

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 27 年 6 月 15 日現在

機関番号：14501

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2013～2014

課題番号：25630406

研究課題名(和文)次世代燃料を用いた船用機関からの排ガスが水環境に及ぼす影響評価

研究課題名(英文) Ecotoxicological assessment of exhaust gas emitted from marine diesel engine using a future-generation fuel.

研究代表者

岡村 秀雄 (Okamura, Hideo)

神戸大学・内海域環境教育研究センター・教授

研究者番号：90253020

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,100,000円

研究成果の概要(和文)：次世代船用燃料(ジメチルエーテルを30%混合したC重油)からの排気ガスを人工海水等に吹き込み、この溶液が水生生物に及ぼす有害性を評価し、粒子状物質に吸着した有害成分に関する知見を得た。C重油および次世代燃料からの排ガスを吹き込んだ人工海水はどちらも海産藻類に対して有害性を示し、孔径0.1 μmの膜フィルターでろ過すると海産藻類に対する有害性が消失したことから、有害成分は0.1～1 μmの粒子に吸着していると考えられた。C重油排ガスを吹き込んだ人工海水中の0.1～1 μmの粒子には発がん性を有するPAHsが検出されたが、次世代燃料排ガスからの試料には発がん性物質は検出されなかった。

研究成果の概要(英文)：The seawater bubbled with exhaust gas emitted from marine diesel engine using a future-generation fuel (new fuel), a 70 % heavy fuel oil with 30% dimethylether, or a traditional heavy fuel oil (C fuel oil) was subjected for ecotoxicity assay and chemical analyses. The seawater bubbled with the gas using C fuel oil indicated higher toxicity on algal growth than that using new fuel. Toxic substances to inhibit algal growth were adsorbed on the particles whose diameter ranging from 0.1 to 1 μm in the seawater. The total amount of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) adsorbed on the particles in the seawater bubbled with the gas using new fuel was higher than that using C fuel oil. Carcinogenic PAHs were adsorbed on the particles whose diameter ranging from 0.1 to 1 μm in the seawater bubbled with the gas using C fuel oil, but they were not detected in the seawater with the gas using future-generation fuel.

研究分野：海洋環境管理、環境毒性学、水環境学

キーワード：次世代船用燃料 生態系影響 排ガス 粒子状物質 粒径 精密ろ過膜 発がん性 多環芳香族炭化水素

### 1. 研究開始当初の背景

船舶の主機関の多くにはディーゼル機関が採用されており、主要な燃料として低質なC重油やA重油が用いられている。これらの燃料からの排気ガスには、多くの一酸化炭素、二酸化炭素、硫黄酸化物、窒素酸化物、粒子状物質(PM)などが含まれている。二酸化炭素は地球温暖化の主な原因物質として、船舶機関にも排出規制が設けられるに至った。そのため、二酸化炭素の排出量の少ない燃料として、植物由来燃料やジメチルエーテル(DME)を混合した燃料が次世代の燃料として期待されている。一方、船舶排ガス中のPMは有機・無機の千種類以上の有害物質を吸着していると考えられており、大気から人が吸い込むことにより健康に悪影響を生じることが知られている。また、大気を浮遊してもいずれは降雨によって海洋に入り、海洋生物に悪影響を与えると考えられるが、詳細は明らかではない。

既存のC重油やA重油を燃料とした船用ディーゼル機関からの排ガスが、人や海洋環境に生息する水生生物に及ぼす影響を評価した事例は少ない。さらに、重油にジメチルエーテルを混合した次世代燃料からの排ガスが、環境生物に及ぼす影響を評価した事例は皆無である。今後、次世代燃料が多用されるようになる前に、排ガスに含まれるガス成分やPM成分が環境生物に及ぼす影響を評価しておくことは、今後の排ガス処理や環境規制を図るために意義が大きいと思われる。

### 2. 研究の目的

本研究では、C重油燃料および次世代燃料からの排気ガスが水生生物に及ぼす有害性を評価し、PMの有害性とPMに吸着した有害成分に関する知見を得ることを目的とする。

具体的には、次の課題を設定する。

#### (1) 有害性の評価

船用ディーゼル機関を用い、C重油および次世代燃料としてのDME混合C重油を用いた際の排気ガスを溶液(超純水、人工海水またはメタノール)に吹き込み、この溶液が水生生物に及ぼす有害性を評価する。次に、この溶液を3種類の孔径の膜フィルターで分画し、それぞれのろ液について水生生物への有害性を評価し、有害性と排ガスに含まれる粒子の大きさに関する情報を得る。

#### (2) 有害成分の同定

(1)で有害性が評価された膜フィルターを有機溶媒で抽出し、排ガスに含まれる有害成分である多環芳香族炭化水素を同定する。

### 3. 研究の方法

#### (1) 使用燃料油および使用機関

船用ディーゼル機関として YANMAR 3ESDL

立形単動4サイクル予燃焼室式ディーゼル機関を用いた。使用燃料として、C重油および次世代燃料として30%DME混合C重油を使用した。エンジン回転数は1500rpmとし、エンジン負荷率はエンジン始動時を想定した25%とした。吹込み試料としては、超純水、人工海水(マリンアート SF-1、富田製薬、MAと表記する)、メタノールを各1Lずつ用いた。

#### (2) 排ガス吹込み水試料の採取

排気管を通る排出ガスの一部を超純水、人工海水(MA)、メタノール1Lを含む2Lピンの底に通じ、サンプリングポンプを用いて、排出ガスを吸引した。吸引量は種々試行し、藻類試験用には1.0L/minで10分間(計10L)とした。

#### (3) 分析用試料の調製方法

排ガスを人工海水に吹き込んだ試料については、海産藻類試験を行うためにpHを $8.0 \pm 0.1$ に調整した。実験により得られた人工海水試料のうち60mLを孔径10 $\mu$ mのニュークリポアフィルター(47mm, Whatman)を用いてろ過し、ろ液の内の40mLを孔径1 $\mu$ mの同フィルターを用いてろ過し、ろ液の内の20mLを孔径0.1 $\mu$ mの同フィルターを用いてろ過した。このように、連続的にろ過を行い、分画した分析用試料をそれぞれ20mL調製した。用いたフィルターはあらかじめメタノール(和光純薬)により24時間洗浄した。また、超純水試料と人工海水試料については有機有害成分をODS樹脂(Sep-Pak tC18 cartridge, Millipore)により濃縮した。メタノール試料は遠心濃縮器(TOMY社製、CC-105)を用いて濃縮した。

#### (4) 有害性評価の方法

水圏生態系の分解者、一次生産者、一次消費者を代表する環境生物として、それぞれ細菌、藻類、甲殻類に対する有害性を評価した。

##### 海産発光細菌阻害試験

供試生物として *Aliivivrio fischeri* (DMS7151)を用い、ISO 11348-1(2007)に従って試験した。試料への暴露時および30分後に発光量をルミノメーター(Lumitester C-1000, Kikkoman)で測定し、30min-EC50を算出した。暴露温度はアルミブロックバスで15度に制御し、2回の繰り返し実験を行った。

##### 塩水性甲殻類急性致死試験

供試生物として *Artemia salina* (ベトナム産、エーアンドエーマリン)を用いて試験した。試料1mLに生後24時間以内の幼生10頭を入れ、48時間暴露後に生存個体数を計数し、48h-LC50を算出した。25度の暗所で、3回の繰り返し実験を行った。

##### 淡水産藻類増殖阻害試験

供試生物として淡水産藻類 *Pseudokirchneriella subcapitata* (NEIS-35)を用いて、ISO-8692(1989)に従って試験した。超純水に必要な量の栄養塩を添加して、ろ過滅菌した。試験開始3日前に藻類を液体培地に接種し、25度の人工気象機内に静置して前培養を行なった。血球計測器を用いて細胞濃度

を測り、初期細胞濃度を  $10^4$  cells/mL 程度となるように接種し、試験開始した。初期細胞濃度は細胞数と蛍光量の関係を線形近似して検量線を求めた。25 の連続光(6000lux)の下で供試試料に暴露し、それぞれ 3~6 回の繰り返しとして試験を行なった。細胞濃度は蛍光光度計(TUNER DESIGNS 社製、TD700)により計測された *in vivo* chlorophyll 量とし、72 時間後まで 24 時間毎に測定した。対照区の増殖量に対する供試試料の増殖阻害率を求めた。

#### 海産藻類増殖阻害試験

供試生物として海産珪藻 *Skeletonema costatum* (NEIS-324) を用いて、ISO-10253(1995) に従って試験した。人工海水(MA)に必要な量の栄養塩を添加して、ろ過滅菌した。試験開始 3 日前に藻類を液体培地中に接種し、20 の人工気象機内に静置して前培養を行なった。試験開始時に初期細胞濃度を  $10^4$  cells/mL 程度となるように接種した。初期細胞濃度は細胞数と蛍光量の関係を線形近似して検量線を求めた。20 の明所(6000lux)12 時間、暗所 12 時間の光周期の下で供試試料に暴露し、それぞれ 3~6 回の繰り返しとして試験を行なった。細胞濃度はと同様にして測定し、対照区の増殖量に対する供試試料の増殖阻害率を求めた。

#### 変異原性試験

*Salmonella typhimurium* (NM2009) を用いた変異原性試験キット(ウムラック AT、蛋白精製工業)により、試料の直接変異原性を評価した。

(5) 有害成分としての多環芳香族炭化水素(PAH)の測定方法

試料をろ過した精密ろ過膜を遠心分離管に入れ、アセトン 5mL を加えた。10 分間超音波抽出し、上澄み液を 100mL 容分液ロートに移した。再度遠心分離管にアセトン 5mL を加えて同様の操作し、上澄み液を分液ロートにあわせた。分液ロートに蒸留水 50mL、ヘキサ ン 10mL を加えて 10 分間振とうした。ヘキサ ン層を分取後、さらにヘキサ ン 10mL を加え 10 分間振とうした。ヘキサ ン層をあわせて、無水硫酸ナトリウムで脱水した。ヘキサ ン層をロータリーエバポレーターと窒素気流下で 0.5mL 以下まで濃縮した。10mg/L のピフェニル-d10 を 50  $\mu$ L 加えた後、ヘキサ ンで 0.5mL として GC/MS 用試料とした。

ガスクロマトグラフ(Agilent 6890N Gas Chromatograph) / 質量分析計(Agilent 5973 Mass Selective Detector) を用い、カラム HP-5MS の昇温条件を 50 (1min) -20 /min-130 -7 /min-310 とした。試料は 1  $\mu$ L 注入し、注入口温度 300 、イオン源温度 230 、SIM モードで定量した。

11 種類の多環芳香族炭化水素(PAH)を含む 10mg/L アセトン標準溶液を作成した。これを希釈することで、多環芳香族炭化水素 1mg/L、0.1 mg/L、0.05 mg/L、0.01 mg/L、0.005 mg/L 標準液を作成した。これに内標準物質として

10mg/L のピフェニル-d10 を 100  $\mu$ L 加えた後、ヘキサ ンで 1mL 定容とした。以下に、各々の多環芳香族炭化水素名称の後に(定量用/確認用)の質量を示す。

アセナフチレン(152/151); アセナフテン(153/154); フルオレン(166/165); フェナントレン(178/152); アントラセン(178/152); フルオランテン(202/201); ピレン(202/201); ベンゾ(a)アントラセン(114/228); ベンゾ(a)フェナントレン(228/114); 3,4-ベンゾピレン(252/126); ペリレン(252/125)

#### 4. 研究成果

##### (1) 有害性の評価

排ガスを吹込んだ試料は藻類に対する有害影響は強かったが、海産発光細菌および塩水性甲殻類に対する影響は弱かった。また、試料は原液のままでは(濃縮することなしには)変異原性を検出できなかったことから、以下に、藻類に対する影響を中心に結果をまとめる。

##### 淡水産藻類への影響

C 重油および次世代燃料からの排ガス吹込み試料では、対照区に対する藻類増殖阻害はほぼなかった。次世代燃料からの排ガスを吹込んだ人工海水試料および超純水試料でも原液のままでは有害性が認められず、固相カラムで 20 倍に濃縮すると阻害率が 20~27% となった。

##### 海産藻類への影響

##### 1) 排ガスの水への吹き込み

C 重油からの排ガス吹込み人工海水試料の増殖阻害率は 40% であり、次世代燃料からの海水試料も同等の阻害率を示した。次世代燃料からの排ガスを超純水あるいは人工海水に吹込んだ試料を固相カラムで 20 倍に濃縮した試料は、藻類増殖を完全阻害した。次世代燃料からの排ガスを吹込んだメタノール試料では、10 倍濃縮すると、藻類増殖を完全阻害した。以上の結果を淡水産藻類試験の結果と比較すると、海産藻類の方がより鋭敏に有害性を検出したと言える。

##### 2) 排ガスのメタノールへの吹き込み

2 種類の燃料からのメタノール吹き込み試料を遠心濃縮により 1 倍、2 倍、4 倍に濃縮した試料を調製して試験し、結果を表 1 に示す。濃縮率が高くなるにつれて阻害率が高くなったことから、有害成分はメタノールによって抽出されたと考えた。また、同じ濃縮率で比較すると、DME を混合した次世代燃料の方が藻類増殖阻害率が低かった。このことは、燃料によって有害成分の種類や濃度が異なることを示唆している。

表1 排ガス吹込みメタノール試料が海産藻類に及ぼす影響

混合割合 (%)		吹込み試料	濃縮率(倍)	増殖阻害率 (%)
C重油	DME			
100	0	メタノール	1	94 ± 1.7
100	0	メタノール	2	100
100	0	メタノール	4	100
70	30	メタノール	1	49 ± 2.2
70	30	メタノール	2	81 ± 9.0
70	30	メタノール	4	100

3) 排ガスを吹き込んだメタノール試料の連続ろ過による有害性の変化

二種類の燃料からのメタノール吹込み試料の濃縮倍率を1倍とし、10 μm、1 μm、0.1 μmの膜フィルターにより連続的にろ過し、遠心濃縮器により試料を濃縮し、海産藻類試験を行った。メタノールを膜フィルターに通した試料にも海産藻類に対する増殖阻害が認められたので、これをフィルターブランクとして、試料の増殖阻害率およびブランク値との差を表2に示す。C重油では、試料原液も分画試料も阻害率が100%となった。これに対して、次世代燃料では、試料原液の阻害率は約30%であったが、ろ過の孔径が小さくなるにつれて阻害率が下がった。孔径10 μmのフィルターを通過したろ液から段階的に有害性が下がったことから、有害性が強いのは0.1 ~ 10 μmの粒子であり、10 μmより大きな粒子および0.1 μmより小さい粒子の有害性は弱いと考えられた。

表2 排ガス吹込みメタノール試料が海産藻類に及ぼす影響

	濃縮率(倍)	増殖阻害率 (%)			
		原液	ろ過孔径(μm)		
			10	1	0.1
フィルターブランク	1	0	4 ± 1.5	22 ± 1.8	29 ± 1.6
C重油100%	1	100	100	100	100
C重油70%+DME30%	1	27 ± 1.3	27 ± 5.0	38 ± 4.0	36 ± 1.5
ブランクとの差	-	27	23	16	7

4) 排ガスを吹き込んだ人工海水試料の連続ろ過による有害性の変化

2種類の燃料からの排ガスを吹込んだ人工海水試料を3分画して海産藻類試験を行った。人工海水を膜フィルターに通した水にも海産藻類に対する増殖阻害が認められたので、これをフィルターブランクとして、試料の増殖阻害率およびブランク値との差を表3に示す。C重油では試料原液の阻害率は50%であり、ろ過の孔径が小さくなるにつれて阻害率が下がった。次世代燃料では試料原液の阻害率が37%で、ろ過の孔径が小さくなるにつれて阻害率が下がった。孔径0.1 μmのフィルターを通過したろ液の増殖阻害率が孔径1 μmのフィルターを通過したろ液の増殖阻害率と比較して大きく下がったことから、0.1 ~ 1 μmの粒子の有害性が強く、1 μmより大きな粒子および0.1 μmより小さい粒子の有害性は弱いと考えられた。硝酸イオンや硫酸イオンなどの溶存性の物質は0.1 μmのフィルターを通過して存在すると考えられるため、これら溶存無機物質には有害性はないと判断された。

表3 排ガス吹込み人工海水試料が海産藻類に及ぼす影響

	濃縮率(倍)	増殖阻害率 (%)			
		原液	ろ過孔径(μm)		
			10	1	0.1
フィルターブランク	1	0	20 ± 1.3	13 ± 1.9	22 ± 3.0
C重油100%	1	50 ± 1.3	53 ± 3.6	44 ± 4.0	26 ± 7.6
ブランクとの差	-	50	33	31	4
C重油70%+DME30%	1	37 ± 2.0	48 ± 1.4	44 ± 1.5	33 ± 2.3
ブランクとの差	-	37	28	31	11

(2) 有害成分の同定

膜フィルターに捕捉されたPAHを同定した。C重油および次世代燃料を用いた排ガスを吹き込んだ人工海水を試料とし、孔径の大きい膜フィルターから小さい膜フィルターの順に、連続的にろ過した。3種類の膜フィルターに捕捉されたPMに吸着したPAH量を、それぞれ表4と5に示す。それぞれのPAHについて、膜フィルターのブランク値を差し引いて示した。

総PAH量は次世代燃料からの排ガス試料の方が高く、C重油排ガスの1.7倍であった。次世代燃料排ガスからの総PAH量は1 μmの膜フィルターに最も多く(55%)、次いで10 μm(42%)、0.1 μm(3%)の順であった。一方のC重油排ガスでは、0.1 μmの膜フィルターに最も多く(67%)、次いで10 μm(26%)、1 μm(8%)の順であった。C重油では、0.1 ~ 1 μmの微小粒子に吸着したPAHが約7割であったのに対し、次世代燃料では同じ微小粒子への吸着量はわずか3%であり、97%が1 μm以上の粒子に吸着していたことが示された。

PAHの種類ごとに見ると、C重油ではベンゾピレン(発がん性グループ1:ヒトへの発がん性がある)+ペリレン+ベンゾフェナントレン(発がん性グループ2B:ヒトへの発がんの可能性ある)が総PAH量の59%を占め、3種類のPAH全てが0.1 ~ 1 μmの微小粒子に吸着していた。これに対し、次世代燃料では、これら3種類のPAHは検出されず、アセナフテンが総PAH量の77%を占め、1 μm以上の粒子に吸着していた。

表4 C重油からの排ガス10L中のPMIに吸着したPAHの量(ng)

	C重油100%			
	10um	1um	0.1um	sum
アセナフチレン	0	0	0	0.0
アセナフテン	4.9	0.0	0.0	4.9
フルオレン	0.0	0.0	0.0	0.0
フェナントレン	0.0	0.0	0.0	0.0
アントラセン	9.2	0.0	0.0	9.2
フルオランテン	0.0	1.3	1.5	2.8
ピレン	0.0	2.9	2.5	5.3
ベンゾ(a)アントラセン	0.0	0.0	0.0	0.0
ベンゾ(a)フェナントレン	0.0	0.0	7.9	7.9
34ベンゾピレン	0.0	0.0	11.7	11.7
ペリレン	0.0	0.0	11.9	11.9
sum(ng)	14.1	4.2	35.5	53.8

表5 次世代燃料からの排ガス10L中のPMIに吸着したPAHの量(ng)

	C重油70%+DME30%			
	10um	1um	0.1um	sum
アセナフチレン	0	0	0	0.0
アセナフテン	30.2	41.2	0.0	71.4
フルオレン	0.0	0.0	0.0	0.0
フェナントレン	5.5	4.9	0.0	10.4
アントラセン	0.0	0.0	0.0	0.0
フルオランテン	1.1	1.6	0.9	3.6
ピレン	2.2	2.6	2.0	6.8
ベンゾ(a)アントラセン	0.0	0.0	0.0	0.0
ベンゾ(a)フェナントレン	0.0	0.0	0.0	0.0
34ベンゾピレン	0.0	0.0	0.0	0.0
ペリレン	0.0	0.0	0.0	0.0
sum(ng)	39.0	50.4	2.9	92.3

### (3) まとめと今後の展望

#### まとめ

- ・排ガスを吹き込んだ溶液が4種類の環境生物に及ぼす有害性を評価したところ、海産藻類の感受性が最も高く、発光細菌や甲殻類に対する影響は弱く、変異原性は検出できなかった。
- ・排ガスを超純水または人工海水に吹き込んだ試料を固相抽出により濃縮した試料は海産藻類に対して有害性を示したことから、有害成分は有機性物質であると考えられた。
- ・有害成分が有機性物質であることは、排ガスをメタノールに吹き込んだ試料が濃縮倍率に応じて有害性を示したことから確認できた。次世代燃料からの排ガス試料は、C重油からの試料と比較して、海産藻類に対する有害性が低かった。
- ・排ガスをメタノールに吹き込んだ試料では、孔径10 μmの膜フィルターでろ過しても藻類に対する有害成分を除去できず、1および0.1 μmのフィルターでろ過すると有害性が低下した。
- ・排ガスを人工海水に吹き込んだ試料では、10 μmおよび1 μmの膜フィルターでろ過しても藻類に対する有害成分を除去できなかったが、0.1 μmの膜フィルターでろ過すると藻類に対する有害成分を除去できた。このことは、0.1~1 μmの粒子に有害成分が吸着していることを示す。
- ・排ガスを吹き込んだ人工海水の総PAH量は、C重油よりも次世代燃料の方が高かった。
- ・C重油排ガスを吹き込んだ人工海水では、粒径が0.1~1 μmの画分にのみ発がん性を有するPAHsが検出された。一方、次世代燃料排ガスからの試料には、発がん性物質は検出されなかった。
- ・2種類の燃料からの排ガスを吹き込んだ人工海水は海産藻類に有害性を示すが、孔径0.1 μmの膜フィルターでろ過することによって有害性を除去できることが示された。

#### 今後の課題

- ・発がん性物質は粒径0.1 μmの膜フィルターで捕捉されるものの、粒径0.1 μm以下の粒子として存在する可能性があるため、これを明らかにする必要がある。
- ・PM2.5よりもさらに小さな粒子に吸着する有害成分を定性的、定量的に明らかにし、排ガスの処理対策を準備し、今後の環境規制に対応する必要がある。
- ・発がん性のあるPAHsはC重油排ガス試料で検出され、次世代燃料では検出されなかったが、総PAH量は次世代燃料からの方が高かった。これらの理由を、燃料および燃焼の条件から明らかにすることにより、DME次世代燃料の有用性はさらに高まると思われる。

#### 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0件)

[学会発表](計5件)

篠原 悠、大谷貴士、岡本ひさよ、段 智久、浅岡 聡、岡村秀雄 (2014) ジメチルエーテル混合C重油燃料を用いた船用機関からの排ガスが水生生物に及ぼす影響評価. 第84回マリンエンジニアリング学術講演会講演論文集. pp.155-156, 2014.11.19-21, 海峽メッセ下関(山口県)

段 智久、吉田勝哉、浅野一朗 (2014) 予燃焼室式ディーゼル機関へのC重油DME混合燃料適用. 第84回マリンエンジニアリング学術講演会講演論文集. pp.83-84, 2014.11.19-21, 海峽メッセ下関(山口県)

Katsuya Yoshida, Yasuhiro Nishimura, Tomohisa Dan, Ichiro Asano (2014) Combustion Analysis of Bunker Oil DME Mixed Fuel in Pre-combustion Chamber Type Diesel Engine. 10th International Symposium on Marine Engineering (ISME 2014 Harbin), PID105, pp.1-6, 2014.9.15-19. 八ルビン市(中国)

Satoshi Asaoka, Hideo Okamura, Tomohisa Dan, Hisayo Okamoto, Shinjiro Hayakawa (2013) Identification of sulfur species adsorbed on particulate matters from ship exhaust gas using XAFS analyses. Abstract of the 18<sup>th</sup> Hiroshima International Symposium on Synchrotron Radiation. pp.88-89, 2014.3.6-7, Higashi Hiroshima (広島県)

岡本ひさよ、段智久、岡村秀雄 (2013) DME混合燃料由来のディーゼル排ガス微粒子の変異原性評価. 第83回マリンエンジニアリング学術講演会講演論文集. pp.107-108, 2013.9.2-4, グランシップ静岡(静岡県)

[図書](計0件)

[産業財産権]

出願状況(計0件)

取得状況(計0件)

[その他]

ホームページ等

#### 6. 研究組織

##### (1) 研究代表者

岡村 秀雄 (OKAMURA, Hideo)

神戸大学・内海環境教育研究センター・教授

研究者番号: 90253020

##### (2) 研究分担者

張野 宏也 (HARINO, Hiroya)

神戸女学院大学・人間科学部・教授

研究者番号： 20291213

段 智久 (DAN, Tomohisa)

神戸大学・大学院海事科学研究科・教授

研究者番号： 80314516

浅岡 聡 (ASAOKA, Satoshi)

神戸大学・内海域環境教育研究センター・

助教

研究者番号： 60548981