

海外パイプラインの溶接施工

新日鉄住金エンジニアリング株式会社
谷 中 幸 司

1. はじめに

パイプラインの多くは、天然ガスや石油などの輸送を目的として敷設されている。海外では、米国、カナダ、欧州、ロシアを中心に天然ガスの長距離輸送を目的とした国際間のパイプラインが敷設されており、1つのラインで日本の高圧ガス導管網の長さに匹敵する4,000kmを超える長大なものも敷設されている。

パイプラインは、このような長距離の輸送パイプライン (Transportation pipelines) の他に、石油・ガスの生産施設から処理設備までの小口径で比較的短いギャザリング・パイプライン (Gathering pipelines) 及び需要家までの供給パイプライン (Distribution pipelines) がある。ここでは、海外の長距離の輸送用パイプラインの敷設方法、溶接施工を中心に紹介する。

“パイプ溶接の常識” “溶接の非常識” として 2012 年 7 月から WE-COM マガジンで「パイプの溶接」が 3 回に分けて紹介されているが、日本の溶接技術者にとって、ここで紹介する海外のパイプライン敷設は、その実態に触れることも経験することも少ない分野であり、さらに“非常識”ともいえる部分が多く見られる。これらのパイプラインの敷設及び溶接施工がどのようなものか少しでも理解していただければ幸いに思う。

Web マガジンの優位性を生かすために、参考となるインターネット・サイトへのリンク先 (URL) もできるだけ多く末尾に記載した。

2. パイプラインの歴史

パイプラインの溶接施工の前に、先ずパイプラインの歴史を少し紐解いてみた。

パイプラインの歴史は、紀元前の古代中国とローマで引かれた、地形を利用した自然流下の水道、水道橋に始まっている。現在のわれわれが知る圧送するパイプラインは、19 世紀初頭の木製または銑鉄で石炭ガスを送ったガス管が起源である。圧力は、ゲージ圧で 1,250Pa (127mmH₂O) 程度であった。また、その頃、イギリスでは産業革命で拡大する都市に供給する水道が鑄鉄管でつくられた。1820 年代にガス産業が発展し、ロンドンのウェストミンスターで燃された天然ガスは、旧ベクトンガス工場から 48 インチの鑄鉄管により 0.1MPa (1 気圧) で送られたとのことである¹⁾。この時代は、まだ溶接が普及されておらず、接合は、鉛を詰めた、はめ込み式の継手であったようである。最初の陸上パイプラインは、1853 年にカナダのケベック州 (Quebec) のトロワ・リヴィエール (Trois-Rivières) で造られた鑄鉄管の 25km のものまで遡る¹⁾。

1859 年に米国のペンシルベニア (Pennsylvania) で最初の石油井戸が掘られて、井戸元の高い圧力でも大丈夫なパイプラインが必要となり、ねじ込み式による 2 インチの鑄鉄管の石油パイプラインが 10km 引かれた。その頃、天然ガスは、輸送手段がなく、現地で消費するか燃やされて捨てられていたが、1872 年になってようやく 8km の天然ガスパイプラインがペンシルベニアのタイタスビル

(Titusville) で完成した。1886 年には、8 インチの天然ガスパイプラインがペンシルベニアの Kane からニューヨークのバッファロー (Buffalo) まで引かれている²⁾。第 2 次世界大戦が終結した後、1945 年以降に大規模なパイプラインが敷設されるようになった¹⁾。

長距離の陸上パイプラインとしては、1970 年代に建設されたアラスカ・パイプライン (Alaska pipeline) が有名である。1968 年にアラスカで石油が発見され、1973 年のアラブ石油禁輸による石油危機を背景にアラスカ・パイプライン法が制定され、1974～1977 年にプルドー・ベイ (Prudhoe Bay) からバルディーズ (Valdez) に至る 800 マイル (1,287 km) に及ぶ直径 48 インチ (122 cm) の石油パイプラインが敷設された³⁾。このパイプラインの建設は、TAPS (Trans-Alaska Pipeline System) と呼われ、日本企業も参加した国際的なプロジェクトであり、永久凍土層によって引き起こされる諸問題を克服した最初の大型プロジェクトでもある。

3. 陸上パイプライン

3.1 敷設行程

海外における陸上パイプラインの敷設では、ライトオブウェイ (Right of Way : ROW) と呼ばれる占有工事帯を確保したスプレッド (spread) 工法が広く採用されている⁴⁾⁵⁾ (写真 1、2)。スプレッド工法は、1930 年代にパイプライン敷設を速く効率よく進めるために米国で開発され、1945 年頃に陸上パイプラインの敷設技術として確立されている。



写真 1 スプレッド工法—鋼管配列と開先加工



写真 2 スプレッド施工状況 — 溶接施工

敷設工程は、ライトオブウェイの造成、溝掘削 (trenching)、鋼管配列、開先合せ、溶接、検査、防食、トレンチ内への吊り降ろし (lowering)、埋め戻し (back fill)、復旧 (clean-up) となる⁴⁾⁵⁾⁷⁾。パイプラインの敷設は、2～3 班体制で同時に施工される。溶接して数 100m になった長いパイプを掘削溝 (trench) 内に吊り降ろし、掘削溝内で管端同士を切り合わせるか、挿し管でつなぎ込み溶接 (tie-in weld) し、1 本のパイプラインとして完成させていく。耐圧試験ができない最後のつなぎ込み溶接は、特に優秀な熟練溶接士が溶接することから「ゴールデン・ウェルド (golden weld)」と言われている。スプレッド工法では、溶接機器を搭載し、溶接 TENT を吊るして移動するサイドブームトラクターが 3～4 台並べられて配備され⁴⁾⁸⁾、初層から最終層までを 3～4 分割して溶接施工する (写真 2)。溶接 TENT は、しっかりとした骨組やパネルが入っており、パイプラインの上から被せられるように下が開いた構造で、人の出入り口や換気口が設けられている。

パイプをストックヤードであらかじめ2本継ぎし、約24mの長さにしてから現地で溶接接合することもある。これをダブルジョイント (double jointing) と呼ぶ。これにより、1日で1.5～3kmもの高速敷設が可能となっている。

ライトオブウェイとは、元来、米国などで公益施設とみなされる石油、天然ガスのパイプラインの敷設に際して州や自治体などが通過占有権—right of way を与えたものに由来する⁹⁾。私有地の使用権に関する紛争の緩和政策でもあったようである。ライトオブウェイは、10～30mの幅で、森林や田畑を切り開いて造成される。急峻な傾斜や岩盤地帯は極力避けてパイプラインのルートが選定されるが、不可避の場合は、このような場所にも敷設される (写真3)。



写真3 岩盤地帯の敷設

(Photo by S. Nikitina)

3.2 溶接施工

1) 被覆アーク溶接

陸上パイプラインの敷設技術として普及してきたスプレッド工法と併せて、高能率の高セルロース系溶接棒による被覆アーク溶接が使われている。高セルロース系溶接棒は、AWS (The American Welding Society : 米国溶接学会) 規格のものが使われることが多く、パイプの強度に合わせて AWS A5.1 の E6010 や AWS A5.5 の E7010、E8010 が使われる。ルートパスの溶接は、2名の溶接士により両側から対向する位置で同時に行われ、2層目以降はパイプの頂部からほぼ2名同時に溶接スタートする。溶接は、全て下進溶接で行われる。高セルロース系溶接棒は、乾燥器で再乾燥せず、現場で開封してそのまま使用する。X80以上の高強度ラインパイプの場合は、低水素系溶接棒が使われる。

日本でも高セルロース系溶接棒は、JIS Z3211に規定されているが、現在は受注生産となっている。また、特殊な溶接技法を用いることと品質があまり良くないことから日本国内では使われていない。そのため高セルロース系溶接棒による溶接を知る技術者は少ない。特に1層目と2層目の溶接は、特殊なテクニックを使うため、低水素系の溶接になれた者には奇異なものである。1層目は、ルートパス (root pass) と呼ばれ、溶接の際に生ずる高セルロース系溶接棒で特有の深いアーク筒を押しつぶすように、溶接棒が曲がるほどに強く開先に押付けて溶接を行う。ビード外面は、凸形状となる。2層目は、ホットパス (hot pass) と言われ、1層目のスラグを電動ワイヤブラシで除いた後の凸形状になったビードをアークで削るようにして溶接する。その際に鞭で打つように溶接棒を動かすこと

からウィッピング (whipping) と呼ばれる運棒法を用いる。3 層目以降も軽いウィッピングが行われ、上進溶接で見られるウィービング (weaving) とはまったく異なる。

なお、ホットパスのいわれは、ルートパスが冷めない前に素早く溶接を行ったことから言われるようになったもので、拡散性水素を多く含む溶接金属の遅れ割れを防止するために、ルートパスが冷える前にその上に溶接を行ったものである。そのためにホットパスが開始されるまでの時間が厳密に管理される。

溶接機は、直流電源のみで、日本で使われている交流アーク溶接電源は使われない。開先は 60° V 形開先が使われ、開先加工機で再度加工されることもある。溶接には、外面クランプが用いられるが、仮付け溶接を行わないため、国内のものよりもクランプの横支柱間隔の広いものが使われる。また、外面クランプよりも溶接作業性の良いエア駆動の内面クランプ装置も使われている。

2) 半自動ノンガス溶接

1980 年頃から米国で高セルロース系溶接棒に代わる高能率の溶接として、フラックス入りワイヤによるシールドガスを用いない半自動溶接、いわゆるノンガス溶接が普及した。このノンガス溶接は、国内で鋼管杭などの溶接に使われているものとは基本的に異なるものである。1.7~2.0mm の細径フラックス入りワイヤで下進溶接される。このフラックス入りワイヤの規格は、AWS A5.29 の E71T8、E91T8 などがあり、拡散性水素量を 8ml/100g 以下に抑えたものもある。乾燥器で再乾燥はできない。また、裏波溶接が困難なため、高セルロース系溶接棒で 1 層目と 2 層目を溶接した後の積層から仕上げの溶接に使われることが多い。

溶接電源は、被覆アーク溶接と兼用で、スイッチで切り替えて使えるものがある。

3) 自動溶接

1970 年頃から、長距離のパイプラインを中心に自動ガスシールドアーク溶接 (GMAW) の実用化が進められ、その施工性の良さから急速に普及した。開先は、内面に小さな V 形開先が取られ、外面は、2 段 V 形開先などの狭開先が使われる。開先加工は、現場で専用の開先加工機で行われる (写真 4)。ワイヤ径 0.9~1.2mm が多く使われ、主に下進溶接される。スプレッド工法では、開先合せの後、1 層目の溶接は、内面クランプ装置に内面自動溶接機を組み込んだもので溶接されることもある (写真 5)¹⁰⁾。この装置は、パイプの口径により 2~6 個の溶接トーチを備えている。内面溶接の完了後、別の自動溶接機で外面から積層の溶接を行う。外面側は、ガイドレール上に取り付けられた溶接台車によって溶接されるものが主流である (写真 6)¹⁰⁾。2~3 層の積層溶接が終わると、次の継手へ移動し、その後に次の自動溶接機が移動してきて続きの積層溶接を行い、継手を仕上げに行く一連の作業が連続される。



写真4 開先加工機

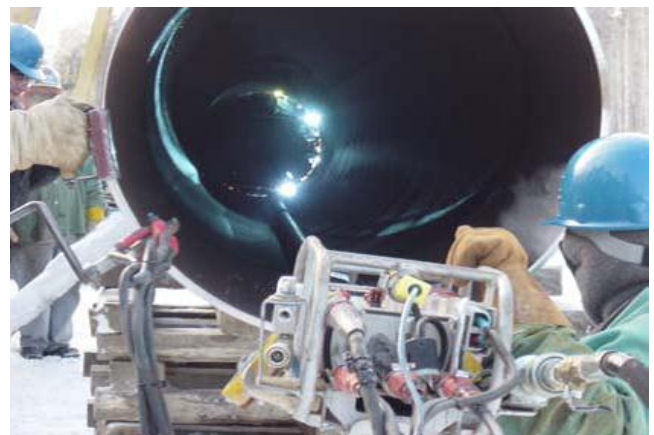


写真5 内面自動溶接施工(陸上パイプライン)



写真6 自動溶接施工(陸上パイプライン)

現在は、1つの溶接台車に2本の溶接トーチを備えた溶接機もあり、1本のガイドレール上に2台の溶接台車を取り付けて施工するものが多い。また、デュアルタンデム(dual-tandem)と言われる2ワイヤ、2トーチの溶接機も実用化されている¹¹⁾。なお、海外では完全自動化された溶接でない限り自動溶接(automatic welding)とは言わずに機械化溶接(mechanized welding)と言われる。

近年、より溶接の高速化を目指したレーザ・マグハイブリッド溶接の実用化がドイツなどで研究されている¹²⁾¹³⁾。

4. 海底パイプライン

日本国内の海底パイプラインは、洋上の石油受入シーバースや石油掘削ジャケットから陸上までのパイプラインと海底に敷設された一部の高圧ガス導管に止まり、数えるほどしか存在しない。(海底下に敷設するシールドトンネル内の導管は除く)

海底パイプラインの発達は、米国のオイルメジャーがメキシコ湾(Gulf of Mexico)から産出される多量の石油に目を付けたところから始まる。1930年代から1950年代の初頭にかけて、浅瀬(shallow water)で陸上の技術を適用した石油の掘削が始まり、徐々に深い沖合に伸びていった¹⁾。これに伴ってパイプラインも海へと進出した。

4.1 敷設行程

最初は簡易台船の上でパイプを溶接して海底に設置したり、陸からつなげたパイプを海に引き出したりしてパイプラインを敷設していたが、より沖合に油田開発が進むにつれて、石油掘削ジャケットから陸上まで石油を送る手段やその中継を目的として海底にパイプラインが敷設されようになった。石油を求めて、水深の深い沖合に進出することで専用の敷設船（写真7）を使った長いパイプラインが敷設されるようになっていった。



写真7 専用敷設船による施工

専用敷設船による海底パイプラインの敷設工法は、大きく分けてS-レイ工法（S-lay）、J-レイ工法（J-lay）及びリールバージによるリール工法（Reel-lay）がある。リール工法は、北海の荒い気象条件下で小口径のパイプラインを効率良く敷設することを目的に考えられたものである。沿岸の工場であらかじめパイプを溶接し、ポビンに巻き取って、リールバージに設置し、巻き戻して敷設する。最初の巻き取り、敷設時の巻き戻し、敷設船から海中へ入るとき、海底にパイプが接するときの合計4回、パイプに大きな曲げがかかるため、発生する曲げひずみに対するの事前確認試験が求められる。日本では、海洋深層水の採取に同様のリール工法が使われている。

水深が数10～300m程度までは、S-レイ工法が採用される。S-レイ工法では、専用敷設船によりパイプを1本1本溶接接合するが、大型の敷設船では、施工能率を上げるために、あらかじめパイプを2本継ぎするダブルジョイントが採用されることがある。200～1,000m以上の深海への敷設には、大型敷設船（写真8）でパイプを立てて溶接接合し敷設するJ-レイ工法が採用される。この場合もダブルジョイントで施工能率を上げている。黒海を横断しロシアからトルコに至るパイプライン（Blue Stream Project）では、最大水深が2,150mにも達している¹⁴⁾¹⁵⁾。海底パイプラインの施工コストは、1日当たり数千万円にも及ぶことから高速施工が要求され、狭開先による高速な自動溶接が採用されることが多い。敷設速度は、1日（24時間稼働）当たり最大2,500～3,000mにも達する。



写真 8 大型敷設船による J-レイ施工

(Photo by S. Nikitina)

4.2 溶接施工

最も多く採用されている S-レイ工法での敷設における溶接は、陸上のスプレッド工法と同じように敷設船上に設けられた 3~4 ヶ所の溶接ステージで分業して行われる。敷設作業は、1 日 24 時間を 2 シフト、12 時間交代で昼夜連続して行われる。そのために 30 人以上の溶接士または自動溶接オペレータが必要となる。

1) 被覆アーク溶接

被覆アーク溶接は、陸上パイプラインと同じで、高セルロース系溶接棒により 60° V 形開先で下進溶接にて行われる。施工能率を上げるためにエア駆動の内面クランプ装置が使われることが多く、開先合せの後、直ちに溶接が開始される。

2) 半自動ノンガス溶接

陸上と同様に半自動ノンガス溶接は、高セルロース系溶接棒による被覆アーク溶接との組合せで使用されている。

3) 自動溶接

自動ガスシールドアーク溶接が主に使われている。代表的な装置構成を図 1 に示す。自動ガスシールドアーク溶接が陸上パイプラインで使われるようになってから、海底パイプラインの敷設に使われるようになるまで殆ど時間がかかっている。むしろ陸上パイプラインに比べて溶接装置などの移動が少ないことが、自動溶接機の使用により適していたと言える。また、2 本の溶接トーチを備えた溶接台車の普及も早かった。パイプ口径が 16 インチ以上では、ガイドレール上に溶接台車が 2 台セットされる。径 0.9~1.2mm のソリッドワイヤで下進溶接が行われ、シールドガスは、炭酸ガスとアルゴンの混合ガスが使われている。炭酸ガスの比率は、30~60%程度と国内より多い傾向がある。内面クランプ装置は、銅裏当て金付きのものが使われ、エア駆動と油圧駆動のものがある。開先合せの後に、ガイドレール、溶接台車に取り付けられ直ちに溶接が開始される (写真 9)。

ダブルジョイントの溶接は、パイプを回しながら内外面からサブマージアーク溶接で行われることが多い。

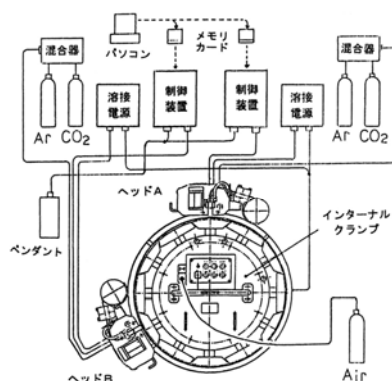


図1 自動ガスシールドアーク溶接機の装置構成



写真9 自動溶接施工（海外・海底パイプライン）

5. 溶接継手の非破壊検査

最後に溶接継手の非破壊検査について紹介する。

溶接継手の品質を確認するためにエックス線による放射線透過試験が実施されている。放射線透過試験は、内部線源撮影方法で100%の検査が実施される。以前は、放射性同位元素イリジウム192を用いたガンマ線装置の機構が簡易であることと、小口径のパイプでも中に入れて使えることから多く使われていたが、保管・管理や被ばくの危険性など安全面の問題があるため、現在は、360°照射が可能な小型の自走式（クローラータイプ）エックス線装置が普及している。これは、バッテリー駆動のため、使用頻度にもよるが1日に1～2回のバッテリー交換が必要となる欠点がある。

1990年代に超音波自動探傷試験（Automated Ultrasonic Testing: AUT）が当時普及していた自動ガスシールドアーク溶接に特有の融合不良、溶込み不良などの有害な面状欠陥の検出に優れていることから、放射線透過試験に代わって長距離の陸上パイプラインを中心に急速に使われるようになった。1993年頃までは、放射線透過試験と超音波自動探傷試験が併用されていたが、その後に超音波自動探傷試験が単独で使われるようになり、1990年代末には、海底パイプラインにも使われ始めた。

海外で使われている超音波自動探傷装置（写真10）は、溶接部を深さ方向にゾーン分け（zonal

discrimination) して探傷する方法が使われる。この方法だと探触子の前後走査が必要ないため、10～40mm/sec の高速探傷が可能となる。当初は、複数の斜角探触子を並べて使っていたが、最近フェーズドアレイタイプに変わってきている (写真 11)。

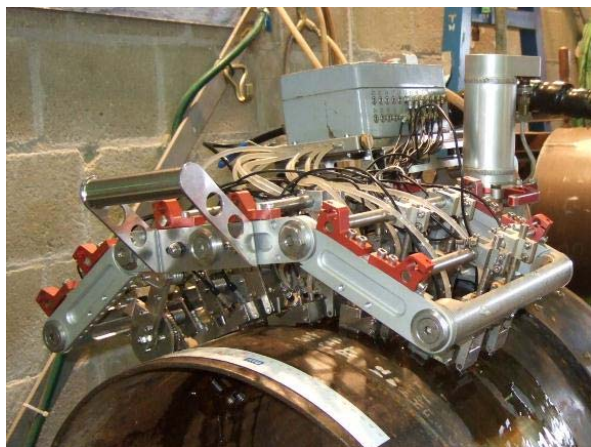


写真 10 超音波自動探傷装置
(マルチプローブタイプ)

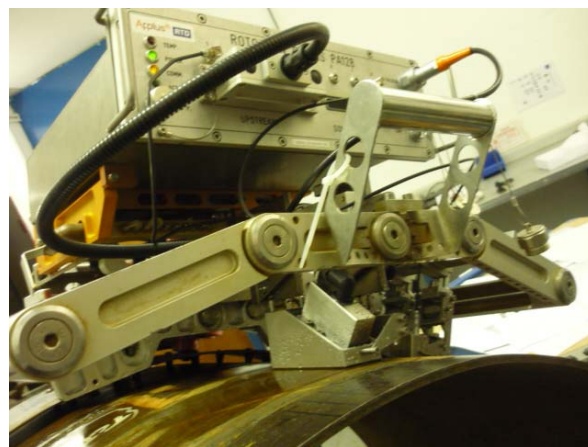


写真 11 超音波自動探傷装置
(フェーズドアレイタイプ)

判定基準は、API* 1104 や DNV** OS-F101 などが採用されることが多い。放射線透過試験の判定基準は、融合不良 (LF) で 25～50mm と長く、JIS Z3104 の判定基準の 4 倍以上の長さが許容されている。

* API : アメリカ石油協会 (American Petroleum Institute)

** DNV : デット・ノルスケ・ベリタス (Det Norske Veritas AS)、ノルウェーの船級認証などの独立機関

6. おわりに

我が国における長距離パイプラインは、1990 年代末から国土幹線ガスパイプライン構想及び、日本-サハラ間の天然ガスパイプラインや北東アジアのパイプライン網などの国際間の石油・天然ガスパイプライン構想が活発に議論された時期があったが、残念ながらその実現に至っていない。

近年、天然ガスへのエネルギーシフト及び、東日本大震災を契機にしたガスパイプライン網の整備の必要性などが盛んに議論されており、本稿が今後の我が国のパイプライン敷設の合理化に多少でも参考になれば幸いである。



免責事項：

インターネットへのリンクは、安全性を確認し信頼できると判断した現時点で有効な Web サイトのみとしていますが、リンクサイトへの接続は、読者の責任において行ってください。リンクサイトの内容及びそれらを利用することによって賠償、苦情、請求などが生じても一切の責任を負いかねます。またリンクサイトが将来も存続することを保障できませんため、接続ができなくなった場合の責任も負いかねます。

溶接学会誌 第 80 巻 (2011) 第 3 号 溶接接合教室 実践編 パイプライン「プロセス・施工編」より内容の一部を許可を得て転載しています。

参考文献

(著者：タイトル、出典、版、年次、ページ)

- 1) J. H. N. Tiratsoo : World Pipeline & International Directory, First edition, Pipes & Pipeline International Scientific Surveys Ltd., 1983, P1-3
- 2) John L. Kennedy : Oil and Gas Pipeline Fundamentals, Second edition, 1993, P3, P147-211
- 3) Trans-Alaska Pipeline System (TAPS), TAPS History (インターネット)、2014.1
TAPS : <http://tapseis.anl.gov/index.cfm>
(「TAPS History」 : <http://tapseis.anl.gov/guide/history.cfm>)
- 4) 苫米地：日本に適応した新しいガスパイプライン建設方法、石油／天然ガスレビュー 2004、1.3、70-84
独立行政法人 石油天然ガス・金属鉱物資源機構 (JOGMEC) : <http://www.jogmec.go.jp/>
(「日本に適応した新しいガスパイプライン建設方法」 : http://oilgas-info.jogmec.go.jp/pdf/0/557/200401_070a.pdf)
- 5) 苫米地：ガスパイプラインの合理的建設システム-クイックパイプライン工法(QPL 工法)-の開発、博士論文 (京都大学)、2003.1
- 6) 武見：鋼管によるパイプラインの事故解析とその対策に関する研究、博士論文 (大阪大学)、2000.6
- 7) 成田・富士：溶接の実際シリーズ 3 一配管・導管溶接の実際、1983.11、
- 8) 浅原：パイプライン建設用建設機械、配管技術、580-Vol144.3、2002、P49 -55
- 9) 石油天然ガス・金属鉱物資源機構：石油用語辞典、1986.3
- 10) K. O'Hashi : Potential Hydrogen Capability for the Proposed Northeast Asia Natural Gas Pipeline Network, IPC 2004 -Panel Forum -Challenges of Hydrogen Pipeline Transmission、2004.10
- 11) D. Yapp and S. A. Blackman : Journal of the Brazilian Society of Mechanical Sciences and Engineering, Vol. XXVI, No. 1 / 91、2004.3、P89-97
- 12) I. D. Harris, M.I. Norfolk : Hybrid laser / gas metal arc welding of high strength steel gas transmission pipeline、Proceedings of IPC2008、2008.10、IPC2008-64129
- 13) S. Keitel, J. Neubert, M. strofer : Laser MAG Hybrid Girth Welding Technologies for Transmission Pipelines, IIW 63th Annual Assembly & International Conference、2010.7、P635-649
- 14) 大橋：世界の最新天然ガス・パイプライン・プロジェクト、配管技術、580-Vol144.3、2002、P8-19
- 15) M. Pulici, M. trifon, A. Dumitresu : Deep Water Sealines Installation by Using the J-Lay Method – The

Blue Stream Experience、Proceedings of 13th International Offshore and Polar Engineering Conference、
2003.5、P38-43

【その他】参考にした Web サイト

- 16) 新日鉄住金エンジニアリング(株) : <http://www.eng.nssmc.com/>
新日鉄住金エンジニアリング技報「海底パイプライン自動溶接技術開発の変遷と現在」Vol.01、2010、
P56-65 http://www.eng.nssmc.com/business/catalog/pdf/2010_No.8.pdf
- 17) 一般財団法人 エンジニアリング協会 : <http://www.ena.or.jp/>
サロンドエナ講演 : 「サハリン1プロジェクト -原油パイプライン完成までの軌跡-」
<http://www.ena.or.jp/SEC/member/kaiin/salon/No311.Mr.Aoyama.pdf>
- 18) 日本建設機械化協会日本建設機械化協会 : <http://www.jemanet.or.jp/jema/>
「インドネシア SSWJ (サウススマトラ・ウエストジャワ) ガスパイプライン プロジェクト (フ
ェーズ 1) における海底パイプライン建設工事」
<http://jema.heteml.jp/bunken-search/wp-content/uploads/2008/08/064.pdf>
- 19) CRC-EVANS : <http://www.crc-evans.com/>
Welding Machines, Internal Welding Machine
<http://www.crc-evans.com/equipment/welding-equipment/manual-internal-welding>
- 20) Oil & Gas Journal : <http://www.ogj.com/index.html>
Reel Barge
<http://www.ogj.com/articles/print/volume-98/issue-18/special-report/reel-barge-saves-time-in-gom-gathering-line-pipelav.html>
- 21) Penspen Limited : <http://www.penspen.com/Pages/Home.aspx>
OIL AND GAS PIPELINES: Yesterday and Today, by Phil Hopkins
<http://www.penspen.com/Downloads/Papers/Documents/OilandGasPipelines.pdf>

< 略歴 >

1971 年 新日本製鐵 (株) 入社 君津製鐵所配属
1977 年 鉄鋼短期大学 (現 産業技術短期大学) 溶接構造工学科 卒業
新日本製鐵 (株) エンジニアリング事業本部配属
2006 年 新日鉄エンジニアリング (株)
2010 年 新日鉄住金エンジニアリング (株) 技術本部 技術開発第一研究所
シニアマネージャー 現在に至る