

水素社会実現に向けた、高品質かつ合理的な高圧水素溶接

一体構造部品製造技術の研究開発（第3報）

宮川和幸・佐野正明・阿部治・石田正文・深澤郷平・早川亮・古屋雅章
新藤淳*1・中村博*1・榎本光司*1・込山匡*1・船木C祐二郎*1・瀬尾祝之*1・庄司友幸*1・坂本正*1

Research and Development on Manufacturing Technology for High Quality and Reasonable Welded Monolithic Parts for High Pressure Hydrogen for the Realization of Hydrogen Society (3rd Report)

Wako MIYAGAWA, Masaaki SANO, Osamu ABE, Masafumi ISHIDA, Kyohei FUKASAWA, Ryo HAYAKAWA, Masaaki FURUYA, Atsushi SHINDO*1, Hiroshi NAKAMURA*1, Koji ENOMOTO*1, Tadashi KOMIYAMA*1, Yujiro Cristiano FUNAKI*1, Noriyuki SEO*1, Tomoyuki SHOJI*1 and Tadashi SAKAMOTO*1

要 約

水素ステーションの普及には高品質かつ低価格な配管締結法が求められている。本研究開発では、高圧水素配管用自動溶接装置を開発し、溶接構造を採用した部品のサブモジュール化を進める。これにより、信頼性を低下させることなく水素ステーションの設置費用を低減可能とし、水素社会を実現するためのインフラ整備を加速することを目的とした。本研究開発では、高品質自動溶接システム（High quality Automatic Welding System : HAWS）を開発・改善を行った。また、φ12.7のHRX19を用いて、メタルガスケット継手に対応する溶接配管モジュールを試作し、FC-EXPOにて展示した。併せて、溶接品質管理システムを構築するために、溶接条件と溶接品質の相関を確認し、高圧水素用溶接配管に求められる引張強度800MPa以上を達成し、健全な裏波ビードも作成することが可能となった。併せて、検査仕様書、作業手順書等の作成を行い、外観検査および種々の非破壊検査の実施体制を構築した。

1. 緒 言

燃料電池自動車の普及には水素ステーションのさらなる設置が必要であることは明らかであるが、現行の水素ステーションが有する問題点として、

- ①設置費用が高額（4～6億円）
- ②継手の信頼性が低く、点検に要する時間が長大であることによる稼働率の低下等が挙げられる。

設置費用が高額化している原因の一つとして、配管結合に要する部品（継手）が高額（10万程度）であることも一因である。一カ所の水素ステーションに機械式継手が500個以上使用される例もあり、コスト低減に関する要望は大きい。また、水素の圧力が70MPa以上となっており、高品質かつ低価格な配管締結法が求められている。本研究開発では、高圧水素配管用自動溶接装置を開発し、溶接構造を採用した部品のサ

ブモジュール化を進める。これにより、信頼性を低下させることなく水素ステーションの設置費用を低減可能とし、水素社会を実現するためのインフラ整備を加速することを目指す。

2. 研究開発の内容

本テーマにおいては、溶接技術に着目し、従来の自動溶接機の優れた点と企業で培ってきた溶接関連のノウハウを駆使して新機構を盛り込んだ高品質自動溶接システム（High quality Automated Welding System : 以下HAWSと記載）の研究開発を目指すこととした。設定したサブテーマは以下の3つである。

- 溶接加工の高品質・自動化
- 高圧水素配管溶接一体構造のモデル化
- 溶接品質管理システム構築

以下、それぞれのサブテーマで実施した内容について記す。

*1 藤精機株式会社

2-1 溶接加工の高品質・自動化

HAWS 設計にあたり、必要とされる機能の抽出を行った。その結果、溶接手法としては手溶接での経験を生かすことができる TIG 溶接を採用し、トーチではなくワークを回転させることにより、溶接安定性に優れた下向き溶接による溶接を採用した。HAWS については接合実験の継続により得られた改善すべき点や機能追加を行うべき点を基に、2 年にわたり改善を行うこととした。

使用材料については、昨年度 SUS316 の Ni 当量材および HRX19 に関して情報収集を行った。HRX19 は SUS316Ni 当量材と比較して高強度であることから、求められるスペックの配管モジュールを作成する場合、大幅な軽量化が可能となる。また、燃料電池自動車や水素ステーションに関する関心の高まりに伴い、関係業界から HRX19 への関心が高まり、これまで非常に厳しい状況であった材料の入手性が改善されはじめ、接合実験で使用する程度の量であれば納期は要するものの入手が可能になってきた。そこで、使用材料については全面的に HRX19 を採用することとした。また、昨年度はモジュール設計を行う場合、溶接継手とコーンアンドスレッド継手を併用せざるを得ず、HAWS を用いてもコスト低減および稼働率の向上は不十分であった。そこで、より溶接配管のメリットを得られる手法を確立するため、種々の情報を収集することとした。

2-2 高圧水素配管溶接一体構造のモデル化

組立工場での大量生産化に向けた高圧水素配管溶接一体構造の開発を行い、高品質の確認、作業効率とコンパクト化によるコストダウンの見通しを図り、川下製造業者への販路を開拓することを目標とした。

加工可能サイズの確認、最小枝配管間隔の確認等の目的で立体配管モジュールの試作を行い、加工手順の確認を行う。また、複数の商用水素ステーションを見学し、基本となる要素を抽出して試作を行う。また、試作した溶接配管モジュールについて変形量、たわみを考慮して精度に関して測定を行う。これらの過程で得られた情報を基に、HAWS への機能追加・改良を行うため設計部門にフィードバックする。試作した溶接配管モジュールについては、ユーザー企業からの意見収集を目的として、FC-EXPO への出展を検討することとした。

2-3 溶接品質管理システム構築

高圧水素条件下で安定稼働させるために、接合強度が安定して 800MPa 以上となる溶接条件の確立を目標とする。

溶接速度と溶け込み深さ、溶け込み形状との関連、

接合強度についてデータを収集する。また、溶接に関する種々のパラメータについて品質管理手法を用いて検討を行う。

溶接条件の確立と並行して、製品の品質保証を行うための体制の構築を図ることとした。

3. 結果および考察

3-1 HAWS の改修およびデータ収集・評価

作業性の向上、品質管理を目的とした機能追加と検査体制（図 1, 2）、バックシールドガス管理システムの追加（図 3）を行った。

主な改修箇所としては、トーチスタンドおよびチャックスタンドの移動を手動からモータ駆動方式への変更、左右のチャック同期をベルト駆動による方式からモータ 2 台を連動させる方式への変更等である。また、ビード形状のモニタリングは品質管理上から非常に重要であることから、ラインセンサを追加してビード形状の計測および記録を可能とした。バックシールドガスの流量管理は小径配管の精密溶接においては非常に重要である。そこで、溶接品質に大きな影響を与えることから、一次側にデジタルの体積流量コントローラ、二次側に圧力管理用のレギュレータと酸素濃度計を追加することで溶接品質の安定化を図った。

また、安定した溶接品質を確保するためには、溶接

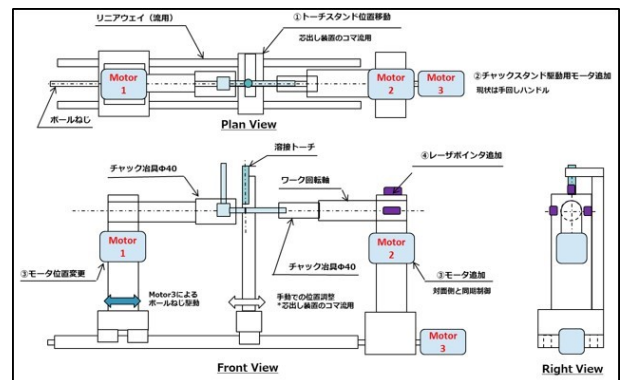


図 1 機能追加 1



図 2 機能追加 2

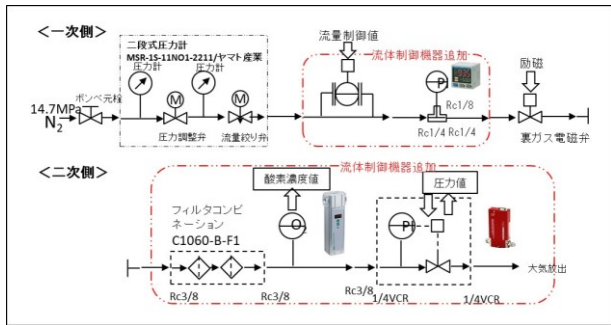


図3 バックシールドガスシステムの改修



プロト 01 試作品



図4 HAWS 改修後画面



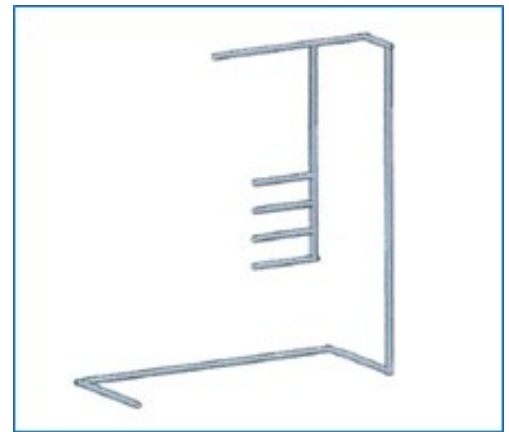
プロト 02 試作品

条件を記録しておき、後から検証可能とすることは必須である。そこで、HAWS が有する溶接ログ記録機能の記録容量を増加させ、電流電圧記録のサンプリングレート、データ数、最大記録時間等の拡充を図った。図4に HAWS 改修後の画面を示す。

3-2 一体構造モデルの試作

HAWS による加工可能サイズの検証を行う目的で、一体構造配管プロト 01 モデルの作成、HAWS 改修後に小型版プロト 02 の試作を行った。さらに、複数の商用水素ステーションを見学後、実際の配管構造を調査し市場に見合った一体構造配管プロト 03 のモデル化および試作を行った（図 5, 6）。これらのモデルは SUS316L を用いたが、コーンアンドスレッド継手の使用が必須であり、溶接配管のメリットを十分に生かすことができない。新たな継手の開発が望まれていたところであるが、株式会社フジキンから高圧水素配管用メタルガスケット継手が開発されていることがわかった。本継手は着脱性に優れ、締め付け時にも配管の回り対策がなされている。¹⁾

今後は本タイプが主流になるものと思われることから、メタルガスケット継手に対応し、かつ HRX19 管材を用いた溶接配管モジュールを試作した。試作したモジュールを図7に示す。



プロト 03 モデル

図5 一体構造モデル (3種)

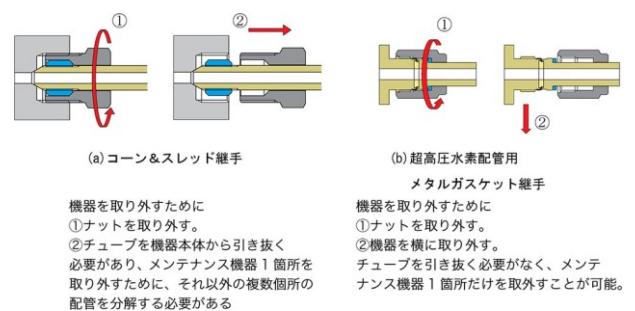


図6 継手の比較¹⁾



図7 HRX19 管材を用いた試作モジュール

なお、本試作モジュールで使用したエルボおよびチー
ーズはメーカーからの購入ができなかったため、HRX19
の丸棒を購入し、藤精機株式会社にて製作したもので
ある。これにより、HRX19 を用いて実際の水素ステ
ーションで使用しうる溶接配管モジュールが製作可能で
あることを実証した。本モジュールは FC-EXPO に出展
した。

3-3 溶接部の評価および品質管理体制の確立

今回の高圧水素配管用自動溶接で品質評価を行うに
あたり、重点が置かれる項目は、引張強度が 800MPa 以
上であることと、安定的な裏波溶接により過大でない
ビード形成が行われていることの 2 点である。本条件
を満たす溶接条件の確立を目指し実験を行った。

まず、アーク長さとしールドガス窒素混合量がア
ーク電圧に及ぼす影響について調査した。その結果、図 8
に示すとおり、アーク抵抗に反比例する溶接電圧はシ
ールドガス組成や電極距離の影響を大きく受けること
が分かった。また、アーク長一定とした場合の溶接電
源の電圧特性（アーク電流と電圧の関係）も確認した。
その結果、アーク温度による電気抵抗の変動によりあ
る電流付近で電圧特性が極小値を示す事が確認できた。
また、アーク電圧が過大になるとアンダーカットが発
生する為、電流の調整は重要であるが、極小値を示す
電流の前後ではアーク出力の調整が難しくなるので注
意を要する事も明らかとなった。

シールドガス流量・流速とノズルの関係も調査し、
流量は低すぎても高すぎてもアークが安定しない事を
確認した。溶接トーチのノズルがガス流量に与える影
響が大きいことから、ガス流量がアークの安定領域に
入る様にノズルの選択が必要となる。

また、溶接時間と溶接電流の相関に関しては、シ
ールドガス流量 5L/min および 10L/min に関して特に裏波
の健全性確認も含めて溶け込み不良、過大、更にアン
ダーカットが生じる領域を確認し、適切な溶接電流と

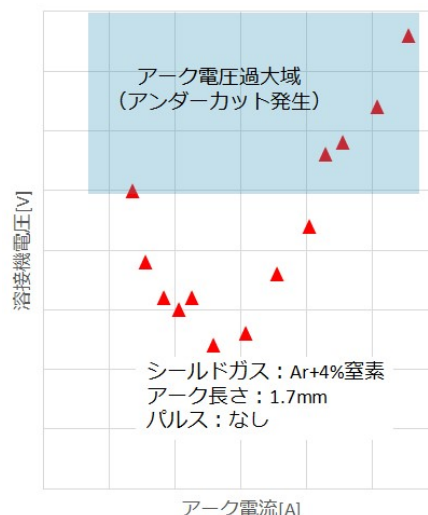


図8 アーク電流とアンダーカット発生状況

溶接時間の設定を行った。

これらを踏まえて、溶接試験片を作成し、管状の溶
接試験片から平板の強度試験片を切出し、強度測定を
行った。その結果、適切なビードの形成がなされる条
件下では、溶接時間を短縮化し、溶接終了後に急冷す
ることで接合強度が向上することが明らかとなった。
この結果を基に、配管形状の溶接試験片を作成し、強
度測定を行った。その結果、溶接時間を 100sec 以下に
することで JIS 規格に準拠した余盛りを除去した状態
でも 800MPa の接合強度を達成することが可能となっ
た。なお、裏波高さに関しては、ワークの回転角度ごと
に 0.5~0.9mm 程度や 0.3~0.8mm 程度の部位と 0.5~
0.7mm 程度の部位までばらつきが発生していることが
確認された。このばらつきに関しては、今後もデー
タ収集を行い調査していく必要がある。

溶接条件の確立と併せて、品質保証体制の構築にも
取り組んだ。

まず、検査仕様書と作業手順書の作成を行い、目的、
適用、使用設備および作業手順等について定義した。
外観検査は、目視確認から測定器による確認、さらに

ラインセンサによる測定



図9 ラインセンサによる測定例

ラインセンサによる測定も実施し、確実な外観検査を行う体制を整えた。ラインセンサによる測定例を図 9 に示す。

このほか、浸透探傷試験、フェライト量測定方法およびデジタル放射線透過試験方法に関して作業手順書の作成を行い、安定した測定を可能にした。

5. 結 言

高圧水素配管用自動溶接装置を開発し、溶接構造を採用した部品のサブモジュール化を進めることを目的として、本年度は以下の項目について調査、検討を行った。

- 1 ワークを回転させる自動溶接装置を設計・製作し、毎年度機能追加・修正を行い、性能向上を図った。
- 2 健全な裏波を有しつつ、接合強度を確保することができる溶接速度の範囲をほぼ見いだすことができた。
- 3 HRX19[®]を用いて、メタルガスケットに対応した立体配管モジュールを試作し、FC-EXPO に出展した。

本研究は経済産業省の戦略的基盤技術高度化支援事業に採択されて実施したものである。

※HRX19[®]は日本製鉄の商標です。

参考文献

- 1) <https://www.fujikin.co.jp/support/mono-parts/metalgasket.html>