

テーマ史

百年を駆け抜けた
技術と挑戦

初代社長 渡邊 嘉一

産業界の傑人：渡邊嘉一

今から100年前の1918（大正7）年、第一次世界大戦が終わった。この大戦中の電気機器等の輸入困難が東洋電機製造設立の発端となった。

渡邊嘉一は、渋沢栄一ら財界要人の賛同を得て会社設立主趣書を起草、東洋電機製造株式会社を設立し、自らが初代社長に就いた。これにより、輸入に頼ってきた鉄道車両用電気機器の本格的な国産化が始まったのである。

嘉一は、明治から大正、昭和初期にかけて多くの会社の創業時の経営に関与しており、日本が近代化を急いでいた時代の、いわば産業界の傑人といえる。しかし、功績の割にその名は著名とはいえず、彼の生涯を追った書物はほとんど著されていない。当社創立100周年を機に、彼が生きた時代背景とともに生涯を振り返ってみたい。

出生から少年期：幕末～明治維新

嘉一は、1858（安政5）年旧暦2月8日、長野県上伊那郡朝日村字平出に、宇治橋瀬八の次男として生まれた。母はゆう、6歳上に長男・八十太郎がいる。

安政・万延・文久・元治・慶応と続くこの時代は、のちに幕末と呼ばれる激動の時代である。嘉一が生まれた1858年には井伊直弼が幕府大老に就任し、安政の大獄を起こしている。先の見えない世情不安の中で嘉一は生を受け、多感な少年時代を過ごした。

信州伊那郡は地理上では深い山間部にあたる。しかし中山道が近く、江戸、上方双方の情報が豊富であった。加えて、古来幾度もの戦乱に置かれた地形上、生き延びるために高い教育レベルを育ててきた土地柄でもある。

聡明な頭脳をもって生まれた嘉一は、友輩らと野山を駆け巡りながらも、新しい時代の幕開けを予感しつつ育ったことであろう。あるいは、官軍が錦の御旗を先頭に、江戸へと向かう姿を自身の目で見たとのかもしれない。

むろん嘉一は、絶対権力を誇った徳川政権の全盛期を知らない。幕府に武力で立ち向かうなど、大人たちにとっては驚天動地の出来事であったが、少年嘉一には、乱世は不思議でもなければ不安もなかったに違いない。むしろ、これからやって来る新しい時代に胸を熱くしていたのかもしれない。

明治への改元は1868年9月8日、嘉一10歳7カ月の秋である。



初代社長 渡邊嘉一

1864（元治元）年、6歳で三澤源三の私塾に学んだ嘉一は、1873（明治6）年5月、松本町（現 松本市）開智に開校した開智学校に入学した。そして、ここで抜群の成績を残している。秀才嘉一の名は、すでに近隣で評判となっていたであろう。

青年期：上京～工部大学校～英国留学

そんな嘉一に目を見張り、惚れ込んだ人物がいた。横須賀海軍機関監督で横須賀造船所長を務めていた渡邊忻三である。開智学校に入学した翌年、嘉一は渡邊忻三の養子となることを前提に、勇躍上京した。そして1876年、工部大学校予備校に入学、翌年には工部大学校土木科に進学した。西南戦争が勃発するなど、世は騒然としていたが、嘉一は期待に胸を膨らませて大学校の門をくぐった。

明治初期の学生はとにかくよく学び、新しい国を背負っていくという意気込みに満ちていた。消灯後も、廊下の常夜灯の下で夜更けまで勉強をしたという。

また、工部学校の教員は英国人が多く、講義はすべて英語で行われた。当然、生徒は必死で英語を学んだ。英国からやってきた教師の一人は、日本の生徒の優秀さ、勤勉さについて「世界のリーダーたる英国の大学生よりはるかに優れている」と賞賛したという。

工部大学校は6年制で、最後の2年間は実習となる。嘉一はこの実習で各地の土木工事を視察し、さらに東海道・中山道筋の鉄道敷設を予測しての工事の実地踏査を行うなど、精力的に歩き、学んだ。なお、実習に際しての費用は、諸掛りまで含めて工部省丸抱えであった。近代化に向けての人材育成が何よりも急務であった明治新政府の並々ならぬ決意がうかがえる。

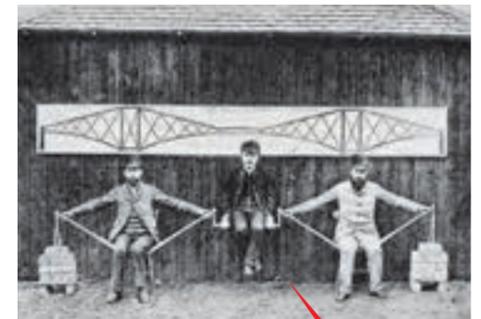
1883年、嘉一は工部大学校土木科を首席で卒業し、工部省に入省、鉄道局に勤務した。入省早々、日本鉄道上野・川口間鉄道敷設工事の監督を命じられているが、翌年には英国へ渡り、グラスゴー大学に入学した。そして、土木機械学の優秀な学生に贈られるウォーカー賞を受賞する。

1886年にグラスゴー大学を卒業した嘉一は帰国せず、ファウラー・ベーカー工務所に入社する。そしてすぐに技師となり、フォースブリッジ鉄道会社のフォース橋建設工事監督係となった。この時の、カンチレバートラス式構造を採用したフォース鉄道橋は、現在もエディンバラ市のフォース湾に架かっている。

2007（平成19）年に発行されたスコットランドの20ポンド紙幣の裏面にはこの橋がデザインされており、その脇に、3人の人間を使ってカンチレバートラス式構造を説明した写真が印刷されている。その中央に写っているのが、フォース橋建設に携わった若い頃の嘉一本人である。



フォース橋（資料提供：スコットランド国際開発庁）



カンチレバートラス式構造



スコットランド 20ポンド紙幣（裏）

1888年に嘉一はファウラー・ベーカー社を辞し、帰国した。日本を発ってから4年の歳月が流れ、嘉一は30歳になっていた。

経営者としての嘉一

帰国した嘉一は、日本土木会社（現 大成建設）の技術部長となり、国内各地の鉄道敷設の測量、工事に携わった。ここからの嘉一はますます忙しい。

1892年に日本土木を辞し、その後は多くの会社の創業時の経営に関与していく。生涯を通じて、役員として関わった会社は数十社にも及び、後世から見るとあまりにも多い感があるが、この時代の特徴として、中には人的つながりによる名義貸しのような役員就任もあったのかもしれない。時代のなせる業であろう。

こうした中、1897年に機関車の燃費向上燃焼器（燃油注射器）を発明し、特許を取得した。1899年には工学博士を授与され、日露戦役に際して勲五等瑞宝章に叙せられている。

1906年、京阪電気鉄道の創立委員に名を連ねた嘉一は同社の専務取締役役に推され、就任した。嘉一、48歳の時である。創立委員長は渋沢栄一で、渋沢は相談役に就いている。創立当初の京阪電気鉄道には社長職がなかったため、専務の嘉一が実質の経営トップであった。しかし、鉄道が開業した直後に会長職に退き、その後は取締役として、亡くなる前年の1931（昭和6）年まで、25年もの長きにわたって京阪電気鉄道の経営に関与した。

また、1912年には東京石川島造船所（現 IHI）の第3代社長に就いている。以後、1925（大正14）年まで社長職を務めた。嘉一が造船事業を手掛けるにあたっては、渋沢の強い勧めがあったという。渋沢は、実務者としての嘉一を高く買っていたのである。

そして、1918年6月20日、東洋電機製造を設立することとなった。設立後、初代社長に就いた嘉一は1931年までの13年間、社長職を務めた。

嘉一は、かくの如く多くの会社の経営に関わったが、専門は土木であったため土木学会の設立にも参画しており、日本土木史の父とも呼ばれた。また、帝国鉄道協会の会長や海事委員会委員、帝国経済会議委員などを務めるなど、公職においても幅広く活躍した。技術者としても経営者としても卓越した力量をもち、その功績も余人の及ばざるところであったが、本人が書き残した書物や書簡類は至って少ない。そのため、嘉一の思想や哲学などをうかがい知することは難しいが、嘉一の力の源は、使命感をもって臆することなく新しい時代を切り開いていった旺盛なチャレンジ精神にこそあったのではないだろうか。



35才ごろの渡邊嘉一（資料提供：三浦基弘）



渋沢栄一（資料提供：渋沢資料館）

私人としての嘉一

公人としての嘉一はまことに多忙な身であったが、一方、私生活の面でもなかなか尋常ではなかった。

工部大学校卒業の前年1882（明治15）年、嘉一は、工部大学校の校長を務めていた大鳥圭介の仲介により、渡邊忻三の長女・俣江と結婚した。新婦の俣江は9歳年下の15歳であり、嘉一は24歳で婿養子となった。

忻三は、眼を掛けた嘉一を早く縛りつけておきたかったのだが、俣江が幼かったため、長ずるまで待ったのであろう。嘉一自身はその辺のところをどう思っていたのか。人間嘉一を知る上では興味深い、手掛かりとなる資料はない。「義父には恩義もあることだし、大鳥校長の面子もあるし…」と腹をくくったのかもしれない。

1884年2月に俣江との間に長女・益江が生まれた。そして1888年、嘉一は英国留学・視察を終えて帰国した途端、小島さと女と知り合い、住まいを持っている。

嘉一の生真面目さは、それでも正妻の俣江をないがしろにすることなく、二人の女性の間を行き来しつつ、都合7男5女（英国留学の前に生まれた長女を入れると6女）をもうけた。

嘉一は日常生活においては厳しきの半面、優しい面もあったようで、子供はそれぞれ立派に成長している。ちなみに、小島さと女との間に生まれた三男の隆は指揮者として高名な朝比奈隆である。

また嘉一は、義太夫観劇中に周囲を気にせず大泣きするくらい感情豊かな人でもあったというから、あるいは抱腹絶倒、人情版渡邊嘉一伝もあるかもしれない。まことに興味の尽きない人間臭い一面に、嘉一の真骨頂を見ることができるのではなかろうか。

渋沢栄一が逝った翌年の1932（昭和7）年12月4日、古川阪次郎らの盟友に看取られ、嘉一は74年余の生涯を閉じた。胃癌であったという。

あれかこれかの選択ではなく、あれもこれもと、常に全力で生きてきた嘉一の人生には、維新の混沌の中から走り続けた明治人の息遣いがうかがえる。

自身の生涯に悔いはなかったことであろう。



渡邊嘉一とその家族（赤坂の自宅にて 資料提供：三浦基弘）



葉山の別荘にて家族と（資料提供：三浦基弘）

生産拠点の変遷

横浜工場から横浜製作所へ

当社は、宝田石油会社（当時）から横浜市保土ヶ谷駅付近の約2万6,450㎡の土地（現 保土ヶ谷区西久保町）を購入し、1919（大正8）年9月、従業員265人で横浜工場の操業を開始した。しかし、1923（大正12）年9月1日の関東大震災、続く1926（大正15）年3月10日の大火災によって工場は甚大な被害を受け、その後、横浜工場は近代的な工場へと建て替えられた。

やがて戦局が進むにつれて生産体制を転換、1937（昭和12）年、隣地2,168.6㎡に本格的な製鋼工場を建設し、同年3月以降操業を開始した。ここではほぼ軍需生産に終始し、1942年には陸海軍共同管理工場となり、名称も1945年4月に横浜鋳鋼所、9月には横浜鋳造所と度々改名された。

戦後、1948年10月には重電機部門の製作設備を戸塚製作所から移管し、名称を横浜工場へと改称した。ここでは主に回転機器（車両用主電動機・車両用電動発電機・ディーゼル発電機・ターボ発電機・誘導発電機・大型ASモータ）を製作した。その後、創業50周年に先立つ1968年にスタートした5カ年計画において、生産革新運動がスタートし、さらに、創業60周年を迎えた1978（昭和53）年には工場再編成を進め、1985年4月11日、横浜市金沢区福浦に用地約5万5,000㎡、床面積約3万2,500㎡の新横浜工場を竣工した。人員は旧横浜工場の約530人から約360人体制での生産効率を備えた。旧横浜工場は1985年5月に閉鎖され、およそ66年間にわたる生産活動を終了し、その役割を新横浜工場へと引き継いだ。

続く1988年の創立70周年を機に、経営・技術全般の中期経営計画の中で、横浜工場の増設を決定した。この時期、プリント板の生産ライン改善計画が検討され、相模・京都の電子工場の統合を図る目的で、1992年3月、横浜工場の増設部に電子工場を新設した。

創業75周年を迎えた1993年、日本経済は「複合不況」のただ中であつたが、同年2月、横浜工場を横浜事業所と改め、さらに横浜・相模の2事業所体制の下で生産の効率化と業務革新を図り、この再編が整った1995年6月、横浜事業所を横浜製作所として改組した。さらに1999年7月、相模製作所も横浜製作所に統合した。

その後、2010年1月に開発・設計能力の拡大を図るため、5階建て、延床面積5,755㎡の「エンジニアリングセンター」を竣工し、併せて生産能力の増強を目的に横浜製作所内のレイアウトを再編した。2014年6月よりスタートした中期経営計画「NEXT100 ～ 100年のその先へ～」では、基本施策として「生産体制の再構築」を掲げ、



横浜工場のネオン



横浜製作所（2016年）

横浜製作所と滋賀工場に分散していた産業工場を滋賀竜王工業団地内に建設する新工場に一本化するとともに、交通工場としての横浜製作所の生産能力の拡大を推進した。

戸塚工場・相模工場の開設と閉鎖

戸塚製作所・戸塚工場

横浜工場に製鋼工場を建設したことと前後して、1937年8月に横浜市戸塚区上倉田町に約4万330㎡の敷地を購入し、翌年8月に隣接地約1万8,380㎡を追加購入して、戸塚製作所の建設が始まった。1939年5月頃から建物が順次完成し、横浜工場から設備を移管、12月1日より電気機器・兵器加工・火砲の製作を開始した。

戦後、奇跡的にも戦火を免れた戸塚製作所は、電気機器の修理や製作に奮闘し、戦後復興への当社再建の足掛かりとなった。しかし、戦後のインフレが一向に終息しない1948年、設備の合理化を図る大改善を行い、名称も戸塚工場と改めた。

1963年7月、第3工場を増設するも、1965年10月13日に第4工場が出火し、建物約1,300㎡が全焼した。その後、2階建て・総面積約3,600㎡の第4工場を建設し、1969年3月から操業を開始した。主要製品は、回転機を除いたカルダン駆動装置・パンタグラフ・戸閉装置などの鉄道車両用機器の他、産業用各種自動制御機器、油圧機器、FU無段変速機、数値制御機器、交流遮断機など、多岐にわたった。

しかし、1976年6月1日からスタートした「PD3カ年計画」において、3工場体制への再編成が決まり、その後、戸塚工場の制御関係製品を相模工場に移転し、1983年5月、戸塚工場を廃止した。



全焼した戸塚工場第4工場（1965年10月）

相模工場・相模製作所

創立50周年に先立つ1968年、「第1次5カ年計画」がスタートし、同年10月に相模工場の建設が決まった。場所は神奈川県高座郡海老名町柏ヶ谷（現 海老名市柏ヶ谷）、用地は約4万1,000㎡、当社4番目の工場として1970年4月10日に完成した。相模工場ではエレクトロニクス・自動制御関係の生産を主体とし、その後、戸塚工場の閉鎖とともに制御関係製品を引き継いだ。さらに1979年3月2日、2・3号棟を増設し、マイクロエレクトロニクス・パワーエレクトロニクスによる鉄道・産業用システム機器の主力工場として稼働した。生産品目は、電子装置、産業用制御装置、鉄道用制御装置（パンタグラフ・駅務機器・数値制御機器・プリント板）、板金、塗装などで、人員は約450人、旧工場より60%増員した。

その後、生産ラインの増加によって工場が手狭になったことから、1984年6月12日、3号棟を増設、生産体制を増強した。建築面積3,130㎡・延床面積5,713㎡であった。



相模工場正門

1993年2月、名称を相模工場から相模事業所と改め、京都工場を相模事業所の下部組織とした。さらに1998年10月からスタートした「R80-II計画」の下、相模事業所から再改編した相模製作所を横浜製作所に統合、横浜製作所相模分工場と改称したが、当社の合理化施策の一環として2003年5月に売却した。

福井製作所の開設と閉鎖

福井製作所は軍需の急増に伴い、軍からの要請を受けて、急ぎよ新設されたものである。場所は福井県丹生郡朝日村（現 朝日町）、用地3万6,396.9㎡の、山仙織物工業（当時）所有の土地・建物を購入し、1944年4月10日、操業を開始した。ここでは海軍発注の航空機無線電源装置を専門に製作した。

戦後、工場はまったくの無傷で残ったが、長引くインフレにあつて設備の合理化、生産効率の向上、コスト削減などを鑑み、1947年8月に福井製作所の廃止を決定、翌1948年9月、閉鎖・売却した。

京都工場の開設・閉鎖から滋賀分工場の開設

1955年9月、増産体制の確立を目指して、新たに京都工場の建設が決まった。京都市の幹旋により寿工場（当時）の用地4万3,110㎡（現 京都市南区上鳥羽鉾立町）と建物を譲り受け、1957年4月20日から操業を開始した。従業員86人でスタートした京都工場は、三相交流整流子電動機（ASモータ）の生産が主流であった。

その後、1976年ごろから再編成に着手し、産業用発電機・制御装置を中心とするラインを組み直し、約430人の人員を擁してASモータの他、NSモータ・誘導電動機・直流電動機・配電盤などを製作した。しかし、長引くインフレの中、1993年2月、京都工場を相模事業所の下部組織に移行し、遊休となった用地の一部を売却した。さらに1997年にスタートした「R80計画」の下、残りの用地も売却し、同年7月に相模製作所が横浜製作所に統合されたことにより京都工場は廃止され、産業製品の製作は、1998年11月に開設した滋賀分工場（後に滋賀工場）に移管した。



京都工場（1994年）



滋賀工場（撮影年不詳）

滋賀竜王製作所の開設

1980年代後半からの工場改編以降、産業工場は設計開発部門と品質保証部門が横浜地区、製造部門が滋賀地区に分割されたが、その後の事業構造の変化によって効率化の必要に迫られていた。

2016年にバージョンアップした中期経営計画「NEXT100 Ver.2」の下、生産体制の再構築の一環として産業工場は滋賀竜王工業団地

内（滋賀県蒲生郡竜王町大字岡屋）に「滋賀竜王製作所」として統合され、用地約 3万2,706㎡、延床面積1万9,997㎡の規模で2018年1月31日に竣工、同年3月1日から供用を開始した。人員は、横浜製作所産業工場、滋賀工場から集結し、2018年6月から本格稼働した。なお、同敷地内には子会社のティーディー・ドライブも移転した。

両社合わせて200名以上の人員が、より良い産業システム製品の開発・設計・製造・品質保証に携わり、新たな工場で「ものづくり」に励んでいる。



滋賀竜王製作所（2018年）

コラム

由緒塚

横浜製作所の稲荷神社の脇に、「由緒塚^{ゆいしょづか}」という石碑がある。

これは、かつての戸塚工場（横浜市戸塚区）に建立されていたもので、当社の工場再編に伴って、現在の横浜製作所が金沢区に移転した後の1989（平成元）年に、戸塚工場の跡地から移設されたものである。

戸塚工場が建設されていた地は、以前から身行塚と称されて、南北朝時代の将士が合葬されたと言われていたが、1939（昭和14）年、戸塚工場を開設する際の造成工事中に、実際に地中から多数の人骨が掘り出された。それらの人骨は丁寧に葬られ、その慰霊と史跡を風化させないために建立されたのが由緒塚である。

石碑の由来からすれば、本来は戸塚工場の跡地にそのまま残しておくべき記念碑かもしれないが、現在は横浜製作所の一つのモニュメントとして、かつての工場名を今に伝えている。

碑文の原文

此ノ由緒塚ハ前ニ身行塚ト稱シ南北朝時代戦歿将士ヲ合葬セシ塚ナリ適々此ノ地ヨリ發掘セルヲ以テ史跡懐古且ツ由緒保存ノ為建立ス

昭和十四年十二月建立
東洋電機製造株式会社

横浜市戸塚区上倉田町富瀬八六五ヨリ移設
平成元年五月

碑文の現代文

この由緒塚は、以前は身行塚という名称で、南北朝時代に戦没した将士（武将と兵士）を合葬した塚である。たまたまこの地から発掘されたので、史跡を懐古し、その由緒を保存するために建立する。



横浜製作所 稲荷神社横の由緒塚

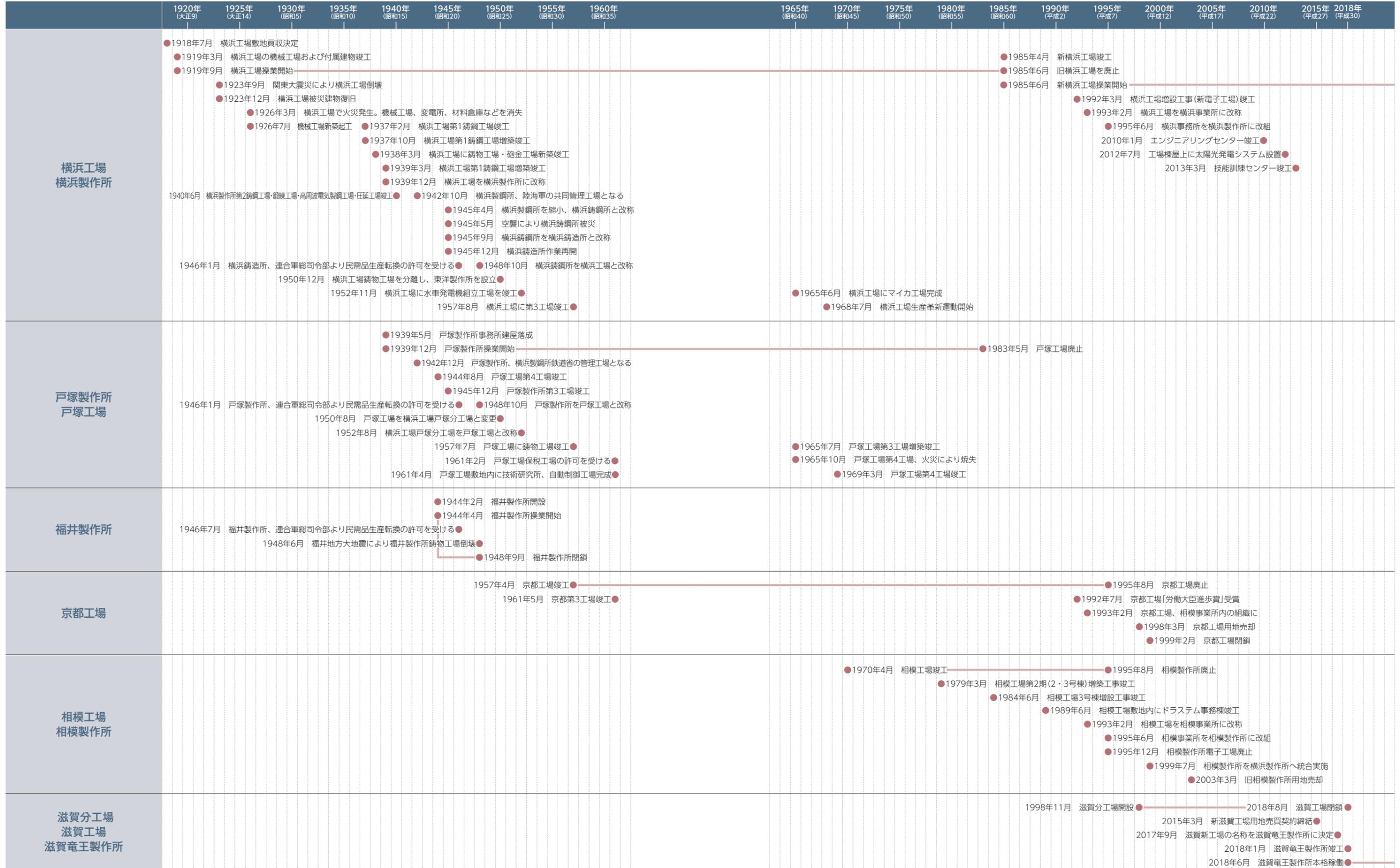


由緒塚（表）



由緒塚（裏）

企業の歴史: 生産拠点の変遷 (創業時～)



研究所の変遷

当初の研究部門

当社が製品の改善進歩を目的として研究係を設けたのは1926(大正15)年1月のことである。当初は係員が数名の小さな組織だったが、厳しい財務状況下にあっても研究室を新築するなどし、同年11月には当社にとって初めての特許であるパンタグラフの鉤止め装置を開発するなど成果を上げていった。しかし、1929(昭和4)年の世界大恐慌によって社内組織が簡素化されて以降、独立した研究部門は設けられなかった。

第二次世界大戦終結後、1947年7月の機構改革により戸塚製作所内にわずか2名の課員をもって研究課を創設、その後は鉄道技術研究所(現 鉄道総合技術研究所)から研究員を得るなどして研究業務を行った。1949年に研究課は設計部とともに本社直属の技術部に配置され陣容は拡大したが、1951年の不況により再び研究課は縮小されて研究室となり、材料以外の研究は一時中止された。



戸塚工場内の技術研究所(1954年ごろ)

技術研究所

1952年に研究室は再び研究課となり、1954年に技術研究所が本社直属部門として設立され、同年10月には戸塚工場内に技術研究所本館が完成した。研究設備も充実して、電気機器、電動応用、機械、材料の各分野での研究を推進し、その後、半導体分野にも研究領域を広げた。1983年には相模工場の隣接地に新・技術研究所を建設し、戸塚工場から移転したが、1999(平成11)年に相模製作所が横浜製作所に統合されたのを機に、技術研究所も横浜製作所の所属となった。



相模工場に隣接した技術研究所(1983年)

研究所

1999年以降の経営改革の流れを受け、研究部門は度重なる組織変更と改称後、2006年には研究センター、2012年からは研究所となった。その間、2010年には研究開発・設計能力の向上を企図し、横浜製作所にエンジニアリングセンターを建設し、ハード・ソフト面の設備を充実させた。

今後も当社研究所はその活動を充実させ、高い技術力で社会や顧客の課題解決に取り組んでいく。



横浜製作所 エンジニアリングセンター(2010年)

研究所の変遷(創業時<1918年>~)

拠点名	1918年 (大正7)	1920年 (大正9)	1925年 (大正14)	1930年 (昭和5)	1935年 (昭和10)	1940年 (昭和15)	1945年 (昭和20)	1950年 (昭和25)	1955年 (昭和30)	1960年 (昭和35)	1965年 (昭和40)	1970年 (昭和45)	1975年 (昭和50)	1980年 (昭和55)	1985年 (昭和60)	1990年 (平成2)	1995年 (平成7)	2000年 (平成12)	2005年 (平成17)	2010年 (平成22)	2015年 (平成27)	2018年 (平成30)	
戸塚製作所 戸塚工場 (1939年~1983年)								●1947年7月 戸塚製作所に研究課を設置 ●1949年7月 研究課を本社組織の技術部所属に変更															
相模工場 相模製作所 (1970年~1999年)																							
旧横浜工場 (1919年~1985年)																							
新横浜工場 横浜製作所 (1985年~)																							

関係 会社 の変遷

交通分野の国内関係会社について

交通分野における当社の国内関係会社の誕生は、1953（昭和28）年にさかのぼる。業務拡張に伴い、当社は鉄道車両メーカーであった日本鉄道自動車（元 日本鉄道自動車工業）を系列化し、1954年5月に東洋工機と改称した。その後、東洋工機は1970年4月に鉄道車両用電動機、駆動装置の修理部門を設置、1994（平成6）年12月には産業用回転機のメンテナンス部門も整備した。1998年10月からは当社製の制御装置の受託生産を開始し、現在に至る。

バス用ドアエンジン、鉄道車両用戸閉装置等を製造する泰平電機は、1957年4月に同社の前身である泰平電鉄機械と当社が資本提携を行った後、同年8月に当社が泰平電鉄機械の関係会社であった泰平電鉄機械製造を吸収、1962年8月に泰平電機と改名したものである。

産業分野の国内関係会社について

当社は1957年4月から京都工場を稼働させ、産業分野向けに主に三相交流整流子電動機（ASモータ）を生産した。1968年後半から1970年代初めにかけて、当社の業績は安定成長を続け、企業体質の強化に向けた設備投資を図るとともに、1970年12月、ASモータを中心とする産業関係の顧客へのアフターサービス会社として東洋産業を設立した。2002年10月、同社は同じく関係会社であったドラステムエンジニアリングを合併し、その後も当社のさまざまな産業システム製品のメンテナンスを担当している。

1976年ごろから当社は京都工場の再編成に着手し、ASモータの他、NSモータ・誘導電動機・直流電動機・配電盤などを製造していたが、生産性向上とコストダウンを目的に、1988年12月にティーディー・ドライブを設立、産業用モータの製造を同社へ移管した。その後、産業工場の一部が滋賀県守山市に移転して滋賀工場となったことに伴い、1998年にティーディー・ドライブも滋賀工場に隣接する敷地に移転した。2018年6月、横浜製作所と滋賀工場に分かれていた産業工場が滋賀竜王製作所に統合されたことを機に、ティーディー・ドライブも同製作所内に移転した。

その他の国内関係会社について

当社の建物、構築物、各種付帯設備の保全事業や福利厚生施設の運営、一般労働派遣事業などの事業を展開する東洋商事の前身は、

1971年9月に設立された東洋興発である。同社は、ボウリング場の経営や学校向け用具の販売、園芸事業などを展開しており、1977年8月に東洋商事が設立されるとその事業を同社に移管し、1978年4月に解散した。

1995年12月から東洋商事が当社の福利厚生施設の運営を受託、1999年6月に本社管理部門から情報システム部門を移管された。その後、2002年4月に横浜シーサイドメンテナンスを合併し、2003年9月には人材派遣事業の認可を受けた。2000年代後半から鉄道車両用電機品の塗装業務や梱包作業などを受託する中、2012年6月から情報システム部門は経営管理部の所管となった。2018年6月から当社の生産拠点が、横浜製作所と滋賀竜王製作所の二拠点体制となったことで、東洋商事の設備管理・保全業務の範囲は拡大した。

中国の関係会社について

当社は1990年代後半から北京地下鉄向け電機品を納入してきた。その後、2000年代に入ると現地と日本との窓口として駐在員事務所を開設する一方、製造拠点として現地企業との合弁会社を設立し、中国市場への事業拡大を図った。合弁会社設立の背景には、中国への進出には中国現地企業への技術移転や、一定の中国国産化比率の確保が求められていたことがある。

当社は、地下鉄向けの制御装置や補助電源装置の製造拠点として、2003年11月に湖南湘電東洋電気有限公司を設立し、2006年8月には歯車装置の設計・開発・製造を担う常州朗銳東洋伝動技術有限公司を設立した。これらの企業は、いずれも現地メーカーとの合弁会社で、設立当初は当社が受注した北京地下鉄や成都地下鉄向けの製品を製造していたが、やがて他の都市交通向け製品も製造するようになった。

2005年に駐在員事務所として開設した北京事務所は、情報収集拠点から営業拠点への転換を図るため、2011年8月に当社の100%子会社である洋電貿易（北京）有限公司へと移行し、中国での鉄道車両用機器・一般産業用電機品の販売・輸出入を行うこととなった。

やがて、北京地下鉄における当社製品のシェアが30%を超えると、そのメンテナンス需要の取り込みと他の都市交通における需要拡大を見込み、2014年8月に中国現地商社と洋電貿易（北京）有限公司の合弁会社として、北京京車双洋軌道交通牽引設備有限公司を設立した。

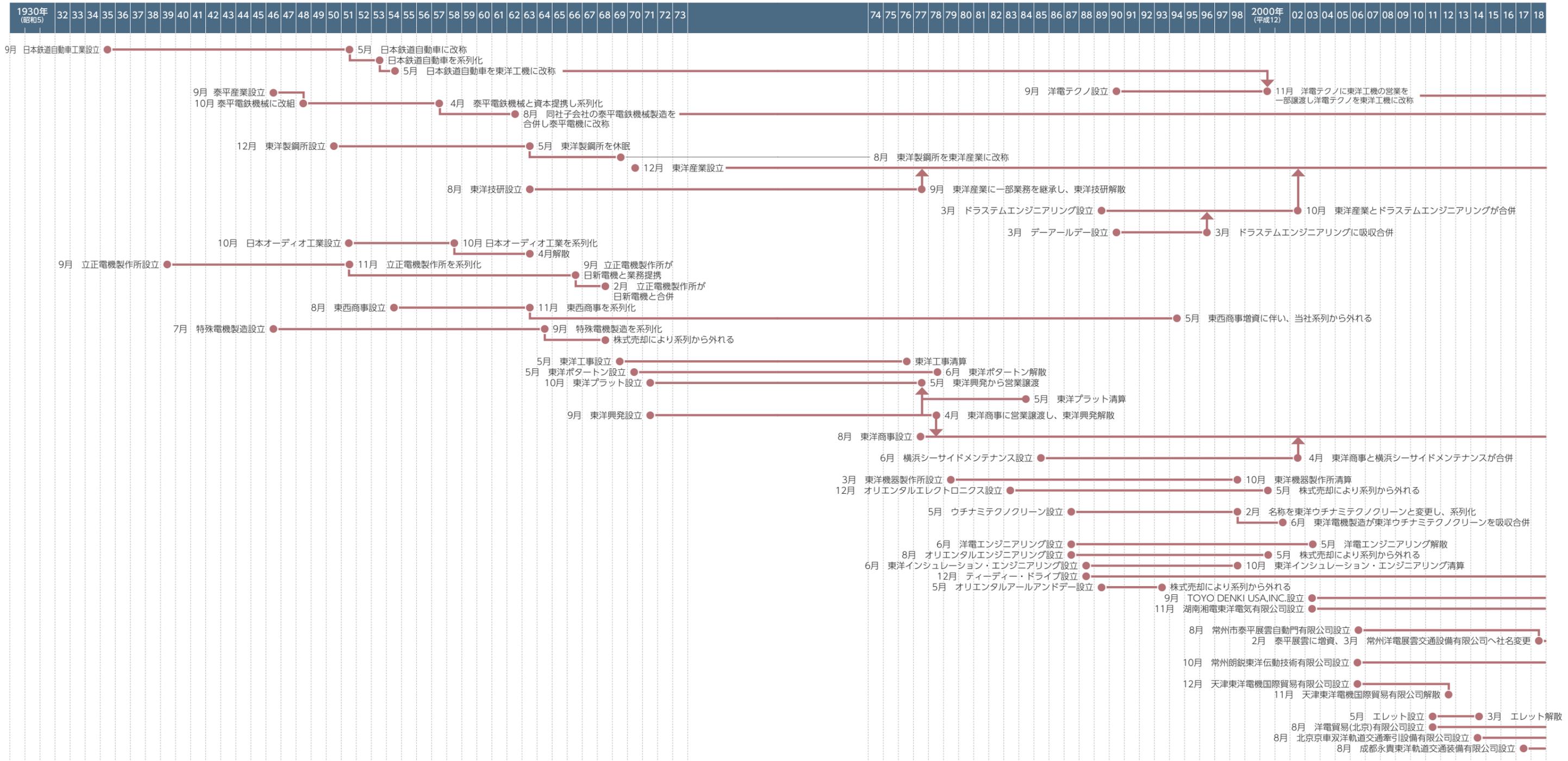
当社は、2016年後半から中国都市交通向けのパンタグラフの開発にも着手し、その後、北京地下鉄や成都市LRV向け製品を受注したことから、パンタグラフの製造拠点として、2017年8月に現地の電気部品メーカーとの合弁会社である成都永貴東洋軌道交通装備有限公司を設立した。

当社とその子会社の泰平電機との合併会社である泰平展雲（常州）自動門有限公司は、2005年9月の設立以降、中国向けバス・軌道車両用の戸閉装置の製造・販売を行うとともに、当社グループへの鋳物部品などを供給してきた。当社が中国でパンタグラフの製造を開始するにあたり、2018年1月に増資を行い、設備投資等を実施して、2018年4月から社名を常州洋電展雲交通設備有限公司と改名、当社グループへの部品供給拠点として一層活用することとした。

米国の関係会社について

当社は2003年9月、米国ペンシルバニア州ピッツバーグに米国国内向けLRV車両用電機品の製造・販売・メンテナンスを行う現地法人として、TOYO DENKI USA, INC. を設立した。同社はテキサス州ダラス市やカリフォルニア州ロサンゼルス郡のLRV（路面電車）向けに制御装置や補助電源装置の組立や試験の他、保守部品の販売などを行っている。

関係会社の変遷（創業時～）



連綿と 受継がれる 匠の精神

～企業内技能訓練校の系譜～

黎明期：激動の中で上げた産声

時は1937(昭和12)年、物情騒然とした激動の時代に当社の企業内教育訓練機関はその産声を上げた。1935年4月に公布・施行された青年学校令に基づき認可を受けた企業内教育訓練機関である。青年学校とは、当時の義務教育期間である尋常小学校6年を卒業した後、中等教育学校に進学せず勤労に従事する青少年に対して職能実務教育・社会教育を行う教育機関のことである。

東洋電機青年学校(当初は教習所)と称し、横浜製鋼所(旧 横浜工場)に設置。教育期間は本科4年間、カリキュラムは普通学科・職業科・体操科といった科目の他に、時代を反映した修身および公民科・教練科といったものである。初代校長は、後に常務取締役を務めることになる鶴飼泰三郎であった。青年学校はその性格上、公立のものが中心であり、私企業内に設置されたものとしては、日立製作所、三菱重工業、三井造船など、日本を代表する重厚長大系企業に見られるだけであったが、先人の慧眼ここにあり。

以来80有余年、時代の波にもまれ、企業業績の浮沈に翻弄されながらも、さまざまに形を変えながら今日までその匠の精神(こころ)を脈々と伝え続けている。

変遷：終戦～高度成長、バブル崩壊を経て

東洋電機青年学校は1939年の青年学校令改正によって義務制となり、戸塚製作所内に移転した。名称も東洋電機戸塚青年学校と改め戦時中も機能していたが、1945年の終戦後、いわゆる学制改革によって1948年3月をもって廃校となった。同年4月、新たに私立東洋電機戸塚工業学校として再出発を図ったものの、未曾有の戦後混乱の中では社業再建が当面の最優先課題であり、1951年に廃校の止む無きに至った。

高度成長期の真ただ中、東京オリンピックが開催された1964年に、満を持して企業内教育訓練機関を再設置することとなった。1958年に施行された職業訓練法に基づくものである。中学校卒業の男子を対象とし教育期間は3年間、技能訓練所と称し、戸塚工場内に設置した。当時のカリキュラムを見ると、基本技能教育・職能別専門教育といった職業実務訓練に直結した科目の他に、社会・体育などの一般科目も実施されており、今日に至る技能訓練の原型となっている。同校は、1968年に職業訓練法が改正されたことを受け、名称を東洋電機製造株式会社高等職業訓練校と改めた。



技能訓練所(1期生 1964年)



技能実習の様子(1964年)

その後は、進学率の向上に伴う中卒就業者の著しい減少により、1972年4月からは高等学校卒業生を対象とした教育訓練に切り替えられた。社内では高訓校・高訓生と呼ばれ、1年間の認定教育は同期の絆をより強固なものにしていた。

しかし、バブル崩壊(1991年3月)に端を発した複合不況は当社の経営を直撃、底なしの業績低迷が続くなか新規卒業生の採用も10年近くに亘り中断、1998年、残念ながら同校は休校に追い込まれた。

懸命な経営努力の結果、ようやく曙光が差し始めた2002年、僅かに3名ではあったが高等学校新規卒業生の採用を再開、神奈川県立川崎職業技術校に1年間の技能教育を委ねた。経営の安定を取り戻した2005年4月、関係者の悲願であった組織的な社内技能教育機関を、ついに横浜製作所内に育成訓練チームとして復活させた。2007年には本社組織として総務部教育センターに格上げし、2013年には横浜製作所内に技能訓練センターを新築、現在の人事部教育課(技能訓練生)へと進化・発展を続けている。また、2017年にはこれらを踏まえた長年に亘る技能検定への多大な貢献を評価され、厚生労働大臣表彰を受けたことは、当社にとっての大きな誇りである。

結び：100年のその先へ

紆余曲折を経た80有余年ではあったが、役員として経営の中核を担った者、技能の道を極め現代の名工の栄誉に輝いた者など、当社の技術・技能を支えてきた数多の卒業生の献身には計り知れないものがある。その輝かしい歴史、伝統と精神は、100年のその先へと歩みを止めることはない。



現代の名工による技術指導(2012年)



技能訓練センター外観(2013年)

■ 年表

年月	摘要	学校名・組織名	設置場所	対象者	教育期間
1937(昭和12)年4月	創立	東洋電機青年学校	横浜製鋼所	尋常高等小学校卒男子	本科4年
1948(昭和23)年4月	組織形態・校名変更	私立東洋電機戸塚工業学校	戸塚製作所	尋常高等小学校卒男子	本科3年
1951(昭和26)年4月	廃校				
1964(昭和39)年4月	再建	東洋電機製造(株)技能訓練所	戸塚工場	中学校卒男子	3年
1972(昭和47)年4月	対象者変更				
1973(昭和48)年1月	組織形態・校名変更	東洋電機製造(株)高等職業訓練校	相模工場	高等学校卒	1年(認定訓練)
1983(昭和58)年5月	設置場所変更				
1998(平成10)年	休校				
2005(平成17)年4月	新組織発足	育成訓練チーム(技能訓練生)	横浜製作所	高等学校卒	11カ月(非認定)
2007(平成19)年	組織変更	総務部教育センター(技能訓練生)			
2012(平成24)年	組織変更	人事部教育課(技能訓練生)			
2013(平成25)年4月	技能訓練センター竣工				

当社の 海外 展開 について

海外展開の意義と課題

当社における100年の歴史の中で、海外展開は過去、数多く手掛けてきた。概括的にいえば、単発の案件をこなす段階と、戦略的な海外展開を目指す時期とに大別される。

日本経済が戦後の混乱期を脱した昭和30年代から、産業用ではインドや韓国、交通ではパナマ曳船用機関車などがその契機となったが、まだ戦略的な海外展開を目指す時期ではなく、個別案件への対応段階であった。

戦略的な海外展開の始まりは昭和30年代後半、海外の進んだ技術を当社の製品に展開しようという意図によるものであった。その結果、産業用ではNSモータの技術導入（英国ローレンス・スコット・アンド・エレクトロモータース社）とインバータの基本的技術導入（米国ゼネラル・エレクトリック社）、交通ではオイルエンジンカム軸制御（英国イングリッシュ・エレクトリック社）で、技術提携の契約を結んだ。これらの施策は、当社にとってグローバル展開を目指そうとする意識を植えつける契機となったが、全社の方向転換を図るまでには至らず、なお国内市場が優先される図式であった。

昭和50年代には、大型案件では小松製作所向けの大型ダンプトラック電気品や、インドのボンベイ地区近郊電車の電気品など、単発輸出が好調に推移した。いずれも、工業が未発展な国や地域への完成品輸出という形態であった。

その後、当社の本格的なグローバル展開が萌芽したのは、当時の甲斐邦朗社長による経営改革の目途が立った2003（平成15）年からスタートした「グローアップ123プラン」において、“海外市場の拡大と新分野へ参入”を謳ったことにより、中国やアメリカへの戦略的な展開を開始することとなった。

近年における海外展開の要諦

1990年代半ば、日本が生産人口減少の局面に陥った時期と期を同じくして、日本経済の、とりわけ内需の減少が顕著となった。これに追い討ちをかけるように、2008年のリーマン・ショックによって設備投資をはじめとする国内の景気観は、日本政府の経済政策や日本銀行による金融緩和策をもってしてもなかなか好転せず、重苦しい閉塞感に包まれた。こうした時期、各企業は国内から海外へと市場を転換し、さまざまな経営施策に乗り出した。

業態によってその形式は異なったが、当社では経営的に非常に厳

しい時期にあった1990年代初頭から少しずつ新たな海外展開の芽を育み、2003年以降本格化させたといえよう。

前述のような完成品輸出の海外案件では見られない、相手国の経済状況や社会情勢によってビジネスの背景や環境に大きな変化をもたらすのが、その後のグローバル展開の特徴であり、難しさでもある。グローバル展開を目指す企業は、こうした状況変化に迅速に対応し、常に新たなビジネスモデルを提供していけるか否かが、海外展開の成否を左右することとなった。

では、実際のビジネスモデルを提示するに当たり、相手国からはどのような要求がなされるのだろうか。その国の国情にもよるが、要求は時代と共に変化する。また、要求はその国の現時点での弱みであると同時に、将来の方向を見据えるものでもあり、その方向性と弱みの根幹を読み解くことが重要となる。一般的に、産業を育成させる過程や、成熟国における産業政策の要諦は、次のようなステップを経ると考えられる。

1.新興国の場合

いわゆる新興国では、一般的に以下のようなステップを踏む。

- ①完全海外（日本）製品の輸入⇒相手国による製品レベルと輸出企業の見極め。
- ②現地企業との合弁（もしくは独資）による現地生産（GDP拡大期）⇒工業施設拡大や現地従業員の採用。
- ③合弁相手先への技術移転⇒技術移転により、自立化を目指す。
- ④合弁相手先の自立⇒国内企業の自立政策（関税等も含む）による外国企業の排除、もしくはポジションの低下

2.成熟国の場合

一方、かつては世界的な産業立国であったが、産業構造の変化によって衰退した産業（主に製造業）が存在する成熟国への展開には、以下のような条件が付く。

- ①自国内調達部品の比率規定⇒自国内企業からの製品購入を、価格の一定割合で義務化。
- ②自国労働者（主にマイノリティ）の採用義務⇒基盤を喪失した産業（例えば、アメリカにおける鉄道車両）では、入札条件にこの規制が盛り込まれるため、入札条件を満たすには、多くの場合、現地に生産拠点を設けざるを得ない。

当社が2000年代初頭に相次いで設立した中国の製造合弁会社や、アメリカのTOYO DENKI USA, Inc.は、上記のような新興国や成熟国での条件をクリアすることが大きなミッションとなった。

アメリカでの鉄道車両電機品の調達に関していえば、モータや歯車装置などの重厚長大部品は現地企業からの調達、もしくは現地企



英国ローレンス・スコット・アンド・エレクトロモータース社との技術提携調印式（1964年）



補助電源装置の組立（TOYO DENKI USA, INC.）

業への発注という形をとる。しかし、ここで問題となるのが、アメリカでは鉄道はすでに斜陽産業と見なされ、存続する業者も中小規模がほとんどで、設備の陳腐化や品質管理意識のズレなど、日本のものづくりを基本とする当社との意識の格差が常につきまとった。国や地域によってもその考え方にはバラツキもあり、現地において、こうした日本イズムと現地人とのギャップに苦しむ社員の苦労は相当なものであった。

しかし、こうした現地での体験が本人にとっての成長をもたらし、ひいては当社のグローバル展開拡大への糧となることは間違いない。だが、国内市場とは異なる切り口でのビジネス展開が求められるため、そのことを常に意識下に置いていなければ、市場環境の変化に対応できず、ビジネスが陳腐化してしまう恐れもある。

例えば、ある装置や部品の海外展開を考えた場合、その発端や導入となるのは多くの場合、日本連合による海外プロジェクトであり、あるいは国内車両メーカーと連携したプロジェクトである。しかし、こと鉄道車両に関していえば、そこには日本のみならず、欧州や中国なども参入し、すでに既存市況が構築されている。同時に、こうした棲み分けの中で10年程度を経過すると、それぞれの製品の善し悪しも明確化していく。この状況を活かし、自ら名乗りを上げることで敵失のチャンスも生かせるが、逆にいえば脅威ともなり得る。

国内市場においても、こうした可能性は潜在要素としては存在するが、情報の細分化や業者間の技術力の拮抗によってすでに大きな格差は存在せず、海外市場のような大幅な変動は起こりにくい。

3. その他の場合

その他の海外進出モデルとしては、新興国での低賃金や低価格を製品に反映するため、現地工場を設立し、その製品を国内に逆輸入するという生産拠点の外地化がある。この方法は、かつて中国に対して積極的に進められたが、相手国の経済成長に伴ってメリットは減少し、さらに自国の国策による企業の自立化によって結果的には衰退していく構図である。

中国におけるビジネスモデル

1. 中国展開の黎明と発展

中国における当社のビジネスモデルは、1997年の北京地下鉄復八線の電機品受注に始まる。本件は、円借案件であったにもかかわらず、成約までに10年近い年月を要した。

この間の関係者の苦労は筆舌に尽くし難いものがあるが、この案件を通じて中国当局をはじめ、投資会社、車両工場、日系商社等との組織的・人的関係を築くことができ、その後の当社の中国展開

への大きな布石となった。中国本土へのインバータ制御第1号機である復八線は、100%日本製品の輸出であったが、その後の北京地下鉄13号線や5号線では自前予算による入札となり、一定程度(約40%)の中国国内での生産が義務付けられた。

こうした流れの中、中国側からの推薦もあって湖南省の湘潭電機股份有限公司と提携し、2003年11月、長沙市に湖南湘電東洋電気有限公司(以下、湘洋電気)を資本金500万ドル・出資比率折半で設立した。その翌年、当社は国家発展改革委員会より鉄道車両用電機品の分野では第1号となる事業認定を受けた。

なお、2008年の北京オリンピック開催に際しての新線開業および車両増備において、湘洋電気は大いに貢献し、また成都地下鉄でもこの連合体が受注を獲得した。

さらに、2006年には主に都市交通用の歯車装置の現地生産を企図し、江蘇省常州市にある中国鉄道部(当時)傘下の威墅堰機車車輛工藝研究所(以下、威所)と資本金1,000万人民元・出資比率折半で、常州朗銳東洋伝動技術有限公司(以下、朗銳東洋)を設立した。ここでは設計は当社で、部品調達における歯車・ギアケースなどの主要部品は威所で、さらに営業活動は親会社と朗銳東洋単独でも、というように役割分担を明確化し、売上も順調に拡大していった。こうして、朗銳東洋は中国国内の車両メーカーから各地の地下鉄向け歯車装置を多数受注し、国内メーカーとしての地位を磐石なものとしていった。

2. 高速鉄道向け歯車装置への参入

中国展開におけるもう一つのトピックは、中国高速鉄道向け歯車装置への参入である。中国での本格的な高速鉄道車両は、2006年から投入された日本のE2系がベースであり、当社はこの車両の歯車装置をOEM生産した。その後、鉄道部や中国国内の車両メーカーである南車集団の青島四方機車車輛と交渉し、2009年1月に商談がまとまり、武漢～広州間・上海～北京間の350km/h車両向け歯車装置を皮切りに、以降大量の歯車装置完成品・主要部品(組立は威所)・消耗部品を四方南車向けに納入することとなった。

なお、鉄道部の下部組織であった南車集団と北車集団は、2015年に中国中車として統合されたが、車両メーカーの四方南車と北車に属していた長春軌道客車は、それぞれ単独の車両メーカーとして現在も存続し、2017年には長春軌道客車に従来とは異なる形状の高速車両用歯車装置を納入した。

3. メンテナンス事業分野への進出

当社の電機品が大量に使用されている北京地下鉄では、北京オリンピック開催時(2008年)に開通した路線の車両全般検査の時期



都市交通向け歯車装置部品
(常州朗銳東洋伝動技術有限公司)



中国高速鉄道向け歯車装置ケース試作品(2016年)



補助電源装置の試験(湖南湘電東洋電気有限公司)



北京地下鉄向け電機品のメンテナンス
(北京京車双洋轨道交通牽引設備有限公司)

が、2020年ごろにピークを迎える。そのため、北京地下鉄車輛の整備を担当する北京地鉄車輛裝備有限公司(車両廠)の出資を受け、2014年、北京市に北京京車双洋轨道交通牽引設備有限公司(以下、京車双洋)を設立した。

今後は、10,000両を越える車輛を有する北京地下鉄の走行用電機品のオーバーホールというメンテナンス事業においても、中国での東洋電機製造グループの存在感はさらに高まるものと思われる。

中国における産業構造上の問題

1. 中国ビジネスの形態

しかし、中国政府の目標は、あくまでも自国企業の自立であり、まずは海外企業の指導の下に地場産業を育成し、いずれは自国に取って代わるという目論見があるものの、こと鉄道用機器の高品質な部品製作や設計においては、そう簡単に実現できるものではない。

当社も、2018年に創業100年を迎えたが、設立当初は英国企業との技術提携に始まり、その過程で自立を果たした。この間、日本では大企業から中小企業まで、鉄道機器産業構造のヒエラルキーが確実に育成できたからこそなし得たものともいえる。

一方、短期間に先進国の技術力に追いつこうとする新興国では、産業構造のヒエラルキーが底辺からきちんと形成されておらず、構造的自立という観点では未成熟である。そのため、海外展開のビジネスモデルをこの視点から捉えると、その国の国情に合った産業構造の一角を担うという考えが成り立つ。2項に記した、1.新興国の場合の③は可能だが、④にはまだ時間が足りない、あるいは容易には到達できない、という弱点に着目したビジネスモデルが成り立ち得る。

これを当社の中国におけるビジネスモデルに当てはめてみると、組み立て作業を主な付加価値源泉と捉える機種と、調達も含めた構成部品の信頼性を付加価値源泉と捉える機種では異なる形態となり、後者の機種の方が採算性や事業の永続性が担保されることとなる。具体的にいうと、湘洋電機は新規プロジェクトが獲得できなければ、地場企業を含め他社に取って代わられる可能性が高く、一方、歯車装置という高品質な部品レベルが求められる専門機種に特化した朗鋭東洋や、サービスという無定型付加価値を有する京車双洋のモデルは他社から侵食されにくい。

一方、中国国産化においては、外国企業による自国民の雇用を拡大するという目論見もある。中国では、大学以上の高等教育を受けた人材の世代別比率は30%未満(日本は50%)と推定され、特に農村部での教育水準が低い。こうした労働力を吸収するため、海外企業に対しては派遣外国人(就労ビザ発行数)に対し、一定比率の



中国向けパンタグラフ部品の製造
(常州洋電展雲交通設備有限公司)



中国向けパンタグラフの試験トレーニング
(成都永貴東洋轨道交通裝備有限公司)

自国民採用を義務づける動きも出始めている。

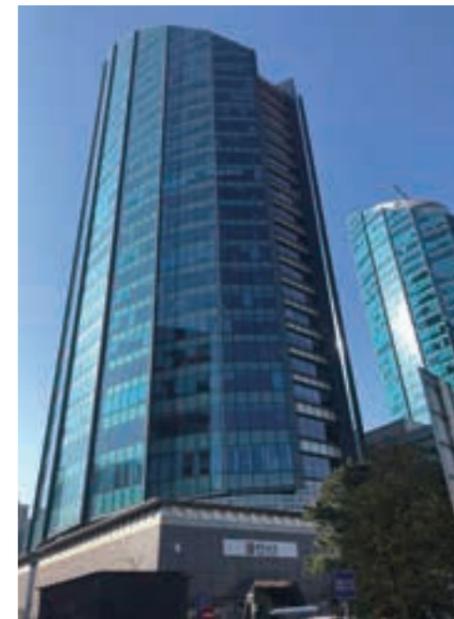
2. 資本構成における会社形態

国策として工業の近代化を推し進める中国において、まずは外国企業との技術提携が挙げられる。そこで、2項の1.新興国の場合の②に記した、現地企業との合弁による政策推進に踏み出し、前述の湘洋電気や朗鋭東洋はこのビジネスモデルとして設立された。しかし、海外企業の出資比率の上限は50%が最大であり、当社側では持分法適用会社としてしか利益配分できない仕組みとなっている。

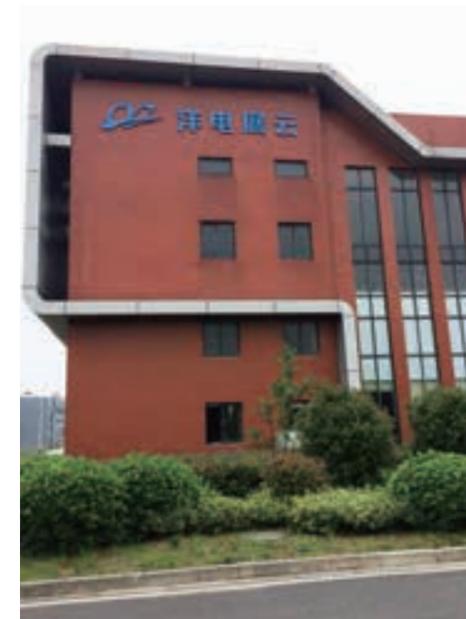
3. 今後の中国におけるビジネス展開

当社の交通事業が中国展開を始動してすでに30年以上を迎える今、その成果を振り返ると、あまねく欧州・日本勢の鉄道機器メーカーの中でも専門メーカーとしての確固たる存在感を示し、今日に至った姿は成功モデルといえよう。

そこには、先人の弛みない努力と奮闘があり、その背景には専門メーカーとして歩み続けてきた自負と気概がある。しかし、今後の中国ビジネスを考えると、政治的問題や経済政策などのリスクを無視することはできない。その一方で、当社がこれまで築いてきた歴史は着実に中国国内に浸透し、その実績の上に国情を熟知・分析し、新たなビジネスモデルを実践してきたともいえる。今後も、業界での確固たるポジションを獲得すべく、歩み続けていく所存である。



洋電貿易(北京)有限公司が入居するオフィスビル
(2018年)



常州洋電展雲交通設備有限公司(2018年)

バブル崩壊 後の苦境と 経営改革

1990（平成2）年ごろから見られた地価の急落や株価暴落に始まる景気後退はバブル崩壊といわれ、金融機関の破綻を招き、日本全体が長期不況に陥った。当社も75周年を迎えた1993年度より前年比を大幅に下回る長期低迷が続き、経営危機に瀕した。こうした状況にあって、当社では幾度となく経営改革を実施したが、本稿では1997年から2006年ごろまでの、経営的に最も苦境にあった時代を振り返る。 ※本稿内の経営成績に関する数値は全て連結の値である。

R80・R80-II計画(1997年6月～2000年5月)

当社は、1997年度に経営改善計画「R80計画」をスタートさせた。1998年の創立80周年に向けて全社的Revolutionを行ったが、外部環境は急速に悪化し、日本経済がマイナス成長になるなど、深刻な事態に陥った。当初の計画は1年で見直しとなり、より抜本的なリストラチャリングを織り込んだ事業構造再編計画「R80-II計画」に変更することとなった。その内容は、不採算分野の縮小・撤収、工場・研究所・営業拠点の集約、管理部門の大幅スリム化をはじめ、帰休や賃金水準の引き下げを含む厳しいものであった。

これらの計画のなかで相模製作所の閉鎖が決まり、1999年7月、同製作所を横浜製作所に統合した。広島営業所・四国営業所も1999年5月に閉鎖となり、賃金の10%カットなど、厳しい施策を実行した。

その結果、1999年度（139期）は受注高287億円・売上高303億円となり、売上高は対前期比より減少したが、固定費圧縮などの効果で、営業利益は7,900万円ではあるが黒字となった。実に8期ぶりの黒字であった。

キックオフ21計画(2000年6月～2002年1月)

1999年8月、甲斐邦朗が新社長に就任し、2000年度から新3カ年中期経営計画「キックオフ21計画」がスタートした。売上高増による経常利益の黒字化を目指したが、外部環境のさらなる悪化もあり同期の売上高は5.5%減少、営業利益は5億9,100万円の赤字となり、経常利益も7億8,300万円の赤字となった。

この時期、金融機関自体の行き詰まりが目立つようになり、返済圧力が強まった。当社は当時135億円の借入があり、すべて短期借入であったため、この返済にも早急に対応する必要があった。そこで当社は、グループを挙げて資産処分を進め、当面の資金ショートを乗り切るとともに東洋工機を合併し、同社の北品川の用地を売却



甲斐 邦朗社長（1999年）

して返済に充て、さらに返済を1年猶予してもらうなど、もう後がない状況に追い込まれた。

プロジェクト0計画(2002年2月～2003年5月)

2001年後半になると、ITバブル崩壊の景気低迷に加えて、米国での同時多発テロの影響などで輸出や個人消費、民間設備投資が減少し、さらに厳しい経済環境になった。なかでも金融機関の不良債権問題が深刻化し、貸し渋りの常態化による製造業の倒産が急増、株価100円割れ企業も続出し、当社の株価も2001年12月には66円となった。

こうした状況の中、メインバンクの三和銀行（現 三菱UFJ銀行）から「再建協力すべき会社」として当社もその指定を受け、再建指導を受け入れることとなった。ソリューション会社である日本ビジネスサポートと、コンサルタント会社の中央青山コンサルタントが新たに加わり、自力再生への支援が始まった。社内でも2001年12月5日にプロジェクトチームを立ち上げ、待ったなしの本格改革がスタートした。メンバーには、各分野から“過去に引きずられない人”7人を社長の命によって強制的に引き抜き、専任とした。

プロジェクトチームは、短期集中で一気に黒字化を図る強力な再建実行プランを作り上げた。その内容は今までにない厳しいものであったが、最終目標である“当社の再建”に向けて全社員が改革に立ち向かう意向を固めた。

甲斐社長は当時、通達で「改革の中核テーマは選択と集中にある。言い換えれば、老朽化したシステムの淘汰と代謝である。陳腐化したものの退場と明日を担うものの登場である。不可触の聖域はなく痛みを伴うことも避けられない。いま革新的な変革をやり遂げなければ自力再生の機会はない」と、並々ならぬ決意を語っている。

経営改革案の策定と経営改革室の発足

2002年2月1日、社長通達（通第682）によって改革計画の実行が宣言され、さらに一段踏み込んだ新しい経営改革計画「プロジェクト0計画」（2002年2月～2003年5月）が実行に移された。それに伴い、社長直轄の改革実行組織である「経営改革室」が発足し、田中啓資が室長に就任した。当時、経営改革で成功を収めていた日産自動車を参考に「コミットメント（誓約）」の徹底と「クロスファンクショナルチーム（CFT）」を導入した。改革実行に向けて10チームのCFTが組成され、それぞれに責任者とメンバーを発令、目標をコミットさせると同時に、やり遂げることを強調した。さらに、経営改革計画と実施内容を全社員に徹底させるため、同年2月以降、1



当社経営改革についての新聞記事
(2002年2月15日 日本工業新聞)

カ月をかけて全国12カ所で再建計画の狙いと実効策の説明会を実施した。こうして、全員参加の改革実行がスタートした。

経営改革の実行

CFT活動は毎月、全取締役・関係執行役員・部門長などの当社出席者の他、アドバイザーとしてコンサルタントの先生方も出席する役員報告会で結果報告され、月々の進捗を管理した。こうして経営改革は全社的に認知されていたが、当初は「総論賛成、各論反対」の気運一色であった。

経営改革は、数値効果の出るところから手を付けていき、まずは人件費の削減、続いて不要不急の資産売却を行った。その結果、2001年度(141期)は売上高288億円・営業利益3億7,000万円・経常利益1億800万円と、10期ぶりに黒字に転じた。一方、構造改善費の他、あえて特別損失を計上し、当期純利益は11億100万円の赤字となった。これは、改革スタート時に悪い膿を一気に出し切り、次期には大きな利益を出す方法であった。こうして、短期間で経常利益が黒字にこぎ着けたことは改革活動への大きな弾みとなった。

続く2002年度も、プロジェクト0のプランに基づき、売上減少を覚悟で赤字売上の撲滅に努め、併せてコストダウン徹底推進の方針で臨んだ。この計画実現に向けては、左記の6つの改革施策を掲げた。

さらに、責任と権限を集中し、改革計画をより確実に実現するため事業部制を廃止した。全社を一体的な経営管理組織に改め、経営管理本部・営業本部・開発本部・生産本部の4本部制へと改組し、営業・生産・開発力を強化した。また、子会社は8社から4社に集約し、グループ経営の効率化も徹底、2003年3月には旧相模製作所用地を売却した。

この改革活動は2003年1月、製造業の再建成功事例としてテレビ朝日の「サンデープロジェクト」の取材・撮影を受け、5月18日に当社の経営改革の様子が全国ネットで放送された。

強力な改革推進は16カ月続き、その結果2002年度(142期)の業績は、採算重視の「事業の選択と集中」を徹底したことにより、受注高は前期比4.3%減の298億円、売上高は前期比微増の290億円となった。一方、損益面では収益改善への取り組み効果により、営業利益は前期比14億円増の18億円、経常利益は前期比13億円増の14億円と、大幅な収益改善を実現した。また、当期純利益も32億円と対前期より大幅な増益となり、10年ぶりに念願の配当(1株2.5円)を実現した。まさに、当社が経営再建を達成した瞬間であった。

グローアップ123プラン(2003年6月~2006年5月)

収益体制改善を実現した当社では、その後も改革の手を緩めることなく、2003年度からは新3カ年中期経営計画「グローアップ123プラン」をスタートさせた。高収益・高効率経営への転換を図るとともに、海外市場の拡大・技術開発・新分野への参入などを柱に、業界ナンバーワン企業に上り詰めることを目指した。

2003年には成果主義に基づく人事制度を採用し、生産性向上を目的に「TSS推進室」を新設した。海外においては、2003年9月に米国ペンシルバニア州ピッツバーグに現地法人「TOYO DENKI USA, INC.」を設立したのを皮切りに、中国市場への進出のため、「湖南湘電東洋電気有限公司」をはじめ、合弁会社や駐在員事務所を相次いで開設した。

続く2004年度(144期)は売上高346億円、営業利益25億円、経常利益24億円となり、「グローアップ123プラン」最終年度の目標であった連結売上高310億円、連結営業利益23億円を1年前倒しで達成することができた。なお、この期の経常利益は当社の過去最高益となった。

2004年には品質第一をモットーに、顧客の信用を高めることを理念の下、「品質管理室」を新設し、またグループ経営の合理化・効率化を目的に「東洋シェアードセンター」を設立、グループ各社の管理部門共通業務を集中した。

「グローアップ123プラン」の最終年度に当たる2005年度(145期)は、受注高358億円、売上高324億円、損益面では営業利益25億円、経常利益25億円を計上、当期純利益は12億円であった。借入金も48億円にまで減少し、銀行からの信頼も回復、社会的評価も向上した。

経営改革活動完了

この「グローアップ123プラン」の達成をもって、経営改革室のミッションは完了した。2006年度からは、新たな経営プラン「イノベーション90プラン」がスタートし、組織を事業部制に戻して、新体制での経営計画を遂行することとなった。2006年8月には大澤輝之が新社長に就任した。

こうして、10年連続赤字であった当社も、2002年度を境にV字回復を成し遂げ、その後は毎年黒字を計上、配当を継続できる企業へと変革した。会社存続への危機感が社員に緊張感を与え、一人一人の懸命な努力の積み重ねがこの改革を成功に導いたと言えよう。

プロジェクト0 (6つの改革施策)

- ① 赤字売上撲滅のため、「事業の選択と集中」を実施。
- ② 売上減少分と原材料の仕入れコストダウンによる、社外流出費の削減。
- ③ 人員、経費の見直しによる、固定費の削減。
- ④ 資産売却による、財務・キャッシュフローの改善。
- ⑤ 組織、人事の制度改革。
- ⑥ 子会社再編を含む連結経営改革。

品質 マネジメント システムの 構築

初めての認証取得から全社拡大まで

1994（平成6）年2月、相模事業所は当社として初めて品質マネジメントシステムの国際規格（ISO9000シリーズ）であるISO9002（1987）を、「モータ駆動用汎用インバータの製造」を適用範囲としてJQA（日本品質保証機構）より認証取得した。汎用インバータでは他社に先駆け、国内で初の取得という快挙だった。また、併せてBSI（英国規格協会）の認証も取得した（BSIは2000年3月破棄）。

この取得に関しては、1991年ごろからヨーロッパにおける当社の代理店からISO9000シリーズへの取り組みや取得についての問い合わせが開始しており、品質保証の国際化としてのISOシリーズがEC統合を機にクローズアップされたという背景があった。そのため、日本国内でも各社が活発な認証取得活動を展開していた。

なお、1995年3月には適用規格の改訂に伴いISO9002（1994）の認証に移行し、1996年3月には適用範囲を「モータ駆動用汎用インバータの設計・開発および製造」に拡大するとともに、ISO9001（1994）の認証への格上げを果たした。

その後1997年2月には、横浜製作所の鉄道車両用各機器および産業用同期発電機、同年3月には相模製作所の鉄道車両用制御装置、さらに1999年3月に相模製作所の駅務機器、自動製図機の各製品についてISO9001（1994）の認証を取得した。

また、2000年3月には環境電源事業部が社会インフラセクションとしてJHIA（財団法人燃焼機器検査協会）より、ISO9001（1994）の認証を取得した。

大きな転機が訪れたのは1998年の京都工場閉鎖（滋賀分工場開設）と、1999年の相模製作所閉鎖に伴う関東地区における生産拠点の横浜製作所への集約であった。これに合わせてISO9001の認証についても、2000年9月に適用対象事業所の見直しに併せて横浜製作所に一本化した。

なお、2001年3月に滋賀分工場から移転開設した京都テクノセンターにおいて「上下水道設備、電源設備のエンジニアリング、製造および施工管理」を適用範囲としてISO9001（1994）の認証を取得した。

これら生産拠点の統廃が行われる一方で、ISO9001も2000年版の大幅な規格改訂が行われ、データ分析、顧客満足、プロセスの監視・測定などの新たな要求事項が追加された。当社はISO9001認証部門（認証プロセス）の拡大を続ける中、2003年3月にISO9001（2000）に移行。その後、2005年10月には営業部門を含めた全社への拡大

を果たし、現在の認証適用範囲の規模となった。そして2009年10月、前年に若干の規格改訂がなされたISO9001（2008）への移行を果たした。

なお、ISO9001（2008）への移行は、ISO14001の全社拡大と併せて行われた。

事業部制組織と品質マネジメントシステム

当社の組織構成は、その時々経営方針や戦略に合わせて本部制や事業部制を敷いてきた過程の中、品質マネジメントシステムの構築・運用においては、その最上位の手引き書とも言える「品質マニュアル」が必要不可欠であった。なお、2006年6月（第146期）に本部制から事業部制へと移行したのを機に、それまで全社（横浜製作所および営業本部）共通で運用してきた単一の品質マニュアルを、全社用と事業部用（交通事業部・産業事業部・IT事業部）、ならびに横浜製作所用（資材部門含む）とに分け、組織体制に合わせた品質マニュアル体系で運用するようになった。

その後、2009年6月の組織変更に合わせて、横浜製作所用の品質マニュアルからは資材部用品質マニュアルを、産業事業部用品質マニュアルからは事業開発部用品質マニュアルを、それぞれ分離独立させた。なお、事業開発部用については2015年に産業事業部用に吸収・廃止し、現在は6本の品質マニュアルによる体制となっている。

ISO9001の2015年改訂と当社の取り組み

2015年10月には、大転機となるISO9001およびISO14001の大幅な規格改訂（2015年版改訂）が行われた。ISO9001（2015）改訂の重要ポイントは、①事業への品質マネジメントシステムの活用 ②トップマネジメント（リーダーシップ）の役割強化 ③リスクと機会を考慮したマネジメントシステム ④文書・記録への柔軟な対応 ⑤有効性評価の明確化 である。

今回の規格改訂の背景には、世界的にISO9001を導入してきた多くの企業の経営層が、事業の本来業務（本業）のパフォーマンス向上にISOは必ずしも寄与していないという認識をもっているという調査結果が公表されたこともあり、2000年の大幅改訂以降のマネジメントシステムへの運用のマンネリ化、形骸化を打破する意図もうかがえる。

2015年版の品質および環境マネジメントシステムへの移行期限は規格改訂3年後の2018年9月であるが、当社は前倒しの移行計画を策定・実行し、2017年3月にISO14001と併せて審査を受審、翌4月に移行を果たした。



相模事業所が取得したISO9002認証
(1994年2月)



横浜製作所が取得したISO9001認証
(1997年)



環境電源事業部が取得したISO9001認証
(2000年)



ISO9001認証 (2017年)

IRIS 認証取得と 今後の展開

IRISとは

IRISはInternational Railway Industry Standardの略称で、国際鉄道産業標準と呼ばれる認証規格である。当社は、2013（平成25）年9月20日付で補助電源装置についてIRIS認証を取得した。補助電源装置での認証取得は日本企業で初めてである。

IRISは、広く普及している品質マネジメント規格であるISO9001をベースに鉄道に特化した規格であり、UNIFE（欧州鉄道産業連盟）メンバーの主力企業を中心となって、2006年に初版が発行された。本部はベルギーのブリュッセルにある。

IRISの要求事項はISO9001をそのまま含み、それにIRIS特有の要求事項を追加した構成になっている。IRISとして追加された項目には、安全方針・安全目標、ナレッジマネジメント（知識の管理）、緊急事態対応計画、KPI（重要業績評価指標）、引き合い・入札やサプライチェーンのマネジメント、プロジェクト管理、RAMS（安全性・信頼性の評価）、LCC（寿命までの必要費用）、構成管理（製品の構成の文書化）、旧式化に対するマネジメント、不適合プロセスの管理などがある。

審査の特徴は採点方式が導入されており、約250*の項目について設定された評価基準によって5段階で採点される。また、ノックアウトクエスチョンと呼ばれる12*問の確認項目があり、不適合と評価されるとその場で審査が打ち切られてしまう。（*：認証取得時）

日本国内の企業のIRIS取得状況は、2018年10月時点で8社10事業所に留まっているが、全世界では1,350事業所を超え、とりわけ中国企業の取得の伸びが著しく、650事業所を上回っている。なお、当社の中国合弁会社である常州朗鋭東洋伝動技術有限公司でも2016年8月に歯車装置についてIRIS認証を取得している。

IRIS認証取得の必要性

中国案件の入札にIRISを取得していることが要求されるようになり、2011年5月に交通事業部としてIRIS取得の方針が出され、同年4月に発足したばかりの交通品質管理部が取得に向けての活動を開始した。IRISを取得した企業は入札で有利になるとともに、世界中からアクセス可能なIRISのサイトで公表され、ISO9001よりも高度な認証を取得したことで商機の拡大に結び付けることができる。



IRISロゴマーク

認証取得に至るまで

認証取得に向けての活動は、IRIS規格の日本語版が市販されておらず、どのようにして認証取得への体制作りをしていくかも不明だったため、まずはコンサルタントを選ぶことから開始した。

活動体制は、関連部門長とコアメンバーによる20名のプロジェクトチームを発足させ、1年半で補助電源装置のIRIS認証を獲得する計画の下、2011年11月8日にキックオフした。活動はコンサルタントからIRISの要求事項の説明を受けることから始まったが、この段階では抽象的と言える要求事項の内容を理解するのが難しく、相当な困難が予想された。実作業は、IRISの管理体制の根幹をなすマニュアル作成を主体に進めた。コンサルタントからは合計29回の指導を受け、完成したIRISのマニュアルは68ページと、ISO9001のマニュアルの2倍強のボリュームとなった。

また、マニュアルの作成が進むにつれて、既存の社内規定ではIRISの要求事項に対応できない箇所が明確になり、各部門で規定の改訂や新規発行を実施した。

これらの作業を約1年間にわたって続け、運用に入った段階で、2013年2月に認証機関の予備審査を受けた。予備審査は、本審査で重大な不適合が出ないよう受審を推奨されているものである。

本審査には1次と2次があり、予備審査での指摘事項を改善した上で、同年4月に1次審査を受審した。この時までは、IRISの取得対象を輸出向けの補助電源装置としていたが、審査員から輸出向けに限定することに難色を示され、国内向けも対象とするよう要求された。そのため、これまで全くIRISに係わっていなかった国内営業部門も急ぎ対応に迫られ、2次審査の受審はIRIS認証の期限ぎりぎりまで延ばすこととなった。

2次審査は、2013年7月に5日間にわたり2名の審査員によって各部門の詳細な審査が実施された。そこで指摘された事項への是正作業を行い、2013年9月のフォローアップ審査に合格し、計画より数カ月遅れたものの、IRIS認証を取得するに至った。

今後のグローバル展開への期待

IRISはISO9001と同様に認証取得後も毎年審査があり、審査では適合・不適合の判定の他、管理体制を向上させるための改善提言が出される。また、IRISは内容が強化され、ISO/TS22163として2017年5月にISO化されたが、当社は移行審査にも適合することができた。

IRIS認証取得は、当社のビジネスマネジメントシステムが国際的に認められたことであり、今後のグローバル展開に寄与していくものと期待される。



IRIS認証（2013年）



補助電源装置

環境 マネジメント システムの 構築

初めての認証取得から全社拡大まで

2001（平成13）年7月、当社では社会・環境システム事業部社会・環境システム工場京都テクノセンターが、環境マネジメントシステムの国際規格ISO14001（1996）を、「上下水道設備および電源設備のエンジニアリング、設計、製造および試験に係る活動」を製品／サービスの活動範囲として、財団法人日本燃焼機器検査協会（JHIA）より初めて認証取得した。

続いて2004年8月、横浜製作所がISO14001（1996）を、「車両用機器・産業用機器・駅務機器の設計・開発・製造」を製品・サービスの範囲として、株式会社トーマツ審査評価機構より認証取得した。

さらに2004年にはISO14001の規格改訂が行われ、横浜製作所では3年後の2007年8月の更新登録の際にISO14001（2004）への移行を果たした。

当社では、それまでの経緯からISO9001とISO14001を、それぞれ別の認証機関の審査を受けて適用部門への拡大を推進してきたが、2010年4月にはISO14001についてもISO9001と同じ JQA（財団法人日本品質保証機構）より認証登録を受けるとともに、適用範囲を全社へと拡大した。

それ以降、ISO9001とISO14001は同時に審査を受ける複合審査方式が採用され、現在へと至る。

当社の環境方針と環境マネジメントシステム

上述のように、2004年8月に横浜製作所はISO14001（1996）を認証取得したが、これに先立つ同年4月、「東洋電機製造株式会社横浜製作所環境方針」が取締役横浜製作所長名にて制定された。

その理念は、「地球と人にやさしい未来技術」を目指して、高効率・省エネ・バリアフリー対応の「ものづくり」に積極的に取り組むこととしており、2009年6月、新たに代表取締役社長名にて制定された「東洋電機グループ環境方針」（右ページ）として引き継がれ、現在に至る。

環境マネジメントの推進と環境への取り組み

当社では、環境マネジメントシステムによる環境活動の推進において、地球環境負荷および環境リスクの低減を目的とした省エネ、廃棄物削減などの活動を、横浜製作所を中心とした生産拠点

で実施している。省エネについては2005年以降、政府が主導するCO₂削減の啓発活動「チーム・マイナス6%」、「チャレンジ25キャンペーン」の目標に準じた活動として捉え、主要生産拠点である横浜製作所の環境パフォーマンスの他、当社の環境活動を対外的に発信すべく、当時の「企業価値向上CFT（後のCSR-CFT）」（CFT:Cross Functional Team）のテーマとしても取り上げてきた。当時、当社のホームページはまだ導入初期の形態であったが、CSR活動の一環として「環境への取り組み」を新たなメニューに加え、右記の環境方針を示した。具体的な取り組みとしては、「地球にやさしい製品・システムの提供」、「地球温暖化防止」、「廃棄物削減」を3本の柱に掲げた。

その後、ホームページの全面的リニューアルに合わせ、当社の新たな環境への取り組みについて公表し、現在に至っている。

省エネへの取り組みの一環としては、2012年7月に横浜製作所工場棟の屋根に500kWの太陽光発電設備を設置し、製作所での使用電力の一部を賄っている。第155期（2015年6月～2016年5月）の発電量は約62万kWhで、横浜製作所の総使用電力量約680万kWhの9.1%に相当する。

その他、地域貢献では2014年5月より横浜製作所に隣接する企業と共同で、毎月1回、敷地周辺の清掃活動を実施している。今後は滋賀竜王製作所での取り組みも積極的に発信していく。

ISO14001の2015年改訂と当社の取り組み

2015年10月、ISO9001とともにISO14001の大幅な規格改訂（2015年版改訂）が行われた。ISO14001（2015）改訂の重要ポイントは、①環境の保護 ②戦略的な環境マネジメント ③トップのリーダーシップの役割強化 ④環境パフォーマンス重視 ⑤ライフサイクル指向 ⑥環境コミュニケーション戦略の確立と実施 である。

当社は別記の品質マネジメントシステムと併せた移行計画を実行し、2017年4月、2015年版の環境マネジメントシステムへの移行を果たした。

当社では、本業の事業活動における品質マネジメントシステムへの理解は定着しているが、環境マネジメントシステムへの理解には温度差がある。2015年規格改訂はそれを改善する契機であり、2つの移行したマネジメントシステムを両輪として品質および環境活動を事業活動と一体化させていくための継続的な取り組みが、今後の課題である。

東洋電機グループ環境方針

〈環境理念〉

東洋電機グループは地球環境保全への取り組みを重要課題に掲げ、持続可能な社会の発展に貢献する。

〈行動指針〉

「地球と人にやさしい未来技術」により、地球環境への負荷に配慮した製品およびサービスに提供していく。

1. 環境に関する法規制などの要求事項を遵守する。
2. 製品の企画・開発・設計・製造・販売・使用および廃棄のすべてのライフサイクル段階でエネルギー消費の削減など、環境負荷の低減に努める。
3. 地球環境保全活動を継続して推進するシステムを確立し、実行する。
4. グループ内の啓発を通して、一人ひとりの意識向上を図る。



社会・環境システム事業部京都テクノセンターが取得したISO14001認証（2001年2月）



ISO14001認証（2017年）

わが社の 基幹 システム の変遷

当社の基幹システムの創成期から拡大期

当社が最初に電子計算機を導入したのは1963(昭和38)年、自社で開発したTSC101(東洋電機製造科学技術用自動計数型電子計算機十進法一号機)である。完成披露会には社長も出席し、盛大に執り行なわれたことが当時の社内報(1963年5月発行 111号)に掲載されている。

次に、当社が汎用コンピュータ(汎用機)を導入したのは1970年、IBM1130(IBM社が1965年に発表した科学計算用小型コンピュータ)を研究開発部門に採用した。このコンピュータは技術計算に活用し、業務効率が飛躍的に向上した。

基幹システム用としては、1975年にIBM370/115を導入し、販売管理と資材買掛金管理をシステム化させた。その後、基幹システムを管理・運営するDPセンターにおいて、使用機種をIBM4331(1979年)、IBM4341-09(1983年)、IBM4381(1987年)へと更新し、同時に1980年ごろからは販売管理システムのオンライン処理のサービスも開始した。

生産管理システムでは、1981年から1984年にNEC(日本電気)のMS120(N4700)を導入し、横浜工場、戸塚工場、相模工場、京都工場で採用した。1970年代には国産コンピュータの性能が高まり、当社でもIBMからの国産へと移行することとなった。

1985年、横浜工場において当社とNECの共同開発で構築された生産管理システム「TOPPS(Toyo denki Product Planning System)」がサービスを開始し、また相模工場の生産管理システムはN-TOPPSとして、1992(平成4)年にリニューアルした。

汎用機からサーバーへの変革期

1997年には、IBM4381汎用機で運用していた自社開発の販売管理システム「TOS(Toyo denki Office System)」を、サーバーで運用すべくプログラムの書き換えを実施、TOS21として運用を開始した。これによって、IBM汎用コンピュータを全廃し、サーバーでの運用開始と相まって基幹システムの大変革期が訪れた。また、西暦2000年問題への対応のため、人事、給与、会計システムにおいても1999年までにサーバーでの運用に変更した。

続いて2001年には、生産管理システムをパッケージソフトIFS(Industrial and Financial Systems)へと更新した。IFSとは、スウェーデンのIFS社が開発したERP(Enterprise Resource

Planning)、すなわち「統合基幹業務システム」で、日本ではNECが代理店となって販売展開していた。当社では、この更新によって横浜工場と相模工場の生産管理システムを一本化することとなった。

ここに至って、基幹システム導入時から利用してきた汎用コンピュータは全廃、すべてサーバーでの運用とし、これによってコンピュータの保守・管理コストを大幅に低減することができた。サーバーによる運用は、基幹システムに関わる社会の動きに追従する形で、大規模なシステム開発時にも開発要員を確保しやすいなど、そのメリットはコスト低減だけに留まらなかった。

新基幹システムの導入の経緯

当社は、2011年11月より「業務改善プロジェクト」への取り組みを進めたが、個々の改善だけでは抜本的な課題解決は困難であると判断した。そこで、2013年6月よりこれを「基幹業務システム検討プロジェクト」へと切り替え、検討を進めることとした。

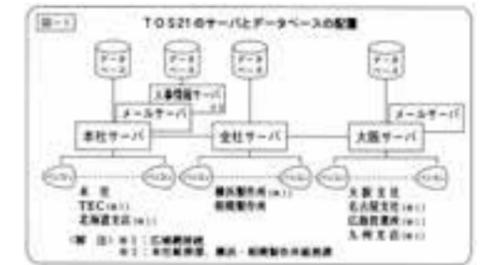
従来の基幹システムは、サーバーでの運用においてもTOS(営業情報管理システム)・IFS(生産管理システム)・財務会計システムなど、各業務単位で独立したシステム構成となっていた。そのため、各システム形態がパッケージか自社開発かによって個々の仕様が異なり、業務フローが標準化ができないなど、さまざまな問題を抱えていた。

これらを見過ぐすと、意図しない不正取引や虚偽報告の発生リスクが高まり、監査法人からの適正意見取得に懸念が生じたり、当社が目指すグローバル化への対応に障害が出る恐れがあった。そこで、新たに営業情報と生産管理を一体化した統合基幹業務パッケージソフト(ERP)を導入し、業務の効率化や可視化を図ることとした。導入するERPは「GRANDIT」、「SAP」、「IFS」の3種から比較検討した結果、最終的にはすでに生産管理システムで導入していたIFSの採用を決め、2014年3月に機関決定した。

社内体制とNECとの協業

2014年4月には、NECとの協業で基幹システム再構築プロジェクトが立ち上げられた。当社の体制は、プロジェクトの重要性から寺島社長がプロジェクトオーナーとなり、プロジェクトリーダーとして任命された専任者が指揮を執る形でスタートした。

NEC側は、開発部門からプロジェクトリーダーと、コンサルティング事業部からもプロジェクトに参画する体制で検討を進めた。そして2014年11月、経営企画部内に専任メンバーで構成される「基



TOS21のサーバとデータベースの配置
(1996年の社内説明資料)



TSC101(1963年)



DPセンターの様子(1984年)

幹システム再構築プロジェクトチーム」を設置し、プロジェクトリーダー以下、4人体制で始動することとなった。

スケジュールは、以下のとおりである。

基本設計	2014年 4月～2014年 9月
詳細設計	2014年10月～2015年 4月
仕様作成	2015年 5月～2015年 7月
開発	2015年 8月～2016年 1月
仕様確認と再開発	2016年 2月～2016年10月
総合テスト	2016年11月～2017年 1月
ユーザ教育・ユーザテスト	2017年 2月～2017年 5月
運用開始	2017年 6月

開発ソフトは、予定通り2016年2月に納品されたが、残念ながらその品質は当社の期待に沿うものではなく、総合テストに入れる状態になかった。そのため、スケジュールを見直し、仕様の再確認とソフトの再開発を実施することとした。さらに、総合テスト期間も延期し、運用開始は当初の計画から8カ月遅れとなった。NEC側では、この時点でプロジェクトリーダーが交代し、体制一新を図って開発を進めた。その結果、見直し後のスケジュール通り、2017年6月に新基幹システムへと移行することができた。

想定される新基幹システムの導入効果は以下のとおりである。

1. システム統合 (TOS・IFS・原価計算) によるデータ処理の一元化
 - ①システム間でのデータ受渡処理がなくなったことによりリアルタイムな更新が可能となり、業務効率のスピード化を実現
2. データ管理単位の細分化
 - ①モノとデータの一致が可能となり、進捗管理の精度向上を実現
 - ②原価の集計単位を細分化したことにより原価管理の精度が向上
3. 業務フローの見直し
 - ①マニュアル処理の自動化や業務ルールの標準化により属人的管理から脱却
 - ②決算の早期化を実現

2017年6月6日のリリースを迎えて

新基幹システムは、社内ユーザ部門の協力の下、157期の期初にあたる2017年6月1日よりデータ移行を開始し、同年6月6日から本格稼働を開始した。

データ移行自体に大きな問題が生じなかったことは、結果として当社とNECとの共同作業が成功したことを意味する。本プロジェクトは3年を超える長期プロジェクトであり、ユーザ部門の人事異動による担当者の交代などを経て、多くの障害を乗り越えながらも

無事成し遂げることができたのは、トップの支援とユーザ部門の協力の賜物である。その一方で、プロジェクトを通しての反省点とその後の課題についても挙げておきたい。

1. 開発期間の延長について

当初の予定より8カ月の期間延長となった主な原因は、規模の拡大にもかかわらず、スケジュールありきで開発を進め、各工程でやるべきことができていなかった点にある。全体を俯瞰し、現状に応じた要員やスケジュールの見直しが必要であった。

2. 基本設計・詳細設計、総合テストやリリース時のユーザ部門の体制について

ユーザ部門にはキーマンを置き、メンバーとともに設計・テストを進めていた。しかし長期プロジェクトであったため、担当者の異動などに伴うキーマンの交代など、過去の経緯が正しく引き継がれていない場合もあり、総合テストやリリース時に混乱を引き起こす要因となった。

3. 移行データの作製について

新システム導入に際して最も難易度が高かったのは、旧システムから新システムへの移行データの作成であった。新システムでは管理単位が細くなるため、移行データは複数のデータから複数のデータを作り出さなければならない。しかも、旧システムのデータが完全ではなかったこともあり、移行データの作製に時間を要した。

しかし、これは当初より想定されていたことであり、当社・NECともにスキルの高い要員を配して乗り切ったが、移行データでのテストが不十分であったため、移行後の不具合の発生原因となった。

今後の基幹システムのあり方

新基幹システム導入にあたっては、大規模な開発であったことから、導入後にソフト・ハード両面でのトラブルがしばらくは発生するものと予想された。この対応を迅速に行い、システムを安定稼働させ、システム統合 (TOS・IFS・原価計算) によるデータ処理の一元化というメリットを生かし、業務速度の向上や決算の早期化を図っていくべく、継続して社内体制を整備し、より使い勝手の良いシステムへと改良していく必要がある。

また、業務のあるべき姿を精査した上で変革の方向性を検討し、システムとしての実現化、さらにIT技術の進歩とともに新たなITと融合し、生産性の向上、品質向上、工程管理などに活かしていくことで、より一層の業務効率の向上を図っていかなければならない。

日本電産 による 資本・業務提携 (TOB) 提案について

TOB提案に至るまで ～経営改革から海外展開へ～

当社は、1992（平成4）年のバブル崩壊以降2000年まで8年連続で赤字が続いていた。1997年に山一証券が破綻し、1998年には日本債券信用銀行・長期信用銀行が実質的に破綻するなど、金融不安が急速に高まる中、当社の主力銀行である三和銀行（現 三菱UFJ銀行）から、2000年以降に「用意したシナリオに沿って経営改革をキチンと仕上げしてほしい」との強い要請を受けた。

2001年から2年にかけて、同行より幹部社員2名が派遣され、当時の甲斐邦朗社長陣頭指揮のもと、早期黒字化を目指して経営改革に着手した。両名を経営改革の事務局とし、主力・準主力銀行の支援やアドバイスを受けつつ、工場の再編や遊休不動産、ゴルフ会員権の資金化を進め、その他の金融機関にも金融支援を要請し、鋼材・デバイスメーカーには主要素材・部品供給を依頼するとともに、社内では懸命なコスト削減に努めた。

その結果、2002年に営業利益が黒字化し、2003年には経常利益・当期利益ともに黒字化を達成することができた。こうして、海外展開などの事業戦略や財務体質の強化への取り組みに本格的な体制を築くことができたのは幸いであった。この時期、中国では高速鉄道網や地下鉄などの都市交通網の整備を計画しており、甲斐社長の「この機会を逃さないように」との言葉のもと、社内体制を整え、中国展開と同時に米国展開に向けても本格的に始動した。

経営改革の果実、すなわち資産売却や黒字化によって得られた資金を活用し、2003年に湖南湘電東洋電気有限公司を、2006年には常州朗銳東洋伝動技術有限公司を、それぞれ合弁会社として設立した。設立当初は苦労の連続であったが、経営陣の粘り強さと交通事業部の努力によって2008年には2社ともに黒字化し、ようやく軌道に乗せることができた。2008年に開催された北京オリンピックにおいても、多くの電機品納入業者がある中で外国企業として唯一、北京市から表彰を受けたことは実に印象深い出来事であった。

日本電産からTOB提案を受けるまで

一方で2006年ごろから、投資ファンドなどのいわゆる“物言う株主”による敵対的買収や株主提案などが市場を賑わすようになっていた。

当社においても、2008年春先から、証券代行業を委託する三菱UFJ信託銀行、幹事証券である野村証券と協議し、同年7月に「買収防衛策」の導入を決め、8月26日の定時株主総会で了承、これを決

定した。

しかし株主総会后、当社の産業事業の受注額は計画からかけ離れ、株式や為替にも変動をきたしつつあったこの時期、事業環境の見直しを始めた矢先の9月16日早朝、日本電産より当社宛てに連絡が入った。それは「本日、日本電産は記者会見を開き、東洋電機製造にTOB提案することを発表する。」といった主旨の内容であった。

初めての電話で「夕刻に記者会見をするので会見内容について相談したい」とは極めて拙速すぎる要求ではあったが、当社は直ちに顧問弁護士、幹事証券の野村証券、主力銀行等に連絡し、知見あるメンバーに参集いただいて対応を協議せざるを得ない状況となった。

当社では、当時の大澤輝之社長をヘッドに、田中専務、寺島常務を中心とする実務対応のプロジェクトチームを編成し、顧問弁護士、野村証券とも協議しながら本件に臨むこととした。

TOB提案からの3カ月間の攻防

日本電産からのTOB提案は、あくまでも当社が導入した買収防衛策に則った「提案」であり、すぐにTOBが実施される状況にはなかった。そこで、8月26日の株主総会で決議・導入した買収防衛策に則り、当社は日本電産に対して質問状を送付した。

企業価値・株主共同の利益の確保・向上の観点から、複数回にわたり日本電産に情報提供を要請したが満足いく回答は得られず、当社にとってTOB提案がメリットとなるのかどうか不明瞭であった。その後、両社で面談を実施し、TOB提案を精査した結果、さらなる情報提供は行わず、取締役会による次のステップとなる買収提案の評価を開始することとした。ところが、日本電産は同社が設定した買収提案の有効期限（12月15日）を迎えると、提案そのものを延長せず、新たな提案は行わないと表明し、実質的にTOB提案を撤回した。

以下に3カ月間の概要を列挙する。

- 9月30日 当社から第1回目の質問状を提出。質問は計81問
- 10月10日 日本電産から回答書が返送。返送と同時に内容を分析
- 10月24日 第2回目の質問状を提出。絞り込んだ質問は計55問
- 11月 5日 日本電産による追加回答。取締役会・従業員・労働組合・独立委員会との直接対話を希望
- 11月17日 第3回目の質問状を提出。質問は計20問
- 11月25日 日本電産による追加回答
- 12月 5日 当社・独立委員会・日本電産との3者面談を実施
- 12月 8日 東洋電機労働組合による反対意思表明
- 12月11日 当社・日本電産による面談を実施



日本電産によるTOB提案を伝える新聞記事
(2008年9月17日 日本経済新聞)



日本電産の買収断念を伝える新聞記事
(2008年12月16日 日本経済新聞)

12月15日 情報提供完了通知を実施。取締役会評価期間を開始
12月15日 買収提案の期限。日本電産が提案を延長しないこと、
新たな提案を行わないことを公表

株主の構成

当時の株主構成は以下のとおりであり、日本電産のTOB提案に応じる可能性のある株主も相当程度存在したと思われる。当社は、経営改革に向けて懸命に取り組み、成果を上げつつある一方で、資本政策がおろそかであったとも言えよう。

＜当時の株主構成＞

- | | |
|---------------|---------------|
| ①機関投資家:12.1% | ④取引先等法人:12.6% |
| ②外国法人: 2.5% | ⑤個人:51.6% |
| ③取引金融機関:16.8% | ⑥自己株式: 4.4% |

マスコミへの対応

日本電産によるTOB提案は、事業会社による事業会社への提案であり、かつ買収提案価格も当時の株価の約2倍という高価格であったことなどからマスコミ各社は、「日本電産が是であって、東洋は応諾するのが当然」との論調が目立った感もある。特に当初はそうであった。

日本電産のマスコミを使つての世論を醸成する巧みさにも感心させられた。野村證券からは、「感心していないで、PRのコンサルタントに依頼して対策をとった方がよい」との要請を受けたが、両社のカルチャーには大きな隔たりがあり、苦勞を要した。なかには当社サイドに立って応援してくれる人もいたが、マスコミが記事に取り上げるまでには至らなかった。

その後、当時の寺島常務の提案で実施された技術面談によって、日本電産を取り巻くモノづくりカルチャーと鉄道業界との違いを知り、この点を訴求することによって、当社サイドの意見も少しずつマスコミに取り上げられるようになった。

TOB提案3カ月間の攻防を振り返って

TOB提案をめぐる3カ月間を一言で表現すると、「社長を中心とする執行役員も含む経営陣の団結がなければどうなる展開になっていたか計り知れず」。当時の労働組合にも不安が広がっていたことは想像にかたくない。

さらに、このときほど「お客様の有り難さ」を実感し、認識を新たにした経験はない。日本電産から当社顧客へのアプローチもあつ

たようであるが、憶測の域を出ないが、結果として賛意は得られなかったようである。

労働組合では独自に情報収集し、日本電産が買収した企業とのヒアリングを行った。その結果、日本電産の関係会社からは買収後の従業員満足度などの説明があったようだが、当社の労働組合を得心・賛同させることはできず、労働組合は12月にTOB反対の決議を発表した。

まとめ

日本電産によるTOB提案のさなかにあった2008年9月、歴史に残る出来事「リーマンショック」が発生し、日を追うごとに世界経済に与える影響は深刻度を増し、日本電産もTOBへのプライオリティが低下したのではないだろうか。それが12月15日の終結宣言につながったとも考えられる。

一方、当社では日本電産がTOB提案を撤回する結末もあり得ることを想定しつつも、企業経営としては買収防衛策のシナリオに沿った準備を前提とし、最終的には株主総会へ結着がもち込まれることも覚悟し、12月15日を迎えることとなった。

3カ月の攻防の間には、株主である機関投資家や取引先、市場の中核を担う証券会社、法律専門家、主要取引先、さらには同業他者など、さまざまな立場の方からの実に有意義な意見を頂戴した。深く感謝するとともに、本件は今も経営企画部内に記録が留められている。

この時の貴重な意見が、後の他社との資本・業務提携につながり、あるいは株主構成の再構築にもつながっており、当社にとっての貴重な財産となっている。昨今のコーポレートガバナンス・コード対応など、資本政策に関わる意思決定案を起案する際には経営企画部内のこの記録を読み返し、以下を自問している。

- ・会社とは何か
- ・会社は誰のものか
- ・会社のガバナンスはいかにあるべきか
- ・企業価値の絶え間ない拡大についていかにあるべきか

日本電産 による買収 提案および 東洋電機製造 の対応に 関する評価

買収防衛策に則った買収提案

2008（平成20）年7月に東洋電機製造は、「当社株券等の大規模買付行為に関する対応策の導入」を公表、いわゆる「買収防衛策」を導入した。2008年当時、買収防衛策を導入することは珍しいことではなく、500社を超える企業が導入していた。東洋電機製造が導入した買収防衛策は一般的な内容の買収防衛策であり、過度な防衛を目的とはしていない。独立委員会を設置し、第三者の目でチェックできる体制である。

日本電産は「東洋電機製造が設定したルールに沿って買収提案をした」と主張しており、買収防衛策を導入している以上、ルールに則って買収提案が突然なされることを東洋電機製造は意識し、覚悟しておく必要があった。ただし、「事前交渉のない買収提案」であったことは事実である。ルールに沿って突然買収提案がなされたら、ほとんどの企業が「突然、買収を提案された」と動揺するであろうし、事前に友好的なアプローチがあると考えている経営者が多いであろう。

しかし「買収防衛策を導入することはある意味、常に買収提案を受け入れる用意があると宣言するのに等しいとも考えられよう。本件は、防衛策の本質が問われる契機となるのかもしれない。」などの意見もあり、やはり覚悟は必要であった。

日本電産の買収提案に対する評価

日本電産による買収提案の特筆すべき点は、買収価格である。東洋電機製造の2008年9月12日の株価終値305円に対して、108.2%のプレミアムを付した635円で買収を提案した。買収価格は市場株価のほぼ倍であり、「非常に高い価格での買収提案」と株式市場関係者やマスメディアは評価した。買収提案後の東洋電機製造の株価は急騰した。株価が割安であったことから買収されやすい状況であったと言え、東洋電機製造の経営陣は反省すべき点である。買収価格の高さを考えると「東洋電機製造は日本電産の買収提案を断れないだろうし、断る理由は考えにくい」と株式市場関係者は見なしていただろう。買収価格に加えて、買収者が日本電産であることを考えると、買収防衛策を発動することなどは考えにくかったと思われる。

東洋経済の報道によると「日本電産はM&A戦略を積極的に活用し家電や事務機、車載用など事業の範囲を拡大してきたが、当時成

功させてきた27件ものM&A案件すべてを友好的に実施してきた。永守社長が買収先企業の経営者と粘り強く事前交渉を行い、その結果相手の合意を得たうえでM&Aの公表をしてきた。」とのことである。東洋電機製造に対して事前の交渉なしに買収提案を行った事実は、これまでの日本電産のM&Aのやり方とは異なったアプローチであった。

東洋電機製造の対応に関する評価

日本電産からの買収提案が実施されてから、東洋電機製造は日本電産に対して3度の情報提供を要請した。この行為自体は買収防衛策のルールに則ったものである。しかし、三度にわたる質問書の送付や質問書の内容に対して、株式市場関係者やマスメディアからは「時間稼ぎではないか」「質問の内容が細かすぎる」などの厳しい批判がなされた。買収価格を考えると、東洋電機製造に買収提案を断る理由はないと考えられていたのであろうし、細かい質問のやり取りが「東洋電機製造は買収提案を断る前提で対応している」と見えたのかもしれない。また、日本電産の永守社長は買収提案撤回後のインタビューにおいて「経営陣がルールを理解していたのか、きちんとルールを運用していたのかには疑問を感じる」と指摘した。東洋電機製造の対応に関しては、評価が分かれるところである。企業価値・株主共同の利益を確保するという観点から、日本電産に対してさまざまな質問を行い、買収提案に対する評価を行わなければならない。一方で、買収提案に応じるかどうかは最終的には株主が判断することであり、従業員や取引先などの不安を理由に、いたずらに時間をかけるべきではないという考え方もある。

買収防衛策を導入していた東洋電機製造においては、非常に難しい判断を要する局面であった。株主だけのことを考えれば、買収価格を議論すればよい。しかし、東洋電機製造を取り巻くステークホルダーは株主だけではない。取引先、従業員、地域社会など、さまざまである。雇用を継続してもらえるのか、ワーク・ライフ・バランスはどうなるのか、安定的かつ高品質な製品を供給してもらえるのかなど、さまざまな不安があるだろう。

日本電産は「買収提案の検討ルール」に従って、事前交渉は不要と判断したのかもしれないが、ほとんどの日本企業は長きにわたって独立した経営を継続し、独自の企業文化を持っている。東洋電機製造による情報提供要請は複数回にわたり、かつ内容も細かかった。時間稼ぎに見えてしまう質問もあったのだろう。それは独自の企業文化を理解し、中長期的に一緒に経営していける相手なのかを見極めるためには必要不可欠な手続きであるものの、東洋電機製造は断ることを前提に質問していると世間からは思われてしまったのだら



日本電産からの提案書（2008年9月16日）



買収防衛策の導入に関するプレスリリース（一部）
（2008年7月14日）

う。この点は、株式市場関係者などに理解してもらえる質問内容や方法を考えるべきだったとも言える。

日本電産による買収提案の撤回とその後の株価推移

日本電産による買収提案の有効期限は、2008年12月15日までであった。東洋電機製造は2008年12月15日に情報提供完了通知を実施し、買収提案に対する取締役会評価期間を2008年12月15日から2009年2月13日までの60日間と設定した。しかし日本電産は同日、有効期限満了に伴う買収提案の失効を公表した。理由は、買収提案の有効期間である3カ月間は十分な検討期間であったこと、東洋電機製造は企業価値、ひいては株主共同の利益の確保・向上の観点から買収提案の検討に実質的に着手していないこと、これまでの東洋電機製造の対応を総合的に見て、今後両社が東洋電機製造の企業価値向上に向けた真摯かつ継続的な交渉を積み重ねていくための共通認識に至る可能性は極めて低いものと判断せざるを得ないこと、であった。

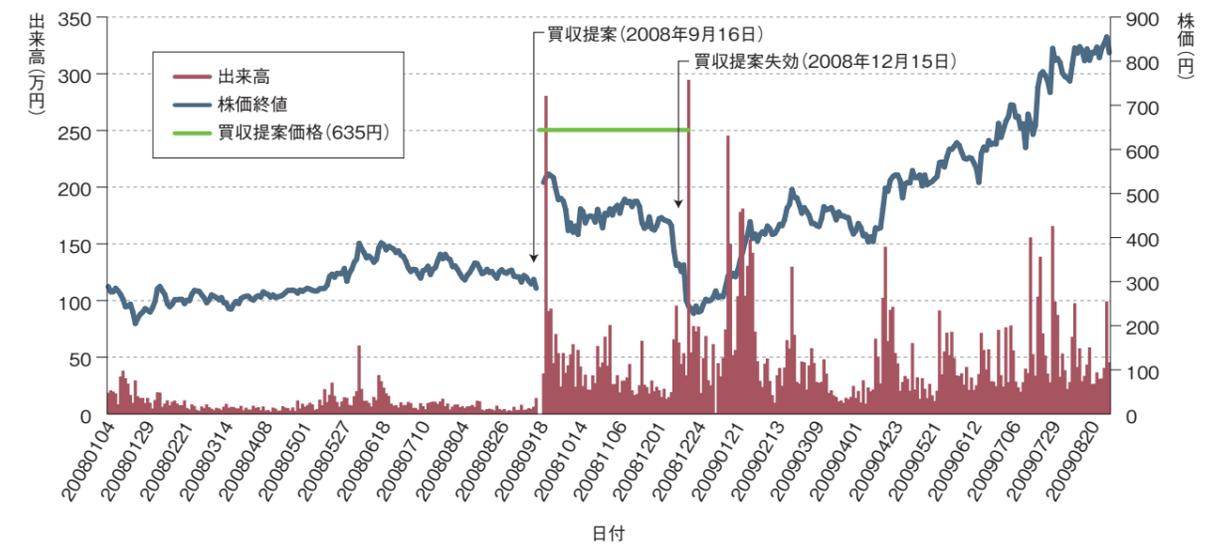
日本電産の永守社長は会見で、「質問状に対してもすべて誠実に答えてきたが、これ以上話しても日本電産の企業価値を損なうだけだと判断した。買収拒否ありきの姿勢を見せる東洋電機製造の経営者とは一緒にやっていけないと感じた。東洋電機製造の経営陣がルールを正しく運用しようとする認識があったかは疑問だ。事前交渉なしに買収提案してきたと言っているが、ルールがあるから提案した。質問にも真摯に答えてきた。」と説明した。東洋電機製造の買収提案への対応については、永守社長のような見方があるのは事実である。東洋電機製造の一部の株主も、635円で株式を売却するチャンスを失ったのであるから、東洋電機製造の経営陣を責める声もあった。

一方で、上記の日本電産による買収提案の撤回理由が真の撤回理由なのかという声もあった。なぜならば、2008年12月19日に日本電産は業績予想の下方修正と富士電機ホールディングスとの資本提携を見送り、また2009年1月10日にはグループ社員の賃金カットを公表したのである。2011年3月の東洋経済のインタビュー記事を抜粋すると、「ところが、08年、その永守がどん底にたたき落とされた。『アカン。会社が潰れるかもしれない』。リーマンショックの勃発である。景気の変動をモロに受ける情報機器向けのモーターを主力としているだけに、インパクトは強烈だった。『売上高がドーンと半分になった。計算すると、毎月100億円の赤字が出る。3年ぐらいはこの状態が続くかもしれない。このままでは、アウト。36年間やってきた会社が、ついにパーや』とある。あくまで想像

であるが、買収提案を撤回したのは、リーマンショックにより東洋電機製造の買収まで手が回らなくなったからではなかろうか。なお、日本電産の買収提案撤回後、東洋電機製造の株価は急落した。日本電産によるTOBを株式市場は期待していたのであるから、当然の結果であろう。一時は、買収提案前の株価を下回ったが、株式市場が「時間稼ぎをして買収提案を拒絶した東洋電機製造の経営陣は信頼できない」と見なしたと厳しい見方をすることもできる。もしこれで株価が下落したままの状態であれば、東洋電機製造の経営陣は株主から厳しく批判されたことであろう。しかし、その後、東洋電機製造の株価は上昇した。これは、中国からの受注が増加したことを株式市場が評価した結果と想定される。東洋電機製造の株価は日本電産の買収提案価格を大きく超えて上昇したことから、結果的には株主は日本電産の買収提案に応じるよりもメリットを享受できたとも言える。

日本電産の買収提案に対する東洋電機製造の対応については賛否両論があることは事実である。企業にとって最も重要なことは、買収者に狙われないよう業績を拡大させ、株価を上昇させることである。

■ 当社株価・出来高の推移 (2008年1月～2009年8月)



海を渡ったシガーボックス

～初代社長・渡邊嘉一からの贈り物～



シガーボックス



(和訳)
1918年の
東洋電機製造株式会社の
創立を記念して
渡邊嘉一博士より
W. Rutherford殿へ贈る

裏面のメッセージ

英国からの突然の便り

2016(平成26)年8月末、当社に英国から1通のEメールが届いた。そのメールには、当社が技術提携を受けた英国のディッカー社の役員 Walter Rutherford氏に、当社設立の記念として初代社長の渡邊嘉一が贈った銀製のシガーボックス(葉巻入れ)の写真が添付されており、当社の創立100周年にあたり、そのシガーボックスを貸し出してもよいという申し出であった。

送られてきた写真の1枚に、シガーボックスの裏側のメッセージを読み取れるものがあり、そこには確かに「Dr. Kaichi Watanabe」の名前や当社名が見て取れた。

メールのやりとりを重ねるうちに、差出人のCharles Oglethorpe氏とその令嬢のAlexandraさんは日本の文化や産業遺産に造詣が深く、英国のアンティークショップなどで日本に関連する工芸品の類を収集するうち、偶然にも今回のシガーボックスを手に入れるに至った経緯を知ることができた。

2017年11月、Oglethorpe一家はこのシガーボックスを携えて来日し、東京・八重洲の当社本社にて寺島社長と面会した。その際お預かりしたシガーボックスは、2018年5月16日に東京・日比谷の帝国ホテル東京にて開催された創立100周年記念祝賀会の会場に、当社創立の由来とともに展示され、多くの来場者の関心を引いた。



Oglethorpe一家との面会(2017年11月)

100年の時を越えて

シガーボックスは、箱の本体は純銀製で、内部に木製の内貼りがなされ、蓋には柴を背負って歩く人物とともに、金工師「竹田竹義」の銘がある。裏面には「宮本造」の刻印があるが、これは現在も東京・銀座で銀製品を扱う宮内庁御用達「宮本商行」の製品であることの証であった。

明治時代以降、日本も海外との交流が増えるにつれて、このシガーボックスのように技巧を凝らした贈答品が数多く製造されたようである。渡邊社長もディッカー社の取締役のために、名入りの贈答品を宮本商行であつらえたのであろう。



蓋部分

100年の時を越えて、偶然にも日本に一時里帰りしたシガーボックスは、今の当社を、そして今の日本の姿を、どう眺めるであろうか。

わが国における 電気鉄道 車両 制御装置 の発達

鉄道の始まりと鉄道馬車

鉄道の始まりは紀元前後、道路に切石を敷いた馬車軌道がすでにギリシャやローマ帝国で用いられていた。その後、1500年代半ばに入ると木製の軌道が登場する。1793(寛政5)年には英国でL型の鑄鉄レールが使われ始め、鉱山などでは強度が高く路面抵抗の少ない鉄製レールの上を人力、あるいは馬力で牽引するのが一般的であった。1820(文政3)年には耐久性のある錬鉄レールが主流となるが、これに先立つ1807(文化4)年、英国ウェールズ地方で道路面を利用した馬車鉄道が登場した。この馬車鉄道はヨーロッパの各都市に広がるとともに、米国では1832(天保3)年、ニューヨークを皮切りに1870年代後半には全米の大都市に普及していった。

日本で初めて鉄道が開業したのは1872(明治5)年、「新橋～横浜間」を蒸気機関車で牽引した旅客鉄道であることは広く知られているが、首都圏の鉄道網は1882年に東京馬車鉄道による「新橋～日本橋」の開業に始まり、最盛期には2,000頭以上の馬と300両の車両が運行していた。

馬車鉄道最盛期の1911(明治44)年には、日本全国で41社が運営しており、宮崎県の銀鏡(しろみ)軌道は第二次大戦後の1949(昭和24)年まで存続した。

蒸気機関車が牽引する鉄道

実際には、蒸気機関車の運行が始まるよりも前、蒸気機関によるケーブルカーが世界各地で製造されていたのだが、ここでは割愛する。

世界で初めて蒸気機関車が実用化されたのは、1821(文政4)年に英国東海岸のストックトン&ダーリントン鉄道の建設時に採用された、スティーブソン(George Stephenson, 1781-1848)が開発した機関車であった。英国ではその後、人々が自動車中心の生活に移行する1930年代までの約100年間、都市を結ぶ鉄道網の拡張が続いた。ヨーロッパにおいては、フランスでは1832(天保3)年に、ドイツでは車両を英国から輸入して1935年に、ベルギーでも同じく1935年に、オランダでは1839年に、スイスでは1847(弘化4)年に、スペインでは1848(嘉永元)年に、それぞれ蒸気運転による鉄道が開通した。一方、1783(天明3)年に独立した米国では、広大な地域を結ぶ蒸気鉄道網の建設は、1830年に東海岸から始まった。1865(慶応元)年に南北戦争が終結すると西部開拓が始まり、大陸横断鉄道の先陣を切ってユニオン・パシフィック鉄道が

1869(明治2)年に全通した。その後、鉄道輸送が衰退する1930年代までは、蒸気機関車による鉄道網の拡大とサービスは堅実に推移していった。また、都市部では1871年、ニューヨーク市の高架鉄道で蒸気機関車の牽引による旅客列車の運行が始まり、1888年にはシカゴでも建設ラッシュが始まった。

わが国では、前述のとおり1872年に「新橋～横浜間」で営業を開始した官営路線が最初であるが、当時は機関車本体をはじめ多くの設備を英国から輸入していた。その後は米国からも多数輸入し、初めて国産化を達成したのは1893年の通信省鉄道庁・神戸工場と、1902年の汽車製造であった。

蒸気機関車の歴史と経緯は、本章のテーマ「電気鉄道車両制御装置」とは直接的には結び付かないが、その歴史がいかに古く長いものであるかを伝えたく、あえて紹介した。

路面電車の誕生

世界で初めて電車の走行に成功したのは1879年、ドイツのシーメンス(SIEMENS)である。ベルリンの博覧会展示場を走ったこの電車は、現在の電車や電気機関車の概念からはおよそかけ離れた、走行レール間のむき出しの第3軌条からDC150Vを集電し、直流モーターで走る2軸の機関車が3両のトロッキを牽引するもので、車輪へはむき出しのモーターから歯車で回転を伝える、極めてシンプルな構造であった。

シーメンスはその後、1881年にベルリン近郊で営業運転を始めるが、このときは馬車鉄道の車体を改造し、床下にモーターを取り付けていた。集電方法は博覧会のものと同様で、車体と車輪の間にはバネも取り付けいていたようだが、主電動機と車輪の間はワイヤーでつないでいた。おそらく、長期の実用に耐え得るものではなかったであろう。

一方、米国の海軍少尉スプレイグ(Frank Julian Sprague, 1857-1934)は、電気機械の優れた発明家でもあり、乗艦中にも数々の電気機器を創作していた。1883年、エジソン(Thomas Alva Edison, 1847-1931)の誘いを受けて海軍を辞め、エジソンの研究所に参加するが、翌年、電気鉄道システムの開発に専念するため研究所を辞め、スプレイグ電気鉄道・モーター会社(Sprague Electric Railway & Motor Co.)を設立した。そこからわずか5年で、スプレイグは直接制御から総括制御までの、今日の電気鉄道の給電・集電・駆動・制御技術の基礎を、ほぼ完成の域にまで引き上げたといわれている。

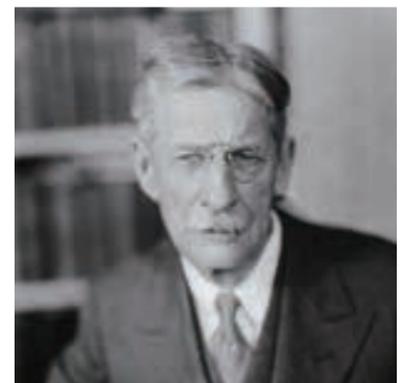
スプレイグが完成させた開発の成果は、架線からトロリー・ポールによって低圧の直流(DC500～600V)を集電する方式、車軸に



シーメンス社がベルリンの博覧会で初めて走らせた電車(1879年) (C)Siemens AG



シーメンス社が製作した世界初の営業電車(1881年) (C)Siemens AG



発明家 スプレイグ(1857年～1934年)
Courtesy of IEEE History Center

対してモータを正確な位置に支持する吊掛方式、小型で信頼性に優れた直接式制御器などであった。1887年3月、複数の実業家から電気駆動による鉄道敷設の契約を獲得し、大変な苦勞を乗り越えて、翌年1月までにバージニア州リッチモンドでの実用性の実証にこぎつけた。

スプレイグの発明は、エジソンが1889年に創立したエジソン総合電気 (Edison General Electric) が同年、丸ごと買い上げ、その後はエジソン総合電気ですべての生産が行われた。1892年、エジソンは社名をGeneral Electric Co. (GE) と変更し、GEが電車用電機品の分野で世界を一步リードすることとなった。このGEの成功によって、米国のWestinghouse Electric Co. (WH) をはじめ、ヨーロッパや日本でも、多くのメーカーが電気鉄道車両機器の開発・製作に参入した。

国内に目を転じると、スプレイグが実用的な電車用電機システムを開発してからわずか2年後の1890年5月、電気・白熱電球の普及で有名な藤岡市助 (1857-1918 日本のエジソン・電力の父と呼ばれ、1886年の東京電燈創立時の発起人の一人) が、上野公園で開催された第3回国内勸業博覧会に向けて米国・ブリル社製のスプレイグ式路面電車2両を購入し (購入元は東京電燈)、博覧会場で展示公開した。これは、架線電圧DC500V、軌間1,372mm、距離400mであったとされる。

その5年後の1895年2月1日、京都電気鉄道がわが国初の電車営業を開始した。同年4月から7月まで、京都で開かれた第4回国内勸業博覧会に合わせた開業であり、京都駅から会場までの足となった。車体は平岡工場で作られた4両で、軌間1,067mm、架線電圧DC500V、モータはGE製と三吉電機工場製が採用された。なお、三吉電機工場は、前述の藤岡市助の同郷の友人・三吉正一が興した会社で、電燈器具と発電機の製作において、わが国初の「重電」メーカーといえる企業である。

1899年には関東で最初の鉄道会社、大師電気鉄道が開通した。この電鉄は、同時にわが国初の軌間1,435mmの鉄道でもあった。このときの車載電機品は、輸入品2両の他、芝浦製作所製の試作品2両が使われる予定であったが、国産品が納期に間に合わず、前述の上野公園での博覧会に出品された米国製電車の1両を借り受け、電動車3両、付随車2両で営業を開始した。

首都では、前述の東京馬車鉄道が東京電車鉄道と改名し、1903年に「新橋～八つ山 (品川) 間」を電化した。後に同社と、1903年に開業した東京市街鉄道、1904年に開業した東京電気鉄道の3社が合併し、東京鉄道となったが、1911年に東京市がこれを買収し、東京市電が誕生した。

それから20年余りの間に、国内の50近くの都市で路面電車が走

行するようになった。路面電車は、原則として電動車の連結運転を行わないため、一か所の運転台から複数の制御装置を操作する必要がない。そのため、構造が簡単な直接制御器を用いるのが一般的であった。1914 (大正3) 年ごろまではGEとWHから、1918年までは英国のDick, Kerr & Co. (DK) から多くの直接制御器を輸入していたが、その後はGEに代わって芝浦製作所が、WHに代わって三菱電機が、DKに代わって当社が国産品を製造するようになり、1921年には日立製作所も参入した。

米国においては、市街地を自由に移動できる自動車に対抗すべく、路面電車の生き残りを賭けて1933 (昭和8) 年にPCC (President's Conference Committee) カーが開発されたが、時代の流れには逆らえず、1945年の第二次世界大戦集結に伴う不況とともに新製は中止された。

わが国でも、1953年に始まった鉄道の技術革新の波に乗り、多くの日本流PCCカーが登場した。しかし、各都市ともに交通渋滞と経営への圧迫は避けられず、1969年に大阪市で、1972年に東京都 (荒川線を除く) と横浜市で、1974年に名古屋市、1978年には京都市で路面電車は全廃となった。



PCCカー (資料提供:Pentrex Media Group, LLC)

郊外電車の誕生

郊外電車は、ある意味では最も興味深いと同時に、最も厄介な存在でもある。それは、それぞれの鉄道事業者の設立目的、発展経緯、競合路線との関係などから、各社ともに千差万別だからである。

例えば、開業当初は路面電車として出発し、乗客数の拡大につれて総括制御装置を備えた大型車の運行へと移行していった電鉄 (京阪電鉄・京王帝都電鉄・京浜急行電鉄・阪神電鉄など) と、開業当初から大型車の複数連結による高速運転を行っていた電鉄 (東武鉄道・小田急電鉄・名古屋鉄道・阪急電鉄・西鉄大牟田線など) が、その対極であろう。ここでは、大型車の運行を行うようになってからの、制御装置の供給状況について注目してみたい。

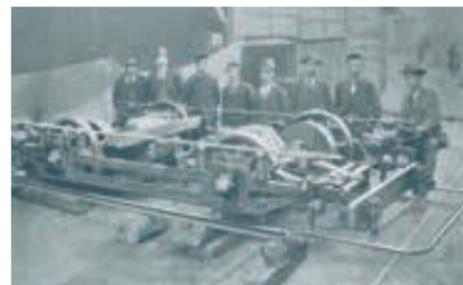
まず、首都圏では1906年に甲武鉄道を買収し、新宿からお茶の水までを延長させた鉄道院の電車には、当初GEの電磁接触器式が多用されていたが、1923年に芝浦と日立の電空カム軸式が参入した。また、京成電鉄が1921年に新造した20形車両にはGEの、1923年に新造した33形にはDKの電機品が装備されていたが、1926年に新造した100形からは当社製電機品が採用された。大型車の導入が比較的遅かった首都圏では、鉄道院を除くと輸入電機品は少なかったように思われる。関西地区では、阪急電鉄 (神戸線・宝塚線) や阪神電鉄 (本線) に多くの海外製電機品が採用されていたが、1920年代後半には大半が国産品に切り替えられた。



第3回国内勸業博覧会 (上野公園) で走った日本初の電車 (1890年 資料提供:電気の史料館)



名古屋の明治村に保存されている日本初の営業電車 (京都電気鉄道)



大師電気鉄道に納入された国産台車 (1901年 資料提供:東芝未来科学館)

地下鉄電車の誕生

世界で最初の地下鉄は1862(文久2)年、ロンドンの蒸気機関車による牽引であるが、1905年に電車方式に改められた。米国でも、ロンドン地下鉄の電化とほぼ同時期の1904年にニューヨーク地下鉄が開業した。例外的には、1898年にボストンの高架鉄道網の一部をトンネルに改造し、このトンネルは現在も地下鉄網の一部に組み込まれている。いずれにしても、欧米ではかなり早い時期から地下鉄が発達し、一方、日本で第二次世界大戦終結前までに開通した地下鉄は、1927年の東京地下鉄道と1933年の大阪市電気局だけである。そのため、東京地下鉄道が1927年から1931年に新造した30両にはGE製の電機品が装備されていたが、1934年に登場した1200形からは国産品に代わっている。片や、大阪市電気局の新造車には、当社の制御装置が東芝製主電動機とともに採用された。

その他、東京・大阪以外の都市部の地下鉄は、いずれも日本の車両用電機品が発展した1954年以降の開業となるので輸入品は使われておらず、ここでの記述は割愛する。



東京地下鉄道1200形車両
(1934年 資料提供:地下鉄博物館)

電気機関車の誕生

日本の官営鉄道が最初に採用した電気機関車は、従来の蒸気機関車に加えて、碓氷峠のアプト式区間用に1912年、ドイツのAllgemeine Elektrizitäts Gesellschaft (AEG) から購入したEC40形12両である。しかし、1919年からは国産(大宮工場製)のED40形が14両増備され、1921年に蒸気機関車は廃止された。

一方、幹線電化の先駆けとして、1922年から1928年にかけて東海道電化用電気機関車の国産化を目指し、欧米の主要メーカーから14形式56両の完成機関車を輸入した。

これらの輸入電気機関車の技術を基に、電気機関車の国産化が始まったのである。最初の機器は、日立製作所が1924年に完成させた3両(ED15)で、東海道本線などでの性能試験を経て、1925年に鉄道省の買い上げとなった。その後、しばらく間が空くが、鉄道省主導の下、全メーカーの協力体制で1928年から国産電気機関車の製作が始まり、EF52、EF10、EF53など、次々と名機が誕生した。

一方、私鉄が購入した電気機関車については目立った輸入電機品は少ないが、1924年に上信電鉄がドイツから輸入した小型機関車(デキ1~3)にはシーメンス製電機品が装備され、現在でもイベント列車を牽引しており、鉄道マニアからは「上州のシーラカンス」と呼ばれている。



EF53形電気機関車(1932年)

欧米の電気鉄道車両駆動用制御装置 メーカーの変遷

電気鉄道発祥の地であるヨーロッパでは、多くの電機メーカーが比較的安定した経営を続けていたが、1960年代に入ると大規模な企業合併が始まった。しかし、わが国への電機品輸出は1930年までに終了していたので、これら合併の日本への影響はなかった。

具体的には、ドイツのシーメンス、AEG、スイスのBrown Boveri & Cie (BBC)、英国のEnglish Electric Co. (EE)、Metropolitan Vickers Co. (MV)、British Thompson Houston (BTH)、フランスのAlsthom、イタリアのAnsaldoで、わが国の輸入品も仏伊の2社を除く上記メーカーに限られていた。

また、米国でも1911年、西海岸のロサンゼルスを中心とした電鉄会社8社が合併し、パシフィック電鉄が発足した。同社は、1920年代前半に最盛期を迎えるものの、ロサンゼルス地区の人口増加率に比べると業績は明らかに不調であった。乗客をつなぎとめるため自社路線を増やしたが、1930年代から始まった大規模な電車路線廃止は止まらず、1958年にロサンゼルス都市圏交通局が発足したことでパシフィック電鉄はその役目を終えた。

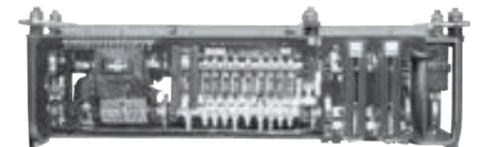
現在では、近代的な地下鉄路線と路面電車路線が共存し、1990年から順次開業を進めている。一方、東海岸では高架鉄道と地下鉄の共存を維持するため、GE、WHの2社が競合してきたが、ヨーロッパを中心とする技術革新の波に押され、WHの鉄道車両用電機品部門は1990(平成2)年、AEGに吸収合併された。

わが国の電気鉄道車両駆動用制御装置 メーカーの誕生

芝浦製作所は1909年、GEとの技術提携契約を結んでおり、電車用電機品の初機器は、1900年ごろに製作した大師電気鉄道向け試作品であった。1922年から電空カム軸式制御装置を含む電機品の供給を始め、1923年には首都圏を走る鉄道院の電車用にも納入を開始、私鉄にもGE設計による電気品の販路を広げて行った。

一方、DKからの技術導入によって発足した当社は、1919年に日本で2番目の路面電車となる名古屋電気鉄道に制御器を納入し、1921年には京成電鉄に初の制御装置を納入した。これを皮切りに、関西・中京・関東地区の電鉄各社に電動カム軸式制御装置をはじめとする電機品の供給を始め、現在の地位を確立するに至った。

また、鉱山向け電機品からスタートした日立製作所では、1921年に南海鉄道に初の直接制御器を納入し、その翌年には独自の構造による電空カム軸制御装置を鉄道省に納入した。その後は、目黒蒲



電動カム軸式制御装置 ES152-D形(1926年ごろ)

田電鉄などの私鉄にもカム軸制御装置の供給を開始した。

三菱造船の電機製作所から分離・独立した三菱電機では、1923年にWHと技術提携契約を結び、1925年ごろから直接制御器の供給を始めた。1926年に小田原急行電鉄に電機品を納入して以降、単位スイッチ式制御装置の分野では独自の地位を築いていった。

わが国で1953年から始まった近代化の波

三菱電機がWHのライセンスに基づいて製作した高規格の単位スイッチ式制御装置は、1954年に開業した帝都高速度交通営団・丸の内線に採用された。当時のWHでは、単位スイッチと、その連動接点によって自動進段させるABS方式が主流であり、営団にもこの方式が導入された。一方、GEでは当時、油圧カム軸式のPCM制御装置が主流であり、次世代用の全電気式カム軸制御器MCMの完成には1956年まで待たなければならなかった。そこで、東京芝浦電気では、PCM制御装置のカム軸機構2本を1台のパイロット・モータで駆動する新機軸のPEシリーズ制御装置を開発し、阪急1000形用と東急5000形用に納入した。こうした流れが、国内の技術革新の飛躍にもつながった。米国からの技術導入による発電ブレーキ・空気ブレーキの連動化技術（それに伴う発電ブレーキの常用）に加え、わが国での8個・12個モータの一括制御や、回生ブレーキへの適用、そして最終的には界磁添加励磁方式による究極の抵抗制御方式に到達したといえよう。

電力用大型半導体の発展と応用

1958年、GEがSCR (Silicon Controlled Rectifier:後にIECにより“サイリスタ”と呼称統一)の開発成功を発表した。これまでは、トランジスタ、集積回路(IC)等の先進技術の開発により、工学系の学生はいわゆる「弱電系統」に流れがちであったが、「強電系統」の分野にも、この開発成功が革命的な可能性をもたらしたといえる。

1962年、まずはAEGがSCRを使ったバッテリーチョップパ機関車(400V)の試験を開始した。一方、国内では、電気車の電気品にこれらの半導体を適用する研究が進められていた。具体的には、直流電動機に複巻電動機を導入し、分巻界磁回路の電流調整を行うことで力行⇔回生の2領域にわたる連続制御を行う界磁制御方式への適用を試みた。電機子回路への、有接点スイッチによって調整する抵抗器(主抵抗器)回路の適用は従来どおりとし、分巻界磁回路にチョップパ装置を設けて電流調整を行う界磁チョップパ方式としたものである。

当社では阪急電鉄2800系車に世界初の試作車を納入し、量産車

としては京王帝都3100形車に、日立は東急8000系車に適用し、三菱は小田急9000形車に納入し、これらを皮切りにメーカ各社が大手私鉄への電力回生ブレーキ適用を拡大し、制御方式の一ジャンルを確立するまでに至った。

同時に、主抵抗器に代わってチョップパ装置を導入し、連続的に主電動機の電圧を調整する電機子チョップパ制御方式の開発を進め、日立・三菱の両社は営団との共同で1966年、それぞれ力行制御と発電ブレーキ制御の現車試験を行った。当社においては1967年、わが国初の回生ブレーキの現車試験を都営地下鉄で行い、成功を取めた。こうした努力を経て、他社でも開発が進み、1970年に阪神電鉄7000形力行専用車に、1971年には営団に回生ブレーキも使えるチョップパ制御(6000系)電車が登場した。さらに1979年、国鉄201系車にも採用され、営団・公営交通・私鉄の各社へと採用が広がりを見せた。当社においては阪急電鉄2300系車に試作車として納入した自動界磁励磁(AFE)方式を量産し、1981年から東武鉄道9000系車に納入した。その後、電力半導体もサイリスタからGTO(Gate Turn Off)サイリスタへと変遷していった。

しかし、いずれにしても直流電動機を使用することに変わりはなく、整流子等、保守負担の問題や主回路スイッチ類、リアクトルなどの機器構成の複雑さによる新製時のコスト負担等々からインバータ制御方式の進歩に太刀打ちできず、最終的にチョップパ制御方式は終焉を迎えることとなった。

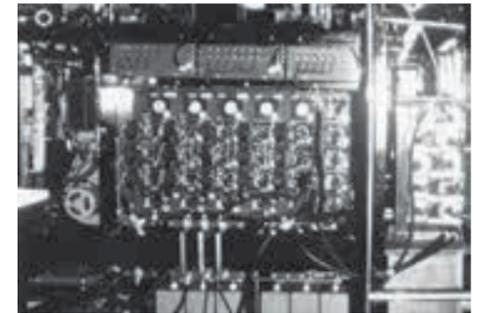
一方、1970年代以降のチョップパ制御方式の普及の陰で、究極の駆動システムとして三相誘導電動機を適用したVVVFインバータ制御方式の研究が各社によって進められていた。当時はまだ、GTOの耐圧が十分ではなかったため、逆導通サイリスタに大きな転流回路部品を組み合わせ、大型のインバータで試作・試験を行っていた。同時に、この研究には半導体分野でのもう一つの進歩として、マイクロプロセッサ(マイコン)の開発が大きな力となったことも欠かせない要素であった。すなわち、電力用半導体の発展には、その素子を動作させる制御部分の開発も不可欠である。特に、VVVFインバータ制御においては、多くの情報を高速に演算処理しなければならず、マイコンの適用が必須となる。8ビットマイコンの組み合わせから始まったこの研究は、現在も継続・進歩を続けている。

こうした経緯を背景に、1982年の熊本市交通局への路面電車用VVVFインバータシステムを皮切りに、各社がVVVFインバータシステムの納入を拡大していった。これには、マイコンの高機能化に加え、電力用半導体がGTOからIGBT(Insulated Gate Bipolar Transistor)へと大容量化・高速化・高効率化したことが挙げられる。

さらに近年では、SiC(Silicon Carbide)製のスイッチング素子も実用段階へと入り、さらなる高効率化が期待されている。



回生ブレーキの試験車両外観
(1969年 都営地下鉄1号線)



チョップパ装置(1969年 東京都交通局納入)



SiC素子適用VVVFインバータ装置を搭載した広島電鉄
3900形電車(2017年インバータ更新)

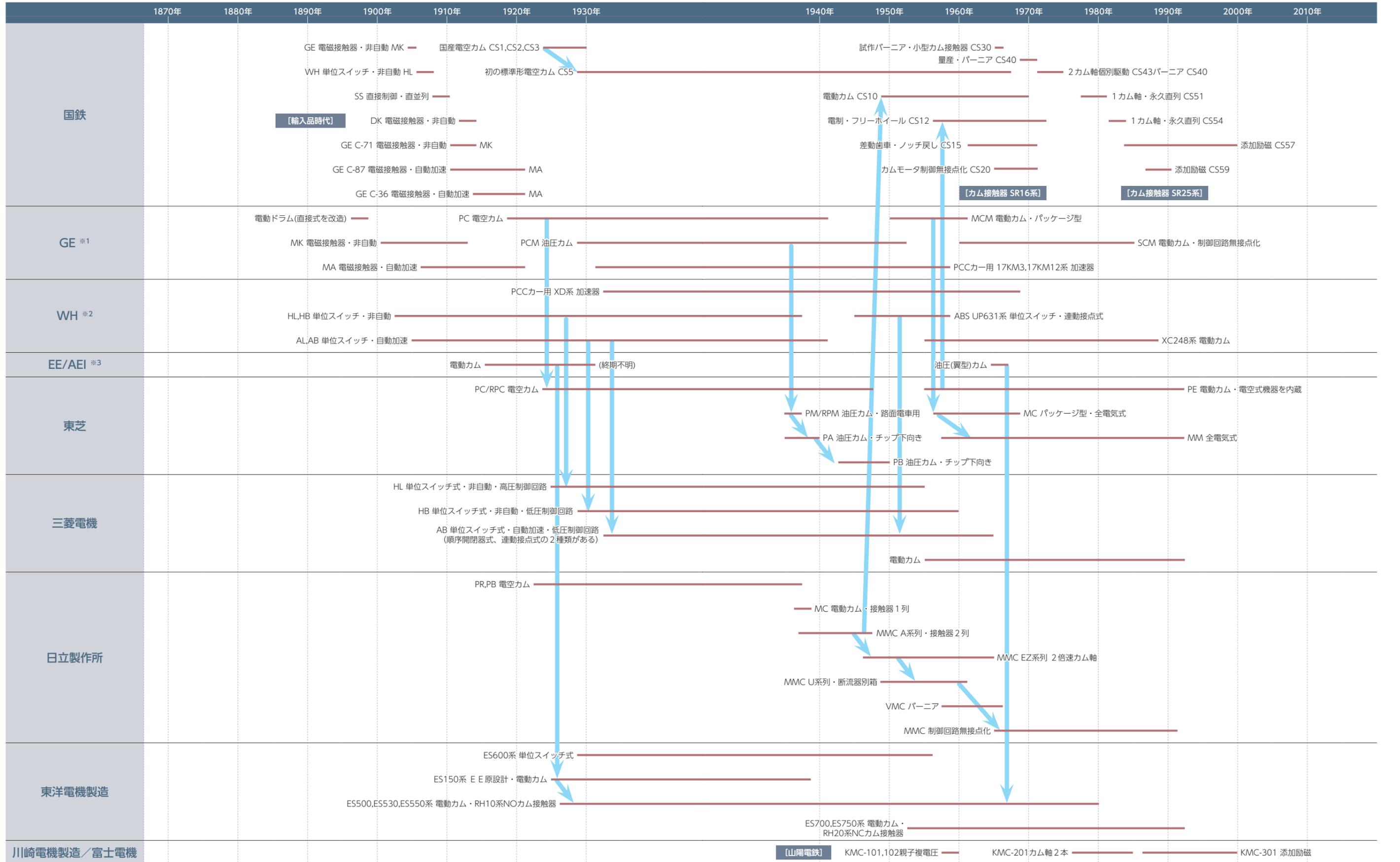


界磁チョップパ装置(1971年 京王帝都電鉄納入)

電管用主制御器の系譜

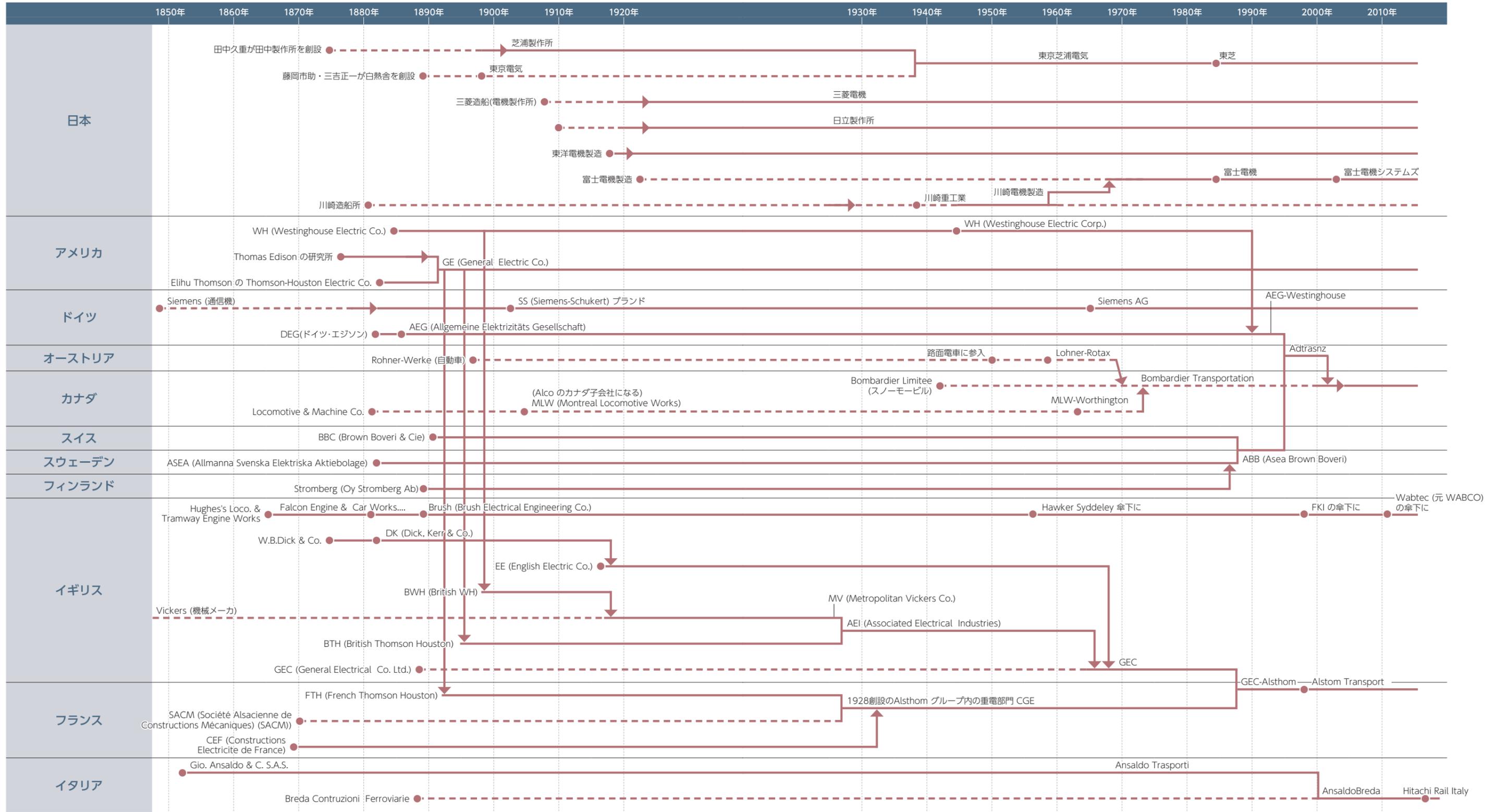
※1...General Electric Co. ※2...Westinghouse Electric Co.
 ※3...English Electric Co. / Associated Electrical Industries

→ [技術導入]あるいは[強い影響]



電気鉄道車両用駆動システムメーカーの系譜

● 企業創立/企業名変更
 → 鉄道車両用電気機器に参入の時期(推定も含む)



鉄道車両用 電機品 専業 メーカーとして

鉄道におけるシステムインテグレーション

鉄道とは、線路・軌道、き電システム、信号・保安システム、通信情報システム、運行管理システム、車両システムなどのサブシステムから構成される一つの巨大なシステムである。その中で当社は、車両システムを構成する主要なサブシステム(あるいはコンポーネント)を製造するメーカーとしての歴史を積み重ねてきた。

鉄道車両工業ビジネスの二つの形態

鉄道工業、とりわけ車両システムのビジネスモデルは二つに分けられる。一つは発注者、すなわち鉄道事業者が車両システムの設計スキルを有し、車両システムインテグレーターとして発注者側仕様を取りまとめるケースである。ここでのメーカーは、発注者側の仕様に沿った電機品を設計・製造し、提供するという役目を担う。

もう一つは、車両メーカーあるいは電機メーカーが具体的な仕様を取りまとめ、システムインテグレーション業務を代行するケースである。なかでも海外プロジェクトでは、発注者側が雇ったコンサルタントが発注者側の仕様を取りまとめるケースが多くなっている。

車両システムインテグレーターとしての東洋電機製造

当社は創業当初から、主電動機、パンタグラフなどの主要な鉄道車両用電機品の製造と販売を手掛け、パンタグラフから駆動装置に至るまで、電気車の主要部品の取りまとめができる企業として、鉄道省・国鉄をはじめとする数々の顧客から信頼を得てきた。そのうち、いくつかの案件においては車両システムのシステムインテグレーションを手掛けた。

以下に、当社が車両システムのシステムインテグレーターとして力を発揮した事例を紹介したい。

鉄道省・国鉄向け電気機関車

当社の発展をたどる上で忘れてならないのが、国鉄向け電気機関車の設計・製造への貢献である。当社は1925(大正14)年から1982(昭和57)年にかけて鉄道省・国鉄および各民鉄向けに電気機関車を納入した実績をもつ。特に鉄道省・国鉄向けとしては、国鉄と主要メーカーの共同設計に係る旅客用EF53形、貨物用EF10形電気機関車

をはじめとし、電気機関車の黄金時代を築いたEF58形、EF64形、EF65形、EF66形などの製作に携わった。鉄道省・国鉄向けに納入された電気機関車の総数は、全形式を合わせると210両に上る。なかでも最大勢力となったEF65形においては、全319両中の117両が当社の元請けとなっている。これらの案件で当社は、汽車製造株式会社(後に川崎重工業株式会社に吸収合併)とのコラボレーションにより製作に携わった。

電車・路面電車の製作・納入

当社は、電気機関車のみならず電動客車、すなわち電車を製作し、納入した実績も合わせもつ。1920年、玉川電気鉄道にDK9-D形(36HP)40人乗り電動客車10両を納入したのが当社初の事例として記録されている。戦後は、日本鉄道自動車会社との提携を経て、同社を傘下に収めて東洋工機株式会社と改称し、中小鉄道事業者を中心とする電車の製作に携わった。絶対数は少ないものの、熊本市交通局、鹿児島市交通局、西日本鉄道、江の島鎌倉観光会社、大分交通、京都市交通局などへの路面電車も製作・納入している。また、三岐鉄道からは18メートル大型郊外電車2両を受注し、TDカルダン(中空軸平行カルダン)電動機、総括制御方式による制御装置を適用したモハ120形電車を納入した。

システムを一括受注した上信電鉄1000系

車両一括受注の事例として特筆すべきは、1976年に製作された上信電鉄1000系電車である。これは車両システムを一括で受注し、車体を新潟鉄工所(現 新潟トランス株式会社)に、ブレーキ装置を日本エヤーブレーキ株式会社(現 ナブテスコ株式会社)に、台車を住友金属工業株式会社(現 新日鐵住金株式会社)に、それぞれ発注し、パンタグラフをはじめとする主要電機品を当社で製作、全体のシステムインテグレーションを担当した案件である。当時は主回路システムとして抵抗制御が全盛の時代であったが、空気バネ付台車、電気指令式空気ブレーキ装置、ワンハンドルマスコン、発電ブレーキ付制御装置など、当時の最新技術を採用した車両として登場した。同車両は、関係各方面から高い評価を受け、1977年にローレル賞を受賞した。

システムインテグレーションの神髄

前述のように、当社は車両システム用のサブシステムとして、パンタグラフ、主制御装置、補助電源装置、主電動機、駆動装置、戸



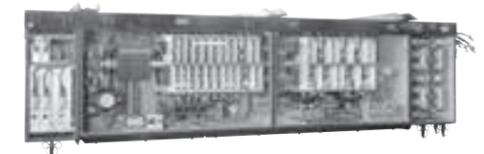
EF65形電気機関車 (1965年)



玉川電気鉄道 DK9-D形 (1920年)



上信電鉄1000系電車 (1976年)

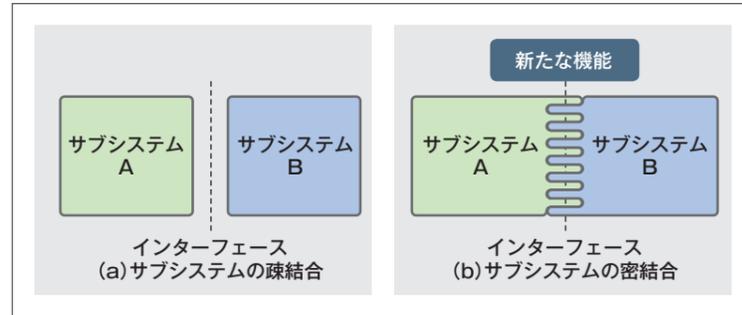


発電ブレーキ付制御装置 (1976年 上信電鉄納入)

閉装置、主幹制御器、列車情報システムなどの製造を行ってきた。さらに、単なる部品供給メーカ（サブシステムの供給者）という立場に留まることなく、システムインテグレータとして車両システム全体の最適化を常に追い求めてきた。これは、単なるサブシステムの寄せ集めではなく、それぞれの特質に着目し、それらの有機的な結合をもって新たな機能を創出し、システム全体の最適化を図るという観点である。

通常、システムインテグレーションにおいては、それぞれのサブシステム間インターフェースはでき得る限り“疎”にすることを目指す。なぜなら、サブシステム間のインターフェースが疎であればあるほど、個々のサブシステム検証の手間が省けるからである。ただし、各サブシステム間のインターフェースを疎にすることによってシステム全体は大規模化する傾向にある。

■ サブシステム間の結合度



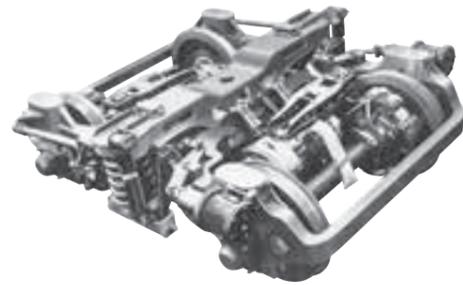
逆に考えると、個々のサブシステム間のインターフェースを密にすることによって、新たな機能の創出が可能になる。その事例を、以下に三つ紹介したい。

1. 中空軸平行カルダン式駆動装置

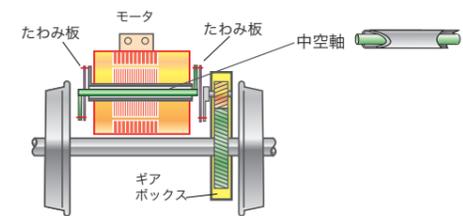
一つ目は、中空軸平行カルダン式駆動装置の例である。

この装置は、狭軌用の駆動システムにおいて、車輪間の限定された空間に所定の容量の主電動機と歯車装置を、それぞれ変位の自由度をもたせて収容しなければならないという、極めて困難な課題を解消したものである。

中空軸構造で結合するというアイデア自体は、スイスのブラウンボベリー社のシステムによるものであるが、狭軌用駆動装置としてまとめ上げたのは当社である。主電動機の電機子軸の構造変更と、軸の両端にたわみ板継手を配置させて変位を稼ぐという発想は、主電動機を含めた駆動システム全体を見極める視点があってこそ生まれたものであり、それぞれのサブシステム間の結合を密にし、互いに深く関わることによって実現し得たものと言えるだろう。同システムは、その後、国鉄をはじめとする大手民鉄各社の車両の標準的な駆動システムとして広く普及した。



中空軸平行カルダン駆動装置
(1953年 京阪電気鉄道納入)



中空軸平行カルダン駆動装置 断面構造説明図

2. 界磁添加励磁式制御装置

二つ目は、国鉄末期に大量に採用された界磁添加励磁式制御装置である。これは、直流直巻電動機を用い、直巻界磁に添加励磁することによって弱界磁制御と回生ブレーキ制御を容易に行い、同時に界磁制御装置の電源として大容量補助電源装置の出力を利用するというユニークな制御方式である。

回生ブレーキ付電機子チョップ制御については営団地下鉄が先駆者であるが、国鉄も1979年に電機子チョップ制御による201系電車の導入を開始した。しかし、この方式は製造コストに難があった。一方、大手民鉄では製造コストの低減が可能な界磁チョップ制御を採用していたが、構造が複雑な直流複巻電動機を必要とし、架線電圧変動時の過渡特性にも難があるため、国鉄では直流直巻電動機による低コストシステムの開発を進めていた。

そして、国鉄主導で当社が界磁制御装置等を担当した界磁添加励磁制御方式が、次期新形式車両205系の主回路システムとして採用されることになった。この方式は、従来の直巻直流電動機を用いるとともに、補助電源装置の出力を利用した界磁制御装置を付加することにより、安価かつ回生ブレーキも容易に実現できるというメリットがあった。

ここにも、異なる二つのサブシステムを融合することにより、新たな機能を創出するパターンが当てはまる。すなわち、車両システム全体を俯瞰し、トータルシステムの最適化を図るといふ当社のシステム技術の神髄が垣間見える。

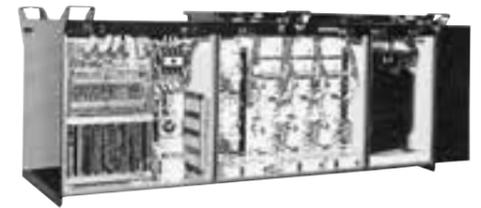
3. 回生・発電ブレンディング制御

三つ目は、東日本旅客鉄道株式会社のE127系直流電車で初めて採用された回生・発電ブレンディングによるブレーキ制御システムである。閑散線区で回生負荷が安定的に得られない線区では、回生ブレーキのみでは電気ブレーキ力が不足するという問題がある。これに対し、従来は回生失効時に発電ブレーキに切り替える方式を採用していたが、これでは回生失効以降の省エネ効果が得られない。そこでVVVFインバータ装置とブレーキチョップ装置を組み合わせ、回生ブレーキと発電ブレーキを適切にブレンディングする方式を開発した。これによって安定したブレーキ力を得るとともに、状況に応じた最大限の電力回生が可能となった。VVVFインバータ装置とブレーキチョップ装置との有機的な結合を図ることによって、新たな機能を創出した事例である。

以上のように、当社のシステム技術には、車両システム全体の最適化を目指す思想が根底にあると言える。今後、新たな100年に向け、これらのシステム技術に更に磨きをかけていかなければならない。



国鉄205系電車 (1985年)



HS52励磁装置 (1985年 国鉄納入)



JR東日本E127系電車 (1995年)



E127系電車で搭載されたSC51 VVVFインバータ装置
(1995年 JR東日本納入)

車両 制御 方式の変遷

直接式制御器

1920(大正9)年、当社は京阪電気鉄道に架線電圧600V用DB1-K形を12台納入した。これはイギリス・ディッカー社(イングリッシュ・エレクトリック)の図面により、主要材料は同社からの輸入品であった。後に順次国産化されて国内生産となり、1950(昭和30)年代まで路面電車用として納入した。

総括制御装置

郊外電車で、2両以上連結して先頭にいる運転士一人で運転する場合は、主幹制御器によって複数の制御装置を総括制御する必要があった。これもディッカー社の図面により、同社の電動カム軸式を採用した。

1926年、京成電気軌道100形電車向けの架線電圧600V、105HP(78kW)直巻電動機4台用ES151-A形を納入した。引き続き京阪電気鉄道、名古屋鉄道などにも納入した。

1928年に、新京阪鉄道(現 阪急電鉄) P-6形(後のデイ100形)電車向けの架線電圧1500V、200HP(150kW)直巻電動機4台用ES504-A形を納入した。この制御装置は大容量であり、遮断器は電磁空気式とし、わが国初の減流遮断方式を採用した。引き続き阪和電気鉄道、伊勢電気鉄道、湘南電気鉄道などにも同様のシステムを納入した。特に阪和電気鉄道モヨ100形電車は、阪和天王寺～阪和東和歌山間61.2kmを45分で走行する超特急で、当時日本一の高速電車であった。

発電ブレーキ付、回生ブレーキ付制御装置

1933年、駅停車の常用ブレーキを発電ブレーキとするわが国初の制御装置として、大阪市電気局高速電気軌道100形電車向けの第三軌条電圧750V、230HP(170kW)直巻電動機2台用ES512-A形制御装置を納入した。低電圧大電流仕様のためカムスイッチはダブル幅とし、制御装置外形は大型化した。将来は郊外へと延伸し、地上区間では架線電圧1500V、主電動機4台仕様に改造できる設計としていたが、残念ながら実現はしなかった。

1930年、国産初の回生ブレーキ付制御装置は、阪和電気鉄道ロコ1000形(後に国鉄ED38形)電気機関車用の架線電圧1500V、220HP(164kW)直巻電動機4台用制御装置、回生・発電ブレーキ付、電磁単位スイッチ式であった。電車同様に高速で走行し、大阪～和



直接制御装置 DB1-K4形

歌山の県境を頂点とした最急勾配25パーミルにおいて、200トン貨物に対応する性能を有した。

1931年、南海鉄道と高野山電気鉄道が直通運転するにあたり、回生ブレーキ付制御装置ES603-A形を納入した。これは高野山電気鉄道デ100形、デニ500形電車に使用されていたドイツ・AEG製の制御装置を参考に独自の改良を加えた、その置き換え用であった。架線電圧600V、100HP(75kW)直巻電動機4台用で、3～4両連結運転の電車が50パーミル下り勾配で時速30km/h、あるいは25パーミル下り勾配で時速40km/hの平衡速度での運転が可能であった。

これらの回生ブレーキは、直巻電動機の界磁を電車線により励磁するシステムであったが、架線電圧が急変した場合は回生ブレーキ制御が安定しないことがある。そのため、当社では安定した回生ブレーキ制御が可能な複巻電動機を使用し、分巻界磁制御する方式を研究していた。1932年、東京市電気局向けの直巻電動機を分巻電動機に改造し、現車試験を実施した。同年、京阪電気鉄道京津線50形(55～58号車)に複巻電動機による回生ブレーキ付直接制御器DR3形と間接制御器UN242形の組み合わせを納入した。架線電圧600V、85HP(63kW)複巻電動機2台制御で、最急勾配66.7パーミルにおいて安定した平衡速度と省エネ効果が達成できた。

鉄道省向け制御装置

鉄道省(後の運輸省、国鉄)向けでは、1934年にCS5形制御装置2台を納入したのが最初である。架線電圧1500V、150～190HP(100～142kW)主電動機4台用で、すでに他メーカーで製作されていた電空カム軸式であった。このCS5形は戦後まで採用された。

電気機関車用は、1934年にEF53形2両、EF10形1両をはじめとして、戦時中までの間にEF55形1両、ED42形1両、EF10形4両、EF12形6両を納入した。

国鉄向け電動カム軸制御装置

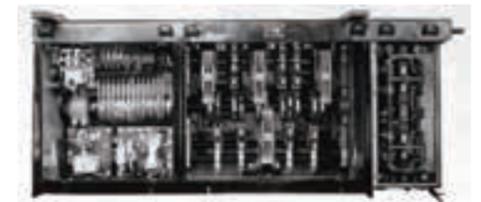
運輸省(後の国鉄)は、電空カム軸式に対して、調整・保守が比較的容易で気温に左右されずに動作が確実という利点をもつ電動カム軸式に着目した。当社では1948年にCS100形主制御装置を15台納入し、他メーカー2社の制御装置との比較試験が実施された。その結果を下に、国鉄と各社との共同設計によって1950年、CS10形主制御装置が63系、70系、80系電車などに採用された。主電動機組み合わせ制御に橋絡渡りを取り入れ、制御段数を多段化したことで加速時における衝動が低減され、乗り心地が改善された。



主幹制御器 ES31R-B形



ES512-D形制御装置(1948年 大阪市交通局納入)

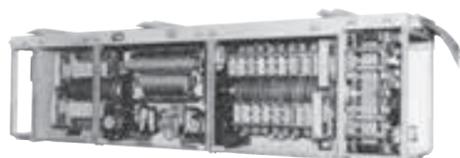


CS10形制御装置

カルダン駆動装置と1C8M制御方式

電車の運転速度の高速化に向けて、車両の軽量化とカルダン駆動装置の開発が進められた。制御装置としては、架線電圧1500Vの場合75～120W主電動機8台制御(M-M'ユニット)、発電ブレーキを常用するシステムとなり、編成の長大化にも対応可能となった。

当社は、1956年に京浜急行電鉄700形(後の600形)電車用にES560-A形を納入した。さらに国鉄と他メーカーの共同設計により、1957年にモハ90形(後の101系)電車用に、1958年にはモハ20形(後の151系、特急こだま号)電車用などに採用された。その後は主電動機の容量増加にも対応し、国鉄ならびに民鉄・公営電車の標準システムとなった。



ES560-A形制御装置(1956年 京浜急行電鉄納入)

複巻電動機による回生ブレーキを常用する制御装置

当社は、分巻界磁制御により平坦区間でも回生ブレーキを常用するわが国初のシステムを開発し、1959年に京阪電気鉄道1650形電車において現車試験を実施した。同年、同社2000形電車に架線電圧600V、75kW複巻電動機4台用ES752-A形制御装置を納入した。高加減速性能を有し、力行・惰行・回生を連続して制御できる利点があった。引き続き、東京急行電鉄、京阪神急行電鉄、名古屋鉄道などにも、その発展形として架線電圧1500V対応、トランジスタ採用の高性能制御アンプ、勾配でも車両速度が一定に保てる定速運転機能付きなどを納入した。

1969年に阪急電鉄2800系電車の1両に世界初のサイリスタによる界磁チョップ制御装置の長期実用化試験を開始し、1971年に京王帝都電鉄3100形電車に量産品を納入した。さらに京成電鉄、北総開発鉄道、京浜急行電鉄、阪急電鉄等へも納入した。

一方、複巻電動機の界磁制御方式として、補助電源装置の出力をサイリスタにより位相制御する界磁位相制御方式を1971年に京阪電気鉄道3000系電車に納入した。京阪電気鉄道本線は1984年に架線電圧を600Vから1500Vに昇圧することになり、容易な変更で昇圧対応可能であった。その間において京阪電気鉄道の標準システムとなり、その後、京津線・石山坂本線も1996年に昇圧された。

電機子チョップ制御装置

当社は、サイリスタを用いて主回路の直流電圧を細かく刻んで可変電圧とする電機子チョップ制御の研究を進め、1967年、当社製サイリスタを用いた架線電圧1500V、85kW直巻電動機4台制御の回生・分巻界磁式チョップ制御装置を東京都交通局浅草線5000形に



CH1形チョップ制御装置(1979年 国鉄納入)

仮設し、現車試験を実施した。

さらに、回生ブレーキが有効な車両速度を高速域にまで拡大するため、直並列切り替えチョップ制御装置の研究を進め、1972年に京浜急行久里浜線で600形電車に仮設する現車試験、1974年には国鉄根岸線で103系電車に仮設する現車試験を実施した。

オーソドックスな電機子チョップ装置としては、共同設計によるCH1形チョップ制御装置が、1979年に国鉄201系電車用に、その後203系電車用にも採用された。また、わが国初のチョップ制御電機関車として、1982年に国鉄EF67形(EF60形から改造)用CH3形チョップ装置を納入した。これは山陽本線・瀬野～八本松の貨物列車用後補機の代替用であった。

1979年、複巻電動機を使って力行・回生ともに中速から高速になるにつれて自動的に界磁を弱められるAFE主回路チョップ方式を開発し、阪急電鉄2300系の一部に、その後東武鉄道に納入した。

界磁添加励磁制御装置

国鉄は、高価な電機子チョップ方式に代わる新回路方式の検討を始めていた。当社は直巻電動機を使用し、大容量補助電源装置によって界磁に添加励磁することで回生ブレーキが可能となるシステムを開発した。1984年、国鉄の技術課題として東海道本線大阪周辺で101系電車に仮設する現車試験を実施した。結果は安定した回生ブレーキを得られることが実証できた。

その量産品として、1985年に国鉄山手線205系電車用と、東海道本線東京口・中京地区および東北本線・高崎線211系電車用に納入した。さらにJR東日本、JR西日本、京阪電気鉄道に納入した。

新交通システム(AGT)用制御装置

1973年、住友商事を窓口として新潟鉄工、住友電気工業との共同研究によるNTSシステムの開発が始まった。車輪はゴムタイヤを使用し、軌道はU字形コンクリート構造の案内軌道を用い、中央コンピューターによって運行管理を行う中量輸送軌道システムである。制御装置を無接点化するため、第三軌条電圧三相交流600Vとし、複巻電動機をサイリスタにより位相制御することで回生ブレーキが得られるシステムで、無人運転にも対応可能となる。

1981年に大阪市交通局南港ポートタウン線に、1982年に山万ユーカリが丘線(直流750V)に、1983年には埼玉新都市交通伊奈線をはじめ各地の新交通システムその他、関西国際空港、香港国際空港などの空港施設内ピープルムーバーにも納入した。



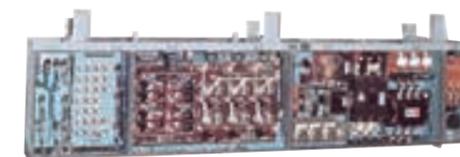
国鉄(JR貨物)EF67形電気機関車(1982年、1990年)



国鉄(JR西日本)213系電車(1987年)



大阪市交通局100系電車(1981年)



主制御装置(1981年 大阪市交通局納入)

パンタ グラフ 開発の歴史

国内最初のパンタグラフ

当初、パンタグラフは米国のゼネラル・エレクトリック社などから電車と一緒に輸入されていた。国産化されたのは、当社が1921(大正10)年に阪神急行電鉄に納入したA形パンタグラフが最初である。もっとも、これはゼネラル・エレクトリック社の図面に基づいたものであった。その後、インチ寸法からメートル法に設計をし直すとともに改良を重ね、C形は当社の標準形として民鉄各社に多数納入された。1923年には鉄道省もこれを採用し、PS2形とした。1930年からは、さらに積極的な開発を進め、PT1形からPT12形まで、各種のパンタグラフの設計を行った。



C1形パンタグラフ (1922年)



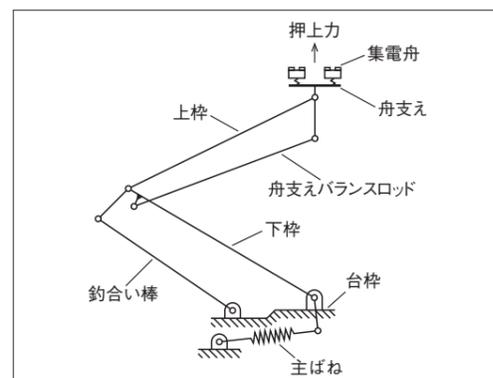
PS16形 (1958年)



C-PS27形 (1996年)

在来線、民鉄向けパンタグラフの発展

その後、戦時下で資材を節約するために設計されたPS13形時代を経て、戦後は鉄道の高速度化に対応していった。1957年に小田急電鉄がSE車で狭軌の最高速度記録を樹立した性能試験では、当社のPT42形が使用され、これを設計のベースとして、1958年の特急こだまの営業運転に合わせてPS16形を開発した。これらは、いずれも側面から見た枠組の形状が菱形であった。その後、下枠を交差させて屋根上の占有面積を小さくした下枠交差形のPT48形を開発し、1972年ごろから、民鉄各社でも多く採用されるようになった。これは、車両冷房化の発達過程で、分散型クーラを配置するための屋根上スペースの確保というニーズにマッチしたものである。その後、1996年にJR東海の383系に、国内で初めて本格採用されたシングルアーム形のC-PS27形が搭載された。当社のシングルアーム形は、高性能、軽量、小型、保守容易であるため、民鉄向けにもPT71形として普及し、現在ではシングルアーム形が主流となっている。



シングルアーム形パンタグラフの枠組構造

新幹線用パンタグラフ

1964年に開業した東海道新幹線用のパンタグラフ開発では、これまでになく高速度であることから、パンタグラフと架線の全体システムとしての検討が国鉄技術陣とメーカー技術者との間で慎重に重ねられた。パンタグラフは空力的な影響が極めて大きいため、実機による風洞試験を繰り返し、枠組み形状、舟体形状が決定された。特に高速の場合は揚力の影響が大きくなるため、架線にストレスを与えず、かつ追従性を保つためには200km/h時の揚力が約20ニュートンとなるよう、各部の形状を調整することに多大な苦勞を要した。こうして開発された0系新幹線用PS200形は、それまでの在来線用とは一線を画する傑作機となり、その後も300系まで、主に追従性向上のため舟体周りに改良を重ねながら使用された。その基本形は、低騒音シングルアーム形パンタグラフが開発されるまで続いた。



PS200A形 (1964年)

新幹線用低騒音パンタグラフ

新幹線のさらなる高速化が求められる中、その必須条件は騒音の環境基準をクリアすることであり、特に屋根上に搭載されたパンタグラフの騒音低減が重要課題となった。パンタグラフから発生する種々の騒音のうち、高速で支配的に大きいのは空力騒音であり、新幹線用パンタグラフ開発の歴史は空力騒音低減の歴史と言って過言ではない。

当初は、車体の屋根にパンタグラフカバーを取り付ける策が取られたが、効果には限界があり、パンタグラフ自体の空力音低減が求められた。そこで開発されたのが、低騒音シングルアーム形パンタグラフである。空気を切る部材をできるだけ少なくし、前方から見るとT字形のシンプルな形状となっている。この開発には、度重なる風洞試験が行われ、さまざまな工夫が盛り込まれた。初採用は1997年、E3系用PS206形として登場した。



PS208形 (2011年)

その後のE5系用PS208形では、低騒音碍子を使用して車体側の碍子カバーを廃し、さらにパンタグラフの台枠を片側に寄せ、流線型の台枠カバーで覆うことで低騒音を実現した。もちろん、パンタグラフ本来の機能である架線への追従性の向上も図られ、すり板を枕木方向に分割し、自由度をもたせて連結した多分割すり板方式の舟体を使用することで、320km/hでの1パンタ走行を可能にしている。

また、シングルアーム形以外の方式として、枠組み部分を一本の支柱で構成することで空力騒音低減を実現した集電装置の開発に協力し、当初500系に搭載された。その後、保守上の都合でシングルアーム形に置き換えられたが、翼型と称された舟体は、そのまま引き継がれて使用されている。



500系新幹線に搭載された翼形パンタグラフ (1997年)

中空軸平行カルダン 駆動装置 の開発

台車装架方式の研究と当社独自の開発・実用化

第二次世界大戦中は技術開発の空白時代であり、戦後の日本は欧米先進国に大きく水をあけられていた。電車用駆動装置においては、1948(昭和23)年、ニューヨーク市地下鉄車両はすでに台車装架の主電動機とWN継手による駆動装置を量産していたが、日本ではまだ吊り掛け式であった。吊り掛け式は速度を上げるに連れて車両に対する衝撃が増えるために乗り心地が悪く、高速走行には適していなかった。

当時、日本国内の車両用電機メーカは台車装架方式への研究開発に一齐に着手し、当社も台車装架式の実用化に取り組むことになった。しかし、欧米諸国の軌道が標準軌路線であるのに対し、日本国有鉄道と多くの私鉄の軌道は狭軌路線であった。そのため、海外の既存技術では日本の狭軌に対応できず、当社では独自の駆動装置を開発・実用化することが急務であった。これには、車両走行性能を満足する主電動機の容量を確保しつつ、主電動機の全長を大幅に短くするための中空の電機子軸を用い、その中にねじり軸を通して両端に可とう継手を配置するという、中空軸平行カルダン駆動方式を採用することとした。これは、主電動機と継手を一体構造として狭軌に対応する画期的な方式であった。

正式採用と鉄道的高速化時代への幕開け

1952年に試作品が完成し、同年、京阪神急行電鉄(現 阪急電鉄)のご好意により751形車に搭載して現車試験が実施された。この車両の1台車は中空軸平行カルダン方式とし、他の1台車は中実軸WN継手方式としたが、試験結果から中空軸平行カルダン方式が採用されることとなった。翌1953年、京阪1800系に最初の実用中空軸平行カルダン駆動装置を納入した。

1954年、名古屋鉄道モ3750形実用試験車に狭軌として日本で初めて中空軸平行カルダン駆動装置を取り付け、技術データを収集、同年、狭軌用量産車として南海電気鉄道11001系に正式採用された。中空軸平行カルダン駆動装置の開発によって、日本の鉄道的高速化時代が幕を開けたのである。1954年には私鉄経営者協会の中に電車改善連合委員会が設置され、「電気鉄道車両用標準主電動機仕様書」としてカルダン駆動方式を設計基準に取り入れることとなった。



ねじり軸まわりの構成

国鉄の採用により量産化の時代へ

1953年以降、大手私鉄は吊り掛け駆動方式から、中空軸式もしくは中実式WN継手のカルダン駆動方式による高性能車両に切り替え、通勤・通学の輸送力を増強した。一方、日本国有鉄道では次世代通勤電車による輸送力増強の他に、東海道線全線電化による長距離電車の高速度という構想を進めており、大手私鉄よりも実施が遅れていた。

日本国有鉄道においては、1957年に中空軸平行カルダン駆動装置を採用したモハ90系(後にモハ101系に改称)が登場し、高性能通勤電車と位置付けられた。それ以降は、国鉄方式が標準になった。その後、モハ101系を母体に近郊形(モハ113系)、急行形(モハ153系)、特急形(こだま形モハ151系)の各電車が誕生し、中空軸平行カルダン駆動装置量産化の時代へと突入した。

1957年には、当社の中空軸平行カルダン駆動装置を搭載した小田急3000形SE車を日本国有鉄道が借り受け、東海道線で次期高速電車開発に向けての高速走行試験を実施した。試験結果は、狭軌としては世界最高速度となる145km/hに達した。この高速走行試験は、新幹線計画の布石であったとも言われている。

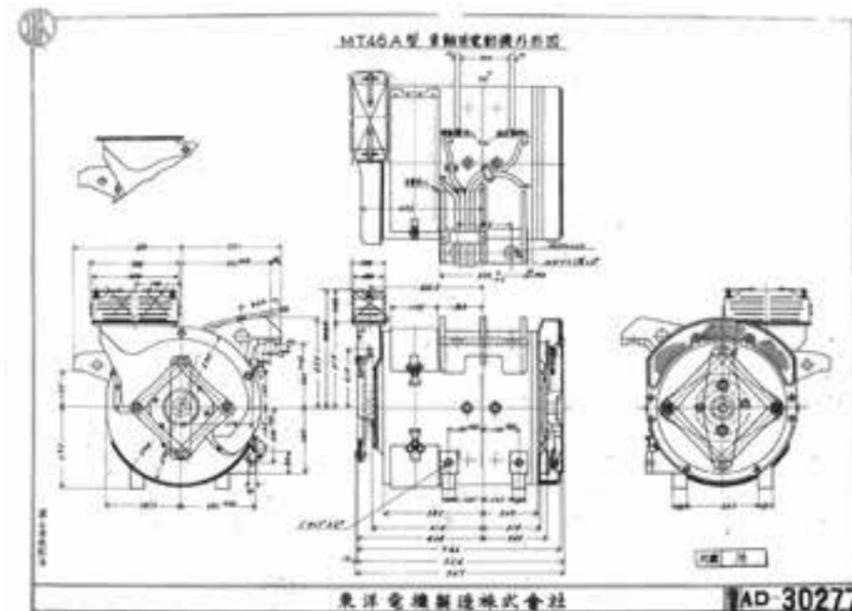
その後、VVVFインバータ制御と小型誘導電動機の普及により中空軸平行カルダン駆動装置の新規の採用はなくなったが、フィールドには多数の中空軸平行カルダン駆動車が活躍しており、また、その後のTD継手への開発・実用化に継承された、当社の開発から量産に至るまでの技術が、日本の鉄道の近代化と高速化の原動力となった。



モハ90系用 MT46主電動機 (1957年)



モハ90系用 DND142-9915歯車装置 (1957年)



MT46A型 車軸用電動機外形図

鉄道車両用 主電動機 開発の歴史 と進化

国内最初の主電動機

当社の生産活動は、車両用主電動機の製作に始まった。国産化第1号機は、設立2年後の1920(大正9)年に京阪電気鉄道に48台納入したDK9-C形であり、その1台は当社横浜製作所に展示されている。国産化といっても英国ディッカー社の技術導入によるものであり、当時の設計書は今も設計部電動機設計課に保管されている。

その後、主電動機的设计は大容量化が進み、1923年、鉄道省が初めて採用する国産主電動機としてTDK502-A形の受注に成功、その前後の関東大震災や世界金融恐慌を乗り越え、1927(昭和2)年に国内最初の1軸200HPの主電動機TDK527-A形を新京阪鉄道に納入し、1930年には220HPのTDK556-A形を搭載した電気機関車を阪和電気鉄道に納入した。

技術面では1924年、国内初のころがり軸受採用の主電動機を納入した。しかし、当初は技術力が不十分であったため故障が生じ、改良を重ねた結果、主電動機の標準軸受として多用されるようになった。1930年にはTDK505-A形主電動機を直巻から複巻界磁方式に改造し、回生ブレーキ試験に成功したが電動機が規定温度を超えたため、その対策を施し、電力回生ブレーキ実用化国内第1号となるTDK582-A形複巻電動機を1932年、京阪電気鉄道に納入した。

1953年には、2年の開発期間を要した国内実用化第1号の中空軸平行カルダン駆動方式用主電動機TDK808/2-B形を京阪電気鉄道に納入した。これは、それまでの吊り掛け式を台車装荷式へと変更したことで好評を博し、高速軽量主電動機時代の幕開けとなった。1956年には国鉄での採用も決まり、試作車を経て、今後の新造車両は本方式とすることが決定された。

1957年9月27日、当社が小田急電鉄に納入したTDK806/1-A形主電動機を含む本方式搭載のSE車(3000形)は、東海道線「函南～沼津間」で行った性能試験では最高速度145km/hの狭軌の世界最高記録を樹立した。この平行カルダン駆動方式は、誘導電動機に変わった現在でも踏襲されている。

主電動機その後の進化

平行カルダン駆動方式は、1957年、国鉄中央線の主電動機MT46搭載の通勤形モハ90形電車(後に101系電車に改称)を先駆けに、多くの車系が製作された。

京阪電気鉄道に納入した回生ブレーキが可能な複巻電動機は民鉄

では広く愛用され、その後は東京急行電鉄、京阪神急行電鉄、名古屋鉄道などにも納入した。

電気機関車の製作では、1916年ごろよりのED16形、EF10形を皮切りに、車体および電機品一式を継続納入していた。1953年ごろからは世代交代が始まり、EH10形用MT43形主電動機325kWが当時の最大出力であった。1965年にはEF60、EF61形を製作し、1964年からは制御に新技術を盛り込んだEF65、EF66形を製造、搭載主電動機は各々MT52形、MT56形で、両者合計1,392台を納入した。

新交通システムでは、新潟鐵工所・住友商事・当社との共同開発で1975年、大阪市交通局向けにゴムタイヤ車両の電機品一式を納入し、その後は関西国際空港や埼玉新都市交通などにも展開した。

海外向け大型案件では、1962年からのパナマ運河会社への62両分の第2世代の機関車納入に続き、第3世代の機関車も受注、1999年以降は計100両分の主電動機を含む電機品一式を納入した。1965年にはインド市場への主電動機設計・製作技術供与を行うと同時に主電動機TDK5442-Aを納入し、1985年ごろまでにインド国鉄などに計600台を超える吊り掛け式主電動機を納入した。1979年にソビエト連邦向け世界最大級の120トン積電動ダンプトラックHD1200用電機品一式の製造が始まり、2006(平成18)年までに計1,100台分を小松製作所に納入した。これらは、後輪ホイール内に搭載した電動機2台をエンジン発電機で駆動する方式で、極寒地での電動機保守への対応のため多くの関係者が現地滞在した。

電動発電機の歴史

1926年、京成電気軌道に国内初の電動発電機TDK301-A形を納入した。初期の電気鉄道は600V架線から1,200Vへの昇圧予定であったため、仕様は2kW・600/1,200Vの複電圧方式であった。その後は1,500Vの複電圧にも対応可能とした性能が高く評価され、1980年ごろまでの生産台数は4,500台を超えた。

その後、電動発電機は75kVAから210kVAへと大型化し、クーラ電源用として幅広く使用され、1985年ごろまでの生産台数は1,670台超であった。構造は、直流電動機と三相同期発電機を同軸で直結し、両側にブラシを要した。その後は、発電機側に交流励磁器と回転整流器を設け、ブラシを廃止した。さらに、1972年には電動機側・発電機側ともにブラシを廃止した世界初の完全ブラシレス電動発電機(BL-MG)を完成させた。BL-MGは、30%質量軽減と保守軽減および照明のチラつきや瞬時停電にも対応できる点が好評で、2000年ごろまで1,500台を超える生産台数を誇ったが、1990年ごろより台頭してきた静止形補助電源装置との世代交代を迎えることとなった。



MT56形主電動機 (1968年)



TDK5442-A形主電動機 (1965年)



完全ブラシレス電動発電機 (1972年)



当社初の主電動機 DK9-C形
(1920年 横浜製作所に展示)



DK9-C形の設計図

新幹線用主電動機の開発と最近の動向

新幹線は、1964年10月1日の営業運転開始に向けて、1958年、国鉄内に研究会が立ち上げられた。官民一体での数百回にもおよぶ設計会議が開かれ、当社も参加した。入札で国内連合が受注し、当社はMT200形主電動機を含む主要電気機器の30%を担当した。

0系は数々の改良の末にMT200B形に置き換わり、その後100系、200系、400系まで、直流主電動機約4,800台を納入した。

誘導主電動機では、1989年にJR東海300系用にTMT3形が初めて採用された。新幹線用機器は、軽量化への知恵を絞った各社の戦いでもあり、主電動機もグラム単位での軽量化を目指し、当社は限界電気設計や主電動機のブラケットに初めてアルミを採用するなど、軽量化をリードした。アルミの提案には、試作ブラケットに空気砲でバラストを350km/hで当て、強度検証を行った。

その後、JR各社でも誘導主電動機の採用が急速に広がり、当社の生産台数は2017年までに4,900台を超えた。

電管用主電動機の最近の動向

1989年ごろからは直流機から誘導主電動機の時代へと移り、工場生産台数も逆転、新規設計はほとんどが誘導機となった。そのため、当社では2002年に生産ラインを誘導機専用に変更し、直流機を生産は子会社の東洋工機に移管した。

当社における電管用誘導主電動機の初試作は、1980年に相模鉄道で構内走行現車試験に使用されたTDK6100-A形であるが、開発当初は経験不足から試験中に煙を出すなどのトラブルも生じた。現車搭載は1985年、東急電鉄へのTDK6210-A形の16台に始まり、年間生産量は翌年48台、1990年500台、1999年800台、2004年1,400台と急増、2017年までの生産台数は25,500台を超えた。

1998年、当社では北京地下鉄向けに初めてTDK6175-A形主電動機を製作し、計462台を納入した。この契約には、中国現地生産として長沙市の湘潭電機への設計・製造に関する技術供与も含まれており、当社の設計・製造部員が2年にわたって湘潭電機を何度も訪れ、現地指導を行うとともに湘潭電機作業員を横浜工場に招いて実技実習を行った。湘潭電機では車両用主電動機の製造経験は皆無で、当初は品質が著しく劣ったが、数年後には現地生産できるまでの実力をつけ、当社の技術供与が成功した。

誘導主電動機は小型化・軽量化が図れるため、当初は大容量の方向に進んだが、その後は制御との組み合わせによる高効率化や低騒音化、さらなる保守軽減に向けた開発や改良が加えられた。

主なものでは、開放型では最も低騒音を実現し、かつ16年・240

万km非分解の大幅な保守軽減を可能にしたMT75形主電動機をJR東日本在来線向けに3,500台納入した。一方、低騒音と保守性向上の目的から、開放型から全閉型へのシフトが進んでいる。当社における全閉主電動機の開発は1991年に始まり、最初の軸受オイル潤滑方式全閉内扇主電動機では、保守の大幅軽減と5,000回転・75dBという国内トップクラスの低騒音を実現し、2011年以降、京王電鉄、阪急電鉄、南海電気鉄道などに納入、現在までに500台を超えた。さらに、グリース潤滑方式全閉外扇主電動機も開発し、2014年から京成電鉄、JR四国などに納入している。

海外では、ドーハメトロ向け、ロサンゼルス地下鉄向け、ジャカルタMRT向けがあり、現在も納入継続中である。

リニアモータ (LIM) では1998年、世界で初めてスカイレール用にLIMを採用した加減速装置をスカイレールサービスに納入した。また、2005年の日本国際博覧会 (愛知万博) 開催を機に、都市内交通型としては世界初の常電導磁気浮上式TDK6820-B形LIMを愛知高速交通に納入した。1978年、LIMの開発に着手してから、1985年の国際科学技術博覧会 (つくば万博)、1988年のさいたま博覧会 (さいたま博)、1989年の横浜博覧会 (横浜博) の各会場での実用車両を含め、長年にわたる試作・研究の成果が結実したものである。

路面電車・新交通向け主電動機の最近の動向

近畿車輛・三菱重工業・当社による「U³プロジェクト」名で共同開発した広島電鉄向けの純国産技術初となる超低床路面電車 (JTRAM:ジェイ・トラム) は、現在も増備中である。これは、左右輪に車軸を持たず、前後車輪間に主電動機TDK6490-B形が直結した独立車輪新台車装荷システムで、その電機品を納入している。

その他の路面電車では、1999年よりアルナ工機において超低床路面電車の開発プロジェクトが始動し、当社もこれに参画、2002年に鹿児島市交通局向けに日本初の国産超低床路面電車 (リトルダンサー) 用TDK6309-A形主電動機などの電機品を納入した。続いて、伊予鉄道、とさでん交通などにも納入したが、これら車両の台車は従来型を用い、主電動機を車体装荷として低床化を実現した。

特記事項としては2016年、鹿児島市交通局7500形に、超低床構造ながら平行カルダン式動力台車に取り付け可能な、当社史上最小直径φ305を実現したTDK6255-A形50kW主電動機を納入した。

新潟トランスとボンバルディアが共同開発した低床式車両は、主電動機の一部を国産品に置き換えており、当社は岡山電気軌道、福井鉄道、熊本市交通局などに納入した。新交通既存線の代替新造車は誘導主電動機化され、三菱重工業の新線では、タンパ国際空港やマカオAPM向けに主電動機などの電気品を納入している。



MT200B形主電動機 (1964年)



TMT3形主電動機 (1989年)



TDK6175-A形主電動機 (1998年)



MT75形主電動機 (2005年)



軸受オイル潤滑方式全閉内扇型主電動機 (2011年)



グリース潤滑方式全閉外扇型主電動機 (2014年)



スカイレール (1998年)

交通用 VVVF インバータ の進化

高速サイリスタの実用化により開発が始動

鉄道車両の原動機は、直流電動機が使われてきていたが、主にブラシ・整流子に起因する故障や保守負担の点で、摺動部のない交流電動機の利用が期待されていた。

当社では1968(昭和43)年、すでに自社製150A600Vの高速サイリスタを使って、出力20kWの誘導電動機の電気自動車用VVVFインバータを開発していた。PWM制御とすべり周波数制御を適用した、極めて先進的なものであった。

続いて、産業用VVVFインバータ開発のため、1977年に米国・GE社との技術導入契約を締結し、汎用インバータVFシリーズの開発、販売を開始した。こうして、当社の交流電動機駆動用VVVFインバータ技術は立ち上げられた。

どちらも高速サイリスタの実用化により開発が始動したもので、その後は主に主回路半導体と制御デバイス(CPU等)の進歩がVVVFインバータの進化を推進することとなった。

誘導障害試験を含む各種実用試験を実施

1960年代後半より、ヨーロッパを中心に鉄道車両への交流電動機適用開発の口火が切られ、1970年台に入ってから高耐圧大電流サイリスタの実用化も追い風となり、誘導電動機をVVVFインバータで駆動するシステム開発が国内各社で始まった。

当社においても、1979年6月に専任グループを発足し、鉄道車両用VVVFインバータの開発に着手、1980年には、逆導通サイリスタ2500V400Aを使用した175kW誘導電動機4個駆動の試作装置を製作し、相模鉄道6306号車(客室内)に試験搭載して制御方法を模索しながら基本動作を確認した。続いて、当社製2500V500Aの逆導通サイリスタおよび小型化したフロン冷却構造を適用し、電車床下にぎ装できるサイズの装置を開発した。トルク制御に着目した制御方法で、CPUを初めて採用し、1982年、相模鉄道6306号車と阪急電鉄1601号車に試験搭載し、現車にて誘導障害試験を含む各種実用試験を実施してインバータ駆動の実力を把握した。

GTOサイリスタの実用化と全デジタル制御

1983年になると、主回路素子としてサイリスタに替わってGTO(Gate Turn Off)サイリスタが実用レベルに達し、2500V2000A

素子を適用した165kW電動機4個制御のVVVFインバータを開発、1984年、東急電鉄6002号車を改造して搭載し、現車試験を実施した。この装置は、フロンタンク沸騰冷却方式・複数のCPUを使用した全デジタル制御で、実用化を強く意識したものであった。1985年、東急電鉄6000系電車で長期の試験的な営業運転を実施し、有用性を確認することとなった。

この成功を皮切りに、GTOサイリスタを使用したVVVFインバータは、東急電鉄7600系(4500V2500A素子-110kW電動機8個制御)、相模鉄道3000形改造車(4500V2500A素子-180kW電動機4個制御)、阪急電鉄7300系(4500V2500A素子-180kW電動機4個制御)などで実績を伸ばしていった。また、環境問題にも対応すべく、フロンタンク沸騰冷却方式に替わるヒートパイプによる冷却方式を、鉄道車両としては世界で初めて採用した。1987年、広島電鉄3800系電車に適用し、1988年に東急電鉄1000系電車においてヒートパイプ冷却方式で130kW電動機8個一括制御を実現すると、その後、大電流型や逆導通型のGTOサイリスタを適用した装置を次々と開発し、VVVFインバータの普及に貢献した。

IGBTの高耐圧化とベクトル制御の本格投入

1990年代になると、サイリスタよりも駆動電力が少なく高速動作が可能なIGBT(Insulated Gate Bipolar Transistor)が登場した。この素子の高周波スイッチングによる低騒音化と小型化のメリットは絶大で、1996(平成8)年、東急電鉄7700系においてVVVFインバータとVVVFインバータ+補助電源のシステムを開発、素子単体の耐電圧が十分ではなかったことから、中性点クランプ式の3レベルインバータを採用した。

その後、IGBTの高耐圧化が進んだことにより1500V電車線で使用可能な3300V級素子を使用できるようになり、2002年、JR東日本205系-5000代電車にて120kW電動機4個×2群のVVVFインバータを開発した。これはトルク応答に優れたベクトル制御の本格投入であり、速度センサレスを確立したシステムであった。制御用CPUもRISCマイコンを採用し、高速・高精度演算に対応していた。2003年、阪急電鉄9300系(200kW電動機2個×2群)では、新造当初から電動機に速度センサを装備しない、完全な速度センサレスシステムを実現した。

以後今日まで、顧客車両に対応した電動機出力や駆動単位、ブレーキチョップ装備、補助電源装置との一体化、三相交流架線入力に対応したコンバータ・インバータ方式など、さまざまなVVVFインバータシステムを、国内のみならず中国をはじめ北米・南米にも送り出している。



阪急電鉄7300系電車VVVFインバータ RG614-C-M (1986年)



東急電鉄1000系電車VVVFインバータ RG621-A-M (1988年)



JR東日本205系-5000番代VVVFインバータ SC71 (2002年)



相模鉄道6306号車内に置かれた試作装置(1980年)

近年の 歯車装置 の開発動向

TD継手の開発

昭和初期の電気鉄道車両の駆動方式は、電動機が輪軸と台車枠の間に橋渡しされた「吊り掛け」方式であった。しかし、近年の車両の高速化に伴い、今ではばね下質量を小さくした「カルダン」方式が主流となった。

カルダン駆動方式では、電動機をばね上の台車枠に装架することから、歯車装置の小歯車軸と電動機軸との間に生じる相対変位を吸収する必要がある。直流電動機の時代には「中空軸平行カルダン駆動方式」が主流であった。中空軸平行カルダンは電動機軸を中空としてねじり軸を通し、ねじり軸の端部に設けた2組のたわみ板がたわむことによって軸間の相対変位を吸収する方式である。その後、直流電動機は誘導電動機へと移行し、中空軸は中実軸に替わり、小歯車軸と電動機軸の相対変位を吸収するためのコンパクトな可とう継手を構成する必要性が生じた。当社では、可とう継手として従来の中空軸平行カルダン駆動方式のたわみ板継手とねじり軸をコンパクトにした「TD継手」を開発し、1969(昭和44)年に実用化した。これは、たわみ板としては従来と同じ特殊鋼であるが、より軽量で耐久性の高い炭素繊維強化プラスチック(CFRP)を用いたものを開発し、1989年に実用化、現在では主流となっている。

カルダン駆動方式の可とう継手では、TD継手の他にも歯車型継手(WN継手)が使われており、国内のシェアを二分している。TD継手のたわみ板はCFRP製のため、組立作業中に傷を付けないよう注意して扱う必要がある一方で、歯車型継手は保守時に歯部を清掃し、グリースを交換する必要がある。また、TD継手は高速回転時に風切り音が発生するという難点があったが、これを低減するために円筒形状のTD継手を開発し、N700系新幹線(グリーン車)や台湾新幹線等に採用されている。



円筒形状TD継手



アルミニウム合金製歯車箱

アルミニウム合金製歯車箱の開発

新幹線の高速化実現には、台車のばね下質量を軽くする必要があり、歯車箱を従来の鋳鋼製からアルミニウム合金製とする開発を進めた。実用化は、300系新幹線車両から採用された。

300系新幹線は1992年より営業運転が開始されたが、アルミニウム合金での歯車箱の開発は1980年代後半ごろから基礎研究が始まり、実用化には5年以上の歳月を要した。鋼に比べて靱(じん)性の低いアルミニウム合金を厳しい環境下の歯車箱に採用するに

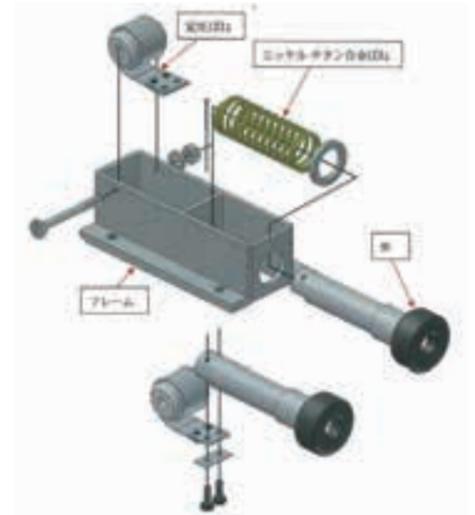
は、剛性を高めるための基礎試験や解析を繰り返し行い、材質や熱処理条件、各部の鋳物の厚さや形状を設定した。また、線膨張係数の差による軸受隙間や、各鋼製部品へのあらゆる影響を考慮したバランスの良い設計を行い、試作を繰り返した上で定置試験や実車での走行試験を実施した。

油量調整装置の開発

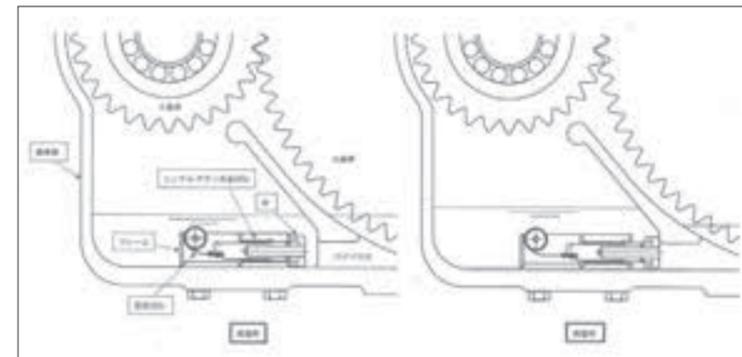
新幹線の高速化実現に向けてのもう一つの重要課題が、歯車装置の温度上昇を抑えることであった。新幹線のような高速車両では大歯車の回転速度が大きく、潤滑油がかくはんされて歯車箱内の温度が上昇しやすい。歯車装置の温度が上昇すると潤滑油粘度が低下し、潤滑油の寿命や潤滑油膜の形成に悪影響を及ぼすこととなる。新幹線相当の速度においては、歯車箱内温度は100℃を超えることも想定される。当社では、歯車装置の温度上昇を抑制する手段として「油量調整装置」を開発した。

歯車装置は、所定の温度を記憶した形状記憶合金を利用したばね(ニッケルチタン合金ばね)を用いた装置で、歯車箱下部の仕切られた一室に設置され、仕切り壁にはバイパス穴が開けられている。この穴は約40℃を超えると自動的にふさがり仕組みになっており、仕切られた空間に一部の潤滑油が溜まる。低温時には軸受を潤滑するために十分な量の潤滑油が必要であり、高温時にはかくはんに寄与する油量を必要最小限に制限し、かくはん熱を低減することが理想的な潤滑である。

当社が開発した油量調整装置が理想の潤滑状態を実現し、高速走行時の温度上昇を抑制している。油量調整装置を使用することにより、最大10℃以上の温度低減が可能なことは試験結果からも分かっており、油量調整装置と並行して歯車箱の形状を真円に近づけて潤滑油のかくはん効率を高める研究も進めており、300系新幹線で初めて油量調整装置が実用化された。以降、国内新幹線の500系、700系やN700系の他、海外向けの高速車両にも採用されている。



油量調整装置の構造



油量調整装置の機能



FCD (球状黒鉛鑄鉄) 製歯車箱

FCD (球状黒鉛鑄鉄) 製歯車箱の開発

近年、全閉化による電動機の低騒音化、すなわち歯車装置の低騒音化が顧客ニーズとしてクローズアップされるようになった。従来の在来線では、歯車箱は鑄鋼製が主流であったが、当社では鑄鋼に替わる歯車箱鑄物としてFCD (球状黒鉛鑄鉄) 製歯車箱の開発を進めてきた。一般的にはマンホールのふた等でなじみ深いのが、振動減衰率が高いという特性を持ち、騒音を低減する効果がある。また、鑄鋼に比べて切削性が良く、加工工数も低減できる。しかし、FCDを歯車箱に採用するに当たっては鑄鋼に比して伸びが小さい点を考慮する必要がある。そこで、飛石等による耐衝撃性能を落下衝撃試験によって確認し、鑄鋼よりも板厚を若干厚めに設定した。FCD製歯車箱では、基本的に溶接を廃止し、シンプルな形状・構造としている。ただし、鑄物の欠陥等に対しては補修が不可能なため、欠陥しにくい設計形状に配慮している。

FCD製歯車箱は2001年から採用され、現在では鑄鋼製のものもFCDに変更するなど、当社の歯車箱が主流となっている。

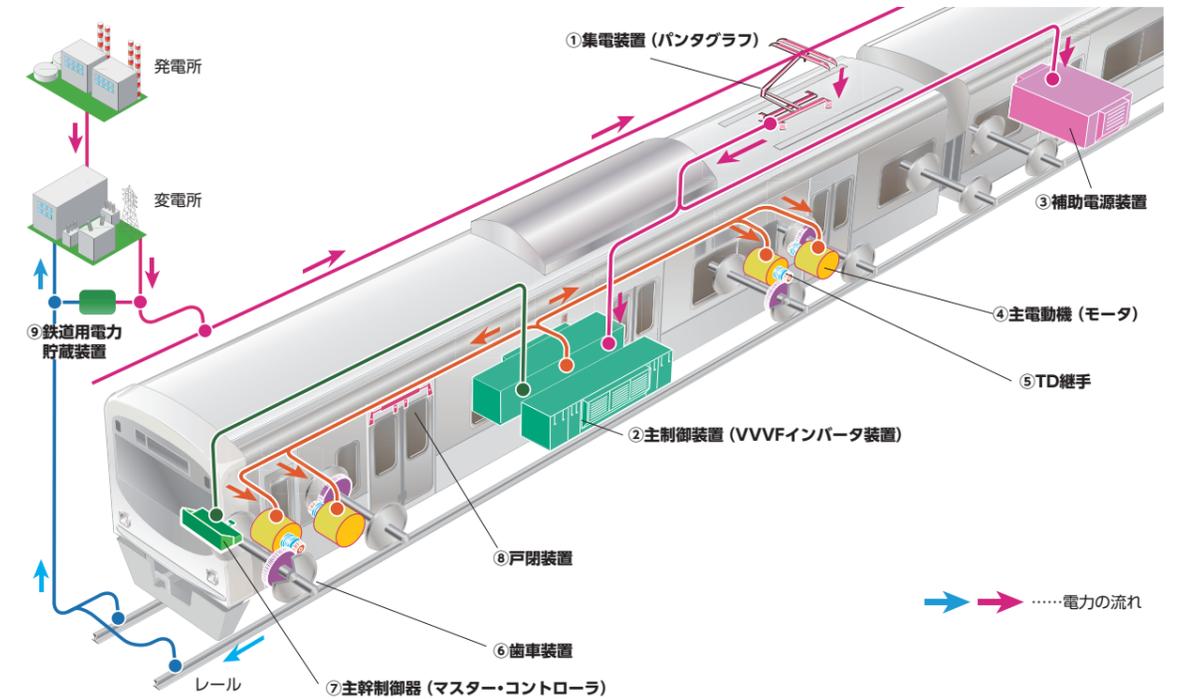
寒冷地高速車両用軸受

歯車装置の軸受には、円すいころ軸受が標準的に使用されている。円すいころ軸受では、ころが軸に対して傾斜となり、ラジアルとラスト荷重を同時に受ける構造になっている。

円錐ころ軸受は内外輪の温度差によって軸受の隙間が変動し、ころ端面は内輪のつば部とすべり接触しているため、潤滑油の粘度が高い低温環境下での起動時には、良好な潤滑状況を維持する上で注意が必要となる。特に海外の寒冷地向け高速車両の案件では最低気温が -40°C にまでなり、国内新幹線の最低気温 -20°C よりもさらに低い厳しい条件下での使用が求められる。これらを考慮し、当社では寒冷地向けの小歯車軸受には円筒ころ軸受と4点接触玉軸受を組み合わせた方式を採用している。寒冷地向け高速車両のニーズは今後も増えることが予想され、小歯車軸受方式の需要はさらに高まるものと思われる。

鉄道車両用電機品について

当社は、省エネルギー性に優れ、低騒音・低振動やメンテナンスの省力化を実現した鉄道車両用電機品を供給することで、世界の鉄道インフラの発展に貢献しています。



①集電装置 (パンタグラフ)

架線 (電線) に直接接触して電車で電力を受け入れる装置で、集電の量や品質を一定に保ち、架線を損傷しないように、機構や素材などの面で様々な工夫がなされています。

②主制御装置 (VVVFインバータ装置)

電力を電車走行の動力源として適切な形に変換して主電動機 (モータ) を駆動する制御装置です。この装置では、受け入れた直流電源を交流電源に変換し、また走行速度などに応じて供給電力 (電圧・周波数) を制御します。また、減速時は、モータからの電力を回生することができます。

③補助電源装置

電力を、車室内の照明・表示器具や空調などの電源として適切な形に変換する装置です。低電圧・定周波数の電力供給が目的であるため、主制御装置とは別に設置されています。

④主電動機 (モータ)

電力を得て車輪を回転させる動力を生み出す装置で、この装置で作られた回転力が歯車装置と車軸を介して車輪に伝えられます。

⑤TD継手

主電動機 (モータ) で作られた回転の力を、ブレや歪みなく車輪の歯車に中継する装置です。

⑥歯車装置

主電動機 (モータ) の回転力を車輪に伝える装置で、車輪に回転を伝える機構一式 (車軸・継手・歯車など) を指します。

⑦主幹制御器 (マスター・コントローラ)

鉄道車両の出力や速度を遠隔制御する装置で一般的には運転台に設置されています。

⑧戸閉装置

客車のドアを開閉する装置で、主にドア上部に設置されています。

⑨鉄道用電力貯蔵装置

大容量リチウムイオン蓄電池で大電流・急速充放電、高機能DC/DCコンバータでタイムリーかつ無駄の少ない充放電制御を行い、回生失効防止、電圧降下補償、変電所のピークカットを実現する装置です。

電車で戸閉装置の変遷

はじめに

旅客の乗降用出入口には、運転室や車掌室から車掌スイッチを操作して戸閉装置を動作させ、乗降扉の開閉を行う機能が設置されている。戸閉装置とは、車両の乗降扉を開閉する機械であり、これを制御する付属機器と組み合わせて操作される。

初期の鉄道車両では手で乗降扉を開閉していたが、昭和初期以降、空気式戸閉装置が採用され、乗降扉の開閉は自動化された。その後、扉が閉まっていないと発車できない戸閉連動装置や、車両走行中は扉が開かない安全装置などが付加されていった。

現在では、さらなる安全性能の充実や保守性の向上にも注力している。

戸閉装置の発展

初期の空気式戸閉装置は、当時の通勤電車の扉が片開きタイプであったため、ロングシートの下に設置し、扉とリンクを介してつながっていた。その後、通勤時の混雑が激しくなると、短い時間で多くの乗降ができるよう、両開きの2枚扉タイプが主流となった。

一方、通勤・近郊形車以外の優等列車では、1車両2扉でデッキ室のある車両に採用される片開きタイプや、通勤・近郊形車でも車体構造の簡易化に向けて、扉上の鴨居部に戸閉装置を取り付ける直動形などが登場した。

初期の両開き戸閉装置は、扉の両側に1台ずつ、1乗降口当たり2台設置したものや、鴨居部に背中合わせに2組のシリンダを配置したものであった。これらはいずれも1乗降口当たり2組のシリンダを有するため保守に手間が掛かり、また左右の扉の開閉時間をそろえるための調整も必要であった。そこで、鴨居部にベルト開閉機構を設置し、左右の扉を連動して開閉する方式が考案された。これによって、従来の片引きタイプ同様に1乗降口当たり1台の戸閉装置の設置で済み、その後広く普及していった。

鴨居取付け片引き扉用では、直動形戸閉装置とベルト開閉機構を組み合わせた戸閉装置「Y2形」が開発された。その後、艤装作業の簡易化を目的に、戸閉装置の他にも車体に取り付けられている電磁弁、戸閉スイッチ、非常コックをドアエンジンに直接設置し、一体化させた戸閉装置「Y4形」開発され、主流となった。

近年は、安全性の向上を目的に、安全機能を装備した戸閉装置が普及している。

戸閉力弱め機能付戸閉装置は、戸閉動作が完了し、戸閉スイッチが閉位置を検知した際（運転士知らせ灯点灯、車側灯消灯）、給気管に設置した弱め電磁弁から戸閉シリンダ内の空気を設定圧力になるまで抜き、一定時間戸閉力を弱める機能を持つものである。この機能は、扉隙間に人または物が挟まっているいかに関わらず、戸閉めスイッチが閉扉検知すると一定時間戸閉力を弱め、戸挟みが検知できないほどの薄い物が挟まれた場合でも抜き出しやすく、安全性が高められる。

一旦停止機能付戸閉装置は、閉扉動作中の扉が残り100mmまで閉じたところで一旦停止し、一旦停止終了後に戸閉空気圧力を低下させ、戸閉力を一定時間弱める機能を持つものである。

具体的には、シリンダの排気管に排気遮断用の一旦停止電磁弁を設置し、扉が100mm開いた位置までくると一定時間排気を遮断して扉を停止させ、閉め動作再開後には、給気管に設置した弱め電磁弁から設定圧力になるまで空気を抜いて戸閉力を弱める構造である。この機能は、扉が閉まりかけてから乗車した場合でも挟まりを防止し、万一、挟まれた場合でも、閉め動作再開後に戸閉力を一定時間弱めるので抜け出しやすく、安全性を高める狙いがある。

戸挟み検知機能付戸閉装置は、乗降扉の戸先ゴムに戸先センサーを設置し、扉閉動作時に戸先センサーが戸挟みを検知すると、一定時間扉を自動的に開反転させる機能を持つものである。この機能は、乗客が扉に挟まれた場合でも扉が一定時間自動的に開き、乗客が抜け出せるため戸挟みが防止でき、乗務員が再開閉操作をすることのできない無人運転方式の新交通システムの車両に採用されている。

電気式戸閉装置

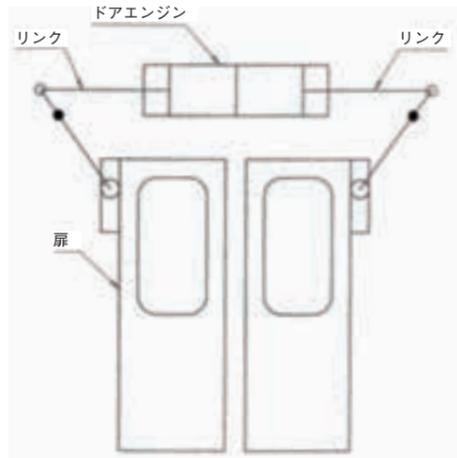
電気式戸閉装置とは、モータの動力によって扉を動作させる装置で、マイコンによってモータに供給する電力をきめ細かく制御することができる。しかも戸挟み検知、戸閉力弱めなどの安全機能を制御装置内のプログラムで設定することが可能である。電磁ブレーキを採用することで扉が任意の位置で鎖錠でき、加えて、戸閉時の戸先ゴム先端部に隙間ができない特長を有する。さらに、電磁ブレーキを緩めるための空気解錠シリンダを設置し、非常用ドアコックを開閉すると空気式戸閉装置と同様の取り扱いが可能となり、手動で操作が行える。なお、これらはワイヤーケーブルの解錠方式にも対応可能となっている。



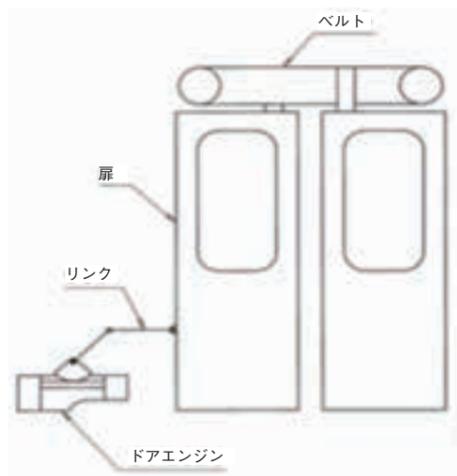
電磁弁一体形両開き扉用戸閉装置 (Y4形)



電気式戸閉装置 (YE4形)



鴨居背中合わせ配置戸閉装置



鴨居ベルト開閉機構戸閉装置

鉄道用 電力 貯蔵 装置の開発

「E³」とは「Energy(エネルギー)」「Ecology(環境)」「Economy(経済性)」の3つの面で、鉄道事業における「電力の有効活用」と「省エネ」をサポートする意味を込めている。

回生エネルギーを有効活用するために

2005(平成17)年に一部改正された『省エネルギー法』(エネルギーの使用の合理化に関する法律)では、工場や機械器具、輸送といった各分野での省エネ対策の強化が求められた。これらに対して鉄道事業者が実施していることのひとつが、回生ブレーキ車両を増やす方法である。ブレーキをかける際にモータで発生した電気を架線に戻し、他の電車を動かすことでエネルギーの消費が図られる。

しかし、この回生エネルギーが必ずしも有効に使えとは限らない。エネルギーを消費する車両が近くに存在しなければ、架線に戻った電気の行き場がなくなり、回生ブレーキを活かせられなくなるからである(回生失効)。

この問題を解決し、無駄なくエネルギー使用するために、当社は電池メーカー(注)と共同で回生エネルギーを貯蔵するための装置の研究・開発を重ねた末、鉄道用電力貯蔵装置「E³ソリューションシステム」を実用化した。

回生エネルギーを貯めることのメリット

1. 架線電圧の降下防止

ラッシュ時など、多数の車両が運行する際に、貯めておいた回生電力を架線に供給し、電圧降下を防ぐ。

2. 回生ブレーキの失効防止

回生ブレーキが失効すると機械方式のブレーキに切り替わるが、その間、空走が発生するので、停止直前に失効が起きると所定の位置に停止できなくなる。また、機械ブレーキを多用すると、ブレーキや車輪などの摩擦によりメンテナンスの手間がかかるため、回生ブレーキの失効防止は重要である。

3. 電力量ピーク時の消費抑制

ラッシュ時は電力消費がピークになるが、電力会社との契約料金はピーク時の電力によって左右される。そのため、貯めておいた回生電力を使えば、ピーク時の供給量が抑えられる。

4. 非常走行電源装置としての利用

電車線への送電が停止した場合、本線の駅間で停車した電車を最寄り駅まで走行し、乗客を安全に退避させるための非常走行用電源装置として利用できる。

鉄道では蓄電装置が大容量で大きな電力を使うため、充放電も短時間に行う必要がある。



鹿児島市交通局 中洲通り電停

複数の車両が運行する場合、それぞれの充放電パターンに対応しなければならないが、本システムはそれが可能で、鉄道事業者のニーズに十分応えられるシステムとなっている。



東武鉄道株式会社 東上線 上福岡き電区分所

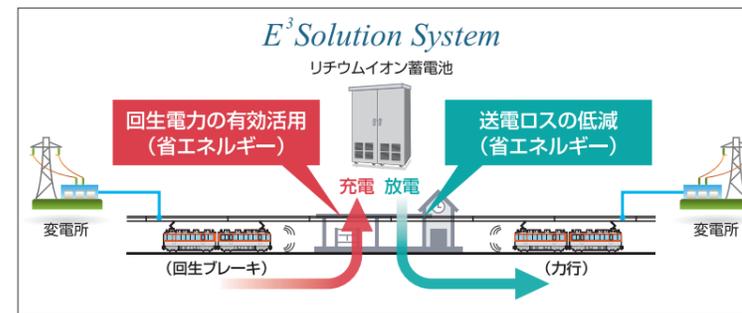


多摩都市モノレール株式会社 日野変電所

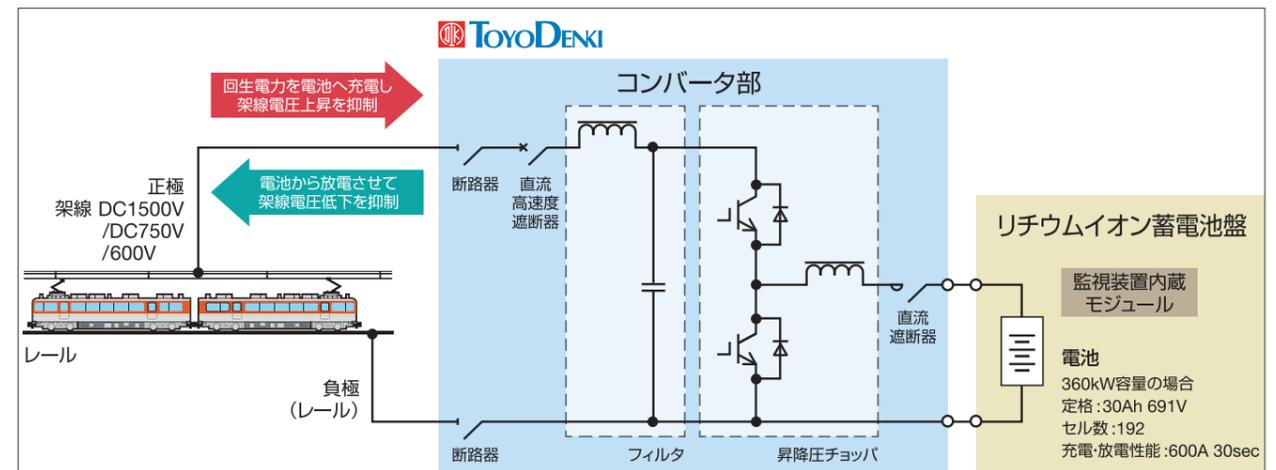
(注) 本装置は株式会社GSユアサとの共同開発製品である(電力貯蔵媒体: リチウムイオン電池)。

■ 主な納入実績

2005年1月	顧客: 西日本旅客鉄道株式会社 学研都市線 松井山手駅付近 → 東海道本線 野洲き電区分所に移設(2005年5月) 容量: DC1500V/360kW
2006年9月	顧客: 西日本旅客鉄道株式会社 北陸本線 新足田変電所 容量: DC1500V/1080kW
2007年3月	顧客: 鹿児島市交通局 桜島橋通り電停 容量: DC600V/250kW 顧客: 鹿児島市交通局 中洲通り電停 容量: DC600V/250kW
2012年6月	顧客: 西日本旅客鉄道株式会社 小浜線美浜駅 容量: DC1500V/720kW
2012年7月	顧客: 東武鉄道株式会社 東上線 上福岡き電区分所 容量: DC1500V/1800kW
2016年6月	顧客: 多摩都市モノレール株式会社 日野変電所 容量: DC1500V/2000kW
2017年2月	顧客: 札幌市交通局 南大通変電所 容量: DC1500V/2000kW
2017年12月	顧客: 南海電気鉄道株式会社 築地橋変電所 容量: DC1500V/2000kW
2018年1月	顧客: 西日本旅客鉄道株式会社 野洲き電区分所 容量: DC1500V/2000kW



E³ソリューションシステムの効果



システム構成図

電気 機関車 の製造

黎明期

当社の電気機関車製作への取り組みは早かった。創業直後より、英国ディッカー社の技術指導を受けながら電機品製造の国産化を進める形で取り組み、1920(大正9)年12月に落成した京都電燈福井支社越前電気鉄道部の貨物・旅客列車牽引用テキ7形電気機関車向けに3両分のDB-3形制御器を納入したことから、本格的に始まった。主電動機はゼネラル・エレクトリック(GE)社製で、車両メーカーは梅鉢鉄工所であった。

主電動機を含む電機品を担当した電気機関車の初号機は、1920年に完成した駿豆鉄道1形機関車3両であり、車両製作は雨宮製作所であった。

1922年には、汽車製造とともに浅野セメント上磯鉄道向けに1～3号機を納入し、戦後にかけて合計8両を納入した。なお、初期に製造した3両のうちの2号機は、当社横浜製作所敷地内に今も静態保存されている。

その後、1926年ごろにかけ、黒部鉄道・新京阪鉄道に小型機関車向け電機品を納入するなど、着実に実力を付けていった。

鉄道省への納入を目指して

1926年、鉄道省から幹線電化計画が打ち出され、より大出力・大容量の機関車を製作する方針が掲げられて、国内有力メーカーの共同開発による国産初号機(EF52)が完成した。この開発には参画できなかった当社であるが、その方針に沿った製品を納入すべく始動した。

まずはディッカー社の技術を習得することにより設計・開発能力の向上、製造体制の整備などを行い、納入・稼働実績を積み上げていく方針とし、この時期には中型電気機関車に注力して、将来的には大型機関車用電機品製造を可能とする技術力確立を目指した。

中型機関車1号機は、豊川鉄道向けデキ52形機関車(自重41トン)であり、この時期から戦中にかけて、機関車製造に関して当社は日本車輛製造との協業により、互いに実績を重ねていった。このデキ52形機関車を手始めに、その後は田口鉄道・伊勢電気鉄道・小田原急行鉄道・蒲原鉄道・阪和電鉄などに相次いで納入した。

こうした経験を重ねながら1934年、鉄道省にEF53形およびEF10形機関車の電機品を初めて納めるに至った。



駿豆鉄道1形電気機関車 (1921年)



横浜製作所に展示されている電気機関車
(1922年 浅野セメント上磯鉄道納入、1985年撮影)



201形電気機関車
(1930年 小田原急行電鉄納入、後にED1031と改称)

戦中以前の状況

当時、わが国が戦時体制へと向かう中、国策として進出した満州国の鉱山に関連した物資輸送に対応すべく、大小さまざまな機関車の製造を開始した。向け先は、南満州鉄道・満州撫順炭鉱・昭和製鋼所などである。同時に、国内においても鉄道省は輸送力増強を目指し、幹線の電化工事とともに電気機関車の増備を行った。

以下に、この時期に当社が製造担当した車両を例示する。

○アプト式軌道で知られた信越本線の碓氷峠では、路線開通時から勾配区間では多くのトンネルが存在し、低速で牽引する蒸気機関車の出す煙が客室や運転室に充満して、乗客の悪環境のみならず、乗務員は苛酷な労働環境に曝されていた。この環境改善と速度向上を目指して明治末期に電化され、以来、ドイツ製、およびこれを模して鉄道院で国産化した車両やスイス製の輸入電気機関車を使用していたが、これらが老朽化したため、1934(昭和9)年以降、置き換え用のED42形機関車28両を製造し、内1両を当社が担当した。

○1936年、主力機関車のEF53をベースに、当時海外で主流であった流線形先頭形状を取り入れた特急列車牽引用のEF55形機関車1両を担当した。ただし、流線形状を片側先頭のみとし、運転台機器も切妻端では簡易設置という前後非対称な構造であったため、終端駅では蒸気機関車のように方向転換を要すなど、使い勝手の悪さから総数3両の製造に止まった。

○当時、貨物列車用として使用されていたEF10の改良増備車として、1941年よりEF12形機関車を17両製造し、内6両を当社が担当した。

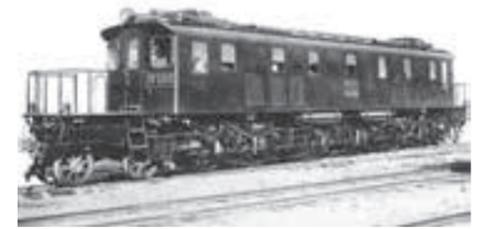
○戦中最後の製造として、1944年の近畿日本鉄道向けデ25形機関車1両・豊川鉄道向けデキ54形機関車1両を担当した。

戦後の復興・拡大期

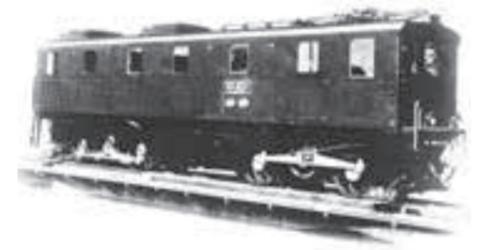
戦後、復興に向けて機関車製造を再開したのは1951年、東洋紡績が保有(車籍は名古屋鉄道)するデキ110形機関車であり、当社が元請となり車体部分は日本鉄道自動車が担当し、1両を製造した。

公社化した日本国有鉄道の車両では、1952年以降のEF58形機関車への電機品納入が始まりであった。これは、同年の高崎線の電化によって上越線「上野～長岡」間の連続電気運転が可能となったことや、東海道本線の全線電化計画などに伴う旅客用電気機関車の需要増加を見越したものであった。

EF58形は、終戦直後の1946～1948年に31両が製造されたが(当社は担当せず)、戦時中の延長線上の設計であったため品質が劣り、



EF53形電気機関車 (1932年 鉄道省納入)



ED42形電気機関車 (1934年 鉄道省納入)



EF55形電気機関車 (1936年 鉄道省納入)



デキ110形電気機関車
(1951年 名古屋鉄道/東洋紡績納入)



EF58形電気機関車 (1956年 国鉄納入)



EF15形電気機関車 (1947年 国鉄納入)

不具合が多発して運用中止となるなどの混乱を引き起こした。そのため全面的な見直しを行い、1958年までに141両を製造し、当社は汽車製造とともに19両を担当した。

以降、国鉄向け機関車は汽車製造・川崎重工業とともに担当することとなった。

その他にも1947～1958年にかけて、貨物列車牽引用のEF15形機関車202両を製造し、内13両を当社が担当した。同時に、東海道本線の全線電化に伴い、関が原地区での連続勾配区間の貨物列車牽引能力の増強に向け、1955～1956年にかけて2車体8軸駆動のEH10形機関車64両を製造し、内6両を当社が担当した。

私鉄等においては、浅野セメントへの増備車を除いては、当社の電機品に東洋工機の車体を組み合わせ、東洋紡績(前述)を皮切りに相模鉄道・三岐鉄道・北陸鉄道・東武鉄道・豊橋鉄道・越後交通等に中型機関車を納入した。

この間、国鉄においては、電気式ディーゼル機関車の開発を模索していたが、これに同期するように国内の車両メーカーは国鉄および海外への売り込みを狙い、独自に電気式ディーゼル機関車の開発を始めた。その取り組みの一つとして1958年、車体等の機械部分は汽車製造が、ディーゼル機関は三井造船が、主発電機以降の電機品は当社が担当したDF41(のちにDF92に改称)形機関車1両を製造し、翌1959年から約3年間国鉄に貸与し、山陰本線などで試用されたが量産には至らなかった。

新形式シリーズへの前進

戦後復興も軌道に乗り始めた時期、わが国のさらなる経済発展の原動力となるべく、国鉄では高速化・高性能化・信頼性向上・大容量化などを目指し、さまざまな新機軸を打ち出した。

こうした流れの中、ローカル線や私鉄からの買収線区で使用されていた雑多な旧型機関車の近代化が大きな課題となっていた。そうした一つの対応策として1958～1960年にかけて中型電気機関車ED60が開発され、8両新製された。同車に採用された新機軸は、台車装荷式主電動機・クイル駆動・バーニア制御・軸重補償制御・空転再粘着制御などの適用であり、当社は3両を担当した。

続く1960～1964年には、この成果を引き継ぐ形で、幹線貨物列車用として活躍していたEH10形機関車と同等の性能ながらも、小型・軽量化を実現した6軸駆動機関車EF60形機関車が開発された。この開発に際しては、台車構造が異なる2両の先行試作車を製造して比較評価が行われたが、当社が担当した1号機が量産方式に選定された。ただし、クイル駆動方式については、車輪の大歯車の継手部分に起因する異常振動などのトラブルがあったため、後にED60



ED60形電気機関車 (1958年 国鉄納入)



EF60形電気機関車 (1960年 国鉄納入)

とともにリンク式駆動装置への改修を施した。駆動方式については、2次車より吊り掛け式に設計変更したが、EF60はその後もマイナーチェンジを施しながら143両が製造され、当社は40両を担当した。

さらに1961～1962年にかけて、この派生機として東海道本線に増発された旅客列車牽引用として、暖房用蒸気発生装置を装備したEF61形機関車が18両製造され、当社は8両を担当した。

これら、幹線の輸送力増強に邁進する過程にあつて、信越本線では碓氷峠の最大勾配(66.7%)区間が単線で電車線電圧600V、しかもアプト式軌道であったため、低速・低密度運転に伴う輸送力不足が深刻な課題となってきた。この課題を克服するため、国鉄では数々の検討を重ねた結果、現状のアプト式を廃止するとともに複線化し、電車線電圧を1500Vに昇圧することに加え、この区間のみ補機連結運転を行い、「上野～長野」間の直通運転を行う方針を決めた。この方針に対応すべく、補機として1962年に開発され1969年まで製造されたEF62形機関車は、EF60をベースとしつつ勾配降坂時の抑速用発電ブレーキを装備し、当社開発の高精度空転検出装置が採用された。同車は総数54両を製造し、当社は25両を担当した。

国鉄の機関車との関わり

戦後復興の時期を過ぎ、日本経済が力強く拡大し始める原動力の一つとして、物流の整備・近代化が時代の要求として強くなってきたこの時期以降、国鉄としても輸送力の増強に力を注いだ。

路線の延伸・新線の建設と共に電化を進め、鉄道輸送力の増強を行ってきた。同時に、旅客需要に加え、貨物輸送の拡充に邁進した時期でもあった。

電気方式としては直流1500Vと交流20000Vの2種の棲み分けをしながら幹線およびローカル線の電化を進めたが、機関車の電気方式では輸送力の合理的運用も考慮し、直流機関車・交流機関車・交直流機関車の3種類で整備を行ってきた。

このうち、当社は直流機関車のみを担当分野として実績を重ねてきたため、国鉄からは直流機関車の製造メーカーとして認定され、以後、分割民営化されるまでの間、直流電気機関車の新製時には元請および電機品製作担当メーカーとして責任を果たすことになった。したがって、当社が担当する直流機関車においては、次の受注形態が原則となった。

車両元請+電機品製造:当社
車両製造 : 汽車会社又は川崎重工業

なお、国鉄には従来から車両設計機能部門(工作局車両設計事務所)があり、製作する各メーカーが分担して図面作成を行い、この図面を車両設計事務所が取りまとめた上で、同一図面をもって各製作



EF61形電気機関車 (1961年 国鉄納入)



EF62形電気機関車 (1963年 国鉄納入)



EF64-38号機 製造銘版 (1971年)



EF64-1001号機 製造銘版 (1980年)



EF64形電気機関車 (1964年 国鉄納入)



EF65形電気機関車 (1965年 国鉄納入)



EF66形電気機関車 (1968年 国鉄納入)



EF64-1001号機 (1980年 国鉄納入)

担当メーカーがその製造を行うシステムであった。当社においても(記録に残る限り)、EF62以降は分担して製作図面担当社としての責任を担うこととなった(EF62以降、EF64・EF65・EF66・EF67など)。

高性能機関車への発展

わが国の高度経済成長を背景に、幹線を中心とした電化が進むにつれて、旅客・貨物ともに輸送需要は増大し、より大量で高速な輸送が求められるようになった。この需要を満たすため、メーカー各社ではさらなる高性能機関車の標準系列化への開発方針に対応することを目指した。

まずは、中央本線のような中程度の勾配(33‰程度以下)区間を含む路線用として、1964年に製造が始まったEF64形機関車には発電ブレーキが装備された。輸送量に柔軟に対応するため、重連総括運転を可能とし、客車牽引時に必要となる電気暖房用MGを搭載した車両を含め79両が製造され、当社では1971年の5次量産車以降21両を担当した。

この時期の大きな課題として、急速な経済発展に追いつけない高速道路網の未整備などの要因もあり、鉄道輸送力の増強が求められていた。そのため、1965年には平坦線区の標準機関車として使用していたEF60をベースに高速化に対応し、パーニア付き電動カム軸制御器を新設計したEF65形機関車を開発、500代車を含めて169両を製造し、当社では56両を担当した。

引き続き、500代車をベースに寒冷地(上越線など)対応仕様を適用した1000代機関車を1969～1979年に139両製造し、当社では61両を担当した。

並行して、東名・名神高速道路の整備によって影響を受け始めた貨物輸送のシェア奪還に向けて高速コンテナ輸送を目指し、高速貨物列車専用機EF66形機関車が、1968年に開発された。1975年までに56両を製造し、当社では25両を担当した。

さらに、国鉄最後の新製機関車として開発されたのが、1980年のEF64-1000代機関車である。これは、上越線や高崎線で使用されていたEF15・EF16・EF58の置き換え更新用であり、豪雪地帯の走行を念頭に、雪害対策を重視したものであった。補助電源として初めて当社原設計のBLMGを搭載した型式であり、1982年までに53両を製造し、当社は23両を担当した。

新技術適用による新型式機関車開発を担当

1982年、国鉄向けでは初めてとなる当社設計・単独製作による電機子チョップ制御方式のEF67形機関車が以下の経緯により完成した。

山陽本線上りの「瀬野～八本松」間(通称、瀬野八)は連続した上り勾配・曲線区間(換算勾配25‰)が約10kmも続き、重量貨物列車の難所とされてきた。以前よりEF59重連や、その後継機の位置付けて補機化改造を施したEF61-200代車を後押し補機として運用していたが、EF59重連相当の推進力を得ようとするEF61-200代車も重連とせざるを得ないものの、非常ブレーキ作用時に不具合が発生してしまうため、EF61-200代車は単機での運用を余儀なくされていた。このため、EF59の老朽取り換えに際しては、単機でEF59重連相当の出力(1,200トン貨物列車の補機)を要したことから、EF61-200代車ではなく、6軸をチョップ制御で駆動する機関車への置き換え方針が決定された。この制御方式は、国鉄では1981年に量産採用された201系電車が最初であり、当社が原設計を担当していなかったことを考えると画期的な快挙であった。なお、車両はEF60を種車として国鉄広島工場で改造された。

後押し補機とはいえ、性能試験では本務機としての性能評価も行い、最急勾配の途中から900トン負荷に相当する荷重を引き出すことにも成功するなど、所期の性能を満足するものであった。同機は、その後1986年までに計3両を改造竣工した。

国鉄の分割民営後

1987年の国鉄分割民営化後の日本貨物鉄道では、貨物列車の増発、なかでもコンテナ貨物の増加に対応するため、EF66-100代機関車を製造した。国鉄時代の設計を踏襲しつつ、環境配慮などの小改良を施しながら、1989～1991年にかけて33両が製造され、当社は14両を担当した。

また、瀬野八補機に関しても老朽化したEF61-200代車の置き換えが必要となり、1990～1994年にかけて種車をEF65-0代に変更した上で、日本貨物鉄道・広島車両所にてEF67-100代の機関車5両を改造竣工した。

21世紀になって

黒部峡谷鉄道では、2011年に輸送効率の向上と資材運搬能力の強化を目的にEDV形機関車を川崎重工業との共同で2両製造した。同機は、当社が製造を担当した唯一のインバータ制御機関車である。

※社名・組織名などは当時の名称を使用。



EF67形電気機関車 (1982年 国鉄納入)



EF67形電気機関車に搭載されたCH3形チョップ装置 (1982年 国鉄納入)



EF66形電気機関車100番代 (1989年 JR貨物納入)



EDV形電気機関車 (2011年 黒部峡谷鉄道納入)

パナマ運河 曳船用 機関車

日本の鉄道技術を世界に示した案件

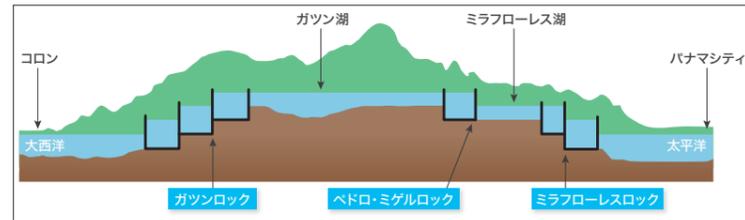
パナマ運河曳船用機関車受注の案件は2回に及ぶが、いずれも当社の歴史の中で大きな意味を持つものとなった。一つは、日本の鉄道技術のレベルを世界に示し得たことであり、入札過程におけるわが国の取り組みは当時の国鉄をも巻き込み、その後の新幹線開業への弾みとなった点も見逃すことができない。もう一つは、この大型案件は当社の業績向上・回復に二度とも貢献し、その後の飛躍と発展に大いに寄与したことである。

まずは、1960(昭和35)年の第1回受注の入札過程から完成までの経緯を振り返るとともに、日本製機関車となった第2世代(1962<昭和37>年より納入)と第3世代(1999<平成11>年より納入)の技術面での比較について記述する。

■ 図1 パナマ運河地帯地図



■ 図2 パナマ運河断面図



第2世代機関車の受注

1914年のパナマ運河完成後、初代の曳船用機関車には米国・GE(ゼネラル・エレクトリック)社製が採用された。しかし開通50周年を機に、増加する輸送量への機関車の増強と能力向上を図るため、米国管理下の運河会社(Panama Canal Commission、以下PCC)が第2世代機関車39台を国際入札とした。

1959年8月、GE他、米国・欧州勢4社と日本連合(三菱商事、東洋電機製造<幹事>、汽車会社、新三菱重工 他)が応札し、日本連合が一番札を獲得したが、この後仕様の見直しが行なわれた。翌1960年2月の第2回入札時、日本連合は再び一番札を獲得した。し



第2世代機関車の試運転の様子(1961年9月 汽車製造会社工場で)

かし、競合の米国企業は「米国商品優先買い付け法」を主張し、また米政府の一部からも「パナマ運河は米国の国防上の重要拠点であり、外国企業に依存するのは良くない」との意見が出て、同国の議会で取り上げられるまでとなった。米国陸軍省軍事顧問らが当社をはじめ国鉄や各社を視察した結果、「米国の鉄道車両は日本の特急“こだま”などの足元にも及ばない」と報告したことから、同年5月ようやく日本連合に決定が下ったのである。

機関車は、水門間にある50%勾配(斜度約29°)区間をラックレールで昇り降りすること、速度調整のためのモータ回転数を切り換えるクラッチを搭載すること(第3世代車ではこの機能は不要とした)、機関車の前後に各1台搭載した油圧によるウインドラス装置(ウインチ装置)は最大7万lbsの曳船牽引力を有すること、曳船時の機関車横転防止に備え、ラックレールの側面を挟み込む安全輪機構を施すこと等、これまでまったく前例のない特殊な機関車の設計・製作を迫られることとなった。当時、日本の鉄道車両はビジネス特急「こだま型」が完成するなど、近代化への技術革新が勢いを増しており、第2世代機関車の設計には国鉄からは副技師長はじめ技術陣が指導に加わるなど、日本の鉄道技術の総力を挙げて取り組むこととなった。なかでも、曳船のためのウインドラス装置の駆動源は、従来の電機式ではパワー不足であったため、第2世代車には油圧式を採用した点が注目を集めた。

これらの成果が実り、1961年9月、ようやく1号機が完成、汽車製造会社東京支店(砂町)で完成式が行われた。会場には、国鉄の十河総裁(当時)はじめ500名もの来賓が出席し、そのあと帝国ホテルで開催された祝賀会では、メーカーを代表して当社の國行社長(当時)が挨拶を行った。

その後、試作車6両が現地での稼働試験を終え、量産体制に入った。現地での稼働試験には大変な苦勞があったと聞かすが、完成品は好評で、PCCからは「パナマ運河の悩みを解決してくれた」と、当時のパナマ日本大使、衣笠敦雄国鉄副技師長、当社の加来技師長の3名に運河の“鍵”が贈られた。日本の鉄道車両技術が認められ、高く評価された案件であった(1962年2月1日『産経新聞』夕刊掲載)。

その後も増備を含め総計75両の機関車を納入し、この大量受注により、1962年の当社の業績は好調に推移した。これがその後の1964年の増資へとつながっていったのである。

第3世代機関車の受注

米国は、パナマ運河建設時の背景から運河地帯の租借権を有していた。しかし、当時のカーター政権下で締結された二国間協定により、1999(平成11)年末をもってその管理運営権をパナマ共和国に



完成祝賀会(1961年9月 東京・帝国ホテルにて)



第2世代機関車の船積み(1961年)



パナマ運河曳船用機関車を紹介する新聞記事(1962年2月1日 産経新聞夕刊)

全面返還することとした。この返還を前に、21世紀にふさわしい新型機関車の導入が決まったのである。1996年の国際入札時、欧州勢からも応札はあったが、米国ではすでに鉄道車両製造産業が衰退しており、第2世代車で評価の高かった日本連合（三菱商事、東洋電機製造〈幹事〉、川崎重工〈1972年、自動車会社を吸収合併〉、三菱重工）が引き続き受注を獲得した。

こうして、新たな機関車を設計するにあたり、各社でプロジェクト体制が敷かれた。当社も1997年、武井取締役（当時）をヘッドに交通技術部・走行制御・牽引電動機・ウインドラス・集電器等、設計開発陣からなるプロジェクトチームを発足させた。なお、設計開始当時の運河岸側メンバーは米国組織PCCの技術者であり、その人員は米人・パナマ両陣営で構成されていた。しかし、1999年末の返還以降は組織名がACP (Autoridad del Canal de Panamá) に変わり、技術者はすべてパナマ人となった。

新型機関車には、随所に新技術が導入された。特に走行制御においては、当時の産業部門で開発した汎用コンバータ、インバータ（VF61シリーズ）をベースに、高温多湿な気候や、ラックレール敷設区間走行時の振動の大きさ、曳船機関車としての特殊な速度制御等、さまざまな課題を克服すべく、構造やプログラムを汎用品から見直していった。また、ウインドラスは、第2世代車で好評だった油圧駆動方式を踏襲するものの、操作性のさらなる向上を図ったマスターコントローラや、制御部へのPLCの採用、ピンチローラ駆動を油圧モータ化するなど、さまざまな新機能を盛り込んだ。

1999年8月、原型車8両がミラフローレスロックに到着し、約半年をかけて整備調整を行った後、運用に入った。この間、1999年12月14日にパナマ運河返還式典が行われることとなり、PCCからの要請で、整備中の新型機関車のデッキにパナマ大統領、カーター元米国大統領（大統領就任中の1978年、パナマ運河返還を決定）、スペイン国王、近隣諸国の要人など、VIP陣営を乗せて会場のそばまで入場するプランが示され、引渡し前の機関車を急ぎよ清掃し、本番に臨んだ。

最終的に、新型機関車は数回に分けて3カ所のロックに計100両が配備され、国際物流の重責の一端を担った。しかし、稼働からすでに20年近くが経過した現在では、リハビリの時期に入りつつある。また、国際物流の変化も激しく、天然ガスの市場拡大やコンテナ船の大型化に伴い、従来のレーンでは「パナマックス」以上の船は通航できないため、既設2レーンのそばに幅55m（33.5m）×長さ427m（305m）×深さ18.3m（12.8m）（カッコ内の数字は現行運河）の拡幅レーンの増設工事を2007年より開始し、2016年6月に運転を開始した。

構造は従来同様、運河を閘（こう）門で区切って水量調整を行う



パナマ運河返還式典
（1999年12月14日 資料提供：共同通信社）



パナマ運河で活躍する第3世代機関車

方法だが、ロック通航時は前後のタグボートで姿勢を安定させるため、レーン幅に余裕ができ、機関車方式は採用していない。

しかし、既存の2レーンが果たす役割も重要で、飛躍を続ける国際物流の発展に今後も大いに寄与するものと思われる。

また、原型車8両の成功を受けて、2006年までに計100両の機関車を納入し、その高収益が全社挙げての「グローアップ123」計画の完遂に大きく貢献したことは言うまでもない。第3世代機関車も第2世代同様、当社にとって意義深いものであった。

第2世代・第3世代機関車の主要諸元

最後に、日本連合が製作した第2世代・第3世代機関車の主要諸元を比較してみたい。ここに社会的ニーズや技術的進歩の動向を見ることができよう。特に、第2世代での大幅な牽引力の向上は油圧ウインドラス装置と制御技術によるものだが、第3世代ではさらなる技術的進歩を付加し、省エネ性や省メンテナンス性を念頭に、高性能な機関車が設計・製造されている。

現地では、第2世代・第3世代機関車ともに運河関係者からの絶大な評価を受け続けているが、このことは日本鉄道車両業界の高い水準を示すとともに、当社の実力を世に知らしめる証ともなった。

■ 第2・第3世代の機関車の主要諸元

項目	第2世代 （日本製）	第3世代 （日本製）	参考：初代 （GE製）
形式	2軸中央運転台式	同左	
軌間	5'-00" (1,524mm)	同左	
全長	417.36" (10,601mm)	10,600mm	
全幅	125.67" (3,092mm)	3,192mm	
全高	159.29" (4,046mm)	3,880mm	
固定軸距	180.00" (4,572mm)	同左	
車輪径	841mm	同左	
重量	50t	同左	43t
電気方式	3相交流460V60Hz	同左	
主電動機	3相誘導電動機127kW	3相誘導電動機216kW	
駆動方式	ラック駆動および車輪駆動	同左	
速度切換方式	極数(6P,4P)切換、縦続接続、減速比(2段)切換	インバータ制御による主回路切換なし無段階定速制御	
速度	1,2,3,6,9mph	1,2,3,4,5,6,9,10mph	
最大引張力	1&2mphにて70,000lbs		2mphにて25,000lbs
	3mphにて40,000lbs	3mphにて70,000lbs	
	6&9mphにて無負荷走行	最高10mphにて無負荷走行	
勾配登坂能力	50% (1~3mph、無負荷)	50% (5mph、無負荷)	
制動方式	常用：セルフラップ直通空気制動	常用：回生制動、バックアップとして空気制動	
	非常および駐車：ばねブレーキ	非常：空気制動 駐車：ばねブレーキ	
抑速方式	電力回生ブレーキ	同左	
転倒防止	水平安全車輪によるラック軌条抱きかかえ方式	同左	
ウインドラス	油圧駆動式(2台/両)	同左	電気式

路面電車・LRV向け電機品の発展



軽快電車パンフレット



広島電鉄3800形電車(1987年)



ヒートパイプ冷却方式VVVFインバータ制御装置(1987年 広島電鉄納入)

軽快電車

わが国の電車の技術は高速大量輸送の分野では進んでいたが、路面電車は自動車交通に押されて廃止する方向になったこと、高速大量輸送の技術をそのまま応用できない独特な部分があることから、技術発達の空白があった。

1978(昭和53)年から3年間にわたり、社団法人日本鉄道技術協会による「軽快電車の構成要素の開発」が発足した。当社はメンバーとして、電機子チョップ制御方式による回生ブレーキに対応した高追随性、軽量で軽快な形状、屋根上占有面積が少ないZ形パンタグラフを開発した。委員会において2車体3台車が検討されたが、営業運転に供する広島電鉄の要望により3車体4台車に変更された3500形電車、および応用例として単車が長崎電気軌道2000形電車として、1980(昭和55)年に登場した。

次章のVVVFインバータ制御車登場の過渡期には、車体は、軽快電車ながら、電磁接触器式自動進段方式の抵抗制御車も登場し、広島電鉄、鹿児島市交通局、長崎電気軌道、東京都交通局などに制御装置を納入した。

VVVFインバータ制御方式の発展

1982年に熊本市交通局8200形電車がわが国初のVVVFインバータ制御方式による営業電車として登場し、路面電車としても最初の例となった。当社は1987年に主回路にGTO素子を用いてヒートパイプ冷却方式を採用した1C4M制御のVVVFインバータ制御装置と主電動機その他を広島電鉄3800形電車として納入し、1990(平成2)年から単車にも適した1C2M制御が広島電鉄、鹿児島市交通局、函館市交通局、富山地方鉄道、名古屋鉄道に納入した。

2001年以降、主回路にIGBT素子を採用した制御装置を京福電気鉄道、東京都交通局に納入し、2017年からはハイブリッドSiC素子を採用した制御装置を広島電鉄のGTO素子VVVFの置き換え用に納入した。

欧州LRVシステムのわが国への導入

欧州では、左右の車輪を結ぶ車軸を無くした台車と駆動伝達方式が各種研究・開発され、低床式路面電車が実用化されつつあり、わが国も低床式路面電車の開発・検討の気運が高まったが、一刻も早

く導入したいというエンドユーザの要望が強く、すでに実用化されている欧州の技術を導入する動きとなった。1997年に熊本市交通局9700形電車と1999年に広島電鉄5000形電車が、それぞれ欧州メーカーとわが国の車両メーカーの提携によって登場した。当社は後者にばね上昇電動降下方式のシングルアーム形パンタグラフを納入した。前者はその後電機品の国産化が進み、2010年以降、当社は車体床下にぎ装する主電動機を岡山電気軌道、熊本市交通局、福井鉄道、えちぜん鉄道に納入した。

国産LRVシステムの発展 1

従来から実績があり、安定性・保守性が良い左右の車輪を結ぶ車軸ありの台車による低床式路面電車の開発にアルナ車両は取り組んだ。当社は屋根上ぎ装のVVVFインバータ装置を開発し、2001年から鹿児島市交通局、伊予鉄道、土佐電気鉄道に電機品を納入した。台車部は高床となるため、台車上部は運転台あるいは客室端部の座席とし、車内通路部は100%低床を実現化した。さらに主電動機を床下ぎ装として、その部分の車内は座席部とし、自在継手と直角カルダン駆動装置による方式を開発し、2005年に長崎電気軌道3000形電車に納入した。

その後、平行カルダン方式により鉄道総合技術研究所、伊予鉄道、鹿児島市交通局、車体ぎ装直角カルダン方式により函館市企業局、豊橋鉄道、富山地方鉄道、長崎電気軌道、阪堺電気軌道、札幌市交通局、筑豊電気鉄道、とさでん交通に納入した。

国産LRVシステムの発展 2

左右の車輪を結ぶ車軸の無い台車を国産開発するため、2000年から3年間にわたり、運輸省の指導によりメーカー8社による「超低床エルアールブイ台車技術研究組合」が発足した。当社はメンバーとして台車の側面にぎ装する両軸駆動の主電動機と直角カルダン駆動方式を開発した。

研究組合とは別に、近畿車輛、三菱重工業、当社はU³プロジェクト^(※)を組み、広島電鉄の協力を得て2005年に広島電鉄5100形を納入した。欧州の技術ベースだった5000形電車に対して座席数の増加、冷房装置の効率アップ、車椅子が通ることができる通路幅の確保、運転席からの視界確保など、わが国に適した条件を実現した。

車体長さ30m級に対して18m級のニーズも生まれ、2013年に広島電鉄1000形電車をU³プロジェクトで納入した。当社は1C2M方式のVVVFインバータ装置、高周波絶縁方式の補助電源装置を開発し納入した。



長崎電気軌道3000形電車(2005年)



直角カルダン駆動装置(2005年 長崎電気鉄道納入)



鹿児島市交通局500形電車(1955年 東洋工機製)と7500形電車(2017年)



広島電鉄5100形電車(2005年)

※U³とはUltimate(究極の)、Urban(都会的な)、User friendly(利用しやすい)を意味する。



広島電鉄1000形の台車(2013年)

産業用 モータ の変遷

産業事業を築いたモータ

当社は1918年に鉄道車両用電機品の製造を目的に設立されたが、その8年後の1926年には産業分野にも進出し、産業用モータの製造を開始した。ここでは、産業事業を築いてきた産業用モータについて紹介する。

1.ASモータ (三相交流整流子電動機)

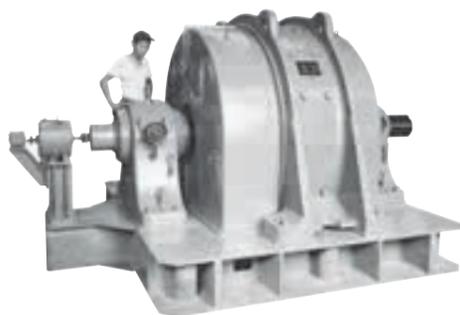
産業モータの製造は、1926年の東邦電機工作所から製作販売権を取得した三相交流整流子電動機(シュラーゲ形)の製造が手始めとなった。この三相交流整流子電動機はブラシを移動させることで速度制御が可能であり、繊維、紡績分野で採用された。その後、容量拡大や改良を続け、量産体制が整った1958年にはその特長からAS(Adjustable Speed)モータと命名された。サーボモータを用いた自動制御を用いることで精度良い速度制御を可能とし、製紙、鉄鋼、印刷、搬送など幅広く産業界に可変速モータとして採用された。サイリスタ制御のモータが登場した後も、特別な制御装置がなくとも速度制御が可能なことや低速での力率が良好であることから、インバータ駆動の誘導電動機に置き換わる1990年代まで当社の産業事業を支え、今日の当社の産業事業の発展の礎となった。

2.DCモータ (直流電動機)

ASモータに引き続き、1928年には鉄道車両用電動機的设计・製作技術を用いて産業用直流電動機の製作に着手した。当初、直流電動機は艦船用等に使用されたが、1961年に開発されたサイリスタレオナード装置と組み合わせることで高性能な可変速制御を可能とし、変速モータの主力製品となっていった。1982年にはモデルチェンジを行い、フレームレスのプレハブ構想を採用し、脱鋳物化を図ったDKシリーズを製品化した。DKシリーズでは、整流性能、制御応答性能および保守・点検性を向上し、各部巻線を含めた高信頼性の確保、低騒音等の特長を併せ持つモータとなった。1990年にはマイコンによるデジタル制御を用いたサイリスタレオナード(TLRD90シリーズ)が開発され、これと組み合わせて全デジタル制御も可能となったことから、産業事業の主要用途である印刷機、金属加工設備、ゴム製造設備他のドライブ用として多数納入されたが、1990年代後半には脚光を浴びてきたインバータ駆動の交流電動機に押され徐々に減少し、2006年には直流電動機の製造に幕を下ろすこととなった。



ASモータ



DCモータ



DCモータDKシリーズ

3.BLモータ (交流可変速無整流子電動機)

整流子のないモータとして、業界に先駆け1968年にサイリスタを用いたサイクロコンバータと同期電動機を組み合わせた無整流子電動機を開発した。ブラシレスの意を表してBLモータと命名された。BLモータは回転子の構造によってクローポール形と励磁機付円筒界磁形の二種類に大別できる。このBLモータは直流電動機並みの制御性能を有しており、正転から逆転、力行から回生が連続して切り替えることが可能であった。また、ブラシや整流子を有しないため、保守・点検が容易であり、使用環境の適用範囲も広いといった特長があった。製糖用遠心分離機の駆動用として多数使用されたほか、石油化学、上下水道、製紙など各業界で使用された。



BLモータ

4.NSモータ (固定子給電形交流整流子電動機)

ASモータは回転子給電形の交流整流子電動機であったが、1964年には固定子給電形の交流整流子電動機の技術をイギリスのローレンス・スコット・アンド・エレクトロモータース社から導入し、NSモータの商品名で販売した。ASモータと異なり高電圧の使用に適しており、全閉形の適用も容易なことから上下水道ポンプ用やセメント、製紙、化学工場などの雰囲気の良い場所でも使用でき、新分野への受注に貢献した。



NSモータ

5.DLモータ (デルタモータ)

1965年、当社はサイリスタを応用し、かご形誘導電動機と同種の構造で可変速が可能なるモータを開発した。保守が簡単で安価でありながら、電動域から制動域まで平坦な分巻特性を持つとともに、運転速度は0から定格速度まで連続に制御可能で、さらに回転部の感性が小さいため応答性が良く、自動運転が容易であるなど、利点多いモータである。制御装置はギリシャ文字のΔ(デルタ)の形にサイリスタを接続しており、デルタモータと名付けたが、後にDLモータと命名され、小容量の可変速モータとしてファン、ポンプ、押出機などの駆動の他、フィルム、ゴム加工などにも使われた。



DLモータ

インバータ駆動時代の産業モータ

1980年代に入るとパワー半導体とマイコン技術の発展し、これらを用いたインバータ装置により、交流電動機を高精度に駆動できるようになった。今日においては、当社が製造する産業用モータはすべてインバータ駆動を前提としたモータとなっている。次頁では、こうしたインバータ駆動モータを紹介する。



UFシリーズIM

1. UFシリーズIM (インバータ用誘導電動機)

当社は1987年にインバータ専用モータ(インバータ駆動を対象にした専用モータ)として、UFシリーズIM(以下、UF-IM)を開発した。インバータによる可変電圧/周波数電源による駆動を前提としており、広い可変速範囲、小型軽量、高応答性などが特徴として挙げられる。UF-IMの開発にあたっては、以下の施策を実施した。

1. インバータの高サージ電圧に耐える絶縁システムを開発し、巻線の信頼性を向上。
2. 適正スキュー率の研究・実施により、低トルクリプル化を実現。
3. センターハイト180以下はアルミ押出品フレーム、それ以上のセンターハイトのものはフレームレスコア一体型を採用した脱铸件化。

UF-IMの開発以来今日に至るまでの生産台数は、約3万5,000台に達している。

同時期に開発されたインバータのベクトル制御を用いて駆動することで、直流電動機を凌駕する高精度なトルク/速度制御が可能となったことから、鉄鋼、フィルム、印刷、ゴム加工など、多くの産業分野で従来のモータに変わって適用されるようになった。

しかし、次項で述べるEDモータ(永久磁石形同期電動機)が2000年に開発され、販売が開始されると、UF-IMは次第にEDモータに取って代われ、生産台数は激減に転じた。その一方で、EDモータには不向きなパワコン範囲の広い要求仕様にも容易に対応できるなど、UF-IMのメリットを生かした用途も残されており、今後も少量ではあるが継続生産していく見込みである。

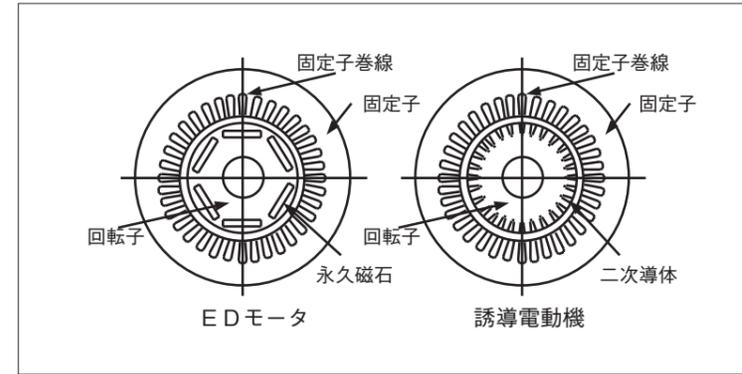


EDモータ

2. EDモータ (永久磁石形同期電動機)

1990年代後半から、地球環境問題に対する省エネルギーへの取り組みが国際的な広がりを見せた。産業分野では、電力の2/3はモータの駆動に使われると言われ、モータの高効率化がますます重要な課題となっていた。時を同じくして、希土類永久磁石の性能が著しく向上し、高磁束密度、高保持力を備えた磁石の生産が可能となり、モータに採用されるようになった。当社でも、こうした希土類永久磁石(ネオジム系)を使用した高効率モータとして、永久磁石形同期電動機を開発し、2000年より1.5~110kW、2005年までにはさらに範囲を拡大して1.5~750kW(1200min-1ベース)の発売を開始した。高効率であり、Economical、EcologicalといったキーワードからEDモータと命名された。

EDモータは、回転子内部に永久磁石を内蔵した永久磁石形同期電動機である。EDモータと誘導電動機の構造比較を以下の図に示す。



EDモータと誘導電動機の構造比較

固定子は両者ともに同様の巻線を有しているが、回転子が異なる。誘導電動機は回転子に二次導体を有し、固定子巻線の回転磁界と回転子速度との差により二次導体に電圧を誘起し、電流が流れトルクを発生させる。一方、EDモータは回転子内部に永久磁石を内蔵しており、固定子巻線の回転磁界に吸引・反発して同期速度で回転する。このため、回転子は基本的に電気損失を生じさせず、モータ総損失が軽減され、効率化を図ることができる。また、埋込磁石構造(IPM: Interior Permanent Magnet)なので、磁束軽減効果とトルク増大効果が同時に得られる。

EDモータの制御においては、この磁石の位置に合わせて電流位相を制御することで、トルク制御を行う必要がある。当社では、このEDモータ駆動用のベクトル制御を搭載したインバータ(ED64/VF66シリーズ)と組み合わせて誘導機なみの高精度なトルク制御を実現している。EDモータの特長として

- ・ 高効率 : UF-IMに対して約5%前後の効率アップを実現
 - ・ 小型軽量: UF-IMに対し、質量で32~57%軽減
 - ・ 低騒音: 損失低減により冷却風量を抑えて、低騒音化実現
 - ・ 低慣性: 慣性モーメントをUF-IMの30~75%に低減
 - ・ 保守軽減: 回転子発熱を抑え、軸受け封入グリース寿命を1.5~2倍とした
 - ・ 軸受け交換が容易: 回転子を分解せずに軸受け交換可能な構造とした
- 等があげられる。

こうしたモータ自身の特長とインバータによる高精度制御により、当社ではファンポンプといった用途だけでなく、高精度な制御を必要とするシャフトレス新聞印刷機駆動など、産業用可変速ドライブ用モータとして幅広い分野で適用している。発売以来、省エネモータとして顧客からは好評を得ており、発売開始から今日までの生産台数は約3万台を達成した。

産業用 インバータ の変遷

VFシリーズの誕生

1970年代に入り、半導体の進歩に伴って構造が簡単で保守性に優れたかご形誘導電動機を、パワー半導体を用いた可変周波数電源によって可変速運転することが可能となってきた。当社においては、1976年に電流形インバータVF2000シリーズ、1977年には電圧形PWMインバータVF3000シリーズを完成させ、誘導電動機と組み合わせて各種製造ラインへの適用を開始した。このVF3000シリーズは、米国GE社のサイリスタ電圧形PWM方式を導入したもののだが、制御性に優れたパワートランジスタモジュールの実用化とマイコンの発展に伴い、1982年にマイコン制御による正弦波PWMを用いた電圧形VVVFインバータとしてVF5000シリーズを完成させ、インバータ駆動の誘導電動機を可変速モータとして広く適用することを可能とした。さらに1989年には、パラメータ設定器の標準装備化と通信による直接デジタル制御 (DDC) 機能を追加したVF5100HGシリーズを完成させ、多くの産業システムに採用されたことは、当社のインバータ専用誘導電動機 (UFシリーズ) の開発と相まって、産業システムの誘導電動機駆動化を躍進させた。

ベクトル制御の開発

初期のインバータは、誘導電動機を対象としたV/f制御を用いていたが、これでは高精度な速度制御やトルク制御は不可能であり、これらが必要な用途では直流電動機を適用せざるを得なかった。1969年に誘導電動機を直流電動機と同様にトルク制御することが可能なベクトル制御の原理が考案されていたが、アナログ制御時代には実用化は困難であった。しかし、1980年代に入りマイコン技術が急速に進歩し、デジタル制御によってベクトル制御の実用化が可能となった。当社においては、1983年に過渡すべり周波数を補償することにより、汎用インバータにも搭載可能な電圧形ベクトル制御 (VVEC) を開発し、VF5000シリーズのオプションとして実用化した。さらに1986年には、従来のベクトル制御とは原理の異なる、瞬時空間電圧ベクトルによるトルク直接制御を用いた、瞬時空間ベクトル制御 (SVEC) を開発した。このSVECはVF5100HGシリーズに制御回路を変更することで搭載され、従来の直流電動機を遥かに凌駕する高トルク応答性能を実現し、自動車試験機や新聞回転機などのシステムに適用された。SVECによるトルク制御においては、従来のベクトル制御では必須だった速度センサが原理上不要



VF2000 (1976年)



VF3000 (1977年)



VF5100HGシリーズ (1989年)

であり、高応答な速度センサレス制御としても適用された。

IGBTインバータの出現

1990年代に入ると、高速でのスイッチングが可能な素子としてIGBT (Insulated Gate Bipolar Transistor) が登場し、当社ではこれを用いたVF61シリーズを1993年に製品化した。PWM周波数を従来のVF5100HGシリーズより一桁速い最大15kHzとし、可聴周波数を超えたことでモータから発生するPWMの電磁音を一扫し、低騒音形とした。また、ベクトル制御モデルであるVF61S (速度センサレス)・VF61V (速度センサ付) には、SVECのトルク直接制御ベースに高周波キャリア比較PWM方式化したことで、高速・高応答な速度制御を可能とした。さらに、このVF61シリーズは、小型軽量化の実現と斬新なデザインにより、通商産業省 (現 経済産業省) の1993年度グッドデザイン商品に選定された。



VF61 (1993年)



VF64シリーズ (1999年)

インテリジェント化とEDモータ制御

1999年には、顧客の使い勝手を考えて、演算ブロックとラダーシーケンスをユーザーがインバータ内にプログラムすることでカスタマイズできる、インテリジェント化されたインバータVF64シリーズを他社に先駆けて開発した。また、VF64では、V/f制御・ベクトル制御・センサレスベクトル制御の3つの制御すべてを搭載し、選択して使用できるようになった。さらに、2001年にはVF64シリーズをベースに、永久磁石同期電動機 (EDモータ) のベクトル制御・センサレス制御を可能としたED64spシリーズを開発した。ED64spシリーズの開発によって、当社は他社に先駆けて、効率に優れた永久磁石モータを産業用ドライブ装置に広く適用し、産業界の省エネに大きく貢献することとなった。また、EDモータの永久磁石構造の採用で低慣性化を実現した自動車試験機用モータDSDシリーズも、このED64spにより制御され、自動車試験機の高性能化にも貢献した。

さらに2007年には、誘導電動機とEDモータの双方に駆動可能なインバータ、VF66Bシリーズを開発。モードを切り換えることによっていずれのモータも駆動できる他、演算ブロックとラダーシーケンスを統合したPLC機能を搭載し、操作もPC画面で簡単にカスタマイズできるようになった。このVF66Bシリーズをベースに、さらなる高応答を可能にしたVF66Cシリーズや、サーボ機能を搭載したVF66SVシリーズなども開発し、自動車試験機、印刷機、加工機のさらなる高性能・高機能化を実現した。



VF66B (2007年)

発電機 ビジネス の変遷



3,500kVA たて形三相同期発電機
(1953年 日本カーリット広桃発電
所納入)



非常用自家発電設備 (1976年 横浜地方合同庁舎納入)



インド大手自動車メーカー向けディーゼルエンジン発電
装置 (1981年)

大型水車発電機の開発

当社は、1953(昭和28)年に日本カーリット株式会社からの3,500kVA・11kV・167rpm・たて軸型の大型発電機の受注により大型水車発電機分野に進出した。総重量104トンにもなるこの発電機は、当社の回転機の実験をはるかに超えるものであったが、その後は電力会社や公営(県営)企業局および農協組合などからも注文を受け、1961年までに11台を納入した。

さらに、以前納入した栃木県企業局川治第2発電所の励磁システムでの静止型化や同期投入装置・揃速装置・電圧平衡装置など、商用母線との並列運転に必要な装置を静止型化し、現地にて改造・運転を実施した。その後、この装置は国内外の発電機間の並列運転や商用母線との接続に多数適用されることとなった。

自家発電設備の製造・販売

1973年、総務省消防庁の告示によって自家発電設備の基準が明確化されたことにより、一般建造物・ビル等への自家発電設備が次々と設置され、当社でも新規ビルの建設に合わせ、毎月30台程度の受注と出荷が続いた。駆動機は主にディーゼルエンジンで、発電機単機容量は750kVA以下が主流であった。当社では、現在も一般社団法人 日本内燃力発電設備協会認定の下、自家発電設備の販売を継続しており、防衛省や金融・保険機関のデータセンターなどに向けて予備電源装置を製造・納入している。

海外向けディーゼルエンジン駆動による 常用発電装置の製造・販売

当社では1970年ごろから2000年ごろまで、インドネシアの木材業者向けに製材所の機械駆動用電源としてディーゼルエンジン発電装置の単機容量1,000kVAを約240台を納入した。1981年からはインドのタタ・グループにディーゼルエンジン駆動の発電装置を納入したことをきっかけに、当社がエンジンを購入し、単機容量が4,000～7,500kVA程度の発電装置160台以上をインドに納入した。

しかし、1990年ごろにはインドが外貨準備高不足に陥り、海外からインドへの輸出ができなくなったため、市場を変更せざるを得なくなり、当社は、1990年ごろから台湾やパキスタンに向けてディーゼルエンジンメーカー経由で、インドに納入したものとほぼ

同じ単機容量の発電機をそれぞれ40台と70台納入し、その頃の工場はフル稼働であった。

海外向けスチームタービン駆動による 常用発電装置の製造・販売

1964年ごろには、タイとパキスタン向けに常用発電機としてスチームタービン発電装置を販売してきた。蒸気発生燃料は主にサトウキビの搾りかす(バガス)で、今でいうところのバイオマス発電である。約40年間でタイにはおよそ60台、パキスタンにはおよそ80台を納入し、発電機の単機容量は3,000～5,000kVA 1,500rpmが主流であったが、2000年には当社最大のスチームタービン用発電機(40,000kVA・11kV・1,500rpm)をタイに納入した。

1995年以降、原油価格の高騰により、ディーゼルエンジンによる自家発電計画はほぼ中止となり、代わりに石炭を使用したスチームタービンによる常用自家発電設備が財閥企業を中心に設置された。当時、当社は業績不振により、発電機の開発・製造・販売をインドのTD Power System (TDPS)に移管し、2000年ごろからは、当社の技術による発電機がインド国内を中心に設計・製造・販売された。インドの安価な材料費と土地の価格、人件費のおかげで、日本の技術と品質を有する発電機が安い価格で製造・出荷でき、2012年ごろには、スチームタービン発電機を軸に年間約300台を製造・販売した。1980年代に当社がインド各地に多数の発電機を納入してきた実績とインドの産業が急速に発展した時流が合致し、好調に推移したことは特筆すべきことである。

さらにTDPSでは、4極発電機(発電機単機容量)では技術的に限界と思える50,000kVAを設計・製造・出荷し、2極発電機はドイツのシーメンス社との技術提携により、その一部の製造も実施した。

今後の発電機事業の拡大について

当社が今後も発電事業を進めていくにあたって、国内の非常用発電装置および化石燃料にこだわらず、バイオマス発電・ごみ焼却発電等の国内外向け常用発電装置にも注力した体制づくりに取り組んできた。そのための施策の一つが、2015年に締結した韓国・現代重工業とのODM契約であり、大型発電機については当社の技術支援により高技術・高品質で適正な価格の製品を実現した。

従来、自社内で十分に実施できなかった大型発電機のシステム試験については、2018年5月に竣工した滋賀竜王製作所に必要な環境と設備を整えたことで自社内での品質管理も可能となった。今後も当社は発電事業のますますの拡充を図っていく方針である。



タイ向けスチームタービン発電装置 (1976年)

産業 システム 製品ライン ナップ

東洋ネットワークシステム

当社の産業システム製品は、製造業における一般産業設備機械や自動車開発用試験機、社会インフラ設備を通じて、広く国内外のお客さまに使用いただいている。これらの各設備は人と機械、情報と制御を結び付けるネットワーク環境の優劣が、そのオートメーション能力を決定づける。東洋ネットワークシステムは、Ethernetをはじめとする豊富なオープンネットワークに対応し、柔軟で最適なシステムの構築を可能にしている。

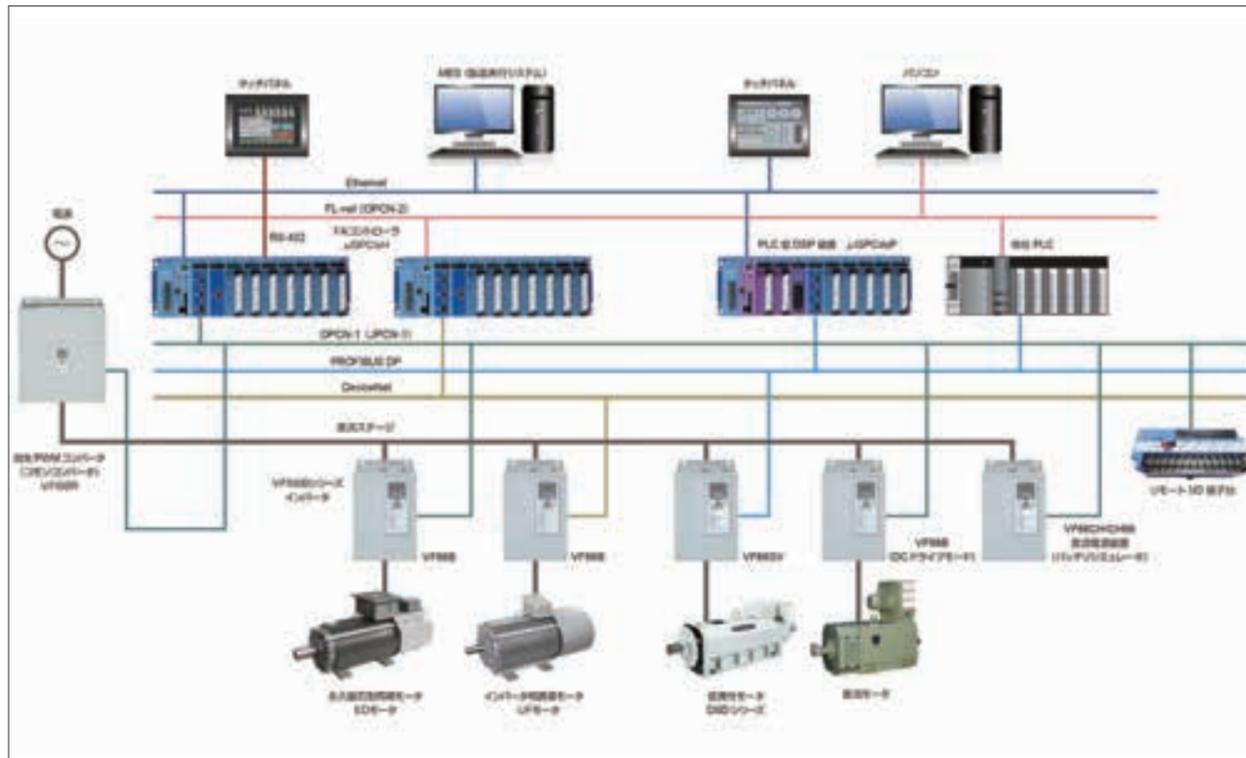
FAコントローラ μ GPCsH

高速・高機能FAコントローラ μ GPCsHは、過去の μ GPCシリーズとの完全互換や、通信I/Fのスピード向上が図られた。さらにEthernet、FL-net、PROFIBUS、DeviceNetなどのオープンネットワークに対応しており、上位PCやタッチパネルなどとの接続性にも優れたコントローラである。

IoT対応として、上位通信はIndustry4.0やIndustrial Internet Consortium (IIC) で推奨されている通信規格「OPC-UA」、下位



μ GPCsH



東洋ネットワークシステム

通信は「EtherCAT」をそれぞれ装備。PLCプログラミング言語はIEC61131-3「PLCOpen」を採用しており、次世代の接続性とオープン化の機能が付加された。

この μ GPCsHをベースに、デジタル信号処理 (Digital Signal Processor) を搭載した高速コントローラとして開発されたのが μ GPCdsPである。 μ GPCdsPのプロセッサモジュールは、モータのフィードバック演算を100 μ s (マイクロジーメンス) 以内で実行することができ、高応答インバータと組み合わせることで、高速・高応答ドライブの構築が可能である。さらにMATLAB/Simulinkに対応し、さまざまなシステムにおいて生産性を飛躍的に高めている。

インテリジェントインバータVF66B

長年培ってきたモータドライブ技術を結集したインテリジェントインバータVF66Bは、従来は個別にシリーズ化していた速度センサ付ベクトル制御モードや速度センサレスベクトル制御モードなど、1台で5モードへの適用を可能にしている。さらに誘導電動機・EDモータのいずれにも対応可能で、豊富なアプリケーションを有するインバータである。VF66Bに内蔵されたPLC機能は、18種の制御ブロック、36種のデータフローブロック、5種のラダーブロックで構成され、これらの制御ブロックを組み合わせることにより、任意の制御ブロックを構築することが可能である。これにより、PLCレスなシステムを提供することができる。

また、VF66Bはインバータでありながら直流モータを駆動する機能 (DCドライブモード) を有する。頑強な作りの直流モータに対し、サイリスタレオナードなどの制御装置の方が先に寿命が尽きるケースが多いが、VF66BではDCドライブモードにより、AC化への更新を段階的に進めることができ、設備投資コストの抑制にも役立っている。

VF66Bの登場以降、VF66ファミリーとしてさまざまな特長を有するインバータが開発された。以下に、その代表的な機種を紹介したい。

1.VF66SV

大容量ACサーボアンプとして開発されたのがVF66SVである。VF66SVは高精度位置決め機能を内蔵し、高分解能エンコーダを装備するサーボモータとの組み合わせで、速度制御範囲1:1,000を達成した。さらに、25bitのアブソリュートエンコーダとの組み合わせにより、33,554,432p/rの高分解能角度制御・位置制御を実現。油圧装置の電動化に最適である。



VF66B インテリジェントインバータ

2. 直流電源装置 (チョッパ)

直流電源装置 (チョッパ) は、電力貯蔵、バッテリーの充放電装置等、近年需要が増える双方向非絶縁型DC/DCコンバータである。降圧 (VF66CH)、昇降圧 (CH66) の両方に対応可能で、30kW以上にはバッテリーシミュレータモードを搭載。バッテリーの電気的特性を設定することで、実機の充放電を模擬的に動作させることができる。HV駆動系試験装置の車載バッテリー模擬用として、自動車メーカー他に多数納入している。

3. モジュールタイプのシステムインバータ

近年は、制御部とパワー部を分離したモジュールタイプのシステムインバータが開発され、従来のようなユニット内蔵パネルで構成するシステムに対して大幅な小型化を実現した。これにより、これまではスペースの制約があった電気室への設置も可能となった。また、当社のシステムインバータは中電圧帯 (690V) も2MWまでカバーし、海外で進む装置の大型化にも対応している。

EDモータ

超高効率と小型化を実現し、経済的 (Economical) で環境に優しい (Ecological) EDモータ (Eco-Drive Motor) は、埋込磁石構造の永久磁石同期電動機、いわゆるIPM同期モータである。1.5kW ~ 750kWまでと幅広いレンジのラインナップを備え、PMモータでは業界でも屈指のラインナップを誇る。EDモータについては「テーマ史28 産業用モータの変遷」をご参照いただきたい。

さらなる低騒音性を追求するため、ファンモータを排除し、冷却方式に水冷却方式を採用した「水冷式EDモータ」は、ノーマルなEDモータに比して騒音値を5 ~ 10dB低減、工場の低騒音化など、周囲環境への配慮にも貢献している。

ダイナモメータDSDシリーズ

その他、EDモータの応用製品として開発されたのが超低慣性ダイナモメータDSD (Dynamic Spin Dynamometer) シリーズである。従来、誘導電動機であった低慣性ダイナモメータに永久磁石型同期モータを採用し、さらに小型・スリム化を実現。エンジン模擬駆動用S-DSD (Slender DSD) と車両模擬負荷用H-DSD (Heavy-duty DSD) をシリーズ化することで、エンジンと自動車車両の走行シミュレーション運転が可能となる試験装置を納入している。S-DSDシリーズには独自の水冷却方式を採用し、同出力の誘導電動機に比して慣性モーメントを1/10以下に抑えている。このS-DSD

シリーズを当社の高応答インバータVF66シリーズと組み合わせ、トルク応答周波数2.4kHzを実現した。その結果、よりエンジンに近い挙動の再現が可能となった。

S-DSD、H-DSDは、それぞれ独自の進化を続けており、H-DSDは広い定出力範囲をもつW-DSDシリーズへ、S-DSDは低慣性をさらに追求したS-DSDi・S²-DSDシリーズへと、あらゆる試験用途に対応した製品を提供している。また、EV・HV駆動系試験の分野では超高速化が求められており、これに対応する製品として10,000回転以上のダイナモメータのラインナップを拡充した。近年では、最先端の解析技術を駆使し、20,000回転ダイナモメータの開発にも成功している。

発電・電源装置

製紙工場や製糖工場など、多量の蒸気を使用する施設では、その蒸気の一部を発電に利用している。従来なら廃棄されていた都市ゴミ、木くず、のこぎりくず、もみがら等も燃料として発電し、工場内の電力を賄うと同時に余剰な電力を売電する方式も広く採用されている。当社でも、これまで海外の製紙・製糖プラントに数多くの蒸気タービン発電設備を納入してきたが、近年は国内のごみ処理プラントへの納入も増加しており、発電機容量も300 ~ 40,000kVAと、適用範囲を広げている。

水力発電や風力発電などに多数適用されている当社の分散電源装置は、永久磁石形の発電機 (EDG) とパワーコンディショナ盤で構成されている。発電機システムは熱損失の少ないEDGに加え、変換器には高効率制御を採用し、大容量機では94%、小容量機でも90%程度の高効率を実現した。また、パワーコンディショナ盤は風力など、変動の大きい負荷を受ける不安定な電圧、周波数を系統へと連系できるよう安定化させている。

当社の防災用・一般非常用キュービクル発電機は、消防法のキュービクルに適合したタイプであり、専用の発電機室を必要としない。そのため、機械室の隅や屋上などにも手軽に設置できるという利点をもつ。また、単相電源・三相電源を1台の発電装置で出力できるハイブリッド出力タンデム発電装置には電子ガバナ制御を搭載しており、定電圧・定周波・定波形歪率を有する高性能発電装置である。こちらはコンピュータ、オンライン端末機、ATM等の予備電源として用いられている。



S²-DSD



H-DSD



EDモータ



FFトランスミッションベンチ



常用発電装置

モータ ドライブ システムの 適用

可変速ドライブの歴史

当社では、鉄道用モータの加減速技術を基礎として、産業用可変速モータを生み出してきた。可変速モータ開発の歴史は、産業事業の歴史そのものでもあり、各時代にマッチした製品を供給しながら産業事業は発展を遂げた。モータドライブシステムの適用は、日本の高度成長とともに、あらゆる業界の機械・装置に組み込まれるようになり、当社の可変速モータもASモータ、NSモータ、DCモータ、BLモータ、DLモータ、UFモータ、EDモータと変遷しながら、広く社会に浸透していった。主要モータの変遷は本稿末の図1に示す。

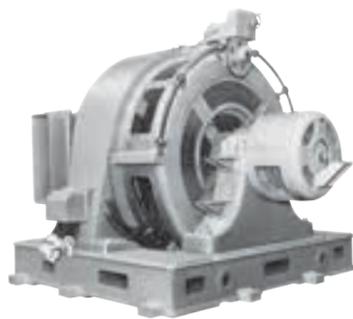
1960年代以前 —ASモータの時代—

当社では、昭和初期に三相交流整流子電動機、ASモータをいち早く製品化した。このモータは特別な制御装置を必要とせず、交流電源に直接接続して可変速できる唯一のモータであり、広く産業界に普及した。日本の高度成長とともに増加していった印刷機、製紙、樹脂フィルム、繊維、紡績、鉄鋼、搬送機など、現在の産業事業の基礎ともいえる多種多様な業界に納入し、これらの中には今でも現役で稼働しているものも多数ある。

ASモータの特徴は、単体モータで駆動する機械に多数採用されている他、複数台の同調運転を実現したことが挙げられる。

1960~1980年代 —直流電動機の時代—

1960年代後半より、半導体の製造技術の向上によってサイリスタ素子が安価に供給されるようになった。これにより、サイリスタレオナード装置が登場すると、直流電動機が急速に普及した。半導体は電子機器用も登場し、ICを組み込んだ各種の演算増幅器も製作されるようになった。さらに、直流電動機と演算増幅器を組み合わせることにより、速度・電流・電圧・同調・張力制御など、応用が急拡大していった。単体から複数モータへの駆動化や、装置全体を制御するシステム化が進み、またユーザの設備投資も活発化し、今日のようなドライブシステムの事業スタイルが確立された。直流電動機全盛の時代は40年ほど続いたが、現在でも多くの製造ラインで直流電動機が稼働している。



ASモータ (1961年)



DCモータ (1965年)

1990年代 —AC化の時代—

半導体技術がさらに進歩すると、パワートランジスタを搭載したインバータ装置やCPUチップを組み込んだデジタル制御機器が普及した。そのニーズから、ドライブシステムはより大規模に、複雑に、高度に、高速に様変わりしていった。さらに、高速スイッチング素子のIGBTが提供されるとインバータ性能は格段に高まり、直流電動機を上回るようになった。こうして、ドライブシステムは一気にAC化していった。

2000年代以降 —EDモータの時代—

2000年以降の省エネルギー指向の高まりを受け、当社では大電力を消費するドライブシステムにいち早く永久磁石型同期電動機、EDモータを市場投入した。省電力性のみならず、優れた制御性を併せ持つEDモータは高度なシステムに多数採用されており、製造設備ではシャフトレス新聞輪転機や高機能フィルム延伸装置に、製造設備以外では自動車用試験装置などに、現在もトップクラスの技術として供給している。

モータドライブシステムの適用

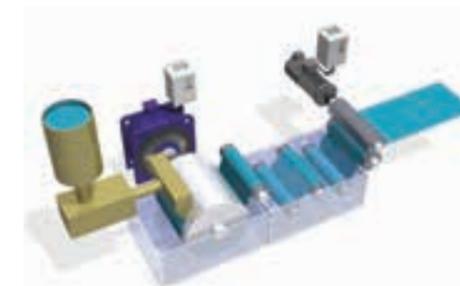
実際に、当社のドライブシステムが組み込まれた装置を以下に紹介する。

1. シャフトレス新聞輪転機

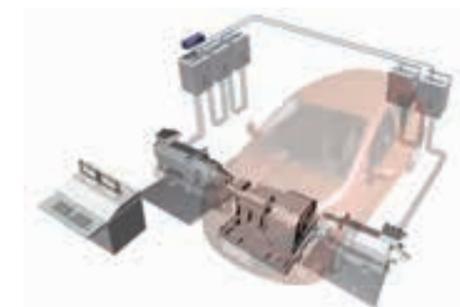
当社は、株式会社東京機械製作所をパートナーに、いち早く輪転機のシャフトレス化を実現した。1995(平成7)年にユニット単位で、1998年には各版胴個別駆動のフルシャフトレスを製品化した。輪転機は、毎分約900mで走行する用紙に50台前後のモータを同期制御させ、30 μ m以内で4色刷りオフセットを最大40頁同時に連続印刷するもので、印刷速度は世界最高速の20万部/時を達成している。

2. 枚葉印刷機

当社では、カット紙を高速オフセット印刷する枚葉印刷機の主原動用としてASモータを初めとして直流電動機、誘導電動機、EDモータと歴代モータを継続して納入してきている。単機駆動であるが高品位印刷や位置決め制御など、お客様のニーズを当社独自のノウハウで実現している。



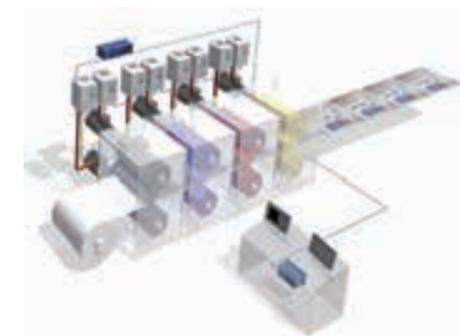
高機能フィルム延伸装置



自動車用試験装置



シャフトレス新聞輪転機



印刷機

3.高機能フィルム成型装置

2005年ごろより、テレビなどディスプレイ画面のLED化による液晶用高機能フィルム成型装置が国内外で製作され、当社でも多数のドライブシステムを納入した。従来の二軸延伸機よりも精度を高めるため、キャストイングから縦延伸部までをセクショナルドライブ化し、分解能0.001%の高精度ドロー制御を実現。キャストイングはギヤバックラッシュや歯打ちによる製品ムラと機器寿命対策として、DDM（ダイレクトドライブモータ）を適用し、大規模ラインではHMIシステムを設置して、レシピ機能やトレンドを付加させている。



製紙機械



タイヤ製造設備



金属加工設備



伸線機ライン

4.製紙機械

当社では、ASモータ時代より製紙機械用に多数のドライブシステムを納入してきた。抄紙機、ワインダ、ティッシュマシン、コーターマシン、スーパーカレンダー他。製紙機械は多種多様なロールやシリンダを高精度速度制御し、さらに負荷配分制御、トルク制御、垂下制御などのヘルパー（補助ドライブ）制御が重要であり、多数のモータを連続して安定稼働させることが求められている。

5.タイヤ製造設備

タイヤは多くの加工工程を経て製造されるが、当社では、そのあらゆる工程の機械装置にドライブシステムを納入してきた。それらの適用範囲は、タイヤコード、ミキサー、TEXカレンダー、SRカレンダー、押出工程、裁断工程、成型機、タイヤ試験機などである。

6.金属加工

当社では、金属加工向けにプロセスライン、圧延機、スリッタ、リコイラ、パイプミルなどを多数納入してきた。プロセスライン等では100台超のモータを速度、トルク、垂下、負荷配分など、多種多様な制御で実現した。また、ラインの自動化も多数組み込み、省力化にも貢献している。

7.搬送機械

搬送機械用では、ASモータの時代よりスキーリフト、ロープウェイ、ケーブルカーなど、数多く納入してきた。搬送機械は、運転状況による回生制御や単機設置への高調波対策が求められるが、直流電動機では可逆型レオナードを12パルスで制御し、交流電動機ではPWM正弦波コンバータを適用している。

8.ファイバライン

石油系素材によるファイバを高度延伸、波型形成、裁断により合

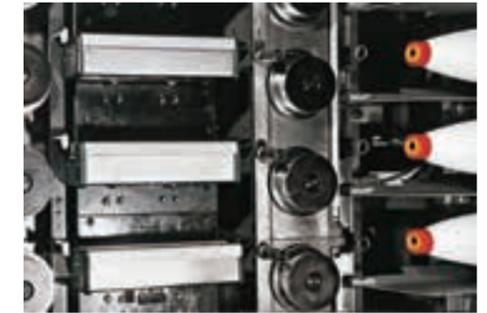
成繊維用人工綿を製造する装置で複数台の大型電動機で構成される。当社では直流電動機でいち早くシステム実現、その後ファイバライン特有のゼロ速度制御に適したBLモータを多数納入してきた。現在ではその後継としてより制御性の良いEDモータでシステム構成して継続納入している。

■ 図1 主要モータの変遷

	モータ				ドライバ	
	ASM	DCM	M	EDM	レオナード (DCM)	インバータ (M/EDM)
昭和初期	レオナード				レオナード	
1970					アナログ制御	
1980					DIGITAL化	インバータ
1990						インバータ
2000						IGBT DIGITAL
2010						
2020						



搬送機械



ドローツιστα

自動車 試験 システムの 開発

自動車試験システムの需要

自動車はエンジンを主として駆動源とするため、その排出ガス対策として1968(昭和43)年に大気汚染防止法が施行され、1997年には気候変動枠組条約が採択されるなど、規制強化に伴う対応が常に迫られてきた。また、国内のみならず欧米・新興国など、国や地域によって異なる仕様や要求に応え得る車両には、エンジンだけでなく幅広い開発と評価試験が行われている。これらの自動車試験システムを測定する装置は動力計、またはダイナモと呼ばれ、当社のモータとパワーエレクトロニクス機器も、こうした動力計として採用されている。

トレンド

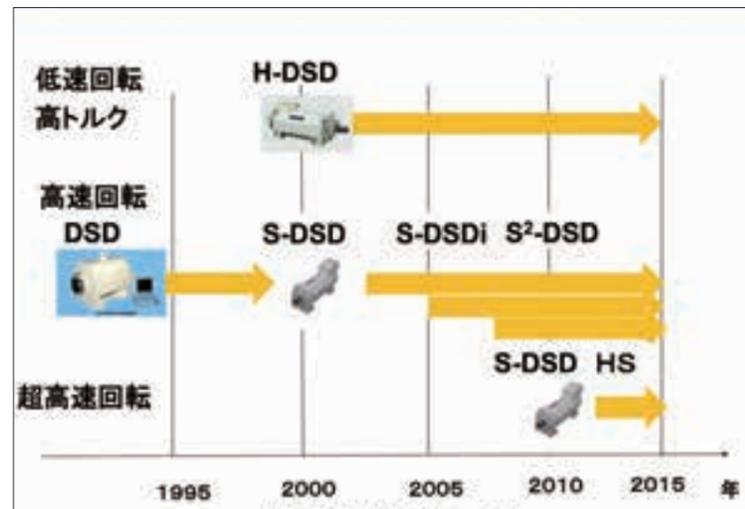
1. 1960年代～1980年代前半(渦電流動力計・直流動力計)

当社は、1960年代に自動車用のブレーキ試験機・駆動系試験機の開発・販売を開始した。ブレーキ試験機では機械と電気の総合試験システムを手掛け、駆動系試験機では渦電流動力計・直流動力計によるエンジンと駆動装置の評価を行ってきた。また、駆動装置単体の場合は、その評価内容によってエンジンの代わりに直流動力計での評価も行ってきた。

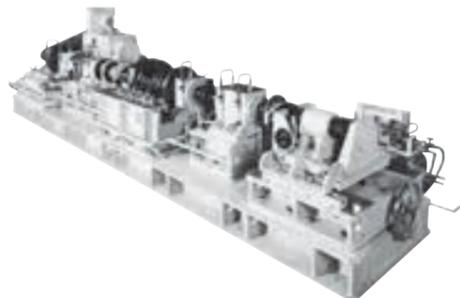
2. 1980年代後半～1990年代前半(交流動力計)

この時期、省エネルギーへの対応に端を発した産業用交流モータのインバータによる交流可変速駆動化が進められた。駆動系試験機

■ 図1 低慣性動力計トレンド



車両用制動試験機 (1968年)



高速駆動形ダイナモメータ (1985年)



DSD (1993年)

でも、直流動力計に代わって交流動力計による試験機の要望が高まり、直流動力計の性能に匹敵するパワーエレクトロニクス技術が進化した。なお、当時の交流動力計には誘導電動機が採用されていた。

3. 1990年代後半～2010年代前半 (低慣性動力計と電動化対応試験機)

①低慣性動力計の開発

駆動装置やエンジンの評価を交流動力計で実施する場合は、その慣性がエンジンの慣性に比して大きいことから、当時は試験内容が限定されていた。この問題を解決するため、当初は増速歯車を用いて当面的に慣性を小さくする動力計で構成されていたが、当社ではモータのみでエンジン同等の慣性を持つシンプルな構成の低慣性動力計(DSD)を、液冷方式等を採用することによって開発した。同時に、インバータによる制御も直流動力計の性能を凌駕するに至った。

この時期、自動車の電動化に対応したバッテリー模擬計の要望も高まりはじめ、当社では大容量直流電源装置の開発にも成功した。

②低慣性動力計トレンド

低慣性動力計の販売開始とほぼ同時期、顧客から環境対応自動車をはじめとする新製品への早期投入のための動力計の要望があった。この試験機用動力計としても、低慣性動力計は基本的な要求仕様を満たすことができた。

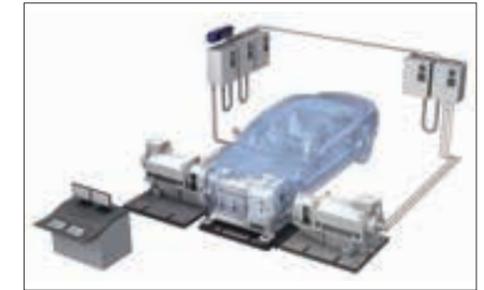
しかし、当初の低慣性動力計は誘導電動機によるものであり、試験機の構成上、胴体部分をさらに細くし、また評価試験上、ミッション変速時の回転変化やエンジン爆発変動トルクを制御的に模擬する必要が生じた。そのため当社では、当時一般産業用として開発していた高効率の永久磁石型同期モータを用いて高速回転低慣性動力計(S-DSD)を開発、同時にトルク応答を高速化したインバータも開発したことで、この要望に応えた。さらに、車輪同等の慣性を持つ低速回転高トルク低慣性動力計(H-DSD)の開発にも成功し、路面摩擦急変時の回転変化や急発進直前の高負荷による停止状態を模擬できた。こうして、この2種類の動力計による走行シミュレーション運転がベンチ上で可能となった(図2)。

その後も、低慣性動力計は用途に応じて進化を続け、トルク応答性をさらに速めたS-DSDi、高出力化したS2-DSD、超高速化したDSDなど、製品群は今なお拡張している。



S-DSD (2001年)

■ 図2 走行シミュレーションベンチ



自動車用試験機(トルクコンバータ/クラッチバック・デュアルテスタ 2017年)

ドラステム 事業の発足 と展開

数値制御機器の開発からドラステム事業の発足へ

当社における数値制御 (Numerical Control) 機器開発の歴史は、1965 (昭和40) 年のデジタル・コンピューティング・レコーダと座標解析機を開発したことに端を発する。

ドラステム事業の主力製品である自動製図機としては、1968年のTNC-3000、続いて1970年のミニコンにストアプログラム方式を採用した製図機の開発、さらに1971年の国内初の洋服型紙自動裁断機、1972年の描画速度を向上させた自動製図機のドラステムシリーズを発表したことから始まる。

産業界では昭和40年代の終わり頃からコンピュータによる設計・製造支援 (CAD/CAM) システムが本格導入され始め、ロッキード社の支援ソフト (CADAM) が販売されたことにより、CADシステムは普及期を迎えた。

CAD/CAMの普及に合わせ、ドラステム製品のラインナップを拡充するため1981年11月、同事業の本格参入を目的にドラステム本部が発足した。

ビジネスプランニングの事業戦略

ドラステム本部では、自動製図機や裁断機などのメカトロ製品に加え、静電プロッタを代表とするノンインパクトプロッタ、図面読取装置 (スキャナ) 等を市場に投入した。

市場の要求にタイムリーに対応し、新たな商品をスピーディに市場投入するために、事業活動を6つのビジネスプランニング・ユニット (以下、BU) に組織化して、事業活動を推進した。

BUは、商品開発を目的とした4つのBUと、事業形態と商品改良を主業務とする「輸出企画プロジェクト」、「サービス・サプライ企画プロジェクト」の2つのユニットで構成された。

商品開発BUは、「メカトロ企画プロジェクト (BU1)」、「入力装置企画プロジェクト (BU2)」、「(入出力) 複合装置企画プロジェクト (BU3)」、「ノンインパクトプロッタ企画プロジェクト (BU4)」の4つのプロジェクトで構成された。

1. 「メカトロ企画プロジェクト」の展開 (BU1)

BU1は、メカプロッタの企画・商品展開を業務とした。メカプロッタの製品は、盤面に平面製図板を用いたフラットベッドタイプと、盤面にドラムを用い、そのドラムを回転させるタイプとに分類され

る。ドラムタイプの製図機では、1979年に作画速度106m/分、ペンヘッド加速度8.5Gという世界最高速度のD9000を完成させ、さらに1982年にスプロケット型のD7000をラインナップに加えた。

フラットベッドタイプの製品展開は、造船業界向けやアパレル型紙裁断向けなどの大型機から始まった。技術的な課題としては、製図板の有効エリア (範囲2,000mm×7,000mm) の平面度を0.3mm以下に抑えることであった。当社では、盤面にアルミハニカム構造を採用し、かつ製図板を複数に分割して構成した。また、用紙や裁断対象を製図板に固定するために真空吸着方式を用い、その騒音、電力消費を抑えるためにペンヘッド、裁断ヘッド (カーソルと呼ぶ) の移動に同調して吸着エリアを動的に制御する技術を開発し、さらに、カーソルの反復位置精度を高めるためにラック・ピニオン方式の採用でバックラッシュを最小限に制御した。その他、カーソルの軽量化を図り、マグネシウム合金を使ったモデルも商品化した。

フラットベッドとドラムに共通する技術は、ペンの軟着制御と筆圧可変の上下動機能の実現で、これにより他社との差別化を図った。

1985年に商品化されたD2000シリーズは、土木測量向けに開発されたモデルで、高精度、低価格を特長とする中型機である。このモデルは、カーソルの共振を抑えるために駆動ローラにアルミナ粒子を溶射し、スチールベルトで駆動した。またペン先乾燥防止機能を備えたペンストックユニットを開発したほか、小型化、低価格化においては、DCサーボのデジタル制御回路部分をLSI化し、サーボ制御技術をハードワイヤからソフトウェアで制御するソフトサーボ技術を開発、実用化した。

さらに、1987年にはMXシリーズのピーリングカッターを商品化し、ロール紙を自動で送り、小型製図板での長尺図形の切断を可能にした。カッター部には分銅式の微加圧方式を採用。続く1990 (平成2) 年に商品化されたLXシリーズでは、作画したロール紙を自動で巻き取る機能を備えた。

1991年には、3次元光造形装置、SOUP850Aを商品化。液面の制御にレーザ測長器と回転ローラによる定量塗布方式を採用し、さらに造形テーブルには平面調整機構付き分割アルミ平板を用いることで高品質な造形物の作成を可能にした。なお、光造形装置は、1998年には青色LEDを使用したSOUP II 600GSへと発展した。

2. 「入力装置企画プロジェクト」の展開 (BU2)

BU2は、図面や画像データをコンピュータに入力する装置の企画・商品化を業務とし、1984年にベクタライザD1000シリーズを商品化した。D1000は、デザインされた文字や図形をCCDカメラでなぞり、その外形をベクトルデータに変換する装置である。カメラ画像であるラスタデータを、ベクトルデータに変換する技術を開発



D9000 (1979年)



D2000 (1985年)



MXシリーズ (1987年)



LXシリーズ (1990年)



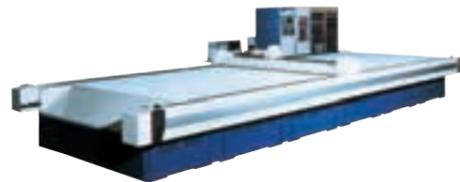
SOUP II 600GS (1998年)



TCR-305形デジタル・コンピューティング・レコーダ (1965年)



TNC-3000形自動製図機 (1968年)



ドラステムBシリーズ (1972年)



D1000シリーズ (1984年)



D4000シリーズ (1986年)

した。D1000はロゴカッティングの業界から高い信頼を得てヒット商品となった。

1986年には、A0・A1サイズの図面読み取りスキャナ、D4000シリーズを開発。初代モデルではフラットベッドに図面を静電吸着させ、スキャンヘッドのみを移動させるという特長的なものであった。D4000では青焼き図面のような地と描かれた線分とのコントラストが低い図面においても的確に図形が読み取れるよう、2値化の閾(しきい)値を図面の地の濃度に応じて動的に変化させる技術、ダイナミックスレッシュホールドを開発した。

また、用紙送り機能を備えた小型モデルD4760も追加した。これはPLA (Programmable Logic Array) を駆使することで制御基板は初期モデルの約3割に小型化された。

3.「複合装置企画プロジェクト」の展開 (BU3)

BU3は、図形データの編集ソフトウェアの企画・商品化を業務とした。

平網レイアウトシステム (以下、Tint Ace) では、印刷前のデザイン画をA3サイズのスキャナで読み取り、4色の刷版に分離し、指定のスクリーン角度に応じた平網フィルムを作成するシステムである。このTint Aceは、印刷分野での省力化・省材料化に貢献した。

また、編集装置においても、従来のCISCプロセッサを使用した自社製パソコンから、RISCプロセッサを使用する新たな開発を行い、Big Tintとしてその後継機を市場投入した。

多くの人手を必要とする印刷業界にあって、自社製の高速コンピュータの開発、スキャナやプロッタとの組み合わせで省力化・高品質化に尽力した。

4.「ノンインパクトプロッタ企画プロジェクト」の展開 (BU4)

BU4は、作画を一定の分解能で主走査方向から副走査方向へと順次作画していくラスタプロッタの企画・商品化を業務とした。

1983年に静電プロッタD8000シリーズが完成。D8000は、16ドット/mmの高精細な作画分解能で、A0サイズの図面を約30秒で出図することができた。D8000は、完全16ビットCPUのMC68000 (内部32ビット演算) を採用し、これまでホストコンピュータが担っていたベクタ・ラスタ変換機能を標準装備とし、ホストコンピュータの負荷を大幅に軽減した。この変換機能は、線分の先端を円弧で近似することで出図結果が高品位となり、好評を博した。

また、メインフレームと接続するために「チャンネル・コントローラ」(D860) を開発し、これによってCADの主流を占めていたIBMや富士通、日立などの大型コンピュータに直接接続することが可能となり、ドラステムの売上げに拍車をかけた。



D4760イメージスキャナ (1991年)



ビッグチント (Big Tint 1992年)

その他、異なるインタフェースと同時接続が可能な「多重コントローラ」(D880) を商品化した。

D8000以降、BU4では情報化の進展と市場の要求に応え、作画方式が異なるノンインパクトプロッタの商品化を推進した。

1986年には、普通紙ユーザの要求に応えるべく、A3サイズのレーザービームプロッタD8400を商品化し、続く1988年には1パスでカラー出図が可能な静電プロッタD8760を、1990年にはマルチパス方式でのカラー静電プロッタD8770を商品化し、小型化・低コスト化・高速化を実現、好評を博した。

また同年、普通紙出力での大型プロッタであるA1サイズのLBP (Laser Beam Plotter) を商品化し、1992年にはLBPよりも安価なLED (Light Emitting Diode) プロッタを商品化した。2002年には環境に配慮した製品として、廃トナーが発生しないA0サイズのLEDプロッタを他社に先駆けて商品化した。

このように、BU4では市場の要求に迅速に対応すべく、スピード感のある企画・開発を行ってきた。

5.輸出企画プロジェクトとサービス・サプライ企画プロジェクト

輸出企画プロジェクトでは、静電プロッタの米国輸出を目的に、米国のUL規格に適合する仕様の開発をした。

サービス・サプライ企画プロジェクトは、静電プロッタに必要な用紙、トナーをはじめLBP、LEDプロッタの消耗品 (用紙、トナー等) を販売するプロジェクトとして発足し、その後、サービス・サプライ事業を子会社化して事業を展開した。

ドラステム事業の発展とその後

ドラステム本部発足前の1980年9月、日本IBM社がわが国の大手自動車・自動車部品メーカーや当社を含む電機メーカーなどから参加者を募り、優れたCADシステムの実際に触れる「米国技術システム研究視察団 (CADAMツアー)」を催行した。このツアー後、同行した先進的メーカーの多くが当社のドラステム製品の優位性を評価して導入が進み、やがて当社製品は造船・航空機業界や、自動化ブームのアパレル業界、企業の合併や社名変更ブームで活況に沸くサインディスプレイ業界などへと急速に広がっていった。

当社はドラステム製品の米国展開を図るも、1985年以降の急激な円高に直面し、事業展開上必要な保守体制網を構築する前に競争力を失っていった。さらに情報技術の進展に伴う端末プロッタの小型化による価格低下や、静電用紙などのサプライ品の需要減、インクジェット技術への参入遅れから収益確保が困難となったため、ドラステム事業を縮小し、2002年に子会社の東洋産業へと移管した。



D8000シリーズ (1983年)



D880 (1988年)



D8400 (1986年)



ドラステム8740LED方式プロッタ (1992年)

駅務機器の変遷



定置型自動切符販売機 (1966年)

駅務機器

駅務機器とは、駅業務に関する係員の省力化や自動化を進めるための機器である。当社では、1966(昭和41)年、技術研究所にて自動券売機を開発したことが始まりであった。以降、社会の技術発展と客先のニーズを先取りし、機器の開発・製造に取り組んできた。その後も高度なネットワーク社会、カード化社会に対応した機器の開発や顧客サービスを主眼に、事業に注力している。

駅務機器は、出札機器と改札機器とに分類される。出札機器とは、券売機・定期券発行機等の乗車券を発行する機器であり、改札機器とは、改札機・精算機などである。それぞれに自動機(旅客操作型)と係員機(駅員操作型)とがある。

出札機器

出札機器とは、券売機・定期券発行機等の乗車券を発行する機器である。券売機は、主に切符(エドモンソン券)を扱っており、定期券発行機はその名のとおり定期券を扱っている。その他の券種では、一日乗車券などの企画券(85mm券)も発行している。

自動券売機

1966年、技術研究所において定置型自動切符販売機を開発した。

出札発行機

係員操作型の小型発券機(エドモンソン券を扱う発行機・磁気大型券を扱う発行機)を生産している。自動券売機は取り扱っていない。

1979年、感熱転写印刷方式の印刷発行機(乗車券・料金券発行)を国鉄(現JR)に納入した。また、小型発券機(エドモンソン券発券)を出札発行機として、多摩都市モノレール、箱根登山鉄道、横浜市交通局、西武鉄道などに納入。東京都交通局などでは定期券発行機に回数券発行機を接続し、イベントや多客時の対応に使用しており、西武鉄道などでも乗車証発行機として運用している。その他にも、エドモンソン券発券機をノートパソコンや定期券発行機等の制御部に接続し、いろいろな用途に使われている。

箱根登山鉄道、関東鉄道では小型発券機(磁気大型券を扱う発行機)・簡易型定期券発行機としても運用し、JR四国では駅POS端末

の発行機として使用されている。さらに箱根登山鉄道、東京都交通局、東武鉄道では乗車証発行機として使用し、関東鉄道、東京都交通局では現在も運用されている。

主に磁気券を取り扱う発行機であるが、IC化への移行後も需要があり、エドモンソン券タイプ・磁気大型券タイプともに需要に合わせて運用されている。

定期券発行機

1973年、京王帝都電鉄(現京王電鉄)に納入した。この機器の印刷方式は、ドライシルバ(3M社)券への感光感熱紙による印刷であった。1974年には、乾式電子写真印刷方式の発行機も同社に納入した。1976年、初のNRZ-1タイプの磁気エンコード付定期券発行機を東急電鉄に納入し、1978年には、ワイヤドット印刷方式の定期券発行機を東武鉄道(東上線)に納入し、1982年には国鉄(現JR)に、シールレス磁気定期券に対応した印刷発行機を納入した。

この時期の定期券発行機は、媒体と印刷方式の変遷が開発の大半を占めた。それまでは、係員操作型の定期券発行機であったが、1988年、クレジットカード専用(現金メカは非搭載)の自動継続定期券発売機を東急電鉄に納入。自動定期券発売機は、駅務機器においては初めての開発であった。その後の変遷は以下、機器ごとに記述する。

係員操作型定期券発行機

1973年以降、数々の機器を納入してきたが、現在の定期券発行機の基となっているのは1994(平成6)年に東急電鉄に納入したTID2000である。

TID2000は、乗車券の券種として磁気鉄道定期券・バス定期券・企画券を取り扱った。設置の向きは正面接客とし、駅係員が乗客に対して正面で接客・発行できるよう、サービスの向上を図った。係員操作部にはタッチパネル付カラー液晶を採用し、地図などが容易に表示できるなど、操作性も向上させた。ソフトウェアには初めてOS(MS-DOS)を搭載し、開発の効率化と品質の向上を両立し、東急電鉄、東武鉄道、東京モノレール、横浜高速鉄道に納入した。

TID2000を駅スペースに合わせて設置できるようにし、各部位をユニット化することで自由なレイアウトを可能にしたのがTID3000で、東京都交通局に納入し、さらに、オプションとして現金入出金機を接続し、つり銭自動放出などの現金管理を自動化する付属機器も開発した。2002年、東京モノレールではICカード(モノレールSuica)システムの運用が開始され、これに合わせてICカー



定期券発行機 (1973年)



定期券発行機 TID2000 (1994年)

■ 駅務技術	
1960年代	自動券売機の運用開始
	1966年 自動券売機の開発
1970年代	磁気券の運用開始
	自動改札機の運用開始
1970年代	1971年 券売改札機、精算機の開発(小田急電鉄)
	1975年 自動改札機の開発(京阪電鉄)
	1976年 磁気券対応定期券発行機の開発(東急電鉄)
1980年代	駅務機器でのクレジット決済の運用開始
	1988年 自動定期券発売機の開発(東急電鉄)
2000年代	磁気SFカードの導入(イオカード、パスネットカード、スロット関西等)
	交通系ICカードの導入(Suica、PASMO、ICOCA等)



定期券発行機 TID5000 (2007年)

ド発行できる発券機 (ICカード発券機ICP100) を開発、TID2000に追加搭載した。

2007年にはPASMOカードの運用が開始され、これに伴ってTID5000を開発した。外見はTID2000と似ているが、機能は大幅に向上した。取り扱い発行媒体は、ICカード (PASMO、Suica等)・磁気ペット券・ロール紙から切り出す横切りタイプの磁気エドモンソン券・磁気大型券と、多種の媒体を可能にした。また、磁気ペット券の印刷方式は、以前のようなリボン転写方式による感熱印刷ではなく、直接感熱方式となった。ICの印刷方式では、繰り返し使用できるロイコ方式の感熱印刷方式を採用。TID5000は、東急電鉄、横浜高速鉄道、小田急電鉄、東京都交通局、横浜市交通局、東京モノレール、埼玉新都市交通など、多社に納入した。このバリエーションとして、TID5000 (分離型) も同時に開発し、こちらは東京都交通局、横浜市交通局、箱根登山鉄道、関東鉄道、千葉都市モノレール、西日本鉄道などに納入した。

自動定期券発行機

東武鉄道 (東上線) に納入したATV3000はTID2000を基に開発された自動定期券発行機で、係員機とロジック、運賃データなど、できる限りソフトウェアを共通化し、開発・改修費用、品質面での改善を図った。東武鉄道 (東上線) では係員機・自動機ともに当社製であったことから、その効果を十分に発揮することができた。

改札機器

改札機器とは、改札機・精算機 (係員精算機、自動精算機) の改札業務を行う機器である。車内補充券発行機もこの分類に入る。当社では、1970年代に自動改札機を開発・納入した。精算機の判定部は1970年代から車内補充券発行機として開発を進め、1990年代に入って改札機が普及すると、駅窓口業務も自動化 (係員が判定するのではなく機器が判定) された。改札機の設置方法も単純な出場だけでなく、乗り換え口での出場と入場を同時に処理する1ラッチ改札機なども導入され、精算機でも精算判定と出札業務を同時に処理する機器が求められるようになった。

係員精算機

1990年当時、精算判定と出札業務を同時に行う機器として係員精算機を開発し、東急電鉄 (精算印発機) と東京都交通局 (多機能端末機) に納入した。2000年に入ると磁気SFカードが導入され、

窓口での処理が必要となったため、カード処理機能を付加してSFカードの精算判定処理も追加装備。2007年にはICカードが導入され、ICカードの判定には磁気SFカードのシステムを利用した。ICカード対応には、係員精算機業務のほかに窓口でのICカード処理 (チャージ、再発行業務等) が必要になり、一般的には窓口処理機と呼ばれるようになった。

自動精算機

1993年、多機能端末機を基に自動乗継精算機を開発し、東京都交通局に納入した。関東圏ではその後の発展はなかったが、関西圏では1997年、車内補充券発行機の運賃判定機能を進化させた精算判定ユニットを開発し、JR西日本に納入した。2000年代に入って、この精算判定ユニットは一つの機器内で二つの判定を行い、判定の正当性を保持する多重判定システムへと発展し、自動精算機・自動改札機の精算判定を可能にした。なお、精算判定モジュールは、精算判定ボードEMF193として提供した。2010年代に入り、JR在来線と新幹線の乗り換え口に新幹線改札機が導入され、在来線での精算判定ロジックを流用した新幹線精算判定ボードEMF194を納入、その後はハードウェアモジュールからソフトウェアモジュールとなり、車内補充券発行機やIC車載機 (車載する改札機・窓口処理機) 等にも適用される。

複合発行機

複合発行機とは、定期券発行機・窓口処理機・出札発行機を一つの機器に統合した発行機であり、TID6000として統合された。ハードウェアは一体型・分離型・窓口型と、設置場所によってタイプ別に選択され、ソフトウェアはすべての機能を搭載しており、タイプの違うハードにも事業社ごとに一つで可能となる。また、PASMOシステムではIC業務はモジュール化 (PASMOモジュール) され、券売機以外のすべての機器に搭載できるモジュールを開発した。

こうしたモジュール化により、品質の向上、開発費用の削減が可能となった。TID6000は江ノ島電鉄、横浜市交通局に納入し、ICカードの全国展開に伴って、今後の納入先は全国へと展開される。



複合発行機 TID6000(分離型 2017年)



複合発行機 TID6000(一体型 2017年)



複合発行機 TID6000(窓口型 2017年)

車内補充券 発行機 開発の歴史

車内補充券発行機の始まり

一般的に、列車に乗車する際は、駅窓口や券売機で乗車券を購入するが、乗車券の発行設備がない場合や、車内で乗車変更する場合には、補充券に記載し、乗車券の代行としていた。当社では、この補充券を手書きではなく電子化し、車内補充券発行機に入力して発行する機器を開発した。車内補充券発行機は、単に券を発行するだけでなく、運賃の自動計算、発行した売上げデータを集計装置に送り、通信によって計上することを可能にした。これによって、車内だけではなく、駅の臨時窓口でも利用されている。

開発は1975(昭和50)年から、当時の国鉄技術研究所との共同で取り組み、1983年に実用機が完成し、重さ480g、車掌が片手で操作ができる重量の発行機を実現した。

最初の実運用機(SAH010)

1986年、日本で初めて近畿日本鉄道で約1,800台が稼働した。最初の機器はワイヤードットプリンタであった。その後、現在に至るまで、プリンタの性能向上、メモリの大容量化、CPUの性能向上、液晶表示器の機能・性能向上、電池の小型化・大容量化、通信技術・通信インフラの発展に対応できる性能・開発に注力している。

車内補充券発行機(DTC330)

1990(平成2)年、JR各社・全駅を対象とする機能を搭載した機器が開発され、JR西日本などで稼働した。後方業務は光通信アダプタを介し、PCを使用した集計装置によって行った。

車内補充券発行機(DTC350)

1995年、さらなる高速化・メモリの大容量化を図り、JR西日本、JR四国などで稼働した。表示部・操作キー部・駅名シートキー部・プリンタ部・制御部・メモリーカード部・電池によって構成され、車内補充券発行業務、締め切り集計業務を行った。また、電子部品のさらなる研究・開発によって、以下のような性能を実現した。

①小型・軽量化:質量 535g(従来機より55g軽量)。②発券スピードの高速化:ラインサーマルヘッドを採用した68gの軽量サーマルプリンタにより、約4行/秒の高速印字を実現。③見やすい表示:コ



車内補充券発行機 SAH010 (1983年)



車内補充券発行機 DTC330 (1990年)



車内補充券発行機 DTC350 (1995年)

ントラストの高いF-STN液晶を採用し、全角文字で12字×8行を表示。④操作性の向上:駅名シートキーを128キーに増やし、JR各社・全駅の設定が可能。

磁気エンコード機能 車内補充券発行機(DTC360)

1997年、磁気エンコード券が発行でき、車内でも使用できる補充券発行機を実用化し、自動改札機での利用も可能とした。京阪電鉄、相模鉄道で約1,500台が稼働した。基本機能はDTC350とほぼ同じであったが、改札の自動化(自動改札機)によって磁気券への対応が求められていた中、プリカット磁気エドモンソン券を内部ホッパに100枚格納し、繰り出し発行に対応すると同時に、リチウムイオン電池を使用することで、質量680gの小型・軽量化を実現した。

車内補充券発行機(DTC500)

2003年、車掌携帯端末として車掌への情報伝達ツールに利用できる車内補充券発行機を開発し、JR西日本などで約5,000台が稼働した。開発効率や汎用的な携帯電話のポケット通信への対応から、OS:WindowsCEを採用。車掌による出改札業務だけでなく情報端末機能も搭載し、各種サーバとのリアルタイムな通信を実現した。

車掌用携帯端末(DTC600、DTC700)

2010年、DTC600が約2,000台稼働した。2012年DTC700が実用化され、JR西日本、近畿日本鉄道、JR四国、JR九州、伊豆急行などで約4,000台が稼働した。この頃より情報端末の色合いが濃くなり、表示画面の大型化、タッチパネルの採用、ICカードR/Wの搭載など、スマートフォン同様の仕様が求められた。なお、車掌業務を切り離し、情報端末機能のみとした専用機も同時に開発した。指定券予約システムや運行システムとの通信機能により、これまで車内ではできなかった座席の確保・変更も可能となった。また、旅客営業規則や時刻表をサーバからダウンロードできる機能も搭載し、本を所持する必要もなくなった。ICカードについても、鉄道系非接触ICカードの取り扱いが可能となった。

車掌用携帯端末(DTC800)

現在開発中の車掌用携帯端末は、指定券予約システムとの通信、ICカード・クレジットカードの取り扱いなど、情報端末機能のさらなる拡充を目指す。



車内補充券発行機 DTC360 (1997年)



車内補充券発行機 DTC500 (2003年)



車掌用携帯端末 DTC600 (2010年)



車掌用携帯端末 DTC700 (2012年)

インホイールモータの開発

インホイールモータ開発の経緯

当社が、インホイールモータ (IWM) の開発に着手したのは2000 (平成12) 年に、タイヤメーカーのブリヂストンから、アウターロータ型のインホイールモータの製作を依頼されたことによる。要求仕様は、モータ1台当たり最大500Nm以上で、モータ本体に大径のベアリングを有するものであった。その後、当社は車の車輪中央部にあるハブベアリングを利用してモータを支える方式を独自に開発し、2003年の「システムコントロールフェア」に出展した。これを機に三菱自動車からも連絡があり、同社との共同で4輪にインホイールモータを搭載したEV試作車の製作に取り組むこととなった。

性能は、1輪当たり最大で518Nm・50kWで、4輪で200kW (271馬力) であった。この試作車はナンバーを取得して公道走行を可能とし、2005年に徳島で開催された電気自動車のEVラリーに出場、見事クラス優勝を果たした (左上写真)。

2004年からはNEDO補助事業を活用して、モータ1台当たり2,000Nmクラスのインホイールモータを試作。このモータを4輪に搭載した中型EVバスの試験走行にも成功した (左中写真)。その後、このモータを2機ずつ搭載した小型ハイブリッドバス2台を試作 (左下写真)。2009年ごろからは350Nmクラスのインホイールモータを試作し、このモータは横浜国立大学や東京大学のEV実験車に搭載された。4輪を独立して制御できる利点を生かし、車体姿勢制御や空転制御などの研究に活用されている。

インホイールモータの構造

次項左上図は、インホイールモータの構造図である。インホイールモータのステータとロータは、それぞれのブラケットを介してハブベアリングに固定され、ブレーキロータとキャリパーは、モータ内側の空間に収められている。この構造のメリットは、既存のディスクブレーキを変更することなく構成できる点にある。また、モータをホイール内に搭載できるため、車体設計の自由度が飛躍的に向上した。

寸法制約の克服

難点は、ブレーキキャリパーとホイール内径との空間がわずかしくなく、幅方向の制約も非常に厳しいこと。大径のホイールを採用したとしても、この空間にモータを構成することは容易ではなかつ



EVラリー参加車両

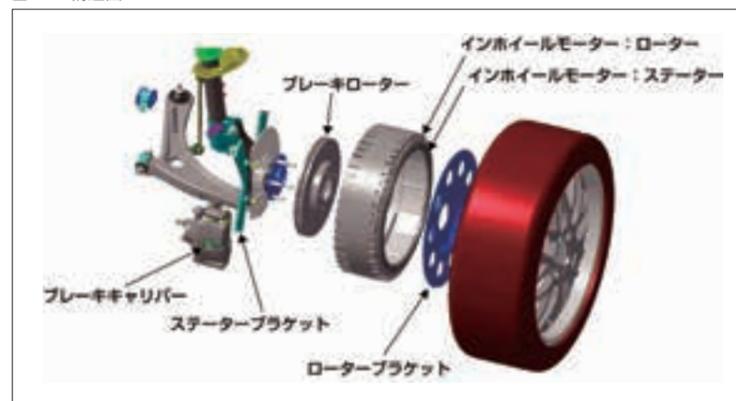


EVバス初走行



ハイブリッドバス

■ IWM構造図



た。そのため、以下の手法を試みることにした。

1. 集中巻コイルの採用による幅方向の寸法短縮
2. 磁気回路設計の最適化による鉄心断面の薄肉化
3. アルミフレーム採用による軽量化

試行錯誤の結果、右上写真のようなコンパクトなステータが完成した。これによって寸法の制約は克服され、モータをホイール内に搭載する可能性が開けた。右中2枚の写真はモータを組み込んだ状態とホイールを装着した状態である。

さらなる改良

こうして、ようやく完成したインホイールモータであったが、走行テストを繰り返す中で新たな問題点が明らかとなった。それは、モータの発熱とトルク脈動である。発熱によって、最大出力を発生している時間に制約を受け、十分な性能が発揮できないことであった。また、永久磁石モータ特有のトルク脈動が振動となって車体に伝わり、快適性を損なうのである。これらの課題を克服するため、さらに以下の手法を試みることにした。

1. ミリ単位の調整による寸法見直し
2. ステータスキューによるトルク脈動の低減
3. 放熱材モールドによるステータ温度の低減

この試作に際して最も難しかったのは、ステータ鉄心のスキューであった。スキューとは、鉄心一枚一枚の角度をずらしながら積層する方法であるが、集中巻コイルでの試みは初めてであった。右下写真は、改良型のステータで、鉄心を傾斜させながら積層しているのが分かる。白く見えるのはモールドされた放熱材である。

こうした改良により、着実に基本性能を高めてきたインホイールモータであるが、防水・防塵対策への信頼性の確立や耐久性の向上などの課題を解決すべく今後も開発を続けていく。



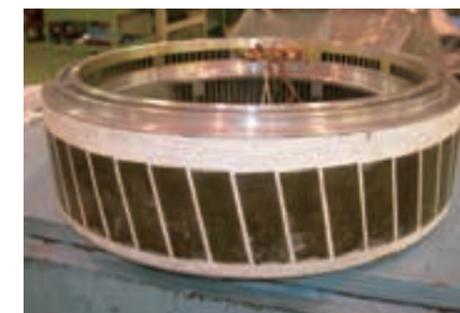
IWMステータ



IWM装着



タイヤ装着



改良型ステータ

ものづくり を支えた 省力化 設備

省力化・自動化設備の取り組み(1975年～1991年)

当社の生産ラインにおける自動化・省力化への取り組みは、昭和40年代中期よりその機運が高まりを見せ、各工場においても盛んに進められた。旧横浜工場では生産技術課と省力化推進チームが、旧戸塚工場では生産技術課と油圧機器部(後の機電システム部)が、旧京都工場では生産技術課がそれぞれ中心となり、現場のニーズに合わせた専用設備を設計し、自社での製作を行ってきた。

また、1972(昭和47)年ごろからは工作機械の革新となったNC(数値制御)工作機械・マシニングセンタ・NC旋盤等を相次いで導入し、自動化・省力化・省人化に拍車がかかった。

以下に、その代表的なものを紹介する。

1. ポール穴あけ専用機

昭和50年代、フレーム加工の主要機はマシニングセンタに移行し、電車、電気機関車用主電動機(MM)および電動発電機(MG)・産業用小型発電機(SG)等、あらゆるフレームが加工された。ただ、当時のマシニングセンタは1台のみであり、機械負荷が増大し、工程のボトルネックに陥った。しかしマシニングセンタは高価な専用機であり、複数台の設置はかなわない状況にあったため、負荷軽減の目的からポール穴あけ工程(約30分)を別の機械に分散し、その専用機(図1)を考案した。

この機械は、中央に45度の割出しテーブルと両側に刃物主軸台を配し、主軸台を角ねじとステッピングモータで移送するシンプルな構造であったが、自動運転機能を有していた。なお、機械の操作はマシニングセンタのオペレータが一人多台持ちでこなした。

その後はマシニングセンタの増設もかない、後の現在の横浜製作所への移転を機にその役割を終えた。

2. 電機子コイル成型機

車両用主電動機の電機子コイルは、従来は頭曲げ加工された導体を亀甲型に沿わせながら、ヤットコとプラスチックハンマで成型されていた。誘導機の固定子コイルでは、この作業に油圧による引き成型機を導入していたが、直流機の電機子コイルにおいては直線状の導体を亀甲型に成型するには上口・下口を別々に行う必要があり、自動化するのは難易度が高かった。

そこで、全工程を油圧シリンダによる曲げ加工で行える自動機を考案し、製作した。図2は、この装置の機構図であるが、油圧シリンダ20個、ソレノイドバルブ28個を用いた実に複雑な構造であった。

■ 図1 ポール穴あけ専用機(図面)



電機子コイル成型作業



固定子コイル成型機

固定子コイルの内製化と 省力化に向けた取り組み(1995年～2005年)

車両用誘導電動機の生産開始直後は、固定子コイルの生産はすべて外注に頼っていた。しかし、その後の答申において、自動化設備の開発を含め、内製化の方針が示された。

この時期、日本経済はバブル崩壊と重なり、いわゆる「失われた10年」の長い低迷期を迎えていた。当社においても、工場の閉鎖・統合を含めた経営の合理化が進み、設備投資は凍結されることとなった。さらには、制御のVVVF化が進むにつれて、顧客における主電動機の位置付けも部品生産の意味合いが強くなり、厳しい価格競争にさらされることとなった。

他社がコイル生産の外注化を進めていく中、当社には産業用回転機の生産ラインがあったためコイル製造を継続することとなったが、横浜製作所の生産縮小・撤退の流れの中、コイル生産ラインの縮小も余儀なくされた。

内製化への取り組みが本格的に始まったのは2002年、誘導電動機の絶縁不具合を機に、固定子コイル内製化の機運が高まり、月80台の内製化を目標に設備・人員を増強し、その一環として省力化設備を導入した。固定子コイルの生産自動化は、当社とサプライヤとの二人三脚で進められたが、当初の機械設備は巻線機・コイル引き成型機・テーピングマシンのみで、テーピングマシン以外はオペレータが付きっきりで作業をこなし、それ以外の工程もほとんどが手作業であった。製作工数はモータ1台あたり50時間を超え、内製能力は月15台こなせばよい方で、生産のほとんどがサプライヤへの外注であった。

第一次の改善では、コイル巻線機、自動引き成型機、被覆剥離機を導入し、これによって52時間の工数が31時間に、リードタイムは15日から9日に短縮された。

固定子コイル製作の他にも、生産ラインの各所において様々な自動化・省力化設備を現場のアイデアとそれを形にする装置メーカーとの連携により製作し、生産の省力合理化に役立てた。

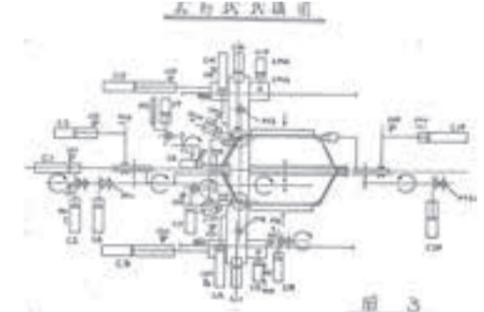
1. RT挿入装置

老朽化に伴い設備更新を行った。その際に従来は手作業によっていた芯出し作業を自動化することで、調整レスとなり型式を選択するだけで回転子と固定子周りの位置関係が自動的に調節されるようにした。

2. 自動コーキングマシン

回転子の導体を鉄心に固定するコーキング作業を自動化した。従来は鉄心に挿入されている回転子導体にタガネを当てて、ハンマーで叩いていたが、ハンマーがずれて怪我をする恐れや、一定の力で

■ 図2 電機子コイル自動成型機機構図(図面)



テーピングマシン



コイル巻線機



自動引き成型機



RT挿入装置

東洋電機 カラー テレビ 事件 からの教訓

東洋電機カラーテレビ事件とは

企業100年の歴史の中で、負の遺産とすべき事柄もある。本稿では、当時大きく世間を騒がせた「東洋電機カラーテレビ事件（以降、本事件）」を取り上げ、後世への戒めとしたい。

本事件は、日本経済の高度成長期、証券市場が活況を呈していた昭和30年代半ばに当社が発表した「安価なカラーテレビの開発」をめぐり、証券取引法125条（相場操縦の禁止）と197条（相場の変動を目的とする不正行為）違反の疑いで捜索を受けたこと、そしてカラーテレビの開発が成功せず、当社役員が経営上の失敗の追及を免れるために、株主総会で一般株主の発言を妨害することを二度にわたって総会屋に依頼し、金銭を支払ったため、商法違反、業務上横領で起訴され、最高裁にて有罪判決となったものである。

幻の「カラーテレビ開発」

本事件は、1961（昭和36）年1月、「発明家」を名乗るN氏が「カラーテレビに用いる電子管の新技术」について当社に提案したことに始まる。同年2月に当社がN氏との研究提携を決定した後、カラーテレビ開発については公にしなかったが、市場にはやがてその噂が流れ始めた。

当時の時代背景を振り返ると、1960年9月にNHKと民放4社がカラーテレビ放送を開始し、それに先立ち同年7月には国内電機メーカー3社が21型で50万円前後、17型で40万円前後のカラーテレビを発売していた。当時の大卒初任給が約1万5,000円という時代に、庶民にとって「3C（カラーテレビ・クーラー・カー（自家用車）」）を手に入れることは憧れの的であったため、安価なカラーテレビ開発の可能性に対して株式市場は敏感に反応し、当社の株価はたちまち高騰した。

当社はマスコミや投資家からのカラーテレビ開発に関する問い合わせに対し、頑なにその事実を否定し続ける一方で、1961年5月には当社役員や幹部がN氏宅にてカラーテレビの試作品を見学、6月にN氏は関連技術について特許を出願した。6月半ばには、当社は東京証券取引所において「6月28日にカラーテレビの試作品発表会を開催する」と公表した。当社が東京・丸の内の東京會館で発表した試作品は、映像の色再現のために必要となるシャドウマスク（ブラウン管の内側に用いられていた多数の小さな穴のある金属板）を使わず、他社とはまったく違う新しい方式を開発したもので、それによりカ

ラーテレビの価格を10万円台にできるという触れ込みであったが、実はその時点でカラーテレビの開発は成功していなかったのである。

それを隠して発表した偽りの試作品は他社製品を加工したもので、カラーテレビとしての体裁は辛うじて保っていたためか、試作品発表がニュースで報じられると株価は連日高騰したものの、一方で試作品を見学し、当社やN氏の説明を聞いたマスコミの中には疑念を持つものも現れ、これが記事化されたため市場の判断は混乱した。その後、当社がN氏に今後のカラーテレビ開発の見込みや技術的な説明を求めると、N氏がそれに応じなかったため、10月30日に当社はN氏との研究提携の契約を解除した。当社はN氏に多額の研究手当や研究場所を提供していたが、その成果を受け取るどころか、幻となったカラーテレビ開発とその対応をめぐる不祥事によって、上場企業としての信頼を失い、その後の事業活動にもダメージを受けたのである。

当社の過ちと厳しい評価

本事件をめぐり、偽りの新製品開発情報による株価操作やインサイダー取引に関する疑義を持たれ、当社への信頼は失墜した。さらに、それらを不安視する株主との対話を当社は拒否し、株主総会の運営において総会屋という反社会勢力を利用するなどの法令違反を犯した。これらの過ちに対するマスコミ各社の追及は厳しく、市場の評価は株価下落というかたちで反映され、さらには当局による家宅捜索を受けるに至っては、顧客やサプライヤーのみならず、日々の業務に真面目に取り組んできた多くの従業員とその家族にも多大な迷惑が及んだことは想像に難くない。

「カラーテレビ事件」からの教訓

「第2のカラーテレビ事件を起こすな」、これは当社が新技術や新製品、IR情報を発表する際に肝に銘じていることである。情報がインターネットを通じて、瞬時に、そして世界中に拡散する現在、情報発信の正確性と責任が一層強まっている。また、反社会勢力との癒着や贈収賄などのコンプライアンス違反には、断固拒否の姿勢を貫き、常に自らを律することが必要である。グローバル化が進むなかで、ステークホルダーの厳しい視線が、当社が企業の社会的責任を果たしてしているかに注目している。

そして何よりも、メーカーである当社は、「確固たる技術力」をもって、顧客が抱えるさまざまな課題を解決し、それらを通じてより良い社会の実現に貢献するという存在意義を忘れてはならないのである。



カラーテレビ試作品発表会を伝える新聞記事
(1961年7月7日 産経新聞)



当社への家宅捜索を伝える新聞記事
(1962年1月20日 朝日新聞夕刊)



NHKと日本テレビがカラー実験放送を開始
(1957年12月28日 資料提供:毎日新聞社)

電力用半導体素子の開発から撤退まで

黎明期

近代産業発展の最重要要素である半導体素子は、1948（昭和23）年、米国・ベル研究所のショックレイ・グループにより発明されたとされている。日本では1955年、東京通信工業（現 ソニー）が米国に遅れること1年でトランジスタ・ラジオの商品化に成功した。

当社では、1957年に鉄道車両用としてはわが国初のトランジスタ式充電装置を当時の国鉄電車用に多数納入し、1960年には阪急電鉄の回生ブレーキ付き電車（2300形）にゲルマニウム・トランジスタを全面採用、車両用制御装置のエレクトロニクス化に先鞭を付けた。

半導体素子は、これら民生・制御分野だけでなく、当社が得意とする電動機・電力の分野でも将来の主要部品となるであろうことが予想されていた。そこで、当社は1959年、技術研究所内に整流器研究室を新設し、電力用シリコン整流器の自社生産を目指すこととした。まずは、入社したての若手技術者を東北大学・西澤研究室（後の財団法人半導体研究振興会、2008年3月解散）などに順次派遣し、基礎技術を習得させた。

最初に作られたダイオードは、静止形レオナード装置に組み込まれたが、逆回復時のサージ電圧による自己破壊が頻発した。これを解決するため、1963年にはアバランシェ特性をもたせたソフト・リカバリなpin（p-intrinsic-n）ダイオードを開発・商品化し、1965年に相模鉄道の変電所にシリコン整流装置（8,000kW）を納入、好評を博した。

一方、ダイオードから一歩進んだサイリスタ（制御整流素子）が1956年、米国GE社（General Electric Company）より商品化され、その後、改良と応用が重ねられた。当社では1965年、すでに自社製静止形レオナードにサイリスタを組み込むまでに至っていたが、さらに独自の技術によって高速・高耐圧化に成功し、1966年にわが国初の電車で用静止形補助電源装置（SIV）を開発（チョップパ+インバータ形）した。なお、これは戸塚工場に展示した。また、1967年には車両用主回路チョップパ装置を試作し、東京都交通局の浅草線で現車試験を行ったほか、直接形SIVを試作して阪急電鉄で現車試験を行った。その結果、1968年に東京都交通局地下鉄から48セット（素子定格1,700V/50A・装置入力1,500V・出力12kVA）の、大阪市交通局からも23セット（素子同上・装置出力7.5kVA）のSIVを受注した。

産業分野では、同年に当社初のUPS / CVCF（素子定格1,200V/150A・

単機出力100kVA・総合出力600kVA）の開発に成功し、三和銀行（現三菱UFJ銀行）に納入した。これより1980年までの期間に、上記の他、600～3000V/50～800Aのダイオード、600～1,700V/50～300Aのサイリスタなどを新たに開発し、これら電力用半導体群は当社の車両用・産業用装置の発展に大きく寄与することとなった。

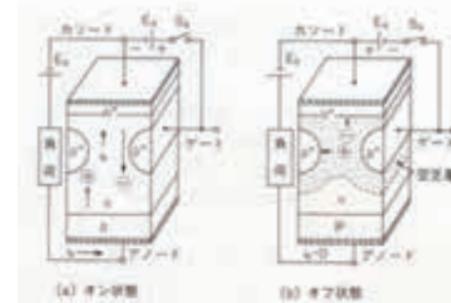
車両用VVVFインバータへの対応

ヨーロッパで産声を上げた鉄道車両用VVVFインバータ（可変電圧・可変周波数変換装置）による車両駆動技術は、わが国の電鉄界にも衝撃を与え、同業各社は競って大容量VVVF用半導体素子の開発に着手した。わが国では、当面は開発済みの電力用サイリスタをチョップパ制御装置用に流用するのが手っ取り早い手段であった。当社でも、他社から購入したサイリスタを用いたVVVFで1980年に現車試験を行ったが、素子の自社開発の必要性を実感し、同年、すでに製作していた素子の製造をすべて中止、VVVF用逆導通サイリスタ（2,500V/500A/500A、初めて60mmウェーファを使用）の開発に全力で取り組むこととした。その結果、1982年には自社製サイリスタを組み込んだVVVFインバータを用い、相模鉄道および阪急電鉄での現車試験を行うに至った。

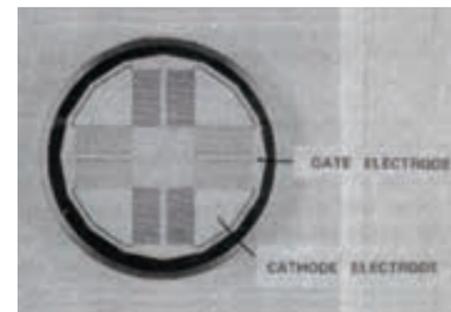
SIサイリスタの開発

1977年春、当社の半導体研究を初期から指導していただいていた西澤潤一教授（後の半導体研究振興会理事）より、新たな原理による素子としてSIサイリスタの商品化が提案された。しかし、当時はまだ車両用チョップパやVVVFに用いる大容量サイリスタは開発準備中であったため、当社としてもすぐには対応できなかったが、独自の素子をもつ必要性も感じていた。そこで1978年、半導体研究振興会に研究員を派遣し、SIサイリスタの研究に着手することとした。

1979年、まずは600V/5Aのパイロット素子の試作に成功し、続いて1200V/5A素子の試作にも成功した。SIサイリスタとは、半導体基板内部に埋め込まれたゲートの電位変化によりアノードからカソードへと流れる主電流を素早く制御するパワー半導体素子であり、微細ピッチで配列される低抵抗ゲート層横に主電流通電経路となる高抵抗チャネル構造を気相成長（エピタキシャル成長）技術により、埋め込み形成するという難しい工程が必要であった。原理上は、高電圧・大電流を少ないスイッチング損失で閉鎖することができ、大きな電圧変化率dV/dtや電流変化率dI/dtにも耐え得る優れた特性を有する素子と考えられた。



SIサイリスタの動作原理図



試作SIサイリスタの十字形パターン

この時期、業界では車両用VVVF用の素子としてGTO (Gate Turn-Off) サイリスタ素子の実用化が目前に迫っていて、これに対抗するために、当社では1982年1月、当社独自の素子としてSIサイリスタの開発を決断し、技術員を自社に戻して開発に邁進することとした。

1983年、相模工場の隣接地区に新・技術研究所を新設し、戸塚工場の旧・技術研究所より半導体製造設備を移転した。さらに1984年、この部門を半導体本部へと昇格させ、1985年～1986年にはクリーン・ルームなど当時の最新設備も導入、近代的な電力用半導体開発体制を整えた。

東洋セミコンの設立と解散

その後の研究においては、難しい工程に伴う種々の難関よりも素子設計上の改良が思うように進展せず、一方でSIサイリスタの知名度を高め、販路を開拓する必要性にも迫られた。そこで1986年10月、この部門を分社化し東洋セミコン(株)を発足、素子開発・製造に加えて応用技術の開発にも着手できる体制を整えた。開発は、車両用の2500Vやそれ以上の高耐圧素子よりも、すでに開発済みの1200V級素子 (TSI802-12・1,200V/300A・素子直径30φ) の応用面開発と販路開拓に注力し、その結果、誘導加熱用高周波インバータ、配電・受電系統向けアクティブ・フィルタ、直流送電用高性能変換器、レーザ発振装置用電源など、多くの用途を見出すことができた。しかし、需要量の予測は難しく、不十分な素子性能や、それに伴うコストの問題、さらには素子自体の安定した生産技術が確立できなかったことから、親会社の業績に貢献するまでには至らなかった。

結局、1989年に東洋セミコンを解散し、技術研究所は半導体センター (後の半導体研究室) と名称を改め、引き続き素子の安定した製造技術を模索しつつも、車両用高圧素子や高圧パルス電源など、採算性が期待できそうな用途に特化した素子開発へと転換した。

車両用高圧素子開発のゆくえ

研究を継続するなかで、最終的には、現有の製造設備上可能な3"ウェーファから取れる最大の素子の直径を62φとし、車両用に最低限必要な電流容量を確保した。次にパターンの微細化を進め、動作の高速化とスイッチング損失の低減を図ることで、対抗素子として成長してきたIGBTに勝る性能を実現するまでに至った。また、フライホイール・ダイオードを同一ペレット外周に配置する逆導通形型とし、使いやすい改良を施した。さらに、従来のタングステン板にペレットをロウ付けする合金形から合金フリー形へと変更し、

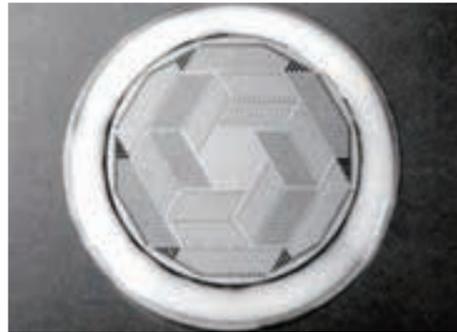
工程の安定化も図った。

こうした大改良の結果、車両用SIVおよび中容量のVVVFに適用可能なRT103シリーズ (4,000V/600A) と、さまざまな高圧パルス用電源に応用可能なRT201 (5500V/600A) が完成し、1998年10月までに、いずれも社内の試作製品や社外の試験装置に組み込んで評価試験が行われた。素子の特性を活かした独自の210kVAソフトスイッチング式SIVインバータの実車評価と、レーザ等用小型大出力パルス電源の実証は特筆すべき成果として挙げられる。しかし、前者の実採用のための事前試験納期への遅れが生じたことや、当時の製造設備能力では、素子の恒常的な安定化を目指すには不安が残り、そのため次の課題であるゲート電極の絶縁化や、4"ウェーファへの移行へと着手するには至らなかった。

半導体研究活動からの撤退

1986年～1991年までの、いわゆる「バブル時代」、当社は経営上で多くの問題事業を抱えていた。半導体研究部門もその一つであり、1991年から始まったバブル崩壊がこれに拍車をかけることとなった。その他の不採算部門とは異なり、半導体研究活動はほとんどが研究開発費の投入一方であったため、当然のことながら整理の対象となり、1997年12月に正式撤退が決まった。SIサイリスタの研究・開発に投入された費用は、約15年間で累計およそ55億円にも達した。

その後、当社が保有するSIサイリスタの関連特許やノウハウは国内某メーカーに譲渡され、その研究・開発が引継がれることとなった。これにより、SIサイリスタという独創的な発想を具現化する可能性は他社に託され、発足以来40年間に及んだ当社の半導体開発活動は、1998年11月をもって幕を閉じた。



SIサイリスタの30φ六角形パターン



SIサイリスタ (30φ) の完成品外観



SIサイリスタの62φV字放射形パターン



SIサイリスタ (62φ) の完成品外観

駅務 機器の 大規模改修 への対応

国鉄分割民営化への対応

当社は、1987（昭和62）年4月1日の国鉄分割民営化の時点で、乗車券印刷発行機を97駅に納入していた。本機は、乗車券・料金券（特急券等）・定期券が発行できる兼用印発機として全国の国鉄主要駅に配備され、当社としても、関東・東海・関西・四国を担当エリアに、制度改正・ダイヤ改正等のソフト改修に注力した。

国鉄分割民営化に当たっては、JR各社間での精算が必要となり、これまで発売していた乗車券や料金券を、JR各社の自社内で完結するものと、JR他社にまたがるものに分ける必要が生じた。そのため、操作ボタンごとの口座分割（乗車券・料金券の種類や区間を個別に登録）、配置換えを全面的に行い、併せてJR各社独自の企画券の発売を追加することとなった。

これには膨大な作業量が予想され、派遣社員の大量採用や社内からも応援を得て実務を進めたが、最終的には十分な品質確認ができないうちに出荷せざるを得なくなった結果、JR開業の4月1日以降の発売に大きな支障を来すこととなり（発券できない、運賃が違う等）、JR各社には多大なご迷惑をおかけすることとなってしまった。

不具合の原因と再発防止対策

不具合が生じた主な原因は、以下のとおりである。

1. 大きな改修であったにも関わらず、仕事量の把握が不十分で過少に見積もっていた。
2. 作業工程別の進捗管理がなく、実作業量の把握が不十分であったため対策が後手に回った。
3. 応援作業者に対する作業内容・手順等の指示が不適切であり、作業ミスを増加させた。

そこで、再発防止対策としては以下の点を改善し、今後の大規模なソフト改修に備えることとした。

1. 作業工程別に進捗管理できる仕組みを構築し、工程別・個人別に作業管理を行う。
2. 工程別に業務を標準化し、作業標準・作業手順書およびその指導方法を整備して、作業時にはその都度、応援作業者への教育・指導を行う。
3. 口座データ改修業務は、駅務機器の開発・設計業務とは異質であることから専任チームを設け、責任・管理を明確にする。これらの対策を徹底することにより、以降の乗車券印刷発行機の



国鉄向け乗車券印刷発行機

口座データ改修業務には大きな不具合を生じることなく対応することができた。

都営地下鉄大江戸線開業への対応

2000（平成12）年12月12日に都営地下鉄大江戸線が開業し、当社では機能改修を受注した。しかし、開業時に一部区間の定期券が発売できず、東京都交通局には多大なご迷惑をおかけすることとなった。その原因は、以下のとおりである。

1. 納期確保の仕組みが働いていなかった（仕事量の把握・工程の監視不足）。
2. 途中で大幅な手直しが発生した（アルゴリズム・処理時間の検討不足）。
3. 着手の遅れと他業務との輻そうが生じた（同時期に多機種の改修が集中）。
4. 総動員体制が効果的に機能しなかった（危機管理体制の不備、作業ミスの多発）。

国鉄分割民営化から13年が経過していたが、この間の技術進歩、複雑化、機種の拡大等に対応し切れず、ほぼ同様の原因で、再び会社の信用を著しく失墜させることとなった。改めて、再発防止対策を以下に定め、今後の大規模なソフト改修に備えることとした。

1. 納期を守る仕組み作り（DRでの仕事量の把握、工程進捗の見える化とフォロー）
2. 設計検討の充実（DRにてアルゴリズムの実現性・処理時間・データ量を検証）
3. 業務の輻そう対策（人員計画・データの作成・検証の機械化、機能しやすい組織作り）

まとめ

2007（平成19）年3月17日にPASMOが開業し、Suicaとの相互利用が開始された。当社では、新規を含め10社の機器でICカードに対応したが、特に大きな不具合もなく、無事に開業を迎えることができた。また、2014（平成26）年4月1日に実施された消費税8%改定では、17年ぶりの全機種一斉のソフト改修となったが、こちらでも問題なく新運賃に切り替えることができた。

今後も、技術の進歩、複雑化、機種の拡大等に対して的確に対応し、これまでの経験から得た対策を遵守し、製品への高い完成度と期限までの出荷に努めていきたい。



都営地下鉄大江戸線の開業
(2000年12月12日 資料提供:毎日新聞社)

バス用 クーラー 開発を断念



第9回全国自動車ショーへの出展（1962年）



助手席側に当社製品を搭載したセドリック（日産自動車）



当社製品搭載バス（日本国有鉄道）

バス用クーラーの開発と製品展開

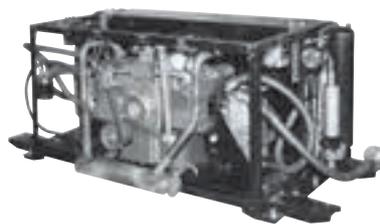
当社では、1960（昭和35）年より電車用クーラーの試作研究に着手し、翌年、これに先立って主要部品は米国から輸入し、バスの仕様に合わせた改造を施してバス用クーラーを商品化した。1963年10月には、クーラー部門を専門に扱う冷凍機部を新設し、この研究に本格的に取り組むこととなった。

製品群としては、大容量の観光バスや路線バス用では、クーラー専用のサブエンジンを有し、やや容量の小さいものは、メインエンジンからベルト式無段変速機を介してエンジンの回転数に関わらず略一定の回転数にして伝達し、コンデンシングユニット（圧縮機・凝結器等をユニット化）とクーリングユニットを駆動し、冷風を作り出す方式である。また、中容量のマイクロバス用では、メインエンジンで駆動するギアオイルポンプの動力を利用した油圧モータを用い、コンデンシングユニットとクーリングユニットを駆動して冷風を作り出す方式とした。

さらに乗用車への転用も図り、こちらはコストダウンを狙って圧縮機・凝結器をクーリングユニットと組み合わせた。この製品は、日産自動車での試験評価の結果、「セドリック」等への純正部品としての指定を受けることができた。

バス用クーラーからの撤退

しかし当社では、コンデンシングユニット・クーリングユニット・圧縮機・凝結等の重要部品を内製化せず、部品単位で米国から輸入し、各車両に合わせたシステム製品として販売する形態を採っていた。そのため、キーテクノロジーの基盤が無く、さらに品質確保・コスト低減・アフターサービスへの体制構築等、ビジネスモデルとしての諸課題を克服することができないまま、1965年9月に冷凍機部を廃止し、バス空調システム開発事業の継続を断念するに至った。



コンデンシングユニット



カークーラー用クーリングユニット