

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 ～

平成25年度研究成果報告書



平成26年3月

巻頭言

未来ビークルシティリサーチセンター長

角田 範義

平成22年度から文部科学省特別経費による「サステナブルな社会における未来ビークルシティ事業：低炭素社会における安全・安心なビークルシティ」を課題として、未来ビークルシティリサーチセンターが発足し、第4回目の報告書をお届けできる運びとなりました。ファーストフードの時代からスローライフの時代への転換、それに伴う自動車社会のあり方についての考え方も変わってきました。また、日本の少子高齢化が進むことによる、事故対策として高齢者（弱者）に対する自動車とは（運転者、歩行者）と言う観点からの開発結果が、内外の自動車会社から提案されています。

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

今年も、研究のみならず、本リサーチセンターの主催としたアウトリーチ活動を行い、センターのプレゼンス向上を行ってきました。豊橋市役所のホールを利用したデモンストレーションを伴う成果報告会、子供に対する交通安全意識の向上、企業の人を対象とした先端研究の紹介など活発な活動を行い、事業の展開を行ってきました。本年度行った研究活動についての課題を示し

ます。

1. 未来ビークルライフを支えるエネルギーの発生と利用技術に関する研究
 2. 三河港田原地区における交通渋滞対策に伴う諸問題の軽減策の検討
 3. 豊橋市における電気自動車普及による環境・経済的影響の応用一般均衡分析
 4. 三河港の立地企業の経済効果と電気自動車による海上輸送へのモーダルシフトに関する研究
 5. 三河港周辺域における水質環境および波浪特性の現状評価
 6. ドライバの個性に着目した社会共生型安全運転支援に関する研究
 7. ドライビングシミュレータの活用と交通安全啓蒙活動
 8. 交通弱者のための安全・安心のためのシステムや装置に関する研究
 9. 新しい電池技術の研究開発
 10. ワイヤレス電力伝送用リアルタイム負荷追従インピーダンス整合回路の研究
 11. 持続可能な移動手段の環境有効性の評価
- 電動アシストつき自転車の利用促進に関する研究-
12. 廃棄自転車タイヤ，チューブのケミカルリサイクル

本年度は、ⅠとⅡの研究コアにおいて設定した12課題についての取り組みについての報告です。

25年度の活動成果報告書をご覧になられた皆様からの忌憚のないご意見をいただき本センターの事業をよりよく発展させていきたいと思っております。今後とも、本センター事業へのご支援、ご協力をよろしくお願いいたします。

□□□ 目 次 □□□

研究成果

1. 未来ビークルライフを支えるエネルギーの発生と利用技術に関する研究

【電気・電子情報工学系 教授 滝川 浩史, 助教 田上 英人】

..... 1

1-1 EV への充電のための PV 利用の検討

1-2 ゴミ収集車の EV 化の効果の検討

1-3 三河港における太陽光発電導入による効果

1-4 ハイブリッド電源のエネルギーフロー制御の改良

1-5 ハイブリッド電源を用いることによる二次電池の寿命評価

1-6 WEB ページにおける全方位カメラの写真公開

1-7 市民へのアピール, 電気自動車を用いたイベント

2. 三河港田原地区における交通渋滞対策に伴う諸問題の軽減策の検討

【建築・都市システム学系 教授 廣畠 康裕, 助教 松尾 幸二郎】

..... 20

2-1 はじめに

2-2 三河港田原地区における道路交通実態の整理

2-3 立地企業等による渋滞対策の提案内容

2-4 三河港田原地区周辺の幹線道路網整備による効果の試算

2-5 おわりに

3. 豊橋市における電気自動車普及による環境・経済的影響の応用一般均衡分析

【建築・都市システム学系 教授 宮田 譲, 准教授 渋谷 博幸】

..... 41

3-1 はじめに

3-2 太陽光発電

3-3 日本型スマートグリッド

3-4 豊橋市の経済会計行列

3-5 電気自動車導入の応用一般均衡分析

3-6 シミュレーション分析

3-7 シミュレーション結果

3-8 おわりに

4. 三河港の立地企業の経済効果と電気自動車による海上輸送へのモーダルシフトに関する研究 【建築・都市システム学系 准教授 渋澤 博幸, 教授 宮田 譲】	65
4-1 三河港に立地する企業の経済波及効果の計測	
4-2 電気自動車による陸上輸送から海上輸送へのモーダルシフトと環境への影響	
5. 三河港周辺域における水質環境および波浪特性の現状評価 【建築・都市システム工学系 教授 井上 隆信, 准教授 加藤 茂, 助教 岡辺 拓巳】	78
5-1 研究の背景と目的	
5-2 降雨時の栄養塩流出負荷量の解明	
5-3 港湾内に広がる河口干潟域の波と流れ	
6. ドライバの個性に着目した社会共生型安全運転支援に関する研究 【機械工学系 教授 章 忠, 准教授 三宅 哲夫, 客員准教授 今村 孝】	89
6-1 ドライバの運転動作解析用ドライブレコーダの開発	
6-2 ドライビングシミュレータを用いた運転行動意図の付与とその推定に関する研究	
6-3 ファジィ推論によるドライバの集中状態の評価	
6-4 研究発表実績, 今後の課題	
7. 交通弱者のための安全・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】	103
7-1 交通弱者のための全方位カメラを用いた危険検知に関する研究	
7-2 全周マルチプロジェクションシステム	
7-3 2色覚者のためのノイズ付加による色の識別率向上に関する研究	
8. 新しい電池技術の研究開発 【電気・電子情報工学系 教授 櫻井 庸司】	119
8-1 はじめに	
8-2 $\text{Ca}_{0.5}\text{CoO}_2$ の合成	
8-3 $\text{Ca}_{0.5}\text{CoO}_2$ の電気化学特性評価	
8-4 充放電に伴う $\text{Ca}_{0.5}\text{CoO}_2$ 正極の反応機構	
8-5 まとめ	

9. ワイヤレス電力伝送用リアルタイム負荷追従インピーダンス整合回路の研究	
【電気・電子情報工学系 教授 大平 孝】	
	 129
9-1 電化道路電気自動車	
9-2 リアルタイム負荷追従インピーダンス整合回路の構成と動作原理	
9-3 リアルタイム負荷追従インピーダンス整合の実証実験	
9-4 研究成果公表	
9-5 むすび	
10. 持続可能な移動手段の環境有効性の評価	
-電動アシストつき自転車の利用促進に関する研究-	
【環境・生命工学系 准教授 後藤 尚弘】	
	 139
10-1 研究の目的	
10-2 研究手法—アンケート、分析—	
10-3 結果—アンケート、因子分析、共分散構造分析—	
10-4 まとめ—電動アシストつき自転車普及のために—	
11. 廃棄自転車タイヤ、チューブのケミカルリサイクル	
【環境・生命工学系 教授 角田 範義】	
	 152
11-1 自転車社会の現状	
11-2 研究構成	
11-3 汎用自転車のチューブ	
11-4 汎用自転車のタイヤ	
11-5 マウンテン自転車タイヤ	
11-6 まとめ	
11-7 今後の展望	

平成25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17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】	
	 166

2. 未来ビークルシティリサーチセンター	
ぎかだいがやってくる ～エコエネを感じよう！～ 開催報告	
【電気・電子情報工学系 助教 田上 英人】	
	 170
3. 未来ビークルシティリサーチセンター	
ぎかだいがやってくる 体験！未来ビークルシティ 開催報告	
【建築・都市システム学系 助教 松尾 幸二郎】	
	 173
4. その他の活動	
	 179
5. ドライビングシミュレータの活用と交通安全啓蒙活動	
【機械工学系 教授 章 忠, 准教授 三宅 哲夫, 客員准教授 今村 孝】	
	 203
学生への支援	
自動車研究部 2013シーズン活動報告書	
	 208
組織・構成	
	 218

成果報告

1. 未来ビークルライフを支えるエネルギーの発生と利用技術に関する研究

電気・電子情報工学系 教授 滝川 浩史, 助教 田上 英人

1-1 EV への充電のための PV 利用の検討

(1) はじめに

近年、地球温暖化や原油枯渇などの問題がますます深刻化している。東日本大震災以降、原子力発電所の停止が相次ぎ、火力発電が多く使われるようになった。今後、代替エネルギーとなり得る発電方法の見通しが立たなければ、地球温暖化や原油枯渇が加速する可能性がある。このような背景から、石油に依存しないサステナブルエナジーとして太陽光発電 (PV) が注目されている。

これまで、本研究室では愛知県豊橋市に位置する豊橋総合動植物公園 (のんほいパーク) 内で運行している園内バスの牽引車部分であるガソリン駆動の TOYOTA 2TG10 の EV 化の検討を行い、同型の車両を EV 化した。また、同園内で EV 化した車両を用いてフィールド試験などを行い、EV 化によるメリットの算定を行ってきた。ところで、EV を充電するには PV を利用することができる。今回、この EV 化した車両をのんほいパークで利用するとした場合の電源として、PV を導入する検討をおこなった。



図 1-1-1 EV 化した車両 (牽引車部分) を用いたフィールド試験の様子

(2) PV パネルの設置場所と斜面日射量

PV パネルは車庫の屋根の南側に設置するとした。図 1-1-2 に車庫の外観, 上からの様子を示す。このときの屋根の傾斜角約 20° , 方位東 74° 南, 設置可能面積が約 40 m^2 である。この屋根における斜面日射量は, NEDO が Web で公開している日射量データベース閲覧システムから調べることができる。図 1-1-3 に日射量データベース閲覧システムで得られる日射量のデータの例を示す。データ参照元の年間時別日射量データベース (METPV-11) は, 1990~2009 年の日射量データを用いることで各時間の方位角別, 傾斜格別の日射量の算出をしており, 日射量の推定に活用することができる。



図 1-1-2 車庫外観と上からの様子

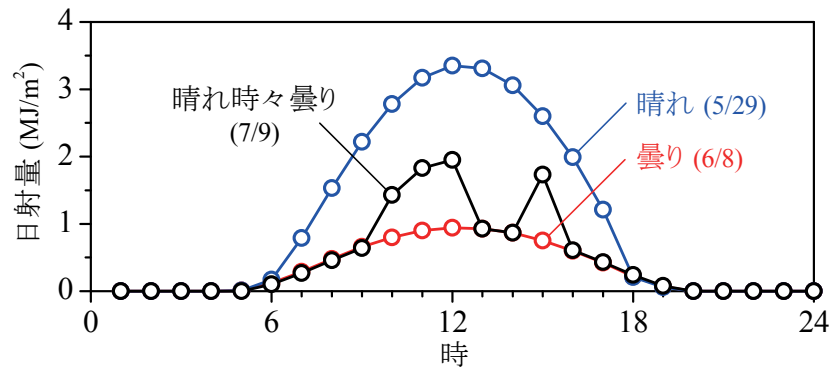


図 1-1-3 日射量データ抜粋（傾斜角約 20°，方位東 74° 南）

（３）充電の振り分けと買電，余剰電力の振り分け

EV の電源として PV を導入するに際し，EV 化後の園内バスは，土曜日用と日曜日用の 2 台運用とした。これは，常に運用しない車両をつくることで，PV 発電電力の貯蓄用バッテリーが不要とできると考えたためである。また，余剰電力はのんほいパーク内の他施設で利用するとした。これは，既に自然史博物館屋上に設置してある PV の発電電力がのんほいパーク内で利用されているためである。



図 1-1-4 EV 化に伴う運用方法の変更

PV の出力は日射量に比例し、天候によって大きく左右される。充電時の必要電力に対し、発電電力が過剰であれば余剰電力の使い道を考えなければならず、逆に発電量が足りなければ買電を行わなければならない。そのため、運用方法を含めた充電、買電、余剰電力の振り分け条件が必要となる。そのため、図 1-1-5 に示すような振り分けを考えた。

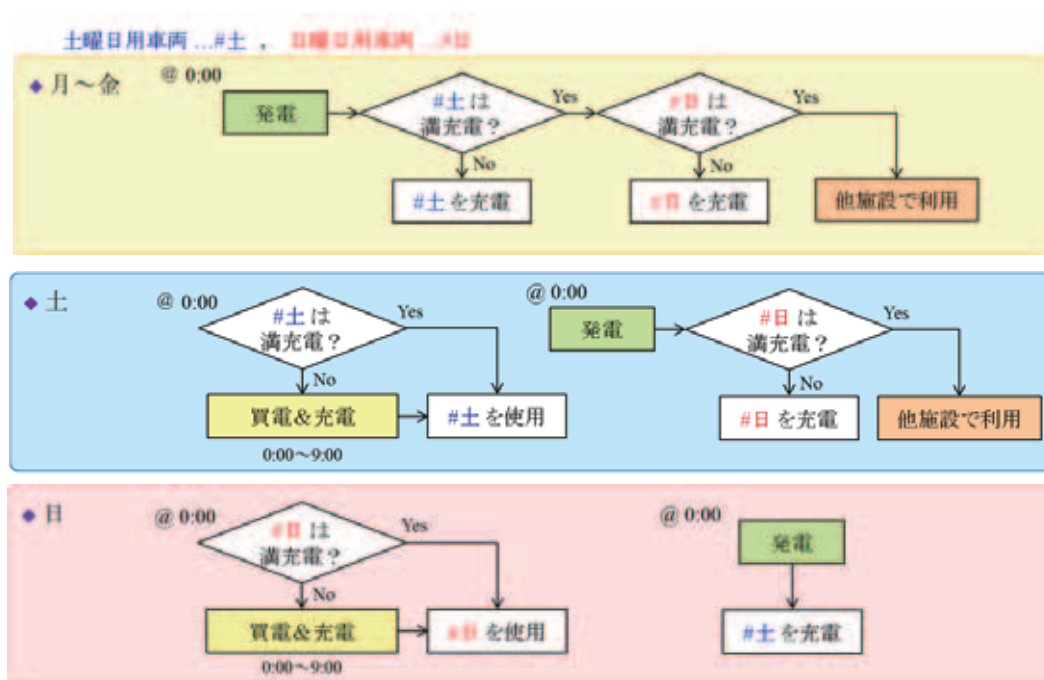


図 1-1-5 振り分け条件

(4) PV パネル面積と電力

充電電力が不足し買電を行った電力を買電電力、充電以外で使用した余剰電力を施設利用電力、充電に利用した電力を充電電力、PV パネルで発電した電力を総発電量と定義した。図 1-1-6 に PV 面積に対する各年間電力の関係について示す。総発電量は PV パネル面積に比例して大きくなるが、その内の充電電力は、バッテリーがフルとなることから飽和する。PV パネル面積が小さいと、充電時に十分な電力が発電できておらず、買電が必要となる。逆に PV パネル面積が大きいと、余剰である施設利用電力が多く発生する。買電電力と施設利用電力が一致する PV パネル面積が最もバランスが良いと考え、導入面積を約 11 m^2 とした。この時のシステム容量は約 2 kW である。車庫の屋根の設置可能面積が約 40 m^2 であるため、十分設置可能な面積だと考えられる。買電電力と施設利用電力が同時に発生しているのは、晴天が連続したことによる過剰発電により施設利用電力が発生している期間があることと、天候不順が連続したことによる充電電力量の不足による買電が発生している期間があることを示す。

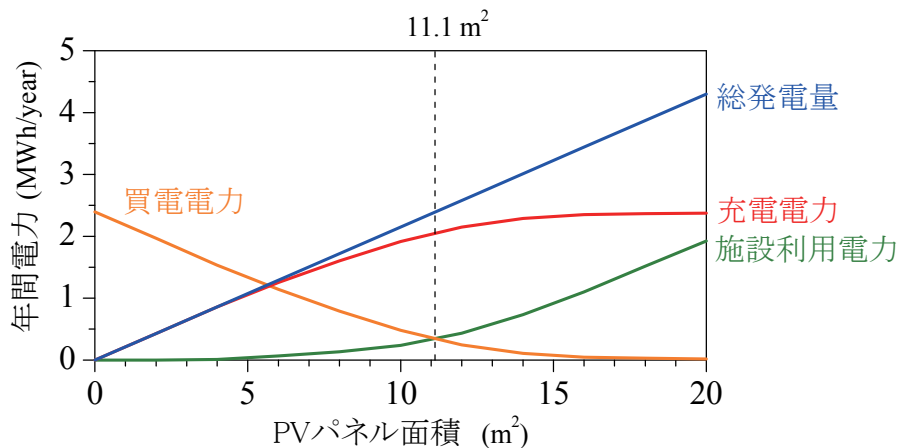


図 1-1-6 PV パネル面積に対する各電力の関係

(5) PV 導入によるメリット

図 1-1-7, 1-1-8 に, PV パネル面積に対する買電電力相当量と CO₂ 排出削減量を示す。買電電力相当量は系統から電力を購入した場合にどれほどの金額に相当するかを示し, CO₂ 排出削減量は発電時の CO₂ が PV によりどれだけ削減できたかを示し, どちらも数値が大きいほどメリットがあること示す。11 m² の PV を導入した際, 買電電力相当量は約 3 万円/年, CO₂ 排出削減量は約 1 t-CO₂/年となった。EV 充電分を考えた場合, それ以上の PV パネル面積では飽和する形となり, どちらの値もそれほど変わらない。

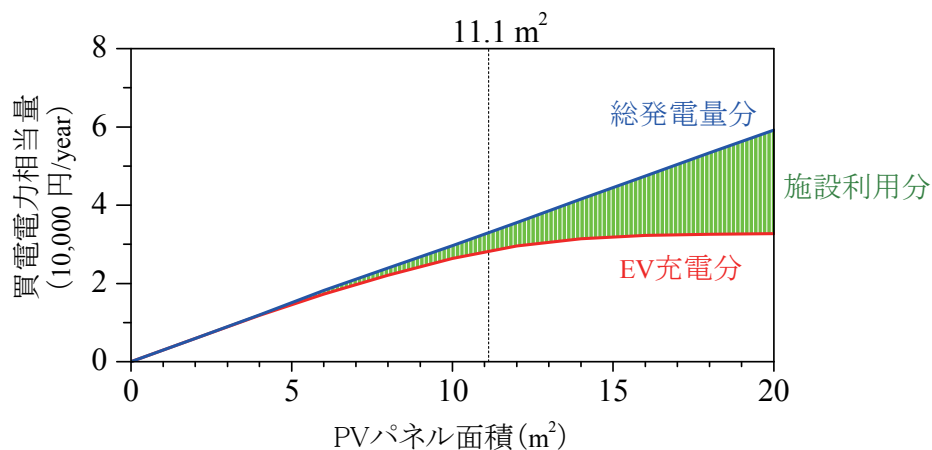


図 1-1-7 PV パネル面積に対する買電電力相当量の関係

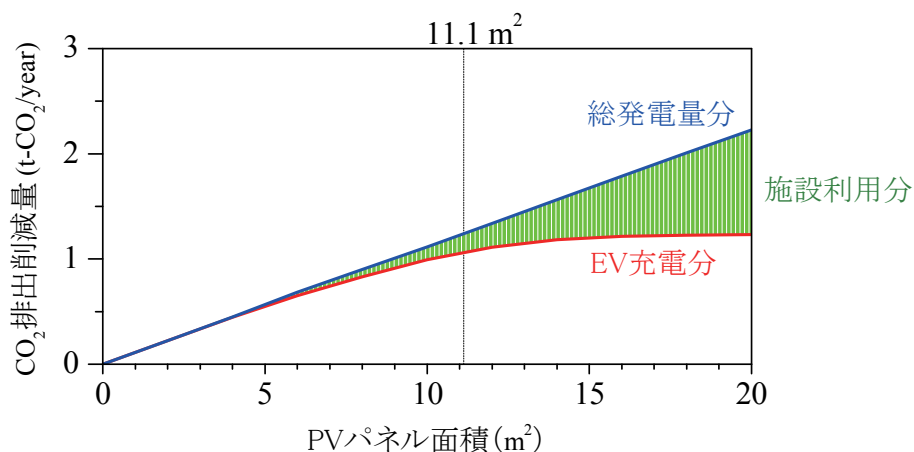


図 1-1-8 PV パネル面積に対する CO₂ 排出削減量の関係

(6) PV の導入時期

図 1-1-9 に PV のコスト推移を示す。PV の価格は現在降下傾向にある。欧州太陽光発電産業協会(EPIA) のシナリオを考慮した今後の見通しでは、2030 年頃には現在の半分程度まで価格が減少すると考えられている。今回、パネル面積が 11 m² の PV を導入するとした場合、導入年によってコスト償却年数がどれほど違うかの検討を行った。図 1-1-10 に PV を 2010 年、2020 年、2030 年とした場合のコスト削減量の推移の比較を示す。その結果、償却年はそれほど違いがないことがわかった。

豊橋市と未来ビークルシティリサーチセンターは低炭素社会の実現を目指している。早期導入により、目標へ前進として公共施設で自然エネルギーを使っていくが良いだろう。

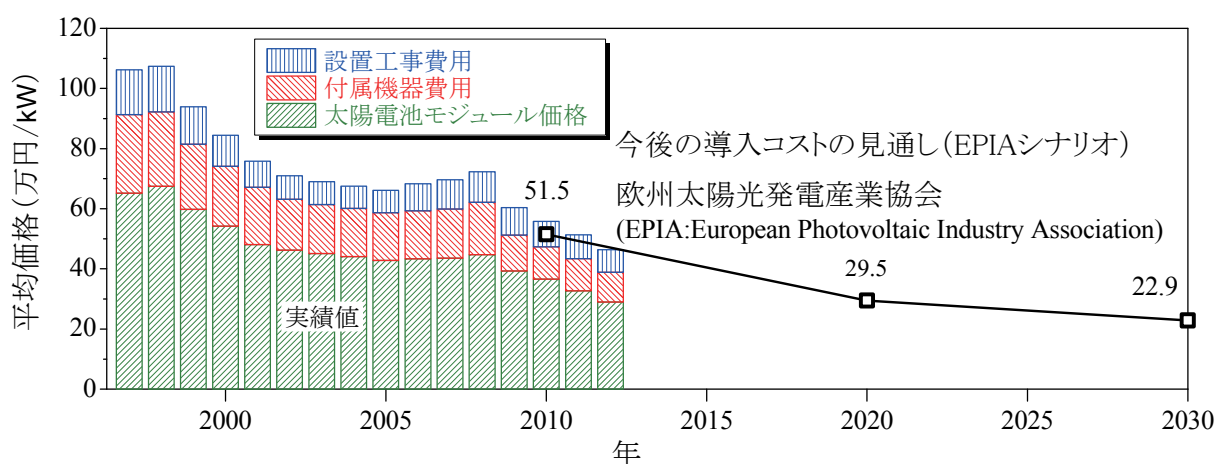


図 1-1-9 PV 導入コストの推移と今後の見通し

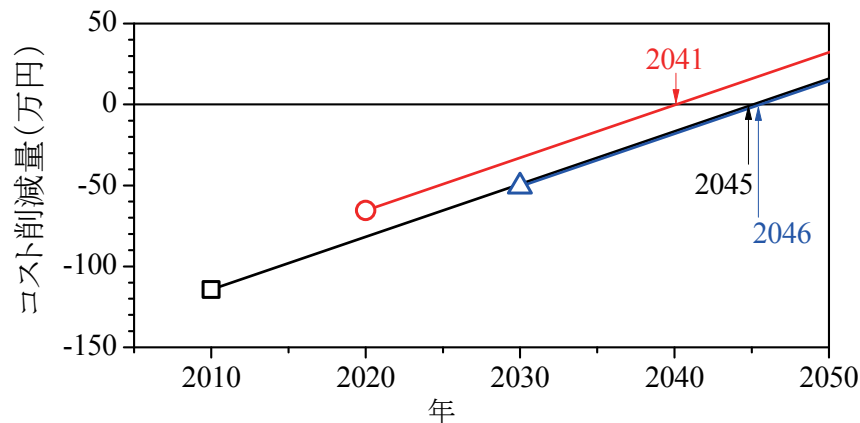


図 1-1-10 PV 導入年の違いによる償却年の違い

1-2 ゴミ収集車の EV 化の効果の検討

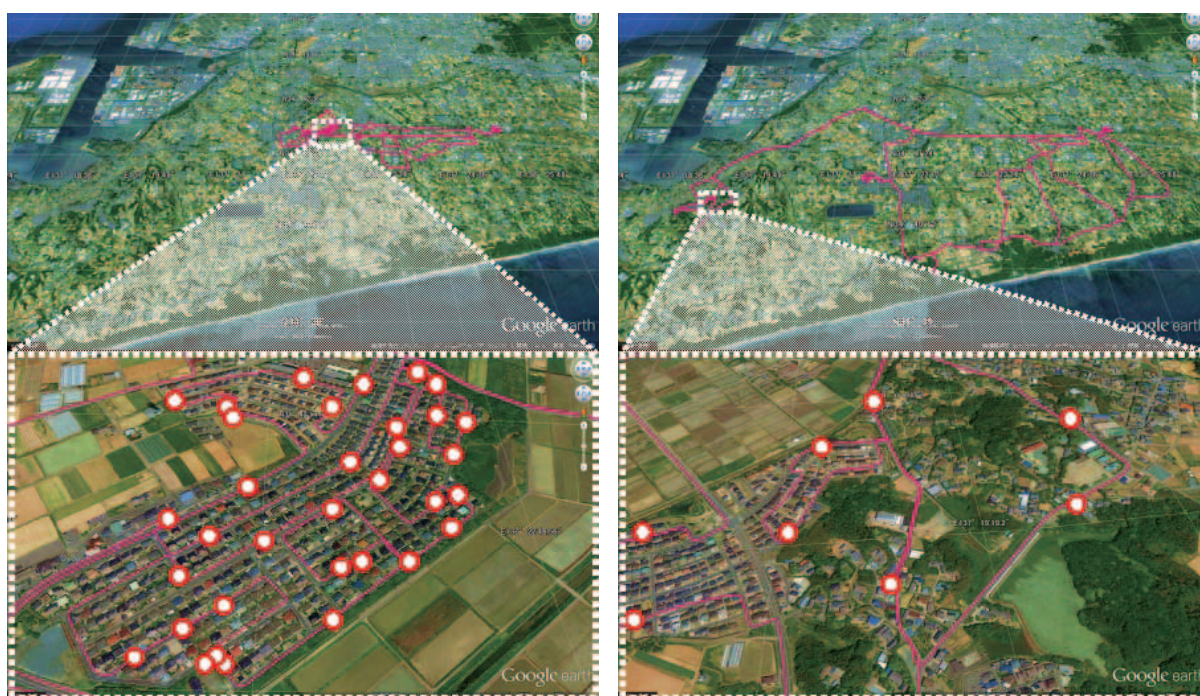
(1) これまでの研究

昨年度、愛知県豊橋市の燃えるごみの回収を担当するゴミ収集車の EV 化の検討を行った。なお、EV 化にはリチウムイオン電池を用いるとした。図 1-2-1 に燃えるごみ担当のゴミ収集車の外観を示す。燃えるごみ担当のゴミ収集車を対象とした理由は、ごみの回収量が多く、消費電力量が大きいと考えたためである。

燃えるごみ担当のゴミ収集車の内、市街担当車両と郊外担当車両の計 2 台について EV 化のメリットに違いがあるかについても検討を行った。図 1-2-2 に走行経路とゴミステーションを示す。両者を比較すると、市街担当車両の走行距離が短く、ゴミステーションの数は多く、密であった。また、EV 化後の運用方法として次の 2 つの運用方法を考えた。1 つ目は午前と午後それぞれごみ収集を通して行い、昼休みおよび終業後にまとめて充電を行う『昼・終業後充電』、2 つ目はごみ収集を行った後、センターに戻り、ごみを降ろす度に充電を行う『帰センター毎充電』である。帰センター毎充電は、充電のタイミングが多く、搭載するバッテリーの容量を少なくすることができる。バッテリーの重量も抑えられるため、昼・終業後充電の場合と比べて、走行に消費するエネルギーも少なくなる。バッテリー交換のコストも抑えられるが、充電のタイミングが多いためにバッテリーの交換サイクルが短くなる。



図 1-2-1 ゴミ収集車（燃えるごみ担当）



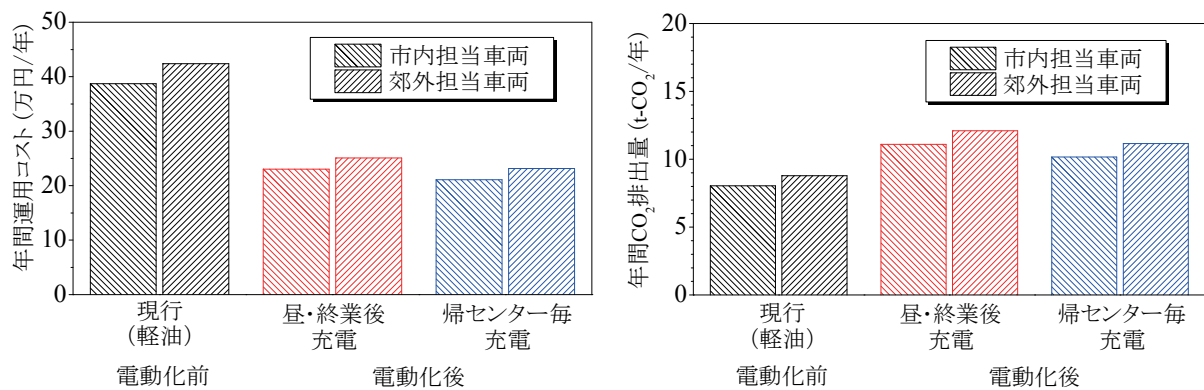
(a) 市街担当車両

(b) 郊外担当車両

図 1-2-2 ごみ収集車の走行経路とごみステーション

それぞれのごみ収集車に GPS 機器を載せた状態で実際にごみの回収を行い、ごみ収集車の速度や道路勾配を計測し、走行消費エネルギーの計算と必要バッテリー容量の算定を行った。図 1-2-3 に EV 化前と後で年間の運用コストおよび CO₂ 排出量の違いを示す。その結果、市街担当車両と郊外担当車両それぞれ、昼・終業後充電と帰センター毎充電のどちらの場合でも、EV 化により年間運用コストは削減できるが、年間 CO₂ 排出量は増加する結果となった。運用年数に対するコスト削減量を図 1-2-4 に示す。昼・終業時充電と帰センター毎充電それぞれ、9.6 年と 3.2 年でバッテリー寿命を迎え、それによるバッテリー交換費用が発生することによりコストの償却が不可能となった。

燃えるごみを担当するごみ収集車は 4t パッカー車である。車体が大きくパッカー部もあることから、車重が重く走行消費エネルギーが多い。そのため多量のバッテリーが必要となり、バッテリーが重くなることによる消費エネルギーの増加が生じ、更にバッテリー容量が必要となる負の循環が見られた。この結果から、今年度は車両重量の軽いと考えられる、危険ゴミを回収する 2t ダンプ車を対象とし、EV 化の検討を行った。



(a) 年間運用コスト比較

(b) 年間CO₂排出量比較

図 1-2-3 ごみ収集車のEV化前後の比較

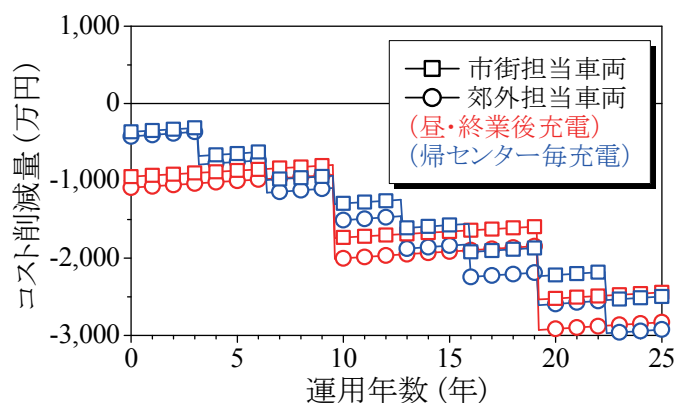


図 1-2-4 EV 導入時の運用年数に対するコスト削減量の推移

(2) 対象車両と比較

今回対象とした車両は、愛知県豊橋市の危険ごみの回収を担当するごみ収集車である。図 1-2-5 に危険ごみ担当のごみ収集車の外観を示す。車両は 2 t ダンプ車であり、荷台にはパッカーではなくコンテナが付いている。

表 1-2-1 に燃えるごみ担当のごみ収集車と危険ごみ担当のごみ収集車の比較を示す。2 t ダンプ車は 4 t パッカー車と比べて車重が半分程度であり、年間走行距離も半分以下である。2013 年 8 月 22 日から 2013 年 10 月 11 日までの木曜日と金曜日の危険ゴミを回収する日に、2 t ダンプ車に GPS 機器を載せ、ごみ収集車の速度や道路勾配の計測を行った。



図 1-2-5 ごみ収集車（危険ごみ担当）

表 1-2-1 車両比較

担当	燃えるごみ	危険ごみ
車両	4t パッカー車	2t ダンプ車
外観		
収集日	火, 金曜日	木, 金曜日
燃費 (km/L)	3.7	6.9
燃料	軽油	軽油
年間走行距離 (km)	19,000	7,200
総重量 (kg)	約 9,800	約 4,800
シャシ重量	2,900	2,630
パッカー部重量	2,800	0
最大ごみ積載量	4,000	2,000
作業員重量(2 人)	136	136

（３）運用方法と EV 化の効果

EV 化後の運用方法として次の 2 つの運用方法を考えた。1 つ目は午前と午後それぞれごみ収集を通して行い、昼休みおよび終業後にまとめて充電を行う『昼・終業後充電』、2 つ目はごみステーション毎に急速充電所を設置し、回収の度に急速充電を行う『ステーション毎充電』である。昨年度は昼・終業後充電と帰センター毎充電の 2 つとしたが、ステーション毎充電は帰センター

毎充電よりも充電回数が多く、EV の搭載バッテリー容量を少なくできると考えた。

図 1-2-6 に、年間運転コストと年間 CO₂ 排出量とを示す。また、図 1-2-7 にコスト削減量の経年変化を示す。EV 化により年間運用コスト、CO₂ 排出量共に削減できる結果となった。ごみステーション毎充電はバッテリー重量が軽くなり、走行時の消費エネルギーを抑えることができるため、どちらも昼充電パターンに比べてメリットがある結果となった。しかしながら、運用年数に対するコスト削減量を考えると、どちらの運用方法もバッテリー交換費用が影響しコスト償却ができない結果となった。

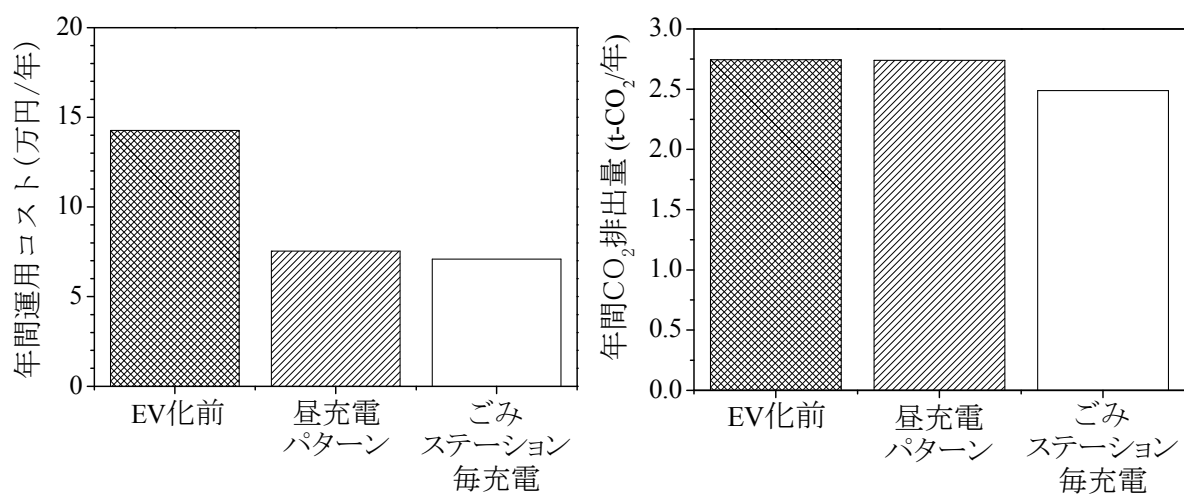


図 1-2-6 EV 化前と後の年間運用コスト、年間 CO₂ 排出量比較

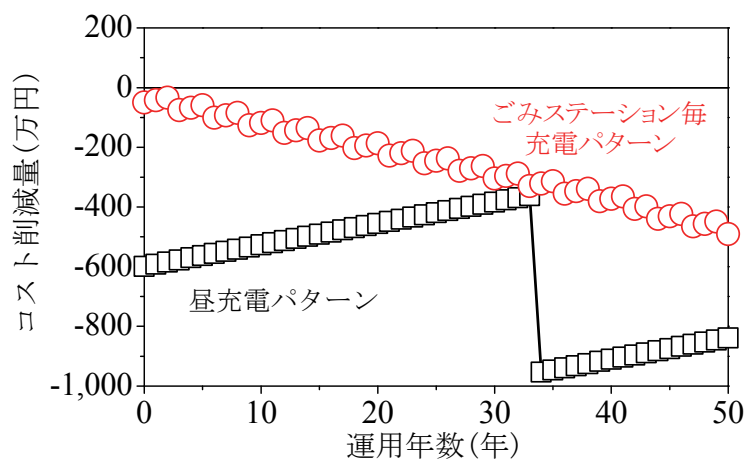


図 1-2-7 運用年数に対するコスト削減量の推移

1-3 三河港における太陽光発電導入による効果

(1) はじめに

三河港は愛知県の豊橋市、田原市、蒲郡市、豊川市にわたる港湾である。図 1-3-1 に三河港を示

す。昨年度は三河港の神野地区を対象とし、神野地区のコンテナターミナルで稼働しているストラドルキャリアについて、EV 化の検討と、電源としての PV の導入の検討を行った。その際の PV を導入する場所として神野地区の空き分譲地を考えたが、空き分譲地は神野地区以外にも存在する。今回、神野地区以外での空き分譲地に PV を導入することを考えた。

（２）御津２区と豊川浄水センター

御津２区は三河港の中の豊川市と豊橋市の堺付近にある。図 1-3-2 に御津２区の詳細を示す。御津２区には約 22 万 m²の空き分譲地がある。すぐ近くには豊川浄水センターが存在し、豊川流域の下水道を常に浄化している。今回、空き分譲地を有効活用するために PV を導入するとし、発電電力は全て豊川浄水センターで利用できると考えた場合の、PV の有用性について検討を行った。



図 1-3-1 三河港

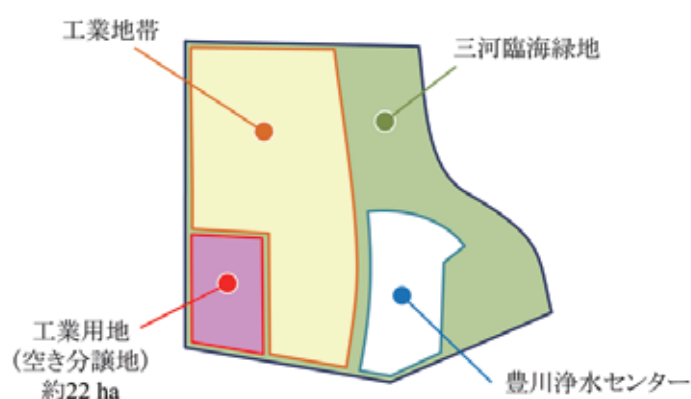


図 1-3-2 御津２区詳細

（３）PV の導入面積率と発電量

空き分譲地に対し、どれだけ PV パネルを敷き詰めることができるかの検討を行った。PV は真

南方向，設置角 15° とした。設置条件はメガソーラーたけとよを参考に，パネル面長さが縦 1.3 m × 横 1.0 m ，パネル列間距離を 1.0 m とした。土地面積に対するパネル設置範囲の面積を考えると，約 60% となった。これを考慮すると設置可能パネル面積 A は約 8 万 m^2 となる。また，式①を用いて，PV による発電電力を求めた。なお，日射量は年間時別日射量データベース（METPV-11）の値を用いた。

$$P = W_0 \times W_s \times D \times K \quad \dots \textcircled{1}$$

月間発電量： $P\text{ (kwh)}$ ， 太陽光パネル設置面積： $A\text{ (m}^2\text{)}$ ， 変換効率： $\alpha\text{ (=16\%)}$

月平均斜面日射量： $W_s\text{ (kW/m}^2 \cdot \text{day)}$ ， 月の日数： $D\text{ (day)}$ ， 総合設計係数： K

図 1-3-3 に豊川浄化センターの消費電力と PV 発電電力の月別の変化についての比較を示す。豊川浄化センターの消費電力は一年を通して横ばいなのに対し，PV 発電電力は月によって大きく異なる。これは，季節による日射量の変化が影響しているためである。浄化センターが 1 年間に約 15 GWh 消費するのにに対し，PV は約 1.4 GWh と，約 90% を賄うことができる。今回，土地面積に対するパネル設置範囲の面積を約 60% としたが，浄化センターすべての電力を賄うためには，約 70% まで高める必要がある。

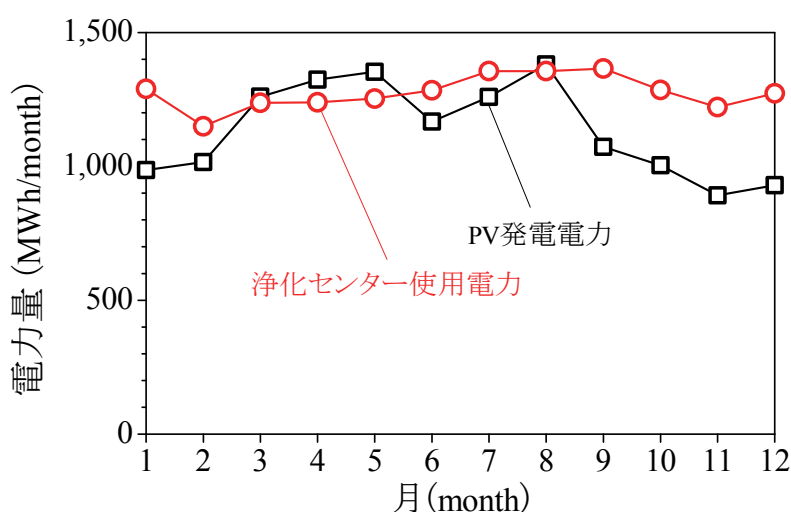


図 1-3-3 浄化センター使用電力と PV 発電量比較

1-4 ハイブリッド電源のエネルギーフロー制御の改良

(1) はじめに

電気自動車では，定期的なバッテリーの交換が必要である。電気自動車のバッテリーは大容量であり交換には多額の費用がかかるが，バッテリーの劣化を抑えることで，交換時期を延ばすことができる。交換時期を早くさせる原因であるバッテリー劣化を加速させる原因には，走行中の加速に伴

う大電流放電や、回生ブレーキ時の発電電力のバッテリーへの充電などによる充放電の繰り返しがあある。そのため、バッテリーの劣化を抑制するためには、バッテリーのピーク出力を低減させ、充放電の回数を減らせばよいと考えた。これを実現する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、エネルギーフロー制御する方法に注目した。EDLC は、二次電池に比べて高い出力密度を持ち、科学反応を経ずに電荷を直接蓄電できるため、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、現在市販されているものでは、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で搭載するためには、容量の大幅な増加が必須である。しかしながら、一時的なエネルギー供給や、回生時のエネルギー回収先としての用途には利用可能であり、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、回生のための蓄電デバイスとして、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、試作したハイブリッド電源を小型 EV に搭載し、走行試験を行い評価した。試作したハイブリッド電源は、モータの負荷電流に対して、バッテリーの供給電流を降圧コンバータで制限し、不足分をキャパシタからの電流供給を行う。そのため、加速時のような高負荷走行時には、キャパシタの蓄積電荷量が消費され、それに伴いキャパシタの電圧が大幅に減少する。その結果、十分な電流をモータに送り込めなくなる問題が見つかった。そこで、バッテリーから直接インバータへ電力供給ができる切替え回路をハイブリッド電源に付加した。電源の運用として、発進時の瞬間高負荷時にハイブリッド電源として動作する BCH（Battery-Capacitor Hybrid）モードと、電圧低下時にバッテリーから直接電力供給を行うバイパスモードとを切替えることとした。切替え回路を付加したハイブリッド電源を用いて実走行試験を行い、動作の確認を行った。登坂走行において、走行負荷は大きくなるためキャパシタの電圧が急激に減少したが、キャパシタの電圧が指定した電圧以下になった時にモードを切替えることで走行速度が低下することなく走行できた。

（３）エネルギーフロー制御の改良

これまで製作した BCH モードとバイパスモードとの切替え回路には、電圧差によってキャパシタへ電流が逆流する問題があった。そこで、ダイオードを加えて逆流の防止することにした。さらに加速中にキャパシタを最大限に生かすために、加速度に応じてバッテリーとキャパシタの供

給の割合を無段階変化させ、キャパシタの電圧の減少を制御することにした。試作した回路を図 1-4-1 に示す。供給の割合を決定するため、まず加速時の走行シミュレーションからキャパシタの電圧変動をシミュレートした。次に、加速中にキャパシタから供給がストップしないための供給割合を決定する関数を作成した。関数を用いてマイコンで制御回路を制御し、加速度に応じた供給割合の無段階変化を実現した。エネルギーフロー制御を改良したハイブリッド電源を用いて、実走行試験にて動作を確認した。本校の学内を 1 周した走行試験結果を図 1-4-2 に示す。意図しない车速の低下が見られていないことから、モータへの電流供給が途切れていないことが確認できた。また、すべての加速時において、キャパシタの出力で供給をカバーできていることから、エネルギーフローを改良できたと言える。

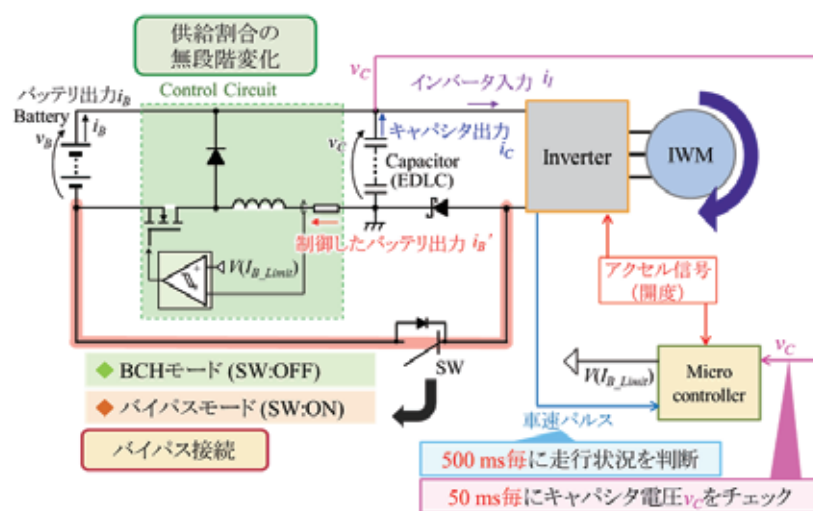


図 1-4-1 エネルギーフロー制御を改良したハイブリッド電源

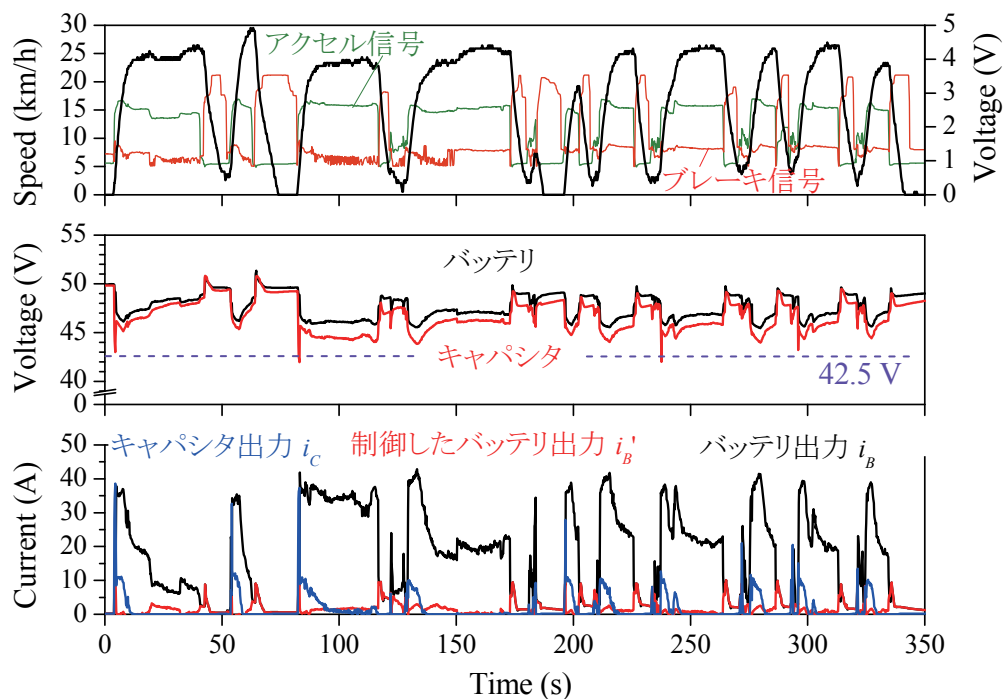


図 1-4-2 学内走行試験結果

1-5 ハイブリッド電源を用いることによる二次電池の寿命評価

(1) はじめに

バッテリーの劣化を抑制するために、これまでハイブリッド電源の製作を行い、小型 EV に乗せ走行試験を行ってきた。その結果、バッテリーの放電電流ピークを抑えることはできた。しかしながら、ハイブリッド電源によるバッテリーの長寿命化を定量的に評価することができていなかった。そこで、バッテリーとバッテリー-キャパシタハイブリッド電源に対し、図 1-5-1 に示す充放電装置を用いて、充放電を繰り返す試験を行うことで、ハイブリッド電源の寿命延長の定量的な評価を行うこととした。



図 1-5-1 二次電池充放電装置

(2) これまでの成果

充放電試験を行う際、試験対象デバイスの周辺温度が特性に影響してくる。そこで、温度を一

定に保つことを可能としたビニールルームを製作した。まず、指標となるバッテリー（リチウムイオン電池）のみでの充放電試験を行った。放電の負荷パターンを図 1-5-2 に示す。米国新型電池開発協会 (USABC) が電気自動車用電池の評価試験に提案した DST (Dynamic Stress Test)を使用し、ピーク放電電力が 150 W/kg を 100%とした。100 サイクル行い、DST パターンの放電を 10 サイクルするごとに、1 回の CC 放電で容量を測定した。この条件で試験を行ったところ、少量ではあるが 100 サイクルの充放電により容量が減少していることがわかった。

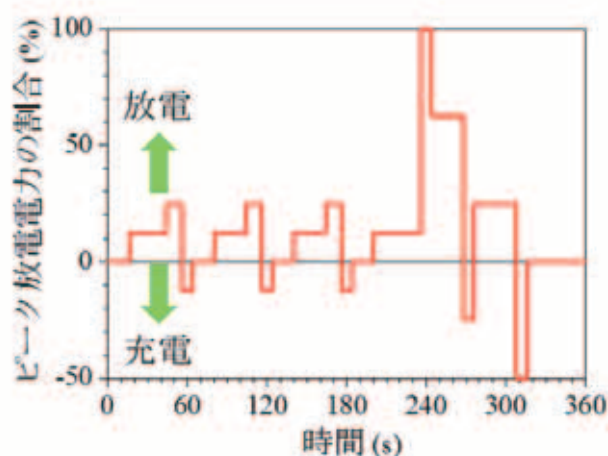


図 1-5-2 DST パターン

（３）サイクル試験結果の評価と今後の課題

これまで 100 サイクルの充放電試験を行ってきたが、容量の減少が小さいことがわかった。そこで、劣化の変化が大きく出ることを期待し、DST パターンのピーク放電電力に対し、300 W/kg が 100%になるように変更した。前回 100 サイクルの充放電を行ったバッテリーを対象に、ピーク放電電力を変更し充放電試験を続行した。結果を図 1-5-3 に示す。負荷の増加後において、目に見える劣化の加速は見られなかったが、着実に容量が減少していることが確認できた。この結果と比較を行うための試験として、本来はこのリチウムイオン電池とキャパシタを用いてハイブリッド電源の充放電試験を行う必要がある。しかしながら、試作した制御回路の動作電圧の制限からこの組み合わせでの試験が行えないことがわかった。そこで、現在は走行試験で用いている電気自動車と同様の鉛バッテリーとキャパシタを対象に充放電試験を行うための準備を行っている。

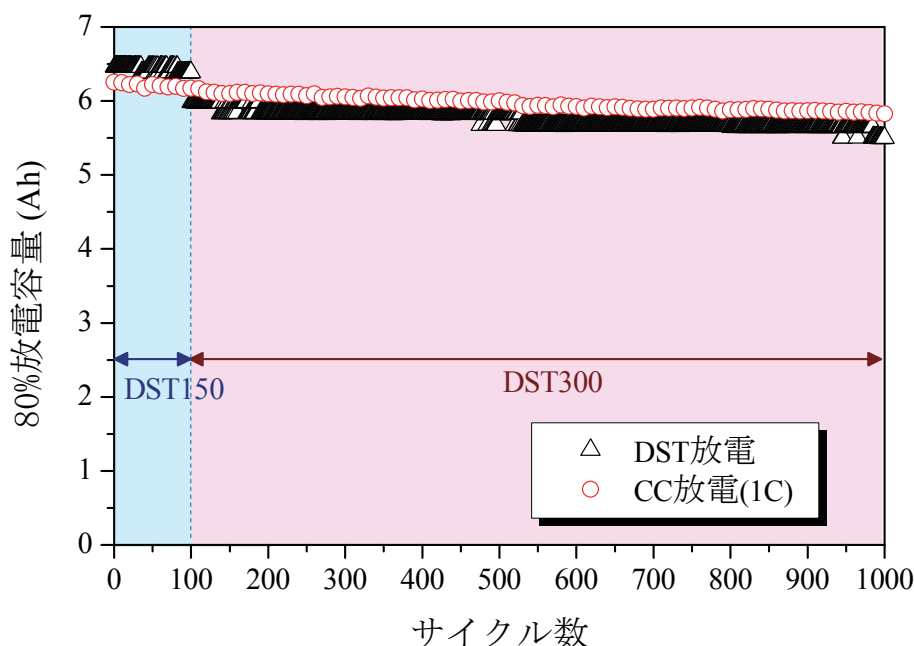


図 1-5-3 サイクル試験の結果（リチウムイオン）

1-6 WEB ページにおける全方位カメラの写真公開

（１）はじめに

本研究室では、全天カメラ（PREDE, Skyview PSV-100）を用いて、一分毎に本研究室屋上から上空の撮影を行っている。昨今、PV は一般家庭にも普及し始め、屋根の上に設置されている PV パネルがよく見られるようになった。PV の発電量は天気依存し、上空の雲の様子で発電の良し悪しを直感的に理解することができる。全天カメラで撮影した画像を Web で一般公開することで、市民への情報提供をすることができることや、天気と PV の関係性などへの関心が高まることを期待する。

（２）リアルタイムデータの公開

本研究室の Web ページに、1 時間ごとの空の写真のデータを公開した。データはリアルタイムで更新される。分光放射計で計測したデータも同時に載せることにより、上空の様子と光の関係を直感的に理解できるようにし、過去のデータも閲覧できるようにする予定である。

1-7 市民へのアピール、電気自動車を用いたイベント

（１）イベント目的

2013 年 11 月 16 日（土）にのんほいパークでのイベント「ぎかだいがやってくる～eco エネを感じよう！～」を開催した。今回のイベントは、豊橋技術科学大学の研究内容はあまり知られておらず、また地元豊橋市との交流が少ないのが現状に対して、本研究室の研究にご協力いただい

た同園内にて、もっと豊橋技術科学大学のことを知ってもらうと共に、本研究室の研究成果の発信を行うためのものである。

（２）イベント内容

イベントの内容は、EV 牽引車の試乗会と子供向けのサボニウス風車作りである。EV 牽引車の試乗会は、中央門前から噴水前までを定期的に運行した。またこの試乗会で用いた EV 牽引車は、同園で実証実験を行った際の車両である。サボニウス風車作りでは、本研究室のオープンキャンパスでも使用したサボニウス風車キットを用いて、ハサミとのかみで簡単に子供達と一緒に作った。

イベントには多数の方が足を運んでいただき、EV 牽引車の試乗会には 375 人（大人 213 人、子供 162 人）、サボニウス風車作りには 135 人（大人 50 人、子供 85 人）もの人に参加していた。



図 1-7-1 EV 牽引車試乗会の様子



図 1-7-2 サボニウス風車作りの様子



図 1-7-3 小型 EV の説明

2. 三河港田原地区における交通渋滞対策に伴う諸問題の軽減策の検討

建築・都市システム学系 教授 廣畠 康裕, 助教 松尾 幸二郎

2-1 はじめに

(1) 背景と目的

三河港田原地区における工業出荷額は、約 1 兆 5,200 円で愛知県か 5 位、全国 27 位を誇り、浜松市や北九州市などの大規模工業地帯を抱える都市と同レベルにある。しかし、国内トップ企業群の集積地域でありながら、臨港道路やそれに接続する主要国道においては慢性的な交通混雑・交通渋滞が発生しており、輸送コスト削減に取り組む企業努力では対処しきれない状況である。また、道路交通問題を抱えた企業分譲地は、他市分譲地に比べて新規立地の優位性が劣ることもあり、早期に道路基盤の改善が必要である。

そこで本研究では、現在の交通渋滞等の交通実態を把握するとともに、田原市および豊橋市において経済界を主体とする活動組織で議論されている道路基盤の改善対策の効果の検証、周辺幹線道路整備との整合に配慮した改善対策等について取り纏め、短期および中長期的な見地から三河港田原地区及びその周辺における交通渋滞緩和を図ることにより、企業誘致の推進につなげることを最終目的として調査研究を行う。

(2) 臨港道路の概要とその役割

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

(3) 交通渋滞による経済損失

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

(4) 本研究の内容と基本的な考え方

本研究では、三河港田原地区における交通渋滞対策として有効と考えられる対策案を見つけ出すために、①主要交差点における現在の交通渋滞等の交通実態の把握、②交通渋滞対策メニュー

の整理，③道路交通センサス等の交通調査データの集計・分析・加工，④対象地域における道路網のデータ化，⑤道路網整備や各種交通渋滞対策実施による効果を計測するための交通量配分シミュレーションモデル（時間帯別車種別均衡交通量配分手法）の構築を行い，最終的には，それらの成果を総動員して，⑥具体的に設定された道路整備案や交通渋滞対策案の効果を定量的に把握するものである。

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

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

2-2 三河港田原地区における道路交通実態の整理

（１）道路網の現況

三河港田原地区およびその周辺地域の道路網は図 2-2-1 に示す通りであり，これをリンク数が 1,161 本（うち，ダミーリンクが 402 本），ノード数が 808 個（うちダミーノードが 371 個）の道路ネットワークとしてモデル化した。



図 2-2-1 対象地域周辺の現況道路網

（２）既存交通調査データから見た交通の現況

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

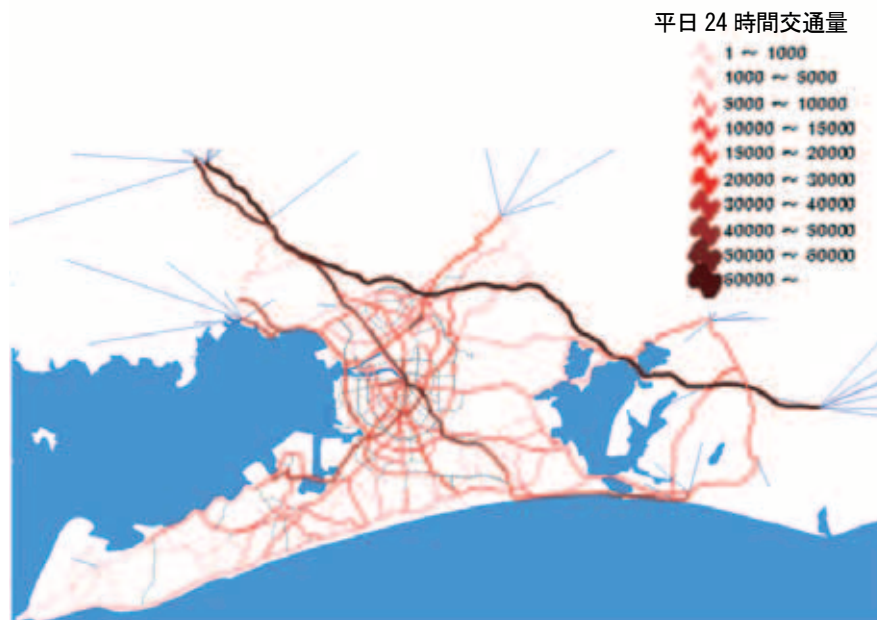


図 2-2-2 各リンクの平日 24 時間交通量（台/日；平成 17 年）

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

（３）交通実態調査の実施とその解析

①交通実態調査の概要

既存交通量調査の集計単位は最も詳細なものでも 1 時間単位であり、調査地点数も限定されている。また、単路部の道路断面における交通量調査が主であり、交差点の方向別交通量調査の実施例は少ない。そこで本研究では、空間的にも時間的にもより詳細な交通実態を把握するために新規に交通実態調査を実施した。調査は交差点の交通量調査・信号現示調査と主要区間の走行速度調査とから構成される。

交通量調査地点は、図 2-2-3 に示す三河港田原地区の主要流出入路である幹線道路（臨港道路、国道 259 号）の 10 交差点（海軍橋北、海軍橋、多門田、三河港大橋東、緑が浜、境松、大崎小北、大崎小北(北)、沖田、天津南）において実施した。調査日は、平成 24 年 10 月 30 日(火)・31 日(水)と同年 11 月 29 日(木)・30 日(金)であるが、前半の調査では海軍橋北～緑が浜の 5 交

差点において朝（6:00～8:30 の時間帯）と夕方（16:30～18:30 の時間帯）にそれぞれ実施し、後半の調査では境松～大崎小北(北)の 3 交差点において臨港道路方面への流出を把握することを主目的に朝の時間帯に、また沖田と天津南の 2 交差点において臨港道路方面からの流入を把握することを主目的に夕方の時間帯に実施した。



図 2-2-3 交通量調査の対象交差点

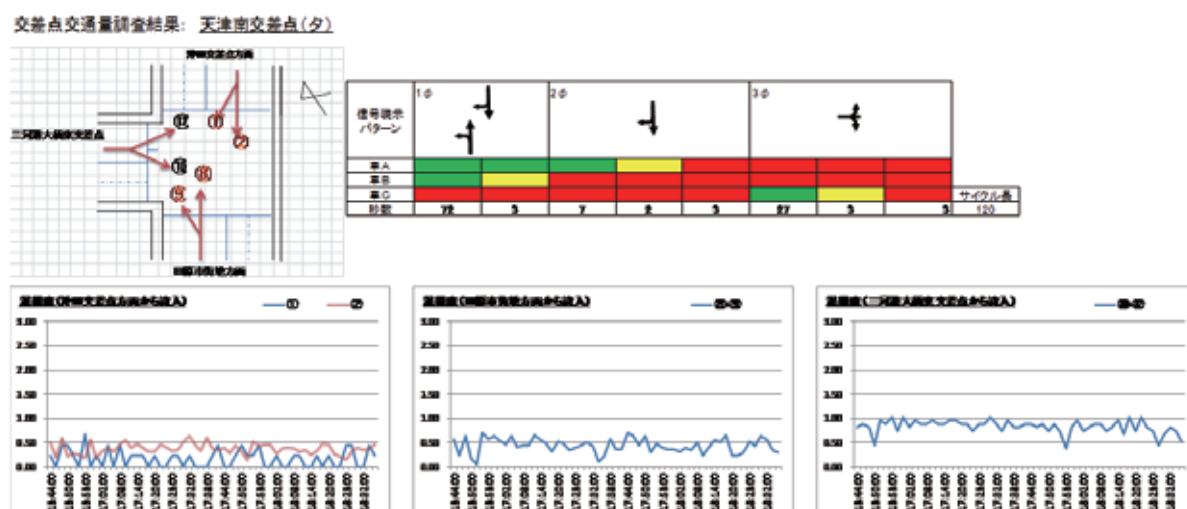
交通量は各交差点の各流入路から流出方向別に車種別に計測するものとし、調査方法としては、各交差点に 2 台のビデオカメラを設置して撮影を行い後日再生する方法を用いた。合わせて、各交差点の時間帯別の信号制御パラメータ（現示パターンと青時間長）を調べた。

走行速度調査は、交通量調査の実施時間帯に GPS 受信機能を有する試験車を走行させ、後日主要区間における時々刻々の走行速度を計算するという方法を用いた。

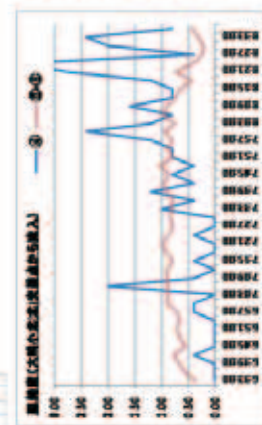
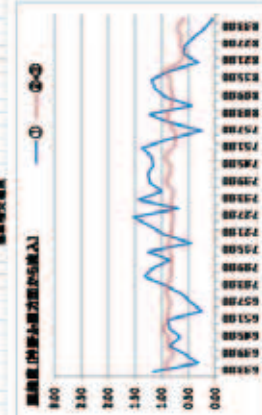
②方向別混雑度の算出結果

各交差点の方向別の信号青時間長（現示時間）は相互に異なっていることから、交通量自体では交通状況を比較することはできない。そこで、各交差点の方向別の交通容量を算出し、交通容量あたりの交通量、すなわち「混雑度」を算出することによって各交差点・各方向の交通状況を評価するものとした。方向別交通容量は、各方向別の飽和交通流率（青時間が 1 時間続くと仮定したときの最大交通量）と信号現示時間（青時間長）に基づいて算出した。このとき、矢印現示のない場合の右折に関しては、原則として黄時間を現示時間としたが、対向直進車が少ない交差点については状況に応じて右折青時間長を設定した。なお、車種の構成比率が異なれば同一の交通量であっても混雑度への影響が異なることから、交通量の算出においては大型車やバイクの台数を、乗用車換算係数（1 台の大型車やバイクがそれぞれ何台の乗用車に相当するかを表す係数）を用いて乗用車台数に換算した。

各交差点の朝・夕の時間帯における信号現示状況、それから算出された方向別の交通容量および混雑度（乗用車換算交通量／交通容量）を以下の図 2-2-4(a)～(h)に示す。これらの図より、各交差点・各方向における時刻別の混雑状況を知ることができる。ただし、この混雑度は分子が交通量であって交通需要量ではないことから、これによって交通渋滞の程度を知ることはいない。これは、交通需要量が交通容量以下の場合には観測交通量は交通需要量に等しくなるが、交通需要量が交通容量を上回り交通渋滞が発生する場合には観測交通量は交通容量に等しくなるからである。実際、大崎小北交差点に R259 境松交差点方面から流入する方向は、6:40～8:00 までの時間帯に大渋滞が発生しているが、この時間帯における混雑度は一定して 1.0 の前後の値となっている（図 2-2-4(h)）。よって、ある交差点における交通渋滞の程度を把握するためには、その交差点の交通量のみでなく、そこでの渋滞長（すなわち交通需要量－交通容量）を調査する、あるいは上流側からの流入交通量（交通需要量）を何らかの方法により推計する必要があると言える。これについては今後の課題としたい。

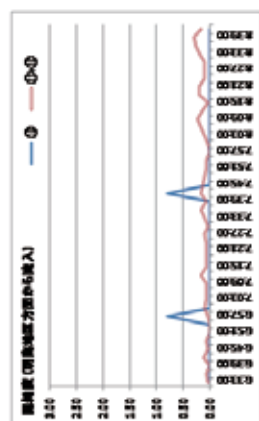
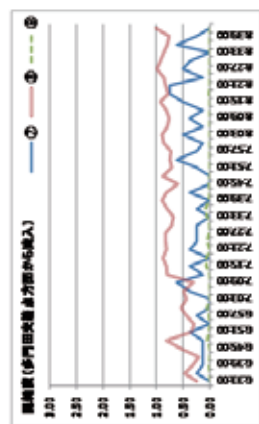
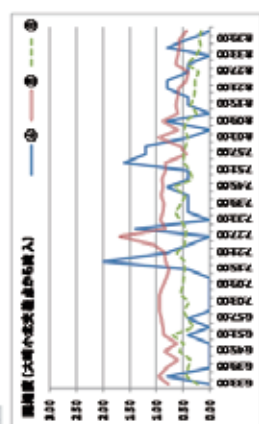
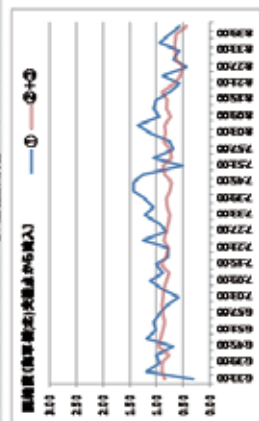
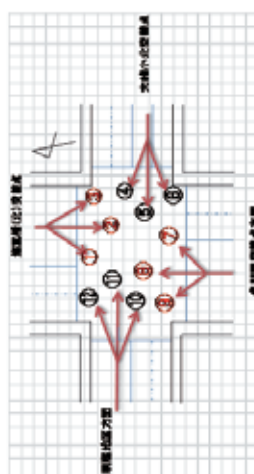


交差点交通調査結果：海軍橋(北)交差点(朝)



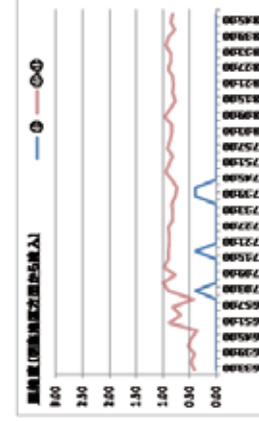
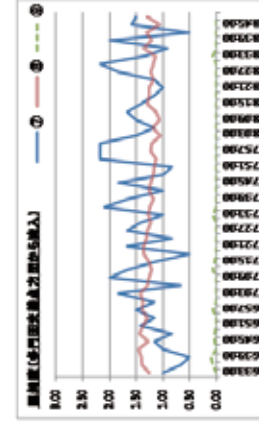
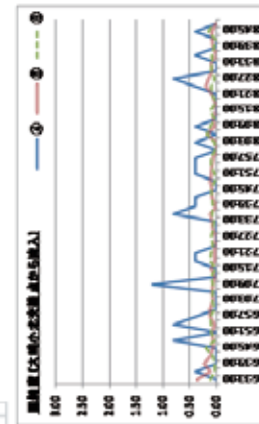
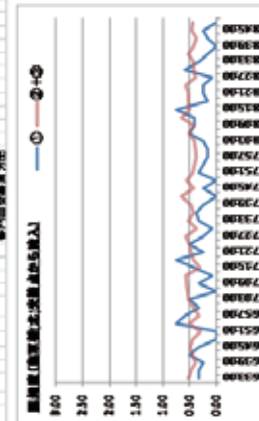
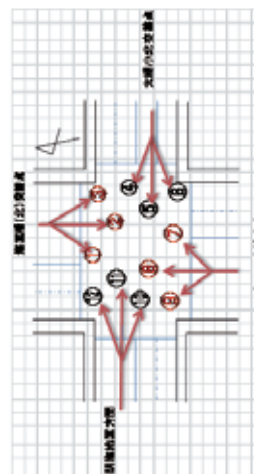
信号機 方向	1φ	2φ	3φ	4φ	5φ
直進	直進	直進	直進	直進	直進
左折	左折	左折	左折	左折	左折
右折	右折	右折	右折	右折	右折
直進・左折	直進・左折	直進・左折	直進・左折	直進・左折	直進・左折
直進・右折	直進・右折	直進・右折	直進・右折	直進・右折	直進・右折
左折・右折	左折・右折	左折・右折	左折・右折	左折・右折	左折・右折
直進・左折・右折	直進・左折・右折	直進・左折・右折	直進・左折・右折	直進・左折・右折	直進・左折・右折
直進・左折・右折・直進	直進・左折・右折・直進	直進・左折・右折・直進	直進・左折・右折・直進	直進・左折・右折・直進	直進・左折・右折・直進
直進・左折・右折・直進・直進	直進・左折・右折・直進・直進	直進・左折・右折・直進・直進	直進・左折・右折・直進・直進	直進・左折・右折・直進・直進	直進・左折・右折・直進・直進
直進・左折・右折・直進・直進・直進	直進・左折・右折・直進・直進・直進	直進・左折・右折・直進・直進・直進	直進・左折・右折・直進・直進・直進	直進・左折・右折・直進・直進・直進	直進・左折・右折・直進・直進・直進
直進・左折・右折・直進・直進・直進・直進	直進・左折・右折・直進・直進・直進・直進	直進・左折・右折・直進・直進・直進・直進	直進・左折・右折・直進・直進・直進・直進	直進・左折・右折・直進・直進・直進・直進	直進・左折・右折・直進・直進・直進・直進
直進・左折・右折・直進・直進・直進・直進・直進	直進・左折・右折・直進・直進・直進・直進・直進	直進・左折・右折・直進・直進・直進・直進・直進	直進・左折・右折・直進・直進・直進・直進・直進	直進・左折・右折・直進・直進・直進・直進・直進	直進・左折・右折・直進・直進・直進・直進・直進
直進・左折・右折・直進・直進・直進・直進・直進・直進	直進・左折・右折・直進・直進・直進・直進・直進・直進	直進・左折・右折・直進・直進・直進・直進・直進・直進	直進・左折・右折・直進・直進・直進・直進・直進・直進	直進・左折・右折・直進・直進・直進・直進・直進・直進	直進・左折・右折・直進・直進・直進・直進・直進・直進
直進・左折・右折・直進・直進・直進・直進・直進・直進・直進	直進・左折・右折・直進・直進・直進・直進・直進・直進・直進	直進・左折・右折・直進・直進・直進・直進・直進・直進・直進	直進・左折・右折・直進・直進・直進・直進・直進・直進・直進	直進・左折・右折・直進・直進・直進・直進・直進・直進・直進	直進・左折・右折・直進・直進・直進・直進・直進・直進・直進
直進・左折・右折・直進・直進・直進・直進・直進・直進・直進・直進	直進・左折・右折・直進・直進・直進・直進・直進・直進・直進・直進	直進・左折・右折・直進・直進・直進・直進・直進・直進・直進・直進	直進・左折・右折・直進・直進・直進・直進・直進・直進・直進・直進	直進・左折・右折・直進・直進・直進・直進・直進・直進・直進・直進	直進・左折・右折・直進・直進・直進・直進・直進・直進・直進・直進
直進・左折・右折・直進・直進・直進・直進・直進・直進・直進・直進・直進	直進・左折・右折・直進・直進・直進・直進・直進・直進・直進・直進・直進	直進・左折・右折・直進・直進・直進・直進・直進・直進・直進・直進・直進	直進・左折・右折・直進・直進・直進・直進・直進・直進・直進・直進・直進	直進・左折・右折・直進・直進・直進・直進・直進・直進・直進・直進・直進	直進・左折・右折・直進・直進・直進・直進・直進・直進・直進・直進・直進
直進・左折・右折・直進・直進・直進・直進・直進・直進・直進・直進・直進・直進	直進・左折・右折・直進・直進・直進・直進・直進・直進・直進・直進・直進・直進	直進・左折・右折・直進・直進・直進・直進・直進・直進・直進・直進・直進・直進	直進・左折・右折・直進・直進・直進・直進・直進・直進・直進・直進・直進・直進	直進・左折・右折・直進・直進・直進・直進・直進・直進・直進・直進・直進・直進	直進・左折・右折・直進・直進・直進・直進・直進・直進・直進・直進・直進・直進
直進・左折・右折・直進・直進・直進・直進・直進・直進・直進・直進・直進・直進・直進	直進・左折・右折・直進・直進・直進・直進・直進・直進・直進・直進・直進・直進・直進	直進・左折・右折・直進・直進・直進・直進・直進・直進・直進・直進・直進・直進・直進	直進・左折・右折・直進・直進・直進・直進・直進・直進・直進・直進・直進・直進・直進	直進・左折・右折・直進・直進・直進・直進・直進・直進・直進・直進・直進・直進・直進	直進・左折・右折・直進・直進・直進・直進・直進・直進・直進・直進・直進・直進・直進
直進・左折・右折・直進・直進・直進・直進・直進・直進・直進・直進・直進・直進・直進・直進	直進・左折・右折・直進・直進・直進・直進・直進・直進・直進・直進・直進・直進・直進・直進	直進・左折・右折・直進・直進・直進・直進・直進・直進・直進・直進・直進・直進・直進・直進	直進・左折・右折・直進・直進・直進・直進・直進・直進・直進・直進・直進・直進・直進・直進	直進・左折・右折・直進・直進・直進・直進・直進・直進・直進・直進・直進・直進・直進・直進	直進・左折・右折・直進・直進・直進・直進・直進・直進・直進・直進・直進・直進・直進・直進
直進・左折・右折・直進・直進・直進・直進・直進・直進・直進・直進・直進・直進・直進・直進・直進	直進・左折・右折・直進・直進・直進・直進・直進・直進・直進・直進・直進・直進・直進・直進・直進	直進・左折・右折・直進・直進・直進・直進・直進・直進・直進・直進・直進・直進・直進・直進・直進	直進・左折・右折・直進・直進・直進・直進・直進・直進・直進・直進・直進・直進・直進・直進・直進	直進・左折・右折・直進・直進・直進・直進・直進・直進・直進・直進・直進・直進・直進・直進・直進	直進・左折・右折・直進・直進・直進・直進・直進・直進・直進・直進・直進・直進・直進・直進・直進
直進・左折・右折・直進・直進・直進・直進・直進・直進・直進・直進・直進・直進・直進・直進・直進・直進	直進・左折・右折・直進・直進・直進・直進・直進・直進・直進・直進・直進・直進・直進・直進・直進・直進	直進・左折・右折・直進・直進・直進・直進・直進・直進・直進・直進・直進・直進・直進・直進・直進・直進	直進・左折・右折・直進・直進・直進・直進・直進・直進・直進・直進・直進・直進・直進・直進・直進・直進	直進・左折・右折・直進・直進・直進・直進・直進・直進・直進・直進・直進・直進・直進・直進・直進・直進	直進・左折・右折・直進・直進・直進・直進・直進・直進・直進・直進・直進・直進・直進・直進・直進・直進
直進・左折・右折・直進・直進・直進・直進・直進・直進・直進・直進・直進・直進・直進・直進・直進・直進・直進	直進・左折・右折・直進・直進・直進・直進・直進・直進・直進・直進・直進・直進・直進・直進・直進・直進・直進	直進・左折・右折・直進・直進・直進・直進・直進・直進・直進・直進・直進・直進・直進・直進・直進・直進・直進	直進・左折・右折・直進・直進・直進・直進・直進・直進・直進・直進・直進・直進・直進・直進・直進・直進・直進	直進・左折・右折・直進・直進・直進・直進・直進・直進・直進・直進・直進・直進・直進・直進・直進・直進・直進	直進・左折・右折・直進・直進・直進・直進・直進・直進・直進・直進・直進・直進・直進・直進・直進・直進・直進
直進・左折・右折・直進・直進・直進・直進・直進・直進・直進・直進・直進・直進・直進・直進・直進・直進・直進・直進	直進・左折・右折・直進・直進・直進・直進・直進・直進・直進・直進・直進・直進・直進・直進・直進・直進・直進・直進	直進・左折・右折・直進・直進・直進・直進・直進・直進・直進・直進・直進・直進・直進・直進・直進・直進・直進・直進	直進・左折・右折・直進・直進・直進・直進・直進・直進・直進・直進・直進・直進・直進・直進・直進・直進・直進・直進	直進・左折・右折・直進・直進・直進・直進・直進・直進・直進・直進・直進・直進・直進・直進・直進・直進・直進・直進	直進・左折・右折・直進・直進・直進・直進・直進・直進・直進・直進・直進・直進・直進・直進・直進・直進・直進・直進
直進・左折・右折・直進・直進・直進・直進・直進・直進・直進・直進・直進・直進・直進・直進・直進・直進・直進・直進・直進	直進・左折・右折・直進・直進・直進・直進・直進・直進・直進・直進・直進・直進・直進・直進・直進・直進・直進・直進・直進	直進・左折・右折・直進・直進・直進・直進・直進・直進・直進・直進・直進・直進・直進・直進・直進・直進・直進・直進・直進	直進・左折・右折・直進・直進・直進・直進・直進・直進・直進・直進・直進・直進・直進・直進・直進・直進・直進・直進・直進	直進・左折・右折・直進・直進・直進・直進・直進・直進・直進・直進・直進・直進・直進・直進・直進・直進・直進・直進・直進	直進・左折・右折・直進・直進・直進・直進・直進・直進・直進・直進・直進・直進・直進・直進・直進・直進・直進・直進・直進
直進・左折・右折・直進・直進・直進・直進・直進・直進・直進・直進・直進・直進・直進・直進・直進・直進・直進・直進・直進・直進	直進・左折・右折・直進・直進・直進・直進・直進・直進・直進・直進・直進・直進・直進・直進・直進・直進・直進・直進・直進・直進	直進・左折・右折・直進・直進・直進・直進・直進・直進・直進・直進・直進・直進・直進・直進・直進・直進・直進・直進・直進・直進	直進・左折・右折・直進・直進・直進・直進・直進・直進・直進・直進・直進・直進・直進・直進・直進・直進・直進・直進・直進・直進	直進・左折・右折・直進・直進・直進・直進・直進・直進・直進・直進・直進・直進・直進・直進・直進・直進・直進・直進・直進・直進	直進・左折・右折・直進・直進・直進・直進・直進・直進・直進・直進・直進・直進・直進・直進・直進・直進・直進・直進・直進・直進
直進・左折・右折・直進・直進・直進・直進・直進・直進・直進・直進・直進・直進・直進・直進・直進・直進・直進・直進・直進・直進・直進	直進・左折・右折・直進・直進・直進・直進・直進・直進・直進・直進・直進・直進・直進・直進・直進・直進・直進・直進・直進・直進・直進	直進・左折・右折・直進・直進・直進・直進・直進・直進・直進・直進・直進・直進・直進・直進・直進・直進・直進・直進・直進・直進・直進	直進・左折・右折・直進・直進・直進・直進・直進・直進・直進・直進・直進・直進・直進・直進・直進・直進・直進・直進・直進・直進・直進	直進・左折・右折・直進・直進・直進・直進・直進・直進・直進・直進・直進・直進・直進・直進・直進・直進・直進・直進・直進・直進・直進	直進・左折・右折・直進・直進・直進・直進・直進・直進・直進・直進・直進・直進・直進・直進・直進・直進・直進・直進・直進・直進・直進
直進・左折・右折・直進	直進・左折・右折・直進	直進・左折・右折・直進	直進・左折・右折・直進	直進・左折・右折・直進	直進・左折・右折・直進
直進・左折・右折・直進	直進・左折・右折・直進	直進・左折・右折・直進	直進・左折・右折・直進	直進・左折・右折・直進	直進・左折・右折・直進
直進・左折・右折・直進	直進・左折・右折・直進	直進・左折・右折・直進	直進・左折・右折・直進	直進・左折・右折・直進	直進・左折・右折・直進
直進・左折・右折・直進	直進・左折・右折・直進	直進・左折・右折・直進	直進・左折・右折・直進	直進・左折・右折・直進	直進・左折・右折・直進
直進・左折・右折・直進	直進・左折・右折・直進	直進・左折・右折・直進	直進・左折・右折・直進	直進・左折・右折・直進	直進・左折・右折・直進
直進・左折・右折・直進	直進・左折・右折・直進	直進・左折・右折・直進	直進・左折・右折・直進	直進・左折・右折・直進	直進・左折・右折・直進
直進・左折・右折・直進	直進・左折・右折・直進	直進・左折・右折・直進	直進・左折・右折・直進	直進・左折・右折・直進	直進・左折・右折・直進
直進・左折・右折・直進	直進・左折・右折・直進	直進・左折・右折・直進	直進・左折・右折・直進	直進・左折・右折・直進	直進・左折・右折・直進
直進・左折・右折・直進	直進・左折・右折・直進	直進・左折・右折・直進	直進・左折・右折・直進	直進・左折・右折・直進	直進・左折・右折・直進
直進・左折・右折・直進	直進・左折・右折・直進	直進・左折・右折・直進	直進・左折・右折・直進	直進・左折・右折・直進	直進・左折・右折・直進
直進・左折・右折・直進	直進・左折・右折・直進	直進・左折・右折・直進	直進・左折・右折・直進	直進・左折・右折・直進	直進・左折・右折・直進
直進・左折・右折・直進	直進・左折・右折・直進	直進・左折・右折・直進	直進・左折・右折・直進	直進・左折・右折・直進	直進・左折・右折・直進
直進・左折・右折・直進	直進・左折・右折・直進	直進・左折・右折・直進	直進・左折・右折・直進	直進・左折・右折・直進	

交差点交通調査結果：遊軍橋交差点(朝)



1 歩	2 歩	3 歩	4 歩	5 歩	6 歩	7 歩	8 歩	9 歩	10 歩	11 歩	12 歩	13 歩	14 歩	15 歩	16 歩	17 歩	18 歩	19 歩	20 歩	21 歩	22 歩	23 歩	24 歩	25 歩	26 歩	27 歩	28 歩	29 歩	30 歩	31 歩	32 歩	33 歩	34 歩	35 歩	36 歩	37 歩	38 歩	39 歩	40 歩	41 歩	42 歩	43 歩	44 歩	45 歩	46 歩	47 歩	48 歩	49 歩	50 歩	51 歩	52 歩	53 歩	54 歩	55 歩	56 歩	57 歩	58 歩	59 歩	60 歩	61 歩	62 歩	63 歩	64 歩	65 歩	66 歩	67 歩	68 歩	69 歩	70 歩	71 歩	72 歩	73 歩	74 歩	75 歩	76 歩	77 歩	78 歩	79 歩	80 歩	81 歩	82 歩	83 歩	84 歩	85 歩	86 歩	87 歩	88 歩	89 歩	90 歩	91 歩	92 歩	93 歩	94 歩	95 歩	96 歩	97 歩	98 歩	99 歩	100 歩
1 歩	2 歩	3 歩	4 歩	5 歩	6 歩	7 歩	8 歩	9 歩	10 歩	11 歩	12 歩	13 歩	14 歩	15 歩	16 歩	17 歩	18 歩	19 歩	20 歩	21 歩	22 歩	23 歩	24 歩	25 歩	26 歩	27 歩	28 歩	29 歩	30 歩	31 歩	32 歩	33 歩	34 歩	35 歩	36 歩	37 歩	38 歩	39 歩	40 歩	41 歩	42 歩	43 歩	44 歩	45 歩	46 歩	47 歩	48 歩	49 歩	50 歩	51 歩	52 歩	53 歩	54 歩	55 歩	56 歩	57 歩	58 歩	59 歩	60 歩	61 歩	62 歩	63 歩	64 歩	65 歩	66 歩	67 歩	68 歩	69 歩	70 歩	71 歩	72 歩	73 歩	74 歩	75 歩	76 歩	77 歩	78 歩	79 歩	80 歩	81 歩	82 歩	83 歩	84 歩	85 歩	86 歩	87 歩	88 歩	89 歩	90 歩	91 歩	92 歩	93 歩	94 歩	95 歩	96 歩	97 歩	98 歩	99 歩	100 歩

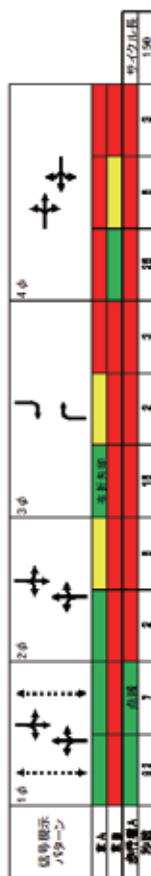
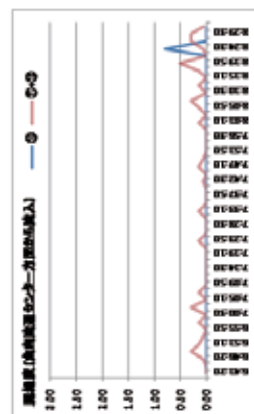
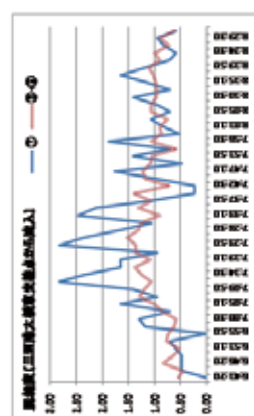
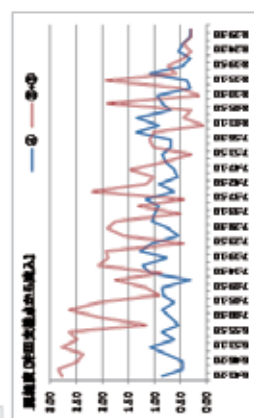
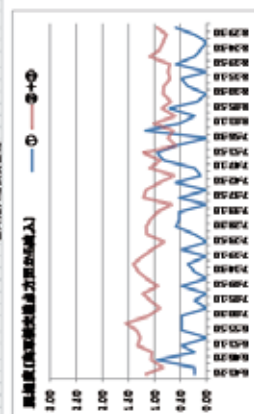
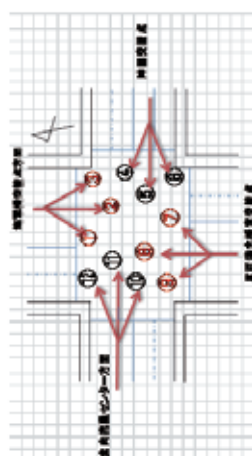
交差点交通調査結果：遊軍橋交差点(夕)



1 歩	2 歩	3 歩	4 歩	5 歩	6 歩	7 歩	8 歩	9 歩	10 歩	11 歩	12 歩	13 歩	14 歩	15 歩	16 歩	17 歩	18 歩	19 歩	20 歩	21 歩	22 歩	23 歩	24 歩	25 歩	26 歩	27 歩	28 歩	29 歩	30 歩	31 歩	32 歩	33 歩	34 歩	35 歩	36 歩	37 歩	38 歩	39 歩	40 歩	41 歩	42 歩	43 歩	44 歩	45 歩	46 歩	47 歩	48 歩	49 歩	50 歩	51 歩	52 歩	53 歩	54 歩	55 歩	56 歩	57 歩	58 歩	59 歩	60 歩	61 歩	62 歩	63 歩	64 歩	65 歩	66 歩	67 歩	68 歩	69 歩	70 歩	71 歩	72 歩	73 歩	74 歩	75 歩	76 歩	77 歩	78 歩	79 歩	80 歩	81 歩	82 歩	83 歩	84 歩	85 歩	86 歩	87 歩	88 歩	89 歩	90 歩	91 歩	92 歩	93 歩	94 歩	95 歩	96 歩	97 歩	98 歩	99 歩	100 歩
1 歩	2 歩	3 歩	4 歩	5 歩	6 歩	7 歩	8 歩	9 歩	10 歩	11 歩	12 歩	13 歩	14 歩	15 歩	16 歩	17 歩	18 歩	19 歩	20 歩	21 歩	22 歩	23 歩	24 歩	25 歩	26 歩	27 歩	28 歩	29 歩	30 歩	31 歩	32 歩	33 歩	34 歩	35 歩	36 歩	37 歩	38 歩	39 歩	40 歩	41 歩	42 歩	43 歩	44 歩	45 歩	46 歩	47 歩	48 歩	49 歩	50 歩	51 歩	52 歩	53 歩	54 歩	55 歩	56 歩	57 歩	58 歩	59 歩	60 歩	61 歩	62 歩	63 歩	64 歩	65 歩	66 歩	67 歩	68 歩	69 歩	70 歩	71 歩	72 歩	73 歩	74 歩	75 歩	76 歩	77 歩	78 歩	79 歩	80 歩	81 歩	82 歩	83 歩	84 歩	85 歩	86 歩	87 歩	88 歩	89 歩	90 歩	91 歩	92 歩	93 歩	94 歩	95 歩	96 歩	97 歩	98 歩	99 歩	100 歩

図 2-2-4(c) 海軍橋交差点 (朝・夕) の混雑度

交差点交通調査結果：多門田交差点(朝)



交差点交通調査結果：多門田交差点(夕)

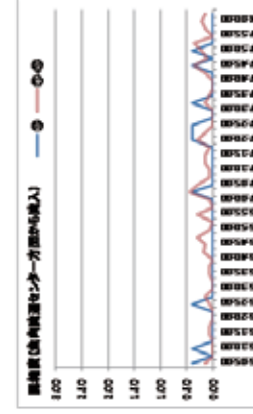
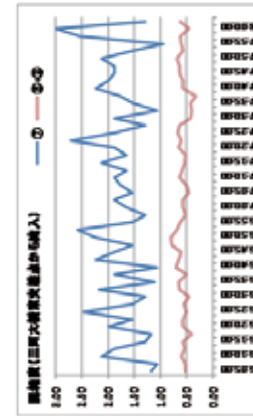
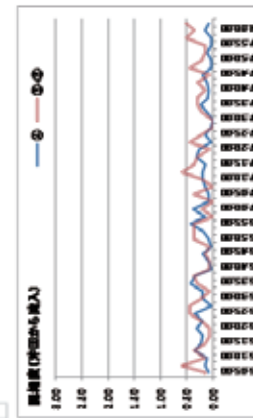
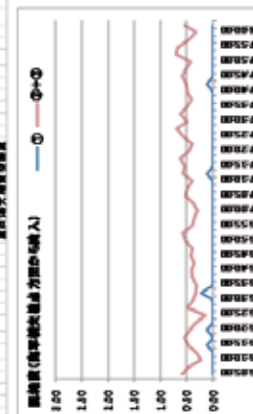
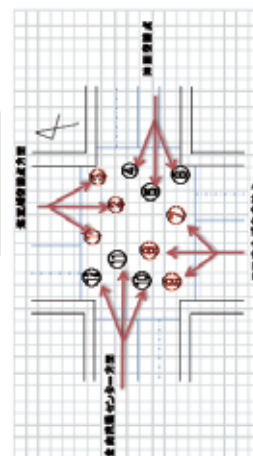
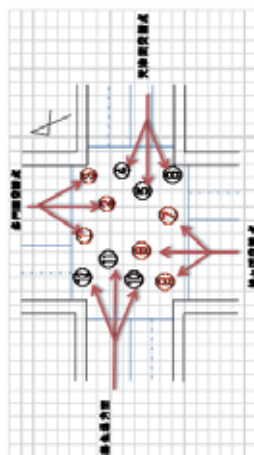
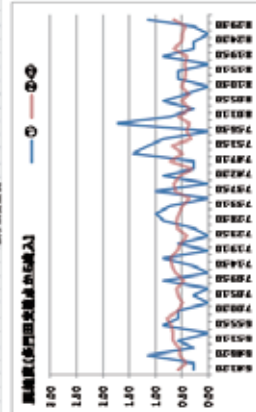


図 2-2-4(d) 多門田交差点 (朝・夕) の混雑度

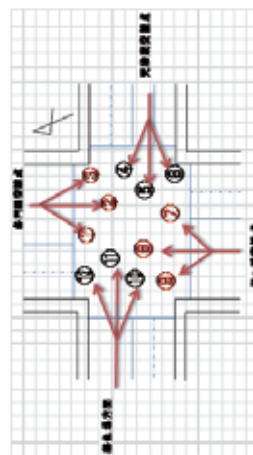
交差点交通量調査結果：三河港大橋重要交差点(朝)



三河港大橋重要交差点(朝)



交差点交通量調査結果：三河港大橋重要交差点(夕)



三河港大橋重要交差点(夕)

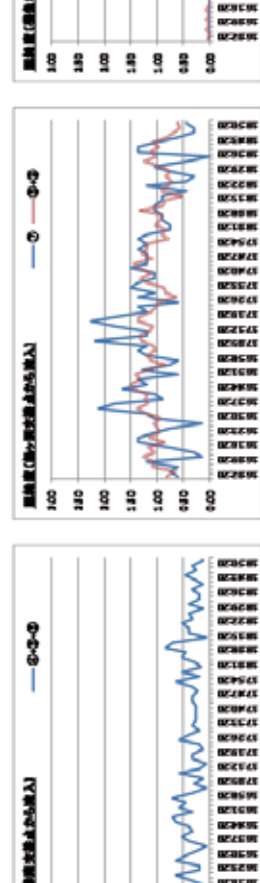
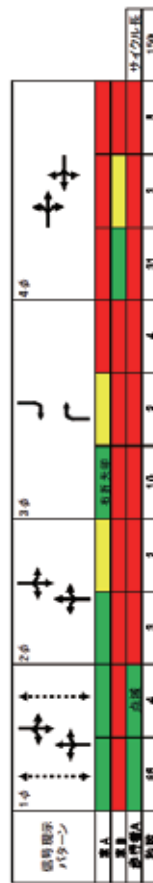
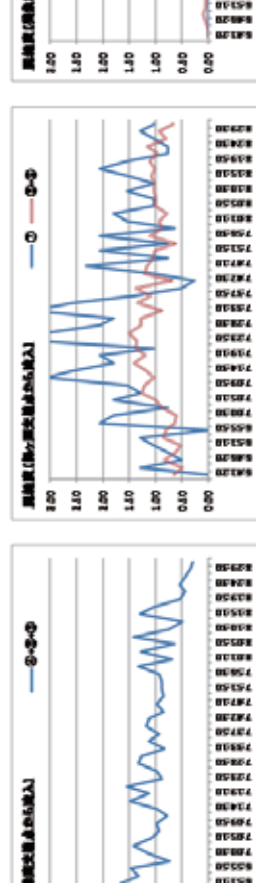
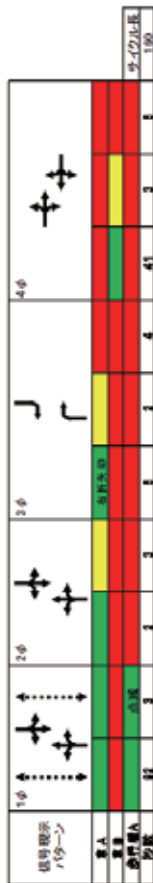
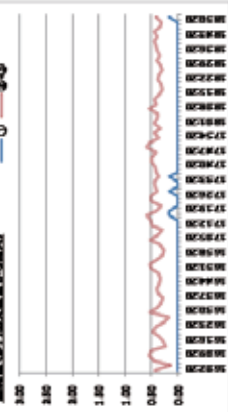
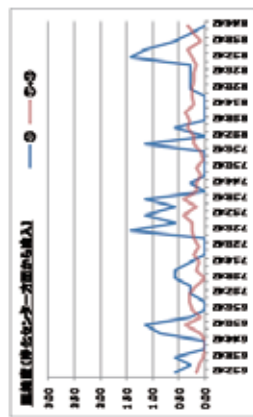
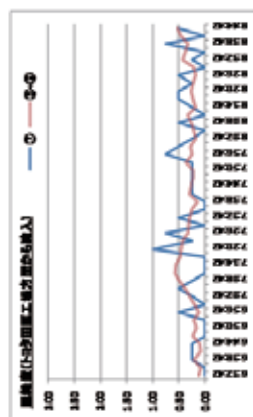
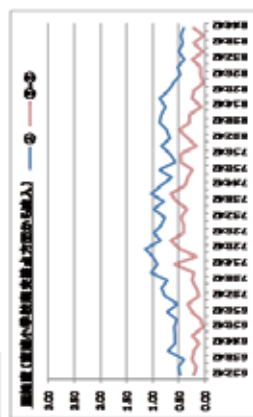
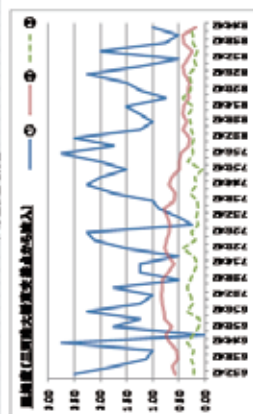
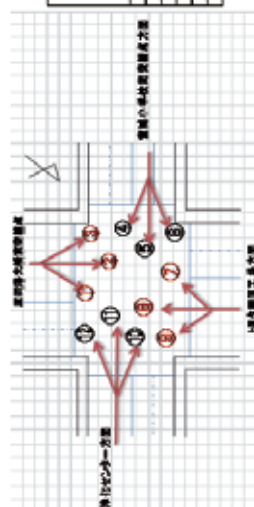


図 2-2-4(e) 三河港大橋交差点 (朝・夕) の混雑度

交通点交通量調査結果：緑ヶ浜交差点(朝)



交通点交通量調査結果：緑ヶ浜交差点(夕)

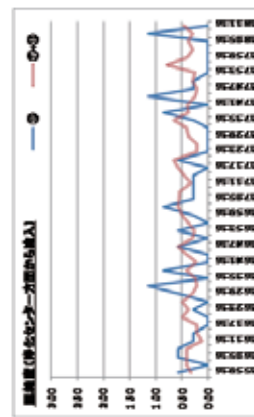
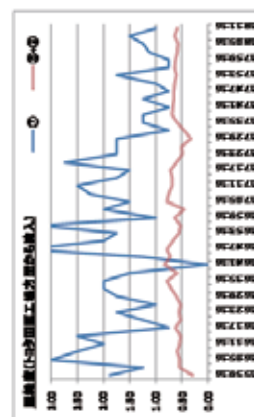
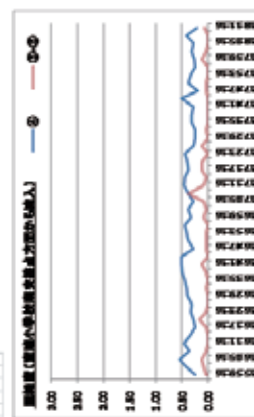
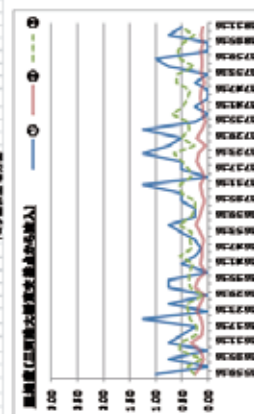
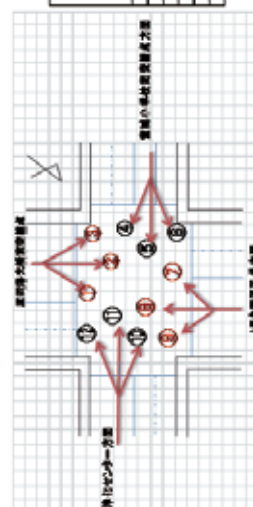
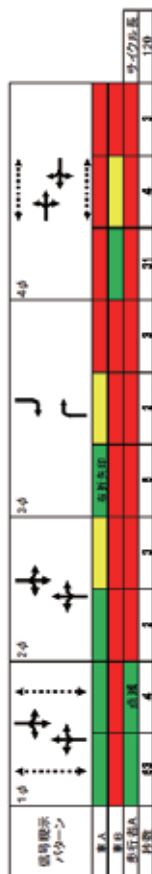
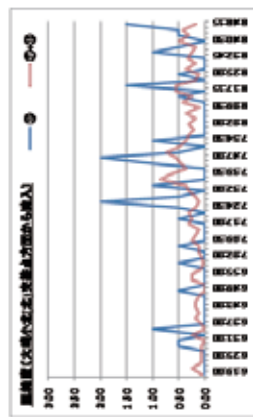
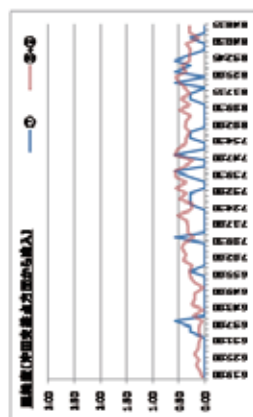
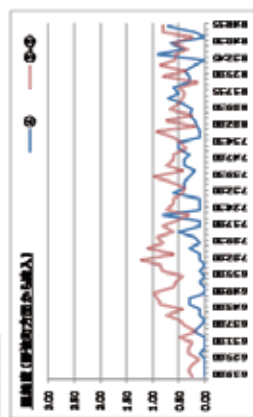
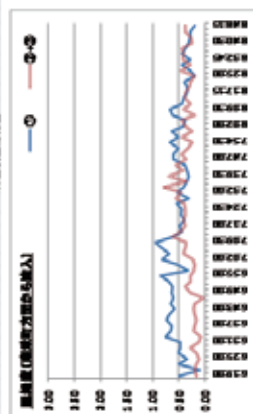
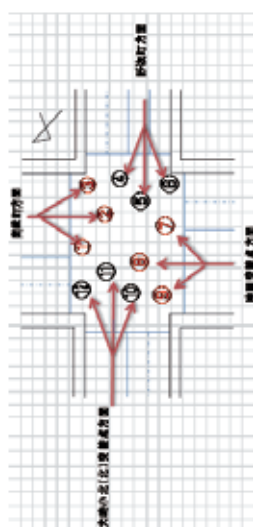


図 2-2-4(f) 緑ヶ浜交差点 (朝・夕) の混雑度

交通点交通調査結果：植田町境松交差点(朝)



交通点交通調査結果：大崎小北(北)交差点(朝)

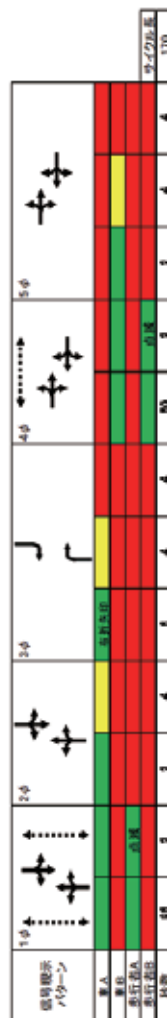
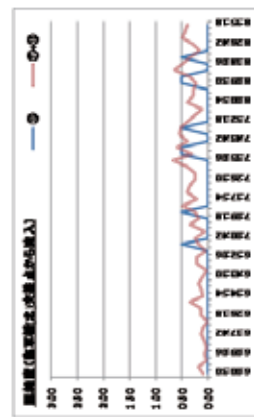
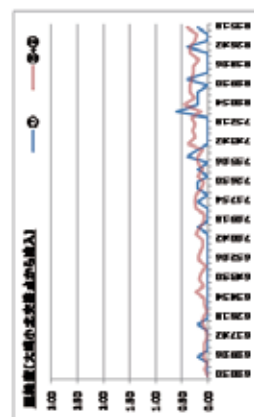
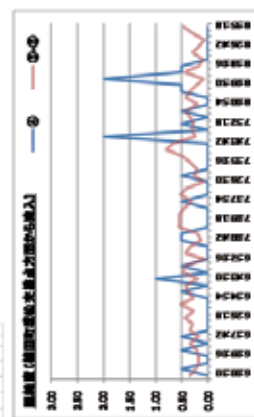
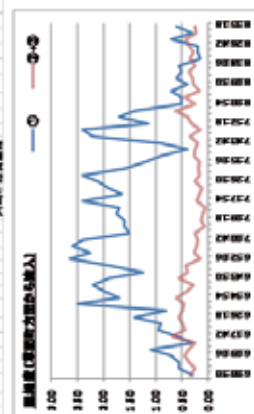
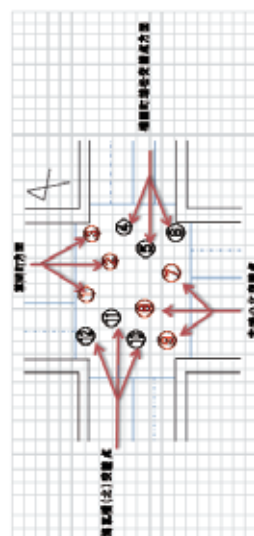
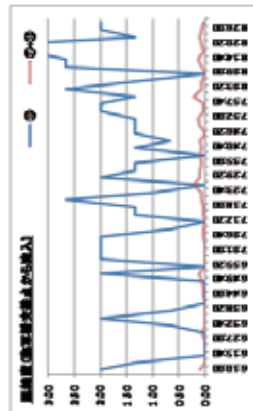
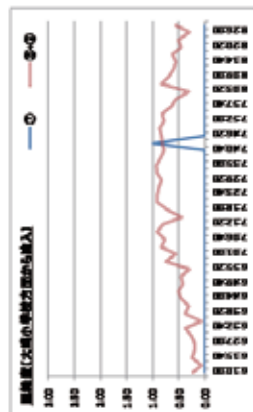
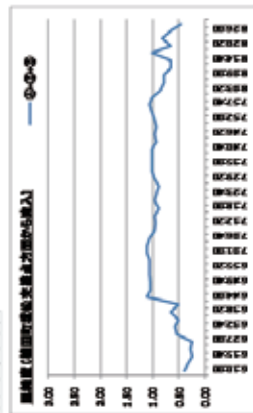
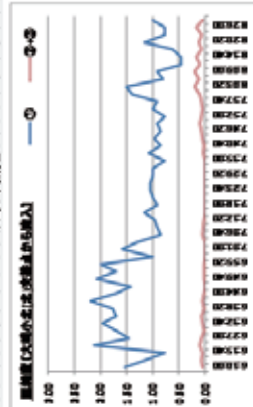
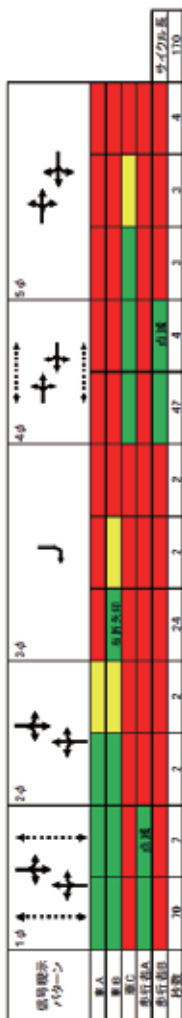
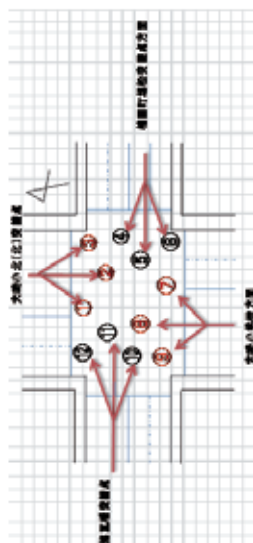


図 2-2-4(g) 植田町境松交差点 (朝)・大崎小北 (北) 交差点 (朝) の混雑度

交差点交通量調査結果：太田小北交差点(朝)



交差点交通量調査結果：沖田交差点(夕)

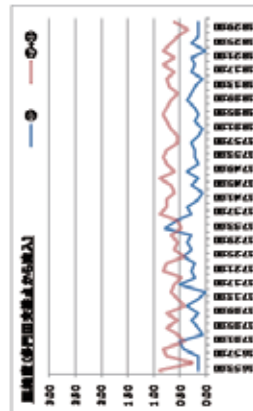
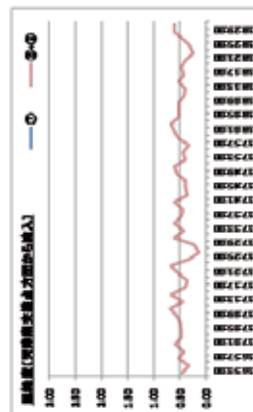
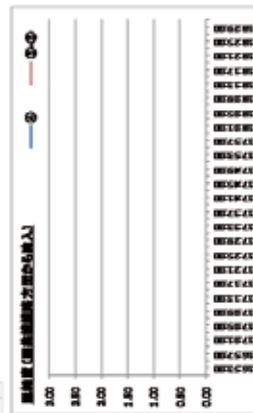
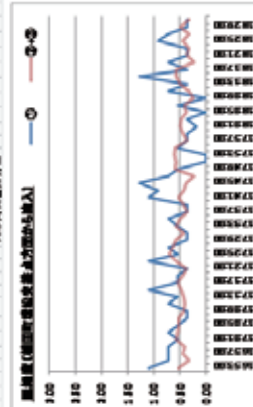
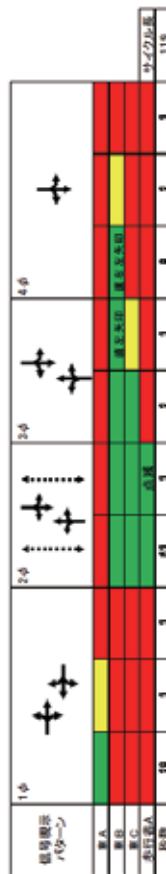
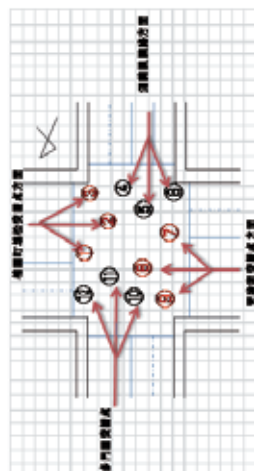


図 2-2-4 (h) 大崎小北交差点 (朝)・沖田交差点 (夕) の混雑度

（４）対象地域における交通需要の実態

本研究では、企業の従業員の居住地分布から通勤実態を把握するとともに、平成 17 年度の道路交通センサスの自動車起終点調査（OD 調査）結果のデータを用いて、対象地域及びその周辺地域における B ゾーン別の車種別発生集中交通量、三河港田原地区に発着する自動車交通の起終点分布、発生集中時刻分布等の実態を把握した。その詳細については、昨年度の報告書を参照されたい。

２－３ 立地企業等による渋滞対策の提案内容

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

２－４ 三河港田原地区周辺の幹線道路網整備による効果の試算

（１）道路網整備計画案の概要

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

- ・ R259 延伸と関連道路
- ・ R23 蒲郡バイパス（東三河環状線 IC まで）
- ・ R23 豊橋東バイパス
- ・ R23 バイパス 4 車線化
- ・ 東三河環状線
- ・ その他（豊橋都市計画道路：一色高洲線、外郭線、前田豊川線、下地牛川線など）

（２）道路網整備による効果の試算方法

道路網整備の効果計測の方法として、本研究では図 2-4-1 に示す作業フローに従った交通量配分を主体とした方法を用いている。このために、対象地域の設定・ゾーニング、詳細 OD

表の作成，交通量配分手法と効果計測指標の選定を行っている。それぞれの内容は以下に述べる通りである。

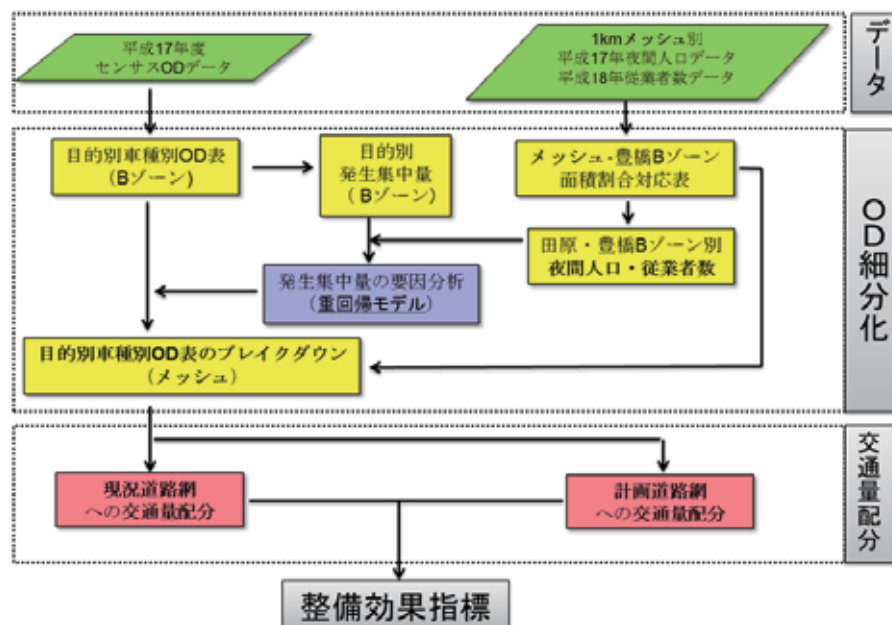


図 2-4-1 交通量配分に基づく効果計測の作業フロー

①対象地域の設定・ゾーニング

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

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

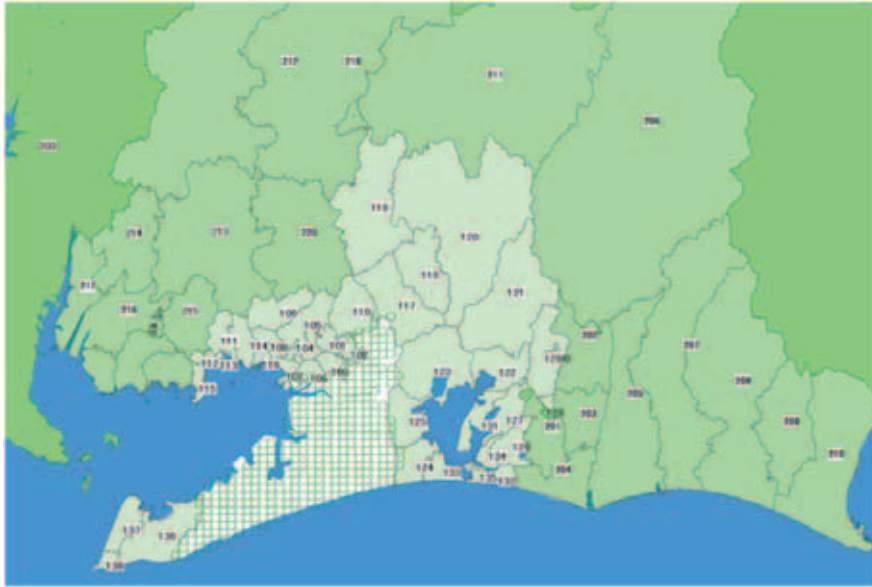


図 2-4-2 本研究における地域ゾーニング

②詳細 OD 表の作成

本研究では分析対象地域については詳細ゾーニングとしているため、B ゾーンレベルの OD 表を細分化する必要がある。この細分化を合理的に行うため、本研究では、まず夜間人口と従業者数を説明変数とする B ゾーンレベルでの交通目的別発生集中交通量に関する重回帰モデルを構築しておき、これをメッシュレベルに適用することによりメッシュレベルでの発生集中交通量を推定することを通じて、B ゾーンレベルでの OD 表をメッシュレベルの OD 表に細分化する方法を用いた。

③交通量配分手法と効果計測指標の選定

本研究では、対象道路ネットワークに 1 日単位の車種別 OD 表を静的に配分する手法、および 1 時間単位の車種別 OD 表を準動的に配分する手法の 2 つを用いた。交通量配分は時間帯別利用者均衡配分の考え方に従うものとしたが、解法としてはその近似解法としての分割配分法を用いるものとした。なお、ドライバーの経路選択は一般化時間に基づくものとし、有料道路リンクの一般化時間はその料金を時間価値で除したものを所要時間に加えることによって求めるものとした。また、混雑による所要時間の増大については、リンク所要時間が混雑度（＝交通量／交通容量）の指数関数として与えられる BPR 型パフォーマンス関数によって考慮した。

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

以下では、時間帯別配分に基づく検討結果を中心に述べる。静的配分による道路整備効果の試算結果の詳細については、昨年度の報告書を参照されたい。

(3) 時間帯別配分による道路網整備効果の試算結果

①時間帯別均衡交通量配分手法の概要

静的交通量配分は、1日の交通流状態が定常であると仮定して平均的な日交通量を算出するものである。しかしながら、実際の交通現象は1日の中で時間的に変動していることから、交通流の定常性を日単位で仮定することは適切であるとは言えない。特に交通渋滞は特定の時間帯に発生するという動的な性質を有していることから、交通渋滞対策の検討に際しては、交通流を動的に取り扱うことが不可欠である。そのような手法のうち、比較の実務に適用しやすい手法が時間帯別均衡配分手法である。これは、1日をいくつかの時間帯に分割し、時間帯間では異なる交通流状態が出現するが各時間帯の中では交通状態が定常であると仮定して、時間帯別OD表を均衡配分するものである。この手法においては、1日の連続した時間の中の交通流を時間帯単位で区切って取り扱うため、下記時間帯の終わりの時刻に残留交通量が発生することになるが、これは当該時間帯のみでなく次以降の時間帯の交通流に影響することから、その処理をいかに合理的かつ効率的に行うかが重要となる。これに関しては、これまでいくつかの手法が提案されているが、本研究では藤田ら(1998)が提案したOD修正法を用いるものとした。この手法では、ある時間におけるあるODの残留交通量の割合が、その時間帯におけるそのOD間の均衡所要時間に応じて内生的に決まり、かつその残留交通量はそのODに関する経路に均等に分布すると仮定する。この均衡解を求める手法としては、需要変動型利用者均衡配分として定式化される数理計画問題を解く厳密解法が提案されているが、本研究では実用性を重視して分割配分法による解法を用いるものとした。その解法アルゴリズムは以下の通りである。

Step0. 時間帯の数 N を設定し、 $n := 1$ とし、前の時間帯における残留OD交通量 $q^*_{i,0} = 0$ とする。なお、車種の違いはODの違いとして取り扱う。すなわち、車種が異なれば、同一ODであっても利用経路は異なる可能性があると考ええる。

Step1. $m := 1$ とし、時間帯 n における OD_i の所要時間 $C_i(m)$ の初期値を設定する。(例えば、 $n = 1$ の場合はOD交通量 Q_{in} の全量を分割配分して初期値とし、 $n \geq 2$ の場合は前の時間帯の均衡所要時間を初期値とする)

Step2. 時間帯 n における残留OD交通量 $q_{in}(m)$ を次式から求める。

$$q_{in}(m) = Q_{in} \cdot C_i(m) / 2T, \text{ for all } i$$

where Q_{in} : 時間帯 n のOD交通量

T : 時間帯の幅 (分)

Step3. 時間帯 n の配分対象OD交通量 $g_{in}(m)$ を次式から求め、分割配分する。

$$g_{in}(m) = q^*_{i,n-1} + Q_{in} - q_{in}(m), \text{ for all } i$$

where $q^*_{i,n-1}$: 前の時間帯における捌け残りOD交通量

Step4. 配分結果から時間帯 n における OD_i の所要時間 $C_i(m+1)$ を求める。ここで、

$$C_i(m+1) = C_i(m), \text{ for all } i$$

であれば $q_{i,n}^* = q_{in}(m)$ とし, $n = N$ であれば終了, そうでなければ $n := n + 1$ として Step1 に戻る。式(3)が成立しなければ, $m := m + 1$ として Step2 に戻る。

②道路網各区間の交通量の変化

上述した時間帯別車種別均衡配分手法を現況道路網（平成 24 年 9 月時点の道路網）およびいくつかの将来道路網に対して適用した。ここでは, 時間帯としては 1 時間単位を用いるものとし, メッシュ単位 OD 表を 24 時間帯別の OD 表に分割した。また, 将来道路網としては, 以下の 3 ケースを設定した。

- ・ケース 1：「R259 老津道路の延伸および R23 豊橋バイパスの延伸(前芝-為当間)を考慮」
- ・ケース 2：ケース 1 に加えて「R23 豊橋東バイパスの延伸および豊橋バイパスの 4 車線化を考慮」
- ・ケース 3：ケース 2 に加えて「東三河環状線の全面開通, および豊橋市都市計画道路のうち外郭線・一色高洲線・前田豊川線・下地牛川線の完成を考慮」

まず, 現況道路網ケースに対する時間帯別車種別均衡交通量配分によって得られた時間帯別リンク交通量を 1 日合計した結果を図 2-4-3 に示す。時間帯別車種別交通量配分では各時間帯における各リンクの車種別交通量が得られるが, ここでは大型車 1 台を乗用車に換算して合計した乗用車換算台数単位 (pcu) の 1 日合計交通量を示している。これより, 田原地区周辺では, 臨港道路や R23 豊橋バイパス・豊橋東バイパスの利用台数が多いことが確認される。



図 2-4-3 時間帯別車種別均衡交通量配分結果の 1 日合計値（乗用車換算台数単位）

次に、3つの将来道路網ケースそれぞれに対する時間帯別車種別均衡交通量配分から得られる1日合計リンク交通量を求め、現況道路網ケースに対する値との差を求めた結果を図2-4-4(a)～(c)に示す。これらの図より、いずれの将来ケースにおいても、整備した道路の交通量が大きく増大（図中の赤色表示区間）し、平行道路区間の交通量が減少（図中の緑色表示区間）することが確認される。



図 2-4-4(a) 将来道路網（ケース 1）と現況道路網の差（pcu；1日合計値）



図 2-4-4(b) 将来道路網（ケース 2）と現況道路網の差（pcu；1日合計値）



図 2-4-4(c) 将来道路網（ケース 3）と現況道路網の差（pcu；1 日合計値）

③三河港田原地区代表地点から高速道路 IC までの平均所要時間の変化

時間帯別車種別均衡交通量配分に対応して求められる現況道路網における三河港田原地区の主要地点から近隣の高速道路 IC 等への時間帯別の所要時間（単位は分）を表 2-4-1 に示す。これより、所要時間は各時間帯の交通混雑状況に応じて変動していることが確認される。

表 2-4-1 現況道路網における主要 IC までの所要時間（起点：緑が浜交差点）

時間帯	豊川IC	音羽IC	岡崎IC	三ヶ日IC	浜松西IC	R1/R42 交差点
0時台	30.3	36.3	53.6	53.3	57.3	26.0
1時台	30.9	37.4	54.1	53.9	59.7	28.1
2時台	30.4	36.4	53.2	53.4	59.3	27.7
3時台	30.3	36.3	53.0	53.3	58.5	27.0
4時台	31.0	37.8	55.2	54.0	61.7	30.1
5時台	32.0	40.9	58.0	54.9	62.0	29.8
6時台	34.2	46.9	64.1	57.6	71.1	30.5
7時台	46.5	60.4	80.3	69.7	102.5	44.6
8時台	49.1	62.6	82.9	72.3	110.9	48.3
9時台	37.9	51.3	69.8	60.8	81.8	33.7
10時台	41.5	54.8	74.1	64.1	84.4	36.0
11時台	39.9	53.0	71.0	63.2	81.9	34.4
12時台	35.7	48.7	65.6	58.7	75.0	30.4
13時台	37.1	50.3	67.1	59.8	75.6	31.7
14時台	34.4	47.3	64.8	57.1	72.8	33.3
15時台	33.8	47.0	64.7	56.6	72.7	36.0
16時台	39.8	52.9	70.9	62.7	80.0	34.0
17時台	41.0	54.0	71.2	64.1	84.9	34.8
18時台	36.7	49.4	65.4	59.0	76.8	41.4
19時台	34.8	47.5	63.6	57.7	72.4	34.9
20時台	32.8	45.7	62.1	55.8	69.2	28.6
21時台	31.2	39.8	55.8	54.2	66.9	28.0
22時台	30.5	36.7	52.9	53.5	61.6	27.1
23時台	30.9	37.4	53.4	53.9	59.0	27.4
平均	35.5	46.3	63.6	58.5	73.3	32.7

次に、3つの将来道路網ケースそれぞれにおける所要時間と現況道路網における所要時間の変化量（単位は分）を表 2-4-2(a)～(c)に示す。これらの表より、所要時間の変化量は時間帯によって異なることが確認される。また、目的地によっては道路整備によりかえって所要時間が増大する場合があることが分かる。これは道路整備によって他の OD の利用経路も同時に変化するため、ある OD にとっては道路整備による効果が薄められるためであると考えられる。

表 2-4-2 将来道路網における所要時間の変化量（起点：緑が浜交差点）

(a) ケース 1

時間帯	豊川IC	音羽IC	岡崎IC	三ヶ日IC	浜松西IC	R1/R42交差点
0時台	-0.5	-3.1	-3.1	-0.5	-0.4	-0.5
1時台	-0.5	-3.3	-3.4	-0.5	1.2	1.3
2時台	-0.5	-3.1	-3.1	-0.5	0.7	0.6
3時台	-0.5	-3.0	-3.0	-0.5	0.4	0.4
4時台	-0.6	-3.4	-3.5	-0.5	-0.6	-0.7
5時台	-0.6	-4.1	-4.1	-0.5	0.5	0.5
6時台	0.1	-1.9	-1.9	0.1	0.0	1.3
7時台	3.5	3.3	2.5	3.5	3.5	-1.3
8時台	0.4	0.4	0.2	0.4	0.4	-1.4
9時台	-0.2	-0.2	-0.4	-0.1	-0.1	-1.8
10時台	-1.4	-1.4	-1.6	-1.3	-1.6	-1.2
11時台	-1.2	-1.3	-1.3	-1.2	-1.2	-1.6
12時台	-1.0	-1.8	-1.7	-1.0	-1.0	-0.5
13時台	-0.6	-0.4	-0.5	-0.6	-0.5	-0.1
14時台	0.2	0.3	0.3	0.2	0.2	1.0
15時台	0.2	0.2	0.2	0.1	0.2	0.5
16時台	0.1	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0
17時台	-0.5	-0.6	-0.7	-0.4	-0.5	-0.8
18時台	-0.5	-2.5	-2.4	-0.4	-0.4	-2.2
19時台	0.1	-0.2	-0.1	0.1	0.0	-1.1
20時台	0.0	-4.0	-4.0	0.0	0.0	0.6
21時台	-0.3	-4.2	-4.1	-0.3	-0.3	0.3
22時台	-0.5	-3.2	-3.2	-0.5	0.9	0.9
23時台	-0.6	-3.4	-3.4	-0.6	0.8	0.8
平均	-0.2	-1.7	-1.7	-0.2	0.0	-0.2

(b) ケース 2

時間帯	豊川IC	音羽IC	岡崎IC	三ヶ日IC	浜松西IC	R1/R42交差点
0時台	-0.5	-3.1	-3.1	-0.5	-3.1	-3.1
1時台	-0.5	-3.3	-3.4	-0.5	-3.6	-3.5
2時台	-0.5	-3.1	-3.1	-0.5	-3.6	-3.6
3時台	-0.5	-3.0	-3.0	-0.5	-3.3	-3.3
4時台	-0.9	-3.7	-3.8	-0.9	-4.3	-4.3
5時台	-1.5	-5.1	-5.1	-1.5	-2.8	-2.8
6時台	-2.1	-4.0	-4.0	-2.2	-2.3	-2.3
7時台	-0.2	-0.3	-0.7	-0.2	-0.3	-3.0
8時台	-1.8	-1.8	-3.0	-1.8	-1.8	-4.6
9時台	-2.7	-2.8	-2.9	-2.6	-2.7	-2.8
10時台	-4.4	-4.5	-4.7	-4.3	-4.8	-2.9
11時台	-3.2	-3.3	-3.4	-3.2	-3.3	-2.7
12時台	-3.0	-4.9	-4.9	-3.0	-3.0	-3.1
13時台	-4.1	-4.1	-4.1	-4.1	-4.1	-2.8
14時台	-2.4	-2.3	-2.3	-2.3	-2.4	-2.6
15時台	-1.0	-1.0	-1.0	-1.0	-1.0	-2.0
16時台	-2.3	-2.3	-2.2	-2.3	-2.3	-3.9
17時台	-2.3	-2.4	-2.4	-2.2	-2.2	-2.5
18時台	-1.5	-3.4	-3.3	-1.5	-1.5	-3.2
19時台	-0.9	-1.2	-1.1	-0.9	-1.0	-3.5
20時台	-0.8	-4.9	-4.9	-0.9	-0.9	-3.3
21時台	-0.4	-4.2	-4.2	-0.4	-0.3	-3.4
22時台	-0.5	-3.2	-3.2	-0.5	-3.3	-3.3
23時台	-0.6	-3.5	-3.5	-0.6	-3.4	-3.4
平均	-1.6	-3.2	-3.2	-1.6	-2.6	-3.2

(c) ケース 3

時間帯	豊川IC	音羽IC	岡崎IC	三ヶ日IC	浜松西IC	R1/R42交差点
0時台	-0.5	-3.1	-3.1	-0.5	-3.1	-3.1
1時台	-0.4	-3.2	-3.3	-0.4	-3.5	-3.5
2時台	-0.5	-3.1	-3.1	-0.5	-3.6	-3.6
3時台	-0.5	-3.0	-3.0	-0.5	-3.3	-3.3
4時台	-0.9	-3.8	-3.9	-0.9	-4.3	-4.3
5時台	-1.6	-5.3	-5.2	-1.5	-3.2	-3.3
6時台	-2.2	-5.0	-5.0	-2.4	-2.4	-3.0
7時台	-2.4	-2.5	-2.6	-2.4	-2.7	-3.1
8時台	-5.2	-5.3	-5.3	-5.2	-5.2	-5.0
9時台	-3.6	-3.8	-3.9	-3.6	-3.6	-3.3
10時台	-5.1	-5.2	-5.5	-5.0	-5.5	-3.1
11時台	-4.2	-4.4	-4.5	-4.3	-4.4	-2.7
12時台	-3.4	-4.7	-4.7	-3.3	-3.5	-3.2
13時台	-4.6	-4.5	-4.6	-4.6	-4.6	-3.0
14時台	-2.5	-2.3	-2.4	-2.4	-2.5	-2.7
15時台	-1.2	-1.2	-1.2	-1.2	-1.2	-2.4
16時台	-3.7	-3.7	-3.6	-3.8	-3.8	-3.8
17時台	0.4	-0.1	-0.4	2.3	7.0	-4.3
18時台	0.3	-3.5	-3.5	0.7	0.7	-3.3
19時台	-1.4	-1.5	-1.5	-1.4	-1.4	-3.6
20時台	-1.1	-4.6	-4.5	-1.1	-1.2	-3.3
21時台	-0.4	-3.9	-3.8	-0.4	-0.4	-3.4
22時台	-0.5	-3.2	-3.2	-0.5	-3.3	-3.3
23時台	-0.6	-3.5	-3.5	-0.6	-3.4	-3.4
平均	-1.9	-3.5	-3.5	-1.8	-2.7	-3.4

2-5 おわりに

(1) 成果のまとめ

本研究の成果をまとめると以下の通りである。

- ① 既存データを整理するとともに新規に交通実態調査を実施し、対象地域における現況の道路交通実態（地点別交通量、渋滞発生状況、OD 分布パターンやトリップ発生時刻分布等の交通需要実態など）を把握した。
- ② 一般的な交通渋滞対策メニューを整理するとともに、田原市および豊橋市において経済界を主体とする活動組織で議論されている道路基盤の改善策の提案内容を整理した。
- ③ 交通目的別発生集中交通量モデルのパラメータ推定を行い、その結果を用いて時間帯別均衡交通量配分のための車種別 OD 表の細分化を行った。
- ④ 計画路線の整備効果計測のため、対象地域関連の現在および将来の道路網のデータ化を行った。
- ⑤ 交通量配分手法を中心とする道路整備効果計測シミュレーションモデルを構築し、いくつかの計画道路が完成したと想定して時間帯別均衡交通量配分を行い、その整備効果を試算した。
- ⑥ その結果、OD 別の利用経路の変化に伴う道路区間別交通量の変化状況および主要地点間所要時間の短縮状況を把握した。ただし、この結果に関しては、各リンクの交通容量の設定値や走行時間関数のパラメータ値などに関して見直しの余地があり、今後詳細かつ多面的な検討が必要である。

(2) 今後の課題

今後の課題として以下の事項が挙げられる。これらについては、次年度以降も自主的研究において取り組みたいと考えている。

- ① 未検討の道路整備案・交通渋滞対策案のデータ化と、各案それぞれについての効果計測シミュレーションの実行
- ② パラメータ設定の再検討（H22 年度道路交通センサス OD データを用いた検討、リンク交通容量の設定値、走行時間関数のパラメータ等の見直しなど）
- ③ 効果計測手法の精緻化（交通目的による交通行動特性の違い等やより動的な交通状況を考慮できるような手法の開発、ミクロ交通シミュレーションを用いた局所的な対策効果の検討など）

3. 豊橋市における電気自動車普及による環境・経済的影響の応用一般均衡分析

建築・都市システム学系 教授 宮田 譲, 准教授 渋谷 博幸

3-1 はじめに

電気自動車 (EV: Electric Vehicle) はエンジンの代わりにモーターとバッテリー, 車載充電器, 蓄電池, 制御装置などを備え, ガソリンの代わりにバッテリーに充電された電気を使って走行する自動車である。ガソリンやディーゼルを燃料とする内燃機関自動車と比較すると構造がシンプルであり, 小型車を作るのに適していると言われる。蓄電池の開発は進み, 鉛電池を主力としていたものが, 現在では, ニッケル水素電池を経てリチウムイオン電池などの高性能の2次電池が導入されるようになっている。

電気自動車の持つメリットは以下の通りである。

- ・走行中の排出 CO₂ が皆無
- ・排出ガス, 騒音, 振動が少ない
- ・発電源が多様な電力を持つ

また安価な夜間充電を利用して自宅で充電することができ, ランニングコストはガソリン車と比較して低くなる。また, 減速時にエネルギーを回収できるため, エネルギー効率はガソリン車の3倍近くになる。

逆にデメリットは以下の通りである。

- ・航続距離が短い
- ・加速度が悪く, 最高速度が遅い
- ・充電時間が長い, 充電スタンドの設置・維持にコストがかかる
- ・車両単価が高い

なぜ電気自動車選ばれたかというと, エコカーには, ハイブリッド車や燃料電池車といったものも考えられているが, ハイブリッド車は結局ガソリンを使うため, 根本的な解決にはならない。燃料電池車は, 燃料となる水素を利用するためのインフラ整備に多額のコストがかかるといった問題がある。そのため, 走行時にガソリンを使わず, 既存のインフラを転用できる。また, 燃料の電力を自然エネルギーから発電することで, 環境負荷の低減を見込めるといった理由から, 次世代自動車の中でも電気自動車 (EV) が有力視されている。

電気自動車は「グリーンな自動車」と表現されるように, 環境でのメリットが多くみられ, 窒素酸化物などの排出ガスが少ないことから内燃機関自動車が従来抱えてきた大気汚染問題の緩和に大きく役立つ。加えて, 騒音が小さく, 振動が小さいことから, 都市環境の改善につながる。また, 走行中の CO₂ 排出量が少ないことから, 地球環境問題の表面化とともに環境にやさしい自動車として期待されている。さらに, 動力源として発電源が多様な電力を利用することから, 石油依存度の低下, 深夜電力の利用による余剰電力の有効利用というメリットがある。エネルギーに関しては, 回生機能を備えているため, エネルギーの回収が可能となり高効率である。

近年の電池の性能向上によって現状のバッテリーを搭載した電気自動車でも 1 回の充電で約 200km 程度は走行可能となっており、一般家庭における 1 日あたりの走行距離はほとんどが 80km 以内であることを踏まえると、都市内の近距離を移動する手段としては十分な性能を有している。

環境実践都市を目指す豊橋市としては、電気自動車の導入による、家庭からの排出量の 4 分の 1 以上を占める自動車からの CO₂を大幅に減らすことが極めて重要なポイントとなる。

しかし、問題点もゼロではない。デメリットで挙げた点以外にも電気自動車の走行時の騒音が静かすぎるため、歩行者や自転車走行者は気づかないことも心配されている。また、電池は消耗品であるため交換が必要となることである。リサイクルへの取り組みが進まなければ、大量の廃棄物を出し続けることになってしまう。ライフサイクルアセスメントの観点からすると、現時点ではガソリン車よりも環境負荷が大きいかもしれないという指摘もある。このような問題点も乗り越えていかなければならない。

3-2 太陽光発電

電気自動車の普及と切り離せないのは太陽光発電である。電気自動車の充電を自然エネルギーで賄ってこそ CO₂の削減が可能になる。

日本は、太陽光発電の設置容量において 2004 年まで世界一であったが、2005 年にドイツに抜かれ、2008 年末には大躍進したスペインにも抜かれ 3 位に転落した。2011 年度の太陽光発電能力の国別比較統計によると、太陽光発電能力では 1 位がドイツの約 2.5 万 MW に対して、3 位の日本は約 5 千 MW と約 5 分の 1 と低迷している。

ドイツは 1991 年、太陽光や風力で発電した電気を、電力会社買い取らせる「フィード・イン・タリフ」制度を導入した。さらに、2004 年には、発電者により有利になるように制度を改正している。スペインでも、2008 年から買い取り価格が引き上げられ、また米国でもカリフォルニア州などがこの制度を導入済みである。

このような世界と全く逆の動きをとってしまったのが日本である。日本は、2005 年度末にそれまで行ってきた制度を打ち切ってしまったのである。日本政府には長期的な見通しが欠けていたと考えざるを得ない。

このような状況の中で、2009 年 1 月に補助制度が復活した。さらに、ヨーロッパ型のフィード・イン・タリフ制度の導入も決定した。加えて、地方自治体も補助制度の導入を検討している。

一方豊橋市では地球温暖化防止対策の 1 つとして、市民が自ら居住する市内の住宅に太陽光発電システムを設置する際にその費用の一部を補助する事業を行っている。豊橋市では晴日が多く日射量も豊富なので、太陽光発電利用が有望である。

3-3 日本型スマートグリッド

スマートグリッドとは、定義は明確ではないが、供給サイドと需要サイドの相互連携に情報通信技術を活用した高度に智能化された次世代の送配電部門という概念である。スマートグリッドの目的は、

単に発電所や送電網にとどまらず、家庭や工場などの電力消費地を光ファイバーなどのネットワークで結び、最新の電力技術と IT 技術を駆使して、効率良く電気を供給することである。

たとえば、現状の電力網のシステムでは、家庭やオフィス、工場などが消費している電力量をリアルタイムに知ることはできない。配電盤などには電力メーターが備え付けられているが、単に積算消費量や月間消費量を知ることではできても、それ以上のことはできない。そこで、既存の電力計の代わりに「スマートメーター」という機器をすべての家庭やオフィスなどに設置する。スマートメーターは電力線と併設されたネットワーク回線で消費電力などの情報を電力会社にリアルタイムに転送する。このシステムで、電力会社は供給先のエリアや個別の家庭に至る、詳細な電力消費量を把握することができる。また、その集計値に基づく正確な電気消費量予測を立てることもでき、これまで最大ピーク消費量をベースに建設が進められていた発電所や変電所の計画を、具体的な消費予想をベースに計画的に配置することが可能になる。また発電所側では、リアルタイムな需要に応じてきめ細かな発電を行えるので、これまでのような無駄な発電を行う必要がなくなる。スマートグリッドは、単に電力供給を安定的に行うだけでなく、家庭やオフィス、工場といった、これまで電力を消費していた場所にクリーンな自家発電の仕組みをも導入し、従来のように大型発電所だけに頼らず、地域で必要な電力を消費地で生産できるという仕組みも備えていることが特徴である。

このようにスマートグリッドは、電力供給を合理化、最適化すると共に、クリーンなエネルギー（再生可能なエネルギー）を積極的に導入することで、従来の発電所が発生していた大量の CO₂ を削減して地球環境に貢献するという、国を挙げての壮大なエネルギー問題への取り組みである。米国コロラド州ボルダーの実証実験では、太陽光発電や風力発電がスマートグリッドに接続され、電力の双方向配電が稼働している。

日本では、情報通信ネットワークを活用し、集中型電源を中心とした高効率、高品質、高信頼度の電力供給システムがすでに出来上がっている。

しかし、将来の低炭素社会の実現に向けて、再生可能エネルギーの大量導入、電気自動車など新しい電力利用、利便性の向上と省エネの両立などを進めていくと、日本においても新しい電力供給・利用インフラが必要になってくると考えられる。

電気自動車の時代にはエネルギーの供給基地は自宅になる。また設備は簡単なため、コンビニ、コインパーキング、ホテル、一般の駐車場でも可能である。

ソーラーハウスやメガソーラーが普及すると、家庭、オフィス、工場など、数万という「電力業者」が誕生することになる。発電が分散され、さらに太陽光、風力などの自然エネルギーによる発電量が増加すると、電力供給が不安定になる。太陽光の場合、快晴の昼間には発電量が最大になり供給余剰となり、逆に夜間や雨の日にはゼロになるため供給が不足する。一方で、需要側も大きく変動する。一般的に昼間は大きく、夜間、特に深夜から夜明けまでは小さい。ここに、自然エネルギーによる発電量増加に起因する供給側の変動が加わると、安定した電力供給ができなくなる恐れがある。

ここで、スマートグリッドの導入が必要になる。電力の供給側（ソーラーハウス、メガソーラー、風力発電、既存の大型発電所、地域の緊急用小型発電所など）と、需要側（家庭、事業所など）、及び、電気自動車のバッテリーを接続し、IT 技術を使って最適なコントロールをすることができる。

豊橋市では、再生可能エネルギーに関して、住宅に設置される太陽光発電が中心になると考えられ、これは豊橋市の特徴の一つであるとも言える。最終的には、電気自動車が発電を太陽光や風力で賄い、スマートグリッドで電力の供給をコントロールして、ゼロエミッション化を目指している。

3-4 豊橋市の経済会計行列

（1）豊橋市の産業連関表

豊橋市には産業連関表がないため、公表されている愛知県産業連関表をブレイクダウンし、豊橋市の産業連関表を推計した。基本となる愛知県の 40 部門表を、未来ビークル都市に合わせる形で表 3-4-1 のように 38 部門表に分類した。

具体的な変更点は愛知県 40 部門表の「自動車」製造部門を「ガソリン自動車」、「電気自動車」に分類する。さらに、「電力・ガス・熱供給」製造部門を「電力」、「都市ガス」、「熱供給」のそれぞれの 3 部門に分類し、さらに「太陽光発電」と「コジェネレーション」の部門を加えた。他には「公務」、「教育・研究」、「医療・保健・社会保障・介護」、「その他の公共サービス」、「対事業所サービス」、「対個人サービス」の 6 部門を「サービス」部門に集約した。このように 38 部門に分類することにより、解析した際に求めるべき部門の値を求めることができる。愛知県の 40 部門表から、豊橋市の 38 部門表への変更点は次頁の図 3-4-1 に示すようである。

この 38 部門表について国勢調査、工業統計、商業統計、事業所統計などを用いて豊橋市の産業連関表を推計した。行和、列和の合計調整にはフレータ法を用いた。

（2）豊橋市の経済会計行列

経済会計行列は通常、社会会計行列(Social Accounting Matrix : SAM)と呼ばれ、経済体系を支払と受取りという概念により記述するものである。

応用一般均衡モデルでは経済会計をベンチマークデータセットとして用いることが多い。本研究は愛知県産業連関表や愛知県県民経済計算などを用いて、豊橋市の経済会計行列を推計した。経済主体は 38 産業部門、2 制度部門（家計、政府）、2 生産要素（資本、労働）、資本勘定（資本調達、資本蓄積）、市外部門の 5 区分から構成されている。

豊橋市の経済会計行列は表 3-4-2 に示されている。この表で縦方向は各経済主体の金銭的支払を表し、横方向は逆に金銭的受取りを表している。行列の縦方向、横方向には同じ経済主体が並べられ、ある行とある列とが交わる部分が、それぞれの経済主体間の金銭的取引を表している。

表 3-4-1 産業分類

部門番号	部門名	部門番号	部門名
1	農林漁業	2	鉱業
3	食料品	4	繊維製品
5	パルプ・紙・木製品	6	化学製品
7	石油・石炭製品	8	プラスチック製品
9	陶磁器	10	その他の窯業・土石製品
11	鉄鋼	12	非鉄金属
13	金属製品	14	一般機械
15	電気機械	16	情報・通信機器
17	電子部品	18	ガソリン自動車
19	電気自動車	20	航空機
21	その他の輸送機械	22	精密機械
23	その他の製造工業製品	24	建設
25	電力	26	太陽光
27	都市ガス	28	熱供給
29	コジェネレーション	30	水道・廃棄物処理
31	商業	32	金融・保険
33	不動産	34	ガソリン車輸送
35	電気自動車輸送	36	その他輸送
37	情報通信	38	サービス

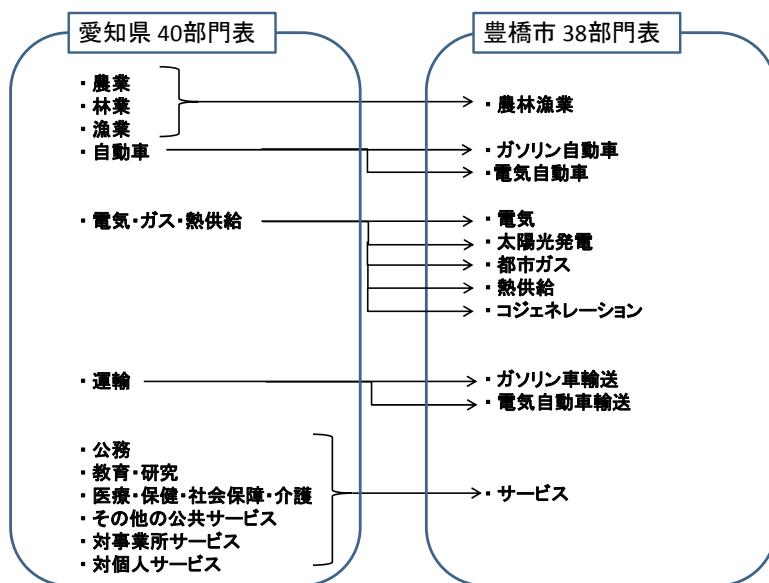


図 3-4-1 産業連関表の変更

表 3-4-2 豊橋市の経済会計行列

		生産活動	制度部門		生産要素		資本蓄積	市外部門	合計
		1～38産業	政府	家計	資本	労働			
生産活動	1～38産業	1,311,897	230,576	934,725	0	0	437,666	235,133	3,149,997
制度部門	政府	114,152	0	352,756	0	0	0	99,526	566,434
	家計	0	162,866	0	446,247	920,522	0	87,165	1,616,800
生産要素	資本	497,253	0	0	0	0	0	0	497,253
	労働	912,568	0	0	0	0	0	48,129	960,697
資本調達		314,127	4,302	296,854	0	0	0	0	615,283
市外部門		0	168,690	32,465	51,006	40,175	177,617	0	469,953
合計		3,149,997	566,434	1,616,800	497,253	960,697	615,283	469,953	

3-5 電気自動車導入の応用一般均衡分析

(1) モデルの主要前提条件

本研究の主要な前提条件は以下のようなものであるが、この他にもモデルの細部について様々な仮定を設定したが、それらについては昨年度の報告書の中で言及されている。

①豊橋市の経済を対象とし、経済主体は豊橋市の家計、38産業、政府、市外部門とする。

②市場は38生産物市場、労働市場、資本市場の40市場とし、これらの市場は完全競争的で、均衡状態にあるとする。

(2) モデルの構造

本研究のモデルは静学的応用一般均衡モデルであり、経済主体は豊橋市の家計、産業(38産業分類)、政府、市場部門とする。市場は38生産物市場、労働市場、資本市場の40市場とする。なおモデルの詳細は平成24年度未来ビークルシティリサーチセンター報告書で詳述されているため、本研究ではその解説を省略する。

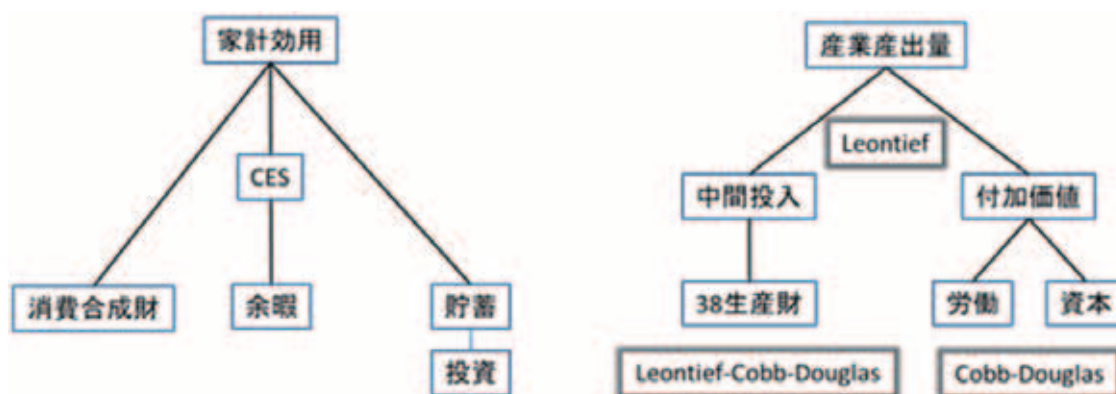


図3-5-1 モデルの構造

(3) パラメータの設定

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

3-6 シミュレーション分析

(1) シミュレーション分析の考え方

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

本研究では新たな産業として 3-4 節で述べたように EV 生産，太陽光発電，太陽光発電とセットになったコジェネレーション，EV 輸送の導入を想定した。

① EV 生産

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

②太陽光発電

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

③コジェネレーション

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

④EV 輸送

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

(2) シミュレーションケースの設定

①補助金なし

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

② 補助金あり

上記の補助金なしの場合において補助金を支出し，EV 生産，太陽光発電，コジェネレーション，EV 輸送，その他輸送（主として海運を想定）の純間接税率を補助金なしの場合に対し 95%，90%，85%，80%，75%の 5 パターンで分析を行う。

本研究は以上の補助金なしのケース，（純間接税率が）95%，90%，85%，80%，75%の 6 ケースを想定しシミュレーション分析を行う。

3-7 シミュレーション結果

以上の 6 つのケースについてシミュレーションを行った結果は，表 3-7-1 から表 3-7-7，図 3-7-1 から図 3-7-19 に示されている。

(1) 産業産出量

産業産出量の変化を比較するために表 3-7-1，図 3-7-1 から図 3-7-3 を示す。図 3-7-1 は各部門それぞれのケースの産出量を示す。図 3-7-2 は補助金なしのケースから，それぞれのケースを差し引いた差を示す。図 3-7-3 は補助金なしのケースから，それぞれのケースへの変化率を示す。

まず産業産出量の変化を見てみる。産出量が大きい産業はサービス，商業，ガソリン車製造業，建設業の順で，トヨタの関係で豊橋でも自動車関連産業が大きいことが分かる。今回その成長が期待される新産業については，経済に占めるシェアとしては小さい。

補助金政策により産業間の成長バランスが分かる。増加の大きい産業としては太陽光発電が（純間

接税率 95%～75%に対応して) 0.345～1.788%), コージェネレーション (0.209～1.071%), 電気自動車輸送 (0.198～0.999%), その他輸送 (0.179～0.914%), 非鉄金属 (0.135～0.683%), 電気自動車製造 (0.114～0.575%) などが挙げられる。これらは補助金による産出量増加であるが、非鉄金属については電気自動車のバッテリーに関する非鉄金属需要の高まりが、かなり影響しているものと考えられる。また、シミュレーション結果を見ると、補助金の割合を大きくすればするほど増加率も大きくなっている。

減少する産業としては熱供給業 (-0.074～-0.379%), 石油・石炭製品 (-0.031～-0.158%) ガソリン車輸送 (-0.024～-0.123%), 鉱業 (-0.014～-0.073%) などが挙げられる。石油・石炭製品の減少は、電気自動車の普及、太陽光発電、コージェネレーションの増加によることが大きいと考えられる。鉱業の減少は石油・石炭製品の減少に伴うものである。熱供給業の減少もコージェネレーションの増加に伴うものと解釈される。

以上の結果から産業産出量の総額は補助金なしで 3 兆 2,242 億円が、補助金をかけることにより 3 兆 2,469 億円まで増加することが分かった。これは 274 億円の増加であり、0.085%の増加である。

(2) 市内 GDP

市内 GDP の変化を比較するために表 3-7-2、図 3-7-4 から図 3-7-6 を示す。図 3-7-4 は各部門それぞれのケースのシミュレーション結果を示す。図 3-7-5 は補助金なしのケースから、それぞれのケースを差し引いた差を示す。図 3-7-6 は補助金なしのケースから、それぞれのケースへの変化率を示す。

市内 GDP は産業生産に伴う粗付加価値を表す。表 3-7-2、図 3-7-6 に示されるように市内 GDP の増減率は、補助金の対象産業であるかどうか大きく依存している。一般的に補助金により純間接税が減ることは GDP の減少につながる。このことを念頭に置くと、減少率の高い産業は、太陽光発電 ((純間接税率 95%～75%に対応して) -0.433～-2.242%), その他輸送 (-0.251～-1.272%), 電気自動車製造 (-0.226～-1.143%), 電気自動車輸送 (-0.251～-1.100%), コージェネレーション(-0.121～-0.623%), 熱供給(-0.074～-0.378%)となり、ほぼ純間接税率が下がる産業が対応している。

逆に GDP が増加するのは非鉄金属 (0.135～0.682%)や建設業(0.077～0.390%)である。市内 GDP 総額の増加は補助金なしでは 1,876,911 百万円であるのが、補助金を加えると純間接税率 75%で 1,876,931 百万円となり、19.676 百万円の増加となった。変化率で見ると、補助金なしから 0.001%の増加であり、結果的に大きな変化は見られなかったと言える。

(3) 労働需要

労働需要の変化を比較するために表 3-7-3、図 3-7-7 から図 3-7-9 を示す。図 3-7-7 は各部門それぞれのケースのシミュレーション結果を示す。図 3-7-8 は補助金なしのケースから、それぞれのケースを差し引いたものを示す。図 3-7-9 は補助金なしのケースから、それぞれのケースへの変化率を示す。

表 3-7-3 と図 3-7-9 で産業別労働需要の変化を見ると、補助金の支出とほぼ対応している。すなわち追加的な補助金が支出される産業の労働需要が高まっている。労働需要の増加が大きいのは太陽光発

電（純間接税率 95%～75%に対応して）1.452～7.307%），コジェネレーション（1.119～5.631%），その他輸送（0.608～3.053%），電気自動車製造（0.435～2.178%），電気自動車輸送（0.268～1.350%），非鉄金属製造（0.133～0.672%）などである。若干のマイナスを示す産業もあるが、総労働需要は増加（0.021～0.105%）している。これは市内の雇用情勢をみればプラスとも読み取れるが、余暇需要を減らすことにもなっており、家計効用にはマイナスに働く場合もある。

（４）資本需要

資本需要の変化を比較するために表 3-7-4，図 3-7-10 から図 3-7-12 を示す。図 3-7-10 は各部門それぞれのケースのシミュレーション結果を示す。図 3-7-11 は補助金なしのケースから，それぞれのケースを差し引いたものを示す。図 3-7-12 は補助金なしのケースから，それぞれのケースへの変化率を示す。

本モデルでは家計による総資本供給量が固定されている。そのため総資本需要量も変化していない。表 3-7-4，図 3-7-12 で産業別資本需要の変化を見ると，労働需要とはかなり異なる変化をしている。まず資本需要が減少している産業から述べると，太陽光発電（純間接税率 95%～75%に対応して）-0.438～-2.265%，その他輸送（-0.251～-1.274），電気自動車製造（-0.226～-1.142%），電気自動車輸送（-0.214～-1.081%），コジェネレーション（-0.124～-0.635%），熱供給（-0.073～-0.372%）などであり，追加的補助金が支出されている産業が多い。これらの産業では資本から労働への生産要素の代替が起こっていると言えよう。

資本需要が増加するのは非鉄金属製造（0.139～0.700%）や，建設業（0.082～0.413%）であり，産出量の増加に対応したものとなっている。

（５）CO₂

CO₂の変化を比較するために表 3-7-5，図 3-7-13 から図 3-7-15 を示す。図 3-7-13 は各部門それぞれのケースのシミュレーション結果を示す。図 3-7-14 は補助金なしのケースから，それぞれのケースを差し引いたものを示す。図 3-7-15 は補助金なしのケースから，それぞれのケースへの変化率を示す。

表 3-7-5，図 3-7-15 より減少率の大きい産業は熱供給（純間接税率 95%～75%に対応して）-0.074～-0.379%，石油・石炭製品（-0.031～-0.158%），ガソリン車輸送（-0.024～-0.123%）などが挙げられる。これらは補助金によりコジェネレーション，太陽光発電，電気自動車輸送の産出量の増加に伴うものと考えられる。

逆に増加するのは，その他輸送（0.179～0.914%），非鉄金属（0.033～0.683%），電気自動車製造（0.114～0.575%），建設産業（0.077～0.390%）などが挙げられる。これらは産業産出量が大きく増加した産業と対応している。

結果的に純間接税率を 75%とした際の CO₂排出量は 3,191t-CO₂の増加となったが，その増加率は 0.139%とわずかなものである。電気自動車の普及により熱供給や石油・石炭製品の CO₂排出量は大

きく減らすことができたが、その他の多くのCO₂を排出する産業の産出量が増えたためにCO₂排出量も同時に増加してしまったと考えられる。

（６）財価格

財価格の変化を比較するために表 3-7-6, 図 3-7-16, 図 3-7-17 を示す。図 3-7-16 は各部門それぞれのケースのシミュレーション結果を示す。図 3-7-17 は補助金なしのケースから、それぞれのケースへの変化率を示す。

財価格は財価格方程式より、生産要素価格によって決定される。本モデルでは労働をニューメール財としているため、変化するのは資本収益率である。資本収益率は総資本供給量と総資本需要量が均衡することによって決定されるが、本モデルではベンチマークデータセットが均衡していないため、補助金なしのケースにおいても全ての価格は1とはなっていない。

補助金を追加するケースにおいては、追加補助金がある産業の価格は減少している。すなわち大きく減少しているのは太陽光発電（純間接税率 95%～75%に対応して）-0.376～-1.916%, その他輸送（-0.271～-1.364%）、電気自動車輸送（-0.250～-1.251%）、電気自動車製造（-0.106～-0.535%）となっている。ガソリン車輸送の価格もやや減少（-0.030～-0.149%）であるが、これはその他輸送の投入部分が大きい。

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

（７）その他の主要変数

その他の主要変数の変化を比較するために表 3-7-7, 図 3-7-18, 図 3-7-19 を示す。図 3-7-18 は各部門それぞれのケースのシミュレーション結果を示す。図 3-7-19 は補助金なしのケースから、それぞれのケースへの変化率を示す。

表 3-7-7 と図 3-7-19 でその他の変数の変化を見る。増加率が高いのは家計電気自動車購入（純間接税率 95%～75%に対応して）0.083～0.417%, 投資総額（0.072～0.365%）、労働供給量（0.021～0.105%）、などである。その他のものは減少したものが多く、特に家計所得の減少は資本収益率の減少や政府からの経常移転の減少からきており、生産段階における省資源化が生産要素への需要を減らし、それが家計所得を減少させていると言えよう。

また政府部門における純間接税収入の減少は、政府所得、政府消費、政府貯蓄の全てを減らしている。補助金なしのケースを基準とすると、等価的偏差は純間接税率 75%では12億 5,510 万円となり、豊橋市の人口 1 人当たりでは3,350 円のマイナスであった。消費者物価が減少し、プラスの所得効果があるものの、家計所得や余暇時間の減少がそれ以上であるためにこのような結果となった。

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

表 3-7-1 産業産出量 シミュレーション結果

部門番号	部門名	補助金なし	95%			90%			85%		
		総額	総額	差	変化率	総額	差	変化率	総額	差	変化率
1	農林漁業	49,474	49,458	-16	-0.033	49,441	-33	-0.066	49,425	-49	-0.099
2	鉱業	6,450	6,449	-1	-0.014	6,449	-2	-0.029	6,448	-3	-0.043
3	食料品	116,681	116,658	-23	-0.020	116,634	-47	-0.040	116,611	-70	-0.060
4	繊維製品	26,414	26,415	1	0.004	26,416	2	0.008	26,417	3	0.012
5	パルプ・紙・木製品	51,685	51,704	19	0.037	51,723	38	0.074	51,743	58	0.112
6	化学製品	19,267	19,267	0	-0.003	19,266	-1	-0.005	19,266	-1	-0.008
7	石油・石炭製品	19,234	19,228	-6	-0.031	19,222	-12	-0.063	19,216	-18	-0.094
8	プラスチック製品	133,405	133,427	21	0.016	133,448	42	0.032	133,469	64	0.048
9	陶磁器	17,054	17,057	2	0.014	17,059	5	0.028	17,061	7	0.042
10	その他の窯業・土石製品	44,624	44,642	18	0.041	44,660	37	0.082	44,679	55	0.124
11	鉄鋼	123,764	123,805	41	0.033	123,847	82	0.067	123,888	124	0.100
12	非鉄金属	31,937	31,980	43	0.135	32,024	87	0.271	32,067	130	0.408
13	金属製品	44,608	44,625	16	0.037	44,641	33	0.073	44,657	49	0.110
14	一般機械	65,047	65,083	36	0.055	65,119	72	0.111	65,155	108	0.166
15	電気機械	79,578	79,620	42	0.053	79,662	84	0.106	79,704	126	0.159
16	情報・通信機器	14,163	14,168	5	0.036	14,174	10	0.073	14,179	16	0.110
17	電子部品	5,342	5,344	2	0.038	5,347	4	0.076	5,349	6	0.115
18	ガソリン自動車	271,050	271,092	43	0.016	271,135	85	0.032	271,178	129	0.047
19	電気自動車	38,282	38,326	44	0.114	38,369	87	0.228	38,413	131	0.343
20	航空機	6,342	6,344	2	0.029	6,346	4	0.058	6,348	6	0.088
21	その他の輸送機械	8,373	8,375	2	0.029	8,377	5	0.059	8,380	7	0.088
22	精密機械	5,862	5,865	4	0.061	5,869	7	0.123	5,872	11	0.185
23	その他の製造工業製品	86,922	86,937	16	0.018	86,953	32	0.037	86,969	48	0.055
24	建設	266,149	266,355	206	0.077	266,562	413	0.155	266,770	621	0.233
25	電力	41,918	41,909	-9	-0.021	41,900	-18	-0.043	41,891	-27	-0.065
26	太陽光	4,789	4,806	17	0.345	4,822	33	0.697	4,839	50	1.054
27	都市ガス	14,997	14,998	0	0.003	14,998	1	0.005	14,998	1	0.007
28	熱供給	162	162	0	-0.074	161	0	-0.149	161	0	-0.225
29	コジェネレーション	1,780	1,784	4	0.209	1,788	7	0.420	1,791	11	0.634
30	水道・廃棄物処理	11,222	11,221	-1	-0.007	11,221	-2	-0.014	11,220	-2	-0.020
31	商業	454,627	454,718	91	0.020	454,810	183	0.040	454,902	275	0.060
32	金融・保険	122,703	122,705	2	0.002	122,708	5	0.004	122,710	7	0.006
33	不動産	155,849	155,827	-22	-0.014	155,804	-44	-0.028	155,782	-67	-0.043
34	ガソリン車輸送	81,290	81,271	-20	-0.024	81,251	-40	-0.049	81,231	-60	-0.073
35	電気自動車輸送	14,295	14,324	28	0.198	14,352	57	0.396	14,380	85	0.596
36	その他輸送	58,430	58,534	105	0.179	58,640	211	0.361	58,747	318	0.544
37	情報通信	65,581	65,607	26	0.040	65,633	52	0.080	65,659	78	0.120
38	サービス	684,898	684,701	-197	-0.029	684,504	-394	-0.057	684,307	-591	-0.086
	合計	3,244,249	3,244,791	542	0.017	3,245,336	1,087	0.033	3,245,885	1,636	0.050

部門番号	部門名	補助金なし	80%			75%		
		総額	総額	差	変化率	総額	差	変化率
1	農林漁業	49,474	49,409	-65	-0.132	49,392	-82	-0.165
2	鉱業	6,450	6,447	-4	-0.058	6,446	-5	-0.073
3	食料品	116,681	116,587	-94	-0.080	116,564	-117	-0.101
4	繊維製品	26,414	26,418	4	0.016	26,419	5	0.021
5	パルプ・紙・木製品	51,685	51,762	77	0.149	51,782	97	0.187
6	化学製品	19,267	19,265	-2	-0.010	19,265	-2	-0.013
7	石油・石炭製品	19,234	19,210	-24	-0.126	19,204	-30	-0.158
8	プラスチック製品	133,405	133,491	85	0.064	133,512	107	0.080
9	陶磁器	17,054	17,064	10	0.056	17,066	12	0.070
10	その他の窯業・土石製品	44,624	44,697	74	0.165	44,716	92	0.207
11	鉄鋼	123,764	123,930	165	0.134	123,971	207	0.167
12	非鉄金属	31,937	32,111	174	0.545	32,155	218	0.683
13	金属製品	44,608	44,674	66	0.147	44,691	82	0.184
14	一般機械	65,047	65,192	145	0.222	65,228	181	0.278
15	電気機械	79,578	79,747	169	0.212	79,789	211	0.265
16	情報・通信機器	14,163	14,184	21	0.147	14,189	26	0.184
17	電子部品	5,342	5,351	8	0.153	5,353	10	0.192
18	ガソリン自動車	271,050	271,222	172	0.063	271,265	216	0.080
19	電気自動車	38,282	38,458	176	0.459	38,502	220	0.575
20	航空機	6,342	6,349	7	0.118	6,351	9	0.148
21	その他の輸送機械	8,373	8,382	10	0.118	8,385	12	0.147
22	精密機械	5,862	5,876	14	0.247	5,880	18	0.309
23	その他の製造工業製品	86,922	86,985	64	0.073	87,002	80	0.092
24	建設	266,149	266,978	829	0.312	267,188	1,039	0.390
25	電力	41,918	41,882	-37	-0.087	41,872	-46	-0.110
26	太陽光	4,789	4,857	68	1.418	4,875	86	1.788
27	都市ガス	14,997	14,999	1	0.010	14,999	2	0.012
28	熱供給	162	161	0	-0.302	161	-1	-0.379
29	コジェネレーション	1,780	1,795	15	0.851	1,799	19	1.071
30	水道・廃棄物処理	11,222	11,219	-3	-0.027	11,218	-4	-0.034
31	商業	454,627	454,994	367	0.081	455,087	460	0.101
32	金融・保険	122,703	122,713	10	0.008	122,715	12	0.010
33	不動産	155,849	155,760	-89	-0.057	155,738	-111	-0.071
34	ガソリン車輸送	81,290	81,211	-80	-0.098	81,190	-100	-0.123
35	電気自動車輸送	14,295	14,409	114	0.797	14,438	143	0.999
36	その他輸送	58,430	58,855	425	0.728	58,964	534	0.914
37	情報通信	65,581	65,686	105	0.160	65,712	131	0.200
38	サービス	684,898	684,108	-790	-0.115	683,910	-988	-0.144
	合計	3,244,249	3,246,437	2,188	0.067	3,246,993	2,744	0.085

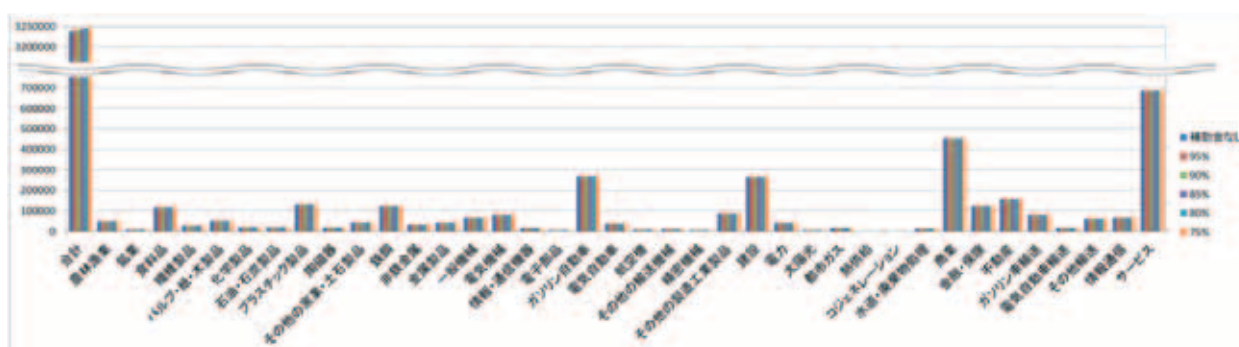


図 3-7-1 産業産出量 シミュレーション結果

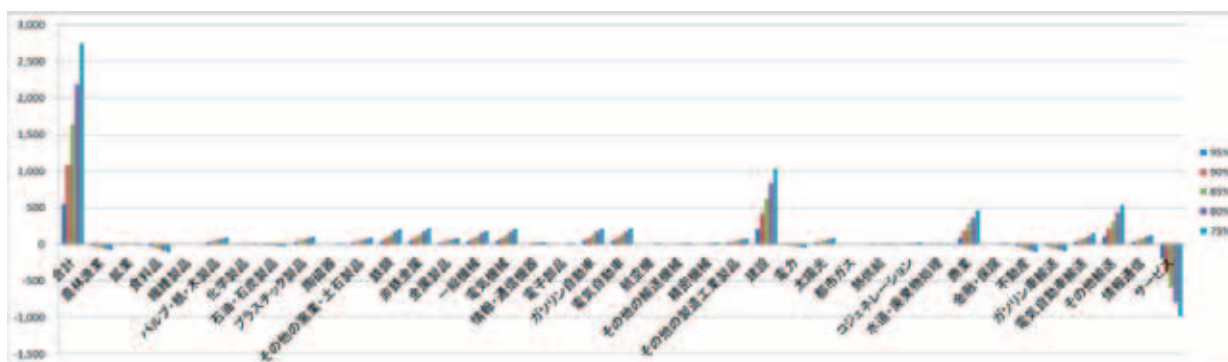


図 3-7-2 産業産出量 ケース別偏差

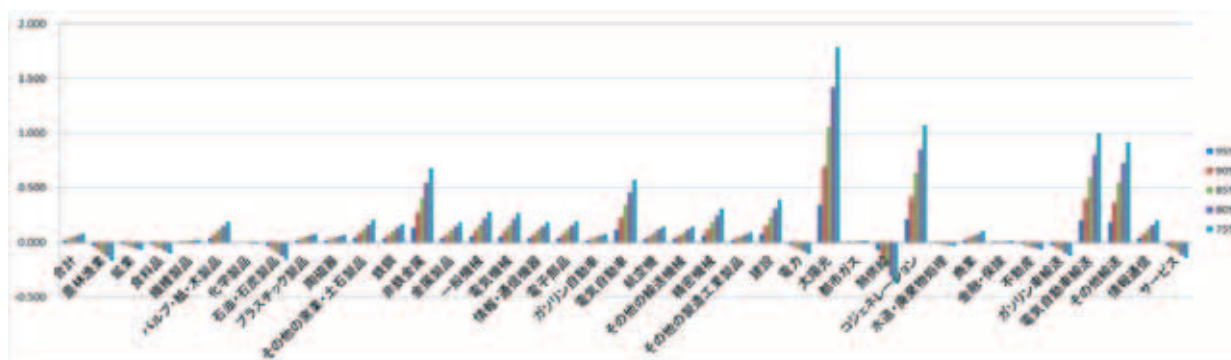


図 3-7-3 産業産出量 ケース別変化

表 3-7-2 市内 GDP シミュレーション結果

部門番号	部門名	補助金なし	95%				90%			85%		
		総額	総額	差	変化率		総額	差	変化率	総額	差	変化率
1	農林漁業	26,840.431	26,831.602	-8.829	-0.033		26,822.746	-17.685	-0.066	26,813.863	-26.568	-0.099
2	鉱業	3,386.120	3,385.633	-0.487	-0.014		3,385.141	-0.979	-0.029	3,384.645	-1.475	-0.044
3	食料品	43,577.666	43,568.945	-8.721	-0.020		43,560.199	-17.467	-0.040	43,551.428	-26.238	-0.060
4	繊維製品	11,814.808	11,815.284	0.476	0.004		11,815.766	0.958	0.008	11,816.253	1.445	0.012
5	パルプ・紙・木製品	22,582.959	22,591.329	8.370	0.037		22,599.740	16.781	0.074	22,608.194	25.235	0.112
6	化学製品	8,616.100	8,615.876	-0.224	-0.003		8,615.655	-0.445	-0.005	8,615.435	-0.665	-0.008
7	石油・石炭製品	13,401.977	13,397.774	-4.203	-0.031		13,393.557	-8.420	-0.063	13,389.325	-12.652	-0.094
8	プラスチック製品	52,625.610	52,633.928	8.318	0.016		52,642.293	16.683	0.032	52,650.705	25.095	0.048
9	陶磁器	8,891.497	8,892.725	1.228	0.014		8,893.960	2.463	0.028	8,895.202	3.705	0.042
10	その他の窯業・土石製品	24,378.990	24,388.980	9.990	0.041		24,399.014	20.024	0.082	24,409.090	30.100	0.123
11	鉄鋼	36,243.579	36,255.597	12.018	0.033		36,267.671	24.092	0.066	36,279.800	36.221	0.100
12	非鉄金属	7,846.891	7,857.520	10.629	0.135		7,868.190	21.299	0.271	7,878.900	32.009	0.408
13	金属製品	20,709.846	20,717.417	7.571	0.037		20,725.020	15.174	0.073	20,732.657	22.811	0.110
14	一般機械	31,647.100	31,664.571	17.471	0.055		31,682.111	35.011	0.111	31,699.721	52.621	0.166
15	電気機械	30,861.164	30,877.402	16.238	0.053		30,893.711	32.547	0.105	30,910.091	48.927	0.159
16	情報・通信機器	5,096.154	5,098.010	1.856	0.036		5,099.874	3.720	0.073	5,101.747	5.593	0.110
17	電子部品	1,990.321	1,991.078	0.757	0.038		1,991.838	1.517	0.076	1,992.602	2.281	0.115
18	ガソリン自動車	91,867.276	91,881.706	14.430	0.016		91,896.217	28.941	0.032	91,910.808	43.532	0.047
19	電気自動車	10,202.794	10,179.718	-23.076	-0.226		10,156.515	-46.279	-0.454	10,133.186	-69.608	-0.682
20	航空機	3,576.024	3,577.065	1.041	0.029		3,578.113	2.089	0.058	3,579.170	3.146	0.088
21	その他の輸送機械	3,442.141	3,443.146	1.005	0.029		3,444.156	2.015	0.059	3,445.171	3.030	0.088
22	精密機械	2,965.542	2,967.360	1.818	0.061		2,969.186	3.644	0.123	2,971.018	5.476	0.185
23	その他の製造工業製品	44,330.822	44,338.882	8.060	0.018		44,346.991	16.169	0.036	44,355.148	24.326	0.055
24	建設	145,720.367	145,833.204	112.837	0.077		145,946.478	226.111	0.155	146,060.187	339.820	0.233
25	電力	20,917.537	20,913.092	-4.445	-0.021		20,908.570	-8.967	-0.043	20,903.973	-13.564	-0.065
26	太陽光	2,221.683	2,212.068	-9.615	-0.433		2,202.280	-19.403	-0.873	2,192.319	-29.364	-1.322
27	都市ガス	4,342.198	4,342.306	0.108	0.002		4,342.413	0.215	0.005	4,342.520	0.322	0.007
28	熱供給	69.625	69.574	-0.051	-0.074		69.521	-0.104	-0.149	69.469	-0.156	-0.225
29	コージェネレーション	1,101.657	1,100.319	-1.338	-0.121		1,098.963	-2.694	-0.245	1,097.589	-4.068	-0.369
30	水道・廃棄物処理	8,185.645	8,185.079	-0.566	-0.007		8,184.519	-1.126	-0.014	8,183.965	-1.680	-0.021
31	商業	347,959.383	348,029.049	69.666	0.020		348,099.039	139.656	0.040	348,169.352	209.969	0.060
32	金融・保険	87,141.437	87,143.049	1.612	0.002		87,144.721	3.284	0.004	87,146.453	5.016	0.006
33	不動産	139,458.981	139,439.128	-19.853	-0.014		139,419.230	-39.751	-0.029	139,399.288	-59.693	-0.043
34	ガソリン車輸送	37,029.561	37,020.553	-9.008	-0.024		37,011.492	-18.069	-0.049	37,002.377	-27.184	-0.073
35	電気自動車輸送	7,404.972	7,388.821	-16.151	-0.218		7,372.603	-32.369	-0.437	7,356.318	-48.654	-0.657
36	その他輸送	28,579.439	28,507.735	-71.704	-0.251		28,435.541	-143.898	-0.504	28,362.856	-216.583	-0.758
37	情報通信	46,525.196	46,543.662	18.466	0.040		46,562.212	37.016	0.080	46,580.847	55.651	0.120
38	サービス	493,358.437	493,216.766	-141.671	-0.029		493,074.687	-283.750	-0.058	492,932.200	-426.237	-0.086
	合計	1,876,911.930	1,876,915.955	4.025	0.000		1,876,919.936	8.006	0.000	1,876,923.872	11.942	0.001

部門番号	部門名	補助金なし	80%			75%		
		総額	総額	差	変化率	総額	差	変化率
1	農林漁業	26,840.431	26,804.953	-35.478	-0.132	26,796.016	-44.415	-0.165
2	鉱業	3,386.120	3,384.144	-1.976	-0.058	3,383.638	-2.482	-0.073
3	食料品	43,577.666	43,542.633	-35.033	-0.080	43,533.813	-43.853	-0.101
4	繊維製品	11,814.808	11,816.745	1.937	0.016	11,817.242	2.434	0.021
5	パルプ・紙・木製品	22,582.959	22,616.689	33.730	0.149	22,625.227	42.268	0.187
6	化学製品	8,616.100	8,615.218	-0.882	-0.010	8,615.003	-1.097	-0.013
7	石油・石炭製品	13,401.977	13,385.080	-16.897	-0.126	13,380.822	-21.155	-0.158
8	プラスチック製品	52,625.610	52,659.164	33.554	0.064	52,667.668	42.058	0.080
9	陶磁器	8,891.497	8,896.451	4.954	0.056	8,897.706	6.209	0.070
10	その他の窯業・土石製品	24,378.990	24,419.208	40.218	0.165	24,429.369	50.379	0.207
11	鉄鋼	36,243.579	36,291.985	48.406	0.134	36,304.225	60.646	0.167
12	非鉄金属	7,846.891	7,889.650	42.759	0.545	7,900.441	53.550	0.682
13	金属製品	20,709.846	20,740.327	30.481	0.147	20,748.031	38.185	0.184
14	一般機械	31,647.100	31,717.398	70.298	0.222	31,735.144	88.044	0.278
15	電気機械	30,861.164	30,926.542	65.378	0.212	30,943.063	81.899	0.265
16	情報・通信機器	5,096.154	5,103.626	7.472	0.147	5,105.514	9.360	0.184
17	電子部品	1,990.321	1,993.369	3.048	0.153	1,994.139	3.818	0.192
18	ガソリン自動車	91,867.276	91,925.479	58.203	0.063	91,940.228	72.952	0.079
19	電気自動車	10,202.794	10,109.730	-93.064	-0.912	10,086.146	-116.648	-1.143
20	航空機	3,576.024	3,580.235	4.211	0.118	3,581.307	5.283	0.148
21	その他の輸送機械	3,442.141	3,446.189	4.048	0.118	3,447.213	5.072	0.147
22	精密機械	2,965.542	2,972.857	7.315	0.247	2,974.704	9.162	0.309
23	その他の製造工業製品	44,330.822	44,363.353	32.531	0.073	44,371.606	40.784	0.092
24	建設	145,720.367	146,174.331	453.964	0.312	146,288.909	568.542	0.390
25	電力	20,917.537	20,899.300	-18.237	-0.087	20,894.554	-22.983	-0.110
26	太陽光	2,221.683	2,182.185	-39.498	-1.778	2,171.878	-49.805	-2.242
27	都市ガス	4,342.198	4,342.627	0.429	0.010	4,342.734	0.536	0.012
28	熱供給	69.625	69.415	-0.210	-0.301	69.362	-0.263	-0.378
29	コージェネレーション	1,101.657	1,096.198	-5.459	-0.496	1,094.790	-6.867	-0.623
30	水道・廃棄物処理	8,185.645	8,183.418	-2.227	-0.027	8,182.878	-2.767	-0.034
31	商業	347,959.383	348,239.986	280.603	0.081	348,310.941	351.558	0.101
32	金融・保険	87,141.437	87,148.246	6.809	0.008	87,150.099	8.662	0.010
33	不動産	139,458.981	139,379.302	-79.679	-0.057	139,359.272	-99.709	-0.071
34	ガソリン車輸送	37,029.561	36,993.208	-36.353	-0.098	36,983.985	-45.576	-0.123
35	電気自動車輸送	7,404.972	7,339.965	-65.007	-0.878	7,323.543	-81.429	-1.100
36	その他輸送	28,579.439	28,289.681	-289.758	-1.014	28,216.017	-363.422	-1.272
37	情報通信	46,525.196	46,599.566	74.370	0.160	46,618.370	93.174	0.200
38	サービス	493,358.437	492,789.307	-569.130	-0.115	492,646.010	-712.427	-0.144
	合計	1,876,911.930	1,876,927.762	15.832	0.001	1,876,931.606	19.676	0.001

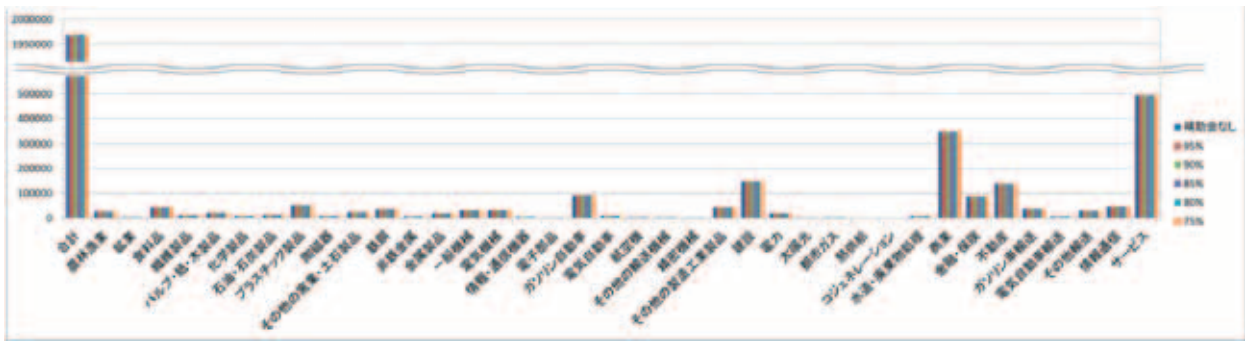


図3-7-4 市内 GDP シミュレーション結果

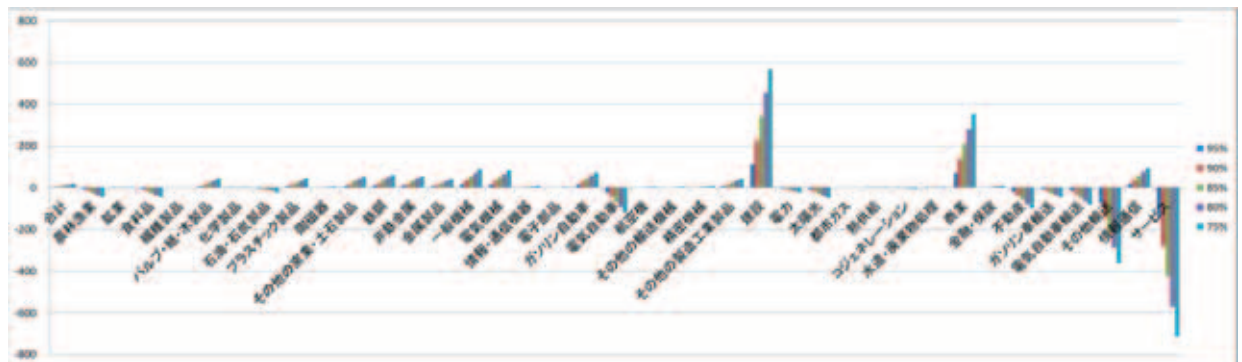


図 3-7-5 市内 GDP ケース別偏差

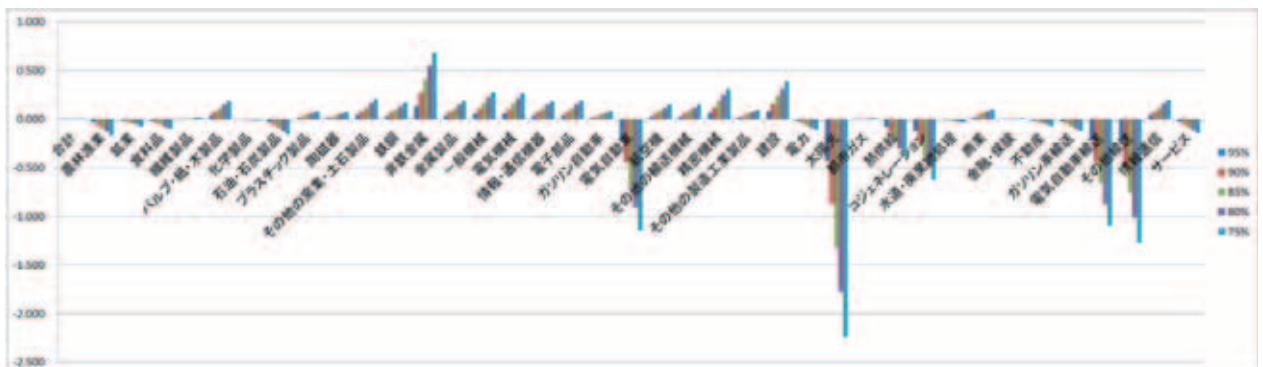


図 3-7-6 市内 GDP ケース別変化

表 3-7-3 労働需要 シミュレーション結果*

部門番号	部門名	補助金なし 総額	95%		変化率	90%		変化率	85%		変化率
			総額	差		総額	差		総額	差	
1	農林漁業	5,817,507	5,815,345	-2,162	-0.037	5,813,176	-4,332	-0.074	5,811,000	-6,508	-0.112
2	鉱業	1,466,530	1,466,277	-253	-0.017	1,466,022	-508	-0.035	1,465,764	-766	-0.052
3	食料品	16,588,099	16,584,285	-3,814	-0.023	16,580,460	-7,640	-0.046	16,576,622	-11,477	-0.069
4	繊維製品	8,259,795	8,260,029	234	0.003	8,260,266	470	0.006	8,260,506	710	0.009
5	パルプ・紙・木製品	11,377,317	11,381,246	3,930	0.035	11,385,196	7,879	0.069	11,389,165	11,848	0.104
6	化学製品	3,026,238	3,026,056	-183	-0.006	3,025,873	-365	-0.012	3,025,691	-547	-0.018
7	石油・石炭製品	704,584	704,338	-247	-0.035	704,090	-494	-0.070	703,842	-743	-0.105
8	プラスチック製品	28,444,426	28,448,251	3,825	0.013	28,452,098	7,672	0.027	28,455,967	11,541	0.041
9	陶磁器	4,997,795	4,998,383	588	0.012	4,998,974	1,179	0.024	4,999,569	1,774	0.035
10	その他の窯業・土石製品	10,582,228	10,586,254	4,026	0.038	10,590,296	8,068	0.076	10,594,356	12,128	0.115
11	鉄鋼	11,638,119	11,641,560	3,441	0.030	11,645,016	6,897	0.059	11,648,488	10,369	0.089
12	非鉄金属	4,323,725	4,329,491	5,766	0.133	4,335,277	11,552	0.267	4,341,086	17,361	0.402
13	金属製品	11,303,746	11,307,617	3,871	0.034	11,311,505	7,760	0.069	11,315,410	11,665	0.103
14	一般機械	17,247,083	17,256,195	9,112	0.053	17,265,343	18,260	0.106	17,274,526	27,443	0.159
15	電気機械	18,902,876	18,912,443	9,568	0.051	18,922,052	19,177	0.101	18,931,702	28,827	0.152
16	情報・通信機器	1,492,806	1,493,293	486	0.033	1,493,781	975	0.065	1,494,271	1,465	0.098
17	電子部品	842,547	842,842	294	0.035	843,137	590	0.070	843,434	887	0.105
18	ガソリン自動車	57,425,784	57,433,749	7,965	0.014	57,441,758	15,974	0.028	57,449,812	24,029	0.042
19	電気自動車	4,879,476	4,900,706	21,230	0.435	4,921,947	42,470	0.870	4,943,197	63,721	1.306
20	航空機	1,606,786	1,607,205	419	0.026	1,607,628	842	0.052	1,608,054	1,268	0.079
21	その他の輸送機械	1,679,667	1,680,112	445	0.026	1,680,558	892	0.053	1,681,007	1,340	0.080
22	精密機械	1,769,906	1,770,955	1,049	0.059	1,772,008	2,103	0.119	1,773,066	3,160	0.179
23	その他の製造工業製品	21,455,924	21,459,251	3,327	0.016	21,462,599	6,675	0.031	21,465,967	10,043	0.047
24	建設	110,839,011	110,923,669	84,658	0.076	111,008,651	169,640	0.153	111,093,958	254,947	0.230
25	電力	6,822,030	6,820,343	-1,687	-0.025	6,818,630	-3,400	-0.050	6,816,892	-5,139	-0.075
26	太陽光	774,140	785,383	11,243	1.452	796,663	22,522	2.909	807,977	33,837	4.371
27	都市ガス	2,156,145	2,156,137	-8	0.000	2,156,130	-6	-0.001	2,156,122	-8	-0.001
28	熱供給	17,319	17,305	-14	-0.079	17,291	-28	-0.158	17,278	-41	-0.238
29	コージェネレーション	274,028	277,096	3,068	1.119	280,173	6,145	2.242	283,259	9,231	3.369
30	水道・廃棄物処理	3,921,353	3,920,971	-382	-0.010	3,920,592	-762	-0.019	3,920,214	-1,139	-0.029
31	商業	169,640,116	169,669,437	29,321	0.017	169,698,892	58,777	0.035	169,728,481	88,366	0.052
32	金融・保険	31,713,720	31,713,199	-521	-0.002	31,712,695	-1,025	-0.003	31,712,207	-1,513	-0.005
33	不動産	7,366,234	7,364,797	-1,437	-0.020	7,363,356	-2,878	-0.039	7,361,911	-4,323	-0.059
34	ガソリン車輸送	28,994,962	28,987,672	-7,290	-0.025	28,980,340	-14,622	-0.050	28,972,964	-21,998	-0.076
35	電気自動車輸送	5,798,256	5,813,792	15,536	0.268	5,829,387	31,131	0.537	5,845,042	46,786	0.807
36	その他輸送	13,073,026	13,152,510	79,484	0.608	13,232,164	159,137	1.217	13,311,987	238,960	1.828
37	情報通信	19,038,581	19,045,533	6,953	0.037	19,052,517	13,937	0.073	19,059,532	20,952	0.110
38	サービス	304,214,081	304,120,562	-93,520	-0.031	304,026,764	-187,317	-0.062	303,932,691	-281,391	-0.092
	合計	950,475,969	950,674,291	198,322	0.021	950,873,308	397,339	0.042	951,073,018	597,048	0.063

部門番号	部門名	補助金なし 総額	80%		変化率	75%		変化率
			総額	差		総額	差	
1	農林漁業	5,817,507	5,808,817	-8,691	-0.149	5,806,627	-10,880	-0.187
2	鉱業	1,466,530	1,465,505	-1,025	-0.070	1,465,243	-1,287	-0.088
3	食料品	16,588,099	16,572,774	-15,326	-0.092	16,568,914	-19,186	-0.116
4	繊維製品	8,259,795	8,260,749	954	0.012	8,260,995	1,200	0.015
5	パルプ・紙・木製品	11,377,317	11,393,153	15,837	0.139	11,397,162	19,845	0.174
6	化学製品	3,026,238	3,025,509	-729	-0.024	3,025,328	-910	-0.030
7	石油・石炭製品	704,584	703,592	-992	-0.141	703,342	-1,242	-0.176
8	プラスチック製品	28,444,426	28,459,858	15,432	0.054	28,463,771	19,345	0.068
9	陶磁器	4,997,795	5,000,166	2,371	0.047	5,000,767	2,972	0.059
10	その他の窯業・土石製品	10,582,228	10,598,432	16,204	0.153	10,602,525	20,297	0.192
11	鉄鋼	11,638,119	11,651,976	13,857	0.119	11,655,479	17,360	0.149
12	非鉄金属	4,323,725	4,346,916	23,191	0.536	4,352,767	29,042	0.672
13	金属製品	11,303,746	11,319,332	15,586	0.138	11,323,270	19,525	0.173
14	一般機械	17,247,083	17,283,743	36,660	0.213	17,292,996	45,913	0.266
15	電気機械	18,902,876	18,941,394	38,518	0.204	18,951,126	48,251	0.255
16	情報・通信機器	1,492,806	1,494,763	1,957	0.131	1,495,258	2,451	0.164
17	電子部品	842,547	843,732	1,185	0.141	844,031	1,484	0.176
18	ガソリン自動車	57,425,784	57,457,911	32,127	0.056	57,466,054	40,271	0.070
19	電気自動車	4,879,476	4,964,458	84,981	1.742	4,985,727	106,251	2.178
20	航空機	1,606,786	1,608,483	1,697	0.106	1,608,916	2,130	0.133
21	その他の輸送機械	1,679,667	1,681,458	1,791	0.107	1,681,910	2,244	0.134
22	精密機械	1,769,906	1,774,127	4,222	0.239	1,775,192	5,287	0.299
23	その他の製造工業製品	21,455,924	21,469,355	13,431	0.063	21,472,764	16,840	0.078
24	建設	110,839,011	111,179,588	340,577	0.307	111,265,540	426,529	0.385
25	電力	6,822,030	6,815,127	-6,903	-0.101	6,813,338	-8,692	-0.127
26	太陽光	774,140	819,326	45,186	5.837	830,709	56,568	7.307
27	都市ガス	2,156,145	2,156,113	-32	-0.002	2,156,104	-41	-0.002
28	熱供給	17,319	17,264	-55	-0.318	17,250	-69	-0.400
29	コージェネレーション	274,028	286,355	12,327	4.498	289,460	15,431	5.631
30	水道・廃棄物処理	3,921,353	3,919,840	-1,513	-0.039	3,919,468	-1,885	-0.048
31	商業	169,640,116	169,758,204	118,088	0.070	169,788,059	147,943	0.087
32	金融・保険	31,713,720	31,711,736	-1,984	-0.006	31,711,282	-2,438	-0.008
33	不動産	7,366,234	7,360,462	-5,772	-0.078	7,359,009	-7,225	-0.098
34	ガソリン車輸送	28,994,962	28,965,544	-29,418	-0.101	28,958,082	-36,880	-0.127
35	電気自動車輸送	5,798,256	5,860,756	62,500	1.078	5,876,529	78,274	1.350
36	その他輸送	13,073,026	13,391,978	318,952	2.440	13,472,138	399,112	3.053
37	情報通信	19,038,581	19,066,579	27,998	0.147	19,073,657	35,076	0.184
38	サービス	304,214,081	303,838,341	-375,740	-0.124	303,743,717	-470,364	-0.155
	合計	950,475,969	951,273,418	797,449	0.084	951,474,507	998,538	0.105

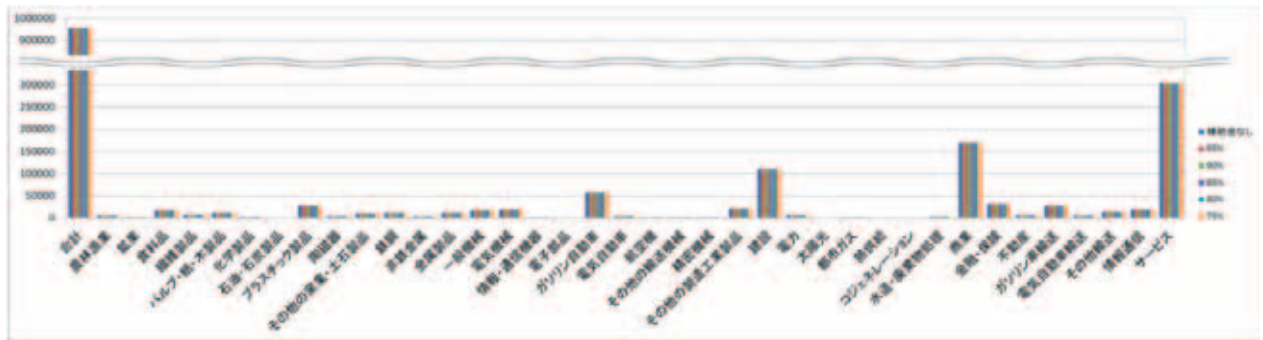


図 3-7-7 労働需要 シミュレーション結果

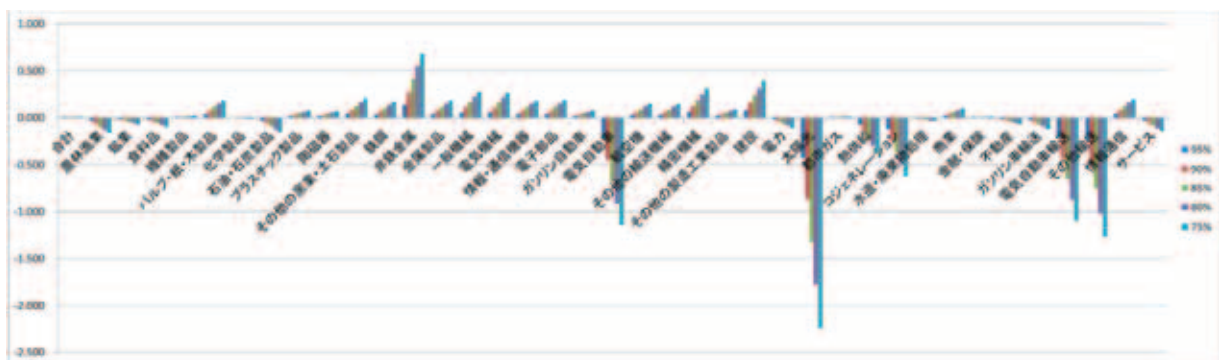


図 3-7-8 労働需要 ケース別偏差

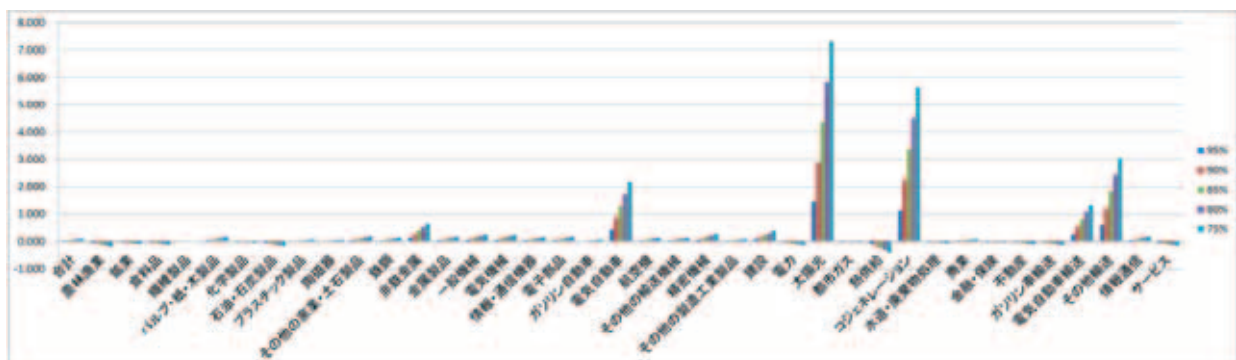


図 3-7-9 労働需要 ケース別変化率

表3-7-4 資本需要 シミュレーション結果

部門番号	部門名	補助金なし 総額	95%		90%		85%	
			総額	差	総額	差	総額	差
1	農林漁業	19,003.718	18,997.715	-6.003	18,991.695	-12.023	18,985.656	-18.062
2	鉱業	1,548.164	1,547.983	-0.181	1,547.801	-0.363	1,547.616	-0.548
3	食料品	18,978.322	18,975.018	-3.304	18,971.705	-6.616	18,968.384	-9.938
4	繊維製品	2,268.102	2,268.292	0.191	2,268.485	0.383	2,268.679	0.577
5	パルプ・紙・木製品	9,352.301	9,356.053	3.753	9,359.825	7.525	9,363.616	11.315
6	化学製品	4,848.700	4,848.678	-0.022	4,848.658	-0.042	4,848.639	-0.060
7	石油・石炭製品	1,328.080	1,327.690	-0.391	1,327.298	-0.783	1,326.904	-1.176
8	プラスチック製品	20,784.867	20,788.824	3.956	20,792.802	7.935	20,796.802	11.935
9	陶磁器	2,904.464	2,904.968	0.504	2,905.475	1.011	2,905.984	1.520
10	その他の窯業・土石製品	11,725.204	11,730.319	5.116	11,735.457	10.254	11,740.618	15.414
11	鉄鋼	21,003.779	21,011.162	7.383	21,018.579	14.801	21,026.032	22.253
12	非鉄金属	2,636.670	2,640.333	3.663	2,644.011	7.341	2,647.702	11.032
13	金属製品	7,937.772	7,940.934	3.162	7,944.110	6.339	7,947.301	9.529
14	一般機械	12,721.389	12,728.822	7.432	12,736.284	14.895	12,743.776	22.387
15	電気機械	10,544.120	10,550.046	5.926	10,555.999	11.879	10,561.978	17.858
16	情報・通信機器	3,316.015	3,317.280	1.266	3,318.551	2.536	3,319.828	3.813
17	電子部品	1,050.196	1,050.621	0.426	1,051.049	0.853	1,051.478	1.282
18	ガソリン自動車	28,168.428	28,173.908	5.480	28,179.418	10.991	28,184.959	16.531
19	電気自動車	4,631.602	4,621.139	-10.464	4,610.619	-20.984	4,600.043	-31.560
20	航空機	1,869.321	1,869.913	0.592	1,870.510	1.189	1,871.111	1.790
21	その他の輸送機械	1,602.753	1,603.267	0.514	1,603.783	1.030	1,604.302	1.549
22	精密機械	1,001.675	1,002.324	0.650	1,002.977	1.302	1,003.632	1.957
23	その他の製造工業製品	19,721.091	19,725.251	4.160	19,729.435	8.344	19,733.644	12.553
24	建設	25,785.021	25,806.156	21.136	25,827.377	42.356	25,848.682	63.661
25	電力	11,267.660	11,265.503	-2.157	11,263.305	-4.354	11,261.068	-6.592
26	太陽光	1,104.898	1,100.063	-4.835	1,095.143	-9.756	1,090.138	-14.761
27	都市ガス	2,196.172	2,196.287	0.115	2,196.403	0.231	2,196.518	0.346
28	熱供給	47.740	47.705	-0.035	47.670	-0.070	47.634	-0.105
29	コジェネレーション	755.367	754.432	-0.935	753.485	-1.882	752.526	-2.841
30	水道・廃棄物処理	4,021.133	4,020.966	-0.167	4,020.802	-0.331	4,020.642	-0.491
31	商業	162,923.907	162,961.170	37.263	162,998.608	74.701	163,036.220	112.313
32	金融・保険	52,915.086	52,917.173	2.087	52,919.301	4.215	52,921.471	6.385
33	不動産	124,222.295	124,204.999	-17.296	124,187.665	-34.630	124,170.293	-52.001
34	ガソリン車輸送	4,963.001	4,962.030	-0.971	4,961.053	-1.947	4,960.070	-2.930
35	電気自動車輸送	992.474	990.347	-2.127	988.211	-4.263	986.067	-6.407
36	その他輸送	13,056.250	13,023.415	-32.835	12,990.361	-65.889	12,957.088	-99.162
37	情報通信	24,982.225	24,992.744	10.519	25,003.312	21.087	25,013.928	31.704
38	サービス	173,199.628	173,156.056	-43.572	173,112.366	-87.262	173,068.558	-131.070
	合計	811,379.586	811,379.586	0.000	811,379.586	0.000	811,379.586	0.000

部門番号	部門名	補助金なし 総額	80%		75%	
			総額	差	総額	差
1	農林漁業	19,003.718	18,979.599	-24.119	18,973.524	-30.194
2	鉱業	1,548.164	1,547.430	-0.734	1,547.241	-0.923
3	食料品	18,978.322	18,965.055	-13.267	18,961.716	-16.605
4	繊維製品	2,268.102	2,268.874	0.772	2,269.071	0.969
5	パルプ・紙・木製品	9,352.301	9,367.426	15.125	9,371.255	18.954
6	化学製品	4,848.700	4,848.623	-0.077	4,848.608	-0.092
7	石油・石炭製品	1,328.080	1,326.509	-1.571	1,326.114	-1.967
8	プラスチック製品	20,784.867	20,800.824	15.956	20,804.867	20.000
9	陶磁器	2,904.464	2,906.496	2.032	2,907.011	2.547
10	その他の窯業・土石製品	11,725.204	11,745.800	20.597	11,751.005	25.801
11	鉄鋼	21,003.779	21,033.518	29.739	21,041.039	37.260
12	非鉄金属	2,636.670	2,651.408	14.738	2,655.129	18.459
13	金属製品	7,937.772	7,950.505	12.734	7,953.724	15.952
14	一般機械	12,721.389	12,751.299	29.909	12,758.851	37.461
15	電気機械	10,544.120	10,567.983	23.863	10,574.015	29.895
16	情報・通信機器	3,316.015	3,321.109	5.094	3,322.396	6.381
17	電子部品	1,050.196	1,051.909	1.713	1,052.342	2.147
18	ガソリン自動車	28,168.428	28,190.529	22.101	28,196.128	27.701
19	電気自動車	4,631.602	4,589.411	-42.192	4,578.722	-52.880
20	航空機	1,869.321	1,871.716	2.396	1,872.326	3.006
21	その他の輸送機械	1,602.753	1,604.823	2.070	1,605.346	2.593
22	精密機械	1,001.675	1,004.290	2.615	1,004.950	3.275
23	その他の製造工業製品	19,721.091	19,737.877	16.786	19,742.134	21.043
24	建設	25,785.021	25,870.071	85.050	25,891.544	106.523
25	電力	11,267.660	11,258.792	-8.868	11,256.477	-11.183
26	太陽光	1,104.898	1,085.047	-19.851	1,079.873	-25.026
27	都市ガス	2,196.172	2,196.634	0.462	2,196.750	0.578
28	熱供給	47.740	47.598	-0.141	47.562	-0.177
29	コジェネレーション	755.367	751.555	-3.811	750.573	-4.794
30	水道・廃棄物処理	4,021.133	4,020.486	-0.647	4,020.334	-0.800
31	商業	162,923.907	163,074.007	150.100	163,111.968	188.061
32	金融・保険	52,915.086	52,923.682	8.596	52,925.936	10.850
33	不動産	124,222.295	124,152.884	-69.411	124,135.438	-86.857
34	ガソリン車輸送	4,963.001	4,959.081	-3.920	4,958.085	-4.915
35	電気自動車輸送	992.474	983.913	-8.561	981.750	-10.724
36	その他輸送	13,056.250	12,923.597	-132.653	12,889.887	-166.363
37	情報通信	24,982.225	25,024.593	42.369	25,035.307	53.083
38	サービス	173,199.628	173,024.632	-174.996	172,980.590	-219.038
	合計	811,379.586	811,379.586	0.000	811,379.586	0.000

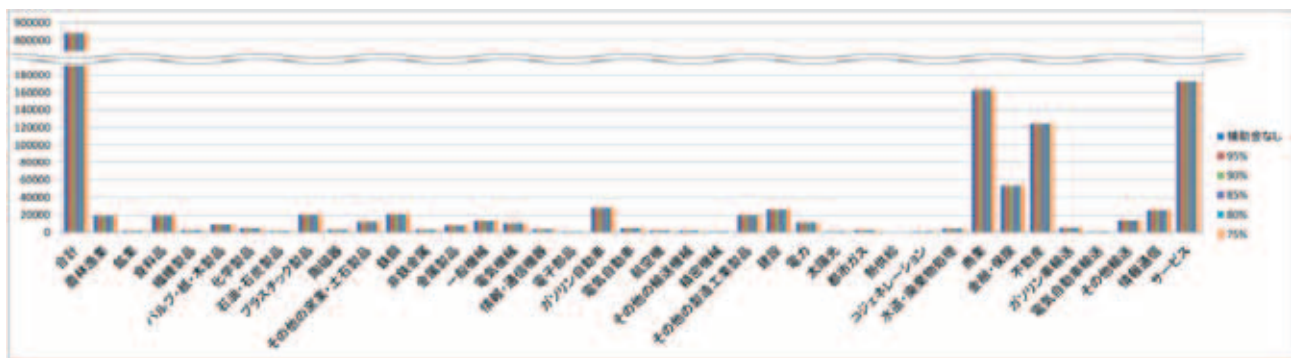


図 3-7-10 資本需要 シミュレーション結果

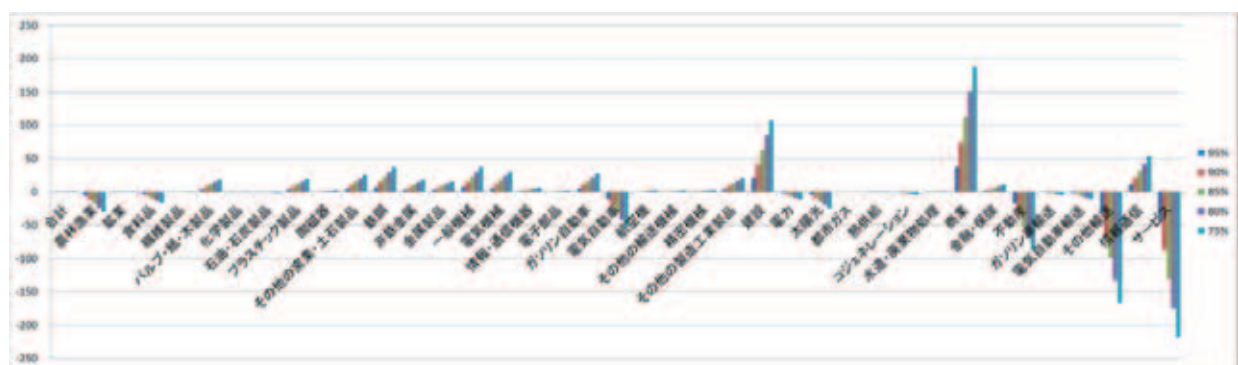


図3-7-11 資本需要 ケース別偏差



図 3-7-12 資本需要 ケース別変化率

表 3-7-5 CO₂ シミュレーション結果

部門番号	部門名	補助金なし 総額	95%			90%			85%		
			総額	差	変化率	総額	差	変化率	総額	差	変化率
1	農林漁業	64122	64101	-21.083	-0.033	64080	-42.230	-0.066	64058	-63.442	-0.099
2	鉱業	3055	3055	-0.439	-0.014	3054	-0.882	-0.029	3054	-1.329	-0.043
3	食料品	45349	45340	-9.066	-0.020	45331	-18.158	-0.040	45322	-27.275	-0.060
4	繊維製品	12423	12424	0.503	0.004	12424	1.011	0.008	12425	1.525	0.012
5	パルプ・紙・木製品	59541	59563	22.079	0.037	59585	44.269	0.074	59607	66.570	0.112
6	化学製品	44526	44525	-1.147	-0.003	44524	-2.283	-0.005	44523	-3.408	-0.008
7	石油・石炭製品	81496	81470	-25.540	-0.031	81444	-51.169	-0.063	81419	-76.884	-0.094
8	プラスチック製品	56	56	0.009	0.016	56	0.018	0.032	56	0.027	0.048
9	陶磁器	12430	12431	1.720	0.014	12433	3.450	0.028	12435	5.188	0.042
10	その他の窯業・土石製品	401034	401198	164.431	0.041	401363	329.566	0.082	401529	495.402	0.124
11	鉄鋼	844414	844694	280.171	0.033	844976	561.644	0.067	845258	844.411	0.100
12	非鉄金属	26370	26406	35.726	0.135	26441	71.588	0.271	26477	107.585	0.408
13	金属製品	10972	10976	4.013	0.037	10980	8.043	0.073	10984	12.092	0.110
14	一般機械	7196	7200	3.974	0.055	7204	7.964	0.111	7208	11.969	0.166
15	電気機械	6372	6375	3.354	0.053	6378	6.722	0.106	6382	10.105	0.159
16	情報・通信機器	367	367	0.134	0.036	368	0.268	0.073	368	0.403	0.110
17	電子部品	237	238	0.090	0.038	238	0.181	0.076	238	0.272	0.115
18	ガソリン自動車	133745	133766	21.034	0.016	133787	42.186	0.032	133808	63.455	0.047
19	電気自動車	12619	12633	14.357	0.114	12647	28.793	0.228	12662	43.309	0.343
20	航空機	58	58	0.017	0.029	59	0.034	0.058	59	0.051	0.088
21	その他の輸送機械	43	43	0.012	0.029	43	0.025	0.059	43	0.038	0.088
22	精密機械	634	634	0.389	0.061	635	0.779	0.123	635	1.171	0.185
23	その他の製造工業製品	16992	16995	3.093	0.018	16998	6.205	0.037	17001	9.335	0.055
24	建設	50145	50183	38.836	0.077	50222	77.822	0.155	50262	116.958	0.233
25	電力	5716	5714	-1.213	-0.021	5713	-2.448	-0.043	5712	-3.703	-0.065
26	太陽光	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
27	都市ガス	25002	25003	0.626	0.003	25004	1.250	0.005	25004	1.873	0.007
28	熱供給	1204	1203	-0.896	-0.074	1202	-1.800	-0.149	1201	-2.712	-0.225
29	コージェネレーション	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
30	水道・廃棄物処理	43089	43086	-2.972	-0.007	43083	-5.910	-0.014	43080	-8.813	-0.020
31	商業	63875	63888	12.803	0.020	63901	25.665	0.040	63914	38.586	0.060
32	金融・保険	3625	3625	0.068	0.002	3625	0.138	0.004	3625	0.211	0.006
33	不動産	8024	8023	-1.142	-0.014	8022	-2.287	-0.028	8021	-3.434	-0.043
34	ガソリン車輸送	9607	9605	-2.336	-0.024	9602	-4.686	-0.049	9600	-7.049	-0.073
35	電気自動車輸送	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
36	その他輸送	77635	77774	139.344	0.179	77915	279.998	0.361	78057	421.968	0.544
37	情報通信	4591	4593	1.823	0.040	4595	3.655	0.080	4596	5.494	0.120
38	サービス	160005	159959	-45.914	-0.029	159913	-91.960	-0.057	159867	-138.139	-0.086
39	家計消費	53311	53305	-6.094	-0.011	53299	-12.198	-0.023	53293	-18.310	-0.034
	合計	2289879	2290509	630.765	0.028	2291144	1265.265	0.055	2291782	1903.502	0.083

部門番号	部門名	補助金なし 総額	80%			75%		
			総額	差	変化率	総額	差	変化率
1	農林漁業	64122	64037	-84.718	-0.132	64016	-106.059	-0.165
2	鉱業	3055	3053	-1.780	-0.058	3053	-2.236	-0.073
3	食料品	45349	45313	-36.418	-0.080	45304	-45.586	-0.101
4	繊維製品	12423	12425	2.044	0.016	12426	2.569	0.021
5	パルプ・紙・木製品	59541	59630	88.982	0.149	59652	111.506	0.187
6	化学製品	44526	44522	-4.520	-0.010	44521	-5.621	-0.013
7	石油・石炭製品	81496	81393	-102.682	-0.126	81367	-128.560	-0.158
8	プラスチック製品	56	56	0.036	0.064	56	0.045	0.080
9	陶磁器	12430	12437	6.936	0.056	12438	8.693	0.070
10	その他の窯業・土石製品	401034	401696	661.937	0.165	401863	829.170	0.207
11	鉄鋼	844414	845542	1128.469	0.134	845828	1413.813	0.167
12	非鉄金属	26370	26514	143.718	0.545	26550	179.986	0.683
13	金属製品	10972	10988	16.157	0.147	10992	20.241	0.184
14	一般機械	7196	7212	15.990	0.222	7216	20.027	0.278
15	電気機械	6372	6385	13.503	0.212	6389	16.916	0.265
16	情報・通信機器	367	368	0.539	0.147	368	0.675	0.184
17	電子部品	237	238	0.364	0.153	238	0.456	0.192
18	ガソリン自動車	133745	133830	84.839	0.063	133851	106.339	0.080
19	電気自動車	12619	12676	57.905	0.459	12691	72.580	0.575
20	航空機	58	59	0.069	0.118	59	0.086	0.148
21	その他の輸送機械	43	43	0.050	0.118	43	0.063	0.147
22	精密機械	634	636	1.565	0.247	636	1.959	0.309
23	その他の製造工業製品	16992	17004	12.484	0.073	17008	15.651	0.092
24	建設	50145	50301	156.244	0.312	50340	195.678	0.390
25	電力	5716	5711	-4.978	-0.087	5709	-6.274	-0.110
26	太陽光	0	0	0	0	0	0	0
27	都市ガス	25002	25005	2.493	0.010	25005	3.111	0.012
28	熱供給	1204	1200	-3.633	-0.302	1199	-4.562	-0.379
29	コージェネレーション	0	0	0	0	0	0	0
30	水道・廃棄物処理	43089	43077	-11.683	-0.027	43074	-14.518	-0.034
31	商業	63875	63927	51.567	0.081	63940	64.606	0.101
32	金融・保険	3625	3625	0.286	0.008	3625	0.364	0.010
33	不動産	8024	8020	-4.583	-0.057	8019	-5.735	-0.071
34	ガソリン車輸送	9607	9597	-9.427	-0.098	9595	-11.819	-0.123
35	電気自動車輸送	0	0	0	0	0	0	0
36	その他輸送	77635	78200	565.261	0.728	78345	709.884	0.914
37	情報通信	4591	4598	7.342	0.160	4600	9.199	0.200
38	サービス	160005	159821	-184.449	-0.115	159774	-230.890	-0.144
39	家計消費	53311	53287	-24.432	-0.046	53280	-30.563	-0.057
	合計	2289879	2292424	2545.478	0.111	2293070	3191.194	0.139

表 3-7-6 財価格 シミュレーション結果

部門番号	部門名	補助金なし	95%		90%		85%		80%		75%	
		総額	総額	変化率	総額	変化率	総額	変化率	総額	変化率	総額	変化率
1	農林漁業	1.011	1.011	-0.010	1.011	-0.019	1.011	-0.029	1.010	-0.038	1.010	-0.048
2	鉱業	1.008	1.007	-0.020	1.007	-0.041	1.007	-0.061	1.007	-0.082	1.007	-0.102
3	食料品	1.009	1.009	-0.010	1.009	-0.020	1.009	-0.030	1.009	-0.040	1.009	-0.050
4	繊維製品	1.006	1.006	-0.009	1.005	-0.017	1.005	-0.026	1.005	-0.035	1.005	-0.044
5	パルプ・紙・木製品	1.008	1.007	-0.010	1.007	-0.020	1.007	-0.031	1.007	-0.041	1.007	-0.052
6	化学製品	1.009	1.009	-0.011	1.008	-0.021	1.008	-0.032	1.008	-0.043	1.008	-0.054
7	石油・石炭製品	1.010	1.010	-0.017	1.009	-0.033	1.009	-0.050	1.009	-0.067	1.009	-0.084
8	プラスチック製品	1.007	1.007	-0.010	1.007	-0.020	1.007	-0.029	1.007	-0.039	1.007	-0.049
9	陶磁器	1.007	1.007	-0.010	1.007	-0.020	1.006	-0.031	1.006	-0.041	1.006	-0.051
10	その他の産業・土石製品	1.008	1.008	-0.012	1.008	-0.024	1.008	-0.036	1.008	-0.049	1.007	-0.061
11	鉄鋼	1.009	1.009	-0.014	1.009	-0.027	1.009	-0.041	1.009	-0.055	1.009	-0.069
12	非鉄金属	1.007	1.007	-0.014	1.006	-0.027	1.006	-0.041	1.006	-0.055	1.006	-0.069
13	金属製品	1.007	1.007	-0.010	1.007	-0.020	1.007	-0.031	1.007	-0.041	1.007	-0.051
14	一般機械	1.007	1.007	-0.009	1.007	-0.017	1.007	-0.026	1.007	-0.035	1.007	-0.044
15	電気機械	1.007	1.007	-0.010	1.006	-0.019	1.006	-0.029	1.006	-0.039	1.006	-0.049
16	情報・通信機器	1.009	1.009	-0.010	1.008	-0.021	1.008	-0.031	1.008	-0.042	1.008	-0.053
17	電子部品	1.008	1.008	-0.010	1.008	-0.021	1.007	-0.031	1.007	-0.042	1.007	-0.052
18	ガソリン自動車	1.007	1.006	-0.008	1.006	-0.017	1.006	-0.025	1.006	-0.034	1.006	-0.042
19	電気自動車	1.007	1.006	-0.106	1.005	-0.213	1.004	-0.320	1.003	-0.427	1.002	-0.535
20	航空機	1.008	1.008	-0.007	1.008	-0.014	1.008	-0.021	1.008	-0.029	1.008	-0.036
21	その他の輸送機械	1.008	1.008	-0.010	1.008	-0.021	1.007	-0.031	1.007	-0.042	1.007	-0.052
22	精密機械	1.007	1.006	-0.008	1.006	-0.015	1.006	-0.023	1.006	-0.031	1.006	-0.039
23	その他の製造工業製品	1.008	1.008	-0.012	1.007	-0.025	1.007	-0.037	1.007	-0.050	1.007	-0.063
24	建設	1.005	1.005	-0.008	1.005	-0.016	1.005	-0.024	1.005	-0.032	1.005	-0.040
25	電力	1.009	1.009	-0.014	1.009	-0.028	1.008	-0.042	1.008	-0.056	1.008	-0.070
26	太陽光	1.008	1.005	-0.376	1.001	-0.755	0.997	-1.139	0.993	-1.528	0.989	-1.916
27	都市ガス	1.008	1.007	-0.019	1.007	-0.038	1.007	-0.057	1.007	-0.076	1.007	-0.096
28	熱供給	1.010	1.010	-0.018	1.009	-0.037	1.009	-0.055	1.009	-0.074	1.009	-0.093
29	コジェネレーション	1.010	1.008	-0.225	1.006	-0.453	1.004	-0.682	1.001	-0.913	0.999	-1.146
30	水道・廃棄物処理	1.008	1.008	-0.009	1.008	-0.019	1.008	-0.028	1.008	-0.037	1.007	-0.047
31	商業	1.008	1.008	-0.009	1.008	-0.017	1.008	-0.026	1.008	-0.034	1.007	-0.043
32	金融・保険	1.009	1.009	-0.007	1.009	-0.013	1.009	-0.020	1.009	-0.027	1.009	-0.034
33	不動産	1.014	1.014	-0.006	1.014	-0.011	1.014	-0.017	1.014	-0.023	1.014	-0.028
34	ガソリン車輸送	1.005	1.005	-0.030	1.005	-0.059	1.005	-0.089	1.004	-0.119	1.004	-0.149
35	電気自動車輸送	1.005	1.002	-0.250	1.000	0.000	0.997	0.000	0.995	-1.000	0.992	-1.251
36	その他輸送	1.008	1.005	-0.271	1.003	-0.542	1.000	-0.815	0.997	-1.089	0.994	-1.364
37	情報通信	1.009	1.009	-0.006	1.008	-0.013	1.008	-0.019	1.008	-0.026	1.008	-0.032
38	サービス	1.006	1.006	-0.006	1.006	-0.012	1.006	-0.018	1.006	-0.024	1.006	-0.031

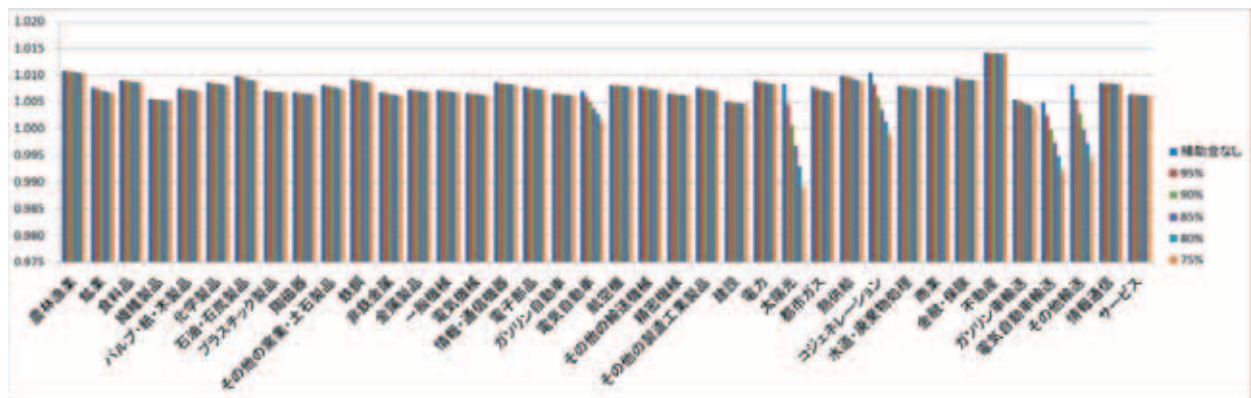


図 3-7-16 財価格 シミュレーション結果

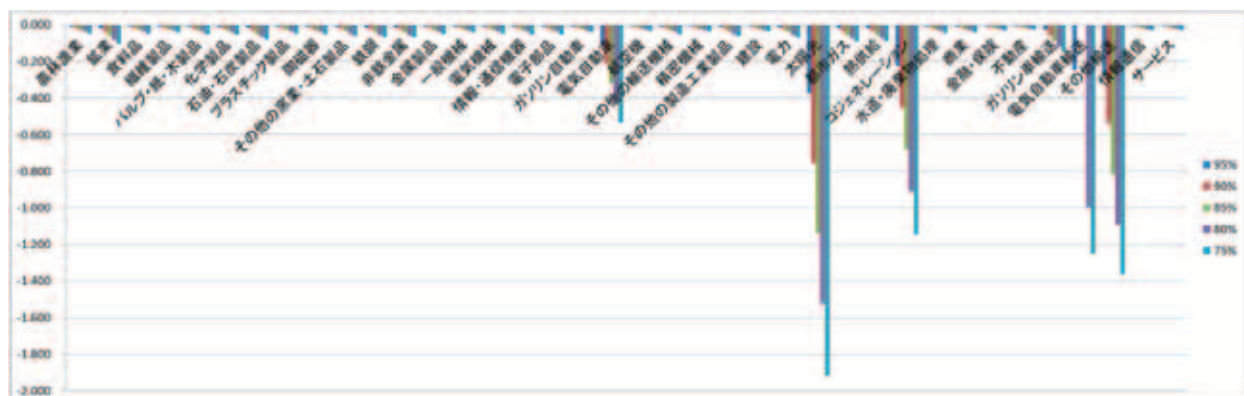


図 3-7-17 財価格 ケース別変化率

表 3-7-7 主要変数 シミュレーション結果

部門番号	部門名	補助金なし	95%		90%		85%		80%		75%	
		総額	総額	変化率	総額	変化率	総額	変化率	総額	変化率	総額	変化率
1	産業産出量	3,244,249	3,244,791	0.017	3,245,336	0.033	3,245,885	0.050	3,246,437	0.067	3,246,993	0.085
2	GDP	1,876,912	1,876,916	0.000	1,876,920	0.000	1,876,924	0.001	1,876,928	0.001	1,876,932	0.001
3	完全所得	1,835,271	1,834,848	-0.023	1,834,424	-0.046	1,833,998	-0.069	1,833,571	-0.093	1,833,142	-0.116
4	家計所得	1,552,041	1,551,685	-0.023	1,551,327	-0.046	1,550,968	-0.069	1,550,608	-0.092	1,550,246	-0.116
5	消費合成財	95,516	95,505	-0.011	95,494	-0.023	95,483	-0.034	95,472	-0.046	95,461	-0.057
6	余暇	874,660	874,462	-0.023	874,263	-0.045	874,063	-0.068	873,862	-0.091	873,661	-0.114
7	家計貯蓄	283,130	283,096	-0.012	283,062	-0.024	283,029	-0.036	282,995	-0.048	282,961	-0.059
8	ガソリン車購入	5,550	5,549	-0.015	5,548	-0.031	5,548	-0.046	5,547	-0.062	5,546	-0.078
9	電気自動車購入	979	980	0.083	981	0.166	981	0.249	982	0.333	983	0.417
10	直接税	338,627	338,549	-0.023	338,471	-0.046	338,393	-0.069	338,314	-0.092	338,235	-0.116
11	純間接税	115,948	115,749	-0.172	115,549	-0.344	115,349	-0.517	115,147	-0.690	114,946	-0.865
12	政府歳入	489,597	489,038	-0.114	488,478	-0.229	487,915	-0.344	487,350	-0.458	486,784	-0.575
13	政府消費	199,298	199,071	-0.114	198,843	-0.229	198,614	-0.344	198,384	-0.458	198,153	-0.575
14	TRGH	140,773	140,612	-0.114	140,451	-0.229	140,289	-0.344	140,127	-0.458	139,964	-0.575
15	TRGC	145,807	145,641	-0.114	145,474	-0.229	145,306	-0.344	145,138	-0.458	144,969	-0.575
16	政府貯蓄	3,718	3,714	-0.114	3,710	-0.229	3,706	-0.344	3,701	-0.458	3,697	-0.575
17	投資総額	543,419	543,813	0.072	544,208	0.145	544,604	0.218	545,002	0.291	545,401	0.365
18	労働供給	950,476	950,674	0.021	950,873	0.042	951,073	0.063	951,274	0.084	951,475	0.105
19	資本供給	811,380	811,380	0.000	811,380	0.000	811,380	0.000	811,380	0.000	811,380	0.000
20	資本収益率	1,000	1,000	0.000	1,000	0.000	1,000	0.000	1,000	0.000	1,000	0.000
21	消費合成財価格	1.016	1.016	-0.006	1.016	-0.011	1.016	-0.017	1.016	-0.022	1.016	-0.028

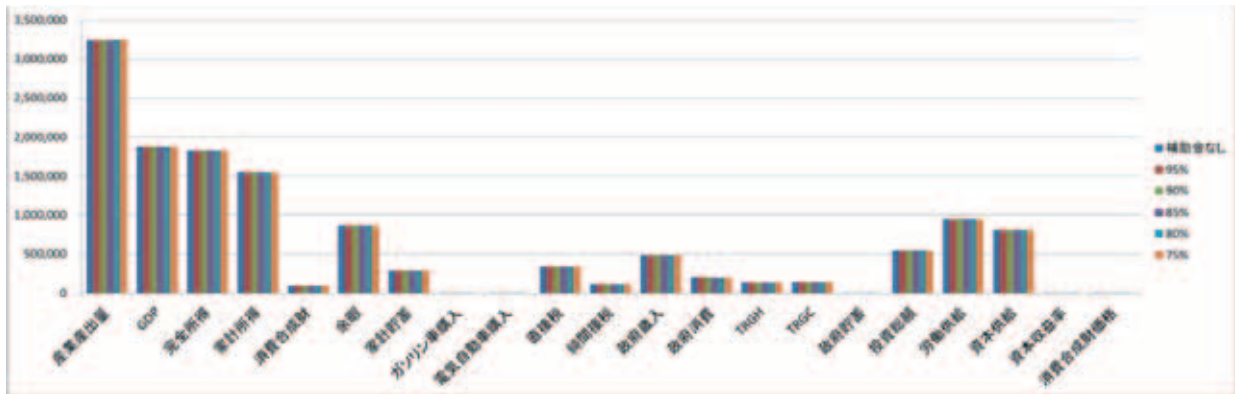


図 3-7-18 主要変数 シミュレーション結果

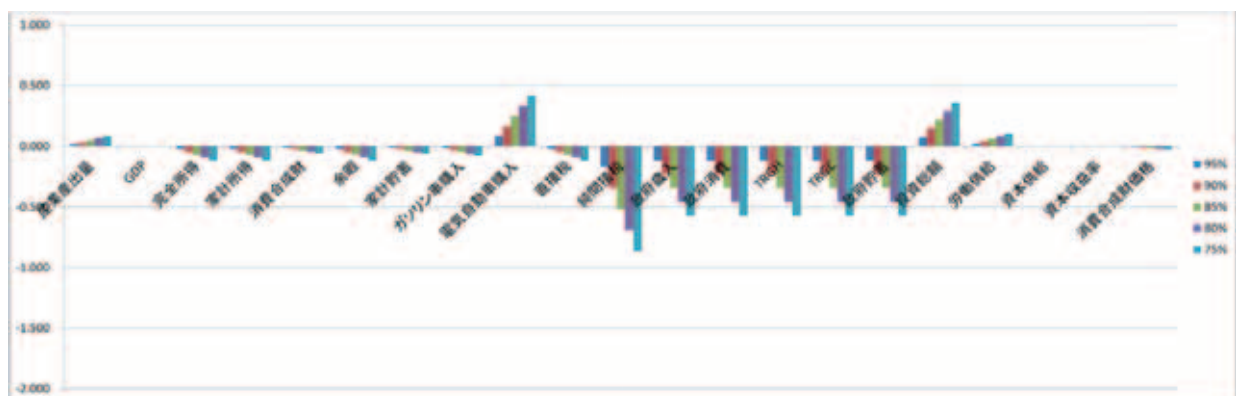


図 3-7-19 主要変数 ケース別変化率

3-8 おわりに

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

しかし多量のCO₂を排出する産業の生産増加に伴い、CO₂の総排出量はわずかながら増加してしまった。これは電気自動車社会が省資源型のため、より多くの経済資源が従来型産業に割り当てられるためである。CO₂の増加を回避するためには新たな技術導入の想定や、炭素税の導入などが必要とされよう。

また労働需要は増えたが、余暇需要を減らすことにつながっており、家計効用にはマイナスに働く結果となった。

本研究では、補助金率を5%ずつ上げて変化率を比較したが、どの部門でもほぼ比例的に変化していることが分かった。中でも補助金の対象とした産業の変化率の変動の大きさは、他の産業と比べ大きかった。また、本研究では補助金制度に焦点を当てているが、その新たな財源には触れられていない。電気自動車社会に相応しくない部門に税金をかけることも一つの方法であろう。

しかしながら上にも述べたように、市民の豊かさを表す等価的偏差が若干減少してしまうことが課題である。まずは二酸化炭素を減少させる施策を考え、二酸化炭素の減少を金銭評価すれば、豊橋市民の豊かさは増加する可能性もある。また所得再分配政策も家計効用を高める施策の一つである。これらを詳細に検討していくことが今後の課題である。

参考文献

- 1)愛知県公式HP : <http://www.pref.aichi.jp/>
- 2)畔柳 創・平井裕太・高田祐樹・松井拓也・前田 恵：「電気自動車が活躍できる社会づくり」，ISFJ2009政策フォーラム発表論文，pp.1-25，2009
- 3)環境省 HP : <http://www.env.go.jp/>
- 4)経済産業省HP : <http://www.meti.go.jp/index.html>
「地球温暖化対策について」
「次世代エネルギー・社会システムの構築に向けて」
「次世代自動車戦略2010」
「次世代自動車分野における地域を挙げた国際競争力の強化」
「我が国の太陽光発電の動向」
- 5)気象庁 HP : <http://www.jma.go.jp/jma/index.html>
- 6)国土交通省HP : <http://www.mlit.go.jp/>，「国土交通省における次世代自動車等取組状況について」
- 7)宮田 譲・佐藤浩基：「二酸化炭素排出問題の動学一般均衡分析」，土木計画学研究・論文集 Vol.16，pp.431-442，1999

- 8)宮田 譲・渋澤博幸・張 鍵：「廃棄物を考慮した小地域の応用一般均衡分析 -帯広都市圏を事例として-」, 地域学研究 第34巻, pp.481-508, 2004
- 9)Miyata, Y., Shibusawa, H. and Khanam, S. : “Economic Impacts of an Electric Vehicle Society in Toyohashi City, Japan - ACGE Modelling Approach -“, IOSR Journal of Business and Management, Vol.2, No.4, pp.29-40, 2012
- 10)宮田 譲・渋澤博幸：「豊橋市における電気自動車導入による都市の変化」, 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－平成24年度研究成果報告書, pp.38-57, 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, 2013
- 11)村沢義久：「燃やさない文明と電気自動車の役割」, 予防時報, No. 239, pp.20-25, 2009
- 12)南齋規介・森口祐一・東野達：「産業連関表による環境負荷原単位データブック(3EID)」, 独立行政法人国立環境研究所地球環境研究センター, 2004年
- 13)日本エネルギー経済研究所HP : <http://eneken.ieej.or.jp/>
- 14)豊橋市HP : <http://www.city.toyohashi.aichi.jp/>, 「豊橋市地球温暖化対策地域推進計画」
- 15)全国地球温暖化防止活動推進センターHP : <http://www.jccca.org/>

4. 三河港の立地企業の経済効果と電気自動車による海上輸送へのモーダルシフトに関する研究

建築・都市システム学系 准教授 渋澤 博幸, 教授 宮田 譲

4-1 三河港に立地する企業の経済波及効果の計測

本稿では、三河港の地区を対象に経済波及効果を計測する。前回の報告書では、港湾の物流・生活文化・生産の機能に対応する産業に注目して経済波及効果を計測した。本稿では、三河港に立地する企業を対象に経済波及効果を計測する。

一般的に港湾の機能に関係する企業は、港湾の後背地域にも立地していることから、港湾後背地域の関連企業を含めて経済効果が計測される。港湾の対象エリアに注目する場合、そのエリアに立地する企業群の生産がもたらす経済波及効果が計測される。前者は港湾のもつ機能をベースに、そして後者は港湾のエリアに立地する企業をベースに港湾の経済効果を把握する。三河港に関連する企業の大部分が、三河港の地区に集積して立地していることから、エリアベースの経済波及効果の計測は有益といえる。

このアプローチでは、ある地区に企業が立地した場合、または企業が撤退した場合にどのような経済波及効果が生じるのかといった地区レベルの経済効果の検討にも応用が可能である。例えば、津波などの被害により特定の地区の生産が停止した場合にどの程度の波及効果が生じるかといった課題を検討することができる。

地区レベルの経済波及効果の計測では、経済センサスの町丁・大字の従業者数が基本情報となる。本稿では、三河港を対象として、町丁・大字の従業者数から、生産額を推計し、産業連関モデルを用いて経済波及効果を計測する方法を解説する。港湾エリアに変更が生じた場合でも利用可能な枠組みを提示しながら経済波及効果の計測を行う。

一般的に、港湾における諸活動は、取扱貨物量、貿易額や船舶乗降人員数等の指数で示されることが多い。本稿では、三河港に立地している企業がもたらす経済効果を定量的に把握し、三河港が果たす経済的な役割をわかりやすく示すために、三河港の経済波及効果の計測を試みる。

(1) 三河港の対象地域

三河港は愛知県東部の三河湾・渥美湾奥にある豊橋市、田原市、蒲安市、豊川市にわたる港湾である。本稿では、三河港所轄地区と関連地区（蒲安市海陽町）の町丁・大字を対象に経済波及効果を計測する。蒲安市の海陽町には海洋性レクリエーション施設であるラグーナ蒲安が立地しており、重要な観光拠点であることから対象地域に含めている。三河港の対象地域は、豊橋市（神野地区、明海地区、大崎地区）、田原市（田原地区）、蒲安市（蒲安地区、大塚地区）、及び豊川市（御津地区）である。図 4-1-1 に対象地域を示す。神野地区は、国産自動車の国内への積出、海外への輸出、及び外国車の輸入が行われている。港湾合同庁舎があり、港湾の行政機関も立地している。明海地区は、自動車、化学、木材、及び物流関係の企業が集積している。蒲安地区は、自動車・木材等の貨物を取り扱っている。大塚地区は、海洋型複合リゾートであるラグーナ蒲安

と学校法人海洋学園が立地している。田原地区は、大規模な生産エリアであり、インフラ整備も進められており、生産と流通の拠点である。

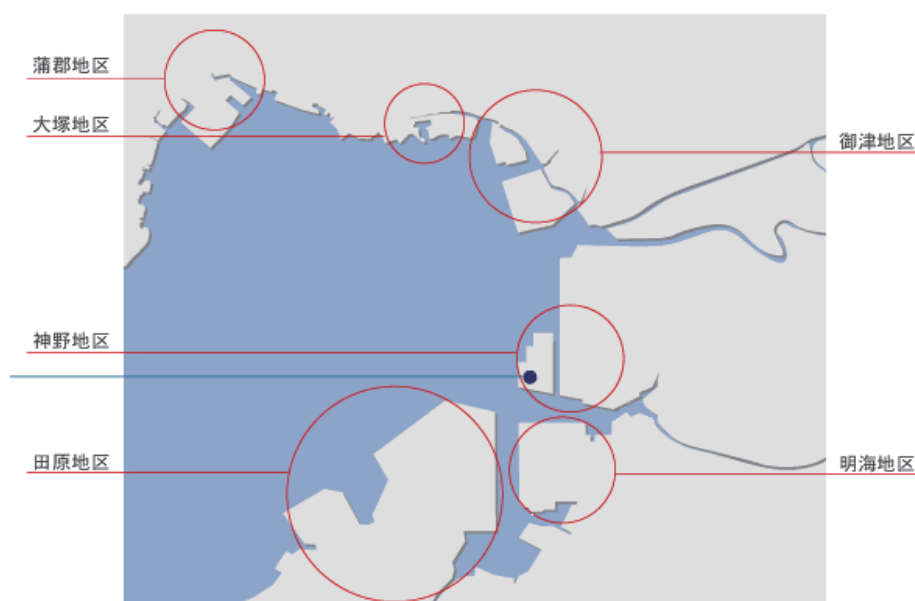


図 4-1-1 三河港対象地域

三河港振興会のホームページ参照

(2) 三河港の従業者数と生産額・粗付加価値額

ゾーンレベルの従業者数は、平成 21 年経済センサスから情報を得る。ゾーンのサイズによって産業の分類部門数が異なっている。町丁・大字レベルでは大分類(18 部門)、また市町村レベルでは、小分類(734 部門)である。経済波及効果の計測モデルでは、愛知県 40 部門の産業連関表を用いることから、三河港の各地区における 40 部門の従業者数を推計する。

三河港の各市(豊橋市、田原市、蒲郡市、豊川市)の小分類部門別の従業者数を 734 部門から 40 部門に集計し、生産額と粗付加価値額を推計する。次に、三河港の対象地区の町丁・大字別の従業者数を 18 部門別に集計して、生産額と粗付加価値額を推計する。これに、40 部門表から按分比率を求め、町丁・大字別の 40 部門の従業者数を推計する。

表 4-1-1 と図 4-1-2 に、三河港対象地区における 11 町丁・大字の 18 部門別従業者数を示す。対象エリアの総従業者数は約 3 万 1 千人である。従業者数が最も多いのは、緑が浜であり、続いて明海町と浜町となっている。産業部門別にみると、製造業の従業者数が多く、続いて運輸業・郵便業、卸売業・小売業となっている。

表 4-1-1 三河港の町丁・大字別部門別従業者数(18 部門)

		豊橋市			田原市		豊川市		蒲郡市				合計
		明海町	神野ふ頭町	新西浜町	白浜	緑が浜	御津町佐脇浜	御津町御幸浜	浜町	海陽町1丁目	海陽町2丁目	海陽町3丁目	
		(人)	(人)	(人)	(人)	(人)	(人)	(人)	(人)	(人)	(人)	(人)	(人)
1 A, B	農林漁業	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4
2 C	鉱業、採石業、砂利採取業	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3 D	建設業	379	0	0	9	142	104	0	159	0	0	0	793
4 E	製造業	7,899	0	60	123	11,012	1,087	274	2,146	0	1	0	22,602
5 F	電気・ガス・熱供給・水道業	39	0	14	0	4	0	0	20	0	0	0	77
6 G	情報通信業	8	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	10
7 H	運輸業、郵便業	1,857	716	0	0	798	155	0	531	0	0	0	4,057
8 I	卸売業、小売業	496	166	28	13	62	3	22	114	0	259	0	1,163
9 J	金融業、保険業	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	10
10 K	不動産業、物品賃貸業	37	3	0	0	0	0	0	1	0	0	0	41
11 L	学術研究、専門・技術サービス業	44	23	0	0	0	0	0	9	0	0	0	76
12 M	宿泊業、飲食サービス業	84	0	0	0	422	0	20	11	3	303	53	896
13 N	生活関連サービス業、娯楽業	0	10	0	0	24	0	20	98	0	413	0	565
14 O	教育、学習支援業	0	24	0	0	0	0	0	0	0	0	56	80
15 P	医療、福祉	19	0	0	0	0	0	0	20	0	0	0	39
16 Q	複合サービス事業	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
17 R	サービス業	370	7	0	0	223	1	0	91	0	0	0	692
18 S	公務	0	38	0	0	0	0	0	19	0	0	0	57
	1～4人	106	40	0	3	51	11	1	52	3	67	0	334
	5～9人	262	68	0	9	143	16	15	79	0	128	0	720
	10～19人	711	45	14	10	265	16	34	287	0	192	0	1,574
	20～29人	603	98	28	0	261	98	40	189	0	52	0	1,369
	30人以上	9,564	736	60	123	11,967	1,209	246	2,612	0	539	109	27,165
	派遣従業者												0
	全産業	11,246	987	102	145	12,687	1,350	336	3,219	3	978	109	31,162

出典：2009年経済センサス

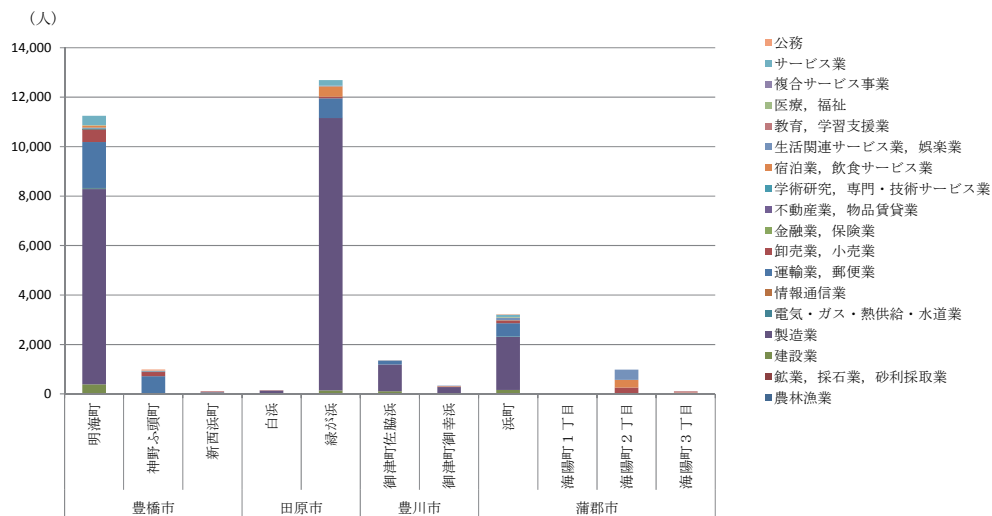


図 4-1-2 三河港の町丁・大字別従業者数

(3) 直接効果の推計

三河港の対象地域に立地する企業の直接効果（生産額）は、総額で約 1 兆 1,993 億円と推計された。表 4-1-2 に推計した三河港対象地域の 40 部門別の生産額を示す。ゾーン別の構成比をみると、田原市の緑が浜が約 57%，豊橋市の明海町が約 29%，蒲郡市の浜町が約 6%，及び豊川市の御津町が約 5%を占めている。産業部門別にみると、自動車が約 61%，運輸が約 5.6%，プラスチック製品が約 4.5%，飲食料品が約 4.2%，鉄鋼が約 3.2%を占めている。

表 4-1-2 三河対象地域の生産額

部門名/町丁・大字 単位：百万円	生産額											生産額 合計	構成比
	豊橋市			田原市		豊川市		蒲郡市					
	明海町	神野ふ 頭町	新西浜 町	白浜	緑が浜	御津町 佐脇浜	御津町 御幸浜	浜町	海陽町 1丁目	海陽町 2丁目	海陽町 3丁目		
1 農業	15	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	15	0
2 林業	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.0%
3 漁業	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0.0%
4 鉱業	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.0%
5 飲食料品	28,766	0	219	154	13,760	2,141	540	4,700	0	2	0	50,282	4.2%
6 繊維製品	3,069	0	23	14	1,253	277	70	5,054	0	2	0	9,763	0.8%
7 パルプ・紙・木製品	18,021	0	137	19	1,699	568	143	1,891	0	1	0	22,478	1.9%
8 化学製品	13,071	0	99	30	2,700	49	12	4,987	0	2	0	20,951	1.7%
9 石油・石炭製品	3,111	0	24	0	0	71	18	294	0	0	0	3,518	0.3%
10 プラスチック製品	35,468	0	269	100	8,956	2,254	568	5,990	0	3	0	53,608	4.5%
11 陶磁器	0	0	0	0	0	44	11	0	0	0	0	55	0.0%
12 その他の窯業・土石製品	1,882	0	14	1	116	380	96	51	0	0	0	2,539	0.2%
13 鉄鋼	23,362	0	177	121	10,812	671	169	2,719	0	1	0	38,033	3.2%
14 非鉄金属	5,893	0	45	19	1,659	1,179	297	0	0	0	0	9,091	0.8%
15 金属製品	8,466	0	64	25	2,264	1,480	373	930	0	0	0	13,603	1.1%
16 一般機械	9,788	0	74	12	1,091	1,125	284	1,925	0	1	0	14,300	1.2%
17 電気機械	12,321	0	94	30	2,666	4,945	1,247	2,529	0	1	0	23,832	2.0%
18 情報・通信機器	44,378	0	337	76	6,791	3,841	968	2,396	0	1	0	58,788	4.9%
19 電子部品	377	0	3	0	0	668	168	114	0	0	0	1,331	0.1%
20 自動車	79,379	0	603	6,784	607,326	19,204	4,841	13,462	0	6	0	731,604	61.0%
21 航空機	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.0%
22 その他の輸送機械	3,787	0	29	6	573	3,896	982	738	0	0	0	10,012	0.8%
23 精密機械	827	0	6	0	0	431	109	1,443	0	1	0	2,816	0.2%
24 その他の製造工業製品	3,742	0	28	5	472	467	118	7,059	0	3	0	11,894	1.0%
25 建設	4,933	0	0	117	1,848	1,354	0	2,070	0	0	0	10,322	0.9%
26 電力・ガス・熱供給	2,016	0	724	0	106	0	0	163	0	0	0	3,009	0.3%
27 水道・廃棄物処理	493	0	177	0	74	0	0	456	0	0	0	1,199	0.1%
28 商業	5,582	1,868	315	146	698	34	248	1,283	0	2,915	0	13,089	1.1%
29 金融・保険	271	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	271	0.0%
30 不動産	3,189	259	0	0	0	0	0	86	0	0	0	3,533	0.3%
31 運輸	30,983	11,946	0	0	13,314	2,586	0	8,859	0	0	0	67,688	5.6%
32 情報通信	222	0	0	0	0	0	0	0	0	55	0	277	0.0%
33 公務	0	793	0	0	0	0	0	396	0	0	0	1,189	0.1%
34 教育・研究	684	357	0	0	0	0	0	140	0	0	0	1,181	0.1%
35 医療・保健・社会保障・介護	191	0	0	0	0	0	0	201	0	0	0	392	0.0%
36 その他の公共サービス	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.0%
37 対事業所サービス	4,549	381	0	0	2,742	12	0	1,119	0	0	688	9,491	0.8%
38 対個人サービス	528	63	0	0	2,806	0	252	686	19	4,504	333	9,191	0.8%
39 事務用品	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.0%
40 分類不明	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.0%
全産業	349,360	15,667	3,462	7,659	683,724	47,678	11,513	71,740	19	7,501	1,022	1,199,344	100.0%
構成比	29.1%	1.3%	0.3%	0.6%	57.0%	4.0%	1.0%	6.0%	0.0%	0.6%	0.1%	100.0%	

（４）経済効果の計測

ここで計測する経済波及効果は、直接効果、一次効果、及び二次効果を加えたものとして定義される。直接効果は、前述した三河港対象地域の従業者数から推計された生産額である。この生産額から、粗付加価値額、雇用者所得額、及び雇用者数が得られる。一次効果は、直接効果の生産を行うために投入した原材料の部門別需要額から誘発する生産額である。この生産誘発額は、この部門別需要額に自給率を乗じ、さらにレオンチェフ逆行列を乗じることによって求められる。一次効果の生産誘発額(ΔX)、粗付加価値額(ΔV)、及び雇用誘発数(ΔL)は次の式から求められる。

$$\Delta X = [I - (I - \bar{M})A]^{-1}[\Delta D], \Delta V = v\Delta X, \Delta L = l\Delta X$$

ここで、 I ：単位行列、 $\bar{M}$ ：移輸入係数行列、 A ：投入係数行列、 ΔD ：需要の変化、 v ：粗付加価値率、 l ：雇用者係数である。

二次効果は、所得増による消費需要から誘発する生産額である。直接効果の雇用者所得額と一次効果の雇用者所得額の総額に、平均消費性向を乗じて、消費支出総額を求める。これに、民間消費支出比率を乗じることによって得られた民間消費額から誘発する生産額を求める。

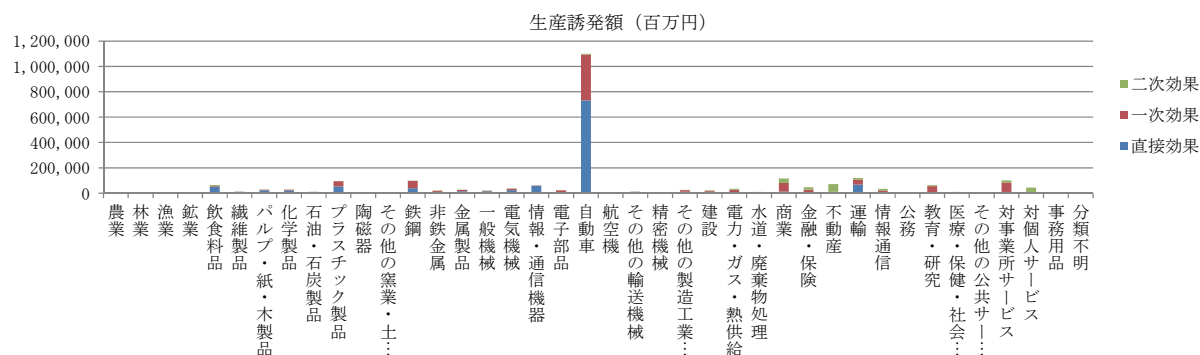
（５）三河港に立地する企業の経済波及効果の推計

三河港に立地する企業の生産額ベースの経済波及効果は、約 2 兆 3,595 億円と推計された（表 4-1-3）。直接効果の誘発効果は約 1.97 倍と推計された。また、粗付加価値額ベースの経済波及効果は、約 8,087 億円と推計された。雇用者誘発数は 73,832 人と推計された。三河港臨海部エリアに立地する企業の従業者数は約 3 万 1 千人であり、雇用者誘発数は約 2.52 倍となっている。4 市の従業者数は約 32 万人であり、雇用者誘発数は約 23%を占めている。

表 4-1-3 三河港に立地する企業の経済波及効果（試算）

総効果	生産額（百万円）	2,359,486
	粗付加価値額（百万円）	808,705
	雇用者誘発数（人）	73,832
直接効果	生産額（百万円）	1,199,344
	粗付加価値額（百万円）	315,090
	雇用者誘発数（人）	29,277
間接効果 （一次）	生産額（百万円）	905,634
	粗付加価値額（百万円）	334,781
	雇用者誘発数（人）	30,808
間接効果 （二次）	生産額（百万円）	254,509
	粗付加価値額（百万円）	158,835
	雇用者誘発数（人）	13,748
波及倍率 =総効果/直接効果	生産額	1.97
	粗付加価値額	2.57
	雇用者誘発数	2.52

図 4-1-3 に、部門別の経済波及効果を示す。生産誘発額をみると、自動車産業が突出している。自動車産業は、自動車部品等の中間投入の比率が高いことから、直接効果に加えて一次効果も大きな割合を占めている。粗付加価値額では、自動車に加えて、商業、対事業所サービス、不動産、運輸、教育・研究等の誘発額が大きくなっている。雇用者誘発数では、自動車、商業、対事業所サービス、運輸、対個人サービス、教育・研究等への効果が大きい。



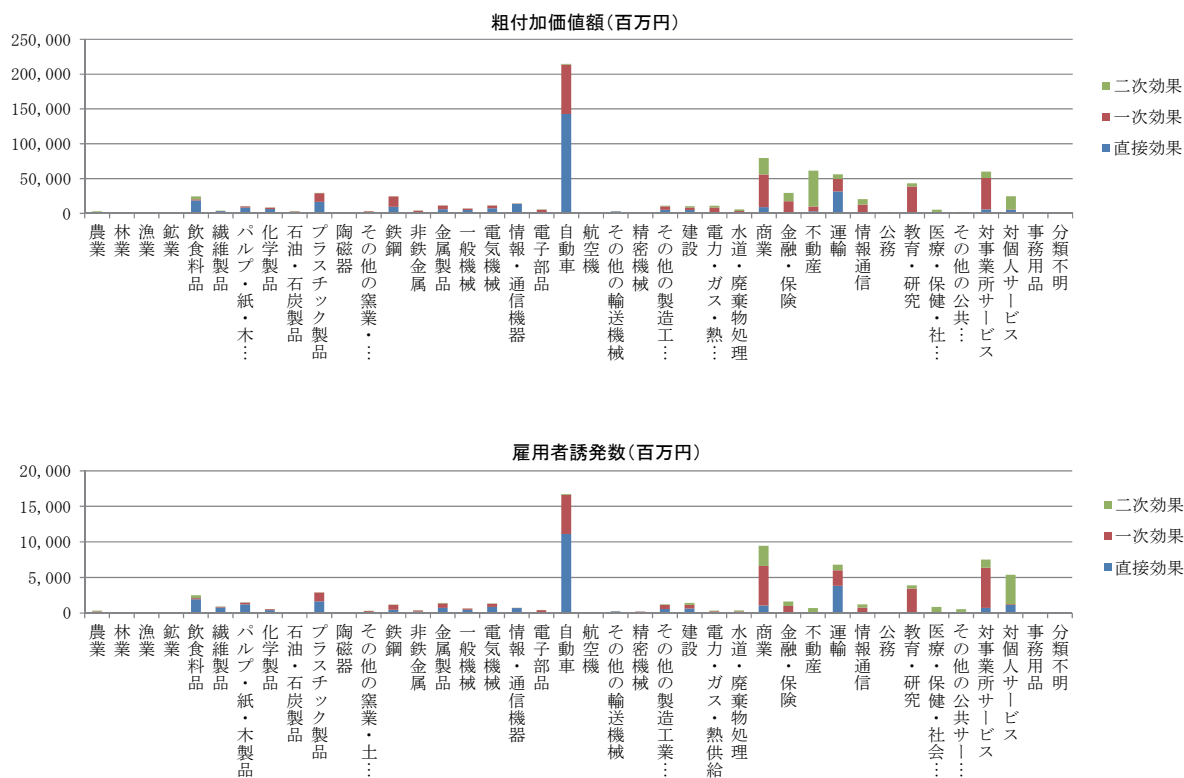


図 4-1-3 三河港の産業別経済波及効果（試算）

（6）まとめと今後の課題

本稿では、三河港に立地する企業を対象として、既存統計資料を活用して、生産額ベースと粗付加価値額ベースの経済波及効果の試算を行った。この調査では、港湾機能ではなく、港湾のエリアに注目して経済波及効果を計測した。三河港には、自動車関連産業が集積していることから、次世代自動車が生産された場合の経済効果や、移輸出入がもたらす空間的な波及効果の計測は今後の課題となろう。エリアベースで経済波及効果の計測を行うアプローチであることから、津波がもたらす経済被害の波及効果にも応用可能である。地区別の経済効果の計測についても検討が必要である。

4-2 電気自動車による陸上輸送から海上輸送へのモーダルシフトと環境への影響

本節では、電気乗用車と電気トラック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と環境への影響について検討する。昨年の報告書では、電気乗用車が、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検討した。本調査では、電気トラックが出現した場合に、道路からフェリーへのモーダルシフトの可能性を試算する。電気乗用車と電気トラックの場合を比較しながら、モーダルシフトと環境への影響を明らかにする。

(1) 方法

電気自動車が、道路とフェリーのどちらの交通機関を利用するかという問題を考える。ここでは、電気自動車とは、電気乗用車及び電気貨物車を示すものとする。一般的に、旅客と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。犠牲量モデルを用いると、所要時間と移動費用の情報から、交通機関の分担率を求めることができる。東北産業活性化センター『青函カートレイン構想』では、旅客と貨物のフェリーと高速道路の分担率を推計している。分担率と時間価値の関係を図4-2-1に示す。

$$\text{旅客} \quad \ln[P/(1-P)] = -7.56566 + 2.30696 \ln \omega$$

$$\text{貨物} \quad \ln[P/(1-P)] = -8.81237 + 3.06129 \ln \omega$$

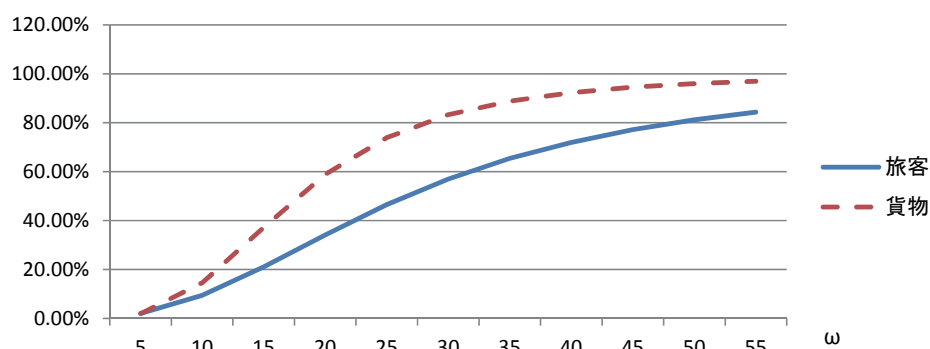


図4-2-1 分担率と時間価値

Pはフェリーの分担率であり、 $P = \text{フェリー} / (\text{フェリー} + \text{道路})$ である。道路の分担率は $1-P$ である。 ω は各区間の時間価値、すなわち1分当たりの時間価値(円)で、 $\omega = (\text{道路移動費用} - [\text{フェリー移動費用} - \text{フェリー休息時間価値}]) / (\text{フェリー移動所要時間} - \text{道路移動所与時間})$ である。フェリー休息時間価値とは、フェリー利用により減少した道路走行時間を休息の増加分としてその時間価値を求めたものである。瀬戸内海のフェリーの情報を用いて推計された式であるが、本調査では参考情報としてこの式を試験的に用いる。旅客は乗用車を、貨物はトラックを利用するものとする。

(2) シナリオ

①経路と移動手段

A地域とB地域のある区間に、トラックで移動可能な2つの経路が存在する状況を想定する。「道路（一般道路と高速道路）」を利用する経路 α と、「道路（主に一般道路）とフェリー」を利用する経路 β である。その他の輸送モードを利用した移動は考えないものとする。2つの経路の概念図を図4-2-2示す。ここで、二つのケースを考える。

エンジン車ケース：通常エンジン車（乗用車またはトラック）で移動する場合

電気自動車ケース：電気自動車（乗用車またはトラック）で移動する場合

エンジン車ケースにおける経路 α と経路 β の分担率と、電気自動車ケースにおける経路 α と経路 β の分担率を求める。電気自動車とエンジン車の経路 β の分担率の差を求め、この差が大きくなればモーダルシフトが生じるとする。

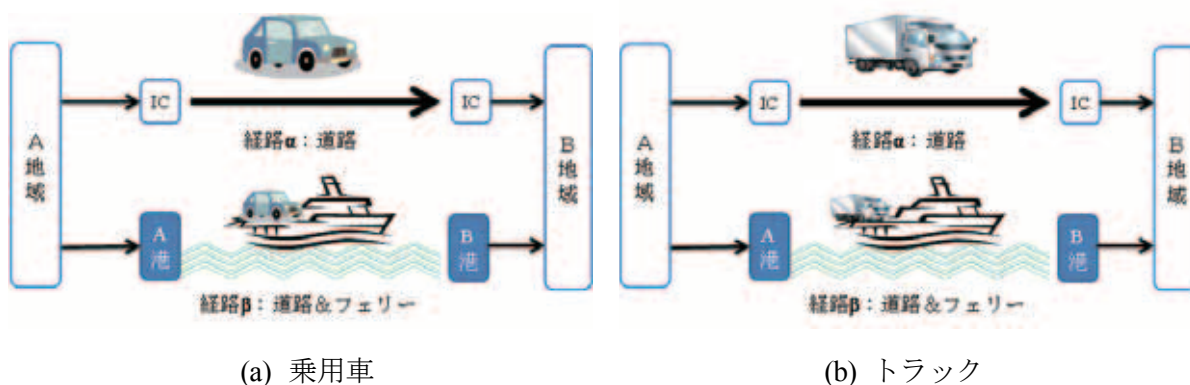


図4-2-2 経路と交通機関

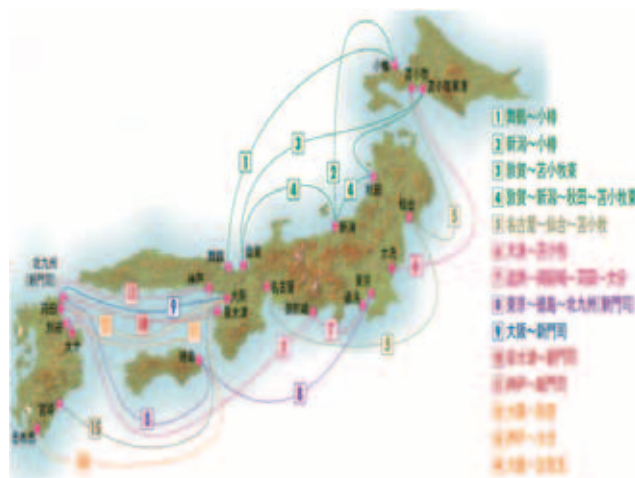
②フェリーの航路と発着地

図4-2-3に長距離フェリー航路を示す。フェリーは約1日1便である。図中の番号は各航路を示す。このうち、4,5,6,8,9の航路は複数の航路に分け、7番の航路は旅客サービスがないため考慮していない。各航路の港に対応する発着地点を表4-2-1のように定めた。

各発着地点間の経路 α と経路 β の情報は、検索サイトNAVITIMEを利用した。陸上移動では高速道路を利用し、移動時間を最小にする経路を優先的に選択した。経路 α と経路 β の区間を、エンジン車（乗用車あるいはトラック）1台で移動した場合の移動費用と移動時間、及び電気自動車（乗用車あるいはトラック）1台で移動した場合の移動費用と移動時間を求めた。各経路の移動費用と移動時間から時間価値を求め、犠牲量モデルの(1)式と(2)式を用いて経路 β （フェリー）の分担率 P を求めた。北海道—青森間は、道路が存在しないためフェリーを利用するものとした。

表4-2-1 発着地と航路

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



出典：日本長距離フェリー協会ホームページ

図4-2-3 フェリー航路

③エンジン車（エンジン乗用車あるいはエンジントラック）

エンジン車（乗用車またはトラック）で経路 α を移動する場合の所要時間は、道路の移動時間にエンジンの給油時間を加えた時間とする。給油回数は移動距離を航続距離（乗用車400km，トラック500km）で除して求めた。移動費用は、有料道路の料金と道路走行費からなる。エンジン車で経路 α 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とした。1日1便のフェリーについては平均待ち時間を12時間とした。移動費用は、フェリーの運賃（車両費含む）と道路走行費の合計である。フェリー移動の場合、フェリーの運賃から道路走行時間が減少した分の時間価値を差し引いている。

乗用車とトラックでは給油回数が異なるため所要時間に若干の相違が生じる。移動費用については、乗用車よりもトラックの方が、走行経費原単位と有料道路の料金とも高い。トラックについては中型トラック（車両総重量が5トン以上、又は最大積載量が3トン以上であって、車両総重量が11トン未満、かつ最大積載量が6.5トン未満のトラック）を対象とした。小型トラックの場合は移動費用が低下し、大型トラックの場合は移動費用が高くなる傾向があるが、今回の分析対象には含まなかった。

④電気自動車

電気自動車（乗用車またはトラック）で経路 α を移動する場合の所要時間は、道路の移動時間と総充電時間（充電回数×充電時間）の合計である。電気自動車の航続距離は130kmとした。移動費用は、有料道路の料金と道路走行費の合計である。道路走行費は、走行経費原単位に走行距離

を乗じて求められる。走行経費原単位は、燃料費、油脂費、整備費、車両焼却費を含む。一般的に、電気自動車の燃料費はエンジン車のそれよりも低い、車両費は電気自動車のほうがより高価である。ここでは、基本ケースとして、電気自動車とエンジン車は同じ走行経費原単位を用いた。電気自動車が普及するためには、電気自動車の走行経費が少なくともエンジン車と同等かあるいはそれ以下ある必要があるからである。

表4-2-2に、エンジン車と電気自動車の分担率とCO₂の排出量の計算に用いた原単位の一覧を示す。

表4-2-2 推計に用いた原単位

	単位	エンジン 乗用車	電気 乗用車	エンジン トラック	電気 トラック	フェリー
給油・充電時間	分/回	10	40	10	40	
航続距離	km	400	130	500	130	
ドライバーの時間価値	円/分	40.1	40.1	64.18	64.18	
フェリー平均待ち時間	時間	12	12	12	12	
走行経費原単位(高速道路)	円/km	9.55	9.55	28.52	28.52	
走行経費原単位(一般道路)	円/km	23.62	23.62	45.84	45.84	
CO ₂ 排出係数	CO ₂ /t・km	165	66	520	208	40
犠牲量モデル定数項		-7.56566		-8.81237		
犠牲量モデル係数		2.30696		3.06129		

(注) 高速道路：高速・地域高規格・速度75km/h、一般道路：一般道市街地、時速30km/h

(3) 分析結果

①経路βの分担率の推計

(a)エンジン乗用車と電気乗用車の場合

表4-2-1に示した発着地点とする各区分において、エンジン乗用車あるいは電気乗用車で、経路αと経路βを移動した場合の分担率を犠牲量モデルから求めた。これを基本ケースとする。図4-2-4の横軸は各区分の番号である。縦軸は経路β（フェリー&道路）の分担率を示す。一般的に、経路α（道路）の移動距離が長い区分ほど、すなわち道路を利用すると長距離・長時間・高い費用の移動を余儀なくされる区分ほど、経路β（フェリー&道路）を選択する割合が高くなっている。どの区分をみても、エンジン車よりも電気自動車のケースで、経路β（フェリー&道路）の分担率が上昇している。これは、電気自動車が普及すると、経路β（フェリー）を利用する可能性が高まることを示している。

(b)エンジントラックと電気トラックの場合

同様に、エンジントラックと電気トラックの場合について、経路βの分担率を求めた。図4-2-4(b)に示すように、17の航路については、フェリーを利用する経路の分担率が得られた。本州の各駅と北海道を結ぶ経路についてはフェリーの利用率が高い。本州と北海道の間を、道路のみで移動する経路αの場合、青森―北海道に道路が存在しないため、この区分だけはフェリーを利用して移動するようにしている。本州の各駅から青森まで高速道路を利用して、途中フェリーに乗ると

コストが高くなるため、最初からフェリーを利用する割合が高まる傾向となった。その他の航路については、フェリーの中型トラック運賃が高速道路の料金よりも高いため、経路 α （高速道路）のみを選択する径路も存在している。

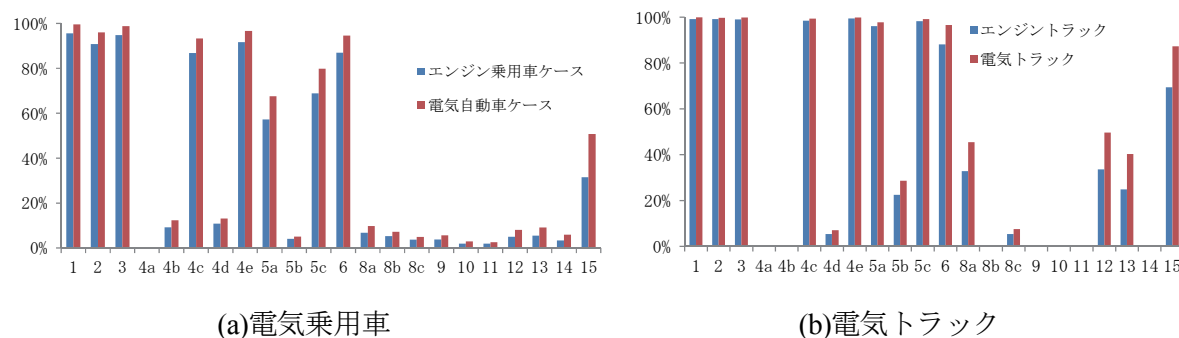


図4-2-4 経路 β の分担率

②モーダルシフト率

陸上移動から海上移動へのモーダルシフト率を次のように定義する。

モーダルシフト率＝電気自動車の経路 β の分担率 — エンジン車の経路 β の分担率

各区間のモーダルシフト率を図4-2-5(a)(b)に示す。電気乗用車の場合は、すべての航路でモーダルシフト率を求めることができた。モーダルシフトが生じた経路について、シフト率の平均値を求めた。電気乗用車によるモーダルシフト率の平均値は4.5%となった。トラックに関しては5つの航路についてフェリーの利用はなかった。電気トラックによるモーダルシフト率については、17の航路で平均値は5.1%となった。図4-2-5から、トラックに比べて乗用車の場合に、すべての航路でバランスよくモーダルシフトが生じる傾向がみられる。感度分析を行うと、乗用車に比べてトラックの場合は、フェリーの料金に影響を受けやすい傾向がみられる。

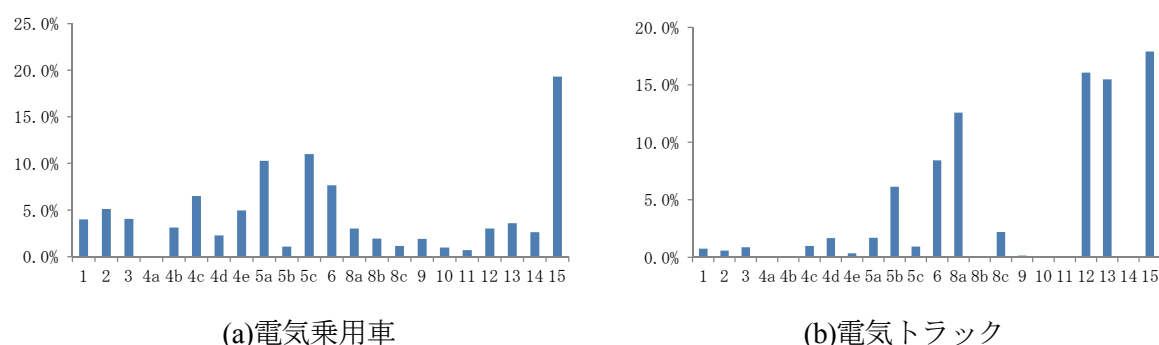


図4-2-5 経路 β へのモーダルシフト率

③CO₂排出量

図4-2-6に、各区間を経路 α と経路 β で、エンジン車（乗用車，トラック）と電気自動車（乗用

車，トラック）で移動した場合のCO₂排出量を示す。1台1トリップあたりのCO₂排出量である。エンジントラックで経路αを移動する場合，CO₂排出量が最も大きくなっている。エンジントラックあるいはエンジン乗用車で経路βを移動するとCO₂排出量は減少する。

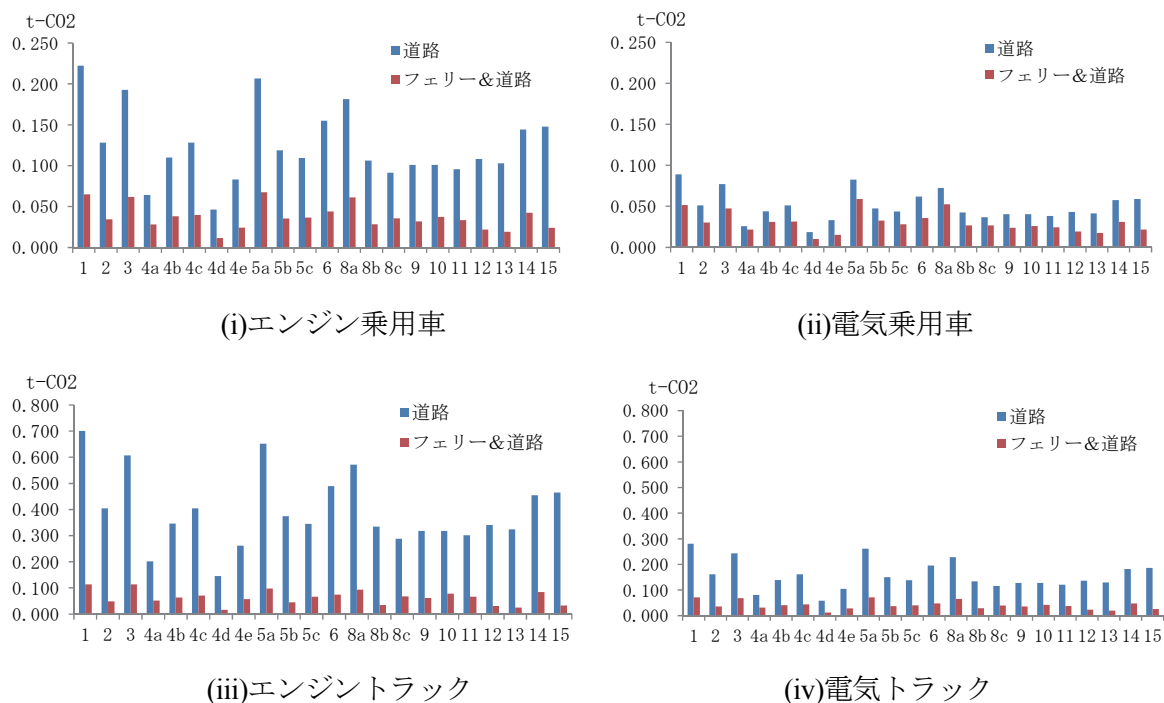


図4-2-6 CO₂排出量

電気トラックあるいは電気乗用車で経路αを移動すると，CO₂排出量は大幅に減少する。電気乗用車で経路βを移動すると，CO₂排出量が最も少なくなる傾向となった。

すべての区間のCO₂排出量を集計した結果を表4-2-3に示す。

表4-2-3 全航路のCO₂排出量

	経路α	経路β
エンジン乗用車	3.567t-CO ₂	0.822t-CO ₂
電気乗用車	1.761t-CO ₂	0.664t-CO ₂
エンジントラック	8.650t-CO ₂	1.392t-CO ₂
電気トラック	3.460t-CO ₂	0.892t-CO ₂

乗用車の場合は，経路αによるエンジン乗用車の移動から，経路βによる電気乗用車への移動にモーダルシフトすることにより75.8%のCO₂削減となる。同様に，トラックの場合は，経路αによるエンジントラックの移動から，経路βによる電気トラックの移動にモーダルシフトすることにより83.9%のCO₂削減となる。

（４）まとめ

本節では、仮説的なシナリオと犠牲量モデルを用いて、電気自動車と電気トラック道路を利用したトリップから、長距離フェリーを利用したトリップへモーダルシフトする可能性について検討した。我が国の長距離フェリーの旅客と貨物トラックの移動に注目して、全ての航路について道路からフェリーへのモーダルシフト率を試算した。電気乗用車がもたらす海上移動への平均的なシフト率は約4.5%となり、電気トラックがもたらす平均シフト率は約5.1%となった。電気乗用車よりも電気トラックの方が、陸上から海上輸送へのモーダルシフトをもたらす可能性が高いことが示された。また、電気乗用車や電気トラックによるモーダルシフトは、CO₂排出の削減にも大きく貢献することが示された。今回の分析では、中型トラックを対象としたが、小型トラックのケースについても調査が必要と考えられる。三河湾の経済波及効果のモデルを利用して、モーダルシフトが港湾後背地の地域経済に与える影響を計測することも重要な課題である。

参考文献

- [1] 愛知県三河港務所，平成24年三河港統計年報，平成25年9月
- [2] 一般社団法人日本長距離フェリー協会，ホームページ，長距離フェリー2013春夏号，
http://www.jlc-ferry.jp/2012_spring.pdf，2013年1月15日
- [3] 国土交通省貨物自動車運送事業における次世代自動車の導入促進に関する研究会，貨物自動車運送事業における次世代自動車の導入促進に関するとりまとめ，平成23年7月
- [4] 豊橋技術科学大学未来ビークルシティリサーチセンター，平成24年度研究成果報告書，2013年3月
- [5] 財団法人東北産業活性化センター，青函カートレイン構想，平成9年

5. 三河港周辺域における水質環境および波浪特性の現状評価

建築・都市システム工学系 教授 井上 隆信, 准教授 加藤 茂, 助教 岡辺 拓巳

5-1 研究の背景と目的

三河湾の湾奥に位置する三河港では港湾の全域において富栄養化状態にあり、夏季には慢性的な貧酸素水塊が形成されている。この水塊の湧昇によって発生する苦潮（青潮）により、湾内の干潟では貝類の大量斃死が頻繁に確認されている。愛知県産のアサリは国内シェアの6割を占めており、三河湾内の沿岸漁業に欠かせない。近年の全国的なアサリ漁獲量の急減の中で、比較的安定した供給が見込める重要な生産地であることから、三河湾の水質問題は全国的な漁業・食料問題に及ぶリスクとなっている。三河湾内の各漁場では港湾内の豊川河口に広がる干潟（六条潟）で採捕した稚貝を放流用種苗とすることでアサリを生産しており、稚貝の供給を六条潟のみに依存する高いリスクを抱えた構造である。このような大型港湾や内湾における環境問題は、生物相の多様性や水環境の保全が重要なキーポイントである。本研究テーマでは、貧酸素水塊の形成に密接に関わる港湾への栄養塩流入について、現地調査に基づいた降雨時の流出負荷を明らかにする。また、港湾内に広がる干潟域における波・流れの観測を行い、その特性を検討した。

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。平成23年度はモデルによる推定手法について、平成24年度は詳細な調査に基づく正確な負荷量算定手法について報告した。本年度は、問題となる畑地群において降雨時の栄養塩流出負荷量について検討を行った。

港湾内の水質環境は波や流れといった水理特性と強く関連する。六条潟は河川出水や風、高波浪や高潮といった高いエネルギーの自然外力に曝されており、干潟域での土砂移動は活発である。特に底質輸送と、それに関わる波や流れといった輸送外力の短期（気象・潮汐）～中期（季節）特性や干潟域での空間的な特徴は、アサリ稚貝の発生サイクルと密接に関わると考えられており、内湾干潟海域の環境保全に不可欠な情報である。ここでは、愛知県水産試験場の協力のもと、2012年11月～2013年3月まで行われた六条潟での多点波浪・流況観測より、その特徴を把握する。



図 5-2-1 調査地点

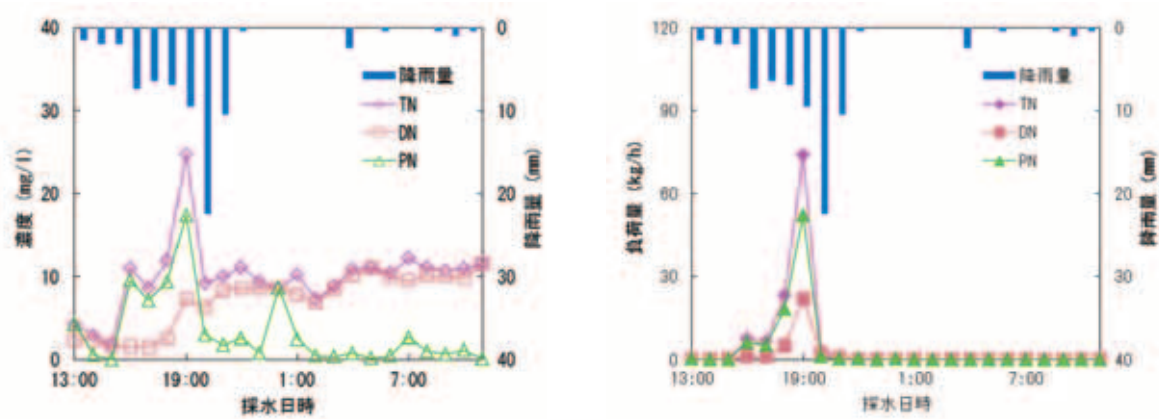


図 5-2-2 形態別窒素濃度及び負荷量経時変化 (2013 年 4 月 6-7 日降雨時調査)

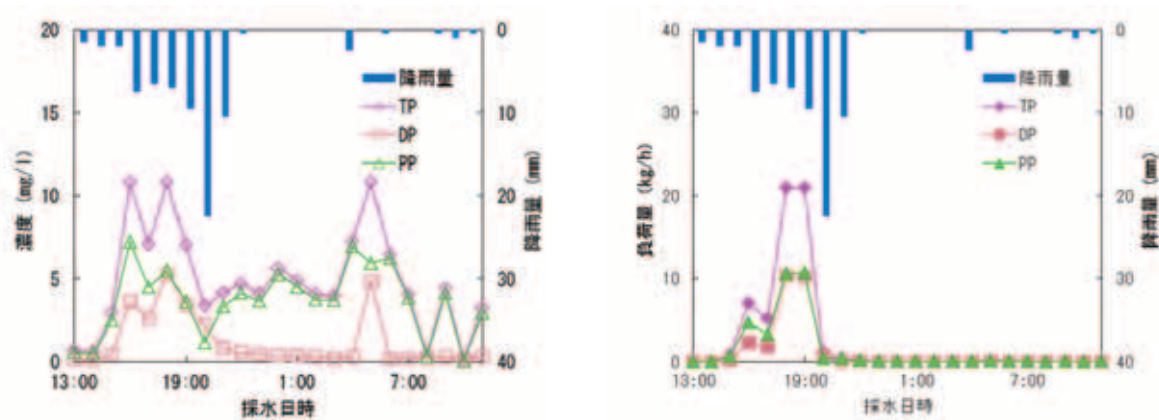


図 5-2-3 形態別リン濃度及び負荷量経時変化 (2013 年 4 月 6-7 日降雨時調査)

表 5-2-1 降雨時調査結果

	降水量	流量	TN	DN	PN	TP	DP	PP
	mm	m ³	kg	kg	kg	kg	kg	kg
4/1	6	51.84	0.19	0.13	0.05	0.04	0.03	0.02
4/6	74.5	7268.99	116.81	33.99	83.00	57.24	25.78	31.46
4/20	15	698.24	2.31	1.72	0.59	3.31	0.17	3.13
4/30	2	24.05	0.26	0.26	0.01	0.06	0.06	0.01
5/19	3.5	124.71	0.60	0.53	0.07	1.30	0.71	0.59
6/11	5.5	154.14	0.63	0.52	0.12	1.52	0.83	0.69
6/20	50	3382.60	19.57	17.91	2.01	31.41	12.23	19.17
6/26	16	789.15	2.83	1.37	1.46	5.78	4.31	1.47
7/4	2.5	29.30	0.36	0.35	0.01	0.22	0.22	0.01
10/15	90	16319.25	192.78	165.18	27.60	61.61	20.80	40.81
10/20	66.5	7674.00	66.02	49.59	16.43	25.14	8.80	16.35

5-2 降雨時の栄養塩流出負荷量の解明

(1) 調査概要

調査地点は、図 5-2-1 に示す豊橋市南部の台地の畑地群の中の農業排水路である。この用水路は晴天時には通常水は流れておらず、降雨に伴い流域の畑地等の表面流出水が流入する。そのため、畑地土壌等の濁水が流入するため、降雨に伴う畑地からの栄養塩流出調査には大変適した地点である。調査地点には、水位・流速計、自動採水器を設置し、降雨に伴い水位が観測されると、1 時間ごとに自動に採水するシステムを構築し 2011 年より連続観測を実施している。自動観測した水位と流速から流量を算出している。採水した試水は降雨後速やかに実験室に持ち帰り、懸濁態浮遊物質 (SS)、全窒素 (TN)、溶存態窒素 (DN)、全リン (TP)、溶存態リン (DP) を測定した。TN から DN を差し引いて懸濁態窒素 (PN)、TP から DP を差し引いて懸濁態リン (PP) を算出した。降水量は豊橋気象台の値を使用した。調査期間は 2013 年 1 月から 12 月の 1 年間である。

(2) 調査結果

2013 年 4 月 1-2 日、4 月 6-7 日、4 月 20-21 日、4 月 30 日、5 月 19 日、6 月 11 日、6 月 20-21 日、6 月 26 日、7 月 4 日、10 月 15-16 日、10 月 20 日の合計 11 回の降雨時調査を実施した。例として、4 月 6-7 日について、形態別窒素の濃度及び負荷量経時変化を図 5-2-2 に、形態別リンの濃度及び負荷量経時変化を図 5-2-3 に示し、降雨時調査結果の一覧を表 5-2-1 に示す。降雨に伴い流量が増加すると PN 濃度の上昇に伴い、TN 濃度も上昇し、流量が減少すると PN 及び TN 濃度は減少した。それに対して、DN は PN 上昇の約 4 時間遅れで濃度が上昇し、そのまま推移していた。このことは、PN と DN の流出挙動が異なることを示している。しかし、負荷量の変化は PN、DN 流量の増減と同じ挙動を示し、

流量に大きく依存していることが明らかとなった。

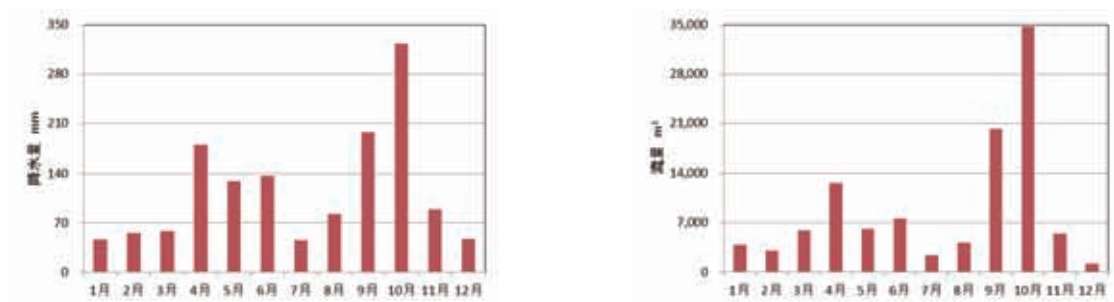


図 5-2-4 月別降水量及び流量（2013 年）

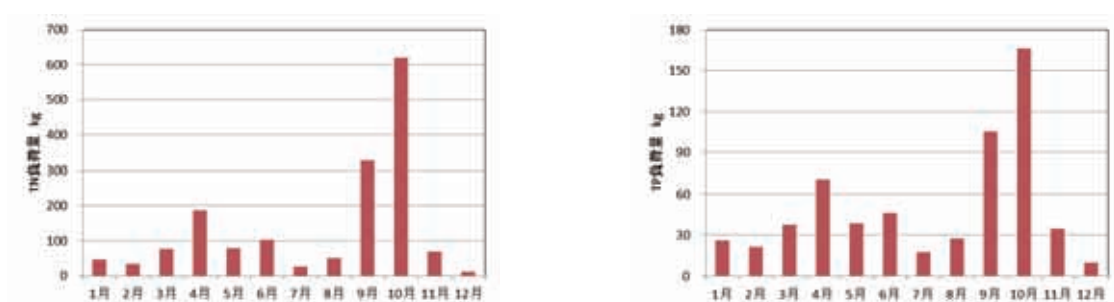


図 5-2-5 月別 TN 及び TP 負荷量（2013 年）

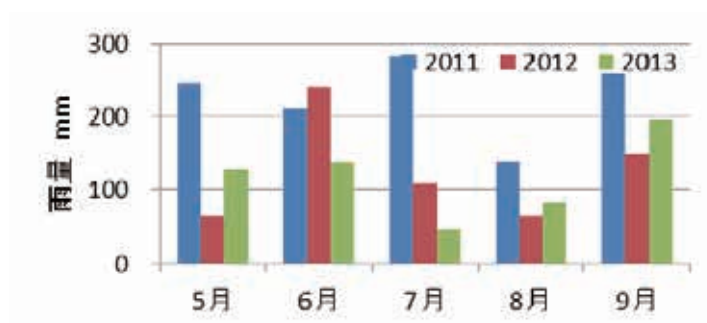


図 5-2-6 月別降水量

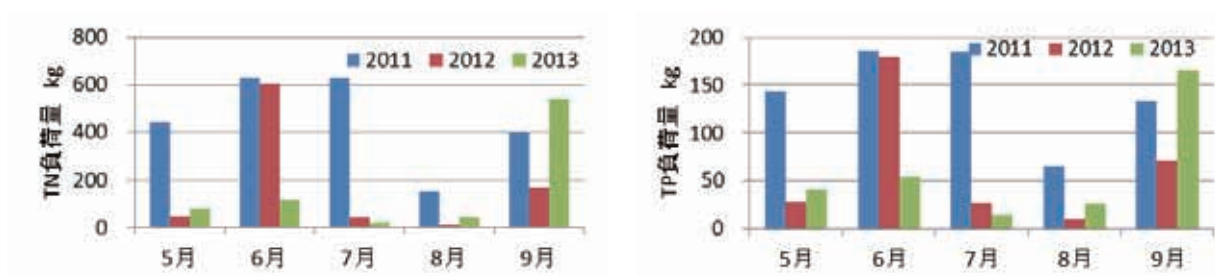


図 5-2-7 月別 TN 及び TP 負荷量

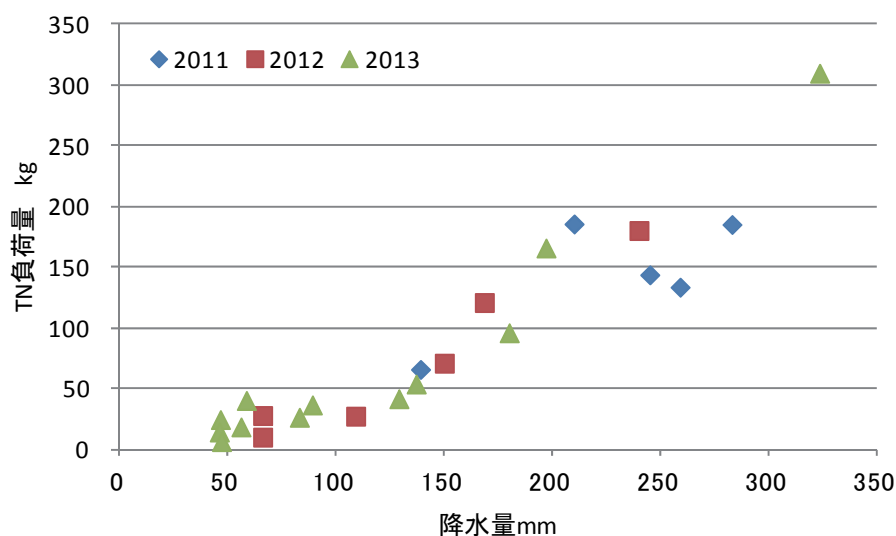


図 5-2-8 降水量と TN 負荷量

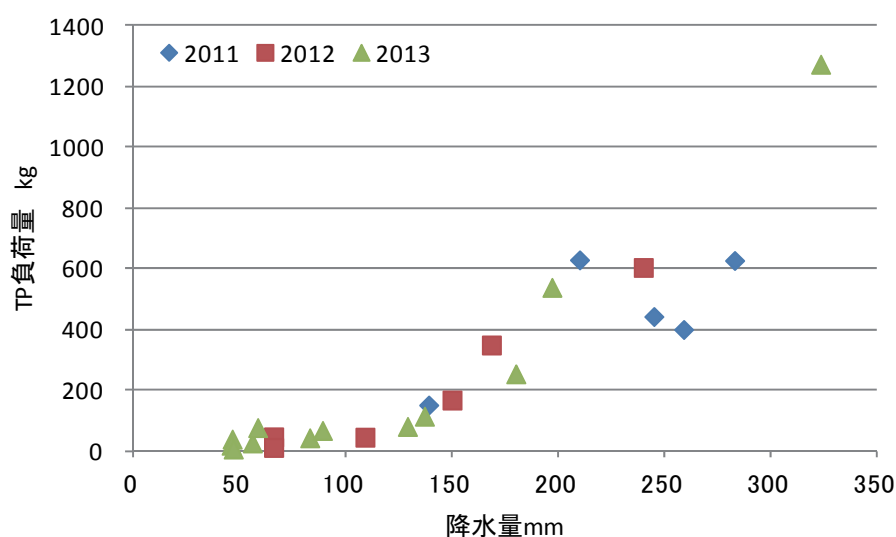


図 5-2-9 降水量と TP 負荷量

2013 年 1 月から 12 月までの各月の降水量，総流量及び負荷量を図 5-2-4，図 5-2-5 に示す。9 月と 10 月は台風接近に伴う大雨の影響で，降水量が年間の約 37%（9 月：197 mm，14%，10 月：324 mm，23%）を占めた。そのため，河川の流量が増加し，9 月の総流量は $2.0 \times 10^3 \text{ m}^3$ ，10 月の総流量は $3.5 \times 10^3 \text{ m}^3$ と年間の約 50%を占めた。TN 負荷量では 9 月は 327 kg，10 月は 620 kg と年間の約 58%も占めており，大部分がこの 2 か月で流出していることが明らかとなった。TP 負荷量では，9 月は 105 kg，10 月は 166 kg と年間の約 45%を占め，TN と同様の結果が得られた。

三河湾の赤潮や青潮が発生する夏季の期間に着目するために図 5-2-6，図 5-2-7 に 2011 年，2012 年，2013 年の 5 月から 9 月までの各月の降水量，TN 負荷量，TP 負荷量を示す。2013 年は梅雨の時期に

は降水が少なく、2011 年と比較しても約 1/3 の降水量で、7 月に至っては 1/10 の降雨しかなく東三河地域は大渇水であった。そのため、各負荷量は小さくなっており、2011 年の各月の負荷量に対して、TN 負荷量は 5 月、6 月では約 1/5、7 月に至ってはわずか 3%と負荷量が非常に少なかった。TP 負荷量は 5 月、6 月では約 1/3、7 月では 8%と TN 負荷量と同様に小さくなった。

図 5-2-8、図 5-2-9 に降水量と TN 及び TP 負荷量の関係を示す。降水量が多くなるほど負荷量が大きくなっていることがわかる。このことは、近年問題となっているゲリラ豪雨や猛烈に発達した台風の影響等で短時間に大量の雨が降ると、畑地からの表面流出に伴う栄養塩流出負荷量は降雨に大きく依存し、TN 及び TP 負荷量が増加することを示唆している。

5-3 港湾内に広がる河口干潟域の波と流れ

(1) 現地観測の概要

2012～2013 年に行った観測地点を図 5-3-1 に示す。図中の丸点で示した干潟上 2 地点 (L1-2, L2-2) およびその沖側 2 地点 (L1-4, L2-3) の計 4 地点において、水位変動と底層流速 (水平 2 方向) を観測した。L1 および L3 の沿岸方向距離はおおよそ 1 km 離れている。また、L1 から L3 までの 5 本の岸沖測線において、夏場の大潮干潮時 (2013 年 8 月 21 日) に断面測量を行った。

(2) 六条潟の地形

図 5-3-1 に示した L1, L15, L2, L25, L3 の計 5 測線における六条潟の岸沖断面図を図 5-3-2 に示す。各側線間は沿岸方向 (おおよそ南北方向) に約 500 m 離れている。断面測量は 2013 年 8 月 21 日大潮干

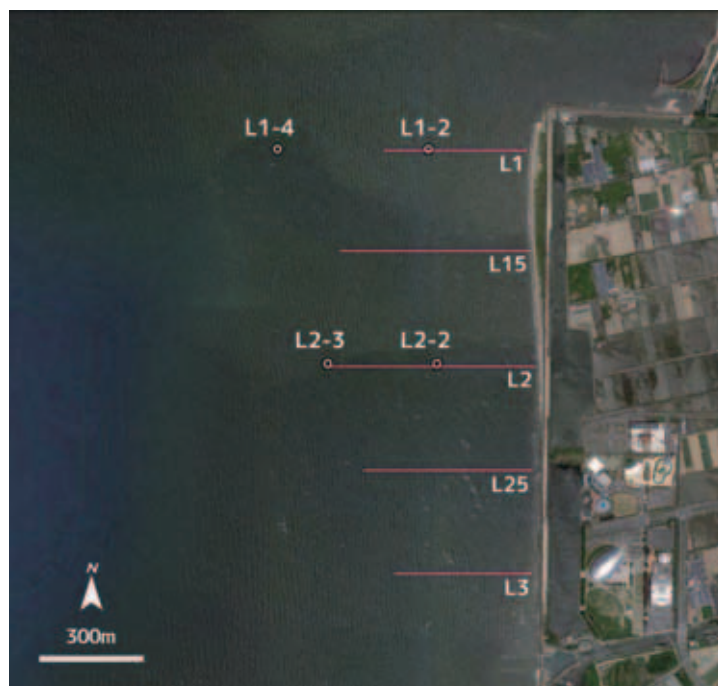


図 5-3-1 六条潟における計測地点

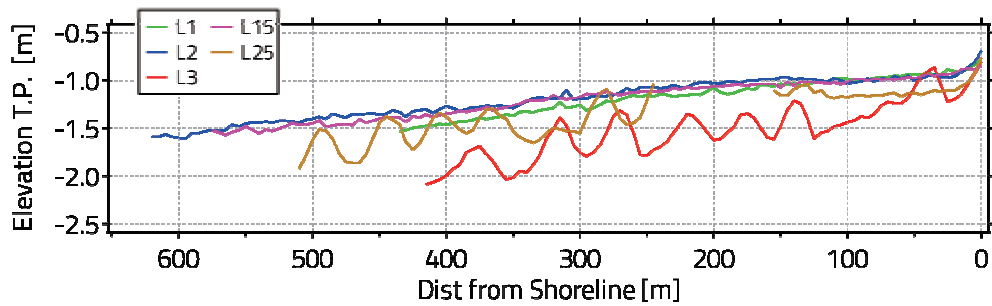


図 5-3-2 六条潟の岸沖断面地形図

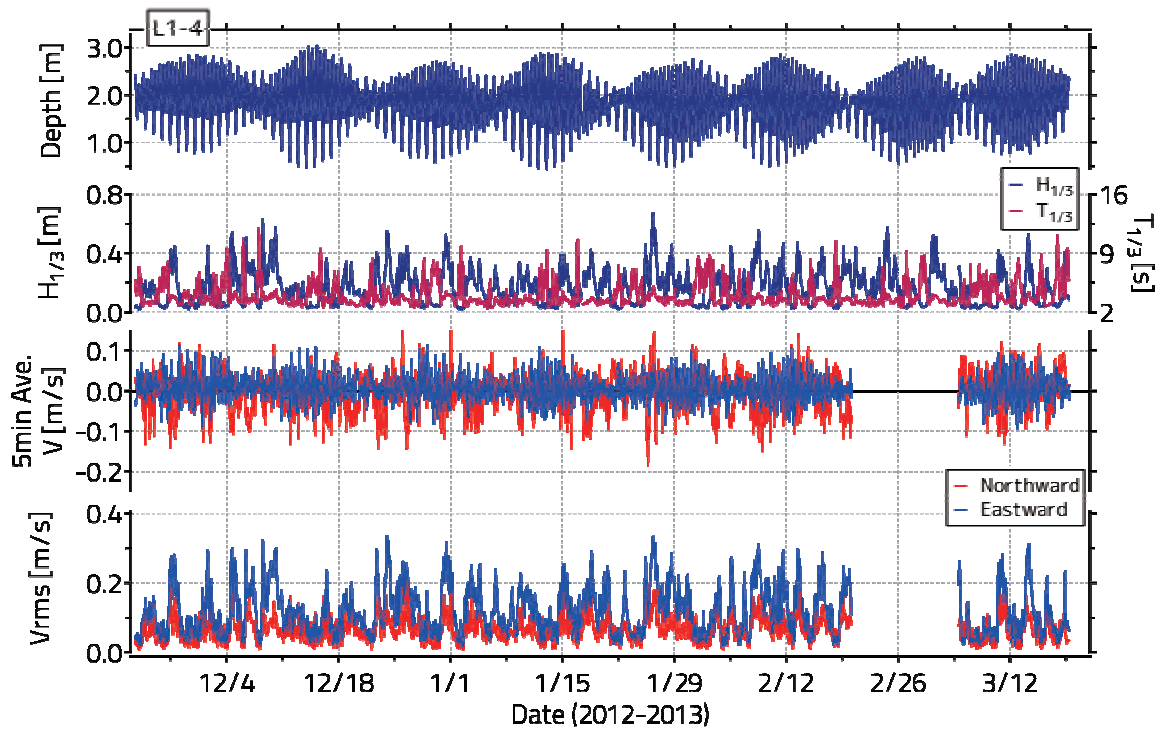
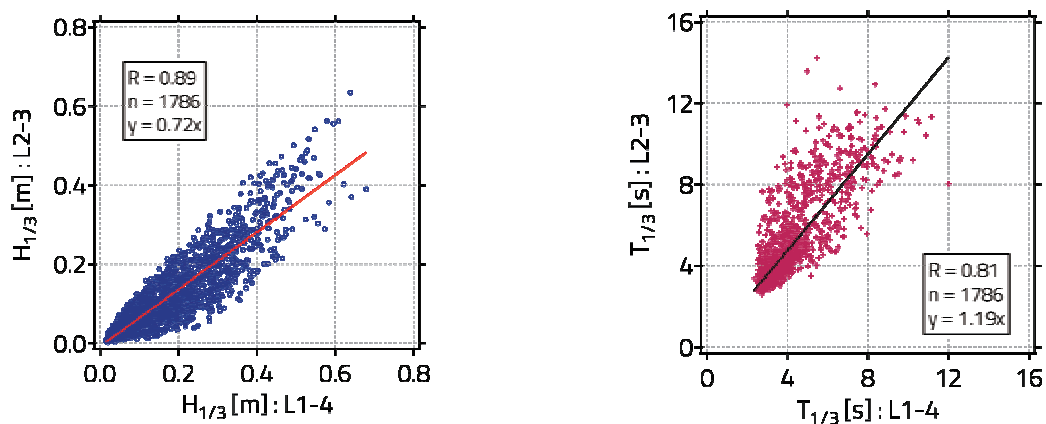


図 5-3-3 観測データ（水位・有義波高・有義波周期・流速）の経時変化（L1-4）



(a) 有義波高

(b) 有義波周期

図 5-3-4 L1-4 と L2-3 における有義波高と有義波周期の比較

潮時に行った。測量方法は、測量時の水深が 0.0 m の位置を汀線とし、測線に沿って沖向きに 5 m 毎の水深および計測時刻を記録しながら進む。後に観測潮位を用いて T.P.からの値に補正することで標高を得た。図は各側線の汀線を基準として北向きに見た断面として示している。なお、計 5 地点の汀線位置は最大で 20 m 東西方向に異なっている。図より、L2 より北側と南側で地形の特徴が異なることがわかる。L15 および L2 は汀線から 200 m 沖まではほぼ平坦であり、それより沖側で 1/700 程度の勾配で深くなっている。最も河口に近い L1 では、汀線から約 150 m 沖側より深くなっているものの、その勾配は L15 らとほぼ同等である。一方、干潟南側に位置する L25 および L3 は振幅約 0.5 m、波長およそ 50 m のサンドウェーブが見られる。地形勾配は南側へ向かうに従って急になり、L3 では平均勾配がおおよそ 1/400 である。この地形データはスナップショット的に取得したものであり、これ以上の考察には測量データの蓄積が必要である。しかしながら、六条潟での地形の特徴には空間的な違いがあり、標高の高低差も比較的大きいことが明らかとなった。このような特徴が現れる要因や地形変化の時空間スケールを明らかにすることは、干潟域の土砂動態を知る上では重要な情報であり、継続的な地形モニタリングが必要であることがわかった。

(3) 波と流れの観測結果

ここでは、L1-4 地点にて観測された水位変動および流速データを概観する。図 5-3-3 は L1-4 で観測された水位および流速より算出した毎正時からの 10 分間平均水位、有義波高 $H_{1/3}$ および有義波周期 $T_{1/3}$ 、毎正時からの 5 分間平均流速、流速の変動成分の rms 値の経時変化を示している。これより、冬季の六条潟における有義波高 $H_{1/3}$ は 1 m に満たないものの、0.5 m 程度の波高はかなりの頻度で発生していることがわかる。有義波周期 $T_{1/3}$ は $H_{1/3}$ が小さい時に増大しているが、これは水位変動が小さい条件下での波別解析に起因するものであり、実際にはうねりのような波浪は来襲していない。平均流速については、南北成分が東西成分と比較して大きく、 $H_{1/3}$ に対応して増大している。また、南北成分の強い平均流速は南向きに多く発生している。東西成分については周期的な平均流速の増加が見られ、これは朔望の周期と一致する。流速変動の rms 値は $H_{1/3}$ に対応した増大と減少が見られ、その大きさは東西成分の方が大きい。また、rms 値で 0.3 m/s 程度の早い流速も頻繁に観測されている。

次に、干潟の北部 (L1-4) と中央部 (L2-3) で取得された波浪を比較する。図 5-3-4 は両地点での有義波高 $H_{1/3}$ および有義波周期 $T_{1/3}$ をそれぞれ比較したものである。これより、L1-4 に比べて L2-3 で取得された波浪は、 $H_{1/3}$ が小さく $T_{1/3}$ が長い傾向にあることがわかる。L2-3 では計測機器の制約から L1-4 の 1/4 の頻度でしか計測されていないため、算出された波高は小さく、周期は長くなることから、これら両地点での観測値の違いは観測場所によるものよりも、波の周期に対する計測サンプリングの違いによる部分が大きいと考えられる。

(4) 潮汐に伴う流れと残差流

ここでは、干潟上の中でも干出することのない沖側 (L1-4 および L2-3) での冬季の流れについて、潮汐流とそれ以外の成分 (潮汐残差流) に着目した解析を行う。図 5-3-5 は L1-4 における潮汐流およ

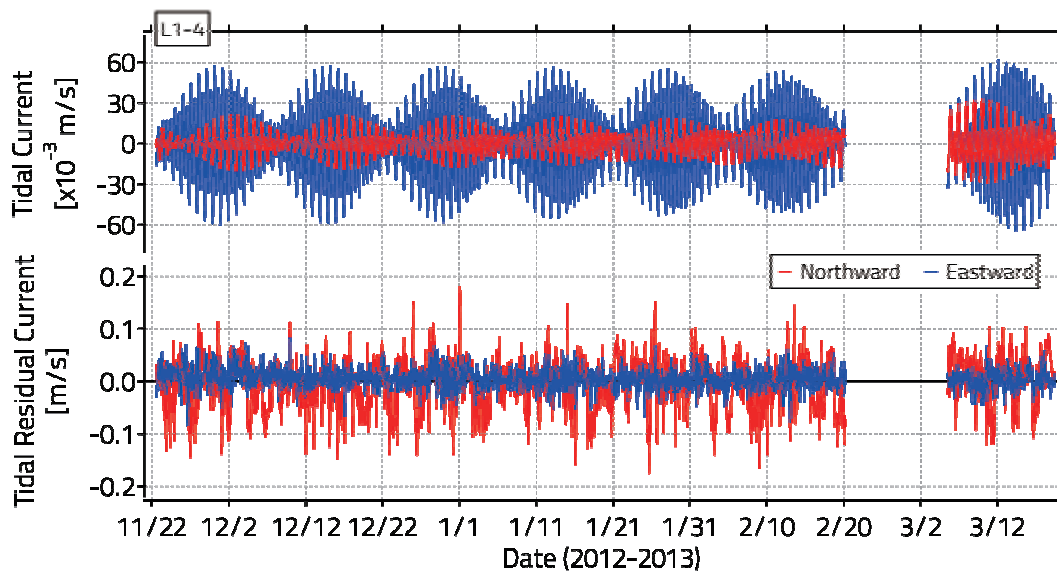


図 5-3-5 潮汐流および潮汐残差流の経時変化 (L1-4)

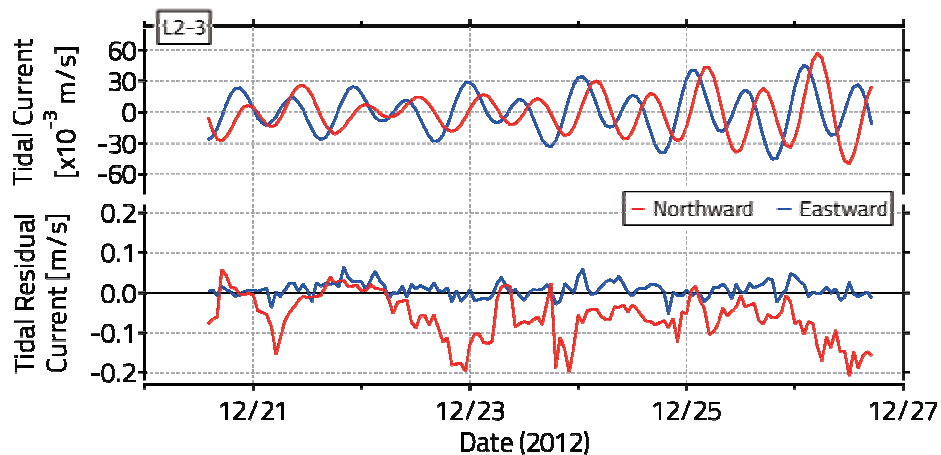


図 5-3-6 潮汐流および潮汐残差流の経時変化 (L2-3)

び潮汐残差流の経時変化を示したものである。潮汐流は観測流速（毎時の5分間平均値）の南北および東西成分毎に主要4分潮（ M_2 , S_2 , K_1 , O_1 ）で調和解析し、それら潮汐成分を再構成した時系列である。潮汐残差流は観測流速から潮汐流を差し引いたものであり解析期間中の平均流速は残差成分へ組み込んでいる。なお、2013年3月からの時系列については調和解析を行った期間が短い（3月5日～19日の約14日間）異なることに注意されたい。それ以前の流速データについては、2時間のメンテナンス時間（2回）を線形補間し、2012年11月22日～2013年2月20日までの時系列を構成して調和解析を行った。従って、この長期間の解析値がより正確な潮汐流を示していると言える。これより、潮汐流は東西方向成分が強く、その大きさ（振幅）は南北成分の2倍程度で大潮時において最大6 cm/sである。潮汐残差流は南北成分が卓越しており、南向きに0.1 m/s程度の残差流が生じている頻度が高いことがわかる。

図 5-3-6 は L2-3 における潮汐流および潮汐残差流の経時変化を示したものである。図 5-3-5 と同様

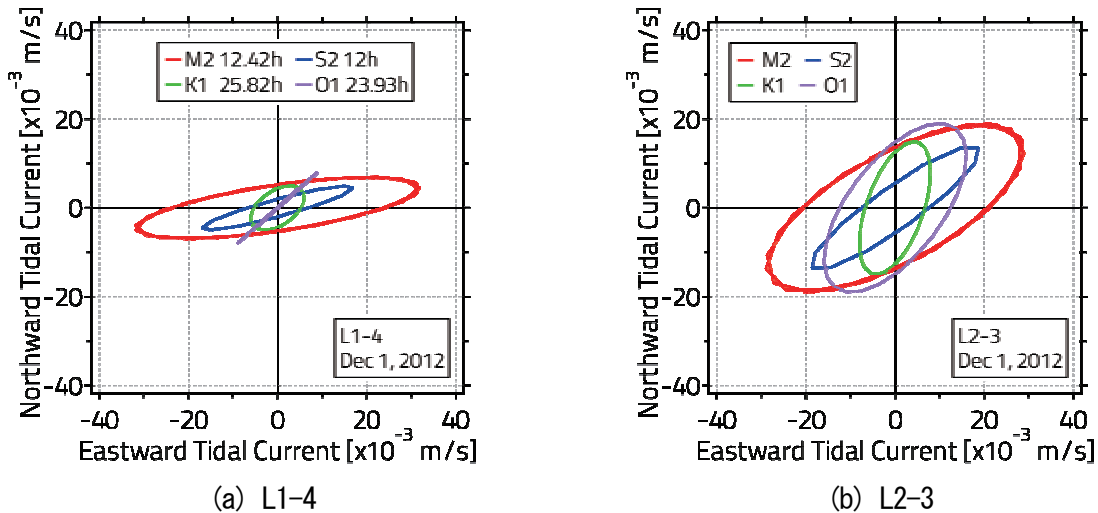


図 5-3-7 L1-4 と L2-3 における主要 4 分潮の潮流楕円

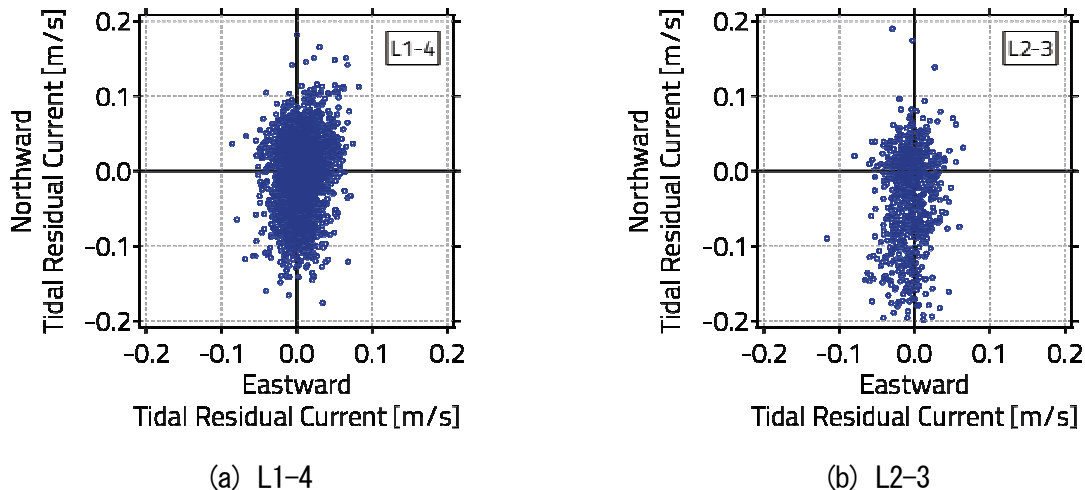


図 5-3-8 L1-4 と L2-3 における潮汐残差流の位相面プロット

の処理を行ったっているものの、各計測期間が 14 日に満たないため調和解析の結果については正確性に欠けると考えられる。特に 2012 年 12 月の計測期間は 6 日間しかない。これより、潮汐流の東西方向成分は L1-4 と同じく最大で 6 cm/s であり、東西（岸沖）の周期の長い流れは潮汐に起因する変動成分が卓越していることがわかる。一方、南北成分については東西成分を上回る流速があり、L1-4 の結果（図 5-3-5）と比較しても調和解析結果に疑問が残る。

図 5-3-7 は L1-4 および L2-3 における潮流楕円を、主要 4 分潮について示したものである。L1-4 における潮流楕円（図 5-3-7(a)）は、M2 および S2 の半日周期成分が主に東西方向に強く現れており、長軸方向がやや北に傾いているのは河川（豊川）への入退潮に関連していると考えられる。K₁ および O₁ の日周期成分については北東-南西方向が長軸となっており、南北成分の潮汐流も東西方向のそれと同等の大きさであることがわかる。L2-3 における潮流楕円（図 5-3-7(b)）は、それぞれの分潮の長軸が L1-4 と比較して北に傾いており、扁平率は小さい。L2-3 は干潟中央部に位置しており、河口方

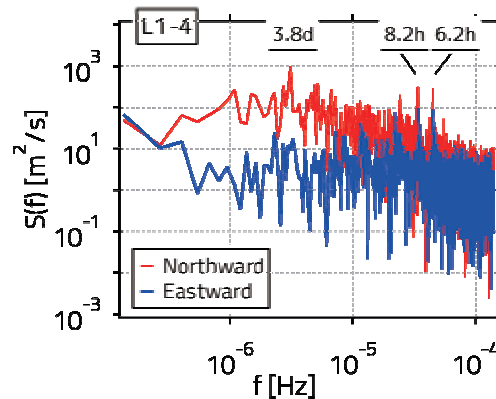


図 5-3-9 L1-4 における潮汐残差流のパワースペクトル

向への潮汐流は不自然ではない。日周期の潮汐流については L1-4 と比較して南北成分が大きいですが、これは解析期間が短いため北西からの冬季の季節風の日周期変動の影響が含まれている可能性もある。いずれにせよ、L2-3 の潮汐流について議論するためには長期の連続観測データが必要であろう。

図 5-3-8 は L1-4 および L2-3 における潮汐残差流を位相面プロットで示したものである。両地点とも南北方向に強く、おおよそ南向きへの残差成分が強い傾向がある。ただし、極短期的には北向きにも大きな残差流 (0.15~0.2 m/s) が見られる。東西成分は約 0.05 m/s の範囲に収まっており、潮流楕円の値 (図 5-3-7) から潮汐流の占める割合が高いことがわかる。図 5-3-9 は L1-4 における潮汐残差流の東西および南北方向成分についてのパワースペクトルを示したものである。対象とした潮汐残差流は 2012 年 11 月 22 日からの 2048 時間分のデータである。これより、半日程度の変動エネルギーについては、両方向成分ともに同様のピークが現れており、エネルギーも比較的同等である。変動が長周期になるに従って南北方向成分のエネルギーが大きくなっており、約 3.8 日周期での変動にピークが見られる。これは、大陸からの移動性高気圧や低気圧が交互に日本付近を通るため変化する秋の天気の周期 (3~4 日程度) とおおよそ一致する。これらより、潮汐残差流の南北成分は天候の変化に伴った流れが支配的であることが明らかになった。

6. ドライバの個性に着目した社会共生型安全運転支援に関する研究

機械工学系 教授 章 忠, 准教授 三宅 哲夫, 客員准教授 今村 孝

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

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

本報告では、その基礎技術として、主にドライバ行動計測、ドライバの集中度評価に関する研究成果を報告する。ドライバ行動計測としては、6-1 ドライバの運転動作解析用ドライブレコーダの開発、および、6-2 ドライビングシミュレータを用いた運転行動意図の付与とその推定に関する研究を行った。また、ドライバの集中度評価としては、6-3 ファジィ推論によるドライバの集中状態の評価について研究を行った。

6-1 ドライバの運転動作解析用ドライブレコーダの開発

(1) はじめに

近年、安価な電子パーツの普及に伴い、多くのドライブレコーダ(DR)が開発・市販されるようになってきた。これらのドライブレコーダは、大きく2つに分類することが出来る。ひとつは、事故やヒヤリハットが発生した時のドライバ挙動である急ブレーキや急旋回をトリガとして、その前後の映像を車両前方に向けたカメラによって記録する、イベント記録型DRである。もうひとつは、運転中の全ての情報を記録する常時記録型DRである⁽⁶⁻¹⁾。これらのDRは、映像記録と同時に、GPS(Global Positioning System)や加速度のほか、速度、ブレーキ操作といったCAN(Car Area Network)情報を記録する⁽⁶⁻²⁾。特に前者のイベント記録型DRは、事故発生の記録映像としての利用の他、交通安全教育、事故やヒヤリハットのハザードマップ作成のために、多くの公共交通事業者を導入されている⁽⁶⁻³⁾。

一方、本研究室では、ドライバの視線位置の推定や、運転行動意図モデルの構築といった、ドライバの運転行動解析手法を開発してきた。これらの運転行動解析においては、車室内から取得可能な運転行動に対して、走行環境の変化によって適応行動への影響が示唆されてきた。そのため車両挙動と車両情報とが同期した長時間データの収集が重要となっている。このような目的から、本研究では、所望のデータ収集が可能な常時記録型DRの設計・開発を目的とし、基礎システムの設計・構築と基本性能の評価を行った。

(2) ドライブレコーダの構成

本研究で開発するドライブレコーダの構成図を図 6-1-1 に示す。ドライバの運転動作情報としては、2 台のカメラと加速度センサ、GPS (Global Positioning System) センサの 3 種類とし、それらを時刻同期させて記録する。カメラの解像度およびフレームレートは従来の画像処理研究にもとづき 1024×768[pixel], 30[fps]に設定し、データの転送にはギガビットイーサネットを用いる。また、加速度センサと GPS センサは計測用パーソナルコンピュータ (PC) と Bluetooth 無線通信により記録する。データの保存には耐震性の高い SSD (Solid State Drive) を複数使い、RAID ユニットを用いて 1[TB] の容量を確保する。

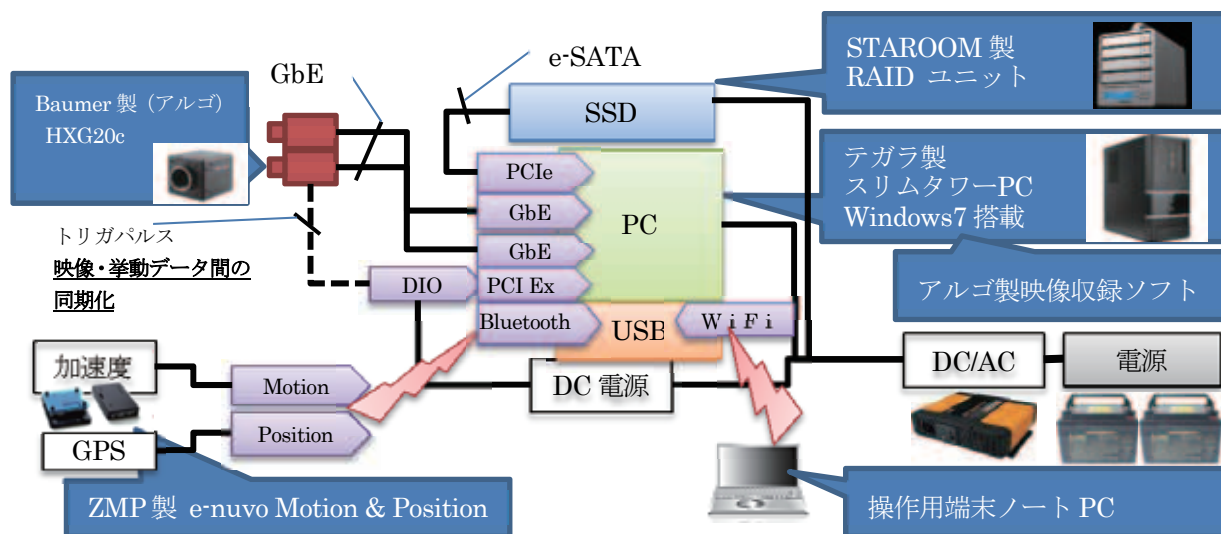


図 6-1-1 ドライブレコーダ構成図

(3) 車両実験と結果

前節にて構成した機器について、特に移動中の車両内での安定計測の可能性とその精度を検証する目的で、以下の車両実験を行なった。実験車両には本学所有の公用車 (Toyota Estima Hybrid) を用い、教員がドライバとなって大学構内周回道路にて運転を行なった。

本実験により取得した車両の高さ方向の加速度のグラフを図 6-1-2 に示す。図中縦軸は、車両の天井方向を正とした加速度であり、横軸は計測時間である。このグラフにおいて、83[s]前後に大きな加速度が発生している。図 6-1-3 (a) に同時刻の、および、同図 (b) にその 1[s]後の車両前方映像を示す。これらとの照合により、発生した加速度は、構内周回道路に設置された減速用ブロック帯を実験車両が通過した時に生じたものであることがわかる。同様に、83[s]前後の加速度は、実験車両の前・後輪が減速用ブロック帯の通過に伴い、乗り上げ、降りたことによるものである。現時点では、カメラのフレームレートレベルでの映像とデータの同期収録精度の検出には至っていないが、おおよそ目的とする同期収録ができていることが確認できた。

また、同一時間帯での GPS センサのデータと車両映像との比較により、位置情報精度を検証した。検証用となる参照用位置情報としては、Google Maps™ にて公開されている位置情報および航空写真情報を用いた。その結果、GPS 計測値と計測時点の車両位置との間に約 5[m]のずれが生じていることが確認できた。この誤差は、Google Maps™ の公開する位置情報と航空写真

との校正誤差（約 6[m]）と同等であることが確認できた。

以上の検証結果をもとに、各センサの計測精度およびセンサ間の同期精度の補正・補償方法を検討する予定である。

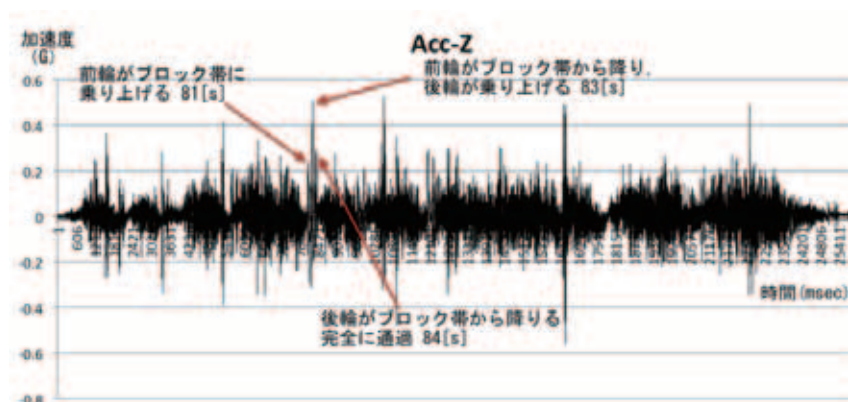


図 6-1-2 走行実験時の車両高さ方向の加速度データ



(a) 実験時間 83[s]での前方映像 (b) 実験時間 84[s]での前方映像

図 6-1-3 走行実験時の車両前方映像

(4) おわりに

本研究では、長時間のデータ収録が可能なフリーランドライブレコーダの開発を目的に、その基礎システムの構築と構成要素の同期計測精度および位置情報精度の検証を行なった。大学構内周回道路を対象とした公用車を用いた実験により、車載での動作の確認と基本的な検証を行い、基本性能を確認した。今後は、現時点の機器構成に対し、運転動作行動を計測するための要素を追加し、各々の精度検証と最終的な同期収録性能の確認を行なう予定である。

(章 忠, 三宅 哲夫, 今村 孝, 佐々木 大慶, 古市 平)

6-2 ドライビングシミュレータを用いた運転行動意図の付与とその推定に関する研究

(1) はじめに

6-1 で示したように、交通事故の低減対策としてドライバの行動解析技術に関する研究開発が盛んに行われている。なかでも、交通事故による重大な人身損傷を軽減するため ABS やエアバッグなど、様々な安全装備が多くの自動車に標準装備されている。さらに自動車単体での運転支援ではなく、道路情報と車両情報を組み合わせ、より安全性や利便性が高い運転支援の実現を

目指した高度道路交通システム（ITS：Intelligent Transport Systems）の実用化も進められている⁽⁶⁻⁴⁾。このような運転支援システムは、利便性は勿論、安全性から見ても非常に有用であり、ドライバへ多種の情報を提供できる。

ところが、ドライバ意図を考慮した運転支援システムは実用化されていないのが現状である。これらの運転支援システムは、ドライバの意図に反した支援を行う可能性もある。その場合、運転支援システムがかえって運転の妨げとなりシステムの価値や信頼性が損なわれてしまう。上記の研究背景より、本研究室においてはパターンマッチング手法をドライバ意図の推定に適用する研究を進めてきた。そのなかでも、ドライバ意図の真値を得ることができなかったために、客観的なモデル構築や、定量的な推定精度を論ずることが困難であった。

本研究ではドライバが交通規則を遵守することを前提に、ドライバを取り巻く環境の制御によって、その意図を誘導する実験を行う。この実験によりドライバを所定の意図へと誘導し、その結果をドライバ意図の真値と仮定することで、パターンマッチング手法を用いた意図推定モデルを構築し、その推定精度の検証を行う。また、運転支援システムなどのドライバ意図推定のアプリケーションの多くは、リアルタイム意図情報を必要とすることから、ドライバ意図のリアルタイム推定手法についても検討する。

なお、本研究において対象とするドライバ意図とは、ドライバが今まさにしている運転に関わる動作（停止・加速・走行・減速・左折・右折）と定義する。

（２）走行環境の設計

本研究で使用する運転行動データは、FORUM8 社のドライビングシミュレータ（以下 DS）UC-win/Road 9.0.0 を用いて収集する。図 6-2-1 に導入した DS の外観を示す。



図 6-2-1 本研究で構築したドライビングシミュレータ装置

DS は一般に、実車とは異なった運転感覚を与えるという欠点を持つものの、実験条件を統制・制御・再現できるため、ドライバの認知・判断プロセスの研究に適している。走行環境内には、自動車の運転において、信号を視認した時点で赤であれば停止に至るなど、基本的な交通規

則の遵守を前提に、以下のような走行環境の変化に伴う運転意図変化の関連性を想定し、環境制御量として配置した。これにより、被験者は違和感なく所定の意図へと誘導される。本研究では、この所定の意図を「意図ラベル」と呼び、ドライバ意図の真値として扱う。

《環境制御量》

交通信号（青→赤）提示

自車両が所定の減速開始地点座標に到達すると、赤になるように設定された信号機を設置する。

ねらい：減速ラベルの定義

交通信号（赤→青）提示

信号が赤に変化してから、一定時間経過後に再び信号が青になるように設定する。

ねらい：加速ラベルの定義

周辺交通流

自車両の周辺車両には目標速度を設定し、被験者が自然に流れに合わせた運転を行うように図る。また、先行車に速度を設定することによって、自車両の最高速度を制限する区間を設ける。

ねらい：加速ラベルと走行ラベルの定義

交差点

被験者に予め、走行ルートを説明するとともに、運転中に右左折する交差点に接近すると、モニタ上に方向指示を表示する。

ねらい：右左折ラベルの定義

（３）データの解析

前章で示した走行環境により取得したデータ（約 500[s]・10,000 点）を以下の手順で解析し、意図ラベル定義を行う。これらは、ドライバの操作量を閾値処理等による分類にて定義できることから、その客観性を保証している。

《ラベル定義手順》

1. 停止ラベル(Stop) 定義

速度が 0 かつ、アクセルを踏んでいない時を「停止」とする。

2. 減速ラベル(Decel) 定義

信号が赤に変化する座標付近でアクセルを離した時刻を探索し、その点から「停止」するまで、もしくは再び加速度が正になるまでを「減速」とする。

3. 加速・走行ラベル(Accel/Constant) 定義

「加速」区間及び「走行」区間は、先に定義した「停止」と「減速」の間、もしくは「減速」と「減速」の間にあらわれると仮定できる。それらの区間を 2 つの直線で近似し、2 直線の交点以前を「加速」区間、以後を「走行」区間とする。

4. 右左折ラベル(TurnRight/TurnLeft) 定義

交差点進入中に、アクセルを踏み始めた時刻を右左折開始点とし、交差点終了地点周辺でステアリング角度 0 になった時刻にて、右左折終了とする。

(4) 運転行動意図推定

①オフライン意図推定

本研究で構築した走行環境を用いて被験者実験を行い、提案手法の検証を行った。なお、被験者実験は、本学「ヒトを対象とする研究規定」にもとづく実験計画の審査・承認を得たのち、インフォームドコンセントを得た被験者を対象に実施した。本実験の被験者としては、健康な 20 才代の男性 4 名 (a~d) を対象とした。

まず、取得した運転データを前章のラベル定義手順にしたがって分類した。図 6-2-2 に、運転データと定義したラベルの時間推移例を示す。速度・ステアリング角度・ペダル操作量の変化に伴って、適切にラベルが定義されている。

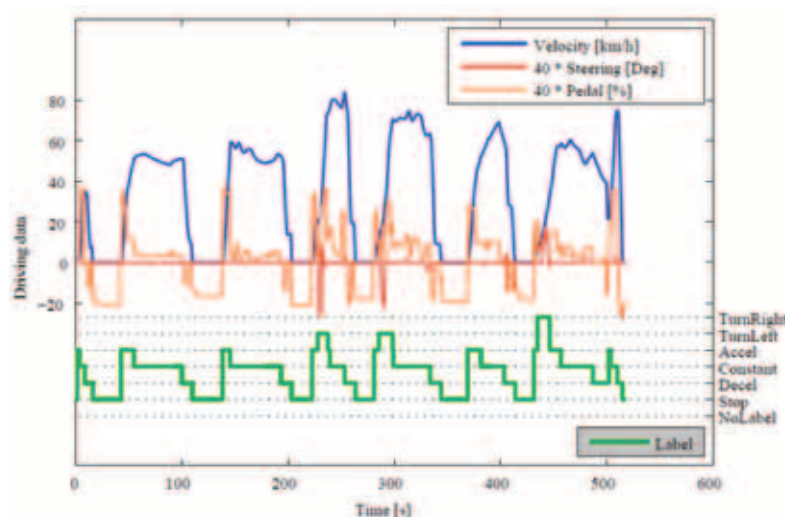


図 6-2-2 意図ラベルの定義結果

次に、速度・加速度・ステアリング角度・ペダル操作量の各値を 4 次元の学習データとして、停止・加速・走行・減速・左折・右折の意図ラベル毎に計 6 つの混合正規分布 (GMM: Gaussian Mixture Models) を構築した。GMM は、複数の正規分布の線形結合によって表現される統計モデルである。ある時刻 t における特徴ベクトルを与えたときの確率を求め、さらに前向きアルゴリズムを適用し、その値が最大となる意図に属するものと推定する。取得される運転データは毎回のばらつきが大きく、GMM の混合数を多くすると、過学習に陥り推定精度の低下を引き起こす。そのためここでは混合数 2 とした。今回定義した意図ラベルを真値とすることで、真値と意図推定結果とが等しいサンプル数を定量化でき、さらに、全サンプル数で除して求めた割合を推定精度として取り扱うことが可能となった。

次に図 6-2-3 に被験者 a の意図推定の結果を示す。被験者 a では 88.0%, また被験者 a~d 全

員の平均で 83.3 %の精度で意図推定ができた。これにより、ドライバ意図の遷移時刻を定量化することに成功したことを確認した。推定精度を導入したことで、GMM を用いた意図推定の結果を客観的・定量的に評価する指標とすることができた。これらの結果により、今後、意図推定モデルを最適化するなど、定量的な改善が見込める。

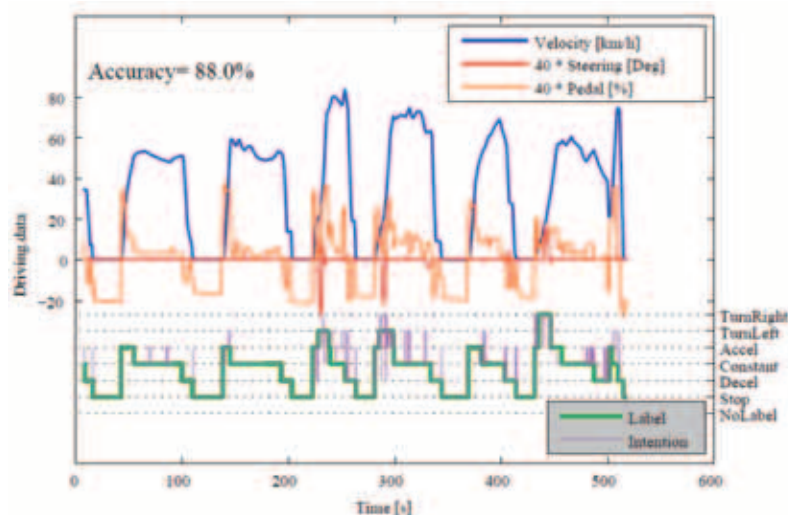


図 6-2-3 被験者を対象とした意図推定結果

②リアルタイム意図推定システム

ドライバ意図推定を運転データ 1 サンプル毎にリアルタイムで行うことで、様々な運転支援アプリケーションの実現が見込める。そこで、その実現可能性を検証するために、リアルタイム意図推定システムを構築した。図 6-2-4 に構築したシステムの概略図を示す。

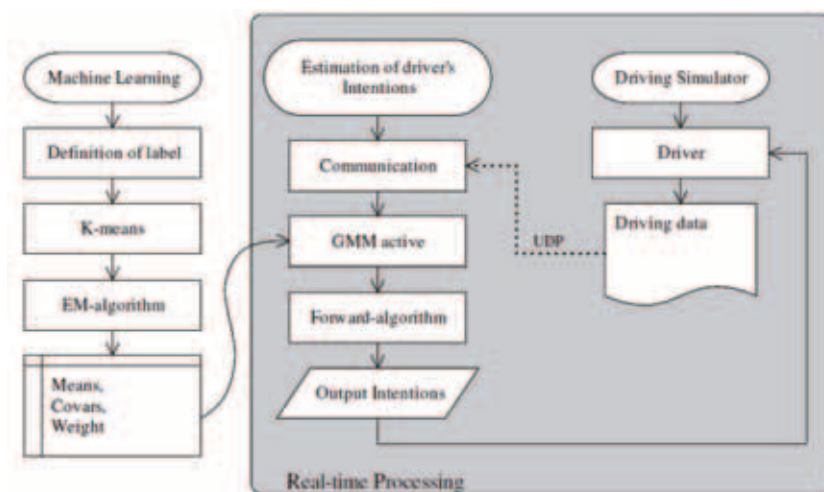


図 6-2-4 リアルタイム意図推定システムのフローチャート

本システムでは、あらかじめオフラインでドライバ毎にモデルの学習を行い、GMM の各パラメータを算出しておくものとする。リアルタイム意図推定処理は、イーサネットを介した DS 制御用とは異なる PC において演算を行うものとする。そのため DS からは制御サンプルごとに意

図推定に用いる運転データを転送する。データ転送には、イーサネットプロトコルのうち、UDP (User Datagram Protocol) を用いた。UDP では、データの送達検証処理を伴わないため、データ転送の順序や完全性は保証されないものの、通信処理のオーバーヘッドが削減され、即時性が保たれる。これにより送信される運転データに対し、リアルタイムに意図を推定し付与する。なお、GMM と前向きアルゴリズムによる意図推定は計算負荷が小さく、このことは検証実験においてもリアルタイム処理が十分可能あることで確認できた。

(5) おわりに

DS を用いてドライバを取り巻く運転環境条件を制御することで、ドライバの意図を誘導し、運転データに対して真値に相当する意図ラベルを定義する方法を提案し、実験により有効性を確認した。これにより、運転行動意図推定モデルの構築に規範データを用いるパターンマッチング手法の適用が可能となった。また、今回定義した意図ラベルを真値とすることで、推定精度の定量的な評価が可能となった。

さらに、本研究では意図推定モデルがリアルタイム処理も可能であることも示した。今後はリアルタイム意図推定を発展させ、漫然運転や眠気検出など、運転状態推定システムへの応用も期待できる。

(章 忠, 今村 孝, 三宅 哲夫, 荻 智成)

6-3 ファジィ推論によるドライバの集中状態の評価

(1) はじめに

日本の交通事故死者数は、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 691,937 件と十分な減少に至っていない。その主な原因は、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。

かかる背景にもとづき、我々は図 6-3-1 に示す、ドライバの運転集中度を評価するシステムを構築してきている。本システムは、車両に二台の単眼カメラを搭載しドライバの運転集中度を評価するものであり、Camera 1 は車両前方を、Camera 2 はドライバの顔をそれぞれ撮影する。これら二台のカメラによる情報を画像処理することにより、ドライバの視線と注視対象の情報がそれぞれ得られ、その情報処理により漫然度・覚醒度・運転集中度などを推定・算出する。これまでに、ドライバの注視行動を数値化し、前方映像中の対象物との整合により、その注視行動の妥当性を判断し、ドライバの運転集中度を推定するシステムや、画像処理を用いた瞬き率の計測による意識低下検知システムが提案してきた。また、他研究者や自動車開発企業等により、主に居眠りを対象にしたドライバ計測技術が研究されてきた。

本研究では、図 6-3-1 に示すシステムのうち、ドライバが注視すべき物体の位置情報、ドライ

バの視線情報と瞬きの情報に基づき、意識低下時の行動と前方環境との関連性を検討し、ドライバの運転状態推定を試みる。特に、ドライバが「ぼんやりして運転する」という曖昧な行為を検出する方法として、ファジィ推論を適用し、ドライバの集中度を推定すると共に、安全運転の度合いを評価することを目的とする。

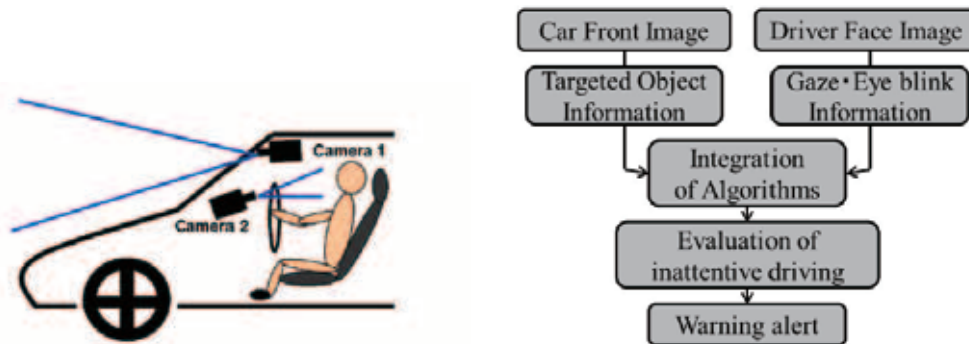


図 6-3-1 提案する漫然運転検出システムの概略

(2) 集中度低下の判定

①ファジィ推論について

ファジィ推論とは、定量的に規定できない「曖昧さ」をルール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 $w = A$ AND $x = B$ AND $y = C$ THEN $z = D$ 」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、 w, x, y, z は変数、 A, B, C, D 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。後件部 D は結論として生成する。ファジィ推論はこの考え方を拡張したものであるが、普通の論理的推論と異なる点は、事実と前件部と比較に、一致するまたは一致しないかの 2 値論理ではなく、曖昧性のあるファジィ論理を使うことである。なお、抽出のための画像処理・画像認識システムの開発には、C 言語ライブラリである OpenCV を使用する。

②ファジィルール

高速道路で運転するときには、常に道路標識、他車両、走行前方を注視する必要があるため、ドライバの視線と注視すべき対象とのユークリッド距離、ドライバの視線と走行している車線の前方遠点とのユークリッド距離、瞬き率(1 分間当たりの瞬き回数)の異常の有無という三つの情報をファジィ推論の入力パラメータに用いた。

次に、推論対象となる運転集中度を以下のように定義する。

瞬き率の異常が無い、かつ走行車線前方に注視対象がないときは、その走行車線前方を注視する場合、集中度を 8 とする。この方向に注視対象がある場合も、当然、視野内に注視対象があるので、運転集中度は維持されると仮定できるため、集中度を 8 とする。一方、瞬き率の異常が有

り、かつその走行車線前方および注視対象のいずれも注視しない場合、明らかに運転に集中していないため、集中度を 1 とする。表 6-3-1 に本研究で提案した 8 つのファジイルールを示す。

表 6-3-1 提案するファジイルール

	Antecedent			Consequent
Rule	Input 1	Input 2	Input 3	Output
Rule 1	Small	Small	No	8
Rule 2	Small	Small	Yes	6
Rule 3	Small	Large	No	6
Rule 4	Large	Small	No	6
Rule 5	Small	Large	Yes	3
Rule 6	Large	Large	No	3
Rule 7	Large	Small	Yes	3
Rule 8	Large	Large	Yes	1

Input 1: Angle of gaze point and targeted object

Input 2: Angle of gaze point and far point

Input 3: Abnormal eyes blinking

Output: Level of driving attentiveness

③メンバーシップ関数

メンバーシップ関数とは、ファジィ集合の要素がその集合に属する度合いを表す関数である。0 から 1 の間の任意の実数値を取り扱える。0 はその要素がファジィ集合に完全に属さないことを示し、1 のときは完全に属することを示す。ファジイルールにおいて、IF で示されるメンバーシップ関数の前件部、THEN で示されるメンバーシップ関数の後件部という。

④メンバーシップ関数の設計

本研究は、ドライバが運転時に注視すべき物体を注視するか、常に走行車線の前方への注意をするかという曖昧な命題を、定量的に表現する必要がある。そのため、ドライバの視線と注視すべき物体との角度および視線と走行車線前方消失点との角度により、ファジィ集合のメンバーシップ関数を決定する。また、運転集中度の推論結果を良くするために、瞬き変化も考慮し、ファジィ推論の一つのパラメータとして加えた。

また、ドライバの注視特性を把握するために、運転時の有効視野についても検証した。人間の視野は横方向で 180～210[deg] の広がりを持つが、解像度の高い中心視は約 2[deg] に過ぎない。この範囲は網膜構造に規定されている。他方、図 6-3-2 に示す有効視野すなわち中心視の周りで

比較的明瞭に認知できる範囲は、約 4～20[deg]の範囲である。そこで、本研究では、上述した有効視野に基づいて、ファジィ推論の入力パラメータ 1 と 2 のメンバーシップ関数の P と Q の値を設定する。ただし、先行研究の視線推定誤差が 2[deg] であるため、その誤差を考慮し、P を 6[deg]、Q を 22[deg] にする。

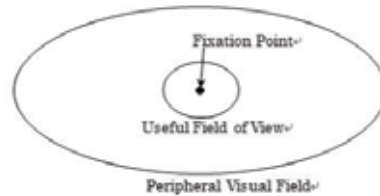


図 6-3-2 ヒトの有効視野

さらに、基本的な瞬きの変化と集中度低下の関連性を調査した。そのために、ドライビングシミュレータを用いて、後述の内容で被験者実験を行った。なお、本研究における被験者実験は、豊橋技術科学大学「ヒトを対象とする研究規定」にもとづく実験計画の審査・承認を得ている。また被験者は、健康な成人男性 2 名であり、それぞれに十分な実験説明を行い、インフォームドコンセントを得ている。実験時間は 15 分である。ただし、被験者 1 の場合は 10 分である。その間に、計 3 回のタスクを被験者に与えた。タスクとは、被験者が運転中に集中力を低下させるための 2 桁の足し算である。例えば、25 から 32 までの足し算を声出さずに暗算し解答するというタスクである。図 6-3-3 に被験者の瞬き結果の例を示す。



図 6-3-3 被験者の瞬き回数の計測例

なお、グラフの横軸はフレーム数[frame]、縦軸は過去 60 [sec]の瞬き回数の合計を表す。グレー色の区間はタスクが与えられた区間を表す。顔の撮影用のカメラのフレームレートは 30[fps] である。実験の結果により、タスクが与えられていない時と与えられている時の瞬きに変化があることが見られた。タスクを解いている被験者の瞬き回数は増加しつつあることが分かった。また、タスクが与えられた時に、速い 2 回連続の瞬きが起きるという傾向があることが見られた。その結果を図 6-3-4 に示す。

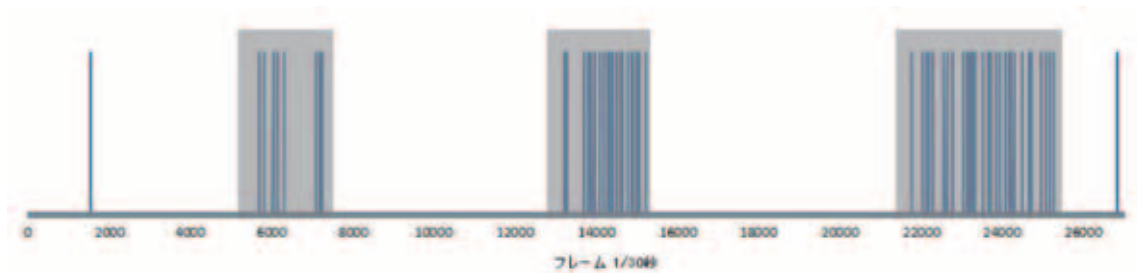


図 6-3-4 連続する瞬きの計測例

以上の結果にもとづき、ファジィ推論の入力 1 と入力 2 のメンバーシップ関数を(1) 式と(2) 式に示すように設計する。また、被験者実験の結果により、ファジィ推論の入力 3 に関するメンバーシップ関数を(3) 式に示すように設計する。

$$\mu(\alpha) = \begin{cases} 1 & (0 < \alpha < P) \\ \frac{Q - \alpha}{Q - P} & (P < \alpha < Q) \cdots (1) \\ 0 & (Q < \alpha) \end{cases}$$

$$\mu(\beta) = \begin{cases} 1 & (0 < \beta < P) \\ \frac{\beta - P}{Q - P} & (P < \beta < Q) \cdots (2) \\ 0 & (Q < \beta) \end{cases}$$

$$\mu(\gamma) = \begin{cases} 1 & (0 < \gamma < S) \\ \frac{\gamma - S}{T - S} & (S < \gamma < T) \cdots (3) \\ 0 & (T < \gamma) \end{cases}$$

(3) まとめ

本研究では、ドライバの視線と注視対象位置、瞬き率の変化を計測し、ドライバの運転集中度をファジィ推論により推定するシステムを作成した。また、運転時の瞬き率変化を入力パラメータとして従来のファジィ推論に加えることにより、運転集中度の推定結果の改善が見込める。

(三宅 哲夫, 章 忠, 今村 孝, Elvin Tiong Chew Lun)

6-4 研究発表実績, 今後の課題

本研究テーマについては、平成 25 年度において、以下の研究発表を行った。

■学術論文投稿

1. Md Rizal Othman, Zhong Zhang, Hajime Suzuki, Takashi Imamura and Tetsuo Miyake, Development of A Driver Inattention Detection System Using Dynamic Relational Network, International Journal of innovative Computing Information and Control, accepted

2. Z. Zhang, H. Ishii, T. Imamura, and T. Miyake, Development of Real-time Abnormal Sound Diagnosis System Using Fast Wavelet Instantaneous Correction, ICIC Express Letters, Part B: Applications, Vol.5, No.1, pp.201-206, 2014.
3. T. Akiduki, Z. Zhang, T. Imamura, and H. Takahashi, Toward Symbolization of Human Motion Data --Time-Series Clustering in Symbol Space--, ICIC Express Letters, Part B: Applications, Vol.5, No.2, pp.387-392, 2014.
4. Tetsuo Miyake, Takuya Matsumoto, Takashi Imamura and Zhong Zhang, Early Detection of Drowsiness based on Facial Expressions in Keeping Awake, ICIC Express Letters, Vol.8, No.2, pp.591-596, 2014

■国際学会論文発表

1. Zhong Zhang, Yuki Asakawa, Takashi Imamura and Tetsuo Miyake, Experiment Design for Measuring Driver Reaction Time in Driving Situation, Proc. of the 2013 International Conference on System, Man and Cybernetics(SMC2013, Manchester, 14-16 Oct, 2013), pp.3699-3703.
2. Takashi Imamura, Tomonari Ogi, Zhong Zhang and Tetsuo Miyake, Study of induction and estimation method for driver's intention by using a driving simulator, Proc. of the 2013 International Conference on System, Man and Cybernetics(SMC2013, Manchester, 14-16 Oct, 2013), pp.3322-3326.
3. Takashi Imamura, Tomonari Ogi, Elvin Tiong Chew Lun, Zhong Zhang and Tetsuo Miyake, Trial Study of Traffic Safety Education for High School Students using Driving Simulator, Proc. of the 2013 International Conference on System, Man and Cybernetics(SMC2013, Manchester, 14-16 Oct, 2013), pp.4606-4611.

■国内学会発表

1. 浅川祐樹, 章 忠, 今村 孝, 三宅哲夫, ドライバの運転中における反応時間計測とその評価, 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス部門講演会 2013 (Robomec2013), (2013.05.23-24), pp.2P1-G06(1)-2P1-G06(4)
2. 岩本拓馬, 今村 孝, 章 忠, 三宅哲夫, ハンドルセンサを用いた把持圧力と乗車姿勢の関係解析, 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス部門講演会 2013 (Robomec2013), (2013.05.23-24), pp.2P1-G07(1)-2P1-G07(4)
3. 今村 孝, 荻 智成, Elvin Tiong Chow Lun, 章 忠, 三宅哲夫, 高校生を対象としたドライビングシミュレータを用いた交通安全教育の試み, 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス部門講演会 2013 (Robomec2013), (2013.05.23-24), pp.2P1-P07(1)-2P1-P07(4)
4. 川野友裕, 章 忠, 今村 孝, 三宅哲夫, 両耳聴音源方向定位手法の統合インタフェースへの応用, 第 56 回自動制御連合講演会, (2013.11.16-17), pp.647-650
5. 秋月拓磨, 章 忠, 今村 孝, 高橋弘毅, 軌道アトラクタによる運動時系列の記号化手法の検

討，第 56 回自動制御連合講演会，(2013.11.16-17)，pp.1650-1653

6. 香川亮太，章 忠，三宅哲夫，今村 孝，交差点右左折時におけるドライバの運転行動解析，計測自動制御学会中部支部オープンラボ・若手研究発表会，(2013.11.28)
7. 佐々木大慶，章 忠，三宅哲夫，今村 孝，バス用ドライブレコーダの開発とデータ解析，計測自動制御学会中部支部オープンラボ・若手研究発表会・(2013.11.28)
8. 石川智規，三宅哲夫，章 忠，今村 孝，ドライバの視線計測の高精度化，計測自動制御学会中部支部オープンラボ・若手研究発表会，(2013.11.28)

本報告に示したように，ドライバ計測に関する基礎技術の構築とその実験・実証を進めている。また，運転プラットフォームを追加したドライビングシミュレータにおいて，本格的な運転環境を実現し，これを用いた被験者実験も随時実施している。今後，本報告で示した各基礎技術について，ドライビングシミュレータへの実装を加速化し，実証システムの構築を早期に実現することが当面の課題である。

参考文献

- (6-1) ドライブレコーダによる事故防止マニュアル映像記録型ドライブレコーダ活用手順書，<http://www.mlit.go.jp/jidosha/anzen/03driverec/resource/data/order.pdf>，国土交通省 自動車交通局 (2009.10)
- (6-2) 自動車運送事業者が事業用自動車の運転者に対して行う一般的な指導及び監督の実施マニュアル<第 1 編 基礎編>，http://www.mlit.go.jp/jidosha/anzen/03safety/resource/data/bus_kiso.pdf，国土交通省，(2012.4.10)
- (6-3) 久保登，森みどり，ドライブレコーダーデータの効率的な自動分類手法，日本機械学会論文集 77 巻 778 号，pp.338 – 353 (2011-6)
- (6-4) 野崎敬策，地域 ITS の動向と将来，情報処理学会研究報告，モバイルコンピューティングとユビキタス通信研究会研究報告，2011-MBL-60(20)，1-11，(2011)

7. 交通弱者のための安全・安心のためのシステムや装置に関する研究

情報・知能工学系 准教授 金澤 靖

7-1 交通弱者のための全方位カメラを用いた危険検知に関する研究

(1) はじめに

高齢化社会に伴い、高齢者や子供などの交通弱者に対する安全・安心のための技術の必要性が年々高まっている。現在注目を浴びている自動車の安全・安心に関する先進技術の一つにSUBARUのEyeSight¹をはじめとする「プリクラッシュセーフティシステム」が挙げられ、ほとんどすべての自動車メーカーがこれを搭載した車を販売している。この「プリクラッシュセーフティシステム」とは、自動車が主に前方の障害物を感知して衝突に備える機能の総称であり、カメラやレーダーを使って障害物を検出し、自動的にブレーキをかけたり、ドライバーへの警告を行ったりするものである。しかし、SUBARUのEyeSightや日産自動車のエマージェンシーブレーキなどのように、歩行者や自転車などを検知できるものは少なく、主に前方車両などの前方にある大きな障害物しか検知できないシステムも多い。人を検出するには、一般にカメラを搭載して画像から人を検出する処理を行う必要があり、そのためにコストが高くなる問題があるためである。一方で、「高度道路交通システム (Intelligent Transport System, ITS)」では、情報通信技術を用いた安全な車の開発、道路インフラの利用および管理の効率化などに関する技術開発が進められている。これも、そのほとんどが車やドライバーを中心とした技術の開発となっている。一部、子供や高齢者、視覚障がい者向けのシステムとしてアイセイフティ²や、歩行者等支援情報通信システム(PICS)³が存在するが、いずれも子供や視覚障がい者、高齢者に携帯情報端末を持たせる必要があり、更にドライバーがその注意喚起に気付くことが必要となっているだけでなく、交差点での情報の送受信設備など、交通インフラの整備も必要である。しかし、交通事故はいつどこで起こるかなどを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。

我々は、一昨年度から自分の周囲360度の視野を持つカメラを交通弱者に持たせ、その画像を解析することで自身に向かってくる車などの危険物の検知を行うシステムの開発を開始した。昨年度までは危険検知などに関する理論的な検討を行ってきたが、今年度は具体的なシステム構成を検討し、実用化に向けた検討を行った。

¹ <http://www.subaru.jp/eyesight/>

² <http://www.nttdata.co.jp/release/2005/111600.html>

³ <http://www.utms.or.jp/japanese/system/pics.html>

(2) 実験システムの構成

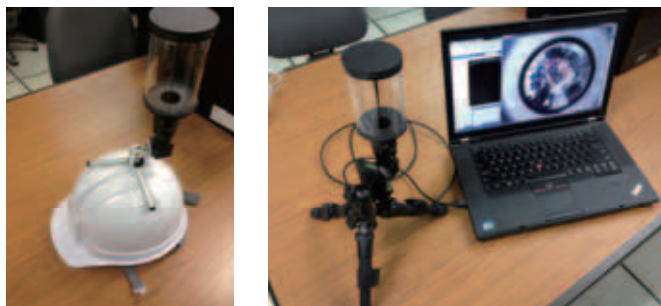


図 7-1-1 実験システム

実験システムは、図 7-1-1 に示すように、ノートパソコンとカメラのみの構成とした。実験システムでは、図 7-1-1 の左の画像のように、ヘルメットに全方位カメラを取り付け、これを交通弱者に被ってもらい、撮影された画像をノートパソコンなどの小型のコンピュータで処理し、危険を知らせることとした。カメラおよびノート PC のスペックは表 7-1-1 および表 7-1-2 の通りである。

表 7-1-1 全方位カメラ

全方位ミラー	ヴィストン VS-C42MR-TK
カメラ	PointGrey FL3-U3-13E4C-C

表 7-1-2 ノート PC

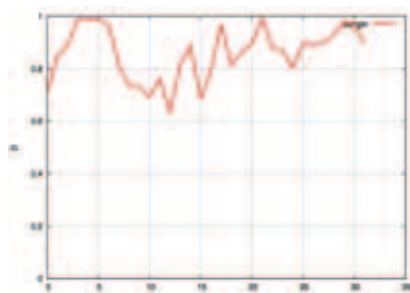
CPU	Intel Core i7-3829QM, 2.70GHz
OS	Windows 7 Professional

(3) リアルタイム危険検知実験

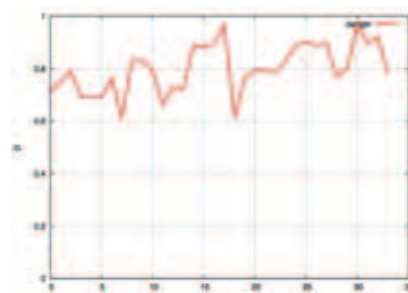
提案システムがリアルタイムに処理可能かどうか、また実際に近い状況で危険検知が行えるのかどうか、実際に実験を行った。ここでは、赤い帽子を車に見立て、表 7-1-3 のような歩行者の動きに対し、車は常に歩行者に向かう状況を想定した。危険度のグラフを図 7-1-2 に、危険検知の状況を図 7-1-3 に示す。図 7-1-3 において、赤くなっている画像は、危険度が 0.8 を超えた場合を表している。グラフより、一瞬横を向いた瞬間や、常にきょろきょろ首を動かしている場合は危険度が下がってしまうことがわかる。これは提案法が車の軌跡の直線あてはめに基づいているためであり、よりシステムの信頼性向上のためには、歩行者の首ふりなど、頭（＝カメラ）の動きを検知し、その動きを補償する処理を追加する必要があると考えられる。また、この実験におけるフレームレートは、その処理画像を保存しない場合であれば 25～26[fps]の処理速度を実現しており、提案法はほぼリアルタイム処理が可能であると考えられる。

表 7-1-3 シーンと歩行者の状況

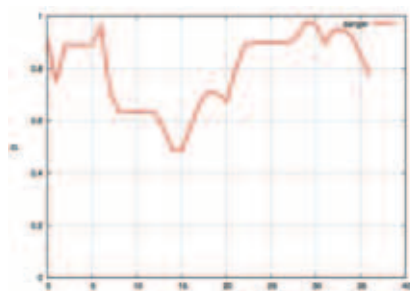
シーン番号	歩行者の状況
(1)	止まっている。
(2)	真っ直ぐ歩いている。
(3)	一瞬横を向く。
(4)	常にきょろきょろしている。



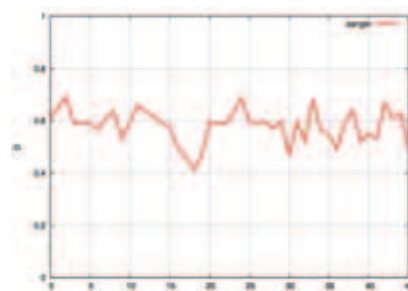
(1) 止まっている場合



(2) 真っ直ぐ歩いている場合



(3) 一瞬横を向く場合



(4) きょろきょろしている場合

図 7-1-2 危険度のグラフ

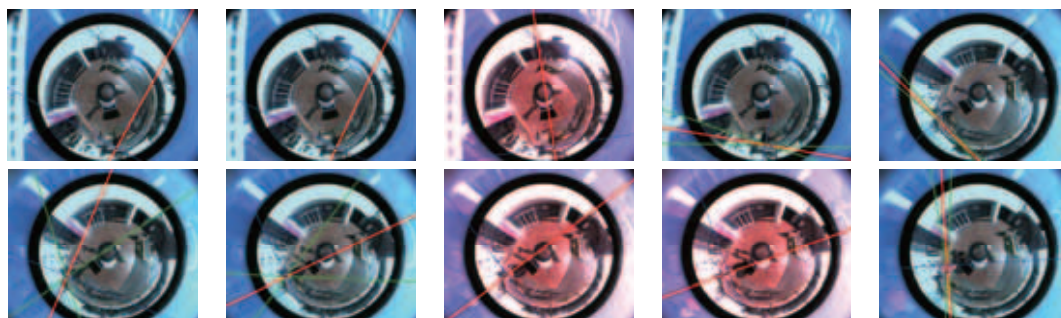


図 7-1-3 一瞬横を向く場合の映像に対する処理結果 (5 フレームおき)

（４）全方位画像からの車両の検出

昨年度は AdaBoost を用いて全方位画像から車両フロント部の検出を試みたが、十分な精度とは言えなかった。そこで本年度は Deep Neural Network の一つである Deep Belief Networks (DBN)を用いて、車両検出を試みた。

表 7-1-4 DBN の構成と学習データ

入力層ノード数	32x32 ノード
隠れ層ノード数／層数	1000 ノード／1 層
出力層ノード数	2 ノード
学習画像	正解 500 枚／不正解 1000 枚
学習回数	Pre-training: 500 回, Fine tuning: 1000 回



図 7-1-4 学習に用いた画像例

使用した DBN の構成および学習データ数を表 7-1-4 に示す。また図 7-1-4 に学習に用いた画像例を示す。正解画像この画像は通常のカメラ（透視投影カメラ）で撮影されたものであるため、全方位画像からこの学習させた DBN で車両を検出するには図 7-1-5 に示すように、全方位画像の一部を切り出し、透視投影変換してチェックする。

実際に全方位カメラ画像から車両を検出した結果を図 7-1-6 および図 7-1-7 に示す。見てわかる通り、危険度計算が安定していない。これは、図 7-1-6 にある通り、車両検出に失敗していることが原因であることから、今後、車両検出の精度を向上させる必要がある。

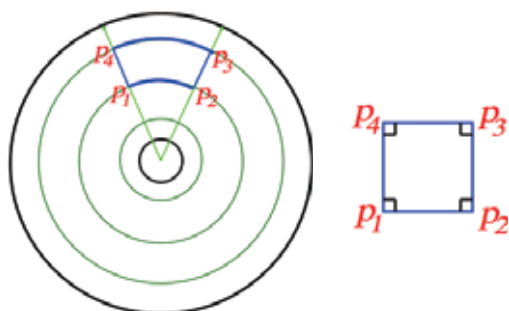


図 7-1-5 車両検出のための全方位画像から透視投影画像への変換

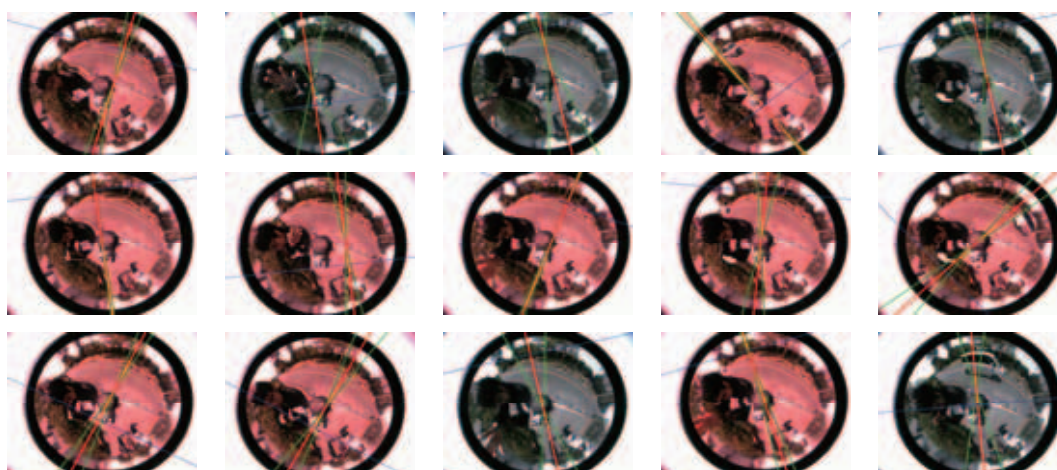


図 7-1-6 検出結果の例

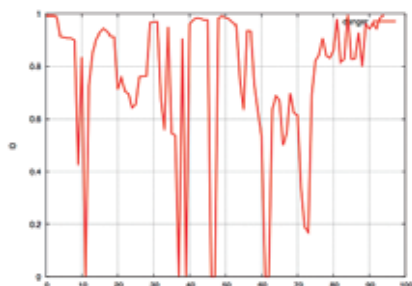


図 7-1-7 車両の自動検出による危険度

(5) まとめと今後の展開

本年度は実用化をめざし、提案アルゴリズムの処理速度の評価、および実際の車両の検出法について検討および評価を行った。危険度計算の処理速度に関してはほぼ十分な性能があることがわかったが、実際の車両を検出する際にその時間や精度の問題があることがわかった。今後、これらについて改良を進めるとともに、よりシステムを小型化するための検討を行う。

7-2 全周マルチプロジェクションシステム

(1) はじめに

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

現在、我々の研究室では図 7-2-1 に示すような全周マルチプロジェクションシステムの開発を進めており⁴、本研究ではこのシステムを安全・安心のための教育コンテンツの提示システムとして用いることを考える。例えば、危険な交差点での走行や横断の際に全方位カメラで周囲を撮影しておくことにより、実際の現場ではなく、仮想的かつ安全な空間において、臨場感のある映像を投影することができる。これを車の立場での映像だけでなく、歩行者の立場での映像を利用することで、高齢者や子供、ドライバーに対する交通安全教育や各種シミュレーションなどにも利用可能である。

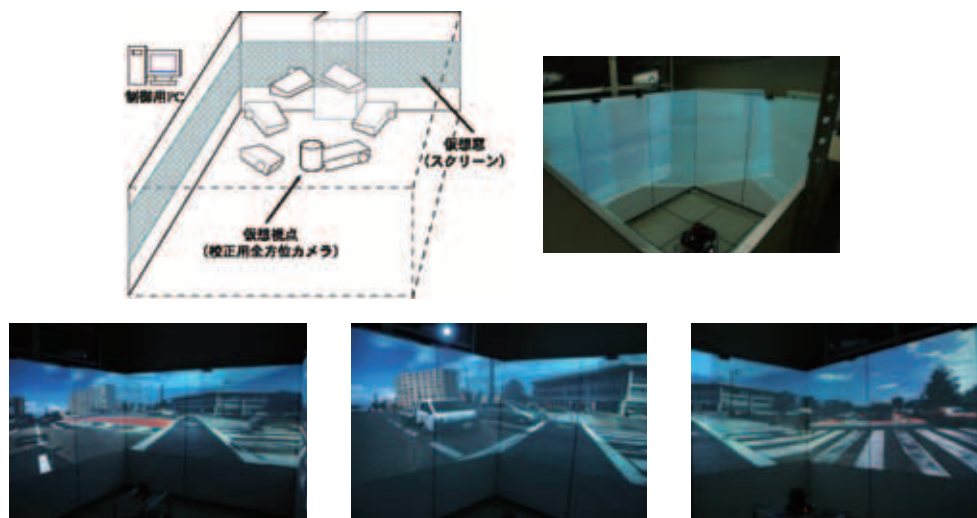


図 7-2-1 システムの構成と実際のシステムおよび投影例

(2) 映像重畳による高解像度化

従来システムでは、全方位画像からの映像を変換して投影する場合、実際に投影される映像はプロジェクタの解像度そのものではなく途中の変換によって低い解像度となってしまう。また、プロジェクタ間で明るさを合わせる際、最も暗いものに合わせることになるため、全体的に映像が暗くなってしまう。そこで本年度は、同じ部分映像を複数のプロジェクタで投影することで、投影像の解像度および明るさを向上させることを試みた。

⁴ (株)ファンテックス（愛知県豊橋市）との共同研究による。

一般に、投影する画像上の点 $\mathbf{x}_p$ とスクリーンを映すカメラ画像上の点 $\mathbf{x}_c$ は次式によって関係づけられる。

$$\mathbf{x}_c \approx \mathbf{H}_{cp} \mathbf{x}_p$$

この行列 $\mathbf{H}_{cp}$ は射影変換行列で、記号 $\approx$ は定数倍の不定性を除いて等しいことを表す。そして、この変換により画素が広がって投影されることでボケの原因となる。つまりプロジェクタからスクリーンまでの距離が遠い画素ほどスクリーン上では広がってボケる。そこで、このような画素の輝度が小さくなるように補正することで、見掛けのボケを低減することを考える。加えて複数のプロジェクタを用いて投影像を重畳投影することで、全体の輝度を向上させることも可能となる。

本研究では、位置 (i, j) における補正後の輝度 R'_{ij} を次式で計算する。

$$R'_{ij} = 255 \times \left(\frac{1}{255} \frac{S_{\min}}{S_{ij}} R_{ij} \right)^{\frac{1}{\gamma}}$$

ここで、 S_{ij} は位置 (i, j) の画素の面積、 $S_{\min}$ は投影像内の最小の面積、 R_{ij} は元の輝度であり、広がる画素ほど輝度が下がることを意味する。更に、この式では $1/\gamma$ 乗のガンマ補正を考慮している。提案法の手順をまとめると、図 7-2-2 のようになる。

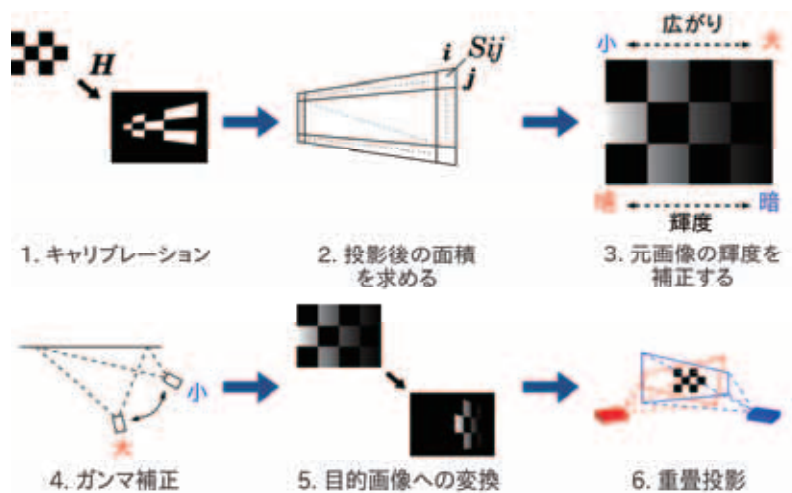


図 7-2-2 提案法の手順

表 7-2-1 プロジェクタの仕様

機器名	Bit LED Projector
出力解像度	VGA
入力解像度	VGA, SVGA
明るさ	15 ルーメン
コントラスト	200:1



図 7-2-3 プロジェクタ

提案法の有効性を確認するために実験を行った。実験に使用したプロジェクタの仕様とその外観を表 7-2-1 および図 7-2-3 に示す。

実験では、実際に投影した画像に対し、定量評価と主観評価の 2 つで評価した。定量評価では、チェッカーボードパターンを投影し、その投影像をカメラで撮影して輝度値のヒストグラムの分布の形状で評価を行った。また主観評価においては

- ボケ
- 明るさの一様性
- 全体の輝度

について、正面から単独で投影した画像と比較して 3 段階で評価した。

定量評価実験における画像を図 7-2-4 に示す。これらの画像のヒストグラムを図 7-2-5 に示す。提案法のカッコ内の数値は γ の値を表している。比較のために、投影像を左右 2 分割して別々のプロジェクタで投影した並列投影、画像を何も処理せずに投影した単純重畳投影の投影像も示している。見てわかる通り、画像では重畳単純投影が最も明るいもののボケの影響があるため、ヒストグラムの暗い方の峰の高さが低くなっている、一方、提案法は並列投影ほどボケは少なくなものの、単純重畳投影よりはボケが少ない。また、全体の明るさも並列投影よりは明るく、単純重畳投影よりは若干暗い、といった性質が見て取れる。

主観評価で示した画像および提示画像の例を図 7-2-6 および図 7-2-7 に、評価結果を表 7-2-2 に示す。この実験も定量評価の評価と同じで、ボケについては単純重畳投影よりも良いスコアであるが、一様性や明るさについては並列投影よりも良いスコアとなった。

以上の実験結果より、このような簡易的な重畳投影においては、提案法は比較的有効であると考えられる。

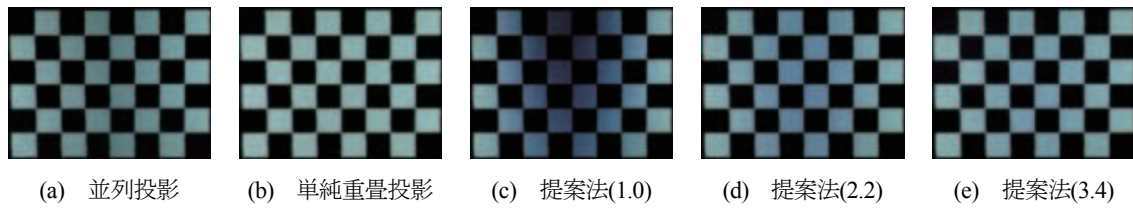


図 7-2-4 定量評価実験の画像

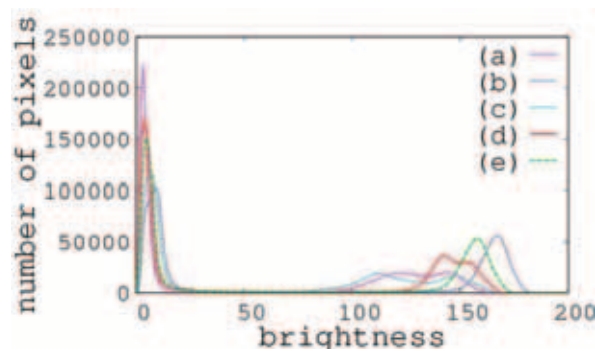


図 7-2-5 ヒストグラムの比較

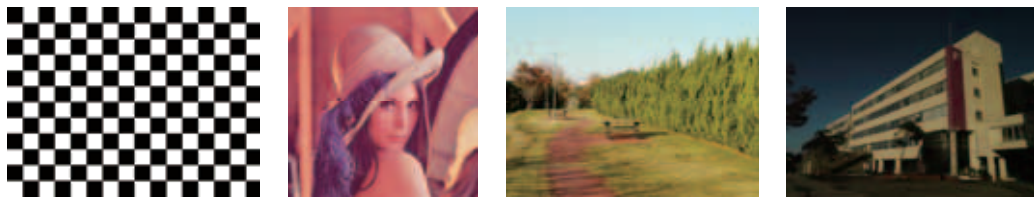


図 7-2-6 主観評価実験で用いた画像

表 7-2-2 主観評価実験のスコア

		並列投影	単純重畳投影	提案法(1.0)	提案法(2.2)	提案法(3.4)
スコア	ぼけ	2.53	2.08	2.25	2.44	2.17
	明るさの一様性	2.19	2.67	1.53	2.39	2.61
	全体の輝度	2.00	2.64	1.25	2.31	2.42



図 7-2-7 主観評価実験画像例

（３）全周マルチプロジェクションシステムを利用した交通安全の啓蒙活動

平成 25 年 11 月 22 日，23 日に豊橋市のこども未来館「ここにこ」で行われた未来ビークルシティリサーチセンター主催の「ぎかだいがやってくる 体験！未来ビークルシティ」において，全周マルチプロジェクションシステムを用いた交通安全の啓蒙デモンストレーション「体験しよう！ここ，わたってあんぜんかな？しんごうみえるかな？」において，色覚障がい者や高齢者の視覚をシミュレートした全周映像を投影し，それらを疑似体験してもらうとともに，交差点での全周映像を投影して，安全に交差点を渡るため気を付けなければならない点など，交通弱者の立場に立った交通安全の啓蒙活動を行った。その際の様子を図 7-2-8 に示す。また，アンケートの一部抜粋を表 7-2-3 および表 7-2-4 に示す。実際に体験した方の数は 522 名であり，比較的好評であった。



図 7-2-8 投影の様子

表 7-2-3 設問「この企画は楽しめましたか」に対する回答

十分楽しめた	22 名
まあまあ楽しめた	14 名
ふつう	3 名
あまり楽しめなかった	0 名
まったく楽しめなかった	0 名

表 7-2-4 設問「このような企画は子供や高齢者などの交通安全に貢献できると思いますか」に対する回答

十分貢献できると思う	28 名
少し貢献できると思う	11 名
貢献できないと思う	0 名
わからない	0 名

また自由記述欄には以下のような意見（一部抜粋）があった。

- 小学校などの交通安全教室で活用してもらえたらいいなと思いました。
- 少し見せてもらいましたが、もう少しゆっくりみたいと思いました。
- わかりやすかったです。
- お年寄の見え方や色弱の方の見え方等、分からないことを知ることができたのは発見だった。
- 小さい子供達には分かりやすく説明していただき、良く理解できたと思います。
- とても勉強になりました。新1年生の交通教室にむいていると思います。
- 色盲の方の見え方などは、特に身近にいないけど勉強になりました。子どもにとっては、「車がみにくいなど」十分注意してからわたろうと思ったようでした。ありがとうございました。説明のお兄さんもよかったです。
- 人によって信号や明るさの見え方が違うんだということが分かった。

（４）今後の展開

今年度、初めて広い会場を利用して、各種の全周映像を投影し、体験してくださった方々の意見を具体的に聞くことができた。今後これらの意見を踏まえ、リアリティのある映像投映法について研究を進めるとともに、効果的な映像コンテンツについて検討を進め、実際にいろいろなイベントに参加したいと考えている。

7-3 2色覚者のためのノイズ付加による色の識別率向上に関する研究

（１）はじめに

ユニバーサルデザインの考え方を色や配色に適用した設計をカラーユニバーサルデザイン（Color Universal Design）と呼び、高齢者や色覚障害者など、色覚機能に衰えや障害を持つ方に対しても、識別しやすい配色デザインとすることで、正しく情報が伝わるようにしようとするものである。現在、Webでの配色の指針のほか、チョークの色や、リモコンのボタンの色、地下鉄の路線図、建物の案内図など、さまざまな個所で見ることができるが、一歩建物の外に出た場合、ありふれている道路標識の配色はこのカラーユニバーサルデザインに則っておらず、色覚障害者や高齢者等にとって、背景と標識の識別が難しかったり、また見逃してしまう場合も多い。小佐ら[1]は、このカラーユニバーサルデザインの考え方に準じ、交通弱者に対して安全・安心な交通システムを提案・開発することを目的として、色覚障害者や高齢者に対して、シーン内の標識検出技術により検出した道路交通標識を強調提示することで視認性を高める方法を提案した。しかし、小佐らの方法では、交通標識のみに限定しているため、それ以外の危険を表す掲示等には対応できない。そこで本研究では、昨年度の研究[4]において、画像に特定のノイズを付加することで、2色覚と呼ばれる色覚障害者に対し、いかなる画像に対してもその色の違いが知覚できるような画像の処理方法を提案したが、健常者に対する見え方が大きく変化してしまうという問

題があった。そこで、今年度は、付加するノイズについて検討を行った。

(2) ノイズ軸の付加による弁別可能空間の拡張

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

2色覚者は2次元空間すなわち平面上の1点として色を知覚していることから、本研究では、この知覚可能な色平面における色に対し、人工的に異なる軸、ノイズ軸を加えることで、疑似的に3次元空間内の1点となるようにすることで、色の識別能力を向上させようとする。画像に対するノイズを用いる理由は以下の通りである。

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

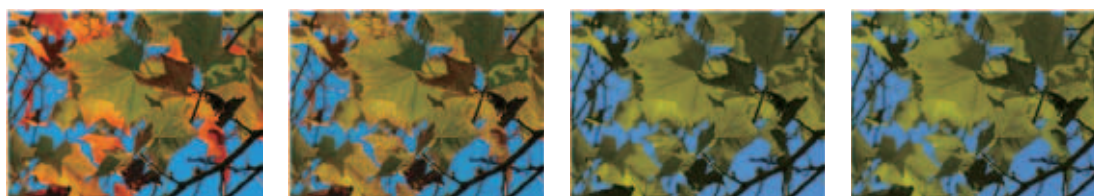
昨年度の研究において、 L を健常者のL錐体への刺激値、 L_p をVienot[3]のモデルによって得られた2色覚者への疑似的な刺激値としたとき、ノイズの発生確率を

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

とし、次のような輝度と色相の2種類のノイズを考えた。

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

ここで、 σ_I 、 σ_H はそれぞれのノイズの分散、 α および β はそれぞれのオフセット値を表す。このノイズを付加することで得られた画像を図7-3-1に示す。2色覚シミュレート画像においては紅葉した部分にノイズが乗るなど、色の違いをノイズにより認識できているが、元の3色覚画像を見ると、紅葉部分の色および空の色が若干変化してしまっていることがわかる。これは、上記ノイズモデルによるオフセットが原因である。



3色覚画像

2色覚シミュレート画像

図7-3-1 自然画像への適用例. ノイズ無（左）／ノイズ有（右）

(3) 付加ノイズの改良

従来ノイズにおいてオフセットは、ノイズの式における $L-L_p$ の符号により切り替えを行なうことで、その正負を識別できるようにするために用いていた。これを今年度は、符号に応じて異なる軸にノイズを加えることで、識別できるようにしようと試みた。予備実験の結果

- RGB 空間の G 軸
- HSV 空間の V 軸
- Lab 空間の a 軸

を用いることとし、正負の符号に応じて、異なる 2 軸を選ぶとする。またノイズの確率分布についても次のような双峰性のノイズを用いることとした。

$$\frac{1}{2}N(-\mu, \sigma^2) + \frac{1}{2}N(\mu, \sigma^2)$$

これにより、オフセットを用いる必要がなくなり、平均色の変化を抑えることが可能となると考えられる。

(4) 主観評価実験

図 7-3-2 に示すような 1 型 2 色覚者にとって識別しづらいグラデーションに対し、提案法によるノイズの組み合わせ 6 種類 G-V, G-a, V-G, V-a, a-G, a-V と脇元らのノイズを付加した画像を作成し、原画像も加えて、グラデーションを感じるかどうかについて、4 段階の主観評価を行った。実際に用いた画像の一部を図 7-3-3 に示す。ここでノイズの組み合わせ X-Y は、 $L-L_p$ が正の場合には X のノイズを付加し、負の場合には Y のノイズを付加することを表す。それぞれノイズ付加画像を見ると、2 色覚画像はそれほど変化がないものの、3 色覚画像は大きく異なることがわかる。評価結果を表 7-3-1 に示す。見てわかる通り 3 色覚では脇元らのノイズに次いで a-V ノイズが良い評価を得た。しかし、ノイズ無の画像と比べると脇元らのノイズは、比較的大きく色が変わってしまっているのに対し、a-V ノイズはそれほど変化していないことがわかる。また 2 色覚においては、やはり脇元らのノイズが良い評価であるが、次に G-a ノイズが評価が高いことがわかる。次に 2 色覚において比較的评价の高かった G-a ノイズを用いて自然画像に対して適用した例を図 7-3-4 に示す。脇元らのノイズに比べ、3 色覚画像も自然に見え、かつ 2 色覚画像においては赤い部分がざらついて見えることがわかる。

以上より、 $L-L_p$ の符号に合わせて 2 種類の異なる軸の双峰性ノイズを用いることで、3 色覚者にとっては色を変えることなくザラツキを感じ、2 色覚者にとってはそのザラツキで色の違いを感じるであろうことが分かった。

(5) まとめと今後の展開

2 色覚者の弁別可能な 2 次元の色空間に対し、人工的なノイズ軸を加えることで疑似的に 3 次元空間に拡張し、色の弁別率を向上させる方法において、改良したノイズモデルを提案した。従

来法に比べ、人工的なグラデーションなどではやや性能が劣るものの、自然画像に対しては原画像に近く違和感の少ない画像を生成できることが分かった。今後の課題として、引き続き、より識別しやすく、かつ健常者にとってより自然なノイズおよび付加方法を検討し、交通弱者のためのシステムに組み込むことを考える。

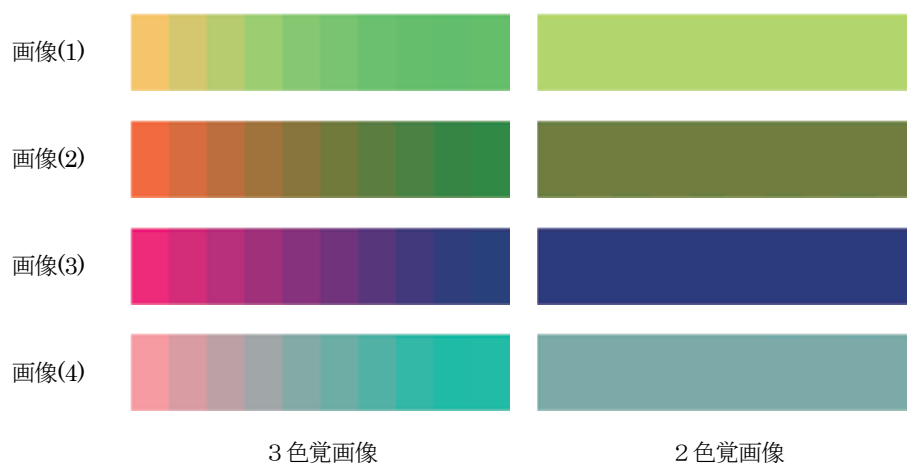


図 7-3-2 提示原画像

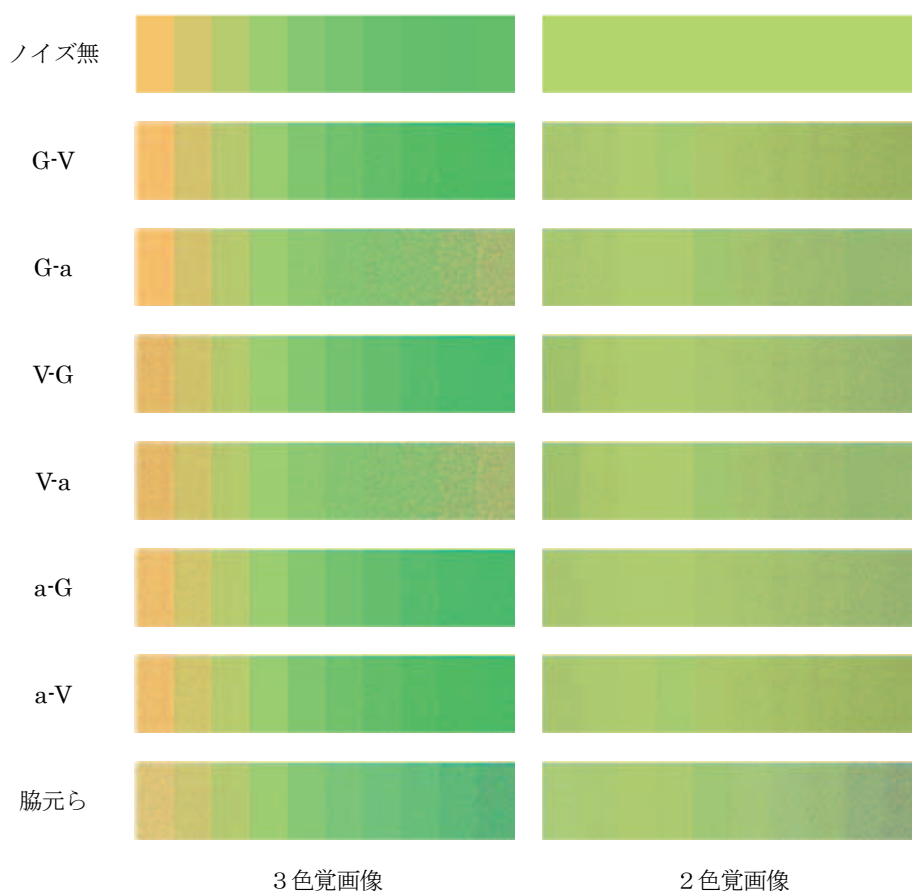


図 7-3-3 実験に用いた画像例

表 7-3-1 主観評価の集計結果（数値は評価値の平均）

	無	G-V	G-a	V-G	V-a	a-G	a-V	脇元ら
3色覚	3.77	3.56	3.39	3.50	3.50	3.50	3.66	3.82
2色覚	1.11	2.15	2.68	2.09	1.79	2.41	2.23	3.00



図 7-3-4 自然画像に適用した例

謝辞

本研究を実施するに当たり，補助金を頂いた豊橋市に感謝します。また，デモ展示の際にも貴重なご意見をいただいた方々に感謝いたします。

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, 福祉情報工学会, WIT2011-17, pp.91-96, 2011.
- [2] カラーユニバーサルデザイン機構, カラーユニバーサルデザイン, ハート出版, 2009.
- [3] F. Vienot, H. Brettel, J.D. Mollon, Digital Video Colourmaps for Checking the Legibility of Displays by Dichromats, COLOR research and application, vol.25, no.4, pp.243-252, Aug. 1999.
- [4] K. Wakimoto, Y. Kanazawa, and N. Ohta, Color image enhancement for dichromats by additive image noise, IPSJ Trans. CVA, Vol.5(2013), pp.45-49, June 2013.

発表論文ほか

- [1] K. Wakiyama, Y. Kanazawa, N. Ohta, Color image enhancement for dichromats by additive image noise, IPSJ Trans. CVA, Vol.5(2013), pp.45-49, June 2013.
- [2] K. Wakiyama, Y. Kanazawa, N. Ohta, Color image enhancement for dichromats by

additive image noise, 第 16 回 画像の認識・理解シンポジウム(MIRU2013), 2013.7.30-8/1, 国立情報学研究所, オーラル.

- [3] Y. Tanno and Y. Kanazawa, Image Matching for Repetitive Patterns by Clustering and Transforming in Feature Space, The 2nd IAPR Asian Conference on Pattern Recognition, Okinawa, Japan, Nov. 5-8, 2013.
- [4] Y. Kanazawa, Y. Sugaya, and K. Kanatani, Initializing 3-D Reconstruction from Three Views Using Three Fundamental Matrices, Workshop on Geometric Computation for Computer Vision (GCCV 2013), Guanajuato, Mexico, Oct. 29, 2013.

学外での展示会等

- [1] 豊橋市役所市民ギャラリー, 平成 24 年度豊橋市大学連携調査研究補助金に係る成果発表会 (9/25~30), 全方位カメラを用いた交通弱者のための危険検知システムに関するデモ(9/27)。
- [2] こども未来館ここここ, ぎかだいがやってくる 体験!未来ビークルシティ (11/23~24), 「体験しよう! ここ, わたってあんぜんかな? しんごう, みえるかな?」, 於 企画展示室。

8. 新しい電池技術の研究開発

電気・電子情報工学系 教授 櫻井 庸司

8-1 はじめに

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

しかしながら、この新型電池を実現するためには多くの克服すべき課題がある。最大の課題は、この電池に期待されている所期性能を見通せる電極材料・電解質材料が皆無であり、リチウムイオン電池など既存電池とは全く異なる新規電池材料の探索が必要なことである。特に、カルシウムイオンが挿入／脱離可能な正極材料に関する報告は極めて少なく、我々を含む 2,3 の研究機関がこれまでに検討し報告してきた五酸化バナジウム系酸化物や二酸化マンガンなどにとどまる。

今年度の研究では、材料合成段階で可動カルシウムイオンを構造中に内包させた二次元層状構造正極材料を材料設計・創製することを目指した。具体的には、これまで我々が材料開発を通して蓄積してきた材料科学的知見を元に、結晶化学的・電気化学的観点から候補材料として $\text{Ca}_{0.5}\text{CoO}_2$ に着目した。この材料の結晶構造 (図 8-1-1) は、現在リチウムイオン電池用正極材料として使用されている層状岩塩型構造 LiCoO_2 と同様に CoO_6 八面体からなる層間にキャリアイオンが存在する構造であり、結晶構造的に可逆的なカルシウムイオン脱離／挿入反応が予想されるため、本研究の検討対象とした。

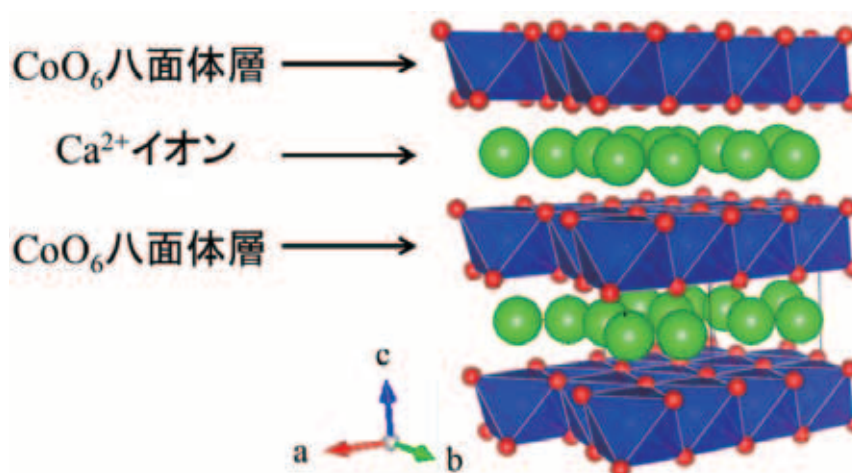
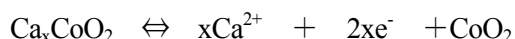


図 8-1-1 $\text{Ca}_{0.5}\text{CoO}_2$ の結晶構造

Ca_xCoO_2 を電極材料として用いた場合の想定反応式を以下に示す。



Ca_xCoO_2 は $x=0.5$ とした場合、コバルトの価数は 3 価となる。コバルトは 4 価にもなりうるため、電荷補償が可能である。そのため Ca_xCoO_2 から Ca^{2+} イオンが x 個脱離する反応が期待される。

この際、 Ca^{2+} イオンはab面に対し平行に移動する。

さらに、 CoO_6 八面体層の間には空きサイトが存在するため、 $x=0.5$ 以上に Ca^{2+} イオンを挿入できる可能性がある。

本研究では、 $\text{Ca}_{0.5}\text{CoO}_2$ の合成方法として(1) NaCoO_2 を母材料とするイオン交換法、および(2)錯体重合法を採り上げて合成手法依存性を検討するとともに、これまで報告例のない $\text{Ca}_{0.5}\text{CoO}_2$ の電気化学特性を明らかにすることを目的として、研究を進めた。

8-2 $\text{Ca}_{0.5}\text{CoO}_2$ の合成

(1) NaCoO_2 を母材料とするイオン交換法

①固相法による NaCoO_2 の合成

化学量論組成に対して10mol%過剰の Na_2O_2 と Co_3O_4 をAr雰囲気下で混合後ペレット化し、 650°C 、16h@ O_2 ガスフロー(1L/min)の条件で熱処理を行った。その結果、図8-2-1に示すとおり、ほぼ単相の NaCoO_2 が合成できた。

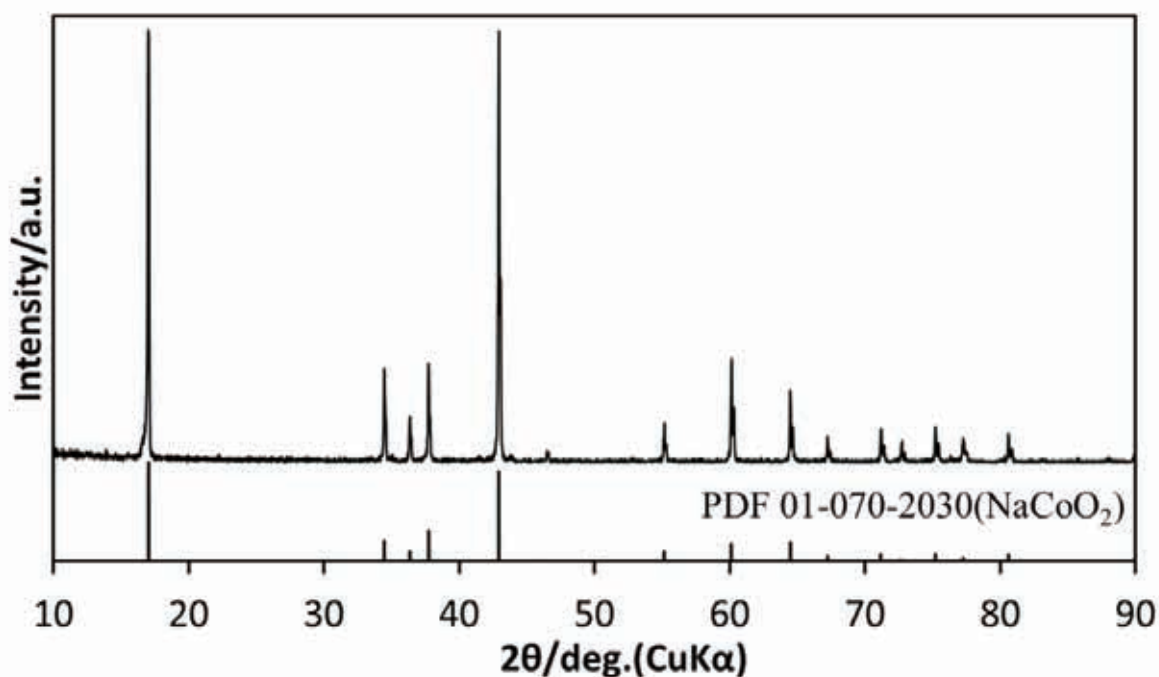


図8-2-1 固相反応 NaCoO_2 試料のXRDパターン

②イオン交換法による $\text{Ca}_{0.5}\text{CoO}_2$ の合成

固相反応により得た NaCoO_2 を母材料として、これと化学量論組成に対して10mol%過剰の $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ とをAr雰囲気下で混合後、 300°C 、48h大気中で熱処理を行った。その結果、図8-2-2に示すとおり、ほぼ単相の $\text{Ca}_{0.5}\text{CoO}_2$ が合成できた。

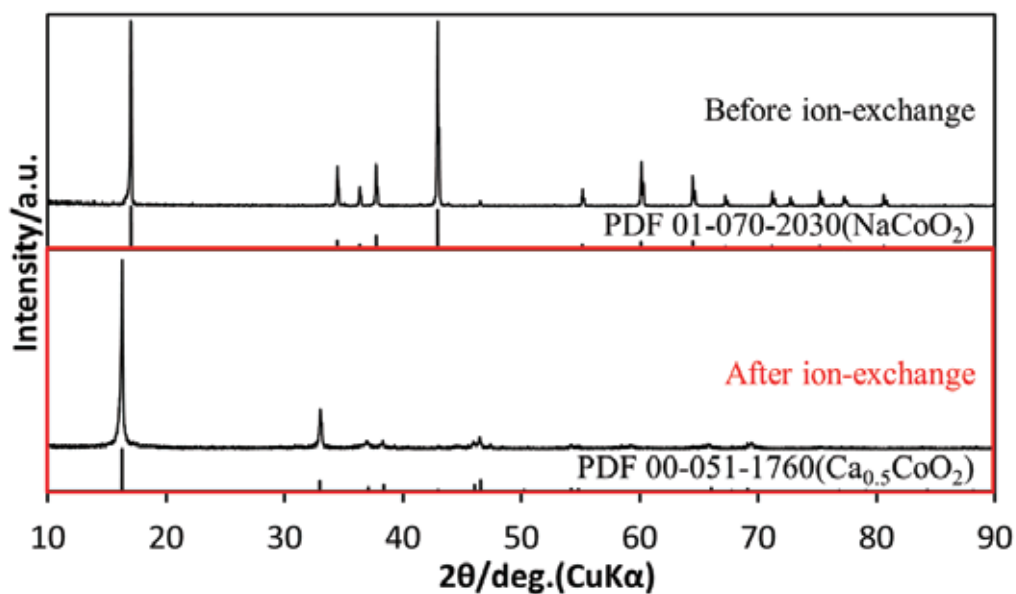


図 8-2-2 イオン交換反応法により合成した $\text{Ca}_{0.5}\text{CoO}_2$ 試料の XRD パターン

③イオン交換前後の粒子形態観察および元素分析

イオン交換前後の試料の粒子形態および構成元素について、電界放出形走査電子顕微鏡 (FE-SEM) およびエネルギー分散型 X 線分光 (EDX) を用いて観察・測定した結果を、図 8-2-3 に示す。イオン交換前後で粒子形態に大きな変化は見られなかったが、イオン交換後の試料には Na が検出されない一方で Ca のピークが明瞭に出現しており、イオン交換反応によって Na^+ イオンが Ca^{2+} イオンにイオン交換されていることが EDX スペクトルから明らかになった。

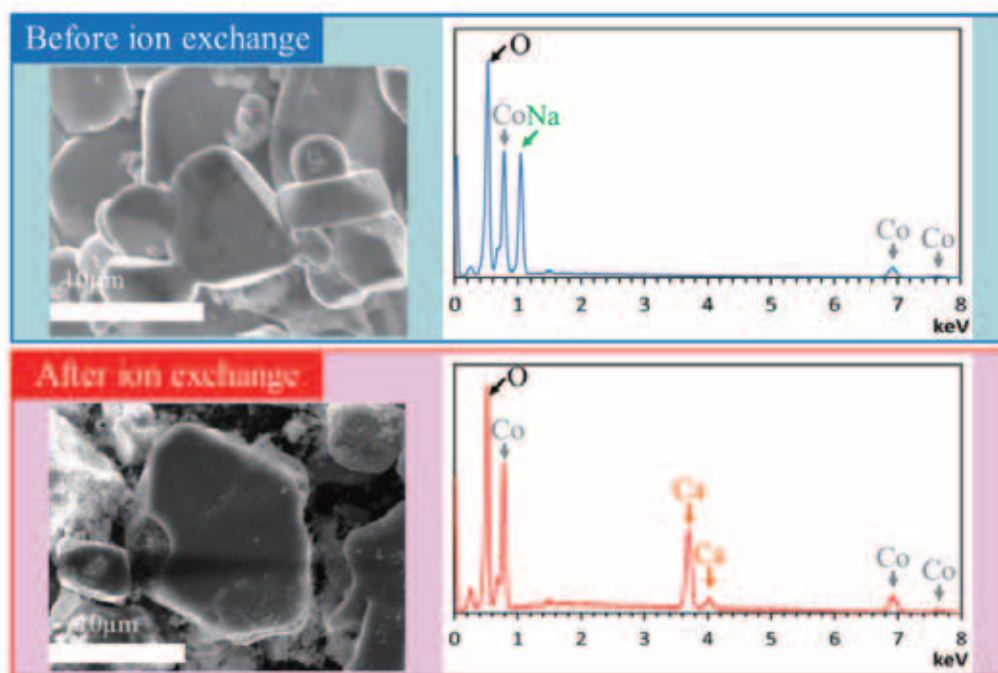


図 8-2-3 イオン交換前後の試料の粒子形態および EDX スペクトル

(2) 錯体重合法

①合成方法

クエン酸をキレート剤として用い、4 g の $\text{Ca}_{0.5}\text{CoO}_2$ が得られるよう各原料を秤量して、次のように合成実験を行った。

- 1) $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$, $\text{Co}(\text{CH}_3\text{COO})_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ を秤量後、蒸留水 100ml に入れ、攪拌、溶解させた。また、クエン酸($\text{C}_3\text{H}_4(\text{OH})(\text{COOH})_3$)は秤量後、50 ml の蒸留水に入れ、攪拌、溶解させた。
- 2) 1)の水溶液をクエン酸水溶液へ滴下した (モル比は総金属カチオン：クエン酸=1：1)。
- 3) 2)の溶液にエタレングリコールをゆっくり入れた (モル数はクエン酸：エタレングリコール=1：4)。
- 4) 溶液の pH が 3 になるよう、アンモニア水を用いて調整した。
- 5) 4)で作製した溶液を、スターを用いて 140℃に加熱しつつ攪拌した。
- 6) 水分が抜けだしてゲル状になった後、190℃程度で加熱しつつ高粘度まで攪拌を続けた。
- 7) ガスを放出し有機発泡ポリマーが生成された後、粉状になるまで加熱を 12 h 続けた。
- 8) 得られた粉体試料を瑪瑙乳鉢で磨り潰し、アルミナ坩堝に入れて各種熱処理条件で焼成した。

②焼成条件依存性の検討

焼成条件依存性を検討するにあたり、まずはじめに TG/DTA 熱分析を行った。得られた結果を図 8-2-4 に示す。

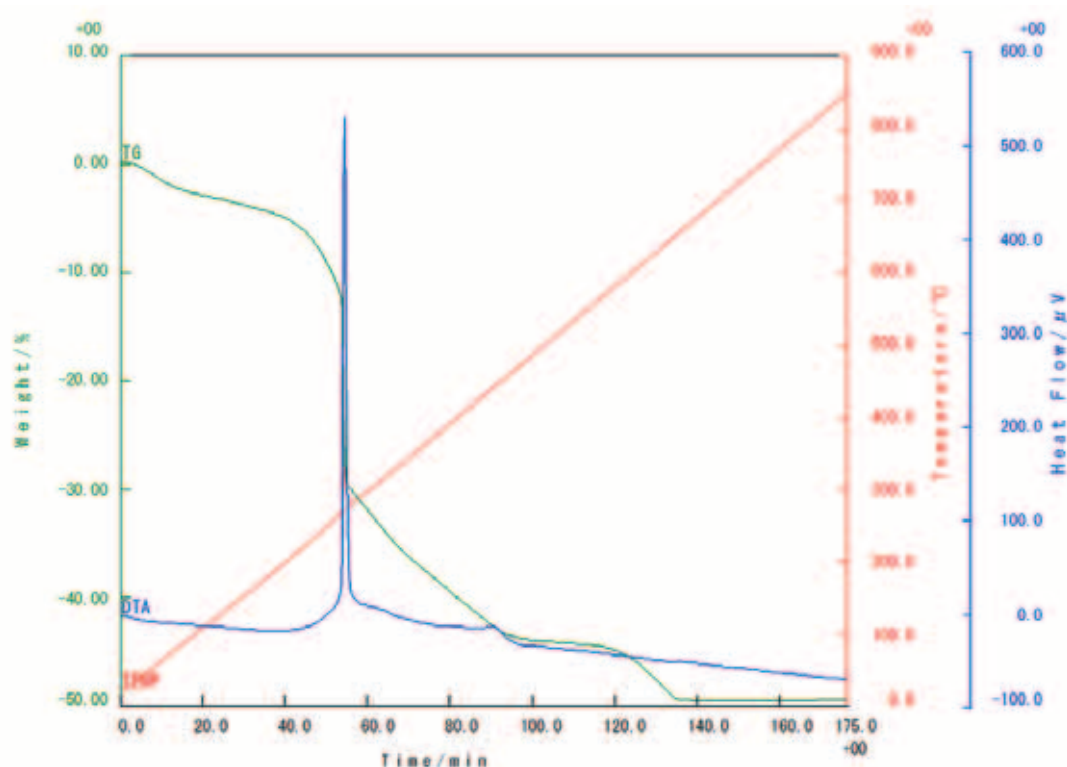


図 8-2-4 錯体重合法による前駆体の TG/DTA 測定結果

この結果から、250 °C付近で大きな重量変化が見られる。そこで、その直後（320 °C）、第一プラトー（520 °C）、第二プラトー（850 °C）及び固相反応法と共通の 650 °Cでの焼成を行うこととした。また、錯体重合法は焼成時間が短時間で済むことが知られており、固相反応法と比べて焼成時間を短く設定し、表 8-2-1 のように各条件を設定した。各焼成試料については、XRD による結晶相の同定を行い、また、酸素雰囲気、650 °C、6 h 焼成の試料について FE-SEM による結晶形態観察を行った。

表 8-2-1 錯体重合法試料の焼成条件

最高温度 [°C]	焼成時間 [h]	焼成雰囲気
320	2	大気
520	2	大気
650	2	大気
	6	酸素
850	2	大気

得られた試料の XRD パターンを、焼成温度依存性として図 8-2-5 に示す。

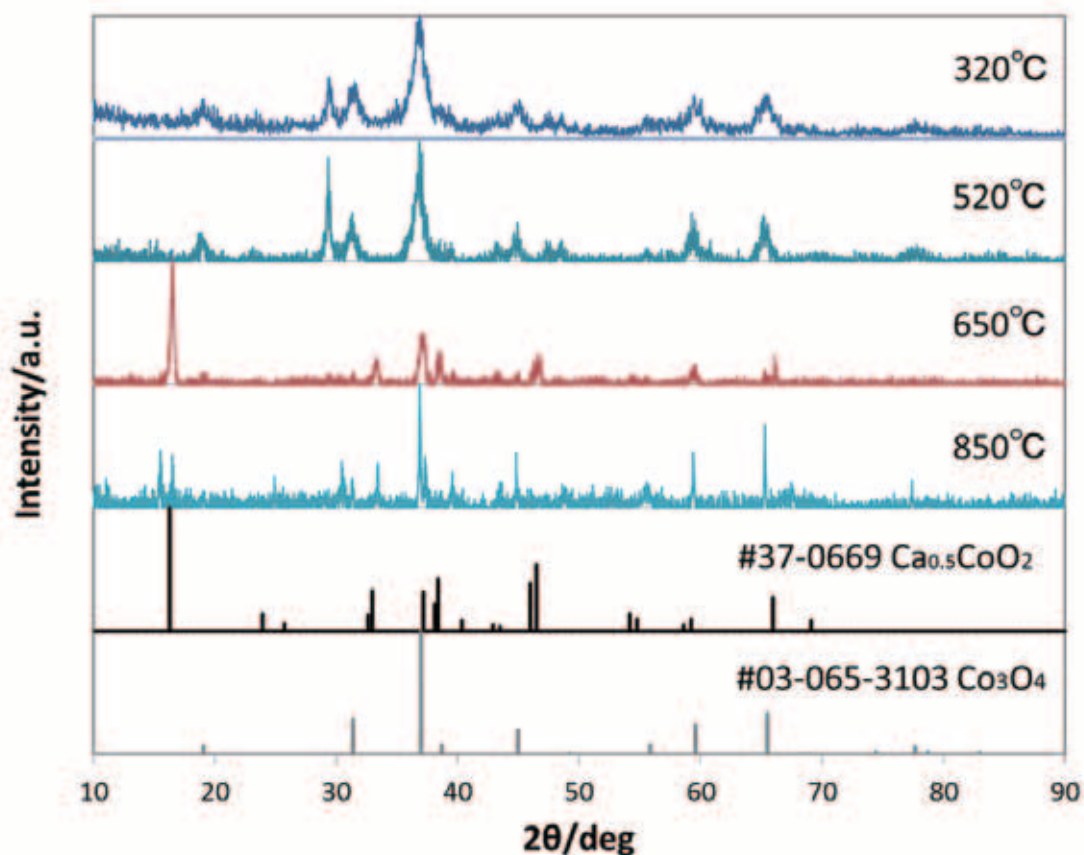


図 8-2-5 錯体重合法試料の焼成温度依存性（大気中焼成）

図 8-2-5 における 520 °C 及び 650 °C の焼成試料に対する XRD 測定結果から、DTA カーブの同一プラトー内における焼成であっても結果が大きく変わることが分かる。また 850 °C の高温では不純物ピークが多数現れるようになっている。以上の結果から、 $\text{Ca}_{0.5}\text{CoO}_2$ は 650 °C 付近でのみ安定して生成するものと推測される。また、320 °C の結果において Co_3O_4 の存在が確認され、以降全ての温度でもそのピークが見られる。 Co_3O_4 の分解温度が 900 °C と焼成温度と比べて高いことと併せて考えると、いかに生成を抑えるかが単相 $\text{Ca}_{0.5}\text{CoO}_2$ 合成のポイントであると推測される。

一方、焼成雰囲気を実験室から酸素雰囲気とし、650 °C、6 h で焼成した場合、図 8-2-6 に示すように、大気中焼成と比べて単相化が進んでいることが分かる。ただし、焼成時間が大気雰囲気の場合と比べて長くなっていることも単相化における重要なファクターであると考えられる。

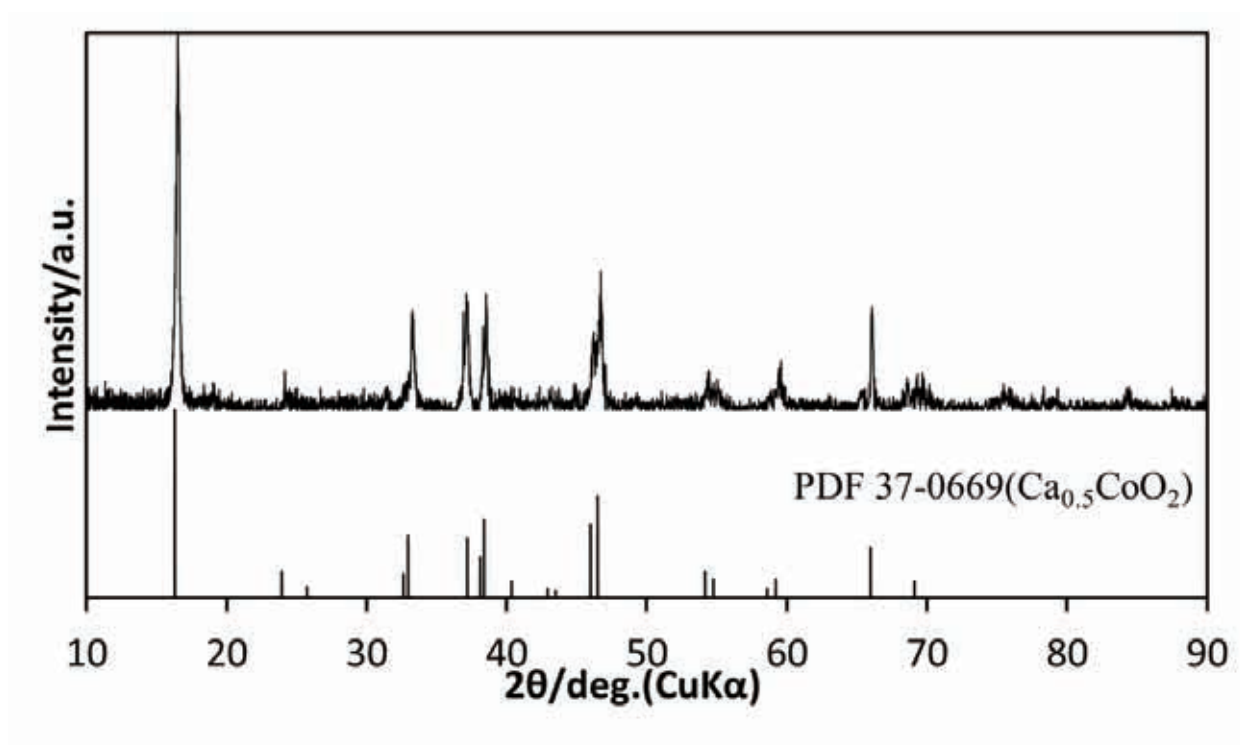


図 8-2-6 酸素雰囲気下焼成により得られた錯体重合法試料の XRD パターン

③粒子形態観察および元素分析

錯体重合法により得られた試料（酸素雰囲気、650 °C、6 h 焼成）の粒子形態および構成元素について、FE-SEM および EDX を用いて観察・測定した結果を、イオン交換法により得られた試料のデータと比較して図 8-2-7 に示す。イオン交換試料に比して粒径は極めて小さく、100nm オーダーの一次粒子が凝集した形態であった。粒子構成元素については、イオン交換試料とほぼ同様な EDX スペクトルを示しており、合成手法は異なるものの同様な組成の材料が合成されたことを支持する結果が得られた。

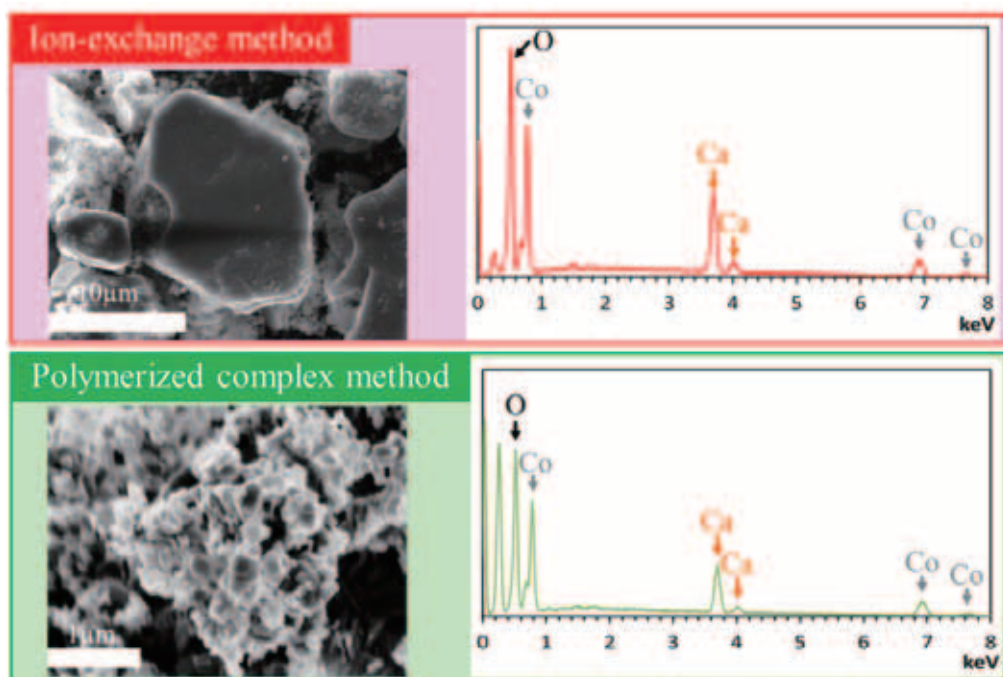


図 8-2-7 錯体重合法により得られた試料の粒子形態および EDX スペクトル

8-3 $\text{Ca}_{0.5}\text{CoO}_2$ の電気化学特性評価

(1) 電極および電池作製

正極活物質、負極活物質として各々 $\text{Ca}_{0.5}\text{CoO}_2$ 、 V_2O_5 を用い、これに導電助剤としてのアセチレンブラックおよびバインダーとしてのテフロン粉末を重量比で 70 : 25 : 5 の割合で混合しロール成形したテフロン結着ペレット電極を作製し、80℃、12h 真空乾燥したものをそれぞれ作用極、対極とした。参照極には非水溶媒系 Ag/Ag^+ 参照極を用いた。また電解液として 0.5mol L^{-1} $\text{Ca}[\text{N}(\text{SO}_2\text{CF}_3)_2]/\text{AN}$ を使用し、三電極ビーカーセルを構成した。電池の作製は、Ar ガスで満たされたグローブボックス中で行った。

(2) 定電流充放電試験

$\text{Ca}_{0.5}\text{CoO}_2$ の正極活物質特性を評価するにあたり、初期検討で決定された電位窓の電位範囲内で、下記の条件で定電流充放電試験を行った。なお、予備実験の結果、活物質中の Ca イオンが全て反応に寄与すると仮定した場合の容量で充電を行うと電解液の酸化分解反応が生じることが判明したため、上限容量を 80mAhg^{-1} ($\text{Ca}_{0.5}\text{CoO}_2$ あたり) に制限して充放電試験を行った。

- ・ 環境温度： 30℃ (恒温槽) ・ 電流密度： $50\mu\text{Acm}^{-2}$
- ・ 上限容量： 80mAhg^{-1} ($\text{Ca}_{0.5}\text{CoO}_2$ あたり) ・ 充電時の正極上限電位： 1.3V vs. Ag/Ag^+
- ・ 放電時の正極下限電位： -3.0V vs. Ag/Ag^+

図 8-3-1 および図 8-3-2 に、イオン交換法および錯体重合法により合成した $\text{Ca}_{0.5}\text{CoO}_2$ の充放電試験結果を示す。いずれも電位窓内の電位で上限容量までの充電・放電を行うことができおり、 Ca^{2+} イオンの脱離・挿入反応が示唆され、カルシウムイオン電池用正極として充放電可能である

ことが明らかとなった。一方、充電／放電の電位に大きな開きがあることから、反応に伴う過電圧が大きいことがわかった。両者を比べると、粒径が細かい錯体重合法試料の過電圧が低減していることから、固相内イオン拡散が特性に大きな影響を及ぼしている可能性が示唆された。

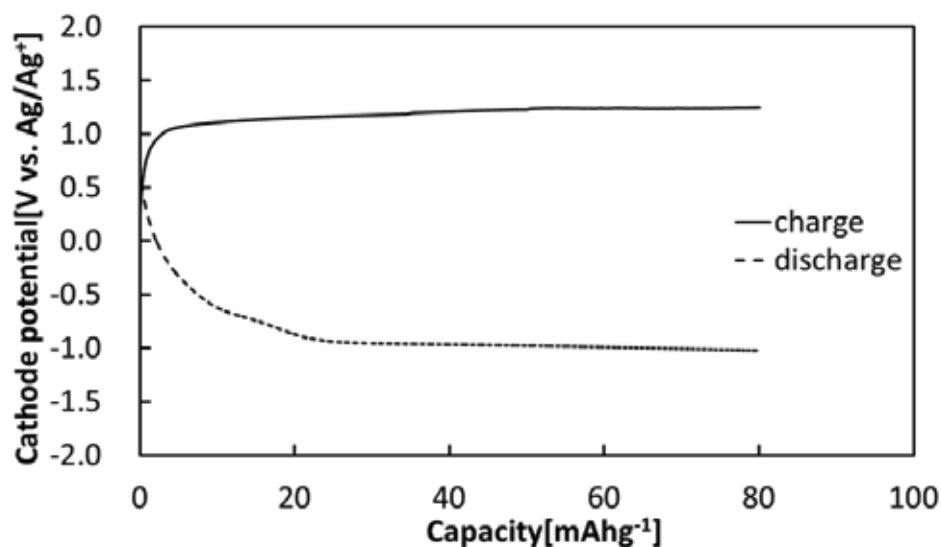


図 8-3-1 イオン交換法により合成した $\text{Ca}_{0.5}\text{CoO}_2$ の充放電特性

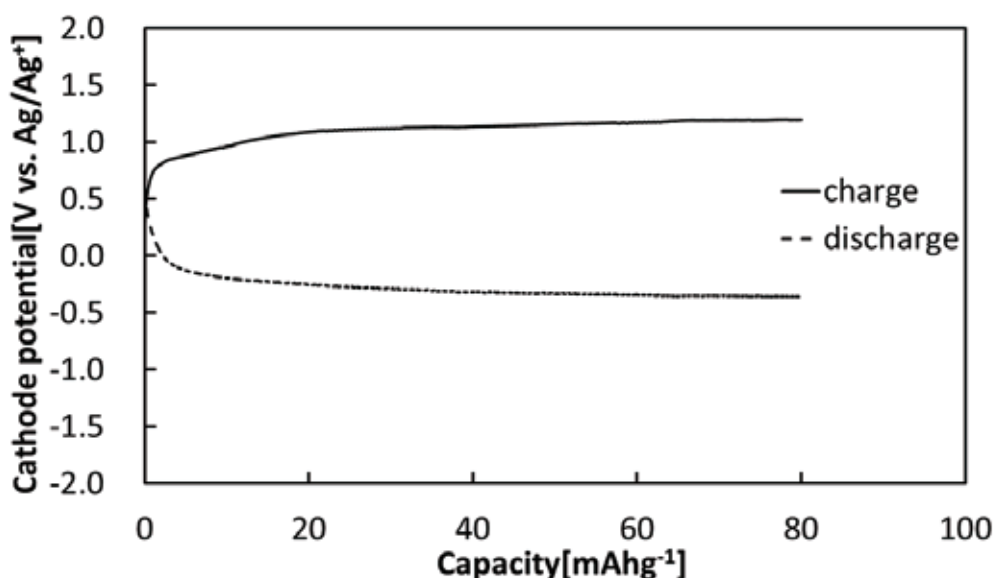


図 8-3-2 錯体重合法により合成した $\text{Ca}_{0.5}\text{CoO}_2$ の充放電特性

8-4 充放電に伴う $\text{Ca}_{0.5}\text{CoO}_2$ 正極の反応機構

(1) X線回折による充放電後の $\text{Ca}_{0.5}\text{CoO}_2$ 正極の結晶構造解析

イオン交換法により合成した $\text{Ca}_{0.5}\text{CoO}_2$ に対して、 80mAhg^{-1} の充電および充放電を行った後、グローブボックス中でセルを解体して電極を取り出し、ジメチルカーボネートで繰り返し洗浄・真空脱気を行った電極ペレットのX線回折測定を行った。図 8-4-1 および図 8-4-2 に得られた試験

結果を示す。なお、図中*印は、内部標準として添加した Si に起因するピークである。図 8-4-1 では判然としないが、拡大した図 8-4-2 において層間距離に対応する(001),(002)ピークに着目すると、充電に伴ってピーク強度が低下しているものの、若干ではあるが低角度側にピークシフトが認められ、カルシウムイオン脱離に伴い結晶格子が膨張していることがわかった。その後の放電では、ピーク位置が初期状態まで戻っており、反応の可逆性を示すものと考えられる。いずれにしても、大きな構造変化を伴わずにカルシウムイオンの脱離／挿入反応が進んでいると思われるが、ピークシフトはわずかであり、今後詳細な構造解析が必要である。

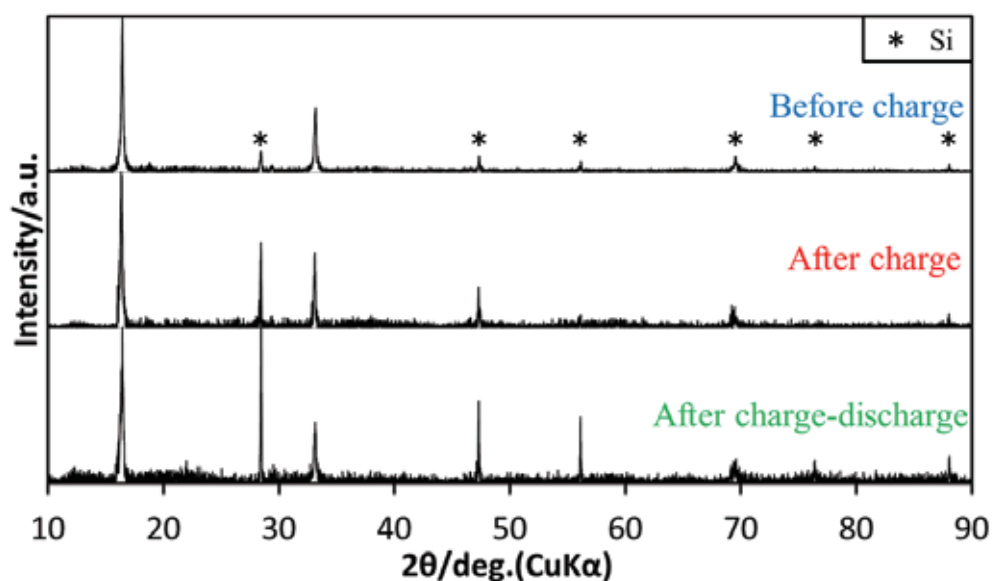


図 8-4-1 充放電前後の XRD パターン比較

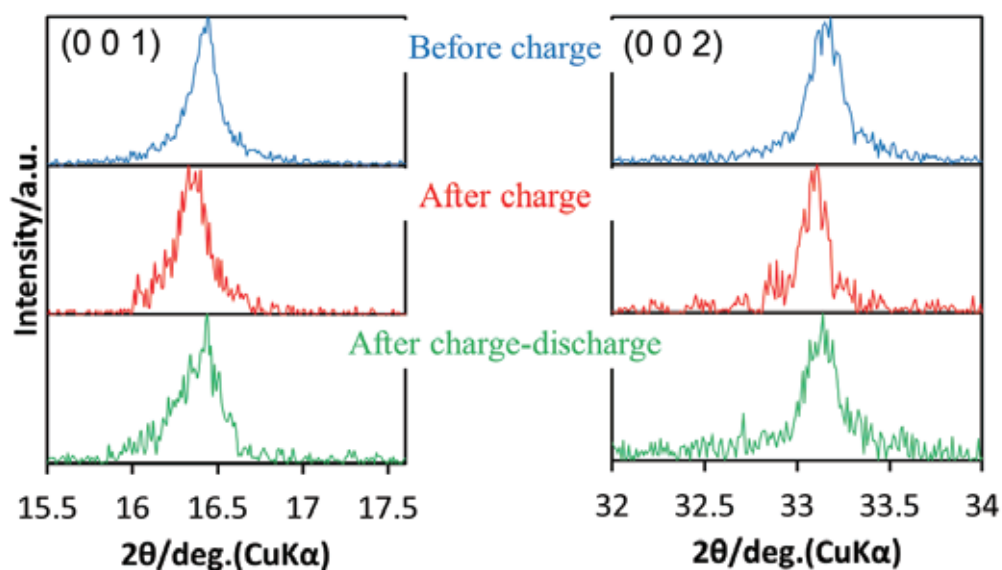


図 8-4-2 充放電前後の XRD パターン比較（部分拡大図）

(2) EDX による充放電後の $\text{Ca}_{0.5}\text{CoO}_2$ 正極の組成解析

前項の X 線回折による検討の結果より、カルシウムイオンの脱離／挿入反応が起こっている可能性が示唆された。生じている反応を更に理解する目的で、イオン交換反応により合成した試料について、充電後および充放電後の電極中のカルシウムとコバルトの比率変化を、EDX により分析した。Co のスペクトル強度で規格化した結果を図 8-4-3 に示す。

図 8-4-3 より、Ca のピーク強度が充電により低下し、その後の放電で充放電前の状態に復帰していることから、充電により $\text{Ca}_{0.5}\text{CoO}_2$ 正極から脱離した Ca^{2+} イオンが放電に伴って再び結晶格子中に挿入されていることがわかった。

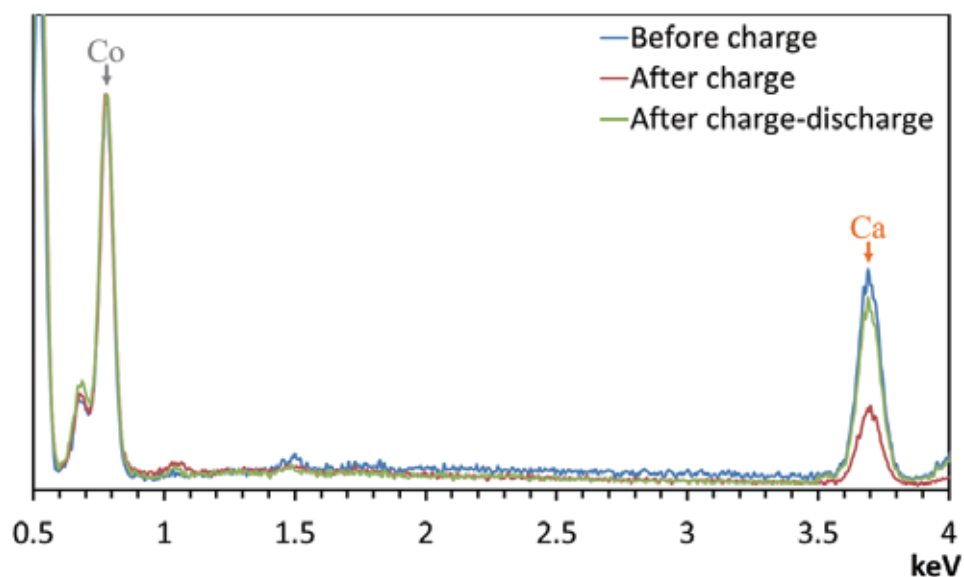


図 8-4-3 充放電前後の $\text{Ca}_{0.5}\text{CoO}_2$ 正極の EDX スペクトル

8-5 まとめ

カルシウムイオン電池用正極材料候補として $\text{Ca}_{0.5}\text{CoO}_2$ に着目し、その合成プロセスとして① NaCoO_2 を母材料とするイオン交換反応および、②錯体重合反応を検討した。その結果、いずれの方法でもほぼ単相の $\text{Ca}_{0.5}\text{CoO}_2$ が合成できることがわかった。

また、カルシウム塩を有機溶媒に溶解させた非水溶媒系電解液中で、カルシウムイオン電池用正極材料としての $\text{Ca}_{0.5}\text{CoO}_2$ の電気化学特性を初めて検討した。その結果、上記の 2 種類の方法で合成した材料はともに、カルシウムイオンの脱離・挿入を伴って充電・放電可能であったが、より粒径の細かい後者において、過電圧が低減されることが明らかとなった。

9. ワイヤレス電力伝送用リアルタイム負荷追従インピーダンス整合回路の研究

電気・電子情報工学系 教授 大平 孝

9-1 電化道路電気自動車

第1世代＝石炭，第2世代＝石油，第3世代＝バッテリー，に続く第4世代のビークルとして，本学は「電化道路電気自動車 EVER: Electric Vehicle on Electrified Roadway」を提唱した。第1～3世代が "Carry Energy" であるのに対し，第4世代は "Collect Energy" の概念に基づく。すなわち移動手段のパラダイムシフトである。バッテリー式の電気自動車の普及の障壁となっている3つの課題：1) 航続距離が短い，2) 充電時間が長い，3) 車両価格が高い，を一挙に解決することを狙う。電化道路電気自動車 EVER のしくみを下図に示す。高速道路と主要幹線道路に電化工事を施すことで，たとえば自宅から幹線道路入り口までは小容量バッテリーで走行し，幹線道路では路面からのエネルギーで走行する。そして，幹線道路から外れる際には小容量バッテリーは満充電されており，目的地までは小容量バッテリーで走行する。これが EVER の基本コンセプトである。「走行中給電」は「停車中充電」と異なり大容量バッテリーの搭載を不要とする。これにより，電気自動車は一般家庭で購入できる価格となり，さらには途中で充電することなく長距離移動が可能となる。

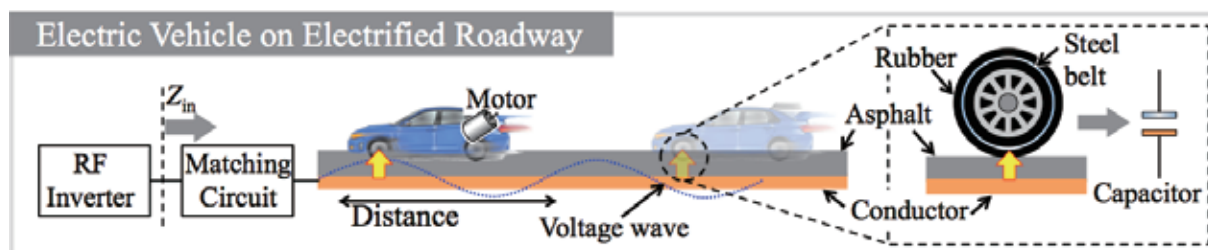


図 9-1-1 電化道路電気自動車 EVER のしくみ

走行中給電技術としてタイヤ集電（V-WPT: Via-Wheel Power Transfer）方式を同図の右部破線枠で示す。本方法は，現在自動車に通常使われるタイヤはほぼすべてがトレッド表面近くにスチールベルト（導体）が埋め込まれており，これにパンタグラフの働きをさせるという革新的なワイヤレス給電方式である。インフラ側は架線のかわりとなる電極を路面下に埋設する。電極は導体平板あるいは網目状のシートでよいので道路敷設や補修時のメンテナンスが容易であることが期待できる。タイヤは常に路面に設置（ゼロギャップ）しているため，空隙による電波漏洩も少ない。一般にトレッド表面はゴム製であり，電極もアスファルトに覆われているため，通常の 50/60Hz の電流は流れない。そこで，電流を数 MHz 以上の高周波エネルギーに変換してタイヤに給電するという仕組みを考える。高周波エネルギーは電氣的導電性が無い材質にも流れるという性質がある。これは変位電流と呼ばれて

いる。本学では V-WPT 方式を搭載した EVER システムを試作し、高い電力伝送効率を示すと共にそのフィージビリティを明らかにした。

9-2 リアルタイム負荷追従インピーダンス整合回路の構成と動作原理

EVER を実現するにはインフラ側から車両側へ高周波エネルギーを効率よく伝えることが重要である。一般に、高周波電力伝送システムでは電源のインピーダンスと負荷のインピーダンスが互いに複素共役の関係にあるときに電力伝送効率が最大となる。ところが、EVER においては、負荷インピーダンスが時間的に変動する。なぜならば負荷すなわち車両は走行しており、道路上で時々刻々とその位置が変わって行き、その走行距離が高周波電圧の波長（数十メートル）に比べて無視できないからである。そこで、負荷インピーダンスに応じて電源と負荷の間にインピーダンス整合（インピーダンス変換：Matching Circuit）回路を挿入する。負荷インピーダンスを通電状態で検知し、それに応じてリアルタイムでインピーダンス変換を行う。この機能を達成するリアルタイム負荷追従（R-TLT: Real Time Load Tracking）インピーダンス整合回路の構成を下図に示す。アナログ回路のみで構成するため整合動作がシンプルでリアルタイムであることが特長である。

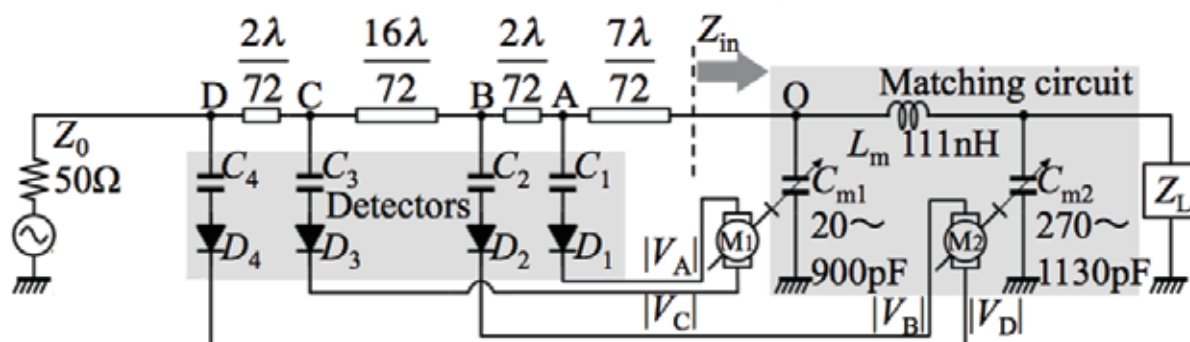


図 9-2-1 リアルタイム負荷追従インピーダンス整合回路の構成

R-TLT インピーダンス整合回路は可変インピーダンス整合回路部および定在波検出部からなる。同図の右端にある Z_L が電化道路のインピーダンスを表す（電気自動車を含む）。可変インピーダンス整合回路部は直列インダクタ L_m と 2 つの並列可変キャパシタ C_{m1} , C_{m2} で構成される π 型整合回路である。 π 型整合回路は 2 つの自由度を持つため、複素数である負荷インピーダンス Z_L を追い込んで整合できる。CLC 型の π 整合回路を通じて点 O から Z_L 側をみたインピーダンスを Z_{in} と書く（同図内の太矢印記号）。 Z_{in} は 2 個のキャパシタ容量の増減により次の図に示す矢印のような軌跡でスミスチャート上をある円弧に沿って一定の方向へ移動できる。2 つのキャパシタのうち C_{m1} を変えた場合の軌跡を同左図の赤線で、 C_{m2} を変えた場合の軌跡を同右図の青線で示す。

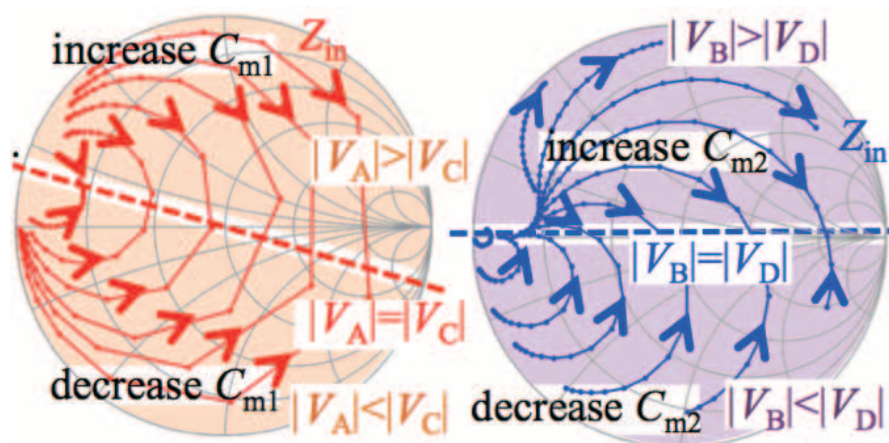


図 9-2-2 π 整合回路の可変コンデンサの容量変化に伴う入力インピーダンス軌跡

定在波検出部は伝送線路 4 本の縦続接続から構成される。電源の特性インピーダンス Z_0 と可変インピーダンス整合回路部の入力インピーダンス Z_{in} が異なることにより電圧定在波が生じる。電源と可変インピーダンス整合回路部間の 4 本の伝送線路（特性インピーダンス Z_0 ）の接続点を A,B,C,D とする。4 個のキャパシタ $C_1 \sim C_4$ は伝送線路中の定在波に影響を及ぼさないよう線路の特性インピーダンスに比べて充分小さい容量値とする。4 個のダイオード $D_1 \sim D_4$ は高周波電圧を整流する。これらキャパシタとダイオードで点 A,B,C,D 上の高周波電圧を検出して直流電圧として取り出す。ここで点 A,C および点 B,D はそれぞれ電気長が $\lambda/4$ 離れている。点 A,B および点 C,D は電気長が $\lambda/36$ 離れている。ここで λ は伝送線路上の伝播波長である。電源と可変インピーダンス整合回路の間でインピーダンスが整合している場合は定在波が生じないため点 A,C および点 B,D はそれぞれ等しい電圧となる。一方、整合がとれていない場合は伝送線路上に定在波が生じるため点 A,C および点 B,D はそれぞれ異なる電圧となる。これら 4 点の電圧の相対的大小関係によりスミスチャート上で Z_{in} の位置を推定できる。その推定結果に基づいてモータ M1, M2 を駆動する方向を決定する。このように、本 R-TLT はアナログ素子のみで動作するためリアルタイムの負荷追従が可能となる。

9-3 リアルタイム負荷追従インピーダンス整合の実証実験

リアルタイム負荷追従整合の原理を実証するため試作した第 1 号機の写真を下図に示す。図中左上のアルミケースが定在波電圧検出部、同軸ケーブルが伝送線路、中央下のアクリルケース 2 個が DC モータおよびギアボックス、右下のアルミケースがバリコンとソレノイダルコイルによる π 型整合回路である。左端の同軸ケーブルから高周波電力を入力し、右端の同軸ケーブルで出力する。高周波入力電力範囲は数ワットから数百ワットである。定在波電圧検出部と DC モータ 2 個は単三電池 2 本で

動作する。

定在波電圧検出部の特性測定結果を次図に示す。入力インピーダンスが赤領域にあるときは点 A と点 C で高周波電圧振幅がほぼ等しくなる。同じく、青領域にあるときは点 B と点 C で高周波電圧振幅がほぼ等しくなる。これら 2 つの条件が連立している状態すなわち入力インピーダンスがスミスチャートの原点 ($50+j0\ \Omega$) となっている場合に 4 点 A,B,C,D の高周波電圧が全て等しくなることがわかる。これが定在波がない状態つまりインピーダンスが完全に整合している状態である。

この検出電圧をモータ M1 と M2 に印加することで、2 つのモータがそれぞれ赤領域および青領域へインピーダンスを同時に収束させ、最終的に完全整合状態となる。実際に負荷のインピーダンスを順次変更して収束するかどうか実験を行った。負荷の電力反射係数 0.5 (定在波比 $VSWR = 6$) で反射位相が異なる 1 2 通りの場合の実験結果を次図に示す。どの場合も整合動作前は入力インピーダンスが 15Ω から 90Ω まで変動している。それが自動整合により $55\pm 5\Omega$ の範囲内に収束した。収束後の電力反射係数は 0.01 以下 (-20dB 以下) である。

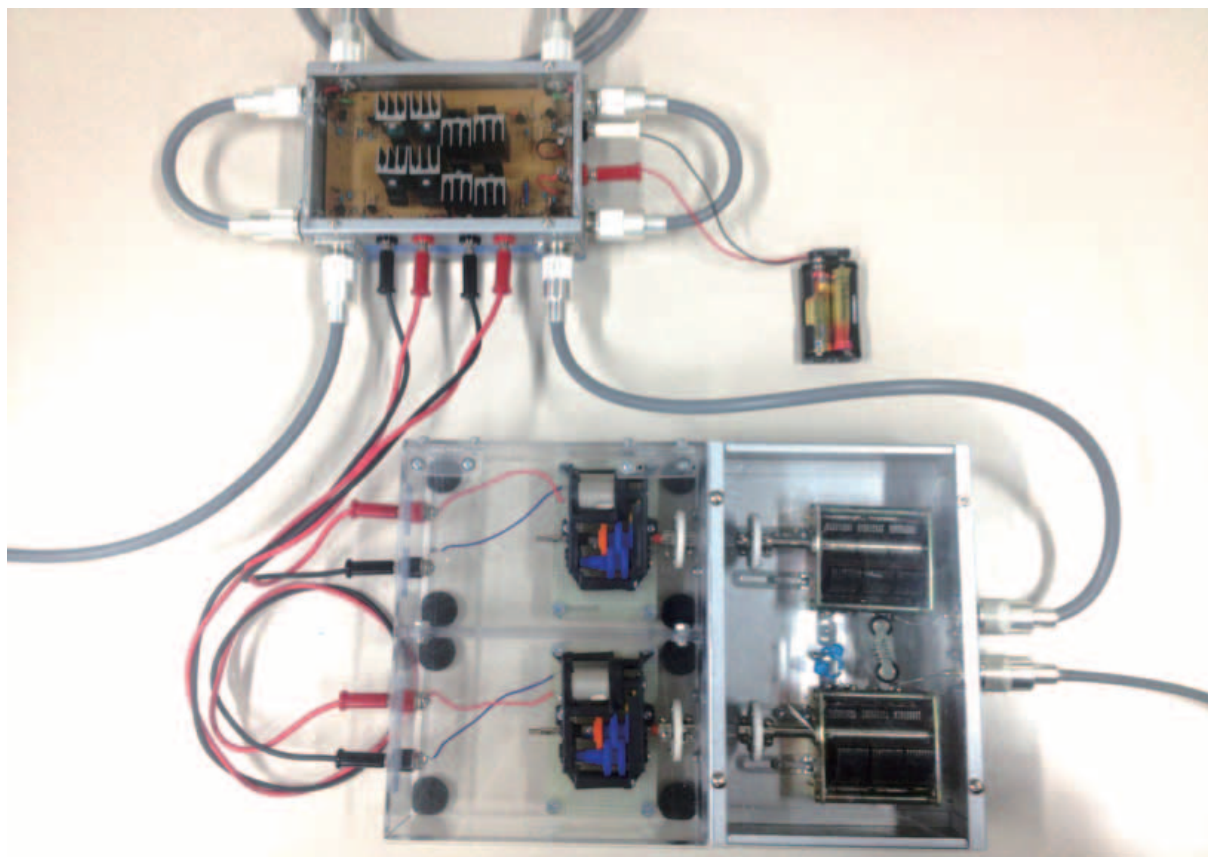


図 9-3-1 試作したリアルタイム負荷追従インピーダンス整合回路

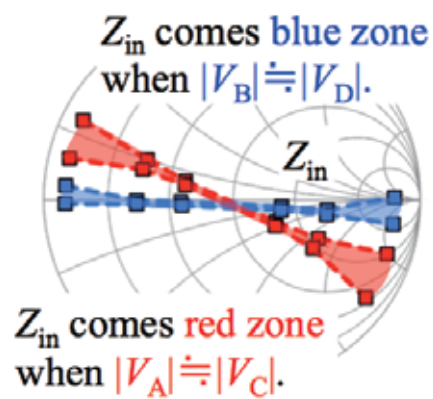
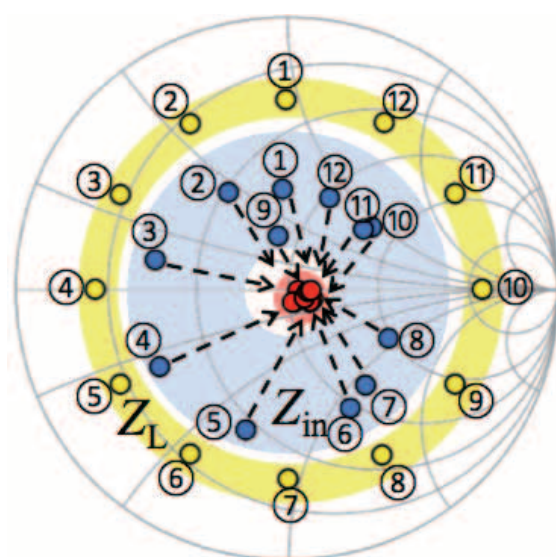


図 9-3-2 定在波検出部の特性測定結果



	$Z_L[\Omega]$	Z_{in} before matching $[\Omega]$	Z_{in} after matching $[\Omega]$	$ \Gamma_{in} @ O$ [dB]
①	$16.7 + j46.4$	$36.6 + j31.5$	$60 - j4.5$	-20
②	$11.1 + j27.6$	$25.3 + j22.2$	$53.5 - j0.5$	-29.3
③	$9.1 + j12.8$	$16.9 + j4.9$	$57.7 - j5$	-21.4
④	8.5	$15.4 - j12.9$	$52 - j5.1$	-25.4
⑤	$9 - j13$	$21.7 - j32.6$	$51.5 - j5.1$	-25.6
⑥	$11.1 - j27.5$	$47.4 - j55.9$	$57.7 - j4.7$	-21.5
⑦	$16.6 - j47$	$61.5 - j56$	$58.1 - j5.8$	-20.7
⑧	$30.6 - j76.1$	$95.7 - j42$	$58.5 - j5.6$	-20.6
⑨	$91 - j128$	$43 + j17.8$	$57 - j1.9$	-23.4
⑩	295	$80 + j42.7$	$56 - j4$	-23.4
⑪	$90 + j128$	$76.3 + j39$	$57.6 - j1$	-23
⑫	$30.8 + j77$	$51.6 + j40.5$	$59.3 - j0.5$	-21.4

図 9-3-3 インピーダンス自動整合の実験結果

9-4 研究成果公表

電子情報通信学会主催で「マイクロ波展示会：Microwave Workshop Exhibition 2013」が平成25年11月27日～29日にパシフィコ横浜にて開催された。大学展示コンテストに全国の大学等から30校が出展した。本学から今期開発した高周波インバータ回路，リアルタイム負荷追従整合回路，高周波整流回路，トランスレス変成器を3日間出展した。本学のブースの様子を下図に示す。来場者の方々や審査員の方々から，学生の説明および質問への対応が極めて分かり易い，夢のある技術なので実用化が楽しみ，実演デモで技術内容理解が容易，質問に対する応答も良く学生さんが深く理解しているのが伝わった，など好評を得た。コンテスト審査の結果，30校のうち本学ブースが優秀発表賞



(第1位) に選ばれた。授与された表彰状と表彰式当日（11月29日）の様子を次図に示す。

図 9-4-1 Microwave Workshops Exhibition 2013 大学展示コンテスト：本学ブース



図 9-4-2 MWE2013 大学展示コンテスト表彰状



図 9-4-3 MWE2013 大学展示コンテストで本学が優秀発表賞（第 1 位）に輝く

9-5 むすび

タイヤ集電 (V-WPT) 方式による走行中電気自動車への給電システム EVER のためのリアルタイム負荷追従整合回路を提案, 原理実証実験を行った。インピーダンスが約 8Ω から 300Ω まで大幅に変動する負荷に対して自動的に 50Ω 系へ変換し, その結果, 反射電力-20dB 以下 (反射係数 0.01 以下) を達成した。全回路を研究室学生 100% 手作りで第 1 号機を試作し, マイクロ波展 Microwave Workshop Exhibition 2013 へ出展した。MWE2013 学生展示コンテストにて実演展示を行った結果, 大学展示優秀発表賞 (全国大学 30 校中第 1 位) にみごと輝いた。リアルタイム自動整合は第 4 世代移動手段となる走行中給電システムの開発に大きく貢献できる技術であり, 本実験成功は低炭素社会における安全安心なビークルシティ実現への着実な 1 歩である。

業績リスト

【報道】

- [1] Establishing basic formulas for squeezing wireless energy from radio frequency systems, phys.org, 25 Sept. 2013 [<http://phys.org/news/2013-09-basic-formulas-wireless-energy-radio.html>].

【表彰】

- [2] 波動工学研究室「MWE2013 大学展示優秀発表賞」Microwave Workshop Exhibition 2013, 2013-11-29.
[3] 波動工学研究室「日経エレクトロニクス読者賞」NE ジャパン・ワイヤレス・テクノロジー・アワード 2013-05-21.

【論文誌】

- [4] 大平 孝, “疑似線形理論による発振回路注入同期現象の定式化: 紙と鉛筆でロックレンジと Q ファクタを探究する,” 信学論 C, vol. J96-C, No.12, pp. 454-462, 2013.
[5] 大平 孝, “電化道路電気自動車”, 自動車技術, 特集: 進化する道路関連技術, vol. 67, no. 10, pp. 47-50, Oct. 2013.
[6] Takashi Ohira, "Power efficiency and optimum load formulas on RF rectifiers featuring flow-angle equations," IEICE Electronics Express, ELEX, vol. 10, no. 11, pp.1-9, June 2013.

【国際会議】

- [7] Takashi Ohira, "Basic circuit theory for emerging RF power conversion in future smart grid systems", IEEE Distinguished Microwave Lecture, pp.1-6, Bangkok, Dec. 2013.
[8] N. Sakai, Y. Suzuki, T. Torii, Y. Kitagawa, and T. Ohira, "Electric Vehicle on Electrified Roadway Maquette Demonstrator," International Conference of Global Network for Innovative Technology 2013, page 1, Penang, Malaysia, Dec. 2013.

- [9] Kento Ichinose, "Active Q-factor Estimation and Phase Noise Measurement on Transmission Line Feedback BJT Oscillators", IEEE AP/MTT-S Midland Student Express 2013 Autumn, S6-3, Kanazawa, December 2013.
- [10] Takashi Ohira, "Circuit Q Factor as a Basic But Still Ambiguous Index for Resonators and Oscillators," EuMA European Microwave Doctoral School, Nuremberg, Germany, Oct 2013.
- [11] Minoru Mizutani, Mondo Aoyama, and Takashi Ohira, "Real-Time Load Tracking Circuit for Wireless Transfer System," Interdisciplinary Research and Global Outlook Conference 2013, p.83, Aichi, Japan, Oct 2013.
- [12] Kyohei Yamada, Takanari Minami, Sonshu Sakihara, Tuya Wuren and Takashi Ohira, "Injection-locking-range estimation based on Q factor and experimental verification for Hartley oscillator," Interdisciplinary Research and Global Outlook Conference 2013, p. 84, Aichi, Japan, Oct. 2013.
- [13] Takashi Ohira, "Challenge for 4G Mobility", IEEE Distinguished Microwave Lecture, Rome, May 2013.
- [14] Takashi Ohira, "No Oil, No Coil, Just V-WPT", IEEE Distinguished Microwave Lecture, Perugia, May 2013.
- [15] Takashi Ohira, "Via-Wheel Power Transfer to Vehicles in Motion (special talk and exhibition)", IEEE Wireless Power Transfer Conference, WPTC2013, pp.242-246, Perugia, May 2013.
- [16] Yuri Kitagawa, "Prototype RF Inverter for 1/10 Scale EVER", IEEE AP/MTT-S Midland Student Express 2013 Spring, S2-1, Nagoya, April 2013.
- [17] Takumi Honda, "Electromagnetic Analysis on a Basic Model for Via-Wheel Power Transfer", IEEE AP/MTT-S Midland Student Express 2013 Spring, S2-2, Nagoya, April 2013.

【技術報告】

- [18] 佐藤 翔一, 水谷 豊, 坂井 尚貴, 大平 孝, "リアルタイム負荷追従インピーダンス自動整合回路の提案", 信学技報, vol. 113, no. 204, MW2013-92, pp.23-28, Sep. 2013.
- [19] 南 昂孝, 大平 孝, "[特別講演] 平行平板シリーズスタブと伝送線路ループによる立体的なマイクロ波帯バンドパスフィルタ", 信学技報, vol. 113, no. 110, MW2013-29, pp.1-4, June 2013.
- [20] 大平 孝, "高周波整流回路の最適負荷と電力効率の理論式：半波および全波流通角方程式の導出と活用", 信学技報, vol. 113, issue 70, MW2013-10, pp.1-6, May 2013.

【学会全国大会】

- [21] 一瀬 健人, 南 昂孝, 大平 孝, "BJT コルピッツ発振器の発振条件及び Q ファクタ解析," 信学ソ大, C-2-7, Sept. 2013.
- [22] 南 昂孝, 一瀬 健人, 大平 孝, "伝送線路帰還発振回路における FET 電圧増幅率と Q ファクタ," 信学ソ大, C-2-8, pp.33, Sept. 2013.
- [23] 鈴木 良輝, 鳥井 俊宏, 坂井 尚貴, 大平 孝, "電化道路電気自動車 EVER 実証実験", ワイヤレス・テクノロジー・パーク, 横浜, 2013-05.

- [24] 坂井尚貴, “1G:石炭 2G:石油 3G:電池に続く第4世代自動車”, NE ジャパン ワイヤレス・テクノロジー・アワード2013 記念講演, 東京国際展示場, May 2013.

【技術展示会】

- [25] 波動工学研究室(大平研究室), あいち ITS ワールド 2013, ポートメッセなごや(名古屋市国際展示場), Dec. 12-15, 2013.
- [26] 波動工学研究室(大平研究室), Microwave Exhibition, Pacifico Yokohama, Nov. 27-29, 2013.
- [27] 波動工学研究室(大平研究室), 未来ビークルシティリサーチセンター講演会, 田原文化会館, Nov. 7, 2013.
- [28] 波動工学研究室(大平研究室), さかい IPC 環境ビジネス研究会セミナー, 堺市産業振興センター, Oct. 17, 2013.
- [29] 波動工学研究室(大平研究室), 電子情報通信学会東海支部 第二回一般講演会, 豊田工業高等専門学校, Jun. 21, 2013.

10. 持続可能な移動手段の環境有効性の評価

－電動アシストつき自転車の利用促進に関する研究－

環境・生命工学系 准教授 後藤 尚弘

10-1 研究の目的

(1) はじめに

地球温暖化等の環境問題が顕在化する中で、持続可能性についての議論が盛んに行われているが、人間が持続的に活動をするためには交通の持続が必要不可欠である。日本は戦後高度経済成長を迎え、急速な復興を遂げる過程において交通部門からの二酸化炭素排出量は一貫して増え続けている。これは、社会の発展にともなう流通業の成長、船舶、鉄道輸送から自動車輸送へのモータリシフトなどがあげられる。中でも自動車の普及は大きなインパクトがある。

近年、環境への配慮を考慮した低環境負荷型の交通システム導入への取組が推進されている。ハイブリットカーや電気自動車の開発は持続可能な交通システム形成への一つの取り組みであるといえよう。一方で、交通手段そのものを変える「モータリシフト」の取り組みも実施されている。その一つが電動二輪車（電動バイク、電動アシストつき自転車）の導入である。電動二輪はガソリン自動車に比べて消費燃料が少なく、二酸化炭素排出量も少ない。特に自転車通勤は多くの通勤者が環境面だけでなく健康面から実施している。

しかしながら既往研究により環境行動において意識の高さと行動の不一致がしばしば報告されており、電動アシストつき自転車の利用に関しても環境意識を高めることが促進につながるとは限らない。これらの行動を促進させるためには環境意識と行動の関係を明らかにする必要がある。

(2) 環境行動要因モデルの例

環境意識と環境行動の関係はこれまでに、環境行動要因モデルによって研究されてきた。以下に、代表的な例を示す。

Ajzen(1991)の計画的行動理論を図 10-1-1 に示す。Ajzen のモデルは、態度と行動の関連性を扱った最も主要な理論である。計画的行動理論モデルでは、「行動に対する態度(Attitude toward the behavior)」と「主観的規範(Subjective norm)」,「実行可能性評価(Perceived behavioral control)」という要因が「行動意図(Intention)」を形成し、「行動(Behavior)」に移行することを仮定している。「実行可能性評価」は行動の実行時間や機会などの個人の能力に依存しない場合、行動の直接の要因となる。各要因の定義を以下に示す。

「行動に対する態度」⇒ 個人にとって行動が好ましいか疎ましいかという評価

「主観的規範」⇒ 行動が期待されているかどうかという社会的な圧力の評価

「実行可能性評価」⇒ 行動が個人にとって容易か困難であるかという評価

「行動意図」⇒ 実際に行動をとろうとする動機

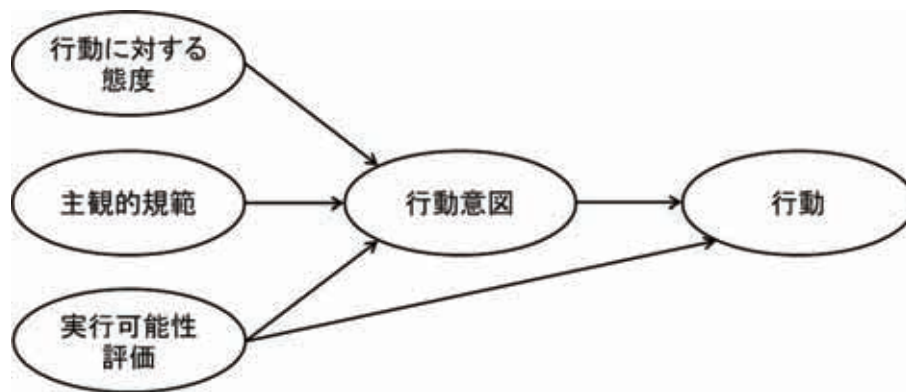


図 10-1-1 Ajzen の計画的行動理論

広瀬(1994)の環境配慮行動要因モデルを図 10-1-2 に示す。広瀬は、計画的行動理論の枠組みを発展させ、態度が形成される段階と行動意図が形成される段階の違いを仮定した“環境配慮行動の 2 段階モデル”により、態度と行動の不一致が生じる心理的なプロセスを説明している。各段階についての定義を以下に示す。

【第 1 段階：態度形成】

目標意図⇒環境問題に関する関心や意識の側面である一般的態度

環境リスク認知⇒環境汚染がどれ程深刻であり、その発生がどれ程確からしいかについての認知

責任帰属認知⇒環境汚染や破壊の原因が誰あるいは何にあるのかといった責任帰属の認知

対処有効性認知⇒何らかの対処によって環境問題は解決可能かどうかという対処有効性の認知

【第 2 段階：行動変容】

行動意図⇒実際に環境配慮行動をとろうとする動機

実行可能性評価⇒行動実行に関する制約や容易さに関する評価

便益費用性評価⇒行動のもたらす結果の便益・コストについての評価

社会規範性評価⇒地域社会などの準拠集団からの期待や圧力についての評価

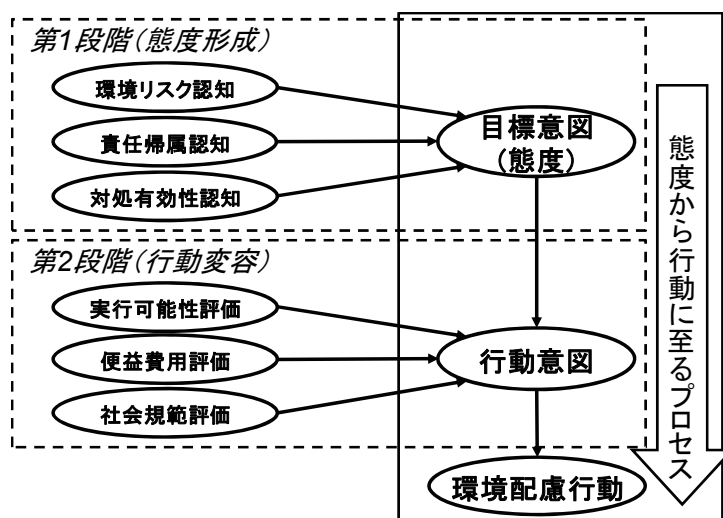


図 10-1-2 広瀬の環境配慮行動要因モデル

（３）目的・研究構成

本研究は電動アシストつき自転車の普及を目指すものである。

研究構成を図 10-1-3 に示す。本研究では、はじめに既存アンケート及び既往研究の調査を実施した。それにより、電動アシストつき自転車の購買行動の仮説モデルを作成した。その後、オンラインアンケートを実施し因子分析によってデータを潜在的な要因に分類した。共分散構造分析によって、「モデルを用いた各要因間の解析」を実施した。解析結果より、電動アシストつき自転車における環境配慮行動を促進させる方法を提案した。

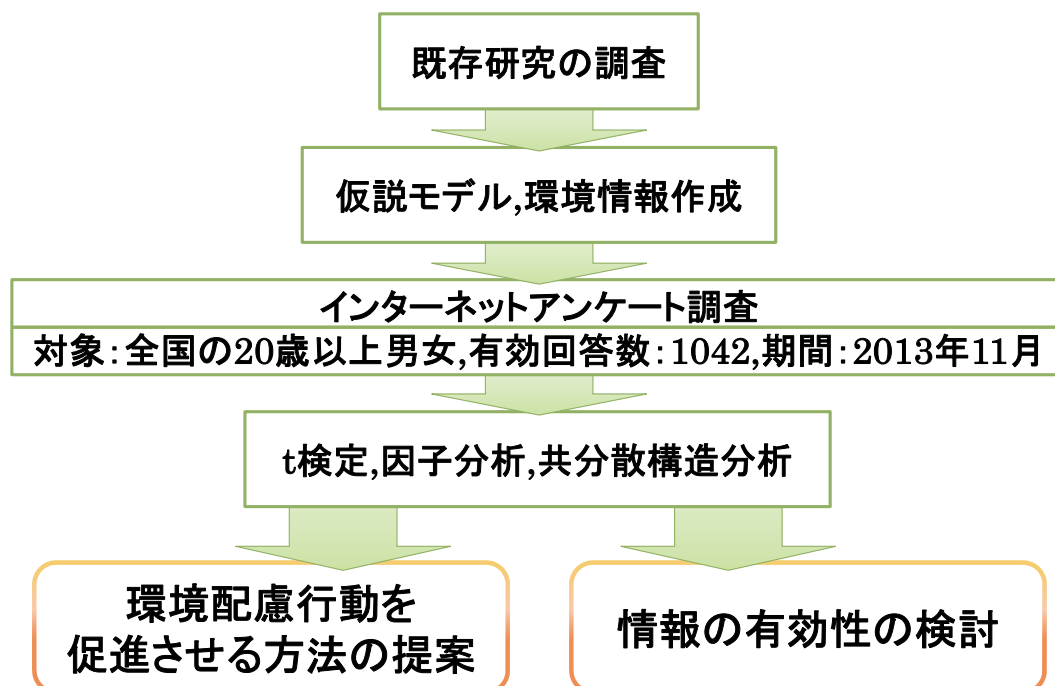


図 10-1-3 研究構成

10-2 研究手法—アンケート，分析—

（１）アンケート調査の概要

調査の概要を表 10-2-1 に示す。2013 年 11 月に株式会社マクロミルが保有するリサーチ専用被験者を対象にアンケートを実施した。ここで割付とはアンケート実施前に条件を設定し、それぞれ回収目標に達した時点で回収を締め切る方法である。日本全国の 20 歳以上の男女を対象とした。既往研究を基にアンケート対象者を 1000 人と設定し、電動アシストつき自転車を所有している人 500 名、所有していない人 500 名の 2 グループに設問を回答してもらった。また、それぞれのグループの年代・性別の構成比は、日本の人口分布を基に作成している。

インターネットアンケートを使用した理由は、他のアンケート手法と比較して回答者に偏りが出ないためである。例えば、郵送法はアンケート調査票を対象者に郵送し、返信してもらう方法であるが、世帯主宛に郵送するため若年層の回答が少なくなる。一方、インターネットアンケートでは年代・性別で希望したサンプル数を短期間に多数回収することができる。

表 10-2-1 調査の概要

調査手法	インターネットアンケート
調査機関	株式会社マクロミル
調査地域	全国
調査対象	日本全国の 20 歳以上の男女
抽出方法	平成 25 年国勢調査に合わせ年代・性別で割付
有効回答	1042
調査期間	2013 年 11 月 8 日～9 日

主なアンケート項目は以下のとおりである。

- 問 1. あなたは電動アシスト付き自転車をもっている
 1. はい 2. いいえ
- 問 2. あなたの性別を教えてください
 1. 男 2. 女
- 問 3. あなたの年齢を教えてください
 1. 20以下 2. 21～30 3. 31～40 4. 41～50 5. 50以上
- 問 4. あなたの住んでいる場所（都道府県名）を教えてください
- 問 5. あなたの職業を教えてください
 1. 学生 2. サラリーマン 3. 教員 4. 公務員 5. その他
- 問 6. 今現在の(自分を含めた)同居人数を教えてください
 1. 1人 2. 2人 3. 3人 4. 4人 5. 5人 6. 6人以上
- 問 7. 電動アシスト付き自転車を持っていない方に伺います。電動アシスト付き自転車を買いたいと思いますか。
 (すでに持っている人は電動アシスト付き自転車に満足しているかどうかお答えください。)
 1. そう思わない 2. あまりそう思わない 3. どちらともいえない 4. まあそう思う 5. そう思う
- 問 8. 電動アシスト付き自転車を持っていない方に伺います。電動アシスト付き自転車を購入したら何のために利用したいですか？
 (すでに持っている方は現在の電動アシスト付き自転車の主な用途についてお答えください)
 1. 大学、アルバイトなどへの通勤 2. 日常的な買い物 3. 都心部へのショッピング 4. その他：自由記述
- 問 9. 電動アシスト付き自転車やそれに関連する事柄に対するあなたのイメージをお教えてください。あなたの考えに最も近いモノを○で記入してください。
 そう思う まあそう思う どちらともいえない あまりそう思わない そう思わない
- 環境負荷を減らすために電動アシスト付き自転車を利用したい
 - できるだけ自動車・バイクに依存しない生活を送りたい
 - 自分の周りの人は電動アシスト付き自転車の利用を心掛けていると思う
 - 自分の周りの人は自動車・バイクの利用と環境について気に掛けている
 - 身近な人で環境に負荷をかけないために電動アシスト付き自転車を利用している人がいる
 - 電動アシスト付き自転車の利用は年齢に関係があると思う
 - 電動アシスト付き自転車を使う方が自動車・バイクなどを利用するより時間がかかり不便だ
 - 電動アシスト付き自転車を使う方が自動車・バイクなどを利用するより安上がりで経済的だ
 - 電動アシスト付き自転車を利用したいが自分の一日あたりの走行距離が長くて使えない
 - 電動アシスト付き自転車を利用してみたいが、自動車・バイクなどでの交通手段をもっと快適にしたいという気持ちの方が強い
 - これからさきは自動車・バイクを使う回数をなるべく少なくするつもりだ
 - これから日常の交通手段として電動アシスト付き自転車を使うつもりだ
 - 電動アシスト付き自転車は1回充電後バッテリーに対する走行距離が短いので不便だ
 ※1回のフル充電で15kmの走行が可能です
 - 電動アシスト付き自転車だけを利用すると生活が不便になると思う
 - 電動アシスト付き自転車だけを利用する上でCO₂削減への実感を持てる
 - 電動アシスト付き自転車を利用することで環境保全への実感を持てる
 - 体調不良でも電動アシスト付き自転車を利用したい

(2) 仮説モデル

本研究では、環境配慮行動要因モデルの分析に、共分散構造分析を採用した。また、各環境配慮行動の行動意欲に至る要因を明らかにするために因子分析を行った。統計解析ソフト SPSS18.0 を用いて、因子分析を行った。因子抽出方法は「主因子法」、回転方法は「プロマックス回転」を採用した。

共分散構造分析は因果関係をあらかじめ予想した仮説モデルを構築し、アンケート結果がその仮説モデルに合致するかを明らかにする。解析には統計解析ソフト AMOS を用いた。本研究では、広瀬の環境配慮行動要因モデルの行動変容段階を参考に、仮説モデルを構築した(図 10-2-1)。仮説モデルでは、「行動意欲に至る要因」から「行動への意欲」へ至り、「行動の実践」へ移行すると仮定している。「行動意欲に至る要因」は環境配慮行動を評価する項目であり、本モデルでは既往研究を基に各評価を以下のように定義した。

実行可能性評価⇒行動意欲に至る実行可能性を表している。個人の能力や状況により、実行しやすい人ほど評価が高い。

便益費用評価 ⇒行動意欲に至る利便性・コスト性を表している。行動を不便に感じない、また行動が利益につながっていると感じる人ほど評価が高い。

社会規範性評価⇒行動意欲に至る規範性を表している。行動が集団の期待や規範に沿っていると感じる人ほど評価が高い。

有効性評価 ⇒行動意欲に至る環境負荷低減に関する実感を表している。行動が環境保全につながっている人ほど評価が高い。

満足度 ⇒電動アシストつき自転車に所有者は満足度を、非所有者は期待度を示す。

また、それぞれの評価がどの設問に該当するかを以下に示す。

行動(7) 意欲(7,8) 実効可能性評価(9-11, 9-2) コスト評価(9-8) 社会規範(9-3, 9-4, 9-5)

有効性評価(9-16, 9-15, 9-1) 満足度(9-10, 9-7, 9-9, 9-14, 9-13)

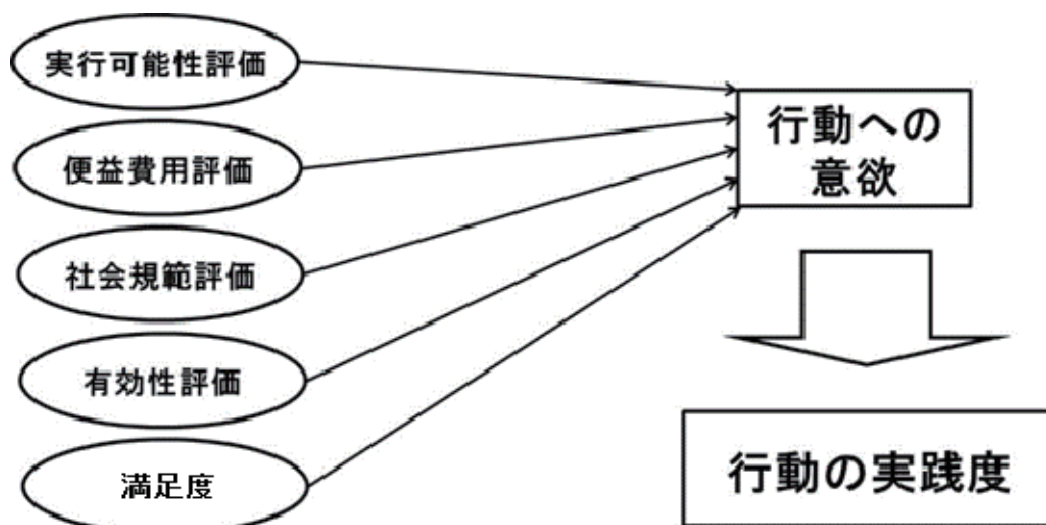


図 10-2-1 作成した仮説モデル

10-3 結果—アンケート、因子分析、共分散構造分析—

(1) アンケート結果概要

問7～9のアンケート結果を図10-3-1～3に示す。図10-3-1は電動アシストつき自転車に対する満足度と期待度を示す。これによると半数の人が電動アシストつき自転車に満足している、期待していることがわかる。表10-3-1に所有の有無別の満足度と期待度を示す。それによると所有者の75%以上が満足しているとの結果を得た。所有者の満足度はきわめて高いといえよう。それに対して、所有していない人のうち購入を検討している人は27%にとどまった。こうした電動アシストつき自転車未購入者が購入することを促すことが今後の課題といえよう。

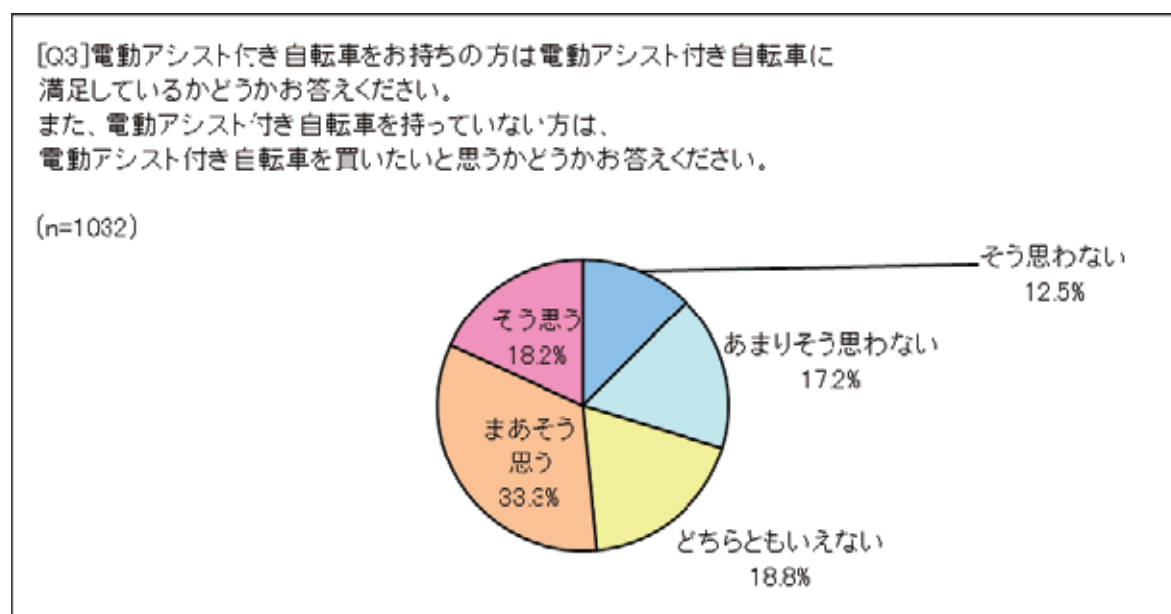


図10-3-1 電動アシストつき自転車に対するの満足度

表10-3-1 所有の有無別電動アシストつき自転車に対するの満足度

		所有あり 所有なし	
		所有あり	所有なし
電動アシスト付き自転車をお持ちの方は電動アシスト付き自転車に	満足していない	2.7%	22.5%
	あまり満足していない	10.5%	24.0%
	どちらともいえない	10.2%	27.7%
	まあ満足している	45.9%	21.3%
	満足している	30.7%	6.1%

図10-3-2に電動アシストつき自転車の用途を示している。これによると8割近くの人が買い物などに利用している。これに対して、通勤利用は35%にとどまっている。炭酸ガス排出量を減少させるために最も効果が高いのは、車での通勤者に対して電動アシストつき自転車での通勤へのシフトを促すことである。こうした人たちへの電動アシストつき自転車への利用促進が求められよう。表10-3-2に所有の有無別の電動アシストつき自転車の利用実態ならびに利用希望を示す。通勤への利用（期待）と日常的な買い物利用（希望）の割合は、電動アシストつき自転車の所有の有無では大きな差は見られなかった。

[Q4]電動アシスト付き自転車を持っている方は、
電動アシスト付き自転車の主な用途についてお答えください。
また、電動アシスト付き自転車を持っていない方は、
電動アシスト付き自転車を購入したら何のために利用したいかお答えください。(いくつでも)

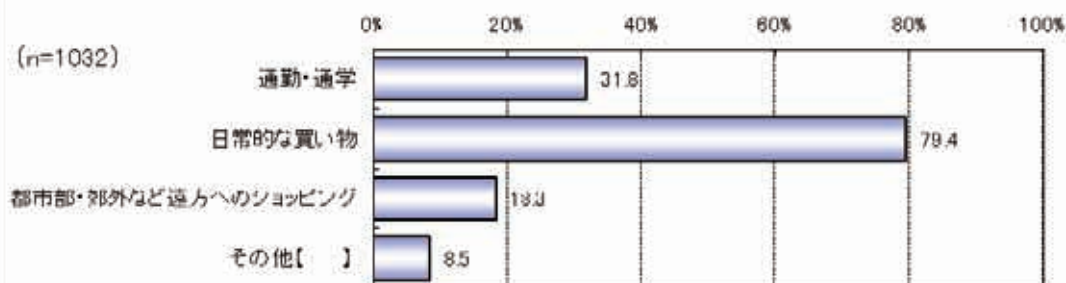


図 10-3-2 電動アシストつき自転車の利用方法

表 10-3-2 電動アシストつき自転車の利用方法

	通勤・通学	日常的な買い物	都市部・郊外など遠方へのショッピング	その他【 】
【電動アシスト付き自転車あり】	23.4%	59.0%	11.6%	5.9%
【電動アシスト付き自転車なし】	22.6%	55.8%	15.1%	6.5%

図 10-3-3 に電動アシストつき自転車に対する印象を示している。目立つ回答としては次が挙げられる。図 10-3-3 の問 1－2 は環境問題への関心を問うた設問であるが、多くの人が関心を持っていることを示している。問 3－5 は周りの環境行動についての考え方を聞いたものであるが、いずれも否定的な回答が高い割合を示した。これは電動アシストつき自転車の普及が進んでおらず回りに利用している人が少ないことを示している。問 8 の電動アシストつき自転車の経済性に関しては肯定的な回答が高い割合を示している。この設問に関する情報提供が、電動アシストつき自転車の普及促進に繋がるものと思われる。また、問 9 では一日の走行距離に関して問うている。これによると電動アシストつき自転車を利用するときには長距離を移動しないので、電動アシストつき自転車の走行可能距離についてはあまり意識していないことがわかる。

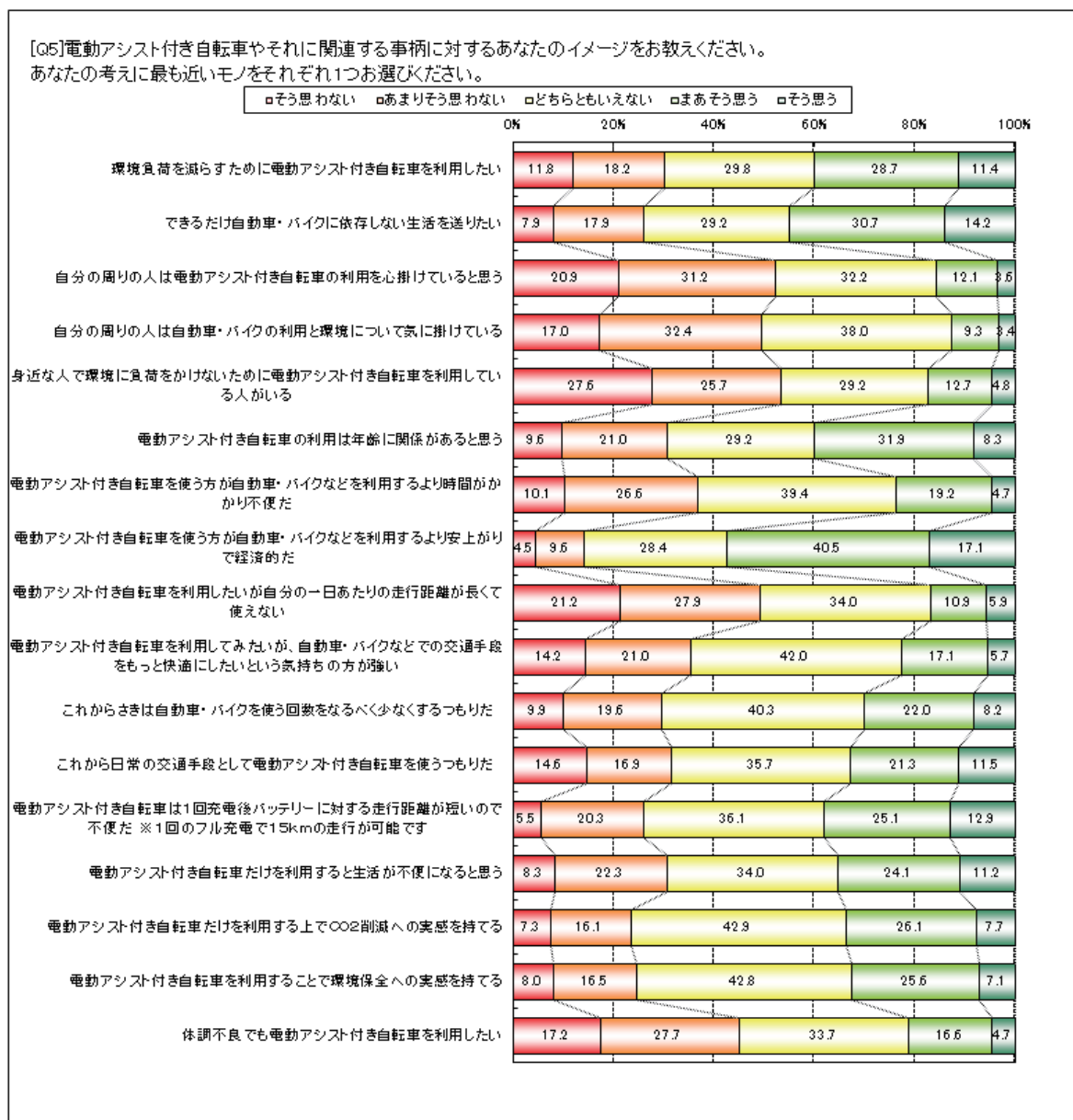


図 10-3-3 電動アシストつき自転車に対する印象

(2) 因子分析

表 10-3-3 に因子分析の結果を示す。それによると、設問による回答は4つの因子に分類できることがわかる。設問の内容から、第一因子が「社会規範(Social Norm)」、第二因子が「不便さ(Unreliability)」、第三因子が「環境性(Eco-friendliness)」、第四因子が「便益費用(Cost effectiveness)」と命名することができよう。図 10-2-1 における仮説モデルでいくつかの評価が環境配慮行動に影響を及ぼすと予想したが、因子分析の結果、人々が環境配慮行動としての電動アシストつき自転車を利用することを考えた場合、図 10-2-1 の評価を上記4つの因子にまとめることができ、それが行動に大きく影響するといえよう。

表 10-3-3 因子分析

設問	因子			
	1	2	3	4
4. 自分の周りの人は自動車・バイクの利用と環境について気に掛けている	.858	-.001	.032	-.026
3. 自分の周りの人は電動アシスト付き自転車の利用を心掛けていていると思う	.831	-.026	-.041	.014
5. 身近な人で環境に負荷をかけないために電動アシスト付き自転車を利用している人がある	.754	.016	.007	.054
10. 電動アシスト付き自転車を利用してみたいが、自動車・バイクなどでの交通手段をもっと快適にしたいという気持ちの方が強い	.046	.664	.027	-.097
7. 電動アシスト付き自転車を使う方が自動車・バイクなどを利用するより時間がかかり不便だ	.028	.598	-.031	-.031
9. 電動アシスト付き自転車を利用したいが自分の一日あたりの走行距離が長くて使えない	.149	.560	.045	-.032
14. 電動アシスト付き自転車だけを利用すると生活が不便になると思う	-.103	.527	-.029	.032
13. 電動アシスト付き自転車は1回充電後バッテリーに対する走行距離が短いので不便だ	-.110	.479	-.052	.192
16. 電動アシスト付き自転車を利用することで環境保全への実感を持てる	.002	-.023	.955	.012
15. 電動アシスト付き自転車だけを利用する上でCO ₂ 削減への実感を持てる	.006	-.018	.887	.022
11. これからさきは自動車・バイクを使う回数をなるべく少なくするつもりだ	.098	-.012	.001	.713
2. できるだけ自動車・バイクに依存しない生活を送りたい	.023	-.033	-.024	.696
8. 電動アシスト付き自転車を使う方が自動車・バイクなどを利用するより安上がりで経済的だ	-.116	.143	.177	.366

(3) 共分散構造モデル

本研究では因子分析によって明らかとなった4つの因子を仮説モデルに置き換え、それぞれの因果関係の強弱を共分散構造分析によって明らかにする。

図 10-3-4 に電動アシストつき自転車利用に関する共分散構造分析の結果（パス図）を示す。図中の数字は因果関係の強さを示す。図 10-3-4 によると意識（intention）と行動（behavior）の間に因果関係があることがわかる。これは電動アシストつき自転車を利用するという環境行動を促すためには、電動アシストつき自転車を利用したいという意識を高めることが重要であることがわかる。その意識に関しては不便さ（unreliability）と便益費用（cost effectiveness）が影響を及ぼしていることもわかる。つまり、不便さに対する否定的な評価（つまり不便でないということ）と、コストで有利なことがわかれば、利用に対する意識が高まり、行動に移行しやすいといえる。

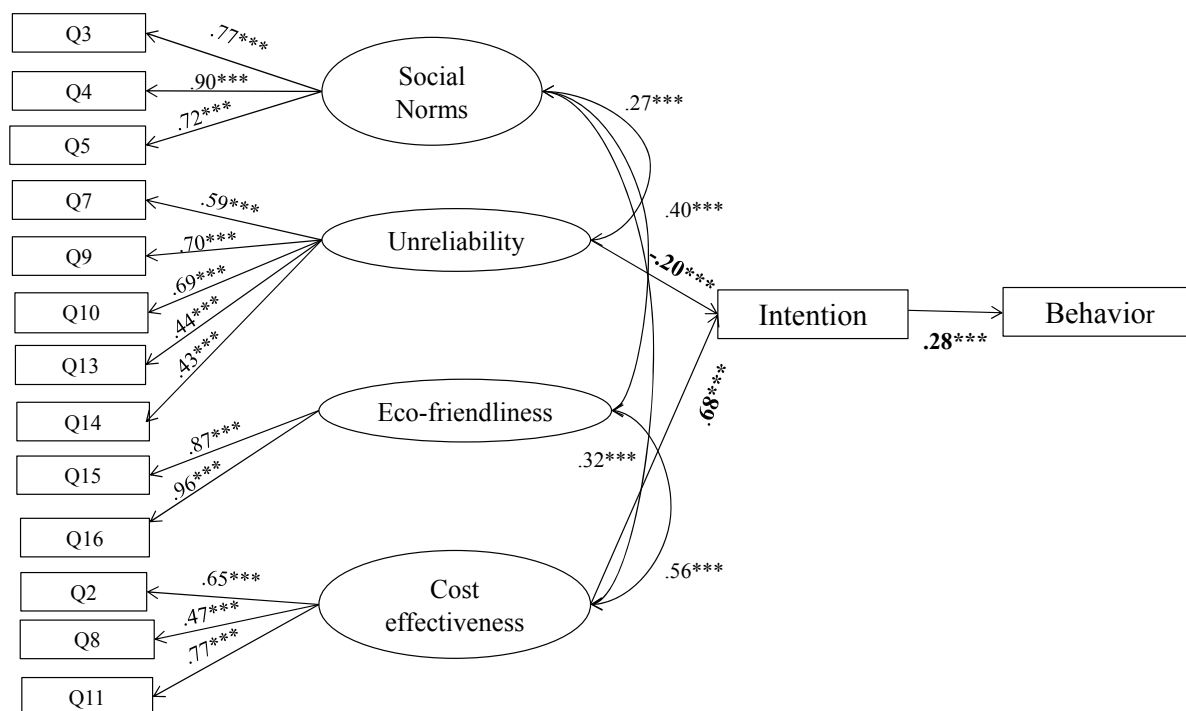


図 10-3-4 電動アシストつき自転車利用に関するパス図（対象：全て）

図 10-3-5 に電動アシストつき自転車利用に関するパス図（所有者）を、図 10-3-6 に電動アシストつき自転車利用に関するパス図（非所有者）を示す。「行動」に関しては所有者の場合は利用すること、非所有者は購入することを示している。両図いずれも意識 (intention) と行動 (behavior) の間に因果関係があることがわかる。所有者の場合、便益費用 (cost effectiveness) が影響を及ぼしていることもわかる。一方、非所有者の場合、便益費用 (cost effectiveness) だけでなく、社会規範 (Social Norm) と環境性 (Eco-friendliness) が影響を及ぼしていることもわかる。つまり、非所有者が購入する際には様々な評価が必要になることがわかる。

図 10-3-7 に電動アシストつき自転車利用に関するパス図（非所有者、男性）を、図 10-3-8 に電動アシストつき自転車利用に関するパス図（非所有者、女性）を示す。「行動」に関しては所有者の場合は利用すること、非所有者は購入することを示している。両図いずれも意識 (intention) と行動 (behavior) の間に因果関係があることがわかる。非所有者、男性の場合、社会規範 (Social Norm)、環境性 (Eco-friendliness)、便益費用 (cost effectiveness) が意識に影響を及ぼしており、なかでも社会規範が最も影響が大きいことがわかる。一方、非所有者、女性の場合、社会規範 (Social Norm) と便益費用 (cost effectiveness) が意識に影響を及ぼしており、中でも便益費用が影響が大きいことがわかる。つまり、非所有者に対しては図 10-3-3 と同様に様々な評価が意識に影響を与えるが、男女では重視する評価に違いがあることがわかる。

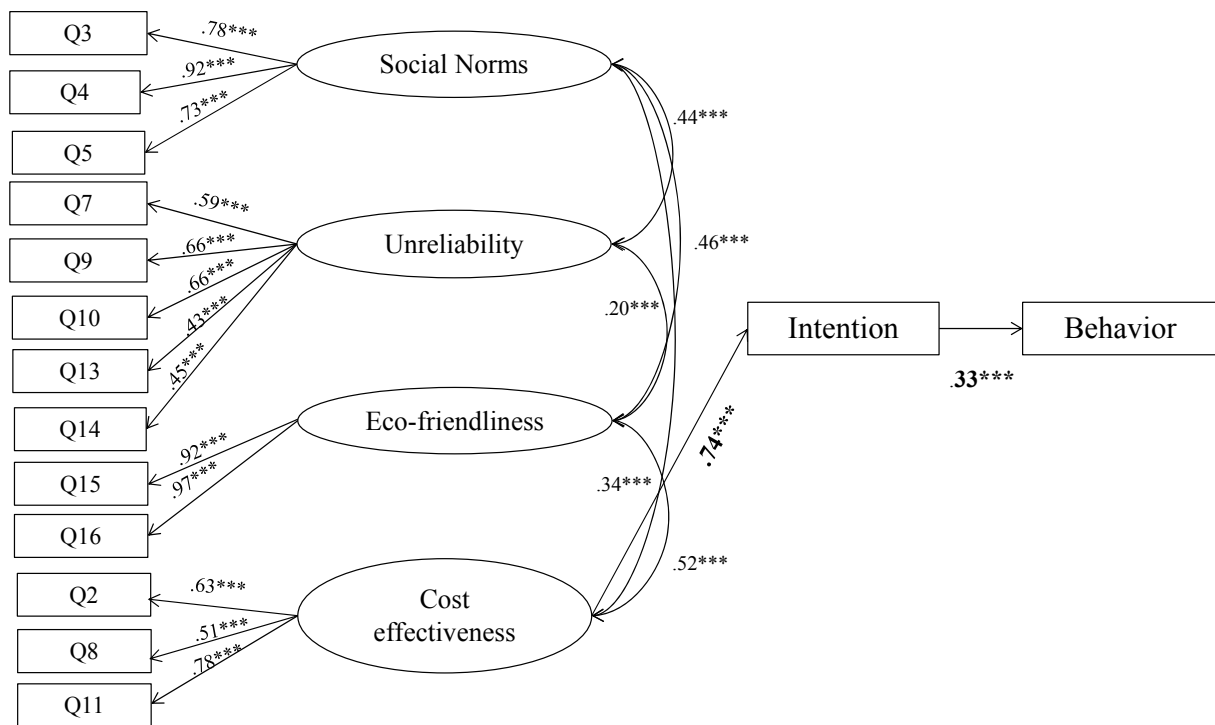


図 10-3-5 電動アシストつき自転車利用に関するパス図（対象：所有者）

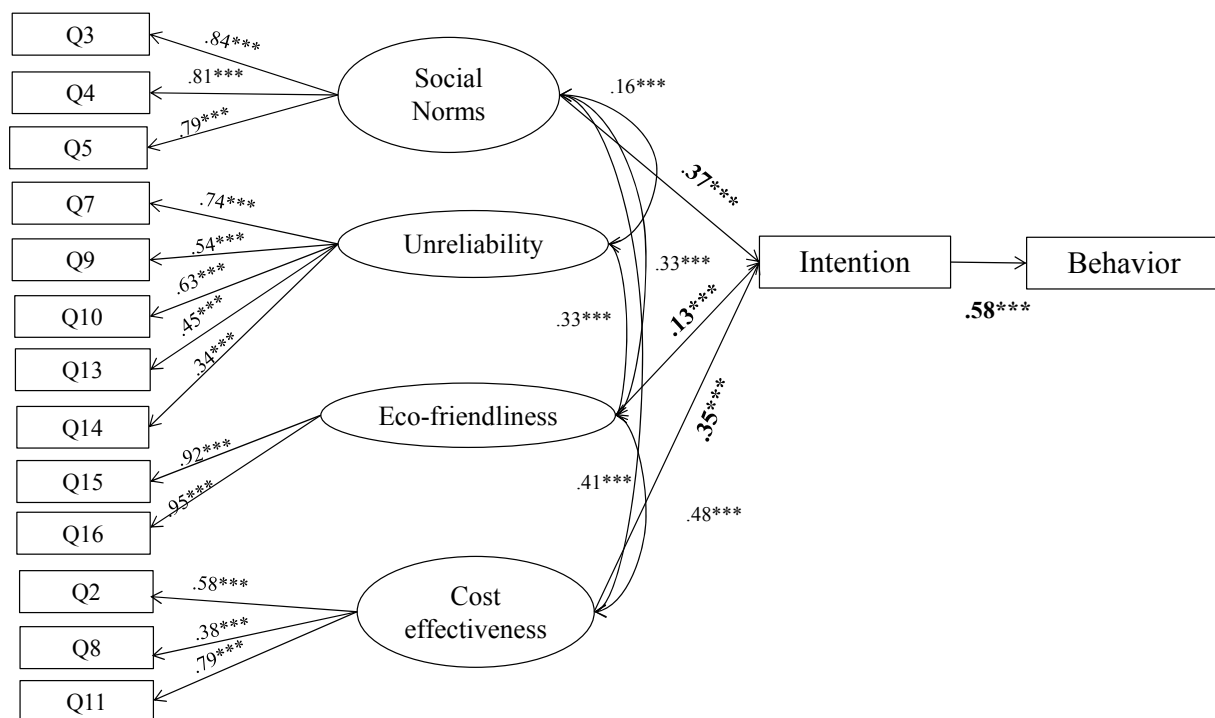


図 10-3-6 電動アシストつき自転車利用に関するパス図（対象：非所有者）

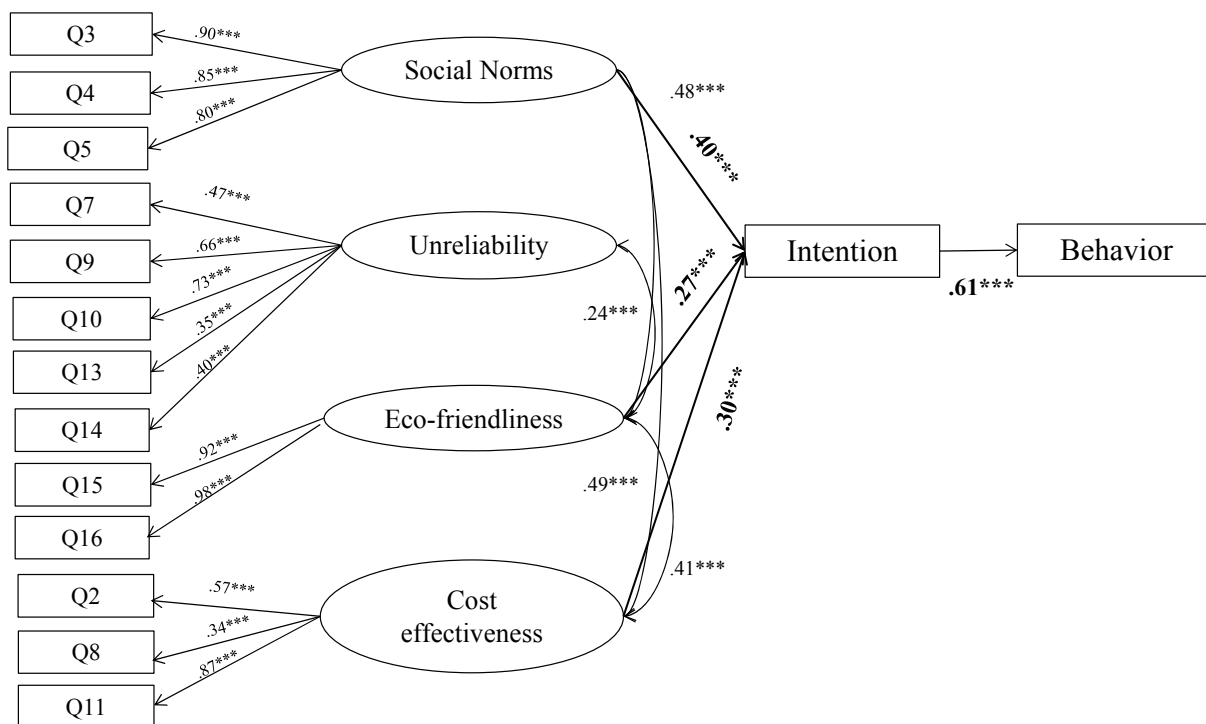


図 10-3-7 電動アシストつき自転車利用に関するパス図（対象：非所有者，男性）

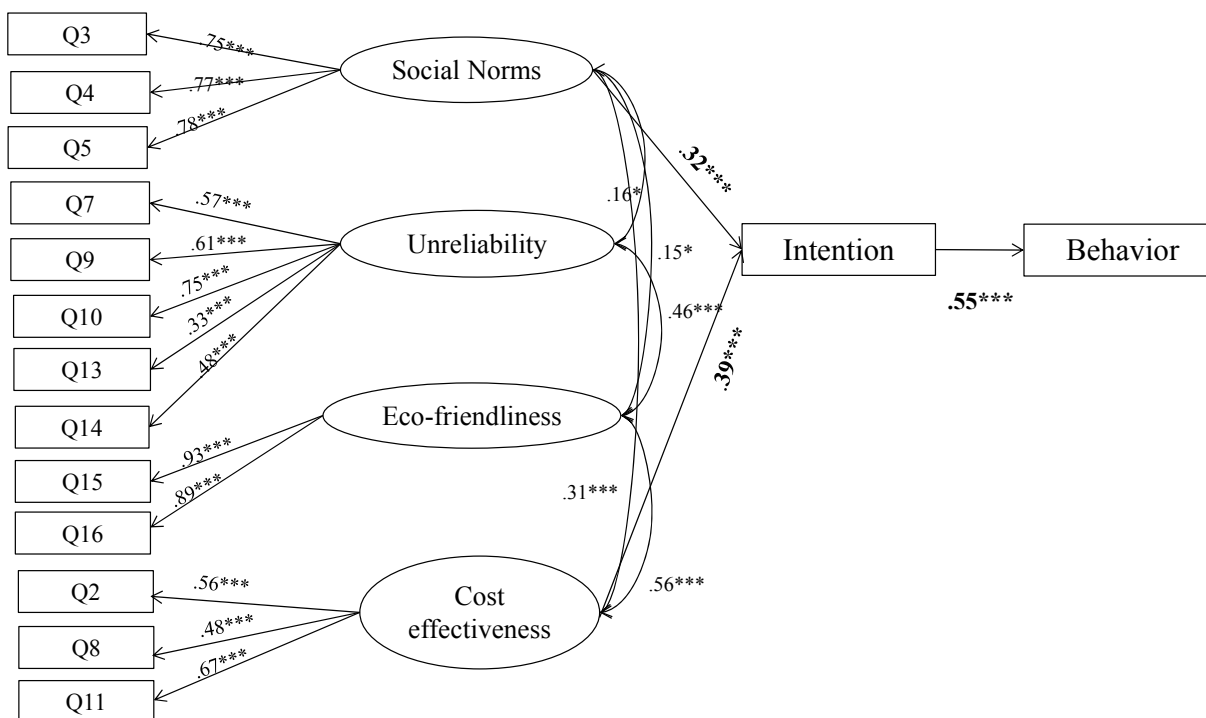


図 10-3-8 電動アシストつき自転車利用に関するパス図（対象：非所有者，女性）

10-4 まとめ—電動アシストつき自転車普及のために—

本研究によって、電動アシストつき自転車の利用に関する人々の意識に影響を与える評価につ

いて明らかにすることができた。その評価は4つあり、「社会規範(Social Norm)」、「不便さ(Unreliability)」、「環境性(Eco-friendliness)」、「便益費用(Cost effectiveness)」である。どの評価を重視するかは人々の属性によって異なるために、電動アシストつき自転車の利用を促進させるためにはそれぞれの属性にあった細かいマーケティングが必要になる。

参考文献

1. 小林 義幸,環境行動促進に有効な情報に関する研究,豊橋技術科学大学修士論文,2012.
2. Ajzen,I, The theory of planned behavior, Organizational behavior and human decision processes, Vol.50, pp.179-211, 1991.
3. 広瀬 幸雄,環境配慮行動の規定因について, 社会心理学研究, Vol.10, 1994.
4. 徳永翔大, 消費者の野菜購入における環境配慮行動の分析, 豊橋技術科学大学卒業論文, 2014
5. Pasan Dunuwila, Study of factors affecting on public intentions and behaviors toward the usage of bicycle-styled electric bicycles in Japan 豊橋技術科学大学卒業論文, 2014

活動報告について

学会発表

- 後藤尚弘, 豊橋市における電動二輪車導入のための長期モニタリング調査, 環境共生学会地域シンポジウム, 2013, 東京
- Pasan Dunuwila and Naohiro Goto, Study of factors affecting on public intentions and behaviors toward the usage of bicycle-styled electric bicycles in Japan, 土木学会中部支部研究発表会, 2014, 岐阜

展示

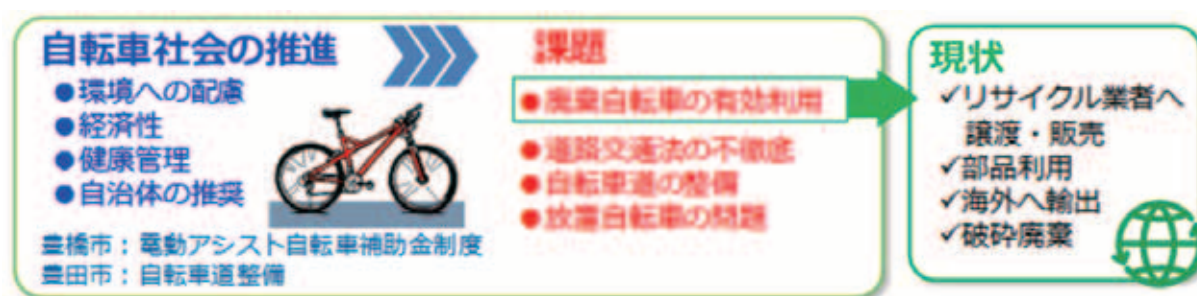
- オープンキャンパス 2013.8.31 豊橋技術科学大学 電動アシストつき自転車デモ, ポスター
- 豊橋市大学連携調査研究費補助金 研究成果報告展示会 2013.09.25-30, 豊橋市役所 東館 1階 市民ギャラリー, 内容: ポスター展示
- ぎかだいがやって来る 体験! 未来ビークルティ, 2013.11.23-24, こども未来館ここにこ, 内容: ポスター展示, クイズ&スタンプラリー

11. 廃棄自転車タイヤ、チューブのケミカルリサイクル

環境・生命工学系 教授 角田 範義

11-1 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。豊橋市においても電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。産業環境管理協会の資料¹⁾によれば、廃棄自転車の発生量は、平成19年度で約711万台と推計されている。放置された自転車で廃棄処理されたものが147万台(21%)、廃棄自転車の小売店引取りが80.4万台(11%)、大型店引取りが26.4万台(4%)となっており、残りの457.4万台(64%)が粗大ごみとして回収されている。廃棄自転車 約711万台のうち508万台(71%)が鉄くず等の金属資源として再資源化され、さらに88.9万台(13%)が輸出、70万台(10%)が再生自転車となっている。そして、残りの40.3万台(6%)は最終処分場で埋め立てられる。しかし自転車用タイヤやチューブに至っては、自動車用タイヤ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。たとえば、低炭素社会を進める豊橋市では“自転車の古タイヤ、古チューブですが、タイヤやチューブのみであれば「こわすごみ」になりますので、月に1度の「こわすごみ」の日にごみステーションへ持ち出してください。自転車本体を廃棄する場合は「大きなごみ」になります。”と住民に告知し、自治体自ら回収・処理すること示している。しかし、その再資源化という観点での処理方法は確立していないのが現状である。



11-2 研究構成

本研究は、自転車タイヤやチューブの多岐にわたる再利用方法を総合的に評価することを目的としている。そのために、タイヤやチューブの構成成分を知る必要がある²⁾。自転車や自動車のタイヤは、ゴム(天然、合成)、カーボンブラック、硫黄が主成分であり、機能性を発現させるために補助材料が添加されている。一般社団法人日本自動車タイヤ協会³⁾によれば、自動車タイヤの場合、ゴムの重量を100とした場合、カーボンブラックが50、硫黄が3という比率になっている。カーボンブラックはゴムの強度を向上させるため、硫黄はゴムに弾力性を与えるためという重要な役割をしており、両者とも必須成分である。そのため、再資源化やエネルギー回収においてのこれら成分がどの様に作用す

るかを知る事が重要となる。3種類の使用済み試料（1. 汎用自転車チューブ、2. 汎用自転車タイヤ、3. マウンテン自転車タイヤ）を対象として、熱天秤—質量分析装置（TG-MS）を用いて評価した。本装置により、熱天秤（TG）での昇温加熱により試料から発生したガスをオンラインで質量分析計（MS）に導入して物質の解析を行うことが可能である。TGのみでは重量減量時に発生した成分の特定が困難であるが、発生ガス成分を質量分析計に導入することによって、揮発ないしは熱分解によって生成する成分の化学種や生成量の変化を温度変化に対して追跡することが可能となる。

今回の実験条件は以下の通りである。

・温度範囲：30～900℃、・ガス流速：100ml/min、・昇温速度：10℃/min、・雰囲気：He and 10.2vol% O₂/He、試料重量：1.0mg、使用パン：Pt

11-3 汎用自転車のチューブ

(1) He 雰囲気下での分解挙動

He 雰囲気下タイヤのチューブを TG-MS を用いて 30～900℃にて測定を行った。図 11-3-0 の TG-DTA より2段階の重量変化が明らかになった。1段階目は300℃まで約18%の重量減少が見られ、図 11-3-1、図 11-3-2 の MS スペクトルからここで最も重量変化が大きいものは水分だと考えられる MW18 のピークである。また、MW2 の水素ガスのピークも著しいであるため、チューブの炭化に伴い MW44 の CO₂ が発生され、脱水反応および脱水素反応が進行していると考えられる。

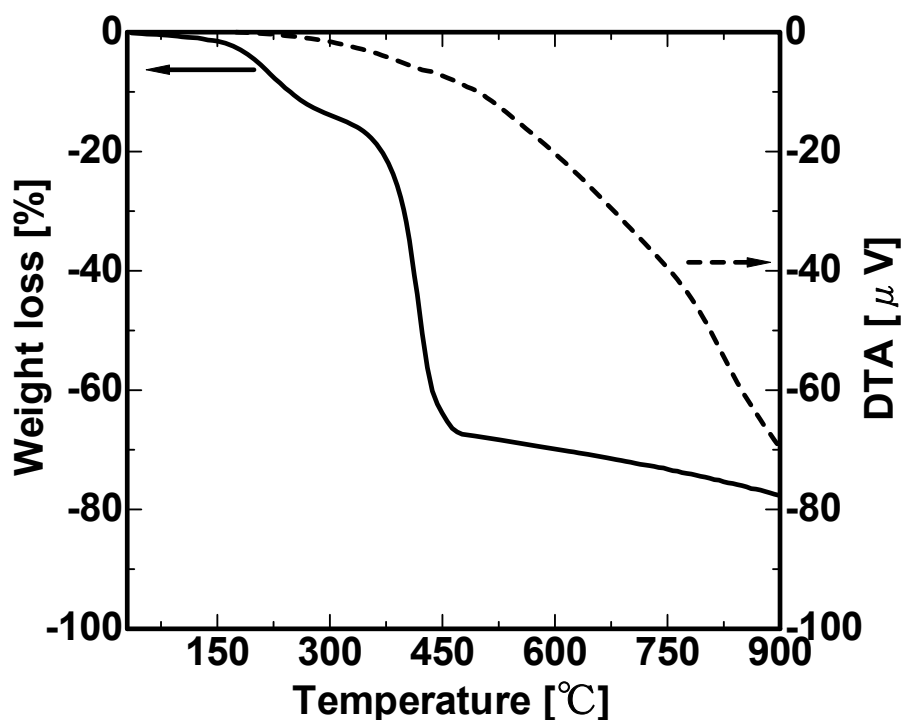


図 11-3-0 He 雰囲気下の TG-DTA

2 段目 300℃～450℃付近で約 50%重量減少を示した。MS において MW44 (CO₂) のほか、MW12 (C), MW24 (C=C), MW25 (C=CH), MW26 (C=CH₂) のフラグメントピークが観測され、これはチューブの骨格成分であるポリビニルがモノマー単位で分解されたと考えられる。また、図 11-3-3 よりわずかであるが、イソプレンだと考えられる MW66～MW68 のフラグメントが検出された。一方、ベンゼンのフラグメントである MW76 および MW77 はそれぞれ 150℃および 350℃に分かれた事と、ポリスチレンのフラグメントだと推測される MW99～100 もノイズレベルで検出したため、ポリスチレンはわずかに存在する事を示した。S 化合物の熱分解挙動は図 11-3-4 に示した。400℃付近では MW48 の SO および MW97～98 の H₂SO₄ のフラグメントが特定できたものの、MW33 (HS) および MW34 (H₂S) のピークがないため、わずかであるが S 成分が不活性雰囲気下で H₂O と反応し、酸化物として分解されたと考えられる。

450℃～900℃の重量減はおおよそ 8%であり、主に H₂, H₂O, CO₂ が分解され、ゴム成分の炭化が進行するとともに、更なる脱水素, 脱水反応が進行していると考えられる。

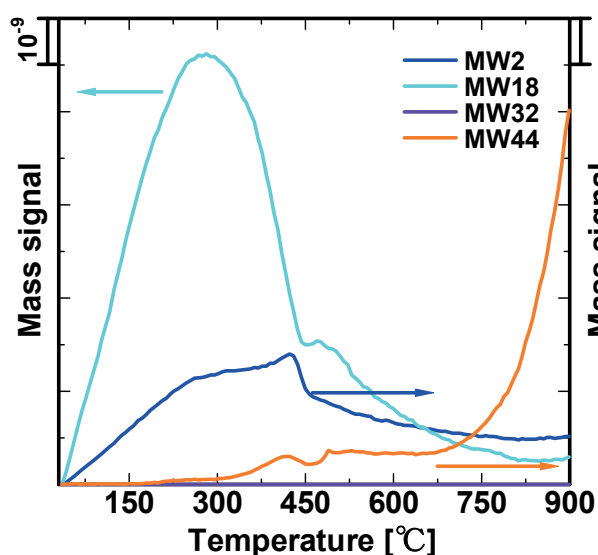


図 11-3-1 H₂, H₂O, O₂, CO₂ MS スペクトル

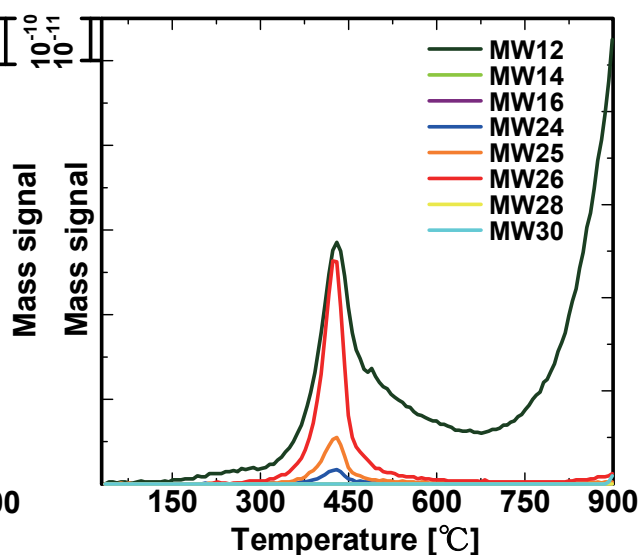


図 11-3-2 C1, C2 の MS スペクトル

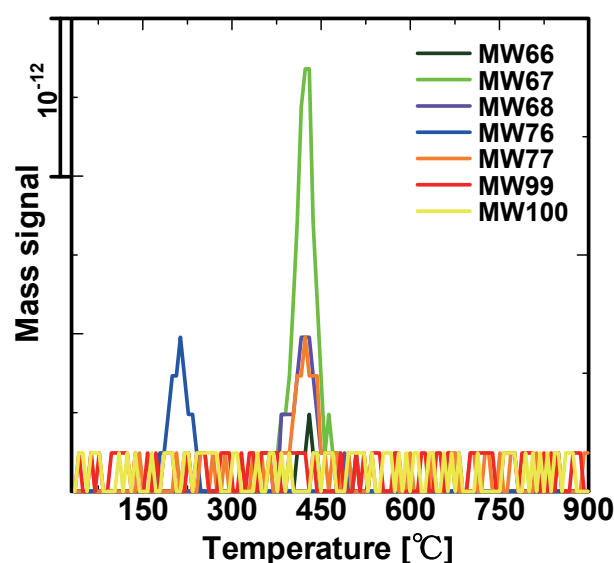


図 11-3-3 C3～C6 の MS スペクトル

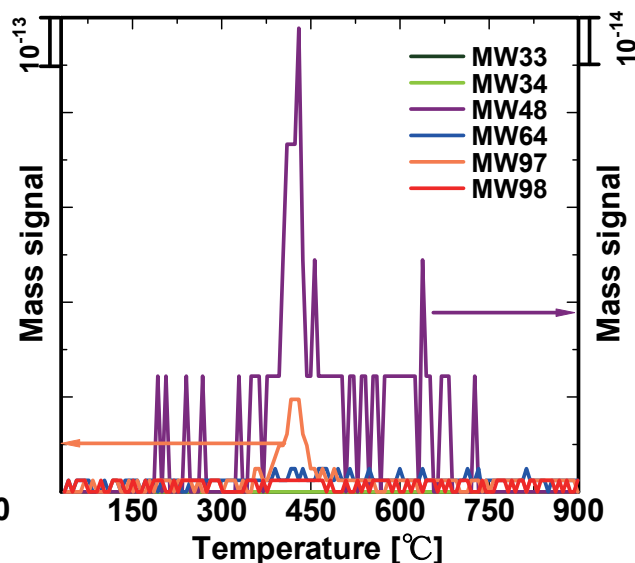


図 11-3-4 S 化合物の MS スペクトル

(2) 酸素存在下での分解挙動

O_2/He の混合ガスを用いてチューブの熱分解挙動を検討した。図 11-3-5 に TG-DTA の結果をまとめた。酸素混合ガスで熱処理した場合、3 段階の熱分解が進行すると伴い、図 11-3-7 の MW16 より副生成物として CH_4 を発生していると明らかになった。

1 段目の熱分解は 300°C にて約 13% の重量減少を示した。図 11-3-6 より 300°C までの領域では供給酸素 (MW32) のピークを除き、 H_2 および H_2O のピークが検出された。この結果は不活性雰囲気でも同様な傾向が認められたため、低温側においてタイヤのチューブは脱水素および脱水反応が進行している事が明らかになった。但し、重量減少は He 雰囲気と約 5% の差を示し、MW44 の CO_2 はこの段階で特定できないことから、炭化が進行していないのではないかと考えられる。

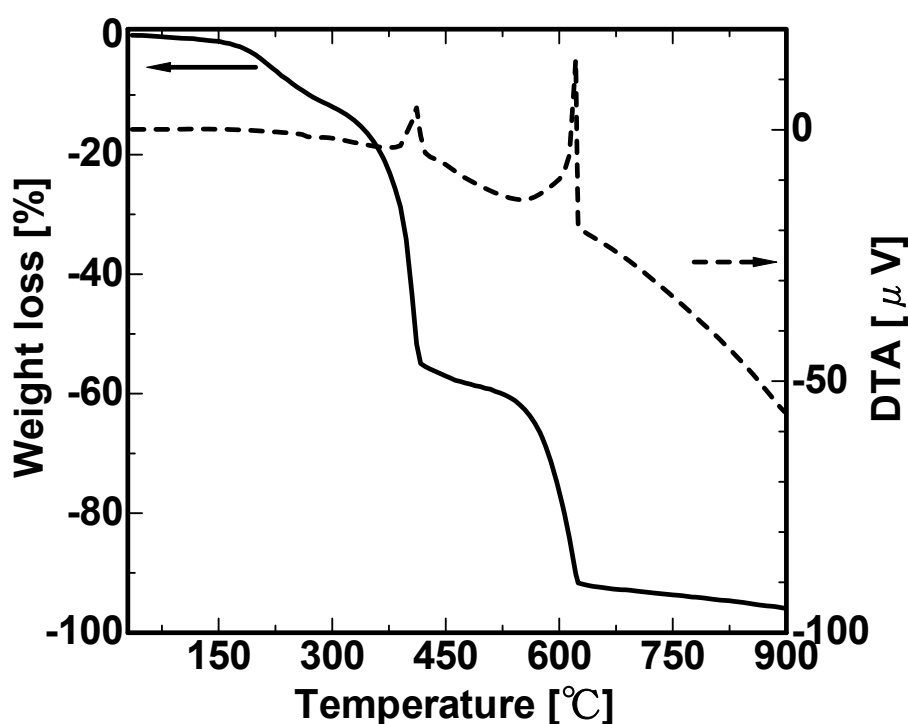


図 11-3-5 O_2 雰囲気下の TG-DTA

$300^\circ\text{C} \sim 415^\circ\text{C}$ では約 44% の重量減少を示し、DTA より発熱反応である事が明らかである。図 11-3-6 の MS スペクトルより、燃焼による酸素の消費、 H_2 、 H_2O および CO_2 のピークが確認されたため、酸素による燃焼が進行した事が明らかになった。また、図 11-3-7 の MS スペクトルより、MW24($C=C$)、MW25($C=CH$)、MW26($C=CH_2$) のフラグメントピークが観測され、これはチューブの骨格成分であるポリビニルがモノマー単位で分解されたと考えられる。MW12 (C) のスペクトルは MW44 の CO_2 との形がほぼ一致するため MW12 の C は CO_2 の炭素のフラグメントだと考えられる。この炭素の由来はタイヤの補強材のカーボンブラックに由来しているのではないかと考えている。図 11-3-8 よりわずかながら、イソプレンだと考えられる MW67～MW69 のフラグメントが検出された。図 11-3-9 の MW33, 34, 48 は S 化合物だと推測していたものの、 HO_2 、 H_2O_2 、 CH_4O_2 である可能性も考えられる。

これはMW33, 34, 48のピークの形はMW32の O_2 と同様に415℃および624℃付近の発熱反応とともに変動している為である。一方、 H_2SO_4 のフラグメントは確認できるものの、検出レベルのため、S成分の含有量がわずかしかな存在しない事を示している。

3段目の重量減少は624℃付近に図11-3-5のTG-DTAから明らかになっている。ここも発熱反応で、酸素の消費とともに CO_2 の発生に繋がっているものの、水素及び水が発生されていない。このことから、ゴムの主成分が415℃付近で燃焼し、無くなったことから、624℃における発熱反応は有機物系添加剤の燃焼によるものだと考えられる。

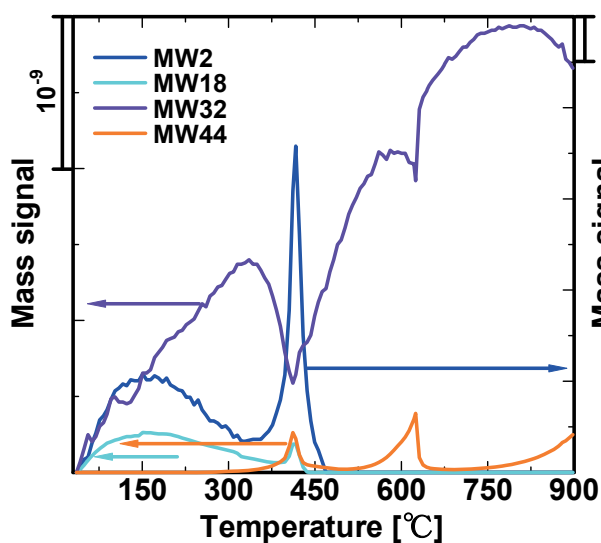


図11-3-6 H_2 , H_2O , O_2 , CO_2 MS スペクトル

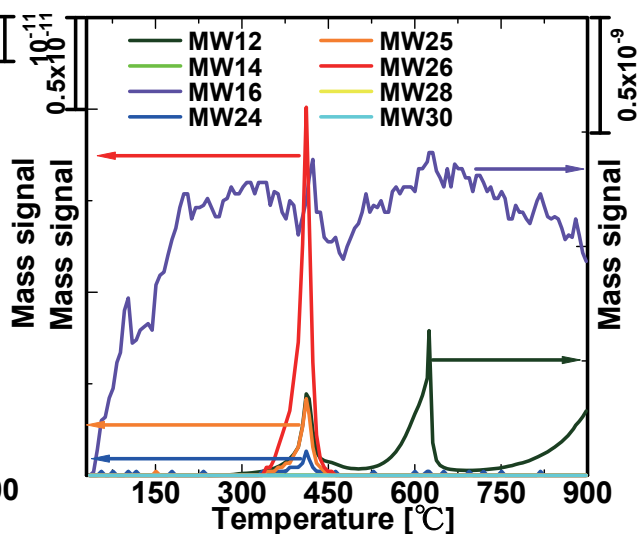


図11-3-7 C1, C2 のMS スペクトル

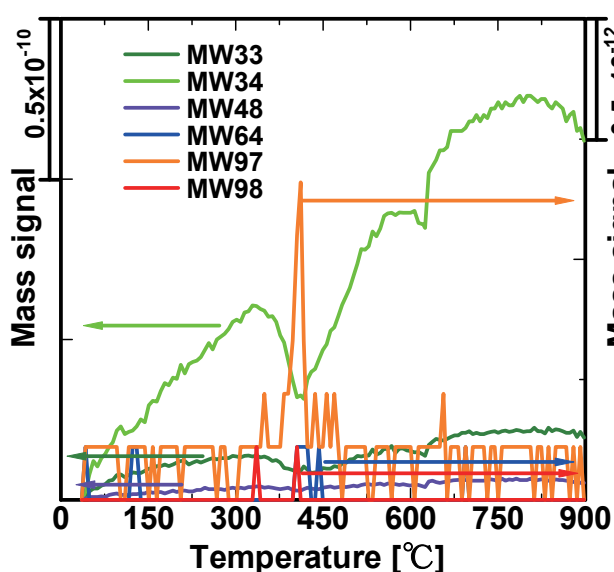


図11-3-8 C3~C6 のMS スペクトル

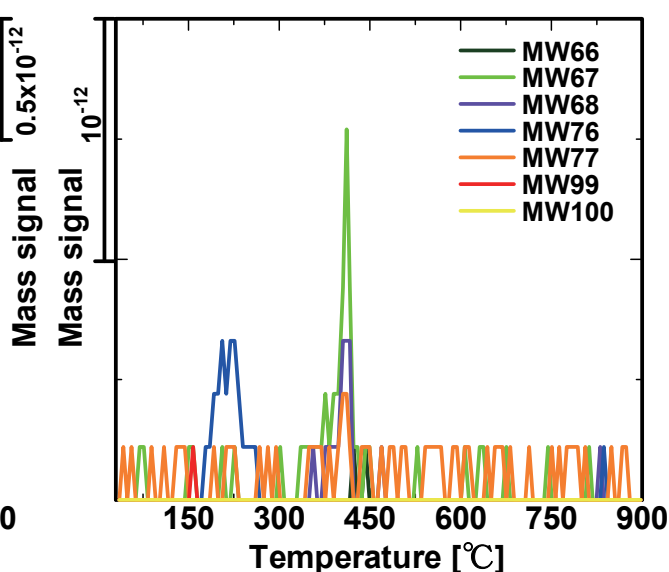


図11-3-9 S 化合物のMS スペクトル

11-4 汎用自転車のタイヤ

(1) He 雰囲気下での分解挙動

He 雰囲気下で汎用自転車のタイヤを TG-MS を用いて 30～900℃にて測定を行った。図 11-4-0 の TG-DTA より 3 段階の重量変化が明らかになった。1 段階目は 300℃まで約 18%の重量減少が見られ、図 11-4-1 の MS スペクトルからここで最も重量変化が大きいものは H_2 だと考えられる MW2 のピークである。この段階では脱水素反応が進行していると考えられる。

2 段階目および 3 段階目 300℃～450℃付近で約 60%重量減少を示した。図 11-4-1 の MS スペクトルにおいて 2 つの MW2 に由来する H_2 ピークのほか、図 11-4-2 に示した MS スペクトルではわずかな MW25 ($C=CH$), フラグメントピークが観測された。また、図 11-4-3 よりイソプレンだと考えられる MW66～MW68 のフラグメントが検出された。4 段階目の重量変化は 450℃～900℃に示した。ここでは主に CO_2 と H_2 ピークが検出された。S 化合物の熱分解挙動は図 11-4-4 に示したようにわずかである。

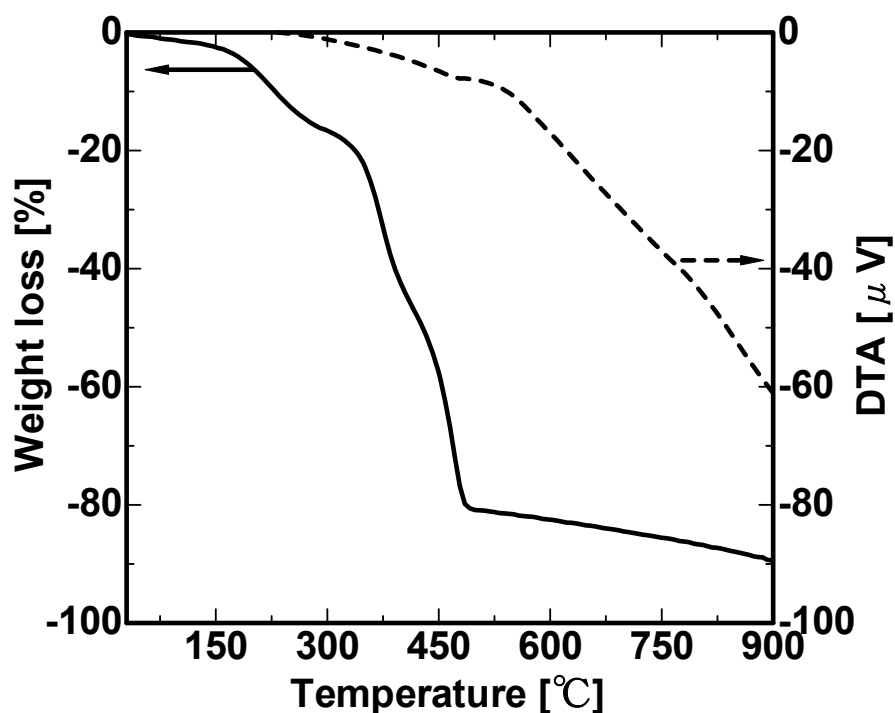


図 11-4-0 He 雰囲気下の TG-DTA

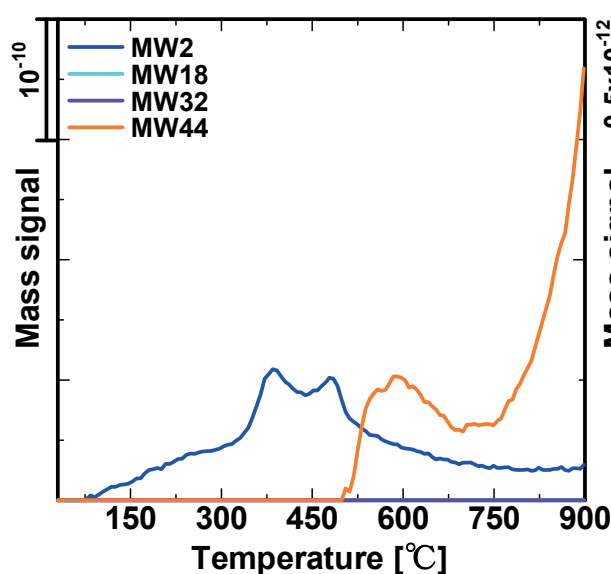


図 11-4-1 H_2 , H_2O , O_2 , CO_2 MS スペクトル

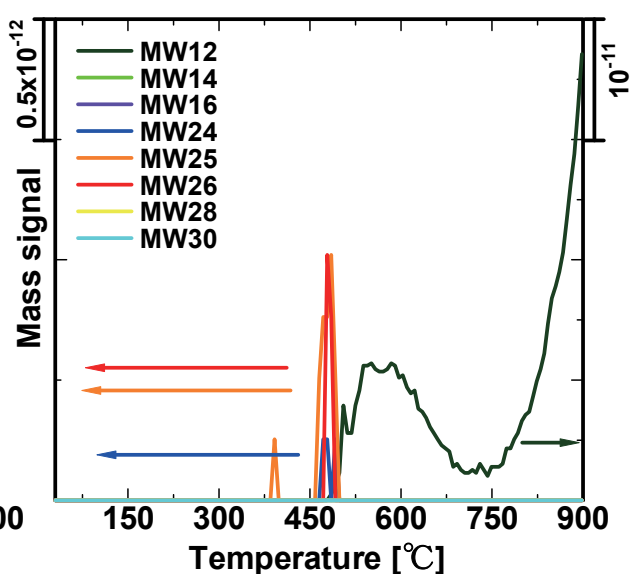


図 11-4-2 C1, C2 の MS スペクトル

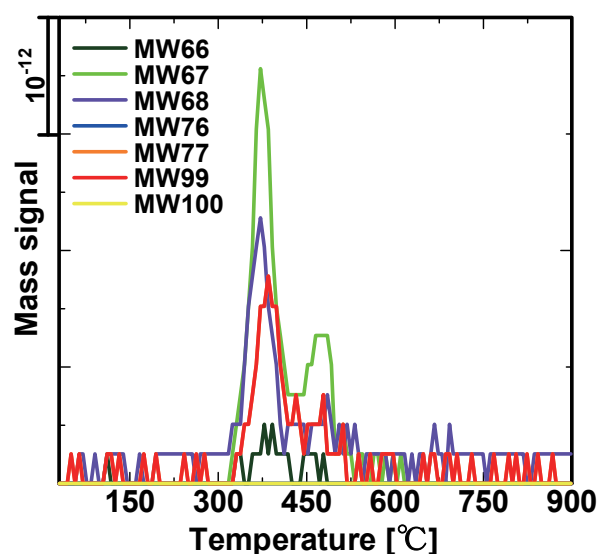


図 11-4-3 C3~C6 の MS スペクトル

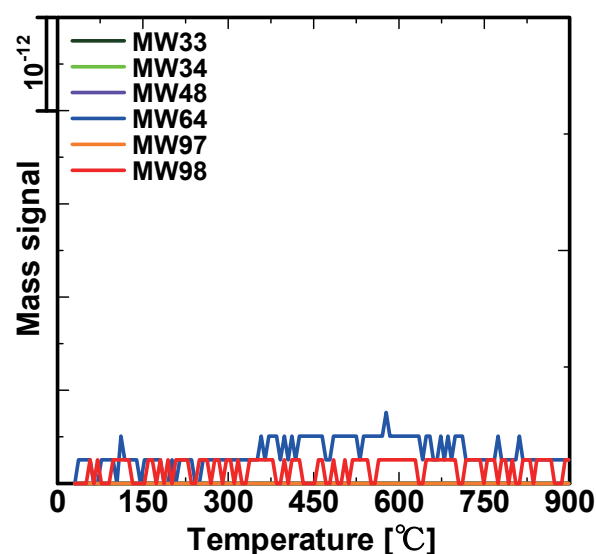


図 11-4-4 S 化合物の MS スペクトル

(2) 酸素存在下での分解挙動

O_2/He の混合ガスを用いて汎用自転車タイヤの熱分解挙動を検討した。図 11-4-5 に TG-DTA の結果をまとめた。酸素混合ガスで熱処理した場合、5 段階の熱分解が進行すると伴い、図 11-4-7 の MW16 より副生成物として CH_4 を発生していると明らかになった。

1 段目の熱分解は $300^\circ C$ にて約 18% の重量減少を示した。図 11-4-6 より $300^\circ C$ までの領域では供給酸素 (MW32) のピークを除き、 H_2 および H_2O のピークが検出された。低温側において汎用自転車タイヤは脱水素および脱水反応が進行している事が明らかになった。 $300^\circ C \sim 450^\circ C$ では約 50% の重量減少

を示し、DTA より発熱反応である事が明らかである。図 11-4-6 の MS スペクトルより、燃焼による酸素の消費、 H_2 、 H_2O および CO_2 のピークが確認されたため、酸素による燃焼が進行した事が明らかになった。また、図 11-4-7 の MS スペクトルより、MW24($C=C$)、MW25($C=CH$)、MW26($C=CH_2$)のフラグメントピークが観測され、これは汎用自転車タイヤの骨格成分であるポリビニルがモノマー単位で分解されたと考えられる。MW12 (C) のスペクトルはMW44 の CO_2 との形がほぼ一致するため MW12 の C は CO_2 の炭素のフラグメントだと考えられる。この炭素の由来はタイヤの補強材のカーボンブラックに由来しているのではないかと考えている。図 11-4-8 より C4~C6 の化合物のフラグメントがノイズレベルを示し、これら化合物の存在が極めて低い事が明らかになった。図 11-4-9 の MW33, 34, 48 は S 化合物だと推測していたものの、 HO_2 、 H_2O_2 、 CH_4O_2 である可能性も考えられる。これは MW33, 34, 48 のピークの形は MW32 の O_2 と同様に $415^{\circ}C$ および $600^{\circ}C$ 付近の発熱反応とともに変動している為である。一方、 SO_2 のフラグメントは $300^{\circ}C$ ~ $450^{\circ}C$ 付近に確認できた事から、S 成分がわずかにタイヤの中に混合し、酸素雰囲気下で酸化物として分解したと考えられる。

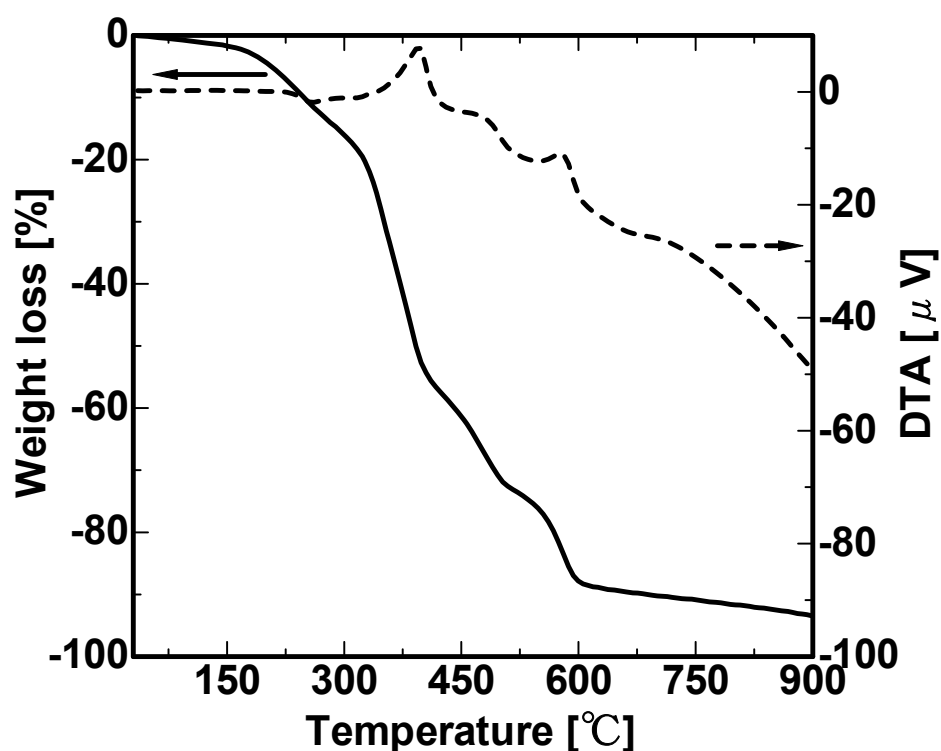


図 11-4-5 O_2 雰囲気下の TG-DTA

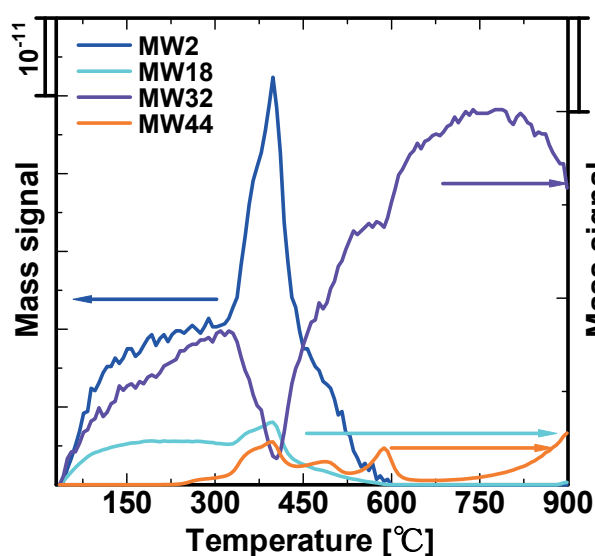


図 11-4-6 H₂, H₂O, O₂, CO₂ MS スペクトル

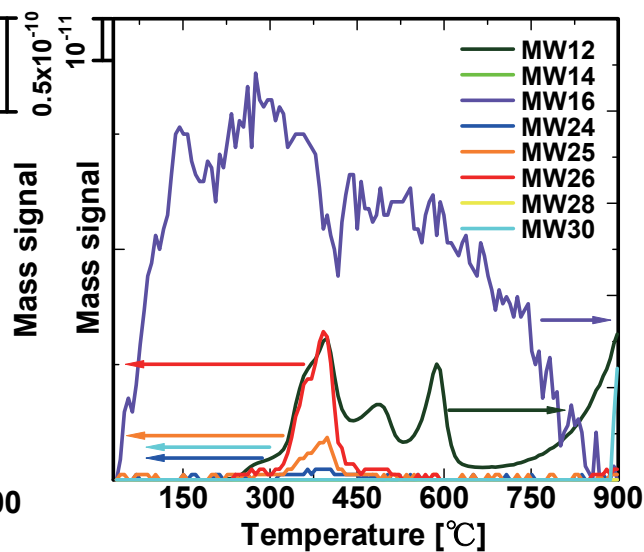


図 11-4-7 C1, C2 の MS スペクトル

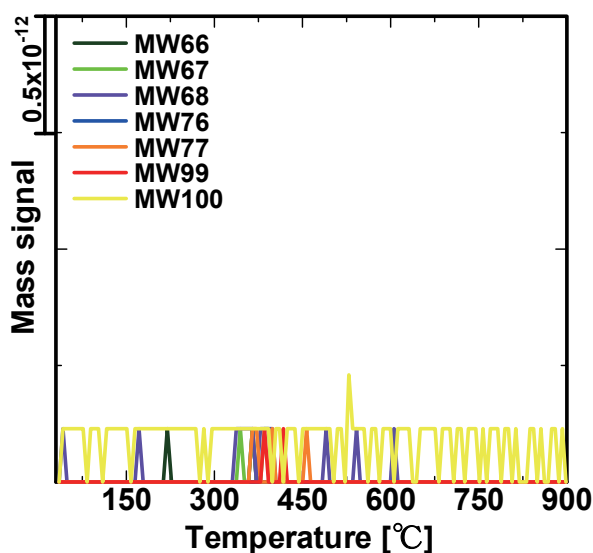


図 11-4-8 C3~C6 の MS スペクトル

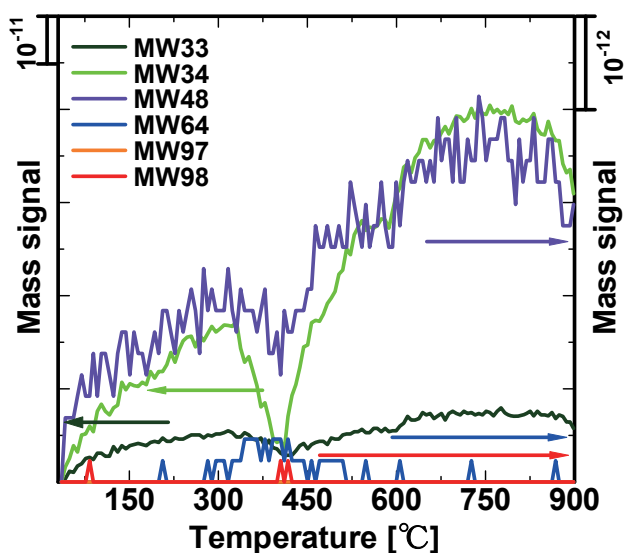


図 11-4-9 S 化合物の MS スペクトル

11-5 マウンテン自転車タイヤ

(1) He 雰囲気下での分解挙動

He 雰囲気下マウンテン自転車タイヤを TG-MS を用いて 30~900°Cにて測定を行った。図 11-5-0 の TG-DTA より 3 段階の重量変化が明らかになった。1 段階目は 300°Cまで約 20%の重量減少が見られ、図 11-5-1 の MS スペクトルからここで最も重量変化が大きいものは水分だと考えられる MW18 のピークである。また、MW2 の水素ガスのピークも著しいであるため、マウンテン自転車タイヤは炭化に伴い MW44 の CO₂が発生され、脱水反応および脱水素反応が進行していると考えられる。一方、図 11-5-2 のより、MW16 の CH₄が現れたため、ゴム成分には枝分かれ構造が存在していると考えられる。

えられる。

2 段目 300℃～450℃付近で約 40%重量減少を示した。MS において MW44(CO₂)のほか、MW12(C), MW24(C=C), MW25(C=CH), MW26(C=CH₂)のフラグメントピークが観測され、これはロードバイクタイヤの骨格成分であるポリビニルがモノマー単位で分解されたと考えられる。また、図 11-5-3 よりわずかであるが、イソプレンだと考えられる MW66～MW68 のフラグメントが検出された。一方、ベンゼンのフラグメントである MW77 が 350℃に現れた事と、ポリスチレンのフラグメントだと推測される MW99～100 もノイズレベルで検出したため、ポリスチレンはわずかに存在する事を示した。S 化合物の熱分解挙動は図 11-5-4 に示した。400℃付近ではわずかにもかかわらず MW48 の SO および MW97～98 の H₂SO₄のフラグメントが特定できた一方、MW33 (HS) および MW34 (H₂S) のピークが特定できなかった。この事から、S 成分がわずかにタイヤに添加された事を示した。

図 11-5-0 より 3 段目の重量減少は 450℃～700℃に示した。この重量減はおおよそ 10%であり、図 11-5-1 主に CO₂ が分解された。

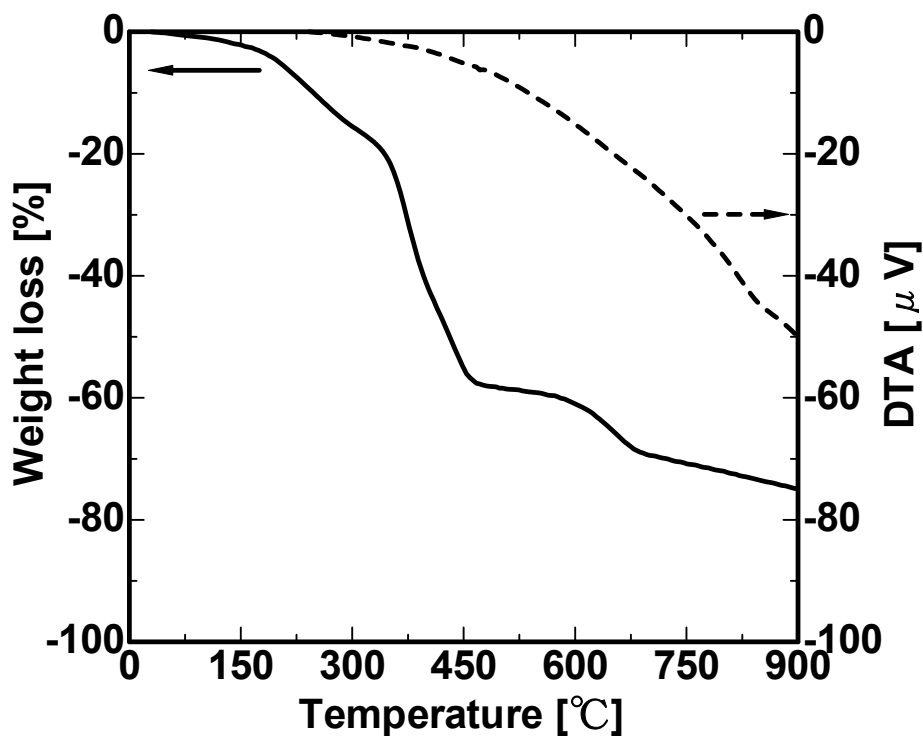


図 11-5-0 He 雰囲気下の TG-DTA

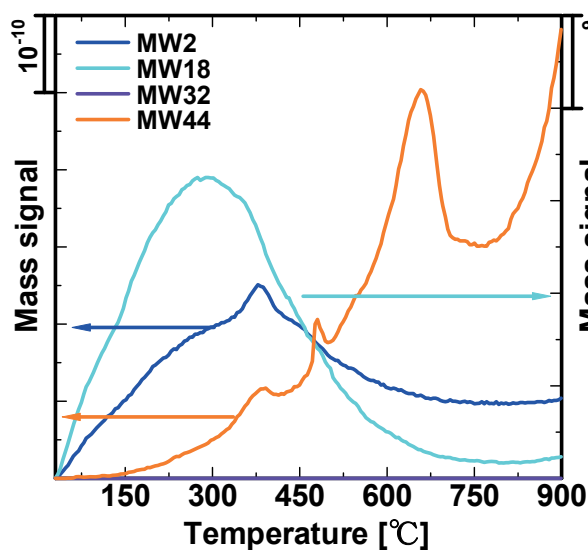


図 11-5-1 H₂, H₂O, O₂, CO₂ MS スペクトル

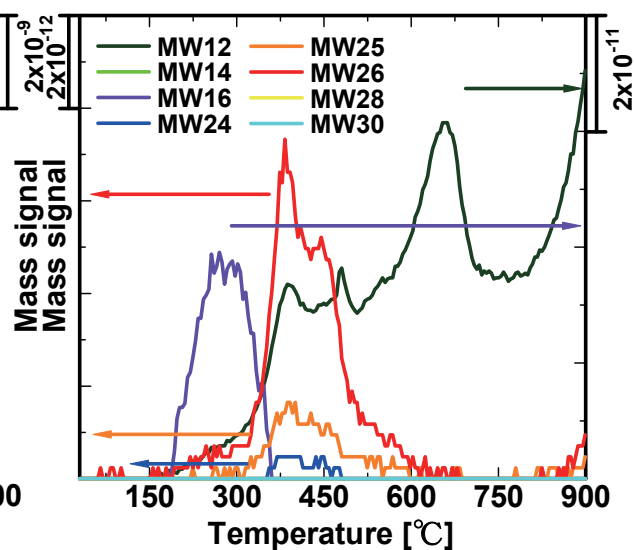


図 11-5-2 C1, C2 の MS スペクトル

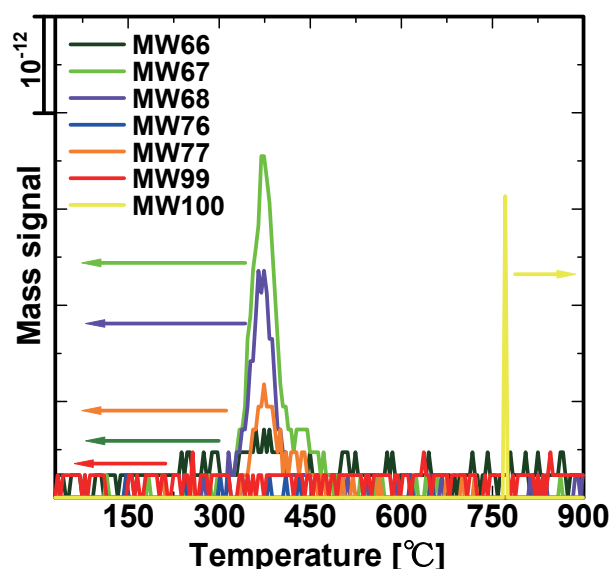


図 11-5-3 C3~C6 の MS スペクトル

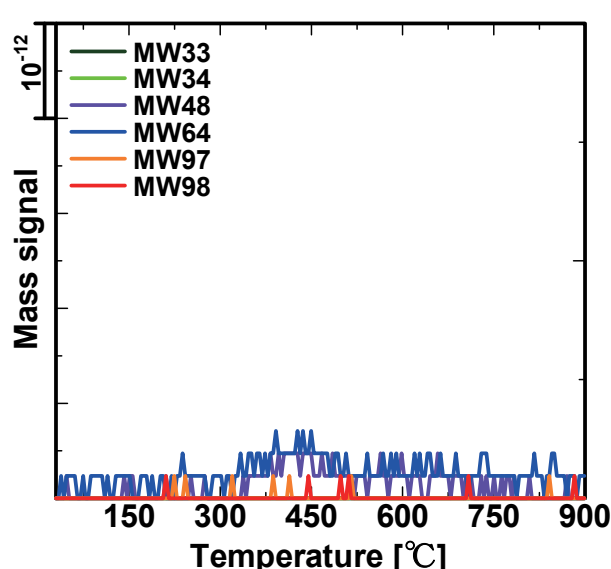


図 11-5-4 S 化合物の MS スペクトル

(2) 酸素雰囲気下での分解挙動

O₂/He の混合ガスを用いてマウンテン自転車タイヤの熱分解挙動を検討した。図 11-5-5 に TG-DTA の結果をまとめた。酸素混合ガスで熱処理した場合、5 段階の熱分解が進行し、図 11-5-6 より CO₂ ピークの形がいくつかの山に分かれ、酸素も消費されたことから、それぞれ吸熱または発熱反応が進行している事が明らかであった。

1 段階目の熱分解は 300℃にて約 20%の重量減少を示した。図 11-5-6 より 300℃までの領域では供給酸素 (MW32) のピークを除き、H₂O のピークが検出された。この結果から、表面吸着水が分解されたと考えられる。He 雰囲気ではイソプレンやポリスチレンの分解ピークがわずかに観測されたものの、

図 11-5-8 より O_2 雰囲気中で測定する際これらのピークが現れなかった。酸素雰囲気中で熱処理を行ったため、完全分解された結果、図 11-5-6 に示した MW44 の CO_2 として放出されたと考えられる。一方、図 11-5-7 に示した MW12 (C) のスペクトルは MW44 の CO_2 との形がほぼ一致するため MW12 の C は CO_2 の炭素のフラグメントだと考えられる。この炭素の由来はタイヤの補強材のカーボンブラックに由来しているのではないかと考えている。図 11-5-9 の MW33, 34, 48 は S 化合物だと推測していたものの、 HO_2 , H_2O_2 , CH_4O_2 である可能性も考えられる。これは MW33, 34, 48 のピークの形は MW32 の O_2 と同様に $415^\circ C$ および $624^\circ C$ 付近の発熱反応とともに変動している為である。

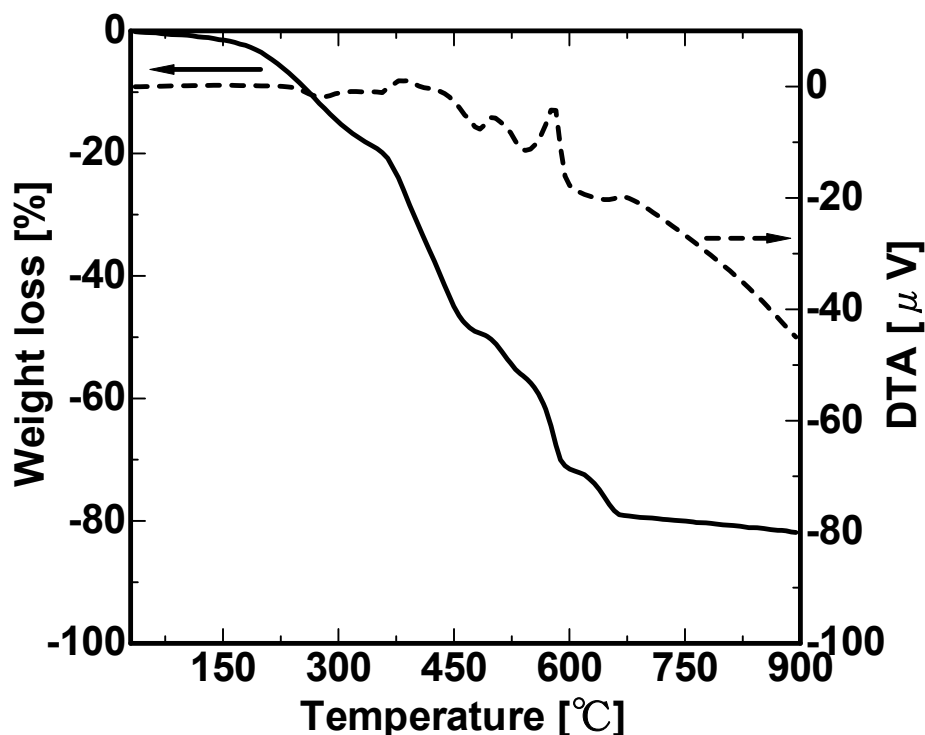


図 11-5-5 O_2 雰囲気下の TG-DTA

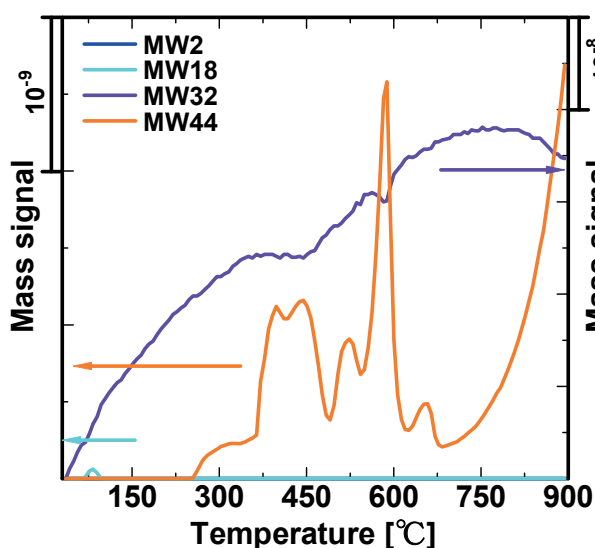


図 11-5-6 H_2 , H_2O , O_2 , CO_2 MS スペクトル

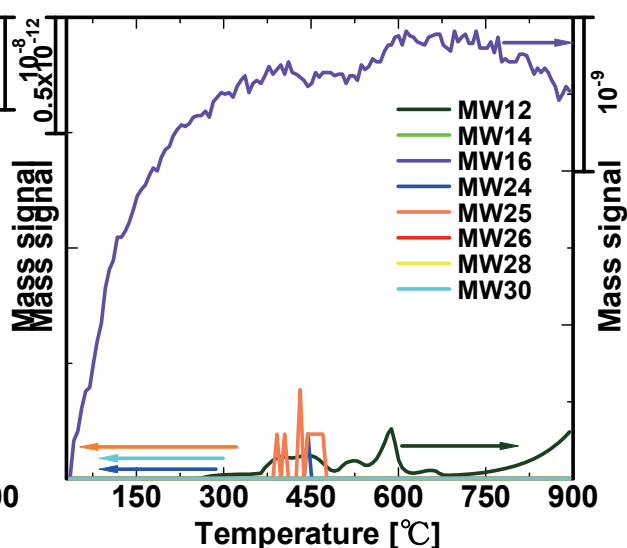


図 11-5-7 C1, C2 の MS スペクトル

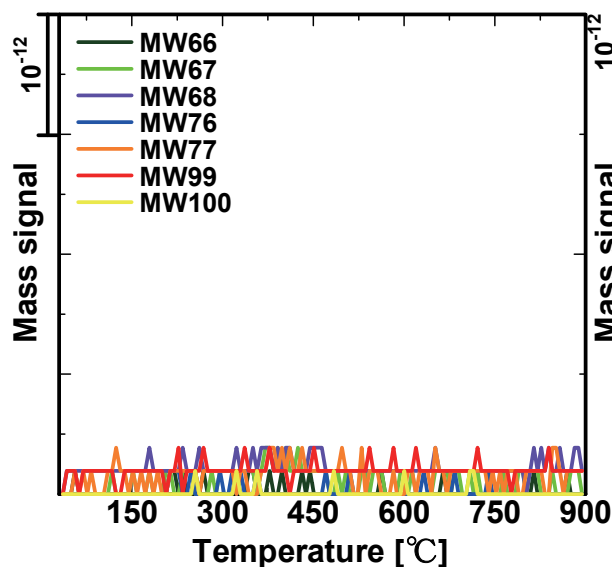


図 11-5-8 C3~C6 の MS スペクトル

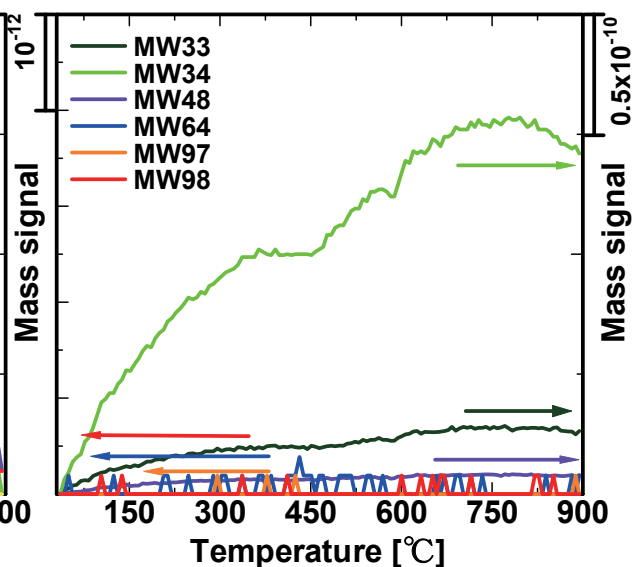


図 11-5-9 S 化合物の MS スペクトル

11-6 まとめ

・自転車チューブの重量減少（炭化，あるいは脱水）が 400°Cで起こる。しかし，硫黄に帰属する化合物の生成量は少ない。

・汎用自転車タイヤの場合，炭化処理工程では水の脱離による重量減少が 500°Cまで起こり，その後，炭酸ガスの脱離が起こることから，使用済みタイヤには水分が大量に存在するとともに，酸化していると考えられる。また，硫黄化合物が少ないことから使用による摩耗等で比率の減少があるかもしれない。このタイヤは，3 段階で燃焼が起こる。たぶん混入している成分（ゴム，カーボンブラック等）が個別に燃焼しているのではないかと考えられる。



実験に使用した試料

・マウンテン自転車タイヤについても，汎用自転車タイヤと同じ挙動が観測された。酸素雰囲気下では，同様に硫黄酸化物が観測されず，酸素の有無によって SO_x の発生挙動が異なると思われる。

11-7 今後の展望

使用済み自転車タイヤあるいはチューブの熱分解挙動について質量分析計を使って観測したが，使用状況による環境の影響，特に水と酸素，の影響が大きいことが分かった。そのため，再資源化する

ためには、使用条件による影響を定量化した観察を行う必要がある。エネルギー転換あるいはリユース以外のケミカルリサイクル的手法を行う場合、含酸素と水の存在を考慮した方法の構築が必要であると思われる。

最後に、今後の課題として、電動アシスト自転車の利用が進む事で、使用されている二次電池のリサイクルが重要な課題となる可能性がある⁴⁾。

参考文献

- 1) 財団法人自転車産業振興協会, 平成 19 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, (2008).
- 2) ブリジストン編集, 自動車用タイヤの基礎と実際 (単行本), (2008).
- 3) 一般社団法人 日本タイヤ協会, タイヤの LCCO₂ 算定ガイドライン, (2012).
- 4) 社団法人 自転車協会, 廃棄自転車の処理調査補助事業報告書, (2014).

活動報告

1. 未来ビークルシティリサーチセンター第17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、高性能二次電池を用いた環境先進車両の開発とその実用化・普及促進が、これまで以上に求められています。このような背景の下、平成25年12月9日に本学において、『「電池が拓く新しいビークル社会」ーその後5年の歩みと、今後の展望ー』と題して、未来ビークルシティリサーチセンター第17回シンポジウムを開催致しました（別添プログラム参照）。

5年前に本学で開催したシンポジウムでは、「電池が拓く新しいビークル社会」を主題として、高性能二次電池の開発・車載応用ならびにプラグインハイブリッド車・電気自動車など次世代自動車の現状と将来に関して議論致しました。今回は、その後5年の歩みを振り返るとともに今後の展望について、この分野の第一線でご活躍中の方々にご講演頂きました。

まず始めに、xEVの市場展望と電池業界の課題について、(株)野村総合研究所 風間氏よりお話を伺いました。続いて、日産自動車(株)が推進するバッテリーの高エネルギー化に向けた材料課題と解析技術について、日産自動車(株) 秦野氏にご講演頂くとともに、パナソニック(株) 湯浅氏に、パナソニック(株)でのビークル社会への貢献と将来動向についてご紹介頂きました。

当日は、学外から83名、学内から53名、計136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。



風間 智英 氏
(株)野村総合研究所



秦野 正治 氏
(日産自動車(株))



湯浅 浩次 氏
(パナソニック(株))

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

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17回シンポジウム



EV

「電池が拓く 新しいビークル社会」

— その後5年の歩みと、今後の展望 —

低炭素社会実現に向けて、高性能二次電池を用いた環境先進車両の開発とその実用化・普及促進が、これまで以上に求められています。

5年前に本学で開催したシンポジウムでは、「電池が拓く新しいビークル社会」を主題として、高性能二次電池の開発・車載応用ならびにプラグインハイブリッド車・電気自動車など次世代自動車の現状と将来に関して議論致しました。今回は、その後5年の歩みを振り返るとともに今後の展望について、この分野の第一線でご活躍中の方々にご講演頂きます。

平成 **25** 年
12 月 **9** 日 月

時間: 13:30~16:20

豊橋技術科学大学
A1講義棟 A1-301

豊橋技術科学大学キャンパスマップ



■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：豊橋市、田原市、豊橋商工会議所、田原市商工会、東三河産業創出協議会

■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 未来ピ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】 「xEVの市場展望と電池業界の課題」	(株)野村総合研究所 グローバル製造業コンサルティング部 上級コンサルタント 風間 智英 氏
14:25～ 14:35	休 憩	
14:35～ 15:25	【講演2】 「バッテリーの高エネルギー化に向けた 材料課題と解析技術」	日産自動車(株)総合研究所 先端材料研究所 主管研究員 秦野 正治 氏
15:25～ 16:15	【講演3】 「パナソニックでのピークル社会への 貢献と将来動向」	パナソニック(株) オートモティブ&インダストリアルシステムズ社 技術本部 エナジー開発C 技術企画G グループマネージャー 湯浅 浩次 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

- 参 加 費：無料
- 参 加 申 込 切：平成25年12月2日(月)
- 申 込 方 法：氏名・所属・連絡先を明記のうえ、E-mail または FAX にて下記まで。
- 申 込 先：豊橋技術科学大学 未来ピークルシティリサーチセンター(研究協力課研究センター係)
E-mail: rcfvc@office.tut.ac.jp、Tel. : 0532-44-6574、FAX : 0532-44-6568
三遠南信クラスター推進会議 事務局 豊橋商工会議所経営革新サポートチーム
E-mail: matsuzaka@toyohashi-cci.or.jp、Tel. : 0532-53-7211、FAX : 0532-53-7210
- 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

【申 込 書】

豊橋技術科学大学研究協力課研究センター係 行【FAX.0532-44-6568】

「電池が拓く新しいピークル社会」— その後5年の歩みと、今後の展望 —【12月9日(月)】

事業所名			
参加者氏名		役職	
参加者氏名		役職	
所在地	〒		
TEL		FAX	
E-mail			

上記申込書に、事業所名、氏名、所在地、電話番号、FAX 番号をご記入の上、郵送または FAX にてお申し込みください。上記 E-mail アドレスに送っていただいても結構です。
ご記入いただいた情報は、豊橋技術科学大学および商工会議所からの各種連絡・情報提供のために利用するほか、セミナー参加者の実態調査・分析のために利用することがあります。

電池の未来と課題など講演

9日豊橋技科大でシンポ

豊橋技術科学大
学（豊橋市天伯町、
榊佳之学長）未来
ビークルシティリ
サーチセンターは
9日午後1時半か
ら、同大学講義棟A
1-301教室で、

「電池が拓く新しい
ビークル社会」をテ
ーマに、同センター
第17回シンポジウ
ムを開く。三遠南信
クラスター推進会
議との共催。
シンポジウムで

は、野村総合研究所
の風間智英氏が「x
EVの市場展望と電
池業界の課題」を講
演。続いて、日産自
動車総合研究所の秦
野正治氏が「バッテ
リーの高エネルギー
化に向けた材料課題
と解析技術」につい
て、最後にパナソニ
ックの湯浅浩次氏が
「パナソニックでの
ビークル社会への貢
献と将来動向」を話
す。

参加費無料。問い
合わせは、同大学電
気・電子情報工学系
櫻井庸司教授。電話

0532(44)67
22まで。

(石川正司)

2. 未来ビークルシティリサーチセンター

ぎかだいがやってくる ～エコエネを感じよう！～ 開催報告

未来ビークルシティリサーチセンター

低炭素社会と産業育成コア

電気・電子情報工学系 助教 田上 英人

【活動概要】

行事名	ぎかだいがやってくる ～エコエネを感じよう！～
開催日時	2013 年 11 月 16 日 9 時 30 分から 2013 年 11 月 16 日 14 時 30 分まで
開催場所	豊橋総合動植物公園（のんほいパーク：豊橋市大岩町）

【詳細】

今回のイベントは、豊橋技術科学大学の研究内容はあまり知られておらず、また地元豊橋市との交流が少ないのが現状に対して、本研究室の研究にご協力いただいた同園内にて、もっと豊橋技術科学大学のことを知ってもらふと共に、本研究室の研究成果の発信を行うためのものである。

イベントの内容は、EV 牽引車の試乗会と子供向けのサボニウス風車作りである。EV 牽引車の試乗会は、中央門前から噴水前までを定期的に運行した。またこの試乗会で用いた EV 牽引車は、同園で実証実験を行った際の車両である。サボニウス風車作りでは、本研究室のオープンキャンパスでも使用したサボニウス風車キットを用いて、ハサミとのりで簡単に子供達と一緒に作った。

イベントには多数の方が足を運んでいただき、EV 牽引車の試乗会には 375 人（大人 213 人、子供 162 人）、サボニウス風車作りには 135 人（大人 50 人、子供 85 人）もの人に参加していただいた。

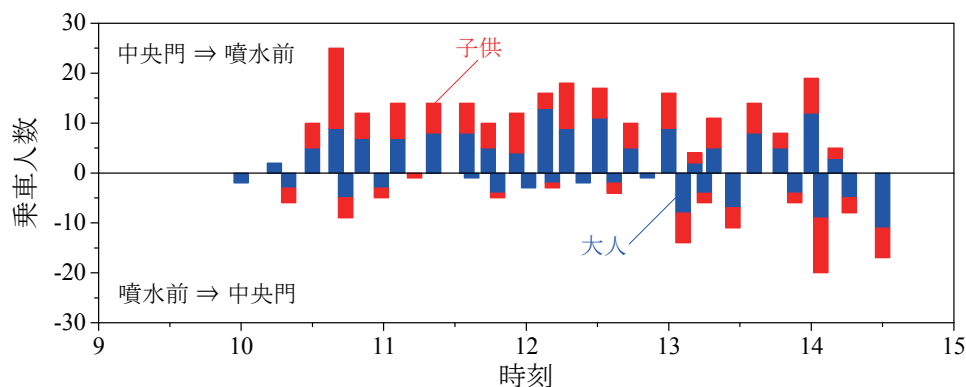


図 1 時間帯別乗客状況

ぞかだいがやってくる ecoエネを感じよう!

のってみよう!

電動バス試乗

※雨天中止

試乗
無料



動画をWEBでチェック!



紙風車の工作教室

参加
無料

つくってみよう!

中央門



温室内
憩いのへや

平成25年

11/16^土

9:30~14:30



EVバス
のりば
中央門→噴水前

のほほいパーク
NON HOI PARK



豊橋技術科学大学
〒441-8580
愛知県豊橋市天伯町雲雀ヶ丘1-1

主催／国立大学法人 豊橋技術科学大学
未来ビークルシティリサーチセンター
滝川・須田研究室



後援／豊橋市

多くの人を乗せ園内を走行する電動バス＝豊橋総合動植物公園で



電動バスの乗り心地は？

—— 豊橋総合動植物公園で試乗会 ——

技科大生らコストや性能調査

豊橋技術科学大学の学生による電動バスの試乗会が16日、豊橋総合動植物公園で開かれ、大勢の来園者が電気でも動くバスの乗り心地を確かめた。

同大学の電気・電子情報工学科の学生らは、環境に優しい電気自動車のモーターやバッテリーの研究しており、試乗会は導入コストや性能を調べるために行った。

電動バスは、同園中央門付近から噴水までの通路約200メートルを走行。1回で約20人が乗車できることから、多くの家族連れら

がバスに乗り込んでいた。

紙風車作り教室も

この日は、バスの試乗会のほかに、風向き

を問わず微風でも回転する紙風車作り教室も開かれ、子どもたちが学生に作り方を教えてもらいながら、挑戦した。（川口直康）

3. 未来ビークルシティリサーチセンター

ぎかだいがやってくる 体験！未来ビークルシティ 開催報告

未来ビークルシティリサーチセンター

低炭素社会と産業育成コア

建築・都市システム学系 助教 松尾幸二郎

市民の方々に未来ビークルシティリサーチセンターの活動を知っていただくとともに、子ども達に科学・工学について興味をもってもらうことを目的として、平成 25 年 11 月 23 日（土）、24 日（日）に豊橋市のこども未来館「ここにこ」にて、「ぎかだいがやってくる 体験！未来ビークルシティ」と題した展示・体験イベントを開催いたしました（別添チラシ参照）。

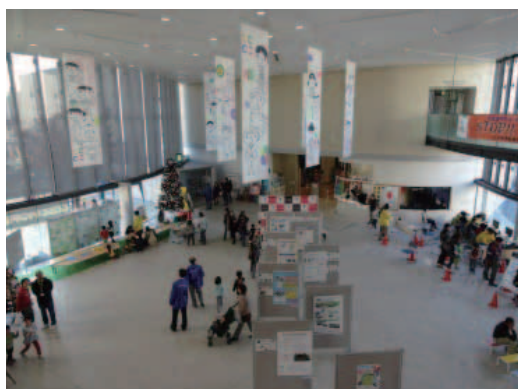
本イベントでは、未来ビークルシティリサーチセンターが取り組む研究課題についてポスター展示をするとともに、ドライビングシミュレータや全周囲マルチプロジェクションを用いた体験型デモンストレーションを通じて「交通安全」に関する研究について紹介を行いました。また、学生フォーミュラのレーシングカーの展示、スタンプラリー、自動車や都市等に関する三択クイズ、「未来ののりもの」のお絵かきなどの企画を実施いたしました。

「ここにこ」でのイベントは当センターでは初めての試みでしたが、両日各展示ブース合計で 2000 人を超える参加者があり（詳細は下記参照）、子ども同士や親子で楽しみながらビークルシティについて学んでいる姿が多く見られ、2 日間ともに盛り上がりをみせたイベントとなりました。

来場者数（体験者数）：

1. ドライビングシミュレータ		
・まちづくりの講座	18組	合計 35名
・運転体験		合計 339名
2. レーシングカーの展示（学生フォーミュラ）		合計 479名
3. 全周囲マルチプロジェクションシステム		合計 522名
4. 未来ののりもの お絵かき		合計 216名
5. スタンプラリー&クイズ		合計 421名

*体験者数は、両日（11／23、24）の合計



会場の様子



ドライビングシミュレータ体験



全周マルチプロジェクション体験



レーシングカーの展示



クイズに挑戦する小学生



「未来ののりもの」お絵かき

ぎかだいが やってくる



体験!

未来ビークルシティ

「iiriri」に
楽しい体験イベントがよー
やってくるよー!



平成25年

11月23日(祝・土)・24日(日) *両日 10:00~16:00

場所 こども未来館こここ(イベント広場、企画展示室 他) **内容** 体験(4種類)、スタンプラリー、お絵かき、ポスター展示

- 体験しよう! ここ、わたってあんぜんかな? しんごう、みえるかな? 場所/企画展示室 対象/子どもから大人までどなたでも
- 体験しよう! 運転手からはどうみえる? ひとや自転車、道路やまちなみ 場所/イベント広場 対象/小学5年生以上高校生まで
- 体験しよう! やってみよう! くるまのうんてん 場所/イベント広場 対象/子どもから大人までどなたでも
- 体験しよう! きみもレーシングカーのドライバー 場所/ギャラリーストリート 対象/子どもから大人までどなたでも
- スタンプラリー&クイズにチャレンジ! 場所/イベント広場 対象/子どもから大人までどなたでも
- お絵かきしよう! ぼく・わたしの未来の「のりもの」 場所/イベント広場 対象/お絵かきのできる子ども
- 未来ビークルシティリサーチセンターってなあに? 場所/イベント広場 対象/どなたでも

この企画のみ事前申込みが必要です

●3名以内のグループでお申し込みください。小学生・中学生の場合は保護者同伴をお願いします。保護者はグループ構成の「3名」に含めなくても構いません。高校生は単独もしくは高校生同士のグループでお申し込みください。
●体験時間：23、24日の4つの時間帯のいずれかに割り振ります。申し込み多数の場合は抽選となりますので、ご了承ください。

T お申し込み 豊橋技術科学大学 研究協力課研究センター係 〒441-8580 豊橋市天伯町雲雀ヶ丘1-1
お問い合わせ TEL/0532-44-6574 FAX/0532-44-6568 E-mail/rcfvc@office.tut.ac.jp

主催/国立大学法人 豊橋技術科学大学 未来ビークルシティリサーチセンター

後援/豊橋市

ぎかだいが やってくる

体験！未来ビークルシティ おでかけミニ講座

平成25年

11月23日(祝・土)・24日(日)

*両日 10:00~16:00

体験しよう！ここ、わたってあんぜんかな？ しんごう、みえるかな？

場所／企画展示室 対象／子どもから大人までどなたでも
内容／交差点で撮影した全方位映像や横断歩道などで車が向ってくる映像を全周囲に投影することで、道路などでの危険を感じてもらいます。また、高齢者や色盲の方のシミュレーション映像を投影することで、いろんな人の見え方が体験できます。(暗くした部屋の真ん中に座って、全周囲に投影された映像を見ます。)

体験しよう！やってみよう！くるまのうんてん

場所／イベント広場 対象／子どもから大人までどなたでも
内容／ドライビングシミュレータを使ってクルマの運転を体験します
*体験者には「シミュレータ運転免許証」を発行します

体験しよう！きみもレーシングカーのドライバー

場所／ギャラリーストリート 対象／子どもから大人までどなたでも
内容／第11回全日本学生フォーミュラ大会に参加したレーシングカーを展示します。運転席に座ることができます。

スタンプラリー&クイズにチャレンジ！

場所／イベント広場 対象／子どもから大人までどなたでも
内容／未来ビークルシティリサーチセンターで取り組む研究に関連したクイズに挑戦します。すべて3択の問題で、どなたでもチャレンジできます。

お絵かきしよう！ぼく・わたしの未来の「のりもの」

場所／イベント広場 対象／お絵かきのできる子ども
内容／自分で考えた夢のある「のりもの」を絵に描いて、会場にかざります。

未来ビークルシティリサーチセンターってなあに？

場所／イベント広場 対象／どなたでも
内容／未来ビークルシティリサーチセンターで取り組む研究を紹介します。(ポスター展示)

体験しよう！運転手からはどうみえる？ひとや自転車、道路やまちなみ

この企画のみ
事前申込みが必要です

場所／イベント広場

対象／小学5年生以上高校生まで

*3名以内のグループでお申し込みください。小学生・中学生の場合は保護者同伴をお願いします。保護者はグループ構成の「3名」に含めなくても構いません。高校生は単独もしくは高校生同士のグループでお申し込みください。

内容／ドライビングシミュレータを使って、クルマの運転手(ドライバ)から人や自転車がどのように見えるのか、どんなふうにもちや道路が変わると安全なのかを体験します(所要時間1時間程度)。

*サポートスタッフのアドバイスのもとに、パソコンの操作を行います。*体験者には「修了証」を授与します。

体験時間／23、24日の4つの時間帯のいずれかに割り振ります。申し込み多数の場合は抽選となりますので、ご了承ください。

①10:00~11:00 ②11:15~12:15 ③13:30~14:30 ④14:45~15:45

定員／各時間帯3組まで *2日間で24組(3組×4回×2日)

申込期限／11月15日(金)必着

事前申込方法

はがき、電話、FAX、メールのどれかでお申し込みください。申込みの際には次の内容をお知らせください。

●講座名：運転手からはどうみえる？ひとや自転車、道路やまちなみ

●希望日・時間帯(複数選択可)

体験する日・時間帯の希望	なし ・ あり	「あり」の場合は希望時間帯を選んでください(複数選択可)	23日午前 ・ 23日午後 ・ 24日午前 ・ 24日午後
--------------	---------	------------------------------	-------------------------------

●参加者全員の氏名、学年

体験者1	氏名	小学生 ・ 中学生 ・ 高校生 ・ 保護者	学年	年
体験者2	氏名	小学生 ・ 中学生 ・ 高校生 ・ 保護者	学年	年
体験者3	氏名	小学生 ・ 中学生 ・ 高校生 ・ 保護者	学年	年
付き添い	氏名	氏名	氏名	

*体験者が小・中学生で、保護者を体験者に含めない場合は、必ず最低1名は大人が付き添ってください

●代表者の氏名、住所、電話番号

代表者	氏名	住所	電話番号
-----	----	----	------

お申し込み
お問い合わせ

〒441-8580 豊橋市天伯町雲雀ヶ丘1-1 豊橋技術科学大学 研究協力課研究センター係
TEL／0532-44-6574 FAX／0532-44-6568 メール／rcfvc@office.tut.ac.jp



安全安心 未来の車社会

ここに子ども向け講座

豊橋技術科学大未来センターの取り組み「安全社会」の実現に
取り組む同リサーチセンターの主催。同市との連携で進めている事業、研究内容などについて、体験型アトラクションやクイズなどを通して子どもから大人まで広く市民に知ってもらうと開催した。

会場では、特殊なカメラで撮影した映像を加工し、高齢者や交通弱者の見え方を体感でき、交通安全教育などに活用可能な「全周プロジェクションシステム」を体験する家族連れ「子ども未来館」ここにきて

が夢中になっていたのが、収集する研究に絡めた装置で、実際の運転が疑似体験できる。
子どもたちは、画面に向かってハンドルを握りながら、アクセル

ベダル、ハンドル操作をしてドライバークラッシュを味わった。
24日も午前10時から午後4時。入場無料。
(千葉敬也)

子どもたちも 自動車体験！



館こ
来こ
もこ
ここ

豊橋技科大が未来ビークルシティ開催

交通安全を啓発

豊橋技術科学大学の
未来ビークルシテ
イリサーチセンター
(角田範義センター
長)は23日から、こ
ども未来館ここにこ

学生フォーミュラの
レーシングカーで運
転気分を味わう(こ
ども未来館ここにこ
で)

で、おでかけミニ講
座「体験！未来ビー
クルシティ」を開
催している。24日ま
で。

同センターでは、
交通安全の研究成果
を一般市民に広め、
安全を学ぶきっかけ
をつくるため、約5
年前から出張講座を
実施。昨年は、もの

づくり博in東三河
に全方向移動ビー
クルを出展するなど、
各イベントを通して
活動を広めてきた。

初主催となる今回
の講座では、会場内
にさまざまなブース
を設置。
全方位映像で交差
点や横断歩道を投映
して、子どもたちに

道路の危険性を説
明。ドライビングシ
ミュレーションで
は、運転手の目線で
実際に運転している
状況を再現。学生フ
ォーミュラのレーシ
ングカー展示など、
さまざまな模擬体験
を通じて交通安全の
大切さを啓発してい
る。

(原田直樹)

未来ビークルシティリサーチセンター講演会 ～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～

未来ビークルシティ リサーチセンター講演会 ～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～

日時：11月7日（木）

場所：田原文化会館多目的ホール

主催：豊橋技術科学大学

未来ビークルシティリサーチセンター

後援：田原市、田原市商工会、
田原臨海企業懇話会

センターが取り組む『未来ビークルシティ事業』について、その中でも電気自動車に関する話題で、センターの教員3名が講演を行いました。

まず始めに、「未来の電気自動車」と題して、電気・電子情報工学系の大平教授がデモンストレーションを交えてご講演しました。続いて、建築・都市システム学系の渋澤准教授から未来ビークルと港湾の地域経済への影響についてお話を伺うとともに、電気・電子情報工学系の櫻井教授のからリチウムイオン電池の現状と課題についてご紹介いただきました。

田原市及び田原臨海企業懇話会の協力を得て開催されたこの講演会には、自動車関連企業の方を中心に133名（学内：8名、学外：125名）の参加があり、質疑応答についても活発な論議がなされ、盛会のうちに講演会を終了しました。

本講演会開催にあたり、ご協力いただきました関係者各位に厚く御礼申し上げます。



教授 大平 孝



准教授 渋澤 博幸



教授 櫻井 庸二

文部科学省特別経費

サステナブルな社会における未来ビークルシティ事業

～低炭素社会における安全安心なビークルシティ～

未来ビークルシティリサーチセンター講演会

サステナブルな社会における
未来ビークルシティ事業

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。

その中でも、本地域の利点である三河港を念頭に置く電気自動車社会の構築です。

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。

それらの技術的な克服と三河港利用による街づくりを通じた電気自動車社会の構築を目指しています。

今回は、本センターの研究課題の中で、新しい給電方式による電気自動車、

経済効果、電池技術の3分野について紹介したいと思います。

講演者

豊橋技術科学大学

電気・電子情報工学系 教授 大平 孝

豊橋技術科学大学

建築・都市システム学系 准教授 渋谷 博幸

豊橋技術科学大学

電気・電子情報工学系 教授 櫻井 庸司

平成25年11月7日(木)

時間 18:00~20:00

場所 田原文化会館 多目的ホール
(田原市田原町汐見5番地)

参加費無料

■お申し込み・お問い合わせ

豊橋技術科学大学 未来ビークルシティリサーチセンター(研究協力課)

TEL:0532-44-6574 FAX:0532-44-6568

E-mail:rcfvc@office.tut.ac.jp



国立大学法人

豊橋技術科学大学

プログラム

18:00~18:05 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

18:05~18:50 講演 1

「未来の電気自動車」

豊橋技術科学大学
電気・電子情報工学系 教授 大平 孝

18:50~19:00 休 憩

19:00~19:30 講演 2

「未来ビークルと港湾の地域経済への影響」

豊橋技術科学大学
建築・都市システム学系 准教授 渋谷 博幸

19:30~20:00 講演 3

「リチウムイオン電池の現状と課題」

豊橋技術科学大学
電気・電子情報工学系 教授 櫻井 庸司

■お申し込み・お問い合わせ

豊橋技術科学大学 未来ビークルシティリサーチセンター(研究協力課)
TEL:0532-44-6574 FAX:0532-44-6568
E-mail:rcfvc@office.tut.ac.jp

参加申込書 以下の内容をFAXまたはE-mailでご連絡ください。

申込先

未来ビークルシティリサーチセンター(研究協力課研究センター係)
FAX:0532-44-6568 E-mail:rcfvc@office.tut.ac.jp

お名前			
所属・役職			
TEL		FAX	
E-mail			

*参加申込メ切:平成25年10月31日(木)

リチウム電池の現状など紹介

7日に豊橋技科大講演会

田原

豊橋技術科学大学（豊橋市天伯町、榊佳之学長）は11月7日午後6時から、田原市田原町の田原文化会館多目的ホールで、未来ビークルシテイリサーチセンター講演会「サステイナブルな社会における未来ビークルシテイ事業」を開く。

同大学の3人の研究者が講演。電気・電子情報工学系教授の大平孝氏が「未来の電気自動車」、建築・都市システム工学系准教授の洪澤博幸氏が「未来ビークルと港湾の地域経済へ

の影響」、電気・電子情報工学系教授の櫻井庸司氏が「リチウムイオン電池の現状と課題」についてそれぞれ話す。

参加無料。問い合わせは同センター研究協力課。電話0532(44)6574まで。（石川正司）

未来ビークルシティリサーチセンター 研究成果展示 オープンキャンパス

研究成果展示

未来ビークルシティを体験 しよう

日時：平成25年8月31日

場所：豊橋技術科学大学

実施内容：

【展示】

- センター紹介ポスターの展示

【体験】

- 電気自動車 運転体験
- ドライビングシュミレータの体験
- 全周マルチプロジェクションシステムの体験
- 電動アシストつき自転車 運転体験
- 波動おもしろ実験

【その他】

- スタンプラリー
- クイズ

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

当センターブースへの延べ来場者数は、1,041名でした。

今年度は、各研究室の体験の他、昨年度好評であったスタンプラリーと、初めての企画として、クイズを用意。子どもから大人まで楽しんでいただきました。

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



未来ビークルシティリサーチセンター 社会地域連携活動（章研究室・滝川研究室）

TUT Jr.技術科学教育プロジェクト

（時習館 SSH「SS 技術科学」）

日時：平成25年9月5～6日

場所：豊橋技術科学大学 研究実験棟 D1-403

愛知県立時習館高等学校の2年生315名を受入れ、科学技術全般に対する興味・関心、論理的思考力や探究力などの習得を目的とした実験・実習講座において、ドライビングシミュレータを用いた交通安全教育と安心な仮想のまちづくりを体験していただきました。（章研究室）



平成25年度 あいち ITS 大学セミナー

日時：平成25年12月16日

場所：豊橋技術科学大学 講義室 A1-101

講演者：飯田 眞喜男 氏（株式会社デンソー IC技術1部 担当次長）

テーマ：ITS と次世代自動車を支える半導体技術

ITS と次世代自動車を支える半導体技術、特にカーエレクトロニクスの研究開発を進めてこられた講師をお招きして、次世代の半導体技術の活用や将来の動向、さらには近年の情報機器や電気エネルギーに関連した機能などについてのご講演をいただきました。（章研究室）



豊川市政施行 70 周年記念行事

エネエネわっしょい！！～あしたをつくろう～

日時：平成25年9月23日

場所：豊川市総合体育館正面玄関前広場
エネルギー体験ブース

エネルギー問題をテーマに、各参加団体によるエネルギー体験コーナーや展示が行われました。このイベントに滝川研究室が出展しました。（滝川研究室）



未来ビークルシティリサーチセンター 社会地域連携活動・受賞（大平研究室）

NE ジャパン・ワイヤレス・ テクノロジー・アワード

日経エレクトロニクス読者賞

主 催 者：日経 BP 社

受 賞 名：日経エレクトロニクス読者賞

受賞題目：「走行中の EV（電気自動車）
へのワイヤレス給電技術」



MICROWAVE WORKSHOP EXHIBITION 2013

日時：平成25年11月27～29日

場所：パシフィコ横浜

MICROWAVE WORKSHOP EXHIBITION 2013 の
大学展示コーナーに大平研究室が出展しま
した。2009 年から、電子情報通信学会マイ
クロ波研究専門委員会と連携して行われて
いる「大学展示コンテスト」に大平研究室
は、最優秀発表賞を受賞しました。

展示内容：今期開発した高周波インバータ
回路，リアルタイム負荷追従
整合回路，高周波整流回路，
トランスレス変成器



あいち ITS ワールド 2013

日時：平成25年12月12～15日

場所：ポートメッセ名古屋

愛知県 ITS 推進協議会と中部経済新聞社
主催による ITS 関連の展示会に大平研究室
が、出展しました。



社会

豊橋技術科学大学
大平研究室

走行中EVへのワイヤレス給電技術

日経エレクトロニクス 読者賞を受賞

豊橋技術科学大学（榑佳之学長）、大平孝教授の研究室による「走行中のEV（電気自動車）へのワイヤレス給電技術」に対し、日経エレクトロニクス読者賞が贈られた。

大平研究室では昨年、路面下に埋設したアルミ板から車輪のアルミホイールへ電力を伝送する実験に成功。これにより、大容量電池を搭載せず、道路に埋設した金属製の電極から集電し、電車のように

走行することができ、路面下に埋設したアルミ板から車輪のアルミホイールへ電力を伝送する実験に成功。これにより、大容量電池を搭載せず、道路に埋設した金属製の電極から集電し、電車のように

走行することができ、路面下に埋設したアルミ板から車輪のアルミホイールへ電力を伝送する実験に成功。これにより、大容量電池を搭載せず、道路に埋設した金属製の電極から集電し、電車のように

―企業の研究開発を―

応援しようと立ち上げたNEジャパン・ワイヤレス・テクノロジー・アワードの一つで、同社の読者による投票で、大平研究室の業績が1位を獲得した。

（石川正司）



未来ビークルシティリサーチセンター 社会地域連携活動・支援等

豊橋市大学連携調査研究費補助金 研究成果報告展示会

日時：平成25年9月25日～30日

場所：豊橋市役所 東館1階市民ギャラリー

内容：豊橋市主催による豊橋市大学連携調査研究費補助金 研究成果報告展示会において平成24年度の研究成果をポスターの展示・電気自動車の展示・全方位カメラによる危険検知のデモンストレーションを通じて市民の皆様に関わりやすくご紹介しました。



第11回高等学校エコカーレース 総合大会

日時：平成25年6月2日

場所：ユタカ自動車学校特設コース（豊橋市）



第11回全日本学生フォーミュラ大会

日時：平成25年9月3日～7日

場所：エコパ（小笠山総合運動公園・静岡県）

参加：豊橋技術科学大学 自動車研究部

（学生フォーミュラ）

結果：総合10位



教員別 平成25年度 活動実績

1. 滝川浩史 教授, 田上英人 助教

【展示会】

- [1]オープンキャンパス 豊橋技術科学大学, ポスター展示, オリジナル電気自動車の試乗,
2013.8.31
- [2]豊橋市大学連携調査研究費補助金 研究成果報告展示会, 豊橋市役所 東館 1階市民ギャラリー, 研究紹介パネル展示, 2013.9.25-30.
- [3] 豊川市政施行 70 周年記念事業 「エネエネわっしょい!! ~あしたをつくろう~」,
豊川市総合体育館, エネルギー体験ブース, サボニウス風車工作教室 (小学生向け),
2013.09.23.
- [4]「ぎかだいがやって来る eco エネを感じよう!」, のんほいパーク, 研究紹介パネル,
EV 牽引バスのデモ走行 (どなたでも乗車可), サボニウス風車工作教室 (小学生向け)
2013.11.16.
- [5] おでかけミニ講座「ぎかだいがやって来る 体験! 未来ビークルシティ」, こども未来館
ここにこ, 研究紹介パネル展示, 2013.11.23-24.

【学会発表】

- [1]伊藤詠太, 田上英人, 須田善行, 滝川浩史, “公共施設内の電気自動車への充電のための
太陽電池利用による経済・環境効果”, 平成 25 年度電気関係学会東海支部連合大会, B1-3,
2013.9.24-25
- [2]織田俊樹, 田上英人, 須田善行, 滝川浩史, “電気自動車用バッテリー- キャパシタ併用電
源におけるバッテリー出力電流の制御”, 平成 25 年度電気関係学会東海支部連合大会, B1-2,
2013.9.24-25

2. 廣畠康裕 教授, 松尾幸二郎 助教

【展示会】

- [1] おでかけミニ講座「ぎかだいがやって来る 体験! 未来ビークルシティ」, こども未来館
ここにこ, 研究紹介パネル展示, 2013.11.23-24,

【学会発表】

- [1] Matsuo, K. and Hirobata, Y., “A Desired Speed Selection Model Based on Perceived Cost
Minimization Concept”, Proceedings of the 13th World Conference on Transport Research, Rio de
Janeiro, Brazil, 2013.7.
- [2] Nakanishi, H., Black, J., and Matsuo, K., “A Conceptual Model of Post-disaster Travel Behavioural
Responses: Case Study of Great East Japan Earthquake 2011”, Proceedings of the 13th World

Conference on Transport Research, Rio de Janeiro, Brazil, 2013.7.

- [3] 松尾幸二郎, 廣島康裕, 佐藤修生, 山内洋佑, “無信号横断歩道におけるドライバーの「譲り」に関する基礎的調査および考察”, 交通工学研究発表会論文集, Vol.33, CD-ROM, pp.225-228, 2013.9.
- [4] 松尾幸二郎, 廣島康裕, 佐藤修生, 山内洋佑, “無信号横断歩道におけるドライバーの「譲り」に関する基礎的分析”, 土木計画学研究・講演集, Vol.48, CD-ROM, 2013.11.
- [5] 鳥本敬介, 廣島康裕, 松尾幸二郎, “自転車利用者の通行帯選択の実態とその要因分析ー左側通行か右側通行可に着目してー”, 土木計画学研究・講演集, Vol.48, CD-ROM, 2013.11.
- [6] 吉田剛, 貞清裕太, 廣島康裕, 松尾幸二郎, “地域公共交通に対する都市部と郊外部での支払意思額構造における比較分析 - 愛知県豊橋市をケーススタディとして -”, 平成 25 年度土木学会中部支部研究発表会講演概要集 CD-ROM, 2014.3.
- [7] 井上照也, 廣島康裕, 松尾幸二郎, “ドライビングシミュレータを利用した右折車両の挙動分析”, 平成 25 年度土木学会中部支部研究発表会講演概要集 CD-ROM, 2014.3.
- [8] Hamdard, N.A., Hirobata, Y., and Matsuo, K., “Person Trip Analysis in Kabul Metropolitan Area”, 平成 25 年度土木学会中部支部研究発表会講演概要集 CD-ROM, 2014.3.
- [9] 鳥本敬介, 廣島康裕, 松尾幸二郎, “自転車通行位置の明示による自転車利用者の通行帯選択率割合および通行位置の変化の検証”, 平成 25 年度土木学会中部支部研究発表会講演概要集 CD-ROM, 2014.3.
- [10] 貞清裕太, 吉田剛, 廣島康裕, 松尾幸二郎, “豊橋市南部地区におけるデマンド型乗合タクシーの利用実態と住民意識”, 平成 25 年度土木学会中部支部研究発表会講演概要集 CD-ROM, 2014.3.
- [11] 濱村奏, 廣島康裕, 松尾幸二郎, “豊橋市の小学校を対象とした通学路の安全性評価に関する基礎分析”, 平成 25 年度土木学会中部支部研究発表会講演概要集 CD-ROM, 2014.3.
- [12] 園田健, 廣島康裕, 松尾幸二郎, “高速道路 JCT 近傍における渋滞時の車線利用率変化とその渋滞拡大効果に関する考察~伊勢湾岸道と新名神を対象として~”, 平成 25 年度土木学会中部支部研究発表会講演概要集 CD-ROM, 2014.3.
- [13] 佐藤飛鳥, 廣島康裕, 松尾幸二郎, “豊橋市南栄周辺地区における都市計画道路整備に伴う交通流変化”, 平成 25 年度土木学会中部支部研究発表会講演概要集 CD-ROM, 2014.3.

【論文】

- [1] Matsuo, K., Hirobata, Y., and Komatsu, H., “An Analysis of the Effects of Simple Traffic Safety Measures at a Signalized Intersection: Before-and-after Study on Right-Turn Behavior”, Journal of the Eastern Asia Society for Transportation Studies, Vol.10, pp. 2021-2030, 2013.
- [2] Nakanishi, H., Matsuo, K., and Black, J., “Transportation Planning Methodologies for Post-disaster

Recovery in Regional Communities: the East Japan Earthquake and Tsunami 2011”, Journal of Transport Geography, Vol.31, pp. 181-191, 2013.

3. 宮田 譲 教授

【展示会・講演会】

- [1]豊橋市大学連携調査研究費補助金 研究成果報告展示会, 2013.9.25-30
- [2]2013 年度豊橋技術科学大学公開講座, “三遠南信地域の幹線道路整備と経済再生” 講演, 豊橋技術科学大学, 2013.11.8
- [3]おでかけミニ講座 「ぎかだいがやってくる体験！ 未来ビークルシティ」, こども未来館ここここ, 研究紹介パネル展示, 2013.11.23-24

【学会発表】

- [1]中澤光一郎, 李念, 宮田 譲, 洪澤博幸, “南海トラフと首都直下型地震を対象とした防災復興投資の経済効果の分析”, 日本環境共生学会第16回(2013年度)地域シンポジウムポスターセッション, 2013.5.25.
- [2]Nian Li, Koichiro Nakazawa, Yuzuru Miyata, Hiroyuki Shibusawa, “Economic Assessment of a Large-Scale Earthquake in Bohei Economic Rim, China”, 本環境共生学会第16回(2013年度)地域シンポジウムポスターセッション, 2013.5.25.
- [3]Any Wahyuni, Yuzuru Miyata, Hiroyuki Shibusawa, “The Road Construction Type Evaluation by Public Transport User and CO2 Emissions Reduction in the Critical Area: An AHP Approach”, 日本環境共生学会第16回(2013年度)地域シンポジウムポスターセッション, 2013.5.25.
- [4]Any Wahyuni, Yuzuru Miyata, Hiroyuki Shibusawa, “Policies of CO2 Emissions Reduction in Makassar City in Indonesia – A CGE Modeling Approach –”, 日本環境共生学会第16回(2013年度)地域シンポジウムポスターセッション, 2013.5.25.
- [5]Yuzuru Miyata, Hiroyuki Shibusawa, “Economic Analysis of Electric Vehicle Society in Toyohashi City in Japan: A CGE Modeling Approach”, The 23rd Pacific Regional Science Conference, Bandung, Indonesia, USB Memory, 2013.7.3.
- [6]Any Wahyuni, Yuzuru Miyata, “Evaluation of the Road Construction by Analytic Hierarchy Process to Support of CO2 Emissions Reduction : A Case Study of Maros-Watampone Road”, The 23rd Pacific Regional Science Conference, Bandung, Indonesia, USB Memory, 2013.7.3.
- [7]Any Wahyuni, Yuzuru Miyata, “Economic Analysis of CO2 Reduction Policies in Makassar City in Indonesia – A CGE Modeling Approach”, The 23rd Pacific Regional Science Conference, Bandung, Indonesia, USB Memory, 2013.7.3.
- [8]Hiroyuki Shibusawa, Nian Li, Koichiro Nakazawa, Yuzuru Miyata, “Economic Assessment of Environmental Friendly Vehicles: Input-Output Application”, The 23rd Pacific Regional Science Conference, Bandung, Indonesia, USB Memory, 2013.7.4.

- [9] Hiroyuki Shibusawa, Nian Li, Koichiro Nakazawa, Yuzuru Miyata, “Evaluating Economic Impacts of Disaster Prevention Investments-Dynamic Spatial CGE Approach-”, The 23rd Pacific Regional Science Conference, Bandung, Indonesia, USB Memory, 2013.7.4.
- [10] Any Wahyuni, Yuzuru Miyata, “Public Participation in Selection of the Road Construction by Analytic Hierarchy Process for Supporting of CO2 Emissions Reduction: Maros-Watampone Road Case”, Proceedings of 53rd European Regional Science Conference, Palermo, Italy, USB Memory, 2013.8.29.
- [11] Any Wahyuni, Yuzuru Miyata, “The Impact of CO2 Emissions Policy on the Economy of Makassar City: A CGE Analysis”, Proceedings of 53rd European Regional Science Conference, Palermo, Italy, USB Memory, 2013.8.29.
- [12] 菅原喬史, 渋澤博幸, 宮田譲, “韓国における次世代自動車生産の経済効果”, 第16回日本環境共生学会学術大会発表論文集, pp.195-202, 2013.9.29.
- [13] Any Wahyuni, Yuzuru Miyata, Hiroyuki Shibusawa, “Economic Impacts of Carbon Tax in Makassar City in Indonesia: A CGE Modeling Approach”, 日本地域学会第50回(2013年)年次大会学術発表論文集, Web Site, 2013.10.13.
- [14] Any Wahyuni, Yuzuru Miyata, Hiroyuki Shibusawa, “The Best Construction of the Regional Road to Support CO2 Emissions Reduction in Critical Area: A Case Study of Maros-Watampone Road”, 日本地域学会第50回(2013年)年次大会学術発表論文集, Web Site, 2013.10.13.
- [15] 上井啓太, 中澤光一郎, 李念, 宮田譲, 渋澤博幸, “次世代自動車によるモーダルシフトの可能性と港湾地域への経済効果に関する研究”, 日本地域学会第50回(2013年)年次大会学術発表論文集, Web Site, 2013.10.13.
- [16] 菅原喬史, 宮田譲, 渋澤博幸, “次世代自動車生産の経済波及効果の分析：韓国産業連関表を用いて”, 日本地域学会第50回(2013年)年次大会学術発表論文集, Web Site, 2013.10.13.
- [17] Any Wahyuni, Yuzuru Miyata, Hiroyuki Shibusawa, “Economic Analysis of the Impact of Carbon Tax on the Economy of Makassar City, Indonesia”, 60th Annual North American Meetings of the Regional Science Association International, Atlanta, USA, 2013.11.13.
- [18] Hiroyuki Shibusawa, Yuzuru Miyata, “Economic Impacts of Hybrid and Electric Vehicles in Japan, China and Korea: Multi - Regional Input-Output Applications”, 60th Annual North American Meetings of the Regional Science Association International, Atlanta, USA, 2013.11.14.
- [19] Yuzuru Miyata, Hiroyuki Shibusawa, “A Computable General Equilibrium Analysis of Electric Vehicle Society in Toyohashi City in Japan”, Proceedings of International Conference of Global Network for Innovative Technology, Penang, Malaysia, pp. 56, 2013. 12.5.
- [20] Shamsunnahar Khanam, Yuzuru Miyata, Megat Johari Megat Mohd Noor, “Sustainable Development Through Environmental-Friendly Vehicle - A CGE Modeling Approach -”,

International Conference on Engineering Education 2013, Madinah, Kingdom of Saudi Arabia, 2013.12.25.

[21]藤井友章, 宮田 譲, 渋澤博幸, “豊橋市における電気自動車普及の環境・経済的応用一般均衡分析”, 平成25年度土木学会中部支部研究発表会, CD-ROM, 2014.3.7.

[22]福田亮秀, 宮田 譲, 渋澤博幸, “インドネシア・マッカサル市における炭素税導入による経済的影響の分析ー応用一般均衡モデルによる分析ー”, 平成25年度土木学会中部支部研究発表会, CD-ROM, 2014.3.7.

【論文】

[1]Any Wahyuni, Yuzuru Miyata, “Public Participation in Selection of the Road Construction by Analytic Hierarchy Process for Supporting of CO₂ Emissions Reduction: A Case Study of Maros-Watampone Road”, IOSR Journal of Humanities and Social Science, Vol.9, No.1, pp.61-70, 2013

[2]Yuzuru Miyata, Any Wahyuni and Hiroyuki Shibusawa, “Economic Analysis of the Impact of CarbonTax on the Economy of Makassar City, Indonesia”, Regional Science Inquiry, Vol.V, No.2, pp.15-31, 2013

4. 渋澤博幸 准教授

【展示会・講演会】

[1]豊橋市大学連携調査研究費補助金 研究成果報告展示会, 豊橋市役所 東館 1階市民ギャラリー, 研究紹介パネル展示, 2013.9.25-30 ,

[2]渋澤博幸, “未来ビークルと港湾の地域経済への影響”, 未来ビークルシティリサーチセンター講演会「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」, 田原文化会館, 2013.11.7

[3]おでかけミニ講座「きがだいがやってくる体験！未来ビークルシティ」, こども未来館ここにこ, ポスター展示, 2013.11.23-24

【学会発表】

[1]Miyata, Y. and Shibusawa, H., “Economic Analysis of Electric Vehicle Society in Toyohashi City Japan -A CGE Modeling Approach-”, 23rd Pacific Conference of the RSAI (PRSCO), Bandung, Indonesia, July 2-4, 2013.

[2]Shibusawa, H., Li, N., Nakazawa, K. and Miyata Y., “Economic Assessment of Environmental Friendly Vehicles -Input-Output Approach-”, 23rd Pacific Conference of the RSAI (PRSCO), Bandung, Indonesia, pp.1-15 (USB Memory), July 2-4, 2013.

[3]菅原喬史, 渋澤博幸, 宮田譲, “韓国における次世代自動車生産の経済効果”, 日本環境共

生学会第16回(2013年)学術大会, 豊橋技術科学大学, pp.1-8, 2013.9.28-29.

- [4]菅原喬史, 洪澤博幸, 宮田譲, “次世代自動車生産の経済波及効果の分析－韓国産業連関表を用いて－”, 日本地域学会第50回(2013年)年次大会学術発表論文集, pp.1-8, 2013.10.12.
- [5]上井啓太, 中澤光一郎, 李念, 宮田譲, 洪澤博幸, “次世代自動車によるモーダルシフトの可能性と港湾地域への影響に関する研究”, 日本地域学会第50回(2013年)年次大会学術発表論文集, pp.1-6, 2013.10.12,
- [6]Wahyuni, A., Miyata, Y., Shibusawa, H., “Economic Impacts of Carbon Tax in Makassar City in Indonesia -A CGE Modeling Approach-”, 日本地域学会第50回(2013年)年次大会学術発表論文集, pp.1-6, 2013.10.14,
- [7]Shibusawa, H., Miyata, Y. and Li, N., “Economic Impacts of Hybrid and Electric Vehicles in Japan and China -Multi-Regional Input-Output Applications-”, 60th NARSC, Atlanta, USA, November 15, 2013.
- [8]Shibusawa, H., Miyata, Y., and Sakurai, K., “Evaluating the Economic Impact of Hybrid and Electric Vehicles in Asia: An Input-Output Application”, 53rd Annual Meeting of the Western Regional Science Association, San Diego, USA, 2014, pp. 1-8, February 18, 2014.

【論文】

- [1]洪澤博幸, 菅原喬史, “ハイブリッド・電気自動車生産の経済効果”, 『環境共生』, Vol.22, pp.28-37, 2013,
- [2]Shibusawa, H. and Xu, Z., “Economic Impacts of Hybrid and Electric Vehicles in Japan and China: National and Multi-Regional Input-Output Applications”, Studies in Regional Science, Vol.42 (2), 2013, pp.271-282.

5. 井上隆信 教授

【展示会】

- [1]おでかけミニ講座「ぎかだいがやって来る 体験！未来ビークルシティ」, こども未来館 ここにこ, 研究紹介パネル展示, 2013.11.23-24.

【国際学会発表】

- [1]Ernawaty Rasul, Takanobu Inoue, Shinichi Aoki, Kuriko Yokota, Yoshitaka Matsumoto, Yoko Okubo, “The influence of freshwater on nutrient characteristics in a semi-enclosed bay”, The 16th International Conference on Diffuse Pollution and Eutrophication, 136-137, 2013

【学会発表】

- [1]稲垣大輔, 井上隆信, 横田久里子, “栄養流出モデルによる梅田川の流入汚濁負荷量の算

定”，第 48 回日本水環境学会年会，2014.

【論文】

- [1]Ernawaty Rasul, Takanobu Inoue, Shinichi Aoki, Kuriko Yokota, Yoshitaka Matsumoto, Yoko Okubo., Djumanto Fitrandi, “Influence of tropical cyclone on the water quality in Atsumi Bay”, Journal of Water and Environment Technology, 439-451, Vol. 11, 2013
- [2]松本嘉孝, 佐川志朗, 井上隆信, 横田久里子, 中村高志, 木曾川中下流域のワンド・タマリの溶存態有機炭素濃度の時空間特性の把握, 陸の水, 7 - 14, Vol. 55, 2013
- [3]Ernawaty Rasul, Takanobu Inoue, Shinichi Aoki, Kuriko Yokota, Yoshitaka Matsumoto, Yoko Okubo, “Nutrient Enrichment and Physical Environmental Effects Caused by Typhoons in a Semi-enclosed Bay”, Journal Ecotechnology Research, Accepted

6. 加藤 茂 准教授

【展示会】

- [1]おでかけミニ講座「ぎかだいがやって来る 体験！未来ビークルシティ」，こども未来館 ここにこ，研究紹介パネル展示，2013.11.23-24.

【学会発表】

- [1]Le Dung Quyen・加藤 茂・Dinh Van Vinh “1981～2011 年における三河湾奥部での高潮発生特性に関する研究”，平成 25 年度土木学会中部支部研究発表会講演概要集，II-6，CD-ROM（2014/3/7，発表予定）
- [2]青木勇介・岡辺拓巳・加藤 茂 “豊川河口干潟における冬季の流動特性と底質の移動，平成 25 年度土木学会中部支部研究発表会講演概要集，II-24，CD- ROM（2014/3/7，発表予定）

【論文】

- [1] 加藤 茂・岡辺拓巳・光山英典・中垣 聡 “着色砂調査と蛍光 X 線分析を併用した河口干潟での土砂移動追跡”，土木学会論文集 B2（海岸工学），Vol.69, I_576-I_580, 2013.

7. 岡辺 拓巳 助教

【展示会】

- [1]おでかけミニ講座「ぎかだいがやって来る 体験！未来ビークルシティ」，こども未来館 ここにこ，研究紹介パネル展示，2013.11.23-24.

【学会発表】

- [1]青木勇介・岡辺拓巳・加藤 茂：豊川河口干潟における冬季の流動特性と底質の移動，平成 25 年度土木学会中部支部研究発表会講演概要集，II-24，CD-ROM（2014/3/7，発表予定）

【論文】

- [1] 加藤 茂・岡辺拓巳・光山英典・中垣 聡：着色砂調査と蛍光 X 線分析を併用した河口干潟での土砂移動追跡，土木学会論文集 B2（海岸工学），Vol.69，I_576-I_580，2013.

8. 章 忠 教授・今村 孝 客員准教授

【展示会等】

- [1]オープンキャンパス，豊橋技術科学大学，C-203，ドライビングシミュレータ，体験学習・機材展示 2013.8.31
- [2]オープンキャンパス，豊橋技術科学大学，D1-403 研究室公開，ドライビングシミュレータ 2013.8.31
- [3]TUT Jr.技術科学教育プロジェクト（時習館 SSH「SS 技術科学」），豊橋技術科学大学，D1-403，体験学習，2013.9.5-6
- [4]おでかけミニ講座「ぎかだいがやってくる 体験！未来ビークルシティ」，こども未来館 ここにこ 体験学習，ドライビングシミュレータ体験，2013.11.23-24

【学会発表】

- [1] 浅川祐樹，章 忠，今村 孝，三宅哲夫，“ドライバの運転中における反応時間計測とその評価”，日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス部門講演会 2013（Robomec2013），pp.2P1-G06(1)-2P1-G06(4)，2013.05.23-24
- [2] 岩本拓馬，今村 孝，章 忠，三宅哲夫，“ハンドルセンサを用いた把持圧力と乗車姿勢の関係解析”・日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス部門講演会，2013（Robomec2013），pp.2P1-G07(1)-2P1-G07(4)，2013.05.23-24
- [3] 今村 孝，荻 智成，Elvin Tiong Chow Lun，章 忠，三宅哲夫，“高校生を対象としたドライビングシミュレータを用いた交通安全教育の試み”，日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス部門講演会，2013（Robomec2013），pp.2P1-P07(1)-2P1-P07(4)，2013.05.23-24
- [4] Zhong Zhang, Yuki Asakawa, Takashi Imamura and Tetsuo Miyake, “Experiment Design for Measuring Driver Reaction Time in Driving Situation”, Proc. of the 2013 International Conference on System, Man and Cybernetics(SMC2013, Manchester), pp.3699-3703, 14-16 Oct, 2013
- [5] Takashi Imamura, Tomonari Ogi, Zhong Zhang and Tetsuo Miyake, “Study of induction and estimation method for driver's intention by using a driving simulator”, Proc. of the 2013

International Conference on System, Man and Cybernetics(SMC2013, Manchester), pp.3322-3326,
14-16 Oct, 2013

- [6] Takashi Imamura, Tomonari Ogi, Elvin Tiong Chew Lun, Zhong Zhang and Tetsuo Miyake,
“Trial Study of Traffic Safety Education for High School Students using Driving Simulator”, Proc.
of the 2013 International Conference on System, Man and Cybernetics(SMC2013, Manchester),
pp.4606-4611, 14-16 Oct, 2013
- [7] 川野友裕, 章 忠, 今村 孝, 三宅哲夫, “両耳聴音源方向定位手法の統合インタフェース
への応用”, 第 56 回自動制御連合講演会, pp.647-650, 2013.11.16-17
- [8] 秋月拓磨, 章 忠, 今村 孝, 高橋弘毅, “軌道アトラクタによる運動時系列の記号化手
法の検討”, 第 56 回自動制御連合講演会, pp.1650-1653, 2013.11.16-17
- [9] 香川亮太, 章 忠, 三宅哲夫, 今村 孝, “交差点右左折時におけるドライバの運転行動
解析”, 計測自動制御学会中部支部オープンラボ・若手研究発表会, 2013.11.28
- [10] 佐々木大慶, 章 忠, 三宅哲夫, 今村 孝, “バス用ドライブレコーダの開発とデータ解
析”, 計測自動制御学会中部支部オープンラボ・若手研究発表会, 2013.11.28
- [11] 石川智規, 三宅哲夫, 章 忠, 今村 孝, “ドライバの視線計測の高精度化”, 計測自動
制御学会中部支部オープンラボ・若手研究発表会, 2013.11.28

【論文】

- [1] Md Rizal Othman, Zhong Zhang, Hajime Suzuki, Takashi Imamura and Tetsuo Miyake,
“Development of A Driver Inattention Detection System Using Dynamic Relational Network”,
International Journal of innovative Computing Information and Control, accepted
- [2] Z. Zhang, H. Ishii, T. Imamura, and T. Miyake, “Development of Real-time Abnormal Sound
Diagnosis System Using Fast Wavelet Instantaneous Correction”, ICIC Express Letters, Part B:
Applications, Vol.5, No.1, pp.201-206, 2014.
- [3] T. Akiduki, Z. Zhang, T. Imamura, and H. Takahashi, “Toward Symbolization of Human Motion
Data --Time-Series Clustering in Symbol Space--”, ICIC Express Letters, Part B: Applications,
Vol.5, No.2, pp.387--392, 2014.
- [4] Tetsuo Miyake, Takuya Matsumoto, Takashi Imamura and Zhong Zhang, “Early Detection of
Drowsiness based on Facial Expressions in Keeping Awake”, ICIC Express Letters, Vol.8, No.2,
pp.591--596, 2014.

9. 金澤 靖 准教授

【展示会等】

- [1] オープンキャンパス 豊橋技術科学大学, ポスター展示, デモ「高齢者の立場になって交
差点を見ると・・・」, 2013.8.31

- [2]豊橋市大学連携調査研究費補助金 研究成果報告展示会, 豊橋市役所 東館 1 階市民ギャラリー, ポスター展示, 全方位カメラを用いた交通弱者のための危険検知システムに関するデモ(09.27) , 2013.9.25-30
- [3]おでかけミニ講座「きがだいがやってくる体験！未来ビークルシティ」, こども未来館ここにこ, ポスター展示, デモ「体験しよう！ここ, わたってあんぜんかな？ しんごう, みえるかな？」, 2013.11.23-24

【学会発表】

- [1]K. Wakiyama, Y. Kanazawa, N. Ohta, “Color image enhancement for dichromats by additive image noise”, 第 16 回 画像の認識・理解シンポジウム(MIRU2013), 国立情報学研究所, 2013.7.30-8.1
- [2]Y. Tanno and Y. Kanazawa, “Image Matching for Repetitive Patterns by Clustering and Transforming in Feature Space”, The 2nd IAPR Asian Conference on Pattern Recognition, Okinawa, Japan, Nov. 5-8, 2013.
- [3]Y. Kanazawa, Y. Sugaya, and K. Kanatani, “Initializing 3-D Reconstruction from Three Views Using Three Fundamental Matrices”, Workshop on Geometric Computation for Computer Vision (GCCV 2013), Guanajuato, Mexico, Oct. 29, 2013.

【論文】

- [1]K. Wakiyama, Y. Kanazawa, N. Ohta, “Color image enhancement for dichromats by additive image noise”, IPSJ Trans. CVA, Vol.5(2013), pp.45–49, June 2013.

10. 櫻井庸司 教授

【展示会・講演会】

- [1]おでかけミニ講座「きがだいがやってくる体験！未来ビークルシティ」, こども未来館ここにこ, ポスター展示, 2013.11.23-24
- [2]櫻井庸司, “リチウムイオン電池の現状と課題”, 未来ビークルシティリサーチセンター講演会「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」, 田原文化会館, 2013.11.7.

【学会発表】

- [1]Ryoji Inada, Koji Kusakabe, Takayuki Tanaka, and Yoji Sakurai, Synthesis and properties of Al-free $\text{Li}_{7-x}\text{La}_3\text{Zr}_2\text{-XTaxO}_{12}$ garnet related oxides, The 19th International Conference on Solid State Ionics (SSI-19), Kyoto, Japan, June 2-7, 2013.

- [2]中西悠太, 政田千彰, 渋川憲太, 東條勝, 稲田亮史, 櫻井庸司, “エアロゾルデポジション法による LiMn_2O_4 厚膜の作製と特性評価”, 日本セラミックス協会第 26 回秋季シンポジウム, 1P K04, 信州大学長野キャンパス, 2013.9.4.
- [3]石田慶一, 木村圭祐, 日下部晃司, 岡田貴之, 工藤翔太, 稲田亮史, 櫻井庸司, “エアロゾルデポジション法による $\text{Li}_{1.5}\text{Al}_{0.5}\text{Ge}_{1.5}(\text{PO}_4)_3$ 厚膜の作製と評価”, 日本セラミックス協会第 26 回秋季シンポジウム, 1P K05, 信州大学長野キャンパス, 2013.9.4.
- [4]高島俊生, 今井雄太, 伊藤龍太, 成美憲吾, 稲田亮史, 櫻井庸司, “カーボン被覆を施した $\text{Ti}_2\text{Nb}_{10}\text{O}_{29}$ 負極材料の特性評価”, 日本セラミックス協会第 26 回秋季シンポジウム, 1P K06, 信州大学長野キャンパス, 2013.9.4.
- [5]川尻修平, 末留春生, 前田伸明, 歌川正博, 稲田亮史, 辻川知伸, 櫻井庸司, “粒子-集電体一体型微小電極によるリチウムイオン電池電極用材料の単粒子測定”, 第 54 回電池討論会, 3F14, 2013.10.9.
- [6]杉浦洋介, 前田伸明, 吉岡雄太郎, TOULEE YANGXIAISY, 稲田亮史, 辻川知伸, 櫻井庸司, “カルシウムイオン電池用 Ca_xCoO_2 正極の合成および特性”, 第 54 回電池討論会, 3C13, 2013.10.9.
- [7]前田伸明, 杉浦洋介, Mohamad Syahjaril bin Hasanoor, 押田憲幸, 稲田亮史, 櫻井庸司, “マグネシウムイオン電池用 $\text{Mg}_{0.5}\text{CoO}_2$ 正極材料の合成および特性評価”, 第 54 回電池討論会, 3C01, 2013.10.9.
- [8]高島俊生, 今井雄太, 成美憲吾, 稲田亮史, 櫻井庸司, “ $\text{Ti}_2\text{Nb}_{10}\text{O}_{29}$ 負極材料のレート特性向上に関する検討”, 第 54 回電池討論会, 1D06, 2013.10.7.
- [9]大木秀晃, 小林直登, 南出大旺, 稲田亮史, 櫻井庸司, “リチウムイオン電池用グラファイト負極の局所電位計測に関する基礎検討”, 第 44 回中部化学関係学協会支部連合秋季大会, 2B03, 静岡大学浜松キャンパス, 2013.11.2-3.
- [10]小林直登, 岩井辰也, 大木秀晃, 南出大旺, 稲田亮史, 櫻井庸司, “リチウムイオン電池用グラファイト負極上に析出したリチウムデンドライトの経時変化”, 第 44 回中部化学関係学協会支部連合秋季大会, 2B02, 静岡大学浜松キャンパス, 2013.11.2-3.
- [11]谷原健吾, 福田健人, 石原侑樹, 田和速人, 稲田亮史, 櫻井庸司, “カルシウムイオン伝導性 $\text{Ca-}\beta$ ” アルミナの合成およびその電極応用に関する検討”, 第 44 回中部化学関係学協会支部連合秋季大会, 1B04, 静岡大学浜松キャンパス, 2013.11.2-3.
- [12]Mohamad Syahjaril Hasanoor, 谷原健吾, 押田憲幸, 稲田亮史, 櫻井庸司, “マグネシウムイオン電池用合金系負極の合成および評価”, 第 44 回中部化学関係学協会支部連合秋季大会, 1B02, 静岡大学浜松キャンパス, 2013.11.2-3.
- [13]Kenta Shibukawa, Ryoji Inada and Yoji Sakurai, “Characterization of As-deposited $\text{Li}_4\text{Ti}_5\text{O}_{12}$ Thick Film Electrode by Aerosol Deposition Method”, ACEPS-7, 1P-08, Osaka, Japan, Nov. 24-27, 2013.

- [14]Ryoji Inada and Yoji Sakurai, “Research and Development of All-Solid-State Lithium-Ion Batteries” , IGNITE-2013, Penang, Malaysia, Dec. 5, 2013.
- [15]石原侑樹, 谷原健吾, 田和速人, 稲田亮史, 櫻井庸司, “カルシウムイオン電池用チタン酸化物系負極の合成および特性”, 平成 25 年度日本セラミックス協会東海支部学術研究発表会, C17 , 名城大学, 2013.12.7
- [16]吉岡雄太郎, Mohamad Syahjaril bin Hasanoor, 杉浦洋介, TOULEE YANGXAI SY, 稲田亮史, 櫻井庸司, “カルシウムイオン電池用 CaV_2O_5 正極の表面修飾効果”, 平成 25 年度日本セラミックス協会東海支部学術研究発表会, C18 , 名城大学, 2013.12.7
- [17]木村圭祐, 岡田貴之, 稲田亮史, 櫻井庸司, “固相法によるリチウムイオン伝導性ペロブスカイト構造 $\text{Li}_3/8\text{Sr}_7/16\text{Ta}_3/4\text{Zr}_1/4\text{O}_3$ の合成と評価”, 平成 25 年度日本セラミックス協会東海支部学術研究発表会, C19 , 名城大学, 2013.12.7
- [18]日下部晃司, 工藤翔太, 稲田亮史, 櫻井庸司, “リチウムイオン伝導性ガーネット構造 $\text{Li}_7\text{-xLa}_3\text{Zr}_2\text{-xTa}_x\text{O}_{12}$ の合成と特性評価”, 平成 25 年度日本セラミックス協会東海支部学術研究発表会, C20 , 名城大学, 2013.12.7
- [19]石田慶一, 稲田亮史, 櫻井庸司, “エアロゾルデポジション法による $\text{Li}_{1.5}\text{Al}_{0.5}\text{Ge}_{1.5}(\text{PO}_4)_3$ 厚膜の作製と評価”, 平成 25 年度日本セラミックス協会東海支部学術研究発表会, C23, 名城大学, 2013.12.7
- [20]政田千彰, 中西悠太, 東條勝, 稲田亮史, 櫻井庸司, “エアロゾルデポジション法による $\text{LiNi}_{0.5}\text{Mn}_{1.5}\text{O}_4$ 厚膜の作製と評価”, 平成 25 年度日本セラミックス協会東海支部学術研究発表会, C24 , 名城大学, 2013.12.7

【学術論文】

- [1]Ryoji Inada, Koji Kusakabe, Takayuki Tanaka, Shota Kudo, Yoji Sakurai, "Synthesis and properties of Al-free $\text{Li}_{7-x}\text{La}_3\text{Zr}_2\text{-xTa}_x\text{O}_{12}$ garnet related oxides", Solid State Ionics, in press, 2013.
- [2]Ryoji Inada, Kenta Shibukawa, Chiaki Masada, Yuta Nakanishi and Yoji Sakurai, “Characterization of as-deposited $\text{Li}_4\text{Ti}_5\text{O}_{12}$ thin film electrode prepared by aerosol deposition method” , J. Power Sources, 253, 181-186 , 2014.

11. 大平孝 教授

【展示会 ・ 講演会】

- [1] 電子情報通信学会東海支部 第二回一般講演会, 豊田工業高等専門学校, Jun. 21, 2013.
- [2]オープンキャンパス, 豊橋技術科学大学, デモ (EVER の実演等), 研究紹介パネルの展示, Aug.31,2013
- [3] さかい IPC 環境ビジネス研究会セミナー, 堺市産業振興センター, Oct.17,2013.

- [4] Microwave Exhibition, Pacifico Yokohama, デモ (EVER の実演等) , 研究紹介パネルの展示, Nov. 27-29, 2013.
- [5] 大平 孝, “未来の電気自動車”, 未来ビークルシティリサーチセンター講演会「サステナブルな社会における未来ビークルシティ事業」, 田原文化会館, Nov. 7, 2013.
- [6] お出かけミニ講座「ぎかだいがやってくる 体験！未来ビークルシティ」, こども未来館ここに, 研究紹介パネルの展示, Nov. 23-24, 2013,
- [7] あいち ITS ワールド 2013, ポートメッセなごや(名古屋国際展示場), Dec. 12-15, 2013.

【学会発表】

- [1] 鈴木 良輝, 鳥井 俊宏, 坂井 尚貴, 大平 孝, "電化道路電気自動車 EVER 実証実験", ワイヤレス・テクノロジー・パーク, 横浜, 2013-05.
- [2] 坂井尚貴, "「1G:石炭 2G:石油 3G:電池」に続く第4世代自動車", NE ジャパン ワイヤレス・テクノロジー・アワード 2013 記念講演, 東京国際展示場, May 2013.
- [3] 一瀬 健人, 南 昂孝, 大平 孝, “BJT コルピッツ発振器の発振条件及びQファクタ解析,” 信学ソ大, C-2-7, Sept. 2013.
- [4] 南 昂孝, 一瀬 健人, 大平 孝, “伝送線路帰還発振回路における FET 電圧増幅率と Q ファクタ,” 信学ソ大, C-2-8, pp.33, Sept. 2013.
- [5] 山田 恭平, 大平 孝, "負荷変動に対して定変圧比となるトランスレス変圧器の提案, " 2013 信学ソ大 (通信), 分冊 2, no.B-9-3, p.202, Sept. 2013.

【学術論文】

- [1] Takashi Ohira, "Power efficiency and optimum load formulas on RF rectifiers featuring flow-angle equations" IEICE Electronics Express, ELEX, vol. 10, no. 11, pp.1-9, June 2013.
- [2] 大平 孝, “疑似線形理論による発振回路注入同期現象の定式化-紙と鉛筆でロックレンジと Q ファクタを探索する-,” 信学論 C, vol. J96-C, No.12, pp. 454-462, 2013.
- [3] 大平 孝, “電化道路電気自動車”, 自動車技術, 特集:進化する道路関連技術, vol. 67, no. 10, pp. 47-50, Oct. 2013.

【国際会議】

- [1] Yuri Kitagawa, "Prototype RF Inverter for 1/10 Scale EVER", IEEE AP/MTT-S Midland Student Express 2013 Spring, S2-1, Nagoya, April 2013.
- [2] Takumi Honda, "Electromagnetic Analysis on a Basic Model for Via-Wheel Power Transfer", IEEE AP/MTT-S Midland Student Express 2013 Spring, S2-2, Nagoya, April 2013.
- [3] Takashi Ohira, "No Oil, No Coil, Just V-WPT", IEEE Distinguished Microwave Lecture, Perugia, May 2013.

- [4] Takashi Ohira, "Challenge for 4G Mobility", IEEE Distinguished Microwave Lecture, Rome, May 2013.
- [5] Takashi Ohira, "Via-Wheel Power Transfer to Vehicles in Motion (special talk and exhibition)", IEEE Wireless Power Transfer Conference, WPTC2013, pp.242-246, Perugia, May 2013.
- [6] Minoru Mizutani, Mondo Aoyama, and Takashi Ohira, "Real-Time Load Tracking Circuit for Wireless Transfer System," Interdisciplinary Research and Global Outlook Conference 2013, p.83, Aichi, Japan, Oct 2013.
- [7] Kyohei Yamada, Takanari Minami, Sonshu Sakihara, Tuya Wuren and Takashi Ohira, "Injection-locking-range estimation based on Q factor and experimental verification for Hartley oscillator," Interdisciplinary Research and Global Outlook Conference 2013, p. 84, Aichi, Japan, Oct. 2013.
- [8] Takashi Ohira, "Circuit Q Factor as a Basic But Still Ambiguous Index for Resonators and Oscillators," EuMA European Microwave Doctoral School, Nuremberg, Germany, Oct 2013.
- [9] Takashi Ohira, "Basic circuit theory for emerging RF power conversion in future smart grid systems", IEEE Distinguished Microwave Lecture, pp.1-6, Bangkok, Dec. 2013.
- [10] N. Sakai, Y. Suzuki, T. Torii, Y. Kitagawa, and T. Ohira, "Electric Vehicle on Electrified Roadway Maquette Demonstrator," International Conference of Global Network for Innovative Technology 2013, page 1, Penang, Malaysia, Dec. 2013.
- [11] Kento Ichinose, "Active Q-factor Estimation and Phase Noise Measurement on Transmission Line Feedback BJT Oscillators", IEEE AP/MTT-S Midland Student Express 2013 Autumn, S6-3, Kanazawa, Dec. 2013.

【技術報告】

- [1] 大平 孝, "高周波整流回路の最適負荷と電力効率の理論式: 半波および全波流通角方程式の導出と活用", 信学技報, vol. 113, issue 70, MW2013-10, pp.1-6, May 2013.
- [2] 佐藤 翔一, 水谷 豊, 坂井 尚貴, 大平 孝, "リアルタイム負荷追従インピーダンス自動整合回路の提案", 信学技報, vol. 113, no. 204, MW2013-92, pp.23-28, Sep. 2013.
- [3] 南 昂孝, 大平 孝, "[特別講演] 平行平板シリースタブと伝送線路ループによる立体的なマイクロ波帯バンドパスフィルタ", 信学技報, vol. 113, no. 110, MW2013-29, pp.1-4, June 2013.

【表彰】

- [1] 波動工学研究室「日経エレクトロニクス読者賞」NE ジャパン・ワイヤレス・テクノロジー・アワード 2013.05.21.

- [2] 波動工学研究室「MWE2013 大学展示優秀発表賞」Microwave Workshop Exhibition 2013, 2013.11.29.

【報道】

- [1] Establishing basic formulas for squeezing wireless energy from radio frequency systems, phys.org, 25 Sept. 2013 [<http://phys.org/news/2013-09-basic-formulas-wireless-energy-radio.html>].

12. 後藤尚弘 准教授

【展示会】

- [1]オープンキャンパス 豊橋技術科学大学 電動アシストつき自転車デモ、研究紹介パネル展示, 2013.8.31
- [2]豊橋市大学連携調査研究費補助金 研究成果報告展示会, 豊橋市役所 東館 1階 市民ギャラリー, ポスター展示, 2013.09.25-30,
- [3]お出かけミニ講座「ぎかだいがやって来る 体験！未来ビークルティ」, こども未来館 ここにこ, 研究紹介パネル展示, 2013.11.23-24

【学会発表】

- [1]後藤尚弘, 豊橋市における電動二輪車導入のための長期モニタリング調査, 環境共生学会地域シンポジウム, 2013, 東京
- [2]Pasan Dunuwila and Naohiro Goto, Study of factors affecting on public intentions and behaviors toward the usage of bicycle-styled electric bicycles in japan, 土木学会中部支部研究発表会, 2014, 岐阜

5. ドライビングシミュレータの活用と交通安全啓蒙活動

機械工学系 章 忠, 三宅 哲夫, 今村 孝

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

(1) ドライビングシミュレータ環境の概要

当研究室では、2006 年より各種計測技術や関連研究成果の安全運転支援応用を目的とし、関連研究における運転行動計測のプラットフォーム、および、各種計測システムの実装検証対象としてドライビングシミュレータを導入してきた。これらは、当初導入した三菱プレシジョン製 DS-6000（主に、自動車教習所などにおける危険予知訓練用）、およびフォーラムエイト製 UC-Win/Road（主に、都市計画、運転環境検証用）を利用したシミュレータシステムの合計 3 台である。特に、2012 年度末には、図 1（b）に示すように、前方・側方の合計 3 面のスクリーンと運転席周辺装備を含むシミュレータ装置を導入し、より臨場感の高い運転シミュレーションが実現できるようになった。これらを本学研究実験棟 D1 棟 403 号室に集約し、整備した。



(a) 三菱プレシジョン製 DS-6000



(b) フォーラムエイト製 Compact Research Simulator



(c) UC-Win/Road 対応 簡易シミュレータ

図 1 当研究室の保有するドライビングシミュレータ

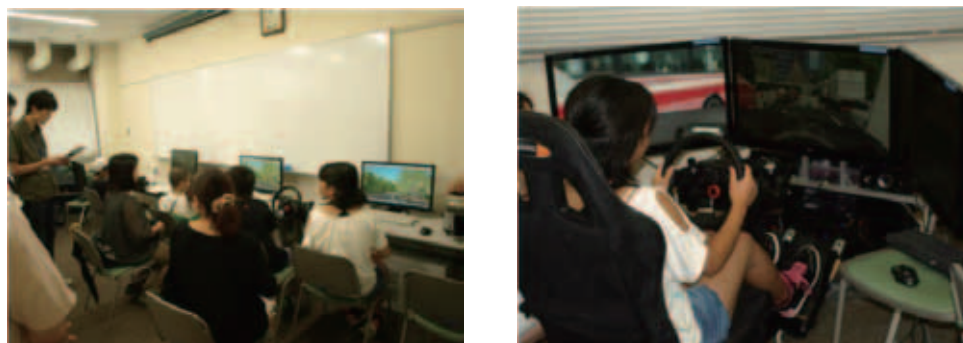
以上のシステムを用いて、本報告6章記載の研究活動を行うとともに、以下で報告する各種イベントや研究紹介等でより多くの方へ運転体験環境を提供した。

(章 忠, 三宅 哲夫, 今村 孝, 荻 智成, Elvin Tiong Chew Lun)

(2) 適用事例1：オープンキャンパスにおける体験学習講座の開講

例年開催している本学オープンキャンパス(平成25年8月31日開催)の体験学習講座として、「車とまちづくりの仮想体験」を実施した。これは、(1)に記載したUC-Winならびにその簡易シミュレータを用いた体験学習であり、親子もしくは若年層を対象にした都市環境を題材とした交通安全の認識・啓蒙を目的としたものであり、昨年の実施状況とアンケート調査結果を踏まえて、内容の改善を図り実施した。その実施状況を図2に示す。

まちづくり体験は1時間を1回とし、1回あたり3組、計4回のべ12組が参加した。体験者には、昨年同様に体験学習修了証、エコドライブ診断書を配布し、非常に好評であった。



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

図2 オープンキャンパス体験学習の様子

前年度からのリピータも参加者に含まれており、同様の体験学習への要望の高さが感じられる。このような興味関心の高さを通じて交通安全への啓蒙を実施することで、その効果が高められることが期待できる。

(章 忠, 松尾幸二郎, 今村 孝, 荻 智成, Elvin Tiong Chew Lun, 浅川 祐樹, 香川 亮太)

(3) 適用事例2：時習館高校 SS 技術科学講座の開講

例年開催している時習館高校サイエンスパートナーシッププログラム SS 技術科学 実験実習講座(平成25年9月5, 6日)において「交通安全支援技術の体験」を開講した。これは、10名の受講学生を対象に2日間にわたり開講するもので、(1)に記載した各シミュレータ機材を用いて、事故の仮想体験や日常の交通環境における危険体験を集約し、シミュレータによる改善効果の検証を目的とした。その実施状況を図3に示す。

本講座では、まず自動車の仕組みに加え、近年の安全運転支援技術の開発動向を、各社の Web やビデオを用いて説明した。また、豊橋市内の主に交差点における交通事故の発生状況や様態を

説明し、通学などの生活行動と交通事故との関連性を説明した。その後、演習を開始し、各自に図1(a)のDS-6000の危険予測体験プログラムで運転や事故の体験をさせるとともに、UC-Winの基本操作を習得させた。その後、独自の交通危険体験の解析方法を適用し、交通安全を指向したまちづくりの改善計画を立案させた。各自の改善計画は2人一組でコンピュータ上のシミュレーション環境にて実現させた。最終的には、その改善効果を自身あるいは他者による運転により評価した。改善計画の立案から評価の過程は、「評価検討シート」に記述させ、また参加学生と講師間で可視化・共有しながら、改善方法の抽出と具体化を段階的に実施する手法を用いた。



図3 SS 技術科学 実験実習講座の実施状況

本講座の受講者はいずれも運転免許取得前の若年層であるが、シミュレーションを行うことで、自動車運転への興味を喚起する効果が期待できる。受講後の学生アンケートからも、希望進路の文理にかかわらず、興味、関心をもって取り組めたとの回答が多く、好評であった。

なお、本講座受講者に対して昨年度より実施している、追跡アンケート結果をもとに、講座終了後の交通安全意識等の持続性について評価を試みた。その結果を、国内・国外の学会にて発表し、教育機材としてのシミュレータ活用実績とした。今後継続して、同様の講座に実施するとともに改善を加えながら、より高い交通安全教育効果を目指していきたい。

(今村 孝, 松尾幸二郎, 荻 智成, Elvin Tiong Chew Lun, 岩本 拓馬, 香川 亮太)

(4) おでかけミニ講座「きがだいがやってくる体験！未来ビークルシティ」での参加

豊橋市民へ向けた研究・教育活動の公開を目的に、表記イベントを平成25年11月23、24日の両日に、豊橋市 こども未来館こここにて開催した。本研究グループでは、本章(2)にて挙げたドライビングシミュレータを用いた体験学習と体験試乗会を開催した。

会場としたこども未来館は、未就学児や小中学生を対象とした体験機材・施設の開放や、高校生等が自由に学習などを実施できるスペースを備えている。そのため比較的低年齢層の参加が見込まれた。ドライビングシミュレータを用いた体験学習には、2日間で15組の親子グループが参加し、また体験試乗会には、2日間でのべ339名の参加があり、非常に好評であった。

また、豊橋市にて交通安全教育や体験学習を実施している、交通児童館からも関係職員3名が来場し、ドライビングシミュレータを用いた交通安全教育に関して情報交換・意見交換を行った。

今後、同様に交通安全に関連する施設等と連携しながら、よりよい安全啓蒙活動が実施できることを期待している。

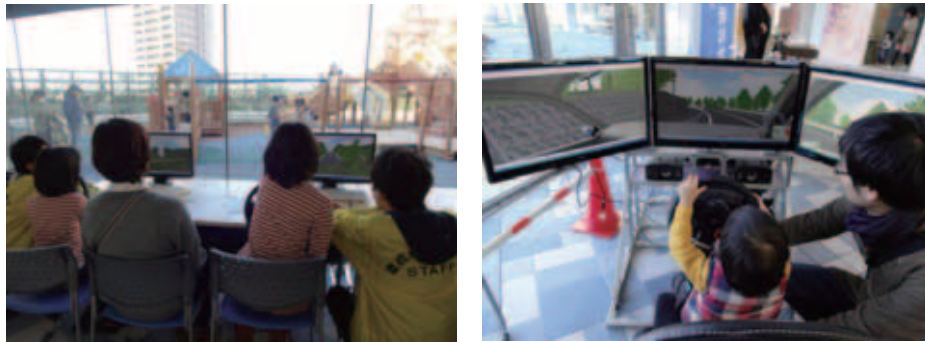


図4 こども未来館 ここにこでの出展の様子

(今村 孝, 松尾幸二郎, 荻 智成, Elvin Tiong Chew Lun,
浅川 祐樹, 岩本 拓馬, 香川 亮太, 山中 将暢)

(5) あいち ITS 大学セミナーの開講

愛知県を中心に高度道路交通システム（ITS）に関する啓蒙を図っている、愛知県 ITS 推進協議会では、各大学向けに表記のセミナーを開催している。本学では、平成 21 年度よりこの活動に参加し、学内の計測技術に関連する講義時間を提供して、毎年セミナーを開講している。本年度は、平成 25 年 12 月 16 日に以下の内容にてセミナーを開講した。

本大学セミナーは、企業の ITS（高度道路交通システム）の関連開発担当者を講師に招き、ITS の解説ならびに、国土交通省受託事業など ITS に関する事例紹介等を行うものである。本年度は、機械工学課程 3 年次 計測工学の受講生を中心に、学内の関連研究室から 70 名近くの学生が参加して、本セミナーを開講した。本年度は、飯田 眞喜男 氏（株式会社デンソー I C 技術 1 部 担当次長）を講師にお招きし、「ITS と次世代自動車を支える半導体技術」と題して講義をして頂いた。講義内容としては、先進安全自動車などの実現に必要不可欠なカメラ、センサなどを構成する半導体素子に関連する技術革新を中心に、これらを応用した、ITS による安全で快適な道路・交通環境の構築事例やカーナビゲーションなどの応用技術、またそれらの未来像を、ビデオを交え 100 枚におよぶスライドでご説明頂いた。終了後は、受講学生から自動車の安全機能のあり方、やスマートフォンなどの携帯情報端末機器と車との関係など、活発な質疑があり、それに対して丁寧に回答頂いた。

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



図5 あいち ITS 大学セミナー開講の様子

(章 忠, 今村 孝)

豊橋技術科学大学

自動車研究部

TUT FORMULA

2013 シーズン活動報告書



目次

1	はじめに	1
2	全日本学生フォーミュラとは.....	1
2-1	大会概要	1
2-2	大会理念	1
2-3	主要ルール	1
3	大会結果	2
3-1	審査内容	2
3-2	各審査結果	2
3-3	大会を終えて	3
4	TG08 の紹介	3
4-1	車輛概観	3
4-2	主要諸元	3
4-3	技術解説	4
5	TUT FORMULA の活動実績	6
6	スポンサー紹介	7
7	ファカルティアドバイザーより	8
8	チーム代表挨拶	8

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, 2013 年 9 月 3 日から 7 日に静岡県小笠山総合運動公園エコパにて開催された, 自動車技術会主催『第 11 回 全日本学生フォーミュラ大会』に参加しました。大会の結果, および今年度の活動について報告致します。

2 全日本学生フォーミュラとは

2-1 大会概要

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

2-2 大会理念

- ・ ものづくりの機会を提供することによって, 大学・高専等の工学教育活性化に寄与する。
- ・ 学生自らがチームを組み約 1 年間でフォーミュラスタイルの小型レーシングカーを開発・製作することによって, 学生がものづくりの本質やそのプロセスを学び, ものづくりの厳しさ・おもしろさ・喜びを実感する。
- ・ 競技会では, 走行性能だけでなく, 車両のマーケティング, 企画・設計・製作, コスト等のも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こと。
- ・ 総排気量 610cc 以下の, 4 ストロークガソリンエンジンを使用すること。
- ・ 直径 20mm 以下の吸気リストリクタを装着すること。
- ・ 加速, 旋回, 耐久イベントによる走行性能審査(動的審査)と設計やコストなどの審査(静的審査)を行い, 各チームが得点を競う。
- ・ 安全面については, 厳格で緻密なルールが定められている。
- ・ 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も許されない。

3 大会結果

3-1 審査内容

第11回全日本学生フォーミュラ大会では、海外9チームを含む合計78チームが参加しました。

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

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

3-2 各審査結果

表 3-2-1 各審査結果

競技種目	競技内容	得点／満点	順位
コスト	車両を製造する際のコストを計上し、その正確さ、妥当性などが審査されます。	36.33 / 100pt	22 位
デザイン	車両の外観ではなく、Design という言葉の本来の意味である設計のことをいい、各部の設計が妥当であるかが審査されます。	104.0 / 150pt	9 位
プレゼンテーション	設計した車両の販売を想定した販売戦略のプレゼンテーションが審査されます。	60.0 / 75pt	4 位
アクセラレーション	0-75m の加速性能を競います。	67.40 / 75pt	3 位
スキッドパッド	8 の字コースを走り、左右の円での車両の旋回性能を競います。	12.70 / 50pt	30 位
オートクロス	1 周約 800m のストレート・コーナー・スラローム・シケインからなるコースを走行し、総合的な走行性能を競います。	127.47 / 150pt	8 位
エンデュランス	1 周約 1km のコースを 10 周ずつ、2 人のドライバーが交代で走る耐久走行です。	180.01 / 300pt	21 位
燃費	エンデュランス完走時に使用した燃料を競います。	8.23 / 100pt	39 位
総合		596.14/1000pt	10 位

3-3 大会を終えて

今シーズンは過去 8 年間において最も早く、7 月中旬にシェイクダウンを行い、試走を重ねることで問題点の洗い出しやセッティングを行いました。また、例年と同様に模擬車検で車輛の問題点の把握を行い、指摘された箇所を修正して大会に臨みました。それにより、大きなトラブルもなく技術車検を無事に通過し、4 年ぶりに全競技参加・完走するとともに、昨年度から総合得点を大きく伸ばし、目標である総合成績 10 位以内を達成することができました。また、加速性能賞 3 位、最軽量化賞 3 位、自動車工業会会長賞をいただくことができました。

4 TG08 の紹介

4-1 車輛概観

図 4-1-1 に第 9 回全日本学生フォーミュラ大会参戦車輛 TG08 の概観を示します。
車輛の設計に約 5 ヶ月、製作に約 5 ヶ月を費やしました。



図 4-1-1 大会にて走行する TG08 (左) および TG08 3D CAD モデル (右)

4-2 主要諸元

表 4-2-1 主要諸元

全長 / 全高 / 全幅	2930mm / 1125mm / 1210mm
ホイールベース	1550mm
トレッド 前/後	1210mm / 1110mm
最低地上高	35mm
車輛質量	180kg
エンジン	HONDA PC37E (CBR600RR)
最大出力 (クランク軸出力補正值)	78.4ps / 11000rpm
最大トルク	5.4kgf-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

2013 シーズン車輦 TG08 のコンセプトは“コーナー脱出速度の向上”です。2012 シーズンに引き続き、2013 シーズンでもコース走行に重点を置いた車輦作りを行いました。これまで私たちが製作してきた車輦は、加速性能を競うアクセラレーション競技では比較的上位に入っていますが、旋回性能が求められるスキッドパッド・オートクロス・エンデュランスでの成績は高くありませんでした。また、年々コースがテクニカルになっていることから、動的競技で上位に入るためにはコーナーでのタイム向上が必要不可欠であると考えました。そこで私たちはステップアップとしてコーナーの脱出速度に注目し、車輦コンセプトを“コーナー脱出速度の向上”としました。また、このコンセプトを達成するために、“軽量化”，“駆動力の向上”，“限界旋回 G の向上”の3点からアプローチを行いました。

- ・ カーボンモノコックシャシ

軽量で高剛性な車体を実現するために、過去5年間の車輦同様、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。大会での車検基準が変更されたことで昨シーズン車輦 TG07 に比べて大きくなりましたが、これまで培ってきた炭素繊維複合材料に関する知識・経験を活かして積層構成の変更や肉抜きなどを行い、TG07 のねじり剛性値を保ったままで 580g の軽量化を達成しました。

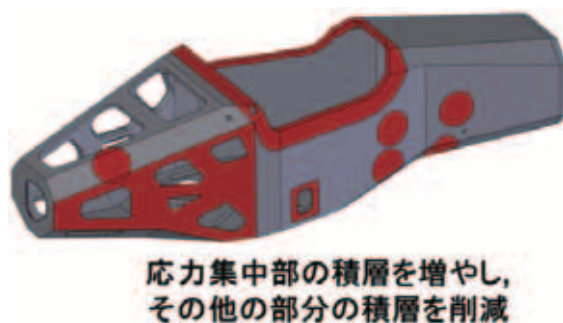


図 4-3-1 モノコックシャシに関する改善

- ・ パワートレイン

TG07 と同じく、Honda CBR600RR のパワーユニットである PC37E を搭載しました。コーナー脱出時の駆動力を向上させるために、低速域のトルク向上をねらいに燃料噴射量の調整を行いました。最終減速比についても変更を行い、加速性能を向上させました。

また、LSD のイニシャルトルクを調整することで、コーナー脱出時にエンジンの力を路面に最大限伝えられるようにしました。

さらにラジエータや燃料タンクの容量見直しを行うことで、2.3kg の軽量化を達成しました。

- ・ カーボンホイール

ホイールは回転部品であるため、加速減速性能に大きな影響を与えます。また、車体の中心から離れた位置にあるため、軽量化を行うことでヨー慣性モーメントの低減につながり、操舵性の向上にもつながります。弊部では炭素繊維強化プラスチック（CFRP）を使用することで、これまで使用していた軽量アルミ鍛造ホイールに比べて 40%軽量のホイールを設計・製作しました。2011 シーズンに計画が始まって以来、試験用ホイールを製作して強度試験を行うなど、地道に積み重ねを行ってきました。そしてついに今シーズン、4 輪に装着して大会で走行することができました。

4 輪にカーボンホイールを装着して大会で走行したのは、弊部が日本初となりました。



図 4-3-2 カーボンホイール（左：タイヤ装着前，右：タイヤ装着後）

- ・ タイヤ

2013 シーズンではタイヤを Hoosier R25B 20.5×7.0 - 13 へと変更しました。このタイヤは 学生フォーミュラに適しており、車輛の性能向上および大会での成績向上につながりました。

また、昨シーズン使用していたタイヤよりも 1 本あたり 1.7kg 軽量であり、結果として 4 本で 6.8kg の軽量化を達成しました。

- ・ サスペンション

TG08 では TG07 のジオメトリを流用することで設計期間を短縮し、調整期間を例年よりはるかに長く確保しました。また、加速度センサを搭載することで車輛の限界旋回 G を計測し、セッティングによる限界旋回 G の向上を確認することができました。

- ・ カウル

今シーズンからの試みとして、静岡文化芸術大学と共同でデザインチームを立ち上げ、車体外装のデザインについて検討を行いました。理詰めだけではない、いわゆる「感性」を大事にしたデザインを導入し、そのうえで機関冷却性能や空力性能といった機能性を失うことのないように、解析などを用いて形状を調整しました。結果として、車輛の魅力を高めることができました。

5 TUT FORMULA の活動実績

表 5-1 に 2013 シーズンの主な活動内容を示します。

表 5-1 2013 シーズンの活動内容

日付	車輦・活動
2012 年 10 月	・ 新体制発足 ・ 技科大祭にて車輦展示とデモ走行を実施
11 月	・ スポンサー様への大会結果報告 ・ 東三河ものづくり博にてブース展示 ・ 鈴鹿サーキットにて車輦展示とデモ走行を実施 ・ 日産サポート講座に参加 ・ 車輦設計（～3 月末）
12 月	・ 四輪駆動車試乗会に参加 ・ カーボンホイール強度試験を実施
2013 年 1 月 ～3 月	・ 設計会議 ・ 図面作成，部品製作開始
4 月	・ 新入部員入部
5 月	・ 車輦安全性証明書類の作成，提出 ・ ものづくりセミナーを実施 ・ みんなで宇宙開発をしよう！2013 にて講演
6 月	・ デザインレポートおよびコストレポートの作成・提出
7 月	・ 車輦組立 ・ TG08 シェイクダウン
8 月	・ もてぎ試走会に参加 ・ 大会へ向けての試走，調整，模擬車検の実施
9 月 3 日～7 日	・ 第 11 回全日本学生フォーミュラ大会参戦



6 スポンサー紹介

2013 シーズンにご支援いただいたスポンサー（敬称略）を以下に記します。

資金 支 援	武蔵精密工業株式会社	三菱レイヨン株式会社
	CDS 株式会社	有楽製菓株式会社
	株式会社ユタカ技研	共立産業株式会社
	豊橋技術科学大学 未来ビークルシティリサーチセンター	

物 品 支 援	三菱レイヨン株式会社	株式会社ミスミグループ本社
	日本インシュレーション株式会社	大同 DM ソリューション株式会社
	株式会社豊栄工業	株式会社レント
	三協ラジエーター株式会社	有限会社ツゲプラセス
	ソリッドワークスジャパン株式会社	有限会社ガレージタカハシ
	トピー工業株式会社	株式会社オーファ
	ハンツマン・ジャパン株式会社	NTN 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	ヘンケルジャパン株式会社
	株式会社玉津浦木型製作所	昭和飛行機工業株式会社
	オーエスジー株式会社	三菱マテリアル株式会社
	株式会社サイマコーポレーション	株式会社江沼チエン製作所
	株式会社富士精密	佐藤真空株式会社
	有限会社高木木型	
	豊橋技術科学大学 情報メディア基盤センター	

技 術 支 援	本田技研工業株式会社	株式会社ネクスト
	YSP 豊橋南	株式会社アクロス
	伊藤レーシングサービス株式会社	
	豊橋技術科学大学 研究基盤センター 工作機器部門	

個 人 支 援	中西 利明	OP 会	奥田 裕也	田中 和宏	手塚 康瑛	岡田 隆志	茅野 浩之
	中村 克己		澁江 佑介	本田 祐介	戎野 由展	松本 卓也	高野 大和
	畑内 慎也						

7 ファカルティアドバイザー

豊橋技術科学大学 機械工学系 教授

自動車研究部顧問 兼 ファカルティアドバイザー 柳田 秀記

2013 年は、本学自動車研究部が全日本学生フォーミュラ大会に参戦して 8 年目のシーズンとなりました。本学チームの特色となっているカーボンモノコックボディの設計製作にも磨きがかかり、外観にはあまり変化はありませんが、整備性を向上させた車輻へと進化させました。また、カーボンホイールを 4 輪に搭載するという、これも学生フォーミュラ大会では初めてとなる仕事を成し遂げ、大会では注目を浴びるところとなりました。本学学生のポテンシャルの高さを改めて知らしめてくれたと思います。

2010 年～2012 年の 3 年間は成績が低迷しておりましたが、2013 シーズンは総合 10 位に入るなど、久しぶりに満足できる結果となりました。トップ 5 も視野に入ってきたと思います。新しい体制の下、一段と高い目標を掲げて 2014 年大会に向けてスタートしております。チームワークも良く、目標に到達できることを期待しています。

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

8 チーム代表挨拶

豊橋技術科学大学 機械工学課程 学部 4 年

自動車研究部 2013 シーズン 部長 荒木 悠志

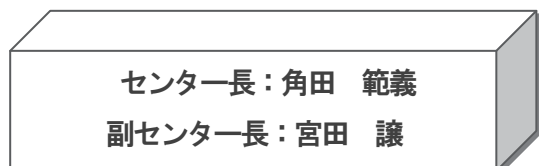
自動車研究部 2013 シーズンの部長を務めました荒木と申します。私たちが全日本学生フォーミュラ大会に参戦して 8 年目となる今年の大会では、4 年ぶりに全種目完走することができ、目標としていた総合成績 10 位という成績を残すことができました。また、日本大会では初めてとなる 4 輪へのカーボンホイール搭載も実現することができました。

私たちは学生フォーミュラ活動を通じて、最先端の技術に触れるとともに、構想から製作までの一貫したものづくりを行い、座学だけでは得ることのできない実践的な経験を積むことができます。今シーズンにおいても、部員ひとりひとりがものづくりの楽しさ、難しさを経験し、成長することができたと思います。これはひとえに皆様のご支援のおかげです。未来ビークルシティリサーチセンター様をはじめ、私たちの活動を支えてくださったスポンサーの皆様、そして一番近くで私たちの活動を見守ってくださった FA の先生方、その他たくさんの皆様のお力添えに厚く御礼申し上げます。現在は第 12 回大会に向けて、新しい体制のもとで次期車輻 TG09 の開発を行なっております。部員一同、学生フォーミュラ活動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、今後とも私たち自動車研究部 TUT FORMULA をよろしくお願い致します。

組織・構成

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

2つの研究コアにそれぞれ複数の分野が設定されています。



低炭素社会と産業育成コア

▷ 自然・エネルギー分野

▷ 物流分野

▷ 環境分野

▷ 都市システム分野

滝川 浩史	電気・電子情報工学系教授
田上 英人	電気・電子情報工学系教授
廣畠 康裕	建築・都市システム学系教授
松尾幸二郎	建築・都市システム学系助教
井上 隆信	建築・都市システム学系教授

加藤 茂	建築・都市システム学系准教授
岡辺 拓巳	建築・都市システム学系助教
宮田 譲	建築・都市システム学系教授
洪澤 博幸	建築・都市システム学系准教授

低炭素社会と安全・安心コア

▷ 安心・安全分野

▷ 自然エネルギー分野

▷ 環境分野

章 忠	機械工学系教授
今村 孝	機械工学系客員教授
金澤 靖	情報・知能工学系准教授
櫻井 庸司	電気・電子情報工学系教授
大平 孝	電気・電子情報工学系教授

角田 範義	環境・生命工学系教授
後藤 尚弘	環境・生命工学系准教授

サステイ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 25 年度研究成果報告書

発 行 平成 26 年 3 月
発行者 国立大学法人豊橋技術科学大学
未来ビークルシティーリサーチセンター
〒441－8580 愛知県豊橋市天伯町雲雀ヶ丘 1－1



国立大学法人 豊橋技術科学大学

未来ビークルシティリサーチセンター

〒441-8580 愛知県豊橋市天伯町雲雀ヶ丘1-1

電話 (0532) 44-6574