

【公開版】

平成29年度
戦略的基盤技術高度化・連携支援事業
戦略的基盤技術高度化支援事業

「IMO規制に適用する船舶用尿素SCRシステムの高効率浄化反応器
の開発」

研究開発成果等報告書

平成30年3月

担当局 近畿経済産業局
補助事業者 公益財団法人滋賀県産業支援プラザ

目 次

第1章 研究開発の概要	
【1-1】 研究開発の背景・研究目的及び目標	3
【1-2】 研究体制	5
【1-3】 成果概要	7
【1-4】 当該研究開発の連絡窓口	7
第2章 本論	
【2-1】 低圧力損失の出口ダクトの開発	8
【2-2】 溶接工法の検討	11
【2-3】 入口ダクトのミキサーの薄型・コンパクト化の検討	15
【2-4】 流体解析シミュレーションによる全体の圧力損失	18
【2-5】 大型一体品溶接工法技術の開発	19
【2-6】 大型重量容器用の溶接治具、ハンドリング治具の開発	20
【2-7】 SCR 触媒反応容器一貫生産ラインの開発	25
第3章 全体総括	
【3-1】 研究開発成果まとめ	26
【3-2】 研究開発後の課題	26
【3-3】 事業化展開について	26

第1章 研究開発の概要

【1-1】 研究開発の背景・研究目的及び目標

【1-1-1】 研究開発の背景

世界的な船舶の運航に伴う排気ガスの規制は図1に示すように、NO_x 排出規制は2016年から第3次規制が始まり2000年の1次規制値に比べ80%の削減が決められている。SO_x 規制は、2015年より燃料油硫黄濃度を指定海域において0.1%以下（2020年より一般海域0.5%以下）に規制する発生源をなくす対策が行われている。このNO_x 規制に対応するため、国内においても、造船関係各社が参加し、エンジン及び関連機器の開発が行われている。

当社が取引をする、川下産業のY社についても、IMO(国際海事機関)1次、2次規制の対応とし、ディーゼルエンジンの燃焼前の雰囲気温度の低減により低NO_x化するミラーサイクルエンジンへの転換を図り対応された。しかし、ディーゼルエンジンの改善のみでは、IMO規制が定めるところの第3次規制の規制値を満足する事は出来ない事から、排気ガスの浄化システムとして尿素SCR（選択式触媒還元；Selective Catalytic Reduction）システムのエンジンへの設置を行い対処する様に開発を進められている。

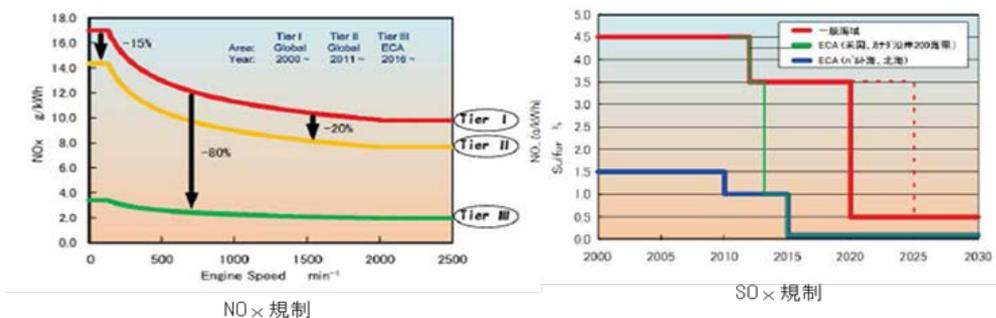


図1 船舶へのNO_x/So_x 規制

IMO（国際海事機関）による船用ディーゼル機関のNO_x（窒素酸化物）3次規制（2016年起工～）に適用するため、ECA（Emission Control Area:大気汚染物質の排出について一般海域より厳しい規制が課されて海域：以後規制海域）を航海する時だけ排気ガス後処理を行う船舶用のSCRシステムが開発されており、排気管と触媒反応器が一体化した図2に示す触媒反応容器の試作品を製作した。しかし、触媒反応容器の形状が丸形状から触媒の形状に適用するため角型形状となり、圧力損失が大きく、エンジン出力の低下、燃費の悪化などを引き起こすため、触媒以外の圧力損失の低減が求められている。また、ボルト締結方法による溶接歪によるリークの問題解決が求められている。

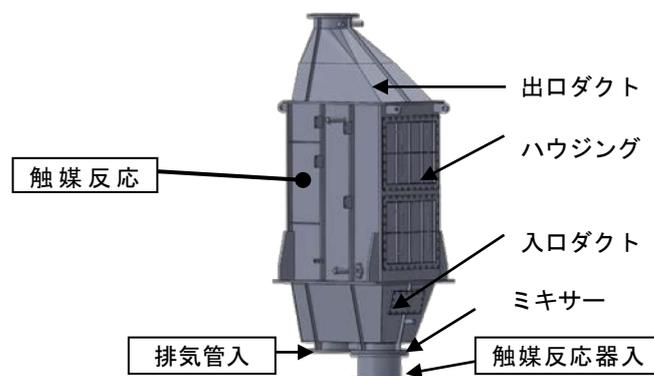


図2 中型船舶用の触媒反応容

【1-2-1】研究内容および目標

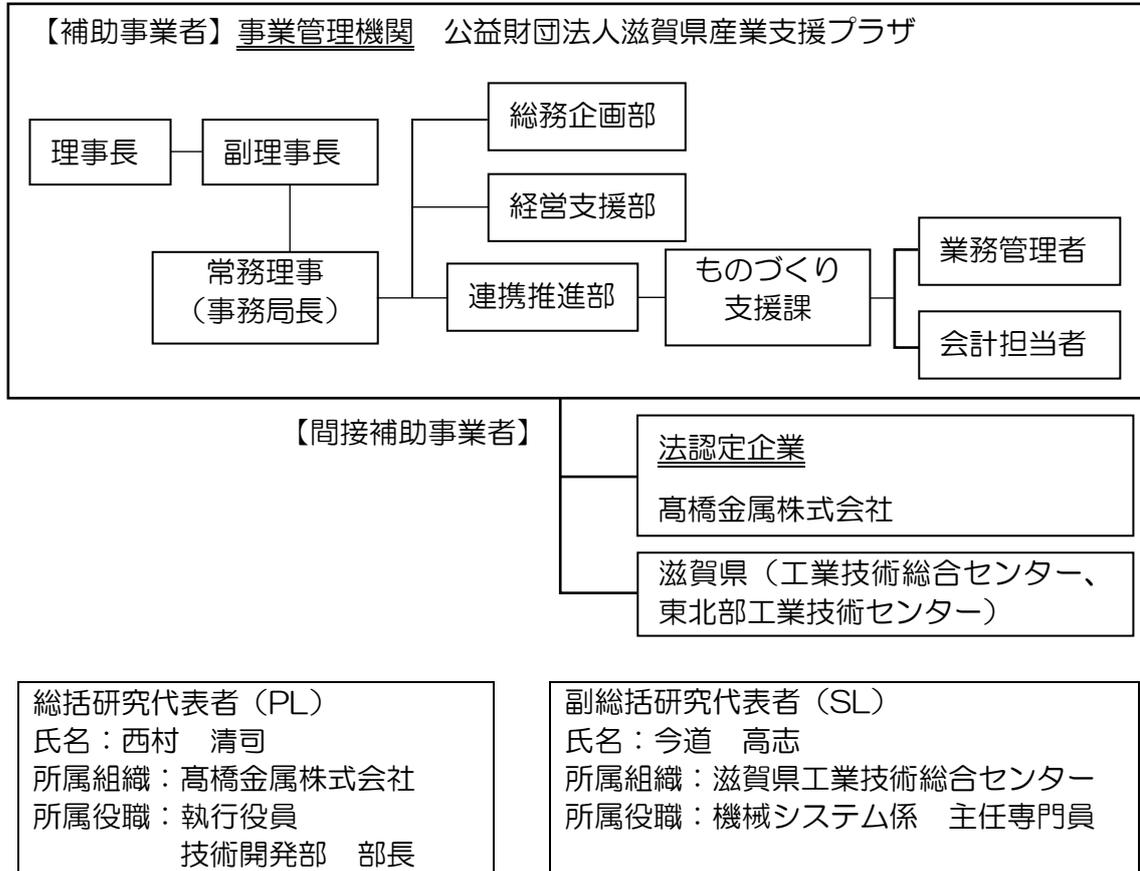
船舶用ディーゼル機関のNO_x（窒素酸化物）3次規制対策であるSCR触媒反応容器は、圧力損失の低減、コンパクト化、高精度化が求められている。この高度化目標を達成するため、流体解析シミュレーションを行い、最適な3次元曲面の立体形状を求めると共に、その形状を高精度に製作するためプレス成形技術および溶接技術および大型重量容器を低歪みに一体溶接する技術の開発及びこの工程の組み合わせによる一貫製造システムの構築を行う。

研究目標は以下の通りである。

- ①圧力損失120mm Aq以下の構造
- ②耐圧性 1.5kPaでリーク無し
- ③コンパクト化・軽量化（容積/重量10%削減）
- ④従来溶接工法の生産性2倍（総溶接加工時間 900分）
（溶接一体構造・一貫溶接工法開発）

【1-2】 研究体制
 (研究組織・管理体制、研究者氏名、協力者)

【1-2-1】 研究組織・管理体制



【1-2-2】 管理員、研究員及び協力者

① 【補助事業者】 事業管理機関 公益財団法人滋賀県産業支援プラザ

管理員

氏名	所属・役職
田中 勝晴	連携推進部 部長
篠原 弘美	連携推進部 ものづくり支援課 課長
熱田 善胤	連携推進部 ものづくり支援課 参与
上島 覚	連携推進部 ものづくり支援課

② 【間接補助事業者】 高橋金属株式会社

研究員

氏名	所属・役職
西村 清司	執行役員 技術開発部 部長
藤谷 憲治	執行役員 技術営業部 部長
前田 久男	品質保証部 部長
中村 昌史	鈑金事業部 事業部長
林 一仁	鈑金事業部 次長
中川 雅巳	鈑金事業部 係長
中嶋 順二	技術営業課 課長
上林 守	生産技術課 係長
北村 博志	技術開発部 課長
村田 猛	技術開発部
河村 安太郎	技術開発部

【間接補助事業者】滋賀県（工業技術総合センター、東北部工業技術センター）

研究員

氏名	所属・役職
今道 高志	滋賀県工業技術総合センター 機械システム係 主任専門員
井上 栄一	滋賀県東北部工業技術センター 機械システム係 専門員
安田 吉伸	滋賀県東北部工業技術センター 金属材料係 主査
水谷 直弘	滋賀県東北部工業技術センター 機械システム係 主査

③協力者

氏名	所属・役職	役割
片山 聖二	国立大学法人大阪大学・ 名誉教授	溶接接合技術について理論 的、学術的アドバイス
西野 精一	阿南工業高等専門学校 創造技術工学科・教授	数値解析シミュレーションの指導
濱岡 俊次	ヤンマー(株)特機エンジン事 業本部・部長	SCRの機能上のアドバイス

【1-3】 成果概要

- ①ダクト反応器のプレス化により、300A パイプと板金部品の接合部（舌部）の段差がなく滑らかな形状となった事と、プレス部品とダクト下部の板金部品の接合段差を 0.5 mm以下にする事により、入口ダクトから出口ダクトまでの全体としての圧力損失は 50 mm Aq となり、触媒反応器内の圧力損失の目標値 120 mm Aq 以下を達成できた。
- ②各工程で漏れの無い溶接工法を採用したが、最後のSCRシステム耐圧検査において、容積が大きいため検査圧が安定するまでの調整が必要な事と、検査完了時間までの時間が 30 分と長い事から、検査手順の間違いによる誤判定がおきやすい。これを防止するためエア投入から検査完了までを一貫で出来る様に検査プログラムを開発した。これにより耐圧性 1.5kPa でのリーク無しを保証できた。
- ③補強リブに薄板のハット曲げリブを用いてリブ重量を40%軽量化できた。またミキサーを薄型にして入口ダクト部に直接組み込むことにより、全長を8%コンパクト化できた。

【1-4】 当該研究開発の連絡窓口

【事業管理機関】

公益財団法人滋賀県産業支援プラザ
ものづくり支援課 熱田 善胤
TEL 077-511-1414 FAX 077-511-1418
e-mail : atsuta@shigaplaza.or.jp
〒520-0806 大津市打出浜2番1号コラボしが21

【法認定機関】

高橋金属株式会社
執行役員 技術開発部 部長 西村 清司
TEL 0749-72-4820 FAX 0749-72-3131
e-mail : k-nisimura@takahasi-k.co.jp
〒526-0105 滋賀県長浜市細江町864-4

第2章 本論

【2-1】低圧力損失の出口ダクトの開発

現行品（図3）は板金6分割貼合せ溶接構造であり、曲板機での手曲げ加工で滑らかなR形状が作れず段差の発生や接合部の隙間を埋める溶接肉盛りで圧力損失が発生していた。また溶接長さが長く、溶接歪が大きく合わせ部の修正作業が必要となり工数が多く掛かっていた。

そこで、プレス成形工法を導入することとし、流体解析によるシミュレーションを行い、プレス深絞り品と板金曲げ品の4分割構造（図4）とすることとした。



図3 現行品

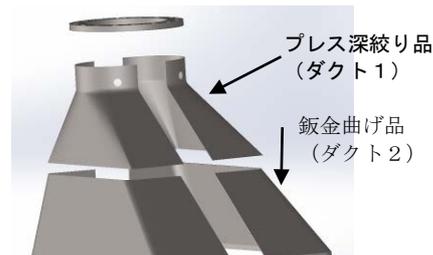


図4 4分割構造

【2-1-1】流体解析シミュレーションによる検討

プレス成形工法の検討を流体解析によるシミュレーションで行った。

従来品（図5）では舌部が出ており、排気ガスの流れがそこで大きく屈曲し、配管出口では偏った排出になっていることが確認できる。

それに比べ、今回採用した構想 Type 1（プレス成型と板金曲げの4分割構造）（図6）は舌部が無いいため、排ガスはスムーズな流れとなり配管出口でも大きな偏りが認められない。

構想 Type2（全体がプレス成型）についても、シミュレーション解析を行った。Type1 同様、スムーズな流れとなって排出されているが、プレス加工能力の関係から今回は採用しなかった。（図7）

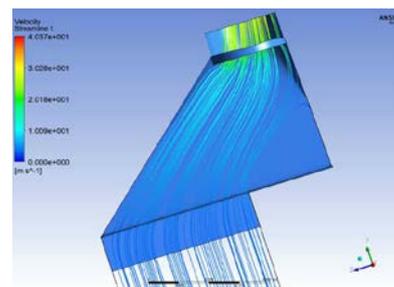
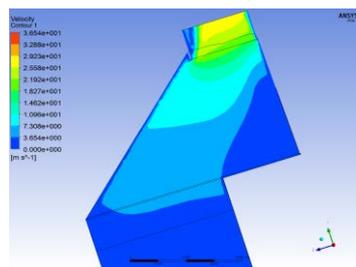


図5 従来品（板金工法品）

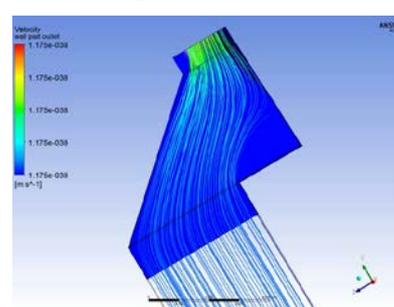
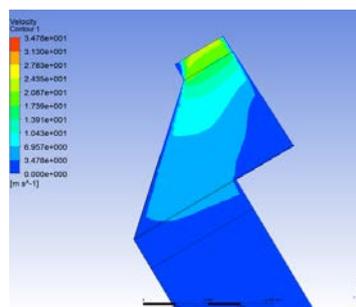


図6 Type 1（プレス成型・板金曲げ4分割構造品）

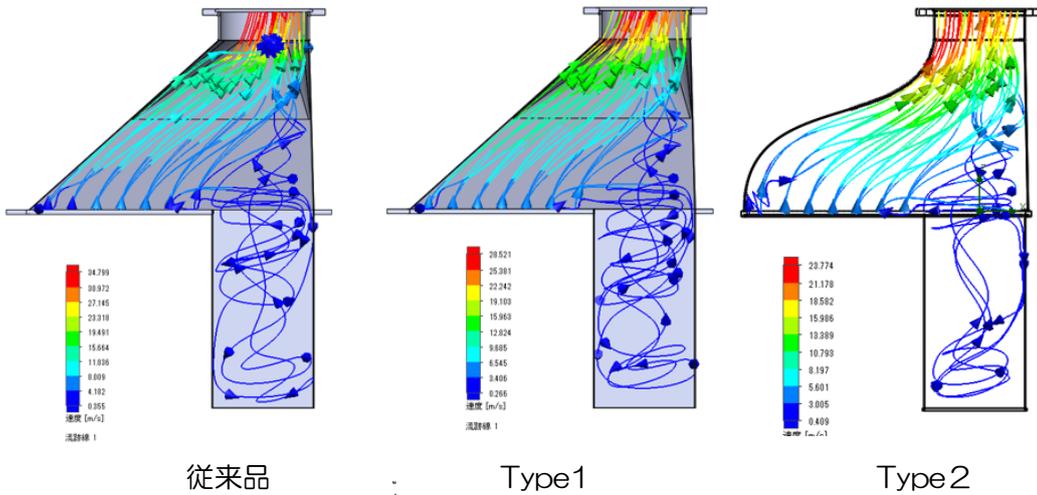


図7 従来品、Type1、Type2の比較（密閉ダクトあり）

【2-1-2】溶接解析シミュレーションによる比較

溶接解析ソフトによる溶接歪シミュレーション解析では、現行（図8）の钣金溶接品の最大歪み 3.98mm に対し、一貫連続溶接品の最大歪み 1.8mm と、歪が 55%減の大幅減少を示した。（図9）

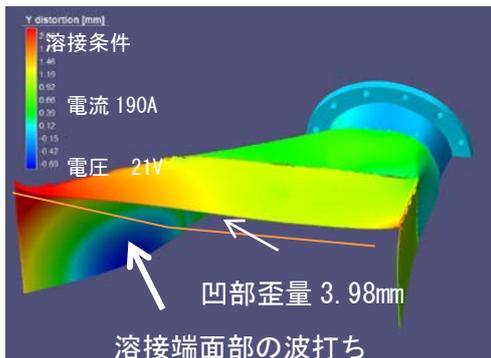


図8 現行品

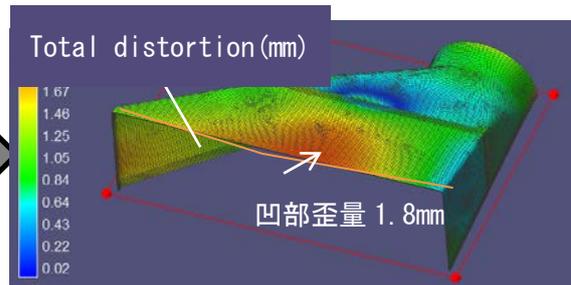


図9 プレス品、曲げ品溶接工法品（凹部歪量 1.8mm）

【2-1-3】プレス成形金型の開発

金型はダクト1のR部材とL部材を一体で成形する型とし、後に切断分離する方式とした。

金型設計に際し、プレス成形ソフトによる成型シミュレーション解析（図10）を行った。その結果深絞り（350mm）工程でしわが発生することがわかり、しわ押さえ金型にリブを追加した。

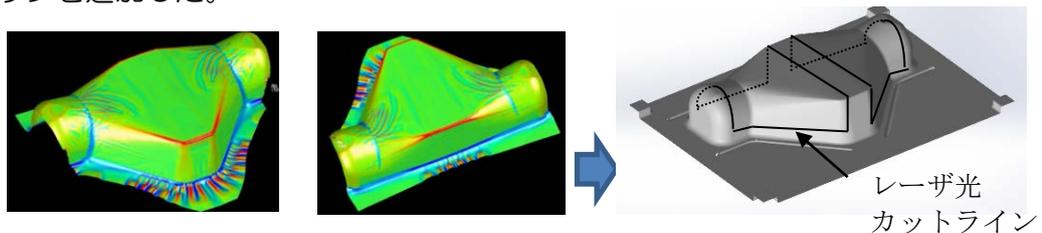


図10 プレス加工材の成型解析結果とR/L部材切り出しカットライン

【公開版】

また、トライ実験でプレス加工時の応力集中で割れが発生した。そこで材料の滑り込み量を増やすためブランク材の形状変更を行い、割れを解消すると共に、板厚減少を3.2mmから2.47mmへと最大限23%に抑えることが出来た。

プレス絞り品のR部材とL部材の切り出しは、プレス品を浮かして支える立体支持治具を製作し、3次元レーザ加工機で行った。

【2-1-4】 プレス成形品のダクト1と钣金工法品のダクト2の接合精度

現行の钣金工法品ではダクト1とダクト2の接合部のスキマが4.0mmあり、仮付け溶接時のスキマ調整作業に8時間程度を要していた。

しかし、ダクト1をプレス成型品にすることにより、接合部のスキマが1.5mm以下となり、調整せずにダイレクトにMAG溶接できるようになり、仮付け溶接が45分で出来るようになった。

なお、ダクト2の折り曲げ部は、曲げRがR8.5からR0.2に徐々に変化する専用R曲げ型を設計製作し接合部に段差が出ないようにした。

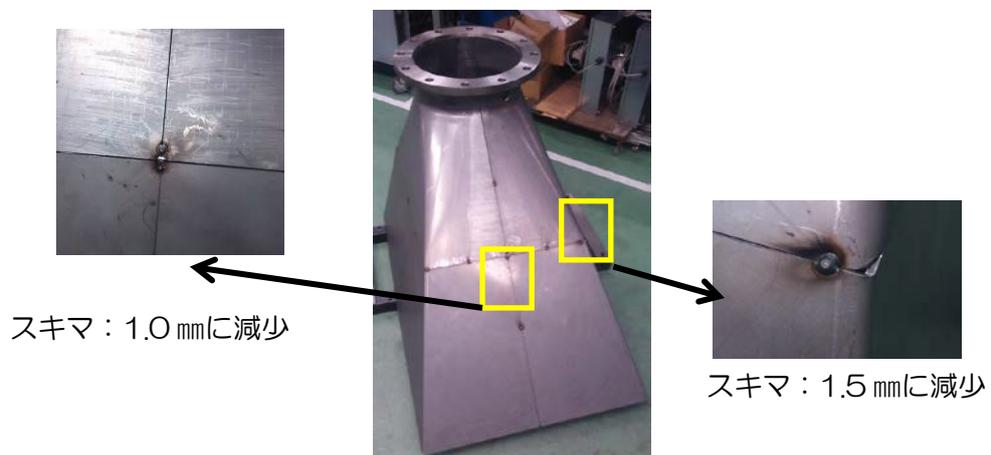


図1-1 プレス成形品と钣金工法品の接合

【2-1-5】 出口ダクトのリブ一体成形

出口ダクトには補強リブが4ヶ所に溶接され、ダクトの強度確保がされている。

そこで、深絞りプレス成形品のR30部をリブに成形する第2工程の金型を開発した。これにより、補強リブを深絞りプレス品と一体成型することができ、部品点数の削減が可能となった。(図1-2)



図1-2 補強リブを一体成形した深絞りプレス品

【2-1-6】 出口ダクトの4分割品の溶接

溶接解析シミュレーションの結果（図13）から溶接時の熱影響で歪変形が発生し、ハウジング本体との接合面が外側へ2.2mm変形する事が分かった事から、出口ダクトの長手方向の溶接線に平行に板厚12mm×幅25mm×長さ630mmと長さ1000mmの補強材を、短手方向に25mm角で長さ640mmの補強材を、予め取り付けしてから溶接を行う工法で溶接を行った。なお補強材は本溶接実施後に取り外す。

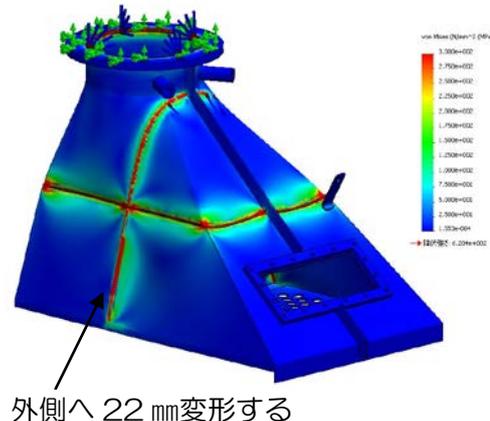


図13 出口ダクトの溶接解析シミュレーション結果

【2-2】 溶接工法の検討

【2-2-1】 MAG溶接の最適溶接条件の選定

MAG溶接の下記溶接ごとに、テストピースによる溶接実験を行い、溶接基準を満足する最適溶接条件を求めた。

- ① 板材SPHC板厚3.2mm同士の突合せ溶接、
- ② フランジ板厚19mmと板材SPHC板厚3.2mmとのすみ肉溶接
- ③ 板材SPHC板厚4.5mm同士のすみ肉溶接
- ④ 板材SPHC板厚4.5mm同士のかど溶接

溶接法はワイヤの出し入れをサーボモータで制御してスパッタ発生を抑制するアクティブワイヤ溶接法（図14）を用いた。なお溶接ロボットの1号機、2号機はホットアクティブワイヤ溶接法（電流上限240A）、3号機はスーパーアクティブワイヤ溶接法（電流上限320A）である。

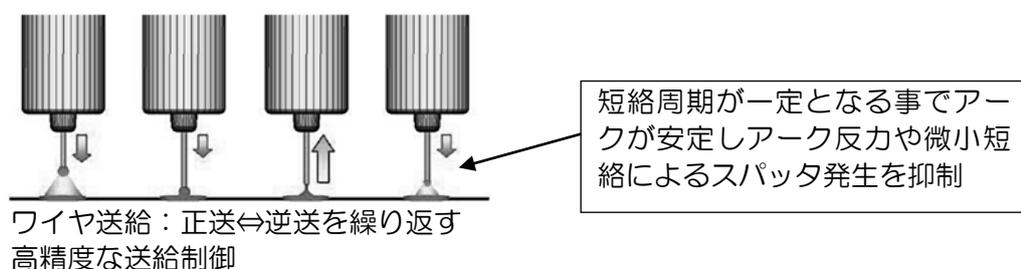


図14 アクティブワイヤ溶接法

図15に、アクティブワイヤ溶接法によるテストピースを用いた溶接実験の溶込み寸

【公開版】

法と溶接脚長の結果を示す。1号機、2号機では溶接電流 240A 電圧 18.2V 溶接速度 40 cm/分の溶接が最適溶接条件であり、3号機では溶接電流 280A 電圧 19.2V 溶接速度 50cm/分の溶接が最適溶接条件であることが判った。

溶接時のトーチの角度は前進角 15 度まで、トーチとワークの間隔は 12~15 mmの間が、最もスパッタの発生が少ない事がわかった。

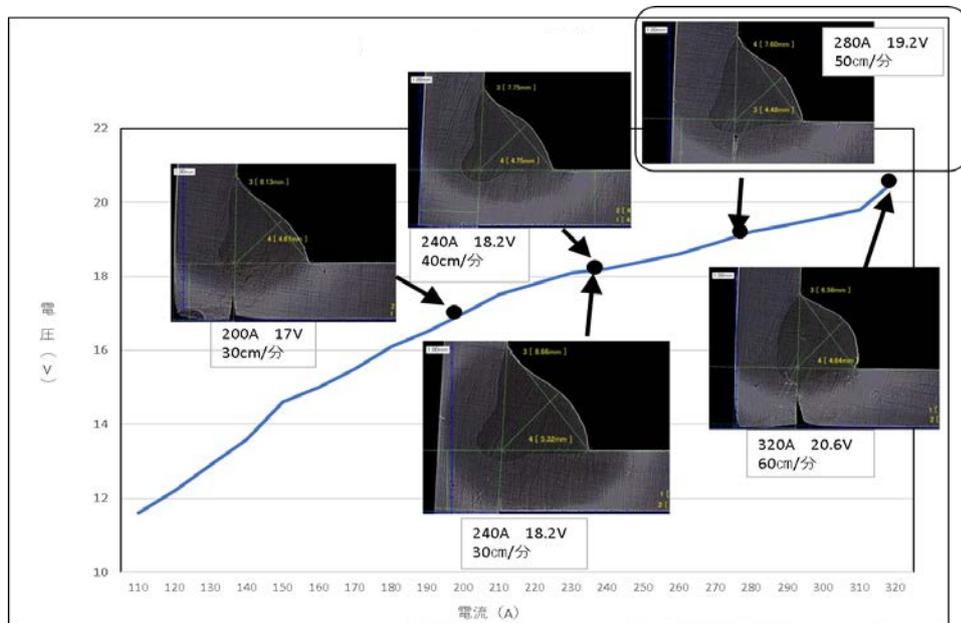


図 15 MAG 溶接（アクティブワイヤ溶接法）の溶接実験における溶込みと脚

【2-2-2】レーザ・アークハイブリッド溶接について

突合せ継手部の溶接は、MIG 溶接では深い溶込みを得ることは難しく、開先を設ける必要があり、加工工数が必要となり溶接容積も大きくなるため溶接工数も大きい。そこで開先が無くても深く溶け込むアーク溶接とファイバーレーザ溶接を組合せたハイブリッド溶接について検討を行った。

①高速度カメラによる溶接現象の確認

アーク溶接とレーザ溶接の組合せ条件を検討するには、短時間に起こる両者の溶融現象を詳しく観察する必要がある。そこで高速度カメラによる溶接現象の観察・確認を行った。



図 16 レーザ・アークハイブリッド溶接実験の状況

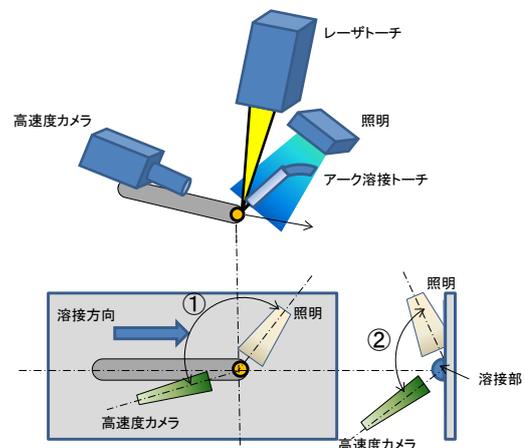


図 17 高速度カメラ撮影時の配置

【公開版】

図16、図17はハイブリッド溶接時の高速度カメラの撮影配置状況である。溶接部を中心に高速度カメラと照明を配置した。この際に、高速度カメラは溶接方向に対し後方から約15~20度の位置で撮影し、照明との角度①は約160~170度で設定した。また、溶接面に対し高速度カメラは約60度位置に配置し照明との角度②は約100度の角度を持って設置した。

高速度カメラは5000~10000コマ/秒の撮影で、照明はLED照明を使用し880nmの波長の物を使用した。

アーク先行の方がビードの盛り上がりが少なく溶け込みが良いよい事がわかる。(図18)



レーザ先行での溶接
(矢印は溶接方向)



アーク先行での溶接
(矢印は溶接方向)

図18 レーザ・アークハイブリッド溶接の高速度カメラによる観察

②レーザ・アークハイブリッド溶接の溶接条件

レーザ・アークハイブリッド溶接における溶込みを、溶接条件を変えながら調べた。

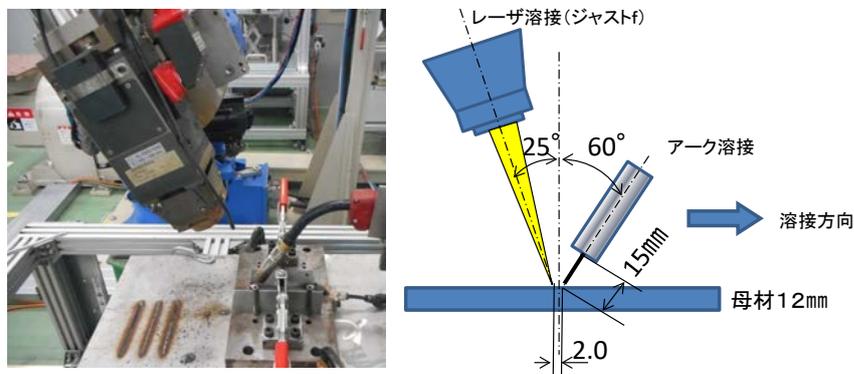


図19 レーザ集光光学系とアーク溶接トーチの配置写真と模式図

図19に示す様にレーザヘッド角度25° ジャストフォーカス、アーク溶接トーチ角度60° 両者の間隔を配置し、アーク溶接を先行とした。溶接母材は溶け込み深さが測定しやすいように板厚12mmとした、突合せ継手の母材間の隙間も溶け込みし易い様に1.6mmと広く開けた。溶接速度は36cm/分で固定した。アーク溶接条件を固定しレーザ出力を変更した場合と、レーザ出力を固定しアーク溶接条件を変更した場合の溶込み深さを調べた。

なお、レーザ溶接のみであれば隙間の許容は0.2mmまでであるが、アーク溶接先行ならハイブリッド溶接なら隙間1.6mmも可能である。

③レーザー出力の影響

図20に示す様に、1 kWから4 kWにレーザー出力を上げることで、溶込み深さは5.2 mmから10.1mmと大幅に深くなることがわかった。

アーク溶接条件；溶接電流 200 A；アーク電圧 27 V；溶接速度 36 cm/min

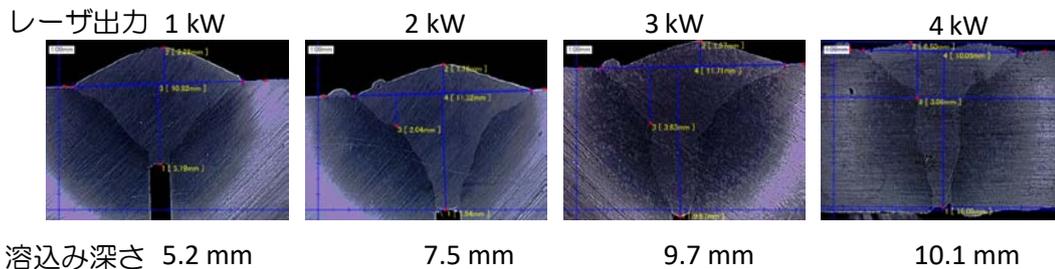


図20 アーク溶接条件を固定しレーザー出力を変更した時の溶込み状態

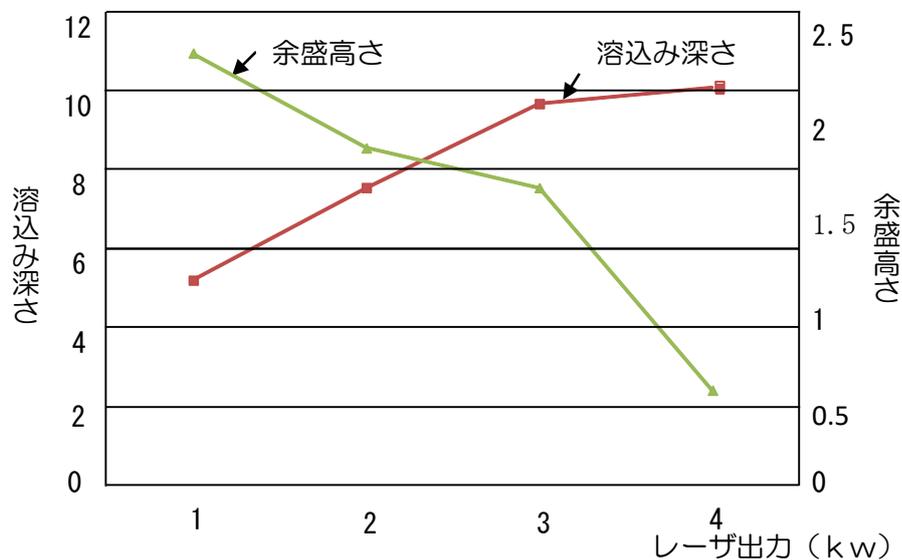


図21 溶込み深さと余盛高さの関係

図21は、溶込み深さと余盛高さをグラフ化したものである。レーザー出力が大きくなると、溶接の溶込み深さは深くなり、溶接ビードの余盛りが低くなるっている。これはアーク溶接の融液が、レーザー溶接のキーホールで下方に押し込まれたためと考えられる。

④アーク溶接出力の影響

図22に示す様に、溶接条件を180 A、25 Vから260 A、31.6 Vまでアーク溶接出力を上げていくと、溶込み深さは7.7 mmから9.9 mmまで深くなることがわかった。

レーザ出力 3 kW: 溶接速度 36 cm/min

アーク溶接条件 (溶接電流, アーク電圧)

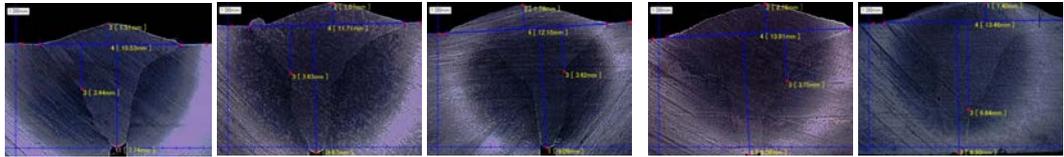
180A, 25 V

200A, 27 V

220A, 28.6 V

240A, 30 V

260A, 31.6 V



溶込み深さ 7.7 mm

9.7 mm

9.1 mm

9.1 mm

9.9 mm

図22 レーザ出力を固定しアーク溶接条件を変更した時の溶込み状

【2-3】 入ロダクトのミキサーの薄型・コンパクト化の検討

【2-3-1】 ミキサー部の攪拌効果の高い形状の設計検討

流体解析によるシミュレーションを、従来品の図面に基づく触媒は取付けされていない条件で行った。その結果 (図23)、流体はミキサー部にあたり渦流を形成し、ハウジング部に入っていくことがわかった。

流体が渦流の形態になることから、その流速はハウジング近傍と、中心部で速度差が生じ、ハウジング近傍では、流速が早く、中央部は流速の遅い状態が形成されている。

このことから、ハウジング内に設置されるミキサーは、触媒面に対し排気ガスの多くあたる部位と少ない部位が発生し、均一に排気ガスが当たらない事がわかった。

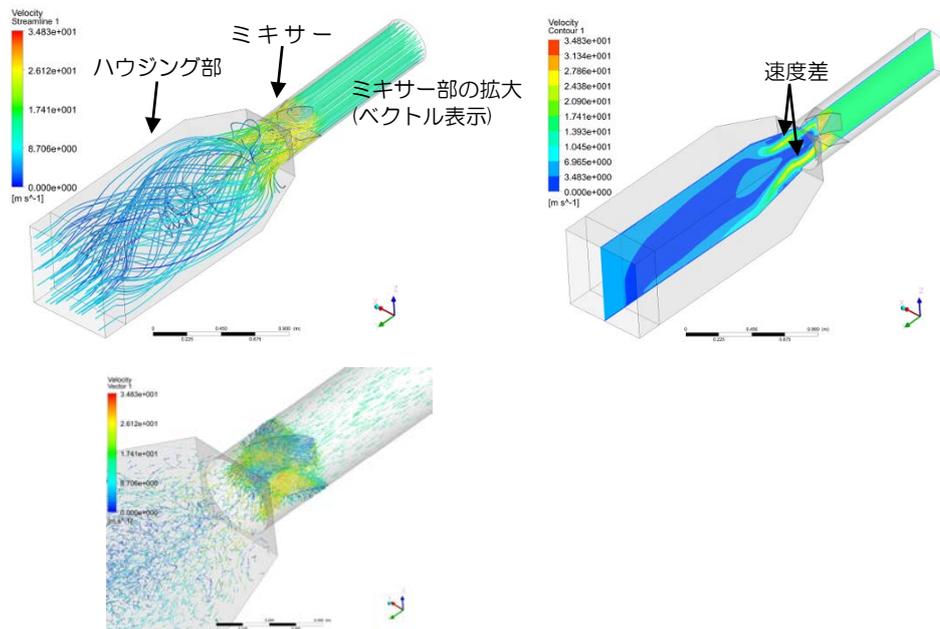


図23 入ロダクトのミキサー部からハウジング本体への流体解析結果
(触媒は取付けされていない条件での解析結果)

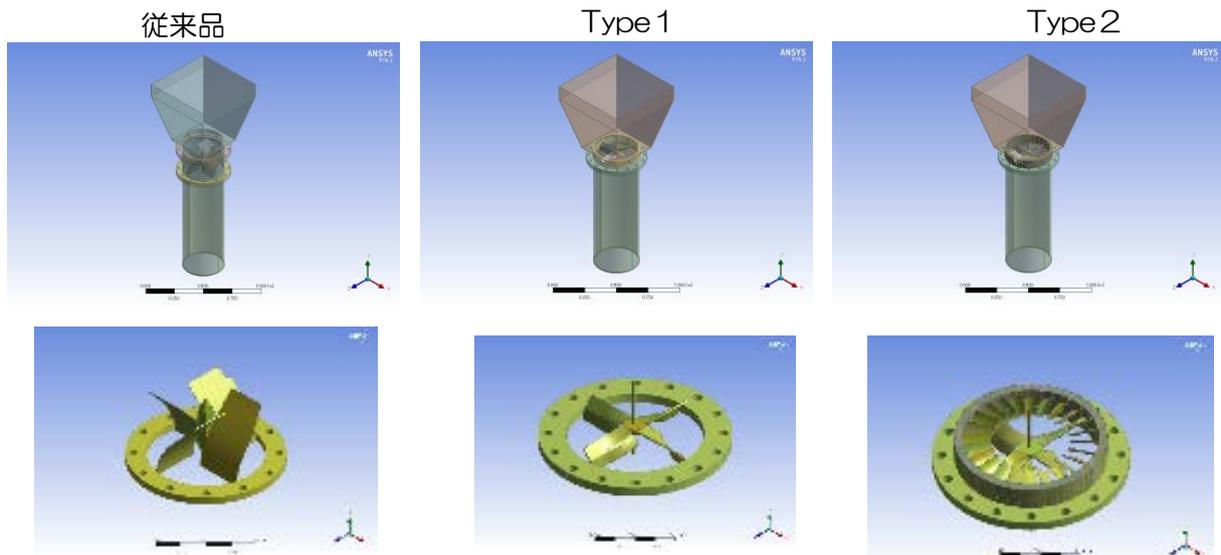


図24 従来のミキサー羽形状品と構想した2種のミキサー羽形状品

次いで、従来のミキサー羽形状品と構想した2種のミキサー羽形状品の攪拌状態について、ハウジング部に触媒を設置したという仮想状態(以下、フィルターと言う)で流体解析によるシミュレーションを実施した。従来の羽形状は縦に厚みのある形状で、今回構想したType1は従来品よりも半分程度の厚みである。また、構想したType2はType1の羽形状に楕状の羽を重ね合わせた複合型になっている。

最初に、従来品の流体解析結果を図25に示す。図より、触媒は取付けされていない条件で解析を行った結果同様にハウジング近傍と中心部で速度差が生じていることが確認できる。また、フィルターにあたって、跳ね返る現象も確認できる。

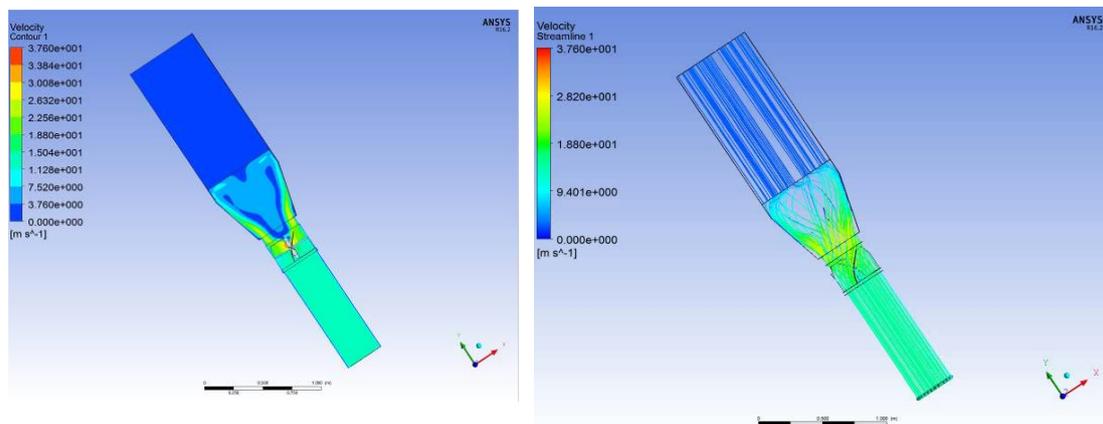


図25 従来品の流体解析結果

次いで、Type1の流体解析結果を図26に示す。図より、先の従来品と比べると、中心部にガスの流れが集中し、ハウジング近傍にはガスの流れが確認できないという、逆の結果が得られた。

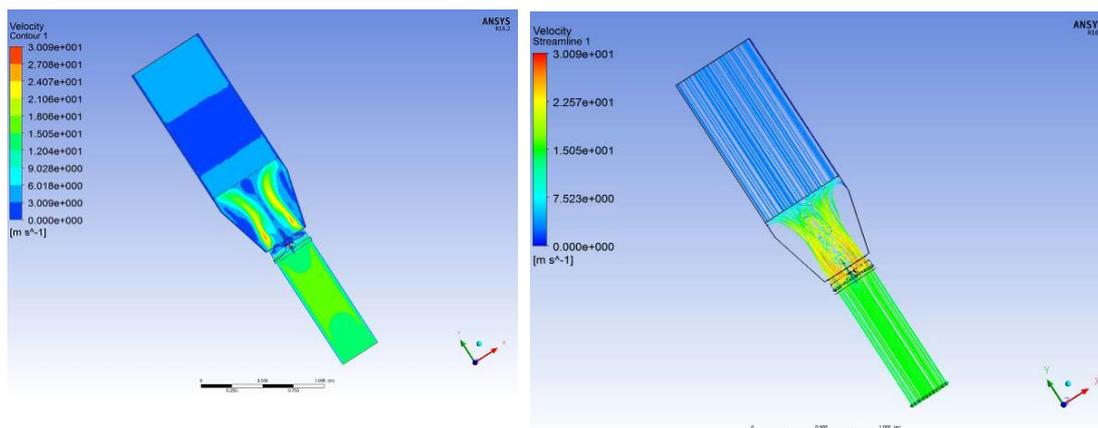


図26 Type1の流体解析結果

最後に、Type2の解析結果を図27に示す。図より、先の従来品と同様の流れで、ガス流体がミキサー部からハウジング部に入って、ハウジング近傍と中心部で速度差が生じていることが確認できる。また、フィルターにあたって、跳ね返る現象も同じように確認できる。

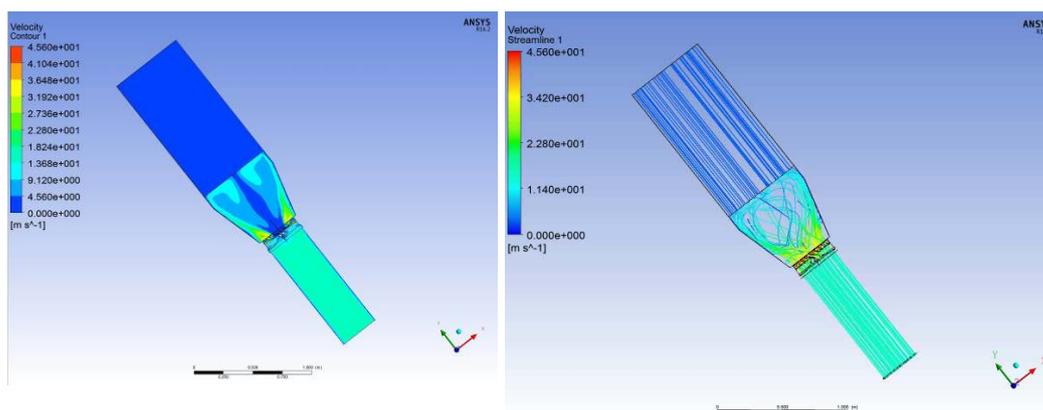


図27 Type2の流体解析結果

これらのことから、従来のミキサー羽形状品と構想した2種のミキサー羽形状品の攪拌状態について、流体解析することにより構想したType2の薄型の羽形状でも従来品と同等のみ攪拌効果が見いだすことができた。また、ミキサー部を通過した流体は、渦状の流れになることから、ハウジング近傍と中心部で速度差が生じることで、触媒面に対し流体が多く当たる部分と少ない部分があることが可視化できた。

流体解析によるシミュレーションの結果、尿素水と排気ガスの混合状態を検証し、タイプ2の物が薄型で且つ、混合状態が川下産業での設計品と同等の状態が得られる事が判った事からことから、図28に示すミキサーの製品図面化を行った。

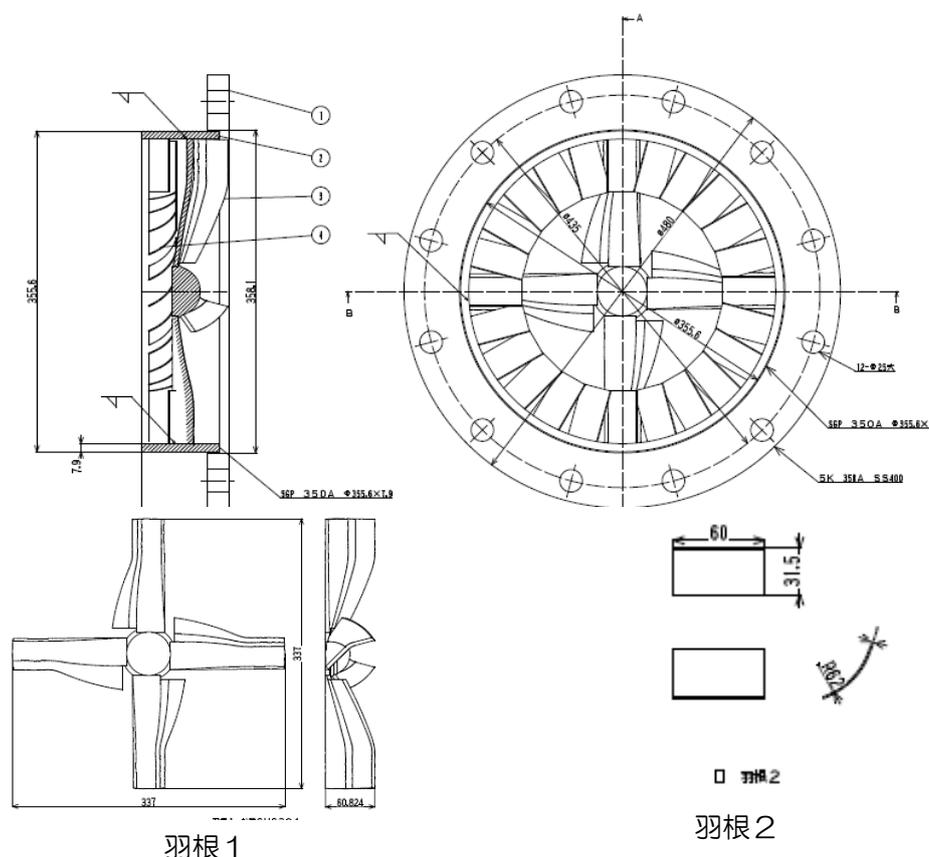


図28 EY18 ミキサー図面

従来のミキサーは全長が230 mmとなっており、SCR 触媒反応器と組み合わせて使用SCR 本体の2765 mmとミキサーの230 mmを組み合わせると2995 mmとなる。

サポイン事業で開発したミキサーは羽根形状を変更し全長を98.5 mmとしSCR 触媒反応器の入口ダクト部に直接組み込む様に変更しミキサーを一体化する事で、ミキサーを含む全長寸法は2765 mmとなり約8%のコンパクト化が可能となる。

また、図12に示す、羽根1、羽根2はそれぞれ、プレス加工で加工が可能な形状としており安定した形状で加工できるように設計を行った。

【2-4】流体解析シミュレーションによる全体の圧力損失

入口ダクト（ミキサー含む）とハウジング本体と出口ダクト（プレス成型板金曲げ4分割品）を組み合わせた全体としての圧力損失を求めるため、流体解析シミュレーションにより圧力損失を調べた。その結果を図13に示す、ミキサーから入った際の圧力2200Pa が SCR 触媒反応器の各エリアを通る事で差圧が発生する。これを順に引いていくと SCR 触媒反応器としての圧力損失となり、触媒反応器内の圧力損失は500Pa となる。水柱に単位換算すると50 mm Aq となり、触媒反応器内の圧力損失の目標値120 mm Aq 以下に対し目標を達成できた。

特に、ダクト反応器のプレス化により、300A パイプと板金部品の接合部（舌部）の段差がなく滑らかな形状となった事と、プレス部品とダクト下部の板金部品の接合段差を0.5 mm以下にする事が大きく寄与している。

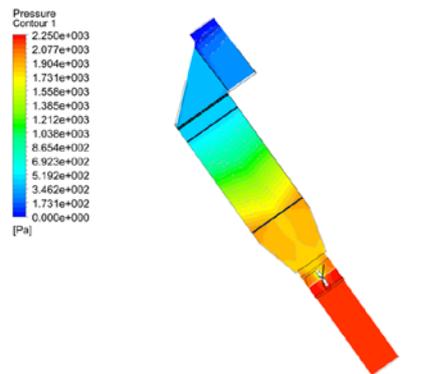


図29 流体解析シミュレーションによる圧力損失の解析結果

【2-5】大型一体品溶接工法技術の開発

【2-5-1】溶接強度と歪変形を最小限に抑えるハウジングの構造体の開発

ハウジングの構造体は、現状強度を補強するため、板材溶接後にリブ材を溶接している。このため、溶接部分が増えると共に、歪みも大きくなっている。

これを解消するため、板材の端部をコの字に曲げて板材の剛性を増すと共に、コの字部分を突合せて溶接し溶接部を少なくして歪変形を少なくする方法を検討した。

溶接解析シミュレーション結果より、板材の端部のコの字曲げ部に開先を設けることで、十分な溶接強度を確保すると共に溶接部を減らし歪みを少なくすることが出来、またハウジング内面の溶接ビード面が平坦となり圧力損失の低減効果が期待できることがわかった。(図30)

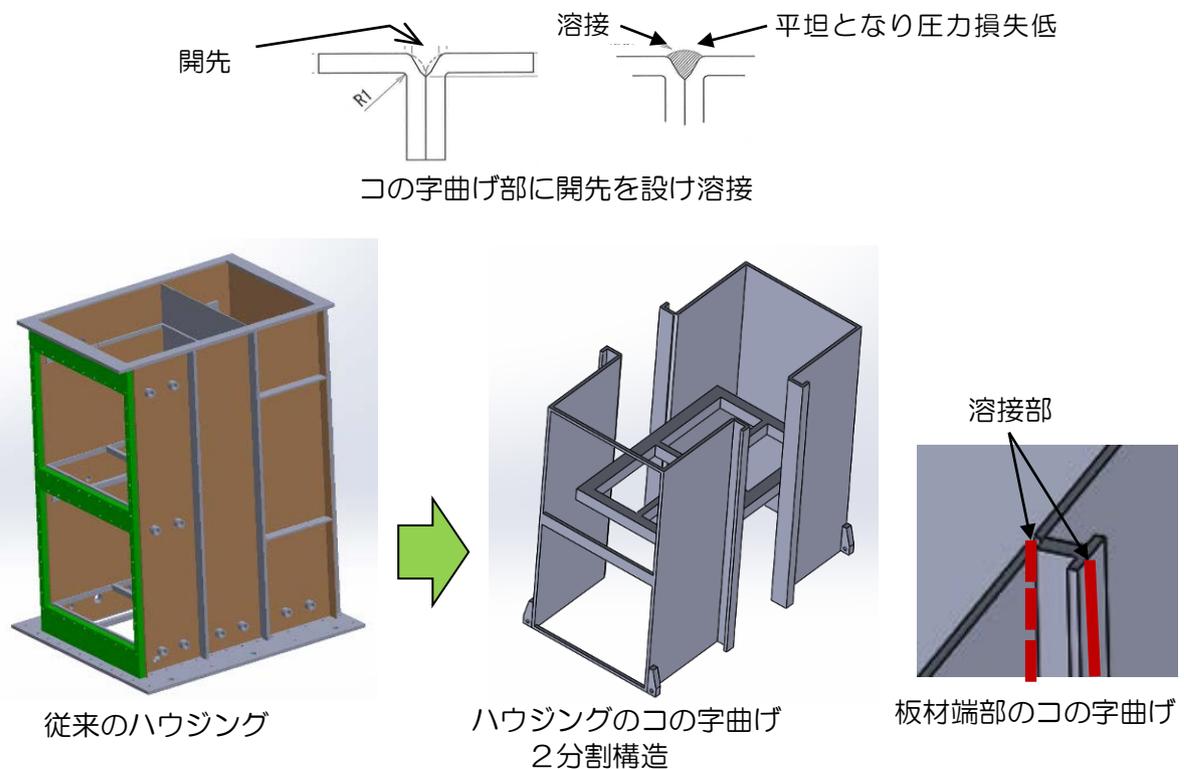


図30 コの字曲げによる溶接低減・歪低減・圧力損失低減

【2-5-2】インロウ（差し込み）形状による位置決め精度向上

大型重量容器を構成する各部品の位置決めをインロウ（差し込み）方式とする事で、部品同士の位置決め精度を確保し歪変形を最小限にした。

なお、差込の形状寸法および溶接方法については評価テストピースによる実験評価を繰返し最適形状および最適溶接方法を選定した。



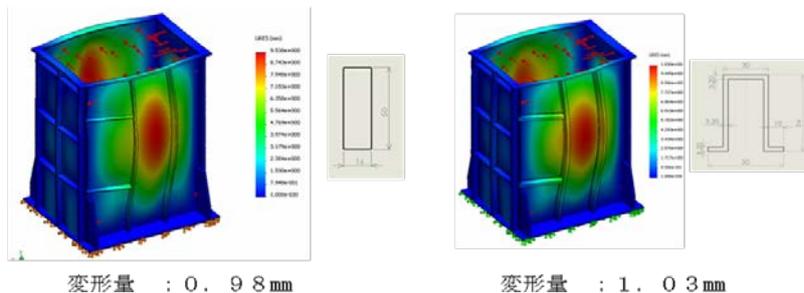
図31 評価テストピース

【2-5-3】ハウジングの補強リブの軽量化

ハウジング本体には、大きな平板にかかる排ガス圧力により変形を生じる。そこでこれを防止する補強リブとして50mm×16mmの平鋼が用いられている。今回このリブの軽量化を行うため構造解析シミュレーションによる解析を行った。

解析に用いたリブ形状は、現状の平鋼のほか、薄板のハット曲げ形状品2種類と薄板のコの字型形状品である。

図31の構造解析結果より、補強リブの重量を約4割軽量化できることがわかった。



変形量 : 0.98 mm

変形量 : 1.03 mm

従来の平鋼リブ

薄板のハット曲げリブ

図31 平鋼リブとハット曲げリブの構造解析結果

【2-6】大型重量容器用の溶接治具、ハンドリング治具の開発

大型重量容器である SCR 触媒反応容器を高精度かつ低変形で溶接を行うため、溶接治具とハンドリング治具を開発を行った。

治具の設計にあたって、以下の項目を開発ポイントとした。

- ① 一貫溶接：一貫溶接が可能な治具構成とする。
- ② コンパクト化：構造体が大きいため、全体を覆う固定方式は治具が大きくなりすぎ実用的でない。そこでコンパクト化をめざし、溶接部材同士を印籠継手で位置決めする方式を採用し、その印籠継手形状を正確に出すための治具を作る。
- ③ アタッチメント化：仮付け溶接と本付け溶接の治具をアタッチメント化することにより、1つの治具で兼ねる構造とする。

【公開版】

- ④ 冷却性：溶接熱が籠りやすい個所に銅板を取り付けて熱を逃がす冷却性構造とし、熱歪変形が起こりにくい治具とする。
- ⑤ 軽量化：治具サイズが大型となるため重量が重くなり、治具の移動と固定の微調整が難しくなる。そこで、軽量化を図るためアルミ材を多用し、精度が必要な個所には焼入れピンと焼入れブッシュを用いることとした。これにより、治具の移動と固定を容易にする。
- ⑥ 安全性：重量物を安全に移動するため、クレーンやフォークリフトを使用せず、11軸溶接システムなどの溶接システムに搬送できる方法とする。

溶接手順は高精度や低変形の確保と共に大型重量物のハンドリングを考慮して決めた。

そして、これらの溶接に必要な溶接治具（システム）、ハンドリング治具（装置）を開発した。

【2-6-1】ハウジング本体用溶接治具

ダクト反応器（入口側）と一体になったハウジング本体を溶接するため、全体を強固に固定し組み立て、仮付け溶接、本溶接を行うベース治具となるハウジング本体用溶接治具

【2-6-2】出口ダクト反応器溶接治具

プレス成形金型で成形した出口ダクト部材R/Lを一体に溶接する出口ダクト反応器溶接治具

【2-6-3】入口ダクトのパイプ部品とフランジの溶接治具

2個の入口ダクトとハウジングプレートとの溶接（図32）は、プレート端面部の近傍を溶接するため溶接熱による変形が生じやすく、ハウジング本体との接合時に隙間が生じる事が考えられた。

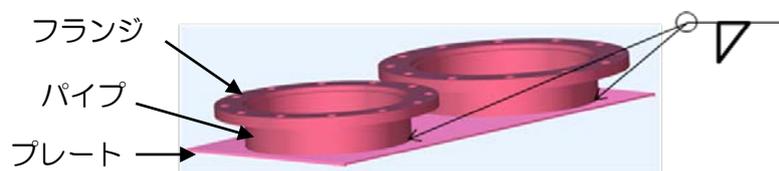
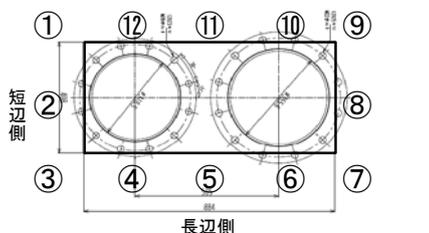
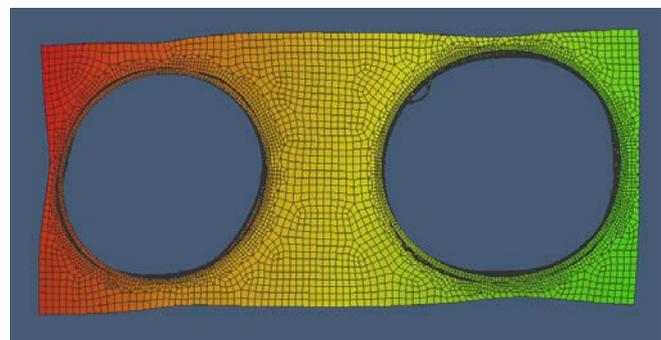


図32 入口ダクトの溶接

溶接解析シミュレーションの解析を行った結果、パイプ部品とプレートの端面部の距離の短い部分で最大 0.7mm のそり変形が発生することがわかった。そこでそりを防止するプレート押さえ板を治具に追加して変形を抑えた。（図33）



反り測定ポイント



解析後の形状

測定ポイント	短辺側			長辺側				単位mm
	①	②	③	③	④	⑤	⑥	⑦
解析による反り量	0	0.4	0	0	0.3	0.1	0.7	0
	⑦	⑧	⑨	⑨	⑩	⑪	⑫	①
解析による反り量	0	0.2	0	0	0.2	0.5	0.4	0

図33 構造解析結果と反り量

また、フランジ間の最も近接する部分で約 100 mmの範囲が溶接トーチが接触し溶接できない事が判り、図34に示す様に、溶接トーチの曲げ角度を検討して専用トーチの製作を行った。



図34 先端を曲げた専用トーチ

【2-6-4】触媒投入口部のフランジ溶接治具

触媒投入口部のフランジ面は、SCR 触媒反応器全体を組み立てる基準面となるため、本治具のワーク保持面の平面度を 0.05 mm以下と溶接治具としては高精度とした。また、溶接の熱変形を減らすため、保持面に冷却効果の高いアルミ材を用いた。



図35 フランジ溶接治具

【2-6-5】ハウジング本体仮付け溶接治具

ハウジング本体の仮付け溶接を溶接解析シミュレーションで解析した。その結果（図36）、中間板の溶接時に背板を溶接する部分が内側に変形する事が判った。そこで溶接治具に変形防止治具を組み込んだ。その結果、仮り溶接時の歪変形を防ぐ事が出来た。

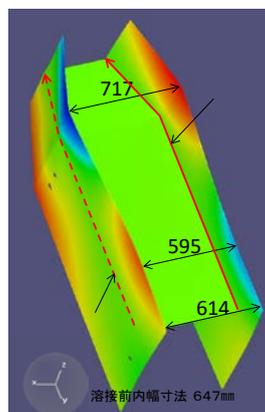


図36 ハウジング本体の仮付け溶接の溶接解析結果

【2-6-6】天吊り仕様溶接ロボットシステム

全長 2700 mm、総重量 900 kg の大型重量容器を溶接する場合、クレーンで吊上げて反転させるマテハン作業が必要となる事から、不安全な作業が発生する。そこで、溶接ロボットを天吊り型とし、出口側ダクトとハウジング本体との合体治具を内蔵し、ポジショナーでワークを回転させ SCR 触媒反応器の外側 4 面の溶接を溶接ロボットで上面から行い、完了後にワークをロボットの下を通過させて次工程へ移動する天吊り仕様溶接ロボットシステム（図 37）を開発した。

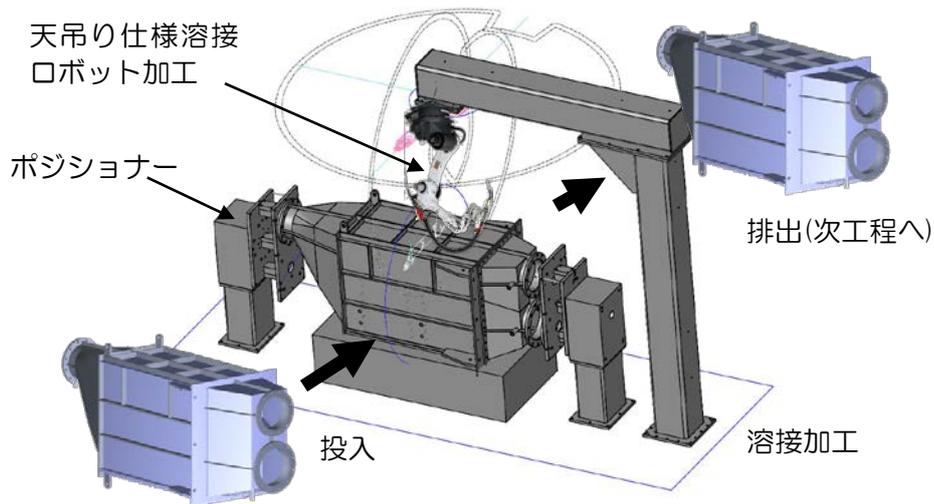


図 37 天吊り仕様溶接ロボットシステム概要

【2-6-7】SCRシステム耐圧検査治具

川下産業の検査基準である、エア圧力 1.5KPa を掛け、30 分間保持後にリークの無い事を検証する為の治具である。

容積が大きい為検査圧が安定するまでの調整が必要な事と、検査完了時間までの時間が 30 分と長い事から、検査手順の間違いによる誤判定がおきやすい。これを防止するためエア投入から検査完了までを一貫で出来る様に検査プログラムを開発した。

なお、SCR 触媒投入口フランジ部の短辺側は外側にクランプを取付ける事ができないため、SCR 触媒反応器の自重を検査治具が均一な力で支えるように皿バネを用いて調整し、Oリングが均一に圧縮されるようにした。

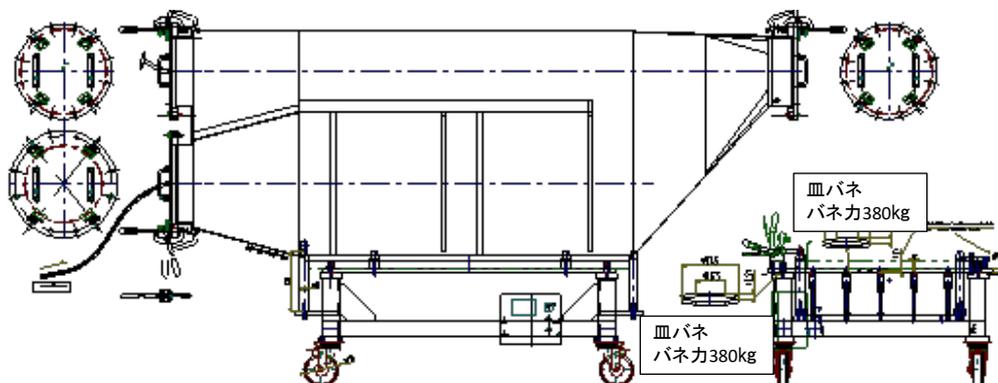


図 38 SCR システム耐圧検査治具

【2-6-8】ハウジング本体の合体仮溶接冶具

ハウジング本体の触媒投入口フランジと入口ダクト、出口ダクトのフランジを用いて合体させて仮溶接するためのハウジング本体合体溶接冶具で、まず、垂直なフランジを位置決めする冶具に出口ダクトを固定し、触媒投入口フランジを位置決めする冶具上面にハウジング本体を乗せ、回転する冶具に入口ダクトのフランジを固定し、入口ダクトをシリンダ駆動で垂直にしてから入口ダクトを別のシリンダで水平移動させて、これらを合体させ仮溶接する構造とした、これで入口と出口のフランジの平行度や位置関係を確保することができた。

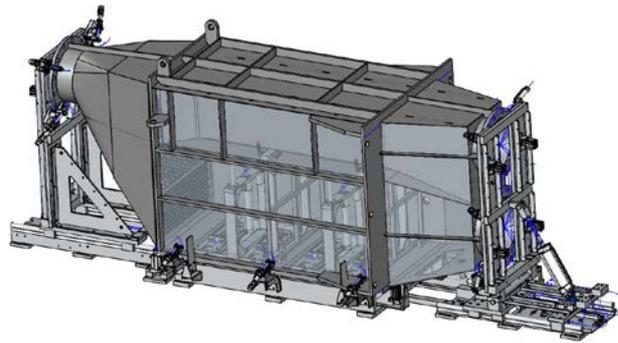


図39 ハウジング本体の合体イメージと冶具イメージ

【2-6-9】ハウジング本体内部の触媒棚と中間板の溶接工法変更

ハウジング本体の内部に取り付ける触媒棚や中間板の溶接はすみ肉溶接が指示されていたが、今回の溶接手順を進めていくと、溶接ロボットでは溶接姿勢が取れず、手作業でも無理な姿勢となるため、すみ肉溶接工法からスロット溶接工法（図40）への変更を図った。

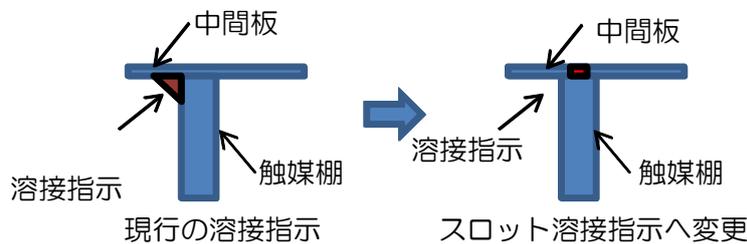


図40 溶接工法の変更

最適なスロット溶接方法を見つけるため、スロット溶接の幅及び長さ寸法を変えてテストピースによる溶接実験を行った。その結果（図41）、溶接部からの漏れはなく溶接外観も良い幅6.0mm長さ40mmが選定でき、川下産業へ提案して採用された。

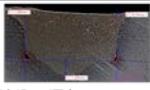
	幅6mm×長さ40mm	幅8mm×長さ40mm	幅10mm×長さ40mm	幅12mm×長さ40mm
溶込み	 溶込み深さ 1.33mm	 溶込み深さ 0.96mm	 溶込み深さ 0.87mm	
漏れ	○	○	○	○
溶接外観	○	△	△	×

図41 スロット溶接実験結果

【公開版】

【2-6-10】天吊り溶接ロボット用ハンドリング治具の開発（高橋金属オリジナル仕様）

ハウジング本体を全周溶接する天吊り溶接ロボットと多くの補強リブを溶接する天吊り溶接ロボットの間を搬送する装置と天吊り溶接ロボットの下でハウジング本体を回転させるワークチャック治具とワークアタッチメントを製作した。

重心軸が偏芯している SCR 触媒反応器をポジショナーで回転させるため、ハウジング本体のフランジ中心から回転中心に軸をずらすワークアタッチメントと、ロボットに連動して回転するワークチャック治具を製作し、高橋金属オリジナル仕様の溶接ロボットを開発した。

【2-7】SCR 触媒反応器一貫生産ラインの開発

SCR 触媒反応器一貫生産ラインは、大型、重量物の SCR 触媒反応器をワークの投入方向を手作業で変える事無く溶接加工を可能とする、また、溶接ロボットは天吊り型の仕様とし溶接ロボットの下にワークを設置し、下向き姿勢での溶接を基本に溶接ができる様に構成している。

初期の試作時の課題で、ハウジング本体の溶接面を変える為にクレーン等を使用してハウジングの反転作業をしており、溶接作業時間以上にワーク姿勢を変更する時間が大幅にかかった。このことから SCR 触媒反応器の 2 号機、3 号機でワークの溶接を行う場合は、ワークの両端のフランジを保持しポジショナーで回転させ溶接が出来る様に設計・製作を図った。

【2-7-1】大型重量容器の保持方向と自重による変形について

容器の全長 2765 mm 重量 700 kg の SCR 触媒反応器を横持ちで溶接する為、自重で下向きのたわみ変形が無いかどうか、構造解析シミュレーションによる検討を行った。

縦保持・横保持とも、入口ダクト部のコーナー部に歪変形が約 1.1 mm 発生するが、それ以外は大きく変形する事はなく、問題の無い事をわかった。

【2-7-2】天吊りスライド仕様溶接ロボットの設計・製作

【6】で天吊り溶接ロボット用ハンドリング治具の開発について述べたが、一貫溶接ラインでの SCR 触媒反応器の溶接の区分を検討すると、ワークの外周に取付ける補強材の溶接長さが全体の約 1/3 を占める事から、補強材を溶接する為の天吊り溶接ロボットとハンドリング治具を新たに設計・製作した。

SCR 触媒反応器の補強材が入ロダクト部から出ロダクト部の全域に取付ける様に設計されている事から、ロボットがスライドしワークの全域を溶接できるように設計した。また、高速で溶接の出来る最適溶接条件を選定し、溶接時間の短縮を図り、従来よりも約 30% の溶接時間短縮を図る事ができた。

【2-7-3】溶接ロボットの溶接長さを実際の溶接時間

一貫溶接ラインで溶接ロボットを活用した溶接加工を行う事で、総溶接長に対し、溶接ロボット使用で担う溶接長を約 75% とする事ができた。

また、溶接条件も高速で溶接の出来る最適溶接条件を選定したことで溶接ロボットの

加工時間の約25%を削減が出来た。

仮付け溶接の手溶接時間を加えても、総溶接加工時間は目標の900分/台以下を達成出来た。

第3章 全体総括

【3-1】 研究開発成果まとめ

- ①入口ダクトから出口ダクトまでの全体としての圧力損失は 50 mm Aq となり、触媒反応器内の圧力損失の目標値 120 mm Aq 以下を達成できた。
- ②エア投入から耐圧検査完了までを一貫で検査出来る様に検査プログラムを開発した。これにより耐圧性 1.5kPa におけるリーク無しを保証できた。
- ③リブ重量を40%軽量化できた。また全長を8%コンパクト化できた。
- ④総溶接加工時間は 230 分/台となり、目標の 900 分/台以下を達成することが出来た。

【3-2】 研究開発後の課題

今回の研究開発で、船舶用ディーゼルエンジンの SCR 触媒反応容器における圧力損失の低減技術、耐圧性 1.5kPa におけるリーク無しを達成する技術、軽量化・コンパクト化技術、生産性向上技術などを構築することができた。しかし技術は絶えず革新させていかなければならず、今後もさらなる目標を掲げて研究開発を行っていく必要がある。

【3-3】 事業化展開について

川下産業の企業から本開発品の引合いや発注が寄せられており、現在事業化に向けての取り組みを進めている。そしてサイズやタイプの異なる SCR 触媒反応器へ対応を視野に今後も関連技術の開発を進めていく予定である。