

■ 展 望 ■

電気自動車開発の現状と展望

Present and Future of Electric Vehicles

秋 川 豊*

Yutaka Akikawa



1. ま え が き

我が国では、第2次世界大戦直後の昭和23、24年ごろ、当時のガソリン不足を反映し、年間1,400台程度の電気自動車が生産された。しかし、その後の石油産業の進展と機動性の不足等から電気自動車は衰退、モータリゼーションはもっぱらガソリン車、ディーゼル車によって占められるところとなった。

しかし、モータリゼーションの激化は、いわゆる自動車公害問題を生じた。一方夜間電力の有効利用の立場から、昭和40年代の初め、再び電気自動車が見直され電力会社、電池会社を主体とした複数グループにより試作研究が行われるようになった。政府も昭和46年度から51年度にかけ、大型工業技術研究開発制度（大型プロジェクト制度）により、高性能電気自動車の研究開発を行った。この間、昭和48年の石油危機により電気自動車推進の気運は一層の拍車がかげられた。

電気自動車は、1次エネルギー源に対する柔軟性、自動車公害の低減等の社会的要請に応えうる自動車ではあるが、現在なお、電池性能の限界に基づく車両性能上の問題、あるいは少量生産に基づく価格上の問題等をかかえている。これら問題点解決のための努力は続けられているが障害は高く、現在、電気自動車はまだ普及しているとはいえないような状況にある。

ここでは、まず電気自動車の普及状況につき簡単に述べたのち、車両性能における種々の問題点とその対策を主体として開発について説明することとする。

2. 普及状況

大型プロジェクト制度による研究開発の終了後、その成果を実用化し電気自動車を普及させるため、通産省機械情報産業局長の私的諮問機関として各界の有識者よりなる「電気自動車協議会」が設置され、ここで

電気自動車の普及推進策を検討し、普及計画を策定している。民間における普及促進の実施機関として「財団法人日本電動車両協会」があり、また実用的な電気自動車の開発を旨とするものとして「電気自動車技術研究組合（旧標準実用電気自動車技術研究組合）」がある。これらの機関は協力して総合的に普及を推進する体制がとられている。

しかし、現在、電気自動車は、公道上进行する一般車が軽・小型車を主体とする約450台、観覧車・ゴルフカート等の構内車約13,000台と普及台数は多くない。これは前述のような性能および価格面の問題点があるため、我々はこれら問題点の解決に注力しているが、さらに電気自動車の長所を積極的に活用しその性能上の限界に対処しようとする用途分野——例えば低公害性を強く要求されるような分野——に重点的に電気自動車の導入を図りたいと考えている。

3. 開発の状況と展望

3.1 概 要

大型プロジェクト制度による研究開発は、電気自動車の特徴を最大限に発揮する新しい技術開発を目標として行われ、表1に示すように電気自動車としては画期的な性能のものが開発された。この研究開発で得られた技術知見は、その後の電気自動車に活用され、その性能向上に役立っているが、反面、ガソリン車との競合のため、経済性に対する要求がきびしく、試作車をそのまま実用化することはできなかった。

我が国では、電気自動車はすべてカーメーカーにより生産されており、その車両は生産費の高騰を避けるため一部の試作車を除き、すべて量産のガソリン車、またはディーゼル車を改造したものである。これら現用の電気自動車の主要諸元は表2のとおりである。表1の大型プロジェクト試作車の性能と比べると一充電走行距離の短い点が特に目立っている。これは主に電池性能の差に基因するものである。

* (財)日本電動車両協会専務理事

〒105 東京都港区虎ノ門2-5-5

表1 大型プロジェクト第2次実験車の諸元および性能

車 種			軽量乗用車		小型乗用車		軽量トラック	小型トラック		路線バス			
			EV1H	EV1N	EV2H	EV2P	EV3P	EV4H	EV4P**	EV5**			
車	全長	mm	3,165	3,165	3,410	3,410	3,410	4,690	4,650	9,380			
	全幅	mm	1,420	1,420	1,500	1,500	1,355	1,695	1,695	2,490			
	全高	mm	1,430	1,430	1,480	1,480	1,605	1,860	1,860	3,060			
	車両総重量	kg	1,467	1,427	1,467	1,480	1,538	3,595	3,620	14,045			
	乗車定員	人	4	4	4	4	2	2	2	70			
	積載量	kg	—	—	—	—	300	1,000	1,000	—			
	最高速度	km/h	96 (80)	101 (80)	83 (80)	85 (80)	78 (70)	90 (70)	87 (70)	61 (60以上)			
	加速性能(0→40km/h)	s	5.4 (7)	5.9 (7)	3.5 (6)	3.6 (6)	8.0 (9)	4.9 (9)	6.8 (9)	6.9 (0→30km/h) (8以下)			
	登坂性能(7%勾配)	km/h	40以上	40以上	40以上	40以上	40以上	40以上	40以上	25以上			
	一充電走行距離(40km/h定常走行)	km	260 (180以上)	261 (180以上)	453 (250以上)	244 (250以上)	206 (160以上)	496 (230以上)	303 (180以上)	187 —			
〃(4モードパターン走行)	km	140以上	200以上	250以上	170以上	100以上	250以上	110以上	70以上				
電力消費率(40km/h定常走行)	km/kWh	9.5	8	9	9	10	8	5.5	—				
車外騒音(40km/h)ホン		61	69	61	60	63	59	63	—				
車内騒音(40km/h)ホン		65	65	65	62	69	63	63	—				
電池	種類		鉄-空気	高出力鉛	鉄-ニッケル	亜鉛-空気	高出力鉛	高性能長寿命鉛	マット構造型鉛	亜鉛-空気	高出力鉛	マット構造型鉛	改良型鉛
	定格電圧	V	96	144	104	166	144	144	120	165	120	120	384
	公称容量	Ah/5HR	260	45	290	200	20	190	180	400	170	400	300
	エネルギー密度	Wh/kg	81.0	42.5	82.5	126.5	35.5	50.0	51.5	109.0	46.5	51.5	42.5
	サイクル寿命(5HR60%放電)		(70以上) 352***	(40以上) 601	(60以上) 1,218以上***	(80以上) 138	(30以上) 265***	(50) 522	(50以上) 701	(80以上) 241	(40以上) 308	(50以上) 556	(40以上) 1,647***
			(200~ 300)	(200~ 300)	(1,000)	(200~ 300)	(200~ 300)	(500以上)	(500以上)	(200~ 300)	(200~ 300)	(500以上)	(800以上)
	組電池重量	kg	530	508	531	538	441	1,049	938	2,950			
電動機・制御装置	電動機型式		サイリスタモータ	直流他励	直流他励	直流他励	直流他励	永久磁石形	直流分巻	直流分巻	直流直巻		
	定格出力	kW	12.0	12.9	20.9	20.9	14.4	27.6	27	72			
	定格電圧	V	125	83	136.5	136.5	102	110	110	360			
	最大出力	kW	35.8	31	38.5	38.5	29.4	66.6	52	128.5			
	最大トルク	kgf・m	6.7	9.2	15.2	15.2	5.07	33.0	33	73			
	総合効率(40km/h定常走行)%		72.5	82.9	83.6	84.2	80.3(サード)	78.5	74.4	—			
	M C 全重量	kg	118.9	124.3	116.2	110.3	97.1	234.5	271.7	740			
	制御方式		トランジスタチョップ	トランジスタチョップ	サイリスタチョップ	サイリスタチョップ	サイリスタチョップ	電圧切換+サイリスタチョップ	サイリスタチョップ	サイリスタチョップ	サイリスタチョップ		

備考 ()は目標値を示す。 ** 第1次実験車の改造車 *** 高橋祥夫他 大阪工業技術試験所報告 No. 354 (1979)

(財)日本産業技術振興協会、電気自動車の研究開発1977.9による)

表 2 現用車両の主要諸元表

車種			軽乗用車	軽キャブバン 標準ルーフ		軽キャブバン ハイルーフ				軽キャブトラック		小型 キャブバン	路線バス	遊覧車	
						2人乗り		4人乗り						8人乗り	10人乗り
						スズキアルト	ダイハツハイゼット キャブバン	三菱ミニキャブ バン	スズキキャリー バン ハイルーフ	ダイハツハイゼット キャブバンハイルーフ	ダイハツハイゼット キャブバンハイルーフ			ダイハツハイゼット キャブトラック	マツダポーター キャブトラック
寸 法 ・ 重 量	全長	mm	3,195	3,195	3,155	3,195	3,195	←	←	3,195	3,990	9,380	3,540	4,740	
	全幅	mm	1,395	1,395	1,395	1,395	1,395	←	←	1,395	1,690	2,490	1,500	1,850	
	全高	mm	1,335	1,650	1,610	1,820	1,800	←	←	1,645	1,585	1,790	3,100	1,950	2,440
	ホイールベース	mm	2,150	1,820	1,760	1,840	1,820	←	←	1,835	2,200	4,730	1,820	2,080	
	トレッド	前	mm	1,215	1,215	1,220	1,215	1,215	←	←	1,220	1,440	2,015	1,215	1,350
		後	mm	1,170	1,190	1,190	1,200	1,190	←	←	1,165	1,380	1,825	1,190	1,285
	車両重量	kg	895	1,020	1,070	1,010	1,035	1,015	995	965	1,770	11,065	1,015	2,050	
	乗車定員	人	2	2	2	2	2	4	2	2	3(5)	70	8	10	
	最大積載重量	kg	—	200	200	250	200	100	250	250	250(150)	—	—	—	
車両総重量	kg	1,005	1,330	1,380	1,370	1,345	1,335	1,355	1,325	2,185(2,195)	14,915	1,455	2,600		
性 能	最高速度	km/h	80	78	70	70	78	←	←	65	70	62	15	20	
	登坂能力	tan φ (度)	0.4 (21°48')	0.32 (18°)	0.25 (14°)	0.37 (20°18')	0.32 (18°)	←	←	0.2 (11°19')	0.3 (16°40')	23.5 km/h (7.5%)	0.30 (17°)	0.10 (6°)	
	一充電 走行距離	40km/h 定常走行	km	110	65	60	70	65	←	75	65	90	180	60	110
		平均都市 内走行	km	80~85	…	…	…	40	←	…	35~40	…	…	40~50	…
原動機	定格出力	kW	10	14	11	11	14	←	←	11	10	72	7	←	
電 池	単体電圧	V	12	12	12	12	12	←	←	12	12	6	12	12	
	単体容量	Ah/HR	150/5	130/5	120/5	120/5	120/5	←	←	130/5	120/5	105/5	330/5	120/5	135/5
	積載数量	個	8	8	8	8	8	←	←	8	16	64	8	16	
充 電 器	交流入力電源	相/V	3.200~ 220	単/200	3/200	3/200	単/200	←	←	3/200	3/200	3/420	単/200	←	
	標準充電時間	時間	8	8	8	8	8	←	←	8	8	5	8	10	

(財)日本電動車両協会調べ 1983. 6 現在)

以下、電気自動車の車両特性に直接関係する電池、制御装置、電動機および変速機等のコンポーネントの現状と展望について説明し、併せて電気自動車に特有な付属装置等の問題点について述べることにする。

3.2 車両特性とコンポーネント特性との関係

車両特性は、コンポーネントの総合特性により左右される。電気自動車の性能向上を図るには、各コンポーネント単体での性能向上はもちろん必要であるが、さらに総合的な検討が必要である。

例えば車両性能を一定とした場合の各コンポーネントの重量について考えてみよう。現在の電気自動車では、電池重量は電動機・制御装置の重量の約5倍ある。そこで電動機・制御装置の重量が多少増加してもその効率を上げることができれば、この重量増加分より電池重量減少量を大きくすることが期待でき、総合的には車両重量を下げるのが可能となる。

また、よくいわれるように直流直巻電動機を使用すれば、低速トルクが大きいので変速機なしとすることも可能である。しかし、こうすると電動機の寸法・重量が大きくなり結果的には不利の場合が多い。さらに、この場合は制御装置・電池に対する要求もきびしくなる。現在の車両で、普通、変速機を使用し低速時の電動機トルクに対する要求が過大になることを避けているのはこの理由による。

以上のように、電気自動車のコンポーネントの特性は、それぞれの単体だけでなく全部の総合特性の中で考える必要がある。

3.3 電動機

自動車が走行するときの原動機の動力特性は、車両速度が下がると推進力が増加するような形であるのが好ましい。このような形であれば、例えば自動車が登り坂にかかり、抵抗力が増して車速が下がると、推進力は増加し車速を上げようとする。すなわち、結果的に速度が安定する方向に保たれるからである。

電動機の出力が一定であるとする、トルクと回転数とは双曲線関係となり、自動車用原動機として適したものとなる。

現用電気自動車に使用されている電動機は、直巻または分巻（他励）の直流電動機である。

直流直巻電動機は図-1のように低速トルクが大きい特性を持っているため、古くから電気自動車用として使われてきた。なお、特性図においてトルクの最大値は最大許容電流により、また回転数の上限は電動機の機構上の制限、あるいは最大電圧により定められる。

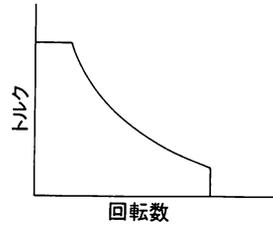


図-1 直流直巻電動機出力特性

分巻（他励）電動機は、電機子および界磁をそれぞれ独立して制御するので制御装置の機構は直巻電動機の場合より複雑になるが、反面、所望の出力特性を得やすく、さらに力行から制動への移行、逆転が容易である等の利点があり、近年、その使用が増加している。

一方、交流電動機は、直流電動機と比べ高速化が可能であり、また保守の点でも有利な電動機であるが、直流電源からの駆動のため制御装置の複雑化は避けられず、さらに低速大トルク特性を得るには困難が伴う。現段階では、交流電動機システムは、直流電動機システムと比べ寸法、重量、コストなど重要な点に問題があり、一般に用いられるまでには至っていない。しかし、パワー半導体デバイス、集積回路技術の進歩は急激であり、近い将来には種々のこれ等問題点が解決されるものと期待される。また、小型の無段変速機ができるならば、これと組合せることによって制御装置の複雑化を避けながら所要の総合出力特性を得る道があり、駆動システムについての新しい見通しの開けてくる可能性がある。

3.4 制御装置

電気自動車では、電動機の制御は端子電圧を変えることによって行われる。端子電圧を変える最も簡単な方法は、電池の直並列接続の変更による電源電圧の切換え、または主回路への直列抵抗の挿入による電圧低下を用いる方法である。これらは古くから使われてきた方法であるが、電圧の変化が不連続であったり、あるいは抵抗器における無駄な電力の消費などの問題があり、ごく小さな車両や低速車の場合など以外は、これらを単独で使うことはない。

国産電気自動車では、チョップが制御装置の主流を占めている。チョップは、大電力用のサイリスタやトランジスタを用いて直流電圧を調整するもので、近年におけるこの方面の技術の進歩は目ざましい。

チョップを用いた制御装置は効率もよく、制御性がよいので次のような機能を持たせることも可能であり、今後これらを組入れた制御装置も使用されるようになるであろう。

- ① 車両最高速度の限定
- ② 一定速度走行
- ③ アクセルペダル踏み代と速度との比例制御
- ④ エンジンブレーキ相当の回生制動*の付与
- ⑤ 回生制動によるブレーキ力の増強

3.5 電池

現在、電気自動車に使用されている電池は鉛電池である。鉛電池は、放電特性がよく、また保守も比較的容易であるので古くから使われてきたが、電気自動車用としてはエネルギー密度（単位重量当りの貯蔵エネルギー量）が小さく、このため一充電走行距離が短くなるのが最も大きな問題点である。

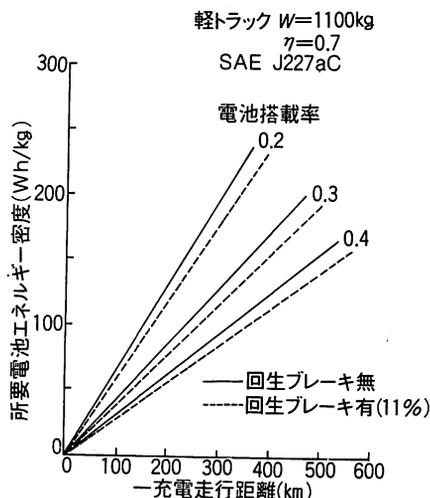
電気自動車用電池には小型軽量、長寿命、保守の容易さ、低コストなど、相互に相容れない多くの点が要求される。

大型プロジェクト制度により開発された電気自動車用電池の性能は表1に示したとおりである。この表で見られるように性能の非常によい電池が作られたが、コスト高や保守の困難性などの問題点の解決までには至らなかった。その後、鉛電池および新種電池に対する電池メーカーの努力が続けられ、例えば昭和56年にはエネルギー密度45Wh/kg、寿命1,000サイクルの鉛電池が発表された。

二次電池以外の電池も研究が行われている。燃料電池はエネルギー密度が大きいので航続距離についての問題は解決するが、反面、出力特性が良くないため、自動車用動力源のように負荷変動の大きな用途に使用すると、加速、あるいは登坂など大出力を必要とするときの車両性能が不十分となる。これを補うためには他の出力特性のよい電池、例えば鉛電池と併用し、鉛電池-燃料電池のハイブリッド電源とする必要が生じこのための制御回路が必要となる。

電池開発の概況は以上のとおりであるが、電気自動車における最大の技術的問題点が電池にあることは周知のとおりであるので、電池への課題について説明を加えることとする。

- ① エネルギー密度 電気自動車の性能上、最も問題とされている一充電走行距離は電池のエネルギー密度に比例する。図-2は、電池を除いた車両総重量 $W = 1,100\text{kg}$ 、総合効率 $\eta = 70\%$ の軽トラックが、



(財)日本電動車両協会、電気自動車用電池の評価報告書 1983. 3より)

図-2 一充電走行距離と所要電池エネルギー密度

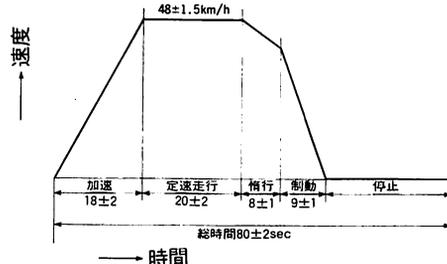
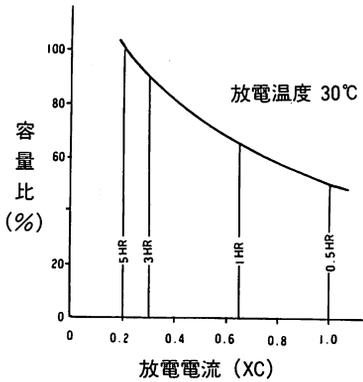


図-3 SAE J227a スケジュールC 走行パターン

SAE J227aのスケジュールC (図-3)で走行するときの電池エネルギー密度と一充電走行距離との関係を、定電力加速とし電池搭載率(電池重量/車両総重量)をパラメーターとして計算した結果を示す。電池搭載率は居住性、積載スペース等の制限から通常30%前後である。この値を30%とし、エネルギー密度が45Wh/kgの電池を使用すれば、この場合は回生制動なしでも一充電走行距離が100km強となることが図-2から分かる。電気自動車用電池としては温度、履歴等にかかわらずこの程度のエネルギー密度は最低限必要といえよう。

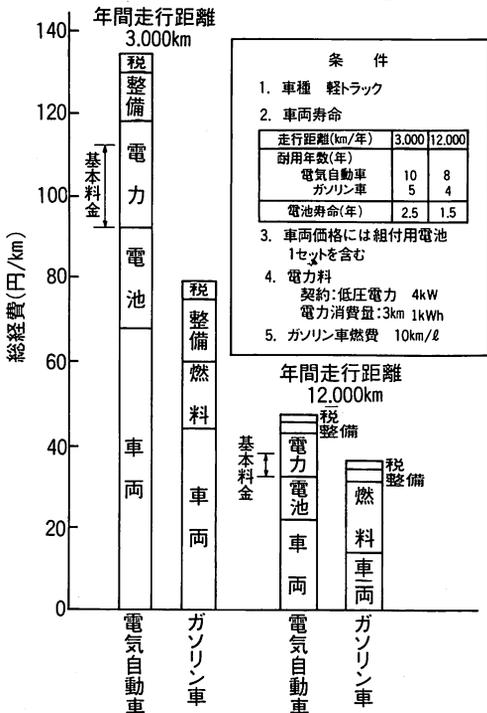
- ② 出力特性 自動車では発進、加速、登坂のさい、駆動力の大きいことが要求され、従ってこのようなときは電池出力も大きいことが必要である。一般に、電池は放電電流を大きくすると電圧および容量が低下する(図-4)。電気自動車用電池はこの低下率が小さいことが望ましい。
- ③ 寿命 電池寿命は電気自動車の経済性に大きな影響を与える。図-5は現用電気自動車の経費を試算

* 回生制動：車両の減速または降坂のさい、電動機を発電機として作用させ、車両の持つ運動エネルギーを電気エネルギーに変え電池に戻すことにより充電しながら車両に制動をかけることをいう。



(社)日本蓄電池工業会資料による)

図-4 放電電流と容量の関係 (鉛電池)



(助)日本電動車両協会調べ)

図-5 電気自動車とガソリン車の経費比較

(昭和57年現在)

したものである。これから電池交換に要する費用がかなり大きい部分を占めていることが分かる。一般に、電池はエネルギー密度を上げると寿命が短くなる傾向がある。一例として大型プロジェクト制度により開発された鉛電池の寿命とエネルギー密度との関係を図-6に示す。電気自動車用電池ではエネルギー密度の低下なしに寿命伸長を図ることが特に要求されるので、この点に他用途の電池とは異なった技術的な難しさがある。

また、電池寿命は充電条件、温度等、使用のさいの

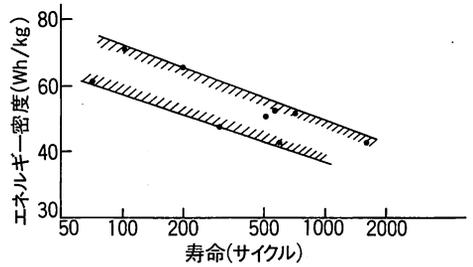


図-6 大型プロジェクトで開発された鉛電池の性能

取扱いの差異によっても影響を受けるので、充電器等のデバイスの改良により寿命を損うような原因を排除くようにすることも重要であり、次に述べるようにこの方面の研究開発も行われている。

3.6 充電器

電気自動車の電源は二次電池であるので、走行後はこれに充電する必要がある。一般交流電源を整流し、電池に適正な電流を供給するために充電器が使用される。充電方式には図-7に示すように多くの方法がある。これらのうち、準定電圧1段方式は充電器の構造が簡単で価格も安いので、軽・小型の電気自動車用として最も多く使われている。一方、路線バス用では充電時間を短縮させる目的で定電流定電圧定電流方式のものが使われている。

鉛蓄電池では充電電量は放電電量の110~125%が適切な量とされている。しかし、一般の電気自動車ユーザーの充電状態を調査した結果ではこれ以上の充電をしている例が多い。とくに1日の走行距離が短くなるほどこの傾向が強いようである。電池を過充電すると電力を浪費するだけでなく、電池寿命を短くさせたり、補水の回数を増加させたりするなどの不具合が生ずる。そこで過充電を避けるため、充電電量が適正量に達したとき自動的に充電を停止させるような機構の開発も行われた。

また、電気自動車の1日走行距離を延ばす目的で、短時間内に急速充電を行う装置の開発や、充電器を小型化し車上搭載形にする試みが行われている。なお、電動機が交流化された場合は、その制御装置に手を加えて充電器兼用とすることも可能であろう。

3.7 その他の装置

動力系コンポーネント以外で比較的問題的の多い装置に電池残存容量計と暖房装置とがある。さらに整備に関連し回路点検装置の問題がある。

(1) 電池残存容量計

ガソリン車の燃料ゲージに相当する計器である。電気自動車は走行距離のマージンが少ないのでガソリン

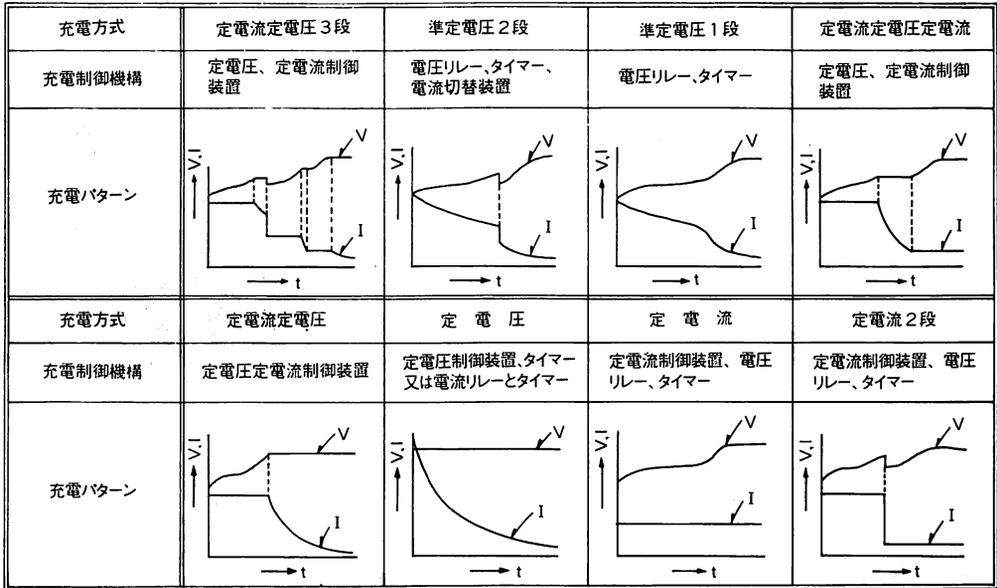


図-7 各種充電方式の充電パターン

車の場合よりも重要な役目を負っている。

電池の残容量を知るには、①電解液比重を測定する方法、②端子電圧の変化を測定する方法、③放電電流量を計測する方法などがある。しかし、電池の温度、新旧、あるいは電池自体の性能のバラツキ等のため、いずれもかなりの誤差が生じ、精度向上に対する要望が強い。

現用車種においては、価格の点から電圧計式のものが多く使われているが、将来は、例えばマイクロプロセッサを使用して各種の補償を行い精度を上げるような方向に向うことも考える必要がある。

(2) 暖房装置

電気自動車の重要な問題点である。ガソリン車、ディーゼル車の場合は、機関の損失熱が大きいのでこれを利用すれば暖房は問題がない。冬期には暖房は必要であり、安全上からもデフロスタの装置は義務付けられている。

電気自動車の場合は暖房のエネルギー源として電気を使うと、問題の多い一充電走行距離をさらに短縮することになり好ましくない。コンポーネントの排出熱をデフロスタに用いた例もあるが熱量不足である。また、蓄熱式のものも試作されたこともあるが、これには熱量不足、温度コントロールの困難などの問題がある。厳寒地では止むを得ず燃焼式ヒーターを使用する場合があるが、液体燃料の使用、室内騒音、占有体積などの難点がある。現在は暖房についての有効な解決策はまだ出ていない状態である。将来、燃料電池の使

用が可能となった場合には、これらの発生熱を利用して暖房問題に対処しうる可能性があろう。

(3) 点検装置

電気自動車は、制御装置のチョップに電子デバイスを使用しているが、今後、制御の高度化とともに電子デバイスの使用度は増加するであろう。電子デバイスは、従来の電気機械とは異なり一般の自動車整備工場では、その保守点検、故障修理をすることが困難である。電気自動車の普及を進めるにはこの問題に何らかの対策を立てておく必要があり、このため回路点検装置の開発が行われた。これは一般の自動車修理工場の持つ程度の電気知識で所要の点検、故障個所の発見を可能とするものである。

4. あとがき

電気自動車はガソリン車よりも古い歴史を持ち、かつ脱石油、環境保全等の社会的要請にこたえる自動車であるにもかかわらず一充電走行距離不足と高価格とに阻まれその普及は進んでいない。

技術的にはすでに大型プロジェクト制度により十分な性能のものが開発されているが、その成果を反映させ現在の自動車の性能向上を図りながら価格を低減させるには多くの難関が控えている。

電気自動車協議会、(財)日本電動両協会および電気自動車技術研究組合は三者一体となり、これら問題点の解決を図り、一日も早く電気自動車を都市内生活に密着した「頼れる車」とすべく努力を続けている。