エアコン用圧力センサの RoHS 対応の取組み

Pressure Sensors of Air Conditioners to Conform to RoHS

桑原史郎　S. KUWAHARA　酒井和也　K. SAKAI

In recent years, it has become mandatory to be fully concerned with the environment when designing products since environment-related directives (ELV, WEEE and RoHS) were established mainly in Europe.

Under the environment-oriented situation, the material of the pressure sensor used in the outboard unit of the air conditioner was replaced with nonleadead Sn–3%Ag–0.5%Cu alloy solder to conform to RoHS. Here is an example of our new product ensuring the same reliability as before through stress analyses and reliability evaluations.

Key Words: environment-related, ELV, WEEE, RoHS, pressure sensor, Sn–3%Ag–0.5%Cu, stress analyses

1．はじめに

当社は，自動車のステアリングやドライブラインに代表される自動車部品をはじめ，自動車，半導体，民生機器のあらゆる産業で使用されている軸受，工作機械・制御装置・センサなど多種多様の製品を製造・販売している．

近年，欧州を中心に環境規制に関する指令として，廃自動車指令（ELV 指令）や廃電気電子機器指令（WEEE 指令）および特定有害物質使用制限指令（RoHS 指令）が制定され，環境に配慮した製品設計が必須の状況である．

こうした中，当社では全社的 ISO14001 の活動の中で，製品に含まれる環境負荷物質の使用禁止・低減に取り組んでおり，本報では，RoHS 指令の対象製品（**表1**），カテゴリー 1 に属する，エアコンに搭載されている圧力センサについて，**表2**の規制物質の鉛とカドニウムの 2 物質を削減し，RoHS 指令に適合させた取組み内容を紹介する．

表1　RoHS 指令カテゴリー分類
Category classification of RoHS directives

カテゴリー		例
1	大型家庭用電気器具	冷蔵庫，洗濯機，乾燥機，電子レンジ，エアコンなど
2	小型家庭用電気器具	掃除機，アイロン，ミシン，ヘアドライヤ，トースタ，時計，電気ひげそり
3	IT・通信機器	パソコン，プリンタ，コピー機，電卓，電話機など
4	民生用機器	ラジオ，テレビ，ビデオ，ビデオカメラ，HiFi 機器，楽器など
5	照明機器	蛍光灯（家庭照明を除く），ナトリウムランプ，フィラメント電球を除くランプ類など
6	電動工具	電気ドリル，溶接機，塗装工具，芝刈機など
7	玩具，レジャー用機器	携帯ゲーム機，ビデオゲーム機，スロットマシン，スポーツ用計算機など
8	医療用具	透析装置，放射線療法機器，心電図測定器，人工呼吸器など
9	監視・制御装置	火災報知器，サーモスタット，煙探知機など
10	自動販売機	飲料自動販売機など

表2　RoHS 指令　対象物質と規制値
RoHS directives object substance and regulation value

対象物質	規制値
鉛	1 000ppm 以下
水銀	1 000ppm 以下
カドミウム	100ppm 以下
六価クロム	1 000ppm 以下
PBB（ポリブロモビフェニル）	1 000ppm 以下
PBDE（ポリブロモジフェニルエーテル）	1 000ppm 以下

2．エアコン用圧力センサの使われ方

エアコン用圧力センサは，1985 年に日本で初めて当社製が，冷媒圧制御用として多室用エアコンに搭載された．今日では大型ビル用エアコンからコンビニなどの店舗用エアコンなど数多くのタイプ向けに，国内だけに留まらず，韓国・中国・ヨーロッパなどのエアコンメーカにも OEM 供給している．

圧力センサを搭載したエアコン（**図1**）は，インバータにより圧縮機の回転速度を変え冷媒循環量を変化させて，空調負荷にきめ細かく対応し，約 15% の省エネに貢献できる．

また，吸入側の冷媒圧を測定して，電動膨張弁を適切に制御することで，冷媒が液化して圧縮機に戻ることを防ぐことができ，圧縮機の信頼性向上にも貢献している．

3．エアコン用圧力センサの RoHS 指令対策

RoHS 指令に対し，従来のエアコン用圧力センサは**表3**のように規制物質を含有しているため，以下の対応を実施した．

配管接続用フレアナットの黄銅材は通常，新材とリサイクル材を混ぜて製造されるため，不純物としてカドミウム（Cd）が 100ppm を超えて含有する場合がある．そこで，原材料が特別に管理され，Cd 含有が 75ppm 以下に保証された黄銅材に切換えを行った．

また，信号伝達のハーネスやリードピン接続に使用している従来のはんだは，鉛（Pb）を約 37% 含有するため RoHS 規制対象となり使用不可となる．代替え材料

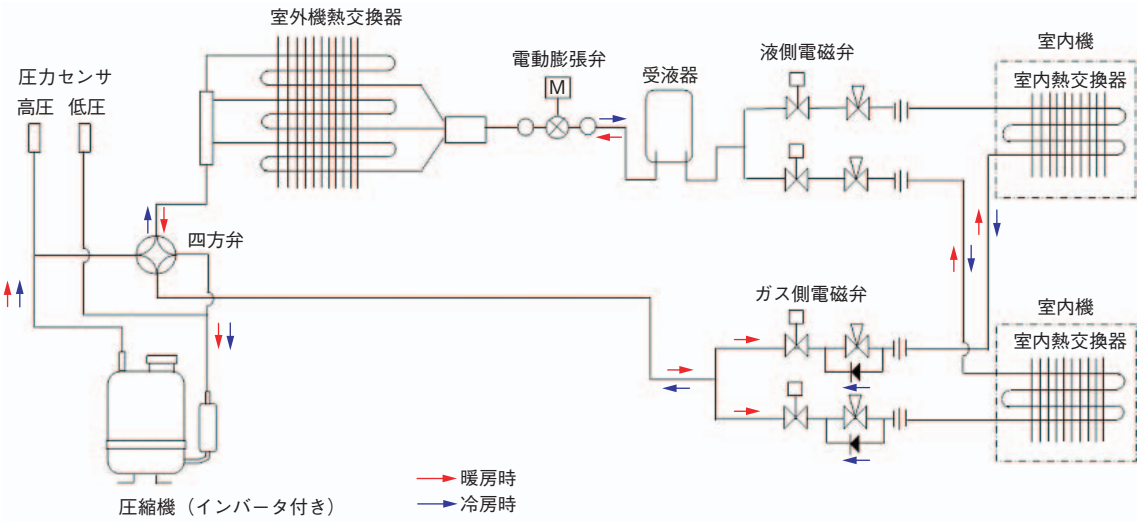

図1　エアコン冷媒回路
Refrigerant circuit for air conditioner

表3　エアコン用圧力センサ規制物質含有状況（従来品）
Inclusion status of regulated materials in pressure sensor of air-conditioners

RoHS 指令対象物質	規制値	含有部位（規制値以上）	含有率／部材
①鉛	1 000ppm 以下	はんだ	37%
②水銀	1 000ppm 以下	含有なし	——
③カドミウム	100ppm 以下	フレアナット	70 ～ 200ppm
④六価クロム	1 000ppm 以下	含有なし	——
⑤ PBB（ポリブロモビフェニル）	1 000ppm 以下	含有なし	——
⑥ PBDE（ポリブロモジフェニルエーテル）	1 000ppm 以下	含有なし	——

として鉛を含まない Sn–Ag 系のいわゆる鉛フリーはんだを採用し，接合部の分析，応力解析，および信頼性評価を行い，はんだ付け品質を確認した．

4．鉛フリーはんだのはんだ付け評価

鉛フリーはんだと従来はんだ（共晶はんだ）の違いを**表4**に示す．鉛フリーはんだは一般的に共晶はんだに比べ，溶融温度が高く，濡れ広がりが悪い．今回採用した鉛フリーはんだは，スズを主成分に銀 3%，銅 0.5% を含有する組成（Sn–3Ag–0.5Cu）で，環境対応が進んでいる家電，車載用電装部品などで多く採用されており安定供給が期待できる．また溶解温度を下げるために，Bi などの元素を含有したいろいろな組成の鉛フリーはんだが各所で試されているが，温度サイクルによる機械的強度の劣化が早いなどの欠点があるので，あえて高融点の Sn–3Ag–0.5Cu で評価を進めた．

表4　はんだ比較（代表値）
Solder comparison (representative values)

はんだ		鉛フリーはんだ	共晶はんだ
組成，wt%		Sn–3Ag–0.5Cu	Sn–37Pb
溶融温度，℃		217	183
比重		7.4	8.4
熱伝導率，W/(m·K)		64.2	54.1
比抵抗，$\times 10^{-9}\Omega$m		112	146
線膨張係数，$\times 10^{-6}$/℃		21.7	23.5
引張強度，MPa		53.3	57.3
伸び，%		46	50
ヤング率，GPa		41.6	27.3
硬さ，Hv		17.9	16.6
濡れ時間，sec	240℃	2.98	1.38
	260℃	1.08	1.00
広がり試験，%		75.6	90.4

4.1　はんだ接合部分析

当社エアコン用圧力センサは，**図2**のような構造をしており，ガラスシールを貫通する Ni めっき処理されたリードピンにはんだ付けを 2 箇所で行っている．

今回採用した Sn–3Ag–0.5Cu 鉛フリーはんだは，成分のほとんどが Sn であるため，リードピンの Ni と溶け合い良好な接合を得るためには，はんだ付け時の溶融温度ができるだけ高いほうが有利である．そのため，コテ先温度が 450℃ と高温で，さらに Ni を酸化させないように瞬時に行う特殊な自動はんだ付け装置を採用した．

また，接合後の界面では Ni と反応しやすい Cu が介在していれば良好な接合状態といえる．ただ，この界面の Cu 合金部はもろいため，厚すぎると逆にクラックの起点となり信頼性が低下することが知られている．接合界面を EPMA マッピングした結果，**図3**のように界面が Cu リッチとなり，厚みが 5 ～ 7μm で良好な接合ができているのを確認した．

また，Ni めっきは通常の湿度環境下においても酸化が進行し，はんだ接合を阻害する可能性がある．部品の保管時の酸化影響を確認するため，リードピンに 40℃，90%RH，240 時間の加速エージングを行い評価した結果，同様にはんだ接合状態が良好であることを確認した．

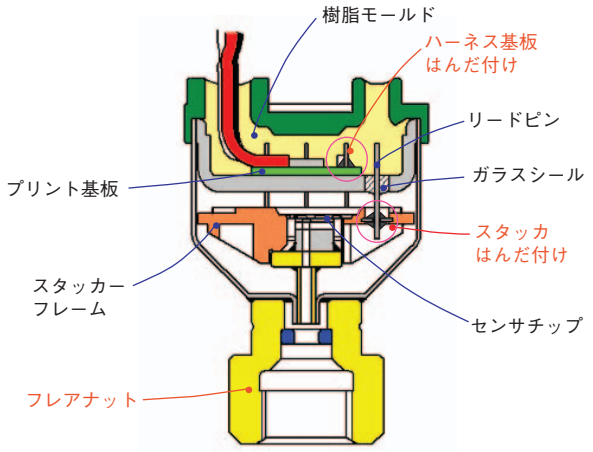

図2　エアコン用圧力センサ構造
Structure of pressure sensor of air-conditioners

4.2　はんだ付け部応力解析

エアコン用圧力センサは通常，室外機の圧縮機付近の配管に取り付けられるため，その温度環境は高温側で 85℃，低温側で－20℃ になる場合がある．

鉛フリーはんだの採用にあたり，熱ストレスにより，はんだ接合部のどの部位に過大な応力が発生するかを見極め，長期的な熱サイクルによりはんだにクラックが発生し得るかを把握するため，応力解析を行った（**図4**）．

その結果，**図5**のように，基板リードピンはんだ部のはんだフィレットの上面とリードピン界面の付近に最も大きな引張り応力が発生することがわかった．温度サイクル試験の結果でも解析どおりの付近を起点としてクラックが発生した．

また，基板はんだ部は，モールド樹脂の熱硬化が進むとさらに大きな応力が発生する．これはリードピンの基板上の出っ張り部が，硬化した樹脂の熱変位により力を受け応力が発生するためである．解析の結果より，出っ張り部長さを 2mm にして樹脂の無い場合と同等の応力に低減した（**図6**）．

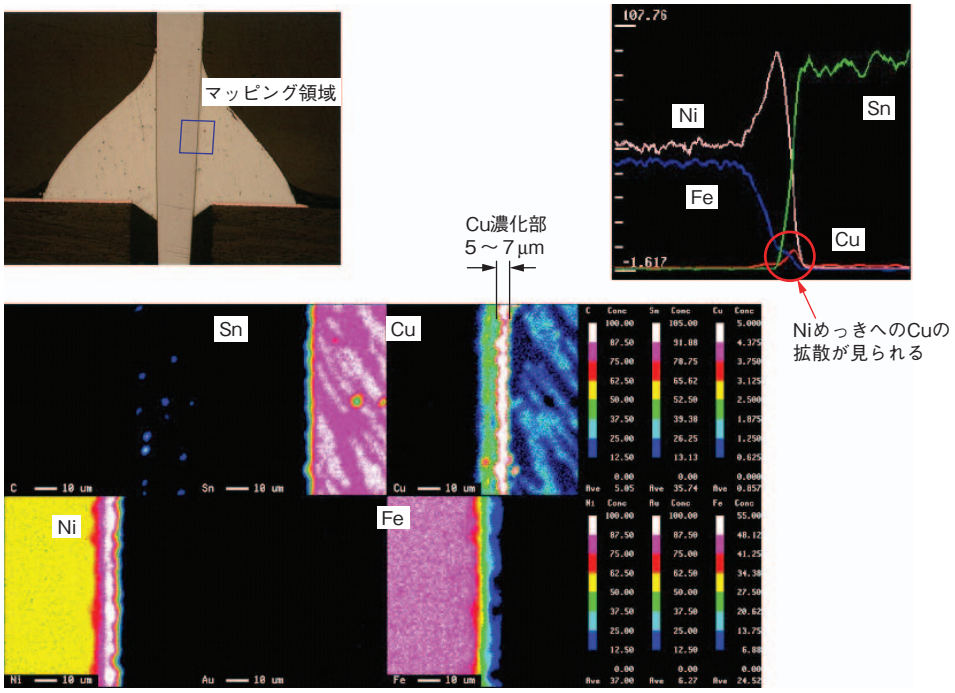

図3　はんだ接合界面EPMAマッピング
EPMA mapping of soldered surface

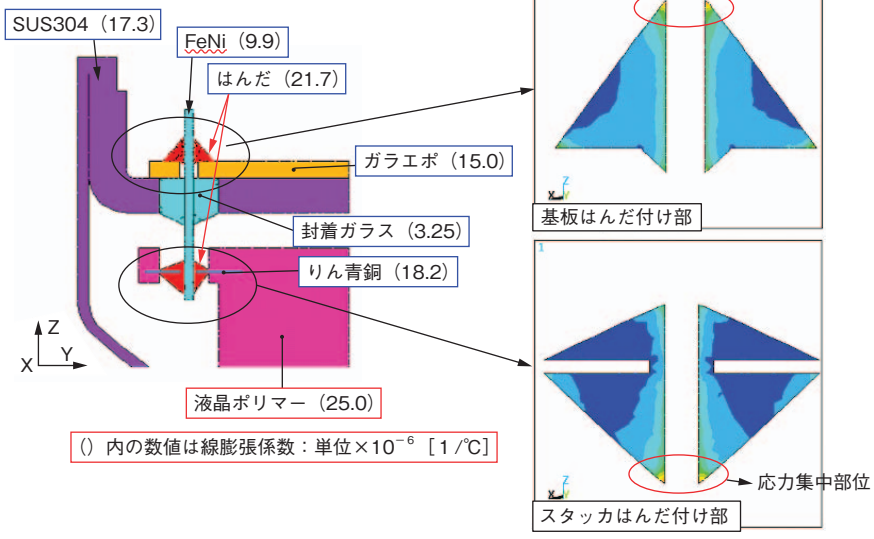

図4　応力解析構造
Stress analysis structure

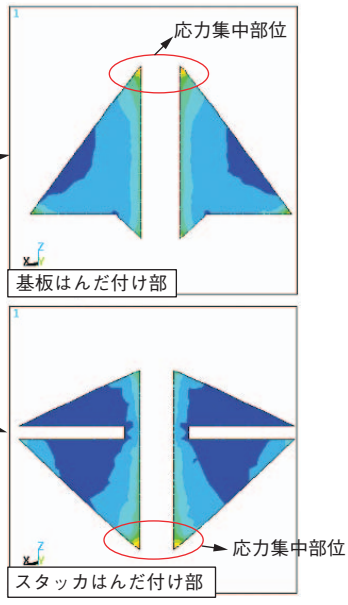

図5　応力解析結果
Stress-analysis result

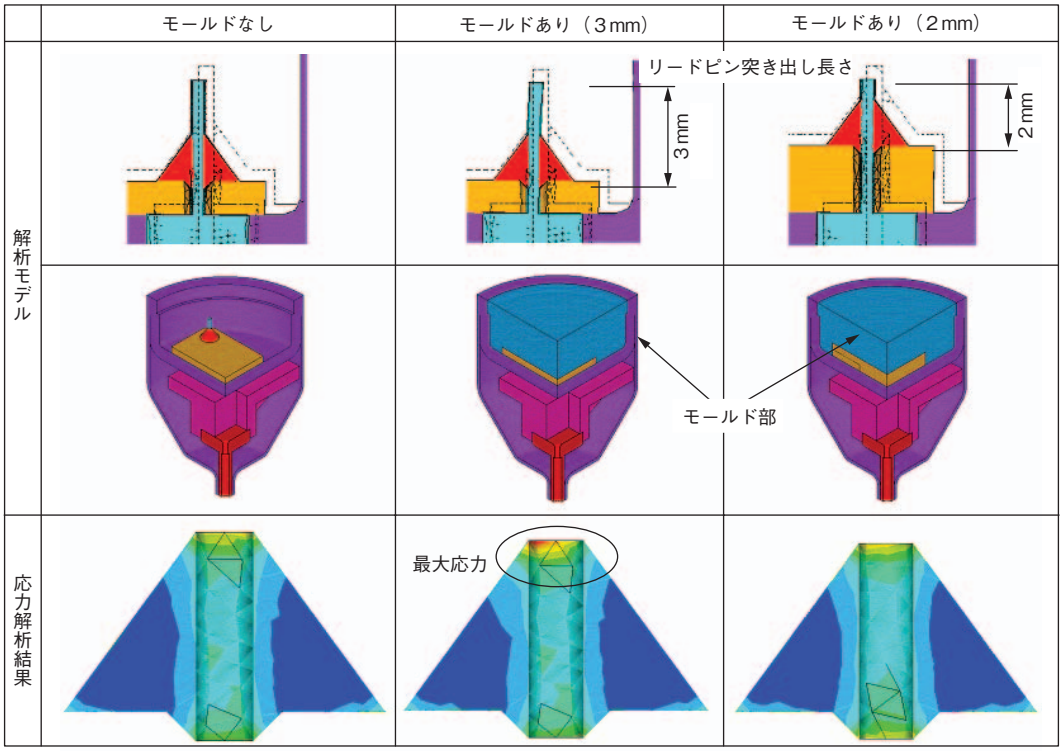

図6　モールド部応力解析結果
Stress-analysis result of mold portion

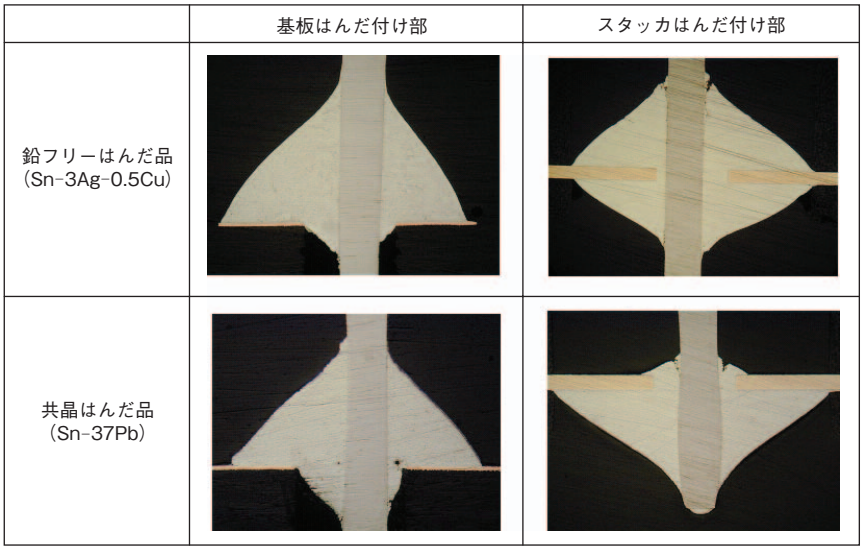

図7　熱サイクル試験後のはんだ部断面
Section of solder portion after thermal-cycle test

4.3　信頼性評価

鉛フリーはんだ接合部の強度評価として，熱衝撃試験での疲労寿命信頼性評価試験を実施した．疲労寿命は Coffin-Manson 則に従い評価できることが知られており，次式(1)に従い，市場の使用温度環境下限－20℃，上限 85℃，期待寿命 13 年より，加速試験サイクルとして，－40 ⇔ 125℃ 1 250 サイクルの評価条件を求めた．

実使用環境に対する加速係数（N_1/N_2）を算出する式

$$\frac{N_1}{N_2}=\left[\frac{\Delta T_1}{\Delta T_2}\right]^{2.08}\cdot\exp\left\{\frac{0.12}{k}\cdot\left[\frac{1}{T_{1max}}-\frac{1}{T_{2max}}\right]\right\} \qquad (1)$$

T_{1max}：使用最高温度（K）
T_{2max}：温度サイクル試験最高温度（K）
ΔT_1：使用温度範囲（K）
ΔT_2：温度サイクル試験温度範囲（K）
k　：ボルツマン定数（0.000086159eV/K）

試験後の各はんだ付け部断面を**図7**に示す．応力の集中する先端部のリードピン界面付近にクラックが見られるが，破断には至らず，使用環境に対する十分の寿命を持っていることを確認した．また，従来の共晶はんだ品と同等のはんだ付け信頼性を確保した．

5．おわりに

以上，エアコン用圧力センサの RoHS 指令対策を行い，はんだの鉛フリー化対応をはじめ，信頼性を維持した環境対応製品を開発した．

RoHS 指令は 6 物質に限定した規制であるが，今後ポリ塩化ビニル（PVC）を 2009 年目処に，規制対象にする動きが大手エアコンメーカから提示されており，電線に使用している材料の見直し変更が必要である．また，エアコンに使用している冷媒にはオゾン層を破壊しない代替フロン（R410A，R407C）が使用されているが，より環境にやさしい設計とするため，フロンガスを外部に絶対に漏らさないように，圧力センサの接続方法を現状のフレアナットによる金属シール方式から，ろう付け方式に変更することも検討していく必要がある．また，現在 COP（成績係数：効率）の問題などで実用化には至っていないが，将来，自然冷媒である炭酸ガス冷媒に置き換わった時にも適用可能な製品をタイムリーにお客様に供給できるように，製品開発を進めていく所存である．

参考文献

1）松下電工技報，Feb. 2003(2003)35.
2）須賀唯知　鉛フリーはんだ技術　日刊工業新聞社

筆　者


桑原史郎*　S. KUWAHARA
酒井和也*　K. SAKAI
*　ステアリング事業本部　第 2 電子技術部