

日本における実用的なEVの提案^{*)}

Proposal of Practical EV in Japan

兵頭 淳^{**)} 大沼 伸人^{***)} 三添 エリック・マルセル^{****)}
Jun Hyodo Nobuhito Ohnuma Eric Marcel Misoe

Passenger type or commercial BEVs are harder to get in the Japanese market due to consecutive production discontinuation. Based on this situation, Tokyo R&D, a specialist in prototyping of EVs, studied a way to supply “conversion” BEV practically available for fleet users such as power utility companies, municipalities or local institutions who are already users of EVs. Result of the investigation tells that with a supply of base vehicle from auto manufacturers plus procurement of battery, motor and controllers, such conversion BEV is viable enough in both cost and performance perspectives.

Key words : “BEV”, “conversion”, “secondary battery”, “fleet use”

1. 概要

乗用車・商用車タイプのBEV(バッテリーEV、以下BEVと略す)が次々に生産中止となり入手困難となっていく日本市場の現状を踏まえ、東京アールアンドデーはEVの試作における豊富な経験と知見に基づき、電力会社や地方公共団体を中心とした既存ユーザが実用的に使用できる改造タイプのBEVを少量生産し供給できる可能性を検討した。既存の自動車メーカーからベースとなるガソリン自動車の供給を受け、電池やモータなどの主要コンポーネントの入手を含めて、コスト面/性能面で十分に実現可能であることが調査により分かった。

従来型の鉛電池を用いたBEVの航続距離を延ばす手段としては、Ni-MH電池やLi-ion電池などの新型高性能電池に置き換えることも効果的であるが、鉛電池にストレスを与えないような電池管理装置(バッテリー・マネジメント・システム、以下BMSと略す)を設けたり、また、特に急速充電をとりいれることで利便性を上げることが可能である。一充電あたりの走行距離は延びないが、急速充電により短時間で電池の容量を回復させ、例えば昼休みに急速充電をすることで、1日の走行距離を延

ばすことが出来る。この背景には、ここ数年で鉛電池の高性能化が進み、特に大電力の受入れ性が向上していることがある。

BEVがZEV法の有名無実化とともに衰退した後も、HEVやFCEVの開発は進み、共通のコンポーネントは進化し、市場において得やすくなっている流れの中で既存の自動車メーカー以外の部品メーカーが実力を蓄え、電気スクータや超小型EVを市場投入し始めており、このような会社と協力することでガソリン車の中から業務用途に合致した形態の自動車を選択し、これをBEVに改造することが出来る。

これによりベースとなるガソリン車の利便性や安全性などは、そのまま甘受できる。電気スクータの少量生産に実績を有し、様々なEVの試作にも数多く実績を有する東京アールアンドデーがこのようなEVの概念設計とフィージビリティスタディを行った結果、既存の自動車メーカーの製作した実用タイプのEVと比較して、性能的にもコスト的にも遜色のないBEVが現実の環境の中で実現可能であることが分かった。

^{*)}2005年8月1日受理 ^{**) (株)東京アールアンドデー研究開発部EV開発部門・主任}

^{***) (株)東京アールアンドデー研究開発部EV開発部門・部門長} ^{****) (株)東京アールアンドデー研究開発部営業グループ・主任}

2. 背景

現在日本で使用されているEV（乗合車と原付自転車は除く）は1,200台程度でありそのうち500台程度が電力会社で業務用として使用されている。電力会社だけの需要を考えても500台が5年の償却期間で使用され続けると仮定すると、1年間に100台程度の需要が発生する。また、電力会社以外のEVの需要（地方公共団体などの業務用途）や新規ユーザの拡大を考えるとさらに多くの需要が日本にはあると考えられる。

一方、これらのEVを製造している自動車メーカは、以下の理由で次々に製造を中止し始めており、日本では自動車メーカの製造するEVは入手困難になってきている。尚、日本の自動車メーカが製造していたEVは大きく2つに分けることができる。ひとつは軽商用車に鉛電池を搭載した従来型のEVで、もうひとつは米カリフォルニア州のZEV法への対応を考慮して製作された高性能2次電池（Ni-MH電池、Li-ion電池）を搭載した新世代のEVである。それらのEVの中で業務用として普及している車両を図1に表す。

新世代の電気自動車	従来型の電気自動車
トヨタ RAV4 EV 	スズキ エブリイEV 
日産 ハイパーミニ 	ダイハツ ハイゼットEV 
日産 プレーリージョイEV 	スバル サンバーEV 

図1 日本で業務用に使用されているBEV

自動車メーカがEVの製造を中止することになった大きな理由の一つは、ZEV法がBEVでなくても対応可能になったことである。これによりZEV法の対応を考慮して製作されていた新世代のBEVはことごとく製造中止になった。

また、鉛電池を用いた従来型のBEVはすべてが軽自動車の1ボックスタイプで、性能の低さや乗り心地の悪さ、運転時の疲労などにより用途が限られる。更に航続距離が短いことや、鉛電池が冬の寒い時期には性能が低下し電力容量が減少してくる不具合などの理由でユーザの不満が多い。またもともと販売台数も少な

い為、今では従来型のBEVもほとんどの自動車メーカが製造を中止している。このままでは現在業務用途でBEVを使用しているユーザは車両の代替時期には元の内燃機関自動車に戻すしかなく、また新規にBEVを購入してくれる潜在的なユーザもいなくなる。そこで長年にわたりEVの研究・開発を行ってきている東京アールアンドデーが、従来型鉛電池のBEVへの対策や次世代型2次電池のBEVに変わる実用的な業務用BEVの実現方法に関する検討を行った。その結果、自動車メーカはBEVの製造を中止し始めているが、HEVやFCEVの開発を進めて行く中で自動車部品メーカが電池やモータなどのBEVにも転用できる部品をある程度安価に販売することができる体制が整い始めていることが分かり、それらを適切に組み合わせることが出来れば業務用として実用的なBEVを製造することが可能であるということが分かってきた。

3. 従来型鉛電池BEVの性能向上の方策

①従来型鉛電池BEVの性能向上の方策は以下の通りである。

鉛電池で一充電走行距離を向上させるためには、電池の管理を充分に行い出来る限り電池に大きなストレスを与えず使用し続けることが重要である。現状の電池のまま性能を向上させるには、管理を充分に行うことが重要な手段となる。具体的には電池を管理するデバイス（管理基板）を設け電圧、電流、温度（複数の場所）を細かくモニターし、SOCなどはデバイスで計算（予測）を行い充電や放電の状態を把握し、低温放置などもユーザに警報を出して出来る限り電池への余分なストレスを与えないようにすることであるが根本的な対策にはならないと思われる。鉛電池BEVの一充電走行距離の少なさは、やはり鉛電池の性能の低さが大きな原因となっているので、根本的な対策をとらなければ画期的に一充電走行距離が伸びることはないと考えられる。

②鉛電池を変更せずに性能を向上させるための改善の策は、急速充電により短時間で電池の容量を回復させ、1日に走行可能な距離を延ばしてユーザの利便性を向上させる方法が考えられる。また急速充電は電池の寿命を延ばすという報告もされている。

③鉛電池をLi-ion電池に積み替えて一充電走行距離を10・15モードで200km程度に向上させる。これで

ユーザの利便性は大きく向上する。また鉛電池をLi-ion電池に変更すれば、エネルギー容量は約2倍になるが重量は約1/2、容積は約2/3になる。これにより貨物の運搬可能量も増えるので業務用の車両として使いやすくなる。但し、適切な電池制御システムの開発と、大容量の組電池にした際の信頼性・耐久性の評価が必要になる。また、電池のコストは現状ではまだ高価であるが、材料に貴金属等を使用していないので量産効果が出てくれば付加価値相当のコストには下がると予測される。

④Ni系電池はパワー密度・出力密度が鉛電池に比べると高く、コストがLi-ion電池に比べると低いというメリットはある。但し、動作保証温度の低さや大容量でのディープサイクル充放電による信頼性・耐久性が未確認であるデメリットもある。総合すると突出した特徴は無いが中庸であると判断できるので、現時点でバランスの取れた電池を選択したい場合などは適切と考えられる。

4. 改造BEV(コンバージョンBEV)の製造に関する調査

4-1.業務用BEVユーザへの聞き取り調査結果

BEVの大口ユーザである東京電力の下記の2つの支社でBEVの使いみち・要求機能・要求性能などについて聞き取り調査を行った。

- ・東京電力 鶴見支社
- ・東京電力 川崎支社

この2つの支社はBEV利用のモデル事業所として多くのBEVを業務で使用しており、実用的なBEVへの要求を調査するには適当な対象と考えられる(これらの支社では図1の様なBEVが業務用として使用されている)。

調査した結果も今までにいろいろなBEVのユーザから聞かれていた要求の多くを網羅しており、この調査結果を基にして実用性のあるBEVの検討を行えば、多くのユーザ、特に業務用としてBEVを使用しているユーザの要求に対応できる車両の仕様を決めることが出来ると考えられる。

調査結果をまとめると以下の様になる。

- ◎業務に支障を与えない様に航続距離の延長が出来るようにする。
- 電池の搭載量を適切にする(但し、搭載量を増やし

てブレーキの効きが悪くならないこと)。

- 電池の種類を検討する(但し、コストや信頼性に注意する)。
- 昼休みや作業中に急速充電が出来るように対応する。
- ◎業務用車両として適切な荷室スペースと乗車定員は4~5名を両立させる。
- 1.5ボックス車のような車室の広い(大きい)車両をベースとする。
- 2列目シートが折りたためる車両を選び、人と荷物のどちらでも積めるスペースを確保する。
- ◎ブレーキの効きに不満が出ない様配慮する。
- 最大積載量の大きな商用車をベースとし、重量増加でブレーキの効きが悪くならない様に対応する。
- ◎車載充電器(入力100[V])を搭載したい。
- ◎車体の寸法は小型車枠に収まるようにする。
- ◎適切な動力性能を確保する。ベース車両と同等の出力のモータ・バッテリーを選定する。

4-2.理想的な業務用BEVの仕様

前項の調査結果をまとめると日本に於ける理想的な業務用BEVの仕様は以下の様になると考えられる。

①ベース車両

日本で商用車として販売されている内燃機関の車両を購入して、エンジン・排気管・燃料タンクなどを外して、替わりにモータ・コントローラ・電池パックなどを搭載する。出来れば小型車枠で2列目シートを折り畳めるタイプの車両とする。

例としては図2のような車両が適当と思われる。

②電池

<エネルギー量>

今回の検討ではRAV4EVなどを使用していたユー



図2 理想的なベース車両の例

ザが同じ業務に支障なく使用出来るように、10・15モードで20[km]程度の一充電走行距離を確保することを目標とする。

これより、エネルギー量の目標値は27[kWh]と設定する。

参考までに電圧と容量の予測をしておく。BEVに適当と思われる27[kWh]程度のエネルギー量の組電池を構成しようとすると、ひとつのセルあるいはモジュールが大型のものが望まれる。例えば電圧をEV用として一般的な288[V]に仮定すると、容量は約100[Ah]必要となる。

<電池重量>

図1にあるような第1世代のBEVは車両重量が1,270～1,370[kg]と重くなっている。これ以上重量が増えると動力性能の低下と更なる一充電走行距離の低下が予測される。性能向上の方法を検討するのに、重量の増加を認めることは出来ないので、電池重量は現状の鉛電池の重量と同等とする。これより、電池重量の目標値は420[kg]と設定する。

<エネルギー密度>

上記の結果より、エネルギー密度の目標値は64[Wh/kg]となる。

<パワー>

電池に求められるパワーはベースとなるEVのモータ・補機類を駆動するのに十分であればよい。従来型の鉛電池を用いたEVの場合、モータの最大出力が45[kW]程度、新世代のEVであっても50[kW]程度である。駆動システムの効率や補機類の分として30[%]程度を見込むと、 $50[\text{kW}] \times 1.3 = 65[\text{kW}]$ を目標値とし、これより、パワーの目標値は65[kW]とする。

<電池負荷率>

上記の結果より、電池負荷率の目標値は2.4[C]となる。

<パワー密度>

上記の結果より、パワー密度の目標値は155[W/kg]となる。

これらの検討結果から、鉛電池・Ni系電池・Li-ion電池のそれぞれについて理想的なサンプルを選定した。その結果を表1に示す。尚、表1では電池メーカーや電池型式は伏せ字とする。

③電気駆動ユニット

少量生産を前提として、性能・信頼性・低コスト・供給体制から適切な駆動系部品を選定する。

4-3.車両の概念設計

上記の調査で選定された部品で車両レイアウトと車両重量の検討を行った。レイアウトに関しては、電池の大きさが3種類で違うがこの報告書ではC案のLi-ion電池のレイアウトを例として示す。

次に車両重量の検討は表1の3種類の電池で行った。結果を以下に示す。

A案の鉛電池仕様ではベース車両に対して重量が749[kg]増加し、定員で乗車すると荷物はほとんど載せることが出来ない車両になってしまう。これでは3-1のユーザの要求を満たすことが出来なくなる。

この検討結果から鉛電池で27[kWh]の電池を搭載する仕様には現実性が無いことが分かる。しかし、重量だけの理由で鉛電池の低コストのメリットが活かせなくなることは適切ではない。代案としては電池搭載量をA案の50[%](20直列1並列)にして重量を軽くして対応する方法を提案する。電力容量が小さくなり一充電走行距離が短くなることに対しては急速充電で補完することが出来ると考えられる。鉛電池の急速充電技術はほぼ確立しているので、これ以降の検討では鉛電池仕様のA案は、上記の半分の電池(20直列1並列、14.4[kWh])で急速充電を併用するA'案として検討を進める(表2参照)。

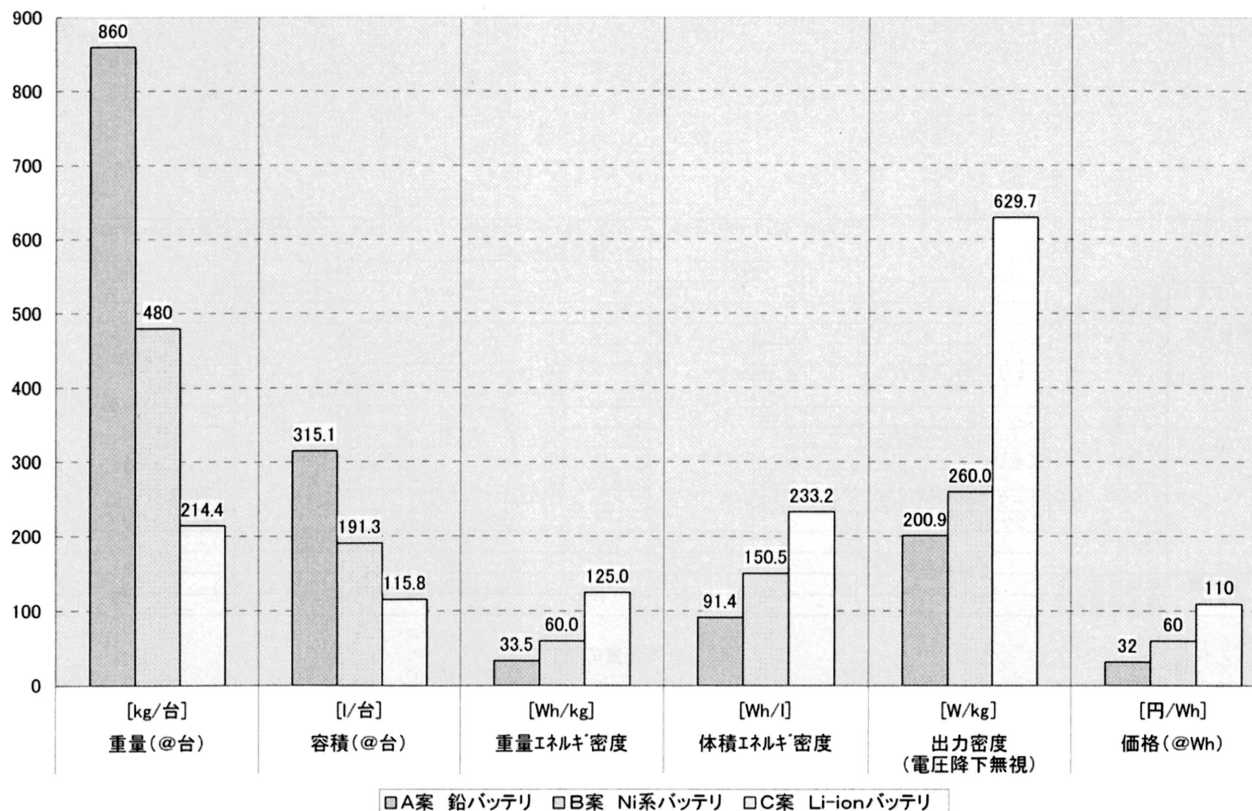
C案のLi-ion電池仕様ではベース車両に対して103[kg]しか増加しないので、積載重量も十分に確保することが可能で理想的である。

4-4.コスト検討

コスト検討は3種類の電池で行ったが、本報告ではC案のLi-ion電池の結果のみについて報告する。この検討を行うにあたり、前述の検討結果から適当と思われる生産台数を仮定しコスト算出の拠り所とした。

			A案 鉛バッテリー	B案 Ni系バッテリー	C案 Li-ionバッテリー
			***	***	***
メーカー			A社	B社	C社
類別			Pb	Ni-MH	Li-ion(正極:マンガン)
型式			***	***	***
製造社 所在地			***	***	***
製造国			***	***	***
EV用組電池案 (27,000Wh目安)	直列数	直	20	24	80
	並列数	並	2	1	2
	総モジュール数		40	24	160
	総電圧	[V]	240	288	300
	エネルギー量	[Wh]	28800	28800	27000
	出力(短時間最大)	[kW]	172.8	124.8	135
	重量(@台)	[kg/台]	860	480	214.4
	容積(@台)	[l/台]	315.1	191.3	115.8
	形態(セル又はモジュール)		モジュール	モジュール	セル
	外形				
概要	縦	[mm]	388	388	143
	横	[mm]	116	107	110
	厚み	[mm]	175	192	46
	容積	[l]	7.876	7.97	0.72
	電圧	[V]	12	12	3.75
	容量	[Ah]	60	100	45
	電力量	[Wh]	720.0	1200.0	168.8
	重量	[kg]	21.5	20	1.35
	性能指標(重量エネルギー密度)	[Wh/kg]	33.5	60.0	125.0
	(体積エネルギー密度)	[Wh/l]	91.4	150.5	233.2
出力	最大短時間放電電流レート	[C]	6	4.3	5
	最大短時間放電電流値	[A]	360	433.3	225.0
	最大短時間出力	[W]	4320	5200	843.75
	出力密度(電圧降下無視)	[W/kg]	200.9	260.0	629.7
価格	価格(量産セル個)	[円]	22,800	72,000	18,500
	価格(量産@Wh)	[円/Wh]	32	60	110
	(@数量/年)				
	(セル)			8,333	40,000
	(@Wh/年)	[Wh]	-	10,000,000	6,750,000
1台分価格		[円/台]	912,000	1,728,000	2,960,000

表1 理想的な電池の例



グラフ1 理想的な電池の比較

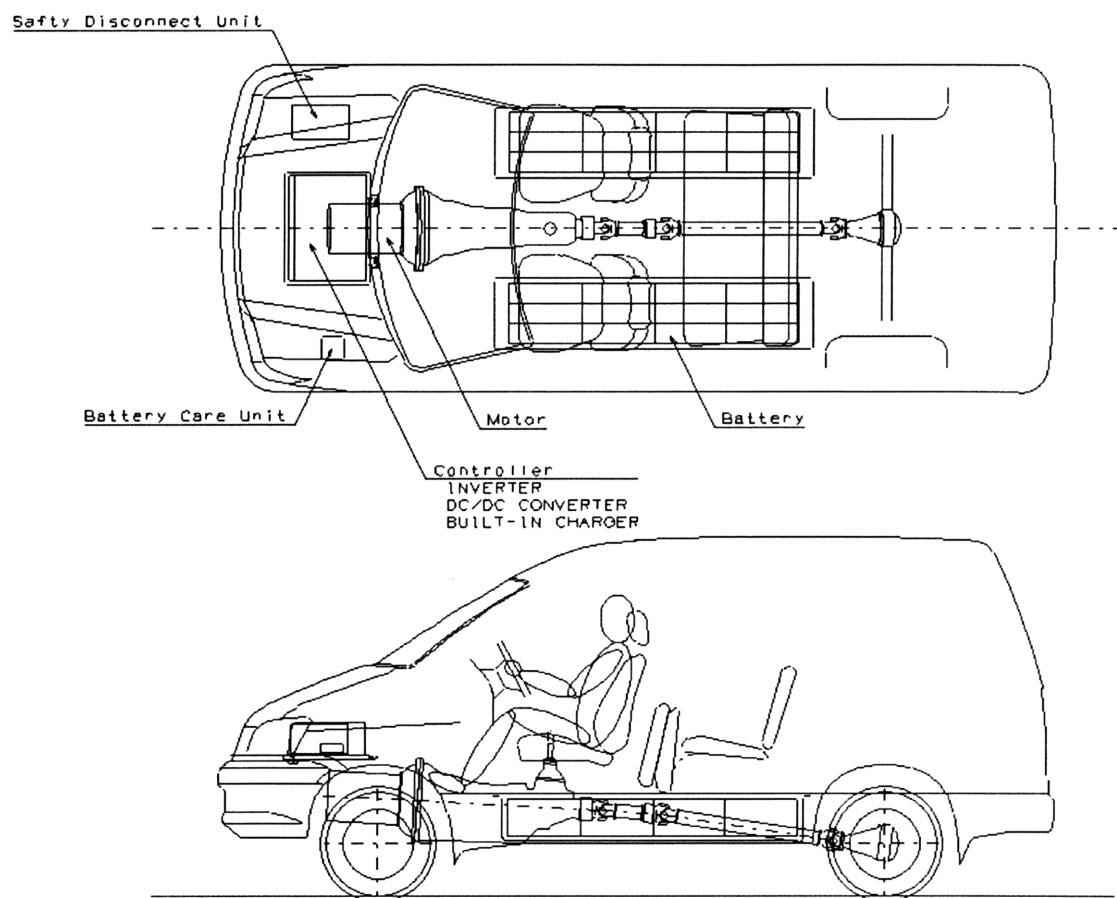


図3 改造BEV 車両レイアウト

重量 [kg]		A案 鉛バッテリー仕様		A'案 鉛バッテリー仕様 (搭載量 Aの50%)		B案 Ni系バッテリー仕様		C案 Li-ionバッテリー仕様		
		***		***		***		***		
ベース車両	車両重量	1280		1280		1280		1280		
	最大積載重量	750		750		750		750		
重量変化	バッテリー以外	エンジン	△ 190	△ 111	△ 190	△ 111	△ 190	△ 111	△ 190	△ 111
		ガソリンタンク	△ 20		△ 20		△ 20		△ 20	
		エキゾーストパイプ	△ 25		△ 25		△ 25		△ 25	
		モータ	56		56		56		56	
		インバータ	35		35		35		35	
		DCDCコンバータ	5		5		5		5	
		充電器	10		10		10		10	
		バッテリー収納	10		10		10		10	
		モータベルハウジング	3		3		3		3	
		ブラケット 等	5		5		5		5	
		バッテリー	860		430		480		214	
		重量変化分合計	749		319		369		103	
	完成車	車両重量	2029		1599		1649		1383	
最大積載重量		1		431		381		647		

表2 車両重量の検討

生産台数(仮定)

- ・ 100台/年 電力会社のみ
(普通小型EV:42台/年、軽EV:65台/年)
- ・ 5年間は同じモデルを製造する
(100台/年×5年=500台)
- ・ 20台/Lot×5回/年、50台/Lot×2回/年などのロット
生産で費用を検討
(受注生産の場合、費用が変化する)
(変化する費用→部品調達、在庫保管、製作部品、
組立段取り、登録段取り)
- ・ 組立は特装車メーカーに委託し、製造コストを抑制する
仕組みをつくる。

尚、日本ではBEVなどの低公害車の購入に対して政府から補助金が支払われる。補助金の額は補助金対象車の価格とベース車の価格差の約1/2となっている。よって算出された製造コストから計算するとユーザーが支払う車両価格はC案のLi-ion電池仕様でも630万円程度になると思われる。内燃機関自動車のベース車両と比較するとやはり高額ではあるが、ゼロエミッションの実用的な業務用BEVが630万円程度で購入できると、電力会社や地方公共団体などの環境対策には適切なコストを支払っても構わないと考えるユーザーにとっては魅力的な価格と考えられる。市販されている乗用車型のHEVでは業務用には使用できないし、開発途上のFCEVは数億円なので630万円程度ならばゼロエミッション車両としてはとても適切な価格と考えられる。

5. まとめ

目的①の第1世代鉛電池BEVの性能を向上させる調査の結果は以下ようになる。

1) 電池の管理を充分に行い出来る限り電池に大きなストレスを与えず使用し続ける。具体的には電池を管理するデバイス(管理基板)を設け電圧、電流、温度(複数の場所)を細かくモニターし、SOCなどはデバイスで

計算(予測)を行い充電や放電の状態を把握し、低温放置などもユーザーに警報を出して出来る限り電池への余分なストレスを与えないようにすることである。

2) 鉛電池を変更せずに性能を向上させるための次善の策は、急速充電により短時間で電池の容量を回復させ、1日に走行可能な距離を延ばしてユーザーの利便性を向上させる方法が適切と考えられる。また急速充電は電池の寿命を延ばすという報告もされている。

3) 鉛電池をLi-ion電池に積み替えて一充電走行距離を10・15モードで200km程度に向上させる。これでユーザーの利便性は大きく向上する。また鉛電池をLi-ion電池に変更すれば、エネルギー容量は約2倍になるが重量は約1/2、容積は約2/3になる。これにより貨物の運搬可能量も増えるので業務用の車両として使いやすくなる。但し、適切な電池制御システムの開発と、大容量の組電池にした際の信頼性・耐久性の評価が必要になる。また、電池のコストは現状ではまだ高価であるが、材料に貴金属等を使用していないので量産効果が出てくれば付加価値相当のコストには下がると予測される。

4) Ni系電池はパワー密度・出力密度が鉛電池に比べると高く、コストがLi-ion電池に比べると低いというメリットはある。但し、動作保証温度の低さや大容量でのディープサイクル充放電による信頼性・耐久性が未確認であるデメリットもある。総合すると突出した特徴は無いが中庸であると判断できるので、現時点でバランスの取れた電池を選択したい場合などは適切と考えられる。

目的②の改造BEVを製造する調査の結果は以下のようになる。

1) BEVへのニーズは少数ながら確実にあるので、そのニッチなマーケットに対し電力会社・電池メーカー・ベース車両メーカー・組立委託工場を東京オールアンドデーが効率よくまとめることでリーズナブルな価格で実用的BEVの供給体制をつくることは十分に可能である。