

「揮発性有機化合物対策用高感度検出器の開発」

事後評価報告書（案）概要

目 次

分科会委員名簿	1
プロジェクト概要	2
評価概要（案）	8
評点結果	14

独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構 研究評価委員会

「揮発性有機化合物対策用高感度検出器の開発」(事後評価)

分科会委員名簿

(平成21年12月現在)

	氏名	所属、役職
分科会長	ふじい しゅうじ 藤井 修二	東京工業大学 大学院情報理工学研究科 情報環境学専攻 教授
分科会長 代理	しみず やすひろ 清水 康博	長崎大学 工学部 材料工学科 機能材料化学 教授
委員	なかがわ ますお 中川 益生	岡山理科大学 理学部 応用物理学科 教授
	のぎき あつお 野崎 淳夫	東北文化学園大学大学院 健康社会システム研究 科 教授
	ほり まさひろ 堀 雅宏	横浜国立大学 教育人間科学部 特任教授
	もり やすあき 森 康明	神奈川県衛生研究所 企画情報部 部長

敬称略、五十音順

プロジェクト概要

		作成日	平成21年12月2日			
プログラム名	エネルギーイノベーションプログラム					
プロジェクト名	揮発性有機化合物対策用高感度検出器の開発	プロジェクト番号	P05030			
担当推進部/担当者	環境技術開発部/主査 宮崎秀					
0. 事業の概要	<p>化学物質管理に用いられる、小型で安価な揮発性有機化合物（VOC）対策用高感度検出器に必要な、その場計測、高選択性、高感度、繰り返しモニタリングを実現するために、VOCガスに対して高い選択性を示す有機無機ハイブリッドセンサ材料及び金属酸化物半導体材料とMEMS技術を融合した技術開発を行い、ホルムアルデヒド、芳香族系VOC、及びVOCの総量（T-VOC）検出器を開発する。一方VOC検出器の住宅用換気システムへの応用を図るための周辺技術調査として、シミュレーション技術開発と大型チャンバーによる検証実験を行うことで室内のVOC発生源、発生物質とその放散挙動を解明する。また室内VOC濃度の実態調査から、T-VOC検出器開発のために基準となるガスの成分と濃度を提案する。さらに、理論的検討と実大住宅による検証によりシステム評価手法の提案を行う。以上により、健康的な室内空気環境の実現と換気量制御による省エネルギー化の推進に貢献する。</p>					
I. 事業の位置け・必要性について	<p>本プロジェクトは、経済産業省住宅産業窯業建材課において、慶應大学 村上 周三教授（委託先採択審査委員長を委嘱）を座長とし、大学教授、研究機関、民間企業団体、消費者等の有識者からなる健康住宅ロードマップ研究会を開催し、省エネルギーを効率的に推進させる住宅の要素技術・設計技術等、今後の技術開発の方向性、さらに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）等に係る検討を行った。その結果、住宅政策の新たな課題として、「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があり、今後は、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いくこと」が求められ、その具体的な対策として、「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」が提言されている。</p>					
II. 研究開発マネジメントについて						
事業の目標	<p>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とともに、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。また、揮発性有機化合物の発生源、発生物質の解明、その放散挙動の解明、モニタリング性能評価及びその手法について調査を行うとともに、開発検出器の実用性を多様な実環境下等で検証する。</p>					
事業の計画内容	主な実施事項	H17fy	H18fy	H19fy	H20fy	
	センサ素子の研究開発					
	デバイス化の研究開発					
	周辺技術調査					
	成果とりまとめ					

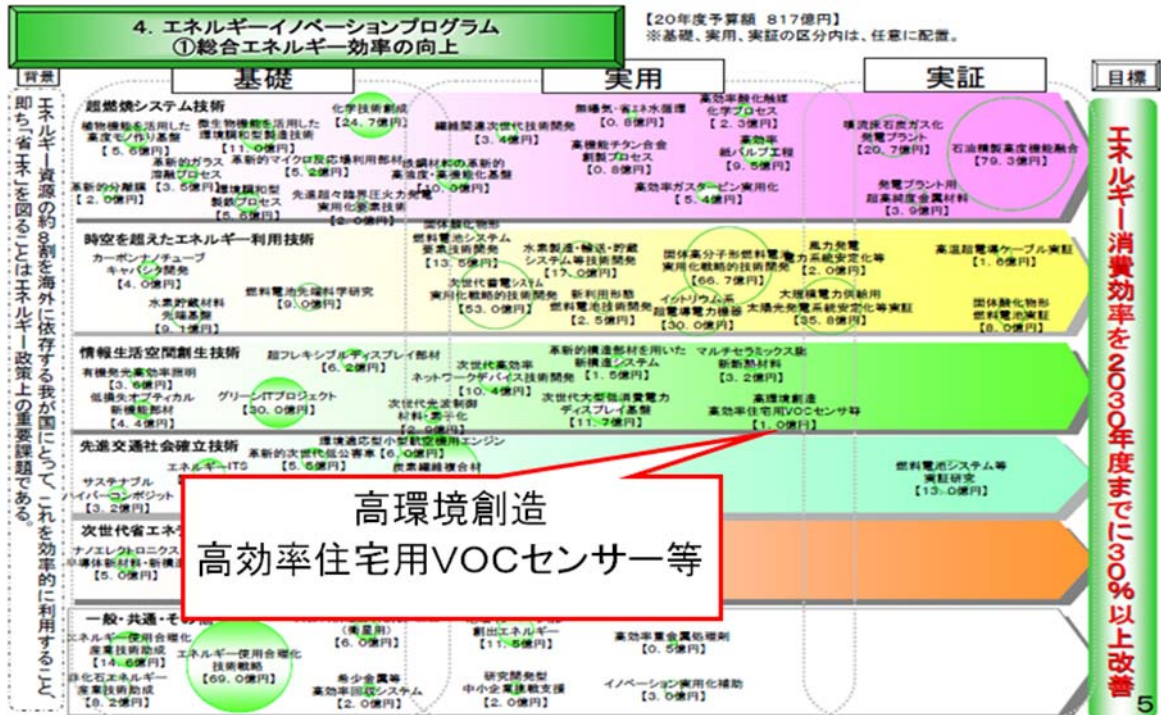
開発予算（会計・勘定別）単位 百万円	会計・勘定	H17fy	H18fy	H19fy	H20fy	総額
	一般会計	0	0	0	0	0
	特別会計（石油）	140	140	112	95	487
	総予算額	140	140	112	95	487
開発体制	経産省担当原課	製造産業局 住宅産業窯業建材課				
	プロジェクトリーダー	東京大学大学院新領域創成科学研究科 教授：柳沢 幸雄				
	委託先	<ul style="list-style-type: none"> ・独立行政法人産業技術総合研究所 (再委託：学校法人立命館、富山県工業技術センター) ・パナソニック電工株式会社 ・東京大学大学院 柳沢研究室 ・独立行政法人建築研究所 				
情勢変化への対応	<p>・外部要因：特になし</p> <p>・内部要因：3年間の実施期間でプロジェクト開始したが、H18、19年度に事業内容について有識者評価委員会を設置して多角的に検証し外部有識者の意見を聴き、最終年度（H19年度）達成状況が計画以上であり3種のセンサが計画以上の仕様に仕上がる見込みが立ったことで、VOCの実態調査結果と合わせて、実環境下等におけるプロトタイプの実用性を検証し、モニタリング併用型の換気システムを実用化するため、実施期間を1年延長した。</p>					
評価に関する事項	事前評価	H16年度実施 環境技術開発部				
	中間評価	なし。（実施期間5年未満のため）				
	事後評価	H21年度 事後評価実施				
III. 研究開発成果について(1)	<p>(1) センサ素子・デバイス化の研究開発</p> <p>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、各種安定性信頼性の数値目標を達成した。これにより、フィールドでの使用可能なセンサ素子を得た。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。</p> <p>①ホルムアルデヒドセンサ素子の開発</p> <p>湿度雰囲気での応答を確認した。環境温度は、基板温度の変動が環境温度の変動に対して小さくセンサ素子に影響を与えないことを確認した。環境圧力変動に対しては詳細な評価に至っていないが、原理的に圧力は大きな影響を与えない。感度安定性、高濃度ガス暴露については目標を達成した。対比毒性について、二酸化炭素暴露は1000ppmの暴露によっても素子抵抗値の変化は見られないことより、原理的に影響は与えない。オゾン暴露は、ホルムアルデヒド素子は目標を達成し実用上問題ない。一酸化炭素は、素子抵抗値の変化は見られないことより、原理的に影響は与えないが、可燃性ガスを分解しVOCガスを通過させる触媒を見いだしており、これを用いることで暴露を避けることが可能であることを確認した。</p>					

<p>III. 研究開発成果について(2)</p>	<p>②芳香族センサ素子の開発 湿度変動に対して目標を達成した。環境温度については、デバイスの研究において基板温度の変動が環境温度の変動に対して小さく、素子の応答値の大きさに影響を与えないことを確認した。環境圧力変動に対しては詳細な評価に至っていないが、原理的に大きな影響は与えない。感度安定性、高濃度ガス暴露については目標を達成した。対比毒性について、二酸化炭素暴露は暴露によっても原理的に素子抵抗値の変化は見られず影響は与えない。オゾンについては、それに対する応答自体が芳香族に対する応答に対して小さく、原理的に影響は与えず、実用上問題ない。一酸化炭素は、それに対する応答自体が芳香族に対する応答に対して無視できるほど小さく、原理的に影響は与えない。また、可燃性ガスを分解しVOCガスを通過させる触媒を見いだしており、これを用いることで暴露を避けることが可能であることを確認した。</p> <p>③T-VOC センサ素子の開発 湿度変動に対して目標を達成した。環境温度については、デバイスの研究において基板温度の変動が環境温度の変動に対して小さく、素子の応答値の大きさに影響を与えないことを確認した。環境圧力変動に対しては詳細な評価に至っていないが、原理的に大きな影響は与えない。感度安定性、高濃度ガス暴露については目標を達成した。オゾンに対する対被毒性については、T-VOC用は一時的に感度上昇が見られる傾向にあるが、既存の回避手段があり実用上は問題ない。また、一酸化炭素や水素については、可燃性ガスを分解しVOCガスを通過させる触媒を見いだしており、これを用いることで暴露を避けることが可能であることを確認した</p> <p>④デバイス化の研究開発 ホルムアルデヒド用およびT-VOC用の小型プロトタイプを作製し、素子の搭載を行い、動作を確認した。 ホルムアルデヒド用、芳香族用、及び、T-VOC用の小型プロトタイプをフィールドでの試験を行い、検知検証を実施した。</p> <p>(2) 周辺技術調査</p> <p>①モニタリング併用型換気システム開発のための調査 ・新規換気システムを設計し、実大住宅で検証した。</p> <p>②空気環境のモニタリングを利用した性能評価法の調査 ・濃度が高く、変動の大きい居室は、リビングルームであった。 ・濃度変動の要因となる居住者の行動は、調理、飲食、喫煙であった ・ひとつの居室における濃度変動は、住居内の他室に少なからず影響を及ぼすが、その程度は住居内の空気の流れによって大きく異なった ・改良型換気量変動式換気システムを設置した実大の二階建て木造実験住宅での換気量、濃度、温度、電力測定を行った結果、第一種ダクト式換気システムを連続運転した状態で局所換気を併用すると、汚染物質発生室に設置されている局所換気の効果は見られ、窓開けにより室内汚染物質濃度は低下したが、エアコン消費電力は急激に増大すること等が分かった。提案する空気環境モニタリングを利用した換気システムに導入した場合、2割程度消費エネルギーの少なくなることがわかった。</p> <p>③センサ性能評価法の調査 ・T-VOC計ではトルエン、α-ピネンに一定の感度を示し、エタノールには極めて高い感度を示した。 ・居住者の行動によるT-VOC濃度の変動に対する応答性を有することが示された。 ・芳香族計では、トルエン、α-ピネンに感度を示したが、エタノールに対する感度は低かった。また、顕著なベースラインのドリフトはみられなかった。</p>
---------------------------	--

Ⅲ. 研究開発成果について(3)	(3) 特許・論文・発表など	
	特許	出願：13件(海外2件)、登録：0件、実施：0件
	論文	査読付き：15件
	講演、受賞	講演等：55件、 受賞：1件
	新聞・雑誌掲載、出展	掲載：12件、 出展：2件
Ⅳ. 成果の実用化について	<p>(1) 成果の実用化について 3種類のセンサを用いる、モニタリング併用型換気システムの提案ができた。具体的には下記の仕様になる。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・センサ位置：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。 ・制御内容：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 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) T-VOC (目標値 400 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) <p>それぞれ指針値付近とその半分の濃度を検知 T-VOCセンサのしきい値は居住者にて設定可能</p> <ul style="list-style-type: none"> ・コスト見込み：現行の換気システム+10万円超 <p>(2) 長期的波及効果 本プロジェクトの背景にあるように、VOC検知器を用いたモニタリングに対するニーズが高まっている。しかしながら VOC モニタリング向けの検知器を対象とした評価法の JIS 規格や国際規格はなく、測定結果の信頼性に関する客観的なデータは提供されていない。</p> <p>NEDO は本プロジェクトの長期的な波及効果の視点に立って、VOC センサ評価法の国際標準化に取り組み、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」を平成 21 年度に実施中である。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し、安全・安心な屋内環境の構築および国際競争力強化に貢献する。</p>	

技術分野全体での位置づけ

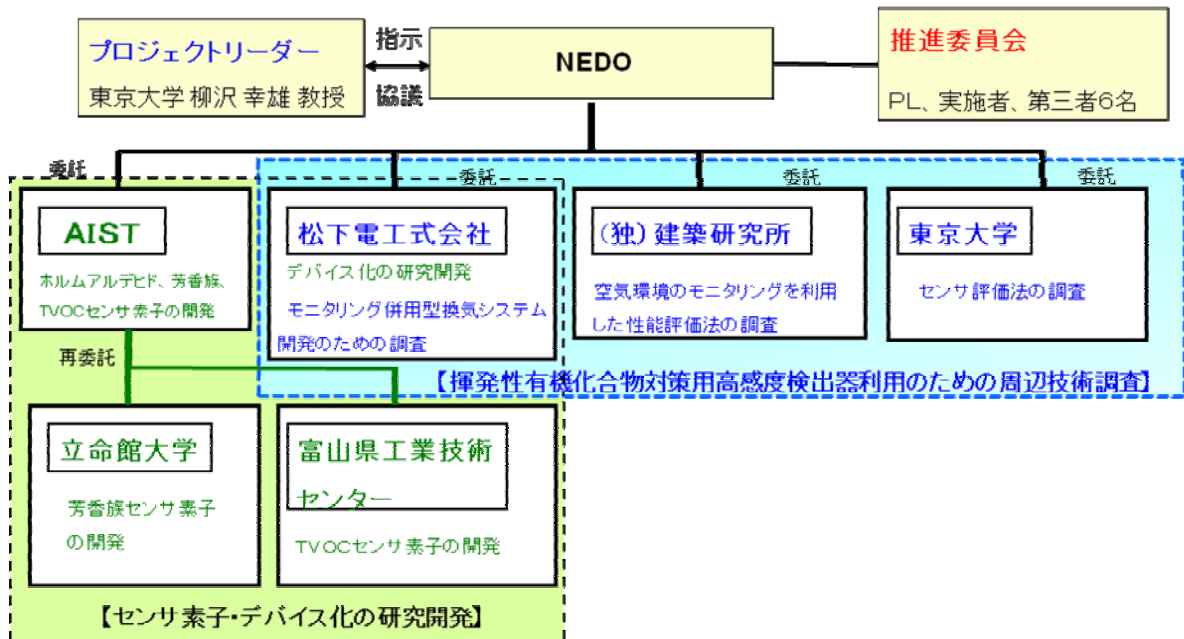
(分科会資料5-2より抜粋)



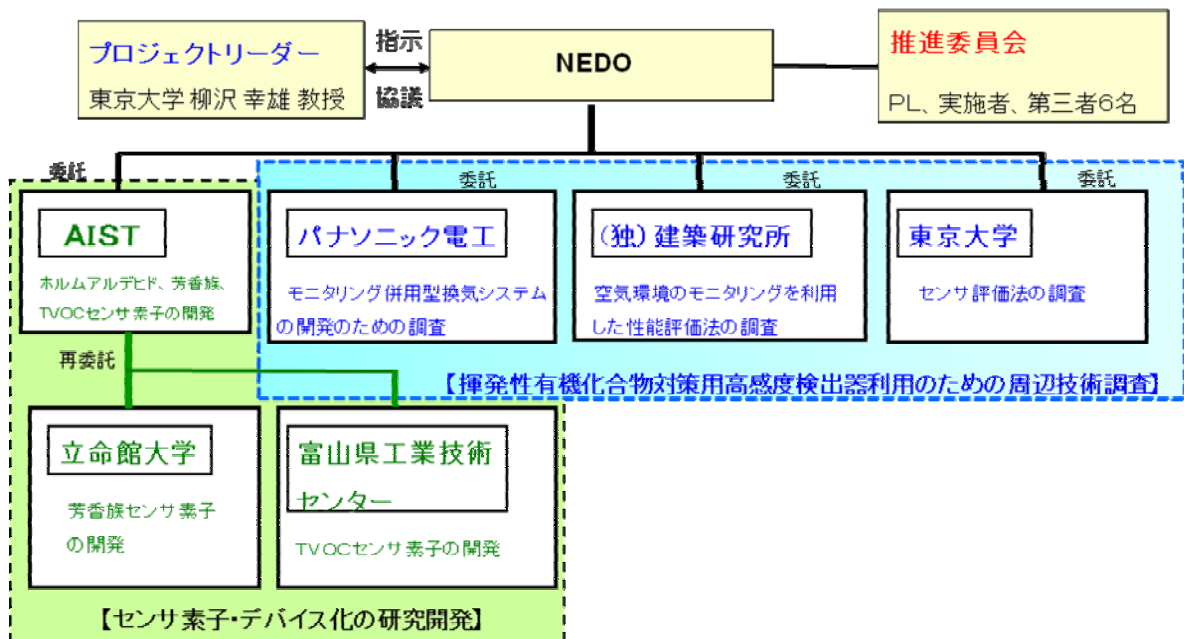
「揮発性有機化合物対策用高感度検出器の開発」

全体の研究開発実施体制

研究開発の実施体制(H19まで)



研究開発の実施体制(H20)



「揮発性有機化合物対策用高感度検出器の開発」（事後評価）

評価概要（案）

1. 総論

1) 総合評価

シックハウス問題を引き起こす室内空気汚染は依然として、大きな社会問題であり、国家的にも継続的に取り組むべき課題である。本事業では室内空気中の揮発性有機化合物を高感度で検出するセンサの実用化に目処を付けており、その貢献度は高い。

VOC モニターとしての半導体ガスセンサは簡便ではあるが、選択性、VOC 間の感度差、湿度の影響の点が本質的な問題が長い間あったので、この三つの問題を解決した高感度・安定・安価なセンサ素子の開発に成功したことは高く評価できる。センサ素子の研究開発について、ほぼ目的を達しており、今後実用化技術への展開が望まれる。

しかし、周辺技術調査については、提案された換気システムも汚染対象物質を VOC 等にした程度で、従来の濃度計測による換気量制御方法と大差ない。開発された感度と選択性のあるセンサを用いての換気制御と省エネ評価が必要である。

2) 今後に対する提言

開発した気相成分センサ群の特性は秀逸であり、今後も詳細なガス検知機構の解明が進むことを期待する。今後、多方面への応用が可能と考えられるため、量産技術の展開、測定機の開発などが望まれる。

さらに、省エネの観点から、開発したセンサ技術を空気清浄機などのガス除去装置へ適応すれば、より効果的な対策技術となりうる。

なお、住環境の安全・安心の観点からは低濃度長期曝露が大きな課題であると考えられる。今後、更に低濃度レベルでのセンサ素子の開発や、室内環境に存在する難揮発性化合物についてのリアルタイム検出技術の開発を期待する。

2. 各論

1) 事業の位置付け・必要性について

本研究開発は、「安全・安心」に係わる科学技術の進展を促進する事業の 1 課題であり、法改正に起因した問題解決を図ることの必要性から、公共性が高く、民間企業のみでの組織体では、取り扱いきれない側面がある。開発された高性能

のセンサ群は、調査した住宅換気システムへの応用以外にも、将来的には燃焼制御による省エネなどへの広範な応用が期待される。

しかし、VOC等のセンサ素子の開発、デバイス化の研究開発のみをエネルギーイノベーションプログラムの下で行うには、多少問題である。VOC計測による換気量制御が、エネルギー削減に至るかどうかは、換気量の削減が前提であるが、換気量決定には他の環境要素も関係するため、総合的視点が必要と考える。

2) 研究開発マネジメントについて

VOC等のセンサ素子の開発目標、計画、事業体制は妥当と考える。特にガスセンサの研究開発については、その一部が適切な研究機関に再委託され、それらの研究機関との協働により十分な成果が得られている。

また、VOCやHCHOのセンサ技術には課題があり、環境管理のための簡易測定法の需要を踏まえて戦略的な目標が設定されていたといえる。

一方、周辺技術調査がエネルギーイノベーションプログラムでの採用の中心であると考えられるのに対し、エネルギー削減効果に関する解析、実験評価などの検討は、十分とはいえない。センサの研究開発と周辺技術調査を同時進行了た理由もあって、開発したセンサを実際に屋内の換気システムの検知部として、特性の評価が出来ていない。今後の検証が望まれる。

3) 研究開発成果について

選択性・感度・応答特性に優れた検出器の開発に関する目標は、十分に達成できている。湿度の影響軽減とホルムアルデヒド・VOCセンサにおける選択性、T-VOCセンサにおける感度の均一性を半導体ガスセンサにそれぞれ付与した技術は、現時点では世界最高水準であり、この分野にブレークスルーとなることが期待できる。また、その成果は、広く公開され、また、国際会議での優秀発表賞を受賞するなど、社会的評価も高い。

しかし、換気システムについては、既往技術の域を出ていない。検出器を利用した換気システムについては、開発されたセンサを組み込んだシステムの実用性の評価と実用上の課題の抽出が不十分であり、目標とする規模の省エネ効果が得られるか疑問である。

4) 実用化の見通しについて

新技術に基づく高感度で安定かつ安価なセンサは、実用化の可能性が非常に高い。開発されたセンサはプロトタイプの建築分野における簡易計測器としての普及が期待でき、その波及効果は応用面のみならず、学術的にも期待できる。

この新技術に基づく種々のセンサの基礎研究・開発研究の進展を期待する。

なお、T-VOC センサによる VOC 測定に際し、素子に複数の金属を同時に添加する効果で感度のバラツキは減少しているが、今少しバラツキを解消できる工夫が欲しい。

また、センサの長期特性と実環境における精度(分析で求めた T-VOC との差)、複数の典型的な実住宅における最終的システムの省エネ効果などを明確にすべきである。

個別テーマに関する評価

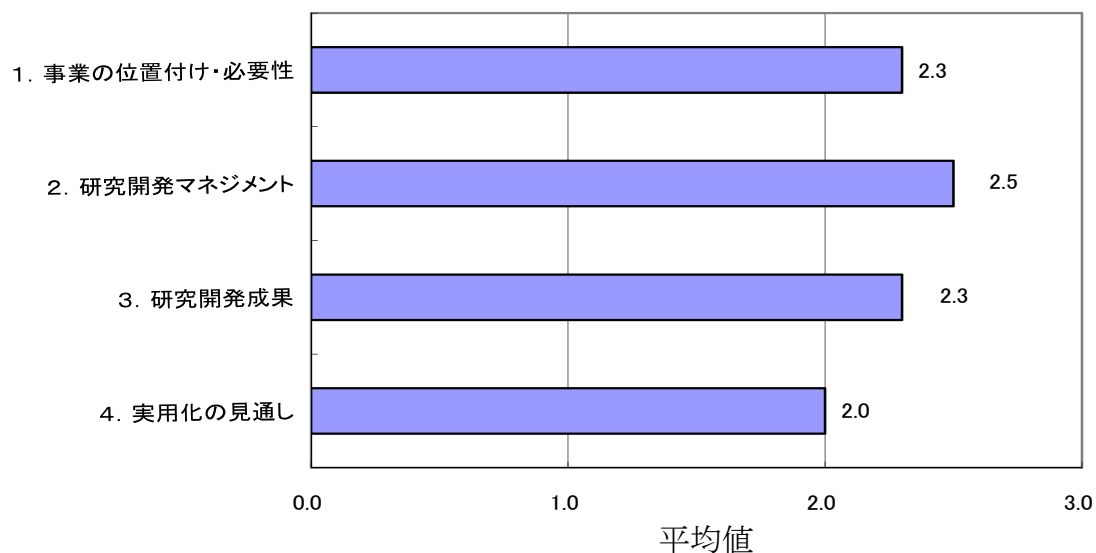
二

	成果に関する評価	実用化の見通しに関する評価	今後に対する提言
揮発性有機化合物 対策用高感度検出 器の研究開発	<p>当初の目標を達成する性能を有するセンサの開発に成功し、研究開発成果は、十分目標に達している。アルデヒド、芳香族およびT-VOCのセンサとも実用上重要な課題である湿度対策、感度安定性や暴露ガスによる影響について技術的に解決している。特にハイブリッド構造のセンサに関する新技術は、種々の気相成分検出器への応用が可能な世界水準の新技術領域の開拓に繋がっている。</p> <p>また、知的財産権等の取扱も適切に行われており、多くの論文発表が行われている。</p> <p>なお、実用的評価、例えば実住宅での長期特性、新築環境における精度（分析で求めたT-VOCとの差）や活性炭カラムを切り替え</p>	<p>開発された3種類のセンサは、従来のものと比べて優れた性能を有し、実用化の可能性は大である。気相成分の検出が必要な種々の分野（作業環境のモニタリング等）への波及効果が大いに期待できる。</p> <p>また、さらに長い期間での長期安定性を評価した後、家庭用換気システムの検出器以外の様々な用途への展開が期待できる。</p> <p>芳香族素子のCuboid状WO_3を開発したのは世界初であり、この分野の先駆的な技術として、今後の発展が期待される。なお、ドリフトを改善しているが、空気中での長期間安定性が確保できるとさらによいのではないかと</p>	<p>センサの長期安定性の評価およびガス検知機構のさらなる検討により、産業界だけではなく、学術的にも多大な貢献が行える。</p> <p>また、開発したセンサの量産化技術を検討し、測定機の提供が望まれる。互換性の良いセンサ量産技術を確立できれば、センサ交換が容易となりメンテナンスの問題は解決する。その研究の継続を期待する。</p> <p>本研究の成果を社会に還元するためにもT-VOCのしきい値、基準ガスの選定を実現し、センサの製品化に繋げてもらいたい。</p>

	て通すゼロ合わせや感度点検法の妥当性の確認（確立）など、今後評価実験や追試が求められる。		
揮発性有機化合物対策用高感度検出器利用のための周辺技術調査	<p>従来は選択性、湿度影響など点で性能の十分でないセンサと連動しての換気ファンや空気清浄機の運転制御であった。この問題をクリアしたセンサによる制御を目指した狙いは良い。また、実態調査においてはきめ細かな調査が実施されている。</p> <p>しかし、提案の換気量制御システムは、現存するCO₂濃度による換気量制御システムのセンサをVOC等に変更したものと考えられる。</p> <p>また、連続換気の場合と比較してVOC検出器制御による換気量低減時の熱エネルギー消費削減効果を試算しているが、現実にはファンヒーター等による室内空気の組成変化をも考慮した換気が必要であるため、正確な省エネ</p>	<p>センサシステムを用いて、換気制御が可能なものの開発ができれば、実証が可能であり、居住空間の快適化の効果は認められるので、ある程度の実用化の可能性は期待できる。ただし、実用化の前に検出器部分のセンサの長期安定性やメンテナンスフリー化の検証が必要である。</p> <p>なお、コスト面、メンテナンス面、長期間の安定性、ドリフトの解消など更なる改善が必要である。また、提案の換気システムの省エネルギー効果については、実証試験が必要である。</p> <p>学校環境衛生基準法の改定などから、今後、学校の音楽室や体育館などの施設や、美術館、博物館などの公共施設への適用についても検討願いたい。</p>	<p>居住空間に関しては、より効率的な局所換気システムや有害気体除去技術と関連づけた総合的な調査研究が必要ではないか。室内環境中には防蟻剤や難燃加工剤など様々な化学物質が存在しており、室内環境の安全・安心も重要な課題であれば、VOCのみの対策でよいかは課題が残る。</p> <p>また、室内汚染の複雑性（部屋による汚染濃度上昇タイミング、汚染物の濃度と種類）に対応できる換気システムの構築とコストの課題を解決しなければならない。</p>

	<p>調査結果とは言えない。 フィールドによっては妨害物質もさまざまであることが推察されることから、多様な住宅環境下での妨害物質の影響を検証することも必要がある。</p>		
--	---	--	--

評点結果〔プロジェクト全体〕



評価項目	平均値	素 点 (注1)					
		A	A	A	B	B	C
1. 事業の位置付け・必要性	2.3	A	A	A	B	B	C
2. 研究開発マネジメント	2.5	A	A	A	B	B	B
3. 研究開発成果	2.3	A	B	B	A	B	B
4. 実用化の見通し	2.0	B	B	C	A	B	B

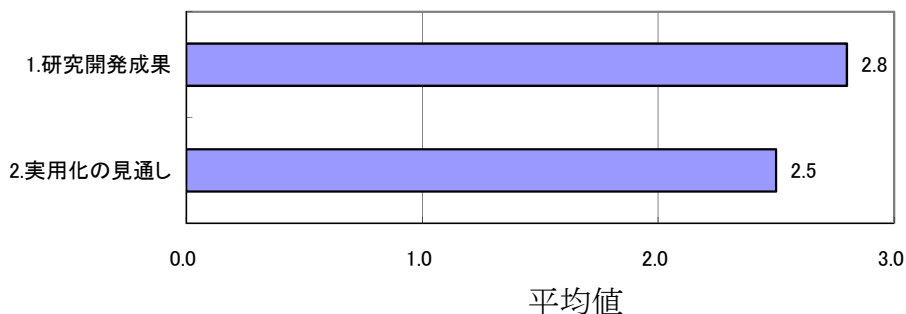
(注) A=3, B=2, C=1, D=0 として事務局が数値に換算し、平均値を算出。

〈判定基準〉

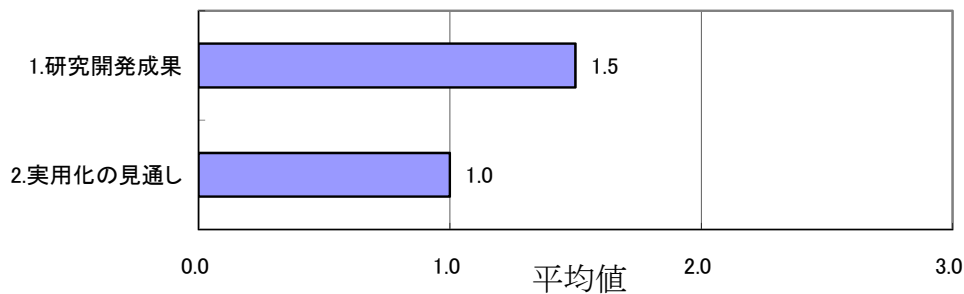
1. 事業の位置付け・必要性について	3. 研究開発成果について
・非常に重要 →A	・非常によい →A
・重要 →B	・よい →B
・概ね妥当 →C	・概ね妥当 →C
・妥当性がない、又は失われた →D	・妥当とはいえない →D
2. 研究開発マネジメントについて	4. 実用化の見通しについて
・非常によい →A	・明確 →A
・よい →B	・妥当 →B
・概ね適切 →C	・概ね妥当であるが、課題あり →C
・適切とはいえない →D	・見通しが不明 →D

評点結果〔個別テーマ〕

揮発性有機化合物対策用高感度検出器の研究開発



揮発性有機化合物対策用高感度検出器利用のための周辺技術調査



個別テーマ	平均値	素点（注2）						
[1] 揮発性有機化合物対策用高感度検出器の研究開発								
1. 研究開発成果	2.8	A	A	A	A	A	A	B
2. 実用化の見通し	2.5	A	A	A	A	A	B	C
[2] 揮発性有機化合物対策用高感度検出器利用のための周辺技術調査								
1. 研究開発成果	1.5	A	B	C	C	C	C	C
2. 実用化の見通し	1.0	B	C	C	C	C	C	D

（注）A=3，B=2，C=1，D=0 として事務局が数値に換算し、平均値を算出。

〈判定基準〉

1. 研究開発成果について

- ・非常によい
- ・よい
- ・概ね適切
- ・適切とはいえない

2. 実用化の見通しについて

- A ・明確
- B ・妥当
- C ・概ね妥当であるが、課題あり
- D ・見通しが不明