

2. 分科会における説明資料

次ページより、プロジェクト推進・実施者が、分科会においてプロジェクトを説明する際に使用した資料を示す。

エネルギーイノベーションプログラム
「揮発性有機化合物対策用高感度検出器
の開発」(事後評価)
(2005年度～2008年度 4年間)

プロジェクトの概要 (公開)

NEDO技術開発機構
環境技術開発部

2009年 12月 2日

1/30

1. 事業の位置付け・必要性について (1)NEDOの事業としての妥当性

公開

社会的背景

1. シックハウス

- ・厚生労働省:H12からシックハウス問題に関する検討会を設置し、13種類のVOCの濃度指針値設定
- ・国土交通省:H15 改正建築基準法施行換気回数確保

トレードオフ関係

2. 地球温暖化

- ・喫緊の世界的、国家的課題
- ・民生家庭部門の換気エネルギー消費の低減

事業の目的

- ・省エネルギー換気システムの構築
- ・小型、高感度のVOCセンサの開発

根本的な住宅価値増大技術の確立

必要性

健康住宅ロードマップ研究会

H16年METI主催 座長:慶應大学 村上 周三 教授(東京大学名誉教授)

検討

- ・省エネを効率的に推進させる住宅の要素技術・設計技術等、今後の開発の方向性
- ・必要とされる新たな技術開発項目の位置付け(ロードマップ)



結果

改正建築基準法による24時間機械換気の義務付けに伴う熱損失の増加への対応に、**省エネと健康な室内空気環境の確保の両立**が可能な対策を検討してゆくことが求められる



具体的提言

VOCセンサとVOCセンサを用いたモニタリング併用型換気システム等の開発の必要性

位置付け

H17年度のMETI事前評価

「地球温暖化防止新技術プログラム」、
「省エネルギー技術開発プログラム」* 及び
「住宅関連産業施策」において
「高環境創造高効率住宅用VOCセンサ等技術開発事業」
として位置付けられている

*「省エネルギー技術開発プログラム」はH20年度から
「エネルギーイノベーションプログラム」に変更

効果

実施の効果 (費用対効果)

費用の総額 **4.7億円**

市場の効果(2020年時点) ※成功確率100%で計算

新換気システム販売 **1千億円** (673万機/年、+1~2万円/機)
(平成17年事前評価時矢野経済研究所調べ)

省エネルギー効果 (万kl/年)

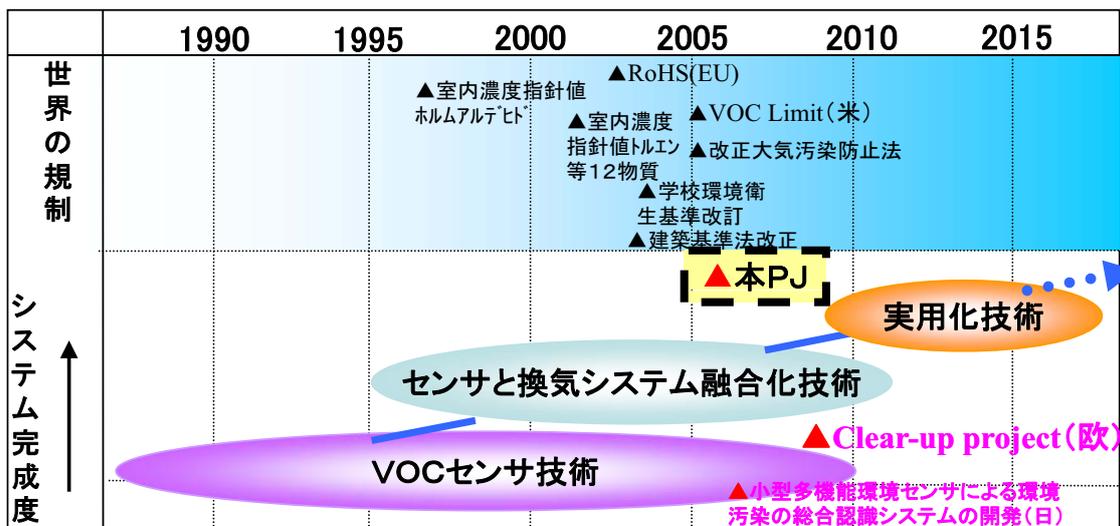
8.6万kl/年 (2020年推定、原油換算)

13.6万トン/年 (2020年推定、CO2換算)

(本プロジェクト試算による)

内外動向

国内外の研究開発の動向; 事業目的の妥当性



本プロジェクト	従来にない高い目標
センサの感度目標	指針値の1/2
換気システム運転	VOCセンサ制御

事業妥当性

目標

事業実施期間を延長、最終目標を変更

揮発性有機化合物の総量の検出に加え、ホルムアルデヒド、トルエン、キシレン等の揮発性有機化合物のうち1種類又は複数の化合物を測定対象ガスとした検出器の基本概念と構造を確立する。また、プロトタイプを試作して初期性能を確認し、基幹技術の実用性を確認する。

- ①ガス種別選択性：測定対象ガス濃度を計測できる基本技術を確立する。
- ②検出感度：対象13物質ごとに濃度を設定。
- ③応答性：10分/回以内(サンプリングから測定まで)。
- ④繰り返しモニタリング性：30分/回以内の間隔で繰り返し計測可能であること。

実施期間を延長し下記を最終目標に

- ・プロトタイプの実用性を多様な実環境下等で検証するとともに、特性(安定性・信頼性)の向上を図る。
- ・安定性・信頼性：ドリフト・ヒステリシスを抑制する基本技術を確立し、指針値濃度に対する感度変化を25%以内(2か月以上)とする。
- ・温度・湿度等の変動、無機ガス暴露、高濃度ガス暴露に対する信頼性を確保する。

目標・根拠

実施期間延長前の研究開発目標と根拠

研究開発項目(個別テーマ)	研究開発目標	根拠
研究開発全体目標	揮発性有機化合物の総量の検出に加え、ホルムアルデヒド、トルエン、キシレン等の揮発性有機化合物のうち1種類又は複数の化合物を測定対象ガスとした検出器の基本概念と構造を確立する。また、プロトタイプを試作して初期性能を確認し、基幹技術の実用性を確認する。	測定対象ガス選定理由： 指針値に記載されていることのほかに ・ホルムアルデヒドはシックハウスの重要な原因物質であるため。 ・総量(T-VOC)検知は換気システムにとって必須であるから。 プロトタイプ試作の理由： 換気システムに採用できるか確認するため。
①ガス種別選択性	測定対象ガス濃度をそれぞれ計測できる基本技術を確立。	チャレンジングな開発のため、選択性の基本技術を確立することを第1とした。
②検出感度	13VOC濃度	指針値濃度の1/2とすれば、検出可能である。
③応答性	10分/回以内。	換気システムに採用できる最大値と考えた。
④繰り返しモニタリング性	30分/回以内の間隔で繰り返し、1か月以上連続測定可能。	同上
周辺技術の調査	基本計画の目標(値)はない	実施計画時の目標はセンサへのフィードバックデータなどで、実用化必須の情報。

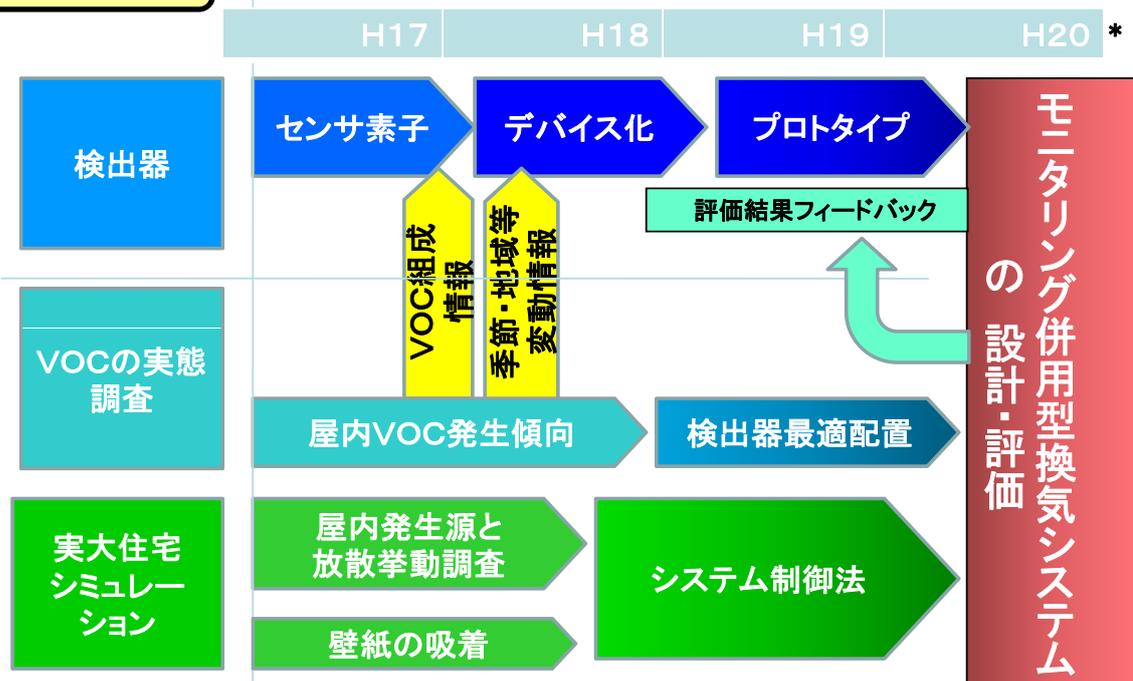
目標・根拠

実施期間延長後の研究開発目標と根拠

研究開発項目	研究開発目標	根拠
①センサ素子・デバイス化の研究開発	<ul style="list-style-type: none"> ・安定性・信頼性:ドリフト・ヒステリシスを抑制する基本技術を確立し、指針値濃度に対する感度変化を25%以内(2か月以上)とする。 ・温度・湿度等の変動、無機ガス暴露、高濃度ガス暴露に対する信頼性を確保する。 	<p>「25%」の設定根拠: 下記国際規格等を参考に設定した。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・IEC60079-29-1 Gas detectors (ガス検知器(警報機)): 変動20%以内 ・ISO/DIS 26142 Hydrogen detection apparatus (水素検知器): 変動30%以内これらの値を参考に、本PJでは変動25%以下と設定した。
②周辺技術の調査	プロトタイプの実用性を多様な実環境下等で検証する。	システムとして使えるか評価に実環境域での検証が不可欠である。 (当初基本計画では調査の目標はなく実施事項のみ記載したが、検出器の開発が進み、実用化が見え、新たに設定した。)

開発計画

プロジェクト全体の構成概要と実施時期の概要



* 実施年度は正確ではない

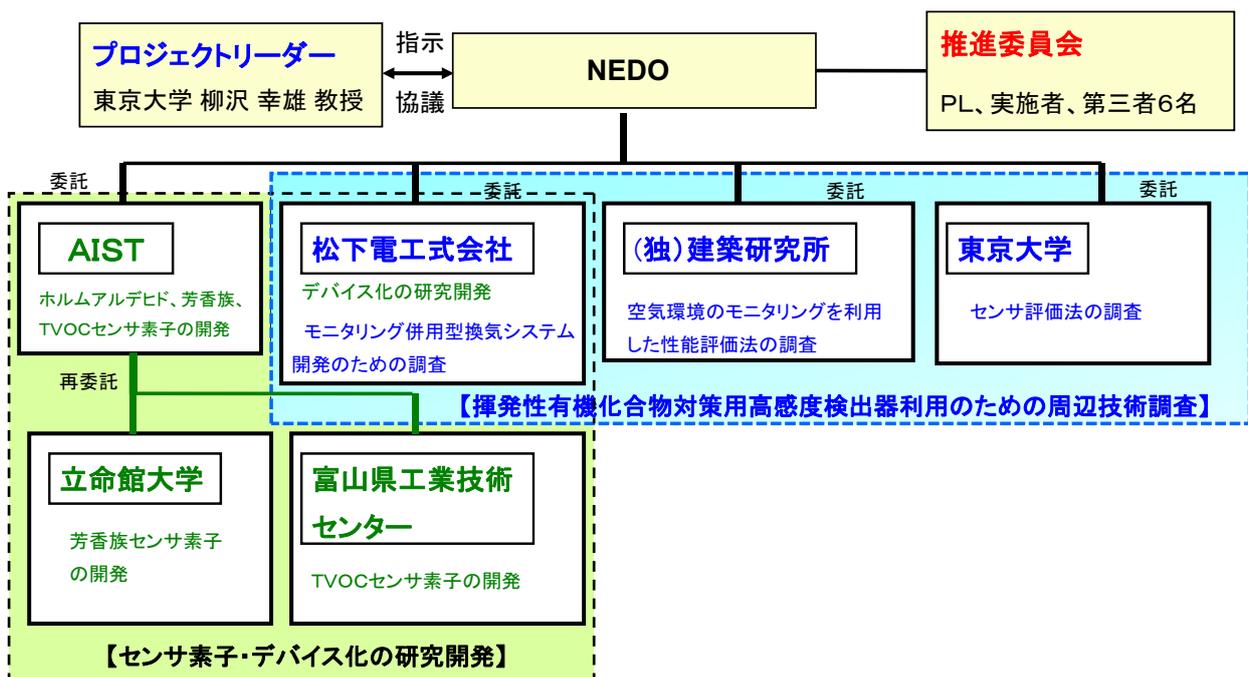
予算

年度	H17	H18	H19	H20	合計
予算	140	140	112	95	487
1 センサ素子、デバイス化の研究開発	60	70	27	31	188
2 周辺技術調査	73	70	78	59	280
実績計	133	140	105	90	468

4年間に約5億円の費用を投入

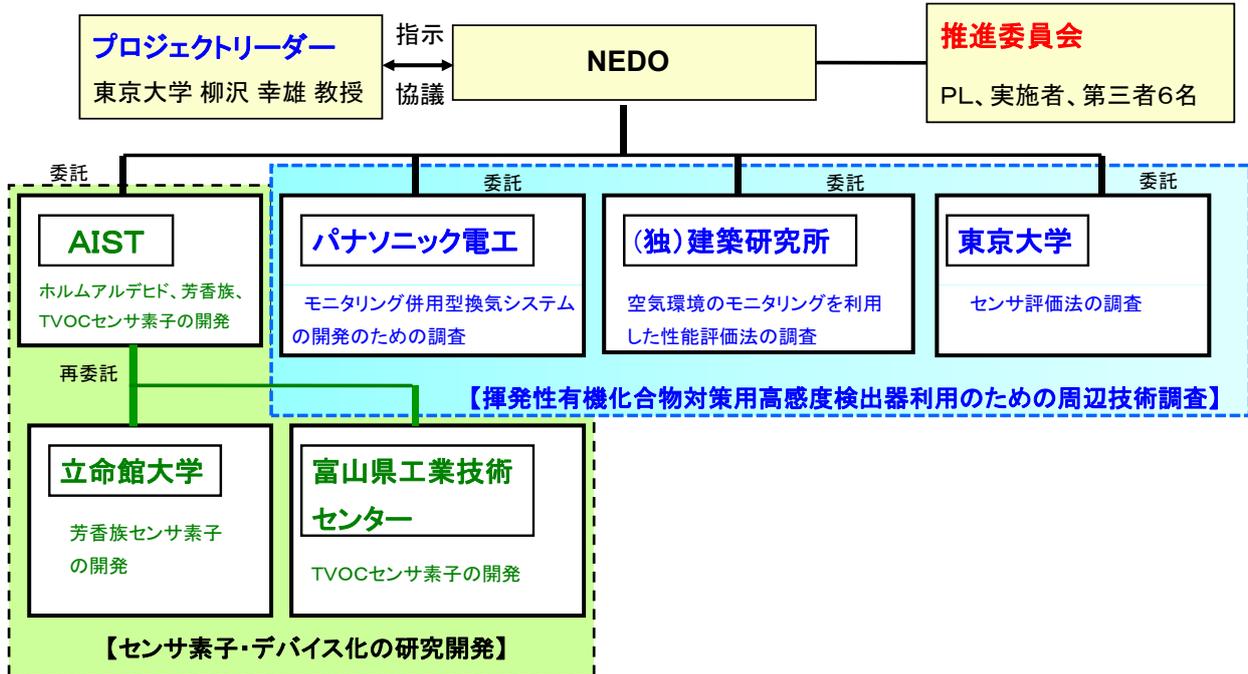
体制

研究開発の実施体制(H19まで)



体制

研究開発の実施体制(H20)



体制

実施体制の妥当性に関する資料(体制図の解説)

NEDO事業

高感度検出器の開発
産業技術総合研究所、松下電工、立命館大学、富山県工業技術センター



住宅への応用
建築研究所、東京大学、パナソニック電工

上市

換気システム付き住宅
換気システム
パナソニック電工

参加法人とチームは各分野でトップクラスにあり実施者として妥当である(H16,17,18NEDO実施PJ点検)

状況変化

状況変化等への対応: 実施期間延長の説明

状況	対応
<p>・ H19年度までに、センサの開発が順調に進んだ。(注1)</p> <p style="text-align: center;">↓</p> <p>・ プロトタイプを実環境下等で検証すれば実用化の見込みがある。</p> <p style="text-align: center;">↓</p> <p>・ 「モニタリング併用型換気システム」実現の可能性が高まる。</p>	<p>・平成20年3月に実施期間1年延長(注2)目標に「実環境下等で検証する」を加えるとともに、「特性(安定性・信頼性)の向上を図る。」とした。</p> <p>・調査項目に注力してモニタリング併用型換気システムの実現させる体制とした。</p> <p>・ H20年度予算:95百万円</p>

注1: 希薄なVOCを濃縮せずに高感度な測定ができるという期待以上の成果が得られた。

注2: 平成19年12月の経済産業省資源エネルギー庁の「省エネルギーの推進」施策に係る事後評価書において「民生家庭部門の省エネルギー対策を推進するため、室内空気循環を確保して換気負荷の最小化を可能とするセンサ技術及びモニタリング併用型換気システム等の開発を(平成20年度まで)行う。」と記載された。

・NEDO主催「技術推進委員会(年2回)」を開催

外部有識者(下記)の意見を運営管理に反映

慶応大学 村上周三 教授(H19まで委員長)、東京大学 加藤信介教授(H20委員長)、
近畿大学 岩前篤準教授、九州大学 島ノ江憲 剛教授、東京大学 宮山 勝 教授、
(独)物質材料研究機構 羽田肇 センター長

- ・主な反映内容 (1)実施期間を1年延長(H20)
- (2)実施体制を再編成 (H20)

・その他、以下の会議を開催 進捗状況確認と今後の方針を協議

「センサ素子・デバイスチーム(年3, 4回、計15回)」

「周辺技術調査チーム(年5, 6回、計23回)」

プロジェクト全体の目標の達成状況

開発項目	目標	達成状況	達成度
① センサ素子の研究開発	安定性・信頼性:ドリフト・ヒステリシスを抑制する基本技術を確認し、指針値濃度に対する感度変化を25%以内(2か月以上)とする。温度・湿度等の変動、無機ガス暴露、高濃度ガス暴露に対する信頼性を確保する。	材料の改良、改質による基本技術により、種々の安定性・信頼性の向上を達成した。特に課題であった湿度の影響の回避を達成した。これらにより、各種安定性信頼性の数値目標を達成し、フィールドでの使用可能なセンサ素子を得た。	◎
	プロトタイプの実用性を多様な実環境下等で検証するとともに、特性(安定性・信頼性)の向上を図る。	小型プロトタイプに搭載可能であり、裏面にヒータを有する基板を新たに設計・作製し、この上にホルムアルデヒド用、T-VOC 用センサを形成した。3種の素子を小型プロトタイプに搭載し、センサ評価装置を用いて、それぞれの指針値濃度の1/2濃度のガスに応答することを確認した。実住宅や実空間でのフィールドテストを実施し動作を確認した。	○
② 周辺技術調査	プロトタイプの実用性を多様な実環境下等で検証する	<ul style="list-style-type: none"> ・重点目標のモニタリング併用型喚気システムの提案。 ・プロトタイプの評価。 ・省エネの効果確認。 	○

全体開発項目と個別研究開発項目の関係

全体開発項目(基本計画)	中項目(実施計画)	個別開発項目(実施計画)
①センサ素子・デバイス化の研究開発	1.センサ素子の開発	1)センサ素子の高感度化
		2)センサ素子の安定性・信頼性向上
	2.デバイス化の研究開発	3)デバイス化
		4)プロトタイプ化
②周辺技術調査	・モニタリング併用型喚気システム開発のための調査	5)VOC発生要因の分類
		6)室内VOC濃度に影響する外乱要因の分類
	・室内環境モニタリングを利用した性能評価法調査	7)換気システム制御の効果検証
		8)開発センサの評価
	・センサ性能評価法の検討	

(1)個別研究開発項目の目標と達成状況

-センサ素子・デバイス化の研究開発-

開発項目	目標	達成状況	達成度
1) センサ素子の高感度化	指針値又は暫定目標値濃度の1/2の感度を有する。	当初想定した濃縮素子を併用することなく素子単独で達成した。	◎
2) センサ素子の安定性・信頼性向上	指針値濃度に対する感度変化を25%以内(2か月以上)とする。 温度・湿度等の変動、無機ガス暴露、高濃度ガス暴露に対する信頼性を確保する。	材料の改良、改質により安定性・信頼性の向上を達成した。特に課題であった湿度の影響の回避を達成した。	○
3) デバイス化	センサ素子をそれぞれチップ実装法、ディスペンサー法によってアレイ化しデバイスとした。このアレイ化デバイスを、ワイヤーボンドにより、金属ステムに実装しパッケージングする。	センサ素子の小型化、デバイスのための最適化を行い、ステムに搭載した。	○
4) プロトタイプ化	センサ駆動用及び信号処理用回路を開発し、芳香族、T-VOC、ホルムアルデヒドの3種類のプロトタイプを作製する。	各種プロトタイプを作製しセンサ素子を搭載、フィールドテストを実施した。	○

(1)個別研究開発項目の目標と達成状況-周辺技術調査-

開発項目	目標	達成状況	達成度
5) VOC発生要因の分類	建材、家具などから発生するVOC濃度とその空間分布を調査するとともに居住者の行動により発生するVOC濃度の変動を調査する。	建材、家具および居住者の行動により発生する一般的なVOCの種類及び濃度について明らかにし、今後、室内のVOCの多様性が拡大する可能性を指摘した。	◎
6) 室内VOC濃度に影響する外乱要因の分類	自然換気や局所換気によるVOC濃度及び濃度分布の変動を調査する。 VOCの壁面への吸脱着による室内VOC濃度への影響を検証する。	外乱要因による、住居内VOC濃度分布に変化が生じることを確認し、全体換気制御に加え、排気経路制御を組み合わせることによる効率化を示した。	◎
7) 換気システム制御の効果検証	換気システム制御アルゴリズムを構築し、実大住宅においてVOC濃度低減及び省エネルギー効果を検証する。	風量・経路制御法を実大住宅で検証できた。	○
8) 開発センサの評価	実居住環境における開発センサの性能を確認する。	既存の高額な分析機器と同レベルの応答性を示した。	○

・空気質をモニタリングすることにより換気システムを制御し、
省エネルギーと健康的空気質の両立を図る

空気質のモニタリング

換気システム搭載可能な
小型、高感度VOCセンサの開発

ホルムアルデ
ヒドセンサ

芳香族センサ

T-VOC
センサ

多様化する室内VOCに対しても対応可能

省エネルギーの実現

VOC濃度のモニタリングによる
換気システム制御技術

制御アルゴリズム
(運転強度の切り替え)

換気システムの設計
(局所換気との併用)

居住状態に対応した換気設備

長期的視点に立った
省エネルギーと健康的空気質を両立させた換気システムを提案

各個別テーマの成果

(1) センサ素子・デバイス化の研究開発

- ・素子の高感度化によりガス濃縮を伴わない検知が可能となった。→特許出願
- ・各種エージング及びセンサ信号処理法などにより安定性を向上させた。
- ・センサデバイスの機構・構造設計や素子周辺技術を開発した。→ppbレベルのVOC検知が可能。
- ・T-VOC用センサを用いて居住空間でVOCの濃度変化が検知できることを確認した。→波及効果としてT-VOCセンサ評価法の国際標準化へ。

(2) 周辺技術調査

- ・建材などの発生源対策が進み、指針値物質に関しては、室内の化学物質濃度は低下してきたが代替物質の濃度が高い場合がある。→T-VOC濃度による空気質評価の必要性提示とセンサ開発へのフィードバック。
- ・生活で発生する突発的な化学物質に対応すべきである。→モニタリング位置
- ・化学物質発生に対する換気経路変更による空気質改善を検証
→全体換気量制御のアルゴリズムが確立された。
- ・換気システムの省エネ効果を表現できるプログラムの基礎データを取得。

(3) 知的財産権、成果の普及

	H17	H18	H19	H20	計
出願特許	1	4	5	3	13件
論文(査読付き)	1	4	4	6	15件
研究発表・講演	4	17	19	15	55件
受賞実績	0	0	0	1	1件
新聞・雑誌等への掲載	1	5	0	6	12件
展示会への出展	0	0	0	2	2件

※ : 平成21年11月6日現在

国内外を含め13の特許を出願

- ・ 特願2006-065709 ガスセンサ及びその製造方法
- ・ 特願2006-181989 ガスセンサ及びその製造方法
- ・ 特願2006-248676 ガスセンサ及びその製造方法
- ・ 特願2006-312309 高感度ガスセンサ及びその製造方法
- ・ 特願2007-063843 酸化モリブデン薄膜の製造方法及び化学センサ
- ・ 特願2007-181530 ガスセンサ材料、その製造方法及びガスセンサ
- ・ 出願(米国):11/939959 高感度ガスセンサ及びその製造方法
- ・ 出願(EPO):07022134.6 高感度ガスセンサ及びその製造方法
- ・ 特願2007-321302 電氣的抵抗の変動が抑制された有機無機ハイブリッド材料
- ・ 特願2007-220301 ガスセンサの製造方法
- ・ 特願2008-326619 Total-VOC検出用ガスセンサ及びその製造方法
- ・ 特願2009-116877 換気装置
- ・ 特願2009-001578 ガスセンサを予備処理する方法

主な新聞・雑誌等の掲載

- 有機無機ハイブリッド材料を用いたVOCセンサ材料とその適用効果、工業材料54、No3, 39 (2006).
- 有機無機ナノハイブリッドを用いたVOCセンサ、産総研TODAY, Vol. 6, No. 10, p.14-14, 2006.
- 家のシックハウス度を測る VOCセンサ、経済産業ジャーナル、2006/8/1.
- あなたを救うナノテクー防災がナノテクで変わるー(1)産総研の開発する3種類の画期的ガスセンサ、週間ナノテク、2006/12/11.
- 有機無機ハイブリッド材料を用いたセンサ技術への応用、成形加工、Vol. 20, p. 217-222, 2008.
- VOCセンサ開発の重要性、IEEJ Trans., Vol. 128, p. 119-124, 2008.
- 層状有機無機ハイブリッド材料を用いたVOCセンサ、マテリアルインテグレーション、Vol. 21, No. 5,6, p. 26-30, 2008.
- セラミック環境センサの新展開、セラミックデータブック2008/09、Vol. 34, p. 200-204 (2008).
- 有機無機ハイブリッド薄膜VOCセンサ、セラミックス、Vol. 44, p. 113-117 (2009).
- T-VOCセンサ開発、換気扇制御に大きな効果、電波新聞、2008年9月12日

本PJの実用化は、新築戸建て住宅に適用する換気システムとする

対象: 新築戸建て住宅

センサ位置: 排気経路
 主要な部屋ごとにチューブサンプリング

制御内容: 換気経路制御
 +
 全体の換気量コントロール

センサにより局所排気及び窓開けを検知し
 強、中、弱と切り替えて換気量を削減

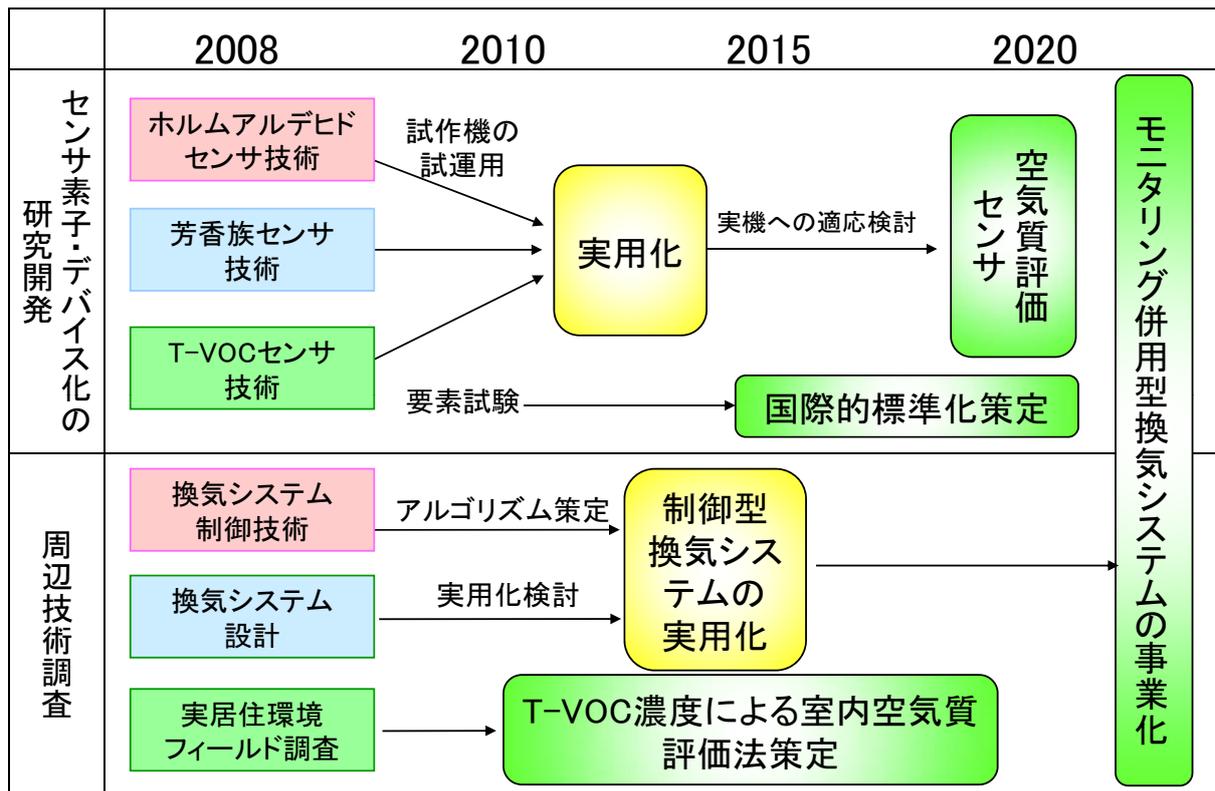
センサスペック:

・指針値付近とその半分の濃度を検知

ホルムアルデヒド 100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
 芳香族炭化水素
 (トルエン 260 $\mu\text{g}/\text{m}^3$)
 TVOC (目標値 400 $\mu\text{g}/\text{m}^3$)

TVOCセンサのしきい値は居住者の嗜好に合わせて設定可能

コスト: 現行の換気システム + 10万円超



(1) センサ素子・デバイス化の研究開発

平成21年度NEDO標準化事業「揮発性有機化合物検知器の評価法に関する標準化事業」を実施し、VOCセンサ評価法の国際標準化に取り組んでいる。

実用化研究と国際標準化を同時並行的に進めることで、将来製品と標準をセットで提示することが可能となり、安全・安心な屋内環境の構築及び国際競争力強化に貢献すること期待できる。課題として、標準ガスの設定、センサの長期的安定性などが挙げられる。

(2) 周辺技術調査

新築戸建て住宅に対して提案した換気システムの用途拡大(集合住宅や公共施設、工場など)が考えているが、課題として

- ① 低コスト化 (機能絞り込みや部品点数削減) 1/10程度
 - ② 用途別妨害物質への対応
 - ③ センサの長期安定性、評価法、メンテナンス方法の確立
- などが挙げられる。

END

「揮発性有機化合物対策用高感度検出器の開発」 センサ素子・デバイス化の研究開発 事後評価 分科会

2009年12月2日

産業技術総合研究所
立命館大学
富山県工業技術センター
パナソニック電工

研究の背景

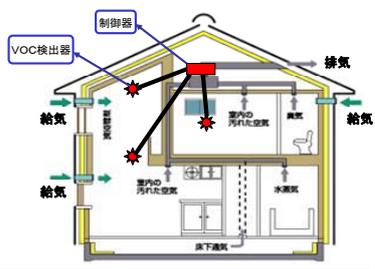
◆ 塗料、壁紙、建材、家具等から放散されるVOC → 健康被害
◆ 化学物質管理の観点からも早急な対策が必要

揮発性有機化合物対策用 高感度検出器の技術開発

- ▶ リアルタイムモニタリング
 - ▶ ガス種別での定量的検知
 - ▶ ガス総量検出
 - ▶ ppbレベルのVOCの検知
- 小型で安価な検出器として実現

VOC検出器制御換気システムに展開

- ・ 健康的な室内空気環境の実現
- ・ 換気量制御による省エネルギー化推進に貢献



革新的センサ素子の開発

抵抗変化型の素子を開発
利点：構造や原理上、常時モニタ、
安価な製造が可能

課題：ガス選択性、高感度化の達成
→ 新材料技術（有機無機ハイブリッド材料）
→ 金属酸化物半導体（表面修飾技術）

既存の主なVOC検知法

- 光イオン化法： 高価（約100万円）
- 定電位電解法： ランニングコスト高
常時モニタ難
- 水素炎イオン化法： ランニングコスト高
- ガスクロマトグラフィー： 高価、常時モニタ難

4年間の開発担当内容

センサ素子の研究開発	H17年度	H18年度	H19年度	H20年度
<ul style="list-style-type: none"> ホルムアルデヒドセンサ素子の開発 産業技術総合研究所 	高選択性・高感度化		安定性・信頼性向上	小型プロトタイプ用素子作製
<ul style="list-style-type: none"> 芳香族センサ素子の開発 立命館大学 産業技術総合研究所 (測定の一部を担当) 	高選択性・高感度化		安定性・信頼性向上	小型プロトタイプ用素子作製
<ul style="list-style-type: none"> T-VOCセンサ素子の開発 富山県工業技術センター 産業技術総合研究所 (評価ガスの作製と測定の一部を担当) 	高選択性・高感度化		安定性・信頼性向上	小型プロトタイプ用素子作製
デバイス化の研究開発 <ul style="list-style-type: none"> 基板作製・アレイ化技術 小型プロトタイプ開発 フィールドテスト パナソニック電工 産業技術総合研究所 	楕形電極・ヒータ内蔵基板設計	素子のアレイ化技術	小型プロトタイプ作製	フィールドテスト (東京大学と共同実施)

3

研究開発予算

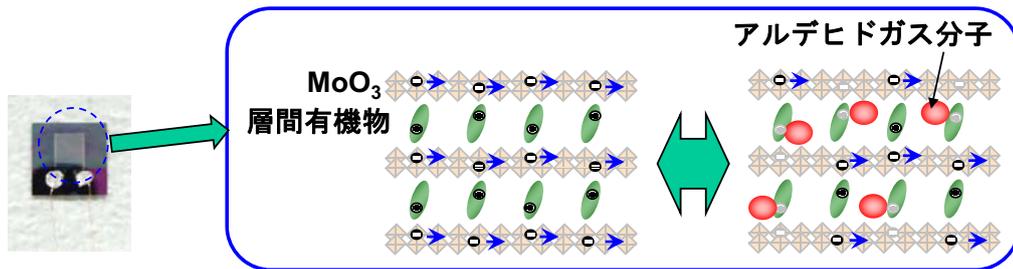
	H17年度	H18年度	H19年度	H20年度
<ul style="list-style-type: none"> 産業技術総合研究所 ホルムアルデヒドセンサ素子の開発 芳香族センサ素子の開発 T-VOCセンサ素子の開発 ↳T-VOCセンサ評価用ガスの作製 小型プロトタイプ開発 フィールドテスト 	43,932 千円	45,900 千円	11,158 千円	22,176 千円
<ul style="list-style-type: none"> 立命館大学 芳香族センサ素子の開発 	5,000 千円	8,925 千円	8,085 千円	3,045 千円
<ul style="list-style-type: none"> 富山県工業技術センター T-VOCセンサ素子の開発 	5,000 千円	8,400 千円	6,405 千円	2,835 千円
<ul style="list-style-type: none"> パナソニック電工 基板作製・アレイ化技術 小型プロトタイプ開発 	37,641 千円	30,100 千円	34,849 千円	
				※産総研 予算にて 実施

4

センサ素子の研究開発

ホルムアルデヒドセンサ素子の開発

➤ 高選択性・高感度化

層状有機/MoO₃ハイブリッド

5

ホルムアルデヒドセンサ素子の提案

課題

アプローチ

(1) 応答性の制御技術

ホルムアルデヒドとアセトアルデヒド
に対する応答性の異なる材料の探索

有機物の変換

MoO₃層間の有機物を変化させセンサ
特性を評価

(2) 高感度化技術

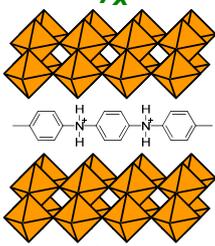
作製プロセスの最適化

ガス濃縮素子の導入

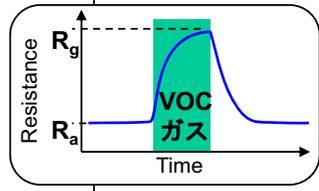
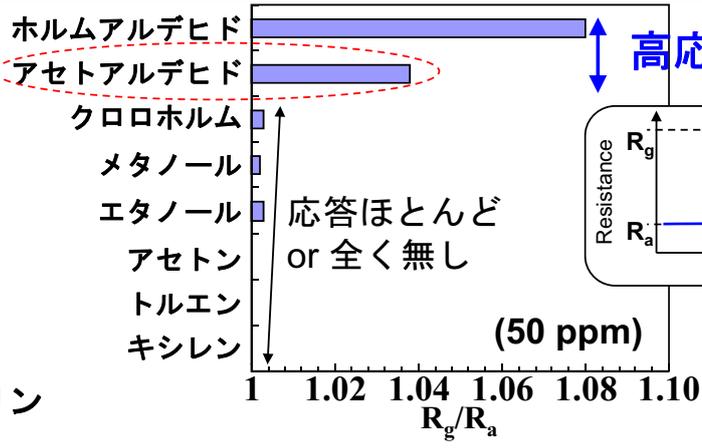
6

PJ前の基本技術と課題

基本技術



PANI = ポリアニリン



課題

- ホルムアルデヒドだけでなくアセトアルデヒドにも応答
- ppbレベル濃度検知のための高感度化が必要

アプローチ

- ホルムアルデヒドよりアセトアルデヒドに強く応答する素子を開発し、2種の素子を併用
- ガス濃縮素子を導入、または、素子自体の高感度化

溶解パラメータを用いた考察

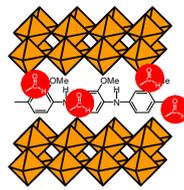
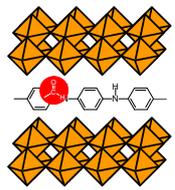
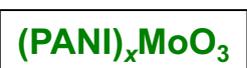
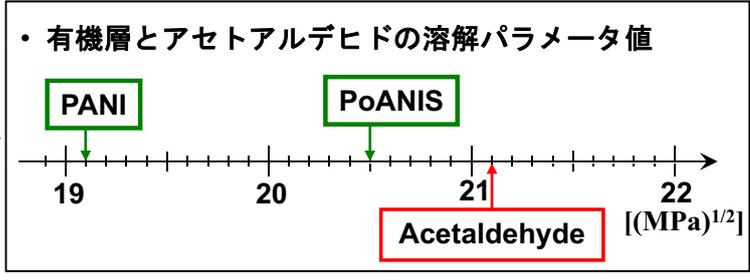
<溶解パラメータについて>

ポリマーと溶媒の溶解パラメータが一致するとき溶解性が増大する。
 → VOCと層間有機ポリマーの溶解パラメータが一致するとき
 VOC分子が層間へ拡散し易くなる

ポリマーの溶解パラメータ計算式

$$\delta = \frac{\rho}{M} \times \sum_j F_j$$

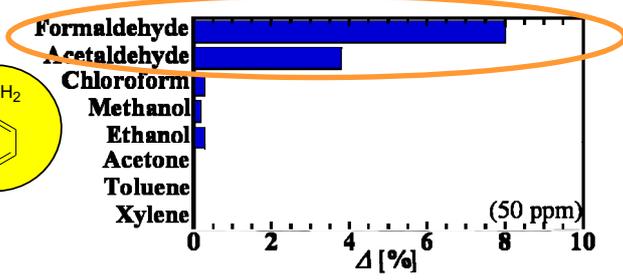
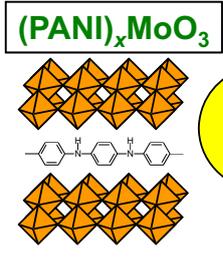
δ : 溶解度パラメータ[(MPa)^{1/2}]
 ρ : 密度[g·cm⁻³]
 M : 高分子繰り返し単位の分子量
 F_j : 官能基 j の寄与率 (引力定数) [(MPa)^{1/2}·cm³·mol⁻¹]
 1) Small, P. A. J. Appl. Chem. 1953, 3, 71.



アセトアルデヒド分子が層間の有機層に拡散し易い
 →アセトアルデヒドに対する応答値が強く得られた。

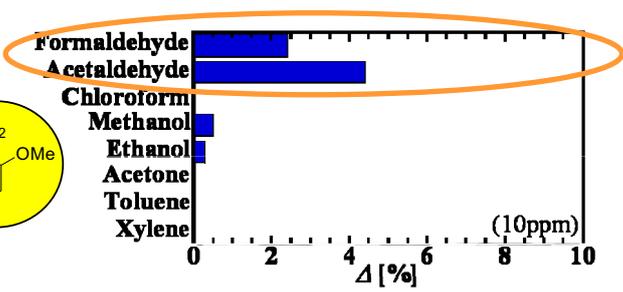
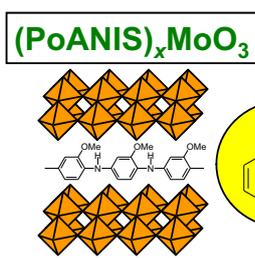
● = acetaldehyde molecule

VOCに対する応答特性



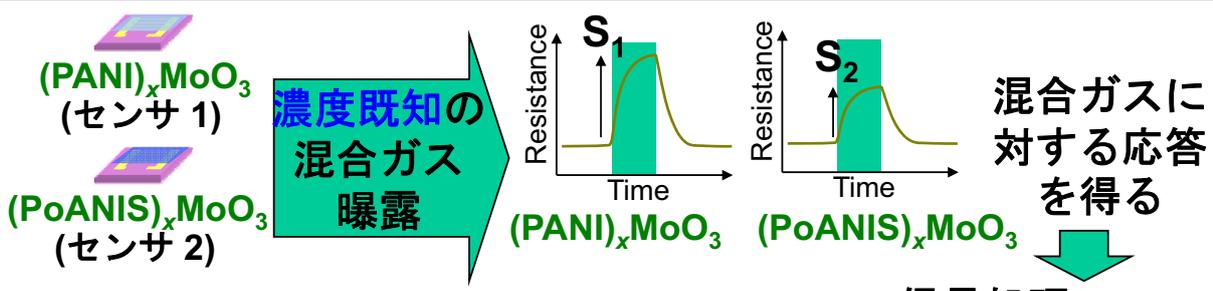
感度

ホルムアルデヒド
▼
アセトアルデヒド



ホルムアルデヒド
▲
アセトアルデヒド

分離検出試験法と結果



ホルムアルデヒド(C_F): ○ ppb
アセトアルデヒド(C_A): △ ppb
濃度値が一致するか確認

信号処理

$$\begin{cases} S_1 = (a_{F1}C_F + b_{F1}) + (a_{A1}C_A + b_{A1}) \\ S_2 = (a_{F2}C_F + b_{F2}) + (a_{A2}C_A + b_{A2}) \end{cases}$$

a, bはホルム,アセト単独ガスの応答から求めた検量線の傾き,切片

<試験結果>	混合ガス中の濃度 (ppb)	計算結果 (ppb)
ホルムアルデヒド	300	298
アセトアルデヒド	100	89

分離検出を達成

高感度化に向けた検討

<当初の方針>

・ガス濃縮素子の併用



部品点数の増加
構造の複雑化

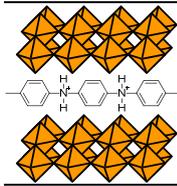
によるコスト高

センサ素子のみで検知可能な濃度を2~3桁下げる

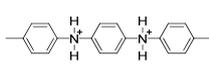
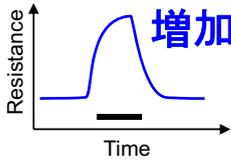
～仮説～

負の応答を示す有機ポリマーが
応答を阻害しているのではないかと

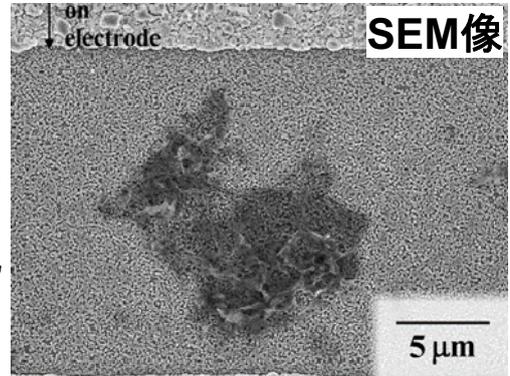
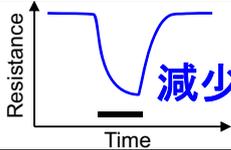
アルデヒドガス
に対する抵抗変化



(PANI)_xMoO₃
(PoANIS)_xMoO₃



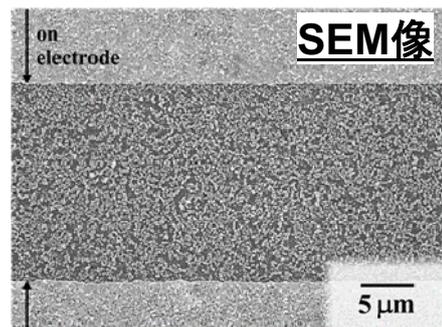
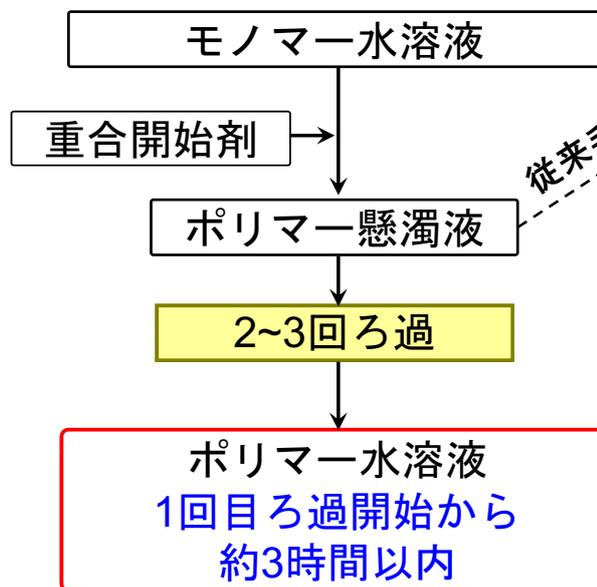
PANI
PoANIS



インターカレートしない
有機物の付着を防げば
感度が向上するのでは
ないか？

有機物の付着を防ぐ新規手順

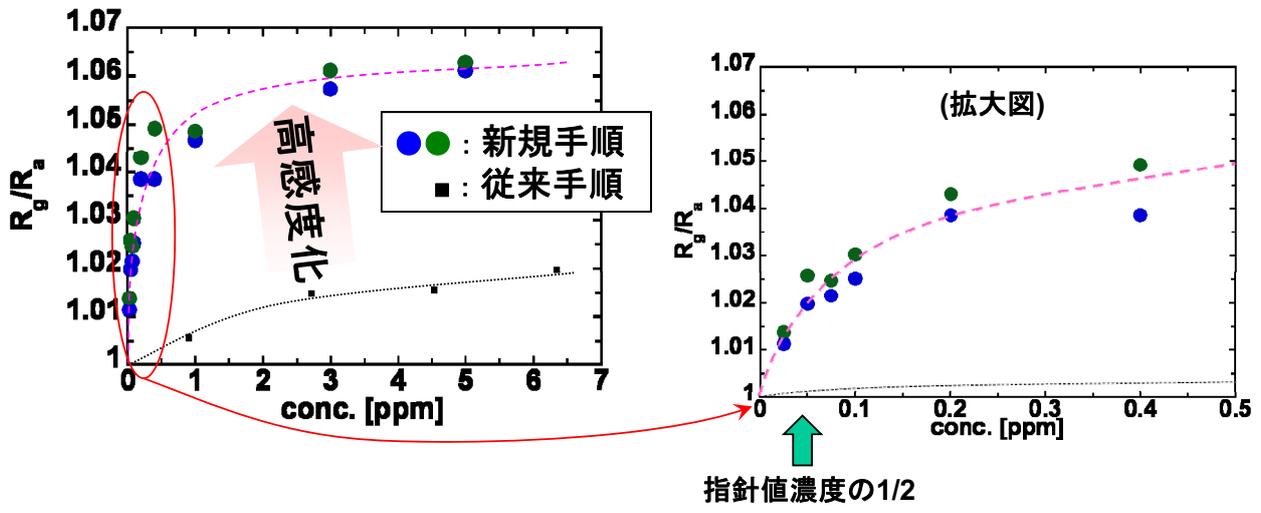
インターカレーション溶液の
作製手順



有機物の付着防止に成功

新規手順作製の(PANI)_xMoO₃の応答

ホルムアルデヒドに対する応答



新規作製手順により、濃縮素子を使用せずに指針値濃度の1/2のアルデヒドガスを検知

センサ素子の研究開発

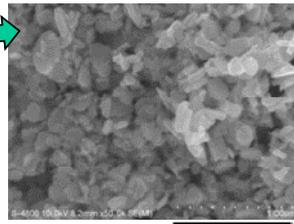
芳香族センサ素子の開発

➢ 高選択性・高感度化

WO₃系



WO₃粒子



1 μm

課題

アプローチ

(1) 応答性の制御技術

貴金属添加効果の検討

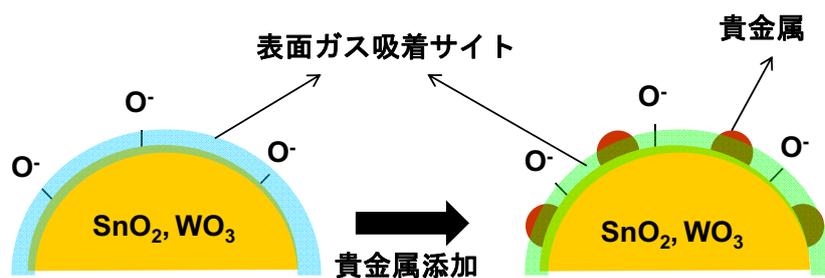
(2) 高感度化技術

電極間隔効果の検討

動作電流値の検討

15

貴金属添加効果の検討



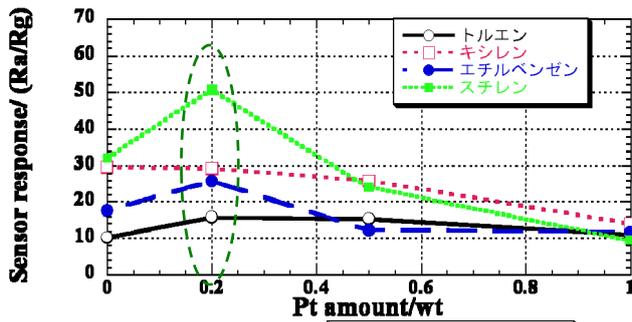
期待される効果

貴金属の添加により、材料表面のガス吸着サイトの状態を変化させることで特定ガスが優先的に吸着させる

→ 選択性付与

選択性の向上 (Pt(0.2 wt%)-WO₃ センサ)

Pt添加量と各ガス1 ppmのセンサ応答 (350°C)

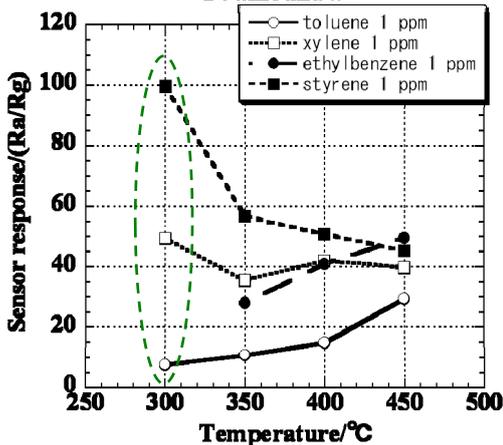


◆ 選択性が小さくなるのが課題



白金添加量効果の検証

◆ 白金添加量を小さくする(0.2wt%)ことで選択性が改善された



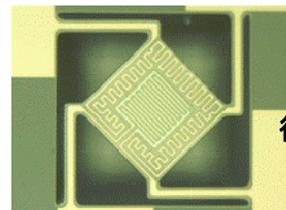
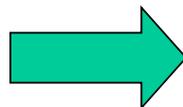
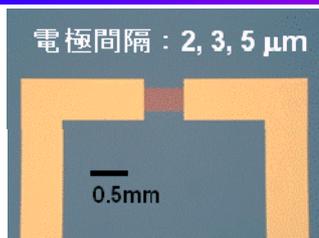
◆ 300°Cにおける選択性

$$S_{\text{スチレン}}/S_{\text{トルエン}} = 12$$

◆ スチレンに対して高い選択性

選択性の付与を
添加貴金属と温度の最適化により達成

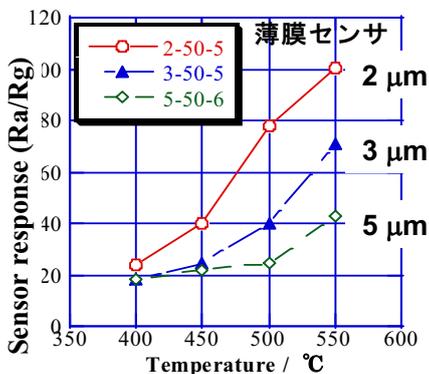
応答感度の電極間隔に基づく検討



電極間隔 : 2 μm

得られた結果に基づき
小型プロトタイプ用
MEMS基板を作製

キシレンに対する応答



・電極間隔の効果

$$2 \mu\text{m} > 3 \mu\text{m} > 5 \mu\text{m}$$

・検出感度

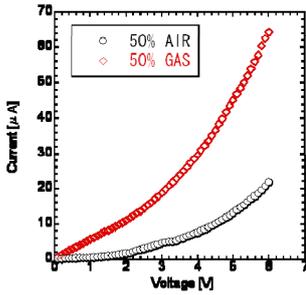
各種芳香族VOCの濃度指針値の1/2に対する感度 (2 μm, 500°C)

VOC	濃度目標値	センサ応答
トルエン	130 mg/m ³ (0.035 ppm)	5
キシレン	435 mg/m ³ (0.10 ppm)	17
エチル ベンゼン	1900 mg/m ³ (0.44 ppm)	50
スチレン	110 mg/m ³ (0.025 ppm)	8

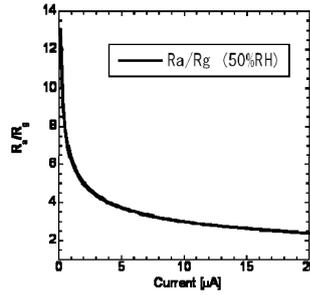
指針値濃度の1/2の芳香族ガスを検知

芳香族素子の応答値の測定電流依存性

トルエン0, 70ppb中の I-V特性 (50%RH)

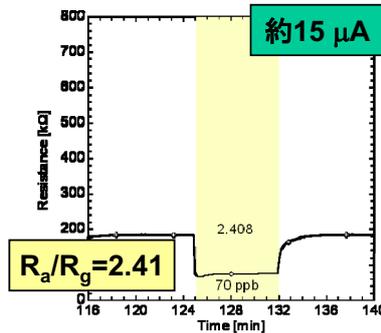
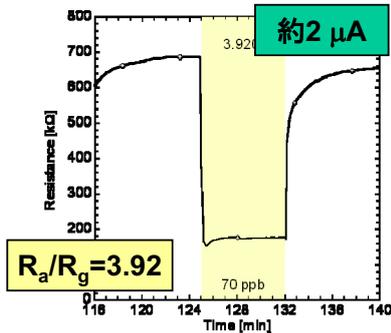


感度に変換



1 μA~の範囲では電流値が低い方が感度に有利

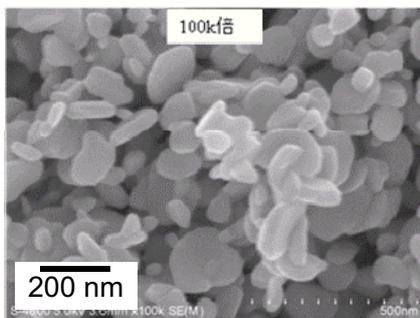
上記結果に基づき、定電流測定時の電流値を設定する



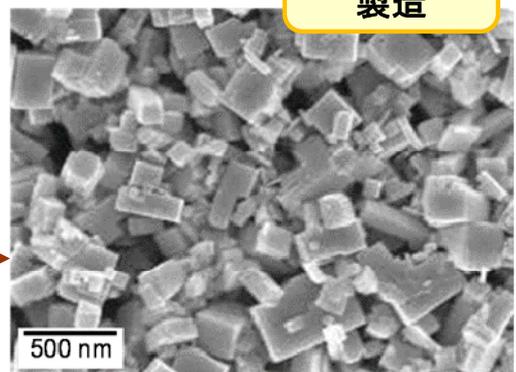
電流値の詳細な設定で感度向上の効果が得られた

Cuboid状WO₃粒子の合成 (芳香族素子)

従来使用していた粉末 : Disk状WO₃ → Cuboid状WO₃



Disk状WO₃(三斜晶)

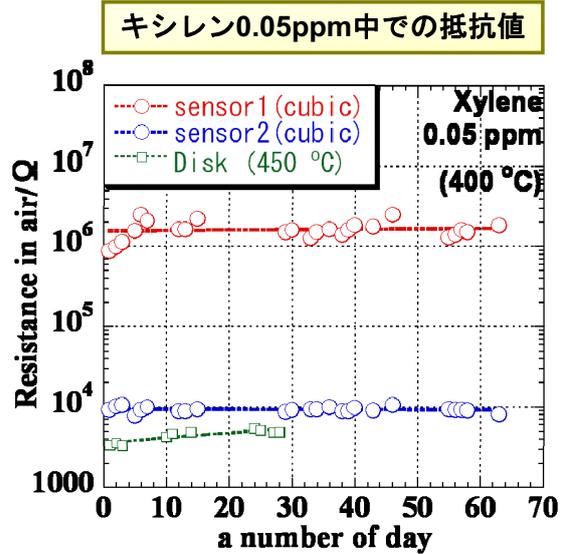
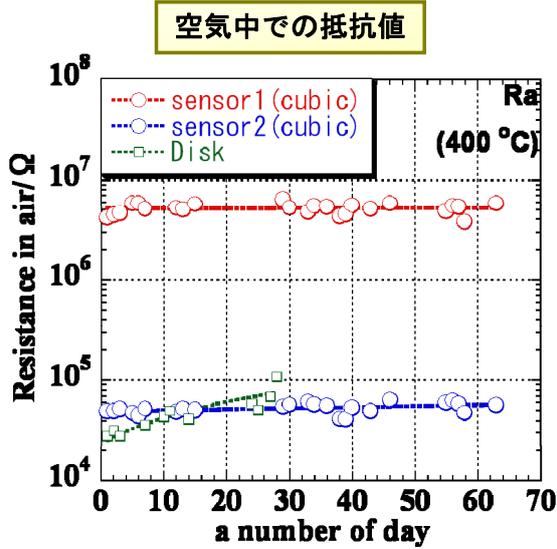


Cuboid状WO₃(単斜晶)

世界初の製造

焼成 500°C、3h 水熱処理 150°C、10h

Cuboid状WO₃粒子による芳香族素子の長期評価



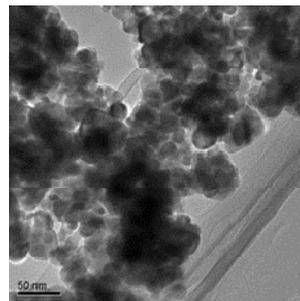
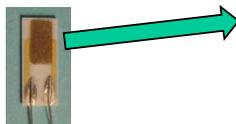
- Cuboid状粒子を用いた素子は、Disk状粒子の場合に比べ、ゼロガス中、ガス中共にドリフトがほとんど見られない。
- 2ヶ月間、空気中・キシレン中共に安定である。

センサ素子の研究開発

T-VOCセンサ素子の開発

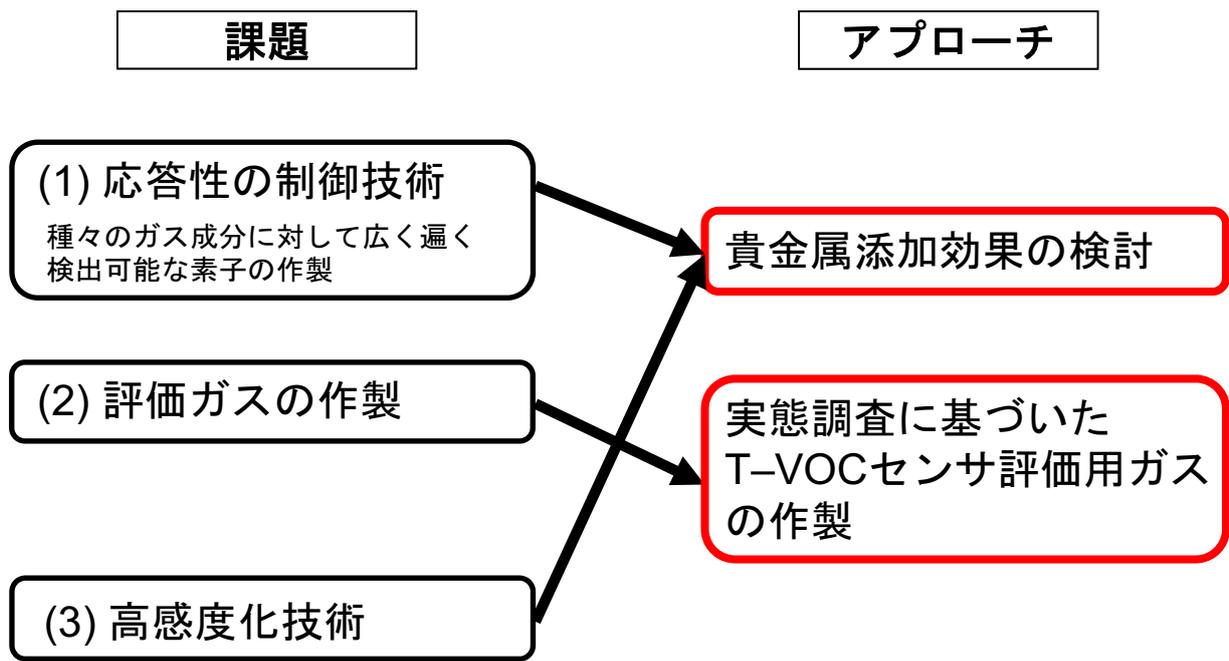
➢ 高選択性・高感度化

SnO₂系

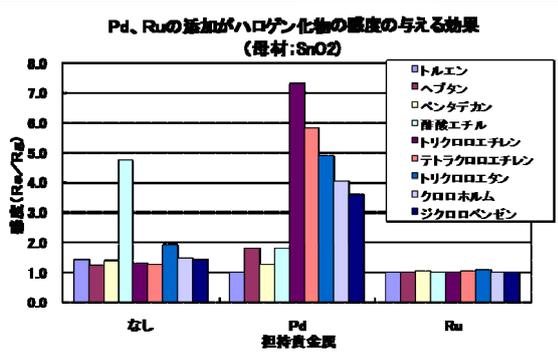
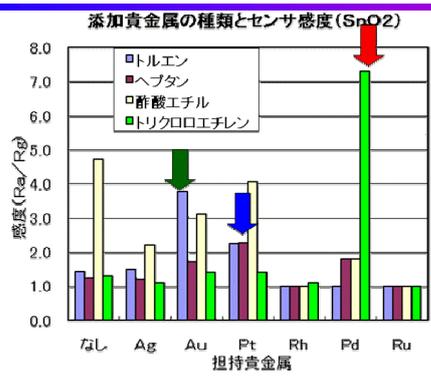


50 nm

T-VOCセンサ素子と評価ガスの提案



酸化スズへの各種貴金属触媒の添加効果

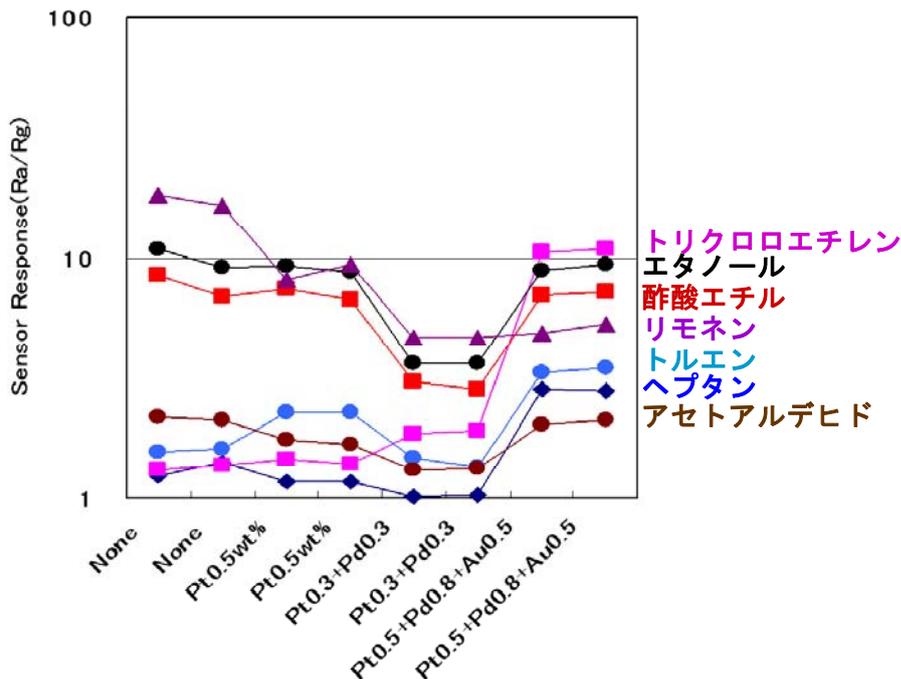


- 数十種の個別ガスに対するSnO₂の応答特性の結果を取得
- この結果の傾向から、SnO₂によるT-VOCセンサの応答特性は、ガス種を7種に分類することが出来る。

<ul style="list-style-type: none"> ➤ ハロゲン化炭化水素類 ➤ 脂肪族炭化水素類 ➤ 芳香族炭化水素類 ➤ オキシ炭化水素類 ➤ テルペン類 ➤ エステル類 ➤ アルデヒド類 	}	<p>感度：低</p> <p style="font-size: 2em; color: green;">➔</p> <p>感度：高</p>	<p>• 低感度の分類は、各貴金属を添加することで高感度化</p>
---	---	--	-----------------------------------

ハロゲン化炭化水素類	Pd/SnO ₂
脂肪族炭化水素類	Pt/SnO ₂
芳香族炭化水素類	Au/SnO ₂

貴金属添加効果



◆Pt, Pd, Auを同時に添加することで感度の均一化が可能。

T-VOCセンサ評価用ガスの考え方

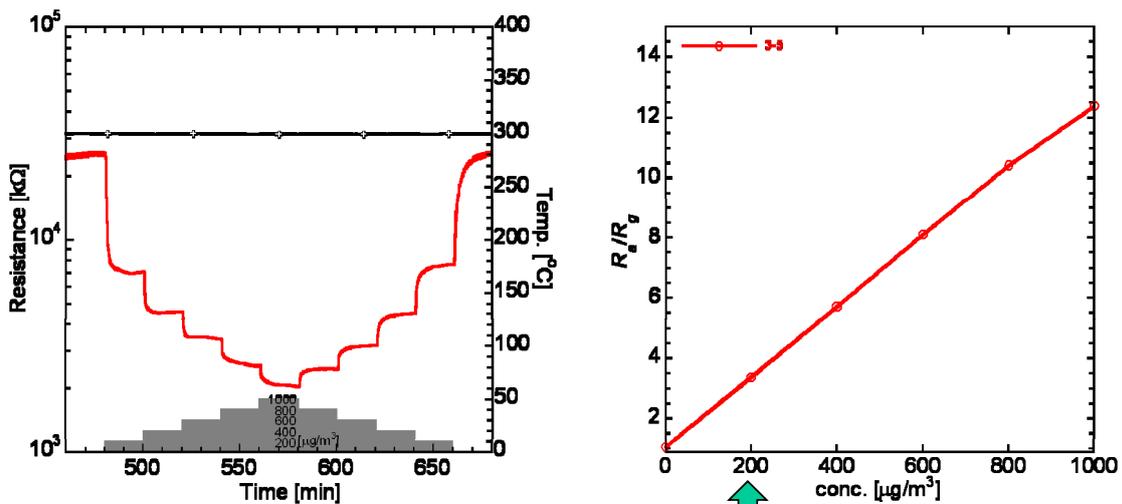
T-VOCセンサ評価用ガスの成分と濃度

- 実態調査から、室内の平均的なT-VOC状況を説明
 - 建築研究所より提供

- VOC成分とそれぞれの濃度比を再現したT-VOCセンサ評価用ガスを提案

	濃度	
	[ppm]	[$\mu\text{g}/\text{m}^3$]
アセトアルデヒド	0.93	1826
プロピオンアルデヒド	0.22	578
n-ブチルアルデヒド	0.50	1608
デカン	0.13	798
ベンゼン	0.20	680
トルエン	0.63	2587
キシレン	0.17	789
1,2,4-トリメチルベンゼン	0.17	901
エチルベンゼン	0.14	668
p-ジクロロベンゼン	1.14	7473
酢酸エチル	1.09	4295
酢酸ブチル	0.69	3570
エタノール	1.60	3282
2-プロパノール	0.12	326
4-メチル-2-ペンタノン	0.20	870
アセトン	1.75	4535
2-ブタノン	0.58	1856
合計	10.29	36642

T-VOCセンサ評価用ガスに対する応答



暫定目標値濃度の1/2

- ◆ T-VOCセンサ評価用ガスに対して高い応答特性を示す。
- ◆ 暫定目標値濃度の1/2の検知達成

[1] - 1 研究開発成果について

27

センサ素子の研究開発

応答値の湿度の影響低減化

➤ 安定性・信頼性向上

- ホルムアルデヒドセンサ素子
- 芳香族センサ素子
- T-VOCセンサ素子

湿度の影響低減化に向けたアプローチ

素子

アプローチ

(1) ホルムアルデヒド
センサ素子

層間有機物の改質による
検討

(2) 芳香族センサ素子

高湿度雰囲気下エージング
効果の検討

(3) T-VOCセンサ素子

貴金属添加に伴う湿度の
影響の調査

29

ホルムアルデヒド

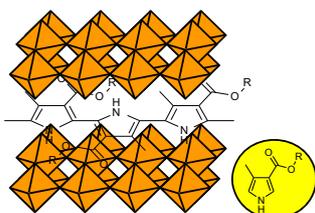
層間のポリマー改質

目的

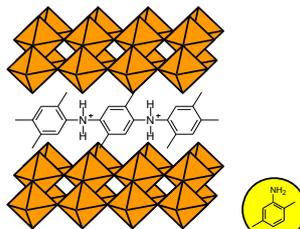
- MoO₃層間有機物を疎水化することで、湿度の影響を低減させる。

アプローチ

- 重合度の高いポリマーをインターカレート
 - 重合度の高いポリアニリンは不溶性のため、(PANI)_xMoO₃作製に用いる溶液には重合度の低いPANIしか存在しない。
 - 可溶性ポリマー溶液をインターカレーション溶液として用いる。
- ポリマーに疎水基を導入

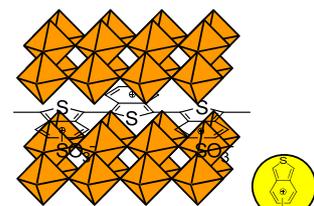


可溶性ポリピロール/MoO₃



(P25DMA)_xMoO₃

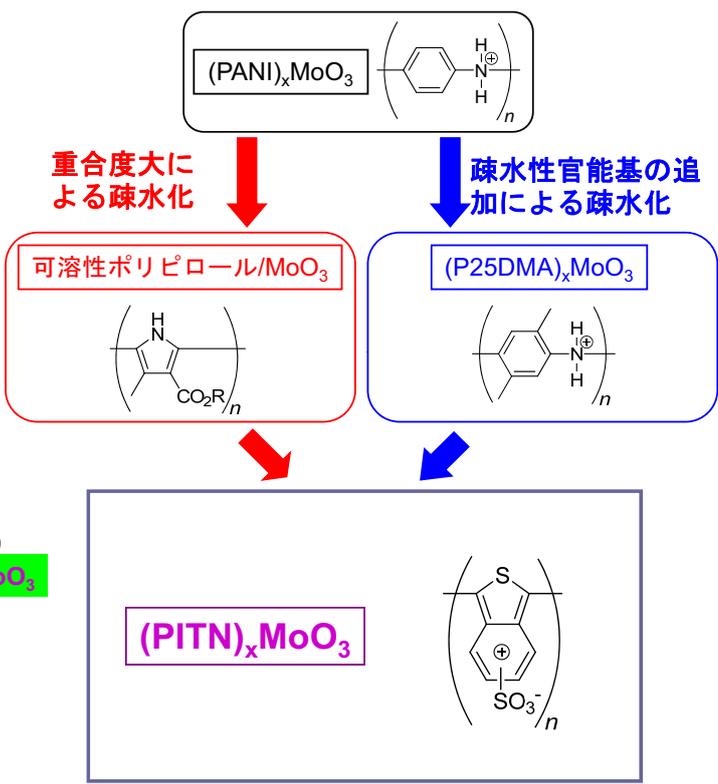
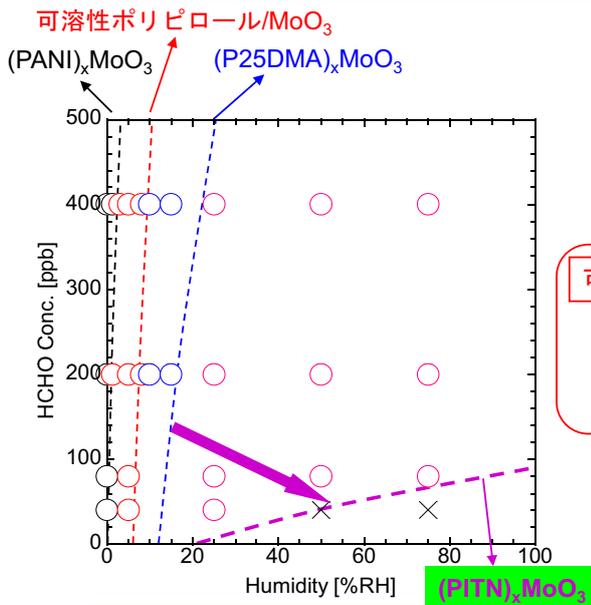
P25DMA
= poly(2,5-dimethylaniline)



(PITN)_xMoO₃

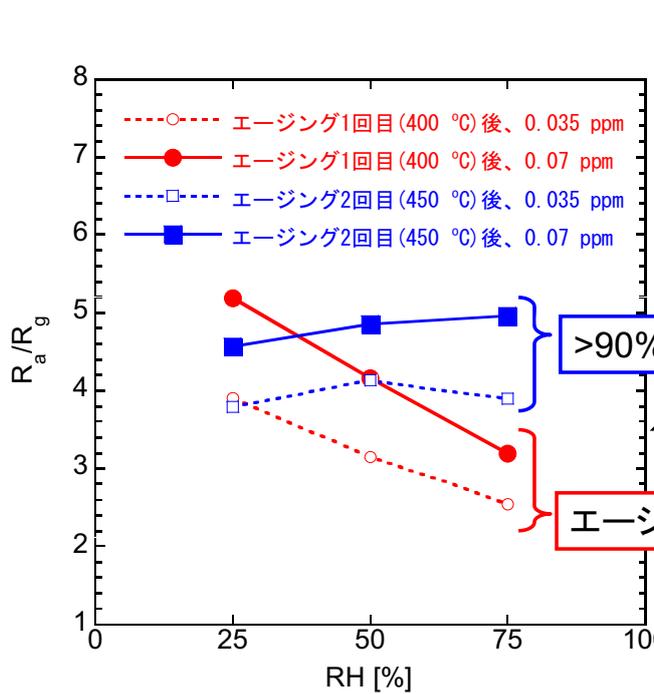
PITN
= ポリイソチアナフテン誘導体

ポリマー改質による改善



実空間レベルの湿度雰囲気下でアルデヒドガスに対する応答を確認

高湿度下エージングによる湿度の影響低減



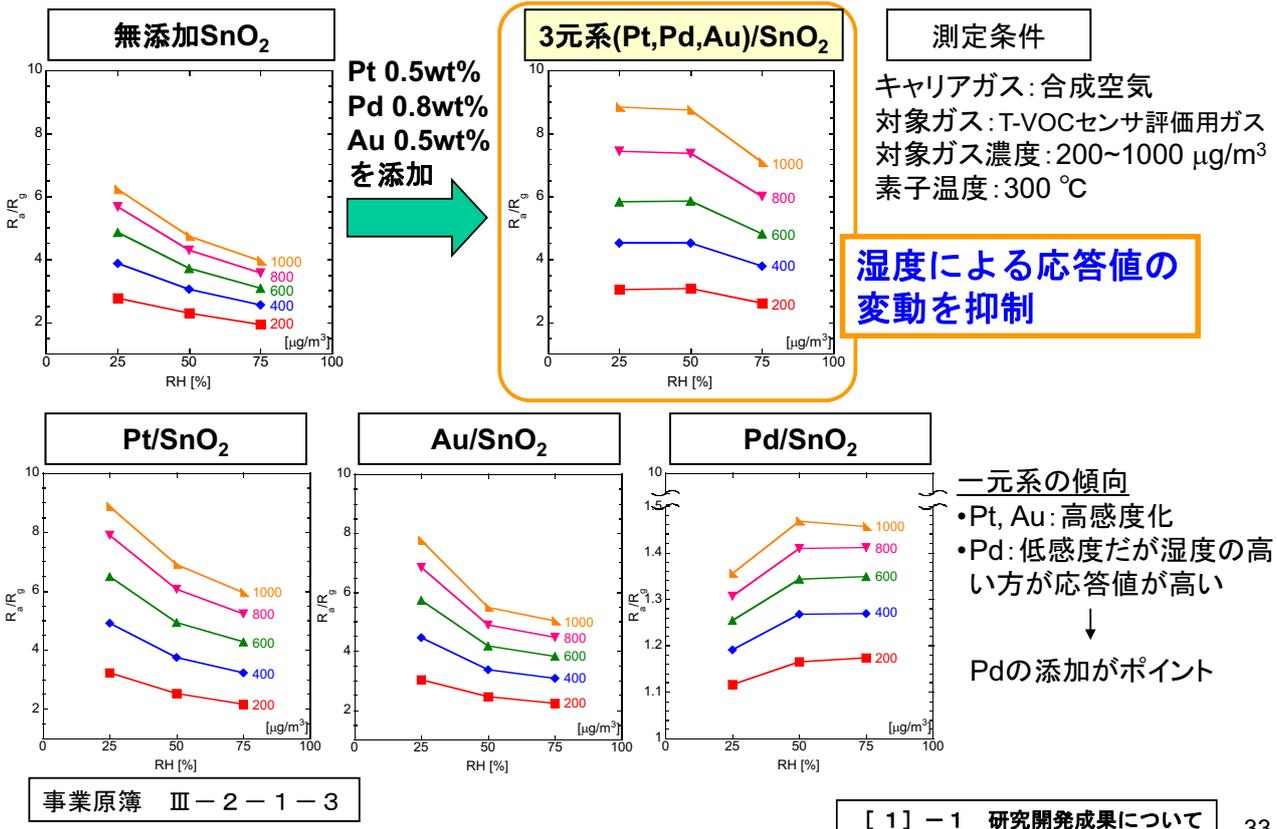
測定条件

キャリアガス: 合成空気
対象ガス: トルエン
対象ガス濃度: 0.035, 0.07 ppm
測定温度: 400 °C
試料: WO₃

>90%RH, 450 °C, 14日間エージング

エージング未終了時

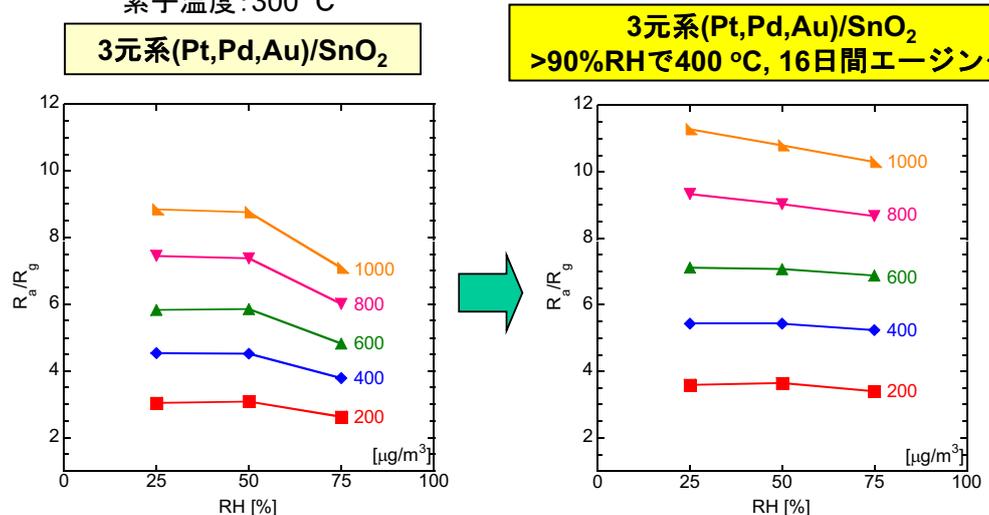
貴金属添加による湿度の影響低減



高湿度下エージングによる湿度の影響低減

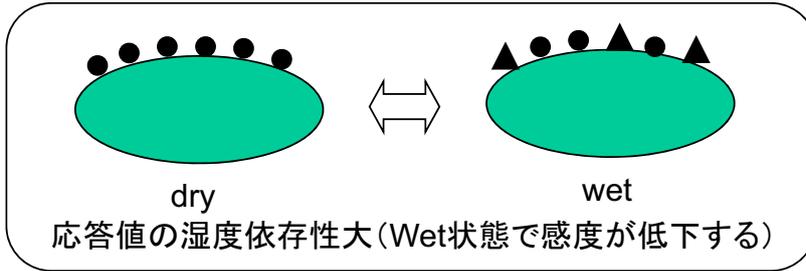
測定条件

キャリアガス: 合成空気
 対象ガス: T-VOCセンサ評価用ガス
 対象ガス濃度: 200~1000 µg/m³
 素子温度: 300 °C



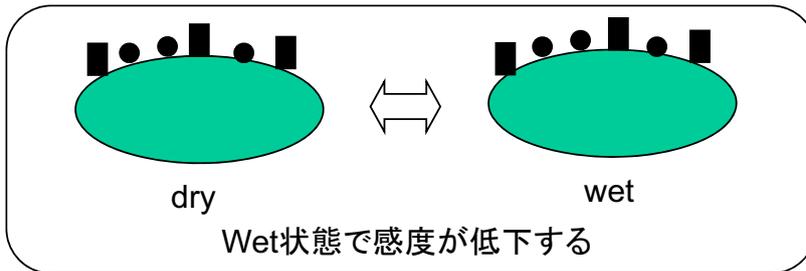
高湿度雰囲気下エージングによる現象の考察

* 湿度下ではdryに比べ、抵抗値が低下する。→酸素吸着サイトを水が占める。



- 可逆的酸素吸着サイト
応答に寄与
- ▲ 可逆的水酸基吸着サイト
応用に寄与せず

↓ 高湿度下高温アニール処理



- 可逆的酸素吸着サイト
応答に寄与
- ▲ 可逆的水酸基吸着サイト
応用に寄与せず
- 不可逆的水酸基吸着サイト
応用に寄与せず

* 高湿度下高温アニール処理により酸素も水酸基も可逆的に吸着するサイトをブロックする。
酸素のみ可逆的に吸着するサイトのみ残るため湿度の影響が低減する。

デバイス化の研究開発

小型プロトタイプ作製・フィールドテスト

- ホルムアルデヒド
- 芳香族
- T-VOC

小型プロトタイプ



主な仕様

- ・フラッシング機構付(最大2 min)
- ・マニュアルでヒーター電圧調整可能 (0.6~3.5V)
- ・マイクロエアポンプによる自動吸引 (約500 mL/min)
- ・測定可能抵抗値：最大50 MΩ
- ・本体表示は抵抗値を変換したレベル値
- ・検知器本体にデータ蓄積可能 (最大8188点のデータ記録、測定間隔は最大60 s、5.7日分に相当)
- ・検知器本体での記録とは独立して、測定中にPCでリアルタイムに抵抗値の表示が可能
- ・3段階の換気扇制御信号を出力する接点端子が本機と連動

小型プロトタイプへの各素子の搭載

ホルムアルデヒド

・小型プロトタイプへ搭載



- ・溶接で電極とシステムを固定
- ・アロンセラミック、Inチップで溶接部を補強



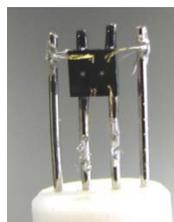
- ・基板サイズの縮小
- ・低抵抗化に向けた電極幅の縮小
- ・裏面白金ヒータによる自己加熱化



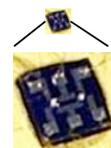
・初期のセンサ素子

芳香族

・小型プロトタイプへ搭載



- ・ワイヤボンダと銀ペーストで電極とシステムを固定
- ・基板はVOCフリー接着剤で固定



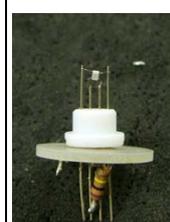
- ・円形の浮島を有するMEMS基板
- ・浮島上に楕形電極と白金ヒータを設計



・初期のセンサ素子

T-VOC

・小型プロトタイプへ搭載



- ・溶接で電極とシステムを固定



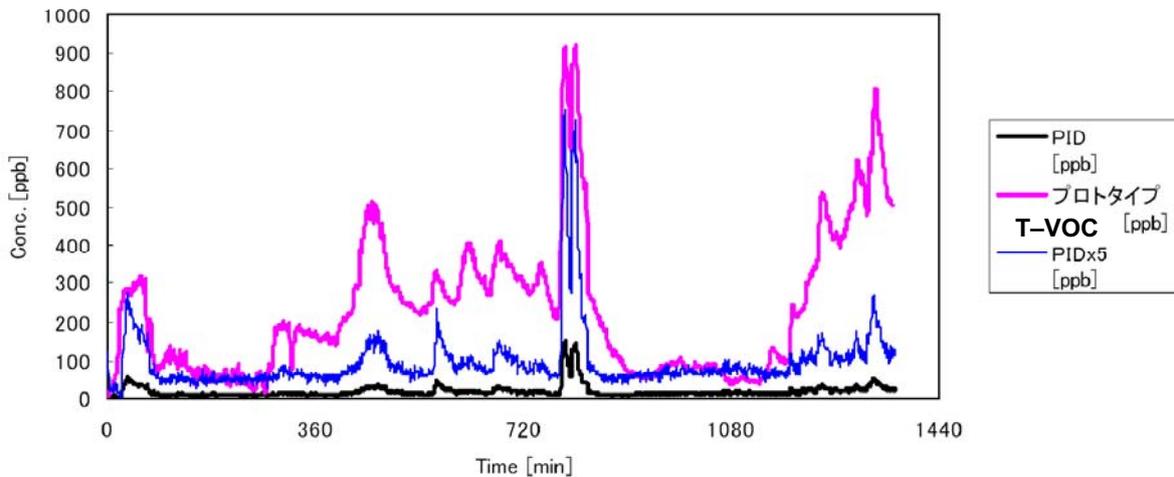
- ・表面に楕形電極、裏面に白金ヒータを有する小型基板を使用



・初期のセンサ素子

フィールドテスト

- 実住宅で計測を実施
- 高額測定器と同等の応答を示すことを確認



- PIDと小型プロトタイプが示す濃度変化時間が一致
- PIDが濃度ゼロを示す範囲で小型プロトタイプもほぼゼロを示す

プロジェクト全期間のまとめ

センサ素子の研究開発

ホルムアルデヒド素子 芳香族素子 T-VOC素子



- 新材料による高感度高選択アルデヒド検知
- 新材料（キューボイド粒子）による安定性に優れた芳香族VOC検知
- 実態調査に基づいたT-VOCセンサ評価用ガスの開発
- 各種エージング処理による安定性向上の実現

デバイス化の研究開発



- MEMS基板の設計・作製
- 温度変化測定法の実証
- 無機ガス除去触媒開発
- 測定電流の影響解明
- 無機ガスの影響を低減する補正法の開発

センサ制御換気システムの実現に向けて

製品化研究

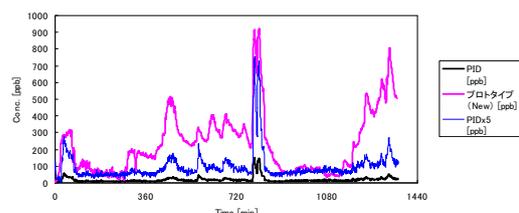
- 開発した技術の統合
- 換気システムの試作実証
- 低コスト化

国際標準化

- 国際規格の作成
- VOCセンサの評価法

競争力のある製品の実現に貢献

フィールドテスト



- 実空間での検知を実証
- PIDセンサとの比較による定量性を確認

個別研究開発項目の目標と達成状況

開発項目	目標	達成状況	達成度
1) センサ素子の高感度化 高選択性・高感度化	指針値または暫定目標値濃度の1/2の感度を有する。	当初想定した濃縮素子を併用することなく素子単独で達成した。	◎
2) センサ素子の安定性・信頼性向上 安定性・信頼性向上	指針値濃度に対する感度変化を25%以内(2ヶ月以上)とする。 温度・湿度等の変動、無機ガス暴露、高濃度ガス暴露に対する信頼性を確保する。	材料の改良、改質により安定性・信頼性の向上を達成した。 特に課題であった湿度の影響の回避を達成した。	○
3) デバイス化 小型プロトタイプ作製	センサ素子をそれぞれチップ実装法、ディスペンサー法によってアレイ化しデバイスとした。このアレイ化デバイスを、ワイヤーボンドにより、金属ステムに実装しパッケージングする。	センサ素子の小型化、デバイスの為の最適化を行い、ステムに搭載した。	○
4) プロトタイプ化 小型プロトタイプ作製 フィールドテスト	センサ駆動用及び信号処理用回路を開発し、芳香族、T-VOC、ホルムアルデヒドの3種類のプロトタイプを作製する。	各種プロトタイプを作製しセンサ素子を搭載、フィールドテストを実施した。	○

知的財産

ホルムアルデヒドセンサ素子の開発

- 特願2006-065709 ガスセンサ及びその製造方法
- 特願2006-181989 ガスセンサおよびその製造方法
- 特願2006-312309 高感度ガスセンサ及びその製造方法
- 特願2007-063843 酸化モリブデン薄膜の製造方法及び化学センサ
- 特願2007-181530 ガスセンサ材料、その製造方法及びガスセンサ
- 出願(米国) : 11/939959 高感度ガスセンサ及びその製造方法
- 出願(EPO) : 07022134.6 高感度ガスセンサ及びその製造方法
- 特願2007-220301 ガスセンサの製造方法
- 特願2007-321302 電氣的抵抗の変動が抑制された有機無機ハイブリッド材料

芳香族センサ素子の開発

- 特願2006-248676 ガスセンサ及びその製造方法

T-VOCセンサ素子の開発

- 特願2008-326619 Total-VOC検出用ガスセンサ及びその製造方法
- 特願2009-001578 ガスセンサを予備処理する方法

国際標準化への取り組み

室内空気のVOC濃度計測

ガスクロマトグラフィーによる精密測定

小型VOC検出器による簡易計測

- ✓オンサイトでのVOC濃度リアルタイム計測が可能
- ✓ただし、小型VOC検出器の広く認証されている評価方法が確立されていない



評価方法の標準化



- ◆ VOC検出器の信頼性向上
- ◆ これによるVOC検出器の普及

将来製品と標準をセットで提示することが可能となり、安全・安心な屋内環境の構築および国際競争力強化への貢献を目指す



↑ monitoring



VOC detector

「揮発性有機化合物対策用高感度検出器の開発」

周辺技術調査 事後評価 分科会

2009年12月2日

パナソニック電工
建築研究所
東京大学

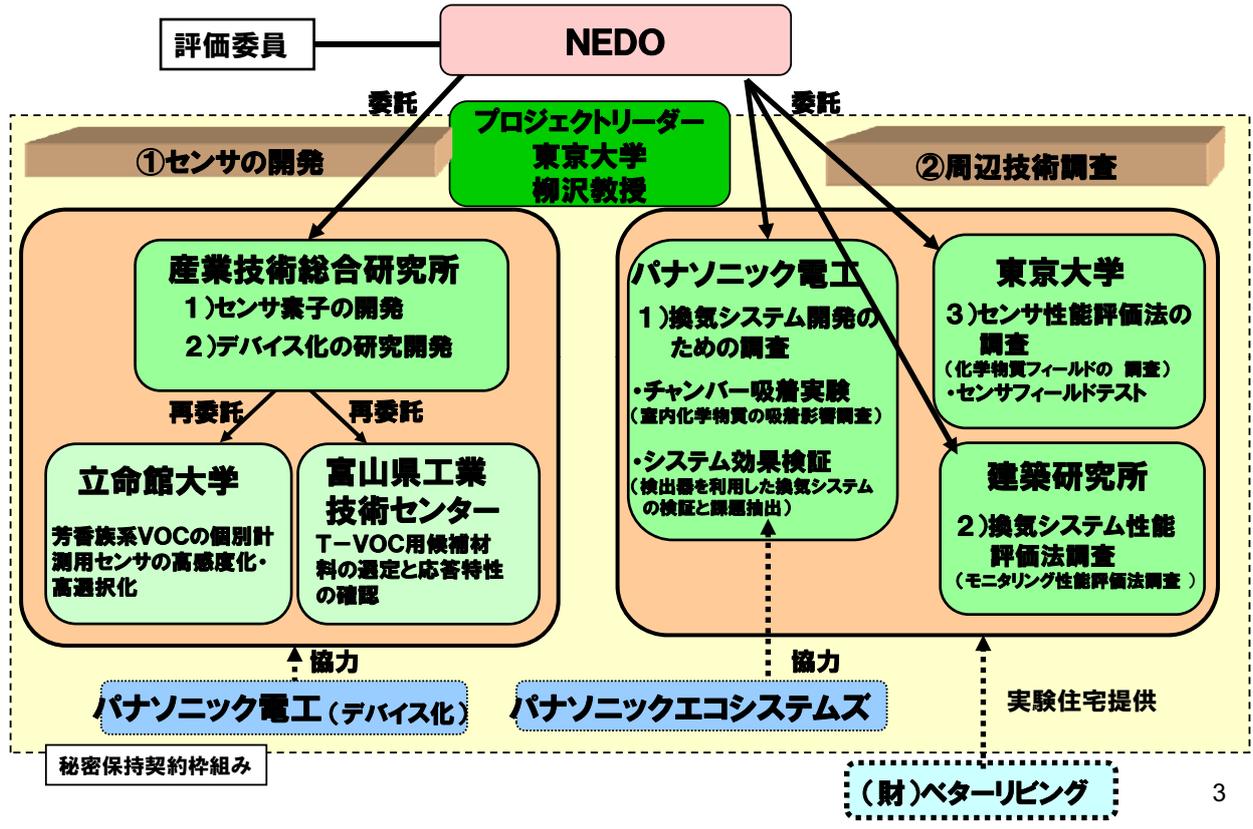
調査Gr 目標

省エネと化学物質対策のベストバランスを実現するために

**検出器を利用した換気システムを提案し
実用化のための課題を抽出する**

換気システムの基本的な考え方

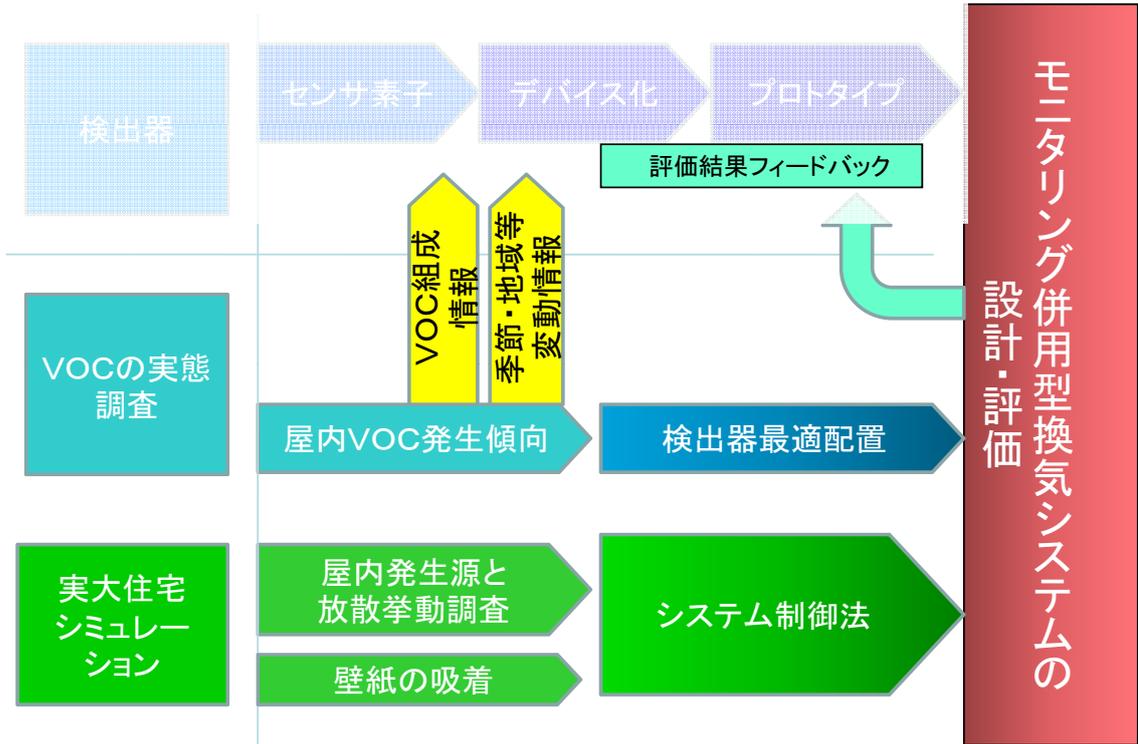
- ・ 少ないセンサ(できれば1個)で検知、制御をおこなう。
- ・ 現状の換気システムに改良を加える。
- ・ 化学物質発生源の付近から排出する。



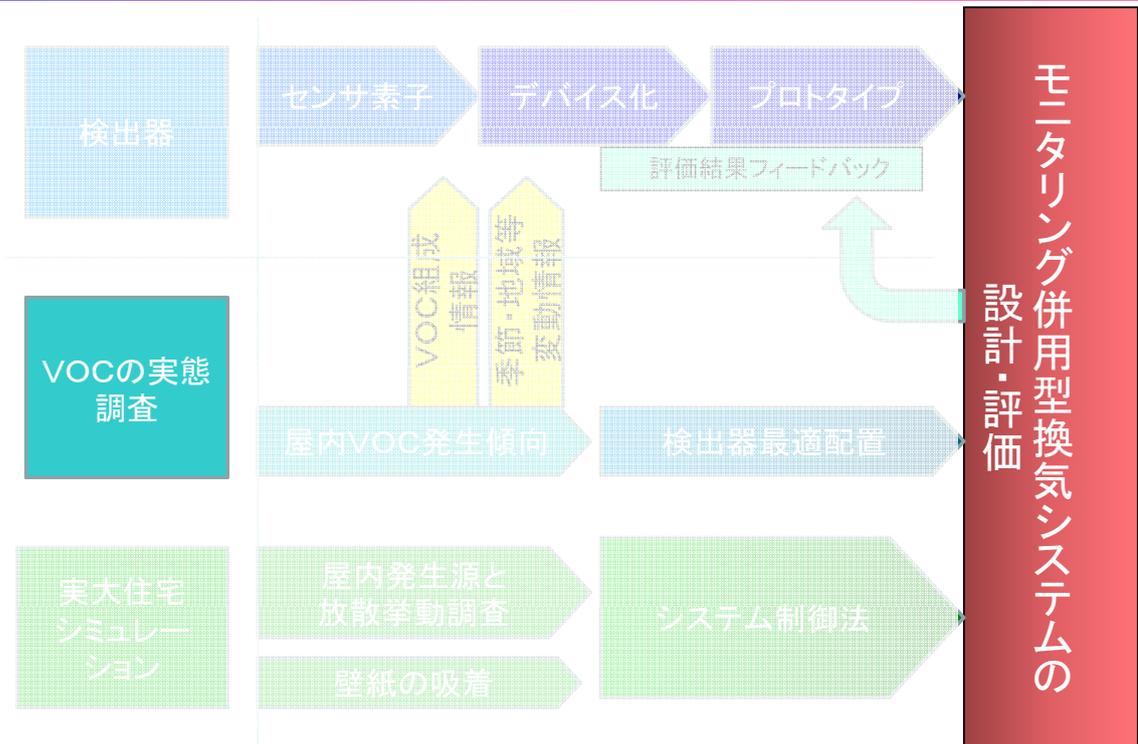
調査Gr実施内容のまとめ

		内容(担当)	まとめ
VOC発生要因の分類	VOC実態の調査	実態調査 (~H19、H20継続建研)	・持込家具や家電類の多少で室毎にVOCs濃度分布が発生。しかし、建材と同等以上の対策が施されている場合もあり、その場合には室毎において0.5回/h以上の換気を必要としない。
	検出器最適配置	チャンバー実験 CFD実験(H18松下)	・室内VOC濃度分布は、センサ検知に影響を与えない程度である。 ・VOCセンサの設置位置の仮説導出。
	屋内VOC発生傾向	フィールド調査 (~H20東大)	・食事など生活行動によって突発的な化学物質発生が見られた。発生源となる居室の濃度変動は他室にも影響を与えることが確認された。
換気システムの効果検証	実大住宅シミュレーション	つくば実験 (~H19建研)	・自然換気や局所排気運転により、VOCs濃度低下が発生。室毎の給気バランスの違いにより、VOCs濃度分布が生じるケースあり。
	壁紙の吸着	チャンバー吸着実験 (H20松下電工)	実住宅では化学物質の吸放出が発生。制御を考慮する必要がある。
	システム制御法	つくば実験 (H20建研・松下エコシステムズ、松下電工) 回路網計算 (H20建研)	実住sir宅で換気システムアルゴリズムが確認された。 室内化学物質濃度低下や省エネ程度を確認することができた。 実家庭に近い条件で局所換気の室内空気に対する影響とエネルギー消費関係を表す基礎的なデータを取得することができた。
	評価結果のフィードバック	センサフィールド評価 (H20東大)	現状開発センサの性能確認ができた。濃度変化には追従するもののベースラインの移動、ドリフトなど見られた。妨害物質の影響有り。濃度の絶対値としては検討の必要がある。

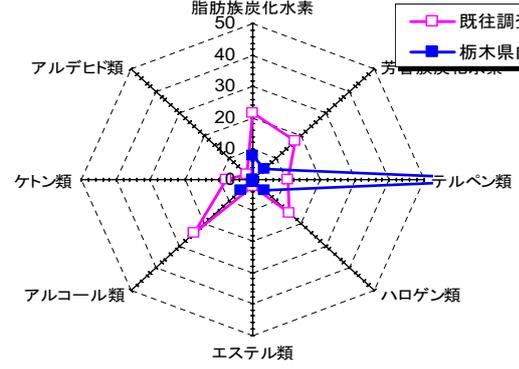
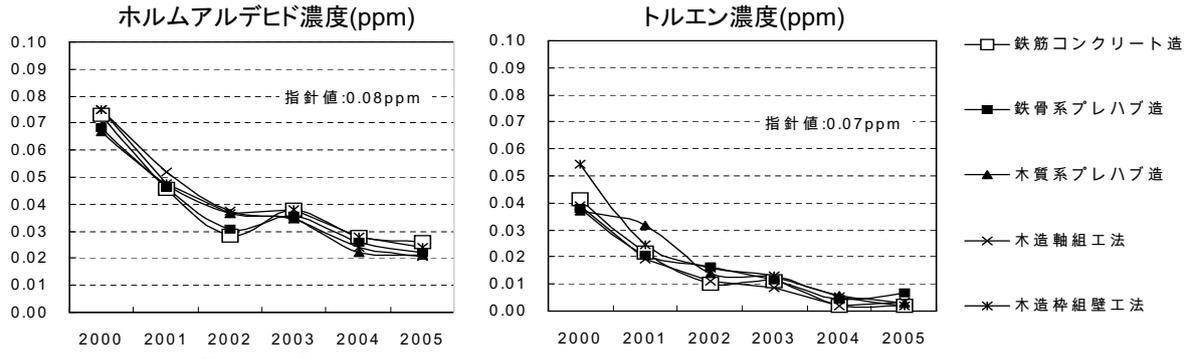
プロジェクト全体の構成概要



プロジェクト全体の構成概要



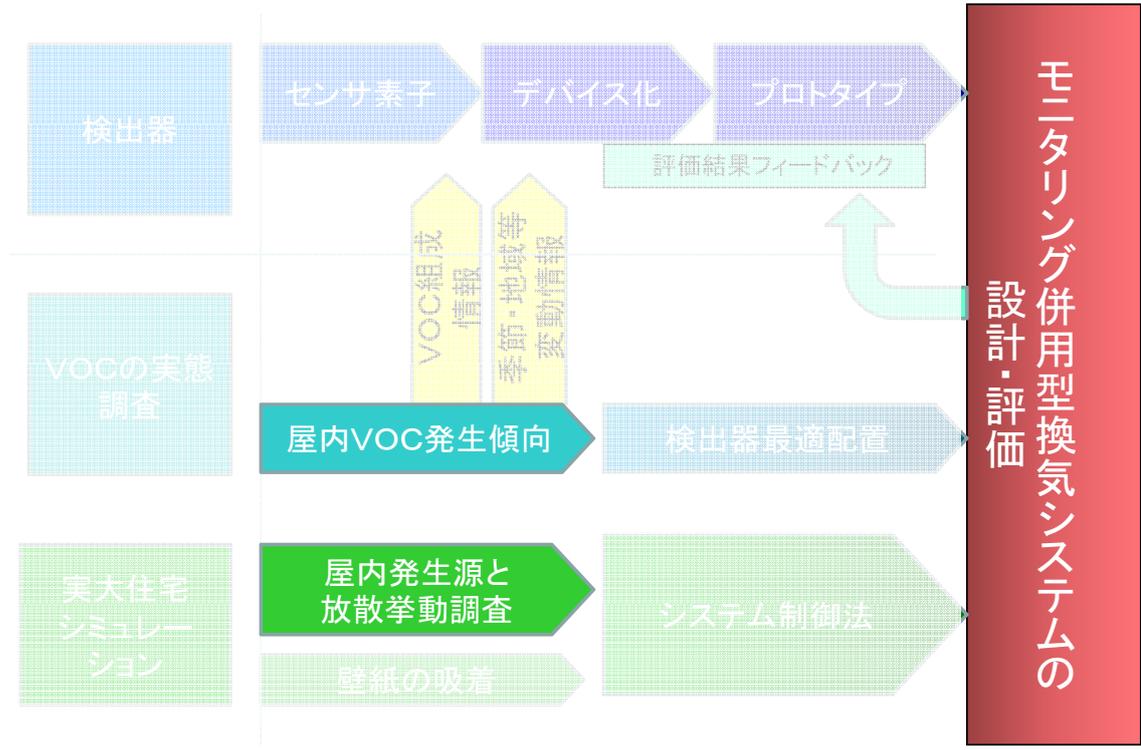
VOC発生要因の動向 空間的要素



1. 全般的な汚染濃度は低下傾向にある。
2. VOCは発生源・機序が多様で、物質種比率が不安定な上、工法差・地域差も大きい
3. 基準法前後を比べても多様性は拡大

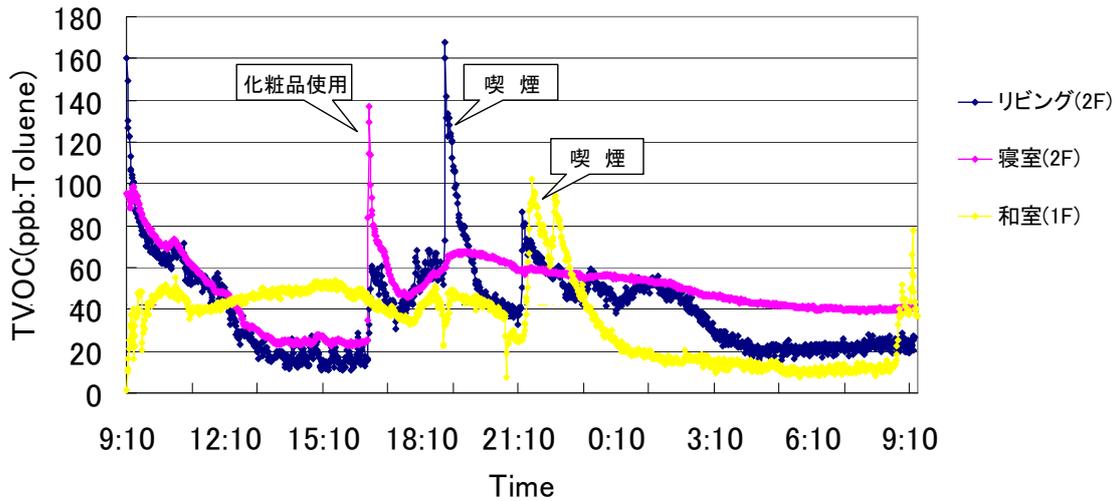
換気量低減を図るには
実濃度把握が不可欠

プロジェクト全体の構成概要



VOC発生要因の動向(2) 生活的要素

人の行動によるTVOC濃度の変化

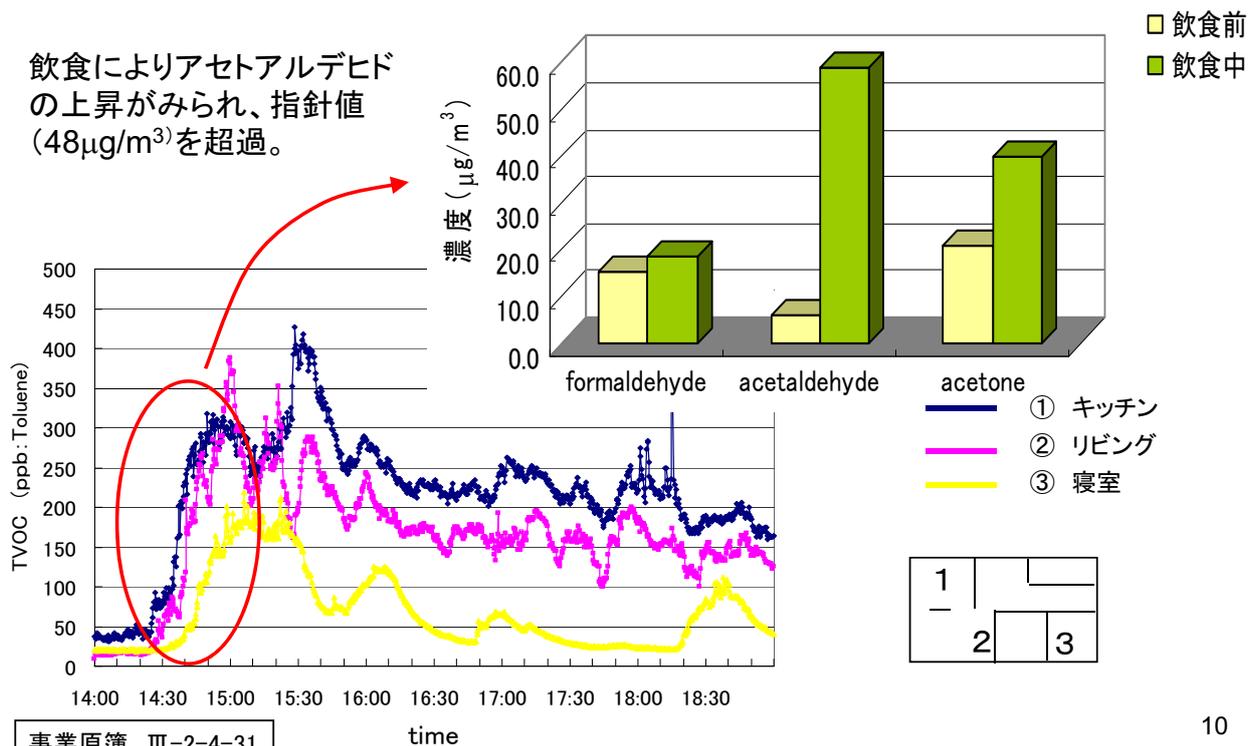


- 居住者が在室している場合、その行動によってTVOC濃度は大きく変動する。
- 人の行動によるTVOC濃度の上昇は早く、減衰は緩やかである。
- 一室におけるTVOC濃度の変動は、他室にも影響をあたえるが、その程度は様々である。
- 開発センサにおいては、急激なVOC濃度変化に対して誤作動を起こさないことも必要。

事業原簿 Ⅲ-2-4-26

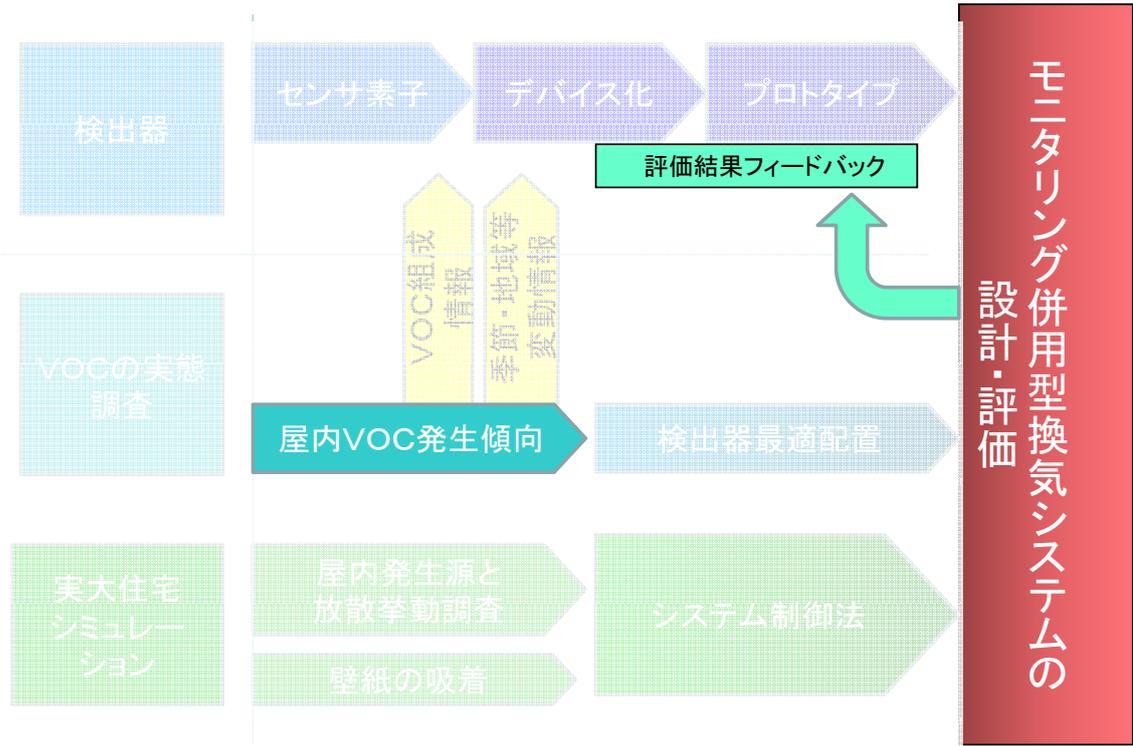
VOC発生要因の動向(2)

生活的要素 人の行動によるVOC成分濃度の変化例

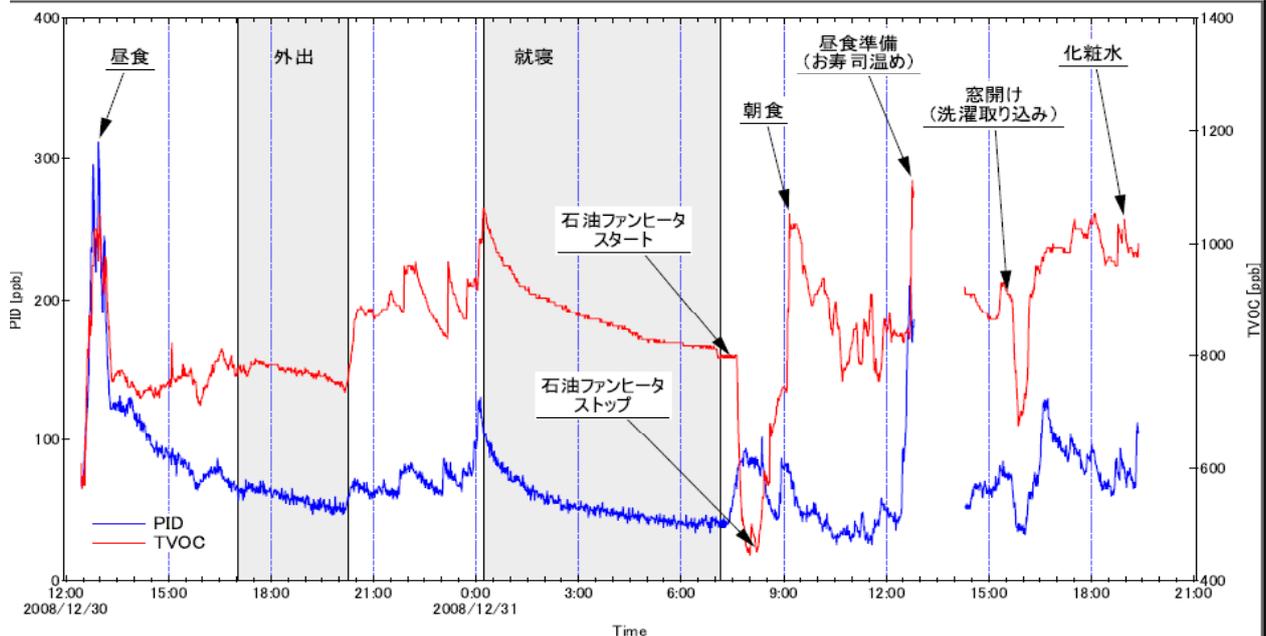


事業原簿 Ⅲ-2-4-31

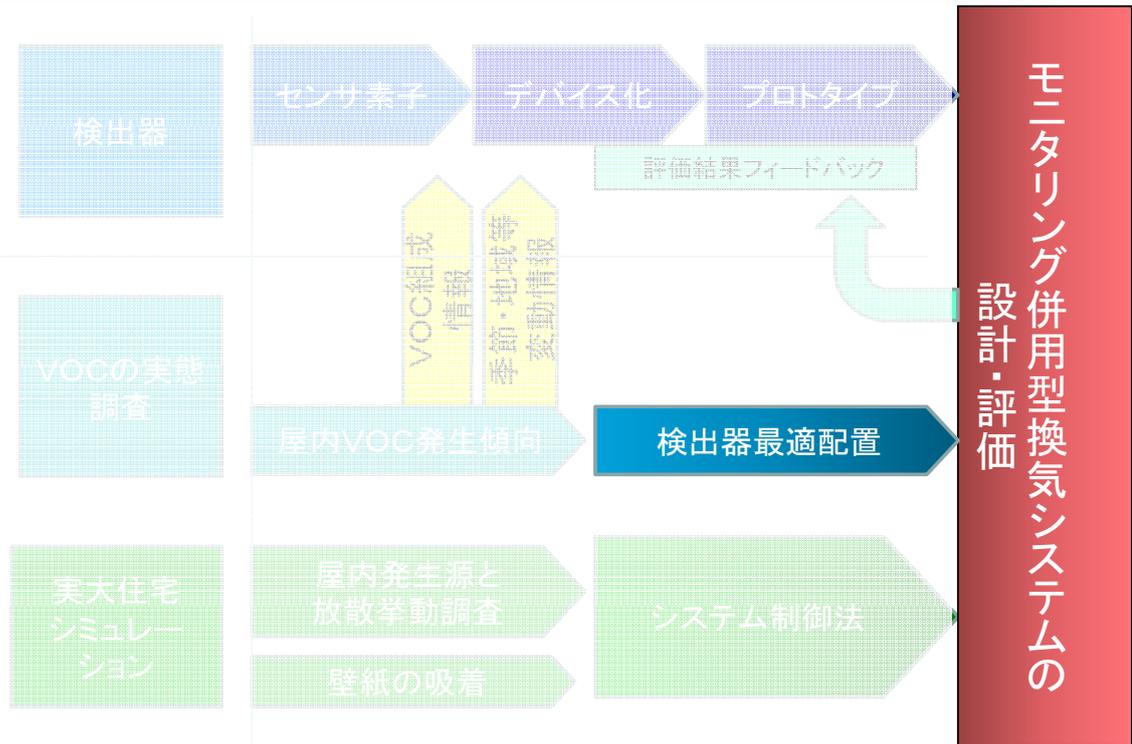
プロジェクト全体の構成概要



実空間における開発検出器の実証実験および適応性評価



プロジェクト全体の構成概要



センサ設置位置の検討

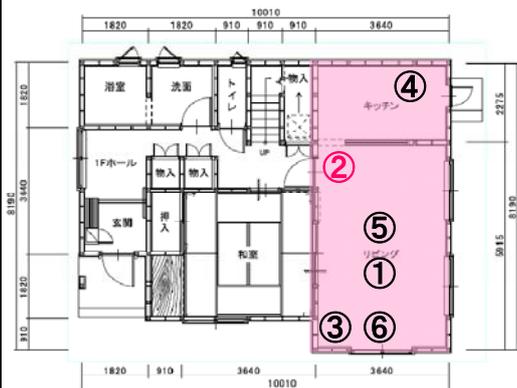
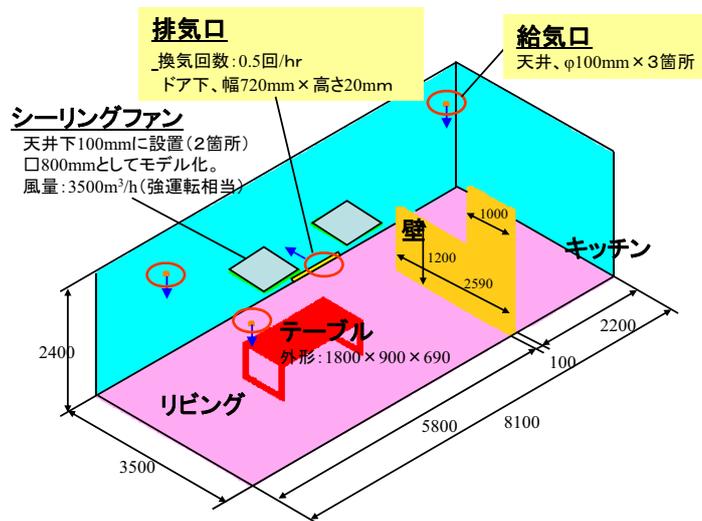


図1 実験住宅平面図（1階）

実測値をもとにしたシミュレーションにより
排気経路で検知する妥当性を確認



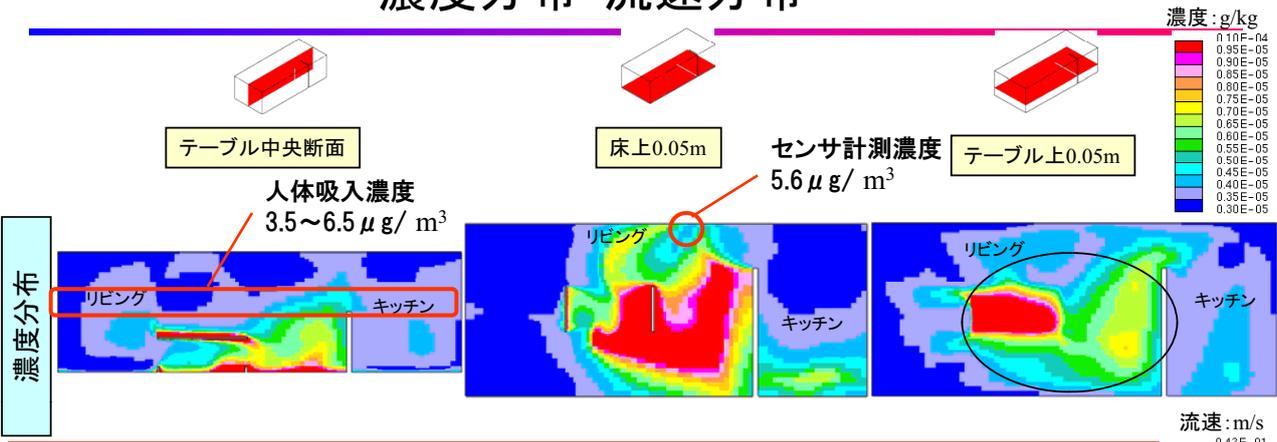
- ① 発生部付近
- ② 換気出口（ドア下部）
- ③ 給気部
- ④ 部屋台所側
- ⑤ 部屋中央
- ⑥ 部屋窓側

化学物質放散源：
テーブル、床

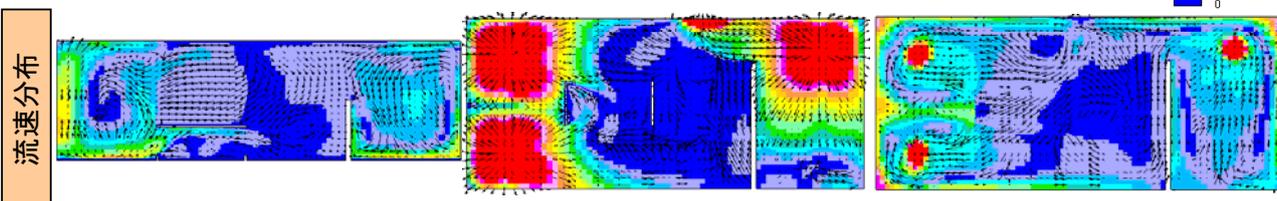
放散条件

	Ce[μg/m ³]	kg[m/h]
テーブル	296	0.073
床	151	0.033

濃度分布・流速分布



人体の予測吸入濃度(高さ1.2m:)と排気経路センサ計測濃度が一致
 ⇒ エアコン等での攪拌無し時でも、
 排気口でのセンサによる計測が妥当

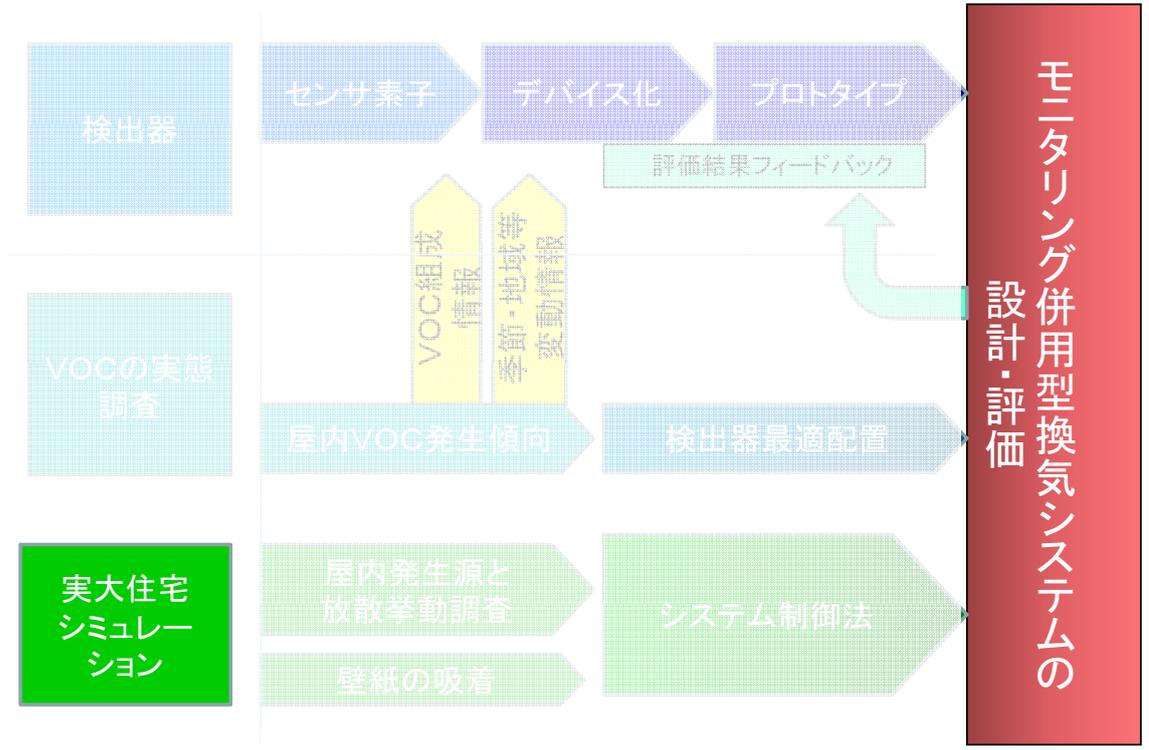


事業原簿 Ⅲ-2-2-23

サーキュレータファン非作動

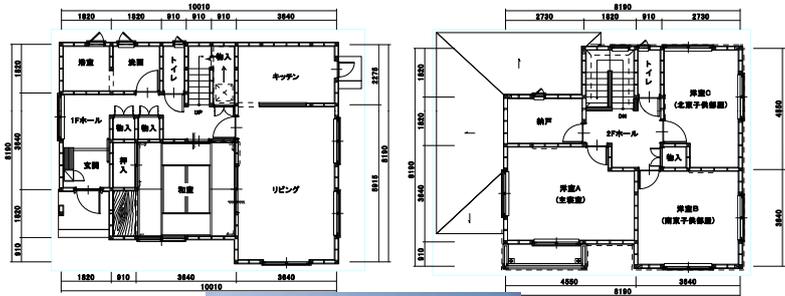
出口濃度: 5.60μg/m³ 5

プロジェクト全体の構成概要



実験住宅の仕様と検討項目

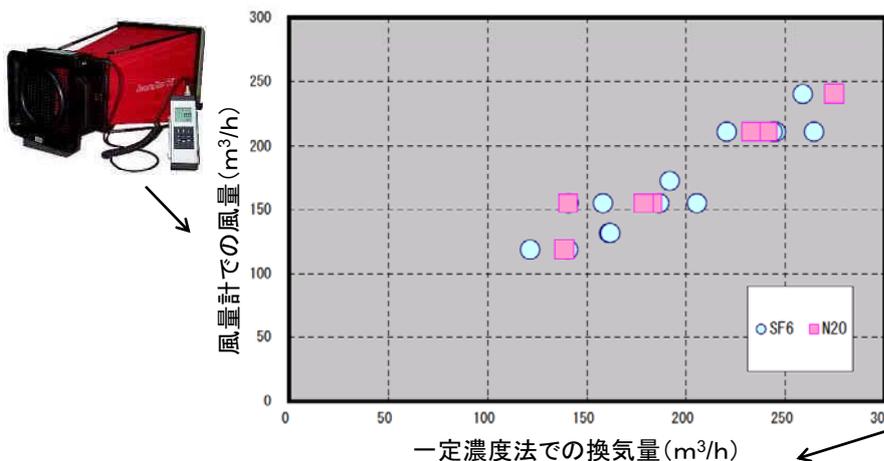
- ① 実大実験住宅および導入された換気システムの基礎的な性能測定の実施
- ② トレーサーガスを汚染物質に模した条件による換気システムの風量変動稼働の換気性状の確認
- ③ 換気システムの換気性能と消費電力の評価方法の検討と試行



事業原簿 Ⅲ-2-3-17

項目	仕様
工法	木造 在来軸組構法
階数	2
床面積(m ²)	床面積130.83(m ²) 1階72.87(m ²)、2階57.96(m ²)
断熱性能	次世代省エネルギー基準のⅢ地域 ¹⁷

換気システムの基礎的な性能測定の実施

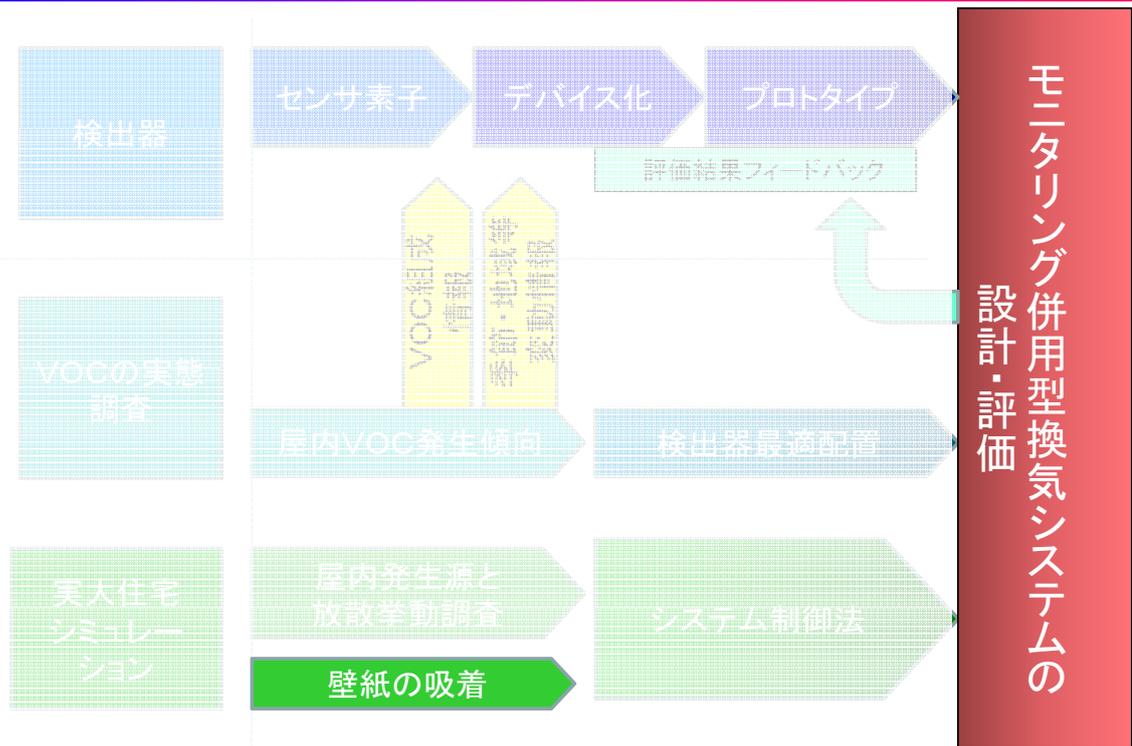


トレーサーガスとフード付き風量計を用いた換気システムの風量のクロスチェック

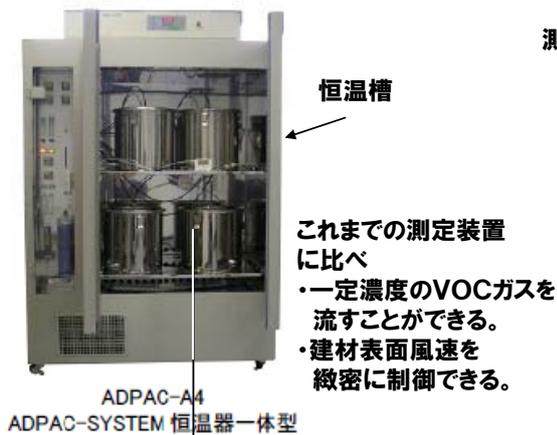
気密性や換気システムの風量において、
調査に十分な機能を備えていることを確認した。

事業原簿 Ⅲ-2-3-19

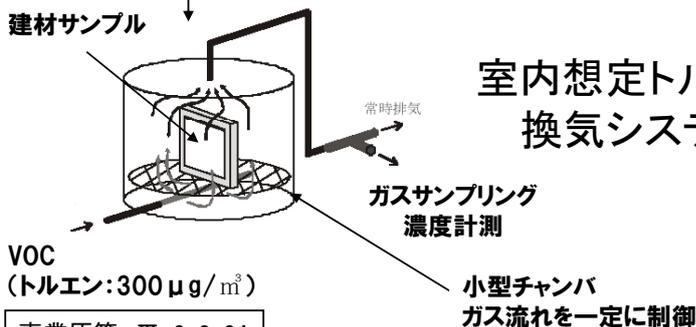
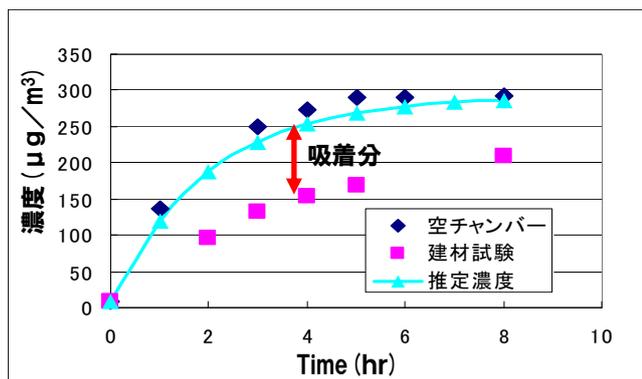
プロジェクト全体の構成概要



室内の吸脱着特性計測



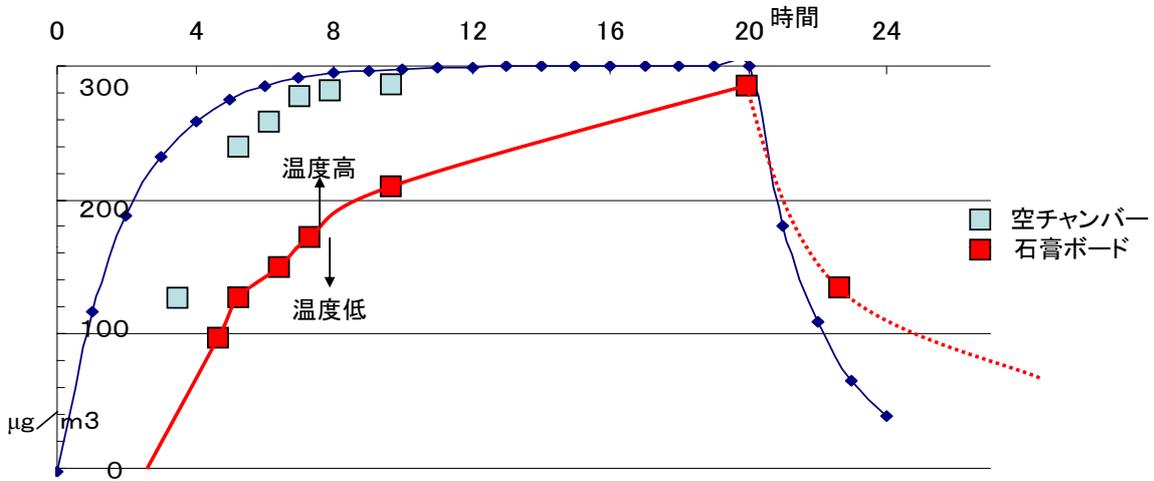
測定結果 25℃ 50%



室内想定トルエン濃度付近での計測確認 換気システムの制御にフィードバック

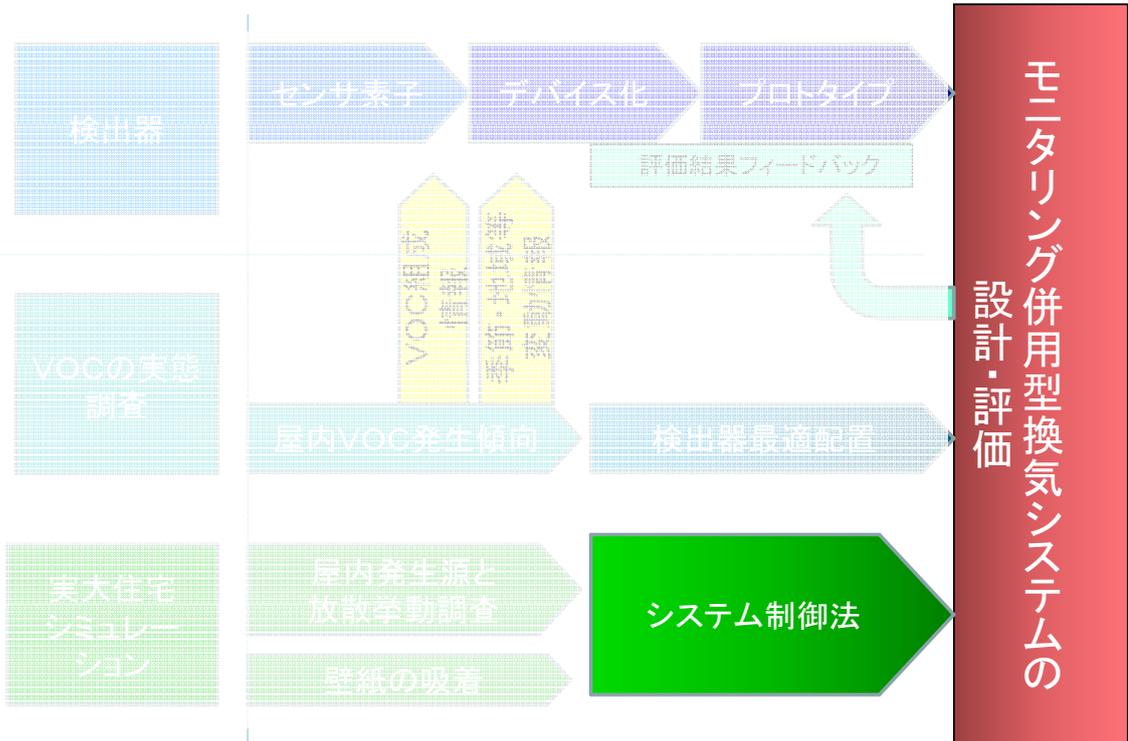
トルエン導入濃度300 $\mu\text{g}/\text{m}^3$

25 $^{\circ}\text{C}$ 50%



25 $^{\circ}\text{C}$ 50%の変化は換気回数で換算すると約0.18回に相当した。

プロジェクト全体の構成概要

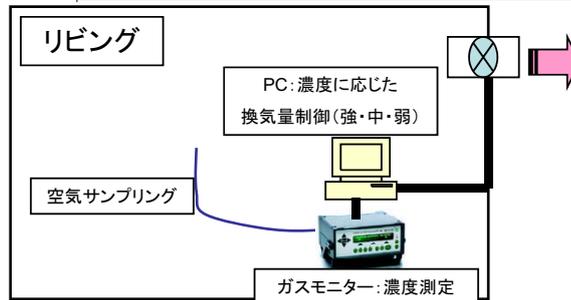
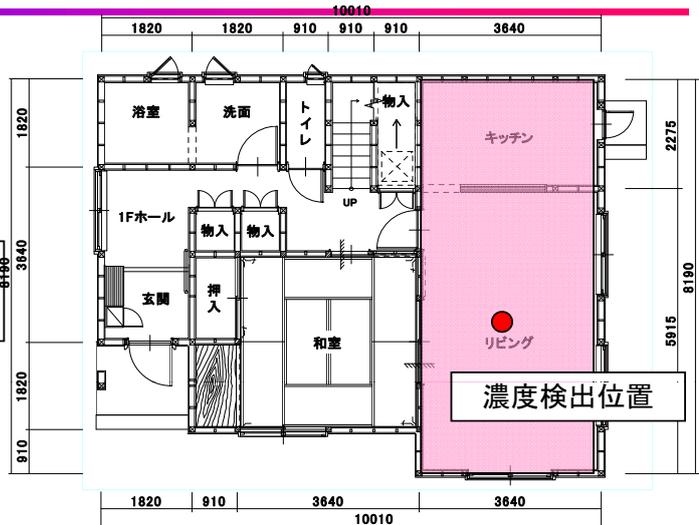


変動換気システム概要



PC:濃度検出
換気扇制御

ガスモニター:濃度測定

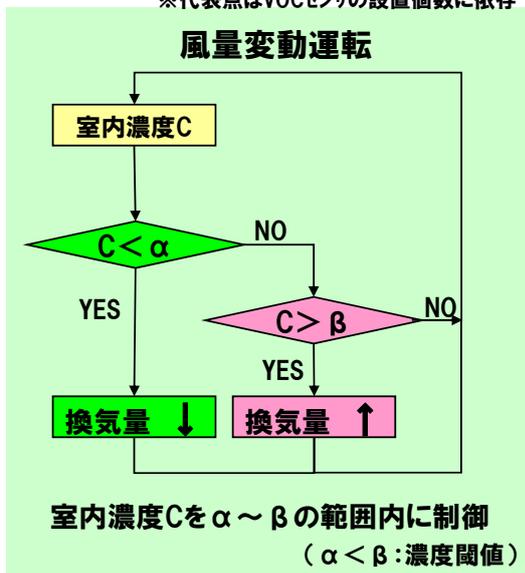


VOC検出を利用した換気制御の技術的ポイント

① 全般換気量制御

室内の代表点※における濃度管理

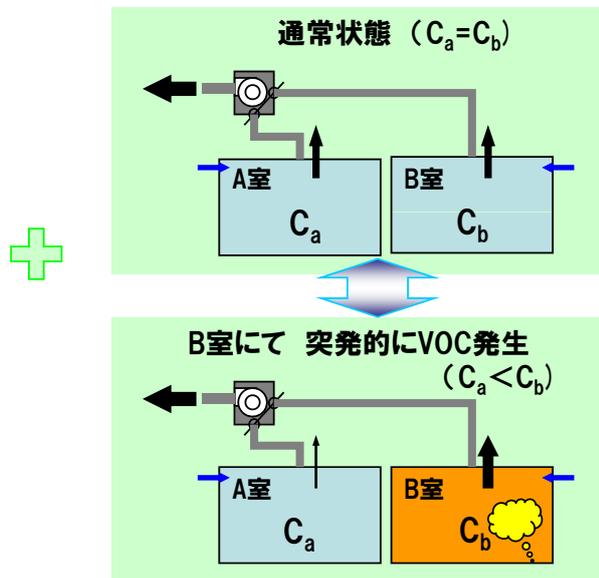
※代表点はVOCセンサの設置個数に依存



定常的・全般的に発生するVOCに対応

② 排気経路制御

汚染レベルの高い空間を検知し、効率的に排気



突発的/局所的に発生するVOCに対応

換気システムアルゴリズム作成

センサ仕様、換気システム仕様をもとに換気システムアルゴリズムを作成

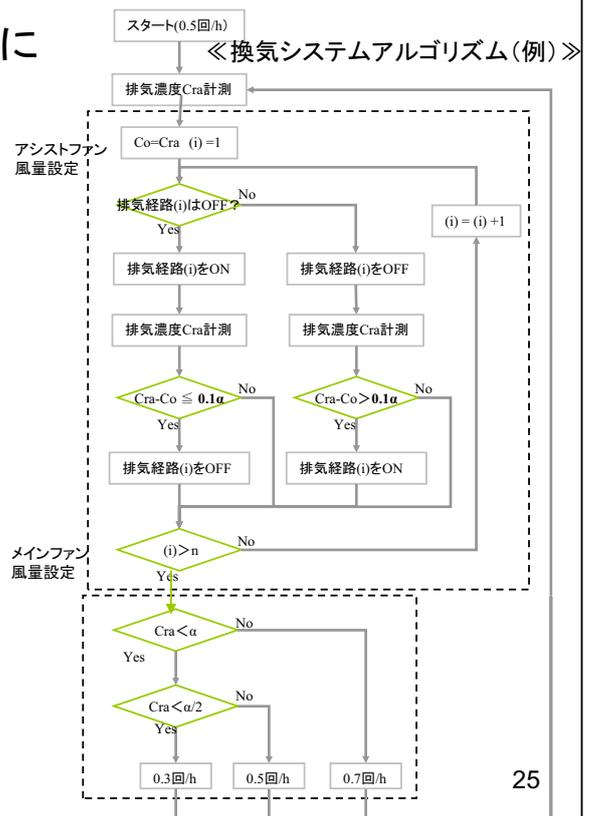
《センサ仕様》単独センサパターン

- ・センサ設置箇所 1ヶ所 排気濃度Cra
- ・計測ガス種:ホルムアルデヒド・TVOC・芳香族
- ・計測範囲: 指針値の50%~
- ・換気システムへの信号:3段階
 - 1: 指針値の50% ($\alpha/2$) 以下
 - 2: 指針値の50% ($\alpha/2$) ~ 100% (α)
 - 3: 指針値の100% (α) 以上 指針値の10%
- ・センサ分解能

《換気システム仕様》

- ・1種換気
- ・排気箇所 3ヶ所 LDK・1階廊下・寝室...
- ・給気箇所 各居室 5ヶ所 LDK・和室・寝室・子供部屋1・子供部屋2
- ・メイン給気/排気ファン
 - 制御範囲 3段階切替え 0.3回/h・0.5回/h・0.7回/h
- ・アシストファン
 - n=2ヶ所 LDK・寝室
 - 制御範囲 OFF・ON

時定数の変更: 30分→10分
センサのポンプサンプリング



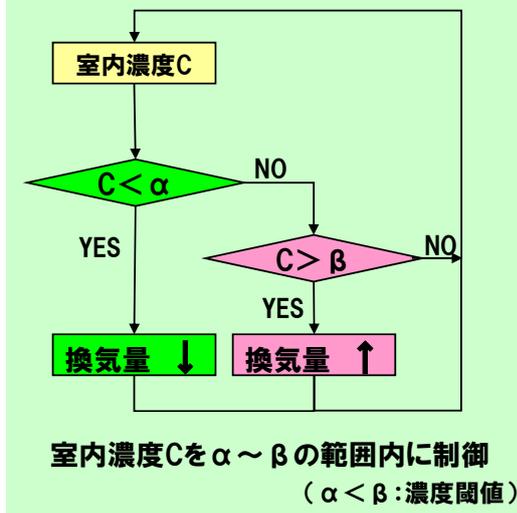
VOC検出を利用した換気制御の概要

① 全般換気量制御

室内の代表点※における濃度管理

※代表点はVOCセンサの設置個数に依存

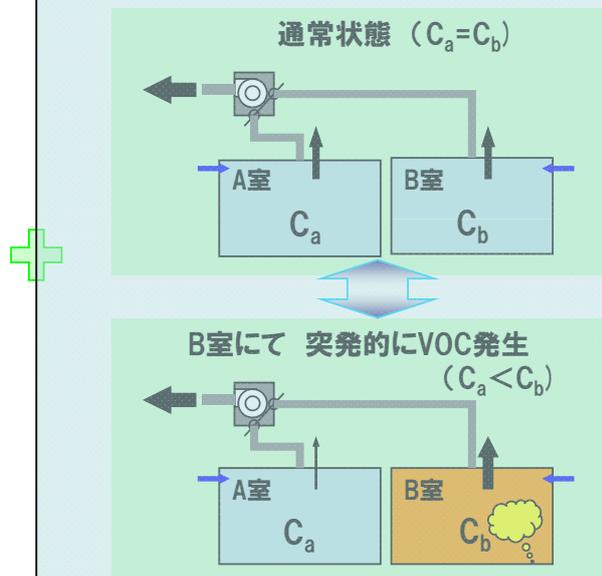
風量変動運転



定常的・全般的に発生するVOCに対応

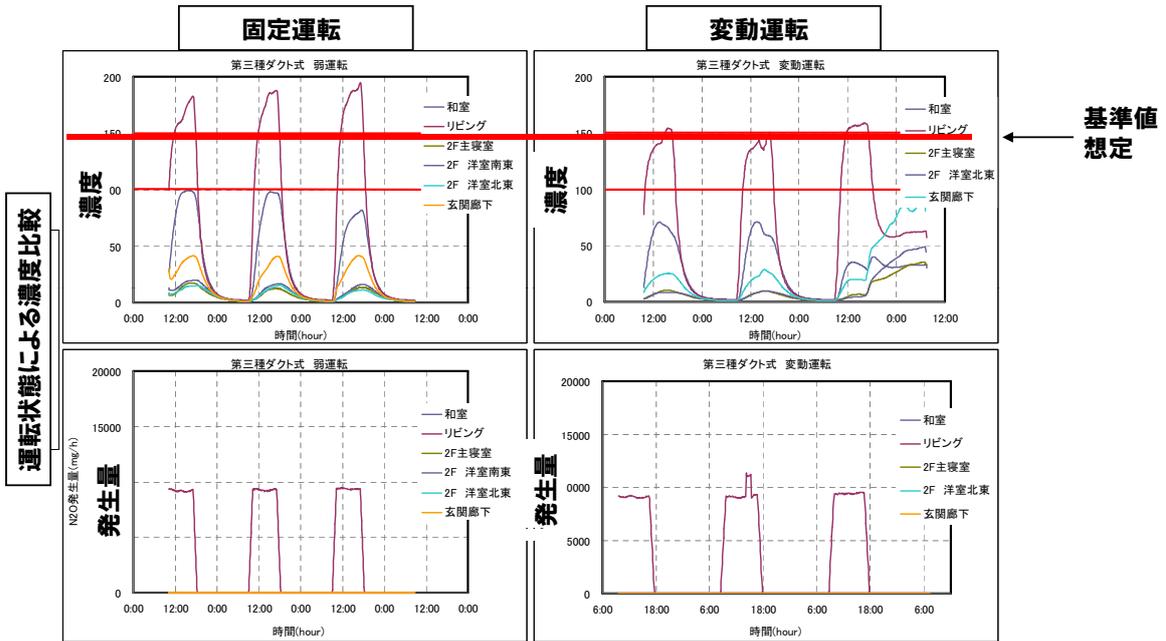
② 排気経路制御

汚染レベルの高い空間を検知し、効率的に排気



突発的/局所的に発生するVOCに対応

リビング 8時間 ガス発生 16時間停止 検討期間3日間



変動運転により、リビング化学物質濃度低下を確認

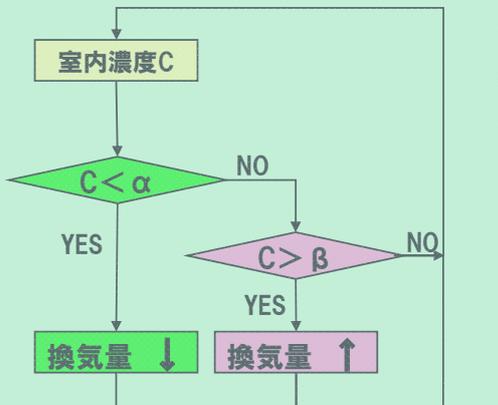
VOC検出を利用した換気制御の概要

①全般換気量制御

室内の代表点※における濃度管理

※代表点はVOCセンサの設置個数に依存

風量変動運転

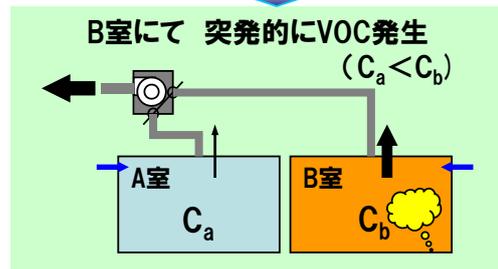
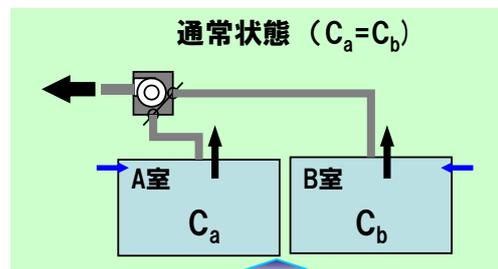


室内濃度Cを $\alpha \sim \beta$ の範囲内に制御
($\alpha < \beta$:濃度閾値)

定常的・全般的に発生するVOCに対応

②排気経路制御

汚染レベルの高い空間を検知し、効率的に排気

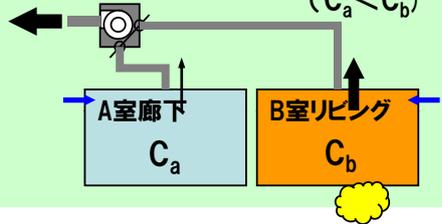


突発的/局所的に発生するVOCに対応

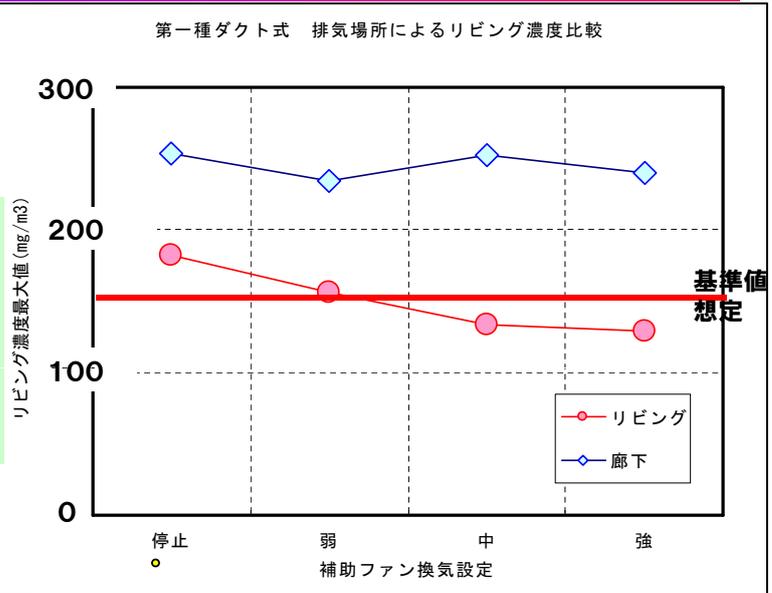
②排気経路制御 A室廊下排気とB室リビング排気比較

補助ファンを省エネタイプとすることで、
効率よく濃度を下げることが可能

B室リビングにて 突発的にVOC発生
($C_a < C_b$)



突発的/局所的に発生するVOCに対応



排気経路制御の効果を確認

全体換気量は増やさずにリビングからの排気を増やすことで
リビング化学物質濃度を低下させることが可能となった。

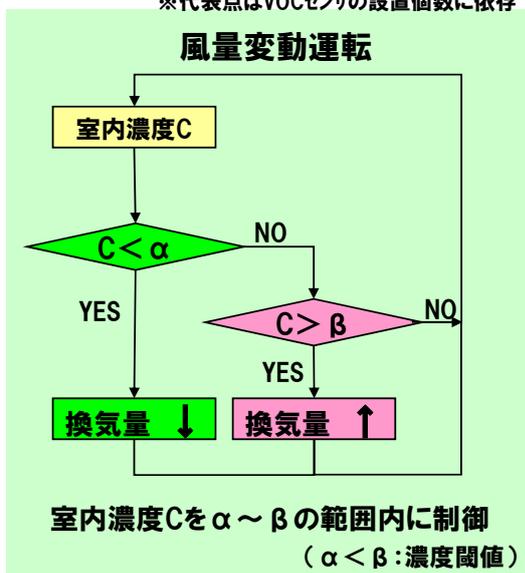
→ 全般換気制御よりも省エネ型の換気システムを実現

VOC検出を利用した換気制御の概要

①全般換気量制御

室内の代表点※における濃度管理

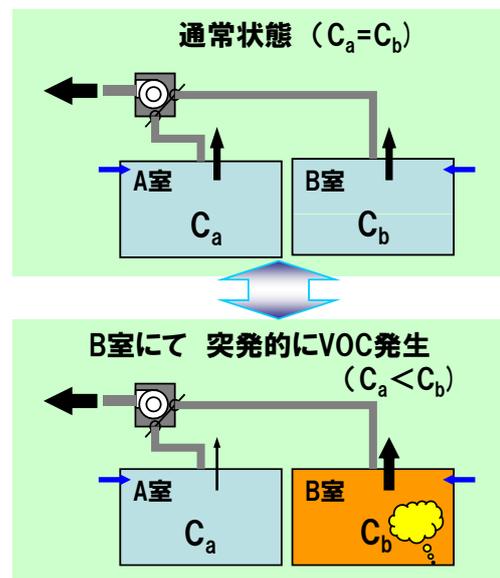
※代表点はVOCセンサの設置個数に依存



定常的・全般的に発生するVOCに対応

②排気経路制御

汚染レベルの高い空間を検知し、効率的に排気



突発的/局所的に発生するVOCに対応

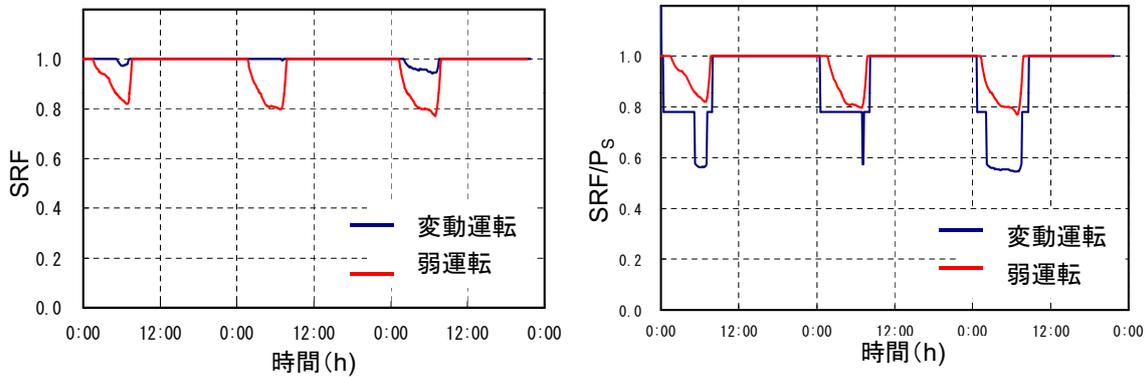
換気性能と消費電力の評価方法の試行

公開

風量変動制御を行った換気システムの換気性能と、その稼働にかかる消費電力を以下の評価指標を定義し評価の試行を行った。

- ・換気システム : 第3種
- ・風量切り替え : 強⇄中
- ・基準風量 : 風量弱

評価指標: $SRF/PS = SRF / (\text{消費電力} \div \text{基準風量時の消費電力})$



風量変動運転

SRF 値 : 高い

SRF/Ps 値 : 高い

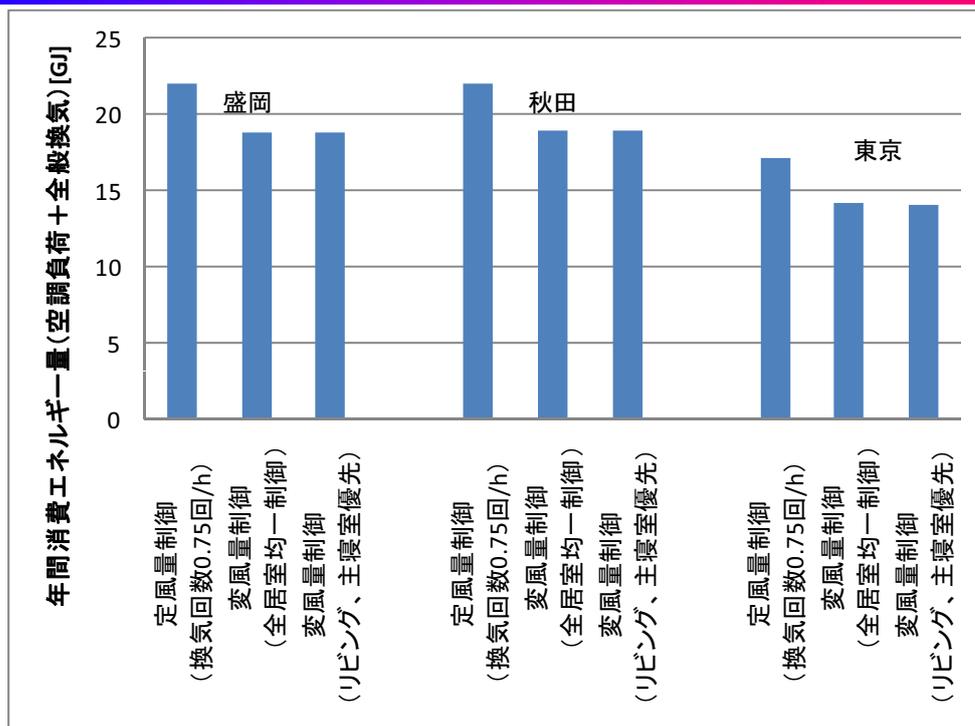
強運転時の入力電力を小さくすることで省エネが可能

事業原簿 Ⅲ-2-3-64

31

熱負荷計算による換気量低減による暖冷房エネルギー消費量削減効果

公開

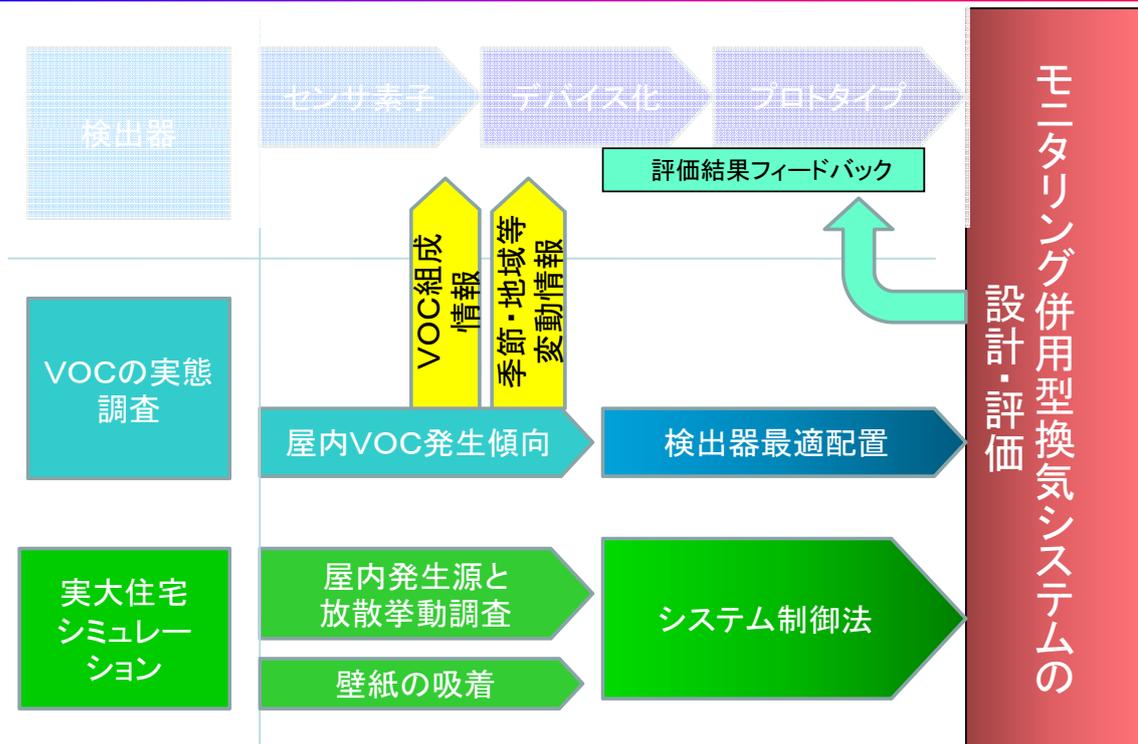


定風量制御に比べて変風量制御の方が約20%消費エネルギーが減少することがわかった。

事業原簿 Ⅲ-2-3-97

32

プロジェクト全体の構成概要



初期提案した換気システム案と成果の比較

	初期提案した換気システム案	研究成果換気システム 世界初
対象住宅	全住宅(新築、既築、戸建て、集合住宅)	新築戸建て住宅
センサ位置	換気の出口に設置	電源と騒音の問題のない場所に設置してポンプによるチューブサンプリングを行う。主要な部屋の排気出口監視とゼロガスによるリフレッシュ実施
制御内容	全体の換気量をコントロール 強、中、弱と切り替えて換気量を削減	換気経路制御および全体の換気量をコントロール センサによるガス濃度、局所排気および窓開けを検知し、強、中、弱と切り替えて換気量を削減
検知のレベル	ホルムアルデヒド 100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 芳香族炭化水素(トルエン 260 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) TVOC (目標値 400 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) それぞれ指針値付近とその半分の濃度を検知	ホルムアルデヒド 100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 芳香族炭化水素(トルエン 260 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) TVOC (目標値 400 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) それぞれ指針値付近とその半分の濃度を検知。TVOCセンサのしきい値は居住者にて設定可能
コスト	+1~2万円程度	+10万円超

研究成果換気システムの課題抽出

	実用化への課題	対策案
対象住宅	換気経路を変更するので気密がよい新築戸建て住宅でしか導入できない	適用対象住宅を広げる必要がある。マンションなどの3種換気への適応。
センサメンテ	ゼロガスによるリフレッシュが必要 1回/年程度公正	リフレッシュ間隔の延長 公正間隔の延伸(3、4年程度)
制御内容	ガス濃度による換気コントロールのため、ガス濃度が高いと換気量が増える。省エネにはクリーンな室内が必要。	新築初期には十分な換気を行う。 発生源の持ち込みを防ぐ。
検知のレベル	ホルムアルデヒド 100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 芳香族炭化水素(トルエン 260 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) TVOC (目標値 400 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) TVOCセンサのしきい値 居住者が設定する必要	設定基準ガスなどの準備
コスト	+10万円超	センサのユニット化や量産により システム価格を低減

35

END

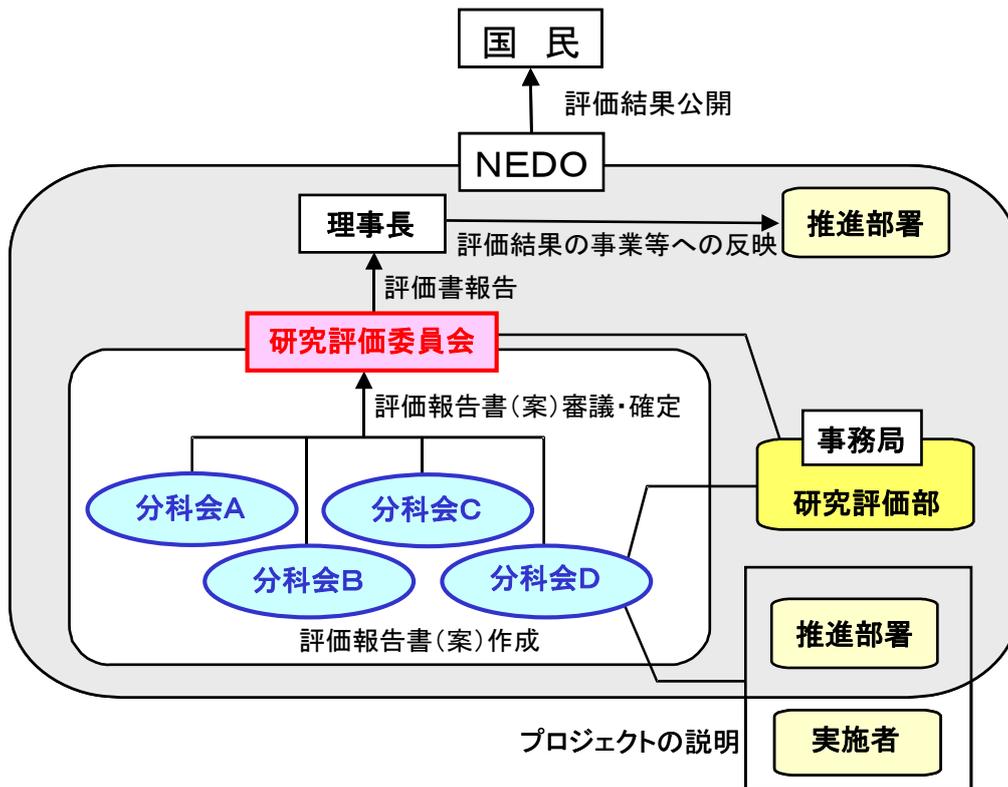
36

参考資料 1 評価の実施方法

本評価は、「技術評価実施規程」（平成 15 年 10 月制定）に基づいて研究評価を実施する。

独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構（NEDO）における研究評価の手順は、以下のように被評価プロジェクトごとに分科会を設置し、同分科会にて研究評価を行い、評価報告書（案）を策定の上、研究評価委員会において確定している。

- 「NEDO 技術委員・技術委員会等規程」に基づき研究評価委員会を設置
- 研究評価委員会はその下に分科会を設置



1. 評価の目的

評価の目的は「技術評価実施規程」において。

- 業務の高度化等の自己改革を促進する
- 社会に対する説明責任を履行するとともに、
経済・社会ニーズを取り込む
- 評価結果を資源配分に反映させ、資源の重点化及び業務の効率化を
促進する

としている。

本評価においては、この趣旨を踏まえ、本事業の意義、研究開発目標・計画の妥当性、計画を比較した達成度、成果の意義、成果の実用化の可能性等について検討・評価した。

2. 評価者

技術評価実施規程に基づき、事業の目的や態様に即した外部の専門家、有識者からなる委員会方式により評価を行う。分科会委員選定に当たっては以下の事項に配慮して行う。

- 科学技術全般に知見のある専門家、有識者
- 当該研究開発の分野の知見を有する専門家
- 研究開発マネジメントの専門家、経済学、環境問題その他社会的ニーズ
関連の専門家、有識者
- 産業界の専門家、有識者

また、評価に対する中立性確保の観点から事業の推進側関係者を選任対象から除外し、また、事前評価の妥当性を判断するとの側面にかんがみ、事前評価に関与していない者を主体とする。

これらに基づき、分科会委員名簿にある6名を選任した。

なお、本分科会の事務局については、独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構研究評価広報部が担当した。

3. 評価対象

平成17年度に開始された「揮発性有機化合物対策用高感度検出器の研究開発」プロジェクトを評価対象とした。

なお、分科会においては、当該事業の推進部署から提出された事業原簿、プロジェクトの内容、成果に関する資料をもって評価した。

4. 評価方法

分科会においては、当該事業の推進部署及び研究実施者からのヒアリングと、それを踏まえた分科会委員による評価コメント作成、評点法による評価及び実施者側等との議論等により評価作業を進めた。

なお、評価の透明性確保の観点から、知的財産保護の上で支障が生じると認められる場合等を除き、原則として分科会は公開とし、研究実施者と意見を交換する形で審議を行うこととした。

5. 評価項目・評価基準

分科会においては、次に掲げる「評価項目・評価基準」で評価を行った。これは、研究評価委員会による『各分科会における評価項目・評価基準は、被評価プロジェクトの性格、中間・事後評価の別等に応じて、各分科会において判断すべき者である。』との考え方に従い、第1回分科会において、事務局が、研究評価委員会により示された「標準的評価項目・評価基準」（参考資料 1-7 頁参照）をもとに改定案を提示し、承認されたものである。

プロジェクト全体に係わる評価においては、主に事業の目的、計画、運営、達成度、成果の意義や実用化への見通し等について評価した。各個別テーマに係る評価については、主にその目標に対する達成度等について評価した。

評価項目・評価基準

1. 事業の位置付け・必要性について

(1) NEDOの事業としての妥当性

- ・ エネルギーイノベーションプログラムの下で、当該施策・制度の目標達成のために寄与しているか。
- ・ 民間活動のみでは改善できないものであること、又は公共性が高いことにより、NEDOの関与が必要とされる事業か。
- ・ 当該事業を実施することによりもたらされる効果が、投じた予算との比較において十分であるか。

(2) 事業目的の妥当性

- ・ 内外の技術開発動向、国際競争力の状況、エネルギー需給動向、市場動向、政策動向等から見て、事業の目的は妥当か。

2. 研究開発マネジメントについて

(1) 研究開発目標の妥当性

- ・ 内外の技術動向、市場動向等を踏まえて、戦略的な目標が設定されているか。
- ・ 具体的かつ明確な開発目標を可能な限り定量的に設定しているか。
- ・ 目標達成度を測定・判断するための適切な指標が設定されているか。

(2) 研究開発計画の妥当性

- ・ 目標達成のために妥当なスケジュール、予算（各個別研究テーマ毎の配分を含む）となっているか。
- ・ 目標達成に必要な要素技術を取り上げているか。
- ・ 研究開発フローにおける要素技術間の関係、順序は適切か。
- ・ 継続プロジェクトや長期プロジェクトの場合、技術蓄積を、実用化の観点から絞り込んだうえで活用が図られているか。

(3) 研究開発実施者の事業体制の妥当性

- ・ 適切な研究開発チーム構成での実施体制になっているか。
- ・ 真に技術力と事業化能力を有する企業を実施者として選定しているか。

- ・ 全体を統括するプロジェクトリーダー等が選任され、十分に活躍できる環境が整備されているか
- ・ 目標達成及び効率的実施のために必要な実施者間の連携が十分に行われる体制となっているか。
- ・ 実用化シナリオに基づき、成果の受け取り手（ユーザー、活用・実用化の想定者等）に対して、関与を求める体制を整えているか。

(4)情勢変化への対応等

- ・ 進捗状況を常に把握し、社会・経済の情勢の変化及び政策・技術動向に機敏かつ適切に対応しているか。
- ・ 計画見直しの方針は一貫しているか（中途半端な計画見直しが研究方針の揺らぎとなっていないか）。計画見直しを適切に実施しているか。

3. 研究開発成果について

(1)目標の達成度

- ・ 成果は目標値をクリアしているか。
- ・ 全体としての目標達成はどの程度か。
- ・ 目標未達成の場合、目標達成までの課題を把握し、課題解決の方針が明確になっているか。

(2)成果の意義

- ・ 成果は市場の拡大或いは市場の創造につながる事が期待できるか。
- ・ 成果は、世界初あるいは世界最高水準か。
- ・ 成果は、新たな技術領域を開拓することが期待できるか。
- ・ 成果は汎用性があるか。
- ・ 投入された予算に見合った成果が得られているか。
- ・ 成果は、他の競合技術と比較して優位性があるか。

(3)知的財産権等の取得及び標準化の取組

- ・ 知的財産権等の取扱（特許や意匠登録出願、著作権や回路配置利用権の登録、品種登録出願、営業機密の管理等）は事業戦略、または実用化計画に沿って国内外に適切に行われているか。

(4)成果の普及

- ・ 論文の発表は、研究内容を踏まえ適切に行われているか。

- ・ 成果の受取手（ユーザー、活用・実用化の想定者等）に対して、適切に成果を普及しているか。また、普及の見通しは立っているか。
- ・ 一般に向けて広く情報発信をしているか。

4. 実用化の見通しについて

(1) 成果の実用化可能性

- ・ 実用化イメージ・出口イメージが明確になっているか。
- ・ 実用化イメージ・出口イメージに基づき、開発の各段階でマイルストーンを明確にしているか。それを踏まえ、引き続き研究開発が行われる見通しは立っているか。

(2) 波及効果

- ・ 成果は関連分野への波及効果（技術的・経済的・社会的）を期待できるものか。

プロジェクトの実施自体が当該分野の研究開発や人材育成等を促進するなどの波及効果を生じているか。

標準的評価項目・評価基準（事後評価）

2008. 3. 27

【事後評価 標準的評価項目・評価基準の位置付け（基本的考え方）】

標準的評価項目・評価基準は、第17回研究評価委員会（平成20年3月27日付）において以下のとおり定められている。（本文中の記載例による1…、2…、3…、4…が標準的評価項目、それぞれの項目中の(1)…、(2)…が標準的評価基準、それぞれの基準中の…が視点）

ただし、これらの標準的評価項目・評価基準は、研究開発プロジェクトの事後評価における標準的な評価の視点であり、各分科会における評価項目・評価基準は、被評価プロジェクトの性格等に応じて、各分科会において判断すべきものである。

1. 事業の位置付け・必要性について

(1) NEDOの事業としての妥当性

- ・ 特定の施策（プログラム）、制度の下で実施する事業の場合、当該施策・制度の目標達成のために寄与しているか。
- ・ 民間活動のみでは改善できないものであること、又は公共性が高いことにより、NEDOの関与が必要とされる事業か。
- ・ 当該事業を実施することによりもたらされる効果が、投じた予算との比較において十分であるか。

(2) 事業目的の妥当性

- ・ 内外の技術開発動向、国際競争力の状況、エネルギー需給動向、市場動向、政策動向、国際貢献の可能性等から見て、事業の目的は妥当か。

2. 研究開発マネジメントについて

(1) 研究開発目標の妥当性

- ・ 内外の技術動向、市場動向等を踏まえて、戦略的な目標が設定されているか。
- ・ 具体的かつ明確な開発目標を可能な限り定量的に設定しているか。
- ・ 目標達成度を測定・判断するための適切な指標が設定されているか。

(2)研究開発計画の妥当性

- ・ 目標達成のために妥当なスケジュール、予算（各個別研究テーマ毎の配分を含む）となっているか。
- ・ 目標達成に必要な要素技術を取り上げているか。
- ・ 研究開発フローにおける要素技術間の関係、順序は適切か。
- ・ 継続プロジェクトや長期プロジェクトの場合、技術蓄積を、実用化の観点から絞り込んだうえで活用が図られているか。

(3)研究開発実施の事業体制の妥当性

- ・ 適切な研究開発チーム構成での実施体制になっているか。
- ・ 真に技術力と事業化能力を有する企業を実施者として選定しているか。
- ・ 研究管理法をを経由する場合、研究管理法が真に必要な役割を担っているか。
- ・ 全体を統括するプロジェクトリーダー等が選任され、十分に活躍できる環境が整備されているか。
- ・ 目標達成及び効率的実施のために必要な実施者間の連携 and/or 競争が十分に行われる体制となっているか。
- ・ 実用化シナリオに基づき、成果の受け取り手（ユーザー、活用・実用化の想定者等）に対して、関与を求める体制を整えているか。

(4)情勢変化への対応等

- ・ 進捗状況を常に把握し、社会・経済の情勢の変化及び政策・技術動向に機敏かつ適切に対応しているか。
- ・ 計画見直しの方針は一貫しているか（中途半端な計画見直しが研究方針の揺らぎとなっていないか）。計画見直しを適切に実施しているか。

3. 研究開発成果について

(1)目標の達成度

- ・ 成果は目標値をクリアしているか。
- ・ 全体としての目標達成はどの程度か。
- ・ 目標未達成の場合、目標達成までの課題を把握し、課題解決の方針が明確になっているか。

(2)成果の意義

- ・ 成果は市場の拡大或いは市場の創造につながる事が期待できるか。

- ・ 成果は、世界初あるいは世界最高水準か。
- ・ 成果は、新たな技術領域を開拓することが期待できるか。
- ・ 成果は汎用性があるか。
- ・ 投入された予算に見合った成果が得られているか。
- ・ 成果は、他の競合技術と比較して優位性があるか。

(3)知的財産権等の取得及び標準化の取組

- ・ 知的財産権等の取扱（特許や意匠登録出願、著作権や回路配置利用権の登録、品種登録出願、営業機密の管理等）は事業戦略、または実用化計画に沿って国内外に適切に行われているか。
- ・ 国際標準化に関する事項が計画されている場合、得られた研究開発の成果に基づく国際標準化に向けた提案等の取組が適切に行われているか。

(4)成果の普及

- ・ 論文の発表は、研究内容を踏まえ適切に行われているか。
- ・ 成果の受取手（ユーザー、活用・実用化の想定者等）に対して、適切に成果を普及しているか。また、普及の見通しは立っているか。
- ・ 一般に向けて広く情報発信をしているか。

4. 実用化、事業化の見通しについて

(1)成果の実用化可能性

- ・ 産業技術としての見極め（適用可能性の明確化）ができているか。
- ・ 実用化に向けて課題が明確になっているか。課題解決の方針が明確になっているか。
- ・ 国際標準化に関する事項が計画されている場合、国際規格化等、標準整備に向けた見通しが得られているか。

(2)事業化までのシナリオ

- ・ NEDO後継プロジェクト、NEDO実用化助成、企業内研究等、プロジェクト終了後の事業化までの道筋は明確か。
- ・ コストダウン、競合技術との比較、導入普及、事業化までの期間、事業化とそれに伴う経済効果等の見通しは立っているか。

(3)波及効果

- ・ 成果は関連分野への波及効果（技術的・経済的・社会的）を期待できるものか。
- ・ プロジェクトの実施自体が当該分野の研究開発や人材育成等を促進するなどの波及効果を生じているか。

※基礎的・基盤的研究及び知的基盤・標準整備等の研究開発の場合は、以下の項目・基準による。

*基礎的・基盤的研究開発の場合

3. 研究開発成果について

(1)目標の達成度

- ・ 成果は目標値をクリアしているか。
- ・ 全体としての目標達成はどの程度か。
- ・ 目標未達成の場合、目標達成までの課題を把握し、課題解決の方針が明確になっているか。

(2)成果の意義

- ・ 成果は市場の拡大或いは市場の創造につながることを期待できるか。
- ・ 成果は、世界初あるいは世界最高水準か。
- ・ 成果は、新たな技術領域を開拓することが期待できるか。
- ・ 成果は汎用性があるか。
- ・ 投入された予算に見合った成果が得られているか。
- ・ 成果は、他の競合技術と比較して優位性があるか。

(3)知的財産権等の取得及び標準化の取組

- ・ 知的財産権等の取扱（特許や意匠登録出願、著作権や回路配置利用権の登録、品種登録出願、営業機密の管理等）は事業戦略、または実用化計画に沿って国内外に適切に行われているか。
- ・ 国際標準化に関する事項が計画されている場合、得られた研究開発の成果に基づく国際標準化に向けた提案等の取組が適切に行われているか。

(4)成果の普及

- ・ 論文の発表は、研究内容を踏まえ適切に行われているか。
- ・ 成果の受取手（ユーザー、活用・実用化の想定者等）に対して、適切に成果を普及しているか。また、普及の見通しは立っているか。
- ・ 一般に向けて広く情報発信をしているか。

4. 実用化の見通しについて

(1)成果の実用化可能性

- ・ 実用化イメージ・出口イメージが明確になっているか。

- ・ 実用化イメージ・出口イメージに基づき、開発の各段階でマイルストーンを明確にしているか。それを踏まえ、引き続き研究開発が行われる見通しは立っているか。
- ・ 国際標準化に関する事項が計画されている場合、国際規格化等、標準整備に向けた見通しが得られているか。

(2)波及効果

- ・ 成果は関連分野への波及効果（技術的・経済的・社会的）を期待できるものか。
- ・ プロジェクトの実施自体が当該分野の研究開発や人材育成等を促進するなどの波及効果を生じているか。

* 知的基盤・標準整備等の研究開発の場合

3. 研究開発成果について

(1)目標の達成度

- ・ 成果は目標値をクリアしているか。
- ・ 全体としての目標達成はどの程度か。
- ・ 目標未達成の場合、目標達成までの課題を把握し、課題解決の方針が明確になっているか。

(2)成果の意義

- ・ 成果は市場の拡大或いは市場の創造につながることを期待できるか。
- ・ 成果は、世界初あるいは世界最高水準か。
- ・ 成果は、新たな技術領域を開拓することが期待できるか。
- ・ 成果は汎用性があるか。
- ・ 投入された予算に見合った成果が得られているか。
- ・ 成果は公開性が確保されているか。

(3)知的財産権等の取得及び標準化の取組

- ・ 研究内容に新規性がある場合、知的財産権等の取扱（特許や意匠登録出願、著作権や回路配置利用権の登録、品種登録出願、営業機密の管理等）は事業戦略、または実用化計画に沿って国内外に適切に行われているか。
- ・ 国際標準化に関する事項が計画されている場合、得られた研究開発の成果に基づく国際標準化に向けた提案等の取組が適切に行われているか。

(4)成果の普及

- ・ 論文の発表は、研究内容を踏まえ適切に行われているか。
- ・ 成果の受取手（ユーザー、活用・実用化の想定者等）に対して、適切に成果を普及しているか。また、普及の見通しは立っているか。
- ・ 一般に向けて広く情報発信をしているか。

4. 実用化の見通しについて

(1)成果の実用化可能性

- ・ 整備した知的基盤についての利用は実際にあるか、その見通しが得られているか。
- ・ 公共財として知的基盤を供給、維持するための体制は整備されているか、その見込みはあるか。
- ・ 国際標準化に関する事項が計画されている場合、国際規格化等、標準整備に向けた見通しが得られているか。
- ・ J I S化、標準整備に向けた見通しが得られているか。注) 国内標準に限る
- ・ 一般向け広報は積極的になされているか。

(2)波及効果

- ・ 成果は関連分野への波及効果（技術的・経済的・社会的）を期待できるものか。
- ・ プロジェクトの実施自体が当該分野の研究開発や人材育成等を促進するなどの波及効果を生じているか。

参考資料 2 評価に係る被評価者意見

研究評価委員会（分科会）は、評価結果を確定するにあたり、あらかじめ当該実施者に対して評価結果を示し、その内容が、事実関係から正確性を欠くなどの意見がある場合に、補足説明、反論などの意見を求めた。研究評価委員会（分科会）では、意見があったものに対し、必要に応じて評価結果を修正の上、最終的な評価結果を確定した。

評価結果に対する被評価者意見は全て反映された。

本研究評価委員会報告は、独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構（NEDO 技術開発機構）研究評価部が委員会の事務局として編集しています。

平成22年2月

NEDO 技術開発機構

研究評価部

統括主幹 竹下 満

主幹 寺門 守

担当 梶田 保之

* 研究評価委員会に関する情報は NEDO 技術開発機構のホームページに掲載しています。

(<http://www.nedo.go.jp/iinkai/kenkyuu/index.html>)

〒212-8554 神奈川県川崎市幸区大宮町1310番地

ミュージア川崎セントラルタワー20F

TEL 044-520-5161 FAX 044-520-5162