

VI-209 ファジイ理論を用いたトンネル換気システムの検証

清水建設(株)： 正会員 菊池雄一、深井日出男、正会員 河野重行、正会員 ○岩城英朗

(株)三井三池製作所： 梅田健夫

1. はじめに：山岳トンネルの施工中の坑内環境の悪化および作業環境の低下を防ぐために通常トンネル坑内用換気システムが必要となるが、従来の換気システムにおいては坑内環境の悪化の原因の一つである粉塵量を代表として検知して換気風量の段階的な切り替えのみを行なっていたため、作業環境の低下などを招く要因の変化などに対するきめ細かな制御は行なわれていなかった。

そこで筆者らは、トンネルの切羽部などに設置した複数のセンサーからの計測値をもとに、ファジイ理論^[1]を用いてトンネル坑内用換気ファンの最適換気風量を制御・出力するシステムを開発し、理論的検証および実証を行なったので、報告する。

2. システムの概要：本システムにおいては、換気風量の制御に取り込む項目として、粉塵量、CO濃度、温度、湿度の4つを用いた。これらの計測値を基にファジイ理論を用いファンの出力風量の増減値 ΔY を求める。その際、図-1のように有害物質(粉塵量、CO濃度)の計測値より求まる出力風量の増減値 ΔY_1 と作業環境(温度、湿度)の計測値より求まる増減値 ΔY_2 を別々に推論し、以下の式によって ΔY_1 と ΔY_2 を合成する。

$$\Delta Y = \alpha \cdot \Delta Y_1 + (1 - \alpha) \cdot \Delta Y_2 ; \quad 0 \leq \alpha \leq 1 \quad (\alpha \text{ は結合係数})$$

ここで、結合係数 α は粉塵量、温度の各計測値からファジイ推論によって求められる量で、有害物質あるいは作業環境のどちらに重要度をおいた制御を行なうかの指標となる。ここでのファジイ推論にはMax-Min合成法を用いている。

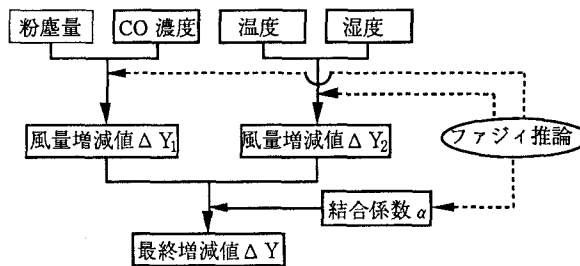


図-1 ファジイ推論フロー

3. システムの検証：前述の推論モデルが妥当なものであることを検証するために、簡単な理論的モデルを用いてシミュレーションを行なった。実際のトンネル工事現場における(発破)→(ずり出し)→(コンクリート吹き付け)といった作業工程の流れを考慮し、各々の作業時に予想される各計測値の変化を仮定してファジイ推論を行ない、求められた出力風量からの計測値の増減をフィードバックする方法を用いた。各計測値に対応するメンバーシップ関数の策定は、法令に示されている基準値を中心に行ない^[2]、出力風量からの計測値の増減は以下の式に示される仮定に基づいた。

$$\text{粉塵濃度} = C_1 \cdot \exp(-0.00007Q_t)$$

$$\text{CO濃度} = C_2 \cdot \exp(-0.00007Q_t)$$

$$\text{温度} = C_3 \cdot \exp(-0.0000005Q_t)$$

$$\text{湿度} = C_4 \cdot \exp(-0.000005Qt)$$

ただし、 $C_1 \sim C_4$ は各々の現在の計測値、 Q は換気風量、 t は Q の持続時間である。

推論結果に対する各計測値の変化を図-2に示す。これらの結果からわかることは、

- 1) 環境が劣悪な状況では即時に出力風量が最大となるため、環境改善が迅速に行なわれる。
- 2) 環境の改善度に対する換気出力の追従性が良い。
- 3) 有害物質の計測値が低下しても温度、湿度などの作業環境が良好でない場合は出力風量の減少は行なわれないため、作業環境の向上を考慮した環境改善が行なわれる。

加えて期待される効果として、

- 4) 環境改善にともなって、出力風量が即時に減少するため、エネルギーの無駄が少ない。

が挙げられる。

本システムは、現在山梨県で施工中のリニア実験線朝日トンネルで稼働中である。実使用を通したシステムの効果は別途報告する。

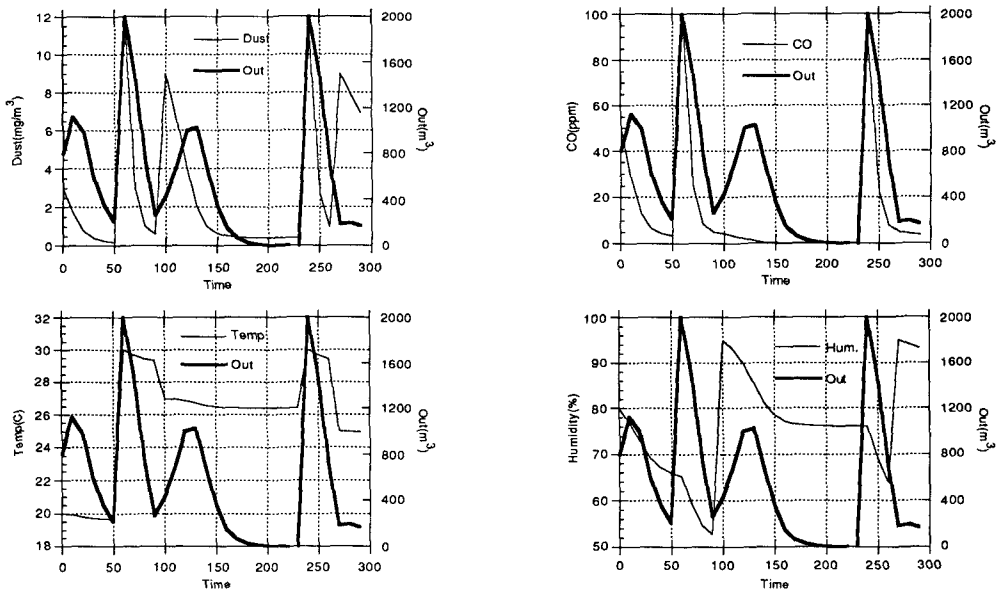


図-2 推論結果に対する各計測値の変化

4. おわりに：本システムの開発によって、建設作業現場の一層の作業環境改善に寄与できると期待される。今後は施工中に得られた多くのデータの蓄積および解析を通じて、本システムをより実用的でかつ簡便な形にしたいと考える。

最後に、本システムの導入の機会を提供していただいた、東海旅客鉄道株式会社山梨リニア実験線工事事務所の各位に対し、感謝の意を表する次第である。

参考文献：

- [1]三矢直城、田中一男、C言語による実用ファジイブック、ラッセル社、1989.
- [2]労働省労働基準局安全衛生部、新版 ずい道工事等における換気技術指針（設計及び保守管理）、建設業労働災害防止協会、1991.