

電気自動車 ELIICA の LCA

中野諭*、平湯直子**、鈴木将之***

2008 年 1 月

KEO Discussion Paper No.112

概要¹

温室効果ガス削減の近未来技術として電気自動車に着目し、製造・走行過程を含めたライフサイクルCO₂を計測する。ケースとしてELIICAをとりあげ、同規模のガソリン自動車と比較し見込まれる削減効果を産業連関分析オープンモデルを用いて評価する。結果として、ライフサイクル全体での排出量はELIICAの方が少ないが、リチウムイオン電池の製造過程での削減が特に必要である。また、走行時においても夜間電力の活用・分散型エネルギーの電源導入などの考慮が必要である。

キーワード

LCA、ELIICA、電気自動車（EV）、
リチウムイオン電池、CO₂排出量、産業連関分析

* 慶應義塾大学産業研究所研究員、nakano@sanken.keio.ac.jp。

** 慶應義塾大学産業研究所研究員、naokotknk@yahoo.co.jp。

*** 慶應義塾大学産業研究所共同研究員、masa.suzu@jasmine.ocn.ne.jp。

¹ 本稿は、「電気自動車ELIICAのLCA分析」(慶應義塾大学産業研究所KEOセミナー(2008年1月7日))での報告をもとにしたものである。報告の際に、早見均所長、新井益洋教授、宮川幸三准教授をはじめ、参加者に大変有益なコメントを数多くいただいた。記して謝意を表したい。

はじめに .

CO₂排出量を部門別にみると、約 20%が運輸部門による排出であり、そのうちの多くが自動車に由来する排出であるといわれる²。自動車の燃費は年々改善している一方、保有台数の増加や走行距離の増加などをおもな理由に、依然として自動車による排出は多い。運輸部門における着実なCO₂排出の削減には、自動車の乗り方・車種の選択をはじめとする消費者側の問題や、ITSのような交通システム全体の効率化だけではなく、自動車自体の環境負荷を低減させることも重要であると考えられる。

このような状況の中、ガソリン自動車にかわる代替エネルギー車への需要が高まり、そのひとつとして電気自動車が期待されている。環境性能の良さに加え、昨今の情勢である石油価格高騰を踏まえ、電気自動車へ寄せられる期待は大きい。一般に、電気自動車は、走行過程における自動車本体からのCO₂排出はなく、騒音も非常に小さく、大気汚染環境の面で特に優れた自動車であるといわれる。しかし、搭載している電池の製造過程でのCO₂排出が大きく見込まれることから、電気自動車の環境性能を把握する際には、ライフサイクル全体からの評価が必要となる。

本稿では、温室効果ガス削減を可能とすることが見込まれる近未来技術として、電気自動車に着目し、製造過程に加えて走行過程を含めたライフサイクルCO₂排出量を計測する。ケースとして、「エネルギーと環境は電気自動車で改善できる」との考えのもと長年開発をおこなってきた慶應義塾大学電気自動車研究室による最新の電気自動車であるELIICAをとりあげ、同規模のガソリン自動車と比較することで、どの程度の削減効果が見込めるかを定量的に推計・評価する。分析には、産業連関分析のオープンモデルを用い、2000年の技術レベル・産業構造を前提としたうえで定量的な評価をおこなう。結果として、ライフサイクル全体での排出量はガソリン自動車に比べてELIICAの方が少ないが、これは走行過程での排出が少ないためである。製造過程の中でも、特にリチウムイオン電池の製造にともなう排出の削減が必要であることが明らかとなった。

1 . 電気自動車とは (総論)³

1 - 1 . 開発の歴史⁴

電気自動車は、約 100 年の時を超えて時代の情勢に見合うように「繁栄と衰退」の歴史を繰り返し、現在は復活の時代を迎えている。電気自動車の歴史は古く、1873 年に R. ダ

² 国土交通省 (2007)。

³ 広義での電気自動車は、通常、電池電気自動車 (EV)、ハイブリッド電気自動車 (FCV)、燃料電池自動車 (FCV) の 3 種に区分されるが、本稿で扱う電気自動車は、純粋に電池のみで駆動する電池電気自動車 (EV) を意味する。

⁴ 佐藤 (2004)、電気自動車ハンドブック編集委員会 (2001)、清水 (1987)、清水 (1981) を参照した。

ピットソン（イギリス）が鉄亜鉛電池を使用した実用車を開発したことで、ガソリンを動力とする内燃機関自動車の登場よりも先に歴史がスタートした。つづいて1880年にはM. フォール（フランス）が鉛蓄電池を使用した電気自動車を開発し、技術的に未熟であったガソリン自動車よりも有力な位置づけにあった。欧米では、早くも19世紀末に電気自動車の保有数がピークを迎え⁵、高い性能・利便性を背景に最盛期を迎えていた。

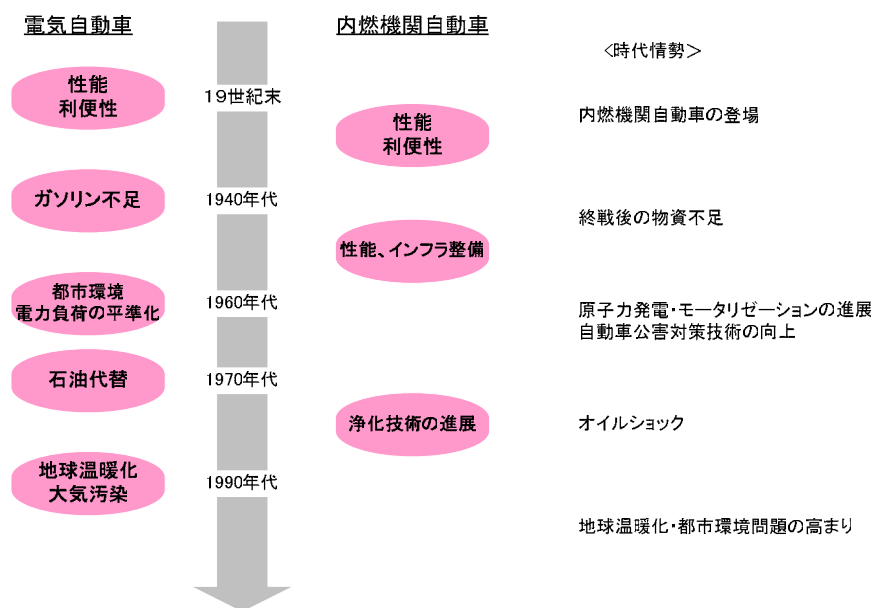
日本では、明治末期に米国から電気自動車をはじめ輸入され、日本自動車（株）が1911年に国内初の電気自動車を試作したことに見られるよう、国内では、保有率は低いが国産化がおこなわれ、生産・販売台数の増加がみられた。しかし、内燃機関自動車の大幅な技術改良とともに電気自動車は衰退の時期を迎える。終戦後の物資不足の中、ガソリン不足で一時的に電気自動車への需要が高まるが、終戦の混乱が解消されるとともに、さらなる技術改良、産業としての発展、ガソリンスタンド等のインフラ整備が進展したことを受けて、内燃機関自動車の繁栄の時期を迎えることになり、1950年代前半には電気自動車の生産が減少し、街中で見かけることが少なくなった。その後、1960年代中旬になると、モータリゼーションの進展による自動車公害（排出ガスや騒音）が深刻化し、再び関心が高まったことで再び電気自動車の開発が開始された。この時期の開発は、各電力会社と共同で、ガソリン車の改造から開発が開始された改造型電気自動車であり、鉛電池を使用していた⁶。1970年代前半には通商産業省による大型プロジェクト（大型工業技術開発制度）が開始されたことを背景に電気自動車関連の技術が大きく向上した。原子力発電の運転開始による電力の負荷平準化対策のひとつとして電力会社が開発に着目しはじめた点も背景にみられ、他方、産官学が一体となった幅広い普及に向けて電気自動車協議会、日本電動車両協会、標準実用電気自動車研究組合が設立された。また、石油危機の影響を多く受けた時期であり、エネルギーセキュリティの懸念から石油を使わない電気自動車へのニーズは高まった。しかし、石油危機の解消とともに、1980年代は石油資源の確保・排出ガス浄化技術の進展により再び、内燃機関自動車が主流となった。一方、1990年代になると、都市環境問題に加えて、地球温暖化問題・エネルギー問題が表面化したことで、クリーン性に注目が集まり、電気自動車の開発が再度進展することになる。国内各メーカーが揃って電気自動車の開発に着手し、内燃機関自動車の改造ではなくゼロからの開発が主となっている。特に、ニッケル水素電池につづいてリチウムイオン電池などの新型電池の開発による性能改善に重点が置かれるなど、電気自動車の欠点を補う技術改良がすすめられ⁷、現在では、小型電気自動車が実用化しつつある（【図 1-1】）⁸。

⁵ 保有台数のピークは1900年前後であり、また、自動車の生産台数のうち約40%が電気自動車であった。

⁶ この時期の電気自動車は「第1世代」と言われ、のちの1990年代以降の開発車を「第2世代」と表すことが多い。

⁷ 電気自動車の長所・短所については後述参照。

⁸ アメリカでは1990年にZEV（Zero Emission Vehicle）法が発令されたことにより、1990年代における電気自動車の市場供給が大幅にすすんだ。



出所)電気自動車ハンドブック編集委員会編(2001)表 2.2 を参考に筆者作成。

【図 1-1】電気自動車・内燃機関自動車をめぐるニーズの時代変遷 - 日本

1 - 2 . 概要・特徴 (長所短所)⁹

電気自動車 (EV : Electric Vehicle) は、バッテリー (蓄電池) に蓄えた電気でモーター (電動機) を回転させて走る自動車であり、エンジンの代わりとなるモーター、モーターをコントロールする制御装置を組み込み、ガソリンの代わりにバッテリーに蓄積した電気を用い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、小型車をつくるのに適しているといわれる。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等の高性能の 2 次電池が導入されるようになっている。電気自動車の持つ長所、短所は次のとおりである。

1 . メリット

- ・ 走行中のCO₂排出が少ない
- ・ 排出ガス、騒音、振動が少ない
- ・ 発電源が多様な電力を利用
- ・ 回生機能を持つ

2 . デメリット

⁹ 電動車両普及センターHP、環境省HPを参照した。

- ・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

電気自動車は「クリーンな自動車」と表現されるように、環境面でのメリットが多くみられ、窒素酸化物等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。また、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。

上述のようなメリットがある一方、電気自動車の構成の中核となる「電池」に起因するデメリットが懸念される。まず、電気自動車の開発当初から航続距離、加速度、最高速度の3点は明らかに内燃機関自動車に劣り、電気自動車の開発当初から改良がすすめられてきているが、依然として改善の余地があるとされる。また、充電に関しては、充電インフラの設置・維持、充電時間の短縮化が課題となる。比較的が高価な車両価格は、電池価格に由来するものであり、今後のさらなる改良が必要である。

1 - 3 . 普及・実用化の状況

化石燃料に依存しないクリーンな自動車への開発・購入需要が高まる中、開発の程度は実用化レベルまで進化し、市販化が可能な圏内にきている。実際、富士重工業、三菱自動車工業、ゼロスポーツ、タケオカ自動車工芸等で開発が行われた電気自動車は市場に供給されている。しかし、現在、市販化され主流となっている電気自動車の多くは、1、2人乗りタイプの軽自動車・ミニカー・原動機付自転車であり、その多くは短距離移動・通勤・通学・買物・レジャー・配達・巡回を用途とするものである¹⁰。

【表 1-1】は電気自動車の保有台数の推移を年度別にみたものである。2001年度に合計 3,815 台であったものが7年後には約 2.5 倍の 9,441 台に増加している。特に、2002年度から 2004年度にかけては年率 20%以上の伸び率で急速に保有台数が拡大した。他方、2006年度から 2007年度にかけては初の減少がみられた。以上を車種別にみていくと、電気自動車に占める「原付自動車」の割合は高く、しかも比率は 2001年度の約 66%から大幅に拡大し、2007年度には 90%以上となっている。中でも、「二輪・原付自動車」が主流である。また、原付自動車につづいて多いのが「軽自動車」である。しかし、その比率は大幅に低下し、2001年度では 20%を占めていたものが 2007年度はわずか 2.6%に低下し

¹⁰ 現在、市販化されている電気自動車の一覧は【補足 1】に掲載。

た。軽自動車の場合は、「乗用」よりも「商用」の方が多い。また、軽自動車につづいて多いのが「乗用車」である。しかし、軽自動車と同様、2001年度では11%を占めていたものが2007年度には2.6%に大幅に低下している。以上より、7年間における電気自動車の保有台数をみていくと、保有台数の大幅な拡大は、原付自動車（とくに二輪）の増加によるものであり、逆に、軽自動車や乗用車は減少している点が推移の特徴としてあげられる。

【表 1-1】電気自動車の保有台数（年度別）

		2001年	2002年	2003年	2004年	2005年	2006年	2007年
乗用車	普通	39	35	30	26	18	15	15
	小型	363	412	374	331	296	258	231
貨物車		117	78	63	48	27	17	17
乗合車		2	2	2	1	1	1	1
特殊車		29	23	20	16	14	13	13
軽自動車	乗用	115	133	157	167	174	126	93
	商用	650	577	528	467	345	217	155
原付自動車	四輪	2500	1248	1522	1963	2236	2282	2068
	二輪		2143	2895	4658	5357	6999	6848
合計		3815	4651	5591	7677	8468	9928	9441

出所) 電動車両普及センターHPより抜粋。注) 推定値。単位) 台。

1 - 4 . 将来の導入可能性

実用可能な電気自動車の開発が急がれるなか、三菱電機自動車は4人乗りタイプの軽自動車「iMiEV」の開発を行い、2008年の発売をめざしている¹¹。各電力会社との共同開発であり、研究車両の供給や実証走行データの解析は三菱電機自動車、走行実験の実施、データ収集、市場での実用評価については電力会社が主体となっている。「iMiEV」は、すでに市販されている軽自動車「i」をベースとしたものであり、三菱電機自動車としては、リベロEV、改造リベロEV、FTO EVにつづく電気自動車の開発となる。高性能リチウムイオン電池を取り入れ、実用性に加え、静音や少ない振動を可能とし、日常生活での使用に十分耐えうる航続距離を達成している。なお、市場への普及と同時に懸念される電池に関する技術革新・製造に関しては、電池生産新会社を他社と共同で設立し、量産確保をめざす¹²。車載充電器を搭載し、充電インフラの広範な整備を待つことなく、一般家庭での充電が可能である点が特徴であり、「電気自動車の実用化」の一例として、市場への導入が待た

¹¹ 発売予定日は、2010年から2009年に前倒しされた。本節は三菱自動車HPを参照している。なお、第40回東京モーターショー(2007)において、iMiEVより軽量で性能が高く、無線充電や太陽電池による蓄電を特徴とする「iMiEV SPORT」が一般公開された。

¹² (株)GSユアサコーポレーション、三菱商事(株)の3社合同で2007年度内の設立、2009年稼働をめざしている。

れるものである。

電気自動車の導入の拡大にあたって対処すべきおもな課題は次のとおりである。

電池技術

電気自動車は環境面では多くのメリットを持つが、性能面からみると、航続距離、加速度、最高速度において内燃機関に遅れをとることから、さらなる改善が必要といえる。比較的が高価な車両価格は、電気自動車の中核を構成する「電池」に依存し、今後はさらなる高性能電池の開発に着手する一方、量産へ向けての整備をおこなう必要がある。同時に、電池の「リサイクル」も問題となり、リサイクル市場の整備を合わせて実施していくべきである。

充電インフラの整備

電気自動車は内燃機関自動車とは異った構造であり、「充電」が必要となる。もともと、1960年代の原子力発電の開始による「電力負荷の平準化」対策のひとつとして、電力会社による電気自動車の開発需要が高まった背景をもつ。現在開発中の電気自動車の多くは、自前の家庭用充電機での充電を原則としているため、原子力を主とする深夜電力を利用した自宅充電設備の導入が必要となる。同時に、出先での充電の必要性・緊急性から、充電ステーションの早急な整備が必要となる。平成18年末時点の全国の充電ステーション設置数は、急速充電用が10、普通充電用が45の計55ヶ所のみであり¹³、今後は、充電ステーションの広範な整備が電気自動車の市場への浸透の鍵になることは確実である。

国内では、2001年7月、環境負荷の小さい自動車社会の構築に際し、政府による低公害車の開発・普及をより一層推進させるためのプランとして『低公害車開発普及アクションプラン』が経済産業省・国土交通省・環境省によって策定された。電気自動車は「実用段階にある低公害車」のひとつとして、開発や民間部門への早期普及が積極的に推進され、同時に電気自動車の活用に向けたインフラ整備がプランとして定められた¹⁴。また、2007年5月、経済産業省は、2030年を目標に自動車用エネルギー効率化をめざす『次世代自動車・燃料イニシアティブ』を発表した。「エンジン」「燃料」「インフラ」の3分野の革新を「バッテリー」「水素・燃料電池」「クリーンディーゼル」「バイオ燃料」「世界一やさしいクルマ社会構想」の5戦略で実現する内容である。このうち、電気自動車は、バッテリーに焦点があてられ、次世代自動車の鍵として電池の高性能化とコストダウンを「改良」「先

¹³ 設置されている都道府県は、東京、神奈川、山梨、愛知、滋賀、京都、大阪、奈良、兵庫、徳島、福岡、大分、鹿児島、沖縄、以上の14のみである。これらの多くは、電気自動車を含む低公害車導入のための支援補助策や融資制度を制定し、普及に積極的な姿勢を見せている都道府県である（環境省水・大気環境局自動車環境対策課（2007））。

¹⁴ 2010年までに5種合計（天然ガス自動車、電気自動車、ハイブリッド自動車、メタノール自動車、低燃費かつ低排出ガス認定車）で早期に1000万台以上の達成、燃料電池車は5万台の普及をめざす内容である。

進」「革新」の3フェーズから目標を明確に設定している。研究開発と並行してインフラ整備にも着手し、普及促進策を進めていく。NEDOを中心に、2007年から戦略プロジェクトを開始し、最終年の2030年には現状と比較して、性能7倍、コスト1/40倍の高性能な電気自動車の開発をめざしている。以上のように、電池技術の改良やインフラ整備により電気自動車の開発・本格普及をめざす動きが国内で着実に開始されている状況にあり、電気自動車の将来導入の可能性は高い。

1 - 5 . 税・補助金制度

自動車を取得・所有する際には各種の税金が課せられるが、地球温暖化防止の観点から、排出ガスや燃費性能が優れた環境にやさしい自動車への軽減措置を特例で実施することで、一層の開発・普及の促進をはかっている。まず、自動車の取得に際し、取得額が50万円以上の場合には、自動車取得税が課されるが、電気自動車の取得に際しては2.7%税率が軽減される優遇措置がある。また、自動車の所有者は、自動車税として、排気量・用途（自家用・営業用）に応じた定額を毎年払う必要があるが、電気自動車を所有する場合は、新車の新規登録の翌年のみ、概ね50%の軽減となる自動車税のグリーン化が定められている。一方で、登録から一定年数を経過したガソリン車等を保有する場合は、より高率の自動車税額が適用されることになる（【表1-2】）。

また、電気自動車の取得を促す補助金制度がある。まず、環境省を主体とする低公害車普及事業では、公営バスへの電気自動車の導入支援として補助金の交付をおこなっている。通常車両との価格差、あるいは改造費用の50%が補助率であり、同時に、燃料等供給施設への交付も併せて実施し、設置費用の25%が交付されている。地方公共団体が率先して低公害車を導入することで地域として省エネルギー対策、代替エネルギー対策を推進するねらいがある。他方、民間を対象としたものとして、環境省を主体に電動車両普及センターを問合せ先とするクリーンエネルギー自動車等導入促進事業がある。電気自動車の新規購入にあたり通常車両との価格差50%以内、同時に、燃料等供給施設の設置に際しては、事業用の場合は300万円以内、非事業用の場合は設置費の50%以内が交付される（【表1-3】）¹⁵。以上は、中央政府を中心とするものであるが、地方に目をむけると、電気自動車の普及に際しての補助制度を設置している自治体が複数ある。電気自動車は天然ガス・メタノール自動車等とともに、「八都県市指定低公害車¹⁶」に定められ、横浜市などでは早期代替者に対して、軽自動車の場合は30万円、原付自転車4輪の場合は5万円を上限に補助金が交付される¹⁷。他方、愛知県 - 岡崎市、春日井市、刈谷市、豊田市、東海市、三重県 - 鈴鹿市、川越町、大阪府、兵庫県 - 姫路市、芦屋市などでも独自に低公害車の導入促進として補助

¹⁵ 補助実績は【補足2】参照。

¹⁶ 埼玉県、東京都、神奈川県、さいたま市、千葉市、川崎市、横浜市が該当する。

¹⁷ 横浜市HPを参照した。

制度を定めている¹⁸。

以上のように、電気自動車の普及を経済的にバックアップする、取得・保有に関連する税率負担を軽減する特例措置や取得の際の補助金交付によって、運輸部門における省エネルギー・代替エネルギーの推進が図られている。

【表 1-2】電気自動車の導入に対する税制上のおもな優遇措置制度（平成 19 年度）

低公害車に係る自動車取得税の軽減措置	内容：取得の際に自動車取得税を軽減 優遇措置：2.7%減（普通自動車 5%）
低公害車に係る自動車税の軽減措置（自動車税のグリーン化）	内容：平成 18、19 年度に新車新規登録者に翌年度 1 年間の自動車税を軽減 優遇措置：概ね 50%軽減 （新車新規登録から一定年数を経過したガソリン・ディーゼル車は重課）

出所）環境省 HP より抜粋。

【表 1-3】電気自動車の導入に対するおもな補助金（平成 19 年度）

低公害（代エネ・省エネ）車普及事業	目的：公営バスへの低公害車の導入支援・燃料等供給施設の整備、 導入による地域の省エネ・代エネ対策推進 対象者：地方公共団体、出資 50%以上の第 3 セクター 補助率：車両 - 通常車両との価格差・改造費用の 1/2、燃料供給施設 - 設置費の 1/2 連絡先：環境省 水・大気環境局 自動車環境対策課
クリーンエネルギー自動車等導入促進事業	目的：運輸部門における新エネルギー利用促進、クリーンエネルギー自動車の導入、 燃料供給施設の設置 対象者：民間事業者等 補助率：車両 - 通常車両との価格差 1/2 以内、事業用・燃料供給施設 - 定額（300 万円以内） 非事業用・燃料供給施設 - 設置費の 1/2 以内（路線バス・塵芥車は 2/3 以内） 連絡先：有限責任中間法人電動車両普及センター

出所）環境省 HP より抜粋。

¹⁸ 環境省HPを参照した。

2 . ELIICA とは

ELIICA (Electric Lithium-ion Battery Car) は、慶應義塾大学電気自動車研究室が「ELIICAプロジェクト」として産学共同研究組織のもと開発を進めてきた、リチウムイオン電池を動力源とした環境にやさしい高性能電気自動車である¹⁹。

2 - 1 . 開発の歴史

清水浩教授 (慶應義塾大学環境情報学部) 率いる慶應義塾大学電気自動車研究室による電気自動車の開発の歴史は古く、1983年に開発された第1号である「A-Car」を皮切りに、以後、技術の進展とともに改良を重ねてきた産物がELIICAである (【図 2-1】)²⁰。

「A-car」は、廃車となった内燃機関自動車に電動モーターを組み込んで制作したものであり、環境庁による分析の実証車という位置づけであった。翌1984年、軽量化した車体に鉛電池を使用した2輪駆動の電動オートバイ「B-car」を開発した。次に、新日本製鉄と東京R&Dで開発した「NAV (C-car)」が開発された。2ドア4人乗りの乗用車であり、以後、同タイプの乗用車開発が進む。モーターに利用した希地類磁石、車体に利用したカーボンファイバーが特徴であり、最高速度120km/h、1充電航続距離250kmを達成した。つづいて、より実用性・性能性を重視して開発をおこなったものが「IZA (D-car)」である。最高速度176km/h、1充電航続距離270km/hを超え²¹、さらに、高加速度が特徴である。

「Luciole (F-car)」は性能・安全性・低燃費・快適性を考慮した多結晶太陽電池を用いた次世代新型電気自動車である。最高速度150km/hを達成し、加速時間はIZAよりも早い。A-carからF-carまでの5台はエンジン自動車の改造車であったが、2001年に開発された「KAZ : KEIO Advanced Zero-Emission Vehicle (G-car)」からは、ゼロから設計をおこなったリチウムイオン電池を使用した電気自動車である。性能向上に必要な「要素技術」、性能・機能の向上に必要な「車体構成技術」という視点から性能向上をめざして開発されたもので、最高速度311km/h、加速度15.3sec (0 - 100km) を達成している。つづいて、KAZを引き継ぎ、今まで以上に「実用性」を重視したものとして「ELIICA : Electric Lithium-ion Battery Car」開発化プロジェクトが開始された。KAZをよりコンパクトにさせた車体での実用化をめざすものであり、「省エネルギー」「安全性」「快適性」を特徴とする。

¹⁹ 他に、Eliica、ELiICA、ELiicaと表記されることがあるが、本稿ではELIICAとする。なお、本稿作成に先立ち、ELIICA開発者である江本間夫准教授 (慶應義塾大学政策メディア研究科) にヒアリングをおこなった。記して謝意を表したい。

²⁰ Eliica.com (<http://www.eliica.com/>) を参照した。

²¹ 100km/h定速走行時。40km/hの場合は540kmを超える。



出所) 慶應義塾大学電気自動車研究室 Eliica.com。注) E-car はヒアリングにより情報収集。

【図 2-1】開発の変遷と各開発車の特徴

2 - 2 . 概要・特徴 (長所短所) ²²

ELIICAは、産学連携による開発を特徴とし、研究主体は慶應義塾大学であるが、38社の協賛企業と産学連携で2003年から開発がおこなわれた²³。動力性能の高い電気自動車を製作し、実用化・普及を実現させることで環境改善をめざすものであり、スポーツカーと高級車の双方の要素をコンセプトとして取り入れ、時速400kmで走行可能な5人乗り乗用車の開発をめざした。ギア比²⁴に差を持たせることで性質の異なる2つのタイプが開発され、1号車として「最高速度挑戦車」、2号車として「高加速性能挑戦車」が製作された。特に後者はナンバープレートを取得し、乗用車としての公道での運動性能の評価を実施したことにみられるように、実用化をめざしたものである²⁵。また、前者は2004年に完成し、イタリア・ナルドでの走行実験で370km/hを達成している。

²² 永廣(2005)、平岡(2005)、Eliica.comを参照した。

²³ 株式会社ブリヂストン、日本電池株式会社、大和ハウスグループ、三井住友銀リース、日本航空、三井住友銀行、住友重機械工業株式会社、株式会社イエローハットをはじめとする多業種に及び38社であり、開始当初は、電池技術の共同開発会社として一時的に自動車メーカーが参加していたが、プロジェクトを通しての自動車メーカーの参加はない。

²⁴ ギアが1回転する間のエンジンの回転数(小檜山(2003))。

²⁵ 2007年12月の発売を目指していたが現在のところ、未定である。

【ELIICA の全景】



出所) ヒアリング時に著者ら撮影。

【表 2-1】 ELIICA の仕様

	最高速度挑戦車	高加速性能挑戦車
定員 (人)	5	5
全長×全幅×全高 (m)	5.1×1.9×1.365	5.1×1.9×1.415
ホイールスペース (m)	2.9	2.9
トレッド (前)(後)	1.65、1.58	1.65、1.58
最低地上高 (mm)	80	130
車両重量 (kg)	2400	2730
目標最高速度 (km/h)	400	180
最大加速度 (G)	0.4	0.68
加速時間 (0 - 400) (sec)	15.3	11.3
航続距離 (km)	200	320
充電時間 (0 - 70%) (min)	4	30

出所) Eliica.com より抜粋。一部、ヒアリングによる結果を掲載している。注) 定員は、公表では「5人」であるが、現在の試作車では最高速度挑戦車「2人」、高加速性能挑戦車「4人」の仕様である。

ELIICA のおもな特徴として、要素技術の進歩として「リチウムイオン電池」「インバータ」「永久磁石式同期モーター」「インホイールモーターと8輪駆動」「タンデムホイールサスペンション」「回生ブレーキ」、車体構造として「集積台車構造」があげられる。

リチウムイオン電池

二次電池として、近年、携帯電話やパソコンに使用されているリチウムイオン電池を用いている。従来の鉛・ニッケル電池と比較すると、エネルギー密度やパワー密度が非常に高く、現時点では少量生産のために高価であるが、今後のさらなるリチウムイオン電池

の技術改良が電気自動車の開発の発展を左右するといえる²⁶。

インバータ（モーター変速装置）

PWM 式のインバータ形式である。トランジスタの高耐圧化や制御素子を内蔵したパワーモジュール化（IPM）の進展により、制御の性能・範囲が拡大した一方、小型軽量化が実現した。

永久磁石式同期モーター（希土類磁石）

モーターにきわめて強力な磁石である希土類でつくられた永久磁石をもちいている。12 個の永久磁石が同時に動くことで電気ができる。

インホイールモーターと 8 輪駆動

車輪の中に、モーター・減速ギヤ・ハブ・ベアリング・ブレーキを組みこんだ駆動装置であり、走行中の損失が少なく、車体構造の単純化、利用空間の拡大が実現した。また、8 輪すべてが個別制御による駆動輪であり、駆動力を直接タイヤに伝えるため駆動ロスが少ない。回転差をコントロールし、非常に高いコーナリング性や直進性を可能にしている。

タンデムホイールサスペンション

通常は大径 1 車輪であるが、2 つの小径車輪をパイプで接続させた左右が連動して動くサスペンション構造であり、ELICA 独特のものである。2 車輪であることから衝撃を分散させることが可能であり、乗り心地が改善する。また、小さい車輪のため、空間が広がるという利点もある。

回生ブレーキ

減速時に車輪がモーター駆動することで発電する可変制御つき回生ブレーキ機能を備えているため、エネルギーを有効活用できる。

集積台車構造

リチウムイオン電池、インバータ、インホイールモーター等の車両を動かすのに必要なすべてのコンポーネントの小型・軽量化をめざした技術開発により、すべてを厚さ 15cm 床下にコンパクトに収納するフラットな低床構造が実現した。これにより空間面での制約が減り、床上に有効空間が作りだされたことで、居住性を活かしたデザインの自由度を大幅に高めている。また、重心が安定するという利点もある。

²⁶ 同出力の値段を比較すると、リチウムイオン電池の方がニッケル水素電池よりも 2~3 倍高い。ただし、電池の寿命が長いので、リチウムイオン電池の方が少ない交換回数で済む（日経Automotive Technology 他（2006））。

他方、電気自動車である点も含め ELIICA に残されている改良点は次のとおりである。

電池技術に関する点

電気自動車の普及には、もちいられている電池技術の改善、量産化による低価格の実現が大きな鍵となる。電池技術の改善により、ガソリン自動車には大きな差をつけられている航続距離の大幅な伸長や最高速度・最高加速度の活性が見込まれ、電気自動車を持つ欠点を補うことが可能となる。また、実用化にあたり、高速充電用のインフラ整備の他に、各家庭での充電設備の導入が必要であり、充電時間の改良も普及にあたっての大きな要因となる²⁷。

車体構造に関する点

インホイールモーターや集積台車構造の採用により、車内居住空間はガソリン自動車と比較すると大幅に拡大しているが、現段階では、1号車は最高速度を達成するための試作車、2号車は最高加速度を達成するための試作車であり、それぞれ、目標を達成するために空気抵抗を最小限に減らし、タイヤを大きくするなど、実用化向きとは多少異なるデザインを採用している。よって、実用化の際には快適な居住空間の確保が必要となる。

その他

電気自動車は、ガソリン自動車と比べると走行中の騒音・震動が少ないという利点を持つが、実際は電気自動車固有の慣れないかすかな音や振動を感じる。実際、ELIICAに乗車して聞こえる音の原因は、インバータ自体の音、インバータを冷却する音、冷却ファンの音の他に、車体構造が低いと道路の石などの障害物が衝突する音であり、音や揺れに関するさらなる改良が必要である²⁸。また、車は「ヒトを安全に快適に目的地にはこぶ」という役目を持つように、実用化にあたっては、衝撃の際にヒトを守る車体構造が必要となる。ELIICAは、運転者の足先から車の先頭までの空間は広大なクラッシュブルゾーンであり、ガソリン自動車よりも衝撃を吸収する構造を持つが、衝突実験を繰り返すことで、さらなる安全性の確保が必要といえる。

²⁷ 電池の量産化・低価格化をめざすものとしてL2 プロジェクトが立ち上げられ研究がすすめられている。

²⁸ 実際にELIICAに乗車して体感した音であり、ヒアリングによると、今後の実用化にあってはさらなる改良の余地があるとのことである。

【急速充電器の接続位置と充電口】



出所) ヒアリング時に著者ら撮影。

ELIICAは、ゼロから車体構造の設計をおこない、「要素技術」「車体構成技術」の観点から性能向上をめざして開発されたKAZの流れを引き継ぎ、実用性をめざす過程で「省エネ」「快適性」「安全性」を迫及した高性能電気自動車である。コンセプトは造語「FUTUREAL (= FUTURE + REAL)」であり、未来での実用可能性が高く、かつ、現実的に実現・普及可能性が高い電気自動車を世に生み出した²⁹。「車としての実用性」を念頭にプロジェクトが進められてきているが、実用化を現実のものとするためにクリアすべき最大の課題は、「価格面での現実性を高める」点にあり³⁰、1台あたりの価格を押し上げる原因であるリチウムイオン電池の量産化・価格低下が大きな鍵になるといえる。

ELIICAは、『第37回東京モーターショー(2003年)』に出展され、独創的な構想・デザインから、電気自動車の存在を世に印象づける重要な役目を担った。公表以降も改良がすすめられ、現在は「試作車」の段階ではあるが、今後の早期の実用化へ向けて、設計通りの性能が発揮できるように、日々、改良をすすめているところである。

3. ELIICAのLCA分析

3-1. 先行研究

慶應義塾大学が開発した電気自動車を対象としたLCA分析として、ELIICAの2世代前のIZAを対象とした分析(近藤他(1996))、1代前のKAZを対象とした分析(疋田他(2002))の2種類がある(【表3-1】)。

【表3-1】先行研究(KAZとIZA)の概要比較

	KAZ	IZA
対象車種・電池	電気自動車・リチウムイオン電池	電気自動車・ニッケルカドミウム電池

²⁹ 小檜山(2003)。

³⁰ ELIICA発表会(2003年9月25日)(慶應義塾大学三田キャンパス)での江本間夫准教授の発言を引用した。

環境負荷指標	CO ₂	CO ₂ (LCACO ₂)
LCA の対象	車体製造・電池製造 走行	素材製造 部品加工・組立 走行・利用 維持・管理 車事体に限定 原材料採掘・輸送、車輛販売、廃棄・リサイクルは対象外
その他の想定	・電池交換 2、燃費特性 2、計 4 タイプ (燃費 7.08km/kWh、9.44km/kWh)	・60km/h、10 モードの定速走行 ・電池交換 - 1 回 ・発電源 - 石炭火力、LNG 火力、原子力、太陽光の 5 種
分析手法	プロセス連関モデル (産業連関分析・積み上げ法の融合)	積み上げ法
比較車種	ガソリン自動車(10・15 モード、400km、11km/l (直噴エンジン 18.8km/kWh))	ガソリン自動車 (60km/h、22.5km/l、10 モード走行)
結果	ガソリン車よりも排出が少ない (半分) 車体製造からの排出が多い 走行時はガソリン車が多い	ガソリン車よりも排出が少ない (3 割) ただし、走行時の発電源の違いで結果が大きく異なる 石炭火力のみ IZA の方が多く、その他の場合は比較車の方が多く

出所)近藤他(1996)、疋田他(2002)を参考に作成。

IZAでは、積み上げ法を用い、ライフサイクルを車自体に限定し、素材製造、部品加工・組立、走行・利用、維持・管理に関連するCO₂排出量の推計をおこない、発電源(石炭火力、石油火力、LNG火力、原子力、太陽光)を考慮したうえで、ガソリン自動車との2車間比較をおこなっている。結果として、現状の発電構成において、車輛製造時の排出ではIZAはガソリン自動車の約2倍、走行時は半分以下であることから、合計でみると、IZAはガソリン自動車よりも3割程度排出が少ない。しかし、発電源によって結果は大きく異なり、特に石炭火力の場合はIZAの方が走行時の排出が多いことが明らかである。IZAは自動車による排出削減対策として十分な役割を果たすことが確実であるが、特に、車輛製造時の排出を減らす必要がある同時に、電源の考慮と発電時の排出抑制が重要といえる。

他方、KAZでは、著者らが開発をおこなってきている積み上げ法の持つ問題点や製品間の資源投入や環境排出の配分問題を解消するプロセス連関分析に、産業連関分析を取り込んだハイブリッド型分析モデルにより、車体・電池製造や走行時に排出するCO₂発生量の推計をおこない、電気自動車・ガソリン自動車・KAZの3車間の比較をおこなった。積み上げデータと産業連関表の接続の際には、特に加工度の高い製品において財の単価や財の質が問題となるが、加工度の低い素材までプロセス連関分析で遡及し、その先は産業連関

分析を用いることで正確な評価が可能となる。ただし、特殊性を持つ財に関しては、別途、段階を踏ませたうえで評価している。結果として、製造過程（電池・コントロールユニット・モーター・排気管・燃料タンク・エンジン・配線・タイヤ・その他車体）での排出は、リチウムイオン電池製造やモーター製造にともなう排出が多いため、KAZの方が比較対象としたガソリン自動車よりも排出が多い。ただし、走行過程による排出分はKAZの方が圧倒的に少ないため、製造・走行過程の合計でみると、KAZはガソリン自動車の約半分（4割から5割）の排出量である。よって、さらに削減効果を高めるためには、リチウムイオン電池の小型化・軽量化・長寿命化を含むさらなる改良による走行距離の拡大が必要であるといえる。

3 - 2 . 分析モデルおよびデータ

3 - 2 - 1 . 産業連関モデル

電気自動車ELIICA、あるいはそれと同規模のガソリン自動車に対する需要によって誘発されるCO₂排出量は、産業連関分析のオープンモデルを用いて推計を行っている。産業連関分析のオープンモデルを用いることで直接・間接の生産活動から、最終需要における消費活動にいたるまでCO₂排出量の推計を行うことができる。CO₂は財・サービスを消費する段階およびそれらを生産する段階においてエネルギーの消費を通して排出される。

(1)式は産業連関分析のオープンモデル式で、最終需要による生産波及が直接・間接合わせてどの程度になるかを表したものである。なお、推計に使用した総務省『産業連関表』は、2000年のものである。

$$\mathbf{x} = \left(\mathbf{I} - \left(\mathbf{I} - \hat{\mathbf{M}} \right) \mathbf{A} \right)^{-1} \mathbf{f} \quad (1)$$

ただし、 \mathbf{x} : 国内生産ベクトル

\mathbf{I} : 単位行列

$\hat{\mathbf{M}}$: 輸入係数行列

\mathbf{A} : 投入係数行列

\mathbf{f} : 最終需要ベクトル

ここでは、財およびサービスのすべてについて、国内において発生するCO₂のみを対象としているため、 $\left(\mathbf{I} - \left(\mathbf{I} - \hat{\mathbf{M}} \right) \mathbf{A} \right)^{-1}$ の逆行列を用いている。(1)式に基づき、誘発CO₂排出量は次のように推計される。

$$c = \left(\mathbf{c}^p \left(\mathbf{I} - \left(\mathbf{I} - \hat{\mathbf{M}} \right) \mathbf{A} \right)^{-1} + \mathbf{c}^f \right) \mathbf{f} \quad (2)$$

ただし、 c : 誘発CO₂排出量

c^p : 財・サービスの生産過程からのCO₂排出係数(行ベクトル)

c^f : エネルギー財の消費過程からのCO₂排出係数(行ベクトル)

なお、(2)式の c^p 、 c^f といったCO₂排出係数は、中野(2005)で推計されている『平成12年環境分析用産業連関表』に基づいている。ここで推計されるCO₂排出量は、ある財・サービスが生産される段階の直接効果、およびその財・サービスを生産するために投入物が他産業に影響を与え、まわりまわって生産される段階の間接効果を合計したものである。

(2)式では直接・間接のそれぞれの段階におけるCO₂排出量の合計を計算するが、下の(3)式はある財・サービスの生産から誘発される直接効果を表したものである。

$$c^d = (c^p I + c^f) f \quad (3)$$

また、間接1次波及効果は(3)式の I を $(I - \hat{M})A$ で置き換えて計算する。ただし、直接消費分は除く。

$$c^{i1} = (c^p (I - \hat{M}) A) f \quad (4)$$

(4)式の A を A^2 、 A^3 、 A^4 ...と置き換えていくことで2次、3次、4次...の間接波及効果を計算することができる。

上記のモデルは一般的なモデルであるが、この f の部分に自動車を導入するに当たって必要となる各部門の需要額を代入することで、ELIICA、あるいは同規模のガソリン自動車に対する需要によるCO₂排出量を推計することができる。

3 - 3 . データの作成

3 - 3 - 1 . 前提条件

疋田他(2002)で対象としているKAZと同様に、ELIICAについても詳細な素材データを入手することができない。そのため、本研究においても、代表的な電気自動車の素材構成を援用する疋田他(2002)のデータ作成方法に基本的に倣っている。

まず、産業技術審議会(1997)の情報をもちいて、ガソリン自動車(GV)、および電気自動車(EV)の製造から走行にいたる過程で投入される原材料・エネルギーデータを整理する。産業技術審議会(1997)における電気自動車標準データとELIICAとは車格が異なるため、各パーツ別に素材および加工時の燃料等を重量比で膨らませた。また、電気自動車の製造に関しては、リチウムイオン電池の部分が非常に特殊なため、その他車体部分とは別に検討している。さらにELIICAと比較するためのGVとしては、標準EVとELIICAの車重比率で膨らませた。ただし、タイヤに関しては、それぞれ4本から8本に増やしている(【表3-2】、【図3-1】)。

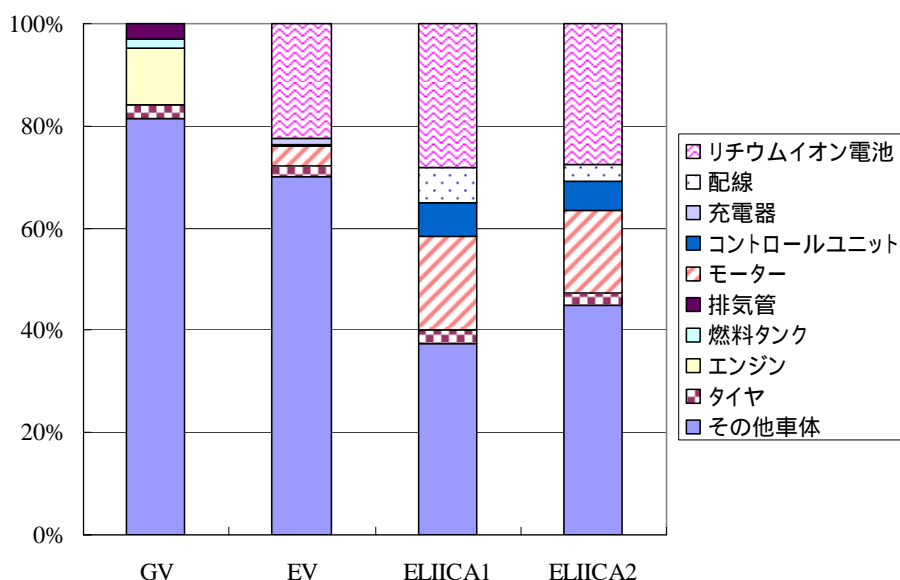
LCAの検討範囲は、自動車の製造時と走行時とし、廃棄される段階から発生するCO₂は評価していない(【図3-2】、【図3-3】)。なお、本稿の電力は、特定の電源を想定しているわ

けではなく年平均値を用いている。

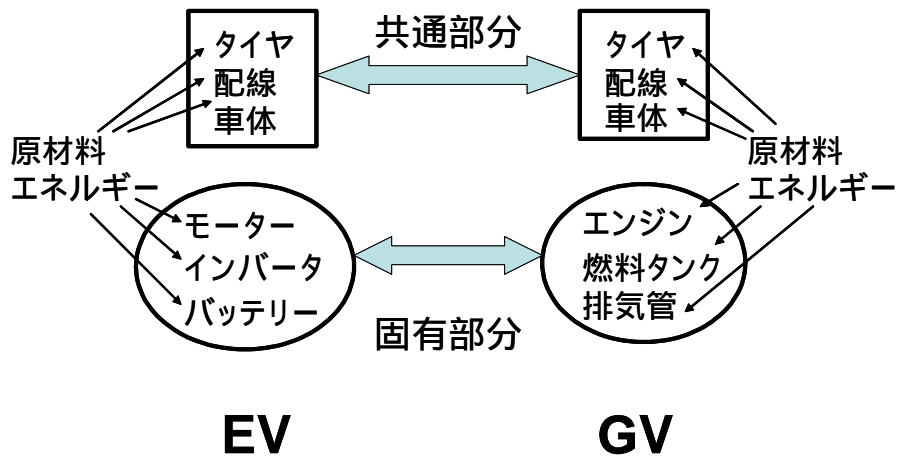
【表 3-2】 パーツ別重量構成の基礎データ

ELIICAヒアリング*		ELIICA1		ELIICA2		産技審データ		
項目		[kg]	[%]	[kg]	[%]	項目	[kg]	[%]
総重量		2,400		2,730		総重量	1,500	100%
車体	外装	150	6.3%	150	5.5%			---
	内装	10	0.4%	340	12.5%			---
	フレーム(アルミ)	160	6.7%	160	5.9%			---
	フレーム(スチール)	580	24.2%	580	21.2%			---
	小計	900	37.5%	1,230	45.1%	小計	1,049.5	70.0%
駆動系	Battery	672	28.0%	752	27.5%	Battery	337	22.5%
	Motor+Tire	500	20.8%	500	18.3%	Motor	57	3.8%
						Tire	32	2.1%
	Inverter	160	6.7%	160	5.9%	コントローラー	4.5	0.3%
	配線その他	168	7.0%	88	3.2%	充電器	20	1.3%
	小計	1,500	62.5%	1,500	54.9%	小計	450.5	30.0%

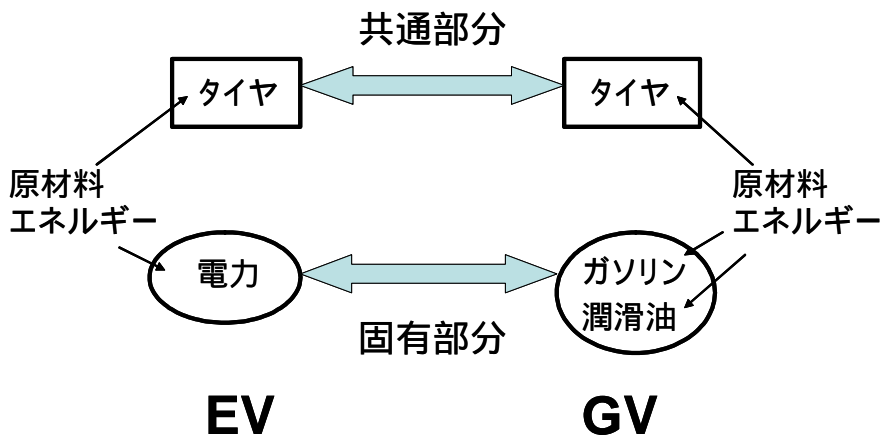
出所) 産業技術審議会他(1997)、日本ゴム工業会 <http://www.green-web.ne.jp/conten/lca/tire9909.html> より、8 kg/本×4本。



【図 3-1】 各自動車のパーツ別重量の構成比率



【図 3-2】 LCA の検討範囲（製造）



【図 3-3】 LCA の検討範囲（走行）

3 - 3 - 2 . 車体製造

産業技術審議会他（1997）をもとに、GV および EV それぞれのパーツ別素材データと組立時の投入エネルギーを次表にまとめる。

【表 3-3】 基準とする GV と EV の素材データ

素材 [kg]	共通	GV				EV			
	車体共通部分	エンジン	燃料タンク	排気管	GV 計	モーター	コントロールユニット	充電器	EV 計
鉄	27				27				27
熱間圧延	176.3				176.3				176.3

冷間圧延	98	118.9	20	32	268.9	34.2	2	20	154.2
亜鉛メッキ鋼材	259.9				259.9				259.9
炭素鋼	154.4				154.4				154.4
ステンレス鋼	34.5			8	42.5				34.5
電気銅	18.8	4.4			23.2	12.5	1.4		32.7
アルミ地金	58	21.8			79.8	8.6	0.9		67.5
ポリウレタン	64.3				64.3				64.3
塩化ビニル	14.2				14.2				14.2
ポリイソレン	3.9				3.9				3.9
ポリプロピレン	38.6				38.6				38.6
ABS	9				9	1.7	0.2		10.9
ガラス	36				36				36
木材	5.1				5.1				5.1
ゴム(SBR)	7.9				7.9				7.9
油脂・その他	43.7				43.7				43.7
車体計	1049.6	145.1	20	40	1254.7	57	4.5	20	1131.1
タイヤ	32				32				32
バッテリー									337
総計	1081.6				1286.7	57	4.5	20	1500

出所) 産業技術審議会他(1997)2) 疋田他(2002)より転載。

【表 3-4】組立時の投入エネルギー

	単位	共通	GV			EV		
		自動車 製造	部分品 ・付属品	エンジン	GV計	モーター ・コントローラー	蓄電池	EV計
電力	kWh	1628.51	456.15	261.00	2345.66	212.18	28.93	2325.77
重油	l	39.06		55.97	95.03	5.66	1.27	46.00
都市ガス	m3	15.85	9.21		25.06		0.97	26.03
石炭	kg	19.71	0.00		19.71			19.71
揮発油	l		1.28		1.28		0.00	1.28
灯油	l		8.70		8.70		0.25	8.95
軽油	l		1.39		1.39		0.25	1.64
炭化水素油	l		0.01		0.01			0.01
LPG	kg		10.01		10.01		0.38	10.40
コークス	kg		6.73		6.73			6.73

LNG	kg		1.7713		1.7713		1.7713
-----	----	--	--------	--	--------	--	--------

出所)産業技術審議会他(1997)、疋田他(2002)より転載。

EVの標準データを、ELIICAベースのパーツ構成に組み替え、さらにパーツ別の重量比で素材及び組立エネルギーの投入量を膨らませた。【表3-5】および【表3-6】の「車体計 - ELIICA」の網掛けの部分が、膨らまし計算の基準とした重量である。

【表3-5】EV標準データからELIICA1の重量比への膨らまし

素材 [kg]	ELIICA Base				ELIICA1				
	Motor +Tire	Inverter	配線	その他車体	Motor +Tire	Inverter	配線	その他車体	EV計
鉄鉄				27				23.6	23.6
熱間圧延				176.3				153.9	153.9
冷間圧延	34.2	22		98	261.6	143.7		85.6	490.8
亜鉛メッキ鋼材				259.9				226.9	226.9
炭素鋼				154.4				134.8	134.8
ステンレス鋼				34.5				30.1	30.1
電気銅	12.5	1.4	18.8	0	95.6	9.1	168.0		272.8
アルミ地金	8.6	0.9		58	65.8	5.9		50.6	122.3
ポリウレタン				64.3				56.1	56.1
塩化ビニル				14.2				12.4	12.4
ポリフェン				3.9				3.4	3.4
ポリプロピレン				38.6				33.7	33.7
ABS	1.7	0.2		9	13.0	1.3		7.9	22.2
ガラス				36				31.4	31.4
木材				5.1				4.5	4.5
ゴム(SBR)				7.9				6.9	6.9
油脂・その他				43.7				38.2	38.2
車体計	57	24.5	18.8	1030.8	436	160	168	900	1664
タイヤ	32				64				64
バッテリー				337					672
総計	89	24.5	18.8	1,500	500	160	168	900	2,400

注)網掛けの部分を基準に、重量比で膨らまし計算を行った。

【表3-6】EV標準データからELIICA2の重量比への膨らまし

素材 [kg]	ELIICA Base	ELIICA2
---------	-------------	---------

車体	Motor +Tire	Inverter	配線	その他 車体	Motor +Tire	Inverter	配線	その他 車体	EV 計
銑鉄				27				32.2	32.2
熱間圧延				176.3				210.4	210.4
冷間圧延	34.2	22		98	261.6	143.7		116.9	522.2
亜鉛メッキ鋼材				259.9				310.1	310.1
炭素鋼				154.4				184.2	184.2
ステンレス鋼				34.5				41.2	41.2
電気銅	12.5	1.4	18.8	0	95.6	9.1	88.0		192.8
アルミ地金	8.6	0.9		58	65.8	5.9		69.2	140.9
ポリウレタン				64.3				76.7	76.7
塩化ビニル				14.2				16.9	16.9
ポリエチレン				3.9				4.7	4.7
ポリプロピレン				38.6				46.1	46.1
ABS	1.7	0.2		9	13.0	1.3		10.7	25.0
ガラス				36				43.0	43.0
木材				5.1				6.1	6.1
ゴム(SBR)				7.9				9.4	9.4
油脂・その他				43.7				52.1	52.1
車体計	57	24.5	18.8	1030.8	436	160	88	1230	1914
タイヤ	32				64				64
バッテリー				337					752
総計	89	24.5	18.8	1,500	500	160	88	1,230	2,730

注) 網かけの部分に基づき、重量比で膨らまし計算を行った。

以上のデータをもとに、1台あたりのパーツ別の投入素材・エネルギー量を次表にまとめる。

【表 3-7】自動車製造素材まとめ

単位	共通		GV				EV				
	車体共通 部分	配線	エンジン	燃料 タンク	排気管	GV	モーター	コントロール ユニット	EV	ELIICA1	ELIICA2
銑鉄	t	0.02700									
熱間圧延	t	0.17630									
冷間圧延	t	0.09800	0.11890	0.02000	0.03200		0.03420	0.02200			

亜鉛メッキ鋼材	t	0.25990										
炭素鋼	t	0.15440										
ステンレス鋼	t	0.03450				0.00800						
電気銅	t		0.01880	0.00440				0.01250	0.00140			
アルミ地金	t	0.05800		0.02180				0.00860	0.00090			
ポリウレタン	t	0.06430										
塩化ビニル	t	0.01420										
ポリイソレン	t	0.00390										
ポリプロピレン	t	0.03860										
ABS	t	0.00900						0.00170	0.00020			
ガラス	t	0.03600										
木材	t	0.00510										
ゴム(SBR)	t	0.00790										
油脂・その他	t	0.04370										
電力	GWh	0.00163		0.00046	0.00026			0.00021	0.00003			
重油	kl	0.03906			0.05597			0.00566	0.00127			
都市ガス	m3	0.01585		0.00921					0.00097			
石炭	t	0.01971		0.0000002								
揮発油	kl			0.00128					0.000002			
灯油	kl			0.00870					0.00025			
軽油	kl			0.00139					0.00025			
炭化水素油	kl			0.00001								
LPG	t			0.01001					0.00038			
コークス	t			0.00673								
LNG	t			0.00177								
タイヤ	本						4			4	8	8
エンジン	t			0.1451			0.1451					
燃料タンク	t				0.02		0.02					
排気管	t					0.04	0.04					
GV	t						1.2547					
リチウムイオン電池	t								0.337	0.672	0.752	
モーター	t								0.057	0.436	0.436	
コントロールユニット	t								0.0245	0.16	0.16	
配線	t						0.0188		0.0188	0.168	0.088	
その他車体	t						1.0308		1.0308	0.9	0.9	

2000 年産業連関表・計数編 の 10 桁分類単価表をもとに、各種素材を産業連関表の分類に格付け、単価をまとめた。

【表 3-8】素材別単価データ

	IO-7 桁分類	IO 部門名	単位	単価(円)
銑鉄	2611011	銑鉄	t	15,531
熱間圧延	2621012	普通鋼鋼板	t	48,055
冷間圧延	2623011	冷間仕上鋼材	t	132,497
亜鉛メッキ鋼材	2623021	亜鉛めっき鋼板	t	71,375
炭素鋼	2621016	機械構造用炭素鋼	t	66,718
ステンレス鋼	2621016	特殊鋼特殊用途鋼	t	97,115
電気銅	2711011	電気銅	t	213,574
アルミ地金	2722031	自動車用アルミ	t	577,937
ポリウレタン	2041011	FRP 用	t	247,308
塩化ビニル	2041025	塩化ビニル樹脂	t	116,820
ポリエチレン	2041022	ポリエチレン高密度のもの (密度 0.94 以上のもの)	t	116,549
ポリプロピレン	2041024	ポリプロピレン	t	134,881
ABS	2041023	A B S 樹脂	t	223,379
ガラス	2511012	ガラス	t	748,000
木材	1611011	木材	t	85,713
ゴム(SBR)	2033011	SBR	t	318,987
油脂・その他	2072011	塗料	t	391,457
タイヤ	2311011	乗用車用	本	3,602,835
電力	5111001	事業用電力	百万 kWh	15,965,293
重油	2111015	A 重油	kl	24,556
都市ガス	5121011	販売用	千立方米	93,011
石炭	0711011	一般炭	t	11,647
揮発油	2111011	自動車揮発油	kl	87,892
灯油	2111013	灯油	kl	26,335
軽油	2111014	軽油	kl	68,268
炭化水素油	2111017	その他用	kl	20,079
LPG	2111018	液化石油ガス(自動車用を除く)	t	27,626
石油系炭化水素ガス	2111019	石油ガス	千立方米	22,246

コークス	2121011	粉	t	11,280
LNG	0721012	天然ガス	t	31,494

次に、2000年生産者価格表示の需要額に、2000年産業連関表の商業マージン率、輸送コスト率を乗じて、商業コスト、輸送コストを求めた。我々が自動車を購入する際に直面するのは、購入者価格である。したがって、生産者価格と購入者価格の差である、これらのマージン分を膨らませる必要がある。その際、自動車は、国内需要合計(921000)へ産出された場合であると想定した。以下その変換手続きを示す。

購入者価格は生産者価格、商業マージン、輸送コストの和であるから、

$$X_j = x_j + \sum_k CM_{kj} + \sum_l TM_{lj} \quad (5)$$

である。

ただし、 X_j : 国内需要合計へ産出されたj財の購入者価格表示額

x_j : 国内需要合計へ産出されたj財の生産者価格表示額

CM_{kj} : 国内需要合計へ産出されたj財の商業マージン額(第k商業部門)

TM_{lj} : 国内需要合計へ産出されたj財の輸送コスト額(第l運送部門)

これを基に商業マージン額、運賃コスト額を生産者価格表示額で割って、それぞれの割合を推計しこれを与件とする。

$$cm_{kj} = CM_{kj} / x_j \quad (6)$$

$$tm_{lj} = TM_{lj} / x_j \quad (7)$$

ただし、 r_j : j財の購入者価格表示額率

cm_{kj} : j財の商業マージン率(k商業部門)

tm_{lj} : j財の輸送コスト率(l運送部門)

ここでの商業には卸売、小売が含まれ、輸送コストには鉄道貨物輸送、道路貨物輸送、

貨物運送取扱、沿海・内水面輸送、港湾運送、航空輸送、倉庫が含まれる。推計された割合を生産者価格表示の需要額にかけることで、商業、輸送の需要額が求められる。

$$CM_{kj}^{00} = cm_{kj} \times x_j^{00} \quad (8)$$

$$TM_{lj}^{00} = tm_{lj} \times x_j^{00} \quad (9)$$

ただし、 CM_{kj}^{00} ：2000年価格のj財の商業マージン額(k商業部門)

TM_{lj}^{00} ：2000年価格のj財の輸送コスト額(l運送部門)

これら x_j^{00} 、 CM_{kj}^{00} 、 TM_{lj}^{00} を要素とし、他の部門が0のベクトルが(2)式に与えるべき最終

需要ベクトルである。ただし、 C_{kj}^{00} 、 T_{lj}^{00} については各要素に分割している。

産業連関表 7 桁分類での各素材の投入金額を次表にまとめる。また、それらをもとに商業・国内輸送マージンを推計した結果を示す。

【表 3-9】IO-7 桁分類での1台あたりの投入金額及び、車体製造時の商業・輸送マージン

金額[円/台]		GV1	GV2	ELIICA1	ELIICA2
0711012	一般炭	209	260	209	260
0721012	天然ガス	65	81	65	81
1611011	木材	382	522	382	522
2033011	合成ゴム	2,200	3,007	2,200	3,007
2041011	FRP用	13,884	18,975	13,884	18,975
2041022	ポリイソブレン高密度のもの (密度0.94以上のもの)	397	542	397	542
2041023	A B S樹脂	1,755	2,399	4,952	5,595
2041024	ポリプロピレン	4,546	6,213	4,546	6,213
2041025	塩化ビニル樹脂	1,448	1,979	1,448	1,979
2072011	塗料	14,936	20,412	14,936	20,412
2111011	自動車揮発油	102	127	103	128
2111013	灯油	208	259	219	271
2111014	軽油	86	108	114	137
2111015	A重油	2,122	2,641	1,483	1,700

2111017	その他用	0	0	0	0
2111018	液化石油ガス (自動車用を除く)	252	313	269	332
2111019	石油ガス	0	0	0	0
2121011	コークス(粉)	69	86	69	86
2311011	タイヤ	14,411	14,411	28,823	28,823
2511012	ガラス	23,511	32,132	23,511	32,132
2611011	銑鉄	366	500	366	500
2621012	普通鋼鋼板	7,397	10,109	7,397	10,109
2621016	特殊鋼熱間圧延鋼材	12,598	17,217	11,919	16,290
2623011	冷間仕上鋼材	31,108	42,514	65,035	69,192
2623021	亜鉛めっき鋼板	16,196	22,135	16,196	22,135
2711011	電気銅	4,326	5,912	58,254	41,168
2722031	自動車用アルミ	40,267	55,032	70,682	81,413
5111001	事業用電力	34,056	42,379	44,653	52,112
5121011	都市ガス(販売用)	2,120	2,638	2,266	2,796
6111011	卸売	33,645	44,895	53,276	60,316
6112011	小売	418	539	456	578
7112011	鉄道	43	55	62	71
7122011	道路	5,064	6,663	8,272	9,229
7142012	沿海内水面	515	674	695	803
7143011	港湾運送	1,177	1,599	1,816	2,090
7151013	航空	6	6	12	12
7161011	通運	193	251	305	341
7171011	倉庫	687	927	1,321	1,401

注)ELIICA1 と ELIICA2 では車格が異なるため、比較に用いるガソリン自動車は、それぞれ GV1 と GV2 と異なる。

【表 3-9】の財・サービス別需要額を最終需要ベクトル f として(2)式に与えることで、製造過程(ELIICAのリチウム電池を除く)から誘発されるCO₂排出量を計算する。

3 - 3 - 3 . リチウムイオン電池製造

電気自動車製造の中でも、リチウムイオン電池については特殊な素材も多く使用されており、その他の車体部分とは別に検討することとする。産業技術審議会(1997)を基に、375Wh単電池セル製造、3kWhモジュール化、45kWhシステム化(337kg)のプロセスをまとめる。更に特殊なセルの素材である、LiOH、NMP(N-Methyl-2-pyrrolidone)、LiPF₆、PC(ブ

ロピレンカーボネート)、EMC(エチルメチルカーボン)については、別途製造プロセスを検討した。これをもとに、ELIICAに搭載されている電池の総重量(672kgセル重量)との重量比で、膨らまし計算をおこなった³¹。

【表 3-10】リチウムイオン蓄電池の基礎データ

	ELIICA1 ヒアリング*	ELIICA2 ヒアリング*	産技審データ
容量	24 Ah	40 Ah	375 Wh
電圧	3.8 V	3.8 V	---
重量	2.1 kg	2.1 kg	---
個数	320 80*4 系統	320 80*4 系統	8(モジュール) × 15(システム)
総重量	672 kg	672 kg	337 kg
容量	29 kWh	48 kWh	45 kWh
重量当り出力 (対電池)	37.8 Wh/kg	62.5 Wh/kg	133.5 Wh/kg
(対車体)	12.1 Wh/kg	17.6 Wh/kg	30.0 Wh/kg
充電時間	4-90 min.	30-90 min.	---

注) 産業技術審議会他(1997)。

【表 3-11】45kWh リチウムイオン電池製造時の素材データ

	単位	素材製造					375Wh 単電池							3kWh モジュール (375Wh × 8)	45kWh システム (3kWh × 15)	リチウムイオン電池 (45kWh)
		LiOH	NMP	LiPF ₆	PC	DMC	正極	負極	セパレータ	電槽	電解液	正極蓋	その他・組立			
Output	kg	21.3	11.2	2.5	10.0	10.0	114.9	73.2	13.1	19.7	22.5	11.6	6.2	39.0	37.0	337.0
Input																
LiF	kg			0.5												0.5
PCI	kg			4.3												4.3
CaF ₂	kg			11.0												11.0
硫酸	kg			14.5												14.5
岩塩	kg				13.2											13.2
炭酸ナトリウム	kg				6.5											6.5
炭酸ガス	kg				4.3											4.3

³¹ ELIICAのリチウムイオン電池のモジュール重量は、768kgである。

Ni	kg						52.1	1.2							53.3
HNO ₃	kg						694.1								694.1
LiOH	kg	-21.3					21.3								0.0
O ₂	kg					1.9	2.2								4.0
LiNiO ₂	kg														0.0
鉄	kg										4.9	4.1		30.0	39.0
銅	kg							30.6						7.0	37.6
アルミ	kg						16.2			16.8	3.8				36.9
NMP	kg		-11.2				7.9	3.3							0.0
ポリリチウム ジニトリド	kg						2.0	0.8							2.8
ケッチェンラック	kg						2.0								2.0
ピッチ	kg							60.0							60.0
難黒鉛化性炭素	kg														0.0
LiPF ₆	kg			-2.5						2.5					0.0
PC(ポリアリレート)	kg				-10.0					10.0					0.0
EMC	kg					-10.0				10.0					0.0
ポリリチウム	kg								13.1	2.4	0.9				16.4
ポリリチウム	kg						0.0		0.4	1.4	2.1	22.5			26.3
ポリリチウム テレフタレート	kg									0.6					0.6
シリコンフェノール 樹脂	kg												10.5		10.5
電力	kWh	39.7	0.3	59.0	24.4	1.1	1560.3	238.8		27.0	43.3	45.0	45.0		2083.8
原油	kg				231.3	50.4									281.7
重油	l		0.3	1.1	5.9	7.9									15.2
天然ガス	m ³	15.5				4.2									19.7
石炭	kg	240.8													240.8
蒸気	Mcal	405.5			72.4	2.2									480.1

出所) 産業技術審議会他(1997)、一部、疋田他(2002)より転載。

2000年産業連関表・計数編の10桁分類単価表をもとに、各種素材を産業連関表の分類に格付け、単価をまとめた。

【表 3-12】素材別単価データ

	IO-7 桁分類	IO 部門名	単位	単価(円)
LiF	---	---	---	---
PCI	---	---	---	---
CaF ₂	---	---	---	---
硫酸	2029099	硫酸	t	6,409
岩塩	---	---	---	---
炭酸加シム	2599099	軽質炭酸加シム(こう質品)	t	50,740
炭酸ガス	2029021	炭酸ガス	t	26,277
Ni	2722099	ニッケル・同合金展伸材	t	2,065,031
HNO ₃	2029099	硝酸	t	46,215
LiOH	2029099	水酸化リチウム	t	1,050,000
O ₂	2029021	酸素ガス	t	140,000
LiNiO ₂	---	---	---	---
鉄	2623011	冷延鋼板	t	203,386
銅	2711011	電気銅	t	213,574
アルミ	2722031	自動車用アルミ	t	577,937
NMP	2032024	カプロラクタム	t	212,709
ポリブチルアクリレート	2041099	ぶつ素樹脂	t	2,333,084
ケッチェンブラック (導電性カーボンブラック)	2029012	カーボンブラック	t	115,526
ピッチ	2039099	ピッチ	t	31,656
難黒鉛化性炭素	---	---	---	---
LiPF ₆	2029099	LiPF ₆	t	---
PC(フッ素レンカーボネート)	2039099	フッ素レンカーボネート	t	---
EMC(エチレンカーボネート)	2039099	エチレンカーボネート	t	---
ポリエチレン	2041022	ポリエチレン高密度のもの (密度 0.94 以上のもの)	t	116,549
ポリプロピレン	2041024	ポリプロピレン	t	134,881
ポリブチレンテレフタレート	2041031	ポリブチレンテレフタレート	t	369,825
シリコフェノール樹脂	2041011	成形材料	t	372,906
電力	5111001	事業用電力	百万 kWh	15,965,293
原油	0721011	原油	t	11,970
重油	2111015	A 重油	kl	24,556
天然ガス	0721012	天然ガス	千立方米	31,494
石炭	0711012	一般炭	t	11,647

蒸気	5122011	業務用及びその他	Gcal	6,967
----	---------	----------	------	-------

産業連関表 7 桁分類での各素材の投入金額を次表にまとめる。また、それらをもとに商業・国内輸送マージンを推計した結果を示す。

【表 3-13】IO-7 桁分類での 1 台あたりの投入金額、及び商業・輸送マージン

金額[円/台]		リチウム電池		
		45kWh システム	29kWh システム	48kWh システム
0711012	一般炭	3,239	4,994	6,259
0721011	原油	3,923	6,984	10,377
0721012	天然ガス	662	1,103	1,382
2029012	カーボンブラック	233	405	507
2029021	圧縮ガス・液化ガス	677	1,206	1,511
2029099	その他の無機化学工業製品	33,614	57,276	71,786
2032024	カプロラクタム	0	0	0
2039099	その他の有機化学工業製品	1,820	3,382	4,238
2041011	成形材料	3,717	6,971	8,737
2041022	ポリエチレン	2,410	3,399	4,260
2041024	ポリプロピレン	3,707	6,325	7,928
2041031	ポリフッ素エラストマー	292	395	495
2041099	プラスチック樹脂	6,836	11,514	14,432
2111015	A重油	273	663	831
2599099	軽質炭酸カルシウム(こう質品)	315	587	736
2623011	冷延鋼板	8,913	14,131	17,711
2711011	電気銅	11,032	16,034	17,942
2722031	自動車用アルミ	23,028	38,006	47,634
2722099	ニッケル・同合金展伸材	108,895	195,934	245,571
5111001	事業用電力	43,755	59,231	74,236
5122011	業務用及びその他	14,005	24,935	30,364
重量		337 kg	672 kg	672 kg
6111011	卸売	49,258	90,684	113,414
6112011	小売	11	34	43
7112011	鉄道	73	103	129
7122011	道路	4,535	7,094	8,849
7142012	沿海内水面	836	1,040	1,327

7143011	港湾運送	799	1,255	1,582
7151013	航空	108	203	255
7161011	通運	277	326	408
7171011	倉庫	1,514	1,974	2,469

【表 3-13】の財・サービス別需要額を最終需要ベクトル f として(2)式に与え、リチウムイオン電池の製造段階におけるCO₂排出量を計算する。

3 - 3 - 4 . 走行

電気自動車に関して、産業技術審議会（1997）における標準データと ELIICA のヒアリングデータとの違いを次に示す。

【表 3-14】 走行時の基礎データ

	ELIICA1 ヒアリング	ELIICA2 ヒアリング	産技審データ
航続距離	200 km	320 km	10.15 モード 400 km
最高時速 (目標値)	400 km/h	180 km/h	

1 充電での航続距離については、ELIICA のデータは走行速度に関する情報がないが、10.15 モードであれば 400km 程度は走行可能であろうと推測し、この点に関しては同程度の能力であるものと仮定した。このため、45kWh と 29kWh および 48kWh の電池容量の違いから、消費電力あたりの走行距離はそれぞれ 9.44 、7.33、および 7.08 km/kWh となる。これは GV でいうところの燃費に相当するもので、ELIICA の数値が現状値、産業技術審議会の標準データが開発目標値に相当するものと想定した。これに対して、GV の燃費も現状値の 11km/l と、直噴エンジンの 18.8km/l を設定した。また、電池の寿命を表す生涯充放電回数を、250 と 500cycle の 2 つを想定した。以上、電池寿命に関して 2 通り、燃費特性について 2 通りのケースを想定し、合計 4 通りのケースで推計を行うこととした。

【表 3-15】 走行時の前提条件

		Case1	Case2	Case3	Case4	
ELIICA1 (EV)	生涯充放電回数	cycle	250	250	500	500
	消費電力当たり走行距離(10.15 モード)	km/kWh	7.33	9.44	7.33	9.44
	生涯走行距離	10 ³ km	50	64	100	129
ELIICA2 (EV)	生涯充放電回数	cycle	250	250	500	500
	消費電力当たり走行距離(10.15 モード)	km/kWh	7.08	9.44	7.08	9.44

	生涯走行距離	10 ³ km	100	107	200	213
GV	燃費	km/l	11	18.8	11	18.8

各ケースにおける EV、GV それぞれの走行時のデータを次に示す。

【表 3-16】 ELIICA1 の走行データ

		Case1	Case2	Case3	Case4
1 充電電力量	kWh	23	23	23	23
充放電効率	%	0.85	0.85	0.85	0.85
1 充電所用電力量	kWh	27.29	27.29	27.29	27.29
消費電力当たり走行距離	km/kWh	7.33	9.44	7.33	9.44
1 充電走行距離	km	200	258	200	258
生涯充電回数	cycle	250	250	500	500
生涯電力消費	kWh	6,824	6,824	13,647	13,647
生涯走行距離	km	50,000	64,444	100,000	128,889

【表 3-17】 ELIICA2 の走行データ

		Case1	Case2	Case3	Case4
1 充電電力量	kWh	38	38	38	38
充放電効率	%	0.85	0.85	0.85	0.85
1 充電所用電力量	kWh	45.18	45.18	45.18	45.18
消費電力当たり走行距離	km/kWh	7.08	9.44	7.08	9.44
1 充電走行距離	km	320	427	320	427
生涯充電回数	cycle	250	250	500	500
生涯電力消費	kWh	14,118	11,294	28,235	22,588
生涯走行距離	km	100,000	106,667	200,000	213,333

【表 3-18】 ELIICA1 の比較対象となる GV 1 の走行データ

		Case1	Case2	Case3	Case4
燃費	km/l	11.0	18.8	11.0	18.8
生涯走行距離	km	50,000	64,444	100,000	128,889
生涯ガソリン消費	l	4,545	3,428	9,091	6,856

【表 3-19】 ELIICA2 の比較対象となる GV2 の走行データ

		Case1	Case2	Case3	Case4
燃費	km/l	11.0	18.8	11.0	18.8
生涯走行距離	km	100,000	106,667	200,000	213,333
生涯ガソリン消費	l	9,091	5,674	18,182	11,348

また、維持管理に関しては、共通の品目としてはタイヤ、GV 特有の品目としてはエンジンオイル、ATF(Automatic Transmission Fluid)を考慮することとし、走行距離を基に必要量を推計した。

【表 3-20】 維持管理

	交換時期 [km]	交換数量	生涯数量 [10 万 km 当り]
タイヤ	30,000	4 本 × 2	24 本
エンジンオイル	5,000	4 l	80 l
ATF (Automatic Transmission Fluid)	40,000	6 l	15 l

出所) 疋田他(2002)より転載。

以上をもとに推計される、走行時の投入素材・エネルギーを次にまとめる。

【表 3-21】 走行時の投入素材データ(ELIICA1 および GV1)

		GV1				ELIICA1			
		Case1	Case2	Case3	Case4	Case1	Case2	Case3	Case4
ガソリン	l	4,545	3,428	9,091	6,856				
電力	kWh					6,824	6,824	13,647	13,647
タイヤ	本	8	10	32	21	8	10	32	21
潤滑油	l	47	61	188	121				

【表 3-22】 走行時の投入素材データ(ELIICA2 および GV2)

		GV2				ELIICA2			
		Case1	Case2	Case3	Case4	Case1	Case2	Case3	Case4
ガソリン	l	9,091	5,674	18,182	11,348				
電力	kWh					14,118	11,294	28,235	22,588
タイヤ	本	24	26	48	51	24	26	48	51
潤滑油	l	95	101	190	203				

2000年産業連関表・計数編Ⅰの10桁分類単価表をもとに、各種素材を産業連関表の分類に格付け、単価をまとめた。

【表 3-23】素材別単価データ

	IO-7 桁分類	IO 部門名	単位	単価(円)
ガソリン	2111011	自動車揮発油	kl	87,892
電力	5111001	事業用電力	百万 kWh	15,965,293
タイヤ	2311011	乗用車用	千本	3,602,835
潤滑油	2111019	潤滑油	kl	92,282

産業連関表 7 桁分類での各素材の投入金額を次表にまとめる。また、それらをもとに商業・国内輸送マージンを推計した結果を示す。

【表 3-24】IO-7 桁分類での 1 台あたりの投入金額(ELIICA1 および GV1)

金額[円/台]		GV1				ELIICA1			
		Case1	Case2	Case3	Case4	Case1	Case2	Case3	Case4
2111011	自動車揮発油	799,018	301,285	1,598,036	602,569	0	0	0	0
2111019	潤滑油	8,767	5,650	17,534	11,299	0	0	0	0
2311011	乗用車用	86,468	55,724	172,936	111,448	86,468	55,724	172,936	111,448
5111001	事業用電力	0	0	0	0	108,940	108,940	217,879	217,879
6111011	卸売	137,030	56,457	274,060	112,914	16,623	10,712	33,246	21,425
6112011	小売	185,929	70,187	371,859	140,374	136	88	272	176
7112011	鉄道	1,426	555	2,852	1,110	45	29	90	58
7122011	道路	6,324	3,601	12,649	7,203	4,135	2,665	8,271	5,330
7142012	沿海内水面	8,873	3,438	17,746	6,875	271	175	542	349
7143011	港湾運送	613	256	1,226	511	85	55	171	110
7151013	航空	37	24	73	47	36	23	72	46
7161011	通運	773	345	1,547	690	181	117	363	234
7171011	倉庫	2,781	1,097	5,563	2,194	172	111	344	222

【表 3-25】IO-7 桁分類での 1 台あたりの投入金額(ELIICA2 および GV2)

金額[円/台]		GV2				ELIICA2			
		Case1	Case2	Case3	Case4	Case1	Case2	Case3	Case4
2111011	自動車揮発油	799,018	498,678	1,598,036	997,356	0	0	0	0
2111019	潤滑油	8,767	9,351	17,534	18,702	0	0	0	0

2311011	乗用車用	86,468	92,233	172,936	184,465	86,468	92,233	172,936	184,465
5111001	事業用電力	0	0	0	0	225,392	180,314	450,785	360,628
6111011	卸売	137,030	93,446	274,060	186,892	16,623	17,731	33,246	35,462
6112011	小売	185,929	116,172	371,859	232,344	136	145	272	290
7112011	鉄道	1,426	919	2,852	1,837	45	48	90	96
7122011	道路	6,324	5,961	12,649	11,922	4,135	4,411	8,271	8,822
7142012	沿海内水面	8,873	5,690	17,746	11,380	271	289	542	578
7143011	港湾運送	613	423	1,226	846	85	91	171	182
7151013	航空	37	39	73	78	36	38	72	76
7161011	通運	773	571	1,547	1,142	181	193	363	387
7171011	倉庫	2,781	1,816	5,563	3,631	172	183	344	367

【表 3-24】および【表 3-25】の財・サービス別需要額を最終需要ベクトル f として(2)式に与え、走行段階におけるCO₂排出量を計算する。

3 - 4 . 推計結果

3 - 4 - 1 . 製造過程からのCO₂排出量

各自動車製造過程における、1台あたりCO₂排出量を【表 3-26】に示す。ELIICAは、どちらのタイプにおいてもガソリン自動車のCO₂排出量の3倍程度である。とりわけ、リチウムイオン電池からのCO₂排出が非常に大きいことがわかる。

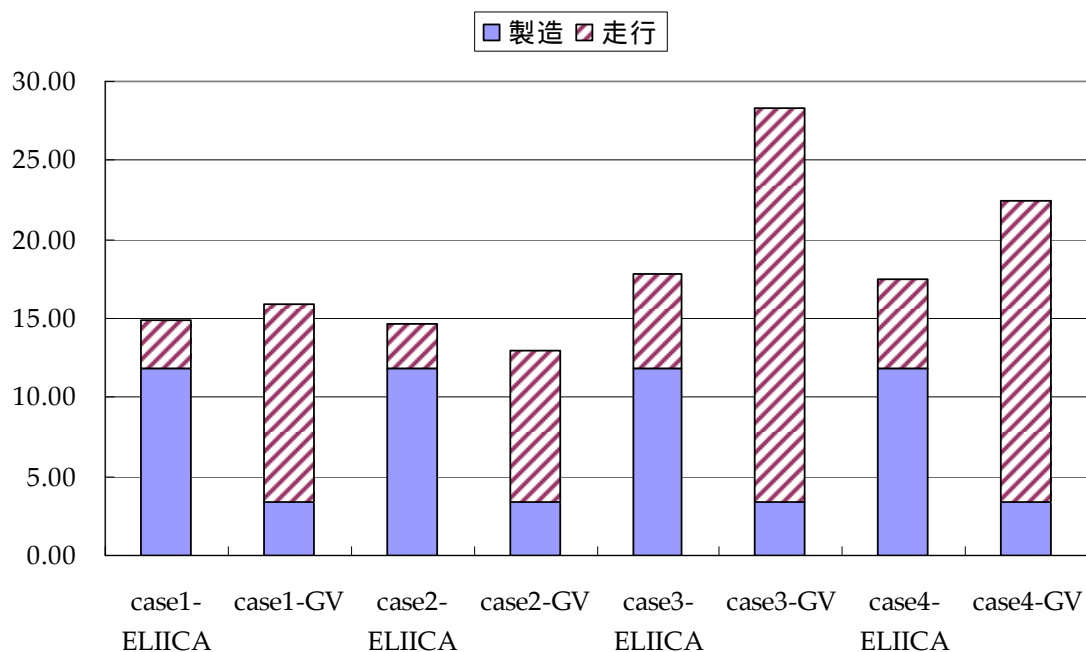
【表 3-26】自動車1台あたりのCO₂排出量(t-CO₂)

ELIICA1			GV1
その他車体	リチウムイオン電池	計	
4.68	7.18	11.86	3.42
ELIICA2			GV2
その他車体	リチウムイオン電池	計	
5.46	9.18	14.63	4.49

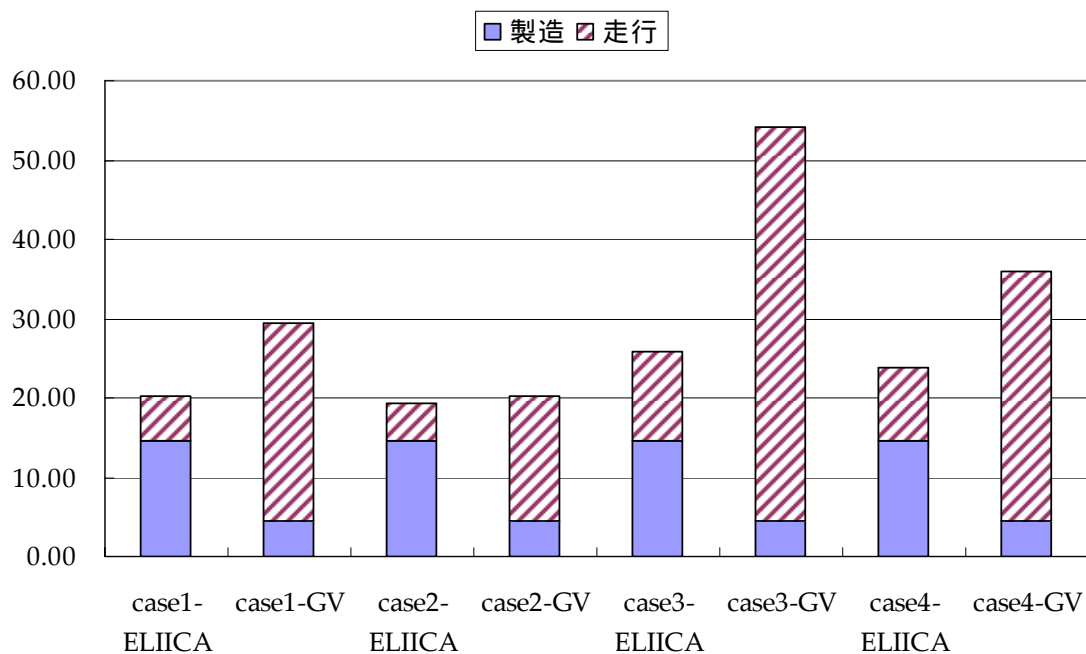
3 - 4 - 2 . ライフサイクルCO₂排出量

走行・製造過程にわたるライフサイクル全体のCO₂排出量の推計結果を示す。【図 3-4】【図 3-5】は1台あたりのCO₂排出量、【図 3-6】【図 3-7】は走行距離あたりのCO₂排出量である。なお、ELIICAはタイヤ8本を特徴とするが、非常に特殊なケースであるため、本稿

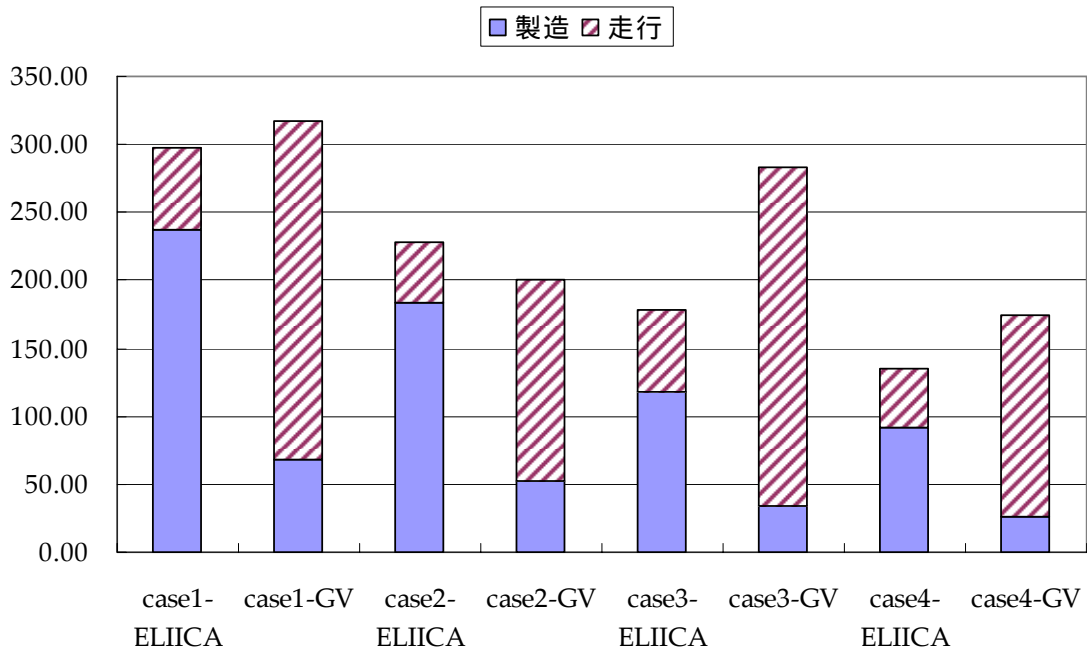
では通常のガソリン自動車と同数の4本であると一般化したうえで分析をおこなっている。よって、ELIICAに関するより正確な分析をおこなう際には、追加4本を考慮する必要がある。



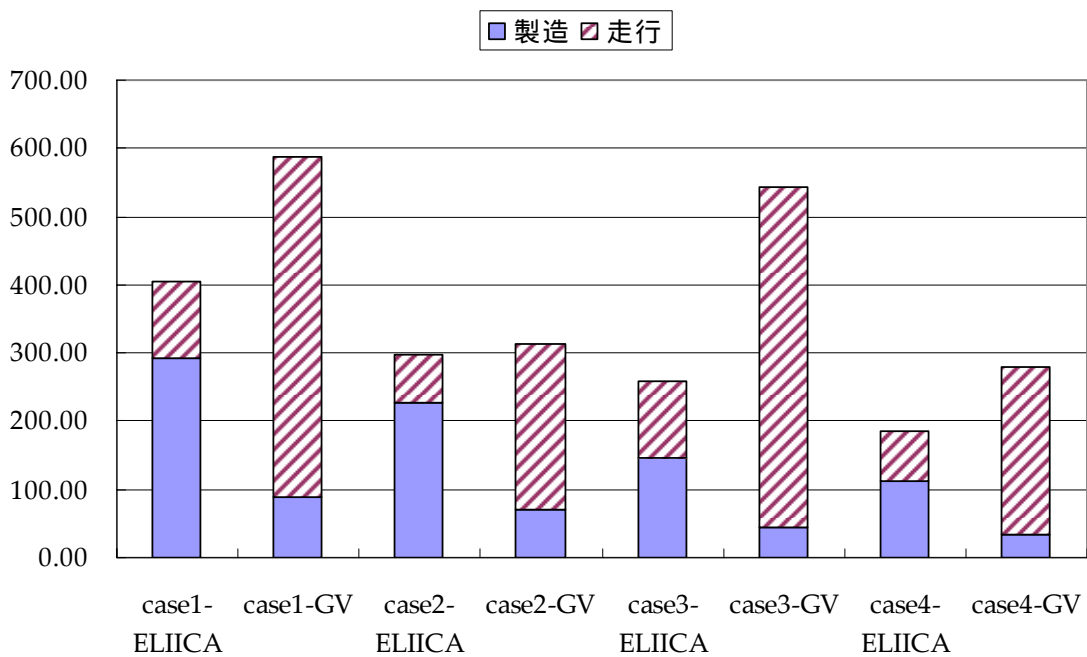
【図 3-4】ライフサイクル全体での1台あたりのCO₂排出量(ELIICA1、t-CO₂)



【図 3-5】ライフサイクル全体での1台あたりのCO₂排出量(ELIICA2、t-CO₂)



【図 3-6】ライフサイクル全体での走行距離あたりのCO₂排出量(ELIICA1、g-CO₂/km)



【図 3-7】ライフサイクル全体での走行距離あたりのCO₂排出量(ELIICA2、g-CO₂/km)

走行段階を含めたライフサイクル全体でのCO₂排出量は、ELIICAの方がガソリン自動車に比べ、ほとんどすべてのケースで少ない。しかし、課題がない訳ではない。まず、リチウムイオン電池の製造過程からのCO₂排出量の削減が必要である。また、電気自動車の走

行時における電力需要は、多大なCO₂排出をもたらすため、夜間に充電するなどして原子力や水力発電といった電源を活用するか、分散型の自然エネルギーの電源を導入するなどの方策が必要であろう。その他、電池寿命の延長、電池の小型化・軽量化による積載容量の増大といった課題もある。

おわりに .

本稿では、交通需要の増加が予想される一方、運輸部門でのCO₂排出を減らす方策を考えるにあたり、環境性能が良いとされる電気自動車に着目し、慶應義塾大学電気自動車研究会によるELIICAを事例にライフサイクル全体での排出量の評価をおこなった。発電源が多様な電力を利用することから、電気自動車の活用は、余剰電力の有効利用や石油依存度の低下に大きく貢献し、現在は電気自動車の実用化が待たれる状況にある。今後は特に、電気自動車の性能の良し悪しや車両価格に大きく影響する電池部分での確実な改良・量産化が見込まれる。家庭での充電が可能な電気自動車の市販化が実現し、電気自動車は「家電製品のひとつ」として、従来の家電製品と同様に日常的なものとしての位置づけになることが十分予想される。

今後の研究として、ELIICAや他の電気自動車を対象としたLCA分析のシミュレーションメニューの拡充を考えている。電気自動車に関する詳細なデータの収集をおこない、導入対象地域の検討を加えて日本全国の導入へと評価の範囲を拡大することや、発電源を考慮したより現実に沿う分析を予定している。また、同様に、ハイブリッド車、燃料電池車をはじめとする他のエコ自動車に分析対象を拡大する予定である。また、移動手段の選択をとまなう消費者行動論の視点の導入やや交通需要モデルとの接合も考えている。他方、最近の傾向として、消費者の嗜好の変化や安全面の考慮から乗用車の大型化・重量化が進展している。運輸部門でのCO₂排出を減らすにあたり、自動車を対象とする環境保全を前提とした新技術を考えていく中で、車体の軽量化も同時に考慮することも重要であるといえる。

補足資料

【補足 1】国内で発売されている電気自動車

種類	車両の名称	製造元	価格	最高速度	航続距離	電池	おもな用途
軽自動車	REVA	タケオカ自動車工業	187.9	80	110	開放型鉛電池	通勤・通学・買物
ミニカー	ミリューR	タケオカ自動車工業	85.6	60	70	鉛シールド型電池	通勤・通学・通院・買物
原付自転車	ルーキー	タケオカ自動車工業	45.6	30	45	鉛シールド型電池	買物・近距離移動
ミニカー	ASAHI POCKET	エコチャレンジ	163	60	75	鉛シールド型電池	PR・通勤・買物
ミニカー	S3	興和精機	155.4	60	150	リチウムイオン電池	買物・PR
ミニカー	PICCOLO	興和精機	173.3	60	150	リチウムイオン電池	ゴルフ場・リゾート
原付自転車	NOTTY (EM500)	興和精機	29.4	30	30-40	鉛シールド型電池	レジャー・工場・買物
原付自転車	NOTTY (EG800)	興和精機	36.3	60	50-80	鉛シールド型電池	自治体環境保全・早朝配達・工場・動植物園
原付自転車	NOTTY (EG800 二輪)	興和精機	51	60	70	鉛シールド型電池	自治体環境保全・早朝配達・巡回
原付自転車	NOTTY (EG850)	興和精機	40.5	60	85	鉛シールド型電池	自治体環境保全・早朝配達・巡回・動植物園・大学構内
ミニカー	COMS (AK10E,AK11E)	トヨタ車体	77.1	50	-	密閉型鉛電池	通勤・通学・買物・介護訪問・カーシェアリング
ミニカー	COMS (AK15E)	トヨタ車体	89.7	50	-	密閉型鉛電池	通勤・通学・買物・カーシェアリング
ミニカー	MC-1 EV	光岡自動車	72.9	55	50	鉛バッテリー	短距離移動・小物運搬
ミニカー	CONVOY 88	光岡自動車	90.1	55	50	鉛バッテリー	短距離移動・小物運搬
原付自転車	Passol-L	ヤマハ発動機	20.9	43	43	リチウムイオン電池	近距離通勤・通学・レジャー
原付自転車	EC-2	ヤマハ発動機	20.9	43	43	リチウムイオン電池	近距離通勤・通学・レジャー

出所) 環境省水・大気環境局自動車環境対策課他(2007)を参考に作成。注) 航続距離は、1充電あたりの定地走行距離。販売地域はいずれの車種も全国。単位) 価格(税込み) - 万円、最高速度 - km/h、航続距離 - 1充電あたり走行距離(定地走行時)。

【補足 2】クリーンエネルギー自動車等促進事業の補助実績(電気自動車)

	車種別(台)						補助金 総額
	乗用車	貨物車	軽自動車	原付4輪	原付2輪	計	
1998年度	55	5	87	0	0	147	209,680

1999年度	37	0	85	6	0	128	158,840
2000年度	20	0	85	329	0	434	177,500
2001年度	52	0	104	164	0	320	226,590
2002年度	23	0	50	170	0	243	105,060
2003年度	7	0	26	369	0	402	97,100
2004年度	0	0	19	231	42	292	54,120
2005年度	0	0	1	211	1140	1352	90,690
2006年度	0	0	5	176	323	504	38,320
2007年度	0	0	11	131	9	151	18,340

出所) 電動車両普及センターHPより抜粋。単位) 補助金総額 - 千円。注) 2007年度は、第1回公募(4月1日~5月31日)、第2回公募(6月1日~7月31日)の合計値。

参考文献

- 環境省水・大気環境局自動車環境対策課、経済産業省製造産業局自動車課、国土交通省自動車交通局技術安全部環境課(2007)『低公害ガイドブック2006』、財団法人環境情報普及センター。
- 国土交通省(2007)「運輸部門における地球温暖化対策について」環境省HP掲載資料。
- 小檜山賢二研究室(2003)「高性能電気自動車プロジェクトEliica発表会開催 三田キャンパスにて」SFC CLIP(MAIL MAGAZINE FOR SFC 2003)、2003年9月26日配信。
- 近藤美則、森口祐一、清水浩(1996)「電気自動車IZAとガソリン車とのライフサイクルCO₂量の比較」、『エネルギー・資源』Vol.17、No.5、エネルギー資源研究会。
- 財団法人機械振興協会経済研究所(1999)「製造業における環境影響評価指標の具体的算出に関する調査研究報告書 - 電気自動車のLCA(ライフサイクルアセスメント)計測 - 」、機械工業経済研究報告書、H10委-26、(委託先)株式会社ドゥリサーチ研究所、機械振興協会。
- 社団法人自動車技術会(2006)『自動車技術ハンドブック 9 整備・リサイクル・LCA 編』、社団法人自動車技術会。
- 佐藤登監修(2004)『電気自動車の開発』、シーエムシー出版。
- 産業技術審議会他(1997)『リチウム電池を対象にしたライフサイクルアセスメントの実施』。
- 清水浩(1981)『電気自動車 - その利点と可能性』、日刊工業新聞社。
- 清水浩(1987)「新しいEV - 高性能電気自動車 - 」、新OHM文庫、オーム社。
- 清水浩(1992)『電気自動車のすべて 第2版』、日刊工業新聞社。
- 清水浩(1999)『こうして生まれた高性能電気自動車ルシオール』、日刊工業新聞社。
- 総務省(2004)『平成12年産業関連表 総合解説編・計数編』。
- 電気学会電気自動車駆動システム調査専門委員会編(1999)『電気自動車の最新技術』、オーム社。
- 電気自動車ハンドブック編集委員会編(2001)『電気自動車ハンドブック』、丸善株式会社。
- 永廣健太郎(2005)「高性能電気自動車Eliicaの駆動システムの効率化に関する研究」、慶應義塾大学大学院政策・メディア研究科修士論文。

中野諭 (2005) 「平成 12 年環境分析用産業連関表 - 推計方法および計測結果 - 」, KEO Discussion Paper No.98。

日経 Automotive Technology、日経エレクトロニクス共同編集 (2006) 『ハイブリッド・電気自動車のすべて 2007』、日経 BP 社。

足田浩一、清水浩、工藤祐揮 (2002) 「電気自動車 KAZ の LCA」, 慶應義塾大学未来開拓プロジェクト、Discussion Paper No.G-158 WG2-52。

平岡伸二 (2005) 「8 輪電気自動車「Eliica」プロジェクト」, マイコミジャーナル、2005 年 9 月 28 日付、<http://journal.mycom.co.jp/articles/2005/09/28/eliica/index.html>。

船瀬俊介 (2004) 『疾れ！電気自動車：人類の未来を救うクルマはこれしかない：電気自動車 <EV> vs 燃料電池車 <FCV>』、築地書館。

英文タイトル

Life Cycle Assessment of the Electric Vehicle ELIICA

英文概要

We focus on the electric vehicle as near-future technology, which has the possibility to reduce the greenhouse gas, and estimate the life-cycle CO₂ emissions. We assess the CO₂ reduction effect of ELIICA to compare it with same scaled gasoline car using input-output analysis, open model. As a result, the CO₂ emission of ELIICA is smaller than gasoline car totally. However, CO₂ reduction in the production process of lithium-ion battery is required. We also need to consider the utilization of nighttime power and the introduction of decentralized electric power.