

MMRC
DISCUSSION PAPER SERIES

MMRC-J-87

圧力センサ技術への挑戦と車載用途開発
—長野計器の圧力センサ事業の事例—

安本雅典監修（青山学院大学／東京大学 MMRC）
市川一彦（セイコーエプソン株式会社）
小谷綾子（前・（株）富士アドシステム）
都筑伸一（JA 長野中央会）

2006年6月



東京大学21世紀COE [整備型]
ものづくり経営研究センター

圧力センサ技術への挑戦と車載用途開発

—長野計器の圧力センサ事業の事例—

安本雅典監修（青山学院大学／東京大学MMRC）

市川一彦（セイコーエプソン株式会社）

小谷綾子（前・（株）富士アドシステム）

都筑伸一（JA長野中央会）

2006年6月

要旨

本稿の目的は、長野計器の圧力センサ事業を事例として取り上げ、既存技術とは異質な技術分野への進出がどのようになされたのか、またこうした斬新な技術を軸に、どのように新たな事業展開がなされたのかについて、示すことにある。具体的には、圧力計全盛時の同社の経営環境と社会動向を探り、アナログ圧力計から圧力センサ開発に踏み切った意思決定、技術的課題の克服、車載用圧力センサ事業の展開に至るまでの経緯を示す。さらに、同社が現在の車載用途において高いシェアを獲得している超高压圧力センサを例に、同社の圧力センサ技術の独自性が、新たな顧客との事業展開に結びついていることを示す。

1. はじめに

1980年代初頭、機械式圧力計の圧倒的な国内シェアを背景に、長野計器は未知の分野「圧力センサ開発」に挑んだ。同社は機械式圧力計市場に現在以上の市場規模拡大が見込めないと判断し¹、圧力センサ事業に本格的に着手したのである。しかしながら、機械式圧力計も圧力センサも、ともに「計測する」という用途は同一であるものの、それらは似て非なる技術分野であった。このため、開発は困難を極めた。

当時研究段階であったプラズマCVD方式²に着目した圧力センサ技術開発では、既存の圧力計技術を一切応用できなかった。また、社内では、圧力センサが圧力計の破壊的技術となって、同社の主軸である圧力計事業の売上げを減少させるのではないかと、といった懸念も抱かれていた。

長野計器が、未知の分野である圧力センサ開発を選択した背景には、1970年以降のマイクロプロセッサ技術の急激な進歩がある。こうした技術進歩にともない、制御における圧力センサの活用が期待されるなか、長野計器の圧力センサ事業は展開された。そして、車載用途への礎が出来上がった時、圧力センサ事業は圧力計事業に並ぶ長野計器の基幹事業となったのである。

本ケースでは、長野計器における、圧力センサ開発への意思決定の過程と事業化、車載用途圧力センサ開発の例を示す³。長野計器の事例は、旧来技術（機械式圧力計）にもとづく既存事業が支配的であった中で、斬新な技術（圧力センサ）による新規事業立ち上げがなされた過程を理解する上で、有益であると考えられる。

第2節では、圧力センサ事業着手への経緯と同社の圧力センサ構造を記述する。第3節では、圧力センサ開発の契機について、当時の社会状況と長野計器の経営環境について触れる。続く第4節で、長野計器の圧力センサ技術の探索から独自技術への昇華の過程を追う。さらに、第5節では長野計器における圧力センサ事業の成長の過程を概観し、第6節で主力分野である車載用途への事業展開について示す。最後に、第7節でまとめを行う。

2. 長野計器と圧力センサ

2.1 圧力センサ事業着手への経緯

長野計器の年間売上げ構成は、機械式圧力計が100億円（全売上げの49.7%）、圧力セン

¹ 当時、長野計器は機械式圧力計で年間売り上げ100億円超を狙っていた。

² プラズマCVD（Plasma Chemical Vapor Deposition）方式とは、反応室内に高周波の電界をかけ、原料であるガスを電子に衝突させることによりプラズマ状態に励起し、所望の薄膜を形成する方法である。

³ 本ケースは、2005年度信州大学経営大学院プロジェクト演習の成果の一部である。

圧力センサ技術への挑戦と車載用途開発

サ事業が 100 億円（全売上げの 49.7%）⁴ となっており、機械式圧力計事業と圧力センサ事業が二本柱となっている。

長野計器の発足は 1948 年、戦中に疎開していた株式会社東京計器（現株式会社トキメック）の圧力計部門が分離独立して設立された（当時は長野計器製作所）。東京計器の圧力計部門を引き継いだ長野計器は、発足当初から機械式圧力計での国内シェア 60～65%を確保していた⁵。しかし、長野計器がトップシェアに躍り出た 1970 年後半を境に、利益率は下降線を辿ることになる（巻末参考資料参照）。

その理由としては、まず、圧力計の交換期間が長くなった事（当初は 7 年程度で交換、徐々に長くなり現在は 10 年程度）⁶ により、圧力計事業で安定的に収益を確保できなくなってきたことが挙げられる。また、この時期に 100 社を超える圧力計メーカーが乱立していた事⁷ も、利益率低下の原因となった。

売上高の成長につれ、利益率の低下を余儀なくされる状況は、同社にとって圧力計事業の限界を感じさせるものであった。こうした状況下で、長野計器は 1970 年初頭より圧力計分野の市場の成長性に限界を感じ、新たな幹となる事業展開を模索し始める。それが圧力センサ事業であった。

2.2 長野計器の圧力センサ

長野計器の車載用圧力センサは世界でおよそ 20%のシェア⁸を占めており、車の電子制御システムの進化に伴い用途も拡大している。長野計器で最初に開発されたSSセンサ⁹（以下圧力センサ）は、2000 気圧まで測定可能な圧力センサである。主に自動車用に使用されており、現在では長野計器丸子工場の主力製品である。圧力センサは、自動車用途（燃料噴射や油圧などを制御するための液体用）で使用される割合が多いが、エアコンの冷媒測定用途（気体用）にも使用されている。

測定の原理は、以下の通りである。金属製のダイアフラムに気体や液体の圧力が下から加わると、ダイアフラム上の薄い膜が歪む、つまり中心が伸び周辺が収縮する。ここに歪ゲージと呼ばれる抵抗体を置き、圧力が加えられると、歪ゲージの伸縮の変移が抵抗値に変化を与える。圧力センサは、この電圧変化を検出することで圧力を測定する（**図 2-1**）。

⁴ 売上げ・構成比は「長野計器 83 期 2004.4～2005.3 IR Report」より。

⁵ 筆者による長野計器株式会社常務取締役塩入久徳氏、総合研究所センサ事業部成膜技術課長長坂宏氏への第二回インタビュー。2005 年 12 月 16 日丸子電子機器工場にて。

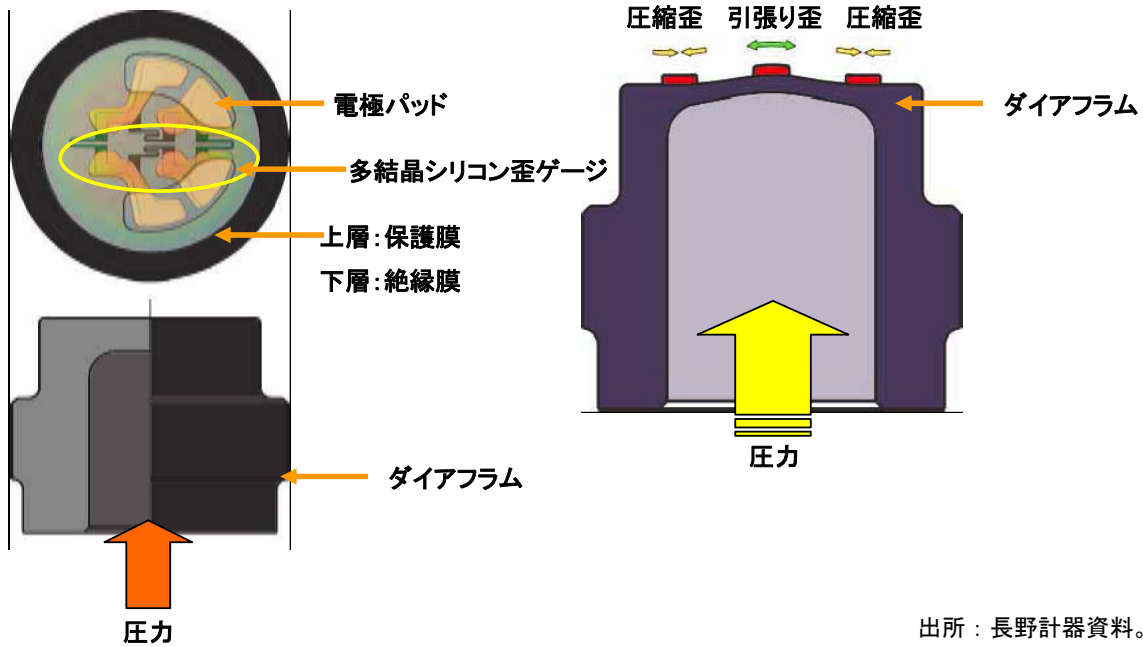
⁶ 筆者による長野計器株式会社常務取締役塩入久徳氏、取締役上席執行役員吉池純一氏への第一回インタビュー。2005 年 9 月 15 日丸子電子機器工場にて。

⁷ 長野計器 50 年史『計測から制御へ』平成 11 年 4 月、41 頁より。

⁸ 「長野計器 83 期 2004.4～2005.3 IR Report」より。

⁹ SSセンサとはSemiconductor Strain Gauge Sensor、半導体歪ゲージセンサの略称。

図 2-1. SS センサの構造および測定原理



出所：長野計器資料。

長野計器の圧力センサの特徴は、高圧測定に適していることである。従来、金属製のセンサは貼付方式が主流であったため高圧測定には不向きであった。長野計器は、金属にプラズマCVD技術を用いて絶縁膜を形成し、その上に歪ゲージを蒸着¹⁰させる技術で高圧測定に適した圧力センサを開発した。

こうして開発された長野計器のSSセンサは、特に欧州におけるディーゼル自動車コモンレール式燃料噴射装置の進化にともなって需要が拡大し、同社のセンサ事業の展開を促してきた。しかしながら、圧力センサの開発着手時、機械式圧力計を手がけていた同社は、今日の圧力センサの技術とは無縁であった。こうした状況の下で、長野計器は、いかに圧力センサ技術を事業化してきたのだろうか。次節から、同社における圧力センサ技術開発からその事業展開に至るまでの一連の過程を見ていく。

3. 圧力センサ開発の契機

3.1 圧力センサの特徴

長野計器における圧力センサの歴史は、1980年「蒸着型半導体歪ゲージ式圧力センサ」の製品化に始まった。その後、半導体歪ゲージの技術は、1983年に「圧力トランスミッタ」、「圧

¹⁰ 蒸着 (vapor deposited) とは、真空中で金属などを加熱・蒸発させ、その蒸気を他の物質の表面に薄い膜として付着させることである。

圧力センサ技術への挑戦と車載用途開発

カトランスデューサ」と名付けられて発売された。これらは、従来からある金属ストレンゲージ貼付方式の圧力センサに比べて、量産がしやすく低価格なうえ、全体がモノコック（一体型）構造で生産性が高く、耐食性・耐久性に優れているという特徴を持っていた¹¹。

一方、接着剤貼付方式の圧力センサは、蒸着型の圧力センサの製品化と同時期に、長野計器内で製造・販売されていた。しかし、大量生産には不向きな製品で、性能にもバラつきがあった。貼付方式のセンサでは、販売数量のアップ、市場シェアの拡大は見込めなかった¹²。

このため、長野計器は、蒸着型半導体歪ゲージ式圧力センサを産業機械・建設機械・空調機器・半導体、そして自動車といった新規の分野に拡大させ、顧客を開拓していった¹³。次節では、当初、長野計器がどのようにしてこの圧力センサ技術の開発を行ったのか、追ってみることにする。

3.2 1960年代の圧力計業界

ここでは、長野計器 50 年史『計測から制御へ』（平成 11 年 4 月）にもとづき、圧力センサ技術開発の経緯について概観してみる。

圧力計全盛の時代である 1940 年代より、長野計器は圧力計を主軸に成長を遂げ、新製品を世の中に送り出してきた。1950 年代に入っても、新製品開発の勢いは衰えなかった。このころ開発された製品に、検出した圧力値を離れた場所に伝えることの出来る遠隔指示圧力計、燃料燃焼装置の圧力のかすかな変化をコントロールする油圧調整機、軽量で精度の高い携帯用差圧計などがある。

当時、輸入品にしか信頼できるものがないといわれた日本の圧力計業界の中で、長野計器はブルドン管¹⁴を使って、次々と機械式圧力測定技術を開発、製品化を進めた。こうした高い計測機器開発能力は当時の通産省（現 経済産業省）、中小企業庁などから注目を集めることとなり、長野計器は機械式圧力計製品分野で国内でのプレゼンスを高めていった。

1959 年、当時の大蔵省（現 財務省）は貿易為替の自由化を 1962 年から実施する旨を発表する。その自由化対象品目には機械式圧力計も含まれており、日本圧力計工業組合にもその影響の波紋が広がった。当時、日本の機械工業は技術鎖国状態に置かれており、アメリカ・ヨーロッパ製品の実態には疎い状況であった。こうした状況の中、通産省は早速、同組合に

¹¹ 長野計器 50 年史『計測から制御へ』平成 11 年 4 月、74 頁より。

¹² 第二回インタビュー（2005 年 12 月 16 日、丸子電子機器工場）より。

¹³ 長野計器 50 年史『計測から制御へ』平成 11 年 4 月、74 頁より。

¹⁴ ブルドン管式圧力計（Cブルドン管）の仕組みは、パイプを楕円形に加工し先端を閉じたもので、中に圧力を測定する媒体が入る。圧力が加わると、ブルドン管に元に戻ろうとする力が働き、先端の位置が変化する。この原理を利用して針を振らす仕組みである。ブルドン管は、1847 年にフランス人 E・ブルドン氏が考案した。フランスには、ブルドン社という圧力計メーカーが存在する。

対し、自由化における影響調査を行うよう指示、技術委員会を設置して欧米製品と国産品の性能比較試験を実施することになった。

同組合の技術委員会が提出した比較試験の結果をみると、機械式圧力計の米国製と日本製との間に決定的な優位さは認められない、むしろ国産圧力計のほうが優位にあると判断される点が数多くある、との結論であった。この調査結果により、日本における圧力計技術が世界に通用する見通しが得られた。

1960年以降、圧力計の受注量はますます増大すると予想されていた。この点をふまえ、品質格差がないとすれば、生産効率を上げて対処するために作業の改善・省力化が不可欠と、長野計器は判断した。こうして、貿易の自由化は、長野計器にとって、組み立てラインの大幅な自動化実現のきっかけとなったのである。

1960年代、日本の圧力計メーカーは100社近くが乱立していたとされる。その中でも有力なメーカーとして、長野計器のほか東京計器製造所、東京機器工業株式会社（現 トキコ株式会社）、株式会社品川製作所が挙げられる。

当時の圧力計メーカー相互の競争は激しく、今後の国際競争の激化を予測していた当時の通産省はメーカー乱立を憂慮し、業界再編による体質強化を促していた。こうした業界のなかで、長野計器は東京機器工業圧力計製造部門との業務提携に踏み切った。この提携の一環として東京機器工業はその圧力計販売部門を分離独立し、長野計器も資本参加して、1964年にはトキコ圧力計株式会社を設立した。

これが契機となり、1967年には、東京計器製造所も圧力計の製造権と販売権を長野計器に譲渡することになった。同時に、この頃、品川製作所が圧力計分野から撤退したため、長野計器が日本最大の圧力計メーカーの地位を確保することになったのである。

3.3 当時の経営環境と開発の萌芽

長野計器は1948年、東京計器製作所（現 株式会社トキメック）から分離独立し、当時から機械式圧力計においては常に約60%の圧倒的な国内シェア¹⁵を獲得していた。日本の高度成長期も追い風となって、1960年代の年間売上は圧力計のみで約100億円に及んだ。しかし、その後、売上は伸びず横這いを続ける。

長野計器による圧力センサ開発に向けた本格的な活動のきっかけは、さらなるシェアアップと売上拡大に向けた取り組みから始まった。「経営陣から技術部隊に、いつまでも100億円弱のところでは横ばいなのでは仕方なからう。何か拡大のネタを探しなさい、と指示があったのです」、1970年代を塩入久徳（現常務取締役）はこう振り返る。以下、当時の経緯につ

¹⁵ 第一回インタビュー（2005年9月15日、丸子電子機器工場）より。

いて、塩入氏の発言をまとめてみる¹⁶。

こうした狙いを実現するために、長野計器は、当時、圧力計技術部門に所属していた塩入ら数名を研究開発部門へ異動させた。そして、塩入を中心に市場の動向や技術調査が開始されることになった。その結果、長野計器自身で製品化が可能な 15 項目程度の新規技術テーマがリストアップされた。

当時の長野計器は、その前身である東京計器製作所より機械式圧力計技術開発を約 60 年も行ってきたが、機械式圧力計測技術以外の技術蓄積はほとんどなかった。このため、約 15 のテーマのうち、実現可能なものは皆無に近かった。それでもこのテーマを潰したら長野計器には従来の機械式圧力計しか残らないという危機感があったため、将来の飛躍の可能性を託されたセンサが最後まで残ることになった。

当時、圧力センサや圧力発信器が全くなかった訳ではない。横河電機、山武、ホクシン電気工業（後に横河電機に吸収）が、石油化学プラントや重化学プラントなど工業プラント向けに、当時 1 台 30～50 万円もするような高価なものを製造していた。

こうした状況下で、塩入は圧力技術市場調査の一環として米ISAショー¹⁷を視察した。そこで、米フォックスボロー社が日本円に換算して 4～5 万円程度の圧力発信器を展示しているのを目にする。塩入はこれに着目し、近い将来このような低価格圧力センサ技術が建設機械などで使われるようになるだろう、と考え始めた。帰国した塩入は、検討の末、長野計器の新しい事業として、4～5 万円程度の圧力トランスミッタなら社内で独自開発できると判断した。

一方、新規技術開発のため、宮下茂常務取締役兼総務部長（当時、現 代表取締役社長）が開発機器部を上田工場内に新設し、圧力センサ開発のための組織を整備し始めた。1978 年のことである。1983 年には、塩入を開発機器部次長として迎え入れ、本格的な圧力センサの製品化が始まった。この頃から、長野計器は、現在の圧力センサの原型を模索し始め、圧力センサ技術開発への道を突き進むことになったのである。

4. 圧力センサ技術の探索

4.1 圧力センサ技術探索の着手

ブルドン管の変位を針の移動量に変える、所謂アナログの圧力計技術しか持たない長野計器にとって、圧力センサ開発は未知の領域への船出であった¹⁸。圧力計は「圧力計測」、圧力センサは「圧力制御」、業界内では隣り合わせの領域だが、圧力を検出する方式が全く異

¹⁶ 第二回インタビュー（2005 年 12 月 16 日、丸子電子機器工場）における塩入氏の発言より。

¹⁷ 現在のISA EXPO。ISA :The Instrumentation, Systems, and Automation Societyの略称。

¹⁸ 以下、本節の内容は、第二回インタビュー（2005 年 12 月 16 日、丸子電子機器工場）による。

安本・市川・小谷・都筑

なる。圧力計では圧倒的なシェアを誇る長野計器にとっても、圧力計の技術から直接応用できるものは何も無かった。以下、1978年以降の圧力センサ事業の展開について見ていく（表4-1参照）。

表 4-1. 長野計器圧力センサ事業の歴史（1980~2003）

年	圧力センサ事業	社内状況
1978		上田工場内に開発機器部を新設
1980	蒸着型半導体歪ゲージ式圧力センサの開発	蒸着型半導体歪ゲージ式圧力センサは、薄膜多結晶シリコンを歪ゲージとした SOISS（Silicon On Insulate Stainless Steel）「ステンレス上に絶縁膜を介して薄膜シリコンを形成した構成」のセンサ素子、当時は成膜条件の再現性も十分でなく、温度特性を目標値に入れるため、毎日徹夜に近い業務 成膜装置も市販の装置を改造して高温対応とした「手作り装置」
1983	半導体歪ゲージ式圧力トランスミッタ発売 半導体歪ゲージ式圧力トランスデューサ発売	センサ素子を金属性カセットに入れて成膜する方法を提案、現在の量産化方法の基礎となる
1986	GK95 車載用圧力計発売	センサ素子を高品質に接合させる技術・方法として電子ビーム溶接機を導入、高耐圧センサの基礎を築く ダイアフラムの材料を特注のステンレスとし、センサの高圧信頼性が向上
1987		当時の上田工場 1 階クリーンルームに手動小型成膜装置等を数台設置、月産一万個のラインを整備 危険なガスを使用し、微細な作業を行うため、作業員の労働環境向上を目指す
1989	KH13 圧力トランスミッタ発売 KL13 微差圧トランスミッタ発売	丸子工場完成、圧力センサの本格的生産開始
1990	KH18 高耐蝕圧力センサモジュール発売	完成した丸子工場内成膜室に月産20万個ラインを整備 市販の標準装置は使用不可のため全て特注 当時としては大型の自動装置だったため、装置を適正に維持するための工数確保が課題
1996	米デルコ・エレクトロニクス社（現デルファイ・オートモティブシステムズ社）と高圧センシング技術の技術移転とライセンス供与契約を締結	
1997		素子サイズφ8.5mmを開発、小型化により生産能力を倍増させるきっかけとなる ダイアフラムの一部を鍛造加工する技術を開発、信頼性向上に貢献
1998 ～ 2001	KL17 機器組込用微差圧トランスミッタ発売 独ロバート・ボッシュ社と高圧センシング技術の技術移転とライセンス供与契約を締結	生産能力をアップさせるため量産装置を導入、月産 120 万個ラインを整備
2003	2002 年日経優秀製品サービス賞「車載用小型圧力センサ」KA シリーズが最優秀賞受賞	素子小型化の課題であった「位置合わせ」問題を克服、薄膜の品質・性能を向上させ素子サイズφ5mmを新開発、さらなる小型化によって生産能力は月産250万個を達成

（出所）長野計器社史、長野計器資料より著者作成。

圧力センサ技術への挑戦と車載用途開発

新規事業を模索する中、1980年代初め、偶然目にとまった地元信州大学工学部電気工学科小沼義治教授の研究論文に、長野計器はヒントを見出した。それは、半導体薄膜ゲージと蒸着技術に関する論文であった。長野計器は地の利を活かし、研究員を数名小沼研究室に派遣した。

数年後の1983年には、圧力センサ開発事業化の話が持ち上がり、開発段階の技術をどう活かすかについて、塩入が事業化計画を立てることになった。小沼研究室のセンサを金属に蒸着させる技術と、比較的低压用途の素子を利用したソニー製品（一般的には拡散ゲージ）の導入で、高圧力を制御できる圧力センサが開発できるのではないかという予測のもと、事業化計画は立案された。

当時の社内の空気を塩入はこう振り返る。「センサ開発を進めるのは良いが、圧力計の売上げ（年間100億円）が圧力センサにシフトするだけなのではないか、と言った議論はありました。私も懸念はしましたが（以下、筆者略）」。安価、無電源、無出力で、計測結果はその場で確認できる、こうした圧力計の特性と市場の論理も、顧客の圧力計から圧力センサへの移行を阻んでいた。

4.2 蒸着とプラズマCVD方式

社内での開発は試行錯誤の連続だった。蒸着技術の応用、プラズマCVD方式の習得に長野計器の研究員は躍起になっていた。長野計器の圧力センサ筐体は金属であり、その上に薄い絶縁膜が形成されている。この絶縁膜上に、圧力センサの命である歪ゲージ（結晶性のシリコン膜）を形成するのである。そのためには結晶性シリコン膜の蒸着を行う必要があるが、これには厳密な環境条件のコントロールが必要であった。絶縁膜が電気や熱等の伝導を完全に絶つ性質を堅持できなければ、圧力センサは外的環境要因に左右されてしまうからである。

試作品は不良品ばかりであったが、その中から2個、目的とする特性のセンサを見出すことができた。長野計器では、この「幻のセンサ」と呼ばれる2個を頼りとして、さらに開発を進めることになった。

4.3 独自技術への昇華

プラズマCVD方式は、当時は先進的な技術だったが故に専用の装置も無かった。長野計器は、1台3,000～4,000万円するバッチ型¹⁹汎用機を日電アネルバ（現 キヤノンアネルバ株式会社）から3台購入し、改造を加えて独自の装置を作り上げていった。しかし、出来上がったプラズマCVD装置に材料を入れ、6項目から7項目の管理特性の確認をしながら試作を

¹⁹ バッチ型とは、1回ごとに反応室（真空の炉）を開閉して作業をする形態を指す。

行ったが、「幻のセンサで得た特性」を持ったセンサは出来てこない。何度繰り返しても温度特性試験をパスできず、目標とする商品は出来なかった。

こうして試行錯誤を繰り返している最中、エアコンメーカーから冷凍機用の圧力センサ 500 個の注文が入ってきた。2 ヶ月半程の徹夜を繰り返す中で、ようやくある点が明らかとなった。それは反応室の温度であった。この点をふまえ反応室内の温度を最適化することで、発見された「幻のセンサ」と同じ特性を持つセンサが出来上がった。1987 年には、エアコンメーカーに 3 ヶ月の納期遅れで納品することができた。初の製品化であった。しかし、その後も圧力センサの製造は 10 回試行しても 2 回程度しか同じ特性を持ったセンサが出来上がらない状況で、歩留まりは改善できないままであった。

量産化に踏み切れない圧力センサ事業に転機が訪れたのは、生産拠点の丸子工場への移転（1989 年 10 月）である。この移転に際し、1 台 1 億 5,000 万円から 1 億 6,000 万円のロードロック型²⁰ 汎用機を導入した。バッチ型と比較すると再現性には優れているとの日電アネルバの話ではあったが、高額機器の導入に不安は払拭されないままであった。

幾度か試作を試みた結果、バッチ型での歩留まり率 20%をはるかに上回り、再現性については問題ない状況を作り上げる事ができた。量産化への鍵となったのは、反応室内の湿度であった。当時を塩入はこう振り返る。「真空の炉（反応室）を開けて大気と触れさせるといふ事はご法度だったのです。半導体のデバイスを反応させる真空の炉（反応室）の壁に着いた水分が再現性を悪くさせていたのです」。

長野計器が用いたバッチ型もロードロック型汎用機も、反応室を真空状態にしてデバイスを反応させる事には変わりはない。しかし、バッチ型装置では反応毎に反応室を開閉することにより、反応室内に大気が流入し、壁面に水分が吸着されてしまう。反応室内を真空状態にしても、反応時の加熱により常温では影響を与えない壁面に吸着された微量の水分が反応室内に拡散し、完全なる真空状態を保てなくなってしまうのである。

これに対し、ロードロック型の二重構造では、反応室への大気（水分）の流入を阻止できた。反応室の水分の流入阻止・諸条件の厳密な管理により、プラズマ CVD 技術を用いた圧力センサ製造の再現性は非常に安定するようになった。その後、長野計器は、競争の激しい低圧・中圧領域に踏み込む事無く、金属基板の上に歪ゲージを蒸着させていく事に注力し、高圧領域に特化して開発・製造を進めることになった。こうして、長野計器の圧力センサ事業は、屋台骨を支える事業へと拡大していったのである。

一方、圧力センサ事業立ち上げ当初、プラズマ CVD 方式と共に事業化を目論んだ、比較的低圧力素子を利用したソニー製品（拡散ゲージ型）の組立事業は行き詰まりを見せていた。

²⁰ ロードロック型とは、手前の予備室を開閉する二重構造形式を指す。

圧力センサ技術への挑戦と車載用途開発

低圧力用センサなので必ずしも金属上に蒸着させる必要性も無いこともあり、品質の安定性も乏しかった。さらに、拡散ゲージ型の圧力センサは半導体の製造過程でウエハを切り刻んで簡単に製造する事ができたため、参入企業も多くなり競争は激化していた。こうした状況の中、長野計器は2年足らずでこの分野から撤退する事になった。

5. 圧力センサ事業の成長

圧力センサの量産化によりやく目処をつけた長野計器は、1989年、丸子電子機器工場を完成させ、圧力センサの本格的な生産を開始した。生産量は、それまでの上田工場で月産2万個だったものを、丸子工場ではその100倍にあたる月産200万個以上と生産能力を一気に拡大させた。

さらに、圧力センサの使用分野は、それまでの建設機械・半導体ガスライン・FA設備・精密・分析・電機・輸送の各分野に加えて、圧力制御機器分野にまで広がった。近年では冬季オリンピック開催地（1998年）であったナガノのグローバルな知名度が高まり、また「圧力の長野計器」というイメージが顧客定着してきているため、今日までに多くの引き合いの中で取引先との関係が生まれている。

圧力センサ事業への進出当初から、長野計器の圧力センサの用途開発は、長野計器が具体的に新しい製品の提案をするというより、相手からの提案に対して長野計器としてできるものを開発・提案していくという形で行われている。独ロバート・ボッシュ社との取引は、この典型である。ここでは、顧客引き合いで得た情報を駆使し、独ロバート・ボッシュ社と提携にまで及んだ経緯から、長野計器の圧力センサ事業展開の一端に触れてみる²¹。

5.1 独ロバート・ボッシュ社との提携

かつて長野計器は、日本電装株式会社（現 株式会社デンソー）より圧力センシング²²の技術供与要求を受けた経緯がある。この引き合いを受け、1993年、日本電装へ圧力センサに関する詳細なデータを提出している。このとき、その仕様は高圧レンジに対応するものであり、それはまさに長野計器内に蓄積されていた技術であった。長野計器の得意とする高圧分野であったが、この話は進展することなく頓挫し、長野計器と日本電装との取引は実を結ばなかった。しかし、長野計器の得たものは大きかった。なぜなら、高圧圧力センサが車載分野へ応用できる可能性を示唆する出来事であったからである。

その後、自動車分野への圧力センサ用途に活路を求めた長野計器は、ディーゼルエンジン

²¹ 本節は、以下、第二回インタビュー（2005年12月16日、丸子電子機器工場）による。

²² センシング技術は「圧力センサで圧力を計測・制御すること」を特に強調する用語として用いている。尚、センサ技術は「センサ技術一般」を指す用語として用いている。

の需要が活発なヨーロッパ各国の自動車メーカー・部品メーカーへ自社の高圧圧力センサの売り込みを始めた。1995年、他メーカーに先んじてサンプル品納品を要求してきたのは、独ロバート・ボッシュ社（以下ボッシュ社）であった。ボッシュ社は当時、他メーカーの圧力センサを使用して「コモンレール式燃料噴射装置」を開発していた。しかし、実車搭載直前に不具合が発見され、その対応に苦慮していた。

通常、自動車用部品は一次試験・二次試験・三次試験などを経て、量産までには2年～3年程度の準備期間が必要とされる。しかし、長野計器の超高圧圧力センサを手に入れたボッシュ社は、サンプルの提供を求めた後、7～8ヶ月程度の異例の早さで月1～2万本の部品納入を求めてきた。また、長野計器も、それに応える素早い対応をみせた。ボッシュ社向けの1800気圧まで測定可能な圧力センサの量産は、サンプル納品より10ヶ月後に始まるという忙しいものであった。長野計器の圧力センサが超高圧測定を可能にしていた事が、ボッシュ社との取引開始の要因となったのである。

その後も、1996年には米デルコ・エレクトロニクス社（現 デルファイ・オートモーティブシステムズ）、1998年にはボッシュ社と、長野計器は次々に高圧センシング技術の技術移転とライセンス供与の契約を締結している²³。長野計器の圧力センサを用いたボッシュ社のコモンレール式燃料噴射装置が、業界内でも評価されたためだあると考えられる。このように、1990年代後半以降、同社は、車載分野の圧力センサ技術について積極的に他社との提携を結び、圧力センサ事業を拡大させてきた。

次節では、成長著しい車載用圧力センサに注目し、車載用センサ分野を取り巻く環境と課題の点から、長野計器のセンサ事業展開について見ていく。

6. 車載用圧力センサ

長野計器の車載用圧力センサの世界市場シェアは、約20%と米テキサス・インスツルメンツ社に次いで第2位であるが、技術力が必要な超高圧の燃料制御用では世界市場シェア90%でほぼ独占している²⁴。

圧力センサは、圧力を測定するだけの圧力計と異なり、圧力測定結果をコンピュータと組み合わせて、自動制御を行う分野に活用される。自動車の電子化が進む今日、とくに圧力センサの車載用途が拡大している。図6-1に見られるように、1990年代後半より自動車用圧力センサの用途が拡大、それに伴い長野計器の生産数量も急激に伸張している。これはボッシ

²³ ライセンシングにもとづき、ボッシュ社がコモンレール用高圧センサを内製するようになり、長野計器の現生産量はかつての1/4程度に減少している。

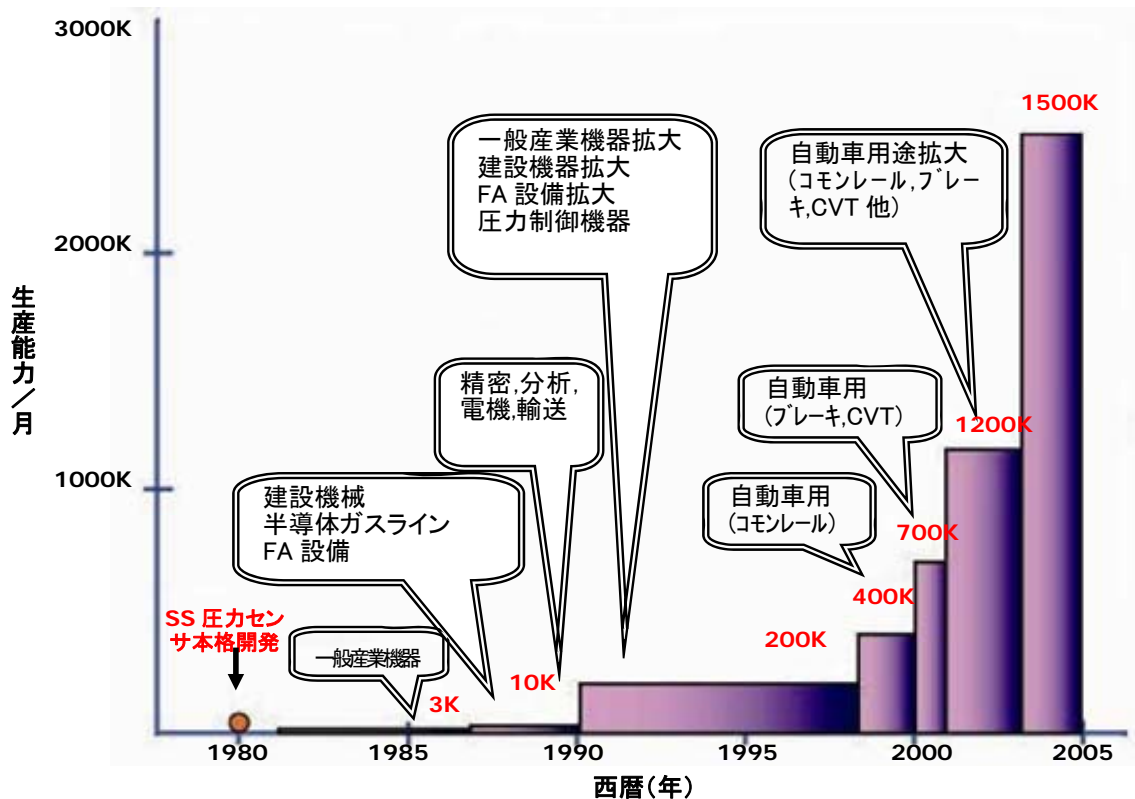
²⁴ 第一回インタビュー（2005年9月16日、丸子電子機器工場）による。なお、圧力センサは、構造・仕組みの違いにより用途に適した分野があり、圧力センサメーカー各社は得意分野でシェアを確保している。

圧力センサ技術への挑戦と車載用途開発

ユ社、デルファイ社を通じて車載用途分野へ進出したことによる。現在では、車載用途分野の圧力センサは、長野計器を支える主力事業になっている²⁵。

この節では、長野計器の車載用圧力センサの用途事例について記述する。そして、同社の圧力センサ車載用途拡大の契機になった、コモンレール式燃料制御用圧力センサの重要性を検証する。

図 6-1 センサ素子の生産能力と注目用途



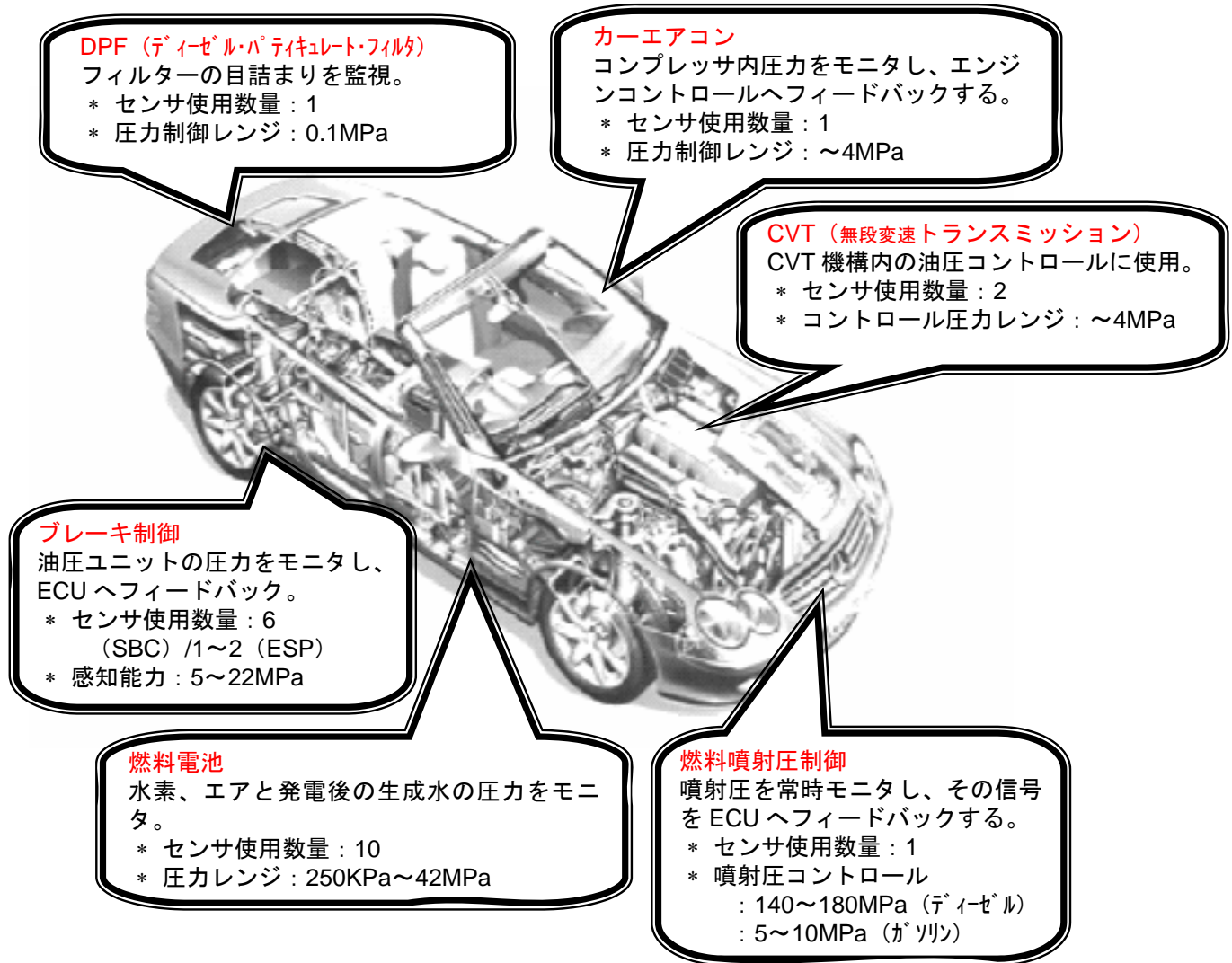
(出所) 長野計器資料。

6.1 車載用圧力センサの用途

自動車の電子化が進み、利便性や安全面から、自動変速機、ブレーキシシステムなどの油圧や空気圧を精度良く検出し、細かく制御する必要が生じてきた。また、自然環境への配慮から、自動車にはエンジンの圧力を正確に把握して燃焼ガスをクリーンにすることや、燃焼効率を上げることも求められている。

²⁵ 長野計器の総売上高 20,209 百万円のうち、16% (3,233 百万円) は自動車向けの輸出である (「長野計器 83 期 2004.4~2005.3 IR Report」より)。また、自動車向け圧力センサの 90% が輸出海外向けである。第一回インタビュー (2005 年 9 月 16 日、丸子電子機器工場) による。

図 6-2 車載用圧力センサの用途



自動車向けの圧力センサは、メンテナンスフリーと過酷な環境での使用を前提とした高い信頼性が必要である。長野計器の圧力センサは、大きさ・コスト・精度・信頼性の面で自動車向けの圧力センサとして求められる要求を高いレベルで満たしており、自動車の様々な部分に用いられている (図 6-2)。

長野計器の車載用圧力センサは、1997 年にはφ8.5mm、2003 年にはφ5.0mm と小型化されており、狭いエンジンルーム内でも設置可能である。加えて、半導体歪ゲージと起歪部および圧力接続部までが金属一体構造 (モノコック方式) であり、接着部に腐食性の材料を使用していない。すなわち、構造と材質の面で、耐久性・安定性に優れている。

また、独自のプラズマCVD方式・蒸着技術により機械化されたラインでの大量生産が可能

圧力センサ技術への挑戦と車載用途開発

であり、安価に製造できる。さらに、自動車用圧力センサの耐久試験、EMC²⁶ 試験などは、同社内で実施しているため、顧客からの数十頁に及ぶ要求仕様に応じ、性能・形状等を評価基準に照らし合わせながら開発を行うことができる²⁷。こういった同社の姿勢が、同社の製品の信頼性を裏付ける結果にもなっている。

長野計器が欧州の自動車業界を中心に製造・輸出する車載用圧力センサは、エアバック用やカーエアコン用もあるが、主力はブレーキ用と後述するコモンレール式燃料制御用圧力センサの 2 種類である。このうちブレーキ用については、次世代ブレーキのESCシステム (Electronic Stability Control) に加えて、1 台あたり 6 個の圧力センサを搭載するEHB (Electro-Hydraulic Brake) システム²⁸ 用のサブアッシーも生産されている。

このように、ブレーキ用の圧力センサは車載個数が多いので、普及が本格的になると需要が拡大することが予想される。ただし、価格面では厳しいコストダウン要求があり、販売量や販売額は増大するものの、利益率は低くなる傾向にある。

6.2 欧州自動車業界とコモンレール式燃料制御用圧力センサ

自動車業界では、環境問題への対応が喫緊の課題となっている。日本では、排気ガスの中からディーゼル自動車を嫌う傾向があり、ガソリンエンジンを用いたハイブリット車への注目が近年高まっている。一方、欧州では、経済性や環境保護の観点から二酸化炭素排出量が少なく、燃費の良いディーゼル自動車への需要が旺盛である。

ディーゼルエンジンの場合、燃料が燃えた後の不要物 (煤) を抑えるには、高圧力での燃料噴射が有効であることがわかっていた。しかし従来の方式では、低圧燃料噴射で、燃料の加圧とエンジン回転数が連動しているため、適切な制御が困難であった。

そこで、コモンレール式燃料噴射システムでは、燃料の加圧を独立したポンプに分担させるとともに、共通 (コモン) のレールで蓄圧した後、インジェクターで燃焼室に噴射する、というシステムが考案された。このようなコモンレール式燃料噴射システムは、1995 年に、デンソーが世界で初めて量産化した。

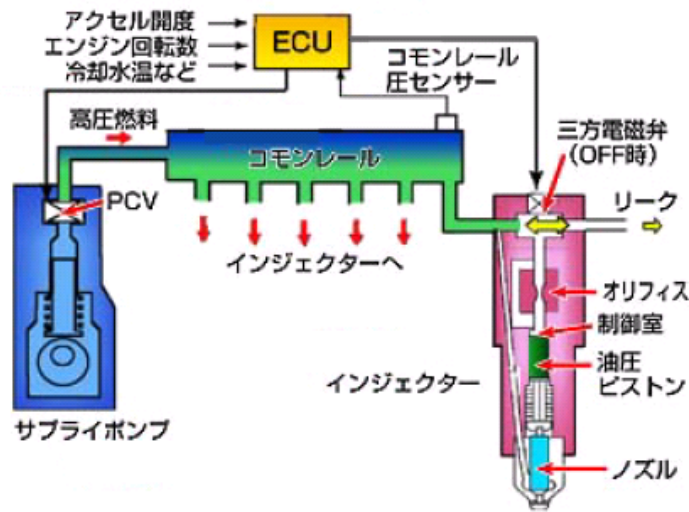
この方式では、燃料圧力はコモンレール内に設置された圧力センサにより検出され、エンジンの回転数と負荷に応じて設定された高圧燃料の最適値にサプライポンプを制御する仕組みとなっている (図 6-3)。このため、圧力センサの精度が大変重要であり、1800 から 2000 気圧という非常に高圧な圧力の測定技術が求められる。

²⁶ EMC (Electro-Magnetic Compatibility) とは、電気機器などが備える、電磁的な不干渉性および耐性のことである。

²⁷ 第一回インタビュー (2005 年 9 月 16 日) 丸子電子機器工場による。

²⁸ 2001 年よりメルセデス・ベンツ SL クラス、2002 年より E クラスに搭載されている。

図 6-3 コモンレールシステム



出所：長野計器資料。

当時、2000 気圧という超高圧に耐え得る圧力センサは、長野計器の製品以外、市場にはほとんど見当たらなかった。なぜなら長野計器は、金属ダイアフラムというオール金属製の圧力センサを、世界で唯一製造できるノウハウを持っていたメーカーだったからである。こうした事情により、同社はボッシュ社をはじめ、圧力センサ事業の拡大に大きな役割を果たした顧客企業に注目されるようになったのである。

6.3 拡がる車載用途分野

2005 年初め、長野計器をめぐる事業環境は好調である。ディーゼルエンジン燃料制御用圧力センサは低迷したものの、高採算の半導体製造用、建機用、計測機器用の圧力計と圧力センサが好調に推移した²⁹。次世代ブレーキ用の需要に加え、欧州向けディーゼルエンジン燃料制御用圧力センサの需要や欧州第 4 段階自動車排気ガス規制（ユーロ 4）³⁰ による圧力センサの需要は益々増していくと考えられる。これらの需要は、2006 年以降、長野計器の成長を牽引する見通しである。

長野計器に求められるのは、新たな圧力センサ用途の開発である。圧力センサ事業を堅持するためには、ディーゼルエンジン用途以外の車載用途を模索する必要がある。今後、拡大が期待され、その中でも長野計器が注目している用途として、まず、米国で取付けが義務付

²⁹ 圧力センサ事業部門の当連結会計年度における売上高は 115.56 億円、前連結会計年度比 10.41 億円（9.9%）の増収となった。「長野計器 83 期 2004.4～2005.3 IR Report」4 頁より。

³⁰ ヨーロッパの排気ガス規制。1996 年のユーロ 2 から比較すると、PM、NO_x ともに約 1/3 へ低減。

圧力センサ技術への挑戦と車載用途開発

けられている自動車のタイヤ空気圧を知らせる圧力センサ³¹がある。また、着座している人の重量などを感知しエアバックに伝える役目を持つ、圧力センサも考えられている。こうした試みは、長野計器のみにとどまるものではない。次世代の燃料自動車開発が進む中、各社とも、ガソリンエンジン以外の圧力センサ用途を模索している状況である。

こうした派生的な用途の領域には、現在の圧力センサより、高感度化・高耐圧化、そして省スペースセンシング用途対応のための小型化が要求されてくる。これらの要求に対して、長野計器は、新成膜プロセスの技術開発、ダイアフラムの新材料開発、φ2.5mmの圧力センサの開発などに着手し、対応し始めている³²。さらに、同社は、高圧水素等の次世代エネルギーを、高信頼で計測するセンサ素子の開発にも取り組んでいる。こうした取り組みは、時代の要請に応じたものであり、圧力センサ事業の今後の継続・拡大を図る上で不可欠となっている³³。

7. おわりに

1948年創業の長野計器は今年で58年目を迎え、圧力計測ひとすじで約半世紀を乗り越えてきた。その間に、ブルドン管式を主体とする機械式圧力計から圧力センサ技術へと、大胆に事業の軸足を移してきた。今日では、長野計器は、圧力センサ技術により、とくに超高压圧力センサ分野では、他社の追随を許さない高い世界市場シェアを保っている。

同社の製品の中でも、金属製ダイアフラム、歪ゲージ、半導体薄膜で構成される半導体歪ゲージセンサは、超高压レンジでの測定を可能にするものである。開発当時、超高压分野の市場において類似する製品は皆無であった。このため、長野計器が開発した超高压圧力センサを通じ、部品供給という形で同社とボッシュ社は結びつくことになった。有力な自動車部品メーカーであるボッシュ社との出会いは、圧力センサ業界の中に存在する長野計器に大きなアドバンテージを与え、ひいては長野計器と自動車業界とを繋ぐ契機となった。開発当時の長野計器の技術者達は、超高压圧力センシング技術が、自動車の一部品として応用されることを予想もしていなかったであろう。

今日の長野計器が強みとする圧力センシング技術は、機械式圧力計を開発・製造してきたから実現できた技術ではない。圧力センサ開発当時、長野計器には圧力センサの設計者も研

³¹ タイヤの圧力減を測定するセンサと発信器をバルブに内蔵させ、四輪の空気圧を測定するシステムを太平洋工業株式会社は提供している。

³² 第一回インタビュー(2005年9月16日、丸子電子機器工場)による。

³³ 「長野計器の圧力センサが自動車用として好調である。将来、燃料電池や水素を使った自動車が出てくれば、燃料噴射用やブレーキ用圧力センサは油圧から電子制御方式に変わって行くだらう。電子制御方式になると長野計器の圧力センサ事業もなくなってしまうため、次世代の技術を考えておく必要がある」。第一回インタビュー(2005年9月16日、丸子電子機器工場)による。

究者もいなかった。むしろ、いわゆる「センサ屋」以外の人物が開発プロジェクトの主力であったため、一部の技術分野や特定の圧力レンジ計測に特化するのではなく、幅広く研究・開発に挑戦できた面がある。こうした事情により、微圧から超高圧までをカバーするセンシング技術の開発が促され、幅広い圧力センサ製品群が開発されることにもなった。

無論、長野計器の圧力センサ事業に課題が無い訳ではない。まず、自動車業界が拡大する中、超高圧圧力センサ分野への他社の参入が考えられる。既に競合企業であるデルファイ社やボッシュ社、国内企業ではデンソーが、長野計器と同機能の超高圧圧力センサを内製し、ディーゼルコモンレールシステムとして自動車メーカーへ提案を行っている。さらに、これらのメーカーは単なる部品メーカーではなく、自動車メーカーとの連携を強化し、ハードウェアとソフトウェアを含めたシステムインテグレーション機能をも担い始めている。

また、地球環境における CO2 問題、NOx 問題が深刻さを増す中、各社自動車メーカーは次世代エンジンの開発に取り組んでいる。環境問題に対応した、今後のパワートレインの技術動向が、長野計器のセンサ事業にもたらす影響は未知数である。ゼロから始まり躍進を遂げた長野計器の圧力センサ開発であるが、今後、圧力センサ業界でどのような事業を展開していくのだろうか。

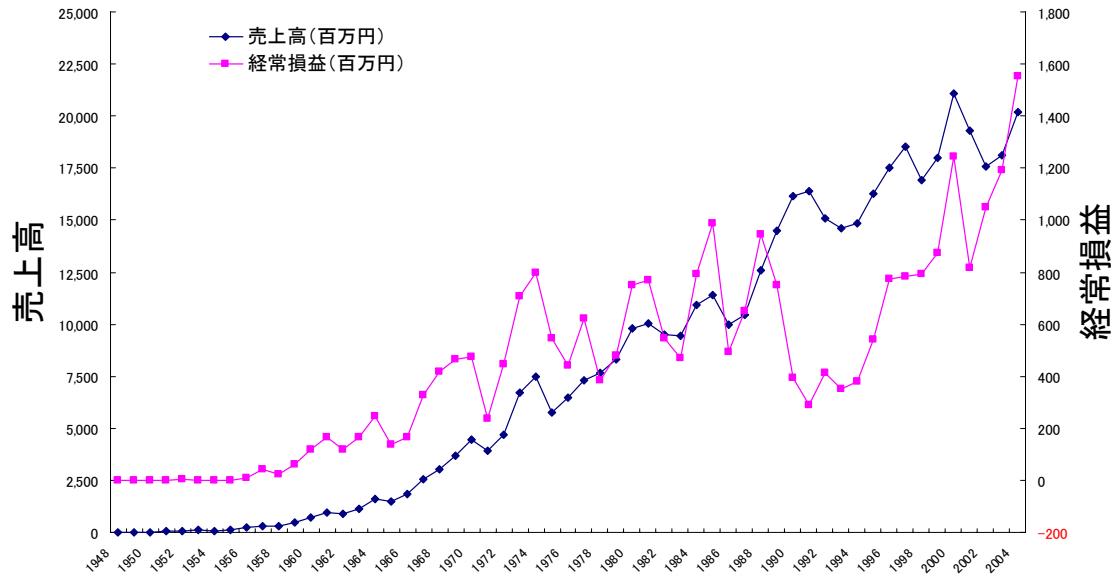
(文中敬称略)

(謝辞)

今回のケースを作成するにあたり、多忙な合間を縫って、長野計器株式会社常務取締役塩入久徳氏、取締役上席執行役員吉池純一氏、総合研究所センサ事業部成膜技術課長長坂宏氏に、インタビューに応じていただきました。この場を借りて心より御礼申し上げます。

巻末資料

長野計器の売上と経常損益の推移



出所：長野計器社史、長野計器資料により著者作成。