

室内 CO<sub>2</sub> が知的作業効率とストレスに及ぼす影響

摂南大学

○ 竹村明久\*

知的作業  
精神疲労

CO<sub>2</sub>  
ストレス

集中力

研究の目的

現行法によれば室内空気質環境維持のための CO<sub>2</sub> 濃度基準値は 1,000ppm であるが、外気濃度の上昇に伴って濃度達成の必要換気量が漸次増大する傾向にある。遡れば、Pettenkofer が CO<sub>2</sub> を人体からの空気質汚染物の総合的な代替指標と考えた場合の濃度を引用したことが現行法の根拠であって、CO<sub>2</sub> の人体影響を基に 1,000ppm を設定したわけではない。ゆえに、外気濃度に合わせて必要換気量が増大する現行法の設定値はナンセンスで、室内と外気の濃度差分が本来の換気の意味である人体からの汚染物の除去に必要な換気量を示す、すなわち外気濃度依存の室内濃度基準値が必要と考えられる。一方で、CO<sub>2</sub> の人体影響のみならず、作業効率をはじめとしたより高度な作業における悪影響にも考慮せねば、1,000ppm を超える場合がある許容濃度の新設が受け入れられるとも考えにくいことから、本研究では、高濃度 CO<sub>2</sub> 環境下における高度知的作業の集中度の検証を行うこととした。

研究の内容

11 月 7 日から 23 日に図 1 に示す実験室内に 4 名が同時に入室可能な PET フィルムとアングルで形成した実験ブース(2×2.5×2mH)を作成し、温度 19.4-25.2℃、湿度 34.5-65.1%RH の環境下で 20 名の実験参加者(男性 10 名、女性 10 名、平均 21.2 歳)に 15 分間の単語分類作業を行わせた。作業前後には、作業に伴うストレス把握のための唾液アミラーゼ値(唾液アミラーゼモニタ(ニプロ))と精神疲労度把握のためのフリッカー値(フリッカー測定器 T. K. K. 501c(竹井機器工業))の測定も実施した。

知的作業に採用した単語分類作業は、内山ら<sup>1)</sup>による方法を用いた。具体的には、日本語単語を 1 つずつ紙片で提示して、書体 3 種(平仮名・片仮名・漢字)と先頭母音 3 種(い・う・お)、意味種 3 種(動植物・地名人名・人工物)の計 27 分類のいずれにあたるかを HTML で作成されたパッド PC 上のボタンをタッチして回答し、次の紙片の回答を続けて、開始 15 分後の実験者の合

図で終了させた。

CO<sub>2</sub> の濃度条件には、現行法基準の 1,000ppm に加えて、2,000、4,000ppm の 3 条件を設けた。CO<sub>2</sub> は実験前の無人状態のブース内濃度にブース外の液化炭酸ガスボンベからブースに注入して、上記 3 条件に近い濃度に設定してから実験参加者を入室させた。入室後は実験参加者呼気の濃度上昇分を排気ファンによる調整のみで環境制御した。また、3 条件は実験参加者ごとに異なる 3 日間でラテン方格に基づく順に実施した。

研究の成果、新知見

図 2 に作業の総回答数の CO<sub>2</sub> 条件間比較を示す。横軸を CO<sub>2</sub> 条件、縦軸を回答数で表した。平均回答数に条件間の差異は見られず、ANOVA でも有意差は検出されなかった。

図 3 にストレス指標の CO<sub>2</sub> 条件間比較を示す。横軸を CO<sub>2</sub> 条件および作業前後の測定、縦軸は唾液アミラーゼ値の対数で示し、値が大きいほどストレスが高かったことを示す。2000ppm 条件では、作業後の方が作業前よりストレスが低かったが、1000、4000ppm では反対の傾向だった。いずれも、作業前後での平均値の差異検定で有意差は検出されなかった。

図 4 に精神疲労指標の条件間比較を示す。横軸を CO<sub>2</sub> 条件および作業前後の測定、縦軸をフリッカー値で示し、値が大きいほど精神疲労度が低かったことを示す。いずれの CO<sub>2</sub> 条件でも作業前後の差異は小さかったが、平均値の差異の検定では 2000ppm 条件で作業後の方が有

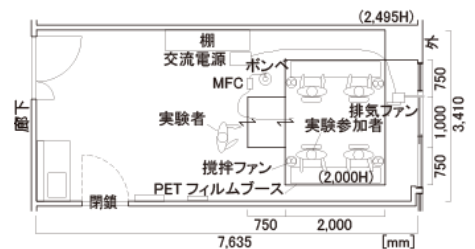


図 1 実験ブースの配置

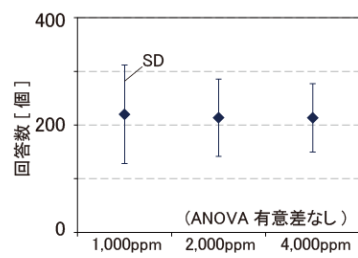


図 2 作業における回答数

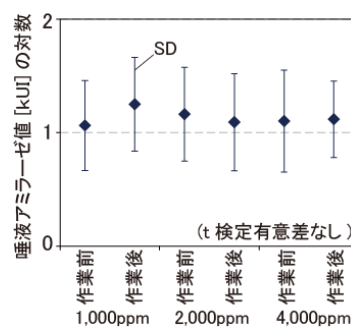


図 3 作業前後のストレス指標

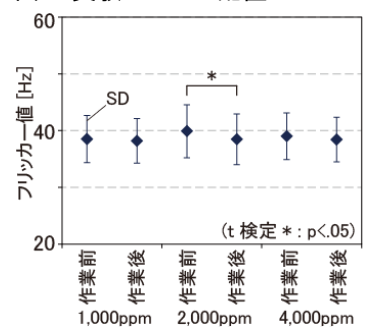


図 4 作業前後の精神疲労指標

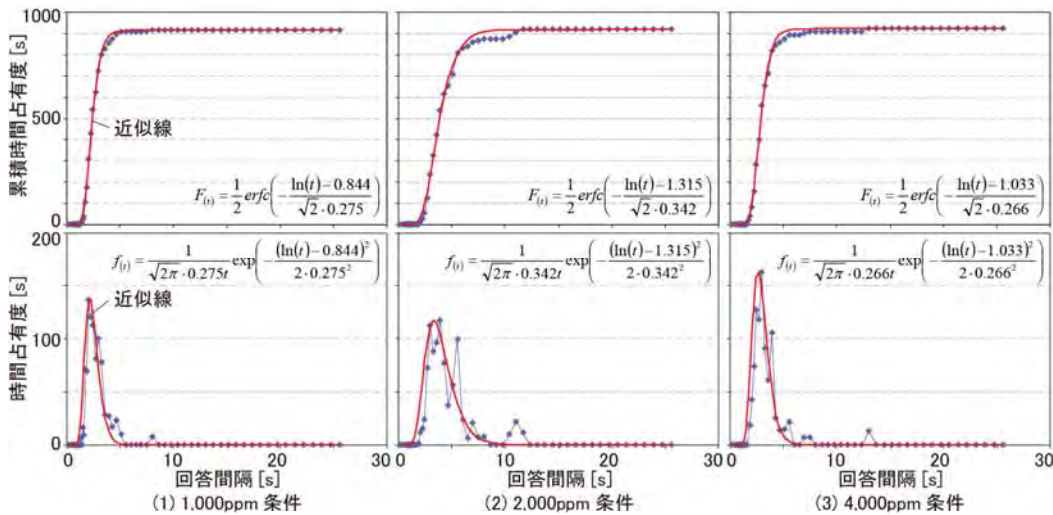


図5 作業の回答にかかった時間と時間占有度および累積時間占有度の関係(参加者16の例)

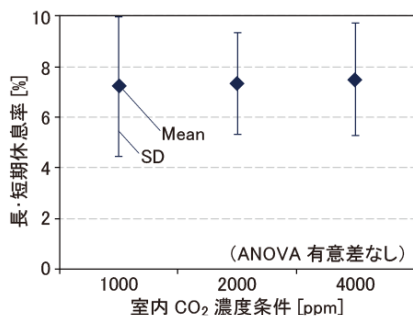


図6 長・短期休息率の条件間比較

意にフリッカー値が低かった。2000ppm 環境下では作業によって精神疲労が生じたことを意味するが、それより高濃度の4000ppm 条件では同様の傾向は見られな

いことから、CO<sub>2</sub>濃度が原因とは言えないと考えられた。

集中度のCO<sub>2</sub>条件間比較を行うため、内山ら<sup>1)</sup>を参考に実験参加者が1単語の回答にかかった時間を累積度数分布として図5の上段の例のように考えた。図5は1名の実験参加者の結果例で、上段の横軸が1単語の回答にかかった時間の階級を、縦軸を度数と階級の積で求めた時間占有度の累積値とした。時間占有度とは内山ら<sup>1)</sup>が定義した値で、全回答時間に対する当該階級の時間を指標とした占有度である。下段は回答間隔と時間占有度で示し、図中には集中状態とみなした近似線を併記した。手順として、まず上段の累積時間占有度の実験値と式(1)とで最も相関が高い最頻値 $\mu$ と標準偏差 $\sigma$ を最小二乗法で求め、下段の時間占有度に式(2)を用いて表現した。

$$F(t) = \frac{1}{2} \operatorname{erfc} \left( -\frac{\ln(t) - \mu}{\sqrt{2}\sigma} \right) \quad \dots \text{式(1)}$$

$$f(t) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} \exp \left( -\frac{(\ln(t) - \mu)^2}{2\sigma^2} \right) \quad \dots \text{式(2)}$$

$\mu$ : 最頻値 [s]  
 $\sigma$ : 標準偏差 [s]  
 $t$ : 1単語の回答時間 [s]

近似線は集中状態下の回答にかかった時間の時間占有度を示し、図5下段における近似線以上の時間占有度は、非集中状態にあったとみなした。非集中状態には、図5下段の実験値の時間占有度のうち近似線の最頻値よりも著

しく回答時間が長い10秒付近を長期休息と、近似線の最頻値よりやや長い回答時間で時間占有度が近似線以上の部分を短期休息とがあるとした内山ら<sup>1)</sup>の考え方に基づいて、実験値と近似線との差異から求めた時間占有度を全時間占有度で除した比を長・短期休息率と定義して、非集中状態の指標と考えた。ただし、図5下段からもわかるように、長・短期休息とも時間占有

度は低く、15分間の作業を通して集中状態が概ね維持できた可能性が高い。さらに長時間の作業を行った場合には、長・短期休息率はより大きいと考えられる。

図6に20名の平均長・短期休息率のCO<sub>2</sub>条件間比較を示す。横軸をCO<sub>2</sub>条件、縦軸を長・短期休息率で表した。CO<sub>2</sub>条件間でほぼ平均値は一致し、ANOVAによる有意差も検出されなかった。

以上から、作業の回答数が示す作業効率、唾液アミラーゼ値が示す作業に伴うストレス量、フリッカー値が示す作業に伴う精神疲労度の変動量、長・短期休息率が示す作業における非集中度とも、いずれもCO<sub>2</sub>条件による一定の傾向は確認できなかった。すなわち、4000ppmの室内CO<sub>2</sub>濃度以下の環境であれば、1000ppm環境と知的作業に伴う様々な側面について遜色がないと言えよう。一方で、差異が見られなかったのは作業時間が短かったことが一因とも考えられたことから、より長い時間の検討も必要だろう。

#### 今後の予定

短期休息状態と長期休息状態の分離や意味づけについては本検討では不十分だったことから、それらの解析をより詳細に行うこと、および作業時間をさらに長くした場合の検討も必要な可能性があることから、引続き検討を重ねたい。

#### 謝辞

本研究は一般財団法人大成学術財団の助成による。また本内容に関して尽力頂いた当時学生の尾野寛和氏には、ここに記して深謝致します。

#### 参考文献

- 1) 内山皓介, 宮城和音, 石井裕剛, 下田宏, 大林史明, 岩川幹生: 作業への集中に着目した知的生産性評価ツールの開発, ヒューマンインターフェースシンポジウム, (PDF), 2013