

平成21年 6月29日現在

研究種目：基盤研究（B）
 研究期間：2006～2008
 課題番号：18360424
 研究課題名（和文） ステッチボンドFRTPによる小型船体材料の開発
 研究課題名（英文） Development of Materials for Small Boat Hull Using Stitch-Bonded FRTP
 研究代表者
 櫻井 昭男（SAKURAI AKIO）
 独立行政法人海上技術安全研究所・大阪支所・グループ長
 研究者番号：20373417

研究成果の概要：予め樹脂含浸したFRTP基材を用いることにより、低圧成形においてもSMCを越える強度を有する材料が得られることがわかった。また、耐熱性、可撓性に優れ、耐久性のある真空バッグ材の開発に取り組み、リボンヒーターによる加熱・制御機器と組み合わせ、ポリプロピレン成形温度（225℃）を真空状態で安定して維持できる成形システムを完成させた。さらに、ステッチボンド材とPPシートを組み合わせ、当該システムにてFRTPを成形できた。

交付額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2006年度	4,400,000	1,320,000	5,720,000
2007年度	4,800,000	1,440,000	6,240,000
2008年度	5,700,000	1,710,000	7,410,000
年度			
年度			
総計	14,900,000	4,470,000	19,370,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：総合工学・船舶海洋工学

キーワード：複合材料・物性、FRTP、促進暴露試験、ビルドアップ法、熱安定性試験、環境材料、機械工作・生産工学、構造・機能材料

1. 研究開始当初の背景

小型船舶の構造材として広く使用されているFRPは一般に廃棄処理が困難な物として位置づけられ、その処理法が数多く研究されているものの、使用されているマトリックス樹脂が熱硬化性の不飽和ポリエステルであるため、ほとんどは焼却処理による熱回収にとどまっている。したがって、資源・エネルギーの有効活用、環境対策の観点からは、マテリアルリサイクルが比較的容易な熱可塑性樹脂をマトリックス樹脂とし、ガラス繊維で強化したFRTP（熱可塑性樹脂複合材料）を船体用

構造材として使用したいという要請が高まってくるのは当然のことである。

ナイロンやポリエチレンに代表される熱可塑性樹脂は、単体で小型汎用製品に使用されている。また強度が必要な場合には、FRTPとして、繊維長数mm程度のガラス短繊維をあらかじめ強化材として混入した熱可塑性樹脂板（スタンパブルシート）や細粒（ペレット）を用いて、必要な製品にプレス成形している。

一方、船体用構造材のような強度部材としてFRTPを使用する際には、応力を分担するガラス繊維が切れ目のない長繊維であり、また

その長繊維の配置方向を応力状態に合わせてコントロールする必要がある。しかしながら、これまでのFRTPは前述したスタンパブルシートのように強化材が短繊維でランダム配置されたものしかなかった。これでは必要な強度が発現できないばかりか、その成形に巨大なプレス機、金型が必要となり、強度部材としての実現性は乏しい。

そこで、ガラス繊維へ樹脂を含浸させたFRTP基材をあらかじめ工場生産し、賦形作業のみを実施することが現実的と考えられる。また最近、ガラス繊維の織り技術が進歩し、ステッチボンドと呼ばれる基材が開発されている。これはニットファブリックとも呼ばれ、図1のようにポリエステル系などの細糸でガラス繊維を編み止めたもので、ガラス繊維のクリンプ（平織りの際に生じる波打ち）がなくなり、強度の向上が図れるものである。

したがって、ガラス長繊維に樹脂を含浸させたテープ状FRTPとステッチボンドの技術を適用することにより、船体のような三次元形状に簡便に成形できる技術確立し、FRTPを船体用構造材として使用することが可能となると考えられる。

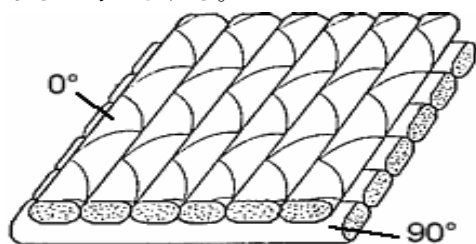


図1 ステッチボンド基材

2. 研究の目的

前述したように、テープ状FRTPとステッチボンドの技術を用いて、船体のような三次元形状に簡便に成形できる技術確立することにより、FRTPを船体用構造材として使用することが可能となると考えられる。本研究は、FRTP成形板の強度評価、海洋環境での使用を視野に入れた耐久性評価とともに、シリコンゴムシートを用いた真空バッグによるFRTPの簡便な船体成形技術の開発を行うものである。

3. 研究の方法

(1) 低圧成形FRTPの強度評価

真空バッグを用いた成形法では、FRTP基材に加わる成形圧力は、大気圧と型内圧力の差圧であり、たかだか1気圧である。そこで、低圧成形したFRTPの強度特性を調べた。供試材であるステッチボンドFRTPは、多軸編織機によるステッチボンド基材にポリプロピレンを溶解含浸して製作した。比較のために、テープ状FRTPを平織りにした基材、並びにテープ状FRTPを短く裁断しランダムに堆積させ

た基材も加熱プレス成形し、評価試験に供した。

試験は静的、動的機械強度を調べるとともに、船体構造用FRTP材に要求される性能を満たすための構成について明らかにした。

(2) ステッチボンドFRTPの簡便な船体成形技術の開発

シリコンゴムシートを用いたバッグ成形システムとしてはこれまでに、オートクレーブ成形用のシステムが研究されている。これはゴムシートの外から加圧する方式であり、一般に大型製品には適用不可能である。このため、大気圧との差圧のみを利用する真空バッグ成形システムを適用する必要がある。そこで、熱硬化性樹脂を用いたFRTPの真空バッグ成形システムとして代表的なインフュージョン成形法を応用し、FRTPの簡便成形法として発展、完成させることとした。

図2に提案する簡便成形法概念図を示す。型上にFRTP基材を配置し、シリコンゴムシートで覆って排気することにより、FRTP基材に圧力を加える。この状態で加熱・冷却し成形品を得るものである。

シリコンゴムシートの選定にあたり、使用状態を想定した強度試験、気体透過率試験、熱老化試験等を実施した。

また、選定したシリコンゴムシートを真空バッグ材として用いた、PWC(Personal Water Craft)ハルモデルが成形できるシステムを製作した。さらにこのシステムを用いて成形実験を行い、本システムの適用範囲の把握と、

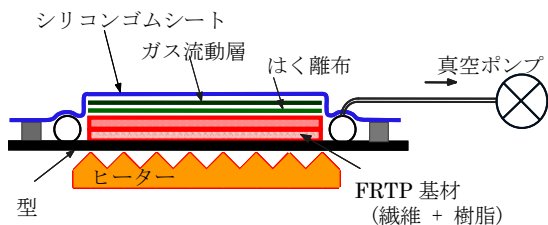


図2 システム概略図

高度化を図った。

4. 研究成果

(1) 低圧成形FRTPの強度評価

① 供試材

供試したFRTP基材を表1に示す。連続繊維強化材として、ステッチボンド基材 (600g/m²)、ロービングクロス (600g/m²)、QFテープ織物

表1 試験材

種類	記号	試験材
連続繊維強化材	WF	ステッチボンド基材
	R	ロービングクロス
	WQF	QFテープ織物
長繊維強化材	QF	QFテープ裁断品
樹脂単体	PP	ポリプロピレン
熱硬化性材料	SMC	SMC

(東洋紡績(株)クイックフォームテープを平織りしたもの)の3種類、長繊維強化材としてQFテープを35mm長に裁断したもの1種類を用いた。また比較のために、熱可塑性樹脂としてポリプロピレンペレット並びに熱硬化性のSMC(水上バイク用)も調べた。

FRTP供試材の成形は東洋精機(株)製手動プレス機により行った。標準的な成形は180×180×3mm(厚)の額縁型を使用し、基材をセット後、220℃、1MPaで30分加熱成形するものとした。SMCについては、PWCのハルから切り出した。

② 静的強度特性

図3に各供試材の静的引張強さを示す。SMCを除くFRTP及びPPは220℃、1MPaで30分保持して成形している。これより、繊維強化のないPPを除くと、供試したFRTPはいずれもSMCと同等以上の引張強さを示している。

そこで、WF及びQFの2供試材について、成形温度と引張強さとの関係を求めたものが図4である。いずれも成形圧力1MPaで30分保持している。その結果、180℃を下回る温度では成形不良、250℃を越えると材料の焦げ付きが生じ、180~250℃で成形品が得られた。この温度範囲では温度が高いほど高強度が得られるが、220℃以上で従来材のSMCと同等以上の強度が得られることがわかる。

つぎに静的曲げ強さを調べた。3点曲げ試験で比較したが、予め樹脂が含浸した状態で提供されるQFは織物材及び裁断品ともSMCを越える曲げ強さを示した。その一方でWF及び

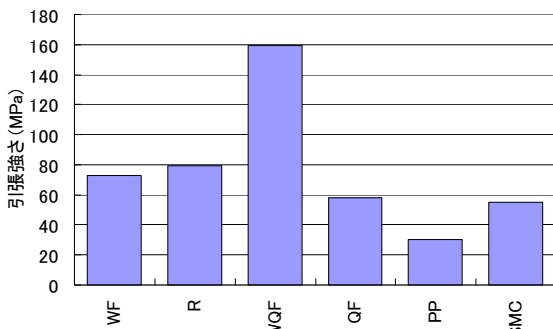


図3 引張強度特性

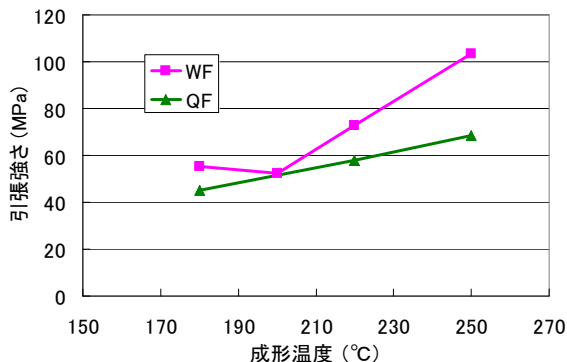


図4 成形温度の影響

R材は、220℃、1MPa、30分の条件では、ガラス繊維基材への樹脂含浸が十分でなく、PP樹脂単体にも及ばないものとなった。

③ 促進暴露試験による耐久性

試験は、キセノンランプ式促進暴露装置(東洋精機(株)製)を用いて、放射照度500W/m²(1時間あたりの放射露光量1.8MJ/m²)、ブラックパネル温度63±3℃、湿度(水噴霧のないとき)50±5%RH、水噴霧時間120分中18分の水浸漬で行った。試験時間は1000時間までとした。

図5に暴露による試験片の重量減少率の変化を示す。PP材が単調に重量減少するのに対して、WFについては300時間以降ほぼ安定している。QFは重量減少が非常に少なかった。

また、試験時間と静的曲げ強さとの関係につ

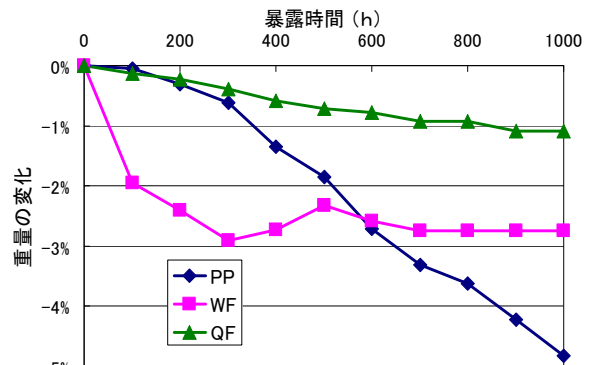


図5 促進暴露試験による重量変化

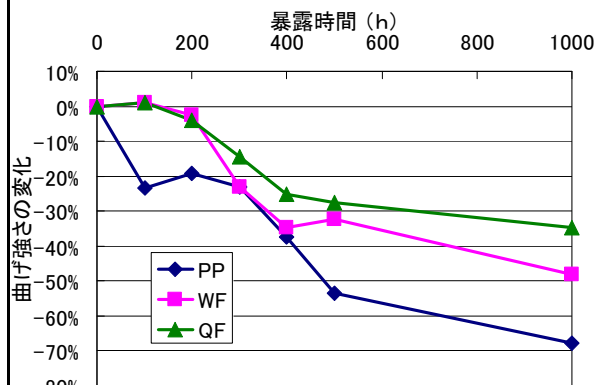


図6 促進暴露試験による曲げ強さの変化

いて、試験前の値との比、すなわち保持率で整理したものが図6である。いずれも暴露時間の経過とともに強さが低下するが、QFが比較的耐久性に優れていることがわかる。

(2) ステッチボンドFRTPの簡便な船体成形技術の開発

① 真空バッグ材料の選定

FRTP簡便成形法の成否は加熱成形中の気密を保持することである。そこで、候補材料であるシート材料の気密保持性能を図7に示すようなSUS304製の真空漏れ試験槽を用いて行った。これは内径200mm×長さ100mmの円筒形の槽にフランジ及び排気管を取り付けたもので、高温から低温域までの広い温度範

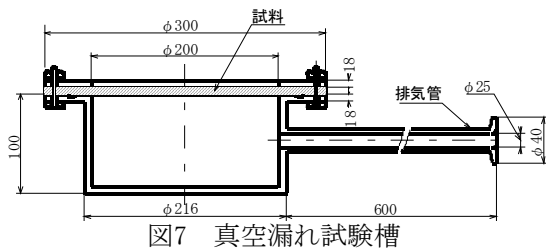


図7 真空漏れ試験槽

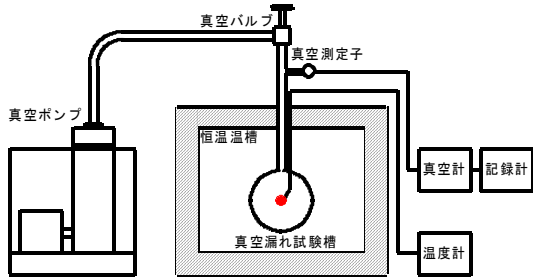


図8 ビルドアップ法計測システム

囲での繰り返し使用に耐えるものである。

試験は真空漏れ試験槽に供試材、真空ポンプ、真空計及び温度計を取付け、図8に示すように恒温槽内で所定温度に加熱するあるいは室温で放置するとともに、試験槽内が平衡圧力に達するまで排気した後、バルブを閉じて所定時間の圧力変化を調べるビルドアップ法により行い、到達圧力、圧力上昇速度と温度との関係を調べた。

図9は板厚0.5～2.0mmのシリコンゴムシート、0.5mm厚のPPシート及び真空フィルムの計5種類について、室温における圧力上昇速度を求めた結果である。真空フィルムは熱硬

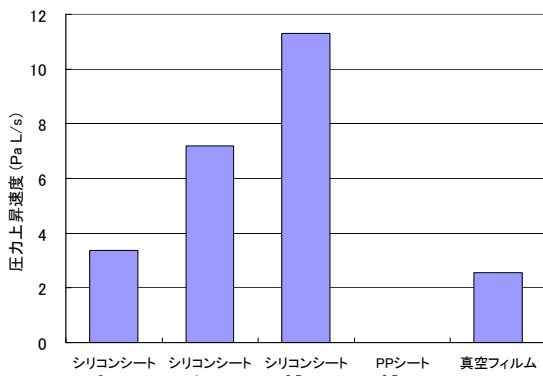


図9 圧力上昇速度測定結果

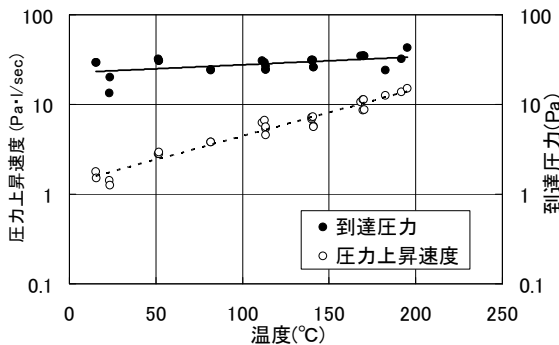


図10 到達圧力、圧力上昇速度と温度との関係

化性樹脂を用いたインフュージョン成形の真空保持に用いられるものである。シリコンゴムシートは板厚が増すに伴い、真空保持性能が向上していることがわかる。PPシートは気密性に最も優れていたが、硬くて耐熱性がないため、FRTP成形には適用できない。真空フィルムもその名の通り真空保持性能には優れているが、耐熱性に不安が残ることと、何よりもその薄さ故、尖ったものには弱い。従って、QF材のように樹脂で固められた繊維材料には鋭角的な端面が多く存在するため使用は難しい。

つぎに、2mm厚のシリコンゴムシートについて周囲温度による真空保持性能の変化を調べた。その結果を図10に示す。到達圧力は温度の上昇とともにやや大きくなり、200℃で約40Paに達している。また、圧力上昇速度も温度の上昇に伴い大きくなるが温度依存性が大きく、20～200℃で約1桁大きくなっている。しかし、200℃において10Pa・1/sec程度であり、真空バッグ成形の圧力保持は十分であるとの結果が得られた。

② 真空バッグによる平板の試作

有用性が認められたシリコンゴムシートを用いた簡便なFRTP真空バッグ成形装置を



図11 真空バッグ成形 (平板)

表2 曲げ試験結果

	強さ (MPa)	弾性率 (MPa)	比重	ガラス含有量 (Wt.%)
平均	252.4	19224	1.60	70.1
標準偏差	36.5	6036	0.01	0.56

試作し、成形の可能性を調べた。

試作した装置はシリコンゴム製のシールリップを取付けたアルミ製のベースプレート、アルミ製のフレーム及び真空取付け部品を取り付けた2mm厚のシリコンゴムシート製の真空バッグから構成されている。この真空バッグの温度及び真空度を調節するため、加熱装置、真空ポンプ及び温度計を組み合わせて成形装置とした。

試作の供試材として、低圧成形材料の強度試験で成績のよかったQFを用いた。成形は板厚を一定にするため、成形機の基板の上に厚さ3mmで350×350mm角の中央部を300×300mm角にくり抜いたアルミ板を額縁スペーサーとして置き、その中にQF裁断品をランダムに充填してその上をSUS板で押さえるようにセットして排気を行うとともに加熱した(図11)。加熱温度は220℃で30分行った。上述のようにして成形した熱可塑性樹脂複合材の性能を調べるため、曲げ試験、比重計測及びガラス含有量計測を行った。その結果を表2に示す。これらの結果は通常の方法で成形した場合のカタログ値と比較して同程度又はそれ以上の値を示した。特に弾性率に大きな値を示すものがあつた。これは強化繊維の長さ方向とスパン方向が同一になっている場合で、方向性が現れたものと思われる。そのためバラツキも大きくなっている。

③ 成形用真空バッグの製作

本成形システムの圧縮力は大気圧のみであるため、これを効率よく利用するためには、



図12 シリコンゴムシート

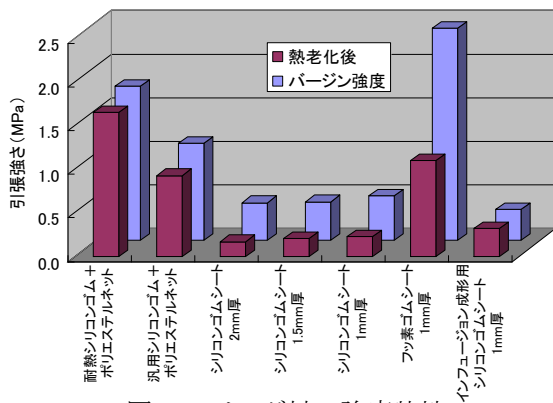


図13 バッグ材の強度特性

シリコンゴムシートは製品形状を転写した形であることが望ましい。そこで、シリコンゴムシートは製品を型として、液状シリコンゴムを塗り重ねて製作した(図12)。具体的には、型に接する面はシリコンゴムスプレー(Airtech MULTI-BAG Cartridge)により均一厚さの膜を形成し、その上に、補強のためのポリエステルネットを挟んで、耐熱シリコンシーラント(信越化学KE3418)を数回刷毛塗りして、厚さ3mmのシリコンゴムシートを成形した。

製作したシリコンゴムシートはビルドアップ法により真空保持性能を調べたが、その圧力上昇速度は、インフュージョン成形用フィルムの約1/2で、気密性に優れていることがわかつた。また、シートの引張強さは、フッ素ゴムと比べて遜色なく、また熱老化に対する耐久性も保持していることがわかる(図13)。

また、シリコンゴムシートはFRP製ジグにより、後述する金型に固定される(図14)とともに、ジグに設置された排気ポートを通じて吸引が行われる。

④ 金型

金型は弊所既有的のFRP製プレジャーボート模型オス型(船長1.15m、船幅0.35m)から転写して作成した(図15)。強度は必要ないので、材質はアルミ鋳物とし、板厚は6mmした。また、自重や熱応力による変形は鉄アングルの架台に固定することにより防いだ。型の周囲には、真空シール材等を配置するためのフランジを設けた。



図14 固定ジグ



図15 金型

⑤ 加熱システム

金型の加熱は、型下面に配置したリボンヒータ(400W×4本)により行った(図16)。これにグラスウール、フェノールフォーム等により断熱処理を施した。金型の加熱特性を図17に示す。印加後約60分で設定温度に達し、その後安定して設定温度を維持している。測定部位による温度



図16 加熱ヒータ

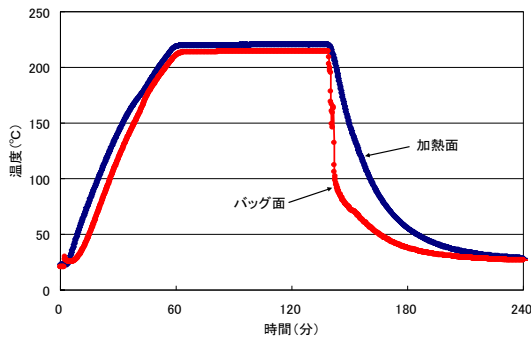


図17 成形システムの加熱特性
差もほとんど見られなかった。



図18 成形品の例

⑥ 成形実験

上述したFRTP簡便成形システムを使用して成形実験を行った。FRTP基材には、QFテープを35mm長にカットしたものをを用いた。カット品を用いることにより基材の設置が容易になるとともに、曲面にも柔軟に対応できる。ただし、側板、トランサム等の立ち上がり面ではカット品は滑り落ちてしまうため、カット品を0.5mm厚のポリプロピレンシートでサンドイッチした部材をあらかじめ作成し、これを所定位置に設置することで対応した。加熱は225°Cで60分とした。成形品の例を図18に示す。チェーン等の隅角部やリフティング・ストレーキ（船底の線上突起）も忠実に再現されていた。

また、熱可塑性樹脂の含浸性を確認するため、ガラス織布とポリプロピレンシートを基材とした成形を行った。ガラス織布としてガラスクロス（旭ファイバークラスMK350）及びステッチボンド基材（FRPサービスWF80）を用いたが、いずれも225°C、60分の加熱で十分含浸した成形品（Vfはそれぞれ30%、50%）が得られた。

本システムにより10回以上の成形実験を行ったが、シリコンゴムシートに破損等はなく、真空保持性能に劣化はみられなかった。

(3) まとめ

真空バッグによるFRTPの簡便成形法の実現に向けて、低圧成形したFRTPの強度特性を調べた。また、シリコンゴムシートを用いた成形システムを開発し、ガラス長繊維強化ポリプロピレンテープの成形に成功した。さらに、同システムを用いて、ステッチボンド基

材等のガラス織布への樹脂含浸も可能であることがわかった。

FRTPの簡便成形法の実現に向けて、引き続き、加熱性能向上による成形サイクルの短縮を図るとともに、サンドイッチ材等厚物の成形についても技術開発を行いたい。

5. 主な発表論文等

〔学会発表〕（計3件）

- ① 櫻井昭男、シリコンバッグによる熱可塑性複合材の簡便成形技術、海上技術安全研究所、2009年6月8～9日、海上技術安全研究所第9回研究発表会（東京都三鷹市）
- ② 櫻井昭男、熱可塑性複合材の簡便成形技術の検討、海上技術安全研究所、2008年6月24～25日、海上技術安全研究所第8回研究発表会（東京都三鷹市）
- ③ 櫻井昭男、熱可塑性複合材の簡便成形技術の検討、日本材料学会、2008年3月18日、JCOM-37材料・構造の複合化と機能化に関するシンポジウム（京都市）

〔産業財産権〕

○出願状況（計1件）

- ①名称：繊維強化熱可塑性複合成形品およびその成形方法、

発明者：山根正睦、櫻井昭男、前田利雄
権利者：東洋紡績、海上技術安全研究所
産業財産権の種類：特許
番号：特願 2003-72517、特開 2004-276471
出願年月日：2003年3月17日
公開年月日：2004年10月7日
手続補正書提出日：2008年10月6日
国内外の別：国内

〔その他〕

○ホームページ

http://www.nmri.go.jp/osaka/research_netu2006i.htm

6. 研究組織

(1) 研究代表者

櫻井 昭男 (SAKURAI AKIO)

独立行政法人海上技術安全研究所・大阪支所・グループ長

研究者番号：20373417

(2) 研究分担者

小野 正夫 (ONO MASAO)

独立行政法人海上技術安全研究所・大阪支所・主任研究員

研究者番号：80399526

(3) 連携研究者

なし

(4) 研究協力者

山根 正睦 (YAMANE MASACHIKA)

東洋紡績株式会社・エンプラ事業部・製品開発グループ・マネージャー