

電気自動車デンソー号 (1950年) の技術*

The Technology of Electric Vehicle 'DENSO-GOU (1950 model year)'

藤網 雅己
Masami FUJITSUNA

In Japan before and after World War II, procurement of oil was difficult, and an alternative fuel for vehicles was necessary. Therefore, an electric motor and charcoal-gas engine were used for the power plant of the vehicle as substitution of the internal combustion engine. Under such a background in such times, this paper introduce the electricity characteristic of the EA-type electric vehicle "DENSO-GO" released by Nippondenso (existing: DENSO CORPORATION) in those days.

The main specifications of electric characteristic of this vehicle were the motor rating output:6HP (at 1550rpm), battery capacity: 250AH, battery mass: 800kg. The expression EA-type electric vehicle was able to run 195km on one charge though the vehicle's gross weight at that time was 1990kg. This mileage is equal to electric vehicles produced 40years later.

Key words :

electric vehicle, electric cart ,technological history

1. はじめに

日本における電気自動車は、文献¹⁾⁻⁴⁾によれば、1899年在日の米国人が個人的に電気自動車「プログレス」を輸入したことから歴史が始まった。1911年に東京電灯会社が米国 Baker 社から輸入した電気自動車（二人乗り）を日本自動車株式会社が分解調査し電気自動車の試作を開始したと記述している。車として記録に残るもっとも古い国産電気自動車は、1919年に野沢三喜三氏が試作した「テルコエレクトリック」¹⁾⁴⁾である。本格的な量産車は、1934年に日本自動車製造が設立され、製造を開始した小型電気自動車デンカ号である³⁾。1937年には中島製作所と湯浅電池が商工省より助成を受けて新設計の中島小型電気自動車を製作した³⁾。その後、第二次世界大戦前後の日本では、石油の調達が困難となり、自動車を動かすための代替燃料が必要であり電気自動車が注目された。

このような時代背景の下、本稿では、第二次大戦後間もない時代の電気自動車 1950 年式「EA 型電気自動車デンソー号」について現存する当時の設計報告書⁵⁾に基づき電気的特性を中心に記述する。

「EA 型電気自動車」は、1 回の充電で 122 マイル (195 km) の走行が可能であったと記述されており 40 年後に生産された電気自動車に引けを取らない走行距離である。本記述は、EV の発達の中の一つの技術史であるが、現在のパワーエレクトロニクスが全く無い時代に、モータをどのように制御したか（電機子電圧制御から弱め界磁制御）、また市街地走行しか出来ない EV ではあるが直流直巻電動機でありながら現在の最新同期電動機と同等の効率が得られてる実用技術、EV 車両搭載などの筆者の考察を加えている。そのことで単なる技術史ではなく、読者が基本的な EV の仕組みなどを知ることで新たな創造につなげることができると考える。

* (一社)電気学会の了承を得て「電気学会論文誌 D Vol.139 No.6 pp574 ~ 579」から加筆・修正のうえ転載



Fig. 1 EA type electric vehicle "DENSO-GOU"

2. 「EA 型電気自動車」の概要

Fig. 1に当時の「EA 型電気自動車」写真を示す。Fig. 2に残されていた生産現場での写真を示す。後ろに搭載されたバッテリー（写真では見えないが前にも搭載されている）、中央に直流直巻電動機が搭載されているのが見える。Fig. 3に車両外観図面を示す。比較のためFig. 4に原型と思われる1947年に開発されたガソリン車・トヨペット・SA型⁶⁾を示す。

「EA 型電気自動車」は、全長4250mm、全幅1598mm、全高1630mmで、現在市販されている小型電気自動車とほぼ同等の大きさである。車両重量は1990kgであり、トヨペット・SA型⁶⁾の1170kgに対しバッテリーの重量増加分約800kg重い。電動機の定格出力は6HPで過負荷容量は300%（1分間）と記述されており、トヨペット・SA型の27HPに対し5～7割程度の出力であった。

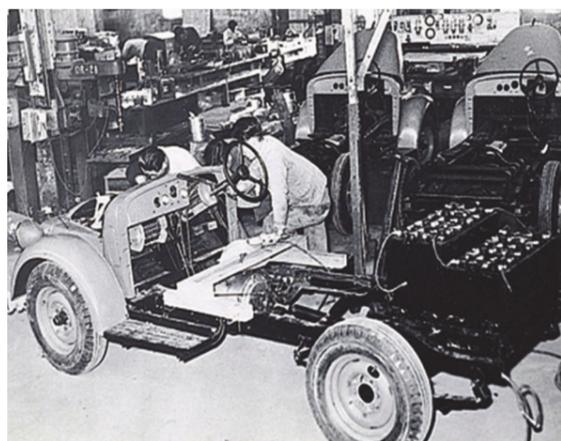


Fig. 2 manufacturing view of EV "DENSO-GOU"

シャシーフレームへの搭載は、バッテリーを前後に各20個、運転席下中央に走行用主機電動機、補機6V用発電機は右側フレームに搭載され主機電動機からベルト駆動されている。左側面に補機バッテリーが搭載されている。以下各コンポーネントについて詳細を記述する。

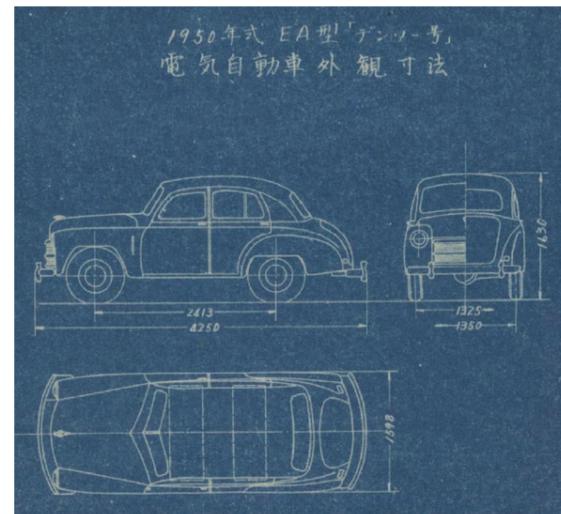


Fig. 3 outline view of EV "DENSO-GOU"



Fig. 4 TOYOPET Type SA

Source: Toyota Automobile Museum
http://www.toyota.co.jp/Museum/collections/list/data/O114_ToyopetModelSA.html

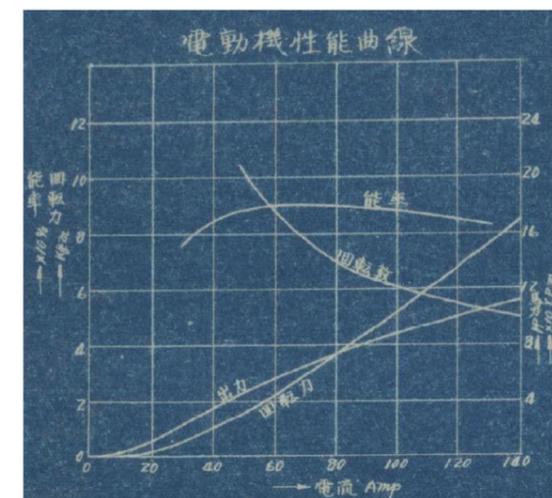


Fig. 5 characteristics of electric motor EA11000 6HP

3. 主機電動機

主機電動機は、日本電気自動車株式会社設計のBA型6HP直流直巻電動機を製造しEA型として搭載している。電動機特性をFig. 5に示す。体格は直径320mm、長さ390mm、質量90kg、定格出力6HP（電圧75V、電流70A、回転数1550rpm）、定格時間1h、電動機の最大出力は、約12HP、8.5kgm、1000rpmである。電動機の質量90kgは、トヨペット・SA型に搭載されたS型エンジンとほぼ同等な重さである。

Table 1に最近の電気自動車との比較として、最大出力、最大トルクを記述した。出力は一桁小さく、トルクも1/3以下である。Fig. 6に最近の代表的な電気自動車の回転数-トルク、効率マップにEA型電気自動車の直流直巻電動機の特性をプロットした。

一般の市街地走行では、EA型電気自動車の動作域が殆どカバーしている。また、プロットした点での

Table 1 specifications of electric motor, comparison of "DENSO-GOU" and current EV

	"DENSO-GOU"	Current EV
Maximum power	8.8kW (12HP)	80kW (108HP)
Maximum torque	83Nm (8.5kgm)	280Nm (28.5kgm)
mass	90kgW	58kgW

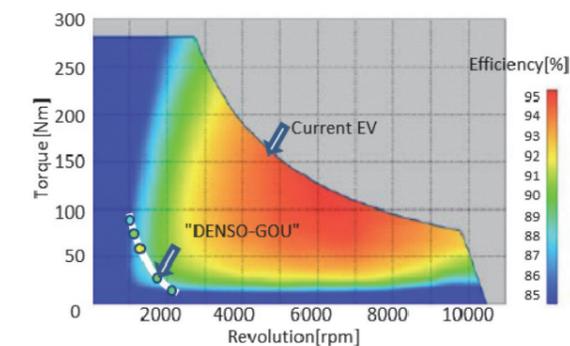


Fig. 6 efficiency-map and NT-curve of electric motor, comparison of "DENSO-GOU" and current EV

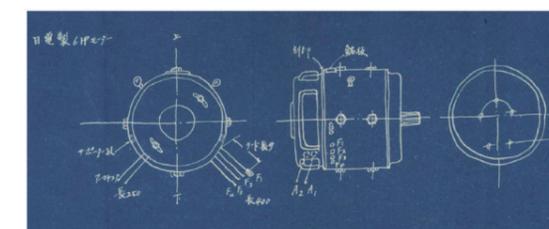


Fig. 7 sketch of EA11000 6HP

EA型電気自動車の電動機効率が現在の電動機の効率に対し2～3ポイント優れていることから、一回の充電で195km走行出来たのも頷ける。

電動機の調整について以下記述が残っている。「界磁巻線40Tと37Tを実験にて比較したが、電流の大きい領域では磁路が飽和しΦが一定となりトルクはIaに比例し両者の差はない。回転数も同様に大きな電流領域では40Tも37Tも殆ど同一である。しかし、37Tの方がIaRaによる電圧降下が小さい分回転数が高くなるので37Tを選定した。」と記されている。Fig. 7にEA型電動機外形のスケッチ図を示す。正面図中央に4極の直巻ポールコアを固定するボルト、正面図左側にブラシ取り付け部がわかる。

4. 電池

電池は、湯浅蓄電池株式会社のVGDH-10型（場合により日本電池株式会社製も用いると記載）で、容量は250Ah（5時間率）である。2Vセルの体格は、114×162×375mm（長×幅×電槽）、ターミナルを含めた電池高さ410mm、質量19kg、希硫酸の内容量は2.5Lである。

電池の搭載については、2V電池セルひとつの質量が19kgであるから、これを引出し運搬可能とするため、一個の電池ケースに2V電池セルを10個挿入し、エンジンルームとトランクルームにそれぞれ2個の電池ケースを入れる。「エンジンルームの電池ケースは、ステアリングギヤボックスに当たらない様に車両中心から左にオフセットした。」「トランクルームは車両中心に各々平行に搭載した。」と図面に記述されている。また図面の中で、電池の容量と充電電流についてはFig. 8に示すように、0.2C（5時間率）で250Ah、1C（1時間率）では185Ah、開始充電電流が57～67A、終末充電電流を25Aと定めている。

型名	容量 (Ah)			充電電流 (A)	
	5時間率	3時間率	1時間率	開始	終末
VGDH-10	250	230	185	57~67	25

Fig. 8 battery capacity and charging current

歴史を知る

5. 制御装置

主機電動機の制御回路を Fig. 9 に示す。回路は、バッテリーのプラス側からスピードチェンジャー (Fig. 9 右下) を経由し、直巻界磁巻線、電機子巻線、コントローラー (Fig. 9 右上)、マグネットスイッチ、電流計、バッテリーのマイナス側と結線されている。

スピードチェンジャーは、現在の車のギヤシフト装置と同じ働きで、スイッチにより電池の並・直列切り替えと直巻界磁巻線の並・直列・反転切り替えと高回転時には分流抵抗による弱め界磁を行っている。この様子を Fig. 10 に示す。後進時は、二つの界磁巻線を並列に逆接続している。前進1段では、電池を並列

(40V) 界磁巻線を並列接続、前進2段では電池を直列 (80V) にし界磁巻線を直列、前進3段では界磁巻線を並列にし磁束を弱め、さらに前進4段では界磁巻線にダイバータ (diverter) 抵抗を並列接続し分流することでさらに電動機の磁束を下げている。

電機子巻線と直列に接続されたコントローラーは、8枚のグリッド型抵抗器 (カーボンを焼き固めた固体抵抗器) と抵抗器のタップ位置を切り替えるスイッチから構成されている。作動は、抵抗器のタップを切り替えることにより電動機の起動電流を制御すること、マグネットスイッチの開閉により電動機への電力の断続である。これは、現在の車のクラッチとアクセルを複合した機能と考えられる。

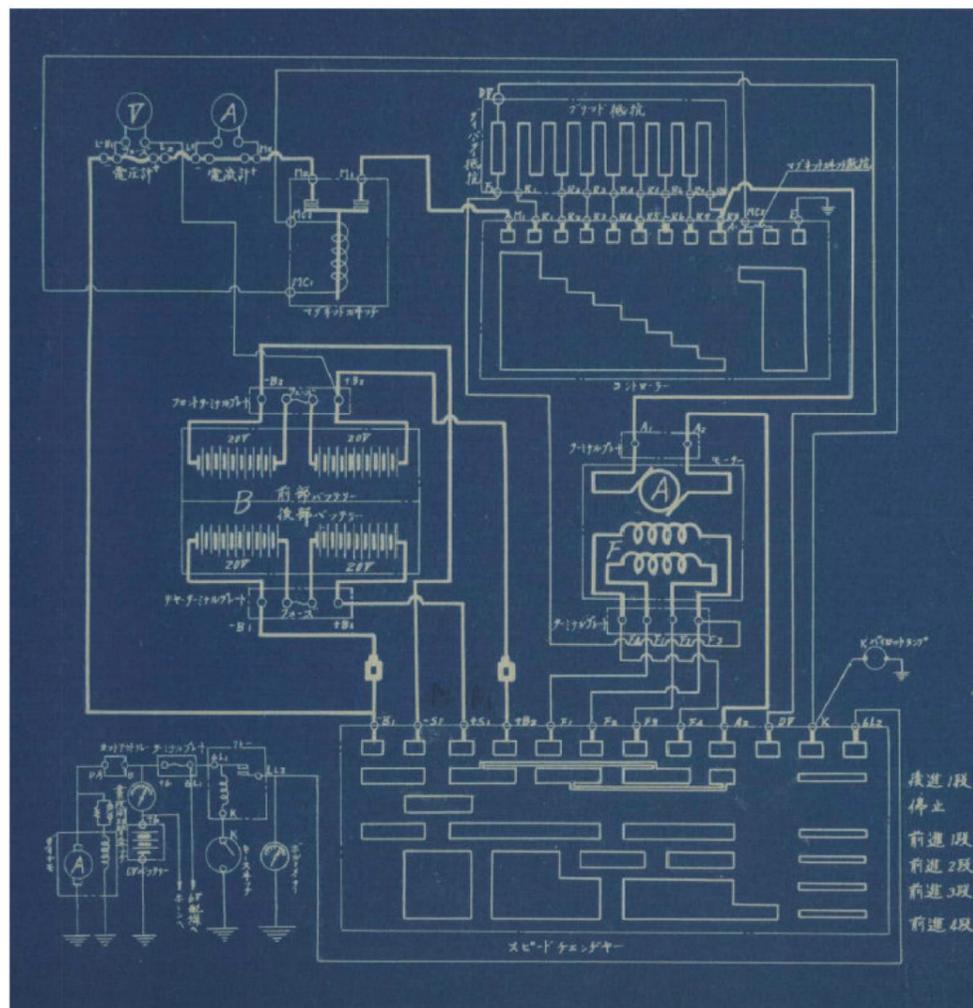


Fig. 9 main control circuit diagram (80volt main system)

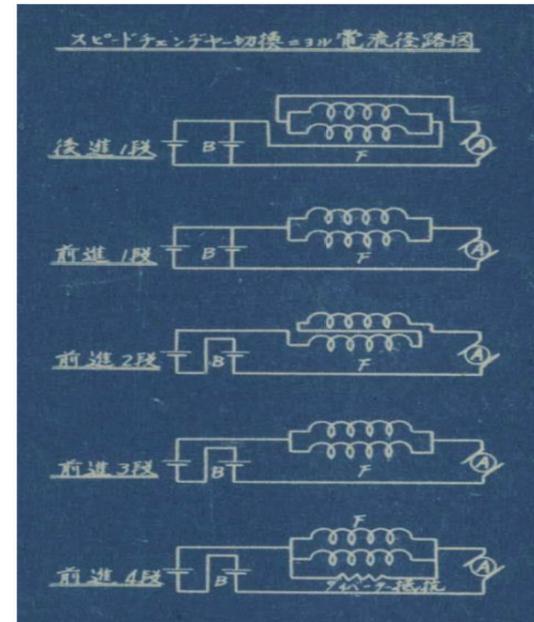


Fig. 10 control method of magnetic field current (vehicle function gear shift)

電動機主回路を開閉するマグネットスイッチは、キースイッチ ON かつスピードチェンジャー選択位置の中性点「停止」以外の位置でレディー状態になり、コントローラーのパワーオン状態 (図はパワーオフ状態) でマグネットスイッチが閉じ電源が供給される。興味深いのは、マグネットスイッチのコイル電流を2段階に切り替えていることである。OFFからONする時 (スピードコントローラー R1 ポジション) のみコイルに直接電源 (6V) が印加され、それ以外の ON 状態 (R2 ~ R7, R8 直結ポジション) ではコイルに直列抵抗が挿入され通電電流を制限している。

Fig. 9 に示す制御回路は、電池の切り替えを除き、電気車両の制御機構「直接制御器」(Direct Controller, ダイレクトコントローラー) とほぼ同じである

6. 補機電気系と操作装置

EA 型電気自動車の補機電圧は 6V である。当時は DCDC コンバータがまだ無い時代であったので、主機電動機の出力軸にベルト掛けした補機用 6V 発電機を駆動している。この補機系の回路を Fig. 11 に示す。

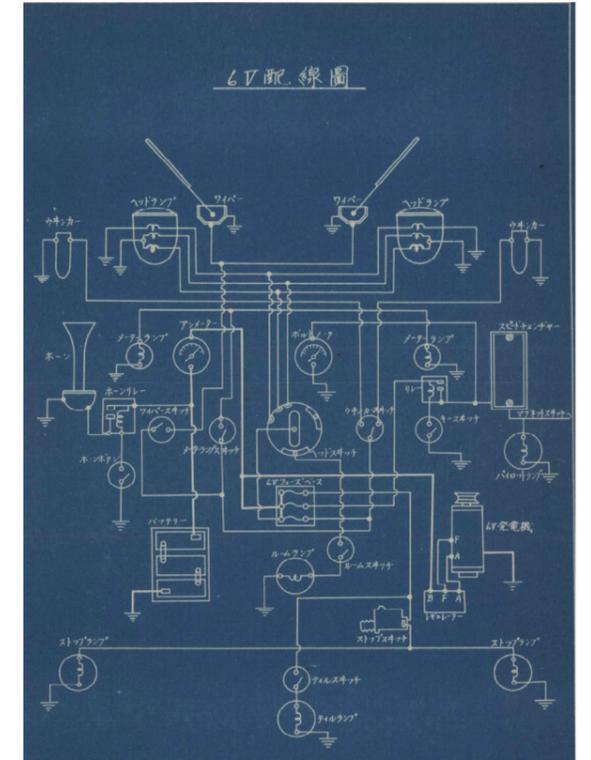


Fig. 11 accessory control circuit diagram (6 volt accessory system)

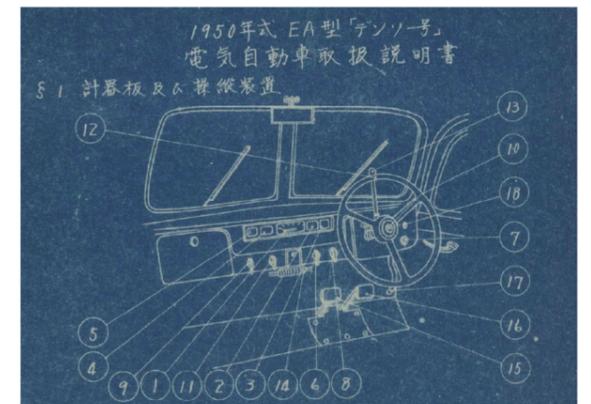


Fig. 12 dashboard panel and operating manual

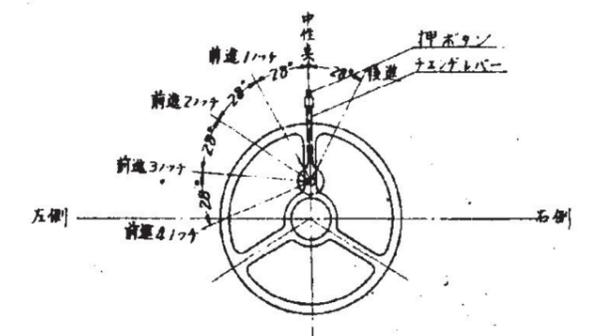


Fig. 13 speed changer

歴史を知る

当時の電気自動車には、今日のエレクトロニクスは全くないが、ヘッドライト、ワイパー、方向指示器（可動式）、ホーン、スイッチが非常に忠実に描かれている。

Fig. 12 に計器板と操作装置を示す。Fig. 12 の符番の解説を以下当時の原文（旧仮名遣い）で示す。

- ① スピードメーター：時速および走行料合計を表示します。
- ② 「80V」ボルトメーター：「6HP モーター」に掛かる蓄電池電圧を示します。
- ③ 「80V」アンメーター：「80V」バッテリーの消費電流を指示します。
- ④ 「6V」ボルトメーター：「6V」バッテリーの端子電圧を示します。
- ⑤ 「6V」アンメーター：「6V」バッテリーの充放電電流を指示します。
- ⑥ ライティングスイッチ：右へ廻すと「ヘッドライト」の下向、更に右へ廻すと正面が点灯。元の位置から左へ廻すと「スマール」が点灯します。
- ⑦ キースwitch：「キー溝」に「キー」を押し込み右へ廻すと「6V」の電気回路が出来ます。尚「キー」は「スイッチ」を切った時でなければ抜けません。
- ⑧ ウィンカースwitch：車が左へ廻る時には左、右へ廻る時には右へ廻せば「ウィンカー」が出ます。
- ⑨ ワイパースwitch：中立より左、右何れに廻しても「ワイパー」が回転を始めます。
- ⑩ ホーンボタン：ホーン使用の際に之を押ししてください。
- ⑪ メーターランプスイッチ：メーターランプの点滅に使用する「スイッチ」で中立より右・左何れに廻してもメーターランプが灯ります。
- ⑫ ステアリングホキール：「ハンドル」
- ⑬ スピードチェンジレバー：「バッテリー」と「モーター」の接続を変える事に依り前進4段、後進1段の切替が出来ます。各「ノッチ」と「レバー」の関係位置は、Fig. 13 の通りです。
- ⑭ フューズ及びフューズベース：「ショート」等のため300A以上の大電流が流れた時、飛ぶ様になって居ます。又停車中之を抜いておけば運転出来ませんから停車時はなるべく抜いておいて下さい。
- ⑮ コントローラーペダル：「メイン」回路の断続を

する時、足で踏み込んで行ひ始動、変速、停止の際使用します。

- ⑯ ブレーキペダル：足を踏み込むと四輪全部制動します。
- ⑰ ハンドブレーキレバー：「レバー」を後方に引けば推進軸が制動されます。使用後は「レバー」を充分前方にもどす事が必要です。
- ⑱ パイロットランプ：「スピードチェンジャー」が確実に入った時青い電球がつかます。

この中で、⑮コントローラーのペダル（グリッド抵抗のタップ切り替え）が、ブレーキペダルの左にあることから、グリッド抵抗切り替えが現在の車のアクセルペダルのようにモータのトルクを調整するのではなく、マニュアルトランスミッション（MT）車のクラッチ機構であることが分かる。これにより、モータ動力の断続と電動機に直列に挿入された抵抗タップ切り替えでMT車の半クラッチ操作のようにして電動機のトルクを調整したことが推察できる。

7. 車両性能

Fig. 14 に車両の走行性能曲線を示す。

3ノッチにて、6人乗車（総重量2330kg）平地で時速36.6km/hの走行が可能であった（電圧79V、電流51A、電動機回転数1990rpm、効率88%、出力4.86HP、トルク1.75kgm）。なお、1ノッチでは17km/h、2ノッチで27km/h、4ノッチで43km/hと記載されている。毎時40km程度の走行しか出来ない「EA型電気自動車 デンソー号」の性能は以下の基準から決めたと思われる。1940年に電気協会から「電気自動車設計基準」⁸⁾が発行されている。この設計基準を見ると、常用速度（定格加重のとき）毎時20km（市内の場合）最大速度（空車のとき）毎時40kmと示されておりその基準にそって設計されたと考えられる。

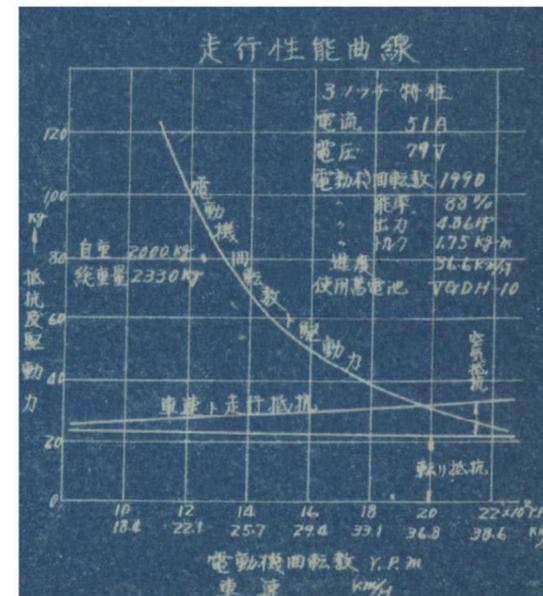


Fig 14 vehicle performance diagram

8. 最後に

2009年にデンソー号60年を機に「EA型電気自動車デンソー号」の再現プロジェクト（Fig. 15に外観を示す）が行われ、外観は残されていた図面と写真（Fig. 1）をもとに忠実に再現された。車の中身については、最新の技術（自動走行、おもてなしシステム、コンピュータネットワーク、インパネ全面ディスプレイ、ヒートポンプ空調、カーボンファイバーボディなど）を搭載したと常設展示に付記されている。主機は、最新の180kWクラスの埋め込み磁石式同期電動機を採用し、2台の電動機で後輪をそれぞれ独立に駆動している。また、インバータはSiCインバータ、電池もリチウムイオン電池を搭載している（再現された実物は株式会社デンソーの本社ギャラリーに常設展示されている）。しかし、最新の技術を使いながらも60年前を超えなかったことが2つあった。それは、一充電あたりの走行距離と開発期間である。「EA型電気自動車デンソー号」は、1949年に計画され、わずかりか月で最初の走行テストが行われ、1950年には量産化されている。当時の設備、開発環境、戦後の資材難を考えれば先人の偉業に脱帽する。



Fig. 15 reproduction of EA type EV "DENSO-GOU" in 2009

参考文献

- 1) 森本雅之・稲垣真美子：「戦前の国産自動車」, 電気学会研究会資料, 半導体電力変換/家電民生/自動車合同研究会, SPC-14-148, HCA-14-56, VT-14-43(2014)
- 2) 森本雅之：「大正時代の国産電気自動車」, 電気学会研究会資料, モータドライブ/回転機/自動車合同研究会, MD-17-067, RM-17-050, VT-17-004(2017)
- 3) 「EV・PHVの基礎知識」, 一般社団法人次世代自動車振興センター
<http://www.cev-pc.or.jp/kiso/history.html>
- 4) 「国産初・電気自動車の写真発見」, トヨタ博物館公式ブログ, (2009-01-26) <http://gazoo.com/my/sites/0001452631/tam/Lists/Posts/Post.aspx?ID=163>
- 5) 日本電装株式会社：「EA型電気自動車設計報告書」, 株式会社デンソー提供資料（2018.8.20時点, 同社ギャラリーに展示）
- 6) トヨタ博物館, トヨペット SA 型乗用車（1951年）
http://www.toyota.co.jp/Museum/collections/list/data/0114_ToyopetModelSA.html
- 7) 竹村伸一・合田勇・古山義雄：「直流電気車輛における制御装置の進歩」, 日立評論, 車両特集号 別冊第20号, PP69-78（1957）
- 8) 「電気自動車設計基準」, 電気協会（1940）
<http://kindai.ndl.go.jp/info:ndljp/pid/1059749/4~1059749/25>
- 9) 藤網雅己：「1950年式EA型電気自動車デンソー号」電気学会論文誌D, Vol.139 No.6 pp.574-579

著者

藤網 雅己
ふじつな まさみ

1956年生。1980年3月静岡大学大学院工学研究科修士課程電気工学専攻修了。1980年4月株式会社デンソーに入社。主としてパワーエレクトロニクス分野の研究開発に従事。2010年株式会社デンソー認定プロフェッショナル・技師。2015年電気学会論文賞受賞。