

## 室内温熱環境が喉の乾燥感にもたらす影響に関する被験者実験

山田直毅<sup>1)</sup>, 高田暁<sup>1)</sup><sup>1)</sup>神戸大学大学院工学研究科

## Experiments on effect of indoor thermal condition on sensation of dryness at throat

YAMADA Naoki<sup>1)</sup>, TAKADA Satoru<sup>1)</sup>Graduate School of Engineering, Kobe University<sup>1)</sup>

**Abstract:** The analytical model which simulates the air temperature and humidity in the airway during respiration has been developed by the authors in order to clarify the mechanism on sensation of dryness at the throat in winter. The decrease in the amount of water on the wall of the airway during respiration would be a factor which causes the sensation of dryness at the throat. But the relationship between the sensation of dryness and the thermal and moisture condition of the airway has not been clarified yet. In this study, the experiments involving subjects breathing through the nose or the mouth were carried out under various conditions of air temperature and humidity of the room air to measure the temperature of the breathing air and the sensation vote of dryness and the level of amount of water in the oral cavity. As the result, it was shown that the sensation vote of dryness for the nasal cavity during breathing through nose and that for the oral cavity during breathing through mouth shift to "dry" side and the amount of water in the oral cavity becomes lower, as absolute humidity of the room air is lower.

**Keyword:** dryness, respiratory tract, temperature, humidity, respiration

**要旨:** 著者らは、冬季における、喉の乾燥のメカニズムを解く手がかりを得るために、呼吸時の気道内部での空気の温度・湿度を計算する解析モデルの構築を行ってきている。喉の乾燥感の要因として、呼吸時の気道壁での水分蓄積量の減少が考えられるが、乾燥感と気道内空気の熱水分状態の関係を明らかにした研究は見られない。本研究では、様々な温湿度条件での鼻呼吸と口呼吸を想定した被験者実験を行い、呼出吸入空気温度、乾燥感申告値、口腔水分量を測定し、居室内の温湿度と乾燥感の関係を検討する。その結果、温度と乾燥感申告値、口腔水分量の間には明確な関係を見いだすには至らなかったが、低い絶対湿度の空気を吸入した場合、鼻呼吸時の鼻腔内での乾燥感申告値と口呼吸時の口腔内での乾燥感申告値が乾燥側の値をとり、口腔水分量が低下する事が確認された。

**キーワード:** 乾燥、気道、温度、湿度、呼吸

## 1. はじめに

オフィスワーカー1000人に対する乾燥に関するアンケート(高田, 2013)において、乾燥を感じる部位を質問したところ、喉という回答が最も多かった。喉の乾燥感と温熱環境との関係が明らかになれば、温冷感に加え、乾燥感を考慮してオフィス等の室空間の温湿度を最適化する一助になると考えられる。喉に乾燥を感じる要因として、気道壁での水分蓄積量の低下が考えられる。気道壁によって吸入空気の加温加湿(居室空気の温湿度が気道壁よりも低い場合)が行われ、気道壁から熱と水分が奪われる。次に肺からの呼出空気から気道壁に熱水分が供給される。呼吸では、これらが繰り返される。ゆえに湿度の低い空気を吸えば、吸入空気の気道における湿度が低下し、気道壁からの水分蒸発量が大きくなり、喉の乾燥につながると考えられる。また、温度の高い空気を吸う事で、気道表面の温度が上

がり、水分蒸発面の温度が上がる事も喉の乾燥感の一因であると考えられる。著者ら(2013)は、気道形状を円柱に近似した気道内での熱水分移動解析モデルを提案し、呼吸時の気道内部空気の温湿度の解析結果について報告を行っているが、温熱環境と乾燥感の関係を明らかにするまでには至っていない。Seeleyら(1940)は人体に対する湿度の影響を調べるという観点から、Keckら(2000)は鼻の加温加湿性能を調べるという観点から、室内の温湿度に応じた鼻腔内での呼出吸入空気の温度と湿度を、Höppeら(1981)は感染症の予防という観点から鼻腔内と口腔内での呼出吸入温度を計測しているが、乾燥感に対する考察は行っていない。本研究では、温湿度条件を変動させた場合の、鼻呼吸と口呼吸を想定した被験者実験を行い、呼出吸入空気温度、乾燥感申告値、口腔水分量の変化を測定し、実験室内の温湿度と乾燥感申告値、口腔水分量の関係を検討する。

## 2. 方法

幅 2.5m、奥行き 1.8m、高さ 1.8m の人工気候室にて、室内温湿度を変えて実験を行った。鼻呼吸と口呼吸の場合を片方ずつ実験するため、鼻呼吸時には口を、口呼吸時には鼻をサージカルテープで閉じ、各場合での被験者からの乾燥感申告を調査し、加えて、呼吸時の呼出吸入空気温度と、口腔水分量計(ライフ)を用い、舌の先端から 1cm の点での口腔水分量を計測する。本研究で、口腔水分量に着目したのは、喉における水分状態を観測するのは困難なので代替となり得ると考えたものである。

実験は温度のみを変化させる実験 1 と、絶対湿度のみを変化させる実験 2 を行う。表 1 に測定項目、表 2 に実験 1 の、表 3 に実験 2 の条件を記す。実験 1、2 共に被験者(表 4)は 4 人おり、一回の実験は被験者 2 人ずつ同時に行う。被験者を人工気候室内に入室させ、20 分椅座安静状態で待機させた後、計測を行う。鼻呼吸の実験を行う際、内部に熱電対を取り付けた、アルミ箔製の両端開口の筒(直径 10mm)を鼻孔(熱電対の計測点は鼻の出口)に取り付ける。口呼吸の際、内部に熱電対を取り付けた、アルミ箔で被覆されたポリエチレン製の筒(外径 35mm、内径 30mm)をくわえさせる(熱電対の計測点は口の出口)。各条件とも、観測は 15 分間行い、乾燥感申告は 5 分ごとに筆記申告させる。乾燥感申告は部位ごと(鼻先、鼻腔内、唇、口腔内、咽頭、喉頭)に図 1 のスケールを用いて行う。乾燥感申告と同時に口腔水分量を計測する。各 Phase 後は 10 分のインターバルをおき、この際に熱電対の取替えを行う。これらの操作を全 Phase が終了するまで繰り返す。図 2 に各実験のスケジュールを示す。

表 1:測定項目

測定項目	測定箇所	測定方法	測定間隔
室空気温湿度	1箇所	温湿度計	10秒
呼出吸入温度	2箇所	電気抵抗式	0.1秒
乾燥感申告値	6箇所	筆記申告	5分
口腔水分量	1箇所	口腔水分量計	5分
風速	1箇所	熱式風速計	

表 2:実験条件(実験 1)

Phase	温度	絶対湿度	相対湿度	呼吸法	被験者
①	18[°C]	0.004[kg/kg']	32[%]	鼻	A, B
②				口	
③	28[°C]		17[%]	鼻	C, D
④				口	

表 3:実験条件(実験 2)

Phase	温度	絶対湿度	相対湿度	呼吸法	被験者
①	28[°C]	0.002[kg/kg']	8[%]	鼻	B, C D, E
②				口	
③		0.010[kg/kg']	42[%]	鼻	
④				口	
⑤		0.020[kg/kg']	83[%]	鼻	
⑥				口	

表 4:被験者の属性

被験者	性別	年齢	参加実験
A	女	22	1
B	男	21	1、2
C	男	22	1、2
D	男	21	1、2
E	男	23	2

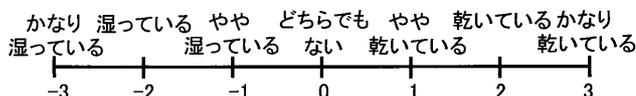
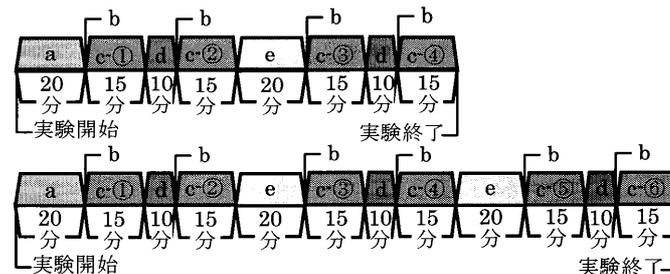


図 1:乾燥感申告スケール



- a:待機順応、熱電対の取り付け
- b:各 Phase の計測開始 (①,...,⑥が Phase 番号を示す)
- c:呼吸温度計測、乾燥感申告(5分間隔)、口腔水分量の計測(5分間隔)
- d:熱電対の付け替え
- e:室内環境調整、熱電対の付け替え

図 2:実験スケジュール (上:実験 1、下:実験 2)

## 3. 結果

### 3.1 呼出吸入温度 (実験 1)

図 3 と表 5 に呼出吸入空気温度の測定結果(被験者 D)を示す。18°C 条件(Phase ①、②)に比べ、28°C 条件(Phase ③、④)の方が、全体的に呼出吸入温度は高くなる。これは、吸入温度が呼出温度にも影響しているためと考えられる。また、鼻呼吸(Phase ①、③)と口呼吸(Phase ②、④)を比較すると、同じ温度条件において鼻呼吸の方が呼出温度が低い。鼻腔内は鼻甲介において空気との熱水分交換面積が大きく、呼出時に気道壁が呼出空気から多く回収するためであると思われる。

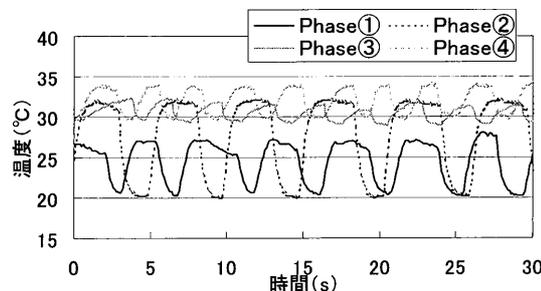


図 3: 呼出吸入温度 (実験 1、被験者 D)

表 5: 呼出吸入温度 (実験 1、被験者 D)

	Phase①	Phase②	Phase③	Phase④
最大値	28.1[°C]	32.2[°C]	32.4[°C]	34.7[°C]
最小値	20.2[°C]	20[°C]	28.9[°C]	29.5[°C]
平均値	24.5[°C]	27.8[°C]	30.5[°C]	32.2[°C]

### 3.2 呼出吸入温度 (実験 2)

図4と表6に呼出吸入空気温度の測定結果(被験者C)を示す。鼻呼吸(Phase①、③、⑤)と口呼吸(Phase②、④、⑥)を比較すると、同じ絶対湿度条件では、鼻呼吸の方が呼出温度が低い。実験1と同様に、口呼吸の場合に比べ、気道壁が呼出空気から熱を多く回収したためと考えられる。また、室内の絶対湿度が高いほど、呼出吸入温度が高くなる傾向にある。鼻や口における気道壁からの水分蒸発量が減少し気道壁から奪われる蒸発熱が減るためと考えられる。

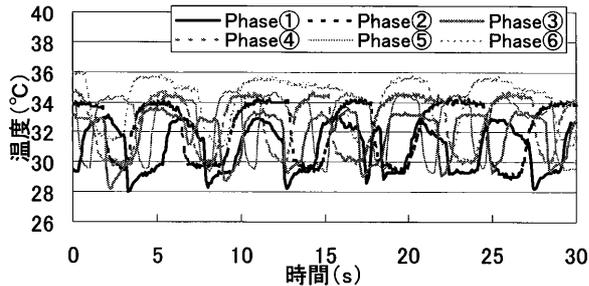


図 4: 呼出吸入温度 (実験 2、被験者 C)

表 6: 呼出吸入温度 (実験 2、被験者 C)

	Phase ①	Phase ②	Phase ③	Phase ④	Phase ⑤	Phase ⑥
最大値	33.1[°C]	34.3[°C]	33.6[°C]	34.7[°C]	34.7[°C]	36[°C]
最小値	28[°C]	28.9[°C]	28.2[°C]	29.7[°C]	29.3[°C]	30.9[°C]
平均値	31[°C]	32.2[°C]	31.9[°C]	32.6[°C]	32.7[°C]	34.1[°C]

### 3.3 乾燥感申告、口腔水分量 (実験 1)

図5~7に各部位における乾燥感申告値の結果を示す。鼻呼吸時(Phase①、③)においては、4人中2人(被験者B、C)について、鼻腔内での乾燥感申告値が口呼吸時よりも高い(乾燥側になる)。逆に口呼吸時(Phase②、④)、口腔内では全被験者について、咽頭では4人中2人(被験者C、D)について、咽頭での乾燥感申告値が高い。呼吸方法に応じた結果と考えられる。加えて、18°C条件(Phase①、②)に比べ、28°C条件(Phase③、④)の方が、わずかに乾燥感申告値が高い。これは、高い温度の室空気を吸入する事で、気道表面(水分蒸発面)の温度が上がったためと考えられる。

図8に口腔水分量を示す。鼻呼吸(Phase①、③)に比べ、口呼吸(Phase②、④)の方が、同じ温度条件では、口腔内水分量が低くなり、口腔内での乾燥感申告値(図6)の増減の傾向と一致する。一方、28°C条件(Phase③、④)に比べ18°C条件(Phase①、②)の方が、口腔水分量が低くなり、口腔水分量が低いと乾燥感申告値が高いという関係にはならなかった。今後検討する必要がある。

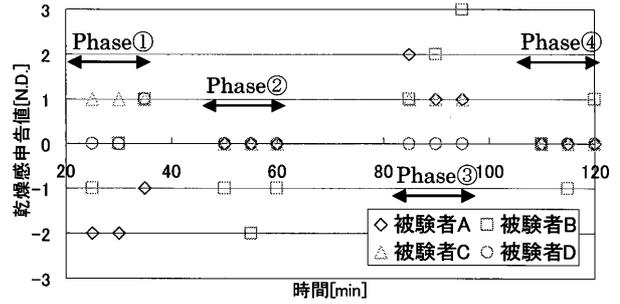


図 5: 乾燥感申告値 (実験 1、鼻腔内)

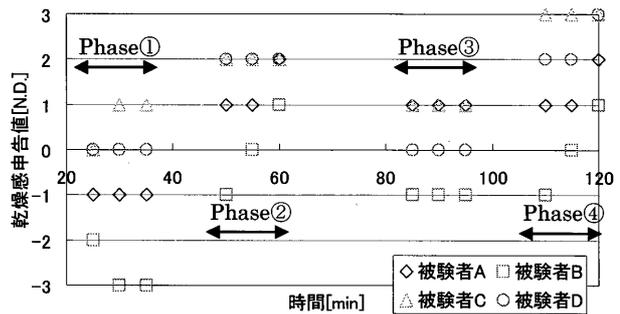


図 6: 乾燥感申告値 (実験 1、口腔内)

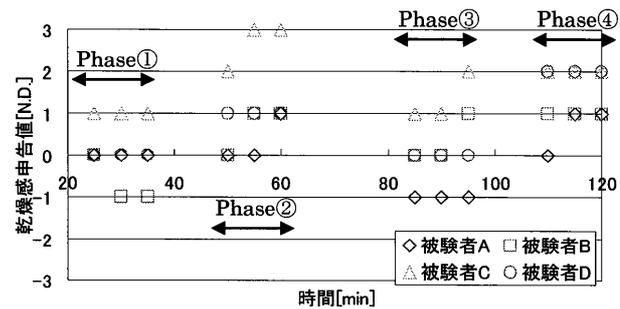


図 7: 乾燥感申告値 (実験 1、咽頭)

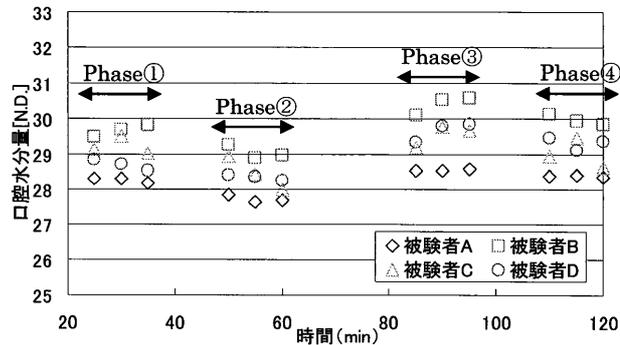


図 8: 口腔水分量 (実験 1)

### 3.4 乾燥感申告、口腔水分量 (実験 2)

図9~11に各部位における乾燥感申告値の結果を示す。全被験者に関して、絶対湿度の高い条件ほど、鼻腔内、口腔内、咽頭での乾燥感申告値が低い。これは、

気道壁からの水分蒸発量が少なくなるためと考えられる。また、絶対湿度の変化による乾燥感申告値の変動が、鼻腔内では、口呼吸時(Phase②、④、⑥)よりも鼻呼吸時(Phase①、③、⑤)で、口腔内では、鼻呼吸時(Phase①、③、⑤)よりも口呼吸時(Phase②、④、⑥)で、大きくなる。実験 1 と同様に、呼吸方法に応じて乾燥の有無を感知する部位が変動する事がわかる。

図 12 に口腔水分量を示す。実験 1 と同様に、同じ絶対湿度条件では、鼻呼吸(Phase①、③、⑤)に比べ、口呼吸(Phase②、④、⑥)の方が、口腔水分量が低くなった。口腔水分量が低いほど口腔内の乾燥感申告値が高くなるという関係になった。また、絶対湿度の低い条件ほど、口腔水分量が低く、鼻腔内、口腔内、咽頭での乾燥感申告値が高い。

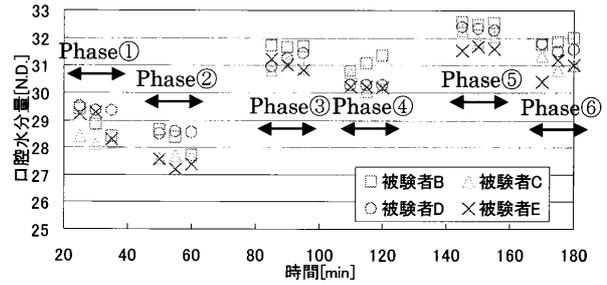


図 12: 口腔水分量 (実験 2)

#### 4. まとめ

本研究では、温湿度条件を変動させた場合の鼻呼吸と口呼吸を想定した被験者実験を行い、呼出吸入空気温度、生理量(口腔水分量)と心理量(乾燥感申告値)の測定を行った。呼出温度に関して、同じ温湿度条件の場合、Höppe ら(1981)の実験と同様、鼻呼吸よりも口呼吸の方が高い事、および温度や絶対湿度が高いと呼出温度が高い事を確認した。また、温度変化に対する乾燥感申告値の増減の傾向と口腔水分量の増減の傾向との間に明確な関係は見られなかったものの、低い絶対湿度の空気を吸入した場合、鼻呼吸時の鼻腔内の乾燥感申告値と口呼吸時の口腔内の乾燥感申告値が乾燥側となり、口腔水分量が低下した。

**謝辞** 本研究の一部は、日本学術振興会 科学研究費基盤研究(B)(課題番号 25289195, 研究代表者: 高田暁)の助成を受けた。記して謝意を表する。

#### 5. 文献

高田暁, 2013. 乾燥感と室内温熱環境条件に関する基礎的研究, 日本建築学会環境系論文集 78 (693): 835/840.  
 山田直毅ら, 2013. 低湿度環境下での乾燥感に関する研究(その 6)気道内温湿度の実測値に基づくモデルの検討, 日本建築学会学術講演梗概集 D-2:273/274  
 Keck T, Leiacker R, Heinrich A, Kühnemann S, Rettinger G, 2000. Humidity and temperature profile in the nasal cavity. *Rhinology* 38:167/171.  
 Seeley L E, 1940. Study of changes in the temperature and water vapor content of respired air in the nasal cavity. *Heating Piping and Air Conditioning* 12: 377/388.  
 P. Höppe, 1981. Temperatures of Expired Air under Varying Climatic Conditions. *Int. J. Biometeor.* 1981, 25 (2):127/132

#### <連絡先>

連絡先氏名: 山田直毅  
 住所: 神戸市灘区六甲台町 1-1  
 所属: 神戸大学大学院工学研究科  
 E-mail アドレス: 128t067t@stu.kobe-u.ac.jp

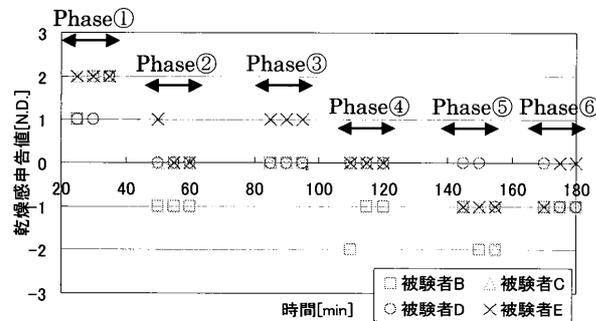


図 9: 乾燥感申告値 (実験 2、鼻腔内)

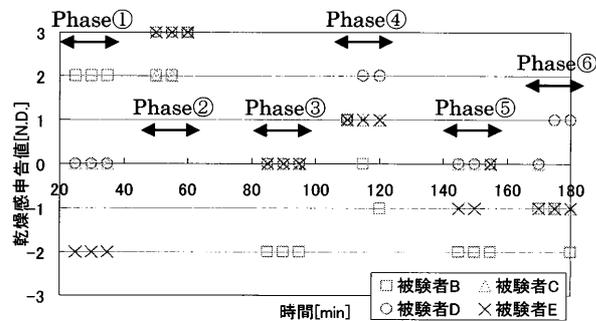


図 10: 乾燥感申告値 (実験 2、口腔内)

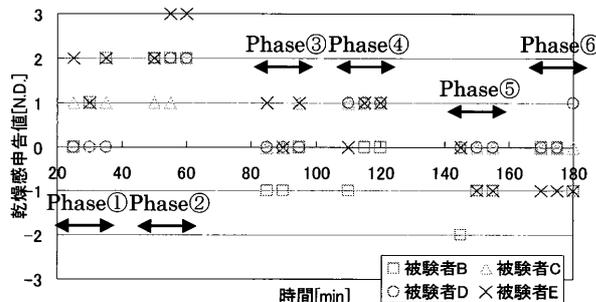


図 11: 乾燥感申告値 (実験 2、咽頭)