< 綜 説 >

(受理: 平成 15 年 10 月 15 日)

ガス用ポリエチレン管の融着部の信頼性

Reliability of Fusion Joints of Polyethylene Pipes for Gas Distribution

西村 寛之*

Hiroyuki NISHIMURA

1. はじめに

ガス用ポリエチレン管は、軽量で可とう性を有し腐食しない材料として、1979年3月にJIS規格^{1)~4)}が制定され、また1982年11月にガス事業法の技術基準に低圧ガス導管の材料として新たに制定された後、ガス事業者により正式に導入された。その後1995年1月の阪神・淡路大震災を契機に全国のガス会社にて全面的に普及促進が図られた。図1に全国のポリエチレン管の使用実績を示す。1995年の阪神・淡路大震災を契機に使用量が急増し、現在年間約1万1500kmの管が安定して使用されている。ガス用ポリエチレン管を用いたガス配管システムには、管と管の接合部と管と継手の接合部を含んでいる

ので、管母材だけでなく接合部の信頼性を確保することが重要である。ポリエチレン管の接合には、接合面を互いに溶融し、圧着する方法(融着)が取られるので、一般的に接合が容易で信頼性が高いと言われている。

2. ポリエチレン管の接合方法

ガス用ポリエチレン管には熱融着法にて管と管または管と継手を接合する方式が採用されてきた。熱融着のための継手は一般的にヒートフュージョン(HF)継手と呼ばれている。また、近年継手の内面に埋め込まれた電熱線(ワイヤー)の発熱によって融着するエレクトロフュージョン(EF)継手いわゆる電気融着継手が普及してきている。熱融着法による管と管の接合にはバット融着による突合せ接合が用いられ、管と継手の接合にはソケット形接合と、管と側面より分岐管を取り出すためにサドル形接合が用いられている。口径が50mm以上の管と管との接合にはバット融着が効果的であるが、50mm以下の小口径管では管の肉厚が薄く、管がコイル状に巻かれている場合があるので、この場合にはバット融着が難しく主にソケット融着が使用される。また、近年継手の内面に埋め込まれたワイヤーに電気を流し、それによ

全国におけるPE導管延長
(本支線管、都市ガス導管、農用ガス導管)

図1 全国のポリエチレン管の使用実績

*大阪ガス(株)エネルギー技術研究所
大阪市此花区西島6丁目19-9 〒554-0051
Energy Technology Laboratories
OSAKA GAS CO., LTD.
6-19-9, Torishima Konohana-ku, OSAKA 554-0051,
Japan

西村 寛之

略歴: 1976年 九州大学 工学部
化学機械工学科卒業
1978年 九州大学大学院
工学研究科 修士課程修了
1978年 大阪ガス(株)入社
1991年 工学博士号取得
趣味: 旅行, 園芸

図2 HF継手およびEF継手の接合毎の融着方法

て樹脂を溶融させて接合する EF 継手が導入されている。ポリエチレン管の導入当初は熱融着法が実用化されたが、管の接合は多くの場合工事現場で行われるため、熟練性を要し、施工品質に個人差が生じたり、接合工具が多いなどの問題があるので、現場作業性の良い EF 継手が開発された。現在、口径 100mm 以下の継手には EF 継手が主に使用されている。

図2に HF 継手および EF 継手の接合毎の融着方法を一覧にまとめた⁵⁾。EF 継手の融着手順は、まず、管の表面をカンナ掛け後、管外面と継手内面をアルコール拭きにて清掃して、固定治具にて管と継手をセットする。EF 継手の電熱線の端子にコネクタを接続後、コントローラーの通電をスタートさせる。コントローラーには、通電時間自動識別機能あるいは通電時間自己制御機能等が備えられているので、一般の作業者は通電ボタンを押すだけで、融着を行うことができる。

3. 融着部の信頼性評価方法

JIS 規格には、ポリエチレン管や継手を製造するためのコンパウンド（原料樹脂に顔料、酸化防止剤、安定剤等を含有させたもの）の融着適合性を確認するために、以下の5つの試験項目が規定されている^{1)~4)}。

- ・引張降伏応力試験
- ・シャルピー衝撃試験
- ・内圧クリープ試験
- ・全周ノッチ式引張クリープ試験
- ・全周ノッチ式引張疲労試験

これらは保安上の観点から、複数の銘柄の樹脂からなる管や継手を使用する場合に、お互いの融着適合性や融着条件を確認するために定められている。

また、融着部の信頼性を調べるためには、① ビードや継手の幾何形状変化部の応力集中および塑性拘束された継手近傍の管の強度、② 融着界面およびその近傍の強度特性などを総括的に検討する必要がある。

① の観点から、融着部の性能を調べるためには、各種接合方式について応力解析などにより内圧や曲げなどが負荷される場合に発生する応力集中箇所について、融着品を疲労試験などの促進試験にて実際に破壊させて接合形態と破壊強度の関係を検討する必要がある。高温下での熱間内圧クリープ試験によると、き裂の生成、成長は融着部形状によってかなり異なり、き裂は融着界面に沿ってではなく管または継手の肉厚方向に進むことが多い。したがって融着部以外に継手の幾何形状が急に変化する部分も十分に検討しなければならない。

②に関しては、温度、時間、圧力等の融着条件の最適化が重要であるだけでなく、管の接合は多くの場合工事現場で行われるため、管のカンナ掛け、アルコール拭き等の準備作業も施工品質を向上させるためには重要な因子となる。

3.1 接合部寸法

JIS K 6775-1~3 に HF 継手や EF 継手等の接合部寸法が規定されている^{2)~4)}。図 3 に一例としてソケット形接合の EF 継手の融着状態における各部寸法の関係を示す。継手の形状は今後の配管設計技術の進歩によって種々の形状の継手が追加されることが予想されるので、従来の HF 継手の差込接合（ソケット）継手の接合部寸法と同様に、融着接合の基本になる寸法のみが規定されている。コールドゾーン長さ l_1 は融着時に溶融樹脂が外部へ流出し、電熱線の短絡、融着圧力の低下を防止するために必要な寸法で、ISO 規格や英国ガス仕様にしたがって 5mm 以上とされている。また、電熱線部長さ l_2 は、「管引張強度×安全率≤融着部せん断強度」を基にして、実測値から決められている。継手肉厚 t_1 は管と同じ SDR^{*1}11 を確保するように設定されており、最小値規定であるが、内圧等の影響を受けるのは継手の中央部であるので、ISO 規格に準拠して、継手端部から $2/3L$ までを除く範囲で規定されている。電熱線部の内径 d_1 に関しては、

$$d_1 \min = D \max \times 1.002$$

$$d_1 \max = d_1 \min + 2\alpha \quad (\alpha: \text{許容差})$$

と規定されている。継手受口長さ L は実際の加熱ゾーンとコールドゾーンから算出されて、参考値として規定されている。

SDR^{*1}: Standard Dimension Ratio の略で、管の外径と肉厚との比

3.2 短期性能評価方法

ポリエチレン管の熱融着部の短期性能を評価する方法としては、多くの方法⁹⁾がこれまでに提案されているが、引張試験が最も一般的である。一方、融着条件の適正範囲を求めたり、管母材と融着部の強度を相対的に比較するためには、引張試験のような静的な試験よりも、衝撃試験のような動的な試験の方が融着部の性能をより敏感に評価できることが知られている。ここではバット融着部を一例に挙げて、引張試験、高速引張試験およびシャルピー衝撃試験による熱融着部の短期性能評価方法について述べる。

表 1 に実験に用いた 5 種類のガス用ポリエチレン管の基本物性を示す。3 種類のポリエチレン管 (PE-D, PE-E, PE-F) は、JIS K 6774 に規定された口径 50mm または 75mm の管であり、他の 2 種類のポリエチレン管 (PE-A, PE-H) は ASTM D 2513 に規定されている呼び径 3 インチの管である。

表 1 ポリエチレン管の基本物性

記号	密度 (g/cm ³)	メルトフローレート (2.16kg g/10min)	重量平均 分子量	分岐
PE-A	0.936	1.20	8×10^4	エテル基
PE-D	0.935	0.21	12×10^4	ブチル基
PE-E	0.935	0.21	14×10^4	イソブチル基
PE-F	0.935	0.20	15×10^4	エテル基
PE-H	0.957	0.001	(36×10^4)	ブチル基

表 2 に引張試験によって得られたバット融着部と管母材の降伏応力と破断までの伸びを示す。試験片の厚さは 2mm、平行部長さは 10mm で、口径 75mm の管および熱着部が試験片の中央にくるように切り出された。引張速度は 200mm/min であった。引張試験の結果では、管母材とバット融着部の応力-伸び曲線は同じで、降伏応力および破断までの伸びはほとんど一致する。降伏応力値は管の肉厚設計の基本となるため、引張降伏応力試験が JIS 規格に規定されている。また実際の配管を考慮して、継手融着部を含んだ原管引張試験も継手の JIS

図 3 ソケット形接合の EF 継手の融着状態における各部寸法

表2 引張試験の結果

引張速度: 200mm/min
口 径: 75mm
試験片厚さ: 2mm

項目	降伏応力		破断までの伸び	
	平均値 $\bar{x}$ (MPa)	標準偏差 σ (MPa)	平均値 $\bar{x}$ (%)	標準偏差 σ (%)
管母材	23.0	0.15	723	19.7
バット融着部	23.1	0.74	728	37.0

図4 高速引張試験によるバット融着部と管母材の応力-伸び曲線

規格に規定されている。

高速引張試験によって得られたバット融着部と管母材の応力-伸び曲線を図4に示す。試験片の厚さは2mm, 平行部長さは10mmで, 口径75mmの管および熱着部が中央にくるように切り出された。引張速度は2m/secであった。高速引張試験の結果ではバット融着部の衝撃抗張力は管母材とほとんど等しいが, 破断までの伸びに関しては, バット融着部は管母材に比べて小さい。これは融着界面では樹脂の熔融による流動配向やその後の冷却による再結晶化が起きているため, 引張速度が速くなると破断に至るまでの変形が起りにくいことに起因するものと思われる。図5にはバット融着部と管母材のシャルピー衝撃値を示す。試験片の厚さは4mmで, 口径75mmまたは3インチの管および熱着部が試験片の中央にくるように切り出され, 深さ2mmのVノッチが中央に入れられた。得られた結果は高速引張試験の結果と同様の傾向を示す。つまり, 融着強度は幾分管母材の強度よりも低下する。ポリエチレン管銘柄間での管母材のシャルピー衝撃値の相違については, 高分子量タイプのPE-Hが一番高く, PE-Aが一番低い。一方, バット融着部の強度低下の程度は, ガス用ポリエチレン管の銘柄によってかなり異なり, メルトフローレートが小さ

図5 シャルピー衝撃試験の結果

く, 溶融樹脂の粘度が高く, 溶融樹脂が界面で十分に流動しにくいPE-Hは, 管母材のシャルピー衝撃値に比べて大きな強度の低下がみられるが, メルトフローレートが高く, 溶融樹脂の流動性が良いPE-Aでは管母材に比べて融着強度の低下は少なかった。PE-D, PE-E, PE-Fは中間的な低下を示すことがわかった。

高速引張試験では, 変位と荷重の関係を求めることができるが, 試験機が高価なために試験方法としては規格化されていない。シャルピー衝撃試験がJIS規格に規定されている^{2)~4)}。

3.3 長期性能評価方法

ポリエチレン管は一旦地中に埋設されると補修や取替えが非常に困難であるので, ポリエチレン管の寿命として欧米諸国では数十年から百年間は最低必要と考えられている。ガス管に長期的に負荷される応力としては, 内圧による円周応力と曲げ配管などにより地盤から負荷される応力がある。ポリエチレン管の長期性能評価には, 一定の応力が長時間負荷された場合のクリープ強度を, 試験時間を短縮して求める促進試験方法の確立が重要となる。図6には, 試験温度を60°C, 80°Cに変えた場合

図6 熱間内圧クリープ試験の結果

(ソケット形の熱融着継手) (ソケット形の電気融着継手)

温度: 80℃
円周応力: 4.2MPa
破壊までの時間: 729hr

温度: 80℃
円周応力: 3.7MPa
破壊までの時間: 4744hr

図7 熱間内圧クリープ試験後のき裂生成と成長箇所の写真

での管母材の熱間内圧クリープ試験の実測値と、管同士または管と継手を融着した場合の実測値がプロットされている。バット融着部のクリープ強度は管のクリープ強度とほぼ等しい値を示し、ビード部では応力集中しているにもかかわらず、管母材で破壊するケースが見られる。ソケット形継手融着部の場合には、HF 継手融着部とEF 継手融着部の両者の強度はほぼ等しいが、両者ともに継手部の応力集中が大きく影響して、管母材に比べて両者のクリープ強度は低下する。

図7にはソケット形継手のHF 継手融着部とEF 継手融着部の熱間内圧クリープ試験後のき裂生成と成長箇所の写真が示されている。HF 継手融着部の場合、き裂が継手内径側の管と継手との融着コーナー部で生成し、溶融層を貫通して、継手母材の中を成長することがわかる。EF 継手融着部の場合、EF 継手のワイヤーが内蔵されていないコールドゾーンに最も近いワイヤー近傍から、き裂が生成し、一部溶融層を通過し、継手母材の中を成長することがわかる。

国産樹脂が改良されて、温度を上げた熱間内圧クリープ試験でも、破壊までの時間が非常に長くなるようになり、更に短時間で長期性能を評価する方法が望まれてきた。そこで、全周ノッチ式引張クリープ試験⁷⁾と全周ノッチ式引張疲労試験^{8),9)}が日本で考案された。管の長手方向から切り出した短冊状の試験片の中央部にカミソリによる全周にノッチを設けて応力集中効果をもたせている。

図8に全周ノッチ式引張疲労試験の測定結果を示す。温度は80℃、波形は矩形波で、周波数は0.5Hzであった。3種類の銘柄の管母材およびバット融着部について、最大応力と破断までの回数との関係が求められた。3種類の銘柄のポリエチレン管ともにバット融着部の強度は管母材と異なる。その強度の順番は管母材の強度の順番と一致する。バット融着部強度の低下の程度は樹脂に酔ってかなり異なり、高分子量タイプで溶融樹脂の流動性が

図8 全周ノッチ式引張疲労試験の結果

悪いPE-Hでは、管母材に比べて大きな低下がみられた。メルトフローレートの高いPE-Aでは融着部の強度低下はほとんどみられなかった。PE-Dは両者の中間的な強度を有することがわかった。

4. 融着適合性の評価

原料樹脂の異なるものについては、一般的にそれぞれの融着条件が異なっている。また、同一種類の原料樹脂から製造されたポリエチレン管であっても、銘柄や品種が異なる場合には、その基本物性の差により異なる融着条件が指定される場合がある。したがって、異種類や異品種のポリエチレン管を融着する場合には、同一の融着条件で問題なく融着が行えること(融着適合性)を確認する必要がある。

ガス用ポリエチレン管用樹脂の銘柄間の分子構造やメルトフローレートは製造方法により多少異なる。銘柄の異なるポリエチレン管を融着して使用する場合があるので、前述の5つの試験方法等にて、融着適合性を評価することが必要である。図9にシャルピー衝撃試験にてポリエチレン管の異種銘柄間の組み合わせによる融着適合

図9 シャルピー衝撃試験による異種銘柄間の組み合わせによる融着適合性評価

性が評価された一例を示す。3種類のポリエチレン管のうち、任意の2種類の銘柄が異なるポリエチレン管の組み合わせの影響が調べられた。データのばらつきを考慮して異種銘柄間の融着強度の平均値の95%信頼区間の下限が同一のポリエチレン管の融着強度の平均値の95%信頼区間の下限で、相対的に強度の低い方の下限を下まわらない、つまり、組み合わせたものの強度が同一のポリエチレン管の融着強度の中間に位置することがわかった。また、破断部位を観察すると、き裂の生成がノッチの底部から起こり、き裂は融着界面に沿って成長することがわかった。

5. 融着条件と融着信頼性

5.1 熱融着法の融着条件と強度評価

熱融着法の融着条件因子には、主に加熱温度、加熱時間、加圧力の3つの因子があるが、各因子毎の融着強度に与える影響評価や融着ビード形状・寸法の確認を実施後、標準融着条件が設定されている。表3にバット融着、ソケット融着、サドル融着の口径毎の標準融着条件を示す。

図10には、国産ポリエチレン管(口径75mm)の種々の融着条件におけるシャルピー衝撃値の相違を示している。加熱温度を150~270℃、加熱保持時間を0~120秒間、加圧力を $0.25 \sim 2.45 \times 10^5$ Paに変えたときのシャルピー衝撃値を調べると、加熱温度が170℃以下に低くなる場合や加熱保持時間が30秒間以下になるとシャルピー

図10 種々の融着条件におけるシャルピー衝撃値

衝撃値が低くなる。つまり、適正な融着を行うためには十分な加熱により樹脂を溶融させることが必要である。また、管同士の端部を圧着させるために一定の圧力を付加する必要があるが、加圧力が大きすぎると溶融樹脂のせん断速度が大きくなり、融着部の高次構造が管母材に比べて不連続になるため衝撃値が低下する傾向を示す。加圧力が増加すると溶融樹脂が半径方向にそれだけ多く流動するため管と融着部の界面が明確に形成され、衝撃強度が低下する。熱融着部についていくつかの試験が実施された後に、標準融着条件が決められてきた。

5.2 電気融着法の融着条件と強度評価

EF継手の内側にはワイヤーが内蔵されているので、融着強度を評価する場合には、管と継手の融着界面および埋め込まれたワイヤー近傍の強度が重要になる。図11には、模式的なEF継手の融着強度の予測図を示す。一

表3 融着の種類別口径毎の標準融着条件

融着の種類	融着の種類 呼び(mm)・加圧力	融着手順				
		1 加圧溶融 (秒)	2 加熱溶融 (秒)	3 ヒーター除去 (秒)	4 圧着 (秒)	5 冷却 (秒)
バット融着 [ヒーター温度 210±10℃]		17	40	5秒以内 (ヒーター除去から 圧着開始まで)	40以上	180以上
	75	17	60		60以上	
	100	30	90		90以上	
	150	35	120		120以上	
	200	50	160		160以上	
	加圧力 (kgf/cm ²)	1.0~1.5	0~0.1	—	1.0~1.5	0
ソケット融着 [ヒーター温度 260±10℃]	25	規定長さに 挿入するまで	10	5秒以内 (ヒーター除去から 圧着開始まで)	30以上	180以上
	30		15			
	50		20			
	75		25			
サドル融着 [ヒーター温度 260±10℃]	$\begin{matrix} 60 \\ 75 \\ 100 \end{matrix} \times \begin{matrix} 25 \\ 30 \end{matrix}$	50	0	6秒以内 (ヒーター除去から 圧着開始まで)	60以上	180以上
	$\begin{matrix} 75 \times 50 \\ 100 \times 50 \end{matrix}$	60	0		90以上	
	加圧力 (kgf/cm ²)	0.9~1.5	—	—	0.9~1.5	0

図11 模式的なEF継手の融着強度の予測図

一般的に電圧を一定にして、通電時間を増加させていくと、ワイヤーの発熱によりワイヤー近傍の樹脂が徐々に溶融し、融着界面の強度も増加していく。しかしながら、通電時間が長くなりすぎるとワイヤー近傍の樹脂が高温で劣化し始めワイヤー近傍の強度が低下する。EF継手融着部から短冊状試験片を切削加工で切り出し、引張クリープ試験等の長期性能評価試験を行うと、まず、融着界面にノッチのない試験片で、界面破断強度がワイヤー近傍での破断強度を上回る遷移点が適正な通電範囲の下限値で、ノッチのある試験片で界面破断からワイヤー近傍での破断に移る点が適正な通電範囲の上限値となる。適正な通電範囲はこの下限値と上限値の間に存在すると考えられる。

EF継手の最適な融着条件を設定するためには、供給する電力と通電時間が重要な設計要因である。図12には試作EF継手から切り出した試験片の全周ノッチ式引張疲労試験により求めた破断繰返し数と通電時間の関係

図12 全周ノッチ式引張疲労試験により求められた破断繰返し数と通電時間との関係

図13 全周ノッチ式引張疲労試験により求められた電力と通電時間との関係

係が電力をパラメーターとして示されている。通電時間が短いと、樹脂の溶融が不十分で融着強度が上がらない。一方、通電時間が長いと、ワイヤーの移動や樹脂の熱劣化が起こり再び融着強度が低下し、通電時間が長すぎると、融着界面にノッチを入れて応力集中させているにもかかわらず、ワイヤー近傍から破断することが起こる。また融着部に供給する電力が高くなると、適正な通電時間の範囲が狭くなり、電力を下げて緩慢な加熱を行うと、適正な通電時間の範囲が広がる。

図13には、全周ノッチ式引張疲労試験により求めた電力と通電時間の関係が示されている。最大応力 $\Delta\sigma_{max} = 5.9\text{MPa}$ における破断繰返し数が最大値 N_{fmax} をとる点をプロットすると、全周ノッチ式引張疲労試験に用いたものと同じ試験片で、JIS K 6774 に準じて行った引張試験の強度の最大値を示すラインとよく一致することがわかった。また破断繰返し数が最大値 N_{fmax} の約2分の1となる 5×10^3 回以上を保持する範囲を斜線で示した。EF継手の適正な融着条件の範囲は、この斜線で囲まれた領域とみなすことができる。電力が低すぎるともはや通電時間を長く設定しても、融着しない領域が存在することがわかった。実際に電力を設定するためには、この斜線で囲まれた領域が広いところつまり適正な通電時間の範囲の広いところが望ましい。

5.3 電気融着法の融着シミュレーション

150mm以上の大口徑EF継手の導入検討時、小口径EF継手と同様な試作と実験評価の試行錯誤による設計評価を行うことは時間的にもコスト的にも負荷が大きく困難な状況であったので、EF継手の融着過程を高精度でシミュレーションできるプログラム「EPOK」が開発された。大口徑のEF継手では、継手と管の間の初期ギャップが大きくなり、ギャップが融着過程に及ぼす影響も大きくなる。開発されたプログラムは初期ギャップ

の閉塞過程を伝熱解析と応力解析を連成させており、精度の良い非定常解析ができることが確認されている¹¹⁾。

5.4 電気融着法の施工環境と強度評価

EF 継手を融着する前には、ポリエチレン管の表面をカンナ掛けすることが必要とされている。図 14 に屋内保管されていた管および屋外保管されていた管について、融着時にカンナ掛けを実施したものと実施していないものの融着部界面性能をピーリング試験（界面剥離試験）により比較した結果を示す。カンナ掛けされたものは保管期間の経過によらず初期の性能が維持されるが、カンナ掛けのないものは保管期間の経過とともに、屋外保管品および屋内保管品の延性破面率が低下することがわかった。施工時にはカンナ掛けが重要であることがわかる^{12), 13)}。

図 14 ピーリング試験の結果

6. 検査

HF 融着継手の場合には、ビード高さと管肉厚（口径）の関係、ビード高さと融着強度の関係が実験的に求められているので、ビード高さの適正範囲が規定されている。

EF 融着継手の場合には、EF 継手のワイヤー組み込み部にインジケータと呼ばれる小孔が空けられており、ワイヤーが加熱され継手内面の樹脂が溶融膨張すると、管と継手の界面に樹脂の圧力が発生して、小孔の底部が隆起するものである。EF 継手融着部の検査はこのインジケータの隆起高さがあらかじめ定められた値以上であることを確認すればよい^{12), 13)}。

7. まとめ

ガス用ポリエチレン管は腐食しない材料として、新設導管に広く普及しているが、可とう性があり接合が容易であるので、現場での施工能率の向上や機材の現場搬入の時間短縮が図れ、工事に伴う道路の使用期間の短縮化が実現している。また、インサージョン工法や非開削工法等に適用して、土木工事費用や配管工事費用の削減が図られている。現場での融着作業は施工管理をしっかりとすることによって、十分な品質が確保されている。今後ますますポリエチレン管が定着拡大していくことが期待される。

参考文献

- 1) JIS K 6774 ガス用ポリエチレン管
- 2) JIS K 6775-1 ガス用ポリエチレン管継手 第1部
- 3) JIS K 6775-2 ガス用ポリエチレン管継手 第2部
- 4) JIS K 6775-3 ガス用ポリエチレン管継手 第3部
- 5) 黒岩光之：配管・装置・プラント技術，秋季号，23 (2001)
- 6) D. R. DeCourcy and J. R. Atkinson : J. Mat. Sci., 12, 1535 (1977)
- 7) 西尾宣明：東京ガス技術研究所報告，第27号，73 (1983)
- 8) 西村寛之ら：成形加工，1, 318 (1989)
- 9) 西村寛之ら：成形加工，1, 447 (1989)
- 10) 西村寛之：ガス用ポリエチレン管の破壊機構に関する研究，博士論文 (1991)
- 11) 井上富美夫ら：成形加工，8, 80 (1996)
- 12) 日本ガス協会編：ガス用ポリエチレン管技術資料
- 13) 日本ガス協会編：ガス用ポリエチレン管接合作業および教育・訓練マニュアル