

**科学研究費助成事業 研究成果報告書**

平成 28 年 6 月 28 日現在

機関番号：37111

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2013～2015

課題番号：25420561

研究課題名(和文) 博多湾内浚渫窪地の修復に伴う周辺底面環境の環境回復過程評価と環境創造効果の定量化

研究課題名(英文) STUDY ON THE OBSERVATION FOR THE EFFECT OF BOTTOM ENVIRONMENT CHANGE BY RESTRICTION OF BORROW PIT IN HAKATA BAY

研究代表者

渡辺 亮一 (WATANABE, RYOICHI)

福岡大学・工学部・教授

研究者番号：50299541

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,800,000円

研究成果の概要(和文)：博多湾では1980年代の沿岸開発の埋立て材料として、室見川河口の海砂が利用されたため、二つの大きな浚渫窪地が残されており、浚渫窪地周辺では、夏季に毎年のように貧酸素水塊が発生している。そこで、平成23年度より、博多湾航路の浚渫土砂を利用して段階的に浚渫窪地を埋め戻す事業が福岡市と国土交通省によって実施されている。本課題では、博多湾内浚渫窪地周辺の底面環境が浚渫窪地を埋め戻すことによってどのように変化していくかを定量的に把握することを最終的な目的としている。

研究成果の概要(英文)：Because the bed mud of the Muromi River river mouth was used as a material for reclamation of the coast development of the 1980s in Hakata Bay, two big borrow pit are existed around the Momochi area in Fukuoka City. Around the two big borrow pits in Hakata bay, hypoxic water mass has occurred al-most every year in the summer season. Bed mud dredged during port improvement work has been re-turned to borrow pit as backfill carried out by Fukuoka City and Ministry of Land, Infrastructure and Transport since 2011.

Therefore, restoration action is urgent work to restore damaged ecosystems. One of the interesting methods to restore the damaged water ecosystems, has been conducted in the borrow pits in Hakata Bay by using maintenance dredging sediments as Mikawa Bay. In this study, bed mud oxygen demand is one of the important factors to evaluate for restoration of bottom environment.

研究分野：水環境工学

キーワード：浚渫窪地 底泥 埋戻し 貧酸素水塊 酸素消費量

1. 研究開始当初の背景

人口150万人以上の福岡市を背後に控えている博多湾(図-1 参照)は元来、玄界島・能古島と志賀島で入口部の狭まった閉鎖性の強い内湾であるため、1980年代前後から生活系排水の流入に伴う底部への栄養塩の蓄積によって富栄養化が急速に進行し、赤潮による被害が毎年のように報告されるようになってきている。また、1990年代に入って以降は湾奥底部を中心として夏季から秋季にかけて貧酸素水塊が発生するようになり、福岡市内の下水処理水高度処理化が進んだ現在においても水環境の悪化および底部に生息する二枚貝や底生生物への影響が懸念されている。

また、1980年代の沿岸開発(百道浜地区:図-1 中点線内)の埋立て材として、室見川河口の海砂が利用されたため、二つの大きな浚渫窪地が残されており、この窪地は夏季に博多湾内湾奥部に毎年のように発生している貧酸素水塊の原因の一つであると考えられている。そのため、福岡市および国土交通省九州地方整備局は2011年度より、博多湾航路の浚渫土砂を利用して段階的に百道浜沖窪地の埋め戻し事業に着手している。

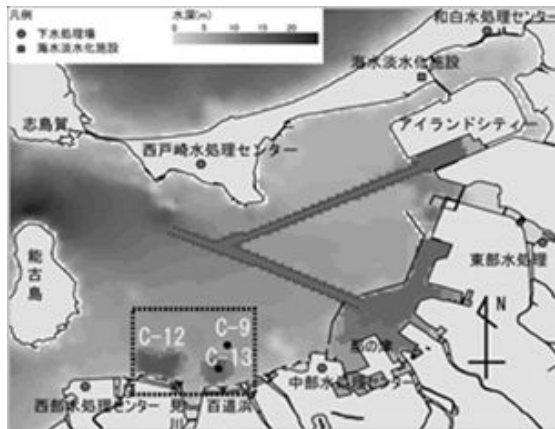


図-1 博多湾概略

2. 研究の目的

本研究では窪地周辺に発生する貧酸素水塊がどのように変化してきているかを把握するため、貧酸素水塊発生に必要な要因と考えられている底質の酸素消費速度の湾内での分布を把握する現地調査を行っている。本申請課題では、次の3点を明らかにすることを目的として設定している。(1)博多



図-2 博多湾内調査地点概略

湾の底質をクラスター解析することにより小グループに分類して選出した地点と百道浜沖窪地で底質の現地観測を行い、酸素消費速度を測定する。(2) 酸素消費速度と底質の関係を明らかにする。(3) 埋め戻しによる底質の酸素消費への影響を明らかにする。

3. 研究の方法

(1) 調査の概略

観測地点は、これまでに研究室において行って来た底質調査の結果を基にクラスター解析することにより抽出した湾内11地点、百道浜沖の浚渫窪地内4地点および浚渫窪地周辺4地点の計19地点に設定した(図-2参照)。2013年9月24日にC11, C12, K06, 2013年10月10日にMS-B02, MS-F02, MS-G06, 2013年10月11日にMS-A01, MS-C07, MS-E07, MS-F08, そして2013年10月28日から30日までにC7, C8, C9, C10, C4', C6', D1, E1地点で調査を行った(表-1参照)。

(2) 酸素消費速度測定装置(ベルジャー)

今回の現地調査に用いた酸素消費速度測定装置(ベルジャー)の概要を写真-1に示す。ベルジャーは多項目水質計(HYDROLAB社製DS5)に塩化ビニル樹脂製の容器を組み合わせたもので、海底で密閉状態を保てる構造となっている。多項目水質計の測定項目は水温( ), 塩分(psu), 溶存酸素(mg/l), 濁度(NTU), 水深(m), ORP(mV), クロロフィ

表-1 調査実施日と測定地点

年/月/日(曜日)	調査地点 調査実施順
2013年9月24日(火) {調査時間 8:13から11:00まで}	C12, K06, C11
2013年10月2日(水) {調査時間 8:18から12:31まで}	MS-B02, MS-F02, MS-G06
2013年10月10日(木) {調査時間 8:03から11:59まで}	MS-A01, MS-C07, MS-E07, MS-F08
2013年10月11日(金) {調査時間 7:56から11:47まで}	MS-I01
2013年10月28日(月) {調査時間 8:46から12:04まで}	C8, C9, C10, C7
2013年10月29日(火) {調査時間 8:35から12:46まで}	D1, E1, C6', C4'
2013年10月30日(水) {調査時間 8:11から13:04まで}	C4'(再), C8(再), C9(再), C7(再)



写真-1 酸素消費速度測定装置ベルジャー

ル濃度( $\mu\text{g/l}$ )である。また、ベルジャー内の様子、着底した際の底泥の巻き上がり、観測中の観測装置の様子を確認するための水中カメラ、ベルジャー内の海水を採水するためのポンプ、およびベルジャー内の溶存酸素濃度が均一になるように攪拌機(タミヤ製の水中モーター(型番 70178,70185)を改良したもの)を装着している。

底質による酸素消費速度の算出に関して、ベルジャー内の溶存酸素濃度の変化を底質によるものと水塊自体によるものに分離するため、ベルジャー内の酸素濃度変化と合わせて、ベルジャー内から採水した海水をもう一つの多項目水質計(DS5)を用いて、多項目水質計のキャップの周りをビニールテープで覆い遮光し、キャップの中を海水で十分満たして多項目水質計につけて水塊の酸素消費速度を測定した。

### (3) 採泥・採水

酸素消費速度の測定中に調査地点の底質および水の採取を行った。底質に関しては、エクマンバージによる採泥を行ったのち表層1cm程度に分取し、現地にてORPを測定したのち、空気を追い出してジップロックに密閉しクーラーボックスに入れて研究室に持ち帰った。採水に関して、表層水については直接ポリビンに入れて保存し、底層水についてはベルジャーを着底させた後、ポンプで水をくみ上げた際にベルジャー内で巻きあがりがないことを確認してから底層水をポリビンに入れて保存し、これらをクーラーボックスに入れて研究室に持ち帰った。

### (4) 底泥の クラスタ解析

湾内の底質特性のパターン化するために、2012年度に博多湾で採取した底質の

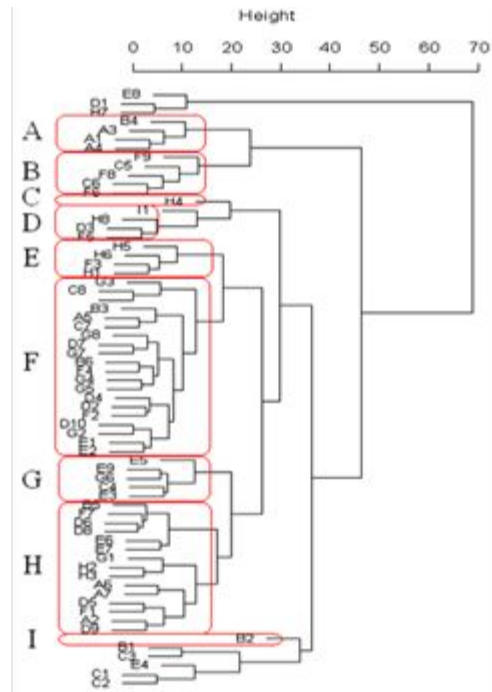


図-3 底質のクラスタ解析による結果

表-2 各パターンにおける項目ごとの平均値

項目	AVS(mg/g-dry)	有機炭素量(mg/g-dry)	有機窒素量(mg/g-dry)	CN比	ORP(mV)	溶存酸素濃度(mg/l)	抽出した地点
A	0.29	40.18	3.51	11.48	433	4.69	3B-A01
B	0.17	42.93	1.84	23.46	431	5.03	3B-F08
C	0.08	24.68	1.24	19.87	413	4.81	C11
D	0.12	23.51	1.03	23.34	430	4.99	3B-D01
E	0.15	16.69	1.41	12.16	424	5.24	C12, K06
F	0.31	17.59	1.75	10.44	431	5.05	3B-C07, 3B-F02
G	0.13	20.31	1.40	15.78	436	5.14	3B-G06
H	0.24	29.01	2.49	12.44	433	4.92	3B-F07
I	0	4.23	0.29	14.59	441	5.9	3B-B02

AVS(mg/g-dry)、有機炭素量(mg/g-dry)、有機窒素量(mg/g-dry)、CN比、ORP(mV)、DO濃度(mg/l)の6項目を用いてウォード法によるクラスタ解析を行い、その結果からパターンAからパターンIまでの9パターンに分類した。また、クラスタ解析の結果を図-3に、各パターンにおける項目ごとの平均値を表-2に示している。

## 4. 研究成果

### (1) ベルジャー内の酸素消費速度の測定方法

装置内の溶存酸素濃度測定を行う際に、ベルジャー内に空気が混入していないか、また着底時に底泥の巻き上がりがないかに細心の注意をはらいながらベルジャーを海底面に設置した後(写真-2参照)、ベルジャー上部から挿入している多項目水質計によってベルジャー内のDO濃度を毎時測定した。また、ベルジャーに設置したポンプを用いて採水した装置内の海水を観測船上で多項目水質計を用いてDO濃度を測定した(写真-3参照)。このとき、採水した水は多項目水質計のキャップに入れ、多項目水質計に取り付けて測定した。また、キャップは採水した水が直射日光によって光合成が起きてDO





写真-2 ベルジャーを海中に設置する様子

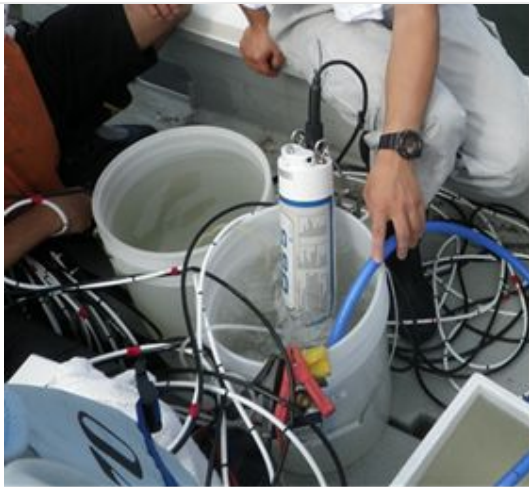


写真-3 現地で採取した海水の酸素消費速度測定

濃度が変化しないようにキャップの周りをアルミ箔で覆い遮光しており、それぞれの測定時間は30分間であった。

### (2) 採取した底質の分析

ベルジャーを用いて酸素消費速度の現地測定を行った19地点で、測定時にエクマンバージを用いて同地点近傍の底質の表層を1cm程度の採取し、現場でORPを測定した後クーラーボックスに入れて持ち帰り、AVS、含水比(%), 強熱減量(%), 有機炭素量, 有機窒素量, CN比を測定した。AVSはガステック製ヘドロテックSを用いて、含水比はJISA 1203, 強熱減量はJISA 1226, 有機炭素量(C), 有機窒素量(N), CN比はCN分析計(ヤナコ社製CN CORDER MT-700)を用いてそれぞれ測定した。

### (3) 底泥の酸素消費速度の算出方法

底質の酸素消費速度は測定時間の最初の5分を除き、5~15分間, 10~20分間, 15~25分間, 20~30分間の中から標準偏差が最も低い溶存酸素濃度の測定値を用いて算出している。算出方法を以下に示す。

$$v = \left( \frac{\partial C_w}{\partial t} - \frac{\partial C_b}{\partial t} \right) \frac{V}{A} \quad (1)$$

ここに  $v$  : 底質の酸素消費速度 ( $g \cdot m^{-2} \cdot day^{-1}$ ),  $V$  : ベルジャーの容積 ( $m^3$ ),  $A$  : ベルジャーの底面積 ( $m^2$ ),  $C_b$  : ベルジャー内の溶存酸素濃度 ( $mg/l$ ),  $C_w$  : 水塊の溶存酸素濃度 ( $mg/l$ ),  $t$  : 観測時間 ( $day$ ) である。

実際の観測結果については、縦軸に観測開始時からの溶存酸素の変化量 ( $DO$ ) を、横軸に観測時間 ( $day$ ) をとり、最小二乗法により1次回帰を行ない、その回帰直線の傾きをベルジャー内の溶存酸素変化速度と水塊自体の溶存酸素変化速度とした。測定開始直後は溶存酸素濃度が不安定になる傾向があったため、経過時間の5分以降を対象期間として酸素消費速度の算出を行った。また、対象期間の溶存酸素変化量が  $\pm 0.03mg/l$  以下のものは、観測機材の測定誤差の範囲内として酸素消費速度を算出した。ベルジャー

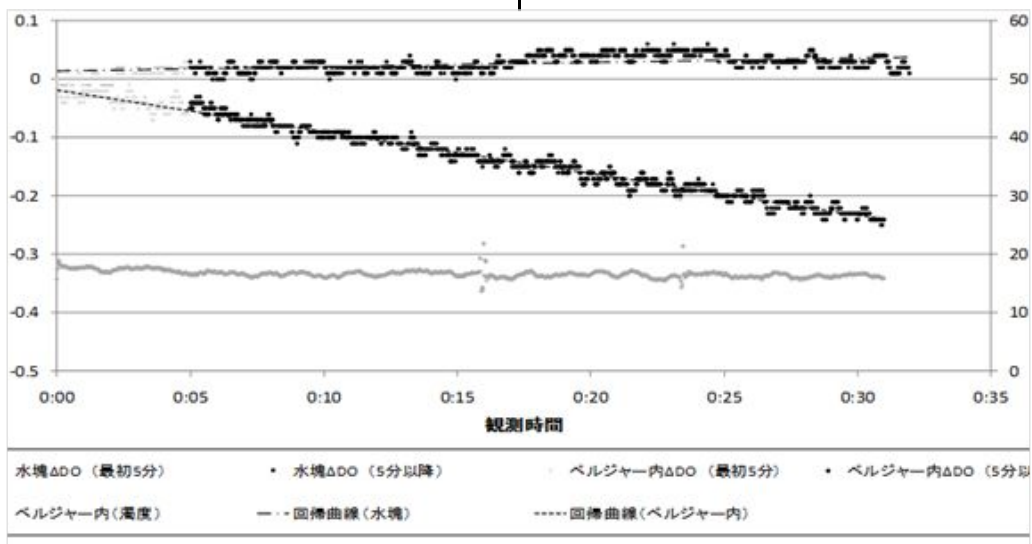


図-4 C8地点での溶存酸素濃度観測結果 (酸素消費速度:  $1.91 (g \cdot m^{-2} \cdot day^{-1})$ )

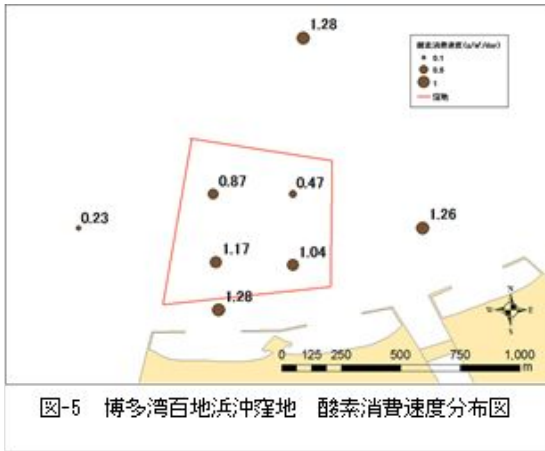


図-5 博多湾百道浜沖窪地 酸素消費速度分布図

の容積とベルジャーの底面積の値はそれぞれ  $V = 13.1 \times 10^{-3} (\text{m}^3)$ ,  $A = 706 \times 10^{-4} (\text{m}^2)$  であった。C-8 地点での底質酸素消費速度の算出結果例を図-4 に示している。他の地点においても同様の解析手法を用いて底泥表面の酸素消費速度を現地観測した。

#### (4) 算出結果および考察

百道浜沖窪地の酸素消費速度（図-5 参照）はどの地点においても比較的低い値を示しており、 $0.43 \sim 1.96 \text{g} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{day}^{-1}$  を示しており、その平均値は  $1.1 \text{g} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{day}^{-1}$  であった。この値は、浚渫窪地の埋め戻しが始まった 1 年後にあたる 2012 年度の平均値  $2.29 \text{g} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{day}^{-1}$  に比べて半分近くに減少していることが分かった。

同様に底質の分析結果から 2013 年度の観測結果と 2012 年度の結果(表-3)を比較すると今回の底質の分析項目の結果は全体的に低下していることがわかる。その一方で、埋め戻し区域以外の湾内 11 地点での酸素消費速度は  $0.56 \sim 9.12 \text{g} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{day}^{-1}$  となり、埋め戻し区域と比較すると高い値を示している。

MS-B02 地点と MS-A01 地点ではホトトギス貝のマットが確認されたため、酸素消費速度が高かったと考えられる。一般的に底質の酸素消費は底質に存在する有機物が影響していると考えられる。このため、強熱減量と有機炭素量はどちらも水中の有機物量の目安となっているため、これらの結果より、強熱減量や有機炭素量が高いほど酸素消費速度が高くなっていることが確認できた。また、両者の間に正の相関性が強いことから、底質中に有機物が多ければ酸素消費速度が高いことを現地実験において確認することが出来た。

このことは、百道浜沖窪地内 4 地点において浚渫土砂による埋め戻しを行った影響が表れている可能性が示唆された。今後も、同一地点でモニタリングを継続していくことで、浚渫窪地埋め戻しによる環境修復効果を確認していく予定である。

#### 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 5 件)

1. 有明海再生に向けたフルボ酸鉄シリカ資材を用いた底泥浄化に関する基礎的研究：黒瀬 達也、渡辺 亮一、浜田 晃規、伊豫岡 宏樹、古賀 義明、古賀 雅之、土木学会環境システム研究論文発表会講演集、第 43 号、241-246、(査読有) 2015.10.

2. 河川汽水域に生息する甲殻類の浮遊幼生分散のモデリングと回帰戦略について：伊豫岡 宏樹、斎田 倫範、田井 明、八坂 康平、渡辺 亮一、浜田 晃規、山崎 惟義、土木学会環境システム研究論文発表会講演集、第 42 号、155-158、(査読有) 2014.10.

3. 博多湾内浚渫窪地の埋め戻しに伴う周辺底面環境に与える影響把握に関する研究：渡辺 亮一、山崎 惟義、伊豫岡 宏樹、浜田 晃規、土木学会環境システム研究論文発表会講演集、第 42 号、43-48、2014.10.

4. 室見川におけるシロウオの産卵環境の定量化と保全について：伊豫岡 宏樹、山崎 惟義、渡辺 亮一、皆川 朋子、浜田 晃規、土木学会環境システム研究論文発表会講演集、第 41 号、391-395、(査読有) 2013.10.

5. フルボ酸鉄資材を用いた底泥浄化に関する現地実験 伊万里湾における浄化の試み一：渡辺 亮一、浜田 晃規、伊豫岡 宏樹、山崎 惟義、古賀 雅之、古賀 義明、坂田 早、土木学会環境システム研究論文発表会講演集、第 41 号、183-188、(査読有) 2013.10.

〔学会発表〕(計 17 件)

1. アサリを対象としたフルボ酸鉄シリカ資材投入に伴う干潟浄化実証研究：熊川 豪、渡辺 亮一、浜田 晃規、山崎 惟義、古賀 雅之、古賀 義明、土木学会第 71 回年次学術講演会、東北大学、2016 年 9 月

2. 二枚貝類生息環境へフルボ酸鉄シリカ資材投入が及ぼす影響把握：安屋敷 謙一、渡辺 亮一、浜田 晃規、山崎 惟義、古賀 雅之、古賀 義明、平成 27 年度土木学会西部支部研究発表会、九州産業大学、2016 年 3 月

3. マイクロコズムを用いたフルボ酸鉄シリカ投入に伴うアサリ貝への影響把握 樋口 慶、渡辺 亮一、浜田 晃規、山崎 惟義、古賀 雅之、古賀 義明、平成 27 年度土木学会西部支部研究発表会、九州産業大学、2016 年 3 月

4. 博多湾における現地調査と室内実験による底質の酸素消費速度の測定：貞方 貴宏、山崎 惟義、伊豫岡 宏樹、平成 27 年度土木学会西部支部研究発表会、九州産業大学、2016 年 3 月

5. 博多湾における貧酸素水塊の三次元分布の把握、森本 秀太、山崎 惟義、平成 27 年

度土木学会西部支部研究発表会，九州産業大学，2016年3月

6. 有明海長洲町干潟におけるフルボ酸鉄シリカ資材を用いた底泥浄化効果の実証実験：平野 裕也、渡辺 亮一、浜田 晃規、山崎 惟義、古賀 雅之、古賀 義明，平成27年度土木学会西部支部研究発表会，九州産業大学，2016年3月

7. 有明海を対象としたフルボ酸鉄シリカ資材を用いたヘドロ浄化実証実験：黒瀬 達也、渡辺 亮一、浜田 晃規、山崎 惟義、伊豫岡 宏樹，土木学会第70回年次学術講演会，岡山大学，2015年9月

8. UAV-SfM手法を用いた干潟地形変化の把握：伊豫岡 宏樹、浜田 晃規、渡辺 亮一、山崎 惟義，土木学会第70回年次学術講演会，岡山大学，2015年9月

9. 二重トレミー管工法による浚渫地埋戻し時の濁度の現地観測：岩下 太樹、山崎 惟義、伊豫岡 宏樹、渡辺 亮一、浜田 晃規、山本 倫也，平成26年度土木学会西部支部研究発表会，琉球大学，2015年3月

10. 低空航空写真を用いたハビタットの把握手法に関する研究：伊豫岡 宏樹、浜田 晃規、渡辺 亮一、山崎 惟義，平成26年度土木学会西部支部研究発表会，琉球大学，2015年3月

11. マイクロコズムを用いたフルボ酸鉄シリカ資材によるヘドロ浄化実証実験：黒瀬 達也、渡辺 亮一、浜田 晃規、伊豫岡 宏樹、山崎 惟義、古賀 雅之、古賀 義明，平成26年度土木学会西部支部研究発表会，琉球大学，2015年3月

12. 有明海再生に向けたフルボ酸鉄シリカ資材による底泥浄化実証研究：田中 光一、渡辺 亮一、浜田 晃規、伊豫岡 宏樹、山崎 惟義、古賀 雅之、古賀 義明，平成26年度土木学会西部支部研究発表会，琉球大学，2015年3月

13. 有明海再生に向けたフルボ酸鉄シリカ資材による底泥浄化実証実験：黒瀬達也、渡辺 亮一、浜田晃規、山崎惟義、伊豫岡宏樹，平成26年度日本水環境学会九州支部研究発表会，鹿児島高専，2015年2月

14. 観測データに基づいた博多湾における貧酸素水塊の広がり：進藤 琢磨、山崎 惟義、伊豫岡 宏樹、渡辺 亮一、浜田 晃規，平成25年度土木学会西部支部研究発表会，福岡大学，2014年3月

15. 博多湾における底質の酸素消費速度の現地観測：黒岩 寛、山崎 惟義、伊豫岡 宏樹、渡辺 亮一、浜田 晃規，平成25年度土木学会西部支部研究発表会，福岡大学，2014年3月

16. フルボ酸鉄を用いた底泥浄化にともなう底泥移動促進効果の実験的検討：花田 純一、渡辺 亮一、浜田 晃規、山崎 惟義、伊豫岡 宏樹、古賀 雅之、古賀 義明，平成25年度土木学会西部支部研究発表会，福岡大学，2014年3月

17. フルボ酸鉄資材を用いた有明海での底泥浄化に関する実証研究：久我 千尋、渡辺 亮一、浜田 晃規、山崎 惟義、伊豫岡 宏樹、古賀 雅之、古賀 義明，平成25年度土木学会西部支部研究発表会，福岡大学，2014年3月

〔図書〕(計0件)

〔産業財産権〕  
出願状況(計0件)

名称：  
発明者：  
権利者：  
種類：  
番号：  
出願年月日：  
国内外の別：

取得状況(計0件)

名称：  
発明者：  
権利者：  
種類：  
番号：  
取得年月日：  
国内外の別：

〔その他〕  
ホームページ等

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

渡辺 亮一 (WATANABE RYOICHI)  
福岡大学・工学部・教授  
研究者番号：50299541

### (2) 研究分担者

山崎 惟義 (YAMASAKI KOREYOSHI)  
福岡大学・工学部・教授  
研究者番号：00038100

伊豫岡 宏樹 (IYOOKA HIROKI)  
福岡大学・工学部・助教  
研究者番号：40432869

### (3) 連携研究者

楠田 哲也 (KUSUDA TETUYA)  
九州大学・工学部・名誉教授  
研究者番号：50037967