

千葉工業大学
博士学位論文

機器分析に基づく新築直後の住宅の
快適なにおい環境の形成に関する研究

**Study on Planning for Fragrant and Healthy
Indoor Odor in the New-constructed Houses
by the Electronic Nose**

平成 29 年 3 月

所属専攻：工学専攻

学生番号・氏名：1479503 番 飯泉 元気

指導教員：小峯 裕己 教授

要 旨

ここ数年、官民一体となって健康維持推進住宅等、健康を増進させるアメニティーの高い住宅環境を確保する家づくりに関する研究が行われている。天然木由来の木精油の香りは、居住者に不快感を与えにくく、リラックス効果等が報告されていることから、広義の意味での健康性を増進させる上で、積極的に放散させるべきであると考えられる。

以上のことを踏まえ、本論文は、住宅室内に木の香りを漂わせることを希望する人々を対象に、不快なおいとなる新築臭を抑制した上で、天然木由来の香りを積極的に放散させ、快適なおい環境を形成する定量的な計画方法を提案している。

住宅室内におけるにおいに関する既往の研究は、殆どが悪臭を対象としており、本論文のように、快適性や健康性に関わる香りを対象とした研究は希有である。また、ホルムアルデヒド発散建材に関する建築環境工学の研究を参考に、建材から放散するにおいの発散速度の概念を取り入れ、特性のばらつきが大きな天然材料の一つである無垢材の香りの発散速度のばらつき程度を考慮した上で、室内における香りの強さを推定する方法を提案するような研究は、本論文が初めてであり、独創性に富む論文であると考えられる。

本論文は7章で構成されており、各章の概要を以下に記載する。

第1章「序論」では、新築臭に関わる既往の研究における問題点、課題を明らかにすると共に、本研究の独創性を明らかにした。

第2章「試験装置及び試料空気捕集・分析方法」では、においに関する公定法である三点比較式臭袋法が、においの発散速度を求めるための微少な強さの差異を明らかに出来ないこと、においの質の評価は不可能であることを指摘し、複数のセンサーの出力を多変量解析して、微妙なおいの強さの差異を定量化でき、においの質の近さ具合を類似度として表現できるにおい識別装置で計測する必要があることを明らかにすると共に、同装置の測定原理を詳説した。

第3章「物理量と人の感覚に関する関係を考慮したにおいの強さの推定式」では、

建材から放散するホルムアルデヒドに因る気中濃度に関する推定式である HBF 式に準じ、建材から放散するにおいの強さを推定する数式を提案した。この推定式は平衡状態におけるにおいの強さ C_e の逆数 ($1/C_e$) と試験チャンバーの換気回数 N 、試料設置率 L に基づく値 N/L が一次回帰することを前提としているが、 N/L 値を系統的に変化させたチャンバー実験を行い、前提条件を満足することを確認している。その上で、物理量と人の感覚に関する関係を考慮して、「対数を考慮したにおいの強さの推定式」を提案した。

第4章「閾値比最大モデルの検証」では、小型チャンバー及び居室大の空間を用いた実験に基づいて、「複合臭の強さは空間を構成する部位の中でにおいが最も強い部位によって決まる」という考えに基づく閾値比最大モデルを検証した。その結果、においの発散速度と施工面積比の乗積値が最も大きな部位から発散するにおいが支配的で、そのにおいの強さが複合臭のにおいの強さにほぼ等しいことを明らかにした。なお、特性のばらつきが大きな無垢材を用いた杉材フローリングであった為、その香りの発散速度にはばらつきが認められたため、測定サンプル数を増やして、測定結果の標準誤差の上限値及び下限値を用いて発散速度の範囲を推定

する方法を提案した。

第5章「居住者が快適と感じる香りの強さの範囲」では、杉材フローリングから放散する香りを対象に被験者実験を行い、「居住者が快適と感じる香りの強さの範囲」を検討した。快適と感じている被験者の割合（快適率）と臭気指数の関係がある値を頂点とする正負の傾きを持つ2本の直線で表現できるという新規性のある考えの下、香りの強さと快適率の関係を求めた。

第6章「居住者が快適と感じるにおい環境の形成に必要なN/L値の推定方法」では、供試体とした杉材フローリングから発散する香りが支配的であるという前提で、提案した建材から放散する香りの強さに関する推定式、及び、香りの発散速度の推定範囲に基づいて、快適な香りの強さの範囲を満たすN/L値の範囲を算出する方法を明らかにした。その上で、14 m³の居室大チャンバー内に当該N/L値を満足する状況を再現し、被験者に入室させて香りの強さ及び快適率の評価をさせた。測定値と推定値とがほぼ一致したことから、提案した「居住者が快適と感じる香り環境の形成に必要なN/L値の推定方法」が妥当であることを検証した。

第7章「結論」では、以上の研究成果を取り纏め、以下の過程に基づけば、天然木由来の香りを積極的に放散させ、快適なおい環境を形成することが可能であると結論付けた。①使用する予定の無垢材から発散する香りの発散速度の上下限値の範囲を、小型チャンバー試験に基づいて明らかにする。②無垢材を施工する部位以外の内装仕上げは、においや香りの発散が小さな材料で仕上げる。③施主が快適と感じる香りの強さの範囲を官能試験により明らかにする。④快適と感じるにおい環境の形成に必要なN/L値を算定し、この条件を満足する様に施工する。

Summary

Study on the planning method of houses having excellent amenity is being carried out by a joint public and private sectors in the past few years. Scents of wood essential oils derived from natural wood has relaxation effects to residents. It is giving a comfortable feeling to residents, moreover. New constructed houses should be diffuse scents aggressively in order to promote health in a broad sense.

Method of diffuse scents aggressive has some problems, however.

First, indoor odor in new constructed houses is composite odor from various building materials. We need method of estimating the strength of composite odor, therefore.

Second, we need to confirm strength range of scents that residents feel comfortable because residents feel like bad smell when scents are too strong.

In light of the above, the purpose of this study is to propose method of create a comfortable indoor environment odor by use of natural wood after resolving these problems.

Quantitative study to realize a healthy and comfortable environment Odor was first addressed in this paper. Therefore, this paper is a very ingenious research.

The following shows the configuration and overview of this research.

Chapters 1 and 2 is the introduction. This part describes background of the study and the problem to be solved. It describes an overview of the electronic nose that was used for the measurement of the odor, further. The electronic nose has a gas sensor simulated the human nose. It is can measurement equivalent value of the odor Index.

Chapter 3 and chapter 4 is elucidation of Problem 1. This part describes the research results on the estimation method of composite odor. Chapter 3 is propose the estimation formula of the odor index from the relationship between the physical quantity and the olfactory sense. Previous study says the odor index of the composite odor is determined by highest position of the odor index that make up the space, further. Chapter 4 verified the proposed odor index maximum model based on the idea, therefore

Chapter 5 is elucidation of Problem 2. This part describes the elucidation of the strength range of scents that residents feel comfortable. Authors performed sensory test by subjects for reveal the odor index of residents feel comfortable.

Chapter 6 propose the planning method of fragrant and healthy indoor odor. This chapter is based on the chapter 3, chapter 4, and chapter 5 propose a method to create a comfortable indoor environment odor by use of natural wood. Authors constructed Japanese cedar wood to room size chamber of 14 m³ for the estimation accuracy verification. The odor index and the comfortable rate was measured odor in the room size chamber. The estimation results were verify whether reasonable from the

measurement results.

Chapter 7 is the conclusion of this paper. This part and the summary of gained knowledge, and the future challenges. The authors clarified that the newly proposed estimation method was appropriate from experiment of room size chamber.

目次

第1章 序論.....	2
1.1 研究背景	
1.2 本研究の目的と意義	
第2章 試験装置及び試料空気捕集・分析方法.....	9
2.1 試験装置	
2.2 においの測定方法	
2.3 におい識別装置	
第3章 物理量と人の感覚に関する関係を考慮したにおいの強さの推定式.....	31
3.1 推定式の導出	
3.2 推定式の検証方法	
3.3 実験条件	
3.4 実験結果	
3.5 まとめ	
第4章 嗅覚閾値比最大モデルの検証.....	46
4.1 実験条件	
4.2 放散挙動の測定及びにおいの強さの推定	
4.3 試験体の施工	
4.4 検証結果	
4.5 まとめ	
第5章 居住者が快適と感じる香りの強さの範囲.....	55
5.1 実験方法	
5.2 ヒノキ製フローリング試験	
5.3 スギ製フローリング試験	
5.4 快適性の評価	
5.5 まとめ	
第6章 居住者が快適と感じるにおい環境の形成に必要な N/L 値の推定方法.....	82
6.1 スギ材の放散挙動の測定	
6.2 スギ材における快適な香り環境とする為に必要な N/L 値の推定	
6.3 必要な N/L 値の推定方法の妥当性の検証	
6.4 まとめ	
第7章 結論.....	96
謝辞.....	98
付録	
におい識別装置の補足説明.....	100

第一章 序論

第1章 序論

1.1 研究背景

1.1.1 建築業界における居室内の空気質問題の動向

建築学会に投稿された論文で、居住空間の空気質に関する研究としては1993年に松井らが行った、住宅内の臭気環境及び居住者の臭気に対する意識の実態を調査した研究¹⁾がもっとも古い研究であった。松井らは心地よいにおい環境を保持するためには悪臭（トイレ・調理臭）の除去が先決としている。また、必ずしも居室内ではないが、1995年に臭気をつよさの評価方法として、悪臭防止法において官能試験に基づく悪臭評価の公定法が公示されている。

このように建築業界では悪臭に対する評価・規制方法が成り立ってきたと考えられる。さらに1997年にはホルムアルデヒドを筆頭とした新建材由来の化学物質が原因となったシックハウス症候群が社会問題となった。厚生労働省（当時厚生省）では1997年から2002年にかけて特定の揮発性有機化合物（VOC）について表1-1に示すように室内濃度指針値を示した。TVOCと呼ばれる総揮発性有機化合物の暫定目標値も $400\mu\text{g}/\text{m}^3$ と示した。

表1-1 室内濃度指針値一覧表

揮発性有機化合物	室内濃度指針値	設定日
ホルムアルデヒド	$100\mu\text{g}/\text{m}^3$	1997.6.13
アセトアルデヒド	$48\mu\text{g}/\text{m}^3$	2002.1.22
トルエン	$260\mu\text{g}/\text{m}^3$	2000.6.26
キシレン	$870\mu\text{g}/\text{m}^3$	2000.6.26
エチルベンゼン	$3800\mu\text{g}/\text{m}^3$	2000.12.15
スチレン	$220\mu\text{g}/\text{m}^3$	2000.12.15
パラジクロロベンゼン	$240\mu\text{g}/\text{m}^3$	2000.6.26
テトラデカン	$330\mu\text{g}/\text{m}^3$	2001.7.5
クロルピリホス	$1\mu\text{g}/\text{m}^3$	2000.12.15
	小児の場合 $0.1\mu\text{g}/\text{m}^3$	
フェノブカルブ	$33\mu\text{g}/\text{m}^3$	2002.1.22
ダイアジノン	$0.29\mu\text{g}/\text{m}^3$	2001.7.5
フタル酸ジ-n-ブチル	$220\mu\text{g}/\text{m}^3$	2000.12.15
フタル酸ジ-2-エチルヘキシル	$120\mu\text{g}/\text{m}^3$	2001.7.5
総揮発性有機化合物量(TVOC)	$400\mu\text{g}/\text{m}^3$ (暫定目標値)	2000.12.15

さらに2003年7月に施行された建築基準法では、ホルムアルデヒド発散建材の内装材としての使用面積制限（表 1-2）、換気回数 0.5 回/h 以上の 24 時間機械換気設備の設置の義務化、クロルピリホスの建材への使用禁止のこれら 3 項目が規定された。

表 1-2 内装使用の制限

建築材料の区分	ホルムアルデヒドの発散	JIS、JASなどの表示記号	内装仕上げの制限
建築基準法の規制対象外	少ない 放散速度 5 μ g/nh以下	F☆☆☆☆	制限なしに使える
第3種ホルムアルデヒド発散建築材料	5 μ g/nh ~20 μ g/nh	F☆☆☆	使用面積が制限される
第2種ホルムアルデヒド発散建築材料	20 μ g/nh ~120 μ g/nh	F☆☆	
第1種ホルムアルデヒド発散建築材料	多い 120 μ g/nh超	旧E2、Fc2 又は表示なし	使用禁止

規制の結果、特定化学物質の室内濃度は大きく低下した。このように居室内の空気質は原因物質を抑制・除去することで健全な空気質の形成を図ってきた。

一方で、未だ住宅において不快な新築直後のにおい（以下「新築臭」とする）があるとの苦情が寄せられている。図 1-1 に示す、環境省の悪臭防止法施行状況調査（悪臭苦情の統計データ）²⁾によると、悪臭に係る苦情の件数は 13,136 件と 11 年連続での減少となっている。しかし苦情件数が 1 万件前後であった平成 3～5 年度と比較すると、依然として高い水準であることがわかる。

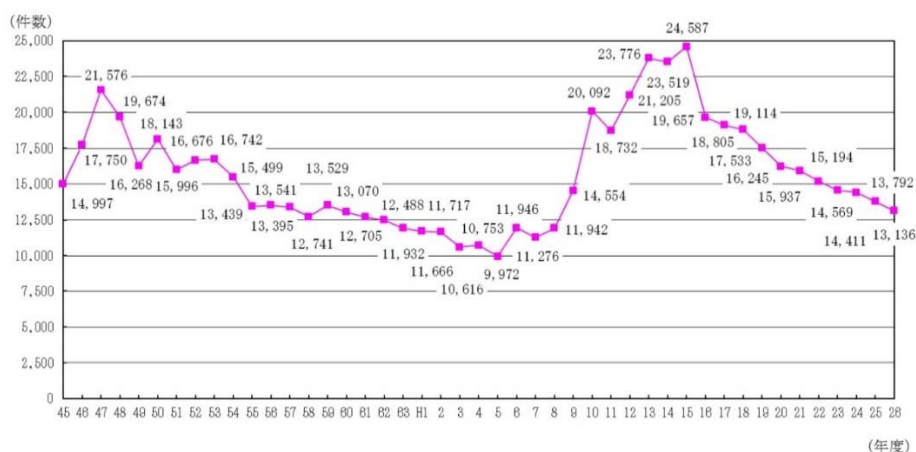


図 1-1 環境省の悪臭防止法施行状況調査

さらに図 1-2 に示す悪臭に関わる苦情の発生源別の内訳を見ると、個人住宅・アパート部門は第 3 位の 1,653 件 (11.3%) であり、居室のにおい環境に満足できていないことが伺える。

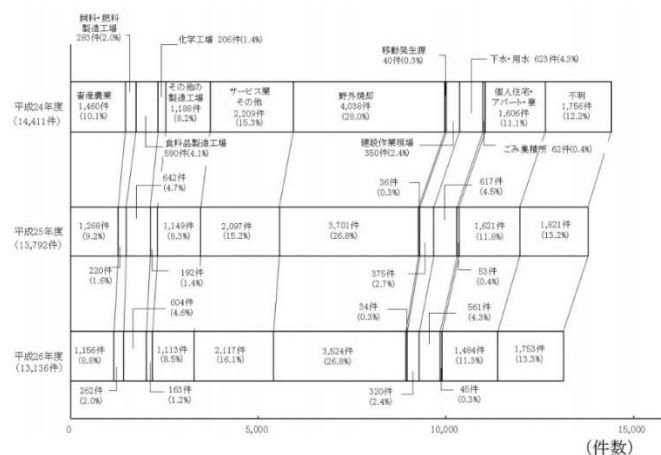


図 1-2 悪臭に関わる苦情の発生源別の内訳

(財)住宅リフォーム・紛争処理支援センターに寄せられた異臭相談から判断すると、住宅室内の建材由来のにおいに対する苦情が多いと考えられる。これは高気密・高断熱の住宅が増え、住宅内の「におい」が室内に籠ってしまっていることが原因の一つと考えられる。また材料メーカーなどが規制された VOC からの脱却を図る為に代替材への転換を進めたため、結果として指針値を定めていない物質による室内汚染が起きてしまっている。

包括規定としては TVOC (総揮発性有機化合物) の暫定目標値が設定されているものの法的拘束力はなく、国立医薬品衛生研究所の調査³⁾によると約 1/3 程度の住宅で暫定目標値を超える濃度が検出されるなど、新たな対策が必要となっている。さらに揮発性有機化合物 (VOC) よりも沸点が高く、長期的な放散挙動で健康被害を及ぼす準揮発性有機化合物 (SVOC) も問題視されており、特定化学物質の種類追加や室内濃度指針値の再策定などの検討が必要とされている。その中で、厚生労働省によって「シックハウス (室内空気汚染) 問題に関する検討会」が平成 24 年 9 月 28 日に行われ、再び室内空気汚染に関して関心が高まっている。

最近では「長期優良住宅の普及の促進に関する法律」が平成 21 年 6 月 4 日に施行され、人々の住宅に対する認識がより高まるに連れ、今後、より多くの「におい」に関する苦情が発生すると考えられる。しかしながら、現在行われている住宅における「におい」に関する研究の多くは、悪臭発生後の対策の検討であり、室内における「におい環境形成」に関する研究はほとんどない。日本建築学会では、2005 年に AIJES-A003 - 2005 「室内の臭気に関する対策・維持管理基準・同解説」⁴⁾ を発行しており、住宅室内におけるにおいに対する学術的関心が高まっている。

1.1.2 天然木から放散する香りの積極的な利用

ここ数年、官民一体となって健康維持推進住宅や健康住宅など、より健康を増進させるようなアメニティの高い住宅環境を確保する住まいの在り方に関する研究が行われている。天然木由来の木精油の香りには、 α -pinene や Limonene 等のテルペン類化合物が含まれる。テルペン類化合物は VOC である為、TVOC に含まれてしまうが、毒性は少なく、森林浴と同等の効果があることが知られている。身体をリフレッシュさせ、リラックス効果をもたらせる効果、ストレス症状を緩和する効果、また空気を浄化する機能があることもわかってきている⁵⁾。

居住者に不快感を与えにくく、リラックス効果等が報告されていることから、広義の意味での健康性を増進させるために、積極的に放散させるべきであると考えられる。

つまり天然木由来の木製油の香りは、居住者に不快感を与えにくく、リラックス効果等が報告されていることから、広義の意味での健康性を増進させるために、積極的に放散させるべきであると考えられる。

不快でシックハウス症候群の原因となる恐れがある新築臭を抑制した上で、施工した天然木材から放散する香りを積極的に利用することで快適なおい環境を形成できると考えた。天然木から放散する香りを用いて新築直後の住宅の快適なおい環境を形成するためには、不快な新築臭を抑制した上で快適な天然木由来の香りを放散させる必要がある。

新築臭の抑制方法に関しては、修士論文⁽¹⁾において、室内におい環境は、建材から発散するにおいの放散速度の影響を大きく受けることから、放散速度の小さい建材を選定することで不快なおいの抑制を図れることを明らかにしている。

その一方、健康的で快適なおい環境を形成するためには、解明すべきいくつかの課題がある。

まず、①室空間のにおいは、複数部位から放散されたにおいが複雑に混ざり合った複合臭となることから、複合臭のにおいを推定する手法が必要である。

また、②放散させる香りは強すぎると不快な香りになることから、居住者が快適と感じる香りの強さの範囲を明らかにする必要がある。

1.2 本研究の目的と意義

以上のことに鑑みて、課題を解決した上で、天然木由来の香りを積極的に放散させ、健康的で快適なおい環境を形成する定量的な計画手法を提案することを目的とする。

本研究の独創的な点として、新築直後の住宅において、建材・部位から放散するにおいに起因する室内におい環境に対する総合的な計画・設計体系を構築する為の体系的な学術資料の整備することが挙げられる。

においに関する先行研究は、日本建築学会、においかおり環境協会、室内環境学会等で発表されているが、その多くは、悪臭発生後の対策やその発生源に関する検討結果の報告である。既往の研究の一部^{6) 7) 8) 9)}では、建材から放散するにおいの評価に関する研究も行われているが、無垢材から放散する香りの強度とその香りの快・不快性、容認度や香りの人体への効果等を検討したもの、建材から発散されるにおいの原因と特定できる化学成分分析の報告である。新築時に、無垢材等を用いて積極的に快適なおい環境を実現しようとする取り組みは、本研究が初めてである。

新築時の空間のにおいの強さや質を予測することで、苦情が多い新築臭の異臭騒ぎを未然に防止できる。また、揮発性有機化合物を含む新築臭を抑制することで特定化学物質以外の代替物質を起因とするシックハウスの抑制にも期待できる。

また「においの発散」という観点から、建材の再評価を行うことにより、健康性・快適性を更に増進させた住宅造りが可能となると考えられる。

【第1章に関する既発表論文】

- (1) 飯泉元気: 機器分析に基づく新築臭の測定・評価に関する研究, 千葉工業大学大学院修士論文 (2014)

【参考文献】

- 1) 松井, 檜崎, 山中, 平石: 住宅内の臭気環境及び居住者の臭気に対する意識の実態, 日本建築学会計画系論文報告集, 1993. 10
- 2) 平成 26 年度悪臭防止法施行状況調査について, 環境省, (2016)
- 3) 国立医薬品衛生研究所の調査
- 4) AIJES-A003 - 2005 「室内の臭気に関する対策・維持管理基準・同解説」
- 5) 大平辰郎: 樹木製油成分による空気質の改善*1,
- 6) 平間昭光: 木質建材の臭気評価, 林産試験場報第 19 巻第 2 号, pp. 14-19, 2005. 8
- 7) 千野聡子, 加藤信介, 金 鐘訓, 徐 長厚: におい嗅ぎガスクロマトグラフィーを用いた建材由来のにおいの評価, 日本建築学会環境系論文集 650 号, pp. 339-345, 2010. 4
- 8) 金鐘訓, 加藤信介, 成旻起, 高橋祐樹: 建材臭における知覚臭気強度, 臭気強度, 臭気濃度との相関関係 - 室内知覚空気質の向上に向けた建材臭評価方法の検討に関する研究 その 1, 日本建築学会環境系論文集 672 号, pp. 71-79, 2012. 2
- 9) 竹村明久, 山中俊夫, 甲谷寿史: 建築材料から発生するにおいの主観評価に関する研究, 日本建築学会環境系論文集 630 号, pp. 999-1004, 2008. 8

第二章
試験装置及び
試料空気捕集・分析方法

第2章 試験装置及び試料空気捕集・分析方法

2.1 試験装置

本研究で共通して採用している試験装置を概説する。

2.1.1 模型実験試験装置

模型実験に用いた試験装置は、JIS A 1901¹⁾「建築材料の揮発性有機化合物 (VOC)、ホルムアルデヒド及び他のカルボニル化合物放散測定方法・小型チャンバー法」に準拠した小型チャンバーを用いた捕集装置を使用した。使用した装置の概要を図 2-1 に示す。以下に試験装置の構成の詳細を示す。

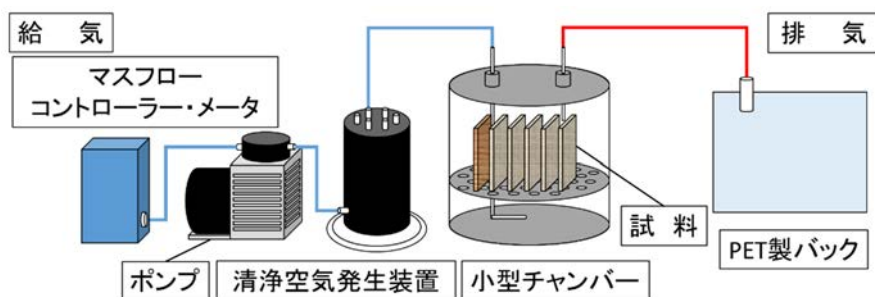


図 2-1 実験装置の概要

(1) マスフローコントローラー・メーター

養生の際、流量を確認できるように、排気側にマスフローコントローラー・メーターを設置した。外観を写真 2-1 に、標準仕様を表 2-1 に示す。



写真 2-1 マスフローコントローラー・メーター

表 2-1 標準仕様

メーカー	コフロック	
製品名	表示器付ローコストマスフロメータ	
型番	MODEL3810DS II SERIES	
流量レンジ (N2 換算)	10SCCM~20SLM	21~100SLM
精度	±2% F.S 以内@25°C	±3% F.S 以内@25°C
使用圧力	0.0~0.5MPa (G)	
耐圧	1.0MPa (G)	

(2) ポンプ

給気用に用いたポンプの概観を写真 2-2 に、標準仕様を表 2-2 に示す。給気用のポンプは排気空気のおい質に影響を与えることのないように、モータ直結のダイヤフラム式のものを用いた。



写真 2-2 給気用ポンプ

表 2-2 標準仕様

空気量 (L/min)	最高吐 出圧力 (MPa)	真空度 (kPa)	モータ			始動温度 (°C)
			入力 (W)	出力 (W)	電流 (A)	
15	0.10	40.00	64	30	0.75	5

(3) 清浄空気発生装置

無臭空気発生装置の外観を写真 2-3 に、標準仕様を表 2-3 に示す。清浄空気をできるだけ、無臭に保つ必要がある為、正常空気発生装置は小型チャンバーの直前に設けた。装置には吸着剤として、あらかじめ洗浄し乾燥させた活性炭を満たした。



表 2-3 活性炭で満たした 9 方分配活性炭槽

表 2-3 標準仕様

メーカー	製品名	活性炭量 (kg)	材質
近江オドエアーサービス	9 方分配活性炭槽	約 1 kg	アクリル

(3) 小型チャンバー

小型チャンバーの外観を写真 2-4 に示す。小型チャンバーは、容積 150L の円筒形の容器を加工して製作した試験チャンバーを用いた。においの影響を受けにくいステンレス製とした。



写真 2-4 小型チャンバー

(4) PET 製バッグ

試料空気の捕集にはポリエチレンテレフタレート製の試料採取用バックを用いた。外観を写真 2-5 に、標準仕様を表 2-4 に示す。示す。チャンバー内に籠った試料空気を給気される清浄空気で押し出し、バックに捕集した。



写真 2-5 PET 製バッグ

表 2-4 標準仕様

メーカー	近江オドエアーサービス
製品名	フレックサンプラー
容量[L]	3
寸法[mm]	300×250
材質	PET 製フィルム
材厚[μ m]	38

2.1.2 居室大試験装置

居室大試験には温湿度を制御可能な容積約 14 m³(2.4D×2.3W×2.55H [m]) の大型ステンレスチャンバーを用いた。大型ステンレスチャンバー内部に 10.1 m³(2.1D×2.1W×2.3H [m]) の実験空間を施工できるように木製枠組を作成した。

図 2-2 に試験装置の平面図の概要を、図 2-3 に給排気の概要を示す。第 1 種換気方式を採用し、またチャンバー自体が恒温恒湿層である前室内に配置してある。

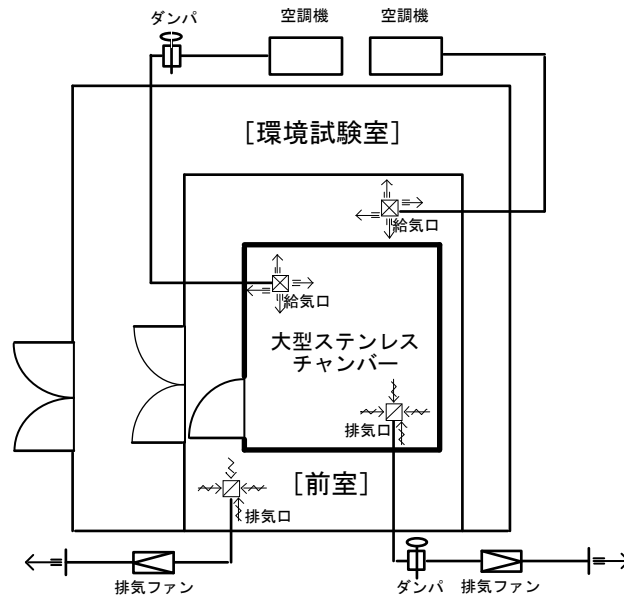


図 2-2 試験装置平面図 (概要)

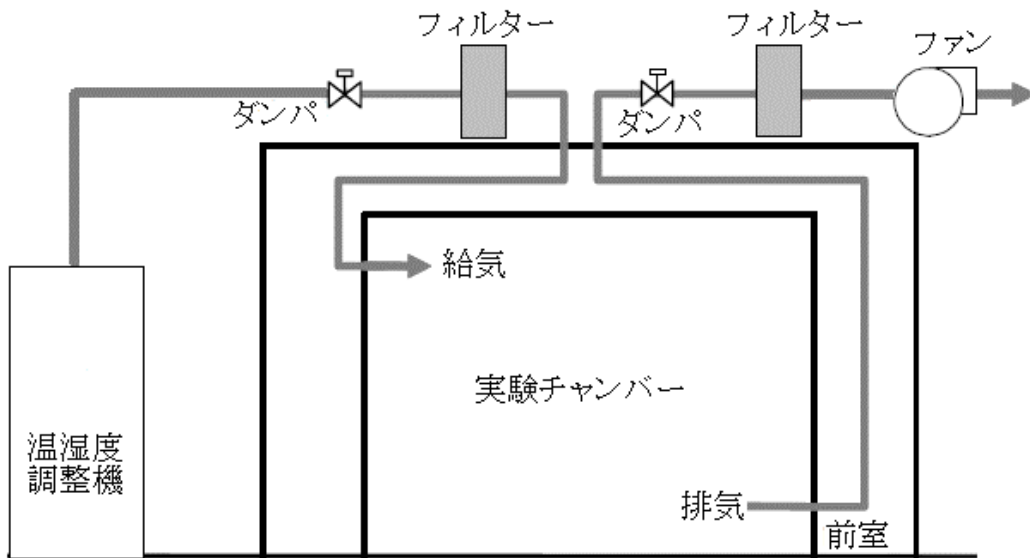


図 2-3 給排気系統図 (概要)

給気は実験室外に設置された空調機で温調し、ケミカルフィルターボックスを通過させアンモニア、硫化水素および VOC を吸着処理した後、実験室内に送る。排気も給気と同様にケミカルフィルターで吸着処理を行い、チャンバー内で発生する化学物質を、外気に直接排気しないようにした。給排気量の調整にはダンパー及びインバーターで制御した。風量は排気側のみ風量を計測した。給気風量は室内外の差圧を 0 に調整することで、給気量と排気量が同量であるとみなして制御した。試料空気はハンディポンプを用いて室中央及び排気ダクト内の空気を捕集した。

以下に試験装置の構成の詳細を示す。

(1) 空調機

空調機は給気ダクトの吸い込み部に設けた。空調機の概観を写真 2-6 に、仕様を表 2-5 に示す。

表 2-5 空調機の仕様



写真 2-6 空調機の概観

製造会社	APISTE
製品名	PAU ユニット
型式	PAU-A2600S-HC
温度制御範囲	20～30℃
温度制御精度	±0.2℃
湿度制御範囲	40～80%
湿度制御精度	±1.0%
冷却能力	2000W
最大加湿能力	11.7kg/h
許容周囲温度	20～35℃
許容周囲湿度	10～85%

(2) ダンパー

ダンパーにはバタフライ弁を用いた。

(3) ファン

給排気にはシロッコファンを用いた。写真 2-7 に給気ファンの概観、図 2-4 に静圧・風量特性、表 2-6 に仕様を示す。

表 2-6 給気ファンの仕様

製造会社	三菱電機(株)
製品名	ストレートシロッコファン
型式	BFS-240TUA
消費電力	600W
風量	2400 m ³ /h
機外静圧	180Pa
ダクト径	300.0mm

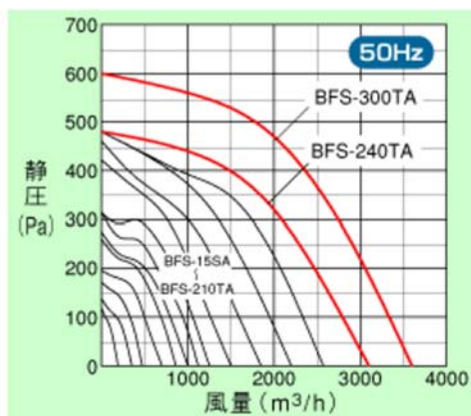


図 2-4 静圧・風量特性



写真 2-7 ファンの概観

(4) フィルターボックス

図 2-5 にケフィルターボックスの断面図を示す。ボックス内には大気中の塵などを除去する HEPA フィルター及びアンモニア、硫化水素および VOC に対応するペレットタイプの吸着剤を充填したフィルターケースを設置した。

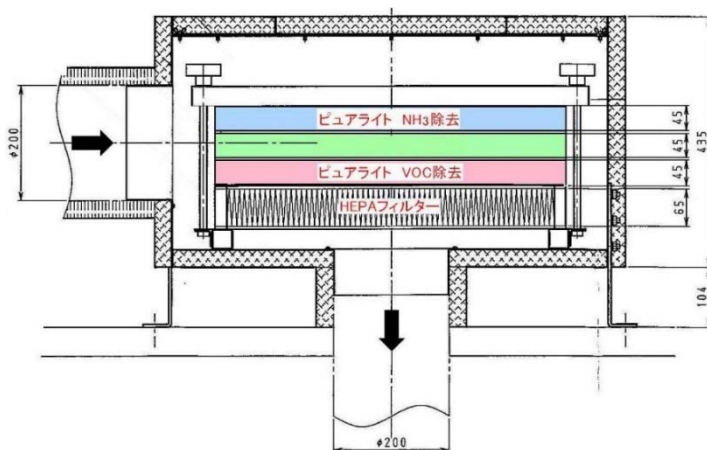


図 2-5 フィルターボックスの断面

(5) 超音波流量計

排気量はダクトに設置した超音波流量計で風量の測定を行った。写真 2-8 に超音波流量計の概観を、表 2-7 に仕様を示す。



写真 2-8 超音波流量計の外観

表 2-7 超音波流量計 仕様

製造会社	(株)カイジョーソニック
製品名	超音波気体流量計
型式	SMP-150
測定精度	±1%
F.S.設定範囲	1140～33000L/min
流量測定機器	0～33000L/min
較正	2010年10月

(6) インバーター

ファンの周波数制御にはインバーターを用いた。写真 2-9 にインバーターの概観、表 2-8 に仕様を示す。



写真 2-9 インバーターの概観

表 2-8 インバーターの仕様

製造会社		三菱電機(株)
型式		FR-F520J-0.4KF
運転周波数変更可能範囲		0~60Hz
出力	定格容量	1.0kVA
	定格電流	2.5A
	電圧	3相 200~240V 50Hz/60Hz
電源	定格入力	3相 200~240V 50Hz/60Hz
	周波数許容変動	±5%以内

(7) 微差圧計

微差圧計の概観を写真 2-10 に、仕様を表 2-9 に示す。



写真 2-10 微差圧計の概観

表 2-9 差圧計の仕様

製造業者	MKS
製品名	高精度圧トランスデューザー
型式	TYPE 398/598
精度	標準：0.08%
有効分解能	小数点以下 5 桁
測定圧力範囲[torr]	1、10、100、1000、10000

(8) ハンディポンプ

試料空気の捕集に用いたハンディポンプの概観を写真 2-11 に示す。



写真 2-11 ハンディポンプの概観

(9) PET 製バッグ

試料空気の捕集には模型実験と同様のポリエチレンテレフタレート製の試料採取用バッグを用いた。

2.2 においの測定方法

ここでは、現在用いられている代表的なにおいの測定・評価方法を取り上げ^{1) 2) 3) 4)}、特徴や問題点について整理を行う。その上で新築臭の測定方法を検討する。

2.2.1 嗅覚測定法

人間の嗅覚を用いてにおいの測定・評価を行う方法について概説する。

2.2.1.1 においの強さの測定・評価方法

(1) 臭気強度表示法

臭気の強さに着目して数値化する方法であり、Fanger・岩下提案尺度など、様々な尺度があるが、日本では 6 段階臭気強度表示法が広く使われている。代表として日本で用いられている 6 段階臭気強度表示法の評価尺度を表 2-10 に示す。

においを嗅ぎ、その場で数値化できるため測定時間が短い。一方で評価尺度が主観的であり、被験者によってばらつきがあるため、再現性が低い。

表 2-10 日本で用いられる 6 段階臭気強度表示法の評価尺度

臭気強度	においの程度
0	無臭
1	やっと感知できるにおい (検知閾値)
2	なんのにおいであるかわかる弱いにおい (認知閾値)
3	楽に感知できるにおい
4	強いにおい
5	非常に強いにおい

(2) 臭気濃度表示法

臭気の広がり の程度を表す方法であり、感覚に近い尺度で定量的なデータが得られる方法である。ASTM 注射器法、オルファクトメータ法等があるが、日本では三点比較式臭袋法が公定法として採用されている。ここでは三点比較式におい袋法を対象に概説する。

三点比較式臭袋法は、6 人のパネル(被験者)を用いて測定を行う。被験者に 3 個の PET 製バッグの中に 1 つだけある、においの添加されているバックを選び出させる。においの添加量を系統的に変化させていき、においの添加されているバックの選出が困難となったときの濃度(嗅覚閾値)を求め、この濃度(嗅覚閾値)から臭気濃度を算出する。臭気濃度 C_e は次に示す式(2-1)により求められるが、臭気濃度 C_e は源臭の濃度と嗅覚閾値の比となる。つまり源臭を無臭と感 じるまで薄めた際の希釈倍率が臭気濃度となる。

$$\text{臭気濃度 } C_e[-] = \frac{\text{源臭の濃度}[\text{mg}/\text{m}^3]}{\text{嗅覚閾値}[\text{mg}/\text{m}^3]} \quad \dots(2-1)$$

嗅覚異常者(高感度及び低感度)の影響を取り除く為 に、6 人の被験者の内、もっとも臭気濃度が低かった被験者及び、高かった被験者の結果を除外した 4 人の平均値を臭気濃度として用いる。

嗅覚閾値との比である臭気濃度を正確に測定可能であり、日本では悪臭防止法の公定法として裁判などの証拠としても利用されている。一方でパネルの人数が多く、使用するバッグが約 100 枚以上必要などの金銭的・時間的なコストが高い。またにおいの添加量の調整には熟練した技術を要する為、臭気判定士の資格を持ったオペレーターが必要になる。

2.2.1.2 においの質の測定・評価方法

(1) 快・不快度表示法

快・不快度表示法は、臭気の快・不快度を数値化する方法である。大阪大学提案尺度など様々な尺度があるが、日本では9段階快・不快度表示法が広く用いられている。代表として日本で用いられている9段階快・不快度表示法の尺度の例を表2-11に示す。

被験者の感覚をもとに定性的なデータが得られるため被害実態を表現し易い。においを嗅ぎ、その場で数値化できるため測定時間が短い。一方で評価尺度が主観的であり、被験者によってばらつきがあるため、再現性が低い。また、においの強さによってにおいの質が変化してしまう可能性があり、試料の調整が必要となる。

表 2-11 日本で用いられる 9 段階快・不快度表示法の尺度の例

快・不快度	内容
-4	極端に不快
-3	非常に不快
-2	不快
-1	やや不快
0	快でも不快でもない
+1	やや快
+2	快
+3	非常に快
+4	極端に快

(2) QDA (Quantitative Descriptive Analysis) 法

ISO で定められているにおいの質の評価方法である。この方法では、選定された官能特性表現用語を使って、熟練したパネル 12 名程度で、試し評価と尺度合わせを行い、尺度に大きなバラツキがないことを確認する。その上で、本評価を実施して得られた官能特性表現用語の得点を用いて、レーダーチャートの作成、分散分析や多重比較、主成分分析や PLS 回帰分析を行い、においの質を明らかにする。特徴に対する解釈をパネル全員で擦り合せ、特性 (Attribute: 定義付けされた特徴) の定量化を行うため、他の手法と比較して、パネルの選抜や訓練、実際の評価に多大な時間と労力を要する。

2.2.2 機器測定法

機器分析に基づいてにおいの測定・評価を行う方法について概説する。

2.2.2.1 単一成分濃度表示法

単一成分濃度表示法は、臭気の原因物質として考えられる単一成分を濃度で数値化する方法である。測定はGC/MSなどを用いて特定の成分の濃度を定量する。成分の濃度を用いる為、上限値等の規制に用いやすい。また、単一成分で、嗅覚閾値が既知の物質であれば、式(1)から臭気濃度の算出が可能である。一方で複数の成分が混ざり合った複合臭気や、嗅覚閾値が未知の場合には、臭気濃度を算出できないため、悪臭の原因物質が不明の場合は用いにくい。また単一の成分のみの測定であるため、においの質は測定できない。

2.2.2.2 複合成分濃度表示法

複合成分濃度表示法は、単一成分ではなく複合臭気を構成する成分全体を捉える方法である。総還元性硫黄表示法や、全炭化水素表示法などがある。単一成分濃度表示法と異なり、ある成分のグループの総量を求める方法である、硫黄系や炭化水素系などの化学的に発生が予測される工場などを規制する場合には有効である。一方でグループに含まれる各成分の比率や、グループ外の成分は不明であり、臭気濃度は算出できない上、においの質は測定できない。

2.2.2.3 ニオイセンサー法

半導体センサーを用いて、臭気を測定する方法である。多くのセンサーでは金属酸化物半導体センサーを用いる。半導体の表面に、におい分子が吸着すると、その電気伝導度が変化する為、抵抗値が変化する。この抵抗値の変化を成分濃度の変化量として検出する。あらかじめ測りたいにおいに合わせ作成した検量線を用いることで成分濃度を算出できる。図2-6ににおいセンサーの外観を、センサーの感度特性の例を図2-3に示す。単一のセンサーのため測定対象ごとに異なる検量線を使用する。複合臭においても検量線は作成可能だが、成分の比率が変化してしまうと、精度はなくなってしまう。また、それぞれの成分を把握できないため、においの質は測定できない。



写真 2-12 においセンサーの概観

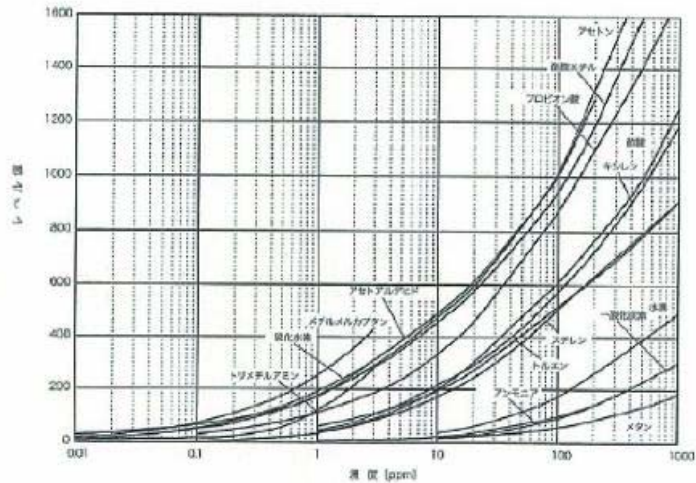


図 2-6 においセンサー感度特性の例

2.2.2.4 複数の半導体センサーを持つにおい測定器

複数の半導体センサーを用いて、臭気を測定する方法である。においセンサーとは異なり、金属塗膜の異なる半導体センサーを複数種類使用して測定を行う。それぞれの半導体センサーはある特定の物質だけに反応するのではなく、複数のにおい種に対して反応する。におい種ごとの相対感度がセンサーごとに変えてあり、複数のセンサー出力を解析することでにおいの強さやにおいの質を測定することが可能である。

2.2.3 測定方法のまとめ

嗅覚測定は人間の嗅覚感覚量に基づいて測定を行うことから、人間の感覚を反映しやすい。一方で被験者の主観が大きく影響することから、バラツキが大きいという問題がある。熟練したパネルであれば、ばらつきは小さくなるが、パネルの訓練等に多大な時間と労力を要する。

また新築臭にはシックハウス症候群や化学物質過敏症の原因となる揮発性有機化合物(VOC)が含まれる可能性が高いことから、嗅覚測定は、被験者に対するインフォームド・コンセントの取得等の研究倫理上の課題がある。

機器測定法は嗅覚測定とは異なり、熟練者でなくとも、高い再現性を得られることから、においを客観的に測定・評価する上で有用である。しかし、単一成分表示法のようなにおいを構成する成分に分解した成分分析は、複合臭で存在したときの性質、例えば、マスキング(強い一つのにおいが他のにおいを感じなくさせる現象)やペアリング(においの元となる化学成分を他のにおいの構成成分が取り込んでしまう現象)の影響を測定出来なくなる。これらを把握するためには、においの成分全体の性質として捉える必要がある。

悪臭防止法において、臭気指数規制が導入された一因として、従来の悪臭 22 物質の濃度の許容限界では、一般生活臭のような複合臭を把握できなくなったことが考えられる

が、上述のような現象の把握が単体のにおい成分分析では出来ないことも影響している
と考える。

以上のようなことを考慮して、本研究では新築臭の測定に、機器分析で、においの強さ
及びにおいの質を測定・評価可能な「複数の半導体センサーを持つにおい測定器」である
「におい識別装置 FF-2020(株島津製作所製)」を用いることとした。

2.3 におい識別装置

2.3.1 におい識別装置の測定原理の概要

におい識別装置は、嗅覚と同様なにおい検出機能を持たせ、においの強さ(臭気指数相当値)とおいの質(基準のにおいからの近さ度合いを百分率で示す)を測定する分析機器である⁵⁾。ヒトのにおい検出メカニズムは、ガスクロマトグラフィーのようにカラムを用いて単一成分に分離してから検出するのではなく、複合成分のまま約 390 種の嗅覚レセプタ(センサー)を用いてパターン分析している。

におい識別装置は、各々、特定のガスに対する反応が敏感でありながら、それ以外の複数のガスに対する感度も持つ 10 個の酸化物半導体センサーを用いて、複合成分のまま、においの測定を行い、センサーからの出力をパターン認識などの多変量解析することにより、においの強さとにおいの質を測定する、人の嗅覚の検出メカニズムを模倣した分析機器である。

2.3.2 人の嗅覚の検出メカニズムとにおい識別装置の対応

嗅覚メカニズムの概要を図 2-7 に示す⁶⁾。人がにおいを感じるということは、嗅覚受容体が、におい分子を感知して、脳に電気信号を送ることでおいを認識している。

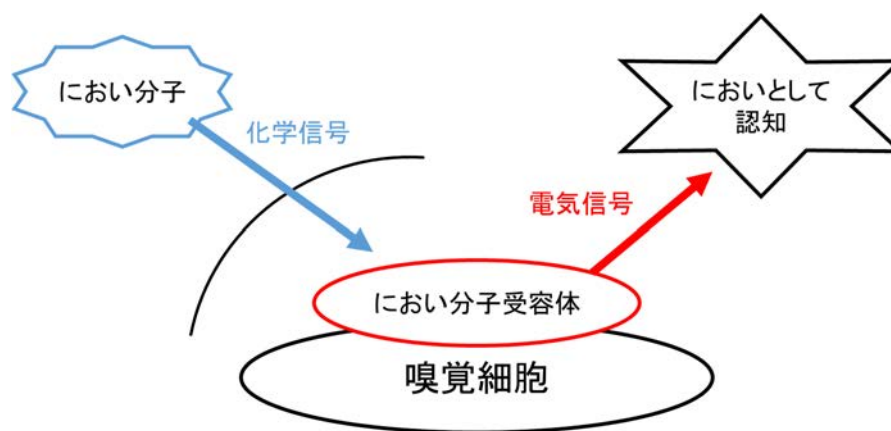


図 2-7 においを感じる仕組みの概略図

香気素材の香気プロフィール解析と分子の構造変換による香気変化

長谷川登志夫 ファインケミカル 2014年7月号 Vol.43 No.7 より引用

近年の研究において、ひとつの受容体が複数の類似の構造の分子を認識することが報告されている。また図 2-8 示すように、ひとつのにおい分子は複数のにおい受容体と同時に反応し、ひとつのにおい受容体は複数のにおい分子と同時に反応することがわかっている。最大 20 個程度のにおい分子と最大 20 個程度のにおい分子が相互作用していることもわかっている。



図 2-8 おい分子とにおい分子受容体の相互作用

香気素材の香気プロフィール解析と分子の構造変換による香気変化

長谷川登志夫 ファインケミカル 2014 年 7 月号 Vol.43 No.7 より引用

これらの理由から、においを評価するためには、におい成分を単一の成分に単離せずに測定する必要があると考えられている。におい識別装置はにおいガスを複合臭のまま測定・評価するため、成分を単離して測定を行う機器分析よりにおいの評価に適していると考えられる。

2.3.3 におい識別装置で用いている多変量解析の方法

同識別装置で用いている多変量解析の考え方を図 2-9 に示す。試料の測定で得られる 10 個のセンサー出力の合成ベクトルを、10 個のセンサー出力軸で表現される 10 次元のにおい空間（以下「におい空間」と称する）上に書き込み、合成ベクトルの長さが長いと、においは強いと判定し、短ければ弱いと判定する。ベクトルの向きが変われば、においの質が変化すると判断する。

このシステムの通常の測定モードでは、表 2-12 に示す 9 種類の基準ガスを、濃度を変えて測定しておき、基準とする複数の基準ベクトルを基に、未知のにおいの強さと質を判定する。これらの基準臭は、においを有する官能基ごとに設定されているため、においの強さは殆どの場合、良好な解析結果が得られるとされている。においの質に関しても、比較するいくつかのサンプル間のにおいの近さ度合いの順位付けをするには、十分な解析精度があるとされている。

表 2-12 におい識別装置センサー較正のための 9 種類の基準ガス

基準ガス名	使用物質
アルデヒド系	ブチルアルデヒド
硫黄系	ジメチルジサルファイド
硫化水素	硫化水素
アミン系	トリメチルアミン
芳香族系	トルエン
アンモニア	アンモニア
エステル系	酢酸ブチル
有機酸系	プロピオン酸
炭化水素系	ヘプタン

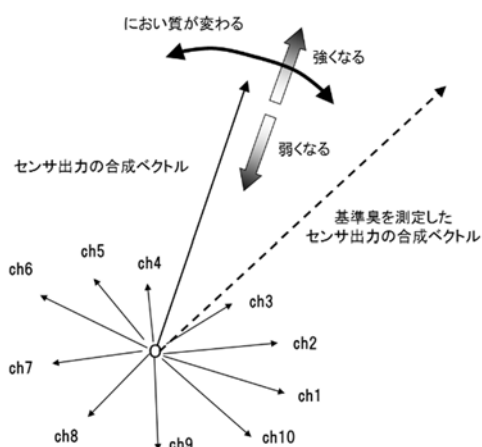


図 2-9 におい識別装置で用いている多変量解析の概念

2.3.4 においの質に関する解析方法

においの質に関する解析結果として、類似度と臭気寄与を用いる。

2.3.4.1 類似度

類似度とは図 2-10 に示すように、9 種類の基準ガスの基準ベクトルそれぞれとサンプルガスの合成ベクトルが為す角度から求める。角度が 0° の時に類似度が 100% と定義し、におい識別装置の開発者が有するバックデータから、角度が約 20° になると、その基準ガスとは類似性がなくなることから、類似度を 0% としている。

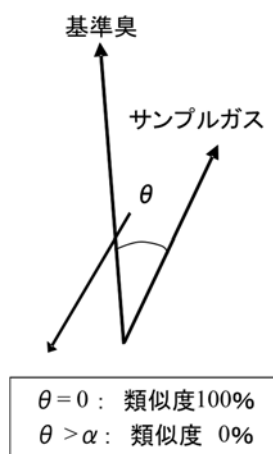


図 2-10 類似度の求め方

2.3.4.2 臭気寄与

臭気寄与とは図 2-11 に示すように、サンプルガスの合成ベクトルを、9 種類の基準ベクトル方向に分解し、当該ベクトル上における長さを求めたものである。サンプルガスに対する当該基準ガスの寄与濃度が求められることから、その基準ガスの閾値濃度で割れば、臭気寄与濃度が算定できる。この値を臭気指数相当値の尺度に直したものを臭気寄与としている。

サンプルガスにおける強さが、9 種類の基準ガスの嗅覚感度では、どれ位における強さと感じられるかを意味する。

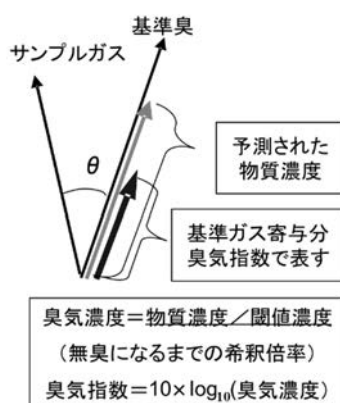


図 2-11 臭気寄与の求め方

2.3.5 においの強さに関する解析方法

においの強さに関する解析結果として、臭気指数に相当する値、臭気指数相当値を用いる。9 種類の基準ガスの寄与濃度を全て加算し、臭気指数相当値の尺度に換算することにより、サンプルガス全体におけるにおいの強さを求めている。

2.3.6 におい識別装置を用いた既往の研究

青山らは、産地の異なる複数の日本茶のにおいをにおい識別装置で分析した結果を報告⁸⁾している。それによれば、においの類似度を用いて、産地ごとに日本茶のにおいを分類出来ること、福岡産や静岡産のお茶はにおいの独自性が高く、鹿児島産と京都産と埼玉産のお茶はお互いの類似性が高かった。

山本らは、公定法である三点比較式におい袋法、簡易嗅覚測定法の二点比較法およびにおい識別装置を用いて、牛、豚、鶏の堆肥、及び牛舎、豚舎におけるにおいの強さに関する測定結果を報告⁹⁾している。公定法で得た臭気指数とにおい識別装置による臭気指数相当値の間の回帰係数は 0.98 とほぼ 1 に近く、公定法による測定結果との標準誤差は 3.1 であった。環境省環境管理局大気生活環境室が検証した嗅覚測定法の精度管理⁸⁾では、繰り返し測定による測定誤差は約 3.0 の測定誤差があることから、におい識別装置の臭気指数相

当値の測定結果は十分な精度があると判断できる。

また、喜多らは、油で汚染された土壌から発するにおいを、におい識別装置で測定した結果を報告¹⁰⁾しているが、におい識別装置での臭気指数相当値と臭気指数との間では、相関係数が **0.85** と高い相関が得られている。また、異なる油で汚染された土壌のにおいを臭気寄与と類似度で求めたところ、汚染の原因となる油の種類を特定できる結果が得られたと述べている。

以上のような既往の研究実績から、新築臭の測定・評価が十分に可能であると判断した。

2.3.7 測定モード

本研究では、においの強さとして臭気指数相当値を、においの質として装置校正用基準集及びサンプル臭との類似度を測定した。解析モードを「ユーザーモード強度未知」。ユーザー角度モードを「**Medium**」、サンプリングモードを「**バッグ**」にて解析した。

【第2章に関する既発表論文】

- (1) 飯泉元気,小峯裕己,木村 洋,機器分析に基づく新築臭の測定・評価に関する研究
平成24年度空気調和・衛生工学会学術講演会講演論文集 I,321-324, (2012)
- (2) 飯泉元気,小峯裕己,木村 洋, 新築臭の原因と模型実験の妥当性の確認:におい識別装置を用いた新築時における室内におい環境の測定・評価方法に関する研究 その1, 日本建築学会環境系論文集 81(723), 439-446, 2016

【参考文献】

- 1) JIS A 1901:2015, 建築材料の揮発性有機化合物(VOC), ホルムアルデヒド及び他のカルボニル化合物放散測定方法-小型チャンバー法
- 1)岩崎:嗅覚とにおい物質, 臭気対策研究協会, 1998.9.20
- 2)岩崎ら:嗅覚測定法マニュアル, 臭気対策研究協会, 1997.5
- 3)岩崎:臭気の嗅覚測定法 三点比較式臭袋法測定マニュアル, 臭気対策研究協会, 1997.5
- 4)泉ら:機器分析のてびき第2版, 化学同人, 1996.8
- 5)喜多純一:におい分析におけるにおい識別装置の位置づけと食品評価への応用例, 日本調理科学会誌 48巻5号, pp.67-373, 2015.10
- 6)長谷川登志夫:香氣素材の香氣プロフィール解析と分子の構造変換による香氣変化, ファインケミカル, Vol.43 No.7, 2014.7
- 7)青山佳弘:におい識別装置と食品・飲料のにおい評価への応用, 日本食生活学会誌 17巻3号, pp.266-270, 2006.12
- 8)山本朱美, 喜多純一, 小川雄比古, 小堤恭平, 古谷修:におい識別装置による畜舎および堆肥臭気の強度評価, におい・かおり環境学会誌 37巻1号, pp.33-37, 2006.1
- 9)環境省水・大気環境局大気環境課大気生活環境室編:嗅覚測定法マニュアル第6版, におい・かおり環境協会, 2012.6
- 10)喜多純一, 岡田昌之, 赤丸久光, 木下太生:におい識別装置, におい・かおり環境学会誌 37巻3号, pp.172-178, 2006.5

第三章

物理量と人の感覚に関する関係を
考慮したにおいの強さの推定式

第3章 物理量と人の感覚に関する関係を考慮したにおいの強さの推定式

修士論文⁽¹⁾において建材から放散するホルムアルデヒドに因る気中濃度は、HBF式により推定できることが明らかになっているが、においの原因物質も化学物質であることから、HBF式に準じた数式により、建材から放散するにおいの強さが推定できると想定しにおいの強さの推定式を提案した。しかし臭気指数(嗅覚感覚量)はヴェーバー-フェヒナーの法則に知られるように、本来は刺激量(物質濃度)の対数に比例するが、既報の推定式では対数的な考え方は考慮されていない。そこで、対数を考慮した新たな推定式を提案するとともに、提案した推定方法が妥当であるか、検証する。

3.1 推定式の導出

既報⁽²⁾ではホルムアルデヒド気中濃度の推定式であるHBF式(式(3-1))

$$C = \frac{Ceq}{1 + \frac{1}{K} \times \frac{N}{L}} \quad (3-1)$$

このとき

C : ホルムアルデヒド気中濃度[mg/m^3]

Ceq : 換気回数0でのホルムアルデヒド気中濃度[mg/m^3]

K : 物質移動係数[m/h]

N : 換気回数[h^{-1}]

L : 試料設置率[m^2/m^3]

に則って、におい(香り)の強さの推定式(式(3-2))

$$Y = \frac{Yeq}{1 + \frac{1}{K} \times \frac{N}{L}} \quad (3-2)$$

このとき

Y : 臭気指数 [-]

Yeq : 換気回数0での臭気指数相当値[-]

を提案している。これはホルムアルデヒド気中濃度 C (物質濃度) と臭気指数 Y (嗅覚感覚量) が同一の放散挙動を示すと仮定して提案された。しかし上述の通り、嗅覚感覚量と物質濃度は対数的な関係となると考えられ、HBF式を準用した推定には、物質濃度と同様の放散挙動を示す指標を用いる必要がある。

におい物質の濃度を示す指標としては、臭気濃度 C_e がある。臭気濃度 C_e は化学物質濃度と人の嗅覚閾値の比であり、人間の嗅ぐことができる最小濃度の何倍の濃度かを表している。また式(3-3)

$$Y = 10 \times \log(C_e) \quad (3-3)$$

このとき

C_e :臭気濃度[-]

から、対数を考慮した臭気指数へ換算することができる。

図 3-1 に HBF 式の概念図を示す。

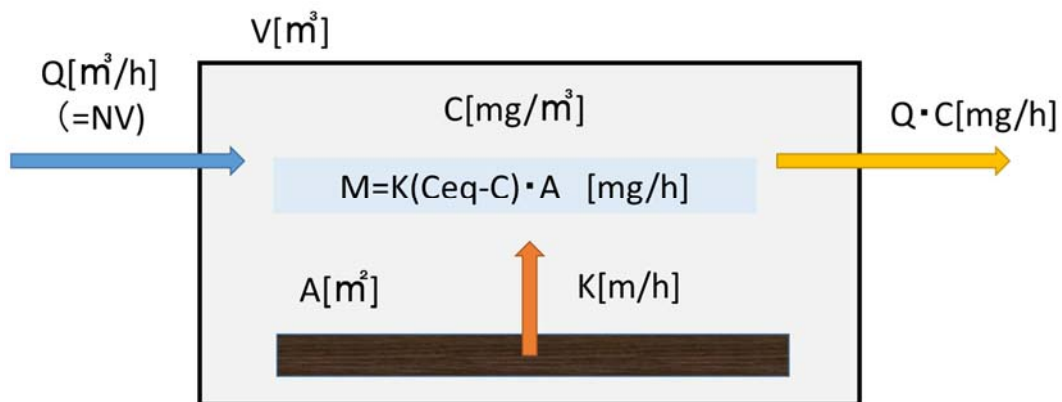


図 3-1 HBF 式の概念図

このとき

V : チャンバーの気積 [m³]

Q : 換気量 [m³/h] ($=NV$)

A : 建材の表面積 [m²]

M : ホルムアルデヒドの総揮発量 [mg/h]

示すようにホルムアルデヒドの総揮発量 M は室内濃度差をドライビングファクターとしている。

HBF 式と同様に、室内濃度をドライビングファクターにしていると仮定し、機械換気における、においの強さの関係をマスバランスの視点から考えると図 3-2 のようになる。

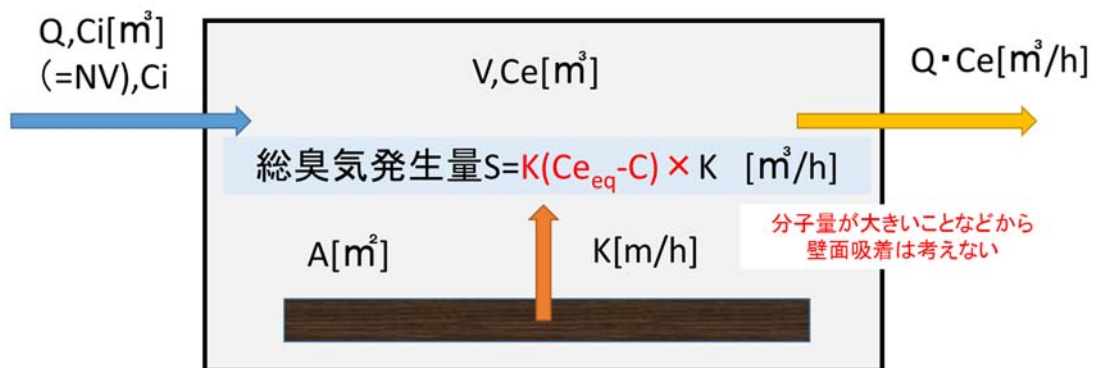


図 3-2 においの強さのマスバランス

このとき

C_i : 外気の臭気濃度[-]

C_e : 室内の臭気濃度[-]

S : 総臭気発生量 [m^3/h]

N/L と C_e の関係が、HBF 式と同じ数式で表現できると仮定して、ホルムアルデヒド気中濃度 C を臭気濃度 C_e に置き換えて、式(3-4) を導いた。

$$C_e = \frac{C_{e_{eq}}}{1 + \frac{1}{K} \times \frac{N}{L}} \quad (3-4)$$

このとき

$C_{e_{eq}}$: 換気回数 0 での臭気濃度[-]

3.2 推定式の検証方法

HBF 式の定常状態におけるホルムアルデヒド気中濃度 C を変形すると、式(3-5)

$$\frac{1}{C} = \frac{1}{C_{eq} \times K} \times \frac{N}{L} + \frac{1}{C_{eq}} \quad (3-5)$$

に示すように、 $1/C$ は N/L に関する 1 次式となる。式(3-5)が成立すると、任意の N/L 値における C を推定することができる³⁾。式(3-5)の成立を確認するためには、 N/L を系統的に変化させて C の値を測定する。測定結果を回帰分析して、 N/L に関する 1 次式となるか検証する必要がある。

そこで HBF 式と同様に、式(3-4)を整理して、式(3-6)

$$\frac{1}{C_e} = \frac{1}{C_{eeq} \times K} \times \frac{N}{L} + \frac{1}{C_{eeq}} \quad (3-6)$$

を導出した。

ホルムアルデヒド気中濃度 C 同様、式(3-6)が成立すれば、任意の N/L 値における臭気濃度 C_e を推定することができると考えられる。そこで N/L を系統的に変化させて C_e の値を測定する。測定結果を回帰分析して、 N/L に関する 1 次式となるか検証する。

3.3 実験条件

3.3.1 試験体

表 3-1 に示す床部位及び壁・天井部位複合材から放散する香りを対象とした。表 3-2 に示すように、設置率を変えることで、N/L 値を系統的に変化させた。

表 3-1 部位複合材の仕様

部位	使用箇所	使用建材
床	仕上げ	複合フローリング t13.5mm (合板下地+ウォルナット突板)
	接着剤	床用接着剤 (ウレタン系・溶剤使用)
	下地	セルフレベルング材 t10.0mm
壁・天井	仕上げ	ビニールクロス
	接着剤	壁紙施工用接着剤 (でんぷん糊系)
	下地	石膏ボード t12.5mm

表 3-2 設定した N/L 値

N/L 値[m/h]	0.2	1	2.5	4.12
換気回数 N[回/h]	0.5			
設置率 L[m ² /m ³]	2.50	0.50	0.20	0.12

(1) 床部位複合材試験体

下地に用いるセルフレベリング材は、一般に集合住宅などの床下地材に用いられるものを対象とした。写真 3-1 に示すようなステンレス板で仕切ったステンレス製バットに流し込み、4 日間の養生期間後、セルフレベリング材が硬化したことを確認のうえ、複合フローリングに必要塗布量の接着剤を塗布して、所定のオープンタイム後に接着した。その後、小口・裏面からのおいの放散を防ぐため、小口と裏面をアルミテープでシールし試験体とした。作成後、直ちにチャンバーに設置した。作成した試験体を写真 3-2 に、写真 3-3 にチャンバー設置状況を示す。



写真 3-1 セルフレベリング材



写真 3-2 床部位複合材

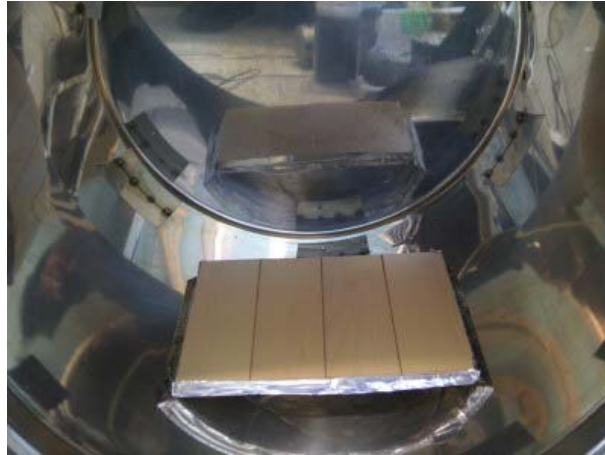


写真3-3 床部位複合材設置状況

(2) 壁・天井部位複合材試験体

壁・天井部位複合材試験体は、設置率に基づいて所定の寸法に切り出した石膏ボードに、壁接着剤を用いてビニールクロスを張って作成した。その後、床部位複合材試験体と同様に小口・裏面はアルミテープでシールした。ビニールクロスは施工規定に則り、接着剤塗布後 10 分間のオープンタイムを取った後、張り付け作業を行った。作成後は直ぐに 150L チャンバー内に設置した。作成した試験体を写真 3-4 に、写真 3-5 にチャンバー設置状況を示す。

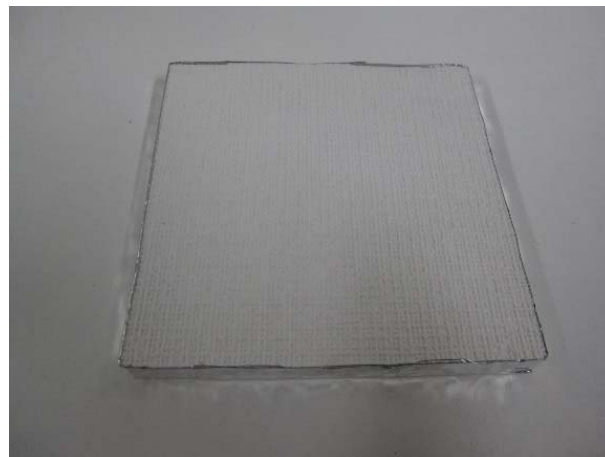


写真 3-4 天井部位複合材試験体

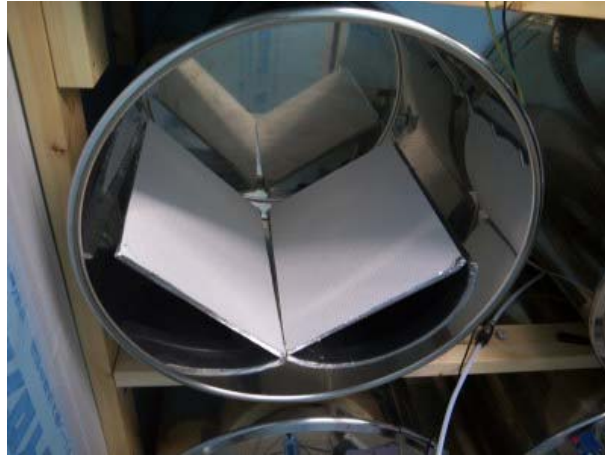


写真 3-5 壁部位複合材設置状況

3.3.2 試験装置

小型チャンバー試験装置を用いた。試験体をチャンバーに設置後、15日間換気有り状態で養生し、養生最終日にチャンバーから排気される空気を試料空気として捕集した。養生条件は温度 25[°C]、湿度は成り行きとした。

3.3.3 測定方法

におい識別装置で臭気指数相当値 Y' を測定し、関係式 (式(3-7)) から臭気濃度相当値 Ce' に換算した。

$$Y = 10 \times \log(Ce) \quad (3-7)$$

3.4 実験結果

3.4.1 床部位から放散するにおい

(1) においの強さ(臭気指数相当値)

図 3-3 におい識別装置で測定した養生期間中の臭気指数相当値を示す。床部位複合材から放散するにおいは緩やかに低下し、おおむね20～25 程度であった。

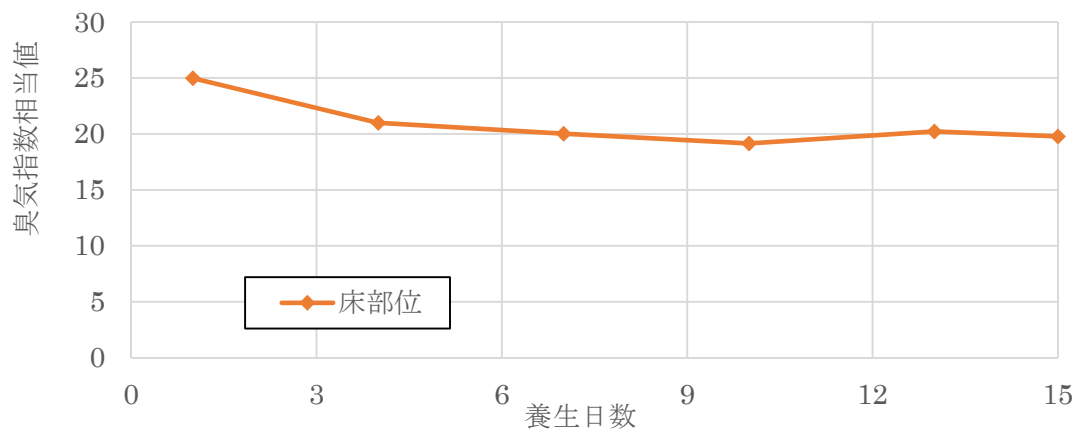


図 3-3 床部位複合材 養生期間中の臭気指数相当値

(2) においの質（装置校正用基準臭との類似度）

におい識別装置の装置校正用基準臭との類似度の経時変化を図 3-4 に示す。類似度は大きな変化が見られなかった。

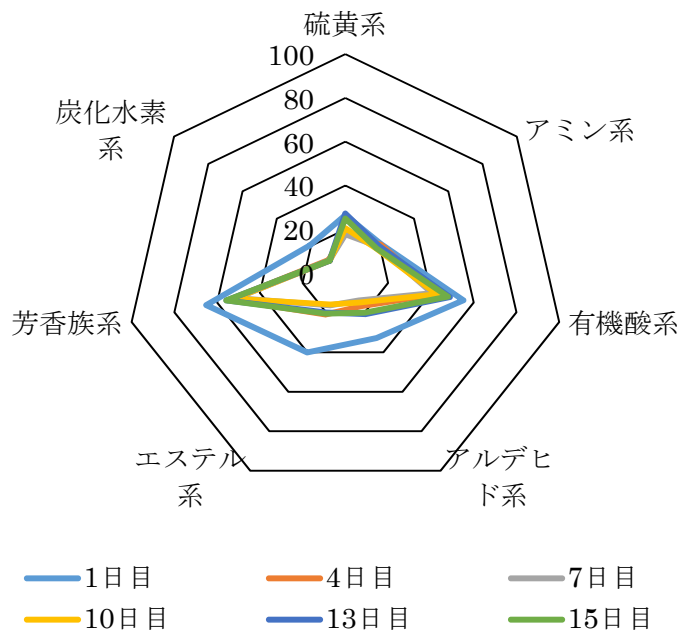


図 3-4 床部位複合材 養生期間中の装置校正用基準臭との類似度

3.4.2 壁部位複合材から放散するにおい

(1) においの強さ(臭気指数相当値)

図 3-5 ににおい 識別装置で測定した、臭気指数相当値の経時変化をしめす。ほぼ横ばいに緩やかに濃度が低下している。10 日目でおい 識別装置では測定できないほど臭気指数相当値が低くなり、エラーになってしまった。全体的に臭気指数は低く、10 前後であった。

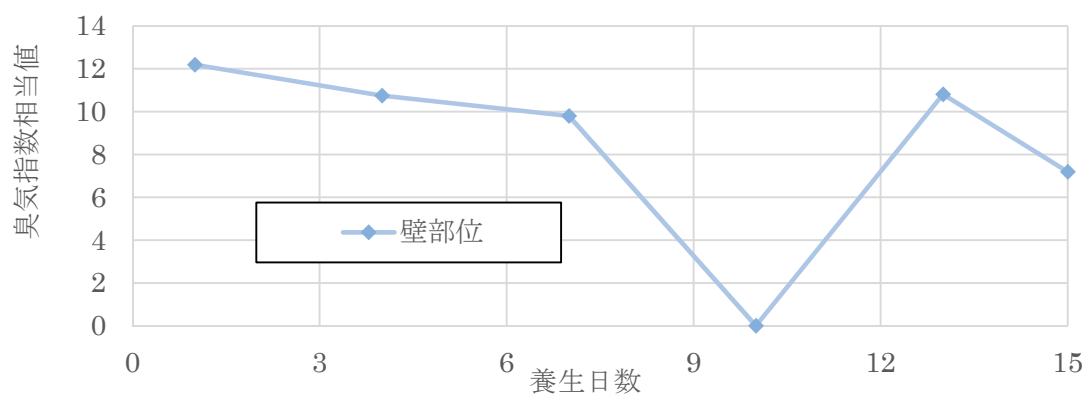


図 3-5 壁部位複合材 養生期間中の臭気指数相当値

(2) においの質（装置校正用基準臭との類似度）

におい 識別装置の装置校正用基準臭との類似度の経時変化を図 3-6 に示す。養生期間中に大きな変化は見られなかった。

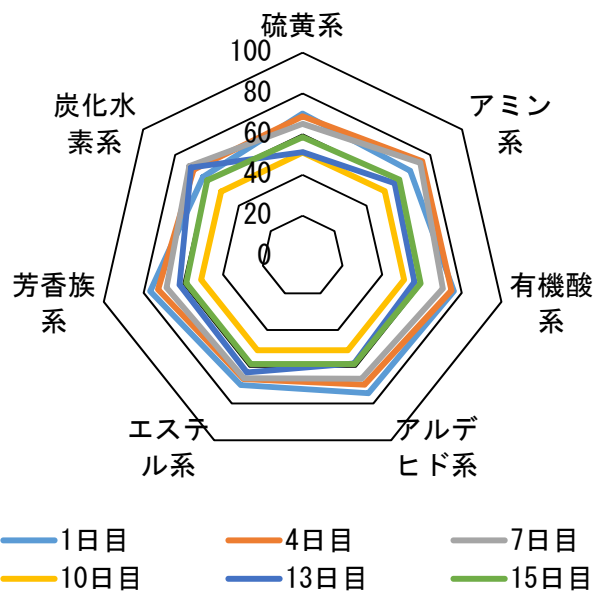


図 3-6 壁部位複合材 養生期間中の装置校正用基準臭との類似度

3.4.3 1/Ce' と N/L 値の関係

図 3-7 に 1/Ce' と N/L 値の関係を示す。決定係数が壁・天井部位で 0.72、床部位で 0.89 と高く、1 次回帰している。このことから、臭気濃度相当値 Ce' を用いて HBF 式を準用した推定が可能であると考えられた。

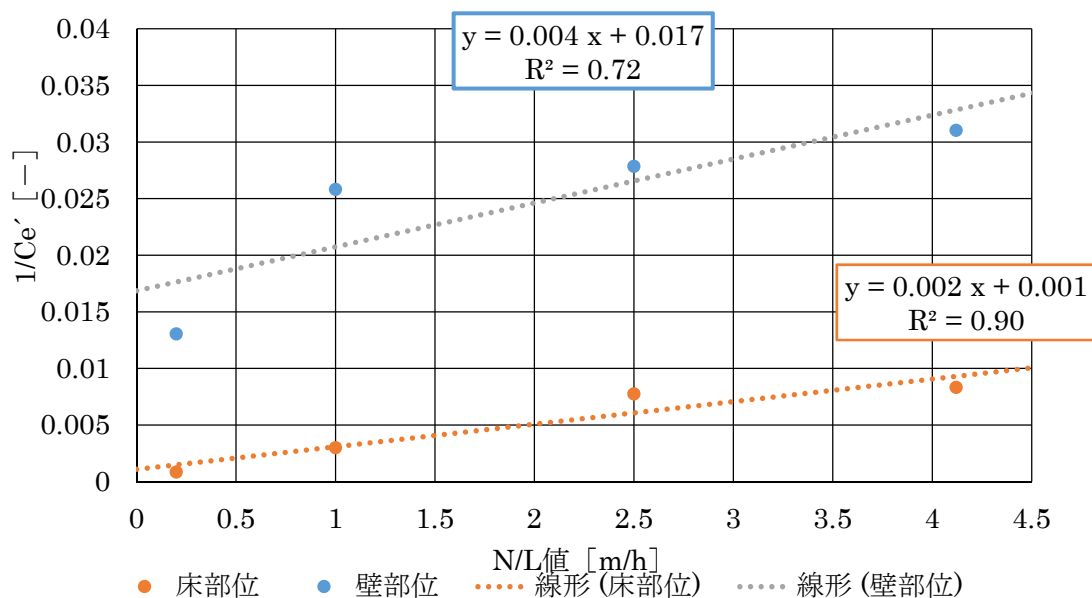


図 3-7 1/Ce' と N/L 値の関係

3.5 まとめ

ホルムアルデヒドの気中濃度予測式を参考に、においの強さの推定式を導出した。床および壁部位を対象に式が成立するか検証したところ、高い決定係数が得られた。

臭気濃度相当値 Ce' を用いて HBF 式を準用した推定が可能であると考えられた。

【第3章に関する既発表論文】

- (1) 飯泉元気: 機器分析に基づく新築臭の測定・評価に関する研究, 千葉工業大学大学院修士論文 (2014)

第四章

閾値比最大モデルの検証

第4章 嗅覚閾値比最大モデルの検証

修士論文⁽¹⁾において複合臭のにおいは、最も「強いにおい」がにおいの強さや質を決めるという考え方に基づいて「嗅覚閾値比最大モデル」式(4-1)を提案した。

$$Y_{room} = \max\left(\frac{Yeq_1}{1 + \frac{1}{K_1} \times \frac{N}{L}}, \frac{Yeq_2}{1 + \frac{1}{K_2} \times \frac{N}{L}}, \dots, \frac{Yeq_n}{1 + \frac{1}{K_n} \times \frac{N}{L}}\right) \quad (4-1)$$

このとき

Y_{room} : 複数部位が混在する空間の臭気指数相当値[—]

Yeq : 換気回数 0 での換気回数 0 での臭気指数[—]

つまり「嗅覚閾値比最大モデル」は空間を構成する部位の中で最も強いにおいが空間のにおいの強さを決めるという考え方である。修士論文では、式(3-2)を用いて、においの強さを臭気指数 Y から推定していたが、3章で新たに臭気濃度 Ce を用いて推定する方法(式(3-4))を提案した。

そこで嗅覚閾値最大モデルを式(3-2)から、新たに導出したものを、式(4-2)に示す。

$$Ce_{room} = \max\left(\frac{Ceeq_1}{1 + \frac{1}{K_1} \times \frac{N}{L}}, \frac{Ceeq_2}{1 + \frac{1}{K_2} \times \frac{N}{L}}, \dots, \frac{Ceeq_n}{1 + \frac{1}{K_n} \times \frac{N}{L}}\right) \quad (4-2)$$

このとき

Ce_{room} : 複数部位が混在する空間の臭気濃度[—]

式(4-2)を用いて、新たな「嗅覚閾値比最大モデル」が妥当であるか、複数の条件で検証する。

4.1 実験条件

小型チャンバー試験装置を用いて、床部位と壁・天井部位の施工面積の比率を系統的に変化させた試験を行った。比率を変化させる条件として、図 4-1 に示すような、6 畳間において天井高が異なるケース A、B、C を想定し床部位及び壁・天井部位の施工面積率を定めた。また同様の建材を居室大チャンバー試験装置に施工し、居室大の空間でも適応可能か検証した。表 4-1 に試験条件を示す。使用する建材は 3 章で用いた床部位及び、壁・天井部位複合材を用いた。

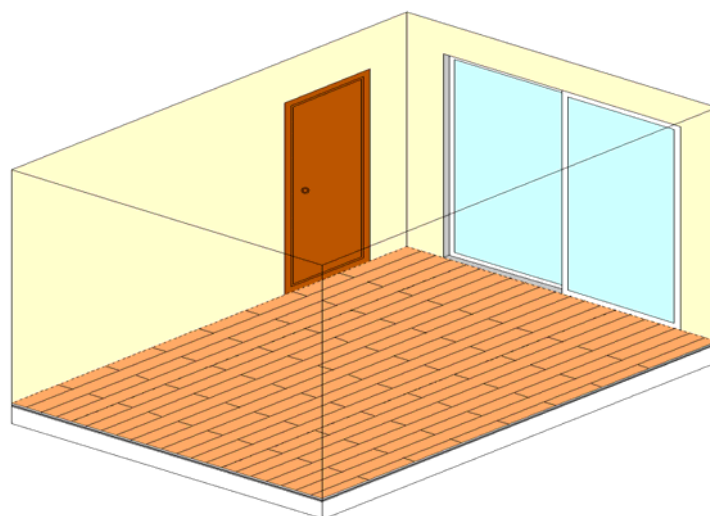


図 4-1 想定した居室 6 畳間

表 4-1 試験条件

	X [m]	Y [m]	天井高 [m]	床 N/L [m/h]	壁・天井 N/L [m/h]
A	3.60	2.73	2.1	1.05	0.33
B			2.7	1.35	0.34
C			3.3	1.65	0.35
居室	2.12	2.12	2.3	1.15	0.23

4.2 放散挙動の測定及びにおいの強さの推定

4.2.1 実験条件

表 4-2 に示す N/L 値で各 6 個ずつ臭気指数相当値を測定した。養生中は換気回数 0.5 回/h で通気し、温度 25°C±0.5、湿度成り行きで養生した。養生期間は 14 日間とし、15 日目にはおいを試料空気として測定した。

表 4-2 設定した N/L 値

N/L 値[m/h]	0.1	0.5	1.0	1.5	2.0
換気回数 N[回/h]	0.5				
設置率 L[m ² /m ³]	5.0	1.0	0.5	0.3	0.2

養生期間中の各試験体の臭気指数相当値の経時変化を図 4-2 に示す。緩やかに低下している。7 日目ではおいの強さの順番が前後しているが、測定誤差であったと考えられる。

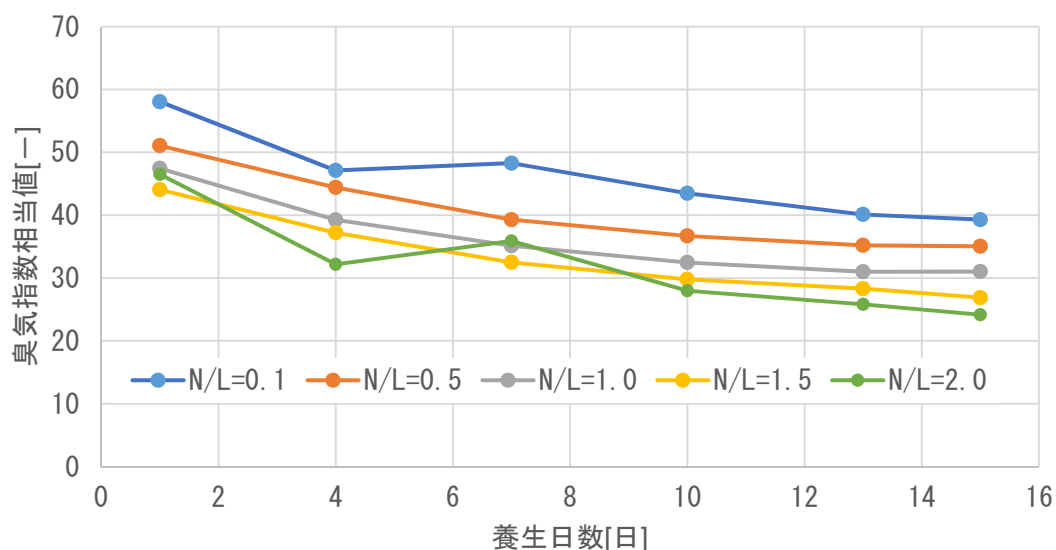


図 4-2 養生期間中の臭気指数相当値の経時変化

4.2.2 放散挙動の算出

図 4-3 に床部位の例を示すが、放散する香りにばらつきが見られた。このことから測定結果の標準誤差の上限値及び下限値それぞれについて式(6)を用いて C_{eeq} 及び K を算出した。算出した C_{eeq} 及び K を表に示す。推定した部位ごとのにおいの強さと N/L 値の関係を図 4-4 に示す。

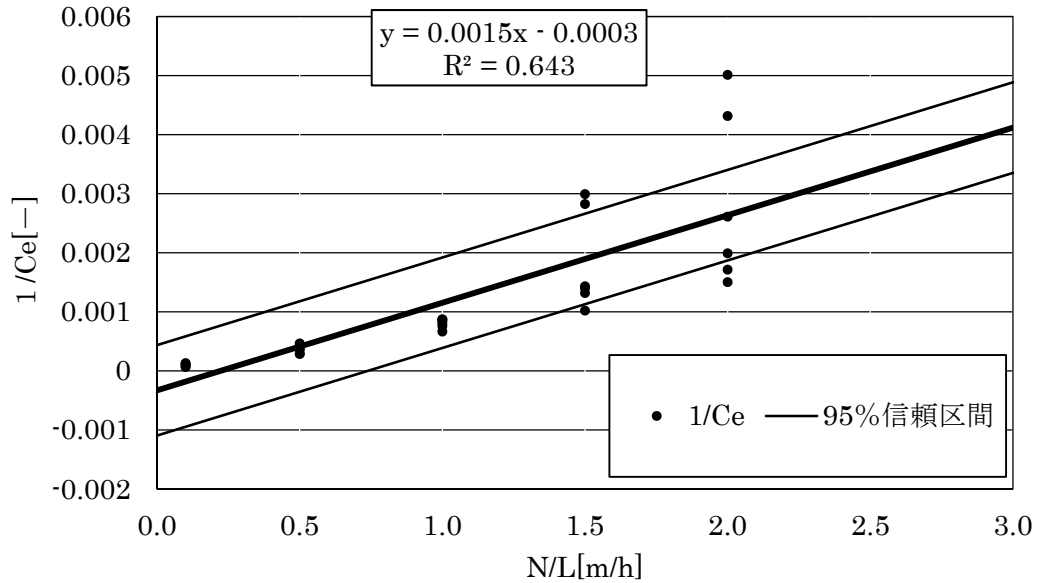


図 4-3 床部位複合材における N/L と $1/Ce$ の関係

表 4-3 算出した C_{eeq} 及び K

		上限値	平均値	下限値
床部位	C_{eeq}	-913.4	-3040.2	2288.8
	K	-0.738	-0.222	0.295
壁・天井部位	C_{eeq}	581.3	28.7	14.7
	K	0.635	12.868	25.102

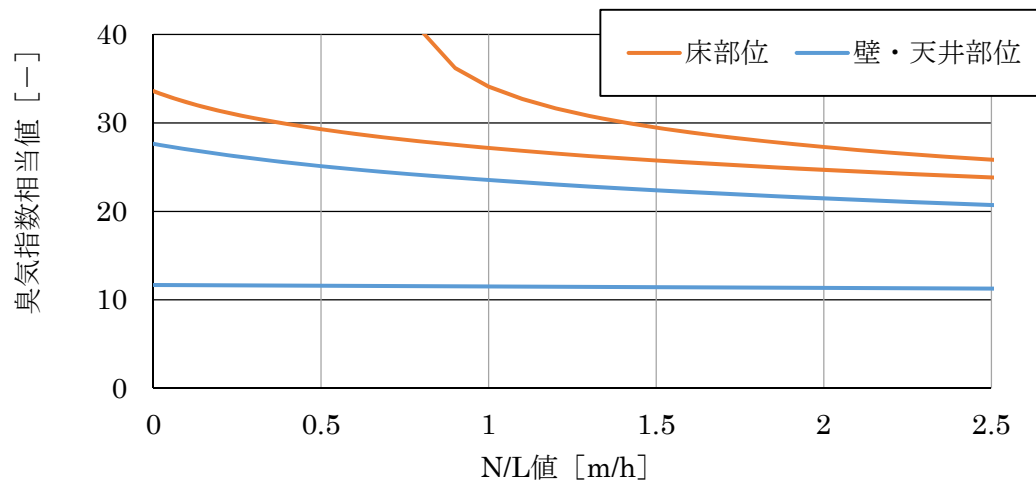


図 4-4 推定した部においの強さと N/L 値の関係

4.3 試験体の施工

4.3.1 小型チャンバー試験

小型チャンバー内に試験条件に従って施工面積を調整した床部位及び壁部位を設置し、養生した。各試験体は裏面・小口部分をアルミテープでシールしたものをを用いた。写真4-1にチャンバーへの設置状況を示す。



写真 4-1 小型チャンバー 試験体設置状況

4.3.2 居室大チャンバー

居室大チャンバーの床一面に複合フローリングを、開口部を除いた壁及び天井にビニールクロスを施工した。施工中の状況を写真 4-2 に、施工後のチャンバーの内観を写真 4-3 に示す。

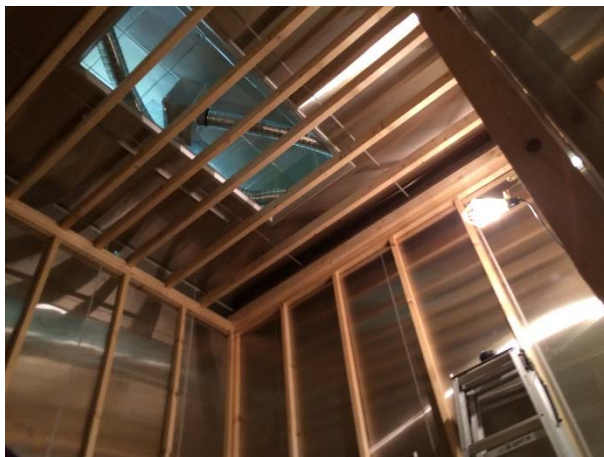


写真 4-2 施工中の状況



写真 4-3 施工後のチャンバーの内観

4.4 検証結果

算出した部位ごとの推定値の範囲及び試験装置で測定した実測値を図 4-5 に示す。いずれのケースも床部位から放散するにおいの強さの範囲が壁・天井部位に比べて大きかった。また全てのケースで実測値が床部位複合材のにおいの強さの範囲に収まっていた。床部位と壁・天井部位の推定値の範囲が大きく重複しているケース C であっても、実測値は壁・天井部位の推定範囲からはずれ、床部位の推定範囲に当てはまった。これらのことから「嗅覚閾値比最大モデル」が適応できることが明らかになった。

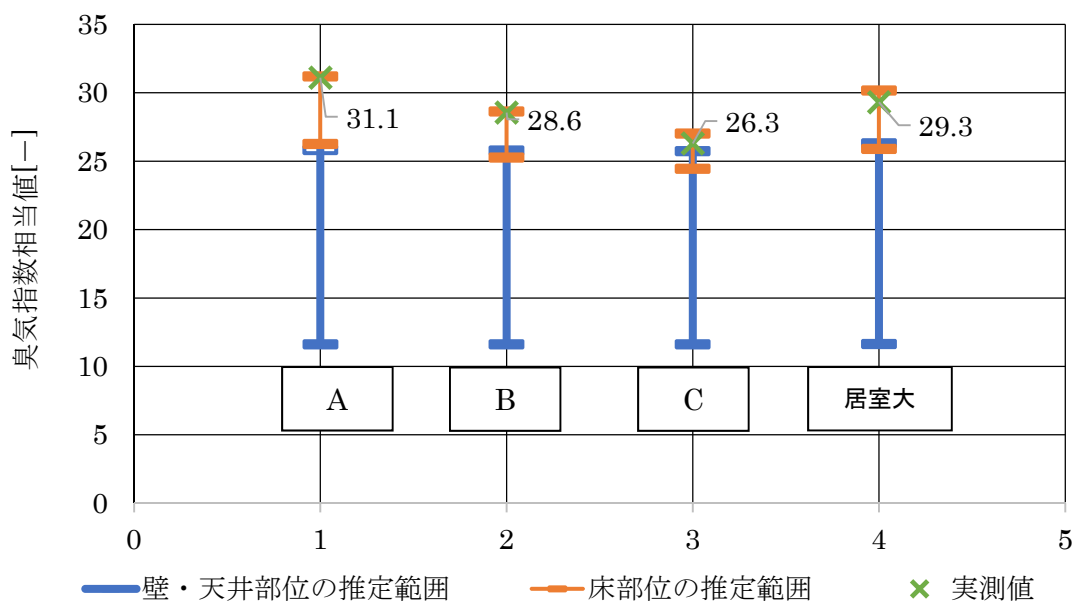


図 4-5 推定値の範囲及び試験装置で測定した実測値

4.5 まとめ

「嗅覚閾値比最大モデル」を小型チャンバー試験および、居室大チャンバー試験で検証した。いずれの試験条件においても、強においを放散させていた、床部位のにおいの強さの予測結果と実測値が一致した。

これらのことから「嗅覚閾値比最大モデル」が適応できることを明らかにした。

【第4章に関する既発表論文】

- (1) 飯泉元気: 機器分析に基づく新築臭の測定・評価に関する研究, 千葉工業大学大学院修士論文 (2014)

第五章

居住者が快適と感じる
香りの強さの範囲

第5章 居住者が快適と感じる香りの強さの範囲

どの程度の香りの強さで天然木の香りを供給することで、居住者が快適と感じるか被験者実験を行う。ヒノキ製フローリング、およびスギ製フローリングから放散する香りを対象に被験者実験を行い、「居住者が快適と感じる香りの強さの範囲」を検討する。

5.1 実験方法

5.1.1 パネルの選定

対象の香りが嫌いではない20代の非喫煙者12名を選定した。被験者には事前に第一薬品産業株式会社製の嗅覚パネル選定キットを用いて選定試験を行い、嗅覚に異常がないことを確認した。使用した嗅覚パネル選定キットを写真5-1及び表5-1に示す。



写真 5-1 嗅覚パネル選定試験キット

表 5-1 嗅覚パネル選定試験キットの成分

レーン記号	成分名	においの種類
A	β -フェニールエチルアルコール	花のにおい
B	メチルシクロペンテノン	あまいこげ臭
C	イソ吉草酸	蒸れた靴下のにおい
D	γ -ウンデカラクトン	熟した果実臭
E	スカトール	かび臭いにおい

5.1.2 においの提示方法

試料空気の提示方法はバック法とし、嗅覚疲労を考慮して濃度の低い香りから順に提示する上昇法とした。提示する試料空気は臭気指数相当値が 30～5 の 6 段階に希釈・調整した。試料空気提示に用いたバックは近江オドエアー社製におい袋を用いた写真 5-2 に概観を、表 5-2 に仕様を示す。



写真 5-2 におい袋の概観

表 5-2 におい袋の仕様

メーカー	近江オドエアーサービス
製品名	におい袋
容量[L]	3
寸法[mm]	250×280
材質	PET 製フィルム
材厚[μ m]	25

被験者提示用に作成した、におい袋の例を写真 5-3 に示す。



写真 5-3 作成したにおい袋

5.1.3 被験者実験

被験者には 6 段階臭気強度表示法及び、7 段階快・不快度表示法を回答させた。また回答はリビング等でくつろぐ場面を想像してもらい回答させた。被験者実験の様子を写真 5-4 に、実際に使用した解答用紙を図 5-2 に示す。



写真 5-4 被験者実験の様子

快・不快選択法 回答用紙

回答用紙 氏名 _____

袋番号 _____

においの強さについて当てはまるものを囲んでください。

問 1		
臭気強度		
0	無臭	
1	やっと感知できるにおい	
2	何のにおいであるかわかる弱いにおい	
3	楽に感知できるにおい	
4	強いにおい	
5	強烈なにおい	

「このにおいのする居室に滞在することを想像した上で快か不快か」

当てはまるものを囲んでください。

問 2		
-3	非常に不快	
-2	不快	
-1	やや不快	
0	快でも不快でもない	
1	やや快適	
2	快適	
3	非常に快適	

何番目のにおいが一番快適と感じたか番号と理由を記入してください。

問 3	
番号	理由

図 5-2 被験者実験回答用紙

5.2 ヒノキ製フローリング試験

5.2.1 試料空気の作成方法

ヒノキ材を可能な限り設置した、150L のステンレスチャンバー内に放散する香りを試料空気とした。試験体の設置状況を写真 5-5 に示す。作成した試料空気の香りの強さをにおい識別装置 FF-2020 で測定した結果、臭気指数相当値 30 であった。

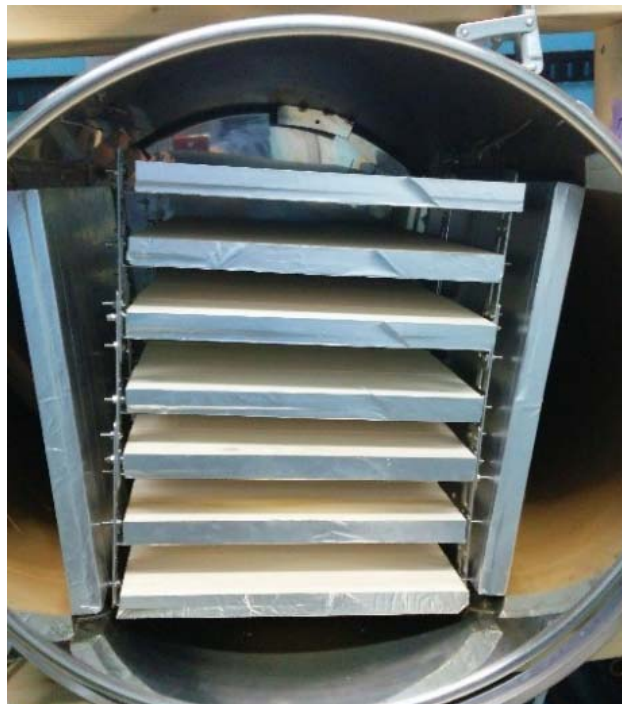


写真 5-5 チャンバーに設置した試験体

5.2.2 実験結果

(1) 臭気強度回答結果

実験から得られた、被験者ごとの臭気強度の回答結果を図 5-3 に示す。いずれの被験者も、大よそ臭気指数が強くなるほど臭気強度が高くなっていた。このことから嗅覚疲労などの影響を受けずに実験が行えたと考えられる。

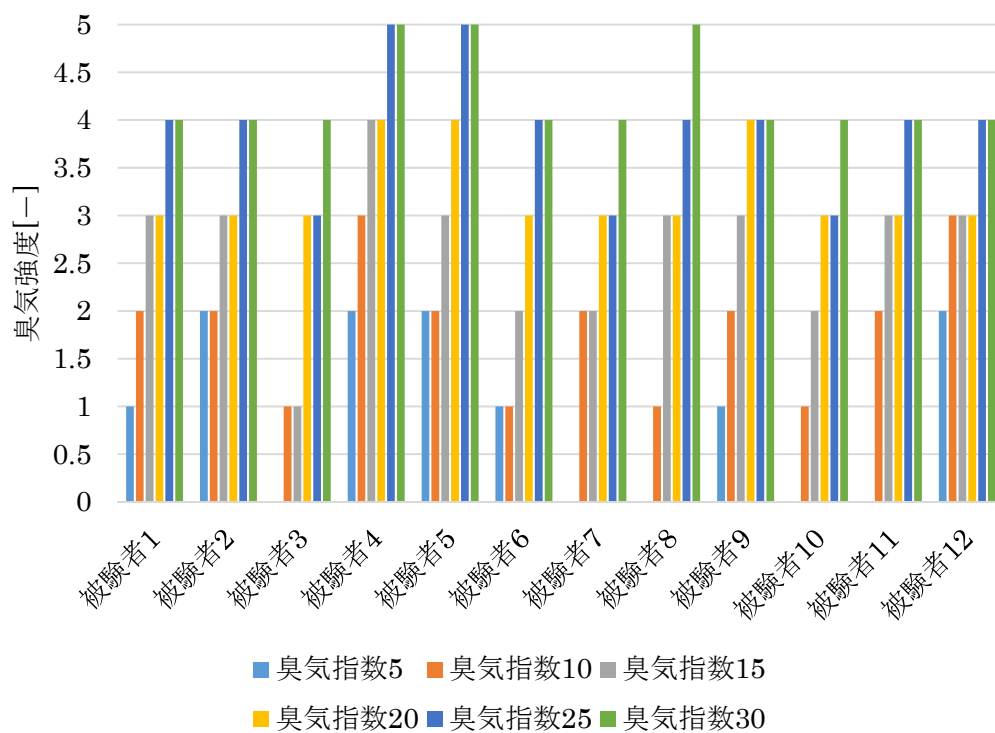


図 5-3 被験者ごとの臭気強度の回答結果

(2) 快・不快度回答結果

実験から得られた、被験者ごとの快・不快度の回答結果を図 5-4～5-15 に示す。

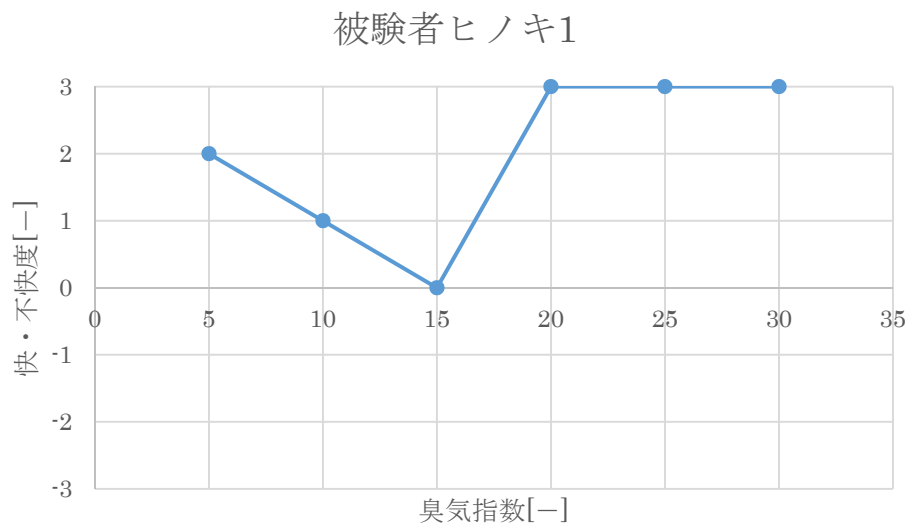


図 5-4 被験者ヒノキ 1 の快・不快度の回答

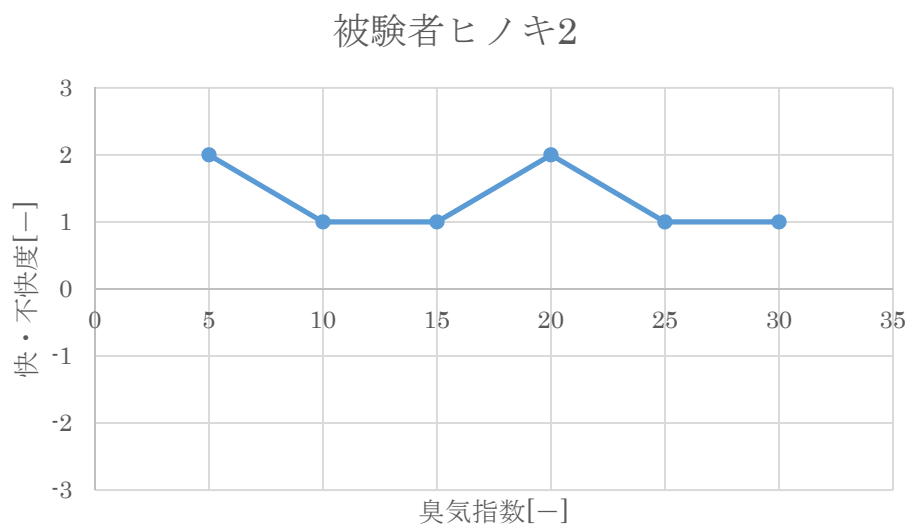


図 5-5 被験者ヒノキ 2 の快・不快度の回答

被験者ヒノキ3

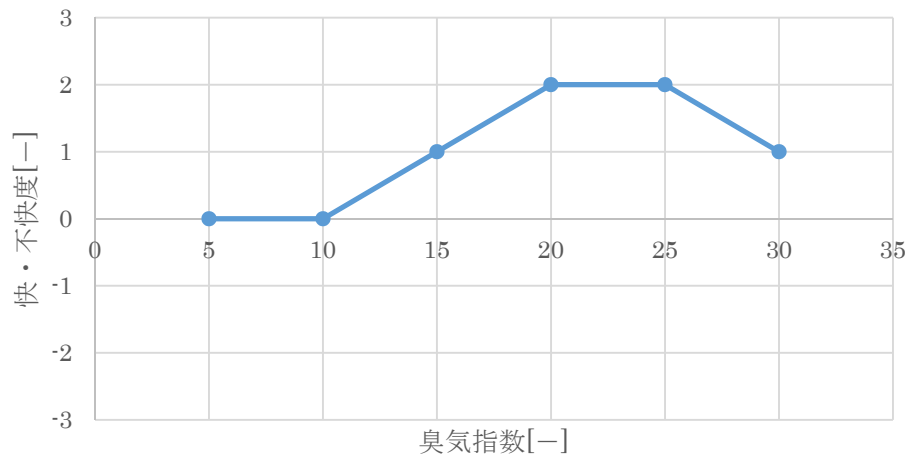


図 5-6 被験者ヒノキ 3 快・不快度の回答

被験者ヒノキ4

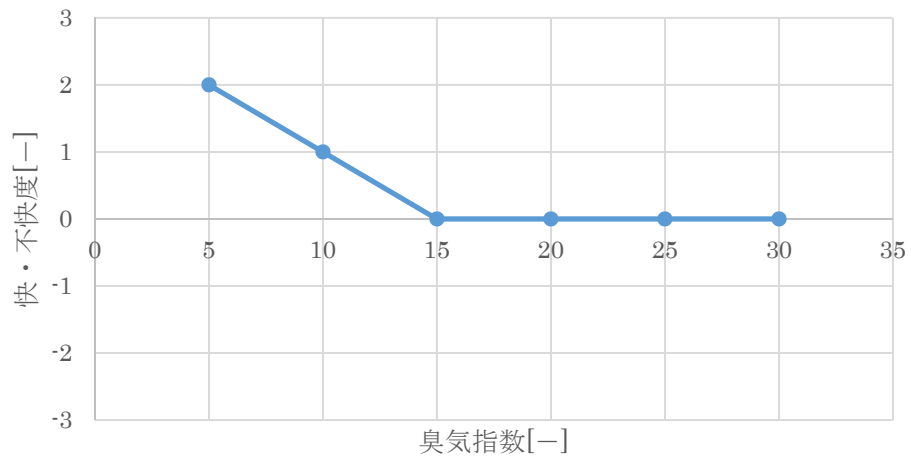


図 5-7 被験者ヒノキ 4 の快・不快度の回答

被験者ヒノキ5

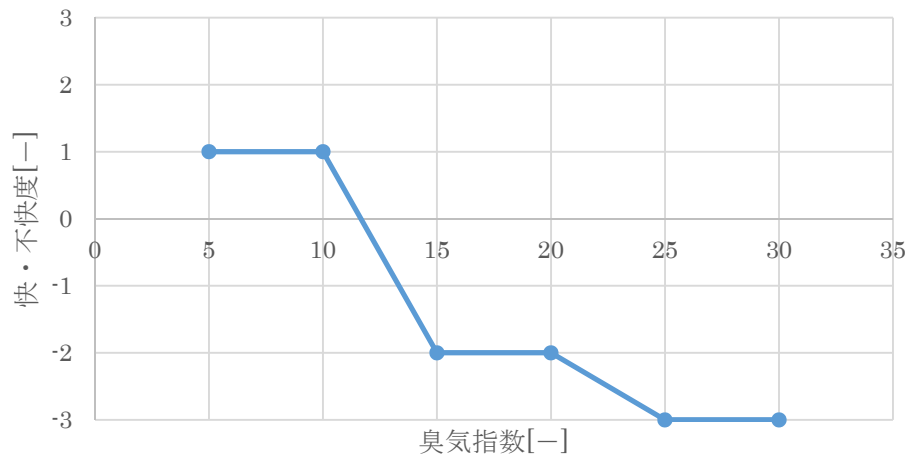


図 5-8 被験者ヒノキ 5 の快・不快度の回答

被験者ヒノキ6

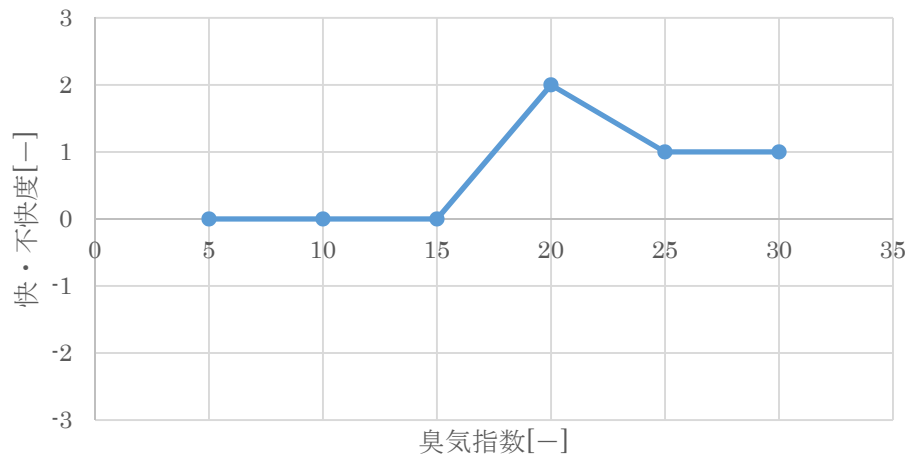


図 5-9 被験者ヒノキ 6 の快・不快度の回答

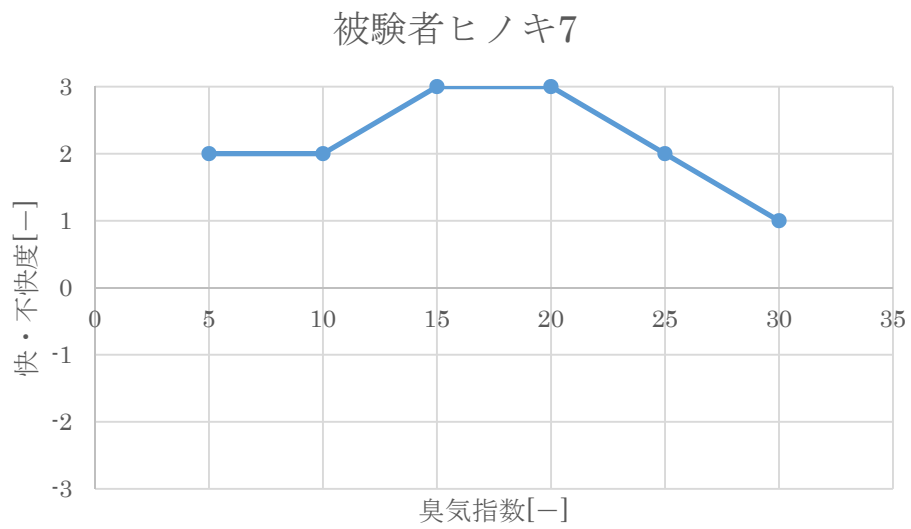


図 5-10 被験者ヒノキ7の快・不快度の回答

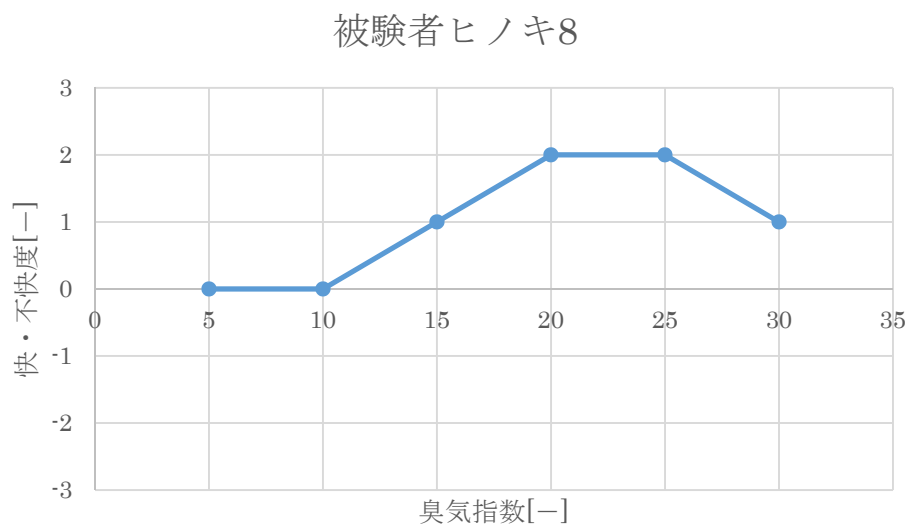


図 5-11 被験者ヒノキ8の快・不快度の回答

被験者ヒノキ9

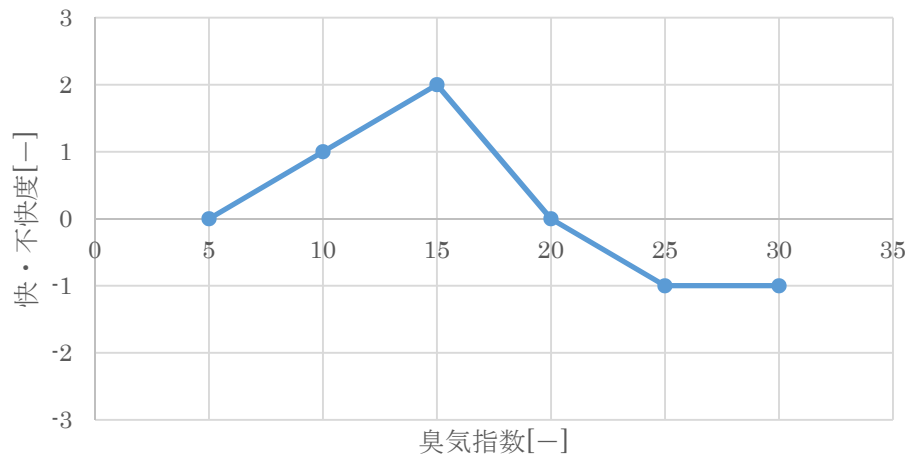


図 5-12 被験者ヒノキ9の快・不快度の回答

被験者ヒノキ10

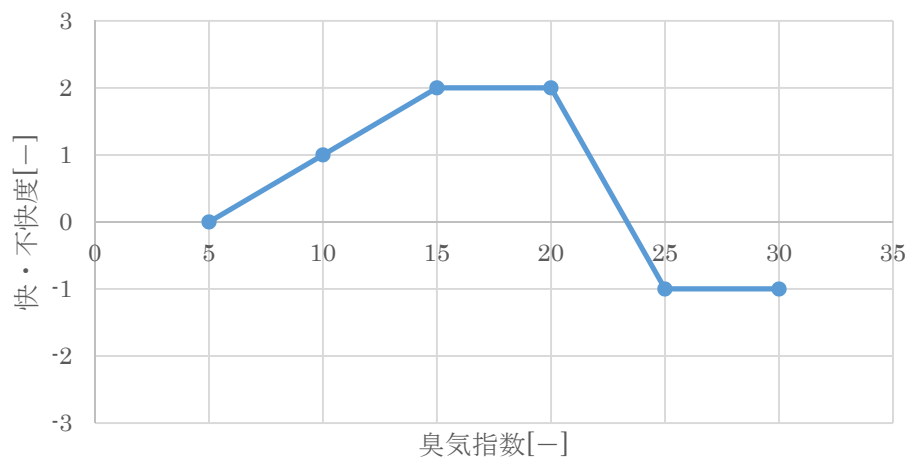


図 5-13 被験者ヒノキ10の快・不快度の回答

被験者ヒノキ11

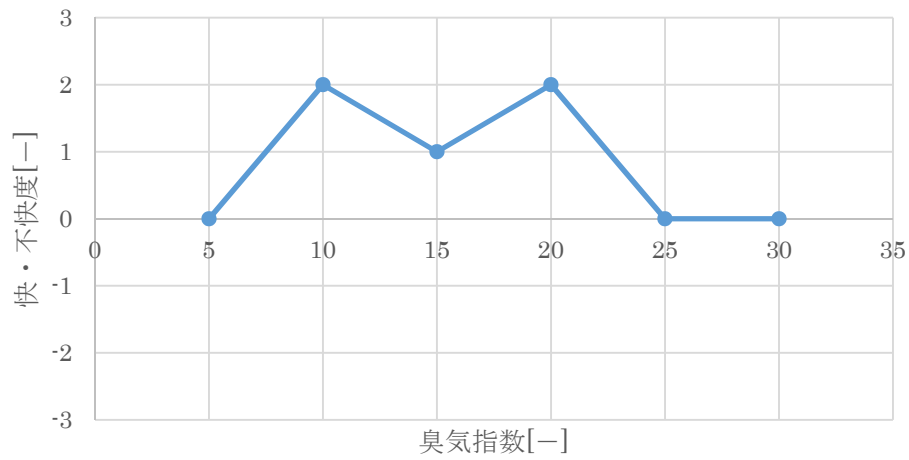


図 5-14 被験者ヒノキ 11 の快・不快度の回答

被験者ヒノキ12

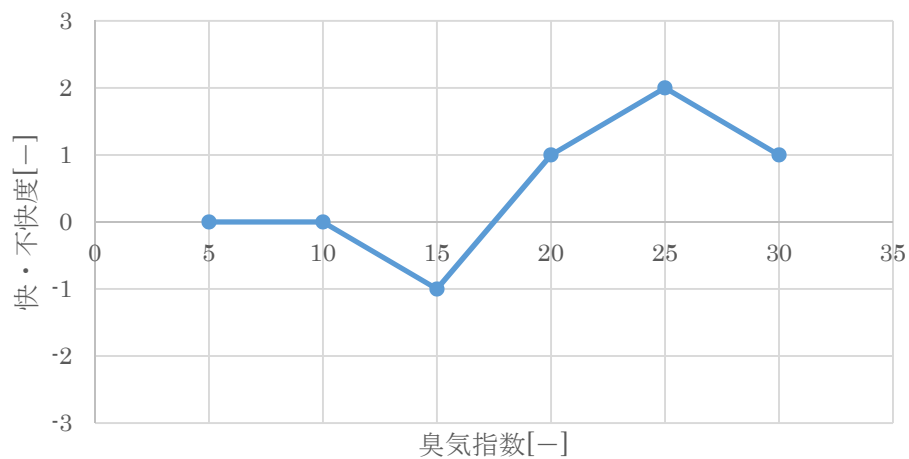


図 5-15 被験者ヒノキ 12 の快・不快度の回答

(3) 異常値の考察

被験者には事前に、ヒノキ材の香りが嫌いではないことを確認した。しかし、図 5-7 及び 5-8 に示す 2 名の被験者は、においが薄いところでのみ快適と感じている。このことから、この 2 名の被験者は、今回使用したヒノキ材の香りを好んでいないと判断し、取り除いて評価を行った。

5.3 スギ製フローリング試験

5.3.1 試料空気の作成方法

スギ材を設置した、100ℓのPET製（写真 5-6）バックに無臭空気を注入し、24時間養生させた。養生後にバック内部に放散した香りを試料空気とした。作成した試料空気の香りの強さをにおい識別装置 FF-2020 で測定した結果、臭気指数相当値 30 であった。



写真 5-6 試料空気の作成

5.3.2 実験結果

(1) 臭気強度回答結果

実験から得られた、被験者ごとの臭気強度の回答結果を図 5-16 に示す。いずれの被験者も、大よそ臭気指数が強くなるほど臭気強度が高くなっていた。このことから嗅覚疲労などの影響を受けずに実験が行えたと考えられる。

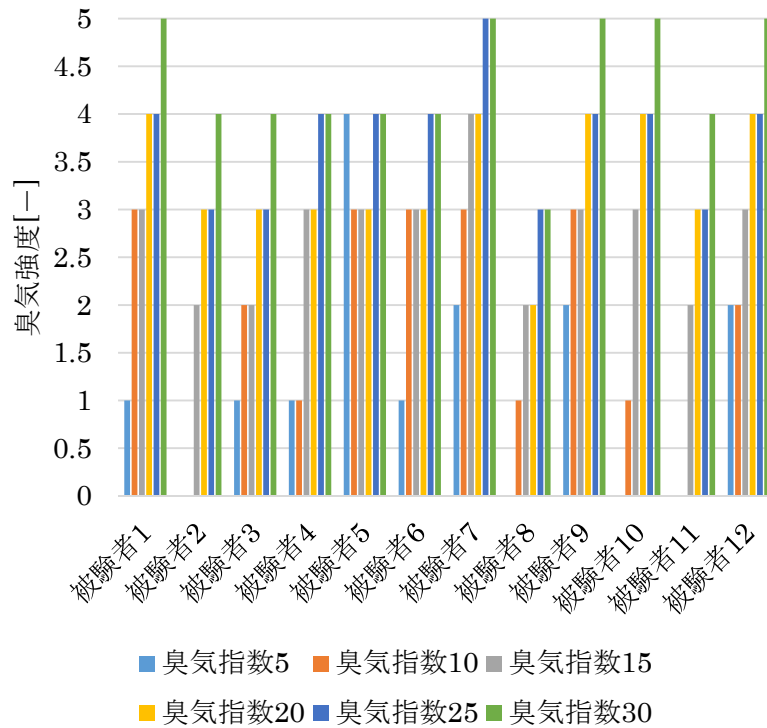


図 5-16 被験者ごとの臭気強度の回答結果

(2) 快・不快感回答結果

実験から得られた、被験者の回答結果を図 5-17～図 5-28 に示す。

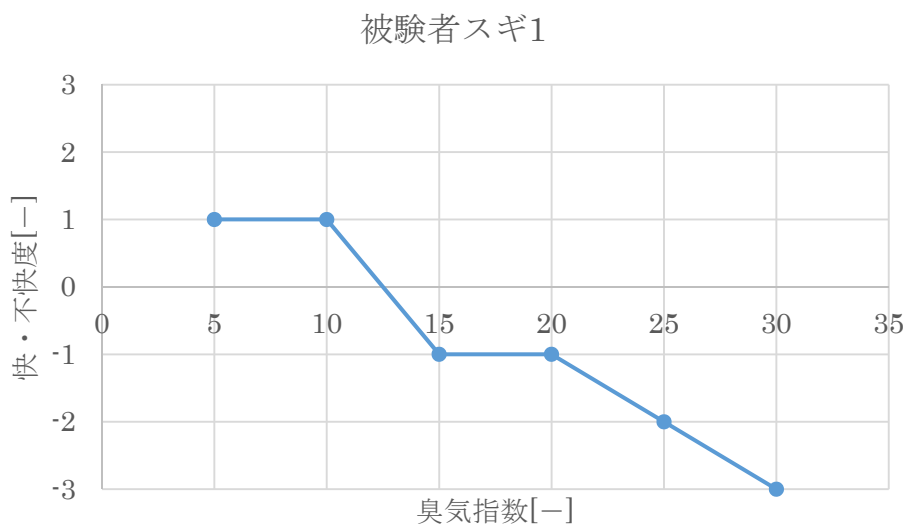


図 5-17 被験者スギ1の快・不快感の回答

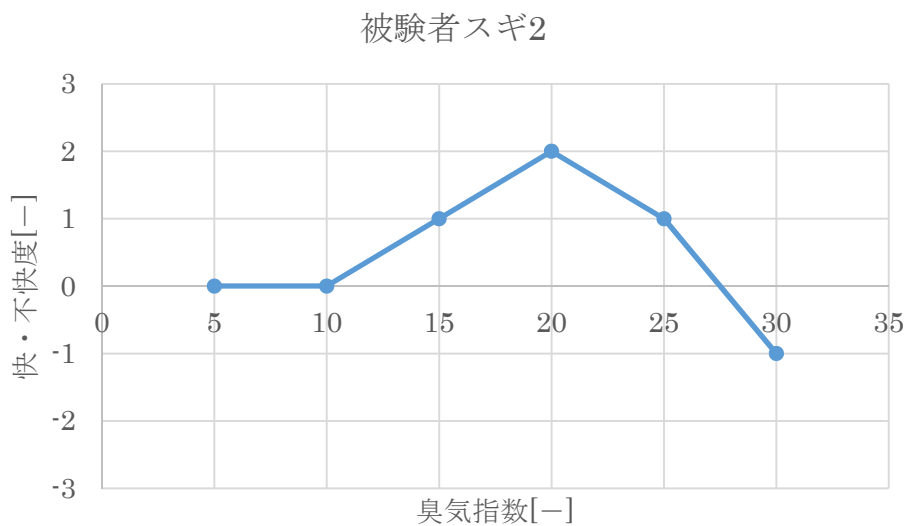


図 5-18 被験者スギ2の快・不快感の回答

被験者スギ3

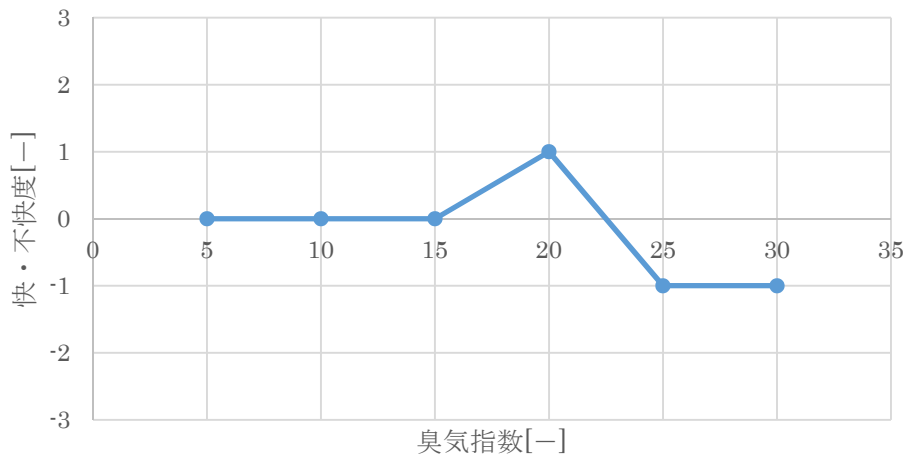


図 5-19 被験者スギ3の快・不快度の回答

被験者スギ4

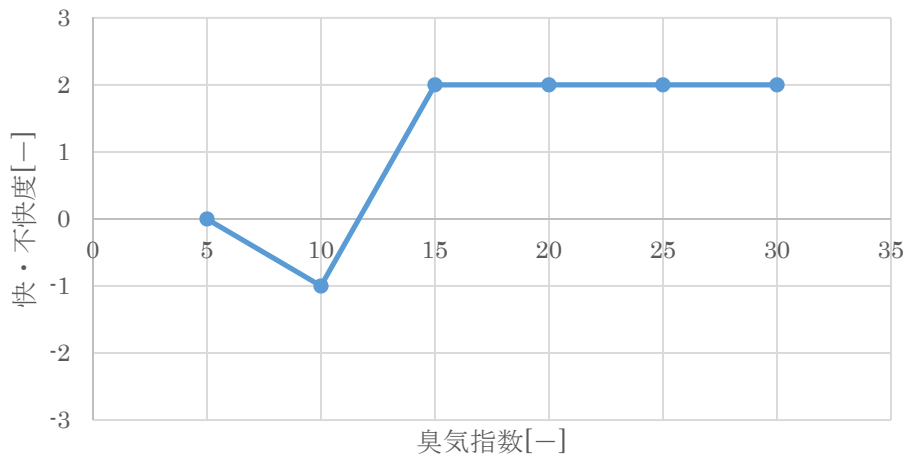


図 5-20 被験者スギ4の快・不快度の回答

被験者スギ5

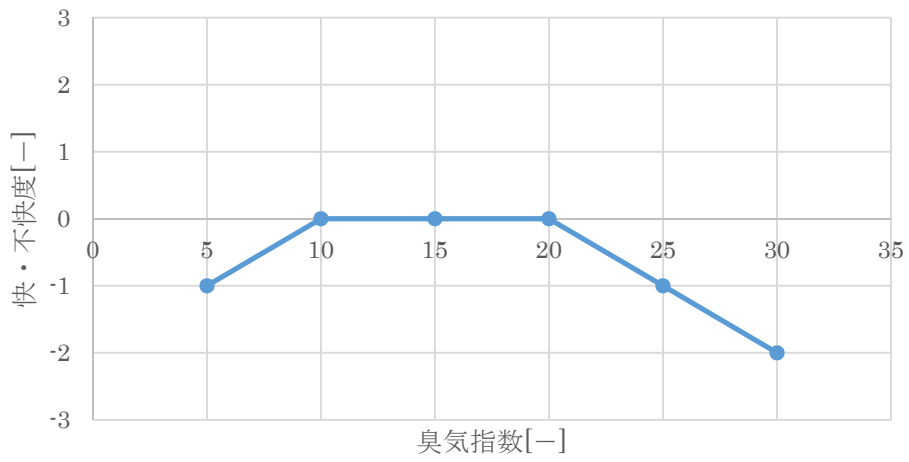


図 5-21 被験者スギ5の快・不快度の回答

被験者スギ6

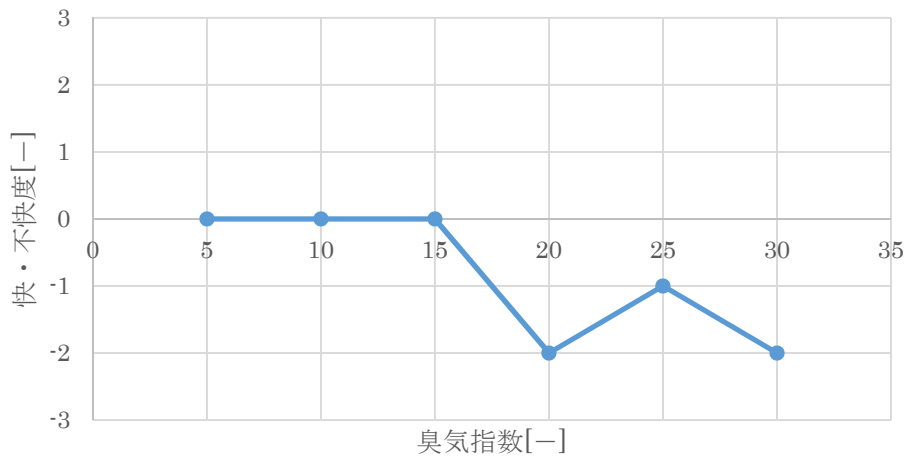


図 5-22 被験者スギ6の快・不快度の回答

被験者スギ7

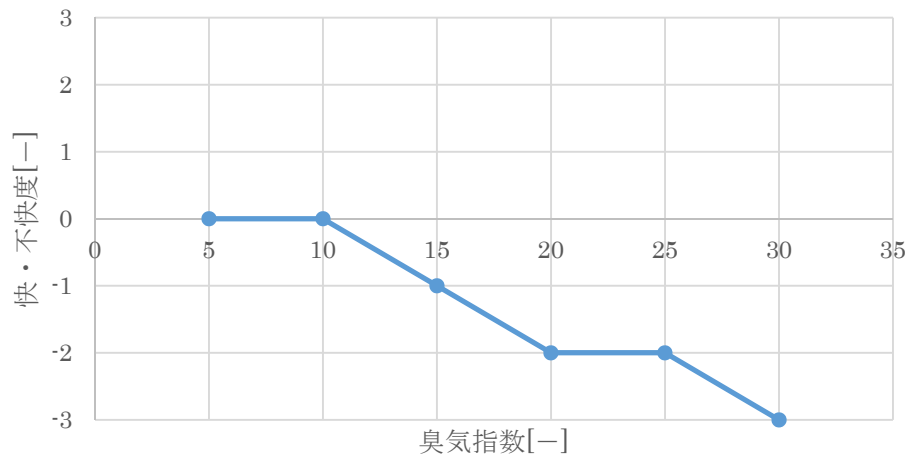


図 5-23 被験者スギ7の快・不快度の回答

被験者スギ8

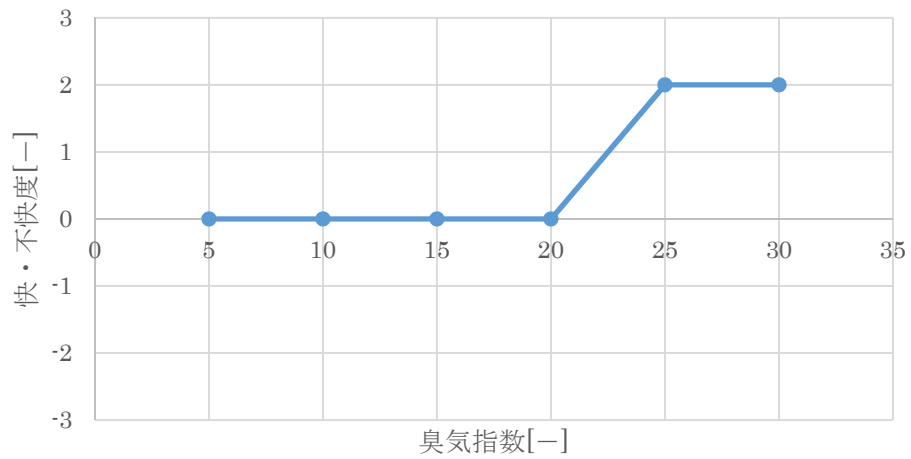


図 5-24 被験者スギ8の快・不快度の回答

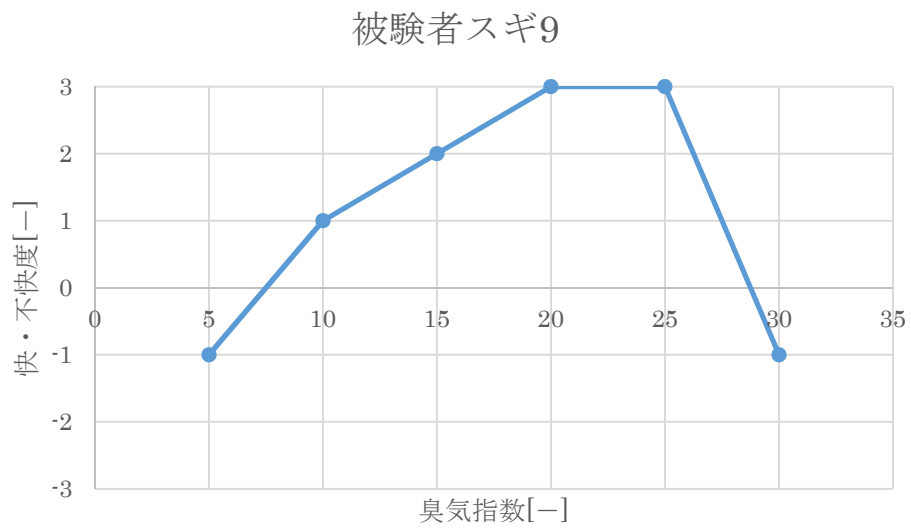


図 5-25 被験者スギ9 の快・不快度の回答

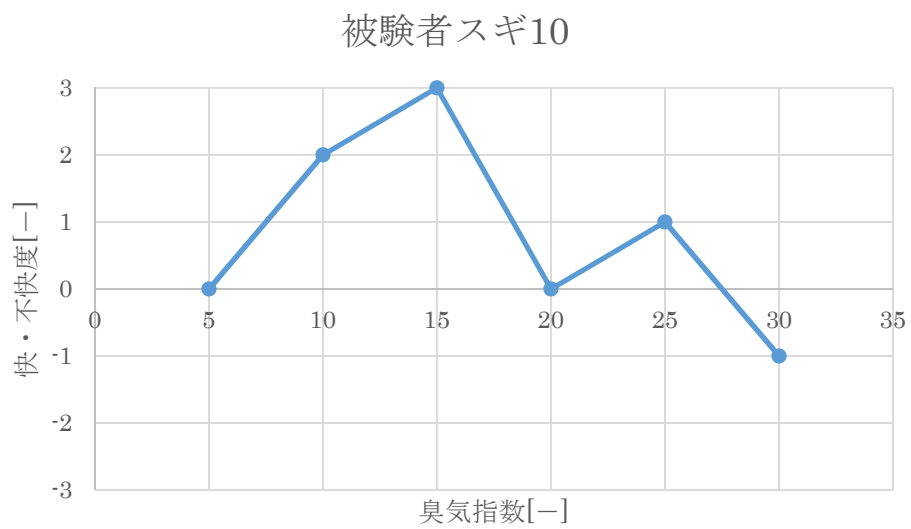


図 5-26 被験者スギ10 の快・不快度の回答

被験者スギ11

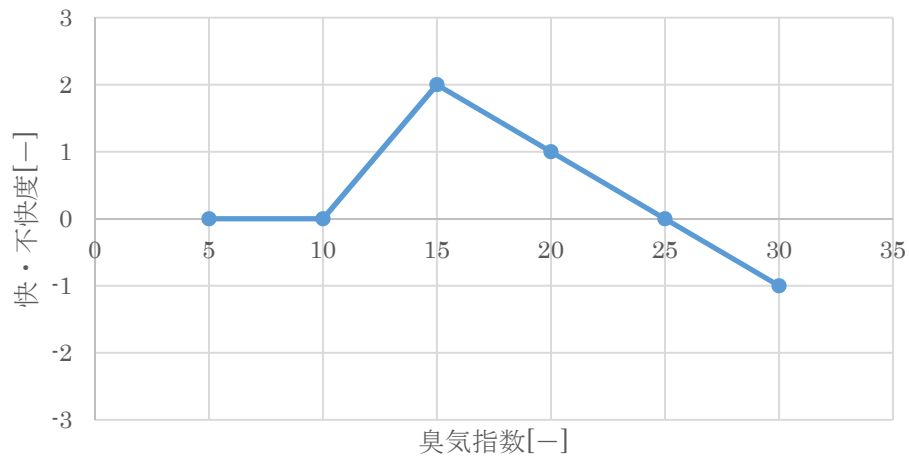


図 5-27 被験者スギ 11 の快・不快度の回答

被験者スギ12

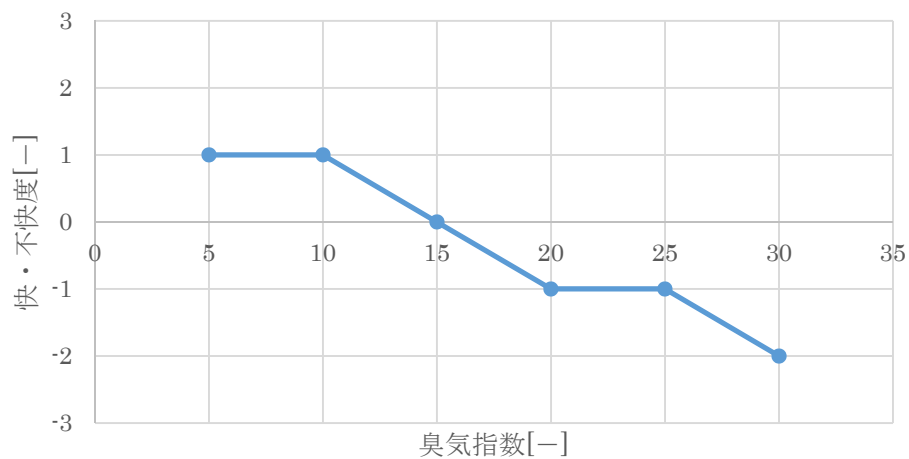


図 5-28 被験者スギ 12 の快・不快度の回答

(3) 異常値の考察

被験者には事前に、スギ材の香りが嫌いではないことを確認した。しかし、図 5-21,22 及び 5-23 に示す 3 名の被験者は、どの香りの強さであっても快・不快度表示法で 1(やや快)以上の回答が得られなかった。このことから、この 3 名の被験者は、今回使用したスギ材の香りを好んでいないと判断し、取り除いて評価を行った。

5.4 快適性の評価

被験者試験の結果から快適性とおのの強さの関係を検討する。

図 5-29 にヒノキ試験における、図 5-30 にスギ試験における被験者の快・不快度の回答の割合と臭気指数の関係を示す。臭気指数 0～15 でやや快、快と回答した被験者の割合が増加しており、20～30 でやや不快、不快と感じる被験者の割合が増加している。そのことから、ヒノキ及びスギ両方の樹種とも、臭気指数 15～25 を快適性のピークとする関係があると考えられた。

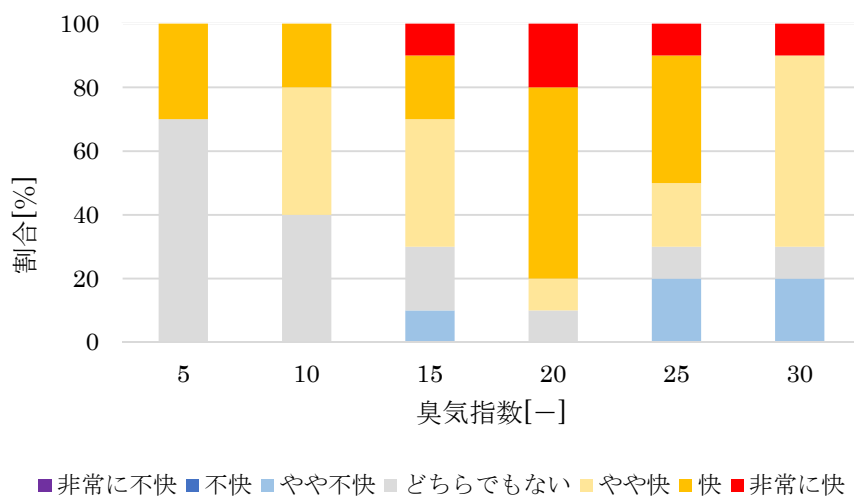


図 5-29 回答の割合と臭気指数の関係（ヒノキ）

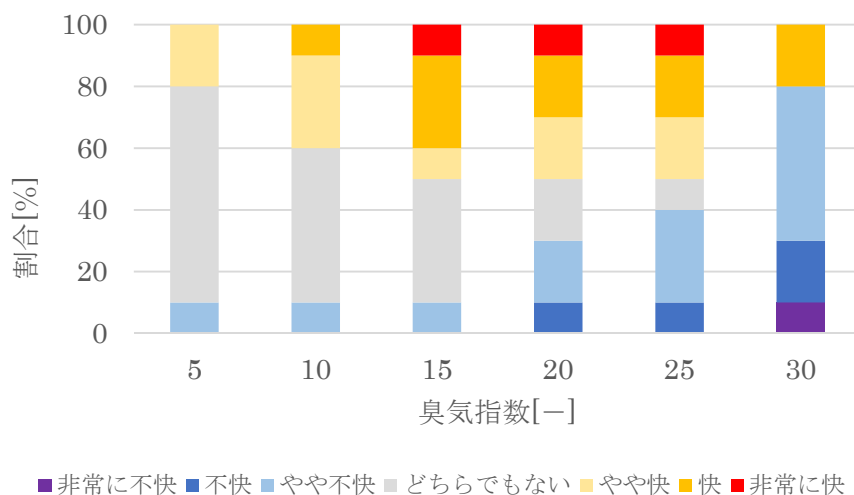


図 5-30 回答の割合と臭気指数の関係（スギ）

天然木から放散する香りを用いて快適性を向上させることが本研究の目的であるため、対象の香りを認識し、快適であると感じている香りの強さを評価した。即ち、回答結果から臭気強度 2(何のにおいであるか分かる弱いにおい) 以上且つ、快・不快度で 1(やや快) 以上と回答したものを快適だと評価する。快適率は式 (5-1)

$$\text{快適率(\%)} = \frac{\text{何のにおいか分かり、快適と回答している人数}}{\text{被験者数}} \times 100 \quad (5-1)$$

で算出した。

ヒノキ試験における、快適率の算出結果を図 5-31 に、スギ試験における結果を図 5-32 に示す。回答者の割合と同様に臭気指数 20 をピークとする関係が見られた。この関係から快適率と臭気指数の関係のモデル化を試みる。

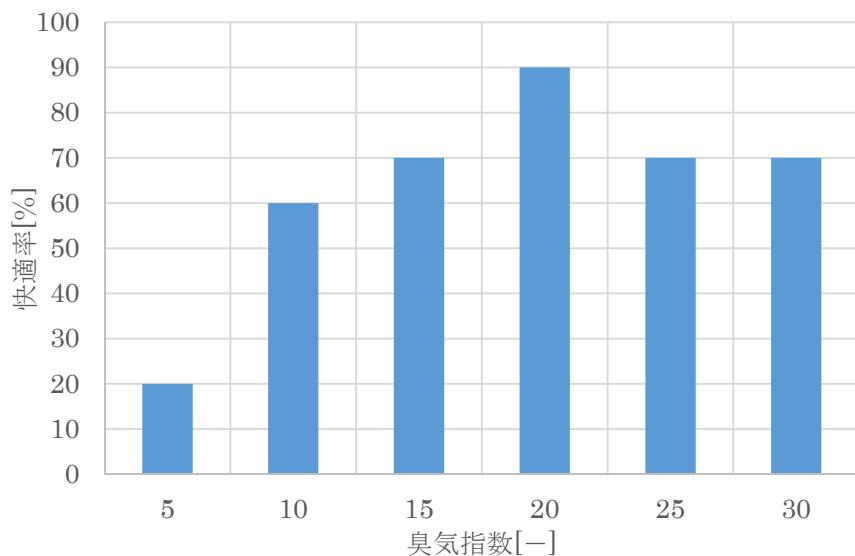


図 5-31 快適率と臭気指数の関係 (ヒノキ)

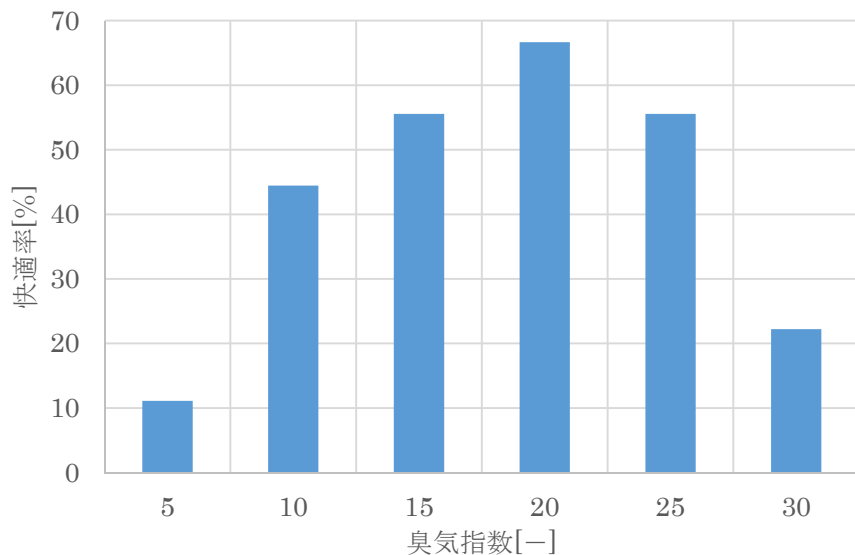


図 5-32 快適率と臭気指数の関係 (スギ)

既往の研究¹⁾から、快適率と臭気指数は直線回帰すると考えられる。そこで、測定結果を直線で近似し、香りの強さと快適率の関係をモデル化した。作成したヒノキのモデルを、図 5-33 に、スギのモデルを図 5-34 に示す。

得られた近似直線の交点を最高値として考え、その交点から上位 20%を快適な香りの強さの範囲と仮定した。上位 20%を図中の赤線で示している。この図から、快適な香りの強さの範囲は、ヒノキ材で臭気指数相当値 14.4~26.0、スギ材で臭気指数相当値 15.9~23.1 であることが明らかとなった。

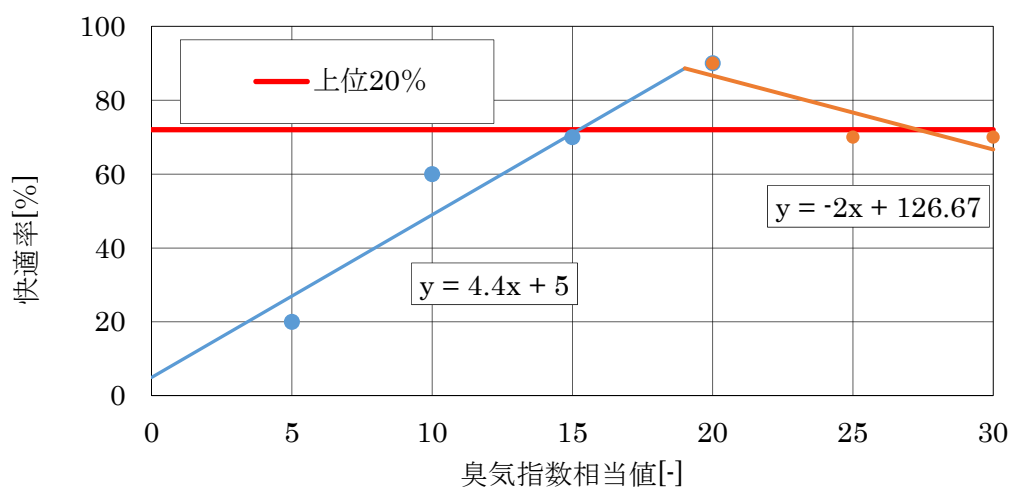


図 5-33 快適率と臭気指数の関係のモデル（ヒノキ）

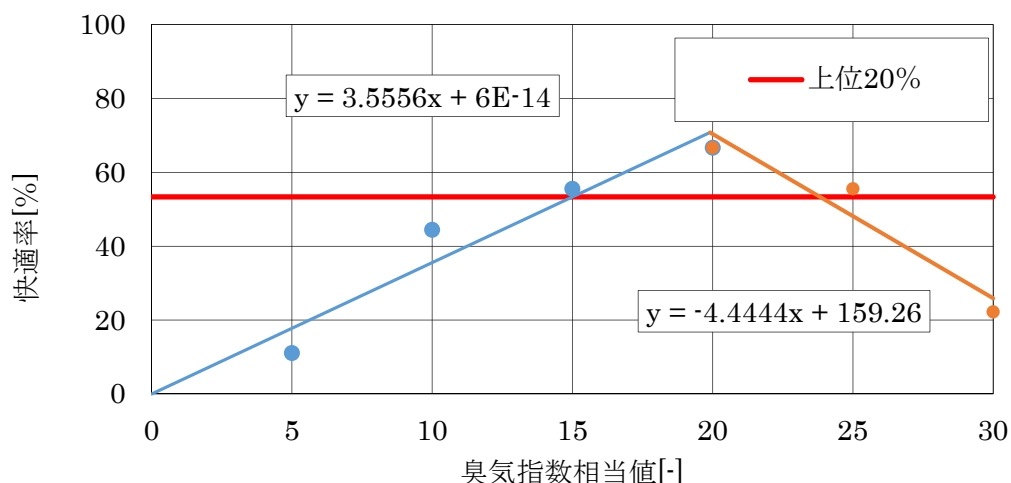


図 5-34 快適率と臭気指数の関係のモデル（スギ）

5.5 まとめ

被験者実験の結果より、快適率と臭気指数の関係をモデル化した。最大値から上位 80% を快適な香りの強さと仮定した場合の範囲は、ヒノキ材で臭気指数相当値 14.4～26.0、スギ材で臭気指数相当値 15.9～23.1 であることが明らかとなった。

【第5章に関する既発表論文】

- (1) 飯泉元気, 小峯裕己, 木村 洋, 機器分析に基づく新築臭の測定・評価に関する研究
その4) 天然木内装材を用いた快適なかおり環境の形成, 平成27年度空気調和・衛生工学会学術講演会講演論文集 I, (2015)
- (2) 飯泉元気, 小峯裕己, 木村 洋, 機器分析に基づく新築臭の測定・評価に関する研究
その5) 必要施工面積率推定方法の妥当性の検証, 平成28年度空気調和・衛生工学会学術講演会講演論文集 I, (2016)
- (3) Genki Iizumi, Study on the Planning for the Fragrant and Healthy Indoor Air in the Natural Wood Interior Finish, 11th International Symposium on Architectural Interchanges in Asia (ISAIA 2016), Sendai, Japan

【参考文献】

- 1) 竹村ら, 建築材料から発生するにおいの心理評価(その1)においの心理評価構造に関する考察, 一般社団法人日本建築学会 (2002), 日本建築学会近畿支部研究報告集. 環境系 (42), 189-192
- 2) 室内の臭気に関する対策・維持管理基準・同解説, 日本建築学会 (2005), 30-33

第六章

居住者が快適と感じる
におい環境の形成に必要な
N/L 値の推定方法

第6章 居住者が快適と感じるにおい環境の形成に必要な N/L 値の推定方法

第3章及び第4章から、複合臭の香りの強さの推定方法が、第5章から居住者が快適と感じる香りの強さが明らかとなった。これらの結果から「居住者が快適と感じるにおい環境の形成に必要な換気回数 N と試料設置率の比」(以下「必要な N/L 値とする)を推定する。推定結果に基づいて施工した居室大実験室を対象に、においの強さ及び、快適性の観点から妥当性の検証を行う。検証実験には第5章で用いたスギ材を用いた。

6.1 スギ材の放散挙動の測定

スギ材から放散する香りの強さを推定するためには、スギ材から放散する物質移動係数 K などの放散挙動を明らかにする必要がある。そこで系統的に N/L 値を可変させた試験を行い、放散挙動を明らかにする。

(1)測定条件

表 6-1 に示す N/L 値で各 6 個ずつ臭気指数相当値を測定した。香りの捕集には小型チャンバー試験装置を用いた。試験体をチャンバーに設置後、24 時間換気有り状態で養生し、養生終了後にチャンバーから排気される空気を試料空気として捕集した。養生条件は温度 25[°C]、湿度は成り行きとした。用いた試験体を写真 6-1～6-5 に示す。

表 6-1 設定した N/L 値

N/L 値[m/h]	0.1	0.5	1.0	1.5	2.0
換気回数 N[回/h]	0.5				
設置率 L[m ² /m ³]	5.0	1.0	0.5	0.3	0.2



写真 6-1 試験体 N/L 値 0.05



写真 6-2 試験体 N/L 値 1.0



写真 6-3 試験体 N/L 値 1.5



写真 6-4 試験体 N/L 値 2.0



写真 6-5 試験体 N/L 値 2.5

(2) 測定結果

表 6-2～表 6-7 に「におい識別装置 FF-2020」を用いて測定した臭気指数相当値 Y' の結果及び臭気指数相当値から換算した臭気濃度 C_e を示す。

表 6-2 N/L 値 0 における測定結果

試験体	臭気指数相当値 Y'	臭気濃度相当値 C_e	臭気濃度相当値 $1/C_e$
試験体 1	32.41	1741.81	0.0006
試験体 2	30.29	1069.05	0.0009
試験体 3	29.83	961.61	0.0010
試験体 4	29.74	941.89	0.0011
試験体 5	27.23	528.45	0.0019
試験体 6	27.54	567.54	0.0018

表 6-3 N/L 値 0.5 における測定結果

試験体	臭気指数相当値 Y'	臭気濃度相当値 C_e	$1/C_e$
試験体 1	21.79	151.01	0.0066
試験体 2	22.00	158.49	0.0063
試験体 3	21.12	129.42	0.0077
試験体 4	20.69	117.22	0.0085
試験体 5	21.70	147.91	0.0068
試験体 6	21.19	131.52	0.0076

表 6-4 N/L 値 1.0 における測定結果

試験体	臭気指数相当値 Y'	臭気濃度相当値 C_e	臭気濃度相当値 $1/C_e$
試験体 1	22.52	178.65	0.0056
試験体 2	19.85	96.61	0.0104
試験体 3	20.73	118.30	0.0085
試験体 4	21.97	157.40	0.0064
試験体 5	20.27	106.41	0.0094
試験体 6	22.22	166.72	0.0060

表 6-5 N/L 値 1.5 における測定結果

試験体	臭気指数相当値 Y'	臭気濃度相当値 Ce	臭気濃度相当値 1/Ce
試験体 1	21.77	150.31	0.0067
試験体 2	20.83	121.06	0.0083
試験体 3	20.08	101.86	0.0098
試験体 4	20.99	125.60	0.0080
試験体 5	20.75	118.85	0.0084
試験体 6	21.93	155.96	0.0064

表 6-6 N/L 値 2.0 における測定結果

試験体	臭気指数相当値 Y'	臭気濃度相当値 Ce	臭気濃度相当値 1/Ce
試験体 1	21.39	137.72	0.0073
試験体 2	21.84	152.76	0.0065
試験体 3	21.34	136.14	0.0073
試験体 4	20.11	102.57	0.0097
試験体 5	21.81	151.71	0.0066
試験体 6	21.45	139.64	0.0072

表 6-7 N/L 値 2.5 における測定結果

試験体	臭気指数相当値 Y'	臭気濃度相当値 Ce	臭気濃度相当値 1/Ce
試験体 1	18.28	67.30	0.0149
試験体 2	19.57	90.57	0.0110
試験体 3	21.32	135.52	0.0074
試験体 4	19.00	79.43	0.0126
試験体 5	21.14	130.02	0.0077
試験体 6	21.00	125.89	0.0079

図 6-1 に N/L 値と臭気濃度 C_e の関係を示す。おおむね一次回帰していると考えられるが、ばらつきが大きかった。

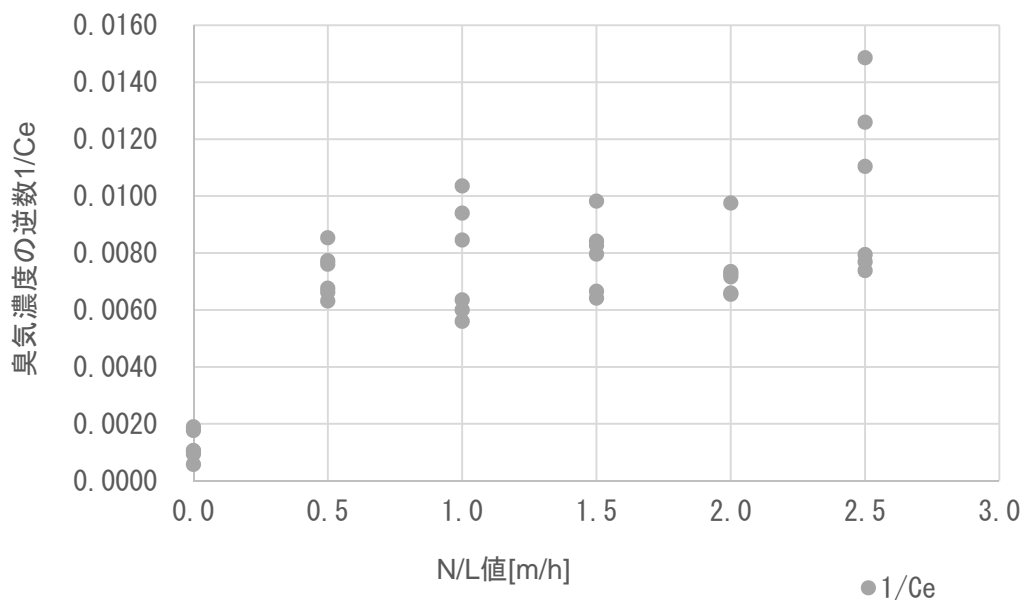


図 6-1 N/L 値と臭気濃度 1/Ce の関係

そこでばらつきを考慮するために標準誤差を算出し、ばらつきの上限値及び下限値それぞれについて検討した。ばらつきを考慮した 1/Ce と N/L 値の関係を図 6-2 に、算出した C_{eeq} 及び K を表 6-8 に示す。ばらつきが大きく決定係数が 0.50 と低いが、標準誤差を用いることで推定が可能であると考えられた。

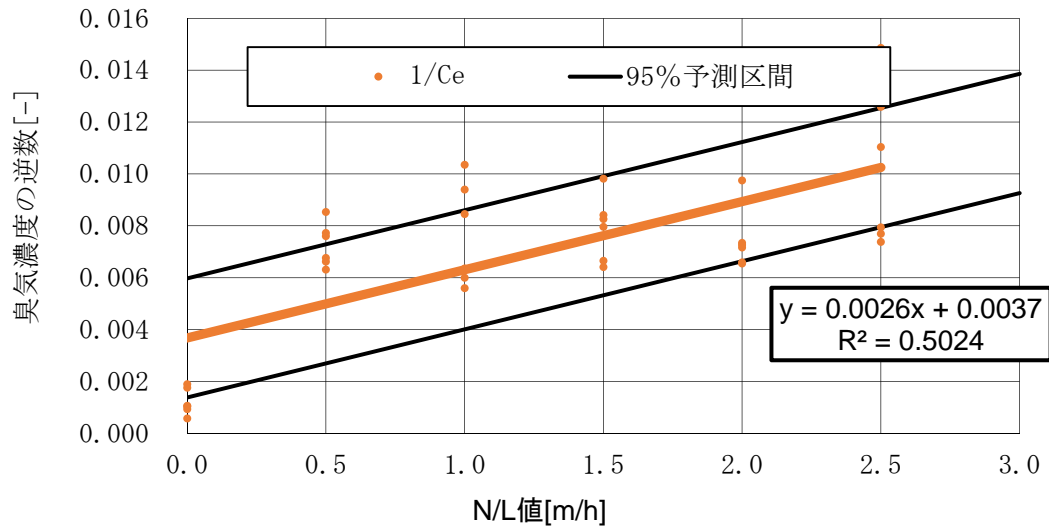


図 6-2 ばらつきを考慮した $1/C_e$ と N/L 値の関係

表 6-8 算出したスギ材の C_{eeq} 及び K

	上限値	下限値
$C_{eeq}[-]$	167.35	724.13
K[m/h]	2.27	0.52

6.2 スギ材における快適な香り環境とする為に必要な N/L 値の推定

算出した C_{eeq} 及び K を式(5)へ代入することで、任意の N/L 値におけるスギ材から放散する香りの強さを推定し、5 章の実験から得られた範囲を実現するために必要とする N/L 値を算出した。その結果を図 6-3 に示すが、N/L 値は 1.4 以上であった。しかし N/L 値の 2.5 以上の試験体については測定を行っていないため、推定精度が確認できていない。そこで必要な N/L 値の範囲を 1.4~2.5 とした。

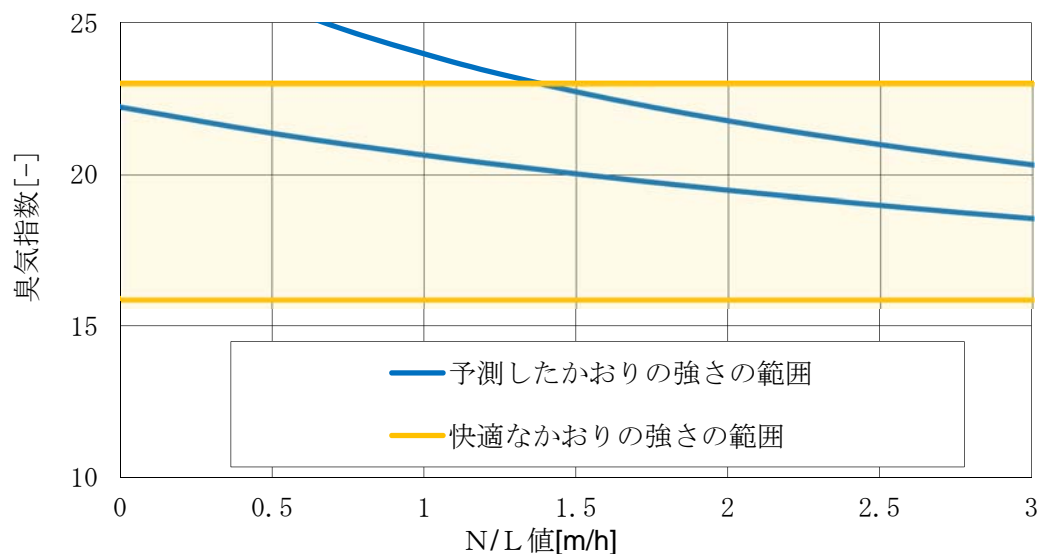


図 6-3 快適な香りの強さの範囲の推定

6.3 必要な N/L 値の推定方法の妥当性の検証

妥当性の検証には 14 m³の居室大チャンバーを用いる。推定結果に基づいて、14 m³の居室大チャンバーにスギ材を施工する。その空間の香りの強さ及び快適率を測定・評価することにより、推定方法が妥当であるか検証する。

6.3.1 居室大チャンバー実験室の施工

居室大チャンバーにスギ材を施工した。施工した様子を写真 6-1 に示す。一般的な居室では天然木は床部位の仕上げ材として用いられることが多い。仮に居室大チャンバーの床一面にスギ材を施工した場合、試料設置率 L は 0.4 となる。「6.3 スギ材における快適な香り環境とする為に必要な N/L 値の推定」の推定結果に基づいて N/L 値 1.4~2.5 を満たすよう、換気回数 N を 0.8 とし、 $N/L=2.0(0.8/0.4)$ に設定した。



写真 6-1 スギ材を施工した居室大チャンバーの状況

6.3.2 香りの強さの検証

(1) 検証方法

24時間養生させた居室大チャンバーの空間の香りをハンドポンプでにおい袋に捕集し、その香りをにおい識別装置で測定し、予測した香りの強さと比較した。

(2) 検証結果

居室大チャンバー内の香りの臭気指数相当値は 20.0 であった。図 6-3 から予測した $N/L=2.0$ における臭気指数は 19.5~21.8 であり、測定値はこの範囲内であった。このことから、小型チャンバー実験に基づいて、居室大の空間の香りの強さを予測できると言える。

6.3.3 快適性の検証

(1) 検証方法

被験者を居室大チャンバーに入室させ、チャンバー内の香りを評価させた。被験者は第5章と同じ人物とし、回答項目及び、快適率の算出方法は前述の通りである。入室法の場合、移動前の無臭空間と比較して回答を行ってしまうことが考えられる。そこで、居室大チャンバーに入室した直後及び入室3分経過後に回答させた。写真6-2に実験風景を示す。



写真 6-2 実験風景

(2) 検証結果

被験者実験より得た結果を図 6-4～図 6-7 に示す。

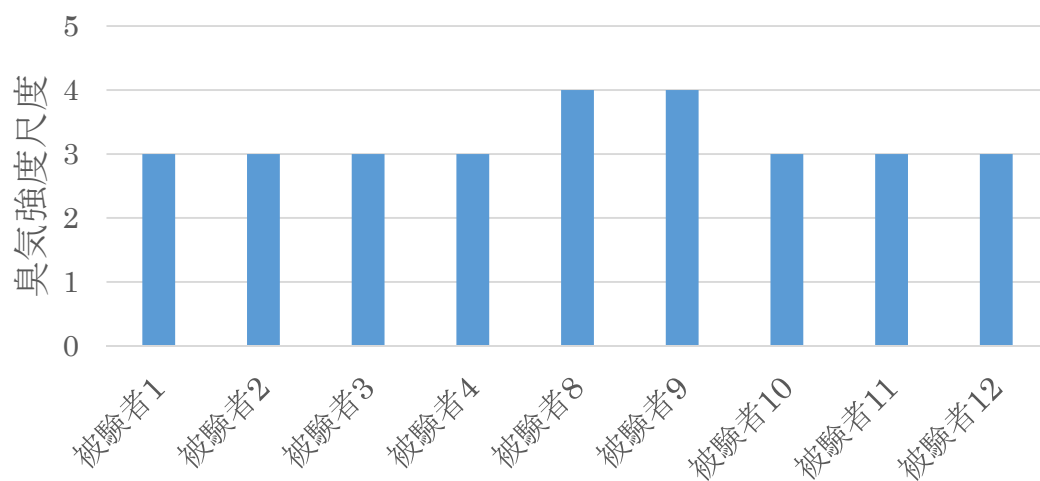


図 6-4 入室時の回答 臭気強度尺度

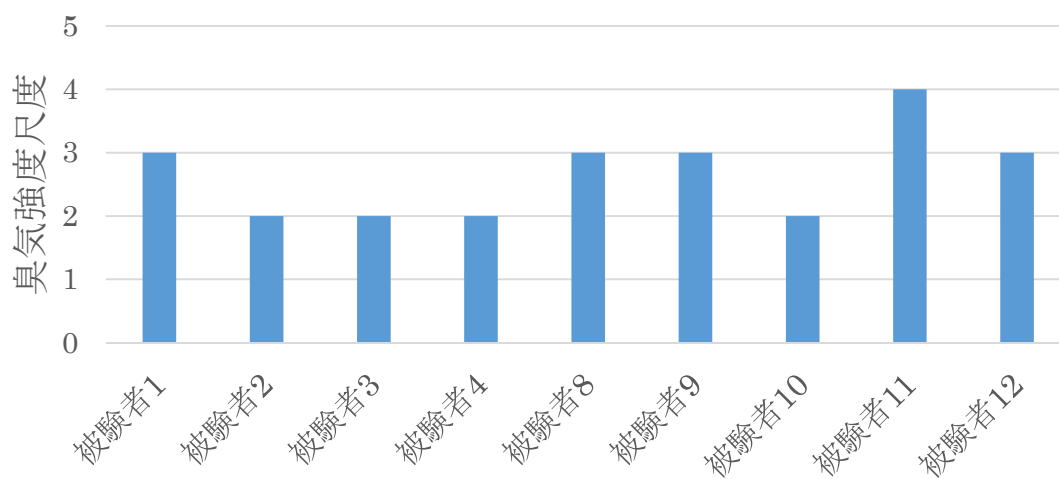


図 6-5 入室してから 3 分後の回答 臭気強度尺度

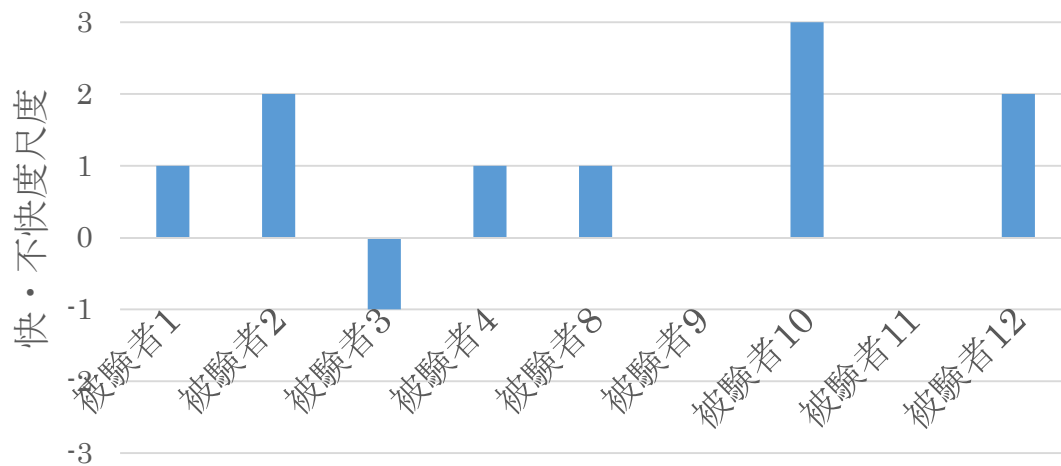


図 6-6 入室直後の回答 快不快度尺度

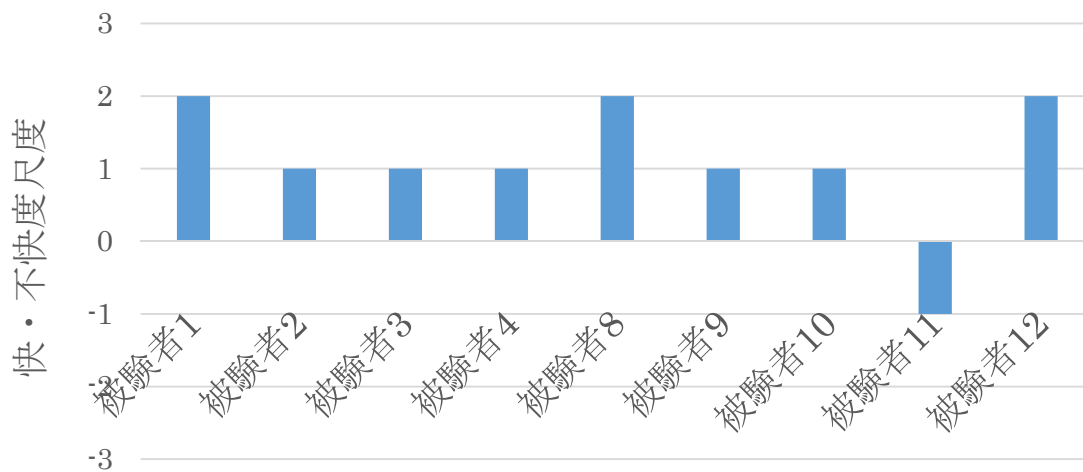


図 6-7 入室してから3分後の回答 快不快度尺度

被験者試験の結果から入室直後及び入室してから 3 分後の快適率を算出した。図 6-8 に算出した快適率を示す。

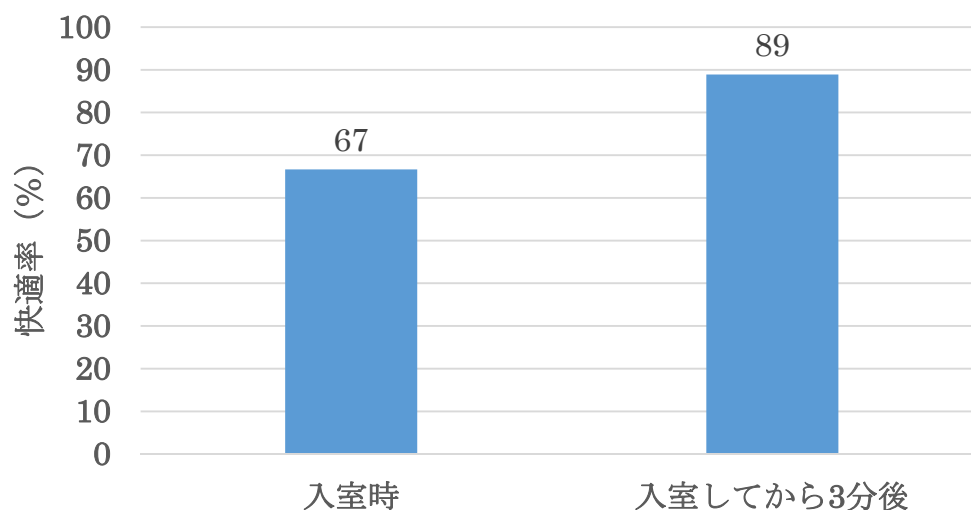


図 6-8 入室直後及び入室してから 3 分後の快適率

居室大チャンバーに入室した直後の快適率は 67%であった。バック法で行った被験者実験での臭気指数 20 の時の快適率は 67%であった。このことからバック法と入室法でおおよそ同じ結果が得られたと考えられる。

また、居室大チャンバーに入室してから 3 分後の快適率は 89%であった。入室直後に比べ大きく上昇した、バック法及び入室直後では、強過ぎる香りと感じていた被験者も、3 分間程度入室していると、香りの強さに慣れ、快適と感じたと考えられる。被験者の香りに対する順応の影響が示唆された。

6.3.4 N/L 値の推測方法の妥当性

以上の結果から、小型チャンバーを用いたにの強さの推定、及び被験者実験に基づく居住者が快適と感じる香りの強さの結果を用いることで、実大空間においても快適なおい環境とすることが可能であることが明らかとなった。提案した推定方法が妥当であることを明らかにした。

6.4 まとめ

本研究を通して得られた知見を用いて、健康的で快適なおい環境を形成する定量的な計画手法を提案した。居室大チャンバーを用いた検証実験から、推定方法が妥当であることを明らかにした。

【第6章に関する既発表論文】

- (1) 飯泉元気, 小峯裕己, 木村 洋, 機器分析に基づく新築臭の測定・評価に関する研究
その4) 天然木内装材を用いた快適なかおり環境の形成, 平成27年度空気調和・衛生工学会学術講演会講演論文集 I, (2015)
- (2) 飯泉元気, 小峯裕己, 木村 洋, 機器分析に基づく新築臭の測定・評価に関する研究
その5) 必要施工面積率推定方法の妥当性の検証, 平成28年度空気調和・衛生工学会学術講演会講演論文集 I, (2016)

第七章 結論

第7章 結論

本研究において以下の知見を得た。

- 1) 臭気濃度 C_e を用いて対数を考慮したにおいの強さの推定が可能であることが明らかとなった。
- 2) 嗅覚閾値比最大モデルは居室大の空間でも適応可能であることが明らかとなった。
- 3) 今回の実験に使用したスギ材の香りの快適と感じる強さの範囲は臭気指数 15.9～23.1 であった。
- 4) 居住者が快適と感じるにおい環境の形成に必要な N/L 値を推定する方法が妥当であることを居室大模型実験から明らかにした。
- 5) 同じ香りの強さであっても、時間経過によって快適率が変化したことから、快適率の評価には順応の影響があることが示唆された。

以上の研究成果を取り纏め、以下の過程に基づけば、天然木由来の香りを積極的に放散させ、快適なおい環境を形成することが可能であると結論付けた。

- ①使用する予定の無垢材から発散する香りの発散速度の上下限値の範囲を、小型チャンバー試験に基づいて明らかにする。
- ②無垢材を施工する部位以外の内装仕上げは、においや香りの発散が小さな材料で仕上げる。
- ③施主が快適と感じる香りの強さの範囲を官能試験により明らかにする。
- ④快適と感じるにおい環境の形成に必要な N/L 値を算定し、この条件を満足する様に施工する。

今後の課題として、今回の行った、快適なおい環境の検証実験では空間に施工した建材が1種類のみである場合の結果である。しかし、一般的な居室を想定した場合、壁や床などのさまざまな建材から放散する香りが混ざりあった複合臭となり、複雑に混ざりあった香りの質は変化してしまうこともある。本研究では複合臭のにおいの質の変化は検討できていない。今後の課題として、複数の天然木や、天然木以外の建材と組み合わせた際の香りについても、快適率を評価する必要がある。

謝辭

謝辞

本研究に着手して以来、
主査である 千葉工業大学 工学部 建築都市環境学科 小峯 裕己 教授
に研究全般を通して懇切丁寧なご指導を賜りました。

副査としまして

千葉工業大学 工学部 建築都市環境学科 教授 松島 大 氏

千葉工業大学 工学部 建築都市環境学科 教授 佐藤 史明 氏

千葉工業大学 工学部 建築都市環境学科 教授 望月 悦子 氏

千葉工業大学 工学部 建築都市環境学科 准教授 亀田 豊 氏

には、たくさんのご指導を頂戴し、幼稚な質問に対しても、懇切丁寧にご教授くださいました。

また、研究を進めるにあたり、

株式会社 長谷川コーポレーション 技術研究所 主幹研究員 木村 洋 氏

株式会社 EP&B 伊藤 一哉 氏

横浜国立大学 大学院工学研究員 (当時) 中邨 隆 氏

千葉工業大学 教育センター 生命環境学科 准教授 谷合 哲行 氏

熊本大学 工学部 環境システム工学科 助教授 長谷川 麻子 氏

以上の諸氏から懇切丁寧な指導を賜りました。

皆様のお力添え、お世話になった方々に、ここに記して厚く御礼申し上げます。

また大変な研究生活を、楽しく彩ってくれた、またともに励ましあったたくさん研究室の仲間たちにも、大変感謝しています。中でも、

千葉工業大学 工学研究科 建築学専攻 博士前期課程(当時) 半澤 大輔 氏

千葉工業大学 工学研究科 建築学専攻 博士前期課程(当時) 川邊 真斗 氏

両名とは長い時間を共に過ごし、様々な活動に協力していただきました。心から感謝しています。

最後に、大学院進学さらには博士後期課程への進学を許し、いつも見守ってくださった父母、そして研究活動だけではなく様々な面で私を支えてくれた妻、あゆみには、本当に感謝しています。今後も精一杯努力することが私の務めであると思います。

以上のお世話になった方々に、改めて心からの感謝の意を表します。

平成29年3月

千葉工業大学大学院 工学研究科 工学専攻 小峯研究室 飯泉元気

付録

付録

におい識別装置の補足説明

におい識別装置の原理

鼻の構造を解剖学的にみると、(図 2-5)鼻腔空間上部に位置する嗅上皮に嗅繊毛が生えており、その部位ににおいを感じるレセプター蛋白が 380 種程度存在している。におい分子の種類は数 10 万種といわれるのに対して、レセプター蛋白が 350 種類とはるかに少なく、それぞれのレセプター蛋白は複数種のにおい分子に対応するが、レセプター蛋白ごとに応答するにおい分子の種類や応答強度が異なり、レセプター応答パターンの違いでにおい種を認識しているものと考えられている。

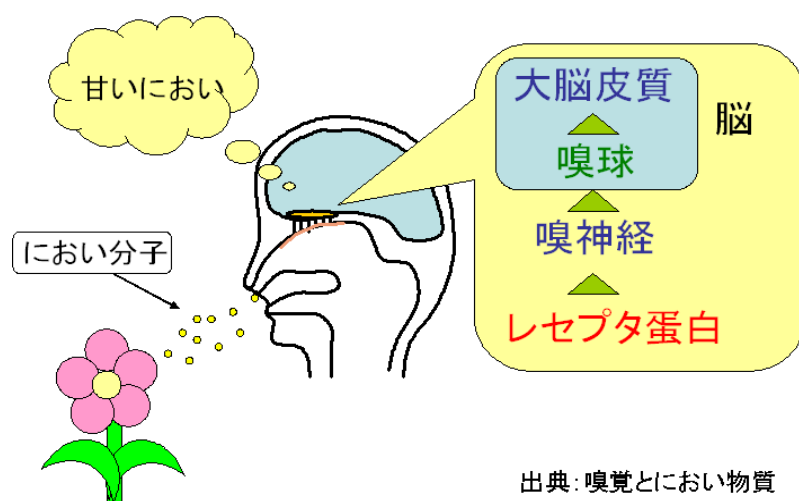


図 2-5 鼻の構造

粘液中に溶け込んだにおい分子は、嗅繊毛に分布するにおい受容蛋白質と接合することにより始まる。

におい分子を受け取ったにおい受容蛋白質は、その情報を GTP 結合蛋白質（グアノシンートリリン酸と結合する蛋白質で、一般には G-蛋白質、Golf（ジーOLF）ないしは特異性 G-蛋白質とも呼ばれている）に伝えられる。G-蛋白質は体の中の多くの細胞中に存在するが、嗅細胞においては、受容蛋白質がにおい分子を受容して活性化されると、この G-蛋白質が GTP と結合し、蛋白質の 1 つのユニット（ α -ユニットという）を放出する。このユニットがアデニル酸シクラーゼを活性化させる。

活性化したアデニル酸シクラーゼは、細胞中に存在する ATP（アデノシンートリリン酸）を cAMP（サイクリック AMP、環境アデノシンモノリン酸）に変換する。この cAMP が嗅繊毛の細胞膜にある陽イオンチャンネルであるサイクリックヌクレオチド感受性チャンネル（CNG チャンネル）を直接開き、細胞外の Ca^{2+} や Na^{+} などの陽イオンが細胞内に流入することにより電流が流れ、細胞膜の電位の変化が引き起こされる。

におい分子による化学信号が、このイオンチャンネルの段階で初めて電気信号に変換され、その最後の伝達物質が cAMP であることから、cAMP をセカンドメッセンジャーとも呼んでいる。とすると、ファーストメッセンジャーは空気中を飛んでくるにおい物質ということになる。

また、上記の CNG チャンネルだけではなく、嗅細胞内に増加した Ca^{2+} イオンによって開く Cl^{-} イオンチャンネルも見出されている。CNG チャンネルを通り細胞外から細胞内に流入した Ca^{2+} や Na^{+} のうち、 Ca^{2+} によって Cl^{-} イオンチャンネルが開き、細胞内の Cl^{-} イオンが細胞外に流出するが、この時にも電流が流れ、電位変化が起こることがわかっている。そして嗅細胞において発生する活動電位の半分程度は、この Cl^{-} イオン流出の電位といわれている。

さらに、嗅細胞内に流入した Ca^{2+} イオンは、蛋白質であるカルモジュリンと結合して複合体を形成し、この複合体が CNG チャンネルの開口率を減少させる働きがあることも報告されている。すなわち、 Ca^{2+} に依存する応答の減衰である。

におい識別装置では、これを模倣して複数の特性の異なるレセプター蛋白の変わりに、10個の特性の異なるにおいセンサー素子を用いて、それらからの信号を多変量解析などで解析を行うことにより分析をしている(図 2-6)。

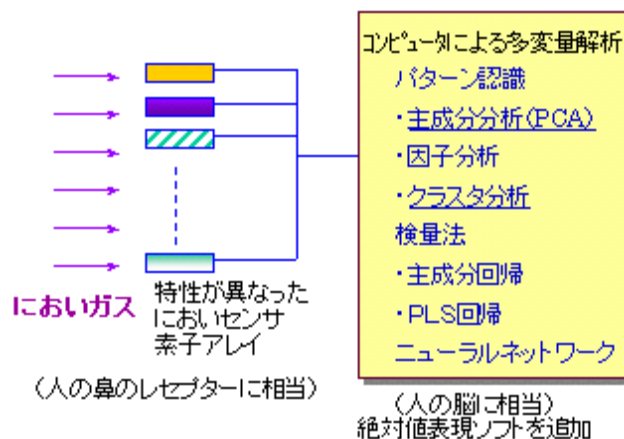


図 2-6 におい識別装置の基本構成

それぞれのにおいセンサー素子はほぼ全てのにおい分子に反応するが、センサーごとに感度の高いにおい種や感度があまり高くないにおい種が異なるため、同じにおい種を同時に複数のにおいセンサー素子に反応させてもそれぞれのセンサー出力は異なる。におい識別装置はそれらの出力の解析を行い、においの強さと質を判断する装置である。

また、人の嗅覚の成り立ちと、におい識別装置の機械との相互の関係を図 2-7 に示す。橙色の矢印は関係の深い点を指し示している。

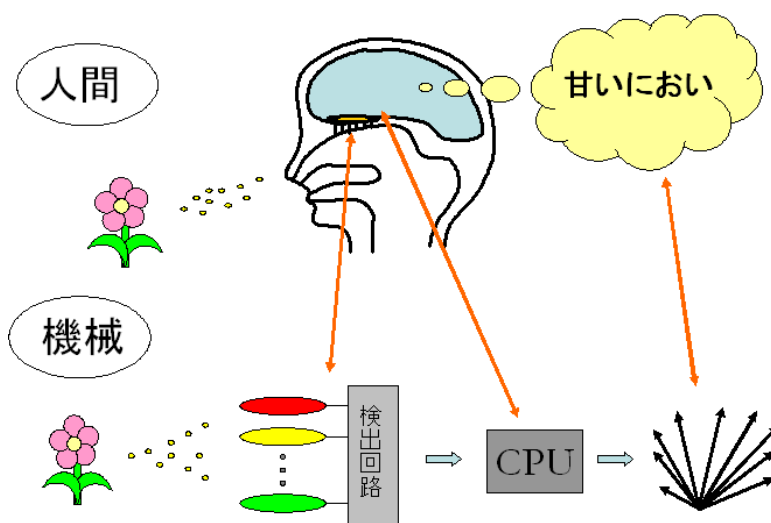


図 2-7 人の嗅覚とにおい識別装置の関係

におい識別装置の特徴

捕集モードの説明

におい識別装置にはにおいガスの濃縮や水蒸気の影響を除去して測定する「捕集管モード」、においガスをそのまま測定する「ダイレクトモード」、その両方を組み合わせた「ハイブリッドモード」がある

1)捕集管モード

捕集管モードとは、においセンサーの前に捕集管を設けにおいガス成分を捕集し、捕集管内部を乾燥窒素ガスによりドライパーズした後、捕集成分を加熱脱着し測定するモードである。この測定の特徴として捕集剤の濃縮効果による測定感度の向上、窒素パーズの水分除去による測定精度の向上、パーズ温度と加熱脱着温度の任意の設定による分画測定な

どがある。捕集管モードの概念図を図 2-8 に示す。

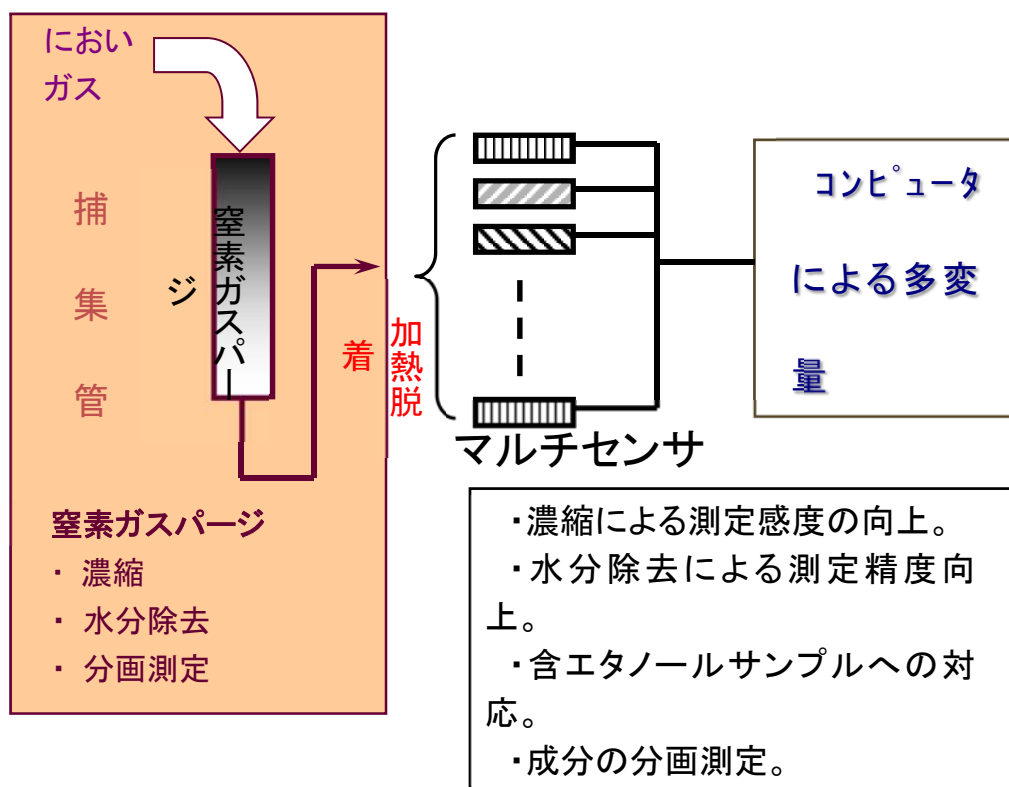


図 2-8 捕集管モード概念図

2)ダイレクトモード

ダイレクトモードとは、捕集管を通さず直接においガスを測定するモードである。これにより捕集管モードの加熱脱着時の熱で変化してしまうにおいガス成分を測定できる長所がある。

3)ハイブリッドモード

ハイブリットモードとは、捕集管モードとダイレクトモードを合わせたもので、捕集管

モード、ダイレクトモード、それぞれを1度に測定するモードである。熱によって変化してしまうにおいも水蒸気の影響も除去して測定できるので一般的にこのモードを使って測定が行われる。

また、におい分析を行なっている間は、各々のにおいセンサーの抵抗値が出力される。これは、においの希釈の程度により異なって出力される。センサー抵抗値出力例として図2-9にハイブリットモードでの出力例を記す。1回の測定でダイレクトモード、捕集管モードが各々3回行なわれ、通常は2、3回目のデータを用いて解析を行なう。

センサー抵抗ピーク値、つまりセンサー抵抗値の最大値はにおいの質を解析するには非常に重要な要素となってくる。におい識別装置には装置ごとにおい質を忠実に再現するセンサー抵抗ピーク値範囲が異なり、その範囲内にそれを収めなければ、におい質は再現できない。しかし、におい強度については範囲内に収まらなくてもある程度再現できる装置である。通常ではセンサー抵抗ピーク値の有効範囲は各々 $1.0 \pm \alpha$ であるとされている。

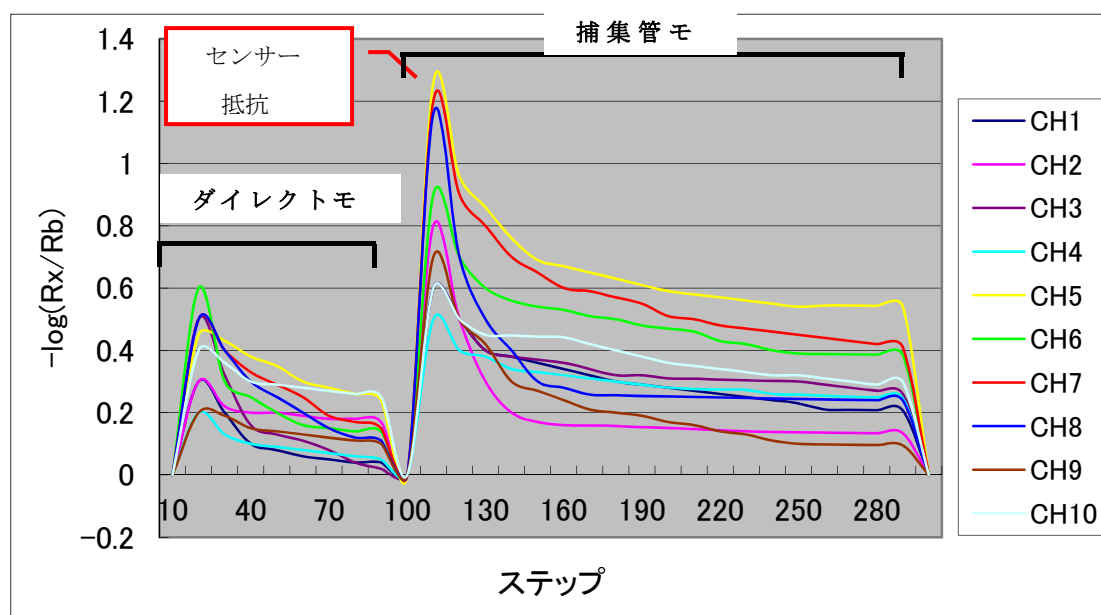


図 2-9 におい識別装置のハイブリッドモードでの出力例

解析原理 (絶対値表現ソフト ASmell2)

におい識別装置のにおいセンサー素子は酸化半導体センサーであるが、これはある特定の物質だけに反応するのではなく、複数のにおい種に反応するが、におい種ごとの相対感度がセンサーごとに異なる。よってセンサー出力そのものから測定したにおいガスが何系であるという類推はできない。しかし、10個のセンサー出力でできるにおい空間を考えたとき、あるにおいガスは一つのベクトルとして表され、そのにおいが強くなっても

弱くなっても方向は変わらず、ベクトルの長さが変わることになる。一方、においの質が変わればベクトルの方向が変わる。これにより測定したにおいガスの方向、対応するにおいガス系を求め、10次元ベクトルにてにおいの質と強さを解析する。

解析方法には「スタンダードモード」と「ユーザーモード」がある。

1) スタンダードモード 10個のセンサー信号でできる10次元のにおい空間上に、予め9種類の基準ガス(表2.8)の濃度を変え測定し、基準ガス濃度曲線(図2.6)を求めておき、サンプルガスを基準カテゴリガスとの位置関係よりにおいを表現する。におい質はそれら基準カテゴリガスのサンプルガスへの寄与度・類似度で表現でき、においの強度はそれぞれ基準ガスのにおいの強さを計算し、それらの寄与を総合することによって臭気指数相当値を求めることができる。

2) ユーザーモード 類似度を求めるフルスケールが約5°、10°、25°と3段階に切り替えて表示でき、ある二つのにおい間の角度を類似度100%としても設定できる。類似度を求めるときに基準のにおいガス濃度曲線から距離を求めているので、センサー出力の非線形性を除去できる。

そのため主成分分析に比べ官能値と相関した結果が得られるというメリットがある。

表 2-9 基準ガス名と物質

基準ガス名	物質
硫化水素	硫化水素
アンモニア	アンモニア
硫黄系	メチルカプタン
アミン系	トリメチルアミン
有機酸系	プロピオン酸
アルデヒド系	ブチルアルデヒド
エステル系	酢酸ブチル
芳香族系	トルエン
炭化水素系	ヘプタン

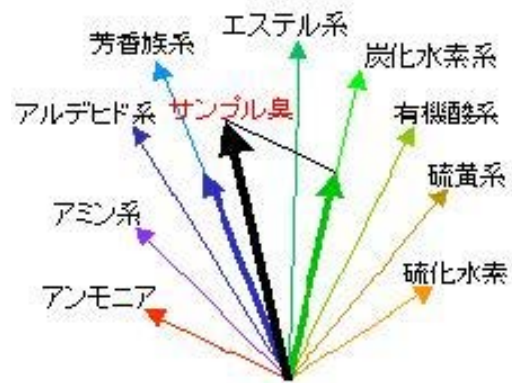


図 2.9 基準ガス濃度曲線

類似度・臭気寄与・臭気指数相当値の求め方

においの質は類似度と臭気寄与で表現され、その定義を図 2.10 に示す。類似度は基準ガスとサンプルガスの為す角度に応じて求め、角度が 0° では類似度 100% であり、開発者の島津製作所のバックデータより約 20° 角度が開くとその基準ガスとは類似性がなくなる、つまり類似度 0% となる。

類似度はにおいの質だけに注目しているが、臭気寄与では基準カテゴリーごとに嗅覚感度ではどれくらいのおいの強さを感じるかを臭気指数の尺度で表したものである。求め方は、サンプルベクトル量に対し各基準ガス方向に類似度分だけ投影し、投影長さから基準ガスの寄与濃度を求める。

その寄与濃度を基準ガスごとに設定された閾値濃度で除することにより、その基準ガスの方向の臭気寄与濃度を求めることができる。臭気寄与はその値の対数を 10 倍したものである。

臭気指数相当値は、9 種の臭気寄与濃度を加算し、対数を取り 10 倍することにより求めることができる。

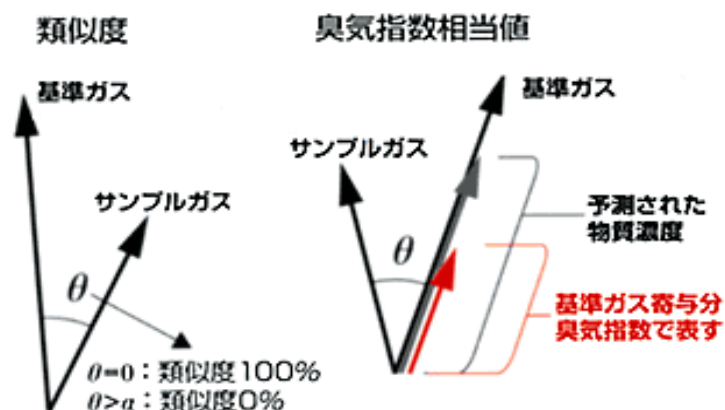


図 2.10 類似度と臭気寄与

におい識別装置(FF-2020S システム) の特徴

におい識別装置(FF-2020S システム)は前述したにおい識別装置(FF-2A)、FF 用オートサンプラー (FAS-1)、希釈混合装置(FDL-1)、アロライトボンベ、アロライトボンベスタンドで構成されたシステムである。FF-2020S システムではセンサーの強度レベルを一定にした「センサー総合出力一定測定」、「ダイレクトモード水蒸気補正測定」、基準ガスでの検量線作成と同時に行う「センサー規格化」により再現性が向上した。

センサー総合出力一定測定

規格化したセンサーの信号出力をパラメーターとしたベクトルの長さをセンサー総合出力という。におい識別装置(FF-2A)単体では手希釈によりサンプルの臭気強度の調整を行っているため、サンプルの濃度によりセンサー総合出力にバラつきが生じ、ガス濃度によって類似度(原点からの角度)が異なる影響があった。しかし、希釈混合装置(FDL-1)と組み合わせることで自動的に希釈混合することが可能になった。図 2.11 センサー総合出力が目標値を 1.9 とした場合の例を示す。

【センサー総合出力の目標値を 1.9 とした場合の例】

- 1) 希釈率を変えながら測定し、測定が 1.9 に近くなった場合(この例では 3 回目)、希釈率を固定してセンサー総合出力差、角度差が一定の範囲になる「安定」となるまで測定を繰り返す。
- 2) 「安定」と判断した場合(この例では 4 回目)、その測定データを保存する。
- 3) 目標値をまたぐように希釈率を変更して、もう一点測定しデータを保存する。(この例では 4 回目の測定値が 1.9 以下なので 1.9 以上になるように濃度を濃くして測定している。)
- 4) 4 回目と 5 回目の測定データから 1.9 となる内挿点を計算し、これを測定値とする。

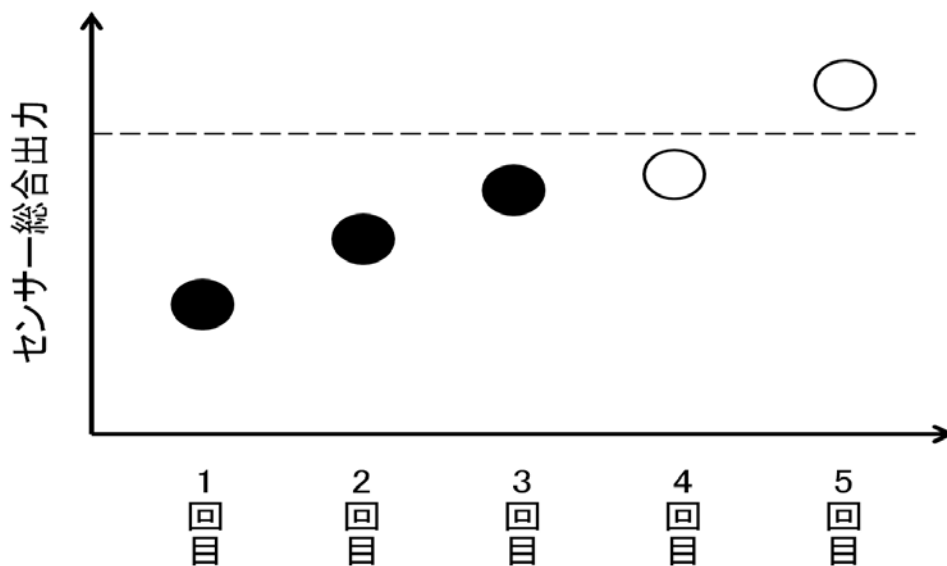


図 2.11 センサー総合出力の目標値を 1.9 とした場合の例

ダイレクトモード水蒸気補正測定

におい識別装置の測定モードは前述したように、においガスをそのまま測定する「ダイレクトモード」と凝縮や水蒸気除去といった前処理を行ってから測定する「捕集管モード」の測定がある。ダイレクトモードは捕集管で捕集できない小さい分子量のサンプルを測定できる長所があるが、湿度変化により出力がばらつく短所があった。FF-2020S システムでは蒸留水を入れて窒素を充填した水蒸気バックを FF 用オートサンプラー (FAS-1) に接続し、希釈混合装置 (FDL-1) でサンプルに一定量の水蒸気を添加し、サンプルの湿度を調整して測定が行える。これにより、バック間の湿度変化による出力の差を軽減することができる。

センサー規格化

規格化とは FF の 10 個のセンサーの出力に重みを加え、各センサー出力をそろえることである。出力をそろえることにより、解析結果が出力の高いセンサーに支配されるのを防げる。基準ガスを測定し、出力が低いセンサーは出力を上げ、出力が高いセンサーは主力を下げるよう規格化パラメーターを計算する。図 2.12 にセンサー規格化例を示す。

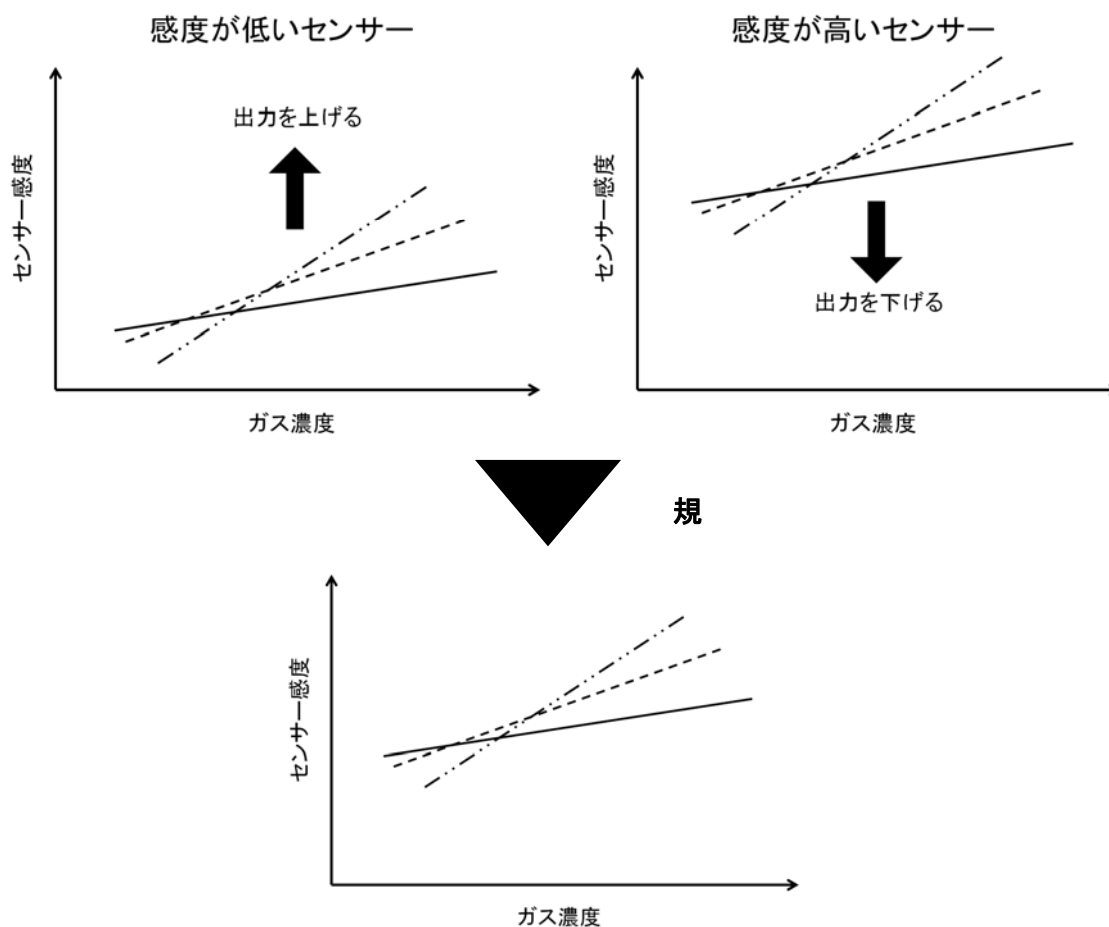


図 2.12 センサー規格化例