

一橋大学 21 世紀 COE プログラム
「知識・企業・イノベーションのダイナミクス」
大河内賞ケース研究プロジェクト

東芝
自動車エンジン制御用マイコンの開発

武石彰
伊藤誠悟

2007 年 8 月

CASE#07-04

本ケースは、一橋大学 21 世紀 COE プログラム「知識・企業・イノベーションのダイナミクス」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(詳細は <http://www.iir.hit-u.ac.jp/research/21COE.html> を参照のこと)。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。

一橋大学 21 世紀 COE プログラム
「知識・企業・イノベーションのダイナミクス」
大河内賞ケースプロジェクト

東芝
自動車エンジン制御用マイコンの開発

2007/08/16

一橋大学イノベーション研究センター教授 武石彰*
一橋大学大学院商学研究科博士後期課程 伊藤誠悟

* 〒186-8603 東京都 国立市 中 2-1
Phone: 042-580-8425 Fax: 042-580-8410
Email: takeishi@iir.hit-u.ac.jp
<http://www.iir.hit-u.ac.jp/>

1. はじめに

今、自動車にはたくさんのマイコンが使われている。その数は大衆車クラスの乗用車であれば一台あたり 30-40 個、高級車になれば 100 個近くにのぼる¹。

マイコンとはマイクロコンピュータの略で、超小型のコンピュータを意味する。演算機能を半導体LSI（大規模集積回路）に集積したCPU（中央演算装置）と、プログラムやデータを記憶したりデータを入出力したりするために必要な周辺の電子回路から構成され、複雑な情報処理を高速で実行する²。自動車用のマイコンは、走る、曲がる、止まるといった基本機能を精緻に制御するばかりでなく、エアバック、盗難防止、パワーウィンドウ、カーナビゲーションなど安全、安心、快適といった機能にも用いられている。もはやマイコンなしには自動車は動かない。

マイコンが自動車で本格的に使われ始めたのは 1970 年代半ばのことであった。エンジンの電子制御が目的だった。当時、悪化する大気汚染問題への対策として強化されつつあった排ガス規制をクリアするため、自動車メーカーは必死になって技術開発を進めていた。求められた排気浄化の基準値は従来の技術だけでは達成することが難しく、よりきめ細かくエンジンを制御して排気を浄化するためにマイコンが用いられることになったのである。

1977 年秋、米国ビッグ 3 の一角で、世界第二位（当時）の自動車メーカーであったフォードは、エンジン制御のためにマイコンを搭載したリンカーン・ベルサイユを発売した。すでに 1 年前にゼネラル・モーターズ（以下、GM）がマイコンでエンジンを制御するモデルを発売していたが、GM のマイコンは点火時期だけを制御するものだった。フォードが搭載した 12 ビットのマイコン・システムは、点火時期に加えて排ガス還流も制御するより本格的なエンジン電子制御を実現するものだった。

このマイコンを開発したのが、東芝（当時、東京芝浦電気。以下、東芝）であった。フォードの意向で、東芝は表舞台に立つ機会はなく、同社の果たした役割は広く知られることはなかった。だがこれは、自動車へのマイコンの本格的応用の幕開けを飾る画期的な革新であり、東芝の自動車向け半導体ビジネスの発展の礎となる革新であった。これはまた、インテルがまだ 4 ビットのマイコンを供給し始めて間もない時期に開発に着手したもので、マイコンとしても時代の先頭をいく革新であった。その処理能力は当時のミニコンピュータに匹敵するもので、しかもはるかに小さくて、頑丈で、安価なシステムだった。ミニコンピュータがスチールロッカー大の大きさで、安定した室内環境で用いられ、1 万ドルを超える価格であったのに対して、東芝が開発したマイコンは、5.6

¹ トヨタのクラウン・クラスでは約 60 個、最高級車では約 100 個のマイコンが搭載されている。

² CPUはマイクロプロセッサとも呼び、この部分だけをマイコンと称する場合もある。

×5.9 ミリ角のワンチップ CPU を含む一群の LSI からなり、電源などとともに大きめの弁当箱程のサイズに詰め込まれ、温度変化、振動、ノイズなど自動車の厳しい使用環境に耐えながら複雑なエンジンの制御を高速にこなし、コストはわずか 100 ドル程度だった。

東芝はどのようにして世界に先駆けてこのエンジン制御用マイコンを開発・実用化していったのか。その過程を記述するのが、本ケースの目的である³。まず東芝の概要をごく簡単に確認することから始めよう。

2. 東芝の概要

東芝は日立製作所と並ぶ日本を代表する総合電機メーカーである。その源流は重電メーカーの芝浦製作所と弱電メーカーの東京電気である。両社が 1939 年に合併し東京芝浦電気（1984 年に東芝に改称）が誕生した。

2007 年 3 月期現在、東芝の売上高は 7 兆 1,164 億円、営業利益 2,584 億円、当期純利益は 1,374 億円を計上し、従業員は 18 万人を数える（いずれも連結ベース）。東芝は 4 つの主要な事業部門から成っている。携帯電話や PC、DVD など扱うデジタルプロダクツ部門は売上が 2 兆 8,055 億円、半導体や液晶ディスプレイなどを扱う電子デバイス部門は 1 兆 6,573 億円、発電機器や官公庁システムを扱う社会インフラ部門は 2 兆 677 億円、家庭電器部門は 7,489 億円である。

³ 本ケースは、一橋大学 21 世紀 COE プログラム「知識・企業・イノベーションのダイナミクス」の研究プロジェクトのひとつ「大河内賞ケース研究プロジェクト」(<http://www.iir.hit-u.ac.jp/research/21COE.html>)の一環として作成したものである。本ケースでとりあげるマイコン・システムの開発は 1974 年度に第 21 回大河内記念技術賞を受賞している（ただし、自動車エンジン制御用ではなく、一般的な用途向けのマイコン・システムの開発として受賞している）。本稿を作成するにあたって、後掲の参考文献（とくに相田・荒井 1996、岩井 1979）の他に、以下の講演、インタビューを参考にさせていただいた：小津厚二郎氏（鈴榮特許総合事務所顧問）講演会ならびにインタビュー（2006/5/12、2006/7/13、2007/5/31）、高橋之治氏講演会ならびにインタビュー（2006/5/12、2006/7/13、2007/2/15、2007/5/31）、小野雅彦氏（巧テクノロジー、コーポレート・アドバイザー）インタビュー（2006/9/8）、西室泰三氏（株式会社東京証券取引所取締役会長）インタビュー（2007/7/30）（所属、役職はいずれもインタビュー当時）。また、跡見学園女子大学マネジメント学部准教授の朱穎氏には本ケースのための調査の一部で協力をえている。お忙しい中、貴重な時間を割いてご協力いただいた以上の方々に感謝する。とりわけ、小津、高橋両氏には数回にわたる長時間のインタビューにご協力いただいた他に、多くの貴重な資料、情報、コメントを頂戴しており、心よりお礼を申し上げたい。大河内賞ケース研究プロジェクトのコーディネーターの藤井由紀子氏には、ケース作成で多くのサポートをいただき、また小津氏ならびに林周一氏（メディカルシステムコンサルタント株式会社常勤顧問）とともに、本ケースをとりあげることになったきっかけを作っていただいたことに感謝したい。大河内賞ケース研究プロジェクトを進めるに際して多くのご協力をいただいている大河内記念会にも感謝する。なお、書かれている内容についての文責はあくまでも筆者にある。また、本稿の記述は企業経営の巧拙を示すことを目的としたものではなく、分析並びに討議上の視点と資料を提供するために作成されたものである。

電子デバイス部門に属する半導体事業は、2007年3月期に、売上は1兆2,981億円、営業利益は1,283億円となっている。全社の売上の18%、営業利益の50%を半導体事業が占めている。また、半導体事業の設備投資額は3,310億円（2007年度発注ベース）と全社設備投資⁴の58%を占めている。

半導体は様々な用途に使われるが、自動車は重要な市場の一つであり、東芝の半導体事業の売上の内の10%前後を占めている。その重要な足がかりとなったのが、本ケースで紹介するフォード向けに開発・納入したエンジン制御用12ビット・マイコンであった。

3. エンジン電子制御

エンジン電子制御とは

エンジンの電子制御とは、マイコンを内蔵したエンジン・コントロール・ユニット（ECU）によって燃料噴射制御や点火時期制御、アイドル回転数制御など複数の制御を集中的にコントロールし、エンジンを最適な状態で作動させるものである。

燃料噴射制御は、吸入空気の量とエンジン回転速度および水温センサーなどの信号を受けて、最適な空燃比（空気とガソリンの比率）となるように燃料噴射の量と時期を制御する。点火時期制御は、エンジンの回転速度、温度、負荷の状態をセンサーで検知し、最適なタイミングでの点火を行う。アイドル制御は、最適なアイドル回転速度を自動的に制御するもので、空気の流れるバイパスを作り、そのバイパスからの空気量を変えて回転数を制御する⁵。

エンジンを制御する主な狙いは、ガソリンの混合比率（燃料噴射制御）や爆発のタイミング（点火時期）を精緻に制御することによってエンジンの性能（出力と燃費）と排ガス浄化を両立させることにある。ピストンが上死点（ピストンがシリンダの最上端にきた位置）の若干手前に位置する時にちょうど点火することで完全燃焼の状態に近づけ、また最も理想的な空気とガソリンの混合比率を常に保つことで、エンジンの出力を損なうことなく、排気ガス中の炭化水素（HC）、一酸化炭素（CO）、窒素酸化物（NOx）を同時に削減することがはじめて可能になる。

この複雑な制御を、コンピュータを用いて電子的に行うようになったのは、1970年代半ばのことである。自動車先進国で悪化の一途をたどっていた大気汚染問題に対処す

⁴ 設備投資額にはウェスティングハウス社グループ買収のための出資額は含まれていない。

⁵ 使用年数の経過とともにエンジンの調子が変わり、アイドル回転速度も不安定なり、不快な振動の発生や発進時のエンスト、燃費の悪化などの原因となる。この問題の解決を狙っているのがアイドル制御である。

るために厳しくなった排気ガス規制に応えるためであった。米国では、民主党のマスキー上院議員が提案した自動車排気ガス規制が1970年12月に議会で承認された。いわゆるマスキー法である。それは、5年後の1975年からHCとCOの排出量を従来基準の1/10まで削減し、翌1976年からさらにNOxも1/10に削減するという厳しい規制であった⁶。機械工学的アプローチでも、HCとCOの発生をなんとか基準内に抑えることは可能であっても、同時にNOxの発生を抑えることは不可能であると考えられていた⁷。よりきめ細かい制御が可能になるコンピュータをエンジンにはじめて応用しようとする試みが本格化していった。といっても当時のコンピュータの能力はまだ限られていたし、クルマに搭載できるだけの耐久性と小型化を実現するのは至難の業であった。

1970年代半ばには、GMやクライスラーなどからエンジンを電子制御したモデルが投入された。だが、いずれもアナログ式の制御を用いたものだった。アナログ式はCPUを用いずにアナログ情報を処理して制御に用いるもので、トランジスタ、ダイオード、ICなどのアナログ回路だけで構成する。制御の仕様さえ決まっていれば、確実に効率的な制御が可能となる。しかし制御内容の変更・調整が難しく、ノイズや温度変化、経年変化の影響を受けやすいという短所があった。

デジタル式は、アナログ情報をデジタルに転換し、デジタル情報をCPUで処理して再びアナログ情報に転換して制御に用いる。情報を全て0か1で処理するデジタル回路で構成される設計となり、当時の処理能力ではコスト高になるおそれがあったものの、ノイズや温度変化にも強く、メモリに格納するプログラムによりいかようにも制御が可能になるという利点があった。10ビットのマイコンを使って、デジタル式のエンジン電子制御をはじめて実現したモデルを投入したのはGMで、それが1976年のことであった。ただ、GMのマイコンは点火時期だけを制御するものだった。

これに排ガス還流（EGR）制御と二次空気制御も加え、より高度なデジタル式のエン

⁶ マスキー法はその後規制緩和と実施の延期が繰り返された。1973年に開かれた米国EPA（環境保護庁）の公聴会では、ピックスリーをはじめとする世界の主要な自動車メーカーはマスキー法の延期を求めた。EPAも規制緩和の必要性を認め、1973年の公聴会の後、マスキー法の施行を一年延期した。その後も議会での法案修正やEPAの方針見直しなどが続き、結局、マスキー法の元来の基準がカリフォルニア州において達成されるのは1989年、米国全土において完全に達成されるのは1994年になってのことである。

⁷ 炭化水素（HC）と一酸化炭素（CO）の発生を抑えるには、完全燃焼させることが必要である。完全燃焼時には理論上炭化水素（HC）と一酸化炭素（CO）は発生しない。一方、窒素酸化物（NOx）は空気とガソリンの混合の割合を理想混合比率（空気とガソリンの割合を14.7対1）にすることで激減する。76年規制をクリアするには、燃料室のガスを理想空燃比に保ち、点火時期をコントロールすることで燃焼効率を高めることが必要であった。なお、機械工学的なアプローチとして有望視された技術の一つとして、1971年2月に本田技研工業が発表したCVCCエンジンがあった。CVCCをめぐる技術評価や主要メーカーの動きについては朱・武石・米倉（2007）参照。

ジン制御を 1977 年にはじめて実現したのが、フォードであった。EGR制御とは、燃え残ったガスを再び燃焼室に還流させることを状況に応じて制御することであり、この結果、燃焼の温度上昇を防ぎ、NOXの排出量を下げることが狙ったものである。二次空気制御とは、触媒の効率を向上するためにエンジンの温度を検出しながら触媒に送り込む空気量を制御するものであった。つまりフォードのシステムは世界に先駆けてエンジンに関する複数の要因（点火時期、排ガス還流、二次空気）を制御することに成功した本格的な「コンピュータによるエンジン制御」であり、これによって排ガスと燃費と運転性能（drivability）の同時追求が可能になった⁸。そして、その心臓部に当たる EEC（Electronic Engine Control）モジュールの開発を担当したのが東芝だった。

東芝 EEC

フォードの EEC システムは、エンジン制御に必要な各種センサー、アクチュエータ、制御コンピュータ（EEC モジュール）から構成される（図 1）。各センサーからの入力信号を受けて制御コンピュータが情報処理を行い、アクチュエータ（信号に応じて動く機械部位）に作動のための情報を送り出すという仕組みである。

東芝が開発し、納入した制御コンピュータは、CPUを中心に、メモリ（一時記憶装置のRAMと固定記憶装置のROM）、メモリ制御LSI、入出力制御LSIなどの複数のLSI群からなるマイコン・システムであった（図 2）⁹。EECモジュールは、このLSIチップ群にインターフェースと電源などを加えて、大きめの弁当箱サイズの箱に納めたものであった。

マイコンの心臓部に当たり、計算やさまざまな処理を行う CPU は、12 ビット並列演

⁸ もう少し説明すると、フォードのエンジン制御は大きく、「基本」、「修正」、「特定時」の三つの戦略（strategy）で構成されていた（Hagen 1978a）。基本戦略は文字通りエンジンの基本的な制御を担うもので、エンジン起動時、閉スロットル時、部分オープンスロットル時、フルオープンスロットル時に分けられており、修正戦略は正常なエンジン状態でない場合（低温スタート時、高温スタート時、高速走行時）に基本戦略による制御を修正し、特定時戦略はコンピュータ異常時の最低限の動作を保證するモードであった。エンジンの状態や外部環境に応じて、戦略のいずれかを選択し、戦略毎に点火時期、排ガス還流、二次空気をそれぞれ最適に制御することで、排ガス、燃費、運転性能を同時に追求するエンジン制御を実現したのである。このシステムはまた、始動時のアイドル時間的大幅な短縮も可能にした。冬場の寒冷地等でウォーミングアップのために 30 分ものアイドルが必要だったものが、低温スタートにあわせた最適制御戦略により、エンジンをかけて直ちに問題なく始動できるようになった。

⁹ マイコンにはCPUと周辺電子回路が一つにチップ上に集積されているものと、別のチップで構成されているものがあり、前者のことをワンチップ・マイコン（あるいはシステム・オン・チップ）と呼んでいる。インテルなどが製造しているマイクロプロセッサは、CPUのみをワンチップにしたもので、これをマイコンと呼ぶ場合もあるが、超小型コンピュータという本来の意味からすればマイクロプロセッサはマイコンの一部である。東芝が開発したEECモジュールは、複数のLSIチップ（CPUの他に周辺の電子回路のチップ）から構成されたシステムであり、ワンチップ・マイコンではない。

算処理が可能で、8本8レベルの割り込み機能を有し、乗除算演算を含む機能の高い命令体系を備えたワンチップLSIであった。マイコンの開発で世界をリードしていたインテルが当時供給していた8ビットマイコンを凌駕する高性能のCPUであった。インテルの8ビットマイコンは定められた順番で数値計算を行なう演算処理用に適していたのに対して、東芝が開発した12ビットマイコンは、状況に応じて瞬時に対応が必要な高速リアルタイム処理性能に優れ、さらに-40~125 という過酷な温度環境でも動作する画期的なものだった。

当初、フォードの高級車、リンカーン・ベルサイユール車種に搭載されたEECシステムは、その後フィードバックキャブレタ制御や燃料噴射制御などを加えて機能・性能をさらに高めながら、搭載車種を増やしていった。1980年代に入るとフォードの乗用車モデルほぼ全てに搭載されるようになった。1980年からはトヨタの乗用車にも搭載されるようになった。

東芝はこのエンジン制御用マイコン・システムをどのようにして開発・実用化していたのか。フォードからの突然の引き合いからスタートしたそのいきさつを、以下、辿っていく（主なできごとを年表にまとめたものを付表に示す）。

4. 開発・事業化の経緯

フォードからの引き合い、プロポーザル提出

1971年3月、フォードから東芝に1冊の分厚いファイルが送られてきた。表紙に「EMIS」（Emission Modulated Ignition System：排ガス対策点火時期システム）と記された、エンジン制御の試作装置の仕様書であった。「エンジンの回転数、負荷などの諸条件に応じて電子的に最適な点火時期を計算し、爆発タイミングを制御することで排ガスを抑制したい。そのようなことが可能な装置が欲しい」という内容だった。前年末に議会を通ったマスキー法に対応するため、フォードは電子的な制御装置の開発プランを求めてきたのである。

仕様書を受け取ったのは、当時、電子事業部半導体応用技術部で部長職にあった小津厚二郎であった。小津は1951年に東芝の重電部門に入社し、その後軽電部門に異動し半導体を担当していた¹⁰。東芝は10年ほど前からフォード車に搭載するオルタネータ（交流発電機）用の半導体整流器（シリコンダイオード）を納入しており、小津はその仕事に携わっていた。フォードはその取引実績を踏まえて東芝に声をかけてきた。だが

¹⁰ 重電系の会社と軽電系の会社が合併してできた東芝では、入社以降、重電と軽電のどちらかの部門でキャリアを貫くことが多く、両部門間の異動はほとんどなかった。そういう意味で小津は特異なキャリアの持ち主であった。

フォードはすでにRCAなど米欧の企業 10 社程に仕様書を送っていて、東芝が仕様書を受け取ったのはそれから半年も過ぎてからのことだった。取引実績はあったものの、東芝は本命として期待されていたわけではなかった。

それでも小津は世界第二位の自動車メーカーからの引き合いに興奮を覚え、フォードへのプロポーザルを作成するためのメンバー集めにとりかかる。小津をかきたてたのは自動車産業はゆくゆく半導体の有力市場になるという確信であった。同じ総合電機メーカーである日立製作所や三菱電機は自動車電装部品ビジネスを重要な事業分野のひとつとして位置づけて実績を積んでいたが、東芝には自動車電装部品を専門に取り扱う組織は存在せず、商品毎に個々の部門が対応していた。自動車産業における東芝の存在感は薄かった。フォードの要請は自動車産業向け事業の拡大強化につなげるチャンスになると小津には映った。

1971 年 5 月、フォードに提出する計画書を作成するために小津のもとにまず集まったのは、電子事業部の金山宏（1958 年入社）、総合研究所の浪本敬二（1963 年入社）と高橋之治（1963 年入社）であった。金山はもともと電算機事業部にいたが、これからは半導体にもコンピュータの知識が不可欠であるという事業部の方針により電子事業部に異動してきていた。提案書作成のメンバーとして電子事業部の中ではうってつけの人物であった。あとの二人は、小津から相談を受けた総合研究所長の蠣崎賢治の指示により加わった。浪本はコンピュータ、高橋は制御が専門であった¹¹。

社内の協力はえたものの、この段階では正式なプロジェクトではなかった。計画書の作成作業は定常業務を終えてから残業時間に行われた。問題は、フォードの仕様書にはこれといった具体的な方法は示されていないことだった。細かな記述はあったものの、そこに書かれていたのは点火時期を制御するには電氣的な方法がいいだろうという程度のものであった。仕様書を端から端まで読んでもどうやるかはさっぱりわからなかったと小津は振り返っている。

暗中模索の中、メンバーの一人である金山はこの仕様書ならアナログではなくデジタルでなくてはだめだと強く主張した。小津は、コンピュータに詳しく、天才肌の技術者だった金山の直感にかけることにした。ただし、保険をかける意味でフォードに対してはアナログ式とデジタル式の両方の提案を用意した。デジタル式の提案書は、金山がリーダーとなり、浪本、高橋を中心とする 6 人前後のメンバーが担当し、アナログ式の提案書は電子事業部の他のメンバーが作成した。

¹¹ 一週間程度つき合えばすむだろうという軽い気持ちで参加した高橋は、その後中心メンバーとしてこのプロジェクトに従事し、その後も長年にわたって車載用半導体事業の拡大に深く関わり続けた。結局つき合いは約 20 年におよぶことになる。

短期間で提案書を仕上げ(図3) 1971年7月、金山達がフォードに持参した。だが、フォードは東芝がデジタル制御を提案してきたことに興味を示したものの、はっきりした態度は示されず、他にも有力な候補がいることもほのめかされた。採用される見込みがあるのかわからないまま会談は終わり、一行は帰国した。フォードから東芝に新しい仕様書が送られてきたのはその翌月のことだった。

新たな仕様書、Fプロジェクト発足

1971年8月にフォードから届いた新しい仕様書は、5ヶ月前に受け取った最初の仕様書と大きく異なっていた。タイトルが「EMIS」から「AEC」(Advanced Engine Control)に変更され、点火時期だけの制御から、排ガス還流制御も含むより総合的なエンジンの制御に目的が変わっていた。制御の方法もデジタル式と明記され、「PDP-11と同様の動きをする小型で安価なコンピュータを作って欲しい」というより具体的な内容が示されていた。

PDP-11とは、当時デジタル・エクイップメント社(DEC)が作っていたミニコンピュータで、研究室や設計室など大型の汎用コンピュータが入らないような場所で使用できる小型のコンピュータとして需要が拡大していた16ビットのマシンだった(図4)。「ミニ」といっても、PDP-11は、高さ1.8メートル、幅・奥行き80センチほどの大きさがあった。動作環境は定温・低湿・無振動で安定しており、価格は1万ドルだった。これに対してフォードが要求したのは、エンジンルーム内の限られたスペースに搭載できて、-40 ~ 125 という過酷な温度環境で動作し、ノイズや振動についても厳しい使用環境に耐え、価格は100ドル程度というものだった。つまりPDP-11と同等の能力を持ちながら、はるかに小さくて、頑丈で、安価なコンピュータであった。

フォード側では「EMIS」の仕様書を送った後、ミシガン州立大学内のレイ・オートモビル研究室でコンピュータによるエンジン制御の実験を行っていた。「EMIS」の仕様書では点火時期を制御するだけだったが、これでは排ガスを浄化するとエンジン性能が落ちてしまうという重大な問題が残っていた。それが、ミニコンピュータを使って燃料噴射や排ガス還流を含むより複雑な制御を試してみると、排ガスを浄化しながら燃費も走行性能も高いレベルに維持することが可能になることが明らかになった。フォードはこの仕組みを「アドバンスト・エンジン・コントロール(AEC)」と名付けた。問題は、大きくて、高価なミニコンピュータを使って実験室で達成できたことが、実際の量産車でも実現できるかどうかだった。そのための超小型の制御コンピュータを開発してほしいというのが新たな仕様書でフォードが求めてきたことだった。

常識的にみて、フォードの要求は厳しいものだった¹²。おまけにフォードは具体的な開発委託や発注の契約を結ぶような素振りをみせなかった。だが、なんとかやってみたいと考えた小津らは、新しい仕様書を受けて正式な開発プロジェクトを発足する。複数の事業部門や研究所から人を集め、参加した技術者の総数は 29 名を数えた。総合研究所から半導体技術担当とシステム担当が、電子事業部からは素子設計担当と製造技術担当が、それぞれ 10 数名加わり、電算機事業部からも 1 名参加した。プロジェクト・リーダーの小津を筆頭に、3 ヶ月前から開発を進めていた金山（サブリーダー）、浪本、高橋が引き続き中核メンバーとなった。このプロジェクトは、フォードのFをとって「F プロジェクト」（マルエフ・プロジェクト）と呼ばれ、本社技術管理部の特別技術開発費を投じる特別プロジェクトとしてスタートした。

プロジェクトルームは当時のトランジスタ工場、現在の多摩川工場の一角の八畳ほどの部屋であった。F プロジェクトのほとんどのスタッフは所属部門の定常業務と兼務であった。試作に利用する設備は、事業部のスケジュールに割り込ましてもらいながら使用した。プロジェクトはフォードからの要求により極秘扱いで進めたため、事情を知らない現場からは反発も起こった。時には設備の使用時間をめぐって事業部と衝突することもあった。入社して直ぐにプロジェクトに加わった小野雅彦（所属は総合研究所）は、緊張感の中での激務を振り返りながら、「当時の常識から 2 桁も高い素子を詰め込むという非常識な目標であり、深夜まで仕事に追われる無我夢中の毎日であったが、今思うと活気があり楽しかった。」と語っている。

全社的な特別プロジェクトは、当時「特開」（特別開発）と呼ばれ、東芝でその 1、2 年前に導入されたばかりの制度に基づいて組まれたものだった。エンジンのデジタル制御の将来性を見込んだ小津が総合研究所長の蠣崎に直訴し、彼の理解と西島技師長（後の副社長）のサポートを得、最終的には社長の土光敏夫からお墨付きをもらうことで実現したものだ。フォードとの契約もないままに常識的には不可能と思われた要求仕様に応えるための開発体制を整えるにはトップからの支援が必要であった。そして非常識な目標を達成するには特別な組織体制が必要だった。

土光がこのプロジェクトを正式に認める上で気にかけてのは、どこまでフォードが本気なのか、という点だった。土光が取締役会で F プロジェクトを承認するに際して、この点の確認を求められたのが、第一国際事業部電子部品部で北米営業を担当していた西室泰三（後に東芝会長）だった。入社 10 年目でまだ主任だった西室が「御前会議」に

¹² プロジェクトが本格的にスタートしてから総合研究所、半導体事業部で説明会を開いたが、多くの反応は、「小さくして、頑丈にして、しかも値段を 1/100 に下げたシステムなどできるはずがない」という否定的な意見であった。

出席させられて質問を受けたのは、フォード向けのダイオードの取引を担当しており、その仕事の関係で 1971 年の夏にフォードを訪ねた際にエンジンのコンピュータ制御のプロジェクトについても先方の意向を確認していたからだ。土光から直接問いかけられて「フォードは本気で取り組もうとしている」と緊張しながら答えたことをよく覚えていると、西室は当時のことを振り返っている。開発部門の熱意を受け止める一方で、営業部門からもフォードの意向を確認したことで土光は社内特別プロジェクトを承認したのだった。

ブレッドボードでの現地試験

プロジェクトが発足しておよそ 6 ヶ月後の 1972 年 2 月、小津は金山、浪本、高橋の三人をフォード側の研究開発スタッフとの打ち合わせのためにデトロイトのフォード本社に出張させた。車には詳しいが電気がわからない技術者と電気には詳しいが車の専門知識はほとんどない技術者の打ち合わせであった。一週間にわたって密度の濃い話し合いが行われ、機能要求など製品化に必要な細目が決まった。

この時点で、開発するのは 12 ビットのマイコンとする方針が固まっていた。東芝は当初から PDP-11 と同じ 16 ビットのマイコンを開発することを提案していた。しかし、16 ビットではコスト的に無理があり、他方で 8 ビットではエンジン制御には能力が足りないことから、12 ビットにすべきであるというのが、フォードの判断であった。東芝側は拡張性に優れた 16 ビットが望ましいと考えていたが、12 ビットが開発目標の基本仕様となり、ここからエンジンを制御する車両に搭載する超小型、高性能、低価格コンピュータの開発が本格的に始動する。まだマイクロコンピュータという名称もなかった時代で、インテルが世界初の 4 ビットのマイクロプロセッサを発売したのはわずか 3 ヶ月前（1971 年 11 月）のことだった。

プロジェクトは、フォードとの打ち合わせにより決まった機能要求を実現できることを実証するためにブレッドボードの製作にとりかかった。ブレッドボードとは、集積回路としてシリコンに焼きこむ前に既にある部品で同じ機能の装置をつくってみる試作機のことである。シリコンに集積する回路と同じ機能を持つ回路を、トランジスタや IC など既存の部品を組み合わせる大きな基板上に組み立てるのである。

1972 年 5 月、プロジェクトのメンバーに変動があった。サブリーダーだった金山が総合研究所に戻り、代わって半導体の理論設計の垂井忠明とプロセス設計の武石喜幸が総合研究所から加わった。マイコンの LSI 化に向けて既存の半導体技術を超えた未知の領域への挑戦するため、コンピュータの先端技術に詳しい垂井と半導体製造技術に詳しい武石を参加させておくべきであるという判断などに基づいた変更であった。

この頃ちょうど、武石達は総合研究所で EPROM (Electronically Programmable Read Only Memory) の開発に取り組んでおり、その F プロジェクトへの応用も進められた。EPROM は、記憶内容を紫外線照射によって消去し、再度電氣的に書き込みをすることで、何度でも書き換え可能なメモリで、マイコン・システムにおいて CPU に送り込んで処理させるべきプログラムとデータを格納する ROM メモリに用いられた。これは、東芝独自の技術で生み出されたもので、当時インテルが製品化していた PROM よりも書き込み速度で 1000 倍近く、信頼性でも数段優れていた。F プロジェクトはその最初の実用化の機会となった。結局、コストの関係で最終的にフォード向けに使われたのはマスク ROM だったが、書き換えが容易なことから開発の過程ではスピードアップに大きく寄与し、また F プロジェクトをベースに事業化した汎用マイコン(後述)には EPROM が使われた。

同じく 5 月、高橋は期限を定めないデトロイトへの長期出張を命じられた。ブレッドボードの完成が近づく中、東芝側の窓口として現地でフォードと直接やりとりする役目を担うためだった。結婚して間もない高橋は、妻と生まれたばかりの子どもを日本に残したまま、単身でデトロイトに向かった。3 ヶ月程度だろうと踏んでいた高橋の見通しはずれ、結局滞在は 8 ヶ月に及ぶ。

高橋がデトロイトに来て 2 ヶ月後の 1972 年 7 月、ミシガン州立大学内のレイ・オートモビル研究室に日本から完成したばかりのブレッドボードが届いた。数千の部品がハンダ付けされた 7 枚のプリント基板が入ったリンゴ箱ほどの大きさのものだった。運んできたのは浪本だった。だがブレッドボードをエンジンにつないでもエンジンは始動しなかった。現場でのフォードのエンジニアと東芝の二人がトラブルの対応にあたった。ケーブルのつながりやセンサーの故障、プログラミングのミスなど様々な要因が考えられ、原因究明作業は難航した。試行錯誤を繰り返しようやくエンジンが始動したのは 2 週間後のことだった。

ブレッドボードをつないだエンジンの単体での確認調整を終えると、今度はエンジンを車体に載せてテストを行うことになった。だがブレッドボードにつないだエンジンはなぜか車に積むと始動しなかった。プログラムの修正など再び何日も調整が行われた。1972 年 10 月、ようやくダイナモの上の自動車のエンジンが始動し、ローラー上でタイヤが音を立てて回りだした。ミニコンピュータ PDP-11 の性能をトランクに入るサイズで実現した瞬間であった(図 4)。

数日後、ミシガン大学の構内でテスト試乗が行われた。試乗の場に現れたのは、当時フォード社長のリー・アイアコッカ(後のクライスラー会長) だった。AEC 計画を正式なプロジェクトとして認めるかどうか自ら試乗し判断するためである。試乗を終えて戻ってきたアイアコッカは上機嫌であった。ひととおり説明を聞き終わると、ブレッドボ

ードに占有されたトランクに目をやってこういったそうである。「ところでぼくのゴルフバックはどこに載せるんだい」。

LSI 化

アイアコッカの承認をえて、100万ドルの追加予算がつき、フォードのAEC計画は次の段階へと進む。ブレッドボードで確認した回路のLSI化である。

ブレッドボードの回路をそのまま集積回路にしても目標とする機能は実現できない。ブレッドボードはあくまでも実験用に製作したもので、集積回路にした時の電気的特性は考慮にいていない。半導体には特有の電気的特性があり、例えば、巨大な回路を微細経路に集積するとトランジスタの動作速度が激減するといった問題がおきてしまう。集積回路向けの設計をする必要があった。

LSI設計はブレッドボードの評価と並行して進められた。フォードからは1973年2月には納入することが求められていたため、極めて短時間での設計を余儀なくされた。

1973年2月5日、Fプロジェクトは記念すべき日を迎える。できあがったばかりのLSI化されたワンチップのCPUの動作テストを行ったところ、いきなり期待通り作動した。集積回路設計は何度かやり直してようやくものになるというのが通常のパターンだった。CPUは1万数千個のトランジスタから構成されており、用意した回路図は8畳程の大きさにもなった。複雑を極めるCPUの設計に、ミスなく最初から成功するとは誰も思っていなかった。だが世界初の12ビットのワンチップCPUは意外にも難なく誕生した(図5)¹³。予定を伝えていなかったフォードは突然の成功の知らせに驚いた。

数日後、小津以下プロジェクトのメンバーは担当副社長の中西修治にプロジェクトの進捗報告を行った。ワンチップの12ビットマイコンの開発に成功したことを報告する晴れがましい日であった。と同時に、Fプロジェクトにとって大きな節目の日ともなった。その席上で、小津が姫路工場半導体部門への異動を中西から命じられた。

翌3月、小津に代わりFプロジェクトのリーダーに高橋健二が就く。高橋(健)は、半導体の設計課長で小津の下で働いていたが、実は以前からFプロジェクトに異を唱えていた一人であった。フォードから研究費をもらっておらず、受注の確約もなく、しかも実現できるかどうかもわからない。そんなリスクの高いプロジェクトに貴重な人材や予算を費やすことに反対していたのである。

だが、開発が軌道に乗り始めた段階でリーダーが「切り込み隊長」タイプの小津から調整能力に優れた「本陣指揮」タイプの高橋に代わった(岩井1979)のは、絶妙のタ

¹³ インテルが8ビットのマイクロプロセッサを発表したのが前年4月、16ビットのマイクロプロセッサを発表するのが5年後のことである。

イミングのバトンタッチだった。手強い反対派だった高橋は、プロジェクトの進展のために奔走する頼もしいリーダーとなった。

決定への長い道のり

1973年2月のCPUのLSI化の成功により、エンジン制御装置はミカン箱程の大きさとなり、トランクに積んでもゴルフバックがゆうに入るスペースができた(図4)。フォードの研究室で新しい制御装置を使って実験が繰り返された後、1973年10月、再び社長のアイアコッカが試乗する。試乗の結果は上々であった。アイアコッカは「あのリンゴ箱はどこにいったんだ?」と言って、研究費の増額を約束した。米国の自動車産業は不況下にあり、多くのプロジェクトの予算が削られていた中、例外的な予算措置だった。

フォードは東芝のマイコンをさまざまな車に積んで、引続き実験を重ねた。自動車をマイコンで動かすことはフォードのエンジニアにとっては未知の領域であり、マイコンがあらゆる環境下で信頼できるものなのかを確かめなければならなかった。振動、温度、湿度、ノイズなど車載環境はマイコンにとって劣悪である。苛酷な環境下での信頼性を確認するために、大型、小型、スポーツタイプなどあらゆる車種の実験車を用いて、テストを繰り返した。テストではさまざまなトラブルが発生した。特に深刻であったのはノイズが原因のトラブルであった。制御装置に対策が施され、どうにかトラブルの回数を減少させていった。

それでもまだまだ実用化には問題が残っていた。東芝が開発したマイコンチップはP-MOS型の半導体であった。製造技術が比較的安定しているということで採用したP-MOS型のマイコンチップは、ブレッドボードのLSI化という点では大きな前進はあったが、動作スピードが遅く、消費電力は大きいという問題を抱えていた。

当時、半導体にはP-MOS(Positive-channel Metal-Oxide Semiconductor)型に加えて、新たにN-MOS(Negative-channel Metal-Oxide Semiconductor)型が登場しつつあった。P-MOSもN-MOSもともに不純物半導体であり、シリコンやゲルマニウムなどの真性半導体に誘電性を高める目的で不純物を加えたものである。イリジウム、ガリウムを加え、プラスの電荷を持った電子の空席であるホールを利用して電流を流れやすくしたものがP-MOSで、りん、ひ素を加えて、マイナスに電荷を持った自由電子により電流を流れやすくしたものがN-MOSである。問題は、N-MOSは高度な製造技術が求められることだった。歩留りが低くなるおそれがあり、製造コストがどれだけかかるか予測できなかった。しかし車載用として実用に耐えるマイコンにはN-MOS型の半導体を搭載する必要があった。東芝は製造技術で苦労することを覚悟の上で、1973年11月にN-MOS型マ

アイコンの開発を決めた。

1973年12月にフォードよりN-MOS型の半導体の使用を前提とした新しい仕様書が東芝に送られてきた。翌年の1974年5月に、東芝はN-MOSの開発のためにチームを増強した。第二次^Fプロジェクトの発足である。第二次^Fプロジェクトではメンバーが総勢81人に増えたが、中核メンバーは高橋（之）、浪本、垂井、武石などの第一次^Fプロジェクトの面々であった。

このころ、もうひとつの出来事があった。副社長だった岩田武夫がフォードを表敬訪問した際に、会長のフォード二世からマイコンだけでなくエンジン・コントロール・ユニットのモジュールの開発まで要請されたのである。断るのは難しいと判断した東芝は、マイコンに加えてマイコンを内蔵した制御モジュールの開発も手がけることとなった。実は、これは、姫路工場から副技師長として半導体事業部にもどり、再び^Fプロジェクトに関わっていた小津が仕掛けたことだった。フォード側の担当者から東芝にモジュールの開発も担当してもらえないかと持ちかけられた小津が、ちょうどフォードを訪問する予定だった岩田副社長にフォードのトップから要請してもらうように提案したのである。小津自身は、モジュールを担当することは将来の東芝の自動車向けの事業の拡大につながる重要なステップになると考えていたが、東芝社内では、開発はあくまでも半導体事業部が中心になって進めており、モジュールまで引き受けることについては必ずしも積極的ではなかった。社内から下から提案したのでは難航すると思った小津が、フォードのトップから東芝のトップに働きかければ話が進みやすいと考えたのである。小津の狙いは当たった。

しかし、陣容を拡充し、また開発の範囲も広がったものの、社内では^Fプロジェクトへの批判が強まっていた。事業化の見通しが不透明で、資源を投下する意義を疑う声が強まっていた。一向にフォードから受注の確約をもらえない東芝は、正式な契約を交わすようフォードに再三にわたって申し出た。だがフォードからは何の返事もなし。東芝社内では、フォードが保証しないのであれば開発を中止すべきであるという声上がり始める。

インテル等が汎用のマイクロプロセッサ事業に乗り出していたことも影響した。対抗して東芝も汎用マイコンの開発にもっと力をいれるべきではないかという声があがった。^Fプロジェクトは、フォード向けのシステムを転用して汎用12ビット・ワンチップCPUの開発を進めていたものの¹⁴、あくまでも重点はフォード向けにあり、見通しがは

¹⁴ フォードからの正式な委託を受けることなくほとんど自己負担でマイコンの開発に取り組んでいた東芝は、1973年5月にPMOSによる「汎用12ビット・ワンチップCPU」を発表し、翌1974年4月には、「TLCS-12」の商品名で市販を開始し、EPROMも使用された。東芝が受賞した大河内

つきりしないまま開発を続ける F プロジェクトを疑問視する意見は根強かった。

N-MOS の設計にある程度見通しがたってきた頃になると、フォードの態度はさらに煮え切らないものになっていた。第一次石油ショックによる不況の深刻化やマスクー法の基準緩和や実施の延期が、フォードの動きを鈍らせた。フォードはマイコン制御を搭載したモデルの投入予定時期や開発費の取り扱いなど東芝が開発を進めるための拠り所となるような言質すらくれない。事態を打開するため、1975 年 2 月、半導体事業部長の西島や産業用半導体技師長の小津らはフォード本社を訪ねた。だが、トップクラスとの直談判でもなんら明瞭な答えは得られなかった。

先行きがみえないまま陣容を拡大したものの、雲行きがますます怪しくなり、社内の批判が勢いを増した中、F プロジェクトを救ったのは土光（当時会長）であった。西島からフォードとの直談判の結果について報告を受けた土光は、「フォードがどう出ようと、重要な事業としてやり始めたことは最後までやるように」といった。このひとことで F プロジェクトは息を吹き返す¹⁵。その後もフォードは曖昧な態度を続けたが、東芝は N-MOS 型マイコンの開発を進めた。

1975 年 10 月、N-MOS 型 LSI を実装した 12 ビット・マイコンとそのマイコンを組み込んだ制御モジュールが完成した。縦 25 センチ×横 13 センチ×高さ 4 センチの手のひらにのるサイズの箱に全ての機能が収められていた（図 4）。この大きさで、制御速度、消費電力、耐久性などフォードが要求する全てのスペックを満たしていた。

フォードでは、1975 年 5 月からエンジンの電子制御の検討は研究所から事業部に移管されており、試作品を実験車のエンジンに取り付け、テストを繰り返した。東芝の制御モジュールの出来に、フォード側の担当者も納得していた。だが、そのフォードの担当者も社内では信頼されていなかった。

そもそも、東芝と一緒にエンジン電子制御の開発に取り組んでいたフォード側の担当者達自身が、フォード社内で少数派であった。機械工学の結集である自動車の世界では電子技術は信用されていなかった。フォード側のリーダーの一人がいうには、「彼らは何か感じたり、見たり、臭いを嗅いだり、何か動いていないと気がすまないのです。目でみえない電子技術なんて安心できることではなかったのです。・・・当時は自動車にエレクトロニクスを使うなど絶対に信じてもらえませんでした」（相田・荒井 1996）。自動車に電子技術を使った経験がほとんどなかった当時、中核システムであるエンジン

記念技術賞はこの製品を対象としている（脚注 3 参照）。

¹⁵ 見通しの立っていないプロジェクトのために多忙を極める事業部のトップと技師長がわざわざ無理をして決行した海外出張は、結局フォードの言質がとれずに空振りに終わったわけだが、結果的に出張後の報告で土光からプロジェクト続行のお墨付きを得られたという意味では非常に重要な出張であった、と小津は振り返っている。

を電子技術で動かすことに自動車屋が極めて懐疑的、消極的だったとしても、それは仕方のないことだった。フォードは正式な採用に躊躇した。

だが、フォードは判断を迫られていた。エンジンの電子制御を採用しなければ、厳しくなっていく排ガス規制をクリアする方法は他になかった。機械工学的な手段では、排ガス浄化、燃費、走行性能の全ての要件を満たすことは困難であった。エンジンを電子的に制御する方法だけが要件を満たす可能性を残していた。

1976年2月、フォードはようやく1978年モデルにマイコンを搭載する方針を定め、量産化の最終承認の手続きの一環として制御モジュールを過酷な条件で実車テストすることを決定した。1976年6月、アリゾナの砂漠でテストは行われた。昼は直射日光によりエンジンルームの温度は200℃を超え、夜になると外気が氷点下になるという過酷な環境の下、ヘッドライトやワイパーなど電気を使うものはすべて動かしながら、昼夜を徹してテスト車を走らせた。延べ8万キロにも及ぶ走行テストを行った結果は合格であった。電子制御の信頼性が認められ、ついにエンジンのマイコン制御の実用化が決まった。

5. 実用化

リンカーン・ベルサイユへの搭載

テストに合格した東芝の制御モジュールは、78年モデル（発売は1977年10月）¹⁶のリンカーン・ベルサイユに搭載されることが正式に決定された。設備投資費用をどう扱うかをめぐって交渉に時間を要したものの、価格に含めることで合意し¹⁷、契約が成立し、1977年4月から納入が始まった。

東芝製制御モジュールはEEC-1（Electronic Engine Control Version 1の略称）と命名された。サイズは大きめの弁当箱程度、中にはN-MOS型の12ビット・マイコンが取り付けられていた。スチールロッカー大だった12ビットのコンピュータが、リング箱、ミカン箱とサイズを縮め、ついには弁当箱サイズとなって、ダッシュボードの脇に搭載され、量産車のエンジンを制御することになったのである（前掲図4～）。小津が最初にフォードから仕様書を受け取ってから6年が過ぎていた。

リンカーン・ベルサイユが選ばれたのには理由があった。小型のラグジュアリー・カーという位置づけの車であったが、年間生産台数が四～五万台と少なかった。万一、不

¹⁶ アメリカでは、前年の秋に翌年モデルを発売する。つまり、1978年モデルは1977年の秋から発売される。

¹⁷ 当時のアメリカの自動車産業では、自動車メーカーが金型など生産設備を部品メーカーに提供し、部品メーカーが納入する部品の価格には設備の償却費用は含めないという慣行が定着していた。半導体業界では考えられない慣行であった。

具合が発生した際も、その被害を最小にとどめることができるとフォードの経営陣が判断したのである。

販売後、市場からはなんの反応もなかった。エンジンの制御の方式が変わったことに気を止めるユーザーはいなかった。これこそフォードの担当者が望んでいたことだった。

その後、EECはバージョンアップを重ね、1979年モデルではEEC-2、1980年モデルではEEC-3へと発展していく。1976年3月から開発に着手していたEEC-2では、点火時期制御、排ガス還流(ERG)制御に加え、燃料噴射制御やアイドル回転補正も行った。EEC-3では、一部の車種向けに燃料噴射の方式をキャブレター式から現在の主流であるインジェクター式に変更した(図6)¹⁸。

EECの役割と搭載の範囲は徐々に広がり、1980年代に入るとフォードの乗用車モデルのほぼ全車種に搭載されるようになった。EEC-1からEEC-3までの三年間で東芝のモジュールの供給量は34万台、売上高にして百数十億円になった。だが、東芝の役割は次第に限定されていった。EEC-1はマイコンと制御モジュールとも東芝製であったが、EEC-2になるとマイコンは主に東芝製¹⁹、制御モジュールは東芝とフォードの電装部門であるEED(エレクトロニック・エレクトロニクス・ディビジョン)で分担した。

1978年にフォードは、マイコンと制御モジュールのサプライヤーによるコンソーシアムを作った。参加企業は東芝、モトローラ、インテル、テキサス・インスツルメンツ(TI)の4社だった。マイコンのデザインコンテストで1社が勝つと、その企業のデザインが採用されるが、他社も作れるようにデザインがコンソーシアム内で公開されるという仕組みになっていた。参加企業は、競合であると同時にいったんデザインが決まるとパートナーとなる。

80年モデル向けのEEC-3で初めてデザインコンテストが行われた。その結果、マイコンはモトローラのデザインに決まった。制御モジュールは、東芝、EED、モトローラで分担した。モトローラのマイコンは、10/8ビットという10ビットと8ビットを組み合わせ合わせたようなものであった。東芝は12ビット、インテルは16ビットのデザインでコンテストに参加していた。その後は毎年、マイコンのデザインコンテストが行われた。80年～82年モデルはモトローラのデザイン、83年はインテルのデザインが採用された。

¹⁸ 燃料噴射制御は、開発当初からフォードの仕様に含まれており、技術的には実現可能であった。ただ、NOxの規制値が2g/mileであれば不要であるというのがフォードの判断で(燃料噴射制御を含めると燃費は10%程度向上するが、コストが上がり、許容できなかった)実際に規制が緩和されたことから、EEC-1では導入が見送られた。ただし、フォード側では、東芝とのプロジェクトとは別に、燃料噴射制御をアナログ方式で開発を進めており、78年モデルで試験的に搭載している。なお、当時のフォード側のEECシステムに関する考え方を説明した資料として、Hagen(1978a、1978b)参照。

¹⁹ マイコンは、少量ではあったが、東芝のデザインでTIが生産、納入もしていた。

トヨタ、三菱自動車への納入

フォードからの注文は減っていったが、東芝は一方でフォードへの納入を開始した前後から内外の自動車メーカーへの売り込みを進め、とくにトヨタへ働きかけていった。東芝はそれまで点火時期制御用半導体、燃料噴射装置用半導体、オルタネーター用半導体など自動車向けのアナログ半導体をトヨタ系の電装部品メーカーである日本電装(当時。現在のデンソー)に納めており、間接的にトヨタとつながりがあった。トヨタも東芝がフォードのエンジン電子制御プロジェクトに参画しているのは知っており、そのプロジェクトを通じて蓄積してきた東芝のマイコンの技術に関心を持っていた。当時、マイコンによるエンジン制御は日産自動車の方が先行しており、トヨタは開発を加速する必要があった。

トヨタは採用を決め、1980年に東芝のマイコンを搭載したクラウンを発売する。日産がセドリックにマイコン制御モジュールを搭載した1年後のことであった。開発には日本電装が加わり、東芝はマイコンを日本電装に納入し、日本電装がマイコンを制御モジュールに組み込みトヨタに納入するという分業体制がとられた。

トヨタに対しては、当初フォード向けをベースに設計した12ビット・マイコンを少量納入した後、8ビット・マイコンをカスタム設計し本格的に納入することとなる。トヨタについて、1985年頃から三菱電機の姫路製作所を経由して三菱自動車向けにも納入を開始した。これも8ビットであった。12ビットから8ビットへの変更は、8ビット・マイコンの性能が向上してきたことが一つの理由だった。また、プログラムのコーディングに対する思想の違いも背景にあった。

もともと、米国ではプログラミングの担当が変わっても作業に支障がないように、コーディングはわかりやすく体系的なものになっており、その分冗長で大容量が必要となる。対照的にトヨタをはじめ日本の企業は優れたプログラマーの職人技に依存する傾向がある。8ビット・マイコンを用いてもエンジン制御という観点からはフォードの12ビット・マイコンによる制御に遜色のない性能を発揮することができた。

また、トヨタや三菱自動車はCPUとメモリーをシングルチップ化することを好んだ。この方が信頼性は高く、コストも安いというメリットがある。ただし、メモリーの容量を増やしたいときには、チップを設計し直さなければならない。フォードはメモリーの増量に対する柔軟性の価値を評価し、トヨタや三菱電機は信頼性とコストに価値を見出したのである。

モトローラデザインのチップで制御モジュールを作るといった経験からも発見があった。同じキーパーツを使っているはずの制御モジュールで、東芝製の方がノイズに弱

いという問題があった。その原因を探るためにモトローラ製の制御モジュールを分解してみると、部品の並べ方が異なっていた。東芝製は理路整然と部品が並び規則正しく配線されていたが、モトローラ製は部品が斜めになっていたり、配線が曲がっていたりしていた。一見すると無秩序な並べ方のように見えるモトローラ製には、カーオーディオからのノウハウも活かされたノイズ対策の工夫がこめられていた。

6. 結び

事業化への推進力

フォードが仕様書を東芝に送ったのは、たまたま取引があった電機メーカーだったからであり、東芝に対する期待は大きくなかった。にもかかわらず、最終的に製品開発に成功し、事業化を成し遂げたのは東芝だった。

東芝より早くから仕様書を受け取り、開発で先行し、当初、有力候補としてフォードから評価を受けたのは、アメリカの名門エレクトロニクス・メーカーの RCA だった。RCA には米国陸軍のために開発した軍事用コンピュータがあり、それを自動車用に作り変えることで実用化を目指した。RCA の試作品は大きさや性能面ではフォードの高い評価を得た。ただ、自動車の部品として使うにはコストが高すぎるという問題があった。ブレッドボードの納入と実車テスト、そして LSI 化までは東芝と争っていたが、最終的には脱落していった。なぜ東芝が最後まで残ったのか。その推進力は何であったのだろうか。

ひとつには、ユニークなアイデアを生み出すことを可能にした人材の組み合わせがあった。当初のフォードの仕様書には制御方法について何も記載されていなかった。アナログによる制御も十分に考えられた。しかし、東芝はその当時まだ技術的に確立していないデジタル方式を選択した。まだインテルが 4 ビットマイコンの開発に着手したことを公表したばかりであり、大胆な発想であったが、そこがフォード側の関心を呼んだ。そのような発想を可能にしたのは、自動車電装部門がない故に、事業部の壁を越えて色々なバックグラウンドを持った多士済々な技術者が集結したからであろう。自動車について知らないメンバーが集まったことが、自由な発想、ユニークなアイデアを可能にした。

また、自動車のエレクトロニクス化の進展と半導体の果たす役割の大きさを信じて粘り強く行動したリーダーや技術者達の存在も大きい。フォードからの引き合いから始まったこのプロジェクトは、はじめは世界に冠たるフォードという名前の威光で先に進めたところがあった。だが、プロジェクトは予想外に長引き、見通しがあやしくなるにつれて、社内の批判を受けることになった。

そもそもフォードの基本仕様が決まった 1972 年初めの時点では、1973 年秋に少量搭

載し、74年秋から本格搭載するというのが同社の計画だった。この計画通りであれば、フォードと東芝は世界初のエンジンのマイコン制御を開発したという栄誉を得られていたかもしれない。しかし、それが早くも1972年夏には一年先送りとなり、同年10月の時点（ブレッドボードの実車テスト成功）でさらに一年延期されて75年秋からの搭載となり、その後計画は一段と不透明になっていった。ようやく1977年秋から搭載が決まったのは1976年の6月になってからのことだった。

不況、石油ショック、マスキー法の先延ばし・緩和といった情勢変化の影響、そして電子技術への不信・不安があって、フォード側で先送りが繰り返されたわけだが、東芝はその間、公式な契約はもちろん、不安を和らげてくれるような言質すらえられなかった。長い時間が過ぎ、Fプロジェクトの意義や見通しについて東芝社内の疑念がふくらんでいった。にもかかわらず、現場のリーダーや技術者達は努力を続け、着実に技術的成果をあげていくことで前に進んだ。東芝が正規の契約や明確な見通しにこだわっていたら、プロジェクトは頓挫していたかもしれない²⁰。フォードが煮え切らない態度を続けたにもかかわらずFプロジェクトのリーダーや技術者達が前進を続けたことが、結果的に東芝内部はもちろんのこと、フォードにおいてもこのプロジェクトの存続を可能にした。スタート時に特別プロジェクトとすることを認め、後に存続が危ぶまれた時期には投げ出さずに続けよといった土光社長（途中から会長）が果たした役割の重要性も、忘れずに指摘しておかなくてはならない。

成果と省察

東芝が12ビット・マイコンをフォードに納入したのは、インテルが8ビットのマイコンを発表した直後だった。それは世界最先端のマイコンであり、世界で初めての本格的なエンジン制御マイコンであった。これを足がかりにして、やがて東芝は自動車向け半導体ビジネスで世界の約1割のシェアを獲得し、主要メーカーの一角をしめる地位を築いた²¹。

Fプロジェクトは、東芝で導入されたばかりの全社横断的な開発体制で結果を出し、

²⁰ RCAが脱落していったひとつの要因が、いつまでも事業化の見通しがはっきりしなかったという問題にあったのではないかと東芝の担当者の一人は推測している。

²¹ 2007年現在、世界の車載用半導体市場でトップシェアを握っているのは、フリースケール・セミコンダクタ（モトローラの半導体部門が分離独立してできた会社）である。東芝の車載用半導体の世界シェアは10%弱である。ピーク時に比べるとやや低下している。日系半導体メーカーの中でもNECにトップの座を譲っている。自動車向けでは後発だったNECは長い時間をかけて実績を積み、今ではトヨタが購入する制御用半導体の過半を納めている。世界シェアでも東芝を上回り、10%以上を有している。日産、三菱自動車をそれぞれ主要顧客とする日立製作所と三菱電機のLSI事業の合併会社、ルネサンステクノロジー（2003年設立）も攻勢をかけている。

その後の開発プロジェクトの見本となったという功績も残した。このとき初めて実用化した EPROM の経験は、その後、現在東芝が世界をリードしている NAND 型フラッシュメモリーの開発にもつながっていく。

こうした成果をあげた一方で、プロジェクトの担当者の中にはもっと大きな果実をえることができたのではないかと悔いを残している者もいる。

ひとつには、事業の範囲が半導体に限定されてしまった。当初はフォード向けに制御モジュールを担当していたが、その後取引は半導体チップだけとなった。トヨタ、三菱自動車との取引も同じく半導体に限定され、モジュールはデンソー、三菱電機が担当した。そもそも東芝の経営陣は制御モジュールの生産にあまり積極的ではなかった。12 ビット・マイコン開発後も自動車電装部品部門が組織化されることがなかった。自動車電装部品部門がなかったことが自由な発想につながり画期的なマイコンの開発を可能にしたのかもしれないが、他方で自動車電装部門という受け皿を持たなかったことが自動車用のビジネスの成果を一定の範囲にとどめる要因になったのかもしれない。東芝は、フォードとの取引の減少を受け、1985 年には制御モジュールの生産を中止した。もし経営陣が 12 ビット・マイコンをより本格的な自動車向け事業の足がかりとして捉えていたら、異なる展開があったかもしれない。フォードの意向を受けて東芝として特許を取得しなかったのも、後から考えれば大きな痛手であった。エンジンの電子制御の基本特許を押さえれば、大きな知財になっていたはずであった。

もうひとつ、折角世界で最先端のマイコンを開発し、また自動車用だけでなく、汎用マイコンも開発しながら、結局その後、汎用マイコンビジネスでは大きく花開くことはなかった。これには、12 ビットといういささか中途半端な選択をしたことも影響している。既に触れた通り、東芝側は当初 16 ビットを提案したものの、あくまでもエンジン制御を主目的としたフォードが過剰スペックを嫌ったため、12 ビットが選ばれた。12 ビットという選択肢はフォード向けには致し方なかったのかもしれない。だが、はたしてより大きなマーケットをにらんだ戦略がなかったものか。後にインテルがそうしたように、16 ビットという拡張性があり、より使い勝手のいいスペックを選んでいれば、話は違っていたのではないか。マイコンビジネスをめぐる大きなチャンスを逃したのではないかと残念がる意見もある。

もっとも、制御用モジュールや汎用マイコンまで事業を拡大していくことをより本格的に狙ったとしても、それが成功につながったかどうかはわからない。確実にいえるのは、EEC-1 をきっかけにして東芝は車載用半導体ビジネスで成長していったということであり、フォード向けのマイコン開発に集中し、世界をリードする革新をなしとげたことがその礎になったということだ。逃した魚は大きくみえるものだが、捕まえた魚も決

して小さくはなかった。

もはやマイコンなしでは動かない自動車にとって、半導体、電子制御の重要性は日増しに大きくなっている。自動車にはますますたくさんのマイコンが使われることになるだろう。東芝が一翼を担って歴史を切り拓いた車載用半導体の革新と発展はこれからも続く。

(文中敬称略)

参考資料

相田洋・荒井岳夫(1996)『NHKスペシャル 新・電子立国 [第2巻] マイコン・マシンの時代』日本放送協会。

藤沢英也・小林久徳・小川王幸・棚橋敏雄(1993)『新電子制御ガソリン噴射』山海堂。

Hagen, D.F.(1978a) “Electronic Engine Controls at Ford Motor Company” SAE paper 780842。

Hagen, D.F. (1978b) “An Interactive Approach to Electronic Engine Controls at Ford Motor Company” SAE paper。

岩井正和(1979)『ザ・プロフェッショナル：東芝マンにみるしたたかな国際感覚』日本リクルートセンター出版部。

日本放送協会(1995)「NHKスペシャル 新・電子立国 第2回 マイコン・マシーン～ソフトウェアが機械を支配する～(VTR)」日本放送協会(1995年11月26日放送)。

小津厚二郎・高橋健二・垂井忠明・武石喜幸(1975)「マイクロコンピュータシステムとそのLSI群の開発」(昭和49年度大河内記念技術賞)『五兆』(大河内記念会)第22号、9-18頁。

朱穎・武石彰・米倉誠一郎(2007)「技術革新のタイミング：1970年代における自動車排気浄化技術の事例」『組織科学』第40巻3号、78-92頁。

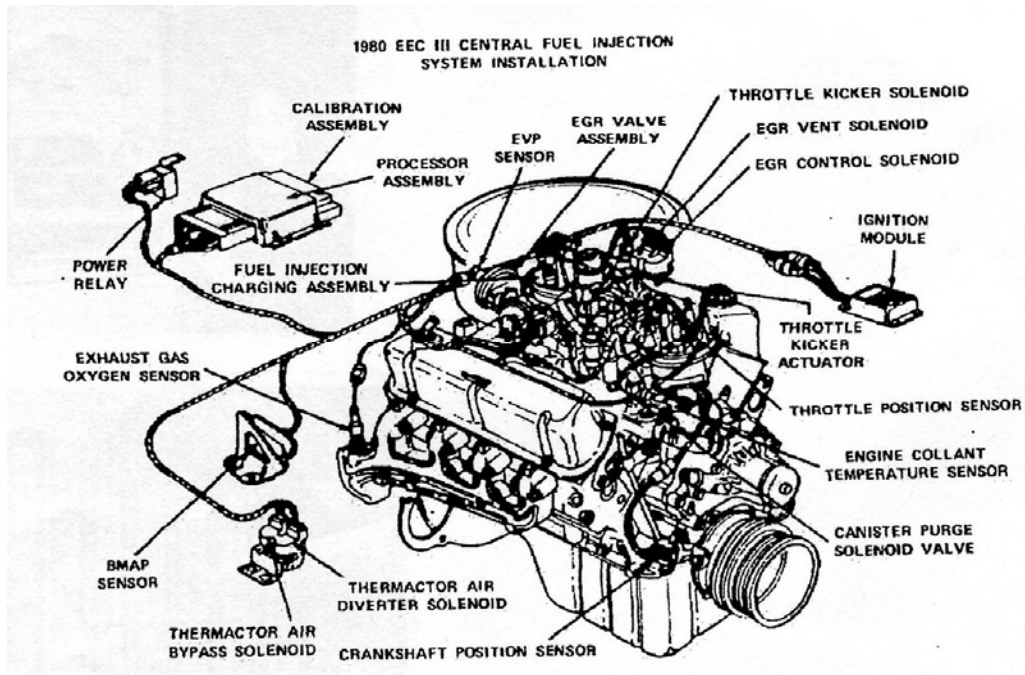
高橋健二(1987)「マイクロコンピュータLSIファミリーの発展」大河内記念会『大河内賞30年のあゆみ：受賞後の展開と波及効果』、537-578頁。

武石喜幸(1989)「半導体表面を研究」『電子材料』3月号。

壺井芳昭(1989)『現代人のコンピュータ：自動車とマイコン』朝倉書店。

全国自動車整備専門学校協会編(2005)『電装品構造』山海堂。

図 1 : EEC システムの概要



注 : EEC-3 のシステムの全体像を示したもの。

図 2 : EEC-1 マイコン・システムの概要

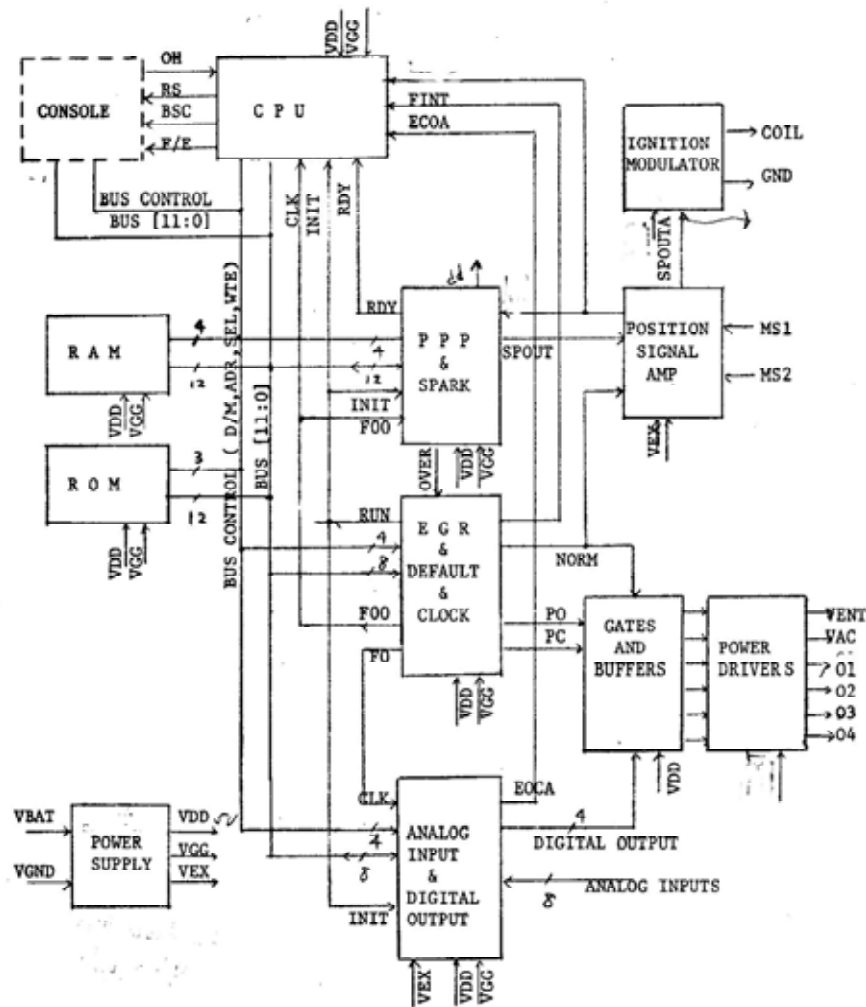
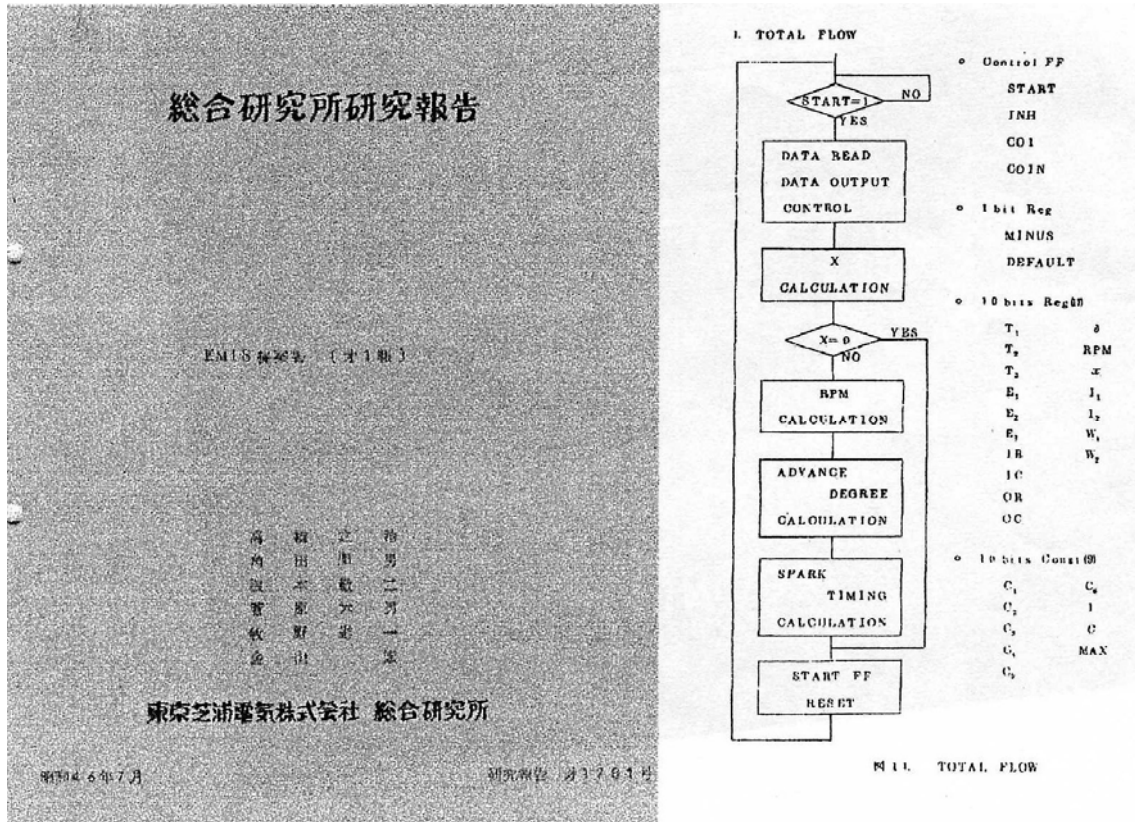


図 3 : EMIS 東芝提案書

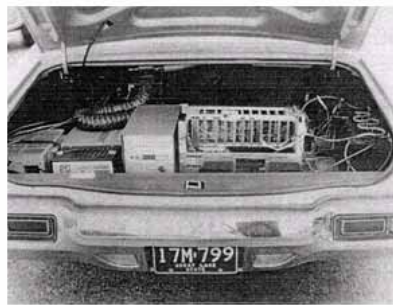


注：フォードへの提案書を社内報告用に要約したもの（1971年7月）

図 4 : PDP-11 から EEC-1 へ： PDP-11、 トランクに入ったブレッドボード、 LSI 化された CPU を装着した制御ユニット、 N-MOS 型 LSI を実装した制御モジュール



PDP-11



トランクに入った
ブレッドボード

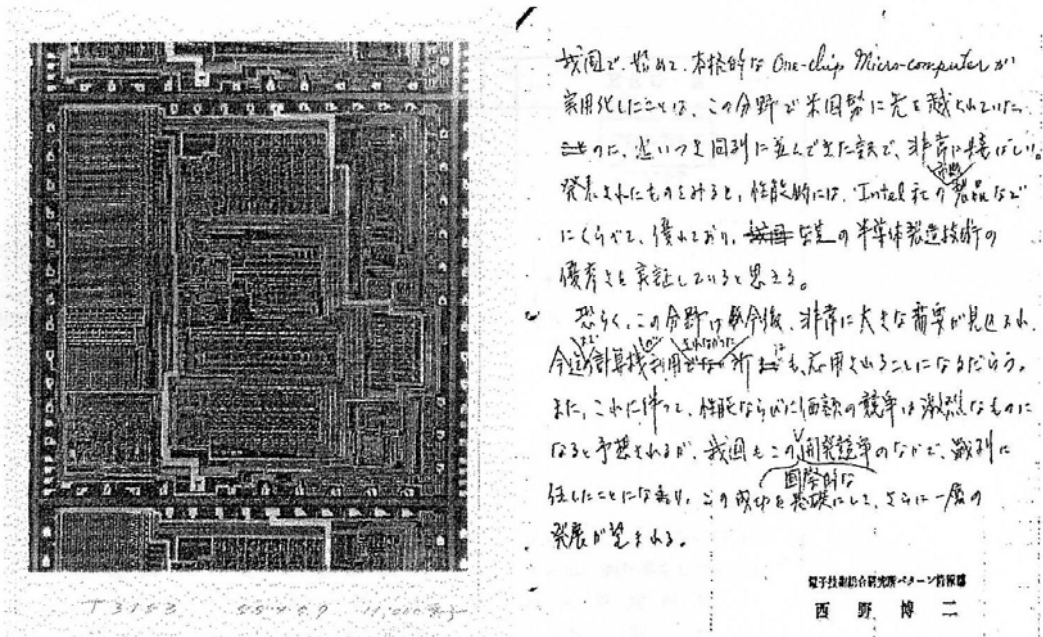


LSI化されたCPUを
装着した制御ユニット



N-MOS型LSIを実装した
制御モジュール

図 5 : 12 ビットワンチップ CPU と外部評価



注：右側の西野博二(電子技術総合研究所パターン情報部)による外部評価の内容は次のとおり：
 「我国ではじめて本格的な One-Chip Micro-computer が実用化したことは、この分野で米国勢に
 先を越されていたのに追いつき同列に並んできたことで、非常に嬉しい。発表されたものをみる
 と、性能的には、Intel 社の市販製品などにくらべて、優れており、東芝の半導体製造技術の優
 秀さを実証していると思える。恐らく、この分野は今後、非常に大きな需要が見込まれ、今迄の
 計算機が利用されなかった所にも、応用されることになるだろう。また、これに伴って性能なら
 びに価格の競争が熾烈なものになると予想されるが、我国はこの熾烈な国際競争のなかで、戦列
 に伍したことになる、この成功を基礎にして、さらに一層の発展が望まれる。」

図 6 : EEC システムの発展と分担

		EEC- I	EEC- II	EEC- III
搭載時期		78年モデル	79年モデル	80年モデル
構成		<p>CPU T3517A</p> <p>RAM/ROM PPP/SPK</p> <p>RAM/ROM EGR</p> <p> ADC</p> <p>PSA MUX</p>	<p>CPU T3517A</p> <p>RAM ACU</p> <p>ROM ADC/MIX</p> <p>ROM</p> <p>PDD</p>	<p>CPU T3727</p> <p>ROM T3729 I/O T2445</p> <p>ROM</p> <p>(CFI only)</p> <p>SDL T2453 IDC T2454</p>
機能		点火時期制御 EGR制御 二次空気制御	点火時期制御 ERG制御 二次空気制御 アイドリング回転制御 キャニスターパージ制御 キャブレータ空燃比制御	点火時期制御 ERG制御 二次空気制御 アイドル回転制御 キャニスターパージ制御 キャブレータ空燃比制御(FBC) または、燃料噴射制御(CFI)
分担	マイコン デザイン	東芝	東芝	モトローラ
	制御 モジュール	東芝	東芝、 EED(フォードの電装部門)	東芝、EED、モトローラ

付表:EEC 開発年表

年	月	EEC開発をめぐる東芝/フォードの動き	米国マスキー法関連の動き	その他の関連するできごと
1953				ペンディクス、ガソリン噴射の原点である Electrojectorの開発に着手
1957				ペンディクス、Electrojector発表
1958				クライスラー、Electrojector搭載車市販(オプション搭載)
1960		オルタネータダイオードでフォードとの取引開始	カリフォルニア州で自動車汚染防止法成立	
1962			カリフォルニア州で排ガス規制始まる	ボッシュ、D-Jetronic(ガソリン噴射装置)を発表/VW、D-Jetronic搭載車市販
1963			大気浄化法制定	
1964			自動車汚染防止法成立	
1970	12		マスキー法(大気浄化改正法)成立(1975年からHC0.4、CO3.4、1976年からNOx0.4)	
1971	3	フォードよりエンジン制御の最初の仕様書受領		
	5	小津、金山・浪本・高橋らを集め、提案書作成	自動車メーカー、EPA公聴会にて90%削減不可能とは発言	
	7	金山達、フォードに提案書を持参(提案はデジタル方式とアナログ方式の両方)		
	8	フォードより新しい仕様書(AEC)到着/マルフプロジェクト発足(29人)		
	11	AEC詳細仕様書受領		インテル、世界初のマイクロプロセッサ「4004」出荷開始(4ビット)
1972	2	金山・浪本・高橋、情報交換のためフォード訪問/詳細な仕様決定		
	3	垂井・武石、マルフ参加		
	4	高橋、フォード駐在(デトロイト)発令	ピクスリー、EPAに延期を正式申請	インテル、8ビットマイクロプロセッサ「8008」発表
	5	高橋、フォード駐在(デトロイト)発令	EPA、一年延期要請拒否	
	6	浪本、デトロイトにブレッドボードを持参	GM、EPAをワシントン高裁へ提訴	
	7	汎用マイコンの開発に着手		
	8	フォード社長アイアコッカ、ブレッドボード搭載車試乗、予算増額を約束		
	10	フォード社長アイアコッカ、ブレッドボード搭載車試乗、予算増額を約束		
	11			ニクソン、大統領選勝利
	12	高橋、デトロイトより帰国	ホンダCVCCエンジン、マスキー法75年規制(HC0.4、CO3.4)EPAテスト合格	
1973	2	ワンチップCPU試作に一発で成功/小津異動、小津高橋(健)にリーダー交代	EPA、ホンダCVCCエンジンのマスキー法1975年規制合格を発表/マツダロータリーエンジン、マスキー法1975年規制EPAテスト合格/ワシントン高裁、EPA規制の再検討を命じる/NASレポート、CVAAを高く評価	
	4		EPA、マスキー法の一年延長及び1975年の暫定規制値(HC1.5、CO15、NOx3.1)を決定	
	5	汎用マイコン「TLCS-12」発表/高橋(健)、フォード訪問		
	6		GM、EPAにNox(NOx0.4)規制延長を申請/EPA、Noxを1976年までに90%削減する必要はないと発表	
	7		EPA、1976年規制の一年延長を認め、さらにNox規制修正案(1977-81年2.0、1982-89年1.0、1990年以降0.4)を提案	
	10	アイアコッカ、EEC搭載車試乗(2度目)		第4次中東戦争勃発し、石油ショックへ
	12	N-MOS型のEEC仕様書受領		
1974	4	汎用マイコン「TLCS-12」販売開始		インテル、8ビットマイクロプロセッサ「8080」発表
	5	第二次マルフ発足	議会、マスキー法の改正案可決(HC1.5、CO15、NOx3.1)	
	6		議会、エネルギー環境調整法可決(エネルギー問題を優先し、マスキー法の実施を一時停止する内容を含む)	
	8			ニクソン大統領、ウォーターゲート事件で辞任、フォード大統領就任
	11	EEC用NMOS設計開始		
	12			MTIS、Altair8800開発
1975	2	西島常務、小津副技師長、フォード訪問(フォードの確約得られず)/土光会長、開発継続を指示	EPA、マスキー法の実施を1978年へ延期。1977年暫定値の基準を強化(NOx2.0)	
	3			
	5	フォード、エンジンの電子制御の検討を研究所から事業部へ移管		
	10	EEC-1試作品完成	クライスラー、エンジンの点火時期アナログ式電子制御の自動車発売	
1976	2	フォード、1978年モデルにマイコンを搭載する方針を定める		通産省主導で超エル・エス・アイ技術研究組合が発足
	3			アップル・コンピュータ、創業
	4			
	6	EEC-1、耐久試験に合格/78年モデルより納入決定		
	9		議会、マスキー法の再延期を審議。1979年からHC0.4、CO3.4、1981年からNox1.0の規制実施案を検討	
	10		GM、エンジンの点火時期のデジタル式電子制御の自動車発売	
	11			カーター、大統領選勝利
1977	4	EEC-1納入開始		
	8		議会、1980年からHC0.4、1981年からCO3.4の規制実施、Noxについては当面見送り、緩和基準1.0を1981年から実施予定	
	10	フォード、リンカーン・ベルサイユにEEC-1を搭載し市販		インテル、16マイクロプロセッサ「8086」発表
1978		トヨタ(東富士研究所)に提案/フォード、1979年モデルにEEC-2(電装デザインのマイコン)搭載		
1979		フォード、1980年モデルにEEC-3(モトローラデザインのマイコン)搭載		
1980		トヨタ、東芝製マイコン搭載のクラウン発売		
1985		フォード向け制御モジュールの生産中止/三菱電機にマイコン納入		

注:排ガスの基準値の単位はg/mile。
資料:米国マスキー法関連の動きについては、朱・武石・米倉(2007)参照。

IIR ケース・スタディ 一覧表 / 2004-2007

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: パ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	「富士写真フィルム： 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