

ピエゾ抵抗式圧力センサ

～ 開発の道のり ～

まえがき

2013年に、一般社団法人電気学会第6回電気技術顕彰「**でんきの礎**」に選定された「**ピエゾ抵抗式半導体圧力センサ**」の開発は、1956年の「**半導体ひずみゲージ開発**」から始まりました。

そして、1981年に「**半導体吸気圧センサ**」が初めて車載化され、「**車載**」の地位を確立しました。

ここでは、その開発の道のりを、御紹介します。

年表

-
- | | |
|-------|--------------------------|
| 1956年 | ▶ 半導体ひずみゲージ |
| 1964年 | ▶ Ge半導体ひずみゲージ接着型圧力センサ |
| 1968年 | ▶ 細管圧力センサ |
| 1970年 | ▶ 拡散型圧力センサ |
| 1971年 | ▶ 鋳型内ガス圧計測システム |
| 1974年 | ▶ 薄型圧力センサ |
| 1975年 | ▶ 拡散リード型圧力センサ |
| 1976年 | ▶ 自己感度補償型シリコン圧力センサ |
| 1977年 | ▶ 頭蓋内圧検知センサ
▶ シート圧センサ |
| 1979年 | ▶ カテーテル先端型圧力センサ |
| 1980年 | ▶ ガス圧監視センサ |
| 1981年 | ▶ 半導体吸気圧センサ (車載化) |
-

1956年

「ピエゾ抵抗式半導体ひずみゲージ」の発表

技術概要

ひずみによる電気抵抗変化 (ピエゾ抵抗効果) を利用して、測定対象のひずみ状態を計測する微小素子を発表

【作製方法】

Ge 単結晶を長さ 0.5mm ~ 10mm × 幅 0.2mm ~ 0.5mm × 厚さ 50 μ m 以下の短冊形に切断・研磨。50 μ m 径リード線は低温はんだ付け。

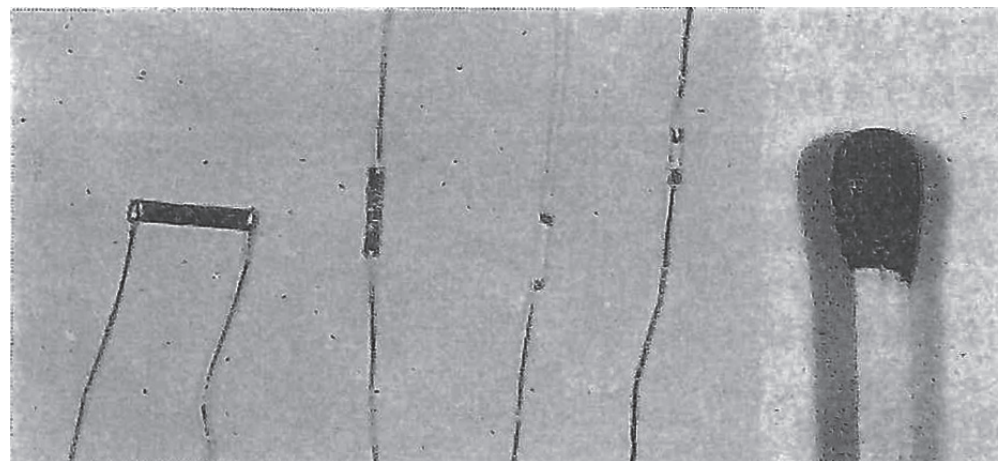


Fig. 1 開発したひずみゲージの外観

Fig. 1

五十嵐伊勢美, "Ge の Piezoresistance 効果を利用した歪計 (続)", 豊田研究報告, Vol. 15 (1960), pp. 30-46.

参考: 宮本藤雄 他, 工学院大学研究報告, No. 3 (1956) pp. 1-5.

1964年

「半導体ひずみゲージ接着型圧力センサ」の発表

技術概要

ひずみゲージをダイヤフラムに接着することで、圧力を計測する微小素子を発表

【作製方法】

Ge 半導体ひずみゲージを外径 3 ~ 5mm の太鼓形状のステンレスダイヤフラムにエポキシ系接着剤で貼り付け

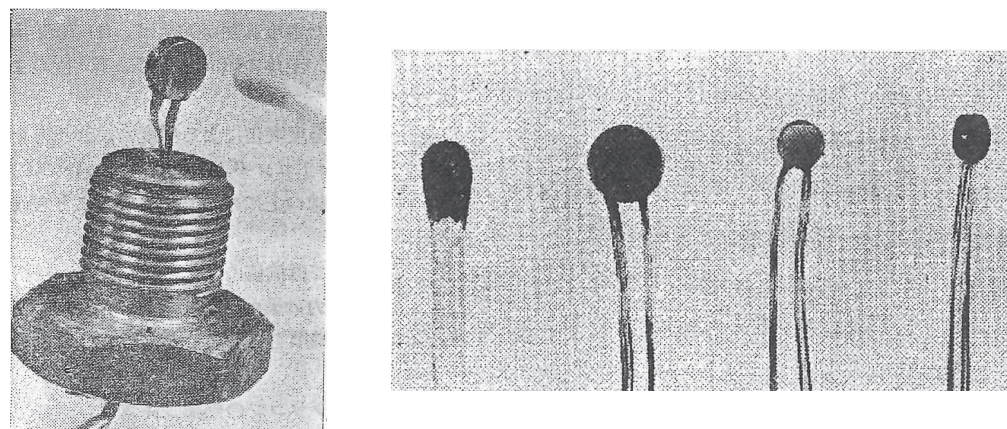


Fig. 2 開発した圧力センサ素子の外観

Fig. 2 (左)

知久健夫, 五十嵐伊勢美, "半導体歪計素子による二, 三の測定", 自動車技術, Vol. 18, No. 9 (1964), pp. 706-711.

Fig. 2 (右)

五十嵐伊勢美, "ひずみ測定半導体トランスジューサ", 計測と制御, Vol. 5, No. 2 (1966), pp. 89-98.

Fig. 3

特許出願公告 昭 42-8356.

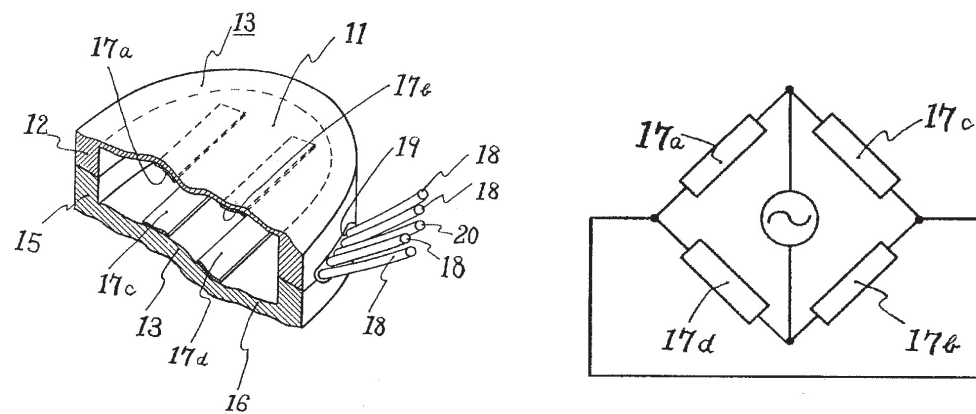


Fig. 3 センサ素子内部の構成

1968年

「細管圧力センサ」の発表

技術概要

人体の骨にかかる荷重を測定するために、注射針型の圧力センサを開発。ひずみゲージをダイヤフラムに接着し圧力を計測。

【作製方法】

長さ 2mm の p 型および n 型の 2 本の Ge 半導体ひずみゲージを外形 0.2mm の薄肉ガラス管の中に接着剤で固定。

Fig. 4

五十嵐伊勢美, "自動車用, 医療機器用を中核に半導体センサが圧力測定の主役に", NIKKEI MECHANICAL (1981.2.16), pp. 89-98.

参考:T. Chiku et al., 23rd ISA Annual Conference (1968), pp. 1-6.

参考:A. Nachemsson et al., Intravital Dynamic Pressure Measurement in Lumbar Discs, Chalmers Univ., Sweden (1970).

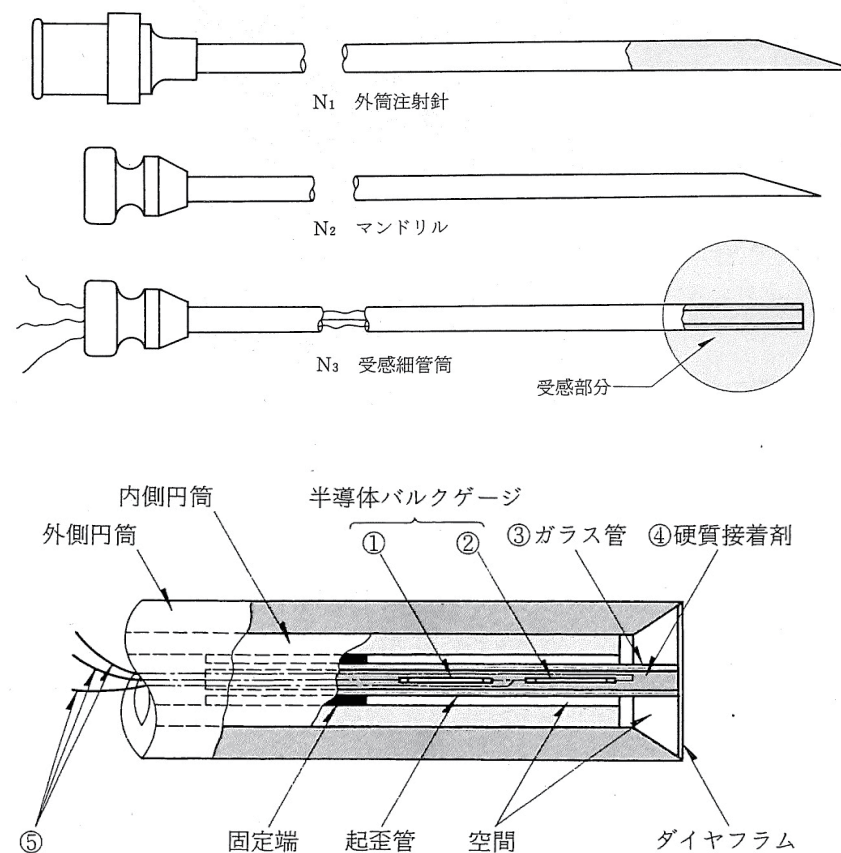


Fig. 4 細管圧力センサ構造図

1970年

「拡散型圧力センサ」の発表

技術概要

有機接着剤を用いない拡散型圧力センサを開発。クリープや温度ヒステリシス特性が画期的に改善。実装が容易となり量産性や性能ばらつきも改善。

【作製方法】

4片のp型ピエゾ抵抗素子を不純物拡散によってn型Si基板上に形成。

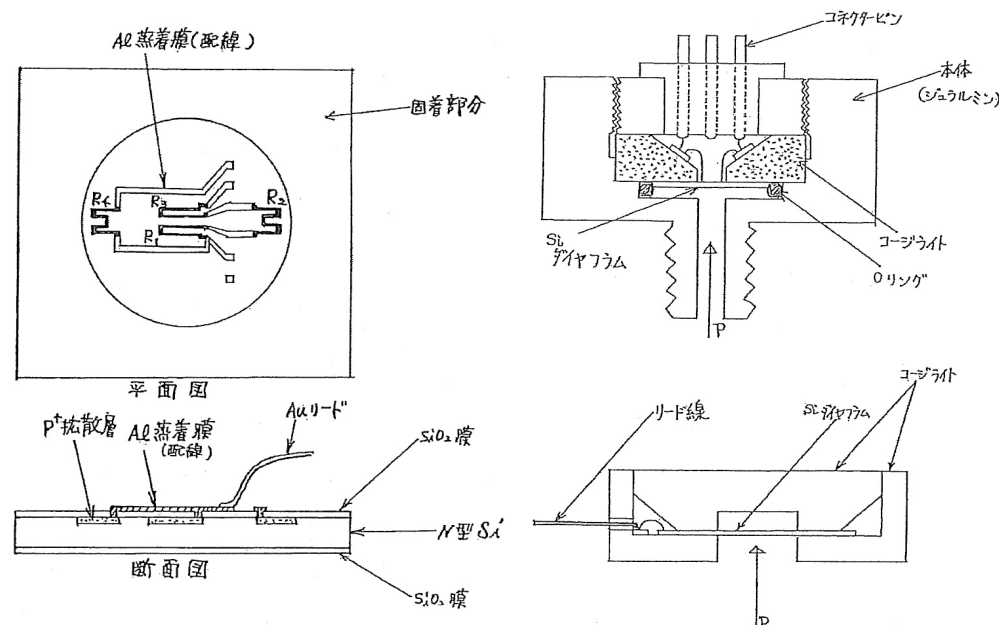


Fig. 5 拡散型圧力センサ構造図

Fig. 5

杉山進, 早川清春, 中村博, " 拡散型圧力計 ", 第 13 回自動制御連合講演会 (1970), pp. 333-334.

1971年

「鋳型内ガス圧計測システム」の発表

技術概要

拡散型圧力センサを用い鋳型内ガス圧の計測システムを開発。トヨタグループ各社のエンジン関連の鋳造現場に導入され鋳型設計に活用。

【作製方法】

p型ピエゾ抵抗素子を不純物拡散によってn型Si基板(ダイヤフラム)上に形成し使用。

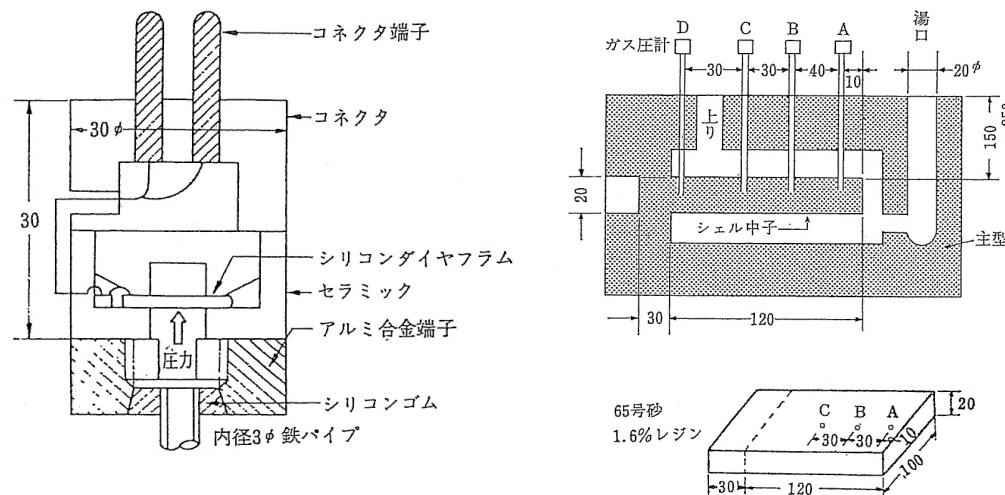


Fig. 6 (左と右上)

中村元志, 山本善章, 米倉浩司, " 鋳造ガス欠陥と鋳型内ガス圧測定法", 豊田中央研究所 R&D レビュー, Vol. 10, No. 4 (1974), pp. 1-13.

Fig. 6 (右中央と下)

中村博, 杉山進, 五十嵐伊勢美, " 拡散型半導体変換器", 非破壊検査, Vol. 25, No. 4 (1976), pp. 205-210.

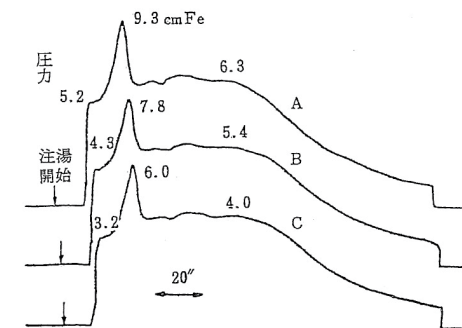


Fig. 6 鋳型内ガス圧計測システム説明図

1974年

「薄型圧力センサ」の発表

技術概要

飛行中のヘリコプタのローターブレード表面の圧力分布を計測する薄型圧力センサを開発。三菱重工業株式会社航空機製作所（当時）と共同で圧力測定に成功し、ローター形状設計に寄与。

【作製方法】

チップ寸法3mm(L)×1mm(W)×0.2mm(t)の拡散型圧力センサをステンレス板上に実装。

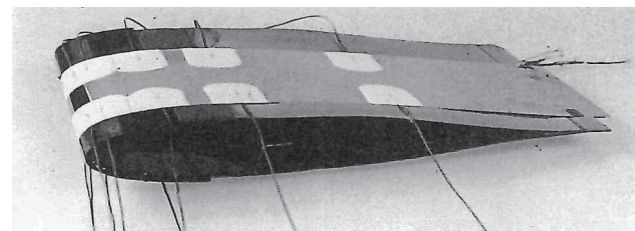
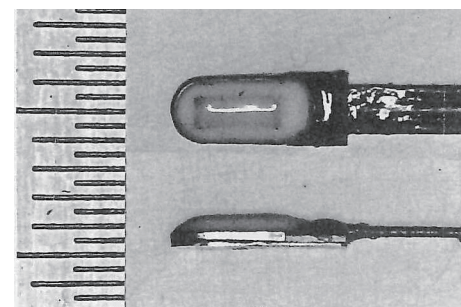
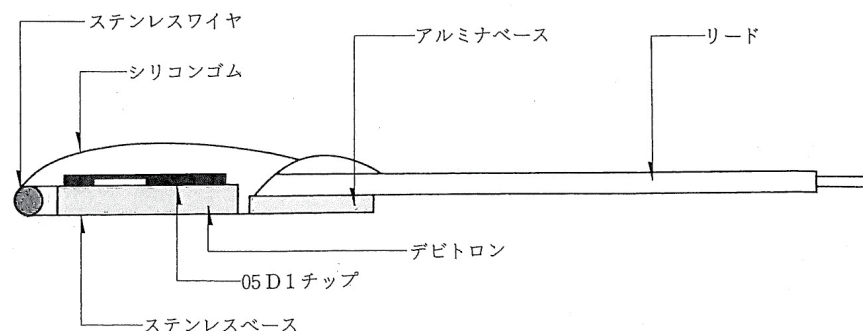


Fig. 7

五十嵐伊勢美, "自動車用, 医療機器用を中核に半導体センサが圧力測定の主役に", NIKKEI MECHANICAL (1981).

参考: 足田遼太郎, 第11回 JSASS 中部・関西支部合同秋季大会 (1974), pp. 107-112.

Fig. 7 ローターブレード表面圧力測定

1975年

「拡散リード型圧力センサ」の発表

技術概要

受圧部表面は安定な SiO_2 膜で覆われ、その下に拡散型ピエゾ抵抗素子および配線用低抵抗拡散リードが設けられた構造のセンサを開発。

ひずみ発生領域には Al 配線がない構造。熱ヒステリシスを改善し温度特性が安定。可動部を有するシリコン機械量センサの基本型として広く活用。

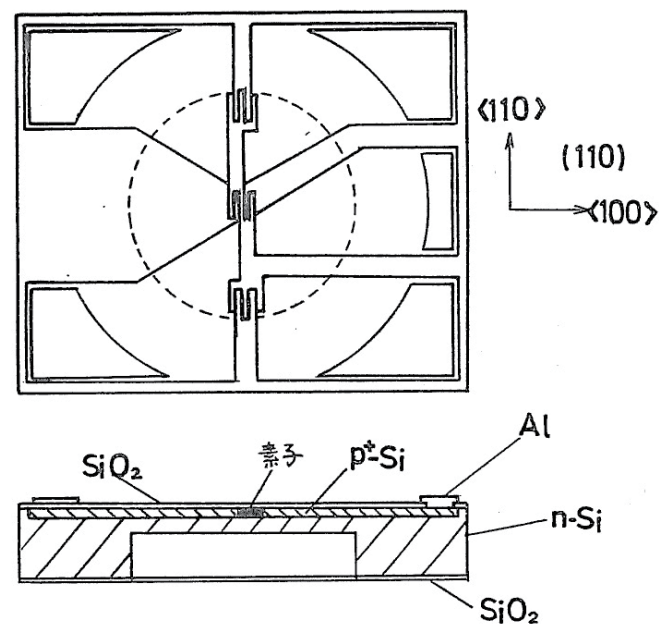


Fig. 8 シリコンダイヤフラムの一般的構成

Fig. 8

中村博, 杉山進, 早川清春, 五十嵐伊勢美, "シリコンのピエゾ抵抗効果を利用した圧力計", 電子通信学会技術研究報告, SSD 75-54 (1975).

参考: 特許出願公告 昭 52-42517.

1976年

「自己感度補償型シリコン圧力センサ」の発表

技術概要

素子の感度温度特性（負）を抵抗温度特性（正）で相殺する感度温度補償法を開発。定電流駆動により、温度上昇に伴う感度の低下をブリッジ電圧の上昇で補償。-20 ~ 80°Cの温度範囲で±0.01%/°Cの良好な感度温度補償を実現。拡散リード構造とともにシリコン圧力センサの基本型として広く活用。

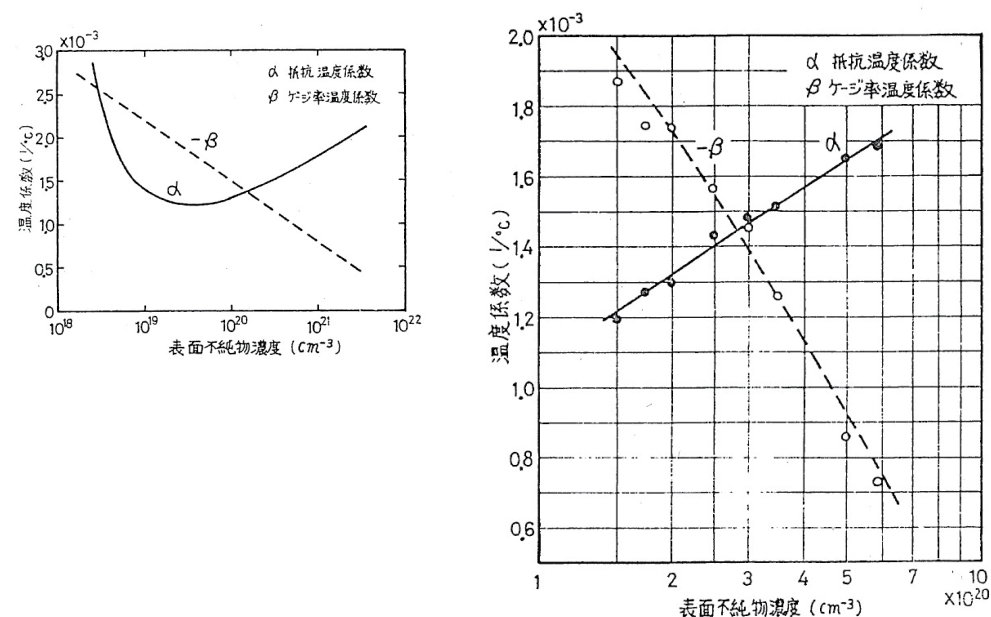


Fig. 9 p型不純物濃度と抵抗温度係数、感度温度係数の関係

Fig. 9

早川清春, 中村博, 杉山進, 五十嵐伊勢美, "自己温度補償型半導圧力計", 非破壊検査, Vol. 25, No. 2 (1976), pp. 132-133.

1977年

「頭蓋内圧検知センサ」の発表

技術概要

臨床用頭蓋内圧検知センサを開発。^(*1) 硬膜の外から内圧を測定でき、細菌感染や脳損傷などのリスクが小さい。

臨床検査で硬膜下の直接内圧測定法と良く対応し、髄膜炎の併発がなく高い安全性を持つこと、長時間の特性変化がきわめて少ないことなどが確認。

この結果をもとに、製薬メーカーが商品化。^(*2)

*1: 名古屋大学医学部脳神経外科グループと共同

*2: 厚生省(当時)医療器具認定を受け、持田製薬株式会社の頭蓋内圧監視装置「クラノメット」に採用

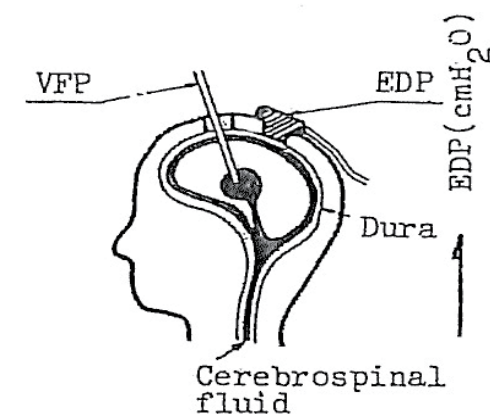
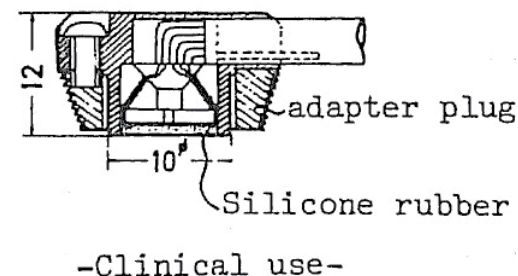


Fig. 10

稲垣大, 五十嵐伊勢美, 北野知之, 池山淳, 古瀬和寛, 永井肇, "半導体圧力計による硬膜上頭蓋内圧測定", 第16回日本ME学会大会, 1p-B-21 (1977).

Fig. 10 センサ構造および設置説明図

1977年

「シート圧センサ」の発表

技術概要

座席の設計指針を得るため、自動車走行時の運転者の体圧分布を計測可能なシート圧センサを開発。トヨタ自動車工業株式会社(当時)で、座席クッションおよびバック側に各150個貼り付け、違和感なく測定に供され、シート評価の標準化に貢献。

また、アイシン精機株式会社のベッド体圧分布測定用として、寝心地の定量評価、設計にも反映。

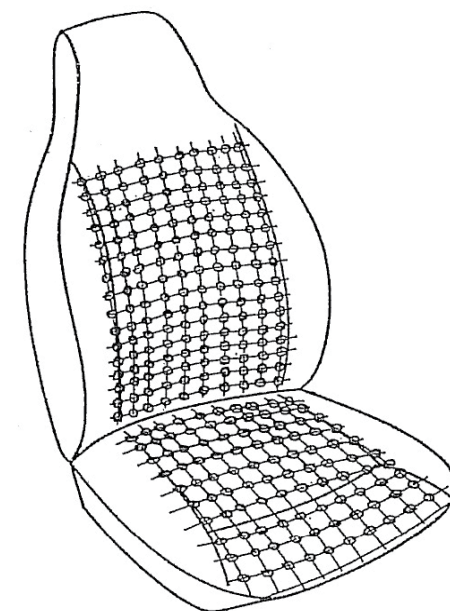
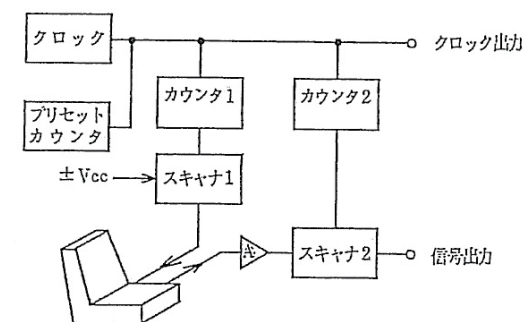
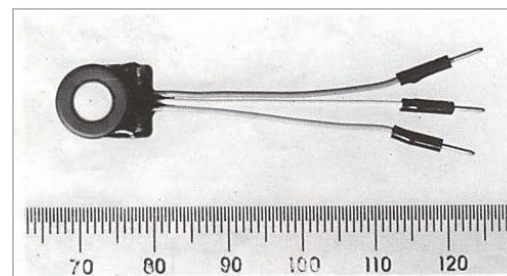


Fig. 11 シート圧センサ配置状況

Fig. 11

杉山進, 五十嵐伊勢美, "半導体薄型ロードセル", 非破壊検査, Vol. 26, No. 8 (1977), pp. 516-520.

1979年

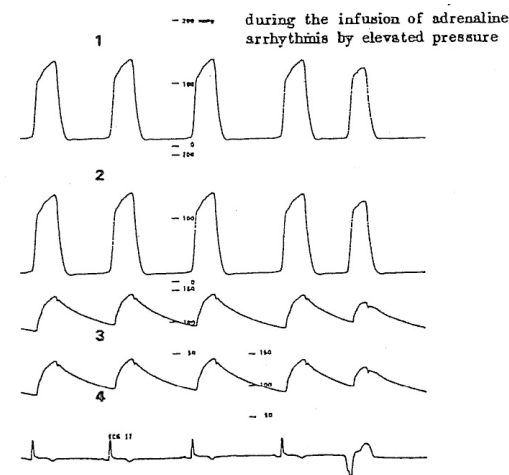
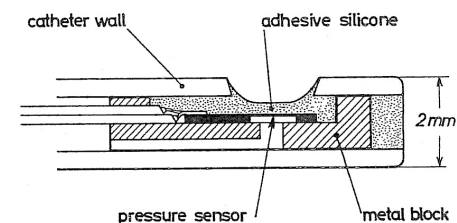
「カテーテル先端型圧力センサ」の発表

技術概要

心臓内の血圧を直接計測可能なカテーテル先端型圧力センサを開発。

カテーテルの先端に3mm (L) × 1mm (W) × 0.2mm (t) の小型拡散型圧力センサチップを埋め込み。F7(外径 2.3mm) カテーテルに装填可能。

コニスバーグ社製のディスク型とほぼ同等の性能であることを確認。



1. LVP by Konis
2. LVP by Toyota 1
3. Carotid A. by Toyota 2
4. Carotid A. by Toyota 3

Fig. 12

杉山進, 五十嵐伊勢美, "カテーテル先端形圧力計", 医用電子と生体工学, Vol. 19, 特別号 (1981), p. 29.

参考: H. Okino et al., Biomedizinische Technik Band 24 (1979), pp. 56-57.

参考: 水野正和 他, 医用電子と生体工学, Vol. 18, 特別号 (1980), pp. 980-981.

Fig. 12 カテーテル先端型圧力センサの構造と出力例

1980年

「ガス圧監視センサ」の発表

技術概要

通信用地下ケーブル内の封入空気あるいは窒素ガスの圧力分布を常時監視し、ガス漏れなどの異常箇所を素早く検知するための圧力センサを開発。

ガラス基板とSiセンサ部を真空中でガラス接合した絶対圧型。測定値経時変化は0.1%F.S.以下/年。豊田工機株式会社(当時)で製造。^(*1)

*1: 日本電信電話公社茨城通信研究所(当時)における評価試験、技術局の商用試験を通過し、豊田工機株式会社(当時)で製造され、計測器メーカーで圧力発信器として組み立てられ、日本電信電話公社(当時)に納入

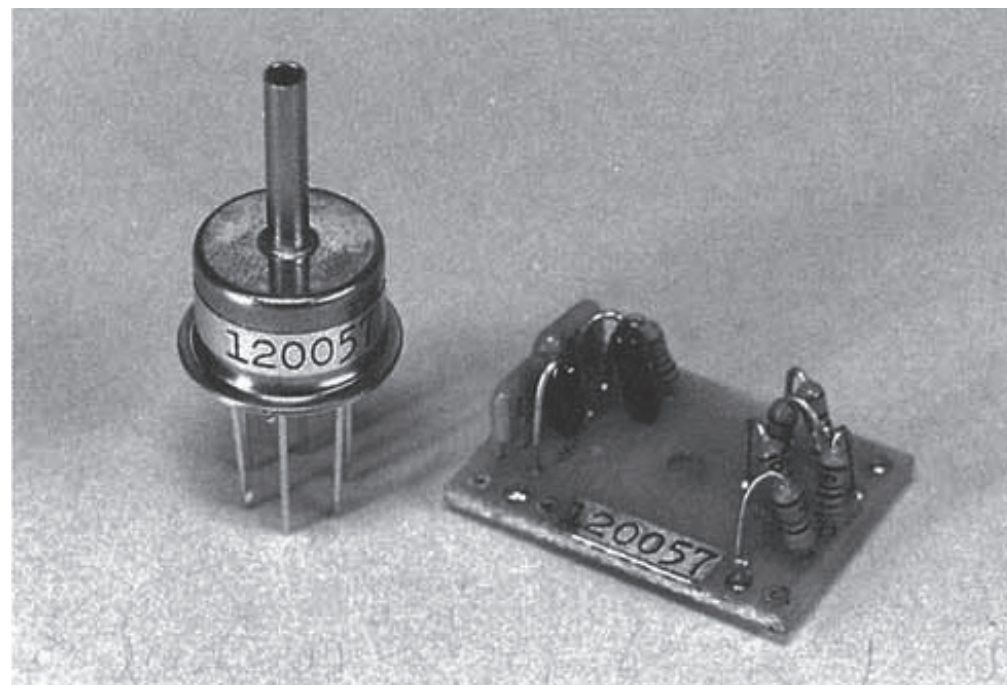


Fig. 13 センサ外観写真

Fig. 13

豊田中央研究所三十年の歩み, 豊田中央研究所 (1990).

1981年

「半導体吸気圧センサ」の発表

技術概要

自動車排ガス規制 (53年規制) に適合するトヨタ電子燃料噴射 (EFI) システム用半導体吸気圧センサを開発。

日本電装株式会社 (当時) で量産され 1981 年発売車より搭載。現在もガソリン車のほぼ全車種に採用。このセンサ搭載が大きな実績となり、使用環境が厳しく高い信頼性が要求される「車載」の地位を獲得。

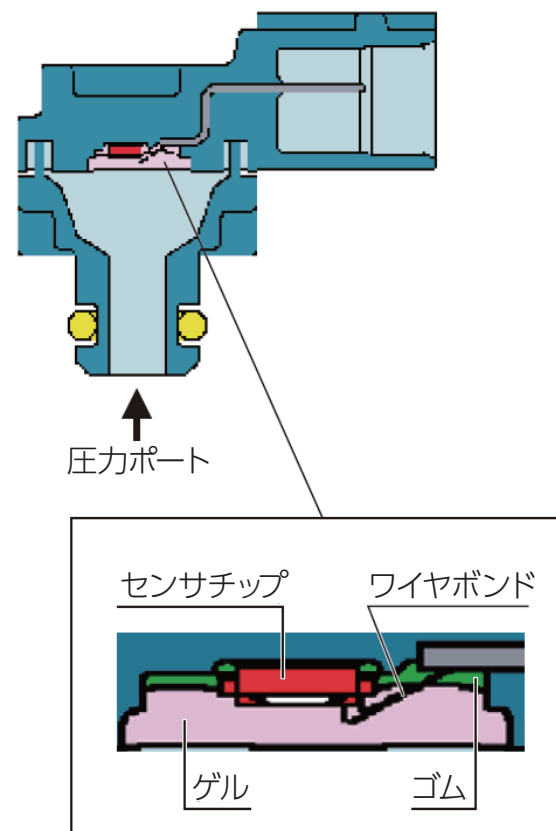


Fig. 14 吸気圧センサ

Fig. 14

"ガソリン直噴エンジン制御システム", 株式会社デンソーウェブサイト,
<https://www.denso.co.jp/ja/news/event/tradeshows/2014/files/aee14_gasoline.pdf>, p. 9, (accessed 2017-02-10).

さいごに

この資料は

電気学会第 31 回「センサ・マイクロマシンと応用シンポジウム」

記念特別企画セッション (2014 年 10 月 2 日)

において、杉山進様 (1965 年～1995 年 当社在籍) が発表した
内容を基に作成しています。

ご協力に感謝いたします。
