

水素を用いた溶接・切断技術*



吉田 佳史**

Hydrogen as Welding and Cutting Technology*

by YOSHIDA Yoshifumi**

キーワード 水素、ガス切断、溶断、アセチレン、圧接、鉄筋、TIG、固相接合

はじめに

18世紀後半の産業革命より、エネルギーの主役は石炭、石油などの「化石燃料」であったが、2015年「水素元年」を皮切りに、次世代のクリーンなエネルギーとして「水素」が挙げられ、水素社会の実現に向けて、産業界では「水素燃料電池」や「水素自動車」、「水素ステーション」など「水素」に関する重要なプロジェクトが数多く行われている。

溶接・切断分野においても生産性の高効率化、作業の安全性向上、作業環境の改善、環境負荷の低減のために、水素の物性を活かした技術が用いられている。

例えば中・厚板鋼板を目的の加工物を製作するために切断、加熱、ロウ付け等を行う熱加工業界では、燃料ガスにアセチレンや液化石油ガス、液化天然ガスを用いるところが多いが、切断速度の向上、作業環境の改善の為に水素系ガスを用いる場面が多くなり、熱加工業界において水素系混合ガスが注目の燃料ガスになっている。

そこで本稿では昨今注目されている水素を混合したガス切断用、ガス圧接用燃料ガス、及び水素を添加したアーク溶接用シールドガスの開発状況を紹介する。

1. ガス切断用水素系燃料ガス

我々の周りには、船や橋梁、ビルなど鉄で出来た様々な構造物があり、こうした構造物を作るため、材料となる鋼材に必要な長さや形に応じてガス切断する技術がある。これはアセチレンや液化石油ガス、液化天然ガスといった燃料ガスの炎を酸素と共に母材に吹き付け、加熱しながら酸素と鉄の酸化反応で切断するというものである。また、鋼材に熱を加えて変形させる撓鉄作業や、ひずみが生じた構造物に対して熱を加えて歪みを除去する

歪取り作業、接合する部材（母材）よりも融点の低い合金（ロウ）を溶かして接着剤として用いるロウ付けにも使用されてきた。このような火炎を用いた熱加工技術があったからこそ、今日の機械文明の発展があったとも言えなくもなく、ガス切断用燃料ガスの歴史はまさに産業発展とともにあった。

昨今、産業界では生産性の高効率化と同時に作業の安全性向上、作業環境の改善が求められている。この点に対応するために、水素の性状が用いられている。水素が燃焼し得られる火炎の特長は従来の「化石燃料」由来の燃料ガスに比べて、集中した火炎が得られる点がある（写真1、2）。これは他の「化石燃料」由来のガスに比べて燃焼速度が速いことに起因する。表1で比較すると水素の燃焼速度はメタン、プロパンに比べ約3倍で、鋼材の熱加工作業に最も適していると言われるアセチレンとほぼ同等の燃焼速度を有する。しかしながら、水素の

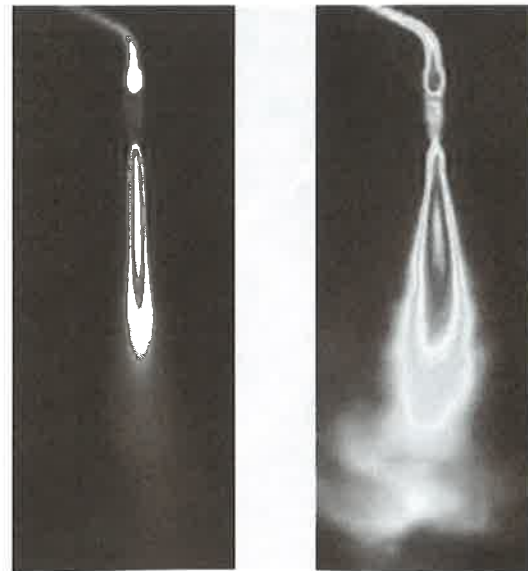


写真1 水素火炎温度分布

写真2 LPG 火炎温度分布

*原稿受付 平成28年3月1日

** 岩谷産業(株) 中央研究所 IWATANI R&D CENTER

持つ熱量がプロパンの25%と少ないため、水素単体ではアセチレンと同等の作業を行うことは困難であった。しかし、熱加工市場では水素を用いた切断技術は良好な切断品質が得られると実績があり、弊社でも水素切断の開発で蓄積した経緯から、熱加工技術は単なる溶断ガスが持つ熱量比較だけで優劣を比べることは出来ないと判断していたため、開発時には「燃焼強度」という燃焼速度と発熱量の積であり、単位面積、単位時間当たりの発熱量を指数として用いた。

生成したガス1molあたりのハイドロカット、アセチレン、プロパンの燃焼強度を算出すると表2のとおりになる。

この指数を用いて比較すると、水素単体では1molあたりの燃焼熱は小さいが、生成されたガス（二酸化炭素、水）1molあたりが供する単位時間、単位面積当たりのエネルギーは燃焼速度の影響でプロパンの倍以上の値を示し、アセチレンに近い値を示していることがわかる。

この水素混合組成を用いて実際の熱加工作業行ったが、溶断、加熱、ロウ付け等でアセチレンと同等の性能が得られることが確認できた。参考例として板厚450mmの鋼

材を開先切断した切断面を示す（写真3）。また、安全性の面でも垂鉛めつき鋼板の加工において、事故の要因となる逆火という現象が生じにくいことが確認できた。現在、弊社では市場にこの水素混合ガス「ハイドロカット®」（写真4）という商品名で提供させていただいている。

2. ガス圧接用水素系燃料ガス

建築及び土木の分野ではビル、橋梁の土台などの構造物を造る際、RC構造と呼ばれる鉄筋とコンクリートを組み合わせた鉄筋コンクリート構造が用いられる。それらの構造物を造る際、その構造物の大きさにより複数の鉄筋を繋ぎ合わせる場合が多数生じるが、その接合の際に鉄筋ガス圧接工法が用いられる。鉄筋ガス圧接の技術は約70年前からあり、日本では1943年南満州鉄道で実施されたのが最初とされている。ガス圧接は固相接合を利用したもので、清浄にした鉄筋端面同士を突合せ、鉄筋軸方向に圧縮力を加えながら突合せ部分を酸素・アセチレン炎で加熱し、接合端面を溶かすことなく赤熱状態にし、加熱している火炎で外気からシールドしつつ清浄鉄筋端面同士を密着させ、金属原子を原子配列の再編を起こす距離まで近づけることで接合させる技術である。その原理、工程を模式化したものを図1に示す。（日本鉄筋継手協会 HP より引用）また、鉄筋ガス圧接時の接合部分を写真5に示す。

約70年以上鉄筋ガス圧接技術の燃料、シールドガスとしてアセチレンが用いられてきたが、建築業界が経団連「低炭素社会実行計画フェーズII（2014年12月）」に参画したことにより、建築施工段階の二酸化炭素排出量の削減が可能で、環境に優れたクリーンエネルギーである水素を燃料に用いることが日本鉄筋継手協会を中心に検討されてきた。

ガス圧接法のルーツである鉄道レールのガス圧接分野では水素系燃料ガスを用いたレールガス圧接法が確立されていたり、この試験結果を元に始めた水素系燃料ガスを用いた鉄筋のガス圧接技術の開発状況を紹介します。

鉄筋ガス圧接には大きく2点、接合部の品質に影響する要因がある。鉄筋端面（固相接合面）に加わる圧力と固相接合を促進、及び外気を遮断させるための火炎の状態である。

鉄筋端面に加える圧力に関しては、主にレールを接合

表1 各ガスの燃焼速度

	メタン*1	アセチレン*1	プロパン*1	水素*2	
燃焼速度 (理論混合比) m/sec		4.1	10.1	3.3	14.36

*1 要説 熱切断加工の「Q&A」(日本溶接協会)

*2 水素の物性と安全ガイドブック(新エネルギー・産業技術総合開発機構)

表2 各ガスの燃焼強度

	アセチレン*1	プロパン*1	水素混合ガス*2 (ハイドロカット)
燃焼強度 (中性混合比) kcal/m ² ・sec	26084	12753	17809

*1 要説 熱切断加工の「Q&A」(日本溶接協会)

*2 実測値



写真3 水素混合ガス開先切断面



写真4 ハイドロカット容器外観

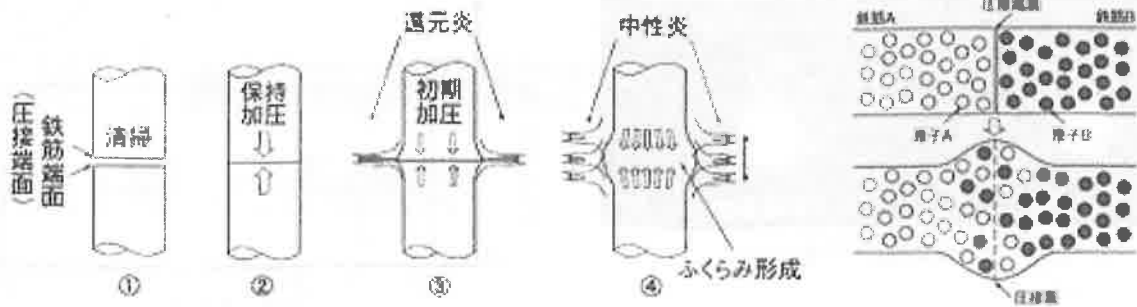


図1 鉄筋ガス圧接の工程・原理

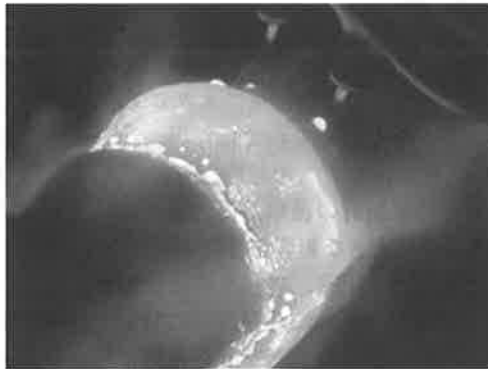


写真5 鉄筋圧接時接合部

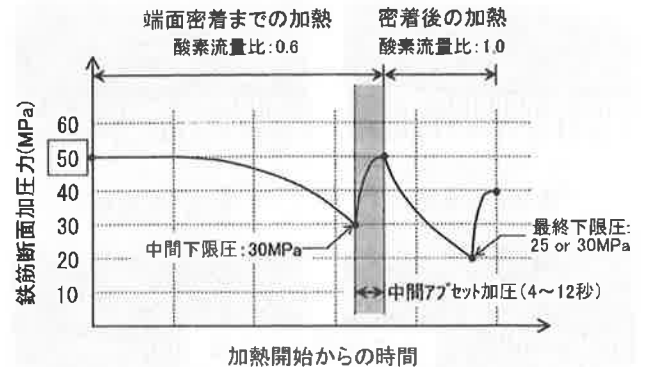


図2 水素・エチレン混合ガス圧接の加圧パターンと加熱用ガスの酸素流量比

する際に用いられる定圧法，鉄筋を接合する際に変圧法があり変圧法も加圧回数で1段，2段，多段アセット法が存在する。現行のアセチレンを用いた鉄筋ガス圧接作業では使用する機器，接合箇所形状，作業者の技能により1段，2段，多段法が混在しているが，水素系混合ガスを用いた鉄筋ガス圧接では開発段階にて接合品質を検証した結果，図2の加圧方法を用いることとした。初期加圧力，加圧下限力，加圧回数が図2のパターンから外れると，フラット破面と呼ばれる平滑な破面が生じるのが確認された。

ガス圧接に関する火炎の状態に関しては，図2に示すように端面密着までには端面にフラット破面の要因となり得る酸化物を形成させないように燃料過剰の火炎で加熱し，端面密着終了後は水素系混合ガスの加熱能力を上げる燃料・酸素混合比で加熱を行った。鉄筋はレールに比べ炭素量が少なく，水素もエリンガム図より圧接可能な温度領域は炭素に比べ還元力が弱いため，端面密着までは加熱力よりも鉄筋端面で生成される酸化物の抑制の為，従来のアセチレンに比べ火力としては弱い火炎で加熱を実施した。端面密着後は酸化物が形成される可能性が低下するため，燃料・酸素混合比を1:1して固相接合を促進させた。酸素混合比を1以上に設定すると加熱能力がさらに増すが，表面形状の品質が酸化により劣化するため，酸素混合比は1とした。

この水素系混合ガスを用いた鉄筋ガス圧接工法は十分に継手性能を得られることが確認できたため，2016年4月より実用化される²⁾。今後，建築業界でも二酸化炭素の排出量削減に取り組むため，本工法が採用される可能性は高いと思われる。

3. アーク溶接用水素混合シールドガス

「水素」は，無色・無味・無臭の可燃性のガスで，比重は0.07（空気=1）と地球上の元素の中で最も軽く，沸点はセ氏マイナス253度で熱伝導が非常に良く，粘性が極めて小さいという，アルゴンや炭酸ガスのような他のガスに比べると特徴的な性質を示すが，溶接においては金属などの物質中でも急速に拡散するという特性を持つため，使用できる材質が限定される。また燃焼性も極めて良く，アークエネルギーで着火するため，アーク溶接としては不活性ガスに少量添加している混合ガスの形で用いられる。

水素を含む混合ガスを適用できる材質は，オーステナイト系ステンレス鋼とニッケル合金，のみであり，その他の材料ではフェライト系ステンレスでは溶接割れ（低温割れ）が，アルミニウムではブローホール，ピットが生じやすくなるため使用できない。水素の混合比は通常10%以下程度であるが，20%程度まで混合される場合もある。

水素を添加した際のアークの形状を撮影した写真を写真6に示す。

アルゴン単体と比べ，水素を混合したシールドガスのアークはアーク柱が緊縮された形状を示す。これは，水素分子がアーク中で解離による熱的ピンチ効果によるもので電流密度が増加し，溶接対象物の溶込みが増加する。それぞれの溶け込み写真を写真7に示す。

今後，水素ステーションを始めとする水素関連設備は高圧ガス保安協会が発行する高圧ガス保安法関係例示



写真6 水素添加時アーク形状比較

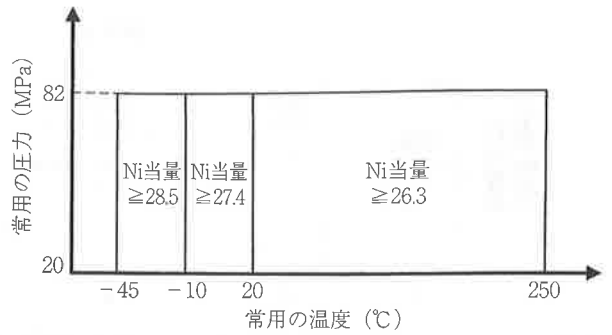


図3 常用の圧力及び常用の温度と必要とされるニッケル当量の関係

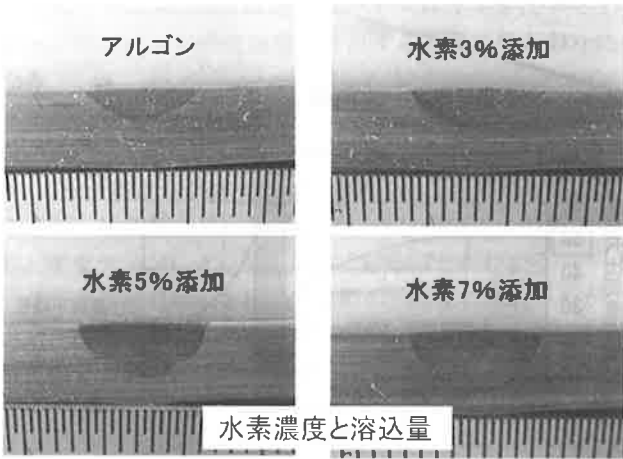


写真7 水素濃度と溶込量

基準資料集⁹⁾より Ni 等量が図3に例示されたステンレス系の材料が使われるため、水素を混合したシールドガスを用いることは可能である。

4. おわりに

水素は目に見えない、臭いはしない、軽い、燃える等他のガスにはない特性がある。また接合の分野では水素

脆化の問題がある。水素を接合に用いる場合その特性を熟知しなければいけない。単に水素ガスだけを用いれば、良く接合できるというものではない。他のガスとの混合する割合、その混合ガスの特性、そのガスの温度、圧力、そして接合対象鋼材の種類、接合箇所状況を考慮しないと接合品質に大きな影響を及ぼす。

ガス切断、ガス圧接、アーク溶接技術は成熟した技術であり、成熟したゆえに既存技術に対して新規技術を広めるには困難がある。水素を既存技術に用いる場合、まずは従来の技術を見直し、水素の特性と従来の技術との差異を認識することが技術開発、技術導入のスタートと思われる。

参考文献

- 1) 水素・エチレン混合ガスを用いたレールガス圧接法, 鉄道総研報告, Vol27, No. 4. 2013
- 2) 水素・エチレン混合ガス圧接工法に関する調査研究, 日本鉄筋継手協会, Vol50, No. 2. 2013
- 3) 高圧ガス保安法令関係例示基準資料集 (一般則・液石則・コンビ則・冷凍則関係), 第7次改訂版, 高圧ガス保安協会, 2015