

# 酸素センサのヒータ駆動回路

機器電材事業部 西田 裕\*1・塗 健治\*2

## Heater Driving Circuit of Oxygen Sensor

H. Nishida & K. Nuri

当社の酸素センサは長寿命，高精度さらにメンテナンス不要という特長を持ち，ppmレベルの低濃度から90%を超える高濃度までの広い濃度範囲を測定できる．センサの特性に大きな影響を与える動作温度を正確にそして安価に制御するため，組込型マイクロコントローラを使用した酸素センサヒータの定電力駆動回路が有効である．

Featuring its long life, high accuracy and maintenance free, Fujikura oxygen sensor can detect wide range of oxygen concentration from ppm level to over 90%O<sub>2</sub>. A constant electrical power driving circuit, using an embedded microcontroller, is useful for accurate and low cost control of the operating temperature which is important factor to the sensor characteristics.

### 1. ま え が き

酸素はわれわれが生きていく上で欠くことのできない気体である．環境問題とくに地球温暖化防止や森林資源などの自然保護活動がクローズアップされて久しいが，いずれも酸素と密接な関連がある．当社の酸素センサも当初は酸欠モニタや酸素分析計がおもな用途であったが，こここのところ医療機器や燃焼制御への用途が増加し，われわれが直面しているこれらの問題の重要性をうかがわせるものとなっている．

酸素センサは高温に加熱された安定化ジルコニアの酸素イオン伝導性を利用したもので，素子上面には厚膜印刷・焼成技術による白金ヒータが形成されている．センサの最適な特性を得るために一定の温度に素子を加熱する必要があり，これまではヒータに印加する電圧をセンサ個別に調整して使用していたが，これはセンサの使いやすさという点で大きな問題となっていた．

本論文ではセンサ個別の電圧調整が不要な，組込型マイクロコントローラ（Embedded Microcontroller，以下MCUという）を使用した酸素センサヒータの定電力駆動回路と適用例を紹介する．

### 2. 酸素センサとヒータ駆動方式

酸素センサ素子断面の模式図を図1に示す．安定化ジルコニアディスクの両面に白金電極を形成し，カソード側には気体流量を制限する小孔の開いたキャップを接合

する．キャップ上面には白金ヒータが形成され，素子全体を400 程度に加熱する．このとき電極間に電圧を印加すると酸素イオンをキャリアとする電流が流れるが，カソード電極に到達する酸素量がキャップの小孔で制限されるため，電圧を変えても電流が変化しない限界電流特性が観察される．ここで電極間の印加電圧を一定にすると，限界電流 $I_L$ は気体中の酸素濃度に従って変化し，それは次式で表される<sup>1)</sup>．

$$I_L = - \log ( 1 - C ( O_2 ) / 100 ) \dots \dots \dots ( 1 )$$

ただし， $C ( O_2 )$ : 測定雰囲気中の酸素濃度

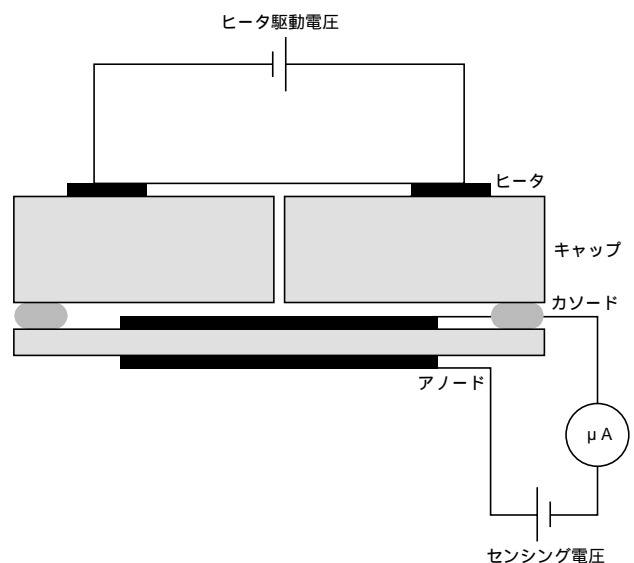


図1 酸素センサ素子の構造  
Structure of oxygen sensor element

\*1 センサ技術部秋田分室課長

\*2 センサ技術部長

また酸素濃度が低いときには限界電流は近似的に酸素濃度に比例する。

$$I_L \propto C(O_2) \dots \dots \dots (2)$$

センサ特性は素子の温度に大きく影響される。したがってあるひとつのセンサに対していうなら、ヒータには安定した電力を供給することが重要である。また、センサを構成する素子や保温材などの材質や寸法は安定しているため、熱容量のばらつきは小さい。したがってヒータ電力を定めることで、複数のセンサを同じ温度条件で使用することが可能であると考えられる。そのためには定電力駆動回路によりヒータを駆動することが理想的であるが、定電力駆動回路は電圧と電流の演算処理が必要であり、回路構成が複雑でコスト高となるため採用されることはなく、従来は次善の策として定電圧駆動回路が採用されてきた。

ここで問題になるのは、印刷技術によって形成されるヒータは厚さや幅、および材料である白金ペーストの特

性などのばらつきによって、その抵抗値を一定に管理することがきわめて困難なことである。さらには実際に酸素センサが使用される際には高温となっているために、ヒータの温度特性も抵抗値に大きな影響を与え、管理の困難さを増す要因となる。このようにヒータ抵抗値が必ずしも一定でないことにより、定電圧駆動回路では所定の電力をヒータに供給するためにセンサ個別の電圧調整が不可欠であり、以下の問題があった。

- (1) 調整コストが大きい
- (2) 調整間違いやセンサ取り違えの危険がある

### 3. 定電力駆動回路構成

近年、小型で安価なMCUが市場に流通していることにより定電力駆動回路が手軽に実現できる状況になった。その基本的な構成を図2に示す。

ふたつのアナログデジタル変換器（以下、ADCという）とひとつのデジタルアナログ変換器（以下、DACという）さらにヒータ電力を演算するためのMCUが用意される。ADC<sub>1</sub>には酸素センサヒータの電圧V<sub>1</sub>を入力する。ADC<sub>2</sub>にはヒータに直列接続された電流検出用抵抗器の電圧V<sub>2</sub>を入力する。ここで、電流検出用抵抗器の値を1 とすると、ヒータを流れる電流はV<sub>2</sub>とV<sub>1</sub>の差分である。したがって、ヒータ電力は以下の式で表される。

$$P = V_1 \times (V_2 - V_1) \dots \dots \dots (3)$$

演算結果をもとにヒータが所定の電力で駆動されるように、DACはOPアンプとパワートランジスタで構成される定電圧電源回路に電圧調整信号を出力する。

### 4. 適用例

慢性呼吸不全により高濃度酸素の吸入を必要とする患者が病院外でも生活できるように、空気から酸素を選択

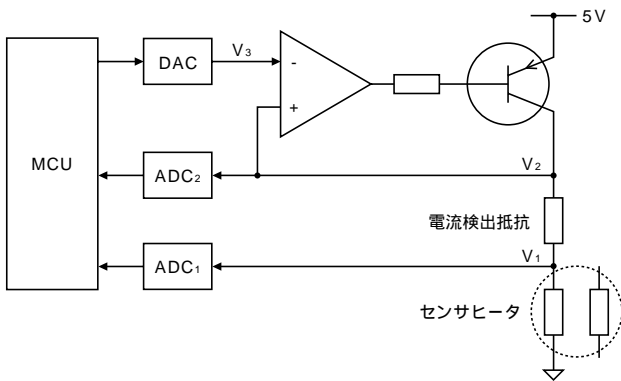


図2 ヒータ定電力駆動回路の構成  
Block diagram of constant power driving circuit for oxygen sensor heater

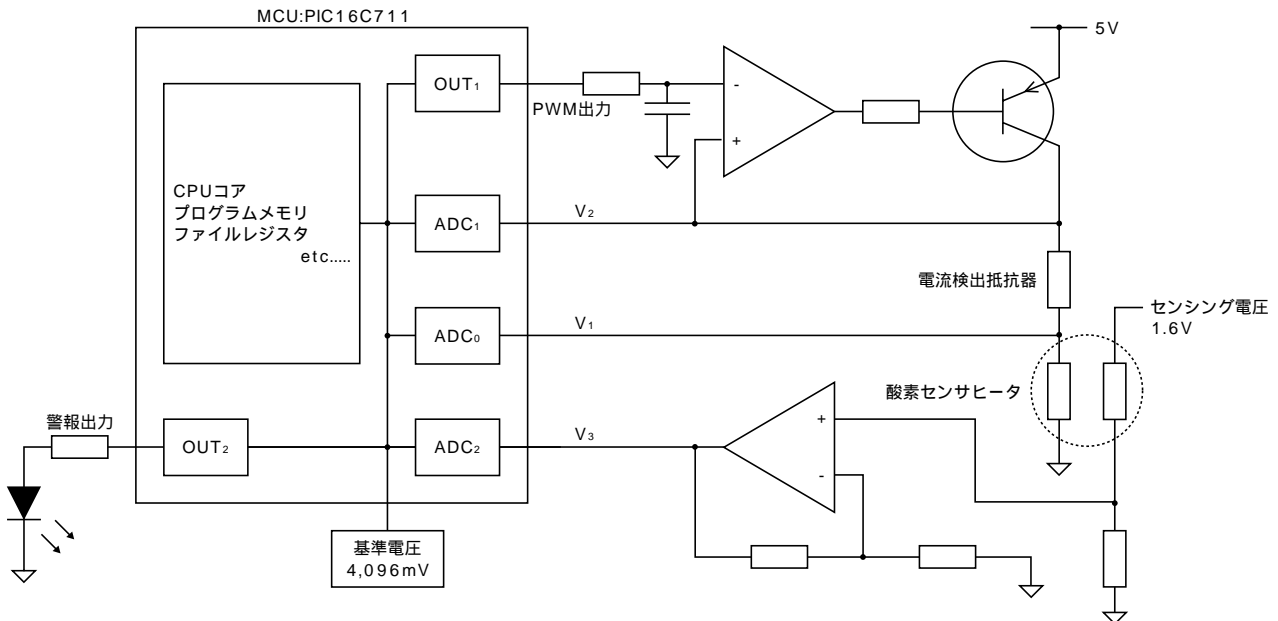


図3 酸素スイッチ基板の構成  
Block diagram of oxygen switch board

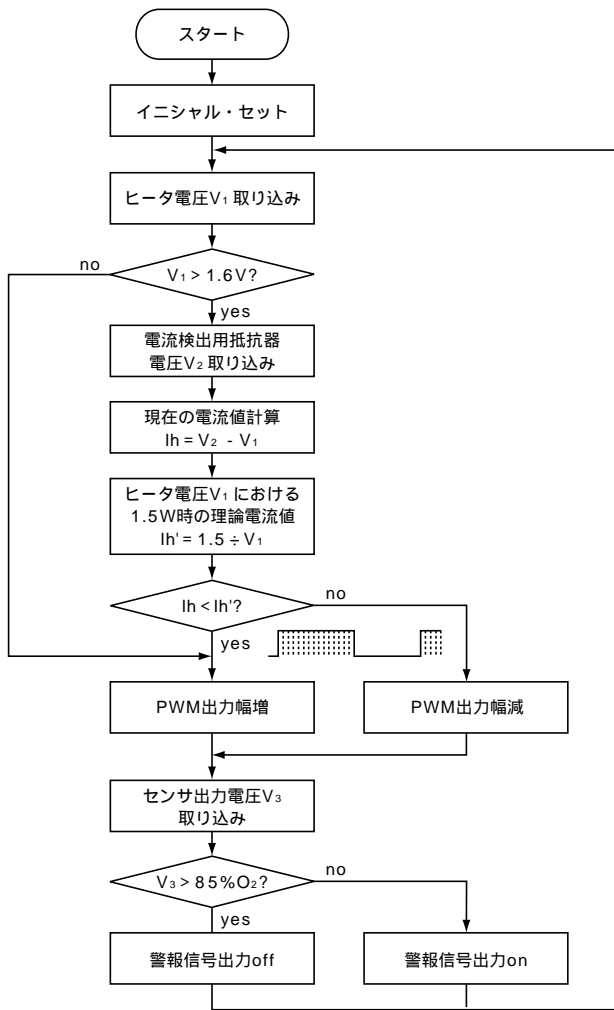


図4 酸素スイッチ基板のフローチャート  
Flow chart of oxygen switch board

的に取り出して発生する小型装置が開発され、在宅酸素療法 (Home Oxygen Therapy, 略してHOT) への利用が増加している。この装置、酸素濃縮器の具備すべき重要な機能として、発生ガスの酸素濃度を常に監視して規定以下の濃度に対しては警報を発生させる、いわゆるスイッチ機能があげられる。図3に酸素濃縮器用に開発した酸素スイッチ基板の回路構成を、またフローチャートを図4に示す。

この例では、4チャンネルADC内蔵で人気の高いMicrochip社製の8ビットMCUを使用する。ADC<sub>0</sub>には酸素センサヒータの電圧V<sub>1</sub>、ADC<sub>1</sub>にはヒータに直列接続された電流検出用抵抗器の電圧V<sub>2</sub>、さらにADC<sub>2</sub>にはセンサ出力電流を電圧変換し増幅した信号を入力する。基準電圧は4,096mVであるのでADCの分解能は1bitあたり16mVである。MPUのプログラムエリア内に1.5Wにおける電圧と電流をあらわすテーブルをもうける。ADC<sub>1</sub>とADC<sub>2</sub>がV<sub>1</sub>とV<sub>2</sub>を取り込んだ時点で、テーブル内のV<sub>1</sub>に対応する電流データと実際の電流V<sub>2</sub> - V<sub>1</sub>を比較する。このときMPUは次のような判断をする。

テーブルの電流データ > V<sub>2</sub> - V<sub>1</sub> ならばヒータ電力不足につき電圧上昇させる。

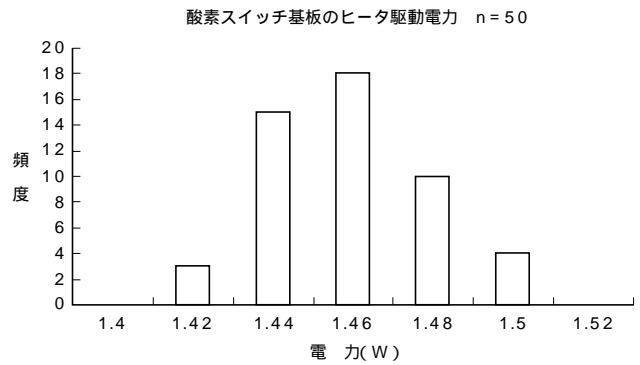


図5 酸素スイッチ基板のヒータ電力駆動分布  
Distribution of heater driving power of oxygen switch board



図6 酸素スイッチ基板  
Oxygen switch board

テーブルの電流データ < V<sub>2</sub> - V<sub>1</sub> ならばヒータ電力過剰につき電圧下降させる。

電圧調整用の信号はPWM形式で出力される。信号は抵抗器とコンデンサで構成される回路で直流化されたのち<sup>2)</sup>、OPアンプとパワートランジスタで構成される定電圧電源回路にフィードバックされる。電圧調整可能な範囲は1.6 ~ 3Vである。この例では高濃度用酸素センサFCX - UWを使用しており、図5に示すように基板ごとのヒータ電力分布は1.4W ~ 1.5Wである。

なお、センサ信号処理もMCUのソフトウェアで制御することで、機種によって異なる検出タイミングや酸素濃度、出力方式の要求に容易に対応できる。

図6に酸素スイッチ基板の外観を示す。

### 5.むすび

MCUを使用した酸素センサヒータの定電力駆動回路と適用例を紹介した。この方式は従来不可欠であったヒータ電圧の個別調整を不要としたことで、校正手順が省力化されセンサの使いやすさが向上する。今後、他の用途への展開が期待できる。

### 参考文献

- 1) 山口ほか：新型セラミック酸素センサの開発，藤倉電線技報，第68号，pp.37-43，1984
- 2) 小川晃：PICインターフェースハンドブック，マイクロアプリケーションラボラトリー，1998