

## ■ 研究論文 ■

## 電気自動車のインフラストラクチャーに関するライフサイクル分析

## Life Cycle Analysis of Charging Infrastructure for Electric Vehicles

南 齋 規 介\*・公 野 元 貴\*\*・東 野 達\*\*\*

Keisuke Nansai Motoki Kono Susumu Tohno

笠 原 三 紀 夫\*\*\*\*・森 口 祐 一\*\*\*\*\*

Mikio Kasahara Yuichi Moriguchi

(原稿受付日1999年5月28日, 受理日1999年10月19日)

## Abstract

Life cycle analysis of a charging station for electric vehicle (EV) was performed on the three phases, that is, production, transportation and installation of the charging equipment which consists of charger, battery and stand. We chose parking lots on highways, commercial parking lots in cities, municipal facilities, shopping center etc. throughout the country as the charging sites according to the EV charge program in Southern California. Air pollutant emissions during the transportation phase were calculated based on the emission factors of vehicles, running speed and the transport distance between one factory of the charging equipment and each site.

The share of transporting the charging machines in total emissions of CO<sub>2</sub>, SOx and CO was less than 15% and the production phase was dominant. In case of NOx, the share of transporting them was over 20%. The relation between gasoline vehicle and gas station was applied to estimate the number of EVs using the charging stations through the country, and the contribution of the charging stations to life cycle emissions of air pollutants in EV was presented. The share of infrastructure in total emissions of CO<sub>2</sub> was 16% in our model case. Thus the development of the charging infrastructure almost did not change the advantage of EV compared to GV in terms of CO<sub>2</sub>, NOx, and CO emissions. But in case of SOx, EV emits it more than GV.

## 1. はじめに

わが国において自動車交通問題の改善は、地球または地域環境問題の何れの観点に立脚しても、最重要課題であることに異存はないであろう。この問題に対する打開策として、各自動車メーカーにおいて従来型内燃機関自動車の改良のみならず、次世代へ向けた電気自動車、ハイブリッド自動車、燃料電池車の開発が、国内外を問わず本格化している状況である。ZEV (Zero tailpipe emissions vehicle) が市場競争力を有することができれば、内燃機関自動車に替わるマイカーとして自動車社会に君臨する可能性も大いに期待できる。

現在、ZEVの一つである電気自動車の普及を妨げ

\* 京都大学大学院エネルギー科学研究科博士課程

\*\* " " 修士課程 (現在(働)東芝)

\*\*\* " " 助教授

\*\*\*\* " " 教授

〒611-0011 京都府宇治市五ヶ庄

\*\*\*\*\* 国立環境研究所 社会環境システム部資源管理研究室長

〒305-0053 茨城県つくば市小野川16-2

ている要因として、同性能を発揮する内燃機関自動車と比較した場合の購入価格の割高感と共に、発展途上である性能が指摘されよう。その性能の中でも特に、1充電当たりの走行距離が80~190kmと短いことが問題視されている。電気自動車を内燃機関自動車の代替車として利用するには、1充電あたりの走行距離の向上とともに、それを補うインフラストラクチャーとして充電ステーションの設置が一つの有効な手段としてあげられる。わが国では平成4年に資源エネルギー庁により提唱された「エコ・ステーション2000計画」に基づき充電ステーションの普及が行われている<sup>3)</sup>。しかし、電気自動車の普及を計る上では充電ステーションの設置を全国的にかつ、大規模に行わなければならないことが予想され、設置に伴う環境負荷による、諸研究<sup>1), 2)</sup>により明らかにされてきた電気自動車の環境負荷低減効果に与える影響が懸念される。

そこで、本研究では家庭外における充電(パブリック充電)で利用される充電ステーション施設により誘

エネルギー・資源学会第18回研究発表会にて発表 (1999年6月9・10日)

発される環境負荷をライフサイクルの観点から定量化することを試みた。現在、わが国の充電ステーション設備件数は約60件程度であり、東京都、愛知県、大阪府といった大都市に偏在しているが、我々は全国的普及を想定した。また、「エコ・ステーション2000計画」では敷地をはじめ施設の一部や作業員を共有できるという利点から、既設のガソリンスタンドに充電ステーションを併設する方針を採っているが、本研究では南カリフォルニアで行われている先行事例を参考に、充電ステーションの設置箇所を選定し、大気環境負荷の観点から分析・検討を行った。考慮するシステムバウンダリーは充電機器生産段階、機器輸送段階、設置工事段階とし、大気環境負荷物質としてCO<sub>2</sub>、NO<sub>x</sub>、SO<sub>x</sub>、COを扱った。インベントリ分析は産業連関分析により得られた排出原単位を主として用いた積み上げ法を採用した。また同時に、充電ステーション設置による誘発する環境負荷が電気自動車の有する環境負荷低減効果に与える影響について考察を行った。図1に本研究の概要を示す。

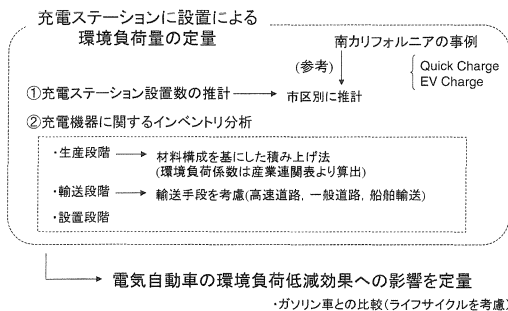


図1 本研究の概要

## 2. 南カリフォルニアの充電ステーションプログラム<sup>4)</sup>

南カリフォルニアにおける大気汚染の約60%が自動車起源と言われており、大気環境改善の重要性と市民意識の高まりから、ロスアンゼルスを初めとするカリフォルニア州の各行政区では大気汚染防止の施策として電気自動車の普及に力を入れている。また、カリフォルニア州では2003年より大手7代車メーカーに対し、新車販売台数の10%に相当するZEV販売義務が課せられることから<sup>5)</sup>、この地域では充電ステーションの必要性は他地域に比べ極めて高く、行政を中心に充電ステーション拡大プログラムが遂行されている。その一つとして、1996年から1998年にかけて行政プログラ

ム「Quick Charge」が行われ、このプログラムの資金提供を受け111カ所、356個のレベル2に該当する充電ステーションが設置された。充電ステーションはその充電方式によってInductive chargeとConductive chargeに分類され、車種により異なることから、現在ではこれら2種を共に普及させている。現時点での南カリフォルニアにおける設置件数を表1に示す。

設置されている充電ステーションの多くはレベル2とよばれる充電レベルである。レベルは電力量によって区分されており、レベル1はいわゆるホーム充電にあたり、完全に充電されるまで約8時間を要するが、レベル2は約3時間、レベル3では5～10分程度で完了する<sup>6)</sup>。

表1 南カリフォルニアにおける充電ステーション数

設置地区名	場所数	ステーション数	
		Inductive	Conductive
ロスアンゼルス	140	276	165
オレンジ	40	64	39
サンパナディーノ	25	40	35
リバーサイド	23	27	15
合計	228	407	254

普及している充電ステーションはレベル2に相当し、その利用は充電が主たる目的ではなく、仕事やショッピング、通院のようにある程度の時間を費やす目的に対する副次的な行動として行われている。したがって、その充電ステーションの設置場所は商業地区(23.7%)、行政・公共施設(20.2%)、会社(20.2%)となっており、以下、駅(9.6%)、ショッピングセンター(6.1%)と続いている。

また、「Quick Charge」の継続プログラムとして1999年から「EV Charge」が行われ、さらなる充電ステーションの設置を計画している。拡大対象としているカテゴリーは高集客地、企業駐車場、公共施設、既存ステーションの拡張である。このプログラムにより設置した充電ステーションの所有者は、設置後3年間充電料金を自己負担し、3年間は操業義務がある。レベル1の充電コストは通常料金の60%に相当する3円/kWh(1ドル=120円)と、有料であることから<sup>7)</sup>、充電費用を設置者側が負担することにより集客インセンティブとして機能することを狙っている。

## 3. 充電ステーション設置数の推計

本研究では上述のプログラムを参考にレベル2に当たる充電ステーションの設置箇所を市街地および高速道路上に対し、次のように選定した。

### 3.1 市街地における設置

市街地への設置は商用駐車施設、ショッピングセンター、公共機関、病院等の駐車場といった比較的長時間の駐車が見込まれる場所を対象とした。可能な限り市区単位で対象数を計上したが、統計表の都合上、都道府県単位でしか情報が得られなかった場合は、各都道府県の総人口に対する市区人口の大ききで按分した。したがって、本研究で得られた市区単位の充電ステーション設置対象数は厳密な数値ではなく、後述する充電機器の輸送距離の算出に際し、地理的特質を反映させるための便宜上の手段である。また計上した全ての施設に設置されることは考えにくいことから、施設規模等の条件を考慮せず計上した施設に対しては設置可能割合を設定した。次に各々の推計手法について述べる。

#### (1) 一時利用駐車場（商業）

南カリフォルニアでの設置場所として一時利用駐車場が考えられている。ロスアンゼルスを始め、都心部に多くの駐車場が設けられていることが理由であるが、わが国でも中心地に同形態の駐車場が存在することから、同様に一時利用駐車場を設置対象とし、その1割に設置されるものとした。一時利用駐車場とは時間単位または一回単位で料金が設定されており、ある特定の施設利用者のためでない駐車場を指す。設置数の計上は資料<sup>8),9)</sup>により可能な限り調査を行った。

#### (2) 飲食店（商業）

「Quick Charge」の商業範疇として該当する設置場所を検討した場合、駐車場の所有と駐車時間の充電時間に対する妥当性を考慮すると共に、サンフランシスコではレストランへの設置も行われていることを参考に<sup>10)</sup>、わが国では飲食店の中でもいわゆるファミリーレストランを設置対象として考えた。そこで、「商業統計表」<sup>11)</sup>よりファミリーレストランタイプとして掲載されている店舗数を引用し、その1割を計上した。

#### (3) 会社

「EV Charge」では250人以上が従事している事業所を対象としているが、わが国では都市部での企業専用駐車場は少ないことを考え、いわゆるオフィスに該当する事業所は計上せず、工場に該当する事業所を対象とした。数値は「工業統計」<sup>12)</sup>に記載のものを利用したが、統計データの都合により本研究では300以上の従業者を有する工場のみ考慮した。

#### (4) 行政・公共施設

都道府県庁、市区役所、公立図書館を取り上げた。

都道府県庁および市区役所はそれぞれの市区に計上し、公立図書館については「地域経済総覧」<sup>13)</sup>の値を参考にした。「Quick Charge」では電気水道局など他の行政施設にも設置されているが、推計が出来なかったため計上しなかった。

#### (5) ホテル・旅館

ある程度の規模を持つ駐車場を保有しているホテルおよび旅館を対象とするため、統計表<sup>14)</sup>より従業員数が100人以上である事業所を計上した。

#### (6) 病院

駐車場の有無を考え、ここでは病床数が400以上の収容施設を有する医療機関を対象とした。市区別単位では一般診療所を含む医療機関数に限りデータが得られたことから、都道府県別で掲載されている対象病院数を先の医療機関数で比例配分し市区別病院数を推定した。

#### (7) ショッピングセンター

比較的規模が大きく駐車施設が完備されている可能性が高い第1種大型小売店を対象とし、市区単位のデータを収集した<sup>15)</sup>。全小売店数に対し第1種大型小売店の数は非常に少ないこと、他の設置対象と比較し集客率および設置店側への利点も高いことから2割の設置割合とした。第1種とは売場面積3000m<sup>2</sup>（東京23特別区と12政令指定都市は6000m<sup>2</sup>）以上に該当する小売店であり百貨店もこれに含まれる。

#### (8) レジャー施設

レジャー施設として博物館、美術館、遊園地、テーマパーク、動物園、水族館を考慮し、「地域経済総覧」および「特定サービス産業実態調査報告書」<sup>16)</sup>を用いて値を算出し、1割の設置率とした。

#### (9) 空港・駅

空港の所在は「航空輸送統計年報」<sup>16)</sup>より引用し、該当市区に対し空港数として割り当てた。また駅に付属する駐車場は統計の都合上、商業駐車場に含まれている。

#### (10) イベントセンター・大学

イベントセンターとして野球場、体育館、コンサートホールなどが対象箇所として挙げられるが、数値の把握が出来なかったため本研究では計上から除外した。また、大学への設置については自動車でのアクセスを推進する学術機関が少ないと考えられることから対象外とした。

### 3.2 高速道路上における設置

カリフォルニアのプログラムではフリーウェイ付近

表2 検討対象とした高速道路とその諸元

高速道路名	P.A./S.A数	最大間隔	最小間隔	平均間隔
道央自動車道	12	28.8	17.1	23.6
東北自動車道	41	24.2	5.2	15.6
常磐自動車道	11	20.6	9.6	15.4
關越自動車道	16	23.0	7.3	14.5
上越自動車道	8	26.7	17.2	21.2
中央自動車道	20	24.6	8.3	16.4
北陸自動車道	26	27.9	7.9	18.5
東名自動車道	22	24.4	8.9	15.2
名神自動車道	12	29.8	3.3	15.0
中国自動車道	29	24.7	8.9	17.4
山陽自動車道	20	42.5	9.0	21.0
嵩松～松山自動車道	7	31.8	8.3	17.0
九州自動車道	19	30.1	9.8	18.4
長崎自動車道	7	19.9	10.1	14.9
大分自動車道	6	27.4	14.5	20.0
宮崎自動車道	4	27.3	11.4	20.2
合計/平均	260	27.1	9.8	17.8

表3 充電ステーション構成機器の素材重量

充電スタンド		蓄電池		充電器	
構成材	kg	構成材	kg	構成材	kg
鉄	73	鉄	760	鉄	400
銅	11	銅	20	銅	80
アルミニウム	1	鉛	2400	アルミニウム	50
パソコン	4.5	プラスチック	200	ブレーカー6個	30
カードリーダー	1.5	希硫酸(濃度30%)	560	サイリスタ	20
ディスプレイ	2.25	ガラス	60	コンデンサ	6
その他	6.75	合計	4000	抵抗器	6
合計	100			その他	8
				合計	600

への充電ステーション設置の重要性を説いている。フリーウェイから半マイル以内にある充電ステーションから5マイルの緩衝地帯を設け、その範囲に該当しない地域をギャップ地域として定義している。またギャップ地域の充電ステーションの設置に対しては補助金の上限が10%上昇する<sup>4)</sup>。

わが国の高速道路はカリフォルニアのフリーウェイと異なり、有料であることから実際に高速道路上に充電ステーションが設置される必要がある。そこで本研究ではサービスエリア(S.A)およびパーキングエリア(P.A)を設置対象とした。考慮した高速道路とその諸元を表2に示す。S.AおよびP.Aの間隔は42.5km以下であることから、現在の電気自動車の性能に対し対応可能な設置間隔であると考えられる。

4. インベントリ分析

充電ステーションは充電器、蓄電池、充電スタンドから構成されている。カリフォルニアのパブリック充電はオフピーク電力を利用するのではなく、直接供給される電力を用いている。したがって、充電機器としては充電スタンドとその付属機器のみの設置となっている。しかし、わが国ではオフピーク電力の利用を促進していることから<sup>3)</sup>、充電器および蓄電池も設置されると仮定した。各々の機器は現在わが国で設置済み充電ステーションにおいて数多く採用されているものをモデル機器として用いた。また充電ステーションの設置により誘発される環境負荷量の推計は機器製造段階、輸送段階、設置段階を計算対象範囲とした。次に各段階の計算手法を述べる。

4.1 充電機器生産段階

充電機器生産段階における環境負荷量の推計は産業連関表より求められた環境負荷強度(負荷量/百万円)<sup>7)</sup>を用いて次のように行った。まず表3に示す各部位の構成材料と産業連関表付帯表「部門別品目別国

内生産額表」とを対応させ、構成材重量から生産者価格に変換した。次に該当する部門別環境負荷強度を求めた価格にそれぞれ乗じた。

組立時に関する負荷量は充電スタンド、充電器についてはデータの収集が困難であったこと、構成材に加工製品が多いため、これらの組立時に発生する環境負荷は蓄電池に対し比較的小さいと想定できることから本研究では考慮しなかった。蓄電池については構成材の類似性から自動車用バッテリー生産時の負荷から類推した。すなわち、自動車用バッテリー1個当たりの生産時における排出量を「石油等消費構造統計」<sup>8)</sup>より算出し、重量比から蓄電池が自動車用バッテリー267個分に相当するものとした。表4に用いた主な環境負荷強度を示す。

表4 本研究で用いた主な環境負荷強度

環境負荷項目(単位)	CO <sub>2</sub> (t-C/百万円)	NO <sub>x</sub> (kg/百万円)	SO <sub>x</sub> (kg/百万円)	CO(kg/百万円)
鉄	6.54	19.1	13.2	31.5
銅	1.36	7.1	5.5	7.0
鉛	4.3	15.1	17.0	11.3
アルミニウム	1.63	7.0	7.0	5.1
希硫酸	1.31	9.0	7.5	6.0
電力	6.33	19.2	16.7	6.7

4.2 機器輸送段階

メーカーへのヒアリングにより充電機器の輸送は10tトラックで行われるとのことから、本研究においても10tトラックを使用し、一カ所の設置に際し一往復の輸送が必要であると想定した。輸送距離はモデル機器の生産工場所在地(京都市南区)を始点とし目的地までの高速道路距離、一般道路距離、船舶輸送距離をそれぞれ、地図ソフトおよび各種地図、ホームページを参考に算出した。輸送先は市区役所所在地を代表させ、使用路線の選択は高速道路輸送を優先し、輸送距離が短くなることを選択基準とした。

輸送先を市区役所所在地に代表させることには問題があるが、代表輸送先を都道府県単位から市区単位に詳細化することにより、各地域に関する地理的背景を反映させた。ただし首都高速道路については走行速度を配慮し、一般道として扱っている。また船舶輸送は

表5 本研究で用いた走行時の各種排出係数

排出係数	東京都区内・ 大阪市内	一般道路	高速道路
CO <sub>2</sub> (g-C/L)	721	721	721
NO <sub>x</sub> (g/ton・km)	0.63	0.53	0.44
SO <sub>x</sub> (g/ton・km)	0.16	0.14	0.13
CO(g/ton・km)	0.44	0.36	0.26

表6 本研究で用いた船舶輸送時の各種排出係数

排出係数	船舶
CO <sub>2</sub> (t-C/10 <sup>6</sup> ton・km)	9.69
NO <sub>x</sub> (t/10 <sup>6</sup> ton・km)	0.275
SO <sub>x</sub> (t/10 <sup>6</sup> ton・km)	0.195
CO(t/10 <sup>6</sup> ton・km)	0.273

北海道、鹿児島県および沖縄県輸送時のみ利用するものとした。

走行速度は高速道路上では平均70km/hで走行し、この速度での燃料消費率を5.1km/Lと仮定した。一般道での走行は平均32.5km/hで燃料消費率を4.8km/L、ただし東京都内、大阪市内については20km/hとし、燃料消費率を4.2km/Lとした<sup>19)</sup>。走行時の各種排出係数および船舶輸送時における排出係数はそれぞれ表5～6に示す値を用いた<sup>20～22)</sup>。また車重は往路で10.9t、復路で6.2tとした<sup>23)</sup>。

4.3 機器設置段階

充電ステーションの設置には深夜電力利用のための基礎工事と据付工事が行われるが、各種工事に投入される財などを正確に把握できなかったため、本稿ではヒアリングによる工事価格から相当電力量を求め計上した。

5. 結果と考察

設定した条件に基づき充電ステーション設置箇所を集計した結果、約14000箇所が計上された。カテゴリー別では図2に示すように、商業（一時利用駐車場・飲食店）が約26%、行政・公共施設が20%、会社が21%、

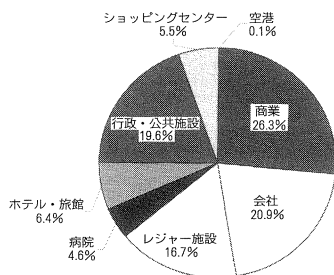


図2 本研究で推計された充電ステーション設置割合 (推計設置数：13,942箇所)

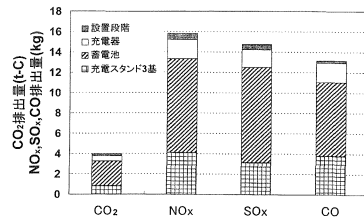


図3 充電ステーション機器の製造・設置に関する環境負荷量

レジャー施設が17%となった。南カリフォルニアとの相違が多少見られるが、イベントセンター、興行施設、大学、駅を対象外としたことが原因の一つと考えられる。

都道府県別に見ると、都市部である東京都が最も多く約1300箇所、次に愛知県約900箇所、大阪府900箇所、神奈川県870箇所、北海道700箇所と続く。

各種充電機器の製造段階および設置段階における環境負荷量はCO<sub>2</sub>に関して、一台当たり充電スタンドから約0.28t-C、蓄電池から2.59t-C、また充電器は0.53t-Cを誘発する。実際には1充電ステーションに対し充電スタンドは複数台必要であるから、ここで1ステーション当たり表1から3台の充電スタンドが必要とすると、1施設に対し3.97t-CのCO<sub>2</sub>の発生となる。また同時にNO<sub>x</sub>を16kg、SO<sub>x</sub>を15kg、COを13kg誘発することも明らかになった。これらを図3に示す。

設置場所によって充電スタンド数は異なると考えられるが、簡略化のためここでは一つの充電ステーションに対し一律3台の充電スタンドが必要であると仮定すると、式(1)のように市区別に充電ステーションの生産段階における環境負荷量E<sup>prod</sup>に輸送段階での往復分排出量E<sup>trans</sup>を加えたものに、設置対象箇所数Nを乗算したものが、充電ステーションを建造する場合の包括的環境負荷量Eとなる。ただし、jは都道府県、kはj内の市区を表す。

$$E_j = \sum_k N_{j,k} (E^{prod} + E_{j,k}^{trans}) \quad (1)$$

これを都道府県別に集計した結果をCO<sub>2</sub>およびNO<sub>x</sub>に関して図4～5に示す。また同時に、1充電ステーションあたりの平均包括的環境負荷量を示す。

CO<sub>2</sub>排出量は全国で約60kt-Cとなった。その大部分が生産段階の排出であり、92%を占める。一方、全国的な設置を行った場合でも輸送段階での排出は船舶による輸送を含め約3%程度の寄与に留まっている。地域別では輸送段階の排出割合が極めて小さいことか

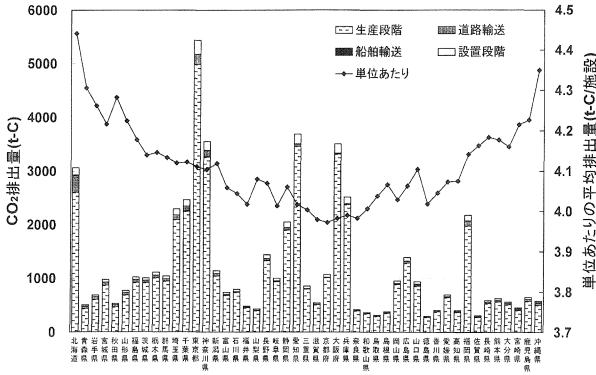


図4 充電ステーション設置に関するCO<sub>2</sub>排出量の地域別寄与

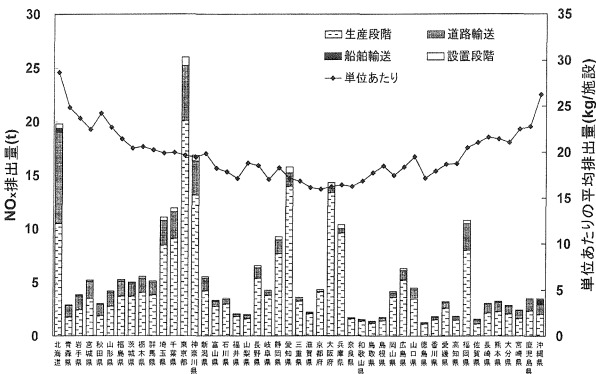


図5 充電ステーション設置に関するNO<sub>x</sub>排出量の地域別寄与

ら、設置数に比例する形となっている。それ故、東京都が最も多く約5400t-C、続いて愛知県が3700t-C、神奈川県が3500t-Cとなった。一方NO<sub>x</sub>の場合は全国総排出量は約273tとなり、生産段階での寄与は78%に留まっている。地域別に見ると東京都が最も多いが、地理的要因のため北海道がCO<sub>2</sub>の場合と異なり次に続く。SO<sub>x</sub>およびCOについてはCO<sub>2</sub>とほぼ同様な排出割合を示しており、それぞれ224t中89%、215t中84%が生産段階である。単位あたりの平均排出量を見ると、CO<sub>2</sub>では最も輸送距離が短い京都府で4.0t-C、最も長い北海道で4.4t-Cであり、地域別格差は平均値に対して-3~+8%のばらつきであるのに対し、輸送距離の寄与が大きいNO<sub>x</sub>については京都府で16.0kg、北海道で28.7kgとなり、格差は-19~+45%と非常に大きくなっているの分かる。すなわち、平均的な充電ステーションの環境負荷量を算出する場合、環境負荷物質によっては輸送条件を考慮する必要性が確認できた。

本研究で推計した充電ステーション設置対象数の地理的妥当性を確認する指標として、 $N$ を設置対象箇所

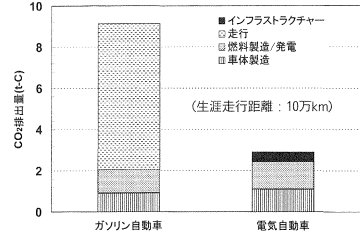


図6 ガソリン自動車と電気自動車のCO<sub>2</sub>排出量のライフサイクル比較

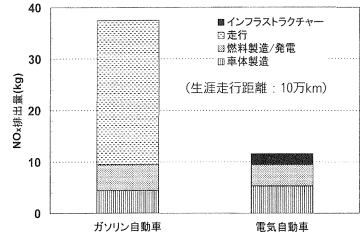


図7 ガソリン自動車と電気自動車のNO<sub>x</sub>排出量のライフサイクル比較

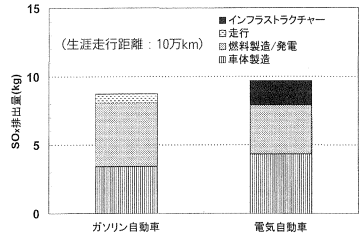


図8 ガソリン自動車と電気自動車のSO<sub>x</sub>排出量のライフサイクル比較

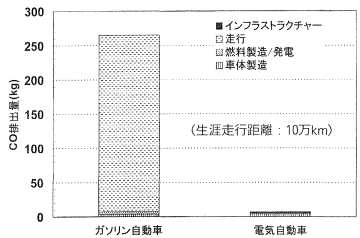


図9 ガソリン自動車と電気自動車のCO排出量のライフサイクル比較

数、 $S$ を可住地面積とし、平均設置間隔 $d$ を式(2)のように定義すると、東京都が約1.1km、神奈川県、大阪府が共に1.3kmとなっている。また最も大きい青森県でも3.4kmとなっている。現在のロサンゼルス市

は同様に計算すると約5.2kmであるから、約0.2から0.7倍の設置間隔となり、現在の電気自動車の性能で対応可能な距離と考えられる。

$$d = 2\sqrt{\frac{S}{\pi V}} \quad (2)$$

### 5.1 ライフサイクルへの寄与

ここで、充電ステーション設置に際し排出される環境負荷量は電気自動車一台あたりに換算すると、どれほどの割り当て量となるかを検討する。充電ステーションは全体的なシステムとして機能するインフラストラクチャーであることから、現在のガソリンスタンドとガソリン自動車との関係を応用し、次のような簡便な手法を採用した。

本研究ではガソリンスタンドがガソリン自動車社会を支えるインフラストラクチャーとして、過不足なく機能していることを前提とする。まず、地域別に1つのガソリンスタンドにガソリン乗用車給油用に何基の給油スタンド（最近では1つの給油スタンドで数台が給油可能であるため、厳密には給油ノズル）が必要であるかを推算した。

「自動車統計」<sup>24)</sup>の地域別車種別燃料使用量と地域別ガソリン販売量およびスタンド数<sup>25)</sup>から1つのガソリンスタンドにおける1日当たりの乗用車用ガソリン販売量を求めた。次に、実際にガソリンスタンド施工計画で利用されている式(3)のような要確保給油ノズル数推算方法に従い、1ガソリンスタンド当たりの給油ノズル数 $N_g$ を導いた。

$$N_g = \frac{2\alpha\beta L}{l} \times \frac{t}{60} \quad (3)$$

ただし、 $L$ は1ガソリンスタンドにおける1日当たりの乗用車用ガソリン販売量、 $l$ は1台当たりの平均給油量（実績データより25Lと設定）、 $t$ は1台当たりの平均給油時間（実績データより5分）、 $\alpha$ は月間ピーク時給油台数増率、 $\beta$ は総給油台数に対するピーク時1時間当たりの給油台数割合である。 $\alpha$ は1.5、 $\beta$ は0.1をそれぞれ用いた。得られた給油ノズル数に都道府県のガソリンスタンド数を乗算し、都道府県別の給油ノズル数を求めた。そして、地域別に登録ガソリン乗用車数を求めたノズル数で割り、1本当たりの支持可能ガソリン乗用車数を決定した。

本研究では充電ステーションの充電スタンド数の制約（1施設3基と設定）と充電時間の長さという側面から、ガソリンスタンドとの相違を検討した。まず、先に求めた都道府県別の充電スタンド（1スタンドに

1コネクタを搭載）総数を、ガソリン給油ノズル相当数に変換する。充電が駐車の主たる目的でないことから、必要充電量が小さくても一定の充電スタンド占有時間を取ると考えられるため、平均充電時間を120分と設定した。よって、1充電スタンド当たり0.041給油ノズルに相当することになる。充電スタンド換算給油ノズル数にノズル1本当たりの支持可能ガソリン乗用車数と利用頻度の比（ガソリンスタンドの利用頻度は4.56日に1度<sup>26)</sup>）を掛け、これを支持可能電気自動車数として扱った。仮に充電ステーションを毎日利用すると仮定すると、全国の集計値は電気自動車約126,000台となり、ガソリン乗用車の登録台数の約0.35%に相当する。充電ステーション設置の総CO<sub>2</sub>排出量60kt-Cを割り当てると、電気自動車1台当たり高々0.45t-Cという値になる。実際にはホーム充電を考えると、全ての電気自動車が毎日パブリック充電を行うとは考え難いことから、インフラストラクチャーによるCO<sub>2</sub>排出量はこれ以下と推測できる。同様に他の物質について計算した結果、NO<sub>x</sub>は2.2kg以下、SO<sub>x</sub>は1.8kg以下、COは1.7kg以下という値を得た。

得られた結果が電気自動車のライフサイクルを通じた環境負荷に対し、どの程度影響するかを明示するため、先と同一の環境負荷強度を用いて電気自動車のLCI分析を行った。既報<sup>17)</sup>と同様に小型自動車からのコンパクト車を考え、必要部品の組替えによる環境負荷の増減から推計した。また鉛蓄電池を20個搭載するものと仮定し、生涯走行距離を100,000km、燃料消費率を0.119kWh/km<sup>26)</sup>とした。ただし、発電時に関する環境負荷強度は、電気自動車の大規模な普及により利用者のホーム充電時間帯は多様化することを配慮するとともに、現在の蓄電池の蓄電能力が発展段階であることから、充電ステーションにて電力不足が生じた場合、昼間電力により補填する可能性を考え、表4と同値の充電時間帯を特定しない平均的な値を採用した<sup>17)</sup>。その結果、図6～9に示すようにCO<sub>2</sub>排出については、本研究で考慮したライフサイクルにおける総排出量に対して約16%をインフラストラクチャーの影響が占めるが、量的にはガソリン車の約1/3と小

注1) 電気自動車の普及により、輸送関連の環境負荷が低減し、その影響が間接的に各財の環境負荷強度に影響を与えることが考えられるが、本研究では産業連関表外生部門である家計を中心とした普及を想定していることから、環境負荷強度は一定としている。家計での揮発油消費の減少と電力消費の増加で当該産業の調整による変化が考えられるが、本稿では考慮していない。

さく、ガソリン車に対する優位性は十分保持されることがわかった。またNO<sub>x</sub>およびCOについてはCO<sub>2</sub>と同様であったが、SO<sub>x</sub>においては、本稿の充電施設の考え方に基づいた場合、ガソリン車より排出量が大きくなることが明らかとなった。

## 6. 結論と今後の課題

電気自動車1台あたりのインフラストラクチャーによる環境負荷量はCO<sub>2</sub>が0.45t-C、NO<sub>x</sub>が2.2kg、SO<sub>x</sub>が1.8kg、COは1.7kg以下であり、NO<sub>x</sub>については輸送時の排出寄与は無視できるものではないことが明らかになった。また、環境負荷物質によっては、インベントリ分析結果に大きな地域格差が生じることが分かった。また、低環境負荷性という視点から電気自動車と内燃機関自動車を比較した場合、インフラストラクチャーの影響を加味してもCO<sub>2</sub>、NO<sub>x</sub>、COについては電気自動車が優位であるが、SO<sub>x</sub>の場合は、その優位性が否定されることも確認できた。

一方、本研究は次のような課題を残している。充電ステーションの電力供給形態が曖昧であること、すなわちオフピーク電力を蓄電する設備を整え、不足時には昼間電力にて補うと仮定したが、蓄電した電力のみで到来する全ての電気自動車に対して供給できる可能性も否定できないという点である。仮に、南カリフォルニアのようにオフピーク電力を使用しない方式を採用するのであれば、充電ステーション生産段階における環境負荷は蓄電池が不要になることから、極めて小さいものとなり、電気自動車のライフサイクルに与える影響は無視できるものとなる。また、設置コストも安価となり、早期普及を行いやすいと考えられる。

本研究では大規模な普及に伴い、ホーム充電および充電ステーションでの充電時間帯が多様化する可能性を考慮し、電気自動車の発電時の排出係数を1990年の平均値を使用した。深夜電力に特化した充電を行えば電気自動車の環境負荷低減効果は増大することも報告されている<sup>27)</sup>。今後、充電ステーションの利用頻度と完全蓄電利用か、カリフォルニア方式かといった設置形態の選択により変化する電気自動車の環境負荷低減機能に与えるインフラストラクチャーの整備に関する影響を、電気自動車利用者の充電行動パターンと充電量を反映させ、包括的に検討する必要があると考える。

## 謝辞

本研究は、日本学術振興会未来開拓学術研究推進事

業「環境負荷低減を目的とした自律分散型都市エネルギーシステム」プロジェクト(JSPS-RFTF97P01002)の研究費によって実施された。

## 参考文献

- 1) 松橋隆治・石谷 久・菅 幹雄・吉岡完治, ガソリン自動車と電気自動車のライフサイクルアセスメント, 日本エネルギー学会誌, 77-12 (1998), pp.1184-1192.
- 2) 西村一彦・本藤祐樹・内山洋司, プロセスモデルによる製品製造時の包括負荷量の比較分析—ガソリン車とEVの比較, エネルギー・資源, 19-2 (1998), 73-78.
- 3) エコ・ステーション推進協会, エコ・ステーションの普及に向けて (1998).
- 4) The Planning Center, EV Charge Strategic Plan (1998).
- 5) 岩井信夫, 自動車の省エネルギー, エネルギー・資源, 19-4 (1998), 341-351.
- 6) <http://www.epri-icon.com/>
- 7) Los Angeles Department of Water and Power, Los Angeles is "Going Electric"
- 8) 財団法人 都市交通問題調査会, 駐車場建設の手引き99 (1999).
- 9) 財団法人 駐車場整備推進機構, 駐車場センサス (提供資料).
- 10) <http://www.evaa.org/>
- 11) 平成4年商業統計表一般飲食店 (1992).
- 12) 平成7年工業統計表市区町村編 (1995).
- 13) 東洋経済新報社, 地域経済総覧99 (1999).
- 14) 平成8年事業所・企業統計調査報告都道府県編 (1998).
- 15) 平成9年特定サービス産業実施調査報告書(遊園地・テーマパーク編) (1998).
- 16) 航空輸送統計年報 平成7年 (1996).
- 17) 南齋規介・東野 達・笠原三紀夫・森口祐一, 日本における自動車のライフサイクル大気環境負荷分析, 第3回エコバランス国際会議講演集, (1998), pp.299-302.
- 18) 平成7年石油等消費構造統計表(商鉱工業) (1997).
- 19) 横田久司・福岡二郎・竹永裕二・坂西丕昌, 平成元年規制適合の大型ディーゼル車の汚染物質排出実態について, 東京都環境科学研究所年報 (1995).
- 20) 南齋規介・東野 達・笠原三紀夫・森口祐一, 産業連関表によるエネルギー消費と大気環境負荷から見たインベントリー分析, 第14回エネルギーシステム・経済・環境コンファレンス講演論文集, (1998), pp.203-208.
- 21) 環境庁企画調整局地球環境部編, 地球温暖化防止対策ハンドブック4交通編 (1992).
- 22) 環境庁大気保全局自動車公害課, 実走行モードにおける自動車排出ガスの原単位について (1994).
- 23) 社団法人自動車技術協会, 1997年度版自動車諸元表, (1997).
- 24) 運輸政策局情報管理部, 自動車輸送統計年報平成9年度分.
- 25) 月刊ガソリンスタンド社, ガソリンスタンド9月号 (1998).
- 26) 清水 浩, 電気自動車のすべて第2版, 日刊工業新聞社 (1995).
- 27) 石原 薫ら, 高性能電池を搭載した電気自動車の普及影響評価, 電力中央研究所報告T97514 (1998).