

## 科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成25年 5月23日現在

機関番号：17102

研究種目：若手研究（B）

研究期間：2010～2012

課題番号：22760174

研究課題名（和文） アクティブ遮音壁を用いた患者負担軽減のための病室内の能動音響制御

研究課題名（英文） Noise Reduction Using Active Noise Shielding for Inpatients

研究代表者

木庭 洋介（KOBAYOSUKE）

九州大学・工学研究院・技術専門職員

研究者番号：20380602

研究成果の概要（和文）：パーティションに能動音響制御ユニットを組み合わせたアクティブ遮音壁の遮音性能向上について研究を行った。騒音源移動時に制御効果が悪化する問題に対し、制御中に騒音の入射方向を推定し、制御器内に保存している音響特性を入射方向に適したものに切り替えることで制御効果を改善した。また、フィードバック制御とフィードフォワード制御を組み合わせることで制御領域が拡大することをシミュレーションにより確認した。

研究成果の概要（英文）：This paper presents the improvement of sound attenuation performance of active noise barrier. At first, the proposed method is able to switch appropriately for estimated incident direction of noise between filters identified in preliminarily to estimate signal in control location. This method is able to maintain the sound attenuation at a control location in change of incident direction of noise. In addition, As a result of computer simulation, combining feedforward control with feedback control expands control area.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2010年度	1,100,000	330,000	1,430,000
2011年度	900,000	270,000	1,170,000
2012年度	700,000	210,000	910,000
年度			
年度			
総計			

研究分野：工学

科研費の分科・細目：機械工学，機械力学・制御

キーワード：能動音響制御，遮音壁，適応制御，仮想マイク法

## 1. 研究開始当初の背景

病棟内における騒音問題は入院患者の十分な睡眠，休養を阻害し，そのことによる精神的・身体的負担は健常者に比べて深刻な問題となる。一般に病院内は通常の居住環境よりも騒音レベルが低い，医療用ワゴンから発生する金属製品のぶつかる音や医療機器，空

調，医療従事者の話し声，他の患者の生活音などによって患者は負担を強いられる。また，静粛性を求める患者は一日の多くをベッド上で過ごし，その場合，頭部はそれほど大きく移動しないために，制御領域はそれほど広くはないという特徴がある。

研究代表者は，能動的音響制御を実用技術

とすることを目標として、オフィスなどでプライベート空間を確保するために使用されているパーティションに能動音響制御装置を組み合わせたアクティブ遮音壁を作成し研究を行っている(木庭洋介ら, “能動音響制御を用いたアクティブ遮音壁の騒音低減効果”, 日本機械学会 Dynamics and Design Conference 2009 CD-ROM 論文集, 363, 2009). このアクティブ遮音壁はパーティションだけでは十分な遮音効果のない低周波帯域の騒音に対し, 能動音響制御を行うことで, より広い周波数帯域で騒音低減できる. また, 単一の制御音源を用いた能動音響制御での制御領域の広さは, 制御対象音の波長によってほぼ決まるため, パーティションと能動音響制御を併用することにより, 能動音響制御の対象とする周波数帯域を低くすることで制御領域を広くできる. 前述したように, 本研究課題で対象とする制御領域はそれほど広くないため, アクティブ遮音壁を用いることが有効だと考えられる.

## 2. 研究の目的

本研究はアクティブ遮音壁を用いて病室内で安静にしている患者の頭部近傍の静粛性を確保することを目的とする. 本報告書では以下の2点における成果について報告する.

### (1) 移動する騒音源に対する制御

一般的に用いられるフィードフォワード制御のアルゴリズムでは, 制御点に誤差マイクロホンを配置するが, 本研究では患者の耳に誤差マイクロホンを配置することを避けるため, Remote Microphone Technique (RMT) アルゴリズム (Roure, A., Albarrazin, A., “The remote microphone technique for active noise control”, In Proceedings of Active 99, 1999, pp. 1233-1244) を採用する. RMT アルゴリズムは, 事前に同定した制御点と近傍に配置したマイクロホンの間の音響特性を用いて制御点の信号を推定し制御するが, 医療用ワゴンや医療従事者の会話など, 音源の位置が変動する場合に事前同定した音響特性と実際の音響特性の差異により制御が不可能になる問題がある. その問題に対し, 制御中に騒音入射方向を推定し, これに適した音響特性を切り替える方法を提案する.

### (2) 騒音低減領域の拡大

フィードフォワード制御は制御点近傍に静粛な領域を作り出すが, 騒音低減効果のある範囲は周波数帯域が高くなるにつれて狭くなる. そこで, 音響境界を制御することを目的としたフィードバック制御ユニット群をパーティション上部先端に配置し, フィードフォワード制御とフィードバック制御を組み合わせ

せることで, 騒音低減効果のある範囲の拡大を目指す.

## 3. 研究の方法

### (1) 移動する騒音源に対する制御

図1に実験装置の構成を示す. パーティションの大きさは1.2m×1.2mである. 制御用および騒音入射方向推定用に2台のDSPを用い, 各サンプリング周波数は10kHz, 100kHzとする. 制御対象音は4kHzで帯域制限した白色雑音, 適応フィルタ長は256とする. 制御アルゴリズムの詳細については論文(木庭洋介ら, 騒音の入射方向情報を用いた仮想マイクロホン法による能動音響制御, 日本機械学会論文集B編, 78巻, 789号, 2012, pp.954-958)を参照されたい. 提案手法は制御前に以下に示す手順を必要とする.

1. 制御点(図中, Virtual Mic.)にマイクロホンを配置し, 制御音源から白色雑音を出力し実マイクロホン(図中, Physical Mic.)および制御点間の音響特性を同定する. 同定にはLMS法を用い, 誤差信号が十分収束した後FIRフィルタの形で制御器用DSP内に保存する.

2. 騒音源を $\theta = 0^\circ$  から $25^\circ$  まで $5^\circ$  刻みで移動させ, 各位置で白色雑音を出力し, その位置における実マイクロホンから制御点間の音響特性 $\hat{H}$ を同定する. 同定にはLMS法を用い, 誤差信号が十分収束した後FIRフィルタの形で制御器用DSP内に保存する.

3. 制御点位置に配したマイクロホンを取り除く.

制御中は, 騒音入射方向検出用DSPで推定した入射方向 $\hat{\theta}$ が角度に比例した電圧として出力され, 制御用DSPにより取り込まれて再び角度情報に計算される. 求めた角度情報より制御器内に保存してある事前同定した $\hat{H}$ のうち最も近い角度のものを適切な $\hat{H}$ として採用する.

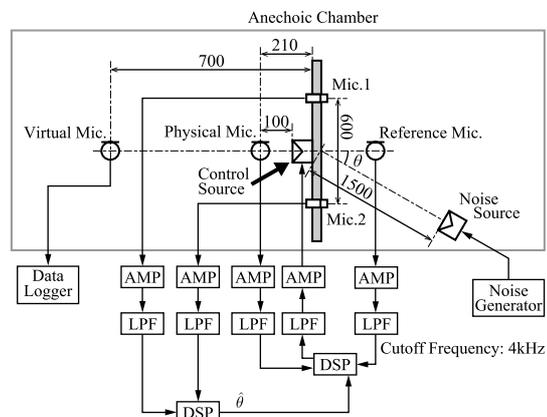


Fig. 1 Experimental setup (top view)

騒音入射方向は、パーティション上部に 0.6m の間隔で配置した 2 つのマイクロホンを用いて推定する．計算負荷低減のために相互相関関数を用いた手法を採用する．図 2 に示すような角度  $\theta$  方向から入射する音を 2 つのマイクロホンで取得した場合，平面波と仮定すると， $\theta$  はマイクロホン間の音の到達時間差  $T_d$ ，マイクロホン間の距離  $d$  および音速  $c$  を用いて以下で表される．

$$\theta = \sin^{-1}\left(\frac{cT_d}{d}\right) \quad (1)$$

この到達時間差  $T_d$  の算出に相互相関関数を用いる．2 つのマイクロホン信号の離散データ  $x_1(i)$ ， $x_2(i)(i=0,1,\dots,n-1)$  を用いて相互相関関数  $R_{x_1x_2}(j)(j=0,1,\dots,m-1)$  を次式で求める．

$$R_{x_1x_2}(j) = \frac{1}{n} \sum_{i=0}^{n-1} x_1(i)x_2(i+j) \quad (2)$$

$j=k$  のときに最大値をとった場合，サンプリング周波数を  $f_s$  とすると  $T_d = k/f_s$  となり，入射方向の推定値  $\hat{\theta}$  は次式で求められる．

$$\hat{\theta} = \sin^{-1}\left(\frac{ck}{df_s}\right) \quad (3)$$

騒音入射方向推定用 DSP のサンプリング周波数が 100kHz の場合，1 回の入射方向推定にかかる時間は 1.77ms である．推定値の 20 回平均によって算出した値を騒音入射方向として用いる．

以上の手法を用いて，移動する騒音源に対して制御を行い，その効果を調べる．このとき，騒音源はパーティション上辺の中点を中心とする半径 1.5m の同心円上を人の手によって移動させる．

## (2) 騒音低減領域の拡大

提案するアクティブ遮音壁の概要を図 3 に示す．パーティション上部先端に並べた 5 つのフィードバック (FB) 制御ユニットとパーティション面上に設置した 1 つのフィードフォワード (FF) 制御ユニットを用いることとし，その制御効果についてシミュレーションにより検討する．FB 制御ユニットは 1 つの誤差マイクロホン (図中，error microphone) と 1 つの制御音源 (図中，control source) のセットを 1 ユニットと考える．事前に，誤差マイクロホン位置において音圧が最小になるような制御用フィルタを，適応アルゴリズムを用いて FIR フィルタの形で制御器内に保存しておく．制御中は検出された誤差マイクロホン信号に対して，事前に求めた制御用フィルタを畳み込むことによって制御信号を生成する．これにより，パーティション上部を回折する騒音を低減し，低周波音に対してある程度広い範囲において遮音効果を得ること

が期待できる．

一方，FF 制御は制御点近傍において高い制御効果を得ることを目的としている．FF 制御ユニットで用いる参照信号は，図 3 における FB 制御ユニット列の中央に配置したユニットの誤差信号を利用する．そのため，FF 制御用に新たに参照マイクロホンを設置する必要はない．また，事前に人の頭部を想定した制御点にマイクロホンを設置し，FB 制御と同様にマイクロホン位置において音圧が最小になる制御用フィルタを同定しておく．制御中は参照信号に対して，制御用フィルタを畳み込むことで制御信号を生成するため，FF 制御用に誤差マイクロホンを設置する必要もない．このことにより，マイクロホンと制御音源をパーティションと一体化した，コンパクトな能動遮音壁の実現が可能となる．

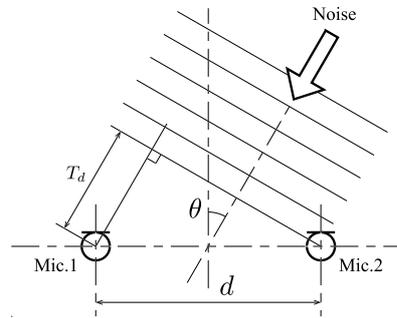


Fig. 2 Method of estimate noise incident direction

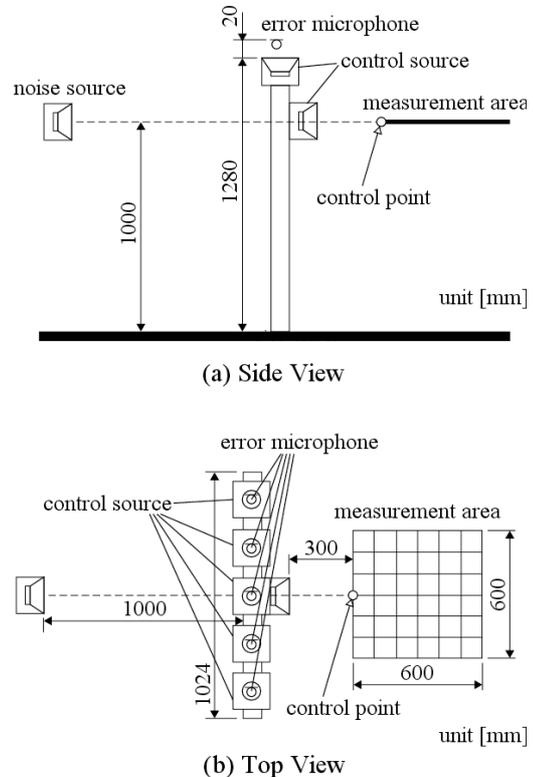


Fig. 3 Configuration for measuring acoustic property

制御用フィルタの同定には FTF (Fast Transversal Filter) アルゴリズム (F. Ykhlef and M. Areski, "Adaptive Noise Reduction Using Numerically Stable FRLS", Int. J. Adapt. Control Signal Process 21, 2007, pp. 354-374) を用いる。制御用フィルタのフィルタ長は 256 とする。また、本シミュレーションではハウリング経路は無いものとしている。

#### 4. 研究成果

##### (1) 移動する騒音源に対する制御

###### ① 騒音源位置の推定精度

相互相関関数を用いた騒音入射方向の推定結果を図 4 に示す。横軸は騒音源を配置した角度  $\theta$ ，縦軸は推定誤差  $\theta - \hat{\theta}$  を表す。騒音源は  $\theta = 0 \sim 25^\circ$  まで、 $5^\circ$  刻みで移動させた。図より、推定した全ての角度において、 $1^\circ$  以内の精度で推定できることが確認された。

###### ② 騒音源を断続的に移動した場合の制御効果

騒音源を  $\theta = 0^\circ$  の位置に配置し、約 5 秒間静止した後約 5 秒かけて  $5^\circ$  移動させる動作を  $\theta = 0^\circ$  から  $25^\circ$  まで繰り返し、そのときの制御効果を測定した。図 5 (a) は騒音入射方向の変化、図 5 (b) はそのときの制御点位置の信号を示す。図 5 (a) 縦軸は騒音入射方向、図 5 (b) 縦軸は信号の振幅を表し、横軸は共に時間である。騒音源の移動開始、停止時刻を破線で示している。図より、移動中に制御効果が劣化するものの、移動終了後にはすぐに制御効果を得られることが分かる。

###### ③ 騒音源を連続的に移動した場合の制御効果

次に騒音源を  $\theta = 0^\circ$  の位置に配置し、約 5 秒間静止した後約 20 秒かけて  $25^\circ$  まで連続的に移動させたときの制御効果を測定した。その結果を図 6 (a), (b) に示す。各図の軸は図 5 と同様である。図より、 $\theta = 25^\circ$  で停止した後はすぐに制御効果を得られることが分かる。また、移動中も制御効果が悪化するが、全く制御効果が無くなることはない。

以上の結果より、従来の RTM アルゴリズムでは制御不可能な移動する騒音源に対し、提案法では移動中は制御効果が劣化するものの、 $\hat{H}$  を事前同定した騒音入射方向近傍に騒音源がある場合は良好な制御効果が得られた。移動中の制御効果は、騒音入射方向に対応した  $\hat{H}$  の同定をより細かい刻み幅で行うことで向上させることができると考えられる。

##### (2) 騒音低減領域の拡大

事前同定した FB 制御用フィルタおよび HB 制御用フィルタを用いて、提案する能動遮音壁の制御効果をシミュレーションにより確認する。制御効果は図 3 に示す  $600 \times 600 \text{mm}$  の

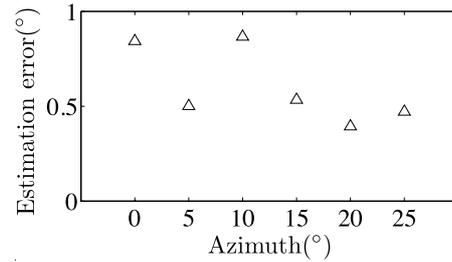


Fig. 4 Error of estimate noise incident direction

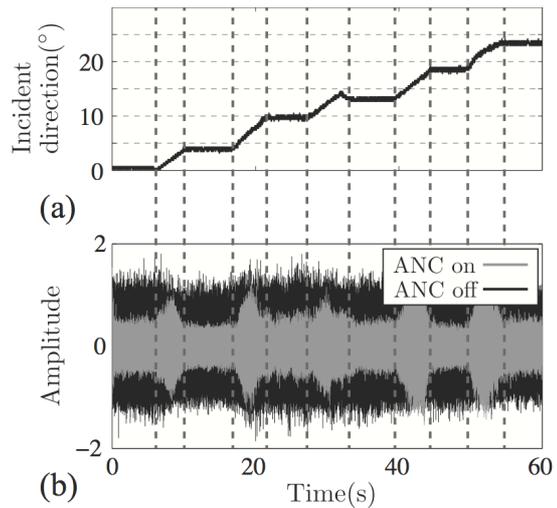


Fig. 5 (a) The trajectory of noise incident direction  
(b) Control effect in intermittent moving of noise source

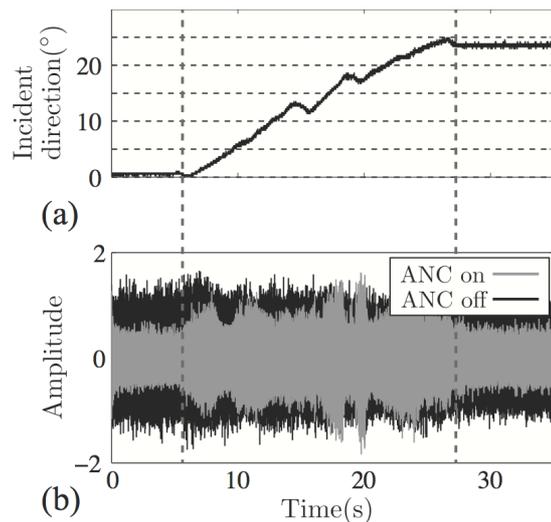


Fig. 6 (a) The trajectory of noise incident direction  
(b) Control effect in intermittent moving of noise source

測定領域内（図中，measurement area）において，250，500，1000Hzを中心周波数とするオクターブバンドの騒音低減量により評価する。

図7(a)，8(a)，9(a)に各中心周波数に対する騒音低減量を示す。比較のためにFF制御ユニットのみ用いた場合(図7(b)，8(b)，9(b))，FB制御ユニットのみ用いた場合(図7(c)，8(c)，9(c))の騒音低減量も示す。図より，提案する能動遮音壁は中心周波数500Hz以上の場合に制御点における制御効果が劣化するものの，制御点より離れた位置では，FF制御とFB制御の制御効果を重ね合わせた結果となっている。中心周波数1000HzではFB制御の効果がほとんどないために，FF制御に対して優位性は見られないが，500Hz以下ではFB制御の効果により，ある程度広い範囲でFF制御のみの場合よりも1~3dBの騒音低減が得られている。

今回，パーティション上部先端のみにFB制御ユニットを配置したため，横からの回折音の影響でFB制御の低減量が少なくなっていると考えられる。そこで，パーティション左右先端の位置にもFB制御ユニットを配置することで，騒音低減量を増加させることができると考える。

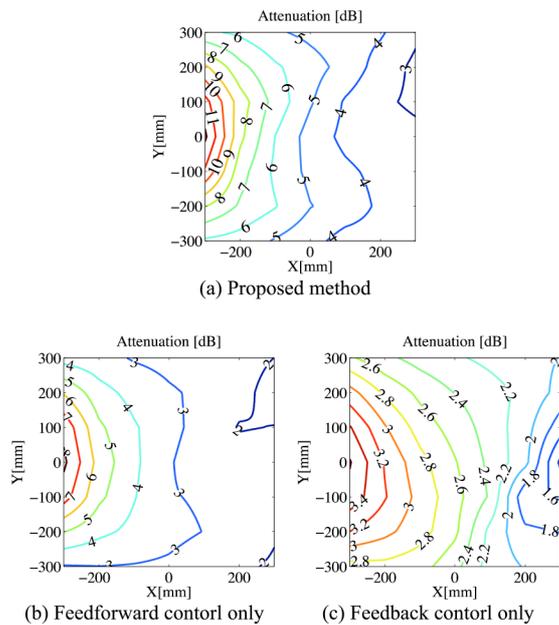


Fig. 7 Analysis result (250Hz)

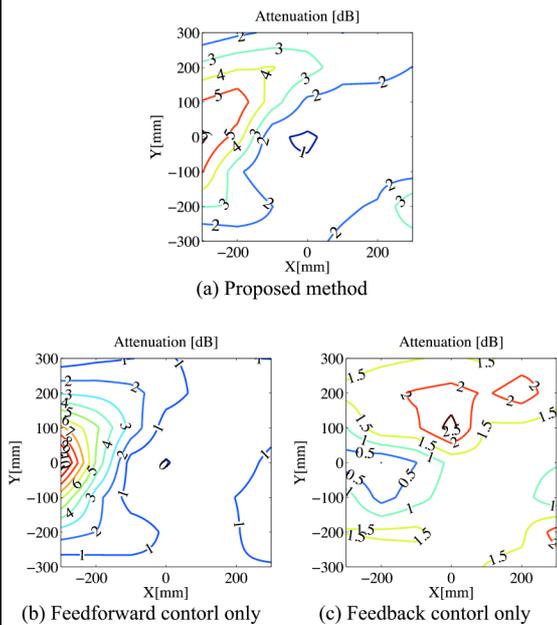


Fig. 8 Analysis result (500Hz)

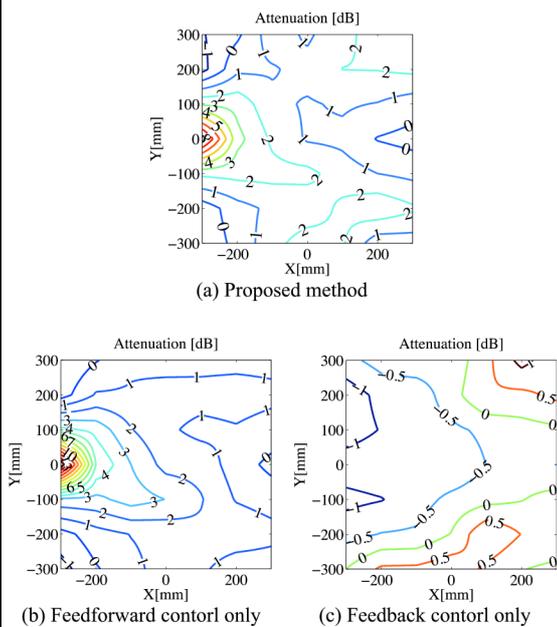


Fig. 9 Analysis result (1000Hz)

## 5. 主な発表論文等

(研究代表者，研究分担者及び連携研究者には下線)

〔雑誌論文〕(計1件)

木庭洋介，近藤大介，雫本信哉，騒音の入射方向情報を用いた仮想マイクロホン法による能動音響制御，日本機械学会論文集B編，査読有，78巻，789号，2012，pp.954-958，DOI:10.1299/kikaib.78.954

[学会発表] (計8件)

- ① 吾郷翔平, 木庭洋介, 石川諭, 雉本信哉, 半閉空間音場におけるアクティブモード制御, 日本機械学会 九州支部第66期総会・講演会, 2013年3月13日, 九州産業大学工学部 (福岡県)
- ② 吾郷翔平, 木庭洋介, 石川諭, 雉本信哉, 複数の制御音源を用いた能動的遮音壁, Dynamics and Design Conference 2012, 2012年9月19日, 慶應義塾大学 日吉キャンパス (神奈川県)
- ③ 木庭洋介, 王循, 雉本信哉, 石川諭, スピーカー・マイクロホン一体型の能動遮音壁, 第22回環境工学総合シンポジウム, 2012年7月5日, 東北大学 片平キャンパス さくらホール (宮城県)
- ④ 木庭洋介, 近藤大介, 雉本信哉, 一次音源が移動する音場での仮想マイク法による能動音響制御, Dynamics and Design Conference 2011, 2011年9月8日, 高知工科大学 (高知)
- ⑤ 王循, 雉本信哉, 木庭洋介, 能動音響制御手法を用いた遮音壁, Dynamics and Design Conference 2011, 2011年9月8日, 高知工科大学 (高知)
- ⑥ Xun WANG, Shinya KIJJIMOTO, Yosuke Koba and Koichi MATSUDA, Noise Barrier Using Feedback Active Noise Control, The 40th International Congress and Exposition on Noise Control Engineering (INTER-NOISE 2011), 2011.09.05, (大阪)
- ⑦ 王循, 雉本信哉, 松田浩一, 木庭洋介, 雉本信哉, 能動音響制御ユニット減音性能の向上, 第21回環境工学総合シンポジウム, 2011年7月1日, 産業技術総合研究所 (東京)
- ⑧ 木庭洋介, 近藤大介, 雉本信哉, 騒音の入射方向情報を用いた仮想マイク法による能動音響制御, 第21回環境工学総合シンポジウム, 2011年6月30日, 産業技術総合研究所 (東京)

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

木庭 洋介 (Koba Yosuke)  
九州大学・工学研究院・技術専門職員  
研究者番号: 20380602

### (2) 研究分担者

なし

(3) 連携研究者  
なし