

# 天井吹出し型誘引ユニットによる室内環境制御手法に関する研究

## (その8) ポータブルCO<sub>2</sub>分析器の応答性が室内濃度測定精度に及ぼす影響

### Controlling Method of Indoor Environment in Sickroom with Ceiling Induction Diffusers

#### (Part 8) Effect of Response Characteristics of Portable CO<sub>2</sub> Recorder on Measurement Accuracy of Indoor Concentration

学生会員 ○LIU Peihuan (大阪大学) 技術フェロー 山中俊夫 (大阪大学)

学生会員 李 瑩 (大阪大学)

Peihuan LIU<sup>\*1</sup> Toshio YAMANAKA<sup>\*1</sup> Ying LI<sup>\*1</sup>

<sup>\*1</sup>Osaka University

In order to providing patients with a high quality indoor environment and ensuring a pleasant working place for medical care personnel, the thermal environment and indoor air quality are regarded as two of the most important requirements. In the previous studies, we measured the distribution of concentration of tracer gas from person simulators, and temperature in a full scale four beds sickroom with ceiling induction diffusers under cooling condition. T&D RTR-576 CO<sub>2</sub> recorder, as carbon dioxide concentration tester was used in this study. The influence of responsiveness on the measured CO<sub>2</sub> concentration was discussed in this paper.

#### はじめに

既報<sup>1)</sup>では、病室における温熱環境および空気質を評価するために、病室内の温度分布、トレーサーガス濃度分布を測定し、排気口位置やカーテンの有無などが空気齢に与える影響について実験を行った。これらの実験では比較的容易にCO<sub>2</sub>濃度測定が可能なCO<sub>2</sub>ワイヤレスデータロガー (T&D製 RTR-576) を用いた。しかし、実際には、測定機器の応答性により、測定データと真値の間に誤差が生じている可能性がある。本報では、測定機器の応答性が濃度測定データに及ぼす影響を検討するため、濃度測定機器に関する応答性実験を行った。

#### 1. 実験概要

実験は大阪大学の実験室で行った。濃度測定方法と測定時の使用器具を変更し、4つの条件で実験を行った。実験条件を表1に示す。ケース①は、濃度測定機器を測定機器とほぼ同じ寸法の箱に入れ、503ppmのスパングスを注入し、濃度が安定状態に達したことを確認後、三方弁で瞬時に1491ppmのスパングスに切り換え、濃度が安定するまで測定機器の濃度変化を測定した。実験で使用した器具の接続方法を図1に示す。

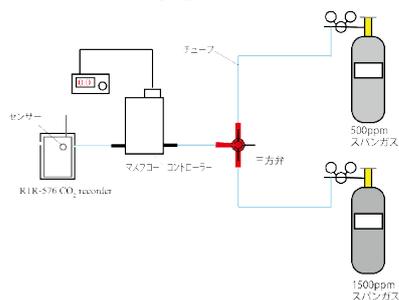


図1 実験概要図

測定時はガスの注入流量を4.32L/min, 3.24L/min, 2.16L/min, 1.08L/min, 0.54L/min, 0.27L/minとし、各流量で3回ずつ測定を行った。

なお、測定機器本体にはテープを用い、隙間がない状態にしていた。実験場の写真を図2に示す。また、図3に濃度測定機器の詳細状況を示す。

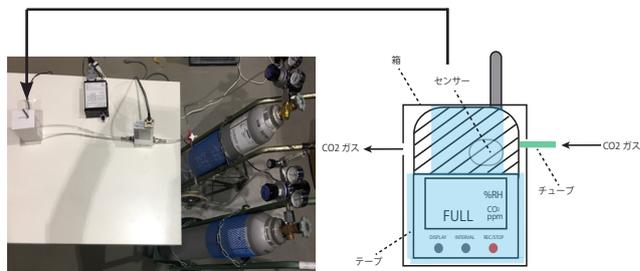


図2 実験場写真

図3 測定機器状態

ケース②、③については、ケース①とほぼ同様の手順であった。測定機器をビニル袋に入れた状態で実験を行った。測定時、隙間のテープ貼りは行わなかった。ケース①では、濃度が503ppmから1491ppmまでの上昇過程のみに注目したが、ケース②、③では、濃度の上昇過程と下降過程を両方検討した。

ケース④については、まず測定機器をビニル袋に入れ、1491ppmのスパングスを注入し、濃度が安定した後、瞬時に外に取り出し、自然減衰による濃度変化を測定した。また、この条件でもテープ貼りは行っていない。

各ケースの測定手順は図4に示す。

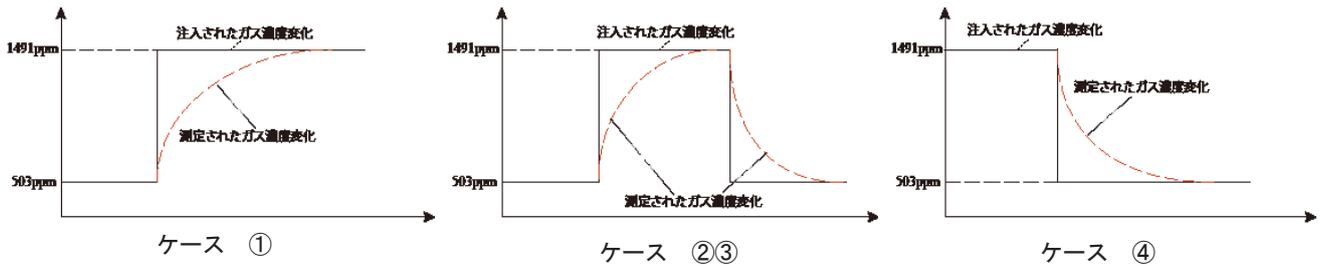


図4 実験手順図

表1 実験条件

ケース	使用器具	給気方式	測定方法	テープ	ガス流量 [L/min]	注入ガス濃度 [ppm]	濃度差 $\Delta C$ [ppm]
①	箱	強制給気	step up	○	0.27 ~ 4.32	1491	988
②	ビニル袋	強制給気	step up	—	4.32	1491	988
③	ビニル袋	強制給気	step down	—	4.32	1491	988
④	ビニル袋	自然給気	step down	—	—	空気濃度	約 1036

## 2. 結果と考察

### 2.1 濃度変化と応答速度の比較

ケース①における各流量の濃度変化を図5に示す。流量  $Q = 4.32 \text{ L/min}$  の3回分のデータの平均値により、得られた濃度変化を微分し、測定機器の応答値を求めた。その3秒、4秒、5秒移動平均値を図6に示す。

では、実験装置付近での人の滞在はないようにした。ケース①のデータ処理手法と同様に、5秒移動平均値をとった。これらの応答値を注入されたガスの濃度差で除することで、単位濃度変化に対する応答値が得られた。応答値の時間積分値が1となるよう校正した、結果を図8に示す。

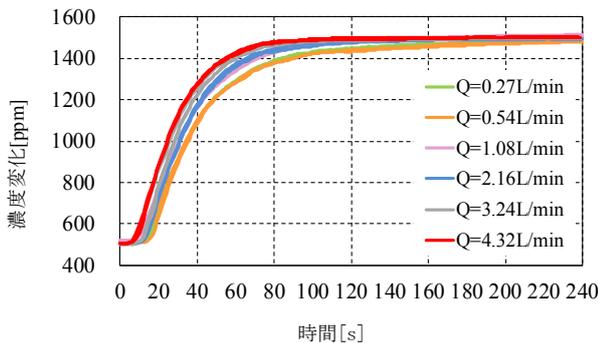


図5 ケース① 濃度変化

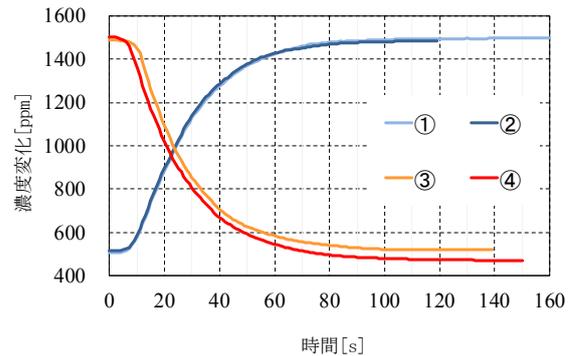


図7 ケース①~④ 濃度変化

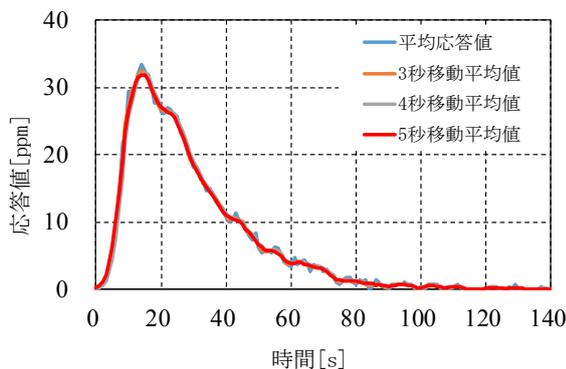


図6 ケース① 応答値

ケース①から④まで、全ての測定値を比較したものを図7に示す。ケース④において、減衰した濃度値が他のケースより低いことがわかる。その原因としては、実験室の室内濃度が、470ppm前後で変動していたことが考えられる。人間の呼気による影響を最小限に抑えるために、測定時は、実験者はマスクを装着し、濃度の減衰過程

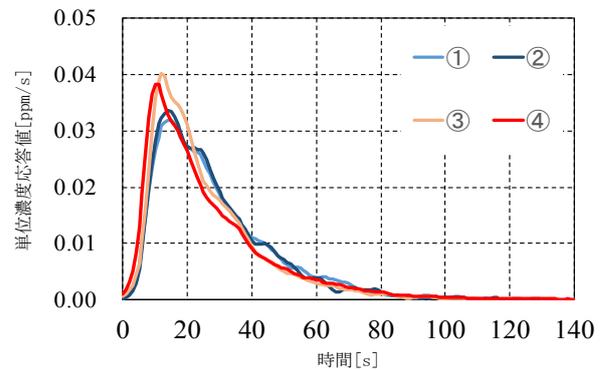


図8 単位濃度変化に対する応答値 (ケース①~④)

ケース③とケース④の濃度の下降過程における応答値が step up 法によるケース①とケース②のおうより、大きいことが分かる。その中で、応答値が最も速いケースは自然減衰法によるケース (ケース④) であった。

step up法の結果については、いずれのケースでも (ケース①及びケース②)、測定機器の応答値がほぼ同じ

であり、測定器具（箱とビニル袋）とテープの有無条件が測定結果に与える影響は無視できると考えられる。

## 2.2 近似曲線の提案

各ケースの応答値に基づき、式 (1)、(2) の示すように、二段の近似曲線を提案する。応答値の上昇段階は式 (1)、減衰段階は式 (2) で表す。

$$f(x) = \begin{cases} ax^i e^{-bx}, & x \leq \frac{i}{b} \\ cx^j e^{-dx}, & x > \frac{i}{b} \end{cases} \quad \dots \text{式 (1)}$$

$$\dots \text{式 (2)}$$

測定機器の応答速度が最大値になると、 $f'(x)=0$  のとき、式 (1) により、横軸の時間  $x$  は  $i/b$  である。ここでは、 $i$  と  $j$  の値を仮定し、実験における最大値から  $b$  を算出することで、式 (1) により、 $a$  が得られる。算出した  $b$  をデータに代入することで、データに代入し、式 (1) により  $a$  が得られる。 $c$ 、 $d$  も同様の方法で同定することができる。 $f(i/b)$  で式 (1) と式 (2) が同じ値を取るのを式 (3) に表す。

$$a\left(\frac{i}{b}\right)^i e^{-i} = c\left(\frac{i}{b}\right)^j e^{-i} \quad \dots \text{式 (3)}$$

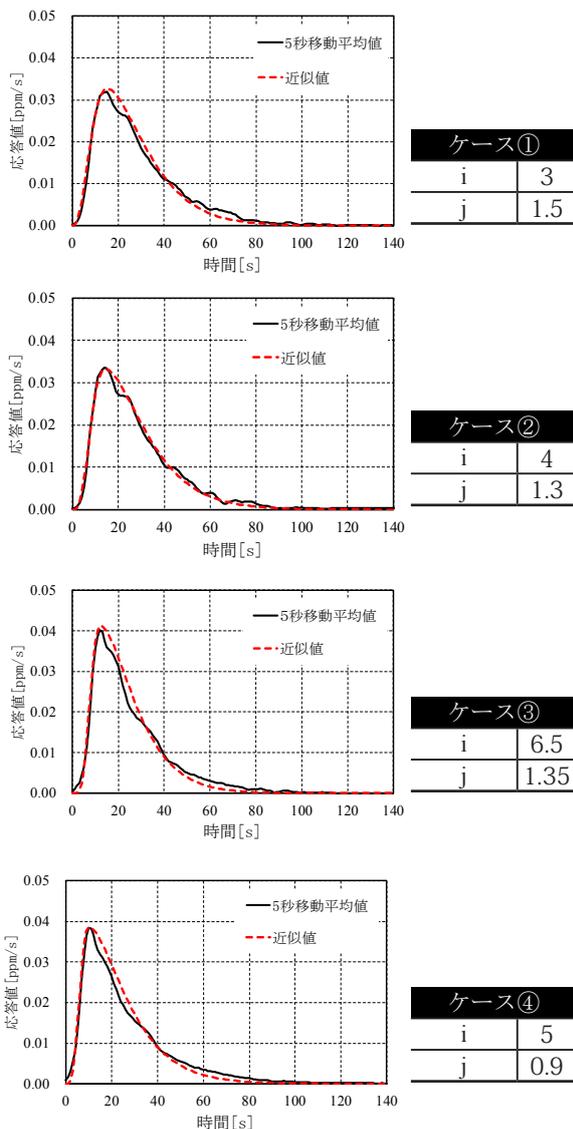


図9 各ケース近似曲線

4つのケースの5秒移動平均値とその近似曲線を図9に示す。(i と j の値は図9に参考)

## 2.3 検討結果

### 2.3.1 病室濃度模擬

実験時の病室内濃度変化を模擬するため、実測条件と同じく  $\text{CO}_2$  を  $1.5\text{L}/\text{min}$  で発生させ、換気回数を  $4\text{回}/\text{h}$  とし、外気濃度は  $0\text{ppm}$  と仮定し、差分法を用い、病室の濃度変化を試算した。

式 (4) ~ (7) により室内濃度変化を表すことができる。

$$dC \times V = CiQdt - CQdt \quad \dots \text{式 (4)}$$

$$dC = \frac{Q}{V}(Ci - C)dt \quad \dots \text{式 (5)}$$

$$C_{n+1} = C_n + \Delta C \quad \dots \text{式 (6)}$$

$$C_{n+1} = C_n + \frac{Q}{V}(C_{in} - C_n)\Delta t \quad \dots \text{式 (7)}$$

ここで、

Q: 換気量 [回/h]

V: 病室容積 [ $\text{m}^3$ ]

$C_i$ 、 $C$ : 注入されたトレーサーガス濃度値と室内濃度 [ppm]

模擬された病室内の濃度を真値と仮定し、単位濃度差に対する応答値と畳み込み積分すると、測定機器の応答性を考慮した室内濃度の測定値が計算できる。計算式は以下の式 (8) に示す。

$$C_p(t) = \int_0^t \frac{C(t-\tau)R(\tau)}{\Delta C} d\tau \quad \dots \text{式 (8)}$$

ここで、

$C_p(t)$ : 各時刻の室内濃度 [ppm]

C: 室内模擬濃度 [ppm]

$R(\tau)/\Delta C$ : 測定機器単位の濃度応答 [ppm/s]

$C_p(t)$ : 各時刻の室内濃度 [ppm]

t,  $\tau$ : 時間 [s]

### 2.3.2 近似曲線の検討

図9のケース①の近似曲線とケース①の5秒移動平均応答値を用い、換気回数を  $4\text{回}/\text{h}$  とし、式 (8) により、測定機器の応答性が室内濃度の模擬値を検討した。結果を図10に示す。

近似曲線で検討された結果とケース①の5秒移動平均

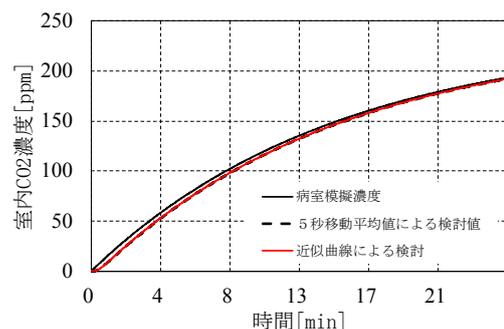


図10 近似曲線検討

値で検討された結果が一致することがわかる。

### 2. 3. 3 各ケースによる応答値検討

ケース①の近似応答値を用い、前述の検討方法により、換気回数がそれぞれ4回/h、8回/h、12回/h、16回/h、20回/hの条件において、検討した。その結果を図11に示す。実線は室内の模擬濃度を、点線は測

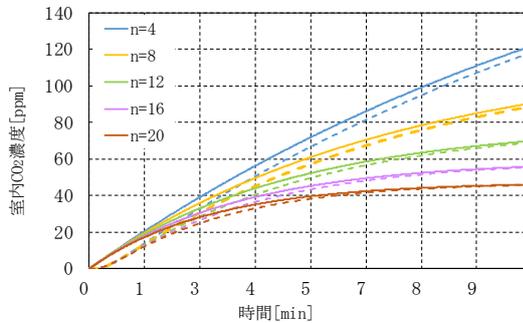


図11 ケース①各換気回数における検討結果

定応答性を考慮した測定値を表す。

いずれの換気回数においても最初の1分間は、模擬値より測定値が遅れる時間がほぼ同じであった。しかし、時間の延長に伴い、換気回数が大きいくほど、測定値が模擬値と近づく時間は短くなることがわかった。

自然減衰法を用いたケース④においても近似応答値に基づき、検討を行った。ケース①とケース④による応答値の比較結果を図12に示す。

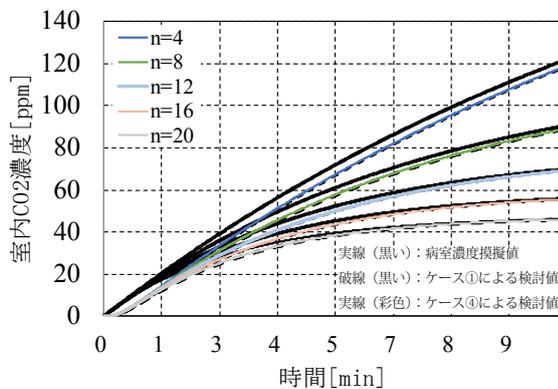


図12 ケース①とケース④による検討値の比較

図12より、減衰法で測定したケース④の応答値が全ケースの中で最も速いが、前述の検討方法による結果を見ると(図12)、step up法より測定値が遅れる時間は短い、差異は非常に小さいことが分かる。

または、測定機器の応答時間の長さが、病室実験結果に与える影響を考把握するために検討を行った。

ケース①の近似曲線に対し、応答時間を2倍に延長し検討した結果を図13に示す。

得られた応答値を式(8)に代入すると、延長された応答関数による測定値が得られる。この値とケース①の検討値と比較した結果を図14に示す。

いずれの換気回数においても、応答関数の時間が2倍

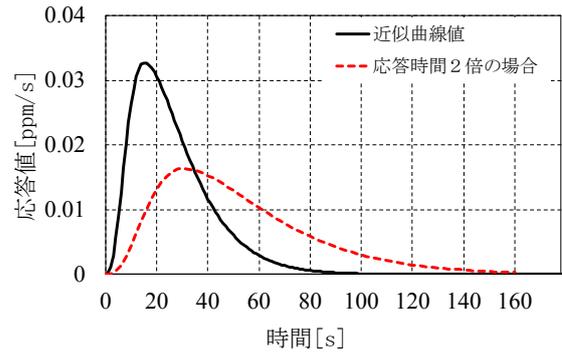


図13 応答時間2倍の場合

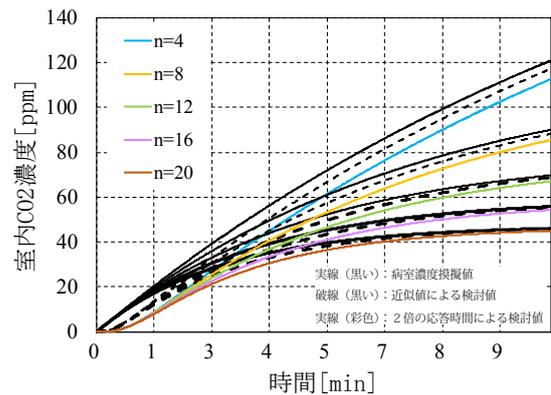


図14 応答時間2倍の場合

になると、模擬値との差も2倍になった。

### 3. おわりに

本報では、step up, step down法及び自然減衰法を用い、CO<sub>2</sub>濃度測定機器の応答特性に関する実験を行った。

その結果、濃度の上昇過程に比べ、減衰過程の応答特性の方が速いことがわかった。

また、応答関数の近似曲線及び応答時間が測定値に及ぼす影響についても考察した。

今後、実測で得られたデータを使い、デコンボリューションで室内濃度の真値を推算する予定である。

#### 【謝辞】

本研究は木村工機(株)との共同研究によるものであり、種々の便宜を図っていただいた関係者各位に感謝致します。なお研究を進めるにあたりご指導頂いた、故甲谷寿史先生に深謝致します。自然給気によって濃度のステップ変化をさせる方法について、桃井良尚先生(福井大学)のご意見を頂きました。ここに記して謝意を表します。

#### 【参考文献】

- LIU Peihuan, 山中俊夫, 李エイ: 天井吹出し型誘引空調による室内環境制御手法に関する研究(その5) 4床病室冷房時における室内環境特性と換気性能の測定手法、日本建築学会近畿支部研究報告集
- LIU Peihuan, 山中俊夫, 李エイ: 天井吹出し型誘引空調による室内環境制御手法に関する研究(その7) ポータブルCO<sub>2</sub>分析器の応答性に関する検討、日本建築学会学術研究発表会論文集
- 蔵永真理、山中俊夫、甲谷寿史、桃井良尚、相良和伸、李エイ: 天井吹出し型誘引ユニットによる室内環境制御手法に関する研究(その6) 4床病室暖房時における室内熱・空気環境特性に関する研究、空気調和・衛生工学近畿支部学術論文発表会論文集