

*MMRC*  
*DISCUSSION PAPER SERIES*

MMRC-J-86

品種・生産量変動への対応力  
—長野計器の高圧圧力センサの事例—

安本雅典監修（青山学院大学／東京大学 MMRC）

三水宏章（新光電気工業株式会社）

大島博之（大島公認会計士事務所）

吉原和明（株式会社 八十二銀行）

蜂矢雅宏（セラテックジャパン株式会社）

庄子卓真（長野日本無線株式会社）

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



## 品種・生産量変動への対応力

### —長野計器の高圧圧力センサの事例—

安本雅典監修（青山学院大学／東京大学MMRC）

三水宏章（新光電気工業株式会社）

大島博之（大島公認会計士事務所）

吉原和明（株式会社 八十二銀行）

蜂矢雅宏（セラテックジャパン株式会社）

庄子卓真（長野日本無線株式会社）

2006年6月

#### 要旨

本ケースでは、世界最大といわれる長野計器の圧力センサ工場が、少品種大量生産の自動車向けの圧力センサ市場において大きなシェアを確保しながら、現在も建設機械等に向け多品種少量生産を続けているのはなぜか、またどのようにしてこれらの対極的な生産形態を両立させているのかについてまとめた。

長野計器の圧力センサ製造工程の特徴は、基本となるセンサモジュールを製造する前工程と周辺部品を含めて圧力センサに組み立てる後工程に分かれている。前工程は自動車向けもそれ以外の用途向けの製品もほとんど同一のプロセスで大量生産ができるようになっており、後工程では各製品の生産量に応じた生産方式を採用している。その結果、センサモジュールの製造コストを抑えつつ、顧客の要求に応じた製品を提供することが可能になっている。

## はじめに

多くの産業では、競争が激化するとともに顧客の要求が多様化しつつあり、もの造りのフレキシビリティが重要となってきた。このため、少品種を効率的に量産するだけではなく、特性の異なる多品種を効果的に生産し顧客に提供することも求められている。こうした一見相矛盾する課題が突きつけられている業界の典型例として、圧力センサ業界を挙げることができる。

圧力センサ業界で、長野計器の圧力センサ事業は、同社のコア技術を軸に、自動車向けの車載用センサの少品種大量生産と建設機械等向けの計測用センサの多品種少量生産とを組み合わせることで、成果を上げてきた。本ケースでは、多品種少量生産と少品種大量生産という対極的な生産形態の両立が、なぜ必要なのか、またこうした両立がいかんにして可能であるかを検討する上での素材として、同社の圧力センサ事業の事例を見ていく<sup>1</sup>。

まず、第1節では、長野計器における圧力センサビジネスの概要と業界内での位置付けについて概観する。第2節では、圧力センサの構造と特徴について述べ、同社のセンサの特徴を示す。第3節では、同社の設計・開発における作り込みへの取り組みを概観してみる。第4節では、同社における、前工程と呼ばれる蒸着プロセスの標準化について示し、続く第5節では、後工程と呼ばれる組み立て工程での多品種化について見ていく。最後に、全体のまとめを行い、インプリケーションを提示する。

## 1. 長野計器のもの造りの流れ

長野計器は宮下茂社長が唱える「日本での物づくり」を企業ポリシーとして、上田市と丸子町（2006年3月6日に上田市と合併）に工場を持ち、開発・生産活動を行っている。現在は、資本金33億7,968万円、従業員数665名の長野県内でも中堅企業として、年間232億5,526万円（連結）の売上高を誇っている。中でも、高圧圧力センサでは、世界で第2位の生産実績を持っている。

長野計器のもの造りは、長らく上田計測機器工場（以下上田工場）が担ってきた<sup>2</sup>。上田工場は1964年の開設以来、計測機器工場として主に、ブルドン管式圧力計、デジタル圧力計、圧力スイッチ、温度計の生産を行っている。同社の圧力計事業は、月産40万個、圧力スイッチ・温度計を合わせると50万個以上の生産能力を持ち、国内で60%のシェアを確保している。

<sup>1</sup> 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。

<sup>2</sup> 以下、本節では、『計測から制御へ 長野計器50年史』（長野計器株式会社社史編纂委員会、1999年4月）を参考にした。

## 品種・生産量変動への対応力

一方、高圧の圧力センサは国内でトップの生産量を誇り、世界でもTI<sup>3</sup>に次ぐ2番手に位置している。主力の丸子電子機器工場（以下丸子工場）は1989年に電子機器工場として操業を開始し、主に圧力センサを生産している。1997年には月産100万個、2005年には月産250万個と、生産能力を増強している（巻末参考資料2参照）。

圧力計製造の歴史は1896年（明治29年5月）に設立された和田計器製作所<sup>4</sup>に遡る。E・ブルドンの発明したブルドン管を再現し、国産圧力計第一号となる機械式圧力計を開発した。その後、創立時からの研究開発優先主義を貫くと同時に、海外技術の吸収に努めた。日米開戦後、戦渦が激しくなったことから1944年（昭和19年）には現小諸市へ工場疎開し、戦後は圧力計専門の長野計器として独立した（巻末参考資料1参照）。

その後も長野計器は圧力計製造のトップシェアを占めていたが、1960年代には基幹製品を複数持つ必要性和電子化の進展から圧力センサ事業を開始した。その当時研究所では貼付式歪みゲージの研究を進めていたが、精度と生産性に優れた「半導体薄歪ゲージ」に着目し、小沼義治<sup>5</sup>による研究指導を受け、1980年（昭和55年）に「蒸着型半導体歪ゲージ式圧力センサ」を製品化した<sup>6</sup>。

当初は汎用圧力センサとして生産していたが、1990年に自動車向けセンサの需要増加を見据えて丸子工場を立ち上げた。丸子工場の設備については月産30万個を損益分岐点として、採算ラインを計画していた。同時に、丸子工場では、クラス10のスーパークリーンルームやクラス1000のクリーンルーム等の大規模な設備投資を行ない、微細加工、超精密加工にも対応できるようになった。

しかし、この設備投資は大規模なものだったため、以前は6%程度だった同社の経常利益率は、売上の伸びにもかかわらず1990年には2%程度まで落ち込んでいる（図1-1）。1989年当時の圧力センサ事業はどうか黒字を確保していたが、丸子工場立ち上げ当初は赤字に転落した。当時は採算ラインを早期に突破するために「少々の赤字が出て注文をもってこい」という時期であったと、同社常務取締役の塩入久徳は述懐している<sup>7</sup>。その後、ヨーロッパでの環境意識の高まりからディーゼルエンジン向けコモンレール制御用の圧力センサ

<sup>3</sup> テキサス・インスツルメンツ（本社：米国テキサス州ダラス、CEO：リッチ・テンブルトン、略称：TI）。

<sup>4</sup> 1902年（明治35年）に合名会社東京計器製作所に改組、さらに1917年（大正6年）には株式会社へ改組した。この株式会社へ改組したときに、光学計器部門を切り離した（現在のニコン株式会社）。

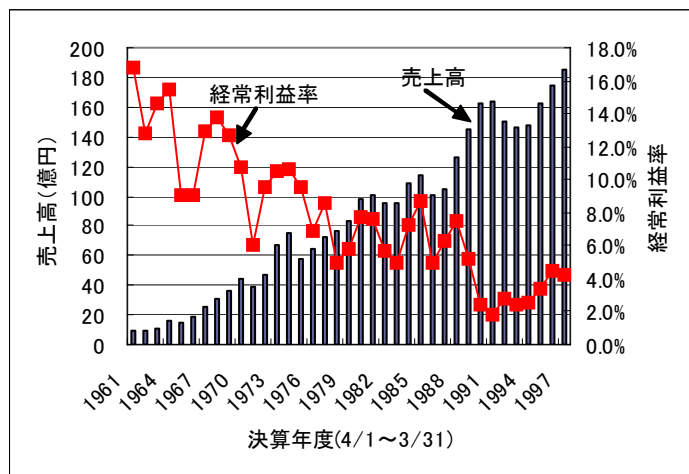
<sup>5</sup> 小沼 義治 元信州大学工学部教授：エレクトロニクス材料の薄膜化とその電子デバイスへの応用に関する研究として半導体薄膜（Si系、酸化物）、誘電体薄膜（ジルコニア）、超伝導薄膜（Nb系、酸化物）の薄膜化とその組成制御およびTFT、HBT、センサへの応用を主に研究した。

<sup>6</sup> 抵抗加熱式蒸着装置による、センサの形状、サイズ、加工法、研磨、蒸着、測定法などの研究を反復することにより開発が可能になった。

<sup>7</sup> 第2回インタビュー（2005年12月16日、長野計器㈱丸子電子機器工場）。面会者：長野計器㈱常務取締役 塩入久徳、長野計器㈱総合研究所センサ技術部成膜技術課課長 長坂宏

の需要が軌道に乗り、月産 100 万個を生産するまでに至っている。現在、同社は、ブレーキシステム向けの圧力センサ等の新分野に向け、新たな製品の開発を続けている。

図 1-1 長野計器の売上高と経常利益率

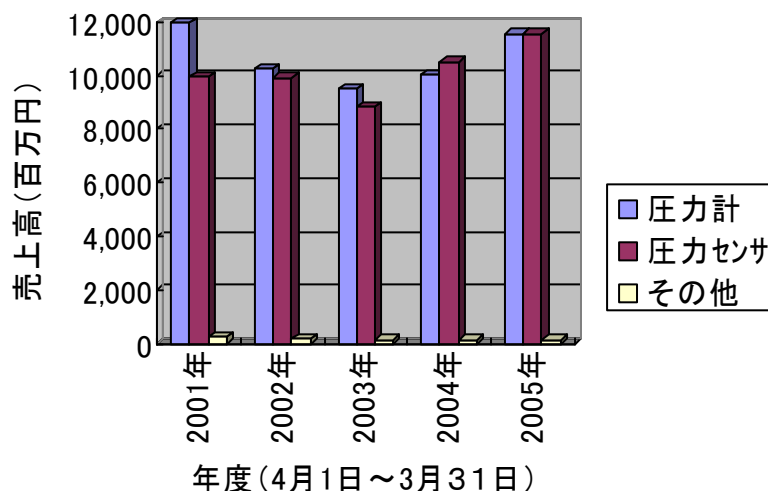


出所:『長野計器 50 年史』から筆者作成。

### 1.1. 圧力センサ事業の推移

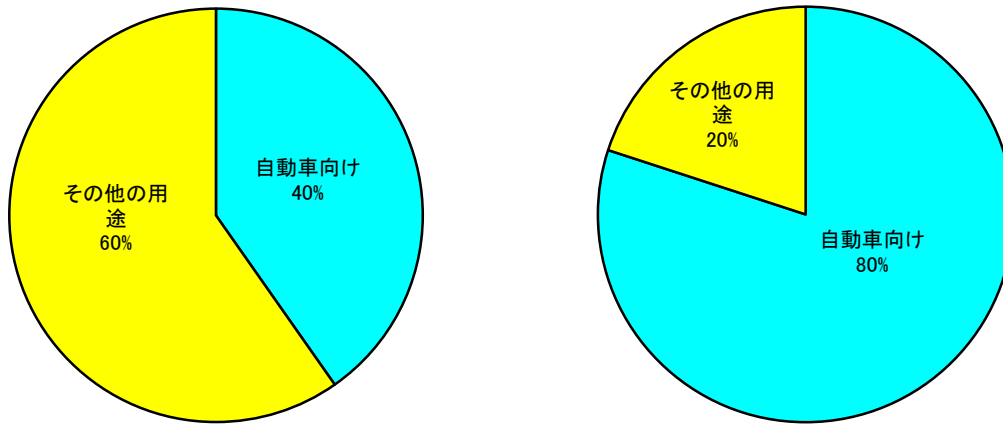
最近 5 年間における長野計器の圧力計と圧力センサの状況は、図 1-2 (売上推移表 (連結)) の通りである。5 年前には圧力センサに比べ圧力計の方が高い売上を示していたが、近年は圧力計と圧力センサはほぼ同じ額を売り上げている。

図 1-2 圧力計と圧力センサの売上高推移



出所:東京計器株式の「有価証券報告書」(2002—2005 年 3 月期版)中の「生産、受注及び販売の状況」から筆者作成

図 1-3 圧力センサ売上の金額と数量の構成



(a) 売上高 (11,556 百万円)

出所: 「長野計器株式会社経歴書 (2005 年 7 月版) 業績」より推計。

(b) 生産量 (100 万個/月)

出所: 第 2 回インタビュー (2005 年 12 月 16 日) から筆者作成。

圧力センサだけを抜き出し、自動車向けとその他の用途向け製品の構成割合を図 1-3 に示す。長野計器の圧力センサの売上は、全体の売上高 232 億 5500 万円のうち 115 億 5600 万円に上り、約 49.7%を占めている<sup>8</sup>。自動車向けは全体の売上の中で、輸出向けで 16%、輸送機向けで 4%の合計 20%を占めている<sup>9</sup>。

これを図に表すと、図 1-3(a)のようになる。圧力センサから見ると自動車向けの売上は圧力センサの約 40%にすぎない。それに対し塩入のコメント<sup>10</sup>をもとに生産量で比較した場合には、図 1-3(b)のように自動車向けの 80%に対し、その他の用途向けは 20%となっており、売上とは逆転している。このことから、自動車向け圧力センサの平均単価が約 500 円程度なのに対し、その他の用途向け圧力センサの平均単価は約 3,000 円程度と大きな差があることが分かる。

## 1.2. 長野計器の圧力センサの業界内での位置付け

特許流通支援チャート<sup>11</sup>によると、圧力を測定する主な用途としては自動車用、民生機器用、産業機器用の 3 つに分けられる。表 1-1 は、圧力を計測する感圧素子を代表的な 5 種類に分類し、各社が出願している特許を分野別に表にしたものである。

<sup>8</sup> 長野計器株式会社、「平成 17 年 3 月期決算短信 (連結)」販売実績。

<sup>9</sup> 長野計器株式会社、「会社経歴書」需要分布、2005 年 7 月版。

<sup>10</sup> 第 2 回インタビュー (2005 年 12 月 16 日、長野計器株式会社電子機器工場)。

<sup>11</sup> 特許情報支援チャート 平成 13 年 電気 2 圧力センサ」<http://www.ryutu.ncipi.go.jp/chart/tokumapf.htm#denki>より。

表 1-1 長野計器の業界での位置付け

	ブルドン管、ハローズ型	半導体ダイアフラム型	弾性体ダイアフラム型	静電容量型	圧電型
自動車	矢崎総業	デンソー	デンソー	日立	日本特殊陶業
		日立	松下電器	デンソー	ユニシアジェックス
		三菱電機	エヌオーケー	トーキン	
		富士電機	長野計器		
		日本精機			
		松下電器			
		トヨタ自動車			
		松下電工			
民生用	フジクラ	松下電器		松下電器	矢崎総業
		オムロン		オムロン	
		デンソー		富士電機	
				長野計器	
産業用	長野計器	松下電工	日本精機		
	エスエムシー	北陸電気工業	長野計器		

出所：「特許情報特許情報支援チャート 平成 13 年 電気 2 圧力センサ」から筆者作成

長野計器は、圧電型を除く全ての感圧素子を用いた圧力センサを手がけている。とりわけ、圧力センサ事業が誕生したきっかけとなった産業用機器用途においては、伝統的なブルドン管と弾性体ダイアフラム型、静電容量型で出願を行っている。ただし、自動車用は弾性体ダイアフラム型に限られている。

一方、デンソーは、自動車用については、半導体ダイアフラム型、弾性体ダイアフラム型、静電容量型で出願をしている。しかし、その他の用途では、民生用の半導体ダイアフラム型に限られている。また、オムロンは民生用の半導体ダイアフラム型と静電容量型に限られている。このように各社の得意分野が異なることから、企業間で棲み分けがなされてきたと考えられる<sup>12</sup>。

## 2. 圧力センサ技術と長野計器

### 2.1. 圧力測定のコネ

ここで、圧力測定のコネについて、説明しておこう。圧力とは、一般的に「単位面積あたりに働く力の大きさ」を意味する。したがって、面積が同じ場合には、圧力が高いほど力も大きいことになる。圧力の計測には面積を一定にした状態で力の大きさを測定するが、計測

<sup>12</sup> なお、2005 年にはオムロンと長野計器が業務提携を結び、ダイアフラム型で唯一手がけていない民生機器分野に進出するなど、オムロンは圧力センサ業界における新たな事業展開を進めていることも表 1-1 から読み取れる。



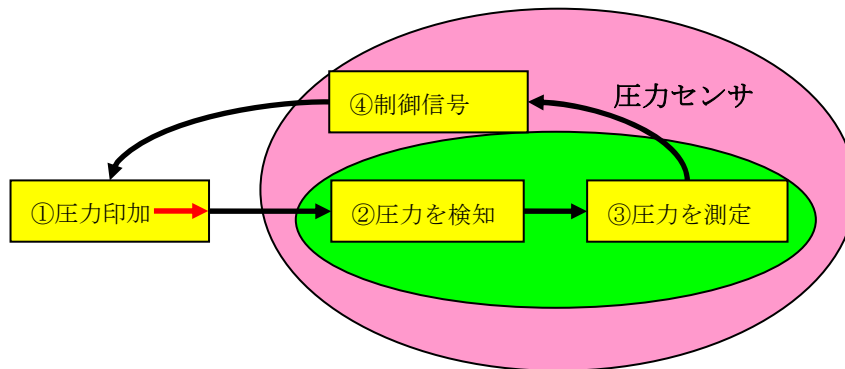
## 品種・生産量変動への対応力

機器には測定結果（指示）を人が直接読めるようにする圧力計と、電気等の信号に変換する圧力センサに分けることができる。圧力計は他の機器を使わなくても直接圧力を知ることができ、特に機械式圧力計の場合には他のエネルギー（電気等）を供給する必要が無いといった特徴をもっている。

一方、圧力センサの場合は電圧計等の指示機器を接続して圧力計として使えるほか、制御機器と接続し、圧力を自動的に調整するような用途にも使うことができる。これを図に示すと、**図 2-1** のように、圧力計で扱える範囲は圧力の検知と測定に限られるが、圧力センサを使ったシステムでは圧力の制御まで範囲を拡大できることが分かる。

長野計器は、圧力の検知・測定分野で、「圧力計」ならびに圧力を制御する機能まで付加した「圧力センサ」を事業の柱としており、これらの分野で多くの製品ラインナップを展開している。

**図 2-1 圧力計と圧力センサの適用範囲**



出所：第2回インタビュー（2005年12月16日）から筆者作成

### 2.2. 圧力センサの基本機能

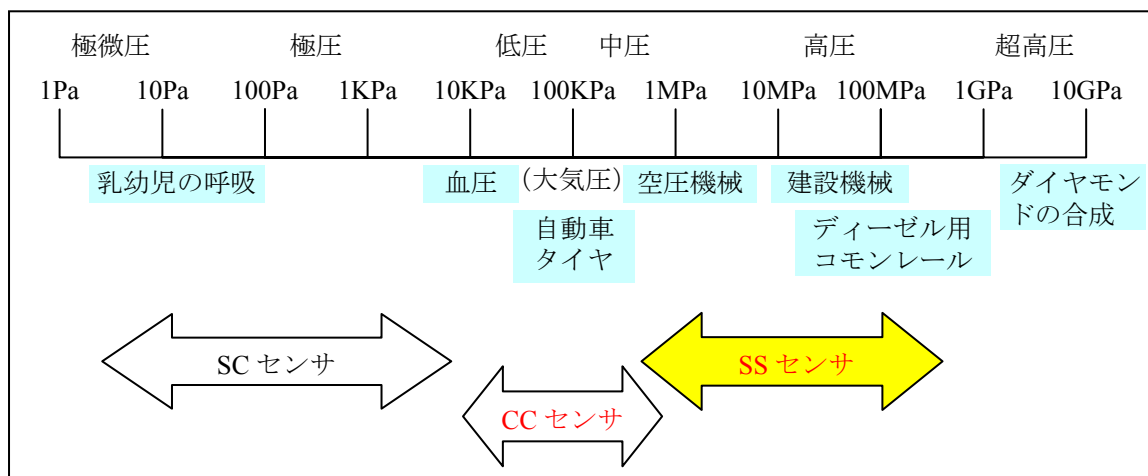
長野計器の圧力センサの中でも身のまわりにあるものを取り上げ、その用途と求められる機能の一例を**表 2-1**に示す。ガス検針メーター用では、ガス供給量の計測に加え、異常を検出し通報する「ガス漏れ検知等」に使われる。

**表 2-1 圧力センサの用途（例）**

圧力センサ組込製品	求められる機能例
ガス検針メーター	ガス漏れ検知、ガス供給量計測
自動車のエンジン、駆動部分	燃費・場面を考慮した燃料供給、確実な走・曲・止等
建設機械の駆動部分	運搬材料の適量検知・適切な制御等
医療機器	乳幼児の心拍鼓動検知、測定等

出所：第2回インタビュー（2005年12月16日）から筆者作成

図 2-3 圧力センサのカバー範囲



出所：第2回インタビュー（2005年12月16日）から筆者作成

自動車関連では、エンジンへの燃料の供給圧力を計測し燃費を向上させたり、ブレーキの圧力を計測して安全に走行させたりする用途に使われている。変わった用途では、乳幼児の寝ている間の呼吸を監視し、呼吸停止による事故を防止する等の医療用途にも使われている。

圧力には、乳幼児の呼吸のように数十Paの極微圧からダイヤモンドの合成のように数GPa<sup>13</sup>に及ぶ超高圧まで幅広い範囲がある(図2-3)。

長野計器の製品では、極微圧から低圧の範囲をSCセンサ、低圧から中圧をCCセンサ、中圧から高圧の範囲をSSセンサがカバーしている<sup>14</sup>。中でもSSセンサは建設機械の油圧やディーゼルエンジン用コモンレールの燃料圧力の制御用として使われており、長野計器の圧力センサ事業の主力製品となっている。

### 2.3. SS センサの構造と特徴

長野計器のSSセンサは、図2-4のように①センサモジュール、②圧力とジョイントする継ぎ手（ポート）、③電気を取り出すためのコネクタ、そして④素子の信号を増幅、コントロールする電子回路の4つのパーツから構成されている。

センサの心臓部となる圧力センサモジュールは、ダイアフラム<sup>15</sup>の表面に絶縁用の酸化

<sup>13</sup> 圧力の単位 1GPa=1×10<sup>9</sup>Pa。1Paは1m<sup>2</sup>に1Nの力がかかる圧力。

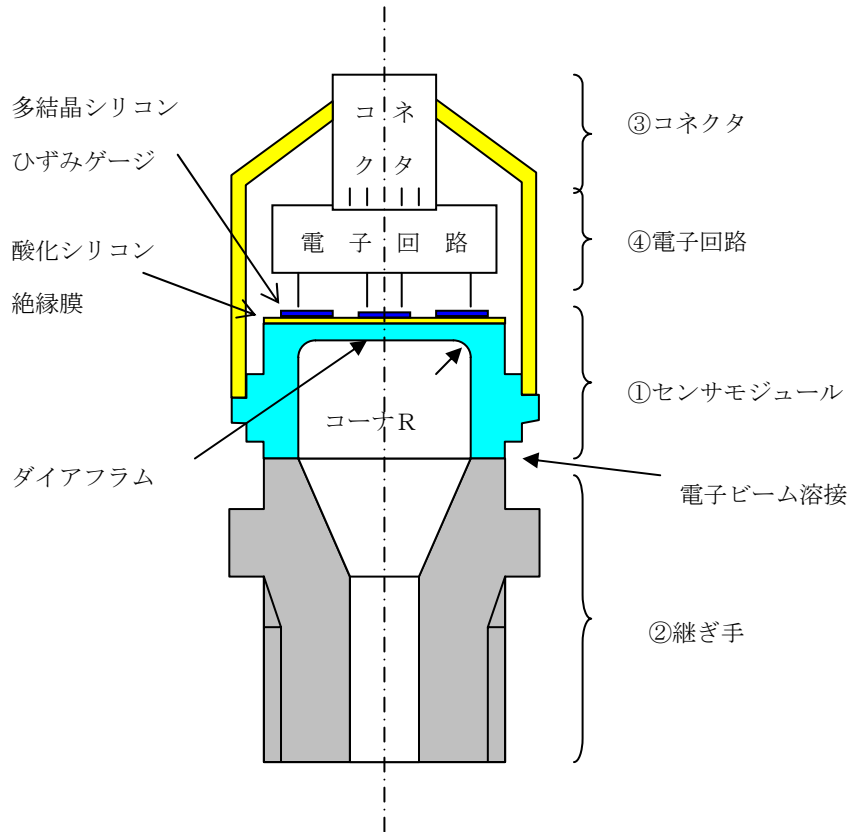
<sup>14</sup> SCセンサ:Silicon Capacitance Sensor, CCセンサ:Ceramic Capacitance Sensor, SSセンサ:Semiconductor Strain Gauge Sensor

<sup>15</sup> ダイアフラムとは、運動する部品と静止している部品のすきまにはられた分離用の薄膜で、これによって2つの領域や、室にある液体や媒体がお互いに混ざり合うのを防ぐものである。ダイアフラムは「①もっぱら分離するのが目的で、2つの室の間の圧力差のないもの。」「②分離膜として作用する固定用ダイアフラム。運動はほとんど受けないもの。」「③動く部品と静止している部品の間を密封するために使用される運動用ダイアフラム。」の3つに分類される。圧力センサのダイアフラムは、この③に該当する。

## 品種・生産量変動への対応力

シリコンと多結晶シリコンのひずみゲージが蒸着によって形成されており、圧力によるダイアフラムの変形をひずみゲージが電気信号に変換することで圧力を検出している。また、センサモジュールと継ぎ手は、電子ビーム溶接によって一体化されている。

図 2-4 SS 型圧力センサの構造



出所：第 2 回インタビュー（2005 年 12 月 16 日）から筆者作成

ステンレスダイアフラムを使ったセンサの中でも長野計器のSSセンサには、次の特徴がある<sup>16</sup>。

- 耐食性が高く、溶接による信頼性の高い構造
- 広い圧力測定範囲（300kPa～250MPa）
- 長期定期安定性が高い
- 小型化が可能
- 独自の成膜プロセスによる高生産性
- 部品のモジュール化による組み合わせ

<sup>16</sup> 長野計器、「製品案内」、2005年6月版、p. 72。

SS センサは、センサ素子のダイアフラムと接続部品の材質がステンレスで耐食性が高く、電子ビーム溶接で一体構造となっているために、作動流体が外部へ漏れ出しにくいといった特徴がある。また、接着剤を使用していないため、高温にも耐えられる。

ダイアフラムの表面に貼られた歪ゲージは、加圧によるダイアフラムの変形（歪）に応じてゲージが伸びたり、縮んだりする。これにより微量ではあるが、抵抗値は、伸びれば増し、縮めば減ることになる。ひずみゲージはこの抵抗値の変化を電圧変化として読み取るものであるが、長野計器のSSセンサに使われている半導体ひずみゲージはピエゾ抵抗効果<sup>17</sup>により金属ひずみゲージに比べ抵抗値の変化が大きく、小型化できる特徴をもっている。

半導体ひずみゲージをダイアフラムに貼付する方法としては、接着剤を使う方法が一般的である。しかし、長野計器では薄膜製造技術としてP-CVD（プラズマ化学気相成長）を使い、ダイアフラム表面へ直接半導体ひずみゲージを形成する方法を適用し、特許を取得している。

圧力センサは、圧力を検出するにあたり、熱や振動等の物理的影響をできるだけ受けないようにしなければならず、この点で精度が求められる。物理的影響は誤差値として表れ、これを調整してセンサ値とすると、回路が複雑化し部品点数が多くなると同時に高コストになってしまう。そこで、調整回路を複雑化しなくて良いように、センサデバイスのハードウェア自体の最適設計が求められるのである。この集積化の技術が各社の差になるわけだが、直接半導体ひずみゲージを形成する方法は、集積化のための最適設計への試みの一つであると考えることができる。

同社の圧力センサは、用途としては、半導体関連、車載用センサ、建設機械用、プラント用といった多方面に利用されている。このため、同一サイズの製品でも、圧力レンジ、出力形式、接続方法等が多岐にわたっており、センサ素子と電子回路、接続部品、コネクタを組み合わせることで要求に対応可能なようになっている。

一例として同社が製造している KM31 シリーズのカタログから、一部を **図 2-5** に示す。KM31 シリーズはコネクタの形式で 6 種類、接続ネジのタイプで 7 種類、圧力レンジで 19 種類、出力で 6 種類、その他付加仕様で 3 種類、作動流体に対する処理で 4 種類のバリエーションがあり、これらを組み合わせると 57,456 種類にもなる。

<sup>17</sup> n型（またはp型）シリコン基板上にp型（またはn型）拡散層を形成すると、ピエゾ抵抗効果が発生し、このチップはひずみゲージとして用いることができるようになる。拡散型ゲージは、抵抗線ひずみゲージに比べて小型化・高感度化が可能である。また、シリコンダイアフラム上に集積できるため、非常に小型の圧力センサを形成できる。しかしながら、拡散型ゲージは抵抗線ひずみゲージと同様に温度変化によっても出力が変化するため、補正が必要である。マイクロマシン技術専門用語集「拡散型ゲージ」発行（財団法人マイクロマシンセンター、<http://www.mmc.or.jp/>）より。

品種・生産量変動への対応力

図 2-5 KM3 1 シリーズカタログ

**形番構成** Model number configuration

ご用命に際しては、形番、各仕様及び圧力レンジをご指定下さい。  
For ordering, please specify the model number, each specs and the range.

**K M 3 1** — **4** — **7** × × × × × × × × × × × ×

① 形式 Type

標準ゲージ圧タイプ Gauge pressure type (Standard)	付加仕様 (オプション) / Additional Sealed pressure type (Pressure range: 5
1 コネクタ1 (METRI-PACK) / connector1 (METRI-PACK)	J コネクタ1 (METRI-PACK) /
2 コネクタ2 (Mini-Hirschmann) / connector2 (Mini-Hirschmann)	K コネクタ2 (Mini-Hirschmann)
3 コネクタ3 (DIN43650-A) / connector3 (DIN43650-A)	L コネクタ3 (DIN43650-A) / α
4 リード線式 (標準ケーブル長1m) / leads (1m std)	M リード線式 (標準ケーブル長1
5 シールドケーブル式 (標準ケーブル長1m) / cable (1m std)	N シールドケーブル式 (標準ケー

② 接続ネジ Process fitting

継手規格 / Fitting standard	使用最高圧力 / Max. allowable pressure
2 G1/4B G1/4B	140MPa
5 7/16-20UNF 7/16-20UNF	20MPa
6 R1/8 R1/8	50MPa
7 R1/4 (標準) R1/4 (standard)	50MPa
8 R3/8 R3/8	50MPa
B G1/4A G1/4A	5MPa
C G3/8A (標準) G3/8A (standard)	50MPa

④ 圧力レンジ (MPa) Pressure range (MPa)

圧力レンジ (MPa)	圧力レンジ (MPa)	圧力レンジ (MPa)	圧力レンジ (MPa)	圧力レンジ (MPa)
2 -0.1~0.2	B 0~0.2	K 0~3.5		
3 -0.1~0.3	C 0~0.3	L 0~5		
5 -0.1~0.5	E 0~0.5	N 0~10		
6 -0.1~1	G 0~1	O 0~20		
7 -0.1~2	J 0~2	R 0~35		


⑤ 精度 Accuracy

精度	精度
7	総合精度±1.0%F.S. (直線性、ヒステリシス、繰返し性) Total Error Band±1.0%F.S. (-20~85℃) (includes Linearity

④ 部材質 Material

部材質	部材質
4	ダイアフラム: SUS630 (17-4PH) 継手: SUS304 Diaphragm: SUS630 (17-4PH) Fitting: SUS304

その他指定は問い合わせ下さい / Consult sales office for the other options.



出所：長野計器ウェブサイト<sup>18</sup>

2.4. 他社製品との比較

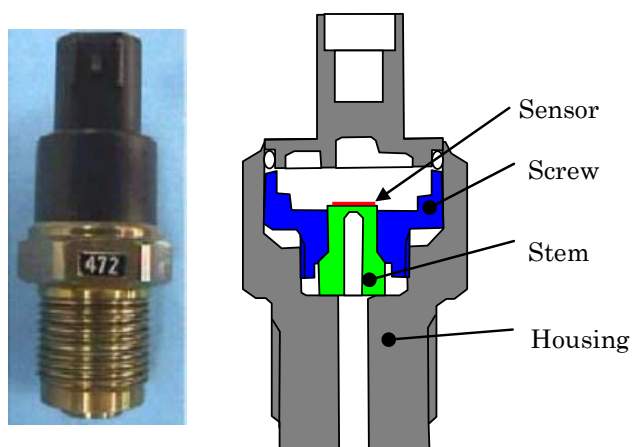
国内で製造されているディーゼルエンジン用コモンレール向け圧力センサとしては、デンソーの製品が挙げられる。

デンソーの製品では、単結晶シリコンで作られたひずみゲージ (sensor) をステンレス製のステム (stem) に低融点ガラスで接着し、圧力の検出素子としている。この素子をネジ (screw) により本体 (housing) に密着させることで圧力センサが組み立てられているのである (図 2-6)。

ステンレスのダイアフラムとひずみゲージを使っている点は、長野計器の SS センサと同じであるが、使われているひずみゲージの材質や組み立て方式は全く異なっている。

<sup>18</sup> [http://www.naganokeiki.com/public\\_html/data/item\\_data/332/KM31C2.pdf](http://www.naganokeiki.com/public_html/data/item_data/332/KM31C2.pdf)

図 2-6 デンソーの圧力センサ



出所：「デンソーテクニカルレビュー」、2004年、Vol.9

長野計器の圧力センサとデンソーの圧力センサの違いを、表 2-3 にまとめた。長野計器が蒸着方式を採用しているのに対し、デンソーでは低融点ガラスによる貼付方式を取っており、センサ素子の耐熱性にも影響している。こうした違いから分かるように、長野計器は接続部品との結合に電子ビーム溶接を行い、一体化しているのに対し、デンソーはネジ押えによるメタルコンタクトを取っている。

表 2-3 長野計器とデンソーの圧力センサの違い

	長野計器	デンソー
圧力検出方式	ステンレスダイアフラム	ステンレスダイアフラム
ひずみゲージ	多結晶シリコン	単結晶シリコン
貼付方式	蒸着方式	低融点ガラス
接続部品との結合	電子ビーム溶接	ネジ押えによるメタルコンタクト
ダイアフラム直径	大	小

出所：筆者作成

ひずみゲージを比べた場合、デンソーでは多結晶シリコンより感度の高い単結晶シリコンのひずみゲージ<sup>19</sup> を使っている。ネジ押えによる構造的な制約と圧力により発生する力を小さくするために、ダイアフラムの直径を小さく抑える必要があったためであると考えられる。

この結果、長野計器の SS センサが 4 個の主要部品から構成されているのに対し、デンソーの圧力センサは 5 個の主要部品から構成されている。また、デンソーの圧力センサには高い加工精度を必要とするメタルコンタクトが使われており、構造的なコストアップ要因とな

<sup>19</sup> 単結晶シリコンのひずみゲージは、多結晶シリコンの 3~5 倍の感度である。

っていると考えられる。

### 3. 長野計器におけるもの造り

#### 3.1. 長野計器の生産活動の特徴

長野計器の生産活動の特徴としては、以下のものが挙げられる。

①「より小さな設備でより速く、効率よく、国際価格で世界市場に供給する生産システムの構築」

②「1品ものから100万個単位の製品の生産を1つの工場で行なう」  
ことが挙げられる。

①については、生産システムを1つの技術として構築し、DTF（Desk Top Factory：机の上に乗る位の大きさの機械・工場設備）構想を実現した。DTFとは、圧力センサを生産するためのクリーンな環境条件を実現する目的で、机の上に超省エネで省資源、省スペースを（クリーントンネルを）イメージして考えられた自動化生産設備である。これにより、自動化ライン全体をクリーンルーム化する代わりに、クリーントンネルのみをクリーン化する範囲の限定ができるようになった。その結果、エネルギーを削減するとともに、作業者も一般の服装で作業を行なうことが可能になったため、コストの削減にも大きな効果をもたらしている。

長野計器は、自動化設備としてDTFをはじめ、圧力センサ素子を生産する上で必要な各種クリーンルーム（クラス10、クラス100、クラス1000）、プラズマCVD装置、PVD装置、露光装置、トリミング装置等、多くの設備を保有しているが、自動化設備を導入するか否かの判断規準について、同社常務取締役の塩入久徳は、「設備を用いる製品が単品種であることに加え、損益分岐点を越えるコストで生産できるもの」とコメントしている<sup>20</sup>。

②については、1~数個単位で発注される計測機器向けの特注品から月に数十万個の注文がある自動車向けの量産品まで、丸子電子機器工場で生産している。少量品の組み立てはセルラインを活用し、数個を一つのトレーに入れて流す方式を取っている。これに対し、量産品の組み立ては製品毎に徹底した自動化ラインが構築されている<sup>21</sup>。

#### 3.2. 開発プロセスと顧客との共同

センサの設計は、大きく別けてセンサモジュールを設計する開発部門と周辺回路や接続部品等を顧客の要求に合わせて設計する製品設計部門に分かれている<sup>22</sup>。長野計器のセンサ関

<sup>20</sup> 第2回インタビュー（2005年12月16日、長野計器㈱丸子電子機器工場）。

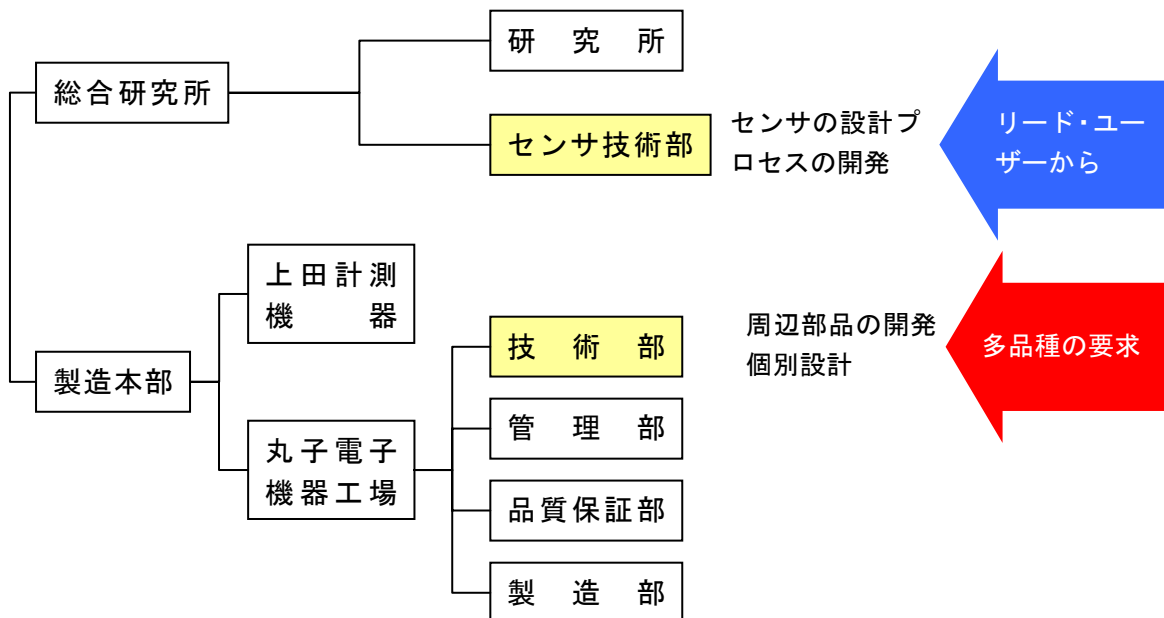
<sup>21</sup> 第1回インタビューおよび工場見学（2005年9月15日長野計器㈱丸子電子機器工場）。面会者：長野計器㈱常務取締役 塩入久徳、長野計器㈱取締役上席執行役員総合研究所長 吉池純一。

<sup>22</sup> 第2回インタビュー（2005年12月16日、長野計器㈱丸子電子機器工場）。



連の組織図を図 3-1 に示してみる。

図 3-1 センサ関連の組織図



出所：「長野計器株式会社経歴書（2005年7月版）業績」より推計

大企業では原理的な研究は基礎研究部門が担当し、商品化の段階では商品開発部門が担当するといった分業体制を取る場合が多い。しかし、長野計器では、センサ部分の基礎的な研究から顧客との共同開発までを総合研究所の一部門であるセンサ技術部が担当している。また、顧客の要求によって仕様が変わる周辺回路や接続部品の組み合わせは、開発部門とは切り離れた丸子電子機器工場の技術部で行なう体制にしている（巻末参考資料4参照）。

センサモジュールについては、設備の開発から製品の設計まで一部門で手がけることで、標準化と開発スピードのアップにつなげるとともに、周辺部分の設計を開発部門から切り離すことで、多品種に対応した仕組みを採用している。とくに車載向けセンサモジュールは、動作環境の面からも、小型化要求の面からも厳しい要求がある反面、他の用途に比べてロットサイズが大きく、開発費を十分にかける価値がある。

また、開発の現場では、売れるか売れないかわからないものを開発するよりも、車載用のように、顧客に応じてターゲットがしっかりしていると、開発者のモチベーションが上がり成果が出やすいという。同社では、車載用モジュール開発で生み出された新技術を、他の分野に横展開することで、製品のコスト低減や新規市場の開拓に活用している。

なお、長野計器では、ダイヤフラムの加工を切削から鍛造に切替える等の製造技術について



## 品種・生産量変動への対応力

でも、顧客と共同開発することで、コストの削減等を図っている。また、自動車部品は品質の面からも顧客の要求が厳しく、ISOの取得は必須となっている。このことが、社内での品質意識の高揚や作業の標準化につながっている。

2005年5月には、ドイツ・ドレスデン市近郊のオッテンドルフ・オキリラにある長野計器ソリューションズ・サポートセンターが設立された。この拠点は、市場での緊急要求に基づく顧客の追加需要に応える物流センターの機能と同時に、顧客サポートの中から顧客のニーズを早期に見つけ出すことを目的に設立された。「圧力センサは小型で軽量のため、ヨーロッパへ送ったとしてもコスト的には大きな影響はないが、顧客の本当の声を聞くためには、顧客に近い場所で拠点を持つ必要があった」と、同社総合研究所センサ技術部成膜技術課課長の長坂宏<sup>23</sup>は指摘している。

## 4. センサモジュール製造工程の標準化

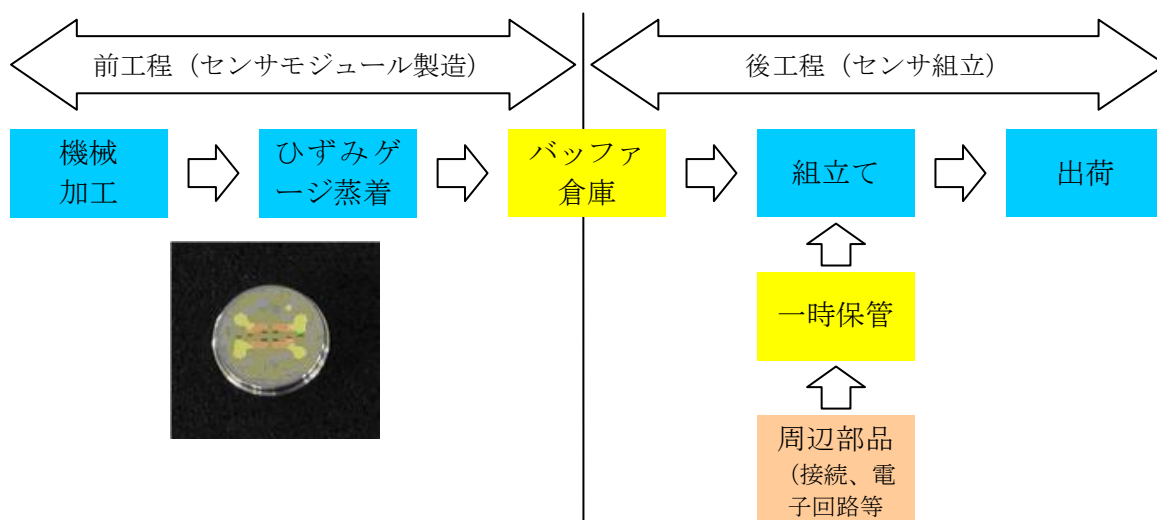
### 4.1. センサモジュールの製造工程

センサの製造工程は図4-1のように大きく分けて、センサモジュールを製造する「前工程」と、センサモジュールに接続部品や電子回路、コネクタを組み立てる「後工程」に分けられる。

前工程は上田工場にあり、機械加工されたダイアフラムの表面にひずみゲージを作り込む工程である。上田工場で製造されたダイアフラムは、丸子工場のクリーンルームに入り、最初に絶縁膜を形成する。

<sup>23</sup> 第2回インタビュー（2005年12月16日、長野計器(株)丸子電子機器工場）。

図 4-1 センサの製造工程



出所：長野計器㈱工場見学（2005年9月15日）から筆者作成

次のひずみゲージ作成工程では、ひずみゲージの材料となる多結晶シリコンを蒸着させた後、写真製版の技術を利用してひずみゲージのパターンを成型している。さらに、ひずみゲージの信号取り出し電極を同様な手法で作成した後で、ボンディングパッドを除いた部分に窒化シリコンの保護膜を蒸着させ、センサモジュールが作られる。上田工場の機械加工を除く前工程のほとんどはクリーンルーム内で処理され、中でも各種の薄膜を積層する工程は真空環境の中で行なわれている<sup>24</sup>。

#### 4.2. 薄膜製造工程の単一プロセス化

製品としてのセンサは用途や測定レンジによりさまざまなものがあり、数量的にも計測・制御用に使う 1~数個といったものから、車載用センサのように月に数十万個生産する大量生産のものまである。同一直径のセンサでも圧力レンジの違いにより計量法で規定された SI 単位系でも十数種類の製品がある。

さらにアメリカでは今でもインチ・ポンド系の psi も使われており、これらを合わせると同一形状のセンサでも 20 種類程度はすぐにいってしまう。しかし、実際には、ひずみゲージのパターンは直径の違いを含めても 9 種類しかなく、そのひずみゲージに使われるシリコン多結晶の薄膜を製造する工程（図 4-2）はすべて同じ条件で製造されている。

多結晶シリコンを PCVD<sup>25</sup> で製造する方法は、信州大学の小沼の研究室に研究者を派遣し

<sup>24</sup> 長野計器㈱「製品案内（2005年6月版）」および「丸子電子機器工場 工場概要」。

<sup>25</sup> Plasma Chemical Vapor Deposition の略：ガス状原料の気相・表面での反応を利用して原料分子に含まれる元素を構成要素とする薄膜を堆積させる手法で、電気的エネルギーにより原料ガスをプラズマ状態にして反応させる

## 品種・生産量変動への対応力

---

て進められた。基礎的な研究は研究室で行われたが、量産化の技術は、同社で独自に開発を行った。

一般的に半導体の製造は、25%を超えれば量産を開始すると言われるほどに、微妙な制御技術の上に成立っている。圧力センサに使われる多結晶シリコンの薄膜も同様に、一度出来上がったプロセスは可能な限り変更せずに、他のパラメータを変更することで製品の特性を変えなければならない。

このためのパラメータとしては、圧力センサのダイアフラム形状を変えることと、ゲージパターンを変更する方法が選択された。その手法は、現在のセンサにも引き継がれ、センサモジュールのひずみゲージ製造プロセスは、測定レンジやモジュールのサイズが混在しても、段取り替えがほとんど発生しない設計になっている<sup>26</sup>。

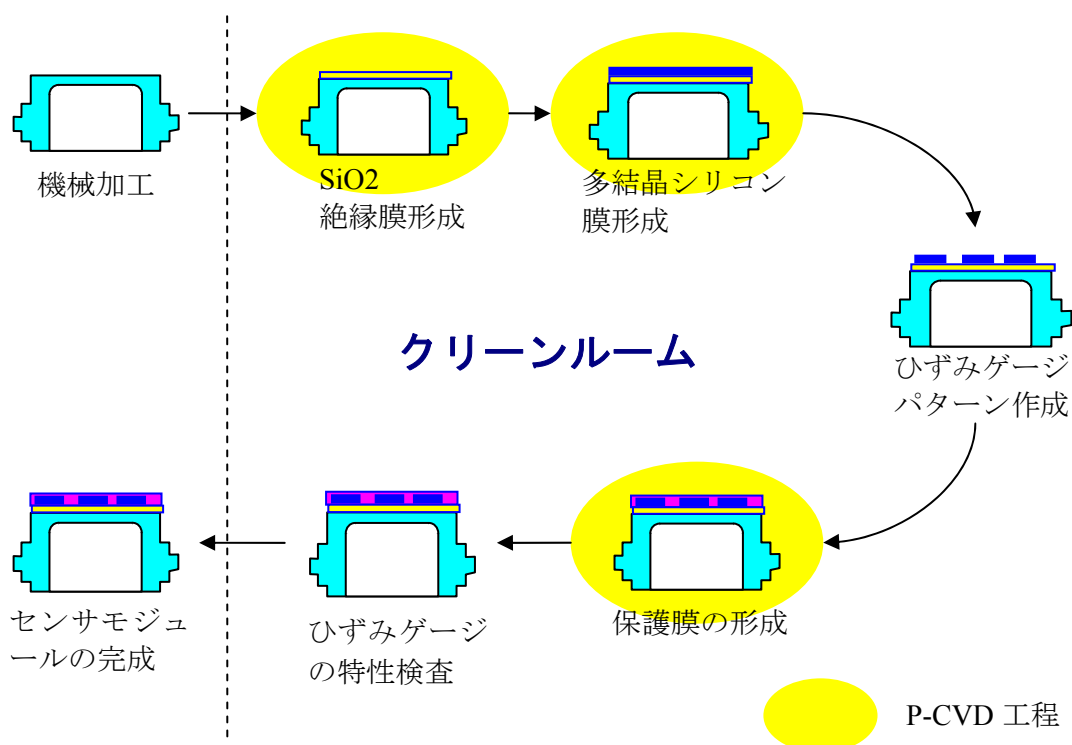
一方、他社がひずみゲージを貼り付ける方式で設計しているのに対し、長野計器のセンサは蒸着方式を採用している。製造工程を見た場合には、他社方式ではひずみゲージの製造とセンサダイアフラムへの貼付工程が分かれているのに対し、蒸着方式の圧力センサではひずみゲージの製造工程のみとなっている（図 4-2）。

---

方法。熱CVD法に比べ低温で均質なものができる。

<sup>26</sup> 第2回インタビュー（2005年12月16日、長野計器(株)丸子電子機器工場）。

図 4-2 センサモジュールの製造工程



出所：長野計器㈱「製品案内」(2005年6月版)、P.69を基に筆者作成

製造の自動化に際し、蒸着方式の圧力センサでは、センサダイアフラムにひずみゲージを貼付するためのハンドリングが不要になる。また、ひずみゲージを製造する工程のほとんどは真空の状態の中でバッチ処理が行なわれるため、多数のセンサをキャリアに搭載し反応装置に入れると、ほとんど人手を介さずに加工が行われる。

反面、他社が行なっている貼付方式では、ひずみゲージをダイアフラムに貼付するためのハンドリングが必要となる代わりに、ひずみゲージ単体で検査を行ない、良品のみをセンサ本体に貼付することができる。このため、ひずみゲージの歩留まりが少々悪くてもセンサ本体は無駄にならない。

センサ本体へひずみゲージを蒸着する場合には、不良の発生でセンサ本体も不良となるため、歩留まりの影響は他社以上に大きいという課題があるのである。このため、次に見るように、歩留まりの向上が重要になってくる。

また、圧力によるひずみの発生をダイアフラムの形状だけで制御する場合、形状の誤差がセンサの精度に直接影響する。圧力に対する感度は、ダイアフラムの内径と厚さによって変

## 品種・生産量変動への対応力

わってくる。ダイアフラムの付け根に当たるコーナR<sup>27</sup> についても、センサの感度に対して影響が大きいと、公差をつけた管理を行なっている。こうした事情から、加工には高い精度が要求されるが、同社では、圧力計の製造で培った機械加工の技術を活かし、これらの高精度の機械加工を行っている。

なお、他社が接続部とセンサモジュールを結合させるために、メタルコンタクトの高精度な部品を組み合わせるのに対し、長野計器では、蒸着方式のひずみゲージが温度に強い特性を利用し、電子ビーム溶接により接合している。これにより、接合部の信頼性が高まるとともに、生産工程が簡素化されている。

### 4.3. 歩留まりの向上

半導体の製造工程で歩留まりを悪化させる原因として、製造プロセスが一定しないために、特性が安定しないという点が、以前から指摘されてきた。メモリの製造工程では、「ナトリウムショック<sup>28</sup>」と言われるように海岸からの潮風に含まれた大気中の塩分の影響で、季節によりロットの歩留まりが大幅に悪化したのは有名な話である。こうした問題に対し、インテルは、東北大学の犬見忠弘<sup>29</sup> の指導を受け、徹底したクリーン度のスーパークリーンルームを導入した新しい製造ラインによって外乱要因を徹底的に排除することで、ラインの立ち上げ当初から驚異的な歩留まりを確保している。

長野計器の圧力センサの製造も上田工場で立ち上げた当初は、良品がほとんどない状態だった。プロセスのパラメータを厳しく管理していく中で、どうにか黒字化できるまでに歩留まり水準も向上してきたのである。自動車向け圧力センサの製造に向け丸子工場を建設する時点では、担当者が何回も東北大学へ出向き、犬見の指導を受けながらスーパークリーンルームを立ち上げた。このときに導入したロードロック方式<sup>30</sup> の設備では、スループットが上昇するとともに環境からの影響を受けにくくなったため、ロット不良はほとんどなくなるまでになった（巻末参考資料 6 参照）。それでも、組み立て工程の歩留まりがほぼ 100%近いのに比べるとまだまだ歩留まりが低いため、現在でもひずみゲージの製造工程の最後には全数の検査を行ない、品質を確保するようにしている。

歩留まりには、センサ本体の小型化も影響している。とくに自動車向けセンサでは、超高

<sup>27</sup> コーナは 0.5R を基準としているが、 $\pm 0.05R$  とのリミットを設け、全数を自動計測している。R が大きいと発生する応力が小さくなり感度が悪くなる。逆に R が小さいと応力が集中し、破壊の原因となりやすい。

<sup>28</sup> 相田洋、『電子立国日本の自叙伝 第一巻』、NHK出版、1995年。

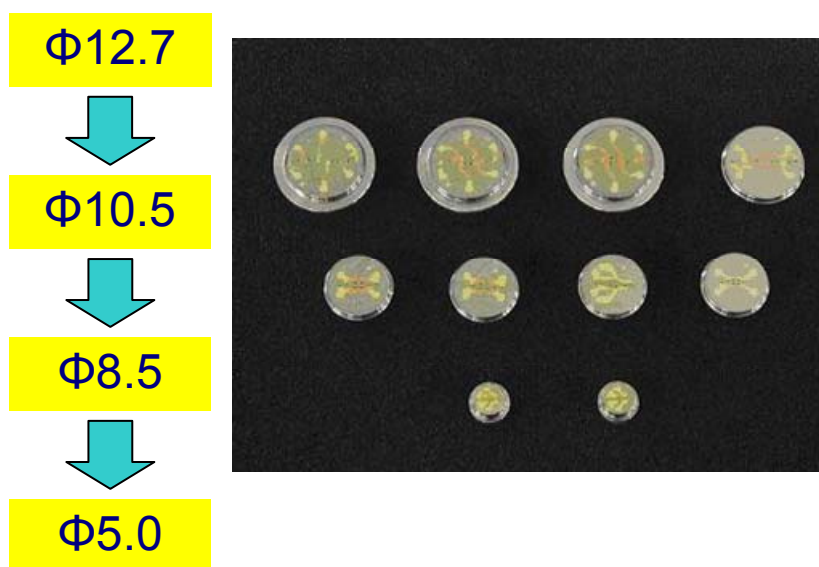
<sup>29</sup> 犬見忠弘 東北大学未来科学技術共同センター教授：半導体も同じ条件で作れば、同じものができるとの信念で、東北大学にスーパークリーンルームを建設。それをきっかけに、インテルに乞われて製造ラインの指導を行いインテル復活の土台を築いた。

<sup>30</sup> ロードロック方式による改善の詳しい要因は、参考文献（信州大学経営大学院、「圧力センサ技術への挑戦と車載用途開発」、2006）を参照していただきたい。

圧対応と小型化の要求が強かった。センサモジュールの大きさは図 4-3 に示すように、当初はφ12.7 mmだったがφ10.5 mm、φ8.5 mmと小型化され、現在はφ5.0 mmまで達している。一回の蒸着処理で製造できるセンサの数量はほぼセンサの面積に比例するため、小型化により一回当たりの処理数は当初の4倍近くに増えている。その結果、ひずみゲージの製造工程では製造原価をかつての1/4程度に抑えることに成功している。なお、工場の生産能力も小型化に合わせて増加し、現在は月産250万個に達している。

ただし、高い圧力を扱う製品では、センサモジュールのダイアフラムに対する機械加工の精度は以前にも増して厳しくなっている。小さくすることで強度上有利になる反面、要求される寸法精度は大きさの二乗に反比例するからである。このため、設計面では10年ほど前からコンピュータによるシミュレーションを取り入れ、設計段階でひずみゲージの最適位置を決める等の設計精度を高めつつ、設計条件を実験によらず短期間に決定できるようにしている<sup>31</sup>。

図 4-3 センサモジュールの小型化



出所：長野計器ホームページ<sup>32</sup> より

## 5. 全工程を通じたフレキシビリティの確保

### 5.1. センサの製造工程と在庫管理

センサの製造工程は、大きく分けてセンサモジュールを製造する前工程と、センサの組み立てを行なう後工程に分けることができる。4節で述べたように前工程は標準化が進んでお

<sup>31</sup> 第2回インタビュー（2005年12月16日、長野計器(株)丸子電子機器工場）。

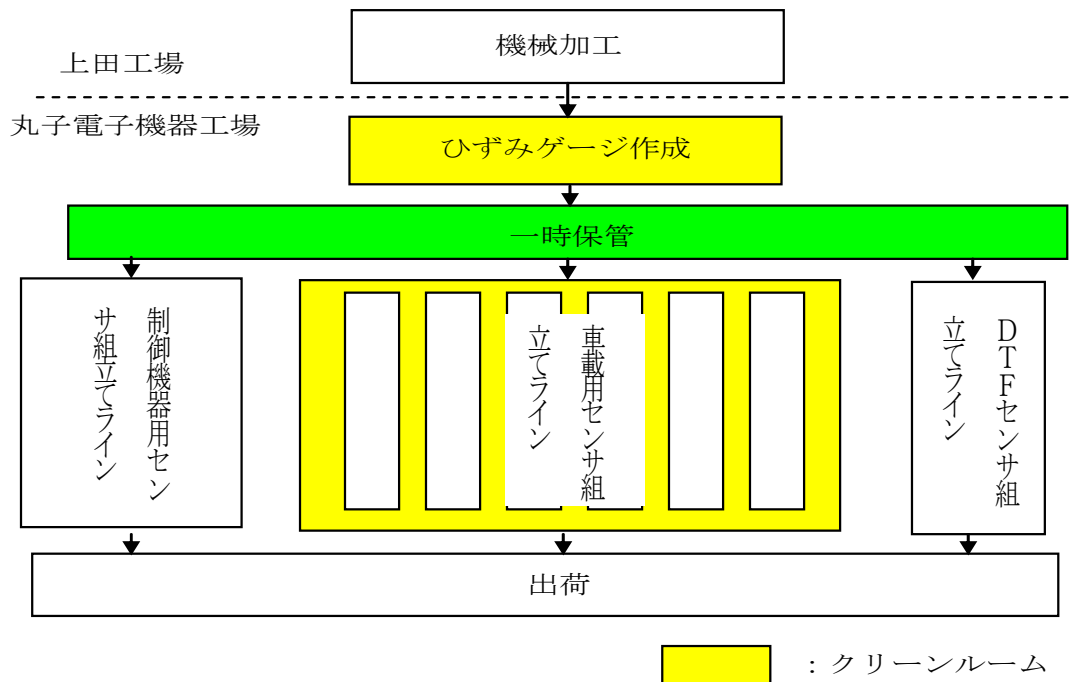
<sup>32</sup> [http://www.naganokeiki.com/public\\_html/data/item\\_data/285/sensor.ppt#396.4](http://www.naganokeiki.com/public_html/data/item_data/285/sensor.ppt#396.4)、スライド 4

## 品種・生産量変動への対応力

り、センサの種類にかかわらず同じプロセスでセンサの製造が行われている。

これに対し、後工程では顧客の要求に合わせて部品を組み合わせる必要がある。したがって、全製品を同じ方式で組み立てるような標準化は難しく、顧客からの受注にあわせた製品の製造が求められる。後工程ではリードタイムを短縮するために、工程間を一個流しでつなぐ事を基本に、自動車向けのように一品種で月に数十万個も生産する製品は専用の自動化ライン（**図 5-1**）を構築し、月に数個の少量品はセル生産により製造している。

**図 5-1 圧力センサの製造ライン**



出所：長野計器(株)工場見学(2005年9月15日)から筆者作成

また、前工程と後工程では生産量の変動に対しても異なる特性を持っている。製造条件が厳しい前工程では、条件を安定させるために処理数等を基準とした定期的なチャンバ内部の清掃等を行ない、処理条件が厳密に管理されている。このため、生産は計画に基づいて行なわれ、急激な処理数の変動には対応が難しい特性がある。一方で種類が多く製品在庫を持たないセンサの場合、後工程は顧客からの急な受注や数量の変動に対しても柔軟に対応できなければならない。

このように前工程と後工程では工程の特性に違いがある。このため両者を繋ぐ工程間にはバッファ倉庫を持たせ、リードタイムの違いを吸収している。バッファ倉庫の在庫量としては、製品の使用量を基に、基準在庫を決めることから始まる。長野計器では、在庫量がこの

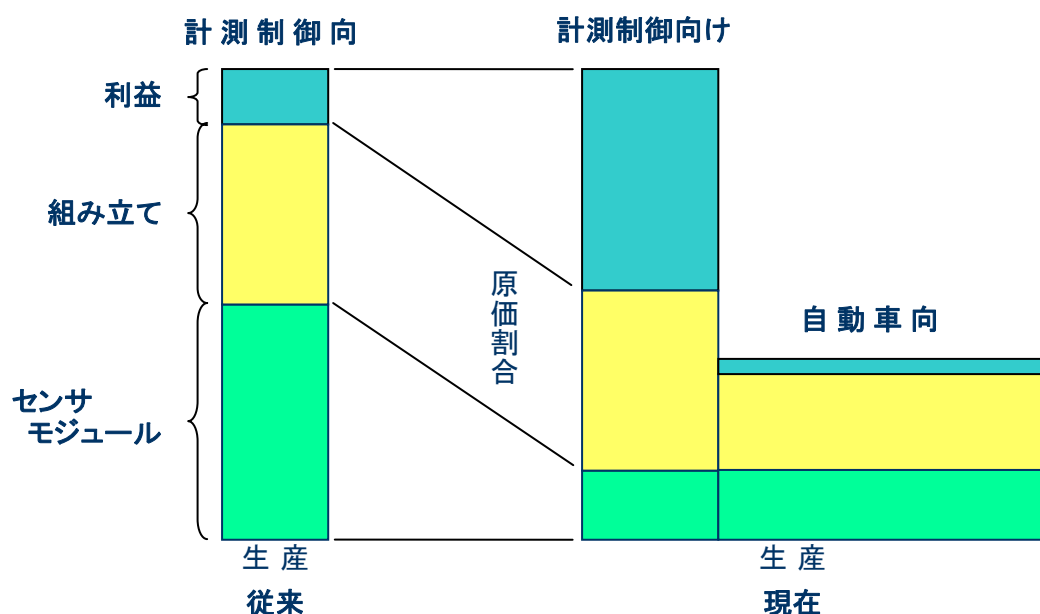
基準在庫の半分になったら、製造指示を出す「定点発注方式」を採用している<sup>33</sup>。

## 5.2. 製品の組み合わせ

自動車向けセンサを扱い始める前と現在の原価構成を比較すると、**図 5-2** のようになると考えられる。従来は、センサモジュールの製造量も少なく歩留まりも悪かったため、売価に占めるセンサモジュールの原価が高い割合を占めているが、現在はセンサモジュールの原価が下がり計測制御向けセンサは利益の出せる状態になっている。一方、自動車向けセンサは量が多いが、原価に占める利益の割合は、計測制御向けに比べて少ない。このため、両者のバランスが重要になっている。

長野計器のセンサの生産は一時期、月間 100 万個を越えていたが、コモンレール用圧力センサ使用量の 2/3 程度をボッシュ社が内作<sup>34</sup> で生産するようになり、現在の圧力センサ全体の生産量は月間 80 万～90 万個程度になっている。このうち約 20 万個が計測用で、60 万～70 万個が自動車用として生産されている。

図 5-2 製品の組み合わせによる原価構成の変化



出所：第 2 回インタビュー（2005 年 12 月 16 日）から筆者作成

自動化ラインは大規模な設備投資による固定費が大きい反面、省力化により人件費に相当

<sup>33</sup> 第 2 回インタビュー（2005 年 12 月 16 日、長野計器(株)丸子電子機器工場）。

<sup>34</sup> 大口顧客であるボッシュ社から増産の要求があったときに、選択肢としては自社で設備を増強し、需要に対応する方法とライセンスを提供しボッシュ社で生産する方法の二者が有ったと思われるが、長野計器では後者の製造技術をライセンスする道を選んでいる。この判断には、コモンレール向けの自動車向け圧力センサで今以上の設備投資をしても、今以上の利益は出しにくいとの判断が働いたものと考えられる。



## 品種・生産量変動への対応力

する変動費は低く抑えられている。これに対しセル生産ラインは簡単な設備で固定費は小さいが、生産高に比例してセルの数を増やさなければならないため、変動費は大きくなる。長野計器もこの考え方に従い、少品種大量生産の自動車向けの組み立てラインは徹底した自動化を行ない、多品種少量生産の建設機械向等の組み立てラインはセル生産ラインを構築している。

既に 1.1 でふれたが、一般用のセンサがインターネット上の価格を見ると数千円から数万円取引されるのに対し、自動車向けのセンサは生産量と売上高から推定すると数百円程度で流通していると推測される（巻末参考資料 5 参照）。「自動車向けは 1 年経つ毎に価格の改定があり、数量が多い場合には年の中途でも価格の見直し要求がある」と塩入は指摘しているが<sup>35</sup>、価格的には年を追う毎に厳しい状況になっている。

このように、自動化による生産性の向上を進めても、自動車向けセンサ単体で利益を出すことは相当に難しい<sup>36</sup>。こうした自動車向けセンサの状況に対し、「建設機械向等のセンサの製造原価は、自動車向けを 1000 円とすれば 1500 円程度かかる。それでも数が少ないので少々高くてもお客様に買ってもらえる」と塩入は述べており、他用途向けではより利益を出し易くなっている<sup>37</sup>。

前工程のセンサモジュール製造工程は、4 節で述べたように、センサの種類には関係無く全て同一のプロセスで作られている。前工程のセンサモジュール製造工程を、複数の用途向けに共有することは、コスト面で重要な意義を持っている。「もし自動車用センサの 60 万個が無かったとしたら、計測用の 20 万個を現在のコストで製造することは難しかった」と、塩入は指摘している。

また、センサモジュール以外の部品調達に関しても、自動車向け圧力センサが無かった頃に比べ量がまとまっている関係で安く調達できるようになっている。例えば、ひずみゲージから出た信号の増幅には専用の ASIC を開発しているが、自動車向け事業により、まとまった受注量があるため、自動車用以外の ASIC に対しても安価に購入できるようになっている。以上のように、自動車用センサの 60 万個がベースとして入っていることが、計測用センサの価格競争力向上に寄与しているのである<sup>38</sup>。

<sup>35</sup> 第 2 回インタビュー（2005 年 12 月 16 日、長野計器(株)丸子電子機器工場）。同時に、塩入は「黒字が大きいほど良いとは思っていない。お客様（自動車メーカー）と利益を分け合うことを考えている」（括弧内筆者挿入）と指摘している。

<sup>36</sup> 第 2 回インタビュー（2005 年 12 月 16 日、長野計器(株)丸子電子機器工場）。

<sup>37</sup> 第 2 回インタビュー（2005 年 12 月 16 日、長野計器(株)丸子電子機器工場）。

<sup>38</sup> 第 2 回インタビュー（2005 年 12 月 16 日、長野計器(株)丸子電子機器工場）。

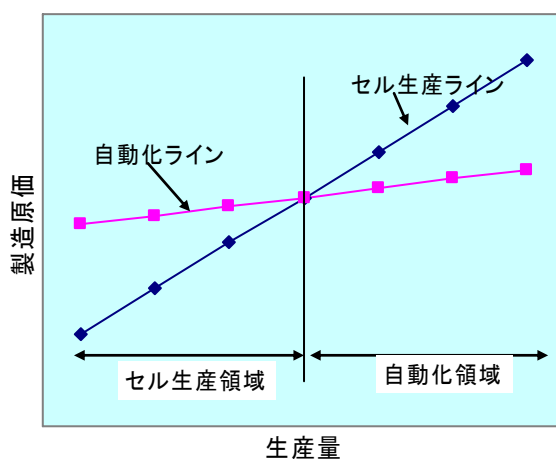
### 5.3. 量産品での徹底した自動化と少量生産品でのフレキシブル化

後工程の組み立てラインについては、「一般にやられている方法をとっているだけ」と塩入はコメントする<sup>39</sup>。だが、同社では、製品の特性に合わせ量産向けの自動化ラインと多品種少量生産向けのセルラインとがバランスよく構築されているように思われる。

自動化の大きなメリットとしては生産性の向上に加え品質の安定化がある。繰り返し作業が多い大量生産の作業では、人が介在するとその日の体調や気分により生産性や品質にバラツキが出てくる。しかし、自動化ラインの場合にはメンテナンス次第で高い生産性と品質の維持ができる。なお、量産に当たっては、品質を保証するために製造ラインは顧客の認定を受けており、工程を変更したり、他の製品を流したりといった改造を簡単には行なえないようになっている。

一方、設備を構築するための費用と期間がかかるため、製品寿命が短いものでは、ライン構築の費用を回収できないケースが生じる。そこで、長野計器では、製品を量産化する段階では、生産量を見極めながらラインを使い分けることにしている（図 5-3）。量産品では、設備費用がかかるため、立ち上げ当初のサンプル出荷は原価を割って出す等、損益分岐点をどこにとるかを慎重に見極めて、自動化の適否を考慮しているのである。

図 5-3 生産方式による原価の違い



出所：第二回インタビュー（2005年12月16日）から筆者作成

自動車向けセンサの組み立てラインの場合、U字型の流れになっており、オペレータがU型ラインの一端から部品を供給すると、ひとつひとつのセンサが自動的に組み立てられ、他の端から製品として取り出せる仕組みになっている。「圧力計の組み立てはU型ラインで自

<sup>39</sup> 第2回インタビュー（2005年12月16日、長野計器株式会社丸子電子機器工場）。

## 品種・生産量変動への対応力

動化してきた」と塩入はコメント<sup>40</sup>しているが、圧力センサの組み立ても同じ流れを汲んでいる。

U字型ラインはI型のラインに比べ、部品の供給位置と取り出し位置の距離が近いこと、オペレータを少なくできる特徴がある。オペレータの主な作業は、それぞれの担当する機械への部材等のハンドリングを行なうことに限定されてくるからである。ひとつの組み立てラインには2~3名程度のオペレータが配置され、月産約10万個をカバーしている<sup>41</sup>。なお、このラインのタクトタイムは生産改善と機械の進歩により30秒/個→15秒/個→7~8秒/個→6秒/個と短縮され、現在に至っている。

一方、自動車向け以外の製品では、1個~3個といった少量製品が全体の80%を締めている。塩入は「多品種少量生産を効率よくやってくれるロボットは簡単には無いため、これらの製品は人的作業に頼っている」と指摘している。長野計器では、少量生産ではセル生産方式を採用し、数個の製品毎に伝票を付け、人が管理する方法が取られている<sup>42</sup>。コスト的には大量生産の製品に比べ高くはなるが、顧客の方でも1個、2個の少量では多少高くても仕方がないといった認識がある。

以上のように、大量生産と少量生産の両方に対応しなければならない場合には、自動化の範囲が重要なポイントになってくる。このため、長野計器では、中程度の量を作らなければならない製品は、どこを自動化するのが一番効率的かを見極めながら、逐次自動化を進めている<sup>43</sup>。

総じて、人が行なう作業は、体調や作業者の熟練度により品質や処理できる量にムラが出てくる。このような状況で大量生産を行えば、安定した品質の製品が確保できない。そこで、長野計器では、生産量と品質管理との関係を考慮しながら、的を絞って自動化を行なうことで、品質と生産性を向上させているのである。

## 6. まとめ

長野計器では、製品としてのセンサの組み立て工程では、大量生産の製品には製品別の専用ライン、多品種少量生産の製品はセル生産方式といった具合に、製品の特性に合わせた生産方式を取っている。しかし、一般に、多品種少量生産を大規模な設備を使って行なう場合

<sup>40</sup> 第1回インタビューおよび工場見学(2005年9月15日、長野計器(株)丸子電子機器工場)。

<sup>41</sup> 第1回インタビューおよび工場見学(2005年9月15日、長野計器(株)丸子電子機器工場)。

<sup>42</sup> 少量生産の工程は、作業員からの提案制度を活用し、常に作業の改善を行なっている。従来は、紙に図面を起こさなければ提案できなかったが、現場の作業員には紙面に書くことを苦手とする人も多く、最近はデジカメにより改善前と改善後の写真をつけることで、提案が出来るように制度の見直しも行ない、提案制度の活性化を図っている。

<sup>43</sup> 第2回インタビュー (2005年12月16日、長野計器(株)丸子電子機器工場)。

には、段取り替えに伴う製造装置の設定変更と調整に時間を取られる。

こうした課題に対し、長野計器は、組み立て工程ではなくセンサモジュールのひずみゲージ製造工程をほぼ同じプロセスとし、数種類に集約することで解決を図ってきた。中でも一番難しい成膜工程は、一種類に限られている。このため、機種に関係無く、全てのセンサモジュールは大量生産方式で安く作れる体制が出来上がっているのである。

大手企業を相手に事業を行なった場合、製品設計のほとんどは顧客の指示で行ない、製造会社は製造技術を駆使して安く作れる方法を探り出すことが多い。しかし、長野計器の場合には、他社に無いプラズマCVDによる薄膜の製造技術を持っている。このことが、センサモジュール製造プロセスの標準化に大きく寄与していると考えられる。こうしたセンサ部分のプロセスの標準化に加え、自動車向けセンサの大量生産が入ったことで、計測用センサについても大幅なコスト競争力が生まれてきた<sup>44</sup>。

今後の課題としては、現在のφ5.0より更に直径の小さいφ2.5のセンサの開発が上げられる。しかし、φ12.7からφ5.0までは従来からの多結晶シリコンを使うことで対応できたが、φ2.5のセンサについてはより高感度対応可能な金属ガラス材料等が必要になる。金属ガラスは高温処理で特性が悪化するため、従来の成膜技術は使えず、新たな低温プロセスから開発しなければならない。

多品種少量生産は一般に製品一個当たりの付加価値が高いと考えられるが、販売先が限られ大型の設備投資が必要な産業ではリスクが大きい。また段取り替えの問題で、予想以上に生産性も上がらない場合が多い。一方、多品種少量生産だけでは市場規模が小さく限りがあるので、設備を維持していくためには、安定的に大量に消費する分野も必要になる。こうした事情から、本ケースで見てきたように、製品については多品種少量で有りながら、コアとなる技術は大量生産として扱えるように、的を絞って工程や製品の設計段階から標準化を進めることが重要になってくるのである。

## (謝辞)

今回のケースを作成するにあたり、長野計器㈱の塩入常務様はじめ関係者の皆様に多大なご協力いただきましたことを感謝申し上げます。また、本文では敬称を省略させていただきました。

---

<sup>44</sup> ただし、コモンレール向けの自動車センサについては、その後の値下げの要求が厳しく近年は利益の出にくい製品になってきたため、自社の工場を拡張するよりも、ライセンスする方法が取られるようになってきている。

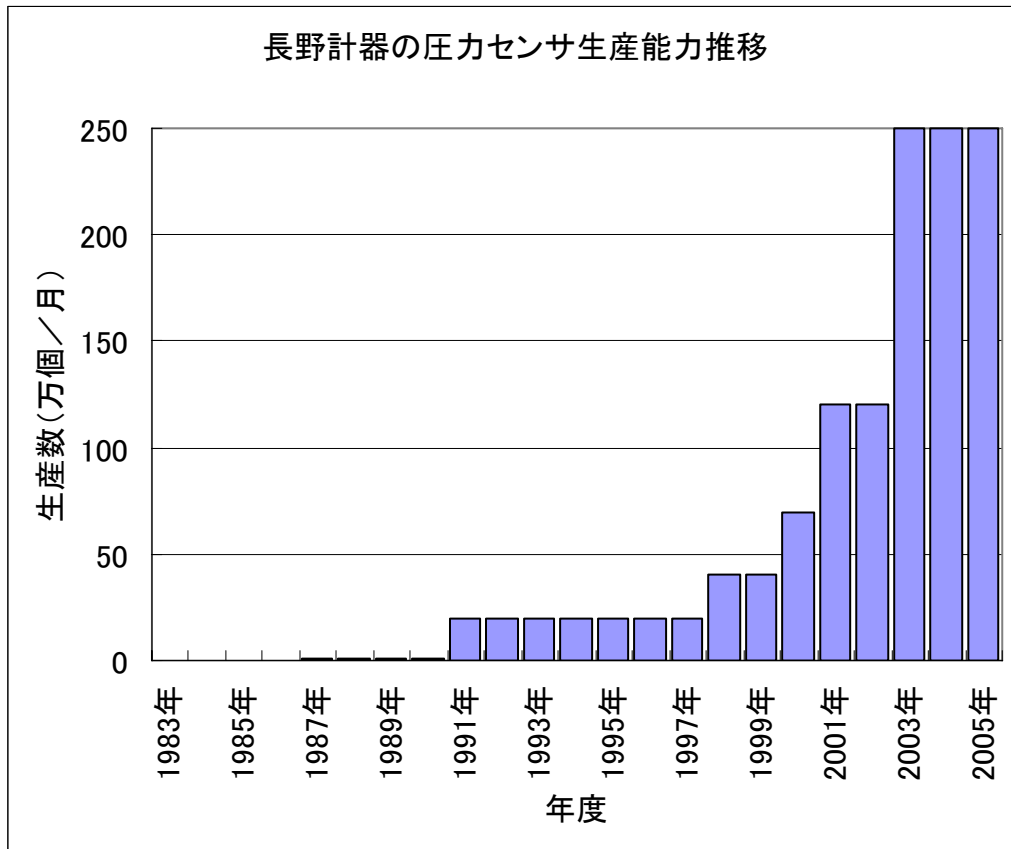
品種・生産量変動への対応力

参考資料 1 長野計器の沿革

西暦	和暦	経営上の主要な出来事	主な製品、業務の沿革
1896	明29	和田計器製作所として創業	機械式圧力計
1948	昭23	長野県小諸町（現小諸市）にて資本金500万円で設立	一般圧力計、消火器用圧力計
1952	27	上田市新田に本社工場を統合	φ250（4000キロ）圧力計
1960		本社工場増設（建坪約600㎡）	
1961		組み立て工場にてベルトコンベアによる組み立て開始	
1965	40	第3期工事完成、本社移転	7000キロ圧力計
1969		本社工場に自動機製造工場増設（480㎡）	デジタル圧力計
1970			磁歪式インジケータ
1973		本社工場にブルドン管工場増設	汎用圧カスイッチ
1976		上田工場の精密工場工事完了（クラス1000クリーンルーム）	
1983		KH15半導体歪みゲージ式圧カトランスミッタ発売	KH15半導体歪みゲージ式トランスミッタ
1988	63	米国ドレッサー社と半導体圧カセンサの技術・販売契約	
1989	平元	丸子電子機器工場第一期工事竣工	圧カセンサの本格的生産開始
1990		ドレッサー社の「キャパシタンス式センサ」の販売等契約締結	RX60半導体産業用圧カ調整弁
1996			高温用半導体圧カセンサ
1997	9	丸子電子機器工場第二期工事竣工	
1998	10	独国ボッシュ社と高圧センシング技術の技術移転等契約	
2004	16	オムロン(株)との業務提携	

出所：『計測から制御へ 長野計器50年史』（長野計器株式会社社史編纂委員会、1999年4月）及び長野計器(株)の「有価証券報告書」（2005年3月期版）を参考にして筆者作成。

参考資料 2 生産能力の推移



出所：第2回インタビュー（2005年12月16日）から筆者作成

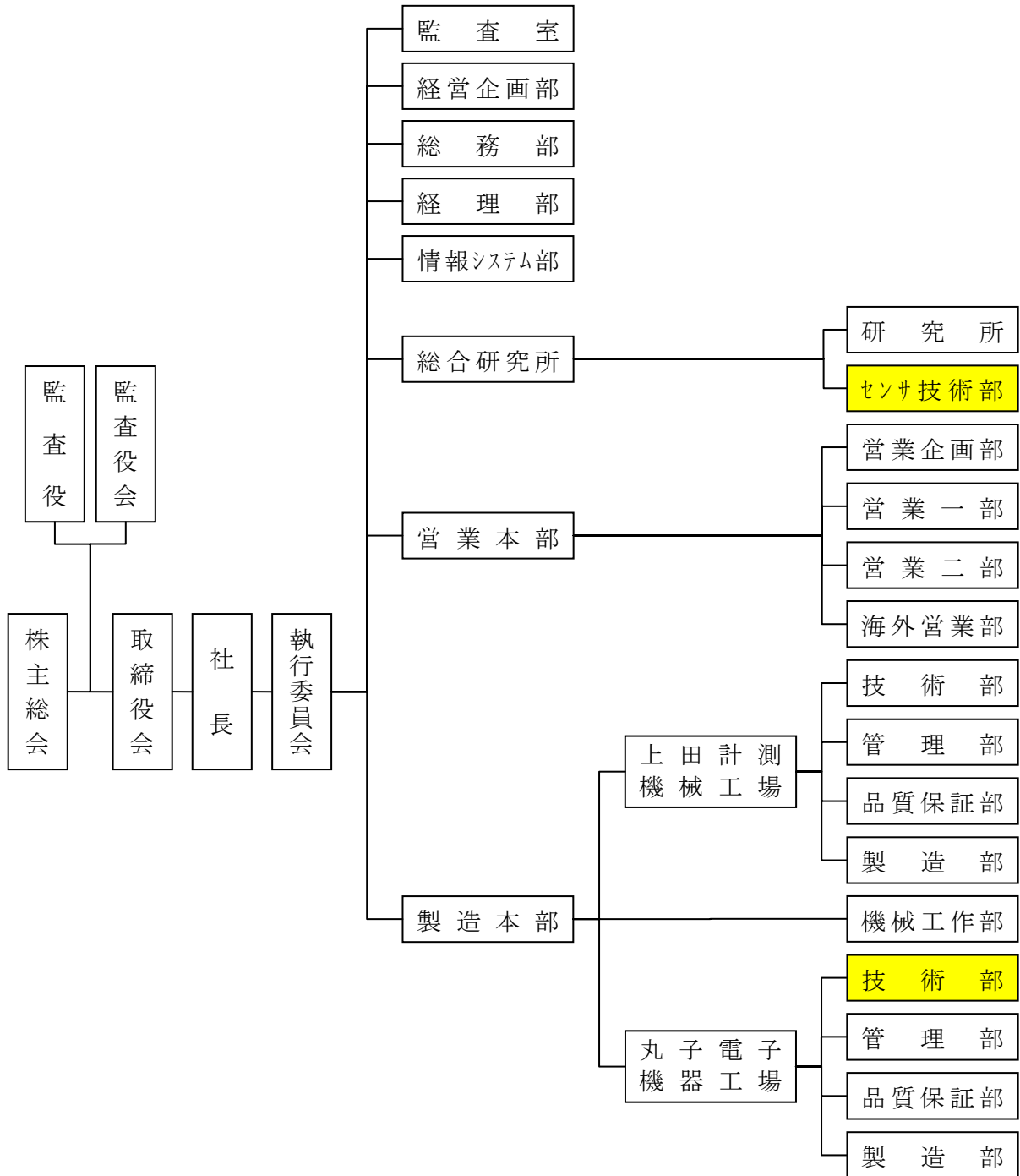
品種・生産量変動への対応力

参考資料 3 圧力センサ製造技術の変遷

	素子		SSセンサベース技術			環境
	φ mm	最大圧力	成膜工程	プロセス	ダイアフラム	
2005年						東証2部上場
2004年						
2003年	5		品質・性能 向上	一括処理	塑性加工拡大	
2002年						
2001年						
2000年						増資
1999年						
1998年						ボッシュと提携
1997年	8.5	200MPa	生産力倍 増		塑性加工	車載用センサ参入 丸子第2工場完成
1996年					(共同開発)	
1995年						
1994年						
1993年						
1992年						
1991年						
1990年						丸子工場完成
1989年						
1988年						
1987年					CoNi特殊材料	半導体製造ガス用 センサ
1986年						
1985年						
1984年						
1983年	12.7	70MPa		カセット 処理		一般産業用センサ
1982年						
1981年						

出所：第2回インタビュー（2005年12月16日）から筆者作成

参考資料 4 経営組織



出所：長野計器㈱「会社経歴書」（2005年7月版）P.2、  
経営組織図より転載



品種・生産量変動への対応力

参考資料 5 圧力センサの販売価格

KM シリーズ

[KM10]

\*KM10 については、下記 4 種類 (材質 SUS)

形式	圧力レンジ	接続ネジ	電源	出力	コネクタ
KM10 — 164	1Mpa	R 1/8	DC5V	0.5~4.5VDC	直結 3線
KM10 — 174	5MPa	R 1/4			
KM10 — 174	10MPa				
KM10 — 174	20MPa				

【標準価格】 単価 15,000 円

100 個ロット単価 7,800 円

[KM21]

\*KM21 3MPa 5MPa アルミボディ 出力レシオメトリック (0.5~4.5V)

型式	圧力レンジ	接続ネジ	電源	出力	コネクタ
KM21 3Mpa	3MPa	G 1/4	DC5V	0.5~4.5VDC	YAZAKI
KM21 5MPa	5MPa	G 1/4			

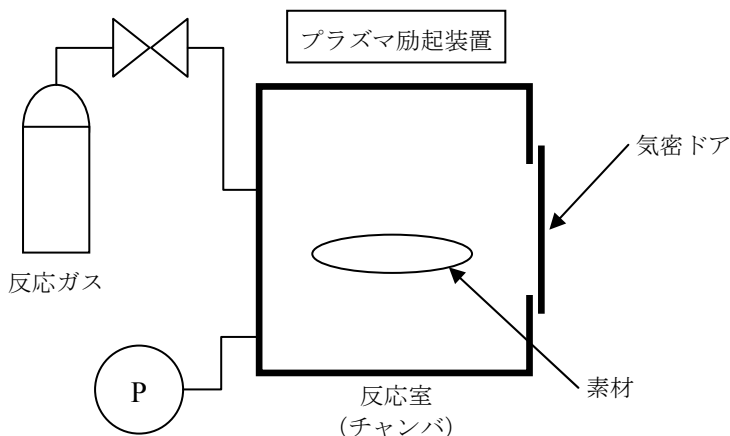
【標準価格】 単価 9,800 円数量別価格については別途

出所：長野計器ホームページ<sup>45</sup> 2006 年 3 月現在

<sup>45</sup> <http://www.naganokeiki.co.jp/QD/quicdatkm-2.pdf>参照。

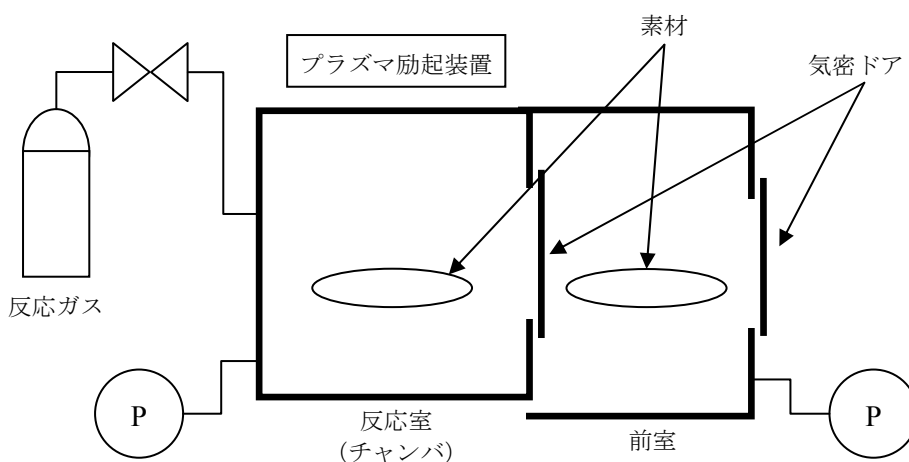
参考資料 6 プラズマ CVD 装置

a) バッチ方式



真空状態にできる部屋は一つでロットの処理を行なう毎に、気密ドアを開け反応室全体が大気に開放される

b) ロードロック方式



真空にできる部屋は反応室と前室に分かれており、前室の気密ドアは同時に開くことは無い。素材は前室が大気圧の時に前室側に行ない、反応室側の気密ドアは大気側の気密ドアを閉め、前室の圧力が反応室の圧力まで下がってから開ける。反応室は常に真空状態が保たれたままで、大気からの不純物が入ることが少ない。また、反応室に比べ前室は容積的にも小さくできるため真空にする時間も短縮できる。

出所：第2回インタビュー（2005年12月16日）から筆者作成