

技術資料



Technical Data

自動車用センサの市場・技術動向と当社の特殊鋼材料

齋藤章彦*

Market and Technical Trend of Sensors for Automobiles and Special Steels for Sensors

Akihiko Saito

Synopsis

Recently, environmental issues (global warming and air pollution, etc.) and energy issues (instability in supplying fossil fuel and its depletion) are actualized. International regulations of motor vehicles have been strengthened. For example, the regulations of carbon dioxide emission and fuel consumption for automobiles are given. To observe these regulations, HEV, EV, FC and various energy-saving-vehicle were marketed. On the other hand, automatic driving car will be put to practical use to ensure safety. To make them practical, the number of sensors used in cars has been increasing. Mounting lean-burn engine makes exhaust temperature rise and also requires engine control accuracy. Thus, special steels which have heat resistance, corrosion resistance and soft magnetic properties are necessary.

In this report, we list special steels for oxygen sensor, exhaust gas temperature sensor, EPS (Electric Power Steering) torque sensor and current sensor. Data about electromagnetic wave suppression sheet for electric wave radar (24GHz, 77GHz) is included.

We want to contribute to prevention from global warming, energy saving and security of car by providing our special steels and sheets to car sensors.

1. 緒 論

自動車用センサ（以下、車載センサ）とは、自動車の各システムを電子制御するために必要な情報（回転、角度、圧力、速度、衝撃、物体）を検知するためのデバイスである。近年、自動車は、『環境・エネルギー』『安全・安心』『快適・利便』をキーワードに進歩し続け、2014年に入り、自動車メーカーおよび部品メーカー各社は、公道での自動運転の実証実験を盛んに行っている。いよいよ、自動運転時代の到来である。

1967年にVW社が電子燃料噴射装置用圧力センサを採用¹⁾して以来、カーエレクトロニクス時代が幕開け

た。それ以降、車載センサは自動車にとって、なくてはならぬデバイスとなった。Fig. 1に車載センサの自動車1台当たりの搭載個数のトレンド²⁾を示す。1980年台のパワートレイン・シャーシの電子制御化、1990年台のエアバック、ESC (Electronic Stability Control, 横滑り防止装置)などの安全システムの普及やウインド、ドアロック、サイドミラーの電動化により、1995年には、2.5リットル以上のラグジュアリー車1台当たりで68個、1.5から2.5リットルのミドル車1台当たりで53個の車載センサが搭載された。2000年台に入ると、エアバック、ESC、TPMS (Tire Pressure Monitoring System, 自動車タイヤ空気圧モニタリングシステム)や

2014年11月3日受付

* 大同特殊鋼(株)研究開発本部 工博(Dr., Eng., Daido Corporate Research & Development Center, Daido Steel Co., Ltd.)

EPS (Electric Power Steering, 電動パワーステアリング) の普及により, 2005年には, ラグジュアリー車1台当たりで103個, ミドル車1台当たりで65個の車載センサが搭載された。2015年以降では, ADAS (Advanced Driving Assistant System, 先進運転支援システム, 「緊急自動ブレーキ」「前車追従」などを含む) 用センサの増加により,

2020年には, ラグジュアリー車1台当たりで120個, ミドル車1台当たりで77個の車載センサが搭載される。車載センサ市場は, 2012年の1.9兆円から2020年の2.9兆円に拡大している。²⁾ 本稿では, これから新設・増設される車載センサを具体的に例をあげて, その材料ニーズとそれに適合した特殊鋼を提案する。

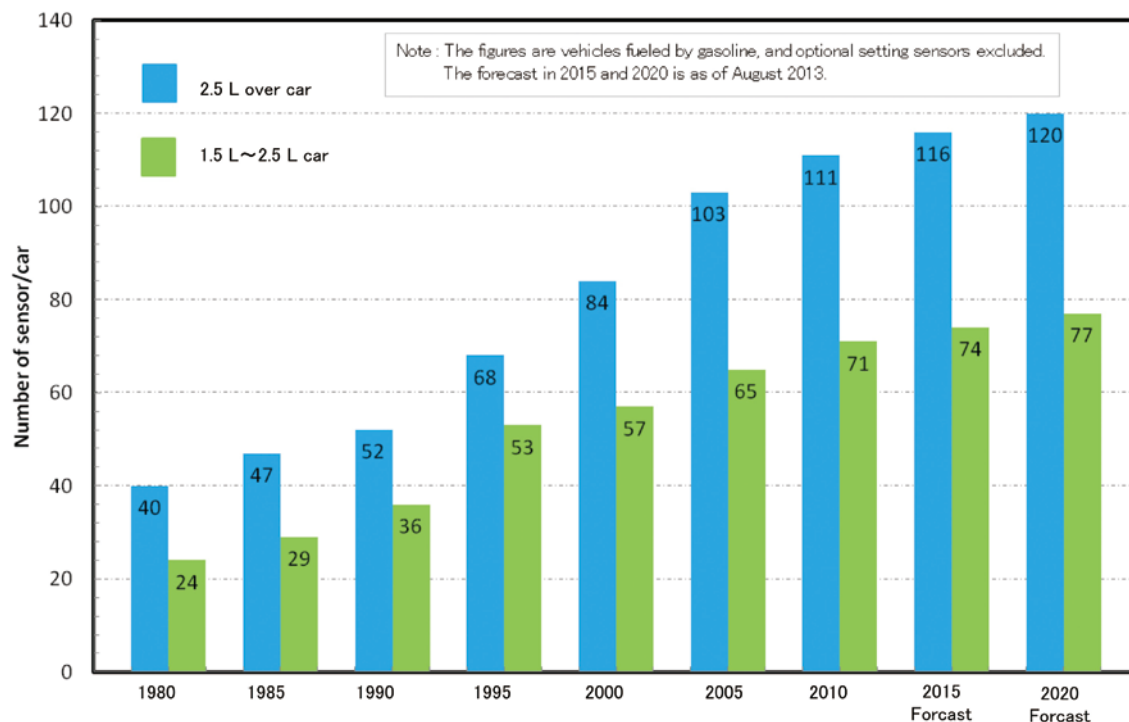


Fig. 1. Trend of on-vehicle sensor²⁾.

2. 車載センサのニーズ

2.1 外部環境の変化

近年の環境問題は, 大気汚染, 騒音, 水質汚染, オゾン層の破壊, 酸性雨, 地球温暖化, などの地球的な課題となってきた。一方, 自動車の排出ガスが地球環境に悪い影響を及ぼしていることが明らかになってきている。特に, 地球温暖化を防止するには, 自動車の排出ガスを浄化することが急務である。自動車からの排出ガスは, 給油時の燃料の蒸発ガスと排気管 (マフラー) から放出されるガスの和である。排気管からは, CO₂ (二酸化炭素), CO (一酸化炭素), NO_x (窒素酸化物), HC (ヒドロカーボン-炭化水素化合物), PM (Particulate

Matter, 粒子状物質) などが放出される。NO_x は酸性雨や人体の呼吸障害に, HC, NO_x は光化学スモッグに影響を及ぼす。温室効果ガスである CO₂ は地球温暖化に悪影響を与えている。また, PM, HC は人体の発ガン性物質でもある。一方, エネルギー分野では, 化石資源 (石油, ガソリン) の枯渇問題から, 省エネルギーや自動車の燃費向上が重要な課題になってきている。

例えば, Table 1 に CO₂ の各国の排出量の規制と燃費規制を示すが, 年々, 排出量規制が厳しくなり, 燃費が厳しくなっている。それらの規制をクリアするために, ガソリン車のリーンバーンエンジン化 (希薄燃焼, 理想より薄い混合気を用いるエンジン) や更なる低公害車 (ゼロエミッション車, ハイブリッド自動車, 燃料電気自動車, 電気自動車など) が市場に登場している。

Table 1. Regulation of carbon dioxide emission and fuel consumption for automobiles.

	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025
EU	140 g/km 16.9 km/L		130 g/km 18.2 km/L			95 g/km 24.8 km/L			70 g/km 33.7 km/L							
USA	187~166 g/km 11.7 km/L		156 g/km 15.1 km/L			100 g/km 23.3 km/L										
Japan	140 g/km 16.8 km/L						116 g/km 20.3 km/L									
China	165 g/km 14.3 km/L						118 g/km 20.0 km/L									

Regulation value :Regulation value Proposal :Proposal Forecast :Forecast

2. 2 環境, 省エネルギー

自動車の『環境』や『省エネ』分野では、CO₂ 排出規制や燃費規制強化され、例えば、2016年のユーロVI規制をクリアするには、ディーゼル車ではNO_xを低減させるEGR(Exhaust Gas Recirculation, 排気再循環)や、ディーゼルエンジンの排気ガス中の粒子状物質を漉し取り軽減させるDPF(Diesel particulate filter, ディーゼル微粒子捕集フィルター)が必要な装着部品となるだろう。更なる燃費向上を目指すためにはエンジンの高精度制御が必要となり、そのため、新規に車載センサ(例えば、燃焼圧センサなど)が搭載されようとしている。また、欧州、中国は、CO₂ 排出規制や燃費規制強化に対して、エンジンの1.6リットル以下のダウンサイジングやガソリンの直噴化やターボ搭載化で解決しようとしている。一方、日本はハイブリッド車化が進んでいる。

2. 3 安全基準の法制化

自動車の『安全』『安心』では、衝突防止などが法制化され、例えば、ユーロNCAPでは、2016年にAEB(Autonomous Emergency Braking, 自動緊急ブレーキ)の装着が義務化される。米国では、AEBの義務化を検討中であり、日本では、AEBはトラックに限定的に義務化される。

2. 4 車載センサの変化

CO₂ 排出規制強化や燃費規制強化では、高精度なエンジン制御が必要となり、具体的には、排気側のA/F(Air Fuel ratio)センサや酸素センサの新設や排気温センサの増設、エンジン気筒内の燃焼圧を直接計測する燃焼圧センサが新たに設置される。また、ディーゼル車の場合も、排気側のA/Fセンサの新設や、排気温センサの増設、余熱室での燃焼圧センサの新設が必要になる。ま

た、NO_x 規制やPM 規制の開始により、NO_x センサやPM センサが新設される。このように、車載センサは、新しい規制に対応するために新設または増設される。例えば、燃費規制強化に対応するために、ガソリンエンジンのリーンバーン化が進むと思われる。その結果、排気温が上昇するため、排気側のA/Fセンサやλセンサ(安定化ジルコニアをイオン伝導体として、導体の内側と外側での酸素分圧の差が起電力になるため、それを測定する。空気過剰率が1に近づくとき急峻な約1ボルトの電圧変化が起こる。ON/OFFのみの信号で、空気過剰かそうでないかを検知するセンサ)や酸素センサにおいては、カバー部に、高耐熱・高耐食・高強度材料が必要になってくる。

また、ハイブリッド車や電気自動車では、駆動用モータを高精度に制御する必要があり、電池の充放電やモータ電流を制御する必要がある。そこで、新たに登場する車載センサは、高精度計測のできる電流センサである。通常、電流センサは、導体(バスバー、導線)を軟磁性材でコの字に囲み、空いたところにホールICのような磁気センサ素子を設置し、電流を磁場に変換して計測する場合と、導体付近に磁気センサ素子を設置し、その周りを軟磁性材で磁気シールドして、計測する方法が普及している。電流センサの高精度・高応答性(電流は直流と交流のため)を図るには、高性能な軟磁性特性を有するパーマロイPBやパーマロイPC2や電磁ステンレス³⁾や電磁鋼板が必要となる。

自動車の『安全』『安心』のキーワードでは、例えば、欧州では、2016年にユーロNCAP規制において、AEBの装着の義務化の動きがある。AEBを装着するには、自動車の前方と、車線変更する時に後方確認する必要があり、遠前方の77GHzレーダや近前方・後方の24GHzレーダが新たに設置される。

3. 車載センサ用材料

現在、搭載されている車載センサは、百数十種類にのぼる。そのうち、大同特殊鋼(株) (以下、当社) が材料を提供できる新設増設センサは、排気側の A/F センサ、酸素センサ、排気温センサ、NO_x センサ、PM センサ、高精度電流センサ、EPS トルクセンサ、77 GHz や 24 GHz の電波レーダなどがあげられる。これらのセンサの具体例を取り上げ、そのニーズと当社の提案できる材料を紹介する。

3. 1 高温強度・高耐食材料

当社が提供できる高温強度材料や耐高温酸化材料の主な成分を Table 2 と Table 3 に示す。高温引張強さ特性と 1150 °C での酸化雰囲気での酸化減量⁴⁾ を Fig. 2 と Fig. 3 に示す。

排気側の A/F センサ、酸素センサ、λ センサの概念図を Fig. 4 に示す。当該センサは、今後、設置数が増加するとともに、CO₂ 規制の強化や燃費向上の要求で、排気ガス的高温化が進み、より高温強度や耐高温酸化性に優れた材料が望まれる。具体的には、高温にさらされる

カバー材は、室温と高温を繰り返した時の酸化減量を少なくすること、変形しないことが要求される。当社は、Fig. 3 に示すように酸化減量の少ない Inconel-601 が提案できる。ハウジング材に対するニーズは、排気管の止め部(ボス)の材質との熱膨張の差が少ないことや、カバー材との溶接性の良い材料が求められるので、SUS430 か電磁ステンレス MER1F が提案でき、安定化ジルコニアを押えるスプリング材には高温の強度に優れた材料が求められ、Fig. 2 に示すように、Inconel-718 (Solution Treatment+ Aging) や DSALLOY WA (Solution Treatment+ Aging) が提案できる。

次に、排気温センサの概念図を Fig. 5 に示す。排気温センサも、今後、設置数の増加と、より耐高温酸化性に優れた材料が望まれる。高温・酸化雰囲気にさらされるカバー材には、Fig. 5 に示すように、1150 °C での酸化減量の少ない Inconel-601 や SUS310S が提案できる。リップ材とリップル材には、熱膨張率と溶接性から SUS430, SUS304, MER1F などが提案できる。また、リード材には、温度を電気信号に変換するセンサ部(サーミスターや熱電対)から耐酸化性に優れた Pt-Ir 合金で電極を形成し、溶接でつなげて、シースピンの中を通すので、高温で破壊しない強度のある SUS310S が提案できる。

Table 2. Chemical composition of heat resistant alloys (wt%).

Material	Ni	Cr	Mo	Ti	Fe	Other	Note
SUS310S	19~22	24~26	-	-	Bal.	-	Non magnetic SUS
SUH660 (A286)	24~27	13.5~16.0	1.0~1.5	1.9~2.3	Bal.	V add.	Precipitation Hardening SUS
DHN2661 (Daido Original)	23~27	15~17	≤1.0	3.3~4.0	Bal.	Nb add.	
INCOLOY-800	30~35	19~23	-	-	≥39.5	-	Super Alloy
INCONEL-601	58~63	21~25	-	-	14	Al add.	
INCONEL-625	≥58	20~23	8~10	-	≤5.0	Nb+Ta add.	
INCONEL-718	50~55	17~21	2.8~3.3	0.65~1.15	19	Al, Nb+Ta add.	
INCONEL-X750	≥70	14~17	-	2.25~2.75	7	Al, Nb+Ta add.	
DSALLOY WA (waspaloy)	53~58	18~21	3.5~5.0	2.75~3.25	≤2	13Co, 1.4Al	

INCOLOY and INCONEL are registered trademarks of Special Metals Corporation.

Table 3. Chemical composition of high strength alloys (wt%).

Material	C	Si	Mn	Ni	Cr	Mo	Fe	Other	Application
DSN6 (Daido original)	≤0.12	≤0.50	≤2.00	12.0	18.0	-	Bal.	N add.	Gasket High strength spring
DSN9 (Daido original)	≤0.03	≤0.50	6.00	10.0	23.5	2.00	Bal.	N add.	Gasket
DSP5	0.07~0.11	≤0.50	0.5~1.25	4.0~5.0	16.0~17.0	2.5~3.25	Bal.	N add.	Bellows

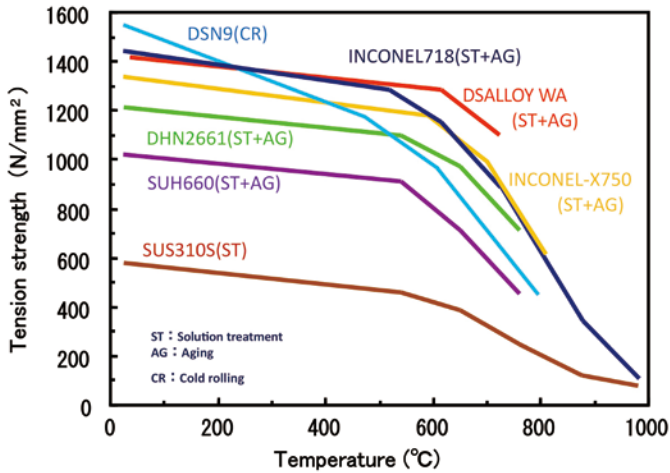


Fig. 2. Tension strength vs temperature.

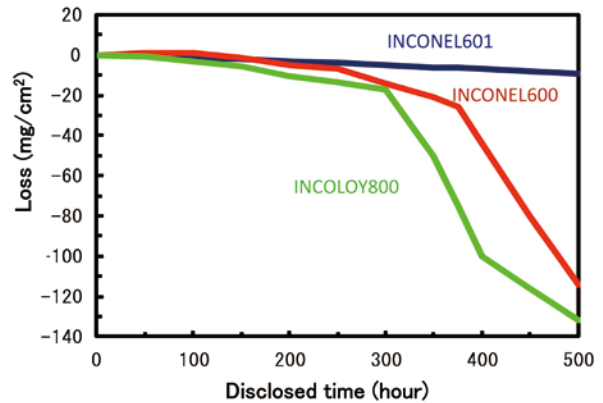


Fig. 3. Oxidation test in atmosphere at 1150 °C⁴⁾.

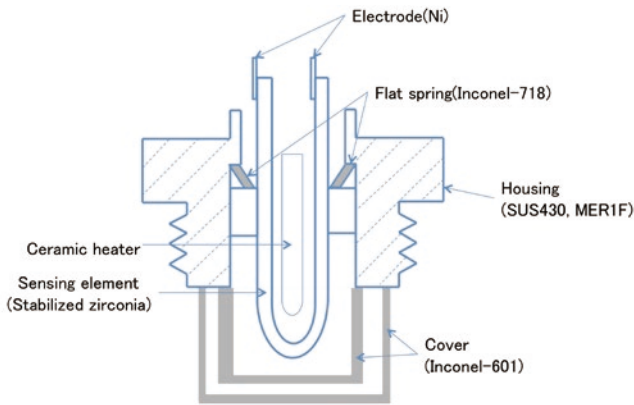


Fig. 4. Structure of A/F sensor, oxygen sensor and λ sensor.

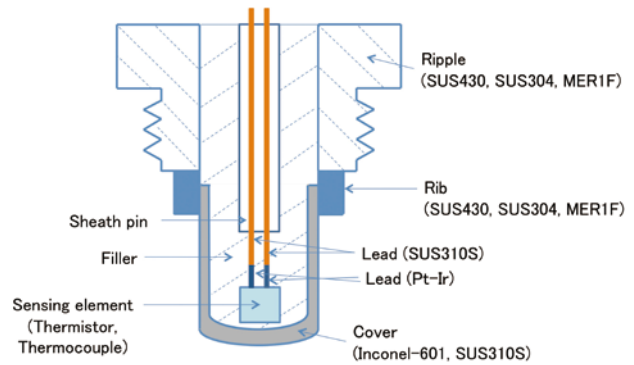


Fig. 5. Structure of exhaust gas temperature sensor.

3. 2 電流センサ・EPSトルクセンサ・電波レーダ用軟磁性材料

当社の軟磁性材料の主な成分を Table. 4 に示す。電磁気特性を Table. 5 に示す。

自動車の『快適』分野では、具体例として、ハンドルを回すとモータでアシストする電動パワーステアリング (EPS) に使用する EPS トルクセンサ (ホール IC 方式) をあげる。Fig. 6 の概念図を示す。ステアリング (ハンドル) を回すと、トーションバーがねじれ、それに伴い磁石位置がずれる。軟磁性材のヨーク部は固定されているので、磁石位置の変化により、ヨーク部とリングコア部に磁束が流れ、ホール IC 部で、磁束を検知する。このような用途で使用する場合、ヨーク材やリングコア材には、透磁率の高い材料が求められる。当社は、ヨーク材には高い透磁率と高い飽和磁化を実現したパーマロイ PB (MENPB) を提案する。また、リングコア材にはより透磁率の高いパーマロイ PC1 (MENPC1)、パーマロ

イ PC2 (MENPC2) を提案する。

自動車の『省エネ』分野 (HEV, EV, FC) では、バッテリーや駆動モータや発電機の電流を高精度に検知する必要がある。Fig. 7 に電流センサを示す。電流センサとは、通常、導体 (バスバー、導線、Fig. 7 図中の中心の丸部) を軟磁性材でコの字に囲み、空いたところにホール IC などの磁気センサ素子を配置し、電流変化を磁場に変換して計測する。ヨーク材には、透磁率が高く、飽和磁化が高い材料が求められる。場合によっては、電流の周波数応答性も求められる。当社は透磁率と飽和磁化が高いパーマロイ PB (MENPB) を提案する。また、電流検知の周波数応答性を求められる場合は、材料の体積抵抗率が高く、周波数応答性に優れ、また、耐食性に優れた電磁ステンレス (MER1F) を提案する⁴⁾。

自動車の『安全』『安心』分野では、具体例として、準ミリ波 (24 GHz) レーダやミリ波 (77 GHz) レーダをあげる。Fig. 8 に、これらの電波レーダの適用範囲を示す。遠前方は 77 GHz レーダ、近前方と近後方は 24

GHz レーダで障害物を検知する。これらのレーダは、送信アンテナから電波を放射し、受信アンテナで電波を感知する。その時、送信電波や受信電波を増幅し S/N 比を上げ、感度を上げる必要があり、その電波信号の増幅器筐体内では、インプット側とアウトプット側のマイクロストリップ線路間でカップリング（結合）が起こり、増幅器（アンプ）の発振やゲインの減少などの EMC（Electromagnetic Compatibility, 電磁環境適合性）問題が顕在化している。そこで、当社は、増幅器筐体内に磁気損失に優れたゴムシートの貼付を提案する。Fig. 9 に磁気損失ゴムシートを筐体に貼付した模式図を示す。著者ら⁵⁾は、増幅器（10 GHz）筐体内のカップリ

ングを抑制する電磁波吸収ゴムシートの最適設計を行っており、その結果を Fig. 10 に示す。インプット線路とアウトプット線路の結合を約 -44 dB 抑制することができる（軟磁性金属粉末を 28 vol%, ゴムシート厚さを 1.5 mm, 実験値と計算値はよい一致を示す）。カーボン粉末をゴムに混練したシートでは、約 -25 dB（カーボン粉末を 30 vol%, ゴムシート厚さを 1.5 mm）しかなく、ソフトフェライト粉末を混練したシートでは、約 -35 dB 程の減衰しか得られなかった。このように、当社は、電波レーダの増幅器筐体に貼付する電磁波抑制ゴムシートの最適設計が可能であり、顧客のニーズに応えたい。

Table 4. Chemical compositions of soft magnetic materials (wt%).

Material	C	Si	Mn	P	S	Mo	Cu	Ni	Cr	Pb	Fe	Other	Note
ME2	≦0.02	≦0.05	≦0.5	≦0.02	≦0.03						Bal.		
ME1F	≦0.02	≦0.3	≦0.3	≦0.02	≦0.02					0.05~0.25	Bal.		Free cutting
MES1	≦0.02	1.0	≦0.35	≦0.02	≦0.02						Bal.		
MES3	≦0.02	3.0	≦0.35	≦0.02	≦0.02						Bal.		
MES3F	≦0.02	3.0	≦0.35	≦0.02	≦0.02					0.05~0.25	Bal.		Free cutting
MER1F	≦0.03	≦0.9	≦0.4	≦0.03	≦0.03				13.5	0.05~0.2	Bal.	Al add.	Free cutting
MER2F	≦0.03	≦0.9	≦0.4	≦0.03	≦0.03				17.5	0.2	Bal.	Al add.	Free cutting
MENPB	≦0.01		0.5	≦0.02	≦0.02			46.0			Bal.		
MENPC1	≦0.01		0.5	≦0.02	≦0.02	5.5		81.0			Bal.		
MENPC2	≦0.01		0.5	≦0.02	≦0.02	4.5	3.5	78.0			Bal.		

Table 5. Electromagnetic character of soft magnetic materials.

Material	μ_m Maximum relative permeability	B [T] Magnetic flux density	Hc [A/m] Coercive force	$\rho [\mu \Omega \cdot m]$ Volume resistivity	Note
ME2	≥ 5000	≥ 1.55	≤ 80	0.10~0.15	Relay
ME1F	≥ 5000	≥ 1.55	≤ 80	0.10~0.15	Relay
MES1	≥ 6000	≥ 1.52	≤ 63	0.23~0.28	Relay
MES3	≥ 12000	≥ 1.47	≤ 48	0.45~0.50	Core
MES3F	≥ 12000	≥ 1.47	≤ 48	0.45~0.50	Core
MER1F	≥ 4000	≥ 1.28	≤ 143	0.63~1.00	Fuel injector
MER2F	≥ 4000	≥ 1.15	≤ 119	0.67~0.77	magnetic valve
MENPB	≥ 30000	≥ 1.40	≤ 14	0.45~0.57	EPS torque sensor
MENPC1	≥ 100000	≥ 0.70	≤ 2	0.55~0.65	EPS torque sensor
MENPC2	≥ 100000	≥ 0.65	≤ 2	0.55~0.68	EPS torque sensor

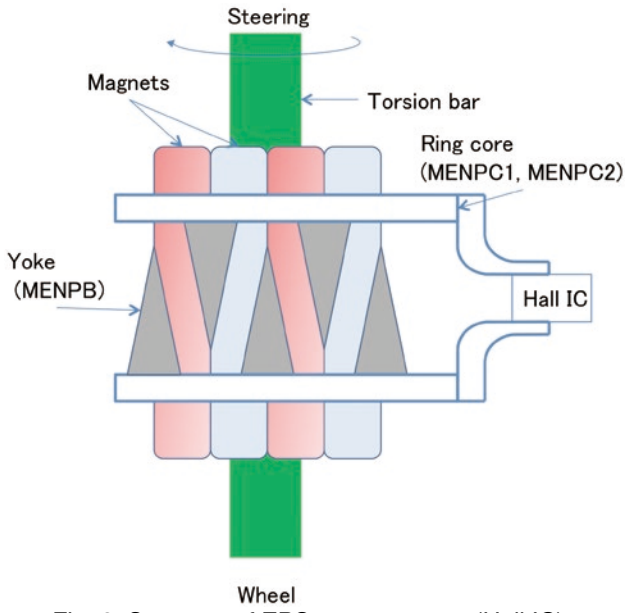


Fig. 6. Structure of EPS torque sensor (Hall IC).

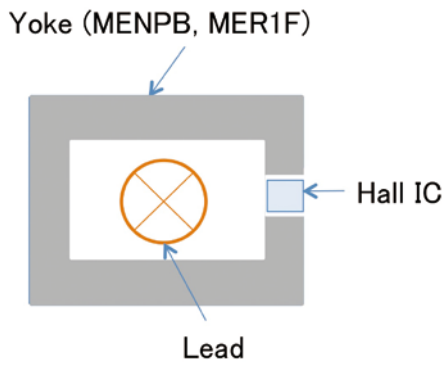


Fig. 7. Structure of Current sensor.

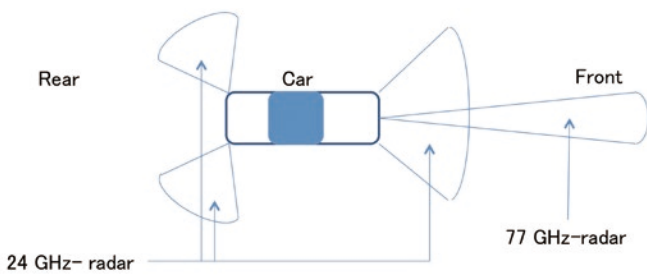


Fig. 8. Detection range of collision preventing radar.

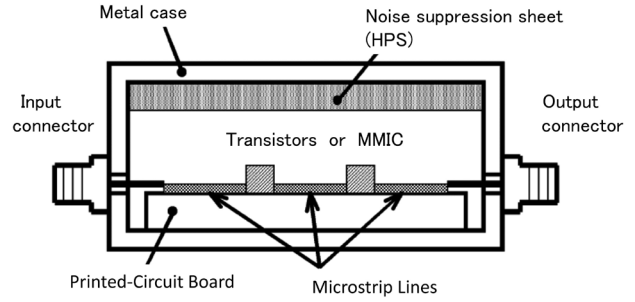


Fig. 9. Noise suppression sheet in amplifier module for 24 GHz or 77 GHz-radar.

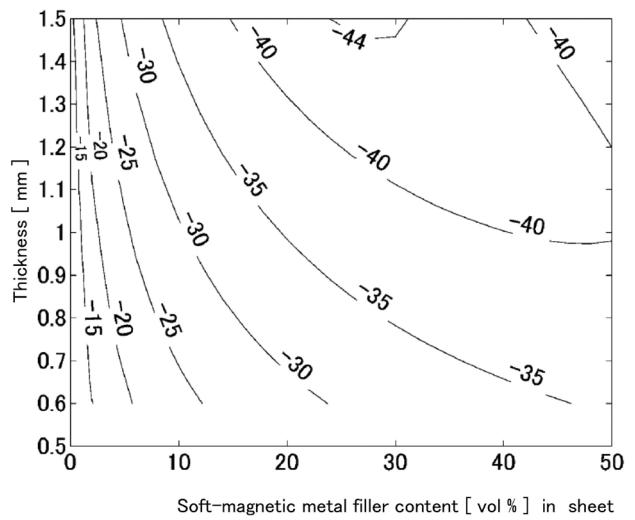


Fig. 10. Contour of coupling [dB] by soft-magnetic metal filler sheet.

3. 3 封着材料

自動車の『省エネ』分野では、今後、リーンバーンエンジン技術が上市されると予想される。従来はノックセンサで気筒内のノッキング状態を検出していたが、リーンバーンエンジンでは、さらなる高精度制御が求められ、直接、気筒内燃焼圧力を検出する必要がある。燃焼圧センサが市場に投入されようとしている。Fig. 11に燃焼圧センサを含む一般的な圧力センサの概念図を示す。ダイヤフラムに圧力がかかると、センサ素子に力と変位がかかり、その歪・応力を電気信号に変換する。センサ素子には、圧電素子やランガサイトや歪ゲージなどが使用される。特に、シリコン系圧電素子の場合、素子とダイヤフラムの熱膨張係数の差が少ない材料が求められる。そこで、Table.6に当社の封着材料を示す。

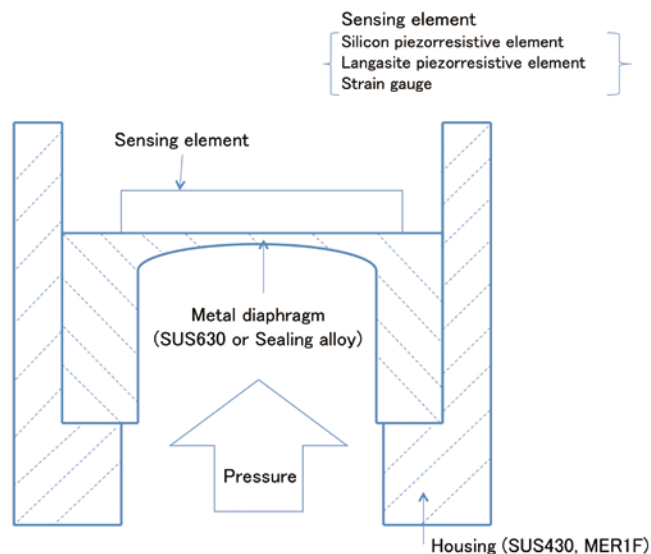


Fig. 11. Structure of pressure sensor.

Table 6. Chemical composition and thermal expansion coefficient of sealing alloys (wt%).

Material	C	Si	Mn	Ni	Cr	Co	Fe	Other	Note	Coefficient of thermal expansion [10 ⁻⁶ /K]
DF16CN	≤0.04	≤0.20	≤0.50	29		17	Bal.		Kovar	4.6~ 5.2 (30~400 °C) 5.1~ 5.5 (30~450 °C)
DF42NR	≤0.07	≤0.30	≤0.25	42	6		Bal.			8.5~ 9.2 (30~350 °C) 9.7~10.4 (30~425 °C)
DF52N	≤0.05	≤0.30	≤0.60	50.5			Bal.			9.7~10.2 (30~450 °C) 10.0~10.5 (30~550 °C)
DF42N	≤0.05	≤0.30	≤0.80	41			Bal.			4.0~ 4.7 (30~300 °C) 6.7~ 7.4 (30~450 °C)
DF18R	≤0.06	≤0.55	0.5		18		Bal.	Ti add.		11.5~12.5 (30~600 °C)
DF27R	≤0.06	≤0.55	0.5		27		Bal.			10.5~11.5 (30~400 °C)

4. 結 論

燃費向上の市場要求やCO₂排出規制強化により、HEV, EV, FCが上市され、従来のガソリン車もリーンバーンエンジンに変わりつつある。特に、リーンバーンエンジンでは、排気温が上昇し、高精度なエンジン燃焼制御が必要になり、排気温センサ、A/Fセンサ、酸素センサ、λセンサの搭載数が増加し、新たに、気筒内燃焼圧センサも設置される。さらに、PMやNO_x規制が強化されると、それらのセンサも新設される。また、自動緊急ブレーキの自動車への搭載例のように、自動車の安全・安心・快適性もさらに進化する。このように、車載センサの搭載数は、ますます、増加する。

本稿では、具体的なセンサ例を取り上げ、それらのセ

ンサに求められるニーズ（要求特性）を列記し、ニーズにマッチした特殊鋼を提案した。当社の特殊鋼が、自動車の発展（将来の自動運転化など）のために、役立てば幸いである。

(文 献)

- 1) 山崎 弘郎, 三谷 干城: カーエレクトロニクスセンサ技術(トリケップス社).
- 2) 矢野経済研究所: 車載用センサデバイスのマーケット分析 2013.
- 3) 齋藤章彦, 矢萩慎一郎: 電気製鋼, 61(1990) pp.183-192.
- 4) SPECIAL METALS: INCONEL alloy 601
- 5) 齋藤章彦, 西方敦博: 電子情報通信学会論文誌, J85-B, No. 3(2002) pp.400-407.