

# 環境因子分布計測システムの開発

村田政隆, 松村一弘, 吉野博之, 宮原則行

## Development of Distribution Measurement System for the Enviromental Factor

Masataka Murata, Kazuhiro Matsumura, Hiroyuki Yoshino and Noriyuki Miyahara

### 要 旨

温度や照度など、場の環境計測では特定点の精密計測より、むしろ計測値の分布状況が必要な場合があり、安価で可搬性・計測作業性に優れた製品が求められている。そこで、PICマイコンを利用した環境因子分布計測システムを開発した。

システムの評価実験の結果、本システムが作業性や可搬性に優れた分布計測システムであり、室内環境因子の分布状況を簡便に定量化できることを確認し、環境調査等に有用なことを示した。

#### 1. はじめに

最近の環境問題に対する意識の向上と危機感の高まりを背景として、様々な目的の環境計測<sup>1) 3)</sup>が各方面で盛んに行われている。こうした環境計測に用いられる既存計測器は、検出部の高精度化を追求し非常に高価である。しかし、温熱や照度などの環境計測では、特定点の精密計測より、むしろ計測値の分布状況が必要な場合がある。従来はこうした場合においても、既存の高精度計測器を利用するか、分布計測器を特注するほかなかった。

単一の計測器を測定点ごとに切り替えて多点を測定する方法は、作業が煩雑であるうえ、計測因子の時間的変化が緩慢な場合以外は使用できない。同時多点計測に必要な台数の計測器を用意する必要があり、コストや設置場所の確保、計測準備の煩雑さ等の問題があるうえ、屋外での使用では可搬性に問題が生じる。このため、従来は同時多点計測による面や空間の分布計測は、ほとんど実施されてこなかった。

そこで、本研究開発では、安価で可搬性・計測

作業性に優れた製品を実現するために、組込用マイコンを利用した環境因子分布計測システムを開発した。

#### 2. システムの構成

本システムは機能上、入力部と出力部、そして信号処理部により構成される。各構成部位に関する検討結果等を以下に示す。

##### 2.1 入力部

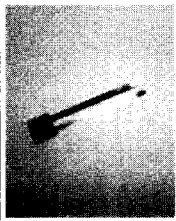
はじめに、法令などにより基準値や目標値、もしくは計測・制御要素として定められている環境因子のいくつかの例<sup>4) 7)</sup>を表1に示す。

表1 環境因子例

法令等		環境因子				
気象観測	気象計器	温度	気圧	湿度	風速	
屋外	気象計器	日射	雨量	露量	霧量	
	気象計器	日射	雨量	露量	霧量	
	大気汚染	二酸化硫黄	一酸化炭素	浮遊粒子状物質	二酸化窒素 等	
	北海道 環境影響 評価条例	水質汚濁	pH	BOD	SS	DO
		大腸菌数	窒素	リン	カドミウム 等	
		農薬	アンモニア	メチルメルカプタン	硫化水素	硫化メチル 等
		土壌汚染	カドミウム	シアン	有機りん	鉛 等
環境汚染ガス	二酸化硫黄	メタン	フルオロカーボン類	二酸化窒素 等		
屋内	空気調和・衛生工学会	温度	湿度			
	米朝暖房冷凍空調学会	温度	湿度	気流		
	建築物理衛生管理基準	温度	湿度	気流	一酸化炭素 等	
	労働安全衛生規則	気流				

本計測システムでは、対象とする計測因子によってセンサの種類は異なるが、それらの出力様式、大きさ、コスト等は様々な形態となるものの複数センサ出力を1点に集中する基本システム形態は変わらない。そこで、表1に示した数多くの因子のうち、センサ素子の入手性が良く、屋内外環境に必要とされ、かつ、開発後の応用先が極めて広いと考えられる温度因子を主対象因子とし、他のセンサにも対応可能な形で、分布計測システムの開発をすすめることが効率的と考えた。そこで、システム全体の小型化要求を踏まえ、入力部の温度センサには、表2に示す熱電対を使用した。

表2 温度センサ(熱電対)の主仕様

外観	名称	シートカプブル
	型式	CO60-K
	素線	K型
	許容差	JIS クラス2
	測定温度	-200~300℃(絶縁紙耐熱 150℃)
	応答性	25℃→100℃(水中)・・・約0.1秒以下 (絶縁紙付)
		25℃→100℃(空気中)・・・約14秒 (※静止水中、静止空気中において)
	外形寸法	素線 幅1.5×厚さ0.07×長さ35mm 絶縁紙 幅7×厚さ0.2×長さ7mm

## 2.2 出力部

出力部には、計測結果の表示機能と、計測結果を汎用的なデジタルファイルとして保存できる記録機能が必要である。そこで、出力部としてはパソコンを使用し、ソフトウェアにより計測結果の表示と記録を行うことにした。

## 2.3 信号処理部

信号処理としては、センサ側から順に、熱電対の微弱なアナログ電圧信号に対する信号増幅処理と、増幅処理後の信号を、デジタル信号に変換するA/D変換及び、変換結果を記録するデジタル化処理がある。温度に限らず、本来アナログ量である諸因子を計測するセンサにはアナログ出力のものが圧倒的に多いため、センサ部とデータ処理部の距離が比較的近い狭域計測では、アナログ信号のままでの通信が様々な面で効率的である。しかし、広域計測では信号の伝送劣化を防ぐため、信号をデジタル化する必要がある。

次に、中継段階として、デジタル化した信号を、パソコンに計測値として認識させるための通信処理があり、最終段階では、パソコンが認識した計測値の画面表示や、ファイル保存など、パソコン内で行うデータ処理を必要とする。

そこで、開発進捗に応じた動作確認や、不具合発生時における原因究明と対策の容易さを考慮し、ハードウェアで信号増幅処理を行い、組込用マイコンのファームウェアでA/D変換処理と通信処理をさせ、ソフトウェアでパソコン内のデータ処理を行う構成とした。

以上より、本システムは、表3に示す構成部位の検討結果に基づき、開発を進めた。

表3 システム構成

構成	機能・用途	対応	設計要素	
入力部	温度の定量化	センサ	選定	
信号処理部	信号増幅	量子化精度の向上	電子回路	ハードウェア
	識別	入力部の特定	電子回路	
	デジタル化	信頼性の向上	マイコン	ファームウェア
	通信	マイコン-パソコン間の規格準拠化	マイコン	ソフトウェア
	データ処理	ユーザインターフェイス	パソコン	
出力部	確認(画面) 記録(ファイル)	パソコン パソコン	ソフトウェア	

## 3. 設計・試作

### 3.1 ハードウェア

本システムでは、量産にも対応可能なユニット構成によるコスト削減や、小型軽量化による可搬性の向上を図った。さらに、工具を使用せずに計測準備可能とすることで、作業性をより向上させようと考えた。

そこで、分布計測システムを、機能ごとに3つのユニットに分割した。また、組込用マイコンとパソコンでは、取り扱うデジタル信号電圧が異なるため、RS-232Cレベル変換回路を別途設けている。ユニット間の接続部には、繰り返しの脱着用途には信頼性の面から不向きではあるが、低価格で、入手性が良く、寸法も小型であるICソケットを試用した。

信号処理は、Analog Devices社製の熱電対専用アンプAD595と汎用オペアンプを併用して、各々247.3倍、10倍の2段階で増幅処理し、組込用マイコンとパソコン間はRS-232C通信規格に準拠した。そして、組込用マイコンには、開発環境が無償で入手可能なマイクロチップ社のPICを採用した。

ここで、信号線の共用化を図るため、1台のパソコンと2個のPICを用いた通信実験<sup>3)</sup>を行った。パソコンからPICへ送信する信号ライン(TxD)をPICで共用した場合には問題なく動作したが、PICからパソコンへ送信する信号ライン(RxD)を共用した場合には、正常に動作しなかった。この原因は本ラインを共用したことにより、信号電圧値が

閾値以下で変化し、正常に認識されていないためとわかった。そこで、実験回路のRxDライン上にPhotoMosリレーを追加して、ハイインピーダンス状態を作り出すことで、この不具合を解消することができた。この実験結果から、信号線の共用化が図れ、数珠繋ぎによる連結を実現した。さらに、外径の細い多芯電線の採用等で、配線の煩雑化を防いだ。システム構成の概要図を図1に、回路図を図2に示す。

なお、各筐体は小型・軽量化を図るため、3次元CADによって、図3に示すように分割可能な部品を検討しながら設計し、光造形機により試作した。

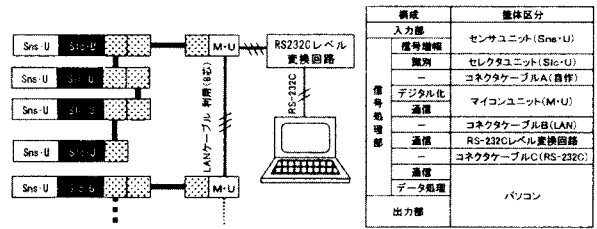


図1 システム構成の概要

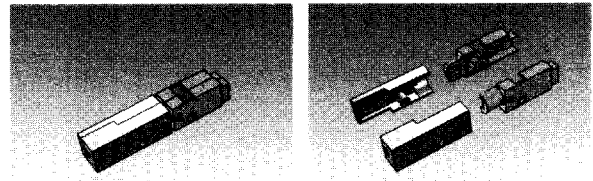


図3 筐体の3次元CADデータ(左:合体 右:分割)

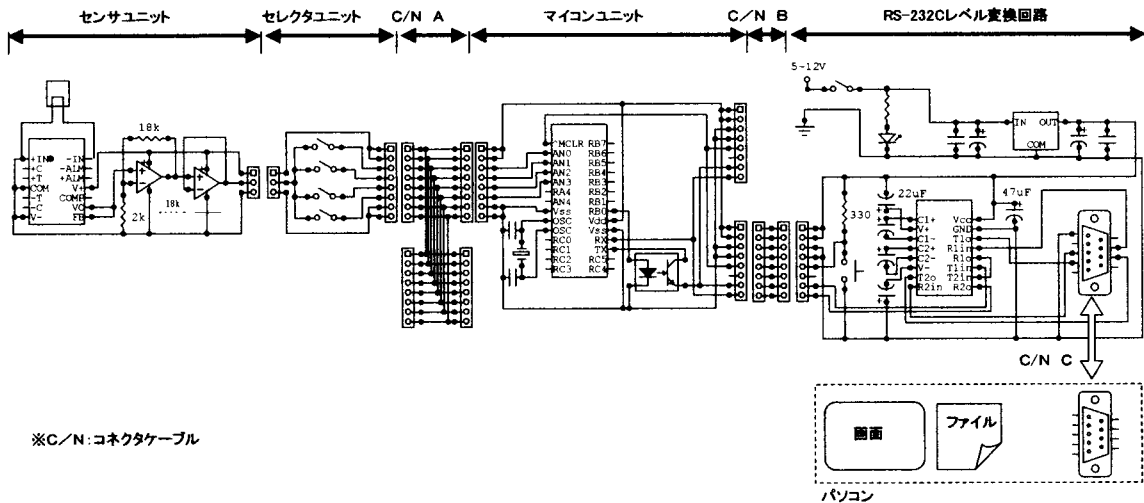


図2 回路図

### 3.2 ファームウェア

パソコンと連動し、アナログ電圧計測を行うPICでは、A/D変換機能とUSART機能を具備している必要がある。A/D変換には、8bitと10bitの分解能のものがあるが、今回は電圧精度よりも、より多くの計測を行うことを重視し、A/D変換やASCII変換の負荷が少ない8bit分解能を採用することにした。そして、動作クロックが20MHzと高速で、かつパッケージが小型である「PIC16F73」を選定した。

PICの主仕様とファームウェアのフロー図を図4に示す<sup>9)</sup>。PICは、パソコンから送られたASCIIコードのコマンドを解析し、4チャンネル分の逐次A/D変換による計測処理を実行するか、binaryデータである計測結果をASCIIコードにしてパソコンへ送信する通信処理を実行する。ここで、各PICに

対して、計測コマンド名は同一にし、送信コマンド名を相違させることで、計測値の同時性を保証した。

PIC 16F73 主仕様	
プログラムメモリ	4k words
データメモリ(RAM)	192 byte
I/O端子数	22
パッケージ	28pin-DIP
A/Dコンバータ	8bit × 5ch
シリアルポート	SPI/I2C USART
最大動作周波数	20 MHz
電源電圧範囲	3.0 - 6.0 V

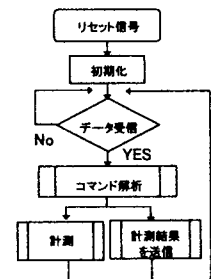


図4 PICマイコンの仕様及びファームウェアフロー図

### 3.3 ソフトウェア

ソフトウェアの開発ソフトには、Microsoft社の Visual BasicとNATIONAL INSTRUMENTS社のLab VIEWを比較し、グラフ化の容易さや計測制御用途

に適している点からLabVIEWを採用した。確認用に試作した出力部画面<sup>10), 11)</sup>を図5に示す。また、計測結果のデータファイルの作成では、計測が1ファイル当たりの設定測定回数に達すると、連番が付いた新規ファイルを自動生成する機能を設けている。

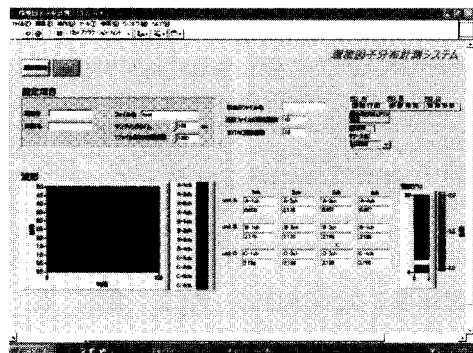


図5 出力部画面(ソフトウェア)

#### 4. システム評価

本システムの外観を図6に示し、写真中央部の線分布計測システムを用いて、室内温度の線分布計測を行った結果の一例を図7に示す。

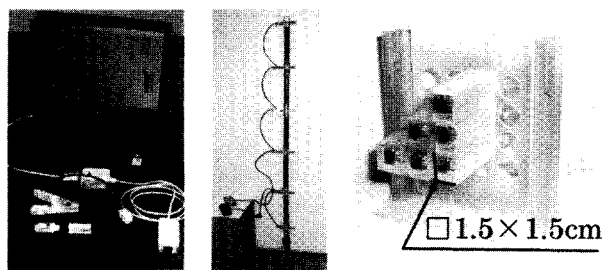


図6 環境因子分布測定システム外観  
(左：構成ユニット 中央：線分布計測例 右：面分布計測例)

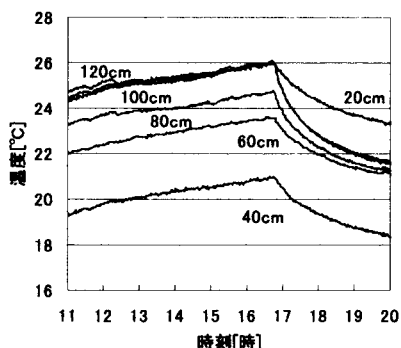


図7 室内温度変化

実験は、人がイスに座り机で作業する一般的な状況を想定し、実験室に6つのセンサを床面から20cm間隔で設置し、頭部から足部までの直線状の温度分布計測を11時から20時までの時間で実施した。なお、測定値は、約20℃と約30℃の環境にて測温抵抗体による簡易的な校正を行っている。

図7に示した室内の温度変化では、16時30分頃を境にして実験室内暖房設備の稼働・停止による影響の様子がよく示され、床面からの温度は上方が高く、下方は低い傾向にあることを確認した。しかし、温度上昇中期間の床上高さ20cmの測定値は、120cmの測定値とほぼ同じという結果となった。実験と校正において部品同士の接合部等の状況に問題があった可能性もあるため、20cmを計測した部品については別途検証が必要と考えるが、要素が数が多いこうしたシステムの難しさを現す実例となった。

また、温度低下後における120cmと40cmの温度変化の測定値をみると、120cmの高さの方が、40cmに比べて温度変化の割合が大きいことがわかる。よって、本実験条件における室内の温度変化は、イスに座っている人にとっては、腹部から肩にかけての部分で特に感じやすいことがわかる。このような結果が、簡単な分布計測からでも直ちに得られる。

本実験では計測点数が少なく、従来との作業性を比較検証するまでには至らなかった。しかし、100点計測を仮定すると、従来では100本の熱電対を用意し、200ヶ所のネジ止め作業が必要となる。今回、数珠繋ぎした配線を見かけ上1本と考えると、本システムでは配線数が約75%削減され、さらに計測環境も整理可能となる。

#### 5. まとめ

システム実験を通じ、本システムが作業性や可搬性に優れた分布計測システムであり、室内環境因子の分布状況を簡便に定量化できることを確認し、環境調査等に有用なことを示した。

一方、光造形機により試作した筐体では、厚みが0.3mm程度の部分があるため、破損もしやすく製品向けではない。また、寸法の変更や、複数の測定部を内包した部品製作が現実的であること、そして、測定値や位置精度に対する校正方法の検討や、脱着用途のコネクタ類の採用など、製品化

にむけては克服する課題がある。

従来からあるサーモビュア等の画像計測では、物体の表面温度しか測定できないため、本システムは、物体の存在しない空間の温度計測用途において、画像計測との差別化が図れる。また、ユビキタス情報化社会の構築を背景とし、数多くのセンサを用いた、ネットワーク技術の研究開発が進められており、現状では10km程度の長距離にも対応した無線センサネットワークシステム等が存在する。例えば、本システムで線分布、面分布、多点計測を局所的に行い、簡単なインターフェイスを追加して、前述した他社のセンサネットワークシステム、もしくはLANやWANなどのインフラと接続すれば、容易に大空間計測システムを構築することも可能となる。さらに、PICマイコン同士のアドホック接続は可能であるため、情報をバケツリレー方式で伝達するマルチホップ機能を付加できれば、本システムを簡易型の無線センサネットワークシステムの要素技術として利用することも可能である。

#### 参考文献

- 1) 大浦政弘, 溝口次夫, 日色和夫, 安原昭夫, 高松武次郎, 石田耕三: 環境計測学 (環境新聞社), (1998), P236-243
- 2) 岡本謙一: 地球環境計測 (オーム社), (1999), P12-17
- 3) 大浜庄司: 内部環境監査の実務知識早わかり (オーム社), (1997), P76-83
- 4) 井上宇市: 空調ハンドブック (丸善), (1996), P4-12
- 5) 空気調和衛生工学会: 設計用最大熱負荷計算法(空気調和・衛生工学会), (1989), P3-13
- 6) 日本電気計測器工業会: 環境計器ガイドブック (公害対策技術同友会), (2000), P241-281
- 7) 空気調和・衛生工学会: 空気調和・衛生工学便覧第13版(空気調和・衛生工学会), (2001), P391-650
- 8) 後閑哲也: 電子工作のためのPIC活用ガイドブック (技術評論社), (2000), 191-203
- 9) 後閑哲也: 電子制御のためのPIC応用ガイドブック (技術評論社), (2002), P247-273
- 10) 井上泰典: LabVIEWグラフィカルプログラミング(森北出版), (1998), P93-102
- 11) 鈴木昇: はじめてのラボビュー-LabVIEW-グラフィカルプログラミング-(東京教学社), (2001), P104-114