

ハイブリッド換気システムの製品開発 — 応用課程開発課題での取り組み —

北陸ポリテクカレッジ
(北陸職業能力開発大学校)

西田

均・植平 一郎・人見功治郎

1. はじめに

近年、建物の高気密化により室内空気質の維持のために換気が必要不可欠になっている。すなわち、COやCO₂、そして、シックハウス症候群の原因となる揮発性有機化合物の排出を行い、居住者の快適性を確保する換気が求められている。一方、温室効果ガス削減のために省エネルギー化が叫ばれており、換気に要するエネルギーの低減も求められている¹⁾。

当大学校では2000年度の事業主団体研究開発事業においてアルミ建材メーカーの団体と風のエネルギーを用いた自然換気装置に関する共同研究を行った。この研究では団体が開発した換気装置で使用している風量調整弁の振動防止対策と自然換気装置の設計法をまとめた²⁾。また、無風時の換気法について検討を行った。その結果、弁制御には電気モータを用い、無風時には強制排気によって換気を行うハイブリッド換気装置の開発を行うことにした。

2001年度ではこの団体と共同でハイブリッド換気システムの実験機を製作して、風力によって自然換気が可能なことと製品化への課題および換気量となる給気量の計測制御法の問題点を明らかにした³⁾。製品化への課題は、①低コストにすること、②信頼性、耐久性を高くすること、③組立・分解しやすいこと、④ファンの騒音を小さくすること、であった。給気量一定制御の問題点は、風速が小さい場合、給気量を一定に制御できなくなることであった。この原因は、給気量を制御する風量調整弁を弁前後の圧

力差によって制御したためである。すなわち、微風時、圧力差が小さくなり計測制御できなくなることがわかった。

以上の背景で、2002年度は製品化への課題と給気量制御の問題点を解決した製品の試作機を開発することにした。具体的な目標は、①シンプルなシステムで組立分解の容易な構造にする、②耐久性に優れた微風速センサを開発して安定した給気量の一定制御を行う、ことである。このテーマを応用課程の開発課題と長期セミナーで扱った。システムの概略設計、計算設計などはセミナーで行い、実際の設計・製作は開発課題で行った。本報では、まず、2002年度の取り組み状況について述べ、次に換気システムの仕組み、製品試作機としての評価、そして開発課題の教育訓練成果について述べる。

2. テーマの取り組み状況

長期セミナーでは団体の技術者と共同でシステムの概略設計と計算設計などを行った。概略設計案が順次企業側から提案され、これに対して検討を加えまとめていった。システムの性能予測のために適切な計算法を紹介・説明して、計算設計を行った。概略や計算結果のまとめには学生も参加した。

開発課題ではシステムの詳細設計と実際の製作活動を行った。この開発課題では要求に応じた製品を製作することを目的としたが、製品開発の手順を身に付けさせることに配慮した。機械系の学生はシステムの構造設計と製作、電子系、情報系の学生は電

子制御設計と製作をそれぞれ担当した。重要なミーティングにはセミナー参加の技術者にも出席してもらい、指導を受けるとともに意見交換も行った。

開発課題ではまず始めに、2001年度の実験機の分析と性能試験を行った。すなわち、機械系の学生は構造とアクチュエータの分析、電子系の学生はセンサと電子回路の分析、そして情報系の学生はソフトウェアと制御法の分析を行った。これにより、製品化への課題と給気量の計測制御法の問題点を整理して対策を検討した。性能試験では外部の風速と風量調整弁の回転角度、弁前後の圧力損失および室内側風速の関係を調べた。これにより、計算設計で必要になる風量調整弁の損失係数を求めた。次に団体から示された概略設計に対して以上の分析結果をもとに機械系の学生は構造関係、電子系および情報系の学生は電子回路とソフトウェアの詳細設計を行った。製作はなるべく学生が行うようにしたが、当校でできない加工は団体に依頼した。この開発課題では製品試作機の基本動作試験まで行った。残された詳細な性能試験などは現在団体側が実施している。

3. 換気システムの構成と各ユニットの構造

換気方式は有風時における外風による給気と自然排気の第4種換気、そして無風時におけるファンによる強制排気と自然給気の第3種機械換気の2つである。

換気システムは図1に示すように部屋の片面の窓上部に設置されるナチュラルユニットとファンユニットから成る換気装置と対面の窓上部に設置されるナチュラルユニットだけの換気装置から構成される。2つの換気装置は信号の授受は行わず、独立して運転される。ナチュラルユニットはバタフライ形の風量調整弁を持った自然換気口であり、ファンユニットはクロスフローファンを用いた排気装置である。

空気の流れは有風時には風上側のナチュラルユニットから外気が給気され、風下側のナチュラルユニットから室内の排気が排出される。一方、無風時にはファ

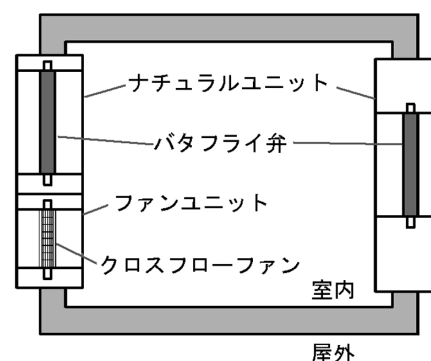


図1 ハイブリッド換気システムの構成

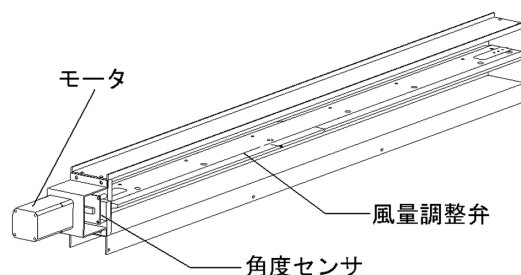


図2 ナチュラルユニットの構造

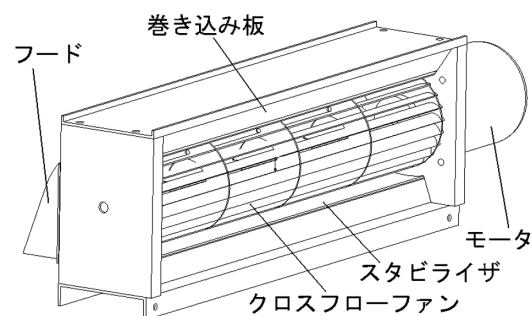


図3 ファンユニットの構造

ンユニットから排気が強制的に排出され、隣接したナチュラルユニットの風量調整弁を閉じて対面のナチュラルユニットから室内に外気が給気される。

ナチュラルユニットとファンユニットの構造を図2と図3にそれぞれ示す。ナチュラルユニットは室内側ダクト内に設置された微風速センサで風速を測定して、給気量を一定にするように電気モータによって風量調整弁の開度を制御する。室内側ダクト内の流れが排出になる場合は流路の圧力損失を減らすために、風量調整弁は全開の水平状態にする。この

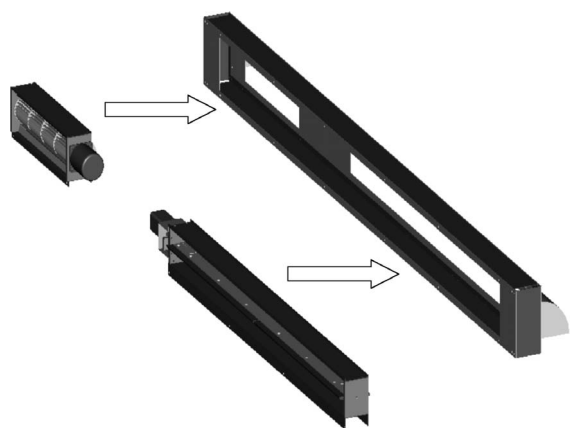


図4 各ユニットの収納部への挿入・取り付け

風量調整弁は仕切り弁の機能も持っている。

一方、ファンユニットは強制排気装置であり、モータでクロスフローファンを回転させ排気を行う。このとき、内部で発生する渦を安定させるためにスタビライザが取り付けられている。この設計には実験や流体解析による最新の文献データを参考にした⁴⁾。また、室内側ダクト内には電気モータで開閉する仕切り弁が付いている。

各ユニットが納められる外枠はフード、ユニット収納部および室内側ダクトから構成されている。図4は2つのユニットから成る換気装置であるが、各ユニットは窓枠上部に取り付けられたユニット収納部に簡単に挿入、固定できるようになっている。

4. 微風速センサの開発

給気量を制御するためと給気状態か排気状態かを判定するために、室内側ダクト内の風速と方向（給気か排気か）を計測するセンサが必要になる。必要換気量と室内側ダクトの断面積を考えると風速の大きさは0.2～0.6m/sの範囲であり、給気か排気かを判定するために風向を検出できることが要求される。また、安定して計測でき耐久性に優れ、かつ低コストなものが求められる。

このために、図5に示すような微風速センサを開

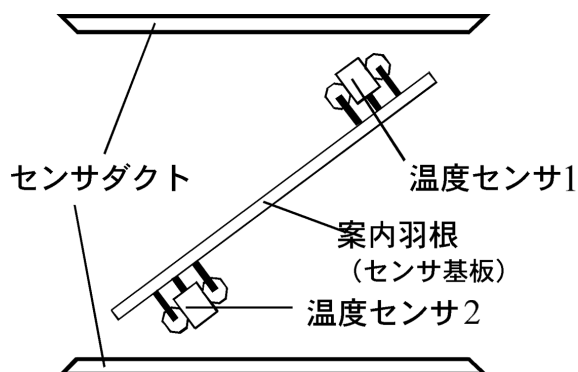


図5 微風速センサの構造

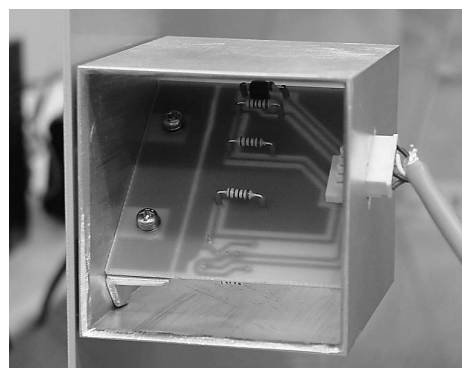


図6 微風速センサの外観

発した。また、その外観を図6に示す。このセンサは風を案内するセンサ用ダクト内に設置された案内羽根となるセンサ基板に固定抵抗で加熱された半導体温度センサを背中合わせに2個取り付けたものである。ダクト内に風が吹き込むと、斜めに取り付けられたセンサ基板により、温度センサ1と温度センサ2まわりの風速に差ができ、2つのセンサで温度差が生ずる。すなわち、温度センサ1が冷却され、温度センサ2は冷却されにくい状態になる。この仕組みにより、2つの温度センサの出力電圧から風速と方向を計測する。

この微風速センサの出力特性を図7に示す。図からわかるように、正方向、逆方向の微風速に対して、2つの温度センサにおける風速差が温度差として検出できることがわかる。なお、このセンサの出力特性は図8に示すような吸込形簡易風洞を製作して、流入風速に対する2つの温度センサの出力電圧を計

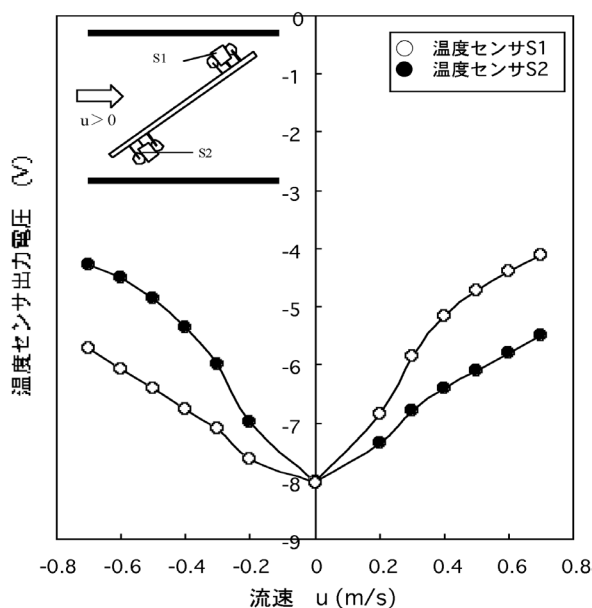


図7 微風速センサの特性

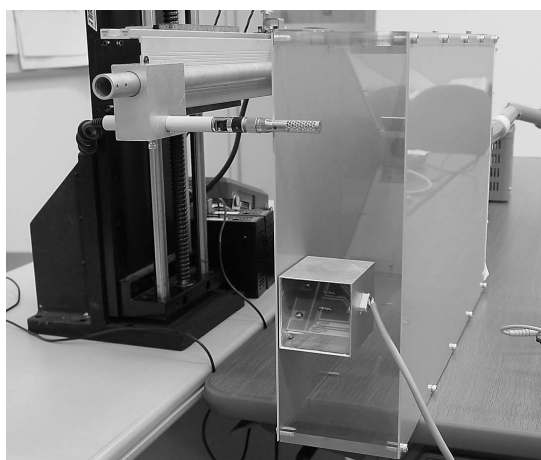


図8 センサの性能試験装置

測して求めた。

5. 制御システムと風量調整法

換気装置のハードウェアの概要を図9に示す。それぞれの換気装置のコントローラにはマイコン (AVR) を用いており、微風速センサ、風量調整弁の回転位置決め用センサ、手動スイッチなどの入力信号に対して、風量調整弁の駆動用モータ回路に信号を出力する。ファンユニットのついた換気装置で

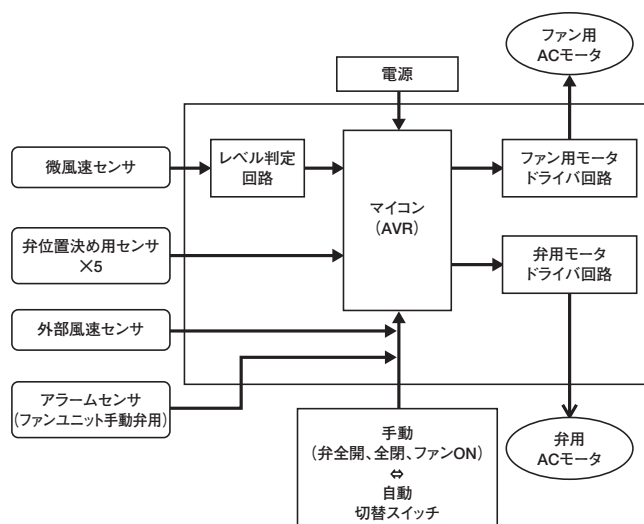


図9 ハードウェアの構成図

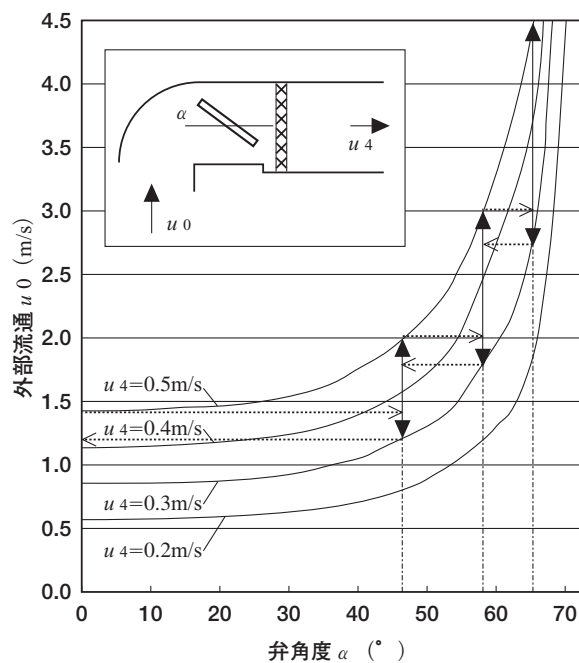


図10 出口流速に対する弁角度と外部流速の関係

はファン用モータ駆動回路にも信号を出力する。

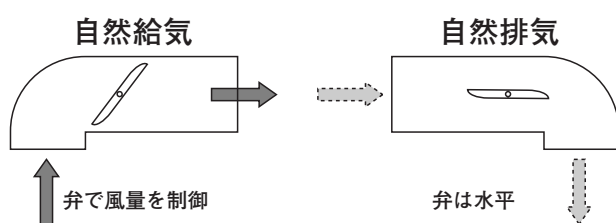
ソフトウェアは手動制御と自動制御に分けられる。手動制御では弁の開閉、自動制御では給気量一定制御と自然排気状態での弁全開動作を行う。ファンユニットのついた換気装置には手動制御での強制排気、自動制御での無風時の強制排気機能が追加されている。

風量調整弁は全開 (水平)、全閉を含めた5位置制

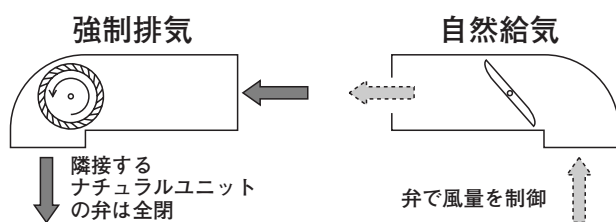
御で室内にはほぼ一定の風量が入るようにしている。中間の3位置の決定法は以下のとおりである。まず、条件として目標換気量と室内側ダクト開口部の面積から平均出口風速を0.4m/sとして、目標風速を0.3～0.5m/sに設定した。次に、流路に対してエネルギー式を作成して、図10に示すような弁角度に対する出口風速0.3, 0.4, 0.5m/sになる外部風速線図を作成した。そして、弁を全閉にする外部の最大風速を決定した。ここでは、4.5m/sとした。室内側ダクト内の風速が0.5m/s以上になると弁を1段階閉め、風速が0.3m/s以下になると弁を1段階開けることになるが、弁がハンチングを起こさないように余裕を持たせて3位置を決定した。

6. 換気システムの動作と試験結果

有風時における自然換気での対面するそれぞれのナチュラルユニットの風量調整弁の状態を図11（a）に示す。給気側の室内側ダクト内の風速を微風速センサで計測して、風量調整弁を制御して給気量を調整する。このとき、室内は正圧になるため室内の排



（a）有風時における各ユニットの弁の状態



（b）無風時における各ユニットの状態

図11 有風時，無風時におけるユニットの状態



図12 基本動作試験装置

気が対面のナチュラルユニットから排出される。排気側のナチュラルユニットの室内側ダクト内の微風速センサが排出流れを検出すると、風量調整弁を全開にして換気口内の流路抵抗を小さくして排気を排出しやすくする。図12に示すような簡易試験装置を用いて基本動作実験を行った結果、2つのナチュラルユニットでは信号の授受をしなくてもこのように連動した運転を行うことが確認された。

無風時における強制換気での各ユニットの状態を図11（b）に示す。ナチュラルユニットとファンユニットから成る換気装置においてダクト内の微風速センサが給気できない風速であると検出すると、ファンユニットのファンが回転して強制排気を行う。このとき、隣のナチュラルユニットから給気しないように風量調整弁を閉じる。強制排気により給気側となる対面のナチュラルユニットは、風量調整弁により給気量を一定に制御する。基本動作実験では対面したファンユニットとナチュラルユニットは信号の授受をしなくてもこのように連動して運転することが確かめられた。

7. 技術的評価

基本動作実験では微風速センサのモニタリングから給気量一定制御が機能していることが確かめられ

た。また、風量調整弁はハンチングすることなくスムーズに動作した。

機械構造関係では組立分解が容易な構造になったが、3次元CADによって組立不具合が生じないか調べたにもかかわらず、内部に細長い隙間が生じることを見つけることができなかった。電子回路関係では低コスト化を図ったが、実用的なコネクタを使用しなかったところで結線不良を起こしたり、弁の位置検出センサであるフォトリフレクタの使用が適正でなく調整に手間どった。また、制御プログラムでは風速計測をタイマー割り込み制御で行っているが各種のスイッチの検出をメインループの中で監視しているために急な繰り返し操作で反応しない場合が起こり、信頼性に問題が残った。

不具合の原因のすべてが詳細設計にあり、製品設計においては緻密な設計と設計段階での検証がいかに重要かがわかった。これらの緒問題は今後の詳細な性能試験や耐久性試験においては大きな問題にならないと考えており、試作機として十分に使用できると思う。

8. 開発課題としての教育訓練成果

設計や製作の技術レベルと全体の作業量は開発課題として適当であったと思う。この開発課題では団体の技術者との定期的なミーティングを行ったため、設計、製作、組立調整、基礎実験でのスケジュール管理が求められた。また、製品の試作機ということで、信頼性、耐久性、低コスト化を第一に考えた詳細設計が求められた。学生は製品設計の難しさと技術者の考え方や行動を実際に感じ取ることができ、製品開発の手順を体験することができたと思う。

このような方式に問題があるとすれば、概略設計が示されていることで、場合によっては下請け的な雰囲気になる可能性がある。この課題では詳細設計や製作過程でかなりの自由度があったので、学生が主体的に作業を進めることができ、このような問題は生じなかったと思われる。



図13 北陸ポリテックビジョンにおける発表・展示

図13は北陸ポリテックビジョンにおける学生（社会人）の説明風景である。この発表会において学生は開発課題において団体と共同で製品の試作機を開発したことを報告した。

9. まとめ

開発課題で取り組んだハイブリッド換気システムの取り組み状況と仕組み、そして教育訓練成果について述べた。このテーマは企業団体との共同開発に近いものであるが、応用課程の開発課題としての1つの方向であると思う。今後の開発課題においてもこのように企業と共同で開発するテーマを扱い、高度な実践技術者の養成に努めていきたい。

<参考文献>

- 1) 加藤伸介：「自然換気システム，ハイブリッドシステム」，『空調調和・衛生工学』，Vol.74，No.12，pp.15-17，1998.
- 2) 西田均：「風量調整弁を有する自然換気装置の設計法」，『実践教育』，Vol.15，No. 6，pp.43-45，2001.
- 3) 西田均：「ハイブリッド換気システムの開発」，『北陸職業能力開発大学校紀要』，No. 3，pp.61-65，2002.
- 4) 例えば，赤池茂，ほか3名：「クロスフローファンの内部流れと送風特性」，『日本機械学会論文集（B編）』，Vol.63，No.606，pp.583-589，1997.