マルチガスセンサとプロダクションシステムを用いた 室内空気汚染ガスの検知システム

広 林 茂 樹*・木 村 春 彦*・南 保 英 孝*
坂 森 智*・大 薮 多可志**

Detection of Gaseous Indoor-Air Pollutants Using Multi Gas Sensor System and a Production System

Shigeki HIROBAYASHI*, Haruhiko KIMURA*, Hidetaka NAMBO*,
Satoshi SAKAMORI* and Takashi OYABU**

By observing each output signal from experiments to recognize each of 6 gas sensors to measure the degree of indoor environmental pollution quantitatively, 7 kinds of simple gas, and one kind of complex gas were attempted. An independent recognition rule was established for each gas (8 rules). The result was determined from the position of a 6-dimension vector comprised of 6 sensor responses within the range determined by each rule, and a simple concentration index of the target gas was calculated from the input signal. As a result, 8 ranges were determined for each rule in 6-dimension vector spaces appeared to exist independently for the most part. However, negligible mistake in determination was confirmed in a low density area close to regular output in the determination experiment, information that can supplement the determination using a density guideline value should be obtained. The recognition rate without concentration correction was 99%. With concentration correction, 100% recognition rate could be obtained.

Key Words: gas sensor, indoor-air pollutants, OPS5, production system

1. はじめに

社会環境の変遷とともに住環境が大きく変化している。特に、熱、空気、音、光などの室内環境の中で空気環境の悪化が大きな問題となっている¹⁾。これまで、室内空気汚染はビル管理法などにより、二酸化炭素ガスの濃度が指標となっている。しかし、室内におけるエネルギー消費の変遷とともにさまざまな空気汚染源が存在するようになってきた。特に、可燃性ガスや灯油などの燃焼による窒素酸化物、タバコ、一酸化炭素ガスなどによる汚染が増加する傾向にある。また、住宅建材から発生するホルムアルデヒドなどによりシックビル症候群が多発し、人体に害を与えることから大きな社会問題となってきている。しかしながら、ガスセンサは選択性に乏しく、対象とする汚染ガスだけに反応するセンサは現在までのところ、どのガスに対してもまだない。このため、汚染

ガス種の検知や危険なガスの濃度を測定することが必要不可欠となってきている。

本論文では、マルチガスセンサ（絶対湿度検知センサ、アンモニアセンサ、可燃性ガスセンサ、一酸化炭素センサ、二酸化炭素センサ、窒素酸化物センサ）とプロダクションシステムを用いて、家庭内で発生する汚染ガス（メタン、エタノール、プロパン、一酸化炭素、二酸化炭素、ホルムアルデヒド、アンモニア、タバコの煙）の種類を検知するシステムを提案する。また、本システムは単一ガスの検知として、ガス種とその濃度指標の算出を行うものである。また複合ガスとしてタバコの煙を判定し、複合ガス検知の可能性を調べる。

本論文と類似した研究には以下のものがある。まず、4種類のセンサ（可燃性ガスセンサ、一酸化炭素センサ、温度計、湿度計）からの出力特性を入力し、家庭内で発生する3つの災害（火災、ガス漏れ、一酸化炭素ガスの発生）を検知するプロダクションシステム²⁾や、この4種類のセンサからの出力特性の代りに微分特性を扱うことにより検知時間を短縮した改善案³⁾、酸化スズ系ガスセンサのみを用いて日常時の室内空気汚染度を推論し、測定した空気汚染度と相対比較ができるようにしたシステム^{4)~6)}などがある。

以下に、2. で検知システムを紹介し、3. で汚染ガスの種

* 金沢大学工学部 金沢市小立野 2-40-20

** 金沢経済大学経済学部 金沢市御所町丑 10 番地

* Faculty of Engineering, Kanazawa University, Kanazawa

** Kanazawa College of Economics, Kanazawa

(Received November 13, 1997)

(Revised April 6, 1998)

類を検知する方法を示す。ここでは、検知ルールの合理性、ルールによる判定の正確さ、知識ベースとの対応関係について述べる。4. では濃度測定の方法について説明し、5. で実験により本システムの有効性を示す。6. はまとめである。なお、付録に実際に用いた知識ベースとその解説を載せた。

2. 検知システム

提案する検知システムは6種類のセンサを備えたマルチセンサとプロダクションシステムから構成されている。

マルチセンサの各センサは熱環境測定のための絶対湿度を検知するセンサ (AHS)、アンモニアセンサ (AMS)、可燃性ガスセンサ (CGS)、一酸化炭素センサ (COS)、二酸化炭素センサ (CO2S)、窒素酸化物センサ (NXS) である。これらのセンサは対象とするガスだけに反応するものではなく、他の何種類かのガスにも反応するため、選択性に欠けることが知られている。用いたマルチセンサについての詳細は文献7) を参照されたい。

プロダクションシステムはエキスパートシステム構築用ツールである。エキスパートシステムは専門家の代行を務めるシステムである。プロダクションシステムは、プロダクションメモリ、ワーキングメモリ、推論エンジンから構成される。プロダクションメモリにはルールの集合である知識ベースが入り、ワーキングメモリにはデータであるワーキングメモリエレメント (WME) が格納される。推論エンジンはプロダクションメモリからワーキングメモリ内の WME によって条件を満足するルールをすべて探し出し、その中から競合解決戦略によって1つのルールを選び出し、それを実行させる認知-動作サイクルを繰り返すプログラムである。用いたプロダクションシステムは OPS5 である。詳細については文献8) を参照されたい。

提案システムでは、マルチセンサとコンピュータ (パソコン) を接続し、コンピュータ内のプロダクションシステムの知識ベースにより、ガス種の検知と、簡易的な濃度測定を行うものである。

以下にマルチセンサの出力値がプロダクションシステムにどのようにして取り込まれているかを示す。

- (1) 各センサは4秒ごとに出力値 (電圧) を出し、それらはコンピュータによりモニタされる。
- (2) モニタされた同時刻の全センサの出力値から1つの WME が作成される。
- (3) (2) で作成された WME はルール動作部の指示によりルール実行時にワーキングメモリに追加される。

この一連の操作によって取り込まれた WME は知識ベースと条件照合され、上記のような機能を実現しているのである。

3. 検知方法

われわれはマルチセンサを用いて日常室内で発生する可能性のあるメタン (CH_4)、エタノール ($\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$)、プロパン (C_3H_8)、一酸化炭素 (CO)、二酸化炭素 (CO_2)、ホ

ルムアルデヒド (HCHO)、アンモニア (NH_3)、タバコの煙 (Cigarette Smoke) について調べた。その結果、Table 1 で示されるように、6種類のセンサを用いたマルチセンサで、これら8種類のガス状空気汚染物を区別することができることがわかった。

本提案システムの検知方法は、この Table 1 の判別知識を知識ベース化してプロダクションシステムにより汚染ガス種を検知するものである。オフセットレベルが季節によって若干変化⁶⁾するため、本システムでは、センサ出力範囲の最大値と最小値よりガスセンサ反応範囲を選定した。オフセットレベルとは、汚染ガスが発生していない状態でのセンサ出力値を指し、定常状態でのセンサ最小値に等しく、一般的には 0 V ではない。最大値とは高濃度域のセンサ収束電圧である。Fig. 1 は CGS における反応媒質 (メタン) 濃度対電圧比の特性曲線例である。この特性図のように本システムで用いるガスセンサはすべて反応媒質が高濃度域にあるとき、収束性を有す。本実験では収束領域を約 20000ppm に設定した。本認知システム (付録) では、対象としている8種類の汚染ガス以外には検知できない場合や8種類以外の汚染ガスに反応する場合がある。これは、知識ベースに対象としているガス種判定アルゴリズムが無いからである。また、使用した各ガスセンサがガスの選択性を有しておらず、各ガスセンサ応答が独立していないことにも起因する。Fig. 2 に判定アルゴリズムを示す。Fig. 2 はセンサ入力から、ガス種の判定と濃度指標の算出に至るまでの流れ図である。ガスセンサから観測信号を測定し、入力信号が各ガス種判定ルール (計8ルール) のどれに一致するか検索する。測定信号 x を各センサに対し

$$x(V_1, V_2, \dots, V_6) \quad (1)$$

のようにベクトル化 (6次元) し、ベクトル空間に分布させる。 $V_1 \sim V_6$ は各センサから観測される入力電圧である。次に、与えられた知識ベースによって定義されたガス種判定領域と照らし合わせ、入力ベクトルに対し、ガス種を判定し濃度指標を算出した。たとえば、Fig. 3 (a) における判定空間内 (斜線部) には入力ベクトル (実線) が含まれる。しかし、Fig. 3 (b) は入力ベクトルが判定空間内には収まらない。このとき、本システムでは Fig. 3 (a) のルールに従うガス種

Fig. 1 The density voltage characteristic.

Table 1 Output sensitivities of six sensors for eight gaseous indoor-air pollutants. ◎, ○, △ and blank indicate vary high, high, more or less high and no response, respectively.

	CH ₄	C ₂ H ₅ OH	C ₃ H ₈	CO	CO ₂	HCHO	NH ₃	Cigarette Smoke
AHS	○							
AMS		◎				○	◎	◎
CGS	○	◎	◎	◎		◎	◎	◎
COS		△		◎				◎
CO ₂ S					◎			◎
NXS							◎	◎

Fig. 2 The determination algorithm.

Fig. 3 Example of determination space.

を検出する。さらに、濃度指標値 P_c を求めるため以下を用いた。

$$P_c = \frac{V_k - V_{kmin}}{V_{kmax} - V_{kmin}} \quad (2)$$

V_{kmax} と V_{kmin} は各判定ルール内で最も感度が良いセンサ入力電圧の上限と下限である。 V_k はそのセンサに反応する入力電圧である。したがって、本指標では正確な濃度は検出されないが、電圧比を用いることによって濃度に起因する概略的な濃度指標値が算出できる。複数の特性の異なるガスセンサで単一ガスの濃度を算出する試み⁹⁾も行なわれているが、ガス濃度に対し静的な知識ベクトル情報を用いているため広濃

度域での判定が困難である。しかし、本手法ではガス濃度に対し動的な知識ベクトル情報を用いているため、広濃度域での検知が可能である。**Fig. 4** に知識ベースのルールの実行の流れを示す。各ブロックの左肩に付けられているのはルール名である。まず、startup 文により、各センサの電圧値の範囲を表す WME をワーキングメモリに格納する。ルール r0 によりマルチセンサの最初の測定値を取り込みワーキングメモリに格納する。この段階で、各センサの出力値の上限と下限に基づいて、対象とする汚染ガスの発生状態に対して条件照合を行い、条件が一致するものがあれば検出した汚染ガス名とそのときの濃度指標値がディスプレイに表示される。複数の汚染ガスが検出された場合は、検出されたすべての汚染ガスについて表示する。つまり、該当するルールは r1, r2, ..., r8 は並列に実行される。この後、ルール r10 によりつぎの測定値が取り込まれる。測定値が汚染ガスの条件のいずれにも一致しなかった場合には、ルール r9 によりつぎの測定値が取り込まれ、汚染ガスの条件照合が続行される。

ルール r1, r2, ..., r8 は対象としている汚染ガスを検知するルールである。これらは **Fig. 5** のガス種判定領域をルール化したものである。測定値がルールの条件を満足すれば、ルールに対応する汚染ガス種を検知し、濃度指標値を算出す

Fig. 4 The flow of the rule of knowledge base.

Fig. 5 The rule of a knowledge vector area.

る。ルール r9 は、ガスが検出されなかったときにつぎの測定値を取り込むルールである。ルール r10 は、ガス検出の後につぎの測定値を取り込むルールである。以上のようにして、マルチセンサの測定値が入力されるたびに、条件照合を行い、

汚染ガスの検知が行われる。

4. 濃度測定

実験では 200 リットルの容器に 8 種類のガスをそれぞれ

Fig. 6 The observation signal by six gas sensors.

別々に実験開始から60秒後に注入し、660秒後に容器を開放して定常時大気に戻した。前述した判定ルールを作るため、ガス注入時の各センサ反応範囲を調べ、式(1)の入力値を比較するための知識ベクトル領域を選定した。ガス濃度の最大値は約20000 ppmである。このときの電圧 $V_{\max}$ をセンサ反応範囲の最大値とした。最小電圧 $V_{\min}$ は測定前の定常電圧程度に設定した。Fig. 5 にガス注入時の各センサ反応範囲を示す。Fig. 5 (a) ~ (h) はそれぞれ、メタン、エタノール、プロパン、一酸化炭素、二酸化炭素、ホルムアルデヒド、アンモニア、タバコの煙に対する各ガスセンサ出力電圧の有効範囲 ($V_{\min} \sim V_{\max}$) である。また、濃度指標を求める簡略式(2)を求めるため、 V_k 軸が太線で指示

してある。Fig. 5 (a) ~ (h) の濃度指標算出軸はそれぞれ、AHS, CGS, CGS, COS, CO2S, CGS, AMS, AMS である。Fig. 5 からわかるように、本実験で選定した8つのガス種の知識ベクトル領域(単一ガス7種、複合ガス1種)において、低電圧域で僅かな重なり部分が確認されたが、各ガス種同士の重なり領域は少なく、ほぼ知識領域が独立している。本システムでは、低濃度域で複数のガスが検知されても、式(2)の濃度指標値を用いているためシステム出力値から、低濃度域での誤差か、未知のガス種によるものなのか判定できる。Fig. 2 のガス種判定知識として、Fig. 5 に示される8つの図を判定ルールとして知識ベース化した(付録)。

Fig. 7 The output signal determined by the knowledge base.

5. 判定実験

Fig. 6 でガス種の各ガスセンサに反応した観測信号を示す。Fig. 6 (a) はメタンを周期的に 120 秒間注入し、飽和状態 (180 秒間) をえて、換気したときの各センサ観測信号である。それぞれ図中の×は AHS, +は AMS, ○は CGS, □は COS, ◇は CO₂S, △は NX₅ の観測信号である。同様に、Fig. 6 (b) ~ (h) はそれぞれ、エタノール、プロパン、一酸化炭素、二酸化炭素、ホルムアルデヒド、アンモニア、タバコの煙を注入したときのセンサ観測信号である。

Fig. 6 をそれぞれ Fig. 2 に示される入力として用い、判定実験を行った。Fig. 7 は Fig. 2 のシステムによって判定された出力信号である。高さは式 (2) によって求められた簡略的な濃度指標値である。Fig. 7 (a) は Fig. 6 (a) に示されるメタン注入時の観測信号をシステム入力信号としたときの判

定結果である。同様に、Fig. 7 (b) ~ (h) はそれぞれ Fig. 6 (b) ~ (h) を入力信号として与えたときの判定結果である。Fig. 7 (d) の時間後半 (約 1130 秒目) で、定常時に近い低濃度域のため、一酸化炭素をエタノールと判定してしまうが、おおむね、ガス種を正確に判断していることがわかる。Fig. 6 に示される範囲において、ガス注入時から開放までの時間区間では認知率が平均 100 %, それ以外の区間では平均 98 %, 全区間では平均 99 % と高い認知率が得られた。

6. まとめ

室内環境汚染度を定量的に計測するため、6 つのガスセンサから各出力信号を観測し、単一ガス (7 種)、複合ガス (1 種) 計 8 種類の認知実験を試みた。本論文では、ガス種ごとに独立した認知ルールを設けた。反応媒質に対し 6 つのセンサ出力値をベクトル化し、6 次元ベクトル空間でガスごとに

判定領域を定め入力信号に対しガス種の認知と簡易的な濃度指標値を算出した。その結果、6次元ベクトル空間上では8つの判定領域はほぼ独立して存在することがわかった。また、判定実験では定常出力に近い低濃度域でわずかな判定ミスが確認されるものの、濃度指標値から判定ミスを補える情報が得られることがわかった。濃度補正を与えない認知率は99%であり、濃度補正を考慮するとほぼ100%の認知率が得られる可能性を示した。

参 考 文 献

- 1) 瀬沼 勲: “室内環境学”, 三共出版 (1990)
- 2) T.Oyabu, H.Kimura, Y.Kajiyama, M.Honda, S.Ishizuka: “Estimation System for Domestic disaster using production system”, 183rd Meeting of the Electro-chemical Society, Honolulu, Hawaii, USA, pp.589-596, (1993)
- 3) 大藪, 木村: “プロダクションシステムを用いた家庭内災害認知”, 計測自動制御学会論文集, Vol.30, No.9, pp.1077-1083 (1994) ..
- 4) T.Oyabu, H.Kimura: “Indoor Air-Pollution Detector Using Tin-Oxide Gas Sensor”, Sensors and Materials, Vol.7, No.6, pp.431-436 (1995)
- 5) 大藪, 木村: “新しい室内空気汚染検知システムの開発”, 計測自動制御学会論文集, Vol.32, No.7, pp.1121-1128 (1996)
- 6) 大藪, 木村: “プロダクションシステムを用いた相対的室内空気汚染の測定”, 電学論E, Vol.117, No.5, pp.243-249 (1997)
- 7) 大藪, 蔡, 石坂, 木村, 松浦, 梶山: “マルチセンサの室内空気汚染物に対する出力特性”, Digest of the 20th Chemical Sensor Symposium (電気化学協会・化学センサ研究会) Vol.11 Supplement A, No.11, pp.49-52 (1995年4月)
- 8) L.Brownston, R.Farrell, E.Kant and N.Martin: “Programming Expert System in OPS5: Introduction to Rule-Based Programming”, Addison Wesley, (1985)
- 9) W.Göpel et al., “Sensors, Vol.2 Chemical and Biochemical Sensors, Part I”, VCH Publishers Inc., New York, NY, pp.191-237, (1991)

《付 録》

;; マルチセンサの測定値を表すWME

(literalize value ;; クラス名

num ;; 時系列

ahs ;; AHS の値

ams ;; AMS の値

cgs ;; CGS の値

cos ;; COS の値

co2s ;; CO2S の値

nxsl ;; NXS の値

;; 各センサ出力値の上限と下限を表すWME

(literalize ch4d ;; CH4が存在する場合

ahsl ;; AHS の電圧の下限

ahsu ;; AHS の電圧の上限

amsl ;; AMS の電圧の下限

amsu ;; AMS の電圧の上限

cgs1 ;; CGS の電圧の下限

cgsu ;; CGS の電圧の上限

cos1 ;; COS の電圧の下限

cosu ;; COS の電圧の上限

co2sl ;; CO2S の電圧の下限

co2su ;; CO2S の電圧の上限

nxsl ;; NXS の電圧の下限

nxsu ;; NXS の電圧の上限

(literalize ethd ;; C2H5OHが存在する場合

ahsl ahsu amsl amsu cgs1 cgsu

cos1 cosu co2sl co2su nxsl nxsu)

(literalize prod ;; C3H8が存在する場合

ahsl ahsu amsl amsu cgs1 cgsu
cos1 cosu co2sl co2su nxsl nxsu)

(literalize cod ;; COが存在する場合

ahsl ahsu amsl amsu cgs1 cgsu

cos1 cosu co2sl co2su nxsl nxsu)

(literalize co2d ;; CO2が存在する場合

ahsl ahsu amsl amsu cgs1 cgsu

cos1 cosu co2sl co2su nxsl nxsu)

(literalize fsd ;; HCHOが存在する場合

ahsl ahsu amsl amsu cgs1 cgsu

cos1 cosu co2sl co2su nxsl nxsu)

(literalize nh3d ;; NH3が存在する場合

ahsl ahsu amsl amsu cgs1 cgsu

cos1 cosu co2sl co2su nxsl nxsu)

(literalize cigd ;; タバコの煙が存在する場合

ahsl ahsu amsl amsu cgs1 cgsu

cos1 cosu co2sl co2su nxsl nxsu)

(literalize time ;; 各ガスを感じたかどうかを知るWME

num ;; 時系列

ch4 ;; CH4

eth ;; C2H5OH

pro ;; C3H8

co ;; CO

co2 ;; CO2

fs ;; HCHO

nh3 ;; NH3

cig) ;; タバコの煙

(literalize init

setup)

(p startup ;; 初期データを入力するstartup文

(init ^setup start)

-->

(make ch4d ^ahsl 1937 ^ahsu 2966 ^amsl 1005

^amsu 1321 ^cgs1 1999 ^cgsu 2920

^cos1 1822 ^cosu 1892 ^co2sl 310

^co2su 375 ^nxsl 45 ^nxsu 100)

(make ethd ^ahsl 1972 ^ahsu 2073 ^amsl 636

^amsu 3430 ^cgs1 1895 ^cgsu 4805

^cos1 1821 ^cosu 2071 ^co2sl 362

^co2su 450 ^nxsl 5 ^nxsu 55)

(make prod ^ahsl 1619 ^ahsu 1700 ^amsl 1507

^amsu 1656 ^cgs1 2100 ^cgsu 3307

^cos1 1534 ^cosu 1619 ^co2sl 737

^co2su 835 ^nxsl 835 ^nxsu 873)

(make cod ^ahsl 2065 ^ahsu 2157 ^amsl 949

^amsu 1294 ^cgs1 2267 ^cgsu 4313

^cos1 1932 ^cosu 4581 ^co2sl 311

^co2su 374 ^nxsl 34 ^nxsu 99)

(make co2d ^ahsl 1979 ^ahsu 2039 ^amsl 570

^amsu 736 ^cgs1 1825 ^cgsu 1908

^cos1 1820 ^cosu 1883 ^co2sl 311

^co2su 2000 ^nxsl 3 ^nxsu 45)

(make fsd ^ahsl 1931 ^ahsu 1970 ^amsl 1347

^amsu 2179 ^cgs1 2100 ^cgsu 4232

^cos1 1283 ^cosu 1463 ^co2sl 391

^co2su 582 ^nxsl 834 ^nxsu 888)

(make nh3d ^ahsl 1946 ^ahsu 2007 ^amsl 933

^amsu 2734 ^cgs1 1994 ^cgsu 3633

^cos1 2017 ^cosu 2121 ^co2sl 310

^co2su 315 ^nxsl 682 ^nxsu 2654)

(make cigd ^ahsl 1752 ^ahsu 1905 ^amsl 1438

^amsu 4555 ^cgs1 2085 ^cgsu 4869

^cos1 1365 ^cosu 4008 ^co2sl 726

^co2su 3020 ^nxsl 833 ^nxsu 3822)

(make time ^num -1 ^ch4 no ^eth no ^pro no

^co no ^co2 no ^fs no ^nh3 no ^cig no))

(p r0 ;; マルチセンサの最初の測定値を出すルールr0

```

(time ^num -1 ^ch4 no ^eth no ^pro no
 ^co no ^co2 no ^fs no ^nh3 no ^cig no)
-->
(modify 1 ^num 0))

(p r1 ;; CH4を検出するルール r1
(time ^num <n> ^ch4 no)
(value ^num <n> ^ahs <a> ^ams <b> ^cgs <c>
 ^cos <d> ^co2s <e> ^nxs <f>))
(ch4d ^ahsl {<p> <= <a>} ^ahsu {<q> >= <a>}
 ^amsl <= <b> ^amsu >= <b> ^cgsl <= <c>
 ^cgsu >= <c> ^cosl <= <d> ^cosu >= <d>
 ^co2sl <= <e> ^co2su >= <e> ^nxsl <= <f>
 ^nxsu >= <f>))
-->
(write (crlf) <n> "I detected CH4.")
(modify 1 ^ch4 yes)
(bind <perahs>
 (compute (((<a> - <p>) * 100) // (<q> - <p>))))
(write <perahs>))

(p r2 ;; C2H5OHを検出するルール r2
(time ^num <n> ^eth no)
(value ^num <n> ^ahs <a> ^ams <b> ^cgs <c>
 ^cos <d> ^co2s <e> ^nxs <f>))
(ethd ^ahsl <= <a> ^ahsu >= <a> ^amsl <= <b>
 ^amsu >= <b> ^cgsl {<p> <= <c>}
 ^cgsu {<q> >= <c>} ^cosl <= <d>
 ^cosu >= <d> ^co2sl <= <e> ^co2su >= <e>
 ^nxsl <= <f> ^nxsu >= <f>))
-->
(write (crlf) <n> "I detected C2H5OH.")
(modify 1 ^eth yes)
(bind <percgs>
 (compute (((<c> - <p>) * 100) // (<q> - <p>))))
(write <percgs>))

(p r3 ;; C3H8を検出するルール r3
(time ^num <n> ^pro no)
(value ^num <n> ^ahs <a> ^ams <b> ^cgs <c>
 ^cos <d> ^co2s <e> ^nxs <f>))
(prod ^ahsl <= <a> ^ahsu >= <a> ^amsl <= <b>
 ^amsu >= <b> ^cgsl {<p> <= <c>}
 ^cgsu {<q> >= <c>} ^cosl <= <d>
 ^cosu >= <d> ^co2sl <= <e> ^co2su >= <e>
 ^nxsl <= <f> ^nxsu >= <f>))
-->
(write (crlf) <n> "I detected Propane.")
(modify 1 ^pro yes)
(bind <percgs>
 (compute (((<c> - <p>) * 100) // (<q> - <p>))))
(write <percgs>))

(p r4 ;; COを検出するルール r4
(time ^num <n> ^co no)
(value ^num <n> ^ahs <a> ^ams <b> ^cgs <c>
 ^cos <d> ^co2s <e> ^nxs <f>))
(cod ^ahsl <= <a> ^ahsu >= <a> ^amsl <= <b>
 ^amsu >= <b> ^cgsl <= <c> ^cgsu >= <c>
 ^cosl {<p> <= <d>} ^cosu {<q> >= <d>}
 ^co2sl <= <e> ^co2su >= <e> ^nxsl <= <f>
 ^nxsu >= <f>))
-->
(write (crlf) <n> "I detected CO.")
(modify 1 ^co yes)
(bind <percgs>
 (compute (((<d> - <p>) * 100) // (<q> - <p>))))
(write <percgs>))

(p r5 ;; CO2を検出するルール r5
(time ^num <n> ^co2 no)
(value ^num <n> ^ahs <a> ^ams <b> ^cgs <c>
 ^cos <d> ^co2s <e> ^nxs <f>))
(co2d ^ahsl <= <a> ^ahsu >= <a> ^amsl <= <b>
 ^amsu >= <b> ^cgsl <= <c> ^cgsu >= <c>
 ^cosl <= <d> ^cosu >= <d>
 ^co2sl {<p> <= <e>} ^co2su {<q> >= <e>}
 ^nxsl <= <f> ^nxsu >= <f>))
-->
(write (crlf) <n> "I detected CO2.")
(modify 1 ^co2 yes)
(bind <perco2s>
 (compute (((<e> - <p>) * 100) // (<q> - <p>))))
(write <perco2s>))

(p r6 ;; HCHOを検出するルール r6
(time ^num <n> ^fs no)
(value ^num <n> ^ahs <a> ^ams <b> ^cgs <c>
 ^cos <d> ^co2s <e> ^nxs <f>))
(fsd ^ahsl <= <a> ^ahsu >= <a> ^amsl <= <b>
 ^amsu >= <b> ^cgsl {<p> <= <c>}
 ^cgsu {<q> >= <c>} ^cosl <= <d>
 ^cosu >= <d> ^co2sl <= <e> ^co2su >= <e>
 ^nxsl <= <f> ^nxsu >= <f>))
-->
(write (crlf) <n> "I detected HCHO.")
(modify 1 ^fs yes)
(bind <percgs>
 (compute (((<c> - <p>) * 100) // (<q> - <p>))))
(write <percgs>))

(p r7 ;; NH3を検出するルール r7
(time ^num <n> ^nh3 no)
(value ^num <n> ^ahs <a> ^ams <b> ^cgs <c>
 ^cos <d> ^co2s <e> ^nxs <f>))
(nh3d ^ahsl <= <a> ^ahsu >= <a> ^amsl {<p> <= <b>}
 ^amsu {<q> >= <b>} ^cgsl <= <c> ^cgsu >= <c>
 ^cosl <= <d> ^cosu >= <d> ^co2sl <= <e>
 ^co2su >= <e> ^nxsl <= <f> ^nxsu >= <f>))
-->
(write (crlf) <n> "I detected NH3.")
(modify 1 ^nh3 yes)
(bind <perams>
 (compute (((<b> - <p>) * 100) // (<q> - <p>))))
(write <perams>))

(p r8 ;; タバコの煙を検出するルール r8
(time ^num <n> ^cig no)
(value ^num <n> ^ahs <a> ^ams <b> ^cgs <c>
 ^cos <d> ^co2s <e> ^nxs <f>))
(cigd ^ahsl <= <a> ^ahsu >= <a> ^amsl {<p> <= <b>}
 ^amsu {<q> >= <b>} ^cgsl <= <c> ^cgsu >= <c>
 ^cosl <= <d> ^cosu >= <d> ^co2sl <= <e>
 ^co2su >= <e> ^nxsl <= <f> ^nxsu >= <f>))
-->
(write (crlf) <n> "I detected Cigarette.")
(modify 1 ^cig yes)
(bind <perams>
 (compute (((<b> - <p>) * 100) // (<q> - <p>))))
(write <perams>))

(p r9 ;; 反応がないときにつぎの測定値を出すルール r9
(time ^num <n> ^ch4 no ^eth no ^pro no ^co no
 ^co2 no ^fs no ^nh3 no ^cig no)
(value ^num <n> ^ahs <a> ^ams <b> ^cgs <c>
 ^cos <d> ^co2s <e> ^nxs <f>))
-->
(write (crlf) <n> "I didn't know." (crlf))

```



```

(remove 2)
(modify 1 ^num (compute <n> + 1)))

(p r10 ;; 反応があったときにつぎの測定値を出すルール r10
(time ^num <n> ^ch4 <ch4> ^eth <eth> ^pro <pro>
^co <co> ^co2 <co2> ^fs <fs> ^nh3 <nh3>
^cig <cig>)
(value ^num <n> ^ahs <a> ^ams <b> ^cgs <c>
^cos <d> ^co2s <e> ^nxs <f>)

-->
(write (crlf))
(remove 2)
(modify 1 ^num (compute <n> + 1) ^ch4 no ^eth no
^pro no ^co no ^co2 no ^fs no ^nh3 no
^cig no))

```

大 薮 多可志 (正会員)

1973年、工学院大学工学研究科修士過程終了。75年早稲田大学第二文学部英文学科卒業。73年電気音響(株)技術研究所勤務。80年金沢女子短期大学講師、助教授、教授。91年富山国際大学人文学部社会学科助教授、教授。98年金沢経済大学教授。ガスセンサシステムに関する研究に従事(工学博士)。

[著 者 紹 介]

広 林 茂 樹 (正会員)

1968年9月1日生まれ。94年3月工学院大学工学研究科修士課程修了。95年3月同大学博士課程中退。同年4月金沢大学工学部助手。主として、室内音響、音響振動論、音響信号処理、流体伝播のモデル化の研究に従事。電子情報通信学会、電気学会、日本音響学会、米国音響学会各会員。

木 村 春 彦

1974年、東京電機大学工学部応用理化学科卒業。79年東北大学工学研究科博士(情報工学)課程修了。同年富士通(株)勤務。80年金沢女子短期大学講師。84年金沢大学経済学部助教授を経て、現在、同大学工学部電気・情報工学科教授。その間、最適コード変換、プロダクションシステムの高速化の研究に従事(工学博士)。

南 保 英 孝

1994年金沢大学工学部電気・情報工学科卒業。96年同大学院電気・情報工学専攻修士課程終了。同年、同大学院自然科学研究科システム科学専攻博士課程進学。現在に至る。その間、プロダクションシステムに関する研究、特に、高コストルール対処法、高速条件照合アルゴリズムに関する研究に従事。電子情報通信学会会員。

坂 森 智

1975年8月25日生まれ。98年3月金沢大学工学部電気情報工学科卒業。98年4月より同大学院博士前期課程在学中。ガスセンサを用いた人の活動同定に興味がある。電気学会会員。