

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, 客員准教授 田上 英人

1-1 様々な場面で運用されている車両の電気自動車 (EV) 化

(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きており、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社会づくりという課題が指摘されている。

その解決策の1つとして、電気自動車 (EV) の普及がある。EV は内燃機関を持たずモータで走行するため、CO₂ などの温室効果ガスを排出しない。また、自然エネルギーなど、化石燃料以外の一次エネルギーを利用することができる。しかし、1度の給油で500 km 走行することができるガソリン車と比べて、EV は1回の満充電あたり150 km 程度しか走行することができない。さらには、充電時間が長いなど利便性の低さの問題がある。これらに対し、街中走行の旅客用商業バスなど、路線やタイムスケジュールなど予め走行パターンが決められた車両は充電タイミングを決めやすく、それら問題を回避して利用できると考えられる。

今回、研究対象とした車両は、①愛知県豊橋市の豊橋市民病院線、②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、③豊橋市三河港に設置・運用されている重機、④豊橋市を走るゴミ収集車とした。

(2) 街中旅客向けバス

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経由し総合スポーツ公園で往復運行をする路線である。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、充電ステーションを設置したと仮定し、バッテリー残量が少なくなり次の往復運行が困難な場合は、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も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 月に大阪市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し、空調は利用せず、時刻表を踏襲した形で導入するとした。電気バス導入によって運行コストと CO₂ の削減が可能であるが、導入コストが大きいので、導入コスト回収が難しい。今回、比較的安価なハイブリッドバスも含め、搭載バッテリー容量をパラメータとし導入効果の検討を行った。

搭載バッテリー容量をパラメータとして、バス1台の一日の運行コスト (軽油代と電気代の和) および CO₂ 排出量を求めた。図 1-1-1 および図 1-1-2 に平日の結果を示す。これらから以下のことがわかった。

- ① 電気バスの場合: 往復に必要なエネルギー量は 6.7 kWh であるので、搭載バッテリー容量はそれ以上必要である。搭載バッテリー容量が 7 kWh 以上あれば、運行コストと CO₂ 排出量はディーゼルバスのそれらより少なくなる。電気バスの一日の運行回数は、7 kWh のとき 10 回、8 kWh 以上のとき 12 回であった。運転コストおよび CO₂ 排出量は運行回数に比例するため、8 kWh 以上ではほぼ一定となり、7 kWh の場合では 8 kWh 以上の場合より少なくなる。7 kWh の場合の運行回数は 8 kWh 以上の場合より、2 回少ない。その 2 回はディーゼルバスが運行することになる。ディーゼルバスの運行コストは電気バスのそれよりも高いので、電気バスの運行回数が多い方が全体のコストメリットがあることになる。これらから、電気バスの搭載バッテリー容量は最少 8 kWh でよいと判断した。
- ② ハイブリッドバスの場合: 搭載バッテリー容量に関わらず、平日の場合、一日の運行回数は 12 回であった。搭載バッテリー容量が 9 kWh 未満の場合、運行コストと CO₂ 排出量はディーゼルバスのそれらより大きくなった。これは、搭載バッテリー容量が小さい場合、許容出力も小

さいため、バッテリーからの出力が足りず、走行中頻繁にエンジンが稼働するためである。10 kWh 以上の場合、運行コストと CO₂ 排出量は、ディーゼルバスのそれらより少なく、かつ、ほぼ一定となった。これは、搭載バッテリー容量が概ね十分であり、エンジン発電への依存があまりないからである。

- ③ 3 者の比較：運行コストおよび CO₂ 排出量ともに電気バスが最も少なくなることがわかる。搭載バッテリー容量については、電気バスの場合、駅での待機時間に急速充電を行うことによって、ハイブリッドバスと同程度にまで小さくしてもよいことがわかる。搭載バッテリー容量が同程度ならば、複雑な機構を持つハイブリッドバスより電気バスの方がコストやメンテナンスの点で有利である。なお、電気バスとハイブリッドバスとにおいて、コストの差が生じたのは、急速充電の有無に起因している。つまり、ハイブリッドバスの場合、急速充電なしとしたため、駅で十分な充電ができず、その結果、単価の高い軽油を用いたエンジン発電機で走行することになるからである。

(3) 公共施設内客車牽引車

今回研究対象とした車両は、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とした。のんほいパークは植物園、自然史博物館、動物園、遊園地を併せ持つ複合商業施設である。客層は親子連れが多く、園内バスに乗車する約半数が子供である。園内バスは牽引車と客車から構成され、牽引車はガソリンエンジン駆動の TOYOTA L&F 製の 2TG10 である。のんほいパークでは土曜日に 2 台、日祝日に 3 台の園内バスが運行している。本研究では施設内を走行している車両を EV 化し、実際に客車を牽引し走行した。

フィールド試験の結果から、1 周を走行するのに消費する電力量は 1,016 Wh/周となった。園内バスは一日に 17 周運行しており、更に安全係数、バッテリーの劣化係数を考慮することで、一日に必要なバッテリー容量を以下の式で求めた。

$$W_n = W_{round} \times 17 \div \eta_d \times \eta_{safe} = 25,908 \text{ (Wh)}$$

W_n : 搭載バッテリー容量(Wh/日), W_{round} : 1 周の消費電力量(Wh/周),
 η_d : 劣化係数(0.8), η_{safe} : 安全係数(1.2)

簡易な消費エネルギーの計算から求めたバッテリー容量は 8,640 Wh であり、フィールド試験の結果と比較すると、一日の走行に必要なバッテリー容量に達していないことがわかった。従って、厳密な消費エネルギーの計算が必要と考えた。

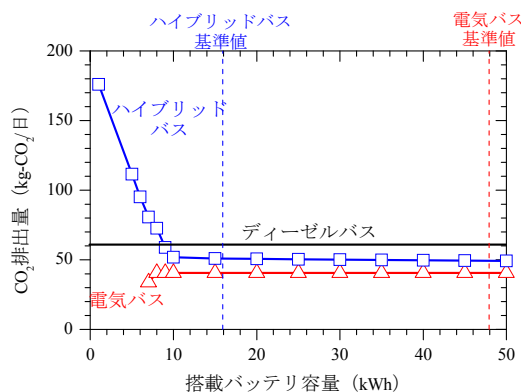


図 1-1-1 バッテリー容量と運行コストの関係

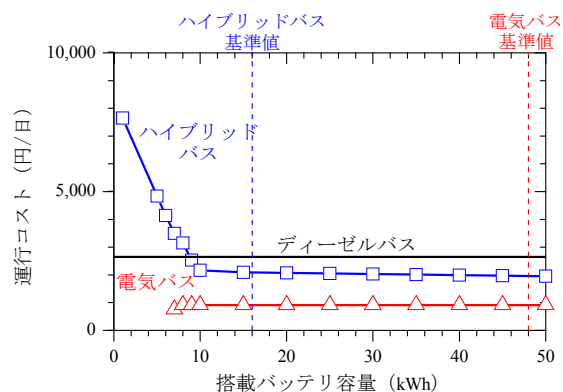


図 1-1-2 バッテリー容量と CO₂ 排出量の関係

簡易な消費エネルギーの計算では、停車駅間速度パターンにおいて、加減速を除き一定とし、路面の勾配を考慮しないなど簡略化していた。つまり、簡略化したことでバッテリー容量の計算に大きな差異が生じることとなった。そこで、停車駅間速度パターンをフィールド試験で計測した値を用い、走行する路面の勾配を計測し計算に適用することとした。園内を1周する際に計測したバッテリー出力と厳密な消費エネルギーの計算の結果のバッテリー出力を比較したグラフを図 1-1-3 に示す。加速パターンおよび勾配を考慮することでバッテリー出力はほぼ一致し、1 週の消費エネルギーは実測値 1,016 Wh/周に対し、942 Wh/周と近い値となった。

当初のバッテリー容量では一日中の走行ができないことが明らかとなった。不足した周回数は現行のガソリン車が行う必要があるため、コスト削減量と CO₂ 排出削減量が少なくなる。しかしながら、バッテリー容量が十分に搭載されている場合でも、過剰に搭載した場合は重量増加により走行消費エネルギーが増加し、コスト削減量と CO₂ 排出削減量が少なくなる。また、バッテリーには寿命があるため、バッテリー容量を多くすると、バッテリー交換費用が多くかかってしまう。

図 1-1-4(a)に鉛バッテリーを用いた場合の運用コストの削減量を示す。バッテリー容量は走行可能周回数が 5, 10, 15, 17, 20, 25 周となるバッテリー容量とした。鉛バッテリーは耐用年数の都合上、三年毎にバッテリーを交換する必要がある。この時、バッテリーの交換コストの影響が大きく、コスト償却することができないことがわかった。

次に、リチウムイオンバッテリーを用いることを考えた。リチウムイオンバッテリーは鉛バッテリーと比較して、高エネルギー密度で寿命が長いというメリットがあるが、単位容量当たりの価格は鉛バッテリーと比較して高い。図 1-1-4(b)にリチウムイオンバッテリーを用いた場合の運用コストの削減量を示す。初期コストがかかるものの、交換サイクルが 16 年と長い場合コスト償却が可能であることがわかる。また、17 周を走りきるだけのバッテリー容量が最もコスト削減量が良いことがわかった。これは前述の通り、運行周回数の 17 周を走りきるバッテリー容量より少ない場合は、現行のガソリン車が行う必要が

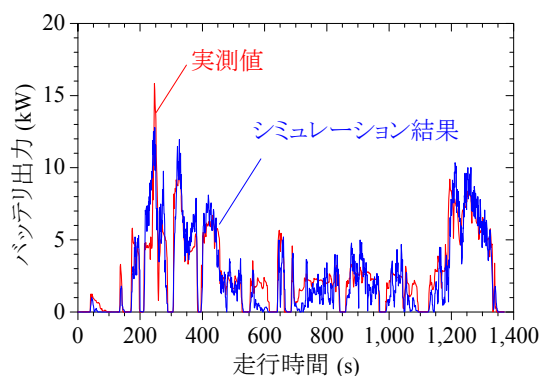


図 1-1-3 シミュレーション結果

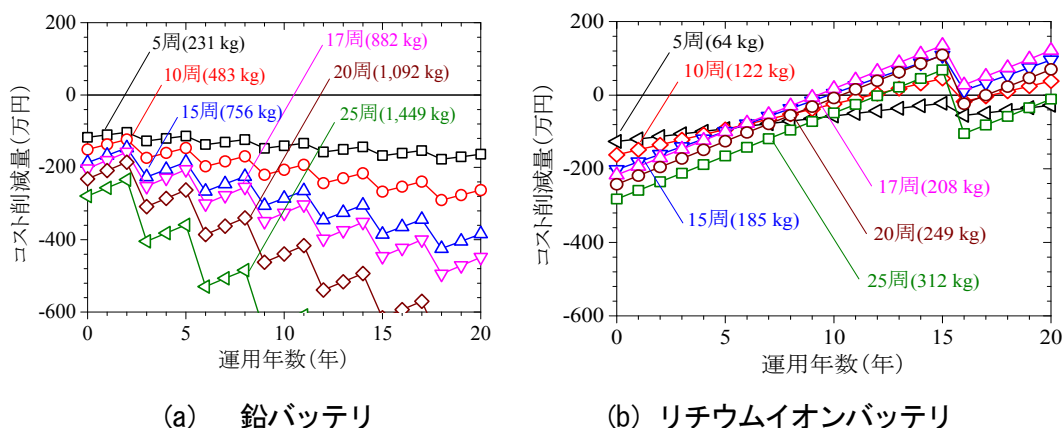


図 1-1-4 それぞれのバッテリーを用いて EV 化した時の運行可能周回数とコスト削減量の関係

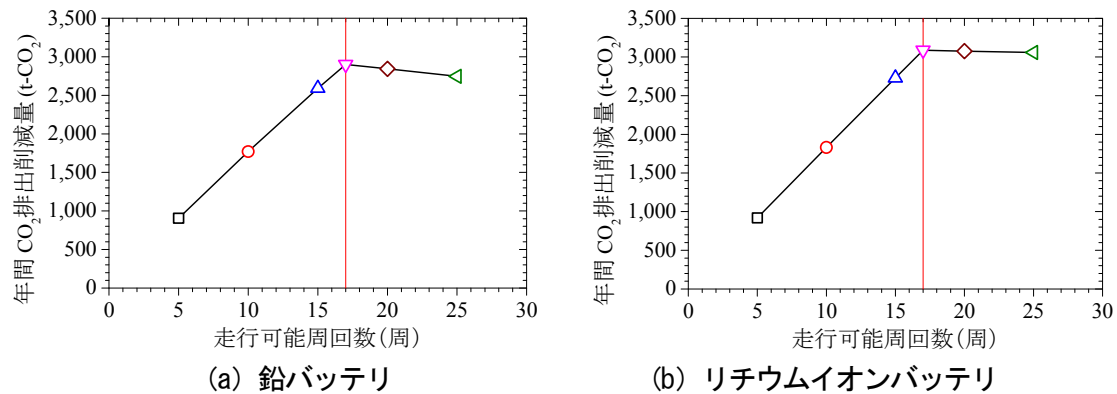


図 1-1-5 それぞれのバッテリーを用いて EV 化した時の運行可能周回数と CO₂ 排出削減量の関係

あるためである。また、それ以上に搭載した場合、重量が増加し走行消費エネルギーが増加すること
で、バッテリー交換コストおよびコスト削減量が少なくなる。

図 1-1-5(a)と図 1-1-5(b)にバッテリー容量と CO₂ 排出量の関係を示す。鉛バッテリー、リチウムイオンバ
ッテリーどちらを用いた場合でも、運行可能周回数が 17 周となるバッテリー容量が最も削減量が多くなっ
た。従って、EV 化する場合は最適なバッテリー容量を搭載することで削減量を最大とすることができる。

今回、乗客は満員を想定して計算を行ったが、実際には常に満員ではないことや、利用客の約半分
は子供であり重量が軽くなることから、運用コスト、CO₂ 排出量は更に少なくなる。バッテリー容量を
少なくすることができるため、重量の軽量化やバッテリーコストの低減なども期待することができる。

(4) 湾岸重機

三河港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 (SC: Straddle Carrier, 図 1-1-6) を
対象とし、これの EV 化による効果を検討した。SC とは、コンテナターミナル内のコンテナの移動、
積み上げを行う大型の自動車である。現在は比較的小さな電気自動車が盛んだが、単体でもエネルギ
ー消費が大きいことや、継続的にエネルギーを消費しているため確実にエネルギー消費量の削減がで
きる大型のものにも普及していくと考えられるためである。

コンテナターミナルには計 4 台の SC が稼働している。3 台は三菱重工製ディーゼル SC (DSC) の
VSC4434、もう 1 台が TCM 製ディーゼルハイブリッド SC (HSC) の S4WE である。DSC は 11,149 cc
のエンジンを 2 基積んでおり、移動時は両方のエンジンを荷役時は片方のエンジンを使用する。HSC
はシリーズ式のハイブリッドであり、11,045 cc のディーゼルの発電機で発電し、移動と荷役はモータ
で行っている。電動ストラドルキャリア (ESC: Electric Straddle Carrier) への EV 化の検討に際し、搭
載バッテリーは一日の稼働に必要な容量とし、モータは TCM 製 HSC-S4WE のカタログに記載されてい
る 257 kW のモータとして計算を行った。

現状は DSC、HSC どちらも軽油を使用しており、燃料消費量から軽油単価と軽油の二酸化炭素排出
係数を用いて計算を行った。また、EV 化後では電力を消費するため、消費電力量から電力料金単価
と電気の二酸化炭素排出係数を用いて計算を行った。燃料単価は三河港コンテナターミナル株式会社、
燃料購入実績 (2010 年度) を用い、電力料金単価は三河港コンテナターミナル株式会社、電力料金単
価 (2008 年 8 月～2011 年 8 月) を用いて計算を行った。運用コストと CO₂ 排出量の削減率を表 1-1-1
に示す。

EV 化に必要なコストとして、改造費とバッテリー価格とを考える。ここでの改造費は、バッテリー価
格を含まずに、他のモータなどの必要な部品費用は含まれているとした。改造費はモータ出力と比例
すると仮定し、以前本研究室で作成したのんほいパーク用の客車牽引車両の改造費を参考にして算出
した。のんほいパーク用客車牽引車両のモータ出力は 25 kW、改造費 100 万円だった。ESC のモータ
出力は 257 kW であり、約 10 倍の出力であるため、ESC の改造費を 10 倍の 1,000 万円とした。次に



図 1-1-6 SC 外観

表 1-1-1 ESC 化による運用コスト削減率および CO₂ 排出削減率

	削減率 (%)	
	運用コスト	CO ₂ 排出量
HSC→ESC (1 台)	32.4	37.9
DSC→ESC (3 台)	34.7	44.1
Total (4 台)	34.2	42.8

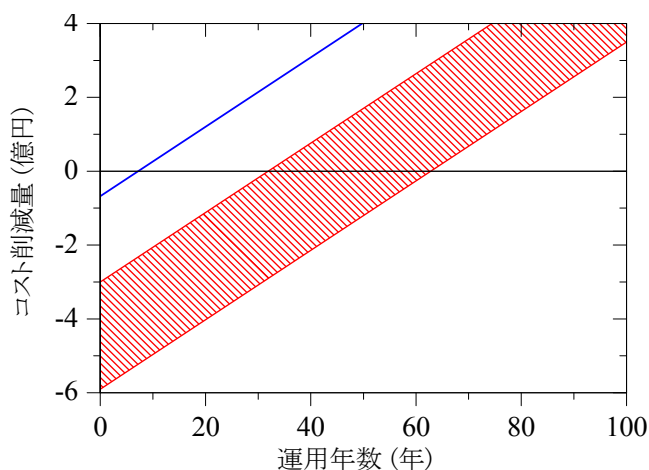


図 1-1-7 バッテリ価格の違いによるコスト償却年数の変化

バッテリー価格を考える。現状のバッテリー価格は 100~200 円/Wh, 2020 年頃には 20 円/Wh になると考えられる。ESC4 台分に必要なバッテリーの価格は, 現状で 3~6 億円, 2020 年頃には 6,000 万円となる。

この時のコスト償却年数を図 1-1-7 に示す。現在のバッテリー価格は高価であり, コスト償却年数が長い。2020 年からの EV 化であれば, コスト償却年数は 8 年になり, 現実的である。ただし, この時バッテリー交換タイミングは考慮していない。また, 一日中稼働することのできるバッテリー量としたが, 運用方法および充電タイミングによってバッテリー容量は異なる。そのため, ESC 化の厳密検討には, ESC の適切な運用方法の解析が必要となる。

(5) ごみ収集車

今回は愛知県豊橋市のごみ収集車を対象とし, 電動化のごみ収集車 (EV ごみ収集車) のコスト削減量, CO₂ 排出削減量およびコスト償却年数の検討を行った。計算方法として, これまでのんほいパークでの研究を基に, 厳密な消費エネルギーの計算を行った。また, 様々なごみ収集車があるが本

研究では、燃えるごみおよび危険ゴミを担当する収集車を対象とした。

表 1-1-2 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 1 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。

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。

表 1-1-2 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

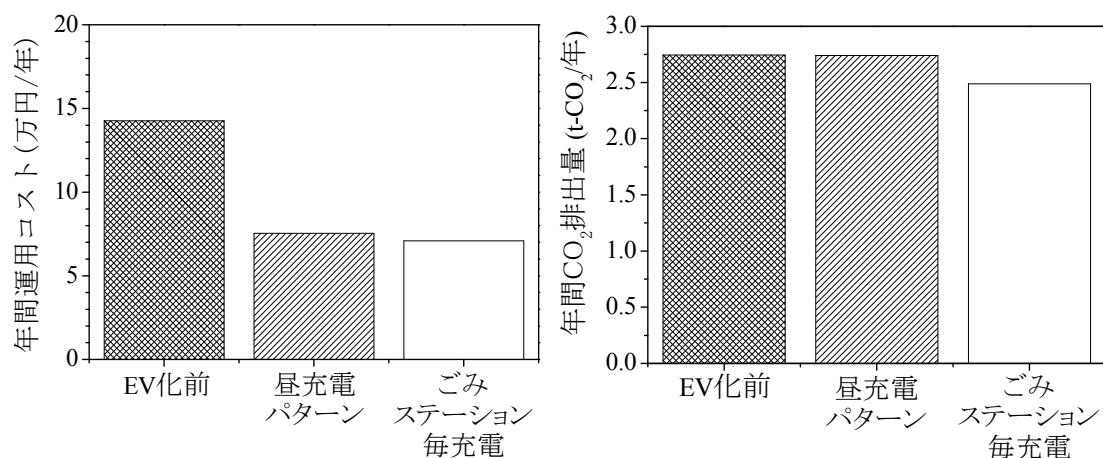


図 1-1-8 EV 化前と後の年間運用コスト，年間 CO₂ 排出量比較

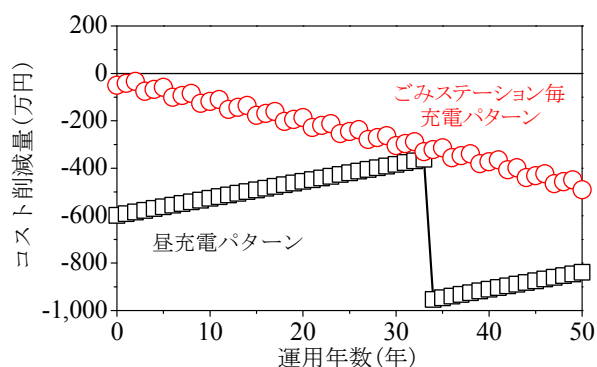


図 1-1-9 運用年数に対するコスト削減量の推移

図 1-1-8 に、年間運転コストと年間 CO₂ 排出量とを示す。また、図 1-1-9 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。

1-2 三河港の空き分譲地における電力供給システム導入の検討

(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。この三河港の空き分譲地に太陽光発電システムと風力発電システムを組み合わせた電力供給システム導入の検討を行った。

(2) 太陽光発電システム及び洋上風力発電システムの諸数値と発電量

空き分譲地に対し、太陽電池 (PV) パネルを真南方向、設置角 10°に設置するとした。空き分譲地の面積を考慮するとパネル設置面積は約 3.2 万 m² となり、年間発電電力量は約 3.7 GWh であった。なお、日射量は本学の自然エネルギー実験棟屋上で測定した値を用いた。

洋上風力発電システムは、(株) 日立製作所の HTW2.0-80¹⁾を用いることとした。発電特性を図 1-2-1 に示す。これを元に発電電力量の算出を行った。元風速データは 1 s 毎計測値を用い、1 時間毎の平均風速から電力算出を行った。洋上風力発電システムを 5 機設置したとし、年間発電電力量は約 11.1 GWh であった。太陽光及び洋上風力発電システムの設置モデルを図 1-2-2 に示す。

(3) 太陽光発電及び洋上風力発電導入のコストペイバックタイム (CPT) について

コストペイバックタイム (CPT) 算出に使用したパラメータを表 1-2-1 に示す。CPT の計算結果を図 1-2-3 に示す。CPT は、2014 年開始の場合約 22 年であるが、2030 年開始では約 7 年であった。これは、設備費用が 2014 年では約 76.8 億円なのに対し、2030 年では約 33 億円と半額以下になるという見込みが主要な要因である。電気料金が約 1.5 倍になっても、CPT においてはメリットが残る。このよ

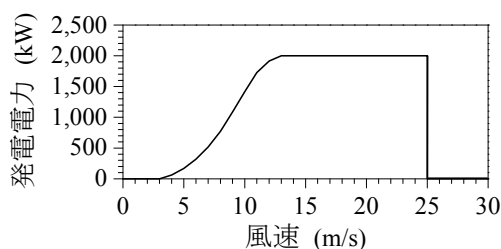


図 1-2-1 HTW2.0-80 (2 MW) の発電特性



図 1-2-2 設置モデル

うに、今後設備コストが低価格化することによって、再生可能エネルギー導入の促進が期待できる。

表 1-2-1 シミュレーションの仕様

項目	2014 年	2030 年
洋上風力発電		
設備費用 ²⁾	56.5 万円/kW	21.9 万円/kW
運転維持費用 ²⁾	2.3 万円/kW/年	2.3 万円/kW/年
太陽光発電		
設備費用 ²⁾	29.5 万円/kW	7.0 万円/kW
運転維持費用 ²⁾	0.9 万円/kW/年	0.9 万円/kW/年
電気料金単価 ³⁾	20.68 円/kW	26 円/kW

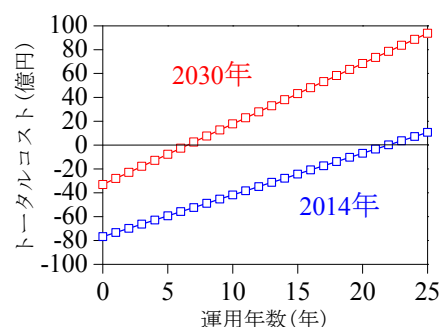


図 1-2-3 電力供給システムの CPT

参考文献

- 1) 日立製作所 HP, 風力発電システム : <http://www.hitachi.co.jp/>
- 2) 経済産業省, 風力発電の現状と課題 :
http://www.pref.kochi.lg.jp/soshiki/030901/files/2014030301868/102833_389069_misc.pdf
- 3) 中部電力 HP : <http://www.chuden.co.jp/>

1-3 電気自動車用電源システムの検討と開発

(1) はじめに

電気自動車の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。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、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ド車では、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) 作製した BCH 電源の問題点と解決方法

バッテリーおよびキャパシタから成る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問題点とその改良

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 1-3-1 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。本学内を 1 周した走行試験結果を図 1-3-2 に示す。意図しない车速の低下が見られず、併せてモータへの電流供給が途切れないことを確認した。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。

(4) BCH 電源の電子スロットル制御の検討

これまで BCH 電源搭載 EV の走行性能改善のため、BCH ルートとバイパスルートの切り替えや制限電流値の無段階変化といった改良を行ってきた。その結果、高負荷走行時も走行が維持できるようになったものの、キャパシタを有効に利用できているかどうか検討の余地がある。そこで、BCH 電源の利点を生かしつつ、電源全体の効率的利用を向上できるように更なる改良を試みた。今回の改良において試作した電子スロットル制御の概略を図 1-3-3 に示す。従来はアクセルペダル開度に比例するアナログ値をインバータへ直接入力して出力制御を行っており、キャパシタ出力に応じた出力制御は考慮していなかった。そこで、今回は、アクセルペダル開度のアナログ信号をいったんマイコンに入力し、マイコン内で走行状況に応じたスロットル調整を演算し、マイコンからの出力信号でインバータを制御するものとし、効率化を図った。

(5) スロットル制御値の決定方法と改善効果

スロットル制御のパラメータを設定するため、まず、加速時の最大出力電流と最大加速度、BCH ルートでの最高速度を実測した。この実測値を基にスロットル開度 100%の時に最大の出力電流となるようにスロットル値を設定した(図 1-3-4 横軸)。次に、キャパシタの最適な出力電流を決めるため、目標速度到達時間とキャパシタ放電可能時間を計算した。目標速度到達時間は、キャパシタ出力電流と加速度との関係から算出した(図 1-3-4 赤線)。キャパシタ放電可能時間はキャパシタの特性から算出した(図 1-3-4 青線)。放電可能時間よりも目標速度到達時間の方が短い場合は、加速終了時にキャパシタにエネルギーが残るため、キャパシタのエネルギーを十分に使いきることができない。逆の場合は、キャパシタの内部抵抗による電圧降下でキャパシタ電圧が低下し、キャパシタから放出できるエネルギーが小さくなる。したがって、放電可能時間と BCH 最高速度到達時間が交差する点がキャパシタの最大出力電流となる。この電流値を出力するスロットル開度をスロットル制限値とし、この値以上のスロットル開度が入力された場合、制限値までスロットル開度に減少することにより、より効率的なキャパシタからの放電を行うことができる。実験用 EV での改善効果を試算したものを表 1-3-1 に示す。スロットル上限を制限する制御を行うことによりキャパシタの放電電力を増加させることができると見積もれた。今後、実験的にこの検討を行う予定である。

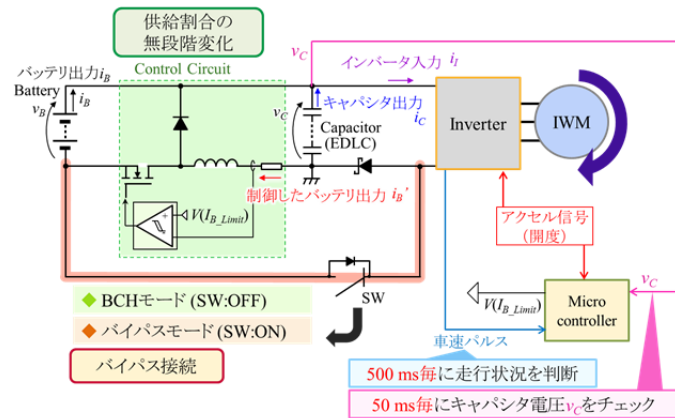


図 1-3-1 エネルギーフロー制御を改良したハイブリッド電源

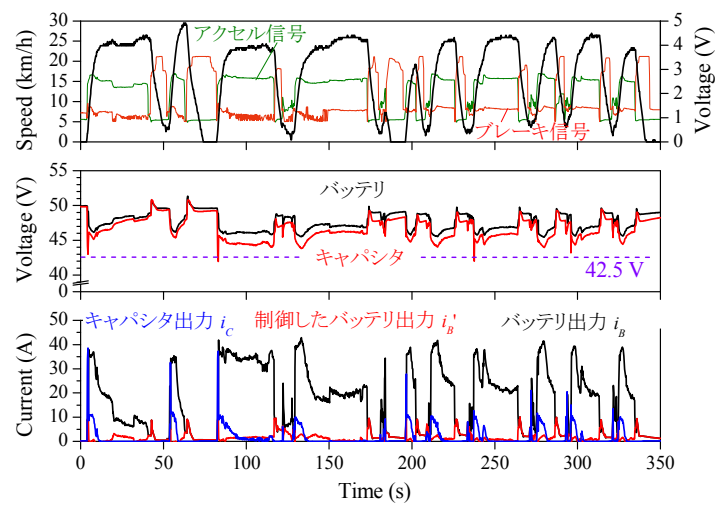


図 1-3-2 学内走行試験結果

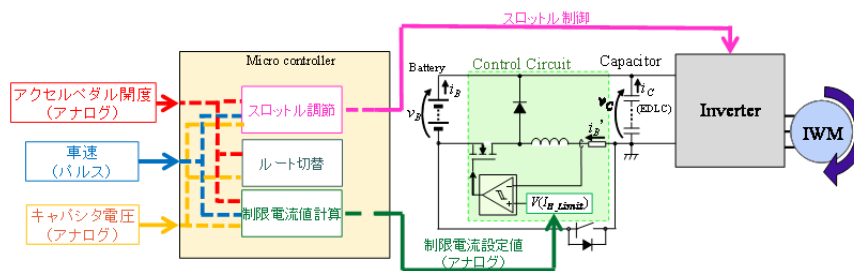


図 1-3-3 スロットル制御を組み込んだ BCH 電源回路

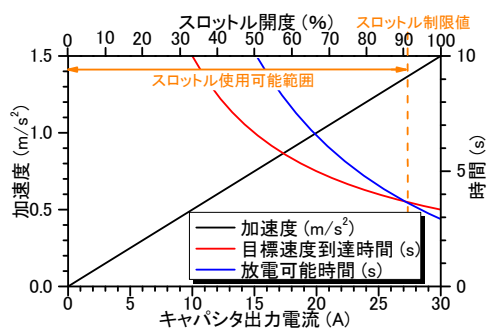


図 1-3-4 スロットル制限値の決定方法

表 1-3-1 スロットル制御による改善効果

	キャパシタ出力電流	
	30 A	28 A
キャパシタ放電可能時間 (s)	3.00	3.50
目標速度到達時間 (s)	3.33	3.50
キャパシタ損失電力量 (Wh)	0.110	0.112
キャパシタ放電電力量 (Wh)	1.101	1.203