

特別寄稿 | デンソーにおけるHV/EV向け製品開発の歴史*

Development History of HV/EV-related Products in DENSO

山田 好人
Yoshito YAMADA

まえがき

デンソーHV/EVの歴史のスタートは、やはり1950年に発売したEA型電気自動車「デンソー号」に遡る(Fig. 1)。詳細は「デンソー50年史」に書かれているので省くが、少し抜粋すると、当時は石油不足対応として木炭車や電気自動車が開発され発売された。「デンソー号」も80V鉛電池を使った直流モータ方式で、制御は抵抗切替で設計された。シャシーと電池以外の動力部は全て社内で設計製造された。社会事情から生産は1年足らずで中止となったが、約50台のデンソー号が街中を走ったと記載されている。

それから20年後の1970年、デンソーは再び電気自動車機器事業部をつくった。しかし、1973年のオイルショックでも市場が盛り上がることは無く4年で幕を閉じる。更にその22年後の1992年、カリフォルニア州ZEV (Zero Emission Vehicle) 規制に向け、三度EV製品を開発するEVプロジェクト室を発足させた。EVプロジェクト室は4年で発展的解消となったが、ここで開発されたEV技術(製品)が1997年の世界初量産HVトヨタプリウスに始まるHVブームに大きな役割を果たす。そして2006年にはEHV機器事業部が36年ぶりに復活した。

私は1971年に入社し、発足したばかりの電気自動車機器事業部設計課に配属された。以降40年HV/EV関

係の仕事に携わってきた。今回、このような特別寄稿を書く機会をいただいたので、デンソーHV/EV 40年の歩みを自分なりの目線で書ければと思っている。

1. 電気自動車機器事業部設立 (1970~74)

1970年12月大阪万博の年、将来のEV時代に備え電気自動車機器事業部が発足した。小さいながらも、企画、設計、開発、生産、生産管理、検査で構成されていた。生産課は工機部出身の人が多く、皆モノづくりに関する知識が高かった。設計、開発はほとんどが開発研究部出身の人たちで、一人ひとりの技術レベルが非常に高い集団であった。しかしながら現実には厳しく、とにかく仕事を探す毎日であった。新聞や牛乳を配達する小型EV、ゴルフカート、バッテリーフォークリフト、工場内運搬車、遊覧車、各種省力機器のモータやコントローラを開発した(Fig. 2, 3)。EVに直結する仕事もやった。1971年の通産省EV大型プロジェクトである。これは全額を国が負担して、緊急性が高く革新的な先導技術に重点をおいて研究開発を進める制度で、多くの自動車メーカーや部品メーカーが参画した。デンソーもトヨタ自動車が開発するEVのモータやコントローラの開発を担当した(Fig. 4)。直流モータシステムであり高電圧(166V)に対する整流性や絶縁設



Fig. 1 "The DENSO" in the 1950's



Fig. 3 Golf cart in the 1970's



Fig. 2 Small EV in the 1970's



Fig. 4 EV developed by a key government-led project in the 1970's

計に苦勞した。各社の活動の成果は素晴らしいものであり立派な報告書にまとめられた。このようにいろいろ活動したが、残念ながら1974年、電気自動車の仕事は大きく展開することはないと判断され、電気自動車機器事業部は4年で幕を閉じることになった。

2. 新事業模索の時代（1975～91）

電気自動車機器事業部は解散となり、我々は電1事業部（現電機事業部）に吸収され直流機器設計課という名前になった。とにかく売上を増やさないと存続が危うい状況であった。手掛けている仕事を整理し、電動車両関係はバッテリーフォークリフトに注力した（Fig. 5）。ターゲットは豊田自動織機であるが、既に先行部品メーカーがあり後発として苦しい立場であった。電圧は48Vで、走行モータ、荷役モータ、パワステモータ、コントローラ、コンタクタ、アクセルスイッチ等の製品が必要であった。粘り強い製品開発と売り込み活動を続けた。納入先の車種拡大も急を要し、主力車種ではないが、いくつかの車種がデンソーの担当分として認められるようになり、少しずつ事業として軌道に乗っていった。走行モータの事例を紹介する。登坂能力の無さからトヨタ製三輪フォークリフトが欧州で全く売れなくなり、登坂能力ダントツのモータ開

発依頼が来た。絶好のチャンス、デンソーの巻線技術を生かして、従来の常識を破る高トルクモータを開発しS200モータと名付けた（Fig. 6）。欧州でのユーザ立会い公開テストで圧倒的な登坂力を発揮し、それ以降注文が大幅に増え、目標台数をはるかに越えるものとなった。このモータ技術は他社を大きく凌駕し、10年以上安定して売れ続けた。このモータ巻線が後のSCオルタのステータ巻線のヒントになったことはあまり知られていない。

次にコントローラの事例を述べる。バッテリーフォークリフトの速度制御は抵抗を切り換える抵抗式と半導体で無段階制御を行うチョップ式があり主流はチョップ式であった。先行メーカーがその担当であり、デンソーのコントローラ担当者は毎日苦しい日々を送っていた。しかし「いつかは必ず参入する」という強い気持ちで開発を進めていた。そんな折、デンソーの担当車種を抵抗制御からチョップ制御に変更する計画が出てきた。千載一遇のチャンス、開発してきた超小型のNS-1チョップ式コントローラの出番がきた（Fig. 7）。納入先の技術者はすぐモノの良さを理解してくれたが新規参入に対する抵抗勢力も多く苦勞した。営業・事業部必死の一体活動でなんとか参入を果たした。努力が報われ喜びはひとしおであった。しかし世の中なかなかうまくいかない。流動させてまもなく納入先がチョ



Fig. 5 Battery forklift



Fig. 6 S200 motor & armature for forklifts



Fig. 7 NS-1 chopper type controller for forklifts

ッパ式コントローラ全ての内製化方針を打ち出した。これを機にコントローラ担当者は職を失い大半が他部へ移籍することになった。

設計課の規模は益々縮小したが、バッテリーフォークリフト以外の仕事として、モータ技術を生かした電動システムへの拡販活動を推進した。例を上げると、オフロード車の電動ウィンチ、マリン用船外機昇降用パワーリフト、完成車両キャリアカーの車両搭載装置などで、売上の的にはしているが設計者として得るものが多かった。現地へ直接出向き、先方の考え、使われ方などを自分の目で確認し相手の困っていることに必ず応える、これが採用につなげるコツであった。当然失敗もたくさんしたが、誠意をもった姿勢が最も信頼されることを幾度となく学んだ。

この頃のEVの仕事としては軽四EVがあった。年間20台程度で電力会社内の見回りなどが用途であった。一人工程度の仕事であったが、システム電圧が96Vと高く、耐久試験中にブラシの摩耗粉が原因でモータが焼損するなど、絶縁に関わる設計技術ではかなり苦労した。他には電動三輪バイクなどの仕事もやったが流動するまでには至らなかった。

当初60名近くいた開発設計人員も1980年には15名程度になっていた。バッテリーフォークリフト製品と電動システム製品で1986年には売上26億円、利益率5%を達成した。1990年には初めて売上が30億円を超えた。15年かけて市民権を得た気分であった。設計者は設計、製図、実験、納入先対応、品質対応、コストダウン、原価見積もり、営業活動、何でもやった。関係者からは本当に頼りにされた。入社以来、評価ベンチ、耐久ベンチ、特定設計基準、特性計算プログラム等全て自分たちで作った。仕事の規模は小さくても皆一生懸命やっていた。慰安会やレクレーションも活発に開催され、参加率も高く一体感のある職場であった。

しかし1991年、トヨタ自動車からカリフォルニア州ZEV規制（以降加州規制と呼ぶ）に向けたEVの製品開発依頼が入り、私を含めた数名が新設のEVプロジェク

ト室へ移籍した。直流機器設計課としては主力メンバーが抜け維持が難しくなった。残念ながら、このあと直流機器事業は徐々に縮小していくことになる。

結局、EVの仕事に関わったほとんどの人が自分の製品を失うという辛酸をなめた。しかし、1970年当時のメンバー6名がEVプロジェクト室へ再び参集した。かろうじてEVの火を消さずに繋いだともいえる。実際この6名の存在はいろんな面で大きく、仕事をやめずに継続する意義を改めて感じた。

3. EVプロジェクト室活動（1992～96）

1992年、加州規制に向けてEV製品を開発するためEVプロジェクト室が開設された。20年前のこともあり、今回は事業部とせず全社組織の機能部の所属とし開発関係者全員を一同に集めた。電機関係、電子関係、冷暖房関係の約100名がいっしょになって仕事を始めた。EVプロの初めての仕事は1993年に量産化したタウンエースEVの製品開発である。量産といっても、仕向け地は国内且つ中部地方限定であり、デンソーが担当した製品は電池ECU、電流センサ、DCDCコンバータ、電動エアコン、高電圧リレーであった。電圧は192V、初めての交流モータシステムであり設計基準を作りながら対応した。家電品や民生品をベースにした製品もあった。タウンエースEVは加州向けの練習台のようなものであったが特別品質指定で流動させた。以降、HV、EV新製品はほとんど特別品質指定となった。

次に取り組んだのが、初の本格的EVと言われたRAV4 EVの製品開発である（Fig. 8）。加州規制を意識し車両性能もエンジン車並を目指し、必要なものは全て新規開発するという方針で、正に本格的な取り組みであった。デンソーはこの車で初めて走行インバータを担当した。勉強しながら設計をするという状況の中で、積層バスバーなどの技術をいれた小型タイプを開発した（Fig. 9）。DCDCコンバータ、電流センサ、アク



Fig. 8 RAV4 EV in the mid. 1990's

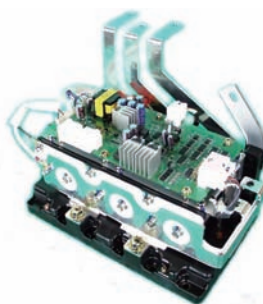


Fig. 9 Traction inverter for RAV4 EV

セルセンサも全て新規開発した。特に電流センサは電池容量管理に不可欠な製品であったが、車両環境に耐え且つ精度の良いものが市場に無かった。我々は材料選定から始め、方式もオフセット誤差をキャンセルする磁気平衡式を採用して、許容温度-30~90℃精度±0.4%FSの画期的な電流センサを開発した (Fig. 10)。これは後にプリウスや他の車種にも電池ECUとセットで採用されることになる。RAV4 EVは1995年7月、スウェーデンで開催された世界陸上協賛のEVラリーにエントリーし見事優勝の栄誉に輝いた。搭載部品は試作品であり、現地から毎朝届く「無事」情報に皆でドキドキしたのを覚えている。この頃から加州規制の実施が怪しくなってきた。正直、これは「錦の御旗」を失うことになり、自分としては2回目の苦渋を飲むことになることを覚悟した。予想通り加州規制は延期となった。しかしこの状況をトヨタ自動車が打開してくれた。ひとつはRAV4 EV生産の決断であり、もうひとつは世界初の量産HVプリウスの開発であった。1996年EVプロジェクト室は解散し、皆仕事を持って出身事業部へ戻ることになった。電機関係は電機事業部内にEHV機器技術部を新設して仕事を継続した。RAV4 EV製品の量産対応はほとんどが新規開発品ということもあり、我々にとって大きな経験となった。更にこの技術がHVのベースとなり、以降の仕事を進める上での大きな自信になった。次に世界初の量産HVプリウスについて述べる。



Fig. 10 Current sensor for RAV4 EV



Fig. 11 First PRIUS

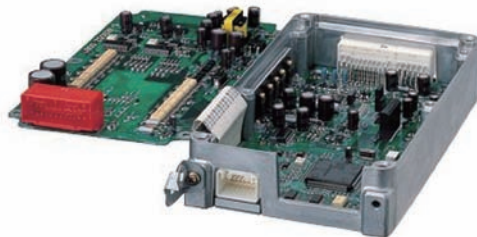


Fig. 12 Battery ECU for PRIUS

4. HV時代の幕開け (1995~現在)

4.1 プリウス製品の開発 (1995~97)

1995年、加州規制延期を云々している時、プリウスの開発情報が突如訪れた (Fig. 11)。加州規制対応ではなく21世紀に向けた戦略車種であること、従来のHVシステムとは全く異なること、その他にも2モータ、燃費効果は2倍、早い時期に量産する等々。とにかくびっくりすることばかりであった。その日の夕方、上司から、「トヨタ自動車がどんな車を作ろうとしているのか明日の朝までに皆で考えろ」と言われたのを今でも覚えている。日がたつにつれ全貌がわかってきた。驚くべき全くの新規システムである。こんな車が本当に流せるのか？しかも2年後の1997年に立ち上げる計画だと言われた。プリウスの仕事としてはDCDCコンバータと電流センサを依頼された。これはRAV4 EVベースであり特に大きな問題は無かった。しかし立ち上げの一年前、たいへんな仕事を受けることになる。Ni-MH電池用の電池ECUとバッテリーチャージャである。Ni-MH電池ECUは当時他社が担当していたが、試作が思うように進まず、急遽デンソーに応援要請がきた (Fig. 12)。デンソーは鉛電池ECUの担当であったが、Ni-MH電池にも参入すべく研究を進めていた。しかしそれはEV用でありHV用はもちろん経験が無い。ましてや立ち上げまで1年しかなく、さすがに引き受けるのは難しいと思っていた。しかしながら状況はもっと深刻であった。これが間に合わないと立ち上げに

支障をきたすということで、デンソーが全力で協力することになった。本来ならば量産出図する時期に仕様の理解から始めるわけである。なりふり構わず必死で頑張った。試作車が出来るとその評価には両社が協力して24時間をフルに活用する週もあった。土日は当然のこと、正月、GW、夏休みも全て使った。技術者としての意地とプライドが皆を頑張らせた。皆の踏ん張りでなんとか間に合わせる事が出来た。トヨタ自動車からも感謝された。現在、電池ECUは製品の姿は監視ユニットと変化したが生産100%を維持している。我々はこのときの強い思いを決して忘れない。

次にバッテリーチャージャについて述べる (Fig. 13)。これは何かの不具合で主電池が上がった時にジャンプスタートで補機電池から主電池へエネルギーを移す昇圧用DCDCコンバータである。こちらも急遽開発依頼を受けた。この時、初めてDCDCコンバータを自前で設計した。時間が無い中、担当者は本当に頑張った。残念ながら次のモデルチェンジで廃止となってしまったが、印象に残っている製品のひとつである。トヨタ自動車のプリウスへの取り組みは凄まじく、我々外部の人間もその勢いに巻き込まれていった。とにかく皆が何としても成功させるという使命感に満ち溢れていた。デンソーの担当者の声も聞いてみたが「本当に大変だったが、こんなすごい仕事に参画できて技術者冥利に尽きる」「不眠不休の対応も不思議と不満に思わなかった」。

プリウスは予想以上の台数が売れ、このような車に対する市場の反応の大きさに驚いた。

4.2 プリウス方式以外のHV製品の開発 (1995~03)

プリウス開発と同時期、コースタにシリーズハイブリッドシステム (SHV) が採用された。トヨタ自動車の中はプリウスでてんでこ舞いであり、対応はデンソ

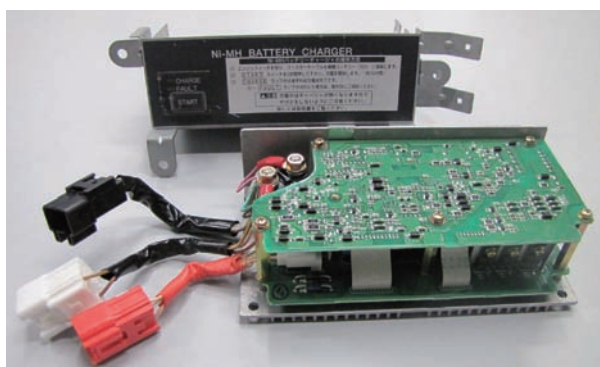


Fig. 13 Battery charger for PRIUS

ーが頼りにされた。SHVの主機となる発電機、インバータ、HV-ECU、EV-ECUなどを依頼された。企画台数は4年間で100台と少なかったが、HVの主機が担当出来るということで積極的に引き受けた。デンソーのHV車両制御技術やモータ制御技術の基礎はここで出来た。

2001年にはエスティマに1モータCVT方式が採用された。デンソーはエンジン再始動用モータとCVTを油圧駆動するポンプモータを受注した (Fig. 14)。製品を固める時期になってから発電機能が追加されたり、両軸にしてパワステポンプを同時駆動させる等の大変更が入り対応に苦慮した。市場では燃費効果が評価され月産1500台ほど流動した。又同年クラウンにマイルドHVシステムが新しく設定された。エコランが主機能のシステムであり、ほとんどの製品をデンソーが受注し、システム担当を置いて頑張った。しかし残念ながらたくさん流れることはなかった。いろいろなHVシステムを模索する時期であり、我々もシステムや製品の開発を経験する中で多くの知識をつけていった。2003年、新プリウスが発売される。燃費に加え加速も良く、更にスタイルもスポーティで爆発的に売れた。以降ストロングHVシステムはプリウス方式 (2モータ方式) に統一されることになった。2005年にはハリア、2006年にはカムリ、GS450h、エスティマと発売され、トヨタ自動車だけではなく、まさにHVの本格生産に入った。デンソーも2001年のEHVトップヒヤリングで社長から主機製品参入の指示が出され、開発体制を強化していく方針が示された。

4.3 両面冷却主機インバータの開発 (2002~07)

2002年5月トヨタ自動車からHV30万台計画が出された。それを達成していくためには超小型の主機インバータが必要であり、初めてデンソーに量産HV主機開



Fig. 14 Motor for engine re-start for ESTIMA-HYBRID

発の話がきた。しかしそのインバータの仕様は、体格はプリウスと同等で出力が3倍というとんでもないのであった。無茶な要求と思いつつも、このチャンスを絶対モノにしたいと思った。ここ数年間主機インバータの仕事が無かったため担当者は実質1人になっていた。その1人に思いを託した。本人は非常に忸怩たる思いで日々を重ねていた。このとんでもない話に「自分の心の中にも赤い炎が点火した」と言ってくれた。彼をリーダーに素人集団ではあったが人を集めた。目標は「半年でプレゼンできるものを作る」である。半導体素子を両面から放熱する構造のパワーカードは2000年以前より開発を進めており、基本コンセプトは完成していた。課題は両面に伝えられた熱を如何にしてLLCに逃がすかであった。以下リーダーの言葉である。「今にして思うと、アイデア出しの日々の中、両面冷却が生まれたのは素人集団のプロジェクトだからかもしれない。それはメンバーの1人から両面に冷却チューブをつけ蛇腹構造にしてパワーカード挿入後潰すというアイデアが出た (Fig. 15)。LLCが漏れると感電の恐れがあるインバータにおいて冷却器を变形させるなどということは専門家では発想できないことであった。又、その素人のアイデアを採用したのも常識を超えたモノを作りたいという思いがあったからかもしれない。2003年1月プロト試作品が完成した。メンバー全員が新しい構造にわくわくし、2直体制を組みほぼ24時間ぶっ通しで評価した。目標冷却性能を達成しインバータ性能も出た。開発中は室長に毎日叱られ、会社に来るのが怖い時もあった。逃げ出したくなる時もあった。あまりにも会社ばかりで家族にも迷惑かけた。ただそれでも頑張れたのは周囲の皆が一緒になって開発してくれたこと、上司が真剣に付き合ってくれたことだと思っている。」

2003年2月トヨタ自動車に初めてプレゼンし、これ

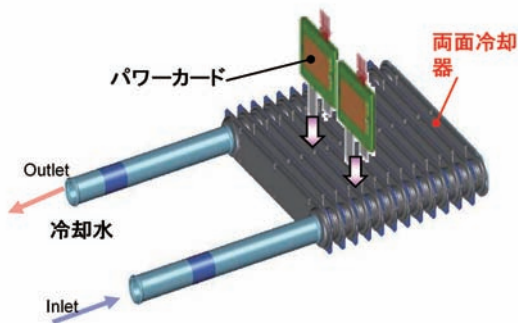


Fig. 15 Structural schematic of double-sided cooling system

は本当にすごいと褒めていただいた。その後、最終的に2007年のレクサスHVでの採用が決まった。両面冷却インバータの開発には全社の協力をいただいた。製品的にはEHV、デバイス、電子、冷却、各部の技術で成り立っており、まさにオールデンソーの総力を結集した開発活動であった (Fig. 16)。

4.4 主機インバータリンク生産受託 (2004~05)

2004年8月はデンソーにとって大きな節目となった。トヨタ自動車から主機インバータのリンク生産の申し入れがあった。リンク生産とは両社が協力して製品を設計生産することである。

理由は増産対応であり、デンソーをHV主機インバータの生産パートナーに選びたいということであった。但し時期は2005年1月立ち上げで準備期間は4ヵ月しかなかった。社内では、時間が無さすぎる、儲からない、リスクが大きい、人がいない等いろいろな意見が出された。しかし、両面冷却インバータを提案して評価されつつある状況にあり、このリンク生産を受託してデンソーの意欲を示すべきと強く具申した。結果は全社をあげて受託するとのトップ裁定がくだされた。超緊急事案であり、次週の経営役員会で承認を得ることになった。検討時間も足りない中、概略の投資金額、必要人員、推進体制、生産場所等の話をした。投資金額も20億円を超えていたが、何の異論もなく承認をいただいた。トップと現場の一体感を感じた。直ちに生産技術担当者がトヨタ広瀬工場へ常駐し同じ設備を手配した。12月入荷の一発勝負である。人員については副社長にお願いして各部から供出いただいた。製造部署となった安城工場では急遽試作工場を移転し生産場所を確保した。更に広瀬工場へ実習者を派遣して準備を進めた。このようなリンク生産は初めてであり、各部署とも課題があった。本社、安城、幸田の各

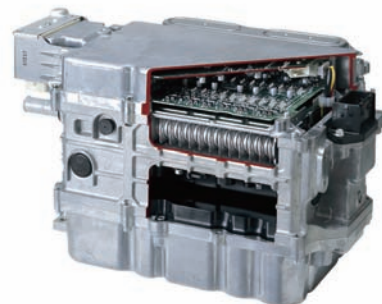


Fig. 16 Double-side cooled inverter

部の業務進捗が一目で見えるように計画表を作り、毎週フォロー会議を開催した。各自の役割を全うするための真剣な話し合いが行われた。12月の半ば過ぎ、設備も入り生産体制も一応整ったので安城で総決起大会を開催した。副社長以下担当役員の方も率先して出席され各テーブルを回られた。各部署の実務担当者が実習に行った感想や意気込みを話した。一生懸命話してくれたので心に伝わり感動した。この雰囲気ならうまくいきそうだなと感じた。2005年1月、皆の努力が実を結び計画通り立ち上げることが出来た (Fig. 17)。この経験が2007年の両面冷却インバータ量産に繋がる。

最後に

まさか自分の在職時代にHV/EVの時代が来ようとは思ってしなかった。環境的には苦しい時代が長かったが、与えられた状況の中で目の前の仕事を一生懸命やってきたことが今に繋がったと思いたい。デンソーは「デンソー号」に始まり、本当にたくさんの方がEVの仕事に携わり頑張った。しかし残念ながらほとんどの人が志半ばで苦渋を飲むことになった。この仕

事には多くの先輩たちの想いがこめられていることを忘れてはならない。自動車の歴史からみれば、HV/EVはまだスタートラインに立ったばかりである。やるべきことは山ほどある。まさに技術者を目指す者にとって技術者冥利に尽きる時代である。若い人たちには、「自分の手で時代をつくる」くらいの気概で取り組んでほしい。



Fig. 17 Inverter manufactured under production consignment

<著 者>



山田 好人
(やまだ よしと)
EHV機器開発部 担当部長
パワエレ道場を開設し人材
育成に従事