

タイ王国マプタプット工業団地向け 大気環境監視システム

Environmental Monitoring System for Map Ta Phut Industrial Estate in Thailand

● 鈴木智美

● 朱里秀作

● 寺西広太郎

● 藤井悟司

あらまし

富士通は、タイ東部のマプタプット工業団地周辺における大気環境改善を目的として、タイ工業団地公社とチュラロンコン大学に大気環境監視システム(VM-EIMS: VOCs Monitoring and Environmental Information Management System)を導入した。本システムの監視対象物質は、VOC(Volatile Organic Compounds: 揮発性有機化合物)19物質、悪臭物質10物質とオゾンである。測定データに対する「解析」と「公開」の機能においては、専門家の知見を生かした先進技術を適用した。また、大気拡散予測シミュレーションによるデータ解析を行うため、富士通のテクニカルコンピューティング技術を活用したPCクラスタシステムを整備した。シミュレーション実行環境を整備するだけでなく、シミュレーション実行や解析方法に関するタイ研究者への技術トレーニングを開催し、大気環境研究の技術移転活動を行った。測定データおよびシミュレーション結果を一般公開し、更に一般ユーザーから汚染物質に関する情報提供を受け付ける機能も設けた。

本稿では、これらの事業活動における試みと成果を紹介する。

Abstract

Fujitsu has installed a VOCs monitoring and environmental information management system (VM-EIMS) for the Industrial Estate Authority of Thailand and Chulalongkorn University in Thailand. The system is intended to improve air quality in Map Ta Phut. It monitors 19 kinds of volatile organic compounds (VOCs), 10 odor-causing compounds, and ozone. We improved the analysis function and the information publishing function of the system, introducing technological concepts such as "risk assessment" and "risk communication" in environmental risk management. The system can carry out an advanced simulation to predict the diffusion of air pollutant. In addition to installing the system, we held several technical training sessions for researchers in order to develop their environmental simulation skills as technology transfer activities. And also, the system publishes information on air quality such as measured data and simulation results on the Web and receives information about the state of pollution in various areas from Internet users. This paper describes Fujitsu's efforts for and achievements in these activities.

ま え が き

タイでは1960年代から工業化が始まり、1980年代後半からの急激な経済成長に伴い、環境問題が深刻化した。タイ東部ラヨン県にあるマプタプット工業団地の公害問題は1996年頃から周辺住民の異臭への苦情により明らかになってきた。その後様々な公害問題が表面化し、2008年のタイ保険省によって実施された調査の結果、周辺住民の尿から基準値を超える量のベンゼンが検出された。ベンゼンは発がん性物質で、VOC（Volatile Organic Compounds：揮発性有機化合物）の一種である。このVOCは、常温・常圧の大気中で気体となる有機化合物の総称である。生活の中の身近なもので言えば、塗料、ガソリン、接着剤などに含まれ、政府や自治体レベルで排出量が規制されている。

2010年7月頃から、富士通はマプタプット工業団地の環境問題解決に貢献するため、タイ科学技術開発庁（NSTDA：National Science and Technology Development Agency）様と関係構築を図り、環境ソリューションを提案する機会を得た。マプタプット視察やタイ関係省庁へのヒアリングを行い、約1年にわたる提案活動を行った。その結果、2011年12月に独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構（NEDO：New Energy and Industrial Technology Development Organization）様の研究協力事業として、タイ工業団地公社（IEAT：Industrial Estate Authority of Thailand）様とチュラロンコン大学（CU：Chulalongkorn University）様に大気環境監視システム（VM-EIMS：VOCs Monitoring and Environmental Information Management System）を導入することとなった。

本事業が始まった時点でラヨン県では既に大気監視が実施されていたが、一部のVOCの大気中濃度は依然として高いままの状態となっていた。⁽¹⁾ 更なる対策の必要性から、NSTDA、IEAT、CUおよびタイ関係省庁により、VM-EIMSへの要望がまとめられた。この要望書がシステムへの要求として富士通に提示された。

本稿では、タイ側から受領した要望書を踏まえ、大気汚染を克服した日本の知見を生かして富士通が構築したVM-EIMSを紹介する。

VM-EIMSのシステム概要

大気中のVOCは紫外線と化学反応をしてオキシダント（酸化性物質）を発生させる。この化学反応において窒素酸化物（NO_x）が触媒として働く。オキシダントは大気中の酸化性物質の総称で、最も大気中の濃度が高いのはオゾンである。VOC、NO_x、オゾンはその生成過程で密接な関連を持つ。よって大気監視においては、いずれか一つの大気中濃度を監視するのではなく、総合的な測定と評価をする必要がある。

● 大気監視の基本概念

大気監視は、測定データに対して行う処理の内容から一般的に以下の四つに分けられる。

(1) 測定と収集

大気センサーを設置した測定局で、大気汚染物質の濃度を測定する。大気汚染物質は拡散の挙動が気象条件によって大きく左右されるため、気温、湿度、風速、風向、日射量などの気象情報も測定する。

(2) 監視

大気汚染物質は、大気監視システムを運用する政府・自治体・機関が属する法規制によって基準値が定められている。測定データを監視し、基準値を超えた場合は、監視業務従事者や対外関係機関に通知する。

(3) 解析

測定データの時系列的なトレンド、地理情報との比較、科学的手法に基づいた大気環境の解析などを行う。排出規制のための施策を取った場合は、数値解析などの手法を用いて施策の効果を評価する。

(4) 公開

監視対象地域の住民、学校、病院、自治体や周辺コミュニティに対し、大気汚染物質の発生・拡散情報を公開情報として提供する。

● VM-EIMSのシステム概要

システム概要を図-1に示す。

(1) 大気センサー

大気センサーの監視対象物質は、タイ側の要望を考慮しVOC 19物質、悪臭物質10物質とオゾンとした。ただし、大気センサー本体、大気センサーと監視センター間を結ぶネットワークはIEATとCU側の調達・導入範囲である。大気センサーと監

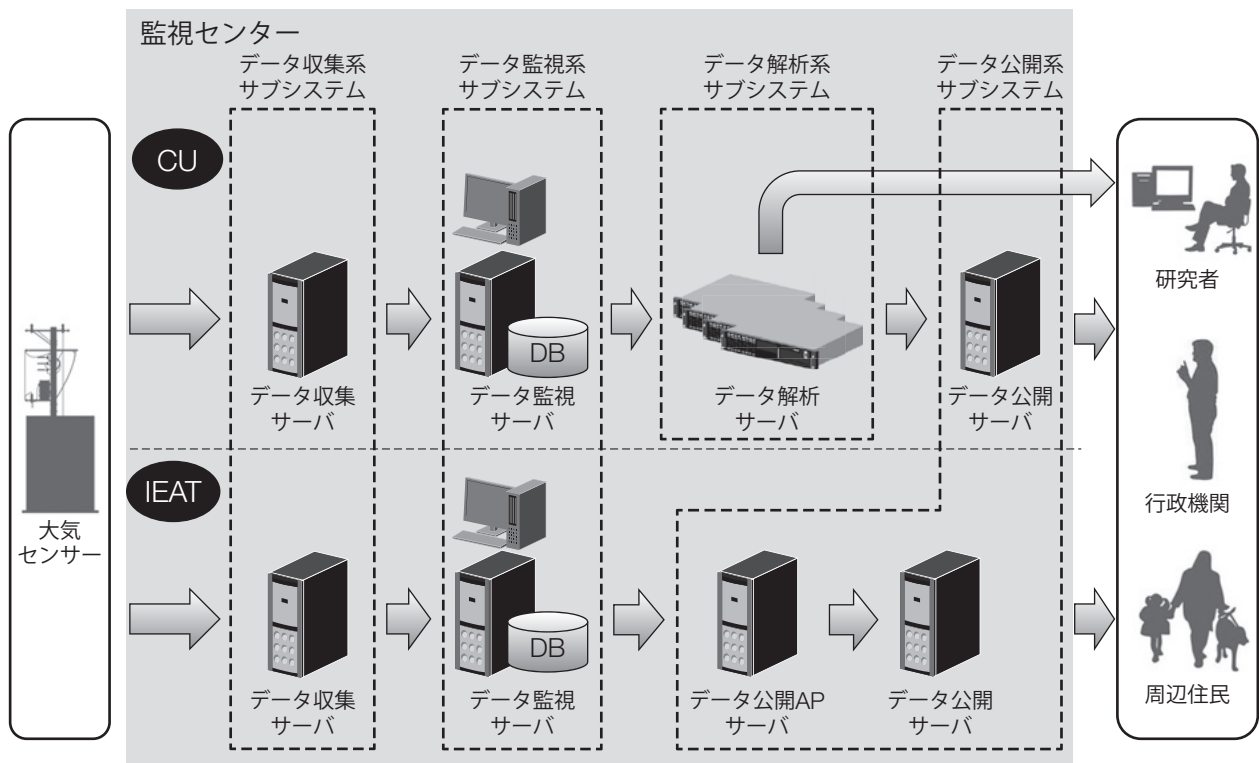


図-1 VM-EIMSのシステム概要

表-1 大気センサーと監視対象物質

	VOC	悪臭物質 (個別濃度)	悪臭物質 (指数)	オゾン
監視対象	19種 (下記参照)	10種 (下記参照)	トータル悪臭指数	Ozone (O ₃)
監視域	排出源近傍		住居エリア	
測定局	新設5局		既設3局	
大気センサー	PTR/MS (陽子移動反応ー質量分析法)		悪臭指数センサー	オゾンセンサー

No	VOC	No	VOC	No	悪臭物質
1	ベンゼン	11	アクロレイン	1	アンモニア
2	クロロエチレン	12	アクロニトリル	2	メチルメルカプタン
3	1,2-ジクロロエタン	13	クロロメチルベンゼン	3	硫化水素
4	トリクロロエチレン	14	プロモメタン	4	ジメチルスルフィド
5	ジクロロメタン	15	テトラクロロメタン	5	ジメチルジスルフィド
6	1,2-ジクロロプロパン	16	1,2-ジプロモエタン	6	トリメチルアミン
7	テトラクロロエチレン	17	パラジクロロベンゼン	7	メチルイソブチルケトン
8	クロロホルム	18	1,4-ジオキサン	8	トルエン
9	1,3-ブタジエン	19	1,1,2,2-テトラクロロエタン	9	スチレン
10	アセトアルデヒド			10	キシレン

監視対象物質の一覧を表-1に示す。

(2) データ収集系サブシステム

大気センサーで取得した測定データをファイル

出力するソフトウェアと、監視センター側からFTP (File Transfer Protocol) によって測定データを定期収集するソフトウェアから構成される。

(3) データ監視系サブシステム

データ収集系サブシステムから測定データを受領し、測定値をデータベースで管理する。また測定値を監視し、基準値を超えていた場合は監視業務従事者や関係機関に警告メールを送信する。監視業務従事者向けの機能として以下の機能を持つ。

- ・測定値の一覧、基準値の超過状況や経時変化などの表示機能
- ・定期レポート作成用の帳票機能

(4) データ解析系サブシステム

データ監視系サブシステムから測定データを受領し、測定値を入力データとして、VOC、オゾンなどの大気中の拡散の様子を計算する。大気拡散予測の計算においては、気象モデルとしてWRF (Weather Research and Forecasting model) を採用した。WRFは米国環境予測センターなどのコミュニティが開発・管理するオープンソースである。化学輸送モデルは、CMAQ (Community Multiscale Air Quality) を採用した。CMAQは米国環境保護庁などのコミュニティが開発・管理するオープンソースである。得られた大気拡散予測結果をNetCDF (Network Common Data Form) 形式でファイル出力する。このファイルを計算領域の地図データと重ねてインターネット公開用の画像ファイルを作成し、データ公開系サブシステムに渡す。

(5) データ公開系サブシステム

データ監視系サブシステムから、VOC濃度の1時

間値を測定データとして受領し、インターネット上で公開する。公開においては、地図データと重ね合わせた地理空間情報としてのサービスのほか、時系列変化、Googleマップと連動した様々なサービスをユーザーに提供する(図-2)。データ解析系サブシステムからも、大気拡散予測結果の画像ファイルを受領し公開する。

環境リスク

環境汚染の被害を正確に把握し、適切に対処するに当たっては「環境リスク」という考え方が重要である。環境リスクとは、汚染物質の「ハザード(どの程度その汚染物質が有害か)」と「曝露量(どの程度その危険性にさらされているか)」の両者で表される。⁽²⁾ 人間が経済活動を行う上で環境リスクをゼロにはできない。共同体における環境リスクを関係者で共有し、許容できる範囲内に抑えながら共存を目指すことが重要である。

環境リスクの対応においては、「リスク評価」「リスクマネジメント」「リスクコミュニケーション」の3段階の順序が取られる。「リスク評価」はリスクの対象と危険性を客観的かつ定量的に把握するため、科学的な手法で評価する。「リスクマネジメント」は、評価した環境リスクを低減させるための対策を検討し実施する。「リスクコミュニケーション」は、評価した環境リスクを関係者全員で共有し、相互に意見交換する。

VM-EIMSの「データ解析」と「データ公開」の



図-2 データ公開系サブシステムの画面

機能においては、それぞれ「リスク評価（特に曝露量評価）」と「リスクコミュニケーション」の考え方を取り入れ、専門家の知見を生かした先進技術の適用を試みた。本事業では大気環境研究の専門家とWebデザインの専門家をプロジェクトメンバーに迎えた。次章では専門家と協力して取り入れたVM-EIMSのコア技術を紹介する。

VM-EIMSの先進技術

データ解析における大気拡散予測を用いた曝露量評価の方法を決める際は、大気環境研究の専門家およびCUの研究者と協議し、大気環境研究で最も先進的かつ高精度と言われるWRFとCMAQを選定した。

データ公開方法を決める際は、公開ポリシーについては大気環境研究の専門家と協議し、Web上での見せ方についてはWebデザイナーのアドバイスを生かした画面設計とした。更に一般ユーザーから汚染物質に関する情報提供を受け付ける機能も設けた。このようにして、公開データを見せる側と受け取る側による双方向のコミュニケーションのやり取りを可能とする理想的なリスクコミュニケーションツールを整備した。

● リスク評価における適用先進技術

表-2の「データ解析サーバ」に示すような、タイ国内でトップクラスの計算性能を持つPCクラス

タシステムを導入し、大気拡散予測モデルであるWRF/CMAQの実行環境を整備した。

PCクラスタシステムには、富士通のテクニカルコンピューティング技術を生かしたPCM (Platform Cluster Manager) Fujitsu Editionを導入した。シミュレーションによるCPUの占有時間は、各研究者がモデルで使用するパラメーター（計算格子の細かさや計算対象時間）で異なる。各研究者が依存関係なく計算できるようにするため、ユーザーごとにモデルの実行環境を用意し、PCMにより10ノードの計算ノードを最適化して使用できるようにした。

大気拡散予測モデルで再現・解析する物理現象について簡単に述べる。⁽³⁾

- (1) 大気汚染物質の大気中への放出の様子を再現する。(排出)
- (2) 大気汚染物質が風に流され大気中を移動する様子を再現する。(移流)
- (3) 大気汚染物質の粒子が自発的に広範囲に散らばる様子を再現する。(拡散)
- (4) 大気汚染物質が化学反応をする様子を再現する。(化学反応)
- (5) 大気汚染物質が地面や建物に付着する様子を再現する。(沈着)
- (6) 計算領域における最終的な大気汚染物質の濃度を計算する。

表-2 VM-EIMS 計算機一覧

	品名	数量	OS	CPU	コア数	メモリ	ディスク 搭載容量	設置 場所
データ収集 サーバ	PRIMERGY TX200 S6	2	Windows Server 2008 R2 Standard	Intel Xeon Processor E5620 (2.40 GHz)	4	8 Gバイト	300 Gバイト	IEAT, CU
データ監視 サーバ	PRIMERGY RX300 S6	2	Windows Server 2008 R2 Standard	Intel Xeon Processor E5603 (1.60 GHz)	4	8 Gバイト	600 Gバイト	IEAT, CU
データ公開 サーバ	PRIMERGY RX300 S6	1	Red Hat Enterprise Linux5.5	Intel Xeon Processor E5603 (1.60 GHz)	4	8 Gバイト	300 Gバイト	IEAT, CU
データ公開 APサーバ	PRIMERGY RX300 S7	1	Windows Server 2008 R2 Standard	Intel Xeon Processor E5-2603 (1.80 GHz)	4	8 Gバイト	300 Gバイト	IEAT
データ監視系用 ストレージ	ETERNUS DX80 S2	2	—	—	—	—	600 Gバイト	IEAT, CU
データ解析 サーバ	PRIMERGY BX922 S2	10	Red Hat Enterprise Linux5.5	Intel Xeon Processor X5647 (2.93 GHz)	8	24 Gバイト	160 Gバイト×2	CU
ファイル サーバ	PRIMERGY RX300 S6	1	Red Hat Enterprise Linux5.5	Intel Xeon Processor E5645 (2.40 GHz)	12	24 Gバイト	300 Gバイト×5	CU
バックアップ サーバ	PRIMERGY RX200 S6	1	Windows Server 2008 R2 Standard	Intel Xeon Processor E5606 (2.13 GHz)	8	8 Gバイト	600 Gバイト×3	CU
データ解析系用 ストレージ	ETERNUS DX80 S2	1	—	—	—	—	600 Gバイト×6, 1 Tバイト×6	CU
テープ ライブラリ	ETERNUS LT20	1	—	—	—	—	—	CU

(1)～(6)を計算するに当たり、ある条件の「風」を計算領域に気象場として与える。測定された風向・風速・気温・湿度・日射量などを初期値としてタイムステップごとの気象場をWRFモデルで計算する。計算領域の気象場を計算した後、排出インベントリと呼ばれる大気汚染物質の測定濃度を初期条件や境界条件に与え、CMAQモデルによって(1)～(6)を求める種々の物理方程式を解く。

シミュレーションは初期条件や境界条件の与え方によって計算結果が変わってしまう。また再現する物理現象のスケールに合わせた適切な計算領域と計算格子を設定する必要がある。計算結果が得られたら測定値と比較し、再現された事象の裏にある物理的な過程を考察する。これらのシミュレーションの前提決めや計算結果の解析に当たっては、大気環境研究分野の高度なスキルが求められるため、日本の専門家であるアジア大気汚染研究センター様と日本エヌ・ユー・エス株式会社様に所属する研究者を本事業のプロジェクトメンバーに迎えた。大気拡散予測の実行環境を整備するだけでなく、モデル実行や解析方法に関するタイ研究者への技術トレーニングを開催し、大気環境研究の技術移転活動を行った。

● リスクコミュニケーションにおける適用先進技術

Web-GIS (Geographic Information System) による測定データの公開とWeb画面から汚染状況に関するユーザー投稿をできるようにした。データを公開する側と受け取る側の双方が、環境リスクを共有し協議するためのコミュニケーションツールを整備した。環境汚染に興味や知識がないユーザーにとっても魅力的なツールになるよう以下の工夫をした。

- (1) 公害というネガティブなイメージを払拭し明るい印象を与える画面デザインとした。
- (2) 空をイメージさせるブルーを基調色として、全体的な画面の彩度とコントラストを高めた。
- (3) アニメーションや画面切替えを多用し、ユーザーの操作によって画面にダイナミックな動きが出るよう工夫した。

このようなユーザエクスペリエンス設計を採用し、Webサイトへのユーザーの「参加」と「長居」を誘導する画面設計とした。これらのアートディ

レクション上の工夫はタイでは比較的派手な画面デザインが好まれるという傾向とマッチし、タイ側機関から高い評価を得た。また開発工程の早い段階からプロトタイプを作成し、日本とタイの文化の違いによるGUI (Graphical User Interface) に対する好みのギャップを吸収した。

ユーザー投稿においては、測定局や現在地を選択し、周辺の悪臭の深刻度(非常に臭い・臭い・少し臭いなど)をWebから投稿し、公開できるようにした。臭気は表-1に示す悪臭物質が複合的に作用した結果、人間の嗅覚で判断された情報である。人間の感覚に由来する情報を大気環境データとして扱えるようにした。

導入の成果と今後の課題

データ解析系サブシステムを環境研究のシミュレーション実行環境としてCUに導入した。導入後は日本とタイ双方の研究者によりマプタプット周辺のVOC, NO_x, オゾンの大気拡散予測の計算が行われている。計算結果の一部を図-3に示す。

データ公開系サブシステムは、IEATとマプタプットの周辺コミュニティとの間のリスクコミュニケーションツールとしてIEATに導入済みである。ただし、2011年にタイ全土で発生した洪水被害の影響で、タイ側による大気センサーの導入が遅れている。今後の大気センサー設置後のVM-EIMSの本格稼働が待たれる。測定データとユーザー投稿の情報の一般公開に当たっては、その公開データの特性上、どこまでそのまま公表するかをタイ側機関やその監督機関とも合意形成しなければならない。誤った情報を配信すると周辺コミュニティを混乱させる。反対に、公開データの秘匿性を必要以上に高めると、リスクコミュニケーションを阻害する。測定データに対する検証と、ユーザー投稿に対するスクリーニングの方針に関してタイ側機関に整理いただき、その支援を富士通で実施する必要がある。

リスク評価、リスクコミュニケーションの基盤となるシステムを整備することができた。本システムを活用し、タイ側機関によってリスクマネジメントまで行われることで、マプタプット周辺の住民やコミュニティと共存しながらの環境問題解決に向けた協働活動が完成すると考える。

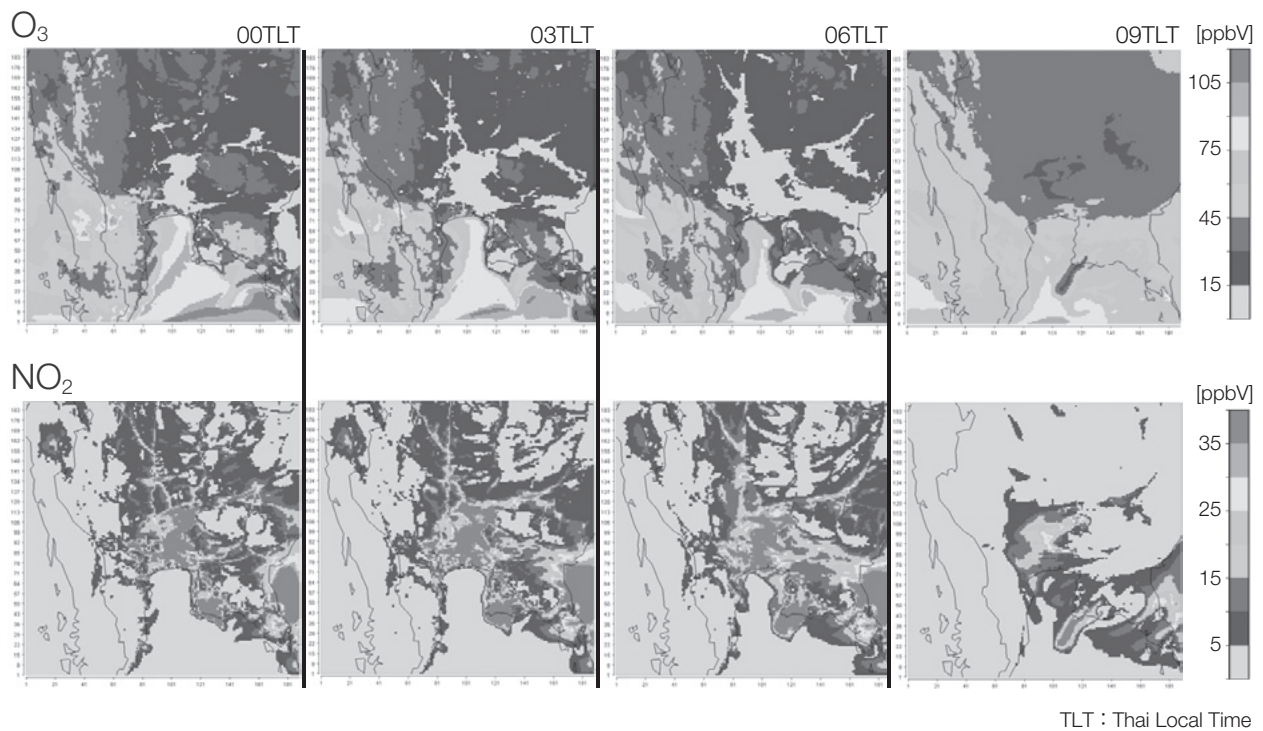


図-3 大気拡散予測の計算結果

む す び

本稿では、VM-EIMSのシステム概要と、特にリスク評価機能とリスクコミュニケーション機能に関して紹介した。本事業を通じて得られた知見と経験を生かし、今後も新興国の環境問題解決に向け貢献していきたいと考える。

本事業はNEDO様の平成23年度および平成24年度研究協力事業「タイにおけるVOCモニタリング及び環境情報マネジメントシステムに関わる研究協力」として実施した。ご支援いただいた

NEDO関係者、外部評価委員としてご参加いただいた先生方に、この場を借りて感謝申し上げたい。

参考文献

- (1) Thailand State of Pollution Report 2011, Pollution Control Department, 2012.
- (2) オフィステキスト：手に取るように環境問題がわかる本. 第1版, 東京, 株式会社かんき出版, 2012年.
- (3) 資料1-1 予測モデルの概要, 開発の経緯. 第2回光化学オキシダント調査検討会, 東京, 日本気象協会.

著者紹介



鈴木智美 (すずき ともみ)

テクニカルコンピューティング・ソリューション事業本部科学システムソリューション統括部 所属
現在、大気監視システムの開発と運用に従事。



寺西広太郎 (てらにし こうたろう)

富士通デザイン（株）
ソフトウェア&サービスソリューションデザイン事業部 所属
現在、主にソフトウェアのGUIデザインに従事。



朱里秀作 (あかり しゅうさく)

テクニカルコンピューティング・ソリューション事業本部科学システムソリューション統括部 所属
現在、大気監視システムの開発と運用に従事。



藤井悟司 (ふじい さとし)

（株）モフ 取締役
現在、プランナー 兼 情報設計士として主にソフトウェアのGUIデザインに従事。