

連載 情報システムの本質に迫る

第 95 回 チーフエンジニアは、担当製品の“社長”！

芳賀 正憲

アーキテクトの *archi* はチーフを意味し、*architect* は、もともとチーフビルダ（棟梁）のことでした。少なくともギリシャ時代から、チーフは、その課題のすべてに責任をもつ重要な存在として位置づけられてきました。今日 CEO、COO、CFO、CIO は、国語辞典にも載るほど広く知られていますが、さらに CMO（マーケティング）、CTO（技術）、CQO（品質）、CRO（リスク）、CISO（情報セキュリティ）等々のポストの必要性と重要性が認識され、国際的に多くの企業で設置が進められています。

課題の多様化・複雑化に対応するため、組織機能の分化と高度化が進み、分化した機能のそれぞれに責任をもつチーフの存在が必須と考えられているのです。昔、勝海舟が米国から帰国し、将軍の前で老中から日本とのちがいを尋ねられたとき、わが国と異なり、米国で高い地位にある者は皆その地位相応に賢くございます、と答えたことは有名ですが、責任を皆で分かち合おうという傾向のあったわが国に比し、国際的にはトップの役割は、はるかに厳密に考えられてきています。

トヨタの主査制度は、ある 1 つの車種の企画・開発からそれを市販するまで総合的に責任をもつ、いわばプロデューサの制度として、1950 年代初頭、クラウンの開発を契機に発足しました。同社の主査制度は、優れたマーケティングと製品開発、生産、モデル変更の仕組みとして、自動車産業をはじめ、他の企業にも大きな影響を与えています。

主査は、90 年代にチーフエンジニアと呼称が変わりました。チーフというところに、その車種に関わるすべての意思決定と結果に責任をもつという意味が込められています。責任の範囲は、もちろん技術のみにとどまらず、広報を含むマーケティングから、コスト、利益管理にまでおよんでいて、担当車種に関しては、主査（チーフエンジニア）が社長であり、社長は主査（チーフエンジニア）の助っ人である、とさえ言われています。

安達瑛二著『ドキュメント トヨタの製品開発：トヨタ主査制度の戦略、開発、制覇の記録』（白桃書房 2014 年）は、1970 年代半ば、石油危機の中で小型高級車シェアの大幅アップをめざし、モデルチェンジに取り組んだ主査とそのスタッフ、関係組織の活躍を、実際にスタッフ、のちに別車種で主査を歴任した安達氏が、詳細に描ききった貴重な記録です。

それによると、興味深いことに、主査制度は、慣習・不文律として踏襲されてきていて、文書規定がなく、日々改革が許容されている柔軟な制度とのこと。また、主査

は、担当する車種に関しては、マーケティング・商品計画部門、広報・宣伝部門、販売・サービス部門、購買・物流部門、経理・原価管理部門、技術部門、品質管理部門、検査部門、生産技術部門、生産管理部門、生産部門、ボディメーカ、部品メーカなど、ほとんどすべての社内部門と協力会社に関わり、企画、開発、生産、販売、利益、市場シェアなど、車種のライフサイクルのすべてに関して意思決定を行ない、結果に責任を負っているにもかかわらず、直属のスタッフを除いて、その車種の開発に参画する関係部門のメンバーに対しては、人事権はもちろん、命令権もないとのこと。主査の提案が妥当なものならば、必ず参画メンバーは納得するはずという前提にもとづいています。

一方、主査には、社内・社外、地位のいかんを問わず（社長に対してさえ）、提案し、説得する権利が認められています。もちろん結果には責任をもたなければなりません。主査には、それほど高い能力が求められ、また期待されているのです。

チーフとしての一元化された究極の重い責任と、いかにも日本的なあいまいで柔軟な権限関係と組織体制が、高い能力の発掘と育成システムに裏打ちされ、大きな成果を上げてきたと言えます。

現状C I Oに、車種におけるチーフエンジニアほど、一元化された究極の重い責任と高い能力を期待することはむずかしいと思われまます。やはり部門の情報システム毎に、車種のチーフエンジニアに匹敵する責任と能力をもったC I S O（情報セキュリティではなく情報システムに関して）を育成していくことが必要ではないでしょうか。その中からC I Oを選抜するようになれば、その本来の役割が果たせるようになると考えられます。

上記の安達氏の著書には、1970年代、マークIIのモデルチェンジに取り組んだ技術者たちの活躍が描かれていますが、以下には90年代の、ハイブリッドカー・プリウス開発成功の経緯を、公刊されている文献をもとにまとめました。経営トップの示す実現不可能とも見える高い目標に対して、卓越したプロジェクト運営とギリギリの努力を積み重ねることにより、見事にそれを達成していることが分かります。文中でU氏は、プリウスの開発でチーフエンジニアを務めた、現・トヨタ自動車株式会社会長の内山田竹志氏です。

T社では、重要なテーマについてしばしば部門横断的にプロジェクト組織が形成され、主体的に研究や開発が行なわれています。その中の1つとして93年9月、G21プロジェクトが発足しました。

このプロジェクトの発案者は、当時の会長です。今の車の作り方で、21世紀T社は生き残れるのか、21世紀のT社の車のあり方をゼロから考え直す必要があるというのが、会長の問題意識でした。

第1次のG21では、車の基本的な寸法や形状から改めて考えていきましたが、エンジンや変速機の仕様までは決められませんでした。いずれにしてもこのプロジェクトは、具体化に向けさらに専任組織で継続して検討することになりました。

94年1月、第2次G21プロジェクトのリーダー（チーフエンジニア：CE）に選ばれたのがU氏です。U氏には、21世紀に向けた車そのものの開発だけでなく、車の開発の進め方も改革せよという課題が与えられました。

実はU氏は、CE関係の業務経験が全くありませんでした。むしろU氏には、新しい開発の進め方を確立するため、未経験を活かすことが求められていたのです。そこでU氏は、最初に21世紀という時代認識からコンセプトを考えていきました。

U氏のプロジェクト運営方針は、次のとおりです。①スピードの重視②情報の共有化（メーリングリストによるパソコンネットワークの活用）③年令、出身部門、専門分野に関係なく自由に、車中心に議論、評価、行動をする。

この中で、③は特に、車の開発に、メーカーではなくユーザの視点を導入する点で有効でした。

21世紀の最重要キーワードとして資源と環境が挙げられました。したがって新車開発の目標として、燃費（km/リッター）を最大、有害な排気ガスを最少、小さな車体でしかも乗心地は従来の同じ大きさの車を超えて最高レベルを目指すことが掲げられました。

車体と室内のサイズについては、改めてゼロから検討しました。その結果、従来に比べアップライトな姿勢の方が疲労が少ないことが分かりました。また、スムーズな乗降性を考慮したお尻の位置は、地上600mm前後であることも判明しました。（従来のセダンは通常400～450mmでした。）乗る人の快適さを追求した結果、車高は1500mm前後で、室内は2000cc並みの広い空間となり、一方、車の全長は重量や市街地での運転を考え、1300cc並みにとどめました。この結果はエンジンルームの容積を圧迫し、中に納められる機器のサイズに厳しい制約を課すことになりました。

サスペンションは、乗心地、重量、トランク・燃料タンクのスペースなどに影響を及ぼしますが、リアについて決定版がないため、社内コンペを行ないました。先行開発部門のダイアゴナルビーム、製品開発部門のトーションビームなど3種類の方式が候補になり、トーションビーム方式が選ばれましたが、最終的には、先行開発の担当者が製品開発に異動し、ダイアゴナルの長所を付加してトーションビームを改善し実機適用しました。

94年夏まで、エンジンは直噴の1500cc、燃費は現状の1.5倍を目標に計画をしていました。U氏が最初ハイブリッドシステムを考慮に入れなかったのは、①T社としてハイブリッドがまだ研究段階②要素技術が未完成で、特にバッテリーの性能が不十分③コストが高くなる、という認識があったからです。

当時T社では、EV（電気自動車）開発部ですでにハイブリッドシステムの検討を行っていました。ハイブリッドには、直列型と並列型がありますが、いずれも自動車の動力

源として不適切で、それぞれの長所を組合わせた連続式並列直列方式が最適であることが、94年3月頃までに報告されていました。

94年11月、G21に対し副社長から強力な指示がなされました。燃費目標を2倍に引き上げること、そのためにハイブリッドシステムを採用すること、この条件が呑めないならプロジェクトは中止。U氏にとって、研究開発と、製品開発の同時進行は、きわめて困難なものに感じられました。そこでT社の英知を集めたハイブリッド検討のプロジェクト発足を要請、承認されました。

第1次のハイブリッド検討プロジェクトは、最適なシステム構成の決定を目的に、95年2月に開始されました。ハイブリッドのシステムは、公表されているものだけでも80種類あります。プロジェクトでは、その中で有力と思われる10種類について原理を中心に検討、4種類の候補を選び出しました。

各候補の詳細な評価は、コンピュータ・シミュレーションによって行ないました。ソフトウェアや走行状態決定のアルゴリズムについては、それぞれ他部門で同様の検討を行なったことのある担当者から有益な情報を得ることができました。

シミュレーション結果の評価は、次の観点で行なわれました。①燃費②技術の成熟度③車両への仕上げやすさ④工場生産のしやすさ⑤将来スタンダードになり得るか。その結果、エンジンと発電機、モータ、バッテリー、プラネタリギアを組合わせたシステム構成が最適で、燃費も2倍に向上させることが可能と予測され、この案が実際にプリウスに採用されることになりました。

この案で燃費が大きく向上するのは次の理由によります。①モータの支援を前提にエンジンの出力を下げ、効率中心の設計ができる②そのエンジンの中でも、さらに効率の高い領域でのみ使用する③市街地で多いアイドリング時に、エンジンを止める④ブレーキでエネルギーを回収する。

シミュレーションにより、エンジン、モータ、バッテリーなど各要素への要求仕様も明らかになりました。

95年6月末、G21の車両によるハイブリッドカーの開発が正式に決定され、7月、第2次ハイブリッド検討プロジェクトが発足、具体的に要素技術の開発と検証を進めていくことになりました。

エンジンは、当初直噴エンジンを想定していましたが、ハイブリッドシステムにはアトキンソンサイクルのエンジンが適していることが明らかになりました。アトキンソンサイクルは圧縮比を下げ膨張比を高くしたエンジンで、吸気バルブを閉じるタイミングを遅らせることにより実現できます。これにより熱効率を非常に高くできますが、出力やトルクが十分出せないため、今まで実用には供されていませんでした。しかしモータと併用すると、このエンジンの特長を活かして用いることが可能になります。

G21の車両に対して適切な排気量は1500ccと算定されましたが、ハイブリッドでない場合のエンジン例と比べると、最高出力は91PS（5400rpm）→58PS（4000rpm）、最大トルクは13.2kg・m（4400rpm）→10.4kg・m（4000rpm）と大幅に低下しています。これにより各部品の軽量化と摩擦損失の軽減が可能になりました。

プリウスのトランスミッションは従来の車と異なり、エンジンの動力を車輪と発電機に振り分けるプラネタリギア、発電機、モータ、減速機などから構成されます。発電機はモータ駆動とバッテリー充電用の発電をするとともにエンジンスタータの機能ももっています。モータは、車輪の駆動が主たる役割ですが、ブレーキをかけたときは発電機となってバッテリーに充電します。

エンジン、発電機、モータ、バッテリーなどの各要素は、現状の値とアクセルペダルなどから与えられる要求値にもとづき、効率が最大になるように精密にリアルタイムのコンピュータ制御がなされます。最適な制御方法は、シミュレーションによって見極められました。

T社では電気自動車の開発に際し、今後エンジンに代り車の性能の根幹に関わる要素として、モータの内製を進めていました。プリウスのモータの開発も同じ部門が担当しました。モータと発電機は、容量は少し異なりますが基本的に同じ構造です。開発に際しては、トランスミッションの狭い空間にはいる大きさでいかに所定の出力を得るか苦心しました。またモータと発電機はそれ自身発熱する上、エンジンルームの中で冷却が大きな課題になりました。熱伝導率の高い絶縁材を開発し、水冷にして問題を解決しました。

T社のH工場は、85年頃「今後自動車は、電子部品で優劣がつく。内製化できないと単なるアセンブリメーカーになる」という問題意識から、150億円投資して建設されたものです。T社の電子部門は、プリウス開発当時、すでに技術部門4部、工場部門2部からなる強力な組織を形成していました。

プリウスの開発に際し、車載用コンピュータの制御基板の内製はいち早く決定されました。バッテリーと発電機・モータの間で、直流・交流の変換を行ったり、モータの制御を行なうインバータの心臓部、IGBT（絶縁ゲート型バイポーラトランジスタ）の内製を決定したのは次の理由によります。①将来自動車は電気で動く。そのときIGBTは首根っこになる②IGBTに関しては電子産業界がまだ対応できない③T社が開発すれば世界標準になる。

IGBTについても熱がまず問題になりました。95年末の先々行試作車には、とりあえず市販品で対応しましたが、寿命は目標の10分の1しかありませんでした。

プリウスの仕様上、バッテリーは288Vで出力20kw、体積は本体50リットルにとどめる必要がありました。電気自動車と共同開発したニッケル水素電池が有望と考えられましたが、体積は400リットルもありました。

バッテリーはプリウスの主要部品で唯一他社と共同開発とし、95年3月からM電池とコンタクトを開始しましたが、95年夏の段階で、体積が2倍で出力は2分の1しか出ませんでした。先々行試作車には、暫定的にニッケルカドミウム電池を積載しましたが、トランクがほぼ一杯になりました。

95年11月、先々行試作車が完成しましたが、まったく動きませんでした。ハイブリッドシステムは多くの要因が複雑に関係しているため、原因の究明は困難をきわめました。40日後ようやく動きましたが、500m走ってまた止まりました。

95年末、トップの意向により、プリウスの発売時期が97年12月と決定され、翌年1月、G21は量産企画組織Ziに名称が変りました。先がまだ見えないのに、工期は実質2年を切っていました。

Ziでは、短期間に要素技術の開発と全体計画の推進を同時併行で進めていく必要があります。そのためCEのU氏が取った方法は、2~3ヶ月毎に試作車を最新状態に更新して要素開発の進展を折り込み確認をとっていくという、すさまじいものでした。また、デザイナー、設計者、生産技術者の共同作業、工場技術者の技術部門への常駐など、コンカレントエンジニアリングを徹底して行ないました。さらに、技術課題ごとに臨機にタスクフォースを編成、権限を委譲して問題を解決していきました。

96年3月、量産を前提にした第3次ハイブリッド検討プロジェクトにYリーダーが就任、Y氏は直ちに次の施策をとりました。①全体の信頼性をまとめる管理者を置く②さらに精密で本格的なシミュレーションの実行③問題を発掘する特別チームの編成。

多数のコンピュータとエンジン、発電機、モータ、バッテリーなどから成り立つ今回のシステムのチューニングは非常に難航しましたが、パソコンネットワークの活用による情報の共有化が問題解決に大きな貢献をしました。

ハイブリッドシステムでは、走行中も必要に応じて、エンジンが起動・停止します。このときのショックが問題となりましたが、吸入空気を減少させれば解決できることが明らかになりました。ちょうどその頃T社では、別の目的で連続可変パルブタイミング機構の開発に成功していました。これを用いることにより、ショックの問題は見事に解決しました。

性能/コストを最適化するバリューエンジニアリングの中で、モータに使用する電磁鋼板のコストが問題になりました。これについては製鉄会社と共同研究を行ない、30%コストを削減しました。今回のような仕様のモータに関しては産業界に量産の事例がなく、生産技術の確立に苦労しました。試作時の手巻きコイルと機械巻きでは性能に差があり、購入した巻き線機を改造して対応しました。

IGBTは、今までチップ、セラミック、銅板の3層で作られていましたが、銅の熱膨張率が高いため温度変化で破壊していました。銅板に代る材料をようやく見つけましたが、熱伝導率も低く最終的に水冷で対処しました。この材料は世界的に供給が1社のみだった

ため、リスクを考慮し内製を決めました。

96年4月末、IGBTの手作り試作品が完成、テストを開始しましたが秋頃から次々と定格出力前に爆発が起きるようになりました。チップの損失を下げようとして破壊耐量まで下げってしまったのが原因ですが、当初はそれが分からず、チップ製作とテストの部門間で不信感が高まりました。チップからテストまで統括する管理者を新たに設置し、メーリングリストで関係者の意思疎通を図り、97年2月ようやく試作車に間に合わせました。試作車の段階で発見された、計算より20%多い損失に対しては、ウェハーの特定部位にサイクロトロンでイオンを打ち込み格子欠陥を作ることで解決しました。

プリウスの要素技術では、バッテリーの開発が最も難渋しました。288V出すためには、1.2Vの電池を240本直列につなぎます。1本も不良は許されません。ハイブリッドシステムでは、瞬時大電流の放出とブレーキエネルギーの受け入れがあります。バッテリーの性能は、極板を薄く広くし端子の抵抗を下げるなど、試作を繰り返して高めていきました。発熱の問題は、当初設置予定の床下を後部座席の後ろに変更し、夏場冷房の風も通るようにして解決しました。ハイブリッドの場合、バッテリーは充電50%を中心に使うのが制御上好ましく、寿命も延びることが分かりました。

96年12月、T社とM電器、M電池で車載用バッテリー製造の合弁会社が設立されました。品質とコストに関し、T社から直接指導の徹底が進むようになり、97年夏、世界標準にもなりうるレベルの製品がついに完成しました。

T社にはデザイン部門が、本社デザイン部の他、3つの開発センター、東京、米国、欧州と合計7つあります。プリウスのデザインは、このうち5部門と契約デザイナー、T自動織機デザイン部の7部門によるコンペとされました。最後に本社デザイン部と米国の案が残りましたが、数百人の社員による審査で、先進性と若者からの評価が高い米国案に決定しました。

T社には、ユーザの立場で車をチェックし設計に反映させる商品監査室があります。プリウスの場合、テストコースの試走を他の新車の5倍行なった他、冬場3回を目標に北海道、カナダ、南半球で耐寒試験、夏場米国で最高気温45℃の中を4000km 走破試験も行ないました。発売半年前、マスコミ対象の試乗会で一般からの反応も確認しました。

96年6月（発売の1年半前）、早くも工場の技術者が開発部門に常駐して設計のレビューを開始、97年夏には、逆に設計技術者が工場に駐在して設計改善を進めました。

97年3月、赤坂のホテルでハイブリッドシステムの技術発表が大々的に行なわれ、従来の同型車に比べ、燃費2倍、CO₂は2分の1、CO、HC（炭化水素）、NO_xは規制値の10分の1を達成した車を年内に発売することが宣言されました。10月の新車発表会では、低速で排気を出さないハイブリッドカーの特長を生かし、説明後ホテル内走行を行なって演出効果を高めました。

プリウスは、世界の自動車業界に衝撃を与え、この年の日本カーオブザイヤーを始め多くの賞を総なめにしました。T社のハイブリッドシステムは、その後エスティマ、クラウンなど他車種にも展開され、2002年1月には、日経優秀製品・サービス賞の20周年記念特別賞8点の1つに選ばれています。

参考文献 家村浩明著：プリウスという夢、双葉社（1999）

板崎英士：革新トヨタ自動車、日刊工業新聞社（1999）

碓義朗：ハイブリッドカーの時代、光人社（1999）

この連載では、情報と情報システムの本質に関わるトピックを取り上げていきます。皆様からも、ご意見を頂ければ幸いです。