

- ・平成29年度採択事業
- ・受付番号2931705012

平成31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

「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」

研究開発成果等報告書

令和2年3月

担当局 関東経済産業局
補助事業者 公益財団法人 やまなし産業支援機構

目次

第1章 研究開発の概要

1. 研究開発の概要について

- 1-1. 研究開発の背景と研究目的および目標
- 1-2. 研究開発の実施体制
- 1-3. 研究開発の取組の評価
- 1-4. 当該研究開発の窓口

第2章 本論

2. 導入した技術、機器設備について

- 2-1. 導入した機器設備
- 2-2. 実施した設備（HAW S）改修

3. 補助事業の具体的内容

- 3-1. 研究開発の進捗概要
- 3-2. 【1】溶接加工の高品質自動化の課題への対応 の実施内容
- 3-3. 【2】高圧水素配管溶接一体構造化の課題への対応 の実施内容
- 3-4. 【3】溶接品質管理システム構築の課題への対応 の実施内容

4. 補助事業の成果及びその効果

- 4-1. 【1】溶接加工の高品質自動化の課題への対応 の成果及び効果
- 4-2. 【2】高圧水素配管溶接一体構造化の課題への対応 の成果及び効果
- 4-3. 【3】溶接品質管理システム構築の課題への対応 の成果及び効果
- 4-4. 本年度の全体まとめ

最終章 全体総括

5. 補助事業の成果に係る事業化展開について

6. 補助事業の成果に係る知的財産権等について

第1章 研究開発の概要

1. 研究開発の概要について

1-1. 研究開発の背景と研究目的および目標

現在普及が期待されている水素ステーションは、肉厚のステンレス管を機械式継手により締結する構造であり、70MPa以上の高圧で水素を供給している。しかし、本構造は信頼性やコスト面で課題を有する。本研究開発では、当初は厚肉パイプ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事としてスタートした。その後、高強度材が購入出来るようになり、小径厚肉パイプの溶接も可能とした。これにより、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。

昨今、地球温暖化が要因と言われる気候変動による被害が多発し、COP21で確認されたように各国でCO2削減に向けた具体的な取組みが迫られている。既に低炭素化ではなく中長期的には脱炭素化に向けた取組みが重要で、水素社会の実現が急がれる。水素は重要な二次エネルギーであり、エネルギー貯蔵の観点からは図1-1-1に示すように長期・大量貯蔵にも適している。

図1-1-1の横軸はエネルギー貯蔵期間を縦軸は容量を表しており、蓄電池が数日規模で数百MWまでの蓄エネルギーに適しているのに比べ、水素は例えば、夏のエネルギーを蓄えて冬に使うなどしかも数GWまでの貯蔵が可能である事を示している。

福島第一原子力発電所の事故により、我が国のエネルギー自給率は低くなり、化石燃料の輸入による損失は毎年およそ10兆円規模に達している。従って再生可能エネルギーの活用と水素を賢く使う社会、すなわち水素社会への移行が重要課題である。

水素社会実現に向けては、以下の閣議決定、ロードマップなどが発表されている。

- 『水素社会の実現に向けた取り組みの加速』
エネルギー基本計画 2014.4 閣議決定
- 『水素利用の飛躍的拡大』水素・燃料電池戦略ロードマップ 2016.3 改訂

『インフラ整備促進、地域企業の掘り起こしで水素社会実現を目指す』関東経済産業局 2016.7

水素社会実現の第一歩として、2014年12月より燃料電池自動車（FCV）の商業販売開始と併行し、国内では既に計画中も含めて91箇所の商用水素ステーション（高圧ガス設備又は消費設備等の70MPa仕様）が整備され、上記水素ロードマップ（2016.3）では、2020年度までに160箇所程度、2025年までに320箇所の水素ステーション整備目標を設定している。しかしながら、現状では、標準的な供給能力を有する水素ステーションの整備費は、4～6億円準拠と一般的なガソリンスタンドと比べると非常に高額であり、整備計画に対する遅延要因の一つとなっている。

その中、水素ステーションを構成する機器部品である圧縮機や高圧水素容器等の改良に向けた技術開発と共に高圧水素配管の高信頼化、低コスト化へのニーズが、JXTGエネルギー（株）、東京ガス（株）などのインフラ整備会社、運用会社を中心に高まっている。中でも、多岐に使用されている高圧水素配管に関しては、コストを上昇させ、水素漏洩の要因にもなっている機械式高圧継手の削減を可能とする溶接一体構造の実用化が各水素ステーションの現場で望まれている。さらに、今後のFCV本格普及に際しては、水素コストの低減が重要課題であり、高圧水素配管を含む低コスト水素ステーションの整備促進が課題である。

図1-1-2に商用水素ステーションにおける配管の現状を示す。各ステーションでは高圧配管の接続部に機械式高圧継手（図1-1-3）が採用されているが、高額であると共に移動式水素ステーションにおける輸送中の振動や運用時の圧力、温度変化などによりナット部の緩みが発生し、安全確保のため、定期的なトルクチェックなど日常の保守点検が必要である。また、施工にも熟練の作業員が必要な上、高圧の水素が漏洩した場合増し締め作業などでは対策が不十分で全ての配管の分解・再組立にまで及ぶ事もある。つまり、コスト削減のみならず、接合部の信頼性、施工、メンテナンスの観点からもこれまでの配管システム全体の改善が望まれている。（図1-1-4）

また、大型商用のみならず、移動式水素ステーション、さらに（株）本田技術研究所が開発した小型のスマート水素ステーション（SHS）なども増えつつある。SHSは、2012年3月埼玉県庁で実証試験を開始し、2017年4月現在で稼働中が全国で13箇所（実証2箇所を含む）や、今後も毎年数箇所設置予定となっている。既にリース販売が開始されたFCフォークリフト用の水素供給装置のほか、まだ開発段階ではある

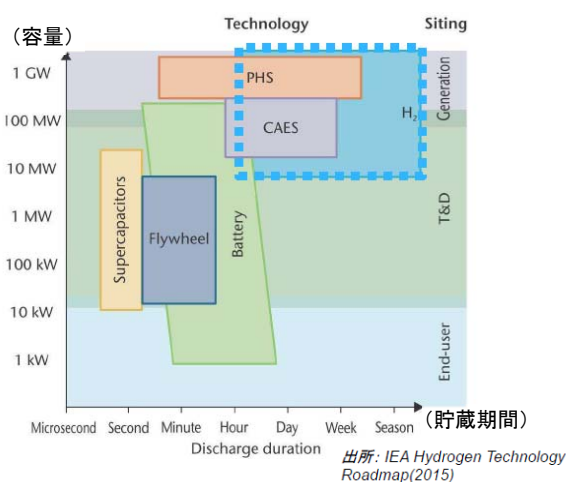


図1-1-1 エネルギー貯蔵期間と容量の比較

が船舶・鉄道・航空機・ドローン・社会インフラなど高圧水素配管を必要とする応用分野の広がりも見えてきた。

藤精機(株)では、水素・燃料電池分野で家庭用エネファーム-S (SOFC タイプ) の部品製造及びりん酸型業務用燃料電池 (PAFC) 装置内の水素配管加工等には納入実績があるが、水素ステーション内で使用されている高圧水素配管については加工及び納入実績がない。このため、同社保有の設備・ノウハウを活用して高圧ガス環境下で高い信頼性と耐久性を有する配管を低コストで製作できる技術を確認し、同時に圧縮機、蓄圧器、ディスペンサー間の各種高圧水素配管溶接一体構造を設計・製造して供給する事を目指している。

今後、水素関連機器における安全を確保しつつ、中小企業ならではの少量多品種の部品提供に対応できる利点を活かし、藤精機(株)のコア技術を活かした新しい取り組みによる新技術、新機構の研究開発を行い、既に参入している大企業と補完しつつ、産業界全体の裾野を広げると共に水素社会実現に貢献していく必要がある。



図 1-1-2 商用水素ステーション配管



図 1-1-3 機械式高圧継手（コーン&スレッド継手）



図 1-1-4 機械式継手の使用数と場所

○従来技術での課題（高額な機器が必要、個々の測定が必要等）

水素社会の拡大における F C V の普及のためには、商用水素ステーションのさらなる進化と整備促進が必須であるが、高額な建設コストの影響もあり、当初の計画であった 2015 年水素ステーション 100 箇所に対し、現実には 2017 年 3 月現在の整備は 91 箇所（計画中含む）と計画が遅延となり、かつ、高額な運営費と共に水素の低コスト化への大きな阻害要因にもなっている。然るにステーション内の配管においては、現状各ステーションで 500 個以上使用されている機械式高圧継手など高額部品をできる限り減らすと共に、現地工事での組立作業・作業スペースの削減を図り、定期点検、水素漏洩対応などのメンテナンスコストも削減し、大幅な建設及び運営のコストダウンの達成がインフラ整備及び運営会社より強く求められており、既に部分的には溶接構造も試験的に採用されつつある。

また、溶接一体構造の採用による機械式高圧継手の削減は、人為的過誤や締め付け部の緩み、連続充填による事故リスク・水素漏洩リスクの軽減も可能とする。しかしながら、一般に流通している汎用材を使うと、充填圧力の高圧化によるパイプ肉厚の上昇などにより従来の溶接技術では耐久性、信頼性、すなわち水素漏洩のない安全な溶接が難しかった。



図 1-1-5. SUS316L パイプ肉厚 3.2mm



図 1-1-6 TIG 自動溶接機による溶接 裏波溶接が均等にできる

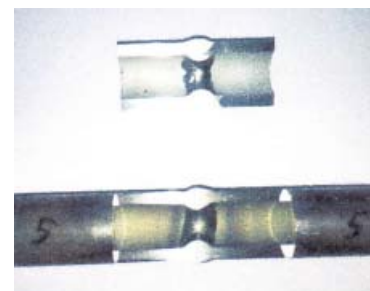


図 1-1-7 TIG 手作業溶接 裏波溶接に凹凸が発生

図 1-1-5～7 に示すように、肉厚 3mm 程度なら一層溶接は可能であるが、手作業溶接の場合、パイプ内部に裏波溶接の凹凸ビードができ易く、配管抵抗が増大するため、自動溶接が必要である。実際の商用水素ステーションにおける 70MPa 対応 SUS316 配管では、強度、剛性上により肉厚 5mm 前後が必要となるため、管内の配管抵抗を増大させない裏波溶接も難しくなる。

さらに図 1-1-8 に示すパイプの曲げに関しても、肉厚 3mm 程度であれば、内径の減少を許容範囲内で曲げることが出来るが、肉厚が 5mm 前後になると曲げにも問題が生じる。

特に、従来の手作業による溶接、もしくは既存の自動溶接機では、溶接品質が確保できない、つまり作業のバラツキによる溶接欠陥が発生する危険があり、特に高圧水素配管では致命的な問題を引き起こすことになる。バラツキの原因としては、シールドガスの流量不足や外的要因による酸化物の発生、溶融金属中のガス残存、不純物が加熱されて発生したガスの残存、不適当な溶接条件、母材の加熱もしくは溶接時シールドが不十分、作業者の技量不足などが考えられ、特に厚肉パイプの溶接では、高い信頼性を得る事が難しく、結果として一体構造が難しくなる。



図 1-1-8 肉厚 3.2mm 曲げ加工

また、機械式高圧継手の問題点としては、定期自主検査として、年 1 回の保安検査が義務付けられておりその中で高圧水素容器の開放検査(目視による内面観察と非破壊検査)、各種メーターの工場持ち帰り検査のために配管の分解、再締め付けが行われ、この作業が水素漏洩の原因ともなっており、改めて川下企業である JXTG エネルギー(株)、東京ガス(株)といった水素ステーションの現場からは、分解・再組立の少ない溶接一体構造へのニーズが高まっている。

一方、溶接構造の問題点としては、溶接時の環境によりゴミなどの不純物混入や、材料組成の大きな変化などが起きた場合は、高圧水素の圧力変動により材料内部への水素混入によるいわゆる水素脆化も起こり、耐久信頼性の点で問題となる。また、手作業による溶接では作業時の熟練度などにより、強度、溶接の健全性、必要な内径の確保など、品質を安定させる事が難しく、製品の歩留まりを低下させる要因となっている。溶接一体構造の高圧水素による耐久性への影響に関しても今後確かめる必要があるなど、解決すべき課題は多い。

研究目標については、今回の研究開発共同体ではあくまでも溶接技術に着目し、従来の自動溶接機の優れた点と山梨の地元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: HAWS)の研究開発を目指す。このシステムにより、中径および小径肉厚パイプの溶接、曲げ加工、継手部品の切削加工などの部品を組合せて品質を低下させることなく、ランニングコスト削減にも有利な高圧水素配管溶接一体構造の実現を検討し、水素ステーション内の配管全体で数多く使用されている高額な機械式継手部品の削減を目指す。

【1. 溶接加工の高品質自動化の課題への対応】

溶接加工の高品質な自動化を図るためには、既存の自動溶接機と技術・知見のノウハウを駆使して改造し、新しい高品質自動溶接システム(HAWS)を開発する必要がある。現状、新機構の具体化には後述する 6 項目の治具開発・改造を検討する予定であるが、実用化・部品の販路構想には、この改造と共に溶接加工条件データの集積、品質評価方法を確立しなければならない課題がある。

既存の自動溶接機の改造による溶込み量の制御により高品質な溶接を可能とする高品質自動溶接システム(HAWS)の開発と溶接条件の確立により、川下製造業者の様々なニーズに応えられる溶接部品の販路開拓を目指す。あわせて水素ステーション向け以外の領域における高圧水素配管難溶接部品の販路も検討する。

【1-1】高品質自動溶接システム(HAWS)開発の構想、新機構の具体化(平成 29 年度実施、山梨県産業技術センター、藤精機(株))

現行で使用されている高圧ガス水素配管のパイプ部材(SUS316 肉厚 3.0mm～5.5mm)に対しパイプ内側の裏波溶接加工は手作業では困難とされている。さらに、これまで既存の自動溶接機でも難しかった肉厚 5mm 程度の溶接を独自開発の HAWS に新機構を盛り込み、高信頼で手間のかからない自動溶接の見通しを立てる。基本は最も経験のある TIG 溶接で行うが、他の溶接手段である YAG レーザー、その他の方法も比較検討し、手作業での溶接で基本となる溶接条件を確認しながら、システム内の各種治具開発も行い、厚肉パイプを含む高品質の溶接を可能とする改造計画と新機構のアイデア出しを行い、基本構想を具体化した。

図 1-1-9 に示す様に、まだ構想段階ではあるが、HAWS の溶接部及び治具開発の方向性は以下のとおりである。

- 1) アルゴンガスの配管内供給
アルゴンガスをパイプの端末から溶接部まで供給するため、回転している配管の端末をシール構造とする。
- 2) オープンチャック回転治具
現在大型機では実用化されているオープンチャック回転治具を小型化し溶接位置の動きを規制する。パイプを上面からセットし、横方向のズレを無くす治具を開発する。
- 3) 自動芯出し振止装置
両サイドにセットされる配管の位置ズレ防止のため、この装置を使い、配管のズレを修正する。
- 4) 回転速度制御装置
上面から配管をセットし、回転速度を制御する装置を配管の端末に配置して速度を制御用モーターと連動して配管の溶接部のズレを無くす。
- 5) コンタミ防止 BOX
コンタミの防止と配管からのアルゴンガスの排気、レーザー溶接の場合は、人への影響を考慮して BOX で密閉する。BOX は上面からの配管のセットを邪魔しない開閉機構を持つ。
- 6) 溶接棒の制御
一層溶接であれば最適な角度での溶接が可能な位置で固定。多層もり溶接の場合は、パイプ軸方向に位置が最適に制御可能な構造とする。

- ① アルゴンガスをパイプ内に供給
- ② オープンチャック回転治具
- ③ 自動芯出し振止装置
- ④ 回転速度制御装置
- ⑤ コンタミ防止 BOX
- ⑥ 溶接棒の制御

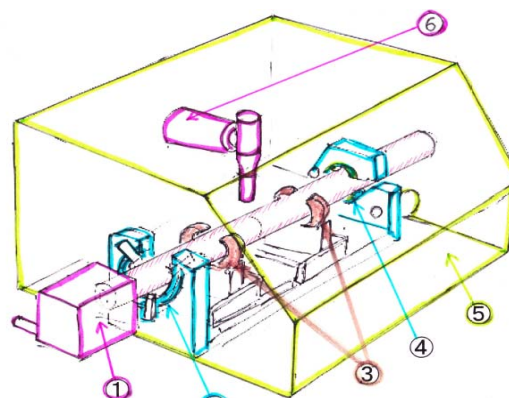


図 1-1-9 高品質自動溶接システム溶接部及び治具のイメージ

なお、平成 29 年度は、HAWS (高品質な溶接を可能とする高品質自動溶接システム) 開発の主となる、溶接熱源の選択と、溶接ヘッドを固定とし、製品を回転させる機構を採用した装置の明確化及び本機構を試用したことによる技術研究、施した溶接部材に対する検証を行った。

また同時に、裏波溶接 (成功率 90% 以上) の試作化を実施した。

【1-2】HAWS への改造と溶接加工条件データ集積と評価 (平成 29・30・31 年度実施、山梨県産業技術センター、藤精機(株))

多種多様な溶接部材 (SUS316L・SUH660・HRX19 / 肉厚 2.3mm~5.5mm) に対し、溶接条件、アルゴンガスの流量、ワークの回転速度 (溶接速度)、電流、溶接棒、電極形状、パルス条件、コンタミボックスのシールドガスの組成、厚肉パイプの場合は多層もり溶接の開先角度と溶接棒とワークの相対速度をパラメトリックに変化させ、最適な溶接条件を絞り込む。手作業による溶接でベースになる組合せを求め、まずは、試作点数で 60 点ほどの感度分析を実施。その結果を分析し、さらに追加する条件を検討したうえで、さらに 40 点程度のデータを収集する。

平成 29 年度は、溶接の健全性を評価するため、サンプルの破壊検査・試験評価 (靱性・耐溶接割れ試験・溶接強度引張試験) など検討を行い、比較検討の結果で最も品質が高いサンプルとあえて欠陥のあるサンプルの非破壊検査としてアドバイザーである産業技術総合研究所に依頼した。また、水素脆化特性試験・疲労試験・亀裂進展試験の評価の委託先及び概略コストの検討を行った。

平成 30 年度は HAWS 改造を行い、回転速度をきめ細かくコントロールし、裏波と溶接幅の一定化を図った。SUS316Ni 当量材及び HRX-19 材で溶接因子を絞りデータ収集をした。また、非破壊検査を再度産業技術総合研究所に依頼し、その他の試験の実施検討を行った。

平成 31 年度は、更なる作業性の向上、品質管理の為に機能追加と検査体制確立、バックシールド管理システムの追加、溶接後の強度確保の為に溶接後急冷機能を追加した。

【１－３】HAWS を活用した溶接加工部品の販路構想（平成 30・31 年度実施、藤精機（株））

現行の商用水素ステーション配管組立作業とのＱＣＤ（品質/コスト/納期）比較提案を行い、川下製造業者のニーズと合致した他社が出来ないもしくは受けたがらない難溶接加工部品の販路開拓計画を策定する。

平成 30 年度は商用ステーション調査により、川下製造業者のニーズを把握し、特に小型パッケージ型水素ステーションにおいてよりコンパクトな一体配管構造の必要性を確認した。その結果、将来様々なニーズに対応する為、小型商用ステーションの溶接継手サイズに合わせたトーチスタンドの小型化を検討し、11 月に HAWS 改修を行った。

平成 31 年度は、市場全体の調査、特にモビリティ領域における将来動向を調査しまとめ、本補助事業で開発したトーチ固定、ワーク回転型の優位性も明らかにした。工場内でのサブ組立て可能なサイズの一体構造製作に関しては高品質で合理的なコストでの製造を客先に訴求する資料を纏めた。

【２、高圧水素配管溶接一体構造化の課題への対応】

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。

【２－１】高圧水素配管溶接一体構造のモデル化（平成 29・30 年度実施、山梨県産業技術センター、藤精機（株））

計器類・バルブ類・既製の高圧継手等との接合部を含む高圧水素配管溶接一体構造のモデル化を行い、多様な将来展開に対応できる開発要素を想定した最小寸法での試作を検討する。同時に、作業効率化と安全性を兼ね備えた組立治具の開発も検討する。

なお、平成 29 年度は高圧水素配管溶接一体構造の標準タイプにあたる、主要箇所のニーズを調査し配管・継手等の仕様を選定の上、モデル化(1m x1m x2m 以下)の立案を主とした。

また、具現化に向けた組立治具の構想検討を実施した。

平成 30 年度は、4 箇所の水素ステーションで実際に採用されている配管構造を調査し、実用的な一体構造のモデル化を行った。

【２－２】高圧水素配管溶接一体構造の試作と評価（平成 30・31 年度実施、山梨県産業技術センター、藤精機（株））

水素漏洩を抑止できる開発部品の高品質自動溶接システムに適した形状の切削継手部品と、変形基準値（楕円率及び偏肉率）と水素の流動性を損なわないパイプ曲げ加工部品との組み合わせによる高圧水素配管溶接一体構造（サブユニット）の試作を行う。

開発した高圧水素配管溶接一体構造モデルの破壊検査・試験評価（靱性・耐溶接割れ試験・溶接強度引張試験）など検討を行い、将来の完成検査、定期検査手法も含めて品質保証の仕組みの検討と基本的な見通しを立てる。なお、非破壊検査及び水素脆化特性試験・疲労試験・亀裂進展試験などは外部委託を検討する。

平成 30 年度は、シンプル且つ現実的な小型一体構造の試作を行い、寸法精度、外観などの検証を行った。

平成 31 年度は、高強度材の溶接一体構造を採用している水素ステーション静岡を見学の上、打合せを行い、現実的な継手およびメタルガスカートータイプのモデル化に基づくサンプルを製作した。また、高強度材での継手が高額で入手困難な為、自社で製作し継手とパイプの溶接における課題、実測寸法での縮み量などの検証も行った。さらに今後事業化において課題となる溶接用継手の芯出し機構の検討も実施。

【２－３】高圧水素配管溶接一体構造の販路構想（平成 30・31 年度実施、藤精機（株））

現行の機械式高圧継手をベースとした配管方式と比較したＱＣＤ（品質/コスト/納期）提案を行い、川下製造業者のニーズと合致した高圧水素配管溶接一体構造の設計・製造計画をまとめ、川下製造業者と共同で販路開拓計画を策定する。

平成 30 年度は、商用ステーション及びパッケージ型水素製造装置などの見学・打合せを実施し、HAWS の活用により、水素ステーションの各部に使われている機械式継手を溶接構造に置き換えることが可能であることを確認した。川下製造業者の溶接一体構造のニーズは高く、販路の絞り込みを行った。

平成 31 年度は、現状では溶接に関する検査の料金が高く初期コストはあまり下がらないが、設置およびメンテナンスコストでは明らかな優位性がある事が分かった。水素ステーション静岡と従来の機械式継手を採用している商用水素ステーションとの比較により溶接で置き換える事が出来る箇所は十分に多く、今後海外も含めて溶接構造の普及が予想される。さらに、溶接一体構造を標準化して将来の短納期対応への可能性検討も行った。

【3、溶接品質管理システム構築の課題への対応】

溶接品質管理システムを構築するためには、溶接条件と溶接品質の相関を合致させる必要がある。また現状、品質保証及び証明書は、高圧水素業界の外部評価センターなどに委託する必要があるが、溶接条件の確立と独自の品質管理にて特定の管理システム化を構築し、外部委託前との整合を図る事により高品質化が実現できる。

品質管理システムの構築により、将来の販路開拓に向けて他業種の多様なニーズに対応可能な高圧水素溶接部品の設計・製造体制を整える課題がある。

上記【1.】及び【2.】で集積したデータ、並びに水素脆化に関する外部委託での評価結果に基づき、溶接条件と品質の相関をまとめて、高圧水素適合性も含めた溶接条件の確立を目指す。他社のできないもしくは受けたがらない難溶接部品及び機械式高圧継手を削減できる高圧水素溶接部品の販路拡大を可能とする溶接品質管理システムを構築する。

【3-1】溶接条件と溶接品質の相関の確認とまとめ（平成 29・30・31 年度実施、山梨県産業技術センター、藤精機(株)）

HAWS により、パラメトリックに溶接条件を変えて溶接したパイプ及び溶接一体構造モデルにおいて溶接条件と破壊検査・試験評価（靱性・耐溶接割れ試験・溶接強度引張試験）などのデータにどのような相関が見られるかを確認し、溶接条件の変化による品質の変化を確認する。また、その結果より最も品質の安定する条件が何処にあるかなどをまとめる。

なお、平成 29 年度は、溶接ログの管理システムに向けた情報収集と入力・記録・検索等の方法検討を行った。また、品質保証の規格構築のための適性検索（溶接条件・設定・人員・設備等）を兼ね備えたシステムの開発と、溶接条件と品質との相関のまとめを併せて実施した。

平成 30 年度は、品質工学を取入れ溶接条件の絞り込みを行い、溶接品質確保の方向性検証を行った。

平成 31 年度は、溶接速度が溶接金属材料強度に及ぼす影響、さらに溶接後急冷した時の強度向上を調べた。また、余盛を除去した時の強度も調査。平板に切り出した時の強度との関係も考察した。溶接品質の作り込みに関しては、TIG 溶接に関する考察、自動溶接速度管理の検討、アーク長さとしールドガス窒素混合量の影響、アーク電圧特性の確認も行った。大阪大学の浅井教授への相談の結果、溶接電流パルスの最適化も実施。溶接時間と電流に関してしールドガス流量を変えて裏波の健全性および引張強度が確保できる領域などを明らかにした。裏波高さに関しても回転角度毎にどのようなバラツキが生じるのかを確認した。

【3-2】高圧水素適合性検証による品質保証の対策（平成 30・31 年度実施、山梨県産業技術センター、藤精機(株)）

開発した高圧水素配管溶接一体構造（サブユニット）の寸法精度の確認及び破壊試験・試験評価の検討を行い、溶接条件との相関を調べ、将来の完成検査・定期検査の仕組みと溶接条件の確定の可能性を検証する。

平成 30 年度は、HAWS による溶接の寸法精度などの確認を行い、品質保証システム確立に向けた改造の方向性を確認した。また、外部委託した非破壊検査の結果を検証し、共同体によるその他の検査と合わせて品質保証に向けた具体的手順などを検討した。

平成 31 年度は、検査仕様書の整備、作業手順書の作成、外観検査の充実、浸透探傷試験実施、磁気フエライト測定による材料強度の確認、D-RT デジタル放射線透過検査の実施にも取り組んだ。

【3-3】溶接条件の確立と、高圧水素溶接部品の販路拡大（平成 30・31 年度実施、山梨県産業技術センター、藤精機(株)）

共同体における試験結果及び外部委託した水素脆化を含む水素適合性の評価結果を踏まえて、将来の研究開発連携体内での完成検査、定期検査手法など品質保証の仕組みの検討と販路開拓の準備をする。溶接条件の確立と溶接技術、HAWS をコア技術として、完成機メーカー、異業種、同業他社と共同で高圧水素溶接部品の設計・製造も検討し進出、将来は新規分野への販路拡大を目指す。

平成 30 年度は、まず溶接部品及び一体構造を販売する際に必要な申請データ取得及び提出すべき試験データなどを明確にした。また、販路拡大に向けて新規分野などの情報を入手した。

平成 31 年度は、高圧ガス保安法に対応した品質管理プロセスを具体化し、今後、水素脆化の評価および耐圧・気密試験体制を整えれば事業化に進める準備を完了した。さらに販路拡大に向けて商用水素ステーション関連事業者を調査し、他社の自動溶接に対しての違い技術を明確にし、今後の協業先のコア技術の訴求が行える資料も整えた。

1-2. 研究開発の実施体制

1-2-1. 研究組織・管理体制

- ・図 1-2-1 に示す様に研究開発連携体とアドバイザーによる共同体により実施した。

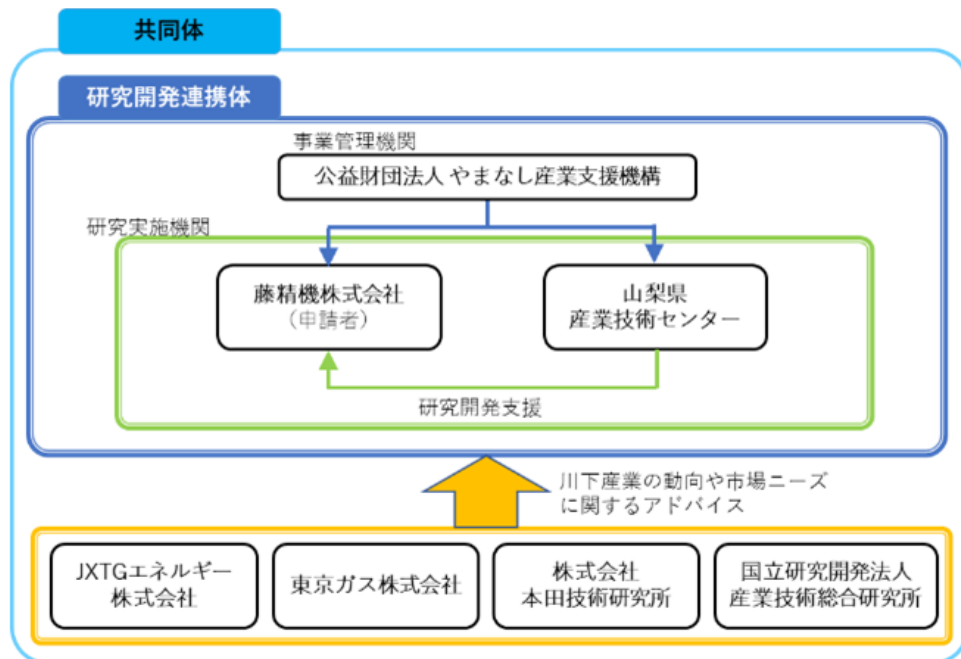


図 1-2-1. 研究開発実施体制

【目標達成のための体制及び役割分担】

- ・藤精機株式会社の社内体制としては、図 1-2-2 に示す様にPL及び全体の管理体制と各サブテーマ毎にリーダー（SL）と決めて研究開発、製作、溶接データの集積、製作、販路画策を行った。

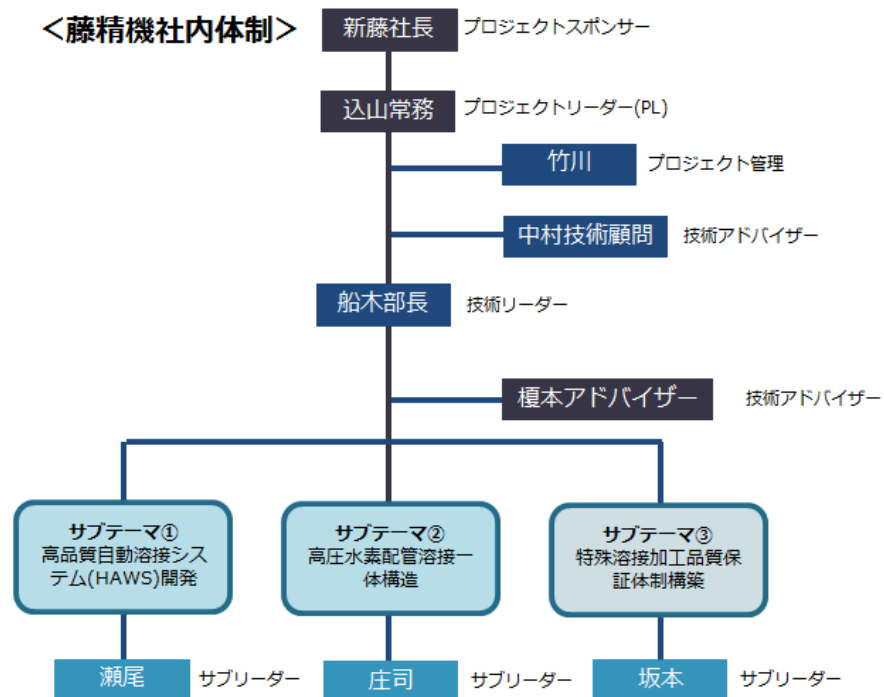


図 1-2-2. 藤精機(株) 社内研究開発実施体制

- ・また、藤精機(株)のS L及び山梨県産業技術センターは、主に試験・検査を行い、開発 指針の画策を行った。の訴求がおこなえる資料も整えた。
- ・外部アドバイザーとして参画して頂く川下事業者には定期会合への参加と事業進捗状況及び指針への助言、市場ニーズに関する意見等をいただいた。
- ・外部アドバイザーの川下事業者を含めた共同体メンバーで定期会合を持つことで、技術動向や社会・市場ニーズの変化等を適時把握し、開発計画に反映できる体制とした。

1-2-2. 研究者氏名（順不同、敬称略）

込山 匡	（P L 藤精機株式会社）
宮川 和幸	（S P L 山梨産業技術センター）
新藤 淳	（藤精機株式会社）
中村 博	（藤精機株式会社）
榎本 光司	（藤精機株式会社）
船木 C 佑二郎	（藤精機株式会社）
瀬尾 祝之	（藤精機株式会社）
庄司 友幸	（藤精機株式会社）
坂本 正	（藤精機株式会社）
佐野 正明	（山梨産業技術センター）
早川 亮	（山梨産業技術センター）
阿部 治	（山梨産業技術センター）
石田 正文	（山梨産業技術センター）
深澤 郷平	（山梨産業技術センター）
古屋 雅章	（山梨産業技術センター）

1-2-3. 協力者（順不同、敬称略）

前田 征児	（外部アドバイザー J X G T エネルギー株式会社）
古田 浩輝	（外部アドバイザー 東京ガス株式会社）
中沢 孝治	（外部アドバイザー 株式会社本田技術研究所）
阿部 誠	（外部アドバイザー 国立研究開発法人産業技術総合研究所）
井ノ上 俊宏	（外部アドバイザー 国立研究開発法人産業技術総合研究所）
中込 克哉	（公益財団法人やまなし産業支援機構）
竹川 泰弘	（藤精機株式会社）

1-3. 研究開発の取組の評価

平成 29～31 年度の本研究開発に係る研究課題毎の研究目標と達成度について表 1 に示す。
サブテーマの目標に対して、本研究開発はほぼ順調に実行出来た。

表 1 本研究開発に係る研究課題毎の研究目標と達成度（平成 30 年度）

達成度：（ ）内は今期の達成度

研究開発実施内容	平成 30 年度研究目標	進捗度
【1】溶接加工の高品質自動化の課題への対応		山梨県産業技術センター 藤精機(株)
【1-1】高品質自動溶接システム(HAWS)開発の構想、新機構の具体化	HAWS 開発の主となる、溶接熱源の選択と、溶接ヘッドを固定とし、製品を回転させる機構を採用した装置の明確化及び本機構を試用したことによる技術研究、施した溶接部材に対する検証を行った。また同時に、裏波溶接(成功率 90%以上)の試作化を実施した。	100% H29 年度完

【1-2】HAWS への改造と溶接加工条件データ集積と評価	追加データを収集し、非破壊検査を再度外部委託し、その他の試験の実施検討を行う。	100%
【1-3】HAWS を活用した溶接加工部品の販路構想	川下製造業者のニーズを明確に把握し、必要に応じて HAWS 改造へのフィードバックを行う。	100%
【2】 高圧水素配管溶接一体構造化の課題への対応 山梨県産業技術センター 藤精機(株)		
【2-1】高圧水素配管溶接一体構造化のモデル化	小型水素ステーションなどで実際に採用されている配管構造を調査し、実用的な一体構造化のモデル化を行う。	100% H30 年度完
【2-2】高圧水素配管溶接一体構造化の試作と評価	シンプル且つ現実的な一体構造化の試作を行い、寸法精度、外観などの検証を行う。	100%
【2-3】高圧水素配管溶接一体構造化の販路構想	商用水素ステーション、小型水素ステーション、水素製造装置など、どの分野で最も一体構造化へのニーズが高いかを調査し、販路の絞り込みを行う。	90%
【3】溶接品質管理システム構築の課題への対応 山梨県産業技術センター 藤精機(株)		
【3-1】溶接条件と溶接品質の関連の確認とまとめ	収集したデータに基づき、更に溶接条件を変えて品質の変化を確認し、溶接品質確保の方向性の検証をする。	100%
【3-2】 高圧水素適合性検証による品質保証の対策	HAWS による溶接の寸法精度などの確認を行い、品質保証システム確立に向けた改造の方向性を確認する。また、外部委託した非破壊検査の結果を検証し、共同体によるその他の検査と合わせて品質保証に向けた具体的手順などを検討する。	100%
【3-3】 溶接条件の確立と、高圧水素溶接部品の販路拡大	溶接部品及び一体構造化を販売する際に必要となる申請データ取得及び提出すべき試験データなどを明確にする。また、販路拡大に向けて新規分野などの情報を入手する。	90%

◎平成 31 年度の目標と進捗状況

【1. 溶接加工の高品質自動化の課題への対応】

平成 30 年度までは、高品質自動溶接システム（HAWS）の技術課題の解決を図るために、大幅な改修を二回に分けて実施した。詳細は H30 年度成果報告書で報告済。

平成 31 年度は、本補助事業の集大成として数々の作業性および品質向上に向けた改修を行い、今後の事業化に向けた準備が整った。

【2. 高圧水素配管溶接一体構造化の課題への対応】

平成 30 年度までの既存商用水素ステーション 5 箇所見学に加えて、高強度材である HRX19 を用いた溶接構造を採用した水素ステーション静岡を見学、運営事業者との意見交換で溶接一体構造化の有用性に確信が持てた。さらに、現状では高額で入手困難な高強度材の継手を社内で製作しパイプとの溶接の課題などを確認した。将来の事業化に関しては、一体構造化の標準化による短納期対応の検討等も行い、溶接一体構造化の優位性の確認も行った。

【3. 溶接品質管理システム構想の課題への対応】

平成 30 年度までは、品質工学を取入れ、溶接条件の絞り込みを行い、少ない試料で短時間に溶接品質を評価してきたが、溶接条件と品質の相関がキメ細かく検討できる各種改修も実施し、特に溶接金属強度の確保、裏波安定性確保に関する溶接速度、電極距離、アーク電圧、シールドガス窒素混入量、パルス機能の検討等も行い、品質管理システムの構築を進めた。検査仕様書の整備、作業手順の作成、外観検査の充実等今後の事業化に向けて着実な準備も進めた。

販路拡大に関しては、品質保証プロセスを具体化し、今後必要な水素脆化の評価、耐圧・気密試験体制の整備を検討し、営業部門の協力の下に水素ステーション建設および運営事業者へ本補助事業の成果を訴求できる準備も整備した。さらに将来高圧水素配管が必要となるモビリティ分野での多角化に関する調査も行い十分な市場が予測される事も確認した。

1-4. 当該研究開発の窓口

所属・氏名：常務執行役員 込山 匡

E-mail：tkomi@fuji-seiki.com

電話番号：055—275—6644

第2章 本論—（1）

2. 導入した技術、機器設備について

本研究サブテーマ 1. 2. 3 については全て自社開発技術の為、外部から導入した技術はない。

2-1. 導入した機器設備

平成 30 年度までに導入した設備は以下の通り。

- | | |
|--------------------------|-------------|
| (1) オートグラフ、丸棒つかみ歯 | 【サブテーマ 3】 |
| (2) 溶接作業用 3D 定盤 | 【サブテーマ 2・3】 |
| (3) 赤外線サーモグラフ | 【サブテーマ 3】 |
| (4) フェライトスコープ | 【サブテーマ 3】 |
| (5) ハイスピードカメラ（溶接可視化システム） | 【サブテーマ 3】 |
| (6) 内視鏡カメラ（工業用内視鏡） | 【サブテーマ 3】 |
| (7) X 線発生装置 | 【サブテーマ 3】 |

・導入目的および詳細説明は平成 30 年度成果報告書で報告済。

平成 31 年度に導入した設備は以下の通り。

- (1) デジタル X 線検査装置 DR-Lab (デジタル X 線検出器、放射線遮蔽 BOX) 【サブテーマ 3】



図 2-1-1. デジタル X 線検査装置 DR-Lab (デジタル X 線検出器、放射線遮蔽 BOX)

- (2) G F π 17 $^\circ$ 切断機 GFX3.0
- (3) トリツール端面加工機 301SP

【サブテーマ2】

【サブテーマ2】



図 2-1-2. G F π 17 $^\circ$ 切断機 GFX3.0



図 2-1-3. トリツール端面加工機 301SP

2-2. 実施した設備（HAWs）改修

平成 30 年度までに実施した改修等

- (1) 配管自動溶接装置ソフトウェア改修（HAWs Rev. 01） 【サブテーマ 1-1, 1-2】

- (2) 配管自動溶接装置改修（HAWs Rev. 02） 【サブテーマ 1-1, 1-2】

- ・改修内容は平成 30 年度成果報告書で報告済。

平成 31 年度の改修

- (1) Rev3.0 チャック横移動モータ追加 および 回転左右独立化 【サブテーマ 1】

- ・導入目的は、作業性の向上および品質管理の観点で改修した。



図 2-2-1. Rev3.0 チャック横移動モータ追加 および 回転左右独立化

(2) Rev3.1 バックシールガス流量管理デジタル化

【サブテーマ3】

- ・導入目的は、溶接品質の安定化の為、供給側にデジタル体積流量コントローラ、出口側には圧力管理用のレギュレータと酸素濃度計を追加した。

供給側



出口側



図 2-2-2. Rev3.1 バックシールガス流量管理デジタル化

(3) Rev3.2 溶接後強制空冷機能追加 および 溶接電流ログ取り機能強化【サブテーマ3】

- ・導入目的は、溶接後の要求強度を確保する為、強制空冷をソフト管理出来るように改修。



図 2-2-3. Rev3.2 溶接後強制空冷機能追加 および 溶接電流ログ取り機能強化

3. 補助事業の具体的内容

3-1. 研究開発の進捗概要

本研究開発の実施計画をを表2に示し、進捗状況度合は赤線で示す。前述のように、いずれのサブテーマもほぼ順調に展開出来た。以降では、サブテーマ毎に主として平成31年度の具体的な実施内容について報告する。

表 3-1-1 本研究開発の進捗状況（平成29～31年度）

	H29 年度	H30 年度	H31 年度
【1】溶接加工の高品質自動化の課題への対応	山梨県産業技術センター 藤精機(株)		
【1-1】高品質自動溶接システム(HAWS)開発の構想、新機構の具体化	→		
【1-2】HAWS への改造と溶接加工条件データ集積と評価	→	→	→
【1-3】HAWS を活用した溶接加工部品の販路構想		→	→

【2】高圧水素配管溶接一体構造化の課題への対応		山梨県産業技術センター 藤精機(株)	
【2-1】高圧水素配管溶接一体構造のモデル化			
【2-2】高圧水素配管溶接一体構造の試作と評価			
【2-3】高圧水素配管溶接一体構造の販路構想			
【3】溶接品質管理システム構築の課題への対応		山梨県産業技術センター 藤精機(株)	
【3-1】溶接条件と溶接品質の相関の確認とまとめ			
【3-2】高圧水素適合性検証による品質保証の対策			
【3-3】溶接条件の確立と、高圧水素溶接部品の販路拡大			

※赤線：進捗度合

3-2. 【1】溶接加工の高品質自動化の課題への対応 の実施内容

①重点事項

- ・初年度に開発した高品質自動溶接システム(High quality Automated Welding System :HAWS)の大幅な改修点は、大型のみならず小型商用水素ステーション一体構造サイズの加工ができる機構変更及びワーク回転速度制御、溶接条件のデータベース化、溶接トーチの高さ制御だった。この改修は、熟練溶接作業者と同様な溶接が可能となることを目的とした。平成30年度は、将来小型水素ステーションの一体構造製作が可能となる様にトーチ支持部のスリム化を実施。平成31年度は、事業化に向けて強度確保を含む溶接健全性を確保するための各種改造を実施した。

②技術的課題

- ・平成30年度は、一体構造サイズ制限の解消の為、トーチ支持部のスリム化、チャック機構の小型化の他、ワーク回転加減速制御の適正化、パラメータをきめ細かく段階的に上げ溶接条件を保持し、品質の良い溶接条件を再現する仕組みづくり、トーチ高さの電動制御機構の自動化が技術課題だった。
- ・平成31年度は、事業化に向け溶接強度と溶接品質の両立が重要課題であり、調整、移動の合理化、電動化などの作業性向上、溶接電流、電圧記録機能の追加、ラインセンサのビード形状測定、全周シールド装置など品質管理機能の追加、バックシールドガス管理システムの追加、強度を確保する為の溶接後急冷機能の追加などが課題となった。

③取り組んだ内容

【1-1】高品質自動溶接システム(HAWS)開発の構想、新機構の具体化

- ・平成29年度は、HAWSの開発にあたり、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、溶接安定性に優れる下向き溶接により溶接を採用した。

【1-2】HAWSの改修と溶接加工条件データ集積と評価

- ・平成30年度から高品質な配管溶接を実現するため、最適な溶接条件を再現できる自動溶接システムとして、技術課題解決のための数々の構想を全て盛り込んだ設計を行いHAWSを改造した。詳細は昨年度の成果報告書で報告済。
- ・平成31年度は、前年度からの改修に更に作業性の向上、品質管理の為の機能追加と検査体制、バックシールドガス管理システムの追加、溶接後急冷機能の追加を実施した。
- ・作業性向上に関しては、トーチ横方向調整の合理化、チャック横方向移動の電動化、左右チャックの回転をベルト連結から2モーター連動方式に変更した。
- ・品質管理に関しては、溶接電流、電圧の記録機能を追加、これまで軸芯のずれなどに使う予定だったラインセンサをビード形状検査用に用途変更した。(図3-2-1)

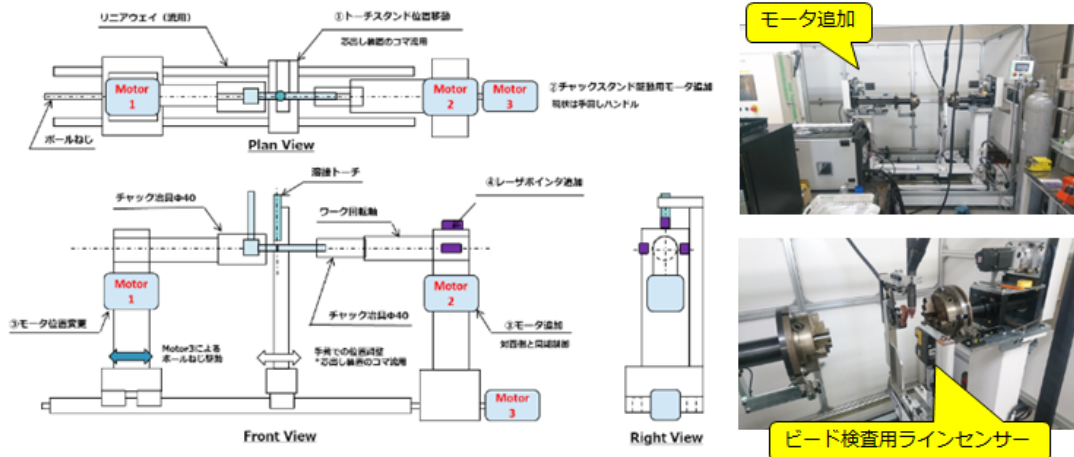


図 3-2-1. Rev03 の作業性向上および品質管理に関する改修

- ・バックシールドガス管理の精密化に関しては、（１）一次側にデジタルの体積流量コントローラを追加、（２）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し溶接品質の安定化を実現した。（図 3-2-2）

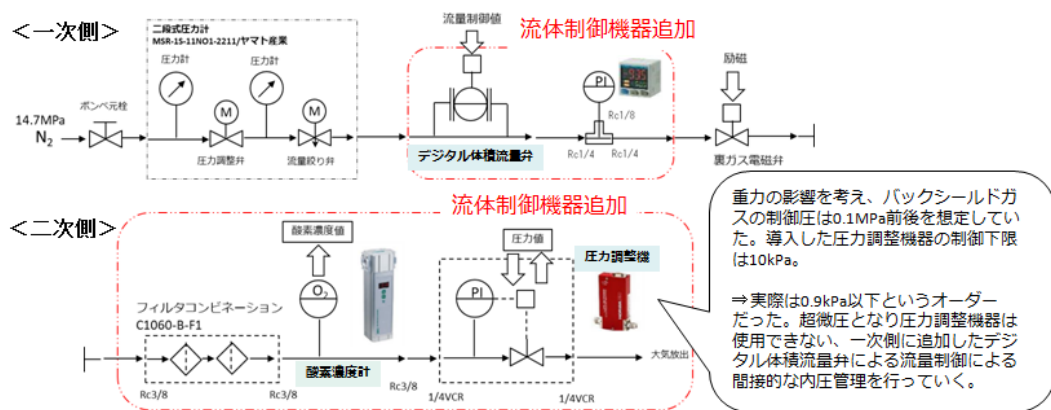


図 3-2-2. バックシールドガス管理システム 改修

- ・溶接後の強制空冷をソフト管理出来るように、電磁弁切り替えによる急冷用ガス供給ラインの追加、微圧管理の為のバックシールドガス出口に真空発生器を追加し、更に電流電圧記録のサンプリングレート、データ数、最大記録時間等を変更する等の急冷用ガスラインを増設した。（図 3-2-3）

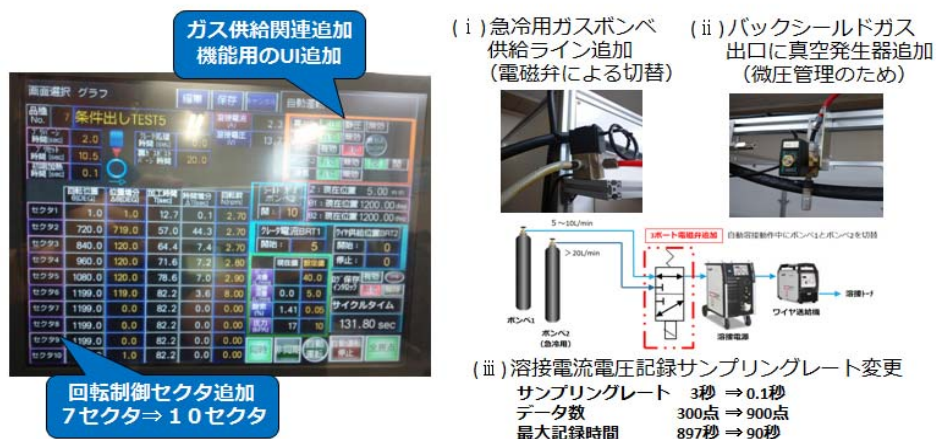


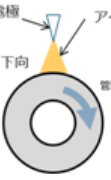
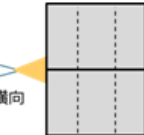
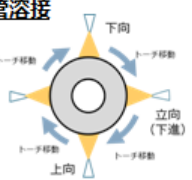
図 3-2-3. Rev03 溶接後急冷機能追加の改修

【1-3】 HAWS を活用した溶接加工部品の販路構想

- ・平成 30 年度では、川下製造業者の協力を得て、既存の商用水素ステーションの見学を行った。現行の水素ステーション配管ニーズを把握し、HAWS 改修にフィードバックした。また、高圧水素配管の市場性を確認する上で、機械式継手と一体構造の溶接配管とのコスト比較を行い溶接配管コストを検証した。詳細は H30 年度成果報告書で報告済。
- ・平成 31 年度は、市場全体の調査を行い、特にモビリティ領域での将来動向等を纏めた。また、事業化に向けて本補助事業で取組んだトーチ固定、ワーク回転型配管溶接機 HAWS の優位性をまとめ、今後の客先への提案資料を作成した（表 3-2-1）。
- ・HAWS の優位性は工場でのサブ組立て可能なサイズの一体構造に関しては、トーチ回転型の従来の自動溶接機に比べて高品質で合理的なコストでの製造が可能である事を客先に訴求していく。

表 3-2-1. HAWS の優位性

◎ HAWSの優位性

		ワーク回転型配管溶接機 藤精機 HAWS	トーチ回転型配管円周自動溶接機 (他社使用機材)	
溶接姿勢		回転管下向溶接 1G 	垂直固定管溶接 2G 	水平固定管溶接 5G 
溶接 接手 強度	ビード形状	○全周安定	△垂れ下がり	×安定しない
	裏波溶接	○コントロールしやすい	△垂れ下がり	×安定しない
	溶接金属強度	○安定した強度を出せる	△冷却速度が遅い	×安定しない
配管 組立	自由度	△配管サイズ重量に制限あり	○配管サイズ重量に制限なし	○配管サイズ重量に制限なし
	組立精度	△トーチ回転型よりやや劣る	○	○
コスト		○歩留まり良い	△歩留まりやや悪い	×歩留まりかなり悪い

④計画との比較

- 【1-1】高品質自動溶接システム (HAWS) 開発の構想、新機構の具体化は、計画通り H29 年度完了。
- 【1-2】HAWS への改造と溶接加工条件データ集積と評価は、H30 年度計画通りに展開出来た。
H31 年度で更なるデータ集積を実施した。
- 【1-3】HAWS を活用した溶接加工部品の販路構想は、市場動向調査は計画通り完了。
今後事業化が具体化した際には、更なる情報収集が必要であるが、他社の自動溶接装置に対する HAWS の優位性はまとめ完了。

3-3. 【2】高圧水素配管溶接一体構造のモデル化の課題への対応の実施内容

①重点事項

- ・平成 30 年度までは、既存商用ステーションで施工されている配管構造を調査し、一体構造のモデル化を行い、一体構造のプロトタイプを作成し寸法精度を検証すると共に一体構造の現状及び将来のニーズを調査した。
- ・平成 31 年度では、より現実的な高強度材料を採用した溶接一体構造の事例研究として水素ステーション静岡を訪問し見学の上打合せを実施。更に将来継手も内製する場合の課題などを抽出した。

②技術的課題

- ・平成 30 年度までに既存の商用ステーションへの適用を考慮した現実的な溶接一体構造を決定。また、一体構造を製作する上で HAWS の機構的課題を洗い出し、合理的な一体構造の製造方法・手順を検討した。課題としては、一体構造の小型化、配管付き合わせ時の位相合わせ方法、溶接

後の偏芯対策による安定化、インサートリング採用による溶接品質の安定化、一体構造配管末端のメタルガスケット継手との溶接であり、これらの検討、試作による確認を行った。

- ・平成 31 年度では、高窒素ステンレス鋼溶接用継ぎ手の内製検討、高強度材である HRX19 立体配管サンプル作成、溶接用継手の芯出し精度確認が課題となった。

③取り組んだ内容

【2-1】高圧水素配管溶接一体構造のモデル化

- ・H30 年度までは、HAWS による加工可能サイズの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 のモデル化及び試作を行った。詳細は H30 年度成果報告書で報告済。

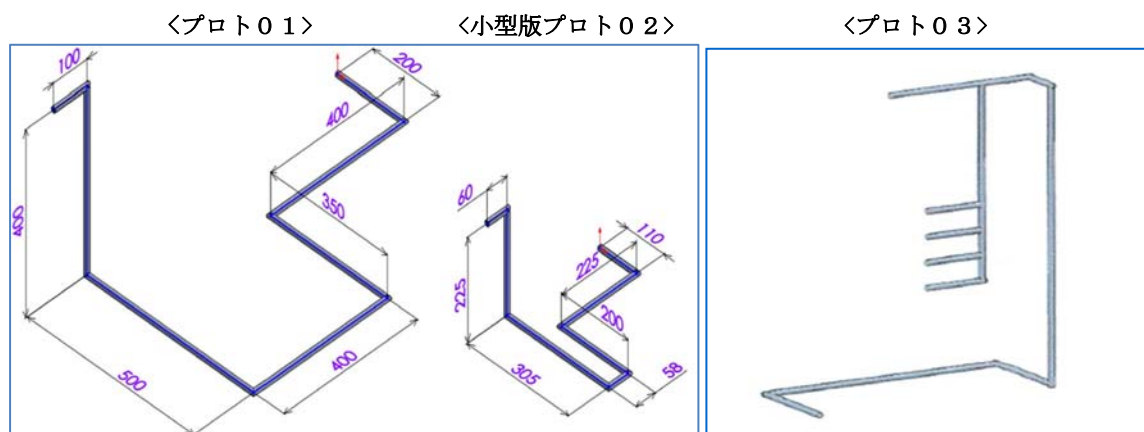


図 3-3-1. 一体構造モデル化と試作、プロト 01、02&03

- ・平成 31 年度では、事業化に向けた客先提案モデルとして、FC EXP0 2020 展示に向けて現実的な継手および将来のメタルガスケット・UPG 継手も組合わせたモデル化を行った。

【2-2】高圧水素配管溶接一体構造の試作と評価

- ・平成 30 年度は、一体構造モデルをもとにプロト 01 及び小型版プロト 02 の試作を行い、寸法精度の検証を行った。

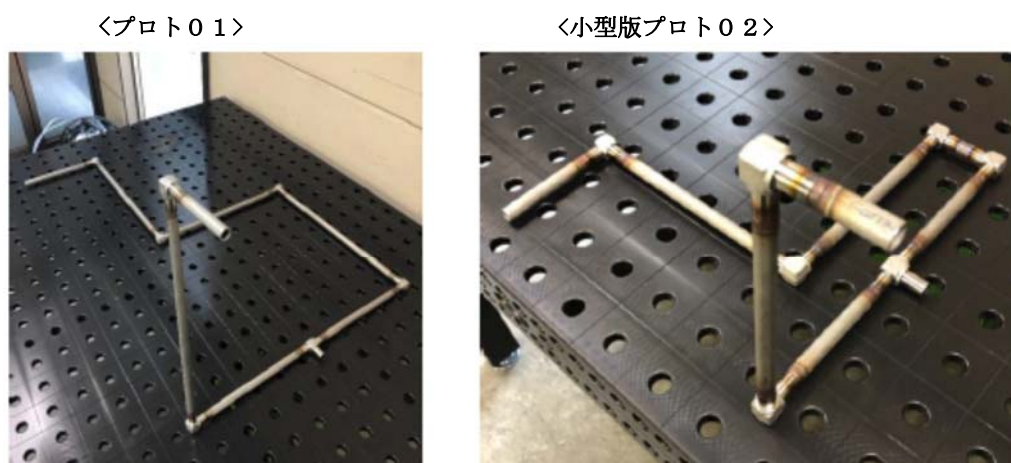


図 3-3-2. 一体構造配管の試作 プロト 01&02

- ・平成 31 年度は、高強度材の溶接構造を採用している水素ステーション静岡を見学し、より現実的な継手およびメタルガスケット継手も一体としたモデル化に基づき高窒素ステンレス鋼溶接継手を内製した（図 3-3-3）。

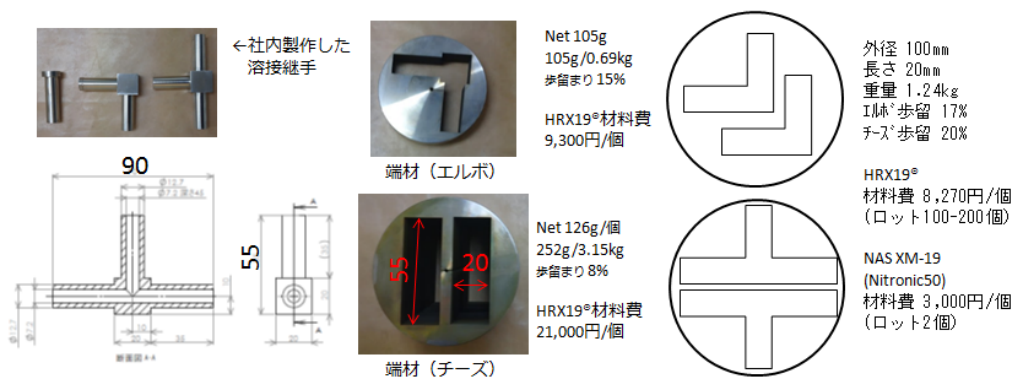


図 3-3-3. エルボおよびチーズ継手の内製

- ・さらに内製した継手を用いて、立体的な溶接配管一体構造のサンプルを製作し、実測寸法、縮み量などの検証を行った。その結果、溶接による軸方向の寸法変化（縮み）はインサートリングの厚みで吸収できる事も確認した（図 3-3-4）。

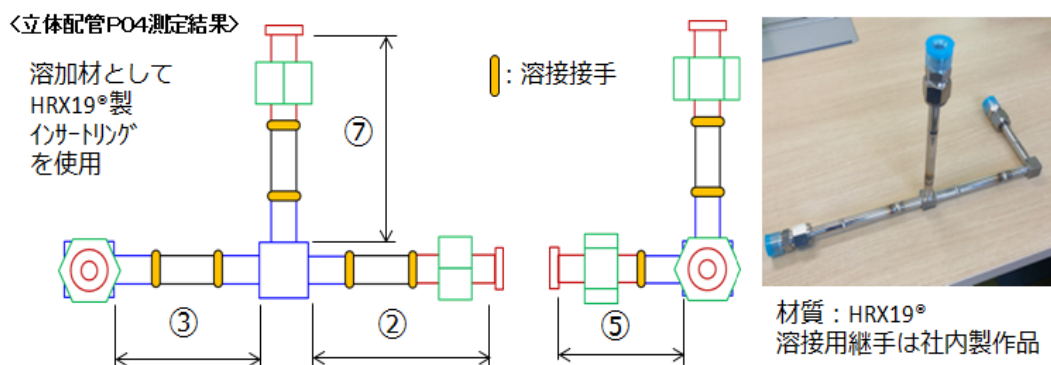


図 3-3-4. HRX19 立体サンプル製作

- ・立体配管サンプル作成に関しては、芯出し精度が重要でワーク倒れ込みによる偏心や芯ズレをどの様に防止するかが重要となるので、更なる品質向上に向け芯出し機構を開発中。（図 3-3-5）

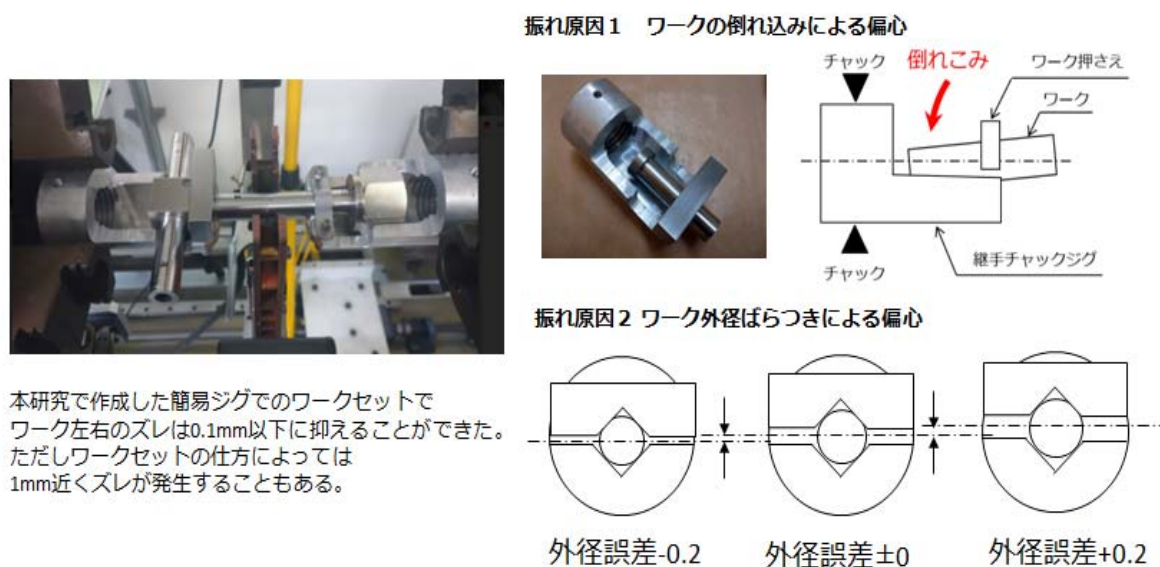


図 3-3-5. 溶接用継手の芯出し機構

【2-3】 高圧水素配管溶接一体構造の販路構想

- ・平成30年度までは、アドバイザー企業等の商用水素ステーションを見学し、一体構造配管のニーズ調査を行った。その結果、溶接構造の品質を重視するユーザーとコストを重視するユーザーの二通りの意見を確認した。特にコスト重視のユーザーは、現状では配管溶接に対するニーズが比較的高くないことも判明した。
- ・平成31年度は、実際に溶接一体構造を採用している水素ステーション静岡を見学し、打合せの結果、現状では溶接に関しての検査料等が高く必ずしも機械式継手を使った高圧配管構造に対してコストの優位性はないが、現場での設置コスト更に今後のメンテナンスに掛るコストでは明らかな優位性があるので、今後溶接構造が増えると思われとの意見を頂いた。（図3-3-6）

2018/10/11

KITZ長坂工場敷地内
水素ステーション訪問調査



2019/7/25
水素ステーション静岡
訪問調査

溶接継手採用
配管材料 HRX19®



C&S継手採用
配管材料 SUS316-HiNi

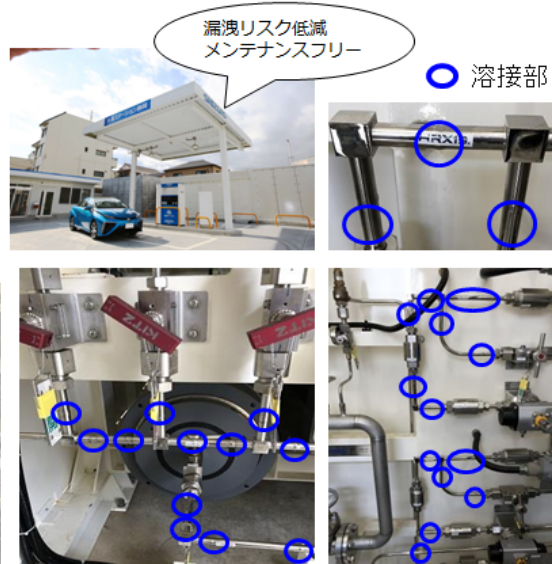


図 3-3-6. 前年度の KITZ 水素ステーションと H31 年度水素ステーション静岡訪問調査

- ・今後、他社の溶接施工などの情報を得ながら本補助事業で目指しているトーチ固定・ワーク回転型自動溶接の優位性を具体化して販路構想を固める必要がある。
- ・将来、標準的な溶接一体配管構造を標準仕様で事前に用意し、在庫管理する事で将来の少量短納期対応も検討した（図3-3-7）。

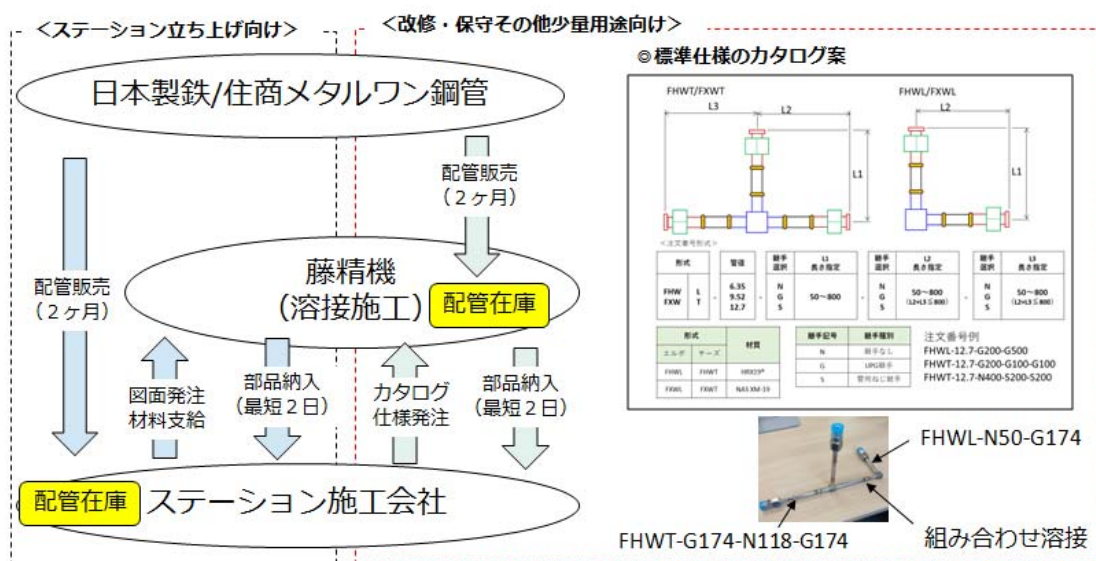


図 3-3-7. 標準的な配管サイズの検討と少量短納期対応への準備

④計画との比較

【2-1】 高圧水素配管溶接一体構造のモデル化は、計画通り。

H30 年度の 3 つのモデル化に加えて更に現実的な材料、寸法、構造のモデル化を実施。

【2-2】 高圧水素適合性検証による品質保証の対策に関しても計画通り。

H30 年度までに塩ビ管での試作からプロト 01、02 を完成させ、客先に提案できるサンプルを上記モデル化に基づき継手も内製し一体構造作成。今後、展示会で本補助事業の成果として訴求できるレベルとなった。

【2-3】 高圧水素配管溶接一体構造の販路構想は、ほぼ計画通り。

今後、市場全体の動向を見ながら更なる情報収集と水素ステーション建設事業者と一体となった販路構想の見直しが必要。

3-4. 【3】 溶接品質管理システム構築の課題への対応 の実施内容

①重点事項

- ・平成 30 年度では、溶接欠陥のない配管溶接を実現するために、溶接条件を変えて品質変化を確認し、溶接品質確保の方向性を検証した。また、非破壊検査を含め、品質保証システム確立に向けた具体的手段を確立した。外部評価センターに試作品の分析を委託し、溶接条件と品質の相関を検証し、サブテーマ 1.2 と連携し、効果的に情報を共有した。
- ・平成 31 年度では、溶接条件と溶接金属強度の研究、溶接品質の作り込み、品質検査体制の構築を重点事項とした。

②技術的課題

- ・平成 30 年度までは、品質工学による溶接条件の絞り込み、入熱量と配管回転速度調整によるビード幅管理、非破壊検査による溶接品質の検証、終端部のクレータ凹対策、配管内シールドガス圧の管理による裏波健全性の確立、溶接可視化の設備選定、高圧水素配管用鋼材の選定等を課題として取組んだ。
- ・平成 31 年度には、それまでの課題も引き続き取組みつつ、溶接速度と金属強度の関係、ガスシールドボックスの効果、余盛り除去による強度低下、溶接ボンド部の強度確認、溶接速度管理とビードコントロール等との相関、電極距離・アーク電圧・シールドガス窒素量の関連性、パルス機能の検討など、事業化に向けた溶接条件と溶接品質の絞り込みが課題となった。

③取り組んだ内容

【3-1】 溶接条件と溶接品質の相関。

- ・平成 30 年度までは、品質工学の手法を用いて溶接条件の絞り込みを行った。詳細は H30 年度の成果報告書で報告済。
- ・平成 31 年度では、まずは、溶接速度が溶接金属の材料強度に及ばず影響を評価する為に配管から平板を切り出し試験片で引張試験を実施した。また、溶接後急冷した場合の強度向上についても調査した。その結果、溶接時間を 40 秒程度まで短く出来れば溶接後急冷する事で引張り強さの向上が確認された。
- ・更に配管形状の溶接強度向上に関しても溶接時間の短縮および溶接後急冷の効果を調べた。また、余盛りを除去した試験片でも強度の確認を行った。その後、平板切り出しと余盛りママの強度の違いを考察した。
- ・溶接時間を短くする事で配管形状の引張強度が向上し、100 秒以下で公称応力 800MPa を安定して達成する見込みが確認出来た。
- ・余盛りを除去した JIS に準拠した試験でも呼び応力 800MPa 以上を達成した。
- ・配管形状ママと平板に切り出した場合で試験結果が大きく変わる原因の考察を行い、PQR で要求される配管形状での引張試験では、配管溶接部の耐圧強度向上が見られない事を確認した（図 3-4-1）。

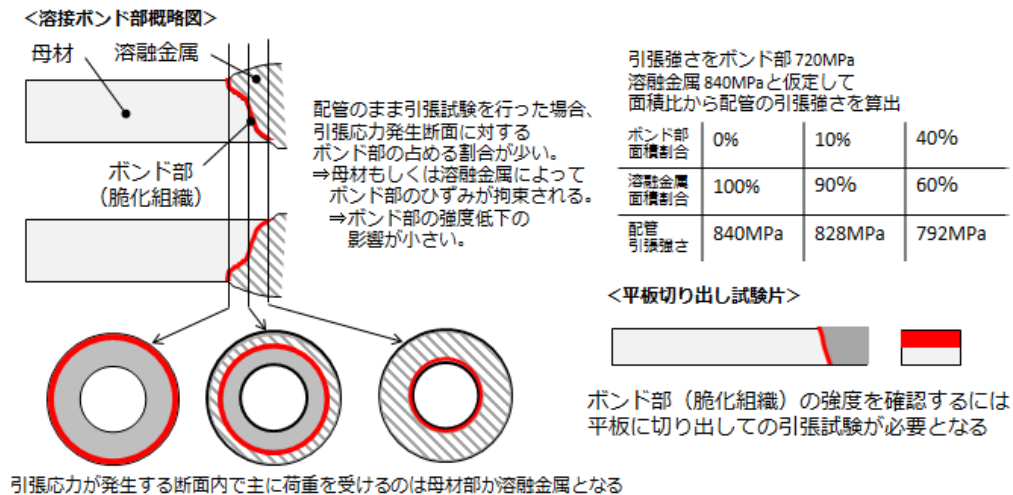


図 3-4-1. 配管形状余盛りママと平板切り出し結果の違いに関する考察

- ・溶接品質の作り込みに関しては、溶接条件制御項目、TIG 溶接に関する考察に基づき自動溶接の多元的な速度管理を検討。更にアーク長さとシールドガス窒素混合量がアーク電圧にどう影響するかを測定。アーク電圧特性の確認も行った。
- ・溶接速度は材料強度、溶け込み形状に関係するビード品質の安定化（ビードコントロール）さらには凝固割れの危険性等考慮して決める必要がある（表 3-4-1）。

表 3-4-1. 溶接条件制御項目と溶接速度と出力因子の関係性

<溶接条件制御項目一覧>

目標項目	制御因子 1	制御因子 2	制御因子 3	Note
HAZ部強度	溶接時間	溶接速度	-	100秒以下
溶融金属強度	冷却速度	入熱量	溶接電流	
			溶接時間	基準：100秒以下
			ガス流量	
			ガス流速	1.5~3.5m/s
ビード形状 溶け込み深さ	入熱量	溶接電流	平均電流値	
			パルス設定	
	アーク圧	(溶接電圧)	電極距離	
			ガス組成	
			ガス流速	
			ガス流量	
	溶融効率	(ガス冷却)	ガス流量	
			ガス流速	1.5~3.5m/s
	アーク形状	電極先端形状	ノズル径	
			-	

溶接電源制御

HAWS制御

溶接速度は
材料強度だけではなく
溶け込み深さなど
ビード形状の
コントロールにも
大きく影響する。

出力因子	溶接速度
	速 ↔ 遅
材料強度	強 ↔ 弱
ビード コントロール	難 ↔ 易
凝固割れ 危険性	高 ↔ 低

- ・TIG 溶接は、アーク柱降下電圧は電極距離、シールドガス電位に依存しており、さらにシールドガスの組成、流速、流量（ノズル径）、雰囲気温度、バックシールドガスの流れによる冷却など各因子が相互に関係する事で溶け込み形状が変化する（図 3-4-2）。

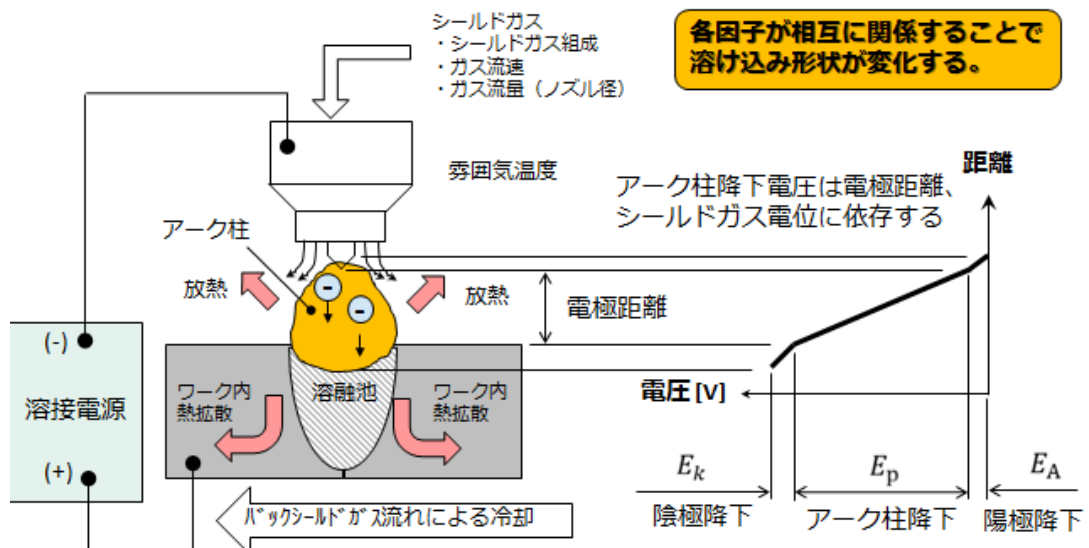


図 3-4-2. TIG 溶接に関する考察

- 自動溶接の動作設計に関しては、アークスタートから停止およびバックシールドガス流量増加による急冷開始までの溶接の進行に対応した多元的な溶接速度管理が必要で、予熱後裏波が出始めてからワーク温度上昇に合わせてワーク回転速度を上げながら入熱量を徐々に下げ、本溶接終了後クレータ処理を開始し入熱量を緩やかに下げて凝固割れを防止しながら停止に至る。基本的にはスタートから停止までの溶接時間は 100 秒以内での完了が望ましい（図 3-4-3）。

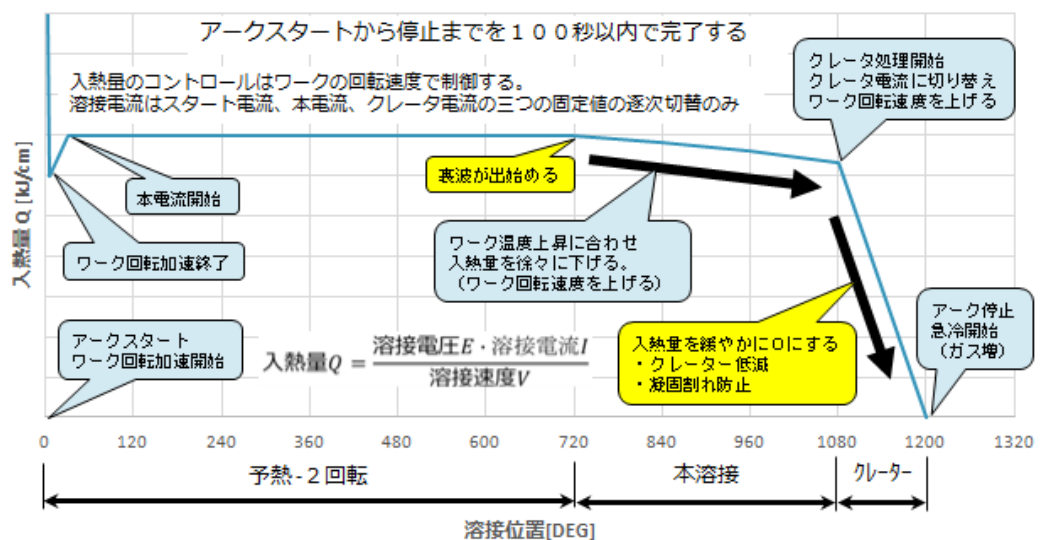


図 3-4-3. HAWS による配管自動溶接動作の設計

- アーク長さとしールドガス窒素混合量がどの様にアーク電圧に影響するかを測定した。その結果、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事が分かった。電圧が変動すると溶接の健全性にも影響があるので電圧の管理が重要である。
- 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を確認。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。しかし、極小値を示す電流の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分かった（図 3-4-4）。

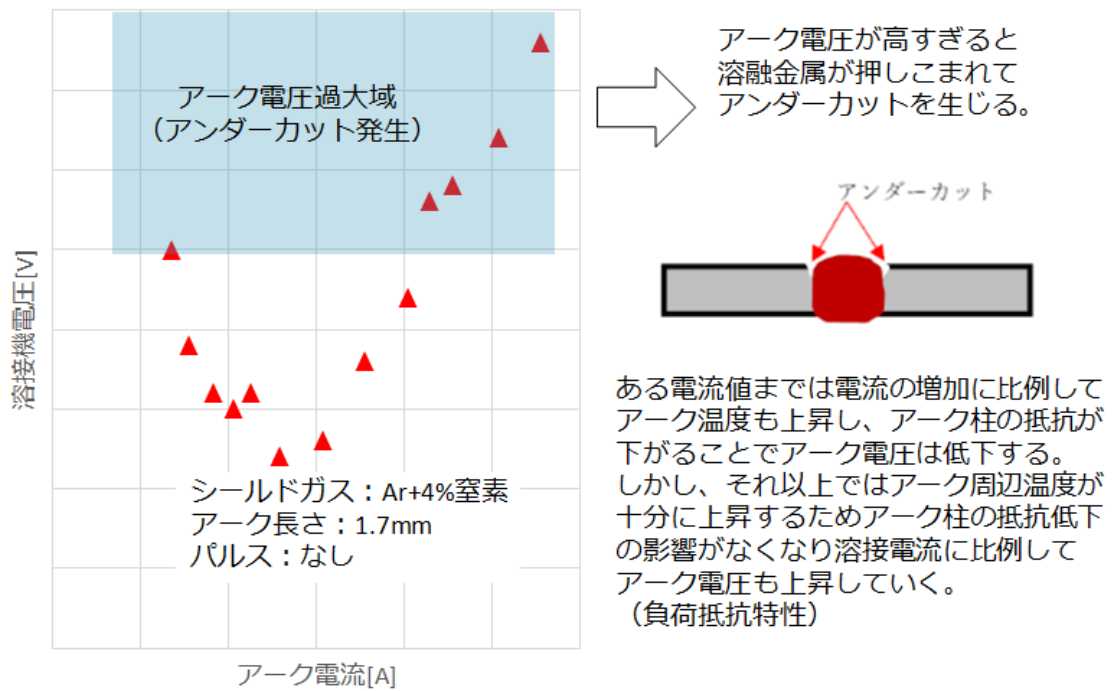


図 3-4-4. アーク電流と電圧の関係とアンダーカットの発生

- ・大阪大学 浅井知教授への相談の結果、小径肉厚管溶接に適切な溶接電流パルス機能に関する検討を行い、ローパルス溶接を採用した。その結果、溶接速度を速めてもビードの垂れ落ちが防止できた（図 3-4-5）。

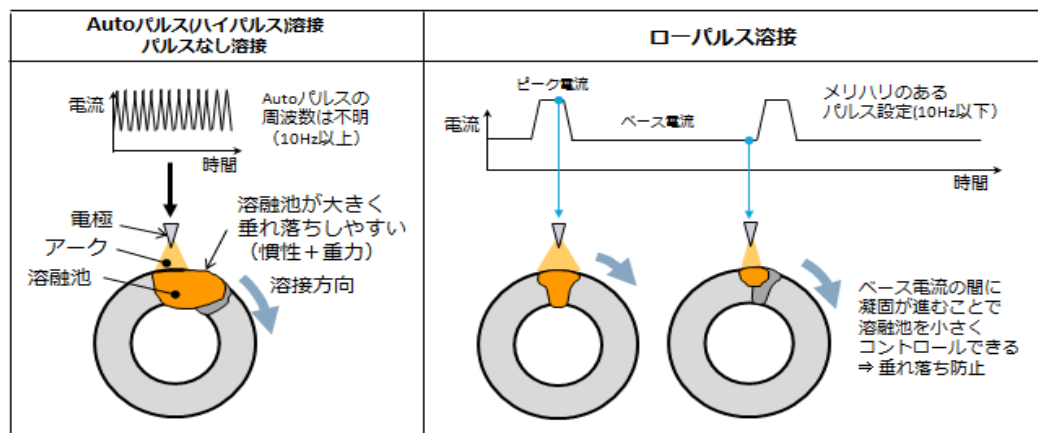


図 3-4-5. 溶接電流パルス機能の検討

- ・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。従って、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。
- ・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 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、適切な溶接電流と溶接時間の設定を行った。
- ・これらの結果を引張強度との関係性でまとめて、溶接品質合格の領域と引張強度合格の領域から、ビード品質と引張強度を両立出来る基本となる溶接条件を決定した（表 3-4-2）。

表 3-4-2. 裏波の完全溶け込みと引張強度合格が得られた溶接条件

溶接条件					シールドガス：Ar+4%窒素				確認試験・検査					
溶接 時間	回転 速度 (rpm)	ノズル 径 (mm)	ガス 流量 (L/min)	ガス シールド 長さ (mm)	Without I/Ring		With I/Ring		急冷	引張試験			ビード 健全性	
					電流 (A)	入力量 (kJ/cm)	電流 (A)	入力量 (kJ/cm)		母材 平板	JIS	金目の マメ		
39秒	5	Φ7.5	5		70	2.9	76	3.2	あり	△ 420MPa	(○)	(○)	×	7.5F-80
60秒	3.2				なし	×	(○)	(○)	×	7.5F-80				
70秒	2.8	Φ10	10	Var.2	-	-	58	3.3	-	(×)	○	○	○	
80秒	2.4				-	-	63	3.7	-	(×)	(○)	(○)	△ 7.5F-80	
105秒	1.8				-	-	59	3.8	-	(×)	(○)	○	○	
120秒	1.6				-	-	55	4.6	-	×	(○)	(○)	○	
				なし	-	-	49	3.4	あり	×	(×)	○	○	
				Var.0	-	-	58	4.3	なし	×	×	×	○	

高強度

引張試験合格

溶接品質合格

- 裏波高さに関してはワークの回転角度毎にバラツキが生じるので、複数回の溶接でどの程度の数値が変わってくるのかを確認した。今後、信頼係数を向上させるためにさらなるデータ収集が必要である（図 3-4-6）。

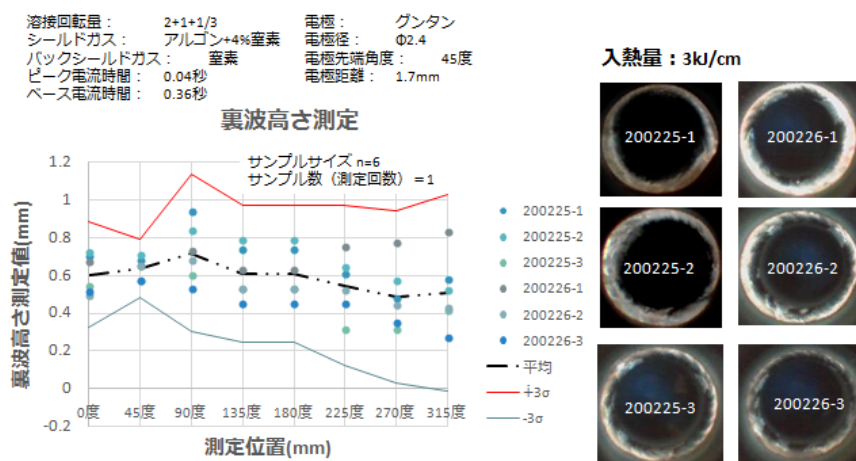


図 3-4-6. ワーク回転角度と裏波高さのバラツキ

- さらに、断面観察を行い溶融池の形状を確認し、中心の偏向の発生等も確認した（図 3-4-7）。

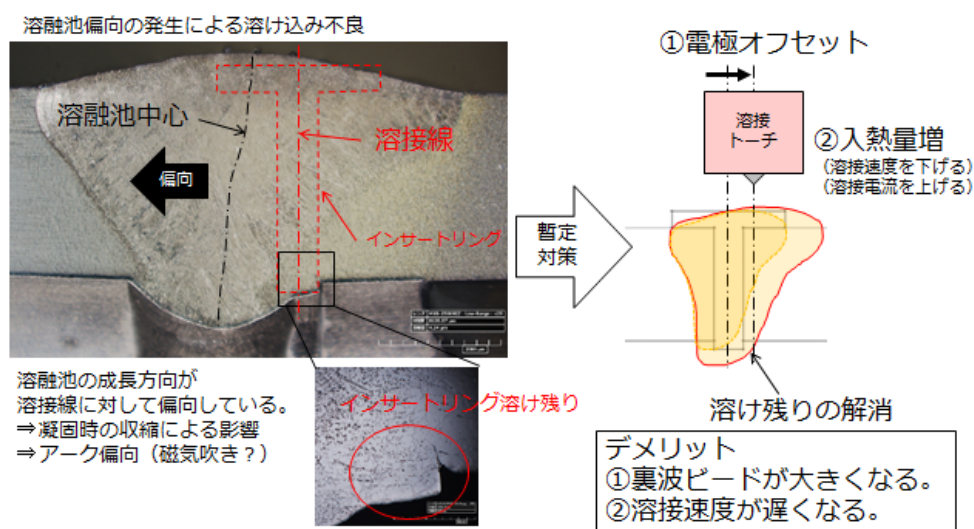


図 3-4-7. 溶融池形状と偏向発生の確認

【3-2】品質保証体制の構築

- ・平成 30 年度までは、高速度カメラでの溶接中のスケール混入やクレータの形成などの溶融プールの目視確認により溶接条件の適正化や条件出しのスピードアップが図れた。また、内視鏡により、裏波の溶接部を非破壊で確認した。フェライトスコープにより溶接部のフェライト量を計測し、溶接強度との相関を検証した。また、卓上型万能引張試験機（オートグラフ）導入により機械試験の内製化にも取り組んだ。詳細は、平成 30 年度成果報告書で報告済。
- ・平成 31 年度は、検査仕様書の整備、作業手順書の作成、外観検査の充実、浸透探傷試験の実施、磁気フェライト測定による材料強度の確認、D-RT デジタル放射線透過検査の実施に取り組んだ。
- ・まずは、検査仕様書と作業手順に関しては、ほぼ整備、作成が完了した（図 3-4-8）。

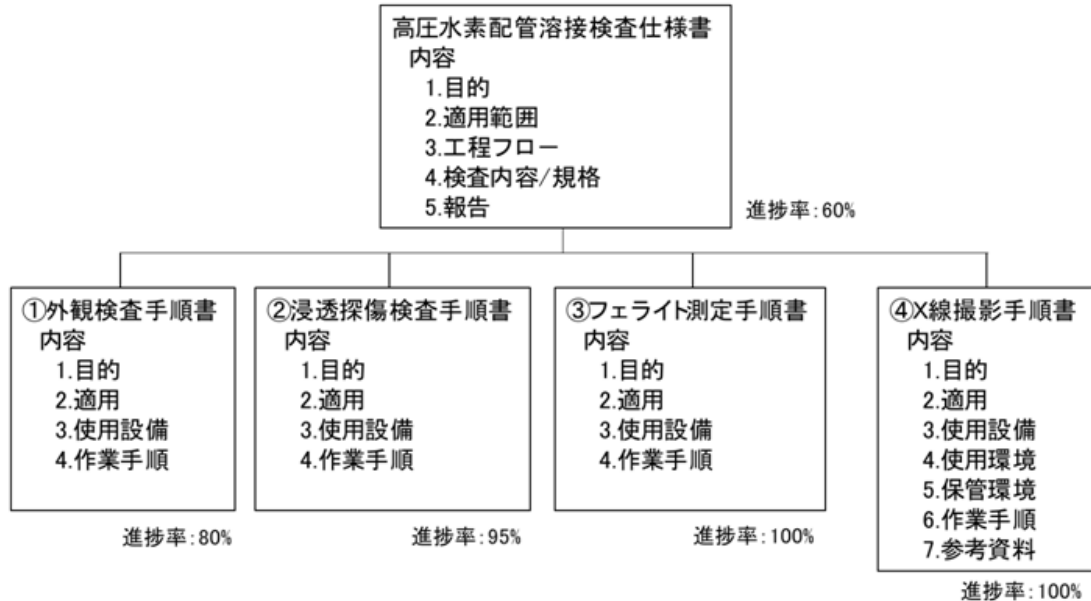


図 3-4-8. 溶接検査仕様書と手順書の作成

- ・外観検査は、目視確認から測定器による確認、さらにはラインセンサー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（図 3-4-9 および 3-4-10）。

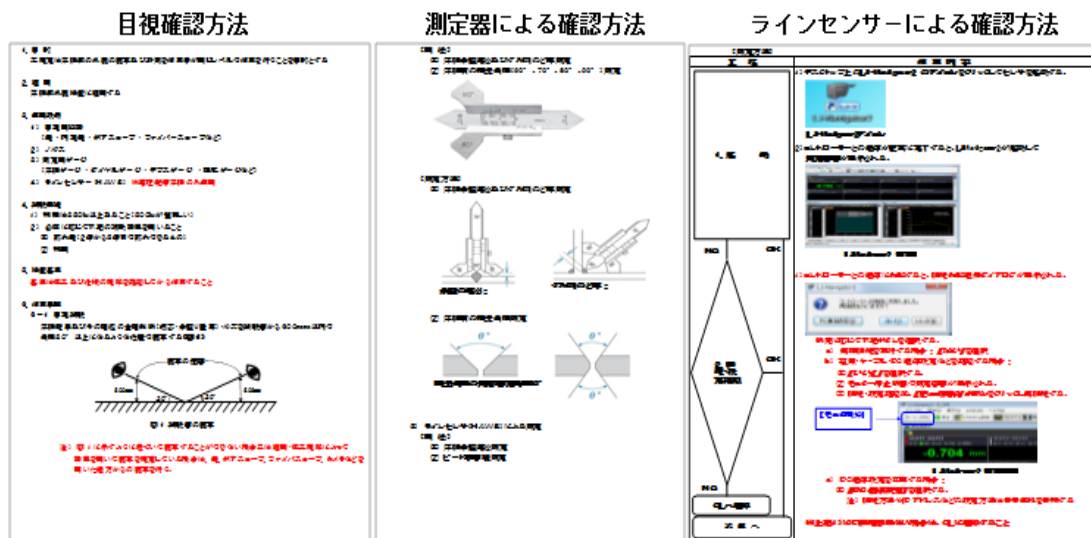


図 3-4-9. 各種外観検査の手順

ラインセンサーによる測定

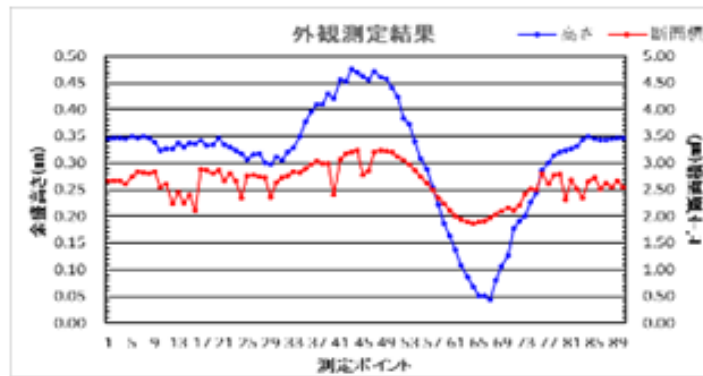
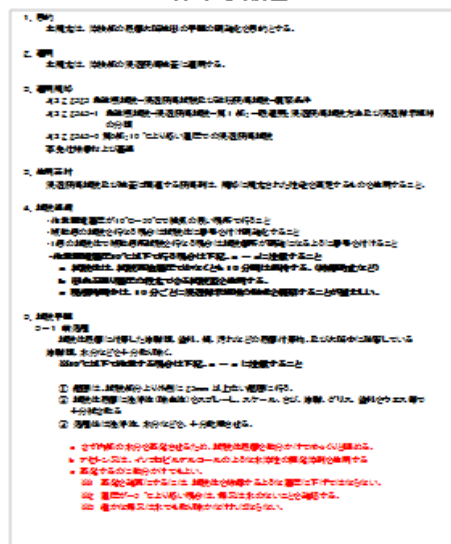


図 3-4-10. ラインセンサによる測定結果例

- ・浸透探傷試験は作業手順書を作成し、その結果をデータとして集積して検査仕様書に盛り込んだ。良品と不良品の判断基準を試験により明確にした（図 3-4-11）。

作業手順書



試驗結果



良品例

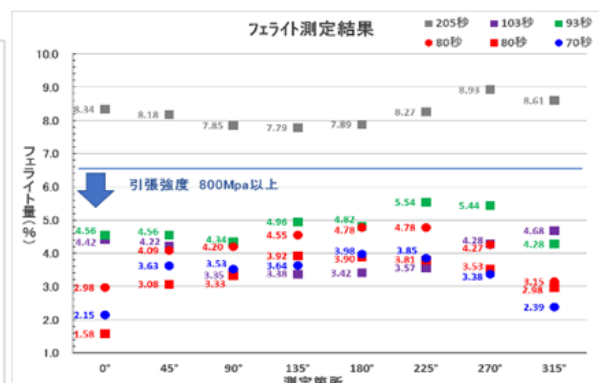
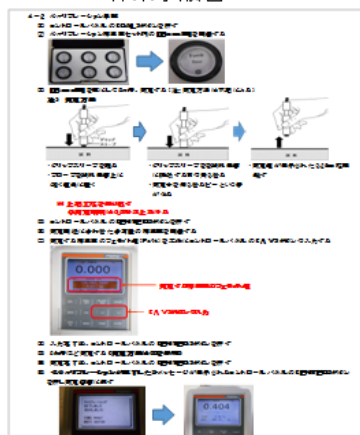


不良品例

図 3-4-11. 浸透探傷試験作業手順書と試験結果

- ・磁気フェライト測定は、材料強度の一つの指針となる事を確認し、作業手順とフェライト量と強度の関係を測定した（図 3-4-12）。

作業手順書



溶接時間が100秒以下でフェライト量が6%以下だと800Mpa以上強度が出ていると推測できる

図 3-4-12. 磁気フェライト測定作業手順と測定結果

- ・D-RT デジタル放射線透過検査に関しては、作業手順書（ドラフト版）の作成を行い、手順書に基づいて測定方法の検討を行い、測定データを集積して規定を確定させ検査仕様書に盛り込んだ。（図 3-4-13）。

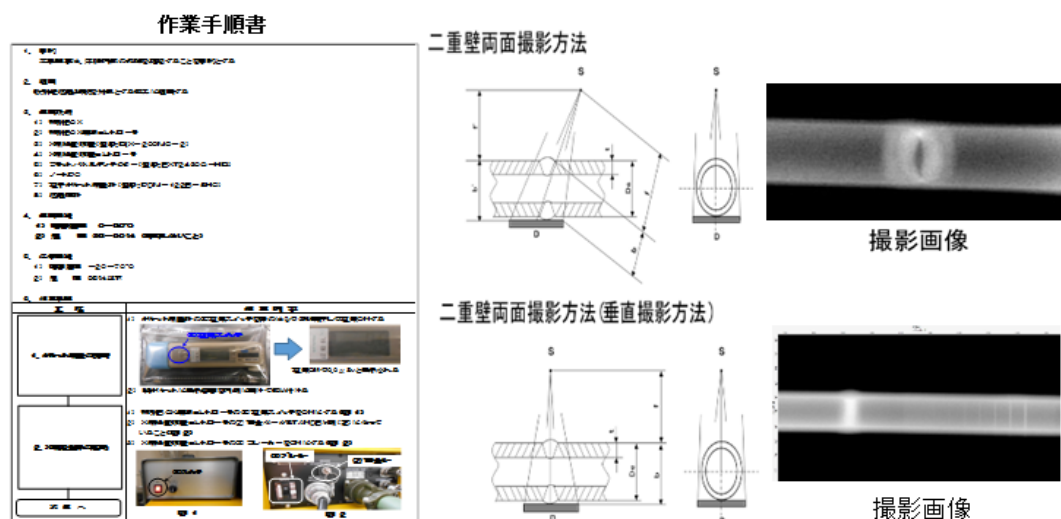


図 3-4-13. D-RT 測定作業手順と測定結果

【3-3】溶接条件の確立と、高圧水素溶接部品の販路拡大

- ・平成 30 年度は、NEDO 報告会、JPEC 室長との意見交換、KHK 水素保安セミナー、既に KHK 認可取得企業からの情報収集を行ない、溶接部品及び一体構造を販売する際に必要な申請データ（PQR）取得及び提出すべき試験データなどの検討を実施。
- ・平成 31 年度は、更に高圧ガス保安法に対応した品質保証プロセスを具体的に検討し、品質保証プロセスの確立と PQR 作成を行う。今後、水素脆化の評価として SSRT（低ひずみ速度引張試験）および疲労強度試験を実施し、耐圧試験、気密試験の体制を整えればいつでも事業化に進める準備が完了する（図 3-4-14）。

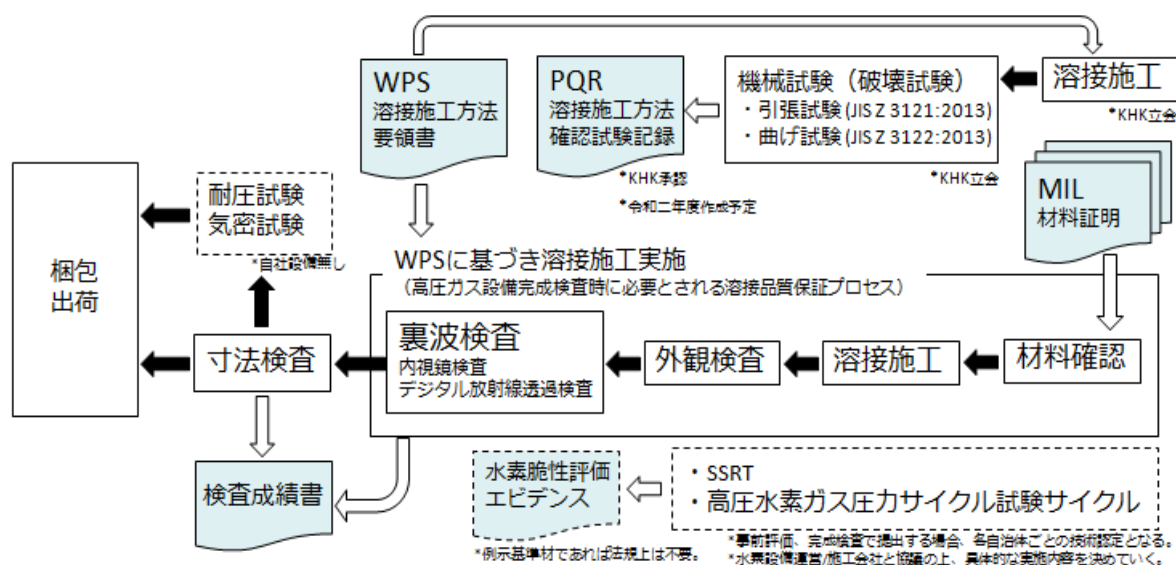


図 3-4-14. 高圧ガス保安法に対応した品質保証プロセス

- ・溶接部品の販路拡大に関しては、当面商用水素 ST 関連事業者への売り込みが可能となる様に他社の溶接技術に対しての違い技術を訴求し事業化に向けて具体的な検討を開始。現状の水素 ST 建設および運用事業者（図 3-4-15）との協業を検討。今後、川下業者への具体的な提案を行い客先要求の確認によるマッチングを行っていく。

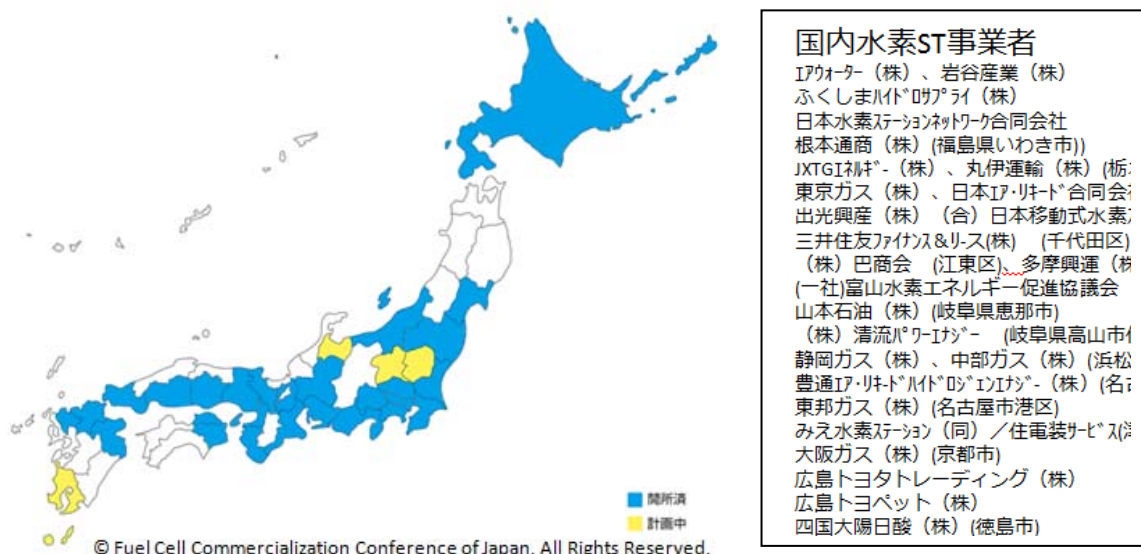


図 3-4-15. 国内商用水素ステーションの開所場所と事業者一覧

④計画との比較

【3-1】溶接条件と溶接品質との相関の確認とまとめは、計画通り。

今後、溶接データと品質データの相関をさらに確認する為事業化に向けたデータ集積を行う。

【3-2】高圧水素適合性検証による品質保証の対策は、ほぼ計画通り。

溶接健全性の更なる検証の為、品質保証に向けた検査体制の構築が必要。

【3-3】溶接条件の確立と、高圧水素溶接部品の販路拡大もほぼ計画通り。

今後、水素脆化特性の確認を行い、耐圧・試験機密試験の体制作りを進め、事業化に向けて更なる具体的な活動を展開する。

4. 補助事業の成果及びその効果

① 研究開発の成果

- ・平成 30 年度に、アドバイザー企業の紹介で既に商用ステーションに使われている高圧水素配管用ステンレス鋼 HRX-19 の入手が可能となり、溶接部の X 線 CT による 3 D スキャンにて溶接欠陥が無いことも確認でき、更に現実的な高強度材で研究開発に取り組んだ。平成 31 年度は、実際に溶接構造を採用している商用水素ステーションを見学し、継手も内製する事により、具体的な高圧配管一体構造のサンプルも試作した。
- ・自動溶接機のハードおよびソフトの改修により、熟練者が行う手溶接とほぼ同等な動作が可能となり、溶接時間の短縮、バックシールドガスの調整、溶接後急冷、溶接電流・電圧の関係に関する各種データも蓄積して、初期の技術課題が大きく改善し、品質の高い溶接が可能となった。
- ・検査仕様書の整備、作業手順書の作成とその過程における各種試験の実施により、品質保証体制の構築も進んだ。
- ・高圧ガス保安法に対応した品質保証プロセスも明確になり、事業化に向けた準備が完了した。
- ・市場調査の結果、国内外での水素ステーションおよび高圧水素製造装置の数の増加が予測され、更に水素・燃料電池の応用分野の広がりも欧米を中心に進みつつある事が判り、今後、高圧水素配管技術へのニーズが高まる事が予想される。

② 研究開発の効果

- ・本補助事業スタート時には、数々の困難な課題があったが、企業、団体や大学から情報収集を行い、アドバイザー企業からの支援もあり、入手困難だった高強度材での現実的な溶接技術の高度化が進み、社内で継手も内製し本格的な一体構造のサンプルの製作が可能となった。
- ・最も困難だった溶接品質保証体制の構築に関しても、各種データの蓄積が進み、品質保証に向けた準備が整った。
- ・水素関連企業との継続的な情報交換を行うことが可能な関係を構築することができ、事業化に向けた非常に有益なネットワークが構築できた。

③ 計画との比較

- ・全体としてほぼ計画通り展開が出来、各サブテーマ毎に成果があった。

4-1. 【1】溶接加工の高品質自動化の課題への対応 の成果及び効果

サブテーマ1では、表4-1に示すように平成29年度に【1-1】高品質自動溶接システム(HAWS)開発の構想、新機構の具体化」、平成30年度【1-2】HAWSへの改造と溶接加工条件データ集積と評価」に取り組んだ。この研究課題の達成度は100%である。また、昨年度の達成度が35%だった【1-3】HAWSを活用した溶接加工部品の販路構想は、全体市場の調査、将来の水素・FC応用分野の拡大なども調査し、高圧水素配管技術の量産性、低コスト化等も検討し、HAWS改造の方向性は正しかったと考える。この研究課題の達成度は100%である。

表4-1 本研究開発に係る研究課題毎の研究目標と達成度

達成度：()内はH31年度の達成度

研究開発実施内容	研究目標	進捗度
【1】溶接加工の高品質自動化の課題への対応		山梨県産業技術センター 藤精機(株)
【1-1】高品質自動溶接システム(HAWS)開発の構想、新機構の具体化	HAWS開発の主となる、溶接熱源の選択と、溶接ヘッドを固定とし、製品を回転させる機構を採用した装置の明確化及び本機構を試用したことによる技術研究、施した溶接部材に対する検証を行った。また同時に、裏波溶接(成功率90%以上)の試作化を実施した。	100% H29年度完
【1-2】HAWSへの改造と溶接加工条件データ集積と評価	追加データを収集し、非破壊検査を再度外部委託し、その他の試験の実施検討を行う。	100%
【1-3】HAWSを活用した溶接加工部品の販路構想	川下製造業者のニーズを明確に把握し、必要に応じてHAWS改造へのフィードバックを行う。	100% (100%)

4-1-1. サブテーマ1の平成31年度研究開発の成果

平成30年度、HAWS改修後、試作品を外部委託先でX線CTによる3Dスキャンの非破壊検査を行い、リング方式で行った二回目の試作品は、今まで課題であった溶接終端部のヘソ、溶接内部の鬆が無い良好な品質が得られた。平成31年度は、Rev03として作業性向上改修および品質管理の為に機能追加、購入機器の用途変更などを行い引張強度800MPa以上となる溶接条件で裏波の完全溶け込みを実現出来た。

4-1-2. サブテーマ1の平成31年度研究開発の効果

平成30年度は、溶接品質向上と市場ニーズに合った一体構造配管の製作を行うため、HAWSのソフト及

び機構構造の改修を行った結果、なめらかな溶接速度制御が可能となり、また、一体構造配管の小型化の製作が可能となった。詳細は H30 年度成果報告書で報告済。平成 31 年度は、今後の事業化に向けてモータ追加による電動化向上、ラインセンサによるビード形状の測定、バックシールドガス管理の精密化、溶接後急冷機能の追加等、HAWS による自動溶接の優位性を確認し、十分な効果を上げる事が出来た。

4-1-3. 計画との比較

平成 30 年度に引き続き、商用ステーション見学及び川下製造業者との打合せで入手した情報を本サテマ 1 にフィードバックし、HAWS 改修に効果的に反映させた。各項目ともほぼ計画通り実施できた。

4-2. 【2】 高圧水素配管溶接一体構造化の課題への対応 の成果及び効果

サブテーマ 2 では、表 4-2 に示すように【2-1】 高圧水素配管溶接一体構造のモデル化 に取り組み、この研究課題の達成度は 100%である。また、【2-2】 高圧水素配管溶接一体構造の試作と評価 に関しても今期達成度としては 100%となった。【2-3】 高圧水素配管溶接一体構造の販路構想 に関しては、販路絞り込みが一部未達となり達成度 90%に留まった。

表 4-2 本研究開発に係る研究課題毎の研究目標と達成度

達成度：()内はH31年度の達成度

研究開発実施内容	研究目標	進捗度
【2】 高圧水素配管溶接一体構造化の課題への対応		
山梨県産業技術センター 藤精機(株)		
【2-1】 高圧水素配管溶接一体構造のモデル化	小型水素ステーションなどで実際に採用されている配管構造を調査し、実用的な一体構造のモデル化を行う。	100%
【2-2】 高圧水素配管溶接一体構造の試作と評価	シンプル且つ現実的な一体構造の試作を行い、寸法精度、外観などの検証を行う。	100% (100%)
【2-3】 高圧水素配管溶接一体構造の販路構想	商用水素ステーション、小型水素ステーション、水素製造装置など、どの分野で最も一体構造へのニーズが高いかを調査し、販路の絞り込みを行う。	90% (95%)

4-2-1. サブテーマ 2 の平成 31 年度研究開発の成果

- ・平成 30 年度は、川下製造業者独自で建設した水素ステーション見学によるプロト 03 の 3D モデル化、一体構造配管溶接に対するニーズ調査、また、ディスペンサー製造企業設計者との意見交換で、高圧水素配管の施工価格および溶接での高圧水素配管認定に関する要望などを伺った。平成 31 年度では、更に高強度材による溶接構造を採用している水素 ST 見学等により、継手内製のより現実的な一体構造サンプルを製作し、今後の事業化に向けた準備が整った。

4-2-2. サブテーマ 2 の平成 31 年度研究開発の効果

- ・平成 30 年度までは、プロト 01、小型のプロト 02、水素 ST 実装可能なプロト 03 のモデル化を行い、プロト 02 の寸法精度検証も実施、さらに継手や金具をチャックする治具を作成した。平成 31 年度は、溶接用継手の芯出し精度等の検証も行い、一体構造の品質安定化への効果的な検討も行った。

4-2-3. 計画との比較

- ・平成 30 年度に引き続き、水素 ST 見学および打合せを通じて、一体構造配管に関するニーズを明確化し、販路構想の絞り込みを除き、ほぼ計画通り実施できた。

4-3. 【3】溶接品質管理システム構築の課題への対応 の成果及び効果

サブテーマ3では、表4-3に示すように【3-1】溶接条件と溶接品質の相関の確認とまとめ」に取り組み、達成度は100%である。【3-2】 高圧水素適合性検証による品質保証の対策」に取り組んだ。この研究課題の達成度は100%である。【3-3】 溶接条件の確立と、高圧水素溶接部品の販路拡大に取り組んだ。しかし、事業化に向けての最終確認試験が実施できず、来期早急に実施する必要がある。この研究課題の達成度は90%に留まった。

表 4-3 本研究開発に係る研究課題毎の研究目標と達成度

達成度：()内はH31年度の達成度

研究開発実施内容	平成 30 年度研究目標	進捗度
【3】溶接品質管理システム構築の課題への対応		山梨県産業技術センター 藤精機(株)
【3-1】溶接条件と溶接品質の相関の確認とまとめ	収集したデータに基づき、更に溶接条件を変えて品質の変化を確認し、溶接品質確保の方向性の検証をする。	100%
【3-2】 高圧水素適合性検証による品質保証の対策	HAWS による溶接の寸法精度などの確認を行い、品質保証システム確立に向けた改造の方向性を確認する。また、外部委託した非破壊検査の結果を検証し、共同体によるその他の検査と合わせて品質保証に向けた具体的手順などを検討する。	100% (100%)
【3-3】 溶接条件の確立と、高圧水素溶接部品の販路拡大	溶接部品及び一体構造を販売する際に必要となる申請データ取得及び提出すべき試験データなどを明確にする。また、販路拡大に向けて新規分野などの情報を入手する。	90% (80%)

4-3-1. サブテーマ3の平成31年度研究開発の成果

・平成30年度に引き続き、アドバイザー企業・組織との打合せ、材料メーカーとの技術打合せ、水素燃料電池展示会、セミナー、シンポジウム受講による情報収集を行った。平成31年度の成果としては、溶接時間の短縮、溶接後急冷による引張強度の確保など今後の展開に有用なデータが得られ、シールドガスボックス採用の効果、溶接品質の作り込みに関しても溶接速度管理、アーク長さとシールドガス窒素混合率の電圧への影響、溶接電源の電圧特性の確認、適切なパルス機能の検証、溶接速度と入熱量の相関データ、ビード健全性と溶接条件の絞込みのデータ集積など行った。品質保証体制の構築としては、検査仕様書の整備、各作業手順書の作成もほぼ完了し、高圧ガス保安法に対応した品質保証プロセスの検討も行いPQR 作成準備も完了した。

4-3-2. サブテーマ3の平成31年度研究開発の効果

・平成30年度までの本補助事業の効果は、H30年度成果報告書で報告済み。平成31年度は、上記の各種データ集積の成果により事業化の準備が整った事で、次のステップではまずは商用水素ST建設および運用会社とのビジネス展開の具体化に向けた協業を開始出来る。

4-3-3. 計画との比較

・平成30年度より、営業メンバーを入れ販路拡大の検討を行っており、技術的検討、データ集積に加えて、販売に向けての今後の展望なども検討し、市場調査、事業見通しもほぼ計画通りである。

4-4. 本年度の全体まとめ

・初年度は「考える」、昨年度は「造る」、最終年度である平成31年度は、三つのサブテーマに対し、『売る』を共通キーワードとし事業化に向けた目標を目指して各サブテーマの課題に取り組み、数々の成果を上げる事が出来た。

・今年度の活動内容をまとめると、昨年度同様に各サブテーマの課題を解決するために、相談・意見交換・情報収集・関連施設の見学・ビジネスマッチングなど、関連企業・団体とのネットワーク形成もでき、今後の事業化に向けた準備とも云える活動を実施する事ができた。

主な活動としては以下のとおりである。

- ・アドバイザー企業と研究推進会議の実施（2019年7月29日）
2020年3月6日に予定されていた第2回会議はコロナウィルス対策で中止となった。
- ・大阪大学 浅井知教授への相談による事業展開に関するアドバイス聴取（2019年10月18日）
- ・材料メーカーからの高強度材 HRX-19 の購入と溶接検討、一体構造の試作
- ・水素閣僚会議を含むセミナー・シンポジウム参加による、国内外での水素市場情報の収集
- ・高強度材である HRX-19 の溶接構造を採用している水素ステーション静岡の見学・打合せ

最終章 全体総括

5. 補助事業の成果に係る事業化展開について

① 補助事業の成果が寄与すると想定している市場

2019 年秋に気候変動に関する政府間パネル（IPCC）が公表した海洋・雪氷圏特別報告書（SROCC）によれば、これからの 10 年で世界は大きく変わらなければ、海面上昇による被害等、将来大変な事になると報告された。事実、我が国でも台風 15 号、19 号により大きな被害が生じ、地球温暖化による気候変動の怖さを実感した。従って、気候変動に対する適切かつ緊急な対策が、あらゆる分野で待ったなしであり、再生可能エネルギー（RE）へのシフトが全世界的に進んでいる。既に世界の大手企業では RE100 として自社の消費エネルギーを 100% RE で賄う動きも起こり、2050 年 CO2 ゼロ、カーボンニュートラルに向けた挑戦も進んでいる。しかしながら RE は、変動が大きく平準化と調整力を確保する為に効果的な蓄エネルギーシステムが必要である。そこであらゆる分野での水素利活用が重要となり、特にモビリティ分野では移動体としての軽量・コンパクトの視点で高圧水素による燃料電池（FC）システムの開発、量産化、普及が進みつつある。

中国では NEV 法により今後の電動車比率を定めて達成出来ない会社には厳しいペナルティを科す事により、これまで進めてきた BEV の量産化に加えて FCEV の産業化を進める事を発表。現在商用車、バスで 6,000 台の FCEV を 2025 年には 10 万台、水素ステーション（ST）800 ヶ所を目指している。米国では、ZEV 法でゼロエミッション車の拡大を進め、昨年発表された水素ロードマップでは、2030 年 FCEV 530 万台、水素 ST 5,600 ヶ所とした。特に、2029 年には全てのバスを FC とする事（図 5-1）、港湾で推進されているクリーンエアキャンペーンに関連してヘビーデューティ（HD）大型トラック（図 5-2）を FC 化するなど野心的な取組みが展開されている。



図 5-1. FC バス



図 5-2. FC HD トラック

世界全体の市場では、水素会議および昨年 9 月に日本で開催された水素閣僚会議のグローバル・アクション・アジェンダ（“Ten-Ten-Ten”）でも今後 10 年間で、水素 ST 1 万カ所、FC モビリティを 1,000 万ユニットに増やす目標が共有された。更に FC フォークリフト（図 5-3）、FC ドローン（図 5-4）を始め、欧米を中心に鉄道、船舶、航空機の FC 化（図 5-5）が進みつつあり、2025 年以降には FC 応用分野の拡大、多角化が本格的に展開される。



図 5-3. FC フォークリフト



図 5-4. FC ドローン



図 5-5. FC 応用分野の多角化（鉄道、船舶、航空機）

従って、本補助事業の成果は、まずは大型の水素 ST、更に各応用分野の展開に対応できる小型、専用の水素供給装置（図 5-6）その後展開される各分野での水素供給設備における高圧水素配管の一体構造を高品質で合理的な価格で提供できると予想される。



図 5-6. 小型、専用水素供給装置

② 補助事業の成果・効果が寄与すると想定している事業名

これまでも検討してきたアドバイザー企業ホンダの小型水素ステーション SHS 事業、JXTG エネルギーおよび東京ガスが展開している商用水素 ST 事業、鈴木商館はじめ数社が展開している FC フォークリフトへの水素供給、東京 R&D が実証試験を実施した FC トラック事業、さらに福島県で展開されている大型ソーラー発電からの水素製造と東京首都圏への水素輸送などまずは最新の情報収集に努め、本プロジェクトに適した事業の掘り起こしを行う。現在、国内商用水素 ST の建設事業を展開している事業者にも本補助事業の成果を紹介し、現場と一体となった設計、製造を行い、その K/H を更なる展開に活かしていく。

また、今後は国内に限定せず、海外での再生可能エネルギーからの水素製造・貯蔵・輸送、FC 鉄道、FC 船舶、FC 航空機などへの応用展開も視野に入れて幅広い対応が可能となる様に生産体制の構築を進め、販路の拡大を模索する。

③ 事業化への遂行方法やスケジュール

まずは、事業化に向けて残っている業務である溶接健全性の最終確認試験として、SSRT（低ひずみ速度引張試験）および疲労強度試験を実施し、水素脆化特性の評価を行い、KHK（高圧ガス保安協会）の承認も受けて事業化をスタートする。同時並行で一体構造の更なる展開として曲げ構造の採用、量産性、コスト低減等の課題を克服し、更なる技術の高度化を進め、客先への提案を行っていく。

高品質自動溶接システム（HAWS）を活用し、事業化を早めるため、本補助事業スタート時に考えていた肉厚 5.5mm の自動溶接ではなく、実用的な高強度材を用いた配管溶接からスタートする。今後もアドバイザー企業である JXTG エネルギー、東京ガス、本田技術研究所の協力の下、今後展開される各種事業での高圧水素配管一体構造のニーズを有する川下製造業者（水素 ST 建設事業者など）と一体となって、設計、試作を行い、量産化に向けて販路展開を策定する。

6. 補助事業の成果に係る知的財産権等について

事業展開の初期に既存の自動溶接機でも難しいとされている高圧水素配管パイプ溶接（肉厚 5mm 程度）において、高品質自動溶接システム（HAWS）にて品質を安定させる為の課題が顕在化した。

更に、現実的な展開が可能な高強度材を用いた小径肉厚パイプ溶接、小型の一体構造の製造を可能とする HAWS の改造、強度を含む溶接健全性を達成する為の各種の工夫においても様々な課題が浮き彫りとなり、知的財産の可能性が明確となってきた。それらの課題の解消と確固たる技術の確立に関して、具体的解決手法を検討した。今後、追加試験の実施や論文発表の過程で問題解決手法の新規性・独自性に関して知財戦略を展開する。まずは、HAWS 開発の過程で生まれる新技術・新機構に関するアイデアの特許性を専門家を交えて検討し、将来の販路拡大に必要な特許申請を検討する。

以 上