP データの各ケースの電気バス利用率

(2) 使用モデル

今回のモデル構築には、二項ロジットモデルを用いる。これは、現在の交通手段の効用と電気バスを利用する場合の効用から電気バス利用確率を求めるものであり、以下のように定式化される。

交通手段の2肢選択を考えると、個人 n が選択肢2に対して選択肢1を選ぶのは、効用最大化行動仮説により、

$$U_n^1 > U_n^2$$

の場合である。ここで、効用 U が確率的に変動するならば、個人 n が選択肢2に対して選択肢1を選ぶ確率 P_n^1 は、

$$P_n^1 = \text{Prob}[U_n^1 > U_n^2]$$

と表される（今回のモデルでは、選択肢1は電気バスを利用する場合、選択肢2は現在の交通手段とする）。

次に、SP 質問のケース i における交通手段 m に対しての効用 U_i^m について

$$U_i^m = V_i^m + \epsilon_i^m$$

ここに、 V_i^m ：確定効用、 ϵ_i^m ：ランダム効用

と仮定し、 ϵ_i^m が相互独立で分散一定のガンベル分布に従うと仮定すれば、個人 n が選択肢1を選択する確率 P_n^1 は次式となる。

$$P_n^1 = \frac{1}{1 + \exp(V_i^2 - V_i^1)}$$

また、確定効用に対しては、

$$V_i^m = \beta_0^m + \sum_k \beta_k^m x_i^m$$

ここに、 β_k^m ：項目 k のパラメーター、 x_{ik}^m ：項目 k のケース i の説明変数

と仮定し、そのパラメータは最尤推定法で求める。

なお、 $m=1$ （電気バスを利用する場合）のときには、

$\beta_1 \cdot x_{i1}^1$ ：ケース i におけるバス乗車時間[分]のパラメータと変数

$\beta_2 \cdot x_{i2}^1$ ：ケース i におけるバス運行間隔[分/本]のパラメータと変数

$\beta_3 \cdot x_{i3}^1$ ：ケース i におけるバス停までの徒歩時間[分]のパラメータと変数

$\beta_4 \cdot x_{i4}^1$ ：ケース i におけるバスの乗車料金[円]のパラメータと変数

となる。

（３）パラメータ推計結果

構築したパラメータの一例として、表 2-4-2 に示す説明変数組を設定し、それぞれのパラメータを推定した。なお、電気バスの確定効用は、現在の利用交通手段によって異なるパラメータを与えた。特徴的な部分を見ると、自動車利用者はすべてのサービス項目に敏感に反応する傾向があり、公共交通利用者は徒歩時間と乗車時間に敏感に反応する傾向があることがわかる。

（４）電気バス利用率の推定

電気バス導入効果を計測するため、推計したパラメータを用いて電気バス利用率の推定を行った。このとき、アンケート回答者別に電気バスのサービス水準を設定しておく必要がある。ここでは、電気バス乗車時間については、居住地域間の代表点間距離を結びつけることで、詳細な設定を行っている。また、運行間隔、徒歩時間についても、必要に応じて居住地域別の事情に応じた値を設定している。

今回は、利用者の目的地がすべて中心部に向かうと仮定し、均一乗車料金、運行間隔 30 分、徒歩時間 10 分という共通条件を与え、乗車料金を順次変化させた場合の利用率への影響を調べるものとした。

電気バス利用率の算出結果は、図 2-4-2 に示す通りとなった。これより、すべての利用者に対して、乗車料金に対する反応が敏感であることがわかる。しかしながら、自動車利用者がこれほど多く転換するとは考えられないことから、SP 質問の精度に問題があったのではないかと考えられる。そのため、より正確な電気バス利用率を推定するには、何らかの情報を利用して利用率を補正する必要があるといえる。この点が今後の大きな課題である。

2-5 おわりに

本研究では、豊橋市に新たな公共交通として、環境にやさしい電気バスを導入した場合の効果に関する検討を行った。

推定結果から、電気バスは市の中心部近くに住む人ほど利用しやすい傾向があり、これは公共交通が充実している地域であるからだといえる。また、自由目的以外の移動よりも自由目的による移動のほうが、電気バスを利用しやすい傾向があることがわかった。そして、現在自動車利用者は、電気バスのすべてのサービス項目に対して敏感な反応を示し、公共交通利用者は徒歩時間と乗車料金に対して敏感に反応している傾向があることもわかった。

今後より精密な分析を行うためには、SP 質問に対する回答の信頼性を向上させることが必要であることは言うまでもないが、回答者に応じたサービス水準設定を行うことが手段の一つである。そして、電気バス路線を個別に設定した場合の利用者数の推計を行うためには、詳細な OD データを入手することが考えられる。電気バス利用率の推定精度を向上させることができれば、どのような電気バス路線設定が、最も需要が高くなるのかを分析することが可能になる。

表 2-4-2 パラメータ推定結果

			β	t 値				β	t 値
V ₂ (現在の利用交通手段の確定効用)	定数		-2.724	-6.80	V ₁ (電気バスの確定効用)	公共交通	乗車時間	-4.38×10 ⁻³	-0.63
	年齢	50 代以下	0.493	2.10			運行間隔	-1.46×10 ⁻²	-1.31
		60 代以上	0.000				徒歩時間	-8.78×10 ⁻²	-3.29
	出発地	中心部	-0.371	-2.86			乗車料金	-5.41×10 ⁻³	-7.81
		中心部南	-0.430	-3.20		車 (送迎)	乗車時間	-1.39×10 ⁻²	-1.01
		南部	-0.108	-0.71			運行間隔	-5.80×10 ⁻²	-2.69
		西部	0.060	0.39			徒歩時間	-6.72×10 ⁻²	-1.32
	東部	0.000		乗車料金			-3.15×10 ⁻³	-2.18	
	目的	自由目的	-0.539	-2.54		自動車	乗車時間	-1.58×10 ⁻²	-3.87
		自由以外	0.000				運行間隔	-2.37×10 ⁻²	-3.31
	目的地	中心部	-0.290	-2.22			徒歩時間	-8.22×10 ⁻²	-4.97
		豊橋市外	-0.006	-0.05			乗車料金	-5.72×10 ⁻³	-14.9
		中心部外	0.000			徒歩二輪	乗車時間	-2.51×10 ⁻³	-0.36
			運行間隔	-4.42×10 ⁻²	-3.82				
			徒歩時間	-4.81×10 ⁻²	-1.67				
			乗車料金	-5.37×10 ⁻³	-7.21				

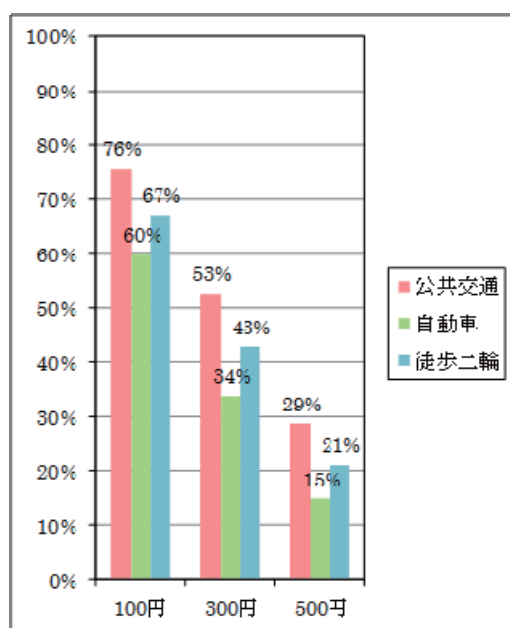


図 2-4-2 乗車料金別の電気バス利用率

3. 次世代型自動車普及の経済効果と海上輸送へのモーダルシフトの可能性に関する研究

建築・都市システム学系 准教授 洪澤 博幸, 教授 宮田 譲

3-1 中国と日本における次世代自動車普及の経済効果

本節では、中国と日本を対象として、次世代自動車普及がもたらす経済効果について計測する。現在、中国は世界の自動車生産大国であり、中国の自動車生産台数は、世界の約3割を超えている。一方で日本の自動車産業は、ハイブリッド車や電気自動車などの次世代自動車への生産にシフトしつつある。日本と中国の自動車産業は、両国の経済発展に重要な意味をもつものと考えられる。日本と中国におけるハイブリッド車や電気自動車の普及がもたらす経済効果の比較分析を行う。さらに、日中アジア国際産業連関表を用いて、中日間の自動車関連産業の相互依存関係の変化がもたらす経済効果について計測を試みる。

(1) 研究方法

①中国と日本における次世代自動車生産の経済波及効果の計測

産業連関分析は、ロシア出身の米国の経済学者レオンティエフにより創始され、産業連関表を用いて行われる分析手法であり、経済の将来予測や経済政策の効果の測定・分析に用いられる。

競争移入型均衡産出モデルは、 $X = [I - (I - \bar{M})A]^{-1}[(I - \bar{M})F + E]$ である(Leontief 1966)。ここで、 X : 生産額列ベクトル, A : 投入係数行列, F : 国内最終需要ベクトル, E : 輸出列ベクトル, $\bar{M}$: 輸入係数行列, 及び I : 単位行列である。

本稿では、次世代自動車出現を、自動車産業における生産構造の変化としてとらえる(国際科学振興財団 1986, 洪澤・菅原 2011)。次世代自動車出現による生産技術の変化は、自動車産業の投入構造の変化としてみなされる。これを投入係数の変化 $A \rightarrow A_{case}$ として解釈する。国内需要と輸出の増加($\Delta F, \Delta E$) がもたらす生産誘発額 ΔX は次式を用いて求められる。

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

②中日間の自動車関連産業の貿易活性化の経済波及効果の計測

地域間産業連関モデルには、地域間非競争移入型産業連関表を基にしたアイサード型モデルと、地域間競争移入型産業連関表を基にしたチェネリー・モーゼス型モデルがある。本研究では、中日間の特定産業の貿易活性化を地域間交易係数の変化としてとらえるため、地域間交易係数の変化の効果を計測できるチェネリー・モーゼス型モデルを用いる。チェネリー・モーゼス型の均衡産出モデルの式は、 $X = [I - TA - \hat{M}(TA)^*]^{-1}[TF - \hat{M}(TF)^* + E]$ である。ここで、 X : 生産額列ベクトル, T : 地域間交易係数行列, A : 地域別投入係数の対角ブロック行列, F : 最終需要行列, E : 輸出ベクトル, 及び $\hat{M}$: 輸入係数ベクトルである。*の付いた変数は、自地域内取引を対角ブロック要素とした対角ブロック行列を意味する。

ある特定産業の貿易の変化を地域間交易係数の変化 $T \rightarrow T_{case}$ として解釈する。このもとで、

国内需要と輸出の増加($\Delta F, \Delta E$) がもたらす生産誘発額 ΔX は次式を用いて求められる。

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

(2) 次世代自動車生産の経済波及効果

①データ

中国を対象とした産業連関分析では、中国国家统计局作成の「2007 年中国投入産出表」を用いる。この産業連関表は 135 部門から構成されている。表 3-1-1 に次世代自動車産業に関連する部門を示す。「車製造業」は、車の組立を行う部門である。この部門には、乗用車の他に、バスやトラックなども含まれる。「鋼製品加工業」と「その他交通用整備製造業」は、主に自動車の部品を製造する部門であり、従来自動車の内燃機関を中心とした自動車製造に関連する部門である。次世代自動車の生産においては、「電気機械製造業」と「その他電気機械及び器材製造業」が重要な役割を演じる。ここでは、「電気機械製造業」は、ハイブリッド車(HEV)・電気自動車(EV)用の電気モータを製造する部門として、また「その他電気機械及び器材製造業」は、二次電池を製造する部門として想定する。

表 3-1-1 中国の次世代自動車に関連する部門

部門名	業務内容
車製造業	組立
鋼製品加工業	部品製造
その他交通用整備製造業	部品製造
電気機械製造業	モータ製造(想定)
その他電気機械及び器材製造業	二次電池製造(想定)

日本では、総務省統計局の「全国産業連関表（基本表）」（2005 年生産者価格表，行 520 × 列 407）を用いる。分析のため基本表を 111 部門に統合している。表 3-1-2 は日本の次世代自動車に関連する部門を示す。従来型自動車の 6 部門「乗用車」，「トラック・バス・その他自動車」，「二輪自動車」，「自動車車体」，「自動車用内燃機関・同部分品」，及び「自動車部品」と，次世代自動車向けに電気モータ，二次電池等の部品を製造する 2 部門「重電機器」と「その他電気機器」である。

表 3-1-2 日本の次世代自動車に関連する部門

部門名	業務内容
乗用車	組立
トラック・バス・その他自動車	組立
二輪自動車	組立
自動車車体	部品製造
自動車用内燃機関・同部分品	部品製造
自動車部品	部品製造
重電機器	モータ製造(想定)
その他電気機器	二次電池(想定)

②シナリオ

自動車産業の需要（家計消費，輸出等）が1単位増加し，新たに自動車生産を行う場合の経済効果を示す（単位は兆円で表示する）。本稿では，自動車産業の新規需要が「全てガソリン車（Base）である場合」，「全てハイブリッド車（HEV）である場合」，「全て電気自動車（EV）である場合」の3つのケースを想定する。

Base ケースでは，オリジナルの産業連関表の投入係数を用いる（Abase）。ハイブリッド車と電気自動車の投入係数については，既存文献のデータから推定を行う。HEV ケースと EV ケースでは，それぞれ自動車産業の投入係数（AHEV，AEV）を推計した。自動車産業の投入係数の推計では，電気モータと二次電池を製造するとされる部門からの投入が増大し，逆に従来自動車部品を製造してきた部門からの投入が減少するという仮定を置いている。

③分析結果

3 ケースのシナリオに基づいて，自動車の需要増がもたらす生産誘発額の測定した結果を表 3-1-3 に示す。自動車は，中国の場合は「車製造業」，日本の場合は「乗用車」である。1 兆円の自動車の需要増に対して，中国の Base ケースでは 2.90 兆円，HEV ケースでは 3.02 兆円，及び EV ケースでは 2.79 兆円の経済波及効果が中国の全産業にもたらされる結果となった。同様に，日本の場合は，Base ケースでは 2.94 兆円，HEV ケースでは 2.98 兆円，及び EV ケースでは 2.80 兆円となった。中国と日本で部門の定義が異なることに注意が必要であるが，自動車産業の生産誘発係数の範囲は 2.79～3.02 である。ハイブリッド車では，内燃機関・電気モータ・二次電池を搭載することから中間投入の割合が大きくなり，より裾野が広い産業に効果が波及する。一方で，電気自動車では，内燃機関が不要となり機械産業からの中間投入が減るため，経済波及効果が小さくなる。興味深いのは，ガソリン車の生産誘発係数をみると，中国と日本のそれに大きな差がみられないことである。中国の自動車生産台数は急激に伸びているが，中国の自動車産業は日本と同様の経済効果をもつ産業に成長していることである。また，ガソリン車の生産誘発係数は，日本の方が若干大きい，ハイブリッド車の生産誘発係数は，中国の方が若干大きいという点である。

表 3-1-3 ケースと生産誘発額

ケース	自動車のタイプ	産業構造	中国		日本	
			生産誘発額	ガソリン車比	生産誘発額	ガソリン車比
Base	ガソリン車	Abase	2.90 兆円	100.00%	2.94 兆円	100.00%
HEV	ハイブリッド車	AHEV	3.02 兆円	104.23%	2.98 兆円	101.24%
EV	電気自動車	AEV	2.79 兆円	96.19%	2.80 兆円	95.26%

次に，従来自動車と次世代自動車の需要増が各産業にもたらす影響を分析する。ここでは，Base ケースと EV ケースのみの比較を行い，各産業の生産誘発額の変化を比較する。次世代自動車の生産で直接的な影響を受ける産業（表 3-1-1，3-1-2 の投入係数を変更した産業）は除い

て、その他にどのような産業が、Base ケースに比べて EV ケースでは相対的に生産誘発額が増加もしくは減少するのかを分析する。図 3-1-1 に、EV ケースで生産誘発額が増加する産業を示す。図 3-1-1 の縦軸は、誘発額の差＝EV ケースの誘発額－Base ケースの誘発額、である。この図から、中国の場合は「非鉄金属鑄造業」「非鉄金属圧延加工業」が、そして日本の場合は「プラスチック製品」「非鉄金属精錬・精製」部門の生産誘発額が大きくなることが分かる。これらの部門は HEV・EV 用電気モータ、二次電池の製造においては川上に位置すると考えられる産業である。

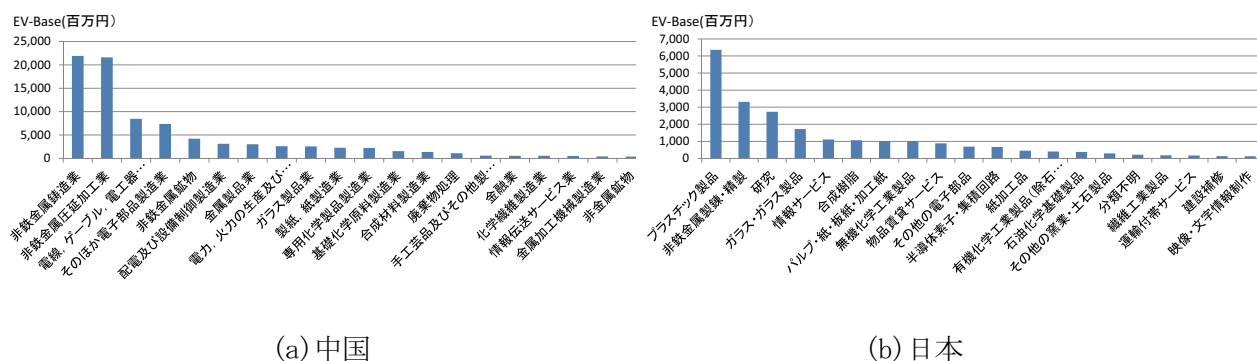


図 3-1-1 EV の生産により生産誘発額が増加する部門

図 3-1-2 に Base ケースに比べて EV ケースで生産誘発額が減少する産業を示す。この図から、EV ケースでは、中国の場合は「鋼製品加工業」「鋼鑄造業」、そして日本の場合は「鋼材」「鑄鍛造品」「銑鉄・粗鋼」部門の誘発額が減少することが分かる。これらの部門は、内燃機関やトランスミッション等の部品の製造に関わる部門であると考えられる。

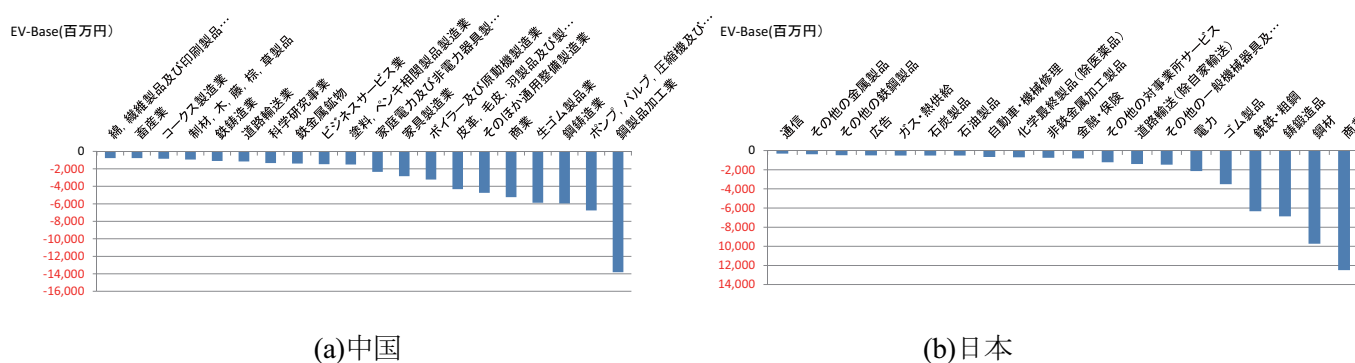


図 3-1-2 EV の生産により生産誘発額が減少する部門

(3) 中日間の自動車関連産業の貿易活性化の経済波及効果

①データ

日本貿易振興機構アジア経済研究所の「2000年日中地域間アジア国際産業連関表」を用いる。

これは18地域10部門（中国7地域、日本8地域、ASEAN地域、東アジア、及び米国）の国際地域間の産業連関表である。この表の特徴は、中国の7地域（1東北、2華北、3華東、4華南、5華中、6西北、7西南）と日本の8地域（1北海道、2東北、3関東、4中部、5近畿、6中国、7四国、8九州・沖縄）の地域相互における10部門の財・サービスの取引関係が示されていることにある。この表から中日間の産業別の交易構造が明らかになるだけでなく、地域内表では捉えることができない地域間の産業の相互依存関係を介した波及効果を解析することができる。この表では、自動車産業に関連する部門は「加工・組立(Processing and assembling)」である。この「加工・組立」部門は自動車以外の産業も含むが、ここではこの部門を自動車関連産業と解釈して予備的な分析を行うことにする。

②シナリオ

中国の主要経済地域（華北：北京、華東：上海、華南：広州）と日本の主要経済地域（関東：東京、中部：名古屋、近畿：大阪）に焦点をあて、自動車及び部品産業を含む「加工・組立」部門の二国間貿易がより活性化した場合に、各地域の生産誘発額はどのような影響を受けるかを分析する。中国の主要経済地域では、中国政府が国策としての経済政策を展開し、自動車産業の集積も進んでおり、市場の潜在力が高い地域である。華南、華北及び華東地域は、日本との地理的優位性を有している。これらの地域は、近年経済発展が著しく、日本の主要経済地域と共に今後の自動車関連の貿易拡大が期待される有望なエリアである。グローバル化した自動車産業の市場ニーズを効率的に満たすために、日本国内では集約した輸出拠点から中国への輸出が行われている。これは中部地域で生産された自動車関連製品についても同様である。中日間の主要地域間の貿易拡大の分析には、自動車関連部品やリサイクル財をはじめ多様な貨物輸送量を幅広く増大させる取組を推進する政策的観点や、またこれらの実績を積み重ねた調査や予測が必要であるが、ここでは予備的なインパクト分析として以下のような単純な前提を置くものとする。

ベースケースでは、オリジナルの交易係数を用いて、各地域（国）において、「加工・組立」の需要が1単位増加したときに13地域に齎される生産誘発額を求める。比較ケースでは、中日の主要経済地域間の「加工・組立」の交易（移輸入）係数を変化させたときに、上述した生産誘発係数がどのように変化するかを計測する。ここでは、中国国内の主要経済3地域間の地域内交易係数と日本国内の主要経済3地域間の交易係数をそれぞれ1%に相当する分量を減少させて、一方で日本から中国3地域の輸入係数と中国から日本の3地域への輸入係数を増加させた。

図3-1-3は、華北を中心とした中日の主要経済地域間の交易係数を例示したものである。華北の「加工・組立」は、自地域から79.1%、華南から1.3%、華東から5.0%、関東から1.7%、関西から0.8%、そして中部から0.5%の財を移輸入している。シミュレーションでは、自地域内の交易係数の1%に相当する割合を減じて、日本の3地域からの輸入に転換させている。この例では、日本の3地域から華北への輸入の割合を、それぞれ $(79.1+1.3+5.0)*0.01/3=0.28\%$ 増加させている。同様にして、中日の3地域間の交易係数を変化させて、自国地域内取引から相手国地域からの取引に

転換する。

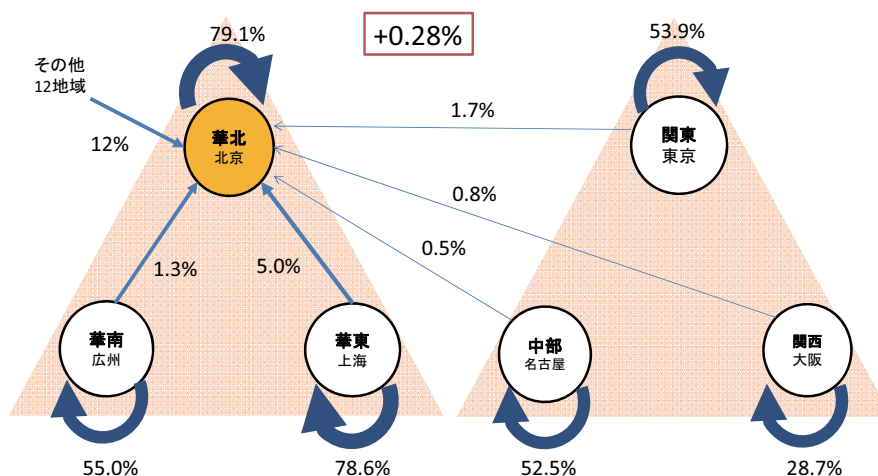


図3-1-3 華北を中心とした中日の主要経済地域間の加工・組立部門の交易係数

③分析結果

図3-1-4は、各地域において「加工・組立」の需要が1単位増加したときに各地域で誘発される生産誘発額をまとめたものである。この図から、中国の各地域で生じる需要増は、中国の自地域の生産を誘発する割合が大きく、一方で、日本の各地域で生じる需要増は、日本その他の地域の生産も誘発する傾向が強いことがわかる。日本は地理的に中国にくらべて狭いことや、交通インフラが整備されていることから、日本の方が地域経済の相互依存関係はより高いことがわかる。

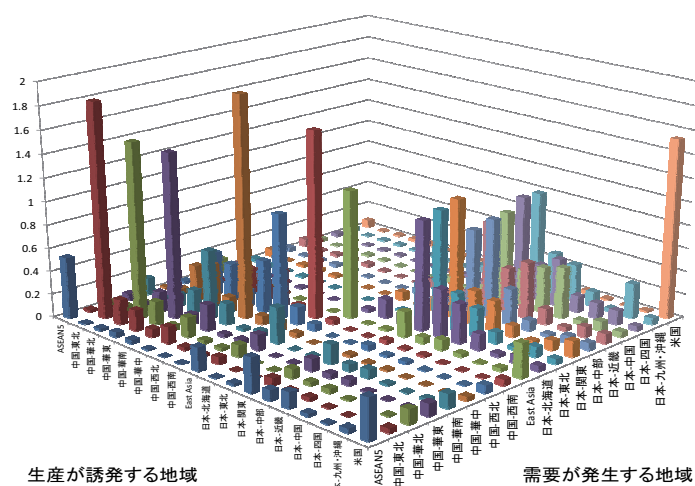


図3-1-4 加工・組立部門の需要増が各地域・国にもたらす生産誘発額

表3-1-4は、中日地域間の「加工・組立」の貿易活性化がもたらす生産誘発効果の変化をまとめたものである。これは、ベースケース（活性化なし）と比較ケース（活性化あり）の変化率である。例えば、華東の「加工・組立」の需要増の経済効果は、交易（移入）係数の減少の影響を受けて、ベースケースに比べて、中国各地域に齎らされる生産誘発額は減少し（98.6%, 98.7%, 98.9%），一方で交易（輸入）係数の増加の影響を受けて日本各地域に齎らされる生産誘発額は増加している（109.5%, 122.5%, 115.5%）。また、中部の「加工・組立」の需要増の経済効果は、日本各地域に齎される生産誘発額は減少し（98.6%, 98.7%, 98.7%），一方で中国各地域に齎される生産誘発額は増加している（267.9%, 192.2%, 184.6%）。この表から、日本の各地域の需要増が中国地域に齎す経済効果は、中国の各地域の需要増が日本地域に齎す経済効果よりも、より大きいことがわかる。

表3-1-4 中国と日本の主要経済地域間の貿易活性化の経済効果

		各地域の生産誘発額の変化					
		華北	華東	華南	関東	中部	近畿
需要発生地域	華北	98.6%	98.5%	99.0%	114.1%	133.1%	123.3%
	華東	98.6%	98.7%	98.9%	109.5%	122.5%	115.5%
	華南	99.0%	98.8%	98.9%	103.5%	108.7%	106.2%
	関東	206.4%	154.9%	147.9%	98.8%	98.6%	98.8%
	中部	267.9%	192.2%	184.6%	98.6%	98.7%	98.7%
	近畿	178.1%	138.7%	133.3%	98.7%	98.7%	98.9%

中国と日本の産業連関表を用いて、次世代自動車の普及や中日間の貿易活性化の経済効果を計測した。中国の「車製造業」の1兆円の需要増は、Baseケースでは2.90兆円、HEVケースでは3.02兆円、EVケースでは2.79兆円の経済効果をもたらす。ベースケースのガソリン車に比べて、HEVは正の効果、EVは負の効果を中国经济にもたらす。同様に、日本「乗用車」の生産誘発係数は2.8～2.9となり、ベースケースに比べて、HEVは正の効果、EVは負の効果を日本経済にもたらす。

中国と日本の自動車産業関連の「加工・組立」部門の貿易活性化の予備的なシミュレーション分析を行った。「加工・組立」の二国間の貿易が活性化した場合、日本の各地域の需要増は、中国の地域により大きな経済効果を齎すことが示された。

3-2 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の検討

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。低炭素社会の実現に向けて、陸上輸送から海上輸送へのモーダルシフトの推進は重要な施策のひとつである。陸上輸送から、フェリー・RORO船等の国内海上輸送への転換により、エネルギー消費の節約とCO2排出量の削減への効果が期待されている。ここでは、技術革新財としての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、シナリオと簡便な分析的枠組みを用いて検討する。通常の乗用車（ガソリン車）と電気自動車における陸上輸送と海上輸送の分担率という視点から、モーダルシフトの可能性を分析する。

(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よう。電気自動車による旅客や貨物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から、交通機関の分担率を検討することができる手法のひとつ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。同書では、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。ここで推定されている分担率の近似式は次のとおりである。

$$\begin{aligned} \text{旅客} \quad \ln[P/(1-P)] &= -7.56566 + 2.30696 \ln \omega & \bar{R}^2 &= 0.623064, \text{SE} = 1.035969 \\ & (2.226862) \\ \text{貨物} \quad \ln[P/(1-P)] &= -8.81237 + 3.06129 \ln \omega & \bar{R}^2 &= 0.860198, \text{SE} = 0.617067 \\ & (4.961034) \end{aligned}$$

()はt値、 $\bar{R}^2$ は自由度調整済み決定係数、SEは標準偏差である。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を表し、 $\omega = (\text{道路移動費用} - \text{フェリー移動費用}) / (\text{フェリー移動所要時間} - \text{道路移動所与時間})$ である。1分当たりの時間価値（円）を示す。この推計式を利用する際には、この式の妥当性を検討し、最新の情報を加えて再推計するなど、統計的な妥当性も検討する必要があるが、シナリオ分析のための参考情報として試験的に用いる。

(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「道路のみ（一般、高速）」を利用する経路であり、もうひとつは、経路β「道路（一般）とフェリーを利用する経路」である。そのほか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3-2-1に示す。

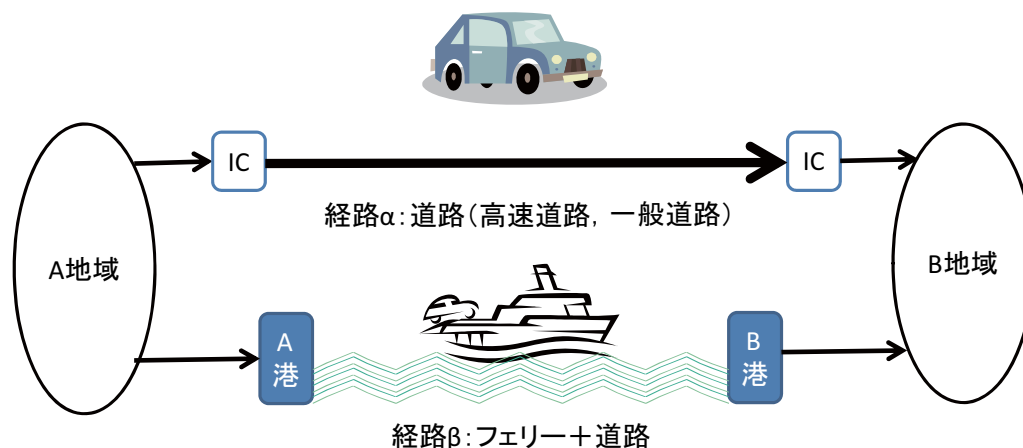


図3-2-1 経路と交通機関

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の分担率を求めてみる。各ケースにおいて、経路αと経路βを利用した場合の車1台あたりの移動費用と所要時間を想定する。表3-2-1に示すような数値例を用いる。

②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。1日1便のフェリーを想定すれば、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。

③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、道路の移動時間に総充電時間（充電回数×充電時間）を加えている。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。走行経費原単位には、燃料費、油脂費、整備費、車両焼却費を含んでいる。燃料費は、一般的に電気自動車はガソリン車よりも低い、車両費は現状では電気自動車のほうがより高価である。表3-2-1の数値例では、電気自動車の場合もガソリン車と同じ走行経費原単位を用いている。

表3-2-1 移動費用と所要時間

車種	経路	料金計(円)		運賃・料金(円)		道路走行費(円)		その他要因(円)		所要時間計(分)		運航・走行時間(分)		その他時間(分)		移動距離(km)		
		フェリー	道路	フェリー	道路	フェリー	道路	フェリー	道路	フェリー	道路	フェリー	道路	フェリー	道路	フェリー	高速道	一般道
乗用車 (ガソリン)	経路α	0	17,700	0	17,700	0	0	0	0	0	540	0	530	0	10	0.0	628.5	15.5
	経路β	11,187	0	32,440	0	0	0	-21,253	0	1,650	30	1,110	30	540	0	638.0	0.0	13.6
電気自動車	経路α	0	17,700	0	17,700	0	0	0	0	0	770	0	530	0	240	0.0	628.5	15.5
	経路β	11,187	0	32,440	0	0	0	-21,253	0	1,650	30	1,110	30	540	0	638.0	0.0	13.6

注) 有料道路料金17,700円、フェリー運賃(乗用車含む) 32,440円、ガソリン車の給油時間10分(給油回数1回)、電気自動車で経路αを移動する場合の充電回数(628.5+15.5)km/120km≒6回、電気自動車の航続距離120km、充電時間40分、経路αの充電時間計6回×40分=240分、フェリー運航1日1回、フェリー乗船時間18時間30分、フェリー乗船中の睡眠及び休息時間の効用分(8時間50分×60分×40.1円/分・台=21,253円)、フェリー1日1便(平均待ち時間9時間=540分)、乗用車の走行経費原単位:9.55円/km(高速・地域高規格、速度75km/h)、23.62円/km(一般道市街地、時速30km/h)

(3) 交通機関分担率に関する予備的な分析

表3-2-1の数値例を用いて、経路αと経路βの時間価値、分担率、及びCO2排出量を求める。ガソリン車で移動する場合、経路β(フェリー+道路)の分担率は11.6%である。CO2排出量は、経路βの方が少ない。陸上輸送から海上輸送へのモードシフトがもたらすCO2削減効果である。電気自動車で移動する場合、経路β(フェリー+道路)の分担率は18.1%である。ガソリン車のケースに比べて、電気自動車のケースで経路βの分担率が増加している。CO2排出量については、経路βを電気自動車で移動したときが最も少なくなっている。

表3-2-2 経路αとβの分担率とCO2排出量

車種	経路	分担率	時間価値 (円/分)	CO2 排出量 (t-CO2)
乗用車 (ガソリン)	経路α(道路のみ利用)	88.4%	11.02	0.106
	経路β(フェリー+道路利用)	11.6%		0.028
電気自動車	経路α(道路のみ利用)	81.9%	13.80	0.043
	経路β(フェリー+道路利用)	18.1%		0.026

注) CO2排出係数(乗用車165g-CO2/t・km、電気自動車66g-CO2/t・km、フェリー40g-CO2/t・km)
日本長距離フェリー協会のウェブページを参照、電気自動車の係数は乗用車の40%とした

表3-2-2の結果は、表3-2-1の数値例に依存している。ここで、(a)走行経費原単位の変化、(b)総充電時間の変化、および(c)フェリー平均待ち時間の変化、がどのように経路αと経路βの分担率に影響を及ぼすのかを検討してみよう。表3-2-1では、走行経費原単位は、ガソリン車ケースと電気自動車ケースでは同じ値を用いている。走行経費原単位には、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が含まれている。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。また、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、6回分の総充電時間を240分としているが、充電地性能の向上、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。フェリーの運航頻度が変われば、フェリーの平均待ち時間も変動するであろう。

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 β の分担率に与える影響を表3-2-3に示す。電気自動車の走行経費原単位の低下と充電時間の短縮により、経路 β の分担率が減少する傾向がみられる。一方、フェリーの平均待ち時間が減少すれば(フェリー運航回数が増えれば)、経路 β の分担率は増加する傾向がみられる。

表3-2-3 感度分析

走行経費 原単位 の変化 (円)	経路 β 分担率 (%)	総充電 時間 の変化 (分)	経路 β 分担率 (%)	フェリー待 ち時間 の変化 (分)	経路 β 分担率 (%)
-3	13.2%	-90	15.1%	-180	26.9%
-2	14.8%	-60	16.0%	-120	23.4%
-1	16.4%	-30	17.0%	-60	20.5%
0	18.1%	0	18.1%	0	18.1%
1	19.8%	30	19.3%	60	16.0%
2	21.6%	60	20.5%	120	14.2%
3	23.4%	90	21.9%	180	12.7%

本節では、仮説的なシナリオと犠牲量モデルを用いて、電気自動車が陸上輸送から海上輸送へのモーダルシフトに及ぼす影響に関する予備的な分析を試みた。電気自動車の普及とモーダルシフトの関係を検討するためのひとつの分析的な枠組みを提示した。今後の課題としては、シナリオ分析の精度の改善、貨物輸送の場合の分担率、電気自動車によるトリップの需要予測や地域経済に与える効果などがあげられる。

参考文献

- [1] 中国統計局, 『2007年中国投入産出表』, 2009
- [2] Development Studies Center, IDE-JETRO, *Transaction Interregional Input-Output Table between China and Japan 2000*, 2007
- [3] Miller, R. and Blair, P.D., *Input-Output Analysis Foundations and Extensions*, Second Edition, Cambridge University Press, 2009
- [4] 日本長距離フェリー協会ホームページ, www.jlc-ferry.jp
- [5] 渋澤博幸, 菅原喬史, 技術革新を伴う次世代型自動車の生産拡大がもたらす経済波及効果, 『地域学研究』, Vol.41, No.1, pp.127-146
- [6] 総務省統計局, 『平成17年(2005年)産業連関表』, 2009
- [7] 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

4. 交通弱者のための交通システム

機械工学系 教授 章 忠, 准教授 三宅 哲夫, 助教 今村 孝

4-1 ドライバの個性に着目した社会共生型安全運転支援に関する研究

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

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

本報告では、その基礎技術として、主に（１）ドライバ行動計測、（２）ドライバの集中度評価に関する研究成果を報告する。（１）ドライバ行動計測としては、主にドライバの眠気を催した際の表情、および、ハンドル操作行動の計測・評価技術について研究を行った。また（２）ドライバの集中度評価としては、（１）の計測結果と車外環境情報を統合した、運転時のドライバの眠気や漫然度合い、集中などを定量評価する手法について、ドライビングシミュレータを用いた実験にもとづく研究を行った。

（１）ドライバ行動計測に関する研究

1) 眠気早期検出のための表情変化の検出手法

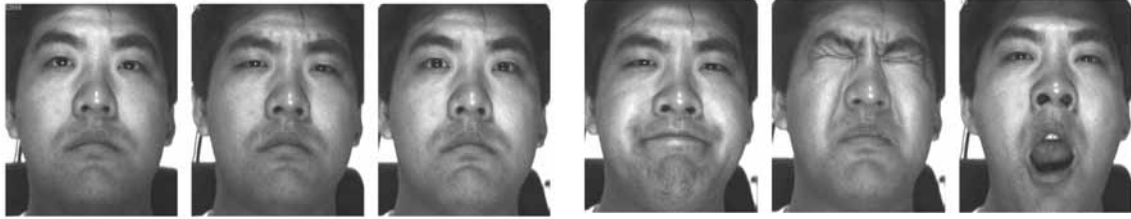
①はじめに

世界では、年間 130 万人が交通事故で亡くなっているが、その数は今後も増加するといわれている。このような背景のもと、安全運転支援技術の開発が大きな課題となっている。

一方、眠気はドライバの感覚器官を鈍感にし、注意力の散漫、判断力の減衰を引き起こし、重大な事故につながる可能性を高める。よって、眠気の初期にその兆候を検出することが、安全運転支援技術として重要である。そこで、本研究では人の眠気状態を良く表す表情に着目した。また、その表情を構成する瞬きの変化や欠伸（あくび）、さらには、覚醒のための努力を表す独特の表情（以下、覚醒努力表情）からは、早期の眠気ができると考えられる。ゆえに、本研究では安全運転支援を目的として表情変化の検出を目指す。

②検出対象とする表情変化の検討

検出対象とする、表情変化の中でも覚醒努力表情は、口の動きや目を見開くなどが報告されているが、明確な定義はない。そこで、検出対象とする覚醒努力表情を決定するために、被験者 5 人について、ドライビングシミュレータを用いた走行実験を行い、表情変化を撮影した。被験者の顔に表れた表情を図 4-1-1 に示す。



(a) 平常 (b) 眉間をよせる (c) 目を見開く (d) 口を動かす (e) 強い瞬き (f) 欠伸

図 4-1-1 ドライバ表情の例

被験者には、上記のような 6 種類の表情が見られた。その表情を解析すると、(c) 目を見開く、(e) 強い瞬きの表情は、眠気により筋肉が弛緩し瞼(まぶた)が下がった状態を改善し、車両前方を良く見ようと努力した結果、生じるものと考えられる。また、この 2 つの変化は (c) が 4 人、(e) が 5 人と多くの被験者に見られた。(f) 欠伸は被験者の眠そうな表情に伴うことが確認できたが、この表情は不随意的行動であり、覚醒努力表情ではない。(b) 眉間をよせる、(d) 口を動かす といったものは眠気との関連性を確認できなかった。例えば、(b) はトンネル通過時の急激な明度変化により、顔に表れた。また、これらの表情変化は被験者が眠るより 30 分も前から表情に表れ始めており、早期検出に有効であることがうかがえる。

以上の結果から本研究では、瞬きの変化に加え、眠気に関係のある表情として (f) 欠伸と覚醒努力表情の (c) 目を見開く、(e) 強い瞬きを検出対象とすることとした。

③表情変化検出システムの構成

図 4-1-1 (a) 平常顔などを基準とした従来の表情検出では、似た表情である図 4-1-1 (c) の検出が困難である。加えて、事前に基準顔を取得する必要がある。そこで、本研究では表情変化の検出を提案する。表情変化はカメラで取得した動画像の 1[frame]ごとの違いから検出する。そのため、個人に依存した基準情報が不必要である。加えて、変化に着目した検出とすることで、車輛前方を良く見ようとする表情変化 図 4-1-1 (c) が検出できる。

さて、本研究で提案する表情変化検出は、以下の 3 つのプロセスにより構成する。

第 1 プロセス：カメラで取得した顔画像から顔部位（目や口）の位置を検出

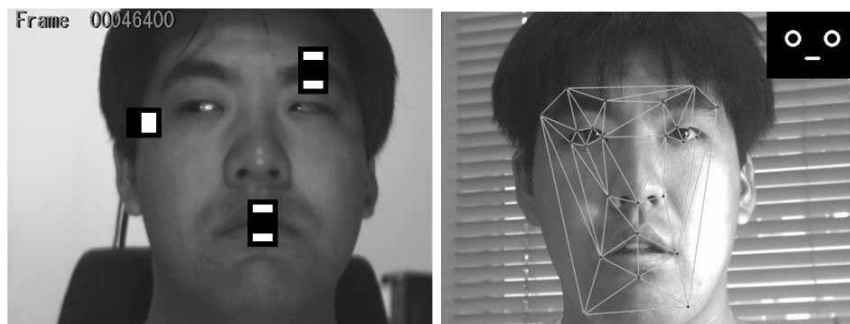
第 2 プロセス：目や口の位置情報を基に、表情変化を表す特徴量を検出

第 3 プロセス：特徴量を基に、眠気に関係する表情変化を推定

④顔部位の検出

まず顔部位の検出としては、Harr-like 特徴を用いて顔の位置を検出する。Harr-like 特徴は短形領域の明度差を用いる特徴量であり、ロバスト性に優れる手法であり、今回システム実装に用いた画像処理ライブラリ OpenCV にも関数ライブラリが用意されている。その検出例を図 4-1-2 (a) に示す。次に Active Appearance Model (以下、AAM) を用い、顔位置を基に顔部位の位置検出を行う。AAM は、形状 とテクスチャ の情報を持つ、図 4-1-2 (b) のような柔軟に変形するワイヤフレームモデルであり、顔の追跡性能に優れる。図 4-1-2 (b) の顔に描かれ

た線（AAM のワイヤフレーム）の端点は目や口の端点位置に相当し、顔部位が適切に検出できることが画像から確認できる。



(a) Harr-like 特徴による検出例 (b) AAM のフィッティング結果

図 4-1-2 顔部位の検出結果

この AAM は以下の式で表される。

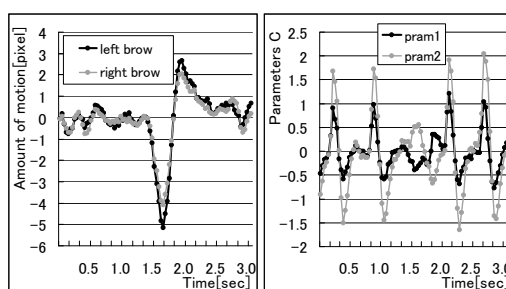
$$s = \bar{s} + P_s W_s^{-1} Q_s c \quad (1)$$

$$g = \bar{g} + P_g Q_g c \quad (2)$$

ここで、 $\bar{s}$ は形状、 $\bar{g}$ はテクスチャの平均である。 P 、 Q は平均からの偏差を主成分分析して得られる固有ベクトルである。 W は形状と輝度を統合するための行列である。 c は AAM をフィッティングさせるために変化させる値である。顔画像に AAM をフィッティングさせるには式(2)において c の値を変化させ g を最小化する。そして、得られた c を式(1)に代入することにより、画像中の対象物の形状が得られる。

⑤表情変化を表す特徴量

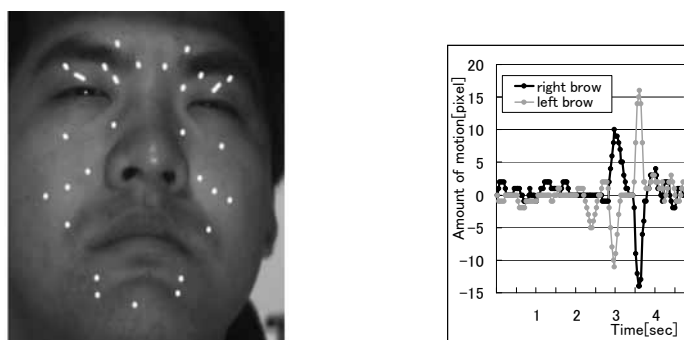
AAM を用いた顔部位検出の結果から、表情変化を表す特徴量を得る。その特徴量の 1 つは目や口の端点位置の変化である。また、2 つ目としてフィッティングのため式(1)、(2)中で変化させた c を特徴量とする。それぞれの変化の例を図 4-1-3 に示す。ここで、入力した動画は、1.5～2.5[s]の間に目を見開く表情をしている。その変化が図 4-1-3 の 2 種類の特徴量の変化からも見て取れ、適切に検出できたことが確認できる。ここで、2 種類の特徴量について見られる周期的な変化は瞬きによるものである。この結果から取得した特徴量が表情認識のために有効であるといえる。



(a) AAM の端点位置 (b) 特徴量 c

図 4-1-3 AAM による特徴量抽出の結果と表情変化との関係

上記2種類の特徴に加え、本研究では、オプティカルフローとして頬など輝度的特徴の少ない部位の動きを検出する。オプティカルフローの検出方法にはブロックマッチング法を用いた。ブロックマッチング法は、現在の画像の一部をテンプレートとして1つ前の時刻の画像中から最も一致する部分を探索する方法である。そのオプティカルフローの検出結果を図4-1-4に示す。図中の白線がオプティカルフローである。各線の長さが動きの大きさを表し、被験者の強い瞬きの動作と一致することを確認した。



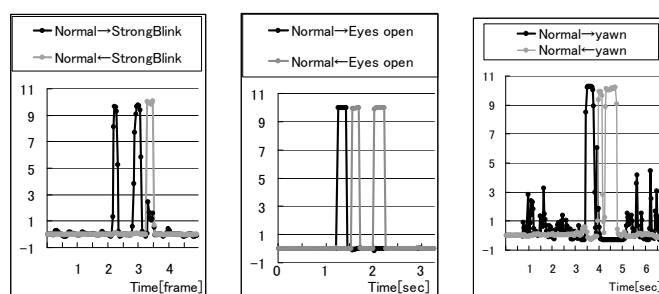
(a) オプティカルフローの計算結果

(b) 特徴量

図4-1-4 オプティカルフローの計算結果と特徴量の変化

⑥眠気を表す表情変化の検出

眠気を表す欠伸と覚醒努力表情の検出は、ニューラルネットワーク（以下、NN）により行う。NNは入力・中間・出力の3層からなる。また、入力層には前節にて述べた3種類の特徴量を適用しており、得られる出力はそれぞれの表情変化の有無とした。NNを用いて検出した結果を図4-1-5に示す。



(a) 強い瞬き

(b) 目を見開く

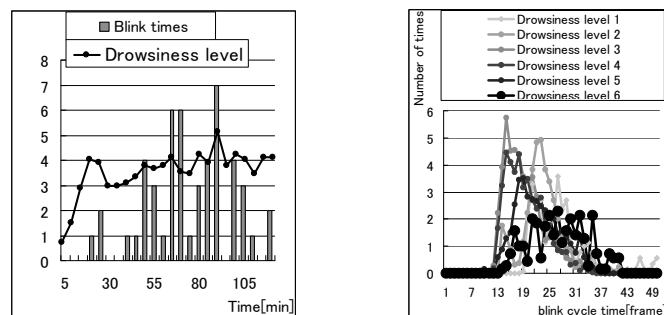
(c) 欠伸

図4-1-5 ニューラルネットワークによる特徴量変化の検出

図の縦軸は、値が10の時に表情変化があったことを表し、値が0の時は表情変化が無いことを表す。図4-1-5(a)では、強い瞬きへ徐々に変化する様子が2回の強い瞬きへの変化として検出された後、平常へ戻る表情変化が検出された。このように、他の表情変化においても同様に表情変化を検出でき、本検出手法の有効性が確認できた。

次に、瞬きから眠気の検出を行う。ここでは、軽度から重度の眠気を1から順に6まで段階別に分け、瞬き周期と閉眼時間の変化について実験した。その結果を図4-1-6に示す。ここで、

閉眼時間は2[s]以上を異常として診断した。図4-1-6(a)の折れ線グラフは、目視判別した被験者の眠気を、また、同図の棒グラフは単位時間あたりの2[s]以上の閉眼回数を示している。いずれも、眠気の増大に伴い増加する傾向が確認できた。一方、図4-1-6(b)は、瞬き周期のヒストグラムを表す。その結果、眠気の進行に伴い、瞬き周期が一旦短くなった後長くなる傾向が捉えられた。すなわち、初期の眠気判別には15[frame]以下の瞬き周期が頻繁に起きた時点が異常な瞬きと診断すればよいと考えられる。



(a) 閉眼時間と目視の眠気レベル (b) 瞬き周期の変化

図 4-1-6 瞬きと眠気レベルの関係解析結果

⑦おわりに

本研究では、早期の眠気と関連のある表情変化の検出を目指し、AAM とブロックマッチング法を用いた表情変化特徴量の検出法を提案した。その特徴量をもとに NN を用いた表情変化の識別と眠気を表す瞬きの検出を行った。また総合的な関連性として、眠気を表す表情変化として瞬きと眠気の関連性を明らかにした。

(三宅 哲夫, 今村 孝, 章 忠, 松本 卓也)

2) ハンドルセンサを用いた把持行動計測と把持姿勢推定

①はじめに

前章で示した画像計測手法は、ドライバ状態の計測手法としてドライバへの負担の少ない非接触方式である。一方、ドライバの生体情報を検出する手段には、早期かつ正確な測定法が求められることから、現状では接触式センサを用いた皮膚からの直接検出が望ましいといえる。そのためには、センサの接触・装着によるドライバへの負担軽減も重要である。そこで、これらを満足する方法として、ドライバが運転中に必ず触れるハンドルに圧力センサを埋め込んだハンドルセンサを、我々は提案してきた。

本研究では、居眠り運転や漫然運転等の心理状態との関連付けをめざし、生体情報としてのハンドルの把持行動の定量評価を目的としている。本報では、特にハンドルの把持姿勢を把持圧力から推定する方法を検討する。

②システム概要

図 4-1-7 に本研究で開発したハンドルセンサの外観及び圧力センサの埋め込み配置を示す。図中の○で示した位置に圧力センサが埋めこまれており、また○の各色はハンドル部材の円筒断面形状に対して、ドライバが取りうる把持形態（手を当てる、握るなど）に対応する配置となっており、赤色の○がハンドル円周状、黄緑色が円外側周、水色が円内側周、黄色がスポーク部への各配置を示す。配置された圧力センサの合計は 28 点であり、イナバゴム株式会社製イナストマーSF タイプ（計測域 最大 0.21[MPa] (1550[mmHg])、分解能 0.4[kPa] (3[mmHg])）を用いている。各センサからの検出値は集線装置を介して、50[ms]のサンプリング周期で USB 経由で PC に収録できる。

なお、本報の実験では、右手把持部に当たる図 4-1-7 中の 3 番（ハンドル円面上）と 15 番（円外側周上）の各センサを計測対象とした。なお、ハンドル内に実装後のセンサ精度を実測したところ、各値の標準偏差は 10.7[kPa] (80[mmHg]) となった。

③把持行動の定義と計測

手指による動作・行動を示す言葉としては、「把持」や「把握」などがある。本報ではハンドルを握る位置、握る際のハンドル断面形状と手指の位置関係、およびその握り圧力を総称して「把持行動」、また握る位置を「把持位置」、手指の位置関係を「把持姿勢」、握り圧力を「把持圧力」とそれぞれ呼称することとした。以上の定義にもとづき、特にドライバの把持姿勢をさらに分類し、把持姿勢と把持圧力の分布傾向との関連を明らかにする。

ドライバの把持行動、特に把持圧力を正確に計測する上で、把持位置およびハンドル断面形状に対する把持姿勢を推定することが重要となる。そこで、本報では把持圧力を把持した際の圧力値をパラメータとして表現し、把持位置・姿勢の分類・定義し、推定方法を提案する。



図 4-1-7 ハンドルセンサの概観とセンサ配置

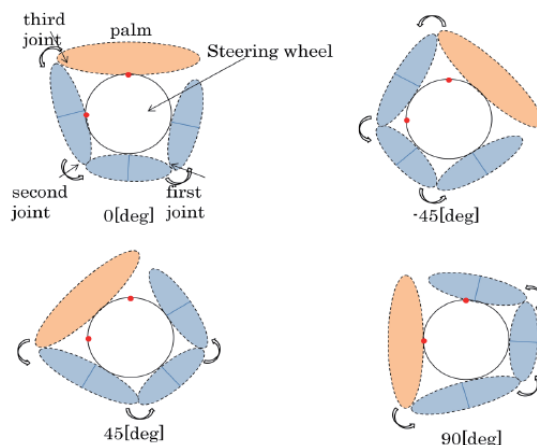


図 4-1-8 ハンドル断面形状に対する指配置による把持姿勢分類

図4-1-8は図4-1-7の上面からハンドルを握った際のモデル図である。また図中赤色で示した点が3番および15番センサの配置である。図4-1-8では、親指と人差し指の間とハンドル面との角度が直角状態を原点とし、右回りを正方向とする。一般的にドライバがとりうる把持姿勢は、ハンドルに対する角度が $-90^{\circ}\sim 90^{\circ}$ が想定されるが、手首や腕の関節可動域に対して、 -90° は把持しにくい姿勢であることから除外した。この角度範囲のうち、代表的な姿勢として、本報では -45° , 0° , 45° , 90° の4種類を取り上げ、それぞれの把持圧力を計測した。本実験では $-45^{\circ}\sim 90^{\circ}$ のそれぞれの把持行動において各20回ずつ把持することとし、その結果を考察した。

本研究で実施した実験における圧力データの一例を図4-1-9に示す。図4-1-9(a)は 0° における圧力データである。一方で、実際の運転行動では、把持圧力が定常しづらく検証が難しい。そこで、圧力値について、ハンドル面上の3番センサの値を、外側周上の15番センサの値で除したものを圧力比(P_r)と定義し、それをを用いた評価を検証した。その結果を図4-1-9(b)に示す。この結果より、それぞれ把持姿勢ごとに圧力比の分布傾向が異なることが分かる。また、圧力比は各把持姿勢に対して、 0° で最も大きく、次いで -45° , 45° , 90° となる分布傾向が変化することが確認された。

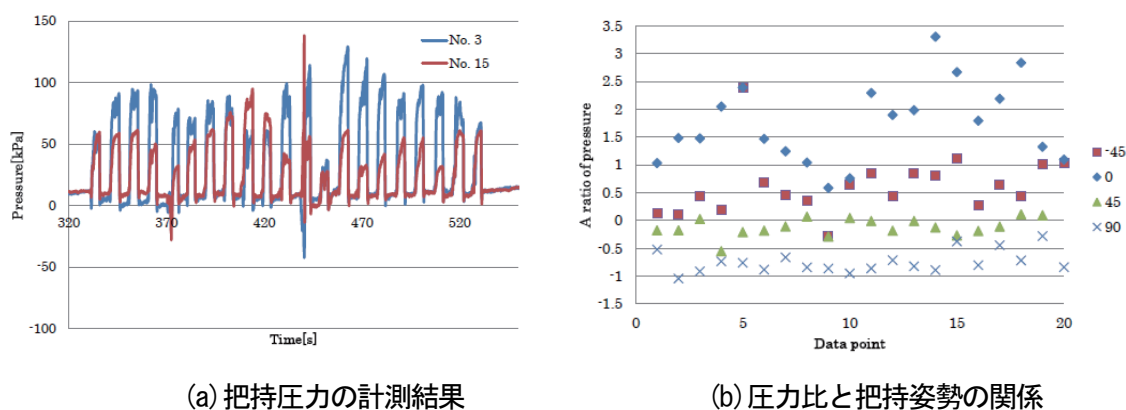


図4-1-9 把持圧力の計測と把持姿勢の推定結果

④おわりに

本研究では、ドライバの把持行動計測を目的とし、ハンドルセンサを用いた把持姿勢の分類・推定方法を検討した。そして代表的な把持姿勢の定義と把持圧力の計測結果と圧力比による把持姿勢分類法を検討した。

(今村 孝, 章 忠, 三宅 哲夫, 竹内 優斗)

(2) ドライバの集中度評価に関する研究

1) 漫然運転検出システムの提案

日本の交通事故死者数は、交通事故対策や安全運転支援システムなどの効果により、1995年以降減少している。しかし、事故発生件数はいまだに725,773件と十分な減少に至っていない⁽⁴⁻¹⁻¹⁾。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。

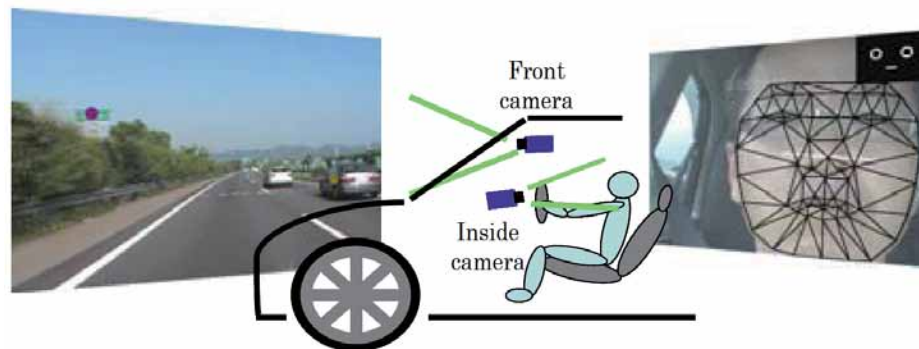


図 4-1-10 提案する漫然運転検出システムの概略

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 4-1-10 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、注意を喚起し、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 4-1-10 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。Camera 1 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、Camera 2 はドライバーの顔を撮影し、前章で示したような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章のシステムである。

次節以降では、2つの異なるアプローチによる、運転集中度の推定方法とその検証結果について報告する。

2) ファジィ推論を用いた運転集中度の評価

①ファジィ推論とファジィルールの決定

ファジィ推論とは、定量的に規定できない「あいまいさ」をルールの条件や結論に記述できる推論方式である。理論値が 0 以上 1 以下の任意の実数を取り扱い、0 に近いほど偽に近く、1 に近いほど真に近いという推論である。

ファジィ推論のルールは曖昧性を含む「IF $x=A$ AND $y=B$ THEN $z=C$ 」のような IF-THEN 形式となる。それぞれ、IF で示されるメンバーシップの前件部、THEN で示されるメンバーシップの後件部と呼ばれ、 x , y , z は変数、 A , B , C はファジィ集合である。「 $x=A$ 」は「 $x \in A$ 」すなわち「 x はファジィ集合 A に属する」という意味を表す。

本研究では、ドライバーの視線と注視対象との距離、およびドライバーの視線と走行している車線の前方遠点との距離を前件部の条件として、後件部の出力値、すなわち運転集中度を表す指標を決定する。

表 4-1-1 にファジィ推論のルールを示す。

表 4-1-1 ファジィ推論のルール

	Antecedent				Consequent	
		Input 1		Input 2		Output
Rule 1	I F	Short	A N D	Short	T	3
Rule 2		Short		Long	H	2
Rule 3		Long		Short	E	2
Rule 4		Long		Long	N	1

Input 1: Distance between gaze point - targeted object

Input 2: Distance between gaze point - far point

Output: Level of driving attentiveness

②メンバーシップ関数の決定

■ 前件部

上述したファジィルールをもとに図 4-1-11 に示すメンバーシップ関数の前件部を決定した。ただし、入力 1 と入力 2 の画像上の距離 r [pixel] はユークリッド距離である。図 4-1-11 の前件部の入力 1 を例として、「ドライバの視線と注視対象との距離が短い」ときの折れ線は以下のような関数とした。P と Q は運転時のある対象を注視しながら同時に認知できる範囲が 4～20[deg] 程度という有効視野に関する情報⁽⁴⁻¹⁻²⁾ を参考に決定した。また視線推定の誤差半径は 2[deg] であるため、P と Q をそれぞれ 8～24[deg] とした。図 4-1-12 に P_1 , Q_1 と r_1 の関係を示す。

$$\begin{aligned}
 \mu(r_1) &= 1 & \text{if } 0 \leq r_1 < P_1 \\
 \mu(r_1) &= 1 - (P_1 / Q_1)(r_1 - P_1) & \text{if } P_1 \leq r_1 < Q_1 \\
 \mu(r_1) &= 0 & \text{if } Q_1 \leq r_1
 \end{aligned}$$

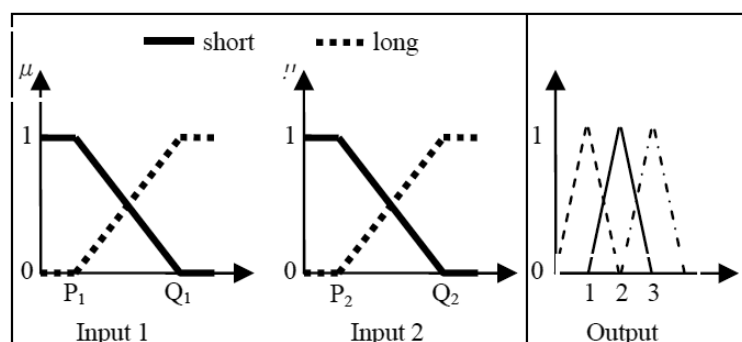


図 4-1-11 メンバーシップ関数の設計

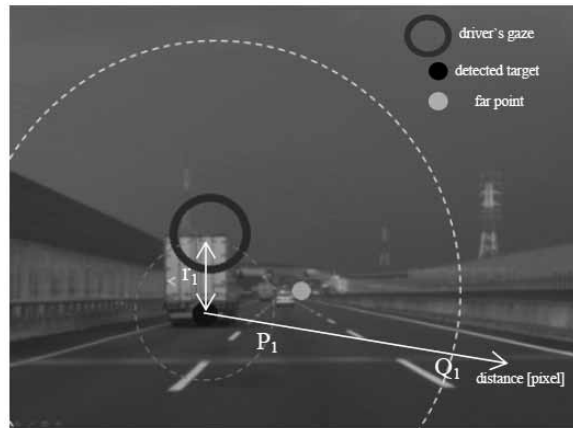


図 4-1-12 視野角等の変数の定義と有効視野との関係

■ 後件部

入力 1 と 2 は前件部のメンバーシップ関数によってそれぞれの適合度 μ に変換される。そして、同じルール内の μ の論理積を前件部の適合度とし、図 4-1-11 に示す後件部のメンバーシップ関数によって、各ルールに対する推論結果を得る。しかし、ファジィ推論の結果は当然曖昧性を持っているため、数値として結果を出力する脱ファジィ化という非ファジィ処理を行う必要がある。そこで、非ファジィ化でよく用いられる重心法を用いて、後件部の出力の重心を求め、ドライバの集中力を評価する。図 4-1-13 に、ファジィルール 2 をもとに作成したメンバーシップ関数を示す。

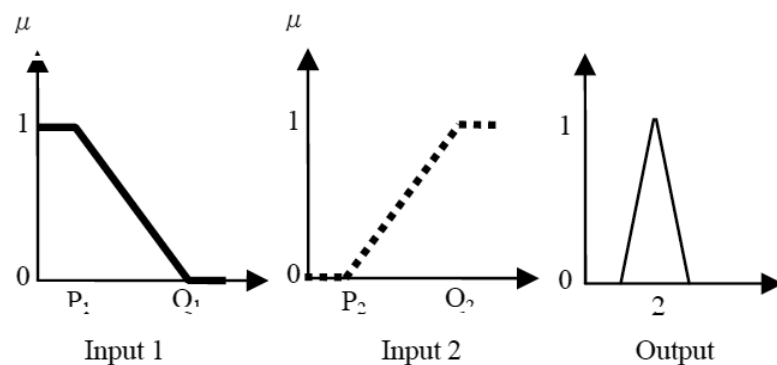


図 4-1-13 ルール 2 に関するメンバーシップ関数

③検証実験と考察

今回提案したファジィ推論による運転集中度の推定結果を検証するために、ドライビングシミュレータを用いて以下の内容で実験を行った。実験の条件は表 4-1-2 に示す。

表 4-1-2 検証実験の条件

Type of Course	Expressway
Running Lane	Left land
Speed Limitation	100km/h ~ 120km/h
Overtaking	Allowed

実験としては、以下の2パターンの実験を試行した。

実験1 通常運転

実験2 運転中に暗算やQ&Aなど運転集中度の低下を促す副次タスクを付与

特に、実験2では、タスクを付与してから被験者が解答をはじめるまでの時間を記録し、被験者の運転集中度が低下傾向を評価することとした。

図4-1-14に実験1、図4-1-15に実験2の結果の一部をそれぞれ示す。ただし、グラフのデータは10[frame]ごとのファジィ推論で得られた結果を平均したものである。なお図中の網掛け部分は被験者がタスクに対する解答を考えている区間を示す。

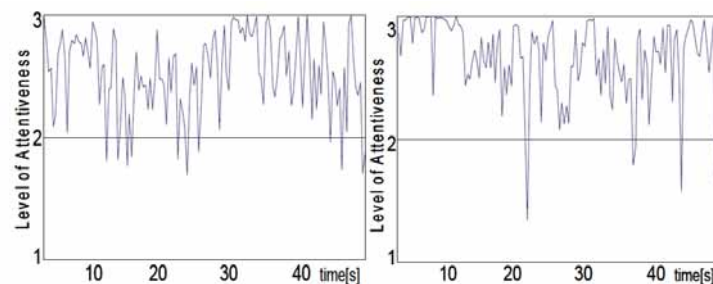


図4-1-14 副次タスクを伴わない通常運転時の推論結果

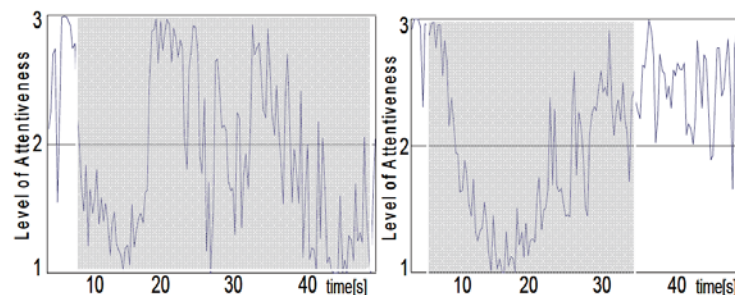


図4-1-15 副次タスクを伴う運転時の推論結果

図4-1-14に示すように、被験者が運転にのみ集中できる場合の推論結果では集中度のレベル2~3の間が多く得られる傾向となった。これに対して、被験者が副次タスクを与えられている場合の推論結果では、集中度のレベルは低下することが図4-1-15より確認できる。

④まとめ

本研究では、運転集中度を推定することを目的として、ファジィ推論を用いる手法を提案した。また、副次タスクを付与した運転実験により、本手法の有効性を確認した。今後は、他の入力パラメータを導入することで、ぼんやり運転、脇見などの漫然運転へ推論・検出対象を広げ、検証を進めていく。

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

3) 隠れマルコフモデルを用いた運転集中度の評価

①注視行動と運転集中状態

本研究では、ドライバの注視行動に着目し、その特性にもとづいて運転集中状態を定義する。

注視とは、一定時間にわたって同じ対象を見続けることである。過去の実験結果を踏まえて、注視に必要な時間を100～200[ms]とする。また、ヒトの有効視野角が2～3[deg]であることから、視線の変位量が3[deg]以下の場合に注視していると判断できる。ただし、交通環境が常に変化し続けることを想定し、本研究では20[s]毎に注視行動を評価・更新することとする。

以上の仮定より得られた注視行動の妥当性を、視線のばらつき及び注視継続時間、安全逸脱行為によって評価する。

視線のばらつきは、20[s]における視線の画像上の座標から分散を計算したものである。各運転集中状態の正規分布を参照し、尤もらしいグループに属するものとした。

注視継続時間はa) 100[ms]未満、b) 100[ms]以上400[ms] 未満、c) 400[ms]以上の3種類とする。そしてb) 100[ms] 以上400[ms] 未満を「適切な注視」、c) 400[ms]以上を「不適切な注視」とする。これを20[s]毎に「適切な注視」に対する「不適切な注視」の割合を計算し、閾値処理により3つのグループに分類する。

安全逸脱行為は、適切、前方不注視、車線逸脱、不要運転の4つに分類する。この逸脱行為の分類には、接近離間状態評価指標 KdB⁽⁴⁻¹⁻³⁾を適用する。ここでは、本実験に使用するドライビングシミュレータ上で、前方を走行する車両の映像を取得し、離間状態評価指標 KdB を算出し、図 4-1-16 に示す関係式を求めた。

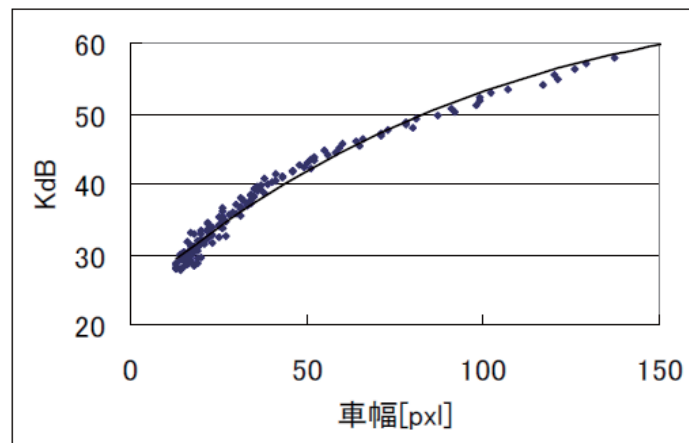


図 4-1-16 ドライビングシミュレータ DS-6000 上での KdB 算出結果

ドライバが車線変更を行う際の追い越し対象となる車両の車幅を閾値とし、図 4-1-16 を LookupTable とすることで、ドライバの前方不注視を判定する。また、前方映像内の白線を検出し、自車位置との関係より車線逸脱を検出する。ただし、完全に隣接する車線へ移動した場合は斜線変更とする。さらに注視状況を判断し、その適切・不適切により、適切と不要運転を判別する。

以上の、「視線のばらつき」の3段階、「注視継続時間」の3段階、「安全逸脱行為」の4段階の組み合わせ36通りが注視行動量となる。

②運転集中状態のモデル化とその検証

本研究では、前節で定義した注視行動量を用い、通常運転・漫然運転・居眠り運転の3状態を有するドライバの運転意識モデルを隠れマルコフモデル (Hidden Markov Model: HMM) を用いて、図 4-1-17 のようにモデル化する。

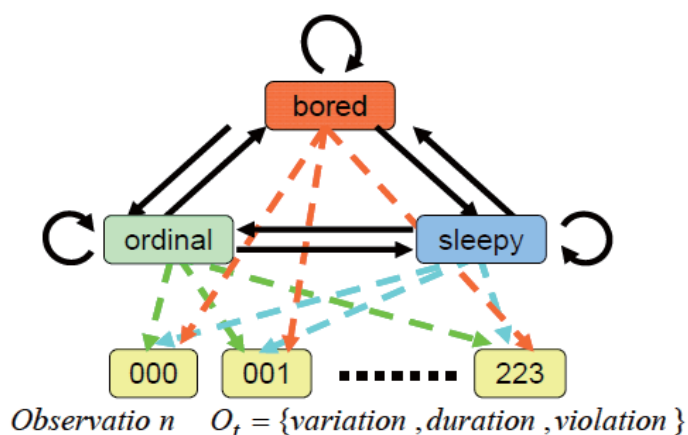


図 4-1-17 ドライバの運転意識モデル

以上のモデルについて、以下の被験者実験により収集した学習データ・検証データを用いて、その妥当性を検証する。

実験ではドライビングシミュレータ上の高速道路コースを一定の速度で運転することとした。被験者は健康な20代男性1名で、2[hour]の運転実験とした。このときシミュレータには意思表示用スイッチを取り付け、ドライバに運転時の意思・意識の変化の提示を依頼した。スイッチは、眠気を自覚したときの“眠気”スイッチ、運転に飽きたと感じたときに“倦怠”スイッチ、疲れたと感じたときの“疲労”スイッチの3種類とした。このスイッチ操作にもとづき、実験時に撮影したドライバの顔映像を分類した。また、実験後の被験者アンケート等により再度映像を分類し、HMMの学習データとした。

これによりHMMを構築した後、検証データ収集のための実験を実施した。被験者および走行条件は学習データの収集実験時と同様とした。なお、この際、ドライバの顔画像に対して、Active Shape Model (ASM) を適用して、顔の検出および黒目の変位量から視線方向ベクトルを取得し、車両前方映像に投影し、注視行動データとした。

図 4-1-18 に実験中のドライバ顔映像を実験者が主観的に推定（評定）した運転集中状態とHMMを用いた推定結果の比較結果を示す。この結果より、主観的推定とHMM推定の一致率は、通常運転53%、漫然運転70%、居眠り運転62%であることが確認できる。また、漫然運転、居眠り運転と比較して通常運転は誤推定が多く、誤推定の約6割を通常運転が占めていることが確認できる。その中でも通常運転の32%を漫然運転として推定している。

HMM推定		通常	漫然	居眠り
主観的推定	通常	53%	32%	13%
	漫然	12%	70%	17%
	居眠り	4%	34%	62%

※意識状態検出率(HMM推定意識/主観的推定意識)

図 4-1-18 ドライバモデルを用いた推定結果

③まとめ

本研究では、隠れマルコフモデルとドライバの注視行動を用いたドライバ状態の推定手法を検討した。ドライビングシミュレータを用いた運転行動計測結果に適用した結果、60%前後の推定率を確認するとともに、誤推定の要因として、交通環境による注視行動の変化や、モデル化した行動を構成する特徴量の類似性が挙げられる。今後はこれらを改善し、推定率の向上を図る。

(三宅 哲夫, 今村 孝, 章 忠, 松永 惇)

(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23年度において、以下の研究発表を行った。

■学術論文投稿

1. Zhong Zhang, Ahmad Fathullah Bin Rahim, Takashi Imamura and Tetsuo Miyake, Detection of Saccade Using Image-Based Measurement System to Estimate Early Signs of Drowsiness, Innovative Computing, Information and Control Express letters, Part B: Applications, Vol. 2, Num. 3 (June 2011), pp.635-640
2. Tetsuo Miyake, Takuya Matsumoto, Takashi Imamura and Zhong Zhang, Estimation of Facial Expression from Its Change in Time, Innovative Computing, Information and Control Express letters, Part B: Applications, Vol. 2, Num. 3 (June 2011), pp.641-646
3. Takashi Imamura, Hagito Yamashita, Zhong Zhang and Tetsuo Miyake, A Study of Classification for Driver's Normality Using Cooperativeness of Driving Behaviors, Innovative Computing, Information and Control Express letters, Part B: Applications, Vol. 2, Num. 3 (June 2011), pp.647-652
4. Tetsuo Miyake, Jun Fujimoto, Makoto Matsunaga, Takashi Imamura and Zhong Zhang, Measurement of Viewing Direction for Safety Driving Support System with Monocular Camera, Innovative Computing, Information and Control Express letters, Part B: Applications, Vol. 2, Num. 3 (June 2011), pp.653-658
5. Md Rizal Othman, Zhong Zhang, Takashi Imamura and Tetsuo Miyake, Driver Inattention Analysis Using Neural Network Based Nonlinear ARX Model, Innovative Computing,

Information and Control ICIC Express letters, Part B: Applications, Vol. 2, Num. 3 (June 2011), pp.679-686

6. Takuma Akiduki, Zhong Zhang, Takashi Imamura and Tetsuo Miyake, Design of Multi-Valued Cellular Neural Networks for Associative Memories, International Journal of Innovative Computing, Information and Control, Vol.8, No.3(A)(March 2012) pp.1575-1590.

■国際学会論文発表

1. Takuma Akiduki, Zhong Zhang, Takashi Imamura, Tetsuo Miyake, Human Motion Analysis from Inertial Sensor Data Based on Nonlinear Dynamics, Proc. of 18th IFAC World Congress 2011(Milan, Italy, 28th Aug.-2nd Sept.), pp.7396-7401
2. Takashi IMAMURA, Hiroyuki TOMINAGA, Megumi FUJIYASU, Zhong ZHANG, Tetsuo MIYAKE and Kiyooki KAKIHARA, Identification for Human Posture Dynamics Induced by Visual Stimulation, Proc. of IEEE International Conference on System, Man and Cybernetics (SMC2011, Oct. 9-12, 2011, Alaska, USA), pp.201-207

■国内学会発表

1. 今村孝, 富永祐之, 章忠, 三宅哲夫, 視覚誘導性身体動揺の計測とパラメータ同定, 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス部門講演会 (ROBOMECH2011), pp.2P2-O02(1)-(4).pdf, (2011.05.27-28)
2. 秋月拓磨, 章忠, 今村孝, 三宅哲夫, 慣性センサ群による自動車運転操作における上肢動作計測法の開発, 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス部門講演会 (ROBOMECH2011), pp.2P2-O10(1)-(2).pdf, (2011.05.27-28)
3. 竹内 優斗, 今村 孝, 章 忠, 三宅 哲夫, ハンドルセンサを用いた把持行動と把持圧力計測, 第54回自動制御連合講演会, pp.206-207, (2011.11.19-20)
4. 福山 育也, 三宅 哲夫, 今村 孝, 章 忠, 車両前方画像からの物体抽出における色空間の選択, 第54回自動制御連合講演会, pp.684-688, (2011.11.19-20)
5. 今村 孝, 視覚誘導性身体動揺の挙動定量化パラメータの提案とその同定法に関する研究, 平成23年度 統計数理研究所共同研究集会「医学・工学における逆問題とその周辺(3)」, (2011.11.27)
6. 松永 惇, 三宅 哲夫, 今村 孝, 章 忠, 注視行動計測に基づくドライバの意識状態推定, 第12回システムインテグレーション部門講演会(SI2011), pp.2421-2424, (2011.12.23-25)

本報告に示したように, ドライバ計測に関する基礎技術の構築とその実験・実証が進んでいる。特に, 次章に示すように本年度導入したドライビングシミュレータにより, 現状困難な実車環境での実験に替わる方法も拡充できており, これらを活用した検証実験等を重ね, 実装・実用化に向けた検証・知見蓄積を行い, 計測精度や実現性の向上を行うことが課題である。

参考文献

- (4-1-1) 平成 22 年中の交通事故の発生状況, www.e-stat.go.jp/SG1/estat/List.do?lid=000001070719, 警察庁交通局, (2011)
- (4-1-2) 三浦利章, 行動と視野的注意, 風間書房, (1996)
- (4-1-3) 津留直彦他, 運転者の視覚認知機能の解明とモデル化の研究, デンソーテクニカルレビュー, Vol.12, No.1, (2007)

4-2 新規導入したドライビングシミュレータソフト・システムの構築

本報告4-1 (1), (2)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。その環境整備の一つとして、走行環境設計が容易な新たなドライビングシミュレータを導入した。本章では(1)導入の経緯とシステム概要、および(2)適用事例の2点について報告する。

(1) 新規導入システムの概要

1) はじめに

自動車関連研究においては、走行中の環境において、車両の挙動やドライバの行動など多面的な環境における評価・検証が要求される。その方法としては、実車や公道を用いた実環境での検証方法と、ドライビングシミュレータにより仮想的に用意された環境での検証とが挙げられる。

特に、自動車運転中の車内における環境やドライバの行動を計測する方法としては、主に計測機材設置の観点から、ドライビングシミュレータによる検証が主とされてきた。近年では、計測機材の小型化等により、実車環境での実験・データ計測方法が提案・実証されてきており、実環境と物理的・心理的に異なるドライビングシミュレータを利用する意義が問われ始めている。

本研究では、走行環境の統制力や環境の再現性といった、実環境では調整が困難な条件を適用できる点で、ドライビングシミュレータの必要性に着目し、種々の提案手法の実証に利用してきている。従来は、2006年に導入した三菱プレジジョン製 DS-6000 を使用してきている。これは、自動車教習所等で多く用いられる形式のものであるが、特に本研究で適用してきた機種には、運転行動計測評価用の走行環境および運転行動計測用のソフトウェアが同梱されている。これにより本システムにおいては、ドライバが操作する機器はほぼ実車同様の車内機器構成（ステアリング、シフトレバー、アクセル・ブレーキペダル等）を有しており、実験設定によりほぼ実環境と同等の計測が可能となっている。

一方で、走行環境ソフトウェアは、既存の環境のみ適用可能なため、交通環境が常に一定でありパターン化しやすい点、走行経路が固定である点等のデメリットがある。同様に、交通環境内を走行する他車両の挙動も画一的であるため、他車両挙動に起因する、運転時の認知・判断、運転行動意図の変化などが生じにくい。

そこで、新たなドライビングシミュレータとして、以下に示すソフトウェアを導入するとともに、その運転操作環境を構築した。また、新たに構築したシステム上において、ドライバの運転行動意図の計測・推定実験を実施し、走行環境の設計・制御によるドライバ挙動の統制可能性を検証した。

2) システム構成

本研究において新たに導入したソフトウェアとしては、FORUM8社のUC-win/Road DrivingSimパッケージを選定した。同製品は、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。今回の導入にあたっては、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）インターフェースを有するパッケージを選択し、ネットワークライセンス 5 ライセンスを導入した。同パッケージには、走行シミュレーション機能のほか、走行時の音環境の再現機能、走行環境中の歩行者や車両の交通制御機能、燃費計算等のエコドライブ機能があり、現在もバージョンアップにより多くの機能が追加されつつある。

ソフトウェアとしての単体では、都市や道路のモデルを作成することが可能であり、図 4-2-1 に示すように、ステアリングやペダルを有するゲームコントローラを接続することで、そのままドライビングシミュレータとして設計した都市モデル内を走行することができる。またマルチモニタ機能に対応しており、前方映像のほか、側方の映像も提示が可能である。さらに専用機材を導入することで、ステアリング操作の反力や車両傾斜・振動などの提示が可能であるが、これについては、現時点では未導入である。



図 4-2-1 新たに導入したドライビングシミュレータの概観

本システムおよびライセンスの管理システムは、Windows7 /XP 上で動作する。また、学内 LAN 等のネットワークを介してデータの相互利用が可能である。本年度は、機械工学系 章研究室内にライセンスサーバとサブネットワークルータを設置し、情報メディア基盤センターの VLAN（Virtual LAN：仮想 LAN）サービスを利用して、学内の希望者にライセンス提供できる体制とした。現時点では、建築・都市システム学系 廣島研究室にて 1 ライセンス利用いただいている。

ドライビングシミュレータ機器としての評価としては、前導入機種との比較において、以下のメリット・デメリットを確認している。まず、メリットとしては、走行環境の設計自由度が高いことが挙げられる。これにより後述する研究利用および教育・アウトリーチ活動への適用が容易となったことは研究・教育の両面において大きな効果である。一方、デメリットとしては、前導入機種の操作環境に比べて現実味（リアリティ）が低下している点と、運転時の振動や反力といった臨場感向上の要素に乏しい点が挙げられる。これらデメリットについては、今後も継続して改善方法を検討していく。

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

（２）新規導入システムの研究・教育への適用事例

１）運用事例１：運転行動意図分析モデル構築のための走行環境設計と評価

安全運転支援システム（以下、支援システム）の開発において、支援システムがドライバの信頼をどのように獲得するかは、ユーザビリティの観点から大きな検討課題である。本研究室ではこれまでに、支援システムからのドライバへの情報提供・操作介入時期の適切化を図る観点から、ドライバの運転行動意図の分析を行ってきた。この研究において、混合正規分布（Gaussian Mixture Models: GMM）を用いて、さまざまな意図推定モデルを構築しているが、中でも一番の問題点が、ドライバ運転行動意図の真値取得の困難さが挙げられる。事後・事前のアンケート調査により、各運転時点のドライバ運転行動意図を確認・収集することが、この一つの解決方法であるが、運転時のある一時点で感じた状況の時間的な精度とドライバの記憶に依存する再現性が問題となっている。特に時間的な精度は、時系列データとしての同一基準のもとで推定結果の妥当性を判断する上でもっとも重要かつ調整困難な点である。

このような観点から、ドライバの運転行動意図の真値に相当するデータの生成・取得を目的として、新たに導入したシミュレータにおいて走行環境の設計を試みた。ここでは、まず推定項目として、ドライバの加速・減速・定常走行・停止の４走行状態と右折・左折といった行動状態をドライバの運転行動意図とした。そして、この運転行動意図の表出を促す目的で、交通信号および周辺交通流などを設計した。この環境より得られた運転行動について、以下の環境制御のタイミングにもとづき分類し、意図推定の真値とした。

- 交通信号（青→赤） ⇒ 減速ラベルの定義

シミュレーション車両がコース中のある座標に到達すると信号が赤に変化する

- 交通信号（赤→青） ⇒ 加速ラベルの定義

信号が赤に変化してから、一定時間後に信号を青に変更する

- 周辺交通流 ⇒ 加減速ラベルの定義

目標速度を設定し、自然に「流れに合わせた運転」を行うよう指示する

また、ある速度の前走車によって、シミュレーション車両の最高速度を制限する

- 交差点 ⇒ 右左折ラベルの定義

被験者に予め説明した走行ルートにおいて、右左折する交差点に接近した時点で、モニタ上に指示を表示する

前述のドライバの運転行動意図の統制の効果を確認するために、以下の実験を実施した。

まず a～d の４人の運転免許を持つ２０代男性の被験者に、市街地を模したコースを１人あたり８回の運転を依頼した。各被験者の初回実験の前には、シミュレータの運転感覚に慣れるために、実験と同じコースを用いた練習運転を実施した。ただし、練習運転では信号や交通流の制御は行わず、走行経路とシミュレータからの右左折指示の確認を主として実施した。

上記の実験により取得したデータにもとづき、著者らの従来研究⁽⁴²⁻¹⁾にもとづき、GMMによるド

ライバの運転行動意図推定モデルを構築した。従来研究では、従来機種のドライビングシミュレータを用いており、本実験のように、ドライバの運転行動意図の変化時期を明示的に把握することができていなかった。そのため、運転行動意図推定の推定精度の算出等、定量的な評価を実施できていなかった。

一方、本実験では、交通環境の制御タイミングをドライバの運転行動意図の変化時期とすることで、統制した運転行動意図と GMM による推定結果との時系列上での一致度を計算することが可能となる。図 4-2-2 に、運転行動意図の真値と推定値との比較結果の一例を示す。上部のグラフが車両速度、ステアリング操舵角、アクセル開度の各運転行動情報であり、下段が GMM による運転行動意図推定の結果である。この結果の一致度を算出した結果、4 名の被験者平均で 83.5%の推定精度であることが確認できた。

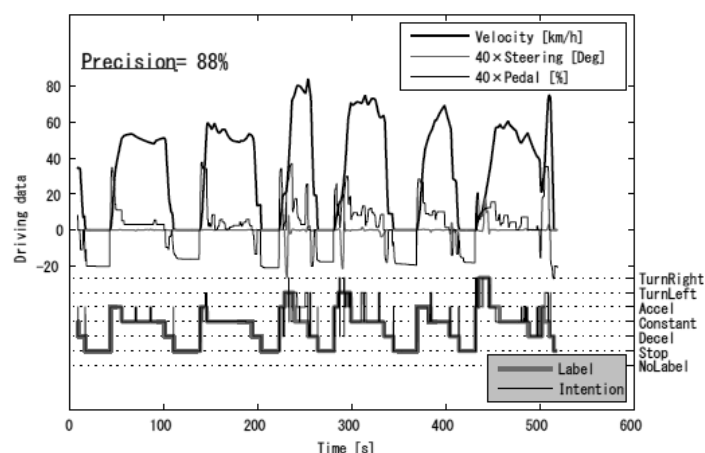


図 4-2-2 運転行動計測結果および運転行動意図の推定結果

今後は、運転行動意図の統制時期と、それに対して実際にドライバ行動が変化するまでの動特性を加味するなどして、さらなる運転行動意図の真値取得に関する検討を進め、意図推定精度の向上を図る。

(今村 孝, 章 忠, 三宅 哲夫, 荻 智成)

2) 運用事例 2：体験実習等における利用

平成 23 年 8 月に開講した、愛知県立時習館高等学校 SSH「SS 技術科学」において、「交通安全支援技術の体験 ～仮想の街を作り、走ってみよう～」と題し、受講生 10 名（時習館高校 2 年次）に対して、本システムを用いた講座を開講した。講義では、まず交通安全およびその予防技術について、最新技術の紹介と本研究室での取り組みを紹介した後、本システムを用いて、2 名 1 組となって都市環境モデルの作成を行った。その一例を図 4-2-3 に示す。2 日間、実質 9 時間の講義時間であったが、1 日目の 2 時間程度で、おおよその街並みが完成し、交通環境の整備・制御設定を施し、翌日には各自の環境をドライビングシミュレータで走行することができた。

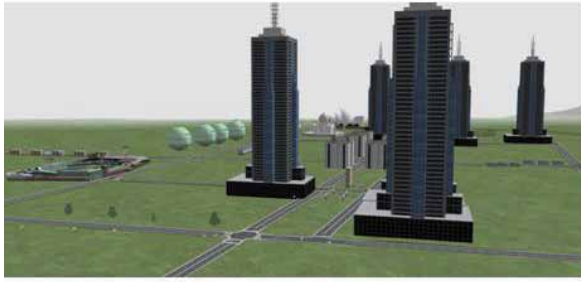


図 4-2-3 SS 技術科学講座 受講生による都市環境モデル作成の一例

受講者の理解も早かったが、比較的簡便にそれぞれの考える走行環境や街並みをコンピュータ上に実現でき、さらにそれを自動車運転の視点から環境特性を確認したり評価したりすることができ、本システムの特徴を活かして受講生の理解を深めることができた。

また、同月に豊橋市内で実施された、豊橋おいでんプロジェクトに参加した小学生に対しても、ドライビングシミュレータの体験環境を提供した。同プロジェクトは、東日本大震災により被災し、これに伴う福島原発事故の影響で屋外活動を制限された小中学生に、夏休みの活動の場を提供することを目的とした活動である。参加者は4日間の豊橋市滞在において、海水浴、工場見学等を行った。その一環として、本学 VBL (LSI 工場) や実験実習工場等を見学した際に、機械工学系の体験実習内容の一つとして、ドライビングシミュレータを設置し、運転体験を実施した。

本システムは、PC と軽量機材の組み合わせで構成したため、運搬・移設が可能である。そのため、機械工学系内に設けた体験実習会場へ本システムを移設し、小中学生の体験へ利用できた。

(今村 孝, 荻 智成, ELVIN TIONG CHEW LUN)

(3) 今後の展望

今回新たにドライビングシミュレータを導入することにより、従来研究の更なる進展に加え、これまで以上にドライビングシミュレータや運転行動計測に関する体験実習等を行えるようになった。研究面においては、更なる適用事例の増加を進め、提案手法の定量評価等に応用し、研究促進につなげたい。また、追加機材等を拡充させ、体験実習等での適用効果の向上を図りたい。さらに、学内での利用者および、本システムの適用事例を増やすことで、導入効果の向上を図りたい。

参考文献

(4-2-1) T. IMAMURA, et al, Estimation for Driver's Intentions in Straight Road Environment using Hidden Markov Models, Proc. of IEEE International Conference on System, Man and Cybernetics(SMC2010, Oct. 10-13, 2010, Istanbul, Turkey), pp.2971-2974, (2010)

5. 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

5-1 全周プロジェクションシステムを用いた安全・安心のためのコンテンツ作成

(1) 全方位シームレスプロジェクションシステム

全周マルチプロジェクションシステムとは、図 5-1-1 に示すように、複数台のプロジェクタを用い、部屋の全周の壁に対し、全周パノラマ映像を投影するシステムであり、我々の研究室で開発を進めている¹。本システムの特徴として

- 部屋の四方の壁をスクリーンとし、特殊な設備や機器を必要としない。
- 映像を補正することで、壁の凸凹による投影像への影響が少ない。
- 全周映像を投影することで、より臨場感のある映像を投影できる。

が挙げられる。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、危険な交差点での全周映像を撮影しておき、それを本システムで投影することで、実際の現場ではなく、仮想的な、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、高齢者や子供に対する交通安全教育や各種シミュレーションなどに利用できる。

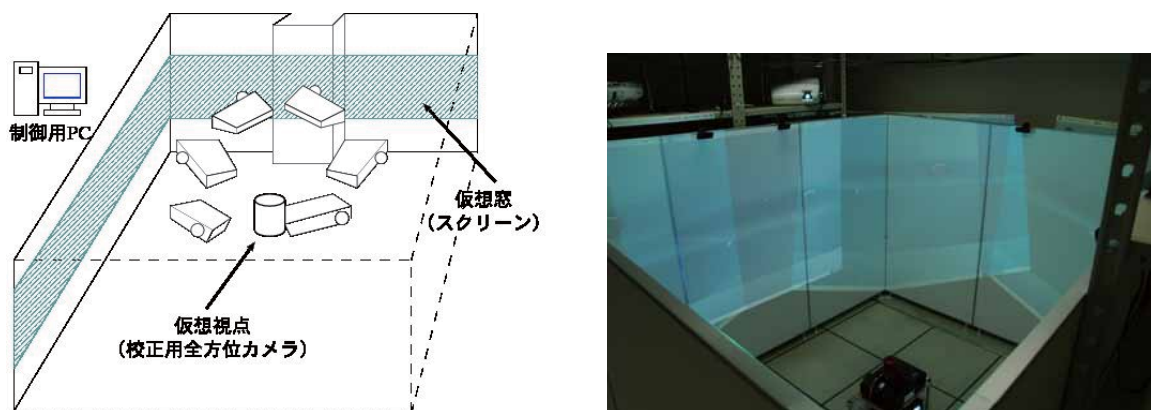


図 5-1-1 システムの構成と実際のシステム

(2) 事故多発個所での映像撮影

投影用のコンテンツとして、豊橋警察署の許可を得た上で、全方位カメラを用いて豊橋市内の交通事故の多発する7カ所で交差点および横断歩道を含む近隣の歩道を移動しながら、その周囲の環境の撮影を行った。

- 撮影月日： 平成23年8月8日（月）～ 9日（火）
- 撮影時間： 昼12時前後および夕方5時前後

¹ (株)ファンテックス（愛知県豊橋市）との共同研究による。

- 撮影箇所： 豊橋市内交通事故多発7か所

撮影の様子を図 5-1-2 に示す。また、撮影した映像をマルチプロジェクションシステムで投影した図を図 5-1-3 に示す。



図 5-1-2 撮影風景

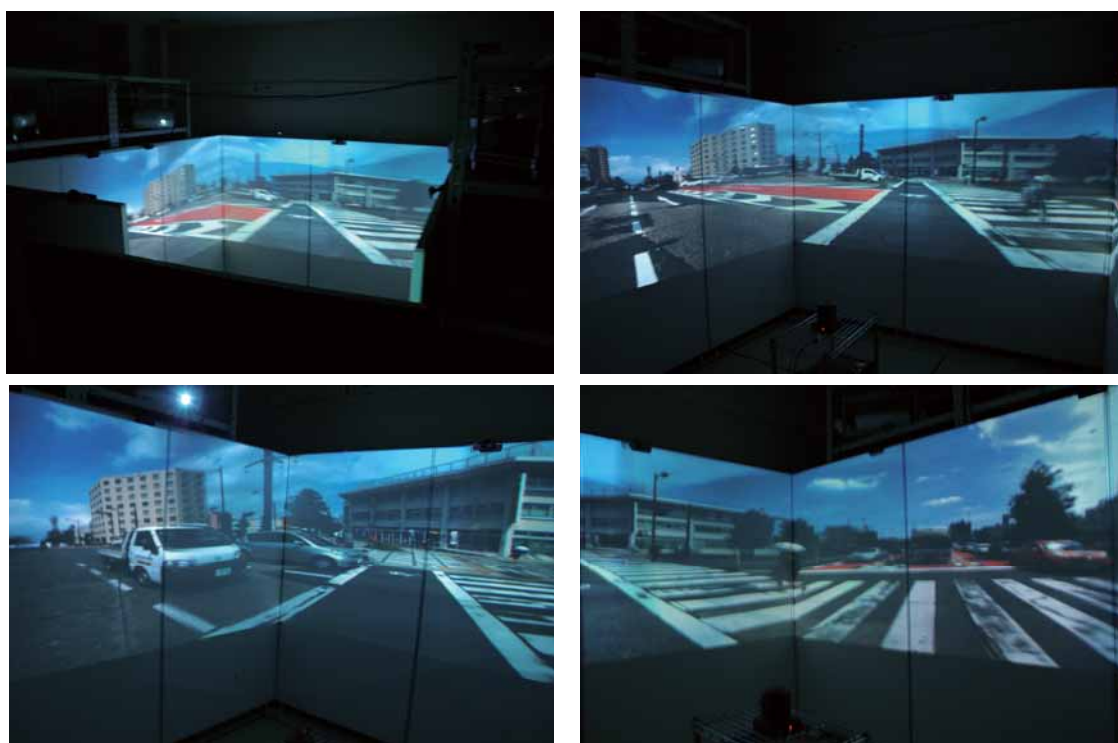


図 5-1-3 全周マルチプロジェクションシステムでの投影

(3) 今後の展開

このように撮影した実際の環境の映像を用いて、仮想的な環境を用いた交通安全教育だけでなく、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[1]などカラーユニバーサルデザインへの理解を深めてもらうことを進めようと考えている。さらに、これらのシステムを利用し、交通弱者の方々の支援システムの開発を行っていく予定である。

5-2 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

現在「高度道路交通システム (Intelligent Transport Systems, ITS)」に関する研究および技術開発が進められており、その中心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、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。その一方で、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。例えばアイセ이프ティの「交通安全サービス」実験[2]では、子供に IC タグを持たせ、車載機器によりそのタグを検知した際、ドライバーに注意を促すサービス実験を行ったり、各地の警察署などで導入されている「歩行者等支援情報通信システム(PICS)」[3]では、視覚障がい者や高齢者が携帯情報端末を持ち、その端末を介して、現在の信号の状態を知らせたり、信号の青の時間を延長するなどの対処を行っている。しかし、いずれもドライバーがその注意喚起に気付くことや、ドライバーはきちんと信号を見ていてそれを守るはずといった仮定が前提となっている、言わば間接的な安心・安全であり、本当に個々の交通弱者の安全や安心を保障するものではない。また、特別な車載装置や交通弱者に持たせる IC タグ、そして IC タグと信号の制御装置とのやりとりのための通信インフラや規格の整備などが必要となるという問題点も存在する。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。そこで本研究では、全方位カメラと呼ぶ 360 度の視界を持つカメラを用い、これを交通弱者に持たせることで、自身に向かってくる車などの危険物体の検知を行うことを目的とし、そのようなシステムの開発を行う。

(2) 全方位カメラを用いた危険検知

全方位カメラとは図 5-2-1 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。

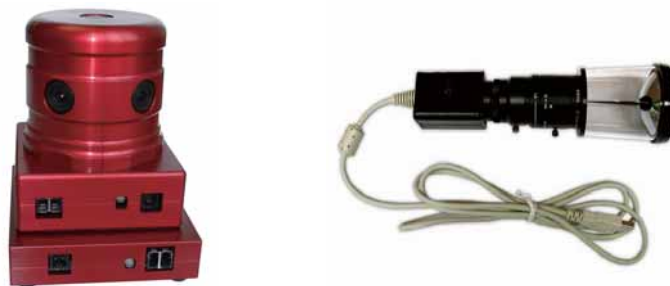


図 5-2-1 全方位カメラ（左：PointGrey 社製 LADYBUG2、右：Viston 社製全方位センサ）

この全方位カメラで撮影した画像は図 5-2-2 のような画像となり、次のような特徴を持つ。

- 全周撮影できることから死角がなく、画像の中心がカメラの位置を表す。

- 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。

これを歩行者に持たせることで、歩行者自身の視界や視野に関係なく、周りの環境を撮影することができる。そこで本研究では、向かってくる物体の軌跡は画像中心を通ることを用いて危険検知に応用することを考える。

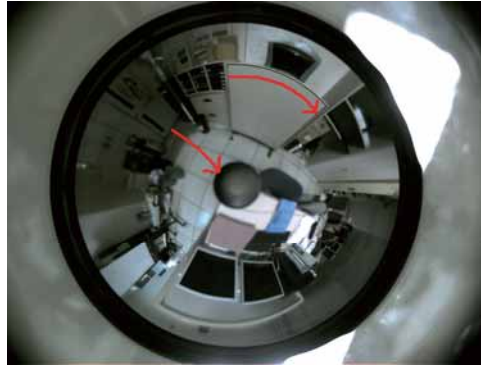


図 5-2-2 全方位カメラでの撮影像と物体の軌跡
(まっすぐ向かってくる物体と横を抜ける物体)

(3) 危険度の計算

ここでは、次のような危険度を定義する。

- 瞬間危険度： D'
- 総合危険度： D

この瞬間危険度 D' は、 Δt 秒内における軌跡に直線当てはめを行った際の精度から求める短時間での危険度を表す。図 5-2-3 左図の黒い点のように、ぶれなくまっすぐ向かってくる物体は画像上でも直線状の軌跡をとり、図 5-2-3 右図の黒い点のようにふら付いたり、まっすぐ向かってこない物体の軌跡は直線状にはならない。そこで、その直線当てはめの精度が高いほど危険度が高いとする。本研究では、この直線当てはめの精度の評価として当てはめた直線に対する標準変位[4]を利用する。この標準変位は 2 本の直線で表され、当てはめ精度の 1 シグマ区間に相当する。もし直線の当てはめ精度が高い場合には、その 2 本の直線とも当てはめた直線に近づいて、その間隔が狭くなる (図 5-2-3 左図) のに対し、直線当てはめの精度が悪い場合、その 2 本の直線の間隔が広がる (図 5-2-3 右図)。従って、この標準変位の間隔を直線当てはめの精度の目安とすることができる。

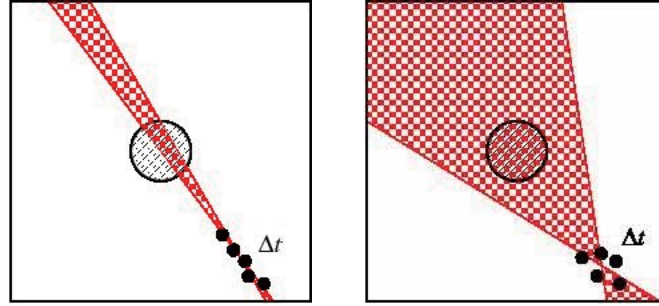


図 5-2-3 直線当てはめの精度と危険性

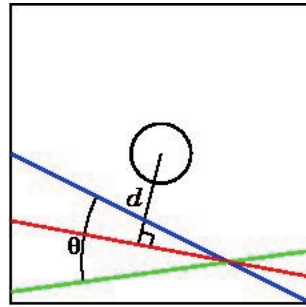


図 5-2-4 瞬間危険度 D' の定義

ここでは、図 5-2-4 のように当てはめた直線が赤で、その標準変位を青および緑の直線とし、次の D_p および D_d から次式で求める。

$$D_p = \cos \theta$$

$$D_d = \exp\left(-\frac{d^2}{2\sigma^2}\right)$$

$$D' = D_p D_d$$

この式において、 D_p および D_d はいずれも最大で 1 であるから、瞬間危険度 D' も最大で 1 となる。ここで、 θ は標準変位間の角度、 d は画像中心から当てはめた直線までの距離、 σ は適当な実数定数とする。

総合危険度 D は、比較的長時間での危険度であり、過去 n 回分の瞬間危険度を重み付き平均をとることで、次式で求めることができる。

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

ここで、 w_{α} は重みであり、例えば直前の危険度の重みが高くなるように、例えば

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

を用いる。本研究でこの総合危険度を歩行者に対する危険度として評価する。

(4) 実験

提案法の有効性を確認するためにシミュレーション実験および実画像による実験を行った。図 5-2-5、5-2-6 および 5-2-7 にシミュレーションで与えた物体の軌跡と危険度を示す。

図 5-2-5 はまっすぐ向かってくる場合、図 5-2-6 はまっすぐ向かってくるが途中で引き返す場合、図 5-2-7 は相手が避けながら向かってくる場合であり、それぞれの軌跡の図において、赤い点が始点、水色の点が終点を表している。またグラフの横軸は時間経過、縦軸は危険度を表す。いずれもまっすぐ向かってくる期間は危険度が高いが、逸れるに従って危険度が減少していることがわかる。折り返す場合において、自分に向かってこない後半でも危険度が高いのは、提案する危険度が進行方向に関する情報を持たないためであり、これに関しては早急な改良が必要となる。

図 5-2-8 に実際に全方位カメラで撮影した画像を示す。このケースでは、カメラに向かって物体が真っすぐ向かってきている状態を表している。ここでは、移動物体は人手で検出した。この時の求められた危険度を図 5-2-9 に示す。見てわかる通り、期間中ずっと近づいているため、常に危険度が高い状態が続いている。

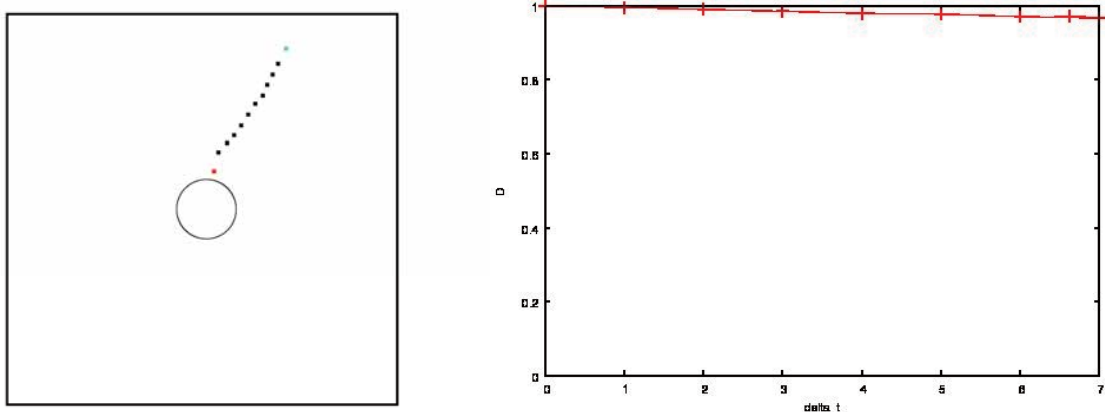


図 5-2-5 シミュレーション実験 1. 右：軌跡，左：危険度

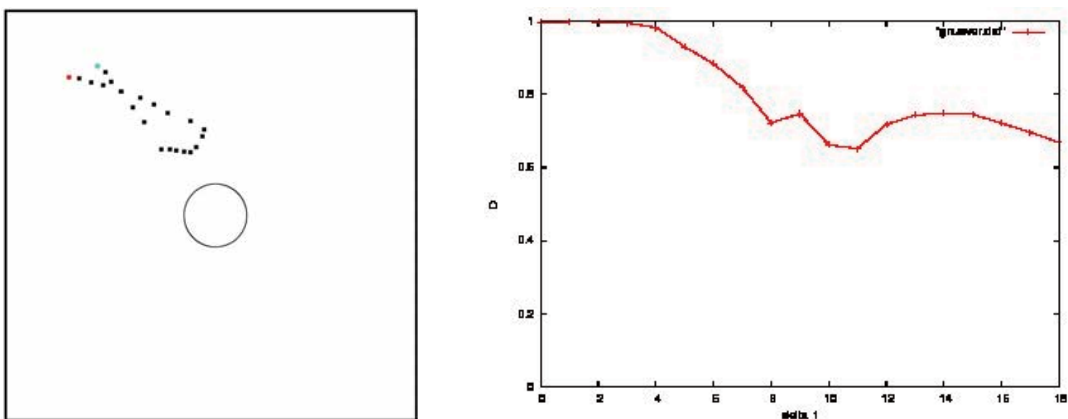


図 5-2-6 シミュレーション実験 2. 右：軌跡，左：危険度

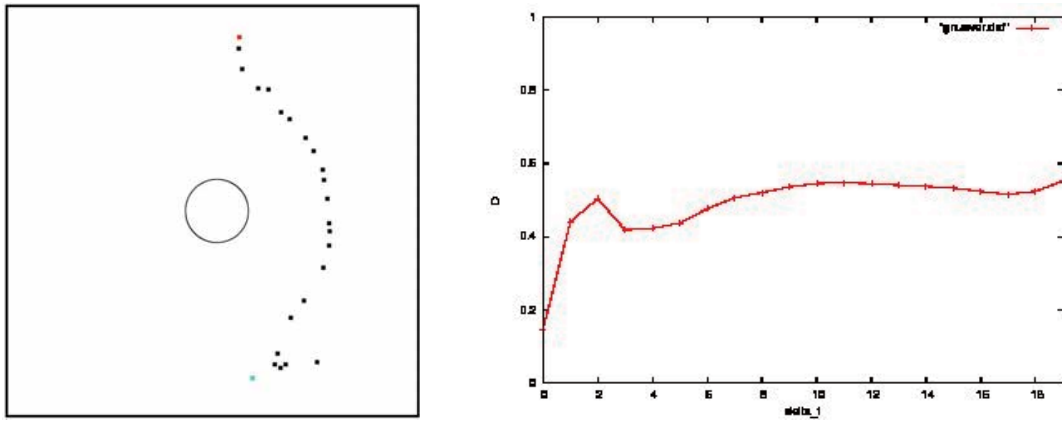


図5-2-7 シミュレーション実験3. 右：軌跡, 左：危険度

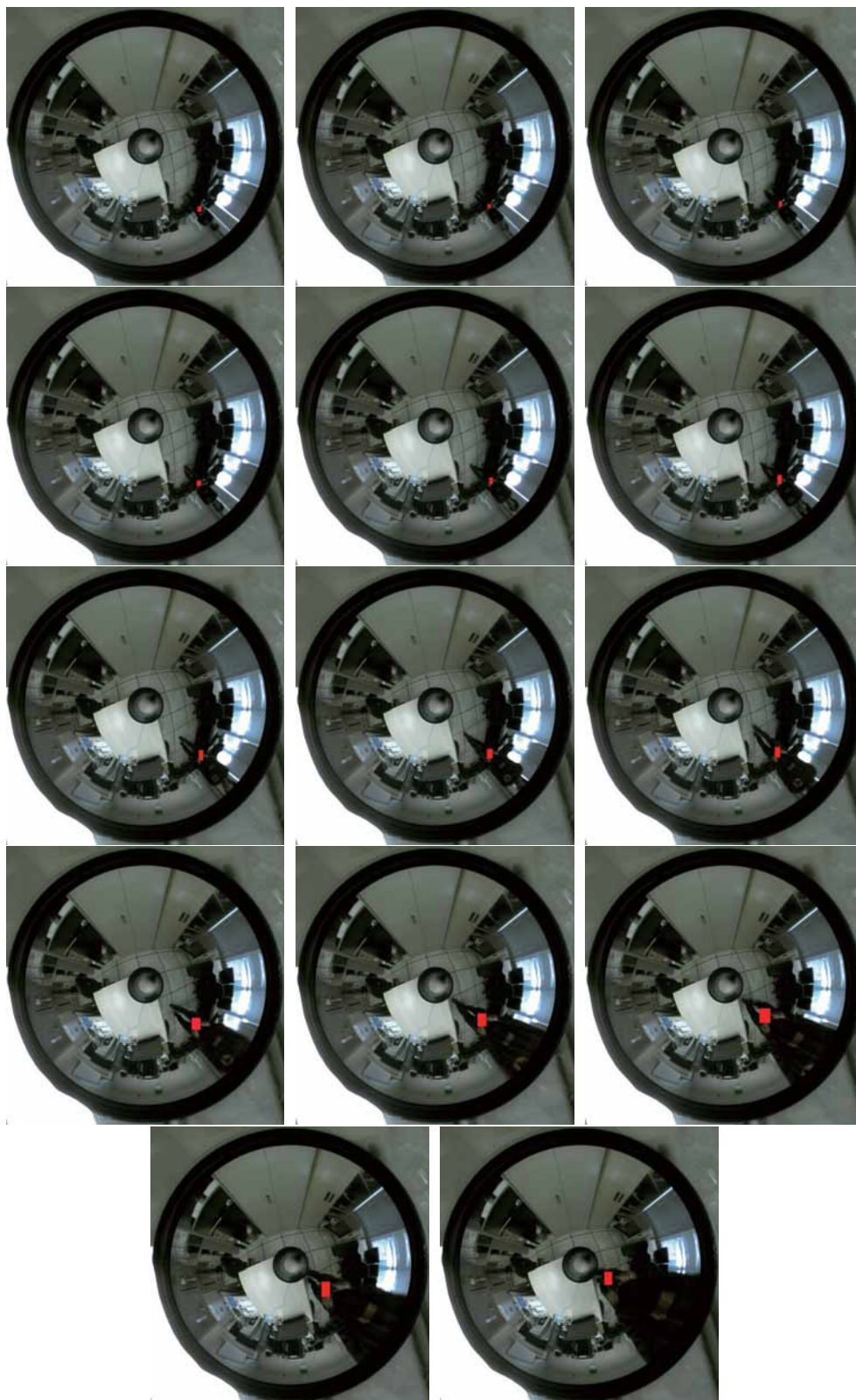


図 5-2-8 実画像と移動物体（赤）

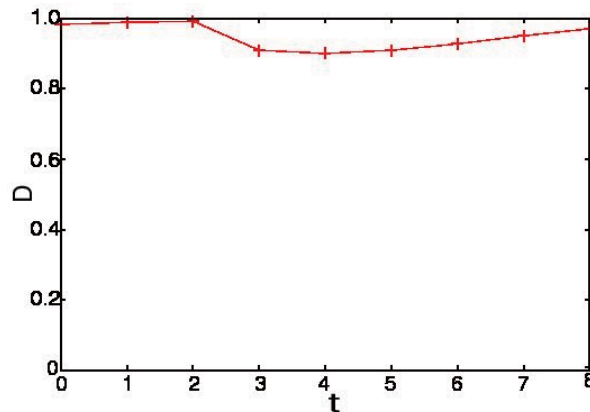


図 5-2-9 実画像から得られた危険度の推移

シミュレーションおよび実画像による実験を見てわかる通り、提案した危険度は実際の危険度と相関があり、有効な量であると考えられる。

(5) おわりに

本研究では、交通弱者自ら自身の安全・安心を保障するために、全方位カメラを用いた危険検知の手法を提案した。そして、シミュレーションおよび実画像による実験により、その有効性を確認した。今後の課題として

- 画像からの移動物体の自動検出
- 移動物体の進行方向の考慮
- システム化の検討

など、実際に小型のシステムの開発を目指す。

謝辞

本研究を行うにあたり、豊橋市内の交通事故多発個所に関する情報を提供し、全方位カメラでの路上撮影を許可して下さった愛知県豊橋警察署交通課長奥村敏彦様ほか皆様に感謝します。

参考文献

- [1] 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, 福祉情報工学研究会, WIT2011-17, pp.91--96, 2011
- [2] I-Safety「交通安全サービス」, NTT データ, <http://www.nttdata.co.jp/release/2005/111600.html>
- [3] 歩行者等支援情報通信システム(PICS), <http://www.utms.or.jp/janapese/system/pics.html> ほか
- [4] Y.Kanazawa and K.Kanatani, [Optimal line fitting and reliability evaluation](#), IEICE Transactions on Information and Systems, Vol. E79-D, No. 9, pp.1317--1322, 1996

6. 豊橋技科大におけるカーシェアリングの潜在需要と環境への評価

環境・生命工学系 准教授 後藤 尚弘, 建築・都市システム学系 教授 宮田 譲

6-1 緒論

カーシェアリングシステム(以下, CS)は, 自動車を複数の人で共同利用するシステムである。利用者は, 必要な時に自動車の利便性を享受できるが, 社会全体でみると車両台数の削減に繋がるため, 従来よりも環境に配慮した自動車利用である。

豊橋技術科学大学(以下, 本学)は, 市街地から離れた郊外に立地しているため, 多くの学生と教職員が通学通勤, 買い物などに自家用車を利用している。そのため, 学内の駐車場の混雑が問題となっている。また, 今年度から学生宿舎に新たに入居した学生は, 自家用車の持ち込みが制限された。そこで, 本学に CS を導入することにより, 学内の交通問題の改善と宿舎生の交通の利便性向上が期待されるが, 導入時の環境負荷の増大が懸念される。このため, 本研究では CS 導入による環境負荷の変動を評価することを目的とした。

6-2 研究手法

(1) 潜在需要の評価

①アンケート調査

主な利用者となり得る学生宿舎の全学生(571 人)を対象にアンケート調査を行った。調査は, CS に関する知識や意識を問う設問や, 交通行動, 環境に関する設問など 7 つの項目を用意した。

②ロジスティック回帰分析

ロジスティック回帰分析は, 複数の要因からある 1 つの現象が起こる確率を求めたり, 逆に, ある 1 つの現象が起きる複数の要因を解析することにも用いられる。そこで, 本研究では, CS 利用を促進させる利用者の特徴を解析するために, このロジスティック回帰分析を用いた。(1) 式にロジスティック回帰の基本式を示す。

$$(1) \quad \log\left(\frac{y}{1-y}\right) = \beta_0 + \sum \beta_n x_n$$

$\log\left(\frac{y}{1-y}\right)$: 現象 y が起こる確率

x_n : 現象 y に影響を与える要素

β_n : 要素 x の影響度

β_0 : 要素 x に寄らない影響度

③需要人数の導出

ロジスティック回帰分析で明らかになった CS 利用を促進させる特徴を全て備えた回答者を，利用見込みのある学生として，需要人数を導出した。

(2) 環境評価

自家用車，カーシェアリング車両(以下，CS 車両)，自動二輪，原付の原材料，製造，使用，保守，廃棄における CO₂排出量を考慮し，導出した需要人数(56 人)における CS の利用シミュレーションをし，CO₂排出原単位の推移を示した。次の 4 つの利用形態を想定した。①CS を導入せず，現状の交通形態を維持する。②利用見込みのある学生のうち自動二輪・原付保有者は，CS と保有車両を併用利用する。③利用見込みのある学生全員が CS に完全移行して利用する。④利用見込みのある学生全員が自家用車を購入し，利用する。

シミュレーション期間は，多くの学生の在学期間と同じ 4 年間とした。CS 車両の導入台数は，②を 3 台，③を 4 台とした。なお，③と④の自動二輪および原付は，CS へ移行する際，廃棄すると見なした。表 6-2-1 と表 6-2-2 に利用形態の条件を示す。

表 6-2-1: 利用形態の条件¹⁾

利用形態	① 現状維持		② カーシェアリング併用利用		
対象車両	自動二輪	原付	乗用車 (CS車両)	自動二輪	原付
利用人数	5人	29人	56人	5人	29人
排気量	400cc	50cc	1500cc	400cc	50cc
燃料消費量	20.4km/L	32.5km/L	13.0km/L	20.4km/L	32.5km/L
使用期間	4年	4年	4年	4年	4年
年間走行距離	5558km/人	3814km/人	1505km/人	947km/人	947km/人

表 6-2-2: 利用条件その 2¹⁾

利用形態	③ カーシェアリング完全移行利用	④ 自家用車購入
対象車両	乗用車 (CS車両)	乗用車 (自家用車)
利用人数	56人	56人
排気量	1500cc	1500cc
燃料消費量	13.0km/L	13.0km/L
使用期間	4年	4年
年間走行距離	2066km/人	5349km/人

6-3 結果

(1) 潜在需要の評価

①アンケート調査

表 6-3-1 に、アンケート調査の概要と回答率を示す。有効回答率は、全宿舎生のうちの約 30%であり、統計的に有意な回答結果を得ることができた。

表 6-3-1: アンケート調査の概要と回答率

実施期間	2011.10.24 ~ 2011.11.11(全19日間)
対象	学生宿舎居住の全学生(573名)
配布方法	各階のフロアーリーダーを通して、 全居住者に配布
回収方法	各棟に回収ボックスを設置し、 回答者が投函する方式
配布数	573
回答数	251 (43.8%)
有効回答数	173 (30.2%)

②回帰分析の結果と需要人数

表 6-3-2 にロジスティック回帰分析で明らかになった特徴を示す。自動車やバイクが非保有を不便に感じていることや車両の必要性を感じていることは、CS の利用を促進させる特徴であった。また、自動車を既に保有していることや衛生面が気になることは、利用を抑制することが明らかになった。とりわけ環境面において、徒歩・自転車で行動していた環境意識の高い学生は、CS も自動車利用の 1 つであり、新たに環境負荷を与える行動となるため、利用を敬遠された可能性が高いと考えられる。以上の結果を考慮して算出した需要人数を表 6-3-3 に示す。

表 6-3-2: ロジスティック回帰分析結果

回答者区分	特徴	β	α
自動車 自動二輪 原付	自動車を保有している	-1.750	***
	衛生面が気になる	-1.689	***
	定数(β_0)	1.483	***
徒歩 自転車	自動車・バイクの利用が 環境に悪いと思う	-1.161	*
	自動車・バイクを保有 していないことで不便を感じる	2.553	*
	自動車・バイクが必要だと思う	1.216	*
	定数(β_0)	-2.709	*
有意水準 α $\alpha < 0.05$: * $\alpha < 0.01$: ** $\alpha < 0.001$: ***			

表 6-3-3: 需要人数の内訳

回答者区分	需要人数 [人]
自動二輪	5
原付	29
徒歩・自転車	22
計	56

(2) 環境評価

図 6-3-1 に、利用形態①～④の CO₂排出原単位の推移を示す。利用見込みのある学生のうち、自動二輪と原付の所有者が、CS を併用利用する利用形態②が、現状より利便性を向上させる②～④の利用形態のうち、環境負荷を抑えることができる。これは、自動二輪と原付の所有者が、車両移動の半分を自ら保有する CO₂排出原単位の小さな自動二輪と原付で補ったことや、CS 車両の導入台数を利用形態③より 1 台削減できたことによる。

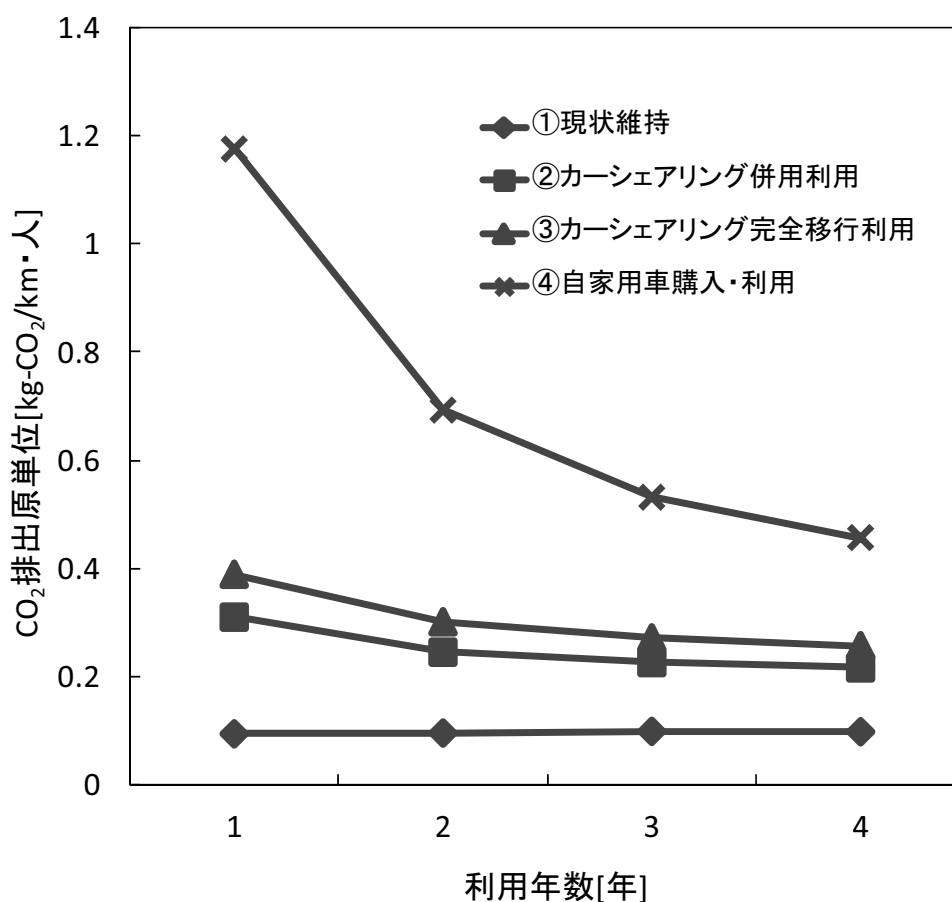


図 6-3-1: 排出原単位の推移

6-4 結論

本学における CS は、学生が既に保有している環境負荷の小さな原付や自動二輪といった移動手段を維持し、CS 車両を併用する利用形態が、自動車の利便性を得ながら効果的に環境負荷も抑えられた。そして、既に学生が保有している車両を削減できる可能性は低い、学生の新たな自家用車の購入を抑制することで、将来的に学内の自動車の台数を削減し、駐車場の混雑緩和が期待できると考えられる。

参考文献

1) 太箸樹巨雄（ヤマハ発動機）：二輪車の LCA 評価と環境負荷の低減に向けての結果，日本機械学会第 10 回交通・物流部門大会講演論文集，Vol.10，pp327-328，2001.12

7. 新しい交通手段による温室効果ガス低減効果

環境・生命工学系 准教授 後藤 尚之

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 CO2 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。本報告で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 CO2 排出削減量を推計することを目的とした。

7-1 我が国の温室効果ガス排出状況

我が国の 2009 年度の運輸部門（自動車・船舶等）の CO2 排出量は 2 億 3,000 万 t-CO2 であり、基準年と比べると 5.8%（1,260 万 t-CO2）増加した。また、前年度と比べると 2.4%（550 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。

基準年からの排出量の増加は、貨物からの排出量が減少（基準年比 17.7%減）した一方で、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 28.0%増）したことによる。旅客の中では、自家用乗用車からの排出量が大幅に増加（基準年比 36.1%増）している。つまり、前年度からの排出量の減少は、貨物輸送量の減少により、貨物自動車/トラックからの排出量が前年度比 4.9%（400 万 t-CO2）減少したこと等による。

（以上、環境省資料より）

運輸部門のうちマイカー部門は 7000 万 t-CO2 である。他の部門が前年比で減少している中、マイカー部門の CO2 排出量のみ増加している。しかしながら、マイカーによる CO2 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 CO2 排出量推計方法を以下に示す。

国税調査より通勤・通学をする人数は 57,797,000 人であり、同じく国税調査よりそのうち 46.6% が自家用車だけの利用者である。

表 7-1-1 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

$57,797,000 \text{ 人} \times 46.6\% = 26,933,40 \text{ 人}$

となる。乗用車の CO2 排出原単位は以下のように表す。

$$2.32\text{kg-CO}_2/\text{L} \div 13\text{km/L} = 0.178\text{kg-CO}_2/\text{km}$$

*2.32kg-CO₂/L はガソリン車の CO2 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 CO2 排出原単位としては 0.1~0.4kg-CO₂/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 CO2 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 7-1-2 通勤用自動車から排出される CO2 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	26,933,402	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

7-2 電動バイク、電動アシスト自転車について

電動バイクの CO2 排出量は以下のように仮定する（スズキ e-Let's 重量 72kg、リチウムイオンバッテリー搭載）。

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。

CO2 排出原単位は以下ようになる。

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

電動バイク、電動アシスト自転車、乗用車の CO2 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 7-2-1 電動バイク、電動アシスト自転車、乗用車の CO2 排出原単位 kg-CO2/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

$$(0.178 - 0.02) \times 25\text{km} \times 2 \times 240 \text{ 日} = 1900\text{kg-CO}_2$$

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

$$(0.178 - 0.003) \times 25\text{km} \times 2 \times 240 \text{ 日} = 2100\text{kg-CO}_2$$

の CO2 を削減することができる。

7-3 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 7-3-1 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
豊橋市	3.6	6.2	3.0	78.1	8.7	—

全国・愛知は国勢調査より 豊橋市は豊橋市通勤実態調査より

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 CO2 排出量を図 1 に示す。図 7-3-1 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。

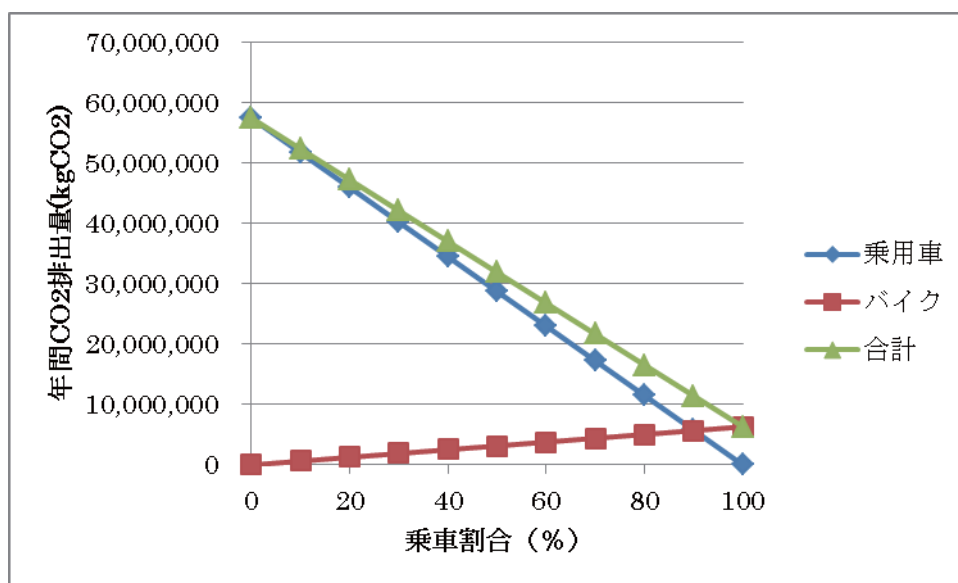


図 7-3-1 乗用車と電動バイクの割合の変動による CO2 排出量

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、国税調査により通勤時間の分布はわかる。

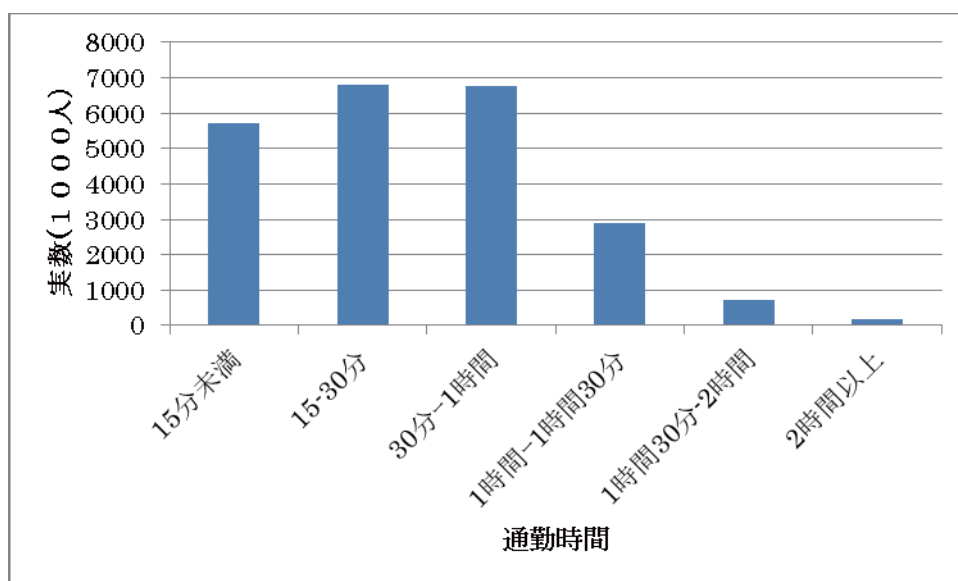


図 7-3-2 通勤時間の分布

図 7-3-2 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。

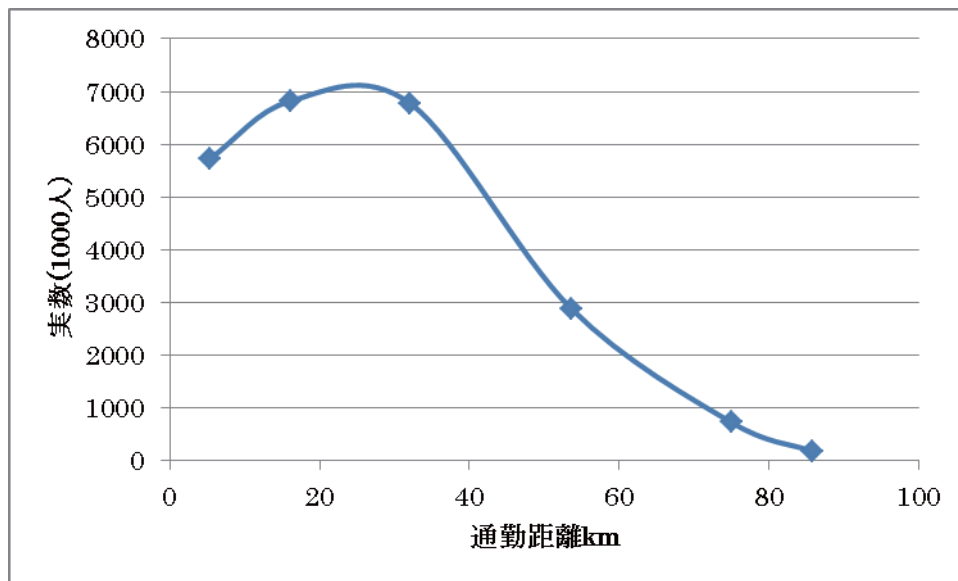


図 7-3-3 通勤距離の分布

図 7-3-3 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。よって、電動バイクの利用による通勤時の CO2 削減の最大値は 1,700 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による CO2 排出量の約 30%に相当する。

一方、乗用車利用から電動アシスト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、電動アシスト自転車の利用による通勤時の CO2 削減の最大値は 560 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による CO2 排出量の約 10%に相当する。

7-4 豊橋市における電動バイク、電動アシスト自転車の導入ポテンシャル

豊橋市の運輸部門は、自動車・鉄道・船舶の3つの交通移動手段のなかでも自動車からの排出量が最も多い。

豊橋市地球温暖化対策地域推進計画によると豊橋市の運輸部門の自動車では

ガソリン	42.14万t-CO2	軽油	24.81万t-CO2
------	-------------	----	-------------

合計66.9万t-CO2のCO2が排出されている。

豊橋市における通勤・通学者が194,236人であり、そのうち車利用者が76.1%であることから、通勤・通学で車を利用する人数は147,814人となる。

これらの人数が通勤距離25km、通勤日数240日とすると、

$$147,814 \times 25 \times 2 \times 240 = 31.5 \text{ 万t-CO2}$$

が自動車通勤によって排出される。これは、豊橋市の自動車利用から排出されるCO₂の約47%に相当する。

また、豊橋市における自動車の燃料消費量 (ℓ/台キロ) は 0.100 ℓ/台キロであり、燃料あたりに直すと10km/ℓになる。これはほぼ横ばいである。

さらに、上記の豊橋市地球温暖化対策地域推進計画によると豊橋市ではセンサス区間総延長（道路延長）が約2.8%増加しているのに対し、総走行台キロの伸び率は31.4%と道路延長の伸び率を大きく上回っていることから、自動車利用が増していることされている。つまり、交通量の増加に伴う渋滞の発生により燃料消費効率が低下していることが考えられるとしている。

豊橋市の通勤・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CO₂排出量を示す。図7-4-1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。

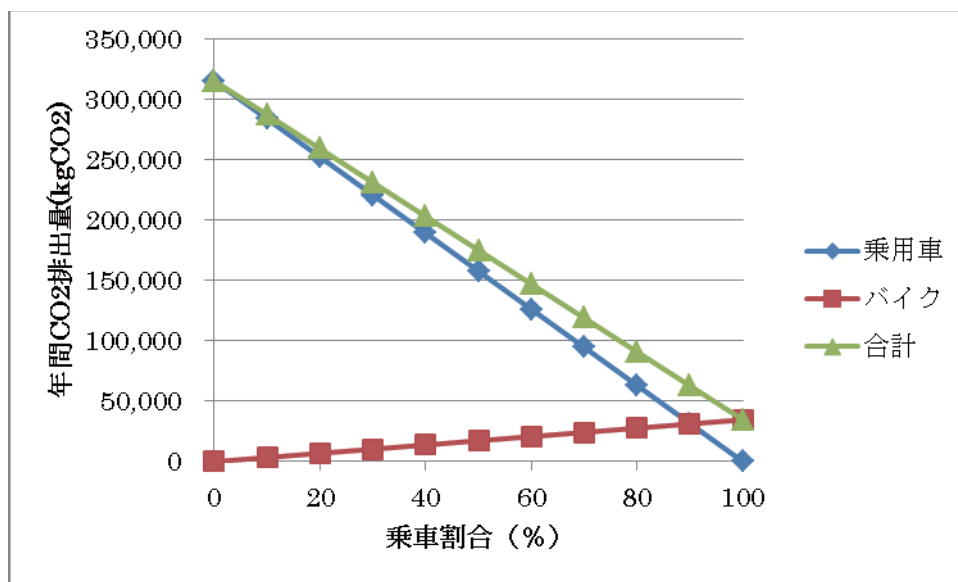


図 7-4-1 豊橋市における乗用車と電動バイクの割合の変動による CO₂ 排出量

しかしながら、電動バイクの利用は乗用車に比べて天候の影響を受けやすい。雨天時には電動バイクを利用せずに乗用車を利用した場合の計算結果を図7-4-2に示す。なお、2010年は豊橋市における平日の雨天日は11日であった。

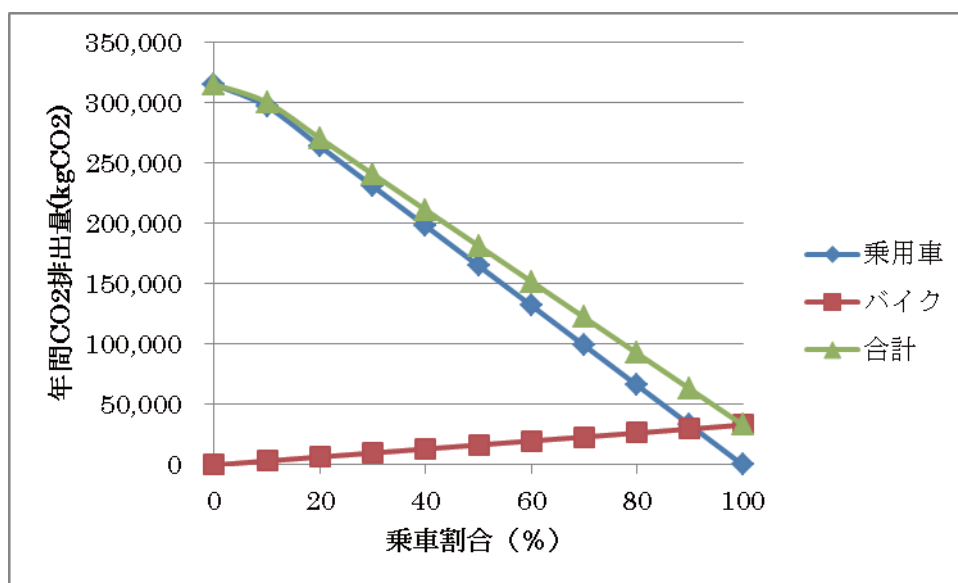


図 7-4-2 天候を考慮した豊橋市における乗用車と電動バイクの割合の変動による CO2 排出量

さらに、前項と同様に通勤距離15km以下が電動バイクの最大値だとすると、最大で8.9万t-CO2を削減することができ（現状のCO2排出量の28%に相当），その時の電動バイク利用者は約5万人となる。

同様に豊橋市においても、乗用車利用から電動アシスト自転車への利用変更を考えた場合、5kmを電動アシスト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、豊橋市における電動アシスト自転車の利用による通勤時のCO2削減の最大値は1.8万t-CO2と推測することができ（現状のCO2排出量の5.7%に相当），その時の電動アシスト自転車利用者は約1.7万人となる。

7-5 結論

本報告では全国並びに豊橋市における電動バイク並びに電動アシスト付き自転車の利用ポテンシャルを推計した。結果によると、

全国では

電動バイクの通勤利用によって CO2 削減の最大値は 1,700 万 t-CO2（現状の約 30%に相当）

電動アシスト自転車の通勤利用によって CO2 削減の最大値は 560 万 t-CO2（現状の約 10%に相当）

豊橋市では

電動バイクの通勤利用によってCO2削減の最大値は8.9万t-CO2（現状の28%に相当）

電動アシスト自転車の通勤利用によってCO2削減の最大値は1.8万t-CO2（現状の5.7%に相当）

になることがわかった。

8. 水熱反応を用いる自転車タイヤチューブのケミカルリサイクル

環境・生命工学系 准教授 大門 裕之

8-1 自転車社会の現状

近年、環境への配慮や健康志向が高まり、自転車の保有台数が増加傾向にある。豊橋市においても、自動アシスト自転車補助金制度を設け、豊田市では自転車道整備に力を入れている。しかしその一方で、放置自転車の問題や廃棄自転車の有効利用について課題点も多くある。現在、放置自転車の取り扱いは各自治体に一任されており、その大半が民間へ売却もしくは廃棄物として業者へと引き渡されている。放置自転車を含めた廃棄自転車の資源リサイクル率は78%であり、その内訳は再資源化が68%、再利用が10%、埋め立て処分が22%である¹⁾。しかし自転車用タイヤチューブに至っては、自動車用タイヤチューブがそのリサイクル方法を十分に確立しているのに対し、有効な利用方法は確立されていない。図8-1-1に自転車社会の現状についてまとめたものを示す。

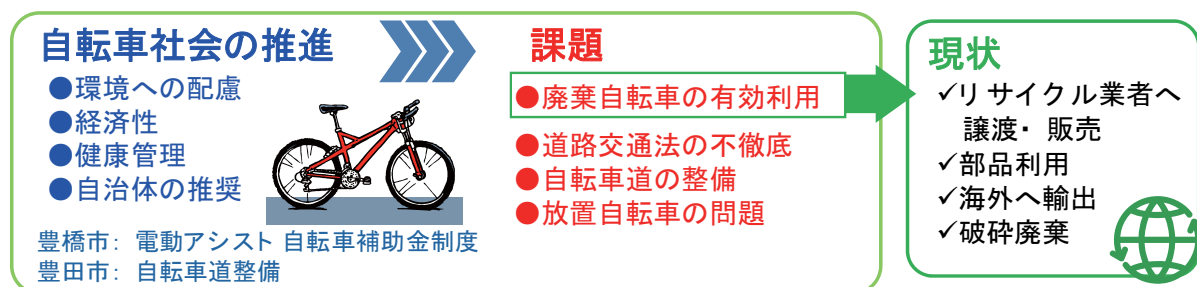


図8-1-1 自転車社会推進に伴う課題

8-2 研究構成

本研究の目的は、自転車タイヤの多岐にわたる再利用方法を総合的に評価するものである。その中でも、特に、高い加水分解能力を期待できる水熱反応を用いて、自転車タイヤチューブのケミカルリサイクルについての可能性を検討した。また、リサイクルシステム確立にむけたモデル提示を目標とし、自転車タイヤチューブの再資源化の需要についてのヒアリング調査を実施した。

実験の初期段階として、タイヤ製品のリサイクルで広く普及している油化について検討を行った。しかし、分析の結果、目視による油化の傾向が著しく低いことから、まず水熱反応による炭素挙動を検証した。この際、自転車タイヤチューブの対象として自転車タイヤを用いて実験を行った。図8-2-1に本研究の概要を示す。

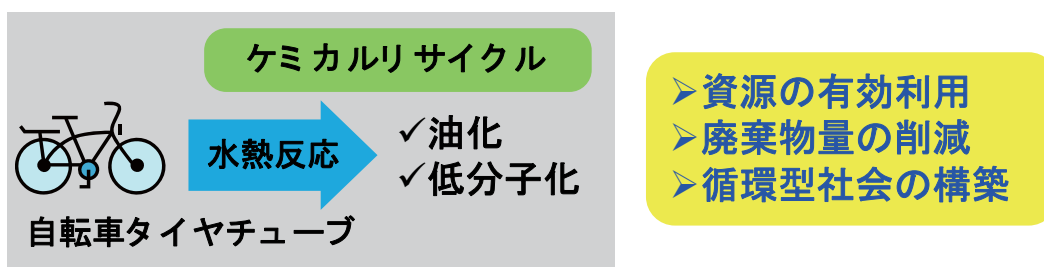


図 8-2-1 研究概要図

8-3 水熱反応

物質は、温度、圧力、容積などの変化に応じ気体、液体、固体の状態を移り変わることができる。図 8-3-1 に水の状態図を示す。横軸に温度を、縦軸に圧力をとった状態図では、三重点は気体、液体、固体の三相が共存する状態である。三重点の温度より低い温度では固体とその蒸気が平衡を保ち、その時の蒸気圧は昇華曲線で与えられる。この曲線より低い圧力では固体が昇華して気体となり、高い圧力では気体は凝固して固体になる。三重点より高い温度では、液体とその蒸気が平衡になり、この時の圧力が飽和蒸気圧で、蒸気圧曲線で表される。これよりも低い圧力であれば液体は全て気化し、またこれよりも高い圧力であれば蒸気は全て液化する。圧力を一定にして温度を変化させてもこの曲線を超えると液体が蒸気に、また蒸気が液体になる。この蒸気圧曲線には高温、高圧側に終点があり、これを臨界点(critical point)という。臨界点以上では、液体と気体との区別がつかなくなる状態となり、気液の境界面も消失する。それゆえ、この臨界点より高温の状態では、気液共存状態を生じることなく液体と気体の間を連続的に移り変わることができる。この領域ではいくら密度を増大させても凝縮が起こらなくなる。この臨界温度以上で、かつ臨界圧力以上の状態にある流体を超臨界流体と呼ぶ。水熱反応は、これらの超臨界流体と亜臨界流体等の高温高圧の水が共存する条件下で進行する化学反応である。

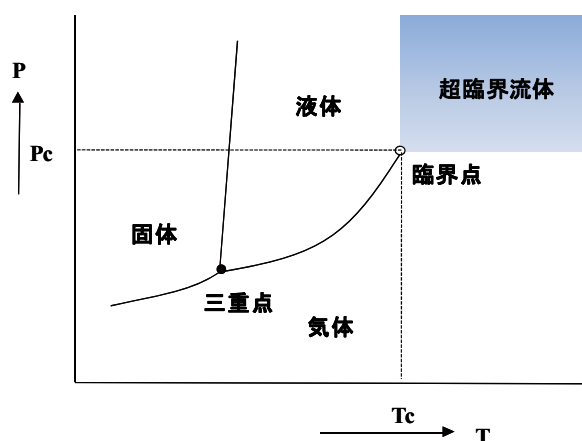


図 8-3-1 水の状態図

8-4 高温高压状態における水の特性

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

8-5 水熱反応を用いたゴム製品の再生利用

現在、廃タイヤからの超臨界水による油分の抽出に関する報告例²⁾は存在するが、水熱処理を反応場とし、自転車用タイヤチューブを試料に用いた研究事例は見当たらない。ゴム廃棄物の再資源化を考える場合では、架橋を構成する炭素-硫黄結合の切断とその硫黄の除去が課題となっている。硫黄はヘテロ原子に属しているが、ヘテロ原子と炭素からなる結合の切断およびヘテロ原子の除去という観点から、ハロゲンに対する超臨界水の適用例が報告されている³⁾。そのため、ゴム廃棄物の再資源化に対し超臨界域を含めた水熱反応は有効と期待されている。

応用例として、加硫エチレン/プロピレン三元共重合体 (EPDM) ゴム廃棄物の再資源化を目的とした研究例がある⁴⁾。これは、自動車窓のシール用ゴム部品であるウェザーストリップを別途処理する方法であり、超臨界域のアルカリ水溶液を反応媒体として用いる。この研究により、アルカリ水熱処理によって生成した油状物をゴムに配合すると、市販のパラフィン系軟化剤を配合したものと同様の物性を示し、生成油状物をゴム用軟化剤として再利用できることが明らかになった。

8-6 自転車タイヤチューブの材質

タイヤチューブとは、タイヤ内の空気を保持するためのドーナツ状のゴム風船である。一般に、チューブの材質はブチルゴムまたは天然ゴムである。

(1) ブチルゴム

図 8-6-1 にブチルゴムの組成を示す。イソブチルとイソプレンを共重合させた合成ゴムであり、耐ガス透過性および耐屈曲亀裂性に優れているのでタイヤのチューブに使われる。耐熱、耐寒および耐候性において良好であるが、反発弾性は比較的悪い。比重は約 0.92 で水より軽い。主に一般用の自転車に使われる。

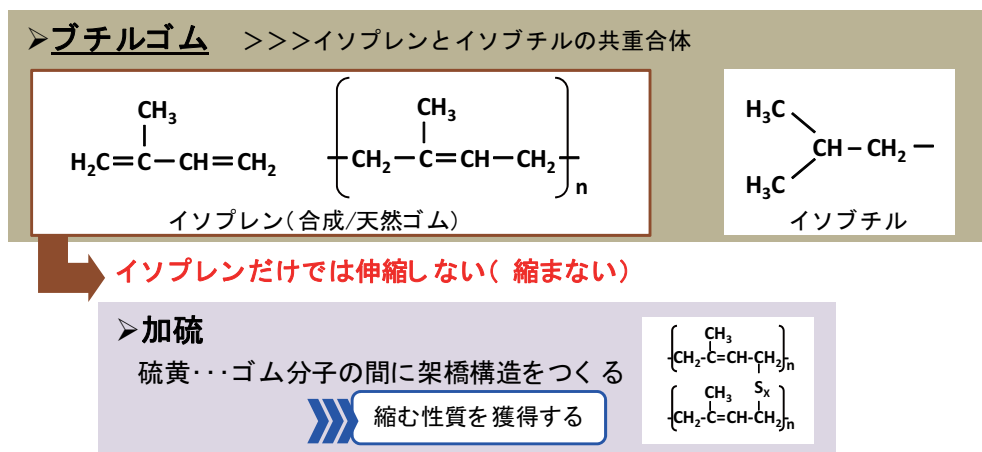


図 8-6-1 ブチルゴムの組成

(3) 天然ゴム

ゴムの木の樹皮から採取した樹液（ラテックス）により作られる。天然ゴムは反発弾性および耐パンク性が良く、物性としては、比重 0.92，引張強さ 3-30MPa，最高使用温度 120℃である。ブチルゴムに比べて伸び率が大きいため、蛇噛みなどのパンクを相対的に起こしにくい。エネルギー吸収が少ないためタイヤの転がり抵抗が小さく、主に競技用の自転車に使われる。

8-7 ヒアリング調査

豊橋市内における自動車および自転車のタイヤ，タイヤチューブの回収を行いリサイクル業者へ引き渡す前段階の加工を行う S 社へのヒアリング調査を行った。



写真 8-7-1 S 社の様子（外観）



写真 8-7-2 S 社の様子（タイヤチューブ）

ヒアリング結果によると，自動車用タイヤチューブであれば傷が少ないものはトラック用のゴムバンドに切断・加工しホームセンター等へ販売可能であり，傷が多いものに関しては粉碎し，セロテー

プやガムテープの粘着部分として再利用するため他業者へ転売を行っている。一方、自転車用タイヤチューブに関しては不純物の含有率が多く、粘着性が劣るため、他製品への利用は難しく、その有効利用法の開発が求められている。現在はやむを得ず、S社で破碎処理を行い、次段階の加工を行うA社へ引き渡しを行っている。図8-7-1にヒアリング結果をまとめたものを示す。

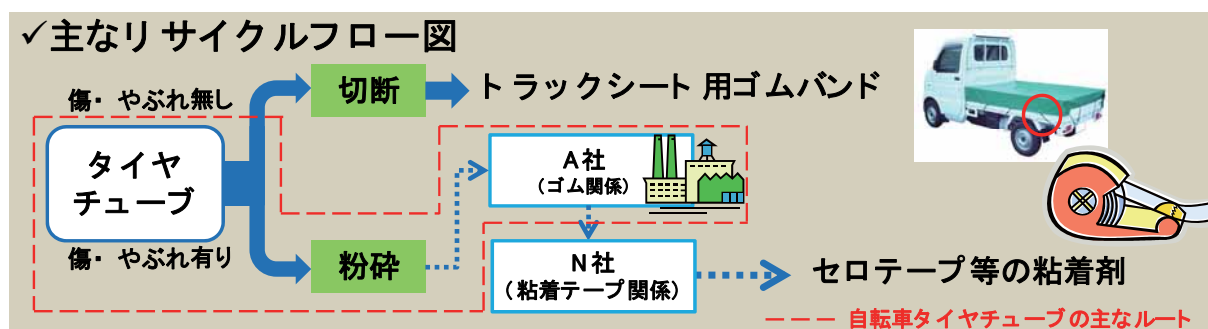


図8-7-1 S社におけるタイヤチューブのリサイクルフロー図(ヒアリング結果)

8-8 実験装置と操作手順について

本研究の高温高压反応には、写真8-8-1に示す反応容器と、写真8-8-2に示す溶融塩恒温槽を用いる。この装置は温度制御が可能なソルトバス（耐圧硝子株式会社製 [TSC-B600 型]）である。ソルトバス内には、溶融塩があり、その組成は KHNO_3 (45%)、 NaHNO_3 (55%) で、 150°C から 450°C の温度範囲で使用可能である。反応容器には、SUS316製の反応管とSUS316製継手（Swagelok社製）を用いる。



写真8-8-1 反応容器の様子



写真8-8-2 溶融塩恒温槽の様子

図8-8-1に実験操作を示す。実験操作としては、まず廃棄された自転車用タイヤチューブを2mm角程度に切断し、水と共に反応容器へと封入する。その後反応条件を設定し、ソルトバスへ投入し、反応時間経過後、冷却水へと投入し反応容器を開封、試料を回収する。

操作手順

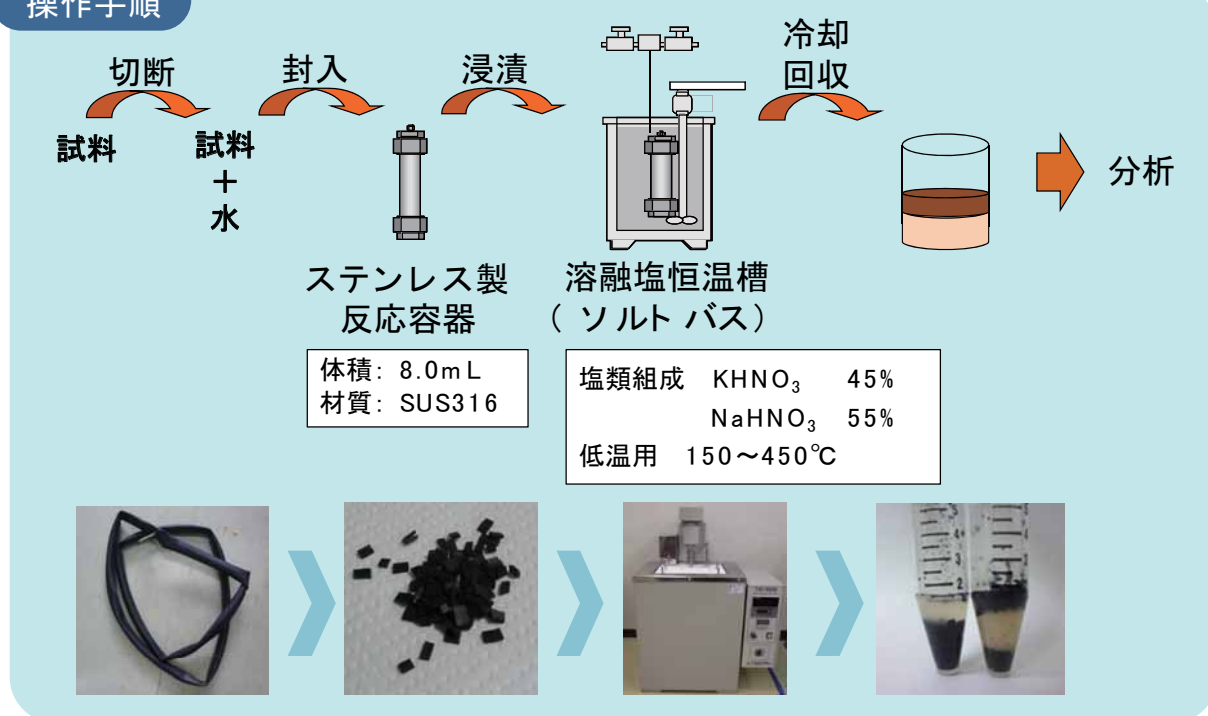


図 8-8-1 実験操作

8-9 水熱反応による自転車タイヤチューブの油化実験

実験の初期段階として、水熱反応後の自転車タイヤチューブの油化率の挙動を求めることとした。油化率の導出方法は、超臨界域のアルカリ水溶液による加硫ゴム廃棄物の再資源化を目的とした文献⁴⁾を参考にした。参考文献との大きな相違点は、反応容器の内壁の腐食劣化を防ぐ目的でアルカリ水溶液を用いている点、ウェザーストリップと呼ばれる自動車窓のシール用ゴム部品に用いられる加硫 EPDM ゴムを試料として用いている点、用いた装置の違いの三つである。参考文献中の分析手順をまとめたものを図 8-9-1 に示す。

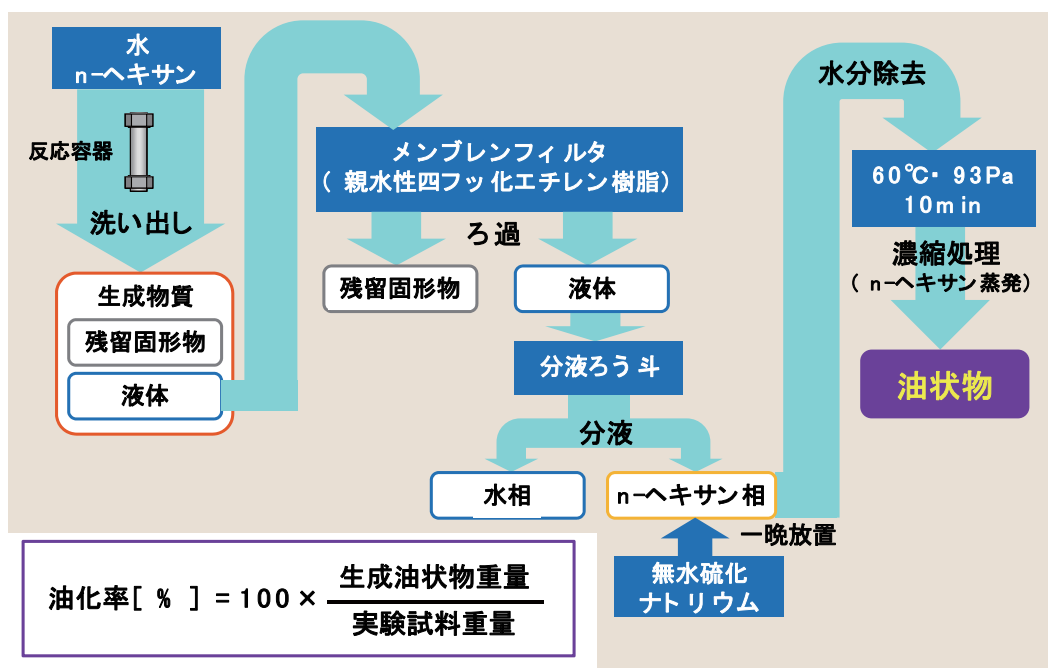


図 8-9-1 油状物測定の手順⁴⁾

本実験では反応温度を 350℃～450℃、反応時間を 10～30 分と設定し、水熱反応を行った。反応温度 390℃の時得られた固形残渣の様子を写真 8-9-1 に、反応温度 450℃で得られた固形残渣の様子を写真 8-9-2 に示す。反応時間はいずれも 30 分である。反応温度 390℃では、固形残渣が多く残り、粘度が強い状態であった。それに対して 450℃で反応した場合の固形残渣は灰化しており、粘度については感じられなかった。



写真 8-9-1 反応温度 390℃の固形残渣の様子 写真 8-9-2 反応温度 450℃の固形残渣の様子

写真 8-9-3 に反応温度 390℃で反応した際に得られた回収液の様子を、写真 8-9-4 に反応温度 450℃で反応した際に得られた回収液の様子を示す。回収液はいずれも無色透明で、油化しているような様子は見られなかった。また、反応後反応容器を開封する際には硫黄の悪臭が漂い、ゴムを架橋している硫黄分がガス化し放出している事が伺えた。



写真 8-9-3 反応温度 390°C時の回収液の様子



写真 8-9-4 反応温度 450°C時の回収液の様子

これらの回収液および固形残渣に対して、図 8-9-1 の分析手順を適用した。対象実験として自転車タイヤの実サンプルを用いて反応を行った。その結果、自転車タイヤに水熱反応を適用した後の生成物質を *n*-ヘキサンによって洗い出した場合、目視によっても明らかな油相と液相の分離が見られたのに対し、自転車タイヤチューブを検体として用いた場合の生成物質にそのような分離は見られず、油化状態までは得られなかった。

8-10 水熱反応を適用した自転車タイヤチューブの炭素挙動

自転車タイヤチューブに水熱反応を適用した場合の炭素挙動について調べた。水熱反応条件については、加硫 EPDM ゴムを用いた引用研究において、最も大きな油化率となった 400°C、30 分を参考とし、反応時間 30 分、反応温度 370°C、400°C、430°Cを用いた。また、自転車タイヤチューブの対象として自転車タイヤの実サンプルに対しても同条件で反応を行った。

炭素挙動については、Elementar 社製の元素分析計[Vario EL III]を用いて、反応前の実サンプルおよび反応後の固形残渣中の炭素量を分析した。また、反応後生成液中の炭素濃度および溶存炭素濃度については、島津製作所製の全有機炭素濃度計[TOC-VE]を用いて測定した。溶存炭素については、各試料をメンブレンフィルター (Whatman, 0.45 μm) によりろ過したのち同じく全有機炭素濃度計によって測定した。

図 8-10-1 に自転車タイヤチューブの結果を示し、図 8-10-2 に対象として行った自転車タイヤの結果を示す。

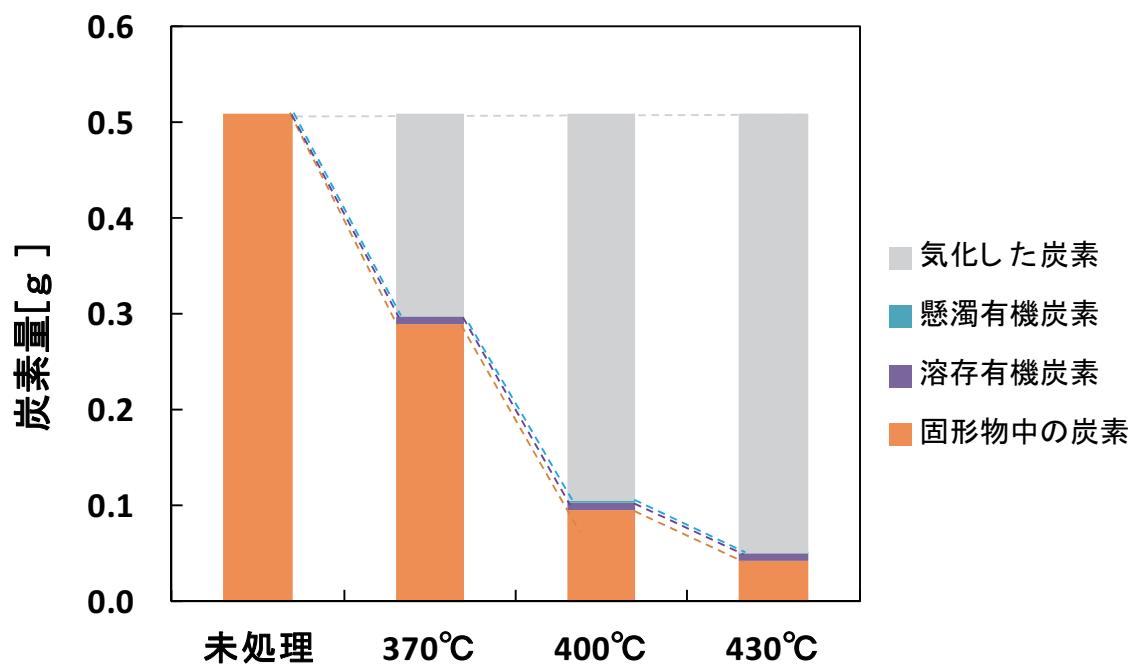


図 8-10-1 水熱反応による自転車タイヤチューブの炭素挙動

[サンプル：自転車タイヤチューブ，反応時間：30min]

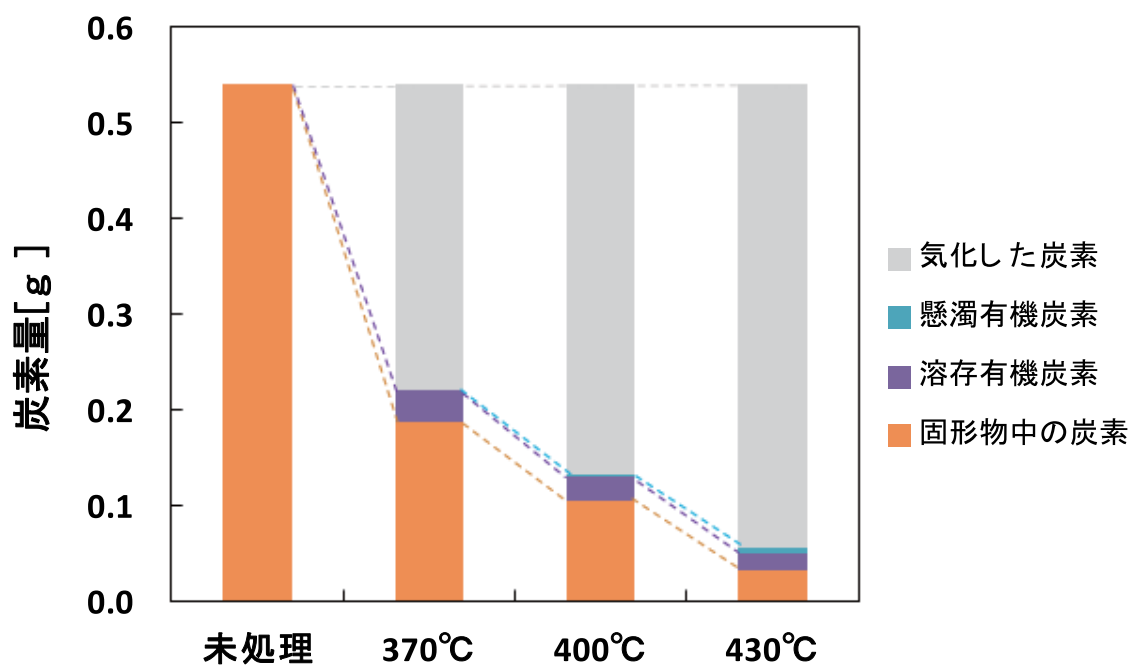


図 8-10-2 水熱反応による自転車タイヤの炭素挙動

[サンプル：自転車タイヤ，反応時間：30min]

反応温度の上昇に伴い自転車タイヤおよび自転車タイヤチューブのどちらにおいても、固形残渣中の炭素量は減少傾向にある。しかし、自転車タイヤの場合は温度の上昇に伴い溶存有機炭素量が増えているのに対し、自転車タイヤチューブにおいてはその傾向は見られなかった。自転車タイヤチューブはある一定量が懸濁有機炭素として水中に移行するが、それ以上は温度の上昇に伴い気化してしまうことが考えられた。

8-11 まとめ

- ・ヒアリング調査の結果、自転車タイヤチューブの有効的な再利用法が現在確立されていない。
- ・水熱反応を自転車タイヤチューブに適応した際、油化の傾向は見られなかった。
- ・水熱反応による自転車タイヤ及び自転車タイヤチューブの炭素挙動について調べた結果、反応温度の上昇に伴い、自転車タイヤチューブは気化する割合が多い。
- ・反応温度を上昇しても、自転車タイヤに比べチューブは水中に溶存する炭素が得られにくい。

8-12 今後の展望

今回、自転車タイヤチューブに通常の水熱反応に適応した場合、油化することは困難であった。そのため、自転車タイヤチューブの水熱反応による再資源化については、触媒等を添加する必要があると考えられる。今後、触媒の添加を検討し、適当と考えられる反応温度や反応時間などの条件を検討していく必要がある。

参考文献

- 1) 財団法人自転車産業振興協会, 平成 15 年度不要自転車の回収・処理及び再資源化に関する調査報告書概要版, (2004).
- 2) Funazukuri, T., Takanashi, T. and Wakao, N. : J. Chem. Eng. Japan, Vol. 20, p.23-27, (1987).
- 3) 菅田ら : 化学工学会第 22 回秋季大会, SL10, (1989).
- 4) 天王俊成, 藤田恵美, 榎本兵治, 加硫 EPDM ゴムの油化における超臨界域のアルカリ水熱反応の特徴と生成油状物の工学的利用, 資源と素材, 112 (13), 941-946, (1996).

9 三河港水路内の夏期の水質悪化の実態とその要因に関する研究

建築・都市システム学系 教授 青木 伸一, 井上 隆信

9-1 研究の背景と目的

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が、毎降雨時に精度の高い観測、分析をすることは非常に困難であり現実的ではない。そこで本研究では三河湾湾奥部に流入する主要な中小河川である梅田川を対象として栄養塩流出モデルを構築し、富栄養化の主な原因である窒素、リンの年間負荷量を算出した。また、降雨時における負荷量の影響を考察するため降雨時、平水時別に流出負荷量を算出し比較検証を行った。面源からの流出負荷量に関しては栄養塩流出モデルに点源からの窒素、リンの発生負荷量を組み込むだけでなく、梅田川流域を土地利用別に分割することで面源からの窒素、リンの流出状況を把握した。

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。本研究では、豊川河口沖合および三河港港内で、夏期に水質観測を継続的に実施し、貧酸素水塊の発生状況や拡散状況を把握するとともに、水塊構造や1次生産、栄養塩濃度などと比較してその発生要因を考察した。

9-2 梅田川モデルの概要

本研究で対象とする梅田川は、愛知県豊橋市雲谷町を源流とする二級河川である。図 9-2-1 に研究対象流域を示す。流域面積は 45km² であり豊橋市を横断し三河湾へと流入する。流域の土地利用の割合は農耕地が全体の 55%を占めており、河川に隣接する地域では水田が多く見られる。そのため流域は豊川用水を導水しており、季節ごとに流入量を操作しているため複雑な水の利用形態となっている。ここでの流域は、本研究室によって水位計が設置された畑ヶ田橋から上流域までとした。

流域の各データを求めるためにまず、GIS(ArcGIS9.3, ESRI)を用いて計算流域を決定し、500mメッシュに区切った。流域は数値地図25,000(空間データ基盤)の50mメッシュ標高を基に落水方向を求め、本研究室によって水位計が設置された畑ヶ田橋の集水域を計算した。各メッシュのデータ(降雨量, 気温, 風速, 日射量, 日照時間, 湿度)をメッシュごとに入力し、各メッシュの周囲4方向のメッシュとの標高を比較し最も勾配のある方向へ水が流れるとしてメッシュ間の落水方向を求めた。

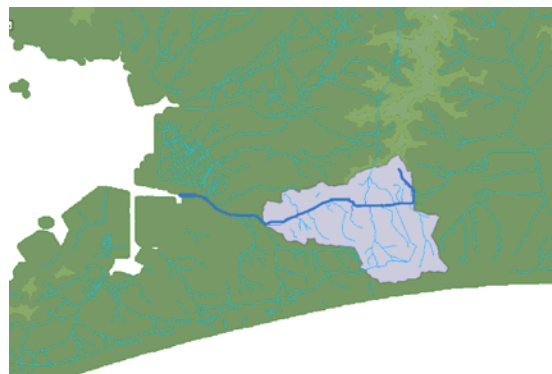


図9-2-1 梅田川の流域

土壌部分を鉛直方向にA, B, Cレイヤの3層、河川部分にRレイヤを想定した水分流出モデルとした。

土壌部分のA, B, Cレイヤにはそれぞれ水平方向、鉛直方向の流出があり水平方向の流出はすべて落水方

向に従い、次のメッシュのRレイヤに流入することとした。鉛直方向の流出はA, Bレイヤの場合、その下層のレイヤが水で飽和していなければ下層のレイヤに移動するものとした。Cレイヤの鉛直方向の流出はそのまま地下水になることとした。また、降水による水分はAレイヤにのみ流入し、Aレイヤに水が存在する場合はAレイヤから蒸発、Aレイヤに水がなくBレイヤに水がある場合はBレイヤから蒸発するものとし、A, Bのどちらのレイヤにも水がない場合、蒸発はないものとした。また、流域内に用水が存在するため該当するメッシュのAレイヤに入力した。各メッシュの蒸発量は地表面における熱収支式を用いて計算した。

流量の計算では豊川で用いられたパラメータを初期値として与えた。愛知県によって行われている流量観測結果と、1時間ごとの観測水位から水位流量曲線を用いて1時間ごとの流量を算出しその値を観測流量とした。この値と一致するように梅田川の未知のパラメータ値(水平・鉛直透水係数 α)を試行計算により求め、このパラメータ値を用いて2008年の梅田川における流量を計算しモデルの適応性を検証した。また、2008年の流量に一致するパラメータ値を求める際に以下の評価基準を用い、各基準で誤差が最小となるようにした。

1) 平均2乗誤差平方根

$$\sqrt{\frac{1}{n} \sum_{t=1}^n (Q_{ot} - Q_{st})^2}$$

2) 相対誤差の平均2乗平方根

$$\sqrt{\frac{1}{n} \sum_{t=1}^n \frac{(Q_{ot} - Q_{st})^2}{Q_{ot}^2}}$$

ここで、n:データ数、 Q_{ot} :流量の観測値(m/sec)、 Q_{st} :流量の計算値(m/sec)である。

水分流出モデルにより計算した各層からの水分流出量を基に栄養塩流出モデルを構築した。図9-2-2にモデルの概要を示す。栄養塩流出モデルで計算対象とした物質は溶存態窒素(DN)、懸濁態窒素(PN)、

溶存態リン (DP)、懸濁態リン (PP)、浮遊懸濁物質 (SS) である。DN, DP の流出量は各層の各土地利用からの水平方向の水分流出成分に一定の濃度を乗じて算出した。

SS の流出量は土地利用に応じて算出方法を使い分けて算出した。土地利用が建設用地の場合は路面堆積モデル、それ以外の土地利用の場合は LQ 式を用いて算出した。PN, PP の流出量はそれぞれ SS の中に一定の割合で存在していると仮定し、SS の流出量に一定の比率を乗じて算出した。ここで、DN と PN の合計を全窒素 (TN)、DP と PP の合計を全リン (TP) とした。また、これらの土壌層から流出した汚濁物質は水分流出モデルと同様に落水方向のメッシュの河川層に流入し運搬されることとした。点源からの窒素、リン流出は環境省による発生負荷量等算定調査報告書の値を用いた。このデータは市町村、流入する河川 (支流) ごとに発生源別の負荷量が記載されているので点源からの窒素、リン流出量を当該メッシュの河川層に加えた。

本研究ではまず、2008 年の流量をシミュレーションし、観測値に最も適合する未知のパラメータの値を求めた。図 9-2-3 に評価基準によりフィッティングした 2008 年の年間流量計算結果、図 9-2-4 にその積算流量を示す。ここでの結果はもっとも再現できている平均 2 乗誤差平方根のみ示す。平水時や小さな降雨ピークについてはどの評価基準を用いても精度よく再現できたといえる。しかし、8 月の大きな洪水の前後にある洪水ピークについては相対誤差の平均 2 乗平方根を用いると精度よく再現できない結果となった。モデルに

入力する降雨データとしてはレーダーアメダス解析雨量を用いているが、このデータは 1 時間雨量であり、計算ステップは 1 分なので 1 時間の降雨量を 1 分間の降雨量に換算して用いている。そのため、1 時間より短期間の間に集中して降雨があった場合は実際のピーク流量より小さい計算値となる可能

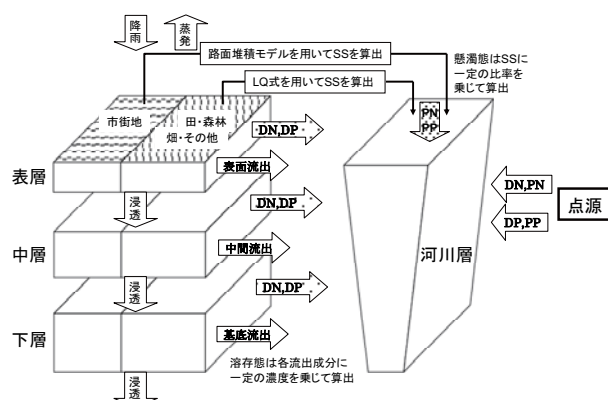


図 9-2-2 栄養塩流出モデルの概

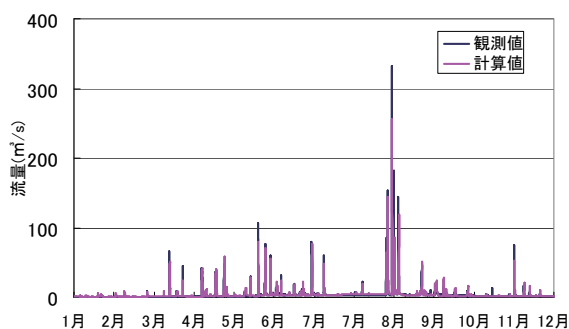


図 9-2-3 平均 2 乗誤差平方根を用いた
流量算出結果

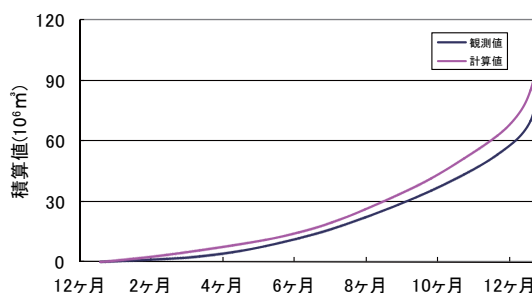


図 9-2-4 平均 2 乗誤差平方根を用いた積算

性がある。そのため今回のように大きな洪水ピーク前後にこのような差が発生したと考えられる。

これらより、平均 2 乗誤差平方根を用いた場合、低水時の流量を若干過大評価したがピーク流量、年間総流量は最も精度よく再現できることが分かった。また、栄養塩の多くは降雨時に流出することが報告されている。そのため平均 2 乗誤差平方根を用いてフィッティングを行ったパラメータ値を栄養塩流出モデルに使用することとした。

次に平均 2 乗誤差平方根を用いて 2008 年の流量にフィッティングさせたパラメータ値を用いて 2009 年の流量を計算し水分流出モデルの精度を検証した。図 9-2-5 は 2009 年の年間流量の再現結果である。これをみると、平水時や小さな流量ピークは精度よく再現できているが年数回の大きな洪水ピークは実測流量より小さな計算結果となった。特に観測値で 100 m^3/s を超える洪水ピークは再現率が低い結果となった。これは先ほどのパラメータフィッティングの際に起こったデータ間隔によるものが原因と考えられる。実際に、4 月 14 日と 8 月 10 日は同程度の降雨が豊橋気象観測台にて観測されているが前者は降雨の集中が見られたが、後者は少量の雨が長時間続くものだった。したがって、4 月の降雨では再現性が低くなる結果となった。

水分流出モデルによって算出した各層からの流量を基に、栄養塩流出モデルによって溶存態窒素(DN)、懸濁態窒素(PN)、溶存態リン(DP)、懸濁態リン(PP)、浮遊懸濁物質(SS)の流出量を算出した。栄養塩流出モデルのパラメータは畑地等以外のパラメータは過去の研究より豊川の栄養塩流出モデルの値を用いた。畑地等については降雨時にあわせてフィッティングを行うことにした。降雨時のフィッティングは 2008 年 8 月 28 日の降雨時調査結果

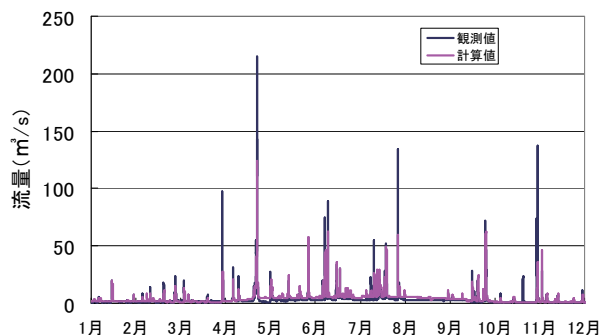


図 9-2-5 2009 年年間流量算出結果

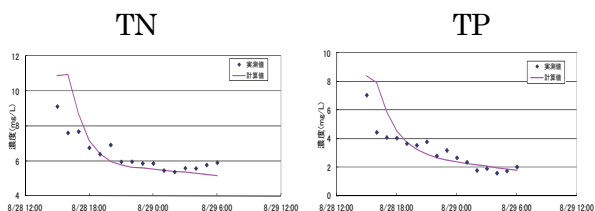


図 9-2-6 降雨時におけるパラメータフィッティング結果

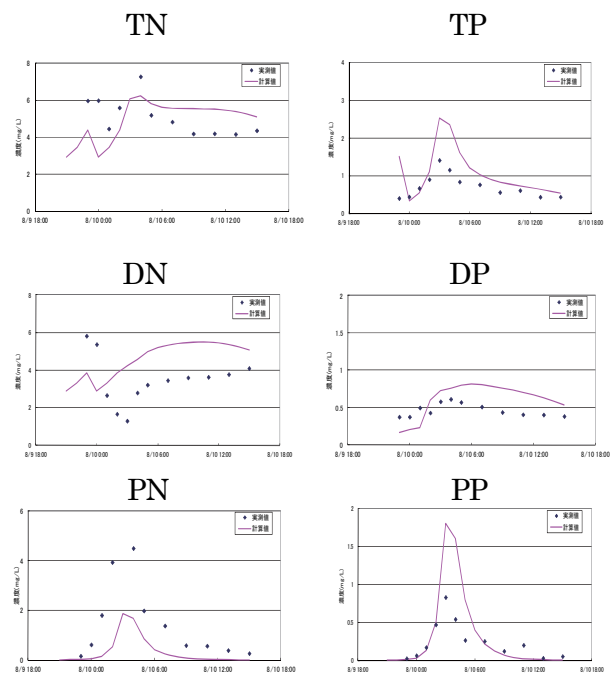


図 9-2-7 2009/8/10 検証結果

をもとに行った。ここで、パラメータ数を減少させるため路面堆積負荷流出モデルに関するパラメータは文献値を用いた。図 9-2-6 に 2008 年 8 月 28 日の降雨におけるパラメータフィッティングの結果を示す。TN、TP とともにおおむね実測と一致した。

2008 年 8 月 28 日の降雨時水質にフィッティングさせたパラメータ値を用いて 2009 年 8 月 10 日と 2009 年 10 月 7 日の降雨時水質を計算し、モデルの再現性を検証した。8 月 28 日の降雨は時間雨量が 60mm を超え 226mm/日にも達する大きな降雨イベントだったのに対し、2009 年 8 月 10 日の降雨は最大時間雨量 32mm, 44mm/日、2009 年 10 月 7 日の降雨は最大時間雨量 10mm, 58mm/日とかなり異なる降雨形態である。図 9-2-7 に 2009 年 8 月 10 日の降雨時水質の再現結果を示す。TN、TP をみると TP については実測値の挙動とよく一致しているが、TN については降雨の降り始めでの濃度が低下していることが分かる。また DN、DP は過小評価する結果となった。DN については、雨の降り始めでの濃度低下が再現できていない。これは、降雨期間が短いため入力された値の影響が大きくなり、実際の濃度低下時刻よりも早い段階で濃度が減少してしまうためである。これによりこの栄養塩流出モデルは、降雨の形態により再現性に差が出ることがわかった。

表 9-3-1 年間流出負荷量の算出結果と環境省による梅田川流域の発生負荷量の比較

	TN(t/year)	TP(t/year)
2008 年	351.9	24.6
2009 年	334.9	27.7
環境省による発生負荷量	231.2	29.1

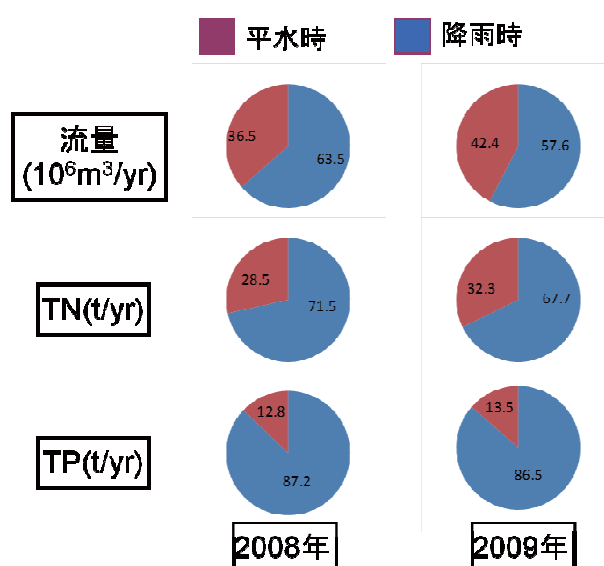


図 9-3-1 降雨時、平水時別の年間流出負荷量

9-3 梅田川流出負荷モデルによる解析結果

パラメータフィッティングを行った値を用いて 2008 年、2009 年における窒素、リンの年間流出負荷量を算定した。

まず、各年の TN、TP の年間流出負荷量を算出し比較を行った。また、環境省の行った梅田川流域の発生負荷量との比較を行った。表 9-3-1 に算出した年間流出負荷量と梅田川流域の発生負荷量を示す。TP は環境省とほぼ等しい結果となったが、TN は環境省の 1.5 倍ほどの値となっている。計算値は畑ヶ田橋より上流からの流出負荷量であり、梅田川の河口まで含めた流域で計算を行うとさらに発生

負荷量より大きな値になると考えられる。

次に豊水流量（1年を通じて 95 日はこれを下回らない流量）より流量が多い場合を降雨時，少ない場合を平水時と仮定して降雨時，平水時別に年間流出負荷量を算出した。図 9-3-1 に計算結果を示す。どの年も TN に比べて TP の方が降雨時に流出する割合が高くなった。また，TN，TP とともに降雨時の流出量が 7 割となっていることがわかる。

最後に，梅田川の主要な土地利用である農用地を対象に溶存態，懸濁態別に流出負荷量を 10%削減した際の年間流出負荷量を算出し，各土地利用の削減効果を検証した。表 9-3-2 に計算結果を示す。これを見ると，畑地等での削減量が大きく削減効果が高いといえる。窒素，リンで比べると，窒素よりもリンが削減されやすく，特に畑地等での PP 削減効果が有効であることが分かる。これは懸濁態リンの場合，大部分が土壌由来であり畑地から流出するためだと考えられる

表 9-3-2 各土地利用流出負荷量削減による年間負荷量比(%)

	DN-10%	PN-10%	TN-10%
田	99.6	99.7	98.8
畑地等	97.5	96.2	93.9

	DP-10%	PP-10%	TP-10%
田	99.6	99.1	98.9
畑地等	96.6	94.4	91.3

9-4 海域調査の概要

海域での調査は，図 9-4-1 に示す地点で 7 月 4 日から 9 月 26 日までの約 3 ヶ月間，一週間間隔で計 13 回実施した。観測点は豊川河口から沖に向けて約 1km 間隔で 8 点 (St. 3～St. 10)，豊川河口から港の入口まで南北ライン上に 5 点 (A～St. 12)，港湾水路内に 6 点 (St. 13～St. 18) の計 19 点を設定した。観測では，投入型水質計 (ASTD, JFE アドバンテック社製) を用いて，塩分，水温，クロロフィル濃度，濁度，溶存酸素濃度の鉛直プロファイルを計測するとともに，各地点で海表面下 1m および海底上 1m の水深から海水を 1L サンプルングし，栄養塩濃度などの水質分析を実験室に持ち帰り実施した。なお，図中の緑のマークの地点では，鉛直方向に 2m 間隔で採水・分析した。

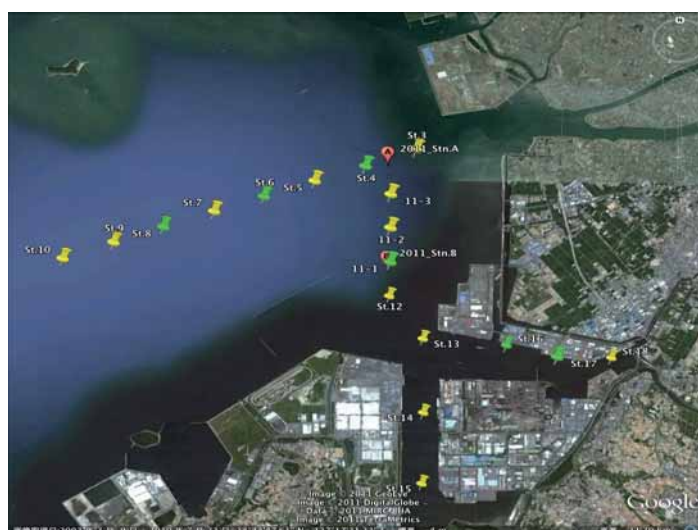


図9-4-1 水質観測地点(図中 Stn. 12-18 が港内の観測点)

さらに，豊川および港内からの物質輸送を捕えるために，7 月 18 日から 9 月 30 日の期間において，上記の定期的な観測に加えて観測点の A 点と B 点 (St. 11-1 と同一) に連続観測用の機器を設置した。

機器の設置状況を図 9-4-2 に示す。クロロフィル蛍光値、塩分、水温、D0 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 1m 間隔で 1 分平均流速を 10 分間隔で観測・記録した。

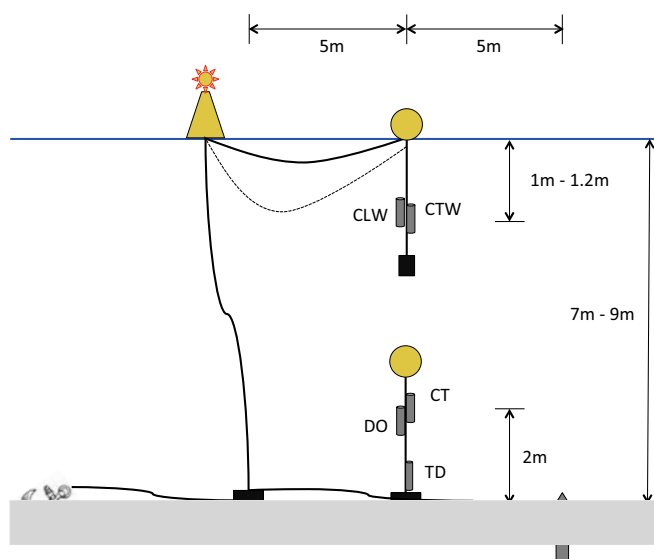


図 9-4-2 連続観測機器の設置概要

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

9-5 結果と考察

(1) 連続観測結果

まず、観測点 A および B での連続観測結果について示す。図 9-5-1 は A 点の底層（海底から 2m 上）における水温、塩分、D0 濃度、水深の変化を示したものである。期間中（7 月 18 日～9 月 30 日）の底層 D0 の分布を見ると、D0 濃度は無酸素状態から過飽和状態である 8～10mg/L まで急激な変化を示している。その急激な変化に対応するように底層の水温、塩分の両方で同じような変化が起きている。したがって、D0 の急激な変化の要因は、密度（水温、塩分）の異なる水塊（底層水）が移動してきたか、もしくは塩分が低く水温が高い表層水との混合が行われたことを示唆している。

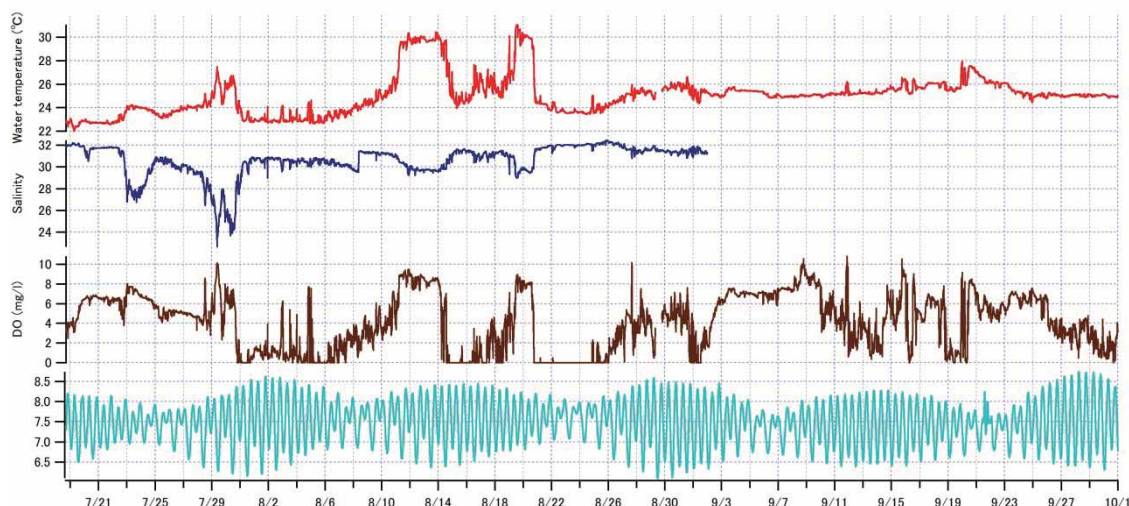


図 9-5-1 A 点での底層における連続観測結果（水温，塩分 DO，水位）

図 9-5-2 は A 点と B 点の底層 DO 濃度の変化を示したものである。両者を比較すると，変化の仕方や大きさがよく似ている。これらの間の相関係数を求めると 0.949 と非常に高い値を示した。これは，水温や塩分に関しても同様であった。A および B 点は南北方向に約 2.4km 離れているが，この二点での連続観測データがほぼ同じ変化を示していることから南北方向には水塊構造の変化(水塊の移動)が小さいと考えられる。このことは，夏期の水質の変化は東西方向からの影響を大きく受けていることを示唆している。

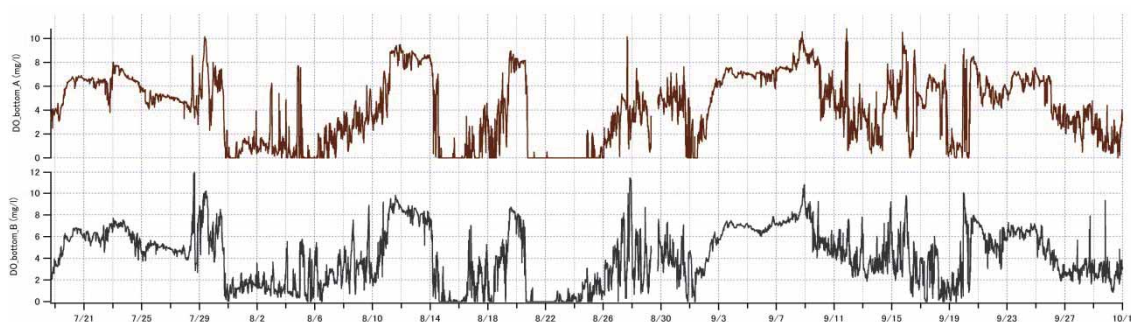


図 9-5-2 A 点と B 点での底層の DO 濃度の変化（上：A 点、下：B 点）

(2) 港湾内の水質変動特性

断面的に水塊構造を見るために，定点観測によって得られる水温，塩分，海水密度 (σT)，DO 等のコンター図を作成した。断面としては，図 9-5-3 に示す St. 3～St. 10，A～St. 15，A～St. 18 の 3 つのラインの縦断を対象とした。

DO 濃度の空間的な分布を見るために，

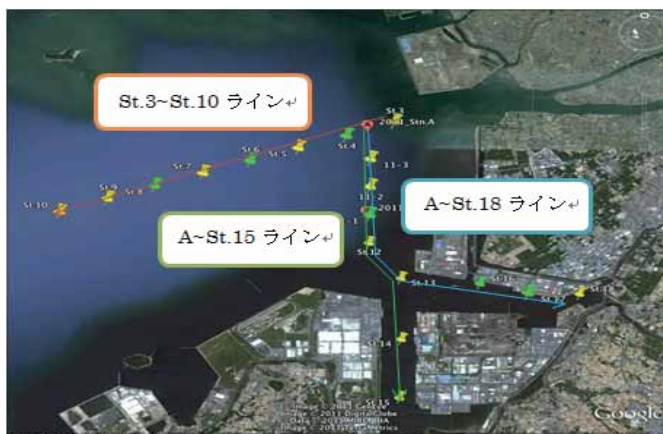


図 9-5-3 コンターを作成した断面のライン

8月1日および8月22日のA～St. 18ラインのコンター図を図9-5-4および図9-5-5に示す。8月1日のDOの図をみると、豊川河口部表層ではDO濃度が高く、港内では表層まで貧酸素水が広がっていることがわかるが、これは夏期には比較的頻繁に見られる水塊構造である。一方、8月22日には、港内での貧酸素化が一層進み、豊川河口付近（六条潟前面）まで張り出していることがわかる。この状態が港湾の貧酸素水塊の移動によって形成されたものであるかどうかは未解明であるが、港湾内に形成された大規模な貧酸素水塊が周辺海域に影響を及ぼしていることは否定できない。

図9-5-6～図9-5-9は定点観測による表層（海面下1m）と底層（水底上1m）のDIN, DIP, NO₃-N, NH₄の変化を示したものである。図中には、豊川河口に位置するSt. 3, 最も沖合のSt. 10, 港内のSt. 12, 港奥のSt. 15およびSt. 18での値をプロットしてある。これらの図より、港内部は港外部に比べて栄養塩濃度が全体的に高くなっていることがわかる。特に、貧酸素水塊が表層にまで広がっている8月1日および8月後半には表層でも非常に大きな栄養塩濃度が現れている。これは、港内における鉛直混合によることが考えられる。

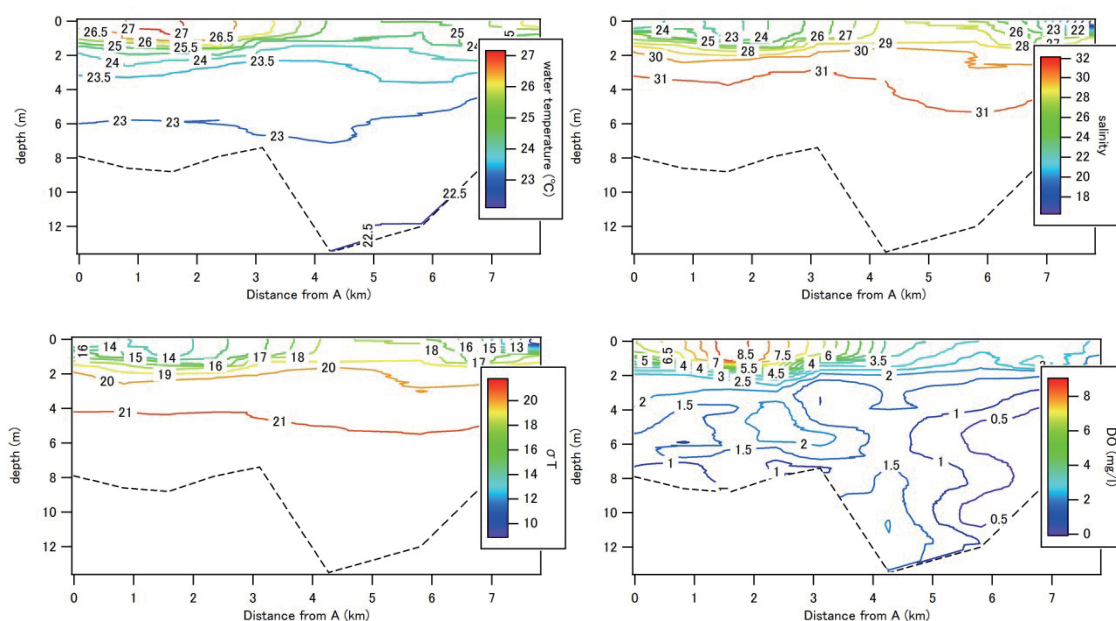


図9-5-4 A～St. 18ラインのコンター（8月1日）

左上：水温（°C），右上：塩分，左下：σ_T，右下：DO（mg/L）

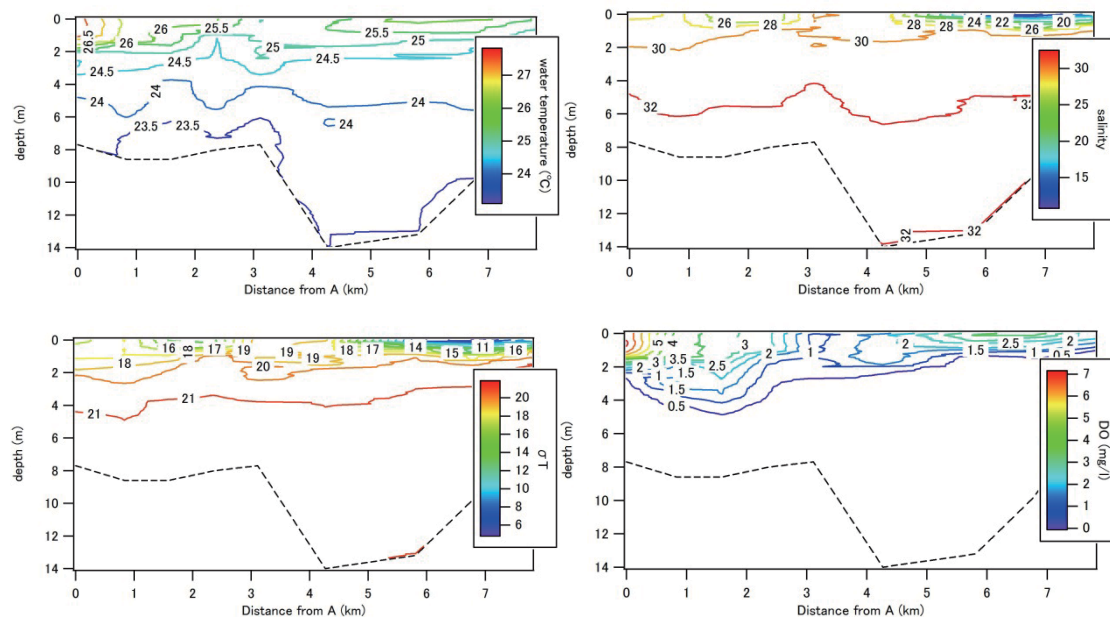


図9-5-5 A～St. 18ラインのコンター（8月22日）

左上：水温(°C)、右上：塩分、左下：σT、右下：DO(mg/L)

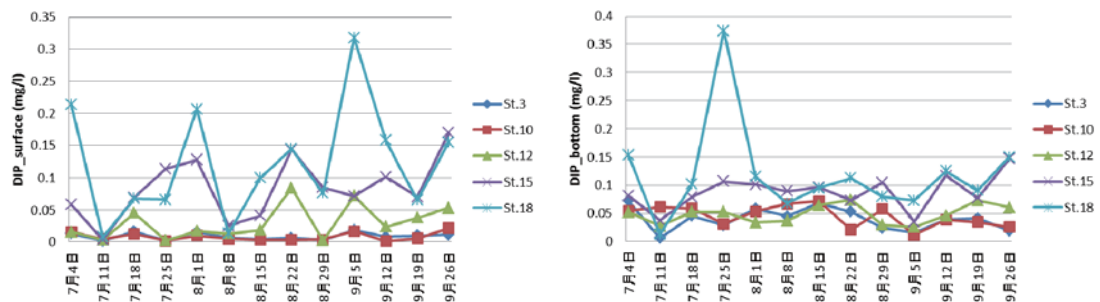


図9-5-6 定点観測におけるDIPの変化（左：表層，右：底層）

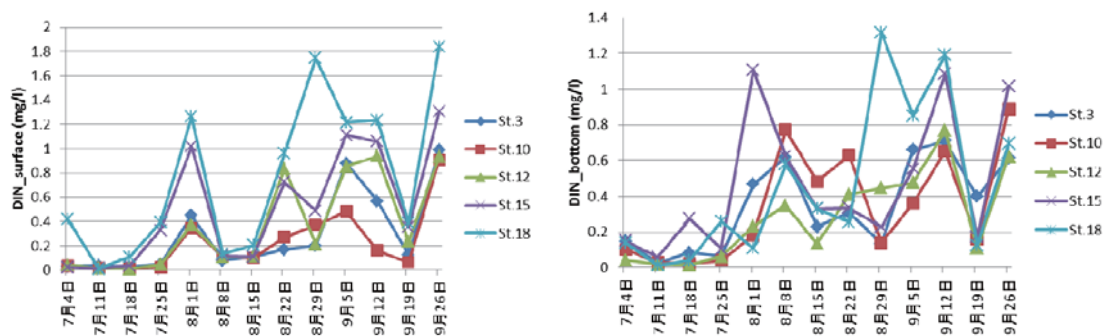


図9-5-7 定点観測におけるDINの変化（左：表層，右：底層）

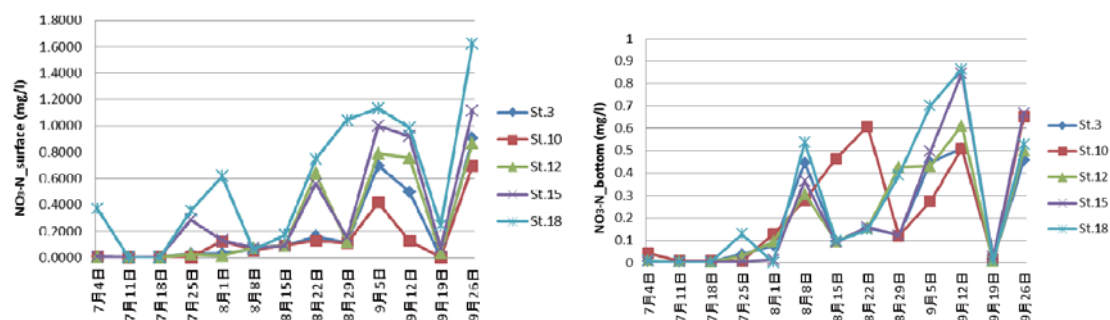


図9-5-8 定点観測における $\text{NO}_3\text{-N}$ の変化（左：表層，右：底層）

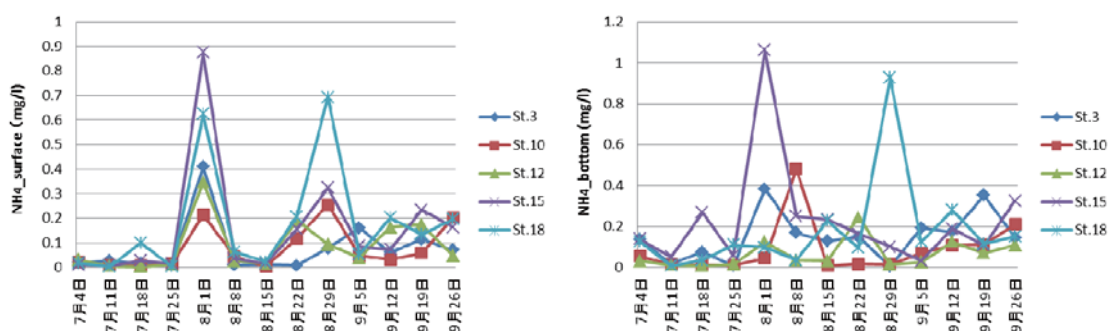


図9-5-9 定点観測における NH_4 の変化（左：表層，右：底層）

図9-5-10 および図9-5-11 は観測期間中の表層と底層の DIN と DIP を観測点ごとに平均をとって示したものである。これらの図からも、港内側の観測点（St. 12-18）では全体的に栄養塩濃度が高くなっていることがわかる。特に、港内側では表層で高い濃度を示していることが確認できる。これは、港奥部が汐川および梅田川の河口部に位置することが大きな理由であると思われるが、港内の貧酸素化に関連して底層で栄養塩の溶出が進み、それが鉛直混合により表層に輸送されることも大きく寄与しているものと考えられる。

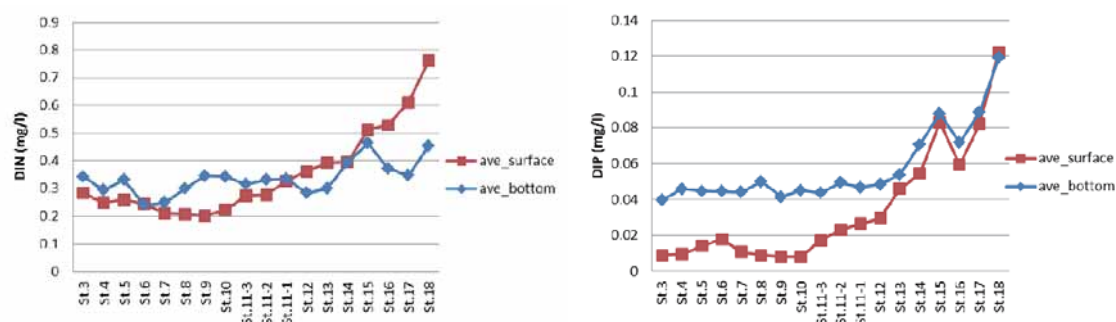


図9-5-10 DIN と DIP の表層と底層における平均値の地点別変化

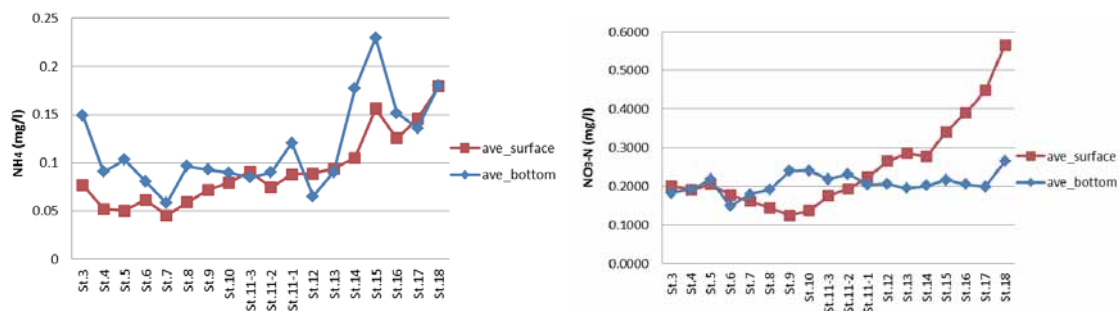


図 9-5-11 $\text{NH}_4\text{-N}$ と $\text{NO}_3\text{-N}$ の表層と底層における平均値の地点別変化

港内での鉛直混合を誘発する 1 つの要因として、入港船舶による水塊の攪乱が考えられる。そこで、St. 16, 17, 18 が位置する東西水路内に接岸した船舶の情報を収集した。図 9-5-12 は、入港した船舶のトン数を時間軸上にプロットしたものである。港内で表層まで貧酸素水塊が広がった 8 月 1 日と 8 月末に特に頻繁な入港が見られるわけではなく、この情報のみで船舶の影響を議論することは難しい。

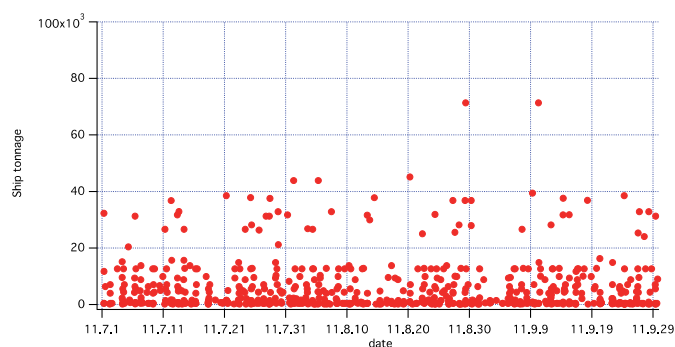


図 9-5-12 船舶の入港状況

平成23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15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、自動車の電動化とその普及を促進する電池のリサイクル・リユースが注目を集めています。このような背景の下、平成23年12月6日に本学において、「電気自動車の普及を促進する電池の有効利用」と題して、未来ビークルシティリサーチセンター第15回シンポジウムを開催致しました（別添プログラム参照）。

本シンポジウムでは、電気自動車の普及活動状況ならびにガソリン車のEV化を安全性・信頼性を担保して行うために最近策定されたガイドライン、および、事業化が始まったH₂V用ニッケル水素電池のリサイクル、これからのビジネスとしてのEV用リチウムイオン電池の二次利用形態に関して、この分野の第一線で活躍中の外部講師3名をお招きし、ご講演頂きました。

まず始めに、電気自動車普及協議会の活動とEVコンバージョンガイドラインについて、電気自動車普及協議会・草加氏からお話を伺いました。続いて、トヨタ自動車が進める資源循環と車載用ニッケル水素電池のリサイクルについて、トヨタ自動車・石本氏にご講演頂くとともに、NTTファシリティーズ・石井氏に、車載用リチウムイオン電池の二次利用に関する実証研究の現状についてご紹介頂きました。

当日は、学外から92名、学内から69名、計161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。



草加 浩平 氏
(電気自動車普及協議会)



石本 義明 氏
(トヨタ自動車 (株))



石井 康之 氏
(株) NTTファシリティーズ

別添

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15回シンポジウム
三遠南信クラスター推進会議・次世代用輸送機器産業クラスタープロジェクト
「電気自動車の普及を促進する電池の有効利用」

【概要】

低炭素社会実現に向けて、自動車の電動化とその普及を促進する電池のリサイクル・リユースが注目を集めています。

本シンポジウムでは、電気自動車の普及活動状況ならびにガソリン車のEV化を安全性・信頼性を担保して行うために最近策定されたガイドライン、および、事業化が始まったHV用ニッケル水素電池のリサイクル、これからのビジネスとしてのEV用リチウムイオン電池の二次利用形態に関して、この分野の第一線でご活躍中の方々にご講演頂きます。

- 日時： 平成23年12月6日（火）13:30～16:20
- 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、三遠南信クラスター推進会議
- 後援：東三河産業創出協議会、豊橋商工会議所、豊橋市、田原市、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

時間	プログラム	講演者
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】 「電気自動車普及協議会の活動と EV コンバージョ ンガイドラインの紹介」	電気自動車普及協議会 幹事 東京大学大学院工学系研究科特任教授 草加 浩平 氏
14:25 ～14:35	休憩	
14:35 ～15:25	【講演2】 「トヨタが推進する資源循環と車載用ニッケル水素 電池のリサイクル」	トヨタ自動車(株) 環境部 リサイクル企画室 室長 石本 義明 氏
15:25 ～16:15	【講演3】 「車載用リチウムイオン電池の二次利用に関する実 証研究」	(株)NTT ファシリティーズ 事業開発部 事業企画部門 担当課長 石井 康之 氏
16:15 ～16:20	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

- 世話人・問合せ先： 豊橋技術科学大学 電気・電子情報工学系 櫻井庸司

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

2. その他の活動状況

○浜松・東三河ライフフォトリノスイノベーション 第1回 CES 研修会

日 時：平成23年10月25日（火）13：20～16：40

場 所：アクトシティ浜松 コンgressセンター 43会議室

〈プログラム〉

13：20	開会
13：20～13：30	オリエンテーション 「本日の主旨と内容」 CES 自動車用次世代技術領域グループ
13：30～14：00	研修セミナー 1 「動力用バッテリー技術の変遷について」 ヤマハ発動機（株）技術本部 研究開発統括部 SP プロジェクト推進グループリーダー 主管 稲波 純一 氏
14：00～14：50	研修セミナー 2 「自動車産業の変容と事業創出のイノベーション行動」 名古屋大学大学院 経済学研究科 准教授 山田 基成 氏
〈10分休憩〉	
15：00～15：40	地域情報研修 1 「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の活動と今後」 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 教授 角田 範義 氏
15：40～16：00	地域情報研修 2 「はままつ次世代環境車社会実験協議会 実証実験中間報告」 浜松市 産業部 産業振興課
16：00～16：40	ワーキング 「地域コーディネーター集団の実績向上に向けて」 参加者全員
16：40	閉会

主催：浜松・東三河地域イノベーション戦略推進協議会、浜松地域産業支援ネットワーク会議



コーディネーターと産学官連携関係者のための 《第1回 CES研修会》—自動車用次世代技術領域—

日時：平成23年10月25日（火）13：20～16：40

場所：アクトシティ浜松 コンgressセンター4階 43会議室

「コーディネーターエコシステム(CES)チーム」では、本年度は浜松・東三河地域が目指す4つの事業領域毎の研修会を予定しています。

第1回目は、「自動車用次世代技術領域」の研修会を行います。両地域のコーディネーターならびに産学連携関係者の皆さまにとって、領域の強化や地域の関係事項を知る研修として構成しておりますので、奮ってご参加ください。

対象

浜松・東三河地域のコーディネーターと
産学連携関係者

定員

60名

参加費

無料(主催者負担)

プログラム

主催：浜松・東三河地域イノベーション戦略推進協議会 事業開発部

- ◆13:20～13:30 **開会:オリエンテーション**
「本日の主旨と内容」 CES自動車用次世代技術領域グループ
- ◆13:30～14:00 **研修セミナー1**
「動力用バッテリー技術の変遷について」
ヤマハ発動機(株)技術本部 研究開発統括部 SPプロジェクト推進グループリーダー 主管 稲波 純一 氏
- ◆14:00～14:50 **研修セミナー2**
「自動車産業の変容と事業創出のイノベーション行動」
名古屋大学大学院 経済学研究科 准教授 山田 基成 氏
- ＜休憩10分＞
- ◆15:00～15:40 **地域情報研修1**
「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の活動と今後」
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 教授 角田 範義 氏
- ◆15:40～16:00 **地域情報研修2**
「はままつ次世代環境車社会実験協議会 実証実験中間報告」
浜松市 産業部 産業振興課
- ◆16:00～16:40 **ワーキング**
「地域コーディネーター集団の実績向上に向けて」 参加者全員
- ◆16:40 **閉会**



研修会終了後、会費制にて簡単な**交流会**を行います
相互の懇親と情報交換のために是非ともご参加ください

問合せ
申込

財団法人浜松地域テクノポリス推進機構
〒432-8036 浜松市中区東伊場二丁目7-1
TEL:053-489-8111 FAX:053-450-2100
E-mail: kyoten@hamatech.or.jp

あて先)財団法人浜松地域テクノポリス推進機構

FAX 053-450-2100

平成23年度第1回CES研修会《10/25(火)開催》参加申込書

申込期限：10月20日（木）

所属 機関名			
参加者名	所属部署	役職	
	ご氏名	交流会 ()に○をご記入 ください	参加予定()・参加しない()
連絡先 (CES研修会初参加の方は記入ください)		TEL: E-mail:	

※お申し込みの際にお伺いする個人情報は、参加者名簿の作成、産学官連携拠点に関する情報提供以外、その他の目的には使用いたしません。

○防災・日本再生シンポジウム「企業防災を軸とする安心安全な地域づくり」

日 時：平成23年12月2日

場 所：豊橋技術科学大学 講義棟A-101

平成23年12月2日、豊橋技術科学大学にて安全安心地域共創リサーチセンター・未来ビークルシティリサーチセンター主催、一般社団法人国立大学協会共催の防災・日本再生シンポジウム「企業防災を軸とする安心安全な地域づくり」を開催しました。本シンポジウムでは、企業BCP（事業継続計画）の課題や防災における産官学連携や企業防災の地域防災への展開に関する議論を通じて、企業防災を軸とする安心安全な地域づくりや未来の地域のあり方について考えることを目的とし、第1部「企業BCPの課題と実践」の基調講演「ネットワーク型社会の脆弱性と事業継続マネジメント（BCM）～東日本大震災におけるサプライチェーン途絶の背景と官民連携の重要性～」では、渡辺研司名古屋工業大学大学院教授が、企業防災について、東日本大震災で明らかとなった集中リスクを背景に官民一体となった情報共有の仕組みの必要性を訴えました。また、事例報告では、中桐丈夫氏（フォルクスワーゲングループジャパン総務課長）による「フォルクスワーゲングループジャパンの取り組み」、門脇丈彦氏（株式会社エクシム愛知工場長）による「エクシムの取り組み」、彦坂高司氏（有限会社アルマック豊橋代表、NPO法人東海リスクマネジメント研究会代表）による「中小企業のBCP」の報告が行われました。

第2部「企業防災から地域防災・地域づくりへの展開」の基調講演「企業防災からBCP（事業継続計画）、そして地域毎のBCP協力：District Wide BCPへ」では西川智国土交通省土地・建設産業局土地市場課長が、阪神・淡路大震災や東日本大震災での経験を通じて、BCPから地域への課題として、DCP（District-Wide Business Continuity Plan）のあり方を訴えました。また、事例報告では、平井洋次氏（国土交通省中部地方整備局三河港湾事務所長）による「三河港のBCP」、有安敬氏（豊橋市副市長）による「大規模災害に対する豊橋市の対応」、廣畠康裕（豊橋技術科学大学教授）による「災害時の交通と輸送」、滝川浩史（豊橋技術科学大学教授）による「災害時の自然エネルギー利用」の報告が行われました。その後、会場を交えて活発な議論が行われました。



・渡辺研司名古屋工業大学大学院
教授による基調講演の様子



・西川智国土交通省土地・建設産
業局土地市場課長による基調講演
の様子



・会場の様子



国立大学法人
豊橋技術科学大学

豊橋技術科学大学 防災・日本再生シンポジウム

企業防災を 軸とする 安全安心な 地域づくり

企業防災は大災害から地域が力強く復興する上で
非常に重要です。本シンポジウムでは、
【第1部】で企業BCP(事業継続計画)の課題や
防災における産官学連携について、
【第2部】で企業防災の地域防災への展開について議論し、
企業防災を軸とする安全安心な地域づくりや
未来の地域のあり方について考えます。



Disaster prevention
and
revitalization of Japan
symposium



第1部

企業BCPの課題と実践

講師

渡辺 研司

名古屋工業大学大学院工学研究科
社会工学専攻 教授



第2部

企業防災から地域防災・
地域づくりへの展開

講師

西川 智

国土交通省土地・建設産業局土地市場課長

日 時

平成23年 **12月2日** **金** 13:00~17:00

場 所

豊橋技術科学大学 A棟101講義室

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
安全安心地域共創リサーチセンター
未来ピープルシティリサーチセンター

共催：(社)国立大学協会

お申し込み・
お問い合わせ

安全安心地域共創リサーチセンター(担当：古賀・佐野・柴田)
TEL:0532-44-1320 もしくは 0532-44-6574
FAX:0532-44-6568 E-mail:carm@office.tut.ac.jp

豊橋技術科学大学
防災・日本再生シンポジウム

豊橋技術科学大学 安全安心地域共創リサーチセンター・未来ビークルシティリサーチセンター
企業防災を軸とする安全安心な地域づくり

プログラム		司会進行／青木 伸一(安全安心地域共創リサーチセンター長)
13:00	主催者挨拶 榊 佳之(豊橋技術科学大学長)	
第1部	企業BCPの課題と実践	
13:10	基調講演 渡辺 研司氏(名古屋工業大学大学院工学研究科社会工学専攻 教授) 「ネットワーク型社会の脆弱性と事業継続マネジメント(BCM) ～東日本大震災におけるサプライチェーン途絶の背景と官民連携の重要性～」	
13:50	事例報告 ・「フォルクスワーゲングループジャパンの取組み」… 中桐 丈夫氏(フォルクスワーゲングループジャパン 総務課長) ・「エクシムの取組み」……………門脇 丈彦氏(株式会社エクシム 愛知工場長) ・「中小企業のBCP」……………彦坂 高司氏(有限会社アルマック豊橋代表、 NPO法人 東海リスクマネジメント研究会代表)	
14:35	総合討論	
14:50 15:00	休憩	
第2部	企業防災から地域防災・地域づくりへの展開	
15:00	基調講演 西川 智氏(国土交通省 土地・建設産業局 土地市場課長) 「企業防災からBCP(事業継続計画)、そして地域毎のBCP協力:District Wide BCPへ」	
15:40	事例報告 ・「三河港のBCP」……………平井 洋次氏(国土交通省 中部地方整備局 三河港湾事務所長) ・「大規模災害に対する豊橋市の対応」……………有安 敬氏(豊橋市副市長) ・「災害時の交通と輸送」……………廣畠 康裕 (豊橋技術科学大学 教授) ・「災害時の自然エネルギー利用」……………滝川 浩史 (豊橋技術科学大学 教授)	
16:40	総合討論	
16:55	閉会挨拶 角田 範義(副学長、未来ビークルシティリサーチセンター長)	

★シンポジウム終了後、交流会を開催いたします。(会場:学内ひばりラウンジ 会費:2,000円)

豊橋技術科学大学安全安心地域共創リサーチセンター
防災・日本再生シンポジウム 参加申込書

●参加申込書は、E-mailで必要項目を記入してもらるか、あるいはFAXにてご連絡いただければ幸いです。
●参加申込書の締切は、平成23年11月30日(水)としますが、締め切り後も可能な限り対応させていただきますので遠慮なくご一報下さい。

機関名	
役 職	
御氏名	
御連絡先	住 所 〒
	TEL FAX
	E-mail
	交流会 (会費2,000円)
	参 加 ・ 不 参 加 (どちらかを○で囲んで下さい)

交通のごあんない

お申し込み・問い合わせ先
安全安心地域共創リサーチセンター(担当:古賀・佐野・柴田)
〒441-8580豊橋市天伯町雲雀ヶ丘1-1
TEL:0532-44-1320 FAX:0532-44-6568
もしくは **0532-44-6574** E-mail:carm@office.tut.ac.jp

ホームページよりダウンロードできます。http://ccr.ace.tut.ac.jp/carm/index.html

○ 第28回豊橋技術科学大学オープンキャンパス

日 時：平成23年8月27日

場 所：豊橋技術科学大学



○エコマラソン2011長野

後援：豊橋技術科学大学

日 時：平成23年9月18日

場 所：エムウェーブ（長野オリンピック記念アリーナ内）

○あいち ITS ワールド2011

日 時：平成23年12月22日～25日

場 所：ポートメッセなごや 名古屋国際展示場（第17回名古屋モーターショー会場内）



○次世代自動車地域産学官フォーラム・技術開発セミナー&ラボツアー

「車両軽量化技術の研究開発・技術紹介」

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

日 時：平成24年3月23日

場 所：豊橋技術科学大学 総合研究実験棟9階 セミナー室

豊橋技術科学大学
自動車研究部
TUT FORMULA
2011 シーズン活動報告書



目次

1	はじめに	122
2	全日本学生フォーミュラとは	122
2.1	大会概要	
2.2	大会理念	
2.3	主要ルール	
3	大会結果	123
3.1	審査内容	
3.2	各審査結果	
3.3	大会を終えて	
4	TG06 の紹介	124
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	126
6	スポンサー紹介	127
7	ファカルティアドバイザーより	128
	チーム代表挨拶	128

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、2011 年 9 月 5 日から 9 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 9 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報告を致します。

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。

3 大会結果

3.1 審査内容

第9回全日本学生フォーミュラ大会では、海外8チームを含む合計75チームが参加しました。大会の審査は動的審査と静的審査に分けられ、静的審査はコストレポートの正確さやコスト削減の手法を競うコスト審査・車両を販売するためのマーケティング手法を競うプレゼンテーション審査・車両設計の妥当性を競うデザイン審査の3種目、動的審査は加速性能を競うアクセラレーション・旋回性能を競うスキッドパッド・総合的な走行性を競うオートクロス・耐久性を競うエンデュランス・燃費の5種目で、これらの合計が総合成績として評価されます。

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

3.2 各審査結果

静的 審査	コスト審査	49.9 / 100 pt	22 位
	プレゼンテーション審査	30.0 / 75 pt	40 位
	デザイン審査	94.0 / 150 pt	12 位
動的 審査	アクセラレーション	55.56 / 75 pt	14 位
	スキッドパッド	20.3 / 50 pt	28 位
	オートクロス	15.24 / 150 pt	44 位
	エンデュランス	3/ 300 pt	DNF
	燃費	0 / 100 pt	DNF
	総合成績	268.0 / 1000 pt	43 位

※DNF : Do Not Finish

3.3 大会を終えて

今シーズンは当初のスケジュールより車両完成が遅れてしまい、大会前に十分な問題点の洗い出しやセッティングを行うことができませんでした。しかし、予定していた試走会には参加でき、模擬車検で車両の問題点を把握したことで、指摘された箇所を修正して大会に臨むことができました。これにより、技術車検やブレーキ試験などは大きなトラブル無く、動的競技開始前に通過でき、全動的種目に参戦できましたが、最終日のオートクロスではエンジントラブルにより途中リタイアしてしまいました。

総合得点は向上しましたが目標である6位入賞には届かず、43位となりました。

4 TG06 の紹介

4.1 車両概観

Fig.1 に第 9 回全日本学生フォーミュラ大会参戦車両 TG06 の概観を示します。車両の設計に約 5 ヶ月、製作に 6 ヶ月を費やしました。

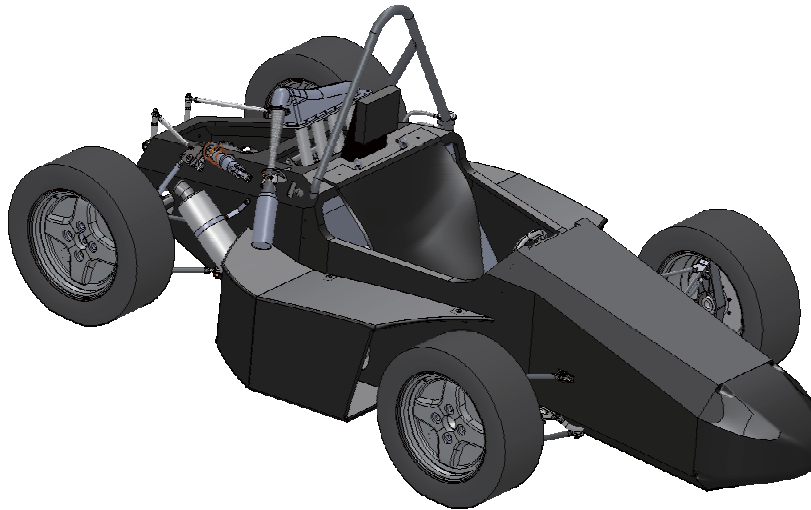


Fig.1 TG06 3D Model

4.2 主要諸元

名称	TG06
全長	2726mm
全高	1136mm
全幅	1390mm
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)	79ps/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

2009 シーズン車両 TG04 は、優れた加速性能を発揮致しました。これをふまえて、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。そこで、2011 シーズン車両 TG06 は車両の全体性能が問われるエンデュランスを想定し、これまでに培ってきた加速・旋回性能を更に高めることで、コース走行におけるタイム向上を目指しました。コース走行において重要な基本性能を考え、「**Basic for Perfect** ～旋回特性の向上・高パワーウェイトレシオ・操作効率の向上～」を開発コンセプトと致しました。

・ シャシ

過去3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 1300g の軽量化を達成致しました。

また、開口部を設置することで作業効率が向上しました。

・ 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、トルク・馬力向上を実現しました。

・ ドライブトレイン

TG06 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

日付	車両・活動
2010 年 9 月	・ 新体制発足 ・ スポンサーに大会結果報告
10 月	・ 技科大祭にて車両展示とデモ走行を行う ・ TG06 開発のためのテスト走行
11 月	・ TG06 各部品設計開始
12 月	
2011 年 1 月	・ 設計会議
2 月	・ 図面作成
3 月	
4 月	・ TG06 部品製作開始 ・ 新入部員入部
5 月	・ カーボンモノコックシャシ製作開始 ・ 車両安全性証明書類の作成
6 月	・ 車両安全性証明書類提出 ・ デザインレポート作成・提出 ・ コストレポート作成・提出
7 月	・ 車両製作 ・ カーボンモノコックシャシ完成
8 月	・ 車両組立 ・ TG06 シェイクダウン
9 月 5 日～9 日	・ 第 9 回全日本学生フォーミュラ大会参戦

6 スポンサー紹介

2011 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

三菱レイヨン株式会社

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

ポップリベット・ファスナー株式会社

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

豊橋技術科学大学情報メディア基板センター

株式会社ミスミグループ本社

大同アミスター株式会社

株式会社レント

有限会社ツゲブラセス

ANSYS, Inc.

ミスタータイヤマン豊橋店

株式会社オーファ

NTN 株式会社

イブリダセル株式会社

ヘンケルジャパン株式会社

昭和飛行機株工業株式会社

三菱マテリアル株式会社

株式会社江沼チェン製作所

株式会社富士精密

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

本田技研工業株式会社

株式会社ネクスト

個人支援

畑内 慎也

澤田 美智明

中村 克己

赤沢 伸一

中西 利明

太田 孝正

井上 輝男

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 准教授
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日本初のカーボンモノコックボディー車両を製作し、大変な脚光を浴びた2008年大会から3年が経過しました。4台目のカーボンモノコックシャシ車両で今大会も臨みましたが、カーボンでシャシを作るチームが他大学でも現れるなど、それだけでは話題になりにくくなっているのを感じています。本学チームは、一層の軽量化などを目指して新たにカーボンホイールの製作も行いましたが間に合わず、車両に取り付けるところまではいきませんでした。しかし、大会会場で展示した試作品は大変な注目を集め、総合成績では残念な結果に終わりましたが、本学チームのポテンシャルの高さを今年も示してくれました。

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。特に、活動スペースについては現在不安定な状況にありますので、落ち着いて活動できるスペースを確保して頂けるようご助力頂ければ幸いです。

8 チーム代表挨拶

豊橋技術科学大学 生産システム工学課程 学部4年
自動車研究部 2011 シーズン 部長 赤松 陽介

自動車研究部 2011 シーズンの部長を務めました赤松と申します。

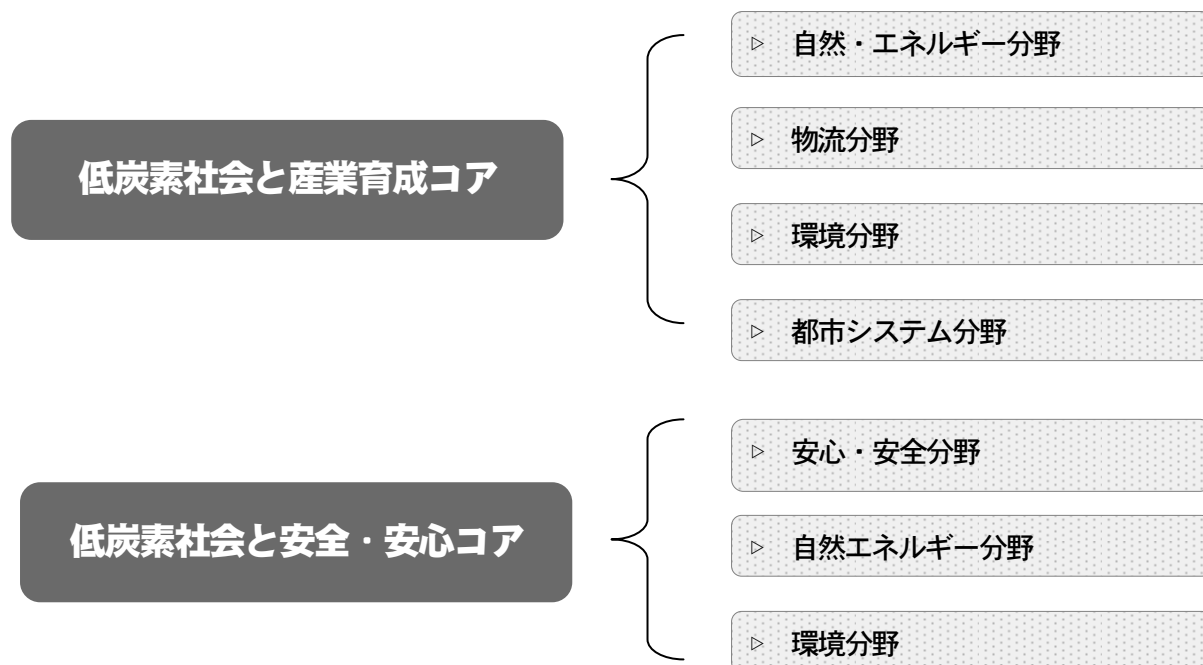
全日本学生フォーミュラ大会も今年で9回目を迎え、参加チームのレベルも年々上昇しております。今大会の中でも、車検通過チームが例年より多く、各チームの車両完成度の高さを実感しました。そのような中で、今シーズンのメンバーの多くは設計経験がなく、初めて設計から車両製作を行いました。技術不足やスケジュール管理の甘さなど、多くの苦労がありました。また、ものづくりを通じて先輩方の技術力の高さと自分たちの読みの甘さを知りました。未来ビークルシティリサーチセンター様にも、ご支援のお願いが遅くなりご迷惑をお掛け致しました。

2011 シーズンに開発した車両 TG06 は、CFRP 製品の新しい技術にも挑戦しております。ホイールやサスペンションアームなどの CFRP 製品は大会会場でも注目を集めました。大会の結果は満足のいくものではありませんでしたが、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、2011 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 TG07 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。



センター長：角田 範義
副センター長：宮田 譲

低炭素社会と産業育成コア

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

低炭素社会と安全・安心コア

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

サステナブルな社会における未来ビークルシティー事業
－ 低炭素社会における安全・安心なビークルシティー －
平成 23 年度研究成果報告書

発 行 平成 24 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