

機関番号：55301

研究種目：若手研究（B）

研究期間：2008～2010

課題番号：20760604

研究課題名（和文） キャパシタを用いた電気自動車用高速エコパワーサプライシステムの開発

研究課題名（英文） Development of high speed eco-power supply system for electric vehicle using capacitor

研究代表者

桶 真一郎 (OKE SHINICHIRO)

津山工業高等専門学校・電子制御工学科・講師

研究者番号：20362329

研究成果の概要（和文）：キャパシタとリチウムイオン（Li-ion）電池とを組み合わせた電気自動車用高速エコパワーサプライシステムを提案し、近未来におけるそれらのコストおよびCO₂排出量を試算した。シミュレーションでは、経済産業省の研究会による提言を参考にして想定した将来のキャパシタおよびLi-ion電池のエネルギー密度、入出力密度、およびコストを主要パラメータとして、2010年現在から2030年までの電気自動車の年間コストを試算した。また、経済産業省の電気自動車普及予想に基づき、全国の自家用車が排出する2100年までの期間の1年あたりのライフサイクルCO₂排出量（a-LCCO₂）を試算した。今後の技術の進歩を想定したシミュレーションにより、2030年にはキャパシタおよびLi-ion電池のコストは2010年現在の10分の1、エネルギー密度は3倍、出力密度は1.4倍になるので、電気自動車の年間コストは224,000円/y、航続距離は250kmとなることを予想した。さらに、電気自動車の普及が100%に達すると想定する2100年には、a-LCCO₂は18Mt-C/yと2007年現在の47%まで低下することがわかった。

研究成果の概要（英文）：Annual cost of Electric vehicle (EV) from 2010 to 2030 which includes initial cost and running cost was calculated. Annual life-cycle CO₂ emission from private vehicle (a-LCCO₂) by 2100th was calculated based on the expectation of households of electric vehicle by the Ministry of Economy, Trade and Industry. Optimum construction ratio of Li-ion battery and capacitor for EV was 4:6 in this calculation. Costs of capacitor and Li-ion battery, energy density, and output power density will be 1/10, 3 times, and 1.4 times, respectively, thus, cost and vehicle range of EV will decrease 224,000 yen/year and will reach 250 km, respectively, by 2030th. In 2100 which households of EV will be 100%, a-LCCO₂ will decrease only 18 Mt-C/y. This value is 47% of actual result in 2007.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
20年度	900,000	270,000	1,170,000
21年度	1,600,000	480,000	2,080,000
22年度	700,000	210,000	910,000
年度			
年度			
総計	3,200,000	960,000	4,160,000

研究分野：エネルギーシステム工学，電力工学

科研費の分科・細目：総合工学・エネルギー学

キーワード：エネルギーシステム，キャパシタ充電システム

1. 研究開始当初の背景

(1) 京都議定書に基づき 2008～2012 年の平均 CO₂ 排出量を 1990 年比で 6%削減することが義務づけられている我が国の CO₂ 排出量を削減するためには、自動車からの CO₂ 排出量を削減することが急務である。近年、走行時には CO₂ を排出しない電気自動車の開発が活発化してきている。特に、大容量バッテリー（リチウムイオン、ニッケル水素等）技術の進歩により、電気自動車の航続距離は飛躍的に向上している。たとえば、三菱自動車の「iMiEV（アイミーブ、図 2）」は、16 kWh のリチウムイオン二次電池を搭載し、160 km を走行できる。しかし、電気自動車を普及して CO₂ 排出量を削減するためには、二つの課題がある。

(2) 一つ目は、バッテリーの充電時間と寿命である。iMiEV を充電するためには、家庭用電源の場合は 7～14 時間、専用の急速充電器（開発中）を使用しても 30 分かかる。従来のガソリン自動車の燃料補給がガソリンスタンドでの数分の作業で済むことと比較すると、両者の利便性の差は歴然である。また、バッテリーの寿命は通常数百～千サイクル程度とかなり短い。

(3) 二つ目は、発電時の CO₂ 排出である。電気自動車は走行中には CO₂ を排出しないが、エネルギー源である電力を発電する際には、発電所が CO₂ を排出する。我が国の全電源平均の CO₂ 排出原単位は約 106 g-C/kWh であることから、iMiEV の場合は一度の充電・走行で約 1.7 kg-C/kWh の CO₂ を排出することになり、必ずしもクリーンとはいえない。

2. 研究の目的

(1) 本研究では、高速エコパワーサプライシステムを構築し、それに基づく電気自動車の導入シミュレーションを行うことを目的とした。

(2) 高速エコパワーサプライシステムの概念を図 1 に示す。本システムは、バッテリーだけではなくキャパシタも搭載した電気自動車を想定する。キャパシタはバッテリーと比べて、非常に高速な充放電が可能である。また、充放電過程に物質の化学反応を伴わないため、非常に長寿命（10 万サイクル以上）である。

(3) 電気自動車に給電するエコパワーステーションは、燃料電池 (FC)、太陽電池 (PV)、

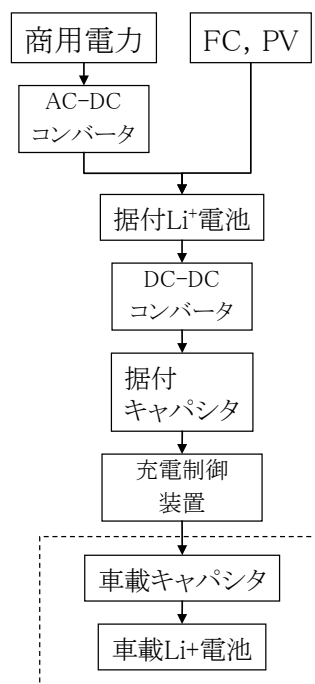


図 1 高速エコパワーサプライシステムの概念

および据付キャパシタを備えていることとした。エコパワーステーションと電気自動車とはキャパシタ間で電力を授受するため高速充電が可能で、充電時間はガソリンスタンド並の数分であるとした。

(4) FC を高効率運転するためには、最大電力点における電圧・電流で動作させる必要がある。一方、キャパシタの充電速度は充電電流によって定まるため、FC から充電する場合には、充電速度が FC の動作電流に制限される。また、PV は日射変動により発電電力および最大電力点変動するため、単独では十分なエネルギーを賄えない。

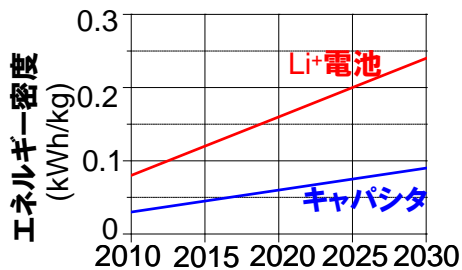
(5) 高速エコパワーサプライシステムは、FC および PV の発電電力を据付キャパシタに一旦蓄え、車載キャパシタに送り込むため、高速充電が可能である。また、FC および PV で発電するクリーンな電力を電気自動車に供給するため、CO₂ 排出量の削減に貢献することができると考えた。

3. 研究の方法

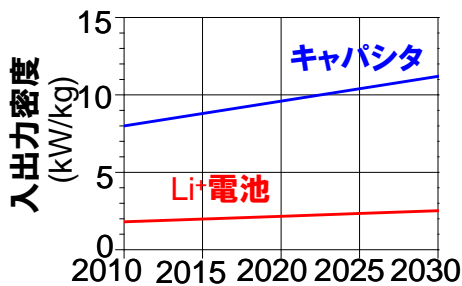
(1) 高速エコパワーサプライシステムにおけるエコパワーステーションおよびキャパシタ搭載電気自動車の諸特性（数値モデル）を用いて、高速エコパワーサプライシステムを中心とする電気自動車普及社会をシミュレーションした。対象とする地域は自動車産業が集積している愛知県およびその周辺地域とし、電気自動車の普及率および車載キャパシタの性能をパラメータとして、必要とな

るエコパワーステーションの数、規模、および最適配置を検討した。また、その際に必要となる社会的コストを計算した。

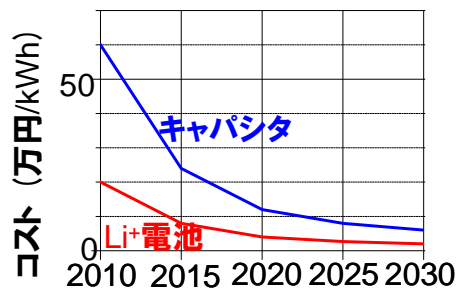
(2) シミュレーションでは、乗用車数、ステーション数、平均走行距離、走行パターン、車体寿命などのデータを用い、経済産業省の研究会による提言を参考にして想定した将来のキャパシタおよびリチウムイオン電池のエネルギー密度、入出力密度、およびコストを主要パラメータとして、2030年までの電気自動車の年間コスト（固定費+燃料費）を試算した。さらに、経済産業省の電気自動車普及予想に基づき、全国の自家用車が排出する2100年までの1年あたりのライフサイクルCO₂排出量(a-LCCO₂)を試算した。



(a) エネルギー密度の変化予測



(b) 入出力密度の変化予測



(c) コストの変化予測

図2 キャパシタおよびバッテリーの性能およびコスト変化の予測

(3) 電気自動車の走行は10・15モードに基づくとして仮定し、充電ステーションの運用をシミュレーションした。また、電気自動車の充電タイミングは、キャパシタおよび蓄電池の容量から航続距離および充電時間を算出し、推定した。

(4) キャパシタおよびバッテリーの性能およびコストについては、新世代自動車の基礎となる次世代電池技術に関する研究会資料 (<http://www.meti.go.jp/policy/automobile/LEV/battery-report.pdf>) に基づく研究・開発ロードマップを参考にし、図2に示すように変化することとした。

(5) 電気自動車に搭載するキャパシタおよびバッテリーの総体積を60Lとし、キャパシタが占める比率を0~80%の範囲で変化させ、最適な体積比率を検討した。

4. 研究成果

(1) 全回生電力充電運用と一部回生電力充電運用とを比較すると、全回生電力充電運用は、一部回生電力充電運用よりもLi-ion電池の充放電回数が多いため、その性能劣化がやや早く進行することがわかった。一方で、活用される回生電力は6倍に、航続距離は1.5倍になることがわかった。また、電池の寿命や航続距離などを総合的に判断すると、C-Vehicleに搭載するエネルギーバッファは、キャパシタ:40%、Li-ion電池:60%の構成が最適であることがわかった。

(2) 図3に、電気自動車の年間コストの推移を示す。同図から、現在は約80万円/年で

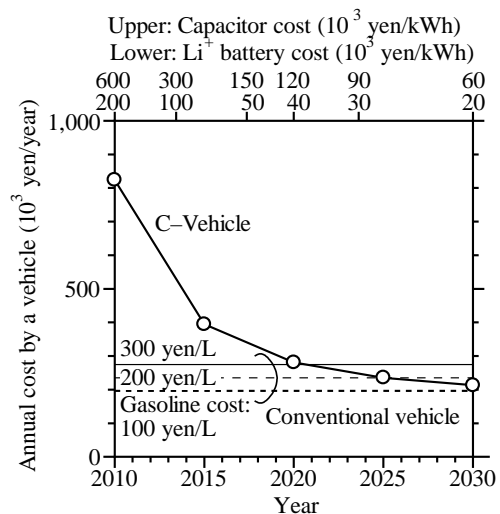


図3 電気自動車の年間コストの推移

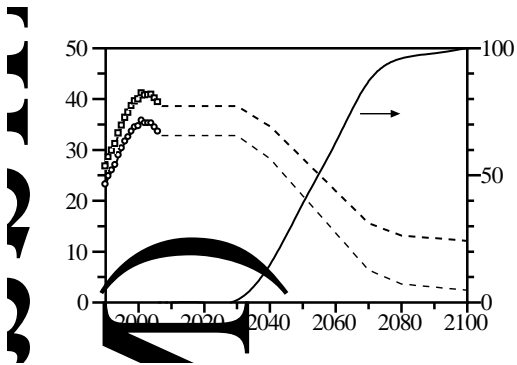


図4 電気自動車のLCCO₂排出量の推移

ある年間コストは、キャパシタおよびリチウムイオン電池のコストの下落とともに低下し、2030年には約20万円/年と、ガソリン価格が200円/リットルの場合における従来のガソリン乗用車の年間コストを下回ることがわかる。これは、2030年にはキャパシタおよびLi-ion電池のコストは2010年現在の10分の1、エネルギー密度は3倍、出力密度は1.4倍になることによる。

(3) 図4に、電気自動車の普及に伴う乗用車のa-LCCO₂、それに含まれる走行時のCO₂排出量(r-CO₂)の推移を示す。2007年現在、我が国におけるa-LCCO₂は39 Mt-C/year(そのうちr-CO₂は33 Mt-C/year)であるが、電気自動車の普及率が50%に達する2055年には25 Mt-C/year(同17 Mt-C/year)と、2007年の水準から34%減少する。さらに、電気自動車の普及率がほぼ100%に達する2100年には12 Mt-C/year(同2 Mt-C/year)と、2007年の水準から69%減少する。また、a-LCCO₂に占めるr-CO₂の比率は、2007年現在は85%に達するが、2100年には17%まで低下する。

(4) 以上のことから、電気自動車およびキャパシタエネルギーシステムを利用した充電ステーションの導入により、充電時間の短縮、航続距離の増加、および回生電力の有効活用が実現できることがわかった。また、2100年までには、現在のガソリン乗用車と同等のコストを実現でき、同時にCO₂排出量の削減も可能であることがわかった。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 5件)

- (1) S. Oke, N. Fukushima, Y. Kemmoku, H. Takikawa, T. Sakakibara, K. Araki: "A new simple model of direct spectral irradiance with easily observable

atmospheric parameters", IEEJ Transactions on Electrical and Electronic Engineering 2010, No.5, pp.548-552 (2010), 査読有

- (2) 桶真一郎, 東山伸, 村田浩之, 滝川浩史: 「エコエネルギーシステム設計・運用支援ツール EcoTOP (エコトップ)」, 電気学会論文誌 B, Vol.130, No.5, pp.536-537 (2010), 査読有
- (3) 高野浩貴, 山下芳紀, 所哲郎, 今田太郎: 「学校施設における PV 導入効果に関する基礎検討」, 岐阜高専紀要第 46 号, pp.71-76 (2011), 査読有
- (4) 桶真一郎, 杉山智美, 須田善行, 滝川浩史, 川嶋和子: 「温室内日射計測のための太陽電池アレイ型簡易日射計の開発」, 太陽エネルギー, Vol.35, No.5, pp.71-76 (2009), 査読有
- (5) 桶真一郎, 市川直毅, 滝川浩史, 榎原建樹, 荒木建次: 「二軸追尾低集光リニアアレイ太陽光発電システム」, 電気学会論文誌 B, Vol.129, No.9, pp.1154-1155 (2009), 査読有

[学会発表] (計 12 件)

- (1) 土井英生, 桶真一郎: 「フィールド試験に基づく PV アレイ日射計の特性評価」, 計測自動制御学会中国支部津山地区計測制御研究会平成 22 年度学術講演会講演論文集, pp.45-46 (2011), 津山圏域雇用労働センター
- (2) 山根啓司, 桶真一郎, 見目喜重, 荒木建次: 「津山高専における集光式太陽光発電システムのフィールドテスト」, 計測自動制御学会中国支部津山地区計測制御研究会平成 22 年度学術講演会講演論文集, pp.27-28 (2011), 津山圏域雇用労働センター
- (3) 東弘久, 高橋俊明, 桶真一郎: 「晴天日における直達日射カーブの推定」, 計測自動制御学会中国支部津山地区計測制御研究会平成 22 年度学術講演会講演論文集, pp.19-20 (2011), 津山圏域雇用労働センター
- (4) 高橋俊明, 桶真一郎: 「全天日射スペクトル推定モデルの直達日射強度を用いた誤差低減」, 計測自動制御学会中国支部津山地区計測制御研究会平成 22 年度学術講演会講演論文集, pp.9-10 (2011), 津山圏域雇用労働センター
- (5) 桶真一郎, 山根啓司, 見目喜重, 荒木建次: 「集光式 PV システムの発電量に及ぼす黄砂の影響の定量的評価」, 太陽/風力エネルギー講演論文集 2010, pp.343-346 (2010), 日本大学
- (6) 見目喜重, 荒木建次, 平松雅男, 宮崎憲徳, 桶真一郎: 「集光式太陽光発電の発電量への結露による影響の定量的評価」, 太陽/風力エネルギー講演論文集 2010, pp.489-492 (2010), 日本大学
- (7) 杉山智美, Mohd Arif Farizul, 須田善行, 滝川浩史, 桶真一郎, 川嶋和子: 「太陽電池アレイ型簡易日射計の温度補正」, 平成 22 年

電気関係学会東海支部連合大会講演論文集,
O4-1 (2010), 中部大学

- (8) 杉山智美, Mohd Arif Farizul, 田上英人, 須田善行, 滝川浩史, 桶真一郎, 川嶋和子:「太陽電池アレイ型簡易日射計の温度特性の計測」, 太陽/風力エネルギー講演論文集 2010, pp.585-588 (2010), 日本大学
- (9) S. Satomi, A. Farizul, H. Tanoue, Y. Suda, H. Takikawa, S. Oke, K. Kawashima, "Development of simple pyranometer using PV-cell array", 17th Asian Symposium on Ecotechnology, Unazuki, Japan, p.92 (2010)
- (10) 杉山智美, Mohd Arif Farizul, 桶真一郎, 須田善行, 滝川浩史:「太陽電池アレイ型簡易日射計の開発とフィールド試験」, 太陽/風力エネルギー講演論文集, pp.235-238 (2009), 長崎ブリックホール
- (11) 桶真一郎, 鈴木敏紀, 須田善行, 滝川浩史:「キャパシタバッファを利用した電気自動車-充電ステーションシステムの展望」, 平成 21 年電気学会全国大会講演論文集, 4-189 (第 4 分冊 p.317), 2009, 北海道大学
- (12) 杉山智美, 桶真一郎, 須田善行, 滝川浩史:「温室内日射の計測のための太陽電池を用いた新型日射計の開発」, 平成 20 年度電気学会東海支部若手セミナー「環境と調和した電力・エネルギー技術」 (2008), 豊橋技術科学大学

〔図書〕 (計 0 件)

〔産業財産権〕

○出願状況 (計 0 件)

○取得状況 (計 0 件)

〔その他〕

6. 研究組織

(1) 研究代表者

桶 真一郎 (OKE SHINICHIRO)

津山工業高等専門学校・電子制御工学科・
講師

研究者番号: 20362329

(2) 研究分担者