

一橋大学 GCOE プログラム
「日本企業のイノベーション—実証経営学の教育研究拠点」
大河内賞ケース研究プロジェクト

株式会社デンソー
自動車用発電機: III型オルタネータの開発・事業化

伊藤誠悟

2011年5月

CASE#11-01

本ケースは、一橋大学グローバル COE プログラム「日本企業のイノベーション—実証経営学の教育研究拠点」から経費の支給を受けて進められている、「大河内賞ケース研究プロジェクト」の研究成果のひとつである。このプロジェクトは、大河内賞を受賞した業績について事例分析を行うもので、(財)大河内記念会と受賞企業のご協力をえながら、技術革新の概要やその開発過程、事業化の経緯や成果などを分析している。事例研究を積み重ねて、日本の主要なイノベーションのケース・データを蓄積するとともに、ケース横断的な比較分析を行い、日本企業のイノベーション活動の特徴や課題を探り出すことを目指している。なお、本プロジェクトを進めるに際して、(財)大河内記念会より多大なご支援・ご協力をいただいております、心よりお礼を申し上げます。

(プロジェクト活動の詳細については [http://www.iir.hit-u.ac.jp/iir-w3/research/GCOEokochiprize\(A\).html](http://www.iir.hit-u.ac.jp/iir-w3/research/GCOEokochiprize(A).html) を参照のこと)。

※本ケースの著作権は、筆者もしくは一橋大学イノベーション研究センターに帰属しています。本ケースに含まれる情報を、個人利用の範囲を超えて転載、もしくはコピーを行う場合には、一橋大学イノベーション研究センターによる事前の承諾が必要となりますので、以下までご連絡ください。

【連絡先】 一橋大学イノベーション研究センター研究支援室

TEL:042-580-8423 e-mail:chosa@iir.hit-u.ac.jp

株式会社デンソー
「自動車用発電機：Ⅲ型オルタネータの開発・事業化」¹

2011年5月

関東学院大学経済学部
一橋大学イノベーション研究センター
伊藤誠悟

¹ 本ケースは、一橋大学グローバルCOEプログラム「日本企業のイノベーション—実証経営学の教育研究拠点」からの経費を受けて進められている、「大河内賞ケース研究プロジェクト」の研究成果の1つである。本稿を作成するにあたり、以下の方々から多大な支援をいただいた。ここであらためて心から感謝を申し上げたい。

株式会社デンソー
生産技術部・部長（当時）飯田康博氏（現在、DENSO(THAILAND)CO.,LTD. 上級副社長）
生産技術部・担当次長（兼務）(株)デンソー技研センター・担当次長 原嶋茂氏
電機製造2部・部長 紅林淳氏

1. はじめに

デンソー²は創立後の早い時期からオルタネータに着手していた。交流発電機であるオルタネータは、それまでのダイナモと呼ばれる直流発電機に取って代わる製品であり、電装品を代表する製品になるものと目されていた。オルタネータはメンテナンスの負担がダイナモと同程度であるにもかかわらず出力性能が革新的に向上するため、ダイナモに代わる電装品として開発が望まれていたのである。創業時からダイナモを手がけているデンソーにとってもオルタネータの開発は成し遂げなければならない宿命的な課題であった。

そして、デンソーは、1952年に通産省からオルタネータの応用研究補助金40万円を受け、試行錯誤しながらも10年以上にわたり研究した結果、オルタネータ（I型）の開発に成功し、1962年に市場へ投入した。I型の上市から12年後の1974年には、II型オルタネータを開発し商品化していた³。

1970年代の自動車には、カーステレオやカークーラなどの電力を消耗するアクセサリ関係部品が年々増える傾向にあった。そのため、年ごとに10%前後の発電能力の向上がオルタネータには求められていた。その一方で、1973年の第一次オイルショックをきっかけに省エネルギー・省資源への世界的な気運が高まり、自動車の燃費向上が大きなテーマとなり始めていた。自動車部品の中でかさばる部類に属するオルタネータには、自動車メーカーからの小型・軽量化の要請が強まっていた。

デンソーは従来品のII型オルタネータの容量アップにより顧客の要望に対応していたが、改良では限界が見え始めていた。時期を同じくして、デンソーの主要顧客であるトヨタ自動車工業株式会社⁴は、自動車部品の小型・軽量化により燃費向上を図る取り組みに着手した。1979年には、サプライヤーを巻き込み本格的にプロジェクト化した。そして、1983年までに35%の燃費向上という目標値が定められた。その目標は主要サプライヤーの手がける中核部品にブレークダウンされ、デンソーのオルタネータについても20%の軽量化が要請された。

このような背景のもと、デンソーは次期型オルタネータの開発を経営上の重要課題と捉え、次期型研究開発のためのグループを編成し、小型で高性能のオルタネータの開発に着手した。そして、デンソーの技術者たちは、いくつも技術的トレードオフを克服してIII型オルタネータを完成させたのである。

III型オルタネータは1982年の少量生産を経て、1983年1号ラインの本格生産が開始された。そして、デンソー製オルタネータのシェア拡大の契機となり、収益に大きく貢献

² III型オルタネータの開発当時の社名は「日本電装株式会社」であったが、本ケースでは現在の社名である「株式会社デンソー」で統一する。

³ II型オルタネータはI型よりも性能向上し、同時に製造コスト低減を図った製品である。II型オルタネータ開発では、ドイツのロバート・ボッシュ社の特許に依存しない脱ボッシュ技術化を狙って、さまざまな製品の改良に加えて製造工程上の低コスト化が図られた。

⁴ 現在の「トヨタ自動車株式会社」。トヨタ自動車工業株式会社は、1982年に「トヨタ自動車販売株式会社」が合併し、「トヨタ自動車株式会社」となった。

することになった。

その後も継続して改良を続けたことによって、Ⅲ型オルタネータの納入先は、国内自動車メーカーばかりでなく、米国のクライスラー、スウェーデンのボルボ、英国のジャガーにまで拡大し、デンソーはオルタネータのシェア世界 No.1 の座を獲得した。

また、このオルタネータの開発過程では、製品開発と生産技術が一体となる機能横断的な開発活動、いわゆるコンカレントエンジニアリングが展開された。オルタネータはデンソーにおける中核製品であったが故に、この次期型製品開発では社内の期待に応えるべく極めて挑戦的な目標を設定した。挑戦的な目標を達成するためには、従来の常識を超える技術的な課題をいくつも乗り越えなければならなかった。山積する課題を一つひとつ克服するために開発のスタート時点から、社内の関連部門が1つの開発目標の下で絶えず連携プレーを展開したのであった。

以下では、世界に類似事例のない技術的難題に取り組み、苦闘しながらも、それらを克服し製品化にたどり着いた、その開発プロセスをみていくことにしよう。

2. デンソーとオルタネータに関する予備的知識

2.1. デンソー

デンソーは2010年3月時点で、ドイツのロバート・ボッシュ社（以下、ボッシュと略す）に次ぐ世界第2位の自動車部品メーカーである。デンソーはトヨタ自動車の他、国内すべての自動車メーカー、および海外の主要な自動車メーカーに自動車部品を納入している。2010年3月期でのデンソーの売上高（連結ベース）は2兆9,767億円となっている⁵。

デンソーが手がけている製品は、リレー、スタータ、オルタネータなどの電装品、ラジエータ、エアコンなどの熱機器、インジェクタ、フューエルポンプ、O₂センサなどのエンジン機能品と多岐にわたっている。取り扱っている自動車部品の製品数は約80品目以上ある。1997年時点の調査では、そのうち12品目が世界シェア1位となっており、2位、3位の製品を含めると19品目にもなる（図表1「製品別市場シェアランキング」日経ビジネスを参照）。

その源流は1935年の電装品の研究開始である。終戦後の混乱を経て、1949年にトヨタ自動車工業より電装部門とラジエータ部門が分離・独立する形で「日本電装」が誕生する。

分離・独立直後は、トヨタ自動車工業自体も苦境にあえいでおり、デンソーを支える余裕はないに等しかった。創業当時から経営は困難を極め、資金繰りは逼迫し、倒産の危機に瀕する。この危機を全体の3分の1という大規模な人員整理の末に何とか乗り切り、そして朝鮮戦争の「特需景気」により経営危機から脱した。

しかし、技術的には世界に大きく立ち遅れていたため、積極的な設備投資と技術導入

⁵ デンソーは産業用ロボットやバーコードリーダーなども手がけているが、自動車部品事業の割合は売上高比率で95%を越えている。

を行った。1952年、当時資本金がやっと9,000万円になった会社であったが、1億6000万円もの最新鋭製造設備を北米や欧州から導入する決断をした。さらに、翌年の1953年にはボッシュと技術援助契約を締結し、最先端製品技術はもとより、生産技術から経営方法まで学んだ。このような経営努力が功を奏し、その後に訪れる高度経済成長、そしてモータリゼーションの波に乗り、次々に新工場を建設し、生産設備を拡充させていった。

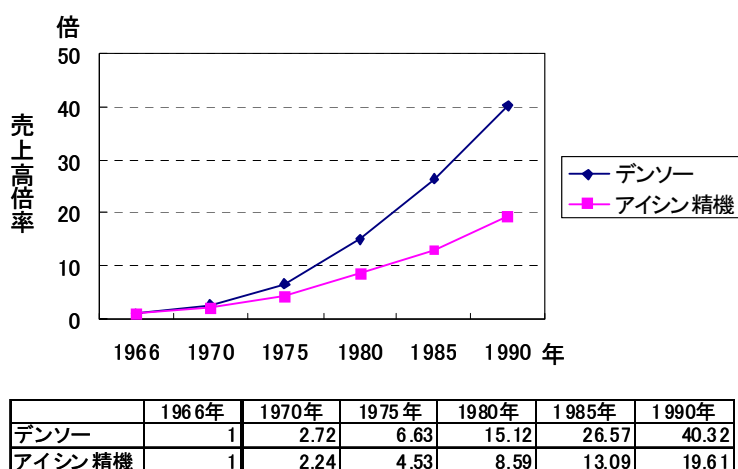
そして、1970年以降デンソーは事業規模の拡大が加速していった。図表2（売上高の経時的変化）は、デンソーとアイシン精機の売り上げがほぼ等しかった1966年を1として1990年までの5年刻みで売上高が何倍になったかを示している。同じくトヨタ自動車を主要顧客とする大手自動車部品メーカーのアイシン精機と比較すると、1970年以降に事業成長の差が大きくなっていることがわかる。この発展の背後には、いくつかの代表的な製品がある。SR ラジエータ、電子制御式ガソリン噴射システムなどと並びⅢ型オルタネータも事業発展を支えた代表的な製品の1つであった。

図表1「製品別市場シェアランキング（1997年時点）」

	1位	2位	3位
スタータ	デンソー	ボッシュ(独)	三菱電機
オルタネータ	デンソー	ボッシュ	三菱電機
ラジエータ	ヴァレオ(仏)	デンソー	デルファイ(米)
フューエルポンプ	デンソー	デルファイ	ボッシュ
インジェクタ	ボッシュ	デルファイ	デンソー
O ² センサ	ボッシュ	デンソー	日本特殊陶業
アイドル回転制御バルブ	エアパックス(米)	デンソー	ボッシュ
メータ	デンソー	ビステオン(米)	
エアコン	デンソー	デルファイ	ビステオン
コンプレッサ	デンソー	デルファイ	ビステオン
ヒータ	デンソー	ヴァレオ	ビステオン
バスエアコン	デンソー	三菱重工業	スートラック(独)
圧力センサ	デルファイ	デンソー	モトローラ(米)
ワイパーモータ	デンソー	ITT(米)	ボッシュ
ウォッシャーモータ	デンソー	メス(スイス)	ITT
ウインドモータ	デンソー	ITT	ボッシュ

(出所：『日経ビジネス』1999年7月5日号)

図表 2 (売上高の経時的変化)



(出所：各社有価証券報告書のデータに基づき筆者作成)

2.2.オルタネータの技術的背景

車を購入しようとする時には、カーディーラーでカタログを貰ってきたり、自動車専門雑誌の記事を読んだりするのではなからうか。そこには、スタイリングやエンジン性能、内装などが詳細に紹介されているので、車に関するそのような部分の特徴や機能などは割合とよく知られている。

しかし、一般的なユーザーにほとんど見向きもされない部分にも、車にとって重要な要素がある。その代表的なものが電装系といわれるものである。電気自動車であれば電装系が重要であると直感的にわかるであろうが、実はガソリンや軽油を燃料にする自動車でも電気は重要な役割を果たしている。

エンジンを始動するには電気が必要である。エンジンをかける際にセルモーターを回すのは電気である。エンジンがかかった後に、点火プラグに着火するにも電気が必要である。極端なことを言えば、電気がなければいくらガソリンが満タンでも車は走ることができない。雨が降った時に不可欠なワイパー、そして車内を快適な温度に保つエアコンも電気を必要としている。さらに最近では電子制御が進んでおり、パワーステアリングやブレーキアシストを駆動するのも電気を使う。

このように重要な役割を果たす電装系であるが、発電から充電のメカニズムは意外とシンプルである。エンジンにより発電機を回して、バッテリーに電気を蓄えるというものである。車に搭載されている発電機は交流発電機が一般的で、それはオルタネータと呼ばれている。

ここでオルタネータの原理について簡単に説明しよう⁶。オルタネータの基本原理は、フレミングの右手の法則である。磁束が変化すると、金属片に電気が発生する原理を利

⁶ オルタネータの技術的な説明は細川(2003)、新星出版者編集部 (2005) を参考にしている。

用している。ロータを回転させることにより、次々に磁束が変化し、発電は断続的に行われる。

自動車の発電装置としてかつては直流発電機であるダイナモが使われていた。しかしダイナモは電力を発生する時に磁界を作り、自分で発電した電流を使ってしまう。このため、エンジンの回転数が高いときだけしか、バッテリーに蓄電することができなかった。そこで、アイドリング時のような低回転でも発電能力が高いオルタネータが用いられるようになった⁷。オルタネータの基本構造は、以下の通りである。

オルタネータは交流発電機なので、発電された電流は直流に変換されて、バッテリーを介して電気を必要とする部品に供給される。オルタネータは大きく分けてロータ、ステータ、レギュレータ（調整器）、レクチファイア（整流器）の4つの要素から構成されている。

エンジンからの動力をシャフトに伝え、シャフトにつながるロータを回転させる。ロータはバッテリーから電力が伝えられ、S極とN極の磁力を帯びる。これをステータの中で回すことにより、ステータに電力を発生させる。得られた電流は交流であるため、直流に変換する必要がある。その役割を果たすのが、レクチファイアである。また、オルタネータは効率的に発電を行うがゆえに、エンジン回転が高くなると、発電電圧が高くなってしまう。レギュレータは電力を一定に保つための機能部品である。

2.3.Ⅲ型オルタネータ開発の社内的位置づけ

Ⅲ型オルタネータ開発のデンソー社内での位置づけを理解するために、ここでデンソーにおける開発製品のタイプについて説明する⁸。デンソーの開発製品には3つのタイプがある。

1つは、今まで市場の存在しなかった製品を生み出す「新規開発品」である。気化器に代わる製品として1970年代に登場した電子制御式ガソリン噴射装置はこのタイプに該当する。

2番目のタイプは、現在生産中の製品の性能やコストのレベルを改善することで競争力の維持を図る「改良型開発製品」である。市場の変化に対応して随時行う。顧客から見れば類似新製品であり、デンソー社内では同世代の改良品である。

そして、もう1つが、新規開発品と改良型開発品の間にある「次期型製品」である。次期型製品とは現在流動中の主力製品のレベルを画期的に改良した製品のことであり、次世代製品とも呼ばれる。オルタネータで言えば、Ⅲ型は第3世代に当たり、その開発は次期型製品の開発ということになる。

自動車部品サプライヤーは売り上げを大きく伸ばすには今まで存在しなかった製品を開発することが有効であるが、自動車の基本機能においては新規製品の開発余地は多くな

⁷ この低回転の発電能力以外にも、オルタネータはダイナモに比べ、小型化が可能であり、耐久性に優れているという利点もあった。

⁸ 開発製品のタイプについては、原嶋(2010)を参考にしている。

い。電子式ガソリン噴射装置やアンチロック・ブレーキ・システム(ABS)、エアバッグの事業化などは稀なケースである。

したがって、自動車部品メーカーにとっては次期型製品開発が重要な意味を持つ。トップシェアを他社に譲れない製品、中長期計画でトップシェアを狙う製品(世界一製品⁹)、そういった製品に対して次期型を開発している。デンソーにとっては、次期型開発は重要度の極めて高い開発テーマなのである。

3. 開発・事業化の経緯

3.1.デンソーにおけるオルタネータの歴史¹⁰とⅢ型開発の契機

デンソーにおけるオルタネータ開発の発端は、創業間もない時期まで遡る。オルタネータは、それまでのダイナモに取って代わる製品であり、電装系部品を代表する製品になるものと目されていた。電装系部品を事業領域の中心に据えており、しかも創業時からダイナモを手がけているデンソーにとって、オルタネータの開発は成し遂げなければならない宿命的な課題であった。

10年以上にわたる試行錯誤の結果、オルタネータの開発に成功した。成功の鍵となったのはシリコンダイオードの開発であった。そして、1962年にオルタネータ(Ⅰ型)を市場へ投入した。このオルタネータは、その後ロバート・ボッシュ社の小型設計技術を導入して改善されていったが、ダイオードはデンソー独自の開発製品を用いた¹¹。

その後デンソーは、1974年に第2世代に当たるⅡ型オルタネータを市場投入した。Ⅱ型オルタネータは、ロバート・ボッシュ社の特許に依存しない脱ボッシュ技術化を狙って、さまざまな製品の改良に加えて製造工程上の低コスト化が図られた製品であった。製品設計面では、多極化(従来の8極から12極へ)と磁気回路の最適化による性能向上、ブラシおよびレクチファイア周りの改良による低コスト化が図られた。さらに競合他社に先駆けて組立ラインの自動化を行った。

1974年に第2世代のオルタネータを市場へ投入したデンソーであったが、上市後すぐに軽量化と性能向上が求められることとなった。その背景には、1973年の第一次オイルショックがある。オイルショックをきっかけに自動車の省燃費が大きく議論されるようになっていたのであった。

デンソーはⅡ型オルタネータの容量アップにより顧客の要望に対応していたが、1970年代の終わり頃になると従来品の改良では限界がみえ始めていた。当時の経営陣は、飛躍的な性能向上と軽量化を両立した次世代のオルタネータの開発は、必須の課題である

⁹ デンソーにおける世界一製品の定義は、ワールドワイドでシェアがトップの製品のことである。製品によって数値水準は異なるが、ワールドワイドで30%以上のシェアをもっていれば、シェアがトップすなわち世界一製品と呼べる可能性が高い。

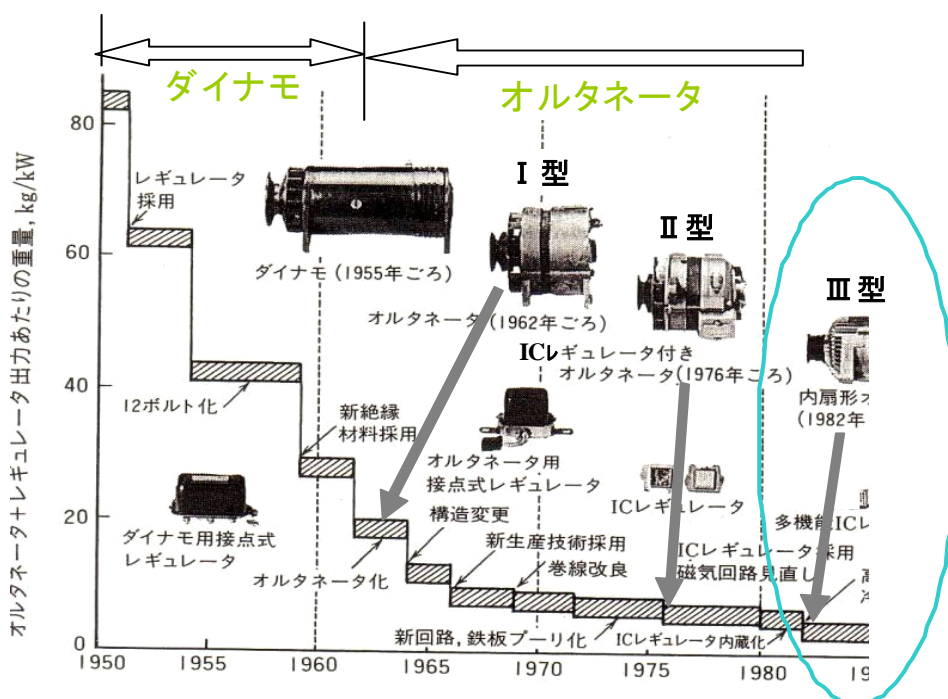
¹⁰ デンソー(2000)『デンソー50年史』を参考にしている。

¹¹ このダイオードは当時の研究部の若松久人が開発したもので、アバランシェブレークダウン原理を応用した画期的なものであった。このダイオードによって、オルタネータの信頼性を著しく向上させることに成功したのである。(『デンソー50年史』348頁)

と認識し始めた。

1979年に入ると、経営陣は全社的なプロジェクトとして次世代オルタネータ（Ⅲ型）の開発に取り組む決意を固めた。そして、すぐに電一技術一部長であった旭太郎をリーダーとするワーキンググループ、「次期型研究開発グループ」を編成し、競合品との徹底的な性能格差の実現を目指し調査を開始した。（図表3「自動車用発電機の変遷」を参照）

図表 3 「自動車用発電機の変遷」



(出所：デンソー資料)

3.2. 目標の設定

旭をリーダーとするワーキンググループがまず行ったことは、オルタネータの性能水準を定めるための指標作りであった。指標作りには当時東京大学の教授であった朝香鐵一氏の指導を受けた。そのため、この研究会は「朝香研修」とも呼ばれた。

朝香研修で決まったことは、単位重量当りの出力（W/Kg）で世界トップの水準を目指すというものであった。競合品を分析すると、1979年当時世界で単位重量当り出力の最高値は180W/Kgであった¹²。ワーキンググループは次期型製品の目標を350W/Kgに定めた。この数値は、従来技術の延長線上では到底達成できないと思われるものであった。

デンソーは製品ごとの世界シェア首位にこだわっている。デンソー社内では世界シェ

¹² 180W/Kg という数値は、デンソーの既存品と同等程度のものであった。つまり、II型が他社製品に比べ単位重量当り出力で劣っていたわけではない。

ア首位の製品を世界一製品と呼んでいる。デンソーは伝統的な製品でシェア首位を譲れない製品や、中長期的にシェア首位を狙う製品をリストアップして、次期型製品として開発を進めてきた。特に、1979年は次の10年の基本的な方向性を示した「80年代対応要綱」が発表された年であり、「10年後に1兆円企業に成長する」という基本方針を実現する上でも、次期型開発の社内での重要性は高かった¹³。

伝統的な製品であるオルタネータの次期型に対する社内の期待は高く、1兆円企業になるための象徴的な製品とならなければいけない、というワーキンググループの思いが開発目標には込められていた。

社史にも技術者の並々ならぬ挑戦意欲が、次のように記されている。

（オルタネータの）次期型として開発するからには、年々増え続けている自動車の装備充実による電気負荷の増大に対応でき、しかも向こう10年は市場で優位を保てるものを目指す。（『デンソー50年史』349頁）

3.3.開発体制

ワーキンググループが設定した挑戦的な目標をクリアするには、革新的な構造設計だけでなく、生産技術の開発も必要であった。従来の延長線上にない段違いの製品レベルアップを行うには、新規材料や高精度の加工技術、画期的な組立技術の開発が求められるからである。次期型オルタネータは製品構造の革新性だけでなく、材料、加工技術、組立技術という全工程での革新性が必要な極めて難易度の高い開発となった。

この挑戦的な目標に対して、経営トップの肝いりで全社一丸となって取り組んだ。実際の開発は次期型製品研究会¹⁴（以下、次期型研と略す）というマトリクス組織に近いプロジェクトチームで行われた。マトリクス組織に近いという意味は、デンソーの次期型研は、機能組織に横串を刺す形で特定の製品開発活動を行うのではなく、事業部内のプロジェクトチームに機能部門の本社生産技術部が加わる形でチーム編成が行われる。製品設計は事業部の人員が担い、生産技術開発は主に本社生産技術部の人員が担う¹⁵。また、設備開発は工機部が生産技術部と共同で行う。そして、設計要求と製造要求のすり合わせを行い、次期型製品の構想¹⁶を作り上げるのである。

図表4に示すように、デンソーの次期型研は、1972年のHE¹⁷研究会から始まり、様々な製品分野、事業分野へと拡大していた。1979年に組織編成されたⅢ型オルタネータの次期型研は、「電機1研究会」と呼ばれ、次期型研としては2番目に古い、先駆的なプロ

¹³ 「80年代対応要綱」が策定された1979年の前年決算は、売上高は4,000億円程度であった。10年間で売上げを倍増する計画は当時の経済情勢を勘案してもかなりストレッチな目標と思われていた。しかし、デンソーは10年足らずの1988年決算で売上高1兆円を達成した。

¹⁴ 次期型製品研究会の概要については原嶋(2010)を参考にしている。

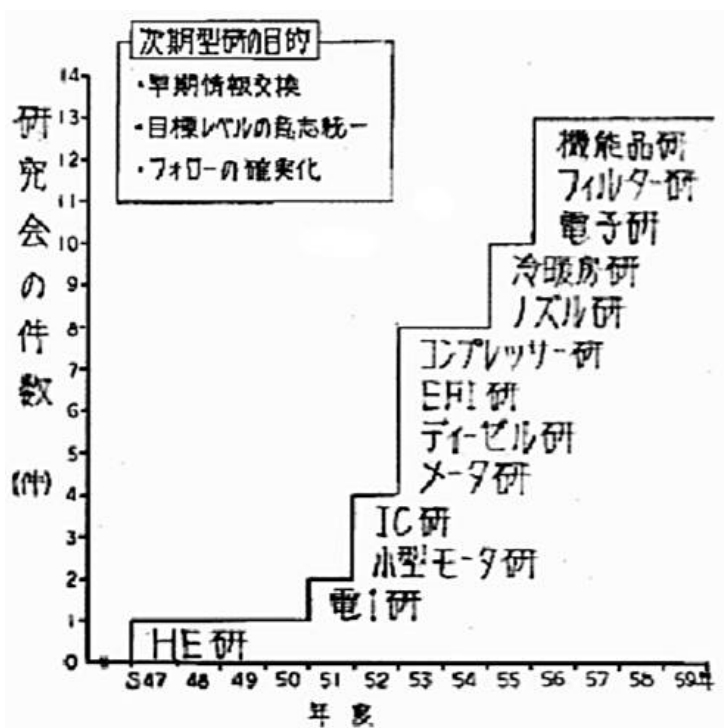
¹⁵ 次期型研の活動へは事業部の製造部に所属している生産技術者も協力する。

¹⁶ 次期型製品の構想には、製品構造の構想設計だけでなく、生産システムの構想設計も含まれる。

¹⁷ 熱交換器、Heat Exchangeの略である。

ジェクトであった¹⁸。

図表 4 「次期型製品研究会の拡大状況」



(出所：デンソー資料)

3.4.次期型研の特徴

次期型研は、コンカレントエンジニアリングという色彩が濃い。コンカレントエンジニアリングという名称は、米国国防総省 高等研究計画局 DARPA (Defense Advanced Research Projects Agency) が1982年に始めた設計プロセス改善に関する研究に由来する¹⁹。

コンカレントエンジニアリングとは、設計から製造にいたるさまざまな業務を同時並行的に処理することで、量産までの開発プロセスをできるだけ短期化する開発のやり方である。新規開発する製品の品質やコスト、作りやすさなど製品ライフサイクル全体を設計者に最初から考慮させることを意図したもので、生産技術や品質保証、製造などの各部門の視点を早期から開発に盛り込んでいくという手法である。

デンソーでは、DARPA のレポートの発表より15年以上も早い時期の1965年の AA6

¹⁸ 当時、本社機能部生産技術部門の現場で活躍していた主な人物には、松本和男元副社長（故人）、太田和宏元副社長（1999年退任）、伊東章郎元専務（1994年退任）、深谷紘一会長、花井嶺元元専務（現アスモ(株)顧問）、土屋総二郎専務がいる。

¹⁹ DARPA の研究は DICE (DARPA Initiative in Concurrent Engineering) 計画へとつながった。これは1988年から4年間、GE社が中心となってStanford大学など5大学が手法に取り組んだものである。

ウォッシャーの開発から同様の活動を開始していた。デンソーにおいて、コンカレントエンジニアリングが概念化されたのは1972年であった。(図表5「コンカレントエンジニアリングの歴史」を参照)

当時はまだコンカレントエンジニアリングという概念が世の中に存在しなかったが、当時のデンソーが行っていた活動は、後の米国で提唱されるコンカレントエンジニアリングと共通するものであった。

さらに、次期型研では、コンカレントエンジニアリングの概念を超えた活動も行う。次期型研は単に期間短縮だけを目的とはしていない。次期型研では商品企画から製品開発・設計、試作、生産技術開発、設備設計・製作に至る製品開発のほぼ全工程が同時並行に行われる²⁰。仕事の上流側から下流側へ課題を早めに伝えて研究・開発に早期着手してもらうことと、逆に仕事の下流側は待ちの姿勢ではなく上流側の仕事に専門家の立場から作りやすさなどを提案するのである²¹。

次期型研は、1つのテーマで平均すると延べ数百人が参画し、リーダーは事業部と生産技術部の役員または部長級の人間が共同で担う。製品開発を行う設計部隊は事業部が主体で、生産技術開発を担う生産技術部隊は機能部の本社生産技術部が主体である²²。製品企画からラインオフまでの期間は3～4年を要する製品が多い。

次期型研では、主に本社生産技術部の工程設計者が推進事務局を担当する。工程設計者は、実務上の推進リーダーとなり、図表6のような連携計画日程表(デンソーでは合理化大日程計画表と呼んでいた)を作成し、プロジェクトを推進する²³。

プロジェクトチーム編成後は、まず目標性能と、製品構想の検討が行われる。目標性能と製品構想を実現するために解決しなければならない課題を抽出し、課題をサブチームに割り振る。そして、サブチーム単位で課題の解決を図る。

次期型研では、通常は3ヶ月に一度のペースで課題の進捗状況の確認を行う。その定例会議では、サブチームだけでは解決できない、例えば技術的な難易度が想定をはるかに上回っている、計画以上に工数を要するなどの課題を報告し、対応策の審議や今後の業務手順の確認を実施する。このようなプロセスを繰り返しながら製品開発を進めるのである(図表7「次期型研究会の役割」を参照)。

²⁰ 下流側へ早めに情報を流すことをアーリーソーシングいい、一方で、下流側が上流側へ入り込んで仕事をすることをフロントローディングという。これらのアーリーソーシングおよびフロントローディングという特徴がデンソーの次期型研にあることが、コンカレントエンジニアリングを総括した CIRP (College International Research Production : 原名はフランス語) (Sohlenius,1992) の論文で指摘されている。

²¹ 例えば、コストダウンという仕事においては、その目標達成のポテンシャルはほとんど構想設計段階に決定されてしまい、詳細設計段階では変更が困難なためポテンシャルが小さい。次期型開発における画期的な性能改良なども同様で、上流工程でどれだけコストダウンの可能性を見通せるかがポイントとなる。

²² デンソーの場合、製品開発部署も本社機能部である生産技術部も本社にあり、連携して業務を行うには便利だった。

²³ 次期型研の活動を支えているのは、300人弱の本社生産技術部隊である。材料開発、加工技術開発、部品製造工程開発、組立工程開発など製品の生産に必要な専門知識を日々高め、ノウハウをプロジェクト間に伝播させる。生産技術に関する技術ロードマップを描き、全社への波及効果が大きい技術に関しては、個別の加工技術から生産システム技術にいたるまで、最重要テーマととらえ、優先的に開発した(原嶋,2010)。

次期型研には次のような特徴がある。第1に、製品開発グループと生産技術開発グループが、次期型製品の開発の初期の段階から、その製品構想を元に、連携しながら開発することである。生産技術者が設計の初期段階から参画することで、構想はあっても加工法がはっきりしないものや、手作り試作はできても量産できるか分からないものに対して、製品構想を実現するために必要な開発テーマを特定することである。

第2に、次期型製品を運営する事業部トップと機能部である本社生産技術部のトップが責任者となっているため、常に経営的視点からの高いレベルでの判断がなされることである。トップマネジメントのリードにより、開発目標値は戦略的で高度なものとなる。それにより開発テーマの難度も高くなるが、課題克服の手段も会社の総力をあげたものとなる。高度な目標を立てながら、その実現性も高まるのである。

次期型研のように組織をマトリクス的に運営する際は、2つの命令系統からくるコンフリクトが問題となる。そのため、通常の組織では、それぞれの命令権限を事前に規定し、バランスを取る場合が多い。次期型研の場合は、事業部長と本社生産技術部長がその組織のトップに就くことが通常であるが、命令権限の事前調整は行わない。完全なツーボス体制である。

しかし、次期型研では、少なくともⅢ型オルタネータの開発では、命令系統からくるコンフリクトによる混乱はなかった。この件に関しては、1980年9月からⅢ型オルタネータの開発に参画した原嶋茂²⁴は次のように述べている。

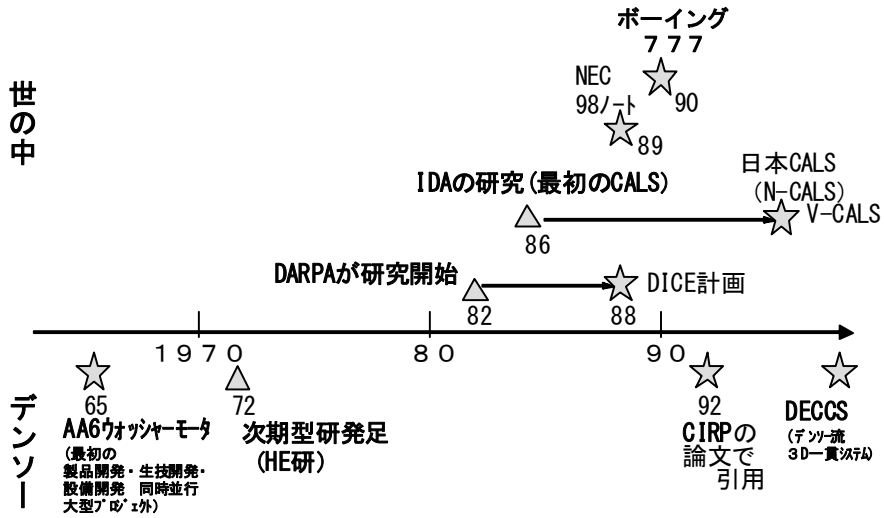
デンソーは（すくなくとも 80 年代は）大義があり、社員は目標を共有していた。80 年代対応要綱で、1 兆円企業になると定めたのであるから、そのためには世界一製品を増やさなければならない。そのために次期型の開発に取り組んでいるのであるから、どちらの部署がやるべきかという議論をする前に、先ず自部署でやれないか、できないなら協力してもらおうというのが当然と思っていた。²⁵

それ以外にも、次期型研が機能するためのいくつか条件はあるだろう。例えば、自動車向けの発電機という組み込まれる上位のシステムが明確であったので、性能目標とする指標が定まりやすかったことも要因の一つかもしれない。指標が明確になれば、目標は定量化でき、早期に技術的トレードオフを発見しやすくなる。

²⁴ 1980 年当時は本社生産技術部に配属された入社 1 年目の新人であった。現在は、生産技術部担当次長（兼務）(株)デンソー技研センター担当次長。

²⁵ 筆者による原嶋茂氏へのインタビュー。2011 年 1 月 21 日。

図表5 「コンカレントエンジニアリングの歴史」



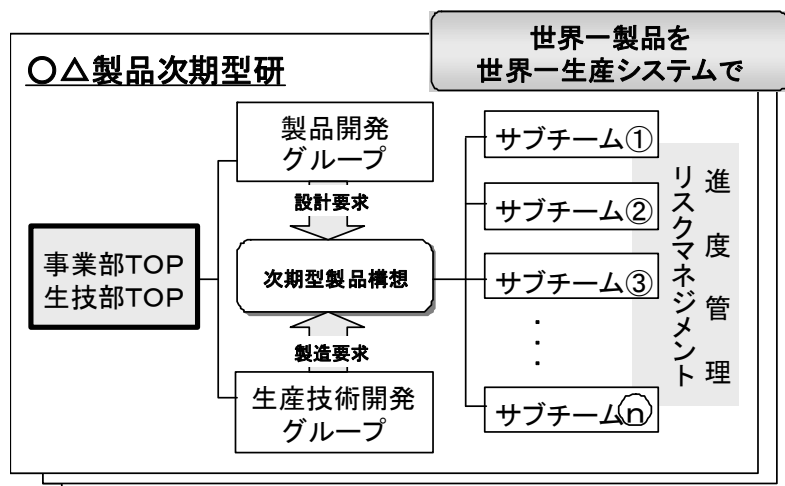
(出所：原嶋 (2010))

図表6 「次期型研を中心にした合理化活動の大日程計画表」

		●●年 3, 6, 9, 12				●●年 3, 6, 9, 12				●●年 3, 6, 9, 12				●●年 3
全体計画	担当部署	次期型研	事業等	プロジェクト推進会議	流動	流動	流動	流動	流動	流動	流動	流動	流動	流動
製品開発	X Y 技術1部	基本構想	0次試作	1次試作	市場計画	2次試作	3次試作	4次試作	5次試作	6次試作	7次試作	8次試作	9次試作	回収
生技開発	生産技術部 X Y 製造部	研究計画書	計画書	システム開発	生技開発	設備仕様書	生産準備フォロー	量産試作						
設備計画	生産技術部 工機部 X Y 製造部			設備開発	設計	設備設計	設備申請	製作	初期流動	初期流動	初期流動	初期流動	初期流動	初期流動
品質計画	第3 品保部 X Y 技術1部	品保会議	0次品保			1次品保			2次品保				3次品保	
コスト計画	第3 企画室	目標の設定	コスト会議	原価企画	会議	原価企画	会議	原価企画	会議	原価企画	会議	原価企画	会議	原価企画

(出所：原嶋 (2010))

図表 7 「次期型研究会の役割」



(出所：原嶋 (2010))

3.5. 開発テーマ設定

Ⅲ型オルタネータの開発は、制約を設けることなくあらゆるテーマを設定した。設計の徹底した見直しから始め、発電能力の分析などの確認作業も続けられ、数値的に極限まで追求されることになった。

Ⅲ型オルタネータの開発を企図した当時の日本経済は、高度経済成長の中にありモータリゼーションが進展していた。自動車販売台数が大幅に伸びを示す中で世界一のシェアを獲得するには、経営資源の効率的な活用が課題であった。資金的、人材的な制約を受けながらも世界一のシェアを実現するには、世界に類のない生産性を達成することが不可欠と考えられていた。そこで今回の開発では、競合品を圧倒的に上回る性能の実現に加えて、世界一水準の生産性の実現を同時に追求することとなった。つまり、世界一の製品を世界一の生産システムで作る、ということが目標として設定されたのである。

小型高出力の数値目標は**350W/Kg** であり、そのためには出力**30**アップ、重量**20%**ダウンが製品開発のボトムラインであった。生産性の面ではⅡ型の**3**倍以上が目標となり、その目標を達成するためには、加工、組立、検査から部品搬送まで完全自動化を行い、かつ生産タクトを従来の**5**秒から**3**秒に短縮する必要があった。生産性向上の目標の難易度の高さについて、前出の原嶋は、次のように語っている。

タクトタイムを 5 秒から 3 秒に短縮するということは並大抵のことでなかった。例えば、部品の搬送を考えた場合、デンソーでは当時既に、リレーやメータゲージといった比較的小さな製品ではタクト 1 秒が実現していたが、オルタネータのような大きな製品では工程ごとの移動距離が

大きくなるため2秒の短縮は比較にならないほど技術的難易度が高い。²⁶

世界生産システム開発では、生産性以外の面でも難題があった。それはオルタネータの当時の生産する機種が多さに起因していた。

自動車のエンジン部分に搭載されるオルタネータは、「体格の違い（ステータコアの外径）」と「同一体格内での顧客固有の要求」の組み合わせにより多様なバリエーションが存在する。「体格の違い」は、出力電流値の広範な要求に対応するためであり、「同一体格内での顧客の要求」は、各種エンジンとの機械的・電氣的接続方法の違い、耐熱仕様の違い、発電制御機能の違いなど、さまざまな顧客固有の事情に合わせるためのものである。

開発当時、同一体格でもそのバリエーションは250種類程度にも及んでおり、その種類は年を追うごとに増加する傾向にあった（図表8「製品バリエーション」を参照）。一方、1979年当時のオルタネータ工場には、合計7本もの自動化ラインが設置されていたが、体格ごとの専用ラインであった。デンソーオルタネータ工場の生産システムがライバルに対して遅れていたわけではなく、この当時、世界の主要メーカーを見回しても体格の異なる製品を混流している生産ラインは存在していなかったのである。

一方、1970年代後半は、自動車の車種ごとの販売量の増減幅が大きくなってきており、そのためオルタネータは体格ごとの生産量が大きく変動するようになってきていた。その結果、オルタネータ工場では生産負荷がライン能力を上回るラインと下回るラインが併存していた。ライン同士はお互いが助けあえず、作業者の配置転換、設備のつぎたし投資、場合によっては新設ラインの追加など、そのやりくりを追われることが増えてきていた。

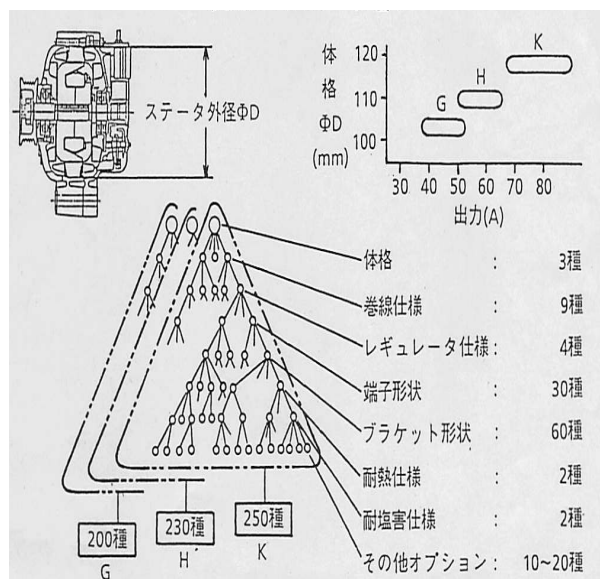
ライン能力と負荷のアンバランス、過剰な設備能力という傾向は、将来ますます強まるものと予想されていた。この傾向はオルタネータに限らず、製品の体格が性能を左右するような他の製品においても同様であり、多くの製品を手がけているデンソーの将来にとって深刻な問題であった。

体格ごとの生産量変動に柔軟に対応し、ライン本数と設備台数を大幅に削減するため、複数の体格を共用生産できるシステムを開発できるか否かは、次期型製品の収益性を大きく左右する要因であった。

このような生産現場の状況を改善すべく、次期型の開発においては、体格ごとの生産量変動に柔軟に対応できる生産システムを作り上げることにも挑戦することとなった。Ⅲ型オルタネータの開発では、性能、生産性の向上に加え、部品加工から組立・検査までの設備を共有化するという課題に取り組むこととなったのである。

²⁶ 筆者による原嶋茂氏へのインタビュー。2011年1月21日。

図表 8 「製品バリエーション」



(出所：デンソー資料)

3.6. 製品開発での技術的トレードオフ

Ⅲ型オルタネータの開発活動では、開発情報は徹底して管理された。全開発項目が極秘とされ、社内での開発が原則とされた。試作品も、評価サンプル以外は原形を留めないほど破壊して廃棄するほどの念の入れようであった。ただし例外として、社内にノウハウがなく外部の協力が必要とされた部品については、特別に専門部品メーカーとの共同開発も行われた。

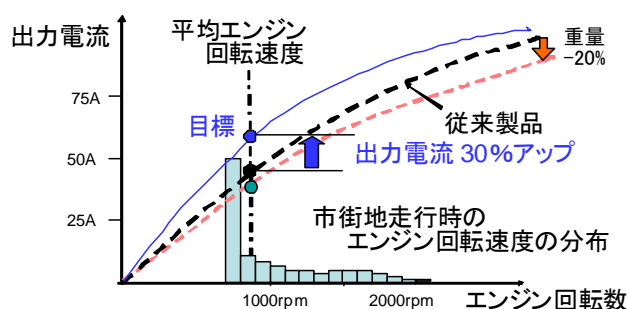
開発目標である高出力化（出力30%アップ）と軽量化（重量20%ダウン）は、通常ではトレードオフになる。数式を単純化すると、出力はステータコアの内径の二乗に比例して増加する。しかし、重量を落とすには、小型化が必要となり、ステータコアを小さくしなければならない。高出力と軽量化は二律背反なのである。

出力向上には、ステータコアの大きさ以外にも、影響する要因がある。その中の一つで、技術開発により高出力化に寄与できると考えられたのが、ロータの回転数であった。理論的には回転数を上げれば、高出力と軽量化のトレードオフを解消できるはずであった。（図表9「オルタネータの小型高出力化の関係式」を参照）

製品の全長とステータの内径を7%小さくすると $0.93 \times 0.93 \times 0.93 = 0.80$ となり20%の軽量化が可能である。しかし、出力は $0.93 \times 0.93 = 0.86$ となり14%ダウンする。出力を30%アップさせには回転数を1.5倍に上げなければならない。そこで、開発課題に高速化のために部品の許容回転数をⅡ型の1.5倍にするというものが加わった。

出力アップについては、高速域よりも実用的な低速域で30%の出力アップが必要であった。つまり、市街地走行での平均的なエンジン回転速度である900rpmにおける出力30%アップが求められていたのである。（図表10「必要な低速域での出力アップ」参照）

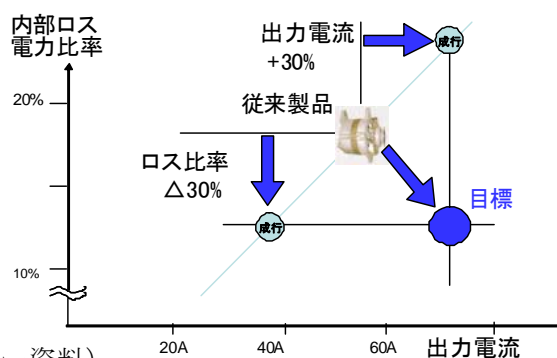
図表 10 「必要な低速域での出力アップ」



(出所：デンソー資料)

図表 11 「高効率化の要求」

$$\text{内部ロス電力比率} = \frac{\text{内部ロス電力}}{\text{トータル電力}}$$



(出所：デンソー資料)

3.7.複数体格共用化と高生産性の両立

生産システム面では、2つの課題の両立が求められていた。高い生産性と複数体格での製造設備の共用性である。高生産性のためにはタクトタイムの短縮と手作業をなくした完全自動化を実現しなければならない。その一方で、複数体格を一台の設備で生産しようとするとは常識的には段取り替えが必要である。生産性を向上させるためには、少なくとも段取り替えの自動化が必要であるが、共用化する体格数を増やせば増やすほど自動化は困難となる。複数体格の共用化と高生産性は何としても両立させる必要があった。

この生産システム面での問題に際し、次期型研ではⅡ型の経時的な実績データを分析し、体格による生産量の変動パターンを把握することから始めた。そして、製品開発による小型化を反映し、次期型での体格のバリエーションを決める作業を行った。オルタネータの需要動向は今後微増推移し、体格間での需要変動は過去データよりも大きくなるという仮定に立ち、最適な体格（ステータコアの外径）とバリエーションを検討した。

生産システムへの負荷を考えると、バリエーションは少ない方がよい。しかし、バリエーションが少なくなると自動車メーカーの要望を満たせなくなる可能性がある。ここ

でのポイントは、このトレードオフをどのレベルで折り合いをつけるかであった。

検討に検討を重ねた結果、次期型は3体格に絞ることとなった。（Ⅱ型は4体格存在していた。）具体的には、G型（φ103）、H型（φ110）、K型（φ118）と決められた。過去の生産量変動でシミュレーションすると、この構想ならば準備する生産能力トータルで20%削減することが可能であった（図表12「専用ラインと3体格共用ラインの必要設備能力比較」を参照）。

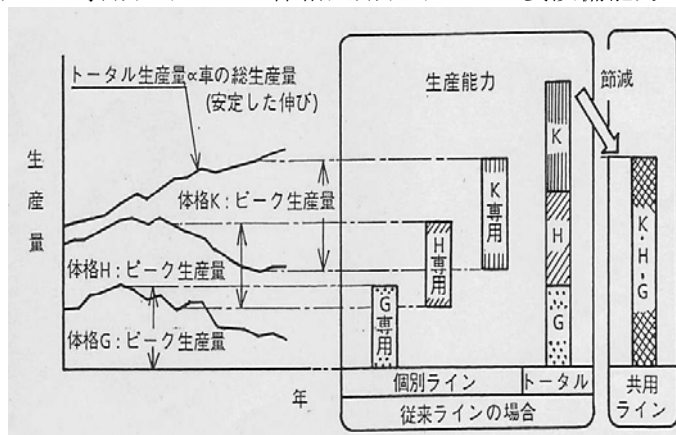
実際の生産技術開発で、最初に検討したのがステータコアの素材の加工方法であった。かつてはステータコアの体格（形状通りに）に打ち抜いた素材を積み重ねて溶接するという加工法であった。その後、材料の歩留りを改善した、「丸め」という切断した材料を丸めた後に打ち抜き積み重ねるという加工法が開発されていた。しかし、どちらの方式も打ち抜くための体格ごとの金型が必要となり、型交換に20分程度要していた。

デンソーでは、生産の高速化と材料歩留向上の狙い、第3の加工法として連続巻取方式を競合他社に先駆けて実用化していた。材料歩留でみると、第1段階の打ち抜きは25%、第2段階の丸めは45%であるのに対して、連続巻取方式は90%と歩留率として極限に近いものであった。（図表13「ステータコアの素材加工法の違い」を参照）

その一方で、設備共用という観点からは、従来の生産技術では対応できておらず、依然として巻き取り工程は体格ごとに異なる設備が必要であった。

この問題に対して、生産技術の開発者が考えたのは、連続巻取方式での径の可変であった²⁷。ステータコアの巻取工程での径可変メカニズムの技術開発により、3体格共用化と高生産性を両立させた。

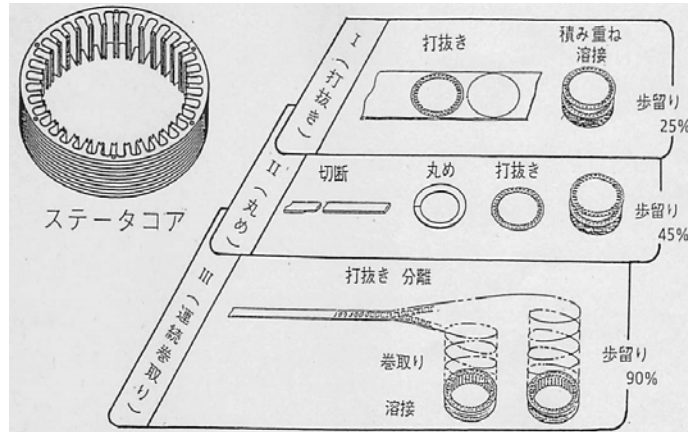
図表 12 「専用ラインと 3 体格共用ラインの必要設備能力比較」



(出所：デンソー資料)

²⁷ 複数体格共用化と高速化の両立には、連続巻取方式と径可変メカニズム以外にも多数の技術開発が必要であった。高速プレスの送りピッチ可変機構、材料板厚の連続測定と巻取枚数制御等、多数の新技術が開発された。

図表 13 「ステータコアの素材加工法の違い」



(出所：デンソー資料)

4. トレードオフを解消した代表的な技術

Ⅲ型オルタネータは製品開発においても、生産技術開発においても極めて挑戦的なテーマを設定したため、多くの先進的な技術が生み出された。Ⅲ型の開発では、3体格共用化のためだけでも、全工程の約30%にあたる52工程で新技術を用いる必要があったのである。

まず、軽量かつ高出力を可能にした技術開発からみていくことにしたい。

4.1. 軽量かつ高出力化

小型化の発電能力低下を補いさらに出力アップを図るために、ロータ、ステータ各部の磁路面積の最適な組み合わせを見出して有効磁束を増大させた。また、発生電力を有効活用できるように高密度巻線技術を開発して発電効率を向上させた。高速回転化にはロータの支持剛性向上、高速ベアリングの開発などにより高耐久化、低振動化、低騒音化を達成した。

高出力・高回転は発熱量の増大という問題ももたらしたが、この問題には冷却方法の抜本的な見直しによって対応した。次期型では冷却ファンを製品内部に付ける構造に変更し、そして数量も従来の1枚から2枚へと増やした。発熱部であるステータコアに冷却風が直接当たるように冷却ファンを設置したのである。以下では、技術的な課題を解消した工夫を具体的に記述する。

4.1.1. 許容回転数 1.5 倍；劣悪な環境に耐えるベアリングの開発

軽量でかつ高出力を実現するには、オルタネータの回転数をアップさせることが必要であった。重量を20%ダウンし、出力を30%アップするには、回転数を50%アップさせなければならない。回転数を50%アップするには、図表14のようにプーリ（滑車）径を従来の2/3にすれば良い。しかし、プーリの径を2/3にすると、プーリにかかるベルトテ

ンションが1.5倍なる。1.5倍のテンションに対応するために、プーリのベルトとの接触面積を1.5倍にした。高回転に際しては、ベルトテンション以外にもロータの剛性の問題も生じる。高回転にしてもロータが大きく振動することがないように、ロータの固有振動数を大幅に向上させなければならないのである。ロータの剛性の問題に対しては、フロントとリアのベアリング（軸）（図表15「オルタネータ用ベアリング」を参照）間の距離を大幅に低減することで、高回転してもロータが大きく振動することのないようにした。

回転速度を50%アップさせるためには上記のような対応が不可欠であったが、そのことによりベアリングにかかる負荷は1.65倍となった。従来のベアリングでは負荷を1.65倍にすると耐久性が大幅に低減してしまう。負荷を1.65倍にしても十分に耐えられるベアリングが不可欠であった。しかし、当時はデンソー技術者が求めるようなベアリングが存在しなかった。そこで新たなベアリングの開発が必要となった。そして、その開発目標を「負荷を1.65倍にしたときの耐久性は1.5倍」とした²⁸。

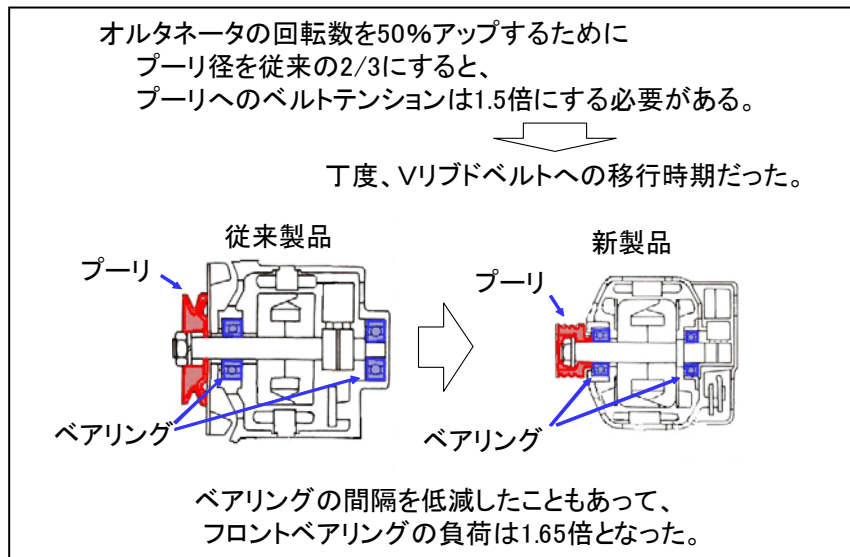
新たなベアリングの開発を親しいベアリングメーカーに依頼するのであるが、デンソーが示したベアリングの使用環境条件を聞くなり、ベアリングメーカーの技術者は「そんな無茶な環境、条件でのベアリングは絶対不可能」と断言したという²⁹。しかしデンソーの技術者は新型のオルタネータが完成した場合の自動車への貢献について語り、その開発における次期型のベアリングの重要性を粘り強く説明した。そして、熱意が通じ共同開発チームが結成されたのであった。この共同開発チームにはベアリングメーカーだけでなく、そのサプライヤーである潤滑油メーカー、樹脂材料メーカーも参加することとなった。

試行錯誤の末、やがて高速・高負荷、そしてそれに伴う高温という環境にも耐えられる高潤滑耐熱グリスや樹脂製の（高耐熱）保持器の開発に成功し、新規ベアリングが生まれることとなった。高潤滑耐熱グリスの開発では、潤滑油メーカーとベアリングメーカーが共同で行った。樹脂製の高耐熱保持器、高温でも寿命が長いシールは、樹脂材料メーカーとベアリングメーカーが共同開発した。一方、デンソーは新規ベアリングの試作品を評価するための評価技術を確立し、開発をサポートしたのであった。

²⁸ 高速回転により温度が大幅に上昇するため、使用環境として温度条件も大幅にアップされていた。

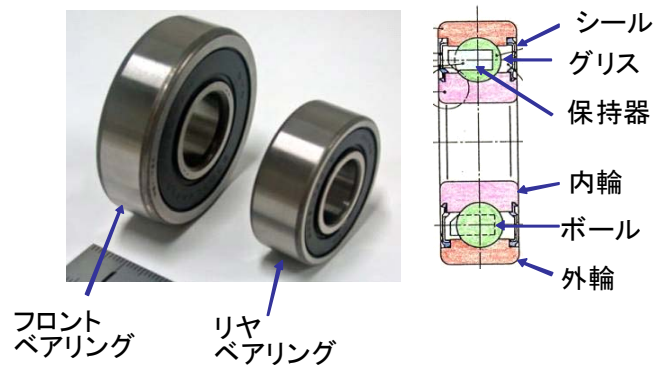
²⁹ 『デンソー50年史』350頁。

図表 14 「プーリ径低減によるベアリング負荷の増大」



(出所：デンソー資料)

図表 15 「オルタネータ用ベアリング」



(出所：デンソー資料)

4.1.2.内部ロス電力低減；高密度巻線技術の開発

発電した電力の効率的な活用のためには、内部電力ロスを抑えなければならない。次期型の開発ではこの課題にも取り組んでいる。

具体的には内部ロス比率を30%低減するというものであった。デンソー技術者はステータコイルの占積率を増やすという方法を選択した。製品設計上の理論値では占積率を19%アップすれば目標をクリアすることがわかっていた。

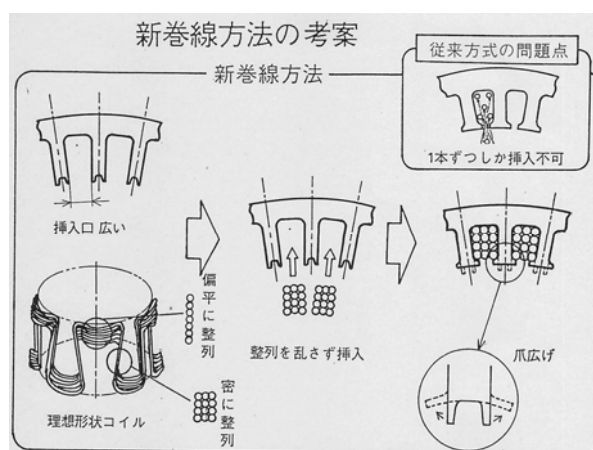
しかし、ステータコイルの占積率アップは設計上可能であっても、それを製造工程で実現するのは容易なことではなかった。Ⅲ型オルタネータの開発では製品技術と生産技術のどちらかに分離できない技術開発が多く存在したが、このステータコイルの占積率アップのための技術開発はその最たるものであった。

従来の製造方法では、ステータコアの中に銅線は1本ずつしか入れることができなかつた。そのため、それぞれの銅線が整列形状を最後まで保つことが難しく、つまり高密度の巻線には限界があつた。

これに対して次期型では新しい巻線方法を考案した。ティース形状を変更し巻線挿入口を拡大した形状のコアに最初から理想形状である冠状に成形しておいたコイルを挿入する方法である。コイルの整列を崩すことなく挿入し、挿入後ティースの形状を製品として必要な形状に加工する方法を開発したことにより、占積率を飛躍的にアップさせることができ、結果的に内部ロス電力も低減できたのである（図表16「新巻線方法」を参照）。

この高密度巻線技術開発は、製品設計、生産技術、設備設計が一体となることによつて可能になった技術開発である。

図表 16 「新巻線方法」



(出所：デンソー資料)

4.1.3.冷却性能向上と騒音低減；新規冷却ファンの開発

第3の主要な技術課題は冷却性能の向上であつた。高出力・高回転により発生する熱をいかに効率良く冷却するかという課題である。デンソー技術陣は、この課題に対して、冷却ファンの取り付け位置を抜本的に見直した。

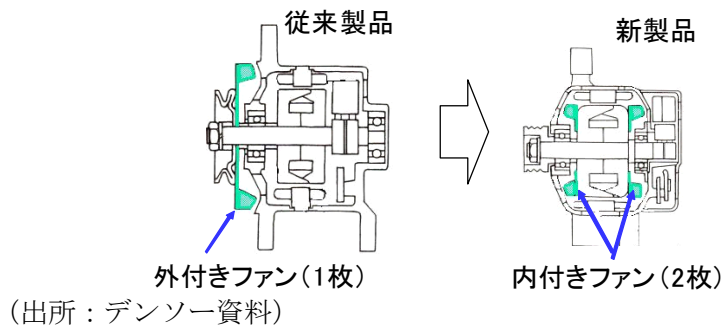
従来製品では製品本体の外側に取り付けられた1枚の外付けファンにより冷却を行つていた。これに対して、次期型では、ロータ両側の2枚の小型内扇ファンにより冷却風を前後から吸入し発熱するステータを効率良く冷やすことや、熱伝導の良いアルミ製のハウジングを広い面積でステータに密着させるなどの工夫が施された。この方式により冷却効率が各段に向上した。（図表17「新型冷却ファン」を参照）

さらに、エンドフレームの通風口の面積を増大し、冷却風の流れをスムーズにすることで冷却風量を増やし、冷却性能を向上させる工夫も施した（図表18「冷却風の通風口

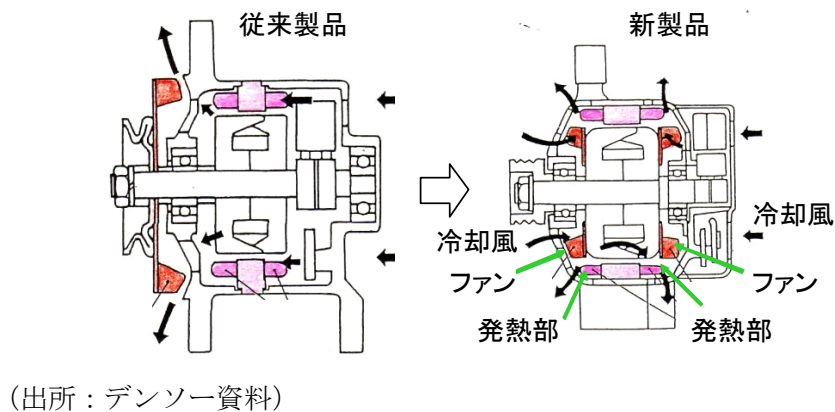
と流れ」を参照)。

冷却風の増加によって生じる騒音に対しても対策をとった。騒音の少ない冷却ファンの形状を見つけ出すことで解消したのである。従来品の冷却ファンの形状は等ピッチであったが、Ⅲ型では不等ピッチ形状となっているのはそのためである(図表19「ファン形状」を参照)。

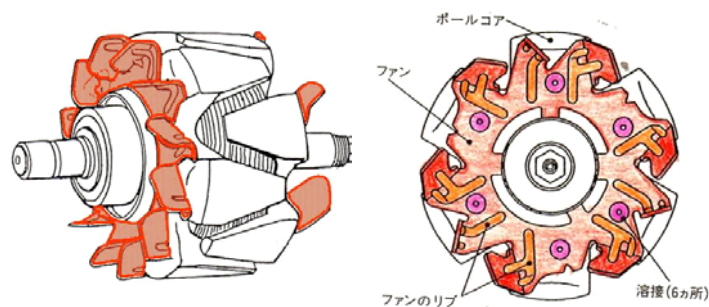
図表 17 「新型冷却ファン」



図表 18 「冷却風の通風口と流れ」



図表 19 「ファン形状」



(出所：デンソー資料)

4.2.3 体格共用化と高速化の技術

オルタネータは、同一体格でも出力性能やエンジンへの取り付け仕様の違いなどで多種類となる。従来の生産システムは、この多種類を全自動でかつ1個単位でも製造できるものであった。デンソーではそのような生産システムを「多種ランダム生産システム」と呼んでいた。

新しく開発された3体格共用高速生産システムは、体格の違いを含む多種類を、全自動でかつ1個単位、さらに高速で生産できるものである。この意味で、従来の多種ランダム生産システムの次元をこえた画期的なシステムとなった。

この3体格共用高速生産システムは、5つの主要サブ Assy 製造ライン³⁰と1つの総組立ラインとから構成されている（図表20「新生産システムの全景」を参照）。各ラインと組立ラインは自動搬送装置で直結されており、コンピュータで流動制御され材料投入から製品出荷までを効率的に一貫製造できる構想である。

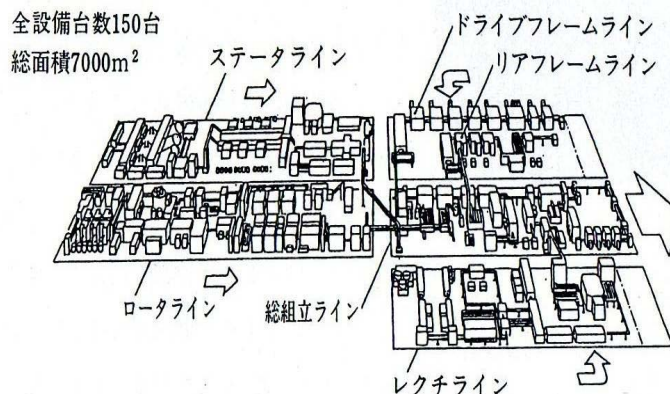
従来システムでは、負荷に対して余剰の生産能力を持つラインの傍で過剰な負荷に苦しむラインがあるというアンバランスが存在し、お互いが助けあえない状況にあった。これは各ラインが1体格ごとの専用ラインのためである。

従来の体格ごとの専用システムでは、各体格におけるピーク生産量を十分に生産できる能力のラインを準備しなくてはならないが、新システムでは1ラインで3体格の生産が可能のため、体格ごとの生産量の変動する場合でも、トータルの生産量に見合った能力を持っていれば良いことになる。つまり、3体格共用設備の実現は、顧客のニーズの変化に無理なく対応できる上に、設備費を大幅に節約でき、生産コストも低減できるという大きなメリットがあった。

以下では、このシステム開発の過程で生み出された主要な技術開発であったステータコア高速共用製造技術、多種ランダム高速組立システムについて説明する。

³⁰ ここではエンドフレームラインを「フロント」と「リア」に分けてサブ Assy 製造ラインを5つと数えている。

図表20「新生産システムの全景」



矢印(口)は物の流れを示す

(出所：デンソー資料)

4.2.1.ステータコア高速共用製造技術

オルタネータの固定子鉄心であるステータコアは、打ち抜き加工した薄い鉄板を何枚も重ねた構造をしている。従来ではステータコアの体格ごとに異なる設備が必要であったが、デンソーは巻き取り工程の径可変メカニズムを開発し、3体格のステータコアを同一設備で製造することを可能にした。

従来の連続巻取メカニズムが1体格にしか対応できない固定型であったのに対し、新方式では3体格に対応できる径可変の巻取メカニズムとしたのである。

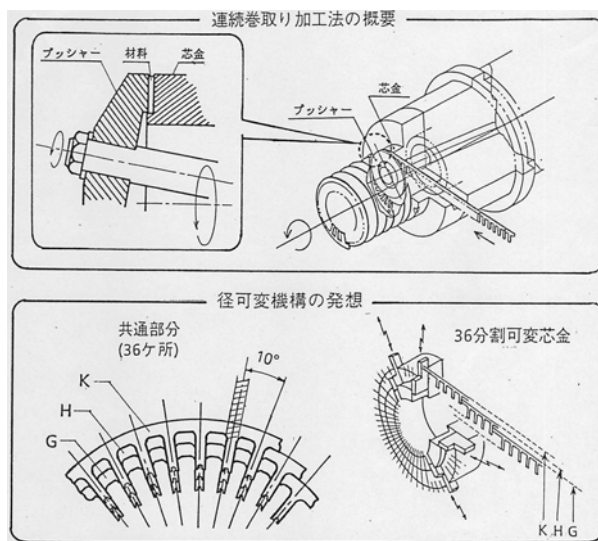
従来の連続巻取技術では、芯金やプッシャーを3種類用意して段取り替えする必要があり大きな段取りロスが発生する。新しい生産システムでは、芯金を36（ステータコアのロット数）に分割し、スクロール方式により、高精度を維持したままで瞬時の径可変を可能とした。

径可変機構という発想により開発する工法は定まったが、実用化は容易ではなかった。問題となったのは、素材と巻取り部分の芯金とのピッチのずれであった。ピッチがずれた状態で巻取りを進めると銅線を入れる挿入口（ティース部）が不揃いとなり、整列した状態で銅線が挿入できなくなる。銅線をいかにして密にステータコアに挿入するかが高出力化のポイントであったので、この問題を解決することなしに実用化することはできなかったのである。

この問題に対する解決策は、素材に突起を、そして巻取り芯金にへこみを追加することであった。プレス工程で追加された突起が、芯金のへこみと重なることで、ステータコアの挿入口（ティース部）の不揃いが解消された。

素材への突起追加と、巻取の基準となる芯金の分割可動化という新たな発想により実用化できた。この径可変メカニズムの実用化により、同一設備による3体格共用生産が初めて可能となった。(図表21「径可変巻取りメカニズム」を参照)

図表 21 「径可変巻取りメカニズム」



(出所：デンソー資料)

4.2.2. 多種ランダム高速組立システム

Ⅲ型オルタネータの自動組立ラインでは、3体格からなる1000品番にも及ぶバリエーションのある製品の多種ランダム高速組立を実現した。

多種ランダム高速組立システムは10台のマシンにより構成されている。多種ランダム高速組立システムの先頭のマシンではドライブフレームが加工ラインから到着すると、コンピュータから出された生産命令に従い Assy 品番が指定される。そして、それに適合したバーコードを素早く自動印刷し貼り付ける。

その後マシンでは、内製のバーコード読み取りシステムによりドライブフレーム上のバーコードを読み取り、機種別ストックより指定された品番の部品が払い出しされる。そして、品番により異なる形状の Assy を3体格共用でフレキシブルな内製の組立機により確実に組み立てられていく。バーコードは搬送中に組立機に到達する直前で読み込まれるため機種切り替えのロスタイムはゼロである。

加えて、組立設備ユニットの大きさの違いから搬送距離が異なっても同一時間（約1秒）で搬送できるように搬送速度を調整できる機構、不等ピッチスクリーフイー ド機構を開発した。

このような組立工程の技術開発により、機種切替えロスゼロで最小ロット1個の流動が可能なシステムを作り上げた。

4.2.3 多種類異音の自動検査

組み立てが完了した製品は、組付状態はもとより性能、異音、外観まで確実に全数検査が行われ、不具合品が取り除かれ出荷されるのであるが、このⅢ型オルタネータの開

発では異音検査の全自動化にも取り組んだ。

自動車の静粛性確保のためオルタネータにおける異音検査は、きわめて重要な工程である。従来自動化が難しく、熟練作業者の聴覚に頼っていたこの品質保証は、検査時間のバラツキから生産性を低下させていた。その上、疑わしい物は不良としてはね出し再検査する二重の検査が多く、過剰品質になりがちだった。異音は、冷却ファンの音、ベアリングの転走面のキズによるベアリング音、ステータとロータの磁気的な不均一性から生じる磁気音、カバーの振動によるビビリ音などと、その原因と種類はさまざまであり、技術的にも未解明の部分が多かった。

このようなさまざまな異音に対して、人の聴覚による異音レベルと強い相関がある物理量をそれぞれの異音に対して見つけ出し、すべての異音検査の完全自動化に成功した。この完全自動化はオルタネータの生産性と検査品質の維持に大きく貢献することとなった。

5. 世界一製品の誕生

1982年に完成したⅢ型オルタネータは、出力33%アップ、重量20%ダウン、許容回転数1.5倍と多くの面でⅡ型あるいは他社製品を大きく凌駕する高水準を達成した。同出力のⅡ型と比べると、体格は一回り小さくなり、外側にファンのない形状はより機能的になり、かつ騒音も低下して、安全性も向上した³¹（図表22「Ⅲ型とⅡ型の比較」を参照）。

Ⅲ型オルタネータは、1983年の発売以来、性能、コスト、信頼性のいずれにおいてもユーザーの高い評価を得ることとなった。その評価に伴い、シェアは拡大し、収益に大きく貢献することになった。その後もエンジンへの取付構造の違いや若干の仕様変更にも対応しつつ積極的な拡販活動を続けたことによって、納入先は国内自動車メーカーばかりでなく、米国のクライスラー、スウェーデンのボルボ、英国のジャガーにまで拡大し、世界シェアも15%から18%に向上した。そして、デンソーはオルタネータのシェア世界 No.1の座を獲得した³²。

デンソーは、欧米の自動車部品メーカーの要請があれば工場見学の機会を与え積極的

³¹ Ⅲ型オルタネータの開発と同時に、新型のICレギュレータも開発された。従来のレギュレータは発電電圧を制御するだけで、チャージランプ(充電警告灯)の制御も発電を開始させる初期励磁制御もオルタネータの別部品で賄っていた。これらの部品は組み付けが煩雑であり品質も不安定であったため、製造部からも廃止できないかとの声があがっていた。そのため、充電システムの多機能化と同時に信頼性向上を狙って、新ICレギュレータの開発を進めた。新たに開発されたM型レギュレータはⅢ型オルタネータに内蔵され、画期的な小型・軽量の充電システムを実現させた。モノリシックICを採用し、①種々の発電制御機能に加え、②故障診断機能、③保護機能を有する世界初の多機能(Multi-Function)型レギュレータとなった。部品点数も削減し、小型化と量産性の向上が図られた。また、このレギュレータの生産においては、全工程一貫の合理化ラインを実現し、自動車用ICレギュレータ高速一貫生産システムとして、1987年に精密工学会技術賞を受賞した。(『デンソー50年史』351頁)

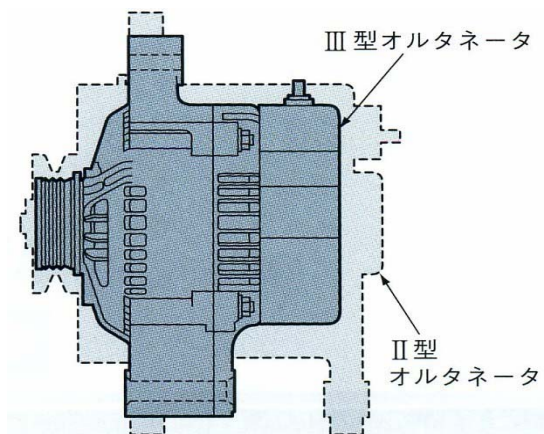
³² 国内シェアは、株式会社アイアールシーのデータによると、1984年から現在に至るまで50%以上を維持しており、微増傾向にある。大口顧客のトヨタ自動車は、オルタネータに関してはその大半をデンソーから購入している。

に技術交流を行った³³。一部のメーカーには、製品や製造の新技术を開示して指導もした。国内外各社は、Ⅲ型オルタネータが上市されてから数年のうちに類似構造の高性能製品を誕生させており、世界のオルタネータの改良に波及することとなった。

また、このⅢ型オルタネータの開発過程では、デンソー特有のコンカレントエンジニアリングが展開された。開発のスタート時点から、社内の関連部門が1つの開発目標の下で絶えず連携プレーを展開した。これによって、Ⅲ型オルタネータは予定通りに1983年に上市することができた。大型の組織横断的なプロジェクトの成功は、今日ではデンソー社内で一般化しているコンカレントエンジニアリングの先駆け的プロジェクトのひとつとなった。

このプロジェクトの最初の成果が、Ⅲ型オルタネータのトランスファー1号ラインである。このラインは、3秒タクトの高速生産、3体格共用生産が可能であり、それを支える高精度・高速加工技術・多機種流動システムなどで20余りの製造特許を有している（図表23「新システムの従来システムとの比較」を参照）。

図表 22 「Ⅲ型とⅡ型の比較」



（出所：『デンソー50年史』）

図表 23 「新システムの従来システムとの比較」

	新システム	従来システム
生産スピード	3秒/台	5秒/台
月産能力	30万台/月・2直	20万台/月・2直
フレキシビリティ	3サイズ製品の多種ランダム流動	1サイズのみでロット流動
信頼性向上	異音等、官能検査の自動化	人による官能検査

³³ 実際に、ロバート・ボッシュ社やデルコ社など有力な自動車部品サプライヤーからの要請があった。

6. おわりに

6.1. 挑戦的な目標ゆえの生みの苦しみ

軽量で高出力の世界一の製品性能、そして生産量変動に柔軟に対応しながらの高速生産システム。デンソーが開発・実用化したオルタネータとその生産システムは、間違いなく世界をリードする先進性が備わっていた。開発過程では、いくつものトレードオフを解消してきた。この卓越した開発成果、そして市場成果を疑う者はいないであろう。

その一方で、1号ラインのラインオフが決してスムーズなものではなかったのも事実である³⁴。混乱の原因は複数の要因が絡み合っているのが安易な説明は避けなければならないが、難易度の高い開発テーマをあまりに多く抱えたため、個々の技術開発では課題をクリアしていたものの、1983年の本格的量産開始時点ではシステム全体としての完成度はまだ高まっていなかった。最終工程である総組立ラインの担当責任者であった原嶋は当時の様子を次のように語っている。

Ⅲ型オルタネータは、製品技術面でも、生産技術面でも先進的な取り組みを盛り込みすぎた。性能、生産性、柔軟性という複数の次元で全て最高のものを求めすぎたかもしれない。精一杯努力したが、結果として、全ライン直結という生産システムの目標は未達成となった。しかし、そのことは失敗ではなく、開発に関係した私たち一人ひとりの胸の中に、創業以来の開発魂が宿りそれはさらに後輩たちへ受け継がれたと思う。当時の苦労は血となり肉となり、その後のデンソーの発展につながった。

35

生みの苦しみと言うべき混乱があり、その対応のために想定以上の資源を投入し、結果として当初目標を達成できなかったという部分はある。このような混乱はあったが、Ⅲ型オルタネータ開発・事業化での苦闘は、有益な経験となり、その後のデンソーの次期型製品の展開に大いに役立つこととなった。それは製品開発、生産技術開発の能力蓄積や、プロジェクトマネジメント力の向上だけでなく、他の事業部の画期的な製品、生産システムへの挑戦的な行動を促した。自動車部品としては比較的大型で、かつ部品点数も多く、多彩な加工技術を必要とするオルタネータでもできるなら、われわれの製品でもできるはずだと考えた製品担当者が少なくなったからであろう。

6.2. 結び

Ⅲ型オルタネータは画期的な製品であった。その競争力の高さは、上市後のシェア

³⁴ 例えば、一部の設備が壊れただけで全設備の寿命設計が高度化に見合う水準に達していないのではないかと疑われた。加えて、2号ラインが立ち上がる前に想定（月産30万台程度）を超える月産40万台の需要が発生するという市場環境の変化も混乱に拍車をかけた。

³⁵ 筆者による原嶋茂氏へのインタビュー。2011年1月21日、デンソー本社にて。

ップからも明らかである。そして、この開発・事業化では、ラインオフ後の苦労はあったものの、生産システムのコンセプトや新技術は、その後のデンソーの事業発展に大きく貢献することとなった。いやデンソー社内にとどまらず広く自動車部品産業に関わる各社の生産の効率化に貢献するとともに、製品の多様化と生産の効率化の両立が課題になっている他の産業に対しても示唆に富むものであったに違いない。

これほどまでに挑戦的な目標を掲げ、複雑に絡み合う技術的なトレードオフを、デンソーが乗り越えることができたのはなぜだったのであろうか。総組立ラインを担当し、1983年の1号ラインの量産化開始から、その後の4年間にわたる継続的な改善活動を推進した原嶋は次の要因を指摘する。

それは、プロジェクトとして、上位の目標が共有されていたことである。社是³⁶に象徴される創業の精神から、会社の長期経営方針である 80 年代対応要綱、そして次期型研のメンバーの合言葉でもある「世界一製品を世界一生産システムで」という目標である。これらの目標が共有されていたからこそ、機能や役割を超えた連携が可能だったのである。³⁷

先進的な製品、生産システムの開発を支えたのは、次期型研と呼ばれるマトリクス組織であった。次期型研では、製品設計者と生産技術者が、製品構想段階から連携する。構想があっても従来技術では加工できないものや、試作品はできても量産が可能かどうかかわからないものに対して、生産技術者は製品設計者に対して解決方を提案することが可能となる。もちろん、既存の技術では対応できないものは、双方が同意の上、研究テーマとして取り組むことになる。

この次期型研が、名ばかりのコンカレントエンジニアリングであったならば、Ⅲ型オルタネータのような先進的な製品の上市には至らなかったであろう。1990年までに1兆円企業になるという全社目標に対して、経営環境の変化を予測し、将来性のある製品を見極め、重点製品の技術ロードマップを作成し、組織的に課題を解決していく。言われてみれば当たり前の活動をしつかりと行う。そして、やりきる。そのような事業運営を可能にする仕組み作りや工夫に成功の鍵があったのではないか。もちろん、そういった公式・非公式の制度や仕組みだけでなく、デンソーの歴史的経緯や風土、そして社員に共通な価値観に適合したマネジメントスタイルがあったからこそ、先進的な開発につながったのであろう。

(文中敬称略)

³⁶ デンソーの社是は母体であるトヨタ自動車の豊田綱領を元にして 1956 年に制定された。なお、社是はデンソーのグローバル化に伴い、1992 年、デンソー基本理念として全世界のデンソー社員の共通のものとなっている。

³⁷ 筆者による原嶋茂氏へのインタビュー。2011 年 1 月 21 日。

参考文献・資料

- 青木勝雄（1986）『生産技術発展の道：ローコストオートメーションへの指針』日本能率協会。
- デンソー（2000）『デンソー50年史』株式会社デンソー。
- 原田了（2005）『クルマの最新メカニズムがわかる本』日本実業出版社。
- 原嶋茂（2010）「生産システムの柔軟性評価法に関する研究」愛知工業大学大学院経営情報科学研究科博士（経営情報科学）学位論文。
- 細川武志（2003）『クルマのメカ&仕組み図鑑』グランプリ出版。
- 日本電装（1974）『日本電装 25年史』日本電装株式会社。
- 日本電装（1984）『日本電装 35年史』日本電装株式会社。
- 日本電装（1990）「自動車用発電機 多サイズ共用高速生産システムの開発」『大河内賞受賞業績報告書 平成元年度（第36回）』, 124-132頁。
- 新星出版社編集部（2005）『徹底図解自動車のしくみ』新星出版社。

IIIR ケース・スタディ 一覧表／2004-2011

NO.	著者	タイトル	発行年月
CASE#04-01	坂本雅明	「東芝のニッケル水素二次電池開発」	2003年2月
CASE#04-02	高梨千賀子	「富士電機リテイルシステムズ(1): 自動販売機—自動販売機業界での成功要因」	2004年3月
CASE#04-03	高梨千賀子	「富士電機リテイルシステムズ(2): 自動販売機—新たなる課題への挑戦」	2004年3月
CASE#04-04	高梨千賀子	「富士電機リテイルシステムズ(3): 自動販売機—飲料自販機ビジネスの実態」	2004年3月
CASE#04-05	伊東幸子 青島矢一	「ハウス食品: 玉葱催涙因子合成酵素の発見と研究成果の事業化」	2004年3月
CASE#04-06	青島矢一	「オリンパス光学工業: デジタルカメラの事業化プロセスと業績V字回復への改革」	2004年3月
CASE#04-07	堀川裕司	「東レ・ダウコーニング・シリコン: 半導体パッケージング用フィルム状シリコン接着剤の開発」	2004年3月
CASE#04-08	田路則子	「日本開閉器工業: モノづくりから市場創造へ「インテリジェントスイッチ」」	2004年3月
CASE#04-09	高永才	「京セラ: 温度補償水晶発振器市場における競争優位」	2004年3月
CASE#04-10	坂本雅明	「二次電池業界: 有望市場をめぐる三洋、松下、東芝、ソニーの争い」	2004年3月
CASE#04-11	三木朋乃	「前田建設工業: バルコニー手摺一体型ソーラー利用集合住宅換気空調システムの商品化」	2004年3月
CASE#04-12	尹諒重 武石彰	「東洋製罐: タルク缶の開発」	2004年3月
CASE#04-13	藤原雅俊 武石彰	「花王: 酵素入りコンパクト洗剤「アタック」の開発」	2004年10月
CASE#04-14	軽部大 井森美穂	「オリンパス: 超音波内視鏡の構想・開発・事業化」	2004年10月
CASE#04-15	軽部大 小林敦	「三菱電機: ポキポキモータ 新型鉄心構造と高速高密度巻線による高性能モーター製造法の開発」	2004年11月

CASE#05-01	青島矢一 宮本圭介	「テルモ(1): 組織風土の改革プロセス」	2005年2月
CASE#05-02	青島矢一 宮本圭介	「テルモ(2): カテーテル事業の躍進と今後の課題」	2005年2月
CASE#05-03	青島矢一 河西壮夫	「東レ(1): 東レ炭素繊維複合材料“トレカ”の技術開発」	2005年2月
CASE#05-04	青島矢一 河西壮夫	「東レ(2): 東レ炭素繊維複合材料“トレカ”の事業戦略」	2005年2月
CASE#05-05	兒玉公一郎	「ヤマハ(1): 電子音源に関する技術蓄積」	2005年2月
CASE#05-06	兒玉公一郎	「ヤマハ(2): 携帯電話着信メロディ・ビジネスの技術開発、ビジネスモデル構築」	2005年2月
CASE#05-07	坂本雅明	「二次電池業界(改訂): 技術変革期における新規企業と既存企業の攻防」	2005年2月
CASE#05-08	高永才	「京セラ(改訂): 温度補償水晶発振器市場における競争優位」	2005年2月
CASE#05-10	坂本雅明	「東北パイオニア: 有機ELの開発と事業化」	2005年3月
CASE#05-11	名藤大樹	「ハイビジョンプラズマディスプレイの実用化 プラズマディスプレイ開発協議会の活動を中心に」	2005年7月
CASE#05-12	武石彰 金山維史 水野達哉	「セイコーエプソン: 自動巻きクォーツ・ウォッチの開発」	2005年7月
CASE#05-13	北澤謙 井上匡史 青島矢一	「トレセンティテクノロジーズによる新半導体生産システムの開発 —300mm ウェハ対応新半導体生産システムの開発と実用化—」	2005年10月
CASE#06-01	武石彰 高永才 古川健一 神津英明	「松下電子工業・電子総合研究所: 移動体通信端末用 GaAs パワーモジュールの開発」	2006年3月
CASE#06-02	平野創 軽部大	「川崎製鉄・川鉄マシナリー・山九: 革新的な大型高炉改修技術による超短期改修の実現 大ブロックリング工法の開発」	2006年8月

CASE#07-01	武石彰 宮原諄二 三木朋乃	「富士写真フイルム： デジタル式 X 線画像診断システムの開発」	2007 年 7 月
CASE#07-02	青島矢一 鈴木修	「ソニー： フェリカ(A)：事業の立ち上げと技術課題の克服」	2007 年 7 月
CASE#07-03	青島矢一 鈴木修	「ソニー： フェリカ(B)：事業モデルの開発」	2007 年 7 月
CASE#07-04	武石彰 伊藤誠悟	「東芝： 自動車エンジン制御用マイコンの開発」	2007 年 8 月
CASE#07-05	青島矢一 朱晋偉 吳淑儀	「無錫小天鵝株式会社： 中国家電企業の成長と落とし穴」	2007 年 8 月
CASE#07-06	青島矢一	「日立製作所： LSI オンチップ配線直接形成システムの開発」	2007 年 9 月
CASE#07-07	坂本雅明	「NEC： 大容量 DRAM 用 HSG-Si キャパシタの開発と実用化」	2007 年 9 月
CASE#08-01	小阪玄次郎 武石彰	「TDK： 積層セラミックコンデンサの開発」	2008 年 1 月
CASE#08-02	福島英史	「東京電力・日本ガイシ： 電力貯蔵用ナトリウム—硫黄電池の開発と事業化」	2008 年 3 月
CASE#08-03	青島矢一 北村真琴	「セイコーエプソン： 高精細インクジェット・プリンタの開発」	2008 年 5 月
CASE#08-04	高梨千賀子 武石彰 神津英明	「NEC： 砒化ガリウム電界効果トランジスタの開発」	2008 年 9 月
CASE#08-05	小阪玄次郎 武石彰	「伊勢電子工業： 蛍光表示管の開発・事業化」	2008 年 9 月
CASE#09-02	青島矢一 大倉健	「荏原製作所： 内部循環型流動層技術の開発」	2009 年 6 月

CASE#09-03	藤原雅俊 積田淳史	「木村鑄造所： IT を基軸とした革新的フルモールド鑄造システムの開発」	2009 年 7 月
CASE#10-01	工藤悟志 清水洋	「東芝： 0.6 μ m 帯可視光半導体レーザの開発」	2010 年 1 月
CASE#10-02	山口裕之	「東レ： 非感光ポリイミド法に基づくカラーフィルターの事業化と事業転換」	2010 年 3 月
CASE#10-03	三木朋乃 積田淳史 青島矢一	「NHK 放送技術研究所・NHK エンジニアリングサービス・日本ビクター株式会社： 話速変換技術を搭載したラジオ・テレビの開発」	2010 年 4 月
CASE#10-04	青島矢一 高永才 久保田達也	「日本電気： 最先端 LSI 量産を可能にした ArF レジスト材料の開発」	2010 年 5 月
CASE#10-05	青島矢一 大久保いづみ	「新日本製鐵： コークス炉炭化室診断・補修技術」	2010 年 7 月
CASE#10-06	久保田達也 青島矢一	「横河電機： 高速共焦点顕微鏡の開発と事業化プロセス」	2010 年 7 月
CASE#10-07	工藤秀雄 延岡健太郎	「パナソニック： IH 調理器の開発」	2010 年 7 月
CASE#10-08	今井裕介 岩崎慶 幸務正 鈴木裕一郎 山田将知	「株式会社高井製作所の組織改革」	2010 年 7 月
CASE#10-09	工藤悟志 清水洋	「ソニー： MOCVD 法による化合物半導体デバイスの開発と量産化」	2010 年 8 月
CASE#10-10	積田淳史 藤原雅俊	「中田製作所： 高機能造管成形機の開発と実用化」	2010 年 9 月
CASE#11-01	伊藤誠悟	「株式会社デンソー： 自動車用発電機 III 型オルタネータの開発・事業化」	2011 年 5 月