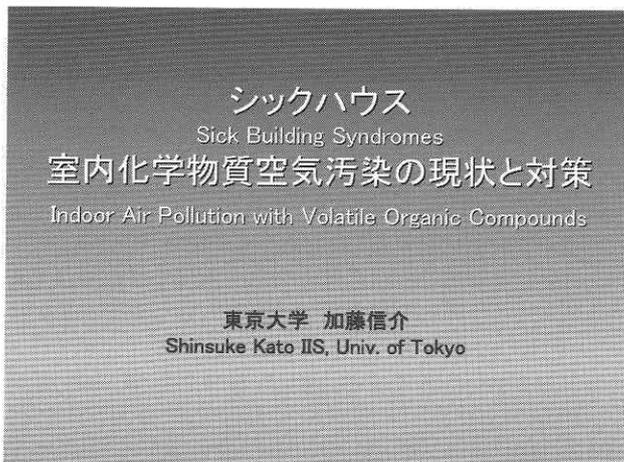


## 「シックハウス：室内化学物質空気汚染の現状と対策」

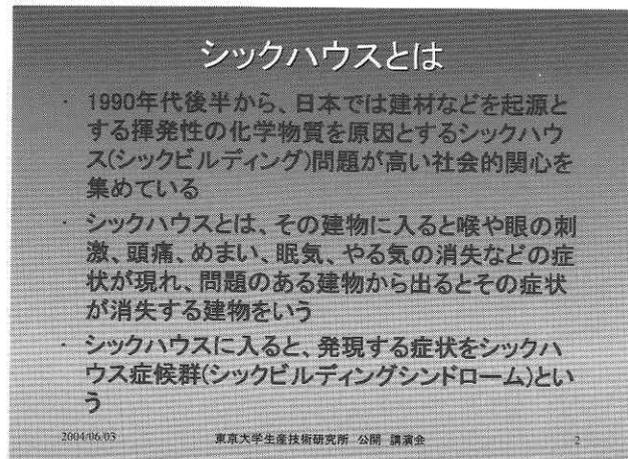
加藤 信介（東京大学生産技術研究所 計測技術開発センター長）

今日はお忙しいところ、多数お集まりいただきましてありがとうございます。いまご紹介にあずかりました東京大学生産技術研究所の加藤でございます。これより、50分間シックハウスについてお話したいと思います。専門的なことはなるべく除いてお話したいと思います。何かニュース番組的な講演になってしまうことを恐れます。何かご質問がありましたら、ご遠慮なく講演途中でもご質問いただければ幸いです。



まずシックハウスの問題に関して一言申し上げたいのは、問題は一応、沈静化する方向に向かっているということです。この問題は1990年代後半から大きく騒がれるようになったのですが、建築側の問題に関しては国土交通省が建築基準法の改正を行ないまして、ホルムアルデヒドに関する室内空気汚染問題に関しては、行政的な規制の導入という格好で決着になりました。ホルムアルデヒドを放散する建材は、急速に市場から消えました。我々の認識もホルムアルデヒドによる室内空気汚染の問題は、一応収束しつつあるのではないかと考えております。その意味で少し盛りを過ぎた問題かもしれません。あまり生々しくなくなったところで、ざっくばらんなお話をしてもいいのかな、と思いましたが次第です。

最初にシックハウスの定義をお話ししていきたいと思えます。シックハウスという言葉は、日本では1990年代後半から言われるようになりました。日本ではと申し上げる



のは、欧米では日本より早く、1980年代のころから既にシックビル（シックハウス）という問題が言われるようになっていました。シックハウスは、建材などを起源とする揮発性の化学物質による室内空気汚染が原因ではないかといわれております。シックハウスは、顕著な健康影響問題であって多くの人の健康に対する脅威と考えられ比較的高い社会的関心を集めたため、先ほど申し上げたように規制よりは誘導という規制緩和の時代にありながら、建築基準法での規制の強化という対策に至っています。

シックハウスとは、その建物に入ると喉や眼の刺激、頭痛、めまい、眠気、やる気の喪失——この眠気ややる気の喪失は大きいことなのですが——などの症状が現れ、問題のある建物から出るとその症状が消失する建物を言います。建物に関して、その建物から出ると症状が消失するところがシックハウス症候群の大事なところです。建物に入ると症状が出て、出れば症状が消失するというところで、建物が原因でおこる症状であるということです。

このような症状、シックハウスに入ると発生する症状をシックハウス症候群と言います。これは先にも言いましたように、欧米のほうが先に生じました。向こうはハウス、住宅というよりは、オフィスなどの建物でまず問題となりましたので、ハウスというよりビルであって、シックビルシンドロームと言われております。

シックビルシンドロームですが、これはワールドワイド、世界の問題であるということで、WHOでもシックハウ

## シックビルディング(ハウス)症候群

## WHOによるシックビルディング(ハウス)症候群の診断基準

- 目、鼻、のどの刺激症状、粘膜の乾燥感
- 皮膚の紅斑、かゆみ
- 疲れやすさ、頭痛、精神的疲労、集中力の低下、めまい、吐き気
- 臭覚、味覚の異常
- 過敏性の反応(分泌の亢進など)
- 化学物質過敏症とは区別される(化学物質過敏症は、建物を離れても症状が継続する)

2004.06.03

東京大学生産技術研究所 公開 講演会

3

ス、シックビルディングの診断基準というのがあります。ここに掲げましたように、眼、鼻、喉の刺激症状、粘膜の乾燥感、皮膚の紅斑、かゆみ、疲れやすさ、集中力の低下、めまい、吐き気、臭覚、味覚の異常、過敏性の反応これは「分泌の亢進」と書いてありますけれども、鼻水が止まらないなどとか、いろんな症状を含みます。

粘膜の乾燥感ですが、これに関しては面白いことがあります。冬場、ここの空気どうも乾燥していて気分が悪いということをよく経験されると思うのですが、空気が乾燥していて眼が乾くというものの大きな原因は、実は本当に湿度が低いというのではなく、ホルムアルデヒドが室内空气中に含まれていて、それでそういう粘膜の乾燥感、眼が乾くなどという症状が現れるのも多いのではないかと推測されております。これは水蒸気濃度が低いすなわち相対湿度が低い値になったときに、乾燥感を訴えるということに関して実験をやってみますと、相対湿度20%ぐらいの低湿度になっても、それほど多くの人が乾燥感を訴えるわけではないのに、ホルムアルデヒドの室内空气中の濃度が高いと、皮膚の乾燥感、粘膜の乾燥感を訴える人が多くなるという検討結果があり、目の乾燥感は低湿度のせいではなくホルムアルデヒドの室内空気濃度が高いことに原因であったのではないかというふうにも言われております。

シックハウス症候群と似たもので化学物質過敏症という、これも有名になった言葉がございます。この化学物質過敏症とシックハウスシンドロームとは一応違い、区別されるというように言われております。その区別は、化学物質過敏症はここにありますように、建物を離れても症状が継続してしまうところにあります。化学物質過敏症は花粉症に少し似ておまして、ひとたび花粉症になってしまうと、なかなか治癒がむずかしく、過敏症は継続してしまいます。

繰り返しになりますが、シックハウス症候群はどういうときに起きるかという、新築の住宅、リフォームした住宅に引っ越したとき、新しい家に入ったときに生じる症状です。建物室内に入ると気分が悪くなります。

建物内に入ること症状の発現の相関が非常に強いということで、室内の空気の組成を測って見ると、揮発性の化学

## シックハウスとシックハウス症候群

- シックハウス症候群は、新築の住宅、リフォームした住いに引っ越したとたん、室内に入ると気分が悪くなるなどの体調の変化が生じる
- 室内の空気の汚染、低濃度の揮発性化学物質の汚染がシックハウス症候群の原因とみなされている
- 人は1日に約15m<sup>3</sup>(20kg)という大量の空気を吸う(1分間10Lと覚えてください、5%の酸素を吸って4%の二酸化炭素を出します)
- 飲料や食品は、消化吸收の過程で解毒器官である肝臓を通るが、呼吸による摂取は直接体内に入る
- 肺からの血液は中枢神経に達する、またのどや鼻の粘膜に対する刺激は、臭神経を伝わり、感情脳と言われる大脳辺縁系に伝わる

2004.06.03

東京大学生産技術研究所 公開 講演会

4

物質、ホルムアルデヒドとかトルエンやキシレンなどの溶剤系の化学物質が、室内空气中に低濃度ではあるのですが検出されていて、それがシックハウスの原因ではないかと言われております。

ここで少し皆様方に知っておいて欲しいことがあります。人は1日に15 Kg, 20 Kgという大量の空気を吸っている。このことを思い出して欲しいと思います。

いつも学生に言っていますが、人は1分間に約10リットルの空気を吸っています。呼吸で5%の酸素をとって4%の二酸化炭素を出しています。人は、けっこうな酸素を使っていますし、けっこうな二酸化炭素を出しています。1日トータルでいずれにしろ20 Kgもの空気を肺の中に入れ、血液とガス交換を行なっています。

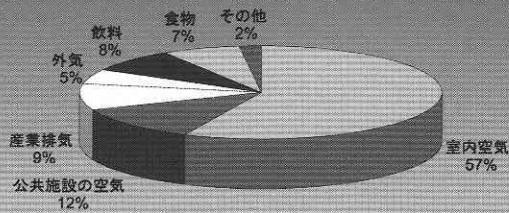
空気を肺の中に入れるということには大きな意味があります。食品や飲料、これは消化吸收の過程で解毒器官である肝臓を通りますが、呼吸による肺中のガス交換は直接体内にガスを入れてしまい、解毒という大事な器官を通らないというところに大きな特徴があります。

タバコで思い出していただく大変わかりやすいと思います。タバコ、紙タバコは口から入れるよりは、大麻でも何でもそうなのですが、人体影響物質を直接煙にして肺の中に入れてしまえば即効いて気持ちよくなります。これは肺によるガス交換に特徴的で、呼吸空気に何か入りますと、即座に体内に入ってしまうその影響が現れます。

肺からの血液は、頭に送られ中枢神経に達します。頭の血管は、血液閘門があり有害物質は頭の中に入らないという話がありますが、しかし調べてみると頭の中にほんとは少しは入ることが確認されています。また喉や鼻の粘膜に対する刺激は嗅神経に伝わって感情脳といわれる大脳辺縁系、爬虫類の脳といわれるところに届き、それでいろいろな症状を引き起こす可能性があるといわれております。

このスライドは先ほど申し上げた、人は1日当たり空気20 Kgを肺の中に入れていたことに対応し、どの程度、人体外部から物質を入れているかを表にしたものです。改めて見ていただくと、人間が1日当たりというか一生というか、とにかく継続して体の中に入れていたものの中で、室

## 人体の全物質摂取量(重量比)



2004.06.03

東京大学生産技術研究所 公開 講演会

5

内空気の占める割合は圧倒的に多い。ここでは、産業排気、公共の空気などかいろいろあるのですが、とにかく空気だけで人の物質受け入れ量の4分の3ぐらいを体の中に入れていきます。飲料、食物とかいったもので体の中に入れる重量はそんなにたいしたことはないということです。ですから、みなさんの衛生を確保する上で空気を清浄にしておくということが如何に大事かを考えて欲しいと思います。もちろん水が大事とか、食品が農業に汚染されていないとかそういうこともあるのですが、空気に関しても農薬（殺虫剤）の混ざった空気とかシンナーが混ざった空気を吸わないことの重要性を思い出していただくとうよろしいかと思えます。

## 健康的な住い

- WHOは健康の定義を「肉体的、精神的、社会的、心的に良好であり、増進する状態」と定義
- 人間は淘汰の過程で、肉体的、精神的な自然環境や社会環境から受けるストレスに適応する強靭さを身に着ける
- 四季の寒暖など自然との交流による若干のストレスはかえって人の強靭さを担保
- しかし人工的な化学物質によるストレスは、高々、この100年程度の短期的なものであり、十分な淘汰を経ていない
- 人工的な化学物質による人体へのストレスは微弱であっても、ないにこしたことがない

2004.06.03

東京大学生産技術研究所 公開 講演会

6

シックハウスは病気になる家ということなので、健康な家というのはどういうものかということになります。WHOは健康の定義を、「肉体的、精神的、社会的、心的に良好であり増進する状態」というふうになっています。実はここで言うてはいないのですが、家とか建物というのは、特に社会的、精神的、心的に良好であるために大きな役割を果たします。人間は社会的動物であり絶えず他の人とコミュニケーションを取って生きていきます。建物はコミュニケーションを行なう場を提供しています。住宅であれば家族、社会性のある建物、オフィス等では上司と部下

とか、いろんなところで色々なコミュニケーションが行なわれています。それが円滑に行われることが健康に暮らすために極めて大事になります。それは社会的なストレスが少ないとか、家族が相互のコミュニケーションで色々なことに対応できる力を持つということになりますが、そういう場を建築というものが提供します。建築にあまり係わらない皆さんは思いも寄らないかもしれませんが、建築は円滑なコミュニケーションを図るために絶大な力を発揮します。建築が悪ければコミュニケーションを円滑に行なうことができなくなり、社会的動物であるがゆえに精神に大きなストレスを課され、しいては健康を害することにもつながります。

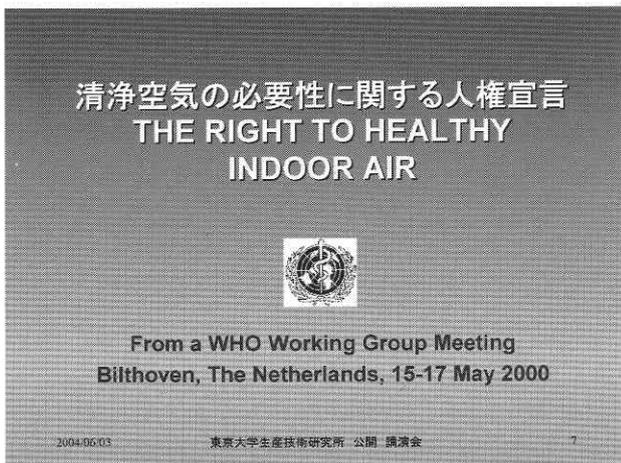
ここから、少し違うことを言わせていただきます。少し差し障りがある見解かもしれませんが、人間は進化の過程で環境に適合する淘汰を経てきています。地球上の生命、生物はすべからずその時代その時代の環境に適合する淘汰の洗礼を経てきております。これは、生命は日常的に遭遇する環境に関して十分な適応力を淘汰という厳しい犠牲を払って身につけていると言っても良いかもしれません。人は、肉体的、精神的にも自然環境、社会環境から受ける種々のストレスに対して適応する強靭さを身につけています。異論もあるでしょうが、事実として人類が誕生してから経験して来ている環境の中にある毒物、好ましくない自然環境、暑さ、寒さとかいろいろなものに関して、それなりのストレスを受けて来ました。社会環境の中でも、種々の集団の中における人間関係、家族関係のストレスを受けて来たと思います。多分、そのような種々のストレスに対してある程度、適応する強靭さを身につけている人が淘汰の過程で選択され、子孫を残しその形質を具現する遺伝子が選択されてきました。回りくどくて恐縮ですが、何が言いたいかというと、現在、日常的に遭遇する自然環境に由来する、あるいは集団の中で遭遇する小さいストレスに対しては、人は適応してきているし、逆にこのような小さいストレスに関しては、強靭さを身につけるためにも、ある程度必要かもしれないといふふうに考えられております。

日本は四季に恵まれ、年間を通して寒暖の差が大きくあります。これは、少なからず人にストレスを与えます。しかしこういった小さなストレスは必要なものです。空調された部屋の中に居て、ある意味でストレスから保護された温室の中のような環境にあるよりは、皮膚に寒さとか暑さのようなストレスを感じながら、それに耐える体を作っていくことが大事ではないかと考えられます。

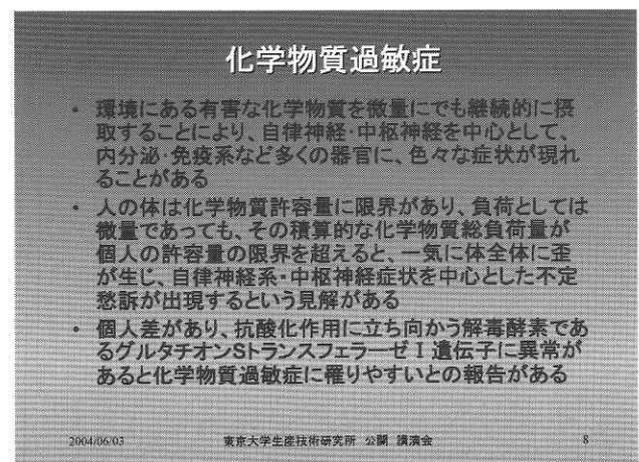
問題はここ先です。ご異論がある方もあるかもしれませんが、人工的な化学物質、これは先ほど申し上げた室内空気中の化学物質汚染がシックハウスの原因ではないかといわれているものですが、こういった化学物質が、微量ですが体の中に入るといふストレスは、化学物質自身がこの100年程度の間生まれた人工の生成物であり、人類の誕生から現在までの10万年余という単位でそのストレスに関して淘汰を経て来たわけではないことを思い出してください。

化学物質だけどうしてほかのストレスと区別するのかと言われるかもしれませんが、人工的な化学物質による人体のストレスは、十分な淘汰を経てきて、人類が種として既に適応できるストレスとは異なったものであります。淘汰による安全性を保証されたストレスではありません。もちろん、リスクの小さいものが日常生活に使われていると思いますが、淘汰を経ていないが故に、微量であってもこのようなストレスはないにこしたことはないと考えられます。このように述べてしまうと、化学物質に関するリスク全部を拒否するのかというシビアな議論に入るかと思いますが、原則は次のように考えることができると思われます。

れてくる。清浄な空気を呼吸することは、誰かの恩恵ではなく、本来、人が持つ基本的な権利であるという発想です。基本的な人権のひとつとして、人間は清浄な空気が必要であり、保障されなければならない。WHOの宣言は、人にはそのような権利があると思って、社会が見直さなければならないと言っています。RIGHTとありますので、人は人である限りきれいな空気を吸う権利がある。病気にならないという話ではなくて、きれいな空気を吸う権利があるので、それを保証するように考えて建物は作られるべきだし、環境政策がなされるべきではないのか、そのような考え方に発想を替えないと、いつまでも新しい毒物が発明、普及し、被害が生じる繰り返しが生じるだけなので、ここらで発想の転換を求めるということです。



スライドはWHOに戻ります。WHO本部ではないのですが、WHOはTHE RIGHT TO HEALTHY INDOOR AIRという宣言を行なっています。これは背景として、シックハウスとされた建物で検知される室内の化学物質の濃度が、急性毒とか慢性毒のレベルに比べて比較的低い濃度にもかかわらず、シックハウス症候群の症状を示す人がいる。さらには化学物質過敏症の症状を示す人が出てくる。そういう状況を見ると、一般に合理的と思われる科学的な因果関係、ドーズレスポンス効果といいますが、毒物を人間の体の中に入れてやると(すなわちドーズすると)、その量に応じてレスポンスとして症状を示すという効果が、生じるはずのない低いドーズレベルで症状がでるといふ、説明のつかない現象が化学物質過敏症の患者さんに生じている。疫学的にはシックハウスということで、その建物に入ると病気になるということで空気汚染が症状の原因である蓋然性は高いのですが、今まで知られてきた、ドーズレスポンス関係とは違う症状が起こっている。今、現実に苦しんでいる患者さんに対応するためには、またこのような潜在的危険性を社会が抱えているとしたら、一刻も早い対処が必要であり、医学的に詳細な因果関係の解明が果たされるのを待ってられない。そのような危機感をもって化学物質過敏症の患者さんに接すると、許容濃度以下に汚染空気を抑えることが大事なのではなく、清浄な空気を呼吸することが本来自然なことであり、権利であるという発想が生ま



シックハウス症候群とはちょっと違いますが、化学物質過敏症に関して簡単に紹介します。「環境中にある有害な化学物質を微量にでも継続的に摂取することにより、自律神経・中枢神経を中心として、内分泌、免疫系など多くの器官にいろいろな症状があらわれることがある」。

これは先ほど言いましたように因果がしっかりとわかっている話ではないと承知しています。「人の体は化学物質に許容量というのがあって、それに限界がある。負荷としては微量であっても、その積算的な化学物質の総量負荷が個人の許容量の限界を超えると、一気に体全体に歪が生じ、不定愁訴が出るという見解がある」。

この化学物質過敏症は、いま流行りではあるが、たぶん30年、40年前には少なかったと思われる花粉症を思い出していただくとうまい。花粉症になるならないというのはかなり個人の差があるということで、花粉症になる限界が個人的に非常に変動する。花粉症は、その人その人によって花粉すなわちアレルギー物質にさらされる積算的な限界量が、大きく違ってしまっていて、ある人はたくさん嗅いでも大丈夫だけれども、お気の毒な方は少量で発症してしまう。これはバレル効果といって“たる”を用いて比喩的に表現されています。すなわち、花粉に曝される度に“たる”に入れている花粉が、“たる”からあふれてしまうと症状がでる。この“たる”の大きさは個人差が大きく、大きな

“たる”をもち死ぬまであふれない人もあれば、小さな“たる”のため、すぐにあふれて花粉症を発症してしまう人もいる。化学物質過敏症の発症に関してもこのような性質があるというふうにいわれております。

これはお医者さんの領域になりますが、この許容量の個人差は、幼少の頃の環境や生育によるものばかりでなく遺伝的なものもあると言われています。お医者さんが調べた結果、「抗酸化作用のある解毒酵素、グルタチオンSトランスフェラーゼ1遺伝子に異常があると化学物質過敏症になりやすい」。化学物質過敏症で困っている人の遺伝子の解析をすると、この酵素がないという因果関係が高率で表れた。

私は医者ではないのでわからないのですが、だいたい日本人のうちの約1割近くは残念ながらこういう遺伝的に解毒作用の弱い人であって、化学物質過敏症とかシックハウス症候群を発症しやすいといわれております。ただここで断りたいのですが、これは医学的にはっきりと確認されたということではまだなく、現時点では高い確率でそのように推測されているというように、私は理解しています。

### 揮発性有機化合物 (VOCs)

- ・シックビルディング症候群の原因物質と見做されている
- ・建材中の揮発性有機化合物 (VOCs) は、材料製造段階で低圧高温処理すれば、室内施工後の放散を減らすことができる
- ・室内に放散されたガス状物質は濾し取ることすなわちフィルター除去ができない
- ・換気、吸着により室内空気から除去される
- ・人体の吸入空気の揮発性有機化合物 (VOCs) 濃度を評価することが必要

2004/06/03

東京大学生産技術研究所 公開講演会

揮発性有機化合物、さっきから空気中にある微量な物質といっているのですが、これは揮発性化学物質、VOCs・ボラタイルオーガニックコンパウンズといっておりますが、これがシックハウスの原因物質とみなされている。揮発性というのが大事で、液体ではなくてガスの状態で存在するので、気中に入っていて、肺の中まで入ってくる、そういうことです。

建材中の揮発性のVOC、これは材料屋さんとか化学の人に特に言いたいのですが、揮発性なので低圧高温処理してくれるとだいたい抜けるはずで、いろいろな化学材料というのがありますが、なるべくわれわれにはこういったものが出てこないようにすることはできるのではないか、そのようにして欲しいと思います。

VOCの特徴として、ガス状物質なので、実はフィルター除去がしにくいということがあります。皆さんはエアクリーナーと言うものをご存知と思いますが、あれは主に粉

塵の除去のためのもので、ガス状物質をこしとることはできません。そのためにはガス体を吸着するような特殊なフィルターを入れないとなかなか取れないという問題があります。特にホルムアルデヒドのように揮発性が高いものはなかなか吸着して除去することがむずかしい。というか、もちろん吸着させることはできますけれども、高度の技術が必要になっているということです。

ここまですぐシックハウス症候群と関連する事項の説明で、ここからようやく建築の環境工学者として、より建築的内容に踏み込みたいと思います。呼吸により人体の中にどれぐらいVOCが入るのかということは、建築的な対策をやるために必要となる重要な情報になります。これよりこの面からシックハウスを考えていきます。

### 厚生労働省による室内空気汚染物質の室内濃度に関する指針値

揮発性有機化合物	毒性指標	室内濃度指針値	設定日
ホルムアルデヒド	ヒト吸入暴露における鼻咽頭粘膜への刺激	100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (0.08ppm)	1997.6.13
トルエン	ヒト吸入暴露における神経行動機能及び生殖発生への影響	260 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (0.07ppm)	2000.6.26

2004/06/03

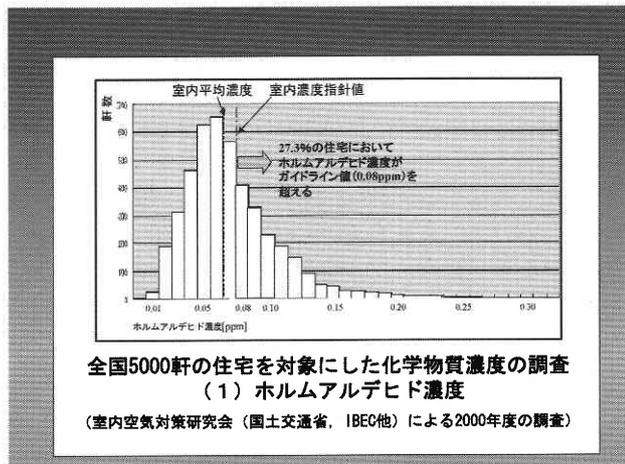
東京大学生産技術研究所 公開講演会

10

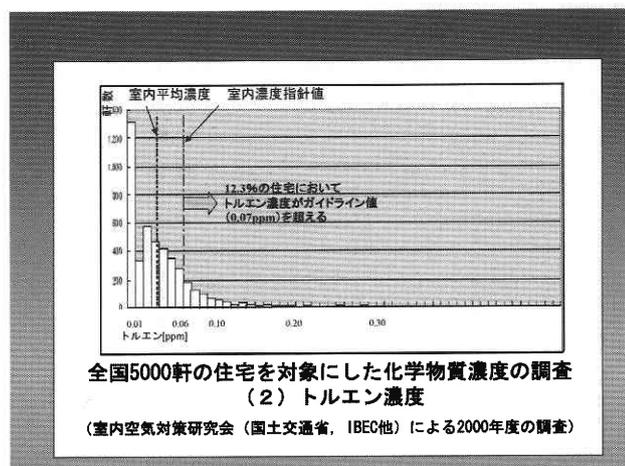
これはご承知の方も多いのかもしれませんが、ご参考として、厚生労働省のほうで作成したガイドラインを示します。これは、シックハウスの問題が生じて、1997年ですからもう7年前になるのですが、その時からいろいろな室内空気中に混ざる可能性のある揮発性の化合物に対して健康影響を免れる濃度に関するガイドラインを設けております。

最初がホルムアルデヒド。これは合板とかそういったものの接着剤からたくさん出ているということで定められました。これがシックハウス症候群の主な原因というふうにもみなされたものですが、ガイドライン値は100マイクログラム/1 $\text{m}^3$ 、0.08 ppm。この0.08 ppmという値は、記憶なさっていただくとよろしいと思います。一酸化炭素と比べて非常に室内の空気の中に入ると危ないものがあります。その基準は、実に10 ppmなんです。100倍濃い値です。われわれが良く燃焼器具の不完全燃焼で一酸化炭素濃度が高く危ないぞ、といっている一酸化炭素ですら10 ppmぐらいは許されている。一酸化炭素は燃焼器具があると出てくるし、タバコを吸ったっていっぱい出てきます。その意味ではありふれており、人類が火を利用して以来、ずっと付き合ってきた毒ガスですから、言われてみればそのように高い濃度まで大丈夫かもしれません。でもここで言いたいことは、ホルムアルデヒドなどの揮発性の有機ガスに

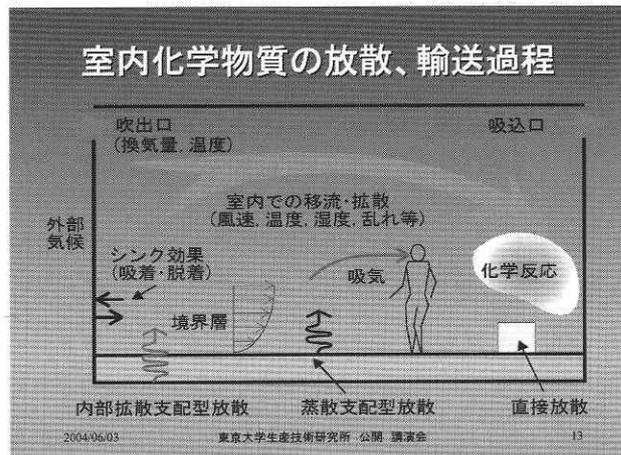
関しては、非常に微量な濃度しか許されていないということ  
を逆に言いたいわけです。ごく微量な濃度しか許されな  
い。トルエンに関しては260マイクログラム/1m<sup>3</sup>という  
値が決まっております。



これは国土交通省が1990年代後半からシックハウスの  
問題が非常に大きくなったのに対応し、その実態調査を、  
IBEC(アイベック)というところを通して全国5,000件の  
住宅の室内濃度に対して行ったものです。厚生労働省のガ  
イドライン値は先ほど申し上げたとおり、0.08 ppm,  
80 ppbなのですが、このときこれを超えた住宅が27%も  
あったということです。これが行政面で、規制緩和の時代  
ではあるのだけれども、厳しい規制をかけて改善を図ると  
いう一つの大きな動機づけになったというように聞いてお  
ります。



このほか、そのほかの化学物質としては、トルエンに関  
しては12%の住宅でガイドライン値を超える室内濃度が  
検出されたということです。住宅を5,000件調べてみたら、  
ホルムアルデヒドとかトルエンの室内濃度が厚生労働  
省が出しているガイドライン値より高い家が例外とは言え  
ない状況に多いということで、こういったものは行政的な  
規制も必要かなという話になりました。



我々は、大学の研究所でこのホルムアルデヒドなどの人  
体に有害なガスがどのようなメカニズムで、どの程度、室  
内空気に放散され、それがどの程度、人体に吸引されてい  
るのかということ解析し、人体が吸引する総量を低減する  
方策を研究しています。大学の研究所はべつに行政機関  
ではないので、法規制の根拠を求める検討をして入るわけ  
ではありません。このような研究が大学の社会的責任を果  
たす使命として検討しております。

このスライドは、有機ガスがどのような経路、要素を経  
て人体に吸引されるかを示しています。要素はたくさんあ  
ります。吹出口、吸込口があります。部屋の中には当然、  
空気が循環している。それから、有機ガスは建材から出て  
くるというのですが、建材から出るときに、建材の中に入  
っていた有機ガスが建材の中を拡散移動しながら出てくる  
というので、建材の中の拡散過程を調べる必要があります。  
また建材表面から空気中に蒸散しますので、その蒸散過程  
を見なければならぬ。表面にある液体とか吸着されている  
揮発性のものが空気中に出てくるというのは、この固体  
表面での空気の境界層での物質伝達を見なきゃいけない。

それから、空気中の有機ガスのシンク効果を見なければ  
ならない。シンクとは沈むことですが空気中から取り除か  
れることを意味しています。空気中の有機ガスは壁面から  
空気中に放散されるだけでなく、壁面に吸着されて空気中  
からは除去されることも考えなくてはならない。しかもそ  
のあとまた脱着されて空気中に出てくることもあるという  
ことで、この過程も見とあげないといけない。そういうこ  
とをすべて見てあげないと室内濃度がわからない。

それから有機ガスが室内空気の中、汚染源と人間のあい  
だをどのように輸送されていくか。また化学反応と書いて  
ありますけれども、有機ガスは室内空気中で化学反応によ  
り別の物質に変わることもある。代表的なものは、リモネ  
ンと呼ばれる物質、これはいろいろな木材から放散される  
天然の化学物質ですが、ヒノキなど木の香りに郷愁を覚え  
る方も多いと思いますけれども、そういう揮発性の天然の  
化学物質が木材などから出ている。これらの物質は、実は  
オゾンとかそういったものの酸化作用を受けて、ホルムア  
ルデヒドのように体に悪さするものが生成されるという話

があります。そういう化学変化もみなければいけない。これらまだまだ研究は進んでおりません。それから、人間は呼吸により空気を吸引していますが、果たしてどの辺の空気を吸っているかというところを明らかにする必要があります。

本日は、このような種々の要素に対する研究を私どものほうで行なっておりますので、それを個別にご紹介していきたいと思ひます。

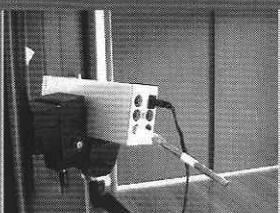
### 室内化学物質空気汚染対策研究

- ・ 実態把握のための標準的な室内濃度計測法
- ・ 建材などから放散される化学物質放散量計測法
- ・ 化学物質放散過程の解明
- ・ 化学物質の吸着・脱着過程の解明
- ・ 室内化学物質の化学変化過程の解明
- ・ 室内の換気性状の解明
- ・ 人体の呼吸・吸引過程の解明
- ・ 化学物質の室内濃度予測法(CFD数値流体力学)

2004/06/03 東京大学生産技術研究所 公開 講演会 14

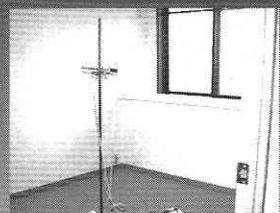
室内化学物質の対策研究。これらの課題をスライドにまとめました。空気中の有機ガス濃度測定から人体の吸引過程、さらには総合的な室内濃度予測まであります。

### 室内空気質汚染の測定



Tenax管を用いたVOCの  
気中濃度測定

低濃度のため濃縮過程が不可避



DNPHを用いたアルデヒド類の  
気中濃度測定

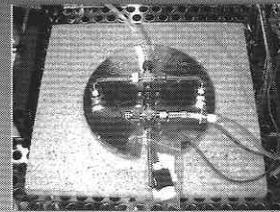
2004/06/03 東京大学生産技術研究所 公開 講演会 15

室内空気中の汚染ガスの測定は、スライドにありますように「低濃度のために濃縮過程が不可避」です。微量な濃度ですから分析にかかるように濃縮しなくてはならない。

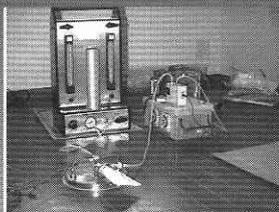
それはそれでいいのですが、実は低濃度の濃度測定に関しては、けっこう問題があります。汚染の問題です。どういう意味かという、こういう計測をする業者の方が汚れたおうちに行って測ってきて、次にあまり汚れてない所にいったら、実は自分の服が有機ガスを吸着して、汚れていない所で脱着してそこを汚すとか、いろんな問題が生じます。タバコががんがんに吸われるバーで飲んだ後、家に

帰れば奥さんに今日は飲んだでしようかと責められる。タバコのおいがかさいから、同じことです。だから計測というのはそんなに簡単ではない。注意が必要です。しかし注意さえすれば簡単といえば簡単です。そういう注意、専門的にはクロスコンタミを防ぎ、評価するシステムが必要になるということがわかっています。代表性も問題です。室内の濃度は、空間的に変化するし時間的に変化します。たまたま計測した濃度が、実はたまたま低い濃度のところ時間帯に行なわれたのでは、正しい対策が取れません。その汚染の実態を反映した測定はなかなか容易ではありません。

### 建材からの汚染物質発生量計測



パーティクルボードからの  
発生量測定



床フローリングからの  
発生量の測定

2004/06/03 東京大学生産技術研究所 公開 講演会 16

これは建材から出る有機ガスを測定している写真です。ステンレスのお皿なのですが、これを建材にあてがって置いて空気を通して建材からの放散量を測るということをやります。

### 住宅建設の各施工段階におけるTVOC濃度の調査 (独)建築研究所 坊垣



鉄筋コンクリート集合住宅の場合



TVOC濃度 (µg/m³)

最終濃度 4300 µg/m³

施工段階

床貼り、木工事 | クロス貼り、内部塗装 | 完成後 | 換気を実施

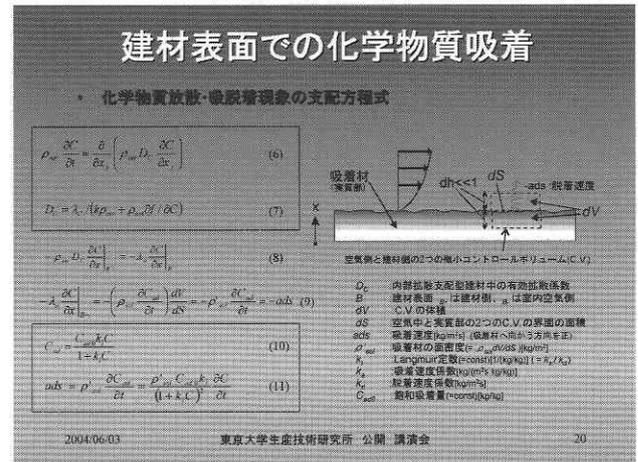
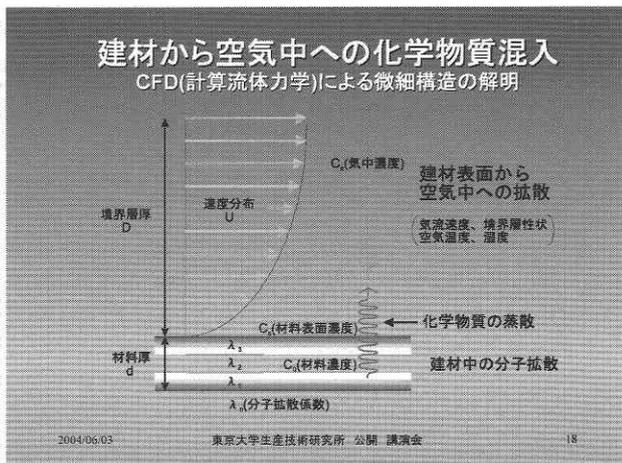
厚生省指針値(暫定案) 新築TVOC: 1000 µg/m³  
中古TVOC: 400 µg/m³

2004/06/03 東京大学生産技術研究所 公開 講演会 17

このスライドは、建築研究所の坊垣先生からお借りしたものです。新築の家で室内濃度を測っていて、トルエン、さっきガイドラインが260マイクロといっておりましたが、これはTVOCなのでいろんな化学物質が全部が含まれているのですが、60,000とかそういう値にもなるぞとかいう実態を調べています。

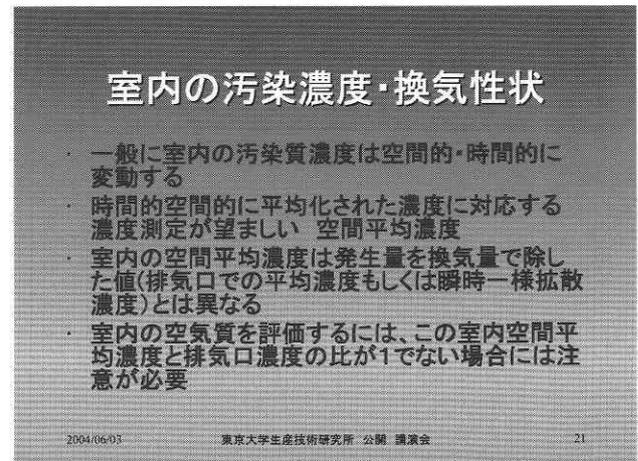
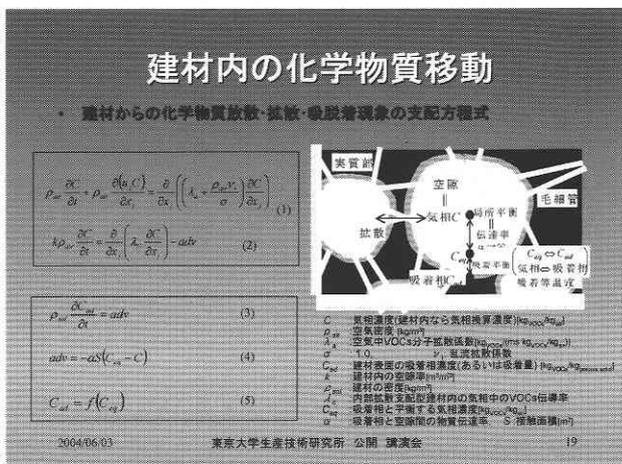
このような実態の調査から、われわれの大学というか生産技術研究所の出番が始まります。大学における研究なのですが、実際にいま言いましたように測って見なければわからないというのは如何にも淋しいから、材料がわかっていて、施工手順がわかっていて、部屋の中の気流の流れがわかれば、室内の濃度も予測できるように、事前に紙の上だけでもすべてわかるようにするという、そういう予測システムをつくりたいということになります。そのため、どんなふうにして化学物質が空気中に出てくるかということに関して検討しなければいけない。ということで大学の研究が始まります。

にまず含まれていることが、有機ガスが放散される条件ですが、建材中から室内空気に至る孔はこの経路がないと有機ガスは空気中に出てこない。合板とか室内で良く用いられる建材は、孔ぼこがいっぱいあいているということで、そこに化学物質が吸着されていて、それが徐々に出てくるという機構があります。これらは、孔ぼこの移動は微分方程式という数学モデルであらわされますし、吸着の性状も吸着等温式で表すことができる。それらの数学モデルを解けば、実現象に対応する建材内の有機化合物の移動が解けます。



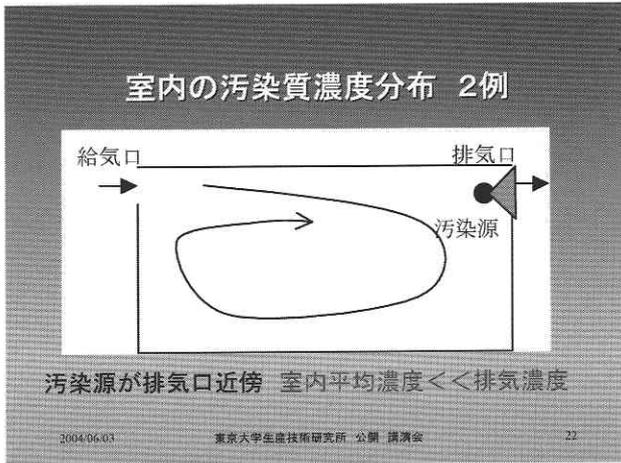
これはさっき申し上げたとおりなのですが、建材中の分子拡散、化学物質の蒸散、それから空気中への拡散、こういったものをモデリングしていく様子を示します。これらの過程に対応する数学モデルを考えます。

このスライドは建材表面での吸着と脱着のモデルと空気中、材料中の輸送のモデルを表します。専門的になりますので式の説明はしません。

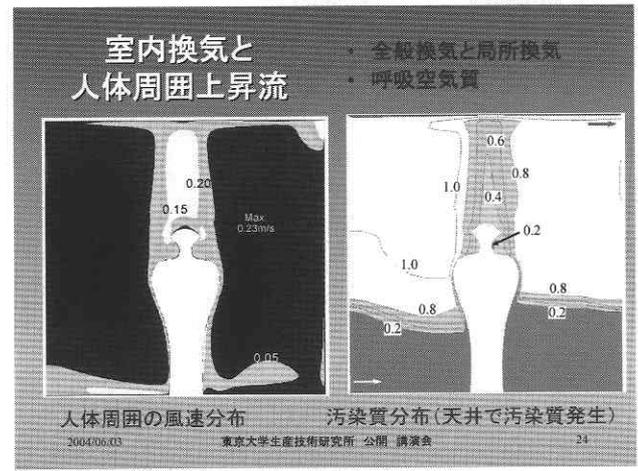


有機ガスが空気中に放散される建材の中というのは、小さな孔ぼこがいっぱいあいている。実はこれは明らかなことなんです。金属からは有機ガスはあまり出てこない。有機ガスが出る建材でも金属などでコーティングすると、有機ガスがでない。鉄からホルマリンが出るとか、そういう話は聞いたことがない。揮発性の高い有機化合物が建材中

ようやく室内の濃度分布、換気にたどり着きました。室内の汚染濃度というのは空間的・時間的に変動する。室内の平均濃度は体積を掛けると室内の汚染室の総量を表す大事な指標ですが、これは必ずしも汚染質の発生量とその除去にかかわる換気量で求められる排気口での濃度、瞬時一様拡散濃度も言いますが、この値とは違うという大事な原則があります。これを見ていただくとわかりやすいのですが、部屋があ

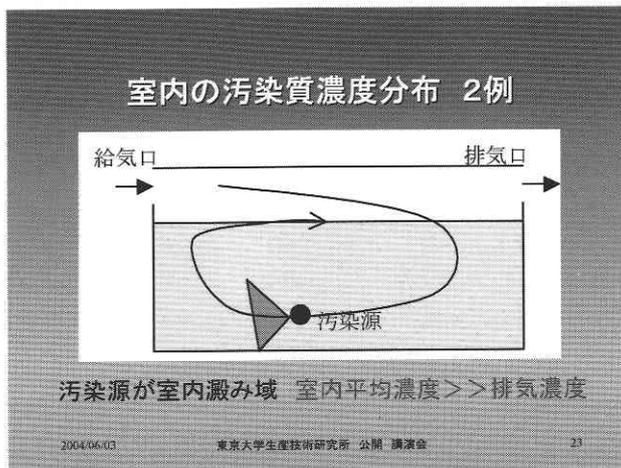


いくらでも高くなりうるということを出してほしい。大学の研究室では、現実的な問題としてこういう状況も考慮して室内の汚染質の濃度分布を検討しなければいけない。



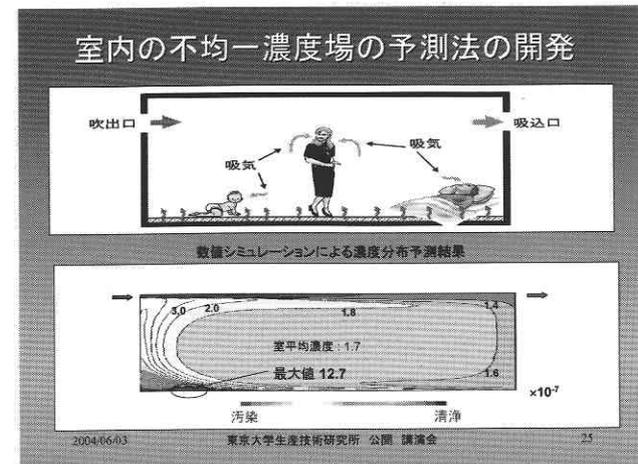
りまして、給気口、排気口があります。汚染源が排気口の手前にある。こういった場合を考えると、実はこの部屋は全然汚れていない。きれいな空気が入ってきて、循環して、最後出口から出て行くところに汚染源があるのですから。排気口での濃度は実は発生量と換気量で決まる濃度ですが、室内の平均濃度はほとんどゼロに近い。

あと、呼吸による人体の吸入を考える際、人間の呼吸にかかわる特徴を考慮しなければならない。スライドに「室内の換気と人体の上昇流」と書いてありますが、人間、1日に食事で2,000キロカロリーぐらいの熱量を入れることは皆さんよくご存知ですが、2,000キロカロリー体内に入れているということは、その分、発熱しているということです。発熱体の周りには当然、上昇流が生じます。



これは、実験でも流体シミュレーションでも確認したのですが、だいたい頭の上で20センチ/秒ぐらいの上昇気流を常に立ち上らせています。呼吸する空気に対するこの影響は大変大きく、この上昇流のおかげで、ほくたちが吸う空気は床面から誘引されてくる空気を吸うことになっています。要するに上昇気流が体の周りに生じますので、顔の前にある空気を吸うのではなくて、床から誘引されてきた空気を吸うことがポイントとなります。

これは逆で、よどみ域といいますが、ここで汚染が出た場合を示します。給気口からの空気はそのまま排気口に行ってしまう、給気口からの空気はわずかしか室内の奥側に流れ込まない、また室内奥側の空気はわずかしか排気口に流れ出さない、その室内奥側で出た汚染質はなかなか排出されずゆっくりと時間をかけて出ていく。例えば単位時間に1だけ汚染質が発生すると、もちろん定常状態では排気口からは同じく1だけ汚染質はでて行きますが、汚染質は単位時間の10倍も100倍も1000倍もよどみ域にとどまった後に出ていくということになる。そうすると、この領域には汚染質がとどまった時間に比例して10、あるいは100、1000も汚染質がいるという話になって、室内の平均濃度はいくらでも上がりうる。みなさんは汚染質の発生量と換気量で室内の汚染濃度は決まるとお思いかもしれませんが、現実としてはこのように空気の流れが悪いところで汚染質が発生すると、室内の平均濃度というのは



室内の濃度分布の話に移ります。汚染物質がある場所で発生し、ほかの所では発生していないということになると、

あたりまえのことなのですが、発生源のところで高い濃度になって、それから室内の各所に運ばれて希釈されて薄くなっていきます。床面なんか例えば発生源になっていると、かわいそうに床面近くで呼吸せざるをえない人は当然ながらたくさんの濃い濃度の汚染質を吸うこととなります。

### 前半のまとめ

- 室内の化学物質空気汚染の対策は、室内空気汚染の実態調査から始まる
- 建材などからの揮発性化学物質の放散速度を計測する
- 揮発性物質の室内汚染性状は、材料内拡散、吸着、室内空気による輸送などの物理過程による
- それぞれの物理過程は数学モデル化される
- 汚染質の室内濃度は均一ではなく、放散源、換気性状に基づく分布が生じる
- 人体の吸気量は、人体周辺の上昇流が少なからずの影響を与える
- これらの現象は気流の数値シミュレーションに連成させて行う
- 室内の汚染質濃度から人間へのインパクトを予想し、その低減を図る

2004.06.03 東京大学生産技術研究所 公開講演会 26

ということで、前半をまとめてみるとスライドのようになります。

化学物質による空気汚染の対策は、空気汚染の実態調査から始まるということで、あまり詳しくは申し上げませんが、低濃度ということで、確かな測定をやるのは相応の注意と技術が必要です。それから放散速度、建材からの放散速度というのはどんな物質がどれくらい出るかという話ですが、建材で使われている材料は山のようにありますので、これを一個一個、測ってデータベースをつくる必要があります。

実際の室内の汚染状況はいろいろな要素がある。吸着とか移流、乱流拡散輸送とかいう問題もあります。これを明らかにして濃度予測を行なわなければいけない。各現象を数学モデルであらわして、これを流体のシミュレーションと連成させて解くということが必要になります。われわれもこれをやっております。呼吸による吸気には人体起源の上昇流が影響を与えているということをご記憶しておくとういと思います。こういったことの検討から最終的には人間へのインパクト、具体的には厚生労働省の室内空気における各種有機ガス濃度のガイドライン値より高い濃度になるか低い濃度になるかということですが、そういう濃度にならないような対策を行なうということになります。

後半は少し専門的なことをご紹介します。

これから生産技術研究所で行なわれている研究の概要を示します。いままで申し上げたように室内空気の移動に伴う汚染物質の移動を評価するため、流体シミュレーションをやるという話になります。ここに放散源である建材を置いて、それからここに吸着面を置いて、いろいろな吸着性状、これはヘンリーとかラングミュアとか書いてありますが、これは吸着モデルですが、いろんな吸着モデルを入れ

### 放散・吸着モデルに基づく非定常室内濃度分布シミュレーションモデル

- 室内化学物質汚染性状をCFD(計算流体力学)により解析
- 各汚染源、換気要素などの室内汚染濃度に対する寄与を解析

(1) 吸着等温式の違いによる比較 (2) 解析対象空間

2004.06.03 東京大学生産技術研究所 公開講演会 27

て時間変化をみて、濃度がどういうふうになるか調べる。汚染源があって、換気がこのような場合、汚染源に近いこの場所では平均濃度に比べると30倍ぐらいの高い濃度が出るという結果が出ます。

### 数値シミュレーションによる室内濃度分布予測

- CFD(計算流体力学)による室内化学物質濃度分布予測
- 汚染源近傍は高温、風下は風上に比べ高温

2004.06.03 東京大学生産技術研究所 公開講演会 28

室内気流の流体シミュレーションというのは乱流モデルというのを使っています。これは物理現象の支配方程式から仮定に基づき導いた数学モデルで、実際の物理現象の支配方程式ではないので実現象との対応というのはけっこうあやしい。スライドは、流体シミュレーションによる流れ場とその濃度場の解析結果を示しています。上部左側に吹出口、上部右側に吸込み口があります。室内には時計回りの循環流が生じます。床面の汚染源があると汚染はこの時計回りの空気の流れに乗って室内に拡散しますが、当然、汚染源に近く風下になる室内左側壁面付近は、濃度が高くなります。

これは室内を模したチャンバーを示します。クリーンチャンバーといいまして、化学物質とか塵埃をゼロにした部屋をこの研究所の地下に設けておりまして、そこにこういう部屋の模型、チャンバーを入れて、汚染質のチャンバー中での拡散を検討する実験を行なう。

このスライドはそのような実験とシミュレーションの結果を比較して示すものです。汚染源はデカンと書いてあり

### 数値シミュレーションモデルの妥当性の検討

室内気流の精密制御が可能な実大モデルルームを作成し、室内に吸着剤を設置した場合の室内濃度減衰、濃度分布を詳細に測定し、数値解析精度を検証

2004/06/03 東京大学生産技術研究所 公開 講演会 29

### サーマルマネキンを用いた人体の吸気範囲の測定

デンマーク工科大で開発された発熱、呼吸するサーマルマネキンを使用 (身長:1.66m, 表面積:1.47m<sup>2</sup>)  
人体周囲の熱上昇流による呼吸空気質への影響を解析

実験用サーマルマネキン

2004/06/03 東京大学生産技術研究所 公開 講演会 31

### 実験とシミュレーションの比較

実験結果 (括弧内の値はmg/m<sup>3</sup>) シミュレーション結果

2004/06/03 東京大学生産技術研究所 公開 講演会 30

### PIVによる定常吸い込み時の測定結果

(1) 可視化 (2) 風速ベクトル(実験値)

2004/06/03 東京大学生産技術研究所 公開 講演会 32

ます。室内の実際の汚染源は建材ですが、実験では液体であるデカンを汚染源としてモデリング化して行なっています。汚染源としてはデカン、吸着面としては活性炭を用いているとか、実現象とけっこう違うと思われるかもしれませんが、しかし、そういうものを置いて室内の濃度を測って、次に対応する流体シミュレーションをやって、デカンが蒸発して後ろの吸着剤で吸着されて室内の濃度が決まるというのを実験とシミュレーションで比較して、よく合うぞと、だからシミュレーションで実際の物理現象を再現できると確認しています。よく合うと言いましたが、合わないところもいっぱいあります。たとえば、吸着の過程を合わせるのはけっこうむずかしくて、水蒸気があるかないとかいう実験条件の違いでも、結果がけっこう変わったりします。

これはサーマルマネキンを用いて人体の吸気範囲の測定行なうものです。この人形はデンマーク製で人間と同じように発熱します。ただし電気で発熱します。写真は裸なのですが、このマネキンの鼻と口には管が通されていて呼吸もするようにしてある。さっき申し上げたように発熱していると上昇流が生じて、吸う空気の影響を受ける。それを調べるということで、こういうマネキンを使っています。

これはシミュレーションではなく、実験結果です。これは口から吸っているときですが、この絵の上部境界を見て

いただくと、顔の近くに矢印がいっぱい出ています。この矢印は風速の向きと強さを表しています。顔の近くは風速が高く、離れると風速が弱くなっています。サーマルマネキンを人間と同じように発熱させてやるとその周りにこうやって上昇気流ができています。このマネキンの吸っている空気を見てもらうとおわかりのように、下から来ている空気を吸っています。

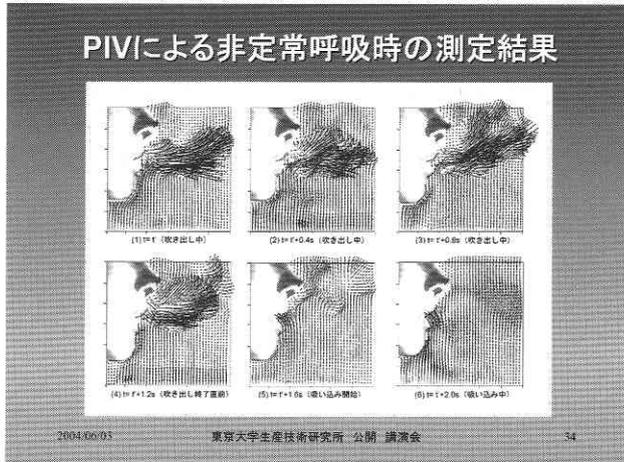
### PIVによる定常吹き出し時の測定結果

(1) 可視化 (2) 風速ベクトル(実験値)

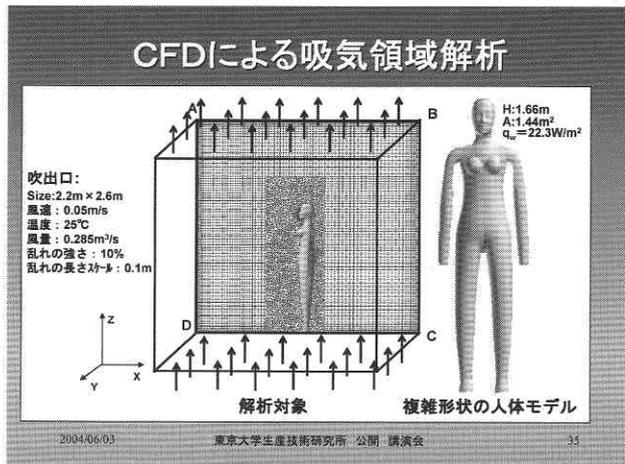
2004/06/03 東京大学生産技術研究所 公開 講演会 33

これは吐き出した瞬間の空気を示しています。この場合、口から吐き出しています。空気は水平に横へいきます。吐

き出した空気は顔から離れますが、また下から空気がくるので、吐き出した空気を吸うのではなく下から来た空気をここから吸うということになります。鼻から下向きに空気が吹き出されると、吸込む時、吐き出した空気の一部を吸います。



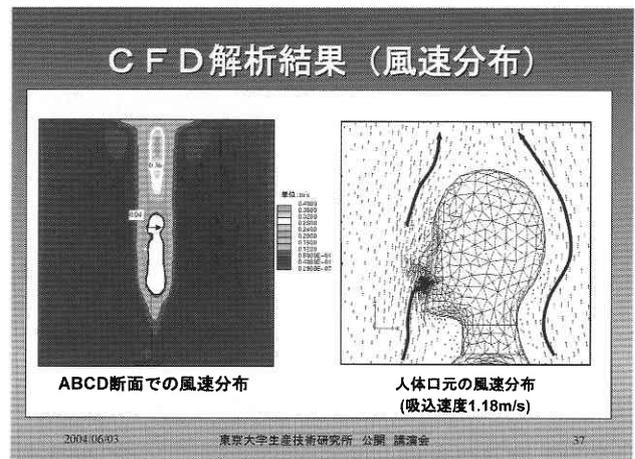
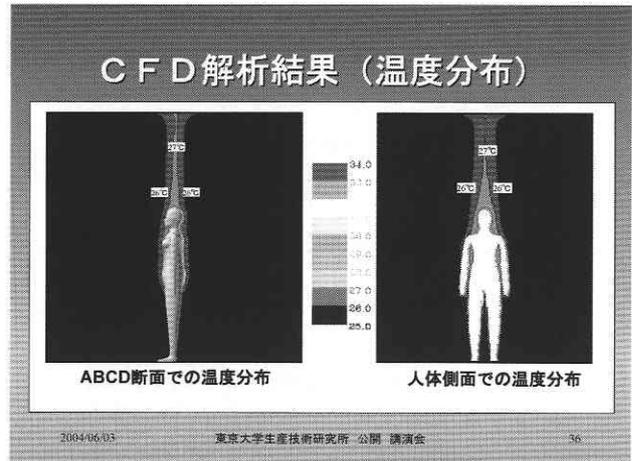
これは吸入と吐き出しを繰り返す様子を非定常で計測したものです。スライド中に PIV と書いてあるのは、パーティクル・イメージ・ベロシメータを意味します。流れの可視化を行なって、可視化画像から画像解析で風速を算出する手法です。



このスライドは、実験と対応して流体シミュレーションにより呼吸による吸入を調べる検討を示します。「CFDによる」とありますが、これはコンピュータフルイットダイナミクスの略で、計算機による流体シミュレーションを意味します。このCFDでこの人がどこの空気を吸っているかという分析をやってやろうというものです。

このスライドは流体シミュレーション結果で温度分布を示します。人間を部屋の中に立たせておいて発熱させてやる。上昇気流が生じて頭の上に温度の高い部分が生じます。

これは、風速を示します。矢印が空気の流れを示してい

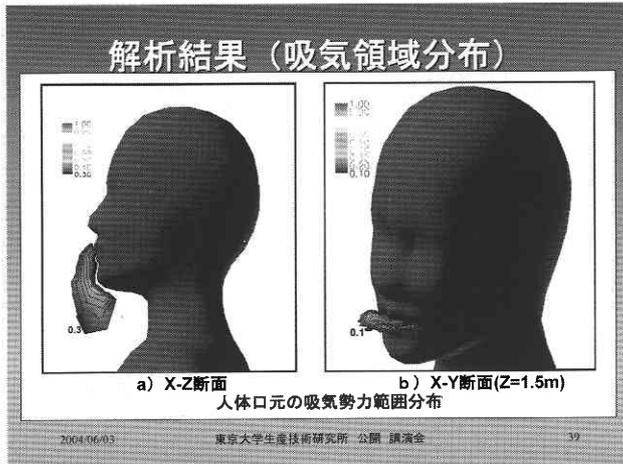


ますけれども、上昇流が人間の周りに生じています。最大では、36 cm/sec ぐらいの上昇流が生じています。

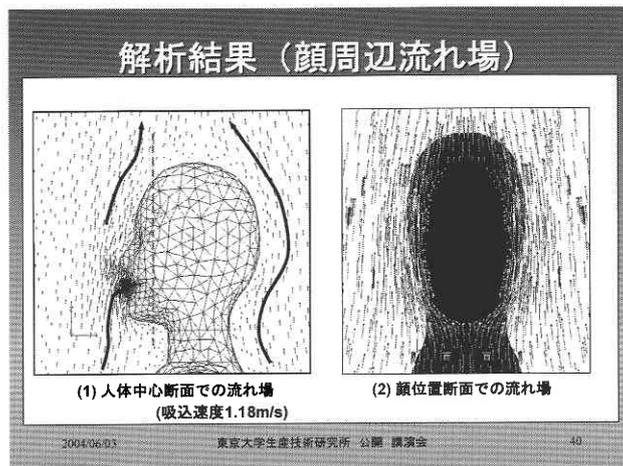


このスライドは、吸気領域、吸気の勢力範囲と書いてありますが、人がどこの空気を吸うのかを解析して示しています。赤い部分は、0.10と書かれていますが10%を意味します。この赤い部分の10%の空気が人に吸引される。0.05というのは5%なのですが、ここにある空気の5%は必ずこの人の口から吸い込まれるということを示しています。このようにどこの空気をこの人が吸っているかを調べ

てやった結果をここに示しています。この図でわかるように、この人に吸引される空気は人間の前面、床面に向かって延びてきており、人はこういう所の空気を吸っているということがわかります。なお、ここで特徴的なことは、呼吸で吸われる空気は、胸や腹に接しておらず、そこから少し離れた空気を吸入しています。この説明はあとでします。



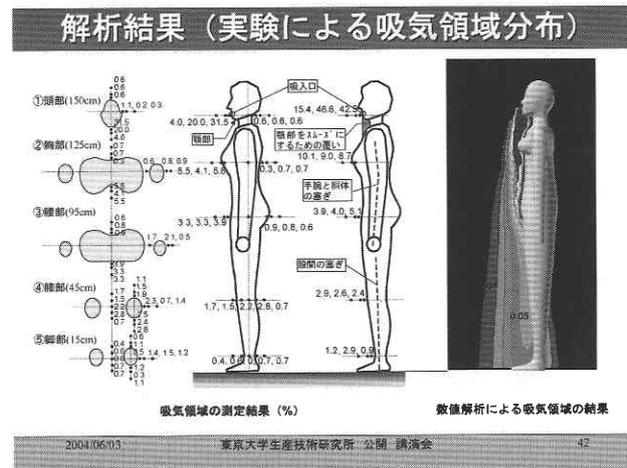
このスライドは顔周辺の呼吸する空気の領域を示します。吸われる空気の領域はあごの方に向かって下に伸びています。



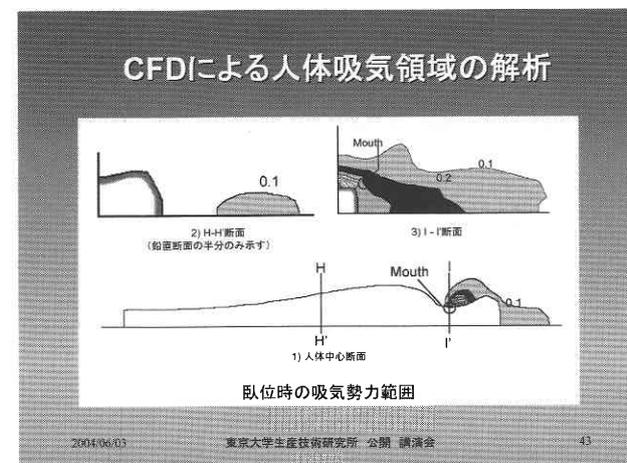
上昇流は、首から上に向かうと、あごの領域で左右に分かれ、顔の前面に達していません。ですから体に沿った上昇流は、あごの所で左右に分かれてしまい、吸入されません。体から少し離れた領域の空気を吸っていることがわかります。

このスライドは、下肢の部分、胴体の部分の呼吸される空気の部分を示します。体の前面の空気しか吸いません。背面の空気は吸えません。

この呼吸で吸入される空気の領域を調べる検討は、実験も行なっております。そこそこの対応があります。動いたらどうだとか、服を着ていたらどうかとか、いろんな要素

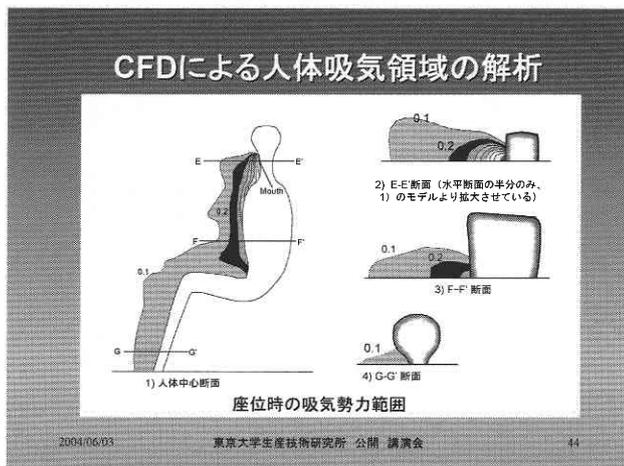
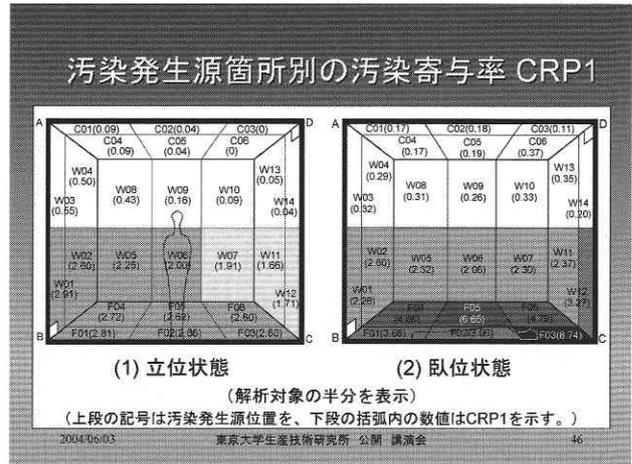


があります。しかしオーダというか、傾向は一致します。動けばとか、いろんなことをすれば数値はいろいろ変わっていきますけれども、全般的な傾向は、このようであると理解してください。

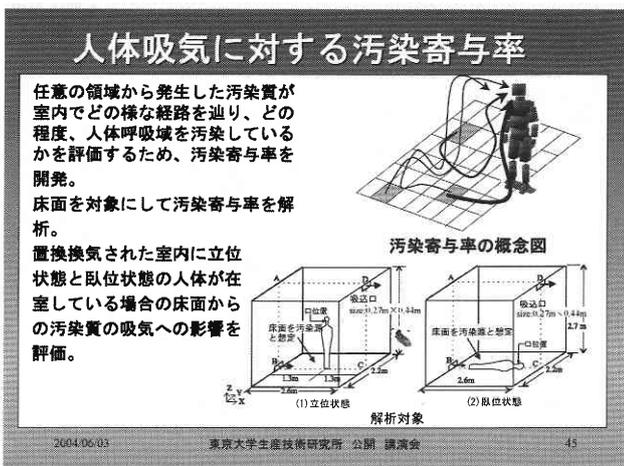


これは寝ているときの呼吸する空気の範囲を示します。みなさんは、寝ていても発熱していて上昇流をつくっています。だいたい胸とか足のところから上昇流が立ち上がります。胸の位置で上昇流が立ち上がることは床面の空気が、胸に向かって流れてくることを意味します。みなさん寝て

らっしゃるときには、床面を胸の方向に向かう頭付近の空気をお吸いになっているということを思い出すといいと思います。蚊取り線香をおかれる場合には、頭の周辺に置かれるとご自分も蚊取り線香を吸うことになります。蚊取り線香は、蚊を殺しますが、蚊というか昆虫を殺すほとんどの殺虫剤は昆虫の神経系に作用して殺します。植物は神経がありませんので植物は影響を受けず昆虫のみが殺されるには神経に効く農薬が一番です。昆虫の神経と人間の神経は、違いますが、動物としての基礎構造は似ています。昆虫の神経毒は、人間にも神経毒になります。蚊取り線香を置かれるのだったら足下に置いたほうがいいと思います。



それから、これは座っているときの呼吸により吸引される領域を示します。立っているときとあまり変わりません。体の前のほうの空気を吸っています。



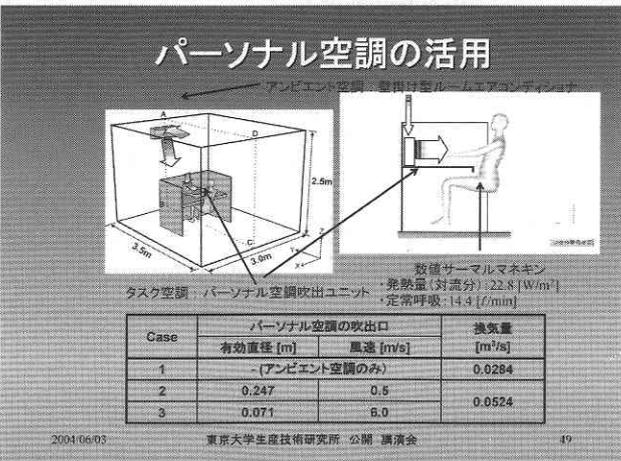
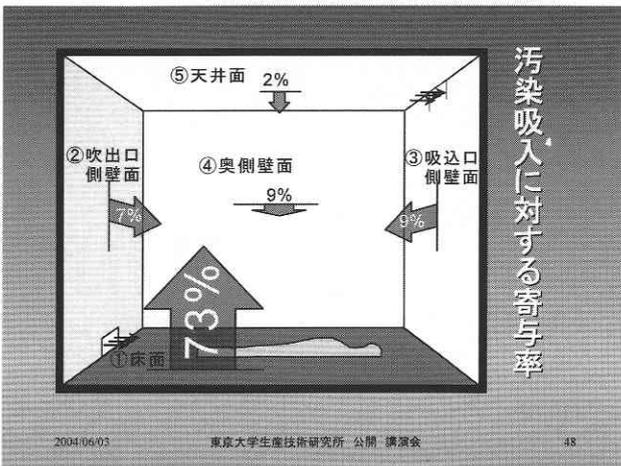
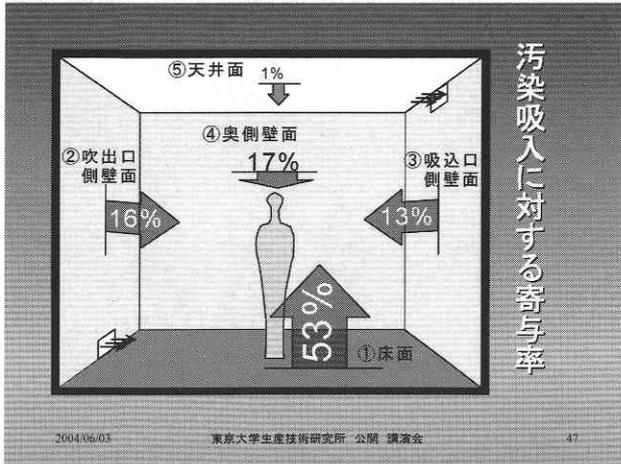
これはめちゃくちゃ実学的であって、人が吸う汚染質は部屋のどこからくるのか調べてやろうということで、考え出した「人体吸気に対する汚染寄与率」の概念を表すスライドです。部屋の床壁天井など様々な部分を小分けにして、それぞれ汚染を発生させ、発生した汚染質のどれだけの部分が人体の呼吸により吸入されるかしらみつぶしに調べてみようというものです。

人体の呼吸の吸入による汚染の寄与率は、室の形や換気の方式、人の居る位置で、様々に変わります。いろんなケースがあるので、ケースバイケースで計算しなければいけません。このスライドに示す図の場合は、ほくら建築環境設備の専門用語で、ディスプレイメント・ベンチレーションとっているのですが、ちょっと冷ための空気が床面近くから入って、暖くなった空気が上から出て行くという換気方式です。図の中のカッコでくくってある数字、(1)の立位状態の場合、床面で2とか1.91とか、2.66と書いてあって、上の天井部分では0.04などと書いてあるのですが、これはパーセンテージを示しており、たとえば2という数字はこの部位から出てきた汚染質の2%は、この破線で示す人が吸い込み、残り98%が室外に換気口から排出されますよということをいっています。この図は、人間の呼吸のための口も室内の給気や排気と同じく室内の空気から見れば同じ、給気口であり、排気口であるという認識で、人体の口を室内のひとつの排気口と見なしてその排気口から出て行く汚染質の濃度を調べ、排気流量と合わせてその排気口から排出される汚染質量を調べたものです。この図を見ると、天井付近の汚染質はほとんど人体に吸い込まれませんが、床面付近の汚染質は人体にその室内放散量の2%が吸い込まれています。図の(2)の寝ている場合を見ますと、頭の位置では8.74%なので、ここから出た汚染物質の約9%はこの人が吸ってしまうことを表わしています。

これは先にお見せした図と似た図ですが、見る視点が違います。こんどはこの人吸う汚染質の総量を100%として、床、天井、いろんなところから汚染物質が均一に出ると仮定して、この人が吸う汚染質はどこからきたか調べたものです。実はこの人、汚染物質の吸入量100%内、床面の分が53%占め、天井からの分は1%ということです。この図の教訓としては、人体が吸入する汚染質の多くは床面起源が多くなる可能性が多い。床はきれいなものを使いなさいということでしょうか。次のスライドに示すように寝ている場合は、床面の寄与はもっと大きくなります。

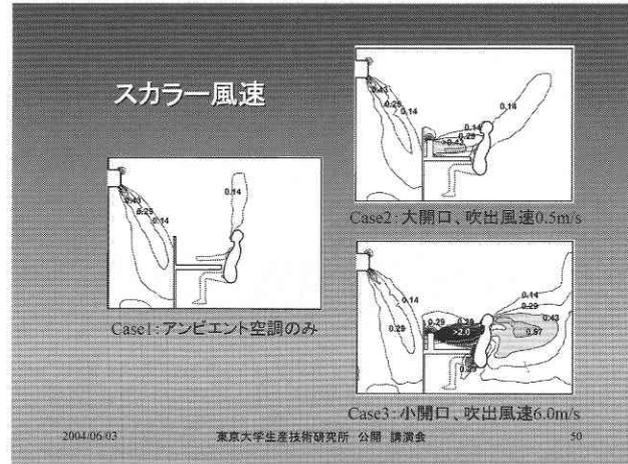
床面の寄与は73%にもなっています。

このスライドはパーソナル空調の使用で汚染空気の吸引

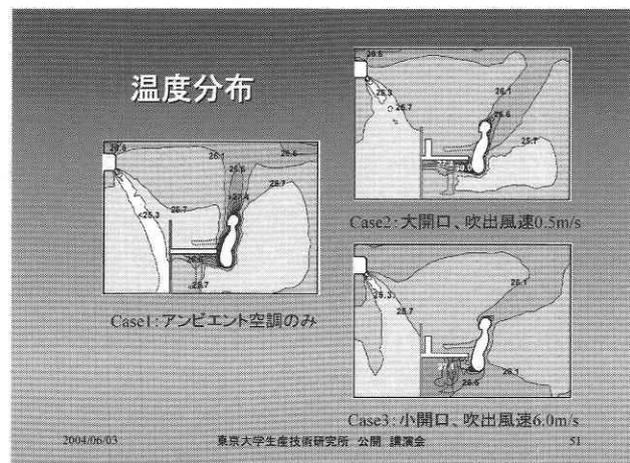


量を減らす工夫を示しています。この図は汚染質として有機ガスより花粉をイメージして作成しました。パーソナル空調機は空気清浄機のイメージで人体の前面に置かれています。空気清浄機からは清浄な空気が出てくるはずですが、一般の空気清浄機は粉塵は取れるのですが、ガスはあまり取れません。そういう意味で空気清浄機は揮発性のガスが原因であるシックハウスの対策にはなりにくい。しかし花粉症対策で花粉除去のための空気清浄機を用意するのなら、目の前において呼吸空気の領域に清浄空気を供給するのが良いのです。

このスライドは、空気清浄機の周辺の風速分布を示して



います。Case1は、空気清浄機なし、Case2は空気清浄機ありで、大きな開口から清浄空気が低速で胸元に向かって噴出されます。Case3は、同じく空気清浄機がありますが、清浄空気は小さな開口から勢い良く顔面に向かって噴出されます。後者の2つのケースで、空気清浄機の効果はかなり違います。



この図は、温度分布を示します。人体の発熱により人体から上昇流が生じており、空気清浄機からの空気がそれに向かって誘引されていきます。



この図は、呼吸による吸入空気の種類を示します。空気清浄機がない場合、机面側にその領域が伸び、この場所に汚染発生があるとこれを吸引してしまう可能性が示唆されますが、空気清浄機がある場合、吸入空気の範囲は清浄空気の吹出気流範囲に接しており、この面では、汚染質を吸入する可能性が減少しています。

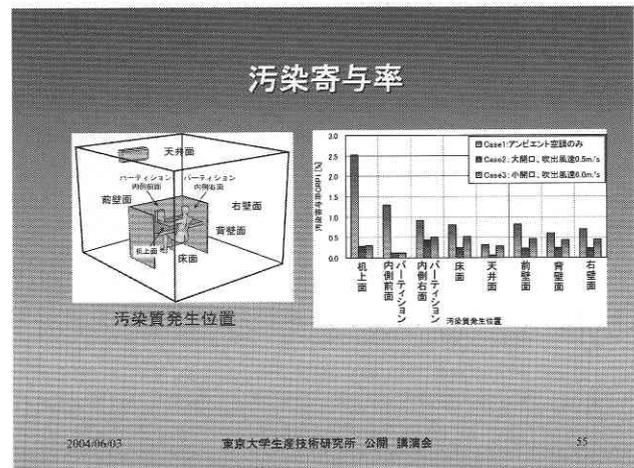


この図に示す空気齢は、給気口から室内に吹出された空気がその点に届くまでの時間を表しています。値が小さいのは、吹出口からあまり時間を経ずして空気がその点に到着することを示し、その分、その空気が汚染される可能性が小さいことを示します。ここで空気清浄機の吹出しが大開口の場合と、小開口でどのように違うかということが問題になります。大開口の場合は、人体の呼吸吸入領域の空気が若く、汚染の可能性が少ない良い環境であることを示します。一方、小開口の場合は、清浄機から吹出された空気は周辺空気と混合が進んでしまい、人体に達する時にはその空気齢も年取ってしまっている。

何が言いたいのかと思われる方もあると思いますが、これは空気清浄機の吹出口は広いほうが良いだろうということを示しています。これも流体の専門家になると、ああそうですかとすぐ解釈できますが、きれいな空気を狭い開口から吹いてやると拡散が進むので、周りの空気と拡散した空気を結局吸うことになってしまう。でかい開口から出してやると、その分、拡散混合の進み方が遅れますので、相対的に人と空気清浄機の距離が近くなることを意味し、汚染のリスクの少ない空気を吸えることを意味します。

一方、空気余命は、その場の空気が排気口から排気されるまであとどれくらい室内に滞在して入るかを示す指標です。人体の呼吸域の周辺の値はそれほど大きく変化しておらず、汚れた空気がどの程度、早く排出されるかという観点からは、これら3つのケースそれほど大きな差異はありません。

このスライドは、先ほど室内で示した呼吸で吸入する空気に対する汚染寄与率を解析した結果を示します。前と同じくそこで発生した汚染質のうち呼吸により人体に吸入された汚染質の割合を示したものです。空気清浄機のない



Case1 に比べて、空気清浄機のある場合は、その値が大きく低下しています。また清浄空気が小開口から吹出す Case3 に比べて大開口から吹出す Case2 は、その値が小さく、汚染質吸引するリスクが小さくなることを示しています。

そろそろ与えられた時間が終わりになりつつありますが、私としては用意しましたトピックがまだ少し残っていますが、駆け足で説明し、部分的には省略してはなりません。皆さんには、資料をお付けしてありますので、急ぎましたところは、お時間があるときにご覧いただければと思います。

### チャンバー法による有効拡散係数の測定

- 建材中の化学物質輸送を表す種々の物理モデルの開発
- 物理モデルの利用
  - 化学物質の輸送現象を支配するパラメータである有効拡散係数が必要
- 有効拡散係数
  - 一般的には実験的に得られる
  - Cup法、水銀注入法、Chamber法
- 対象化学物質
  - HCHO(ホルムアルデヒド)
  - 各種建材の有効拡散係数をChamber法を用いて測定

このスライドから以降は、建材の中を化学物質が拡散、移動する際の基礎的な物性の測定に関する説明になります。人間は出てこず、その分、物理的な検討になります。室内の汚染分布のシミュレーションをやるためには、建材からの化学物質の放散量をシミュレートする必要があり、さらにそのためには建材中の化学物質の有効拡散計数の値を知っている必要があります。この有効拡散係数に関するデータは、まだほとんど整備されておらず、一通り測定して調べなくてはなりません。この有効拡散係数は建材の中をどれくらい化学物質が通りやすいかを表すものです。本来なら、これは化学物質を作った化学屋さんが調べるべきものだと思いますが、ホルムアルデヒドとかトルエンとかキシレンとか、ありふれた化学物質の建材中での拡散係数があまり調べられてないんですよ。問題意識がなかったからしょうがないのかと思うのですが、逆にいうと問題意識のあるほうがやらなければいけないのかもしれない。

### Chamber法による有効拡散係数測定

Chamber法の化学物質移動

建材中と建材-空気相の総物質伝達率

$$\frac{1}{K} = \frac{1}{h_m} + \frac{1}{D} + \frac{1}{h_a}$$

$$\Delta C_m = \frac{(C_{1,m} - C_{2,m}) - (C_{1,a} - C_{2,a})}{K}$$

$h_m, h_a$ : 各 Chamber における物質伝達率 (m/s)  
 $D$ : 拡散係数 (m<sup>2</sup>/s)  
 $\Delta C_m$ : 対数平均濃度差  
 以上より、有効拡散係数  $D_e$  を導出すると

$$D_e = \frac{W_m \cdot (1 - \frac{1}{K})}{q \cdot h_m \cdot h_a}$$

物質伝達率  $h$  がある値をもちそれが無限に大きくなる場合、この  $h$  を考慮しないと建材の本実持つ有効拡散係数は過小評価されてしまう

建材表面における化学物質輸送

2004.06.03 東京大学生産技術研究所 公開 講演会 57

このスライドはチャンバー法による有効拡散係数の測定法を示します。これは異なる濃度差の空気を満たした2つのチャンバーを用意して建材を挟み、その建材を通過する化学物質量をそれぞれのチャンバーでの濃度測定から求めて、2つのチャンバーの濃度差とその通過量から建材内の化学物質の有効拡散係数を求めるものです。定常法ですので材料内部の吸着の性状は考慮されません。チャンバー方では、細かいことにはなりますが、実は建材表面の物質伝達の抵抗 (物質伝達係数の逆数) というのがあるので、流体シミュレーションをやってこの建材表面での抵抗も考慮して建材中の拡散速度を測るということでけっこうテクニックがいります。

このスライドは、チャンバー法により有効拡散係数を求める際の建材表面の物質伝達の抵抗を求めるために行なったCFDシミュレーション結果と、実験で得られた有効拡散係数を示します。有効拡散係数のオーダーは、これは  $10^{-7} \text{m}^2/\text{s}$  とあります。空気中が  $10^{-5} \text{m}^2/\text{s}$  程度ですから、その1/100ぐらいのオーダーで拡散するという事です。

有効拡散係数の測定の方法は、チャンバー法のように直

### Chamber法 実験及びCFD解析

実験条件		有効拡散係数 ( $10^{-7} \text{m}^2/\text{s}$ )	
温度 [°C]	23	サンプル	$D_e$
相対湿度 [%RH]	50	12.5mm せっこうボード	6.3
換気回数 [h <sup>-1</sup> ]	0.5	9.5mm せっこうボード	4.4
供給速度	100	不織布クロス+壁紙用接着剤	0.27
[ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (ppm)]	(0.05)	塩ビクロス+壁紙用接着剤	0.05

CFD解析より、  
 $h_{1p} = 0.44 \text{m/h}$ ,  $h_{1s} = 0.45 \text{m/h}$

CFD解析mesh 2004.06.03

風速ベクトル

Chamber内濃度分布(定常時) 単位 [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]

空気軸

東京大学生産技術研究所 公開 講演会 58

### 水銀圧入法による有効拡散係数の算出

簡易的方法で有効拡散係数  $D_e$  を算出する方法

- 水銀圧入法(MIP法)
- 各種材料の空隙率、屈曲度ファクターを求め、 $D_e$  を算出

特徴

- 比較的短時間での測定が可能
- 様々な温度で種々のVOCsに対する  $D_e$  が、一回の測定から算出可能

各種建築材料・吸着剤の有効拡散係数  $D_e$  を算出

- ホルムアルデヒド(HCHO)
- VOCs(トルエン、n-オクタン、酢酸エチルなど)

2004.06.03 東京大学生産技術研究所 公開 講演会 59

接はかる方法のほかに、建材の孔はこの程度を測り、この孔はこの程度から拡散係数を推定する方法があります。孔はこの程度は水銀圧入法で測ります。

### 水銀圧入法による有効拡散係数 $D_e$ の算出

水銀圧入法(MIP法)

- 微小な細孔を有する材料  
 ⇒ 細孔が吸着や拡散性状などの特性を左右
- 水銀圧入法により、細孔分布、空隙率、屈曲度ファクターを評価  
 ⇒ 有効拡散係数を算出

Washburnの式  $4r \cos \theta = PD$

$P$ : 加える圧力 [Pa]  
 $D$ : 細孔直径 [m]  
 $r$ : 水銀の表面張力 (N/m)  
 $\theta$ : 水銀と固体の接触角

細孔への水銀の侵入 測定原理図

2004.06.03 東京大学生産技術研究所 公開 講演会 60

このスライドは、水銀圧入法の原理を示しています。水銀の中に建材を入れて、水銀を圧入しその特性から孔はこの特性を測ります。

この孔はこの特性がわかれば、化学物質はこの孔の中を気中拡散するので、空気中の拡散係数の値を利用して建材中の化学物質の拡散係数が算出されます。

### 水銀圧入法による有効拡散係数 $D_c$ の算出

建材中の化学物質・水分等の $D_c$  [ $m^2/s$ ]

$$q = -D_c \frac{\partial C}{\partial x}$$

一般的に建材中のVOCsの拡散輸送は、細孔径分布は広範囲にわたるので、分子拡散とKnudsen拡散が同時に起こる  
この場合の拡散係数 $D$ は

$$\frac{1}{D} = \frac{1}{D_m} + \frac{1}{D_{Kd}}$$

$D_m$ : 空気中のVOCs物質拡散係数 [ $m^2/s$ ],  $D_{Kd}$ : Knudsen拡散係数

$$D_{Kd} = 0.97r \left( \frac{T}{M} \right)^{1/2}$$

T: 温度[K], M: 分子量, r: 平均細孔径[m]

$$D_c = \frac{\epsilon}{\tau} D$$

$\epsilon$ : 空隙率,  $\tau$ : 曲折度ファクター

物質名	分子量	$D_a$ [ $m^2/s$ ]	温度(°C)
HCHO	30.03	$1.53 \times 10^{-5}$	23.0
トルエン	92.14	$8.38 \times 10^{-6}$	23.0
n-オクタン	114.23	$6.51 \times 10^{-6}$	23.0
酢酸エチル	88.11	$8.64 \times 10^{-6}$	23.0
n-ドデカン	170.33	$5.23 \times 10^{-6}$	23.0
メタン	16.04	$1.06 \times 10^{-5}$	23.0

2004/06/03 東京大学生産技術研究所 公開 講演会 61

### 各測定法での有効拡散係数 $D_c$ [ $\times 10^{-7} m^2/s$ ]

測定法	測定条件	HCHO	Toluene	n-Octane	Ethyl Acetate
Chamber	東大生研	6.3	0.27		
	壁紙1+接着剤				
	壁紙2+接着剤	0.05			
Haghighat's	せつこうボード			12.8	17.7
	壁紙+接着剤			0.08	0.10
Cup	東京工芸大		0.8		
	壁紙a		0.8		
	壁紙b		1.5		
VIT	せつこうボード			4.5	8.5
	壁紙+接着剤			0.02	0.03
CSTB	せつこうボード			8.0	9.8
	壁紙+接着剤			0.11	0.20
MIP	東大生研	55.6	30.8	24.6	31.7
	壁紙1	34.2	19.1	15.8	19.6
	壁紙2	40.5	22.5	18.4	23.2
Tiffonnet's	せつこうボード		22.2	12.1	9.0

2004/06/03 東京大学生産技術研究所 公開 講演会 64

### 細孔分布測定結果

試料名	平均細孔径 ( $\mu m$ )	空隙率 (%)	曲折度 Factor
せつこうボード	0.18	68	1.46
合板	0.051	62	1.53
MDF	0.050	47	1.70
EPS	0.12	96	9.5
壁紙1	0.062	62	1.53
壁紙2	0.089	63	1.52
壁紙用接着剤	-	-	-
粒状活性炭	0.021	36	1.83
備長炭	0.028	35	1.84
竹炭	0.026	46	1.71

2004/06/03 東京大学生産技術研究所 公開 講演会 62

このスライドは、石膏ボードなど種々の建材の孔ばこの特性を示します。合板でも62%もの空隙があることは記憶されていてよいかもしれません。

### 水銀圧入法による $D_c$ 算出結果 [ $\times 10^{-7} m^2/s$ ]

	HCHO	Toluene	n-Octane	Ethyl Acetate	n-Dodecane	Methane
せつこうボード	55.6	30.8	24.6	31.7	19.8	43.2
合板	31.3	17.5	14.5	18.0	11.8	28.7
壁紙1	34.2	19.1	15.8	19.6	12.8	30.4
壁紙2	40.5	22.5	18.4	23.2	14.8	34.2
MDF	21.1	11.8	9.8	12.1	8.0	19.4
EPS	10.9	6.0	4.9	6.2	3.9	8.8
粒状活性炭	8.9	5.0	4.3	5.2	3.5	9.5
備長炭	10.5	5.9	5.0	6.0	4.1	10.6
竹炭	14.0	7.9	6.7	8.1	5.5	14.4

2004/06/03 東京大学生産技術研究所 公開 講演会 63

このスライドは、水銀圧入法による細孔特性から、種々の化学物質の建材中の拡散係数を求めたものです。チャンバー法で求めた値とは若干、異なる値を示します。オーダは、 $10^{-7} m^2/s$ 程度で、対応しています。

この表は、各研究機関で測定した有効拡散係数の値を求めています。建材は、様々なバリエーションがあり、同じ

種類の建材といっても、拡散係数が同じという保証はありません。各研究機関での測定値の違いは、建材自身の特性が異なることも原因のひとつです。

### 吸着建材の効果測定法の開発

- 近年、住宅・オフィス・学校等
  - 化学物質による室内空気汚染が顕在化
- 室内空気汚染低減手段
  - 汚染源対策、常時換気、パッシブ吸着材
- パッシブ吸着材
  - 建材に室内濃度低減効果を保持

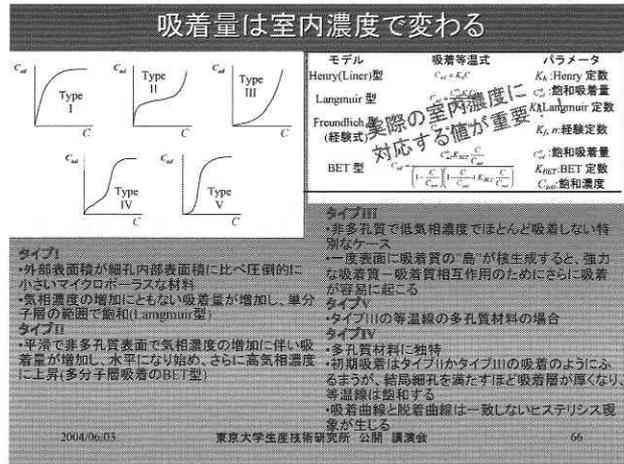
簡便かつ有効な対策

- せつこうボード
  - ホルムアルデヒド(HCHO)吸収分解性能付与
- 境界層型小型Test Chamber
  - 物質伝達率コントロール
  - パッシブ吸着材の室内汚染濃度低減効果
  - 実験とCFD解析

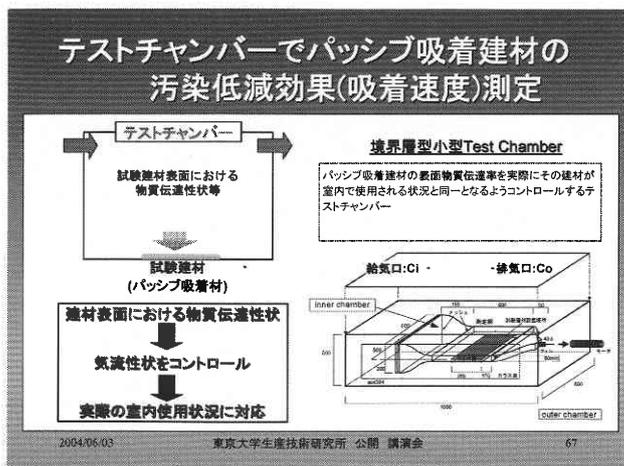
2004/06/03 東京大学生産技術研究所 公開 講演会 65

化学物質の健全からの放散を考える上で、拡散係数のほかに建材の大事な特性として考えなければならないものに吸着特性があります。吸着特性は、建材に含まれる化学物質の総量にも影響しますので、建材からの化学物質の放散を考える際にも重要となりますが、活性炭などで代表されるように、空気中から化学物質を吸着により取り除く作用もあります。その特性を調べることは重要になります。この吸着による室内空気中の化学物質の濃度低減効果は、換気同様にその効果が期待され、いろいろなものが提案され、市販されています。中には効果が疑わしいものもあります。

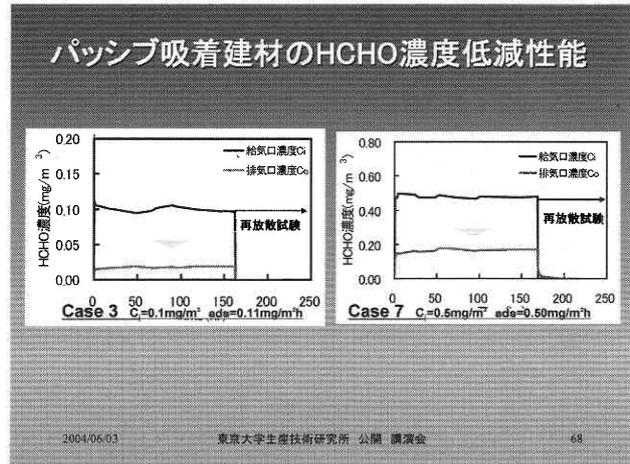
疑わしいものがいっぱいあるということは、ということかと言いますと、このスライドに示しましたように、吸着の特性は、材料によって異なり空気濃度と吸着量は必ずしも比例関係にはなっていない。したがって吸着は「実際の室内濃度で対応する値が重要」となります。当たり前のことですが、吸着材への吸着量は吸着材の周辺の空気の濃い濃度が高いほど吸着量は多くなります。しかし、実際の室内では、ホルムアルデヒドの室内濃度が1ppmを超える



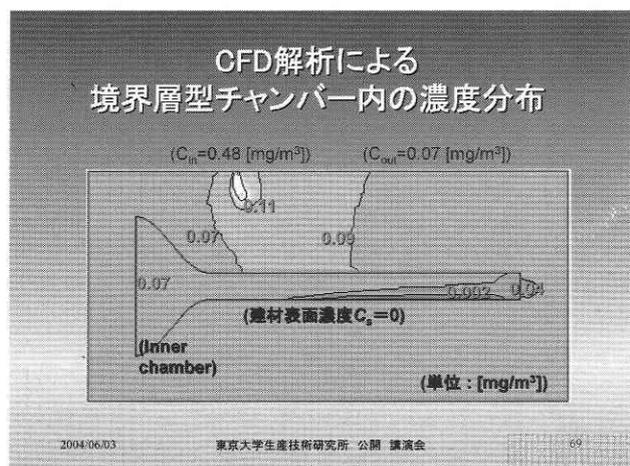
ような高濃度になることはあまりない。高くして厚生労働省のガイドラインの 10 倍程度の 0.1 ppm 程度の室内濃度からホルムアルデヒドを除去する効果が重要となる。だからみなさん、汚れた空気をきれいにする何々材とか書いてあるときに、ちゃんと確認しなければいけないのは、吸着を試験した時の濃度が濃いのか薄いのか、現実的な濃度が否かを確認しなければいけない。われわれはもちろん、実現象に対応する薄い濃度における効果を測定することを大事にしています。



このスライドは、室内空気中の有機ガスを吸着することを謳う建材の試験法の概念図を示しています。室内の有機ガスを吸着するには、吸着材の表面にその有機ガスを輸送してこなくてはなりません。吸着材表面付近の有機ガスが吸着されても、そこにあらたな有機ガスを運んでくるメカニズムがなければ、吸着材は有効に働きません。実際には室内気流がこの役割を果たします。逆に言えば、この吸着材表面の気流の性状が異なると吸着特性も異なった測定結果を示してしまいます。図の装置は、そのようなことを避けるため、吸着材の表面を常に一定の風がよぎるように工夫したテストチャンバーを示しています。吸着を謳う建材は、このような装置の下で、低い濃度での吸着特性を調べられる必要があります。

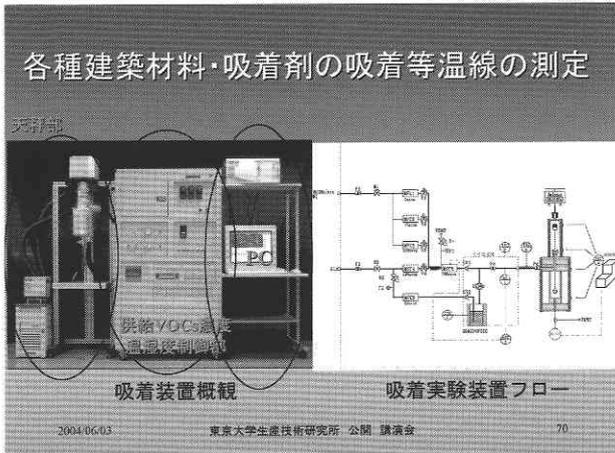


このスライドは吸着を謳う建材の試験法の結果を示しています。図の横軸は経過時間、縦軸は濃度を表しており、テストチャンバー内にホルムアルデヒドを含ませた空気を給気し、排気口で吸着されたため低濃度となった濃度が検出されることを示しています。試験の途中で給気側のホルムアルデヒド供給を止め、吸着材からホルムアルデヒドが再放散されないかを確認しています。この場合、給気側濃度をゼロとすると排気側濃度もゼロのままで、吸着材からの再放散のないことが確認されています。

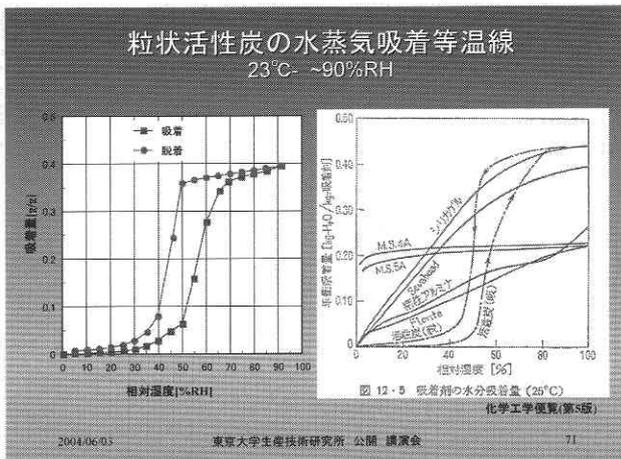


スライドは、試験チャンバー内の濃度分布を CFD 解析と引き続き濃度解析で検討した結果を示します。吸着を謳う建材の表面近傍で濃度が低下して、建材に吸着される様子がわかります。さらに、吸着を謳う建材が低い濃度の境界層で覆われ、風下に行くに従って吸着の能力が低下することもわかります。風下側の吸着材の表面に効率よく汚染ガスを輸送することが大事であることがこの図を見てもわかります。

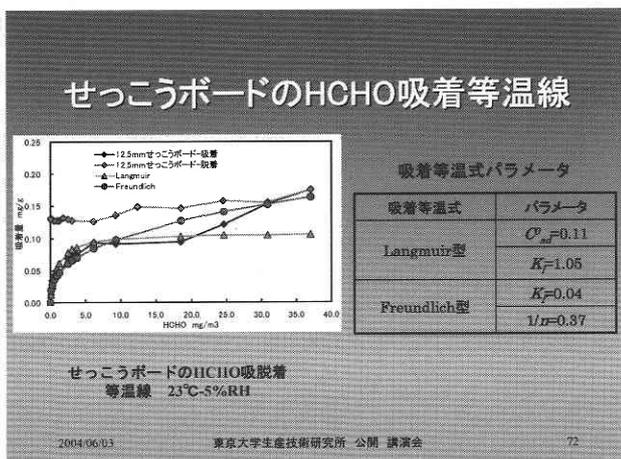
このスライドは、吸着能力のある材料の吸着特性、すなわち吸着等温線を測定するシステムを示しています。原理は天秤で、既知濃度のガスを流し続けて吸着させ、その重量を測定して吸着量と濃度の関係を求めます。「等温」といことは、吸着が起こると一般に熱が放出され温度が上



がののに対し、温度を一定にして実験を行なっていることを意味しています。



各種の有機ガスの吸着特性を調べる前に、水蒸気の吸着特性を調べたものがこのグラフです。活性炭は、相対湿度40-50%の所で、吸着と脱着が大きく起こることがわかります。



このスライドは、石膏ボードのホルムアルデヒドの吸着等温線を求めた結果を示します。ホルムアルデヒドは、水

蒸気の影響を受けやすく、脱着過程はあまりきれいなカーブが得られておりません。このあたりは測定が難しく、今われわれが課題としているところです。

### ホルムアルデヒドの壁面吸着による室内濃度低減効果に関する数値解析の概要

室内の汚染質分布性状は、壁面での吸着等による低減効果の大きな影響を受ける

- 壁面等での吸着効果を考慮した室内の汚染性状をCFDにより解析し、その影響を検討する
- 室内をファンヒーターにより十分攪拌した状態と攪拌しない場合を検討する

2004/06/03      東京大学生産技術研究所 公開 講演会      73

このスライドは室内に、実際に吸着性のある建材を施工した際にどのようなことが起こるかを検討する研究の概要を示しています。これは結構おもしろいのですが、このような吸着性建材を建物の中に貼ったときには、貼り方に結構なノウハウがあることがわかります。

### 解析概要

室サイズ	2.6(x) × 3.52(y) × 2.40(z)[m]
メッシュ分割	31(x) × 29(y) × 25(z)
室内温度	22.0[°C]
外気温度	3.5[°C]
換気回数 (自然換気)	0.1[回/時]
熱貫流率 (木造・充填断熱工法)	天井 : 0.25[W/m²・°C] 壁 : 0.45[W/m²・°C] 床 : 0.45[W/m²・°C] 開口部 : 4.65[W/m²・°C]

解析対象

- 標準k-εモデルにより解析
- 壁、天井の室内面が理想的な吸着能力のある建材(吸着面の温度T)で仕上げられた場合に関して検討する。
- ホルムアルデヒドの発生は 0.036mg/m³h と固定

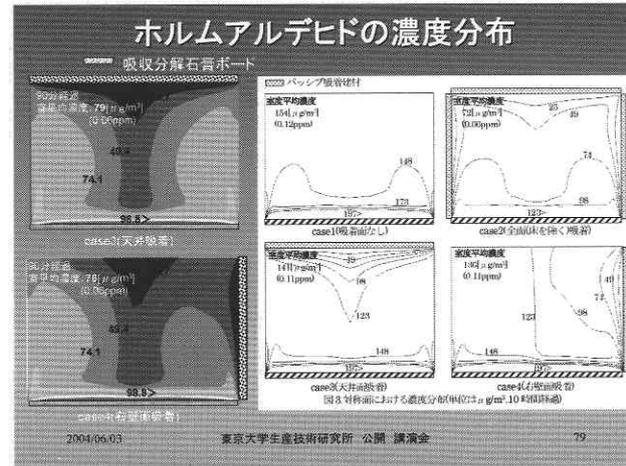
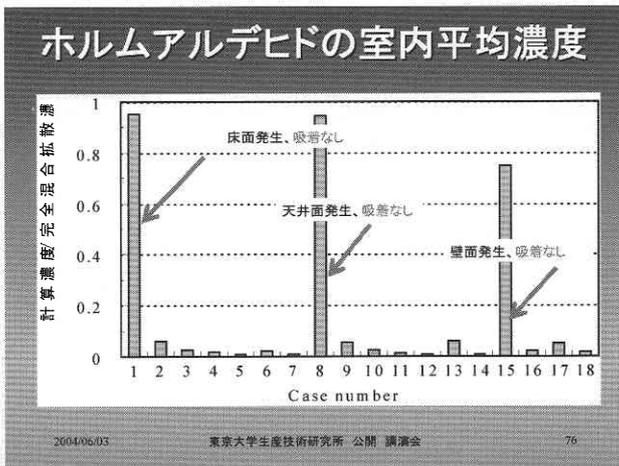
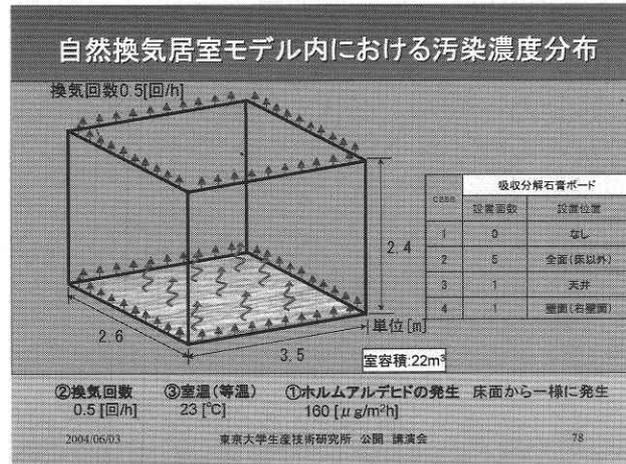
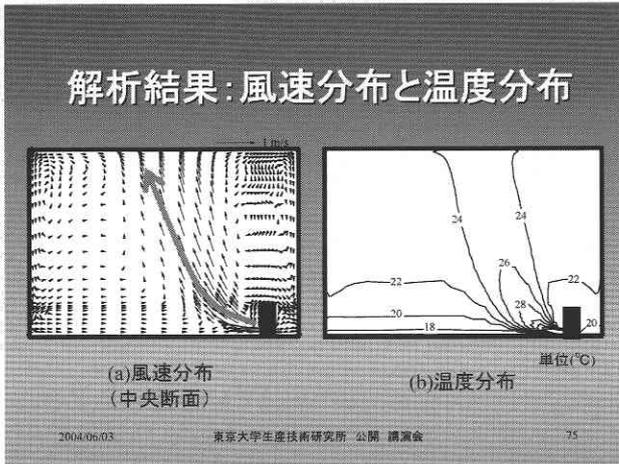
2004/06/03      東京大学生産技術研究所 公開 講演会      74

最初の例は、室内がファンヒーターでよくかき混ぜられている場合です。先ほど言いましたように吸着建材の表面に有機ガスが良く運ばれる例になるので吸着建材の効果も良く出ます。

このスライドは、室内の気流および温度分布の解析結果です。ファンヒーターからの温風は、室内に上昇し、室内全体に大きな循環流を形成します。

これは、室内の平均濃度を示します。色々なケースを比較していますが、一言で言えば、吸着材がなければ室内濃度は高く、あれば吸着材の量を変えても室内濃度はほとんど変わりません。良くかき混ぜれば、吸着材を全面に使用しなくても効果が上がります。

これはファンヒーターで室内をかき回してやる場合のま



### 室内が十分攪拌される場合の吸着建材の効果のまとめ

- 室内がファンヒーターにより十分攪拌され、壁面での物質伝達率が大きい場合、壁面に吸着建材設置した場合、吸着建材なしの場合の約1/10以下の濃度まで低減
- 室内がファンヒーターなどにより十分に攪拌される居室内では、吸着建材による汚染質濃度低減に大きな効果がある

2004.06.03 東京大学生産技術研究所 公開 講演会 77

下しません。貼り方により濃度には差が生じます。ポイントは吸着材の風下に当たる部分にさらに吸着材を貼っても無駄だということです。室内空気があまりかき回されていないと、吸着材表面の吸着されて低濃度となった空気が濃い空気と交換されず、吸着材表面を覆ってしまうので、折角吸着材を貼ってもあまり効果が出ません。しかしものは考えようです。上流側の吸着材が、効果をなくせば下流側の吸着材の出番が回ってきて変わらず室内の有機ガスの除去をしてくれるはずです。

とめです。ファンヒーターでかきまぜるとめちやくちゃ効果があって、10分の1ぐらいまですぐホルムアルデヒド濃度を減衰させることができる。

次の検討は、室内の空気をかき混ぜることが行なわれない場合の検討です。これはじわじわと外部の空気が床付近から部屋の中に空気が入ってきて天井付近から出て行くという状況なのですが、こうすると同じように吸着してくれるという建材を貼っても能力は半分ぐらいになってしまう。さらに貼り方によっても結構差が出るという話です。

このスライドは結果の図を示します。まず、折角吸着材を貼ってもその濃度は張らない場合の半分程度までしか低

### 室内が攪拌されない場合の吸着建材の効果のまとめ

- 室内が自然換気により穏やかに換気される場合、壁面での物質伝達率は攪拌した場合に比べ小さく、壁面に吸着建材設置した場合、吸着建材なしの場合の約1/2程度の濃度に低減
- 濃度低減効果は、吸着建材設置面積に必ずしも比例しない
- 吸着建材は、室内空気の汚染低減に効果があるが、汚染放散建材に表面に施工すれば汚染放散をゼロにすることができる

2004.06.03 東京大学生産技術研究所 公開 講演会 80

ここに室内の空気が余り攪拌されない場合の吸着建材の

効果をまとめました。

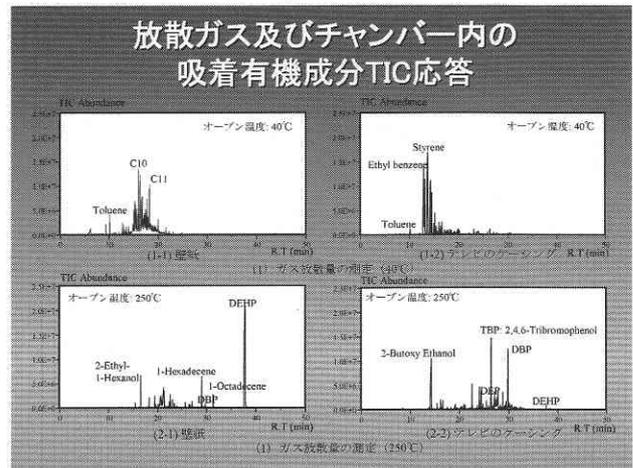
### 実温度条件下における材料から放散される準揮発性有機化合物(SVOC)測定法の開発

- 小形チャンパー法により材料から放散される準揮発性有機化合物(SVOCs)測定法の問題点
- フタル酸エステル、防蟻剤などのSVOCsに関して、
  - 気中濃度が非常に低い、サンプリング捕集量が非常に多い
  - 材料から放散されるSVOCsはチャンパー内表面への吸着量が無視できない

2004/06/03 東京大学生産技術研究所 公開講演会 81

最後はSVOCの話題です。ここにSVOCと書いてあるのですが、これは今まで言ってきた化学物質はけっこう揮発性が高いものですが、室内の空気中には揮発性があまり高くなく、したがってより少量しかガスとして存在しない有機物質があります。この代表がフタル酸エステル、これは可塑剤といって環境ホルモンとかいう疑いもかけられているとのことなのですが、こういったものもそこそこ出てきます。フタル酸エステルは非常にたくさん使われている化学物質ですが、その室内での性状はまだ十分に解明されていません。ただ、建材から放散されても揮発性が低いので、すぐに空気中の塵埃や室内の壁表面に吸着されてしまうと考えられます。壁などに吸着されるのに比べ、空気中の浮遊粉塵に吸着する分は考え物です。浮遊粉塵として、結局人体に呼吸により吸入される可能性が生じます。またこのフタル酸エステルはエステルなので加水分解してしまい、フタル酸とアルコールに分解されます。このフタル酸エステルの分解部手であるアルコールも室内で検出されることがあります。これらに関して今後の研究が課題となっています。

くるとか調べるのはたやすいことではありません。揮発性が悪いものなので、チャンパーで放散試験をやるとチャンパーの内表面にくっついてしまっていて、実はほとんど出てないようにしか見えないという問題点がありました。そこで、そのような放散試験をした後、チャンパーをあとで加熱し、チャンパー内壁にくっついたやつも一緒に脱着させて分析すれば、全部出た量がわかるのではないかとということで、そういう測定法を開発しました。スライドに示す図は、そのシステムを示しています。石英チャンパー内で放散実験を行い、その後、その石英チャンパーをオープンで焼いて石英チャンパー内壁にくっついた化学物質を脱着させ、分析します。



このスライドはその測定例を示します。今いったことですが、ふつうに壁紙だけ測ると、直鎖の脂肪族しか出てこないのですが、チャンパー自身を加熱してみたら、これは可塑剤なのですが、いっぱい出てましたよというのがわかる、そういうことです。左側は壁紙の例、右側はテレビのケーシングのプラスチックを調べた例です。

### 実温度条件下における材料から放散される準揮発性有機化合物(SVOC)測定

吸着-加熱脱着法により測定する装置 (MSTD-258A)

発生ガス測定条件	
石英チャンパー内部寸法	φ100×H150mm
オープン温度	加熱時: 40°C チャンパー加熱脱着時: 30~250°C Rate 20°C/min
捕集剤	Tenax TA
捕集時間	30min
プレバージ時間	3.0min
捕集流量	50ml/min
捕集剤脱着温度	250°C
バージガス流量	100ml/min

GC/MSの分析条件	
GC	HP6890
コールドトラップ温度	-130°C (1.5min) → -20°C/sec → -280°C (4min)
カラム	TC-1 (60m × 0.25mm × 0.25 μm)
オープン温度	40°C (5min) → 10°C/min → 220°C (21min)
検出器 (MS)	HP5973MSD

### チャンパー内吸着-加熱脱着法によるノートパソコンからのSVOCs測定

(室温25°C, 相対湿度50%)

1hr 後 1L 捕集	放散ガス濃度 [μg/m³]		放散速度 (μg/(m²·h))	
	無検出時	検出時	無検出時	検出時
Acetone	21.4	63.6	0.076	0.171
Methylacetate	192.3	409.3	0.726	1.278
1-Butanol	21.8	57.2	0.076	0.156
Toluene	13.2	43.4	0.041	0.148
Ethylacetate	101.3	275.9	0.365	0.210
Cyclohexane	20.5	73	0.076	0.214
2-Butoxyethanol	178.5	750.5	0.661	0.158
Isocetanol	15.5	59.4	0.041	0.157
2-Ethyl-1-hexanol	19.8	184	0.045	0.200
Phenyl isopropenol	9.2	69.6	0.129	0.342
1-methylcyclohexene	12.3	97.5	0.163	0.813
Cyclohexylbenzene	39.3	304.3	0.049	0.109
DBP			0.106	0.650
Total	645.9	2387.7	2.871	7.676

このスライドは、パソコンでの測定例です。パソコンからはいっぱいいろんなものが出てますよという話になります。

## 結語

- ・ 汚染質濃度は室内で一律でない
- ・ 室内各点の換気の効率の違いが原因
- ・ 人体熱上昇流は呼吸空気質に関与
- ・ 室内空気汚染のCFD解析手法を開発し、室内汚染の事前予測を行う
- ・ 基礎資料としての材料内の拡散係数の測定
- ・ 吸着建材の効果の試験法は建材表面の物質伝達率を制御して行う必要がある
- ・ 基礎資料として吸着等温線の計測
- ・ 吸着建材は、室内が十分に攪拌されると大きな効果を示す
- ・ 室内気流が穏やかな場合には、その効果は減少する
- ・ 建材などからの準揮発性化学物質の放散量測定法を開発

2004/06/03

東京大学生産技術研究所 公開講演会

85

ということで最後に、結論のスライドをお見せして私の講演をこれで終わらせていただきます。ご清聴ありがとうございました。