

ISSN 2187-1426

環境技術研究所機関誌

第1号

2012年7月2日発行

環境「創」

- かんきょう そう -

未来を拓く、
環境技術

災害復興特集



北九州市立大学

環境技術研究所

THE UNIVERSITY OF KITAKYUSHU

Institute of Environmental Science and Technology(IEST)

目 次

巻頭挨拶

環境技術研究所 所長

北九州市立大学 副学長 梶 原 昭 博 …………… 2

特別寄稿

北九州市立大学「環境技術研究所」機関誌の発行に寄せて

福島県土木部長 渡 辺 宏 喜 …………… 3

災害復興技術特集

多機能盛土による放射性物質汚染土壌・廃棄物等の隔離・保管技術

北九州市立大学 国際環境工学部 エネルギー循環化学科

教 授 伊 藤 洋 …………… 4

災害対策技術 ～新しい防災技術の開発に向けて～

北九州市立大学 国際環境工学部 機械システム工学科

教 授 山 本 郁 夫 …………… 8

改質フライアッシュスラリーを使用した
低炭素コンクリートによる災害復興用建築材料の開発

北九州市立大学 国際環境工学部 建築デザイン学科

准教授 高 巢 幸 二 …………… 12

環境技術研究所が取り組んでいる
「災害対策技術」について …………… 16

巻頭挨拶

環境技術研究所 所長
(北九州市立大学 副学長)

梶原 昭博



平成23年3月に東日本を襲った未曾有の大災害から1年半が経過しましたが、未だその傷跡は深く、復興は思うように進んでいません。例えば、がれき処理や放射性汚染土壌の処理・管理など多くの課題が山積しており、被災地だけでなく日本全体が遅々として進まない復興に大きな苛立ちと憤りを感じています。

さてこのような中、北九州市立大学ではこれまで蓄積した環境技術の集積を社会に貢献することを願って、国際環境工学部開設10周年の節目となる平成24年3月に環境技術研究所を開所しました。本研究所は「産業技術研究センター」、「災害対策技術研究センター」、「国際連携推進センター」の3つのセンターから構成されていますが、特にその中核となるのが「災害対策技術研究センター」であり、災害対策や災害復興技術は本研究所が結集して解決すべき緊急の課題であるとの認識のもとで、これらの実用化のために組織的に取り組んでおります。

この度発刊する本研究所の機関誌「環境「創」」は、本研究所が持つ災害対策と災害復興技術のシーズを知っていただきたいとの思いから「災害復興特集」を企画しました。

本機関紙がきっかけとなって、災害復興に関する技術や研究が深まり、さまざまな機関と連携して復興への一助になることを心から願っています。



特 別 寄 稿

北九州市立大学「環境技術研究所」機関誌の 発行に寄せて

福島県土木部長

渡 辺 宏 喜



このたび、貴研究所機関誌「環境 創」の発行に当たり、一言ごあいさつ申し上げます。

福島県は東日本大震災により、地震被害、津波被害、福島第一原発事故による放射線被害、及び放射線汚染に関する風評被害、という四重被害を受けました。現在も県外に避難している約6万人を含め、被災地からの避難者が約16万人となっており、他の被災地とは異なった状況にあります。また、去年は、三月及び四月の地震災害後も、七月の新潟・福島豪雨、九月の台風15号に見舞われ、災害の発生という点から歴史的な一年となりました。

この間、全国の皆様から多くのご支援と励ましのことばを頂きました。この場を借りましてあらためて御礼申し上げます。

さて、今般設立された「環境技術研究所」は、その中核をなす「災害対策技術研究センター」において、「災害は究極の環境問題であることの認識のもと、これまでに集積してきた災害対策技術を生かし、社会へ貢献」されていくと伺っております。

昨年来、北九州市立大学からは、当県土木部で実施している道路試験除染に関するアドバイスを頂いているところです。今後「災害対策技術研究センター」において、災害調査に関する新たな技術や、放射線に汚染された廃棄物の保管技術等を研究していただくことは、現在、被災から懸命に立ち上がろうとしている当県の復旧・復興に資するばかりでなく、地震や豪雨等の異常気象が発生しやすいわが国にとって非常に有意義であります。

「環境技術研究所」設立のきっかけとなりました東日本大震災の被災地に対する貴学の熱い思いに対し敬意を表しますとともに、被災地が抱えている課題の解決や、今後発生が危惧される大規模災害の被害軽減に関する研究開発が進むことをご期待申し上げます。

結びに、「環境技術研究所」の更なる発展と、関係する皆様のますますの御健勝をお祈りいたしまして、ごあいさつとします。

多機能盛土による放射性物質汚染土壌・廃棄物等の隔離・保管技術

北九州市立大学 国際環境工学部 エネルギー循環化学科
教授 伊藤 洋

1. はじめに

「多機能盛土」工法は、元々はトンネル掘削等で大量に発生する可能性がある自然由来の重金属汚染土壌(砒素、鉛など)の処理方法として、2008年頃より構想に着手し、基礎研究を経て2010年より北九州市内で実証実験を開始している。この多機能盛土はH型(Heavy metal)と称し、重金属汚染土壌を封じ込めつつ、微少の降雨浸透は許容して、盛土内部から溶出する重金属は特殊な吸着剤で捕捉し、更に底面からの浸出水は盛土外に設置した吸着槽で浄化して排水できる構造としている^{1),2)}。

こうした中で周知のように2011年3月11日に東日本大震災が発生し、福島第一原子力発電所事故により大量の放射性物質が広範囲に拡散することとなった。こうした放射性物質汚染土壌や廃棄物等は、除染等を行った後、速やかに、かつ安全に隔離・保管する必要がある。「多機能盛土H型」の基本機能はこうした汚染物質の“長期封じ込め”であるため、これをベースに改良を加え、高度化することで放射性物質に対しても十分対応できるとの発想に立って、「多機能盛土R型(Radioactive waste/soil)」の開発に着手した。「多機能盛土R型」は、放射性物質を長期間(50年程度を目標)封じ込めることを目標としているが、同時に有機物等を含む通常の土壌や廃棄物であることを踏まえ、(1)放射線の遮蔽ができること、(2)降雨浸透・蒸発濃縮が抑制できること、(3)セシウムの内部移動を抑制できること、(4)内部でのガス発生対策ができること、(5)施工が容易であり、二次廃棄物を最小限にできること、を可能とするデザインとし、各要素の具体的な研究・開発を進めている。

ここでは、「多機能盛土H型」の成果を踏まえつつ、「多機能盛土R型」についてその概略を紹介する。

2. 多機能盛土の概要と機能

多機能盛土R型の概要を図-1に示す³⁾。まず、盛土を形成する側壁はジオセル(高密度ポリエチレン製で広げると蜂の巣形状となる)を用い、その中に土砂を充填・転圧して傾斜角度をつけて階段状に積み上げる。その過程で盛土内に放射性物質汚染土壌/廃棄物等を充填し、その上下にはセシウムの吸着層を設け、最上部には通気性を有する降雨浸透抑制・ガス透過シートと砂利層を配置する。また、盛土全体を準好氣的雰囲気とするため底面には砂利等の通気層を設置する。使用する材料は、ジオセル、シート等の土木資材と土質材料(土砂、砂利等)のみで構成される。多少複雑な構造であっても施工は容易であり、短期間で構築することができる。こうした構造により降雨の浸透と蒸発を抑制し、盛土内部での水分の移動を大きく低減することができる。また、万一多少の放射性物質の移動が生じてても吸着層で移動速度を大きく抑制することができる。当然ながら、放射線は全方位で遮蔽することができる。加えて、汚染物質中に有機物等が含まれ、ガス(メタン、硫化水素など)が発生するような場合でも上部より拡散させることができ、盛土内を準好氣的雰囲気とすることからガス発生そのものもある程度抑制できる。

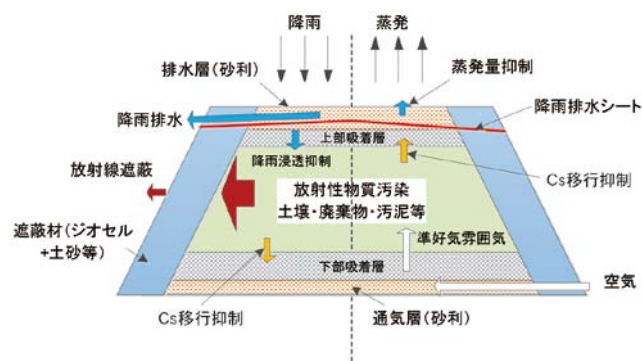


図-1 「多機能盛土(R型)」の概要

「多機能盛土R型」の特徴を整理すると以下のようになる。

- (1) 放射性セシウムを長期間“封じ込める”
 - 降雨浸透抑制・ガス透過シート、吸着層
- (2) 放射線を“遮蔽する”
 - ジオセル充填、上部に遮蔽型吸着層
- (3) “急速施工”
 - ジオセル積み上げ方式、土質材料のみを使用
- (4) “ガス抜き”
 - ガス透過性シート、下部通気層

3. 実験結果の例

上述の各機能については室内実験を中心に研究を進めており、総合的な機能評価については現在2ヶ所で実証実験を行っている。ここでは、継続中の実証実験について、その概略を紹介する。

まず、写真-1は重金属汚染土壌を対象とした「多機能盛土H型」の実証実験施設であり、北九州市エコタウン内の実証研究エリアで、震災前の2010年12月より実施している。ここでは、砒素と鉛を含有する鉱物を用いた人工的な汚染土壌を内部に封じ込め、多機能盛土による降雨浸透抑制効果と吸着剤(ここでは活性珪酸カルシウム基材+重金属吸着剤)による重金属浸出抑制効果を確認することを主な目的としている。



写真-1 「多機能盛土H型」の実証実験状況(左:全景, 右:天盤の豆砂利層)

図-2は、2010年12月から2012年2月の409日間での積算降雨量と多機能盛土H型(対策と称す)および比較のために設置した土壌充填槽(無対策と称す; 汚染物質の上下に土壌を充填)の底面からの浸出量の経時変化を示したものである⁴⁾。これを見ると、積

算降雨量が1698.7mmであるのに対し、無対策での浸出量は689.3mmとなっている。両者の差は蒸発量と内部に貯留された量と評価できる。一方、対策での浸出量は、38.0mmとなっており無対策のそれと比較すると約5.5%であり、94.5%の降雨浸透成分が盛土天盤の複合層により排水されたことになる。

図-3は、浸出水の砒素の積算量を対策と無対策で示したものである⁵⁾。無対策の浸出量は6.23mg/m²であるのに対し、対策では0.154mg/m²と約98%低減されている。

他方、蒸発成分による対象物質の上方移行・濃縮抑制効果については、最終的には盛土を解体して土壌分析を行って評価する予定(2012年中)であるが、写真-2に示した室内実験でその基本的効果は確認している⁶⁾。

結果として、多機能盛土に封じ込められた汚染物質の浸出は土壌充填層(無対策)に比較して、大きく低減されていることが確認できた。

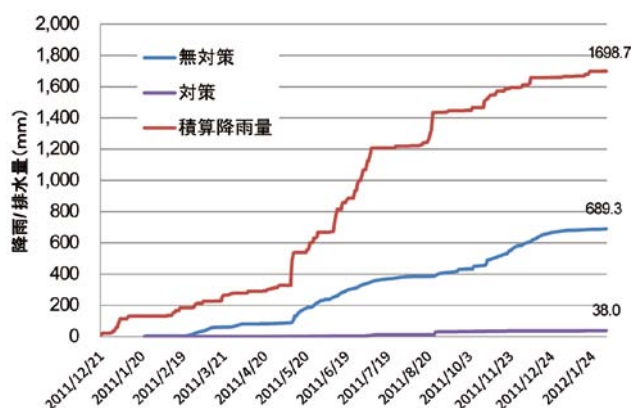


図-2 「多機能盛土H型」における積算降雨量と対策・無対策における積算浸出量

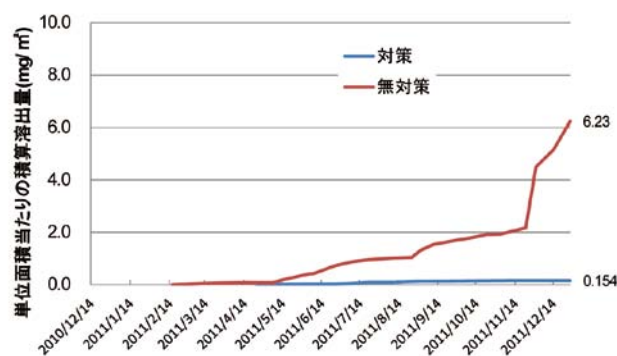


図-3 「多機能盛土H型」における砒素の積算溶出量



写真-2 蒸発移行抑制確認実験

つぎに、図-4は放射性物質汚染土壌/廃棄物等を対象とした「多機能盛土R型」の実証実験施設であり、2011年12月19日より福島県内で実施している⁷⁾。この実証実験では、約4.6万Bq/kgの汚泥(フレコンパックに充填された状態の表面の放射線量:8.50~14.6 μ Sv/h)を内部に封じ込めて、放射線の遮蔽効果を確認することを主な目的としている。写真-3は、盛土の施工状況を示したものである。

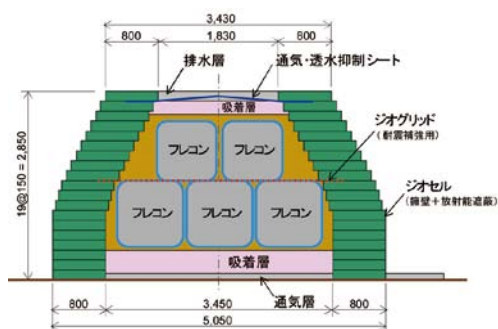


図-4 「多機能盛土R型」の実証実験状況(上:全景, 下:盛土断面)



写真-3 「多機能盛土R型」の施工状況(左:フレコン設置後ジオセル施工, 右:天盤施工)

この盛土によって遮蔽された放射線量の測定結果を図-5,6に示す³⁾。まず、図-5は、汚泥を充填したフレコンパックの表面を基準にして距離減衰の放射線量の測定結果を盛土の施工前後で示したものである。盛土施工後の放射線量は大きく低減し、盛土表面では0.4 μ Sv/h前後となり、フレコンパックの表面の値(14.0 μ Sv/h前後)と比較すると十分低下していることがわかる。低減可能な放射線量がバックグラウンド値(図中の破線)であるとする放射線量の遮蔽率は100%ということになる。つぎに、図-6は盛土周辺での放射線量の低減効果のイメージを測定結果に基づいて示したものである。盛土周辺の数十m範囲の放射線量は、敷地のバックグラウンドの値(BG:1.3 μ Sv/h, 平均で0.5 μ Sv/h)より低くなっている。これは、ある種のブラインド効果(盛土が地表面に存在する放射線源に対して影を形成する)によるものと考えられる。

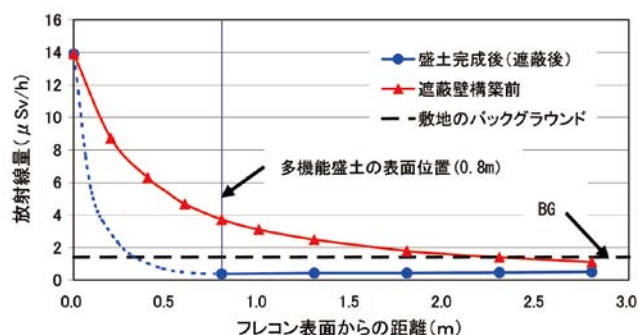


図-5 盛土による放射線遮蔽効果

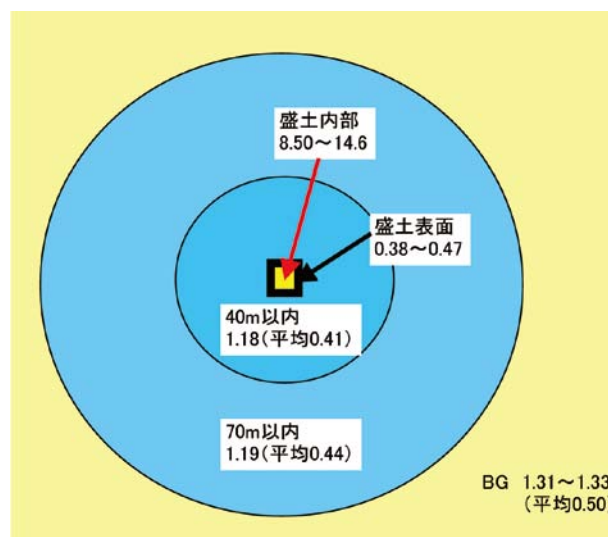


図-6 盛土周辺の放射線低減効果のイメージ

4. おわりに

福島第一原子力発電所事故によって発生した放射性物質汚染土壌/廃棄物の処理は、喫緊の課題である。既に開発中であった「多機能盛土H型」をベースに放射性物質汚染土壌/廃棄物の長期隔離・保管を実現できる「多機能盛土R型」の開発に着手し、短期間で実用化の目途をつけることができた。しかし、被災地の現場のニーズは多様であり、十分に対応できているわけではなく、今後より進んだ研究開発を行う必要があると考えている。加えて、盛土内でのセシウムの移行メカニズムやリサイクル材料等を適用した放射線遮蔽充填材料の開発、硫化水素などの有害なガス発生に対する対策、盛土上面の有効利用などの研究にも近々に着手する予定である。

【参考文献】

- 1) 大石徹・伊藤洋・門上希和夫・鈴木和義(2010):新しい盛土構造による重金属汚染土壌浄化に関する基礎実験,第16回地下水・土壌汚染とその防止対策に関する研究集会講演集, pp.338-341.
- 2) 大石徹・伊藤洋・門上希和夫・鈴木和義(2012):新しい盛土構造を想定した重金属汚染土壌浄化に関する基礎実験,土壌環境センター技術ニュース, No.19, pp.1-9.
- 3) 松山秀明・伊藤洋ほか(2012):多機能盛土による放射性物質汚染汚泥の放射線遮蔽実証実験(I),第18回地下水・土壌汚染とその防止対策に関する研究集会講演集, pp.317-322.
- 4) 安藤彰宣・伊藤洋・大石徹・松尾俊和(2012):多機能盛土による降雨浸透抑制に関する実証実験,第18回地下水・土壌汚染とその防止対策に関する研究集会講演集, pp.313-316.
- 5) 大石徹・伊藤洋・門上希和夫・安藤彰宣(2012):多機能盛土による重金属浸出抑制効果に関する実証実験,第18回地下水・土壌汚染とその防止対策に関する研究集会講演集, pp.32-36.
- 6) 高石万理・伊藤洋・大石徹・安藤彰宣・門上希和夫(2011):蒸発過程における重金属移行抑制に関する基礎実験,第17回地下水・土壌汚染とその防止対策に関する研究集会講演集, pp.14-17.
- 7) 読売新聞夕刊全国(福岡・北九州1面記事), 2012年2月23日



伊藤 洋
Yo Itou

■ プロフィール

役 職／教授

学 位／工学博士

学位授与機関／北海道大学

研究分野・専門／1.放射性廃棄物工学

2.土壌汚染浄化

3.地圏環境工学

主要研究テーマ／1.「多機能盛土」の開発(放射性物質、重金属)

2.有機酸による重金属汚染土壌浄化

3.二酸化炭素地中貯留における

CO₂漏えいモニタリング

P R・その他／これまで、民間企業や大学ベンチャーなどにおいて、原子力発電所の設計・研究、コンクリート構造物の水密性・耐久性、放射性廃棄物地中処分、大規模地下構造物の環境影響評価、最終処分場管理技術、広域水循環・水環境評価、土壌汚染浄化プラントの開発などに係わり、環境関連の研究のみならず実務にも多くの経験と実績があります。企業との共同研究、実務コンサルからビジネスサポートまで幅広く対応できます。
資格：技術士(総合技術監理、建設)、第2種放射線取扱主任者ほか
委員(廃棄物関連のみ)：鹿児島県産業廃棄物専門委員会委員、福島県除染モデル実験アドバイザー、災害廃棄物の受け入れに関する検討会委員(北九州市)、「多機能盛土研究会」会長など

■ 連絡先

〒808-0135 北九州市若松区ひびきの1番1号
北九州市立大学 国際環境工学部 エネルギー循環化学科
TEL 093-695-3253 FAX 093-695-3379
E-mail yito@kitakyu-u.ac.jp

災害対策技術 ～新しい防災技術の開発に向けて～

北九州市立大学 国際環境工学部 機械システム工学科
教授 山本 郁夫

1. はじめに

2011年3月11日に日本を襲った東日本大震災とそれに伴う津波、原発被害により、災害対策技術の重要性が再認識され、一刻も早い防災技術の開発と適用措置が望まれている。

「災害対策基本法」によれば、「防災」とは、災害を未然に防止することを意味するだけでなく、「災害」が発生した場合における被害の拡大を防ぎ、「災害」の復旧を図ることとして定義されている。そこで、本書では、「新しい防災技術の開発に向けて」と題して、これまでに開発してきた防災に関する技術の紹介と今後の災害未然防止と災害復旧に役立つ展開案について述べる。

2. 空の防災技術

日本は、気候や地理的特徴から、地震、津波、台風、洪水、火山噴火、土砂崩れ等の自然災害に頻繁に見舞われる。災害発生時には、住民の避難と被災者の救助を速やかに行うことが最重要であり、そのために被災現場の状況把握と情報配信手段が必要となる。特に、上空から被災地あるいは被災が想定される現場の状況を把握することが重要である。そこで、

図1に示すように、無人飛行ロボットを用いて、上空からの画像(動画)と環境パラメータ(温度、湿度、二酸化炭素、放射線量他)を計測し、遠隔地にリアルタイムで計測データを配信できるシステムを開発した。無人飛行ロボットは円盤型、飛行船型、ハイブリッド型等現場の状況や計測時間に応じて数種類開発し、安全で迅速な飛行を第一としている¹⁾²⁾。図2は円盤型無人飛行ロボットによる建物を上空から捉えたリアルタイム画像の一例である。本ロボットは図3に示すように東京臨海都市部での飛行実験とビル風の中での動画撮影にも成功している。図4は飛行船型無人飛行ロボットによる河川の動画撮影の様子である。本システムは防災用ハザードマップの作成や修正にも役立つことがわかった。図5は上空の環境パラメータのリアルタイム値のモニタリング状況であり、放射線量も把握できるシステムを構築した。無人飛行ロボットについては完全自律飛行を目指しており、さらに地図上にデータを蓄積し、携帯端末に現場被災状況を表示して住民の避難に役立つシステムの開発を予定している。無人飛行ロボットは長時間安定飛行が可能な風型の開発も視野に入れており、陸上救難ロボットの目標マーカとしての空陸連動システムも検討している。



図1：災害状況把握システム



図2：上空からの撮影



図3：円盤型無人飛行ロボット(東京臨海部での試験)



図4：防災用ハザードマップ用画像の撮影



図5：環境パラメータのリアルタイムモニタリング

3. 海の防災技術

東日本大震災では、津波により港湾、河川が甚大な被害を受けている。水中の被災状況を把握するために、図6に示すLED搭載水中ロボットを開発した。LEDにより小さな電力で明るく水中を照らすことができ、さらにフレーム、プロペラ、浮力材の最適配置設計により、小型で運動機動性に優れる。表1に仕様の代表例を示す。また、アタッシュケースに収納されたモニターシステムにてリアルタイムで水中の映像を見ることができる。有索式(ケーブル有り)であるため電力を外から供給でき、数分以内で潜航、撤収できるため、船舶や岸壁からの速やか

な水中全容観察に適している。がれきの中などの入り組んだ領域の観察には、図7(鯛)、図8(鯉)、図9(シノノメサカタザメ)などの魚型ロボットを改造することで対応できる³⁾⁴⁾⁵⁾。これらは無索式(ケーブル無し)であるので、柔らかな運動を行うことができ、自己位置の検出ができるセンサーや画像処理システム、LEDやカメラを設置したシステムを開発すれば、狭隘域の映像や環境パラメータについて、水中をかき乱すことなく取得できる。水草の多い沿岸域でも、鰭はそれらをはねのけることができるので、絡むことなくロボットは航走できる。さらに、災害時に海に緊急投下し、画像・音声・音響認識により遭難者を発見して自律救助する海蛇型ロボットの研究開発も検討中である。

表1：LED搭載潜水機の仕様

本体サイズ(縦×横×高さ)	350×290×200(mm)	ケーブル長	30(m)
重量(本体のみ)	2.7(kg)	搭載LED	200(W)×4機
移動速度	0.5～1.0(m/sec)	搭載カメラ	有効画素数 41万画素



図6：LED搭載水中ロボット



図7：鯛ロボット

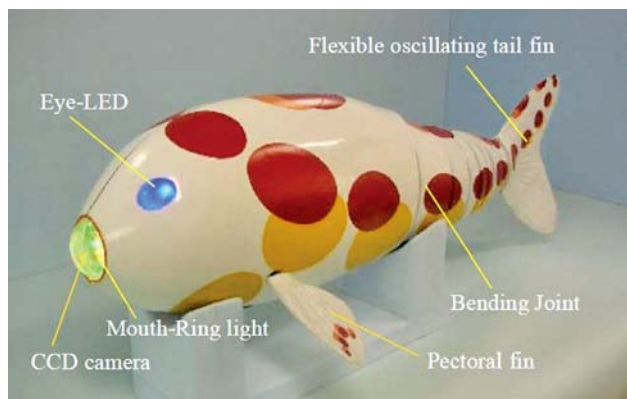


図8：鯉ロボット



図9：シノノメサカタザメロボット

4. その他の防災技術

ロボット・メカトロニクス⁶⁾の技術を応用して、さまざまな防災技術を開発することができる。前述の魚型ロボットは狭い管の中でも進むことができるので、プラント配管の内部検査用ロボットとしても活用できる。また、図10に示すように、発電プラント配管の中をナマズのような魚ロボットが進んで、内部状況を調査できるシステムを構想中である。さらに、上部構造物を振動している土台から分離して、上部構造物に設置したセンサー(加速度計、速度計、変位計)情報に基づきアクチュエータでフィードバック制御して上部構造物の揺れを抑制できる上部構造物支持制御システムの技術も提供できる。これにより揺れない機械・土台の実現が可能となる。その他、2012年3月にJAXAきぼう利用フォーラム総会にて、古川聡宇宙飛行士と講演・パネルディス

カッションをした折り、地震発生前に放射性物質が地殻から放出されるのを捉えることができれば地震直前予知につながるのではないかと御意見をいただいた。国際宇宙ステーション、人工衛星、飛行ロボット等をうまく連動させて、地球と人類を守るセーフティネットワークシステムができないかと考える。

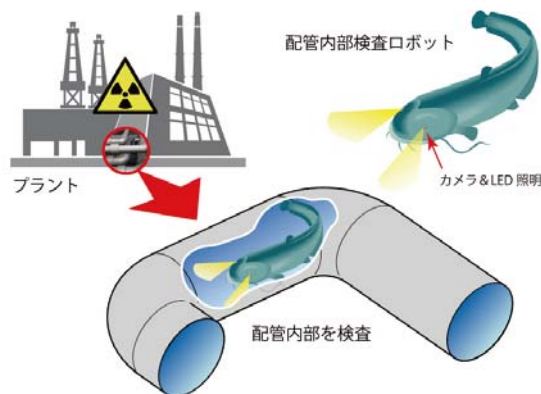


図10：プラント配管内部検査ロボット

5. おわりに

災害対策技術センターが2012年3月1日に発足し、教員・職員が総力を挙げて防災に役立つ技術の開発と適用を開始している。ベース技術は、国内外の大学、研究機関、企業と連携しながら研究を進めており、地球環境災害から人々の生命と資産を守る技術を実現化し、世の中に貢献していく所存である。

【参考文献】

- 1) 読売新聞夕刊全国トップ記事, 2012年1月26日(夕刊未配地域は翌日朝刊掲載), (2012).
- 2) Ikuo Yamamoto, Naohiro Inagawa, Ryouga Ohsawa, Takunori Tsuji, Takenari Otawa, Research on Unmanned Flight Observation and Data Transfer System, Proceedings of the International Conference on Intelligent Unmanned Systems 2011 (ICIUS 2011), Chiba, Japan, (2011).
- 3) Ikuo Yamamoto, MARIN CONTROL SYSTEMS, International Journal of Robust and Nonlinear Control, IFAC, Wiley, (2001).
- 4) Ikuo Yamamoto, Development of robotic fish for the next generation unmanned marine vehicle, Further Advances in Unmanned Marine Vehicles, The Institution of Engineering and Technology, ISBN: 978-1-84918-479-2, (2012).
- 5) 山本郁夫, 魚型ロボットの研究開発, 日本マリンエンジニアリング学会誌, (2008), Ser.469, Vol.43, No.4, pp.99-102.
- 6) 山本郁夫, 水井 雅彦, 基礎から実践まで理解できるロボット・メカトロニクス, 共立出版, ISBN: 978-4-320-08186-7, (2012).



山本 郁夫
Ikuo Yamamoto

■ プロフィール

役 職／教授

学 位／博士(工学)

学位授与機関／九州大学

研究分野・専門／ロボティクス、ビークル工学、システム制御工学、生産システム設計学、機器設計学、機械システム安全学

主要研究テーマ／1)水中ロボット、2)航空ロボット
3)宇宙ロボット、4)医療ロボット
5)災害対策ロボット

P R ・ そ の 他／地球環境観測、資源探査開発、災害対策等を目的とした様々なロボット・ビークルの研究を行っています。個々の機械の要素技術開発から全体統合システムまで幅広く対応することが可能です。

IFAC(International Federation of Automatic Control)・IPC(International Programme Committee)委員、TC(Technical Committee)委員、Editorial Boards of Springer-Verlag, London (Advances in Industrial Control)、IEEE Journal論文審査員他

2005年: フランス国際賞(最優秀設計賞: ロボテックス)受賞
2006年: 日経産業新聞「21世紀の気鋭」に選出
自律型無人探査機海中連続航走世界新記録「うらしま」(317km)達成時の研究リーダーや魚ロボットの開発者としても知られている。
2011年: JAXA宇宙工学委員会研究班員・きぼう利用フォーラム宇宙ロボット研究会代表
2012年: 北九州市立大学環境技術研究所災害対策技術研究センター長

■ 連絡先

〒808-0135 北九州市若松区ひびきの1番1号
北九州市立大学 国際環境工学部 機械システム工学科
TEL 093-695-3210 FAX 093-695-3287
E-mail yamamoto@kitakyu-u.ac.jp

改質フライアッシュスラリーを使用した 低炭素コンクリートによる災害復興用建築材料の開発

火力発電由来の低品質フライアッシュの未燃カーボン除去技術と建設廃材を使用した低炭素コンクリートの特性

北九州市立大学 国際環境工学部 建築デザイン学科

准教授 高巢 幸二

2011年3月11日の東日本大震災により発生した大量の震災がれきやその後の原子力発電の停止による火力発電の需要の高まりから生じる膨大なフライアッシュの処理が今後重要となる。震災がれきやフライアッシュをそのままコンクリートに混入しようとしても強度発現性および耐久性に問題が生じるため、これらの材料を使用するための技術開発が必要となる。当研究室では2009年度から科学技術振興機構(JST)のA-STEP・本格研究開発・起業挑戦タイプ「改質フライアッシュコンクリートの製造方法」(2012年度プロジェクトリーダー:高巢幸二, 前リーダー:松藤泰典)に取り組んでいる。ここでは低品質なフライアッシュの未燃カーボン除去による改質方法と建設廃材から製造された低炭素コンクリートの特性について紹介する。

1. 浮遊分離法による低品質フライアッシュ中の 未燃カーボン除去方法

本研究では、フライアッシュ中の未燃カーボンを効率的に除去する改質技術の確立を目的として、中型未燃カーボン除去装置の開発と最適処理条件を検討した。さらに、実機未燃カーボン除去装置を開発して性能検証を行った。

1.1 火力発電によるフライアッシュ

石炭を燃焼させて電気エネルギーを取り出す火力発電に伴い大量の石炭灰が排出される(図1)。大量に発生した石炭灰は品質の有無にかかわらずその6割以上がセメント原料として利用されている。石炭灰の中でも上質な灰はフライアッシュと呼ばれコンクリート混和材として使用される。フライアッシュはJISによりI種からIV種まで規定されており、フライアッシュをコンクリート混和材として使用する際、II種以上の品質を使用する必要がある。特にフライアッシュ中の未燃カーボンの含有率が5%以上の時はセメントの凝結不良を引き起こす可能性があり、3%以上の時は混和剤を吸着し、フレッシュコンクリートの流動性及び空気連行の障害となり、コンクリートの品質に悪影響を与える。

図2に火力発電所から排出される石炭灰の強熱減量の変動を示す。強熱減量5%を超える石炭灰が多

く排出されていることがわかる。これらの多くを上質なフライアッシュに改質できれば、価値のある有価物として流通できるだけでなく、コンクリートの性能を向上させると共に環境低負荷社会の実現にも寄与できる。

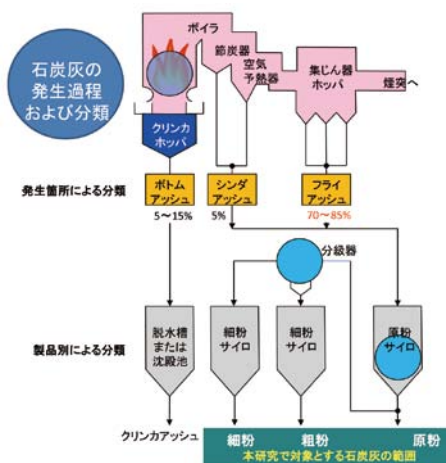


図1 フライアッシュの発生過程¹⁾

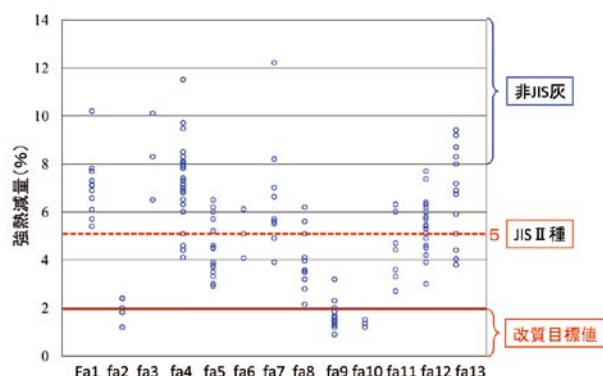


図2 石炭灰の強熱減量の変動²⁾

1.2 浮遊分離法によるフライアッシュの改質

本技術は、いわゆる泡沫浮遊選鉱法のカテゴリーに入るシステムで、フライアッシュをクリーニングして強熱減量2%以下のフライアッシュスラリーを製造する(写真1)。写真2は未燃カーボン捕集剤と起泡剤を添加することで、未燃カーボンを多く含むフロス灰を発生させ、フロス灰を気泡とともに浮上させ、未燃カーボンが除去されたテール灰を回収する装置である。未燃カーボン分離プロセスを以下に示す。①スラリー化処理プロセス:フライアッシュと水に捕集剤を添加して攪拌し、フライアッシュスラリーとする。②浮遊分離プロセス:浮遊分離法による未燃カーボンの分離工程で、起泡剤を添加する。未燃カーボン分離器の槽中のスラリーは循環ポンプを経由して循環する。循環経路の吐出口に吸気気泡装置を配置してマイクロバブルを吹き込む。気泡を巻き込んだ循環スラリーを槽の接線方向に吹き込み、反時計回りに旋回流の渦を発生させる。フロス灰は槽内でテール灰と分離して上部槽中心部に集まり、槽上部から溢水させて分離回収する。

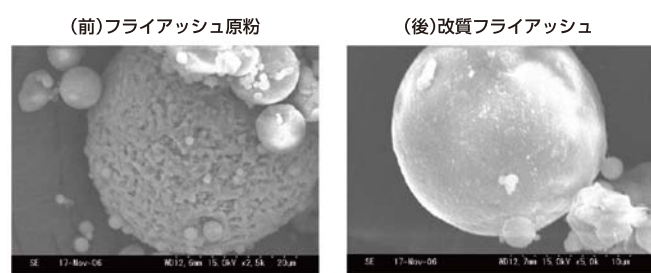


写真1 フライアッシュのSEM画像

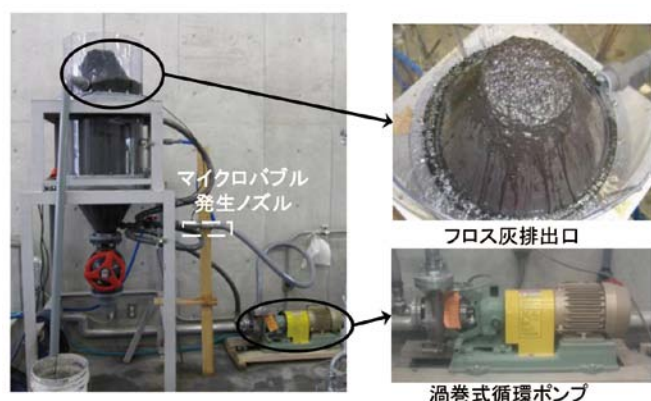


写真2 中型未燃カーボン除去装置

1.3 実機未燃カーボン除去装置の開発

写真3はラボ装置をベースモデルとして実機サイズにスケールアップした実機未燃カーボン除去装置である。本装置は、一度の処理で2tのフライアッシュの改質が可能である。本装置によりフライアッシュを改質すると開始10分程度で強熱減量を1.5%程度まで低減可能であり、強熱減量で見るとJIS I 種フライアッシュ相当まで改質できたことが確認された(図3)。なお、本装置は稼働中の生コンプラントに取り付けて性能試験を実施中である。



写真3 実機未燃カーボン除去装置

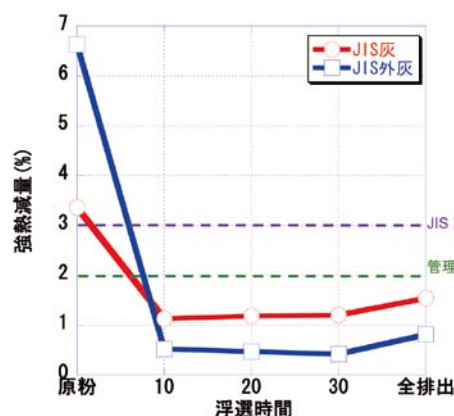


図3 実機装置による強熱減量の経時変化

2. 低炭素コンクリートの特性

ここでは、未燃カーボンを除去した改質フライアッシュを使用したコンクリートの特性および使用材料の全てを再生材料で製造したコンクリートの特性を示す。再生材料を大量使用することにより低炭素化を指向したコンクリートを低炭素コンクリート(商標登録:第5315487号)と呼んでいる。

2.1 改質フライアッシュスラリーコンクリート

未燃カーボンを除去した改質フライアッシュを使用したフライアッシュスラリーコンクリートの力学性状は、JISⅡ種の無処理フライアッシュと同様の傾向を示し(図4)、圧縮強度80N/mm²程度の超高強度域まで実現可能であることが確認された。また、乾燥収縮率はJASS5の高耐久性コンクリート基準を満足する800μ以下となることを示し(図5)、ひび割れの生じにくい高耐久性コンクリートとなることが確認された。さらに、同程度の圧縮強度を有するフライアッシュ無混合コンクリートと比べて、フライアッシュスラリーコンクリートはアルカリ骨材反応(ASR)による膨張を抑制することが確認できている(図6)。従って、改質フライアッシュスラリーコンクリートは、産業副産物を大量使用しているにも関わらず高機能性を有した低炭素コンクリートと位置づけることができる。

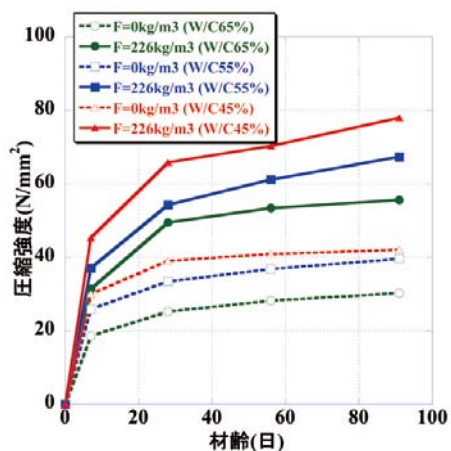


図4 フライアッシュスラリーコンクリートの圧縮強度

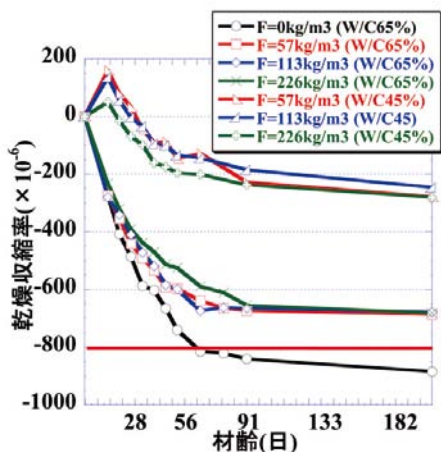


図5 フライアッシュスラリーコンクリートの乾燥収縮率

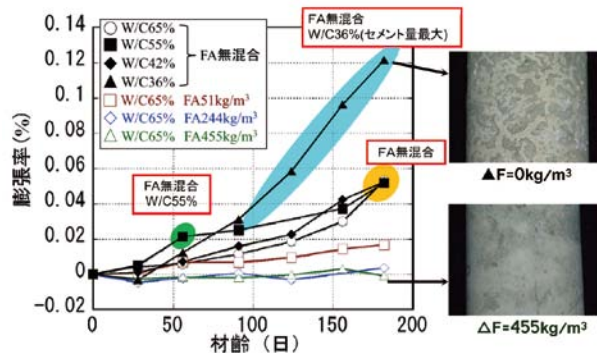


図6 ASRに伴う膨張率の経時変化

2.2 再生骨材コンクリート

一般的に再生材料である再生骨材(再生粗骨材、再生細骨材)を使用したコンクリートは、天然骨材を使用したコンクリートに対して強度低下を引き起こす。改質フライアッシュを混入してコンクリートの組織を緻密化することにより再生骨材コンクリートの強度低下を低減させることが可能となる(図7)。図8はコンクリートの構成材料の全てを再生材料(エコセメント、再生骨材、改質フライアッシュ)で製造したときの圧縮強度を示す。全ての構成材料を再生材料で製造したコンクリートは約80N/mm²程度の圧縮強度を有することが確認でき、高機能再生コンクリートの実現可能性を示している。これは東日本大震災で発生した大量のがれき



図7 フライアッシュを混合した再生骨材コンクリートの切断面

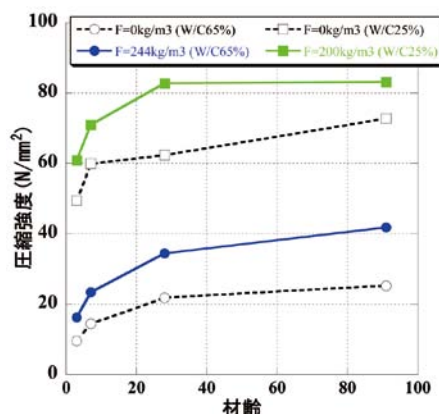


図8 再生材料コンクリートの圧縮強度

をコンクリート材料として適用し、がれき処理を実行できる可能性を示唆している。

2.3 低炭素コンクリートの環境影響評価

低炭素コンクリートの環境影響評価を実施した(図9)。供用期間を超長期とし耐久設計基準強度のみで設計した場合の中規模集合住宅の構造躯体に改質フライアッシュを使用した低炭素コンクリートを適用すると、規定量のセメント量で必要な圧縮強度を確保できるので一般的なコンクリートに比べてCO₂排出量を30.6%削減可能となり、低炭素コンクリートは低炭素化社会の実現に大きく貢献できる。

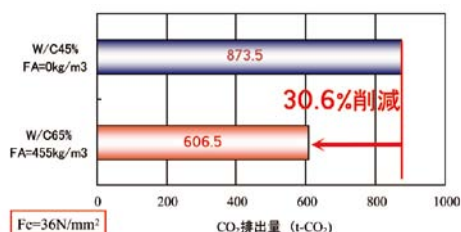


図9 低炭素コンクリートの環境影響評価

3. おわりに

現在、JST・A-STEPプロジェクトでは、改質フライアッシュスラリー技術の実用化に取り組んでおり、ベンチャー企業の設立準備に取り組んでいる。写真4に沖縄県の生コン工場((株)E-CON)が建設した本技術を適用した実機プラントを示す。今後は、この事例を皮切りに、日本国内から世界に展開し、産業副産物の大量処理と高機能コンクリートの普及・発展に努めるとともに、東日本大震災の復興支援のための建設材料としても役立てていきたい。



写真4 改質フライアッシュ実機プラント(沖縄県:E-CON社)

【参考文献】

- 1) 日本フライアッシュ協会:石炭灰の道路舗装への利用に関する報告書, 1988
- 2) 平成15年度地域新生コンソーシアム研究開発事業:「コンクリートへの石炭灰大量混合を可能にする処理システムの開発」成果報告書, 2004



高巢 幸二
Koji Takasu

■ プロフィール

役 職/ 准教授
学 位/ 博士(工学)
学位授与機関/ 九州大学
研究分野・専門/ 建築材料学・施工学

コンクリート工学、建築材料評価

- 主要研究テーマ/
1. 建築材料の性能考慮型環境影響評価
 2. 再生材料等を使用したコンクリート
 3. 副産物系粉体を大量使用したコンクリート
 4. 副産物系粉体のスラリー化
 5. 硬化コンクリートの試験・分析手法

PR・その他/ 高度経済成長期から蓄積された膨大な建設物のストックが、その寿命を迎えはじめており、今後、多大な建設廃材の排出が予想されています。そこから発生する廃棄物や未利用資源のリサイクル材料は低品質のものが多く、コンクリートに混入しても低品質なコンクリートしか実現できません。当研究室では、低品質なリサイクル材料を改質したり、混入方法を工夫することで、再生材料コンクリートの高品質化を目指しています。

■ 連絡先

〒808-0135 北九州市若松区ひびきの1番1号
北九州市立大学 国際環境工学部 建築デザイン学科
TEL 093-695-3239 FAX 093-695-3339
E-mail takasu@kitakyu-u.ac.jp

環境技術研究所が取り組んでいる「災害対策技術」について

分 野	テ ー マ	研 究 員
震災対策	振動被害低減のためのパッシブおよびセミアクティブ小型防振装置の開発	佐々木卓実
	空撮・環境パラメータ計測用無人飛行システムの開発	山本 郁夫
	超高分解能電波センサによるリアルタイム周辺監視システム	梶原 昭博
	組織の情報伝達・共有能力を鍛える図上訓練プログラム	加藤 尊秋
	大地震に対する古い既存建物の安全性評価法の高精度化	保木 和明
	大地震に対して効率的に古い既存建物の安全性能を向上させる新技術の開発	保木 和明
火災対策	臭気による高感度火災検知センサおよび検知技術	李 丞祐
	消防活動用高光束LED照明の開発	井上 浩一
	効率的な消防戦術のための新型ノズルおよびホースの開発	佐々木卓実 宮里 義昭
	震災ガレキ積上場から自然発火による火災の消火技術	上江洲一也
	泡消火剤のライフサイクル環境評価	松本 亨
災害復旧	多機能盛土による原発事故に伴う放射性物質汚染土壌・廃棄物の隔離・保管技術	伊藤 洋
	多機能盛土による津波被災地の重金属汚染土壌・廃棄物の隔離・保管技術	伊藤 洋
	アジア内陸部における塩害農地の生物学的修復	安井 英斉
	ベトナム戦争で引き起こされたダイオキシン汚染土壌の効率処理	安井 英斉
	有機性廃棄物の超高度減量による最終処分場汚染の最小化	安井 英斉
	LED付水中観測用無人水中ロボットの開発	山本 郁夫
	改質フライアッシュスラリーを使用した低炭素コンクリートによる災害復興用建築材料の開発	高巢 幸二
	福島県中通りににおける成人の外部被曝線量調査	加藤 尊秋
	バイオセンサをネットワーク化した遠隔医療端末機器	礪田 隆聡
	震災前後の静脈系サプライチェーンの変化と地域循環圏の検討	松本 亨
非常時の 通信・エネルギー	緊急時分散電源用燃料電池の要素開発	泉 政明
	緊急時のエネルギー安定供給と環境負荷低減を目的とした地域分散型エネルギー供給システムの構築	高 偉俊
災害 レスキュー	水難捜索作業支援用水中ロボットの開発	山本 郁夫
	家屋やがれきの中の生存者検知センサ	梶原 昭博
	安全な消火活動のためのショアリング技術の開発	城戸 将江
その他	緊急時の網羅的環境モニタリング手法	門上希和夫
	災害廃棄物受け入れに伴う放射線測定関連研究	鈴木 拓
	防災向け各種リアルタイムハザードマップ作成用無人飛行定点観測システムの開発及びハザードデータのリアルタイム共有システムへの展開	山本 郁夫
	斜面崩壊危険度探査および弱面探査ロボットの開発	山本 郁夫
	災害現場における情報収集を目的とした超小型航空機の翼の開発	小野 大輔
	災害で失った生体関節機能の再現のための人工関節に関する研究	趙 昌熙
	低周波・長周期地震の震源位置推定と伝播モデル	孫 連明
	大気汚染物質の拡散シミュレーション	野上 敦嗣
	災害前後の生態系モニタリング(遷移の追跡)	上田 直子

<お問い合わせ先> 北九州市立大学環境技術研究所 〒808-0135 北九州市若松区ひびきの1番1号
 TEL 093-695-3311 URL <http://www.kitakyu-u.ac.jp/env/>



北九州市立大学 環境技術研究所

〒808-0135 北九州市若松区ひびきの1-1

TEL 093-695-3311

FAX 093-695-3368

<http://www.kitakyu-u.ac.jp>