

5. 電気バス導入効果

5-1 既存ルートへの電気バス導入効果

(1) はじめに

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

(2) 国内の電気バス導入事例

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

① 富山市

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

② 大阪市

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

表 5-1-1 国内の電気バス導入事例

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

車定員が改造前に比べ減少している。

③ 神奈川市

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

④ 京都市

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

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

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

(3) 導入対象

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

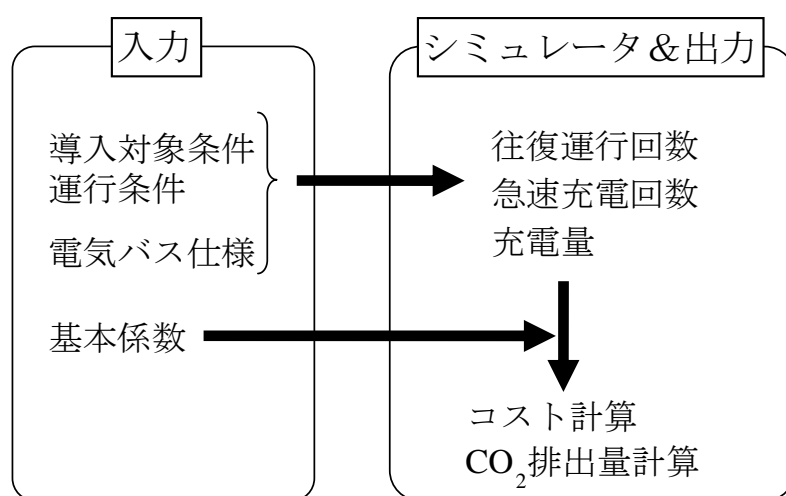


図 5-1-1 シミュレーションの流れ

表 5-1-2 ワンステップグリーンバスと UD トラックス (改) の比較

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

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

(4) シミュレーションモデル

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

表 5-1-3 シミュレーション条件

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

(5) 運行コストおよび CO₂ 排出量の変化

前項の条件の下でシミュレーションを行った結果、次のことがわかった。

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

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

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

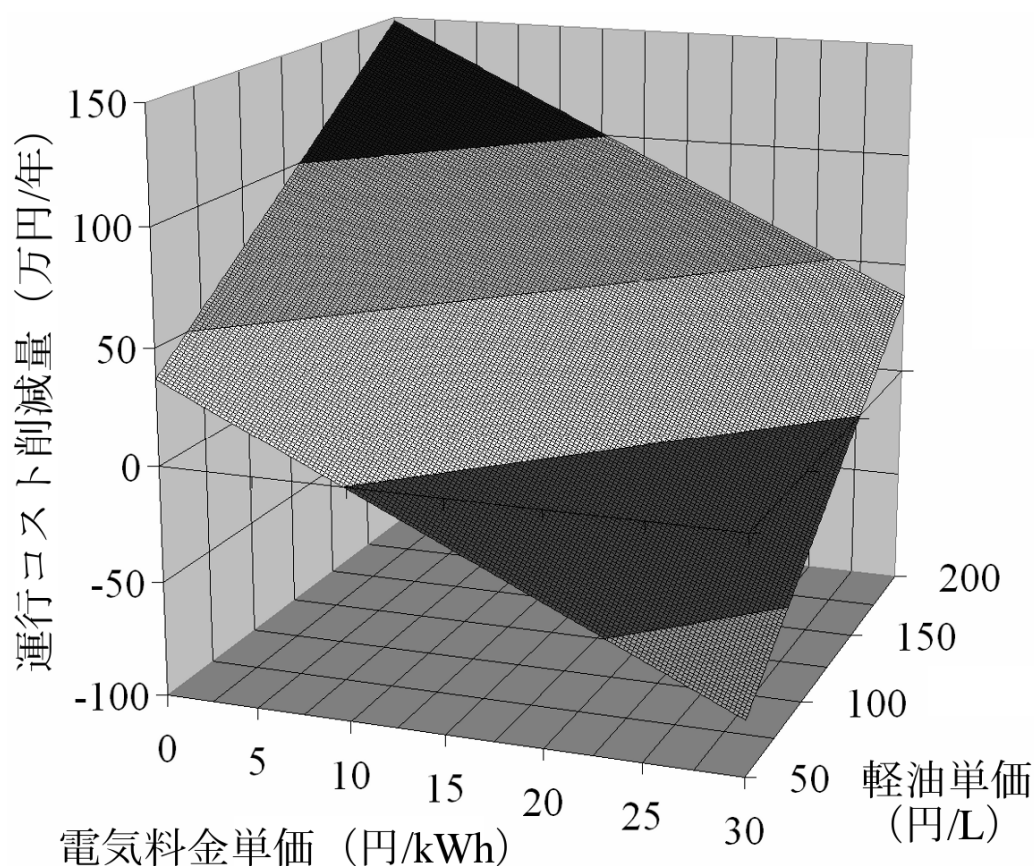


図5-1-2 軽油単価と電気料金から見た運用コスト削減量

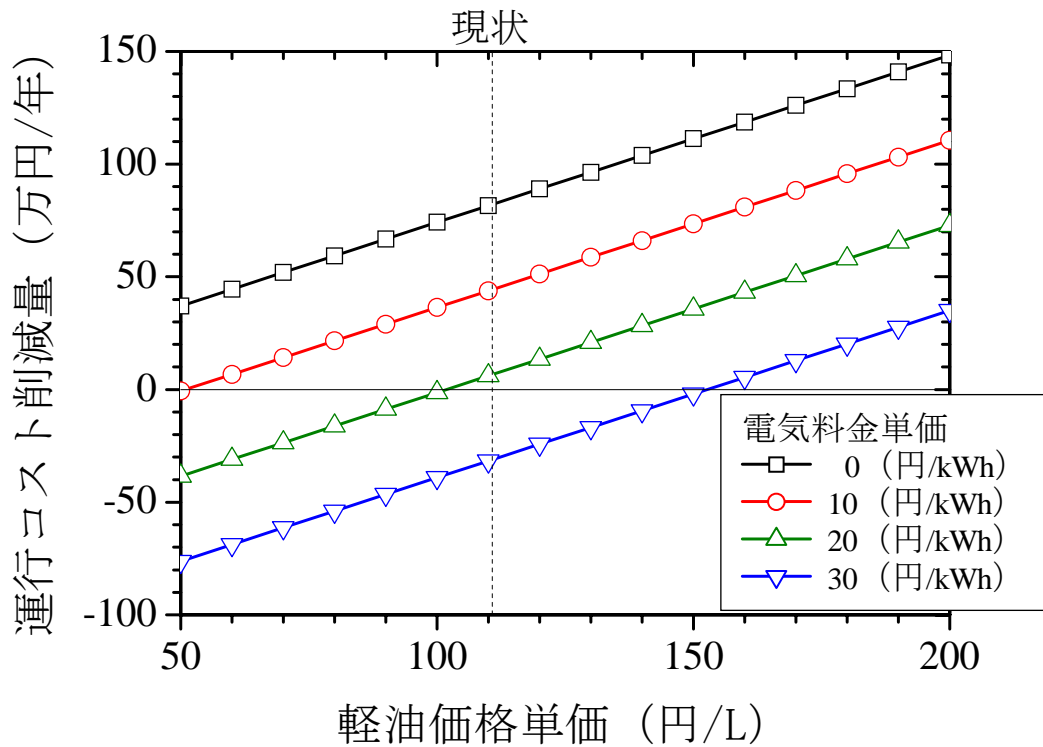


図5-1-3 各電気料金単価における軽油価格と運航コスト削減量の関係

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

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

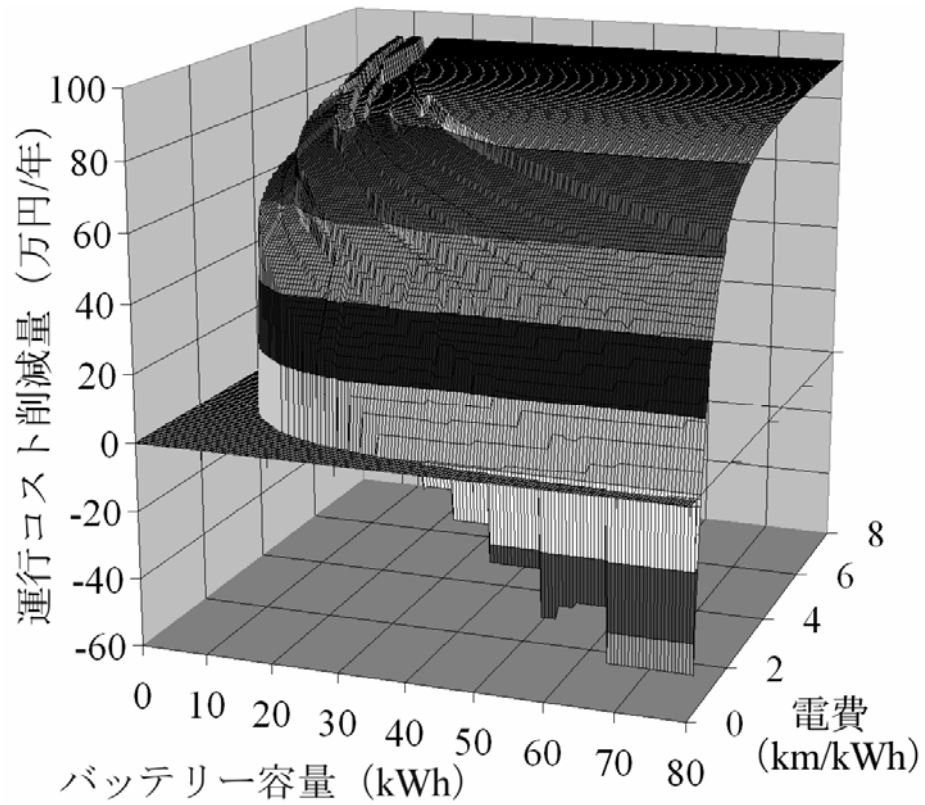


図5-1-4 電費とバッテリー容量から見た運用コスト削減量

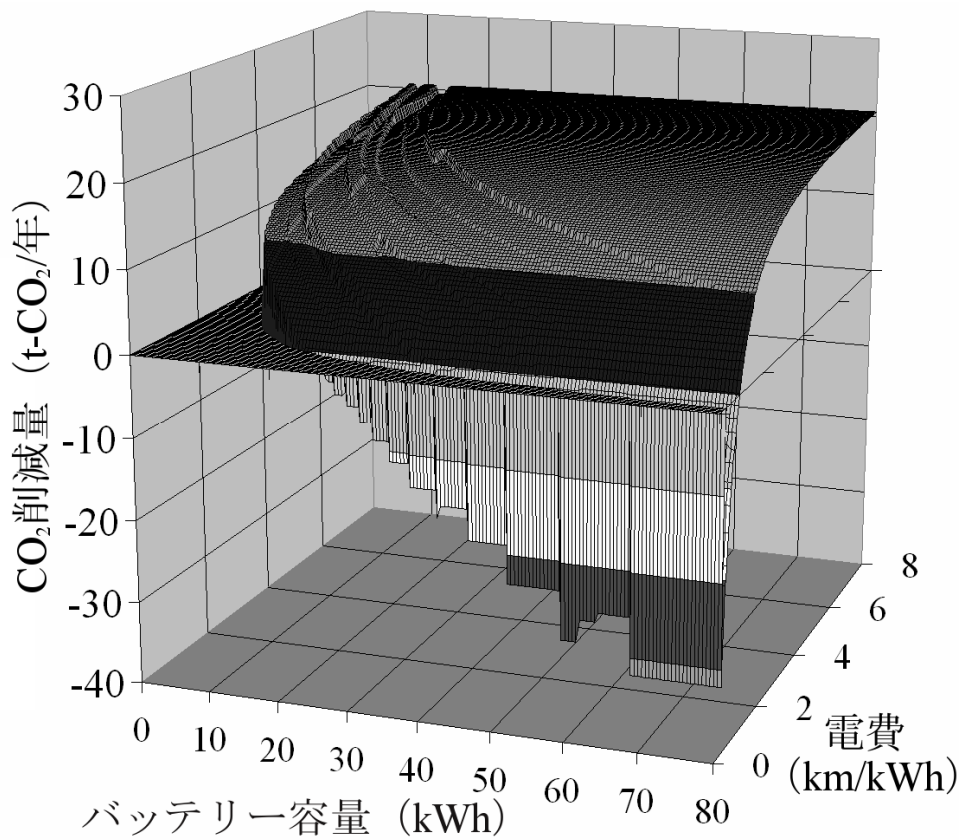


図5-1-5 電費とバッテリー容量から見たCO₂削減量

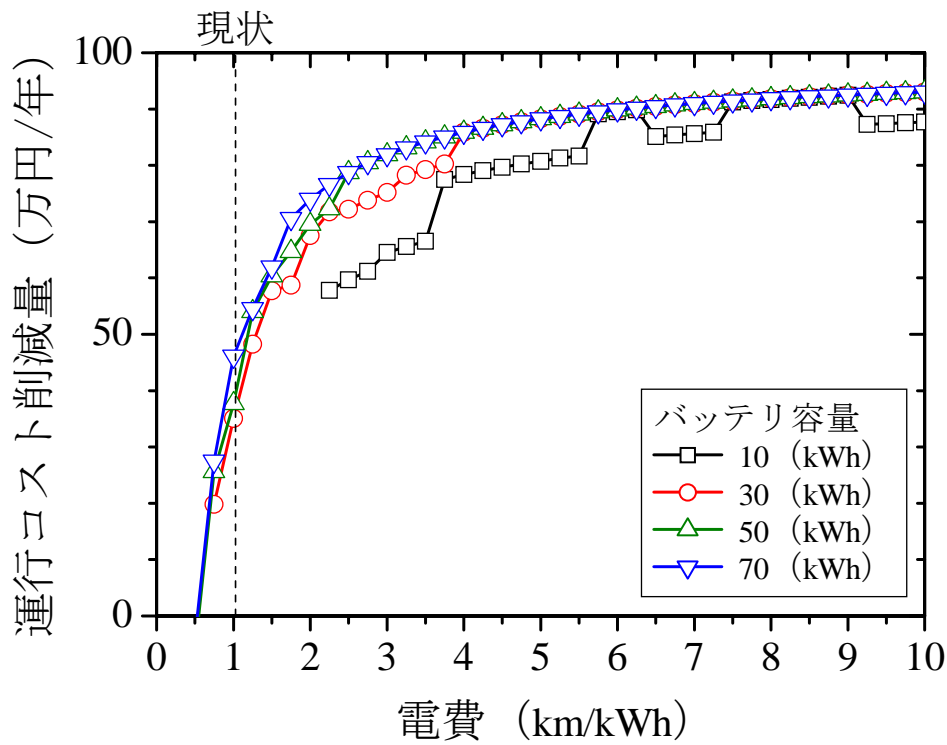


図5-1-6 各バッテリー容量における電費と運行コスト削減量の関係

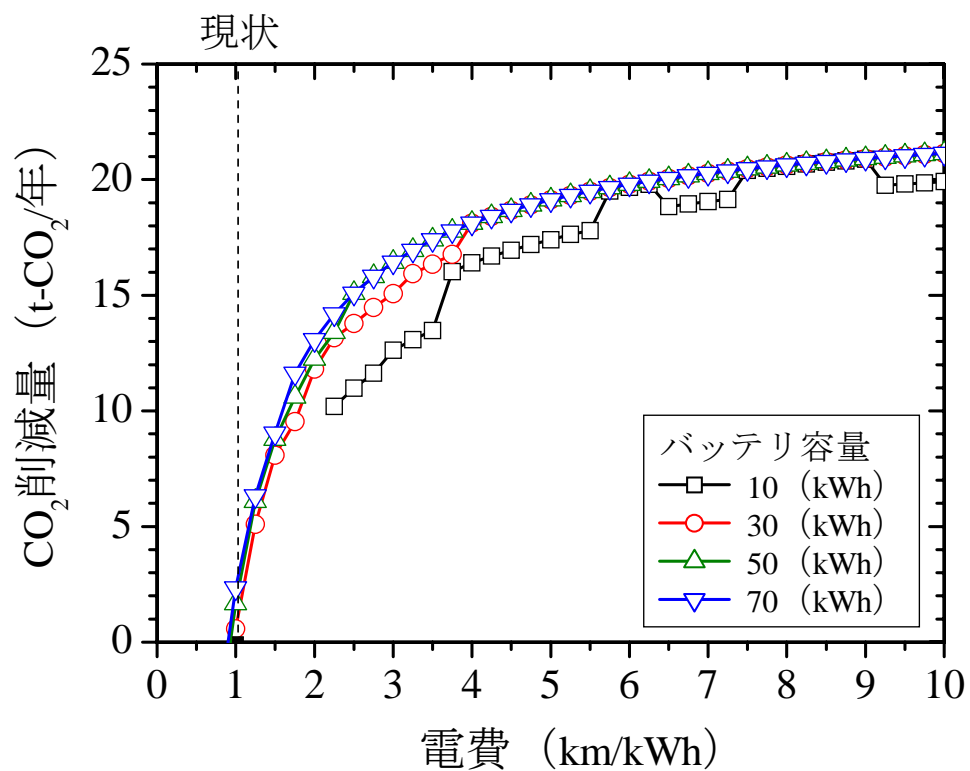


図5-1-7 各バッテリー容量における電費とCO₂削減量の関係

(6) エネルギー需要の量的・質的变化

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

(7) 今後の課題

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

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

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

5-2 電気自動車生産の経済効果

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

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

(1) 豊橋市の産業連関表

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

(2) 豊橋市の経済会計行列

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

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

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

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

表5-2-1 産業分類

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

表5-2-2 豊橋市の経済会計行列

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

(3) 電気自動車導入の応用一般均衡分析

1) モデルの主要前提条件

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

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

2) モデルの構造

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

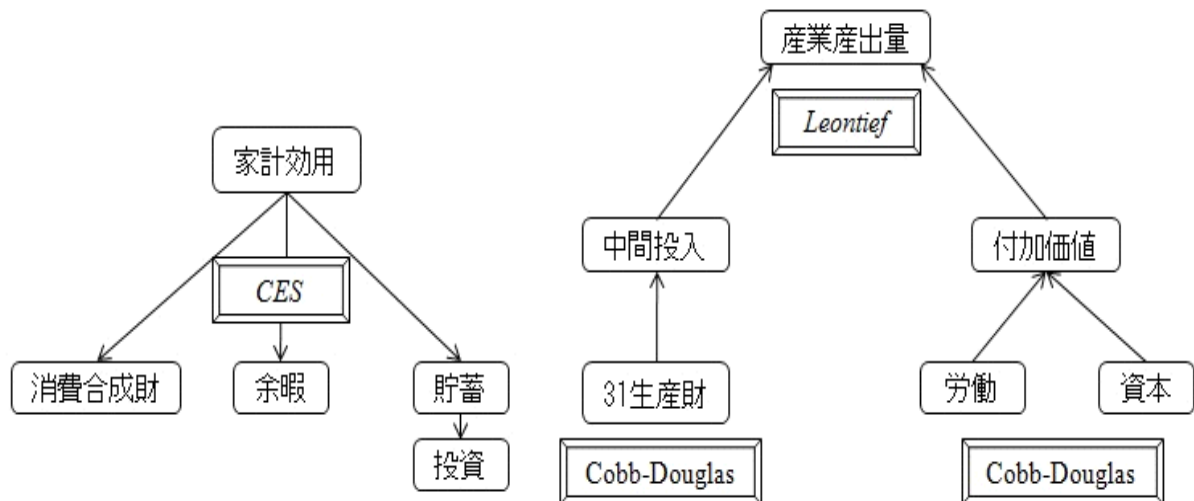


図5-2-1 モデルの構造

3) パラメータの設定

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

(4) シミュレーション分析

1) ガソリン乗用車と電気自動車の比較

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

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

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

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

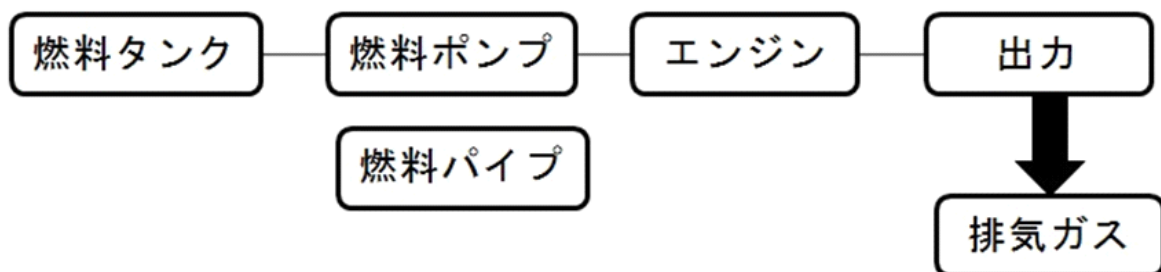


図5-2-2 ガソリン乗用車の構造

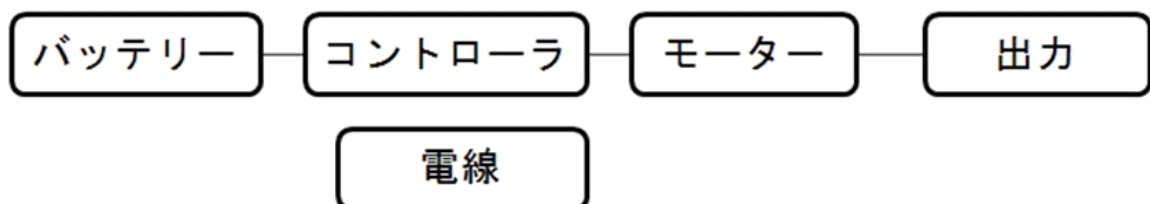


図5-2-3 電気自動車の構造

(5) シミュレーションの考え方

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

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

表5-2-3 全国におけるガソリン乗用車と電気自動車の投入係数

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

(6) シミュレーションケースの設定

本研究では以下の2つのケースにおいてシミュレーション分析を行う。

1) 基準ケース

豊橋市の現状を仮定するケース。

2) ケース1

豊橋市において自動車(関連)業種が100%電気自動車生産に特化するケース。

(7) シミュレーションの結果

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

1) 産業産出量

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

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

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

2) 市内 GDP

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

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

3) 労働需要

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

4) 資本需要

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

5) 財価格

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

6) その他の変数

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

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

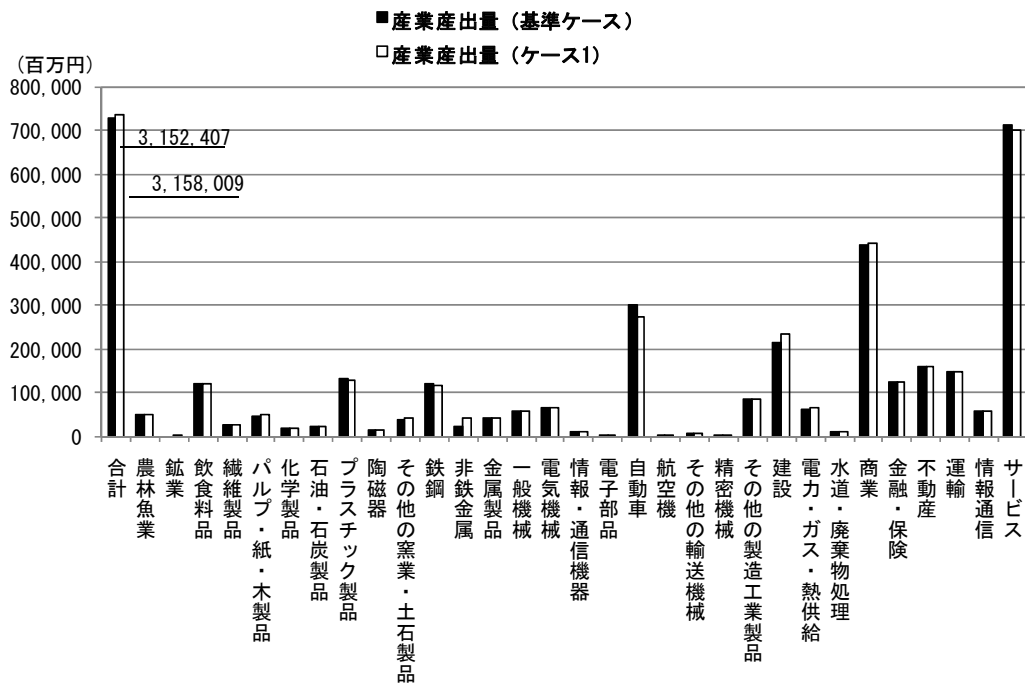


図5-2-4 産業産出量のシミュレーション結果

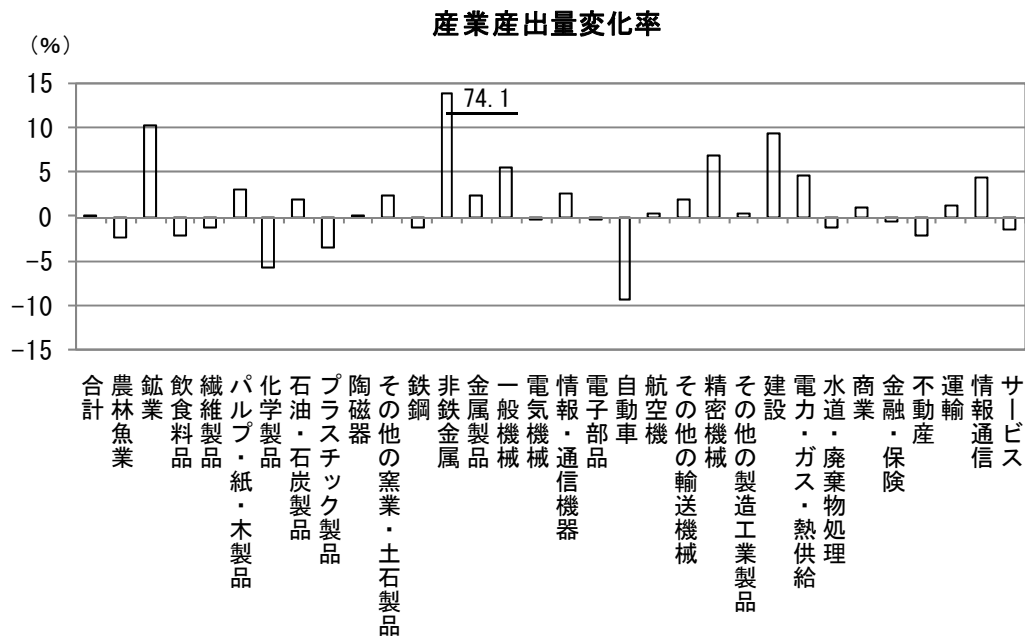


図5-2-5 産業産出量の変化率

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

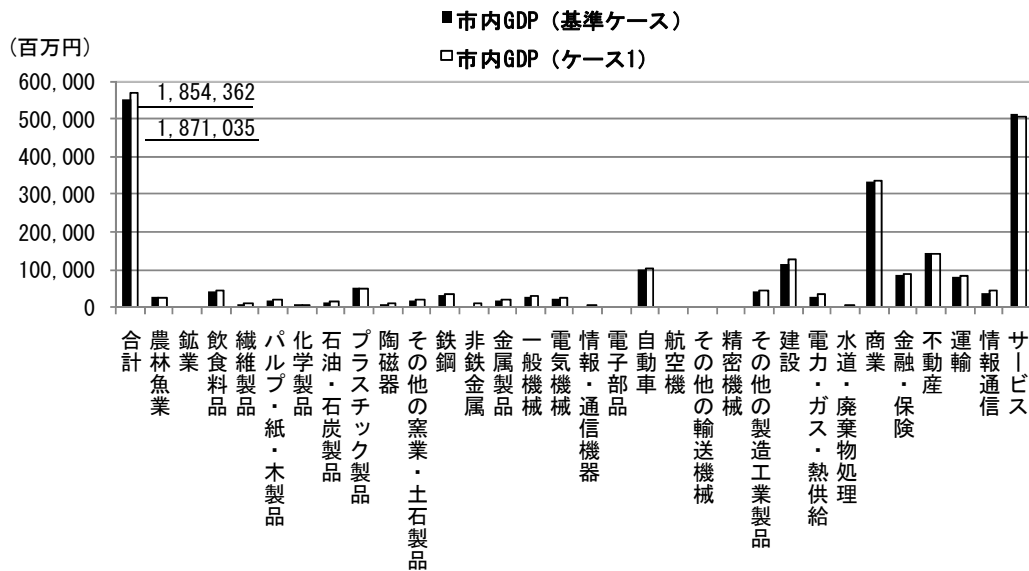


図5-2-6 市内GDPのシミュレーション結果

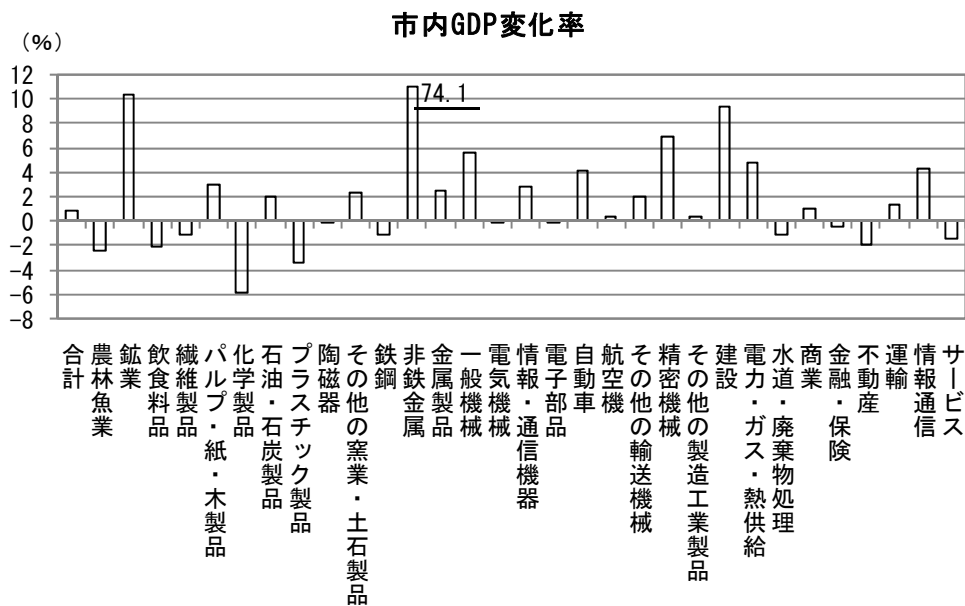


図5-2-7 市内GDPの変化率

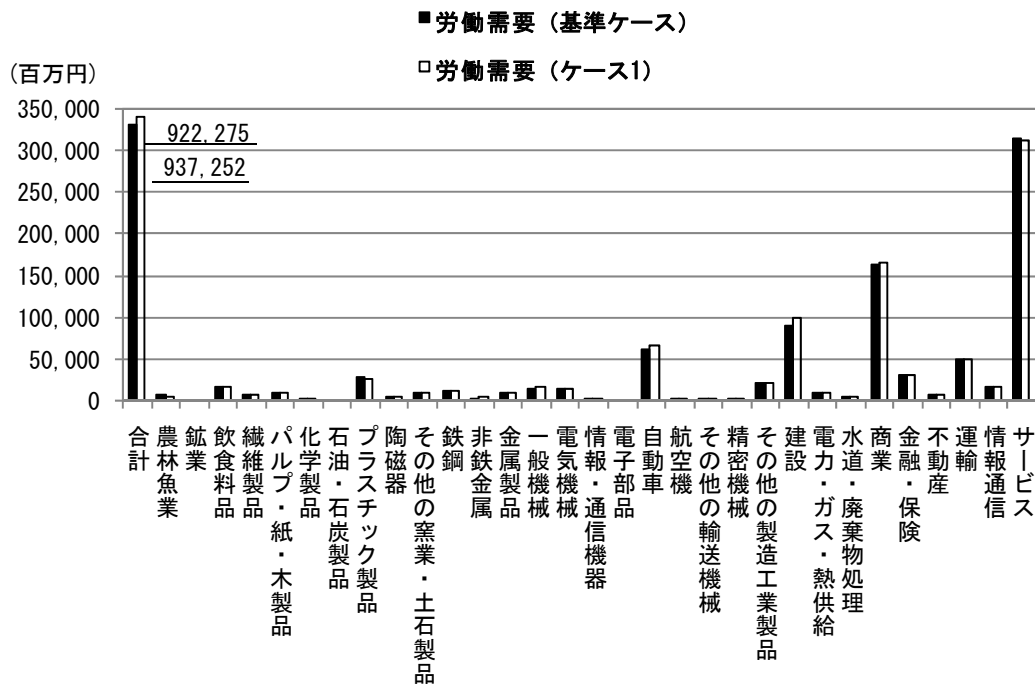


図5-2-8 労働需要のシミュレーション結果

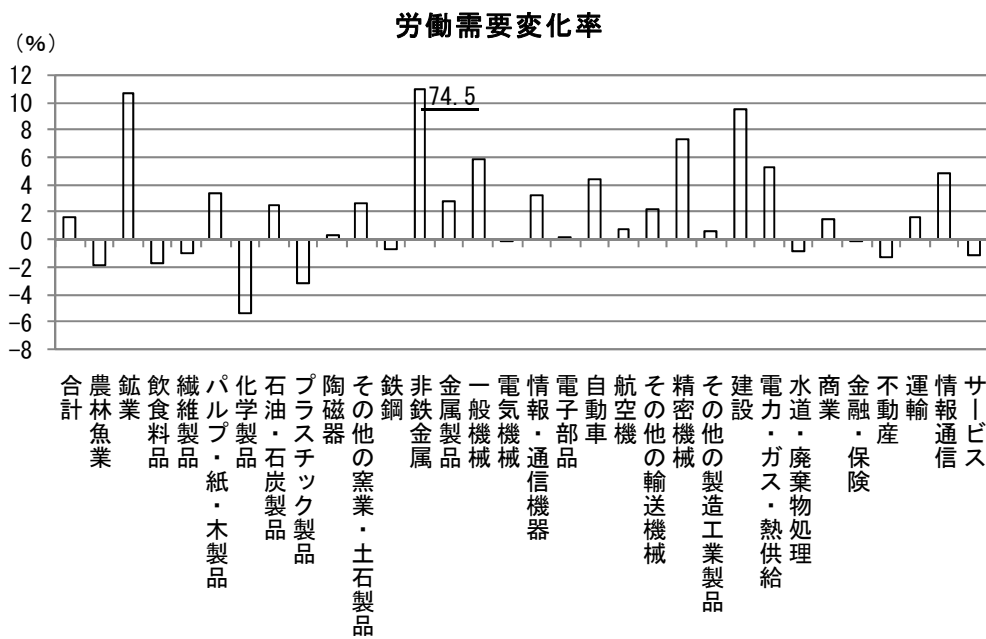


図5-2-9 労働需要の変化率

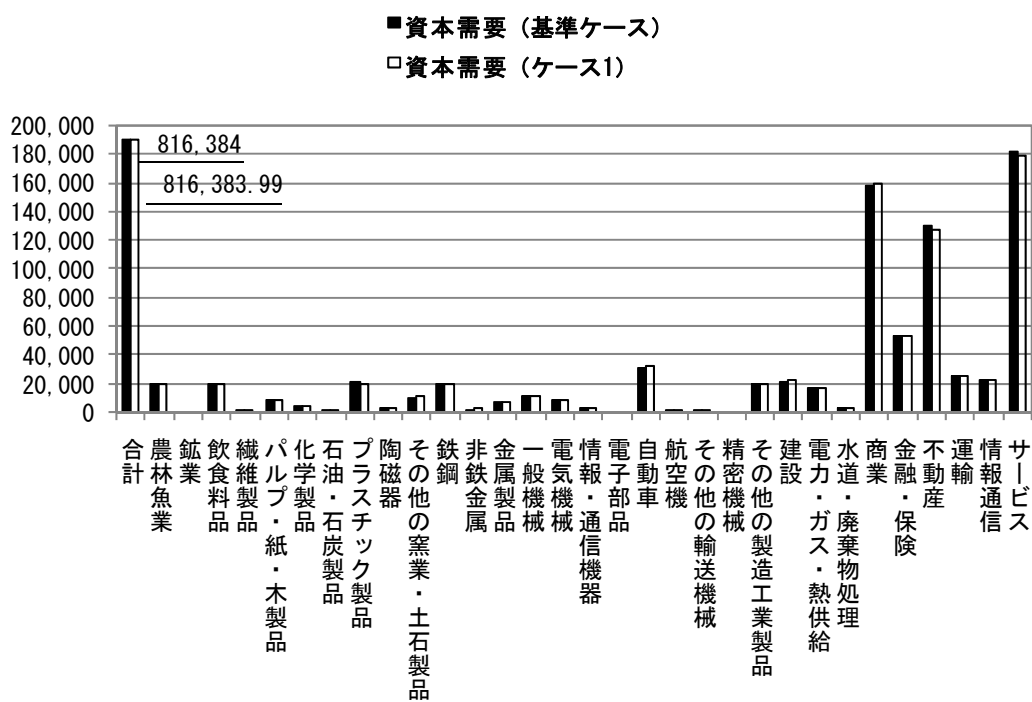


図5-2-10 資本需要のシミュレーション結果

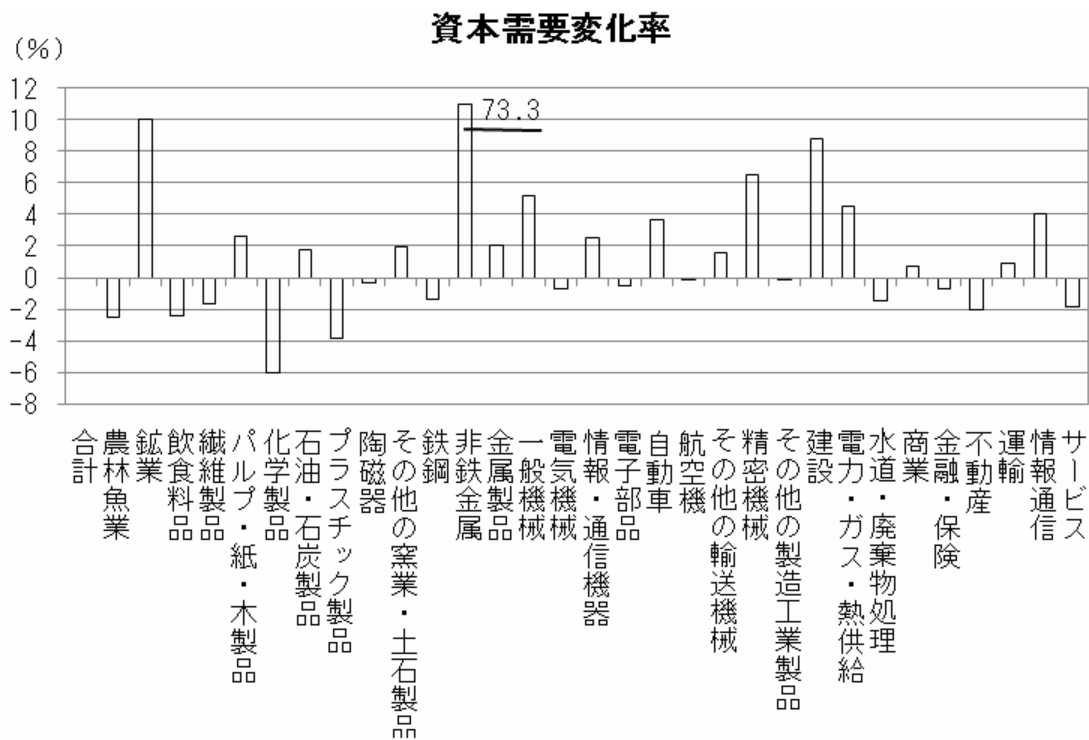


図5-2-11 資本需要の変化率

財価格（ケース1）

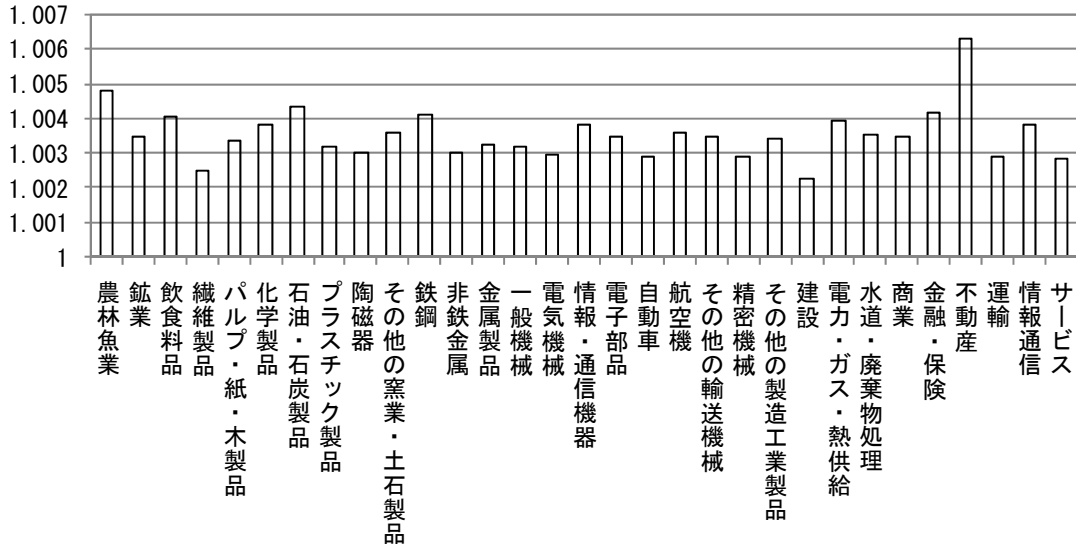


図5-2-12 財価格のシミュレーション結果

財価格変化率

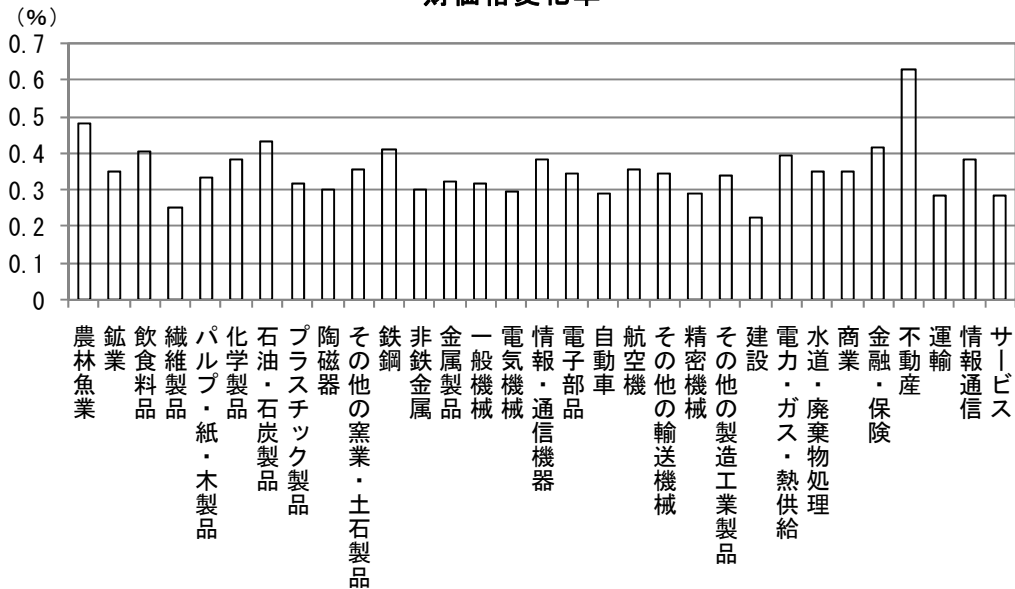


図5-2-13 財価格の変化率

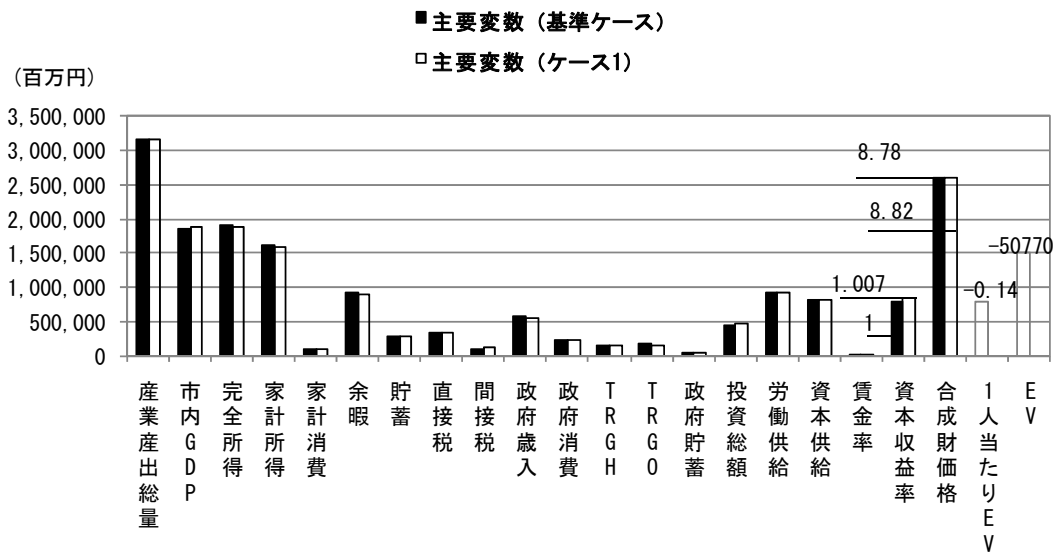


図5-2-14 その他主要変数のシミュレーション結果

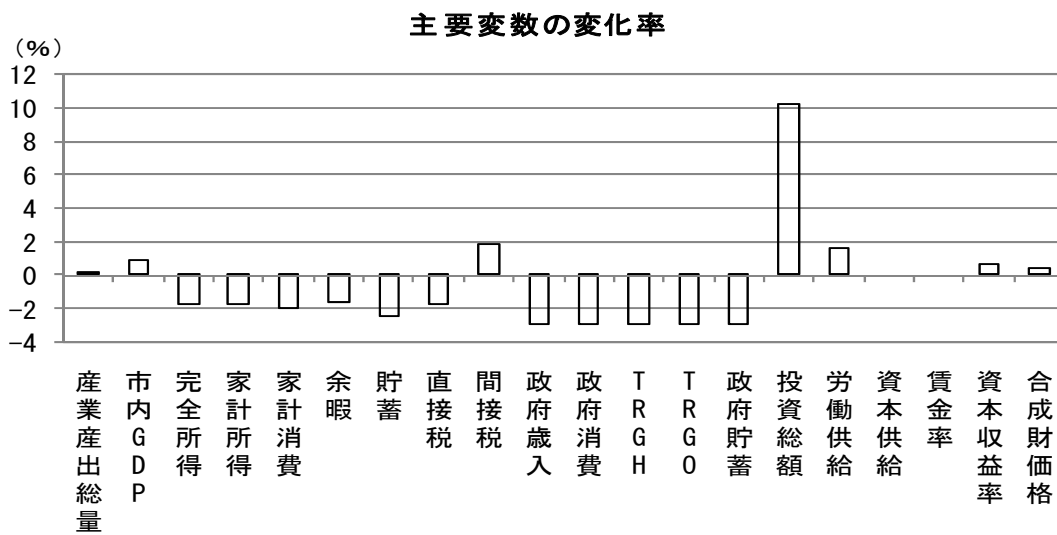


図5-2-15 その他主要変数の変化率

(8) まとめと今後の課題

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

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

また本研究では電気自動車生産に焦点を当てているが、電気自動車が実際に社会に普及した場合には二酸化炭素排出量も大きく減少すると考えられる。この視点からの研究も今後の課題である。