

# 技術アーキテクチャ分析の提案

## — カーナビゲーション開発への適用事例 —

能見 利彦<sup>1, 2\*</sup>、池田 博榮<sup>3</sup>

近年、製品開発には多くの要素技術を必要としており、どのような要素技術を組み合わせるかは研究開発マネジメント上の重要な課題である。この研究は、製品の機能と要素技術の関係、要素技術の間の補完・代替関係といった技術アーキテクチャ（要素技術の組み合わせ方）を図示して分析する新たな手法を提案した。また、カーナビゲーションのイノベーションにおいて、要素技術の組み合わせ方は何度も変化して、製品が進化したので、この分析手法をこの事例に適用した。これにより、技術アーキテクチャの検討手法についての重要な知見を得た。

**キーワード:**イノベーション、研究開発マネジメント、要素技術、補完関係と代替関係、技術アーキテクチャ、カーナビゲーションシステム

## Proposal for technology architecture analysis

### – Application of the analysis method to the development of car navigation systems –

Toshihiko NOMI<sup>1,2\*</sup> and Hirosaka IKEDA<sup>3</sup>

Product development involves many element technologies, so methods that analyze the integration process are important for R&D management. This paper proposes a new method to analyze *technology architecture*: i.e., a method for determining how to combine element technologies, which takes into account relations between product function and element technologies, and the complementary or substitutive relations among these element technologies. We applied this method to the case of development of car navigation systems, where the combination of element technologies changed several times. From this example application of our method, we obtained important insights into the analysis of technology architecture.

**Keywords:** Innovation, R&D management, element technologies, complementary or substitutive relation, technology architecture, car navigation system

### 1 はじめに

イノベーションには、新しい要素技術を開発することのみならず、要素技術の組み合わせ方を新たに考案することが重要である。前者は、純粋に技術的な問題であるが、後者は、新製品開発における研究開発方法に直結し、また、完成した製品の競争力にも大きく影響する。それでは、新製品開発において、どのように技術方式を選択し、どのように要素技術を組み合わせるべきだろうか。この問いに答えるためには、過去のイノベーション事例を分析し、経験を積み重ねることが大切である。

この論文では、要素技術の組み合わせ方を「技術アーキテクチャ」として分析することとする。「アーキテクチャ」は、全体システムの機能・性能とそれを構成するサブシステムと

の関係やサブシステム間の関係の基本構造を表す用語としてシステム・エンジニアリング分野で用いられてきた。近年では、経営学分野においても用いられ<sup>[1]</sup>、技術マネジメントにおいても注目されているが、そこでは、要素技術の組み合わせ方は研究開発時点で人為的に選択すべきマネジメント上の問題であることに必ずしも注意が払われてこなかった。ここでは技術面に着目して、全体システム（製品）と要素技術の関係および要素技術間の関係を検討するために「技術アーキテクチャ」の用語を用い、これを図示して分析する手法を提案する。その上で、住友電気工業（以下、「住友電工」と記す）によるカーナビゲーション車載機（以下、「カーナビ」と記す）開発の事例に適用した。カーナビ・ビジネスの初期の製品の世代交代においては、住友電

1 経済産業省 〒100-8901 千代田区霞が関 1-3-1、2 経済産業研究所 〒100-8901 千代田区霞が関 1-3-1、3 九州大学 〒814-0001 福岡市早良区百道浜 3-8-34 産学官イノベーションプラザ 2F

1. Ministry of Economy, Trade and Industry 1-3-1 Kasumigaseki, Chiyoda-ku 100-8901, Japan, 2. Research Institute of Economy, Trade & Industry (RIETI) 1-3-1 Kasumigaseki, Chiyoda-ku 100-8901, Japan \* E-mail: nomi-toshihiko@meti.go.jp, 3. Kyushu University Innovation Plaza 2F, 3-8-34 Momochihama, Sawara-ku, Fukuoka 814-0001, Japan

Original manuscript received April 10, 2014, Revisions received September 2, 2014, Accepted September 8, 2014

工が現在位置検出技術をリードしており、この事例を分析することで、技術アーキテクチャの検討方法についての興味深い知見が得られた。

なお、この研究は著者の見解であり、所属する組織の見解を示すものではない。

## 2 先行研究とこの研究の課題

カーナビの事例では、後述するように要素技術の技術方式が変化しているが、このようなイノベーションを考える上において、技術課題は産業や技術の発展段階によって異なることに留意する必要がある。AbernathyとUtterbackは、新産業の初期は製品イノベーションが中心で、さまざまな技術を用いた製品が登場するが、やがて主流の設計方式（ドミナント・デザイン）に収斂し、その後はプロセス・イノベーションが中心になると指摘している<sup>[2][3]</sup>。Fosterは、技術はS曲線に沿って発展し、成熟して限界に近づいた時には技術方式を新しくすることによって限界突破することが必要だと指摘した<sup>[4]</sup>。

また、イノベーションをインクリメンタル・イノベーションとラジカル・イノベーションに2分類することは多いが、HendersonとClarkは、コアコンセプト（コンポーネントのコア技術）が変化するか、設計のアーキテクチャ（コアコンセプトとコンポーネントとの関係性）が変化するか<sup>[5]</sup>の2軸によって、図1に示すように、イノベーションを4つに分類した<sup>[5]</sup>。この図の「モジュラー・イノベーション」は、製品のコンポーネントが新技術を用いたものに置き換わるタイプを指すのに対して、「アーキテクチャル・イノベーション」は、コアコンセプトは変えないが設計のアーキテクチャを変えるタイプで、既存のコンポーネントを用いてもコンポーネント間の関係を変えるだけでイノベーションが生じることを意味する。彼らは、半導体露光装置の産業を例にして、「アーキテクチャル・イノベーション」は技術パラダイムを変え、TushmanとAndersonも指摘しているように、技術パラダイムが変化する時には競争力を有する企業が変わる<sup>[6]</sup>ので、このタイプは重要だと主張した。彼らの研究は、

		コアコンセプト	
		従来からの強化	抜本的な変化
コアコンセプトと コンポーネントとの関係性	変化せず	インクリメンタル・イノベーション	モジュラー・イノベーション
	変化	アーキテクチャル・イノベーション	ラジカル・イノベーション

図1 Henderson and Clarkによるイノベーションの分類<sup>[5]</sup>

「アーキテクチャ」に着目する点ではこの研究と類似しているが、ラジカル・イノベーションを企画する時にこそ新たな技術アーキテクチャを検討する必要があるにも係わらず、アーキテクチャル・イノベーションをラジカル・イノベーションとは別のものとしている。それに対してこの研究は、図1の分類にこだわらず、ラジカル・イノベーションを含めて検討する。また、技術アーキテクチャのあり方やその検討手法を彼らは分析していないが、この研究では、これが重要と考えて分析する。

なお、経営学では「製品アーキテクチャ」に関する研究が多く行われており<sup>[1][7]-[10]</sup>、それらは、製品（全体システム）ごとにそれを構成する部品（サブシステム）は定まっていることを前提として、一つのモジュールが一つの機能を担う「組み合わせ型」（例えばPC）とそうではない「すりあわせ型」とに製品をタイプ分けして、企業の競争力や適切な戦略を分析している。しかし、この研究の問題意識はこれらとは別である。

この研究の技術アーキテクチャ分析は、研究者や技術者が新製品の研究開発計画を立てる際に必要となる要素技術の組み合わせ方を検討するための手法である。この際には、アーキテクチャは技術的に定まっているものではなく、研究者・技術者が自ら設計し、選択すべき課題である。この選択の結果は企業間関係や企業の競争力を左右するために上記の経営学の研究との関連は生じるが、技術アーキテクチャの検討手法は独立した研究課題である。

## 3 この論文で用いる技術アーキテクチャの図示の手法

システム製品の性能は、その実現に必要な諸機能にブレイクダウンすることができ、それぞれの機能は一つまたは複数の要素技術によって実現される。一つの機能を実現するために複数の要素技術が必要な場合、これらの要素技術相互は「補完関係」にある。また、一つの機能を実現するための要素技術（または技術方式）の候補が複数あって、いずれか一つで目的が達成できることもあり、その場合、これらの要素技術相互は「代替関係」（または「競合関係」）にある。製品開発が終了した時点では代替関係にある要素技術は一つに絞られているが、研究開発計画の検討時点では、代替技術のどれを選択するかは、マネジメント上の重要な検討課題であるため、この研究では代替関係にある要素技術も明示的に分析する。こうした要素技術相互の補完関係や代替関係を図示するために、図2のように、論理回路記号の「AND」と「OR」を用いることとする。

また、時間とともに製品が進化し、要素技術も変化することが多い。その一つのタイプは、製品に新たな機能を付加し、そのための要素技術も付加するものである。これ

は、「AND」と「OR」を用いて図3a)のように図示することができるが、これは煩雑である。むしろ、新たな記号「ADD ↓」を導入することによって、図3b)のように図示することとする。また、要素技術の変化の別のタイプは、技術進歩に伴って代替関係にある他の要素技術に置き換わる変化である。これは、基本的には「OR」で表現する関係の中での現象だが、時間的な変化を表現する時に、新たな記号「OR ↓」を用いて、図4のように図示することができる。以上の通り、この論文においては論理記号「AND」と「OR」を基軸に置くとともに、新たに「ADD ↓」と「OR ↓」を用いて技術アーキテクチャを表現した。製品および要素技術の時系列での変化を考慮すると、AND系では「AND」のみで「AND ↓」は存在せず、OR系では「OR」と「OR ↓」が存在する。また、ADD系では「ADD」は存在せず「ADD ↓」のみが存在する。

なお、この論文では、図の左から右への方向は全体から要素へのプレークダウンを、右から左への方向は要素から全体への統合（Synthesis）を示すが、これは、さらに細部の要素の分析やさらに全体のシステムの分析にも適用

可能であり、全体としてホロニックな構造になっている。

#### 4 住友電工によるカーナビの開発事例

##### 4.1 カーナビ誕生のための研究開発課題

ナビゲーションは、移動体の現在位置を正しく把握する（第一の基本機能）とともに、目的地に向けてどちらに進むべきかを示す（第二の基本機能）もので<sup>[11]</sup>、昔から船舶用に用いられ、現代では航空機用にも広く用いられているが、1980年以前には自動車用は存在しなかった。それは、自動車用で必要とされる現在位置検出技術の要求水準が、船舶用や航空機用よりもはるかに厳しかったためであった。すなわち、第一に、道路の交差点や高速道路の進入口といった細かなところが大切なため、現在位置の測定誤差が小さくしなければならない。第二に、軍用航空機等のジャイロスコープには「1個で数百万円から数千万円」<sup>[12]</sup>のものまでであるが、自動車用では価格が大幅に安くなければならない。第三に、船舶の航海士や航空機のパイロットとは違って、一般の運転手が利用できるように、操作が容易でなければならない。

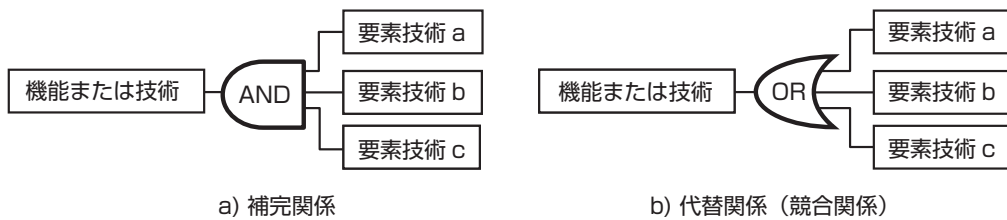


図2 要素技術相互の補完関係と代替関係（競合関係）

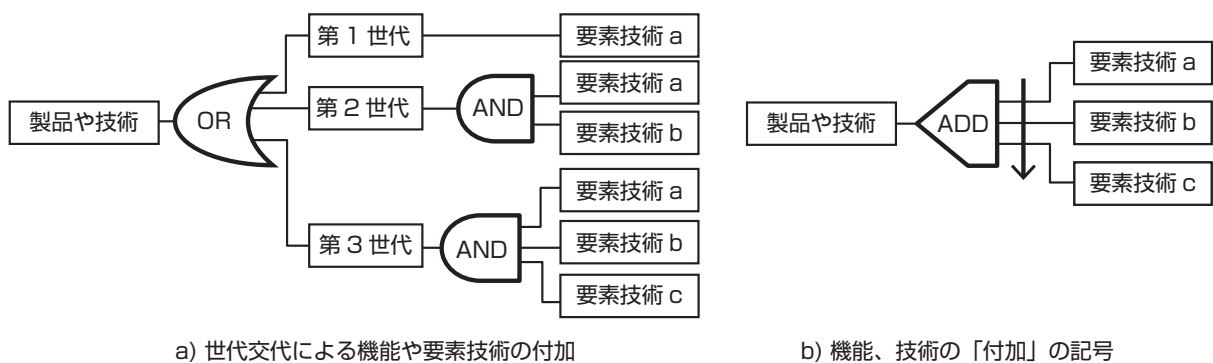


図3 付加（ADD↓）の記号

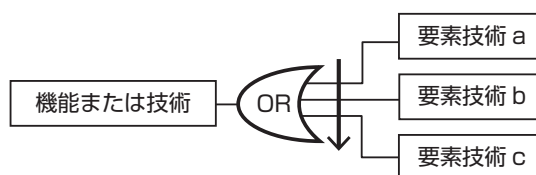


図4 代替関係の要素技術の時間変化（OR↓）

一方、ナビゲーション技術としては、船舶用や航空機用として自立航法<sup>用語1</sup>と他律航法<sup>用語2</sup>が存在した。自立航法は、出発地点から移動した方位と距離を測定して軌跡を計算し、出発時の位置と方向に加えて現在位置を知る方法である（図5）。他律航法としては、例えば、近接無線<sup>用語3</sup>の方式があり、地上に無線の基地局を設置し、移動体が近づいた時に位置情報を送信するが、自動車用の基地局は存在しなかった<sup>[13]</sup>。

このように、高性能で低廉というニーズと技術シーズ面での制約とがあって、従来、カーナビは実用化できなかったが、1980年代になると、関連する技術が進歩して、ビジネスの可能性が生じてきた。技術進歩として重要なのは、「マップマッチング技術<sup>用語6</sup>」の登場である。すなわち、1983年に、米国のベンチャー企業 ETAK 社がカーナビ用にマップマッチング技術を開発した。この技術は、自動車は道路上を走ることを前提に、測定した軌跡や現在位置を地図上の道路と比較し、誤差をソフト上で補正する技術である。自立航法では、移動距離が増すにつれて測定誤差が累積するために、高精度のセンサーが必要だったが、この技術によりセンサーへの要求精度が緩和された<sup>[13]</sup>。また、ハード面でも、1980年代になると、CD-ROM や 16 ビッ

ト CPU など小型で高性能の情報機器が登場した。

このような状況の中で、カーナビを開発する企業が出てきた。カーナビには、自車の現在位置だけを示す第1世代、それに加えて目的地までの経路案内を行う第2世代、通行時の渋滞情報、工事情報、事故情報を外部から取り込んで経路案内を行う第3世代がある（図6）。カーナビはこの世代交代を経て発達したので、以下で、カーナビの技術アーキテクチャの誕生と革新を分析する。

カーナビの開発のためには、自動車の現在位置検出技術に加え、システムを構成するハードウェア（以下、「ハード」と記す）とシステムを制御するソフトウェア（以下、「ソフト」と記す）の研究開発が必要となる。このうち現在位置検出技術としては、自立航法、GPS、近接無線およびそれらの複合方式がある<sup>[14]</sup>。自立航法にマップマッチング技術を用いる場合、それにはセンサー技術とデジタル地図が不可欠である。これらの研究開発課題を整理したのが図7である。この図は、事後的に整理したために、1980年代初期には存在しなかった技術方式（個々の技術の内容は後述する）を含んでいるが、技術アーキテクチャの基本的な構造は図の通りである。ハード（センサーを除く）の研究開発課題は図8に示したが、多くは外部から調達することとなっ

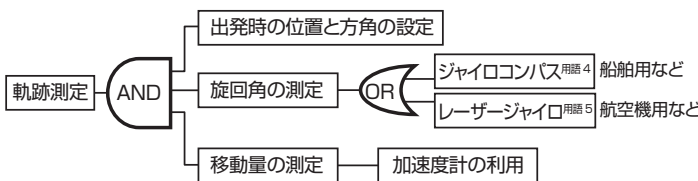


図5 自立航法による従来からの軌跡測定

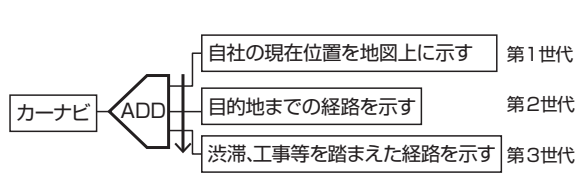


図6 カーナビの第1～3世代

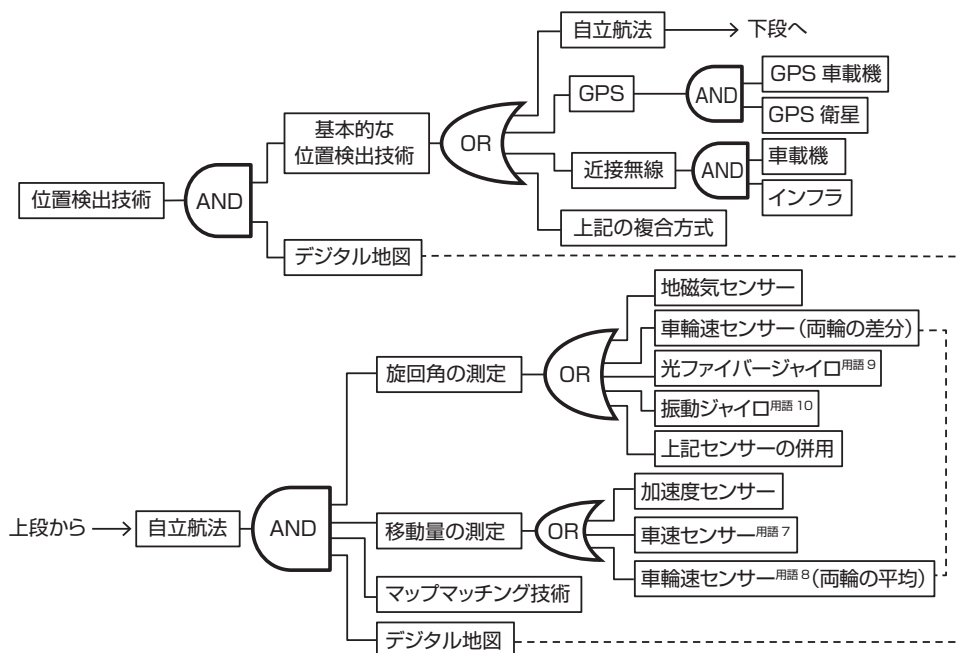


図7 カーナビの現在位置検出技術の研究開発課題（技術アーキテクチャ）



た。ソフトの研究開発課題は、現在位置検出に用いるソフトの他に、ディスプレイへの表示用ソフト、車の運転手によるカーナビ操作の制御用ソフトが必要で、第2世代以降のカーナビでは経路計算用ソフトも必要になる。

#### 4.2 住友電工による最初のカーナビ開発（第1世代前期）

住友電工は、ETAK社のマップマッチング技術に着目し、技術導入も検討したが、米国技術では日本の道路事情に合わないため、1983年から自らカーナビの研究開発に取り組んだ<sup>[13]</sup>。システム全体の目標性能は、道路1本を間違わない程度として、数十m内に誤差を納めることと設定し、価格帯は30-40万円程度を目標にした。

基本的な位置検出技術として、当時はGPSシステムの整備が不十分で利用できず、道路上の無線局は存在しなかったため近接無線も利用できず、自立航法だけが現実的な選択肢であった。上記の製品目標は当時としては極めて高かったため、自立航法の技術方式としてマップマッチング技術を用いることが基本方針で、正確なマップマッチングを行うためには、センサーに高い精度が必要で、デジタル地図にも詳細な道路情報を必要とした。

センサー技術としては、旋回角測定用のセンサーと移動量測定用のセンサーが必要で、高価なものを除けば、当時の選択肢は図9に示すように限定的なものだった。旋回角測定に、住友電工は地磁気センサーを用いたが、地磁気センサーは直流駆動電車や大きな構造物の近くなどでは狂

うためにそれだけでは不十分だった。住友電工は、アンチロックブレーキ（ABS）のメーカーとして高級車には車輪速センサーが取り付けられていることを知っていたため<sup>[13]</sup>、左右の両輪の回転数の差から旋回角情報を得ることを着想し、そのシステムを開発して、地磁気センサーと併用することとした。2種のセンサーを併用したのは、車輪速センサーにも、車輪のスリップやタイヤ空気圧の変化によって誤差が生じ、両方の情報で補完するためである。また、移動量の測定は、左右の車輪速の平均から情報を得ることとした。

デジタル地図の開発においては、2万5千分の1の地図にするか、2千5百分の1の地図にするかが選択肢となった。前者は、国土地理院が有しているので全国の地図を一括して入手できるが、生活道路などの情報は無い。マップマッチングでは精度の高い地図が重要なため、三大都市圏では2千5百分の1の地図を用いることとした。これには、市町村が有する都市計画図の地図があり、東京では23区それぞれと交渉したが、発行年度が古くて情報が古いことがあるとの問題もあった。そのため、電力会社やガス会社が配管敷設工事などのために有している詳細な地図も利用することとした。これらの情報をデジタル化するために、多額の費用を投入し、人手で情報入力を行った。

センサー以外のハードとしては、ディスプレイ、CPU、地図用メモリ、DRAMが必要だが、他社から購入できる良いものを調達した。具体的には、ディスプレイとしては6インチ程度のブラウン管を、地図用メモリとしてはCD-ROM

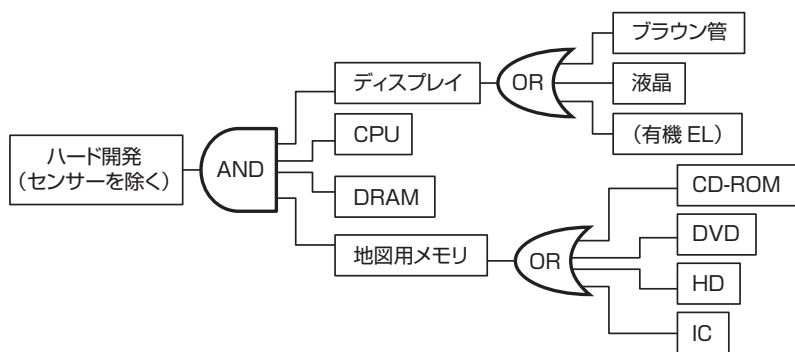


図8 ハードの開発課題

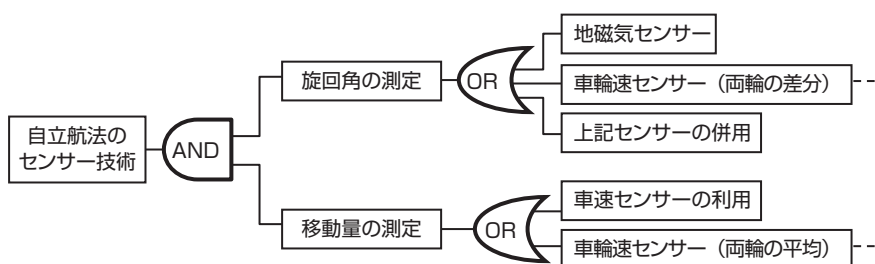


図9 最初のカーナビ開発におけるセンサー技術の選択肢

を用いることとし、CDドライブが車の振動に耐えられるようにゴムの緩衝材を用いた。

ソフトについては、車輪速センサー、地磁気センサーや移動量の情報を制御し、デジタル地図の情報と併せてマップマッチングを行うとの現在位置検出のためのソフトに加えて、計算した現在位置をディスプレイに表示するソフトや、運転手の操作による現在位置の設定などをシステムにフィードバックするソフトなどが必要で、それぞれの処理が大変複雑で、車載用CPUではかなりの処理時間を要した。しかし、運転手に対して0.3秒以内に位置表示を行うとの目標を立て、地図データの読み出しを早くするためのデータ配置、マップマッチングの計算方法などを工夫するとともに、処理速度を速くするための独自のOSを開発して目標を達成した。また、カーナビの大きなディスプレイがエアコン、オーディオの表示部や操作スイッチが置かれていた場所に設置されるため、カーナビには、エアコンやオーディオの表示・操作ができることが求められ、そのソフトも必要だった。

以上による技術アーキテクチャは図10の通りである。住友電工は、要素技術を開発した後、全体を統合した試作品を作成して、その実車走行実験を行った。全体を統合する上で特に難しい問題だったのは、センサーには測定誤差があり（時にはそれが極めて大きい）、デジタル地図の情報が古くて現実の道路が異なることもあって、絶対的に信頼できる情報がない中で現在位置を計算することだった。そ

の解決のため、各センサー情報、デジタル地図情報及びその時点までの経路情報を全て確率的に用いることとし、各情報の信頼度のさじ加減をソフト上で決めていった。このため、走行実験の結果によって課題を抽出し、ソフトを改良し、再度試作品で実験を行うとの試行錯誤を繰り返した。ただし、第1回の実車走行実験以降は、実車走行実験で収集したデータを用いた研究室でのシミュレーションを多用した。こうした改良、試作品のテスト、課題の抽出のサイクルを繰り返すことで、現在位置検出の精度を高めていった。これが住友電工独自のマップマッチング技術となった<sup>[13]</sup>。

以上の研究開発を経て完成したカーナビは、マップマッチングを初めて実用化したシステムで、ナビの示す現在位置が道路からはずれて運転手自身で現在位置を設定し直す頻度が40-50kmの走行で1回程度まで減少し、信頼性の高いものとなった。これは、当時、世界で最先端のシステムとなり、1989年に日産のセドリックとシーマに採用されて市場に登場した。

一方、運転手がカーナビを信頼するようになり、かえって、現在位置の間違いに対するクレームが来るようになった。間違いの原因は、主に、旋回角の測定精度の不足で、車輪速センサーの精度は高かったが、市場ニーズとの比較では性能不足であることが明らかとなった。

#### 4.3 光ファイバージャイロを用いた第1世代後期の開発

住友電工は1989年システムの開発直後から、次のシス

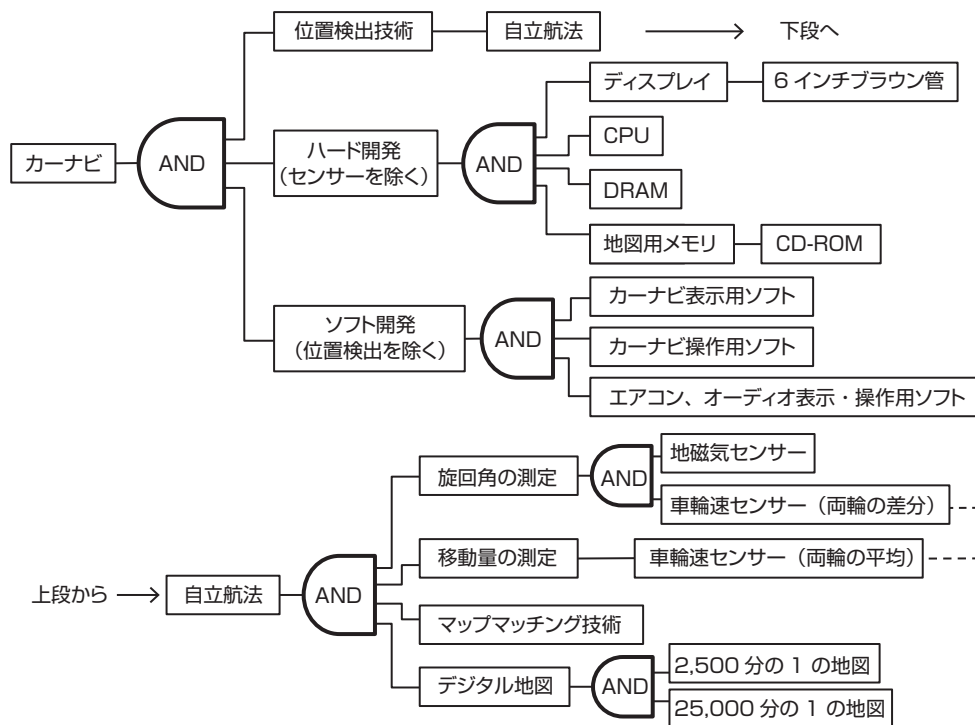


図10 最初のカーナビ（1989年システム）完成時の技術アーキテクチャ

テム開発に着手した。最も重要な課題は、車輪速センサーよりも精度が高い旋回角センサーの開発だった。当時、住友電工では、自社製の光ファイバージャイロを開発しており、その旋回角測定の精度は高かったが、サンプル価格は数百万円だった。自動車用には1-2万円以下にする必要があり、部品の材質、加工方法など要素技術1つ1つを見直すことによって、これを実現した。このシステムの技術アーキテクチャは基本的には前のシステムと同じだが、自立航法のセンサー構成は図11のように変更している。

なお、デジタル地図の作成に関しては、1988年に日本デジタル道路地図協会が設立され、関係省庁と関係企業が協力してデジタル地図の作成に取り組んでいたため、表示デザインを除いてはその成果を用いた。

このようにして開発された第1世代後期のカーナビは、日産の1991年のセドリックとシーマに搭載された。カーナビにマップマッチング技術を用いることを他社も追随したが、住友電工の製品は、他社にはない光ファイバージャイロを用いた結果、運転手による位置合わせの頻度は200kmの走行で1回くらいにまで減少し、これが競争力の源泉となった。

#### 4.4 ドミナント・デザインとなった第2世代の開発

その後のカーナビ開発の一つの課題は、現在位置把握の機能に加えて、目的地に向けてどのような経路を進むべきかを示す機能（ナビゲーションの第二の基本機能）を付加することだった。この第2世代のカーナビは他社が先行し、住友電工も追随する必要があった。このため、経路計算ソフトウェアを開発するとともに、デジタル地図に、一方通行、右折禁止などの規制情報や高速道路への接続道路などの道路間の接続情報を付加することが必要になった。経路計算ソフトに関しては、多くの大学が計算ソフトのアルゴリズムを発表していたが、膨大なメモリと高速読み出しを必要としていたため、少ないメモリでも高速で経路計算できるソフトを自社開発した。

また、関係分野の技術進歩の成果を取り入れることも課題だった。その一つはGPSである。マップマッチング技術を用いても自立航法では位置ずれは完全には避けられ

ず、絶対位置を知ることがカーナビ設計者の強い希望だったが、GPSによりそれが可能になった。GPSは、24機のGPS衛星を軌道上に配備し、地上では4機のGPS衛星からの測位用信号を受信することによって位置を知る技術である<sup>[15][16]</sup>。1978年の最初のGPS衛星打ち上げ後、1980年代は衛星の数が少なかったが、1990年代に入ると衛星数が整ってきて実用に耐えるようになった<sup>[17]</sup>。1990年には他社がGPSを用いたカーナビを実用化し、住友電工もGPSを用いることとした。GPS受信機は市販のものがあるため、開発内容はGPS情報を用いたマップマッチングのソフト開発が中心であった。（その後、GPSは1993年に完成宣言がなされ、1995年から正式なサービスが開始された。）GPSは、トンネル内やビル陰では使用できないとの問題があり、また、当時、SA (Selective Availability) として米国国防省が意図的に精度を落としていて最大100mの誤差があったが、自立航法と併用することで実際上の問題は回避できた。

関係分野からの成果導入のもう一つは、旋回角測定に用いる振動ジャイロである。これは、回転体の慣性力（コリオリ力）は振動体にも働くとの原理を用いたもので、実用レベルの感度を得る技術が1988年に開発され、さらにその後、小型化と低コスト化が図られた<sup>[12]</sup>。これがカメラの手ぶれ防止用に普及し始め、住友電工はこれに着目した。精度は光ファイバージャイロよりも悪いが、GPSと併用すれば旋回角センサーの要求精度が低くなるため、光ファイバージャイロより小型で低コストの振動ジャイロを用いることとし<sup>[13]</sup>、地磁気センサーも不要となった。ただし、カーナビに用いる場合、カメラ用とは異なってゼロ点ドリフト（旋回が0の時でもセンサーから旋回しているような出力が出ることで、主な原因は温度なので温度によって補正する）を小さくする必要があった。そのため、その研究開発を含めて振動ジャイロのメーカーである村田製作所に依頼し、同社はこれを実現した<sup>[13]</sup>（図12）。

以上により、コストの低減と寸法の小型化が実現し、この第2世代カーナビは、1992年の三菱自動車のディアマンテに搭載された。この後、カーナビにGPSと振動ジャイロ

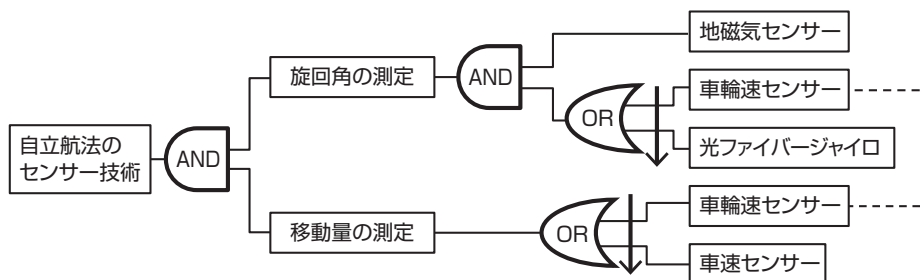


図11 1989年システムから1991年システムへのセンサー構成の変化



を組み合わせる用いることが、他のメーカーにも広がり、93年頃に業界標準（ドミナント・デザイン）となった。

#### 4.5 第3世代カーナビの開発と住友電工の撤退

1990年代にはカーナビが普及するとともに、カーナビ技術も進歩し、渋滞、事故、工事などの交通情報を加味した第3世代のカーナビが登場した。第3世代のためには、外部（インフラ側）から走行中の車にリアルタイム交通情報を提供する必要があるため、1990年からの検討を経て、1995年に道路交通情報通信システムセンター（VICSS<sup>用語11</sup>センター）が設立された。これは、警察および道路管理者が有する交通情報を収集して、光ビーコン<sup>用語12</sup>や電波ビーコン<sup>用語13</sup>によってカーナビに情報を提供する組織で、道路に光ビーコンや電波ビーコンを発信する基地を設置するとインフラ側の整備を進め、1996年の東京圏、大阪圏から、順次、サービスが開始された。このサービス開始当初から、住友電工のカーナビも、受信機の装備とソフトの改良による第3世代へと進化し、VICSS情報を活用するようになった。VICSS情報は、現在位置検出にも利用でき、GPSや振動ジャイロと併用した（図13）。

しかし、GPS受信機、振動ジャイロおよびVICSS受信機は、それぞれの専門メーカーから購入可能なため、これはカーナビ・メーカーにとっての競争優位の源泉ではなくなった。この結果、1990年代半ばにはカーナビ・ビジネスの参入企業は20数社を数え、価格も低下して<sup>[18]</sup>、住友電工も低価格競争にまきこまれるようになった。一方で、ソフトで処理すべき機能の増加によって、ソフトの規模が大幅に増大し、そのための開発要員も大幅に増大して開発コストの増大をもたらした。カーナビ開発の初期に、処理速度を速くするために独自のOSを用いたこともこの傾向を助長し、ハードの能力に依存して汎用のOSを用いていた企業

との競争は不利になった。その結果、収益面では赤字が継続し、同社は、1999年の意思決定を経て、2000年にカーナビ・ビジネスから撤退した。

### 5 短期的な技術アーキテクチャ分析と長期的な技術アーキテクチャの革新

前章では、カーナビの登場と世代交代の時期に、住友電工がどのように要素技術を選定して研究開発したかの事実関係を整理した。この事例は、機種ごとの4つの短期的研究開発プロジェクト（第1世代1989年システム、第1世代1991年システム、第2世代、第3世代）の事例としても、カーナビが進化していく一つの長期的な過程の事例としても捉えられる。このため、この二つの観点からの検討を行った。

#### 5.1 世代ごとの新製品の研究開発計画の検討手法

短期的な観点から、新製品の研究開発計画を立てる際のポイントとして、まず、計画の検討プロセスを検討した。今回の事例で、住友電工は、①製品の機能を実現するため、全体システムを構成するサブシステム（要素技術）のシステム構成を検討し、②それぞれのサブシステムを実現するための技術方式の候補を幅広く検討し、③候補技術を比較して採用する技術を適切に選び、④採用した要素技術を自社開発するか外部から入手するかを検討していた。これは、技術アーキテクチャ分析としては、①補完技術の検討、②代替技術の探索、③代替技術の選定、④要素技術の入手方法の検討の4つのプロセスが必要であることを意味する。研究開発計画を立案する際には、これら4つのプロセスによって技術アーキテクチャ図を作成するとともに、技術アーキテクチャ図を用いて4つの検討を深めることが重要である。さらに、今回の事例から、この4つのプロセ

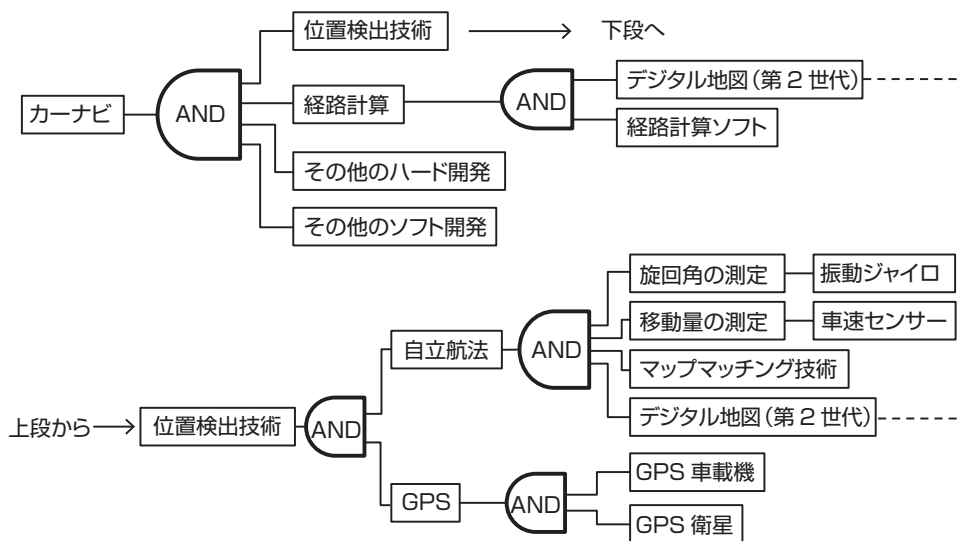


図12 1992年システム（第2世代）の技術アーキテクチャ



スの中での検討内容についての次の知見が得られた。

第一に、要素技術として補完技術と代替技術（または競合技術）の両方を検討することの重要性である。完成した一つの製品には不要な要素は存在しないために補完技術のみで構成され、その技術アーキテクチャ図（図 10、12、13）は AND ばかりである。しかし、それは利用する要素技術を選択した後の結果であり、研究開発計画を検討する際には、図 7 や図 9 のように、候補となる代替技術を明示し、採用する技術を適切に選択することが重要である。実際、初期のカーナビで、製品差別化も考慮して要素技術（車輪速センサーを用いたマップマッチング技術や光ファイバージャイロ）を選択したことが住友電工の競争優位の源泉となっていた。

第二に、候補としてリストアップする代替技術（技術方式）を幅広く情報収集することの重要性である。今回の事例で、旋回角測定用センサーの技術方式の情報源としては、車輪速センサーは独自のアイデア、光ファイバースセンサーは社内の独自技術、GPS は競合メーカーの動向、振動ジャイロは他分野（カメラ）の動向であった。一般には、Exploration（探索：幅広く候補技術を探す）と Exploitation（活用：既存技術を深める）のどちらを重視すべきかについての議論<sup>[19]</sup>があるが、住友電工は適切に Exploration を行っていた。また、企業のダイナミック・ケイパビリティの研究においても、情報のアンテナを高くしておく重要性が指摘されている<sup>[20]</sup>。

第三に、要素技術の選定基準に関して、当該技術の性能とコストのみではなく、製品に組み込まれた時の製品の

競争力（全体と要素の関係）で選ぶべきことである。今回の事例で、1991 年システムに高価な光ファイバージャイロを導入したのは、製品に対する市場ニーズに応えるためであった。一方で、要素技術の選定に併用する補完技術が影響することもある（要素間の関係）。1989 年システムでマップマッチング技術を活かすためにデジタル地図に詳細な道路情報（2 千 5 百分の 1 地図）を入力したり、第 2 世代で GPS を用いたために光ファイバージャイロに代わって振動ジャイロを採用して旋回角センサーの精度を下げたりと、補完技術の影響も見られた。

第四に、代替技術を補完的に用いる可能性である。地磁気センサーと車輪速センサーは旋回角測定用として競合するが、それぞれの異なる欠点を補うために 1989 年システムで補完的に用いており、第 2 世代の GPS と自立航法との関係も同様であった。

第五に、要素技術の入手方法の多様性である。今回の事例では、自社開発の他に、情報機器などのハードを他社から購入し、振動ジャイロを他社に開発依頼するとともに、結果的に実現しなかったが、マップマッチング技術のベンチャー企業からの技術導入や経路計算ソフトの大学からの技術移転も検討していた。

第六に、研究開発前の検討のみならず、要素技術を開発して全体システムを試作した後のテストと改良も重要で、研究開発計画ではこのプロセスも予定しておくべきことである。必要な補完技術は、全て研究開発計画に入れるべきだが、抜けが生じる可能性がある。また、要素技術全体を組み合わせた時に全体システムの設計性能が出ない恐れ

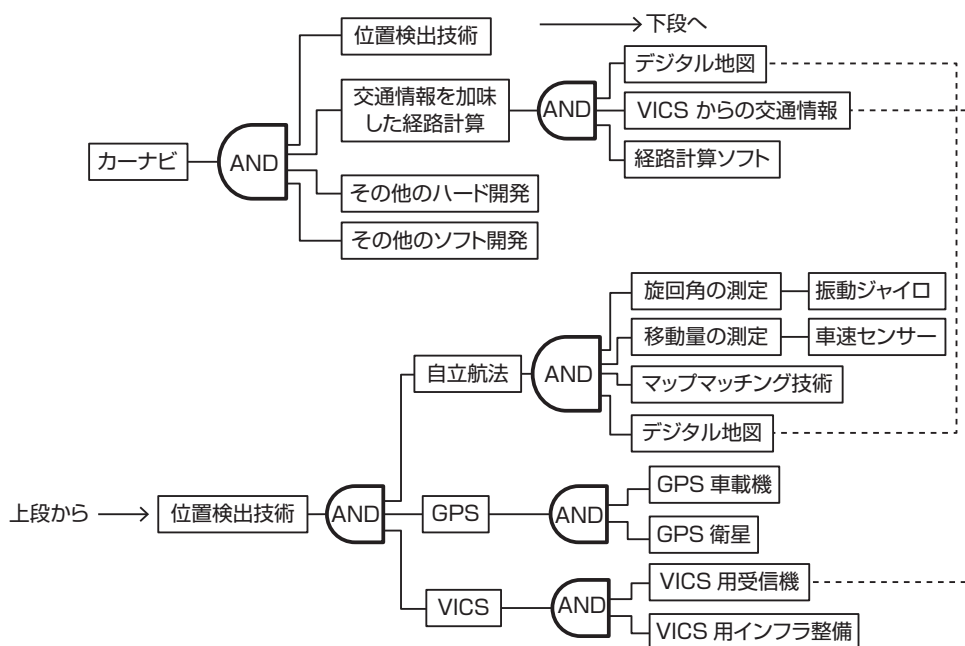


図13 第3世代カーナビの技術アーキテクチャ

もある。今回の事例では、試作したカーナビで実車走行実験を行って、課題を見つけて改良し、またテストするとの試行錯誤を繰り返すことで性能を上げていた。

これらのうち、第一、第二、第三の視点が特に重要と考えられるが、技術アーキテクチャ分析によって要素技術が一意に定まるわけではない。例えば、第一の視点において、製品機能を要素技術にブレークダウンする場合、一つの要素技術が抽出されるとは限らず、複眼的に検討するべきと考えられる。

## 5.2 長期的な技術アーキテクチャの革新

今回の事例を、カーナビ・ビジネスが誕生してドミナント・デザインが生まれるまでの長期的な過程として考えて、この間の技術アーキテクチャの革新を図14に示す。

図14の技術アーキテクチャの革新には二つのタイプがある。一つは、製品の機能を拡大し、それに必要な要素技術を付加するタイプである。カーナビが自車の現在位置を地図上に示すだけの第1世代から、行き先までの経路案内も行う第2世代になる際に、経路計算ソフトが必要になり、デジタル地図も一方通行、右折禁止などの交通規制情報が必要となった。さらに、経路案内に渋滞、工事などの交通情報を加味する第3世代にするために、カーナビと外部（インフラ側）との間でリアルタイムの情報を送受信する

VICSが必要となった。これは図14では「ADD ↓」の記号で示している。もう一つのタイプは、技術進歩に伴って、技術シーズや技術方式が置き換わる技術アーキテクチャの革新である。例えば、旋回角センサーは、車輪速センサーと地磁気センサーの併用、光ファイバージャイロと地磁気センサーの併用、振動ジャイロと変わった。これは、図14では「OR ↓」の記号で示している。

カーナビの技術アーキテクチャの革新の特徴は、技術進化の方向が製品の性能レベルと市場の要求水準との関係で変化していることである。具体的には、旋回角センサーの選定において、カーナビ初期には、地磁気センサーに加えて車輪速センサーを用いたり、高価な光ファイバージャイロを用いたりして、コストより性能を重視したが、GPSを使った第2世代では、性能が劣っても小型で安価な振動ジャイロを選択し、性能よりもコストを重視している。これは、ハードディスク・ドライブ産業において、当初8インチ・ドライブが主流だった市場が5.25インチ・ドライブや3インチ・ドライブへと下位の技術方式にシフトした「破壊的イノベーション」<sup>[21][22]</sup>に類似している。

また、研究開発の事前検討において、長期で考える場合（図7）と短期で考える場合（図9）とでは、検討内容に差があると考えられる。住友電工がカーナビの研究開発に

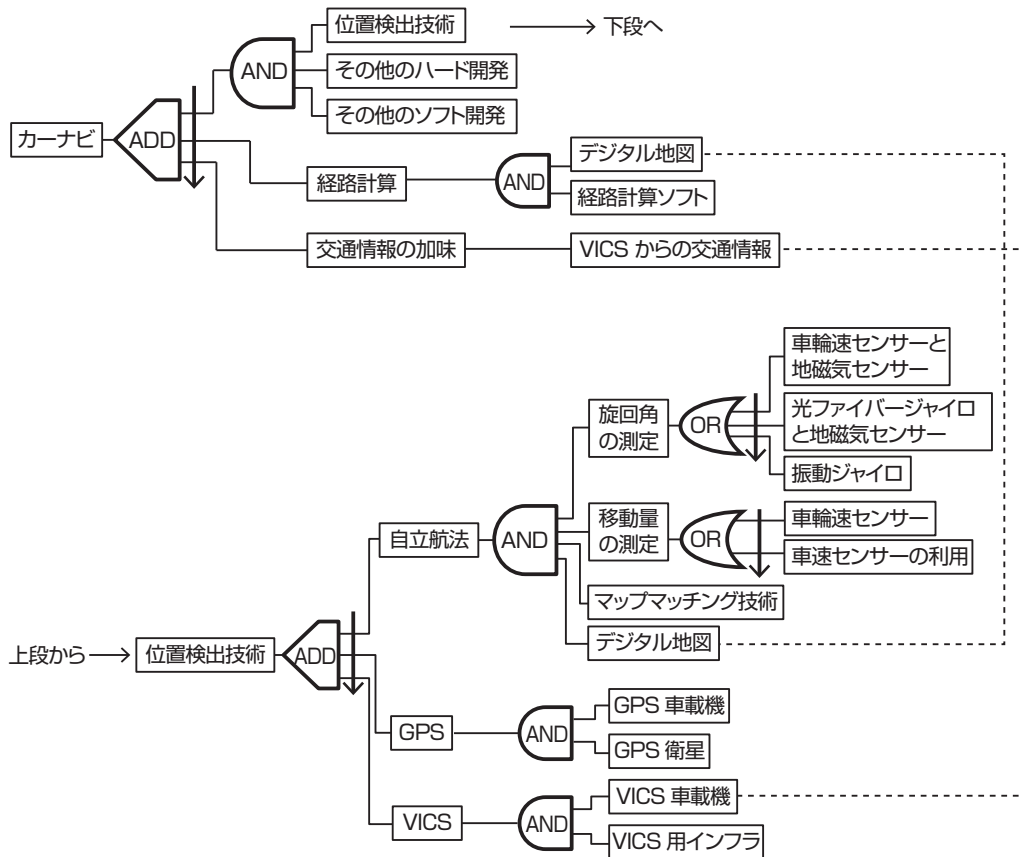


図14 カーナビの技術アーキテクチャの革新

着手した1983年当時、GPSの構想は出されていたが、そのインフラ（十分な数のGPS衛星）は整っておらず、その利用は非現実的だった。近接無線の技術方式も知られていたが、VICSのためのインフラ整備は具体化しておらず非現実的だった。このため、短期の研究開発プロジェクトの研究開発計画では、図9のように、現実的な自立航法とそのためのセンサーに絞って検討することが合理的だった。しかし、長期で考える場合、カーナビでは、ボトルネックとなっている技術や社会条件にブレークスルーが生じた時に、技術アーキテクチャが一気に革新された。図7は、このような候補を含めて広汎な代替技術を記載した技術アーキテクチャ図である。一つの仮説として、図7を基に、ボトルネックとなっている要素技術と、それが解消された時の技術アーキテクチャの革新の関係について、事前のシミュレーション（頭の体操）を行うことが有益だと考える。その際に、ブレークスルーの内容はブラックボックスのままでも差し支えない。これによって、長期的な技術変化の中でのリスクとチャンスに敏感になり、その後の変化に有利に対応できる可能性がある。

今回の事例では、図15に示すように、技術アーキテクチャの革新に伴って、企業の競争力の源泉に変化が見られた。具体的には、他社から購入するGPS受信機と振動ジャイロで現在位置が検出できるようになった後、住友電工のセンサー技術は競争優位の源泉ではなくなり、ソフトの開発力が企業競争の鍵となった。産業の誕生期の後、多くの企業が参入して競争が激化する成長期を経て、成熟期へと移行する時、そこでの成功者は当初のリーダー企業とは限らない<sup>[23]</sup>。もし、上記の仮説によって、新ビジネスに着手する前に、技術アーキテクチャの革新を見通すことができるならば、長期の技術マネジメントに有益と考えられるが、これは今後の研究課題である。

## 6 結論

今回、システム製品の要素技術に着目した技術アーキテクチャの図示と分析の手法を提案し、住友電工のカーナビのイノベーション事例に適用した。この図示の手法は技術アーキテクチャを客観的に示し、過去のイノベーションにおける要素技術の変化を表現することができることを示し

た。例えば、今回の事例において、位置検出には多くの要素技術が関係していて全体像の理解は難しいが、図7のように構造化して図示することで要素技術間の関係が明確になる。これによって研究開発プロジェクトの研究開発課題の事前検討が容易になると考えられ、これが技術アーキテクチャ分析の基本的な機能である。

また、今回の事例から、短期の研究開発プロジェクトの事前検討のポイントについての多くの教訓を得るとともに、製品の世代交代を含む長期の研究開発マネジメントに利用する方法についても一つの仮説を提示することができた。技術アーキテクチャは、研究者・技術者が自ら設計し、選択すべき問題なので、今後、この手法が研究開発計画の検討に利用されることが期待される。例えば、カーナビの発展形態としてのITS<sup>用語14</sup>や、介護などの生活の場や農林水産業で用いるロボットなどにおいて、製品にどのような機能をもたせ、そのためにどのような要素技術を研究開発すべきかを検討する上で、本手法は有益と考える。

さらに、研究者・技術者と経営者とが技術方式選択の戦略や将来の製品・技術の発展可能性（ロードマップなど）などの技術戦略を意見交換する上においても、技術アーキテクチャ図を描き、短期的には非現実的と思われる代替技術を含めて要素技術と製品とをつなぐ多様なルートを図示することが有益なツールになるとと思われる。

経営者との意見交換では、技術戦略のみならず、市場規模や収益性を踏まえた事業戦略の検討が重要だが、その検討にも技術アーキテクチャ分析が役立つ可能性がある。すなわち、収益性は、事業化段階でのユーザー企業、サプライヤー企業との価格交渉力や競合他社の新規参入といった業界構造に依存するが、技術方式選択の戦略や要素技術や部品の入手方法といった技術戦略が将来の業界構造を左右する可能性がある。このため、技術アーキテクチャ分析、技術戦略、将来の業界構造、事業戦略を関連させて、一体的に検討するフレームワークが考えられ、これは今後の研究課題である。この他、技術アーキテクチャは、要素技術発展の技術経路やコア技術戦略などにも関係していると考えられ、今後の研究課題である。このため、今後、多くの事例で技術アーキテクチャ分析の研究を積み重ね、知見を蓄積していくことが重要である。

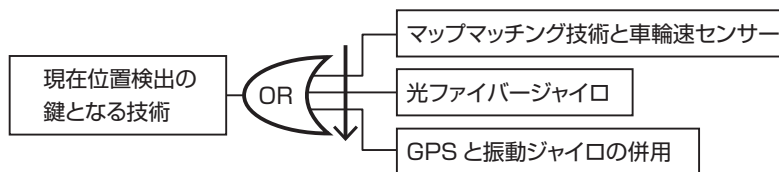


図15 現在位置検出の鍵となった要素技術の変化



## 用語の説明

- 用語 1：自立航法：ナビゲーションのための技術方式の一つで、移動体（車など）に搭載した機器のみで現在位置を検出する。そのため、通常、移動体（車など）の旋回角と移動量を測定して出発時の位置と方角に加えて現在位置を検出する推測航法（デッドレコニング）を用いる。
- 用語 2：他律航法：ナビゲーションのための技術方式の一つで、自立航法とは異なり、地上などの基地から発信する情報を移動体を受信して現在位置を検出する。
- 用語 3：近接無線：他律航法の一つで、移動体が基地局に近づいた時に基地局からの無線情報を受信して現在位置を検出する。
- 用語 4：ジャイロコンパス：高速で回転する物体が回転軸を一定に保とうとする性質を用いて方位を知る装置。
- 用語 5：レーザージャイロ：複数のミラーでリング上の光路を持つレーザー発振器を構成し、回転が加わった時にレーザーの伝播速度が変わる性質を用いて回転の角速度を測定する装置。
- 用語 6：マップマッチング技術：自立航法などで測定して作成した走行軌跡と道路の地図情報とを照合して、その差を測定誤差として補正する技術で、測定誤差が累積することを防ぐ。
- 用語 7：車速センサー：車のスピード表示のために、トランスミッションの歯車の回転速度を測定するセンサー。全ての車に取り付けられている。
- 用語 8：車輪速センサー：左右の車輪ごとに、その回転速度を測定するセンサー。高級車に取り付けられている。
- 用語 9：光ファイバージャイロ：光ファイバーを巻いて、両端からレーザーを入射し、回転が加わった時にレーザーの伝播速度が変わる性質を用いて回転の角速度を測定する装置。
- 用語 10：振動ジャイロ：回転体にかかるコリオリ力が振動体にもかかる原理を利用し、円柱などにピエゾ素子で振動を加え、回転した時のコリオリ力をピエゾ素子で測定する装置。
- 用語 11：VICS：Vehicle Information and Communication Systemの略で、渋滞、工事、交通規制などの交通情報をリアルタイムでカーナビに提供するシステムで、警察や道路管理者が有する交通情報を道路に設置された光ビーコンや電波ビーコンの施設を通じて送信する。
- 用語 12：光ビーコン：カーナビ用としては主に一般道路に設置されていて、近赤外光を用いてVICS情報をカーナビに送信する施設。
- 用語 13：電波ビーコン：カーナビ用としては主に高速道路に設置されていて、電波を用いてVICS情報をカーナビに送信する施設。
- 用語 14：ITS：高度道路交通システム（Intelligent Transport

Systems）の略で、人と自動車と道路との間で情報の受発信を行うことで、渋滞、環境対策、安全対策などさまざまな課題を解決するシステム。これまで、カーナビ、VICS、ETCなどが実用化されているが、車車間通信などを用いた安全運転支援、道路管理の適正化による物流の効率化などさらなる高度化が研究されている。

## 参考文献

- [1] 藤本隆宏, 武石彰, 青島矢一編: ビジネス・アーキテクチャ, 有斐閣 (2001).
- [2] W. J. Abernathy and J. M. Utterback: Patterns of industrial innovation, *Technology Review*, 80 (7), 40-47 (1978).
- [3] J. M. Utterback: *Mastering the Dynamics of Innovation*, Harvard Business School Press (1994) [大津正和, 小川進監訳: *イノベーション・ダイナミクス*, 有斐閣 (1998)].
- [4] R. N. Foster: *Innovation: The Attacker's Advantage*, Summit Books (1986) [大前研一訳: *イノベーション - 限界突破の経営戦略*, TBSブリタニカ (1987)].
- [5] R. M. Henderson and K. B. Clark: Architectural innovation: The reconfiguration of existing system and the failure of established firms, *Administrative Science Quarterly*, 35 (1), 9-30 (1990).
- [6] M. L. Tushman and P. Anderson: Technological discontinuities and organizational environments, *Administrative Science Quarterly*, 31 (3), 439-465 (1986).
- [7] K. T. Ulrich: The role of product architecture in the manufacturing firm, *Research Policy*, 24 (3), 419-440 (1995).
- [8] R. Sanchez: Strategic product creation: Managing new interactions of technology, markets, and organizations, *European Management Journal*, 14 (2), 121-138 (1996).
- [9] R. Sanchez, and J. T. Mahoney: Modularity, flexibility, and knowledge management in product and organization design, *Strategic Management Journal*, 17 (S2), 63-76 (1996).
- [10] 藤本隆宏: *能力構築競争*, 中公新書 (2003).
- [11] 松田醇: カーナビゲーションシステム, *テレビジョン学会誌*, 50 (6), 678-685 (1996).
- [12] 藤島啓: 振動ジャイロスコープセンサのひらいた新世界, *電学誌*, 115 (8), 507-510 (1995).
- [13] 池田博榮, 小林祥延, 平野和夫: いかにしてカーナビゲーションシステムは実用化されたか - 開発マネージメントと事業化について -, *Synthesiology*, 3 (4), 292-300 (2010).
- [14] 三藤邦彦: カーナビゲーションと地図情報, *計測と制御*, 30 (9), 775-780 (1991).
- [15] 今江理人: 全世界測位システム(GPS)とその応用, *電学論B*, 118 (3), 227-230 (1998).
- [16] 西口浩: GPSをめぐる最新動向, 諸外国の取組み方, GPS運用方針に関する米国動向, *計測と制御*, 36 (8), 535-540 (1997).
- [17] 平野和夫: カーナビゲーションにおける位置決め技術, *精密工学会誌*, 65 (10), 1389-1393 (1999).
- [18] 谷本雅顕: 自動車用ナビゲーションシステム, *電学誌*, 115 (7), 416-419 (1995).
- [19] J. G. March: Exploration and exploitation in organization learning, *Organization Science*, 2 (1), 71-87 (1991).
- [20] D. J. Teece: *Dynamic Capabilities and Strategic Management: Organizing for Innovation and Growth*, Oxford University Press (2009) [谷口和弘, 蜂巣旭, 川西章弘, ステラ・S・チェン訳: *ダイナミック・ケイパビリティ戦略イノベーションを創発し, 成長を加速させる力*, ダイアモンド社 (2013)].
- [21] C. M. Christensen: *The Innovator's Dilemma*, Harvard



- Business School Press (1997) [伊豆原弓訳: イノベーションのジレンマ, 翔泳社 (2001)].
- [22] C. M. Christensen and M. E. Raynor: *The Innovator's Solution*, Harvard Business School Press (2003) [櫻井祐子訳: イノベーションへの解, 翔泳社 (2003)].
- [23] D. J. Teece: Profiting from technological innovation: Implications for integration, collaboration, licensing and public policy, *Research Policy*, 15 (6), 285-305 (1986).

## 執筆者略歴

能見 利彦 (のうみ としひこ)

1981年京都大学大学院工学研究科修士課程修了、2005年東北大学博士(工学)取得。1981年通商産業省入省。産業技術政策をはじめ幅広く通商産業政策に従事。技術調査室長、神戸大学教授などを歴任し、現在、産学官連携推進研究官。経済産業研究所(RIETI)コンサルティングフェローを兼務。所属学会は、研究・技術計画学会、産学連携学会、組織学会、日本MOT学会。この論文では、技術アーキテクチャ分析を提案し、カーナビに適用するとともに、全体とりまとめを担当した。



池田 博策 (いけだ ひろさか)

1964年九州大学工学部応用化学科卒、2010年三重大学工学博士取得。1964年住友電気工業(株)入社、自動車用ワイヤーハーネス開発、カーエレクトロニクス、ナビを統括。1999年常務取締役、1995年(株)オートネットワーク技術研究所社長、2008年九州大学イノベーション人材養成センター特任教授、2014年より九州大学産学官連携本部アドバイザー。この論文では、カーナビ開発の事実関係とマネジメント上の考え方を担当。



## 査読者との議論

### 議論1 全体について

コメント(小林 直人:早稲田大学研究戦略センター)

この論文は、住友電工が研究開発および実用化を行ったカーナビゲーションシステムを対象に、主に要素技術の組み合わせ方を分析し、新製品開発の方法や戦略に関わる新たな知見を論述したものであるが、要素技術統合の方法論は、まさに構成学の基本をなすものであり、その意味でセンセシオロジーに相応しい論文といえましょう。

コメント(景山 晃:産業技術総合研究所イノベーション推進本部)

この論文は、カーナビゲーションシステムの研究開発の経緯と方法を事例として取り上げ、技術経営論の視点から改めて分析・整理して図示することで、技術アーキテクチャの組み立てを方法論として汎用化する試みの論文と理解します。査読者による指摘を受けて合理性と緻密性をブラッシュアップした論文に仕上がっており、産業界等において、新製品の研究開発計画の確度を高める波及効果を期待できるものと判断します。

### 議論2 論理構成の緻密化について

質問・コメント(景山 晃)

センセシオロジーの論文では下記の(A)および/または(B)のような論述が求められます。

- (A) 一つの機能を果たそうとするときに複数の候補技術がある場合、どのような着想、仮説、検討を経て用いる技術を絞り込んだのかの思考・検討プロセスを記述する。

- (B) ある目的を達成するために異なる技術領域の複数の技術が必要な場合に、どのような思考、検討を経て要素技術群を組み合わせたのかを記述する。

今回の論文では、「AND」、「OR」、「ADD」という論理構成で、住友電工が研究開発と事業展開してきたカーナビゲーションシステムの研究開発を例に、システム製品の研究開発の際に求められる要素技術の組み合わせ方を技術アーキテクチャとして体系化することに挑戦していますが、一部に論理の飛躍がありますので、再度検討してください。

また、1980年代から1990年代にかけての約15年間のカーナビゲーションシステムの開発経緯を考慮すると、時間軸を考慮した論の構成が必要と思います。すなわち、時間の経過とともに新しい技術の芽が登場してきたり、他産業におけるイノベーションや技術改良によりコスト面等で利用可能性を期待できる変化などがあります。このような技術アーキテクチャの時間変化を示すのに、著者が導入した論理記号ADDは大変有効と思います。この論文において、ADDの効果をさらに明確に示すことはできませんか。

回答(能見 利彦)

「ADD」の記号に関して、ベースとなる技術とその後付加される技術とを区別するために、ADD記号に↓を付けるように修正しました。この「ADD ↓」の記号では、↓の上部に書いたベースとなる技術に加えて、下部に書いた技術が付加されることを意味し、時間の経過によって、技術が付加されることを表現します。また、時間の経過に伴う技術の変化には、「ADD ↓」の他に、新しい技術が古い技術に置き換わる場合もありますので、これを表すために新たに「OR ↓」の記号を追加しました。これは、↓の上部に書いた技術から下部に書いた技術への置き換わることを意味します。これら「ADD ↓」と「OR ↓」を用いて、第5章で新しく図14の技術アーキテクチャ図を作成し、カーナビが進化する過程で要素技術がどのように変化したかを図示しました。

またカーナビの技術アーキテクチャの15年間の変化について、図14で図示するとともに、現在位置検出技術が市場ニーズよりも劣っていた初期ではコストよりも性能を重視して技術アーキテクチャが変化しましたが、GPSの導入によって現在位置検出の能力が高まった後は、性能よりもコストを重視するようになったことなどの分析を新たに書き加えました。さらに、長期的な研究開発マネジメントとして、非現実的と思われる代替技術をも含めて候補となる技術方式を幅広く記載した技術アーキテクチャ図(図7)を作成して、ボトルネックとなっている要素技術にブレークスルーが生じた時に、技術アーキテクチャがどのように変化するかを事前検討することで、技術の変化に対応するとの仮説を提示しました。

### 議論3 技術アーキテクチャについて

質問・コメント(小林 直人)

第1章「はじめに」で「要素技術の組み合わせ方を「技術アーキテクチャ」として分析する」と書かれていますが、この語はこの論文で初めて使われる言葉でしょうか。そうであるならば、もう少し説明を詳しくした方がよく、すでに同じ意味で他の論文で使われているならば出典を明示するのがよいと思います。この論文の中心をなす極めて重要な概念だと思えます。

回答(能見 利彦)

「アーキテクチャ」はシステム・エンジニアリング等でよく使われ、近年は経営学でも「製品アーキテクチャ」や「ビジネス・アーキテクチャ」のように使われていますが「技術アーキテクチャ」は初めて用いる用語です。このため、「アーキテクチャ」および「技術アーキテクチャ」を第1章および第2章で詳しく説明しました。また、他の研究での幅広い利用例のうち、Henderson & Clarkの「アーキテクチャル・イノベーション」が類似しているため説明を詳しくするとともに、それとの違いも説明しました。

コメント（景山 晃）

技術アーキテクチャ形成の方法論仮説をもう少し具体的に説明することは可能ですか。例えば、

- (1) まず、仮説を含めて技術アーキテクチャの図を作ってみる。
- (2) そこから AND 技術、OR 技術、さらに中長期的には ADD 技術を明確にする。
- (3) 加えて、技術経営方法として、自社開発、他社からの導入・購入、他社との共同開発の選択。

これらを方法論の一つとして実施すると、必要な技術の見える化、開発プロジェクト内での情報と価値観の共有、各種判断の妥当性のチェック等が可能となるように思います。

回答（能見 利彦）

長期的な技術アーキテクチャの革新を検討する上では、この論文でも書いたように、何らかのボトルネックがあって非現実的な代替技術も図示して、検討対象に加えておくことは大切だと思います。イノベーションの世界では、予想外の新技术が開発されたり、社会条件が変わったりすることがあるので、それによって選択すべき技術方式が変わることもあります。

また、要素技術と製品をつなぐルートは多様ですので、要素技術の進歩に伴って、そのルートが変化することは良くあることです。こうした多様なルートを俯瞰的に見る上で、技術アーキテクチャ図が地図のような役割を果たすことを期待しています。これは、製品の第1世代、第2世代と性能・機能をステップアップさせていく技術経路または技術ロードマップを検討する上で有益だと思います。

さらに、将来、新しい技術が開発された時の影響、すなわち自社ビジネスにとってのリスクとチャンスを検討する上でも、広範に代替技術を記述した技術アーキテクチャ図は有益だと思います。こうした図を用いて、経営者と研究者・技術者と意見交換し、事業戦略と研究開発戦略とを一体的に検討することは大切だと考えています。

#### 議論4 今後の展開の可能性について

コメント（景山 晃）

第5章の最後のところで、研究開発計画の事前検討等に有益であろうと述べていますが、一歩踏み込んだ「仮説としての例」を示すことはできませんか。この論文の中ではカーナビゲーションシステムほどに十分な検証は難しいとしても、適用できそうな事例として二、三挙げていただければ、読者は一層深く理解でき、技術アーキテクチャ図を作成してみようという動機付けになると思います。

回答（能見 利彦）

今回分析したカーナビは、今後、ITSとしてさらなる発展を遂げようとしています。ITSの研究開発においても、全体システムにどのような機能を持たせるのか、そのためにはどのような要素技術が必要になるかを事前分析する上で、技術アーキテクチャ分析は役立つのではないかと考えます。また、ロボットについて、今後、介護など生活の場や農林水産業の場で利用しようとの機運が高まっていますが、その研究開発においても、ロボットにどのような機能を持たせるのか、その機能をブレイクダウンした技術課題は何か、それを実現する要素技術にはどのような技術シーズが必要かを検討する必要があります。技術アーキテクチャ分析が使えるのではないかと考えます。このため、これらの例示を第6章の結論に書き加えました。

#### 議論5 カーナビの世代論について

コメント（小林 直人）

説明の中に、カーナビの第1世代は「自己位置確認」、第2世代は「目的地までの経路表示」、第3世代は「付加情報を踏まえた経路表示」

となっています。これは初めからそのような世代があることが意識的に計画されていたのか、それとも技術の発展とニーズの変化によって開発目標が変化し、結果的に世代特性が出てきたのか、をご教示ください。

回答（池田 博榮）

住友電工のカーナビ開発においては、当初から「第3世代カーナビ」までを意識し、目標にした開発を進めました。参考文献 [13]「いかにしてカーナビゲーションシステムは開発されたか」に記載しているように、1973年からの大型プロジェクト「自動車総合管制システム」で「交通情報で車を空いている道路に誘導することの有効性は実証された」ことより、これを実用化することを目標にしておりました。

このために必要なカーナビ開発、要素技術開発、社会システム開発を並行して進め、製品化が可能な順に、時間軸上にステップ1、2、3と分けて、実用化していきました。実際、当時の警察庁、建設省、郵政省等に働きかけて、「財団法人日本デジタル地図協会」や「VICSセンター」が設立され、道路交通情報が流されるようになりました。こうしたカーナビのインフラ開発に汗をかいた企業でありながら、そのメリットを事業にフィードバックできなかったことも、カーナビ事業から撤退した一つの要因になったといえます。

#### 議論6 今後のカーナビの世界展開について

コメント（小林 直人）

日本はカーナビに関して2004年度にはほぼ100%の世界シェアを持っていたものの2007年度には20%程度までに急落しています。その理由の一つは、圧倒的な低価格の簡易ポータブルナビ（PND）が普及し、高性能で高価な車据付型を生産する日本メーカーのシェアが激減したためとされています。ここでは、性能とコスト（価格）の選択肢の中で後者が選択されたことになりました。一方で、今後自動運転等が視野に入ってくると多数のセンサー機能とアクション機能が求められ、カーナビはますます高度化することも考えられます。今後の日本メーカーのカーナビに関する世界展開戦略が分かりましたらお示しください。

回答（能見 利彦）

カーナビは、近年、据え置き型ナビで高機能化する方向とポータブルナビ（PND）で低コスト化する方向とに二極化しているようです。地図の上に自社の位置を示すタイプのカーナビは、従来は日本市場以外にはほとんどなかったようですが、2004年にオランダ企業が低価格のポータブルナビ（PND）を製品化して、欧米市場で爆発的に売れ、次いで中国市場でも急拡大しました。そのために、2004年から2008年頃に、販売台数ベースで日本企業の世界シェアは急低下しましたが、日本企業の販売が減少したわけではありません。日本市場でも、多数の日本企業がPNDに参入しています。一方、従来からの据え置き型ナビに関しては、カーオーディオと一体化することはもとより、音声認識技術、車載カメラ、ヘッドアップディスプレイ技術を取り入れて、高機能化が進んでいます。なお、スマートフォンにナビゲーション機能が付くようになったため、PNDの2011年の世界での販売台数は減少したようです。最近では、スマートフォンと接続して、そのナビ情報をディスプレイに映すだけの低価格品にするか、据え置き型で高価格のカーナビにするかの選択が問題になっています。

また、車メーカーは、カーナビをネットにつないでビッグデータを利用することや、カーナビの経路案内技術を用いて車の自動運転を目指す戦略を検討していますし、グーグルが、現在のグーグルマップをベースに自動運転技術に参入して世界のデファクトを取ろうとしているとの話もあります。カーナビが高機能化する中で、様々な業界、様々なメーカーが独自の戦略を考えており、今後の動きは流動的です。