

# 室内空気汚染度評価システムの開発

北陸ポリテクカレッジ 滝本 貢悦・植平 一郎・中谷 一  
(北陸職業能力開発大学校)

## 1. 北陸ポリテックビジョンの概要

「2004北陸ポリテックビジョンin魚津」が2004年2月20日、21日の2日間の日程で、魚津市にある新川文化ホールを会場にして開催された。

今回は、「チャレンジひとづくりものづくり」をテーマに、広く能力開発・雇用開発等の事業の理解をしていただく多彩な内容となった。以下に、各イベントの概要を紹介する。

### (1) 記念講演

「ITが可能にした中小企業の海外生産」と題して、地元セト電子工業(株)南雲弘之社長の講演とNHKの「プロジェクトX」でも放映されたシャープ(株)元液晶研究所長和田富夫氏が「液晶ディスプレイとともに30年間を歩んで」と題して講演された。

### (2) 総合制作・開発課題の発表と作品展示

北陸ブロック内のポリテクカレッジの学生による14件の発表と34テーマの作品展示と実演が行われた。

図1は展示会場の様子を示す。

### (3) ポリテックロボット競技

富山、新潟、石川と長野県工科短大の専門課程から12チームが出場し熱戦が繰り広げられた。

### (4) 職業能力開発事業の研究開発に関する発表

事業主団体と実施している研究開発事業(F方式)の好事例が2テーマ発表された。

### (5) ものづくり体験

地元の小学生を対象に、超音波ソナー、電子やじるべい等4種類の電子工作を学生の指導のもとに実



図1 総合制作・開発課題の作品展示会場

施した。

### (6) 北陸5県伝統工芸展示コーナー

北陸地方の地域に根ざした産業や、伝統工芸のなかから7組合の協力を得て越前漆器、金沢箔などの展示や実演を行った。

このほかにも、ポリテクセンターの展示、ものづくり大賞発表会、北陸能開大施設見学会等も行われた。

今回、このなかで発表と展示を行った事業主団体研究開発事業の内容を紹介する。

## 2. 本研究開発事業の概要

近年、新築住宅に入居後やリフォーム後に身体の不調を訴える人が増え、「シックハウス症候群」といわれて社会問題となっている。これらの原因は、住宅の内装材、接着剤等に含まれるホルムアルデヒドなどのVOCと呼ばれる揮発性有機化合物に起因していることが多い。これらを受け平成15年7月1日か

らは建築基準法改正によるシックハウス対策をスタートさせるなど、いくつかのVOCについては、濃度測定における公定法が定められている。そこで、測定手法や装置等の現状を調査するなかから、個別のガス種に特異的に反応するセンサを複数組み合わせることにより、多種類のVOCガスを特定し、その濃度についても測定可能なシステムの開発を行う。

### 3. 本システムの開発目標

本開発については、平成12年度から富山県電子電機工業会の会員企業と試行を実施している。今回は試行から浮かび上がった問題点を明確にし、さらに製品化に向けた取組みを実施する。

具体的には、特に精度の向上と全体のシステムのコンパクト化を目標に、以下の5点を内容として実用に耐える完成度と付加価値を高めた製品開発を目指す。

- (1) 装置の小型軽量化
- (2) センサ基板の小型化
- (3) センサ温度の測定方法改善
- (4) センサ温度の制御方法改善
- (5) センサ出力感度の測定方法改善

### 4. 本システムの全体概要

本システムの主な仕様を表1に、概観を図2に示す。

OSをWindows98としたのはWin.2000以降、標準ではVGAモードをサポートしていないからである。また、入力をタッチパネルとすることで測定時の作業の簡略化を図っており、さらに、測定後のデータ集積もLANを利用して効率的に行えるシステムとなっている。

### 5. ハードウェア部の製作

#### 5.1 装置の小型軽量化

本システムでは組込みコンピュータを中心とした小型軽量・低消費電力の構成としている。

消費電力は全システムで30Wであるが、液晶パネ

表1 室内空気汚染度評価システムの仕様

OS	Windows98 SE
データ解析用ソフト	Visual Basic Excel
表示装置	10 TFT液晶 VGA
入力装置	10 タッチパネル
インターフェース	USB×2 RS232C×2 LAN×2 PCMCIA×2
最大消費電力	30W
外形寸法	380×310×110



図2 システム全体

ルのバックライトがその半分を占めているので、自動測定が可能となれば測定中の照明は不要となり、ノートパソコン程度のバッテリーでも数時間の使用に耐えられるようになる。また、ファン冷却による雰囲気破壊を防ぐため、低発熱であることも要求される。そこで本システムでは自然空冷のみとしている。

#### 5.2 センサ基板の小型化

センサは4種の酸化物半導体 ( $\text{In}_2\text{O}_3$ ,  $\text{SnO}_2$ ,  $\text{WO}_3$ ,  $\text{ZnO}$ ) がセラミック基板上の電極間に塗布されたものであり、ガスの有無および温度変化による各素子の電気抵抗値の変化を検出する。

図3にセンサ基板の試作型と新型を示す。左側が試作型で右側が新型である。また、上図がセンサ面、下図がヒータ面である。センサのセラミック基板を小型化することによって、センサ部の熱容量を小さくすることができ、温度制御の高速化と安定性の向上をもたらす。また、400 での消費電力は約30Wから4W弱に減少し、長時間のバッテリー駆動も可能となった。

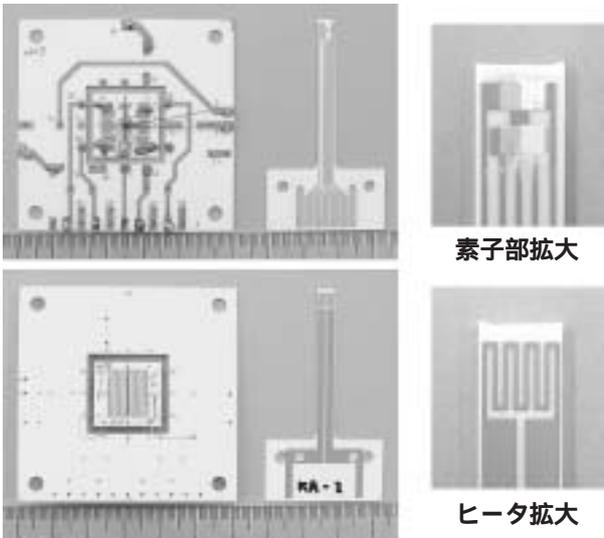


図3 新旧センサ基板の比較（左：試作型，右：新型）

### 5.3 センサ温度の測定方法改善

センサ各素子の電気抵抗値は温度によって変化し、この変化の度合いから混合ガスの成分を分析するものである。センサの温度を高精度で制御する必要がある。試作システムではセンサ部にアルメル・クロメル（Kタイプ）の熱電対を、絶縁カバー用厚膜ペーストによって接合したものを用いていたが、セラミック基板に熱的不均一が生じるとともに、セラミックと接合用ペーストの膨張率の差異が原因と見られる基板の破断が450 前後で頻繁に発生した。図3の試作型センサにその破断の様子がみられるが、接合用ペースト上およびヒータ・フィラメントに沿った形で亀裂が生じる。この傾向はすべての破断した基板に共通のものである。この破断を防ぐため、試作システムでは基板を急激に加熱しないよう225 まで徐々に温度を上昇させていた。

ところで、この基板の加熱に用いている発熱体は、白金ペーストをフィラメント状に基板に印刷したものである。フィラメント自体の抵抗から温度の推定が可能であると考えられる。

そこで、ヒータ・フィラメント両端間の電位差を0.5Vから6Vまで0.5Vごとに変化させ、各電位差でのヒータ電流とセンサ基板温度を測定した。電圧・電流はデジタル・マルチメータ、温度は放射温度計によって測定した。この結果を図4に示す。これは3回

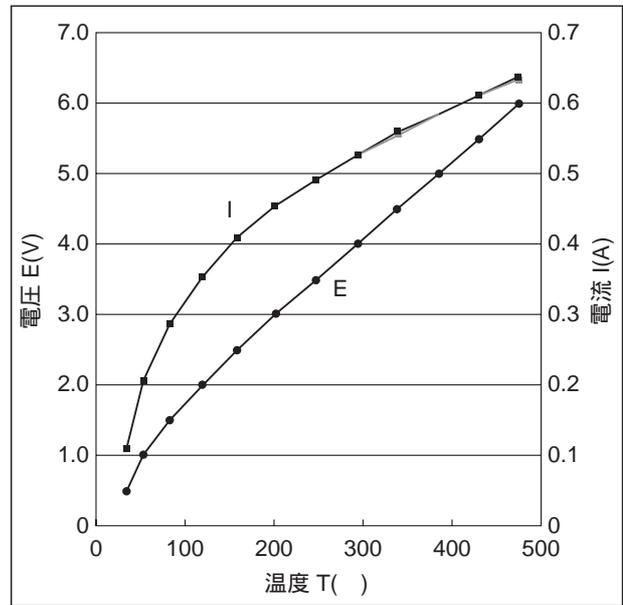


図4 センサ温度とヒータ・フィラメント印加電圧・電流

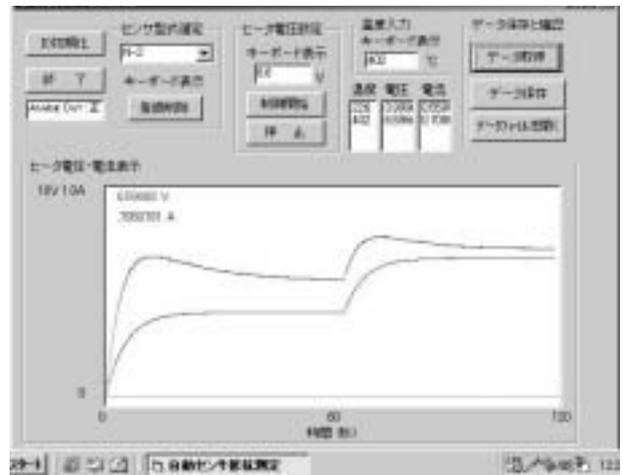


図5 センサ温度較正プログラム

繰返し測定した値をそのままプロットしたものであるが、履歴も見られず、高精度な温度制御が可能であることを示している。この電圧・電流値から抵抗を算出し、温度を抵抗の関数として表すのであるが、ガスの測定は225 と400 の2点で行われることから、200 以上における1次式近似で十分な精度が得られる。

なお、センサのヒータの特性は個体差があるので、温度較正用のプログラムも用意する必要がある。

図5に温度較正の実施例を示す。作業を簡単にするため、ほかのセンサから推定される225 と400 での電圧をフィラメントに印加し、おのおのの電圧

での温度を放射温度計で測定する。この測定値をプログラムに入力し、2点での結果からフィラメント抵抗に対するヒータ温度の1次近似式を求める。

図5では電圧が一定値になっても電流は減少していく様子が見られる。これは電圧の変化に対し温度が遅れて上昇していることを表す。

#### 5.4 センサ温度の制御方法改善

本システムでは、コンピュータによる比例積分制御としている。ヒータ・フィラメント印加電圧と、電流を電圧に変換した値をADコンバータによってコンピュータに取り込み、これらによりヒータの抵抗値を計算する。そして、センサ温度較正プログラムによって取得した係数によって温度に変換する。この値と設定温度との偏差が0になるようにPI制御する。制御プログラムにおいて、比例・積分の各係数を調整することにより、急速な立ち上がりと長時間にわたる安定した温度制御が可能となった。

#### 5.5 センサ出力感度の測定方法改善

センサ抵抗は素子によって大きく異なり、約500から10Mにわたるので、測定装置のダイナミックレンジを広くとらなければならない。そのため各素子の抵抗値を固定レンジで測定すればADコンバータの量子化誤差が無視できなくなる。これを避けるために、本システムではデジタル・ポテンシオメータを用いてマイクロ・コンピュータで最適な測定条件に設定するシステムを採用した。この概略図を図6に示す。

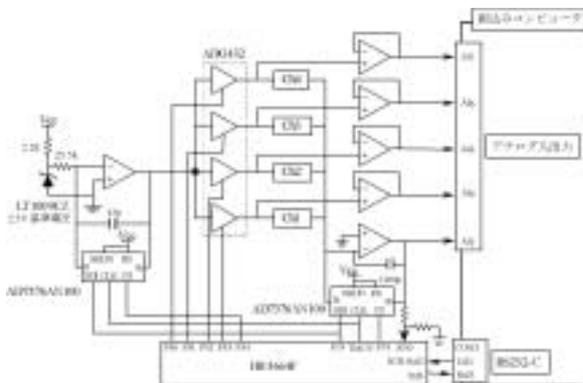


図6 センサ抵抗測定回路

ポテンシオメータAD7376AN100は約1k~100kの範囲で128段階の設定が可能である。図中Ch1~Ch4はセンサ素子を表し、これをアナログ・スイッチADG432で切り替える。左側の増幅回路は各センサ素子への印加電圧を変更するためのものであり、-0.98V~-9.8Vに設定される。この電圧はアナログ入出力カードの入力ポートA14~A17にてコンピュータに取り込まれる。センサ素子の電流は右下の増幅回路によって電圧に変換されA12とマイクロ・コンピュータH8/3664Fのアナログ入力AN0に入力される。マイコンはこの入力値がオーバフローしないように各デジタル・ポテンシオメータの抵抗値を自動的に設定する。そして現在測定中の素子番号と各ポテンシオメータの設定値をコンピュータにシリアルで送信する。コンピュータはこれらの情報とA12、およびA14~A17の入力値から各素子の抵抗値を計算する。

#### 5.6 センサ部の特性測定

測定例を図7に示す。これはトルエンの濃度1ppm、温度が400から225に変化したときの結果である。図中、実線で示されているのが温度で±0.5に安定している。破線は各素子の抵抗値であり対数で表示されている。温度による抵抗値の変化は、ガスの種類や濃度によって傾向が異なるので、これを分析することによって混合ガスの成分が推定できると考えられる。なお、ガス濃度1, 10, 100ppmで

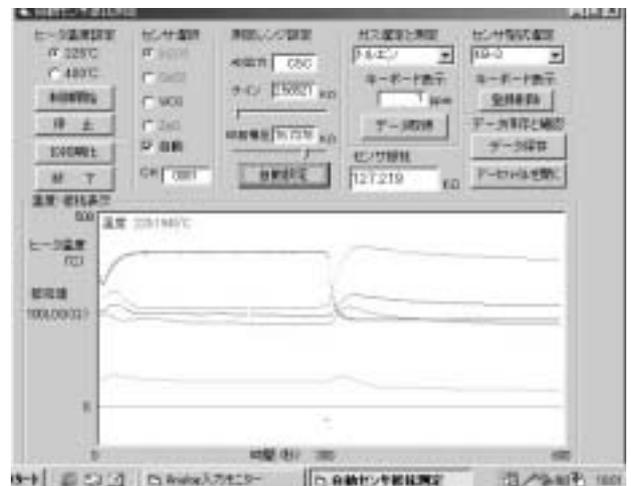


図7 測定例(トルエン1ppm)

の測定結果と、この測定に先立って行ったガスの存在しない状態での測定値とから算出した感度をファイルに保存する。

## 6. ガスの分析ソフトの制作と測定結果

本開発の目的の1つは、測定システムのコンパクト化にある。コンピュータ本体は汎用のOSが使用可能であるが、入力はキーボードやマウスに替わってタッチパネルで行うようにシステムが作られた。その意味で測定・分析においても、ソフトウェアの簡素化・操作の簡素化が図られた。

ここでは、

- (1) 単独で実行可能なプログラムとする。
- (2) 入力はタッチパネルによる項目の選択のみで行う。
- (3) 表示内容は、必要最小限としてわかりやすく簡素化する。

という観点から、開発言語をVisual Basicとして測定・分析プログラムを開発した。

測定・分析プログラムが持つ機能は以下である。

### (1) 基本データ測定

センサの基本データを測定し、濃度と感度の特性を求め。

### (2) 未知のガス測定

未知のガスの感度を測定し、その成分を分析する。

### (3) データの保存

各測定データをファイルに保存する。

これらの機能を実現すべく、プログラムの大まかな構成を図8に示す。

既定のガスでの抵抗値から、各センサの感度と濃度との特性は以下の手順で求められる。まず、空気中の抵抗 $R_a$ とガス中での抵抗 $R_g$ とから、感度 $y$ は次式として定義される。

$$y = \frac{R_a - R_g}{R_g} = \frac{R_a}{R_g} - 1 \quad (1)$$

感度 $y$ と濃度 $x$ との間に、良い近似として式(2)の指数関係が認められ、その係数 $a, b$ は最小二乗法より求められる。

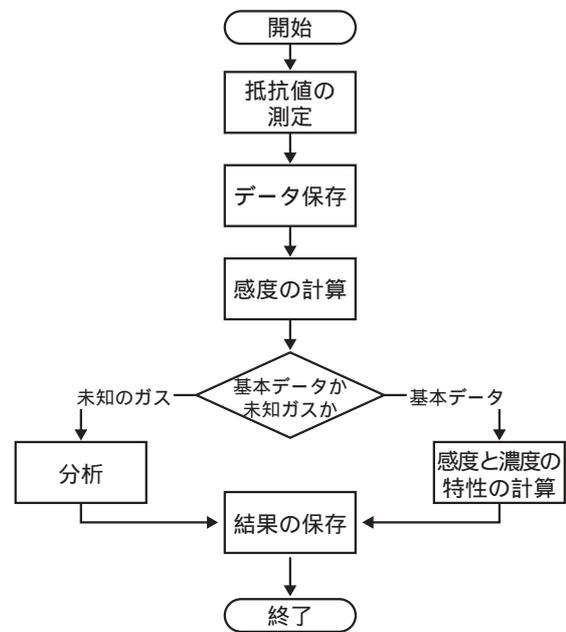


図8 処理のフローチャート

表2 近似式の係数

	ZnO	In <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SnO <sub>2</sub>
温度	400	225	225
係数 a	0.543085	2.633594	3.824717
べき乗 b	0.526879	0.356309	0.584194
相関係数 r	0.992996	0.998515	0.993542

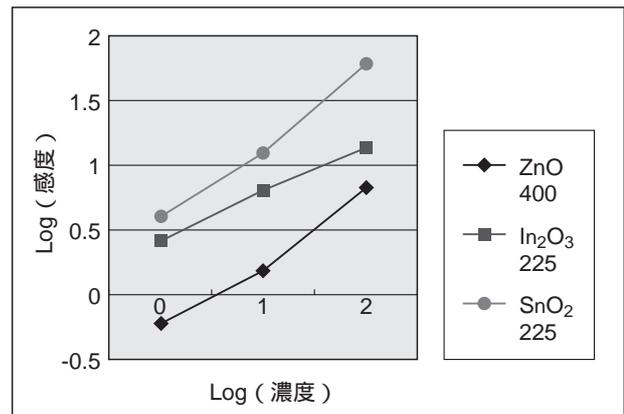


図9 測定データの分布

あるいは  $y = ax^b$   
 $\log y = b \log x + \log a \quad (2)$

実際、単独ガスにおける濃度と感度の測定より、例えば、ホルムアルデヒドの場合の関係式は、表2のようになり、この近似が良い近似であると認められる。ここで、濃度 $x$ はppmを単位とし、感度 $y$ と係数 $a, b$ は無次元である。

この関係式(2)の特性はガスの種類によらず、共通のものである。ただし、感度や係数等の値そのものは、測定の度ごとに変化し、常に安定した値として得られるものではなかった。測定時の気温や湿度の影響および使用回数によるセンサの劣化が原因と考えられる。

関係式(2)が求められると、単独のガスについてはその感度（抵抗値）より濃度が推定できる。

2種類以上の混合ガスは、複雑な相互作用により簡単な関係式では表されないと考えられるが、ここでは以下のように各ガスの効果は単にそれらの和として感度 $y$ に反映されるものと仮定した。

$$y = \sum_i y_i = \sum_i a_i x_i^{b_i} \quad (3)$$

ここで、 $x_i$ は各ガスの濃度、 $y_i$ は各ガスの感度、 $a_i$ 、 $b_i$ は各ガスについての係数である。

測定された感度 $y_i$ に対して、適当な初期値 $x_i$ から出発して、逐次法で各ガスの濃度が求められた。実測値 $y_i$ より $x_i = 0$ の範囲で3の方程式は必ずしも解を持ち得ないので、ここでは感度 $y_i$ が負になったときは0とおくという処理のもとで収束した値を解とした。その分析結果の一例を示す。

表3 分析結果の例

	酢酸エチル	キシレン
混合ガス	10ppm	1.0ppm
分析結果	9.1ppm	0.7ppm

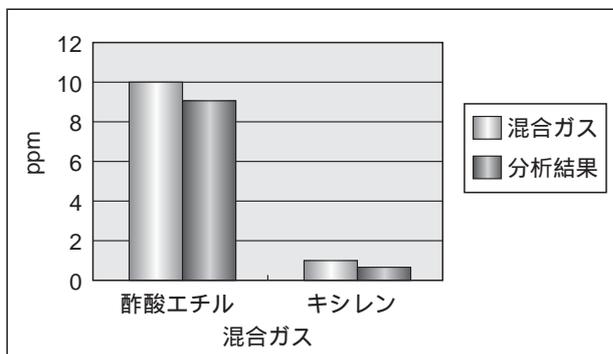


図10 混合ガスの濃度推定例

この結果は定量的には必ずしも満足のものではないが、どの種類のガスが主に含まれているかという定性的な判定には役だつものとする。

## 7. おわりに

今回、より小型化と信頼性を目指したシステム開発を行った。平成13年度で開発されたシステムではシーケンサとノートパソコンで処理をする方式であったが、組込み型パソコンのみでの処理方式へと小型化が可能となった。さらにセンサ素子そのものも小型化できた。ガス判定や濃度計測においては、基本的には前回の方式を踏襲したので測定時間は短縮できたものの、測定精度は同程度のものとなった。

今後の課題としては、センサの材料である酸化金属半導体特有の性質をより多くの基礎データの取得により信頼性の持てる特性を求めることである。そのことにより、精度の高いガス判定や濃度測定に結び付けていきたい。

最後に、今回の開発を行うに当たって事業主団体研究開発事業としてご協力ご支援をいただいた富山県電子電機工業会および参加企業の方々、またVOCセンサに関してご協力をいただいた富山県工業技術センターの角崎雅弘氏にこの場を借りて厚く感謝申し上げます。